

伊那領家変成帯に分布する苦鉄質岩の同位体年代

柚原 雅樹*・加々美 寛雄**

(平成18年11月30日受理)

Geochronological and Isotope Geological Study of Mafic Igneous Rocks in the Ina District of the Ryoke Metamorphic Belt, Southwest Japan Arc

Masaki YUHARA* and Hiroo KAGAMI**

(Received November 30, 2006)

Abstract

The mafic igneous rocks are exposed in the Ryoke granitoids in the Ina Mountain area, Ina district of the Ryoke metamorphic belt. These mafic igneous rocks are composed mainly of gabbro, and partly cordierite and pyroxenite. These mafic igneous rocks give K-Ar hornblende ages from 75.6 to 61.9Ma, K-Ar biotite ages of 65.5Ma, Rb-Sr whole-rock and hornblende isochron ages from 76.7 to 60Ma, Rb-Sr whole-rock and biotite isochron age of 64.2Ma, Sm-Nd whole-rock and hornblende isochron ages from 154 to 100Ma, respectively. K-Ar mineral ages and Rb-Sr isochron ages are in the range of chronological data of the Ryoke granitoids in the Ina district, and may indicate cooling ages of each body. Sm-Nd whole-rock and hornblende isochron ages are divided into two groups: One from 121 to 100Ma and the other from 154 to 140Ma. The former indicates timing of Ryoke metamorphism or contact metamorphism by the Ryoke granitoids, and latter indicates timing near activity of these mafic igneous rocks. This suggests that activity of mafic igneous rocks is older than that of the Ryoke granitoids. Modal initial Sr and Nd isotopic ratios of most of them corrected by 150Ma are in range of mafic igneous rocks in the Setouchi area and Kinki district. This suggests similarity of Sr and Nd isotopic compositions of these mafic igneous rocks.

Key words : mafic igneous rocks, Ryoke metamorphic belt, Ina district, Rb-Sr and Sm-Nd isochron age, K-Ar age.

* 福岡大学理学部地球圏科学科, 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1
Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan

** 新潟大学理学部地質科学科, 〒950-2181 新潟市五十嵐 2 の町 8050
Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University, 2-8050 Ikarashi, Niigata 950-2181, Japan

はじめに

領家変成帯は、ジュラ紀～白亜紀最前期付加帯が花崗岩質マグマの大規模な貫入を受け高度変成帯に成長したものであると考えられており(奥平ほか, 2000 など), 変成岩類に比べ花崗岩質岩の露出量が極めて大きい。さらに, これらの花崗岩質岩中には苦鉄質岩が点在する。これらの苦鉄質岩は, 花崗岩質岩に先行して活動したもので, 水に飽和したカルク-アルカリ質あるいはソレイト質マグマからの早期集積相であると考えられてきた(堀内, 1985; 田結庄ほか, 1989; Kutsukake, 2000 など)。したがって, 苦鉄質岩の活動時期の決定とその起源物質の検討は, 領家変成帯における大規模火成活動および変成作用の解析に極めて重要な条件をもたらすと考えられる。

近年の研究により, 瀬戸内地域から近畿地方領家変成帯に分布する苦鉄質岩の Sm-Nd 全岩アイソクロン年代や Sm-Nd 全岩-鉱物アイソクロン年代が, 後期二畳紀から中期ジュラ紀を示すことが報告され(Kagami et al., 1995; Okano et al., 2000), これらの活動時期が花崗岩質岩よりも古いことが指摘された。さらに, 伊那領家変成帯の 1 岩体からも同様な Sm-Nd 全岩-鉱物アイソクロン年代が報告された(加々美ほか, 1996)。しかし, ジルコンの U-Pb 年代が白亜紀であること(Kagami et al., 1992b; 飯泉ほか, 1993)から, 花崗岩質岩と活動時期がほぼ同時であるという主張(飯泉ほか, 1993)もある。しかしながら, 中部地方に分布する苦鉄質岩については, 年代値の報告は非常に少なく(加々美ほか, 1996), 領家帯西部に分布する苦鉄質岩との年代的, 同位体的関係については明確にされていない。

筆者らは, これまで伊那領家変成帯における花崗岩質岩の岩石学的, 年代学的研究を進めてきた(柚原, 1994; Yuhara, 1995; 柚原・加々美, 1995, 1999, 2006; 柚原ほか, 2000, 2004b)。その中で, 苦鉄質岩の同位体岩石学的検討も行った。本報告では, 伊那領家変成帯に分布する苦鉄質岩の Rb-Sr および Sm-Nd アイソクロン年代, K-Ar 鉱物年代を報告し, それらの活動時期および Sr・Nd 同位体比初生値について述べる。

地質概説

長野県中川村から飯田市の南東部にかけての伊那山地には, 領家花崗岩類が広く分布し, その中に大小さまざまな苦鉄質岩の岩体が点在する(Fig. 1)。これらのうち比較的大きな岩体は, 北から銭不動岩体(ZN), 安康南沢岩体(AN), 鬼面山山腹岩体(KI), 卯月山岩体(UZ), 大日向岩体(OH), 野池岩体(NO)である。安康南沢岩体から野池岩体は米川本流と鬼面山を結ぶ南西から北東の線上にのっており, この岩体群を手塚・福沢(1980)は竜東苦鉄質岩列と呼んだ。これらの苦鉄質岩体は, 主に輝石角閃石斑れい岩および角閃石斑れい岩からなるが, 最も北に位置する銭不動岩体は主にコートラングライトからなる。手塚(1979), 手塚・福沢(1980), 手塚(1981)は, 卯月山岩体, 安康南沢岩体, 大日向岩体の研究から, これらの苦鉄質岩は, 領家変成作用中あるいはその末期に, 領家変成岩類中に苦鉄質マグマとして貫入してロボリスを形成し, その後領家変成作用, 領家花崗岩類の貫入および接触変成作用を被ったものであるとした。そして, その苦鉄質マグマの本源マグマは, ソレイト質マグマであるとした。このことは, 瀬戸内地域から中部地方に分布する苦鉄質岩の研究結果(堀内, 1985; 田結庄ほか, 1989; Kutsukake, 2000 など)と矛盾しない。

苦鉄質岩体の地質と岩石

銭不動岩体

銭不動岩体は, 中川村南向の銭不動を中心として分布する(Figs. 1, 2; 手塚, 1980a)。本岩体は, 南向花崗岩と生田花崗岩中に露出するが, 露出状態が非常に悪く, 関係は不明である(手塚, 1980a)。銭不動岩体は, 主にコートラングライトからなり, 普通角閃石斑れい岩と普通角閃石パイロキシナイトを伴う。コートラングライトは, カンラン石をポイキリティックに含む大型の普通角閃石を含むのが特徴である(Fig. 3a)。本岩は, 主にカンラン石, 普通角閃石, 斜方輝石, 単斜輝石, 斜長石からなり, 副成分鉱物としてスピネル(クロミアンスピネルとプレオネースト), 不透明鉱物を含む。南向花崗岩は片状中

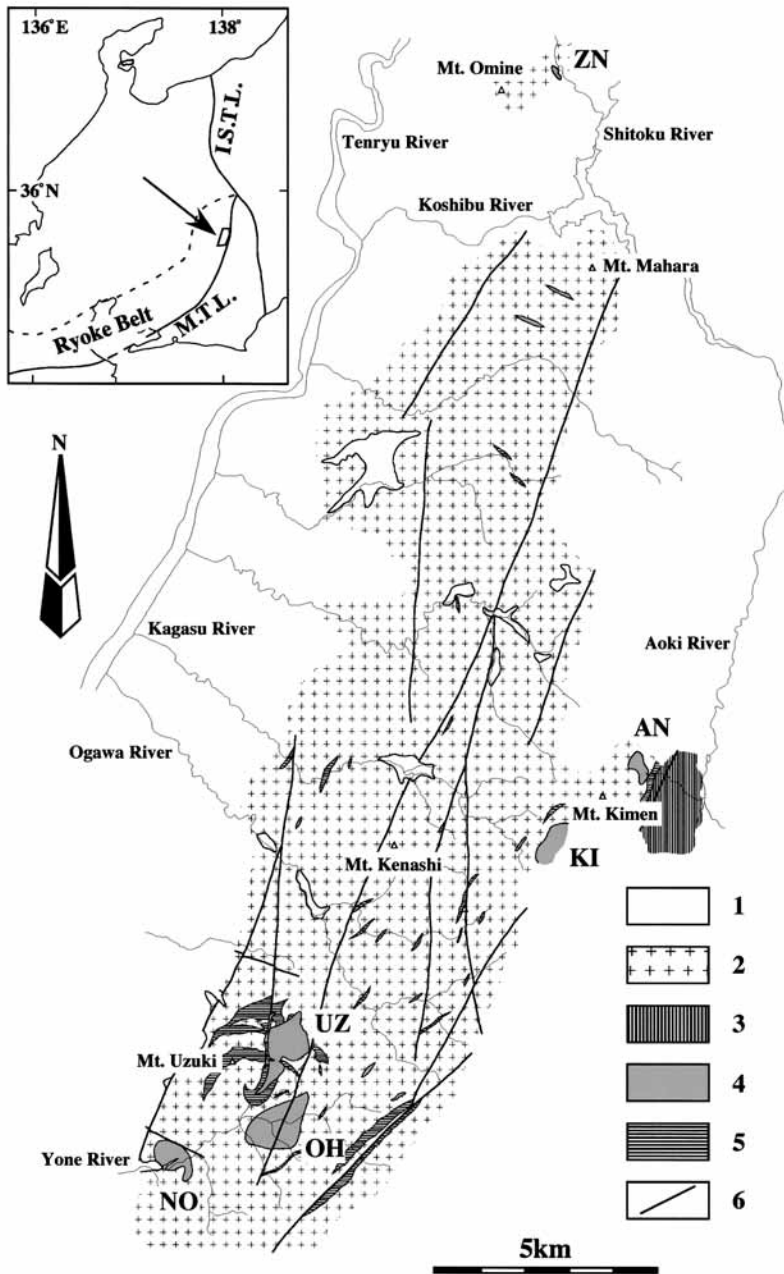


Fig. 1. Geological map of central area of the Ina Mountain area (modified from Tezuka and Fukuzawa, 1980).

1: Cenozoic system, 2: Ryoke granitoids, 3: mylonite, 4: mafic igneous rocks, 5: Ryoke metamorphic rocks, 6: fault.

M. T. L. : Median Tectonic Line, I. S. T. L. : Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line.
 ZN: Zenifudo mafic igneous body, AN: Anko-minamisawa mafic igneous body,
 KI: Kimenyama-sanpuku mafic igneous body, UZ: Uzukiyama mafic igneous body,
 OH: Ohinata mafic igneous body, NO: Noike mafic igneous body.

粒黒雲母花崗岩からなり、銭不動岩体の北部に分布する。生田花崗岩は中粒弱片状普通角閃石黒雲母花崗岩からなり、銭不動岩体南部に分布する。両花崗岩の境界は明確にされていない(手塚, 1980a)。

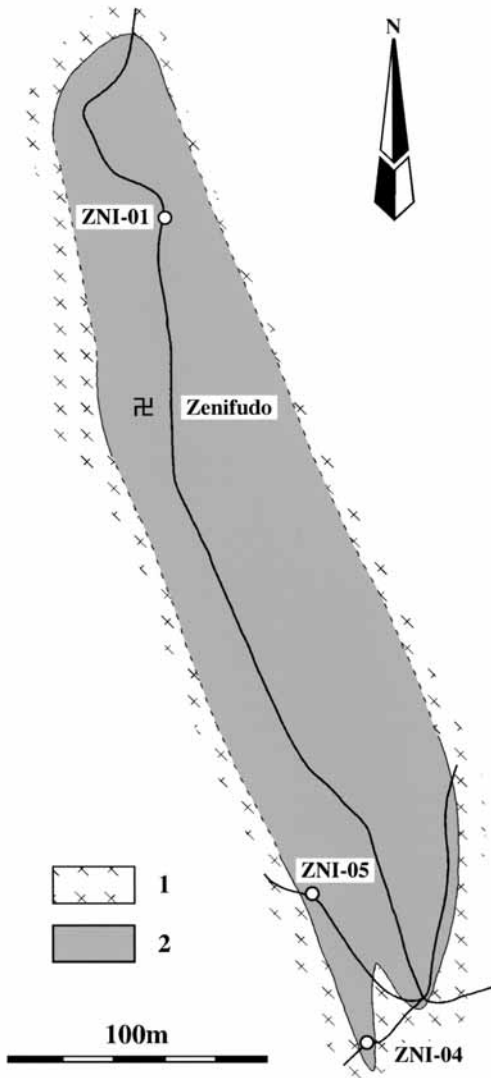


Fig.2. Geological map and sample localities of the Zenifudo mafic igneous body (modified from Tezuka, 1980a).
1: Minakata Granite, Ikuta Granite,
2: cortlandite.

