

博士論文

西中国，白亜紀火成活動と大陸地殻の進化
(Cretaceous magma activities in West Chugoku district,
Southwest Japan: Implications for evolution of continental crust)

2021年3月

児玉 省吾

山口大学大学院創成科学研究科
自然科学系専攻

目次

第 1 章 序論.....	1
I. 研究背景と目的.....	1
II. 各章の概説.....	3
III. 鉱物略称.....	5
IV. 分析方法.....	6
V. 謝辞.....	8
第 2 章 山陽帯西部，山口県須々万地域に産する斑レイ岩-花崗閃緑岩複合深成 岩体と隣接する花崗岩体のマグマ過程.....	9
I. はじめに.....	9
II. 地質概要.....	12
1. 須々万-長穂複合深成岩体(SNPC).....	13
1-1. 花崗閃緑岩.....	13
1-2. 斑レイ岩.....	15
1-2-1. 細粒斑レイ岩.....	15
1-2-2. 粗粒優白質斑レイ岩.....	15
1-2-3. 粗粒優黒質斑レイ岩.....	15
2. 花崗岩.....	18
III. 岩石記載と鉱物科学組成.....	19
1. SNPC.....	20
1-1. 花崗閃緑岩.....	20
1-2. 細粒斑レイ岩.....	22
1-3. 粗粒優白質斑レイ岩.....	24
1-4. 粗粒優黒質斑レイ岩.....	26
2. 花崗岩.....	28
IV. 花崗岩の黒雲母 K-Ar 年代.....	33

V. 全岩化学組成.....	34
1. 主・微量成分組成.....	34
2. Sr-Nd 同位体組成.....	40
VI. 議論.....	41
1. 花崗閃緑岩の成因.....	41
2. SNPC と花崗岩の関係.....	46
3. 花崗岩マグマの起源物質.....	47
4. 須々万地域における深成岩類の形成過程.....	51
第 3 章 山陽帯西部，山口県須々万地域に産する白亜紀斑レイ岩－花崗閃緑岩 複合深成岩体から見出された肥沃な Sr-Nd 同位体組成.....	53
I. はじめに.....	53
II. 斑レイ岩類の記載的・岩石化学的特徴.....	54
III. 議論.....	56
1. 未分化マグマの推定.....	56
2. 白亜紀西南日本直下のマントル同位体組成.....	60
第 4 章 山口県南東部，屋代島に産する領家帯花崗岩類のマグマ過程.....	63
I. はじめに.....	63
II. 地質概要.....	66
III. 産状と岩石記載.....	69
1. 黒雲母花崗閃緑岩(蒲野花崗閃緑岩).....	70
2. 黒雲母花崗岩(東和花崗閃緑岩).....	70
IV. 鉱物化学組成.....	73
1. 斜長石.....	73
2. 黒雲母.....	73
3. カリ長石.....	73
V. 全岩化学組成.....	75

VI. 議論.....	81
1. 領家花崗岩類の岩相変化.....	81
2. 蒲野花崗閃緑岩と東和花崗閃緑岩のマグマ過程.....	85
第5章 西南日本, 白亜紀～古第三紀深成岩類の Sr-Nd 同位体組成の特徴.....	88
I. はじめに.....	88
II. 分析試料.....	94
1. 産状と岩石記載.....	95
1-1. 広島県北広島市古木次地域(KTG).....	95
1-2. 広島県庄原市宮内地域(MUC).....	95
1-3. 広島県世羅郡松山地域(SER).....	95
1-4. 岡山県真庭市星山地域(HSM).....	96
1-5. 岡山県美咲町八柳地域(MSK).....	96
1-6. 岡山県笠岡市長浜地域(NGH).....	96
1-7. 香川県高松市北嶺地域(NGN).....	97
1-8. 香川県高松市牟礼町大町地域(GJM).....	97
1-9. 山口県柳井市氷室ヶ岳(HMR).....	97
III. 全岩化学組成および同位体組成.....	105
IV. 議論.....	112
1. 花崗岩マグマと苦鉄質マグマの成因関係.....	112
2. 同位体組成の時空分布とその変遷.....	113
2-1. 肥沃なマントルを形成した物質.....	113
2-2. 地殻-マントル交代作用のメカニズム.....	119
第6章 まとめ.....	127
引用文献.....	132

付録.....	149
付録 1. SNPC と花崗岩の全岩化学組成, モード組成.....	149
付録 2. SNPC と花崗岩の鉱物化学組成.....	155
付録 3. 第 2 章の議論で使用した分配係数.....	161
付録 4. 第 2 章の議論で使用した温度圧力計算結果.....	162
付録 5. 黒雲母花崗岩, カリ長石斑晶黒雲母花崗岩のモード組成.....	163
付録 6. 第 4 章の議論で使用した分配係数.....	164
付録 7. 試料採取位置.....	165
付録 8. コンパイルした花崗岩類の同位体組成.....	166
付録 9. コンパイルした苦鉄質岩類の全岩化学組成.....	170
付録 10. コンパイルした苦鉄質岩類の同位体組成.....	172
付録 11. 第 5 章の議論で使用した分配係数.....	174

図一覧

図 2-1. 山口県須々万地域の地質図.....	11
図 2-2. 花崗閃緑岩の産状と花崗閃緑岩と花崗岩の境界部の産状.....	14
図 2-3. 斑レイ岩と花崗岩の境界部の産状.....	16
図 2-4. 斑レイ岩の産状.....	17
図 2-5. 花崗岩の産状.....	18
図 2-6. 花崗閃緑岩と花崗岩の Q-A-P 図.....	19
図 2-7. 花崗閃緑岩の鏡下写真.....	21
図 2-8. 細粒斑レイ岩の鏡下写真.....	23
図 2-9. 粗粒優白質斑レイ岩の鏡下写真.....	25
図 2-10. 粗粒優黒質斑レイ岩の鏡下写真.....	27
図 2-11. 花崗岩の鏡下写真.....	29
図 2-12. SNPC と花崗岩の境界部の鏡下写真.....	30
図 2-13. 各岩相の鉍物化学組成.....	31
図 2-14. 各岩相の輝石類の鉍物化学組成.....	32
図 2-15. 境界部で見られた汚濁帯の発達する斜長石の鉍物化学組成.....	32
図 2-16a. 各岩相の主要元素ハーカー図.....	37
図 2-16b. 各岩相の微量元素ハーカー図.....	38
図 2-17. 各岩相のコンドライトで規格化した希土類元素パターン図と, N-MORB で規格化したスパイダー図.....	39
図 2-18. 各岩相 ϵSrI - ϵNdI 図.....	40
図 2-19. マスバランス計算結果の微量元素組成パターン図.....	45
図 2-20. 花崗岩および領家変成岩のイプシロン図と 領家帯深成岩類の同位体組成.....	47
図 2-21. 花崗岩, 花崗閃緑岩および熔融実験メルトのアルミナ飽和度 角閃石温度圧力計, および熔融実験計算結果.....	50
図 2-22. 須々万地域に産する深成岩類の形成過程.....	52

図 3-1.	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ -Mg# 図と MgO-FeO*/MgO 図.....	60
図 3-2.	細粒斑レイ岩, 粗粒優白質斑レイ岩, 粗粒優黒質斑レイ岩, 京都ランプロファイアおよびマントルゼノリスの同位体組成と 本研究と <i>Imaoka et al. (2014, 2017)</i> の位置図.....	62
図 4-1.	屋代島の地質図.....	65
図 4-2.	屋代島に産する領家帯花崗岩類の露頭産状.....	67
図 4-3.	黒雲母花崗閃緑岩と黒雲母花崗岩の境界部(漸移帯)での産状.....	68
図 4-4.	屋代島に産する花崗岩類の Q-A-P 図.....	69
図 4-5.	黒雲母花崗閃緑岩と黒雲母花崗岩の鏡下写真.....	72
図 4-6.	屋代島に産する花崗岩類のハーカー図.....	77
図 4-7.	黒雲母花崗岩とカリ長石斑晶黒雲母花崗岩の コンドライトで規格化した希土類元素パターン図と, N-MORB で規格化したスパイダー図.....	78
図 4-8.	屋代島に産する花崗岩類と柳生地域に産する 領家変成岩類の Sr-Nd 同位体組成.....	80
図 4-9.	マスバランス計算結果の微量元素組成パターン図.....	84
図 4-10.	屋代島における領家花崗岩類の形成モデル図.....	85
図 4-11.	屋代島に産する花崗岩類の温度(°C)-SiO ₂ wt.%図.....	87
図 5-1.	日本の白亜紀-古第三紀貫入岩の Sr 同位体初生値に広域的な変化.....	89
図 5-2.	同位体組成の帯状区分.....	89
図 5-3.	加々美 (2005) による同位体組成の帯状区分.....	90
図 5-4.	近畿地方に産する 80 Ma の花崗岩の同位体組成分布図.....	90
図 5-5.	サンプリング地点.....	94
図 5-6.	採取試料の露頭産状 (KTG, MUH, SER, HSM, MSK, NGH).....	98
図 5-7.	採取試料の鏡下写真 (KTG, MUH, SER).....	99

図 5-8. 採取試料の鏡下写真 (HSM, MSK, NGH).....	100
図 5-9. 採取試料の露頭産状 (NGN, GJM, HMR).....	101
図 5-10. 採取試料の鏡下写真 (NGN, GJM, HMR).....	102
図 5-11. コンパルデータの位置図.....	104
図 5-12. 花崗岩体の形成年代で補正した SrI-εNdI と 岩体の形成年代との関係.....	106
図 5-13. 苦鉄質岩の SiO ₂ -MgO 図と Si/Al-Mg#図 選別した苦鉄質岩の形成年代で補正した SrI-εNdI 図と 岩体の形成年代との関係.....	108
図 5-14. 各帯での苦鉄質岩と花崗岩類の関係.....	110
図 5-15. 各帯での苦鉄質岩と花崗岩類のイプシロン図.....	111
図 5-16. Th/Ce-Ba/La 図, εNdI-Ba/La 図 細粒斑レイ岩と領家変成岩の微量元素パターン図.....	115
図 5-17. マントルと領家変成岩の混合曲線.....	117
図 5-18. 前期白亜紀の東アジア東縁部の断面図.....	118
図 5-19. 白亜紀のプレート沈み込み速度の変化.....	120
図 5-20. 構造侵食の模式図.....	120
図 5-21. 白亜紀マントル組成の経年変化モデル図.....	122
図 5-22. (a)モデル計算から得られた微量元素パターン (b)マントル AFC の模式図.....	125
図 5-23. MACH モデル.....	126
図 6-1. 白亜紀における大陸地殻の進化モデル.....	131

表一覧

表 2-1. 花崗岩の黒雲母 K-Ar 年代.....	33
表 2-2. 花崗岩の全岩化学組成と微量元素組成.....	36
表 2-3. 花崗岩の Sr-Nd 同位体組成.....	36
表 2-4. マスバランス計算結果.....	44
表 2-5. 溶融実験で使用された出発物質の化学組成.....	48
表 3-1. カンラン石最大分別法による計算結果.....	57
表 3-2. カンラン石最大分別法による計算結果と未分化 STVB.....	59
表 4-1. 斜長石, 黒雲母およびカリ長石の鉱物化学組成.....	74
表 4-2. 黒雲母花崗岩とカリ長石斑晶黒雲母花崗岩の全岩化学組成.....	76
表 4-3. 黒雲母花崗岩とカリ長石斑晶黒雲母花崗岩の微量元素.....	78
表 4-4. 黒雲母花崗岩とカリ長石斑晶黒雲母花崗岩の Sr-Nd 同位体組成.....	79
表 4-5. マスバランス計算結果.....	83
表 5-1. 採取試料の全岩化学組成.....	103
表 5-2. 大陸地殻由来のメルトとマントル起源のメルトの単純混合.....	123
表 5-3. マスバランス計算結果.....	124

第 1 章

序論

I. 研究背景と目的

花崗岩質岩は、太古代から顕生代にかけて形成した大陸地殻の主要な構成岩石であり、地球史を通じて大陸の形成や進化に関与してきた。海洋地殻が沈み込む大陸下のマントルウェッジは、対流に伴うアセノスフェアの上昇によって高い熱量をもち、下部地殻へ向かってマグマと共に熱を供給している (Taylor and McLennan, 1985 ; 高橋, 2000 ; 巽, 2003). その熱によって下部地殻が熔融し、花崗岩質マグマが地殻内を上昇・定置することで地殻は成熟する (Brown and Rushmer, 2006). こうしたメカニズムは、太古代地殻の形成においても成立していたことが最近の研究で明らかになってきた (Janyananda *et al.*, 2020). すなわち、沈み込み帯における様々なマグマ過程を解析することは、大陸地殻成長の基本的過程の解明に繋がる。

西南日本には白亜紀から古第三紀にかけて活動した火成岩類が広く分布する。花崗岩類の研究では、記載岩石学的な特徴および伴われる鉱床の種類に基づいた帯状配列 (山陰帯, 山陽帯, 領家帯) が提唱され、それらの形成過程が議論されている (Ishihara, 1971; Murakami, 1974; 飯泉ほか, 1985 ; Imaoka *et al.*, 2011). また, Sr 同位体組成の特徴から上記の帯状配列とは異なる観点で下部地殻～上部マントルの組成的特徴が議論されてきた (Shibata and Ishihara, 1979; Kagami *et al.*, 1992; Iizumi *et al.*, 2000). 最近では, モナズ石 Th-U-Pb 年代やジルコン U-Pb 年代が広域的に報告され, マグマ活動の詳細な年代がわかってきた (Suzuki *et al.*, 1996; Suzuki and Adachi, 1998; Iida *et al.*, 2015; Skrzpek *et al.*, 2016; Mateen *et al.*, 2019). また, 詳細な年代論に基づいたアジア大陸東縁部のテクトニクスについての理解も深まってきている (Ishozaki *et al.*, 2010, 2019; 奥平・隅田, 2011 ; Liu *et al.*, 2020). 一方で, 白亜紀に活動した苦鉄質マグマと

珪長質マグマの成因関係，この時代のマントル同位体組成の特徴，珪長質マグマの岩相変化の要因，および白亜紀を通じたマントル組成の経年変化とその原因，特にテクトニクスとの関連については十分な理解が得られていない．

そこで本研究では，大陸地殻の形成と成熟過程を解明するため，火成活動が活発であった西南日本の白亜紀の深成岩類を対象に，岩石構成，岩石記載，岩石化学的特徴および年代学的検討を行う．また，Sr-Nd 同位体組成およびコンパイルした苦鉄質岩と花崗岩のデータを用いて，苦鉄質岩を形成した玄武岩マグマからマントルウェッジの組成的特徴とマントル組成の経年変化の原因，および花崗岩の同位体組成の広域的な変化の実態とその要因について議論した．

次に本論で述べる各章の概要を説明する．本論は全部で 6 章から構成される．第 1 章の序論に続き，第 2～5 章では，西南日本白亜紀火成活動の特徴を述べる．第 6 章はそれらのまとめである．

II. 各章の概説

以下に各章の内容を概説する.

第 1 章：序論

第 2 章

章題「山陽帯西部，山口県須々万地域に産する斑レイ岩-花崗閃緑岩複合深成岩体と隣接する花崗岩体のマグマ過程」

山口県周南市須々万地域に産する山陽帯斑レイ岩-花崗閃緑岩複合深成岩体のマグマ過程と，隣接する花崗岩体の形成過程を野外の産状，記載岩石学的特徴，黒雲母 K-Ar 年代および全岩・鉱物の岩石化学的特徴に基づき議論する.

第 3 章

章題「山陽帯西部，山口県須々万地域に産する白亜紀斑レイ岩-花崗閃緑岩複合深成岩体から見出された肥沃な Sr-Nd 同位体組成」

第 2 章で議論した複合深成岩体の斑レイ岩は肥沃な Sr-Nd 同位体組成を示す. 斑レイ岩の内，細粒斑レイ岩はやや分化しているものの，比較的未分化な組成を保持している. よって，細粒斑レイ岩を用いて未分化玄武岩質マグマの組成を推定すると共に，山陽帯に産し，未分化な組成を保持している京都ランプロファイアーと比較することで，肥沃した同位体組成を持つ原因を議論する.

第 4 章

章題「山口県南東部，屋代島に産する領家帯花崗岩類のマグマ過程」

山口県柳井地域南部屋代島に産する領家帯新期花崗岩である東和花崗岩と，同じく屋代島に産する領家帯古期花崗岩である蒲野花崗閃緑岩のマグマ過程を野外の産状，記載岩石学的特徴および全岩・鉱物の岩石化学的特徴を用いて議論する.

第 5 章

章題「西南日本，白亜紀～古第三紀深成岩類の Sr-Nd 同位体組成の特徴」

第 2～4 章で議論した山陽帯および領家帯に産する苦鉄質岩と花崗岩，および中国地方に分布する苦鉄質岩と花崗岩の Sr-Nd 同位体組成を使用して，同位体組成の広域的な変化を，苦鉄質岩を形成した玄武岩マグマからマントルウエッジの組成的特徴とその原因，花崗岩の同位体組成変化の実態とその要因について議論する．

第 6 章：まとめ

III. 鉱物略称

本論文で使用する鉱物略号について以下にまとめて示す.

鉱物略号一覧

abbreviation	Official name	abbreviation	Official name
Act	actinolite	Opq	opaque mineral
Ap	apatite	Opx	orthopyroxene
Bt	biotite	Phl	phlogopite
Cpx	clinopyroxene	Pl	plagioclase
Cum	cummingtonite	Prg	pargasite
Ed	edenite	Qz	quartz
Hb	hornblende	Tr	tremolite
Kfs	K-feldspar	Ts	tschermakite
Ms	muscovite	Zrn	zircon
Ol	olivine		

IV. 分析方法

各章で行った分析の手法をここでまとめる。

1. 鉱物化学組成分析 (第 2, 4 章)

構成鉱物の化学組成の測定は山口大学機器分析施設に設置されている電子線マイクロアナライザー (JEOL JXA8230) を使用した。測定条件は、加速電圧・試料電流がそれぞれ 15 kV, 20 nA とした。

第 2 章：ビーム径は 1 μm とした。

第 4 章：斜長石および黒雲母を分析する際のビーム径は 1 μm , カリ長石を分析する際のビーム径は 10 μm とした。

2. 黒雲母 K-Ar 年代 (第 2 章)

花崗岩の黒雲母を今岡ほか(1997) に基づいて分離した。岩石を黒雲母のサイズに応じてタングステン乳鉢で粉砕した。ここでは、ふるいにかけて粒度を 100 メッシュ以下, 150 メッシュ以上の調整後, 電磁分離を繰り返し, 黒雲母を精選分離した。また, タッピングも併用した。以上のようにして調製した試料を GeochronEX 社に依頼して K-Ar 年代を測定した。

3. 全岩化学組成分析 (第 2, 4, 5 章)

3-1. 主・微量成分元素組成

山口大学機器分析センターの全自動蛍光 X 線分析装置 (ZSX Primus- μ II) を用いた。加速電圧・電流は 50 kV, 60 mA で, 検量線法によって測定した。試料は, 変質の影響を避けるため, 有色鉱物の緑泥石化や斜長石のソーシュライト化 (セリサイト化) を免れた試料, また鉱物脈を含まない試料を選定した。一試料につき 10×10×10 cm 程度を 5 mm 程度に荒砕きした後, 四分法で縮分してミルにかけ, 体積として 20 ml 程度の粉末を作成した。

第 2 章：分析方法は深見・大和田(2017) に従った。

第4章：カリ長石斑状黒雲母花崗岩は、比較的均質でカリ長石斑晶が1 cmを超えない部分を使い、その他試料の倍程度の量を上記の方法で粉末にした。分析方法は山崎ほか(1999)に従った。

第5章：分析方法は深見・大和田(2017)に従った。

3-2. 希土類元素を含む微量成分組 (第2, 4, 5章全て共通)

ActLab. Co. Ltd (Canada) に依頼し、ICP-MS で測定した。

4. Sr-Nd 同位体組成分析 (第2, 4, 5章全て共通)

Sr-Nd 同位体比を島根大学総合理工学部の MAT262 型質量分析計で測定した。岩石試料からの Sr, Nd 抽出法と質量分析計による分析法は、Kagami *et al.*(1987) と飯泉(1996)に従った。得られた Sr, Nd 同位体比は、それぞれ NBS987 の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710241$ と JNdi-1 の $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512115$ で規格化した。また、Sr, Nd 同位体比初生値は以下の崩壊定数で計算した。 $\lambda^{87}\text{Rb} = 1.42 \cdot 10^{-11}/\text{year}$ (Steiger and Jäger, 1977), $\lambda^{147}\text{Sm} = 6.54 \cdot 10^{-12}/\text{year}$ (Lugmair and Marti, 1978)。イプシロン値 (ϵ) を計算するための CHUR 値は以下のとおりである。 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} = 0.0827$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7045$ (DePaolo and Wasserburg, 1976), $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1966$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512638$ (Jacobsen and Wasserburg, 1984)。

V. 謝辞

本研究を進めるにあたり，山口大学の大和田正明教授には野外調査・室内作業など終始懇切丁寧な御指導をしていただくとともに，数多くの有益な御助言をいただき，また議論をしていただきました．山口大学の今岡照喜教授にはクリーンルームの使用方法および Sr-Nd の抽出方法に関して終始懇切丁寧な御指導をしていただくとともに，数多くの有益な御助言をいただいた．山口大学の永寫真理子准教授，総合科学実験センター機器分析実験施設の森福洋二技術専門職員には，鉱物化学組成分析の際ご指導いただいた．島根大学の亀井淳志教授には Sr-Nd 同位体比測定の際に，質量分析計の使用法についてご指導していただくとともに，有益なご助言・議論をしていただいた．また，副査の志村俊昭教授，太田岳洋教授，永寫真理子准教授，岩谷北斗助教には本論を改善する上で有益なご助言をいただいた．山口大学地球科学教室地質学・岩石学大和田研究室の院生および学生諸氏には日々お世話になった．その他，山口大学の教員，院生または学生諸氏には様々な面でお世話になった．

以上の方々に，心より御礼申し上げます．

第 2 章

山陽帯西部，山口県須々万地域に産する斑レイ岩-花崗閃緑岩複合深成岩体と隣接する花崗岩体のマグマ過程

I. はじめに

花崗岩質岩は大陸地殻の主要な構成岩石であり，地球史を通じて大陸の形成や進化に関与してきた．一般に，花崗岩マグマは，主に中～下部地殻の溶融で生成される (White and Chappell, 1977)．海洋地殻が沈み込む大陸下のマントルウェッジは，対流に伴うアセノスフェアの上昇によって高い熱量をもち，下部地殻へ向かってマグマと共に熱を供給している (Taylor and McLennan, 1985; 高橋, 2000; 巽, 2003)．その熱によって下部地殻が溶融し，花崗岩質マグマが地殻内を上昇・定置することで地殻は成熟する (Brown and Rushmer, 2006)．一方，マントル起源の玄武岩質マグマの分化によっても花崗岩質マグマは形成される (Sisson *et al.*, 2005; Castillo, 2012)．すなわち，沈み込み帯における様々なマグマ過程を解析することは，大陸地殻成長の基本的過程の解明に繋がる．

西南日本には，白亜紀～古第三紀にかけて活動した火成岩類が広く分布する．これら火成岩類のうち，花崗岩類は岩相，岩質，鉱物組み合わせ，化学的特徴，伴われる鉱床，および形成年代によって，北から南へ山陰帯，山陽帯，領家帯と，東西方向に延びた 3 つの帯に区分される (Ishihara, 1977; 猪木ほか, 1987; 図 2-1a)．北部に分布する山陰帯の火成岩類は，白亜紀末～古第三紀に活動のピークを迎え，主に白亜紀に活動した山陽帯や領家帯よりも新しい時期に活動した．それに対して山陽帯と領家帯の火成活動は，主としてクラ (あるいはイザナギ)-太平洋プレートの沈み込みに伴う活動であり，山陰帯の火成活動とはテクトニクスの背景が異なるとされている (Imaoka *et al.*, 2014b; Liu *et al.*, 2020)．

中国地方西部に産する領家帯と山陽帯の火成岩類の活動年代は 110～80 Ma であるが，マグマ活動のピーク時期は 100～90 Ma とされている (今岡・飯泉,

2009). マグマ活動のピーク時にはバソリス状の貫入岩体が形成され、それらは主に花崗閃緑岩～花崗岩で、少量の斑レイ岩～閃緑岩を伴う (Iizumi *et al.*, 2000). すなわち、バソリス形成期のマグマ活動は、マントル起源の苦鉄質マグマの底付とそれに伴う地殻物質の溶融による花崗岩マグマの形成など、大陸地殻の成長や成熟過程を記録している可能性がある.

西中国における白亜紀貫入岩の研究は、ジルコン U-Pb 年代測定に基づくテクトニクスの解析 (Iida *et al.*, 2015) や火成活動と低圧高温変成作用との関係 (Mateen *et al.*, 2019; Okudaira *et al.*, 2001; Skrzypek *et al.*, 2016) について検討されてきた. また、各貫入岩体の岩相変化の原因や岩体の相互関係については、領家帯の石英閃緑岩～花崗岩 (赤崎ほか, 2013; Mutte, 1990; Mutte and Iiyama, 1984; 池田ほか, 2019) や山陽帯花崗岩 (Imaoka *et al.*, 2014b) の研究例がある. 一方、マグマ過程の解析に基づいた大陸地殻の発達過程については、Akasaki *et al.* (2015) による領家帯の石英閃緑岩～花崗岩体の研究が報告されているに過ぎない.

山口県中央部の須々万地域には、斑レイ岩～花崗閃緑岩から構成される須々万 (すすま) -長穂複合深成岩体 (ながおふくごうしんせいがんたい) (以下 SNPC) が分布する (Kodama *et al.*, 2019). この SNPC の東には花崗岩体が隣接する (図 2-1c). Kodama *et al.* (2019) によると、SNPC の斑レイ岩と花崗閃緑岩はほぼ同時期に活動し、組成変化図で両岩石は単一のトレンドを形成するほか、Sr-Nd 同位体組成も類似する. 一方、隣接する花崗岩と SNPC の成因的關係は不明瞭である. そこで、本研究では、SNPC の斑レイ岩～花崗閃緑岩に至る岩相変化の要因と花崗岩との成因的關係について、野外の産状、記載岩石学的特徴、黒雲母 K-Ar 年代および全岩・鉱物の岩石化学的特徴から議論する. 山陽帯のマグマ活動で、苦鉄質岩の分布は限られているものの、広域に散点している. SNPC のように苦鉄質岩と花崗閃緑岩から構成される複合岩体も存在する. 従って、このような多様な組成の貫入岩類のマグマ過程を明らかにすることは、白亜紀山陽帯の火成活動の実態を明らかにするだけでなく、沈み込み帯における大陸地殻の形成や分化過程の解明に貢献できる.

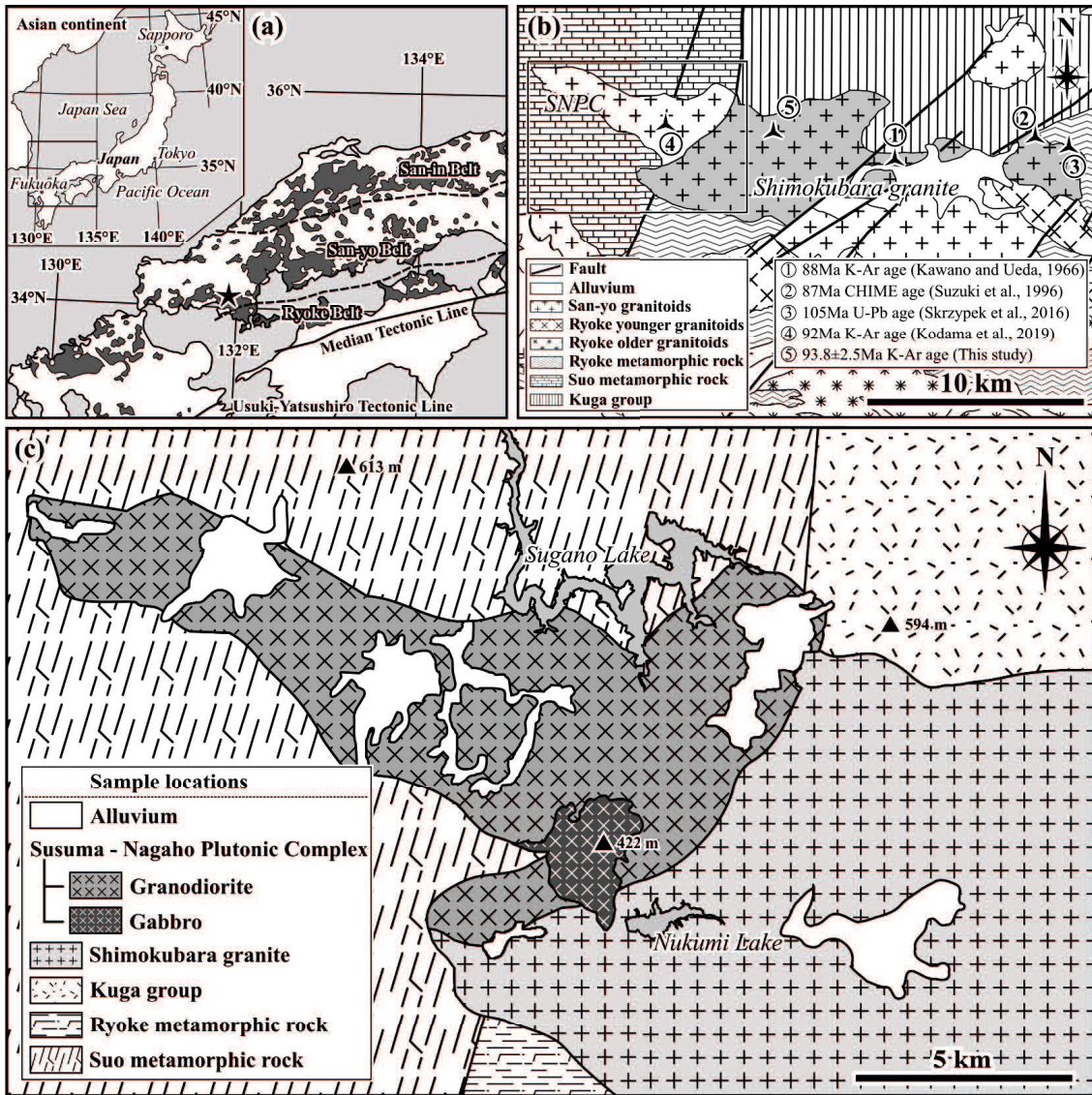


図 2-1. 山口県須々万地域の地質図。(a)西南日本の深成岩分布図。

(b)須々万～玖珂地域の地質図と年代。(c)調査範囲の地質図。

II. 地質概要

山口県中部から東部には、三畳紀の高圧低温型周防変成岩、ジュラ紀付加体の玖珂層群、および白亜紀低圧高温型領家変成岩が分布し、それらを白亜紀の深成岩類が貫く (図 2-1b).

山口県須々万地域には、山陽帯の須々万-長穂花崗閃緑岩が東西約 17 km, 南北約 12 km に分布する (村上, 1986; 図 2-1c). 須々万-長穂花崗閃緑岩は東縁部に約 1 km×1 km の細粒～粗粒のストック状斑レイ岩を伴い、複合深成岩体 (SNPC) の産状を示す (Kodama *et al.* 2019). Kodama *et al.* (2019) は、SNPC の花崗閃緑岩から黒雲母 K-Ar 年代として 92 Ma を報告した. 一方、SNPC の東には、東西約 20 km, 南北約 15 km にわたる広い範囲に下久原花崗岩が産するとされてきた (西村ほか, 2012; 図 2-1b). 下久原花崗岩は玖珂地域付近の沖積層によって、見かけ上の分布が東部と西部に区分される (図 2-1b). 東部岩体は、中～粗粒の黒雲母花崗岩で、稀に斑晶状のカリ長石を含む (Suzuki *et al.*, 1996; Skrzypek *et al.*, 2016). 一方、西部岩体もカリ長石の斑晶を含む黒雲母花崗岩であるが、稀に白雲母を伴う (河野・植田, 1966). 東部岩体の東縁部からは、105 Ma のジルコン U-Pb 年代 (Skrzypek *et al.*, 2016) が得られている. 一方、河野・植田(1966) は、西部岩体の黒雲母から 88 Ma の K-Ar 年代を報告した. また、Suzuki *et al.* (1996) は東部岩体から 86.6 ± 2.1 Ma と 87.3 ± 1.6 Ma のモナズ石 CHIME 年代を報告した. 下久原花崗岩は大きな岩体であり、ジルコン U-Pb 年代とモナズ石 CHIME 年代や黒雲母 K-Ar 年代は有意に異なる. このことは、これまで一括して「下久原花崗岩」とされてきた深成岩体が複数のマグマ活動によって形成されたことを示唆する. 本研究で対象とするのは SNPC と隣接している西部岩体のみであることから、ここでは、単に花崗岩として記述する.

1. 須々万-長穂複合深成岩体 (SNPC)

1-1. 花崗閃緑岩 (Granodirite : Gd)

調査範囲西部に広く分布し、周防変成岩を貫く (図 2-2a). 全体に中粒で苦鉄質鉍物に富み、後述する花崗岩よりは細粒な岩相を示す. 新鮮な岩石は明るい灰色を示す (図 2-2b, c). この花崗閃緑岩は苦鉄質鉍物の量比によって色調が変化し、優白な花崗岩質な岩相を示すこともある (図 2-2d). 花崗岩との岩相境界はシャープな境界ではなく、入り組んだ産状を示す (図 2-3e). また、角閃石は岩相境界を跨ぐストラディンククリスタルとして産する (図 2-2f).

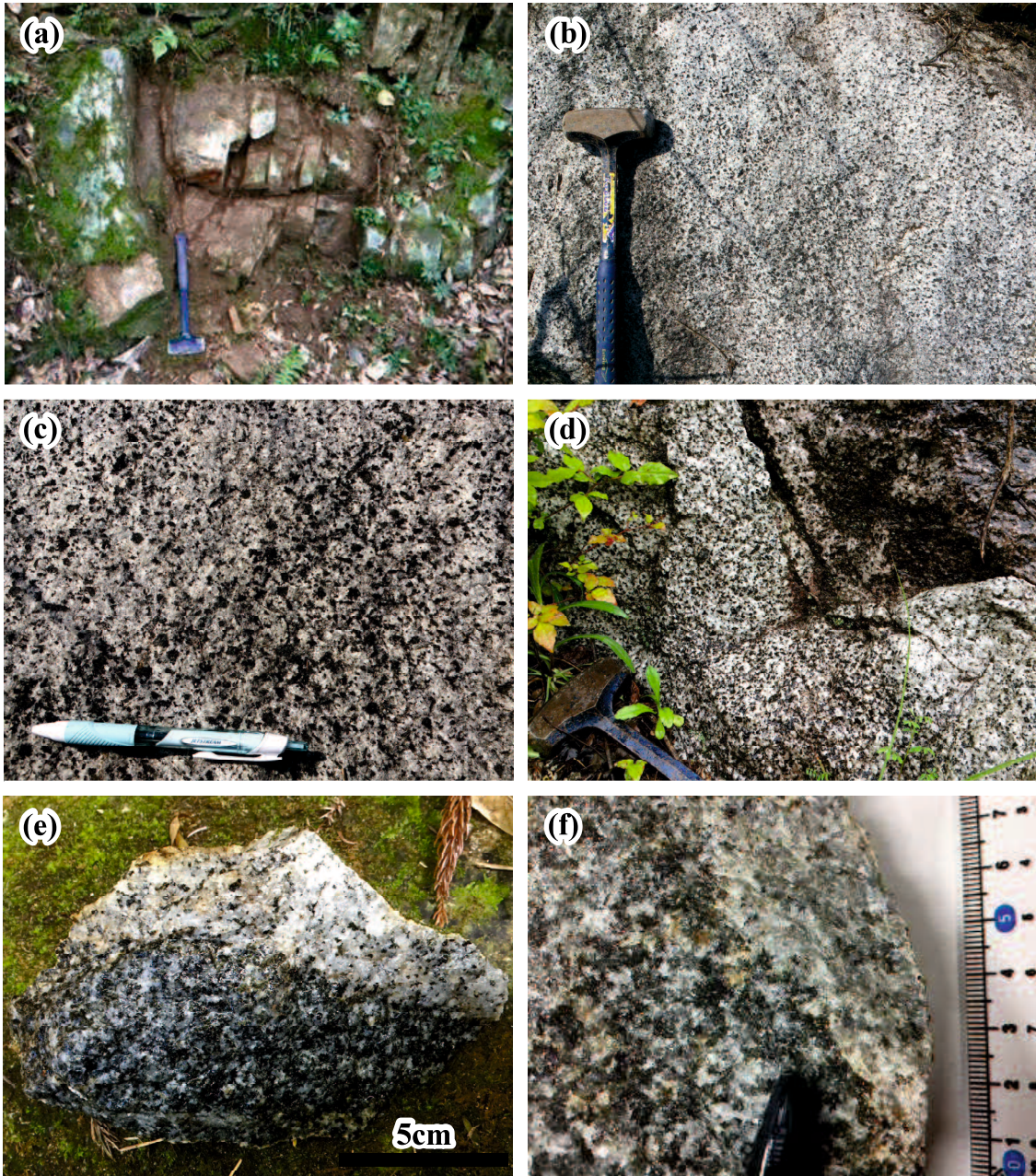


図 2-2. 花崗閃緑岩の産状(a~d)と花崗閃緑岩と花崗岩の境界部の産状(e, f). (a) 母岩の変成岩に貫入する花崗閃緑岩, (b, c) 花崗閃緑岩の代表的な岩相, (d) 狭い範囲での鉱物量比の違いによる岩相変化, (e) 不規則に接する境界部, (f) e の拡大写真.

1-2. 斑レイ岩

SNPC の東縁部に約 1 km×1 km の範囲でストック状に産する。岩石組織や構成鉱物の特徴から細粒斑レイ岩、粗粒優白質斑レイ岩および粗粒優黒質斑レイ岩に区分できる。細粒斑レイ岩を除くと、中～粗粒で、灰色～暗灰色を示す。花崗岩との境界部では、全体に不均質な産状を示し (図 2-3a), 互いに脈を伸ばしあう産状 (図 2-3b), 両者が混じり合う産状 (図 2-3c, d), および斑レイ岩が花崗岩に取り込まれている産状 (図 2-3e), 花崗岩に取り込まれた斑レイ岩中に花崗岩由来と考えられるカリ長石斑晶が取り込まれている産状 (図 2-3f)などが確認される。

1-2-1. 細粒斑レイ岩 (fine-grained gabbro : Fn-Gab)

斑レイ岩分布域の一部、主に斑レイ岩ストックの中心部付近に産する。稀に斑レイ岩分布域西部の花崗閃緑岩との境界部付近にも産する。粒度は細粒で、暗灰色を示す (図 2-4b)。肉眼で斑晶鉱物が確認できる。Kodama *et al.* (2019) によって、花崗閃緑岩との境界付近では、両者が混在した産状を示す事が報告されている (図 2-4f)。

1-2-2. 粗粒優白質斑レイ岩 (coarse-grained leucocratic gabbro : CL-Gab)

斑レイ岩分布域の大部分を占める。斜面や平坦地では、風化を免れて玉石状に産する場合が多い (図 2-4a)。粒度は中～粗粒で、灰色～青灰色を示す (図 2-4c)。鉱物量比の違い (主に角閃石) による層状構造が一部認められる (図 2-4e)。層の厚さは約 1~3 cm 程度あり、主に斜長石と少量の石英からなる優白層と、主に角閃石、斜長石および少量の石英からなる優黒層が交互になっている。

1-2-3. 粗粒優黒質斑レイ岩 (coarse-grained melanocratic gabbro : CM-Gab)

斑レイ岩分布域に点在するが、転石として見出されることが多い。粒度は細～粗粒で、細粒斑レイ岩よりも暗灰色～暗緑灰色である (図 2-4d)。また、上述した層状構造の優黒層の岩相に類似する。

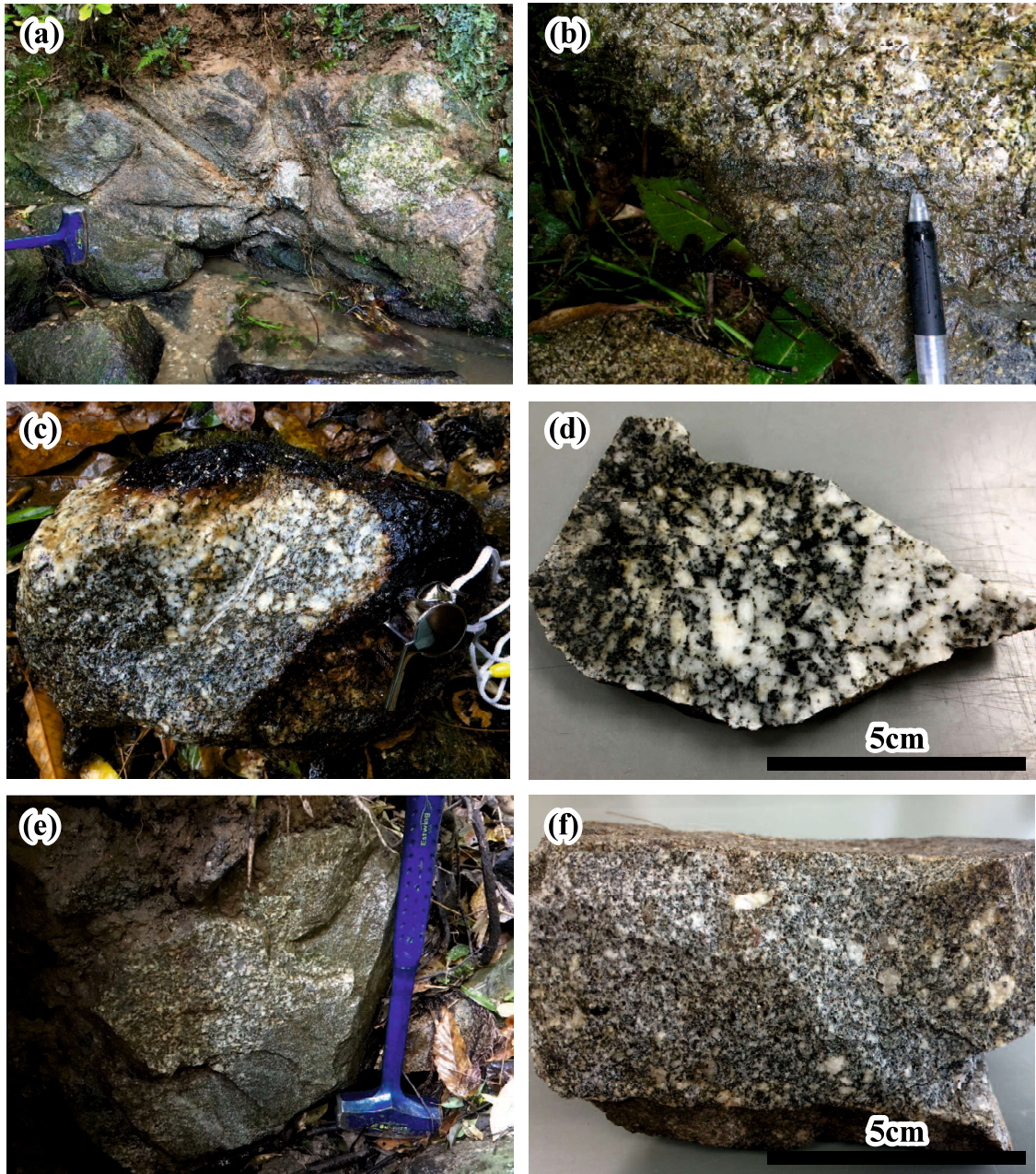


図 2-3. 斑レイ岩と花崗岩の境界部の産状. (a)境界の露頭, (b)a の拡大写真, (c, d)不均質に両岩相が混合した産状, (e)花崗岩に取り込まれた斑レイ岩, (f)花崗岩由来のカリ長石捕獲結晶を含む斑レイ岩.

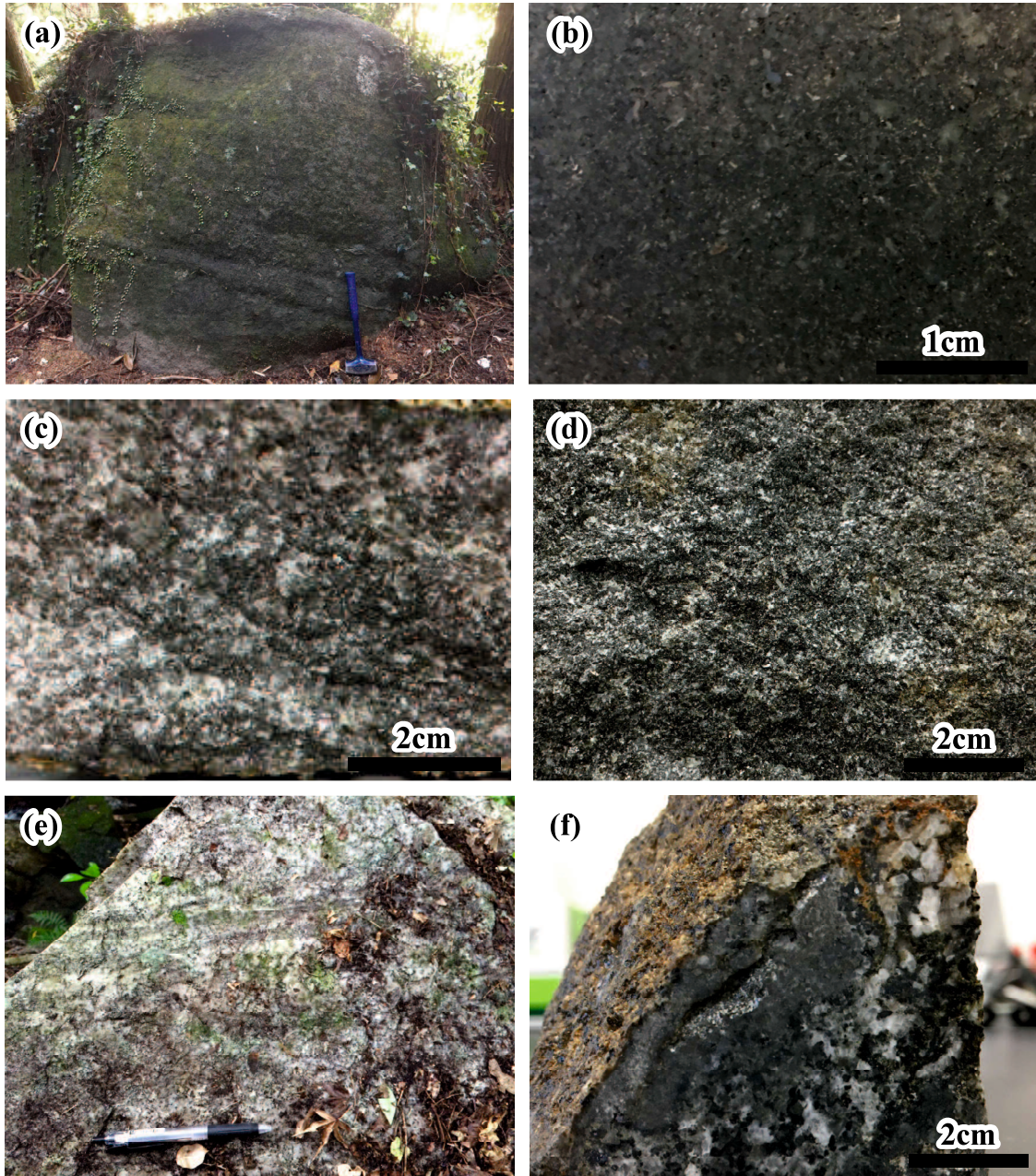


図 2-4. 斑レイ岩の産状. (a)層状構造を示す産状, (b)細粒斑レイ岩のスラブ写真, 斑晶鉱物として, 斜長石と苦鉄質鉱物を含む, (c)粗粒優白質斑レイ岩, (d)粗粒優黒質斑レイ岩, (e)aと同様に層状構造を示す産状, 斜長石に富む優白質な層が卓越する産状, (f)斑レイ岩花崗閃緑岩との境界部の産状. 不規則な岩相境界を示す.

2. 花崗岩 (Granite : Gr)

調査地域の東部に広く分布し、ジュラ紀付加体である玖珂層群と領家変成岩を貫く。自形性の強いカリ長石を特徴的に含み、粗粒な岩相を示す (図 2-5a, b)。調査範囲東部ではカリ長石斑晶の少ない岩相も産する (図 2-5c)。カリ長石斑晶の大きさは場所ごとに変化するが、最大で 5 cm に達する場合もある。また、岩体の周縁部では、母岩の領家変成岩を捕獲岩として取り込む場合もある (図 2-5d)。

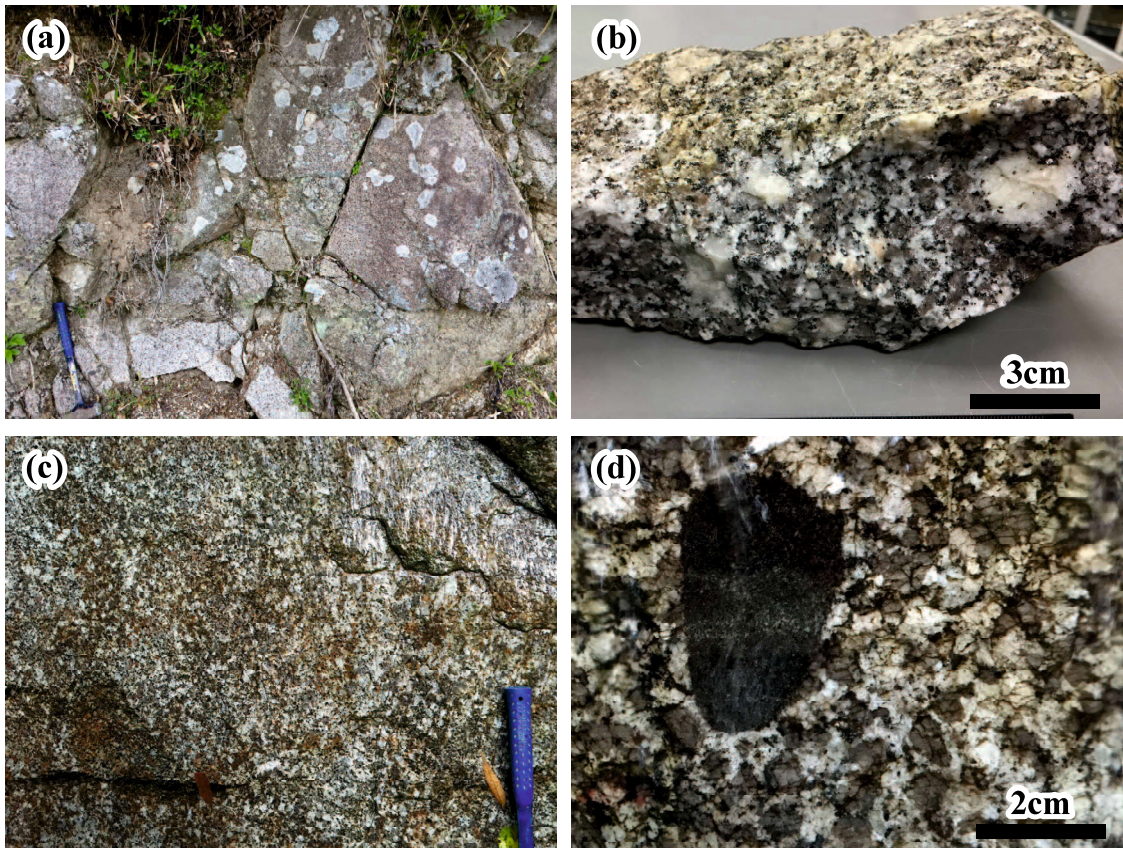


図 2-5. 花崗岩の産状. (a)代表的な露頭の産状, (b, c)カリ長石斑晶を含む花崗岩, (d)岩体の周辺部で、母岩の変成岩を捕獲岩として含む産状.

III. 岩石記載と鉱物化学組成

調査範囲内の深成岩類について、鉱物化学組成を含めた岩石記載を述べる。モード組成は志村・小島(2015)のアプリケーションを使用し、1試料につき4 cm × 2 cm の範囲から2000点を測定して求めた。花崗閃緑岩と花崗岩のモード組成は、石英-アルカリ長石(カリ長石)-斜長石図(Qz-Afs-Pl図)に示す(図2-6)。また、斑レイ岩類については、粗粒優白質斑レイ岩と粗粒優黒質斑レイ岩それぞれ2試料測定した。粗粒優白質斑レイ岩と粗粒優黒質斑レイ岩は主に斜長石と苦鉄質鉱物の量比が異なり、粗粒優白質斑レイ岩は斜長石:69.5~73.3%、苦鉄質鉱物:26.2~30.1%で、粗粒優黒質斑レイ岩は斜長石:47.9~49.1%、苦鉄質鉱物:50.9~52.1%である。モード組成は付録1に、鉱物化学組成は付録2に示す。

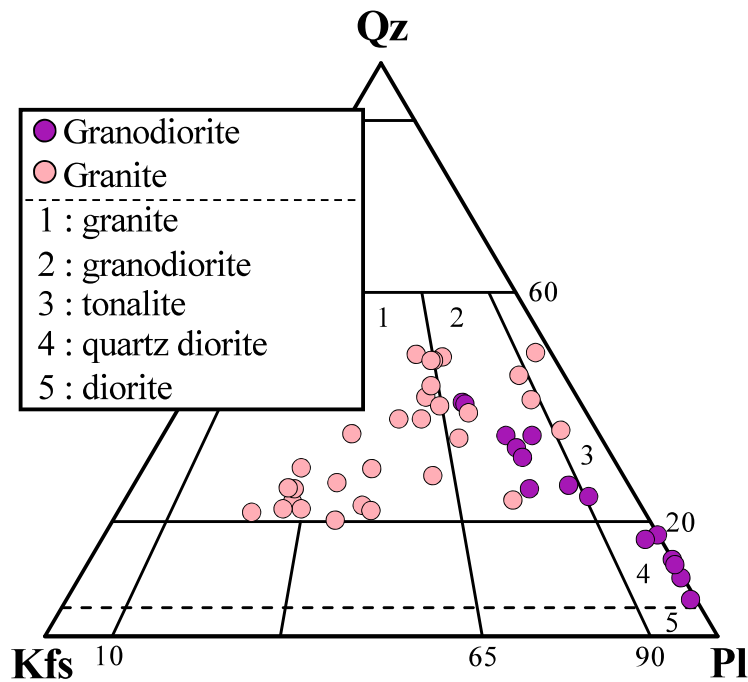


図 2-6. 花崗閃緑岩と花崗岩の Q-A-P 図(Streckeisen, 1976).

1. SNPC

1-1. 花崗閃緑岩

主な構成鉱物は斜長石，角閃石，黒雲母，石英，およびカリ長石で，副成分鉱物としてチタン石，イルメナイト，燐灰石，およびジルコンを含む (図 2-7a, b, c, d). 半自形等粒状組織で，結晶の形は自形～他形まで様々である．斜長石は 0.5～3.0 mm の自形～半自形結晶で一般にアルバイト双晶を示すが，同時に累帯構造を伴う場合もある．アノーサイト成分[$An = 100 * Ca / (Ca + Na + K)$]はコア $An = 52 \sim 68$ ，リム $An = 43 \sim 54$ である (図 2-13a). 角閃石は 0.5～3.0 mm の自形～半自形結晶が一般である．多色性が強く，淡褐色～淡緑色を示す．また，一部の角閃石のコア部分には多色性をほとんど示さないカミングトン閃石が存在する (図 2-7e, f). カミングトン閃石を除くと角閃石の Mg 値 [$100 * Mg / (Mg + total Fe)$] はコア：44～54，リム：48～54 で，コアからリムにかけて Al^{IV} と $Na+K$ が高い値をもつエデン閃石の領域から， Al^{IV} と $Na+K$ が低い値をもつ透閃石～アクチノ閃石組成へ一連のトレンドを形成する (図 2-13b). 黒雲母は 0.5～3.0 mm の自形～半自形で，淡褐色～褐色の多色性を示す．Mg 値は 42～45 であり，コアとリムで系統的な組成差はほとんど見られない(図 2-13c). 石英は 0.5～1.0 mm の他形結晶，カリ長石は 0.3～1.0 mm の他形結晶である．石英とカリ長石は他の鉱物の粒間を充填して産する．

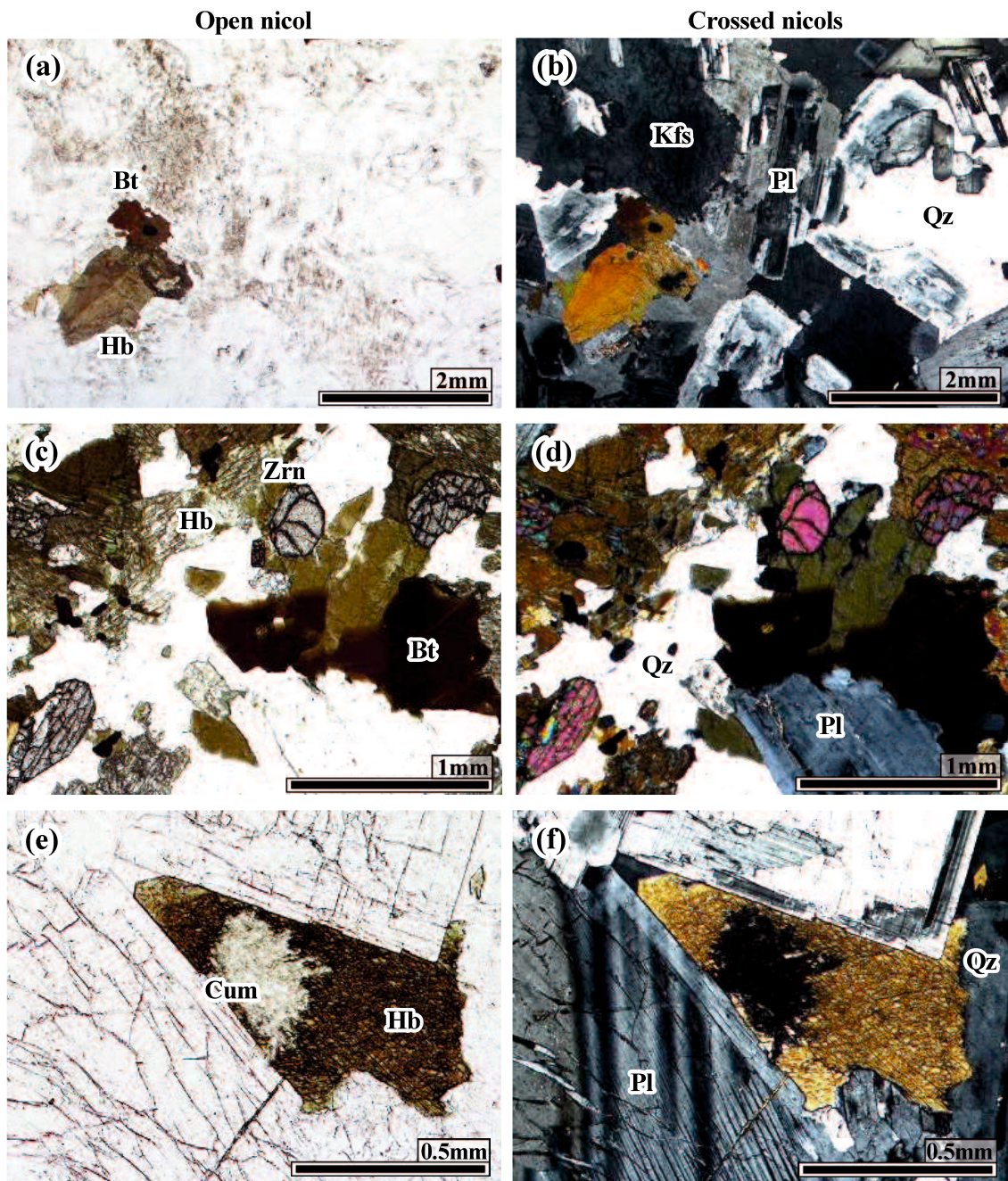


図 2-7. 花崗閃緑岩の鏡下写真. (a, b)珪長質鉍物に富む箇所薄片写真, (c, d)苦鉄質鉍物に富む岩相, 0.3 mm のジルコンを含む, (e, f)カミングトン閃石をコア部に含むホルンブレンド.
a, c, e: オープンニコル, b, d, f: クロスニコル.

1-2. 細粒斑レイ岩

全体に 0.2 mm 以下の細粒な鉱物から構成されるが、しばしば 1.0 mm を超える鉱物を含み、斑状組織を示す。斑晶鉱物は、主に斜長石、単斜輝石、角閃石および角閃石に置換されたカンラン石（仮像）で、石基は、斜長石、角閃石および少量の黒雲母から構成される。副成分鉱物としてイルメナイトを含む (図 2-8a, b, c, d)。斑晶の斜長石は 1.0~3.0 mm の自形~半自形結晶で累帯構造を示し、コア $An = 72\sim 78$ 、リム $An = 42\sim 67$ である (図 2-13a)。一方、石基の斜長石の組成は $An = 22\sim 28$ である。斑晶の単斜輝石は 1.0~2.0 mm の自形~半自形結晶であり、顕著な双晶が発達する。各端成分 Wo 成分 $[100 * Ca / (Ca + Mg + total Fe)]$ 、En 成分 $[100 * Mg / (Ca + Mg + total Fe)]$ 、Fs 成分 $[100 * Fe / (Ca + Mg + total Fe)]$ の組成は、それぞれ $Wo = 40\sim 44$ 、 $En = 32\sim 42$ 、 $Fs = 17\sim 26$ である (図 2-14)。斑晶の角閃石は 1.0~2.0 mm の自形~半自形結晶が一般である。多色性が強く、淡褐色~淡緑色を示す。角閃石の Mg 値はコア：26~51、リム：38~53 で、コアからリムにかけて Al^{IV} と $Na+K$ が高い値をもつエデン閃石の領域から、 Al^{IV} と $Na+K$ が低い値をもつ透閃石~アクチノ閃石組成へ一連のトレンドを形成する (図 2-13b)。黒雲母は石基にしか存在しない。Mg 値は 24~49 である (図 2-13c)。

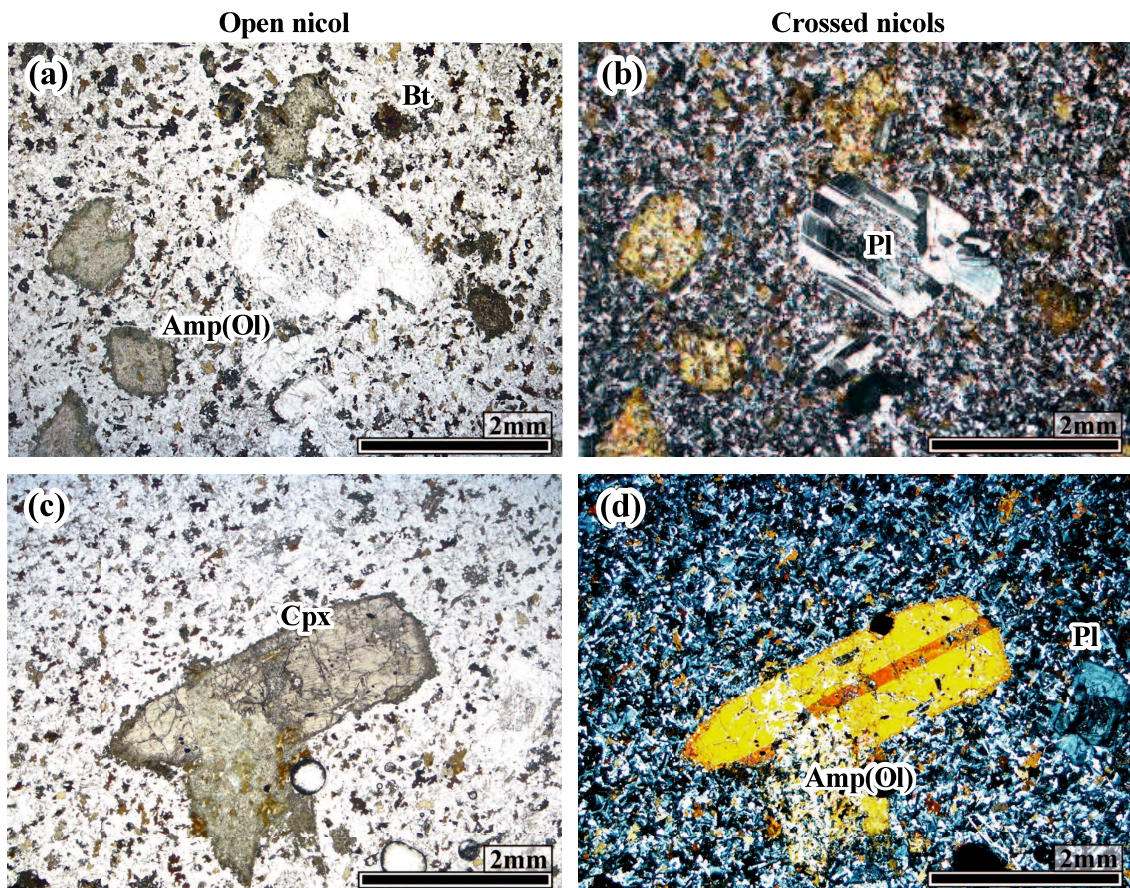


図 2-8. 細粒斑レイ岩の鏡下写真. (a, b)斜長石斑晶と角閃石に置換されたカンラン石の仮像, (c, d)単斜輝石斑晶を含む産状.
a, c: オープンニコル, b, d: クロスニコル.

1-3. 粗粒優白質斑レイ岩

主な構成鉱物は斜長石，角閃石，少量の石英および黒雲母で，副成分鉱物としてチタン石およびイルメナイトを含む (図 2-9a, b). 斜長石は 0.5~1.0 mm の自形~半自形結晶である. 基本的に累帯構造を示さず，アルバイト双晶が発達する. 斜長石の An 組成は 79~91 である. 一部の斜長石は，幅広い均質なコア部と組成の異なる薄いリム部を持ち，その場合リムの An 組成は 50~74 を示す (図 2-13a). 角閃石にポイキリティックに包有されることがある (Kodama *et al.*, 2019). 角閃石は 0.8~3.0 mm 程度の半自形~他形結晶であり，淡褐色~黄緑色の強い多色性を示す普通角閃石，多色性をほとんど示さないカミングトン閃石 (図 2-9c, d), および角閃石よりもやや弱い多色性を示し繊維状のアクチノ閃石に区分される (図 2-9e, f). 普通角閃石，カミングトン閃石およびアクチノ閃石の Mg 値はそれぞれ 32~72, 52~70, 41~77 である. カミングトン閃石を除くと角閃石はコアからリムにかけて Al^{IV} と $Na + K$ が減少する傾向がみられる (図 2-13b). 角閃石は稀にコア部に単斜輝石を伴うことがあり，その組成はそれぞれ $Wo = 45\sim 51$, $En = 35\sim 38$, $Fs = 15\sim 18$ である (図 2-14). 黒雲母の Mg 値は 60~63 である (図 2-13c).

