レター

北海道神居古潭変成岩類班溪幌内ユニットからの新たなジルコン U–Pb 年代 New U–Pb zircon dates from the Pankehoronai Unit of the Kamuikotan metamorphic rocks in central Hokkaido

長田充弘^{1,*} 大藤 茂²

Mitsuhiro Nagata^{1,*} and Shigeru Otoh²

2020年2月9日受付.
2020年6月26日受理.

¹ 富山大学大学院理工学教育部
Graduate School of Science and Engineering, University of
Toyama, 3190 Gofuku, Toyama 930-8555, Japan

² 富山大学学術研究部都市デザイン学系
Academic Assembly, Faculty of Sustainable Design, Univer-
sity of Toyama, 3190 Gofuku, Toyama 930-8555, Japan

* 現所属: 日本原子力研究機構東濃地科学センター
Tono Geoscience Center, Japan Atomic Energy Agency
(JAEA), Jorinji, Izumicho, Toki 509-5102, Japan

Corresponding author: M. Nagata,
nagata.mitsuhiro@jaea.go.jp

Abstract: The Pankehoronai Unit occupies the lowest part of the Cretaceous Kamuikotan high-P metamorphic rocks in central Hokkaido, Northeast Japan, and consists mainly of pelitic and mafic schists. Detrital zircon grains from the pelitic schist of the Pankehoronai Unit along the Kamuidaiyonsengawa River, in the west of Asahikawa, have the youngest age cluster with the weighted mean of the $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of 81.45 ± 0.99 Ma (95% confidence; Campanian). This result indicates that the pelitic protolith of the Pankehoronai Unit was deposited in the Campanian (latest Cretaceous) or later, which is the youngest record of the depositional age from the Kamuikotan metamorphic rocks.

Keywords: Cretaceous, Hokkaido, Kamuikotan metamorphic rocks, Sorachi-Yezo belt, U–Pb dating, zircon

はじめに

北海道中軸部には、^{そらち}空知–エゾ帯と呼ばれる地帯が分布し、その延長はロシアのサハリンにまで及ぶ(Fig. 1a)。空知–エゾ帯は、1) 付加体起源の白亜紀高圧変成岩類である神居古潭変成岩類、2) イドンナップ帯と呼ばれる地帯の白亜紀付加体、3) 空知層群、および4) 白亜紀前弧海盆堆積物の蝦夷層群から構成される。このうち、北海道中央部の神居古潭変成岩類は、見かけ下位から^{ばんけほろない はるしな いびえい}班溪幌内、春志内、美瑛および幌加内ユニットに区分されている(Sakakibara and Ota, 1994 など)。また、班溪幌内ユニットを班溪幌内コン

プレックス、春志内、美瑛および幌加内ユニットを^{いわしみず}岩清水コンプレックスと呼ぶ区分もある(植田, 2010)。これまでに、神居古潭変成岩類の幌加内ユニットから ca. 145–121 Ma、美瑛ユニットから ca. 106–101 Ma、春志内ユニットから ca. 116–73 Ma、班溪幌内ユニットから ca. 84–51 Ma の白雲母 K–Ar 年代または Ar–Ar 年代が得られている(例えば、今泉・植田, 1981; Iwasaki et al., 1995; 太田, 1999; 太田ほか, 1993; Sakakibara and Ota, 1994)。一方、神居古潭変成岩類のジルコン U–Pb 年代については、Okamoto et al. (2014, 2015) により、石狩川沿いの班溪幌内ユニットから ca. 120–100 Ma の堆積年代上限値が、春志内ユニットから 100.8 ± 1.1 Ma と 99.3 ± 1.2 Ma の堆積年代上限値が得られているのみであった。

