徳島県美馬市南部の三波川変成帯の変堆積岩の原岩層

The parentage of low-grade metasediments in the Sanbagawa Metamorphic Belt, southern area of Mima City, Tokushima Prefecture, Japan

Abstract

君波和雄* 戸田祐貴*

Kazuo Kiminami* and Yuki Toda*

2007年1月15日受付.

2007年3月1日受理.

* 山口大学理学部地球科学教室
Department of Earth Sciences, Faculty of Science,
Yamaguchi University, 1677-1 Yoshida,
Yamaguchi 753-8512, Japan

Corresponding author: K. Kiminami,
kimik@yamaguchi-u.ac.jp

Tectonostratigraphic relationships and paleontological evidence suggest a post-Middle Jurassic depositional age for the protoliths of the Sanbagawa psammitic/pelitic schists. In order to identify the parentage of low-grade metasediments in the Sanbagawa Metamorphic Belt in the southern area of Mima City, Tokushima Prefecture, we have studied the bulk chemistry of psammitic and pelitic schists in the Sanbagawa Belt. The Sanbagawa Belt in the study area can be divided into northern and southern parts on the basis of lithology and structure. Some geochemical signatures of psammitic schists differ from those of the Middle/Late Jurassic sandstones in the Southern Chichibu Belt. The geochemistry of the psammitic and pelitic schists suggests that the parents of the northern and southern parts are the KS-II Unit (Coniacian-Campanian) and KS-I Unit (Albian?-Early Coniacian) of the Northern Shimanto Belt, respectively. These conclusions imply that most of the low-grade metasediments of the Sanbagawa Belt in Shikoku are an underplated, deeper facies of the Cretaceous Shimanto accretionary complex.

Key words: Sanbagawa Metamorphic Belt, metasediment, psammitic schist, pelitic schist, Shimanto Belt, geochemistry, parentage

はじめに

三波川帯は、西南日本外帯の北縁部に位置する低温高压型の広域変成帯であり、その多くは、碎屑岩および玄武岩質岩を原岩とする結晶片岩類から構成されている。三波川帯は、複数のナップの積み重なりからなると考えられている（原ほか, 1977; 原, 1985; 東野, 1990; 橋本ほか, 1992）。四国においては、主に泥質片岩や緑色片岩から構成される構造的上位の別子ユニット（ナップ）と、主に砂質片岩から構成される構造的下位の大步危ユニット（ナップ）に大別されている（Takasu and Dallmeyer, 1990）。

三波川変成帯ではこれまでに片岩類から多くの放射年代が測定され、その上昇年代や変成作用のピーク年代が議論されている（南新, 1979; Itaya and Takasugi, 1988; Isozaki and Itaya, 1990; Takasu and Dallmeyer, 1990; Okamoto et al., 2004）。しかし、碎屑岩を原岩とする変成岩類からは化石が産出しないため、その原岩の堆積年代の詳細は未だ十分に解明されていない。三波川帯の南側に分布し、三波川変成作用を受けたとされる御荷鉾緑色岩類付近からは、付加年代を示すと推定される後期ジュラ紀の放散虫化石が報告されている（Faure et al., 1991; 松岡, 1999）。また、真部ほか（1996）により大步危ユニット中の礫質片岩に含まれる珪長質火成岩礫から分離されたジルコンのU-Pb年代は、大步危ユニットの礫質岩の堆積年代が白亜紀中頃以降であることを示唆して

いる。これらの放射年代や化石年代などから、三波川帯の原岩の堆積年代は、後期ジュラ紀～白亜紀と一般に見なされて

Fig. 1. Geotectonic division of east Shikoku.

Fig. 2. Lithologic map of the southern area of Mima City, Tokushima Prefecture, with index map (modified from Hara et al., 1992). Lithologic names in the Sanbagawa Belt are shown as the names of original rock in the legend.

いる。さらに、三波川変成岩類が西南日本外帯を構成する付加体の深部相であると見なして、その原岩を秩父累帯南帯もしくは四万十帯北帯に対比する見解が提示されている（磯崎・丸山, 1991; Hara et al., 1992）。

一方、石濱・君波（2000b）や Kiminami and Ishihama

（2003）は、四国中央部の三波川変成帯（緑泥石帯）の砂質・泥質片岩と四国東部の南部秩父帯中―上部ジュラ系や四万十帯白亜系の砂岩・泥岩との全岩化学組成を比較・検討し、三波川帯の砂質・泥質片岩が四万十帯の砂岩・泥岩と類似することを示した。しかし、こういった関連性の空間的な

Fig. 3. Alternation of psammitic schist of turbidite sandstone origin and pelitic schist (A), and graded bedding (B). The arrow in the photograph B shows an upward direction. See Fig. 1 for location.

