

島根県津和野地域の舞鶴帯から古原生代 18.5 億年花崗岩質岩体の発見とその意義

Discovery of Paleoproterozoic 1.85 Ga granitoid bodies from the Maizuru Terrane in the Tsuwano area, Shimane Prefecture, Southwest Japan and its geologic implications

Abstract

木村光佑* 早坂康隆* 柴田知之*
川口健太* 藤原弘士*

*Kosuke Kimura**, *Yasutaka Hayasaka**,
*Tomoyuki Shibata**, *Kenta Kawaguchi**
and *Hiroshi Fujiwara**

2018年3月10日受付.

2018年8月22日受理.

* 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学
専攻

Department of Earth and Planetary Systems
Science, Graduate School of Science, Hiro-
shima University, Kagamiyama 1-3-1, Hi-
gashi-Hiroshima 739-8526, Japan

Corresponding author: K. Kimura,
kimurakoske@hiroshima-u.ac.jp

We report a newly discovered Paleoproterozoic granitoid at the northern margin of the Maizuru Terrane (Tsuwano area, southwest-ern Shimane Prefecture, SW Japan). The granitoid is associated with metadolerite and metagabbro, and appears as lenticular blocks with-in a narrow (150–300 m wide) zone. Orthogneiss and tonalite–quartz diorite from the granitoid yield zircon U–Pb ages of 1836 ± 17 Ma and 1853 ± 14 Ma, respectively. Younger U–Pb ages of 415.2 ± 2.5 Ma were obtained from a granodioritic lithology. The Paleoproterozoic zircon grains commonly contain inherited older (2800–2100 Ma) cores. The Paleoproterozoic age of the granitoid body supports the suggestion that this part of the Maizuru Terrane includes exotic blocks that originated from the North China Craton. The younger (Early Devo-nian) granodiorite is possibly related to igneous rocks of similar age from the Maizuru–Oe area (Northern Zone of the Maizuru Terrane). Based on the lithology and structural position of the Paleoproterozo-ic rocks, it is suggested that they are part of the Northern Zone. The recognition of a narrow zone of Paleoproterozoic rocks embedded in Permian strata is in contrast to the nappe structure in SW Japan, which typically contains older units at higher structural positions. We therefore suggest that the Paleoproterozoic blocks were displaced by strike-slip faulting along the northern boundary of the Maizuru Terrane.

Keywords: Paleoproterozoic granitoid, orthogneiss, Northern zone of Maizuru Terrane, Zircon U–Pb age, North China Craton, Tsuwano area, Southwest Japan.

はじめに

西南日本内帯の先白亜紀テレーン群はより古いものが上位に重なる低角パイルナップ構造を呈しており、それらの分布は褶曲や剝削によって複雑に入り組んでいる(早坂, 1987). その中であって舞鶴帯は、福井県大島半島や京都府舞鶴地域から島根県津和野地域まで連続性の良い顕著な帯状分布を示している。舞鶴帯はその南縁でペルム紀付加体の超丹波帯の上に低角断層で重なっており、北縁は、ペルム紀付加体の秋吉帯、三疊紀結晶片岩の周防帯、ジュラ紀付加体の丹波–美濃–足尾帯(Ichikawa, 1990)などと低角または高角な断層で接している。舞鶴帯を胴切りする白亜紀以降の高角横ずれ断層の変位を復元すると、江津地域の小分布を除き、舞鶴帯は一続きの狭長な帯状分布が明瞭なものとなる(早坂ほか, 2000).

模式地である舞鶴地域の舞鶴帯は、古生代後期の夜久野オフィオライトからなる南帯、ペルム系舞鶴層群、下~中部三

疊系夜久野層群、上部三疊系難波江層群などからなる中帯、古生代の大陸地殻に由来する花崗岩類や片麻岩類からなる北帯の三帯に細分される(加納ほか, 1959). より西方においてはこのような分帯は不明瞭になるが、南帯と中帯はその岩相構成から地体の認識が比較的容易で、その分布の詳細が明らかになっている。一方で北帯の主たる構成要素である花崗岩類とこれに付随する変斑れい岩や変トセライトは、しばしば南帯の夜久野オフィオライトと併せて“夜久野岩類”と一括して呼称されてきた経緯もあり(猪木, 1959; 中沢, 1961), これまで北帯の分布が明確に把握されているのは模式地の舞鶴–大江地域のみであった。しかし、花崗岩類に限れば、ジルコン年代の蓄積や岩石学的な研究の進展によって、北帯と南帯のどちらに属するかを識別することは可能になった。

南帯の夜久野オフィオライトに伴われる花崗岩類は主にトータル岩からなり、ジルコンの U–Pb 年齢は 285~275 Ma の限られた値を示す(Herzig et al., 1997; 木村ほか, 2011). 一方、北帯の花崗岩類は主に狭義の花崗岩と花崗閃

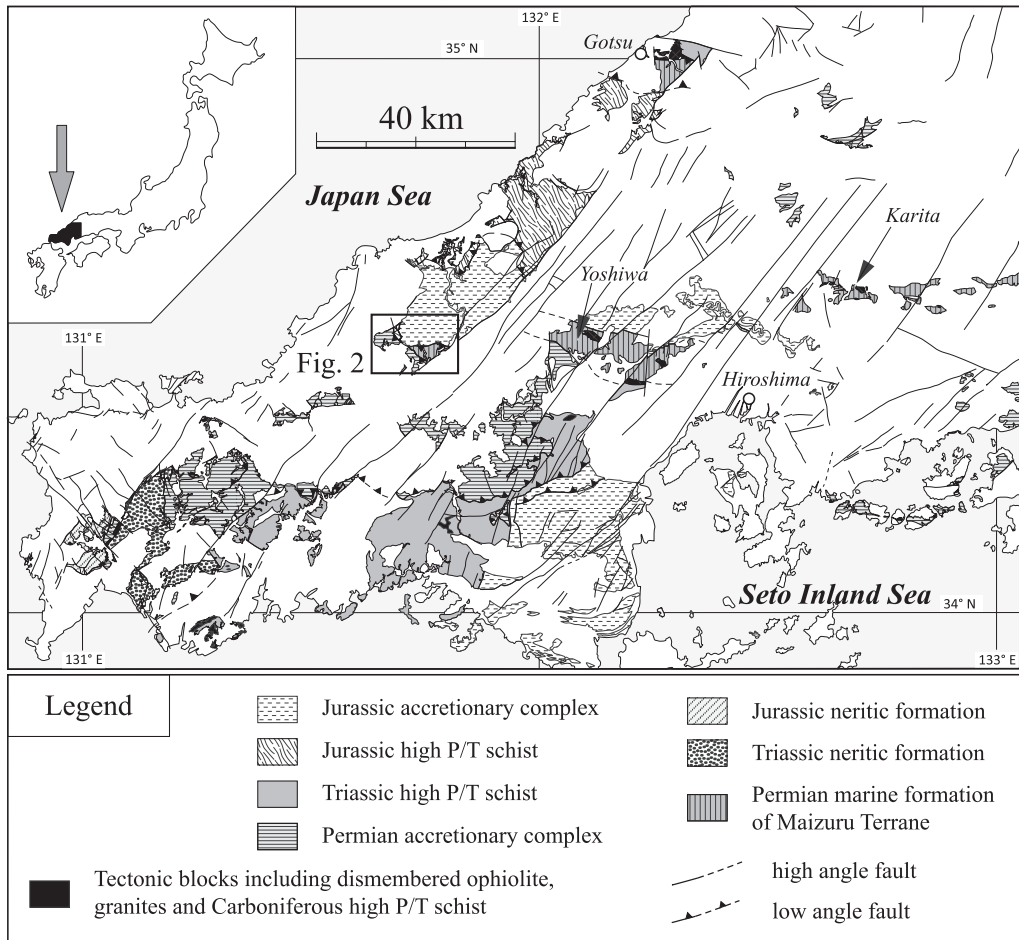


Fig. 1. Geological map showing pre-Cretaceous basement rocks in western Chugoku Province, Southwest Japan.

緑岩からなり、ジルコンの U-Pb 年齢は約 240 Ma から 400 Ma を超えるものまで多様である (Fujii et al., 2008; Tsutsumi et al., 2014). 今回、著者らは、島根県津和野地域舞鶴帯の北縁部から古原生代の 1.85 Ga のジルコン U-Pb 年齢を示す花崗岩類と正片麻岩を見出したので、ここにその概要を報告する。

発見の経緯：著者の一人である早坂は、最近、共同研究者らと共に岡山県北部の津山市久米地域に約 490~300 Ma の花崗岩類を伴う岩体を見出し、その年代と舞鶴帯の北縁に接する構造的な位置から、この岩体を舞鶴帯北帯に対比した (原田ほか, 2015). このことから、より西方へ舞鶴帯北帯の探索を続け、広島県東部の福山市北部と、広島県北西部の吉和地域に産する花崗岩類のジルコン年代を測定したが、いずれも舞鶴帯南帯の夜久野オフィオライトの年代範囲のものであった。一方、早坂がかつて測定した津和野地域舞鶴帯の変斑れい岩の Sm-Nd 同位体組成が、夜久野オフィオライトより古い成熟した大陸地殻起源を示唆するものであったことから、そのジルコン年代を測定すべく、木村と川口が現地調査を行い、舞鶴帯北縁部にここで報告する花崗岩・正片麻岩の岩体を発見した。

地質概説

Fig. 1 に中国地方西部における先白亜系の分布を示す。図中のペルム紀海成層 (Permian marine formation) は、いずれも“夜久野岩類”のブロックを伴うことから、舞鶴層群に対比されてきた (早坂, 1987; Kojima et al., 2016). この内、広島市北東の向原地域の荻田層、八幡谷層 (脇田, 1985) や広島市北西の吉和地域の吉和層群 (高橋ほか, 1989) からは中~後期ペルム紀の放射虫化石の産出が報告されている。吉和地域舞鶴帯の西北西への延長は、その先で北東-南西系の複数の左横ずれ断層によって変位し、津和野地域へ至っていると考えられる。津和野地域には、舞鶴帯のペルム系舞鶴層群相当層、秋吉帯のペルム紀付加コンプレックス、ジュラ紀の変成年代を示す結晶片岩類 (福富ほか, 1989)、および丹波-美濃-足尾帯のジュラ紀付加体である鹿足コンプレックスが分布するとされている (福富・磯崎, 1988). これらの先白亜系は白亜紀~新生代の深成岩に貫入され、白亜紀のイグニブライトや関門層群相当層に被覆される。また、第四紀の青野山火山岩類にも一部貫入・被覆される (Fig. 2).