最近、西南日本の三波川変成岩類の、変成碎屑岩から分離した碎屑性ジルコンの U–Pb 年代測定が盛んに行われている。その結果、変成碎屑岩類のほとんどの原岩が上部白亜系(100 Ma 以降)であることが分かりつつある(Aoki et al., 2019 など)。後期白亜紀の原岩堆積年代が得られた三波川変成岩類の白雲母 K–Ar 年代は ca. 88–63 Ma である(例えば、Itaya and Takasugi, 1988)。上部白亜系を原岩とする三波川変成岩類から報告されている白雲母 K–Ar 年代と、神居古潭変成岩類の白雲母 K–Ar または Ar–Ar 年代が一部重複することから、筆者の一人長田は、ca. 84–51 Ma の白雲母 K–Ar 年代もしくは Ar–Ar 年代が得られている北海道旭川市の石狩川周辺の班溪幌内ユニット(太田, 1999; 太田ほか, 1993)に着目して、変成碎屑岩から分離したジルコンの U–Pb 年代測定を試みた。その結果、既存報告されている ca. 100 Ma より有意に若いジルコン U–Pb 年代を得たので、以下に報告する。

石狩川周辺の神居古潭変成岩類の概要および採取試料

北海道旭川市神居町神居古潭の石狩川流域には、下位から班溪幌内、春志内および美瑛ユニットと、変成岩ブロックを含む蛇紋岩類(^{ときわやま}常盤山メランジュ)が分布する(太田, 1999: Fig. 1b)。これらはおおむね NNW–SSE 走向、東傾斜だが、西傾斜の部分もみられる。各ユニット境界には、しばしば蛇紋岩が確認される(太田, 1999)。班溪幌内ユニットは、調査地域西方に広く分布し、苦鉄質片岩、珪質片岩、石灰質片岩、泥質片岩および蛇紋岩からなる。春志内ユニットは、調査地域東方に広く分布する主に砂泥質片岩からなるユニットで、少量の苦鉄質片岩、珪質片岩および蛇紋岩などを挟む。美瑛ユニットは、調査地域北東の一部に分布する主に苦鉄質片岩からなるユニットで、少量の珪質片岩および泥質片岩を

Fig. 1. a) Simplified tectonic division of Hokkaido. Modified from Nanayama et al. (2018). The open square denotes the study area. b) Geological map along the Ishikarigawa-River. Modified from Ota (1999). Abbreviations P.U.: Pankehoronai Unit, H.U.: Harushinai Unit, B.U.: Biei Unit, sch.: schist.

挟む。幌加内ユニットはこの地域周辺に露出しない。

年代測定試料(PKP2)は石狩川南方の支流である神居第四線川沿いの露頭で採取した(43°43'33.0"N・142°13'51.5"E 付近)。神居第四線川沿いの班溪幌内ユニットは泥質片岩と苦鉄質片岩および蛇紋岩からなり、珪質片岩や石灰質片岩は認められない。採取試料は主に緑泥石および白雲母と細粒な石英およびアルバイトが数 mm から数 cm 単位で互層する泥質片岩であり、片理に斜交する石英脈もしくは方解石脈もみられる(Fig. A1a)。試料は、可能な限り脈や著しく変質・風化した部分を避けて採取した。

ジルコン分離からジルコン U-Pb 年代測定まで

まず、採取試料から薄片を複数枚作成し、脈中にジルコンがないか確認した。脈中にジルコンは確認されなかったが、念のため中型カッターやグラインダーを用いて可能な限り、脈などを除去して岩石スライスを作成した。0.2 kg のスライスをハンマーで荒砕きした後、60 メッシュ(目開き 250 μm)の篩に通るまでステンレス乳鉢とステンレス乳棒を用いて繰り返し粉碎した。水簸とパンニングにより軽鉱物を取り除いた後、実体顕微鏡下でジルコン粒子をスライドガラス上に 120 粒子並べて、アクリル樹脂で封入した。その後、ジルコン粒子の研磨面を出した。次に、産業技術総合研究所地質調査総合センター設置の Gatan 社製 Mini CL が接続された走査型電子顕微鏡(JEOL JSM-6610 LV)を利用して、ジルコンのカソード・ルミネッセンス(CL)像とBSE像を撮影した。CL 像を観察した結果、ジルコンにはオシラトリー累帯が認められ、変成リムは認められなかった(Fig. A1b)。以上の画像からジルコン中のクラックやインクルー

