日高帯中に見いだされた後期漸新世を示す珪質泥岩層とそのテクトニックな意義

New age constraints and tectonic significance of the late Oligocene marine biosiliceous mudstone in the Hidaka Belt, northeastern Hokkaido, Japan

Abstract

七山 太^{1,2} 栗田裕司³ 田近 淳⁴
山崎 徹¹ 岩野英樹⁵ 檀原 徹⁵
平田岳史⁶

*Futoshi Nanayama^{1,2}, Hiroshi Kurita³,
Jun Tajika⁴, Toru Yamasaki¹,
Hideki Iwano⁵, Tohru Danhara⁵ and
Takafumi Hirata⁶*

2019年2月21日受付.

2019年9月19日受理.

¹ 産業技術総合研究所地質情報研究部門
Research Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan, AIST, Tsukuba 305-8567, Japan

² 熊本大学くまもと水循環・減災研究教育センター
Center for Water Cycle, Marine Environment and Disaster Mitigation, Kumamoto University, Kumamoto 860-8555, Japan

³ 新潟大学理学部理学科
Faculty of Science, Niigata University, Niigata 950-2181, Japan

⁴ (株)ドーコン
Docon Co. Ltd., Sapporo 004-8585, Japan

⁵ 京都フィッショントラック(株)
Kyoto Fission-Track Co. Ltd., Omiya, Kita-Ku, Kyoto 603-8832, Japan

⁶ 東京大学大学院理学研究科附属地殻化学実験施設
Geochemical Research Center, Graduate School of Science, The University of Tokyo, Bunkyo-Ku, Tokyo 113-0033, Japan

Corresponding author: F. Nanayama,
nanayama-f@aist.go.jp

The Tatsuushi Formation in the Kitami–Monbetsu area of northeastern Hokkaido, northern Japan, consists mainly of siliceous mudstone and has previously been considered part of the Hidaka Supergroup along with the adjacent Uenkotan and Rurochi formations. In this study, the depositional age of the Tatsuushi Formation was constrained using two methods. A laser ablation–inductively coupled plasma–mass spectrometry U–Pb age of 26.9 ± 0.2 Ma was obtained for the maximum depositional age of the formation based on the minimum age of detrital zircon grains from turbiditic sandstone. In addition, the presence of dinoflagellate fossils in the formation indicates a late Oligocene (*Williamsdinium* sp. C and *Spinidinium*? sp. A zones) depositional age for the formation. Given that the depositional age of the Hidaka Supergroup is Paleocene to early Eocene, the Tatsuushi Formation should be excluded from the Hidaka Supergroup. Instead, it can be correlated with the lower units of the Tsubetsu and Kawakami groups on the basis of their depositional age and lithology. Similar siliceous mudstone crops out in the southeastern part of the Tatsuushi Formation across the Abashiri tectonic line, which has been an active right-lateral strike-slip fault since the late Oligocene. These three correlated bodies of rock may owe their origin to upwelling of nutrient-rich deep water from the Sea of Okhotsk after the opening of the Kuril basin.

Keywords: Depositional age, Zircon U–Pb age, LA-ICP-MS, Tatsuushi Formation, Hidaka Belt, Late Oligocene

はじめに

日高累層群は、長谷川ほか(1961)によって先エゾ系の空知層群、神威層群、中の川層群を総括する名称として定義された。その後、紺谷・酒井(1978)、君波ほか(1986a, b)の整理を経て、“日高帯に分布する中生界”のみを日高累層群と呼ぶことが提案された。しかし1990年代以降の研究結果によって、日高累層群の碎屑岩類の堆積年代が大幅に若返ったため、矛盾が生じることとなった。そのため、従来の日高累

層群から西縁に分布する白亜紀付加体であるイドンナップゾーン(空知–エゾ帯)の地層を除き、北東縁の湧別層群を含めた主に暁新世～前期始新世の古日本弧と古千島弧の間に挟まれたタービダイト相主体の地層を、日高累層群として再定義することが提案された(Nanayama et al., 1993; 中川, 2010; Ueda, 2016; Nanayama et al., 2018)。以下、本稿で用いる日高帯および日高累層群の定義は、Ueda (2016)およびNanayama et al. (2018)に準拠する。

日高帯北部に位置する北見紋別地域には、日高累層群が、

Fig. 1. Tectonic map of Hokkaido and southern Sakhalin Island. See Fig. 2 for a detailed geological map of the study area. Fm.: Formation, HMT: Hidaka Main Thrust.

東西約 40 km, 南北約 70 km の広範囲に分布する (Fig. 1)。この地域の日高累層群は、主として砂岩層、泥岩層、それらの互層およびそれらの混在岩から構成され、N-MORB 組成を示す *in situ* 玄武岩類 (緑色岩類) を特徴的に挟在することが知られている (宮下ほか, 1997)。また、1980 年代以前は、日高累層群には稀にチャートや石灰岩のブロックを含むとされ (長谷川ほか, 1961)、これらの石灰岩やチャートブロックから産出する化石によって、日高累層群は長らく漠然と古生代あるいはジュラ系～下部白亜系と考えられていた時期があった (紺谷・酒井, 1978)。しかし、1980 年代以降は、タービダイト相の泥質岩から産出した放散虫化石によって、日高累層群の形成年代は上部白亜系 (Santonian～Maastichtian) であるとされた (岩田・加藤, 1986; 八幡ほか, 1988)。これにより、古い化石を産出するブロックは、イドンナップゾーン (空知-エゾ帯) からもたらされたオリストリスと再解釈されるようになった (田近, 1992; 田近・岩田, 1990, 1994)。1990 年代にタービダイト相の泥質岩から報告された放散虫化石年代が前期古第三紀の暁新世と始新世と読み替えられるようになり (君波ほか, 1990a; 田近・岩田, 1990)、さらに湧別層群西縁部の向遠軽層からの前期始新世を示す渦鞭毛藻化石の産出報告 (栗田・田近, 1998)、湧別層群や中の川層群に挟まれる酸性凝灰岩や砂岩を用いた FT

Fig. 2. Geological map of the Tatsuushi area, modified from Matsunami (2002) and Oka and Tajika (2008). Black squares show sample localities of this study. White squares show sample localities reported by Iwata and Kato (1986) and Oka and Tajika (2008) in this area. T-5 and T-6: sample numbers of Iwata and Kato (1986). Y-14, Y-16, TA1, TA3, TA6, TA22, and TA124: sample numbers of Oka and Tajika (2008). TT01, TT04 and NT-03: sample numbers of this study. RS: radiolaria fossils, FF: foraminifera fossils, DC: dinoflagellate cysts, DFD: locality of the debris flow deposit shown in Fig. 3d, Fm.: Formation, Fms.: Formations, HSG: Hidaka Supergroup, R: River.

年代や酸性凝灰岩の K-Ar 年代によって、前期古第三紀説を支持する報告が相次いだ (君波ほか, 1990b; 七山・鷹澤, 1997; 小野, 2002)。2018 年以降になって、日高帯南部の中の川層群のジルコン U-Pb 年代の測定が複数地点で行われた (Nanayama et al., 2018, 2019)。その結果に基づいて、Nanayama et al. (2018, 2019) は、日高帯北部の砕屑岩類 (日高累層群) も南部と同じ暁新世～前期始新世の年代値を示す可能性を指摘していた。

最近、これまでの研究によって北見紋別地域の日高帯 (日高累層群) に組み入れられていた立牛層から、後期漸新世を示す年代データが複数の方法で得られた。本稿ではそれらの年代値の報告を行い、それらの年代値の示すテクトニックな

Fig. 3. Outcrop photographs of the Tatsuushi Formation; localities are shown in Fig. 2. (a, b) Bedded siliceous mudstone at Nakatatsuushi, (c) turbidite sandstone beds along the Uenkotan River, and (d) a debris-flow deposit associated with limestone blocks at Shimotatsuushi. The scale bars in the photos are 1 m (a, b), 60cm x 40 cm (c) and 14 cm (d), respectively.

意義について考察を行う。

地 質 概 説

1. 渚滑川から立牛川流域に露出する日高累層群の層序と構造

北見紋別地域の渚滑川から立牛川流域に露出する日高累層群は、西から瑠椽層、立牛層、上古丹層に区分されている(岡・田近, 2008; Figs. 1 and 2). ただし、岡・田近(2008)が述べているとおり、これらの区分は地質層序区分ではなく、あくまでも見かけの岩相に基づく地体構造的な区分である。これらのうち、瑠椽層と上古丹層はこの地域の日高累層群を特徴づける N-MORB 組成を示す *in situ* 玄武岩類(緑色岩類)を伴う破断した砂岩泥岩互層からなる(田近・岩田, 1994; 宮下ほか, 1997). また、瑠椽層と上古丹層は、同じ地層の繰り返しである可能性が指摘されている(宮下ほか, 1997). 渚滑川流域において、瑠椽層と立牛層の間には中期中新世の上支湧別層とオシラネツ川層の海成礫岩層が挟在されており、これらは堆積時に生じた右横ずれ変形に伴って、日高帯中にプリアパートベースンを埋積する堆積物として生成されたと考えられている(Kimura et al., 1983; 宮坂ほか, 1980, 1984, 1986).