安康南沢岩体

安康南沢岩体は、鬼面山北東の安康南沢の上流付近を中心に分布し、コートランダイト～斑れい岩からなる (Figs.1, 4; 手塚・福沢, 1980)。安康南沢上流は、領家変成岩類、安康南沢岩体、マイロナイト、生田花崗岩、滝沢花崗岩、アプライト～細粒花崗岩岩脈からなる (Fig.4; 手塚・福沢, 1980)。領家変成岩類は、片岩からなり、黒雲母-堇青石などの組み合わせを示す。安康南沢岩体は、コートランダイト、斑れい岩、斜長岩～斜長岩質斑れい岩からなる。コートランダイトは、主に普通角閃石、カンラン石、斜方輝石、単斜輝石、斜長石、スピネル (プレオネースト)、フロゴパイトからなり、副成分鉱物として燐灰石、イルメナイト、不透明鉱物を含む (Fig.3b)。斑れい岩は、(カンラン石)斜方輝石単斜輝石普通角閃石斑れい岩、普通角閃石斑れい岩、カミングトナイト斑れい岩からなる。コートランダイトから斜長岩質斑れい岩にはしばしば層状構造が認められる。コートランダイトにはアプライト岩脈が、斑れい岩には細粒花崗岩岩脈が貫入している。滝沢花崗岩は、安康南沢岩体を包み込むように分布する中粒黒雲母普通角閃石花崗閃緑岩である。滝沢花崗岩と生田花崗岩は漸移関係にある (手塚・福沢, 1980)。

鬼面山山腹岩体

鬼面山山腹岩体は、鬼面山南西麓の天竜峡花崗岩中に分布し、主に普通角閃石斑れい岩からなり、コートランダイトを伴う (Fig.5; 手塚, 1982)。本岩体の北部では、変輝緑岩が取り巻いている。コートランダイトは、主にカンラン石、斜方輝石、普通角閃石、斜長石からなり、副成分鉱物としてスピネル (プレオネースト、クロミアンスピネル)、フロゴパイト、不透明鉱物、燐灰石を含む。

卯月山岩体

卯月山岩体は卯月山の西方に分布し (Figs.1, 6)、領家変成岩類に貫入すると考えられるが、直接的な関係は確認されていない。本岩体は、上久堅^{かみひさかた}花崗岩、滝沢花崗岩、生田花崗岩、細粒黒雲母花崗岩に貫入される。領家変成岩類は、片状ホルンフェルス～片麻岩からなり、黒雲母-

堇青石, 黒雲母-堇青石-珪線石などの組み合わせを示す(手塚, 1980b など). 卯月山岩体は, コートランダイト, (カンラン石) 普通角閃石パイロキシナイト, 斑れい岩からなる (Fig. 6; 手

塚, 1979). (カンラン石) 普通角閃石パイロキシナイトは, 主に単斜輝石 (70%以上を占める), 斜長石, 斜方輝石, 普通角閃石, (カンラン石) からなり, 副成分鉱物としてクロミアンスピネ

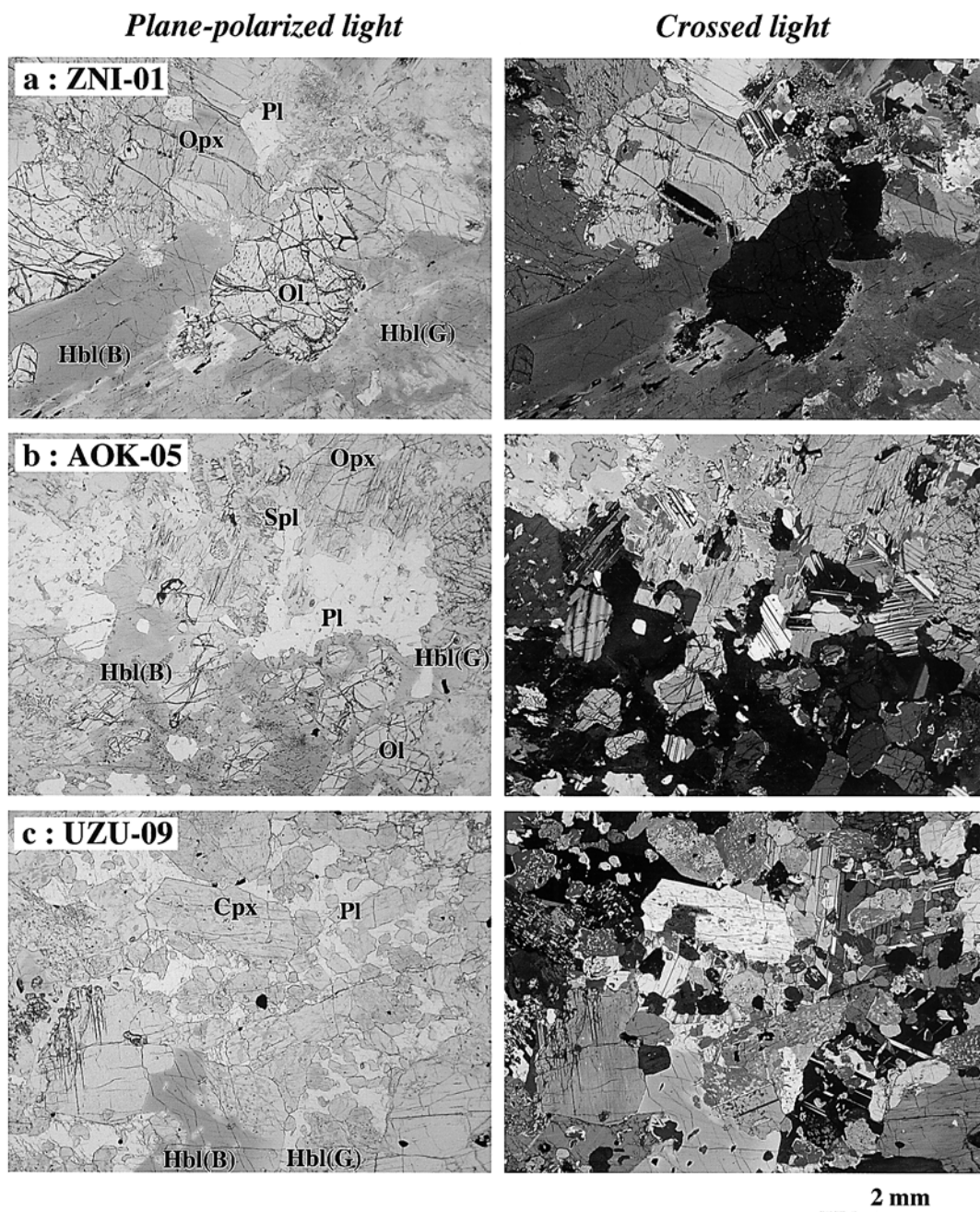


Fig. 3. Photomicrographs of mafic igneous rocks.

Hbl (B): brown hornblende, Hbl (G): green hornblende, Ol: olivine,
Opx: orthopyroxene, Pl: plagioclase, Spl: spinel, Cpx: clinopyroxene, Bt: biotite.

ル、不透明鉱物、燐灰石を含む (Fig. 3c). 斑れい岩は、カンラン石普通角閃石ユークライト、普通角閃石ユークライト、普通角閃石斑れい岩、黒雲母普通角閃石斑れい岩に細分される。カンラン石普通角閃石ユークライトは、主に斜長石、

普通角閃石、斜方輝石、単斜輝石、カンラン石からなり、副成分鉱物としてスピネル (プレオネースト)、フロゴパイト、不透明鉱物、燐灰石を含む。普通角閃石ユークライトは、主に普通角閃石、単斜輝石、斜方輝石、斜長石からなり、

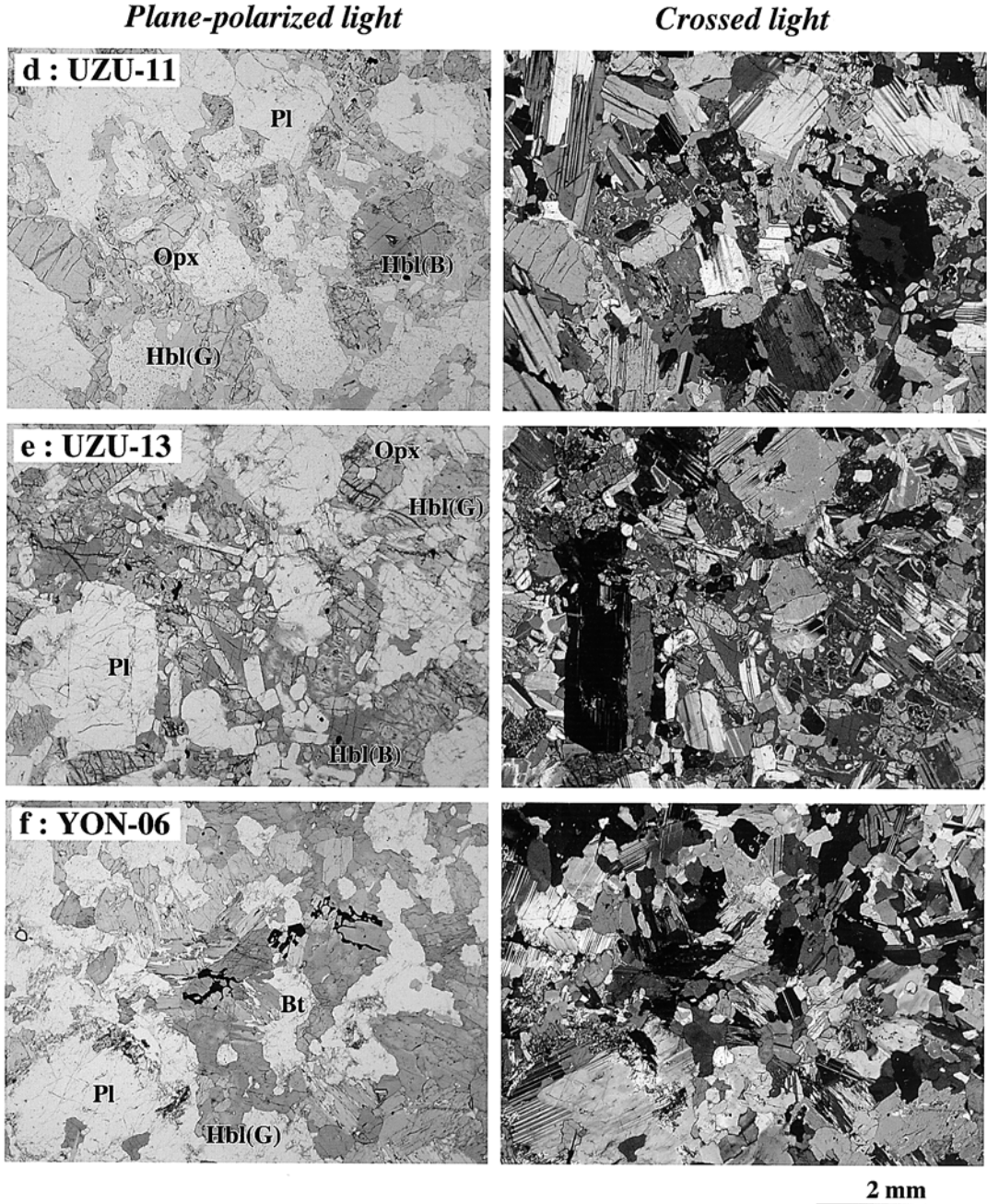


Fig. 3. (continued)

副成分鉱物としてイルメナイト、不透明鉱物、燐灰石を含む (Fig. 3e). 普通角閃石斑れい岩は、主に斜長石、普通角閃石、斜方輝石、単斜輝石からなり、副成分鉱物として黒雲母、不透明鉱物、燐灰石を含む (Fig. 3d). 黒雲母普通角閃石斑れい岩は、主に斜長石、普通角閃石、斜方輝石、単斜輝石、黒雲母からなり、副成分鉱物として不透明鉱物、燐灰石を含む。上久堅花崗岩は中粒片麻状黒雲母花崗岩である。

