

西南日本内帯大江山地域の普甲峠変成沈積岩に産する4~4.4億年含藍晶石緑れん石角閃岩

443-403 Ma kyanite-bearing epidote amphibolite from the Fuko Pass metacumulate in the Oeyama area, the Inner Zone of southwestern Japan

辻森 樹*† 仁科克一*†† 石渡 明*
 板谷徹丸**

*Tatsuki Tsujimori**, *Katsuichi Nishina*††*,
*Akira Ishiwatari** and *Tetsumaru Itaya***

1999年10月27日受付.
 2000年4月24日受理.

* 金沢大学理学部地球学教室
 Department of Earth Sciences, Faculty of Science,
 Kanazawa University, Kanazawa 920-1192, Japan

** 岡山理科大学自然科学研究所
 Research Institute of Natural Science, Okayama University
 of Science, Okayama 700-0005, Japan

† 現所属: 岡山理科大学自然科学研究所
 Present address: Research Institute of Natural Science,
 Okayama University of Science, Okayama 700-0005, Japan

†† 現所属: 住友金属鉱山(株)技術センター
 Present address: Sumitomo Metal Mining (Co., Ltd.),
 Research and Development Center, Oume 198-0025, Japan

Abstract: The Fuko Pass metacumulate is a tectonic block (4.5×1.5 km in size) within the Oeyama peridotite body in the Inner Zone of southwestern Japan. It was metamorphosed under the high-pressure and moderate-temperature condition to form a mineral assemblage hornblende + clinozoisite + kyanite + paragonite + albite + rutile. K-Ar ages were determined on hornblende separates from four epidote amphibolite samples, yielding 443-403 Ma. This suggests a Siluro-Ordovician subduction-related metamorphic event for the Fuko Pass metacumulate, which is distinct from the Late Paleozoic high-P/T type metamorphic events of the Renge metamorphic belt in the Inner Zone of southwestern Japan. The Fuko Pass metacumulate is correlated, in age, with the Early Paleozoic high-P/T type schists (445-402 Ma) of the Kurosegawa klippe in the Outer Zone.

Key words: K-Ar age, epidote amphibolite, kyanite, Fuko Pass metacumulate, Oeyama ophiolite, Siluro-Ordovician metamorphism

はじめに

西南日本内帯に点在する大江山帯の古生代オフィオライトは主として溶け残りかんらん岩体群から構成される。その中の1つ大江山かんらん岩体に伴って、藍晶石を含む変成岩類

が産する (Kurokawa, 1975; Kuroda et al., 1976; Kurokawa, 1985)。最近, Tsujimori (1999) は、これらの岩石がトロクトライト~斜長岩起源の変成沈積岩体であることを明らかにし、この変成沈積岩体中の藍晶石を含む緑れん石角閃岩が、'藍晶石+クリノゾイサイト+パラゴナイト+曹長石+ルチル'の鉱物共生で特徴づけられる高圧型変成作用を被っていることを報告した。また、この変成沈積岩体を、周囲のかんらん岩体とは起源および成因の全く異なるテクトニックブロックと解釈し、'普甲峠変成沈積岩'と呼んだ。これまで、普甲峠変成沈積岩において、藍晶石を含まない緑れん石角閃岩2試料から分離したホルンブレンドのK-Ar年代測定が予察的に行われていた(426~413 Ma; 仁科ほか, 1990)。著者らは藍晶石、パラゴナイト、曹長石、ルチルを含む緑れん石角閃岩2試料について、新たにホルンブレンドのK-Ar年代測定を行ったところ、仁科ほか(1990)の結果と同様に443~403 Maという古生代前期の放射年代が得られた。本論では、仁科ほか(1990)の結果も含めて、普甲峠高圧変成沈積岩のホルンブレンドK-Ar年代とその意義について報告する。