2. 立牛層の岩相と構造

立牛層は田近ほか(1988)によって初めて定義され、その後、渚滑川流域に分布する渚滑川層(田近, 1989)も含めて再定義された(田近・岩田, 1994). 本層は主として暗灰色～黒色を呈する塊状の珪質泥岩からなり、径 10~60 cm、最大 1 m の石灰質ノジュールを含み、周辺の日高累層群(瑠椽層・上古丹層)と比較して特異な岩相を示す(田近・岩田, 1994; Fig. 3). また本層は NNW-SSE, NE-SW 方向の一般走向、60~90° 西傾斜の同斜構造を示す場合が多いが、露頭ごとに走向方向や傾斜角は有意に変化する。また、NE-SW, ENE-WSW 方向の高角断層によって、他の日高累層群と同様に数 km オーダーでブロック化している(Fig. 2). 立牛層の層厚は見掛け 5000 m 以上と見積もられているが(岡・田近, 2008)、露頭オーダーでも小断層や褶曲構造によって著しい変形を被っており、岩相の変化が認められないことから、同じ地層が繰り返し現れている可能性も否定できない。

岡・田近(2008)は模式地の立牛川流域において、立牛層を泥岩ユニット(Ta)、珪質泥岩ユニット(Tm)、泥岩優勢砂岩泥岩互層(Taa)、葉片状/鱗片状泥岩(ph)の 4 つの岩相ユニットに区分し、5 万分の 1 スケールの地質図と“見かけ”柱

状図を示した。ただし、地層の堆積構造が破壊されれば不明確なので、岩相ユニット相互の上下関係は必ずしも明確ではなく、全体の層序は不確実とも記述している。また、我々の観察によれば、泥岩ユニット(Ta)、珪質泥岩ユニット(Tm)の厳密な区分は難しい。両者はハンマーで叩くと共にガラス状の光沢と貝殻状の断口を示し、鏡下観察では再結晶化した珪藻化石や放散虫化石が認められることから、本稿の記述では岡・田近(2008)のように細分せず、珪質泥岩層として一括して取り扱うことにする(Fig. 3a, b)。

珪質泥岩層中に稀に認められる砂岩の薄層は、生物擾乱により不規則に混じりあって不明確な場合が多い。ただし、中立牛の上古丹川と立牛川合流地点付近(NT-03; Fig. 2)の河床においては、層厚 20~30 cm の比較的変形の少ないタービダイト砂岩が 5 層ほど観察される(Fig. 3c)。しかし、これらも変形が著しいため、地質図オーダーでは連続して観察できない。

また、下立牛の立牛川河床においては、石灰岩ブロックを多量に伴う層厚 3 m の土流堆積物が観察される(Fig. 3d)。この石灰岩ブロックは球状の石灰海綿(sphinctozoan sponges)を豊富に含み、岩相的にはイドンナップゾーン(Ueda, 2016; Fig. 1)の三疊系石灰岩ブロックと類似した特徴を示す。

海緑石は立牛層の珪質泥岩中の多くの層準において認められ、特に中立牛のタービダイト砂岩や下立牛の土流堆積物のマトリックスに多量に存在する。それらの海緑石は、肉眼で楕円形あるいは、それらの集合体状を示し、直径 1 mm 程度のものが多く、鏡下では定方向配列を示さない微細な結晶の集合体からなる。珪質泥岩の基質や球形の放散虫化石の内部に海緑石が存在することから、これらの海緑石は二次的に再堆積したものではなく、立牛層の初生的堆積場で生成されたものと考えられる。

岡・田近(2008)の記した立牛図幅において、立牛層は多くの場合 NNE-SSW の走向をもつ高角断層(北見富士断層)を介して上古丹層と接しており、立牛層の東縁部は切断されている(Fig. 2)。その一方で、上古丹川上流域では、立牛層が上古丹層を直接覆うとの記述もある(岡・田近, 2008)。一方、立牛層の西縁は、滝上町濁川以東の渚滑川で見られ、NW 傾斜で東上位を示すことから、その多くが逆転層と判断されている(Fig. 2; 松波, 2002)。また、松波(2002)による滝上図幅では、厳密な記述は無いものの立牛層が瑠璃層を覆うように表現されている。ただし、瑠璃層と立牛層の直接の関係を示す露頭は、これまでのところ確認できていない。

一方、立牛図幅内においては、立牛層と瑠璃層の間には中部中新統の海成礫層である上支湧別層とオシラネツ川層が挟在されており(宮坂ほか, 1984)、立牛層との境界には NNW-SSE の走向を持つ高角断層(立牛断層)が存在する(Fig. 2)。また、立牛断層の西側においても、瑠璃層に対比される日高累層群が上支湧別層に不整合関係で覆われると記述されている(宮坂ほか, 1984; 岡・田近, 2008)。立牛層と瑠璃層は見た目にも岩相が大きく異なっており、その堆積場や造構場がまったく異なると考えられており、瑠璃層と立

牛層の関係は不整合、もしくは高角断層と考える方がより合理的であろう。

立牛川下流の下立牛地域や古丹別川東方において、立牛層は中部~上部中新統の非海成礫岩層からなる藻類層(八幡ほか, 1988)によって不整合に覆われる(岡・田近, 2008; Fig. 2)ことから、立牛層は中期中新世以前の堆積物であると判断される。

3. これまで報告されていた立牛層の微化石年代

これまで立牛層から報告されていた放散虫化石年代について整理する。岩田・加藤(1986)は、渚滑川河床に露出する立牛層相当の日高累層群(T-5, T-6 地点; Fig. 2)から *Bathropyramis campbelli* Taketani, *Lithatractus pusillus* (Campbell & Clark), *Orbiculiforma monlicelloensis* Pessagno, *Patellulla*(?) sp. A, *Spongurus* spp. 等の放散虫化石を報告している。これらの産出リストで見る限り詳細な時代は特定しがたいが、彼らは後期白亜紀(Santonian~Maastrichtian)と推定した。その後、君波ほか(1990a)は、北接する興部地域の瑠璃層から *Podocyrtis* sp. A, *Theocampe* cf. *mongolfieri* および *Periphaena* cf. *decola* の産出を報告し、少なくともこの地域の瑠璃層の堆積時代は始新世であると報告した。岡・田近(2008)は、君波ほか(1990a)が放散虫化石を報告した Loc. 2 および Loc. 3 の無層理の黒色泥岩層を岩相的類似から立牛層に対比可能と解釈し、立牛層の年代は始新世におよぶと論じた(岡・田近, 2008)。ただし、渚滑川より北部の地域においては日高累層群の露出が総じて不良になるため、立牛層と瑠璃層の層序関係やそれらの分布は必ずしも明確とは言えない。

岡・田近(2008)は立牛川流域の立牛層から、後期白亜紀~古第三紀の放散虫化石(TA1, TA3, TA6, TA22, TA124, Y14)と有孔虫化石(Y16)の産出リストを報告しているが(Fig. 2)、堆積年代が確定されたとは言い難い。

研究手法

1. U-Pb 年代測定

ジルコン粒子は、粉碎、ふるい分け、水中でのパンニング、磁気分離、重液分離によって砂岩試料から分離された。分離したジルコンのうち 100 粒子を PFA テフロン(登録商標)シート上に包埋し、ダイヤモンドペーストを用いて研磨した。マウント内のジルコン粒子については U-Pb 年代測定前に CL 画像を撮影し、特に粒子が円磨されておらず、自形性が高く、累帯構造の顕著な、インヘリテッドコアの無いジルコン粒子 25 粒子を優先的に分析対象とした。原則として、形状に捕らわれずランダムに選択した 5 粒子を含めた 30 粒子のコアにレーザーを照射した(Fig. 4)。

U-Pb 同位体分析は、マルチコレクタ ICP-MS(MC-ICP-MS; Nu Plasma II, Nu Instruments Ltd., Wrexham, UK; Hattori et al., 2017; Obayashi et al., 2017)とエキシマレーザー(Photon Machines, Analyte Excite)を用いて分析を行った。測定条件及び測定機器の要約を Table 1 に示す。レーザー径は約 15 μm で、年代値の算出にはレーザーアブレーション開始 5 秒後から 15 秒間のデータを採用

Table 1. LA-ICP-MS instrumentation, operating conditions, and standards used in this study.

Laser ablation	
Model	Photon Machines Analyte Excite
Laser type (wave length)	Excimer laser (193 nm)
Energy density	2 J/cm ²
Spot size	15 μm
Repetition rate	4 Hz
Duration of laser ablation	20 s
Sampling mode	Single spot
Carrier gas (He)	0.80 L min ⁻¹
ICP-MS	
Model	Nu Instruments Nu Plasma II
ICP-MS type	Magnet sector field, Multi-collector
Forward power	1300 W
Make-up gas (Ar)	0.90 L min ⁻¹
Data acquisition protocol	Time-resolved analysis
Data acquisition	30 s (15 s gas blank, 15 s ablation)
Monitor isotopes	²⁰² Hg, ²⁰⁴ Pb, ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb, ²⁰⁸ Pb, ²³² Th, ²³⁸ U
Standards	
Primary standard	Nancy 91500 ^{*1}
Secondary standard	OD-3 ^{*2,3,4} , Plešovice ^{*5} , GJ-1 ^{*6}

^{*1}, Wiedenbeck et al. (1995); ^{*2}, Iwano et al. (2012); ^{*3}, Iwano et al. (2013);

^{*4}, Lukács et al. (2015); ^{*5}, Sláma et al. (2008); ^{*6}, Jackson et al. (2004)

した。²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 比および ²⁰⁶Pb/²³⁸U 比の質量バイアスは、ジルコスタンダード Nancy 91500 (Wiedenbeck et al., 1995) の繰り返し分析によって外部補正し、上記の 2 つの比と ²³⁸U/²³⁵U = 137.88 (Jaffey et al., 1971) に基づいて ²⁰⁷Pb/²³⁵U 比を計算した。誤差は、91500 ジルコスタンダード測定の再現性および各同位体の信号強度の計数統計から計算した。確度は、二次標準試料 GJ-1 (Jackson et al., 2004), Plešovice (Sláma et al., 2008) および OD-3 (Iwano et al., 2013) の複数の分析によって確認した。