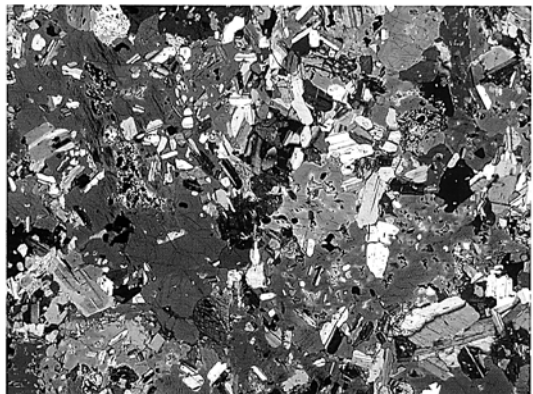
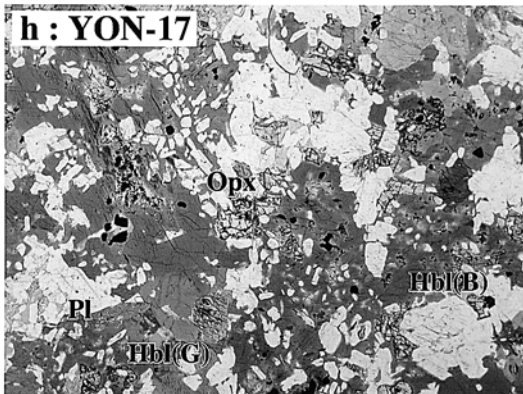
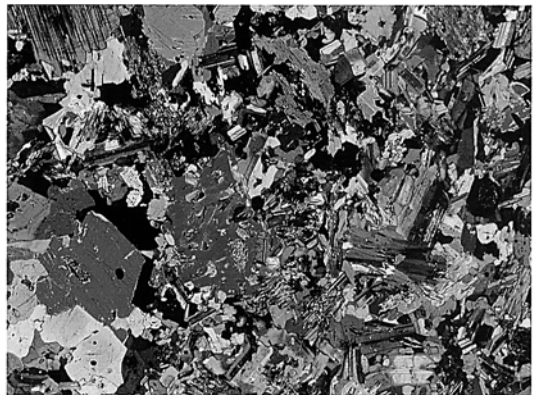
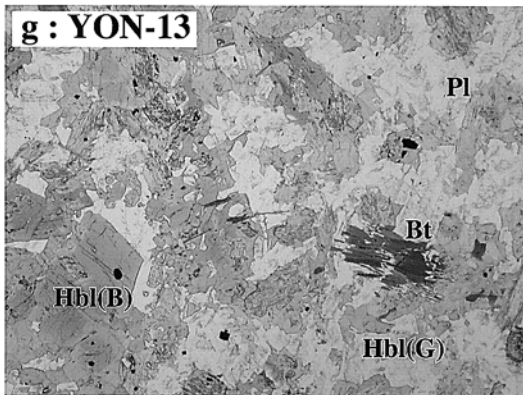
大日向岩体

大日向岩体は、卯月山岩体南方の滝沢花崗岩中に分布し、単斜輝石斜方輝石普通角閃石斑れい岩、単斜輝石普通角閃石斑れい岩、斜方輝石普通角閃石斑れい岩、普通角閃石斑れい岩からなる (Fig. 6; 手塚, 1981). 単斜輝石斜方輝石普通角閃石斑れい岩は、主に単斜輝石、斜方輝

石、普通角閃石、斜長石と少量の黒雲母、石英からなり、副成分鉱物として燐灰石、イルメナイト、不透明鉱物を含む。単斜輝石普通角閃石斑れい岩は、主に普通角閃石、斜長石、単斜輝石と少量の黒雲母、石英からなり、副成分鉱物として燐灰石、イルメナイト、不透明鉱物を含む。斜方輝石普通角閃石斑れい岩は、主に普通角閃石、斜長石、斜方輝石と少量の黒雲母、石英からなり、副成分鉱物として燐灰石、イルメナイト、不透明鉱物を含む。普通角閃石斑れい岩は、主に普通角閃石、斜長石と少量の黒雲母、石英からなり、副成分鉱物として燐灰石、不透明鉱物を含む (Fig. 3f). 本岩体の外側の滝沢花崗岩中にも普通角閃石斑れい岩の小岩体が認められる (Fig. 6). また、斑れい岩、滝沢花崗岩および生田花崗岩中には、変輝緑岩の小岩体が認められる (Fig. 6). 変輝緑岩は、主として黒

Plane-polarized light

Crossed light



2 mm

Fig. 3. (continued)

雲母，普通角閃石，斜長石からなり，副成分鉱物として燐灰石，不透明鉱物を含む．さらに，片状ホルンフェルスや滝沢花崗岩中には，方解石とざくろ石からなる結晶質石灰岩（手塚（1981）では糖状石灰岩とされている）の小岩体も認められる．

野池岩体

野池岩体は，大日向岩体の西の滝沢花崗岩および生田花崗岩中に分布し（Fig. 1），主に普通角閃石斑れい岩からなる．本岩は，主に普通角閃石，斜長石，黒雲母と少量の石英からなり，副成分鉱物として燐灰石，不透明鉱物を含む（Fig. 3g, h）．斜方輝石を含むものもある（Fig. 3h）．

これらの苦鉄質岩体の構成岩石の普通角閃石

は，褐色ないし緑褐色～淡黄褐色の多色性を示すものと緑色ないし青緑色～淡黄褐色の多色性を示すものがある（手塚・福沢，1980；手塚，1981）．両者の量比は岩石により異なり，大部分が褐色ないし緑褐色普通角閃石からなる場合は，薄い緑色のリムが取り巻く（Fig. 3a, h）．逆に緑色ないし青緑色の普通角閃石が多い場合は，褐色ないし緑褐色のコアが存在するものが少量認められる（Fig. 3c, d）．両者が混在する場合は，褐色ないし緑褐色の普通角閃石がコアを，緑色ないし青緑色の普通角閃石がリムもしくは結晶全体を占める場合が多い．手塚（1979）などは，これらの普通角閃石は領家変成作用によって形成されたものであるとしたが，その大部分は緑色ないし青緑色の普通角閃石を指すと考えられ

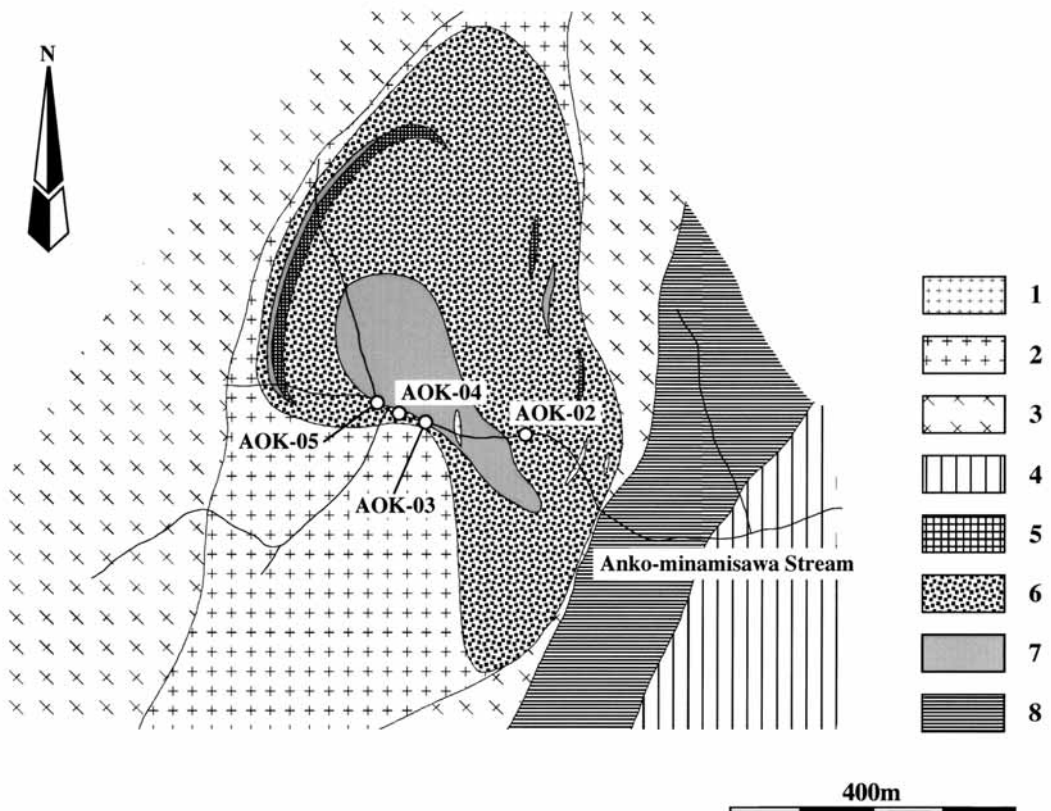


Fig4. Geological map and sample localities of the Anko-minamisawa mafic igneous body (modified from Tezuka, 1982).

- 1: aplite and fine-grained granite, 2: Takizawa Granite, 3: Ikuta Granite,
- 4: mylonite, 5: anorthosite and anorthositic gabbro, 6: gabbro, 7: cortlandite,
- 8: Ryoke metamorphic rocks.

る。このような普通角閃石の産状から、褐色ないし緑褐色の普通角閃石はマグマ起源であり、緑色ないし青緑色の普通角閃石は領家変成作用もしくは花崗岩質岩の貫入の影響によって形成されたものと考えられる。

黒雲母は、単独で存在するものもあるが、褐色ないし緑褐色の普通角閃石や緑色ないし青緑色の普通角閃石に包有されているものが多い。さらに、緑色ないし青緑色の普通角閃石中にパッチもしくはラメラ状に包有される場合や、石英と共にシンプレクタイトを形成している場合 (Fig. 3g) もある。したがって、褐色ないし緑褐色の普通角閃石の包有される黒雲母はマグマ起源の可能性はあるが、多くは緑色ないし青緑色の普通角閃石同様、領家変成作用もしくは花崗岩質岩の貫入の影響によって形成されたものである

と考えられる。

岩石の化学組成

銭不動岩体から採取した3試料 (Fig. 2)、安康南沢岩体から採取した4試料 (Fig. 4)、鬼面山山腹岩体から採取した2試料 (Fig. 5)、卯月山岩体から採取した5試料 (Fig. 6)、大日向岩体から採取した5試料 (Fig. 6)、野池岩体から採取した3試料 (Appendix 1) について、福岡大学理学部の蛍光 X 線分析装置 (ZSX100e) を用いて、主成分および微量元素の測定を行った。試料調製および測定方法は、柚原・田口 (2003 a, b)、柚原ほか (2004a)、高本ほか (2005) に従った。測定結果を Table 1 に示す。

斑れい岩の SiO_2 含有量は、45.8 ~ 52.4wt%、

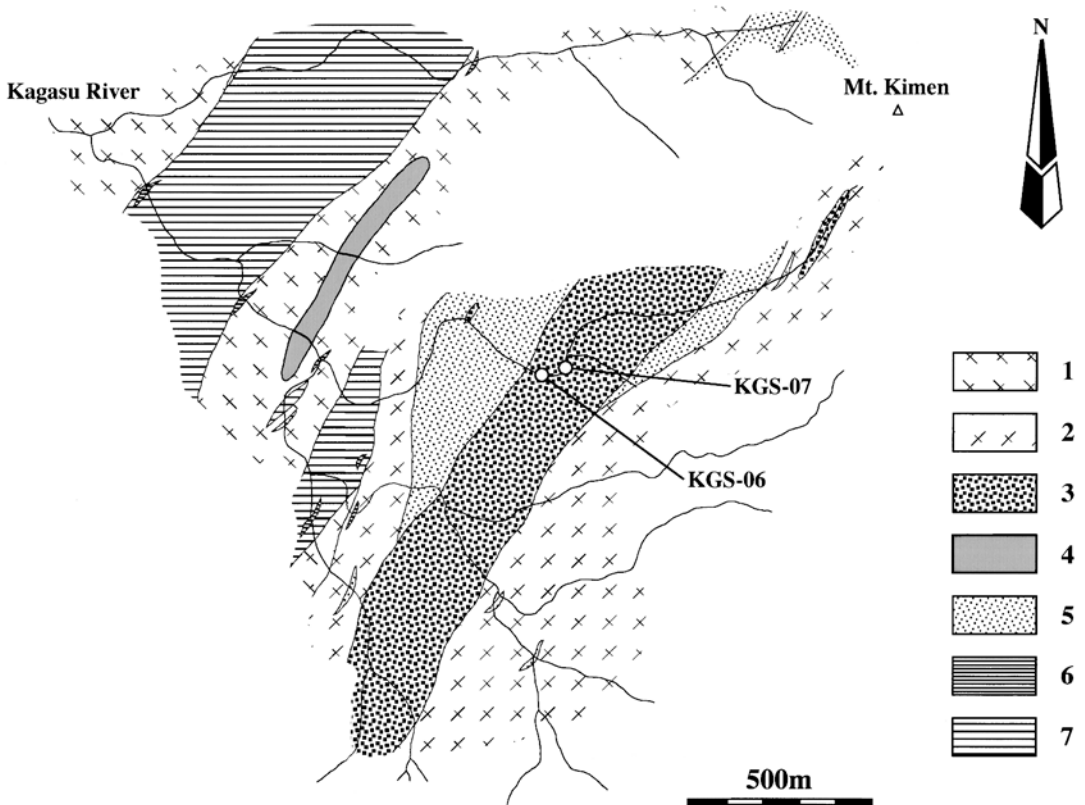


Fig. 5. Geological map and sample localities of the Kimenyama-sanpuku mafic igneous body (modified from Tezuka, 1982).

