

## 熊本県天草下島玄武岩の微量元素，希土類元素組成，Sr，Nd 同位体比の特徴

永尾隆志\*1・角縁 進\*2・藤林紀枝\*3・長谷義隆\*4・長峰 智\*5

Characteristics of trace elements, rare-earth elements, and Sr and Nd isotopic ratios of Amakusa-Shimoshima basalts, Southern Kyushu

Takashi Nagao\*1, Susumu Kakubuchi\*2, Norie Fujibayashi\*3, Yoshitaka Hase\*4  
and Satoru Nagamine\*5

Gesu-jima basalt at 10Ma and Gongen-yama basalt at 7Ma erupted in Amakusa-Shimoshima, Southern Kyushu. Major, trace and rare-earth elements, and Sr and Nd isotopic ratios were analyzed from these basalts. Gesu-jima basalt shows within-plate-type signature. Gongen-yama basalt has a slight depletion in Nb. Gesu-jima basalt might be derived from fertile mantle. However, source mantle of Gongen-yama basalt was probably generated by mixing between a large amount of fertile mantle and a small amount of depleted mantle weakly metasomatized by subduction component.

### 1. はじめに

九州北西部には、後期新生代の玄武岩類が広く分布している。それらはプレート内玄武岩に区分される化学的特徴を有しており、ソースマントルやマグマの成因に関しても多くの研究が行われている (Nakamura et al., 1985, 1989, 1990; 角縁ほか, 1995; など)。例えば, Nakamura et al. (1985)は, 西南日本のアルカリ玄武岩は, マントル深部から上昇してきたOIBタイプのプルームに起因しているが, 上昇する過程で沈み込み帯由来成分の汚染を受けたマントルと反応して, 弱い島弧的な地球化学的特徴を獲得する場合もあると考えた。また, 角縁ほか (1995) は, 中国地方のアルカリ玄武岩は, EM Iの特徴を有するダイアピル

に由来し, 九州地方のアルカリ玄武岩は, EM IIの特徴を有するダイアピルが上部マントルを構成するN-MORB的なマントルと累進的に反応し, 化学組成や同位体組成を変化させたと考えた。

北西九州のプレート内玄武岩の分布や活動時期, 化学組成の特徴を明らかにすることは, 九州のおかれているテクトニックセッティング, つまりプレート内玄武岩をもたらしたエンリッチしたマントルダイアピル (あるいはプルーム) と沈み込むプレートとの相互関係を明らかにするために重要である。

今回, プレート内玄武岩の分布域の最も南側に位置する天草下島の玄武岩類 (高井・佐藤, 1982; 永尾ほか, 1992) の微量元素と希土類元素組成, Sr, Nd同位体比を測定したので報告するとともに, あわせて近隣地域の玄武岩と比較し, マグマソースの時空変化について検討する。なお, 天草玄武岩のK-Ar年代値と簡単な岩石学的な特徴は永尾ほか (1992) によって報告されている。