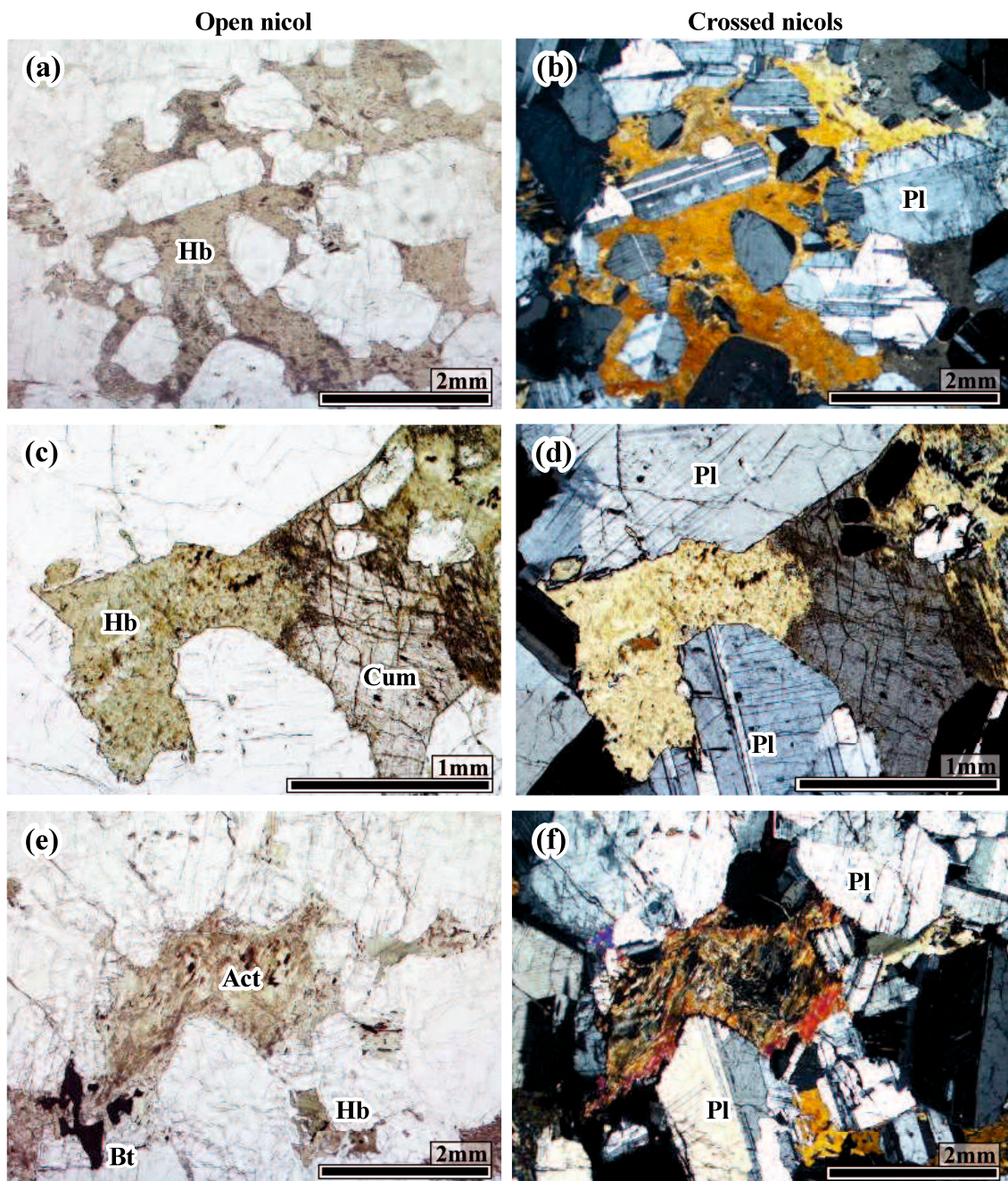


図 2- 9. 粗粒優白質斑レイ岩の鏡下写真． (a, b)自形性の強い斜長石の粒間を充填するホルンブレンド， (c, d)カミングトン閃石を含む， (e, f) アクチノ閃石を含む薄片写真．
a, c, e: オープンニコル， b, d, f: クロスニコル．

1-4. 粗粒優黒質斑レイ岩

主な構成鉱物は斜長石，角閃石，単斜輝石，直方輝石およびカンラン石で，少量の黒雲母を伴う．副成分鉱物はイルメナイト，クロマイト，磁鉄鉱である．斜長石は 0.5～1.0 mm の自形～半自形結晶で，累帯構造を示さない．角閃石や輝石類に包有されるが，産状の違いによる組成差はなく $An = 88\sim 99$ と斑レイ岩類の中でもっとも An に富む (図 2-13a)．角閃石はその多色性の違いから，淡褐色～濃褐色を示す褐色普通角閃石と (図 2-10a, b)，淡緑色～緑色を示す緑色普通角閃石に区分できる (図 2-10c, d)．褐色普通角閃石は自形～半自形結晶を示すが，一部では輝石類に包有される場合もある．緑色普通角閃石は，半自形～他形を示し，褐色普通角閃石結晶のリム部分，または輝石類の周辺に産する場合がほとんどである．褐色普通角閃石と緑色普通角閃石の $Mg\#$ はそれぞれ，コア：37～76，リム：69～79 と コア：70～77，リム：39～81 となっている．また， Al^{IV} と $Na+K$ はそれぞれコアからリムにかけて減少する傾向がみられる (図 2-13b)．単斜輝石は 0.5～1.0 mm の半自形～他形結晶，直方輝石は 0.5～1.5 mm の半自形～他形結晶である．直方輝石はカンラン石に包有され，褐色普通角閃石と共存するもの，斜長石および単斜輝石を包有しているものなどがある．単斜輝石と直方輝石の Wo, En, Fs 端成分はそれぞれ単斜輝石 $Wo = 33\sim 35$ ， $En = 41\sim 49$ ， $Fs = 8\sim 18$ ，直方輝石 $Wo = 1\sim 3$ ， $En = 66\sim 69$ ， $Fs = 29\sim 32$ である (図 2-14)．カンラン石は 0.5～2.0 mm の半自形～他形結晶であり， Fo 成分 $[100 * Mg/(Mg + total Fe)]$ は 52～62 である．黒雲母 0.5～1.0 mm の半自形～他形結晶で，淡褐色～濃褐色の多色性を示し， Mg 値は 74～75 である (図 2-13c)．

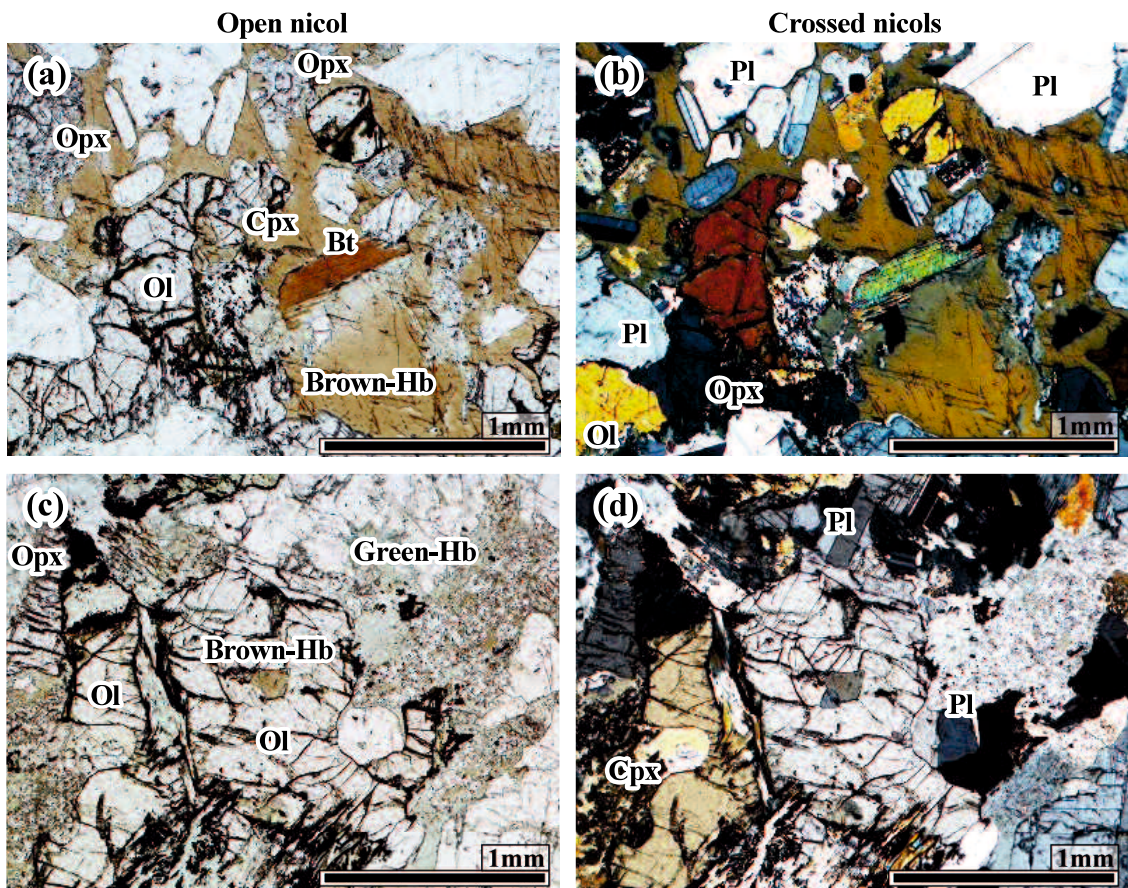


図 2-10. 粗粒優黒質斑レイ岩の鏡下写真. (a, b)自形性の強い斜長石, カンラン石, 両輝石そして褐色のホルンブレンドを含み, 黒雲母を伴う試料, (e, d)カンラン石に包有される褐色ホルンブレンド, カンラン石や輝石の周囲に産する淡褐色～緑色ホルンブレンドの産状. a, c: オープンニコル, b, d: クロスニコル.

2. 花崗岩

一般的な岩相は、半自形等粒状組織で、構成鉱物は主に石英、カリ長石、斜長石および黒雲母からなり、しばしば白雲母やザクロ石を伴う (図 2-11a, b)。また、場所によってカリ長石斑晶を伴うことがある。副成分鉱物は、イルメナイト、ジルコン、および燐灰石を含む。石英は 0.5~10 mm の他形結晶で一部サブグレイン化している。自形~半自形の黒雲母や斜長石を包有する場合もある。斜長石は 1.0~10 mm の自形~半自形結晶で一般にアルバイト双晶を示す。自形~半自形の黒雲母を包有する場合がある。斜長石の組成はコア $An = 27 \sim 40$ 、リム $An = 16 \sim 30$ である (図 2-13a)。カリ長石は 2.0~30 mm の自形~他形結晶でパーサイト構造、マイクロクリン双晶を示す (図 2-11c)。自形~半自形で細粒な斜長石や石英および他形の黒雲母を包有する。黒雲母は 0.4~3.0 mm の自形~半自形結晶で、黒雲母の Mg 値は 29~41 である (図 2-13c)。Mg 値と Al の組成関係図で、SNPC が形成するトレンドとは異なり、花崗岩中の黒雲母は Al に富む。白雲母は 0.1~1.5 mm の半自形~他形結晶である。ザクロ石は 0.5~1.0 mm の自形~半自形結晶であり、黒雲母に包有されることもある。不透明鉱物は 0.1~0.3 mm の他形結晶で、黒雲母の包有物として産する場合がある。

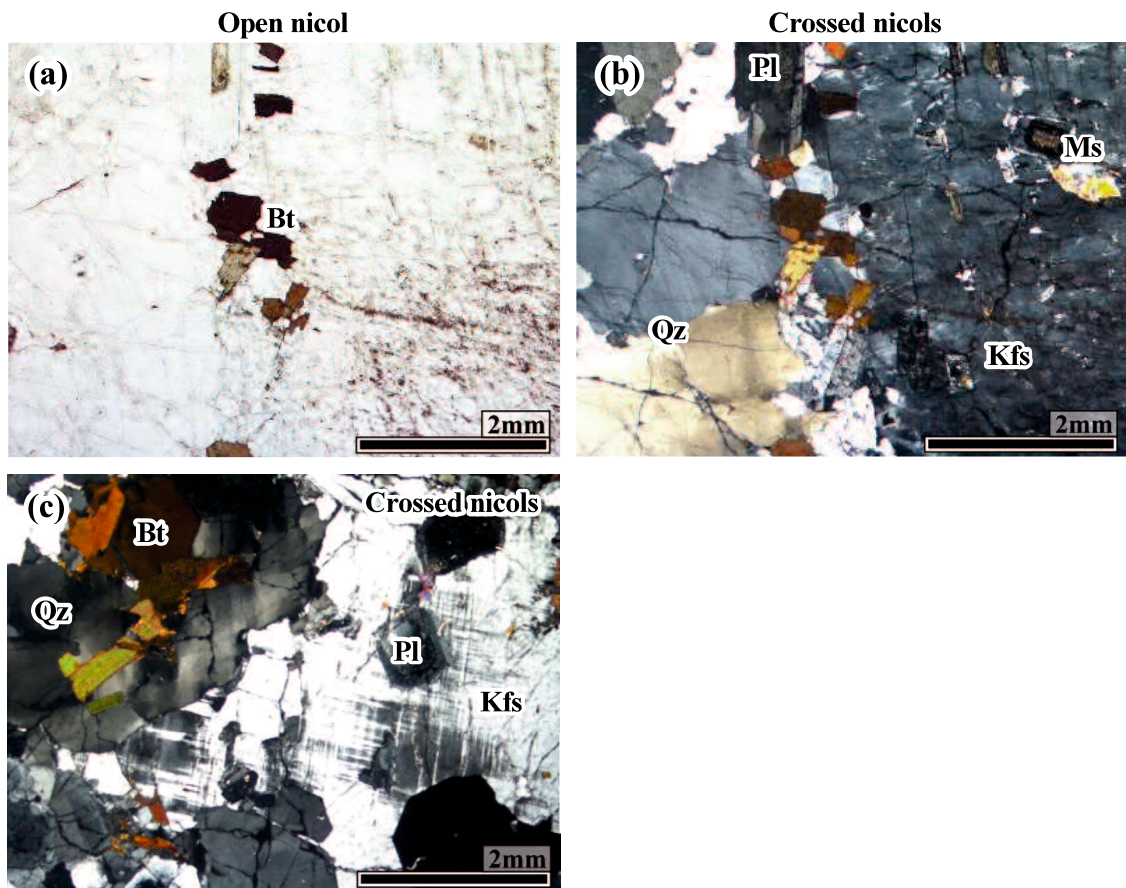


図 2-11. 花崗岩の鏡下写真. (a, b)白雲母を伴い, カリ長石斑晶を含む試料
 (c)マイクロクリン双晶を示すカリ長石,
 a: オープンニコル, b, c: クロスニコル

SNPC と花崗岩の境界部付近では、[図 2-3f](#) で示した花崗岩に取り込まれた斑レイ岩中に見られるカリ長石捕獲結晶の周りを黒雲母が取り囲む産状 ([図 2-12a](#))や、花崗岩中の斜長石に発達する汚濁体が確認される ([図 2-12b,c](#)). 汚濁帯の An 組成は花崗閃緑岩との境界では花崗閃緑岩中の斜長石の An 組成 (An = 48~58) に、斑レイ岩との境界では斑レイ岩中の斜長石の An 組成 (An = 80~81) に近い値になっている ([図 2-15](#)). また、境界部の SNPC 側では、伸長した黒雲母 ([図 2-12c](#)) や伸長した角閃石 ([図 2-12d](#)) が確認される. このような非平衡組織、斜長石の産状や組成的な特徴、伸長する黒雲母や角閃石は、異なる組成のマグマ同士が共存するマグマ混合・混交作用で生じた組織と類似する.

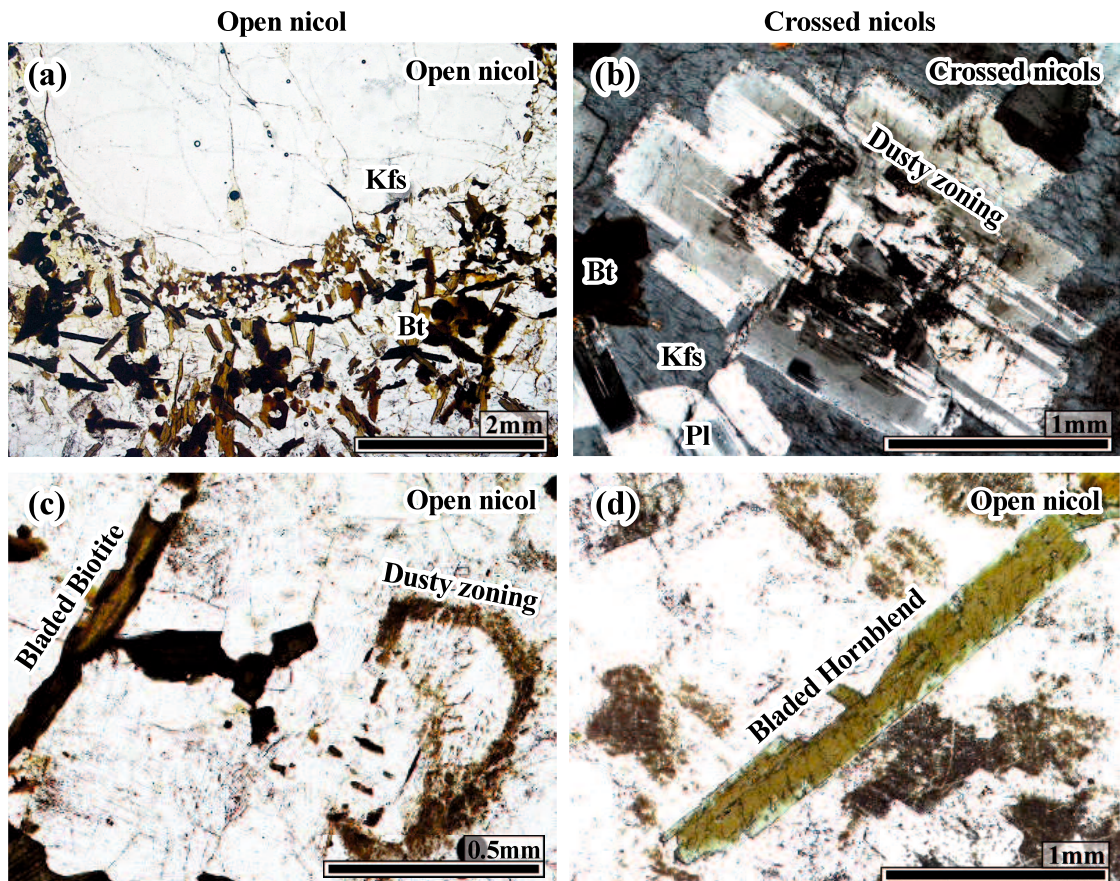


図 2-12. SNPC と花崗岩の境界部の鏡下写真. (a)花崗岩に取り込まれた斑レイ岩中に見られるカリ長石捕獲結晶, (b)花崗閃緑岩との境界部, (c)花崗閃緑岩との混合部, (d)境界部の斑レイ岩.

a, c, d: オープンニコル, b: クロスニコル

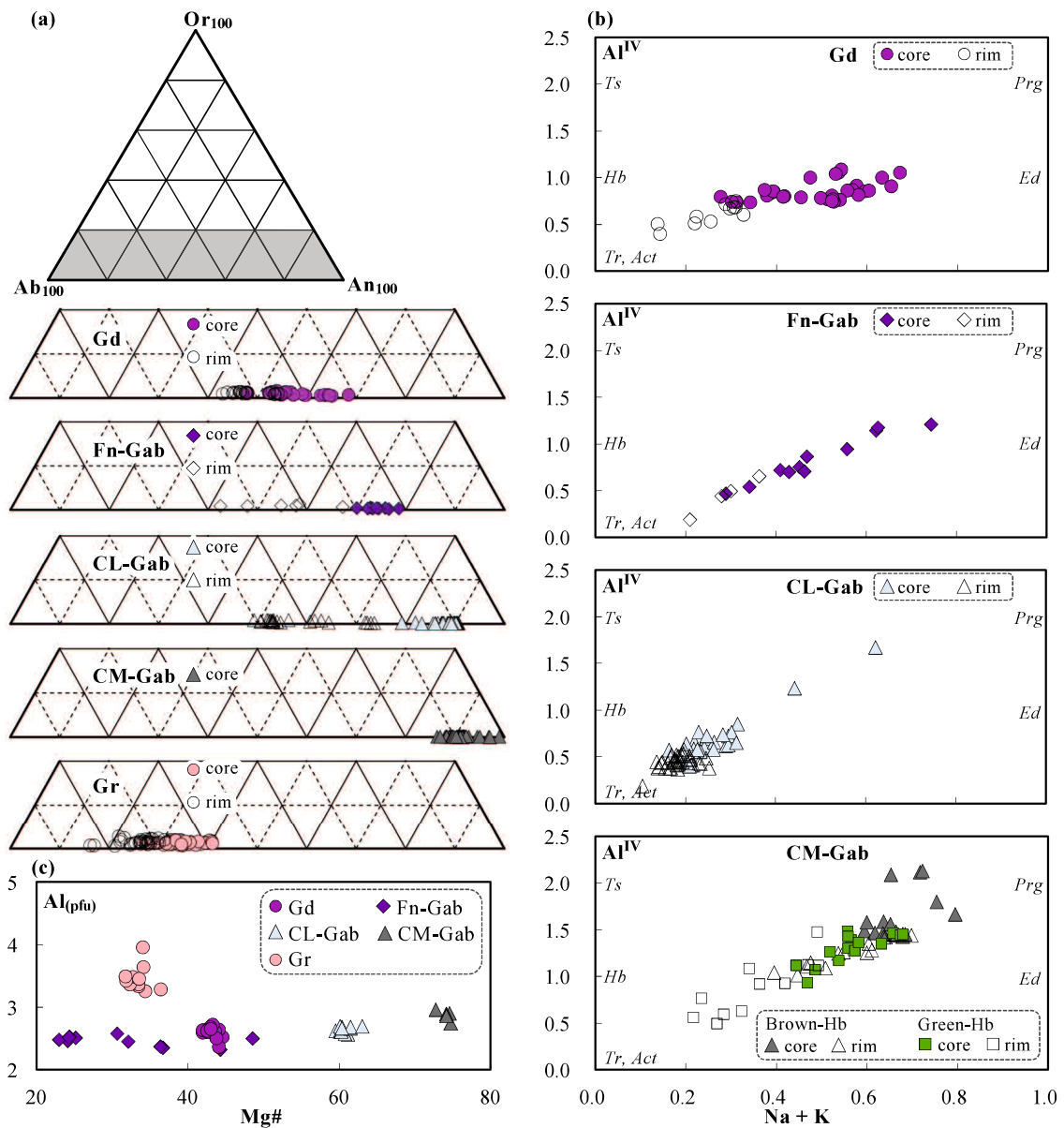
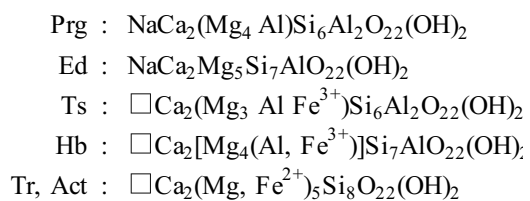


図 2-13. 各岩相の鉱物化学組成. (a)斜長石の鉱物化学組成. (b)角閃石の鉱物化学組成. (c)黒雲母の鉱物化学組成.



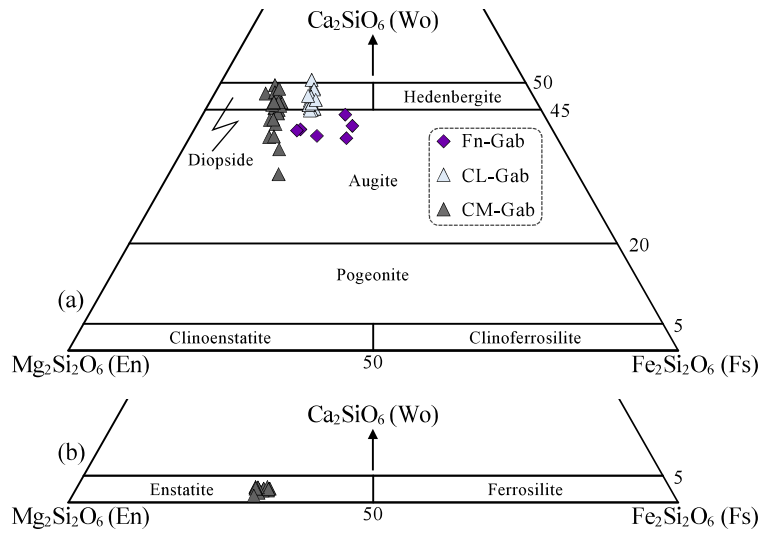


図 2-14. 各岩相の輝石類の鉱物化学組成.

(a)単斜輝石, (b)直方輝石. (after Morimoto *et al.*, 1988)

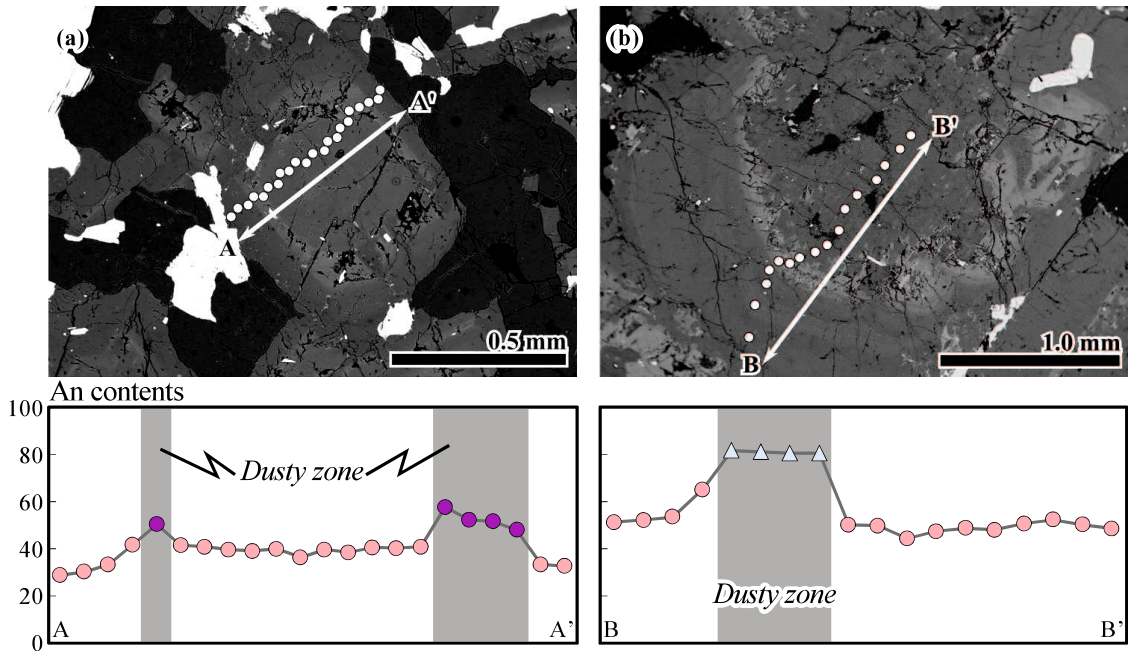


図 2-15. 境界部で見られた汚濁帯の発達する斜長石の鉱物化学組成(線分析).

(a)花崗閃緑岩と花崗岩の境界部. (b)斑レイ岩と花崗岩の境界部.

IV. 花崗岩の黒雲母 K-Ar 年代

花崗岩の黒雲母 K-Ar 年代測定結果を 表 2-1 に示す. 花崗岩の黒雲母年代は 93.8 ± 2.5 Ma であった. この年代値は Kodama *et al.* (2019) によって報告された SNPC の花崗閃緑岩の黒雲母 K-Ar 年代 (92.1 ± 2.4 Ma) と誤差範囲で一致する. そして, 河野・植田(1966) の黒雲母 K-Ar 年代 (88 Ma) や Suzuki *et al.* (1996) のモナズ石 CHIME 年代 (86.6 ± 2.1 Ma, 87.3 ± 1.6 Ma) の値に近い. 年代測定に使用した花崗岩試料の採集位置は, SNPC から十分離れた地点(約 3km)で採集した. 測定した試料の黒雲母は新鮮で, 鏡下で緑泥石化の影響がほとんどないこと, そして K 含有量が 7 wt.% 以上あるので, 変質による若返り年代でなく, 信頼度の高い黒雲母 K-Ar 年代値として扱うことは可能である. また, SNPC から 1 km 以上離れた地点で採集した試料であること, 試料中の黒雲母には再結晶した痕跡が認められないことから, 後の熱事変による若返り年代の可能性も低い.

表 2-1. 花崗岩の黒雲母 K-Ar 年代

Rock Type	Sample	mineral	K%	40Ar rad,nl/g	%40Ar air	Age, Ma	Error 1 σ
Granite	17101203	Biotite	7.11	26.107	6.2	93.8	2.5

V. 全岩化学組成

変質による二次鉱物がほとんど含まれない試料から，花崗閃緑岩 34 試料，細粒斑レイ岩 5 試料，粗粒優白質斑レイ岩 13 試料，粗粒優黒質斑レイ岩 4 試料，花崗岩 36 試料を選定して全岩化学組成を分析した．微量成分組成を分析した試料の主・微量成分組成を [表 2-2](#) に示す．花崗岩の同位体組成分析結果を [表 2-3](#) に示す．また，[Kodama et al. \(2019\)](#) から SNPC のデータを引用している．全ての全岩化学組成は [付録 1](#) に示す．

1. 主・微量成分組成

花崗閃緑岩，細粒斑レイ岩，粗粒優白質斑レイ岩および粗粒優黒質斑レイ岩の SiO_2 含有量はそれぞれ 51.05～72.07 wt.%，43.14～52.23 wt.%，45.58～49.66 wt.%，38.50～44.98 wt.% である．花崗閃緑岩と細粒斑レイ岩は SiO_2 の増加に対して一連の組成変化トレンドを示す．主成分元素の挙動について詳しく見ると， SiO_2 の増加にともない， Al_2O_3 ， Fe_2O_3 ， MnO ， MgO ， CaO ， P_2O_5 は減少し， Na_2O ， K_2O は，増加する ([図 2-16a](#))．花崗閃緑岩，細粒斑レイ岩，粗粒優白質斑レイ岩および粗粒優黒質斑レイ岩のアルミナ飽和度はそれぞれ，0.76～1.15，0.56～0.94，0.88～0.96，0.16～0.71 で，大部分の試料はメタアルミナスな組成を示す ([図 2-16a](#))．TAS 図において SNPC 構成岩は非アルカリ岩系の領域にプロットされる ([図 2-16a](#))．微量元素も主成分元素と同様に，花崗閃緑岩と細粒斑レイ岩は SiO_2 の増加に伴って各元素は概ね一連のトレンドを示す傾向にある．Nd，Y，および Zr に関しては分散する傾向にあるが，全体としては分化が進むと Ba，および Rb，は増加し，Cr，Ni，Sr，V，および Zn は減少する ([図 2-16b](#))．粗粒優白質斑レイ岩と粗粒優黒質斑レイ岩は SiO_2 の変化に対して一連の変化トレンドを示さず，特に Fe_2O_3 ， MgO および CaO で顕著に現れるが各構成鉱物の組成に支配された組成を示す．コンドライトで規格化した REE パターンでは，緩やかな左上がりの LREE パターンを示すが，HREE でフラットなパターンを示す ([図 2-17](#))．また，花崗閃緑岩は負の Eu 異常，粗粒優白質斑レイ岩および粗粒優黒質斑レイ岩は正の Eu 異常が顕著である．一方，細粒

斑レイ岩は Eu の異常がほとんど見られない。すなわち細粒斑レイ岩を挟んで花崗閃緑岩と粗粒優白質斑レイ岩および粗粒優黒質斑レイ岩の両岩相は対照的なパターンを示す。

花崗岩の SiO₂ 含有量は 67.24~78.34 wt.% で、各元素は SiO₂ の増加に対して K₂O や Rb を除くと、一連の組成変化トレンドを示す (図 2-16a,b)。花崗岩のアルミナ飽和度は、0.98~1.22 で、大部分の試料はパーアルミナスな組成を示す (図 2-16a)。TAS 図では非アルカリ岩系の範囲にプロットされるが、一部アルカリ岩系の領域に入るものもある (図 2-16a)。コンドライトで規格化した REE パターンでは、やや右下がりのパターンを示すが、HREE はややばらける傾向を示す (図 2-17)。N-MORB で規格化したパターン図では、Ti の負異常が顕著に現れる (図 2-17)。また、ハーカー図上では、花崗岩と SNPC (特に花崗閃緑岩) のトレンドが Ba, Rb, Sr, Zn で異なる (図 2-16b)。

表 2-2. 花崗閃緑岩，粗粒優白質斑レイ岩および花崗岩の全岩化学組成と
微量元素組成

Sp No.	Granodiori Co-Gabbro		Granite														
	1604 2904	1607 30T01B	1107 2201	1107 2212	1108 0301	1110 0803	1110 1508	1204 2901	1204 2915	1206 1010	1210 2203	1210 2211	1403 1101A	1403 1103	1403 1105	1403 1110	
(wt.%)																	
SiO ₂	53.24	49.66	75.61	74.33	71.46	71.14	72.91	67.58	69.97	78.35	71.08	70.59	68.95	71.09	71.66	72.95	
TiO ₂	1.12	0.73	0.21	0.07	0.21	0.37	0.33	0.53	0.44	0.18	0.27	0.47	0.26	0.43	0.33	0.28	
Al ₂ O ₃	18.05	22.73	13.24	14.62	15.08	14.21	14.02	15.03	15.48	12.90	15.53	14.54	15.19	14.39	14.75	14.10	
Fe ₂ O ₃	8.95	6.80	2.14	1.33	1.97	2.96	2.82	4.39	3.34	1.70	2.43	3.89	2.03	3.51	2.59	2.14	
MnO	0.17	0.12	0.09	0.07	0.06	0.07	0.08	0.08	0.06	0.05	0.07	0.09	0.05	0.08	0.08	0.06	
MgO	3.76	3.46	0.47	0.21	0.43	0.73	0.68	1.69	0.74	0.43	0.56	1.03	0.52	0.90	0.63	0.53	
CaO	7.65	11.70	1.75	1.05	2.32	2.73	2.45	3.77	2.78	1.70	1.79	2.42	2.54	2.10	2.60	2.43	
Na ₂ O	2.68	1.83	3.49	3.64	3.81	3.61	3.15	2.94	3.70	2.91	3.06	3.19	3.43	2.94	3.52	3.15	
K ₂ O	1.00	0.69	2.67	4.51	3.57	3.17	3.38	3.52	2.95	3.52	4.14	4.15	4.88	3.44	3.28	2.86	
P ₂ O ₅	0.15	0.06	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.09	0.03	0.06	0.07	0.04	0.07	0.05	0.04	
LOI	1.62	0.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total	98.39	98.74	99.71	99.87	98.96	99.05	99.87	99.59	99.55	101.77	98.99	100.44	97.89	98.95	99.49	98.54	
A/CNK	0.93	0.91	1.12	1.14	1.05	0.99	1.05	0.97	1.08	1.10	1.22	1.03	0.98	1.16	1.05	1.11	
Mg#	49.4	54.2	33.8	26.9	33.7	36.5	36.0	47.3	34.0	37.1	34.9	38.1	37.4	37.4	36.2	36.6	
(ppm)																	
Cr	65	41	8	8	13	11	8	21	10	7	9	2	14	5	9	14	
Ni	11	5	3	3	7	9	6	13	10	0	8	9	7	10	6	4	
Ba	225	128	104	381	292	410	484	498	420	240	386	431	520	409	475	414	
Rb	35	32	167	166	156	107	110	68	127	122	95	177	102	112	99	86	
Sr	340	328	88	75	134	171	158	318	217	109	215	123	167	158	172	167	
Nb	9.2	5	11.8	7.7	9.2	8.3	7.2	11.9	10	6.9	10	11.4	5.6	8.2	6.7	5	
Ta	0.63	0.68	3.56	1.82	2.61	1.28	1.24	0.94	1.93	1.72	0.98	1.94	0.82	1.24	0.97	0.8	
Y	24.7	9.7	25.3	15.4	14.2	18.4	17.9	25.6	12.5	15.1	18.4	29	13	17	14.5	17.1	
Zr	113	37	75	41	66	147	116	207	145	57	77	147	90	126	115	120	
Hf	2.7	1.1	3	1.9	2.5	4.1	3.4	5.3	4.2	2.1	2.2	4.7	2.9	4	3.3	3.5	
Th	4.23	2.74	10.8	6.73	9.65	12.5	8.49	9.09	12	8.8	10.4	16.5	7.82	15.8	11.1	11.4	
La	17.3	8.46	17.2	13.5	18.3	18.6	19	31.9	27.2	16.1	24.3	36.4	18	31.4	17.7	29.5	
Ce	35.7	17.9	32.4	27	34.5	40.4	34.5	66.7	55.9	31.7	46.6	52.5	35.2	57.7	39.7	49.5	
Pr	4.56	2.04	4.17	3.18	4.07	4.22	4.04	7.85	6.09	3.49	5.5	8.34	3.97	6.72	3.78	6.23	
Nd	19.6	8.55	15.9	11.7	15	15.5	14.6	31.6	21.9	12.8	20	30.9	14	24.4	13.6	22.5	
Sm	4.38	1.89	4.19	3.09	3.46	3.34	3	6.94	4.76	3.09	4.01	6.53	2.85	4.32	2.86	4.17	
Eu	1.44	0.904	0.41	0.434	0.568	0.857	0.821	1.84	0.953	0.456	1.17	0.734	0.891	0.881	0.834	1.04	
Gd	4.47	1.87	4.72	3.28	3.75	3.56	3.22	6.86	3.74	3.1	3.55	6.49	2.86	4.1	2.94	3.99	
Tb	0.71	0.3	0.84	0.57	0.58	0.58	0.54	1.03	0.51	0.51	0.56	1.02	0.46	0.63	0.48	0.6	
Dy	4.24	1.74	5.06	3.4	3.22	3.62	3.33	5.28	2.45	3.07	3.26	6.02	2.61	3.64	2.88	3.39	
Ho	0.87	0.36	0.91	0.59	0.57	0.75	0.69	0.86	0.41	0.56	0.64	1.18	0.52	0.73	0.58	0.66	
Er	2.46	1.01	2.66	1.52	1.58	2.14	2.11	2.13	1.05	1.63	1.83	3.47	1.55	2.16	1.79	1.94	
Tm	0.353	0.141	0.424	0.206	0.221	0.337	0.32	0.272	0.145	0.231	0.28	0.513	0.238	0.327	0.276	0.292	
Yb	2.18	0.96	2.76	1.18	1.41	2.18	2.1	1.64	0.94	1.43	1.83	3.35	1.52	2.1	1.79	1.86	
Lu	0.327	0.148	0.388	0.157	0.211	0.32	0.33	0.228	0.133	0.218	0.275	0.509	0.232	0.304	0.263	0.269	

表 2-3. 花崗岩の Sr-Nd 同位体組成

Sp No.	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	2σ	SrI (92 Ma)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	2σ	NdI (92 Ma)
12042901	0.619	0.70918	0.000012	0.70837	0.133	0.51230	0.000012	0.51222
12102203	1.279	0.70852	0.000012	0.70684	0.121	0.51238	0.000014	0.51231

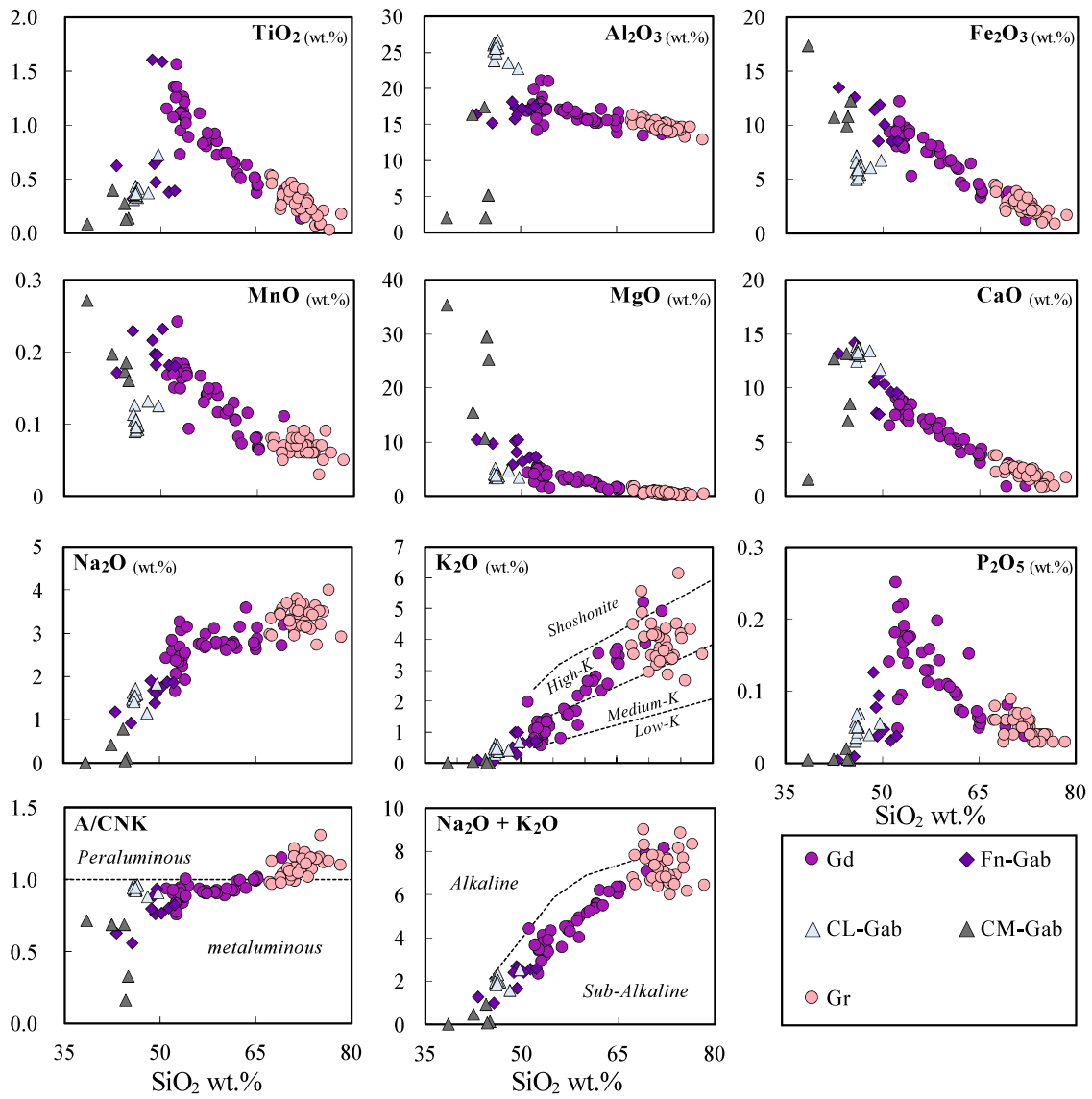


図 2-16a. 各岩相の主要元素ハーカー図.

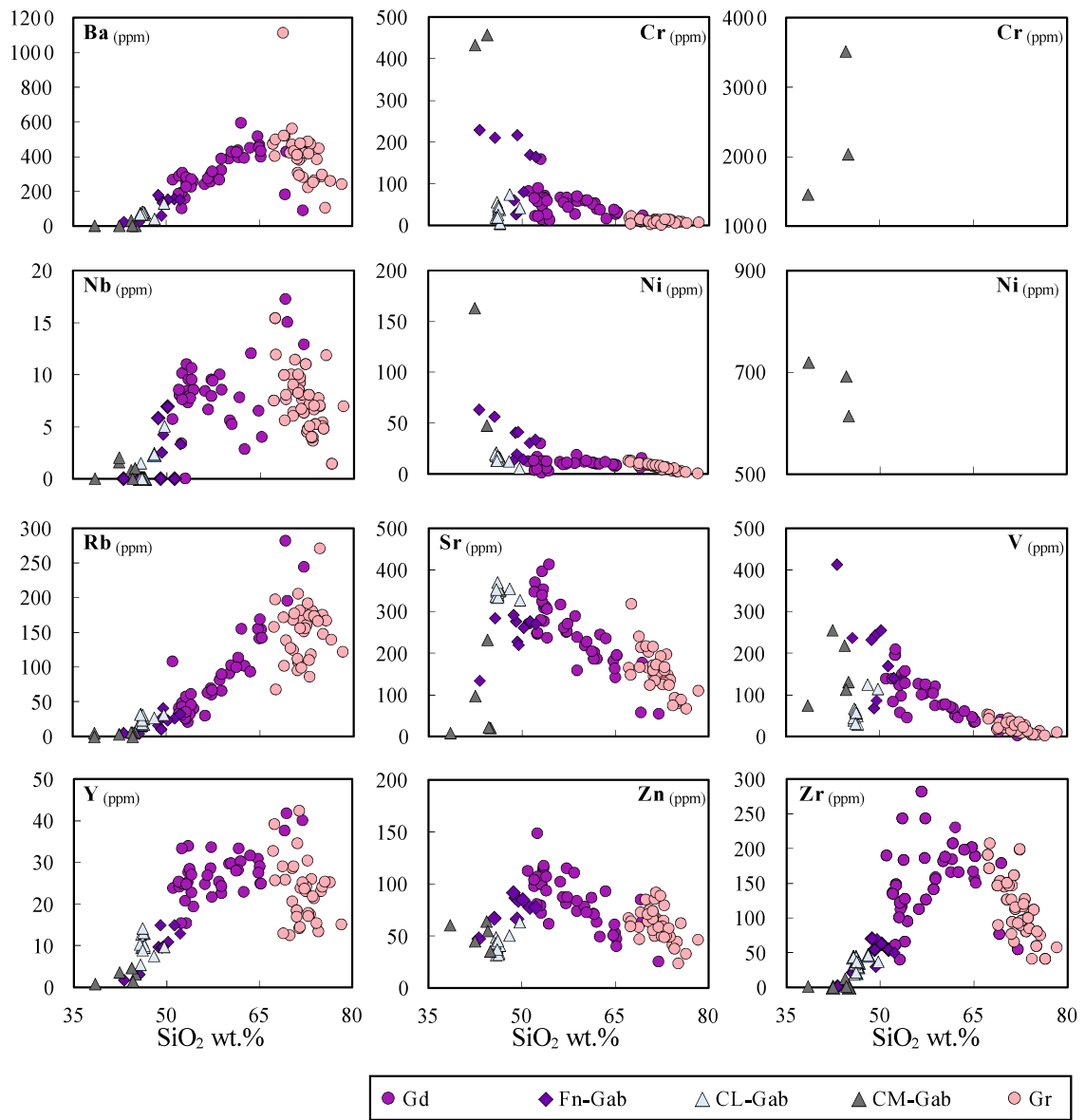


図 2-16b. 各岩相の微量元素ハーカー図.

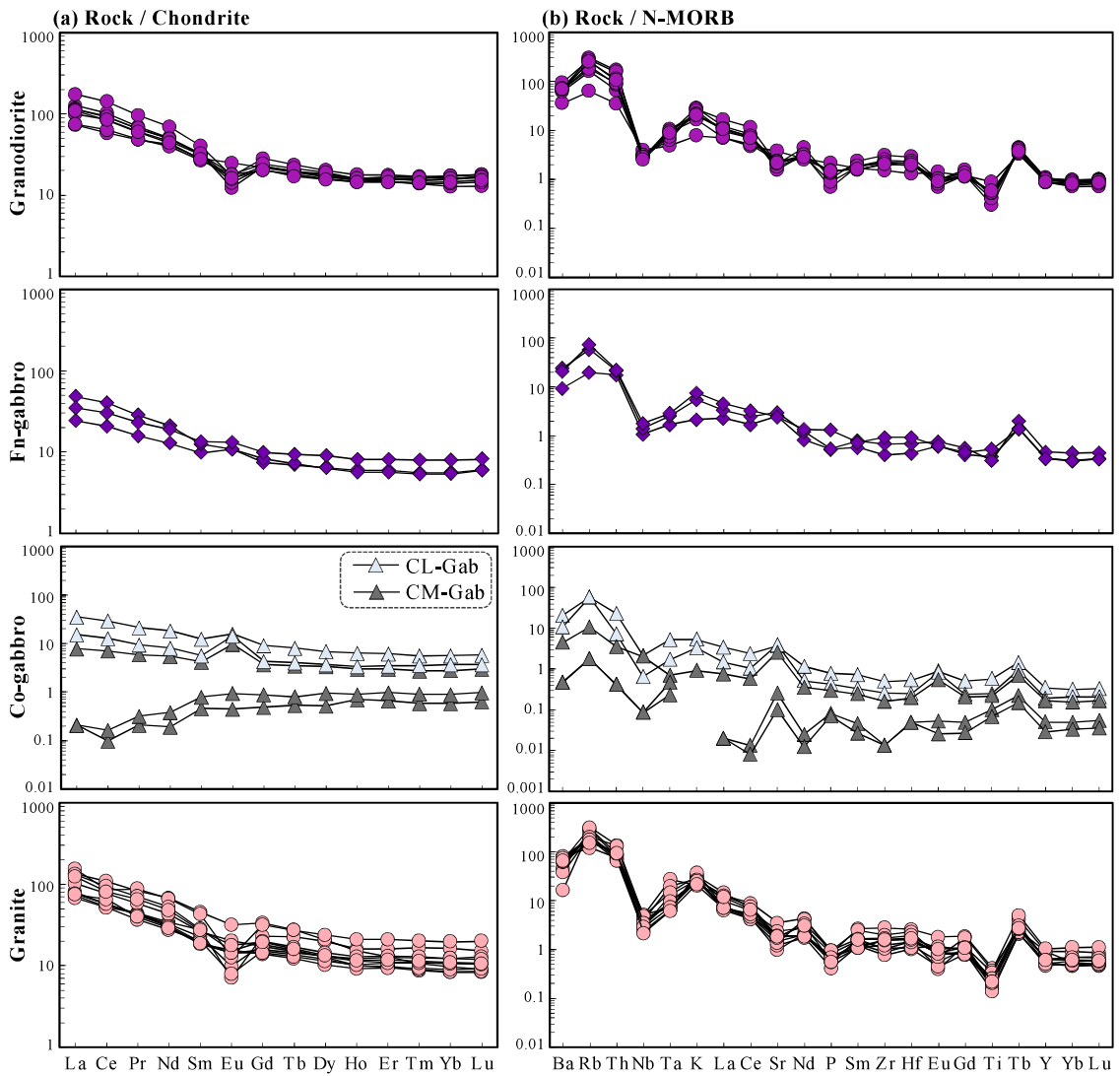
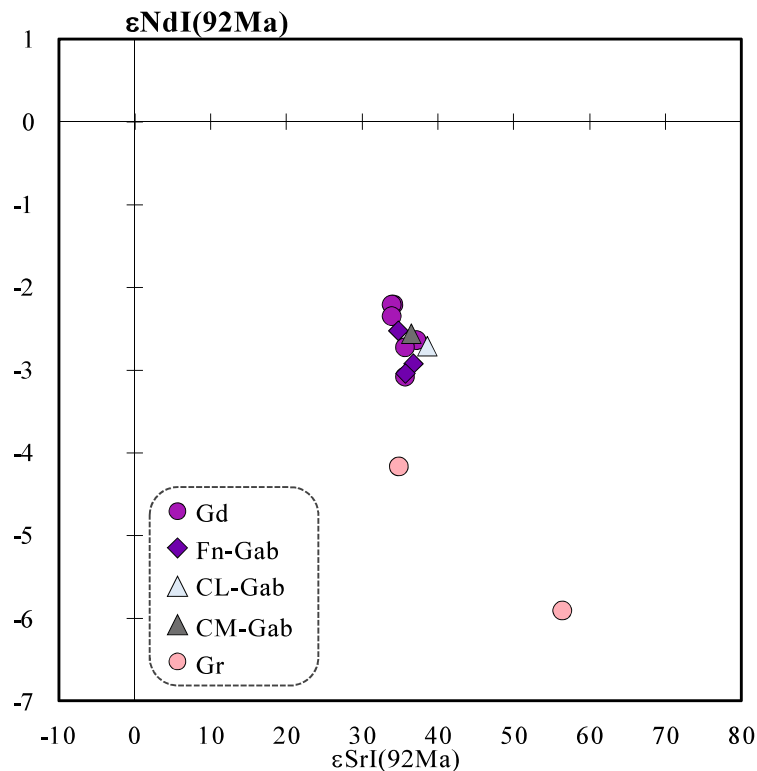


図 2-17. 各岩相のコンドライトで規格化した希土類元素パターン図(a)と、
N-MORB で規格化したスパイダー図(b).

2. Sr-Nd 同位体組成

花崗岩の主・微量成分組成と同様に同位体のデータは [Kodama et al. \(2019\)](#) を引用した。 [Kodama et al. \(2019\)](#) によって花崗閃緑岩から得られた黒雲母 K-Ar 年代値は 92.1 ± 2.4 Ma, 今回測定した花崗岩の黒雲母 K-Ar 年代値は 93.8 ± 2.5 Ma である。地質概要で述べたとおり, SNPC と花崗岩がほぼ同時期に活動した産状を示す。また, SNPC と花崗岩はジュラ紀付加体である玖珂層群に貫入していることから, 比較的浅所への貫入であると考えられる。よって以下の議論では, 黒雲母 K-Ar 年代が活動年代に近似できると仮定して, 92 Ma で花崗岩の同位体組成を補正する。図 2-18 は 92 Ma で補正した Sr-Nd 同位体組成のイプシロン図である。SNPC は岩相に関わりなく, 同じ領域にプロットされる。一方, 花崗岩は SNPC よりも低 ϵ_{NdI} 側の組成を示す。分析数は少ないが, 花崗岩の Sr-Nd 同位体組成は SNPS に比べて, ばらつきが大きい。



VI. 議論

1. 花崗閃緑岩の成因

SNPC の粗粒優白質斑レイ岩は、しばしば鉍物量比やファブリックの違いによる層状構造が認められる (図 2-4e). また、鏡下では粗粒優白質斑レイ岩および粗粒優黒質斑レイ岩で累帯構造のない斜長石を角閃石がポイキリティックに包有していることもある (図 2-9a, b, 図 2-10a, b). このような層状構造はマグマ溜まりにおける結晶沈降による集積岩の特徴と類似する. 一方、花崗閃緑岩は、ホルンブレンドを含み、 $\text{SiO}_2 = 51 \sim 70 \text{ wt.}\%$ の組成幅を持つ. また、花崗閃緑岩と細粒斑レイ岩はハーカー図で一連のトレンドを示すのに対し、粗粒優白質斑レイ岩および粗粒優黒質斑レイ岩は斜長石とカンラン石や直方輝石、単斜輝石およびホルンブレンドなど苦鉄質鉍物の組成に支配される (Kodama *et al.*, 2019). REE パターンは細粒斑レイ岩を挟んで花崗閃緑岩と粗粒斑レイ岩が対照的なパターンを示す. さらに、92 Ma で補正した斑レイ岩類と花崗閃緑岩の Sr-Nd 同位体組成はほぼ同じである. 以上の産状や岩石化学的特徴は、細粒斑レイ岩からの結晶分化作用によって花崗閃緑岩を形成し、その過程で各種鉍物の集積効果によって粗粒優白質斑レイ岩と粗粒優黒質斑レイ岩を形成したことを示唆する.

花崗閃緑岩、細粒斑レイ岩、粗粒優白質斑レイ岩および粗粒優黒質斑レイ岩の角閃石の化学組成は、エデン閃石やパーガス閃石などの Al^{IV} と $\text{Na}+\text{K}$ の高い角閃石族鉍物から、4 配位に Si が卓越する $\text{Na}+\text{K}$ の乏しい透閃石～アクチノ閃石組成へ変化する (図 2-13b). 先山・田中(1984) は山陰帯および飛騨帯花崗岩類中の角閃石について、高酸素分圧下において早期に Al に富む角閃石が晶出した場合、その組成は結晶化作用の進行に伴って Si に富み、Al, Ti, Na, K に乏しくなることを報告した. 先に述べたように粗粒優黒質斑レイ岩には磁鉄鉍が含まれるので、酸素分圧が比較的高かったと考えられる. 高酸素分圧下では角閃石は $\text{Na}+\text{K}$ に乏しく Si に富むアクチノ閃石に向かって組成変化する. 岩体の固結末期にはサブソリダス下での再平衡によってアクチノ閃石

に近い組成を持つ結晶が生じること、その組成はマグマから晶出したものと連続する (山口, 1984)。これらのことから、SNPC はマグマ中でパーガス閃石のような高 Al^{IV} かつ高 $Na+K$ の角閃石族鉱物が晶出し、結晶分化作用によって漸移的に透閃石～アクチノ閃石へと組成変化したと考えられる。また 図 2-13b の $Na+K-Al^{IV}$ 図 にみられる直線的なトレンドは、角閃石の組成がマグマの冷却に伴って変化したことを示唆する。また、粗粒斑レイ岩のうち、カンラン石や輝石に包有される褐色を呈する角閃石のみが主に $Na+K$ と Al^{IV} に富むパーガス閃石組成を示し、花崗閃緑岩と細粒斑レイ岩中の角閃石は相対的に $Na+K$ に乏しく Si に富むはエデン閃石～透閃石の組成を示す (図 2-13b)。このような角閃石の組成変化は、未分化マグマから早期に高 Al^{IV} かつ高 $Na+K$ 組成の角閃石族鉱物が晶出したのちに、細粒斑レイ岩を含む斑レイ岩を形成し、さらにその残液から花崗閃緑岩マグマが生じたことを示唆する。すなわち、親マグマと考えられる細粒斑レイ岩は、すでに分化した岩石であることを示す。

上述した通り、花崗閃緑岩は斑レイ岩を形成した玄武岩質マグマから苦鉄質鉱物や斜長石が分別することで生じたマグマの可能性が高い。この仮説を鉱物・全岩化学組成からマスバランス計算によって分別相とそれらの量比を求め、微量元素によるレイリー分別モデルを適用して検討した。マスバランス計算は津根(2005) のアプリケーションを用いて分別相の量比を求めた。計算結果を表 2-4 に、N-MORB で規格化した微量元素のパターンを図 2-19 に示す。使用した分配係数は付録 3 に示す。また、分別のステージを細粒斑レイ岩から花崗閃緑岩の低 SiO_2 試料、花崗閃緑岩の低 SiO_2 試料から花崗閃緑岩の中間的な SiO_2 試料、花崗閃緑岩の中間的な SiO_2 試料から高 SiO_2 試料の 3 段階を想定し、それぞれステージ 1, 2, 3 とする。花崗閃緑岩での分別は、 SiO_2 の組成幅が大きい事、主な構成鉱物である斜長石と角閃石においてコアとリムで組成が連続的ではあるが異なることなどを考慮し、2 ステージに分けている。ステージ 1 は、親マグマとして $SiO_2 = 49.26 \text{ wt.}\%$ の細粒斑レイ岩 (試料番号 : 17032305) を設定し、そこから主に集積岩であると考えられる粗粒優黒質斑レイ岩を構成する鉱物の分別を想定した。その結果、斜長石 30.0 %、直方輝石

15.4 %，単斜輝石 12.5 %，カンラン石 4.2 %を分別することで， $\text{SiO}_2 = 53.24$ wt.% の花崗閃緑岩の低 SiO_2 試料（試料番号：160042904）を導くことができた．ステージ 2 では，親マグマとして $\text{SiO}_2 = 53.24$ wt.% の花崗閃緑岩の低 SiO_2 試料（試料番号：160042904）から斜長石(コア) 40.3 %，角閃石(細粒斑レイ岩の角閃石) 15.1 %，角閃石(コア) 8.9 %，イルメナイト 0.1 % を分別することで， $\text{SiO}_2 = 58.92$ wt.% の花崗閃緑岩の中間的な SiO_2 試料（試料番号：16081401A）を導くことができた．ステージ 3 では，親マグマとして $\text{SiO}_2 = 58.92$ wt.% の花崗閃緑岩の低 SiO_2 試料（試料番号：16081401A）から斜長石(リム) 32.2 %，角閃石(リム) 12.7 %，黒雲母 12.6 %，石英 10.0 % を分別することで， $\text{SiO}_2 = 65.08$ wt.% の花崗閃緑岩の中間的な SiO_2 試料（試料番号：16042004）を導くことができた．SSR はステージ 1：0.03，ステージ 2：0.13，ステージ 3：0.17 となっている．ステージ 1，2，3 の計算結果はそれぞれ花崗閃緑岩の低 SiO_2 試料（試料番号：160042904），中間 SiO_2 試料（試料番号：16081401A）および低 SiO_2 試料（試料番号：16042001）の微量元素の組成パターンと一致する（[図 2-19](#)）．以上の計算結果は，SNPC の花崗閃緑岩マグマが細粒斑レイ岩を形成した玄武岩質マグマからの分別結晶作用によって生じたことを示す．

表 2-4. マスバランス計算結果

(a) Stage 1

fraction	Parent	Daughter	Fractionated minerals				calc.	diff.
	17032305	16042904	Pl	Opx	Cpx	Ol		
	1.0000	0.3752	0.3044	0.1539	0.1245	0.0421		
SiO ₂	49.26	53.24	45.18	53.01	52.88	35.92	49.26	-0.06
TiO ₂	0.47	1.12	0.01	0.23	0.30	0.01	0.47	-0.03
Al ₂ O ₃	17.32	18.05	34.88	1.16	1.32	0.01	17.32	-0.06
Fe ₂ O ₃	8.54	8.95	0.18	19.16	7.37	33.91	8.54	-0.07
MgO	8.08	3.76	0.03	23.81	15.51	28.89	8.08	-0.05
CaO	11.12	7.65	18.31	1.19	21.81	0.03	11.12	-0.05
Na ₂ O	1.38	2.86	1.00	0.02	0.14	0.01	1.38	-0.01
K ₂ O	0.28	1.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.28	-0.10
Sum of squares of residuals =								0.03

(b) Stage 2

fraction	Parent	Daughter	Fractionated minerals				calc.	diff.
	16042904	16081401A	Pl(core)	Amp(Fn-Gab)	Hb(core)	Ilm		
	1.0000	0.3446	0.4037	0.1506	0.0886	0.0126		
SiO ₂	53.24	58.92	52.48	51.12	45.70	0.03	53.24	0.00
TiO ₂	1.12	0.72	0.01	0.08	1.45	51.73	1.12	0.06
Al ₂ O ₃	18.05	15.69	29.71	0.54	6.90	0.01	18.05	0.12
Fe ₂ O ₃	8.95	6.50	0.14	30.30	18.53	42.14	8.95	-0.03
MgO	3.76	2.62	0.01	11.18	10.48	0.10	3.76	0.28
CaO	7.65	5.54	11.85	1.57	10.40	0.13	7.65	-0.12
Na ₂ O	2.68	2.75	4.59	0.08	1.21	0.02	2.68	-0.04
K ₂ O	1.00	2.17	0.15	0.02	0.66	0.01	1.00	0.12
Sum of squares of residuals =								0.13

(c) Stage 3

fraction	Parent	Daughter	Fractionated minerals				calc.	diff.
	16081401A	16042001	Pl(rim)	Hb(rim)	Bt	Qz		
	1.0000	0.3251	0.3225	0.1264	0.1262	0.0998		
SiO ₂	58.92	65.08	54.89	48.09	34.58	100.00	58.92	-0.04
TiO ₂	0.72	0.38	0.02	0.70	4.89	0.00	0.72	-0.12
Al ₂ O ₃	15.69	13.82	28.15	5.52	14.04	0.00	15.69	-0.05
Fe ₂ O ₃	6.50	3.34	0.15	18.79	22.72	0.00	6.50	0.14
MgO	2.62	1.18	0.01	10.79	9.23	0.00	2.62	-0.31
CaO	5.54	3.09	10.24	10.60	0.69	0.00	5.54	-0.08
Na ₂ O	2.75	2.62	5.54	0.73	0.13	0.00	2.75	0.07
K ₂ O	2.17	3.69	0.18	0.35	8.05	0.00	2.17	-0.17
Sum of squares of residuals =								0.17

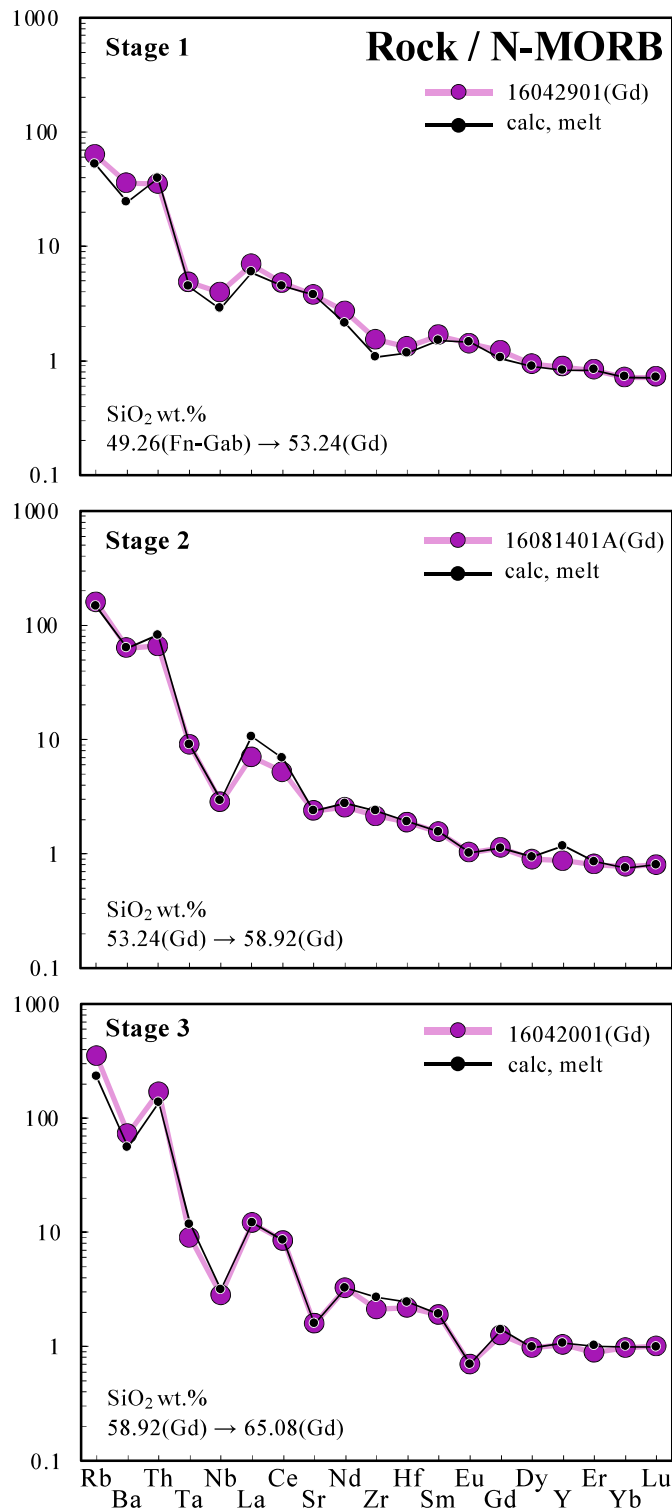


図 2-19. マスバランス計算で得られた分別相の量比と分配係数から、レイリー分別モデルによって求められた微量元素組成のパターン図。

2. SNPC と花崗岩の関係

SNPC を構成する全ての岩相には角閃石が含まれる。それに対して花崗岩は角閃石を含まず、しばしば白雲母を伴う (図 2-11a, b)。調査範囲に産する全ての岩石に含まれる斜長石の An 組成において、特にコアの An 組成は粗粒優黒質斑レイ岩から粗粒優白質斑レイ岩、細粒斑レイ岩、花崗閃緑岩と重複しながら連続的に減少しているのに対し、花崗岩に含まれる斜長石コアの An 組成と花崗閃緑岩に含まれる斜長石コアの An 組成にはギャップが認められる。また、SNPC の花崗閃緑岩に含まれる黒雲母は花崗岩中のそれより Al に乏しい (図 2-13c)。ハーカー図では、Ba, Rb, Sr および Zn でトレンドが異なる (図 2-16)。また、Sr-Nd 同位体組成において、SNPC は岩相に関わらず均質であるのに対し、花崗岩のそれは異なる値を示す (図 2-18)。SNPC の花崗閃緑岩と花崗岩が接する境界部では、両岩相の境界が不明瞭に混在し、両岩体にまたがって産するストラディンククリスタルも産し (図 2-2e, f)、SNPC の斑レイ岩類と花崗岩の境界部では、不均質に混じり合った産状 (図 2-3a, b, c, d)、および包有-包有関係が確認される (図 2-3e, f)。鏡下では、斜長石に汚濁帯が発達し、伸長した燐灰石、角閃石および黒雲母など、マグマ混合を示唆する組織が発達する (Hibbard, 1995; 図 2-12)。花崗岩中に含まれる斜長石は、核部から汚濁帯へ向けて An が上昇し、汚濁帯から外縁部へは減少に転じる (図 2-15)。そして、花崗閃緑岩との接触部では汚濁帯周辺部の最も An に富む組成が An 50 前後なのに対し、斑レイ岩との接触部では An 80 前後で、それぞれ花崗閃緑岩と斑レイ岩の斜長石の組成範囲に収まる (図 2-15)。こうした産状、組織そして鉱物化学組成の特徴は、SNPC の各岩相と花崗岩はマグマ同士で共存し、一部でマグマ混交を起こしたと考えられる。以上から、1)SNPC と花崗岩は異なる起源に由来する、2)SNPC と花崗岩は同時期に活動したマグマと見なすことができる。そして 3)SNPC と花崗岩はその境界部の狭い範囲でのみマグマ混合を起こしている、と推察される。

3. 花崗岩マグマの起源物質

花崗岩は、領家変成岩や玖珂層群に貫入し、母岩を捕獲している (図 2-5d). 測定試料は 2 試料であるが、花崗岩の Sr-Nd 同位体組成は、SNPC に比べて幅広い組成を示す (図 2-18, 図 2-20). そのうち 1 試料はより母岩の同位体組成側に位置する (図 2-20a). こうした同位体組成の特徴は、花崗岩マグマと母岩の領家帯変成岩類を取り込みつつ、分化することで生じた可能性を示す. 図 2-20a によれば、SNPC を親マグマとして母岩の領家帯変成岩類を取り込み、分化同化作用によって花崗岩マグマを生じた可能性がある. しかしながら、より母岩の同位体組成に近い、高 ϵ_{SrI} , 低 ϵ_{NdI} 側の花崗岩の方は $\text{SiO}_2 = 67.58$ wt% で、低 ϵ_{SrI} , 高 ϵ_{NdI} 側の花崗岩の SiO_2 含有量 (71.08 wt%) よりも低い. さらにハーカー図では、Ba, Rb, Sr および Zn で SNPC 花崗閃緑岩と花崗岩のトレンドが異なっている. 従って、花崗岩マグマは、花崗閃緑岩マグマと異なる起源物質に由来するが、その同位体組成の変化幅は母岩との相互作用に由来するのではなく、起源物質の同位体組成に影響された結果であると考えられる.

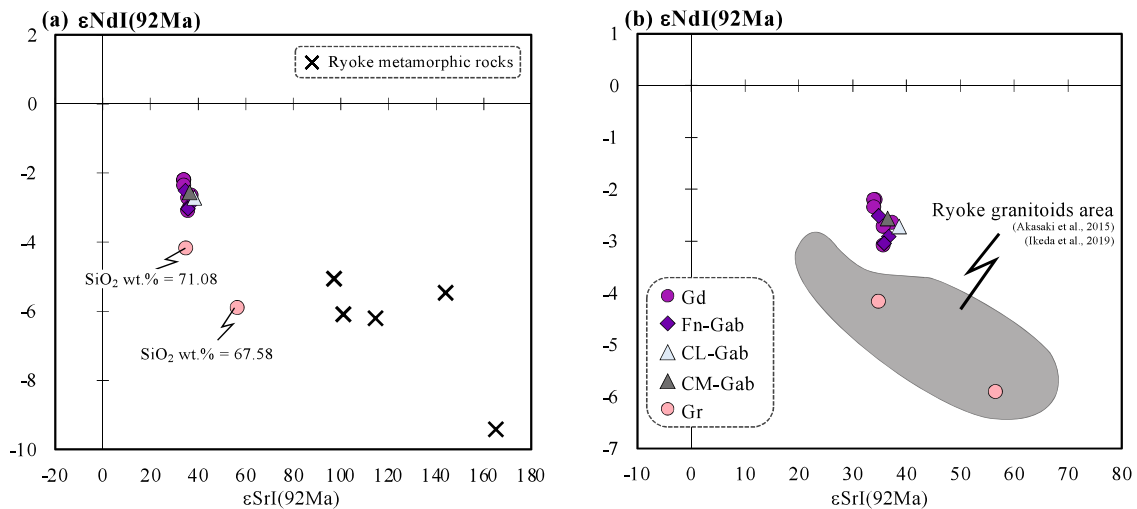


図 2-20. (a)SNPC, 花崗岩および領家変成岩のイプシロン図.

(b) SNPC と花崗岩, および山口県南東部に産する領家帯深成岩類の同位体組成(灰色の範囲).

花崗岩の同位体組成は本地域深成岩類の年代値 92 Ma で補正した山口県南東部に産する領家帯深成岩類の組成範囲と一致する (図 2-20b). 図 2-21a に SNPC と花崗岩, および Conrad *et al.* (1988) と Beard and Lofgren (1991) で求められた実験溶融メルトのアルミナ飽和度を示す. SNPC はメタアルミナスな組成を示すのに対し, 花崗岩はパーアルミナスな組成を示す. 実験条件はそれぞれ $\text{PH}_2\text{O} \ll \text{PTotal}$ で, Conrad *et al.* (1988) では SiO_2 含有量 65.2 wt.% のデイサイトを 10 kbar, 900 °C で部分溶融度が 66.8 % の溶融, Beard and Lofgren (1991) では SiO_2 含有量 52.5 wt.% の緑色片岩を 6.9 kbar, 950 °C で部分溶融度が 20.2 % の溶融である. 詳しい主要元素組成は表 2-5 (1, 2) に示す. そして, これらの実験溶融メルト組成はパーアルミナスな組成を示し, 花崗岩の組成領域内にプロットされる. このことは, 花崗閃緑岩~閃緑岩質の深成岩類の部分溶融によって, パーアルミナスな花崗岩マグマが形成されることを示す.

表 2-5

Conrad *et al.* (1988)と Beard and Lofgren (1991)の実験で使用された出発物質の化学組成(1, 2), および本研究で出発物質と仮定して使用した化学組成(3).