- 1: Ikuta Granite, 2: Tenryukyo Granite, 3: gabbro, 4: cortlandite, 5: metadiabase, 6: Ryoke metamorphic rocks, 7: granitic gneiss.

コートランダイトのSiO₂含有量は43.8～47.9 wt%で、パイロキシナイトのSiO₂含有量は49.6～52.7wt%である (Table 1). MgO / (MgO+FeO*) に対する主成分および微量元素の組成変化を Figs.

7, 8 に示す. コートランダイトとパイロキシナイトからなる錢不動岩体のMgO / (MgO+FeO*) が最も高く、卵月岩体のパイロキシナイトもほぼ同じ値を示す. 次いで、安康南沢岩体と鬼面

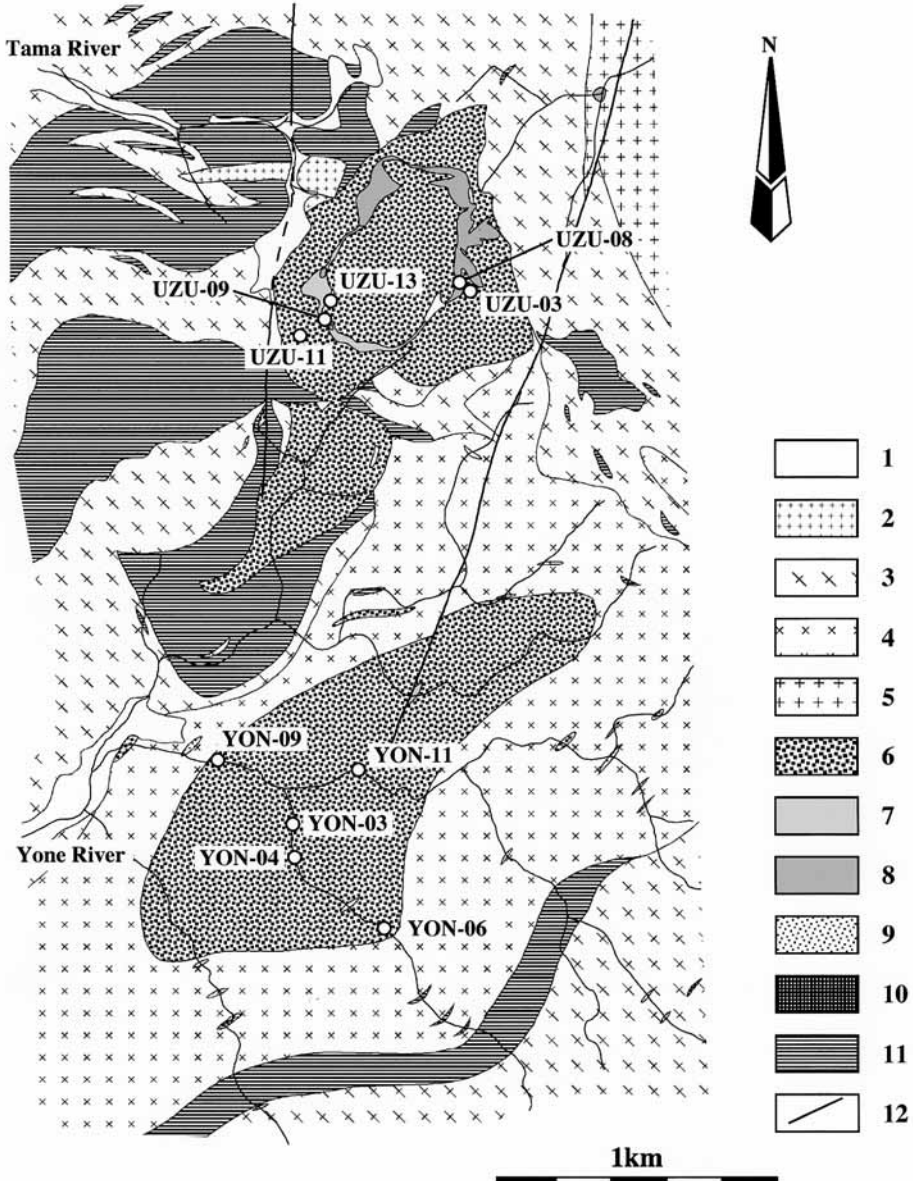


Fig. 6. Geological map and sample localities of the Uzukiyama and Ohinata mafic igneous bodies (modified from Tezuka, 1979, 1981).

- 1: Quaternary system, 2: fine-grained biotite granite, 3: Ikuta Granite,
- 4: Takizawa Granite, 5: Kamihisakata Granite, 6: gabbro, 7: pyroxenite,
- 8: cortlandite, 9: metadiabase, 10: crystalline limestone,
- 11: Ryoke metamorphic rocks, 12: fault.

山山腹岩体のコートラングナイト, 卯月山岩体, 大日向岩体と野池岩体の順に $MgO / (MgO + FeO^*)$ が低くなる傾向にある. 安康南沢岩体のコートラングナイトの SiO_2 , CaO , Cu , Ga , S , Sr , V は, $MgO / (MgO + FeO^*)$ 値の減少とともに増加するが, TiO_2 , FeO^* , MgO , Ni , Y , Zr は減少する. 他の元素はほぼ一定である. 鬼面山山腹岩体のコートラングナイトは試料が少ないが, 安康南沢岩体の領域にオーバーラップする. 卯月山岩体の斑れい岩は FeO^* , Na_2O , Ba , Sr は増加するが, 他の元素はほぼ一定である. 大日向岩体の斑れい岩はばらつくが, FeO^* , CaO , Cu はやや増加, Na_2O , Sr はやや減少する傾向にある. 他の元素はほぼ一定である. 野池岩体の斑れい岩の FeO^* , K_2O , Ba , Rb 増加し, S は減少する. 他の元素はばらつくものもあるが, ほぼ一定である. このように, 安康南沢岩体と鬼面山山腹岩体のコートラングナイトの化学組成は類似するが, 他岩体のコートラングナイトや斑れい岩の変化トレンドは異なる. これは, これらの岩体が, 異なる苦鉄質マグマからの分化・集積によって形成されたことを示唆すると考えられる.

Sr および Nd 同位体比組成

1. 分析方法

錢不動岩体の 1 試料, 安康南沢岩体の 1 試料, 卯月山岩体の 3 試料, 大日向岩体の 3 試料, 野池岩体の 2 試料について, アイソダイナミックセパレーターおよび重液を用いて, 輝石, 普通角閃石, 黒雲母, 斜長石を分離精製し, Sr および Nd 同位体比組成の分析を行った. 全岩および鉱物試料の Sr・Nd 同位体比は, 新潟大学理学部の MAT-262 型質量分析計と同大学院自然科学研究科の MAT-261 型質量分析計を用いて測定した. 測定方法は, Miyazaki and Shuto (1998) に従った. $^{87}Sr / ^{86}Sr$ 比および $^{143}Nd / ^{144}Nd$ 比は $^{86}Sr / ^{88}Sr = 0.1194$, $^{146}Nd / ^{144}Nd = 0.7219$ でそれぞれ規格化した. Sr・Nd 抽出におけるブランクは, Rb が 0.25 ng, Sr が 0.52 ng で, Sm が 0.025 ng, Nd が 0.22 ng であった. 各試料の $^{87}Sr / ^{86}Sr$ 比および $^{143}Nd / ^{144}Nd$ 比は, 同じ測定期間中に測定した Sr 同位体比標準試料 NBS-987 の Sr 同位体比および JB-1a の Nd 同位体比を,

それぞれ 0.710241 (柚原, 1994; 柚原・加々美, 1995) と 0.512784 に補正した値である. JB-1a の 0.512784 という値は, USGS の標準試料の BCR-1 の 0.512638 に相当する (Kagami et al., 1989). Rb, Sr, Sm, Nd の定量は, ^{87}Rb - ^{84}Sr ミックススパイクおよび ^{149}Sm - ^{150}Nd ミックススパイクを用いた同位体希釈法により測定した. 測定結果を Table 2 に示す.

アイソクロン年代および初生値は, York (1966) の方法により, ^{87}Rb の崩壊定数: $1.42 \times 10^{-11}/y$ (Steiger and Jäger, 1977), ^{147}Sm の崩壊定数: $6.54 \times 10^{-12}/y$ (Lugmair and Marti, 1978) を用いて計算した. 計算には, 川野 (1994) のプログラムを使用した. この際, $^{87}Rb / ^{86}Sr$ の測定誤差は 0.5% (1σ), $^{87}Sr / ^{86}Sr$ の測定誤差は 0.01% (1σ), $^{147}Sm / ^{144}Nd$ の測定誤差は 0.1% (1σ), $^{143}Nd / ^{144}Nd$ の測定誤差は 0.01% (1σ) として計算した. 得られた年代の誤差は, 2σ で示した.

2. 全岩アイソクロン年代

全岩試料では, $^{87}Rb / ^{86}Sr$ および $^{87}Sr / ^{86}Sr$ 比, $^{147}Sm / ^{144}Nd$ および $^{143}Nd / ^{144}Nd$ 比の変化範囲が狭い (Table 2) ため, アイソクロン年代は得られなかった.

3. 全岩-鉱物アイソクロン年代

全岩試料, 黒雲母, 普通角閃石, 輝石, 斜長石による Rb-Sr 全岩-鉱物アイソクロン年代として, 大日向岩体から $62.4 \pm 0.2Ma$ を得た (Fig. 9). さらにこの試料は, 全岩試料, 普通角閃石, 輝石, 斜長石による $68 \pm 12Ma$ の Rb-Sr 全岩-鉱物アイソクロン年代を示す. 同様に, 全岩試料, 普通角閃石, 斜長石による Rb-Sr 全岩-鉱物アイソクロン年代として, 卯月山岩体から $76.7 \pm 7.1Ma$, 野池岩体から $71 \pm 18Ma$ と $60 \pm 19Ma$ を得た (Fig. 9).

また, 全岩試料, 普通角閃石, 輝石, 斜長石による Sm-Nd 全岩-鉱物アイソクロン年代として, 安康南沢岩体から $140 \pm 35Ma$, 卯月山岩体から $105 \pm 28Ma$ および $154 \pm 27Ma$, 大日向岩体から $121 \pm 17Ma$, 野池岩体から $100 \pm 11Ma$ を得た (Fig. 10). さらに, 誤差が大きいため図には示さないが, 野池岩体 (YON-17) から $141 \pm 63Ma$ も得た. また, 黒雲母はアイソクロンから

Table 1. Whole-rock chemical compositions of mafic igneous rocks.

Zenifudo m.		Anko-minamisawa m.				Kimenyama-sanpuku m.				Uzukiyama m.	
Sample No.	ZNI-01 ^c	ZNI-04 ^c	ZNI-05 ^c	AOK-02 ^c	AOK-03 ^c	AOK-04 ^c	AOK-05 ^c	KGS-06 ^c	KGS-07 ^c	UZU-03 ^o	UZU-08 ^o
SiO ₂ (wt.%)	47.91	52.67	47.17	44.73	44.87	44.67	46.42	44.19	43.83	46.63	47.90
TiO ₂	0.34	0.43	0.35	0.38	0.15	0.33	0.24	0.22	0.25	0.34	0.17
Al ₂ O ₃	4.64	8.07	8.89	15.93	14.93	15.72	17.37	18.26	18.65	19.46	21.90
Fe ₂ O ₃ *	11.97	6.84	9.79	11.57	12.72	11.76	10.24	10.87	10.81	8.73	6.11
MnO	0.21	0.15	0.17	0.16	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13
MgO	21.03	12.42	16.94	16.33	16.97	15.72	13.02	14.61	14.25	8.86	7.95
CaO	11.96	15.19	14.72	9.10	7.99	9.42	10.60	9.57	9.96	13.63	13.69
Na ₂ O	0.54	1.93	0.63	1.06	1.03	0.96	0.92	1.03	1.02	1.09	1.06
K ₂ O	0.20	0.47	0.12	0.17	0.37	0.18	0.14	0.24	0.20	0.13	0.06
P ₂ O ₅	0.02	0.07	0.01	0.02	0.05	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.00
L.O.I.	0.69	0.88	0.39	0.25	0.29	0.66	0.50	0.49	0.35	0.42	0.45
Total	99.51	99.12	99.18	99.70	99.54	99.60	99.61	99.65	99.48	99.43	99.42
As(ppm)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<4	<4	n.d.	<4	n.d.	n.d.	n.d.
Ba	68	183	61	63	103	69	60	68	67	65	41
Cr	1975	2215	1071	184	114	171	153	412	400	318	45
Cu	n.d.	26	35	n.d.	<4	<4	10	16	14	46	27
Ga	6	9	8	12	11	12	13	13	13	14	15
Nb	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	n.d.
Ni	73	64	80	302	224	193	118	218	195	58	11
Pb	<5	5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Rb	6.75**	13.7**	2.56**	3.49**	11.5**	<6	3.55**	8.14**	5.92**	3.30**	3.87**
S	319	41	2521	242	320	332	438	747	678	1807	1336
Sr	104**	317**	216**	323**	305**	340**	403**	384**	379**	399**	466**
Th	n.d.	<4	n.d.	n.d.	<4	n.d.	n.d.	n.d.	<4	n.d.	n.d.
V	170	202	181	93	46	93	116	48	55	123	118
Y	9	12	9	8	6	7	<6	<6	6	9	<6
Zn	77	58	50	80	86	76	71	76	72	54	36
Zr	33	61	14	6	17	4	n.d.	<4	<4	n.d.	n.d.