津和野地域の舞鶴帯は福富・磯崎 (1988) によって見出され、泥岩を主体とし、砂岩・珪長質凝灰岩などをレンズ状に

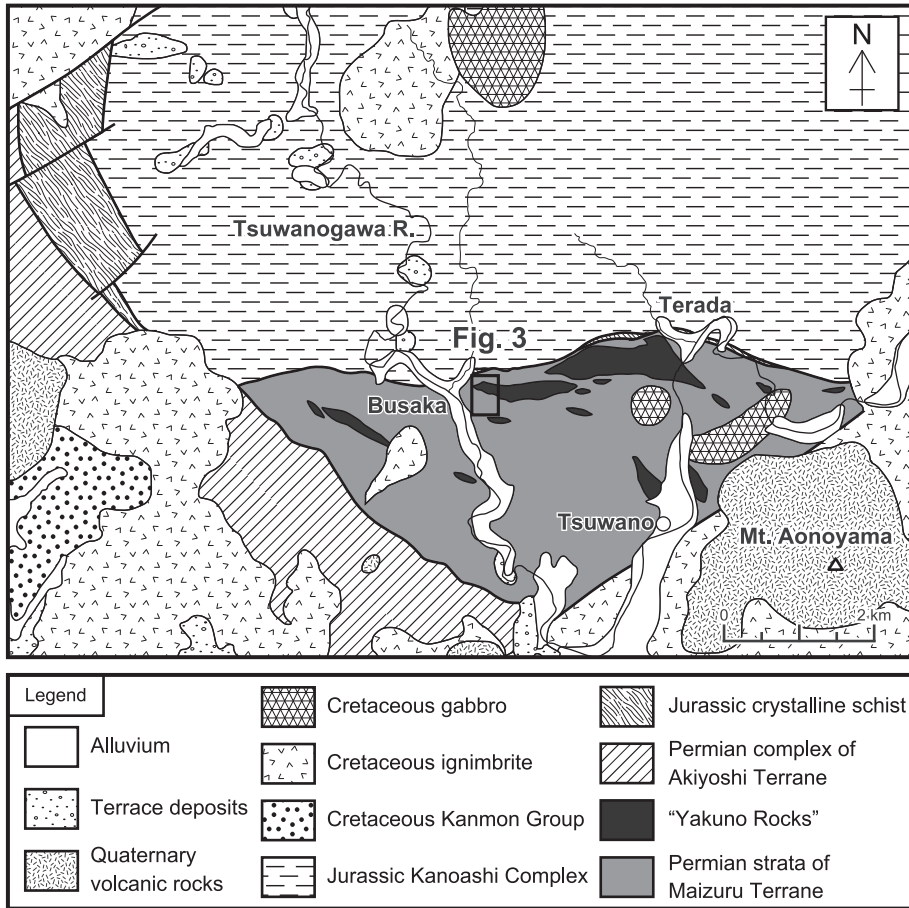


Fig. 2. Geological map of the Tsuwano area (for the location, see Fig. 1). The map is based on Fukudomi and Isozaki (1988), Matsuura et al. (2007), and data of the present study.

含み、変斑れい岩、変ドレライト、花崗岩質岩などからなる“夜久野岩類”類似の火成岩複合岩体を伴うことで特徴づけられる。黒色泥岩からは中期ペルム紀後期の放射虫化石が報告されている(福富・磯崎, 1988)。ただし、松浦ほか(2007)は、岩相が典型的な舞鶴層群とも他のペルム紀付加コンプレックスとも異なるとして、未区分ペルム紀層とした。一方、この地域の“夜久野岩類”についての研究は皆無である。今回“夜久野岩類”の分布を確認したのは部栄地区と寺田地区の互いに2 kmほど離れた二箇所、幅150~300 mの狭長な地帯にブロックの集合体として産する。いずれも、舞鶴帯北縁部に位置し、“夜久野岩類”とその北に狭長に分布する結晶片岩類(福富・磯崎, 1988)との間の幅数十~200 mの範囲には、非変成の砂岩、泥岩、珪長質凝灰岩が介在する。

1. 部栄地区

部栄地区のルートマップの一部を Fig. 3 に示す。この地区には林道が張り巡らされ、岩石の露出は比較的良い。花崗岩質岩、変斑れい岩、変ドレライトからなる“夜久野岩類”が南北を非変成堆積岩類に挟まれて幅120 mの範囲に露出している。花崗岩質岩には優白質な花崗岩類が多く、一部に石英閃緑岩を伴う。この中で、連続性の良い露頭の一例を、写真にスケッチを重ねた Fig. 4 として示す。花崗岩質岩および苦鉄質岩類の分布は、福富・磯崎(1988)の“夜久野岩類”

の分布とほぼ一致する。堆積岩類は主に泥質スレートからなり、珪長質凝灰岩と砂岩を伴う。ただし、泥質スレートの中には風化によって層理面やクラックに沿って淡緑灰白色化しているところもある。堆積岩類の内“夜久野岩類”の北側のものは南側のものに比べて砂岩が多い。層理面は全体としてNE-SW 走向で北へ中角度で傾斜するが“夜久野岩類”に近接する付近では乱れている。舞鶴帯の北側には、ジュラ紀付加体である鹿足コンプレックスとの間に結晶片岩類が挟まれるが、その幅は福富・磯崎(1988)で示されたよりかなり薄く、Fig. 3 の範囲から北西へ出た道路沿いでの幅は約30 mであった。

2. 寺田地区

寺田地区では西南西へ登る一つの谷沿いを調査したのみであるが、部栄地区に比べて岩石の露出が悪い。ここでは、北東から南西へ向けて、結晶片岩、泥岩、変成した石英質砂岩、変斑れい岩、変ドレライト、花崗岩質岩が間欠的に露出する。このルートの花崗岩質岩は、露頭において一見して花崗岩類とわかるものもあるが、強い変形でウルトラマイロナイト化し、細粒・片状の石英長石質岩となっている部分も多い。

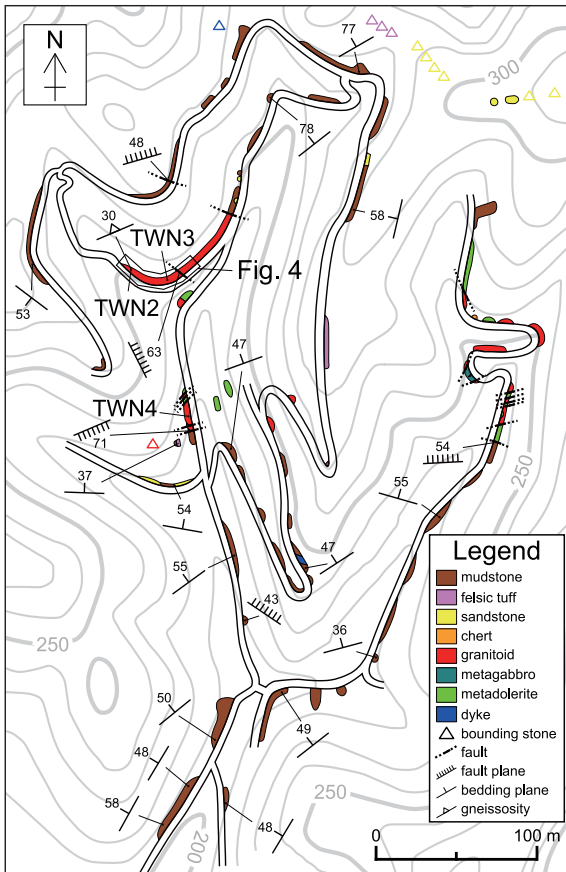


Fig. 3. Route map in the Busaka area (for the location, see Fig. 2). Digital topography (serial number 131.74-34.49-A2-y-20171127-213557-0000) is from the Geospatial Information Authority of Japan.

岩石記載

1. 花崗岩類

(1) 正片麻岩 (TWN2) 肉眼的には優白質かつ中粒で、明暗の縞状構造の顕著な典型的正片麻岩の様相を呈する (Fig. 5). 鏡下においては、主成分鉱物として石英、斜長石、カリ長石、白雲母を含み、副成分鉱物としてアパタイト、ジル

コン、不透明鉱物が観られる (Fig. 6a). また、二次鉱物として黒雲母を置換したと思われる緑泥石を含む。鉱物粒子は丸みを帯び、全体としてグラノプラスチックな再結晶組織を示す。この岩石を花崗岩マイロナイトではなく正片麻岩と記載するのは、鉱物レベルでの変形組織が不明瞭である一方で縞状構造が顕著であること、また含まれるジルコンのほとんどが、その累帯構造と Th/U 比から変成起源と考えられるからである (後述)。

(2) 黒雲母トータル岩—石英閃緑岩 (TWN3) 肉眼的には全体に緑灰色で中粒な石英閃緑岩の中に数 cm サイズの優白質な黒雲母トータル岩が混在する不均質な岩相を呈する。鏡下においては、トータル岩部分は等粒状の組織を示す (Fig. 6b). 一方、石英閃緑岩の部分は、緑泥石の中に粗粒な斜長石粒子が含まれる (Fig. 6c). どちらも主成分鉱物は石英、斜長石および緑泥石化した黒雲母からなり、カリ長石は確認できなかった。また、副成分鉱物としてアパタイト、ジルコン、不透明鉱物を含む。石英閃緑岩は起源不明の細粒鉱物の集合体を含んでいる。全体に弱いマイロナイト化とカタクラサイト化を被っており、一部、カタクラサイト化の著しいところを含む。研磨した岩石スラブを観察すると、石英閃緑岩中にトータル岩の脈が入り、その後破碎して混在岩化したものと考えられる。