Ref No.	1	2	3	3
No.	2	478	09032207B	12050503
wt. %				
SiO_2	65.20	52.47	67.58	51.22
TiO_2	0.60	1.74	0.56	0.91
Al_2O_3	15.70	15.29	15.30	17.63
FeO	5.00	11.79	3.97	9.14
MnO	0.10	0.22	0.06	0.17
MgO	2.50	5.29	0.95	5.28
CaO	5.30	9.21	3.81	8.55
Na_2O	3.60	2.55	2.50	3.10
K_2O	1.70	0.16	2.55	1.49
P_2O_5	0.10	0.29	0.08	0.13
<i>Total</i>	99.80	99.01	97.35	97.61

Reference

1. Conrad *et al.* (1988); 2. Beard and Lofgren (1991); 3. Akasaki *et al.* (2015)

上記の実験圧力条件はいずれも中～下部地殻に相当し、温度条件も 900 °C 以上が必要である。こうした条件を満たすには、マントル起源の玄武岩マグマの底付けが必要である（例えば、Brown and Rushmer, 2006）。すなわち、SNPC の斑レイ岩を形成したマグマの一部が下部地殻条件で結晶作用しつつ定置したことがわかれば良いと考えられる。SNPC の粗粒憂黒質斑レイ岩中の角閃石には、カンラン石や輝石に包有され早期に晶出したと考えられるパーガス閃石やツェルマク閃石が含まれる。そこで、Molina *et al.* (2015) によって提案された角閃石温度圧力計を適応し、これらの角閃石が晶出した条件を求めた（図 2-21b）。計算結果を付録 4 に示す。得られた温度圧力条件は 900～1100°C，8～11kbar で、Conrad *et al.* (1988) と Beard and Lofgren (1991) の実験条件と調和的であった。従って SNPC の斑レイ岩類は、熱源として想定できる。

西中国地域の領家帯深成岩類の活動は 100 Ma 前後である。そして、分布面積から考えて、領家帯の構成岩は変成岩より深成岩類の方が圧倒的に多い。また、山口県南東部においては領家帯深成岩類と山陽帯深成岩類が非常に隣接して産していることから、花崗岩マグマの活動した 92 Ma 当時、領家帯深成岩類が下部地殻に存在して花崗岩マグマの起源物質になった可能性は高い。このことを検証するために、Conrad *et al.* (1988) と Beard and Lofgren (1991) の溶融実験の出発物質と近い組成を示す領家帯深成岩類を、同様の条件で計算した。領家帯深成岩類の組成は Akasaki *et al.* (2015) から引用した（表 2-5 (3)）。結果として、領家帯深成岩類の部分溶融で花崗岩の組成は再現可能である（図 2-21c）。よって、花崗岩マグマはマントルから上昇してきた苦鉄質マグマを熱源として、下部地殻（領家帯深成岩類）を溶融することで形成されたと推察される。

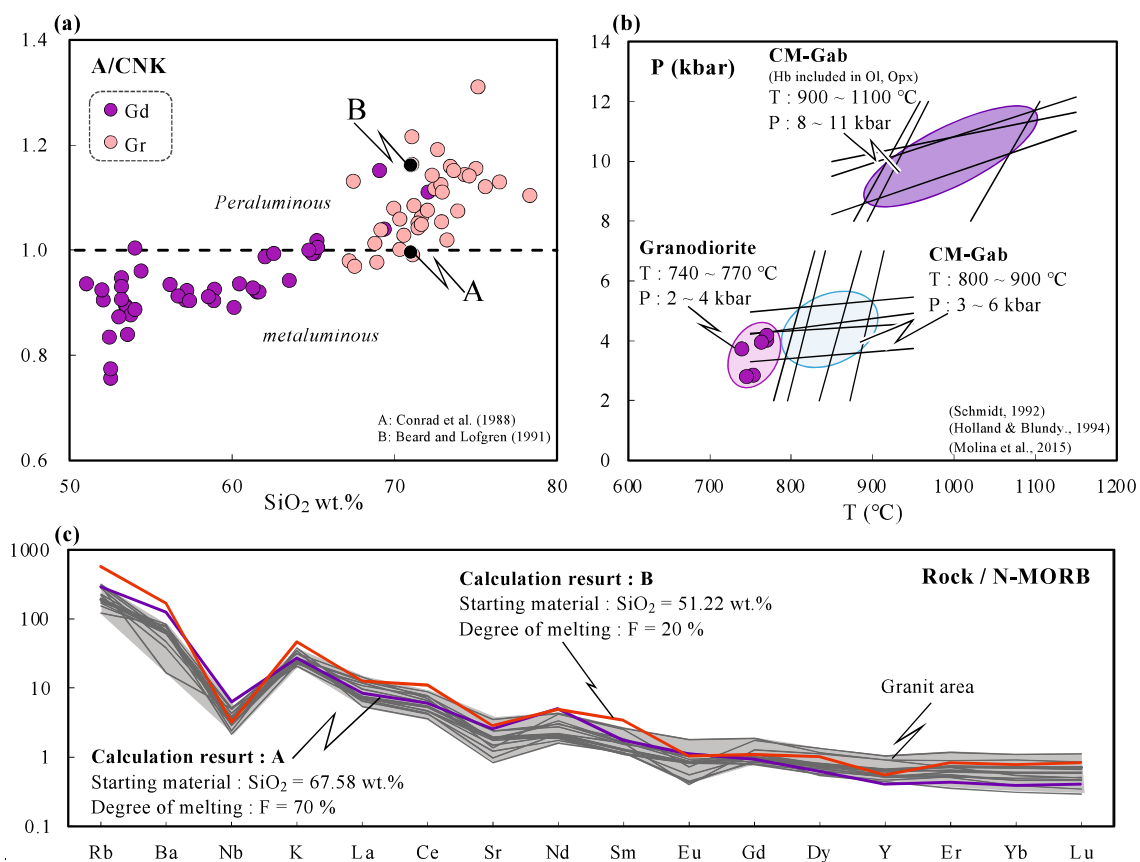


図 2-21. (a)花崗岩と花崗閃緑岩のアルミナ飽和度，および *Conrad et al. (1988)* と *Beard and Lofgren (1991)* で求められた実験溶融メルトのアルミナ飽和度．(b)角閃石温度圧力計(*Molina et al., 2015*)で求めた角閃石が晶出した温度圧力条件．(c) 溶融実験計算結果．

4. 須々万地域における深成岩類の形成過程

既述のように、SNPC と花崗岩は同時期に活動したマグマに由来し、主・微量成分組成の特徴や Sr-Nd 同位体組成の特徴から、マントル起源の SNPC と異なり、花崗岩マグマは地殻起源と推定される。また、細粒斑レイ岩は、比較的未分化玄武岩組成に近いが、Sr-Nd 同位体組成比はマントル列から離れて、より Sr 同位体に肥沃な組成を示す。こうした特徴は、沈み込む海洋プレートに由来する流体あるいは堆積物の組成的影響を受けたことを示唆する (Kodama *et al.*, 2019)。こうした地質学的・岩石学的特徴を踏まえ、沈み込み帯で形成した本研究地域の深成岩類の形成過程を提案する (図 2-22)。

海洋プレートの沈み込みによって、マントルウェッジにスラブ由来の流体やメルトが付加し、マントルウェッジの組成をより肥沃的に変化させる。汚染されたマントルウェッジは島弧玄武岩質マグマを形成し、マントル内を上昇、下部地殻に底付けする。この時形成された玄武岩質マグマは、早期に角閃石を晶出していることから、含水量は多かったと考えられる。H₂O に富む苦鉄質マグマのリキダス温度は、H₂O に乏しいマグマのリキダス温度に比べて低いので、地殻を上昇する間にあまり結晶化が進行せず、メルトのまま地下浅所に達しやすい (吉倉ほか, 1999)。また、玄武岩組成の珪酸塩マグマは水が加わることでメルトの密度が劇的に下がるとされており (栗谷, 2007)、H₂O や発砲による密度の低下によって、ジュラ紀付加体が存在する浅所まで玄武岩質マグマが上昇した可能性がある。このマグマが地殻内を分化しつつ上昇し、斑レイ岩を形成した。細粒斑レイ岩の組成は未分化組成に近く、冷却に伴ってマグマから苦鉄質鉱物や An に富む斜長石が分別される。その結果、マグマはより分化した組成へ変化し、花崗閃緑岩マグマを形成した。このようなマグマ過程を経て SNPC を形成した。一方、花崗岩マグマは、地殻の再溶融によって形成した。この時溶融される起源物質は、SNPC より高 ϵSrI 値・低 ϵNdI 値の同位体組成をもつ領家帯深成岩類である。そして地殻溶融の熱源として中～下部地殻に定置し、マグマ溜まりを形成した SNPC の斑レイ岩が想定される。このように定置したマグマは、周囲からの冷却により壁面から選択的に結晶化が促進することに

より最外縁部には固結領域が、その内側には固液境界層が形成される。最外縁部に固結領域があるため、マグマ溜まり内の液相と部分熔融した地殻は混合することなく、花崗岩マグマを形成することが可能である。

このようなマントル起源の苦鉄質マグマの上昇・冷却・分化作用とそれによる地殻への熱の供給によって地殻物質の部分熔融が起こり、花崗岩マグマの形成と上昇によって地殻の組成的な分化を促進したと推察される。SNPCを形成した玄武岩質マグマは初生的に含水量が多く、地殻浅所まで上昇することが可能であり、花崗岩マグマの定置した深度と同じ、もしくはそれに近い深度に定置した。そして、お互いに同時期活動であるため、マグマ同士で共存しており境界部の非常に狭い範囲でのみマグマ混合を起こしたと考えられる。また、こうした現象の解析は、大陸地殻の形成と成熟過程の理解を進めると期待される。

花崗岩マグマと苦鉄質マグマの成因的關係については、第5章で述べる。

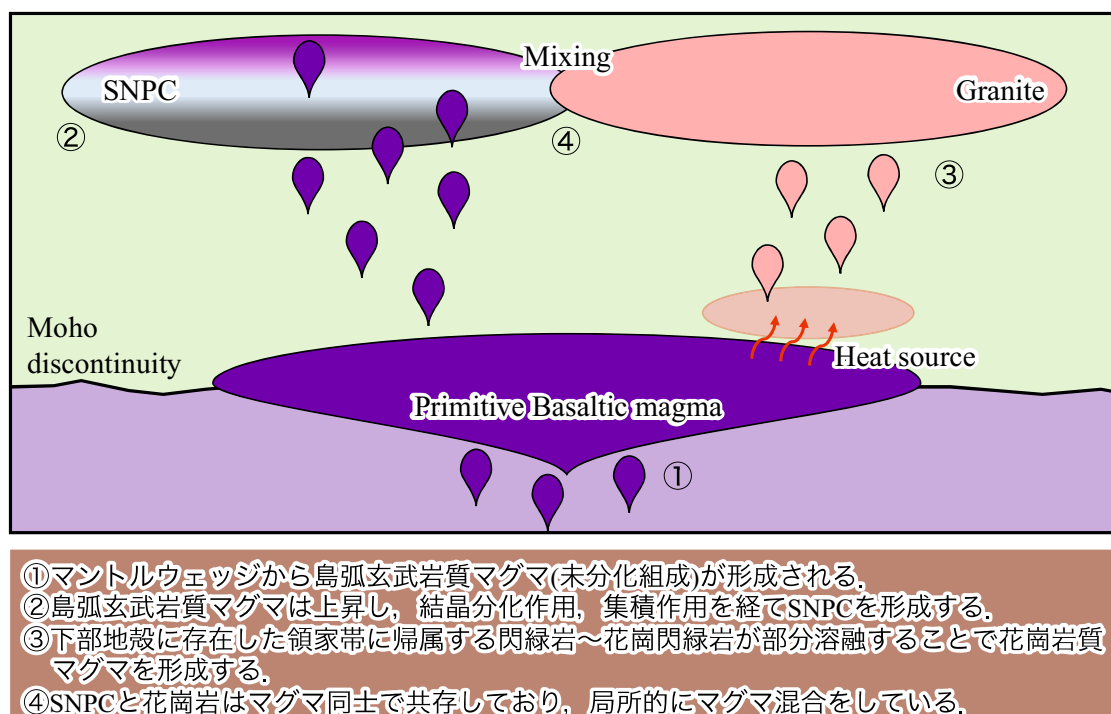


図 2-22. 須々万地域に産する深成岩類の形成過程

第 3 章

山陽帯西部，山口県須々万地域に産する白亜紀斑レイ岩－花崗閃緑岩複合深成 岩体から見出された肥沃な Sr-Nd 同位体組成

I. はじめに

西南日本には，白亜紀から古第三紀に活動した火成岩類が広く分布し，これらのうち花崗岩類は北～南へ山陰帯，山陽帯および領家帯に区分される (Ishihara, 1971; 図 2-1a). 山陽帯と領家帯はイルメナイト系列に属するが，山陰帯は磁鉄鉱系列に属する. Kagami *et al.* (1992) は，中国地方の花崗岩類を Sr 同位体組成の特徴から，北帯 ($SrI \leq 0.706$)，漸移帯 ($0.706 \leq SrI \leq 0.707$)，南帯 ($SrI \geq 0.707$) に区分した. 漸移帯と南帯の花崗岩類は負の ϵNdI 値を示している. 花崗岩のデータは主に大陸地殻の組成を反映するが，マンツルの組成は検討できない. Imaoka *et al.* (2014a) は，前期白亜紀 (105Ma) に活動したとする京都ランプロファイアーが正と負両方の ϵNdI 値を持ち，これらは沈み込み帯におけるマンツルの不均質性に由来するとしている. しかし，負の ϵNdI 値を持つマンツルの存在は，西南日本白亜紀火成活動において，どのような地域的な広がりやなしていたか，またその期間はどのようなテクトニクスにあったかなどは，今だに明らかにされていない.

山口県中部，須々万地域には山陽帯に属する須々万-長穂花崗閃緑岩が分布する (村上, 1986). Kodama *et al.* (2019) は，この岩体の東縁に $1\text{km} \times 1\text{km}$ のストック状斑レイ岩を伴うことを新たに見出した. この斑レイ岩は，Ni 含有量が 50 ppm と低い， $Mg\# = 100 * Mg / (Fe^{2+} + Mg)$ mole 比が最大で 68.8，Cr = 210 ppm と比較的未分化な組成を示す. 山陽帯西部における斑レイ岩などの苦鉄質岩の報告・研究例は少ない. そこで本章では，第 2 章で記載した斑レイ岩類の岩石化学的特徴から未分化マグマ組成の復元を試みる. そして特に Sr-Nd 同位体組成から白亜紀西南日本下マンツルの Sr-Nd 同位体組成の特徴を示す.

II. 斑レイ岩類の記載的・岩石化学的特徴

第2章で記載した斑レイ岩類（細粒斑レイ岩，粗粒優白質斑レイ岩，粗粒優黒質斑レイ岩）のうち， $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ wt% と CaO wt% 図 (Kodama *et al.*, 2019) やコンドライトで規格化した REE パターン図から粗粒優白質斑レイ岩と粗粒優黒質斑レイ岩はいずれも集積岩と見なすことができる (図 2-17). 一方，細粒斑レイ岩はマグマの組成を反映し，比較的未分化な組成を示すと考えられる. この節では，第2章で得た上記の知見を元に，議論に使用するデータを簡潔に記述する.

1. 細粒斑レイ岩

細粒で，暗灰色を示し，肉眼で斑晶鉱物が確認できる. 花崗閃緑岩との境界付近では，両者が混じり合った産状を示す.

斑晶鉱物は，主に斜長石，単斜輝石，角閃石および角閃石に置換されたカンラン石（仮像）で，石基は，斜長石，角閃石，黒雲母および少量の石英から構成される. ホルンブレンドの $\text{Mg}\# = 26\sim 53$ ， Al_2O_3 wt% = 4.25~8.74 で，斜長石の An はコア：72~78，リム：42~67 ある.

SiO_2 含有量は 43.14~52.23 wt.% であり， Al_2O_3 ， Fe_2O_3 ， MgO ， CaO ， Na_2O で一連のトレンドを形成する. $\text{Mg}\# = 65$ 前後， FeO^*/MgO が 1 前後もしくは 1 以下である (図 3-1). Cr と Ni の含有量はそれぞれ 21~210 ppm，19~50 ppm である. また，TAS 図では非アルカリ岩系の領域にプロットされる. コンドライトで規格化した REE パターンでは，全ての岩相は左上がり，HREE でフラットなパターンを示す. 細粒斑レイ岩では，Eu の異常はほとんど見られない. Sr-Nd 同位体組成は， $\text{SrI}(92\text{Ma}) : 0.70684\sim 0.70711$ ， $\text{NdI}(92\text{Ma}) : 0.51236\sim 0.51239$ である.

2. 粗粒優白質斑レイ岩

斑レイ岩分布域の大部分を占める. 粒度は中粒で，灰色~青灰色を示す. 鉱

物量比の違い (主に角閃石) によって、厚さ 1~3 cm の層状構造を示すことがある。主な構成鉱物は斜長石、角閃石、少量の石英および黒雲母である。ホルンブレンドの $Mg\# = 32\sim 72$, $Al_2O_3\ wt\% = 3.92\sim 12.15$, そして斜長石の An はコア : 79~91, リム : 50~74 である。

SiO_2 含有量は 45.58~49.66 wt.% であり、そのほとんどが $SiO_2 = 46\ wt.\%$ を示す。主要・微量元素共にまとまっていて傾向は読み取れない。また、TAS 図では非アルカリ岩系の領域にプロットされる。コンドライトで規格化した REE パターンでは、全ての岩相は左上がり、HREE でフラットなパターンを示す。粗粒優白質斑レイ岩では、Eu の正異常が顕著である。Sr-Nd 同位体組成は、 $SrI(92Ma) : 0.70698$, $NdI(92Ma) : 0.51237$ である。

3. 粗粒優黒質斑レイ岩

細~中粒で、細粒斑レイ岩よりも暗灰色である。主な構成鉱物は斜長石、角閃石、単斜輝石、直方輝石およびカンラン石で、少量の黒雲母を伴う。ホルンブレンドの $Mg\# = 37\sim 79$, $Al_2O_3\ wt\% = 8.23\sim 15.67$, そして斜長石は $An = 88\sim 99$ である。 $Mg\#$ や $Al_2O_3\ wt\%$ そして An は斑レイ岩中で最も高い。 SiO_2 含有量は 38.50~44.98 wt.% で、同じく非アルカリ質である。コンドライトで規格化した REE パターンは、緩やかに左上がり、HREE はフラットなパターンを示す。粗粒優白質斑レイ岩と同様に Eu の正異常が顕著である。Sr-Nd 同位体組成は、 $SrI(92Ma) : 0.70696$, $NdI(92Ma) : 0.51239$ である。

III. 議論

1. 未分化マグマの推定

細粒斑レイ岩は、斜長石、単斜輝石、角閃石およびカンラン石仮像の斑晶を含むが、コンドライトで規格化した REE パターンで Eu 異常を示さない。こうした特徴から、第 2 章では、この岩石がマグマ組成を反映していると思われた。また、全岩化学組成で $Mg\# = 65$ 前後、 FeO^*/MgO が 1 前後もしくは 1 以下である (図 3-1)。Cr 含有量は最大で 210 ppm で、Ni 含有量は最大 50 ppm である。鉱物化学組成に着目すると、集積岩の粗粒優黒質斑レイ岩中のホルンブレンドは $Mg\# = 37\sim 79$ 、 Al_2O_3 wt% = 8.23~15.67 と斑レイ岩類の中で最も高い値を示す。さらに斜長石も $An = 88\sim 99$ を示す。こうした特徴はより未分化なマグマから $Mg\#$ や Al の高いホルンブレンドや高 An 斜長石を分別した後に細粒斑レイ岩が形成されたことを示唆する。細粒斑レイ岩の全岩 $Mg\#$ は 64~69 で、この組成と平衡に共存できるカンラン石の Fo は 85~86 である。これは、マントルカンラン岩中の Fo: ~90 よりも低い。また、細粒斑レイ岩の Ni 含有量は~50 ppm で、一般的な未分化玄武岩の Ni 含有量 (100 ppm 以上) に比べて低含有量である。Ni はカンラン石への分配係数が高い。細粒斑レイ岩は、未分化マグマから最初にカンラン石が取り去られ、その後、高 Al ホルンブレンドや高 An 斜長石を少量分別することで形成されたことが示唆される。そこで、ホルンブレンドや斜長石の分別による組成変化は少なかったと仮定し、カンラン石最大分別法 (Tatsumi *et al.*, 1983) を利用して、マントルカンラン岩と平衡になるようカンラン石を 0.5 % ずつ細粒斑レイ岩に加え、Fo = 90 と平衡な未分化マグマ組成を計算で求めた。結果を表 3-1 に示す。計算によれば、カンラン石を 9.5~15.5 % 付加することで、細粒斑レイ岩と Fo = 90 のカンラン石は共存できる。これらが細粒斑レイ岩の初生的マグマ組成であったと考えられる。

表 3-1 カンラン石最大分別法による計算結果

Measured value					
Sp No.	1703 2305	1705 0105A	1705 0105B	1705 0106A	1705 0106B
(wt.%)					
SiO ₂	49.26	51.30	52.23	49.07	49.47
TiO ₂	0.47	0.38	0.39	0.65	0.68
Al ₂ O ₃	17.32	17.11	17.52	15.77	16.40
Fe ₂ O ₃	8.54	8.57	8.58	11.71	11.91
MnO	0.18	0.18	0.18	0.20	0.20
MgO	8.08	7.19	7.28	10.24	10.42
CaO	11.12	9.64	9.59	7.65	7.58
Na ₂ O	1.38	1.88	1.86	1.68	1.61
K ₂ O	0.28	0.67	0.70	0.99	0.99
P ₂ O ₅	0.04	0.03	0.04	0.08	0.09
Total	96.67	96.96	98.38	98.02	99.35
Mg#	68.8	66.2	66.4	67.1	67.1
Fe/Mg	0.95	1.07	1.06	1.03	1.03
Estimated primary basaltic melts					
Added Ol %	9.5	12.5	12.5	15.0	15.5
(wt.%)					
SiO ₂	50.42	51.86	52.02	49.23	48.97
TiO ₂	0.45	0.35	0.35	0.58	0.59
Al ₂ O ₃	16.43	15.71	15.85	14.01	14.30
Fe ₂ O ₃	9.28	9.47	9.35	12.27	12.31
MnO	0.17	0.17	0.16	0.18	0.17
MgO	12.01	12.18	12.17	15.73	15.93
CaO	10.55	8.85	8.68	6.79	6.61
Na ₂ O	1.31	1.73	1.68	1.49	1.40
K ₂ O	0.27	0.62	0.63	0.88	0.86
P ₂ O ₅	0.04	0.03	0.04	0.07	0.08
Total	100.93	100.97	100.93	101.23	101.22
Mg#	75.1	75.0	75.2	74.9	75.1
Fe/Mg	0.70	0.70	0.69	0.70	0.70

この計算結果をもとに、高 An 斜長石を含む沈み込み帯の未分化玄武岩組成と比較し、An = 90 に達する斜長石の成因について検討した。高 An 斜長石を含む未分化組成を示す玄武岩として、カリブ海南東部に位置する小アンティル諸島セントビンセント島のスプリエート山の玄武岩が報告されている (Heath *et al.*, 1998)。表 3-2 に計算によって求めた未分化細粒斑レイ岩の初生的マグマ組成と Mg# が 65 以上のセントビンセント島玄武岩 (以下 STVB と呼称する) の組成を示す。細粒斑レイ岩の初生的マグマに比べて STVB はやや高い TiO₂ と Na₂O, そしてやや低い K₂O を示すが、その他酸化物の組成範囲は概ね一致する。特に、細粒斑レイ岩の初生的マグマと未分化 STVB の全岩の Ca/(Ca+Na) 値 (原子比) は、それぞれ 0.83~0.90 と 0.79~0.84 で重複する。これまでの実験岩石学的研究から、高 An 組成 (組成が An = 90) の斜長石を晶出するためには、マグマ中に 3 wt.% 以上の H₂O が必要とされている (例えば Sisson and Grove, 1993; Takagi *et al.*, 2005; Hamada and Fujii, 2007)。Pichavant *et al.* (2002) の実験によれば、高 An 斜長石 (An93) を含む STVB の場合、含水量は ~5 wt.% であるとされた。すなわち、未分化玄武岩マグマと共存する高 An 斜長石の形成には、マグマ中の H₂O 含有量が 3 wt% 以上必要である。

カンラン石最大分別法の計算から、細粒斑レイ岩を形成した未分化玄武岩質マグマの組成は、SiO₂ = 48.23~52.02 wt%, K₂O = 0.27~0.88 wt% と低~中 K 系列に相当する。また、計算によって求めた未分化細粒斑レイ岩は未分化 STVB とほぼ同じ組成を持つ。すなわち、細粒斑レイ岩を形成した未分化マグマは、H₂O を 3 wt.% 以上含む含水マグマであったと考えられる。初生的に高い含水量のマグマであったことは、ホルンブレンドが比較的早期に晶出していることとも調和的である。

表 3-2 カンラン石最大分別法による計算結果と未分化 STVB

Sp No.	Estimated primary basaltic melts					HEATH et al. (1998)					
	1703 2305	1705 0105A	1705 0105B	1705 0106A	1705 0106B	STV 301	STV 315	STV 309	STV 310	STV 356	STV 358
(wt.%)											
SiO ₂	50.42	51.86	52.02	49.23	48.97	47.01	51.20	51.55	47.29	47.33	47.29
TiO ₂	0.45	0.35	0.35	0.58	0.59	1.07	0.82	0.80	0.94	0.90	0.94
Al ₂ O ₃	16.43	15.71	15.85	14.01	14.30	15.28	16.88	17.02	15.60	16.18	15.71
Fe ₂ O ₃	9.28	9.47	9.35	12.27	12.31	8.79	8.95	8.67	9.83	9.93	10.00
MnO	0.17	0.17	0.16	0.18	0.17	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17
MgO	12.01	12.18	12.17	15.73	15.93	12.5	7.76	7.72	12.21	11.09	12.53
CaO	10.55	8.85	8.68	6.79	6.61	10.96	10.55	9.14	10.48	10.44	10.32
Na ₂ O	1.31	1.73	1.68	1.49	1.40	2.23	2.33	2.74	2.22	2.24	2.25
K ₂ O	0.27	0.62	0.63	0.88	0.86	0.47	0.33	0.32	0.26	0.29	0.28
P ₂ O ₅	0.04	0.03	0.04	0.07	0.08	0.12	0.09	0.11	0.10	0.10	0.10
Total	100.93	100.97	100.93	101.23	101.22	98.59	99.07	98.24	99.10	98.67	99.59
Mg#	75.1	75.0	75.2	74.9	75.1	76.8	66.9	67.5	74.3	72.2	74.5
Fe/Mg	0.70	0.70	0.69	0.70	0.70	0.63	1.04	1.01	0.72	0.81	0.72
Ca/(Ca+Na)	0.899	0.850	0.851	0.834	0.839	0.845	0.833	0.787	0.839	0.837	0.835

2. 白亜紀西南日本直下のマントル同位体組成

細粒斑レイ岩，粗粒優白質斑レイ岩および粗粒優黒質斑レイ岩は高 SrI 値・低 NdI 値を持ち，マントルアレイ (DePaolo and Wasserburg, 1976) から外れた組成を示す．Sr-Nd 同位体に関して肥沃的な組成を示す玄武岩質マグマの成因には，1) マグマ上昇中における地殻物質の同化作用，2) 初生的に高 SrI 値・低 NdI 値をもつ下部地殻～上部マントルの部分融解の 2 つの可能性が考えられる．細粒斑レイ岩は未分化に近い組成を示す．一般に地殻内での分化同化作用が起こった場合，マグマは未分化組成を維持できない．従って，1) の可能性は除外できる．

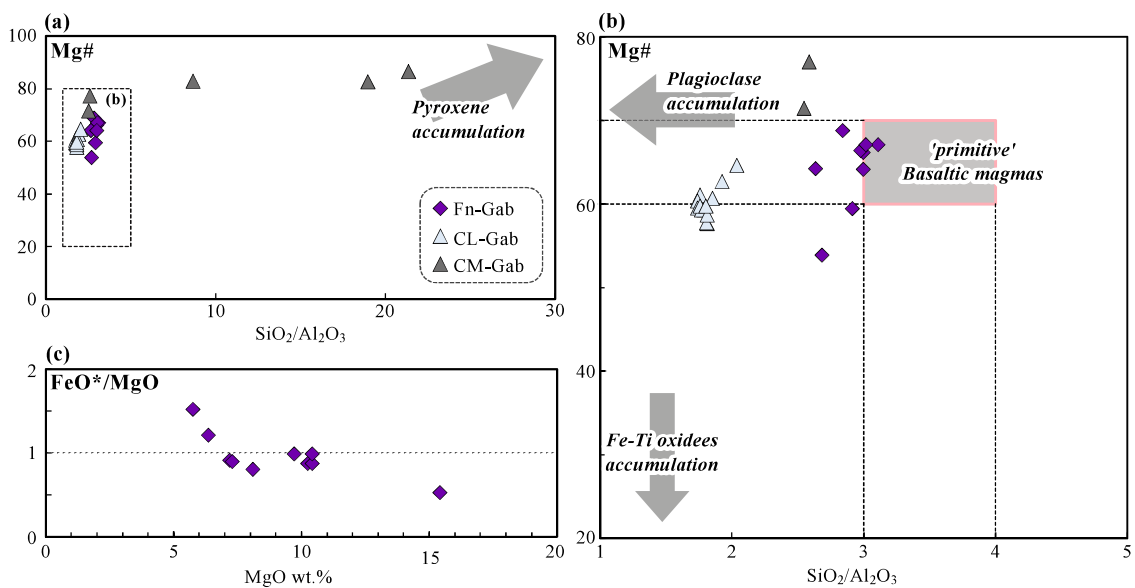


図 3-1. (a)細粒斑レイ岩，粗粒優白質斑レイ岩および粗粒優黒質斑レイ岩の SiO₂/Al₂O₃-Mg# 図. (b)(a)の点線の範囲の拡大. (c)MgO-FeO*/MgO 図.

白亜紀の未分化玄武岩質マグマとして、[Imaoka et al. \(2014a, 2017\)](#) が報告した京都ランプロファイアーとそのマントルゼノリスの ϵSrI と ϵNdI の値を [図 3-2a](#) に示す。また、SNPC と京都ランプロファイアーとの位置的な関係を [図 3-2b](#) に示す。京都ランプロファイアーの Sr-Nd 同位体組成は、白亜紀前期 (105Ma) における近畿地方直下のマントル組成を表している ([Imaoka et al., 2014a, 2017](#))。Imaoka et al. (2014a) は京都ランプロファイアーやマントルゼノリスの ϵNdI が正と負両方を持つことと微量元素組成に着目し、これらが垂直方向へ不均質なマントルに由来するとした。そして、このような不均質なマントルは白亜紀前期の海洋地殻の沈み込みに伴う流体相や沈み込むスラブ溶融に由来するメルトとマントルとの相互作用によってもたらされたとした ([Imaoka et al., 2014a](#))。細粒斑レイ岩は比較的未分化組成を保持しながら、負の ϵNdI 値を持っている。Schmidt and Jagoutz (2017) は、島弧玄武岩の組成を広範囲にコンパイルし、全ての島弧マグマはスラブ由来の成分の影響を少なからず受けているとした。この考えに従えば、特に負の ϵNdI の原因は、古い大陸地殻に由来する堆積物とマントルウェッジの反応で生じた可能性が高い。さらに、細粒斑レイ岩は京都ランプロファイアーやマントルゼノリスよりも高い SrI 値を持つ。一般に Sr は流体に分配の大きい沈み込み帯の成分である。従って、細粒斑レイ岩は京都ランプロファイアーよりも流体で移動する元素の影響をより強く受けていたと考えられる。これらの地球化学的特徴や両岩体の分布を考慮すると、白亜紀の西南日本内帯では、同位体組成的に肥沃化マントルが広範囲に存在したと考えられる。そして、こうしたマントルウェッジの存在は、この時期に大陸地殻物質がスラブと共に大量にマントル内へ沈み込んだことを示唆する。

大陸地殻物質とマントルウェッジの相互作用については、第 5 章で述べる。

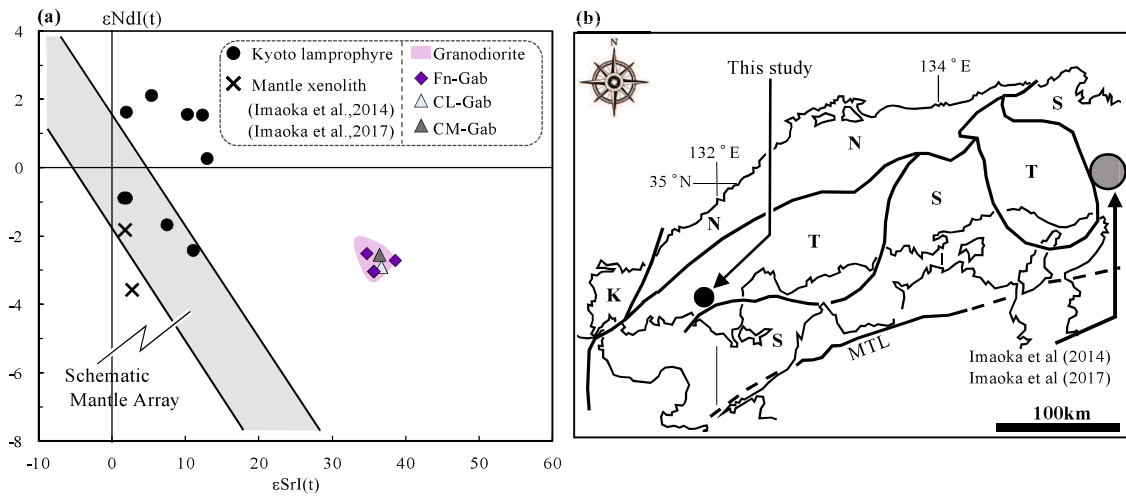


図 3-2. (a) 細粒斑レイ岩，粗粒優白質斑レイ岩，粗粒優黒質斑レイ岩，京都ランプロファイアおよびマントルゼノリスの同位体組成．(b)本研究と Imaoka *et al.* (2014a, 2017) の位置図．

第 4 章

山口県南東部，屋代島に産する領家帯花崗岩類のマグマ過程

I. はじめに

西南日本内帯には，白亜紀から古第三紀に活動した花崗岩類が火山岩類と共に広範囲に分布している．白亜紀花崗岩類と低圧高温型変成岩類が共存する分布域は領家深成変成コンプレックスと呼ばれ，中央構造線に沿って東西約 800 km にわたり分布する (宮崎ほか, 2016; 図4-1a)．領家花崗岩類は産状や岩相から古期花崗岩類と新期花崗岩類に区分され，それらは異なる時期に貫入した火成岩体として認識された (Koide, 1958)．この区分は中部地方の領家花崗岩類の研究によって確立され，近畿地方や中国地方に産する領家花崗岩類にも適応されてきた (岡村, 1957; 領家研究グループ, 1972; 山田ほか, 1979; 東元ほか, 1983)．

山口県東部の柳井地域には，主に弱変成～グラニュライトに達する低圧高温型変成岩類と古期・新期花崗岩類が分布する (Okamura, 1960; 東元ほか, 1983; Okudaira *et al.*, 1993; Ikeda, 2002; 上塘ほか, 2008)．古期花崗岩類は，高変成度岩の分布域に貫入し，変成岩類の構造と調和的な面構造を有する (東元ほか, 1983; Okudaira *et al.*, 1993)．また，変成岩類に対して接触変成作用を与えていない (濡木, 1995)．こうした産状から，古期花崗岩類は変成作用のピーク時に貫入したと考えられた (Okudaira, 1996; 宮下, 1996)．一方，新期花崗岩類は一般に低変成度地域に古期花崗岩類や変成岩類の面構造と斜交して貫入し，周囲の母岩に接触変成作用を与えている (Okamura, 1960; 東元ほか, 1983; 原ほか, 1991)．

近年，山口県東部に産する花崗岩類のジルコン U-Pb 年代が多数報告されてきた (中島ほか, 1993; Herzig *et al.*, 1998; Skrzypek *et al.*, 2016; 宮下ほか, 2018; Mateen *et al.*, 2019)．それらによると，面構造の有無やその強弱に関わらずこの

地域に産する花崗岩類のジルコン U-Pb 年代は 106–89 Ma を示す。そして宮下ほか(2018) や Mateen *et al.* (2019) は、ジルコン U-Pb 年代値に系統的な差がないことから、古期花崗岩類や新期花崗岩類といった区分は適切ではないとした。

Moutte and Iiyama (1984) や Moutte (1990) は、岩国-柳井地域に産する深成岩類を岩石化学的に検討した。それによると、古期・新期花崗岩類とこれらに密接に伴う石英閃緑岩が一連の組成変化トレンドを形成することから、古期・新期花崗岩類はより苦鉄質マグマからの分化作用で生じたとした。一方、赤崎ほか(2013) や Akasaki *et al.* (2015) は柳井地域の領家深成岩類の調査を行い、Sr-Nd 同位体組成を含む岩石化学的検討から、蒲野花崗閃緑岩(古期花崗岩類)の部分熔融で木部花崗岩(新期花崗岩類)マグマが形成したと考えた。また、池田ほか(2019) は、柳井地域～屋代島西部に産する蒲野花崗閃緑岩のマグマ過程を検討し、分別結晶作用、泥質變成岩との同化作用および苦鉄質マグマとの混交作用によって多様な岩相を示すことを明らかにした。そして児玉ほか(2019) は、屋代島の蒲野花崗閃緑岩の多様な岩相の中に新期花崗岩(東和花崗閃緑岩)と記載的・化学的特徴が類似する岩相が含まれることを見出した。こうした近年の研究結果は、領家帯花崗岩類の岩体区分や成因関係について、再検討が必要なことを示している。

そこでこの章では、古期花崗岩類と新期花崗岩類の成因的な関係を検討するため、1)山口県南東部、屋代島に産する蒲野花崗閃緑岩(古期花崗岩類)と東和花崗閃緑岩(新期花崗岩類)を対象に、産状や記載的特徴を明らかにする。そして、2)岩石化学的特徴も踏まえて蒲野花崗閃緑岩と東和花崗閃緑岩のマグマ過程を議論する。この章の結論は最終章で述べる西南日本内帯、白亜紀～古第三紀のマグマ過程を解析する上で、特に珪長質マグマの成因に関連する。

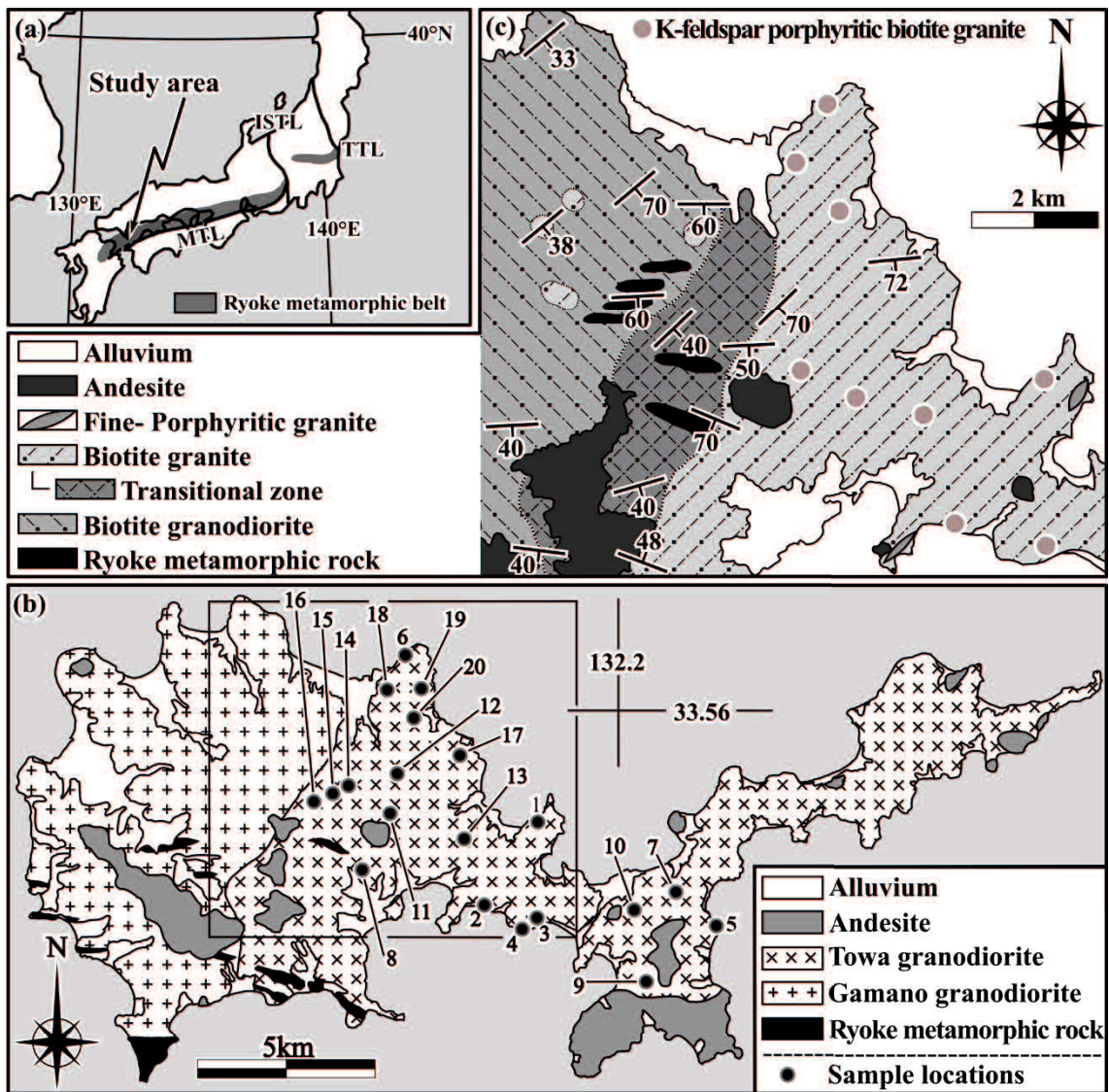


図 4-1. 屋代島の地質図. (a)領家変成岩の分布図.

(b)屋代島の地質図(宮崎ほか, 2016). (c)調査範囲の地質図.

II. 地質概要

山口県柳井地域の南東部に位置する屋代島には、領家変成岩類、領家花崗岩類および瀬戸内火山岩類が分布する (図4-1b)。屋代島に産する貫入岩類や変成岩類は佐藤(1933)の柳井津図幅によって記載された。その後岡村(1957)は、島の中央部やや西寄りを通る南北性の境界によって、西側に蒲野花崗閃緑岩(古期花崗岩類)、東側に東和花崗閃緑岩(新期花崗岩類)が分布するとした(図4-1b)。調査地域は図4-1bの四角内で、蒲野花崗閃緑岩と東和花崗閃緑岩の境界を含む(図4-1c)。図4-1cは調査地域の岩相区分図で、黒雲母花崗閃緑岩と黒雲母花崗岩が分布する。黒雲母花崗閃緑岩は蒲野花崗閃緑岩に、また黒雲母花崗岩と漸移帯は東和花崗閃緑岩にそれぞれ対応している(図4-1b, c)。

黒雲母花崗閃緑岩は、変成岩類に調和的に貫入し、しばしば弱い面構造を伴う(図4-2a, b)。その構造は、東西から北東-南西走向で、 $40^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 南へ傾斜する(図4-1c)。一方、黒雲母花崗岩は一般に塊状で、カリ長石斑状黒雲母花崗岩が点在する(図4-1c, 図4-2c, d)。図4-1cでは、カリ長石斑晶を持つ岩相の分布をシンボルで示した。黒雲母花崗岩は黒雲母花崗閃緑岩の分布域にレンズとしても産する(図4-1c)。また、黒雲母花崗閃緑岩との境界部で、塊状な黒雲母花崗岩の他に以下のような岩相や産状を含む漸移帯が最大幅2kmで分布している(図4-1c)。すなわち、カリ長石斑晶を含み面構造の発達する岩相(図4-3a)、優白質な黒雲母トータル岩~花崗閃緑岩が灰色の黒雲母花崗岩に包有される産状(図4-3b)およびパッチ状の優白質部を含む不均質な岩相(図4-3c, d)である。

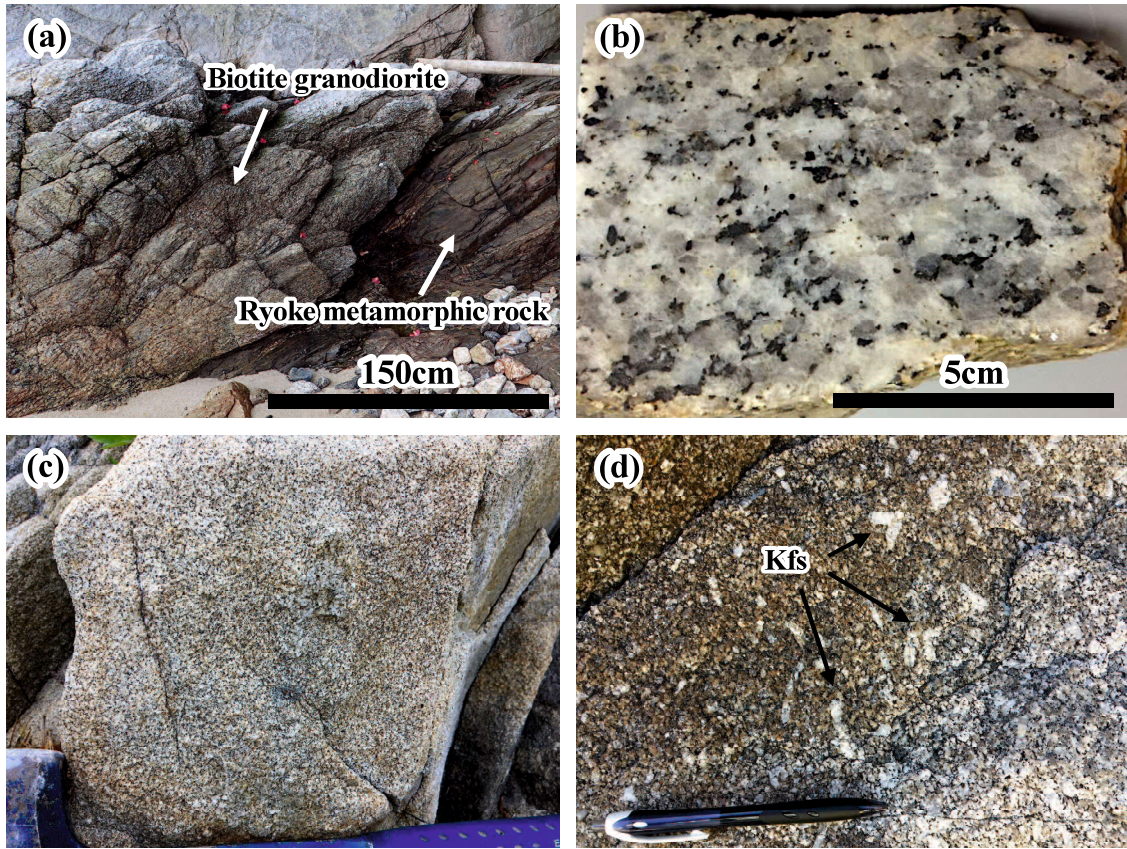


図 4-2. 屋代島に産する領家帯花崗岩類の露头産状. (a)領家変成岩の面構造に並行に貫入する黒雲母花崗閃緑岩. (b)黒雲母花崗閃緑岩のスラブ写真. (c)塊状を示す黒雲母花崗岩. (d)自形カリ長石がランダムな方向を示すカリ長石斑状黒雲母花崗岩の産状.

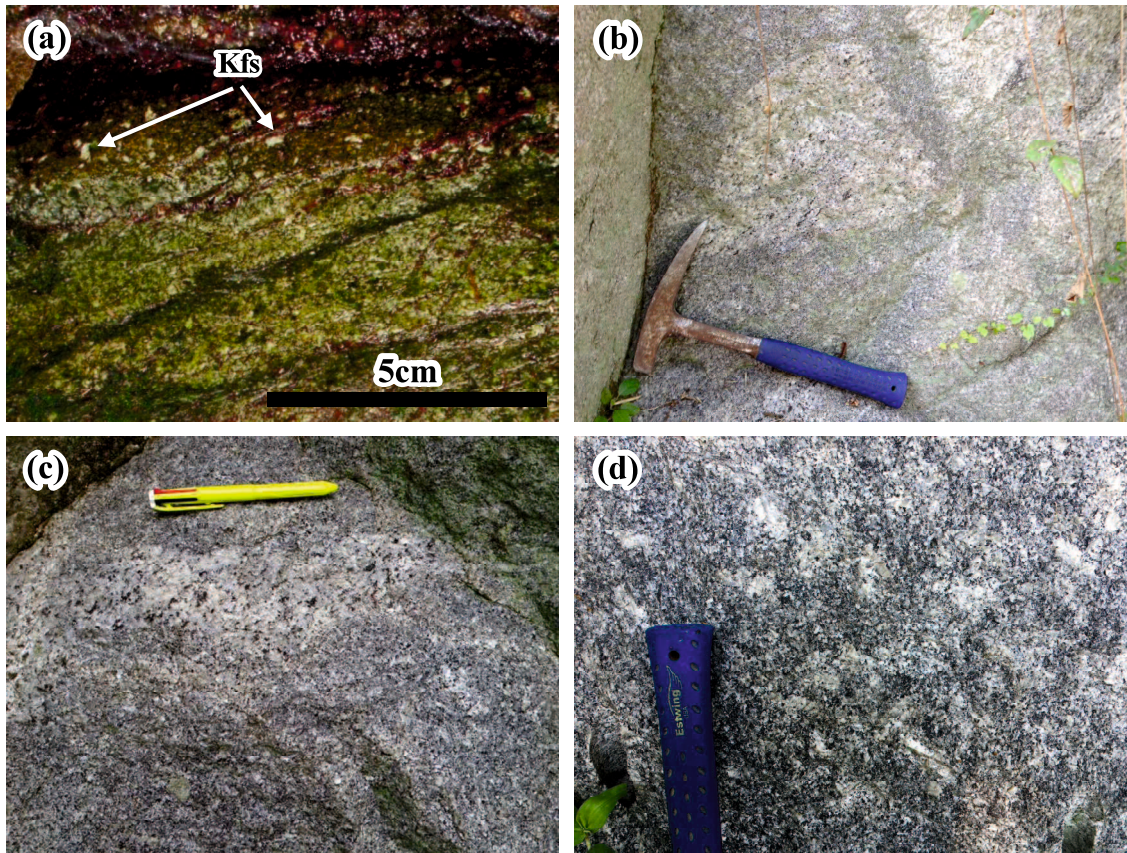


図 4-3. 黒雲母花崗閃緑岩と黒雲母花崗岩の境界部(漸移帯)での産状. (a)カリ長石が変成岩の面構造に沿って配列する産状. (b)黒雲母花崗岩にブロックとして取り込まれた黒雲母花崗閃緑岩の産状. (c) 黒雲母花崗岩にレンズ状に取り込まれた黒雲母花崗閃緑岩の産状. (d) 黒雲母花崗岩にパッチ状に取り込まれた黒雲母花崗閃緑岩の産状.

III. 産状と岩石記載

図 4-1c 内の花崗岩類について、産状と岩石記載を述べる。またモード組成を 図 4-4 に示す。モード組成は、志村・小島(2015) のアプリケーションを使用し、1 試料につき 4 cm × 2 cm の範囲から 2000 点を測定して求めた。モード測定結果は付録 5 に示す。カリ長石斑状黒雲母花崗岩は斑晶による鉱物量比の偏りをなくするため、比較的均質で、1 cm 以上の斑晶を含まない岩相の薄片を用いた。また、漸移帯に含まれる黒雲母花崗岩は、黒雲母花崗閃緑岩の領域の近くにプロットされる試料もある(図 4-4)。

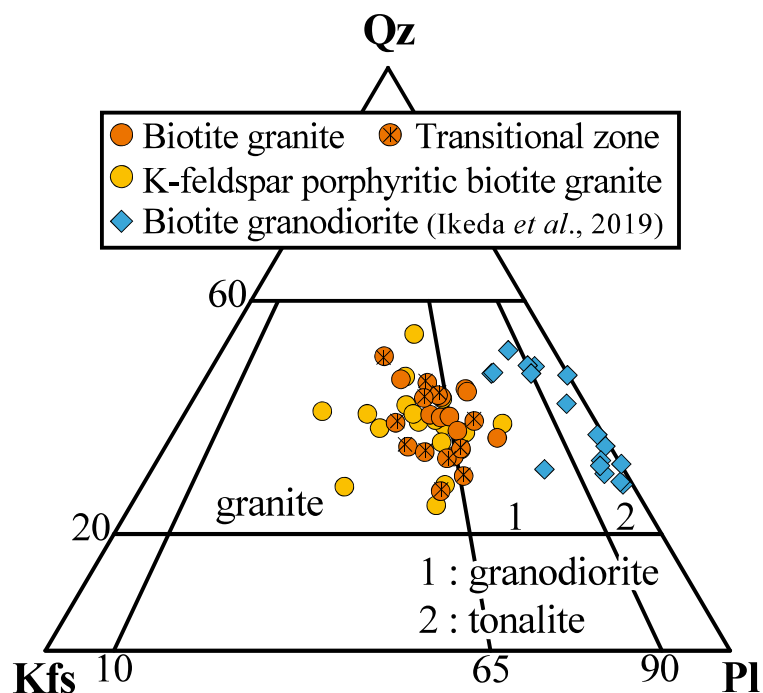


図 4-4. 屋代島に産する花崗岩類の Q-A-P 図(Streckeisen, 1976). 黒雲母花崗閃緑岩のデータは池田ほか (2019)より引用.

1. 黒雲母花崗閃緑岩 (蒲野花崗閃緑岩)

屋代島西部に広く分布し、領家変成岩の面構造と調和的に貫入している (図 4-1c, 図 4-2a). 中～粗粒で、有色鉱物が定向配列し、弱い面構造を示す (図 4-2b). 後述する黒雲母花崗岩との境界部付近で、レンズ～ブロック状の黒雲母花崗岩を伴う (図 4-1c).

主な構成鉱物は石英、斜長石、黒雲母および少量のカリ長石で、副成分鉱物として燐灰石、ジルコンおよび不透明鉱物を含む。図 4-4 では、トータル岩～花崗閃緑岩の領域にプロットされる。代表的な顕微鏡写真を 図 4-5a に示す。石英は 0.5～5.0 mm の他形結晶で、他の鉱物の粒間を充填しており、波動消光を示す。一部サブグレイン化している場合もある。斜長石は 0.5～5.0 mm の自形～半自形結晶で、一般的にアルバイト双晶を示すが、同時に累帯構造を伴う場合もある。一定方向へ配列することもある。また、自形性の強い斜長石が濃集した集積組織が認められる (図 4-5b)。黒雲母は 0.3～2.0 mm の半自形～他形結晶であり、粒間を充填している場合や複数の黒雲母が集合して産することもある。斜長石と同様に一定の方向へ配列し、弱い面構造を形成する (図 4-2b)。カリ長石は 0.5～3.5 mm の他形結晶で、他の鉱物の粒間を充填する。葉状のパースイト構造を示すが、微斜長石構造を示す結晶も含まれる。

2. 黒雲母花崗岩 (東和花崗閃緑岩)

屋代島東部に広く分布し、中粒で面構造の発達は弱く、一般に塊状の岩相を示す (図 4-1c, 図 4-2c). 前述した黒雲母花崗閃緑岩との境界部では明瞭な境界は認められず、不均質で両岩相の中間的な岩層を示す漸移帯が南北約 10 km、東西に最大幅約 2 km の範囲で分布する。また、斑晶状のカリ長石を含む岩相が散点的に分布する (図 4-1c). 一部細粒な岩相を示す。構成鉱物は主に石英、斜長石、カリ長石および黒雲母から構成される。しばしばザクロ石や白雲母を伴うことがある。副成分鉱物として燐灰石、ジルコン、および不透明鉱物を含み、褐廉石やチタン石を伴うこともある。モード組成は花崗閃緑岩～花崗岩の領域にプロットされる (図 4-4). 代表的な顕微鏡写真を 図 4-5c に示す。石英は 0.3～4.0 mm の半自形～他形結晶である。一般に他の鉱物の粒間を充填し、

波動消光を示す場合がある。斜長石は 0.5～4.0 mm の自形～半自形結晶である。ほとんどがアルバイト双晶を示すが、同時に累帯構造を伴う結晶もある。カリ長石は 0.5～4.0 mm の自形～他形結晶と多様な形態で、葉片状のパーサイト構造を示し、一部に微斜長石構造が発達する。しばしば自形～半自形カリ長石が薄片内に卓越することもある (図 4-5d)。黒雲母は 0.3～1.0 mm の半他形結晶で、鉱物粒間を充填する。

カリ長石斑状黒雲母花崗岩は黒雲母花崗岩中に点在する (図 4-1c)。カリ長石斑晶の大きさは 1～3 cm で、最大で 5 cm に達する (図 4-2d)。また、鏡下では、1 cm 以下の自形カリ長石も観察される。主な構成鉱物は石英、斜長石、黒雲母およびカリ長石でまれにザクロ石や白雲母を伴うことがある。副成分鉱物として燐灰石、ジルコンおよび不透明鉱物を含み、褐廉石やチタン石を伴うこともある。モード組成は大部分が花崗岩の組成を示すが、一部で花崗閃緑岩の領域にプロットされる (図 4-4)。石英は 0.3～4.0 mm の半自形～他形結晶である。一般に他の鉱物の粒間を充填し、波動消光を示す場合が多い。斜長石は 0.5～4.0 mm の自形～半自形結晶である。アルバイト双晶を示すが、同時に累帯構造を伴う結晶もある。斑晶を形成する自形カリ長石は単純双晶で葉片状のパーサイト構造を示す。また、微斜長石構造が認められる場合もある。自形～半自形の斜長石がしばしばカリ長石斑晶に包有される (図 4-5e)。黒雲母は 0.25～1.0 mm でほとんどが他形結晶として粒間を充填している。

漸移帯の岩石の産状や岩相の特徴を以下に示す。

- 1) 変成岩をレンズ状に包有する、もしくは薄層として挟み、それらの構造に調和的な面構造が発達する (図 4-3a)
- 2) 最大 4 cm のカリ長石斑晶を含む (図 4-2d)
- 3) 灰色のカリ長石斑状黒雲母花崗岩が優白な黒雲母花崗閃緑岩～トータル岩をブロック状やパッチ状に含み、不均質な岩相を示す (図 4-3b, c, d)
- 3) 不均質な岩相には、自形の斜長石や半自形の石英をポイキリティックに包有し、同時消光する他形カリ長石が認められる (図 4-5f)

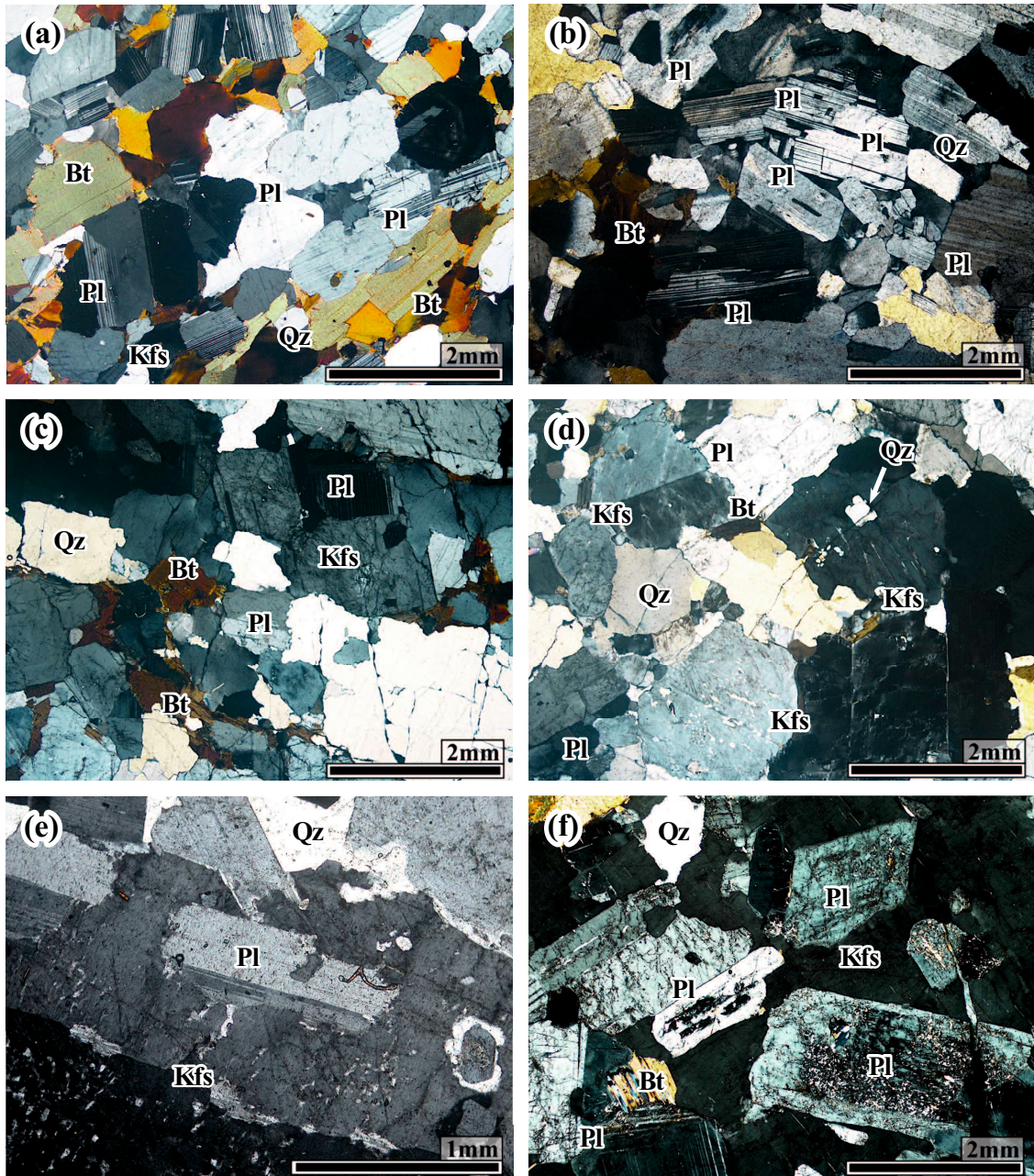


図 4-5. 黒雲母花崗閃緑岩(a, b)と黒雲母花崗岩(c~f)の鏡下写真. (a)黒雲母花崗閃緑岩の代表的な鏡下写真. (b)集積組織を示す自形斜長石. (c)黒雲母花崗岩の代表的な鏡下写真. (d)自形~半自形カリ長石の卓越する産状. (e)カリ長石斑晶が斜長石を包有する産状. (f)自形の斜長石や半自形の石英をポイキリティックに包有し、同時消光する他形カリ長石. 全てクロスニコル.

IV. 鉱物化学組成

各鉱物の分析結果を 表 4-1 に示す.

1. 斜長石

アノーサイト成分 $[An = 100 * Ca / (Ca + Na + K)]$ は黒雲母花崗閃緑岩が $An = 41 \sim 49$ で、カリ長石斑状黒雲母花崗岩が $An = 30 \sim 49$ である. 両岩相の斜長石は組成が重複しつつ、カリ長石斑状黒雲母花崗岩の方がより低い An 値の斜長石を含む. 両岩相に含まれる斜長石は、コアからリムにかけて An 値が減少する正累帯構造を示す.

2. 黒雲母

黒雲母花崗閃緑岩の Mg 値 $[100 * Mg / (Mg + Fe)]$ は $31 \sim 35$ で、カリ長石斑状黒雲母花崗岩は $30 \sim 33$ である. 斜長石と同様に両岩相の Mg 値は重複するが、カリ長石斑状黒雲母花崗岩中には、より Mg 値の低い黒雲母が含まれる.

3. カリ長石

カリ長石斑状黒雲母花崗岩中のカリ長石斑晶を分析した. オルソクレーズ成分 $[Or = 100 * K / (Ca + Na + K)]$ は $Or = 84 \sim 94$ で、 An 成分を $0.1 \sim 0.5$ 含む. また、斑晶を横断する Ba の組成変化を検討した. その結果、 BaO 含有量はコア部で $1.36 \text{ wt.}\%$ 、リム部で $0.45 \text{ wt.}\%$ となり、コアからリムへ BaO 量が減少する.

表 4-1. 斜長石，黒雲母およびカリ長石の鉱物化学組成

Sp No.	Biotite granodiorite				K-feldspar porphyritic biotite granite						
	16070605				13051801						
	Pl	Pl	Bt	Bt	Pl	Pl	Kfs	Kfs	Bt	Bt	
mineral position	core	rim	core	core	core	rim	core	rim	core	core	
(wt%)											
SiO ₂	55.45	56.80	35.01	34.39	55.06	60.29	61.45	63.18	34.63	35.22	
TiO ₂	0.00	0.00	4.33	4.46	0.02	0.00	0.00	0.02	4.43	4.48	
Al ₂ O ₃	28.33	26.97	15.01	14.77	27.97	24.69	18.87	18.78	16.24	14.43	
Cr ₂ O ₃	0.01	0.04	0.00	0.06	0.02	0.00	0.14	0.02	0.09	0.00	
FeO _T	0.12	0.09	23.44	24.97	0.11	0.06	0.16	0.14	22.31	25.45	
MnO	0.05	0.00	0.28	0.38	0.00	0.03	0.00	0.00	0.36	0.39	
MgO	0.00	0.00	6.93	6.74	0.00	0.00	0.00	0.00	6.43	6.22	
CaO	10.13	8.40	0.00	0.00	10.00	6.19	0.10	0.02	0.00	0.00	
BaO	—	—	—	—	0.00	0.01	1.36	0.45	0.15	0.16	
Na ₂ O	5.64	6.61	0.09	0.08	5.65	7.57	0.78	1.15	0.09	0.05	
K ₂ O	0.29	0.18	10.35	9.92	0.24	0.42	16.10	16.09	10.33	10.25	
Total	100.03	99.09	95.44	95.77	99.07	99.26	98.95	99.86	95.06	96.64	
O	8	8	22	22	8	8	8	8	22	22	
Si	2.50	2.57	5.50	5.43	2.50	2.70	2.92	2.95	5.46	5.57	
Ti	0.00	0.00	0.51	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	0.53	
Al	1.50	1.44	2.78	2.75	1.50	1.30	1.06	1.03	3.02	2.69	
Cr	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	
Fe	0.00	0.00	3.08	3.30	0.00	0.00	0.01	0.01	2.94	3.36	
Mn	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	
Mg	0.00	0.00	1.62	1.59	0.00	0.00	0.00	0.00	1.51	1.47	
Ca	0.49	0.41	0.00	0.00	0.49	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ba	—	—	—	—	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.01	
Na	0.49	0.58	0.03	0.02	0.50	0.66	0.07	0.10	0.03	0.02	
K	0.02	0.01	2.08	2.00	0.01	0.02	0.98	0.96	2.08	2.07	
Total	5.01	5.01	15.65	15.67	5.00	4.98	5.07	5.06	15.64	15.76	
An	49.02	40.82			49.00	30.61	0.46	0.11			
Ab	49.33	58.16			50.00	67.35	6.84	9.80			
Or	1.65	1.03			1.00	2.04	92.70	90.08			
Mg#			34.51	32.47					33.93	30.34	

An = 100*Ca/(Ca+Na+K), Ab = 100*Na/(Ca+Na+K), Or = 100*K/(Ca+Na+K), Mg# = 100*Mg/(Fe+Mg).

V. 全岩化学組成

XRF と ICP-MS で測定した分析結果を 表 4-2, 3 に, ハーカー図を 図 4-6 に示す. また, 黒雲母花崗閃緑岩のデータは池田ほか(2019) を引用した. 花崗岩類の SiO_2 含有量は黒雲母花崗閃緑岩が 65~70 wt.%, 黒雲母花崗岩およびカリ長石斑状黒雲母花崗岩が 69~76 wt.% であり, 黒雲母花崗閃緑岩がもっとも SiO_2 に乏しい. これらすべての岩相の組成は重複し, Ba を除くとハーカー図上でトレンドを形成する. K_2O 含有量は主に中間~高カリウム岩系に属するが, $\text{SiO}_2 > 73$ wt.% の試料は高カリウム~シヨシヨナイト岩系の領域にプロットされる. TAS 図では, ほとんどが非アルカリ岩系の領域にプロットされるが, $\text{SiO}_2 > 73$ wt.% ではアルカリ岩系と非アルカリ岩系に跨ってプロットされる. そして全ての岩相はパーアルミナスである (図 4-6).

コンドライトで規格化した希土類元素と N-MORB の組成で規格化したスパイダー図を 図 4-7 に示す. 全ての岩相は軽希土類元素に富み, 右下がりのパターンで, Eu の負異常を示すが, 黒雲母花崗閃緑岩には, Eu 正異常を示す試料もある (図 4-7a). N-MORB で規格化したスパイダー図では, Ta, Nb, および Ti に負異常を持つ. また, P や Ti に顕著な負異常を示す試料も認められる (図 4-7b).

表 4-2. 黒雲母花崗岩とカリ長石斑晶黒雲母花崗岩の全岩化学組成

Rock	Biotite granite											
Sp No.	1305 1901B	1305 1904	1307 2410	1307 3006	1308 1105	1308 1904	1308 2308	1310 1709	1310 1710	1310 1711	1311 1201	1311 1205
Loc. No.	4	5	7	8	9	10	12	14	15	16	17	19
(wt.%)												
SiO ₂	74.83	75.91	74.62	69.34	74.17	74.70	74.21	66.87	73.17	72.57	69.00	71.14
TiO ₂	0.07	0.06	0.07	0.50	0.07	0.10	0.11	0.65	0.28	0.39	0.33	0.44
Al ₂ O ₃	13.12	13.27	13.48	14.57	13.33	13.62	13.28	15.11	13.44	13.77	15.23	13.94
Fe ₂ O ₃ *	1.17	0.88	0.97	3.80	0.89	1.33	1.42	3.82	2.20	2.62	3.19	3.37
MnO	0.06	0.08	0.03	0.07	0.03	0.07	0.03	0.08	0.04	0.06	0.05	0.06
MgO	0.18	0.07	0.10	0.82	0.10	0.14	0.17	1.05	0.52	0.61	0.47	0.71
CaO	0.59	0.92	1.39	2.95	1.18	1.18	1.27	2.94	2.08	2.36	3.19	2.96
Na ₂ O	3.70	2.74	2.99	3.56	2.86	3.24	3.27	3.46	2.84	3.36	3.83	3.41
K ₂ O	4.92	5.50	4.93	2.59	5.20	4.64	4.74	3.28	3.76	2.61	2.65	1.92
P ₂ O ₅	0.02	0.01	0.01	0.09	0.01	0.01	0.01	0.16	0.04	0.07	0.05	0.08
LOI	0.50	0.59	0.55	0.66	0.77	0.78	0.38	0.69	0.51	0.69	0.63	1.08
Total	99.65	100.42	99.58	99.29	98.81	100.03	99.51	98.41	99.36	99.42	98.98	99.01
(ppm)												
Ba	152	237	401	423	441	314	1060	434	764	371	1083	371
Rb	197	202	197	114	213	167	124	133	112	106	59	74
Sr	117	102	116	226	117	102	119	315	270	253	272	239
Nb	10.4	5.3	4.9	10.1	4.5	7.0	4.4	18.1	4.8	9.2	3.5	8.0
Y	28	33	28	21	22	46	11	23	12	18	24	16
Zr	78	85	84	179	93	101	108	207	143	162	215	159

Rock	K-feldspar porphyritic biotite granite.							
Sp No.	1305 201	1305 1801	1305 1901A	1306 501	1308 2306	1310 1606	1311 1204	1311 1207
Loc. No.	1	2	3	6	11	13	18	20
(wt%)								
SiO ₂	76.42	71.00	72.43	71.68	74.99	74.91	73.54	69.39
TiO ₂	0.15	0.42	0.43	0.39	0.08	0.03	0.13	0.40
Al ₂ O ₃	11.90	14.13	14.40	13.70	12.96	13.32	13.68	14.82
Fe ₂ O ₃ *	1.48	3.23	3.36	3.10	1.16	0.35	1.35	3.04
MnO	0.03	0.06	0.06	0.06	0.02	0.01	0.03	0.06
MgO	0.30	0.69	0.85	0.57	0.09	0.08	0.18	0.66
CaO	1.03	2.83	2.45	2.34	1.69	0.27	1.25	2.80
Na ₂ O	2.19	3.54	3.58	3.25	2.99	2.24	2.62	3.47
K ₂ O	5.43	2.63	2.55	3.35	4.15	7.12	6.20	3.54
P ₂ O ₅	0.03	0.07	0.08	0.06	0.01	0.00	0.01	0.07
LOI	0.61	0.48	0.83	0.43	0.45	0.78	0.25	0.43
Total	99.94	99.58	101.18	99.50	99.16	99.33	99.99	99.24
(ppm)								
Ba	547	490	397	770	1180	778	515	640
Rb	143	94	91	116	103	182	167	113
Sr	132	231	197	206	199	129	114	241
Nb	3.6	8.4	6.8	9.7	1.3	2.8	4.7	8.3
Y	13	20	26	20	11	6	16	19
Zr	92	162	156	168	102	32	123	152

Fe₂O₃* : total Fe.