広がりや一般性に関してはまだ十分に明らかにされていない。

このような背景のもとに、本研究では、徳島県美馬市南部に分布する三波川変成帯 (Fig. 1) の地質調査を行うとともに、砂質・泥質片岩の地球化学的な特徴を検討した。そして、既存の公表データや筆者らの未公表データに基づき、美馬市南部地域の三波川変成帯の砂質・泥質片岩と南部秩父帯中—上部ジュラ系や四万十帯白亜系の砂岩・泥岩の地球化学的な特徴を比較・検討し、三波川変成帯の砂質・泥質片岩の原岩となった地層を推定した。

地 質

ここでは野外調査と試料採集を行った美馬市南部の三波川変成帯の地質とともに、化学組成上の比較・検討を行った四国の南部秩父帯および四国東部の四万十帯北帯の地質について説明する。

1. 美馬市南部の三波川変成帯

調査ルートは、主に穴吹川沿いとその支流である (Fig. 2)。調査域の三波川変成帯は、主に泥質片岩と緑色片岩から構成され、地域によっては砂質片岩や砂岩と泥岩の互層からなる片岩 (以下、互層片岩) がかなり分布する。チャートが原岩と推定される珪質片岩はあまり分布しないが、概して調査域の南部に多い。調査域北部の口山から古宮にかけては、泥質片岩と緑色片岩が主に分布し、少量の砂質片岩を伴う。緑色片岩は、一般に珪質片岩を伴わない。穴吹川が東西方向に流れる古宮から三ツ木にかけては、砂質片岩や互層片岩が多く分布する。塊状の砂岩を原岩とする片岩は少なく、タービダイト砂岩と泥岩の互層を原岩としたものが多い。互層片岩は一般に整然とした層理を示す (Fig. 3.A)。互層片岩中の砂質片岩は、厚さが数～数 10 cm 程度であり、しばしば明瞭な級化構造を示す (Fig. 3.B)。級化構造の多くは、南上位を示している。この地域に産出する緑色片岩は、茶褐色を呈したマンガン鉱床と思われる厚さ数 10 cm ～ 1 m の薄層を伴うことがある。三ツ木の南方には泥質片岩と緑色片岩が主

に分布しており、ところどころに薄い (厚さ 10 m 以下) 白色の珪質片岩が挟在する。珪質片岩は緑色片岩に伴って産出することが多く、ときに厚さ数 10 cm 程度で緑色片岩と互層する。また、厚さ数 m 以下の互層片岩がいくつかの地点で観察される。

調査域南部の谷口周辺では、御荷鉾緑色岩と推定される地質体が認められる。御荷鉾緑色岩は、成層構造を示す緑色岩から主に構成され、少量のチャートを伴う。また、調査地域南端にはチャートとスレート状の泥岩から主に構成され、砂岩と緑色岩を伴った北部秩父帯の構成岩石が分布する。

三波川変成帯を構成する片岩の片理面と層理面とはほぼ一致することが多い。調査地域北部では、東側に 20° 程度プランジした軸を持つアンチフォームが認められる。アンチフォームの南側では軸に向かって片理面・層理面の走向が東—西方向から次第に北東—南西方向に変化し、軸付近では南—北・東落ちの走向・傾斜になる。軸の北側においても軸から離れるに従って走向が南—北から北西—南東、さらに東—西へと変化する。このアンチフォームの南側では走向・傾斜は安定しており、三ツ木と川井との間付近や平谷付近まで基本的に南傾斜・南上位である。三ツ木と川井の間付近および平谷のすぐ南側で、傾斜は北落ちになる。この付近にシンフォームが存在する可能性があるが、北側の砂質岩を多く含む層準の繰り返しは認められず、また傾斜の変化が急であることから断層の可能性もある。このさらに南側の走向・傾斜は複雑であるが、御荷鉾緑色岩のすぐ北側では南北性の走向と緩い東向き傾斜が確認される。これは東に低角でプランジしたシンフォームと推定される。このシンフォームのすぐ北側にはアンチフォームが存在する可能性がある。このように三ツ木と川井の間付近から南側および平谷の南側では、小規模なアンチフォームとシンフォームが繰り返している可能性がある。しかし、北側の岩相の繰り返しが認められないので、北側部分とは異なった層準であると推定される。剣山研究グループ (1963) は、本調査域中央部の砂質片岩卓越部付近に東西方向の軸を持つ規模の大きな背斜構造を推定した。しか

Fig. 4. Sampling locations of psammitic schist (psa) and pelitic schist (pel) from the Sanbagawa Metamorphic Belt in the southern area of Mima City, Tokushima Prefecture. Figures in parentheses indicate Nb/TiO₂ values for pelitic schist.

し、砂質片岩の級化構造に基づく上下判定を考慮すると、ここに背斜構造を設定することは困難である。本論では、三ツ木と川井の間付近および平谷のすぐ南側で南傾斜から北傾斜に転ずるところをもってその北側を北部、南側を南部とする (Fig. 2)。

2. 四国の南部秩父帯

四国の南部秩父帯は、徳島県東部から愛媛県西部にかけてほぼ連続して認められる。松岡ほか (1998) は、南部秩父帯の統一的な構造層序を提案し、同帯を下位から三宝山ユニット、斗賀野ユニット、大平山ユニットに区分した。大平山ユ

Table 1. Major (wt. %) and trace element (ppm) compositions and loss on ignition (wt. %) of psammitic schists from the Sanbagawa Metamorphic Belt in the southern area of Mima City, Tokushima Prefecture.