ジョンを避けて、測定箇所を選定した。年代測定には、名古屋大学大学院環境学研究科のレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計(LA-ICPMS)を利用した。レーザーシステムは、NWR 社(New Wave Research, Inc.)製の Laser Ablation System UP-213 を、ICPMS は、アジレントテクノロジー株式会社製の Agilent 7700x を用いた。ガラス標準試料 NIST SRM 610(Horn and von Blanckenburg, 2007: $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比の推奨値 = 0.2236)を用いて各元素比および同位体比の補正を行い、ジルコン標準試料 91500(Wiedenbeck et al., 1995: $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代の推奨年代 = 1062.4 ± 0.8 Ma)と OD-3(岩野ほか, 2012; Iwano et al., 2013: $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代の推奨年代 = 33.0 ± 0.1 Ma)を未知試料(PKP2)と共に測定し、測定中の補正の有効性を確認した。本測定の誤差(標準偏差: 2SD)は NIST SRM 610 の繰り返し測定から算出した測定誤差(2SD)と各同位体の誤差伝播を年代値に乗じて、算出されている。分析条件の詳細は、Table A1 に示した(高地ほか, 2015)。分析は gas blank: 5 スポット, NIST SRM 610: 4 スポット, 91500: 1 スポット, OD-3: 1 スポット, PKP2: 8 スポット, NIST SRM 610: 4 スポット, gas blank: 5 スポットを 1 サイクルとして測定した。

測定結果

測定は 13 サイクル行った。ジルコン標準試料と PKP2 の測定データの詳細は Table A2 に示した。PKP2 の前後に測定した NIST SRM 610 ガラスの $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ および $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ 比の繰り返し再現性(2SD)はそれぞれ 0.8–2.2%, 1.0–2.2% および 0.7–3.4% であった。さらに

Fig. 2. The U-Pb zircon data from sample PKP2. (a) Probability density plot of younger data (300–0 Ma; bin width is 5 million year). Abbreviations n: number of concordant zircon grain, YSG: youngest single grain $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age. (b) Weighted mean average age from youngest cluster based on the “YC2 σ ” of Dickinson and Gehrels (2009).

PKP2 と共に測定したジルコン標準試料 91500 および OD-3 のコンコードアントデータの $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代の加重平均値を、Ludwig (2012) の Isoplot 4.15 を用いてそれぞれ求めた。コンコードアントとディスコードアントの識別は、Matsui et al. (2018) に従い、Isoplot 4.15 を用いて、コンコーディア図に ($^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 比, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比) を誤差 (2σ) 付きで 1 粒子ずつ投影し、コンコーディア曲線にかかるものをコンコードアント、コンコーディア曲線にかからないものをディスコードアントと判断した。91500 の $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加重平均年代は 1064 ± 12 Ma ($n = 12$; 95% confidence), OD-3 のそれは 33.52 ± 0.49 Ma ($n = 13$; 95% confidence) であった。これらの年代値は、それぞれのジルコン標準試料の推奨年代値 (Wiedenbeck et al., 1995; Iwano et al., 2013) を誤差範囲に含む。

班溪幌内ユニットの泥質片岩 (PKP2) からのジルコンは、104 粒子測定した。これらのうち、測定途中にジルコン粒子が破損した 4 粒子のデータを除外した。70 粒子のコンコードアントデータは、ca. 133–80 Ma (54 粒子: 77.1%), ca. 198–159 Ma (9 粒子: 12.9%), ca. 296–264 Ma (3 粒子: 4.3%) および ca. 2416–2188 Ma (4 粒子: 5.7%) と、それぞれ白亜紀、ジュラ紀、ペルム紀および古原生代に相当する 4 つのグループにわかれた (Figs. A1c, d, 2a)。コンコードアント粒子の Th/U は 0.11–1.11 を示す (Table A2)。このうち、白亜紀のグループは相対確率分布図上で、ca. 82, 94, 101, 112, 119 および 128 Ma にピークをなす (Fig. 2a)。最も若い単粒子の $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代は 79.5 ± 2.1 Ma (2σ) であり、その粒子の年代およびそれと 2σ の誤差が重複する 7 粒子を合わせた全 8 粒子からなる最も若い年代クラスタの $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代の加重平均値は、 81.45 ± 0.99 Ma (95% confidence) となった (Fig. 2b)。これらの年代は、Dickinson and Gehrels (2009) の YSG と YC2 σ にほぼ相当する。