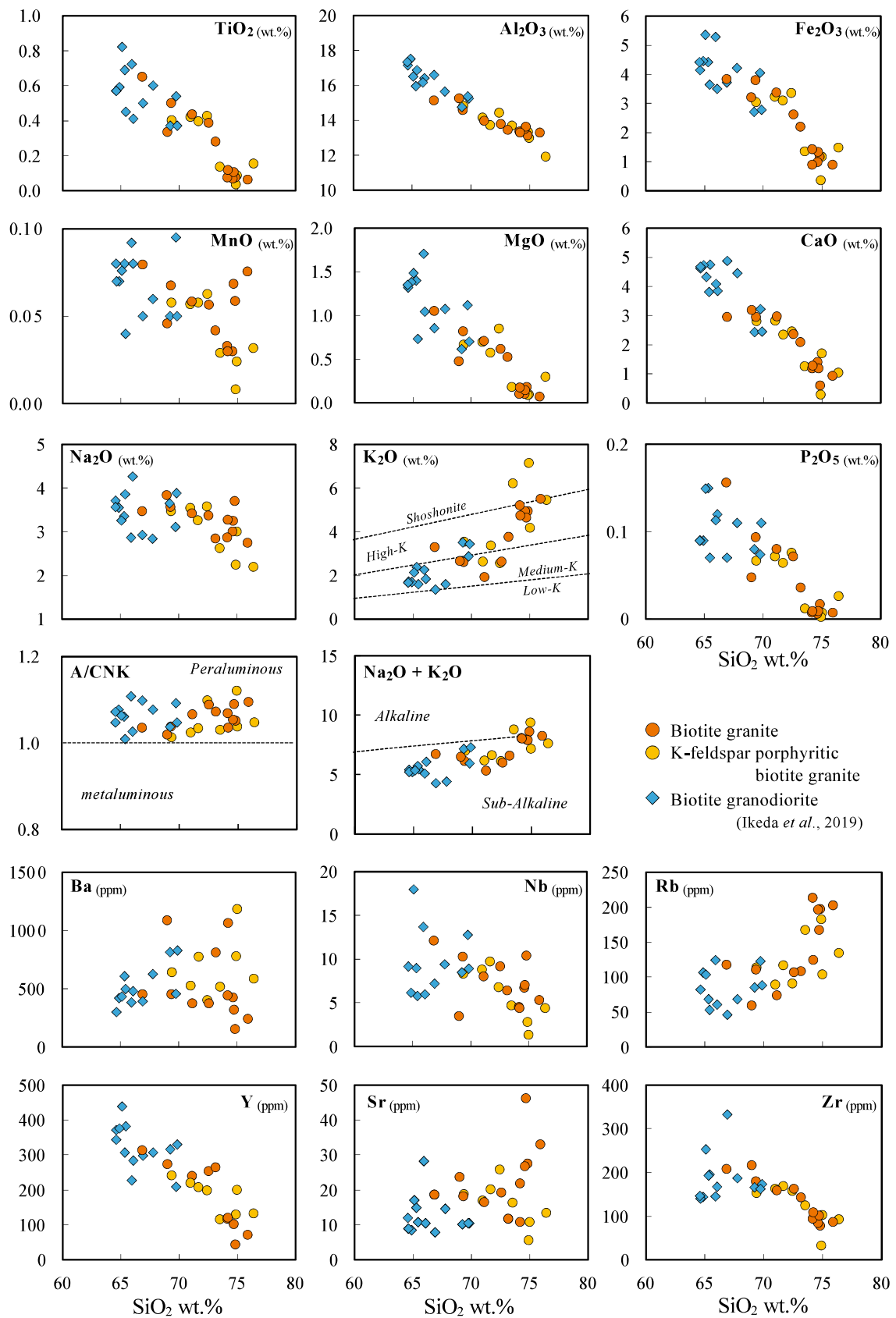


図 4-6. 屋代島に産する花崗岩類のハーカー図.

表 4-3. 黒雲母花崗岩とカリ長石斑晶黒雲母花崗岩の微量元素

Sp No.	Bt Gr				Kfs Gr	
	1307	1307	1310	1310	1305	1305
Loc. No.	2410	3006	1709	1710	201	1801
(ppm)						
Ba	424	451	451	807	582	521
Rb	196	110	117	108	134	89
Sr	113	224	312	264	132	219
Nb	6.7	10.3	12.1	6.4	4.4	8.8
Ta	1.52	1.01	1.19	0.53	0.63	0.65
Y	27	18	19	12	13	17
Zr	84	179	207	143	92	162
Hf	2.8	4.5	4.7	3.6	2.1	4.4
Th	17.5	14.0	7.6	15.9	12.0	13.0
La	18.6	26.4	20.8	36.3	14.4	30.6
Ce	37.3	56.6	42.9	73.9	44.7	65.9
Pr	4.17	5.8	4.79	7.68	3.56	6.86
Nd	15.2	20.9	18.4	27.6	12.5	24.8
Sm	3.95	4.14	4.14	5.08	2.89	5.04
Eu	0.59	0.95	0.97	0.96	0.60	0.95
Gd	3.8	3.7	3.9	4.1	2.5	3.9
Tb	0.62	0.58	0.63	0.50	0.39	0.53
Dy	4.1	3.4	3.4	2.5	2.3	3.1
Ho	0.81	0.62	0.65	0.38	0.42	0.60
Er	2.4	1.6	1.8	1.0	1.2	1.6
Tm	0.38	0.23	0.24	0.13	0.18	0.24
Yb	2.51	1.54	1.58	0.84	1.21	1.57
Lu	0.39	0.25	0.25	0.13	0.19	0.26

Bt Gr : Biotite granite

Kfs Gr : K-feldspar porphyritic biotite granite

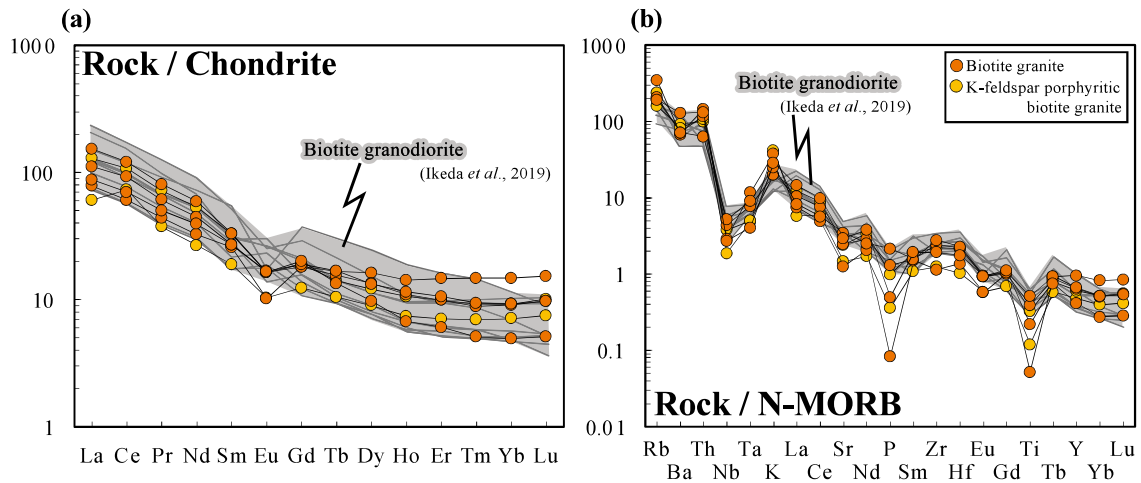


図 4-7. 黒雲母花崗岩とカリ長石斑晶黒雲母花崗岩のコンドライトで規格化した希土類元素パターン図(a)と, N-MORBで規格化したスパイダー図(b). 薄い灰色の線と領域は黒雲母花崗閃緑岩の組成範囲を示す. 規格化には Sun and McDonough (1989)のデータを使用した.

表 4-4 に Sr-Nd 同位体比を示す。また、100 Ma で補正して求めた花崗岩類と柳井地域に産する泥質片麻岩の同位体比を 図 4-8 に示す。全ての岩相は負の ϵ_{NdI} 値を示し、ほぼ同じ組成領域にプロットされる (図 4-8a)。SiO₂ wt.%-SrI(100 Ma)図においては、SiO₂ 含有量に関わらず、ほぼ一定の SrI 値を示す (図 4-8b)。その中で、黒雲母花崗閃緑岩の 2 試料は、わずかに泥質片麻岩の組成領域側にプロットされる (図 4-8b)。

表 4-4. 黒雲母花崗岩とカリ長石斑晶黒雲母花崗岩の Sr-Nd 同位体組成

Rock Sp.No.	Biotite granite			K-feldspar porphyritic biotite granite	
	13073006	13201709	13101710	13050201	13051801
Loc.No.	8	14	15	1	2
⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	1.42104	1.08507	1.18378	2.93831	1.17597
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0.70949	0.70865	0.70919	0.71195	0.70923
2 σ	0.000012	0.000014	0.000013	0.000011	0.000013
SrI (100 Ma)	0.70747	0.70711	0.70751	0.70777	0.70756
ϵ_{SrI}	44	39	44	48	45
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	0.11975	0.16197	0.11127	0.13976	0.15211
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	0.51233	0.51237	0.51230	0.51231	0.51234
2 σ	0.000014	0.000012	0.000014	0.000012	0.000013
NdI (100 Ma)	0.51225	0.51227	0.51223	0.51222	0.51224
ϵ_{NdI}	-5.1	-4.7	-5.5	-5.7	-5.2

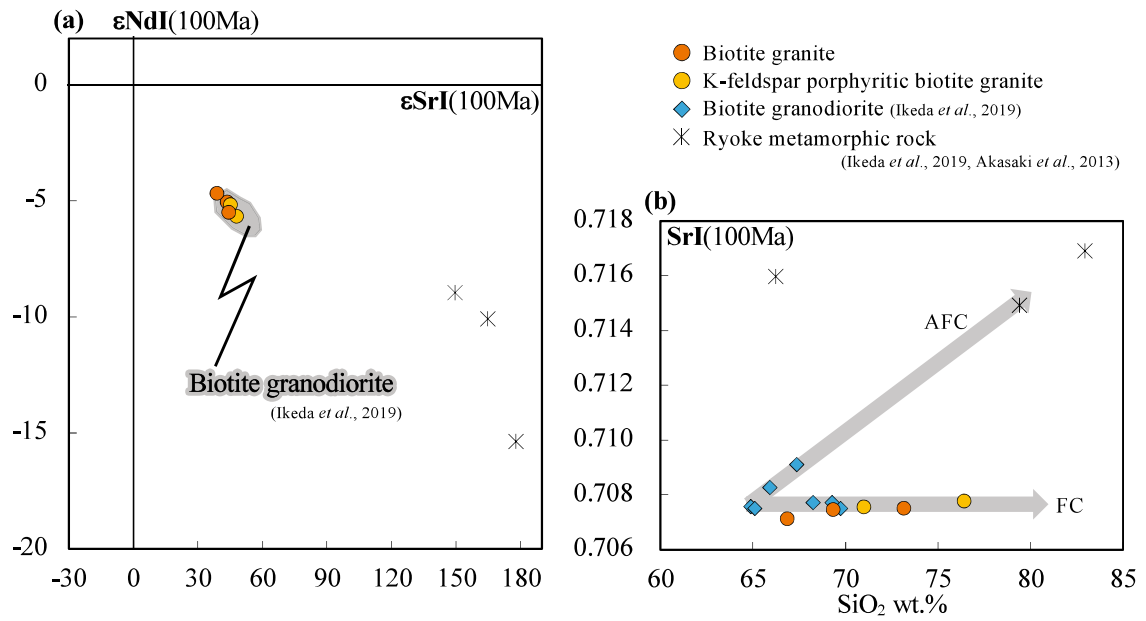


図 4-8. 屋代島に産する花崗岩類と柳生地域に産する領家変成岩類の Sr-Nd 同位体組成. (a)100Ma で補正したイプシロン図. 灰色の範囲は黒雲母花崗閃緑岩の組成領域を示す. (b)SrI-SiO₂ 図.

VI. 議論

1. 領家花崗岩類の岩相変化

屋代島に産する領家花崗岩類は、蒲野花崗閃緑岩（古期花崗岩類）と東和花崗閃緑岩（新期花崗岩類）に区分された（岡村, 1957; 西村ほか, 2012）。池田ほか(2019) は屋代島西部の蒲野花崗閃緑岩の分布域に東和花崗閃緑岩(黒雲母花崗岩)と同じ岩相を見出した。そして、鉱物化学組成や Sr-Nd 同位体組成を含む全岩化学組成の特徴から、この黒雲母花崗岩が蒲野花崗閃緑岩の主岩相である黒雲母花崗閃緑岩マグマからの分化作用で生じたことを定性的に示した。一方本研究では、両岩体が接する屋代島の中央部を調査し、以下の知見を得た。黒雲母花崗閃緑岩（蒲野花崗閃緑岩）と黒雲母花崗岩（東和花崗閃緑岩）は漸移的に変化する（図4-1c）。両岩相の斜長石および黒雲母の鉱物化学組成は連続的に変化する（表4-1）。ハーカー図で黒雲母花崗閃緑岩と黒雲母花崗岩は、一連のトレンドを形成し、希土類元素パターンや Sr-Nd 同位体組成も類似する（図4-6, 図4-7, 図4-8）。このような記載的・岩石化学的特徴は、SiO₂ 含有量の低い黒雲母花崗閃緑岩マグマから結晶分化作用によって高 SiO₂ 含有量の黒雲母花崗岩マグマを形成したことを示唆する。そこで、鉱物・全岩化学組成からマスバランス計算によって分別相とそれらの量比を求め、微量元素によるレイリー分別モデルを適用して検討した。マスバランス計算は津根(2005) のアプリケーションを用いて分別相の量比を求めた。計算結果を表4-5a に、N-MORB で規格化した微量元素のパターンを図4-9a に示す。マスバランス計算によると、親マグマとして SiO₂ = 65.32 wt.% の黒雲母花崗閃緑岩 (14042303A) から黒雲母 15.1 %, 斜長石 (コア) 20.5%, 斜長石 (リム) 17.2 %, 石英 21.1 %, イルメナイト 0.3 % を分別することで、SiO₂ = 71.00 wt.% のカリ長石斑状黒雲母花崗岩 (13051801)を導くことができた（表4-5a）。このとき、計算による残差の二乗和 (SSR) は 0.02 と十分に小さい。計算結果で得られた分別相の量比と分配係数から、レイリー分別モデルによって微量元素組成を求め、娘マグマの組成と比較した（図4-9a）。親マグマの組成と使用した分配係数の値を付録 6 に

示す。計算結果とカリ長石斑状黒雲母花崗岩 (13051801) の組成パターンは Zr と Hf を除き一致した (図4-9a)。計算結果は、実測した試料よりも Zr と Hf に富む。マグマ中のジルコンがわずかでも分別していれば、Zr とジルコンに分配が大きい Hf の含有量は減少するため、ジルコンのわずかな分別を考慮すれば、微量元素組成についても分別結晶作用で説明可能である。従って、黒雲母花崗閃緑岩から黒雲母花崗岩への岩相変化は基本的に分別結晶作用で再現できる。分化の進んだ黒雲母花崗岩 ($\text{SiO}_2 = 73 - 76 \text{ wt.}\%$) の K_2O 量は $4 \text{ wt.}\%$ 以上で、特に、カリ長石斑晶を含む岩相は $6 \text{ wt.}\%$ を超える (図4-6)。カリ長石斑晶はしばしば分化した花崗岩マグマ中で集積を起こすことが知られている (遠藤ほか, 1999; 池田ほか, 2019)。そこでカリ長石の集積効果についても、マスバランス計算によって検討した。計算結果を表4-5bに示す。表4-5bでは、カリ長石が負の値を示し、マグマに付け加わったことを示す。結果として、上述した $\text{SiO}_2 = 71.00 \text{ wt.}\%$ のマグマから黒雲母 9.2% 、斜長石 (コア) 8.5% 、斜長石 (リム) 18.6% 、石英 6.6% 取り去ると同時に、カリ長石を 14.1% 付加することで、 $\text{SiO}_2 = 76.42 \text{ wt.}\%$ のカリ長石斑状黒雲母花崗岩 (13050201) を導くことができた (表4-5b)。このとき、計算による残差の二乗和 (SSR) は 0.09 であった。カリ長石がマグマに付け加わったというマスバランス計算結果から、鉍物を分別しながらマグマに物質が付け加わる同化分別結晶作用 (AFC) のモデル計算 (DePaolo, 1981) を適応して微量元素組成を求め、娘マグマの組成と比較した (図4-9b)。同化率と分化率の比 (r) はマスバラン計算によって得られた分別相と付け加わるカリ長石の量比から求めた。使用した分配係数の値を付録6に示す。また、付け加わるカリ長石の微量元素組成は標準試料 JF-1 の値を使用した (付録6)。計算結果とカリ長石斑状黒雲母花崗岩 (13050201) の組成パターンは Zr と Hf を除き一致した (図4-9b)。上述の通り、マグマ中のジルコンがわずかでも分別していれば、微量元素組成についても説明可能である。このことから、より分化した組成を示すカリ長石斑状黒雲母花崗岩は、結晶分化作用に加え、カリ長石の集積によって形成可能である。

池田ほか(2019)によると、図4-8bに示した黒雲母花崗閃緑岩のうち、わずかに高 SrI を示す試料は、程度は低いものの泥質片麻岩との同化作用を受けた可能性が指摘されている。一方、斜長石の集積組織や Eu の正異常を示す黒雲母花崗閃緑岩は、分別相が集積した岩石の存在を示唆する。鉱物・全岩化学組成の特徴やマスバランス計算結果を考慮すると、黒雲母花崗岩は、黒雲母花崗閃緑岩マグマの分別結晶作用によって分化したマグマに由来し、場所によってカリ長石斑晶の集積を伴いながら固結したと考えられる。

表 4-5. マスバランス計算結果

(a) Calculation of crystal differentiation									
	Parent	Daughter	Fractionated minerals						
	1404	1305							
	2303A	1801	Bt	Pl (1)	Pl (2)	Qz	Ilm	Calc.	Diff.
fraction	1.0000	0.2585	0.1509	0.2047	0.1723	0.2112	0.0025		
(wt%)									
SiO ₂	65.32	71.00	35.08	55.45	60.06	100.00	0.10	65.30	-0.02
TiO ₂	0.69	0.42	2.75	0.00	0.01	0.00	52.26	0.70	0.01
Al ₂ O ₃	15.93	14.12	16.65	28.33	24.45	0.00	0.06	15.89	-0.04
Fe ₂ O ₃	4.41	3.23	22.80	0.12	0.08	0.00	34.83	4.33	-0.08
MgO	1.40	0.69	7.30	0.00	0.01	0.00	0.03	1.50	0.10
CaO	3.81	2.83	0.05	10.13	6.11	0.00	0.19	3.82	0.01
Na ₂ O	3.35	3.45	0.05	5.64	7.87	0.00	0.00	3.35	0.00
K ₂ O	2.38	2.63	10.29	0.29	0.21	0.00	0.04	2.40	0.02
Sum of squares =								0.018	
Biotite granodiorite (14041203A) as a parent magma (Ikeda <i>et al.</i> , 2019).									
K-feldspar porphyritic biotite granite (13051801) as a daughter.									
(b) Calculation of K-fs accumulation									
	Parent	Daughter	Fractionated minerals						
	1305	1305							
	1801	0201	Bt	Pl (1)	Pl (2)	Qz	Kfs	Calc.	Diff.
fraction	1.0000	0.7131	0.0918	0.0847	0.1858	0.0656	-0.14107		
(wt%)									
SiO ₂	71.00	76.42	34.66	55.06	60.29	100.00	61.45	70.98	-0.02
TiO ₂	0.42	0.15	4.43	0.02	0.00	0.00	0.00	0.31	-0.11
Al ₂ O ₃	14.12	11.90	16.24	27.97	24.69	0.00	18.87	14.01	-0.11
Fe ₂ O ₃	3.23	1.48	22.31	0.11	0.06	0.00	0.16	3.28	0.05
MgO	0.69	0.30	6.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	-0.14
CaO	2.83	1.03	0.00	10.00	6.19	0.00	0.10	2.96	0.13
Na ₂ O	3.45	2.19	0.09	5.65	7.57	0.00	0.78	3.58	0.13
K ₂ O	2.63	5.43	10.33	0.24	0.42	0.00	16.10	2.70	0.07
Sum of squares =								0.087	
K-feldspar porphyritic biotite granite (13051801) as a parent magma.									
K-feldspar porphyritic biotite granite (13050201) as a daughter.									

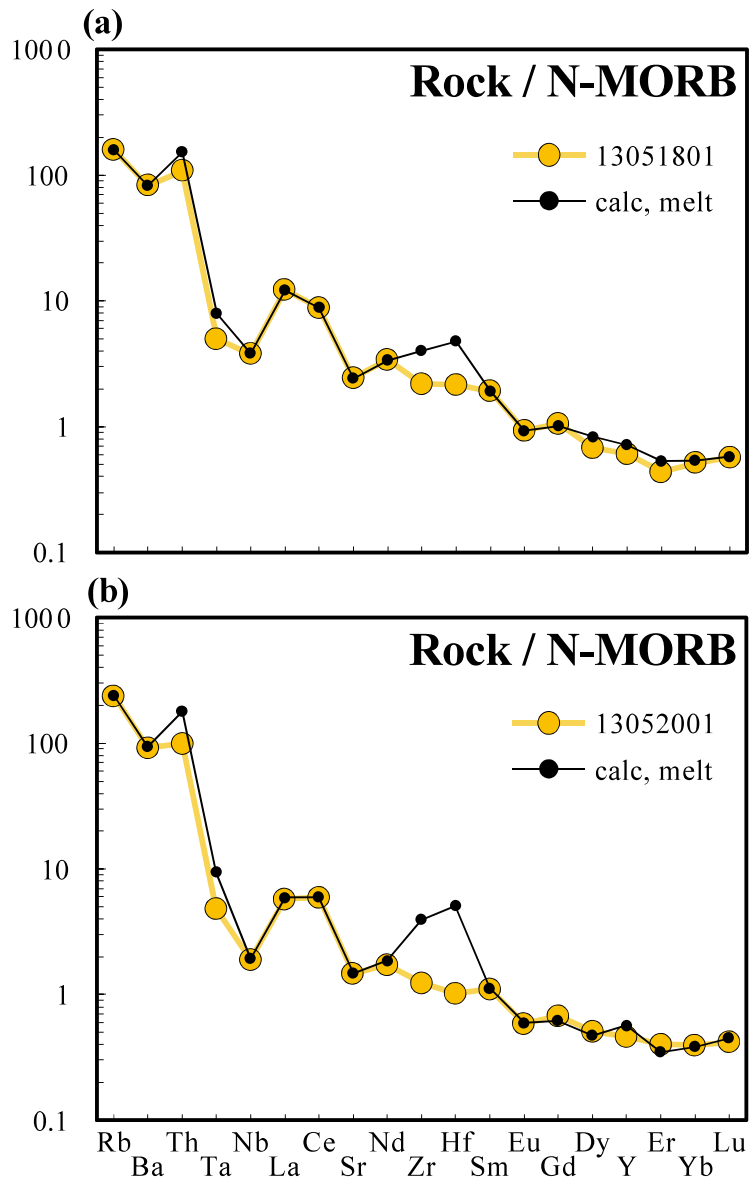


図 4-9. マスバランス計算で得られた分別相の量比と分配係数から、レイリー分別モデルによって求められた微量元素組成のパターン図.

2. 蒲野花崗閃緑岩と東和花崗閃緑岩のマグマ過程

既述のように、黒雲母花崗閃緑岩と黒雲母花崗岩は、それぞれ蒲野花崗閃緑岩と東和花崗閃緑岩に対応できる。そこで、これまで述べてきた岩石化学的検討結果をもとに、屋代島における領家花崗岩の形成モデルを検討した。図 4-10 にマグマ過程のモデルを示す。

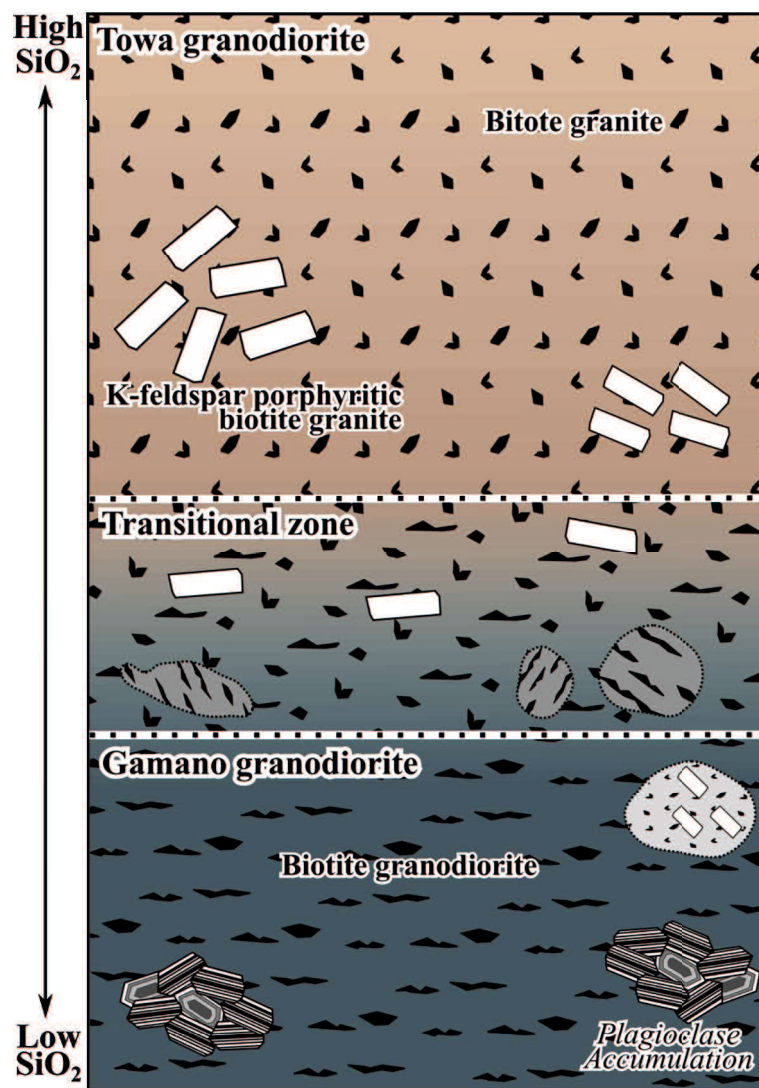


図 4-10. 屋代島における領家花崗岩類の形成モデル図.

蒲野花崗閃緑岩マグマはマグマ溜まりを形成し、冷却とともに固結する。一部は母岩の変成岩類を同化するが、基本的に冷却に伴って、斜長石、石英および黒雲母が早期に晶出して取り去られる (表4-5a)。斜長石は蒲野花崗閃緑岩に集積することもある (図4-5b)。また、斜長石の集積部や自形性の強いカリ長石には、半自形石英がしばしば包有される (図4-5b, d)。表4-5a で示したマスバランス計算結果には分別相として石英も含まれるが、鏡下観察の結果とも矛盾しない。そしてクリスタルマッシュから残液が分離する時、固結途中の蒲野花崗閃緑岩を一部取り込む (図4-3b, c, d)。漸移帯とした岩相は、蒲野花崗閃緑岩から分離した残液と固結途中の蒲野花崗閃緑岩が混じり合った場所に相当する (図4-1c, 図4-3a, b, c, d)。鏡下観察では、半自形の石英や自形のカリ長石が普遍的に含まれ、黒雲母は粒間に産することが多い (図4-5)。過アルミナ質黒雲母-白雲母花崗岩 ($\text{SiO}_2 = 73 \text{ wt.}\%$) を出発物質に使った 3-4 kbar の実験によると、 H_2O が 4 wt.% 以下のマグマは冷却に伴いカリ長石が斜長石に次いで早期に晶出する (Scaillet *et al.*, 1995)。Whitney(1975, 1988) や Day and Fenn(1982) によると、 $\text{H}_2\text{O} < 2.8 \text{ wt.}\%$ の花崗岩マグマの場合、カリ長石の核形成密度は低いが、成長速度は斜長石よりも早くなる。すなわち、カリ長石の斑晶は比較的含水量の少ないマグマで形成されやすい。また、Watson and Harrison(1983) のジルコン飽和温度計によると、蒲野花崗閃緑岩から東和花崗閃緑岩にかけて SiO_2 含有量が 73 wt.% 以下のマグマ温度は約 800 °C を示す (図4-11)。これらの結果から、東和花崗閃緑岩マグマは、比較的高温で含水量が少なく、カリ長石斑晶を形成しやすい環境であったと考えられる。

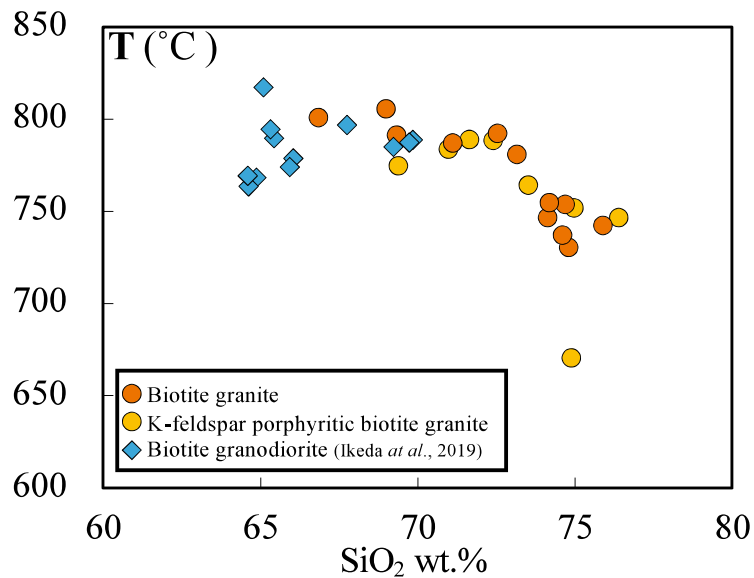


図 4-11. 屋代島に産する花崗岩類の温度(°C)-SiO₂ wt.%図. 花崗岩類の温度は、ジルコン飽和温度計(Watson and Harrison, 1983)によって計算した.

上述のように、屋代島において、蒲野花崗閃緑岩と東和花崗閃緑岩は一連のマグマ過程によって形成された可能性が高い。従って、Mateen *et al.*(2019) が述べたように、山口県東部に分布する領家帯花崗岩類については、新期・古期といった区分は適切でなく、岩石学的検討からも再検討する必要があることを本研究の結果は示した。

これまで提案されてきた、花崗岩の分類、山陰帯、山陽帯、領家帯は、帯状の区分であると同時に、時代的にもこの順番に古くなると考えられてきた。一方、モナズ石 Th-U-Pb 年代やジルコン U-Pb 年代によって、上述のように花崗岩の形成年代と帯状区分の再検討がされ始めている (Skrzpek *et al.*, 2016; Mteen *et al.*, 2019)。特に第 1, 2 章で述べたように苦鉄質マグマとの成因的関係を考慮した花崗岩マグマの解明は、白亜紀火成活動の理解に欠かせない。西南日本内帯、西中国における白亜紀珪長質火成活動については、第 5 章で述べる。

第 5 章

西南日本，白亜紀～古第三紀深成岩類の Sr-Nd 同位体組成の特徴

I. はじめに

さまざまな元素の同位体は，火成岩のマグマソースをはじめ，マグマの分化作用や混合作用を検討する上で極めて重要である．このうち，Sr および Nd 同位体組成は中国-四国地方，特に山陰帯，山陽帯および領家帯の白亜紀-古第三紀火成岩に対する多くのデータが報告されている．

Sr-Nd 同位体組成に対する研究は 1970 年代から日本の多くの花崗岩について検討されてきた．Shibata and Ishihara(1979) は，日本の白亜紀-古第三紀貫入岩の Sr 同位体初生値に広域的な変化があることを初めて指摘した (図 5-1)．その後，Kagami *et al.* (1992) によって西南日本内帯 (特に四国-領家帯から中国地方) に広く分布する白亜紀-古第三紀の花崗岩について広域的な検討がなされ，Sr-Nd 同位体比の特徴から，同位体組成には地域差があり，北から北帯，漸移帯，南帯に区分できるとした (図 5-2a)．その後，Iizumi *et al.* (2000) は上記 3 帯に分布する斑レイ岩や閃緑岩においても花崗岩類とほぼ同様な広域変化が認められるとした (図 5-2b)．加々美(2005) は，Terakado and Nohda(1993)，田結庄ほか(1999)，および柚原ほか(1998) など新たに報告されたデータや東北日本の中生代火成岩類の同位体組成データを加え，日本列島の全域に同位体の組成分布について検討した．その結果，Kagami *et al.* (1992) で指摘した広域的な同位体組成の変化は，日本列島に沿った帯状の配列を示すことが明らかになった (図 5-3)．火成岩類の同位体組成による配列は，日本列島の基盤地質の配列と類似する (図 5-1)．

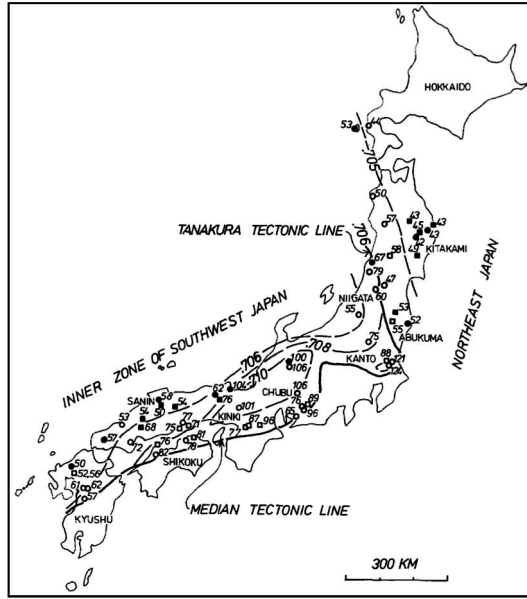


図 5-1. 日本の白亜紀-古第三紀貫入岩の Sr 同位体初生値に広域的な変化
(Shibata and Ishihara, 1979)

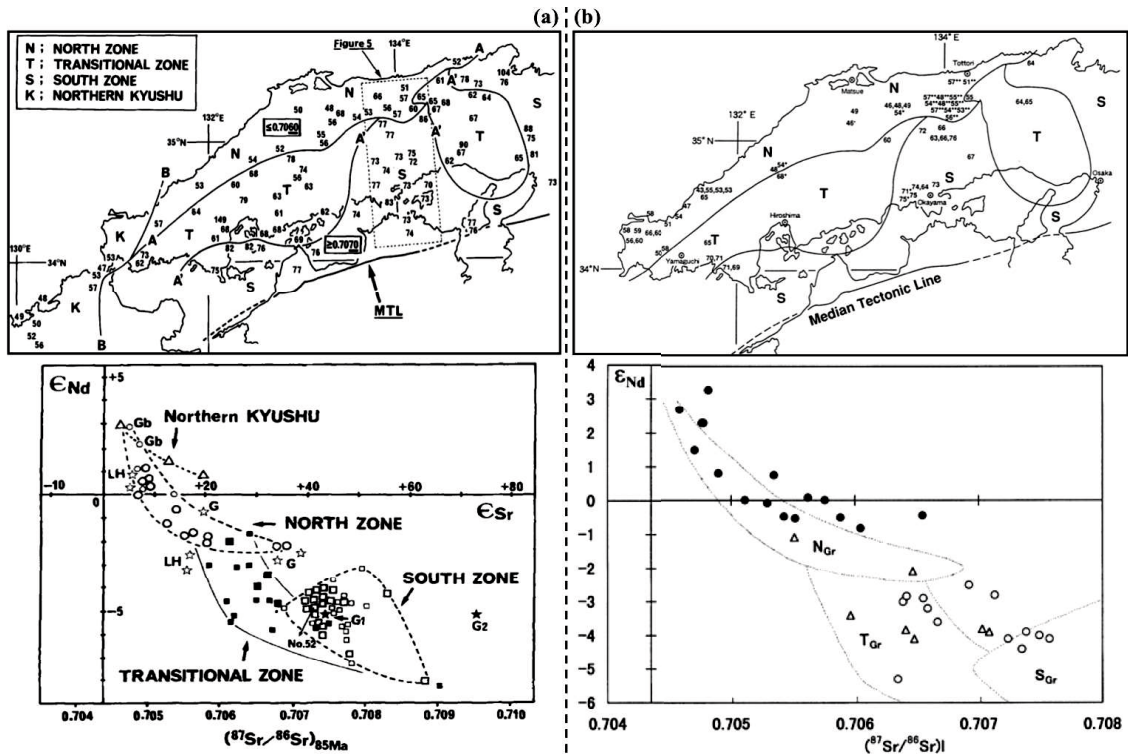


図 5-2. (a)花崗岩の同位体組成帯状区分とその $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - \epsilon\text{NdI}$ 図(Kagami *et al.*, 1992), (b)苦鉄質岩の同位体組成帯状区分とその $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - \epsilon\text{NdI}$ 図 (Iizumi *et al.*, 2000)

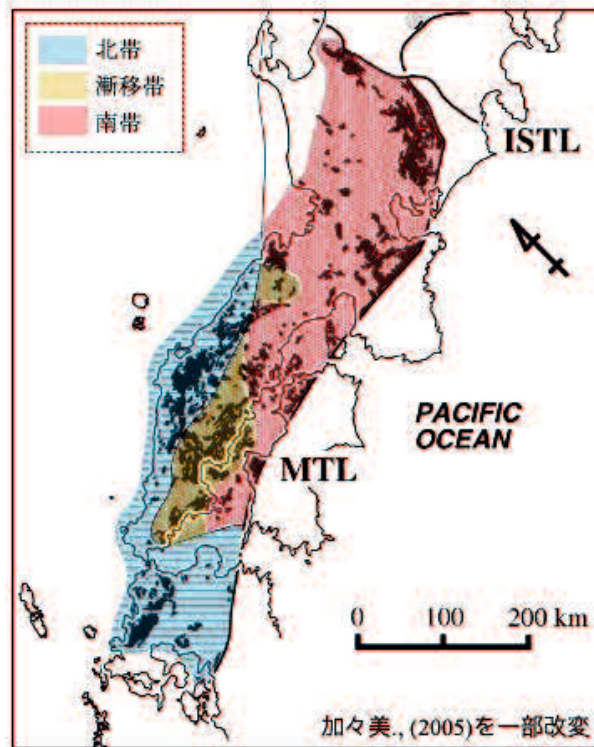


図 5-3. 加々美 (2005)による同位体組成带状区分

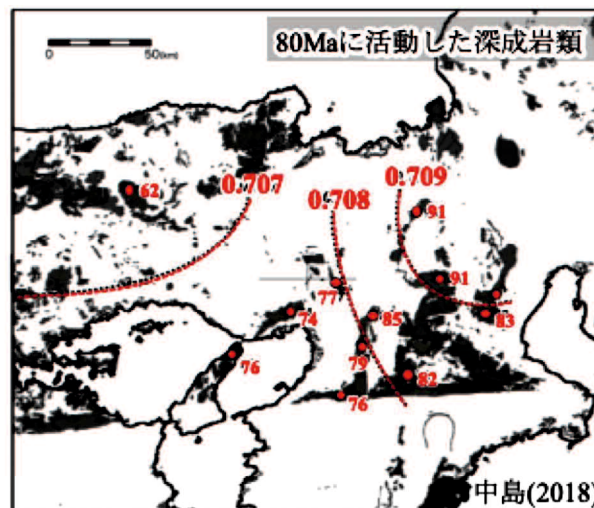


図 5-4. 近畿地方に産する 80 Ma の花崗岩の同位体組成 (SrI) 分布図 (Nakajima *et al.* (2016) に一部加筆)

これら同位体組成の広域変化の要因はマグマと地殻上部物質との混成作用の程度の違い (Shibata and Ishihara, 1979) やマグマソースとなる上部マントル～下部地殻の地球化学的性質の違い (Kagami *et al.*, 1992) が指摘されている。また, Takagi (2004) は, 沈み込む海洋プレート上面の堆積物に由来するメルトや水溶液が起源物質に混入する程度の違いが花崗岩マグマの同位体組成の変化の要因と考えた。一方, Takagi (2004) では, 花崗岩マグマの起源物質へスラブ由来物質が混じるメカニズムについては言及していない。

Schmidt and Jagoutz (2017) は, 沈み込み帯に産する玄武岩の化学組成をコンパイルし, 沈み込むスラブ上方のマントルウェッジの化学組成は, メルトあるいは流体としてスラブに由来する堆積物の化学的影響があることを指摘した。西南日本の中生代火成作用では, Imaoka *et al.* (2014) がスラブ由来の物質に汚染されたマントルウェッジ起源の未分化ランプロファイアーを報告した。さらに, これらランプロファイアーの ϵNdI が, 狭い分布範囲内であっても正と負の値を示すことから, マントルの不均質性を指摘した。第 3 章で述べたように, 負の ϵNdI を持つ玄武岩マグマの起源とされる汚染されたマントルウェッジの存在は, 中国地方西部からも発見されている (Kodama *et al.*, 2019)。このように沈み込み帯におけるマントルウェッジは, 沈み込むスラブ由来のメルトまたは流体によって不均質に汚染され, その影響が火山弧玄武岩マグマの組成に反映されることはほぼ確実である。

最近, Kagami *et al.* (1992) が提示した同位体組成の帯状配列を疑問視した以下の報告もある。中島 (2018) は, Kagami *et al.* (1992) による同位体帯状区分が 85 Ma のモデル年代で同位体組成を補正しているため, 各岩体をマグマ活動の時代で示した空間的な時間断面になっていないと指摘した。そして, ある時代の地下構造を示す情報として意味を持たせるためには, 同じ年代に形成した花崗岩の同位体組成を比較する必要があるとした。図 5-4 は, Nakajima *et al.* (2016) で例示された近畿地方に産する 80 Ma の花崗岩の同位体組成 (SrI) 分布図である。この図によると, 80 Ma の花崗岩は日本列島に沿った東西系の配列と斜交した Sr 同位体組成の分布を示すとした。また, Kagami *et al.* (1992)

による北帯のほとんどが属している山陰帯は、古第三紀の活動であり、90 Ma 前後に活動のピークを持つ山陽・領家帯を比較して線引きをするのは意味がないとした。しかしながら、中島(2018) が示した花崗岩の同位体組成分布図は、検討することの出来る範囲や岩体数が限られている。

西南日本の白亜紀火成活動は 110~80 Ma と年代幅がある。近年、ジルコン U-Pb 年代やモナズ石 U-Th-Pb 年代が西南日本の中生代花崗岩から報告され、花崗岩体の活動年代が議論されてきた (Suzuki *et al.*, 1996; Herzig *et al.*, 1998; Suzuki and Adachi, 1998; Iida *et al.*, 2015; Skrzypek *et al.*, 2016; Yokoyama *et al.*, 2016; Mateen *et al.*, 2019)。これらの年代値を使用することで、中島(2018) が指摘した同一時間断面に関する課題は解決可能である。西南日本に産する白亜紀花崗岩はしばしば斑レイ岩~閃緑岩を伴い、産状からこれらはマグマ同士で共存した可能性が高い (Iizumi *et al.*, 2000; Akasaki *et al.*, 2015; Eshima *et al.*, 2019; 池田ほか 2019; Kodama *et al.*, 2019)。従って、産状を詳細に検討することで、年代値の報告されている花崗岩と同時期に活動した苦鉄質岩を見出すことは可能である。

西南日本の白亜紀~古第三紀火成活動の特徴をより詳細に検討するためには、中島(2018) の指摘を踏まえつつ、広域的かつ花崗岩だけでなくマントル組成を反映した苦鉄質岩 (斑レイ岩~閃緑岩) による検討も必要である。これまで述べてきた火成岩の年代値は、Iizumi *et al.* (2000) を除き、主に花崗岩から得られたデータを使用している。第 2 章で述べた須々万-長穂複合岩体 (SNPC) の花崗閃緑岩を除くと、花崗岩マグマは、主に大陸地殻の部分溶融によって形成される (Jahn, 2010)。従って、花崗岩から得られるデータは主に大陸地殻の組成を反映するが、マントル組成は直接検討できない。マントル組成を検討するためには、斑レイ岩や閃緑岩のデータが必要となる。そこで本研究では、西南日本内帯、中国-四国地方 (一部、九州北部) で広域的に年代値の検討が可能な花崗岩と、産状から花崗岩と同時に活動した苦鉄質岩を採取した。そして、同位体組成を含む岩石学的な特徴の広域的な変化について、1) 苦鉄質岩を形成した玄武岩マグマからマントルウェッジの組成的特徴とマントル組成の経年変化

の原因，および2) 花崗岩の同位体組成の広域的な変化の実態とその要因について議論する．この章では各岩体の年代値で補正した Sr-Nd 同位体組成の特徴を議論するため，分析試料の採集位置の帰属については，年代値を固定した [Kagami et al. \(1992\)](#) による北帯，漸移帯，南帯の区分ではなく，主に磁性鉱物の記載的特徴に基づいた [Ishihara \(1977\)](#) による区分（山陰帯，山陽帯，領家帯そして九州）を使用する．

II. 分析試料

分析試料は白亜紀-古第三紀に活動したとされる山陽帯および領家帯の火成岩のうち、活動年代が推定できる苦鉄質岩を使用した。サンプル採集地は、山口県、広島県、岡山県および香川県の全 14 箇所で、斑レイ岩 41 試料、閃緑岩 22 試料を採集した (図 5-5; 付録 7)。図 5-5 の番号は産状・岩石記載の番号に対応する。これらの苦鉄質岩うち、蛍光 X 線分析の結果、 $Mg\# [100 * MgO / (MgO + FeO) mol] > 50$ を示す 17 試料については、特に不適合元素組成が未分化な組成を保持していると考え、Sr-Nd 同位体組成を分析した。Sr-Nd 同位体組成を測定した試料について、以下に産状・岩石記載、全岩化学組成分析および同位体組成を記載する。採取した試料の全岩化学組成の分析結果は表 5-1 に示す。併せて、中国、四国および九州地方に産する白亜紀深成岩の Sr-Nd 同位体組成データをコンパイルした (図 5-11)。採取した試料とコンパイルした試料の同位体組成および全岩化学組成は付録 8 (花崗岩類の同位体組成)、付録 9 (苦鉄質岩の全岩化学組成)、付録 10 (苦鉄質岩の同位体組成) に示す。

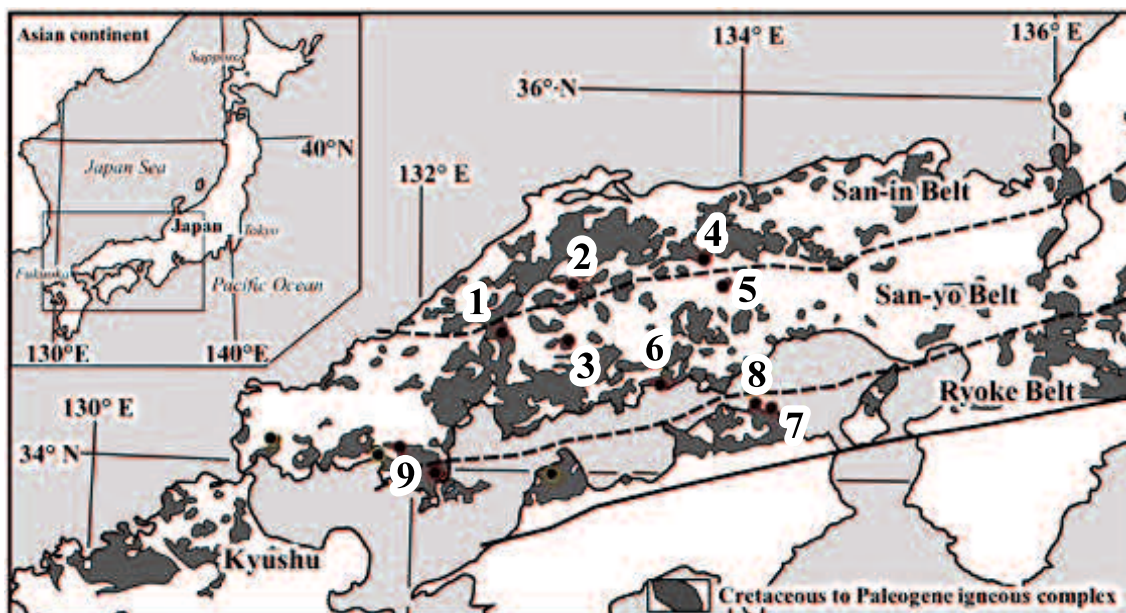


図 5-5. サンプルリング地点

(1: KTG, 2: MUH, 3: SER, 4: HSM, 5: MSK, 6: NGH, 7: NGN, 8: GJM,
9: HMR)

1. 産状・岩石記載

1-1. 広島県北広島市古木次地域 (KTG)

斜面や平坦地に玉石状に産し, 全体に細～中粒で灰～暗灰色を示す (図 5-6a).

主な構成鉱物は斜長石, 角閃石および単斜輝石で, 副成分鉱物として不透明鉱物を含む. 斜長石は 0.4～2.0 mm の自形～半自形結晶で一般にアルバイト双晶を示すが, 同時に累帯構造を伴う場合もある. 角閃石は 0.5～2.0 mm の自形～半自形結晶である. 多色性が強く, 淡褐色～淡緑色を示す. 単斜輝石は 0.6～1.5 mm の自形～半自形結晶であり, 双晶が発達する. 不透明鉱物は 0.1～0.2 mm の他形結晶で, 角閃石の包有物として産する場合がある(図 5-7a, b).

1-2. 広島県庄原市宮内地域 (MUC)

全体に細～中粒で灰～暗灰色を示し, 塊状に産する. まれに優白質な岩相を示す場合がある (図 5-6b).

主な構成鉱物は斜長石および角閃石で, 副成分鉱物として不透明鉱物を含む. 斜長石は 0.5～2.2 mm の自形～半自形結晶で一般にアルバイト双晶を示すが, 同時に累帯構造を伴う場合もある. 結晶が大きいほど累帯構造を顕著に示す傾向がある. 角閃石は 0.3～1.5 mm の自形～半自形結晶が一般である. 多色性が強く, 濃褐色～淡緑色を示す. 不透明鉱物は 0.2～0.5 mm の他形結晶で, 角閃石の包有物として産する場合がある (図 5-7c, d).

1-3. 広島県世羅郡松山地域 (SER)

全体に中粒で灰～青灰色を示し, 塊状に産する (図 5-6c).

主な構成鉱物は斜長石および角閃石で, 副成分鉱物として不透明鉱物を含む. 斜長石は 1.0～2.5 mm の自形～半自形結晶で一般にアルバイト双晶を示すが, 同時に累帯構造を伴う場合もある. 角閃石は 0.5～3.0 mm の自形～半自形結晶が一般である. 多色性が強く, 濃褐色～淡褐色を示す. 不透明鉱物は 0.1～0.5 mm の他形結晶で, 角閃石の包有物として産する場合がある (図 5-7e, f).

1-4. 岡山県真庭市星山地域 (HSM)

全体に細～中粒で青灰～暗灰色を示し，塊状に産する (図 5-6d).

主な構成鉱物は斜長石，角閃石および少量の石英で，副成分鉱物として不透明鉱物を含む．斜長石は 0.5～2.5 mm の自形～半自形結晶で一般にアルバイト双晶を示す．角閃石は 0.5～2.0 mm の自形～半自形結晶で，約 120 度で交わる劈開が発達する．多色性が強く，緑褐色～淡緑色を示す．石英は 0.5～1.0 mm の他形で，鉱物粒間を充填する．不透明鉱物は 0.1～0.3 mm の他形結晶で，角閃石の包有物として産する場合がある (図 5-8a, b).

1-5. 岡山県美咲町八柳地域 (MSK)

全体に細～中粒で灰～青灰色を示し，塊状に産する (図 5-6e).

主な構成鉱物は斜長石および角閃石で，副成分鉱物として不透明鉱物を含む．斜長石は 0.3～1.5mm の自形～半自形結晶で一般にアルバイト双晶を示すが，同時に累帯構造を伴う場合もある．角閃石は 0.3～2.0 mm の自形～半自形結晶が一般である．多色性が強く，淡褐色～淡緑色を示す．不透明鉱物は 0.1～0.3mm の他形結晶で，角閃石の包有物として産する場合がある (図 5-8c, d).

1-6. 岡山県笠岡市長浜地域 (NGH)

海岸沿いに玉石状に産する．全体に細粒で灰～暗灰色を示す (図 5-6f).

主な構成鉱物は斜長石および角閃石で，副成分鉱物として不透明鉱物を含む．斜長石は 0.3～1.0 mm の自形～半自形結晶で一般にアルバイト双晶を示すが，同時に累帯構造を伴う場合もある．角閃石は 0.3～2.0 mm の自形から半自形結晶が一般で，劈開が発達する．多色性が強く，濃褐色や黄褐色～淡緑色を示す．不透明鉱物は 0.1～0.2 mm の他形結晶で，角閃石の包有物として産する場合がある (図 5-8e, f).

1-7. 香川県高松市北嶺地域 (NGN)

海岸沿いに玉石状に産する。全体に細粒で灰～暗灰色を示す。一部で花崗岩と混じり合った様な産状を示す場合がある (図 5-9a)。

主な構成鉱物は斜長石および角閃石で、副成分鉱物として不透明鉱物を含む。斜長石は 0.3～1.0 mm の自形～半自形結晶で一般にアルバイト双晶を示すが、同時に累帯構造を伴う場合もある。角閃石は 0.2～2.0 mm の自形～半自形結晶が一般である。多色性が強く、濃褐色～淡緑色を示す。不透明鉱物は 0.2～0.3 mm の他形結晶で、一部角閃石の包有物として産する場合がある (図 5-10a, b)。

1-8. 香川県高松市牟礼町大町地域 (GJM)

全体に細～中粒で暗灰色を示し、塊状に産する (図 5-9b)。

主な構成鉱物は斜長石、角閃石および少量の石英で、副成分鉱物として不透明鉱物を含む。斜長石は 0.5～2.0 mm の自形～半自形結晶で一般にアルバイト双晶を示す。結晶が大きいほど累帯構造を顕著に示す傾向がある。角閃石は 0.5～2.0 mm の自形～半自形結晶である。多色性が強く、褐色～淡緑色を示す。石英は 0.5～1.0 mm の他形で、鉱物粒間を充填する。不透明鉱物は 0.2～0.3 mm の他形結晶である (図 5-10c, d)。

1-9. 山口県柳井市氷室ヶ岳(HMR)

細～粗粒の岩相変化を示し、全体に暗灰色を示す (図 5-9c)。

主な構成鉱物は角閃石と斜長石で、少量の黒雲母や不透明鉱物を含む。少量の石英を含む岩相もある。角閃石は 0.1～2.0 mm の半自形～他形結晶であり、弱い面構造が発達する場合がある。淡緑色～緑色の多色性を示す。斜長石は 0.05～0.4 mm の他形結晶で、角閃石の粒間に産する。アルバイト双晶を示す。黒雲母は 0.1～0.4 mm の半自形～他形結晶である。淡褐色～濃褐色の多色性を示す。不透明鉱物は 0.05～0.3 mm の半自形～他形結晶である。石英は角閃石や斜長石の粒間にごく少量含まれ 0.05～0.4mm の他形結晶である (図 5-10e, f)。

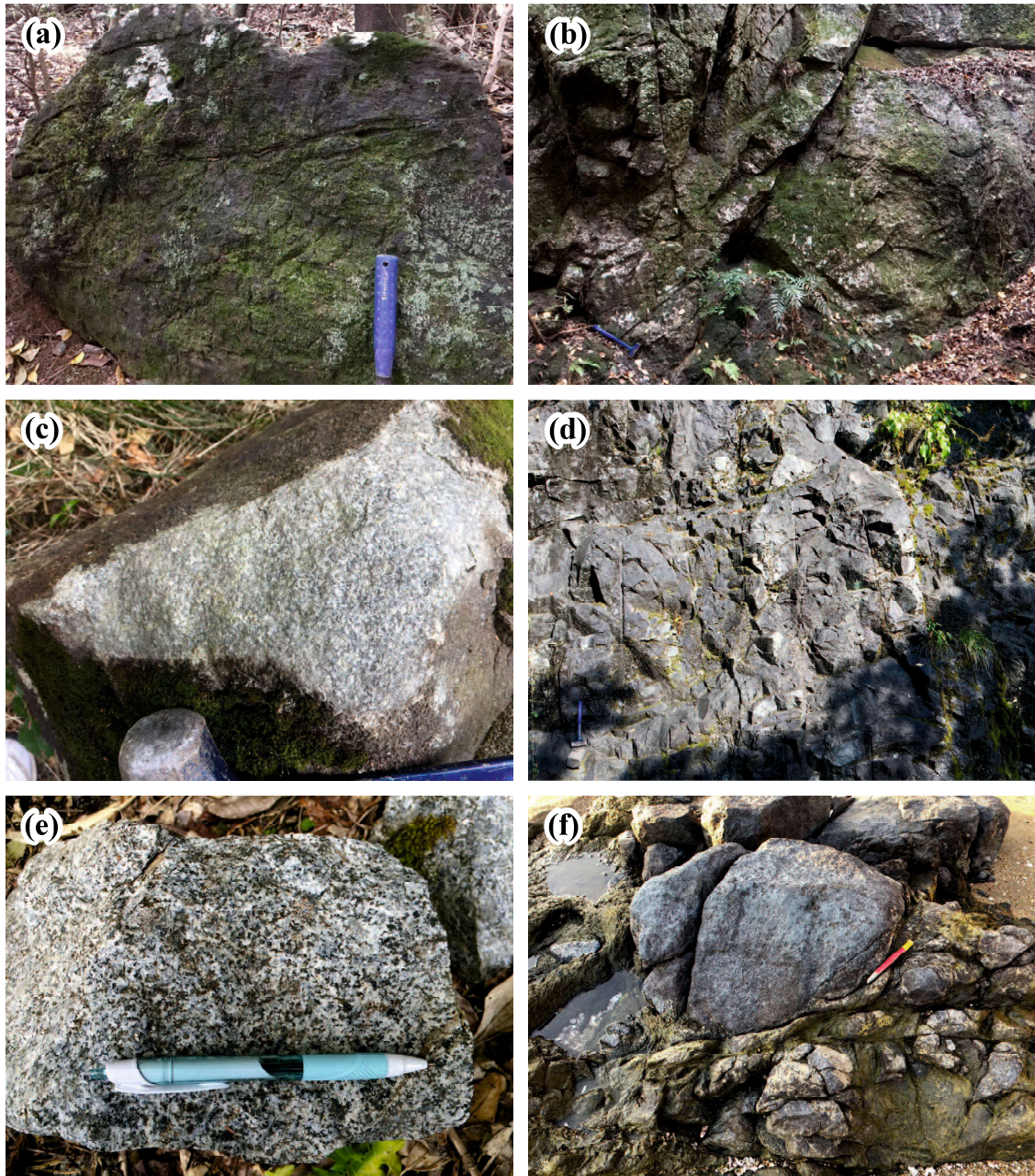


図 5-6. 採取試料の露頭産状. (a)広島県北広島市古木次地域(KTG),
(b)広島県庄原市宮内地域(MUC), (c)広島県世羅郡松山地域(SER),
(d)岡山県真庭市星山地域(HSM), (e)岡山県美咲町八柳地域(MSK),
(f)岡山県笠岡市長浜地域(NGH).

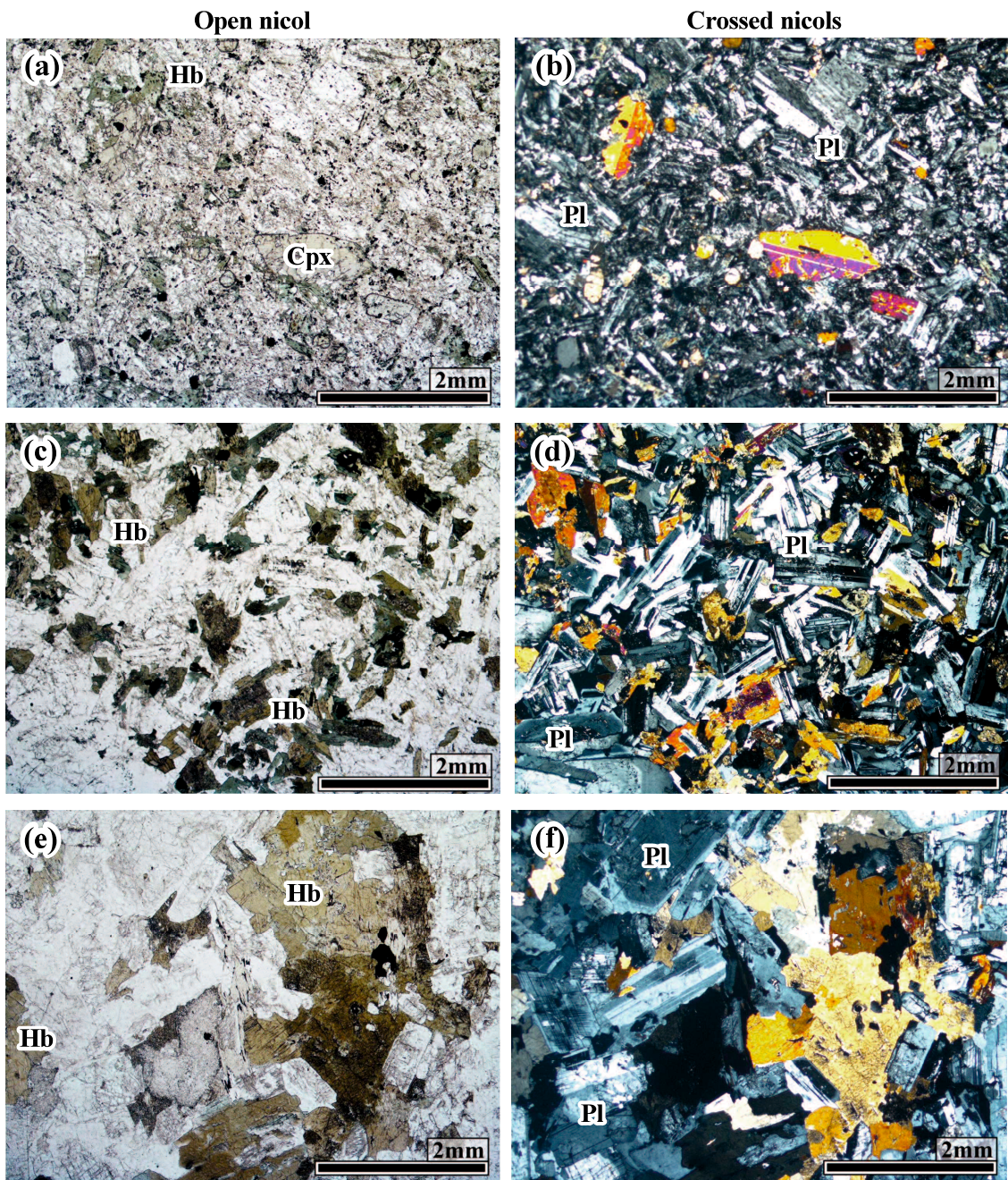


図 5-7. 採取試料の鏡下写真. (a, b)広島県北広島市古木次地域(KTG),
(c, d)広島県庄原市宮内地域(MUC), (e, f)広島県世羅郡松山地域(SER).

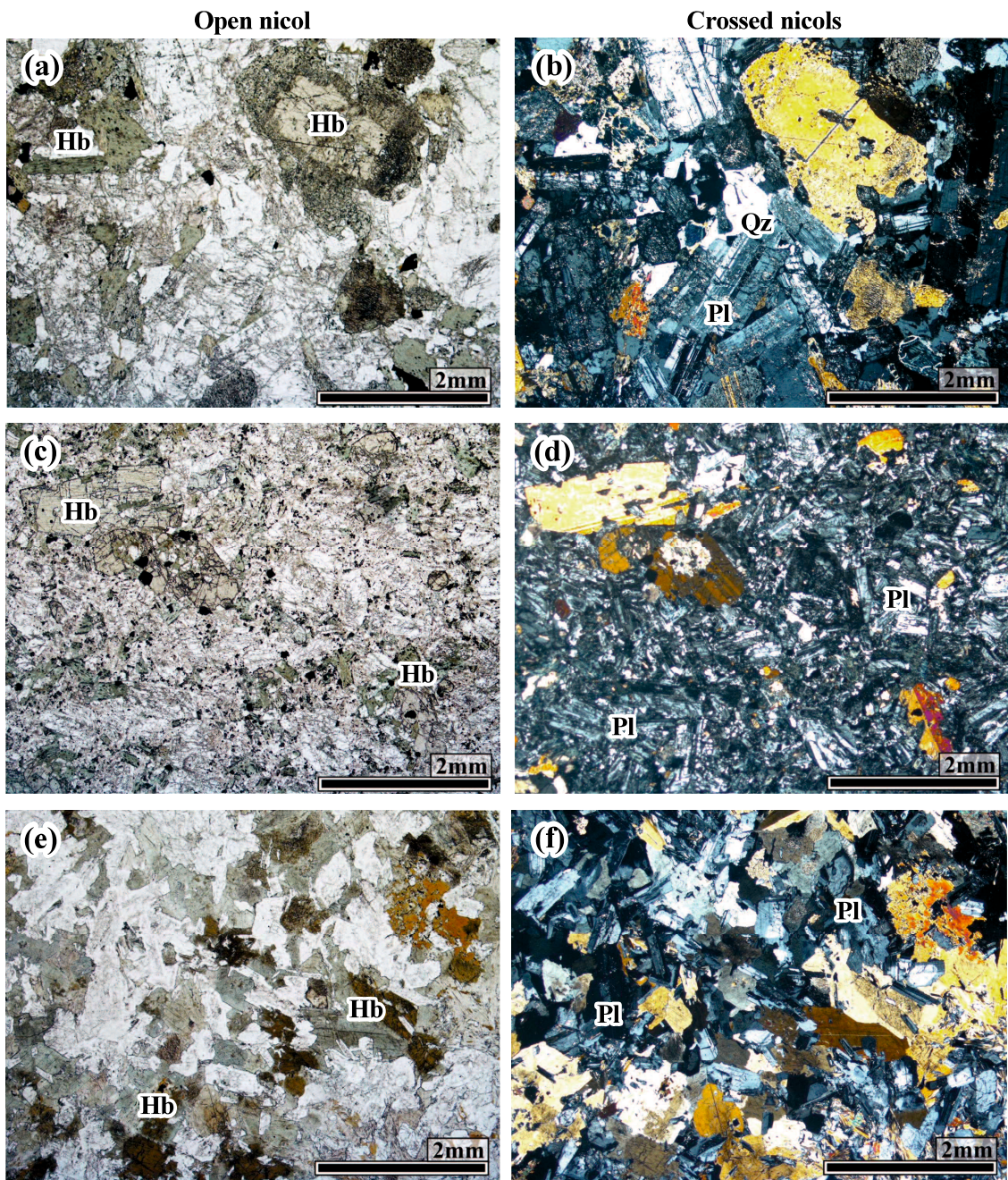


図 5-8. 採取試料の鏡下写真. (a, b)岡山県真庭市星山地域(HSM),
(c, d)岡山県美咲町八柳地域(MSK), (e, f)岡山県笠岡市長浜地域(NGH).



図 5-9. 採取試料の露頭産状. (a)香川県高松市北嶺地域(NGN),
(b)香川県高松市牟礼町大町地域(GJM), (c)山口県柳井市氷室ヶ岳(HMR).

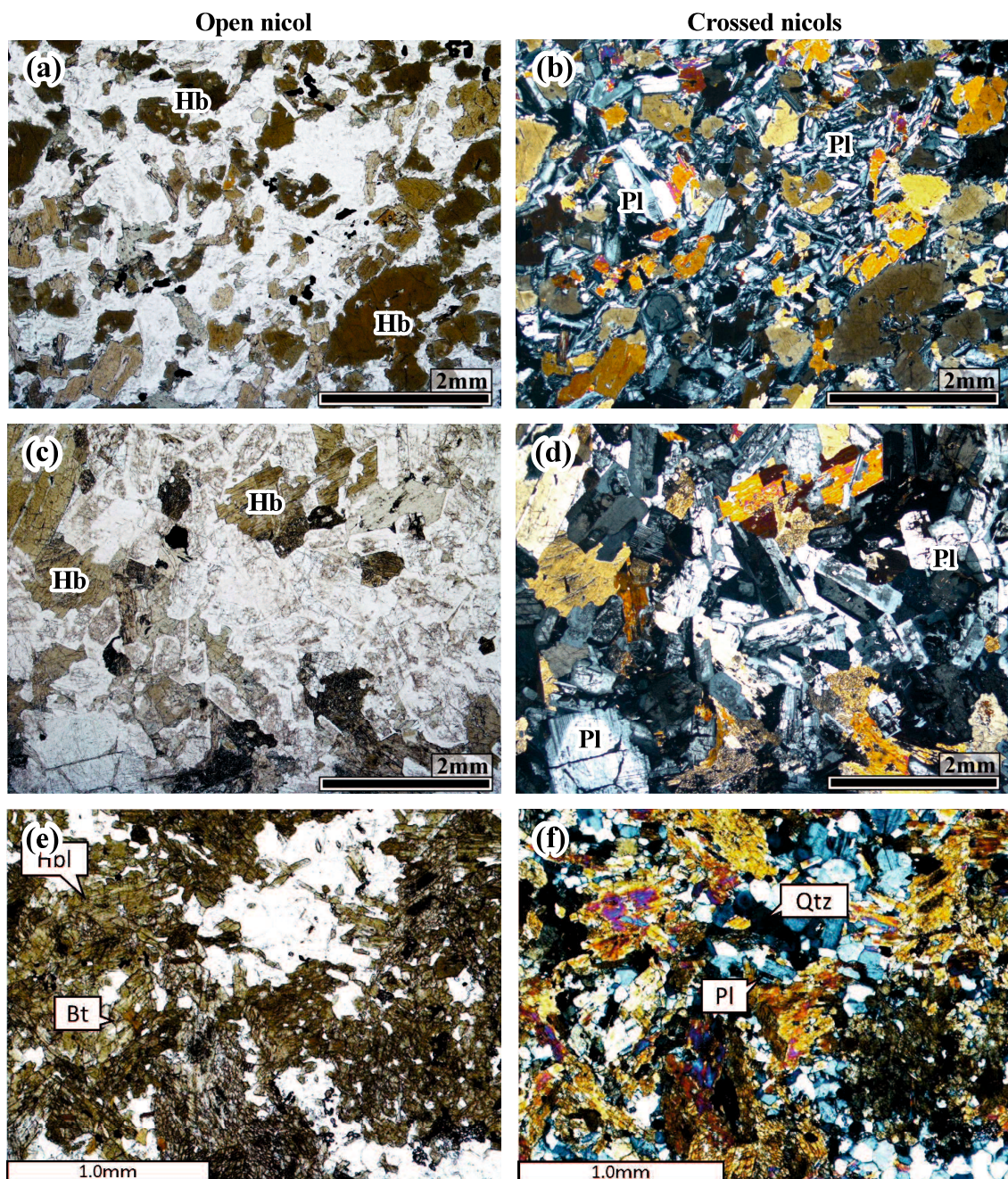


図 5-10. 採取試料の鏡下写真. (a, b)香川県高松市北嶺地域(NGN),
(c, d)香川県高松市牟礼町大町地域(GJM), (e, f)山口県柳井市氷室ヶ岳(HMR).