得られた年代値に基づいて最も若いクラスターの粒子群を認識し、その加重平均年代 (Taylor, 1982) および各サンプルの形成年代値 (誤差 2σ) を算出した。具体的には、以下 3 段階の手順で最若粒子集団の絞り込みを行った。(1) 粒子年代データで、信頼性の高いコンコダント粒子群を選別する。次に、(2) 確率密度分布を描いてピーク解析を行なった。(3) 最後に、それらの粒子年代の加重平均値を算出した。また本稿では、1 Ga より若い年代値については ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年代、1 Ga より古い年代値については ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年代を用いて議論を行う。

2. 渦鞭毛藻化石分析

渦鞭毛藻化石分析に際しては、現地においてできるだけ新鮮な珪質泥岩 5 試料を採取し、実験室で米粒大に粉砕して選別した 5 g について、10% 塩酸と 52% フッ酸を用いて無機物を溶解・泥化した後、臭化亜鉛重液 (比重 2.0) 処理によって有機物を浮選し、この残渣を開口径 20 μm の篩にかけ、24 × 32 mm サイズのカバークラスとポリビニールアルコールを使用して篩上の残渣の全量を用いて 5 枚ずつプレパラートを作製した。各プレパラートの全面について走査・検鏡し、その間に検出された渦鞭毛藻化石の個体数を記録した。渦鞭毛藻化石種の属レベルの帰属については Lentin and Williams (1993) に従った。

結 果

1. 分析試料の記載岩石学

本研究で U-Pb 年代測定に使用したタービダイト砂岩試料は、N3-03 地点で採取された (Figs. 2 and 3c)。モード比で、石英 (19.0%)、長石 (18.9%)、岩片 (30.5%)、およびマトリックス (27.3%) からなり、石質ワッケ (岡田, 1968) に区分される。また、構成粒子の円摩度、淘汰度は低い。石英は単結晶石英を主体とし、稀に多結晶石英も散在する。長石はほぼ斜長石からなり、カリ長石は微量である。岩片は火山岩起源 (15.0%)、砂岩、泥岩およびチャート等の堆積岩起源 (14.5%)、片岩類起源 (1.8%)、深成岩起源 (0.4%) からなる。火山岩片は酸性火山岩起源が多く、安山岩や玄武岩起源の岩片も少量伴う。随伴鉱物 (4.3%) としては、海緑石、黒雲母、ジルコン、不透明鉱物があげられる。特に海緑石は鏡下でも目立つ。

2. U-Pb 年代と最若グループの識別

今回測定した大部分の測定点 (29 粒子, 32 スポット) が、コンコディア図上にプロットされた (Fig. 5)。得られた年代値は 1.9 Ga から 26 Ma 台まで広く分散する。年代グループは、少なくとも 1915.9 Ma, 252.7 Ma, 198.9 Ma, 187.9–186.3 Ma, 133.8 Ma, 108.3 Ma, 91.0–83.6 Ma, 70.6–68.3 Ma, 48.8–45.8 Ma, 26.7–28.1 Ma に区分された (Fig. 5)。最若粒子集団 (26.7–28.1 Ma) は 8 粒子 9 点で形成される。

本研究では NT-03 試料のジルコンを 15 粒ずつ 2 回のセッションに分けて測定した。その結果、91500 ジルコスタンダードの繰り返し測定の再現性 (2SD) が 1 回目のセッションで 2.3% と大きく、2 回目では 0.8% となった。この原因としては、セッション 1 測定開始直後における分析装置の安定化が十分ではなく、スタンダード試料の同位体比変動として現れたものと考えられる。したがって、以下の最若グループの議論には、セッション 2 で得られたより高精度年代データのみを採用することにする (Table 2)。

セッション 2 に入る最若グループ粒子群は 5 粒 (6 ポイント) に限られる。これらについて確率密度分布を描いてみると明瞭な 3 つのピークが識別できたことから (Fig. 6)、最も若いピークを作る 3 粒子データの加重平均値をもって、26.9 ± 0.2 Ma (後期漸新世; MSWD: 0.64%) を算出した (Table 3)。

なお、一つの結晶内でコアとリムの 2 点の比較検討を実施した no. 18, 20 の 2 粒子については、コアとリムの年代値がよく一致し、かつ 3 粒子ともリム部の Th/U 比が高くマグマ起源のジルコンと判断される。

3. 渦鞭毛藻化石の検討結果

渦鞭毛藻化石の分析結果を Table 3 に、代表的な個体を Fig. 7 に、それぞれ示す。今回分析した 5 試料のうち、TT01 と TT04 の 2 試料 (Fig. 2) から渦鞭毛藻化石が検出された。保存状態は一般に悪く、シスト膜の溶解や変形が普通に認められる。TT04 試料では 7 タクサ、97 個体が認められた。TT01 試料では 1 個体が検出されたのみであった。

Fig. 4. Representative cathodoluminescence images of selected zircon grains from sample NT-03.

TT04 試料から得られた渦鞭毛藻化石群集は, *Trinovantedinium boreale* が優占し, *Operculodinium* sp. cf. *O. israelianum* を伴い, *Batiacasphaera hirsuta*, *Lejeuncysta* sp., *Operculodinium* sp. cf. *O. centrocarpum*, *Reticulosphaera actinocoronata*, *Spiniferites* sp. をわずかに含む組成を示す (Table 3).

TT01 と TT04 試料からは, *Deflandrea truncata* と *Senegalinium microspinosum* が各 1 個体ずつ得られた (Table 3).

考 察

1. 渦鞭毛藻化石から推定される立牛層の堆積年代

Trinovantedinium boreale は大西洋域と南太平洋域には産しない北太平洋域固有の古第三系の特徴種であり, その産出範囲は上部暁新統～漸新統最上部である (Head, 1993; Kurita, 2004). *Reticulosphaera actinocoronata* の産出下限は, 大西洋域では始新統最上部とされるが (Williams et al., 2004), 日本やベーリング海を含む北太平洋域では漸新統中部にあり (Matsuoka and Bujak, 1988; Kurita, 2004), 本種の産出は試料の年代が漸新世中期以降であることを示す. 以上のことから, 今回産出した渦鞭毛藻化石の鍵種の組合せは, 中期～後期漸新世の範疇にあると言える.

Trinovantedinium boreale と *Reticulosphaera actinocoronata* を含み, *Batiacasphaera hirsuta*, *Operculodinium* sp. cf. *O. centrocarpum*, *Operculodinium* sp. cf. *O. israelianum* を伴うような渦鞭毛藻化石群集は, これまでに日高山地南端の襟裳層や足寄地域の川上層群本別沢層～貴老路層下部から得られており (*Williamsidinium* sp. C and *Spinidinium*? sp. A zones; 栗田・楠, 1997; 栗田ほか, 1998; Kurita, 2004; Fig. 8), これらの地層群の年代的な共通性をうかがわせる. なお, 川上層群の本別沢層～貴老路層下部は, 珪藻化石層序からは後期漸新世中期の *Rocella gelida* 帯 (Gladenkov and Barron, 1995) もしくはそれ以下の層準に対比されている (栗田ほか, 1998). よって, 今回得られた試料は後期漸新世を示すと考えられる (Fig. 8).

一方 TT01 と TT04 の 2 試料からは, かつて白糠地域の根室層群上部, 羽幌地域の羽幌層, 北見紋別地域の湧別層群向遠層群などから報告され (栗田・小布施, 1994; 栗田・田近, 1998; Kurita, 2004), これら同様の上部暁新統～下部始新統から再堆積したと考えられる *Deflandrea truncata* と *Senegalinium microspinosum* が各 1 個体ずつ得られた (Table 4). これらの産出は, 立牛層の今回漸新世の渦鞭毛藻化石が産出した層準の堆積時において, その後背地に上部暁新統～下部始新統が露出し, 削剥を受けていたことを暗示

Table 2. U–Pb isotope dates determined by LA-ICP-MS for zircon crystals from sample NT-03 and GJ-1 (Jackson et al., 2004), PSV (Plešovice; Sláma et al., 2008) and OD-3 (Iwano et al., 2013) secondary standard zircons.