No.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ⁺	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Ba	Cr	Nb	Ni	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr	LOI
psa 1	79.7	0.26	11.5	1.87	0.03	0.49	0.54	3.52	2.09	0.037	348	10.5	8.09	11.3	75.3	121	35.5	18.3	33.7	123	1.47
psa 2	76.5	0.38	12.5	2.86	0.04	0.81	0.98	4.25	1.66	0.037	280	19.3	6.75	10.7	67.4	137	61.9	16.5	41.5	155	1.90
psa 3	75.2	0.37	13.1	2.89	0.04	0.81	1.37	4.50	1.68	0.037	315	18.2	9.00	10.6	63.2	264	51.6	16.2	47.8	158	2.24
psa 4	77.0	0.35	12.6	2.34	0.03	0.70	1.15	3.48	2.25	0.042	435	19.3	8.26	11.6	77.6	301	55.1	19.2	36.8	125	1.73
psa 5	73.6	0.42	13.3	2.66	0.08	0.77	3.23	4.07	1.82	0.044	369	19.3	7.30	10.1	68.1	336	56.5	14.7	42.9	173	3.01
psa 6	74.2	0.40	13.3	2.77	0.05	0.86	2.44	3.60	2.30	0.043	435	20.1	6.89	11.5	77.7	385	58.6	16.4	39.2	154	2.61
psa 7	74.4	0.41	13.6	2.78	0.05	0.90	1.82	3.62	2.40	0.043	481	24.5	9.29	11.0	82.1	342	56.9	18.5	39.8	166	2.24
psa 8	74.1	0.39	13.6	2.72	0.06	0.85	2.25	3.61	2.37	0.044	443	21.7	9.38	11.7	79.8	311	53.5	14.5	42.0	148	2.53
psa 9	72.9	0.44	13.7	2.93	0.06	0.94	3.21	3.45	2.35	0.046	476	23.3	10.05	9.8	87.0	345	61.2	16.2	42.5	165	3.15
psa 10	72.7	0.41	14.1	3.11	0.07	0.86	2.35	4.18	2.16	0.045	426	17.6	7.86	9.5	77.1	343	60.5	14.8	43.3	156	2.39
psa 11	75.7	0.41	12.6	2.50	0.07	0.61	2.20	3.99	1.84	0.045	421	13.9	6.84	9.2	72.1	352	56.2	13.1	43.1	160	2.33
psa 12	73.3	0.41	14.0	3.15	0.07	1.09	1.82	3.79	2.34	0.044	408	25.0	10.23	11.1	90.9	201	53.2	22.0	45.9	162	2.58
psa 13	77.0	0.38	12.6	2.53	0.04	0.85	1.05	3.16	2.38	0.041	464	21.4	8.21	11.7	86.0	231	53.2	21.3	38.0	153	1.83
psa 14	73.0	0.38	13.6	2.00	0.06	0.61	3.73	5.05	1.52	0.041	389	13.5	7.50	9.6	59.8	303	47.3	13.6	72.2	155	3.41
psa 15	76.4	0.35	13.1	2.42	0.03	0.76	1.04	3.19	2.62	0.035	606	19.5	7.42	7.3	84.0	290	48.5	20.9	33.6	140	2.04
psa 16	74.6	0.39	14.1	2.44	0.05	0.64	1.24	4.71	1.84	0.045	365	22.7	8.69	7.8	74.0	322	51.5	19.3	37.7	157	1.65
psa 17	74.7	0.42	13.6	3.28	0.04	1.01	0.68	4.07	2.20	0.045	411	26.6	9.54	13.7	87.0	188	66.8	23.0	45.6	172	1.67
psa 18	74.8	0.38	13.5	3.20	0.04	0.93	0.78	4.27	2.02	0.045	443	20.5	8.52	12.7	84.1	185	59.7	21.2	52.4	133	1.63
psa 19	77.6	0.36	13.0	1.99	0.03	0.78	0.23	3.88	2.15	0.041	363	20.2	7.84	9.0	83.7	84	50.1	8.9	30.9	136	1.95
psa 20	75.2	0.41	12.5	3.36	0.05	0.91	1.97	3.62	1.94	0.048	340	22.3	6.68	12.2	74.4	145	70.7	19.1	47.1	158	3.42
psa 21	74.8	0.37	13.9	2.55	0.07	0.74	0.96	5.28	1.29	0.044	220	17.9	10.59	9.9	61.2	183	51.1	17.6	42.2	163	1.35
psa 22	75.8	0.30	13.5	2.14	0.03	0.68	1.23	3.52	2.80	0.032	581	14.4	8.94	9.7	99.2	155	39.0	20.1	36.6	146	3.13
psa 23	77.9	0.26	12.5	1.96	0.03	0.58	0.85	3.25	2.61	0.032	550	13.7	6.52	9.8	92.5	105	34.7	17.2	32.9	118	2.47
psa 24	76.2	0.40	12.7	3.09	0.06	0.89	0.92	4.36	1.41	0.044	249	19.9	9.83	11.9	60.8	216	61.0	22.2	42.0	156	2.33
psa 25	76.5	0.31	12.8	2.37	0.04	0.68	0.93	3.47	2.79	0.027	525	19.3	10.64	12.0	108.5	105	41.2	26.6	42.1	149	1.93
psa 26	78.4	0.28	12.4	2.10	0.03	0.54	0.26	3.82	2.09	0.025	426	17.4	8.37	12.6	84.9	117	38.2	32.6	41.4	141	1.62
psa 27	72.2	0.42	13.5	3.21	0.05	1.14	3.10	5.10	1.19	0.049	240	34.1	8.21	13.6	49.5	252	63.1	12.5	38.8	142	3.39
psa 28	73.5	0.42	14.2	3.08	0.04	1.13	1.59	3.89	2.19	0.048	480	29.2	8.89	13.0	81.6	227	65.4	16.5	41.9	157	2.13
psa 29	71.4	0.39	15.6	3.06	0.04	0.97	0.40	4.62	3.44	0.053	696	18.9	11.77	11.1	127.8	49	55.2	25.7	50.3	206	2.29

Major element values are normalized to total 100% loss on ignition-free.