地質概説

大江山かんらん岩体(約10×3 km)は大江山オフィオライト諸岩体の東端に位置し、秋吉帯の地質体に対比されるペルム紀付加体、下見谷層(Ishiga and Suzuki, 1988)の構造的上位を占める(Fig. 1)。かんらん岩体の大部分は北部に貫入する白亜紀花崗岩類(宮津花崗岩)の接触変成作用によって著しく再結晶しており、その接触変成帯は宇田(1984)やKurokawa(1985)によって変成分帯がなされている。接触変成作用の影響が少ない溶け残りかんらん岩(レールゾライト質ハルツパーチャイト)には初生のかんらん石(F_{90-91})、斜方輝石($Al_2O_3=3.2\sim 4.3$ wt.%), 単斜輝石($Na_2O<0.3$ wt.%), クロムスピネル($Cr\#=0.34\sim 0.38$)が残存する(Kurokawa, 1985; 辻森, 未公表データ)。「普甲峠変成沈積岩類」は大江山かんらん岩体中央部の尾根に沿って東西方向に伸長した範囲(約4.5×1.5 km)に分布する。隣接する溶け残りかんらん岩やそれに貫入する単斜輝石斑れい岩・ドレライト岩脈には、高圧変成作用の証拠は見られない。普甲峠変成沈積岩の大部分は、溶け残りかんらん岩と同様に接触変成作用を被っているが、普甲峠周辺において熱変成の影響の少ない試料が採集可能である。

K-Ar年代測定

仁科ほか(1990)によって測定された藍晶石を含まない緑

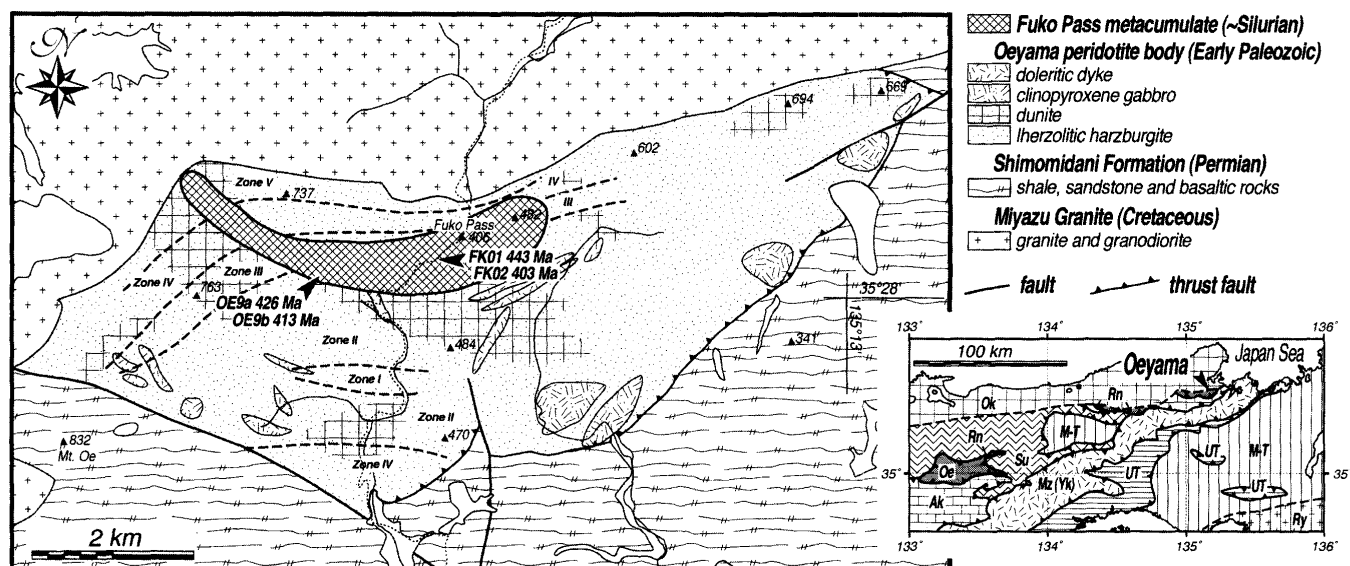


Fig. 1. Geologic map of the Oeyama area (compiled after Igi and Kuroda, 1965; Uda, 1984; Kurokawa, 1985). Lithologic distribution and classification of residual peridotite is after Uda (1984). Broken lines represent the metamorphic zone boundaries of the contact aureole of the Miyazu Granite by Uda (1984).

