

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

Decompressional microstructure from garnet-bearing mafic granulite in Yanai district, Ryoke belt, Southwest Japan

上塘 齋 今岡照喜 大和田正明

Itsuki Kamitomo, Teruyoshi Imaoka and Masaaki Owada

地質学雑誌 第114巻 第2号 別刷

2008年2月

THE JOURNAL OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF JAPAN VOL. 114 NO. 2

February 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

Decompressional microstructure from garnet-bearing mafic granulite in Yanai district, Ryoike belt, Southwest Japan

上塘 齋* 今岡照喜* 大和田正明*

Itsuki Kamitomo, Teruyoshi Imaoka* and Masaaki Owada**

2007年7月18日受付, 2007年12月10日受理.

* 山口大学大学院理工学研究科地球科学
Division of Earth Sciences, Yamaguchi University, Yamaguchi
753-8512, Japan

Corresponding author: I. Kamitomo,
j002wa@sty.cc.yamaguchi-u.ac.jp

Abstract: Newly found garnet-bearing mafic granulite in Yanai district, Ryoike belt occurs as blocks in gneissose tonalite. This granulite consists mainly of brown hornblende, orthopyroxene and plagioclase, with trace amounts of garnet, biotite and quartz. Garnet porphyroblast up to 3 cm in diameter is locally contained, and is surrounded by orthopyroxene and plagioclase symplectites that coexist with quartz. On the basis of microstructure and mineral assemblage in the garnet-bearing mafic granulite, it reveals that the reaction of garnet + quartz \rightarrow orthopyroxene + plagioclase occurred at a decompressional process under the granulite facies condition.

Key words: Ryoike belt, garnet-bearing mafic granulite, orthopyroxene-plagioclase symplectite, decompressional microstructure

はじめに

山口県柳井地域の白亜紀低圧高温型領家帯では、ざくろ石-堇青石帯から斜方輝石を含む苦鉄質変成岩が報告され、グラニュライト相に達する広域変成作用を被っていたことが示された (Ikeda, 2002)。また、その他の領家帯でもグラニュライト相変成作用を被った変成岩類の産出が中部地方や中国地方から報告されている (馬場ほか, 1996; Hokada, 1996; 小松ほか, 1996; 宮下ほか, 1996; 吉崎ほか, 1996; 柚原, 1997; 馬場, 1998)。

筆者らは、領家帯柳井地域南部に位置する周防大島田ノ尻鼻から、斜方輝石-斜長石シンプレクタイトを伴う含ざくろ石苦鉄質グラニュライトを見出した。この岩石は Ikeda (2002) によって報告された苦鉄質グラニュライトの鉱物組合せとざくろ石を含む点で異なる。そこで、この岩石の産状と記載を報告し、変成帯の上昇経路を検討する。

領家帯では、これまで変成帯の上昇過程について、等温減圧の経路をたどる場合 (Kawakami, 2002) と、冷却しながら減圧する経路 (Brown, 1998) が示されてきた。ここで報告する苦鉄質グラニュライトはこれまで未解決であった古期領家帯花崗岩と密接に伴う領家帯深部の上昇過程に対して有益な情報を与えると考えられる。