(3) 花崗閃緑岩 (TWN4) 肉眼的には優白質かつ中粒で、鏡下においては等粒状の組織を示す。主成分鉱物として斜長石、石英、カリ長石、白雲母、緑泥石化した黒雲母を含み、副成分鉱物としてアパタイト、ジルコン、不透明鉱物が観察される (Fig. 6d). 全体に弱いマイロナイト化を受け、石英の一部は細粒再結晶の集合体となっている。

(4) その他の花崗岩類 以上の他にカリ長石を豊富に含む狭義の花崗岩も露出している。マイロナイト化とカタクラサイト化の著しいところもあり、全体に不均質である。

2. 苦鉄質岩類

(1) 変斑れい岩 肉眼的には暗緑色かつ中粒～細粒で、弱い面構造を伴うものも見られる。鏡下においては等粒状で、主として斜長石と緑色普通角閃石からなり、試料によって単斜輝石や褐色普通角閃石を含むものもある (Fig. 6e). また副成分鉱物としてアパタイト、チタン石、不透明鉱物を含み、

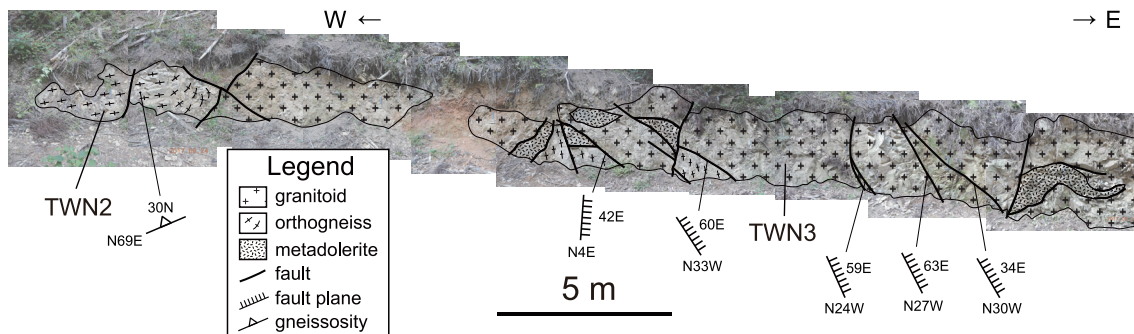


Fig. 4. Overlay sketch on an outcrop photograph (for the location, see Fig. 3). Samples TWN2 (orthogneiss) and TWN3 (tonalite–quartz diorite) were collected from this outcrop.



Fig. 5. Photograph of a hand specimen of orthogneiss (sample TWN2).

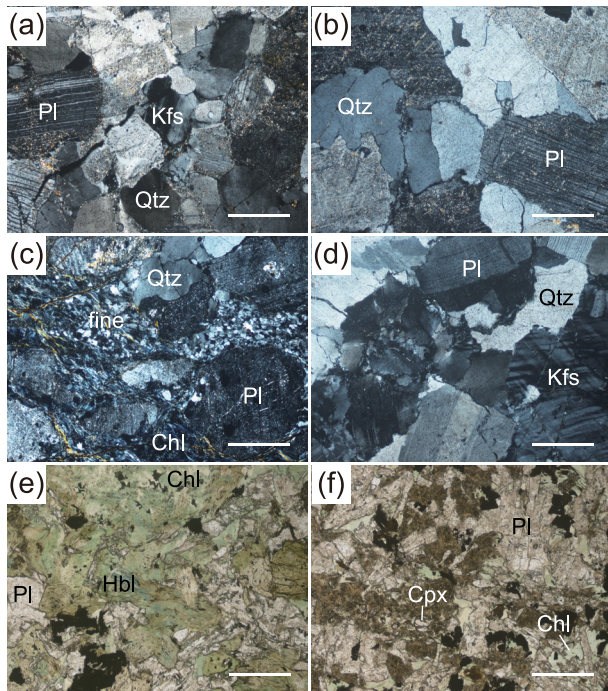


Fig. 6. Photomicrographs of granitoids and mafic rocks from the Busaka district. (a) Orthogneiss (sample TWN2). (b) Tonalite (TWN3). (c) Quartz diorite (TWN3). (d) Granodiorite (TWN4). (e) Fine-grained metagabbro (TWNGB2). (f) Metadolerite (TWNDL5). All scale bars are 0.5 mm long. Qtz, quartz; Pl, plagioclase; Kfs, K-feldspar; Chl, chlorite; Hbl, hornblende; Cpx, clinopyroxene; fine, undefined fine-grained minerals.

二次鉱物として緑泥石を含み、緑れん石とぶどう石が脈状に見られる。オフィチック組織を示さない点で、変ドレライトと区分される。

(2)変ドレライト 肉眼的には暗緑色かつ細粒・緻密である。試料によって玄武岩に近いものから斑れい岩に近いものまで粒度の違いが著しいが、鏡下においてはいずれもサブオフィ

Table 1. XRF bulk chemical compositions of granitoids.

Sample label	TWN2	TWN3	TWN4
Lithology	orthogneiss	tonalite - quartzdiorite	granodiorite
(wt%)			
SiO ₂	71.11	57.36	71.52
TiO ₂	0.407	0.726	0.342
Al ₂ O ₃	14.45	19.21	14.68
Fe ₂ O ₃ *	2.82	6.83	2.08
MnO	0.022	0.089	0.028
MgO	1.22	4.27	1.01
CaO	0.44	0.84	0.26
Na ₂ O	4.43	5.37	6.09
K ₂ O	2.66	1.56	2.28
P ₂ O ₅	0.117	0.216	0.106
Total	97.66	96.46	98.39
A/CNK	1.32	1.60	1.13
A/NK	1.42	1.83	1.18
(ppm)			
Sc	2.7	14.2	4.8
V	39.0	109	26.5
Cr	10.2	45.7	5.7
Co	5.7	17.6	2.1
Ni	6.1	38.2	4.4
Cu	24.9	10.7	11.1
Zn	18.9	24.3	17.2
Ga	15.5	22.8	13.5
Rb	49.8	49.2	44.4
Sr	173	221	167
Y	17.8	22.1	14.0
Zr	308	73.4	188
Nb	7.9	9.2	12.6
Ba	1215	475	521
La	91.7	33.3	39.9
Ce	167	66.2	80.5
Nd	60.4	28.8	32.1
Yb	2.3	1.7	1.6
Hf	7.5	0.9	2.9
Pb	5.4	5.1	5.4
Th	26.6	4.6	13.4
U	<LLD	1.0	1.9

Fe₂O₃*: total Fe as Fe₂O₃, LLD: lower limit of detection.

チック組織を示す。主に斜長石と単斜輝石からなり、少量の普通角閃石を含む(Fig. 6f)。試料によっては少量の石英を含むこともある。また副成分鉱物としてチタン石と不透明鉱物を含む。二次鉱物として緑泥石、方解石を含む。単斜輝石は変質した有色鉱物の骸晶中に少量保存されている。普通角閃石は多くが緑泥石化している。

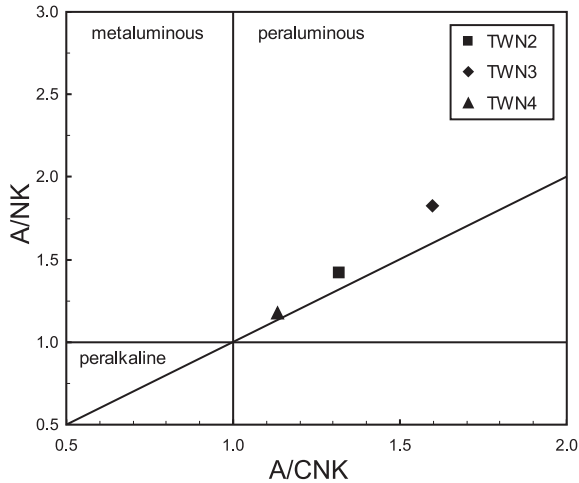


Fig. 7. A/CNK vs. A/NK diagram for granitoid samples. $A/CNK = Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ [mol.%], $A/NK = Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O)$ [mol.%].

機器分析

1. 全岩化学組成

部栄地区から得られた花崗岩質岩の内、年代測定を行なった3試料について全岩化学組成の分析を行なった。分析には広島大学設置のRh/W dual-anode X-ray tubeを備えた全自動蛍光X線分析装置(リガクZSX 101e)を用いた。分析方法、分析条件、測定精度はShipboard Scientific Party

(2001)に記載している。

分析結果をTable 1に示す。花崗岩質岩は、TWN3を除いてSiO₂が約71–72%である。TWN3は、石英閃緑岩質な中にトータル岩質なものが混在した不均質な試料であるが、両者を分けずに分析した。A/CNK-A/NK図(Fig. 7)では、花崗岩質岩はいずれもパーアルミナス領域にプロットされ、A/CNKは約1.1から1.6の範囲である。

2. ジルコン年代

上記3試料からジルコンを分離し、そのU–Pb年代を測定した。岩石試料は、超音波洗浄後、乾燥させて油圧プレスで5 mm角以下に破碎し、メノウ製振動ミルで細粉化した。この粉末からステンレスボウルと時計皿を用いた水簸によって重鉱物を濃集させ、ネオジム磁石で磁性鉱物を取り除いた後、1試料につき数十のジルコン粒子を粘着シート上にハンドピックした。さらに、標準試料ジルコンと年齢既知の参照用ジルコンを同じ粘着シート上に追加、エポキシ樹脂でスライドガラス上に反転固化し、#3000、#6000の研磨粉と1 μmダイヤモンドペーストで研磨した。分析に先立ち、広島大学設置の走査型電子顕微鏡(JEOL JSM 7500F)を用いてジルコンの反射電子像とカソードルミネッセンス(CL)像の撮影を行い、これらの像でジルコン粒子内部の累帯構造や包有物を把握し、測定点を決定した。

ジルコンのU–Pb年代測定には広島大学設置のLA-ICP-MSを用いた。本システムはICP-MS(Thermo Fisher X-Series-II)と213 nm Nd-YAGレーザーシステム(New Wave Research UP-213)を連結したものである。基本的に