\*1 機器分析センター Center of Instrumental Analysis

\*2 佐賀大学文化教育学部 Faculty of Culture and Education, Saga University

\*3 新潟大学教育人間科学部 Faculty of Education and Human Sciences, Niigata University

\*4 熊本大学理学部 Faculty of Science, Kumamoto University

\*5 県立水俣高等学校 Minamata High School

2. 地質と岩石の記載

永尾ほか (1992) にもとづいて地質と岩石の記載を簡単に述べる。玄武岩の分布域とK-Ar年代を図1に示す。

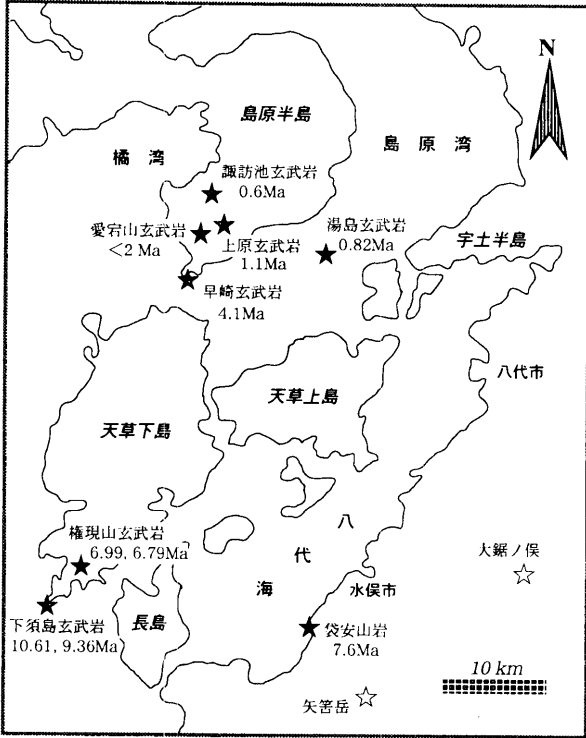


図1. 位置図.

K-Ar年代のデータソース：島原半島の玄武岩，中田・鎌田（1988）；天草下島の玄武岩，永尾ほか（1992）；湯島玄武岩，横瀬ほか（1999）；袋安山岩，筆者らの未公表資料。

下須島玄武岩は、下須島の最南端で古第三紀始新統中に貫入した幅約10m、延長約50mの岩脈で、牛深溶結凝灰岩に不整合に覆われている。この玄武岩は、斑状で単斜輝石-カンラン石玄武岩であり、カンラン石 (mg=88.7-79.5)、微斑晶としてCaに富む単斜輝石 (mg=88.7-76.8)、斜長石が観察される。カンラン石、Caに富む単斜輝石斑晶には、褐色のスピネルが包有されており、カンラン石にはCaに富む単斜輝石の反応縁が認められるものがある。石基は、填間状～間粒状組織で、斜長石、Caに富む単斜輝石、不透明鉱物、ガラスからなる。また、分化した岩石は、斑晶カンラン石、Caに富む単斜輝石はスピネルを含まなくなり、石基の斜長石の量が多くなる。10.61 ± 0.29、9.36 ± 0.52MaのK-Ar年代が報告されている。

権現山玄武岩は、権現山の山頂付近に古第三系

を覆って分布する溶岩と、古第三系中の岩床（厚さ5m以上）として産する。溶岩は、鏡下では斑状組織を示し、斑晶として自形～半自形のカンラン石、Caに富む単斜輝石を含む。カンラン石、Caに富む単斜輝石とも赤褐色～不透明の自形スピネルを包有する。カンラン石の周囲にCaに富む単斜輝石の反応縁が観察されることもある。石基は、ピロタキシチック～間粒状組織で、斜長石、Caに富む単斜輝石、ピジョン輝石、不透明鉱物、少量のガラスからなる。岩床の部分も斑状組織を呈し、自形～半自形のカンラン石、Caに富む単斜輝石の斑晶からなり、それらは赤褐色～不透明なスピネルを含んでいる。また、微斑晶としてピジョン輝石と少量の斜長石が認められる。石基は、填間状組織を示し、斜長石、Caに富む単斜輝石、ガラス、不透明鉱物からなる。6.99 ± 0.29、6.79 ± 0.27MaのK-Ar年代が報告されている。

3. 化学組成と微量元素の特徴

下須島玄武岩と権現山玄武岩の化学組成をSiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O図（図2）にプロットした。両者とも巽（1995）