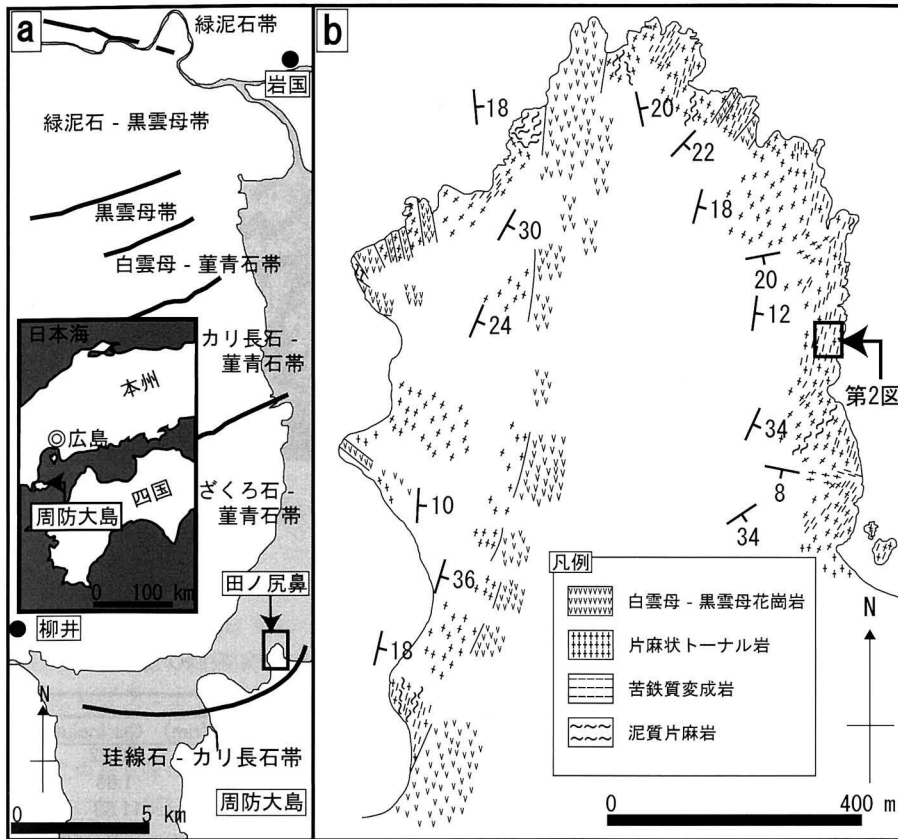
柳井地域南部, 周防大島田ノ尻鼻の地質

柳井地域南部の領家帯の変成作用を扱った報告は多数ある (Nureki, 1960; Okudaira et al., 1993, 2001; Okudaira, 1996; Ikeda, 1998)。その中で、Ikeda (1998) は柳井地域の領家帯を北から南へ緑泥石帯, 緑泥石-黒雲母帯, 黒雲母帯, 白雲母-堇青石帯, カリ長石-堇青石帯, ざくろ石-堇青石帯および珪線石-カリ長石帯に区分した。このうち南部のざくろ石-堇青石帯に産する苦鉄質岩は、斜方輝石を含むことからグラニュライト相に達しているとされた (Ikeda, 2002)。

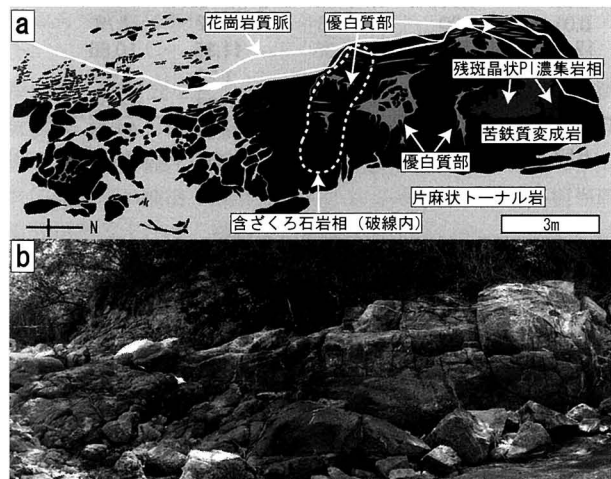
周防大島北部の田ノ尻鼻 (第1.a 図) は、Ikeda (1998) のざくろ石-堇青石帯に位置し、主に領家帯の古期花崗岩に属する片麻状トータル岩 (蒲野花崗閃緑岩) と変成岩類から構成される (第1.b 図)。片麻状トータル岩は優白質・中~粗粒で、片理面の構造は N20 ~ 30° E, 20 ~ 30° E の走向、傾斜を示し、一部ではスポット状に斜方輝石を含む。変成岩類は、片麻状トータル岩中のレンズないしブロックとして産し、主に斜方輝石を含む苦鉄質岩からなり、少量の泥質岩を伴う。泥質岩は、ざくろ石の斑状変晶のほか、主に石英、カリ長石、斜長石、黒雲母、堇青石および珪線石を含む。珪線石は、ざくろ石、堇青石および長石中に含まれる。片理面の構造は片麻状トータル岩のそれと調和的である。これらの岩石を花崗岩 (新期花崗岩) が貫く (第1.b 図)。