Uzukiyama m.		Ohinata m.				Noike m.					
Sample No.	UZU-09 ^o	UZU-11 ^o	UZU-13 ^o	YON-03 ^o	YON-04 ^o	YON-06 ^o	YON-09 ^o	YON-11 ^o	YON-13 ^o	YON-17 ^o	YON-18 ^o
SiO ₂ (wt.%)	49.58	48.50	48.35	50.85	50.87	50.48	50.35	46.73	52.37	45.76	50.37
TiO ₂	0.43	0.23	0.26	0.79	0.45	0.29	0.64	0.31	0.42	1.28	0.93
Al ₂ O ₃	8.17	19.21	18.59	17.34	11.08	15.80	18.05	20.78	15.35	16.69	16.42
Fe ₂ O ₃ *	8.34	7.57	7.00	9.69	14.52	10.67	10.27	6.64	8.57	13.06	8.94
MnO	0.17	0.16	0.14	0.17	0.26	0.22	0.19	0.11	0.15	0.21	0.14
MgO	13.84	8.42	10.07	5.73	9.67	6.91	6.23	7.90	9.01	6.80	7.95
CaO	16.55	12.48	12.52	10.52	9.07	9.53	9.89	14.91	10.01	11.95	9.23
Na ₂ O	0.69	1.29	1.00	1.99	1.42	2.41	2.17	1.08	1.65	1.84	1.96
K ₂ O	0.11	0.13	0.11	0.78	0.50	1.15	0.64	0.28	0.54	0.43	1.26
P ₂ O ₅	0.01	0.02	0.01	0.14	0.15	0.06	0.07	0.01	0.04	0.09	0.04
L.O.I.	0.56	0.89	0.60	0.89	0.11	1.21	1.04	0.81	1.19	1.53	1.47
Total	98.45	98.90	98.65	98.89	98.10	98.73	99.54	99.56	99.30	99.64	98.71
As(ppm)	<4	<4	n.d.	<4	<4	<4	<4	n.d.	<4	<4	n.d.
Ba	52	60	26	246	138	169	134	80	151	112	234
Cr	1504	48	155	27	889	280	28	376	159	83	85
Cu	221	31	45	13	22	19	7	36	23	13	16
Ga	8	15	13	17	14	16	17	14	13	18	15
Nb	<5	<5	n.d.	5	<5	5	<5	<5	<5	6	5
Ni	329	8	43	11	129	38	10	39	37	n.d.	41
Pb	<5	<5	<5	7	5	12	7	<5	5	<5	7
Rb	2.57**	3.77**	3.78**	29.9**	14.5**	49.1**	18.7**	12.6**	20.8**	8.14**	35.8**
S	3308	1207	1648	853	1297	165	820	1078	1132	1312	738
Sr	127**	431**	311**	397**	236**	305**	402**	368**	286**	380**	311**
Th	<4	<4	n.d.	4	<4	<4	<4	n.d.	<4	n.d.	<4
V	290	137	141	165	211	125	164	145	145	353	209
Y	12	6	7	21	23	26	18	7	15	25	26
Zn	43	53	43	94	156	136	100	38	70	100	66
Zr	24	n.d.	n.d.	104	34	58	64	n.d.	63	58	64

*: total iron as Fe₂O₃, **: deterned by isotope dilution method.

L.O.I.: loss on ignition, n.d.: not detected, C: cortlandite, P: pyroxenite, G: gabbro.

若干はずれる。

K-Ar 鉱物年代

1. 分析方法

錢不動岩体の1試料, 安康南沢岩体の1試料, 卯月山岩体の3試料, 大日向岩体の3試料, 野池岩体の2試料から分離した普通角閃石と黒雲母について, 岡山大学固体地球研究センターのVG5400型質量分析計を用いて測定した。測定方法は, Nagao et al. (1996) に従った。Kは, 岡山大学固体地球研究センターの原子吸光光度計を用いて定量した。K-Ar年代は, ^{40}K の崩壊定数: $\lambda_e = 0.581 \times 10^{-10}/\text{y}$, $\lambda_\beta = 4.962 \times 10^{-10}/\text{y}$ (Steiger and Jäger, 1977), $^{40}\text{K}/\text{K} = 0.0001167$ を用いて計算した。

2. 測定結果

測定結果を Table 3 に示す。K-Ar 普通角閃石年代は, 75.6Ma から 61.9Ma を示す。また, 大日向岩体の K-Ar 黒雲母年代は 65.5Ma であり, 同岩体の K-Ar 普通角閃石年代より若干若い。

考察

1. 苦鉄質岩の放射年代

普通角閃石と黒雲母の K-Ar 系閉鎖温度は, 約 500°C (Harrison, 1981; Nishimura and Mogi, 1986 など) および約 300°C (Harrison et al., 1985; Nishimura and Mogi, 1986 など) である。黒雲母の Rb-Sr 系閉鎖温度は約 300°C である (Wagner et al., 1977; Nishimura and Mogi, 1986 など)。普通角閃石の Rb-Sr 系閉鎖温度は明らかにされていないが, Rb-Sr 全岩-鉱物アイソクロ

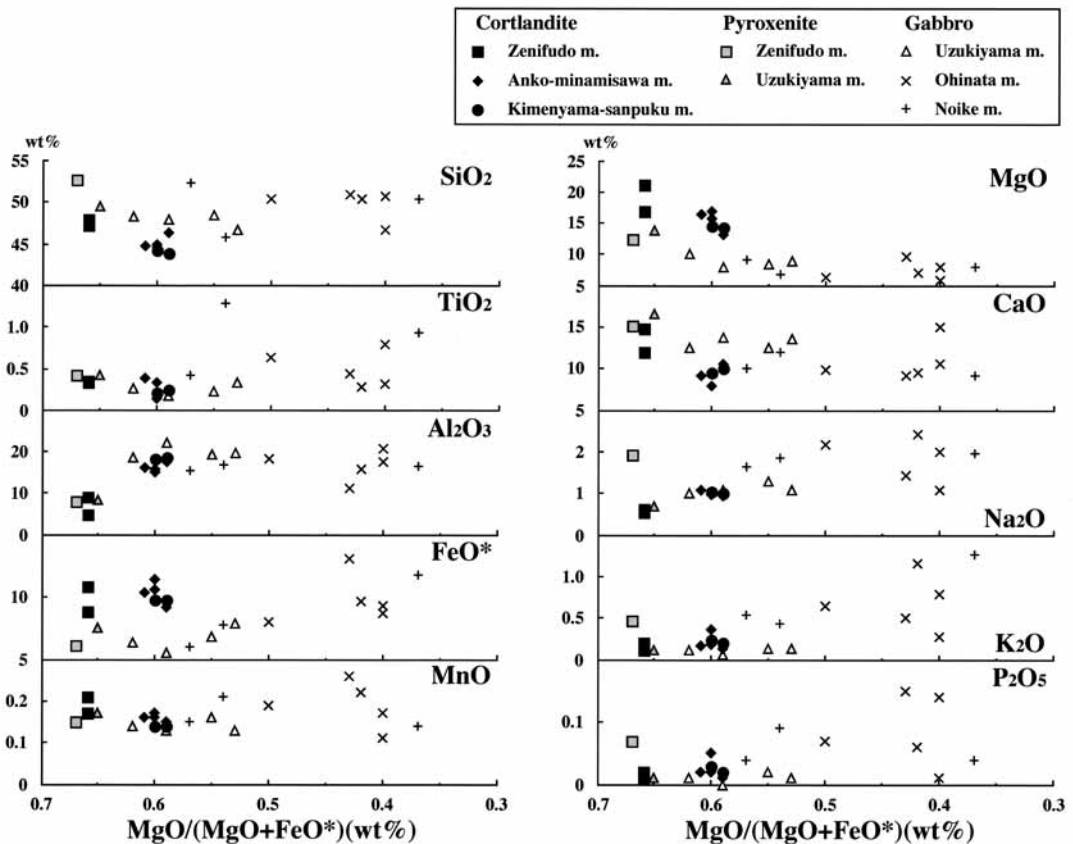


Fig. 7. $\text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO}^*)$ -oxides diagrams of mafic igneous rocks.

FeO^* is total iron as FeO .

ン年代 (UZU-03 の $76.7 \pm 7.1\text{Ma}$, YON-03 の $68 \pm 12\text{Ma}$, YON-13 の $71 \pm 18\text{Ma}$, YON-17 の $60 \pm 19\text{Ma}$) が, K-Ar 普通角閃石年代 (YON-03 の $75.64, 70.25\text{Ma}$, YON-13 の $70.31, 61.90\text{Ma}$, YON-17 の 71.15Ma) と誤差の範囲で一致することから, K-Ar 系における閉鎖温度と同じくらいと考えても良いと思われる. Sm-Nd 系における角閃石の閉鎖温度は, $600 \sim 750^\circ\text{C}$ と見積もられている (Burton and O'Nions, 1990; Shiraiishi and Kagami, 1992; Goldberg and Dallmeyer, 1997 など). したがって, 普通角閃石, 斜長石の組み合わせから得られた Rb-Sr 全岩-鉱物アイソクロン年代および K-Ar 普通角閃石年代は, 500°C 前後に冷却した時期を示し, 黒雲母を含めた Rb-Sr 全岩-鉱物アイソクロン年代および K-Ar 黒雲母年代は, 300°C 前後に冷却した時期を示すと考えられる. さらに, Sm-Nd

全岩-鉱物アイソクロン年代は, $600 \sim 750^\circ\text{C}$ の時期, すなわち, 斑れい岩の形成に近い時期あるいは変成作用の時期を示すと考えられる.