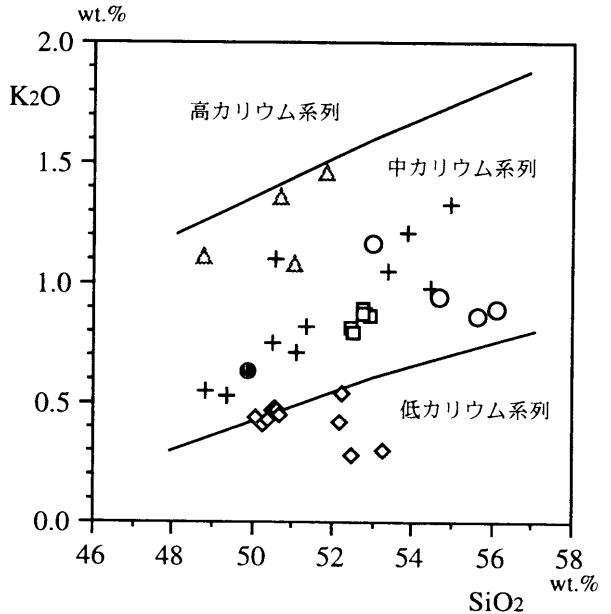


図2. 天草下島玄武岩のSiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O図.

データソース：島原玄武岩，中田・鎌田（1988）、角縁ほか（1995）；沖縄トラフ玄武岩，Ishizuka et al.(1990), Honma et al.(1991)；川内玄武岩，宇都ほか（1986）。その他は筆者らのデータ。境界は巽（1995）による。

の中カリウム系列の領域にプロットされる。また、権現山玄武岩は、下須島玄武岩に比べてSiO<sub>2</sub>量は少ないが、FeO\*/MgO比は大きく、分化が進んでいる。インコンパチブル元素のN-MORB規格化図 (Pearce, 1983) (図3) では、下須島玄武岩と権現山玄武岩のパターンは類似しているが、権現山玄武岩は、ややNbに乏しく、Yに富んでいる。希土類元素のC1コンドライト規格化パターン (Anders and Grevesse, 1989) (図4) では、下須島玄武岩、権現山玄武岩は軽希土類に富んだ左上がりのほぼ平行なパターンを示す。

2Nb - Zr/4 - Y区分図 (Meschede, 1986) (図5) では、下須島玄武岩は、WPA(within-plate alkalic)とWPT(within-plate tholeiite)の、権現山玄武岩はWPTとVAB(volcanic arc basalt)のオーバーラップした領域にプロットされる。

4. Sr, Nd同位体比

天草玄武岩のSr, Nd同位体比を<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr-ε Nd図 (図6) にプロットした。下須島玄武岩、権現山玄武岩ともdepleteした領域にプロットされるが、下須島玄武岩に比べ権現山玄武岩の方が、<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr, ε Ndとも高い値を示している。

- 下須島玄武岩 (10)
- 権現山玄武岩 (7)
- 早崎玄武岩 (4.1)
- ▲ 愛宕山玄武岩 (<2)
- 上原玄武岩 (1.11)
- 諏訪池玄武岩 (0.6)
- × 湯島玄武岩 (0.8)

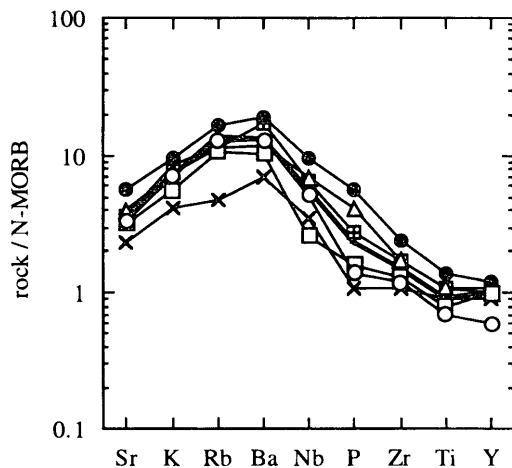


図3. 天草下島玄武岩のN-MORB規格化図 (Pearce, 1983).

データソース：島原半島玄武岩，中田・鎌田 (1988). その他は筆者らのデータ. ( ) 内の数字はK-Ar年代.