苦鉄質変成岩の産状と岩石記載

苦鉄質変成岩のブロックは、最大 10×5 m に達し、片麻状トータル岩との境界部では、5 ~ 20 cm の苦鉄質変成岩ブロックがトータル岩中に混在する (第2 図)。また、苦鉄質変成岩中には斜方輝石を含む珪長質片麻岩 (30×15 cm) が包有されている。この岩石は、主に斜長石、石英、黒雲母、カミングトン閃石、ホルンブレンドおよび斜方輝石からなる。苦鉄質変成岩ブロック内部の岩相は、非常に不均質であるが、全体として細粒から中粒で暗灰黒色を示す。また、局所的に肉眼では灰黒色を示し、残斑晶状の斜長石を多く含むほか、レンズないしパッチ状の優白質部を伴う場合もある (第2.a 図)。そのような優白質部を伴う苦鉄質変成岩の一部にざくろ石斑状変晶を含む岩相がある (第2.a 図の破線部内)。こ



第1図. a: 山口県周防大島田ノ尻鼻の位置図, b: 田ノ尻鼻のルートマップ. 四角枠で囲った部分を第2図に示す. 第1.a 図中の変成分帯は Ikeda (1998) を引用.



第2図. 苦鉄質変成岩の産状. a: 露頭スケッチ. b: 露頭写真. 写真の全長は30m.

のざくろ石斑状変晶は最大3cmに達し, しばしば優白質コロナを伴う (第3.a 図).

ざくろ石を含む岩相の岩石記載と鉱物化学組成

鉱物化学組成の分析には, 山口大学総合科学実験センター機器分析実験施設の島津社製電子線マイクロアナライザー (EPMA-V6) を用いた. 測定条件は加速電圧 15 kV, 試料電流 0.015 μA, ビーム径 5 μm である. 鉱物化学組成を第1表に示す.

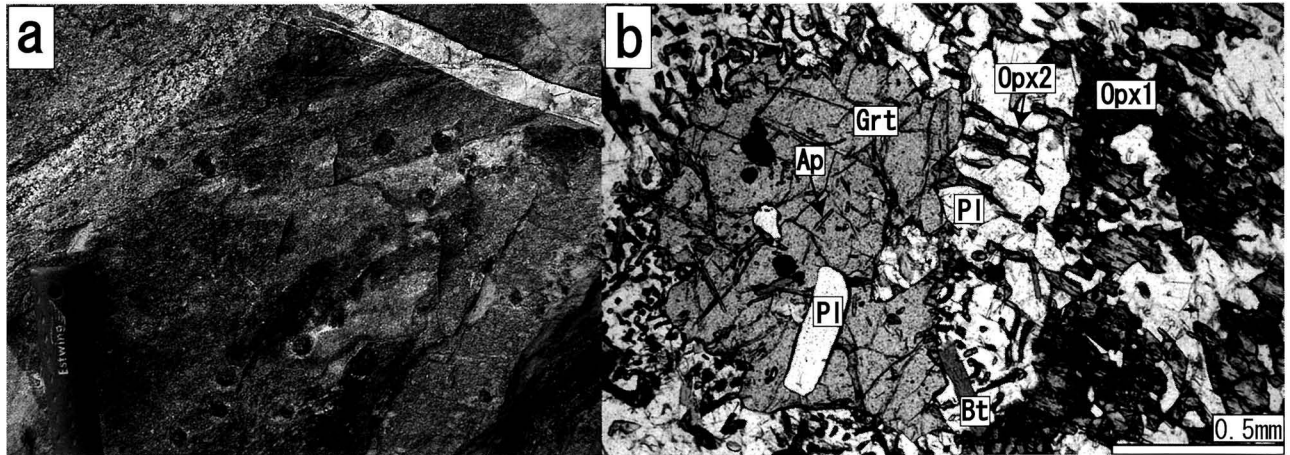
含ざくろ石苦鉄質グラニュライトの主な構成鉱物は, ホルンブレンド, 斜長石, 斜方輝石で, 少量の黒雲母や石英, 不透明鉱物, ざくろ石斑状変晶を伴う. ざくろ石斑状変晶は, 斜方輝石と斜長石からなるシンプレクタイトに囲まれている (第3.b 図).

ざくろ石の粒径は平均 4.4 mm で, 肉眼では赤桃色を示し, 斜長石 (半自形~他形), 石英 (他形), ホルンブレンド (他形), 燐灰石 (自形, 針状) および不透明鉱物を包有する. ざくろ石斑状変晶は, 上述したシンプレクタイトによって囲まれ, 融食形を示す (第3.b 図). またシンプレクタイトの周囲やシンプレクタイトを構成する斜方輝石中には石英が産する.