れん石角閃岩 (OE 9a, OE 9b) は細粒 (<1 mm) ではほぼホルンブレンドから構成され、少量のクリノゾイサイトを含み、弱い面構造の発達が見られる試料であった。今回新たに測定した藍晶石を含む緑れん石角閃岩 (FK 01, FK 02) は、中粒 (1~3 mm) で、明瞭な面構造をもつ。主としてホルンブレンド、クリノゾイサイト、藍晶石から構成され、少量のルチルとパラゴナイトを含む。曹長石はクリノゾイサイト中の包有物として含まれる。この試料は Tsujimori (1999) が "foliated epidote-amphibolite" として記載した試料と一緒に、同一地点から採集した標本の 1 つである。記載岩石学的な特徴および鉱物組み合わせは、Tsujimori (1999) の "foliated epidote-amphibolite" と同じであるが、後述のように、ホルンブレンドの K 含有量は、他の標本に比べて高い傾向がある。

岩石試料は、各試料につき約 50 g をジョウクラッシャーを用いて粉碎し、ナイロンメッシュでふるい分けを行った。80~100# のフラクションからアイソダイナミックセパレーターとハンドピッキングの方法でホルンブレンドを分離した。分離濃集したホルンブレンド試料を塩酸処理し、その後、約 80°C に加熱した蒸留水を用いて十分な洗浄を行った。

カリウムの定量分析は岡山理科大学自然科学研究所の原子吸光分析装置を用い炎光法で行った。測定時には共存元素の干渉を制御するため 2,000 ppm の Cs を用いた。アルゴンの測定には岡山理科大学自然科学研究所の Ar 専用質量分析計 (HIRU) を用い、 ^{38}Ar スパイクによる同位体希釈法で行った。年代計算には Steiger and Jäger (1977) の壊変定数 ($^{40}\text{K}\lambda_{\beta} = 4.962 \times 10^{-10}/\text{y}$, $^{40}\text{K}\lambda_{\epsilon} = 0.581 \times 10^{-10}/\text{y}$, $^{40}\text{K}/\text{K} = 0.01167 \text{ atom } \%$) を用いた。上記のカリウムおよびアルゴンの各定量分析と年代計算の詳細は長尾ほか (1984)、長尾・板谷 (1988)、Itaya et al. (1991) に従った。

測定結果を Table 1 と Fig. 2 に示す。藍晶石を含む試料

Table 1. Hornblende K-Ar ages of kyanite-bearing epidote amphibolites (FK 01 and FK 02) and kyanite-free epidote amphibolites (OE 9a and OE 9b) from the Fuko Pass metacumulate.

Sample	K (wt. %)	Rad. ^{40}Ar (10^6 cc STP/g)	Non Rad. Ar (%)	Age (Ma)
<i>kyanite-bearing</i>				
FK01	0.264 ± 0.005	693.8 ± 6.9	25.7	443 ± 10
FK02	0.281 ± 0.006	679.0 ± 6.8	27.5	403 ± 9
<i>kyanite-free</i>				
OE9a	0.376 ± 0.019	701.3 ± 7.2	4.5	426 ± 19
OE9b	0.362 ± 0.018	651.9 ± 6.6	5.0	413 ± 12