- 下須島玄武岩
- × 湯島玄武岩
- 肥薩高K安山岩
- ◇ 川内玄武岩Ya
- 権現山玄武岩
- 肥薩低K安山岩
- ▨ 耶馬溪玄武岩
- 川内玄武岩Hi

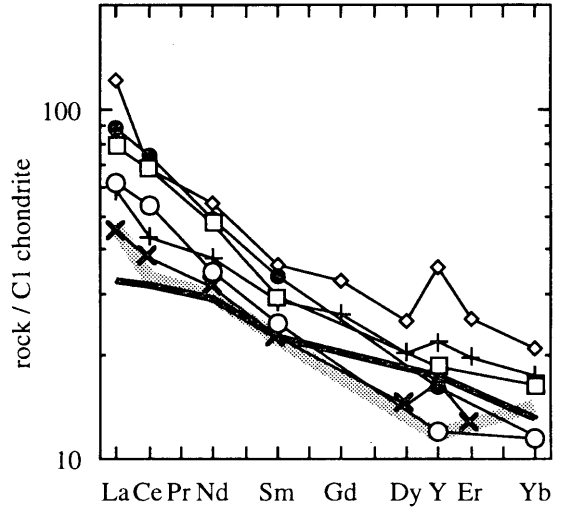


図4. 天草下島玄武岩のC1コンドライト規格図 (Anders and Grevesse, 1989).

川内玄武岩は宇都ほか (1986) による. その他は筆者らのデータ.

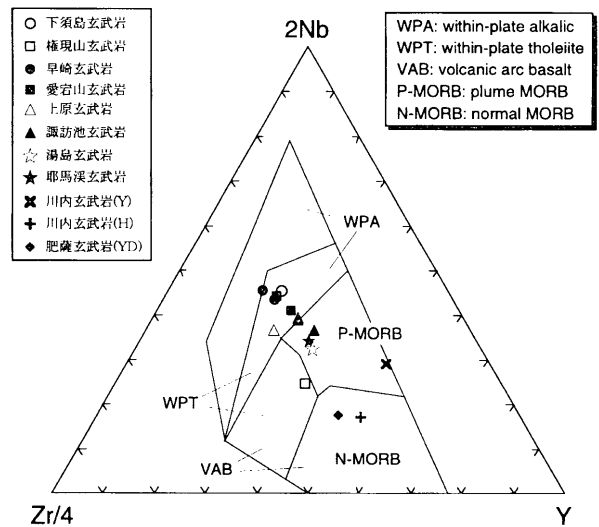


図5. 天草下島玄武岩のNb-Zr/4-Y区分図 (Meschede, 1986).

データソース：島原玄武岩，中田・鎌田 (1988), 角縁ほか (1995) ; 耶馬溪玄武岩, Nakada and Kamata (1991) ; 川内玄武岩, 宇都ほか (1986) ; 肥薩玄武岩, 永尾ほか (1999).

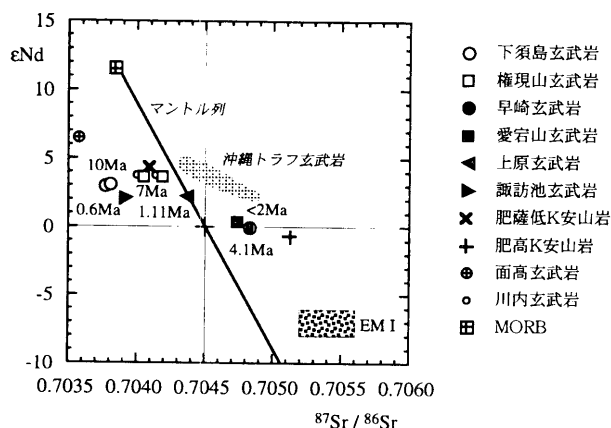


図6. 天草下島玄武岩の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - \epsilon\text{Nd}$ 図.

データソース：島原半島玄武岩，角縁ほか(1995)；沖縄トラフ玄武岩，Honma et al.(1991)；川内玄武岩，宇都ほか(1986)；面高玄武岩，角縁ほか(1995)；EM I, Zindler and Hart (1986).