班溪幌内ユニットの原岩堆積年代とその意義

本研究から神居第四線川沿いの班溪幌内ユニット泥質片岩より抽出した碎屑性ジルコンの、最も若い年代クラスタの加重平均値は 81.45 ± 0.99 Ma (95% confidence) であった。本論では、この値を変成碎屑岩の原岩堆積年代上限値として用いる。この結果は、本泥質片岩の原岩が、誤差も考慮すると ca. 82 Ma (後期白亜紀 Campanian: ca. 83.6–72.1 Ma) 以降に堆積したことを示す。班溪幌内ユニットからは ca. 84–51 Ma の白雲母 K–Ar もしくは白雲母 Ar–Ar 年代が得られている。先行研究と本論の結果から、少なくとも神居第四線川沿いの班溪幌内ユニットの原岩堆積から変成作用は ca. 82–51 Ma の間に起こったことが示唆される。一方、Okamoto et al. (2014) は、石狩川流域の班溪幌内ユニットから ca. 120–115 Ma と ca. 2600 Ma (ca. 1900 Ma のリムをもつ) の碎屑性ジルコン U–Pb 年代を報告した。さらに班溪幌内ユニットの構造的上位にある春志内ユニットより得られたジルコンの、最も若いクラスタの U–Pb 年代が ca. 100 Ma であったため、両ユニットの原岩堆積年代は比較的近かったと解釈している (Okamoto et al., 2014, 2015)。しかし、Okamoto et al. (2014) の試料は産状が記載されておらず、石狩川沿いの班溪幌内ユニットの測定数は 16 粒子 22 スポットであり、分析数が十分とは言えない。Okamoto et al. (2014) が石狩川沿いの班溪幌内ユニットから得た原岩堆積年代上限値に相当する、ca. 120–115 Ma のジルコンが本研究でも確認される (Fig. 2a) ことを考え合わせると、Okamoto et al. (2014) は本研究で検出された ca. 80 Ma のジルコンを検出し損ねた可能性もある。Okamoto et al. (2014) のデータは、班溪幌内ユニットの原岩堆積年代上限値が ca. 120–115 Ma ということを示しており、石狩川沿いの班溪幌内ユニットも本研究の試料と同様に ca. 82 Ma 以降の原岩年代をもつ地質体であるとする解釈と矛盾しない。

一方、現時点においては、班溪幌内ユニットが原岩堆積年代の異なる複数のユニットの複合体であるとする解釈(辛ほか, 2016; 竹下ほか, 2018)も否定できない。石狩川流域の班溪幌内ユニットと石狩川支流の班溪幌内ユニットには、岩質に以下のような違いがあるからである。すなわち、石狩川流域の班溪幌内ユニットは、蛇紋岩、苦鉄質片岩、珪質片岩、石灰質片岩および泥質片岩と多様な岩相組み合わせからなり、ローソン石がみられるのに対し、石狩川支流の班溪幌内ユニットは、主に苦鉄質片岩と泥質片岩と単調な岩相の組み合わせからなり、ローソン石を産しないという違いである。しかし、石狩川流域と石狩川支流の班溪幌内ユニットに堆積年代の差があるか否かを判断できるデータは今のところ揃っていない。今後、石狩川流域と石狩川支流の複数地点で泥質片岩を採取し、同一試料で碎屑性ジルコン年代と変成鉱物の K-Ar 年代の双方を測定することで、原岩堆積年代の評価が可能になると期待される。

本論により得られた年代値は、いずれの解釈にせよ、神居古潭変成岩類の中で現状最も若い原岩堆積年代のユニットの存在を示唆し、班溪幌内ユニットの再検討の可能性を示している。現在、Okamoto et al. (2014, 2015)、辛ほか (2016) や竹下ほか (2018) などのグループによって、班溪幌内ユニット周辺の調査が精力的に進められており、その詳細の解明が期待される。また、神居古潭変成岩類とイドンナップ帯は岩相や年代によって対比がなされており、両者が同一の沈み込み帯で形成された深部・浅部付加体であると解釈されている(例えば、Ueda et al., 2001; Watanabe et al., 1994)。本研究によって得られた神居古潭変成岩類班溪幌内ユニットの原岩堆積年代上限値がイドンナップ帯幌別川コンプレックス(Ueda et al., 2000, 2001)の一部から得られている放散虫化石が示す時代(後期白亜紀 Campanian ~ 古第三紀暁新世 Danian; Kiyokawa, 1992; Ueda et al., 2001)と整合的である点は興味深い。今後、イドンナップ帯についてもジルコン年代測定が行われることで神居古潭変成岩類とイドンナップ帯の詳細な関係が明らかになることが期待される。