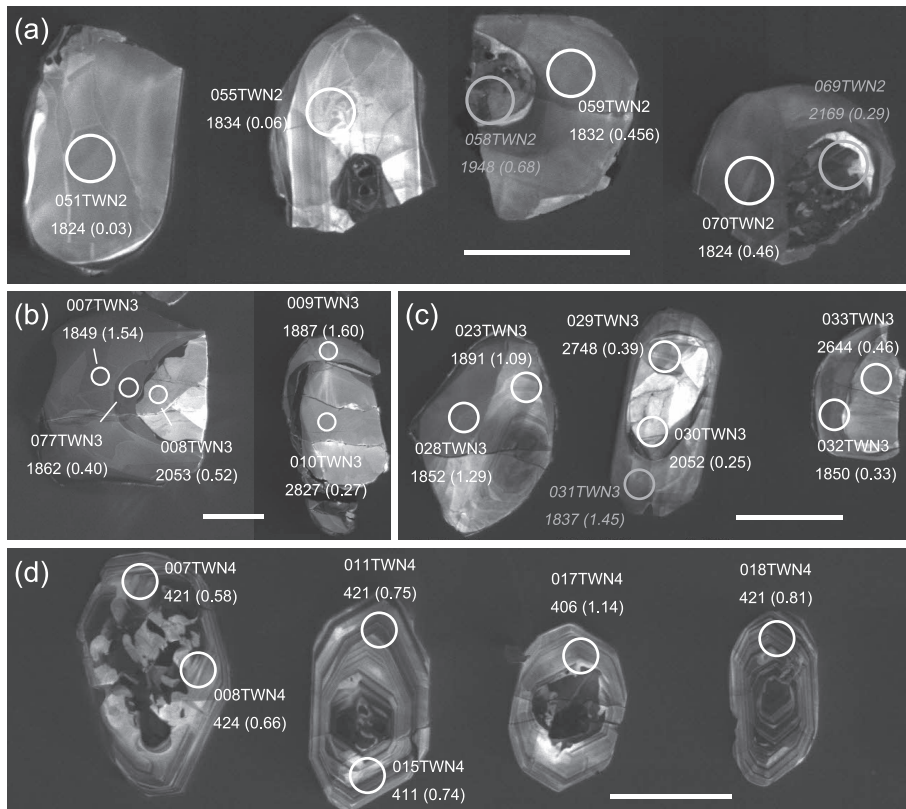


Fig. 8. Cathodoluminescence images of zircon grains and measurement sites (circles). (a) Sample TWN2. (b-c) Sample TWN3. (d) Sample TWN4. All scale bars are 100 μm long. Discordant data are indicated by gray italic font.

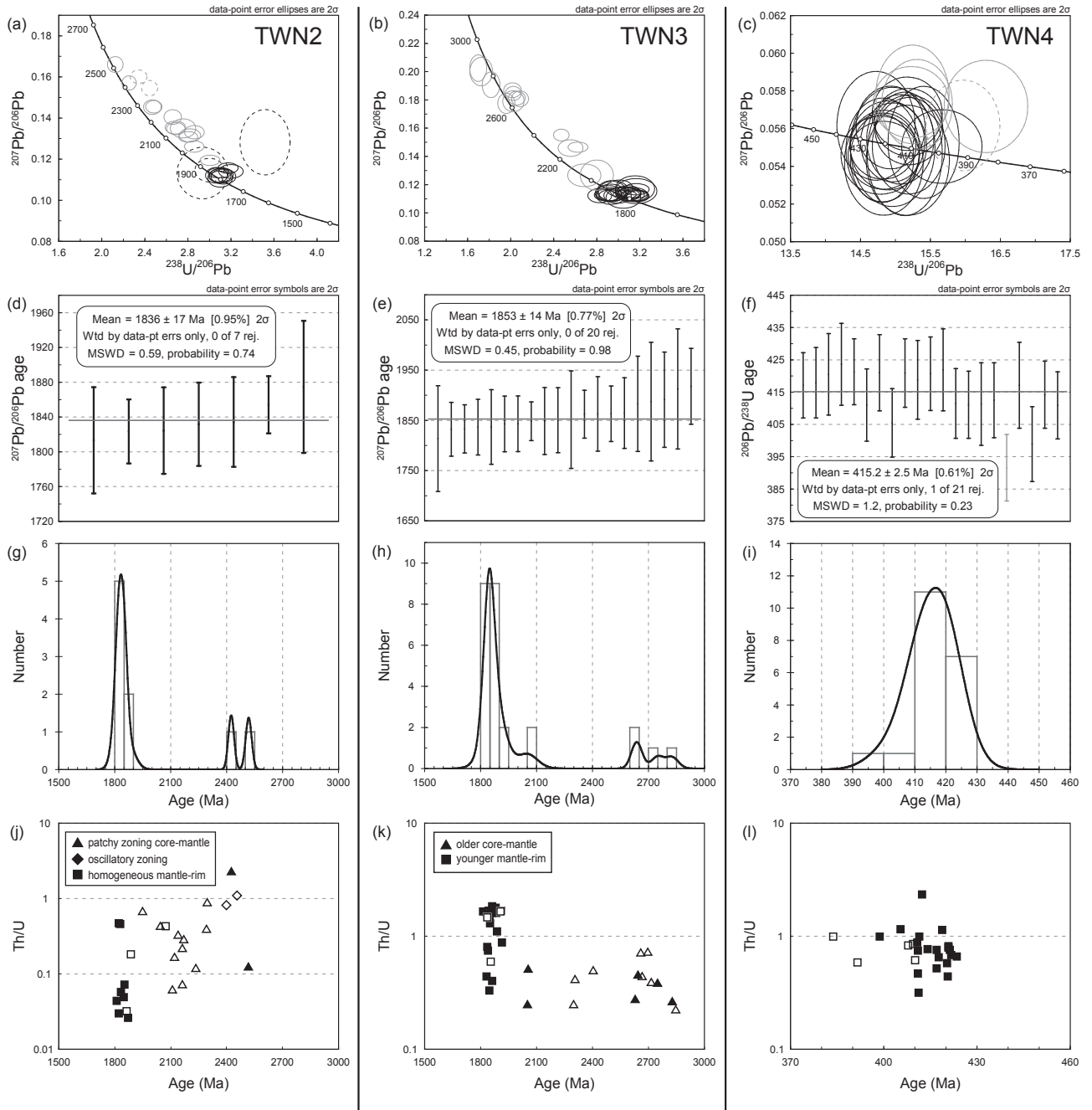


Fig. 9. Results of zircon LA-ICP-MS age dating. (a) Tera–Wasserburg concordia diagram for sample TWN2. Gray ellipses represent patchy-zoned core–mantle, gray dashed ellipses represent oscillatory zoning, black ellipses represent homogeneous mantle–rim, and black dashed ellipses represent low-uranium homogeneous mantle–rim. (b) Tera–Wasserburg concordia diagram for sample TWN3. Gray ellipses represent older core–mantle and black ellipses represent younger mantle–rim. (c) Tera–Wasserburg concordia diagram for sample TWN4. Black ellipses represent concordant data, gray ellipses represent discordant data, and gray dashed ellipses represent rejected data. (d–f) Weighted mean ages for samples (d) TWN2, (e) TWN3, and (f) TWN4. Rejected data are shown in gray. (g–i) Age histograms and probability density plots for samples (g) TWN2, (h) TWN3, and (i) TWN4. (j–l) Zircon age vs. Th/U plots for samples (j) TWN2, (k) TWN3, and (l) TWN4. Solid pattern represents concordant data and open pattern represents discordant data.

は勝部ほか(2012)で SHRIMP データとの整合性を報告したものと同等であるが、現在のシステムは当時用いた ICP-MS (Agilent7500) を取り替えたものである。更新されたシステムは感度が 20% 程度低下した反面、バックグラウンドが低く、結果的にオリジナルのシステムと同等の測定精度を

確保している。測定手法も勝部ほか(2012)に従い、データ解析には Pepi-AGE (Dunkl et al., 2008) を用い、統計解析と作図に Isoplot/Ex3 (Ludwig, 2003) を使用した。

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比および Pb 同位体比の補正には標準試料ジルコンとして FC1 (1099.0 Ma; Paces and Miller, 1993) を

Table 2. LA-ICP-MS zircon U-Pb data.