## 5. 議論

### (1) 下須島玄武岩から権現山玄武岩のマグマソースの変化

約10Maに活動した下須島玄武岩と約7Maに活動した権現山玄武岩の化学組成の差異は，権現山玄武岩がMORB規格化図で弱いNbの負の異常を示すことであり，このことが2Nb-Zr/4-Y区分図(図5)でも表れている。下須島玄武岩はMORB規格化パターンでNbの負の異常を示さないプレート内玄武岩の特徴を示しており，下須島玄武岩のソースマンテルにスラブ由来成分が付加されることによって，権現山玄武岩のソースマンテルが島弧的な特徴を持つようになったのかもしれない。

また，Ishizuka et al.(1990)が，背弧海盆の初期の活動と考えている沖縄トラフ玄武岩の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $\epsilon\text{Nd}$  (Honma et al., 1991) は，権現山玄武岩とは異なった領域にプロットされている。ちなみに，権現山玄武岩の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $\epsilon\text{Nd}$ は，権現山玄武岩よりも少し前に活動を始めた，Nbの負の異常を示す肥薩低K安山岩(島弧ソレライト質玄武岩)とほぼ同じ値を示している。

しかし，権現山玄武岩と肥薩低K安山岩(島弧ソレライト質玄武岩)を，ほぼ同じ分化の程度を示す岩石同士で比較すると，前者がBa, Ce, La, Nb, Pb, Rb, Sm, Th, Zrなどのインコンパチブル元素に富んでおり，類似したマグマソースに由来

したとは考えにくい。また，C1コンドライト規格化図(図4)では，下須島玄武岩と権現山玄武岩はほぼ同じパターンを示し，希土類元素に関しては，類似したマグマソースに由来した可能性を示している。しかし，Sr, Nd同位体比の類似した肥薩低K安山岩(島弧ソレライト質玄武岩)とは異なったパターンを示しており，両者は，異なったマグマソースから形成されたと考えられる。

また，権現山玄武岩のSr-Nd同位体比は，2Ma前後に活動した南部九州の川内玄武岩にとほぼ同じ値を示している(宇都ほか，1986)(図6)。しかし，権現山玄武岩と川内玄武岩とは，微量元素組成，N-MORB規格パターン，C1コンドライト規格パターンは異なっている。

Ba/Zr - Nb/Zr図(図7)では，下須島玄武岩は権現山玄武岩よりBa/Zr, Nb/Zr比は大きい。天草周辺域の玄武岩と比較してみると，下須島玄武岩は海洋島玄武岩の特徴をもつ島原半島玄武岩(中田・鎌田，1988)とほぼオーバーラップしている。また，主にアルカリ玄武岩からなる北西九州玄武岩(Nakada and Kamata, 1991)は，下須島玄武岩，島原半島玄武岩と一部オーバーラップするものの，より高いBa/Zr, Nb/Zr比を示している。権現山玄武岩は，肥薩玄武岩，沖縄トラフ玄武岩(Ishizuka et al., 1990)，島弧玄武岩の特徴を示す久重型玄武岩(Nakada and Kamata, 1991)より

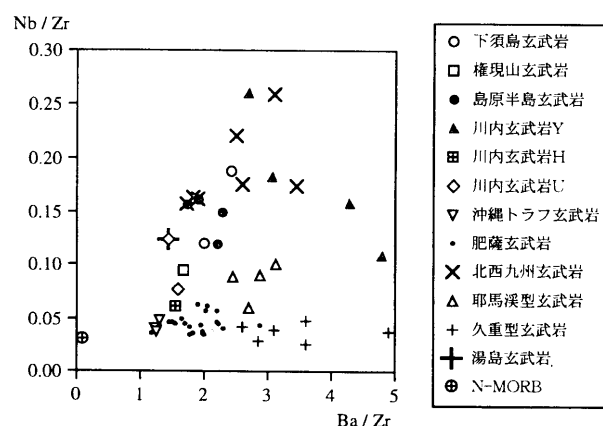


図7. 天草下島玄武岩のNb/Zr - Ba/Zr図.

