巡検案内書

蝦夷層群下部～中部に記録された白亜紀中頃の温暖化と古環境変動*

Mid-Cretaceous climatic warmings and environmental changes recorded in the lower and middle part of the Yezo Group, Hokkaido, northern Japan

高嶋礼詩¹ 佐野晋一² 林 圭一³

概要

Reishi Takashima¹, Shin-ichi Sano² and Keiichi Hayashi³

2018年1月6日受付.

2018年3月6日受理.

* 日本地質学会第125年学術大会(2018年・札幌)
巡検(Dコース)案内書

¹ 東北大学学術資源研究公開センター・総合学術博物館

The Center for Academic Resources and Archives, Tohoku University Museum, Tohoku University, Sendai 980-8578, Japan

² 福井県立恐竜博物館

Fukui Prefectural Dinosaur Museum, Kat-suyama 911-8601, Japan.

現所属: 富山大学大学院理工学研究部(都市デザイン学系)

Graduate School of Science and Engineering for Research, University of Toyama, Toyama 930-8555, Japan

³ 北海道立総合研究機構地質研究所

Geological Survey of Hokkaido, Hokkaido Research Organization, Sapporo 060-0819, Japan

Corresponding author: R. Takashima,
rtaka@tohoku.ac.jp

白亜紀中頃は地球史において温暖化が最も進行した時代の一つと考えられており, 温室期の環境変動を理解する上で重要な時代である. 蝦夷層群は, 白亜紀中頃のアプチアンから古第三紀暁新世にかけてアジア大陸東縁の前弧海盆で堆積した地層で, 白亜紀の北西太平洋域の古環境変動を連続的に記録している. 本巡検では, 蝦夷層群に記録された2つの温暖化イベント時の地層である, セノマニアン/チューロニアン境界の海洋無酸素事変2層準の地層と, 後期アプチアンの礁性石灰岩を見学する.

Keywords

白亜紀, 蝦夷層群, 海洋無酸素事変2, オルビトリナ石灰岩, 北海道 Cretaceous, Yezo Group, Oceanic Anoxic Event 2, *Orbitolina* limestones, Hokkaido

地形図

1:25,000 「白金川」「双珠別湖」

(注) 本原稿のPDFカラー版がJ-STAGEでご覧いただけます.

<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/geosoc/-char/ja>

見学コース

7:30 北海道大学出発→(道央自動車道→道東自動車道)→夕張インター→ペンケモユーパロ林道入口→白金川→ペンケモユーパロ川入口→夕張インター→(道東自動車道)→占冠インター→双珠別川→占冠インター→(道東自動車道)→18:00 新千歳空港(第一次解散)→(道央自動車道)→19:00 北海道大学(第二次解散)

見学地点

Stop 1a (N43°02'44", E142°09'34")	上部セノマニアンの凝灰岩
Stop 1b (N43°02'45", E142°09'32")	セノマニアン最上部のLIPs活動層準
Stop 1c (N43°02'46", E142°09'29")	海洋無酸素事変2層準
Stop 2a (N42°57'30", E142°30'57")	峠山オリストストローム部層の乱堆積相
Stop 2b (N42°57'20", E142°31'8")	オルビトリナ石灰岩
Stop 2c (N42°57'18", E142°31'11")	丸山層

Fig. 1. Maps showing the locations of stop 1 (a) and stop 2 (b) during the field trip, adapted from the 1:200,000 scale “Yubaridake” regional map, published by the Geographical Survey Institute (GSI).