sample name	Isotopic ratios				Age (Ma)				Remarks					
	Th	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	Error	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	Error	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	Error	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$		Error	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	Error	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	Error
	U		2 σ		2 σ		2 σ			2 σ		2 σ		2 σ
Session 1														
NT-03 no.1	0.59	0.0469 ± 0.0013		0.0076 ± 0.00018		0.0493 ± 0.0022		48.9 ± 1.1		48.8 ± 2.2		44.2 ± 66.2		
NT-03 no.2	0.72	0.0493 ± 0.0010		0.0296 ± 0.00068		0.2014 ± 0.0081		188.0 ± 4.4		186.3 ± 8.2		163.6 ± 47.3		
NT-03 no.3	0.70	0.0461 ± 0.0018		0.0044 ± 0.00011		0.0277 ± 0.0014		28.1 ± 0.7		27.8 ± 1.5		1.2 ± 94.5		
NT-03 no.4	0.76	0.0478 ± 0.0012		0.0131 ± 0.00030		0.0866 ± 0.0037		84.1 ± 2.0		84.3 ± 3.7		89.5 ± 57.6		
NT-03 no.5	0.48	0.0508 ± 0.0012		0.0309 ± 0.00071		0.2164 ± 0.0091		196.1 ± 4.6		198.9 ± 9.2		231.4 ± 52.7		
NT-03 no.6	0.64	0.0513 ± 0.0010		0.0400 ± 0.00091		0.2825 ± 0.0112		252.6 ± 5.9		252.7 ± 11.3		252.7 ± 42.9		
NT-03 no.7	0.69	0.0475 ± 0.0015		0.0075 ± 0.00018		0.0490 ± 0.0023		48.0 ± 1.1		48.5 ± 2.3		76.6 ± 73.2		
NT-03 no.7R	0.53	0.0476 ± 0.0018		0.0070 ± 0.00017		0.0461 ± 0.0024		45.1 ± 1.1		45.8 ± 2.4		81.9 ± 88.2		
NT-03 no.8	0.62	0.0483 ± 0.0010		0.0129 ± 0.00030		0.0858 ± 0.0035		82.5 ± 1.9		83.6 ± 3.5		114.0 ± 49.4		
NT-03 no.9	0.40	0.0489 ± 0.0013		0.0301 ± 0.00070		0.2033 ± 0.0091		191.3 ± 4.5		187.9 ± 9.2		144.2 ± 61.5		
NT-03 no.10	0.61	0.0447 ± 0.0022		0.0042 ± 0.00010		0.0259 ± 0.0015		27.0 ± 0.7		26.0 ± 1.6		-72.5 ± 118.0		
NT-03 no.11	0.83	0.0478 ± 0.0011		0.0137 ± 0.00032		0.0905 ± 0.0037		87.8 ± 2.0		88.0 ± 3.8		91.8 ± 52.9		
NT-03 no.12	0.39	0.0466 ± 0.0016		0.0043 ± 0.00010		0.0279 ± 0.0013		27.9 ± 0.7		27.9 ± 1.4		31.0 ± 81.1		
NT-03 no.13	1.01	0.0494 ± 0.0024		0.0080 ± 0.00020		0.0543 ± 0.0033		51.2 ± 1.3		53.7 ± 3.3		165.4 ± 112.9		
NT-03 no.14	0.51	0.0441 ± 0.0018		0.0094 ± 0.00023		0.0570 ± 0.0031		60.2 ± 1.5		56.3 ± 3.2		-107.2 ± 102.3		
NT-03 no.15	0.45	0.0472 ± 0.0020		0.0043 ± 0.00010		0.0279 ± 0.0015		27.5 ± 0.7		27.9 ± 1.6		59.8 ± 103.2		
GJ1 4-1	0.05	0.05984 ± 0.00101		0.0991 ± 0.0023		0.81767 ± 0.03167		609.1 ± 14.5		606.7 ± 31.7		597.7 ± 36.6		
PSV 4-1	0.08	0.05299 ± 0.0009		0.0549 ± 0.0013		0.40112 ± 0.01548		344.5 ± 8.1		342.5 ± 15.6		328.2 ± 38.5		
OD3 4-1	0.93	0.04782 ± 0.0021		0.0052 ± 0.0001		0.03417 ± 0.00191		33.3 ± 0.8		34.1 ± 1.93		90.2 ± 104.0		
Session 2														
NT-03 no.16	0.55	0.0464 ± 0.0014		0.0044 ± 0.00004		0.0284 ± 0.0009		28.6 ± 0.3		28.5 ± 0.9		15.9 ± 70.6		
NT-03 no.17	1.04	0.0493 ± 0.0010		0.0207 ± 0.00017		0.1408 ± 0.0035		132.2 ± 1.1		133.8 ± 3.6		161.2 ± 49.6		
NT-03 no.18	0.44	0.0473 ± 0.0018		0.0042 ± 0.00005		0.0271 ± 0.0011		26.7 ± 0.3		27.2 ± 1.1		65.7 ± 91.2		
NT-03 no.18R	0.25	0.0446 ± 0.0025		0.0043 ± 0.00006		0.0267 ± 0.0015		27.9 ± 0.4		26.7 ± 1.5		-76.1 ± 135.5		
NT-03 no.19	0.86	0.0463 ± 0.0015		0.0109 ± 0.00011		0.0696 ± 0.0024		69.9 ± 0.7		68.3 ± 2.5		14.3 ± 76.9		
NT-03 no.20	0.68	0.0473 ± 0.0014		0.0142 ± 0.00014		0.0925 ± 0.0031		90.8 ± 0.9		89.8 ± 3.1		62.1 ± 71.1		
NT-03 no.20R	0.42	0.0473 ± 0.0016		0.0144 ± 0.00015		0.0938 ± 0.0035		91.9 ± 1.0		91.0 ± 3.6		66.6 ± 81.6		
NT-03 no.21	0.77	0.0481 ± 0.0010		0.0170 ± 0.00014		0.1125 ± 0.0027		108.4 ± 0.9		108.3 ± 2.7		104.3 ± 47.4		
NT-03 no.22	0.64	0.0499 ± 0.0025		0.0042 ± 0.00006		0.0290 ± 0.0015		27.1 ± 0.4		29.0 ± 1.5		189.0 ± 118.5	discordant	
NT-03 no.23	0.67	0.0475 ± 0.0009		0.0134 ± 0.00011		0.0876 ± 0.0020		85.7 ± 0.7		85.3 ± 2.1		73.7 ± 46.5		
NT-03 no.24	0.93	0.0467 ± 0.0012		0.0077 ± 0.00007		0.0493 ± 0.0014		49.1 ± 0.4		48.8 ± 1.4		33.0 ± 59.2		
NT-03 no.25	0.32	0.0461 ± 0.0024		0.0043 ± 0.00006		0.0273 ± 0.0015		27.6 ± 0.4		27.3 ± 1.5		3.1 ± 126.5		
NT-03 no.26	0.74	0.1173 ± 0.0019		0.3349 ± 0.00260		5.4199 ± 0.1183		1862.3 ± 16.7		1888.0 ± 113.5		1915.9 ± 29.2		
NT-03 no.27	0.83	0.0476 ± 0.0010		0.0110 ± 0.00009		0.0720 ± 0.0018		70.3 ± 0.6		70.6 ± 1.8		81.6 ± 51.9		
NT-03 no.28	0.49	0.0464 ± 0.0015		0.0042 ± 0.00004		0.0269 ± 0.0009		27.0 ± 0.3		26.9 ± 0.9		20.8 ± 77.2		
NT-03 no.29	0.43	0.0468 ± 0.0014		0.0074 ± 0.00007		0.0481 ± 0.0015		47.8 ± 0.5		47.7 ± 1.6		38.7 ± 70.7		
NT-03 no.30	0.35	0.0477 ± 0.0024		0.0042 ± 0.00006		0.0275 ± 0.0014		27.0 ± 0.4		27.6 ± 1.4		82.7 ± 118.7		
GJ1 4-2	0.04	0.05930 ± 0.00099		0.0987 ± 0.0008		0.80699 ± 0.01704		606.6 ± 4.9		600.8 ± 17.2		578.1 ± 36.2		
PSV 4-2	0.08	0.05294 ± 0.00088		0.0546 ± 0.0004		0.3983 ± 0.00829		342.4 ± 2.7		340.4 ± 8.4		326.3 ± 37.9		
OD3 4-2	1.04	0.04680 ± 0.00134		0.0051 ± 0.0000		0.03286 ± 0.00102		32.7 ± 0.3		32.8 ± 1.0		39.2 ± 68.3

Fig. 5. Concordia diagrams of all analysis results (29 grains) (a) and the 9 grains forming the youngest age cluster (b) for U–Pb dating of zircons from sample NT-03. Error ellipses represent 2 σ uncertainties.

している。

2. 立牛層の堆積年代

本研究では、立牛層からジルコン U–Pb 年代と渦鞭毛藻化石年代の 2 種類の独立した年代値が得られた。珪質泥岩 2 試料から得られた渦鞭毛藻化石は、後期漸新世を示唆する。この場合、タービダイト砂岩から得られたジルコン U–Pb

年代の上限年代は 26.9 ± 0.2 Ma であった。両者は調和的であることから、立牛層の堆積年代は 27 Ma ごろであったと考えられる (Fig. 8)。

今回、立牛層から得られた年代値は散在的であり、これらの年代値によって層序が全て明らかになったとはとても言いがたいが、本層が少なくともこれまで報告されていない上部

Fig. 6. Relative probability diagram for the 5 grains (6 spots) forming the youngest age cluster of U-Pb isotope data for zircons from sample NT-03.

Table 3. Counts of dinoflagellate cysts and associated organic-walled microfossils from the Tatsuushi Formation.