Spot Label	Zoning ⁽¹⁾	²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb* ± 2σ	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb* ± 2σ	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U age (Ma, ± 2σ)	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U age (Ma, ± 2σ)	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb* age (Ma, ± 2σ)	Th/U	Disc. ⁽²⁾ (%)
039TWN2	p, c-m, dis	2.818 ± 0.082	0.1315 ± 0.0026	1958 ± 49	2037 ± 31	2119 ± 36	0.17	4.06
040TWN2	p, c-m	2.254 ± 0.054	0.1571 ± 0.0028	2367 ± 48	2398 ± 28	2425 ± 31	2.30	1.31
041TWN2	p, c-m, dis	2.687 ± 0.070	0.1349 ± 0.0024	2039 ± 46	2101 ± 29	2162 ± 32	0.22	3.03
045TWN2	h, m, lu, rej	2.936 ± 0.194	0.1132 ± 0.0103	1890 ± 109	1872 ± 101	1852 ± 174	0.05	-0.95
046TWN2	h, r	3.098 ± 0.090	0.1134 ± 0.0020	1804 ± 46	1827 ± 29	1854 ± 33	0.07	1.30
047TWN2	p, c-m, dis	2.802 ± 0.073	0.1309 ± 0.0021	1967 ± 44	2037 ± 28	2109 ± 28	0.06	3.57
048TWN2	o, c-m, dis	2.342 ± 0.063	0.1601 ± 0.0027	2293 ± 52	2380 ± 30	2457 ± 29	1.10	3.83
049TWN2	p, c-m, dis	2.659 ± 0.066	0.1405 ± 0.0029	2058 ± 44	2147 ± 30	2233 ± 37	0.12	4.31
050TWN2	p, c-m, dis	2.469 ± 0.067	0.1453 ± 0.0029	2192 ± 50	2244 ± 31	2291 ± 35	0.40	2.36
051TWN2	h, m	3.131 ± 0.094	0.1115 ± 0.0030	1787 ± 47	1804 ± 34	1824 ± 50	0.03	0.97
055TWN2	h, m	3.066 ± 0.083	0.1121 ± 0.0031	1820 ± 43	1827 ± 34	1834 ± 52	0.06	0.37
056TWN2	p, c-m, dis	2.860 ± 0.074	0.1331 ± 0.0027	1933 ± 44	2035 ± 29	2139 ± 35	0.33	5.26
057TWN2	h, m, dis	3.200 ± 0.093	0.1140 ± 0.0027	1753 ± 45	1805 ± 33	1865 ± 44	0.03	2.94
058TWN2	p, c, dis	3.005 ± 0.075	0.1194 ± 0.0020	1852 ± 40	1897 ± 26	1948 ± 31	0.68	2.46
059TWN2	h, m	3.111 ± 0.090	0.1120 ± 0.0029	1797 ± 46	1813 ± 34	1832 ± 48	0.46	0.91
060TWN2	p, ic	2.125 ± 0.059	0.1660 ± 0.0032	2486 ± 58	2504 ± 32	2518 ± 32	0.13	0.70
061TWN2	h, oc, dis	2.755 ± 0.096	0.1350 ± 0.0038	1996 ± 60	2080 ± 41	2164 ± 50	0.07	4.18
065TWN2	o, c, dis	2.444 ± 0.061	0.1546 ± 0.0031	2211 ± 47	2309 ± 30	2397 ± 35	0.81	4.43
066TWN2	h, m, lu	3.001 ± 0.111	0.1147 ± 0.0047	1854 ± 60	1864 ± 48	1875 ± 76	0.03	0.52
067TWN2	p, c, dis	2.483 ± 0.062	0.1455 ± 0.0025	2181 ± 46	2240 ± 28	2294 ± 30	0.90	2.69
068TWN2	h, m-r, dis	3.173 ± 0.076	0.1157 ± 0.0021	1766 ± 37	1824 ± 26	1890 ± 33	0.18	3.26
069TWN2	p, c, dis	2.684 ± 0.078	0.1354 ± 0.0026	2041 ± 51	2106 ± 32	2169 ± 34	0.29	3.14
070TWN2	h, m	3.098 ± 0.084	0.1115 ± 0.0022	1803 ± 43	1813 ± 29	1824 ± 37	0.46	0.52
071TWN2	p, c, dis	2.858 ± 0.074	0.1262 ± 0.0023	1934 ± 44	1988 ± 28	2045 ± 32	0.44	2.80
075TWN2	h, c-m	3.099 ± 0.093	0.1108 ± 0.0037	1803 ± 47	1808 ± 39	1813 ± 61	0.04	0.27
076TWN2	h, m-r, lu, dis	3.517 ± 0.190	0.1282 ± 0.0129	1613 ± 78	1824 ± 102	2074 ± 190	0.42	13.05
007TWN3	u, m-r	3.130 ± 0.116	0.1130 ± 0.0041	1787 ± 58	1816 ± 45	1849 ± 67	1.54	1.59
008TWN3	u, c	2.800 ± 0.126	0.1267 ± 0.0087	1969 ± 77	2010 ± 74	2053 ± 127	0.52	2.11
009TWN3	u, m-r	3.165 ± 0.158	0.1155 ± 0.0073	1770 ± 78	1825 ± 70	1887 ± 118	1.60	3.08
010TWN3	o, c	1.726 ± 0.086	0.2000 ± 0.0082	2947 ± 119	2876 ± 64	2827 ± 69	0.27	-2.41
011TWN3	o, m	3.047 ± 0.131	0.1109 ± 0.0062	1830 ± 69	1822 ± 62	1814 ± 105	1.64	-0.40
012TWN3	u, m	2.992 ± 0.105	0.1123 ± 0.0045	1859 ± 57	1848 ± 46	1837 ± 74	0.80	-0.55
013TWN3	o, m	3.155 ± 0.148	0.1171 ± 0.0075	1775 ± 73	1839 ± 69	1913 ± 120	1.66	3.62
017TWN3	u, c	1.958 ± 0.065	0.1776 ± 0.0059	2659 ± 72	2643 ± 45	2630 ± 56	0.28	-0.62
018TWN3	o, m	2.897 ± 0.099	0.1127 ± 0.0034	1911 ± 57	1879 ± 39	1843 ± 55	0.74	-1.71
019TWN3	o, c, dis	2.086 ± 0.065	0.1808 ± 0.0045	2525 ± 65	2600 ± 38	2660 ± 42	0.72	3.00
020TWN3	o, m-r	2.943 ± 0.106	0.1152 ± 0.0059	1886 ± 59	1884 ± 55	1883 ± 95	1.78	-0.07
021TWN3	u, m	3.010 ± 0.102	0.1174 ± 0.0048	1849 ± 55	1882 ± 46	1918 ± 76	0.88	1.75
022TWN3	u, m	2.905 ± 0.099	0.1139 ± 0.0046	1907 ± 56	1886 ± 46	1863 ± 74	1.83	-1.11
023TWN3	o, m	2.949 ± 0.118	0.1157 ± 0.0059	1882 ± 66	1887 ± 57	1891 ± 95	1.09	0.22
028TWN3	o, m	2.932 ± 0.114	0.1132 ± 0.0059	1892 ± 64	1873 ± 57	1852 ± 97	1.29	-1.01
029TWN3	o, c	1.817 ± 0.067	0.1907 ± 0.0074	2827 ± 85	2781 ± 53	2748 ± 66	0.39	-1.61
030TWN3	u, m	2.684 ± 0.126	0.1266 ± 0.0066	2042 ± 83	2047 ± 64	2052 ± 95	0.25	0.24
031TWN3	o, r, dis	2.828 ± 0.090	0.1123 ± 0.0042	1952 ± 54	1897 ± 43	1837 ± 69	1.45	-2.83
032TWN3	o, m-r	2.915 ± 0.093	0.1131 ± 0.0040	1902 ± 53	1877 ± 41	1850 ± 65	0.33	-1.28
033TWN3	u, c	2.025 ± 0.081	0.1791 ± 0.0061	2588 ± 86	2620 ± 50	2644 ± 58	0.46	1.23
034TWN3	u, m-r	2.937 ± 0.097	0.1123 ± 0.0034	1889 ± 54	1864 ± 39	1837 ± 55	1.53	-1.32
077TWN3	u, m	3.101 ± 0.087	0.1139 ± 0.0030	1802 ± 44	1830 ± 33	1862 ± 48	0.40	1.57
078TWN3	u, m	3.170 ± 0.089	0.1121 ± 0.0029	1767 ± 43	1798 ± 33	1833 ± 48	1.62	1.72
079TWN3	u, c, dis	2.470 ± 0.059	0.1551 ± 0.0034	2191 ± 45	2303 ± 31	2403 ± 38	0.50	5.09
080TWN3	u, c, dis	2.056 ± 0.064	0.1813 ± 0.0040	2555 ± 66	2616 ± 36	2664 ± 37	0.44	2.41
081TWN3	u, c, dis	2.625 ± 0.076	0.1466 ± 0.0029	2081 ± 52	2196 ± 32	2306 ± 35	0.41	5.56
085TWN3	u, m	3.093 ± 0.096	0.1140 ± 0.0043	1806 ± 49	1833 ± 42	1865 ± 70	1.69	1.51
086TWN3	u, r	3.059 ± 0.089	0.1130 ± 0.0024	1823 ± 46	1835 ± 31	1848 ± 39	1.51	0.64
087TWN3	o, c, dis	2.016 ± 0.067	0.1868 ± 0.0043	2597 ± 71	2663 ± 38	2715 ± 39	0.39	2.57
088TWN3	o, m-r	3.138 ± 0.085	0.1127 ± 0.0034	1783 ± 42	1811 ± 34	1843 ± 55	1.66	1.55
089TWN3	o, c, dis	2.024 ± 0.061	0.1846 ± 0.0041	2588 ± 64	2648 ± 35	2695 ± 37	0.73	2.33
090TWN3	o, m, dis	2.556 ± 0.095	0.1459 ± 0.0048	2129 ± 67	2217 ± 46	2299 ± 58	0.25	4.12

Table 2. Continued.