ニットは、前期ジュラ紀ないし中期ジュラ紀に形成され、混在岩相で特徴づけられる。斗賀野ユニットは、主に中期ジュラ紀後期～後期ジュラ紀前期に形成され、チャート・碎屑岩シーケンスの繰り返しで特徴づけられる。三宝山ユニットは、主に後期ジュラ紀後期～白亜紀初期に形成され、多くの緑色岩と石灰岩を含み、チャートや珪質泥岩、砂岩などを伴う。四国においては、南部秩父帯の多くを斗賀野ユニットが占めている。本研究で組成の比較対照のために用いた南部秩父帯の砂岩は、四国の斗賀野ユニットもしくはその相当層に含まれ、次の3地域から採集された：1) 徳島県那賀町の那賀川流域に分布する斗賀野ユニット相当層、2) 松岡（1984）に報告された高知県西部の斗賀野盆地周辺の斗賀野ユニット、3) 松岡（1998）に報告された四国西縁部の鳥坂地窓の南側に分布する斗賀野ユニット。1) 地域から採集された砂岩データは石濱・君波（2000a）に報告されているが、2) および3) の地域のデータは筆者らの未公表資料に基づく。

3. 四国東部の四万十帯北帯

四国東部の四万十帯北帯については、公文（1981）や君波ほか（1998）により詳細な地質図が公表されている。君波ほか（1998）に基づけば、徳島県牟岐から長安口ダムにかけての四万十帯北帯は、北側から成瀬累層（塊状砂岩・砂岩泥岩互層）、古屋累層（泥岩と少量の石灰岩・チャートのレンズ）、日野谷累層（砂岩や砂岩泥岩層、泥岩）、オソ谷累層（砂岩泥岩互層や砂岩）、谷山累層（チャートや緑色泥岩、緑色岩を伴った泥岩）、日和佐累層（砂岩、砂岩泥岩互層、泥岩）および牟岐累層（緑色岩を伴った泥岩）に区分されており、その堆積年代はアルビアン頃からカンパニアンにわたる。石濱・君波（2000a）は同地域の四万十帯北縁部に石田（1987）の棚谷累層を加え、この地域の四万十帯を砂岩の組成的な特徴に基づいて北側のKS-Iユニット（棚谷累層～オソ谷累層：アルビアン？～前期コニアシアン）、南側のKS-IIユニット（谷山累層～牟岐累層：コニアシアン～カンパニアン）に大局的に区分した。今回比較対照のために用いた砂岩と泥岩の分析

Fig. 5. SiO_2 - TiO_2 , Fe_2O_3^* , MgO , P_2O_5 , Cr and Zr diagrams for psammitic schists from the Sanbagawa Belt, and sandstones from KS- I and KS- II Units of the Northern Shimanto Belt and from the Togano Unit of Southern Chichibu Belt.

データは、石濱・君波（2000a）により報告されている。

試料採集と分析方法

今回、三波川変成帯において全岩分析を行った試料は、砂質片岩が29個、泥質片岩が33個である。砂質片岩の分布は、北部の中央部のほぼ同一層準に偏在しているため、この部分からの試料が最も多い。北部からの砂質片岩試料が27個、南部からの試料が2個である。泥質片岩は、調査域に広く分布するので、ほぼ全層準から試料が採取されており、北部が20個、南部が13個である。砂質片岩と泥質片岩の試料採集地点をFig. 4に示した。三波川変成帯の砂質片岩と比較するために用いた南部秩父帯の砂岩試料は、那賀川流域の斗賀野ユニット相当層が13個、斗賀野盆地の斗賀野ユニットが8個、鳥坂地窓の南側の斗賀野ユニットが31個である。また、牟岐～長安口ダムにかけての四万十帯北帯の砂岩試料が70個、泥岩試料が53個である。

分析にあたっては、山崎ほか（1999）に従い、粉末試料を四ホウ酸リチウムで5倍希釈してガラスビードを作成し、山口大学総合科学実験センターの蛍光X線分析装置（理学電気工業株式会社製、RIX 3000）を使用して、全岩化学組成（主成分元素10種、微量元素10種）を測定した。Table 1に三波川変成帯の砂質片岩および泥質片岩の分析値（無水状態で100%に規格化した値）と灼熱減量（wt. %）を示す。泥質片岩については、Nb/TiO₂値を用いたのみであるので、本論では分析データを載せなかった。なお、泥質片岩のNb/TiO₂値については、Fig. 4の試料番号の後に示した。

三波川変成帯の砂質・泥質片岩と

南部秩父帯～四万十帯北帯の砂岩・泥岩との組成的な関連

ここでは、三波川帯の砂質・泥質片岩の地球化学的な特徴を述べるとともに、砂質片岩と南部秩父帯～四万十帯北帯の砂岩、および泥質片岩と四万十帯北帯の泥岩との組成的な比較を行う。