ざくろ石の組成は, コアで $X_{alm} [Fe/(Fe+Mg+Ca+Mn)] = 0.68-0.69$, $X_{pyr} [Mg/(Fe+Mg+Ca+Mn)] = 0.09-0.10$, $X_{grs} [Ca/(Fe+Mg+Ca+Mn)] = 0.17-0.18$, $X_{spe} [Mn/(Fe+Mg+Ca+Mn)] = 0.04$, リムで $X_{alm} = 0.69-0.70$, $X_{pyr} = 0.09-0.10$, $X_{grs} = 0.15-0.16$, $X_{spe} = 0.05-0.07$ であり, リムで X_{grs} が減少する傾向にある.

斜方輝石は2種類の産状を示す (斜方輝石1と斜方輝石2; 第3.b 図では, それぞれ Opx1, Opx2 と表示してある). すなわち, ざくろ石斑状変晶を取り巻くシンプレクタイトの外側に産する結晶 (Opx1) と斜長石と共にシンプレクタイトを形成している結晶 (Opx2) である (第3.b 図).

Opx1 は他形~半自形で, 粒径は 1.0 ~ 1.5 mm である. 一方 Opx2 (~0.2 mm) は他形で, ざくろ石から放射状に成長している. Opx1 の組成は, $X_{Mg} [Mg/(Fe+Mg+Ca)] =$



第3図. a: ざくろ石を含む岩相の露頭写真. ざくろ石の周囲にはコロナ状の優白質部がある. b: ざくろ石斑状変晶と斜方輝石-斜長石シンプレクタイトの鏡下写真. Grt: ざくろ石, Opx1: シンプレクタイトの外側にある斜方輝石, Opx2: シンプレクタイトを構成する斜方輝石, Pl: 斜長石, Bt: 黒雲母, Ap: 燐灰石.

第1表. 苦鉄質変成岩中のざくろ石, 斜方輝石, 斜長石, ホルンブレンドの代表的な化学組成. 全FeをFeO*とした.

| Mineral Point | Granet | | Orthopyroxene | | Plagioclase | | | | Hornblende | | Grt inclusion |
|--------------------------------|-----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|-------|--------------|-------------|----------------------|-------------|---------------|
| | core | rim | Opx1 | Opx2 | symplectite | | matrix(core) | matrix(rim) | matrix(core) | matrix(rim) | |
| SiO ₂ (wt%) | 36.46 | 36.71 | 48.74 | 49.02 | 44.83 | 45.09 | 53.13 | 49.74 | 40.97 | 40.98 | 40.22 |
| TiO ₂ | 0.30 | 0.03 | 0.10 | 0.11 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 2.17 | 2.20 | 1.88 |
| Al ₂ O ₃ | 20.95 | 21.90 | 0.87 | 0.79 | 33.35 | 32.26 | 29.36 | 32.51 | 10.19 | 9.65 | 11.33 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | - | - |
| FeO* | 31.85 | 31.37 | 37.53 | 38.67 | 0.28 | 0.29 | 0.12 | 0.30 | 23.22 | 23.25 | 23.07 |
| MnO | 1.85 | 2.79 | 0.88 | 1.06 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.25 | 0.24 | 0.21 |
| MgO | 2.50 | 2.30 | 10.77 | 10.35 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 6.78 | 6.62 | 7.76 |
| CaO | 6.40 | 5.42 | 0.77 | 0.88 | 19.71 | 19.98 | 12.10 | 15.21 | 11.35 | 11.35 | 10.86 |
| Na ₂ O | 0.03 | 0.00 | 0.04 | 0.14 | 1.34 | 1.57 | 4.98 | 3.06 | 1.32 | 1.27 | 1.55 |
| K ₂ O | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.03 | 0.13 | 0.08 | 1.03 | 0.96 | 0.68 |
| Total | 100.34 | 100.53 | 99.69 | 101.02 | 99.55 | 99.25 | 99.83 | 100.91 | 97.28 | 96.52 | 97.25 |
| | X _{prp} 0.10 | 0.09 | X _{Mg} 0.33 | 0.32 | X _{an} 0.89 | 0.87 | 0.57 | 0.73 | X _{Mg} 0.39 | 0.38 | 0.47 |
| | X _{alm} 0.69 | 0.69 | X _{Fe} 0.65 | 0.66 | | | | | | | |
| | X _{grs} 0.18 | 0.15 | X _{Ca} 0.02 | 0.02 | | | | | | | |
| | X _{spe} 0.04 | 0.06 | X _{Al} 0.02 | 0.02 | | | | | | | |