表 5-1. 採取試料の全岩化学組成

Sp No.	KITG				MUC				SER				HSM				MSK				NGH				NGN				GJM				HMR											
	01	02	03	04	03	04	02	03	04	02	03	04	05	06	03	04	05	06	03	04	05	06	03	04	05	06	03	04	05	06	03	04	05	06	03	04	05	06						
(wt.%)	57.44	56.27	57.38	57.76	56.56	55.14	52.18	56.94	57.44	55.20	54.75	53.99	49.37	58.79	51.30	47.14	50.32	53.99	49.37	58.79	51.30	47.14	50.32	53.99	49.37	58.79	51.30	47.14	50.32	53.99	49.37	58.79	51.30	47.14	50.32	53.99	49.37	58.79	51.30	47.14	50.32			
SiO ₂	0.93	0.92	0.93	0.93	0.83	0.79	1.49	0.89	0.92	0.70	0.67	0.99	0.57	0.72	0.61	3.09	3.35	0.99	0.57	0.72	0.61	3.09	3.35	0.99	0.57	0.72	0.61	3.09	3.35	0.99	0.57	0.72	0.61	3.09	3.35	0.99	0.57	0.72	0.61	3.09	3.35			
TiO ₂	17.65	17.98	17.49	17.69	18.04	18.43	17.22	16.53	16.65	17.71	17.42	17.02	16.24	17.42	21.26	13.26	14.86	17.02	16.24	17.42	21.26	13.26	14.86	17.02	16.24	17.42	21.26	13.26	14.86	17.02	16.24	17.42	21.26	13.26	14.86	17.02	16.24	17.42	21.26	13.26	14.86			
Al ₂ O ₃	7.38	7.49	7.48	7.39	8.17	8.48	12.00	7.82	7.67	7.95	8.20	8.53	11.58	6.42	7.30	9.79	10.59	8.53	11.58	6.42	7.30	9.79	10.59	8.53	11.58	6.42	7.30	9.79	10.59	8.53	11.58	6.42	7.30	9.79	10.59	8.53	11.58	6.42	7.30	9.79	10.59			
Fe ₂ O ₃	0.12	0.13	0.13	0.13	0.15	0.17	0.26	0.12	0.14	0.13	0.23	0.15	0.18	0.11	0.15	0.30	0.41	0.15	0.18	0.11	0.15	0.30	0.41	0.15	0.18	0.11	0.15	0.30	0.41	0.15	0.18	0.11	0.15	0.30	0.41	0.15	0.18	0.11	0.15	0.30	0.41			
MnO	3.54	3.69	3.65	3.52	3.87	4.20	4.27	4.47	4.68	4.89	5.18	5.17	9.91	4.61	5.32	7.93	6.61	5.17	9.91	4.61	5.32	7.93	6.61	5.17	9.91	4.61	5.32	7.93	6.61	5.17	9.91	4.61	5.32	7.93	6.61	5.17	9.91	4.61	5.32	7.93	6.61			
MgO	6.90	6.82	6.54	6.78	7.54	8.11	8.65	6.75	7.01	8.43	7.08	7.21	9.73	6.19	10.81	14.42	6.91	7.21	9.73	6.19	10.81	14.42	6.91	7.21	9.73	6.19	10.81	14.42	6.91	7.21	9.73	6.19	10.81	14.42	6.91	7.21	9.73	6.19	10.81	14.42	6.91			
Ni ₂ O	2.91	2.96	3.14	3.03	3.05	2.97	2.35	2.84	2.79	2.65	2.49	2.59	1.55	3.57	2.32	1.82	4.26	2.59	1.55	3.57	2.32	1.82	4.26	2.59	1.55	3.57	2.32	1.82	4.26	2.59	1.55	3.57	2.32	1.82	4.26	2.59	1.55	3.57	2.32	1.82	4.26			
K ₂ O	1.63	1.49	1.62	1.62	1.28	1.10	1.06	2.18	1.92	1.18	2.27	2.07	0.94	1.47	0.65	0.85	1.41	2.07	0.94	1.47	0.65	0.85	1.41	2.07	0.94	1.47	0.65	0.85	1.41	2.07	0.94	1.47	0.65	0.85	1.41	2.07	0.94	1.47	0.65	0.85	1.41			
P ₂ O ₅	0.15	0.15	0.18	0.15	0.12	0.10	0.25	0.12	0.11	0.10	0.11	0.16	0.07	0.10	0.07	0.26	0.51	0.16	0.07	0.10	0.07	0.26	0.51	0.16	0.07	0.10	0.07	0.26	0.51	0.16	0.07	0.10	0.07	0.26	0.51	0.16	0.07	0.10	0.07	0.26	0.51			
LOI	1.69	2.65	1.87	1.42	0.99	0.92	0.85	1.47	1.10	1.35	2.08	2.58	0.68	0.83	1.18	0.26	0.51	2.58	0.68	0.83	1.18	0.26	0.51	2.58	0.68	0.83	1.18	0.26	0.51	2.58	0.68	0.83	1.18	0.26	0.51	2.58	0.68	0.83	1.18	0.26	0.51			
Total	100.34	100.54	100.41	100.40	100.61	100.41	100.58	100.11	100.44	100.31	100.48	100.45	100.80	100.22	100.97	98.87	99.23	100.45	100.80	100.22	100.97	98.87	99.23	100.45	100.80	100.22	100.97	98.87	99.23	100.45	100.80	100.22	100.97	98.87	99.23	100.45	100.80	100.22	100.97	98.87	99.23			
A/CNK	0.92	0.95	0.93	0.93	0.90	0.89	0.83	0.86	0.86	0.84	0.90	0.87	0.76	0.93	0.88	0.44	0.70	0.87	0.76	0.93	0.88	0.44	0.70	0.87	0.76	0.93	0.88	0.44	0.70	0.87	0.76	0.93	0.88	0.44	0.70	0.87	0.76	0.93	0.88	0.44	0.70			
Mg#	52.7	53.5	53.2	52.6	52.5	53.5	45.4	57.1	58.7	58.9	59.5	58.5	66.6	62.6	62.9	65.4	59.2	58.5	66.6	62.6	62.9	65.4	59.2	58.5	66.6	62.6	62.9	65.4	59.2	58.5	66.6	62.6	62.9	65.4	59.2	58.5	66.6	62.6	62.9	65.4	59.2			
(ppm)																																												
χ_{Fe}^{Fe}	29	32	62	30	35	38	28	90	101	93	109	106	137	116	115	88	255	106	137	116	115	88	255	106	137	116	115	88	255	106	137	116	115	88	255	106	137	116	115	88	255			
Cr	12	16	25	12	11	11	7	35	35	27	30	31	26	42	15	105	98	31	26	42	15	105	98	31	26	42	15	105	98	31	26	42	15	105	98	31	26	42	15	105	98			
Ni	165	165	150	163	196	197	234	187	183	184	176	197	110	128	126	346	332	197	110	128	126	346	332	197	110	128	126	346	332	197	110	128	126	346	332	197	110	128	126	346	332			
V	93	98	97	91	82	94	91	61	70	80	314	88	108	80	69	110	78	88	108	80	69	110	78	88	108	80	69	110	78	88	108	80	69	110	78	88	108	80	69	110	78			
Zn	368	366	346	385	235	219	209	329	364	242	279	475	150	237	165	692	204	475	150	237	165	692	204	475	150	237	165	692	204	475	150	237	165	692	204	475	150	237	165	692				
Ba	38	36	40	38	35	29	55	72	61	54	65	55	45	46	15	13	42	55	45	46	15	13	42	55	45	46	15	13	42	55	45	46	15	13	42	55	45	46	15	13	42	55	45	
Rb	422	414	455	444	360	401	335	351	365	439	363	436	302	254	463	1050	546	436	302	254	463	1050	546	436	302	254	463	1050	546	436	302	254	463	1050	546	436	302	254	463	1050	546			
Sr	6.2	6.3	7	6.7	4.5	4.1	8.4	5.1	5.6	3.5	3.1	5.9	3.4	3.8	3	55.5	134	5.9	3.4	3.8	3	55.5	134	5.9	3.4	3.8	3	55.5	134	5.9	3.4	3.8	3	55.5	134	5.9	3.4	3.8	3	55.5	134			
Nb	0.7	0.49	0.63	0.71	0.51	0.6	0.76	0.76	0.83	0.59	0.47	0.45	0.37	0.74	0.41	3.6	8.41	0.45	0.37	0.74	0.41	3.6	8.41	0.45	0.37	0.74	0.41	3.6	8.41	0.45	0.37	0.74	0.41	3.6	8.41	0.45	0.37	0.74	0.41	3.6	8.41			
Ta	17.1	16.7	20.5	17.9	19.1	21.6	30.2	23.3	22.9	20.6	20.1	21.5	12.3	24.9	8.4	31.9	36.5	21.5	12.3	24.9	8.4	31.9	36.5	21.5	12.3	24.9	8.4	31.9	36.5	21.5	12.3	24.9	8.4	31.9	36.5	21.5	12.3	24.9	8.4	31.9	36.5			
Y	12.3	11.6	13.2	12.7	76	75	85	124	130	100	77	122	52	98	41	225	428	122	52	98	41	225	428	122	52	98	41	225	428	122	52	98	41	225	428	122	52	98	41	225	428			
Zr	2.9	3	3.1	3	1.9	2	2.2	3.2	3.3	2.5	2	3.2	1.3	2.3	1	5.9	8.5	3.2	1.3	2.3	1	5.9	8.5	3.2	1.3	2.3	1	5.9	8.5	3.2	1.3	2.3	1	5.9	8.5	3.2	1.3	2.3	1	5.9	8.5			
Hf	3.79	3.51	3.1	3.94	5.1	3.7	2.65	6.48	5.94	4.46	4.38	3.68	1.7	3.3	1.38	4.44	11	3.68	1.7	3.3	1.38	4.44	11	3.68	1.7	3.3	1.38	4.44	11	3.68	1.7	3.3	1.38	4.44	11	3.68	1.7	3.3	1.38	4.44	11			
Th	17.6	17.1	18.2	18.8	13.6	12.3	14.4	16.6	17.3	14	14.2	15.2	8.12	22.4	10.1	38.6	91.5	15.2	8.12	22.4	10.1	38.6	91.5	15.2	8.12	22.4	10.1	38.6	91.5	15.2	8.12	22.4	10.1	38.6	91.5	15.2	8.12	22.4	10.1	38.6	91.5			
La	38.3	36	38.7	40.2	29.4	27.4	35.1	36.3	38.1	30.9	31	34.2	18.6	28	20.9	175	79.1	34.2	18.6	28	20.9	175	79.1	34.2	18.6	28	20.9	175	79.1	34.2	18.6	28	20.9	175	79.1	34.2	18.6	28	20.9	175	79.1	34.2	18.6	28
Ce	4.26	4.24	4.66	4.6	3.43	3.29	4.46	4.39	4.52	3.58	3.7	4.31	2.27	5.16	2.29	9.61	19	4.31	2.27	5.16	2.29	9.61	19	4.31	2.27	5.16	2.29	9.61	19	4.31	2.27	5.16	2.29	9										

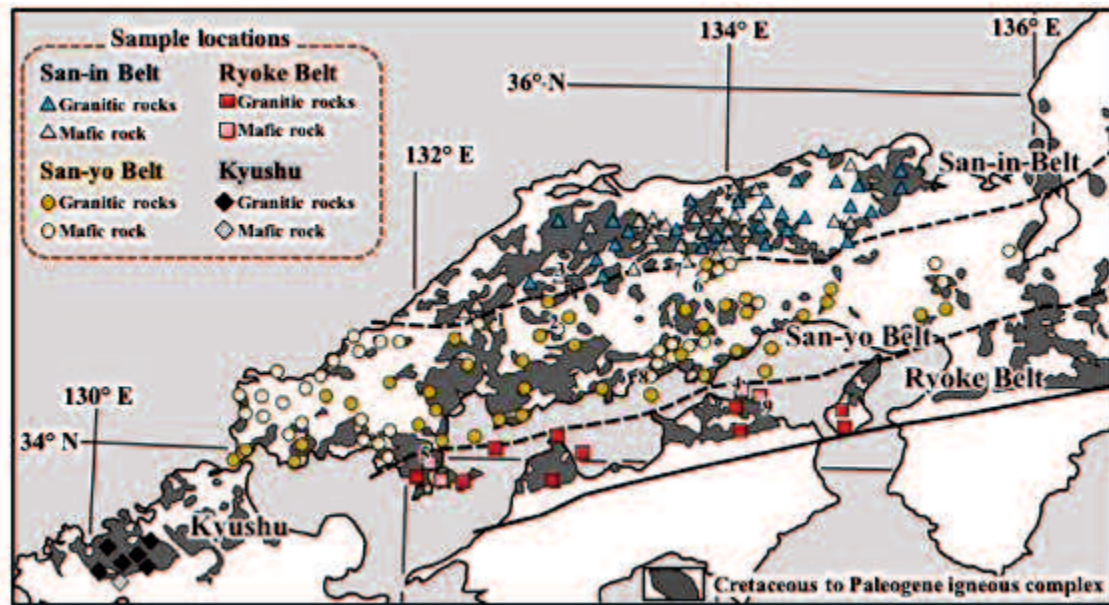


図 5-11. コンパイルデータの位置図，引用データは以下の通り。

Sr-Nd 同位体組成：赤崎ほか (2013); Akasaki *et al.* (2015); Iizumi *et al.* (2000);
池田ほか (2019); Imaoka *et al.* (2014a); Imaoka *et al.* (2014b); Imaoka *et al.* (2017);
Kagami *et al.* (1992); 西田ほか (2005); 西田ほか (2013); 大和田ほか (1995);
大和田ほか (1999); 柚原ほか (1998); 柚原ほか (2016).

Sr-Nd 同位体組成 (未公表データ)：浦島 (2016 修論); 砥山 (2020 修論)

年代データ：Adachi *et al.* (2012); Iida *et al.* (2015); Yokoyama *et al.* (2016).

III. 全岩化学組成および同位体組成

同位体組成を検討するには各岩体の活動年代で年代補正をする必要がある。本研究では以下の方法で年代を補正した。

山陰帯深成岩類

- ・浅所貫入であるため、K-Ar 年代を活動年代と近似して使用

山陽帯深成岩類

- ・比較的浅所貫入であるため、K-Ar 年代を活動年代と近似して使用するが、ジルコン U-Pb 年代、モナズ石 Th-U-Pb 年代が公表されているものについては、こちらを使用。

領家帯深成岩類

- ・活動年代としてジルコン U-Pb 年代およびモナズ石 Th-U-Pb 年代を使用。

九州地方深成岩類

- ・領家帯深成岩類と同様にジルコン U-Pb 年代およびモナズ石 Th-U-Pb 年代を使用するが、東部の堆積岩や火山岩類に貫入する深成岩類は、黒雲母やホルンブレンドの K-Ar 年代も使用した。

図 5-12a, b は縦軸に花崗岩体の活動年代で補正した SrI と ϵ NdI, 横軸に岩体の活動年代をとった図である。花崗岩の SrI は、山陰帯、九州地方が SrI < 0.706 なのに対して、山陽帯、領家帯は 0.707 以上である。この傾向は Kagami *et al.* (1992) と変わらない。また、 ϵ NdI は SrI と逆相関の関係にある。一方、年代値に注目すると、白亜紀火成活動が始まる 103~95 Ma までは、SrI は低く、 ϵ NdI が高い。その後 70 Ma までは、SrI が高く、 ϵ NdI が低い。そして、70 Ma 以降は再び低 SrI で高 ϵ NdI となる。

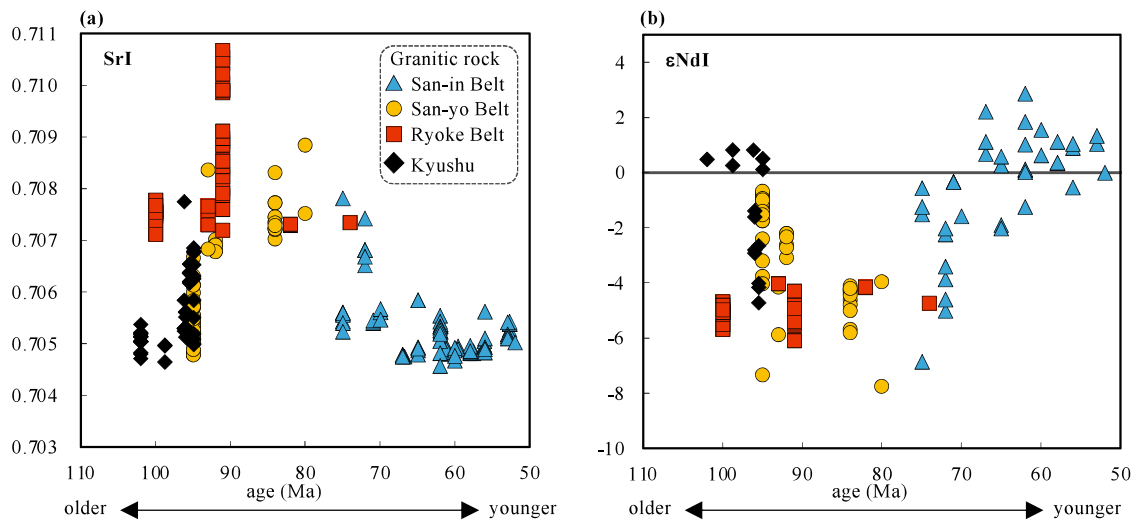


図 5-12. (a) 花崗岩体の活動年代で補正した SrI と岩体の活動年代の関係。

(b) 花崗岩体の活動年代で補正した εNdI と岩体の活動年代の関係。

花崗岩の同位体組成は、主に大陸地殻の組成を反映するが、未分化苦鉄質岩はマントルから直接上昇してくるため、マントルの同位体組成を保持している。本研究ではマントルの経年変化および白亜紀～古第三紀の沈み込み帯マントルウェッジ組成の特徴を検討するため、未分化あるいは比較的未分化組成を反映した試料を対象とした。マントルの同位体組成を反映していると判断される試料は以下の条件で選定した。

1) SiO₂ 含有量 55 wt.% の深成岩類を抽出 (図 5-13a : 未分化組成を示す高 Mg 安山岩には SiO₂ 含有量 55 wt.% 前後のものがあるため、SiO₂ 含有量の最大値は 55 wt.% とした)。

2) Basaltic Volcanism Study Project. (1981), Kempton and Harmon. (1992) および Kempton *et al.* (1997) によって提唱されたマントルと共存することの可能な未分化玄武岩質マグマの組成範囲内 : Mg# = 70～60, SiO₂/Al₂O₃ = 3～4 の範囲。さらに Mg# = 60～50, SiO₂/Al₂O₃ = 3～4 の範囲まで範囲を拡大した。

以上の条件を満たす試料として未分化組成 24 試料と未分化ではないが比較的未分化に近い 13 試料を選定した (図 5-13b)。

以上の合計 37 試料を未分化苦鉄質岩とし、以下の検討を行う。

図 5-13c, d は、図 5-12c, d と同様に苦鉄質岩における年代値と SrI, εNdI の関係を示している。この図で、苦鉄質岩の Sr と Nd 同位体組成 (判例) の変化傾向は基本的に花崗岩 (範囲) の変化傾向と類似する (図 5-13c, d)。すなわち、苦鉄質マグマ活動の初期 (110～95 Ma) は低 SrI, 高 εNdI, 95～70 Ma はやや高い SrI と低めの εNdI, そして 70 Ma 以降は再び低 SrI, 高 εNdI となる傾向を示す。しかしながら、100 Ma 以前の活動年代を示す苦鉄質岩の同位体組成は不均質であるものの、そのほとんどが正の εNdI 値であるという特徴を持つ。

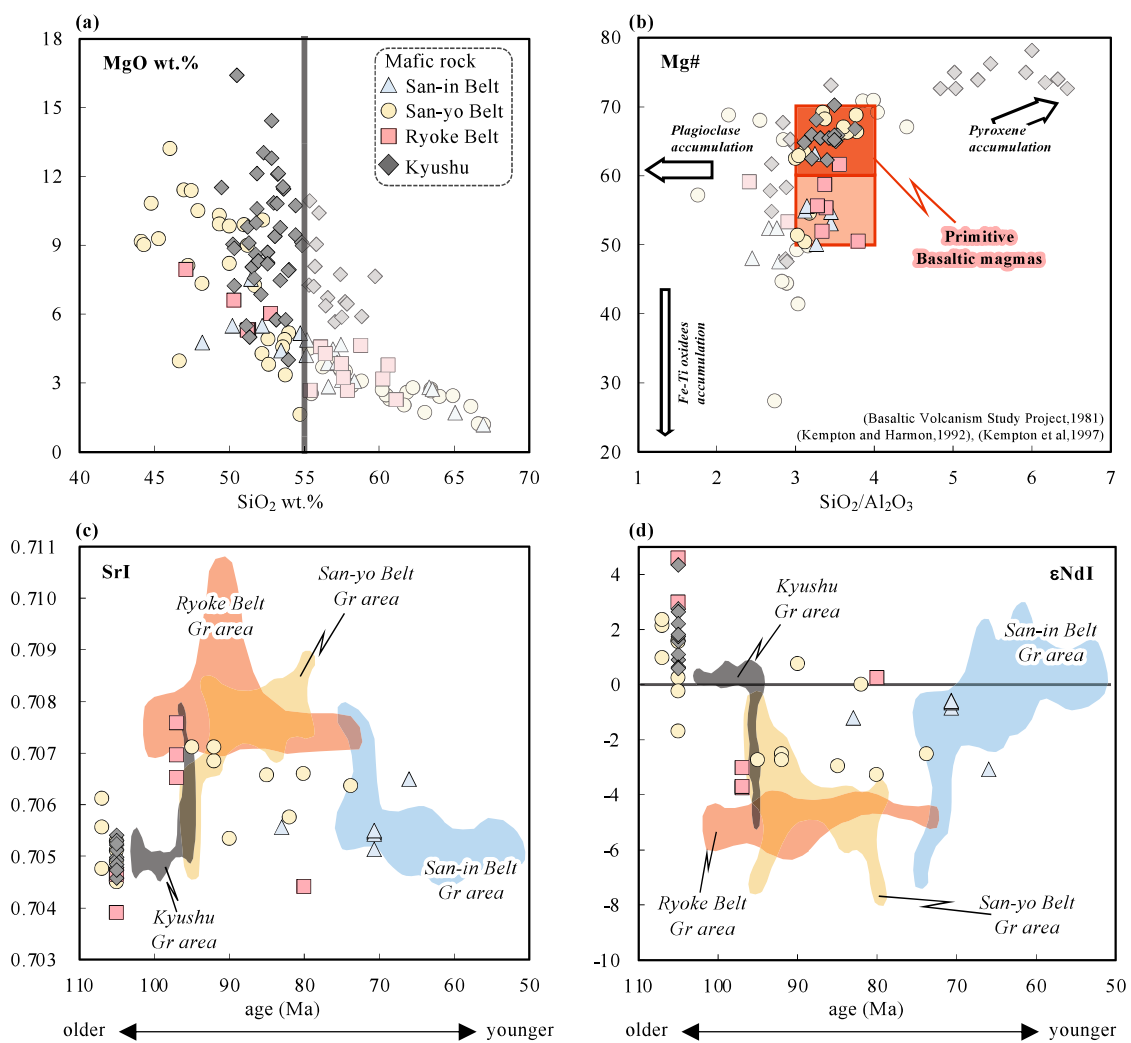


図 5-13. 採集およびコンパイルした試料の(a) SiO₂—MgO 図, (b) Si/Al—Mg#図.

(c) 選定した苦鉄質岩(判例)と花崗岩類(領域)の活動年代で補正した SrI と岩体の活動年代の関係.

(d) 選定した苦鉄質岩(判例)と花崗岩類(領域)の活動年代で補正した εNdI と岩体の活動年代の関係.

次に、各帯における花崗岩と苦鉄質岩の年代と同位体組成の変化を検討する(図 5-14)。山陰帯の花崗岩は、75~70 Ma と 70 Ma 以降で、同位体組成が急変する一方、苦鉄質岩は分析データが少なくはっきりしないが、65 Ma の岩体を除くと SrI と ϵ NdI には、目立った変化はない(図 5-14a, b)。山陽帯の苦鉄質岩は花崗岩類と比べて SrI でやや低く ϵ NdI でやや高い傾向が見られる。また、90~80 Ma で組成が分散している。100 Ma より古い活動年代を示すものは、枯渇した(低 SrI, 高 ϵ NdI) 同位体組成を示す(図 5-14c, d)。領家帯の花崗岩は、年代の変化に関わらず同位体組成は比較的一定である。それに対して苦鉄質は、年代が若くなるにつれて枯渇した同位体組成から徐々に肥沃した組成に変化している(図 5-14e, f)。花崗岩には一部、高 SrI 値を示すものがあるが、これは貫入時の母岩との同化作用によるものである(Akasaki *et al.*, 2015)。九州地域は特に苦鉄質岩のデータ数が少ない。花崗岩の同位体組成は 95 Ma の岩体が高 SrI, 低 ϵ NdI を示す他は、年代や岩石種にかかわらず、低 SrI, 高 ϵ NdI の値を示す(図 5-14g, h)。

山陰帯、山陽帯、領家帯および九州地域の花崗岩(領域)と苦鉄質岩(シンボル)の Sr-Nd 同位体組成のイプシロン図を示す(図 5-15)。同位体組成は各岩体の活動年代で補正している。この図で、花崗岩の同位体組成は全ての帯で広い組成範囲を示す。帯(地域)毎に見ると、山陰帯では、苦鉄質岩の同位体組成が花崗岩のそれと重複しているのに対し、その他の帯や地域では、花崗岩の同位体組成はと苦鉄質岩の同位体組成が一部重複する。そして、苦鉄質岩は花崗岩よりもより同位体的に枯渇した組成を示す。それらは以下のようにまとめることができる。

- ・山陰帯は花崗岩と苦鉄質岩で Sr-Nd 同位体組成に差がない
- ・山陽帯、領家帯の苦鉄質岩は幅広い ϵ NdI 値を持ち、正・負両方がある。そして、100 Ma 以前の試料は正のイプシロン値を示す。
- ・山陽帯や領家帯の花崗岩および苦鉄質岩は 100 Ma 以降、経年的に同位体組成が肥沃化する傾向が認められる。

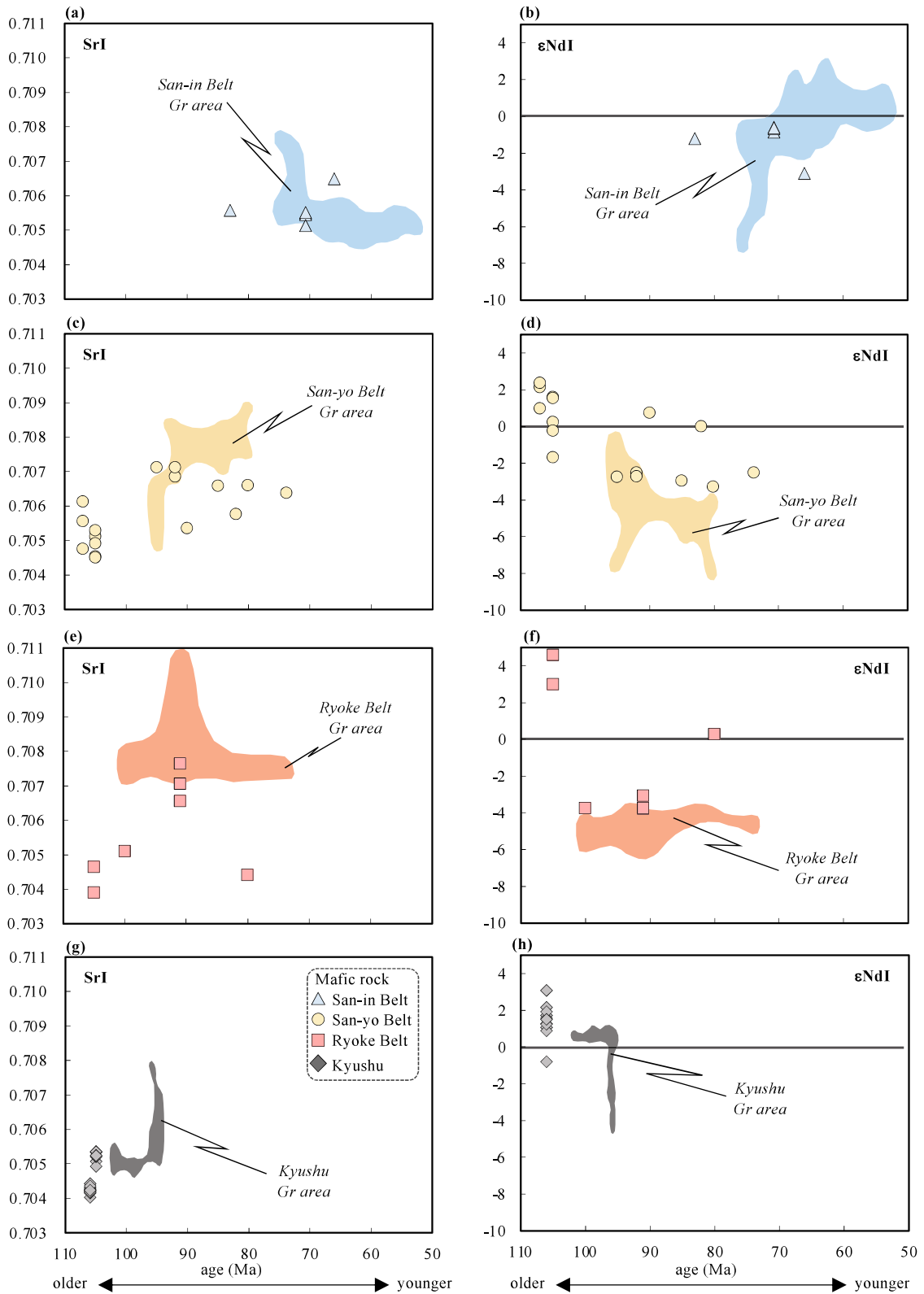


図 5-14. 各帯での苦鉄質岩(判例)と花崗岩類(領域)の関係

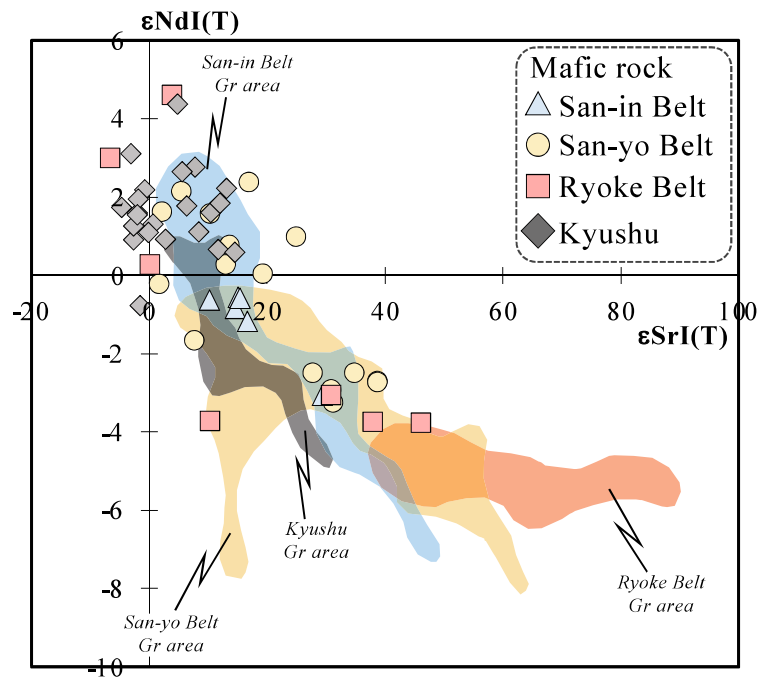


図 5-15. 各帯での苦鉄質岩(判例)と花崗岩類(領域)のイプシロン図

IV. 議論

これまで述べてきた，同位体組成の特徴にもとづいて，白亜紀の西中国火成活動を中心に，1)花崗岩マグマと苦鉄質マグマの成因的關係，そして2)同位体組成の時空分布とその変遷について，テクトニックモデルと対応させて議論する．

1. 花崗岩マグマと苦鉄質マグマの成因關係

沈み込み帯の苦鉄質（玄武岩質～安山岩質）マグマは，沈み込むスラブに由来する物質に汚染されたマントルウェッジの部分溶融によって形成する（巽，2003）．一方，花崗岩マグマは一部を除いて大陸地殻の部分溶融によって生じる（Jahn, 2010）．第2章では，山口県中部の須々万ー長穂地域を例に，マントル起源の玄武岩質マグマが地殻を上昇する過程で分化作用を起こしつつ，既存の地殻物質を溶かして花崗岩マグマを形成するモデルを提案した．このモデルによれば，花崗岩マグマの起源物質は，熱源となる苦鉄質マグマの組成的特徴と異なり，様々な組成を示す可能性がある．実際，今回検討した花崗岩の Sr-Nd 同位体組成は組成幅が広く，起源物質として複数の候補が想定された（図 5-15）．一方で，同じ帯（地域）に属する花崗岩と苦鉄質の同位体組成は重複している（図 5-13c, d, 図 5-14, 図 5-15）．このことは，マントル起源のマグマと地殻起源のマグマの間に成因的な關係があることを示唆する．亀井ほか(2003) は，阿武隈地域に貫入した白亜紀深成岩類を検討し，同時期あるいは少し先行して活動した苦鉄質マグマが下部地殻に底付けされ，底付けされた苦鉄質下部地殻物質が引き続いて上昇してきた苦鉄質マグマの熱によって溶融し，花崗岩マグマを形成するモデル提案した．Kagami *et al.* (1992) は苦鉄質岩や超苦鉄質岩の同位体組成について予察的に検討し，花崗岩の組成範囲と重なることを示した．本研究では，さらにデータを増やし，岩体毎に年代を補正して同位体組成を求めたが，Kagami *et al.* (1992) の見解を支持する結果となった．苦鉄質岩と花崗岩で同位体組成が重複することは，今回検討した西南日本の白亜紀～古第三紀の

花崗岩マグマも阿武隈地域と同様のモデルで形成したことを示す。一方、花崗岩の同位体組成は一般に苦鉄質岩より肥沃的な組成であることは、花崗岩マグマが上昇中により同位体的に肥沃した地殻物質を取り込み同化した可能性を示唆する。

以上まとめると、以下のようなマグマ形成モデルが想定される。

- 1) 沈み込み帯におけるマグマ活動はマントルウェッジの熔融で生じた苦鉄質マグマの上昇、底付けによって苦鉄質下部地殻が形成される。
- 2) 引き続き上昇してきた苦鉄質マグマを熱源として苦鉄質下部地殻が熔融し、花崗岩マグマを形成する。
- 3) 花崗岩マグマは地殻内を上昇する過程で、同位体的により肥沃な大陸地殻物質（主に付加体堆積物）を同化し、上部地殻に定置する。

2. 同位体組成の時空分布とその変遷

山陰帯、山陽帯そして領家帯に分布する深成岩類の同位体組成は、時間の経過と共に各帯の組成は重なり合っている (図 5-13c, d)。このことは、同位体組成が空間的な違いより、むしろ本質的に時間変化に依存することを示唆する。上述したように花崗岩マグマの同位体組成はマグマ上昇中に改変された可能性があるため、ここでは、苦鉄質岩の同位体組成の経年変化の原因を検討し、沈み込み帯における同位体組成変遷を議論する。また、より正確にマントル組成を検討するために以降の議論では SiO_2 含有量 55 wt.% 以下、 $\text{Mg\#} = 70 \sim 60$ 、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 3 \sim 4$ の範囲を示す試料のみを対象とした。

2-1. 肥沃なマントルを形成した物質

山陽帯、領家帯および九州地方では、100 Ma 以前に活動した苦鉄質マグマは ϵNdI 値が正であり、枯渇した組成を示す。また、時代が若くなるほど肥沃した同位体組成、すなわちイプシロン値が負を示すようになる (図 5-13d)。そこで第 3 章で述べた負の ϵNdI を持つ須々万ー長穂複合深成岩体 (SNPC) の斑レイ岩 (92 Ma) と Imaoka *et al.* (2014a) によって議論された京都ランプロファイアー (105 Ma)、および未分化組成を示す苦鉄質岩の組成的特徴からマン

トルウェッジの肥沃化について検討する。

ϵNdI 値が負の値を示す要因としては「地殻との同化作用」と「スラブ由来の堆積物の影響 (マントル交代作用)」の2つが考えられる。しかし、本研究では未分化組成を示す苦鉄質岩を使用しているため、地殻との同化作用の可能性は低い。一方、Schmidt and Jagoutz (2017) は「未分化な島弧マグマの大部分は、スラブ由来の堆積物の影響を受ける」と述べており、マントルとスラブ由来の堆積物の直接的な関係を示唆した。図 5-16a, b に Th/Ce-Ba/La 図と ϵNdI -Ba/La 図を示す。Th は大陸地殻物質 (主に堆積物) への分配が高く、Ce は Th に比べて大陸地殻物質への分配は低い。さらに堆積物への分配は高いものの、Ba は流体への分配が高く、La は流体への分配が低い。また、大陸地殻物質の ϵNdI 値は一般に負である。Th/Ce-Ba/La 図と ϵNdI -Ba/La 図において、縦方向に配列すると流体の影響が大きく、横方向に配列するとスラブ由来の大陸地殻物質の影響が大きくなることが知られている。山陽帯、領家帯および九州地方の未分化苦鉄質岩は横方向の配列を示し、大陸地殻物質の影響が大きいことが示唆される (図 5-16a, b)。白亜紀の沈み込みに伴うスラブ由来の大陸地殻物質としては、ジュラ紀の付加体堆積物が最も想定される物質である。そこで ϵNdI が負の値を示す SNPC の未分化細粒斑レイ岩とジュラ紀の付加体堆積物を原岩とする領家帯砂泥質変成岩 (領家変成岩) の微量元素パターンを比較した (図 5-16c)。この図で細粒斑レイ岩は領家変成岩と類似のパターンを示す。特に大陸地殻物質に特徴的な Ta, Nb の負異常や La, Ce, Hf, Zr の正異常は堆積物のパターンと一致する。このことから、肥沃なマントルを形成した物質は大陸地殻由来の物質であり、白亜紀のマントル組成はそれ以前に付加体を形成していたジュラ紀の堆積物がマントルに供給されることで反応し、組成を改変した可能性が高い。

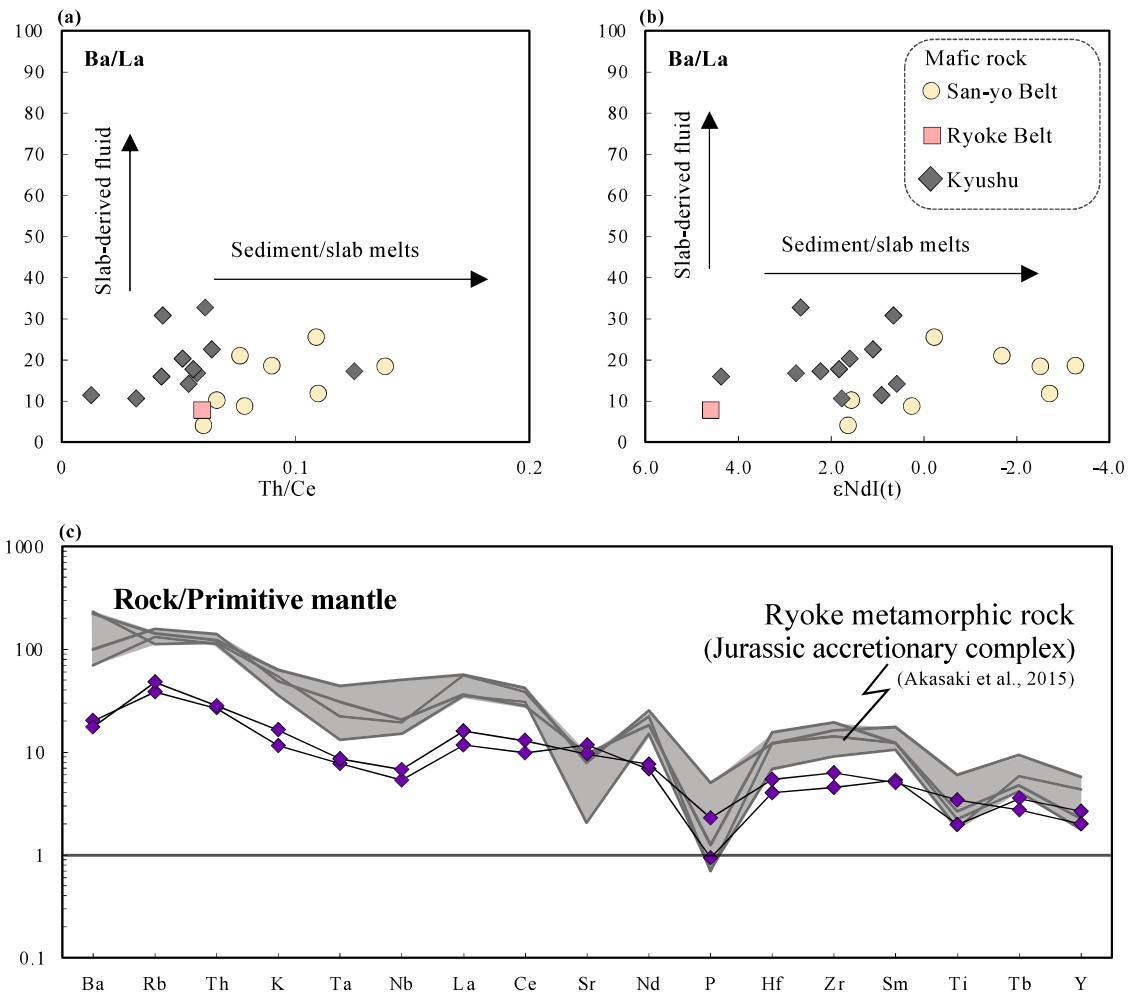


図 5-16. (a) Th/Ce-Ba/La 図. (b) ϵ NdI-Ba/La 図.

(c) SNPC の未分化細粒斑レイ岩とジュラ紀の付加体堆積物を原岩とする領家変成岩の微量元素パターン.

以上の考えを検討するため、マントル内でのスラブ（堆積物）由来のメルトとマントルとの相互作用（マントル交代作用）をモデル計算によって検討した。まず、白亜紀の初生的なマントルの同位体組成として 100 Ma 以前に活動した苦鉄質岩の同位体組成を仮定する。交代作用は、マントル起源のメルトと上述したスラブ由来メルトとの単純混合とする。これらの仮定に基づいて、マントル由来のメルトとスラブ由来のメルトそれぞれを端成分としてマントル内での単純混合作用を計算した。Imaoka *et al.* (2014a) によれば、105 Ma のマントルには、 ϵNdI が正・負両方あり、初生的に不均質であったとされる。そこで端成分の 105 Ma におけるマントルの同位体組成の不均質性について検討した (図 5-17a)。その結果、負の ϵNdI 値を示すマントルは、枯渇した正の ϵNdI 値を持つマントルに堆積物由来のメルトが最大 15 % 混合することで再現できる。また、100 Ma より若い活動年代を示す苦鉄質マグマ（例えば、92 Ma の SNPC 細粒斑レイ岩マグマ）は肥沃した負の ϵNdI 値を示す。こうしたより肥沃化したマントルは、105 Ma に存在したような枯渇した正の ϵNdI 値を持つマントルに堆積物由来のメルトを 30~40 % を混合することで再現できる (図 5-17b)。すなわちスラブ由来メルトの混合比率は年代が若くなるにつれて高くなっている。以上から、マントルと反応する大陸地殻物質の量は経年的に多くなっていると予想される。さらに、110~100 Ma のアジア大陸東縁部ではスラブロールバックに伴いアセノスフェアが上昇すると考えられている (図 5-18a, b; Imaoka *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2016)。一般にアセノスフェアは高温であり、上昇することでマントルに高い熱を与えたとすると、マントルと沈み込んだ大陸地殻物質が混合しやすい状態であったと考えられる。

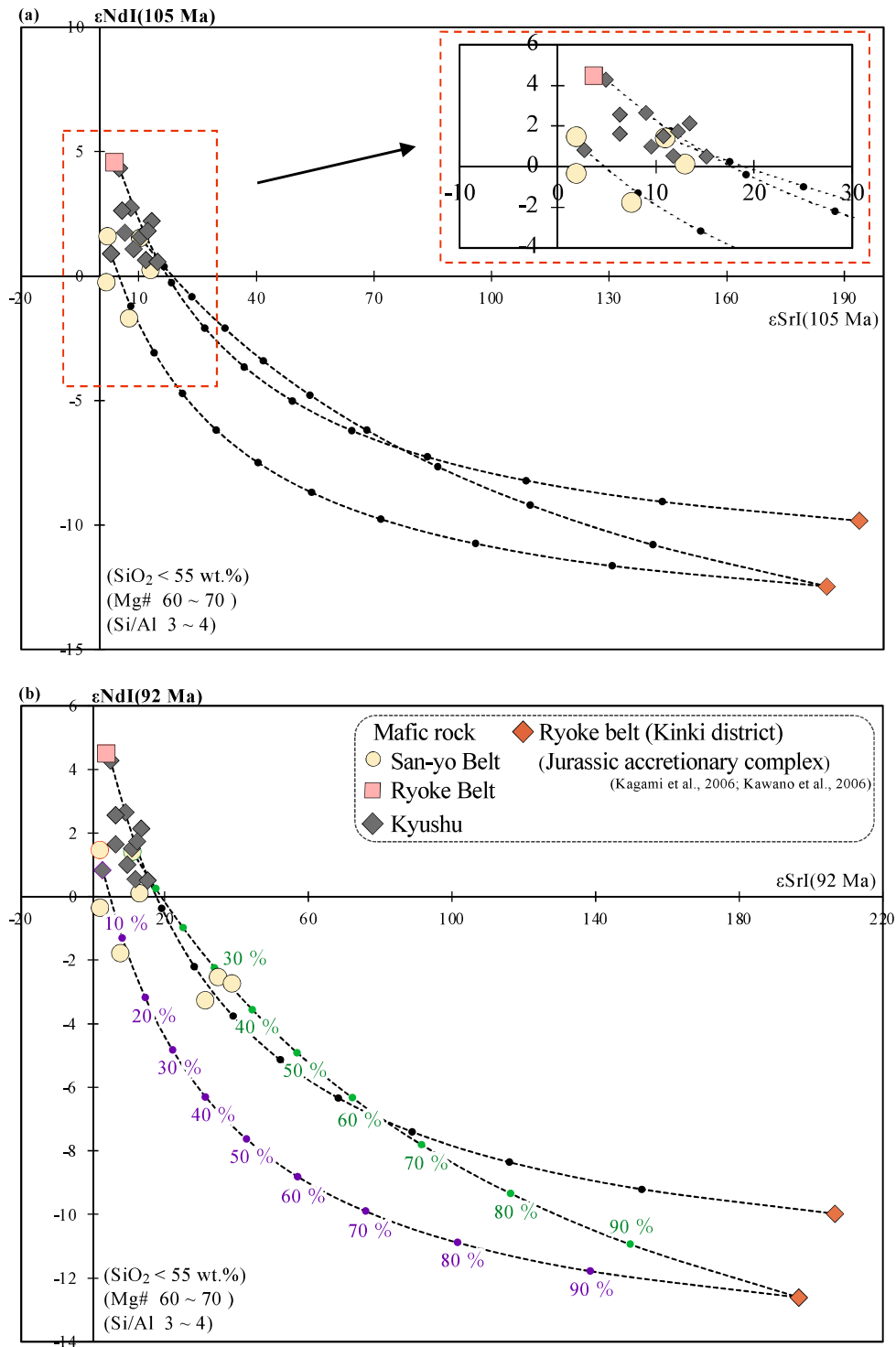


図 5-17. (a) 105 Ma のマントルと領家変成岩(ジュラ紀付加体)との混合曲線.
 (b) 92 Ma のマントルと領家変成岩(ジュラ紀付加体)との混合曲線.

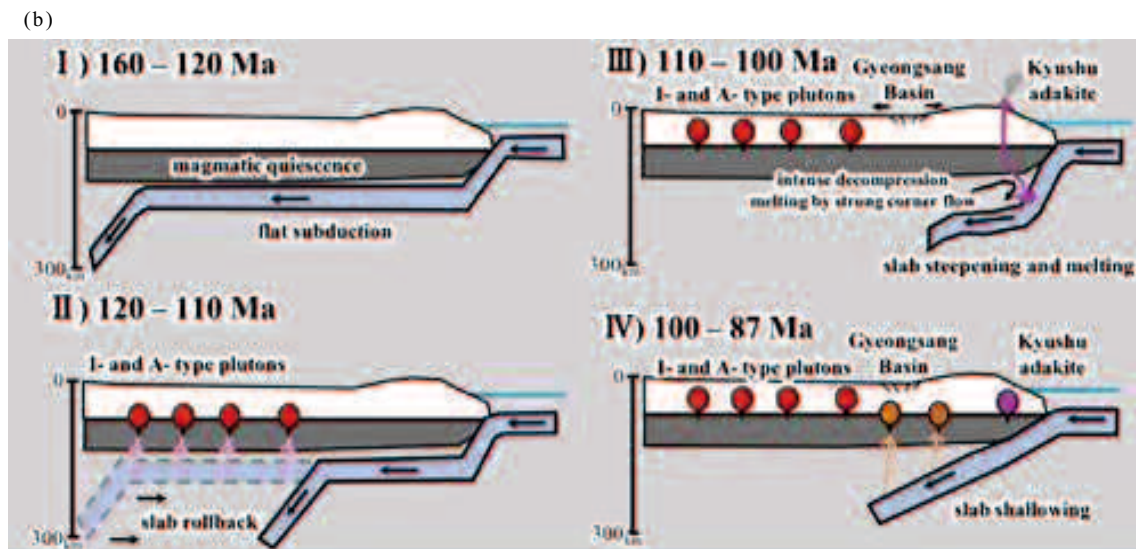
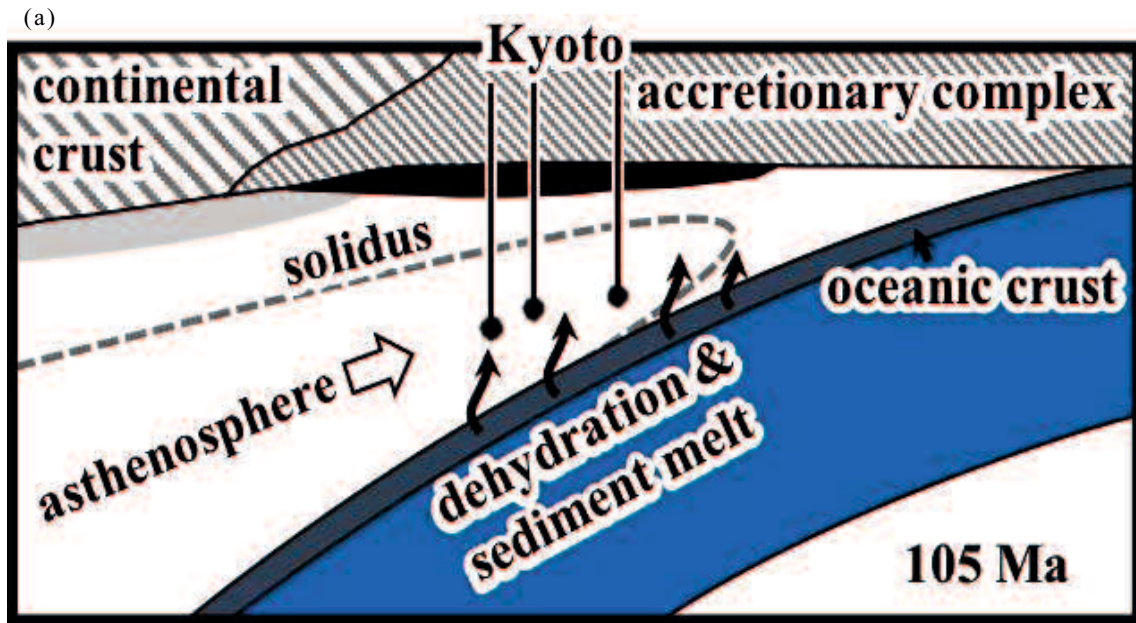


図 5-18. (a) 前期白亜紀の東アジア東縁部の断面図(Imaoka *et al.*, 2014)

(b) 前期白亜紀の東アジア東縁部でのテクトニクスの変化(Kim *et al.*, 2016).

2-2. 地殻-マントル交代作用のメカニズム

大陸地殻物質を大量にマントルと反応させるためには、効率的に堆積物をスラブと共に沈みこませる必要がある。Takagi(2004)によると、海洋プレートの沈み込む速さは 140 Ma から徐々に早くなり、100 Ma 前後で最大になっている (図 5-19)。プレートの沈み込むスピードが早くなれば、単時間あたりにマントルへ供給されるスラブ堆積物の量も増える。プレート沈み込み速度の増加は、白亜紀のマントル組成の改変において、経年的にマントルと反応する大陸地殻物質が増加するとして上記の考えと調和的である。また、中間ほか(2010)、Isozaki *et al.*(2010)、鈴木ほか(2010)、磯崎ほか(2011)らは、日本列島の代表的な顕生代砂岩の碎屑性ジルコン年代を測定した予察的データに基づき、白亜紀前期 (140~110 Ma) に大規模な構造浸食が起きて、先白亜紀弧地殻の大きな欠損が起きたと考えた。構造侵食とは、沈み込む側のプレートが上盤側のプレートを強制的に削剥・浸食しマントルへと引きずり込ませる作用である。図 5-20 に、構造侵食の例を示す。山本(2010)は、構造浸食によって多量の大陸地殻物質がマントルへと運搬されているならば、それはマントル中での化学的不均質の原因になるばかりでなく、ダイナミクスに対しても再考を迫るとした。このような白亜紀前期~白亜紀半ばにかけて日本を含むアジア東縁でもっとも激しく効果的な構造浸食が起きたことされている (中畑ほか, 2016)。この白亜紀の構造侵食の活発であった時期と海洋プレートの沈み込むスピードの増加する時期は一致しており、白亜紀前半から徐々にマントルに供給される大陸地殻物質は増加していったと考えられる。

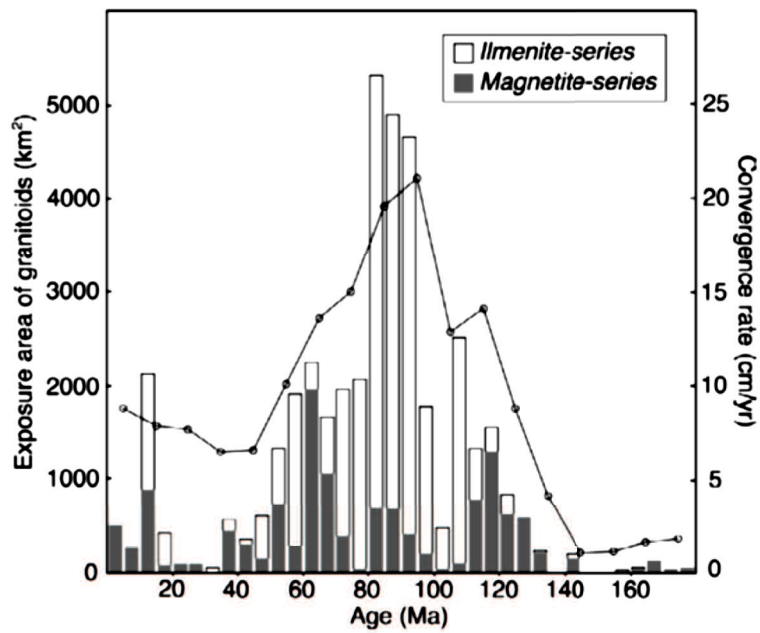


図 5-19. 白亜紀のプレート沈み込み速度の変化(Takagi, 2004).

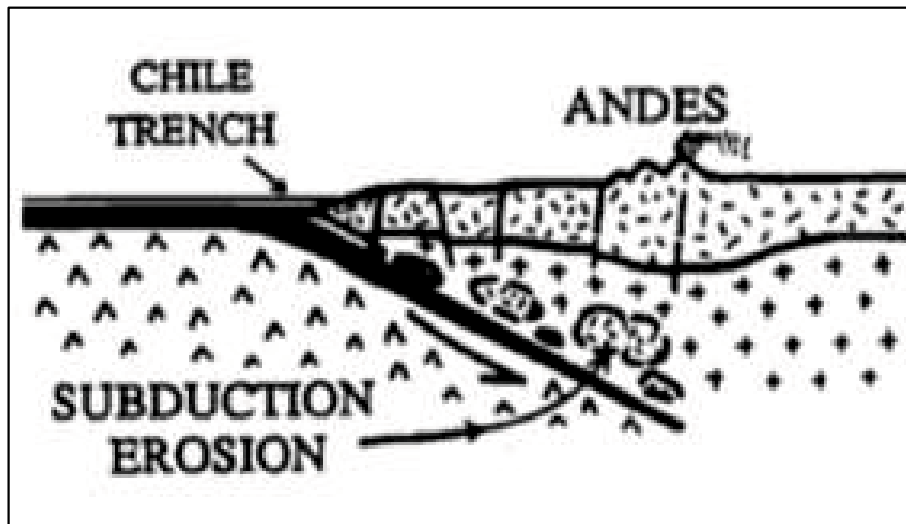


図 5-20. 北部チリ海溝における構造侵食の模式図(Miller, 1970; Rutland, 1971).

これらの見解をもとに、白亜紀の東アジア東縁のテクトニクスとマグマ組成の関係を以下に、[図 5-21](#) にモデル図を示す。

1) 140～110 Ma

ϵNdI が正の値を示す白亜紀の初生的なマントルが近畿～九州の広範囲の地下に存在していた。海溝では沈み込む海洋プレートの速度が徐々に早くなると共に、構造侵食作用によってマントルに大陸地殻物質が供給され始める。

2) 110～100 Ma

マントルと沈み込んだ大陸地殻物質の相互作用により、一部で ϵNdI が負の値を示す肥沃な同位体組成のマントルが形成される。そして沈み込む海洋プレートの速度が増すことで構造侵食が進行し、マントルへ供給される大陸地殻物質質量が増加する。この時、105 Ma の京都ランプロファイアーで見られるように不均質な同位体組成を持つマントルが形成された。

3) 100～80 Ma

100 Ma をピークに海洋プレートの沈み込み速度は最大となる。同時に大量に大陸地殻物質がマントルに供給されていた。これらとマントルの相互作用により、100 Ma 以降に存在する肥沃した同位体組成を持つマントルが形成された。

このようなメカニズムによって白亜紀西南日本直下のマントル組成は改変され、不均質化、および経年的に肥沃化したと考えられる。

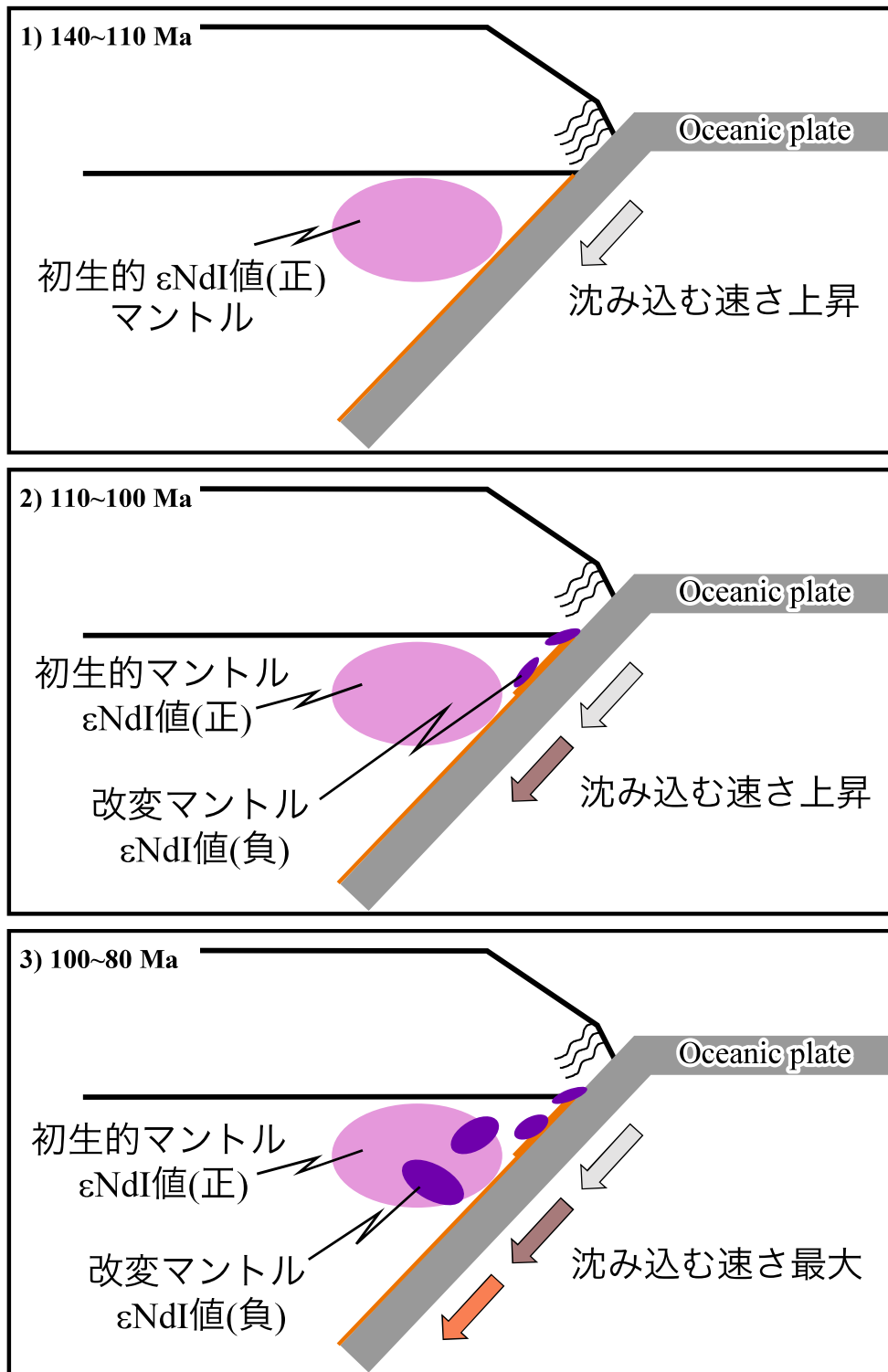


図 5-21. 白亜紀マントル組成の経年変化モデル図

上記のマントル内単純混合作用によって、同位体的に肥沃なマントルを形成することは可能となった。今回、単純混合の単成分として仮定した大陸地殻物質は SiO_2 含有量 66 wt.% である。また、初生的なマントルと仮定したのは九州地方の変斑レイ岩の組成からカンラン石最大分別法を用いて求めたマントルと平衡に共存可能な最も未分化な組成で、その組成は SiO_2 含有量 52 wt.%, $\text{Mg\#} = 75$ である。この組成を使って 92 Ma の肥沃な同位体組成を再現するためには、玄武岩質メルトと花崗岩質メルトを 7:3 の割合で混合する必要があり、形成される単純混合メルトは SiO_2 含有量 56 wt.% になる (表 5-2)。沈み込むスラブ直上で大陸地殻由来のメルト (花崗岩質メルト) とマントル起源のメルト (玄武岩質メルト) の単純混合によって肥沃な同位体組成は再現可能であるが、そのメルト組成は未分化な組成ではなくなってしまう。

表 5-2. 大陸地殻由来のメルトとマントル起源のメルトの単純混合

Rock Sp No.	Mt Gab 1310 26T08A	Mt Gab 1310 26T08A	Mt Gab : Ryoke Mt 7 : 3 Simple Mixing	Ryoke Mt (a)
Added OI 6.5%				
(wt.%)				
SiO_2	52.98	52.96	56.93	66.22
TiO_2	0.70	0.65	0.67	0.69
Al_2O_3	15.18	14.49	14.69	15.16
Fe_2O_3	9.11	8.53	7.40	4.76
MnO	0.20	0.20	0.15	0.05
MgO	10.85	12.36	9.17	1.73
CaO	10.16	9.78	7.70	2.85
Na_2O	0.89	0.79	1.47	3.04
K_2O	0.14	0.15	0.75	2.17
P_2O_5	0.24	0.10	0.09	0.07
Total	100.45	100.00	99.02	96.74
Mg#	70.22	75.21	72.20	43.24
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	3.49	3.65	3.88	4.37
(ppm)				(b)
Ba	275	257	217	124
Rb	56	52	49	42
Th	1.85	1.73	3.92	9.02
Ta	0.19	0.18	0.28	0.51
Nb	2.7	2.5	3.7	6.6
La	8.06	7.54	14.10	29.30
Ce	17.4	16.3	27.1	52.4
Sr	221	207	184	130
Nd	9.14	8.55	11.90	19.80
Zr	66	62	104	204
Hf	1.8	1.7	2.6	4.7
Sm	2.47	2.31	2.72	3.69
Eu	0.789	0.738	0.721	0.682
Gd	3	2	3	3
Dy	3.02	2.82	2.61	2.12
Y	18.1	16.9	15.1	10.8
Er	1.87	1.75	1.53	1.02
Yb	1.77	1.65	1.45	0.97
Lu	0.293	0.274	0.225	0.110

(a) 赤崎ほか (2013) Sp No.10032102A; (b) 池田ほか (2019) Sp No.08092005.

上述した単純混合メルトが未分化マグマとしてマントルから分離し、地殻中に貫入するためには、単純混合メルトがマントルウェッジ内を上昇中、組成を改変させ未分化マグマとしてマントルから分離する必要がある。そこで以下を検討した。マントルから分離するときの未分化組成マグマは、肥沃な同位体組成を持つ細粒斑レイ岩 (SNPC) から、カンラン石最大分別法で求められた SiO_2 含有量 52 wt.%, $\text{Mg\#} = 75$ とする。このメカニズムとして、マントル内での同化分化作用が適応できる (Tatsumi, 2000)。親・娘マグマの組成は、それぞれ単純混合メルトと上記 $\text{Mg\#} = 75$ の細粒斑レイ岩とした。同化と分別に関与する相としてマントルの主な構成鉱物であるカンラン石 (Fo88) と直方輝石 (En90) および、マントルと共存可能な金雲母 ($\text{XMg} = 90$) を仮定した。そしてマスバランス計算によって、単純混合メルトから SNPC の $\text{Mg\#} = 75$ 細粒斑レイ岩 (未分化玄武岩マグマ) 組成の再現を試みた。結果を表 5-3 に示す。主成分元素のマスバランス計算によると、単純混合メルトにカンラン石 34.4 % を付加し、直方輝石 39.8 % および金雲母 3.0 % 分別することで、未分化マグマ組成を再現することができた。この時、計算による残差の二乗和 (SSR) は 0.12 であった。この計算結果は、 $\text{SiO}_2 = 56$ wt.% の単純混合メルトがマントルウェッジ上昇中にマントルカンラン石を同化しつつ直方輝石と金雲母を分別して $\text{Mg\#} = 75$ の未分化玄武岩マグマへ組成変化したことを意味する。

表 5-3. マスバランス計算結果

fraction	Parent	Daughter	Fractionated minerals			calc.	diff.
	SMm	Fn-Gab	Ol	Opx	Phl		
	1.0000	0.3752	-0.3440	0.3981	0.0293		
SiO_2	56.93	52.02	40.5	58.00	39.30	56.93	-0.01
TiO_2	0.67	0.35	0.00	0.00	2.11	0.67	0.30
Al_2O_3	14.69	15.85	0.00	0.00	13.60	14.69	0.01
Fe_2O_3	7.20	9.35	11.63	6.94	4.64	7.20	0.05
MgO	9.17	12.17	47.87	35.06	22.70	9.17	-0.03
CaO	7.70	8.68	0.00	0.00	0.00	7.70	-0.12
K_2O	0.75	0.63	0.00	0.00	9.81	0.75	-0.12
Sum of squares of residuals =							0.12

マスバランス計算で得られた分別相の量比を用いて、AFC のモデル計算 (DePaolo, 1981) から微量元素組成を求め、娘マグマの組成と比較した (図 5-22a). 同化率と分化率の比 (r) はマスバラン計算によって得られた分別相と付加相の量比から求めた. 使用した分配係数の値を付録 11 に示す. また, 付加されるカンラン石の微量元素組成は浦島 (2016 修論) によるダナイト~ハルツバージャイト質超苦鉄質岩と Primitive mantle (Sun and McDonough, 1989) の値で代表させた (付録 11). 計算結果と細粒斑レイ岩の組成パターンは 概ね一致した. これらの計算を模式的に示したものを図 5-22b に示す.

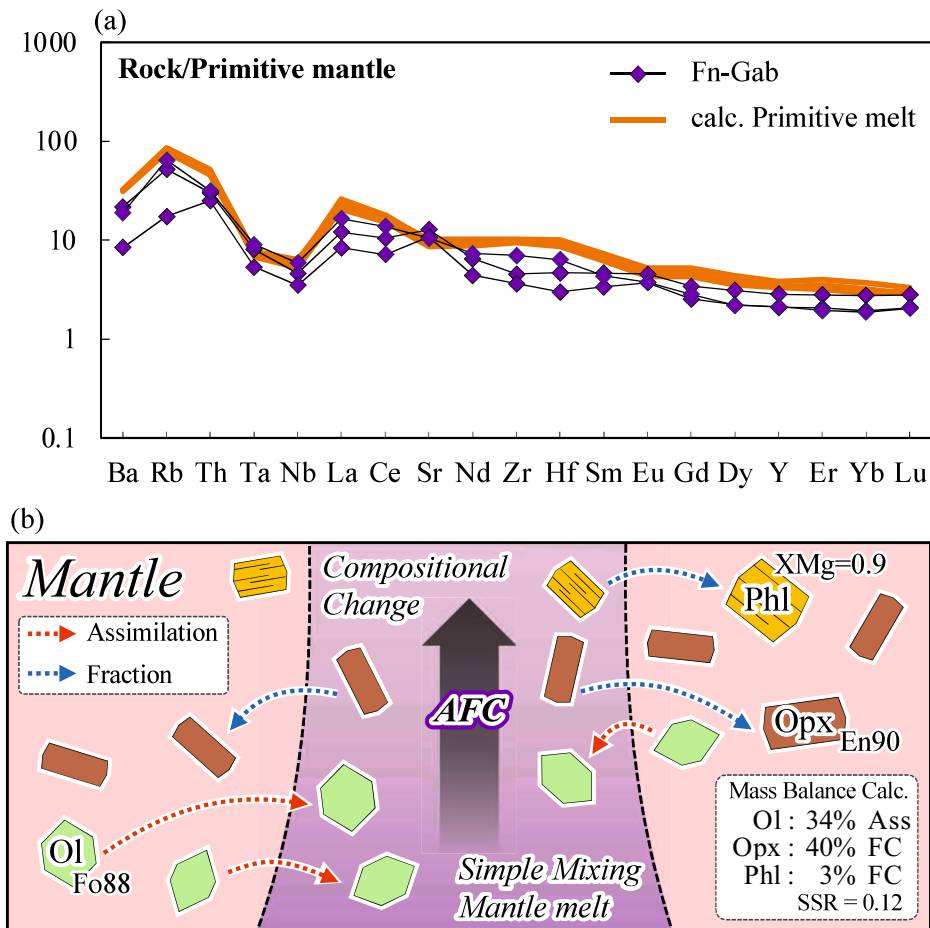


図 5-22. (a) モデル計算から得られた微量元素組成パターン
(b) マントル AFC の模式図

これまでの結果をまとめる (図 5-23)

- 1) 沈み込むスラブ直上で、肥沃な同位体組成 (負の ϵNdI) を持つ大陸地殻由来のメルト (花崗岩質メルト) と枯渇した同位体組成 (正の ϵNdI) を持つマントル起源のメルト (玄武岩質メルト) が形成される.
- 2) 花崗岩質メルトと玄武岩質メルトの単純混合により、肥沃な同位体組成 (負の ϵNdI) を持ち、 SiO_2 含有量 56 wt.% の単純混合メルトが形成される.
- 3) 単純混合メルトはマントルウェッジ上昇中にマントルと同化分別結晶作用することによって、マントルと共存可能な未分化な組成に改変される.