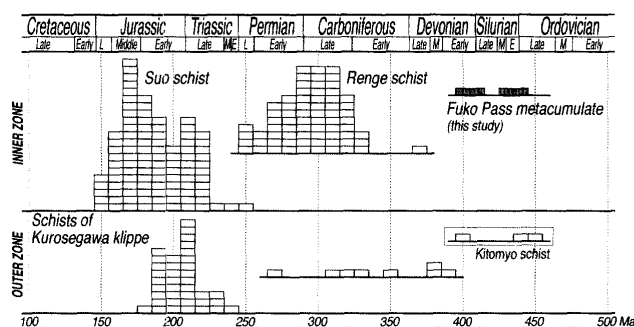


Fig. 2. Frequency distribution of isotopic ages of pre-Cretaceous high-P/T type metamorphic rocks in the Inner Zone and the Outer Zone (Kurosegawa klippe) of southwestern Japan. Data are from Maruyama and Ueda (1974)*, Maruyama et al. (1978), Ueda et al. (1980), Suzuki et al. (1990), Isozaki and Itaya (1990), Isozaki and Itaya (1991), Nishimura (1998) and Tsujimori and Itaya (1999). Some unpublished data (one Suo schist and four Renge schists) of T. Tsujimori are also included in the diagram. Data are muscovite/phengite K-Ar and Rb-Sr ages except for hornblende K-Ar ages of the Fuko Pass metacumulate (this study). Time scale is after Harland et al. (1990). (* recalculated with Steiger and Jäger (1977)'s decay constants)

Table 2. Chemical compositions of hornblende from samples FK 01 and FK 02. The estimation of Fe²⁺ and Fe³⁺ is based on the assumption of 13 cations (O=23) excluding Ca, Na and K.

wt. %	FK01 (K=0.264 wt. %)			FK02 (K=0.281 wt. %)		
	XRF		EPMA	XRF		EPMA
	av. (n=34)		std. dev.	av. (n=34)		std. dev.
SiO ₂	43.64	42.92	0.79	43.54	42.47	1.06
TiO ₂	1.04	0.64	0.15	1.10	0.53	0.23
Al ₂ O ₃	15.85	15.67	1.05	16.33	16.05	1.52
Cr ₂ O ₃	n.d.	0.01	0.02	n.d.	0.01	0.02
FeO*	13.95	14.31	0.52	13.59	14.32	0.62
MnO	0.19	0.19	0.10	0.19	0.18	0.09
MgO	10.04	10.63	0.62	9.60	10.24	0.94
CaO	10.91	10.35	0.20	11.24	10.53	0.36
Na ₂ O	2.50	2.73	0.16	2.42	2.78	0.24
K ₂ O	0.30	0.29	0.02	0.33	0.32	0.03
Total	98.42	97.75		98.34	97.43	
Cations per 23 oxygens						
Si	6.311	6.209		6.328	6.189	
Ti	0.113	0.070		0.120	0.058	
Al	2.701	2.672		2.797	2.758	
Cr	0.000	0.001		0.000	0.001	
Fe ²⁺	0.314	0.706		0.064	0.614	
Fe ³⁺	1.373	1.025		1.588	1.132	
Mn	0.023	0.024		0.023	0.022	
Mg	2.164	2.293		2.080	2.225	
Ca	1.690	1.604		1.750	1.645	
Na	0.701	0.800		0.682	0.785	
K	0.055	0.055		0.061	0.059	
Total	15.447	15.459		15.493	15.488	
K (wt. %)	0.25	0.24		0.27	0.26	

* Total Fe as FeO.

(FK 01, FK 02) の測定結果 (443±10 Ma, 403±9 Ma) は、藍晶石を含まない試料 (OE 9 a, OE 9 b) の測定結果 (426±19 Ma, 413±12 Ma) と誤差の範囲で一致する。

ホルンブレンドの化学組成の検討

K-Ar 年代測定を行ったホルンブレンドについて、それをめう乳鉢ですりつぶして粉末試料とし、金沢大学理学部の粉末 X 線回折装置 (Rigaku RINT 1200) を用いて不純物を検討した。その結果、わずかな緑泥石の回折ピークが確認された。これは、ホルンブレンドを分離する過程の塩酸処理で完全に溶けきれなかった緑泥石が混在していることを示す。しかし、白雲母など K を主成分とする鉱物の回折ピークは認められなかった。また、粉末試料の主要元素を蛍光 X 線分析装置 (Rigaku System 3270) を用いて測定した。さらに、金沢大学共同利用センター設置の EPMA (JEOL JXA-8800 R) を用いて点分析とホルンブレンド中の包有物のチェックを行った。EPMA 分析には、ホルンブレンドの分離過程で準備された径 1 mm 以下の岩石片・鉱物片をエポキシ系樹脂で固め、それを研磨薄片にして用いた。分析結果を Table 2 と Fig. 3 に示す。蛍光 X 線分析で得られた主要元素組成は試料 FK 01・試料 FK 02 とともに、EPMA の点分析の組成より、TiO₂ 含有量がやや高い傾向にある。これは、ホルンブレンド中に包有されたルチルとイルメナイトが混在していることが原因と考えられる。少量のルチルとイルメナイトの包有物が EPMA による点分析で確認された。粉末 X 線回折において、それらの回折ピークが確認されなかったのはその量が非常に少なかったことが考えられる。