今回得られた Rb-Sr 全岩-鉱物アイソクロン年代と K-Ar 鉱物年代は, 伊那領家変成帯の花崗岩体の鉱物年代の範囲内 ($74.3 \sim 48.8\text{Ma}$: Yuhara et al., 2000; 柚原ほか, 2000, 2004b; 柚原・加々美, 2006) にあり, これらの岩体と同様に, 伊那領家変成帯における火成活動の終了と変成帯の上昇に伴って冷却したと考えられる (Yuhara et al., 2000). Sm-Nd 全岩-鉱物アイソクロン年代は, $154 \sim 100\text{Ma}$ の広範囲にわたるが, $154 \sim 140\text{Ma}$ と $121 \sim 100\text{Ma}$ のグループに大きく 2 分することが可能である. 固結後に花崗岩質岩の貫入を受けた火成岩体の Sm-Nd 全岩-鉱物アイソクロン年代は, 幅広い年代範囲を示し, その熱的影響が大きくなるにつれ年代幅が大きくな

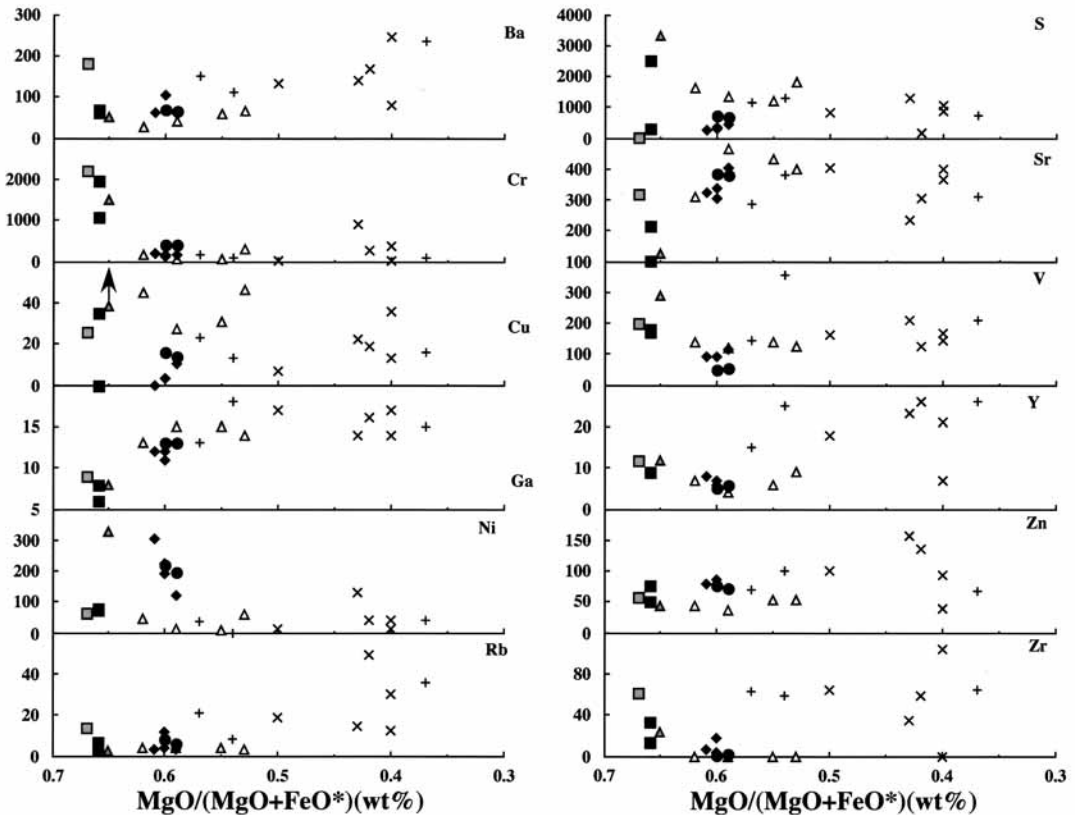


Fig. 8. $\text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO}^*)$ -minor elements diagrams of mafic igneous rocks.

Symbols are the same as those in Figure 7.

Table 2. Rb, Sr, Sm and Nd concentrations and isotopic data of mafic igneous rocks.

Sample No.	Rb(ppm)	Sr(ppm)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(2σ)	Sm(ppm)	Nd(ppm)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd(2σ)
Zenifudo m.								
ZNI-01	6.75	104	0.1876	0.70608(1)	1.36	5.45	0.1513	0.512472(10)
ZNI-01Hbl(0.65)	3.79	186	0.05895	0.70603(1)	3.23	14.0	0.1392	0.512485(10)
ZNI-01Hbl(0.85)1	3.57	145	0.07121	0.70606(1)	1.94	8.09	0.1447	0.512430(10)
ZNI-01Hbl(0.85)2	1.24	61.9	0.05794	0.70589(1)	1.55	5.46	0.1718	0.512525(8)
ZNI-01Px	0.676	10.7	0.1825	0.70612(1)				
ZNI-04	13.7	317	0.1245	0.70592(1)	2.58	11.9	0.1312	0.512550(10)
ZNI-05	2.56	216	0.03429	0.70584(1)	1.13	3.92	0.175	0.512553(10)
Anko-minamisawa m.								
AOK-02	3.49	323	0.03128	0.70803(1)	0.945	3.61	0.1582	0.512343(11)
AOK-03	11.5	305	0.1088	0.70809(1)	0.769	4.00	0.1162	0.512284(10)
AOK-05	3.55	403	0.02550	0.70796(1)	0.616	2.55	0.1461	0.512333(10)
AOK-05Hbl(0.65GB)	1.84	73.4	0.07254	0.70805(1)	1.97	7.40	0.1607	0.512341(11)
AOK-05Hbl(0.85GB)	1.30	93.1	0.04026	0.70803(1)	2.06	7.98	0.1560	0.512325(11)
AOK-05Px(0.5)	1.13	6.79	0.4817	0.70817(4)	0.122	0.479	0.1540	0.512328(14)
AOK-05Px(0.65)	0.331	8.20	0.1169	0.70810(1)	0.0989	0.394	0.1517	0.512313(17)
AOK-05Pl	1.88	937	0.005793	0.70796(1)	0.0370	0.358	0.0624	0.512244(23)
Kimenyama-sanpuku m.								
KGS-06	8.14	384	0.06138	0.70764(1)	0.729	3.31	0.1329	0.512329(10)
KGS-07	5.92	379	0.04518	0.70764(1)	0.803	3.48	0.1397	0.512323(10)
Uzukiyama m.								
UZU-03	3.30	399	0.02393	0.70707(1)	1.20	4.46	0.1625	0.512388(11)
UZU-03Hbl(0.65)	4.00	82.9	0.1395	0.70719(1)	4.01	13.9	0.1745	0.512409(10)
UZU-03Hbl(0.85)	1.95	41.1	0.1370	0.70720(1)	2.09	7.00	0.1805	0.512397(10)
UZU-03Pl	1.21	691	0.005046	0.70705(1)	0.786	4.10	0.1160	0.512307(18)
UZU-08	3.87	466	0.02404	0.70712(1)	0.375	1.29	0.1750	0.512433(13)
UZU-09	2.57	127	0.05851	0.70683(1)	1.44	4.51	0.1930	0.512488(10)
UZU-11	3.77	431	0.02528	0.70721(1)	0.757	3.00	0.1526	0.512386(14)
UZU-11Hbl	2.19	56.7	0.1117	0.70723(1)	2.85	9.68	0.1777	0.512418(8)
UZU-11Px					0.307	1.09	0.1703	0.512401(18)
UZU-11Pl	3.95	743	0.01538	0.70720(1)	0.118	0.983	0.07236	0.512319(18)
UZU-13	3.78	311	0.03521	0.70640(1)	0.701	2.50	0.1695	0.512488(11)
UZU-13Hbl	1.72	31.6	0.1575	0.70657(1)	1.79	5.46	0.1981	0.512524(10)
UZU-13Px	0.901	9.90	0.2634	0.70686(1)	0.273	0.906	0.1825	0.512518(20)
UZU-13Pl	2.49	589	0.01225	0.70641(1)	0.111	0.872	0.07725	0.512404(30)
Ohinata m.								
YON-03	29.9	397	0.2177	0.70750(1)	3.93	17.7	0.1341	0.512315(10)
YON-03Hbl(0.5)	3.12	59.1	0.1526	0.70748(1)	15.5	62.3	0.1505	0.512331(10)
YON-03Px	0.48	3.80	0.3656	0.70766(1)	0.411	1.68	0.1479	0.512369(10)
YON-03Bt	519	11.3	134.6	0.83004(1)	0.112	0.489	0.1383	0.512404(24)
YON-03Pl	4.81	678	0.02053	0.70732(1)	0.251	2.25	0.06748	0.512194(14)
YON-04	14.5	236	0.1773	0.70744(1)	4.16	17.3	0.1456	0.512330(10)
YON-06	49.1	305	0.4648	0.70757(1)	4.59	20.0	0.1388	0.512349(10)
YON-06Hbl	3.00	26.3	0.3304	0.70762(1)	8.64	36.0	0.1450	0.512358(10)
YON-06Pl	37.8	672	0.1625	0.70729(1)	0.321	2.46	0.07893	0.512304(17)
YON-09	18.7	402	0.1346	0.70748(1)	3.17	13.9	0.1379	0.512379(10)
YON-11	12.6	368	0.09875	0.70611(1)	1.02	3.99	0.1553	0.512434(10)
YON-11Hbl	2.90	63.8	0.1313	0.70732(2)	21.4	78.8	0.1645	0.512375(10)
YON-11Px	1.15	13.5	0.2480	0.70713(1)	1.36	5.22	0.1571	0.512363(14)
YON-11Bt	388	5.77	198.0	0.88502(2)	0.0894	0.327	0.1654	0.512366(29)
YON-11Pl	0.432	642	0.001948	0.70716(1)	0.261	2.44	0.06459	0.512320(14)
Noike m.								
YON-13	20.8	286	0.2099	0.70678(1)	2.46	11.0	0.1358	0.512402(10)
YON-13Hbl(0.65B)	1.34	25.2	0.1539	0.70672(1)	8.22	33.9	0.1466	0.512404(9)
YON-13Hbl(0.65G)	1.58	35.9	0.1276	0.70667(1)	4.75	20.2	0.1424	0.512403(9)
YON-13Bt					0.0569	0.286	0.1205	0.512403(17)
YON-13Pl	8.52	597	0.04129	0.70661(1)	0.160	1.54	0.06272	0.512351(14)
YON-17	8.14	380	0.06203	0.70661(1)	3.74	14.1	0.1605	0.512400(10)
YON-17Hbl	3.69	97.4	0.1096	0.70666(1)	8.03	28.5	0.1705	0.512430(10)
YON-17Pl	7.84	871	0.02606	0.70659(1)	0.264	1.82	0.08784	0.512344(18)
YON-18	35.8	311	0.3330	0.70683(1)	4.26	15.6	0.1650	0.512432(10)

Hbl: hornblende, Px: pyroxene, Pl: plagioclase, Bt: biotite.

ることが知られている (Kamei et al., 2000; 柚原ほか, 2000). 苦鉄質岩では, 近畿地方領家変成帯の生駒山岩体において, 192MaのSm-Nd全岩アイソクロン年代と97.7MaのSm-Nd全岩-鉱物アイソクロン年代が得られており (Kagami et al., 1995), 後者は花崗岩質岩の貫入により熱的にリセットされた年代であると解釈されている. 卯月山岩体のUZU-11 (105Ma)の普通角閃石の大部分は緑色であり (Fig. 3d), UZU-13 (154 Ma)の普通角閃石の大部分は褐色である (Fig. 3e). また, 野池岩体のYON-13 (100Ma)の普通角閃石の多くは緑色で (Fig. 3g), YON-17 (141 Ma)の普通角閃石は大部分が褐色で, 一部緑色のリムを持つ (Fig. 3h). したがって, 154~140 Maがマグマ活動の時期に近い年代を示し, 121~100Maは変成作用あるいは花崗岩質岩の貫入の影響により若返った年代であると考えられる.

Sm-Nd全岩-鉱物アイソクロン図において, 黒雲母はアイソクロンから外れる (Fig. 10). これは, 柚原・加々美 (2006)でも指摘されているが, 黒雲母と普通角閃石が接して産する割合が高い岩石に認められる (Kamei et al., 2000; 柚原ほか, 2000). 野池岩体の普通角閃石斑れい岩も, 黒雲母の大部分が普通角閃石と接している. その原因については検討中であるが, 柚原・

加々美 (2006)で指摘されているように, 黒雲母がアイソクロンから外れる理由は, 黒雲母と普通角閃石の産状の差異に起因している可能性が高い.

今回得られたSm-Nd全岩-鉱物アイソクロン年代は, 伊那領家変成帯の領家花崗岩類のRb-Sr全岩アイソクロン年代 (Yuhara et al., 2000; 柚原・加々美, 2006)よりも明らかに古く, これら花崗岩質岩の活動時期と苦鉄質岩の活動時期が異なる可能性を示唆する. しかし, これまでに年代の得られている花崗岩体は, 変成作用のピーク後に貫入したいわゆる新期領家花崗岩類であり, 変成作用とほぼ同時期に進入したシート状の古期領家花崗岩類の形成年代については得られていない. したがって, 古期領家花崗岩類と苦鉄質岩の年代学的な関係については, 今のところ不明である.