以上は、大陸地殻物質とマントルとの相互作用、マントルウェッジ上昇時における AFC によって、肥沃な同位体組成を保持しながら未分化組成に組成変化することが可能であるという結果を示した.

このような単純混合 (simple Mixing), 同化分別結晶 (Assimilation and fractional crystallization), それに伴う同位体組成を含めた組成変化 (Compositional change) を本研究では MACH モデルとして提案する.

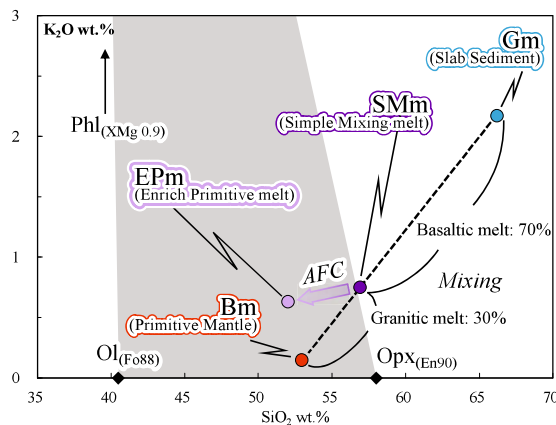
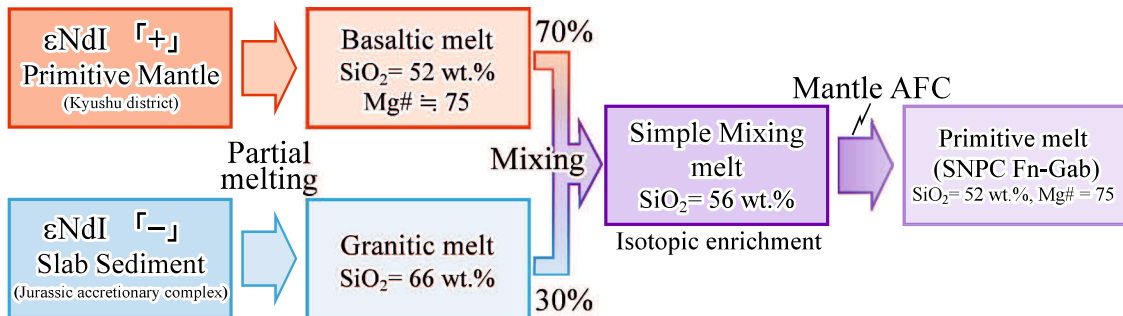


図 5-23. MACH モデルの概要

第 6 章

まとめ

本章では、第 2～5 章で議論してきたことを各章ごとに簡潔にまとめる。

第 2 章

「山陽帯西部，山口県須々万地域に産する斑レイ岩－花崗閃緑岩複合深成岩体と隣接する花崗岩体のマグマ過程」

- ・山口県須々万地域には花崗閃緑岩を主体とし，その東縁部に斑レイ岩を伴う複合岩体 (SNPC) と，花崗岩体が隣接して定置している。
- ・斑レイ岩は岩石組織や構成鉱物の特徴から細粒斑レイ岩，粗粒優白質斑レイ岩および粗粒優黒質斑レイ岩に区分できる。
- ・花崗閃緑岩および斑レイ岩類と花崗岩が直接接している境界部において，両者は不均質な産状を示す。顕微鏡下においてもマグマ混合を示唆する特徴が多く見られる。また，黒雲母 K-Ar 年代は，花崗閃緑岩で 92.1 ± 2.4 Ma，花崗岩で 93.8 ± 2.5 Ma を示し，同時期活動であり両者はマグマ同士で共存していたと考えられる。
- ・SNPC は均質な同位体組成を持つことから単一のマグマ活動であると考えられ，細粒斑レイ岩からの結晶分化作用で花崗閃緑岩を形成した。また，斜長石の集積により粗粒優白質斑レイ岩を，苦鉄質鉱物の集積によって粗粒優黒質斑レイ岩を形成した。
- ・花崗岩の同位体組成は SNPC とは異なり，山口県東部の領家帯深成岩類の同位体組成と類似する。このことは，花崗岩マグマの起源物質が中～下部地殻を構成していた領家帯の深成岩類であった可能性が高いことを示唆する。すなわち，花崗岩マグマはマントルから上昇してきた SNPC の苦鉄質マグマを熱源として，下部地殻の溶融することで生じたと考えられる。

第 3 章

「山陽帯西部，山口県須々万地域に産する白亜紀斑レイ岩－花崗閃緑岩複合深成岩体から見出された肥沃な Sr-Nd 同位体組成」

- ・細粒斑レイ岩，粗粒優白質斑レイ岩および粗粒優黒質斑レイ岩は高 SrI 値・低 ϵNdI 値を持ち，マントルアレイから外れた組成を示す．
- ・細粒斑レイ岩は全体に $\text{Mg}\#=65$ 前後， FeO^*/MgO が 1 前後もしくは 1 以下で，比較的未分化な組成を示す．
- ・記載的特徴から，細粒斑レイ岩は早期にカンラン石を晶出したと考えられるので，計算によって未分化組成を求め，マグマの特徴を検討した．その結果，細粒斑レイ岩は低 K ～中 K 玄武岩組成の特徴を持ち，共存する斜長石の組成から H_2O を 3 wt% 以上含むマグマに由来することが明らかとなった．
- ・細粒斑レイ岩は，同じく山陽帯に産し，未分化組成を保持している京都ランプロファイアーより高 SrI 値・低 ϵNdI 値を持っており，肥沃した組成を示す．
- ・高い SrI 値は流体で移動する元素の影響をより強く受けていたからであり，低 ϵNdI 値は古い大陸地殻に由来する堆積物とマントルウェッジの反応で生じた可能性が高い．
- ・細粒斑レイ岩と京都ランプロファイアーの分布や地球化学的特徴を考慮すると，白亜紀の西南日本内帯では，同位体組成的に肥沃したマントルが広範囲に存在したと考えられる．

第 4 章

「山口県南東部，屋代島に産する領家帯花崗岩類のマグマ過程」

- ・山口県南東部，屋代島には黒雲母花崗閃緑岩（蒲野花崗閃緑岩）と黒雲母花崗岩およびカリ長石斑状黒雲母花崗岩（東和花崗閃緑岩）が分布する．
- ・黒雲母花崗閃緑岩（蒲野花崗閃緑岩）と黒雲母花崗岩（東和花崗閃緑岩）は

漸移的に変化し、斜長石および黒雲母の鉱物化学組成は連続的に変化する。また、ハーカー図では一連のトレンドを形成し、希土類元素パターンや Sr-Nd 同位体組成も類似する。

- ・黒雲母花崗岩は、黒雲母花崗閃緑岩マグマの分別結晶作用によって分化したマグマに由来する。黒雲母花崗閃緑岩は母岩である泥質片麻岩との同化作用や、分別相 (斜長石) が集積したことにより様々な岩相を示す。また、分化の進んだ黒雲母花崗岩にはカリ長石斑晶の集積を伴いながら固結したと考えられるカリ長石斑状黒雲母花崗岩が存在する。

第 5 章

「西南日本、白亜紀～古第三紀深成岩類の Sr-Nd 同位体組成の特徴」

- ・山陰帯では、花崗岩と苦鉄質岩の間に Sr-Nd 同位体比に差は見られない
- ・山陽帯、領家帯の苦鉄質岩は ϵNdI 値の幅が広く、正と負両方の値を持つものがある。特に 100 Ma 以前の苦鉄質岩の同位体組成は枯渇している。
- ・山陽帯、領家帯、九州地方の花崗岩および苦鉄質岩は 100 Ma 以後、経年的に同位体組成が肥沃化する傾向が認められる。
- ・花崗岩の Sr-Nd 同位体組成は苦鉄質岩の同位体組成よりも肥沃した組成を示すことから、花崗岩マグマが上昇中により同位体的に肥沃した地殻物質を取り込み同化した可能性が示唆される。
- ・本研究で検討した苦鉄質岩は未分化あるいはそれに近い組成を示すことから、起源マンタルの同位体組成を反映していると考えられる。
- ・西南日本直下の白亜紀マンタルは 110–100 Ma を境に ϵNdI 値が正から負へと変化し始め、105 Ma には不均質なマンタルが形成された。このマンタルは 110 Ma 以前の枯渇したマンタルに付加体起源の堆積物に由来するメルトが最大 15 % 混合することで再現できる。さらに、100 Ma 以後のマンタル同位体組成の肥沃化は、スラブ由来のメルトを 30~40 % 混合することで形成可能になる。
- ・スラブ由来堆積物とマンタルとの混合比は年代が若くなるにつれて高くなっ

てことから、マントルと反応する大陸地殻物質の量は経年的に多くなっていると推察される。

- ・ **140 Ma** 以後、東アジア東縁部に沈み込む海洋プレートは、徐々に沈み込み速度が速くなり、単時間あたりの物質供給量は増加したと考えられる。さらにこの時期想定される構造侵食によって、大量の堆積物がマントルウェッジへ供給された可能性がある。こうしたスラブ由来の堆積物は、マントルウェッジ内の組成を不均質に肥沃化させたと推察される。そして、京都ランプロファイアーや **SNPC** の細粒斑レイ岩のような未分化な組成を保持しながら肥沃した同位体組成を持つ苦鉄質岩が形成されたと考えられる。

博士論文全体のまとめ

「西中国，白亜紀火成活動と大陸地殻の進化」

大陸地殻の進化には、以下の 3 つの事象が考えられる。

1) 大陸地殻の再利用

- ・ 大陸地殻下部に存在する苦鉄質岩類（苦鉄質下部地殻）の部分溶融により、花崗岩質マグマが形成される。（例：山口県須々万地域 花崗岩）
- ・ 花崗岩質マグマは、結晶分化作用や集積作用を経て多様な岩相を示す。（例：山口県南東部 屋代島）

2) 大陸地殻の成長

- ・ マントルから供給される未分化玄武岩質マグマが上昇し、地殻内で定置・固結することにより、大陸地殻はそのボリュームを増す。
- ・ 未分化玄武岩質マグマからの結晶分化作用、集積作用から多様な岩相を示す。（例：山口県須々万地域 **SNPC**）

3) マントルの改変

- ・ マントルの組成は、沈み込む海洋プレート上のスラブ堆積物とマントルの相互作用によって改変される。
- ・ 白亜紀のマントルは海洋プレートの沈み込み速度の上昇、および構造侵食作用によってスラブ由来の堆積物の供給量が増え、経年的に肥沃化す

る傾向がある。それらには地域差があり、不均質なマントルを形成する。

- ・マントルの不均質性から、西中国に分布する白亜紀深成岩類は多様な同位体組成を示す。

上記した過程（大陸地殻の再利用、大陸地殻の成長、起源物質の多様性）を経ることにより、白亜紀における大陸地殻は進化したと考えられる。

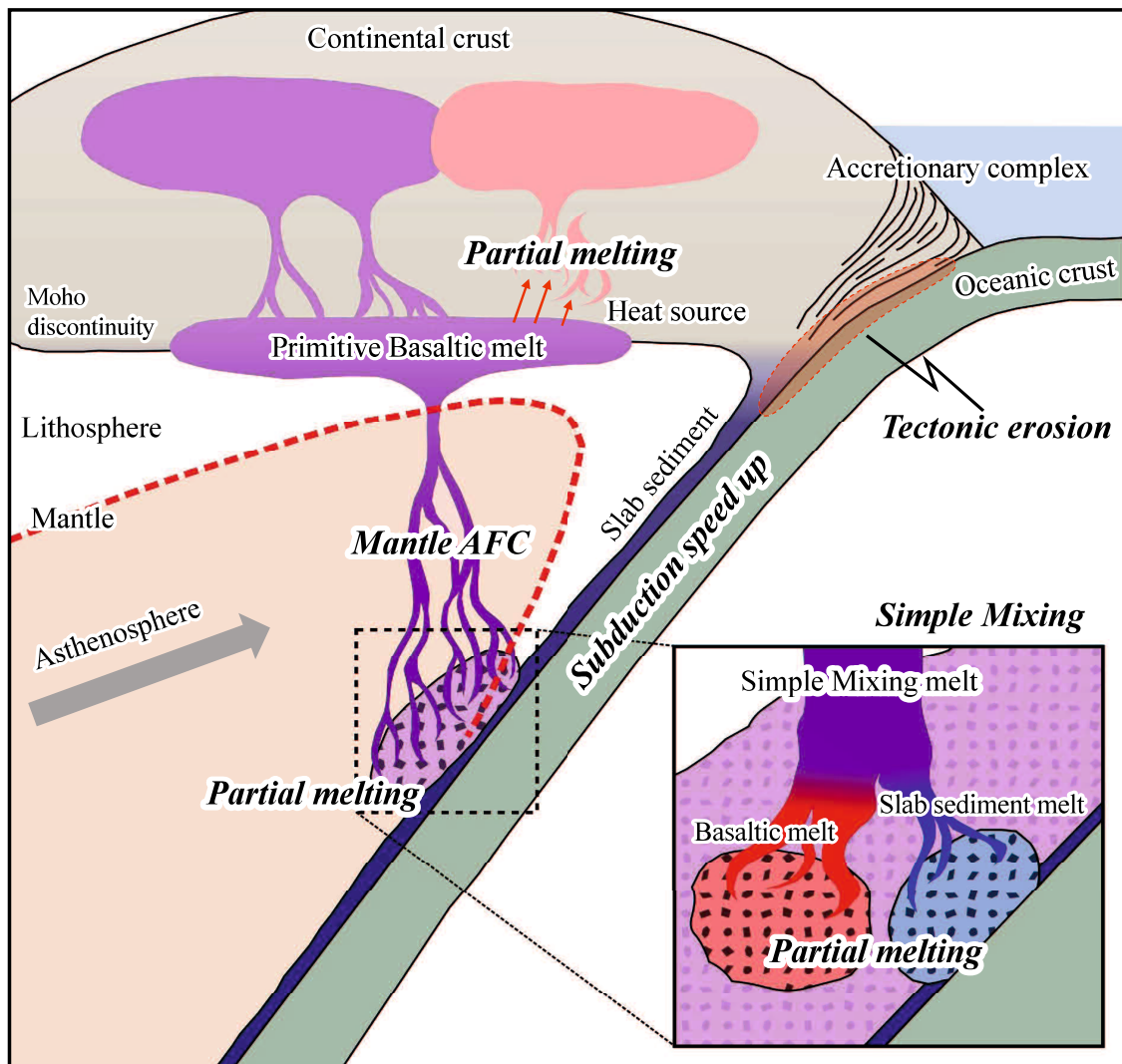


図 6-1. 白亜紀における大陸地殻進化モデル

引用文献

- Adachi, T., Osanai, Y., Nakano, N. and Owada, M. (2012): LA-ICP-MS U-Pb zircon and FE-EPMA U-Th-Pb monazite dating of pelitic granulites from the Mt. Ukidake area, Sefuri Mountains, northern Kyusyu. *Journal of Geological Society of Japan*, 118, 39–52.
- Aignertorres, M., Blundy, J., Ulmer, P. and Pettke, T. (2007): Laser Ablation ICPMS study of trace element partitioning between plagioclase and basaltic melts: an experimental approach. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 153, 647–667.
- 赤崎英里, 亀井淳志, 大和田正明 (2013): 領家帯柳生地域新期花崗岩 (木部花崗岩) のマグマ過程. *岩鉱*, 42, 159–173.
- Akasaki, E., Owada, M. and Kamei, A. (2015): Crustal differentiation due to partial melting of granitic rocks in an active continental margin, the Ryoke Belt, Southwest Japan. *Lithos*, 230, 82–91.
- Bacon, C. R. and Druitt, T. H. (1988): Compositional Evolution of the Zoned Calcalkaline Magma Chamber of Mount-Mazama, Crater Lake, Oregon. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 98, 224–256.
- Basaltic Volcanism Study Project, (1981): *Basaltic Volcanism on the Terrestrial Planets*. Pergamon Press. 1286p
- Bea, F., Pereira, M. D. and Stroh, A. (1994): Mineral/leucosome trace-element partitioning in a peraluminous migmatite (a laser ablation-ICP-MS study). *Chem. Geol.*, 117, 291–312.
- Beard, J.S. and Lofgren, G.E. (1991): Dehydration melting and water-saturated melting of basaltic and andesitic greenstones and amphibolites at 1, 3 and 6.9 kb. *Journal of Petrology*, 32, 365–401.
- Beattie, P. (1993): The effect of partial melting of spinel peridotite on uranium series disequilibria: constraints from partitioning studies. *Earth and Planetary Science Letters*, 117, 379–391.

- Bindeman, I. N., Davis, A. M. and Drake, M. J. (1998): Ion microprobe study of plagioclase-basalt partition experiments at natural concentration levels of trace elements. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62, 1175–1193.
- Brenan, J. M., Shaw, H. F., Ryerson, F. J. and Phinney, D. L. (1995): Experimental-Determination of Trace-Element Partitioning between Pargasite and a Synthetic Hydrous Andesitic Melt. *Earth and Planetary Science Letters*, 135, 1–11.
- Brown, M. and Rushmer, T. (2006): *Evolution and Differentiation of the Continental Crust*. Cambridge University Press, 562p.
- Castillo, P. R. (2012): Adakite petrogenesis. *Lithos*, 134–135, 304–316.
- Conrad, W.K., Nicholls, I.A. and Wall, V.J. (1988): Water-saturated and undersaturated melting of metaluminous and peraluminous crustal compositions at 10 kb: evidence for the origin of silicic magmas in the Taupo Volcanic Zone, New Zealand, and other occurrences. *Journal of Petrology*, 29, 765–803.
- Day, H. W and Fenn, P. M. (1982): Estimating the P-T-XH₂O Conditions during Crystallization of Low Calcium Granites. *Jour. Geol.*, 90, 485–507.
- DePaolo, D, J. (1981): Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 53, 189–202.
- DePaolo, D.J. and Wasserburg, G.J. (1976): Petrogenetic mixing models and Nd-Sr isotopic patterns. *Geochemica et Cosmochimica Acta.*, 43, 615-627.
- Drake, M. J. and Weill, D. F. (1975): Partition of Sr, Ba, Ca, Y, Eu²⁺, Eu³⁺, and Other Rees between Plagioclase Feldspar and Magmatic Liquid-Experimental Study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 39, 689–712.
- Dostal, J., Dupuy, C., Carron, J. P., Dekerneizon, M. L. and Maury, R. C. (1983): Partition-Coefficients of Trace-Elements-Application to Volcanic-Rocks of St-Vincent, West-Indies. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47,

525–533.

Dudas, M. J., Schmitt, R. A. and Harward, M. E. (1971): Trace element partitioning between volcanic plagioclase and dacitic pyroclastic matrix. *Earth and Planetary Science Letters*, 11, 440–446.

Dunn, T. and Sen, C. (1994): Mineral/Matrix Partition-Coefficients for Orthopyroxene, Plagioclase, and Olivine in Basaltic to Andesitic Systems—a Combined Analytical and Experimental Study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58, 717–733.

遠藤美智子, 土谷信高, 木村純一 (1999) : 南部北上帯, 金華山花崗岩類の岩石化学的特徴とその地質学的意義. *地質学論集*, no. 53, 85–110.

Eshima, K., Owada, M., Imaoka, T. and Kamei, A. (2019): Petrogenesis and plumbing system of the Cretaceous Shaku-dake diorite and Ushikiri-yama granodiorite in the northern Kyushu, SW Japan. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2019*, abstract #V23D-0248.

Ewart, A., Bryan, W. B. and Gill, J. B. (1973): Mineralogy and Geochemistry of the Younger Volcanic Islands of Tonga, S. W. Pacific. *Journal of Petrology*, 14, 429–465.

Ewart, A. and Griffin W. L. (1994): Application of proton-microprobe data to trace-element partitioning in volcanic-rocks. *Chem. Geol.*, 117, 251–284.

Forsythe, L. M., Nielsen, R. L. and Fisk, M. R. (1994): High-Field-Strength Element Partitioning between Pyroxene and Basaltic to Dacitic Magmas. *Chemical Geology*, 117, 107–125.

Frey, F. A. (1969): Rare earth abundances in a high-temperature peridotite intrusion. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 33, 1429–1447.

Fujimaki, H., Tatsumoto, M. and Aoki, K. (1984): Partition coefficients of Hf, Zr, and REE between phenocrysts and groundmasses. *Journal of Geophysical Research*, 89, 662–672.

深見 潤, 大和田正明 (2017) : 福岡県, 三郡山東麓に分布する苦鉄質変成岩類

- の全岩化学組成, 地質学雑誌, 123, 12, 1055–1060.
- Green, T. H. and Pearson, N. J. (1987): An experimental study of Nb and Ta partitioning between Ti-rich minerals and silicate liquids at high pressure and temperature. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51, 55–62.
- Green, T. H., Adam, J. and Site, S. H. (1993): Proton microprobe determined trace element partition coefficients between pargasite, augite and silicate or carbonatitic melts. EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 74, 340.
- Green, T., Blundy, J., Adam, J. and Yaxley, G. (2000): SIMS determination of trace element partition coefficients between garnet, clinopyroxene and hydrous basaltic liquids at 2-7.5 Gpa and 1080-1200C. *Lithos*, 53, 165–187.
- Hamada, M. and Fujii, T. (2007): H₂O-rich island arc low-K tholeiite magma inferred from Ca-rich plagioclase-melt inclusion equilibria. *Geochem. J.*, 41, 437–461.
- 原 郁夫, 櫻井康博, 奥平敬元, 早坂康隆, 大友幸子, 榊原信夫 (1991): 領家帯のテクトニクス. 日本地質学会第 98 年学術大会見学旅行案内書, 1–20.
- Heath, E., Macdonald, R., Belkin, H. E., Hawkesworth, C. J. and Sigurdsson, H. (1998): Magmagenesis at Soufriere volcano, St Vincent, Lesser Antilles arc. *J Petrol*, 39, 1721–1764
- Herzig, C. T., Kimbrough, D. L., Tainosho, Y., Kagami, H., Iizumi, S. and Hayasaka, Y. (1998): Late Cretaceous U/Pb zircon ages and Precambrian crustal inheritance in Ryoke granitoids, Kinki and Yanai districts, Japan. *Geochem. Jour.*, 32, 21–31.
- Hibbard, M. J. (1995): *Petrography to Petrogenesis*. Prentice Hall, New Jersey, 587p.
- 東元定雄, 濡木輝一, 原 郁夫, 佃 栄吉, 中島 隆 (1983): 岩国 地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 79p.
- Higuchi, H. and Nagasawa, H. (1969): Partition of trace elements between rock-forming minerals and the host volcanic rocks. *Earth and Planetary Science*

Letters, 7, 281–287.

飯泉 滋, 沢田順弘, 先山 徹, 今岡照喜 (1985): 中国・四国地方の白亜紀～古第三紀火成活動 -火成岩類の対比を中心として-. 地球科学, 39, 372–384.

飯泉 滋 (1996): 表面電離型質量分析計, MAT262 による岩石・鉱物試料の Sr・Nd 同位体組成の測定. 島根大学地球資源環境学研究報告, 15, 153–159.

Iizumi, S., Imaoka, T. and Kagami, H. (2000): Sr–Nd isotope ratios of gabbroic and dioritic rocks in a Cretaceous-Paleogene granite terrain, Southwest Japan. *Isl. Arc*, 9, 113–127.

Iida, K., Iwamori, H., Orihashi, Y., Park, T., Jwa, Y.-J., Kwon, S.-T., Danhara, T. and Iwano, H. (2015): Tectonic reconstruction of batholith formation based on the spatiotemporal distribution of Cretaceous-Paleogene granitic rocks in southwestern Japan. *Isl. Arc*, 24, 205–220.

Ikeda, T. (2002): Regional occurrence of orthopyroxene-bearing basic rocks in the Yanai district, southwest Japan: Evidence for granulite-facies Ryoke metamorphism. *Isl. Arc*, 11, 185–192.

池田雄輝, 大和田正明, 西塚 大, 亀井淳志 (2019): 山口県東部, 柳生地域に産する領家帯蒲野花崗閃緑岩のマグマ過程. 地質雑, 125, 167–182.

今岡照喜・西村祐二郎・後藤芳彦・中島和夫・齋藤和男・板谷徹丸 (1997): 山陰西部山島火山岩の産状と K-Ar 年代. 岩鉱, 92, 302–315.

今岡照喜, 飯泉 滋 (2009): 白亜紀—古第三紀の火成活動, 放射年代. 日本地方地質誌 6, 中国地方, 朝倉書店, 東京, 324–327.

Imaoka, T., Kiminami, K., Nishida, M., Takemoto, T., Ikawa, T., Itaya, T., Kagami, H. and Iizumi, S. (2011): K-Ar age and geochemistry of the SW Japan Paleogene cauldron cluster: Implications for Eocene-Oligocene thermo-tectonic reactivation. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40, 509–533.

Imaoka, T., Nakashima, K., Kamei, A., Itaya, T., Ohira, T., Nagashima, M., Kono, N. and Kiji, M., (2014a): Episodic magmatism at 105 Ma in the Kinki district, SW

- Japan: Petrogenesis of Nb-rich lamprophyres and adakites, and geodynamic implications. *Lithos.*, 184–187, 105–131.
- Imaoka, T., Nakashima, K., Kamei, A., Hayasaka, Y., Ogita, Y., Ikawa, T., Itaya, T., Takahashi, Y. and Kagami, H. (2014b): Anatomy of the Cretaceous Hobenzan pluton, SW Japan: Internal structure of a small zoned pluton, and its genesis. *Lithos.*, 208–209, 81–103.
- Imaoka, T., Kawabata, H., Nagashima, M., Nakashima, K., Kamei, A., Yagi, K., Itaya, T. and Kiji, M. (2017): Petrogenesis of an Early Cretaceous lamprophyre dike from Kyoto Prefecture, Japan: Implications for the generation of high-Nb basalt magmas in subduction zones. *Lithos.*, 290–291, 18–33.
- 猪木幸男，村上允英，大久保雅弘（1987）：中国地方地質図.日本の地質 7「中国地方」，巻頭図録，共立出版
- Irving, A. J. and Frey, F. A. (1984): Trace-Element Abundances in Megacrysts and Their Host Basalts-Constraints on Partition-Coefficients and Megacryst Genesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 1201–1221.
- Ishihara, S. (1971): Modal and chemical composition of the granitic rocks related to the major molybdenum and tungsten deposits in the inner zone of southwest japan*. *J. Geol. Soc. Japan.*, 77, 441–452.
- Ishihara, S. (1977): The magunetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.*, 27, 293–305.
- Isozaki, Y., Aoki, K., Nakama, T. and Yanai, S. (2010): New insight into a subduction-related orogen: A reappraisal of the geotectonic framework and evolution of the Japanese Islands. *Gondwana Research*, 18, 82–105
- 磯崎行雄，丸山茂徳，中間隆晃，山本伸次，柳生修一（2011）：活動的大陸縁の肥大と縮小の歴史 -日本列島形成史アップデート-. *地質学雑誌*，120，65–99.
- Jacobsen, S. B. and Wasserburg, G. J. (1984): Sm–Nd isotopic evolution of chondrites and achondrites, II. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 67, 137–150.

- Jahn, B.M. (2010): Accretionary orogen and evolution of the Japanese Islands: Implications from a Sr-Nd isotopic study of the Phanerozoic granitoids from SW Japan. *Journal of Science.*, 310, 1210–1249.
- Jayananda, M., Aadhiseshan, K. M., Kusiak, M. A., Wilde, S. A., Sekhomo, K. -u., Guitreau, M., Santosh, M. and Gireesh, R. V. (2020): Multi-stage crustal growth and Neoproterozoic geodynamics in the Eastern Dharwar Craton, southern India. *Gondwana Research*, 78, 228–260.
- Kagami, H., Iwata, M., Sano, S. and Honma, H. (1987): Sr and Nd isotopic compositions and Rb, Sr, Sm and Nd concentrations of standard samples. *Journal article.*, 20, 1–16.
- Kagami, H., Iizumi, S. and Owada, M. (1992): Spatial variations of Sr and Nd isotope ratios of Cretaceous-Paleogene granitoid rocks, Southwest Japan Arc. *Contrib Mineral Petrol.*, 112, 165–177
- 加々美寛雄 (2005) : 本州弧に分布する白亜紀~古第三紀花崗岩の活動と起源物質. *地質学雑誌*, 111, 441–457.
- Kagami, H., Kawano, Y., Akiyama, M., Ikawa, T., Imaoka, T., Ishioka, J., Toyoshima, T., Hamamoto, T., Hayasaka, Y., Ikeda, Y., Yuhara, M. and Tainosho, Y. (2006): Provenance of Paleozoic–Mesozoic sedimentary rocks in the Inner Zone of Southwest Japan: An evaluation based on Nd model ages. *Gondwana Research*, 9, 142-151.
- 亀井淳志, 高木哲一 (2003) : 福岡県船引町周辺に分布する阿武隈花崗岩類の地質と岩石記載. *地質学雑誌*, 109, 234–251.
- 上塘 齋, 今岡照喜, 大和田正明 (2008) : 領家帯柳井地域の含ざくろ石苦鉄質グラニュライトから見出された減圧組織. *地質雑*, 114, 88–91.
- 河野義礼・植田良夫 (1966) : 本那火成岩の K-A dating (V) -西南日本の花崗岩類-. *岩石鉱物鉱床学会誌*, 56, 191–211.
- Kawano, Y., Akiyama, M., Ikawa, T., Roser, B.P., Imaoka, T., Ishioka, J., Yuhara, M., Hamamoto, T., Hayasaka, Y. and Kagami, H. (2006): Whole rock geochemistry

- and Sr isotopic compositions of Phanerozoic sedimentary rocks in the Inner Zone of the Southwest Japan Arc. *Gondwana Research*, 9, 126 – 141.
- Keleman, P. B. and Dunn, J. T. (1992): Depletion of Nb relative to other highly incompatible elements by melt/rock reaction in the upper mantle. *EOS, Transactions of the American Geophysical Union*, 73, 656–657.
- Kempton, P. D. and Harmon, R. S. (1992): Oxygen isotope evidence for large-scale hybridization of the lower crust during magmatic underplating. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56, 971–986.
- Kempton, P. D., Downes, H. and Embey-Isztin, A. (1997): Mafic granulite xenoliths in Neogene alkali basalts from the western Pannonian Basin: insights into the lower crust of a collapsed orogen. *Jour. Petrol.*, 38, 941–970.
- Kim, S. W., Kwon, S., Park, S-I., Lee, C., Cho, D-L., Lee, H-J., Ko, K. and Kim, S. J. (2016): SHRIMP U–Pb dating and geochemistry of the Cretaceous plutonic rocks in the Korean Peninsula: A new tectonic model of the Cretaceous Korean Peninsula. *Lithos.*, 262, 88–106.
- 児玉省吾, 大和田正明, 今岡照喜, 亀井淳志, 池田雄輝 (2019) : 山口県, 屋代島に産する領家帯深成岩類のマグマ過程. 日本鉱物科学会 2019 年年会講演要旨.
- Kodama, S., Owada, M., Imaoka, T. and Kamei, A. (2019): Sr–Nd isotopic compositions of the Susuma–Nagaho Plutonic Complex in the San–yo Belt, Southwest Japan: Implications for the Cretaceous enriched mantle. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 114, 99–104.
- Koide, H. (1958): Dando granodiorite intrusives and their associated metamorphic complex. Maruzen, Tokyo, 311p.
- 栗谷 豪 (2007) : 水とマグマ. *地質学雑誌*, 116, 133–153.
- Latourrette, T. Z. and Burnett, D. S. (1992). Experimental-Determination of U-Partitioning and Th-Partitioning between Clinopyroxene and Natural and Synthetic Basaltic Liquid. *Earth and Planetary Science Letters*, 110, 227–244.

- Latourrette, T., Hervig, R.L. and Holloway, J.R. (1995): Trace-Element Partitioning between Amphibole, Phlogopite, and Basanite Melt. *Earth and Planetary Science Letters*, 135, 13–30.
- Liu, H., Sun, W. -d. and Deng, J. (2020): Statistical analysis on secular records of igneous geochemistry: Implication for the early Archean plate tectonics. *Geological Journal*, 55, 994–1002.
- Lugmair, G.W. and Marti, K. (1978): Lunar initial $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$: Differential evolution of the lunar crust and mantle. *Earth and Planetary Science Letters.*, 39, 349–357.
- Luhr, J. F. and Carmichael, I. S. E. (1980): The Colima volcanic complex, Mexico. I: post-caldera andesites from Volcan Colima. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 71, 343–372.
- Mahood, G. A. and Hildreth, E. W. (1983): Large partition coefficients for trace elements in high-silica rhyolites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 11–30.
- Mateen, T., Okamoto, K., Chung, S.-L., Wang, L.-L., Lee, H.-Y., Abe, S., Mita, Y., Rehman, H. U., Terabayashi, M. and Yamamoto, H. (2019): LA-ICP-MS zircon U–Pb age and Hf isotope data from the granitic rocks in the Iwakuni area, Southwest Japan: re-evaluation of emplacement order and the source magma. *Geosci. Jour.*, 23, 917–931.
- Matsui, Y., Onuma, N., Nagasawa, H., Higuchi, H. and Banno, S. (1977): Crystal structure control in trace element partition between crystal and magma. *Tectonics*, 100, 315–324.
- McCallum, I. S. and Charette, M. P. (1978): Zr and Nb partition coefficients: implications for the genesis of mare basalts, krep, and sea floor basalts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42, 859–869.
- McKenzie, D. and O'Nions, R. K. (1991): Partial melt distributions from inversion of rare Earth element concentrations. *Journal of Petrology*, 32, 1021–1091.
- Miller, H. (1970): Das Problem des hypothetischen “Pazifischen Kontinentes”gesehen

- von der chilenischen Pazifikküste. *Geologische Rundschau*, 59, 927–938.
- Miyashiro, A. (1978): Nature of alkalic rock series. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 66, 91–104.
- 宮下由香里 (1996) : 柳井南部地域領家変成帯におけるザクロ石斑状変晶の形成と変形時相. *地質雑*, 102, 84–104.
- 宮下由香里, 大和田正明, 佐藤大介 (2018) : 5 万分の 1 地質図幅「久賀」の概要. *日本地質学会第 125 年学術大会講演要旨*, 448.
- 宮崎一博, 脇田浩二, 宮下由香里, 水野清秀, 高橋雅紀, 野田 篤, 利光誠一, 角井朝昭, 大野哲二, 名和一成, 宮川歩夢 (2016) : 20 万分の 1 地質図幅, 松山 (第 2 版), 地質調査総合センター.
- Molina, J. F., Moreno, J. A., Castro, A., Rodriguez, C. and Fershtater, G. B. (2015): Calcic amphibole thermobarometry in metamorphic and igneous rocks: New calibrations based on plagioclase/amphibole Al-Si partitioning and amphibole/liquid Mg partitioning. *Lithos.*, 232, 286–305.
- Morimoto, M., Fabries, J., Ferguson, A. K., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F. A., Zussman, J. (1988): Nomenclature of Pyroxenes. *Mineralogical Magazine*, 52, 535–550.
- Moutte, J. and Iiyama, J.T. (1984): The Ryoke-Sanyo granite series in the Iwakuni-Yanai district, Southwest Honshu, Japan. *Mining. Geol.*, 34, 425–436.
- Moutte, J. (1990): Geochemical study of Cretaceous granitic rocks from Yanai district, Southwest Japan. *Univ. Mus. Univ. Tokyo, Nature and Culture*, no. 2, 49–66.
- Murakami, N. (1974): Some problems concerning late Mesozoic to early Tertiary igneous activity on the Inner side of Southwest Japan. *Pacific Geology*, 8, 139–151.
- 村上允英 (1986) : 山口大学教養部紀要, 44, 174-183.
- Nagasawa, H. and Schnetzler, C.C. (1971): Partitioning of rare Earth, alkali, and alkaline Earth elements between phenocrysts and acidic igneous magmas. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 35, 953–968.

- 中畑浩基, 磯崎行雄, 堤 之恭, 岩本直哉 (2016): 関東南部の浅海成白亜系の
砕屑性ジルコン年代スペクトル -後背地表層地殻の更新に伴う前弧域
砂岩組成変化-. 地学雑誌, 125, 353-380.
- 中間隆晃, 平田岳史, 大藤 茂, 青木一勝, 柳井修一, 丸山茂徳 (2010): 日本
列島の古地理学 -砕屑性ジルコン年代頻度分布と造山帯後背地の変遷-.
地学 雑誌, 119, 1161-1172.
- 中島 隆, WILLIAMS, I. S., 渡辺 暉夫 (1993): 領家花崗岩類及び山陽帯花崗
岩類の SHRIMP 年代. 日本地質学会第 100 年学術大会講演要旨, 584.
- Nakajima, T., Takahashi, M., Imaoka, T. and Shimura, T. (2016): Granitic rocks. In
Moreno, T. et al., eds., The Geology of Japan. Geol. Soci. London, 251-272.
- 中島 隆 (2018): 日本の花崗岩: 2017 年における総括. 地質学雑誌, 124, 603-
625.
- Nash, W. P. and Crecraft, H. R. (1985): Partition coefficients for trace elements in
silicic magmas. Geochim. Cosmochim. Acta, 49, 2309-2322.
- Nielsen, R. L., Gallahan, W. E. and Newberger, F. (1992): Experimentally determined
mineral-melt partition coefficients for Sc, Y and REE for olivine,
orthopyroxene, pigeonite, magnetite and ilmenite. Contributions to
Mineralogy and Petrology, 110, 488-499.
- 西田和浩, 今岡照喜, 飯泉 滋 (2005): 山陰中央部における白亜紀~古第三紀
火成活動: Rb-Sr アイソクロン年代からの検討. 地質学雑誌, 111, 123-
140.
- 西田和浩, 今岡照喜, 君波和雄, 長松 雄, 飯泉 滋 (2013): 西南 日本山陰帯
と韓国継承盆地の花崗岩類における白亜紀最末期の Sr-Nd 同位体組成
変化とその意義. 地質学雑誌, 119, 229-248.
- 西村祐二郎, 今岡照喜, 金折裕司, 亀谷 敦 (2012): 山口県地質図第 3 版 (15
万分の 1) および同説明書. 山口地学会, 167p.
- 濡木輝一 (1995): 瀬戸内地域領家帯の黒雲母片麻岩の起源に関する 1 つの提
案: 玖珂層群とは別の地質単元から由来した黒雲母片麻岩がある. 岡山

- 大学地学研究報告, 2, 23–54.
- 岡村 義彦 (1957): 山口県柳井地方領家変成岩類および花崗閃緑岩類の構造.
地質雑, 63, 684–697.
- Okamura, Y. (1960): Structural and petrological studies on the Ryoke gneiss and granodiorite complex of the Yanai district, Southwest Japan. *Jour. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C*, 3, 143–213.
- Okamoto, K. (1979): Geochemical study on magmatic differentiation of Asama Volcano, central Japan. *Journal of the Geological Society of Japan*, 85, 525–535.
- Okudaira, T., Hara, I., Sakurai, Y. and Hayasaka, Y. (1993): Tectono-metamorphic processes of the Ryoke belt in the Iwakuni-Yanai district, Southwest Japan. *Mem. Geol. Soc. Japan*, 42, 91–120.
- Okudaira, T. (1996): Thermal evolution of the Ryoke metamorphic belt, southwest Japan: Tectonics and numerical modeling. *Island Arc*, 5, 373–385.
- Okudaira, T., Hayasaka, Y., Himeno, O., Watanabe, K., Sakurai, Y. and Ohtomo, Y. (2001): Cooling and inferred exhumation history on the Ryoke metamorphic belt in the Yanai district, south-west Japan: constraints from Rb–Sr and fission-track ages of gneissose granitoid and numerical modeling. *Island Arc*, 10, 98–115.
- 奥平敬元, 隅田祥光 (2011): 領家帯に記録された東アジア東縁の白亜紀イベント. *地学雑誌*. 120, 452–465.
- 大和田正明, 田中 忍, 柚原雅樹, 加々美寛雄 (1995): 山口県東部, 土生花崗閃緑岩の Rb-Sr 全岩年代. *岩鉱*, 90, 358–364.
- 大和田正明, 亀井淳志, 山本耕次, 小山内康人, 加々美寛雄 (1999): 中・北部九州, 白亜紀花崗岩類の時空分布と起源. *地質学論集*, 53, 349–363.
- Paster, T. P., Schauwecker, D. S. and Haskin, L. A. (1974): The behavior of some trace elements during solidification of the Skaergaard layered series. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38, 1549–1577.

- Philpotts, J. A. and Schnetzler, C. C. (1970): Phenocryst-matrix partition coefficients for K, Rb, Sr and Ba, with applications to anorthosite and basalt genesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 34, 307–322.
- Pichavant, M., Mysen, B. O. and Macdonald, R. (2002): Source and H₂O content of high-MgO magmas in island arc settings: an experimental study of a primitive calc-alkaline basalt from St. Vincent, Lesser Antilles arc. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 66, 2193–2209.
- Reid, F. (1983): Origin of the Rhyolitic Rocks of the Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 15, 315–338.
- Rollinson, H. R. (1993): *Using Geochemical Data; Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Singapore Publ. Ltd., 352p.
- Ronov, A. B. and Yaroshevskiy, A. A. (1976): A new model for the chemical structure of the Earth's crust. *Geochemistry International*, 13, 89–121.
- Rutland, R. W. R. (1971): Andean orogeny and ocean floor spreading. *Nature*, 233, 252–255.
- 領家研究グループ (1972) : 中部地方領家帯の花崗岩類の相互関係. *地球科学*, 26, 205–216.
- 先山 徹, 田中 忍 (1984) : 山陰帯および飛騨帯花崗岩類中の角閃石に見られ
累帯構造について. *地球科学*, 38, 321–333.
- 佐藤 戈止 (1933) : 7万5千分の1地質図幅 柳井津図幅地質説明書, 地質調査所.
- Scaillet, B., Pichavent, M. and Roux, J. (1995): Experimental Crystallization of Leucogranite Magmas. *Jour. Petrol.*, 36, 663–705.
- Schmidt, M.W. and Jagoutz, O. (2017): The global systematics of primitive arc melts. *Geochem Geophysics Geosystems*, 18, 2817–2854.
- Schnetzler, C.C. and Philpotts, J.A. (1970): Partition coefficients of rare-earth elements between igneous matrix material and rock-forming mineral phenocrysts; II. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 34, 331–340.

- Shibata, K. and Ishihara, S. (1979): Initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Ratios of Plutonic Rocks From Japan. *Contrib Mineral Petrol*, 70, 381–390.
- 志村俊昭, 小島 萌 (2015) : エクセル VBA によるポイントカウント・アプリケーション. *情報地質*, 26, 15–20.
- Sisson, T. W. and Grove, T. L. (1993): Experimental investigations of the role of H_2O in calc-alkaline differentiation and subduction zone magmatism. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 113, 143–166.
- Sisson, T. W. (1994): Hornblende-Melt Trace-Element Partitioning Measured by Ion Microprobe. *Chemical Geology*, 117, 331–344.
- Sisson, T. W., Ratajeski, K., Hanks, W. B. and Glazner, A. F. (2005): Voluminous granitic magmas from common basaltic sources. *Contrib Mineral Petrol*, 148, 635–661.
- Skrzypek, E., Kawakami, T., Hiragima, T., Sakata, S., Hirata, T. and Ikeda, T. (2016): Revisiting the high temperature metamorphic field gradient of the Ryoke Belt (SW Japan): New constraints from the Iwakuni-Yanai area. *Lithos.*, 260, 9–27.
- Skulski, T., Minarik, W. and Watson, E. B. (1994): High-Pressure Experimental Trace-Element Partitioning between Clinopyroxene and Basaltic Melts. *Chemical Geology*, 117, 127–147.
- Sobolev, A. V., Migdisov, A. A. and Portnyagin, M. V. (1996): Incompatible element partitioning between clinopyroxene and basalt liquid revealed by the study of melt inclusions in minerals from Troodos lavas, Cyprus. *Petrology*, 4, 307–317.
- Steiger, R.H. and Jäger, E. (1977): Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry. *Earth and Planetary Science Letters.*, 36, 359–362.
- Streckeisen, A. (1976): To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Rev.*, 12, 1–33.
- Sun, S.-S. and McDonough, W. F. (1989): Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In

- Saunders, A. D. and Norry, M. J., eds., *Magmatism in the Ocean Basins*. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 42, 313–345.
- Suzuki, K., Adachi, M. and Nureki, T. (1996): CHIME age dating of monazites from metamorphic rocks and granitic rocks of the Ryoke belt in the Iwakuni area, Southwest Japan. *Island Arc*, 5, 43–55.
- Suzuki, K. and Adachi, M. (1998): Denudation history of the high T/P Ryoke metamorphic belt, southwest Japan: constraints from CHIME monazite ages of gneisses and granitoids. *Jour. Metamorphic Geol.*, 16, 23–37.
- 鈴木和恵, 丸山茂徳, 山本伸次, 大森聡一 (2010): 日本列島の大陸地殻は成長したのか? -5つの日本が生まれ, 4つの日本が沈み込み消失した-. *地学雑誌*, 119, 1173–1196.
- 田結庄良昭, 加々美寛雄, 柚原雅樹, 中野 聡, 澤田一彦, 森岡幸三郎 (1999): 高 Sr 同位体比初生値を有する近畿地方白亜紀～古第三紀花崗岩類. *地質学論集*, 53, 309–321.
- Takagi, T. (2004): Origin of magnetite- and ilmenite- series granitic rocks in the Japan arc. *American Journal of Science*, 304, 169–202.
- Takagi, D., Sato, H. and Nakagawa, M. (2005): Experimental study of a low-alkali tholeiite at 1-5 kbar: optimal condition for the crystallization of high-An plagioclase in hydrous arc tholeiite. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 149, 527–540.
- 高橋雅樹 (2000): 島弧・マグマ・テクトニクス. 東京大学出版会, 322p.
- Tatsumi, Y., Sakuyama, M., Fukuyama, H. and Kushiro, I. (1983): Generation of arc basalt magmas and thermal structure of the mantle wedge in subduction zones (Japan arc). *Journal of Geophysical Research*, 88, 5815–5825.
- Tatsumi, Y. (2000): Continental crust formation by crustal delamination in subduction zones and complementary accumulation of the enriched mantle I component in the mantle. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 1, 1–17.
- 巽 好幸 (2003): 安山岩と大陸の起源ローカルからグローバルへ. 東京大学出版会, 213p.

- Taylor, R. T. and McLennan, S. M. (1985): *The Continental Crust: its Composition and Evolution*. Blackwell, Sci. Publ., Oxford, 312p.
- Terakado, Y. and Nohda, S. (1993): Rb-Sr dating of acidic rocks from the middle part of the Inner Zone of southwest Japan: tectonic implications for the migration of the Cretaceous to Paleogene igneous activity. *Chemical Geol.*, 109, 69–87.
- 砺山駿吾 (2020) : 北部九州, 浮嶽複合岩体の岩石学的研究. 山口大学創成化学研究科修士論文(手記), 140p.
- 津根 明 (2005) : Java で作成したマスバランス計算機. *情報地質*, 16, 235–241.
- 浦島遼平 (2016) : 北部九州西部に産する低圧高温型変成岩類の岩石学的研究. 山口大学理工学研究科修士論文(手記), 238p.
- Villemant, B., Jaffrezic, H., Joron, J. L. and Treuil, M. (1981): Distribution Coefficients of Major and Trace-Elements-Fractional Crystallization in the Alkali Basalt Series of Chaîne-Des-Puys (Massif Central, France). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45, 1997–2016.
- Villemant, B. (1988): Trace-Element Evolution in the Phlegrean Fields (Central-Italy) - Fractional Crystallization and Selective Enrichment. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 98, 169–183.
- Watson, E. B. and Harrison, T. M. (1983): Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth Planet Sci. Lett.*, 64, 295–304.
- White, A. J. R. and Chappell, B. W. (1977): Ultrametamorphism and granitoid genesis. *Tectonophysics*, 43, 7–22.
- Whitney, J. A. (1975): The Effects of Pressure, Temperature, and XH₂O on Phase Assemblage in Four Synthetic Rock Compositions. *Jour. Geol.*, 83, 1–31.
- Whitney, J. A. (1988): The origin of granite: The role and source of water in the evolution of granitic magmas. *GSA Bull.*, 100, 1886–1897.
- 山田哲雄, 端山好和, 加々美寛雄, 水掛俊夫, 前野伸一, 政岡邦夫, 仲井 豊, 吉田 勝 (1979) : 泉南地域の領家帯. *地質学論集*, 17, 209–220.

- 山口佳昭 (1984) : 浅所貫入深成岩の Ca 角閃石の累帯構造. 地球科学, 38, 346–351.
- 山本伸次 (2010) : 構造浸食作用 –太平洋型造山運動論と大陸成長モデルへの新視点–. 地学雑誌, 119, 963–998.
- 山崎 徹, 大和田正明, 今岡照喜, 白木敬一 (1999) : 蛍光 X 線分析装置による岩石試料中の主成分および微量元素の定量分析. 山口大学機器分析センター報告, 7, 22–31.
- Yokoyama, K., Shigeoka, M., Otomo, Y., Tokuno, K. and Tsutsumi, Y. (2016): Uraninite and Thorite Ages of Around 400 Granitoids in the Japanese Islands. Mem. Natl. Mus. Nat. Sci., Tokyo, 51, 1–24.
- 吉倉紳一, 熱田真一, 山本哲也, 山本隆広, 村井政徳, 島田和明, 山本定雄 (1999) : 花崗岩-苦鉄質マグマ同時共存の広域的証拠と苦鉄質岩の岩石化学的特徴. 日本地質学会 106 年学術大会講演要旨, 232p.
- 柚原雅樹, 高橋 浩, 加々美寛雄 (1998) : 淡路島の花崗岩類の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代と起源物質. 地質調査所月報, 49, 477–491.
- 柚原雅樹, 岡野 修, 川野良信 (2016) : 志賀島塩基性岩類の Sr・Nd 同位体比組成. 地質学雑誌, 122, 505–508.

付録

付録 1. SNPC と花崗岩の全岩化学組成, モード組成

Sp No.	Granodiorite																			
	1604 2001	1604 2002	1604 2003	1604 2006	1604 2006	1604 2008	1604 2901	1604 2903	1604 2904	1604 2905	1604 2906	1604 2907	1604 2909	1604 2912	1605 2501	1607 2602	1607 26T01	1607 26T02	1607 3006	1607 3007
XRF																				
(wt.%)																				
SiO ₂	65.08	53.45	53.21	53.61	51.05	56.22	52.09	54.41	53.24	52.57	53.56	53.81	62.06	65.25	64.94	57.18	53.05	53.21	69.11	72.07
TiO ₂	0.38	1.09	0.95	1.14	1.15	1.11	1.36	0.89	1.12	1.57	1.27	1.22	0.55	0.44	0.51	0.80	0.73	1.11	0.32	0.14
Al ₂ O ₃	13.82	18.76	21.05	14.79	16.82	17.03	19.84	20.96	18.05	14.17	16.89	17.11	15.23	15.64	14.76	16.83	17.78	17.15	13.42	13.66
Fe ₂ O ₃	3.34	8.99	7.92	9.68	9.42	8.87	8.06	5.29	8.95	12.26	9.80	9.25	4.69	3.77	4.34	7.55	8.11	9.30	3.53	1.27
MnO	0.07	0.16	0.17	0.18	0.17	0.17	0.15	0.09	0.17	0.24	0.18	0.18	0.08	0.07	0.08	0.14	0.15	0.16	0.11	0.06
MgO	1.18	2.87	1.69	4.16	4.33	3.76	2.57	1.44	3.76	5.48	4.04	3.91	1.80	1.40	1.62	3.23	5.10	3.72	0.63	0.23
CaO	3.09	8.32	8.77	7.10	6.50	7.06	9.06	8.46	7.65	7.65	7.66	7.90	3.97	3.80	3.74	6.82	8.75	7.42	0.87	0.91
Na ₂ O	2.62	3.08	3.27	2.24	2.43	2.75	2.60	3.14	2.68	2.05	2.36	2.48	2.65	2.87	2.72	2.66	2.34	2.45	2.71	3.24
K ₂ O	3.69	0.72	0.83	0.94	1.99	0.80	1.08	1.18	1.00	1.33	1.07	0.98	3.55	3.46	3.30	1.68	0.57	1.31	5.19	4.92
P ₂ O ₅	0.05	0.19	0.22	0.18	0.14	0.15	0.25	0.18	0.15	0.22	0.18	0.17	0.07	0.06	0.06	0.11	0.10	0.17	0.05	0.04
LOI	4.51	0.83	0.74	4.56	4.56	0.48	1.24	1.64	1.62	1.59	1.63	1.53	3.07	0.71	1.42	1.05	1.40	2.56	0.75	1.92
Total	97.81	98.47	98.82	98.57	98.55	98.42	98.30	97.68	98.39	99.13	98.65	98.55	97.73	97.47	97.50	98.06	98.08	98.56	96.68	98.44
(ppm)																				
Ba	377	257	253	258	265	239	288	254	249	306	267	264	420	396	357	256	158	279	179	88
Cr	26	31	13	71	80	65	21	13	65	89	65	64	38	30	34	65	158	46	8	7
Nb	6	7	8	8	6	8	8	9	6	10	10	8	7	4	6	8	nd	11	17	13
Ni	7	7	1	12	12	12	3	3	11	17	11	11	10	9	9	10	30	12	6	7
Rb	180	21	25	32	108	30	41	40	35	48	36	32	161	155	153	70	26	57	282	244
Sr	154	354	396	276	270	316	370	413	344	245	310	314	196	194	179	250	280	324	58	54
V	34	97	58	150	139	126	84	46	125	196	134	132	52	39	45	104	130	124	12	2
Y	31	25	15	34	24	25	24	19	29	33	28	29	32	25	31	29	21	25	38	40
Zn	53	113	72	115	112	102	98	62	100	149	118	108	63	48	61	82	80	100	85	26
Zr	202	118	40	243	190	112	136	95	144	148	125	183	274	189	206	186	100	122	77	55
ICP-MS																				
(ppm)																				
Ba	462									225			593		453					
Rb	169									35			155		141					
Sr	142									340			186		164					
Nb	6.6									9.2			7.3		7.2					
Ta	116									0.63			0.83		7.2					
Y	29									24.7			30.2		27.5					
Zr	157									113			230		167					
Hf	4.5									2.7			5.9		4.4					
Th	20									4.23			18.5		13.3					
La	30.1									17.3			41.5		23.6					
Ce	62.8									35.7			87.1		51.9					
Pr	6.65									4.56			9.16		5.73					
Nd	23.7									19.6			32.7		21.4					
Sm	5									4.38			6.24		4.85					
Eu	0.715									1.44			0.988		0.282					
Gd	4.63									4.47			5.8		4.5					
Tb	0.74									0.71			0.88		0.74					
Dy	4.45									4.24			5.15		4.37					
Ho	0.92									0.87			1.01		0.87					
Er	2.63									2.46			2.92		2.6					
Tm	0.409									0.353			0.432		0.389					
Yb	2.95									2.18			2.92		2.65					
Lu	0.455									0.327			0.457		0.423					
Mode date																				
Point																				
Kfs	327				0		33	0		3		242		322	109					
Pl	782				1130		1181	1225		1278		897		789	1077					
Qtz	763				243		246	189		145		614		754	381					
Bt	163				99		150	149		79		159		163	154					
Ms	0				0		0	0		0		0		0	0					
Hbl	29				565		416	459		441		175		35	315					
Aln	0				0		0	0		0		0		0	0					
Grt	0				0		0	0		0		0		0	0					
Opx	0				0		0	0		0		0		0	0					
Cpx	0				0		0	0		0		0		0	0					
Ol	0				0		0	0		0		0		0	0					
Opq	0				49		50	56		93		15		1	37					
total	2064				2086		2077	2078		2040		2102		2064	2073					

付録 1. SNPC と花崗岩の全岩化学組成, モード組成

Granodiorite																						
Sp No.	1607	1607	1607	1607	1607	1608	1608	1608	1608	1608	1610	1610	1610	1610	1610	1610	1706	1706	1706	1706	1807	
	30T01A	30T02	30T03	30T05	30T08	1401A	1401B	1403	1404	1405	2302	2303 II	2307	2308	2602	2607	1601	1606	1613B	16T01	1312	
XRF																						
(wt.%)																						
SiO ₂	54.04	52.46	52.55	52.02	54.04	58.92	60.15	61.57	61.70	61.30	60.48	62.58	57.23	56.70	65.30	64.77	58.89	69.40	58.55	57.39	63.53	
TiO ₂	1.07	1.26	1.36	1.08	1.02	0.72	0.74	0.66	0.64	0.67	0.75	0.51	0.85	0.83	0.45	0.52	0.85	0.39	0.92	0.93	0.64	
Al ₂ O ₃	17.23	16.90	15.86	17.73	17.05	15.69	15.77	15.16	15.45	15.72	15.55	17.11	16.47	16.89	16.62	15.57	16.50	15.54	16.71	17.28	15.58	
Fe ₂ O ₃	9.51	9.92	10.31	9.43	9.22	6.50	6.66	5.95	5.97	6.19	6.80	4.37	7.58	7.58	3.87	4.56	7.48	3.85	8.09	8.16	6.46	
MnO	0.17	0.17	0.18	0.17	0.17	0.12	0.11	0.11	0.10	0.13	0.12	0.07	0.14	0.13	0.06	0.08	0.14	0.06	0.15	0.15	0.12	
MgO	4.60	5.22	4.98	4.04	3.81	2.62	2.73	2.31	2.35	2.43	2.93	1.66	3.13	3.02	1.38	1.60	3.40	0.81	2.60	3.45	1.12	
CaO	6.86	9.23	8.47	7.51	7.46	5.54	5.82	4.88	5.07	5.28	5.22	5.24	6.21	6.65	4.36	3.93	6.78	3.03	6.28	7.15	4.33	
Na ₂ O	1.93	1.66	2.36	2.84	2.55	2.75	2.79	2.79	2.75	2.72	2.61	3.14	2.98	2.75	3.13	2.78	2.80	3.19	3.11	2.70	3.58	
K ₂ O	1.42	0.67	1.11	0.79	1.33	2.17	2.35	2.78	2.80	2.65	2.63	2.34	1.52	1.74	3.20	3.56	1.22	3.88	1.67	1.57	2.56	
P ₂ O ₅	0.14	0.05	0.09	0.18	0.18	0.11	0.11	0.10	0.09	0.10	0.11	0.07	0.13	0.13	0.06	0.07	0.14	0.08	0.20	0.16	0.15	
LOI	0.95	1.40	0.93	2.14	1.41	3.10	0.97	1.85	1.13	0.96	1.46	1.19	1.79	1.80	0.93	1.13	1.52	0.79	1.39	1.09	0.68	
Total	97.91	98.96	98.21	97.93	98.24	98.25	98.20	98.15	98.07	98.15	98.65	98.28	98.03	98.23	99.38	98.57	99.73	101.03	99.69	100.03	98.74	
(ppm)																						
Ba	225	101	193	185	268	367	385	423	392	416	428	391	299	273	414	515	319	428	266	314	449	
Cr	26	56	22	65	58	56	59	52	51	51	60	36	52	53	31	36	70	23	26	42	15	
Nb	11	3	8	9	10	10	6	10	8	7	5	3	10	7	4	7	9	15	10	9	12	
Ni	5	9	5	13	12	12	11	11	10	11	13	10	10	9	8	9	18	15	10	11	12	
Rb	61	31	43	33	46	93	91	119	106	103	103	102	60	63	150	155	66	196	81	67	94	
Sr	237	247	250	348	306	225	218	201	201	222	228	245	252	261	208	182	238	177	290	271	236	
V	157	195	210	139	128	75	76	69	68	72	77	45	104	101	36	47	121	41	104	125	60	
Y	23	15	25	25	27	27	30	31	33	31	30	23	34	27	28	31	23	42	25	22	32	
Zn	94	81	107	104	107	74	78	72	71	87	73	50	115	88	40	51	84	64	111	87	93	
Zr	65	61	146	134	127	186	182	205	207	191	188	166	243	282	170	201	156	179	141	126	198	
ICP-MS																						
(ppm)																						
Ba						388		434		424											432	
Rb						90		114		100												142
Sr						159		187		204												195
Nb						6.6		6.5		6.5												5.8
Ta						1.18		1.39		1.25												1.14
Y						24.3		28.1		28												24.9
Zr						159		184		166												150
Hf						3.9		4.8		4.4												4.1
Th						7.88		10.4		10.9												12.5
La						17.6		27.1		26.8												26
Ce						39		56.7		56.4												51.7
Pr						4.6		6.17		6.33												5.68
Nd						18.6		23		23.2												20.6
Sm						4.08		4.93		4.95												4.23
Eu						1.05		0.921		1.04												0.939
Gd						4.16		4.73		5												4.2
Tb						0.68		0.73		0.8												0.64
Dy						4.07		4.66		4.81												3.97
Ho						0.82		0.9		0.91												0.82
Er						2.41		2.68		2.76												2.4
Tm						0.354		0.385		0.422												0.363
Yb						2.36		2.67		2.73												2.47
Lu						0.368		0.434		0.426												0.389
Mode date																						
Point																						
Kfs	10		0			131	142	229	223	222	235	280	36	37	348	413						
Pl	1311		1067			951	785	915	881	924	1006	829	1083	1010	992	879						
Qtz	91		151			386	501	560	382	521	346	564	381	342	521	460						
Bt	75		142			137	163	159	166	159	95	159	157	139	127	178						
Ms	0		0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Hbl	509		631			448	424	180	338	195	368	248	438	523	65	142						
Aln	0		0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Grt	0		0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Opx	0		36			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Cpx	0		17			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Ol	0		0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Opq	52		68			33	30	17	24	18	25	3	39	45	8	6						
total	2048		2112			2086	2045	2059	2014	2039	2075	2083	2134	2096	2061	2078						

付録 1. SNPC と花崗岩の全岩化学組成, モード組成

Sp No.	coarse-grained leucocratic gabbro				coarse-grained melanocratic gabbro					Granite										
	1705 0104E	1705 0104H	1705 0104J	1711 23T01	1807 1309	1705 01T04	1807 1311	1807 1313A	1807 1314	1107 2201	1107 2205	1107 2212	1107 22T02	1108 202	1108 0301	1110 0803	1110 0804	1110 1508	1203 1806	1203 1814
XRF																				
(wt.%)																				
SiO ₂	45.77	46.19	46.11	48.04	42.46	44.39	44.98	44.61	38.50	75.61	71.69	74.33	75.02	73.44	71.46	71.14	69.20	72.91	72.52	71.20
TiO ₂	0.36	0.39	0.37	0.38	0.40	0.28	0.14	0.13	0.09	0.21	0.29	0.07	0.08	0.19	0.21	0.37	0.36	0.33	0.16	0.27
Al ₂ O ₃	25.25	24.91	25.54	23.54	16.40	17.41	5.18	2.09	2.03	13.24	14.74	14.62	14.17	14.90	15.08	14.21	16.01	14.02	15.21	15.28
Fe ₂ O ₃	6.62	6.13	5.90	6.12	10.73	9.98	12.31	10.83	17.40	2.14	2.64	1.33	1.45	1.82	1.97	2.96	2.96	2.82	1.93	2.53
MnO	0.11	0.11	0.10	0.13	0.20	0.17	0.16	0.18	0.27	0.09	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.06	0.08
MgO	4.03	4.07	3.76	4.80	15.42	10.71	25.31	29.47	35.36	0.47	0.63	0.21	0.22	0.43	0.43	0.73	0.75	0.68	0.32	0.56
CaO	13.15	13.19	13.30	13.42	12.68	13.17	8.55	6.93	1.55	1.75	2.37	1.05	1.07	1.93	2.32	2.73	2.81	2.45	1.80	2.02
Na ₂ O	1.47	1.56	1.42	1.15	0.41	0.79	0.10	0.05	0.01	3.49	3.37	3.64	3.52	3.47	3.81	3.61	3.58	3.15	3.68	3.55
K ₂ O	0.48	0.45	0.47	0.42	0.05	0.12	0.01	0.00	0.00	2.67	3.71	4.51	4.18	3.36	3.57	3.17	4.08	3.38	3.97	4.22
P ₂ O ₅	0.05	0.05	0.07	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04	0.06	0.04	0.04	0.03	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05
LOI	1.00	1.03	1.06	1.72	0.81	0.95	2.33	4.76	7.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	98.29	98.06	98.11	99.75	99.58	97.99	99.09	99.07	102.38	99.71	99.57	99.87	99.82	99.63	98.96	99.05	99.88	99.87	99.70	99.76
(ppm)																				
Ba	72	82	68	40	nd	34	nd	8	nd	83	392	339	282	447	279	368	519	425	425	306
Cr	19	25	18	73	431	457	2027	3514	1453	8	11	8	8	8	13	11	9	8	11	8
Nb	nd	nd	nd	2	2	nd	1	2	1	7	8	5	5	4	5	8	8	6	5	9
Ni	19	17	13	12	163	47	614	692	719	3	7	3	2	5	7	9	10	6	5	7
Rb	19	19	23	27	3	1	6	6	5	175	169	181	175	181	179	126	139	120	160	205
Sr	337	335	370	355	97	224	21	28	13	95	165	84	79	148	162	194	214	176	149	144
V	45	58	32	124	255	218	132	113	74	13	17	4	4	12	11	32	32	28	9	14
Y	10	14	9	8	4	7	3	4	2	35	24	22	23	26	21	24	26	24	23	35
Zn	44	46	37	50	45	64	35	55	60	62	67	41	45	50	50	56	73	79	50	71
Zr	44	37	22	47	nd	16	nd	nd	nd	90	113	56	59	80	81	158	153	135	89	94
ICP-MS																				
(ppm)																				
Ba					28		<3	<3	104		381			292	410			484		
Rb					6		<1	<1	167		166			156	107			110		
Sr					232		23	9	88		75			134	171			158		
Nb					0.8		<0.2	<0.2	11.8		7.7			9.2	8.3			7.2		
Ta					0.09		0.06	0.03	3.56		1.82			2.61	1.28			1.24		
Y					4.7		1.4	0.8	25.3		15.4			14.2	18.4			17.9		
Zr					12		1	1	75		41			66	147			116		
Hf					0.4		<0.1	<0.1	3		1.9			2.5	4.1			3.4		
Th					0.42		<0.05	<0.05	10.8		6.73			9.65	12.5			8.49		
La					1.86		<0.05	<0.05	17.2		13.5			18.3	18.6			19		
Ce					4.31		0.1	0.06	32.4		27			34.5	40.4			34.5		
Pr					0.56		0.03	0.02	4.17		3.18			4.07	4.22			4.04		
Nd					2.57		0.18	0.09	15.9		11.7			15	15.5			14.6		
Sm					0.64		0.12	0.07	4.19		3.09			3.46	3.34			3		
Eu					0.561		0.054	0.026	0.41		0.434			0.568	0.857			0.821		
Gd					0.75		0.18	0.1	4.72		3.28			3.75	3.56			3.22		
Tb					0.13		0.03	0.02	0.84		0.57			0.58	0.58			0.54		
Dy					0.85		0.24	0.13	5.06		3.4			3.22	3.62			3.33		
Ho					0.17		0.05	0.04	0.91		0.59			0.57	0.75			0.69		
Er					0.49		0.16	0.11	2.66		1.52			1.58	2.14			2.11		
Tm					0.07		0.023	0.015	0.424		0.206			0.221	0.337			0.32		
Yb					0.47		0.15	0.1	2.76		1.18			1.41	2.18			2.1		
Lu					0.076		0.025	0.016	0.388		0.157			0.211	0.32			0.33		
Mode date																				
Point																				
Kfs	0				0	0				114	383	311	86	448	303	342	325	465	861	
Pl	1412				969	1002				850	612	562	957	692	948	722	563	690	424	
Qtz	9				0	0				677	714	807	586	445	390	562	689	707	392	
Bt	17				8	15				173	90	73	168	150	233	214	215	164	211	
Ms	0				0	0				3	73	87	3	14	0	0	0	30	9	
Hbl	580				627	632				0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	
Aln	0				0	0				0	0	0	0	0	1	21	0	0	0	
Grt	0				0	0				1	7	0	0	0	0	0	0	4	17	
Opx	0				179	162				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cpx	0				106	113				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ol	0				93	81				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Opq	15				39	36				0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	
total	2033				2021	2041				1818	1879	1840	1800	1749	1881	1861	1792	2060	1920	