Fig. 3 には Tsujimori (1999) の “foliated epidote-amphibolite” の試料 4 つのホルンブレンドの K 含有量および、Kurokawa (1985) が報告した普甲峠周辺の緑れん石角閃岩

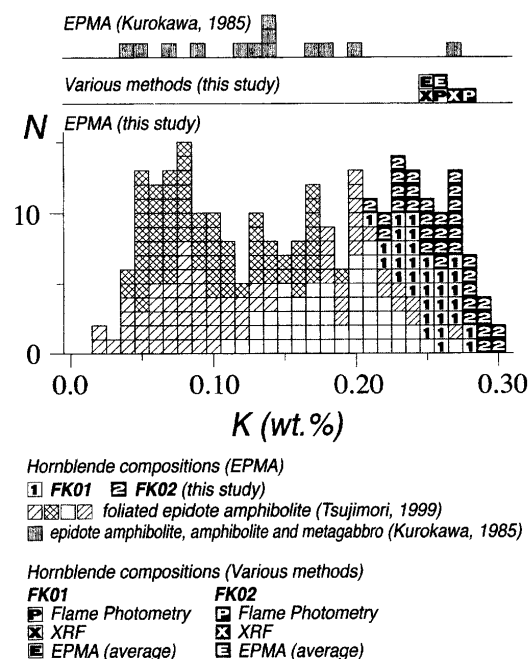


Fig. 3. Frequency distribution of K content (wt.%) of hornblendes from samples FK 01 and FK 02.

類 7 試料 (含藍晶石試料も含む) のそれも示した。普甲峠沈積岩体の緑れん石角閃岩類のホルンブレンドの化学組成は、試料ごとに大きな相違が認められ、今回、年代測定した緑れん石角閃岩 (FK 01, FK 02) は、やや高い K 含有量のホルンブレンドで特徴づけられる (Fig. 3)。普甲峠沈積岩類はトロクトライト質～斜長岩質沈積岩を起源としており (Tsujimori, 1999)、試料ごとのホルンブレンドの K 含有量の相違は、原岩の化学組成の違いを反映しているものと考えられる。

年代値の解釈と地質学的意義

上で検討したように、K-Ar 年代測定に供した試料には若干の不純物が混在しているものの、ほぼ純粋なホルンブレンドである。その K-Ar 年代値は岩体の上昇冷却過程におけるホルンブレンド K-Ar 系閉鎖温度 (約 500°C, Harrison, 1981) を通過したタイミングを示すと考えられる。Tsujimori (1999) は藍晶石を含む変成岩について ‘藍晶石+クリノゾイサイト+パラゴナイト+曹長石+ルチル’ の安定領域 (1.5~2.1 GPa, 700~850°C) から ‘藍晶石+クリノゾイサイト’ が ‘マーガライト+斜長石 (An₁₈₋₃₈)’ に加水分解する反応曲線付近 (1.0±0.1 GPa, 550±50°C) を横切るような減圧降温経路を考えた。今回得られた年代を普甲峠変成沈積岩の上昇冷却年代と解釈するならば、‘藍晶石+クリノゾイサイト+パラゴナイト+曹長石+ルチル’ の鉱物共生で特徴づけられる高圧変成作用は、少なくともデボン紀前期以前にピークを迎えたということになる。

西南日本内帯には、先ジュラ系のプレート沈み込み帯型変成帯として、周防変成帯 (約 230~170 Ma) と蓮華変成帯 (330~280 Ma) がある。また、それら内帯の 2 つの変成帯と同じ年代を示す結晶片岩類が外帯の黒瀬川帯にもクリッペと