Diagnostic taxa / Sample number	TT01	TT04
Dinoflagellate cysts		
<i>Batiacaspheera hirsuta</i>		1
<i>Lejeunecysta</i> sp.		3
<i>Operculodinium</i> sp. cf. <i>O. centrocarpum</i>		4
<i>Operculodinium</i> sp. cf. <i>O. israelianum</i>		33
<i>Reticulatosphaera actinocoronata</i>		2
<i>Spiniferites</i> sp.		1
<i>Trinovantidium boreale</i>	1	53
total in situ cyst counted	1	97
Other organic algal microfossils		
<i>Paralecaniella indentata</i>		3
<i>Tasmanites</i> spp.		2
Dinoflagellate cysts reworked from late Paleocene-early Eocene strata		
<i>Deflandrea truncata</i>		1
<i>Senegalinium microspinosum</i>	1	
Total counts	3	200

漸新統の地層を含むことは、明確に言えよう。

一方、今回得られた後期漸新世を示す年代値は、1990年代以降に報告された他の日高累層群の堆積年代(Paleocene~Early Eocene; 君波ほか, 1990a, b; 栗田・田近, 1998; Nanayama et al., 2018, 2019)と比較しても、有意に若く、田近・岩田(1994)の考察を支持する。立牛層の岩相は明らかに周囲の日高累層群(瑠璃層, 上古丹層)のそれとは異なるし、中期中新世の上支湧別層やオシラネツ川層(宮坂ほか, 1980, 1984, 1986; 渡辺, 1987)などの礫岩主体の海成層とも異なっている。そのことも、立牛層が日高累層群と明確に区別されるべきことを示す。

3. 立牛層の堆積場と造構場

日高帯北部には中期中新世以降の右横ずれ断層に伴って、ブルアパートベースン堆積物が多数報告されてきた(Fig. 9)。これを埋める上支湧別層およびその相当層は、中期中新世に堆積したことが示されてきたが(渡辺, 1987; 宮坂ほか, 1984, 1986)、その一方で、その下限が前期中新世にもおよぶ可能性も示唆されていた(宮坂ほか, 1980; 木村・熊

ノ郷, 1987)。ただし、立牛層の堆積年代はこれよりも古い後期漸新世を示す。

立牛層の堆積場については、既に田近・岩田(1994)による詳細な検討がある。それによると、立牛層の珪質泥岩は、放散虫や珪藻化石などの珪質の微化石を多量に含むことで特徴付けられている。また、本層からは、*Stilostomella* sp. 等の砂質有孔虫化石や *Lenticulina*? sp. や *Archaeoglobigerina*? sp. 等の石灰質有孔虫化石を産出することから、深海環境を示す上古丹層とは異なり、より浅い海域での堆積が推定され、上古丹層や瑠璃層を覆う被覆層と考えられていた。特に海緑石は、浅海底における堆積速度の遅い時期の指標鉱物として用いられ(Odin and Matter, 1981; 福沢, 1988)、現世の海洋では、陸棚中部~下部に産出が限られることから(斎藤, 1989)、古くから古環境の推定に用いられてきた。

1983年以降、北海道中央部の第三紀以降のテクトニクスについては、北米(もしくはオホーツク)プレートとユーラシアプレートの境界域における運動や、千島前弧スリバーの衝突による運動など、さまざまな構造運動が複雑に関与すると理解されてきた(例えば、Kimura et al., 1983)。しかし、それらの構造運動の詳細な解析や地域の変化あるいは運動の正確な時期など、多くの点が未解決のまま残されている。

日高帯には大きく分けて3つのフェーズの横ずれ変形運動の存在が知られている。(1)最初が南北性断層の左横ずれ変形(渡辺, 1987; Watanabe and Kimura, 1987)、(2)次が南北性の走向を持つ右横ずれ変形(白滝構造線; 渡辺, 1987; Watanabe and Kimura, 1987)、(3)最後が後期中新世以降の千島前弧衝突によって発生したENE-WSWの走向を持つ右横ずれ変形(上支湧別構造線; 木村ほか, 1982; 渡辺, 1987)、である。(1)の時期は日高累層群の堆積時もしくは付加した時と考えられていたので(木村, 1985; 宮下ほか, 1990)、最近の年代値に置き換えれば暁新世~前期始新世(Nanayama et al., 2018, 2019)と解釈される。(2)の時期は、渡辺(1988)が 25.0 ± 1.2 Ma というウエンシリ地塁東縁を構成する千枚岩の K-Ar 全岩年代を報告していることから、後期漸新世には開始されたと考えられている(宮下ほか, 1990; 小松ほか, 1990)。一方、この大規模な右横ずれ変形は、ユーラシアプレートに対するオホーツクプレートの斜め衝突に起因し、サハリンから連続するものであるという(Kimura et al., 1983; 竹内, 1997; Fig. 9)。本研究で得られた立牛層のジルコン U-Pb 年代の値はこれよりもやや古い、共に後期漸新世の年代を示し、ウエンシリ地塁と対をなす地溝帯が日高帯内に発生していたことを暗示している。

一方、北海道東部においては、常呂帯(仁頃層群)と根室帯(根室層群)の境界をなす網走構造線(木村, 1981)に沿って、後期漸新世~前期中新世を示す海成層の存在が知られている(松井・鷹澤, 1987; 栗田ほか, 1998; Morita et al., 1996; Figs. 1, 8 and 9)。その代表的な地層は、北見地域では津別層群(山口・沢村, 1965)、一方、足寄地域においては川上層群(三谷ほか, 1964)と呼ばれているが、これらは一連の狭長な堆積盆で形成されたものと考えられている(福沢, 1989;

Fig. 7. Photomicrographs of dinoflagellate cysts and associated organic-walled microfossils from the Tatsuushi Formation. 1, 2: *Trinovantedinium boreale*; 3, 4: *Reticulosphaera actinocoronata*; 5: *Batiacasphaera hirsute*; 6: *Operculodinium* sp. cf. *O. centrocarpum*; 7: *Operculodinium* sp. cf. *O. israelianum*; 8: *Deflandrea truncate*; 9: *Senegalinium microspinosum*; 10: *Paralecaniella indentata* (acritarch). All specimens are from sample TT04 except for 9, which is from sample TT01. Specimens 8 and 9 represent sediment reworking from strata of late Paleocene to early Eocene age.

Fig. 8. Geochronological correlation chart of the Tatsuushi Formation compared with other rock units from eastern Hokkaido. The time scale is after Cande and Kent (1992, 1995) and Berggren et al. (1995), diatom zones are from Yanagisawa and Akiba (1996), and dinoflagellate cyst zones are from Kurita et al. (1998). Data sources: Erimo Formation, Kurita and Kusunoki (1997); Tsubetsu and Kawakami groups, Kurita et al. (1998) and Matsui and Ganzawa (1987); Kamishiyubetsu and Oshiranepugawa formations, Miyasaka et al. (1984). E.: Early, Fm.: Formation, Fms.: Formations, L.: Late, M.: Middle.

Fig. 9. Fault systems in Hokkaido and Sakhalin, modified after Kimura et al. (1983). KTZ: Kamishiyubetsu Tectonic Zone, HMT: Hidaka Main Thrust, ATL: Abashiri Tectonic Line, HF: Horonobe Fault, CSFS: Central Sakhalin Fault System, Fm.: Formation.

松井・鷹澤, 1987; 栗田ほか, 1998). さらに, 津別層群下部の達娯層ならびに川上層群下部の本別沢層たつこぶ・貴老路層きやうろの下部には珪藻化石が豊富に含まれた珪質泥岩層や海緑石を含む砂岩層の存在が知られており (Fig. 8), これらは千島海盆の開口時に古オホーツク海の底層深層水の湧昇によって発生した可能性が既に論じられている (福沢, 1989; 福沢・石原, 1992). Kimura and Tamaki (1985) は, 背弧海盆である千島海盆の拡大時期は漸新世から中期中新世と推定しており, Kimura et al. (1983) および Kimura and Tamaki (1986) は, この時期に, サハリン～北海道中軸部にかけて大規模な南北性の右横ずれ運動があったと論じている. 福沢 (1989) は, 同時期に網走構造線に沿って千島海盆が開口し始め, それに沿った千島海盆 (古オホーツク海) 起源の底層深層水の流れ込みによって湧昇が起こり, 津別・川上両層群下部の珪質泥岩層が生成された可能性を予想的に論じている. おそらく立牛層の珪質泥岩層も, この時期にほぼ同様に日高帯中に発生した堆積物なのであろう.

以上のことから, 後期漸新世～前期中新世の千島海盆開口時には常呂帯と根室帯の境界であった網走構造線にそった津別・川上両層群の堆積盆以外に, 日高帯中にも南北性の右横ずれ断層に起因する地溝帯が形成されたと考えられる. その

断層に沿った千島海盆 (古オホーツク海) 起源の底層深層水の流れ込みによって湧昇が起こり, 立牛層の起源となった珪質堆積物を堆積させたと考えられる. これらの堆積物は, 上古丹層と珪藻層間に挟み込まれて変形を被った. さらに右横ずれ断層運動は中期中新世まで継続し, その後, 立牛層の分布域の西方に新たなプリアパート堆積盆を発生させ, 上支湧別層やオシラネツ川層の堆積が起こったと推察される.

ところで, 日高山脈南端の襟裳岬地域先端部においても, 襟裳コンプレックス (日高累層群; Nanayama et al., 2019) と高角断層で接し, 後期漸新世を示す襟裳層の報告がある (栗田・楠, 1997; Figs. 1, 8 and 9). 襟裳層では堆積時の右横ずれに伴う引張変形が見られることから, 同層の堆積盆がプリアパート堆積盆であった可能性が指摘されている (木村・楠, 1997; Kusunoki and Kimura, 1998). しかし, 襟裳層の下部はファーンデルタ成の海成礫岩層が主体となっており, 今回報告した立牛層とは岩相が大きく異なっている. このことは, 同時期に日高帯中で形成された地溝状の小堆積盆であっても, おそらく位置, 海底地形や堆積盆の大きさの違いによって, 千島海盆 (古オホーツク海) 起源の湧昇流の影響を受けなかった場所があったことを示唆する.

本稿の末尾として, 現在の日高帯 (日高累層群) の分布域から, 今後も立牛層と襟裳層に相当する後期漸新世や前期中新世の地層が発見される可能性があることを, ここでは指摘しておきたい.