付録 1. SNPC と花崗岩の全岩化学組成, モード組成

Sp No.	Granite																			
	1204 0504	1204 1610	1204 2901	1204 2915	1206 0707	1206 1010	1208 1302	1208 1709	1208 2204	1208 2406	1208 2409	1209 1707	1210 0910	1210 1011	1210 2203	1210 2211	1210 3006	1403 1101A	1403 1101B	1403 1102
XRF																				
(wt.%)																				
SiO ₂	67.24	73.91	67.58	69.97	70.33	78.35	71.46	75.17	72.88	72.69	72.06	68.83	76.48	67.48	71.08	70.59	74.61	68.95	73.24	70.34
TiO ₂	0.54	0.19	0.53	0.44	0.32	0.18	0.40	0.09	0.27	0.15	0.23	0.22	0.03	0.46	0.27	0.47	0.16	0.26	0.30	0.39
Al ₂ O ₃	15.57	14.00	15.03	15.48	14.96	12.90	14.86	14.66	14.35	15.15	14.97	15.86	14.66	16.28	15.53	14.54	14.40	15.19	13.83	14.78
Fe ₂ O ₃	4.48	1.86	4.39	3.34	2.71	1.70	3.42	1.46	2.55	2.10	2.27	2.36	0.88	3.84	2.43	3.89	1.02	2.03	2.29	3.06
MnO	0.08	0.06	0.08	0.06	0.07	0.05	0.08	0.05	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.09	0.03	0.05	0.06	0.08
MgO	1.76	0.43	1.69	0.74	0.69	0.43	0.88	0.23	0.62	0.37	0.54	0.41	0.13	0.98	0.56	1.03	0.20	0.52	0.60	0.85
CaO	3.78	2.01	3.77	2.78	2.53	1.70	2.53	0.86	1.95	1.46	2.32	2.17	0.94	2.23	1.79	2.42	0.82	2.54	2.55	2.62
Na ₂ O	2.98	3.42	2.94	3.70	3.32	2.91	3.19	3.20	3.14	3.25	3.68	3.45	4.00	3.34	3.06	3.19	2.73	3.43	3.17	3.29
K ₂ O	3.80	3.47	3.52	2.95	4.50	3.52	4.07	4.03	3.74	4.36	3.37	5.57	4.33	4.48	4.14	4.15	6.13	4.88	3.44	3.49
P ₂ O ₅	0.06	0.04	0.06	0.09	0.04	0.03	0.06	0.04	0.06	0.06	0.05	0.03	0.03	0.08	0.06	0.07	0.03	0.04	0.04	0.06
LOI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	100.29	99.39	99.59	99.55	99.47	101.77	100.95	99.79	99.63	99.66	99.56	98.96	101.54	99.24	98.99	100.44	100.13	97.89	99.52	98.96
(ppm)																				
Ba	471	260	439	385	559	195	379	296	221	424	281	1112	259	403	320	357	444	803	471	467
Cr	17	12	21	10	9	7	4	8	9	10	12	11	5	3	9	2	4	14	12	9
Nb	8	5	8	8	6	2	10	5	8	5	6	10	1	15	8	13	7	7	4	9
Ni	13	5	13	10	9	0	7	2	6	4	6	9	1	11	8	9	5	11	7	10
Rb	157	171	149	127	168	132	182	148	174	192	152	171	140	198	186	189	271	153	118	125
Sr	165	135	163	220	164	119	151	84	129	124	155	240	66	148	132	135	93	238	197	203
V	53	11	51	21	28	11	35	5	14	8	14	18	2	42	14	43	5	22	26	34
Y	33	21	32	16	29	20	42	24	30	24	25	29	25	39	24	43	13	15	18	21
Zn	67	49	64	85	64	46	86	24	65	60	58	59	33	59	67	75	38	47	50	71
Zr	191	85	193	148	126	75	162	80	96	96	92	147	41	171	109	186	112	99	127	150
ICP-MS																				
(ppm)																				
Ba			498	420		240									386	431		520		
Rb			68	127		122									95	177		102		
Sr			318	217		109									215	123		167		
Nb			11.9	10		6.9									10	11.4		5.6		
Ta			0.94	1.93		1.72									0.98	1.94		0.82		
Y			25.6	12.5		15.1									18.4	29		13		
Zr			207	145		57									77	147		90		
Hf			5.3	4.2		2.1									2.2	4.7		2.9		
Th			9.09	12		8.8									10.4	16.5		7.82		
La			31.9	27.2		16.1									24.3	36.4		18		
Ce			66.7	55.9		31.7									46.6	52.5		35.2		
Pr			7.85	6.09		3.49									5.5	8.34		3.97		
Nd			31.6	21.9		12.8									20	30.9		14		
Sm			6.94	4.76		3.09									4.01	6.53		2.85		
Eu			1.84	0.953		0.456									1.17	0.734		0.891		
Gd			6.86	3.74		3.1									3.55	6.49		2.86		
Tb			1.03	0.51		0.51									0.56	1.02		0.46		
Dy			5.28	2.45		3.07									3.26	6.02		2.61		
Ho			0.86	0.41		0.56									0.64	1.18		0.52		
Er			2.13	1.05		1.63									1.83	3.47		1.55		
Tm			0.272	0.145		0.231									0.28	0.513		0.238		
Yb			1.64	0.94		1.43									1.83	3.35		1.52		
Lu			0.228	0.133		0.218									0.275	0.509		0.232		
Mode date																				
Point																				
Kfs	302	861	311	678	463	954	881	873	921	739	791	310	918	311	710	691	821			
Pl	462	419	658	631	550	327	618	468	461	524	688	581	419	781	543	644	378			
Qtz	741	442	919	542	619	354	549	382	573	319	438	828	381	699	686	376	418			
Bt	296	219	281	183	268	136	302	219	271	198	192	189	174	209	282	288	169			
Ms	0	0	0	0	0	28	41	32	24	19	0	4	0	0	7	1	0			
Hbl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Aln	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Grt	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6			
Opx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Cpx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Ol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Opq	0	2	0	0	0	0	0	0	0	7	8	0	0	0	6	0	0			
total	1801	1943	2169	2046	1900	1799	2391	1974	2250	1806	2117	1912	1892	2000	2234	2000	1792			

付録 1. SNPC と花崗岩の全岩化学組成, モード組成

Sp No.	Granite				
	1403 1103	1403 1105	1403 1107	1403 1108	1403 1110
XRF					
(wt.%)					
SiO ₂	71.09	71.66	72.33	73.68	72.95
TiO ₂	0.43	0.33	0.41	0.22	0.28
Al ₂ O ₃	14.39	14.75	14.23	13.91	14.10
Fe ₂ O ₃	3.51	2.59	3.26	2.12	2.14
MnO	0.08	0.08	0.09	0.06	0.06
MgO	0.90	0.63	0.83	0.50	0.53
CaO	2.10	2.60	1.82	1.83	2.43
Na ₂ O	2.94	3.52	3.17	3.10	3.15
K ₂ O	3.44	3.28	3.63	3.37	2.86
P ₂ O ₅	0.07	0.05	0.07	0.03	0.04
LOI	-	-	-	-	-
Total	98.95	99.49	99.84	98.82	98.54
(ppm)					
Ba	386	440	420	249	401.3
Cr	5	9	1	12	13.6
Nb	10	6	11	7	4
Ni	9	8	8	5	6.9
Rb	127	114	156	174	103
Sr	176	203	192	123	200
V	36	27	34	13	22.8
Y	24	21	24	22	22.6
Zn	74	92	89	57	49
Zr	161	160	199	100	136.3
ICP-MS					
(ppm)					
Ba	409	475			414
Rb	112	99			86
Sr	158	172			167
Nb	8.2	6.7			5
Ta	1.24	0.97			0.8
Y	17	14.5			17.1
Zr	126	115			120
Hf	4	3.3			3.5
Th	15.8	11.1			11.4
La	31.4	17.7			29.5
Ce	57.7	39.7			49.5
Pr	6.72	3.78			6.23
Nd	24.4	13.6			22.5
Sm	4.32	2.86			4.17
Eu	0.881	0.834			1.04
Gd	4.1	2.94			3.99
Tb	0.63	0.48			0.6
Dy	3.64	2.88			3.39
Ho	0.73	0.58			0.66
Er	2.16	1.79			1.94
Tm	0.327	0.276			0.292
Yb	2.1	1.79			1.86
Lu	0.304	0.263			0.269
Mode date					
Point					
Kfs					
Pl					
Qtz					
Bt					
Ms					
Hbl					
Aln					
Grt					
Opx					
Cpx					
Ol					
Opq					
total					

付録 2. SNPC と花崗岩の鉱物化学組成(花崗閃緑岩)

Granodiorite																				
	Hb					Hb					Bt					Pl				
	Core	Core	Core	Core	Av. (n=32)	rim	rim	rim	rim	Av. (n=12)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=14)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=32)
SiO ₂	44.62	44.82	46.57	45.90	45.70	47.63	47.67	47.24	49.36	48.09	34.75	36.31	34.58	34.40	34.82	48.44	49.16	53.37	53.10	52.48
TiO ₂	2.01	1.61	1.32	1.46	1.45	1.09	0.95	0.89	0.24	0.70	4.88	4.45	4.89	5.04	4.93	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Al ₂ O ₃	8.42	7.80	7.00	6.88	6.90	6.07	5.88	5.74	4.73	5.52	14.37	13.95	14.04	14.23	14.04	32.79	32.29	28.78	29.08	29.71
Cr ₂ O ₃	0.03	0.03	0.00	0.03	0.04	0.03	0.01	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.05	0.01	0.00	0.00	0.02
FeO	17.00	17.65	18.66	18.33	18.53	18.82	19.08	18.59	18.16	18.79	22.48	22.48	22.72	22.49	22.16	0.12	0.22	0.12	0.09	0.14
MnO	0.27	0.29	0.39	0.33	0.40	0.39	0.46	0.47	0.41	0.48	0.16	0.26	0.17	0.21	0.20	0.04	0.05	0.02	0.01	0.01
MgO	10.77	10.32	10.38	10.86	10.48	10.64	10.92	10.78	10.85	10.79	9.37	10.17	9.23	9.12	9.47	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
CaO	10.71	10.55	10.82	10.64	10.40	10.54	10.53	10.47	11.35	10.60	0.64	0.28	0.69	1.11	0.87	14.20	13.49	11.51	11.07	11.85
Na ₂ O	1.36	1.15	0.96	0.94	1.21	0.70	0.81	0.74	0.40	0.73	0.14	0.16	0.13	0.11	0.14	2.95	3.37	4.71	5.02	4.59
K ₂ O	0.75	0.68	0.58	0.60	0.66	0.43	0.38	0.40	0.11	0.35	8.03	7.93	8.05	7.56	7.47	0.09	0.10	0.12	0.11	0.15
Total	95.94	94.88	96.68	95.98	95.77	96.34	96.68	95.33	95.62	96.08	94.82	95.99	94.49	94.30	94.11	98.69	98.70	98.64	98.50	98.97
O	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	22	22	22	22	22	8	8	8	8	8
Si	6.78	6.90	7.04	6.99	6.99	7.21	7.20	7.23	7.47	7.29	5.41	5.56	5.42	5.39	5.45	2.38	2.41	2.44	2.43	2.44
Ti	0.23	0.19	0.15	0.17	0.17	0.12	0.11	0.10	0.03	0.08	0.57	0.51	0.58	0.59	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.51	1.41	1.25	1.23	1.24	1.08	1.05	1.03	0.84	0.99	2.64	2.52	2.59	2.63	2.59	1.70	1.66	1.55	1.57	1.57
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	2.16	2.27	2.36	2.33	2.37	2.38	2.41	2.38	2.30	2.38	2.93	2.88	2.98	2.95	2.90	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
Mn	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.06	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	2.44	2.37	2.34	2.47	2.39	2.40	2.46	2.46	2.45	2.44	2.18	2.32	2.16	2.13	2.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	1.74	1.74	1.75	1.74	1.70	1.71	1.70	1.72	1.84	1.72	0.11	0.05	0.12	0.19	0.15	0.54	0.51	0.56	0.54	0.53
Na	0.40	0.34	0.28	0.28	0.36	0.21	0.24	0.22	0.12	0.22	0.04	0.05	0.04	0.03	0.04	0.25	0.28	0.42	0.45	0.40
K	0.15	0.13	0.11	0.12	0.13	0.08	0.07	0.08	0.02	0.07	1.60	1.55	1.61	1.51	1.49	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Total	15.44	15.39	15.34	15.37	15.40	15.25	15.30	15.28	15.12	15.25	15.50	15.48	15.50	15.46	15.43	4.88	4.89	4.99	5.00	4.97
Mg#	53.03	51.04	49.79	51.37	50.18	50.19	50.50	50.83	51.57	50.56	42.63	44.64	42.00	41.97	43.23					
Fo																				
Fa																				
Wo																				
En																				
Fs																				
An																68.23	64.09	57.04	54.59	56.56
Ab																31.15	35.26	42.28	44.78	42.51
Or																0.61	0.65	0.69	0.63	0.93

Granodiorite															
	Pl					Ilm					Ttn				
	rim	rim	rim	rim	Av. (n=31)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=6)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=11)
SiO ₂	54.17	55.23	55.23	58.00	54.89	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	30.18	30.29	30.41	30.66	30.35
TiO ₂	0.03	0.04	0.04	0.00	0.02	52.18	52.15	52.17	51.29	51.73	30.82	30.71	30.02	30.29	31.54
Al ₂ O ₃	28.44	27.53	27.53	26.66	28.15	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	5.54	6.04	6.36	6.42	5.30
Cr ₂ O ₃	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07	0.07	0.00	0.00	0.04	0.03	0.02	0.00	0.03	0.03
FeO	0.16	0.07	0.07	0.07	0.15	42.60	41.61	41.69	42.82	42.14	1.02	0.53	0.66	0.83	0.81
MnO	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	4.10	5.02	4.67	4.06	4.20	0.05	0.00	0.02	0.02	0.03
MgO	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.04	0.06	0.04	0.06	0.10	0.04	0.05	0.03	0.03	0.04
CaO	11.01	9.61	9.61	8.63	10.24	0.00	0.01	0.22	0.02	0.13	28.43	28.17	27.28	27.03	27.47
Na ₂ O	5.29	5.98	5.98	6.32	5.54	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01
K ₂ O	0.14	0.19	0.19	0.14	0.18	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02
Total	99.31	98.67	98.67	99.82	99.19	99.03	98.95	98.84	98.34	98.41	96.12	95.82	94.80	95.35	95.59
O	8	8	8	8	8	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5
Si	2.46	2.52	2.52	2.60	2.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.01
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.77	0.76	0.75	0.75	0.74
Al	1.52	1.48	1.48	1.41	1.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.23	0.25	0.25	0.20
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.90	0.88	0.88	0.92	0.90	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.11	0.10	0.09	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.54	0.47	0.47	0.41	0.47	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	1.01	0.99	0.97	0.96	0.99
Na	0.47	0.53	0.53	0.55	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	5.01	5.01	5.01	4.97	4.97	1.99	1.99	1.99	2.00	1.99	3.02	3.00	3.01	3.01	2.97
Mg#															
Fo															
Fa															
Wo															
En															
Fs															
An	53.08	46.51	46.51	42.66	48.99										
Ab	46.12	52.41	52.41	56.51	49.96										
Or	0.80	1.08	1.08	0.82	1.05										

付録 2. SNPC と花崗岩の鉍物化学組成(細粒斑レイ岩)

fine-grained gabbro																				
Cpx					Hb					Amp(OI仮象)					Bt					
Core	Core	Core	Core	Av. (n=6)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=16)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=10)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=11)	
SiO ₂	50.66	51.77	51.51	51.01	51.08	50.47	48.43	43.66	41.70	46.08	52.51	51.50	50.86	51.03	51.12	35.58	35.24	36.90	36.90	35.21
TiO ₂	0.45	0.06	0.69	0.46	0.45	0.16	0.28	1.46	1.58	0.79	0.22	0.12	0.10	0.08	0.08	3.63	3.98	0.73	2.56	3.31
Al ₂ O ₃	1.68	0.28	1.68	1.73	1.42	2.66	4.25	7.21	8.74	6.00	0.68	1.05	0.48	0.38	0.54	12.45	12.51	13.40	12.58	12.97
Cr ₂ O ₃	0.02	0.04	0.09	0.04	0.06	0.01	0.04	0.05	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02	0.07	0.01	0.02
FeO	15.40	14.41	10.43	12.65	13.16	18.93	21.31	22.77	25.72	22.18	26.83	27.52	30.36	30.76	30.30	25.03	24.70	21.80	23.38	26.45
MnO	0.46	0.54	0.26	0.41	0.41	0.43	0.51	0.50	0.46	0.45	1.06	1.02	1.14	1.10	1.17	0.16	0.17	0.17	0.17	0.25
MgO	11.63	11.27	14.47	13.50	12.67	11.87	9.51	7.38	5.02	8.40	13.54	12.53	11.21	11.26	11.18	8.13	7.90	11.52	10.42	7.01
CaO	18.56	21.15	19.71	19.20	19.68	10.32	10.76	10.71	10.56	10.78	2.28	2.44	1.53	1.29	1.57	0.00	0.05	0.02	0.08	0.03
Na ₂ O	0.22	0.13	0.19	0.22	0.20	0.52	0.68	1.13	1.45	0.94	0.13	0.12	0.08	0.06	0.08	0.05	0.02	0.09	0.05	0.06
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.40	1.06	1.44	0.77	0.03	0.05	0.04	0.02	0.02	10.02	10.02	10.09	10.00	9.99
Total	99.08	99.64	99.04	99.22	99.13	95.65	96.16	95.93	96.70	96.44	97.28	96.35	95.80	95.96	96.07	95.08	94.62	94.79	96.15	95.30
O	6	6	6	6	6	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	22	22	22	22	22
Si	1.95	1.99	1.94	1.94	1.95	7.69	7.45	6.91	6.68	7.17	7.93	7.89	7.92	7.96	7.95	5.71	5.66	5.85	5.78	5.67
Ti	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.17	0.19	0.09	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.44	0.48	0.09	0.30	0.40
Al	0.08	0.01	0.07	0.08	0.06	0.48	0.77	1.34	1.65	1.10	0.12	0.19	0.09	0.07	0.10	2.36	2.37	2.51	2.32	2.46
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Fe	0.50	0.46	0.33	0.40	0.42	2.41	2.74	3.01	3.44	2.88	3.39	3.53	3.96	4.01	3.94	3.36	3.32	2.89	3.06	3.57
Mn	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.14	0.13	0.15	0.14	0.15	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
Mg	0.67	0.64	0.81	0.76	0.72	2.70	2.18	1.74	1.20	1.95	3.05	2.86	2.60	2.62	2.59	1.94	1.89	2.72	2.43	1.68
Ca	0.76	0.87	0.80	0.78	0.81	1.68	1.78	1.82	1.81	1.80	0.37	0.40	0.26	0.22	0.26	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Na	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.15	0.20	0.35	0.45	0.28	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.08	0.21	0.29	0.15	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	2.05	2.05	2.04	2.00	2.05
Total	4.00	4.01	4.00	4.01	4.00	15.25	15.31	15.62	15.78	15.49	15.06	15.06	15.02	15.05	15.03	15.90	15.82	16.16	15.95	15.89
Mg#	57.38	58.23	71.22	65.54	63.14	52.78	44.30	36.61	25.81	40.29	47.37	44.81	39.70	39.48	39.68	36.67	36.31	48.51	44.28	31.97
Fo																				
Fa																				
Wo	39.68	44.00	41.08	40.13	41.36															
En	34.61	32.61	41.96	39.24	37.02															
Fs	25.71	23.39	16.96	20.64	21.62															
An																				
Ab																				
Or																				

fine-grained gabbro																				
Pl(斑晶)					Pl(斑晶)					Pl(石基)					Ilm					
Core	Core	Core	Core	Av. (n=6)	rim	rim	rim	rim	Av. (n=5)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=5)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=8)	
SiO ₂	47.85	48.66	49.05	49.64	49.03	50.77	52.96	53.44	55.63	54.01	61.69	61.56	61.23	61.19	61.83	0.00	0.09	0.02	0.04	0.03
TiO ₂	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	52.37	51.77	52.09	51.60	52.01
Al ₂ O ₃	32.51	32.25	32.13	31.30	32.01	30.63	29.04	28.67	27.52	28.51	22.83	23.42	24.11	23.56	23.09	0.00	0.05	0.00	0.01	0.02
Cr ₂ O ₃	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.03	0.02	0.03	0.03	0.07	0.00	0.02	0.05	0.04	0.02	0.05	0.00	0.06	0.04
FeO	0.11	0.15	0.14	0.12	0.11	0.14	0.29	0.65	0.11	0.27	0.31	0.12	0.22	0.23	0.22	45.29	45.32	45.40	45.44	45.56
MnO	0.00	0.04	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.21	2.18	1.92	2.22	1.82
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.07	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.06	0.03	0.03	0.04
CaO	15.94	15.60	15.13	14.56	15.15	13.74	11.84	11.55	9.87	11.14	4.44	4.95	5.40	5.81	5.22	0.01	0.08	0.03	0.04	0.11
Na ₂ O	2.38	2.62	2.84	2.98	2.81	3.67	4.61	4.64	5.91	5.06	8.56	8.55	8.32	7.99	8.37	0.02	0.04	0.00	0.01	0.01
K ₂ O	0.06	0.04	0.06	0.08	0.06	0.11	0.23	0.17	0.15	0.16	0.19	0.30	0.27	0.21	0.25	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01
Total	98.92	99.38	99.37	98.70	99.22	99.16	99.05	99.21	99.25	99.23	98.11	98.90	99.61	99.05	99.04	99.94	99.66	99.50	99.46	99.65
O	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	3	3	3	3	3
Si	2.22	2.24	2.25	2.29	2.26	2.33	2.42	2.44	2.52	2.46	2.78	2.76	2.73	2.74	2.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.98	0.99	0.98	0.99
Al	1.77	1.75	1.74	1.70	1.74	1.66	1.56	1.54	1.47	1.53	1.21	1.24	1.27	1.24	1.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.95	0.96	0.96	0.96	0.96
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.79	0.77	0.74	0.72	0.75	0.68	0.58	0.56	0.48	0.54	0.21	0.24	0.26	0.28	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.21	0.23	0.25	0.27	0.25	0.33	0.41	0.41	0.52	0.45	0.75	0.74	0.72	0.69	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	5.00	5.00	5.00	4.99	5.01	5.00	5.00	5.00	5.01	5.00	4.99	5.00	5.01	4.98	4.99	1.99	1.99	1.99	1.99	2.00
Mg#																				
Fo																				
Fa																				
Wo																				
En																				
Fs																				
An	78.47	76.51	74.36	72.59	74.72	66.97	57.88	57.31	47.58	54.34	22.04	23.83	25.99	28.32	25.26					
Ab	21.17	23.26	25.29	26.91	24.91	32.36	40.78	41.68	51.55	44.72	76.85	74.47	72.46	70.47	73.28					
Or	0.36	0.24	0.34	0.49	0.38	0.66	1.34	1.01	0.87	0.94	1.11	1.69	1.55	1.22	1.46					

付録 2. SNPC と花崗岩の鉱物化学組成(粗粒優白質斑レイ岩)

coarse-grained leucocratic gabbro																				
	Cpx					Hb					Hb					Bt				
	Core	Core	Core	Core	Av. (n=15)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=26)	rim	rim	rim	rim	Av. (n=41)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=13)
SiO ₂	51.72	51.57	51.82	51.73	51.73	41.77	46.08	48.65	50.32	48.08	48.23	49.90	50.11	51.19	49.85	36.07	36.21	36.71	36.27	36.56
TiO ₂	0.14	0.12	0.04	0.13	0.09	1.36	0.06	0.99	0.30	0.66	0.71	0.73	0.75	0.18	0.42	5.28	5.35	4.61	5.24	4.88
Al ₂ O ₃	0.52	0.54	0.13	0.37	0.47	12.15	9.67	5.29	4.17	5.91	5.22	4.03	3.92	2.73	4.45	15.17	15.18	15.30	15.03	14.88
Cr ₂ O ₃	0.00	0.01	0.06	0.03	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.04	0.00	0.03	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
FeO	10.07	10.42	9.41	10.14	10.61	15.97	14.58	13.97	14.04	16.10	17.90	13.73	14.97	15.03	15.53	15.59	15.12	14.86	15.54	15.44
MnO	0.42	0.42	0.29	0.41	0.35	0.16	0.22	0.22	0.25	0.27	0.31	0.26	0.42	0.28	0.31	0.08	0.07	0.05	0.03	0.05
MgO	12.63	13.32	12.63	12.64	13.21	11.14	13.50	14.29	15.23	12.75	11.71	14.58	14.12	15.71	13.75	13.31	13.55	14.22	13.30	13.39
CaO	24.40	23.35	25.44	24.30	22.79	10.41	10.99	10.74	10.89	10.80	11.19	11.21	10.43	8.86	10.96	0.04	0.01	0.02	0.04	0.04
Na ₂ O	0.12	0.14	0.04	0.10	0.14	1.79	1.41	0.63	0.55	0.72	0.49	0.67	0.46	0.32	0.50	0.55	0.64	0.67	0.62	0.61
K ₂ O	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.47	0.20	0.42	0.27	0.31	0.27	0.31	0.26	0.06	0.21	9.36	9.00	8.77	9.09	8.98
Total	100.02	99.91	99.88	99.86	99.42	95.23	96.71	95.22	96.02	95.61	96.07	95.43	95.49	94.44	95.99	95.46	95.13	95.21	95.17	94.83
O	6	6	6	6	6	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	22	22	22	22	22
Si	1.96	1.95	1.96	1.96	1.96	6.38	6.82	7.27	7.43	7.23	7.29	7.43	7.45	7.66	7.42	5.42	5.42	5.47	5.45	5.50
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.01	0.11	0.03	0.07	0.08	0.08	0.08	0.02	0.05	0.60	0.60	0.52	0.59	0.55
Al	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	2.19	1.69	0.93	0.73	1.05	0.93	0.71	0.69	0.48	0.78	2.68	2.68	2.69	2.66	2.64
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.32	0.33	0.30	0.32	0.34	2.04	1.81	1.75	1.73	2.03	2.26	1.71	1.86	1.88	1.93	1.96	1.89	1.85	1.95	1.94
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
Mg	0.71	0.75	0.71	0.71	0.75	2.53	2.98	3.19	3.35	2.85	2.64	3.23	3.13	3.50	3.05	2.98	3.03	3.16	2.98	3.01
Ca	0.99	0.95	1.03	0.99	0.93	1.70	1.74	1.72	1.72	1.74	1.81	1.79	1.66	1.42	1.75	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Na	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.53	0.41	0.18	0.16	0.21	0.14	0.19	0.13	0.09	0.14	0.16	0.19	0.19	0.18	0.18
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.04	0.08	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.01	0.04	1.79	1.72	1.67	1.74	1.72
Total	4.03	4.03	4.03	4.03	4.02	15.64	15.52	15.26	15.24	15.28	15.25	15.23	15.12	15.11	15.21	15.61	15.54	15.57	15.57	15.56
Mg#	69.10	69.49	70.52	68.96	68.94	55.42	62.27	64.58	65.90	58.44	53.83	65.43	62.71	65.07	61.18	60.35	61.51	63.05	60.41	60.73
Fo																				
Fa																				
Wo	48.97	46.68	50.52	48.78	46.09															
En	35.26	37.05	34.89	35.32	37.17															
Fs	15.77	16.27	14.59	15.90	16.75															
An																				
Ab																				
Or																				
coarse-grained leucocratic gabbro																				
	Pl					Pl					Ilm					Ttn				
	Core	Core	Core	Core	Av. (n=54)	rim	rim	rim	rim	Av. (n=23)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=11)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=31)
SiO ₂	44.42	45.40	45.96	46.71	44.86	48.21	51.29	53.56	54.15	52.62	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	30.34	30.12	29.67	30.30	30.47
TiO ₂	0.01	0.03	0.04	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.04	0.02	52.31	52.50	52.21	51.69	51.78	33.93	35.06	36.58	33.28	34.00
Al ₂ O ₃	35.41	34.80	34.68	34.04	35.24	32.88	30.55	29.10	28.72	29.97	0.02	0.00	0.00	0.03	0.01	4.15	3.23	1.77	4.09	3.10
Cr ₂ O ₃	0.01	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02	0.06	0.00	0.00	0.01	0.05	0.00	0.00	0.02	0.01	0.07	0.06	0.01	0.10	0.02
FeO	0.01	0.04	0.15	0.22	0.10	0.23	0.34	0.10	0.12	0.17	43.27	43.46	43.81	43.22	43.51	0.70	0.98	0.39	0.85	0.97
MnO	0.00	0.00	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	3.11	3.03	2.76	2.84	3.03	0.04	0.04	0.02	0.00	0.02
MgO	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.14	0.11	0.14	0.11	0.11	0.00	0.10	0.00	0.02	0.36
CaO	18.15	17.40	16.89	16.24	17.90	14.88	12.68	11.14	10.54	11.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	28.84	27.80	27.94	26.92	27.48
Na ₂ O	1.04	1.36	1.87	2.35	1.25	2.93	4.53	5.47	5.98	4.80	0.03	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01
K ₂ O	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.09	0.07	0.16	0.09	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.01	0.02
Total	99.08	99.11	99.67	99.60	99.42	99.21	99.55	99.44	99.76	99.60	98.94	99.12	98.93	97.91	98.58	98.09	97.44	96.40	95.58	96.44
O	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5
Si	2.07	2.11	2.12	2.15	2.08	2.22	2.34	2.43	2.45	2.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.02
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.84	0.87	0.92	0.84	0.85
Al	1.94	1.90	1.88	1.85	1.92	1.79	1.65	1.56	1.53	1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.13	0.07	0.16	0.12
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02
Ca	0.90	0.86	0.83	0.80	0.89	0.73	0.62	0.54	0.51	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01	0.98	1.01	0.97	0.98
Na	0.09	0.12	0.17	0.21	0.11	0.26	0.40	0.48	0.53	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	5.01	5.00	5.02	5.02	5.01	5.02	5.03	5.02	5.04	5.01	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	3.03	3.01	3.01	3.01	3.02
Mg#																				
Fo																				
Fa																				
Wo																				
En																				
Fs																				
An	90.52	87.38	83.26	79.17	88.69	73.58	60.47	52.75	48.89	57.52										
Ab	9.38	12.36	16.65	20.71	11.18	26.25	39.04	46.88	50.24	41.94										
Or	0.10	0.25	0.09	0.12	0.13	0.17	0.49	0.37	0.87	0.54										

付録 2. SNPC と花崗岩の鉱物化学組成(粗粒優黒質斑レイ岩)

coarse-grained melanocratic gabbro																				
	Ol					Opx					Cpx					Brown-Hb				
	Core	Core	Core	Core	Av. (n=17)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=14)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=22)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=18)
SiO ₂	36.01	36.17	35.92	36.10	35.92	53.22	52.95	53.35	53.22	53.01	51.99	52.43	53.32	54.12	52.88	42.96	41.51	45.24	42.89	43.61
TiO ₂	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	0.17	0.46	0.02	0.13	0.23	0.42	0.37	0.18	0.08	0.30	0.00	0.00	0.27	1.92	1.41
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	1.29	1.50	1.18	1.1	1.16	1.88	1.67	1.19	0.32	1.32	15.67	14.98	12.19	12.59	12.21
Cr ₂ O ₃	0.05	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02	0.11	0.02	0.11	0.08	0.20	0.37	0.06	0.02	0.19	0.05	0.05	0.05	0.14	0.18
FeO	33.45	34.92	33.64	33.21	33.91	19.38	18.56	18.92	19.31	19.16	9.97	7.33	7.65	6.22	7.37	12.17	13.56	8.91	10.26	10.97
MnO	0.55	0.58	0.61	0.50	0.54	0.45	0.50	0.49	0.42	0.49	0.25	0.32	0.25	0.27	0.26	0.23	0.23	0.09	0.12	0.17
MgO	29.60	28.48	29.23	29.68	28.89	24.39	24.12	24.64	23.68	23.81	16.54	14.64	15.34	15.12	15.51	12.76	11.35	15.59	14.48	13.85
CaO	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.88	1.44	0.60	1.08	1.19	18.49	22.56	21.71	24.13	21.81	11.09	11.43	11.62	11.40	11.49
Na ₂ O	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.02	0.02	0.13	0.22	0.26	0.03	0.14	2.45	2.02	2.04	2.43	1.99
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.13	0.26	0.34	0.56	0.54
Total	99.71	#####	99.50	99.55	99.33	99.80	99.67	99.25	99.07	99.14	99.88	99.91	99.96	#####	99.77	97.51	95.39	96.34	96.78	96.43
O	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	23	23	23	23	23
Si	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.96	1.95	1.97	1.97	1.97	1.93	1.95	1.97	1.99	1.96	6.27	6.32	6.57	6.29	6.43
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.21	0.16
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.07	0.05	0.05	0.05	0.08	0.07	0.05	0.01	0.06	2.69	2.64	2.09	2.18	2.12
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Fe	0.77	0.81	0.78	0.77	0.80	0.60	0.57	0.58	0.60	0.59	0.31	0.23	0.24	0.19	0.23	1.48	1.69	1.08	1.26	1.36
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02
Mg	1.22	1.17	1.21	1.22	1.19	1.34	1.32	1.36	1.31	1.32	0.92	0.81	0.85	0.83	0.86	2.77	1.98	3.38	3.17	3.00
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.06	0.02	0.04	0.05	0.74	0.90	0.86	0.95	0.87	1.73	1.80	1.81	1.79	1.81
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.69	0.60	0.57	0.69	0.57
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.06	0.10	0.10
Total	3.00	2.99	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	3.99	4.00	4.01	4.00	4.00	3.99	4.00	15.71	15.12	15.61	15.73	15.58
Mg#	61.31	59.09	60.80	61.31	59.92	69.17	69.85	69.89	68.61	68.89	74.73	78.08	78.16	81.24	78.95	65.15	53.95	75.71	71.55	68.90
Fo	61.31	59.09	60.80	61.31	59.92															
Fa	38.69	40.91	39.20	38.69	40.08															
Wo						1.76	2.91	1.21	2.20	2.42	37.52	46.38	44.28	48.24	44.38					
En						67.95	67.82	69.05	67.10	67.22	46.69	41.87	43.55	42.05	43.91					
Fs						30.29	29.27	29.74	30.70	30.36	15.79	11.75	12.17	9.71	11.71					
An																				
Ab																				
Or																				
coarse-grained melanocratic gabbro																				
	Brown-Hb					Green-Hb					Green-Hb					Bt				
	rim	rim	rim	rim	Av. (n=15)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=15)	rim	rim	rim	rim	Av. (n=11)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=6)
SiO ₂	43.71	45.14	47.54	47.21	45.72	43.03	48.16	46.48	47.50	45.94	48.93	49.78	51.56	52.38	49.11	37.49	37.33	38.36	38.28	37.87
TiO ₂	3.29	1.48	1.04	1.47	1.74	3.51	0.23	1.66	1.63	1.32	0.39	0.02	0.28	0.01	0.25	2.82	0.63	0.70	0.72	1.22
Al ₂ O ₃	11.13	10.03	9.04	8.32	9.98	11.15	9.06	8.65	7.79	10.23	7.76	6.64	5.63	4.95	7.40	15.80	16.32	16.25	16.43	16.20
Cr ₂ O ₃	0.07	0.61	0.31	0.54	0.27	0.12	0.03	0.54	0.57	0.19	0.09	0.00	0.25	0.00	0.06	0.14	0.07	0.05	0.06	0.08
FeO	10.33	10.74	8.59	10.11	9.75	9.85	9.87	9.75	9.99	9.70	8.71	11.99	8.09	8.01	11.66	10.65	11.07	11.03	11.24	11.00
MnO	0.10	0.14	0.12	0.18	0.14	0.13	0.20	0.21	0.27	0.17	0.13	0.45	0.16	0.19	0.27	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05
MgO	14.64	14.27	16.34	15.12	15.17	14.05	16.03	15.70	14.93	15.37	17.16	15.35	18.62	18.66	15.64	17.68	17.84	18.02	18.11	17.91
CaO	11.29	11.87	11.70	11.76	11.71	11.73	11.53	11.49	12.95	11.73	11.65	11.09	11.71	11.54	11.00	0.03	0.02	0.06	0.08	0.05
Na ₂ O	1.99	1.75	1.42	1.30	1.65	1.94	1.38	1.66	1.56	1.72	1.27	0.77	0.88	0.84	1.11	0.59	0.16	0.42	0.26	0.36
K ₂ O	0.55	0.61	0.38	0.42	0.53	0.55	0.31	0.08	0.16	0.45	0.35	0.09	0.23	0.21	0.24	9.12	9.80	9.65	9.31	9.47
Total	97.10	96.64	96.47	96.44	96.68	96.07	96.81	96.24	97.35	96.82	96.45	96.19	97.40	96.80	96.74	94.37	93.30	94.60	94.54	94.20
O	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	22	22	22	22	22
Si	6.38	6.63	6.86	6.88	6.66	6.35	6.95	6.78	6.89	6.67	7.06	7.27	7.31	7.45	7.13	5.51	5.60	5.65	5.64	5.60
Ti	0.36	0.16	0.11	0.16	0.19	0.39	0.02	0.18	0.18	0.15	0.04	0.00	0.03	0.00	0.03	0.31	0.07	0.08	0.08	0.14
Al	1.91	1.73	1.54	1.43	1.71	1.94	1.54	1.49	1.33	1.75	1.32	1.14	0.94	0.83	1.27	2.74	2.88	2.82	2.85	2.82
Cr	0.01	0.07	0.04	0.06	0.03	0.01	0.00	0.06	0.07	0.02	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe	1.26	1.32	1.04	1.23	1.19	1.21	1.19	1.19	1.21	1.18	1.05	1.46	0.96	0.95	1.43	1.31	1.39	1.36	1.39	1.36
Mn	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg	3.19	3.12	3.52	3.29	3.29	3.09	3.45	3.42	3.23	3.33	3.69	3.34	3.93	3.95	3.37	3.88	3.99	3.96	3.98	3.95
Ca	1.77	1.87	1.81	1.84	1.83	1.85	1.78	1.80	2.01	1.83	1.80	1.73	1.78	1.76	1.71	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Na	0.56	0.50	0.40	0.37	0.47	0.56	0.39	0.47	0.44	0.48	0.36	0.22	0.24	0.23	0.31	0.17	0.05	0.12	0.07	0.10
K	0.10	0.11	0.07	0.08	0.10	0.10	0.06	0.02	0.03	0.08	0.06	0.02	0.04	0.04	0.04	1.71	1.87	1.81	1.75	1.79
Total	15.56	15.53	15.39	15.36	15.49	15.52	15.42	15.43	15.41	15.51	15.41	15.24	15.28	15.24	15.34	15.65	15.86	15.83	15.79	15.78
Mg#	71.64	70.32	77.23	72.73	73.48	71.78	74.32	74.16	72.70	73.84	77.83	69.53	80.40	80.59	70.24	74.75	74.18	74.44	74.17	74.38
Fo																				
Fa																				
Wo																				
En																				
Fs																				
An																				
Ab																				
Or																				

付録 2. SNPC と花崗岩の鉱物化学組成(粗粒優黒質斑レイ岩)

coarse-grained melanocratic gabbro															
	Pl					Ilm					Mgt				
	Core	Core	Core	Core	Av. (n=40)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=4)	Core	Core	Core	Core	Av. (n=31)
SiO ₂	44.49	42.84	44.42	45.08	45.18	0.01	0.01	0.02	0.05	0.03	0.43	0.62	0.40	0.34	0.48
TiO ₂	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	51.69	51.26	50.69	50.22	50.46	0.00	0.07	0.09	0.04	0.15
Al ₂ O ₃	34.54	36.05	35.34	35.06	34.88	0.00	0.03	0.04	0.02	0.03	0.00	0.07	0.01	0.00	0.13
Cr ₂ O ₃	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07	0.04	0.00	0.13	0.07	0.02	0.00	0.00	0.01	0.24
FeO	0.64	0.32	0.12	0.11	0.18	37.88	41.14	39.60	43.44	41.52	91.93	91.72	90.67	90.83	90.27
MnO	0.04	0.00	0.00	0.03	0.02	8.50	5.44	7.50	2.52	5.01	0.08	0.01	0.06	0.02	0.05
MgO	0.70	0.03	0.00	0.02	0.03	0.11	0.15	0.09	0.17	0.13	0.05	0.19	0.02	0.02	0.11
CaO	18.45	19.34	18.87	18.55	18.31	0.11	0.19	0.18	0.55	0.37	0.19	0.01	0.08	0.06	0.11
Na ₂ O	0.86	0.12	0.60	0.94	1.00	0.03	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01
K ₂ O	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.83	98.69	99.37	99.82	99.62	98.40	98.28	98.15	97.11	97.63	92.71	92.70	91.34	91.33	91.56
O	8	8	8	8	8	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1
Si	2.06	2.01	2.06	2.08	2.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.89	1.99	1.93	1.91	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.81	0.88	0.85	0.94	0.90	0.98	0.98	0.98	0.99	0.97
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.12	0.16	0.06	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.92	0.97	0.94	0.92	0.91	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.08	0.01	0.05	0.08	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	5.02	5.00	5.00	5.00	5.00	1.99	2.00	2.01	2.00	2.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Mg#															
Fo															
Fa															
Wo															
En															
Fs															
An	92.14	98.90	94.48	91.49	90.94										
Ab	7.73	1.09	5.46	8.38	8.97										
Or	0.14	0.02	0.07	0.13	0.09										

付録 2. SNPC と花崗岩の鉱物化学組成(花崗岩)

	Granite					Ms					Pl					Pl				
	Bt				Av.	Core				Av.	Core				Av.	rim				Av.
	Core	Core	Core	Core	(n=11)	Core	Core	Core	Core	(n=10)	Core	Core	Core	Core	(n=52)	rim	rim	rim	rim	(n=30)
SiO ₂	34.77	34.60	36.24	35.08	35.02	49.45	48.32	48.44	46.20	46.91	57.36	58.76	59.81	60.66	59.49	60.77	62.95	62.53	64.95	62.00
TiO ₂	2.26	2.20	2.18	2.46	2.21	0.26	0.02	0.32	0.31	0.38	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Al ₂ O ₃	17.61	18.58	18.07	18.10	18.15	34.79	36.65	33.68	35.47	34.06	26.53	26.14	25.41	24.74	25.30	24.08	23.52	23.03	22.07	23.69
Cr ₂ O ₃	0.06	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.08	0.01	0.01
FeO	22.35	22.88	20.67	22.56	22.18	1.52	1.01	1.57	1.26	1.69	0.02	0.00	0.05	0.01	0.03	0.11	0.00	0.02	0.05	0.06
MnO	0.75	0.71	0.74	0.79	0.74	0.09	0.00	0.00	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.10	0.02	0.05	0.02	0.03	0.00	0.02
MgO	6.57	6.27	6.65	6.40	6.26	0.86	0.40	0.79	0.41	0.82	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
CaO	0.00	0.00	0.00	0.09	0.02	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	8.44	7.82	7.06	6.64	7.10	5.76	4.92	4.40	3.39	5.25
Na ₂ O	0.04	0.08	0.14	0.11	0.10	0.25	0.31	0.33	0.36	0.37	6.80	6.90	7.42	7.81	7.50	8.06	8.24	8.66	9.87	8.47
K ₂ O	9.90	9.81	9.73	9.70	9.64	8.76	9.05	8.56	8.00	9.90	0.26	0.18	0.18	0.16	0.24	0.39	0.20	0.26	0.12	0.26
Total	94.31	95.12	94.43	95.31	94.35	95.98	95.76	93.74	92.08	94.18	99.46	99.86	99.93	#####	99.69	99.23	99.86	99.00	#####	99.77

	O	22	22	22	22	22	22	22	22	22	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	5.44	5.37	5.58	5.68	5.58	6.41	6.28	6.41	6.24	6.27	2.58	2.63	2.67	2.70	2.66	2.72	2.78	2.79	2.85	2.75
Ti	0.27	0.26	0.25	0.30	0.27	0.03	0.00	0.03	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	3.25	3.40	3.28	3.45	3.41	5.32	5.62	5.25	5.64	5.37	1.41	1.38	1.33	1.30	1.33	1.27	1.23	1.21	1.14	1.24
Cr	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	2.93	2.97	2.66	3.05	2.96	0.16	0.11	0.17	0.14	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.10	0.09	0.10	0.11	0.10	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	1.53	1.45	1.53	1.54	1.49	0.17	0.08	0.16	0.08	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.37	0.34	0.32	0.34	0.28	0.23	0.21	0.16	0.25
Na	0.01	0.02	0.04	0.03	0.03	0.06	0.08	0.09	0.09	0.09	0.59	0.60	0.64	0.67	0.65	0.70	0.71	0.75	0.84	0.73
K	1.98	1.94	1.91	2.00	1.96	1.45	1.50	1.45	1.38	1.69	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Total	15.51	15.50	15.35	16.20	15.80	13.61	13.67	13.56	13.61	13.82	5.01	4.99	4.99	4.99	5.00	5.00	4.96	4.98	5.00	4.99

	Mg#	34.38	32.82	36.43	33.59	33.46	50.21	41.08	47.42	36.36	46.16
Fo											
Fa											
Wo											
En											
Fs											
An											
Ab											
Or											

	Grt					Ilm				
	Core				Av.	Core				Av.
	Core	Core	Core	Core	(n=17)	Core	Core	Core	Core	(n=5)
SiO ₂	36.06	36.26	35.94	36.12	36.02	0.03	0.14	0.08	0.12	0.32
TiO ₂	0.12	0.04	0.05	0.13	0.10	52.61	51.42	52.58	50.87	51.90
Al ₂ O ₃	20.36	20.41	20.51	19.93	20.20	0.00	0.01	0.01	0.01	0.09
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	0.01
FeO	30.76	29.62	29.46	29.81	29.52	41.71	40.29	41.89	41.71	40.42
MnO	7.85	8.75	9.85	9.20	8.79	5.23	5.24	2.23	3.24	4.03
MgO	2.43	2.22	1.65	2.00	2.01	0.10	0.09	0.03	0.06	0.06
CaO	0.97	1.13	1.00	1.10	1.33	0.00	0.50	0.16	0.25	0.22
Na ₂ O	0.03	0.02	0.01	0.00	0.02	0.02	0.03	0.05	0.02	0.03
K ₂ O	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01
Total	98.61	98.46	98.47	98.33	98.01	99.79	97.73	97.02	96.28	97.09

	O	12	12	12	12	12	3	3	3	3	3
Si	2.97	2.99	2.98	3.00	2.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Ti	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.99	0.99	1.01	1.00	1.00	1.00
Al	1.98	1.98	2.00	1.95	1.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	2.12	2.04	2.04	2.07	2.05	0.88	0.86	0.90	0.91	0.87	0.87
Mn	0.55	0.61	0.69	0.65	0.62	0.11	0.11	0.05	0.07	0.09	0.09
Mg	0.30	0.27	0.20	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.09	0.10	0.09	0.10	0.12	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Na	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	8.02	8.01	8.02	8.01	8.01	1.99	1.99	1.97	1.99	1.98	1.98

	Mg#
Fo	
Fa	
Wo	
En	
Fs	
An	
Ab	
Or	

付録 3. 第 2 章の議論で使用した分配係数

(a) Stage 1

Elem.	Pl				Opx				Cpx				Ol				Sp No. (ppm)	Calc. Stage 1		
	Partition Coefficients				Partition Coefficients				Partition Coefficients				Partition Coefficients							
	Value	Low	High	Ref.	Value	Low	High	Ref.	Value	Low	High	Ref.	Value	Low	High	Ref.				
Ba	0.03	0.03	0.21	31	0.022	-	-	32	0.00011	0.00011	0.00056	3	0.05	-	-	30	Ba	59	225	154
Rb	0.016	-	-	17	0.0006	-	-	24	0.011	-	-	24	0.00018	-	-	24	Rb	11	35	29
Th	0.382	-	-	1	0.0001	-	-	24	0.036	0.008	0.036	20	0.0001	-	-	24	Th	2.1	4.2	4.7
Ta	0.027	0.024	0.11	9	0.004	0.004	0.081	12	0.011	0.011	0.261	12	0.03	-	-	38	Ta	0.22	0.63	0.58
Nb	0.002	0.002	0.0925	4	0.003	-	-	19	0.004	0.004	0.065	12	0.0016	0.0016	0.0065	9	Nb	2.5	9.2	6.6
La	0.065	0.065	0.071	1	0.0005	-	-	19	0.002	-	-	13	0.0004	-	-	24	La	5.7	17.3	14.8
Ce	0.023	-	-	34	0.001	-	-	19	0.0026	0.0026	0.166	22	0.0005	-	-	24	Ce	12.7	35.7	33.5
Sr	1.2	1.18	3.06	6	0.00051	0.00051	0.00092	3	0.0479	0.0479	0.139	3	0.00019	-	-	24	Sr	228	340	339
Nd	0.023	-	-	34	0.005	0.005	0.02	18	0.06	0.06	0.3	18	0.0003	-	-	27	Nd	5.99	19.6	15.6
Zr	0.0013	0.0013	0.0127	4	0.004	0.004	0.13	12	0.001	0.001	0.049	36	0.0035	-	-	14	Zr	30	113	80
Hf	0.01	-	-	24	0.01	-	-	24	0.004	0.004	0.098	36	0.01	-	-	24	Hf	0.9	2.7	2.4
Sm	0.017	-	-	29	0.01	-	-	24	0.014	0.014	0.736	22	0.00014	0.00014	0.00063	3	Sm	1.5	4.38	3.95
Eu	0.232	-	-	34	0.013	-	-	24	0.023	0.023	0.753	22	0.001	-	-	27	Eu	0.624	1.44	1.48
Gd	0.014	-	-	29	0.016	-	-	24	0.2	0.2	0.8	18	0.0015	-	-	24	Gd	1.5	4.47	3.9
Dy	0.017	0.017	0.128	1	0.022	-	-	24	0.33	-	-	24	0.0017	-	-	24	Dy	1.6	4.24	4.0
Y	0.008	0.008	0.009	1	0.19	-	-	9	0.245	-	-	37	0.0036	-	-	27	Y	10	25	23
Er	0.0194	0.018	0.0194	4	0.030	-	-	24	0.29	-	-	24	0.0015	-	-	24	Er	1.0	2.5	2.5
Yb	0.141	-	-	1	0.049	-	-	24	0.35	0.107	1.01	22	0.0015	-	-	24	Yb	0.95	2.2	2.2
Lu	0.025	-	-	24	0.3	0.01	0.3	18	0.8	0.006	0.958	36	0.0015	-	-	24	Lu	0.15	0.33	0.32

(b) Stage 2

Elem.	Pl (core)				Amp (Fn-Gabbro)				Hb (Gd: core)				Ilm				Sp No. (ppm)	Calc. Stage 1	Gd 1608 1401A	Calc. Stage 2
	Partition Coefficients				Partition Coefficients				Partition Coefficients				Partition Coefficients							
	Value	Low	High	Ref.	Value	Low	High	Ref.	Value	Low	High	Ref.	Value	Low	High	Ref.				
Ba	0.14	0.56	3.3	31	0.0448	-	-	30	0.0448	-	-	30	-	-	-	-	Ba	154	399	400
Rb	0.008	0.06	0.19	9	0.0448	-	-	30	0.4	-	-	33	-	-	-	-	Rb	29	90	78
Th	0.19	-	-	9	0.5	-	-	7	0.5	-	-	7	-	-	-	-	Th	4.7	7.9	9.9
Ta	0.1	-	-	9	0.59	-	-	2	0.59	-	-	2	2.7	-	-	15	Ta	0.58	1.18	1.18
Nb	1.3	0.07	0.27	11	0.21	0.026	0.21	16	0.21	0.026	0.21	16	4.6	-	-	15	Nb	6.6	6.6	6.9
La	0.3017	0.3	0.45	14	0.7219	0.3664	0.7219	14	0.7219	0.3664	0.7219	14	0.098	-	-	29	La	14.8	17.6	26.6
Ce	0.3	0.21	0.34	31	1.112	0.574	1.112	14	1.112	0.574	1.112	14	0.11	-	-	29	Ce	33.5	39.0	51.6
Sr	2.042	1.45	4.4	9	0.48	-	-	7	0.5	-	-	33	-	-	-	-	Sr	339	214	213
Nd	0.24	0.14	0.29	34	1.667	1.012	1.667	14	1.667	1.012	1.667	14	0.14	-	-	29	Nd	15.6	18.6	20.2
Zr	0.2	-	-	2	0.35	0.15	0.35	16	0.35	0.15	0.35	16	0.28	-	-	23	Zr	80	159	176
Hf	0.02	0.06	0.29	1	1.336	1.336	1.731	14	1.6	1.336	1.731	14	-	-	-	-	Hf	2.4	3.9	3.9
Sm	0.11	-	-	31	2.7	0.033	2.9	15	2	-	-	15	0.0091	-	-	27	Sm	3.95	4.08	4.12
Eu	1.27	-	-	28	1.49	-	-	22	1.49	-	-	22	0.1	-	-	29	Eu	1.48	1.05	1.04
Gd	0.214	-	-	34	2.300	1.49	2.543	14	2	1.49	2.543	14	0.0077	-	-	27	Gd	3.9	4.2	4.2
Dy	0.06	-	-	31	2.5	1.7	2.5	21	2.5	1.7	2.5	21	-	-	-	-	Dy	4.0	4.1	4.3
Y	0.2	-	-	33	1.47	-	-	35	1.47	-	-	35	0.0045	-	-	27	Y	23	24	33
Er	0.4	-	-	33	1.440	-	-	35	3	-	-	33	-	-	-	-	Er	2.5	2.4	2.5
Yb	0.299	-	-	34	2.1	-	-	2	2	-	-	33	0.17	-	-	29	Yb	2.2	2.4	2.3
Lu	0.241	-	-	34	2	0.5	2.1	16	2	0.5	2.1	16	0.029	-	-	27	Lu	0.32	0.37	0.37

(c) Stage 3

Elem.	Pl (rim)				Hb (rim)				Bt				Qz				Sp No. (ppm)	Calc. Stage 2	Gd 1604 2001	Calc. Stage 3
	Partition Coefficients				Partition Coefficients				Partition Coefficients				Partition Coefficients							
	Value	Low	High	Ref.	Value	Low	High	Ref.	Value	Low	High	Ref.	Value	Low	High	Ref.				
Ba	0.1	0.1	0.17	10	0.044	0.044	0.054	25	6.36	-	-	31	0.02	-	-	32	Ba	400	462	351
Rb	0.016	0.016	0.041	25	0.0077	0.0077	0.014	25	0.936	-	-	31	0.04000	-	-	32	Rb	78	196	122
Th	0.032	0.032	0.088	8	0.017	-	-	5	0.31	-	-	22	-	-	-	-	Th	9.9	20.3	16.5
Ta	0.092	-	-	8	0.59	-	-	2	1.9	1.2	1.9	26	-	-	-	-	Ta	1.18	1.16	1.54
Nb	0.008	0.008	0.045	9	0.2	-	-	5	4.6	-	-	11	-	-	-	-	Nb	6.9	6.6	7.3
La	0.49	0.28	0.49	8	0.7219	0.3664	0.7219	14	2.1	0.76	15.1	26	0.0150	-	-	32	La	26.6	30.1	30.1
Ce	0.4	0.164	0.4	8	1.77	0.429	1.77	25	0.377	0.86	11	22	0.0140	-	-	32	Ce	51.6	62.8	63.6
Sr	3.27	1.45	4.4	25	0.6	-	-	11	0.31	-	-	11	-	-	-	-	Sr	213	142	142
Nd	0.29	0.061	0.29	25	2.7	1.03	4.49	25	0.044	-	-	35	-	-	-	-	Nd	20.2	23.7	23.9
Zr	0.55	-	-	11	0.93	-	-	11	1.8	0.79	1.8	26	-	-	-	-	Zr	176	157	198
Hf	0.17	0.07	0.17	8	0.54	-	-	2	2.1	-	-	22	-	-	-	-	Hf	3.9	4.5	4.9
Sm	0.168	0.11	0.168	8	2.6	1.61	8.2	25	0.058	-	-	35	-	-	-	-	Sm	4.12	5.00	5.09
Eu	2.81	0.82	2.81	25	1.39	1.39	8.2	25	0.328	-	-	22	0.056	-	-	32	Eu	1.04	0.72	0.71
Gd	0.24	0.11	0.24	8	2.000	-	-	25	0.442	-	-	22	-	-	-	-	Gd	4.2	4.6	5.2
Dy	0.059	0.059	0.452	25	4.3	2.38	14	25	0.097	-	-	35	-	-	-	-	Dy	4.3	4.5	4.5
Y	0.51	-	-	11	2.46	4	45.2	36	2.3	-	-	11	-	-	-	-	Y	33	29	30
Er	0.38	0.029	0.38	25	2.340	-	-	36	0.162	-	-	35	-	-	-	-	Er	2.5	2.6	3.0
Yb	0.11	0.07	0.11	8	2	1.89	9	25	0.179	-	-	35	0.0170	-	-	32	Yb	2.3	3.0	3.08
Lu	0.29	0.022	0.29	25	1.75	1.75	6.3	25	0.743	-	-	22	-	-	-	-	Lu	0.37	0.46	0.45

Fn-Gab : Fn-Gabbro, Gd : Granodiorite.

Reference

1. Aignertorres et al., (2007); 2. Bacon and Drituit (1988); 3. Beattie (1993); 4. Bindeman et al., (1998); 5. Brennan et al., (1995); 6. Drake and Weill (1975); 7. Dostal et al., (1983); 8. Dudas et al., (1971); 9. Dunn and Sen (1994); 10. Ewart et al., (1973); 11. Ewart and Griffin (1994); 12. Forsythe et al., (1994); 13. Frey (1969); 14. Fujimaki et al., (1984); 15. Green and Pearson (1987); 16. Green et al., (1993); 17. Higuchi and Nagasawa (1969); 18. Irving and Frey (1984); 19. Kelemen and Dunn (1992); 20. Latourette and Burnett (1992); 20. Luhr and Carmichael (1980); 21. Matsui et al., (1977); 22. McCallum and Charette (1978); 23. McKenzie and ONions (1991); 24. Nagasawa and Schmetzler (1971); 25. Nash and Crecraft (1985); 26. Nielsen et al., (1992); 27. Okamoto (1979); 28. Paster et al., (1974); 29. Philpotts and Schmetzler (1970); 30. Reid (1983); 31. Rollinson (1993); 32. Ronov and Yaroshevskiy (1976); 33. Schmetzler and Philpotts (1970); 34. Sisson (1994); 35. Skulski et al., (1994); 36. Sobolev et al., (1996); 37. Villemant et al., (1981).

付録 4. 第 2 章の議論で使用した温度圧力計算結果

Rock		Gmelinoritic				Rock				Cl-Gabb				CMA-Gabb					
Sp. No.	Hb	Hb	Hb	Hb	Sp. No.	Hb	Hb	Hb	Hb	Sp. No.	Hb	Hb	Hb	Hb	Sp. No.	Hb	Hb	Hb	Hb
	Ga007	Ga004	Ga005	Ga075	Ga069	Ga070	Ga079	Ga071	Ga081	Ga072	Ca001	Ca002	Ca003	Ca004	Ca005	Ca006	Ca007	Ca008	Ca009
SiO ₂	53.10	45.90	45.79	53.37	44.82	44.69	53.55	44.62	54.43	44.47	42.53	44.52	44.52	45.27	46.00	45.27	46.00	45.27	46.00
TiO ₂	0.00	1.46	1.47	0.01	1.61	1.86	0.02	2.01	0.02	1.91	0.00	1.60	1.07	0.54	0.63	0.54	0.63	0.54	0.63
Al ₂ O ₃	29.08	6.88	6.79	28.78	7.80	8.23	29.03	8.42	28.62	8.08	13.45	12.00	12.00	11.09	11.28	11.09	11.28	11.09	11.28
Cr ₂ O ₃	0.00	0.03	0.07	0.00	0.03	0.07	0.04	0.03	0.01	0.15	0.21	0.15	0.15	0.09	0.09	0.15	0.09	0.09	0.09
FeO	0.09	18.33	18.73	0.12	17.65	16.83	0.12	17.00	0.09	17.54	0.12	10.01	9.58	0.11	9.16	0.11	9.16	0.11	9.16
MnO	0.01	0.33	0.43	0.02	0.29	0.26	0.00	0.27	0.03	0.32	0.00	0.06	0.19	0.04	0.11	0.04	0.11	0.04	0.11
MgO	0.01	10.86	10.46	0.00	10.32	11.17	0.01	10.77	0.00	10.39	0.00	14.18	15.20	0.02	15.78	0.02	15.78	0.02	15.78
CaO	11.07	10.64	10.50	11.51	10.55	10.49	11.48	10.71	11.03	10.62	18.87	11.51	11.71	18.44	11.48	11.58	11.48	11.58	11.48
Na ₂ O	5.02	0.94	0.92	4.71	1.15	1.30	4.80	1.36	5.13	1.27	0.60	2.21	1.87	0.96	1.86	0.96	1.86	0.96	1.86
K ₂ O	0.11	0.60	0.59	0.12	0.68	0.80	0.21	0.75	0.15	0.79	0.01	0.67	0.67	0.00	0.64	0.00	0.64	0.00	0.64
Total	98.50	95.98	95.76	98.64	94.88	95.72	99.26	95.94	99.50	95.56	99.37	96.44	96.96	99.75	96.81	99.75	96.81	99.75	96.81
O=	8	23	23	8	23	23	8	23	8	23	8	23	23	8	23	8	23	8	23
Si	2.43	6.99	7.01	2.44	6.90	6.79	2.44	6.78	2.47	6.80	2.06	6.24	6.47	2.09	6.66	2.06	6.66	2.09	6.66
Ti	0.00	0.17	0.17	0.00	0.19	0.21	0.00	0.23	0.00	0.22	0.00	0.18	0.12	0.00	0.06	0.00	0.06	0.00	0.06
Al	1.57	1.23	1.22	1.55	1.41	1.48	1.56	1.51	1.53	1.46	1.93	2.33	2.06	1.90	1.89	1.99	1.89	1.99	1.89
Cr	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02
Fe	0.00	2.33	2.40	0.00	2.27	2.14	0.00	2.16	0.00	2.24	0.00	1.23	1.16	0.00	1.11	0.00	1.11	0.00	1.11
Mn ²⁺	0.00	0.04	0.06	0.00	0.04	0.03	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
Mg	0.00	2.47	2.39	0.00	2.37	2.53	0.00	2.44	0.00	2.37	0.00	3.10	3.29	0.00	3.41	0.00	3.41	0.00	3.41
Ca	0.54	1.74	1.72	0.56	1.74	1.71	0.56	1.74	0.54	1.74	0.94	1.81	1.82	0.91	1.78	0.97	1.80	0.92	1.73
Na	0.45	0.28	0.27	0.42	0.34	0.38	0.42	0.40	0.45	0.38	0.05	0.63	0.53	0.09	0.52	0.01	0.60	0.08	0.69
K	0.01	0.12	0.12	0.01	0.13	0.16	0.01	0.15	0.01	0.15	0.00	0.13	0.12	0.00	0.12	0.00	0.12	0.00	0.12
Total	5.00	15.37	15.36	4.99	15.39	15.44	5.00	15.44	4.99	15.43	5.00	15.68	15.63	4.99	15.58	5.00	15.12	5.02	15.71
An	54.59			57.04			56.25		53.84		94.48			91.42		98.50		92.14	
Ab	44.78			42.28			42.53		45.27		5.46			8.58		1.09		7.73	
Or	0.63			0.69			1.22		0.89		0.07			0.00		0.02		0.14	
XMg		0.51	0.50		0.51	0.54		0.53		0.51		0.72	0.74		0.75		0.54		0.65
P	2.8	2.8	3.7	4.0	4.2	3.9	750°C	4.9	4.3	5.0	c	4.9	4.3	c	4.2	850°C	c	10.0	c
T	b	b	b	b	b	b	950°C	c	5.7	5.5	c	5.7	4.6	c	4.9	1150°C	c	11.6	c
	753	745	740	770	770	764	7kb	b	899	796	b	834	778	b	886	829	b	1105	b
							7kb	b	952	842	b	886	829	b	886	829	b	1105	b

a. Schmidt (1992); b. Holland&Blundy (1994); c. Molina et al. (2015).

付録 5. 黒雲母花崗岩, カリ長石斑状黒雲母花崗岩のモード組成

Biotite granite		1104	1104	1106	1108	1108	1108	1108	1110	1110	1305	1305	1307	1307	1308	1308	1308	1310	1310	1310	1311	1311	
Sp No.		0305	3004	1504	0911B	2406	2610	2702	2708B	2406	2412	1901B	1904	2410	3006	1105	1904	2308	1709	1710	1711	1201	1205
Mode date																							
Point																							
Kfs		412	398	506	517	420	456	398	467	411	388	397	344	389	284	378	384	480	310	467	397	358	322
Pl		743	764	541	616	399	630	670	714	598	760	700	820	782	854	824	732	549	750	602	676	700	780
Qtz		578	498	673	610	834	562	525	444	774	611	846	950	882	655	874	758	896	690	848	839	642	878
Bt		107	115	160	117	80	182	250	265	87	81	128	84	104	207	128	80	110	268	83	88	278	178
Ms		0	0	0	0	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hbl		0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aln		0	4	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grt		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cum		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total		1840	1810	1880	1860	1820	1830	1850	1890	1870	1840	2071	2202	2157	2000	2204	1954	2035	2018	2000	2000	1978	2158

K-feldspar porphyritic biotite granite		1106	1106	1107	1107	1108	1108	1108	1108	1111	1305	1305	1305	1306	1308	1310	1311	1311	
Sp No.		1407	1702B	3017D	3020A	0912	1511B	1513	1904	2701C	1403	0201	1801	1901A	0501	2306	1606	1204	1207
Mode date																			
Point																			
Kfs		538	338	214	693	437	530	396	578	735	473	400	406	371	482	456	484	438	420
Pl		495	716	725	351	560	773	631	470	513	760	559	794	656	643	550	582	752	689
Qtz		637	630	598	727	680	431	670	715	489	491	1139	632	782	727	891	776	750	618
Bt		92	114	247	29	123	106	143	37	143	58	113	168	191	148	103	158	60	273
Ms		0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hbl		29	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aln		9	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grt		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cum		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total		1800	1800	1800	1800	1800	1840	1840	1800	1880	1800	2211	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000

Biotite granodiorite		1104	1104	1104	1104	1104	1105	1105	1106	1107	1108	1110
Sp No.		0301A	3001A	3003A	3007	3009	0211	0412	1701	3017A	2701A	2402C
Mode date												
Point												
Kfs		24	13	30	4	47	0	110	50	56	195	16
Pl		1148	1019	1232	884	1127	855	683	1022	1102	959	961
Qtz		469	559	517	796	569	405	845	468	538	524	575
Bt		169	169	241	166	78	428	230	258	104	162	278
Ms		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hbl		0	56	0	0	39	112	0	0	0	0	0
Aln		0	4	0	0	0	0	2	2	0	0	0
Grt		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cum		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total		1810	1820	2020	1850	1860	1800	1870	1800	1800	1840	1830

付録 6. 第 4 章で使用した分配係数

(a) The partition coefficient used for crystallization differentiation. And trace elements analyses for the Biotite granodiorite.

Elem.	Pl				Bt				Qz				Ilm				Sp No. (ppm)	Bt Gd	Kfs Bt Gr	Calc.
	Partition Coefficients				Partition Coefficients				Partition Coefficients				Partition Coefficients					1404	1305	
	Value	Low	High	Ref.	Value	Low	High	Ref.	Value	Low	High	Ref.	Value	Low	High	Ref.		2303A	1801	
Ba	0.7	0.56	3.3	1	3.7	3.7	7	5	0.02	-	-	8	-	-	-	-	Ba	608	521	520
Rb	0.19	0.06	0.19	1	3.4	2.3	4.1	1	0.04	-	-	8	-	-	-	-	Rb	68	89	89
Th	0.08	0.03	0.08	1	2	0.27	2	1	-	-	-	-	7.5	-	-	1	Th	9.0	13.0	18.4
Ta	0.13	-	-	3	1.9	1.2	1.9	1	-	-	-	-	106	-	-	1	Ta	0.80	0.65	1.03
Nb	0.12	0.07	0.27	2	4	4	9.5	1	-	-	-	-	40	6.58	89.1	2	Nb	9.0	8.8	8.9
La	0.3	0.3	0.45	1	4	0.76	15.1	1	0.02	-	-	8	7.1	-	-	1	La	30.0	30.6	30.2
Ce	0.21	0.21	0.34	1	3.9	0.86	11	1	0.01	-	-	8	7.8	-	-	1	Ce	60.1	65.9	66.0
Sr	2.34	1.45	4.4	6	0.3	0.29	0.53	1	-	-	-	-	0.03	0.03	1.07	2	Sr	307	219	219
Nd	0.29	0.14	0.29	1	4.1	0.9	5.7	1	-	-	-	-	7.6	-	-	1	Nd	24.8	24.8	24.6
Zr	0.55	-	-	2	1.8	0.79	1.8	1	-	-	-	-	10.4	-	-	2	Zr	193	162	297
Hf	0.29	0.06	0.29	1	2.1	-	-	7	-	-	-	-	3.1	-	-	1	Hf	5.6	4.4	9.8
Sm	0.23	0.11	0.23	1	4	1	4.3	1	-	-	-	-	6.9	-	-	1	Sm	4.72	5.04	5.02
Eu	2.4	0.82	2.81	6	0.59	0.59	4.7	1	0.06	-	-	8	2.5	-	-	1	Eu	1.55	0.95	0.95
Gd	2.05	-	-	3	0.353	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	Gd	4.4	3.9	3.7
Dy	0.18	0.07	0.18	1	3.4	0.76	3.4	1	-	-	-	-	4.9	-	-	1	Dy	2.9	3.1	3.8
Y	0.55	0.08	0.55	2	2.4	1	1.4	1	-	-	-	-	1.6	0.2	1.6	1	Y	15	17	20
Er	1.94	-	-	3	0.171	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	Er	1.6	1.6	1.6
Yb	0.82	-	-	3	3	0.6	3	1	0.02	-	-	8	4.1	-	-	1	Yb	1.75	1.57	1.6
Lu	1.32	-	-	3	1.6	0.6	3.4	1	-	-	-	-	3.6	-	-	1	Lu	0.27	0.26	0.26

(b) The partition coefficient used for K-fs accumulation. And trace elements analyses for the JF-1.

Elem.	Pl				Bt				Qz				Sp No. (ppm)	Kfs	Kfs Bt Gr	Calc.
	Partition Coefficients				Partition Coefficients				Partition Coefficients					JF-1	1305	
	Value	Low	High	Ref.	Value	Low	High	Ref.	Value	Low	High	Ref.		2001	2001	
Ba	0.56	0.56	3.3	1	5.6	5.6	36	1	0.02	-	-	8	Ba	1750	582	588
Rb	0.19	0.06	0.19	1	3.9	2.3	4.1	1	0.04	-	-	8	Rb	266	134	135
Th	0.11	-	-	3	2	0.27	2	1	-	-	-	-	Th	1.2	12.0	21.6
Ta	0.13	-	-	3	1.9	1.2	1.9	1	-	-	-	-	Ta	0.08	0.63	1.23
Nb	0.27	0.07	0.27	2	6.3	4	9.5	1	-	-	-	-	Nb	0.7	4.4	4.5
La	0.45	0.3	0.45	1	6	0.76	15.1	1	0.02	-	-	8	La	2.8	14.4	14.8
Ce	0.24	0.21	0.34	1	4.7	0.86	11	1	0.01	-	-	8	Ce	4.2	44.7	44.8
Sr	2.55	1.45	4.4	6	0.01	-	-	3	-	-	-	-	Sr	172	132	132
Nd	0.29	0.14	0.29	1	5.7	0.9	5.7	1	-	-	-	-	Nd	1.5	12.5	13.6
Zr	0.55	-	-	2	1.8	0.79	1.8	1	-	-	-	-	Zr	39	92	292
Hf	0.29	0.06	0.29	1	2.1	-	-	7	-	-	-	-	Hf	1.2	2.1	10.4
Sm	1.45	-	-	3	2	1	4.3	1	-	-	-	-	Sm	0.41	2.89	2.95
Eu	2	-	-	9	1.5	0.59	4.7	1	0.06	-	-	8	Eu	0.87	0.60	0.60
Gd	2.05	-	-	3	0.353	-	-	4	-	-	-	-	Gd	0.9	2.5	2.3
Dy	1.94	-	-	3	0.76	0.76	3.4	1	-	-	-	-	Dy	0.4	2.3	2.2
Y	0.78	-	-	3	2.4	-	-	2	-	-	-	-	Y	3	13	16
Er	1.94	-	-	3	0.171	-	-	4	-	-	-	-	Er	0.3	1.2	1.0
Yb	0.82	-	-	3	3	0.6	3	1	0.02	-	-	8	Yb	0.35	1.21	1.17
Lu	1.32	-	-	3	1	0.6	3.4	1	-	-	-	-	Lu	0.05	0.19	0.20

Bt Gd : Biotite granodiorite, Kfs Bt Gr : K-feldspar porphyritic biotite granite.