して産する (Fig. 2). そして、四国東部の木頭名^{きとみょう}地域の黒瀬川クリッペには、蓮華変成帯の結晶片岩より明らかに古い古生代前期の結晶片岩 (白雲母 K-Ar 年代 445~402 Ma, 丸山・植田, 1974) が産し、日本列島の付加型造山帯の成長過程で最古の低温高压型変成帯の上昇イベントとして認識されている (例えば、磯崎・丸山, 1991; Isozaki, 1996; 磯崎, 1998). 本研究によって、普甲峠変成沈積岩の藍晶石を含む緑れん石角閃岩から得られた 4~4.4 億年のホルンブレンド K-Ar 年代は、木頭名地域の結晶片岩と同等の高压変成岩が内帯にも存在することを裏づけるものである。

中国山地東部の大江山オフィオライトの溶け残りかんらん岩体群には、しばしば角閃岩ブロックが伴われ、その中の 1 つである若桜岩体に産する角閃岩のホルンブレンドは 469~444 Ma の K-Ar 年代をもつ (西村・柴田, 1989). また、飛騨山地青海地域の蓮華変成帯からは蛇紋岩中にブロックとして産するざくろ石角閃岩の黒雲母 K-Ar 年代 442 Ma (ただし、K=1.55 wt.%) が得られている (松本ほか, 1981). これらの変成岩については、高压変成作用そのものを示す鉱物組み合わせは、まだ確認されていないが、普甲峠変成沈積岩と同等の起源を持つものかもしれない。

今回報告した普甲峠の高压変成沈積岩のホルンブレンド K-Ar 年代値は、西南日本外帯の黒瀬川帯だけでなく、内帯にも古生代前期 (オールドビス紀~シルル紀) の高压型変成帯の断片が分布することを示す。これは、これまで内帯最古の高压型変成作用とされていた古生代後期 (石炭紀) の蓮華変成作用よりさらに 1 億年古い本邦最古のプレート沈み込み帯の証拠とみなされる。

謝 辞

蒜山地質年代学研究所の岡田利典博士には K-Ar 年代測定に関する技術的援助をしていただいた。金沢大学大学院生の渡辺弘明氏には XRD 分析を手伝っていただいた。北海道大学の渡辺暉夫博士・東京大学の磯崎行雄博士には査読していただき貴重な改善意見をいただいた。野外調査および研究の遂行には筆頭著者の日本学術振興会特別研究員研究奨励費 (平成 10~11 年度) を使用した。ここに記して感謝する。

文 献

- Harland, W. B., Armstrong, R. L., Cox, A. V., Craig, L. E., Smith, A. G. and Smith, D. G., 1990, *A geologic time scale 1989*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 263 p.
- Harrison, T. M., 1981, Diffusion of ⁴⁰Ar in hornblende. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **78**, 324-331.
- 猪木幸男・黒田和男, 1965, 5 万分の 1 地質図幅 (大江山) および同説明書。地質調査所, 81 p.
- Ishiga, H. and Suzuki, S., 1988, Late Paleozoic radiolarian assemblages from the Shimomidani Formation in Akiyoshi Terrane, Southwest Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **94**, 493-499.
- Isozaki, Y., 1996, Anatomy and genesis of a subduction-related orogen: A new view of geotectonic subdivision and evolution of the Japanese Island. *The Island Arc*, **5**, 289-320.
- 磯崎行雄, 1998, 日本列島の起源と付加型造山帯の成長—リフト帯で