091TWN3	o, r	3.105 ± 0.087	0.1139 ± 0.0034	1800 ± 44	1829 ± 35	1863 ± 55	1.60	1.64
095TWN3	o, c-m, dis	1.697 ± 0.064	0.2025 ± 0.0077	2986 ± 92	2903 ± 53	2847 ± 63	0.23	-2.77
096TWN3	o, m, dis	3.167 ± 0.098	0.1168 ± 0.0033	1769 ± 48	1833 ± 36	1907 ± 51	1.65	3.63
097TWN3	u, m	3.181 ± 0.086	0.1120 ± 0.0032	1762 ± 42	1794 ± 34	1832 ± 54	0.44	1.84
098TWN3	u, m, dis	3.159 ± 0.088	0.1134 ± 0.0024	1773 ± 44	1811 ± 30	1855 ± 39	0.59	2.14
005TWN4	o, m	14.96 ± 0.37	0.0553 ± 0.0017	417.1 ± 10.1	418.1 ± 13.8	423 ± 71	0.75	0.24
006TWN4	o, m	14.93 ± 0.40	0.0561 ± 0.0018	417.9 ± 10.9	423.6 ± 14.7	455 ± 73	0.65	1.36
007TWN4	o, m	14.83 ± 0.46	0.0542 ± 0.0023	420.5 ± 12.6	414.1 ± 17.8	379 ± 97	0.58	-1.52
008TWN4	o, m	14.72 ± 0.46	0.0562 ± 0.0024	423.6 ± 12.7	429.1 ± 18.4	458 ± 96	0.66	1.30
009TWN4	o, c, dis	15.23 ± 0.44	0.0574 ± 0.0015	410.1 ± 11.5	425.0 ± 14.0	507 ± 61	0.61	3.63
010TWN4	o, m, dis	15.31 ± 0.41	0.0573 ± 0.0019	407.9 ± 10.7	422.5 ± 15.0	503 ± 77	0.82	3.58
011TWN4	o, m	14.81 ± 0.37	0.0544 ± 0.0019	421.3 ± 10.2	416.2 ± 14.8	388 ± 81	0.75	-1.21
015TWN4	o, m	15.19 ± 0.43	0.0551 ± 0.0021	411.0 ± 11.2	411.7 ± 16.0	416 ± 87	0.74	0.17
016TWN4	o, m	14.82 ± 0.43	0.0549 ± 0.0022	421.0 ± 11.8	418.8 ± 17.3	407 ± 95	0.79	-0.52
017TWN4	o, m	15.40 ± 0.42	0.0553 ± 0.0024	405.5 ± 10.6	408.1 ± 17.6	423 ± 101	1.14	0.64
018TWN4	o, m	14.82 ± 0.39	0.0551 ± 0.0014	420.9 ± 10.6	420.0 ± 12.8	415 ± 59	0.81	-0.21
019TWN4	s, c	14.90 ± 0.45	0.0551 ± 0.0019	418.8 ± 12.2	418.4 ± 15.9	417 ± 80	1.14	-0.10
020TWN4	h, c	14.83 ± 0.42	0.0546 ± 0.0015	420.7 ± 11.4	416.8 ± 13.4	396 ± 62	0.44	-0.93
021TWN4	o, m	14.78 ± 0.46	0.0546 ± 0.0017	421.9 ± 12.7	417.9 ± 15.2	396 ± 71	0.67	-0.95
025TWN4	h, c, dis	15.24 ± 0.43	0.0578 ± 0.0021	409.6 ± 11.1	427.1 ± 16.2	523 ± 83	0.85	4.27
026TWN4	o, m	15.17 ± 0.41	0.0568 ± 0.0016	411.5 ± 10.8	422.6 ± 13.6	483 ± 63	0.98	2.70
027TWN4	o, c	15.19 ± 0.39	0.0563 ± 0.0015	411.1 ± 10.4	419.5 ± 12.8	466 ± 59	0.46	2.04
028TWN4	o, m	15.18 ± 0.49	0.0543 ± 0.0024	411.3 ± 12.8	407.3 ± 18.3	384 ± 102	0.32	-0.97
029TWN4	o, c	15.13 ± 0.44	0.0547 ± 0.0027	412.5 ± 11.6	410.4 ± 19.4	399 ± 114	2.32	-0.51
030TWN4	o, m, rej	15.97 ± 0.43	0.0562 ± 0.0020	391.6 ± 10.3	401.5 ± 14.7	459 ± 80	0.58	2.53
031TWN4	o, m	14.96 ± 0.49	0.0550 ± 0.0026	417.1 ± 13.3	416.5 ± 19.7	414 ± 109	0.52	-0.14
035TWN4	o, m, dis	16.29 ± 0.49	0.0572 ± 0.0020	383.9 ± 11.2	400.7 ± 15.3	499 ± 79	0.98	4.38
036TWN4	s, c	15.66 ± 0.47	0.0551 ± 0.0016	398.9 ± 11.6	401.2 ± 14.0	414 ± 66	0.98	0.58
037TWN4	o, c	15.07 ± 0.39	0.0554 ± 0.0019	414.2 ± 10.4	416.6 ± 15.1	430 ± 80	0.77	0.58
038TWN4	o, m	15.20 ± 0.40	0.0559 ± 0.0015	410.9 ± 10.4	416.8 ± 12.7	450 ± 61	0.88	1.44

(1) Kind of zoning, p: patchy zoning, h: homogeneous domain, o: oscillatory zoning, s: sector zoning, u: unclear domain. Domain of zoning: c: core, ic: inner core, oc: outer core, m: mantle, r: rim. Other information: lu: very low uranium domain, dis: discordant data, rej: rejected data.

(2) Discordance is calculated as $[(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U age}) / (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U age}) - 1] \times 100 (\%)$.

用いた。Th/U比の補正にはガラス標準試料であるNIST SRM 610を用い、 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 比の平均値をTIMSのデータ(0.9866 ± 0.0018 ; Stern and Amelin, 2003)で規格化させた。また、測定とデータ解析に異常がないことをチェックするために夜久野オフィオライト朝来岩体のトータル岩から分離されたジルコンであるYO1(TIMS $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ コンコードント年齢= 282 ± 2 Ma; Herzig et al., 1997)を同時に測定した。勝部ほか(2012)に示したように、本システムでは、およそ1 Gaより若いものは $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代が、1 Gaより古いものは $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年代が再現性が良いので、本研究において示す最終的な年代値も同様に使い分けている。なお、本論文においては、「年代」は現象の属性を、「年齢」は物質の属性を示す用語として使い分けているが、一般的に「ジルコン年代」という時など、明確には区別し難い局面もある。測定結果をTable 2とFig. 9に示す。

(1) 正片麻岩(TWN2) 正片麻岩(TWN2)からは、最大粒径150 μm で、淡赤褐色の丸みを帯びたジルコンが得られた。CL像(Fig. 8a)では多くが内部組織の不規則で暗く見え包有物を多く含むpatchy zoningを示すコアを持ち、その周りを明るく均質なマントル～リムが取り囲んでいる。ま

た、波動累帯構造を持つものも見られる。TWN2のジルコン19粒子から26スポットを測定し、その内10点の誤差楕円がコンコードニア曲線に重なった(Fig. 9a)。これらは大きく2つの年齢群に分けられ、その内若い年齢群が8点を占める。この若い年齢群はCL像で明るく見えるマントル～リム部から得られた。コンコードナントなデータのスポット毎の $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年齢は約1875–1813 Maの範囲にあり(Fig. 9g)、この内誤差の大きな1点を除いた7点から 1836 ± 17 Ma (2σ , MSWD=0.59)の $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 重み付け平均年齢が得られた(Fig. 9d)。一方、CL像で暗くpatchy zoningを示すコア部は2点を除いてディスコードナントであり、古い年齢群として約2518 Maと約2425 Maの $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年齢が得られた。Th/U比は、ディスコードナントなものも含めて、patchy zoningを示すコア部では0.06–2.3であるのに対し、均質なマントル～リム部では0.03–0.46であり、多くは0.03–0.07と非常に低い値を示す(Fig. 9j)。

(2) 黒雲母トータル岩–石英閃緑岩(TWN3) 黒雲母トータル岩–石英閃緑岩(TWN3)からは、最大粒径300 μm で淡赤褐色・自形のジルコンが得られた。CL像では中心に明るいコアがあり、その外側を暗い部分が取り囲み、さらに中間

トーンの弱い波動累帯構造を示すマントル～リム部が取り囲む構造が観察される (Figs. 8b, 8c). コア部はさらに中間トーンを中心部 (Fig. 8c のスポット: 029TWN3) と、その外側の明るい部分 (同 030TWN3) に分けられるものもあって、複雑な形成史が示唆される. TWN3 のジルコン 19 粒子から 37 スポットを測定し、その内 26 スポットの誤差楕円がコンコーディア曲線に重なった (Fig. 9b). コンコダントなデータは大きく 4 つの年齢群に分けられ、最も若い年齢群が 20 点と最多で、他の年齢群はそれぞれ 2 点ずつである (Fig. 9h). 最も若い年齢群はほぼ全てのジルコンのリム部から得られており、一部はマントル部からも得られている. その $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年齢の重み付け平均は $1853 \pm 14 \text{ Ma}$ (2σ , $\text{MSWD}=0.45$) となった (Fig. 9e). 一方、他の 3 つの年齢群はほぼコア部とマントル部から得られ、各 2 点ずつの $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年齢の平均は、それぞれ $2052 \pm 76 \text{ Ma}$, $2637 \pm 40 \text{ Ma}$, $2786 \pm 47 \text{ Ma}$ となった. Th/U 比はリム部の最も若い年齢群のもので 0.33–1.83 の範囲にあり、大部分は 0.74 より大きい (Fig. 9k). 一方、これ以外のコアやマントル部は 0.23–0.73 の範囲にあり、大部分は 0.52 より小さい (Fig. 9k).

(3) 花崗閃緑岩 (TWN4) 花崗閃緑岩 (TWN4) からは、最大粒径が $150 \mu\text{m}$ で、無色・自形のジルコンが得られた. CL 像では多くが波動累帯構造を示し、セクター構造を示すものも見られる (Fig. 8d). 17 粒子から 25 スポットを測定し、その内 21 点の誤差楕円がコンコーディア曲線に重なった (Fig. 9c). コンコダントなデータの $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年齢は約 424–392 Ma であり、この内 1 点を除いた 20 点から $415.2 \pm 2.5 \text{ Ma}$ (2σ , $\text{MSWD}=1.2$) の $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 重み付け平均年齢が得られた (Fig. 9f). Th/U 比は 2.32 の 1 点を除いて 0.32–1.14 の範囲にある (Fig. 9l).

考 察

1. ジルコン年代の解釈

今回ジルコンの U–Pb 年代を測定した花崗岩質岩 3 試料の内、淡赤褐色のジルコンを含む 2 試料から古原生代の年齢が、無色のジルコンを含む 1 試料からデボン紀最前期の年齢が得られた. TWN3 では、ほぼ全てのジルコン粒子のマントル～リム部から約 1.9–1.8 Ga の年齢が得られた. 相対的に高い Th/U 比はマグマの固結年齢を示すと考えられており (Hoskin and Schaltegger, 2003), 本試料の Th/U 比は約 0.7–1.8 と高いことから、 $1853 \pm 14 \text{ Ma}$ は TWN3 のマグマの固結年代であると考えられる. また、TWN4 のジルコンも、累帯構造や Th/U 比が典型的なマグマ起源のジルコンの特徴を示し、全てのスポット年齢がほぼ一致することから、 $415.2 \pm 2.5 \text{ Ma}$ はマグマの固結年代と考えられる. 一方、正片麻岩である TWN2 では多くのジルコンのマントル～リム部が 1.8 Ga 台の年齢を示す. 変成作用時に形成される変成リムは Th/U 比がコア部より有意に低いことが知られており (例えば、Williams and Claesson, 1987; Hoskin and Black, 2000), 本試料のマントル～リム部での Th/U 比の大部分はコア部よりも低く 0.1 未満であるこ

とから、 $1836 \pm 17 \text{ Ma}$ は変成作用の年代であると考えられる. TWN2 のコンコーディア図 (Fig. 9a) で 2.5 Ga 付近と 1.8 Ga 付近を結ぶ直線上にプロットされるデータが多いことから、この岩石は約 2.5 Ga に固結した花崗閃緑岩が 1.85 Ga に高度変成作用を受けて正片麻岩になったものと考えられる. 現在まで、二つの古原生代試料からは 1.8 Ga より若いスポット年齢は全く得られていない.