謝 辞

産業技術総合研究所の宮崎一博博士、針金由美子博士および重松紀生博士には、ジルコンの CL 像撮影の際に、共同利用の SEM の使用方法などについてご指導していただいた。名古屋大学大学院環境学研究科の山本鋼志教授(現名古屋大学博物館特任教授)には、年代測定に際して、様々な便宜をはかっていただいた。北海道大学大学院理学院(当時)竹下 徹教授と辛 沅知氏および岡本あゆみ氏には、神居古潭変成岩類について様々な情報をご提供いただいた。旭川市教育委員会と旭川開発建設部には、現地調査に際して、様々な便宜をはかっていただいた。株式会社京都フィッション・トラックの岩野英樹氏には、本論でジルコン標準試料として使用した OD-3 ジルコンをご提供いただいた。富山大学大学院理工学教育部地球科学専攻(当時)の上田哲也氏と村上みなみ氏には、現地にて試料採取にご協力いただいた。地質学雑誌担当編集委員の岩森 光博士と匿名の査読者には、適切な

ご指摘によって本レターは改善された。以上の皆様には、ここに記して感謝したい。本研究は JSPS 科研費 JP17K05677 の助成を受けたものである。また、本論は第 1 著者の修士研究時の結果を再測定し、まとめた内容の一部である。

文 献

- Aoki, K., Seo, Y., Sakata, S., Obayashi, H., Tsuchiya, Y., Imayama, T., ..., Hirata, T., 2019, U-Pb zircon dating of the Sanbagawa metamorphic rocks in the Besshi-Asemi-gawa region, central Shikoku, Japan, and tectono-stratigraphic consequences. *J. Geol. Soc. Japan*, **125**, 183–194.
- Dickinson, W. R. and Gehrels, G. E., 2009, Use of U-Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: a test against a Colorado Plateau Mesozoic database. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **288**, 115–125.
- Horn, I. and Blanckenburg, F. V., 2007, Investigation on elemental and isotopic fractionation during 196 nm femtosecond laser ablation multiple collector inductively coupled plasma mass spectrometry. *Spectrochim. Acta, Part B*, **62**, 410–422.
- 今泉真之・植田良夫, 1981, 北海道幌加内地域の変成度の異なる二種の高圧型神居古潭変成岩類の K-Ar 年代。岩石鉱物鉱床学会誌, **76**, 88–92. [Imaizumi, M. and Ueda, Y., 1981, On the K-Ar ages of the rocks of two kinds existed in the Kamuikotan metamorphic rocks located in the Horokanai district, Hokkaido. *J. Japan. Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **76**, 88–92.]
- 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.
- 岩野英樹・折橋裕二・檀原 徹・平田岳士・小笠原正継, 2012, 同一ジルコン結晶を用いたフィッション・トラックと U-Pb ダブル年代測定法の評価—島根県川本花崗閃緑岩中の均質ジルコンを用いて—。地質雑, **118**, 365–375. [Iwano, H., Orihashi, Y., Danhara T., Hirata, T. and Ogasawara, M., 2012, Evaluation of fission-track and U-Pb double dating method for identical zircon grains: Using homogeneous zircon grains in Kawamoto Granodiorite in Shimane prefecture, Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **118**, 365–375.]
- Iwano, H., Orihashi, Y., Hirata, T., Ogasawara, M., Danhara, T., Horie, K., ..., Yamamoto, K., 2013, An inter-laboratory evaluation of OD-3 zircon for use as a secondary U-Pb dating standard. *Isl. Arc*, **22**, 382–394.
- Iwasaki, I., Watanabe, T., Itaya, T., Yamazaki, M. and Takigami, Y., 1995, Palaeogene K-Ar ages from the Kamuikotan metamorphic rocks, southern area of the Kamuikotan Gorge, central Hokkaido, northern Japan. *Geol. J.*, **30**, 281–295.
- Kiyokawa, S., 1992, Geology of the Idonnappu belt, central Hokkaido, Japan: Evolution of a Cretaceous accretionary complex. *Tectonics*, **11**, 1180–1206.
- 高地吉一・折橋裕二・小原北士・藤本辰弥・春田泰宏・山本鋼志, 2015, 213 nm Nd: YAG レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計を用いたジルコンの U-Pb 年代測定: Pb/U 分別補正に NIST SRM610 を用いるための分析条件最適化。地球化学, **49**, 19–35. [Kouchi, Y., Orihashi, Y., Obara, H., Fujimoto, T., Haruta, Y. and Yamamoto, K., 2015, Zircon U-Pb dating by 213 nm Nd: YAG laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry: Optimization of the analytical condition to use NIST SRM 610 for Pb/U fractionation correction. *Geochemistry(Chikyukagaku)*, **49**, 19–35.]
- Ludwig, K. R., 2012, *User's Manual for Isoplot 3.75–4.15: Geochronological Toolkit for Microsoft Excel*. Berkeley Geochronology Center Special Publication 5, 77p.
- Matsui, K., Kimura, Y., Nagata, M., Inose, H., Ikeda, K., Beatty,