1. 砂質片岩

Fig. 5に三波川変成帯の砂質片岩、南部秩父帯斗賀野ユニットの砂岩、および四万十帯北帯（KS-I、KS-IIユニット）の砂岩の組成的な特徴をいくつかの元素を用いて示した。三波川帯の砂質片岩を北部と南部に分けてプロットしたが、南部については2試料と乏しいため、その組成的な特徴を正しく把握することが困難である。三波川帯北部の砂質片岩のSiO₂含有量はおよそ73～78%（av. = 75.3%, 1σ = 1.87）であり、そのバラツキは比較的小さく、日本列島の中・古生界の平均的な砂岩（Kiminami and Fujii, 2007）に近い。SiO₂含有量の増大に伴ってTiO₂、Fe₂O₃*（Fe₂O₃に換算した全鉄）、MgO、P₂O₅、Cr、Zrなどが減少する傾向を示す（Fig. 5）。三波川帯南部の2つの砂質片岩のSiO₂含有量は、71.4%と73.5%であり、北部の砂岩に比べて低い。また、南部の砂岩は、Fe₂O₃*やMgO、P₂O₅などの含有量が北部の砂岩に比べて高い。

三波川帯北部の砂質片岩は、南部秩父帯斗賀野ユニットの砂岩に比べてSiO₂含有量が全般的に低く、TiO₂やMgO、Cr

Fig. 6. SiO₂-Zr/TiO₂ plots for psammitic schists from the Sanbagawa Belt, and sandstones from the Northern Shimanto Belt and the Togano Unit of Southern Chichibu Belt.

などに富む傾向にある。斗賀野ユニットの砂岩は、一般に石英に富み、岩石片に乏しいといった特徴を示しており（酒井, 1992）、化学組成上の特徴もそれを反映している。四国東部の四万十帯北帯は、砂岩の組成的な特徴から年代的に古いKS-Iユニットとより若いKS-IIユニットに区分されている（石濱・君波, 2000 a）。三波川帯北部の砂質片岩は、SiO₂やTiO₂、Fe₂O₃*, MgO、P₂O₅、Crなどの含有量においてKS-IIの砂岩との類縁性が認められる（Fig. 5）。Fig. 5のSiO₂-Zr図では、斗賀野ユニット、KS-Iユニット、KS-IIユニットの砂岩がそれぞれ独自のトレンドを示している。三波川変成帯北部の砂岩は、KS-IIのトレンド上に重なっている。一方、三波川帯南部の2つの砂岩は、Fig. 5のいくつかのダイアグラム上でKS-IとKS-IIの分布域の境界部付近やKS-Iの分布域の末端付近にプロットされることが多い。

石濱・君波（2000b）やKiminami and Ishihama（2003）は、SiO₂-Zr/TiO₂図が四国東部の南部秩父帯や四万十帯北帯の砂岩を分別する場合に有効であることを示した。Fig. 6のSiO₂-Zr/TiO₂図に基づけば、三波川帯北部の砂岩の多くは、KS-IIの領域にプロットされるが、一部はKS-IIとの境界に近いKS-Iと斗賀野ユニットの領域にプロットされる。また、三波川帯南部の砂岩はKS-Iの領域にプロットされる。

2. 泥質片岩

三波川変成帯の泥質片岩のSiO₂含有量は、およそ65～79%であり、砂岩に比べて変化に富む。一般に泥岩のSiO₂含有量は砂岩よりも低く、多くは70数%以下である（Pettijohn, 1975; Roser and Korsch, 1986; Kiminami and Fujii, 2007）。三波川変成帯の泥質片岩のSiO₂含有量が広い組成範囲を示す原因は、変成過程において形成された石英の分結脈が片理面に直交する方向に組成的な分化を引きおこし、その

Fig. 7. Nb/TiO₂-SiO₂ plots for pelitic schists from the Sanbagawa Belt, and mudstones from KS- I and KS- II Units of the Northern Shimanto Belt.

影響が分析結果に現れたためと考えられる。分析に供する岩石スラブを片理面に直交する方向にできるかぎり幅広く切り出しているが、組成的な分化の影響を取り除くことが困難である。このため、分析で得られた個々の元素の濃度のみに基づく議論は難しい。Kiminami and Ishihama (2003) は、四国東部の四万十帯北帯の KS- I と KS- II の泥岩において Nb/TiO₂ 値が異なることを示し、これを用いて高知県本山町の汗見川地域の三波川変成帯（緑泥石帯）の泥質片岩の区分を行った。そこで、ここでは Nb/TiO₂ 値に基づいて、調査域の三波川帯の泥質片岩と四万十帯の泥岩とを比較する。

Fig. 7 は、三波川帯の泥質片岩と四万十帯の泥岩の SiO₂-Nb/TiO₂ 図である。四万十帯北帯の KS- I 泥岩の多くは Nb/TiO₂ 値が 21 以下であり、KS- II 泥岩の多くは 21 以上である。しかし、21 から 22 にかけては両者が混在する傾向にある。三波川帯北部の泥質片岩の Nb/TiO₂ 値はすべてが 21 以上である。また、三波川帯南部の泥質片岩の Nb/TiO₂ 値は 5 個が 21 と 22 の間、残りの 8 個が 21 以下であり、22 以上の試料は存在しない。

考 察

これまでに多数行われている付加体砂岩の岩石学的・地球化学的研究は、年代によってモード組成や全岩化学組成が異なることを示している（寺岡, 1977, 1979; 公文, 1981; Kumon, 1983; 寺岡ほか, 1995, 1996; 君波ほか, 1992, 1998, 2000; Kiminami and Ishihama, 2003）。この事実、空間的な広がりには限界があるものの、ある年代を特徴づける砂岩組成が存在することを意味する。一方、後期ジュラ紀の付加体砂岩のように、日本列島を通じて類似した組成を示す場合も