データソース：島原半島玄武岩，中田・鎌田(1988)，角縁ほか(1995)；沖縄トラフ玄武岩，Ishizuka et al.(1990)；川内玄武岩，宇都ほか(1986)；北西九州玄武岩・耶馬溪型玄武岩・久重型玄武岩，Nakada and Kamata (1991). その他は筆者らのデータ.

も高いNb/Zr比を示し、Ba/Zr比は、沖縄トラフ玄武岩よりもやや高い値を示すが久重型玄武岩よりも低い。また、権現山玄武岩と島弧型玄武岩と海洋型玄武岩の中間的な特徴をもつとされる耶馬溪型玄武岩(Nakada and Kamata, 1991)を比較すると、Nb/Zr比は、同じかやや高く、Ba/Zr比は権現山玄武岩の方が低い。

以上のことから、天草地域では、10Ma頃、fertileなマントルに由来する下須島玄武岩が活動し、7Ma頃には、fertileなマントルと少量のやや $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ に富み、Nbの負の異常をもったスラブ由来成分あるいは島弧型マントルが混合したマントルから権現山玄武岩が形成されたと考えられる。

## (2) 近隣地域の玄武岩との比較

天草下島の北方に位置する島原半島では、4Maから0.6Maまで、fertileなマントル物質に由来した海洋型玄武岩が活動した(中田・鎌田, 1988)。角縁ほか(1995)は、中田・鎌田(1988)と同じ玄武岩(同じ産地)のSr, Nd同位体比を測定した。その結果を $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - \epsilon \text{Nd}$ 図(図6)に示したが、4.1Maの早崎玄武岩、 $< 2.0\text{Ma}$ の愛宕山玄武岩は、bulk earth近くに、1.11Maの上原玄武岩と0.6Maの諏訪池玄武岩は、よりdepleteした領域にプロットされた。このことは、海洋型玄武岩と一括された島原半島玄武岩には、Sr, Nd同位体比の異なる2つのグループに区分され、マグマソースが約1Maの間に、bulk earth類似のものからよりdepleteした物質に変化したことを示している。このような違いは、N-MORB規格化図(図3)では、早崎玄武岩、愛宕山玄武岩が、上原玄武岩、諏訪池玄武岩にくらべPとNbに富んでいること、また、Ba/Zr - Nb/Zr図(図7)では、前者がわずかにNb/Zr比が高く、Ba/Zr比が低いという差になって表れている。

このことは、天草下島から島原半島までの限られた範囲で、10Maから0.6Maの間に、玄武岩のソースマントルが変化したか、水平的・垂直的に不均質なマグマソースから玄武岩が生成されたことを示している。

また、 $2\text{Nb-Zr}/4\text{-Y}$ 区分図(図5)では、約10Maの下須島玄武岩、4Maの早崎玄武岩、 $<$

2Maの愛宕山玄武岩、1.1Maの上原玄武岩の一部は、WPAとWPTのオーバーラップした領域に、上原玄武岩の一部と0.6Maの諏訪池玄武岩、0.8Maの湯島玄武岩(横瀬ほか, 1999)、そして耶馬溪玄武岩は、P-MORBの領域にプロットされる。約7Maの権現山玄武岩はWPTとVABのオーバーラップした領域にプロットされる。また、この図では下須島玄武岩・早崎玄武岩と肥薩玄武岩(島弧ソレライト質)を端成分とする混合線を形成するように見え、天草や島原半島地域の玄武岩は、fertileなマントルとdepleteしたマントル、島弧型マントルなどが、種々の程度に混合、あるいは反応して形成されたマグマソースが存在する可能性を示唆している。