0.30-0.33, $X_{Fe} [Fe/(Fe+Mg+Ca)] = 0.65-0.68$, $X_{Ca} [Ca/(Fe+Mg+Ca)] = 0.02$, $X_{Al} (O=6 \text{とした場合の} Al/2) = 0.01-0.02$ で, Opx2の組成は, $X_{Mg} = 0.30-0.32$, $X_{Fe} = 0.66-0.68$, $X_{Ca} = 0.02$, $X_{Al} = 0.01-0.02$ である.

斜長石のうちホルンブレンドと共存し, プラストオフィティック組織を示すものは, 粒径が0.2~0.5 mmであり累帯構造を示すものもある. シンプレクタイトの斜長石は他形で, 粒径は最大0.3 mmであり, 累帯構造を示さない. プラストオフィティック組織を示す斜長石の組成は, コアで $X_{an} [Ca/(Ca+Na+K)] = 0.57-0.61$, リムで $X_{an} = 0.62-0.74$ である. 斜方輝石と共にシンプレクタイトを構成する斜長石の組成は, $X_{an} = 0.73-0.85$ で, プラストオフィティック組織を示す斜長石より X_{an} 値が高い.

ホルンブレンドのうちプラストオフィティック組織を示すものは他形~半自形で, 粒径は0.6~2.0 mmであり, 淡緑褐色~緑褐色の多色性を示す. また, 周囲を斜方輝石に取り囲まれている場合もある. ざくろ石に包有されるホルンブレ

ンドは他形で, 粒径は0.1 mm以下であり淡緑褐色~緑褐色の多色性を示す. プラストオフィティック組織を示すホルンブレンドの組成は $X_{Mg} [Mg/(Mg+Fe)] = 0.37-0.40$ である. 一方, ざくろ石に包有されるホルンブレンドの組成は $X_{Mg} = 0.47$ で, プラストオフィティックを示すホルンブレンドより高い X_{Mg} 値を示す.

考 察

シンプレクタイトを形成する斜長石は, プラストオフィティック組織を示す斜長石と比べて X_{an} 値に富む. また, シンプレクタイトを伴い融食形を示すざくろ石斑状変晶のリムでは, Ca含有量がコアよりも減少する. このことは, シンプレクタイト形成時にざくろ石からCaが供給され, 斜長石の形成に使われたことを示唆する. すなわち, シンプレクタイトの形成はざくろ石の分解反応の結果であると推察される. 一般にざくろ石周辺に発達する斜方輝石-斜長石シンプレクタイトは, 減圧によって生じた組織であるとされている. す

なわち, 石英を伴うざくろ石の分解で, 斜方輝石-斜長石シンプレクタイトを形成する場合, $1/3 \text{ grossular} + 2/3 \text{ almandine} + \text{quartz} = \text{ferrosilite} + \text{anorthite}$ (Bohlen et al, 1983) や $1/3 \text{ grossular} + 2/3 \text{ pyrope} + \text{quartz} = \text{enstatite} + \text{anorthite}$ (Newton and Perkins, 1982) の反応が考えられ, いずれの反応曲線も dP/dT は正の小さい値を示す. ここで記載したざくろ石を取り囲むシンプレクタイトは非平衡組織なので, 温度-圧力条件の推定はできないが, 少なくとも上述した反応曲線を横切る温度-圧力履歴を経ている. すなわち, 減圧によって生じたものと推察される.

本岩石はシンプレクタイトに斜方輝石を含むことからグラニュライト相の条件下でシンプレクタイトが形成したことを示す. したがって, このような組織と鉱物組合せから, 田ノ尻鼻の含ざくろ石苦鉄質グラニュライトはグラニュライト相の条件下で減圧したと想定される.

Okudaira et al. (2001) は, 1次元の熱拡散モデルから領家帯変成作用の熱源と考えられる花崗閃緑岩が結晶化した 95 Ma 直後から 88 Ma までの間に変成帯が急冷したことを示した. 本報告の結果は, 領家帯の深部を構成する岩石が少なくともグラニュライト相の条件下で短期間に減圧した事を示唆している. このことは, 冷却開始以前に断熱的な上昇を伴った事を意味し, 領家帯の熱史をシミュレートする際の初期条件に対し制約を与える. このような深部岩石の上昇経路は Kawakami (2002) の見解 (等温減圧経路) を支持するが, 領家帯深部の変成履歴を解明するためには変成条件や年代のより詳細な解析が必要である.