ある（酒井, 1992; 君波ほか, 2000）。三波川変成帯の片岩類が海洋プレートの沈みこみ過程を通じてユーラシアプレート下にアンダープレATINGした地質体であるとした場合、これらの変成岩に対応する非（弱）変成付加体がより海溝側に存在する可能性が高い。三波川帯の砂質片岩においては、変成作用により原岩組織がほとんど失われている。そのため、三波川帯の砂質片岩と非（弱）変成付加体の砂岩とをモード組成から比較・対比することは困難である。また、泥質片岩と非（弱）変成付加体の泥岩とを鏡下の特徴から比較・対比することはさらに困難である。しかし、変成過程において元素の移動が十分に小さく、全岩として閉鎖系が保たれていれば、変成岩と非（弱）変成岩とを化学組成上の特徴から対比することが可能である。Roser (1996) や Mingram (1998) は、角閃岩相に達する変成作用においても多くの主成分がほとんど移動していないことを示した。さらに、Mortimer and Roser (1992) や Kiminami et al. (1999), Kiminami and Ishihama (2003) は、地球化学的手法によって変成岩の原岩となった地層の特定を行っている。

今回検討を行った徳島県美馬市南部の三波川帯北部に含まれる砂質片岩の地球化学的な特徴は、四万十帯の KS- II ユニットの砂岩に類似しており、南部秩父帯の主要部を構成する斗賀野ユニットの砂岩や四万十帯北帯の KS- I ユニットの砂岩とは明瞭に異なる。三波川帯南部では分析可能な砂岩が乏しいため、2 試料からデータが得られたのみであり、これらは KS- I の砂岩に類似した組成を示すものの、KS- II の砂岩組成とも近接している。一方、三波川帯北部の泥質片岩の Nb/TiO₂ 値はすべてが 21 以上であり、KS- II の泥岩との類縁性を示している。また、三波川帯南部の泥質片岩の Nb/TiO₂ 値は、すべてが 22 以下であるが、一部は 21 ~ 22 に含まれる。四万十帯北帯における 21 ~ 22 の Nb/TiO₂ 値は、KS- I と KS- II との混在部にあたる。こういったことを考慮すると、三波川帯北部と南部とでは四万十帯北帯におけるのと同様に Nb/TiO₂ 値に有意な違いが存在すると思われる。これらの結果を総合すると、調査域の三波川帯北部は四万十帯北帯の KS- II ユニットと、南部は KS- I ユニットとの類縁性が高いと考えられる。

Kiminami and Ishihama (2003) は、四国中央部の高知県本山町から徳島県三好市にかけての三波川帯別子ユニット（緑泥石帯）の砂質片岩や泥質片岩の地球化学的な特徴を検討し、それらの原岩層が四万十帯北帯の KS- I と KS- II からなると結論した。本山町の汗見川から大豊町の立川川にかけては、御荷鉾緑色岩と接する三波川変成帯南縁部（幅約 3 km）が KS- I と類縁の組成を示し、そのほかの別子ユニットの緑泥石帯が KS- II と類似することを示した。汗見川沿いではこれまでに多くの白雲母 K-Ar 年代や ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代が測定されている（Itaya and Takasugi, 1988; Takasu and Dallmeyer, 1990）。汗見川沿いの KS- I タイプと KS- II タイプの砂質・泥質片岩の組成境界は、放射年代値の境界ともほぼ一致しており、KS- I タイプの分布域における放射年代が 78.4 ~ 93.5 Ma (av. = 85.8 Ma), KS- II タイプの分布域の放射年代が 72.2 ~ 77.7 Ma (av. = 75.6 Ma) である。すな

わち、両地域における放射年代は、平均値でおよそ 1000 万年の違いがある。四万十帯北帯の KS- I ユニットと KS- II ユニットの堆積年代が、それぞれアルビアン頃～前期コニアシアンとコニアシアン～カンパニアンであることから、Kiminami and Ishihama (2003) は四国中央部の三波川変成帯の南縁部がアルビアン頃～前期コニアシアンの、そのほかの別子ユニット（緑泥石帯）がコニアシアン～カンパニアンの四万十帯北帯を原岩層としてしていると推定した。また、Kiminami et al. (1999) は、四国中央部の大歩危ユニットが地質的・地球化学的に KS- II ユニットの主要部を構成する日和佐層に対比されることを示した。

今回の検討地域である徳島県美馬市南部の三波川変成帯では、御荷鉾緑色岩の北側約 2.7 km のところまでは KS- I タイプの組成的な特徴を示す三波川帯南部であり、その北側が KS- II タイプの組成的特徴を示す三波川帯北部になる。調査域の砂質・泥質片岩と非（弱）変成付加体の砂岩・泥岩との組成的特徴に基づく対比は、Kiminami and Ishihama (2003) に示された汗見一立川地域とよく類似しており、三波川帯の南縁部に年代的に古い四万十帯北帯を原岩とする変成岩が、その北側により若い四万十帯北帯を原岩とする変成岩が分布することを示している。調査域の三波川帯南部では波長の小さなシンフォームとアンチフォームが繰り返している可能性が高いものの、北部の北縁にあるアンチフォームの軸よりも南側は南上位の級化構造で特徴づけられる。地層のフェーシングにおけるこのような特徴や推定される原岩層の年代が南側でより古いといった特徴は、南部秩父帯～四万十帯における一般的な構造的特徴や年代極性とは逆向きであり、三波川変成帯の上昇（ドローイング）に伴って構造的な姿勢の転換が起こった可能性を示唆している。しかし、これに関してはより広域的な観点からの検証が必要である。