Reference

- Nash and Crecraft (1985);
 - Ewart and Griffin (1994);
 - Bea *et al.*, (1994);
 - Schnetzler and Philpotts (1970);
 - Mahood and Hildreth (1983)
 - Nagasawa and Schnetzler (1971);
 - Matsui *et al.*, (1977);
 - Rollinson (1993);
 - Bacon and Druitt (1988).
- Bt Gd : Ikeda *et al.* (2019).

付録 7. 試料採取位置

Sample No.	Locality	longitude	latitude
KTG	広島県北広島市古木次地域	N 34.637	E 132.548
MUC	広島県庄原市宮内地域	N 34.931	E 132.909
SER	広島県世羅郡松山地域	N 34.649	E 132.945
HSM	岡山県真庭市星山地域	N 35.150	E 133.717
MSK	岡山県美咲町八柳地域	N 35.005	E 133.867
NGH	岡山県笠岡市長浜地域	N 34.463	E 133.540
NGN	香川県高松市北嶺地域	N 34.350	E 134.133
GJM	香川県高松市牟礼町大町地域	N 34.368	E 133.978
HMR	山口県柳井市氷室ヶ岳	N 34.048	E 132.122

付録 8. 花崗岩類の同位体組成

Sp No.	Rb mmp	Sr ppm	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(2σ)	SrI	εSrI	Sm ppm	Nd ppm	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd(2σ)	NdI	εNd	age
Kodama et al., 2019													
16042001	169	142	3.44466	0.7115170	0.70701	37.2	5	24	0.1259452	0.512460	0.51238	-2.6	92 Ma
16042909	155	186	2.41160	0.7100585	0.70691	35.7	6.2	33	0.1135788	0.512430	0.51236	-3.1	92 Ma
16081401A	90	214	1.21687	0.7083890	0.70680	34.2	4.1	19	0.1304535	0.512485	0.51241	-2.2	92 Ma
16081403	114	187	1.76404	0.7090900	0.70678	34.0	4.9	23	0.1287934	0.512484	0.51241	-2.2	92 Ma
16081405	100	205	1.41149	0.7087495	0.70690	35.7	5	23	0.1314210	0.512459	0.51238	-2.7	92 Ma
16402602	142	195	2.10726	0.7095360	0.70678	33.9	4.2	21	0.1209077	0.512472	0.51240	-2.4	92 Ma
未公表データ													
12042901	68	318	0.61877	0.7091800	0.70837	56.5	6.94	31.6	0.1327634	0.512297	0.51222	-5.9	92 Ma
12102203	95	215	1.27852	0.7085160	0.70684	34.8	4.01	20	0.1212073	0.512379	0.51231	-4.2	92 Ma
13050201	134	132	2.93831	0.7119465	0.70777	48.1	2.89	12.5	0.1397639	0.512309	0.51222	-5.7	100 Ma
13073006	110	224	1.42104	0.7094855	0.70747	43.8	4.14	20.9	0.1197466	0.512328	0.51225	-5.1	100 Ma
13101710	108	264	1.18378	0.7091905	0.70751	44.4	5.08	27.6	0.1112656	0.512299	0.51223	-5.5	100 Ma
13051801	89	219	1.17597	0.7092310	0.70756	45.1	6.24	24.8	0.1521051	0.512344	0.51224	-5.2	100 Ma
13101709	117	312	1.08507	0.7086540	0.70711	38.8	4.93	18.4	0.1619732	0.512374	0.51227	-4.7	100 Ma
16050701A	103.8	279.9	1.07308	0.7089050	0.70738	42.6	4.12	19.8	0.1257891	0.512345	0.51226	-4.8	100 Ma
14030707	101.4	232.7	1.26095	0.7093360	0.70754	44.9	5.48	25.4	0.1304238	0.512334	0.51225	-5.1	100 Ma
14042302A	82.8	322.5	0.74290	0.7087280	0.70767	46.7	8.84	74.6	0.0716341	0.512300	0.51225	-5.0	100 Ma
赤崎ほか., 2013													
High - SrI													
08112202	242	122	5.74445	0.7172700	0.70984	77.4	6.81	33.3	0.1236269	0.512336	0.51226	-5.0	91 Ma
09050203B	239	111	6.23626	0.7186030	0.71054	87.3	6.79	33.1	0.1240083	0.512327	0.51225	-5.2	91 Ma
09050203C	221	94	6.81005	0.7194750	0.71067	89.1	6.27	30.7	0.1234628	0.512307	0.51223	-5.6	91 Ma
09050205	248	107	6.71333	0.7191020	0.71042	85.6	8.13	39.7	0.1237972	0.512344	0.51227	-4.9	91 Ma
09050208	219	121	5.24115	0.7166800	0.70990	78.2	7.17	35	0.1238393	0.512311	0.51224	-5.5	91 Ma
08031601A	218	117	5.39575	0.7170000	0.71002	79.9	5.94	29.2	0.1229742	0.512338	0.51226	-5.0	91 Ma
10042401	225	118	5.52183	0.7170300	0.70989	78.0	11.2	56.2	0.1204728	0.512310	0.51224	-5.5	91 Ma
10042406T	192	105	5.29520	0.7167450	0.70990	78.2	6.53	32	0.1233599	0.512345	0.51227	-4.9	91 Ma
10042408	239	125	5.53713	0.7173750	0.71022	82.7	6.93	33.7	0.1243120	0.512331	0.51226	-5.1	91 Ma
Low - SrI													
09050204A	276	82	9.75142	0.7215140	0.70891	64.1	6.99	32.7	0.1292234	0.512351	0.51227	-4.8	91 Ma
09050204B	283	90	9.10904	0.7204790	0.70870	61.2	6.13	28.6	0.1295704	0.512350	0.51227	-4.8	91 Ma
09050210	280	116	6.99027	0.7173070	0.70827	55.0	7.59	38.1	0.1204285	0.512359	0.51229	-4.6	91 Ma
10042402T	265	115	6.67288	0.7166210	0.70799	51.1	5.36	24.1	0.1344495	0.512350	0.51227	-4.9	91 Ma
10042403A	252	102	7.15487	0.7174772	0.70823	54.4	8.93	44.5	0.1213120	0.512358	0.51229	-4.6	91 Ma
10042403C	130	130	2.89417	0.7109359	0.70719	39.8	3.87	19.2	0.1218483	0.512334	0.51226	-5.1	91 Ma
10042404	251	129	5.63361	0.7151540	0.70787	49.4	8.92	45.6	0.1182527	0.512345	0.51227	-4.8	91 Ma
10042407	255	112	6.59294	0.7164270	0.70790	49.8	6.59	34.4	0.1158085	0.512369	0.51230	-4.3	91 Ma
10042410	278	110	7.31932	0.7178890	0.70842	57.2	7.1	35.6	0.1205638	0.512320	0.51225	-5.3	91 Ma
10060601D	187	138	3.92247	0.7126700	0.70760	45.5	6.68	35.2	0.1147214	0.512342	0.51227	-4.8	91 Ma
Akasaki et al., 2015													
09032206A	101	257	1.13733	0.7103070	0.70884	63.1	4.79	21.7	0.1334395	0.512322	0.51224	-5.4	91 Ma
09032208A	115	238	1.39842	0.7107710	0.70896	64.9	3.41	15.7	0.1312985	0.512286	0.51221	-6.1	91 Ma
09032210T	163	231	2.04237	0.7117490	0.70911	66.9	8.62	42.1	0.1237751	0.512318	0.51224	-5.4	91 Ma
11100812	96	167	1.66367	0.7106810	0.70853	58.7	5.1	25.4	0.1213800	0.512340	0.51227	-4.9	91 Ma
Kagami et al., 1992													
1	113	271	1.20621	0.7059900	0.70488	6.4	4.34	22.1	0.1187234	0.512618	0.51257	0.3	65 Ma
2	125	135	2.67886	0.7074100	0.70494	7.3	4.08	19.9	0.1239504	0.512636	0.51258	0.6	65 Ma
3	171	54.4	9.09948	0.7131900	0.70479	5.2							65 Ma
4	197	45	12.67706	0.7166200	0.70491	7.0							65 Ma
5	69.8	513	0.39360	0.7060000	0.70558	16.6							75 Ma
6	78.5	483	0.47015	0.7059300	0.70543	14.4	6.56	28.9	0.1372275	0.512580	0.51251	-0.6	75 Ma
7	159	194	2.37138	0.7081400	0.70561	17.1	6.21	29.7	0.1264051	0.512526	0.51246	-1.5	75 Ma
8	152	241	1.82473	0.7073900	0.70545	14.7							75 Ma
9	45.8	524	0.25284	0.7058500	0.70558	16.6							75 Ma
10	100	420	0.68877	0.7062900	0.70556	16.2							75 Ma
11	161	251	1.85581	0.7075700	0.70559	16.8							75 Ma
12	162	216	2.16994	0.7077200	0.70541	14.1							75 Ma
13	180	64.5	8.07888	0.7136400	0.70561	16.9	3.86	20.3	0.1149529	0.512519	0.51247	-1.6	70 Ma
14	166	76.3	6.29723	0.7119400	0.70568	17.9							70 Ma
15	158	61.2	7.47330	0.7129000	0.70547	14.9							70 Ma
16	162	83.9	5.58913	0.7125300	0.70681	34.0	7.87	36.2	0.1314293	0.512492	0.51243	-2.2	72 Ma
17	140	94.2	4.30143	0.7112100	0.70681	34.0	6.56	29.8	0.1330806	0.512504	0.51244	-2.0	72 Ma
18	68.8	238	0.83619	0.7055000	0.70504	8.3	4.11	19.7	0.1261308	0.512683	0.51265	1.2	39 Ma
19	65.3	258	0.73214	0.7056300	0.70522	10.9							39 Ma
20	88.6	125	2.05044	0.7062100	0.70507	8.8	2.7	14.5	0.1125737	0.512639	0.51261	0.4	39 Ma
21	78.9	144	1.58499	0.7059700	0.70509	9.1							39 Ma
22	86.7	165	1.52000	0.7058500	0.70501	7.9	2.31	12.3	0.1135400	0.512649	0.51262	0.6	39 Ma
23	75.2	181	1.20184	0.7058200	0.70515	9.9							39 Ma
24	88.3	282	0.90585	0.7066800	0.70584	20.2	3.32	16.2	0.1238942	0.512510	0.51246	-1.9	65 Ma
25	100	217	1.33321	0.7070700	0.70584	20.1	3.54	19.8	0.1080848	0.512497	0.51245	-2.0	65 Ma
26	72	468	0.44512	0.7078800	0.70742	42.7	4.8	23.5	0.1234765	0.512346	0.51229	-5.0	72 Ma
27	62.8	330	0.55056	0.7070800	0.70652	29.8	3.56	18	0.1195623	0.512403	0.51235	-3.9	72 Ma
28	72.6	484	0.43397	0.7072600	0.70682	34.1	5.86	27.3	0.1297623	0.512371	0.51231	-4.6	72 Ma
29	93.9	257	1.05711	0.7077600	0.70668	32.1	3.79	19.6	0.1168967	0.512425	0.51237	-3.4	72 Ma

付録 8. 花崗岩類の同位体組成

Sp No.	Rb mmp	Sr ppm	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(2σ)	Sr1	εSr1	Sm ppm	Nd ppm	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd(2σ)	Nd1	εNd	age
Kagami et al., 1992													
30	64.5	418	0.44639	0.7063000	0.70620	24.4	3.57	18.1	0.1192391	0.512523	0.51251	-2.1	16 Ma
31	60.3	319	0.54681	0.7058200	0.70524	11.7	2.83	22.7	0.0753683	0.512515	0.51248	-1.2	75 Ma
32	103	365	0.81653	0.7086800	0.70781	48.2	4.02	21.2	0.1146281	0.512246	0.51219	-6.9	75 Ma
33	169	175	2.79497	0.7110600	0.70772	47.2							84 Ma
34	177	180	2.84598	0.7111200	0.70772	47.2	7.12	32	0.1345065	0.512367	0.51229	-4.6	84 Ma
35	112	206	1.57327	0.7092300	0.70735	41.9	4.3	20.5	0.1268029	0.512381	0.51231	-4.3	84 Ma
36	181	109	4.80677	0.7127600	0.70702	37.2	5.37	22.3	0.1455744	0.512391	0.51231	-4.3	84 Ma
37	164	107	4.43661	0.7125200	0.70722	40.1	5.17	24.3	0.1286174	0.512390	0.51232	-4.1	84 Ma
38	124	130	2.76053	0.7107300	0.70744	43.1	4.12	20	0.1245301	0.512307	0.51224	-5.7	84 Ma
39	35.3	390	0.26188	0.7077600	0.70745	43.2	4.55	20.2	0.1361655	0.512306	0.51230	-5.8	84 Ma
40	27.5	349	0.22797	0.7074800	0.70721	39.8	4.53	19.7	0.1390095	0.512361	0.51228	-4.8	84 Ma
41	206	35.2	16.96484	0.7274700	0.70722	40.0	4.22	17.2	0.1483199	0.512388	0.51231	-4.4	84 Ma
42	147	134	3.17500	0.7111200	0.70733	41.6	4.77	25.9	0.1113349	0.512363	0.51230	-4.5	84 Ma
43	228	17.1	38.75353	0.7545600	0.70831	55.5	4.69	15.4	0.1841070	0.512415	0.51231	-4.2	84 Ma
44	126	158	2.30780	0.7100400	0.70729	40.9	4.16	23.1	0.1088657	0.512333	0.51227	-5.0	84 Ma
45	107	312	0.99231	0.7084400	0.70728	40.9	5.79	36.8	0.0951139	0.512369	0.51232	-4.2	82 Ma
46	84.2	312	0.78085	0.7082200	0.70731	41.3	4.64	34.7	0.0808353	0.512362	0.51232	-4.2	82 Ma
47	118	270	1.26463	0.7090900	0.70742	43.0	3.62	20.2	0.1083357	0.512377	0.51231	-4.0	93 Ma
48	123	176	2.02251	0.7103300	0.70766	46.4							93 Ma
49	129	133	2.80714	0.7110100	0.70730	41.3							93 Ma
50	35.3	395	0.25860	0.7091300	0.70884	62.9	5.56	24.7	0.1360739	0.512208	0.51214	-7.8	80 Ma
51	0.64	401	0.00462	0.7075200	0.70751	44.1	0.83	2.41	0.2082005	0.512440	0.51233	-4.0	80 Ma
52	0.39	630	0.00179	0.7073300	0.70733	41.4	0.52	1.95	0.1612067	0.512378	0.51230	-4.7	74 Ma
大和田ほか., 1995													
HB-05	140.4	208	1.95327	0.7094000	0.70596	22.8							124 Ma
HB-11	146.2	191	2.21508	0.7097800	0.70588	21.6							124 Ma
HB-12	138.9	222	1.81052	0.7093000	0.70611	24.9							124 Ma
HB-04	110.5	270	1.18414	0.7081300	0.70604	24.0							124 Ma
HB-07	93.9	306	0.88781	0.7074500	0.70589	21.7							124 Ma
HB-08	90.2	305	0.85562	0.7074700	0.70596	22.8							124 Ma
大和田ほか., 1999													
Kita-Taku													
93100401	1	434	0.00666	0.7053500	0.70534	13.8							116 Ma
93100408	1	58	0.04987	0.7054240	0.70534	13.9							116 Ma
93100506	13	96	0.39172	0.7056600	0.70501	9.2							116 Ma
93100503	24	314	0.22109	0.7052490	0.70488	7.4							116 Ma
93100513	8	329	0.07034	0.7053180	0.70520	11.9							116 Ma
93100519	3	270	0.03214	0.7052860	0.70523	12.3							116 Ma
Itoshima													
91112101	37	504	0.21236	0.7056870	0.70534	13.8							116 Ma
91102507	91	309	0.85195	0.7063830	0.70498	8.7							116 Ma
91101401	57	420	0.39258	0.7057830	0.70514	11.0							116 Ma
91100805	108	280	1.11586	0.7066650	0.70483	6.6							116 Ma
91102805	86	303	0.82107	0.7062240	0.70487	7.2							116 Ma
91101102	44	536	0.23745	0.7054020	0.70501	9.2							116 Ma
93080808	55	459	0.34662	0.7056430	0.70507	10.1							116 Ma
93080909	80	420	0.55100	0.7059270	0.70502	9.3	4.32	18.6	0.1404140	0.512625	0.51252	0.6	116 Ma
93081203	58	428	0.39200	0.7056130	0.70497	8.6							116 Ma
93082201	57	411	0.40118	0.7057700	0.70511	10.6							116 Ma
93082404	81	307	0.76326	0.7062970	0.70504	9.6							116 Ma
93080905	90	373	0.69798	0.7058460	0.70470	4.7							116 Ma
93080906	67	344	0.56340	0.7056220	0.70469	4.7							116 Ma
93082001	146	237	1.78227	0.7072920	0.70435	-0.1							116 Ma
Fukae													
93081202	53	394	0.38911	0.7055060	0.70487	7.2	3.15	9.78	0.1947215	0.512650	0.51250	0.3	115 Ma
93082003	87	396	0.63550	0.7055370	0.70450	1.9	3.67	22.6	0.0981740	0.512616	0.51254	1.0	115 Ma
93082103	54	349	0.44757	0.7056050	0.70487	7.2							115 Ma
Sawara													
93081301	90	421	0.61841	0.7060890	0.70509	10.2	2.76	16.3	0.1023672	0.512620	0.51254	1.0	114 Ma
93081302	74	421	0.50847	0.7059930	0.70517	11.4							114 Ma
93082305	99	182	1.57385	0.7079910	0.70544	15.3							114 Ma
93082306	106	29	10.59035	0.7222200	0.70506	9.9							114 Ma
93082402	101	278	1.05105	0.7067310	0.70503	9.4							114 Ma
Fukuoka													
92112119	81	420	0.55789	0.7060660	0.70521	11.9							108 Ma
91102503	108	398	0.78503	0.7066980	0.70549	15.9							108 Ma
91102918	93	371	0.72518	0.7065090	0.70540	14.5	1.7	7.8	0.1317597	0.512515	0.51242	-1.5	108 Ma
91112104	94	425	0.63981	0.7060030	0.70502	9.2	2	9.6	0.1259470	0.512522	0.51243	-1.3	108 Ma
92091505	109	325	0.97025	0.7066400	0.70515	11.0	1.41	7.23	0.1178966	0.512439	0.51236	-2.8	108 Ma
91102502	149	158	2.72888	0.7093370	0.70515	11.0	1.74	8.86	0.1187235	0.512445	0.51236	-2.7	108 Ma
Mitsuse													
910531G	96	341	0.81450	0.7074810	0.70637	28.1	1.9	10.4	0.1104419	0.512371	0.51230	-4.2	96 Ma
91102807	148	113	3.79074	0.7113430	0.70617	25.3	1.7	7.5	0.1370285	0.512465	0.51238	-2.6	96 Ma
91112205	103	254	1.17330	0.7081360	0.70654	30.5	1.5	7.4	0.1225381	0.512350	0.51227	-4.7	96 Ma
91061701	64	455	0.40692	0.7067310	0.70618	25.4	2.3	14.5	0.0958900	0.512369	0.51231	-4.0	96 Ma
91112110	94	286	0.95093	0.7076680	0.70637	28.2							96 Ma
91112103	107	287	1.07868	0.7078230	0.70635	27.9							96 Ma

付録 8. 花崗岩類の同位体組成

Sp No.	Rb ppm	Sr ppm	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(2σ)	SrI	εSrI	Sm ppm	Nd ppm	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd(2σ)	NdI	εNd	age
大和田ほか., 1999													
Sehuri													
91100412	120	269	1.29066	0.7075840	0.70593	21.9							90 Ma
Saga													
93080802	89	278	0.92612	0.7062460	0.70509	9.8							88 Ma
93050506	47	494	0.27521	0.7054580	0.70511	10.2							88 Ma
93050509	41	424	0.27971	0.7055690	0.70522	11.7	2.3	18.4	0.0755690	0.512568	0.51252	0.0	88 Ma
93050910	86	92	2.70481	0.7086420	0.70526	12.3	1.82	9.13	0.1205145	0.512616	0.51255	0.4	88 Ma
93050705	64	303	0.61103	0.7063240	0.70556	16.5							88 Ma
西田ほか., 2005													
US-107	125	124	2.91651	0.7074570	0.70527	11.9							52.7 Ma
US-201	159	145	3.17256	0.7075740	0.70520	10.8							52.7 Ma
US-207	173	151	3.31484	0.7078750	0.70539	13.6							52.7 Ma
US-16	167	137	3.52692	0.7080330	0.70539	13.6							52.7 Ma
US-20	175	138	3.66913	0.7081350	0.70539	13.5							52.7 Ma
US-238	172	127	3.91867	0.7083570	0.70542	14.0							52.7 Ma
DG-15	66.9	363	0.53309	0.7052620	0.70476	4.7							66.8 Ma
OK-11	82.5	286	0.83441	0.7055110	0.70483	5.6							57.5 Ma
OK-01	84.9	267	0.91980	0.7056060	0.70485	6.0							57.5 Ma
OK-04	101	230	1.27028	0.7058520	0.70481	5.4							57.5 Ma
OU-160	117	277	1.22185	0.7059610	0.70490	6.7							61.2 Ma
OU-08	130	159	2.36536	0.7068590	0.70480	5.3							61.2 Ma
DV-75	170	140	3.51334	0.7080070	0.70495	7.4							61.2 Ma
OU-11	163	87.2	5.40923	0.7095470	0.70484	5.9							61.2 Ma
OU-04	197	46.8	12.18814	0.7154920	0.70490	6.6							61.2 Ma
YA-102	149	72	5.98906	0.7104960	0.70523	11.4							61.9 Ma
YA-107	188	70.7	7.69683	0.7121040	0.70534	12.9							61.9 Ma
YA-106	172	26.8	18.59410	0.7217220	0.70537	13.4							61.9 Ma
YO-01	106	217	1.41307	0.7061000	0.70490	6.7							59.6 Ma
YO-02	105	209	1.45333	0.7061790	0.70495	7.4							59.6 Ma
YO-15	112	123	2.63436	0.7071200	0.70489	6.5							59.6 Ma
FU-04	155	116	3.86612	0.7080600	0.70498	7.7							56.1 Ma
FU-01	154	114	3.90860	0.7081640	0.70505	8.7							56.1 Ma
FU-14	137	115	3.44674	0.7076800	0.70493	7.1							56.1 Ma
西田ほか., 2013													
KI-02	131	254	1.49207	0.7069090	0.70540	14.0	6.48	29	0.1350869	0.512591	0.51253	-0.4	71 Ma
KI-04	135	237	1.64796	0.7070850	0.70542	14.3	6.66	29.5	0.1364862	0.512593	0.51253	-0.3	71 Ma
KI-05	153	218	2.03055	0.7075010	0.70545	14.7	4.41	18.1	0.1472980	0.512597	0.51253	-0.4	71 Ma
DG-13	74.5	358	0.60195	0.7053270	0.70475	4.7	4.31	22.7	0.1147890	0.512715	0.51266	2.2	67 Ma
DG-04	60	403	0.43065	0.7052080	0.70480	5.3	3.32	15.7	0.1123936				67 Ma
DG-23A	88.6	305	0.84029	0.7055560	0.70476	4.8	2.16	10	0.1148040				67 Ma
DG-23B	104	297	1.01293	0.7057490	0.70478	5.2	1.93	9.6	0.1215423	0.512640	0.51259	0.7	67 Ma
DG-21	70.2	306	0.66360	0.7053890	0.70476	4.8	3.89	14.7	0.1599843	0.512679	0.51261	1.1	67 Ma
YG-03	112	229	1.41491	0.7067870	0.70554	15.8	4.83	22.5	0.1297787	0.512615	0.51256	0.1	62 Ma
YG-09	93.2	244	1.10499	0.7063970	0.70542	14.1	5.58	26.1	0.1292485	0.512547	0.51249	-1.2	62 Ma
YG-05	72.2	260	0.80330	0.7060500	0.70534	13.0	3.6	14.4	0.1511401	0.512625	0.51256	0.1	62 Ma
YO-01	106	217	1.41307	0.7061000	0.70490	6.6	3.02	14.9	0.1225369	0.512688	0.51264	1.5	60 Ma
YO-03	126	168	2.16969	0.7065220	0.70467	3.5	2.91	14.2	0.1089201				60 Ma
YO-06	140	98	4.13349	0.7083870	0.70486	6.2	2.73	14.5	0.1000686				60 Ma
YO-13	108	80.1	3.90122	0.7082500	0.70492	7.0	3.27	15.9	0.1093085				60 Ma
YO-07	150	83.1	5.22325	0.7092120	0.70476	4.7	3.3	19.6	0.1017884	0.512633	0.51259	0.6	60 Ma
YA-100	163	53.9	8.75386	0.7127560	0.70505	8.8	5.22	25.7	0.1079545				62 Ma
YA-103	148	77.9	5.49813	0.7101530	0.70531	12.5	6.56						62 Ma
YA-108	186	31.4	17.15962	0.7203780	0.70526	11.9	6.2	20.4	0.1837393	0.512634	0.51256	0.0	62 Ma
YA-109	161	36.7	12.70325	0.7163860	0.70520	10.9	4.89	19.2	0.1539757	0.512673	0.51261	1.0	62 Ma
OU-13	115	307	1.08359	0.7057670	0.70481	5.5	3.8	19.7	0.1166192	0.512752	0.51270	2.9	62 Ma
OU-07	170	112	4.39186	0.7084430	0.70457	2.1	2.76	14.7	0.1135113	0.512699	0.51265	1.8	62 Ma
OK-06	73.8	347	0.61520	0.7053950	0.70489	6.5	3.57	16.8	0.1284692	0.512629	0.51258	0.3	58 Ma
OK-08	81	322	0.72765	0.7055570	0.70496	7.5	3.37	16.8	0.1066164				58 Ma
OK-05	86.5	271	0.92330	0.7055850	0.70482	5.6	3.48	17.8	0.1181961	0.512665	0.51262	1.1	58 Ma
OK-10	98.7	214	1.33418	0.7059290	0.70483	5.6	3.76	18.2	0.1098044				58 Ma
OK-07	132	88	4.34019	0.7084370	0.70486	6.1	2.19	13.6	0.0973518	0.512618	0.51258	0.3	58 Ma
FU-13	160	152	3.04548	0.7075310	0.70511	9.6	3.5	18.2	0.1162624	0.512654	0.51261	0.9	56 Ma
FU-11	161	73	6.38238	0.7099050	0.70483	5.6	2.49	13.3	0.1131834	0.512579	0.51254	-0.6	56 Ma
FU-12	162	91.6	5.11754	0.7090030	0.70493	7.1	2.81	15.3	0.0976154				56 Ma
FU-08	183	65.1	8.13602	0.7113700	0.70490	6.6	4.16	20.1	0.1100020				56 Ma
FU-07	205	17	34.97706	0.7334410	0.70562	16.8	3.12	14.3	0.1319054	0.512667	0.51262	1.0	56 Ma
US-150	167	143	3.37892	0.7079560	0.70541	13.8	3.94	20	0.1190995	0.512664	0.51262	1.0	53 Ma
US-108	121	116	3.01789	0.7074480	0.70518	10.5	3.58	17.6	0.1229747	0.512681	0.51264	1.3	53 Ma
US-80	139	23.8	16.91438	0.7178740	0.70514	10.0	3.13	15.9	0.1046286				53 Ma
US-83	129	36.7	10.17477	0.7127620	0.70510	9.4	3.41	16.8	0.1078819				53 Ma
DG-17	55.9	437	0.37001	0.7052980	0.70502	8.3	3.08	17.2	0.1082581	0.512608	0.51257	0.0	52 Ma

付録 8. 花崗岩類の同位体組成

Sp No.	Rb mmp	Sr ppm	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(2σ)	SrI	εSrI	Sm ppm	Nd ppm	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd(2σ)	NdI	εNd	age
Imaoka et al., 2014													
KN15	53	255	0.60131	0.7071190	0.70631	27.2	2.22	10.5	0.1278155	0.512430	0.51235	-3.2	95 Ma
101310	85	227	1.08327	0.7066670	0.70520	11.6							95 Ma
YH18	128	283	1.30853	0.7070700	0.70530	13.0	3.26	17.2	0.1145818	0.512497	0.51243	-1.8	95 Ma
HTA17	115	251	1.32552	0.7071180	0.70533	13.3	3.16	15.6	0.1224601	0.512552	0.51248	-0.8	95 Ma
HTA8110	138	287	1.39108	0.7069820	0.70510	10.2	3.65	17.4	0.1268165	0.512552	0.51247	-0.8	95 Ma
KN2	122	229	1.54132	0.7072900	0.70521	11.7	2.94	5.2	0.3418019	0.512535	0.51232	-3.8	95 Ma
YH20	125	220	1.64378	0.7070070	0.70479	5.7	2.73	14.5	0.1138216	0.512530	0.51246	-1.1	95 Ma
KN15	135	232	1.68355	0.7075540	0.70528	12.7	3.18	17.1	0.1124247	0.512539	0.51247	-0.9	95 Ma
C0209	133	198	1.94344	0.7076910	0.70507	9.6	2.7	14.1	0.1157647	0.512545	0.51247	-0.8	95 Ma
C0120	136	184	2.13850	0.7077560	0.70487	6.8	3.46	16.2	0.1291194	0.512534	0.51245	-1.2	95 Ma
KN07	154	217	2.05332	0.7079220	0.70515	10.8	2.03	11	0.1115660	0.512517	0.51245	-1.3	95 Ma
HTA5	159	209	2.20120	0.7082470	0.70528	12.6	2.15	12.4	0.1048201	0.512508	0.51244	-1.4	95 Ma
KN09	155	195	2.29992	0.7083890	0.70528	12.7	2.03	11.6	0.1057951	0.512507	0.51244	-1.5	95 Ma
HTA11	182	201	2.62001	0.7086860	0.70515	10.8	2.32	13	0.1078881	0.512521	0.51245	-1.2	95 Ma
KN08	167	167	2.89371	0.7093140	0.70541	14.5	2.37	13.2	0.1085354	0.512207	0.51214	-7.3	95 Ma
HTA819	182	177	2.97530	0.7088000	0.70478	5.6	2.29	12.5	0.1107527	0.512520	0.51245	-1.3	95 Ma
5120	150	140	3.10037	0.7091970	0.70501	8.9	2.07	11.4	0.1097728	0.512524	0.51246	-1.2	95 Ma
B1418	216	201	3.10970	0.7094530	0.70526	12.3	1.69	11.5	0.0888414	0.512496	0.51244	-1.5	95 Ma
KN10	173	156	3.20917	0.7097010	0.70537	13.9	1.98	12.2	0.0981148	0.512521	0.51246	-1.1	95 Ma
B1105	169	143	3.42018	0.7103280	0.70571	18.8	1.17	8.09	0.0874307	0.512497	0.51244	-1.4	95 Ma
YH09	187	152	3.56024	0.7099410	0.70513	10.6	1.82	12.3	0.0894523	0.512483	0.51243	-1.7	95 Ma
KN06	175	138	3.66998	0.7105030	0.70555	16.5	1.74	9.82	0.1071188	0.512509	0.51244	-1.4	95 Ma
HTA2							1.45	10.1	0.0867910	0.512513	0.51246	-1.1	95 Ma
HTA22	211	150	4.07141	0.7116320	0.70614	24.8	1.86	11.8	0.0952927	0.512519	0.51246	-1.1	95 Ma
KN12	216	141	4.43383	0.7114270	0.70544	15.0	1.46	9.99	0.0883523	0.512535	0.51248	-0.7	95 Ma
YH16	180	113	4.61042	0.7114770	0.70525	12.3	1.06	11.7	0.0547701	0.512471	0.51244	-1.5	95 Ma
HTA21	205	127	4.67211	0.7118580	0.70555	16.5	1.66	10.2	0.0983860	0.512487	0.51243	-1.8	95 Ma
YH08	180	107	4.86894	0.7114550	0.70488	7.0	1.25	8.49	0.0890079	0.512495	0.51244	-1.5	95 Ma
YH07	192	111	5.00660	0.7119110	0.70515	10.8	1.55	10.5	0.0892425	0.512522	0.51247	-1.0	95 Ma
YH10	201	115	5.05898	0.7119100	0.70508	9.8	1.31	9.03	0.0877025	0.512513	0.51246	-1.1	95 Ma
YH17	134	128	3.02962	0.7102190	0.70613	24.7	1.68	12.7	0.0799699	0.512442	0.51239	-2.4	95 Ma
YH15	167	141	3.42773	0.7106080	0.70598	22.6	0.95	6.12	0.0938429	0.512523	0.51246	-1.0	95 Ma
YH13	163	134	3.52068	0.7114160	0.70666	32.3							95 Ma
YH14	171	122	4.05672	0.7113020	0.70583	20.4							95 Ma
KN14	156	105	4.30014	0.7114880	0.70568	18.4	1.9	13.1	0.0876817	0.512498	0.51244	-1.4	95 Ma
5011	168	111	4.38083	0.7120420	0.70613	24.7							95 Ma
HTA25	188	116	4.69095	0.7118090	0.70548	15.4							95 Ma
KN11	194	114	4.92588	0.7124230	0.70577	19.7	1.28	7.78	0.0994620	0.512499	0.51244	-1.5	95 Ma
YH12	184	106	5.02461	0.7125040	0.70572	18.9							95 Ma
50116	169	90	5.43573	0.7130500	0.70571	18.8	1.32	10.3	0.0774727	0.512357	0.51231	-4.0	95 Ma

付録 9. 苦鉄質岩の全岩化学組成

Sp No.	SiO ₂ (wt.%)	TiO ₂ (wt.%)	Al ₂ O ₃ (wt.%)	Fe ₂ O ₃ (wt.%)	MnO (wt.%)	MgO (wt.%)	CaO (wt.%)	Na ₂ O (wt.%)	K ₂ O (wt.%)	P ₂ O ₅ (wt.%)	Total (wt.%)	A/CNK	Mg#	Si/Al
Kodama et al., 2019														
17032301	46.68	0.32	26.54	5.87	0.11	3.96	13.57	1.45	0.44	0.03	98.96	0.96	57.17	1.76
17051005B	51.71	0.38	17.25	8.64	0.18	7.25	9.71	1.89	0.68	0.03	97.73	0.80	62.43	3.00
17032305	50.00	0.48	17.58	8.67	0.19	8.21	11.29	1.40	0.29	0.04	98.14	0.76	65.20	2.84
17050106B	49.35	0.65	15.86	11.77	0.20	10.30	7.69	1.69	1.00	0.08	98.58	0.89	63.39	3.11
170501T04	44.82	0.28	17.58	10.08	0.18	10.81	13.30	0.80	0.12	0.02	97.98	0.69	67.99	2.55
採取した試料														
KTG-01	57.44	0.93	17.65	7.38	0.12	3.54	6.90	2.91	1.63	0.15	100.34	0.92	48.69	3.25
KTG-02	56.27	0.92	17.98	7.49	0.13	3.69	6.82	2.96	1.49	0.15	100.54	0.95	49.41	3.13
KTG-03	57.38	0.93	17.49	7.48	0.13	3.65	6.54	3.14	1.62	0.18	100.41	0.93	49.14	3.28
KTG-04	57.76	0.93	17.69	7.39	0.13	3.52	6.78	3.03	1.62	0.15	100.40	0.93	48.51	3.27
MUC-03	56.56	0.83	18.04	8.17	0.15	3.87	7.54	3.05	1.28	0.12	100.61	0.90	48.43	3.13
MUC-04	55.14	0.79	18.43	8.48	0.17	4.20	8.11	2.97	1.10	0.10	100.41	0.89	49.49	2.99
SER-02	52.18	1.49	17.22	12.00	0.26	4.27	8.65	2.35	1.06	0.25	100.58	0.83	41.36	3.03
HSM-04	56.94	0.89	16.53	7.82	0.12	4.47	6.75	2.84	2.18	0.12	100.10	0.86	53.08	3.45
HSM-03	57.44	0.92	16.65	7.67	0.14	4.68	7.01	2.79	1.92	0.11	100.45	0.86	54.71	3.45
HSM-04	55.20	0.70	17.71	7.95	0.13	4.89	8.43	2.65	1.18	0.10	100.31	0.84	54.88	3.12
HSM-05	54.75	0.67	17.42	8.20	0.23	5.18	7.08	2.49	2.27	0.11	100.48	0.90	55.57	3.14
MSK-06	53.99	0.99	17.02	8.53	0.15	5.17	7.21	2.59	2.07	0.16	100.45	0.87	54.53	3.17
NGH-03	49.37	0.57	16.24	11.58	0.18	9.91	9.73	1.55	0.94	0.07	100.80	0.76	62.88	3.04
NGN-01	58.79	0.72	17.42	6.42	0.11	4.61	6.19	3.57	1.47	0.10	100.23	0.93	58.71	3.37
GJM-04	51.30	0.61	21.26	7.30	0.15	5.32	10.81	2.32	0.65	0.07	100.97	0.88	59.08	2.41
18022609	47.14	3.09	13.26	9.79	0.30	7.93	14.42	1.82	0.85	0.26	99.58	0.44	61.59	3.55
18081802C	50.32	3.35	14.86	10.59	0.41	6.61	6.91	4.26	1.41	0.51	99.26	0.70	55.27	3.39
Iizumi et al., 2000														
5041701	55.36	1.04	17.75	8.79	0.15	4.50	7.51	2.49	1.71	0.19	99.49	0.91	50.33	3.12
5071702	55.49	0.78	21.95	5.81	0.11	2.52	9.33	2.78	1.58	0.07	100.44	0.94	46.20	2.53
AG005	61.87	0.67	15.95	6.27	0.11	2.59	4.93	2.92	2.34	0.13	97.78	0.98	44.99	3.88
950915	60.71	0.81	16.68	7.05	0.14	2.28	4.57	3.79	2.24	0.17	98.44	0.98	39.03	3.64
4110306	53.74	0.99	18.60	8.31	0.13	3.35	7.98	3.07	1.19	0.19	97.76	0.89	44.38	2.89
4110309	63.46	0.60	15.47	4.86	0.08	2.72	4.49	2.88	3.07	0.19	97.76	0.95	52.56	4.10
KO-005	61.69	0.87	16.92	6.84	0.22	2.04	5.25	4.12	1.52	0.21	99.68	0.94	37.12	3.65
TMS-01	66.97	0.42	15.39	4.62	0.07	1.19	3.53	3.55	2.13	0.10	97.97	1.06	33.77	4.35
4110401	58.34	0.84	17.08	7.16	0.12	3.07	6.35	3.33	1.50	0.16	97.95	0.92	45.91	3.42
4110403	58.82	0.80	17.20	7.09	0.12	3.08	6.72	3.11	1.18	0.17	98.29	0.92	46.24	3.42
TMO11	57.21	0.85	17.51	7.73	0.13	3.87	7.82	2.76	0.99	0.13	98.90	0.88	49.78	3.27
060409A	48.21	0.17	22.37	6.58	0.11	7.31	13.85	1.42	0.16	0.05	100.30	0.81	68.74	2.16
741305A	50.21	1.09	18.90	9.90	0.17	5.50	9.05	3.32	1.26	0.24	99.64	0.81	52.38	2.66
7680511	52.21	1.09	18.90	9.90	0.17	5.50	9.05	3.32	1.26	0.24	99.32	0.81	52.38	2.76
7690503	56.63	1.16	17.94	8.59	0.18	2.84	6.75	4.41	1.05	0.51	100.06	0.87	39.56	3.16
7640509	48.21	1.31	19.68	10.20	0.19	4.77	9.93	3.45	0.27	0.18	98.19	0.82	48.07	2.45
4110205	64.05	0.76	15.31	5.45	0.10	2.40	4.71	2.73	2.88	0.14	98.53	0.95	46.57	4.18
4110206	62.25	0.81	15.77	6.10	0.11	2.78	5.37	2.70	2.34	0.15	98.41	0.94	47.43	3.95
5071803	54.72	1.09	19.97	8.54	0.13	1.62	8.39	4.10	1.28	0.05	99.89	0.85	27.30	2.74
032219	57.52	0.85	17.67	7.24	0.15	3.13	6.29	3.66	1.27	0.24	98.02	0.94	46.12	3.26
532204	51.43	0.90	15.85	8.72	0.23	7.54	8.89	2.19	1.15	0.16	97.06	0.75	63.12	3.24
6062203	63.34	0.68	15.64	5.94	0.10	2.80	5.60	2.76	2.34	0.13	99.93	0.91	48.27	4.05
6062204	63.57	0.67	15.79	5.83	0.10	2.73	5.53	2.81	2.36	0.13	99.52	0.92	48.11	4.03
4110201	53.72	1.05	17.76	9.17	0.18	4.89	9.12	2.20	0.80	0.19	99.07	0.84	51.35	3.02
4110202	52.60	1.24	17.44	10.03	0.18	4.91	9.10	1.98	0.72	0.26	98.46	0.85	49.21	3.02
6010507	63.48	0.63	15.72	5.66	0.10	2.65	5.60	2.98	2.13	0.13	99.08	0.90	48.10	4.04
6010505	64.92	0.54	15.40	5.36	0.10	2.43	5.06	2.98	2.49	0.12	99.40	0.92	47.30	4.22
6010506	66.15	0.67	15.23	5.20	0.10	1.98	4.49	2.70	3.59	0.16	100.27	0.92	42.98	4.34
6010402	58.20	0.84	18.29	6.62	0.10	2.86	6.48	3.46	2.73	0.15	99.73	0.90	46.10	3.18
6062205	60.49	0.93	15.50	8.57	0.15	2.46	5.86	3.07	1.95	0.20	99.18	0.87	36.23	3.90
4103002	60.23	1.08	15.60	7.12	0.12	2.71	5.38	3.33	2.08	0.35	98.00	0.89	42.97	3.86
4103004	53.59	1.20	16.98	9.09	0.14	4.55	7.83	2.74	1.36	0.22	97.70	0.84	49.77	3.16
4103009	52.64	1.35	18.60	9.30	0.29	3.79	8.76	2.65	0.71	0.25	98.34	0.88	44.65	2.83
5081901	65.08	0.82	16.22	5.13	0.14	1.71	4.72	3.84	1.97	0.21	99.87	0.95	39.75	4.01
081905B	53.43	1.48	19.20	9.59	0.19	4.40	8.79	2.66	1.08	0.13	100.95	0.89	47.60	2.78
6062101	57.17	0.91	17.51	7.66	0.13	3.88	6.67	3.57	1.27	0.04	98.81	0.90	50.07	3.26
Imaoka et al., 2014														
KY=104	46.97	1.86	14.05	10.07	0.14	11.39	7.61	3.59	0.94	0.70	100.23	0.68	69.13	3.34
KY=32	47.91	1.66	14.22	9.69	0.15	10.51	9.32	2.77	1.82	0.31	101.75	0.61	68.22	3.37
KY=009	51.02	1.03	13.23	8.06	0.15	9.87	8.11	3.89	1.69	0.35	99.73	0.58	70.80	3.86
KY=501	51.24	1.13	13.58	8.10	0.13	8.99	7.86	4.32	1.49	0.31	99.98	0.59	68.72	3.77
KY=11	46.05	1.04	10.44	12.82	0.21	13.19	9.62	1.31	0.49	0.21	99.50	0.52	67.07	4.41
KY=33	47.49	1.13	12.56	11.43	0.20	11.36	8.68	2.48	1.07	0.27	99.82	0.60	66.30	3.78
KY=1505	50.00	1.08	13.94	9.96	0.16	9.83	6.50	2.88	2.49	0.24	99.44	0.72	66.14	3.59
KY=04	52.23	1.04	12.92	8.90	0.15	10.08	7.07	2.52	2.04	0.19	99.60	0.67	69.16	4.04
Imaoka et al., 2017														
KY-502	47.27	1.55	13.52	8.58	0.14	8.11	9.06	3.26	2.11	0.66	99.53	0.56	65.17	3.50
KY-54C	44.12	1.77	12.07	9.24	0.14	9.16	9.81	3.06	2.41	0.81	99.53	0.47	66.24	3.66
KY-54M	44.31	1.49	12.27	8.80	0.14	9.02	9.28	3.03	1.98	0.65	97.79	0.51	66.99	3.61
KY-07A	45.31	1.83	11.35	7.54	0.14	9.27	11.46	3.68	0.93	0.57	99.18	0.41	70.88	3.99

付録 9. 苦鉄質岩の全岩化学組成

Sp No.	SiO ₂ (wt.%)	TiO ₂ (wt.%)	Al ₂ O ₃ (wt.%)	Fe ₂ O ₃ (wt.%)	MnO (wt.%)	MgO (wt.%)	CaO (wt.%)	Na ₂ O (wt.%)	K ₂ O (wt.%)	P ₂ O ₅ (wt.%)	Total (wt.%)	A/CNK	Mg#	Si/Al
赤崎ほか, 2013														
10060601A	52.79	0.99	16.09	9.49	0.20	6.01	9.12	2.18	1.40	0.11	99.01	0.74	55.63	3.28
10060601B	56.11	1.03	16.83	8.33	0.14	4.55	7.48	2.57	1.41	0.13	99.01	0.87	51.95	3.33
Akasaki et al., 2015														
09032209B	57.91	1.42	18.22	8.94	0.13	2.68	7.75	1.35	1.33	0.15	100.14	1.03	37.26	3.18
10060607	57.62	1.01	17.35	7.74	0.14	3.21	6.26	2.62	1.79	0.14	99.09	0.98	45.09	3.32
12050501	57.49	0.99	17.19	7.91	0.14	3.83	7.08	2.78	1.80	0.13	100.19	0.89	48.94	3.34
12050502	60.26	0.85	15.96	6.76	0.12	3.17	5.78	2.88	2.32	0.12	98.91	0.90	48.16	3.78
12050503	51.22	0.91	17.63	9.14	0.17	5.28	8.55	3.10	1.49	0.13	98.60	0.79	53.32	2.91
12050504A	60.63	0.92	15.98	7.35	0.13	3.78	6.15	2.56	2.25	0.12	100.47	0.90	50.44	3.79
池田ほか, 2019														
15050101	56.42	1.27	17.58	8.79	0.20	4.28	7.52	2.21	2.15	0.21	100.63	0.90	49.08	3.21
08102601E	55.39	1.12	18.57	10.24	0.22	2.67	6.71	2.39	2.33	0.14	99.79	0.99	34.06	2.98
09042905A	61.15	0.99	17.72	8.16	0.16	2.26	5.94	1.51	2.60	0.11	100.60	1.10	35.46	3.45
柚原ほか, 2016														
SHK-65	52.28	0.65	10.42	8.61	0.16	13.04	9.50	1.95	1.24	0.15	98.76	0.48	74.99	5.02
SHK-190	56.01	0.60	10.74	7.53	0.14	10.40	9.07	2.23	1.13	0.18	99.06	0.50	73.22	5.22
SHK-214	54.45	0.67	11.25	8.02	0.15	10.73	9.19	2.30	1.43	0.16	99.32	0.51	72.59	4.84
SHK-270	52.84	0.57	9.65	8.89	0.17	14.42	9.14	1.74	1.42	0.12	99.91	0.46	76.25	5.48
SHK-312	55.37	0.70	11.00	8.16	0.16	10.94	9.18	2.19	1.44	0.15	100.31	0.50	72.63	5.03
SHK-61	50.50	0.54	8.42	9.08	0.17	16.41	9.76	1.30	1.21	0.11	98.61	0.40	78.15	6.00
SHK-148	53.63	0.58	10.09	8.01	0.15	11.47	10.34	2.09	1.31	0.15	98.86	0.43	73.92	5.32
SHK-247	53.59	0.68	8.31	8.61	0.17	11.55	12.64	1.61	1.23	0.12	99.56	0.31	72.64	6.45
SHK-274	53.23	0.64	8.41	8.44	0.17	12.11	13.34	1.71	0.89	0.10	99.95	0.30	73.96	6.33
SHK-305	52.83	0.64	8.92	8.45	0.17	12.80	12.73	1.79	0.95	0.13	100.40	0.33	74.99	5.92
SHK-372	53.26	0.65	8.64	8.67	0.17	12.13	13.32	1.69	0.95	0.12	100.46	0.31	73.47	6.16
浦島, 2016修論; 砥山, 2020修論.														
12031603	50.25	0.98	17.70	8.54	0.16	9.03	11.62	1.51	0.32	0.07	100.18	0.74	67.67	2.84
14092910g	51.29	0.90	15.73	8.44	0.17	9.11	10.04	3.64	1.45	0.17	100.94	0.61	68.12	3.26
14092910f	51.55	0.88	16.11	8.23	0.16	8.06	9.97	3.62	1.83	0.16	100.57	0.62	65.97	3.20
17100901c	52.54	0.84	15.88	8.63	0.16	8.27	9.98	3.20	1.01	0.14	100.64	0.65	65.49	3.31
17110209	50.33	0.91	18.69	8.91	0.14	7.24	11.58	2.16	0.87	0.18	101.02	0.73	61.67	2.69
17111004b	53.98	0.82	15.79	8.28	0.15	7.94	9.15	3.24	1.30	0.12	100.77	0.68	65.48	3.42
17111211	49.49	0.85	13.18	11.32	0.21	11.51	12.20	1.53	0.48	0.23	100.99	0.52	66.80	3.75
17111212a	52.09	0.86	16.28	8.15	0.17	6.87	9.48	3.71	0.80	0.15	98.57	0.67	62.50	3.20
13030205b	57.86	0.72	16.60	6.82	0.18	6.44	6.98	1.88	0.77	0.10	98.35	1.00	65.15	3.49
130501t04	54.84	0.76	15.52	9.39	0.19	9.14	9.79	0.88	0.24	0.06	100.81	0.80	65.83	3.53
13050310	51.77	0.98	16.67	9.26	0.17	8.60	10.56	1.52	0.20	0.22	99.95	0.76	64.77	3.11
131029t01b	53.93	0.92	15.88	9.49	0.25	7.90	8.89	0.80	0.31	0.16	98.53	0.89	62.23	3.40
131029t08a	52.98	0.70	15.18	9.11	0.20	10.85	10.16	0.89	0.14	0.24	100.45	0.76	70.22	3.49
131030t08	54.88	0.89	15.64	9.57	0.23	8.97	9.99	1.14	0.24	0.10	101.65	0.77	64.98	3.51
17090201b	57.43	0.77	16.48	7.93	0.21	7.72	7.39	1.95	0.72	0.13	100.74	0.95	65.84	3.49
19050501	52.57	0.87	17.92	8.61	0.18	8.18	10.07	2.54	0.37	0.15	101.45	0.78	65.29	2.93

付録 10. 苦鉄質岩の同位体組成

Sp No.	Rb mmp	Sr ppm	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(2σ)	SrI	εSrI	Sm ppm	Nd ppm	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd(2σ)	NdI	εNd	age
Kodama et al., 2019													
17032301	32	354	0.26153	0.7073185	0.70698	36.7	0.87	3.78	0.1391392	0.512454	0.51237	-2.9	92 Ma
17051005B	33	270	0.35361	0.7073005	0.70684	34.7	2.06	8.78	0.1418395	0.512476	0.51239	-2.5	92 Ma
17032305	11	228	0.13958	0.7070910	0.70691	35.7	1.5	5.99	0.1513863	0.512455	0.51236	-3.0	92 Ma
17050106B	41	220	0.53920	0.7078160	0.70711	38.6	1.92	9.87	0.1175996	0.512451	0.51238	-2.7	92 Ma
170501T04	6	232	0.07482	0.7070590	0.70696	36.5	0.64	2.57	0.1505468	0.512479	0.51239	-2.6	92 Ma
採取した試料													
KTG-01	38	422	0.26049	0.7061140	0.70582	20.0	3.94	17.7	0.1345716	0.512537	0.51247	-1.3	80 Ma
KTG-02	36	414	0.25154	0.7057500	0.70546	15.0	3.54	17	0.1258882	0.512537	0.51247	-1.3	80 Ma
KTG-03	40	455	0.25431	0.7061470	0.70586	20.6	4.15	19	0.1320465	0.512553	0.51248	-1.0	80 Ma
KTG-04	38	444	0.24758	0.7060920	0.70581	19.9	4.08	18.5	0.1333272	0.512534	0.51246	-1.4	80 Ma
MUC-03	35	360	0.28124	0.7058440	0.70552	15.9	3.49	14.1	0.1496374	0.512569	0.51249	-0.9	80 Ma
MUC-04	29	401	0.20920	0.7058670	0.70563	17.4	3.46	13.8	0.1515769	0.512590	0.51251	-0.5	80 Ma
SER-02	55	335	0.47496	0.7065100	0.70597	22.2	5.15	20.5	0.1518743	0.512541	0.51246	-1.4	80 Ma
HSM-02	72	351	0.59339	0.7060690	0.70547	15.0	4.35	18.4	0.1429246	0.512584	0.51252	-0.6	70.67 Ma
HSM-03	61	365	0.48345	0.7059230	0.70544	14.5	4.37	18.5	0.1428051	0.512570	0.51250	-0.9	70.67 Ma
HSM-04	54	439	0.35581	0.7054870	0.70513	10.1	3.76	15.3	0.1485702	0.512583	0.51251	-0.6	70.67 Ma
HSM-05	65	363	0.51799	0.7060180	0.70550	15.3	3.89	16	0.1469823	0.512585	0.51252	-0.6	70.67 Ma
MSK-06	55	436	0.36494	0.7067480	0.70637	27.7	4.26	18.5	0.1392076	0.512482	0.51241	-2.5	73.8 Ma
NGH-03	45	302	0.43109	0.7070890	0.70660	31.1	2.3	9.42	0.1476040	0.512445	0.51237	-3.3	80.1 Ma
NGN-01	46	254	0.52384	0.7050100	0.70441	0.1	4.83	21.1	0.1383897	0.512621	0.51255	0.3	80 Ma
GJM-04	15	463	0.09373	0.7072920	0.70719	39.5	1.82	9.25	0.1189448	0.512393	0.51233	-4.0	80 Ma
18022609	13	1050	0.03581	0.7046950	0.70464	3.7	9.56	41	0.1409727	0.512835	0.51274	4.5	100 Ma
18081802C	42	546	0.22248	0.7042320	0.70392	-6.6	12.4	73	0.1026949	0.512727	0.51266	2.9	100 Ma
Iizumi et al., 2000													
5041701	118	292	1.16912	0.7071150	0.70562	17.4	5	22	0.1373995	0.512607	0.51253	0.1	90 Ma
5071702	49	425	0.33353	0.7064720	0.70605	23.4	1.96	10.2	0.1161683	0.512548	0.51248	-0.8	90 Ma
AG005	79	313	0.73017	0.7066920	0.70576	19.4	3.92	19.2	0.1234302	0.512596	0.51252	0.0	90 Ma
950915	63	336	0.54243	0.7065770	0.70588	21.1	5.1	23.9	0.1290050	0.512572	0.51250	-0.5	90 Ma
4110306	36	360	0.28926	0.7054830	0.70511	10.2	4.33	21.6	0.1211911	0.512594	0.51252	0.0	90 Ma
4110309	119	328	1.04959	0.7067700	0.70543	14.7	4.96	26.3	0.1140143	0.512565	0.51250	-0.5	90 Ma
KO-005	129	324	1.15177	0.7061810	0.70471	4.5	5.25	28.6	0.1109780	0.512664	0.51260	1.5	90 Ma
TMS-01	31	399	0.22477	0.7068020	0.70655	30.4	4.68	25.2	0.1122741	0.512571	0.51251	-0.5	79 Ma
4110401	43	395	0.31491	0.7059200	0.70552	15.9	4.45	20.8	0.1293394	0.512571	0.51249	-0.5	90 Ma
4110403	37	432	0.24775	0.7056100	0.70529	12.8	4.94	22.9	0.1304152	0.512595	0.51252	-0.1	90 Ma
TMO11	68	334	0.58895	0.7061000	0.70535	13.5	4.47	24.4	0.1107535	0.512626	0.51256	0.8	90 Ma
060409A	2	570	0.01015	0.7048320	0.70482	6.0	1.7	7.6	0.1352353	0.512772	0.51269	3.3	90 Ma
741305A	41	608	0.19506	0.7051480	0.70490	7.2	5.16	24.2	0.1289067	0.512638	0.51256	0.8	90 Ma
7680511	3.34	645	0.01498	0.7060600	0.70604	23.4	4.28	17.8	0.1453703	0.512744	0.51266	2.7	90 Ma
7690503	17.8	576	0.08938	0.7048810	0.70477	5.3	5	20.8	0.1453304	0.512725	0.51264	2.3	90 Ma
7640509	1.79	909	0.00570	0.7047870	0.70478	5.5	4.76	19.7	0.1460801	0.512728	0.51264	2.3	90 Ma
4110205	129	499	0.74808	0.7094260	0.70847	57.9	4.77	26.1	0.1104825	0.512392	0.51233	-3.8	90 Ma
4110206	98	225	1.26029	0.7068960	0.70708	38.2	5.45	26.5	0.1243273	0.512394	0.51232	-3.9	90 Ma
5071803	32	427	0.21680	0.7067420	0.70646	29.4	2.72	12.1	0.1358971	0.512497	0.51242	-2.1	90 Ma
032219	41	491	0.24156	0.7062720	0.70596	22.3	3.84	18.6	0.1248065	0.512421	0.51235	-3.4	90 Ma
532204	75	392	0.55348	0.7062170	0.70551	15.8	3.94	17.5	0.1361098	0.512544	0.51246	-1.1	90 Ma
6062203	93	341	0.78905	0.7074190	0.70641	28.6	4.19	22.8	0.1110951	0.512391	0.51233	-3.8	90 Ma
6062204	91	348	0.75655	0.7074470	0.70648	29.6	4.07	22.1	0.1113311	0.512378	0.51231	-4.1	90 Ma
4110201	29	309	0.27153	0.7074750	0.70713	38.8	4.04	18	0.1356849	0.512460	0.51238	-2.8	90 Ma
4110202	25	315	0.22961	0.7072140	0.70692	35.9	4.21	18.6	0.1368338	0.512473	0.51239	-2.5	90 Ma
6010507	73	301	0.70173	0.7083880	0.70749	44.0	4.96	25.1	0.1194603	0.512389	0.51232	-4.0	90 Ma
6010505	94	268	1.01489	0.7086810	0.70738	42.4	5.34	27.8	0.1161213	0.512390	0.51232	-3.9	90 Ma
6010506	183	217	2.44036	0.7095090	0.70639	28.3	5.49	26.9	0.1233789	0.512441	0.51237	-3.0	90 Ma
6010402	122	315	1.12068	0.7087820	0.70735	41.9	5.93	28.2	0.1271215	0.512370	0.51230	-4.4	90 Ma
6062205	66	277	0.68936	0.7075480	0.70667	32.3	5.52	27.7	0.1204694	0.512408	0.51234	-3.6	90 Ma
4103002	82	384	0.61780	0.7071380	0.70635	27.7	6.71	34.2	0.1186056	0.512322	0.51225	-5.3	90 Ma
4103004	46	462	0.28805	0.7069200	0.70655	30.6	5.12	23.8	0.1300513	0.512450	0.51237	-2.9	90 Ma
4103009	34	457	0.21526	0.7078480	0.70757	45.1	4.54	20.2	0.1358689	0.512390	0.51231	-4.1	90 Ma
5081901	51	386	0.38225	0.7070760	0.70659	31.1	6.18	29.8	0.1253695	0.512431	0.51236	-3.2	90 Ma
081905B	60	525	0.33066	0.7076610	0.70724	40.4	3.43	15.8	0.1312359	0.512390	0.51231	-4.1	90 Ma
6062101	46	632	0.21056	0.7066850	0.70642	28.7	3.04	15.6	0.1178068	0.512446	0.51238	-2.8	90 Ma
Imaoka et al., 2014													
KY=104	11	697	0.04565	0.7045880	0.70452	2.0	11.1	64.6	0.1038804	0.512657	0.51259	1.6	105 Ma
KY=32	38	326	0.33718	0.7056070	0.70510	10.3	6.31	33.8	0.1128641	0.512660	0.51258	1.6	105 Ma
KY=009	26	685	0.10979	0.7054120	0.70525	12.4	7.23	39.6	0.1103789	0.512657	0.51258	1.5	105 Ma
KY=501	21	838	0.07249	0.7054000	0.70529	13.0	7.44	41.1	0.1094378	0.512591	0.51252	0.3	105 Ma
KY=11	6	263	0.06599	0.7052600	0.70516	11.1	3.7	15.6	0.1433843	0.512477	0.51238	-2.4	105 Ma
KY=33	17	512	0.09604	0.7050500	0.70491	7.5	4.82	19.9	0.1464275	0.512517	0.51242	-1.7	105 Ma
KY=1505	45	802	0.16229	0.7047390	0.70450	1.7	4.61	21.5	0.1296276	0.512580	0.51249	-0.2	105 Ma
KY=04	45	791	0.16455	0.7047630	0.70452	2.0	4.65	20.8	0.1351517	0.512549	0.51246	-0.9	105 Ma
Imaoka et al., 2017													
KY-502	30	1270	0.06833	0.7048600	0.70476	5.4	11.1	70.7	0.0949180	0.512676	0.51261	2.1	107 Ma
KY-54C	42	1620	0.07500	0.7056740	0.70556	16.8	12.4	76.6	0.0978677	0.512690	0.51262	2.4	107 Ma
KY-54M	29	1510	0.05556	0.7062060	0.70612	24.8	10.4	62.2	0.1010840	0.512621	0.51255	1.0	107 Ma
KY-07A	20	2200	0.02630	0.7080000	0.70796	50.9	9.14	56.2	0.0983225	0.512658	0.51259	1.7	107 Ma

付録 10. 苦鉄質岩の同位体組成

Sp No.	Rb mmp	Sr ppm	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(2σ)	SrI	εSrI	Sm ppm	Nd ppm	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd(2σ)	NdI	εNd	age
赤崎ほか, 2013													
10060601A	69	295	0.67678	0.7085100	0.70763	46.0	6.37	24.7	0.1559054	0.512420	0.51233	-3.8	91 Ma
10060601B	54	326	0.47923	0.7071800	0.70656	30.8	4.5	19.6	0.1387963	0.512446	0.51236	-3.1	91 Ma
Akasaki et al., 2015													
09032209B	155	317	1.41487	0.7090730	0.70724	40.5	4.84	21.3	0.1373673	0.512408	0.51233	-3.8	91 Ma
10060607	86	276	0.90152	0.7077510	0.70659	31.1	4.64	20.8	0.1348569	0.512420	0.51234	-3.5	91 Ma
12050501	74	253	0.84624	0.7075670	0.70647	29.5	5.02	22.1	0.1373191	0.512429	0.51235	-3.4	91 Ma
12050502	130	217	1.73346	0.7087160	0.70647	29.6	5.49	24.3	0.1365790	0.512413	0.51233	-3.7	91 Ma
12050503	68	240	0.81974	0.7075000	0.70644	29.1	3.11	13.1	0.1435202	0.512471	0.51239	-2.6	91 Ma
12050504A	90	220	1.18371	0.7085960	0.70707	37.9	4.54	21	0.1306934	0.512406	0.51233	-3.8	91 Ma
池田ほか, 2019													
15050101	73.5	293.4	0.72468	0.7061400	0.70511	10.3	5.31	22	0.1459116	0.512413	0.51232	-3.7	100 Ma
08102601E	83.14	272	0.88438	0.7079294	0.70667	32.5	5.8	22.7	0.1544625	0.512441	0.51234	-3.3	100 Ma
09042905A	112.94	254.8	1.28246	0.7079490	0.70613	24.8	4.41	19.7	0.1353307	0.512471	0.51238	-2.5	100 Ma
柚原ほか, 2016													
SHK-65	46	283	0.47014	0.7047400	0.70403	-4.9	1.67	7.73	0.1306118	0.512681	0.51259	1.7	106 Ma
SHK-190	46	254	0.52384	0.7050100	0.70422	-2.2	1.93	9.86	0.1183380	0.512665	0.51258	1.6	106 Ma
SHK-214	52	282	0.53338	0.7052200	0.70442	0.6	2.91	14.8	0.1188703	0.512650	0.51257	1.3	106 Ma
SHK-270	53	240	0.63876	0.7051100	0.70415	-3.2	1.68	8.1	0.1253939	0.512747	0.51266	3.1	106 Ma
SHK-312	51	234	0.63043	0.7052600	0.70431	-0.9	2.14	10.6	0.1220549	0.512698	0.51261	2.2	106 Ma
SHK-61	42	194	0.62622	0.7052000	0.70426	-1.7	1.4	6.36	0.1330771	0.512554	0.51246	-0.8	106 Ma
SHK-148	40	224	0.51652	0.7050100	0.70423	-2.0	2	8.97	0.1347983	0.512694	0.51260	1.9	106 Ma
SHK-247	41	221	0.53662	0.7051700	0.70436	-0.2	2.42	9.79	0.1494432	0.512661	0.51256	1.1	106 Ma
SHK-274	32	234	0.39555	0.7047800	0.70418	-2.7	1.94	7.67	0.1529146	0.512653	0.51255	0.9	106 Ma
SHK-305	33	249	0.38333	0.7047600	0.70418	-2.7	2.31	9.58	0.1457775	0.512667	0.51257	1.3	106 Ma
SHK-372	31	232	0.38649	0.7048100	0.70423	-2.1	2.17	8.64	0.1518420	0.512685	0.51258	1.5	106 Ma
浦島, 2016修論; 砥山, 2020修論.													
12031603	9	424	0.06140	0.7052080	0.70512	10.5	3.62	13.6	0.1609202	0.512637	0.51253	0.4	105 Ma
14092910g	45	309	0.42126	0.7056100	0.70498	8.6	3.61	15.1	0.1445351	0.512659	0.51256	1.1	105 Ma
14092910f	55	323	0.49256	0.7056670	0.70493	7.9	3.82	16.3	0.1416861	0.512741	0.51264	2.7	105 Ma
17100901c	21	341	0.17814	0.7053820	0.70512	10.5	3.1	12.4	0.1511423	0.512688	0.51258	1.6	105 Ma
17110209	12	395	0.08787	0.7046760	0.70454	2.4	3.5	15.2	0.1392113	0.512727	0.51263	2.5	105 Ma
17111004b	38	360	0.30533	0.7052360	0.70478	5.7	3.5	14.4	0.1469457	0.512740	0.51264	2.6	105 Ma
17111211	5	412	0.03510	0.7046290	0.70458	2.8	4.08	16.4	0.1504038	0.512653	0.51255	0.9	105 Ma
17111212a	13	458	0.08210	0.7053278	0.70521	11.8	5.3	23.3	0.1375182	0.512631	0.51254	0.6	105 Ma
13030205b	33	270	0.35357	0.7063080	0.70578	19.9	4.38	20.6	0.1285434	0.512656	0.51257	1.3	105 Ma
130501t04	16	296	0.15636	0.7055390	0.70531	13.2	3.3	13	0.1534688	0.512722	0.51262	2.2	105 Ma
13050310	2	585	0.00989	0.7048490	0.70483	6.5	4.71	22.6	0.1259963	0.512680	0.51259	1.8	105 Ma
131029t01b	24	282	0.24619	0.7057790	0.70541	14.7	4.4	17.7	0.1502866	0.512636	0.51253	0.6	105 Ma
131029t08a	5	337	0.04291	0.7047910	0.70473	5.0	3.21	13.1	0.1481475	0.512828	0.51273	4.4	105 Ma
131030t08	10	281	0.10294	0.7053860	0.70523	12.1	3.77	15.6	0.1461046	0.512697	0.51260	1.8	105 Ma
17090201b	28	300	0.27000	0.7062881	0.70589	21.4	3	13.8	0.1314272	0.512658	0.51257	1.3	105 Ma
19050501	5	438	0.03302	0.7052740	0.70522	12.0	2.95	12	0.1486245	0.512722	0.51262	2.3	105 Ma

付録 11. 第 5 章の議論で使用した分配係数

Elem.	Opx				Phl				Sp No. (ppm)	Ultra mafic (a)			(b) Primitive Mantle	Calc.			Fn-Gab		
	Partition Coefficients				Partition Coefficients					1303	1304	1304		1303	1304	1304	Primitive	Max.	Min.
	Value	Low	High	Ref.	Value	Low	High	Ref.		0207	28T09A	28T09B		0207	28T09A	28T09B	Mantle		
Ba	0.022	-	-	10	3.3	-	-	5	Ba	6	15	7	7	221	224	221	221	152	59
Rb	0.0006	-	-	9	0.82	-	-	13	Rb	<1	<1	1	1	52	52	53	53	41	11
Th	0.0001	-	-	9	0.12	-	-	12	Th	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	4.23	4.23	4.23	4.26	2.69	2.13
Ta	0.004	0.004	0.081	3	0.11	-	-	5	Ta	0.01	<0.01	<0.01	0.04	0.29	0.29	0.29	0.30	0.37	0.22
Nb	0.003	-	-	7	0.088	-	-	8	Nb	<0.2	<0.2	<0.2	0.7	4.0	4.0	4.0	4.3	4.2	2.5
La	0.0005	-	-	7	0.028	-	-	8	La	0.4	0.7	4.5	0.7	15.4	15.5	16.9	15.5	11.3	5.7
Ce	0.001	-	-	7	0.034	-	-	11	Ce	1.52	0.65	3.82	1.78	29.89	29.57	30.75	29.99	24.50	12.70
Sr	0.00051	0.00051	0.00092	1	0.21	-	-	5	Sr	24	3	4	21	207	199	199	206	270	220
Nd	0.005	0.005	0.02	6	0.032	-	-	11	Nd	1.32	1.02	0.19	1.35	13.29	13.17	12.86	13.30	9.87	5.99
Zr	0.004	0.004	0.13	3	0.14	-	-	13	Zr	4	4	2	11	108	108	107	111	77	40
Hf	0.01	-	-	9	0.2703	-	-	4	Hf	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	2.8	2.8	2.8	2.9	1.9	0.9
Sm	0.01	-	-	9	0.031	-	-	11	Sm	0.36	0.26	0.02	0.44	3.07	3.03	2.94	3.10	2.06	1.50
Eu	0.013	-	-	9	0.4	-	-	13	Eu	0.067	0.103	0.018	0.168	0.796	0.809	0.777	0.833	0.762	0.624
Gd	0.016	-	-	9	0.03	-	-	11	Gd	0.23	0.28	0.02	0.60	2.84	2.85	2.76	2.97	2.04	1.52
Dy	0.022	-	-	9	0.03	-	-	11	Dy	0.14	0.17	0.02	0.74	2.85	2.86	2.81	3.08	2.29	1.61
Y	0.19	-	-	2	0.018	-	-	8	Y	1	1	<0.5	4.6	15.3	15.5	15.1	16.7	12.9	9.5
Er	0.030	-	-	9	0.034	-	-	11	Er	0.1	0.1	0.0	0.5	1.7	1.7	1.6	1.8	1.34	0.93
Yb	0.049	-	-	9	0.042	-	-	11	Yb	0.06	0.09	0.03	0.49	1.56	1.57	1.55	1.72	1.36	0.92
Lu	0.3	0.01	0.3	6	0.0471	-	-	4	Lu	0.01	0.01	0.00	0.07	0.22	0.22	0.22	0.24	0.207	0.151

Reference

1. Beattie (1993); 2. Dunn and Sen (1994); 3. Forsythe et al., (1994); 4. Fujimaki et al., (1984); 5. Green et al., (2000); 6. Irving and Frey (1984); 7. Keleman and Dunn (1992); 8. Latourrette et al., (1995); 9. Nagasawa and Schnetzler (1971); 10. Ronov and Yaroshevskiy (1976); 11. Schnetzler and Philpotts (1970); 12. Villemant et al., (1981); 13. Villemant (1988). (a) 浦島 (2016 修論); (b) Sun and McDonough (1989).