謝 辞 本研究を進めるにあたり, 山口大学理学部の加納隆教授には, 有益な御助言・御指導を頂いた. また, 機器分析センター森福洋二氏には鉱物の分析に際してお世話になった. 査読者の池田 剛博士と河上哲生博士および編集担当の奥平敬元博士には, 有益なご指摘をいただいた. 本研究には文部科学省科学研究費 (18540454: 大和田正明) を使用した. 以上の方々ならびに関係機関に感謝いたします.

文 献

- 馬場壮太郎・宮下由香里・小松正幸・吉崎 正, 1996, 山口県東南部八島の領家帯花崗岩と包有変成岩 (2) ざくろ石-キン青石片麻岩. 日本地質学会第 103 年学術大会講演要旨, 304.
- Bohlen, S. R., Valley, J. W. and Wall, V. J., 1983, Geobarometry in granulites. In Saxena, S. K. ed. *Kinetics and Equilibrium in Mineral Reactions*. New York: Springer-Verlag., 141-171.
- Brown, M., 1998, Unpairing metamorphic belts: P-T paths and a tectonic model for the Ryoke Belt, southwest Japan. *Jour. Metamol. Geol.*, **16**, 3-22.
- Hokada, T., 1996, Orthopyroxene from a metabasite of the Ryoke belt in the Ina district, Nagoya Prefecture, Central Japan: Textural evidence of partial melting. *Jour. Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **91**, 253-265.
- Ikeda, T., 1998, Progressive sequence of reactions of the Ryoke metamorphism in the Yanai district, south-west Japan: The formation of cordierite. *Jour. Metamol. Geol.*, **16**, 39-52.
- Ikeda, T., 2002, Regional occurrence of orthopyroxene-bearing basic rocks in the Yanai district, southwest Japan: Evidence for granulite-facies Ryoke metamorphism. *Island Arc*, **11**, 185-192.
- Kawakami, T., 2002, Magmatic andalusite from the migmatite zone of the Aoyama area, Ryoke metamorphic belt, SW Japan, and its importance in constructing the P-T path. *Jour. Miner. Petrol. Sci.*, **97**, 241-253.
- 小松正幸・宮下由香里・馬場壮太郎・吉崎 正, 1996, 山口県東南部八島の領家帯花崗岩と包有変成岩 (1) グラニュライトと部分熔融. 日本地質学会第 103 年学術大会講演要旨, 303.
- 宮下由香里・馬場壮太郎・吉崎 正・小松正幸, 1996, 山口県東南部八島の領家帯花崗岩と包有変成岩 (4) 深部構造と形成過程. 日本地質学会第 103 年学術大会講演要旨, 305.
- Newton, R. C. and Perkins, D., 1982, Thermodynamic calibration of geobarometers based on the assemblages garnet-plagioclase-orthopyroxene (clinopyroxene)-quartz. *Amer. Mineral.*, **67**, 203-222.
- Nureki, T., 1960, Structural investigation of the Ryoke metamorphic rocks of the area between Iwakuni and Yanai, Southwest Japan. *Jour. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C*, **3**, 69-141.
- Okudaira, T., 1996, Thermal evolution of the Ryoke metamorphic belt, southwestern Japan: Tectonic and numerical modeling. *Island Arc*, **5**, 373-85.
- 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*, no.42, 91-120.
- Okudaira, T., Hayasaka, Y., Himeno, O., Watanabe, K., Sakurai, Y. and Ohtomo, Y., 2001, Cooling and inferred exhumation history of 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.
- 吉崎 正・小松正幸・宮下由香里・馬場壮太郎, 1996, 山口県東南部八島の領家帯花崗岩と包有変成岩 (3) ザクろ石花崗岩とミグマタイト. 日本地質学会第 103 年学術大会講演要旨, 304.
- 柚原雅樹, 1997, 伊那領家帯の斜方輝石-ざくろ石グラニュライト. 日本地質学会第 104 年学術大会講演要旨, 195.
- 馬場壮太郎, 1998, 柳井南部地域の領家帯変成帯からの含十字石泥質捕獲岩の発見とその変成史. *地質雑*, **104**, 107-121.