ま と め

- 1) 立牛層のタービダイト砂岩中の碎屑性ジルコン粒子の U-Pb 年代測定を行った結果, その上限年代は 26.9 ± 0.2 Ma (後期漸新世) であった.
- 2) 立牛層から津別・川上両層群下部と同時代の後期漸新世を示準する渦鞭毛藻化石が得られた. よって立牛層は 27 Ma に堆積したと解釈される.
- 3) 立牛層は珪質泥岩層が卓越し, 特にタービダイト砂岩や土石流堆積物のマトリックス中に海緑石が多産することから, 本層は津別・川上層群下部と同様に, 千島海盆の開口によって古オホーツク海から流入した底層深層水の湧昇の影響を被った浅海成堆積物であったと推定される.
- 4) 日高帯においては, 同時代の堆積物は襟裳岬地域の日高累層群 (襟裳コンプレックス) に近接する襟裳層にのみ知られていた. 立牛層と襟裳層は, 後期漸新世以降に基盤の日高累層群中に起きた右横ずれ構造運動によって形成された地溝帯やプリアパートベースンを埋積した堆積物である.

謝 辞

本研究を進めるにあたり, 秋田大学の渡辺 寧教授には, 日高累層群や日高帯中に認められる各種変形構造について, (株)アイピー地質情報室の宮坂省吾博士には, 上支湧別層の堆積年代と右横ずれ運動発生時期について詳しく教えて頂いた. 元北海道大学理学部の岩田圭示博士には, 当地の日高累層群から産出する微化石についてご教授いただいた. 産業技

術総合研究所の中澤 努博士には石灰岩礫を検鏡して頂き、その起源に関して有益なコメントを頂いた。(有)珪藻ミナロポの秋葉文雄博士と産総研の渡辺真人博士には、ノジュール試料からの珪藻分析の抽出についてご検討頂いた。愛媛大学理学部の堀 利栄博士には、後期白亜紀～前期古第三紀の放射虫化石の研究状況について、詳しく教えて頂いた。地質学雑誌編集委員の小宮 剛博士ならびに匿名の査読者2名には、粗稿を推敲するうえで有益なコメントを多数頂いた。以上の方々に厚く感謝の意を表す。なお、本研究はJSPS 科研費JP 19K04025 の助成を受けたものである。

文 献

- Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher, III, C. C. and Aubry, M.-P., 1995, A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In Berggren, W. A., Kent, D. V., Aubry, M.-P. and Hardenbol, J., eds., *Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation*. SEPM Spec. Publ., **54**, 129–212.
- Cande, S. C. and Kent, D. V., 1992, A new geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *J. Geophys. Res. B: Solid Earth*, **97**, 13917–13951.
- Cande, S. C. and Kent, D. V., 1995, Revised calibration of the geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *J. Geophys. Res. B: Solid Earth*, **100**, 6093–6095.
- 福沢仁之, 1988, 新第三紀層状珪質岩の堆積機構: 北海道北部, 上部中新統稚内層を例として. 地質雑, **94**, 669–688. [Fukusawa, H., 1988, Sedimentary mechanism of Neogene bedded siliceous rocks: On Late Miocene Wakkanai Formation of northern Hokkaido, Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **94**, 669–688.]
- 福沢仁之, 1989, BIOSILICEOUS SHALE の時空分布からみた日本海・オホーツク海の形成(予報). 月刊地球, **11**, 284–291. [Fukusawa, H., 1989, A preliminary report on formation of the Sea of Japan and the Sea of Okhotsk from the space time distribution of BIOSILICEOUS SHALE. *Chikyū Monthly*, **11**, 284–291.]*
- 福沢仁之・石原千晶, 1992, 千島弧内帯における栄養塩に富む深層水の初出現(予報). 堆積学研究会報, **37**, 21–30. [Fukusawa, H. and Ishihara, C., 1992, Preliminary report on the first appearance of nutrient-rich deep water in inner zone of the Kuril Arc. *J. Sediment. Soc. Japan*, **37**, 21–30.]
- Gladenkov, A. Y. and Barron, J. A., 1995, Oligocene and early middle Miocene diatom biostratigraphy of Hole 884B. In Rea, D. K., Basov, I. A., Scholl, D. W. and Allan, J. F., eds., *Proc. ODP Sci. Results*, **145**, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 21–41.
- 長谷川潔・小山内照・鈴木 守・松下勝秀, 1961, 北海道中軸地帯の先エゾ層群—地層区分の提案—. 北海道立地下資源調査所報告, **25**, 108–115. [Hasegawa, K., Osanai, H., Suzuki, M. and Matsushita, K., 1961, Pre-Yezo Group in the axial zone of Hokkaido: Proposal on the classification of the Group. *Rep. Geol. Surv. Hokkaido*, **25**, 108–115.]
- Hattori, K., Sakata, S., Tanaka, M., Orihashi, Y. and Hirata, T., 2017, U–Pb age determination for zircons using laser ablation-ICP-mass spectrometry equipped with six multiple-ion counting detectors. *J. Anal. At. Spectrom.*, **32**, 88–95.
- Head, M. J., ed., 1993, A forum on Neogene and Quaternary dinoflagellate cysts: the edited transcript of a round table discussion held at the Third Workshop on Neogene and Quaternary Dinoflagellates: with taxonomic appendix. *Palynology*, **17**, 201–239.
- 岩野英樹・折橋裕二・檀原 徹・平田岳史・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. 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 standard. *Isl. Arc*, **22**, 382–394.
- 岩田圭示・加藤幸弘, 1986, 湧別層群および日高帯北部の日高累層群の白亜紀後期放射虫化石群集. 大阪化石研究会誌特別号, **7**, 75–86. [Iwata, K. and Kato, Y., 1986, Upper Cretaceous radiolarians of the Yubetsu Group and the Hidaka Supergroup in the northern Hidaka Belt. *News Osaka Micropaleontol., Spec. Vol.*, **7**, 75–86.]
- Jaffey, A. H., Flynn, K. F., Glendenin, L. E., Bentley, W. C. and Essling, A. M., 1971, Precision measurements of half-lives and specific activities of ^{235}U and ^{238}U . *Phys. Rev.*, **C4**, 1889–1906.
- Jackson, S. E., Pearson, N. J., Griffin, W. L. and Belousova, E. A., 2004, The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology. *Chem. Geol.*, **211**, 47–69.
- 君波和雄・川端清司・宮下純夫, 1990a, 日高累層群からの古第三紀放射虫化石の発見とその意義, 特に海嶺の沈み込みについて. 地質雑, **96**, 323–326. [Kiminami, K., Kawabata, K. and Miyashita, S., 1990a, Discovery of Paleogene radiolarians from the Hidaka Supergroup and its significance with special reference to ridge subduction. *J. Geol. Soc. Japan*, **96**, 323–326.]
- 君波和雄・小松正幸・新井田清信・紀藤典夫, 1986a, 北海道中生界の構造区分と層序. 地団研専報, **31**, 1–15. [Kiminami, K., Komatsu, M., Niida, K. and Kito, N., 1986a, Tectonic divisions and stratigraphy of the Mesozoic rocks of Hokkaido, Japan. *Monogr. Assoc. Geol. Collab. Japan*, **31**, 1–15.]
- 君波和雄・宮下純夫・木村 学・田近 淳・岩田圭示・酒井 彰……勝島尚美, 1986b, 日高帯の中生界—日高累層群. 地団研専報, **31**, 137–155. [Kiminami, K., Miyashita, S., Kimura, G., Tajika, J., Iwata, K., Sakai, A., Katsushima, T., 1986b, Mesozoic rocks in the Hidaka belt: Hidaka Supergroup. *Monogr. Assoc. Geol. Collab. Japan*, **31**, 137–155.]
- 君波和雄・柴田 賢・内海 茂, 1990b, 常呂帯湧別層群中の凝灰岩のK–Ar年代. 地質雑, **96**, 77–80. [Kiminami, K., Shibata, K. and Uchiumi, S., 1990b, K–Ar age of a tuff from the Yubetsu Group in the Tokoro Belt, Hokkaido, Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **96**, 77–80.]
- 木村 学, 1981, 千島弧南西端付近のテクトニクスと構造応力場. 地質雑, **87**, 756–768. [Kimura, G., 1981, Tectonic evolution and stress field in the southwestern margin of the Kurile Arc. *J. Geol. Soc. Japan*, **87**, 756–768.]
- 木村 学, 1985, 白亜紀北海道の沈み込み様式. 科学, **55**, 24–31. [Kimura, G., 1985, Cretaceous subduction style in Hokkaido. *Kagaku*, **55**, 24–31.]*
- 木村 学・熊ノ郷 豊, 1987, 断層帯に巻き込まれた花崗岩の変形—白滝花崗岩の例. 松井 愈教授記念論文集, 175–184. [Kimura, G. and Kumanogo, Y., 1987, Deformation of granite involved in faulting: Shirataki Granitic bodies in northern Hokkaido. *Professor Masaru Matsui Memorial Volume*, 175–184.]
- 木村 学・楠 香織, 1997, 日高造山運動と島弧会合部のテクトニクス. 地質学論集, **47**, 295–305. [Kimura, G. and Kusunoki, K., 1997, The Hidaka Orogeny and tectonics of arc-arc junction. *Mem. Geol. Soc. Japan*, **47**, 295–305.]
- 木村 学・宮坂省吾・紺谷吉弘・宮下純夫・保柳康一・渡辺 寧, 1982, 日高変成帯の“山脈化”における上支湧別構造帯の意義. 構造地質, **27**, 167–177. [Kimura, G., Miyasaka, S., Kontani, Y., Miyashita, S., Hoyanagi, K. and Watanabe, Y., 1982, Tectonic significance of the Kamishiyubetsu Tectonic Zone in the uplift of the Hidaka Metamorphic Belt. *J. Tectonic Res.*