- B.,...Sashida, K., 2018, A long-forgotten "dinosaur" bone from a museum cabinet, uncovered to be a Japan's iconic extinct mammal. *R. Soc. Open Sci.*, **5**, 172441, doi: 10.1098/rsos.172441.
- Nanayama, F., Takahashi, Y., Yamasaki, T., Nakagawa, M., Iwano, H., Danhara, T. and Hirata, T., 2018, U-Pb zircon ages of the Nakanogawa Group in the Hidaka Belt, northern Japan: Implications for its provenance and the protolith of the Hidaka metamorphic rocks. *Isl. Arc*, **27**, e12234, doi: 10.1111/iar.12234.
- Okamoto, A., Takeshita, T., Iwano, H., Danhara, T., Hirata, T., Nishido, H. and Sakata, S., 2015, Fission track and U-Pb zircon ages of psammitic rocks from the Harushinai unit, Kamuikotan metamorphic rocks, central Hokkaido, Japan: constraints on metamorphic histories. *Isl. Arc*, **24**, 379–403.
- Okamoto, A., Takeshita, T., Iwano, H., Danhara, T., Nishido, H., Yi, K.,...Sakata, S., 2014, U-Pb and Fission track zircon ages from the Kamuikotan metamorphic rocks in Asahikawa district, northern Japan: toward the reconstruction of tectonics. *121st Annu. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.*, 55.
- 太田 努, 1999, 神居古潭変成帯の発達史—変形変成史に基づく白雲母 K-Ar 年代の再検討を踏まえて. 地質学論集, **52**, 17–35. [Ota, T., 1999, Evolution of the Kamuikotan high-P/T metamorphic belt in central Hokkaido, Japan: reinvestigation of white mica K-Ar ages based on history of deformation and metamorphism. *Mem. Geol. Soc. Japan*, **52**, 17–35.]
- 太田 努・榊原正幸・板谷徹丸, 1993, 北海道神居古潭変成岩類の K-Ar 年代. 地質雑, **99**, 335–345. [Ota, T., Sakakibara, M. and Itaya, T., 1999, Evolution of the Kamuikotan high-P/T metamorphic belt in central Hokkaido, Japan: reinvestigation of white mica K-Ar ages based on history of deformation and metamorphism. *J. Geol. Soc. Japan*, **99**, 335–345.]
- Sakakibara, M. and Ota, T., 1994, Metamorphic evolution of the Kamuikotan high-pressure and low-temperature metamorphic rocks in central Hokkaido, Japan. *J. Geophys. Res. B: Solid Earth*, **99**, 22221–22235.
- 辛 沅知・竹下 徹・岡本あゆみ, 2016, 北海道旭川市周辺の神居古潭変成岩のテクトニクス再検討: ジルコン U-Pb 年代と流体移動による接触変成作用. 日本地球惑星連合 2016 年大会予稿集, SMP43-12. [Shin, W., Takeshita, T. and Okamoto, A., 2016, Appraisal of the tectonics of the Kamuikotan metamorphic rocks around the Asahikawa City, central Hokkaido: Zircon U-Pb ages and contact metamorphism by fluid migration, *Japan Geosci. Union Meet. 2016, Abstr.*, SMP43-12.]
- 竹下 徹・平島崇男・植田勇人・岡本あゆみ・木下周祐・辛ウオンジ・中山貴仁, 2018, 神居古潭帯のテクトニクス. 地質雑, **124**, 491–515. [Takeshita, T., Hirajima, T., Ueda, H., Okamoto, A., Kinoshita, S., Shin, W.,...Nakayama, Itaya, T., 1999, Tectonics in the Kamuikotan belt: from the Cretaceous subduction channel to forearc basin sediments. *J. Geol. Soc. Japan*, **124**, 491–515.]
- 植田勇人, 2010, 2. 中生代～古第三紀収束域の地質体, 2. 2. 付加体, 2. 2. 3. 空知-エゾ帯の付加体, 2. 2. 3. e. 神居古潭帯. 日本地質学会編, 日本地質地方誌 1, 北海道地方, 朝倉書店, 40–47. [Ueda, H., 2010, 2. Geology of the Mesozoic to Paleogene convergence zone, 2. 2. Accretionary complex, 2. 2. 3. Accretionary complex of the Sorachi-Yezo belt, 2. 2. 3. e. Kamuikotan belt. In Geological Society of Japan, ed., *Regional Geology of Japan, Vol. 1, Hokkaido*, Asakura Publ., 40–47.]
- Ueda, H., Kawamura, M. and Iwata, K., 2001, Tectonic evolution of Cretaceous accretionary complex in the Idonnappu Zone, Urakawa area, central Hokkaido, Northern Japan: with reference to radiolarian ages and thermal structure. *J. Geol. Soc. Japan*, **107**, 81–98.
- Ueda, H., Kawamura, M. and Niida, K., 2000, Accretion and tectonic erosion processes revealed by the mode of occurrence and geochemistry of greenstones in the Cretaceous accretionary complexes of the Idonnappu Zone, southern central Hokkaido, Japan. *Isl. Arc*, **9**, 237–257.
- Watanabe, T., Iwasaki, I., Ueda, H. and Koitabashi, S., 1994, K-Ar age and structure of Mesozoic accretionary prism in NW Pacific rim—a case study of the Kamuikotan metamorphic and Idonnappu belts. In Wu, H., Tian, B. and Liu, Y., eds., *IGCP Project 294 International Symposium, Very Low Grade Metamorphism: Mechanisms and Geological Application*, Seismological Press, Beijing, 144–155.
- Wiedenbeck, M., Alle, P., Corfu, F., Griffin, W. L., Meier, M., Oberli, F.,...Spiegel, W., 1995, Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geostand. Geoanal. Res.*, **19**, 1–23.