ま と め

1. 徳島県美馬市南部の三波川変成帯は、その地質的な特徴に基づき北部と南部に分けられる。北部においてはその北縁に東に 20° 程度プランジした規模の大きなアンチフォームが存在する。南部は波長の小さなシンフォームとアンチフォームの繰り返しからなると推定される。
2. 調査域の三波川帯北部の砂質・泥質片岩は、四万十帯の KS- II ユニットの砂岩・泥岩と組成上の類縁性が高い。また、南部の砂質・泥質片岩は、四万十帯の KS- I ユニットの砂岩・泥岩と組成上の類縁性が高い。
3. 調査地域の三波川帯南部はアルビアン？～前期コニアシアンの、北部はコニアシアン～カンパニアンの四万十帯の深部相である可能性が高い。三波川帯におけるこのような対比は四国中一東部において広く適用されると推定される。

謝辞 化学分析にあたっては、山口大学理学部地球科学教室の岩石学研究室の諸氏に指導いただいた。斗賀野ユニットの砂岩の化学分析に関しては、榎熊谷組の石濱茂崇氏および榎三菱マテリアルの斉藤圭一郎氏の協力をいただいた。公文富士夫博士（信州大学）および磯崎行雄博士（東京大学）には

本稿を査読していただき、多くの有益なご指摘をいただいた。また、前川寛和博士（大阪府立大学）には編集幹事の労を助けていただいた。本研究を進めるにあたり、文部省科学研究費（課題番号: 17540437）を使用した。以上の諸氏および関係機関に厚く御礼を申しあげる。

文 献

- Faure, M., Iwasaki, M., Ichikawa, K. and Yao, A., 1991, The significance of Upper Jurassic radiolarians in high pressure metamorphic rocks of SW Japan. *Jour. Southeast Asian Earth Sci.*, **6**, 131-136.
- 原 郁夫, 1985, 三波川変成場の温度構造. 吉田博直先生退官記念論文集, 134-150.
- 原 郁夫・秀 敬・武田賢治・佃 栄吉・徳田 満・塩田次男, 1977, 三波川帯の造構運動. 秀 敬編, 三波川帯, 広島大学出版研究会, 307-390.
- Hara, I., Shiota, T., Hide, K., Kanai, K., Goto, M., Seki, S., Kaikiri, K., Takeda, K., Hayasaka, Y., Miyamoto, T., Sakurai, Y. and Ohtomo, Y., 1992, Tectonic evolution of the Sambagawa schists and its implication in convergent margin processes. *Jour. Sci., Hiroshima Univ., Ser. C*, **9**, 495-595.
- 橋本光男・田切美智雄・日下部和宏・増田一稔・矢野徳也, 1992, 関東山地児玉一長瀬町三波川変成域における層状体の構造的累積による地質構造. 地質雑, **98**, 953-965.
- 東野外志男, 1990, 四国中央部三波川変成帯の変成分帯. 地質雑, **96**, 703-718.
- 石田啓祐, 1987, 四国東部秩父累帯南帯の地質学的・微化石年代学的研究. 徳島大教養紀要（自然科学）, **20**, 47-121.
- 石濱茂崇・君波和雄, 2000 a, 砂岩と頁岩の化学組成に基づく四国東部秩父累帯南帯・四万十帯北帯の岩石相ユニット. 地質学論集, no. 57, 97-106.
- 石濱茂崇・君波和雄, 2000 b, 砂質岩・泥質岩の化学組成からみた四国中央一東部における三波川帯（緑泥石帯）とジュラー白亜紀付加体（秩父累帯南帯～四万十帯）との関連. 地質学論集, no. 57, 133-143.
- Isozaki, Y. and Itaya, T., 1990, Chronology of Sanbagawa metamorphism. *Jour. Metamorph. Geol.*, **8**, 401-411.
- 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. and Takasugi, H., 1988, Muscovite K-Ar ages of the Sanbagawa schists, Japan and argon depletion during cooling and deformation. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **100**, 281-290.
- 剣山研究グループ, 1963, 四国東部結晶片岩地域の地質. 地球科学, no. 69, 16-19.
- Kiminami, K. and Fujii, K., 2007, The relationship between major element concentration and grain size within sandstones from four turbidite sequences in Japan. *Sediment. Geol.*, **195**, 203-215.
- Kiminami, K., Hamasaki, A. and Matsuura, T., 1999, Geochemical contrast between the Sanbagawa psammitic schists (Oboke unit) and the Cretaceous Shimanto sandstones in Shikoku, South-west Japan and its geologic significance. *Island Arc*, **8**, 373-382.
- Kiminami, K. and Ishihama, S., 2003, The parentage of low-grade metasediments in the Sanbagawa Metamorphic Belt, Shikoku, South-west Japan, based on whole-rock geochemistry. *Sediment. Geol.*, **159**, 257-274.
- 君波和雄・公文富士夫・宮本隆実・鈴木茂之・竹内 誠・吉田孝紀, 2000, 日本列島中・古生界砂岩の化学組成上の特徴とその意義. 地質学論集, no. 57, 9-18.
- 君波和雄・公文富士夫・西村年晴・志岐常正, 1992, 火成弧に由来する砂岩の化学組成. 地質学論集, no. 38, 361-372.
- 君波和雄・松浦卓史・岩田尊夫・三浦健一郎, 1998, 四国東部に分布する白亜系四万十累層群の砂岩組成と白亜紀火山活動との関連. 地質雑, **104**, 314-326.
- 公文富士夫, 1981, 徳島県南部の四万十累帯白亜系. 地質雑, **87**, 277-295.
- Kumon, F., 1983, Coarse clastics of the Shimanto Supergroup in eastern Shikoku and Kii Peninsula, southwest Japan. *Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., Ser. Geol. & Min.*, **49**, 63-109.