ジルコンの色味に関しては古くから言及されており、例えば富田 (1956) は、ジルコンの群色がジルコン中の放射性核種由来の放射線強度と放射線損傷を受けた時間の長さの 2 つの効果によって変化すると述べている. 著者らは、これまで多数のジルコンの年代測定を手がけた経験から、ジルコンの色の濃さは鉛の含有量に比例すると推定している. すなわち、同じウラン含有量であれば古いジルコンほど色が濃く、同じ年齢のものであれば、ウラン含有量の高いものほど色が濃い. 数百 ppm 程度の平均的なウラン含有量のジルコンであれば、薄片の鏡下観察においてははっきりとした色が認められるものは、ほぼ 1 Ga より古いものである. 今回測定した試料も例外ではなかった. なお、著者らは、ここで報告した試料の他にも、寺田地区に産するものを含め 5 試料の花崗岩質岩からジルコンを分離しており、その内 4 試料のジルコンは明瞭な赤褐色を呈している.

2. 津和野地域の花崗岩質岩の意義

津和野地域で見出された花崗岩質岩の内、無色ジルコンを含む花崗閃緑岩 (TWN4) からはデボン紀最前期のジルコン年齢が得られた. これは、舞鶴帯北帯の模式地である舞鶴—大江地域の西部岩体に産する花崗岩から得られたジルコン年齢 (Fujii et al., 2008; Tsutsumi et al., 2014) と調和的である. 舞鶴帯北帯西部岩体の花崗岩類は様々な程度にマイロナイト化とカタクラサイト化を被り、変斑れい岩、変ドレライトを密接に伴っており (池田・早坂, 1994), この点でも、津和野地域のものと同様している. 津和野地域舞鶴帯の北縁部に位置していることなどを総合すると、本岩体は舞鶴帯北帯に対比されると考えられる.

一方、赤褐色ジルコンを含む正片麻岩 (TWN2) とトータル岩—石英閃緑岩 (TWN3) からは古原生代のジルコン年齢が得られた. 日本列島の中で古原生代の年齢を示す岩石は、礫岩中の礫を除けば、島根県隠岐島後の片麻岩類が報告されているのみである (Tsutsumi et al., 2006; Cho et al., 2012). これら隠岐変成岩類は飛騨変成岩類と同様に多くが三畳紀の変成年代を示すが (Suzuki and Adachi, 1994), 古原生代の固結・変成年代を示すものも散見される (Takahashi et al., 2018). 今回、飛騨—隠岐帯の南東側に広がる中・古生界からなる地体の中に古原生代の岩体がテクトニック・ブロックとして存在することが初めて明確になった. それらのジルコンの年齢構成 (Fig. 9) は、ディスコダントなデータも含め、北中国地塊から報告されているものに極めて良く類似しており (例えば、Kusky et al., 2007; Wu et al., 2007), 北中国地塊由来と考えられる. 津和野地域の古原生代岩体も、その産状から舞鶴帯北帯の構成要素であると考えられる.

Fujii et al. (2008)は模式地の舞鶴帯北帯をロシア沿海州のハンカ地塊に対比し、500 km オーダーの右横ずれ変位によって現位置にもたらされたと考えた。舞鶴地域から直線距離にして330 km 西方に位置する津和野地域に北中国地塊由来のものが含まれるのは、大陸地域におけるハンカ地塊と北中国地塊の配置と調和的である。古原生代の岩体がペルム系に挟まれて産することは、古い地質体ほど構造的上位に位置するという西南日本内帯の先白亜系に見られるパイルナップ構造の規則性から外れている。このことは、早坂ほか(2000)やFujii et al. (2008)が推定した、舞鶴帯北縁部に沿う大規模な横ずれ変位を支持するデータであると考えられる。今後、周辺地域の碎屑性ジルコンを含め、津和野地域の花崗岩質岩体の構造と年代構成をより詳細に明らかにする必要がある。

結 論

1. 津和野地域に分布する舞鶴帯の北縁部から、約1.85 Gaの古原生代の花崗岩・正片麻岩類とデボン紀最前期の花崗閃緑岩を含む岩体を見出した。
2. 古原生代の花崗岩・正片麻岩類は北中国地塊に由来すると思われる。
3. この岩体は、年代値、産状、および構造的な位置から舞鶴帯北帯に対比される。
4. この岩体は、舞鶴帯の北縁部に沿う大規模な横ずれ運動によってもたらされた異地性ブロックであると考えられる。

謝 辞

津和野町教育委員会の世良清美教育長と宮田健一文化財係長には調査地の多数の地権者に入山許可を得る際に仲介役となってくれた。査読者である国立科学博物館の堤 恭博士と産業技術総合研究所の高橋 浩博士および編集担当の産業技術総合研究所の内野隆之博士からは有益なご指摘を頂き、本稿が改善された。本研究には、文部科学省の2013~2015年度科学研究費助成金(課題番号:25400486)を使用した。以上の方々ならびに関係機関に感謝申し上げる。

文 献

Cho, D.-L., Takahashi, Y., Yi, K. and Lee, S. R., 2012, SHRIMP U-Pb zircon ages of granite gneiss and paragneiss from Oki-Dogo island, southwest Japan, and their tectonic implications. *Geophys. Res. Abstr.*, **14**, EGU2012-1720.

Dunkl, I., Mikes, T., Simon, K. and von Eynatten, H., 2008, Brief introduction to the Windows program *Pepita*: data visualization, and reduction, outlier rejection, calculation of trace element ratios and concentrations from LA-ICP-MS data. In Sylvester, P., ed., *Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues*. Mineral. Assoc. Canada Short Course, **40**, 334-340.

Fujii, M., Hayasaka, Y. and Terada, K., 2008, SHRIMP zircon and EPMA monazite dating of granitic rocks from the Maizuru terrane, southwest Japan: Correlation with East Asian Paleozoic terranes and geological implications. *Isl. Arc*, **17**, 322-341.

福富孝義・磯崎行雄(Fukudomi, T. and Isozaki, Y.), 1988, 島根県

西部のジュラ紀コンプレックス(鹿足層群)に南接するペルム紀コンプレックスおよび結晶片岩類(Newly found Permian Complexes and crystalline schists on the south of the Jurassic Complex (Kanoashi Group), western Shimane Prefecture). *地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan)*, **94**, 59-62.

福富孝義・板谷徹丸・磯崎行雄(Fukudomi, T., Itaya, T. and Isozaki, Y.), 1989, 島根県西部、津和野地域の結晶片岩類のK-Ar年代(K-Ar ages of crystalline schists in the Tsuwano area, western Shimane Prefecture, Southwest Japan). *地質学論集(Mem. Geol. Soc. Japan)*, **33**, 125-130.

原田達也・早坂康隆・木村光佑(Harada, T., Hayasaka, Y. and Kimura, K.), 2015, 岡山県西部におけるカンブリア紀後期を示す花崗岩マイロナイトの発見(Discovery of late Cambrian granite mylonite in the northern Okayama Prefecture, SW Japan). 日本地質学会第122年学術大会講演要旨(122nd Annu. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.), R5-P-28, 238.

早坂康隆(Hayasaka, Y.), 1987, 西南日本内帯西部地域における中・古生代造構作用の研究(Study on the Late Paleozoic-Early Mesozoic Tectonic Development of Western Half of the Inner Zone of Southwest Japan). 広島地学研報(*Geol. Rep. Hiroshima Univ.*), **27**, 119-204.

早坂康隆・石岡 純・池田圭一・隅田祥光(Hayasaka, Y., Ishioka, J., Ikeda, K. and Suda, Y.), 2000, 舞鶴帯にまつわる2, 3の地質学の問題(Some geologic problems on the Maizuru Terrane, Inner zone of Southwest Japan). 地団研専報(*Monog. Assoc. Geol. Collab. Japan*), **49**, 81-91.

Herzig, C. T., Kimbrough, D. L. and Hayasaka, Y., 1997, Early Permian zircon uranium-lead ages for plagiogranites in the Yakuno ophiolite, Asago district, Southwest Japan. *Isl. Arc*, **6**, 396-403.

Hoskin, W. O. P. and Black, L. P., 2000, Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *Jour. Metamorph. Geol.*, **18**, 423-439.

Hoskin, W. O. P. and Schaltegger, U., 2003, The Composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis. *Rev. Mineral. Geochem.*, **53**, 27-62.

Ichikawa, K., 1990, Pre-Cretaceous Terranes of Japan. In Ichikawa, K., Mizutani, S., Hara, I., Hada, S. and Yao, A., eds., *Pre-Cretaceous Terranes of Japan*, IGCP Project No. 224, Osaka, 1-12.

猪木幸男(Igi, S.), 1959, 舞鶴付近のいわゆる「夜久野岩類」について(So-called "Yakuno Intrusive Rocks" in Maizuru District, Japan). 地調月報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **10**, 1053-1061.

池田圭一・早坂康隆(Ikeda, K. and Hayasaka, Y.), 1994, 京都府北部舞鶴帯北帯夜久野岩類のRb-Sr年代(Rb-Sr ages of the Yakuno rocks from the Northern Subzone of the Maizuru Terrane, Kyoto Prefecture, Southwest Japan). 岩鉱(*Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol. /Ganko*), **89**, 454-464.

加納 博・中沢圭二・猪木幸男・志岐常正(Kano, H., Nakazawa, K., Igi, S. and Shiki, T.), 1959, 夜久野侵入岩類に伴う高度変成岩類について(On the High-grade Metamorphic Rocks associated with the Yakuno Intrusive Rocks of the Maizuru Zone). *地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan)*, **65**, 267-271.

勝部亜矢・早坂康隆・坂口 綾・高橋嘉夫(Katsube, A., Hayasaka, Y., Sakaguchi, A. and Takahashi, Y.), 2012, 213 nm Nd-YAG レーザーアブレーションICP質量分析装置を用いたジルコンのU-Pb局所年代分析: SHRIMP データとの整合性の検討(U-Pb zircon dating using Nd-YAG (213 nm) Laser ablation-ICP-MS, and evaluating the consistency with SHRIMP dating). *地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan)*, **118**, 762-767.