2. 苦鉄質岩の同位体岩石学的特徴

150Maで年代補正した苦鉄質岩のモデルSrおよびNd同位体比初生値 (Table 4)を ϵ -ダイアグラムに示す (Fig. 11). 図には, これまでに報告されている領家変成帯の花崗岩質岩 (Kagami et al., 1988, 1992a; 柚原, 1994; 柚原・加々美, 1995, 1999, 2006; 柚原ほか, 1998; Fujii et

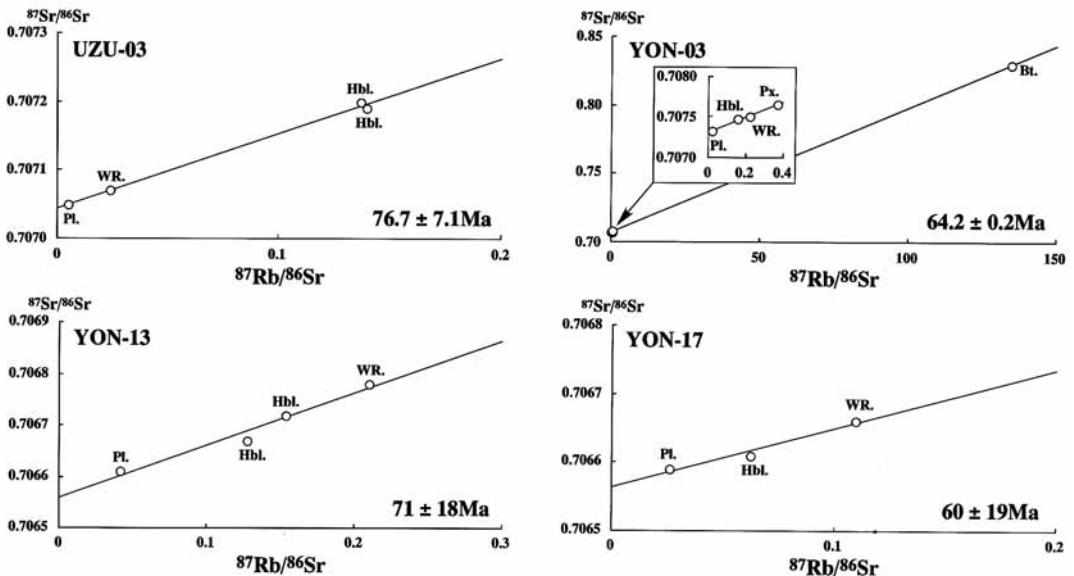


Fig. 9. Rb-Sr whole-rock and mineral isochron diagrams of mafic igneous rocks.

WR. : whole-rock, Bt. : biotite, Hbl. : hornblende, Px. : pyroxene, Pl. : plagioclase.

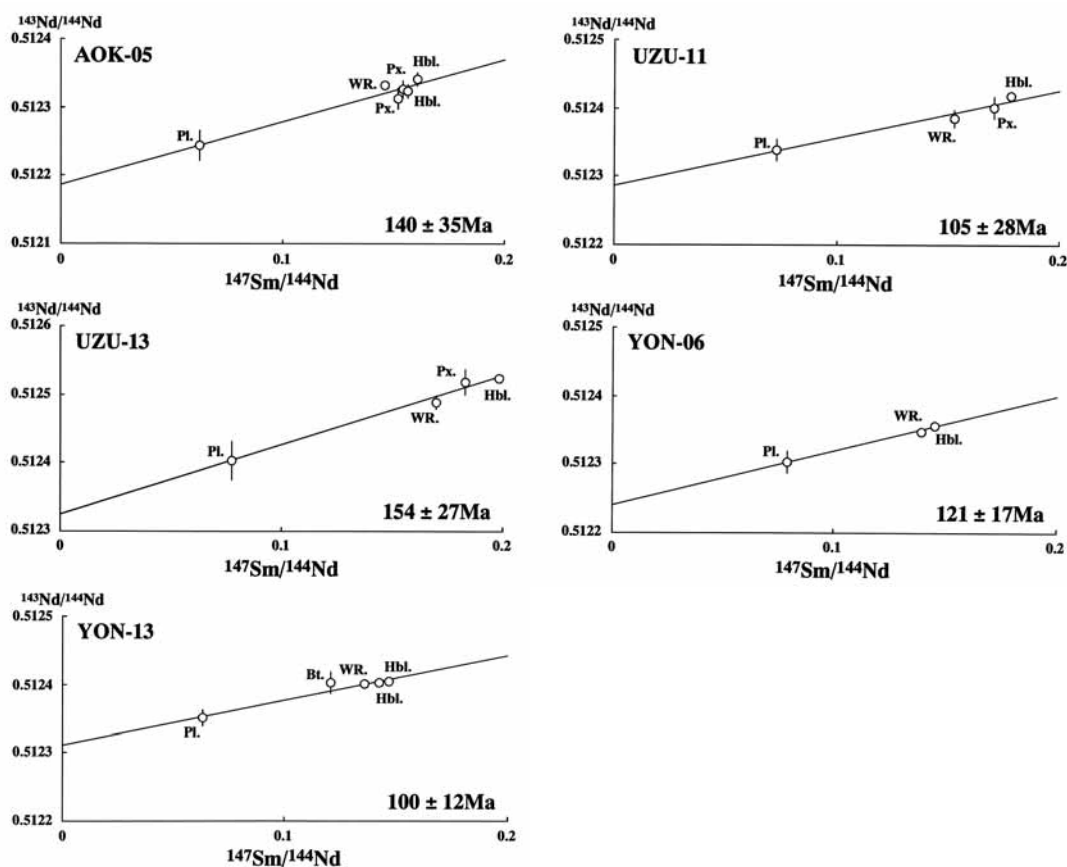


Fig. 10. Sm-Nd whole-rock and mineral isochron diagrams of mafic igneous rocks.

WR. : whole-rock, Bt. : biotite, Hbl. : hornblende,

Px. : pyroxene, Pl. : plagioclase.

al., 2000 ; Morioka et al., 2000 ; Yuhara et al., 2003) および苦鉄質岩 (Kagami et al., 1995 ; Okano et al., 2000) の ϵ 初生値の範囲も示した。今回得られた苦鉄質岩のモデル ϵ 初生値のほとんどは、これまでに報告されている瀬戸内地域から近畿地方領家帯に分布する苦鉄質岩の範囲内にある。したがって、それらと同様な Sr・Nd 同位体比組成をもつ起源物質からもたらされたと考えられる。しかしながら、岩体ごとに異なる初生値を示す。すなわち、銭不動岩体が最も左上にプロットされ、安康南沢岩体と鬼面山山腹岩体が最も右下にプロットされ、その間に卯月山岩体、大日向岩体、野池岩体がプロットされる。これは、これらの岩体の Sr・Nd 同位体比組成が若干異なることを示唆し、主成分および

微量元素の変化傾向から、これらが異なる苦鉄質マグマからの分化・集積によって形成されたと推定したことに矛盾しない。

謝 辞

野外調査の際には、長野県駒ヶ根市の佐野栄氏にお世話になった。薄片の一部は岡山大学固体地球研究センター (当時) の麻田 斎氏に作製していただいた。K-Ar 年代測定の際には、岡山大学固体地球研究センター (現、東京大学大学院理学系研究科) の長尾敬介教授にお世話になった。福岡大学理学部の上野勝美助教授ならびに鮎沢 潤博士には査読をしていただき、有益な助言をいただいた。以上の方々から感謝いたします。

Table 3. K-Ar hornblende and biotite ages of mafic igneous rocks.

Sample No.	K (wt%)	³⁶ Ar (10 ⁻¹⁰ cc/g)	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	⁴⁰ Ar _{rad} (10 ⁻⁸ cc/g)	Age (Ma)	A.f. (%)
Zenifudo m.						
ZNI-01Hbl(0.65)	0.4750±0.0045	13.27 ±0.57	1313 ±39	135.1 ±1.4	71.82±0.98	22.5
Anko-minamisawa m.						
AOK-05Hbl(0.65GB)	0.2101±0.0019	19.79 ±0.56	583.0±7.2	59.95±0.60	68.51±0.93	50.8
AOK-05Hbl(0.85GB)	0.2025±0.0018	9.82 ±0.40	852 ±21	55.61±0.57	69.39±0.91	34.3
Uzukiyama m.						
UZU-03Hbl(0.65)	0.2942±0.0021	5.427±0.089	1816 ±18	82.74±0.84	71.03±0.86	16.3
UZU-03Hbl(0.85)	0.0839±0.0004	5.75 ±0.12	731.3±7.0	25.08±0.25	75.42±0.82	40.5
UZU-11Hbl(0.65)	0.2469±0.0020	7.50 ±0.11	1191.5±9.1	67.38±0.68	68.97±0.87	24.8
UZU-11Hbl(0.85)	0.1150±0.0005	7.30 ±0.11	736.3±4.5	32.13±0.33	70.58±0.77	40.2
UZU-13Hbl	0.1230±0.0004	10.65 ±0.59	612 ±16	33.70±0.35	69.24±0.74	48.3
Ohinata m.						
YON-03Hbl(0.5)	0.6431±0.0045	5.04 ±0.42	3834 ±253	178.8 ±1.8	70.25±0.85	7.70
YON-03Hbl(0.65)	0.3993±0.0030	19.30 ±0.58	915 ±17	119.7 ±1.2	75.64±0.94	32.4
YON-03Bt	7.577 ±0.038	17.15 ±0.26	11650 ±119	1960 ±20	65.45±0.73	2.54
YON-06Hbl	0.4270±0.0012	9.20 ±0.46	1573 ±57	117.5 ±1.2	69.56±0.72	18.8
YON-11Hbl	0.6502±0.0036	12.13 ±0.54	1768 ±59	178.8 ±1.8	69.49±0.79	16.7
Noike m.						
YON-13Hbl(0.65B)	0.2833±0.0024	9.27 ±0.55	1147 ±45	78.85±0.80	70.31±0.90	25.8
YON-13Hbl(0.85)	0.2424±0.0020	12.31 ±0.53	777 ±19	59.25±0.61	61.90±0.81	38.1
YON-17Hbl	0.5361±0.0032	11.90 ±0.56	1564 ±53	151.0 ±1.5	71.15±0.82	18.9

Hbl: hornblende, Bt: biotite, A.f.: air fraction.

Table 4. Modal initial Sr(SrI) and Nd(NdI) isotopic ratios corrected by 150Ma of mafic igneous rocks.

Sample No.	SrI	NdI
Zenifudo m.		
ZNI-01	0.70568	0.512324
ZNI-04	0.70565	0.512421
ZNI-05	0.70577	0.512381
Anko-minamisawa m.		
AOK-02	0.70796	0.512188
AOK-03	0.70786	0.512170
AOK-05	0.70791	0.512190
Kimenyama-sanpuku m.		
KGS-06	0.70751	0.512199
KGS-07	0.70754	0.512186
Uzukiyama m.		
UZU-03	0.70702	0.512229
UZU-08	0.70707	0.512261
UZU-09	0.70671	0.512299
UZU-11	0.70716	0.512236
UZU-13	0.70632	0.512322
Ohinata m.		
YON-03	0.70704	0.512183
YON-04	0.70706	0.512187
YON-06	0.70658	0.512213
YON-09	0.70719	0.512244
YON-11	0.70590	0.512282
Noike m.		
YON-13	0.70633	0.512269
YON-17	0.70648	0.512242
YON-18	0.70612	0.512270

文 献

Burton, K. W. and O'Nions, R. K., 1990, The time scale and mechanism of granulite formation at Kurunegala, Sri Lanka. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 106, 66-89.

Fujii, H., Tainosho, Y., Kagami, H. and Takiuchi, T., 2000, Sr-Nd isotopic systematics and geochemistry of intermediate plutonic rocks from Ikoma Mountains, Southwest Japan: evidence for a sequence of Mesozoic magmatic activity in the Ryoke Belt. *The Island Arc*, 9, 37-45.

Goldberg, S. A. and Dallmeyer, R. D., 1997, Chronology of Paleozoic metamorphism and deformation in the Blue Ridge Thrust Complex, North Carolina and Tennessee. *Amer. Jour. Sci.*, 297, 488-526.

Harrison, T. M., 1981, Diffusion of ⁴⁰Ar in hornblende. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 78, 324-331.

Harrison, T. M., Duncan, I. and McDougall, I., 1985, Diffusion of ⁴⁰Ar in biotite: temperature, pressure, and compositional effects. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49,

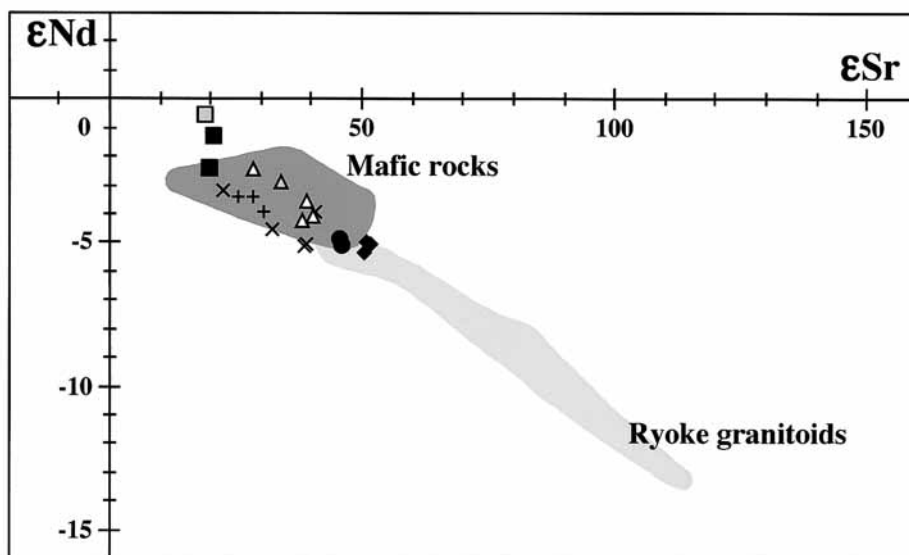


Fig. 11. Initial ϵSr vs. ϵNd diagram of the mafic igneous rocks.