- 真部由華・吉倉紳一・Gabites, J., 1996, 大歩危礫質片岩中の珪長質火成岩礫のジルコン U-Pb 年代. 日本地質学会第 103 年学術大会講演要旨, 300.
- 松岡 篤, 1984, 高知県西部秩父累帯南帯の斗賀野層群. 地質雑, **90**, 455-477.
- 松岡 篤, 1998, 四国西端部秩父累帯の地体構造区分. 地質雑, **104**, 565-576.
- 松岡 篤・山北 聡・榊原正幸・久田健一郎, 1998, 付加体地質の観点に立った秩父累帯のユニット区分と四国西部の地質. 地質雑, **104**, 634-653.
- 松岡喜久次, 1999, 関東山地北縁部, 御荷鉾緑色岩の赤色頁岩からのジュラ紀新世放散虫化石の発見. 地球科学, **53**, 71-74.
- 南新真裕, 1979, 四国中央部汗見川流域の三波川変成岩の Rb-Sr 全岩年令. 岩鉱, **74**, 153.
- Mingram, B., 1998, The Erzgebirge, Germany, a subducted part of northern Gondwana geochemical evidence for repetition of early Palaeozoic metasedimentary sequences in metamorphic thrust units. *Geol. Mag.*, **135**, 785-801.
- Mortimer, N. and Roser, B. P., 1992, Geochemical evidence for the position of the Caples-Torlesse boundary in the Otago Schist, New Zealand. *Jour. Geol. Soc. Lond.*, **149**, 967-977.
- Okamoto, K., Shinjoe H., Katayama, I., Takeda, K., Sano, Y. and Simon, J., 2004, SHRIMP U-Pb zircon dating of quartz-bearing eclogite from the Sanbagawa Belt, SW Japan; Implications for metamorphic evolution of subducted protolith. *Terra Nova*, **16**, 81-89.
- Pettijohn, E. J., 1975, *Sedimentary rocks*. Harper and Row, Publ., New York, 628p.
- Roser, B.P., 1996, Sandstone geochemistry, provenance, and tectonic setting 2.-Effects of grain size on the Al_2O_3/SiO_2 -Basicity Index diagram, and application to recycled and medium-grade metamorphic terranes of New Zealand. *Earth Sci (Chikyū Kagaku)*, **50**, 238-50.
- Roser, B. P. and Korsch, R. J., 1986, Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suits using SiO_2 and K_2O/Na_2O ratio. *Jour. Geol.*, **94**, 635-650.
- 酒井 彰, 1992, 秩父累帯南帯砂岩の地域的組成変化. 地質学論集, no. 38, 227-236.
- Takasu, A. and Dallmeyer, R. D., 1990, $^{40}Ar/^{39}Ar$ mineral age constraints for the tectonothermal evolution of the Sambagawa metamorphic belt, central Shikoku, Japan a Cretaceous accretionary prism. *Tectonophysics*, **185**, 111-139.
- 寺岡易司, 1977, 西南日本中軸帯と四万十帯の白亜系砂岩の比較—四万十地向斜堆積物の供給源に関連して—. 地質雑, **83**, 795-810.
- 寺岡易司, 1979, 砂岩組成からみた四万十地向斜堆積物の起源. 地質雑, **85**, 753-769.
- 寺岡易司・鈴木盛久・林 武広・奥村公男, 1995, 九州東部檳峰-神門地域の四万十累層群における堆積岩化学組成の層序的变化. 広島大学学校教育紀要, 第 II 部, **17**, 83-97.
- 寺岡易司・鈴木盛久・林 武広・奥村公男, 1996, 赤石山地四万十帯の碎屑岩組成. 広島大学学校教育紀要, 第 II 部, **18**, 83-98.
- 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成分の定量分析. 山口大機器分析センター報告, **7**, 22-31.

(要 旨)

君波和雄・戸田祐貴, 2007, 徳島県美馬市南部の三波川変成帯の変堆積岩の原岩層. 地質雑, **113**, 158-167. (Kiminami, K. and Toda, Y., 2007, The parentage of low-grade metasediments in the Sanbagawa Metamorphic Belt, southern area of Mima City, Tokushima Prefecture, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **113**, 158-167.)

構造層序や化石年代から三波川変成帯(緑泥石帯)の砂質・泥質片岩の原岩は, 後期ジュラ紀以降に堆積したと推定される. 徳島県美馬市南部の三波川変成帯の原岩層を特定するために, 同地域の砂質片岩および泥質片岩の全岩化学分析を行った. 調査地域の三波川帯は, 岩相や地質構造から北部と南部に区分される. 調査域の砂質片岩の地球化学的特徴は, その原岩層が南部秩父帯の中-上部ジュラ系ではないことを示している. 砂質片岩と泥質片岩の地球化学的な特徴は, 北部と南部がそれぞれ四万十帯北帯の KS-II ユニット(コニアシアン-カンパニアン)と KS-I ユニット(アルビアン?-前期コニアシアン)を原岩層としていることを示している. これらの結論は, 四国の三波川変成帯の低度変成岩の多くがアンダープレATINGに由来する四万十帯北帯の深部相であることを意味している.