木村光佑・早坂康隆・隅田祥光(Kimura, K., Hayasaka, Y. and Suda, Y.), 2011, 夜久野オフィオライトのジルコンのSHRIMP U-Pb年代とREE組成(SHRIMP U-Pb ages and REE composition of zircons from the Yakuno ophiolite, Southwest Japan). 日本地質学会第118年学術大会・日本鉱物科学会2011年年会合同学術大会講演要旨(2011 Joint Annu. Meet. Japan Assoc. Mineral. Sci. Geol. Soc. Japan, Abstr.), R7-P-5, 188.

- Kojima, S., Hayasaka, Y., Hiroi, Y., Matsuoka, A., Sano, H., Sugamori, Y.,...Uchino, T., 2016, Pre-Cretaceous accretionary complexes. In Moreno, T., Wallis, S., Kojima, T. and Gibbons, W., eds., *The Geology of Japan*, Geol. Soc. London, 61–100.
- Kusky, T. M., Windley, B. F. and Zhai, M.-G., 2007, Tectonic evolution of the North China Block: from orogen to craton to orogen. Southwest Japan. In Zhai, M.-G., Windley, B. F., Kusky, T. M. and Meng, Q. R., eds., *Mesozoic Sub-Continental Lithospheric Thinning Under Eastern Asia*, Geol. Soc. London, Spec. Publ., **280**, 1–34.
- Ludwig, K. R., 2003, User's Manual for Isoplot 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronol. Center Spec. Publ.*, **4**, 74p.
- 松浦浩久・尾崎正紀・脇田浩二・牧本 博・水野清秀・亀高正男..... 駒澤正夫(Matsuura, H., Ozaki, M., Wakita, K., Makimoto, H., Mizuno, K., Kametaka, M.,...Komazawa, M.), 2007, 20 万分の 1 地質図幅「山口および見島」(*Geological Map of Japan, Scale 1: 200,000, Yamaguchi and Mishima*). 産総研地質調査総合センター(Geol. Surv. Japan, AIST).
- 中沢圭二(Nakazawa, K.), 1961, 夜久野地域のいわゆる夜久野貫入岩類(舞鶴地帯の層序と構造 その 9) (On the So-called Yakuno Intrusive Rocks in the Yakuno District, Southwest Japan (Studies on the Stratigraphy and the Geologic Structure of the Maizuru Zone. Part 9)). 横山次郎教授記念論文集(*Prof Jiro Makiyama Memorial Vol.*), 149–161.
- Paces, J. B. and Miller, J. D., 1993, Precise U–Pb Ages of Duluth Complex and Related Mafic Intrusions, Northeastern Minnesota: Geochronological Insights to Physical, Petrogenetic, Paleomagnetic, and Tectonomagmatic Processes Associated With the 1.1 Ga Midcontinent Rift System. *Jour. Geophys. Res.*, **98**, 13997–14013.
- Shipboard Scientific Party, 2001, Explanatory notes. In Kanazawa, T., Sager, W. W., Escutia, C. and ODP Leg 191 Shipboard Scientific Party, eds., *Proc. ODP, Init. Rep.*, **191**, 46. College Station, TX (Ocean Drilling Program), doi: 10.2973/odp.proc.ir.191.102.2001, Leg 191.
- Suzuki, K. and Adachi, M., 1994, Middle Precambrian detrital monazite and zircon from the Hida gneiss on Oki-Dogo Island, Japan: their origin and implications for the correlation of basement gneiss of Southwest Japan and Korea. *Tectonophysics*, **235**, 277–292.
- Stern, R. A. and Amelin, Y., 2003, Assessment of errors in SIMS zircon U–Pb geochronology using a natural zircon standard and NIST SRM 610 glass. *Chem. Geol.*, **197**, 111–142.
- 高橋裕平・牧本 博・脇田浩二・酒井 彰(Takahashi, Y., Makimoto, H., Wakita, K. and Sakai, A.), 1989, 津田地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅) (*Geology of the Tsuda District. With Geological Sheet Map at 1: 50,000*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan).
- Takahashi, Y., Cho, D.-L., Mao, J., Zhao, X. and Yi, K., 2018, SHRIMP U–Pb zircon ages of the Hida metamorphic and plutonic rocks, Japan: Implications for late Paleozoic to Mesozoic tectonics around the Korean Peninsula. *Isl. Arc*, **27**, e12220, doi: 10.1111/iar.12220.
- 富田 達(Tomita, T.), 1956, ジルコンの放射能効果(Radio-effects in Zircon). 地球科学(*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **26-27**, 36–51.
- Tsutsumi, Y., Yokoyama, K., Horie, K., Terada, K. and Hidaka, H., 2006, SHRIMP U–Pb dating of detrital zircons in paragneiss from Oki-Dogo Island, western Japan. *Jour. Mineral. Petrol. Sci.*, **101**, 289–298.
- Tsutsumi, Y., Yokoyama, K., Kasatkin, S. A. and Golozubov, V. V., 2014, Zircon U–Pb age of granitoids in the Maizuru Belt, southwest Japan and the southernmost Khanka Massif, Far East Russia. *Jour. Mineral. Petrol. Sci.*, **109**, 97–102.
- 脇田浩二(Wakita, K.), 1985, 広島市北東の苅田層・八幡谷層における中—後期二疊紀放射能化石の発見(Discovery of Middle-Late Permian radiolarians in the Karita and Hachimandai Formations in the northeast environs of Hiroshima, Japan). 地球科学(*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **39**, 237–240.
- Williams, I. S. and Claesson, S., 1987, Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high grade paragneisses from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **97**, 205–217.
- Wu, F.-Y., Han, R.-H., Yang, J.-H., Wilde, S. A., Zhai, M.-G. and Park, S.-C., 2007, Initial constraints on the timing of granitic magmatism in North Korea using U–Pb zircon geochronology. *Chem. Geol.*, **238**, 232–248.

(著者プロフィール)

木村光佑 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻研究員。17年 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻博士課程後期修了(理学博士), 17年から現職。研究内容: 日本列島のオフィオライト質岩のジルコン年代学・地球化学。本研究では地質調査・機器分析・総括・原稿執筆を担当。E-mail: kimurakoske@hiroshima-u.ac.jp

早坂康隆 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻准教授。79年 熊本大学理学部卒, 86年 広島大学大学院理学研究科博士後期課程修了(理学博士), 87年 広島大学大学院理学研究科助手, 15年から現職。研究内容: 日本列島を含む東アジアのテクトニクスの解明。本研究では, 地質調査・データ分析・原稿執筆を担当。E-mail: hayasaka@hiroshima-u.ac.jp

柴田知之 広島大学理学研究科地球惑星システム学専攻教授。92年 岡山大学大学院自然科学研究科物質科学専攻博士課程修了, 日本学術振興会特別研究員(東京大学), 岡山大学地球内部研究センター研究員, 山梨県環境科学研究所研究員, 京都大学理学研究科地球熱学研究施設助手・助教をへて16年から現職。研究内容: 沈み込み帯におけるマグマの起源と物質循環。本研究では, 機器分析を担当。E-mail: tomo33hk@hiroshima-u.ac.jp

川口健太 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻博士課程後期在籍。13年 広島大学理学部卒, 15年 広島大学大学院理学研究科博士課程前期修了, 15年4月から17年3月まで応用地質株式会社東京支社勤務, 17年4月より現職。研究内容: 西南日本の地体構造の解明, ベトナムにおける大陸衝突テクトニクス・弧火成活動の解明。本研究では, 地質調査を担当。

E-mail: kenta-kawaguchi@hiroshima-u.ac.jp

藤原弘士 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻博士課程前期在籍。16年 広島大学理学部卒, 16年4月より現職。研究内容: 西南日本内帯西部地域の中・古生代火成活動史の解明。本研究では地質調査を担当。E-mail: m173037@hiroshima-u.ac.jp

(要 旨)

木村光佑・早坂康隆・柴田知之・川口健太・藤原弘士, 2019, 島根県津和野地域の舞鶴帯から古原生代 18.5 億年花崗岩質岩体の発見とその意義. 地質雑, **125**, 153–165. (Kimura, K., Hayasaka, Y., Shibata, T., Kawaguchi, K. and Fujiwara, H., 2019, Discovery of Paleoproterozoic 1.85 Ga granitoid bodies from the Maizuru Terrane in the Tsuwano area, Shimane Prefecture, Southwest Japan and its geologic implications. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **125**, 153–165.)

島根県津和野地域の舞鶴帯北縁部から古原生代の花崗岩類と正片麻岩を見出した。この岩体は苦鉄質岩類を伴い、ペルム系の堆積岩類に挟まれた幅数百 m の狭長な地帯にブロックの集合体として産する。ジルコンの U–Pb 年代は、正片麻岩が 1836 ± 17 Ma、トータル岩–石英閃緑岩が 1853 ± 14 Ma、花崗閃緑岩が 415.2 ± 2.5 Ma であった。古原生代のジルコンは 2.8–2.1 Ga の古いコアを持ち、北中国地塊由来と考えられる。デボン紀のものは年代から舞鶴–大江地域の舞鶴帯北帯西部岩体に対比され、岩相構成と産状から古原生代岩体も舞鶴帯北帯構成要素と考えられる。本岩体は、古い地質体ほど構造的上位に位置するという西南日本内帯のパイルナップ構造の一般則から外れ、ジュラ紀の付加体・変成岩と接する舞鶴帯北縁部に産することから、舞鶴帯北縁に沿う横ずれ断層によって異地性ブロックとして定置した可能性がある。

科学論文では、学説の検証可能性を保証することが重要です。そのため、地質学雑誌掲載論文には、重要な証拠となった試料がどこで得られたかを示しているものがあります。言うまでもないことですが、見学や採取を行う場合、各自の責任において地権者や関係官庁への連絡と許可の取得の必要があることにご注意下さい。詳しくは、以下のサイトをご覧ください。

<http://www.geosociety.jp/publication/content0073.html>

一般社団法人日本地質学会