Symbols are the same as those in Figure 7.

CHUR parameters for calculation of initial ϵSr and ϵNd values are :

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (present) = 0.7045, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ (present) = 0.0827,

$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (present) = 0.512638, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ (present) = 0.1966.

Data sources : Kagami et al. (1988, 1992a, 1995), Yuhara (1994),

Yuhara and Kagami (1995, 1999, 2006), Yuhara et al. (1998, 2003),

Fujii et al. (2000), Morioka et al. (2000), Okano et al. (2000) and this study.

2461-2468.

堀内達郎, 1985, 愛媛県領家帯に産する梶島はんれい岩体の岩石学的研究. 岩鉱, 80, 101-112.

飯泉 滋・Ireland, T. R.・河内洋佑・渡辺暉夫・仲井 豊・田結庄良昭・加々美寛雄・端山好和, 1993, 近畿領家帯斑れい岩類のジルコンによる U-Pb 年代. 岩鉱, 88, 211 (平成 4 年度学術講演会・講演要旨).

Kagami, H., Honma, H., Shirahase, T. and Nureki, T., 1988, Rb-Sr whole rock isochron ages of granites from northern Shikoku and okayama, Southwest Japan: implications for the migration of the late Cretaceous to paleogene igneous activity in space and time. *Geochem. Jour.*, 22, 69-79.

Kagami, H., Iizumi, S., Tainosho, Y. and Owada, M., 1992a, Spatial variations of Sr and Nd isotope ratios of Crataceous - Paleogene granitoid rocks, Southwest Japan Arc. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 112, 165-

177.

Kagami, H., Meier, M., Oberli, F., Steiger, R. H., Nakai, Y., Tainosho, Y., Iizumi, S. and Hayama, Y., 1992b, U-Pb single zircon age of gabbro from the Ryoke Belt, SW Japan. *Jour. Min. Petr. Econ. Geol.*, 87, 133-134 (Abstract of papers presented at the annual meeting of the association).

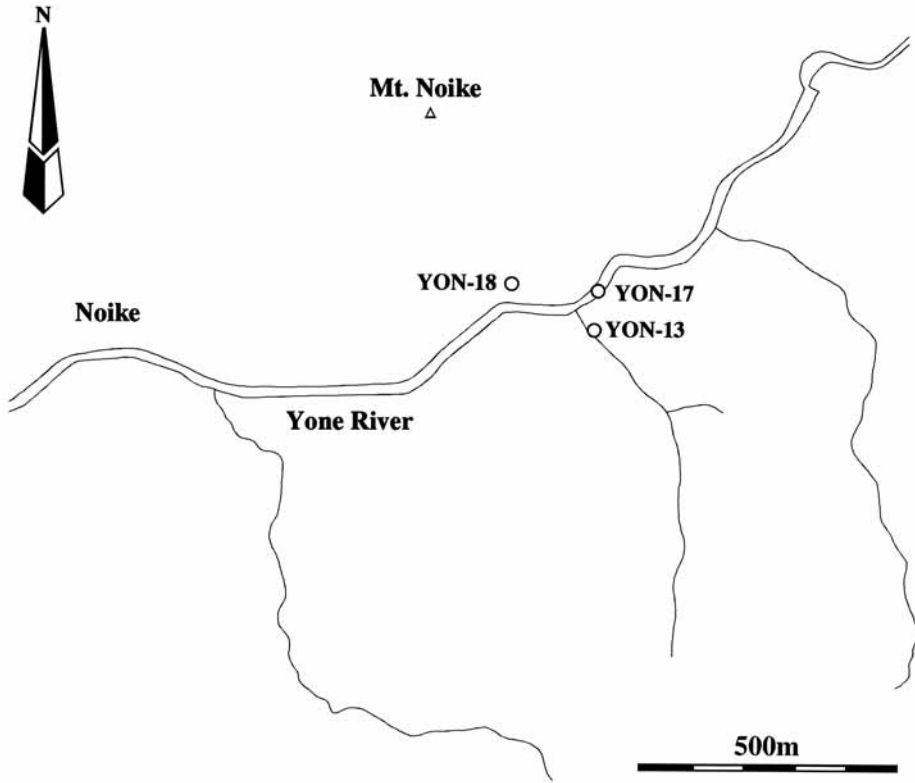
Kagami, H., Yokose, H. and Honma H., 1989, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios of GSJ rock reference samples; JB-1a, JA-1 and JG-1a. *Geochem. Jour.*, 23, 209-214.

加々美寛雄・柚原雅樹・岡野 修・飯泉 滋・大和田正明・田結庄良昭・端山好和, 1996, 領家帯に分布する変輝緑岩の形成年代と地球化学的特徴. 総合研究 (A) 日本列島のジュラ紀-古第三紀付加体形成における緑色岩の意義, 研究報告, no. 1, 135-142.

Kagami, K., Yuhara, M., Tainosho, Y., Iizumi, S. and Hayama, Y., 1995, Sm-Nd isochron

- ages of mafic igneous rocks from the Ryoke Belt, Southwest Japan Arc : Remains of Jurassic igneous activity in the late Cretaceous granitic terrane. *Geochem. Jour.*, **29**, 123-135.
- Kamei, A., Owada, M., Hamamoto, T., Osanai, Y., Yuhara, M. and Kagami, H., 2000, Isotopic equilibration ages for the Miyamohara tonalite from the Higo metamorphic belt in central Kyushu, Southwest Japan: Implications for the tectonic setting during the Triassic. *The Island Arc*, **9**, 97-112.
- 川野良信, 1994, パーソナルコンピュータを用いた Rb-Sr, Sm-Nd アイソクロン計算プログラム. *情報地質*, **5**, 13-19.
- Kutsukake, T., 2000, Petrographic features of the gabbroic rocks in the Ryoke Belt of the Mikawa district, southwest Japan. *Sci. Rep. Toyohashi Mus. Nat. Hist.*, no. 10, 1-12.
- Lugmair, G. W. and Marti, K., 1978, Lunar initial $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$: differential evolution of the Lunar crust and mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **39**, 349-357.
- Miyazaki, T. and Shuto, K., 1998, Sr and Nd isotope of twelve GSJ rock reference samples using MAT262 mass spectrometer. *Geochem. Jour.*, **32**, 345-350.
- Morioka, K., Tainosho, Y. and Kagami, H., 2000, Rb-Sr isochron ages of the Cretaceous granitoids in the Ryoke belt, Kinki district, Southwest Japan. *The Island Arc*, **9**, 46-54.
- Nagao, K., Ogata, A., Miura, N. Y. and Yamaguchi, K., 1996, Ar isotope analysis for K-Ar dating using two modified-VG5400 mass spectrometers. I: Isotope dilution method. *Jour. Mass Spectrometry Soc. Japan*, **44**, 39-61.
- Nishimura, S. and Mogi, T., 1986, The interpretation of discordant ages of some granitic bodies. *Jour. Geotherm. Res. Soc. Japan*, **8**, 145-164.
- Okano, O., Sato, T. and Kagami, H., 2000, Rb-Sr and Sm-Nd isotopic studies of mafic igneous rocks from the Ryoke plutonic-metamorphic belt in the Setouchi area, Southwest Japan: implications for the genesis and thermal history. *The Island Arc*, **9**, 21-36.
- 奥平敬元・大友幸子・早坂康隆, 2000, 領家変成帯からみた白亜紀西南日本のテクトニクス. *地団研専報*, no. 49, 67-80.
- Shiraishi, K. and Kagami, H., 1992, Sm-Nd and Rb-Sr ages of metamorphic rocks from the Sør Rondane Mountains, East Antarctica. In Yoshida, Y., Kaminuma K. and Shiraishi, K., eds., *Recent progress in Antarctic Earth Science*, TERRAPUB, Tokyo, 29-35.
- Steiger, R. H. and Jäger, E., 1977, Subcommittee on geochronology : convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- 田結庄良昭・飯泉 滋・加々美寛雄・端山好和, 1989, 近畿一瀬戸内領家帯の塩基性岩類の成因. *地球科学*, **43**, 16-27.
- 高本のぞみ・柚原雅樹・古川直道, 2005, 福岡県東部, 今川・祓川流域の元素濃度分布. *福岡大学理学集報*, **35** (2), 41-66.
- 手塚恒人, 1979, 長野県飯田市卯月山苦鉄質複合岩体について. *下伊那教育会自然研究紀要*, **2**, 85-129.
- 手塚恒人, 1980a, 中川村南向, 銭不動苦鉄質岩体について. *下伊那教育会自然研究紀要*, **3**, 137-145.
- 手塚恒人, 1980b, 卯月山苦鉄質複合岩体周辺の領家変成岩について. *下伊那教育会自然研究紀要*, **3**, 147-156.
- 手塚恒人, 1981, 伊那山脈中部の領家帯資料 2 編 大日向苦鉄質岩体とコランダムシリマナイト片麻岩. *下伊那教育会自然研究紀要*, **4**, 45-61.
- 手塚恒人, 1982, 伊那山脈領家帯資料 安康南沢苦鉄質岩体から見い出されたエメリー様捕獲岩ほか 8 点. *下伊那教育会自然研究紀要*, **5**, 53-72.
- 手塚恒人・福沢 宏, 1980, 安康南沢苦鉄質岩体について. *下伊那教育会自然研究紀要*, **3**, 81-111.
- Wagner, G. A., Reimer, G. M. and Jäger, E., 1977, Cooling ages derived by apatite fission-track, mica Rb-Sr and K-Ar dating; the uplift and cooling history of the Central

- Alps. *Memoirs of Institute of Geology and Mineralogy, University of Padova*, **30**, 1-27.
- York, D., 1966, Least-squares fitting of a straight line. *Can. Jour. Physics*, **44**, 1079-1086.
- 柚原雅樹, 1994, 中部地方, 伊那領家帯における太田切花崗岩の貫入時期と領家変形-変成作用: Rb-Sr 全岩アイソクロン年代による検討. 岩鉱, **89**, 269-284.
- Yuhara, M., 1995, *Tectonism, metamorphism and plutonism of the Ryoke belt in the Ina district, Central Japan*. Doctoral Thesis, Okayama University, 226p.
- 柚原雅樹・古川直道・田口幸洋, 2004a, 粉末ベレット法による珪酸塩・炭酸塩岩石の微量元素の蛍光 X 線分析. 福岡大学理学集報, **34** (1), 43-49.
- 柚原雅樹・原 文宏・加々美寛雄, 2000, 非持トール岩の Rb-Sr, Sm-Nd 年代とその意義. 地質学論集, no. 56, 241-253.
- 柚原雅樹・加々美寛雄, 1995, 勝間石英閃緑岩体の冷却史. 地質雑, **101**, 434-442.
- 柚原雅樹・加々美寛雄, 1999, 伊那領家帯, 高遠花崗岩の年代学的, 同位体岩石学的研究. 地質雑, **105**, 181-192.
- 柚原雅樹・加々美寛雄, 2006, 伊那領家変成帯, 木曾駒花崗閃緑岩および市田花崗岩の年代学的, 同位体岩石学的研究. 福岡大学理学集報, **36** (2), 37-61.
- Yuhara, M., Kagami, H. and Nagao, K., 2000, Geochronological characterization and petrogenesis of granitic rocks in the Ryoke belt, Southwest Japan Arc: constraints from K-Ar, Rb-Sr and Sm-Nd systematics. *The Island Arc*, **9**, 64-80.
- 柚原雅樹・宮崎 隆・加々美寛雄, 2004b, 伊那領家帯, 吉瀬花崗閃緑岩の年代学的, 同位体岩石学的研究. 福岡大学理学集報, **34** (1), 51-65.
- Yuhara, M., Miyazaki, T., Kagami, H. and Yuhara, M., 2003, Rb-Sr and K-Ar geochronology and petrogenesis of the Aji Granite in the eastern Sanuki district, Ryoke Belt, southwest Japan. *Jour. Mineral. Petrol. Sci.*, **98**, 19-30.
- 柚原雅樹・田口幸洋, 2003a, 蛍光 X 線分析装置 ZSX100e による珪酸塩岩石の主成分および微量元素の定量分析. 福岡大学理学集報, **33** (1), 25-34.
- 柚原雅樹・田口幸洋, 2003b, ガラスビード法による珪酸塩岩石の Co および S の蛍光 X 線分析. 福岡大学理学集報, **33** (2), 77-81.
- 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.



Appendix 1. Sample localities of the Noike mafic igneous body.