- Group Japan, **27**, 167–177.]
- Kimura, G., Miyashita, S. and Miyasaka, S., 1983, Collision tectonics in Hokkaido and Sakhalin. In Hashimoto, M. and Uyeda, S., eds., *Accretion Tectonics in the Circum-Pacific Regions*, Terrapub, Tokyo, 123–134.
- Kimura, G. and Tamaki, K., 1985, Tectonic framework of the Kurile arc since its initiation. In Nasu, N., Uyeda, S., Kobayashi, K., Kushiro, I. and Kagami, H., eds., *Formation of Active Ocean Margin*, Terrapub, Tokyo, 641–676.
- Kimura, G. and Tamaki, K., 1986, Collision, rotation, and back-arc spreading in the region of the Okhotsk and Japan Seas. *Tectonics*, **5**, 389–401.
- 小松正幸・榊原正幸・福沢仁之・豊島剛志, 1990, 千島海盆の拡大と日高変成帯の構造運動. 月刊地球, **12**, 501–506. [Komatsu, M., Sakakibara, M., Fukusawa, T. and Toyoshima, T., 1990, Expansion of the Kuril basin and tectonic movement of the Hidaka metamorphic belt. *Chikyū Mon.*, **12**, 501–506.]*
- 紺谷吉弘・酒井 彰, 1978, 日高累層群の諸問題. 地団研専報, **21**, 9–26. [Kontani, Y. and Sakai, A., 1978, The stratigraphic and tectonic problems of the Hidaka Supergroup. *Monogr. Assoc. Geol. Collab. Japan*, **21**, 9–26.]
- Kurita, H., 2004, Paleogene dinoflagellate cyst biostratigraphy of northern Japan. *Micropaleontology*, **50** (Suppl. 2), 3–50.
- 栗田裕司・楠 香織, 1997, 北海道中央部, 襟裳層の渦鞭毛藻化石年代(後期漸新世)とその意義. 地質雑, **103**, 1179–1182. [Kurita, H. and Kusunoki, K., 1997, A Late Oligocene age of dinoflagellate cysts from the Erimo Formation, southern central Hokkaido, Japan, and its implications for tectonic history. *J. Geol. Soc. Japan*, **103**, 1179–1182.]
- 栗田裕司・小布施明子, 1994, 北海道北部, 羽幌層の古第三紀渦鞭毛藻化石・花粉化石とその地質年代および堆積環境. 地質雑, **100**, 292–301. [Kurita, H. and Obuse, A., 1994, Paleogene dinoflagellate cysts and pollen from the Haboro Formation, northern central Hokkaido, Japan, and their chronostratigraphic and paleoenvironmental implications. *J. Geol. Soc. Japan*, **100**, 292–301.]
- 栗田裕司・小布施明子・秋葉文雄, 1998, 北海道東部における上部漸新統～下部中新統渦鞭毛藻・花粉化石層序および珪藻化石層序との対応. 石油資源開発株式会社技術研究所研究報告, **13**, 11–31. [Kurita, H., Obuse, A. and Akiba, F., 1998, Upper Oligocene-Lower Miocene palynostratigraphy (dinoflagellate cysts and pollen) in Eastern Hokkaido with calibration against diatom biostratigraphy. *Res. Rep. JAPEX Res. Center*, **13**, 11–31.]
- 栗田裕司・田近 淳, 1998, 北海道東部, 常呂帯湧別層群向遠軽層の渦鞭毛藻化石年代(前期始新世)とその意義. 地質雑, **104**, 808–811. [Kurita, H. and Tajika, J., 1998, Tectonic implications of Early Eocene dinoflagellate cysts from the Mukai-engaru Formation of the Yubetsu Group, Tokoro Belt, eastern Hokkaido, Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **104**, 808–811.]
- Kusunoki, K. and Kimura, G., 1998, Collision and extrusion at the Kuril-Japan arc junction. *Tectonics*, **17**, 843–858.
- Lentin, J. K. and Williams, G. L., 1993, Fossil dinoflagellates: Index to genera and species, 1993 edition. *Am. Assoc. Stratigr. Palynol. Contrib. Ser.*, **28**, 856p.
- Lukács, R., Harangi, S., Bachmann, O., Guillong, M., Danišik, M., Buret, Y., Szepesi, J., 2015, Zircon geochronology and geochemistry to constrain the youngest eruption events and magma evolution of the Mid-Miocene ignimbrite flare-up in the Pannonian Basin, eastern central Europe. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **52**, 1–26.
- 松波武雄, 2002, 5 万分の 1 地質図幅「滝上」及び同説明書. 北海道立地質研究所, 37p. [Matsunami, T., 1: 50,000 Geological Map of Japan, *Takinoue and Its Explanatory Text*. Geol. Surv. Hokkaido, 37p.]
- Matsuoka, K. and Bujak, J. P., 1988, Cenozoic dinoflagellate cysts from the Navarin Basin, Norton Sound and St. George Basin, Bering Sea. *Bull. Fac. Liberal Arts, Nagasaki Univ.*, **29**, 1–147.
- 松井 愈・鷹澤好博, 1987, 東部北海道の漸新～中新統・川上層群—足寄動物群の産出層と地質時代—, 松井 愈教授記念論文集, 137–143. [Matsui, M. and Ganzawa, Y., 1987, Oligo-Miocene Kawakami Group in eastern Hokkaido: The age and horizon of Ashoro fossil fauna. *Professor Masaru Matsui Memorial Volume*, 137–143.]
- 三谷勝利・藤原哲夫・石山昭三, 1964, 5 万分の 1 地質図幅「上足寄」及び同説明書. 北海道開発庁, 57p. [Mitani, K., Fujiwara, T. and Ishiyama, S., 1964, 1: 50,000 Geological Map of Japan, *Kamiashoro with Explanatory Text*. Hokkaido Dev. Agency, 57p.]
- 宮坂省吾・保柳康一・渡辺 寧・松井 愈, 1986, 礫岩組成から見た中央北海道の後期新成代地形成史. 地団研専報, **31**, 285–294. [Miyasaka, S., Hoyanagi, K., Watanabe, Y. and Matsui, M., 1986, Late Cenozoic mountain-building history in central Hokkaido deduced from the composition of conglomerate. *Monogr. Assoc. Geol. Collab. Japan*, **31**, 285–294.]
- 宮坂省吾・紺谷吉弘・君波和雄・木村 学・保柳康一・高橋功三……松井 愈, 1984, 北部日高帯北見滝の土地域における中新世造構史. 地球科学, **38**, 119–131. [Miyasaka, S., Kontani, Y., Kiminami, K., Kimura, G., Hoyanagi, K., Takahashi, K., Matsui, M., 1984, The Miocene upheaval of the Kitami-Takinoue region, northern part of the Hidaka Belt, Hokkaido, Japan. *Earth Sci. (Chikyū Kagaku)*, **38**, 119–131.]
- 宮坂省吾・紺谷吉弘・木村 学・君波和雄・山口昇一・松井 愈, 1980, 北部日高帯の新第三系—北見滝の土地域の中新統層序—. 地球科学, **34**, 63–72. [Miyasaka, S., Kontani, Y., Kimura, G., Kiminami, K., Yamaguchi, S. and Matsui, M., 1980, Neogene Tertiary System in the northern part of the Hidaka Belt, Hokkaido, Japan: On the Miocene stratigraphy in the Kitami-Takinoue region. *Earth Sci. (Chikyū Kagaku)*, **34**, 63–72.]
- 宮下純夫・新井孝志・長橋 徹, 1997, 日高帯の緑色岩の意義: 海嶺の多重衝突. 地質学論集, **47**, 307–323. [Miyashita, S., Arai, T. and Nagahashi, T., 1997, Significance of greenstones in the Hidaka belt, Hokkaido: Evidence for polycollision of ocean ridges. *Mem. Geol. Soc., Japan*, **47**, 307–323.]
- 宮下純夫・渡辺 寧・田近 淳・君波和雄・木村 学, 1990, 日高帯の大構造—左横ずれ・右横ずれ変動帯. 月刊地球, **12**, 515–520. [Miyashita, S., Watanabe, Y., Tajika, J., Kiminami, K. and Kimura, G., 1990, Major structure of the Hidaka belt—left lateral and right lateral mobile belts. *Chikyū Mon.*, **12**, 515–520.]*
- Morita, R., Titova, L. V. and Akiba, F., 1996, Oligocene-Early Miocene molluscs and diatoms from the Kitami-Tsubetsu area, eastern Hokkaido, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, **2nd Ser. (Geol.)**, **63**, 53–213.
- 中川 充, 2010, 2.2.4 日高帯の付加体. 日本地方地質誌 1 北海道地方, 朝倉書店, 54–54. [Nakagawa, M., 2010, 2.2.4 Accretionary complex in Hokkaido. *Regional Geology of Japan 1 Hokkaido Region*, Asakura Publ. Co. Ltd., 54–54.]*
- 七山 太・雁澤好博, 1997, 日高帯中の川層群北部ユニットの堆積層序, 堆積環境および堆積年代. 地質学論集, **47**, 279–293. [Nanayama, F. and Ganzawa, Y., 1997, Sedimentary stratigraphy, environment and age of the northern unit of Nakanogawa Group in the Hidaka belt, central Hokkaido, Japan. *Mem. Geol. Soc. Japan*, **47**, 279–293.]
- Nanayama, F., Kanamatsu, T. and Fujiwara, Y., 1993, Sedimentary petrology and paleotectonic analysis of the arc-arc junction: the Paleocene Nakanogawa Group in the Hidaka Belt, central Hokkaido, Japan. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **105**, 53–69.
- 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**, e12233, doi:

- 10.1111/iar.12234.
- Nanayama, F., Yamasaki, T., Iwano, H., Danhara, T. and Hirata, T., 2019, Zircon U–Pb ages of sedimentary complexes in the Hidaka Belt: New age data on the northern and southern areas of the Paleogene Hidaka Supergroup, central Hokkaido, northern Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **125**, 421–438.
- Obayashi, H., Tanaka, M., Hattori, K., Sakata, S. and Hirata, T., 2017, In situ $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ isotope ratio measurements using two Daly detectors equipped on an ICP-mass spectrometer. *J. Anal. At. Spectrom.*, **32**, 686–691.
- Odin, G. S. and Matter, A., 1981, De glauconiarum origine. *Sedimentology*, **28**, 611–641.
- 岡 孝雄・田近 淳, 2008, 5 万分の 1 地質図幅「立牛」及び同説明書. 北海道立地質研究所, 92p. [Oka, T. and Tajika, J., 2008, *1: 50,000 Geological Map of Japan, Tatsushu with Explanatory Text*. Geol. Surv. Hokkaido, 92p.]
- 岡田博有, 1968, 砂岩の分類と命名. 地質雑, **74**, 371–384. [Okada, H., 1968, Notes on classification and nomenclature of sandstone. *J. Geol. Soc. Japan*, **74**, 371–384.]
- 小野昌子, 2002, フィッション・トラック法からみた日高山脈の隆起時期. 震研彙報, **77**, 123–130. [Ono, M., 2002, Uplift history of the Hidaka Mountains: Fission-track analyses. *Bull. Earthquake. Res. Inst.*, **77**, 123–130.]
- 斎藤文紀, 1989, 陸棚堆積物の区分と暴風型陸棚における堆積相. 地質雑, **98**, 164–179. [Saito, Y., 1989, Classification of shelf sediments and their sedimentary facies in the storm-dominated shelf: A review. *J. Geogr. (Chigaku Zasshi)*, **98**, 164–179.]
- Sláma, J., Košler, J., Condon, D. J., Crowley, J. L., Gerdes, A., Hanchar, J. M., ... Whitehouse, M. J., 2008, Plešovice zircon – A new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chem. Geol.*, **249**, 1–35.
- 田近 淳, 1989, 日高帯北部の白亜紀「付加体」. 月刊地球, **11**, 323–327. [Tajika, J., 1989, Cretaceous “accretionary complex” in the northern part of the Hidaka belt. *Chikyū Mon.*, **11**, 323–327.]*
- 田近 淳, 1992, 北海道, 北部日高帯の“古第三紀”砂岩の組成. 地質学論集, **38**, 13–26. [Tajika, J., 1992, Modal and chemical compositions of the “Paleogene” sandstones from the northern Hidaka belt, Hokkaido. *Mem. Geol. Soc. Japan*, **38**, 13–26.]
- 田近 淳・岩田圭示, 1990, 日高帯北部の古第三紀メランジェ上興部層の地質と放散虫化石年代. 北海学園大学学術論集, **66**, 35–55. [Tajika, J. and Iwata, K., 1990, Paleogene melange in the northern Hidaka belt: Geology and radiolarian age of the Kamiokoppe Formation. *J. Hokkai-Gakuen Univ.*, **66**, 35–55.]
- 田近 淳・岩田圭示, 1994, 堆積層序からみた日高累層群緑色岩類の活動場—北海道日高帯北部, 立牛地域の例. 月刊地球, **16**, 495–499. [Tajika, J. and Iwata, K., 1994, Environment of the greenstones in the Hidaka Supergroup from the view of sedimentary stratigraphy: An example from the Tatsushu area in northern Hidaka belt, Hokkaido. *Chikyū Mon.*, **16**, 495–499.]*
- 田近 淳・木村 学・岩田圭示, 1988, 日高帯東縁の付加コンプレックス. 日本地質学会第 94 年学術大会講演要旨, 261. [Tajika, J., Kimura, G. and Iwata, K., 1988, Accretionary complex in the eastern margin of the Hidaka zone. *94th Annu. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.*, 261.]
- 竹内 徹, 1997, 南サハリンの第三紀火山岩類の K–Ar 年代とそのテクトニックな意義. 地質雑, **103**, 67–79. [Takeuchi, T., 1997, K–Ar ages of the Tertiary volcanic rocks in South Sakhalin and their tectonic significance. *J. Geol. Soc. Japan*, **103**, 67–79.]
- Taylor, J. R., 1982, *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*. Univ. Sci. Books, Mill Valley, CA, 270p.
- Ueda, H., 2016, 2g Hokkaido. In Moreno, T., Wallis, S., Kojima, T. and Gibbons, W., eds., *The Geology of Japan*, Geol. Soc. London, London, 202–221.
- 渡辺 寧, 1987, 中期中新世上支湧別の堆積盆形成とテクトニクス. 松井 愈教授記念論文集, 171–174. [Watanabe, Y., 1987, Occurrence of the basins of the Middle Miocene Kamishiyubetsu Formation related to the tectonic movement. *Professor Masaru Matsui Memorial Volume*, 71–174.]
- 渡辺 寧, 1988, 中央北海道日高帯“ウエンシリ地帯”の変形構造. 地質雑, **94**, 527–533. [Watanabe, Y., 1988, Deformation structure of the “Uenshiri Horst” in the Hidaka Belt, central Hokkaido. *J. Geol. Soc. Japan*, **94**, 527–533.]
- Watanabe, Y. and Kimura, G., 1987, Strike-slip fault (Nayorogawa Fault) in northern Hokkaido. *J. Geol. Soc. Japan*, **93**, 1–10.
- 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. Newsl.*, **19**, 1–23.
- Williams, G. L., Brinkhuis, H., Pearce, M. A., Fensome, R. A. and Weegink, J. W., 2004, Southern ocean and global dinoflagellate cyst events compared: index events for the Late Cretaceous–Neogene. In Exon, N. F., Kennett, J. P. and Malone, M. J., eds., *Proc. ODP Sci. Results*, **189**, 1–98.
- 八幡正弘・田近 淳・黒沢邦彦・松波武雄, 1988, 5 万分の 1 地質図幅「丸瀬布北部」及び同説明書. 北海道立地質研究所, 110p. [Yahata, M., Tajika, J., Kurosawa, K. and Matsunami, T., 1988, *1: 50,000 Geological Map of Japan, Tatsushu and Its Explanatory Text*. Geol. Surv. Hokkaido, 110p.]
- 山口昇一・沢村孝之助, 1965, 5 万分の 1 地質図幅「本岐」及び同説明書. 地質調査所, 46p. [Yamaguchi, S. and Sawamura, K., 1965, *1: 50,000 Geological Map of Japan, Honki and Its Explanatory Text*. Geol. Surv. Japan, 46p.]
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F., 1998, Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *J. Geol. Soc. Japan*, **104**, 395–414.

*English translation from the original written in Japanese

(著者プロフィール)

七山 太 産業技術総合研究所地質情報研究部門上級主任研究員(兼)熊本大学くまもと水資源・減災教育センター客員教授。専門分野：現行堆積過程学、堆積地質学および地球科学一般。本研究では、立牛層の現地地質調査、試料採取、ならびに論文全体の執筆と取りまとめを行った。

栗田裕司 新潟大学理学部理学科准教授。専門分野：層序学・微古生物学・石油地質学。本論文に関し、渦鞭毛藻化石の抽出と記載を担当した。

田近 淳 (株)ドーコン環境事業本部技術顧問。専門分野：地質学。本論文に関し、北見紋別周辺の日高累層群の地質調査、岩石学的記載の執筆を担当した。

山崎 徹 産業技術総合研究所地質情報研究部門主任研究員。専門分野：岩石学。本論文に関し、砂岩中のジルコンの記載とCL画像の撮影を担当した。

岩野英樹 (株)京都フィッショントラックFT・熱年代部門主任。専門分野：地質年代学および熱年代学。本論文に関し、LA-ICP-MSによるU-Pb年代測定ならびに分析結果の解析結果の取りまとめ、原稿執筆を担当した。

檀原 徹 (株)京都フィッショントラック代表。専門分野：地質年代学及びテフクロノロジー。本研究では、LA-ICP-MSによるU-Pb年代測定を担当した。

平田岳史 東京大学大学院理学研究科付属地殻化学実験施設教授。専門分野：安定同位体地球化学および放射年代学。本論文に関し、LA-ICP-MSによるU-Pb年代測定を担当した。

(要 旨)

七山 太・栗田裕司・田近 淳・山崎 徹・岩野英樹・檀原 徹・平田岳史, 2020, 日高帯中に見いだされた後期漸新世を示す珪質泥岩層とそのテクトニックな意義。地質雑, **126**, 71–84. (Nanayama, F., Kurita, H., Tajika, J., Yamasaki, T., Iwano, H., Danhara, T. and Hirata, T., 2020, New age constraints and tectonic significance of the late Oligocene marine biosiliceous mudstone in the Hidaka Belt, northeastern Hokkaido, Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **126**, 71–84.)

北見紋別地域に分布する立牛層は珪質泥岩主体の地層からなるが、これまでは日高累層群に含まれていた。立牛層に挟在されるタービダイト砂岩から碎屑性ジルコン粒子を分離し、LA-ICP-MS法でU-Pb年代を測定した結果、 26.9 ± 0.2 Maを示す年代値が得られた。一方、立牛層の珪質泥岩から後期漸新世を示準する渦鞭毛藻化石(*Williamsidinium* sp. C and *Spinidinium*? sp. A zones)が産出した。立牛層は、後期漸新世に発生した右横ずれ構造運動によって、基盤の日高累層群中に南北に生じた地溝帯を埋めるようにして堆積し、さらに千島海盆(古オホーツク海)からもたらされた底層深層水の湧昇によって、珪質堆積物になったと考えられる。

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