以下の Appendix は、オープンファイルとして学会ホームページ上で公開しています。<<http://www.geosociety.jp/publication/content0006.html>>

Fig. A1. a) Photomicrograph (cross-polarized light; scale bar is 300 μm) of sample PKP2 (pelitic schist). Abbreviations Chl: chlorite, Ms: muscovite, Q-A: quartz and albite. b) Cathodoluminescence (CL) images of zircon grains from sample PKP2 with $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages. Yellow open circles show measurement spots (25 μm). Scale bar is 50 μm . c) Concordia diagram of sample PKP2. Red solid and blue open circles denote concordant and discordant grains, respectively. Abbreviations N: number of concordant and discordant zircon grain. d) Probability density plot of all data (bin width is 50 million year). Abbreviations n: number of concordant zircon grain, YSG: youngest single grain $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age.

Table A1. LA-ICPMS analytical conditions for U-Pb dating based on Kouchi et al. (2015).

Table A2. The U-Pb zircon data for secondary standard zircons (91500 and OD-3) and sample PKP2. ^{206}Pb : common ^{206}Pb (%). R: Rejected data, C (D): Concordant (discordant) data.

(役割分担)

長田充弘 地質調査・年代測定・原稿執筆・編集委員会との対応
大藤 茂 地質調査・総括・原稿執筆

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