謝辞：天草玄武岩のSr, Nd同位体比は、角縁が岡山大学固体地球研究センターで、肥薩火山岩のSr, Nd同位体比は藤林が新潟大学で測定した。いずれの場合も、加々美寛雄氏にご指導をいただいた。厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- Anders, E. and Grevesse, N., (1989); Abundances of the elements: Meteoritic and solar. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53, 197-214.
- Ishizuka, H., Kawanobe, Y. and Sakai, H. (1990); Petrology and geochemistry of volcanic rocks dredged from the Okinawa Trough, an active back-arc basin. *Geochem. J.*, 24, 75-92.
- Honma, H., Kusakabe, M., Kagami, H., Iizumi, S., Sakai, H., Kodama, Y. and Kimura, M. (1991); Major and trace element chemistry and D/H,  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  and  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratios of rocks from the spreading center of the Okinawa Trough, a marginal back-arc basin. *Geochem. J.*, 25, 121-136.
- 角縁 進, 永尾隆志, 藤林紀枝, 加々美寛雄 (1995); 西南日本, 後期新生代玄武岩類の起源マントルの特徴. *地質学論集*, 44, 321-

- 335.
- Meschede, M. (1986); A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chem. Geol.*, 56, 207-218.
- 永尾隆志, 澤井長雄, 板谷徹丸, 角縁 進 (1992) ; 熊本県, 天草下島のソレイト質玄武岩と高マグネシア安山岩のK-Ar年代と岩石学的特徴. *岩鉱*, 87, 283-290.
- 永尾隆志, 長谷義隆, 長峰 智, 角縁 進, 阪口和之 (1999) ; 不均質なマグマソースから生成された後期中新世~中期更新世の肥薩火山岩類-火山岩の分布と化学組成の時空変化からの証拠-. *岩鉱*, 94, 461-481.
- 中田節也, 鎌田浩毅 (1988) ; 島原半島南部に分布する玄武岩・安山岩類の成因関係. *火山*, 33, 273-289.
- Nakada, S. and Kamata, H. (1991); Temporal change in chemistry of magma source under Central Kyushu, Southwest Japan: progressive contamination of mantle wedge. *Bull. Volcanol.*, 53, 182-194.
- Nakamura, E., Campbell, I.H. and Sun, S.S. (1985); The influence of subduction processes on the geochemistry of Japanese alkaline basalts. *Nature*, 316, 55-58.
- Nakamura, E., Campbell, I.H., McCulloch, M.T. and Sun, S.S. (1989); Chemical geodynamics in a back-arc region around the Sea of Japan: implications for the genesis of alkaline basalts in Japan, Korea and China. *J. Geophys. Res.*, 94, 4634-4654.
- Nakamura, E., McCulloch, M.T. and Campbell, I.H. (1990); Chemical geodynamics in the back-arc region of Japan based on the trace element and Sr-Nd isotopic compositions. *Tectonophys.*, 174, 207-233.
- Pearce, J.A. (1983); Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In Hawkesworth, C.J. and Norry, M.J. eds., *Continental basalts and mantle xenoliths*, Shiva, 230-249.
- 高井保明, 佐藤博之 (1982) ; 魚貫崎及び牛深地域の地質 (阿久根地域の一部をを含む). *地域地質研究報告*, 地質調査所, 87p.
- 巽 好幸 (1995) ; 沈み込み帯のマグマ学-全マントルダイナミクスに向けて. 東京大学出版会, pp186.
- 宇都浩三, 吉田武義, 青木謙一郎, 田中 剛 (1986) ; 南九州川内玄武岩類の地球化学的研究. *核理研報告*, 19, 349-360.
- 横瀬久芳, 梁島達也, 菊池 航, 杉山直史, 篠原 章, 竹内 徹, 長尾敬介, 小玉一人 (1999) ; 別府-島原地溝帯西部域の過去5百万年間における間欠的火山活動. *岩鉱*, 94, 338-348.
- Zindler, A. and Hart, S.R. (1986); Chemical geodynamics. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 14, 493-571.