- の誕生から都城型造山運動まで—。地質学論集, no. 50, 89-106.
- 磯崎行雄・板谷徹丸, 1990, 四国中央部および紀伊半島西部黒瀬川地帯北縁の弱変成岩類の K-Ar 年代—西南日本における黒瀬川内帯の広がりについて—。地質雑, **96**, 623-639.
- 磯崎行雄・板谷徹丸, 1991, 四国中西部秩父累帯北帯の先ジュラ系クリッペ—黒瀬川内帯起源説の提唱—。地質雑, **97**, 431-450.
- 磯崎行雄・丸山茂徳, 1991, 日本におけるプレート造山論の歴史と日本列島の新しい地体構造区分。地学雑, **100**, 697-761.
- Itaya, T., Nagao, K., Inoue, K., Honjyou, Y., Okada, T. and Ogata, A., 1991, Argon isotope analysis by a newly developed mass spectrometric system for K-Ar dating. *Mineral. Jour.*, **15**, 203-221.
- Kuroda, Y., Kurokawa, K., Uruno, K., Kinugawa, T., Kano, H. and Yamada, T., 1976, Staurolite and kyanite from epidote-hornblende rocks in the Oeyama (Komori) ultramafic mass, Kyoto Prefecture, Japan. *Earth Science (Chikyū Kagaku)*, **30**, 331-333.
- Kurokawa, K., 1975, Discovery of kyanite from epidote-amphibolite in the Oeyama ultramafic mass, inner zone of southwestern Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **81**, 273-274.
- Kurokawa, K., 1985, Petrology of the Oeyama ophiolitic complex in the Inner Zone of Southwest Japan. *Sci. Rept. Series E, Niigata Univ.*, **6**, 37-113.
- 丸山茂徳・植田良夫, 1974, 四国東部の黒瀬川構造帯に伴う超塩基性岩岩体中の結晶片岩とその K-Ar 年代。岩鉱, **70**, 47-52.
- Maruyama, S., Ueda, Y. and Banno, S., 1978, 208-240 m.y. old jadeite-glaucophane schists in the Kurosegawa tectonic zone near Kochi City, Shikoku. *Jour. Japan. Assoc. Mineral. Petrol. Econ.*, **73**, 300-310.
- 松本謙一・植田良夫・中村栄三・丸山茂徳, 1981, 飛騨外縁帯青海地域の黒雲母アクチノ閃石岩とざくろ石角閃岩の K-Ar 年代。飛騨外縁帯, no. 2, 57-61.
- 長尾敬介・板谷徹丸, 1988 K-Ar 法による年代測定。地質学論集, no. 29, 5-21.
- 長尾敬介・西戸祐嗣・板谷徹丸・緒方惟一, 1984 K-Ar 法による年代測定。岡山理大蒜山研報, no. 9, 19-38.
- Nishimura, Y., 1998, Geotectonic subdivision and areal extent of the Sangun belt, Inner Zone of Southwest Japan. *Jour. Metamorphic Geol.*, **16**, 129-140.
- 西村祐二郎・柴田 賢, 1989, “三都変成帯”の変斑れい岩質岩石の産状と K-Ar 年代。地質学論集, no. 33, 343-357.
- 仁科克一・板谷徹丸・石渡 明, 1990, 「大江山オフィオライト」のハンレイ岩類の K-Ar 年代。日本地質学会第 97 年学術大会 (富山) 演旨, 440.
- Steiger, R. and Jäger, E., 1977, Subcommission on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **35**, 359-362.
- 鈴木寿志・磯崎行雄・板谷徹丸, 1990, 四国東部における三波川変成帯と黒瀬川地帯との構造的累重関係—徳島県上勝町北東部に分布する弱変成岩類の K-Ar 年代—。地質雑, **96**, 143-153.
- Tsujimori, T., 1999, Petrogenesis of the Fuko Pass high-pressure metacumulate from the Oeyama peridotite body, southwestern Japan: evidence for Early Paleozoic subduction metamorphism. *Mem. Geol. Soc. Japan*, no. 52, 287-302.
- Tsujimori, T. and Itaya, T., 1999, Blueschist-facies metamorphism during Paleozoic orogeny in the southwestern Japan: Phengite K-Ar ages of blueschist-facies tectonic blocks in a serpentinite melange beneath Early Paleozoic Oeyama ophiolite. *The Island Arc*, **8**, 190-205.
- 宇田 聡, 1984, 大江山超塩基性岩体のカコウ岩による接触変成作用および “cleavable olivine” の成因について。地質雑, **90**, 393-410.
- 植田良夫・中島 隆・松岡喜久次・丸山茂徳, 1980, 高知市北方の黒瀬川構造帯に伴う准片岩—伊野層と結晶片岩ブロックの白雲母の K-Ar 年代—。岩鉱, **75**, 230-233.