はじめに

蝦夷層群は白亜紀中頃～古第三紀最初期にかけて、アジア大陸東縁の前弧海盆で堆積した地層と考えられており(例えば, Ando, 2003), 全層厚はおおよそ 10,000 m に達する。本層群は保存良好な大型化石および微化石を多産することから、古くより化石層序学的研究が盛んに行われてきた(例えば, Matsumoto, 1942; Toshimitsu et al., 1998; Kawabe, 2000; Nishi et al., 2003)。近年では、本層群を対象に古地磁気、炭素・オスミウム同位体比層序や凝灰岩の放射年代も盛んに検討されるようになり、白亜系各ステージの GSSP (Global Boundary Stratotype Section and Point: 国際標準模式層断面および地点)がある欧米地域の白亜系と高精度で年代対比を行うことが可能となった(Hasegawa and Saito, 1993; Hasegawa, 1997; Kodama et al., 2000; Obradovich et al., 2002; Ando et al., 2002, 2003; Uramoto et al., 2009; Takashima et al., 2010, 2011; Nemoto and Hasegawa, 2011; Quidelleur et al., 2011; Uramoto et al., 2013; Du Vivier et al., 2015; Shigeta et al., 2016)。これらの一連の研究により、蝦夷層群において白亜系の各ステージ境界や海洋無酸素事変などの汎世界的な古環境イベントの層準が詳細に特定できるようになり、蝦夷層群は日本の白亜系で最も年代対比が精密に行われている地層といえる。また本層群の大きな特徴として、凝灰岩を頻繁に挟むことが挙げられる。白亜系の GSSPs は、セノマニアン/チューロニアン境界を除いて凝灰岩がほとんど見られないことから、本層群に挟まる凝灰岩の放射年代値は、白亜紀のタイムスケールの精度を向上させるうえで重要である。事実、白亜紀の国際標準タイムスケールにおいても、白亜紀の前期と後期を区分するアルビアン/セノマニアン境界の数値年代は、蝦夷層群の凝灰岩の放射年代を基に算出されている(Obradovich et al., 2002; Ogg et al., 2004, 2012, 2016)。

一方、白亜紀は地球史の中でも最も温暖化が進んだ時代として知られている。近年、大気中の二酸化炭素濃度の増加による地球温暖化が危惧されており、“温室期”における環境変動を明らかにする目的で、白亜紀の古環境変動の研究が盛んに行われるようになった。しかし白亜紀の古環境研究は、欧米地域や大西洋域の地層・海底コアを用いた研究が大部分を占め、白亜紀当時も最大の海洋であった太平洋域の検討例は少ない。これは、太平洋域では白亜紀の海洋地殻のほとんどが沈み込んでしまに残されていないことと、環太平洋域は変動帯のため連続した地層を得るのが困難なことによる。したがって蝦夷層群は白亜紀の北西太平洋域の古環境変動を連続して記録している数少ない地層である。蝦夷層群における古環境変動の解析を目的とした研究は、1990 年代以降、化石相、化石や堆積物の無機および有機地球化学分析などに基づいて盛んに議論されており(例えば Kaiho and Hasegawa, 1994; Moriya et al., 2003; Takashima et al., 2007; Iba and Sano, 2007, 2008; Takashima et al., 2011; Ando et al., 2017)、白亜紀のグローバルな温暖化に伴う北西太平洋域での古環境変動の詳細が明らかになりつつある。本巡検では、蝦夷層群に記録された白亜紀の温暖化イベントを示す地層の中でも代表的なセノマニアン末からセノマニアン/チューロニアン境界にかけて発生した海洋無酸素事変 2 (Oceanic Anoxic Event 2: OAE 2) の地層と後期アプチアンの礁性石灰岩を見学する(Figs. 1, 2)。

地質概説

蝦夷層群の層序

蝦夷層群の基本的な岩相層序区分は、Takashima et al. (2004)によってまとめられており、下位より惣声別川層、シューバロ川層、丸山層、日陰ノ沢層、佐久層、鹿島層、函淵層の 7 累層に区分される(Fig. 3)。一方、日陰ノ沢層下部～佐久層区間に相当する浅海相として、三笠層、鹿島層の

Fig. 2. Geological map of central Hokkaido, adapted from Takashima et al. (2017).

Fig. 3. Schematic stratigraphic profile of the Yezo Group, modified from Takashima et al. (2004).

浅海相として羽幌川層がそれぞれ設定されている。さらに、Takashima et al. (2004)は蝦夷層群において広域に対比可能な鍵層として、KY-1～KY-6を識別している (Fig. 3)。

惣芦別川層：本層は珪質暗灰色泥岩を主体とし、数 cm から最大で 4 m の厚さに達する白色珪質凝灰岩を頻りに挟む。下位の空知層群・尻岸馬内川層とは整合関係である。本層の泥岩にはほとんど生物擾乱が見られず、葉理が発達する。放散虫化石を多産するが、大型化石はほとんど産出しない。浮遊性有孔虫化石と炭素同位体比層序から、本層は下部アプチアンに対比され、特に本層下部には OAE 1a に対比される炭素同位体比の大きな正のエクスカージョンが見出されている (Ando et al., 2002; 2003; Takashima et al., 2004)。

シューパロ川層：本層は、下部の「礼振峰砂岩部層」、中部の

きりぎしやま おくさかいのさわ
「嵯山オリストストローム部層」、上部の「奥境ノ沢砂岩泥岩部層」に細分され、嵯山オリストストローム部層は、鍵層の KY-1 に相当する (Fig. 3)。礼振峰砂岩部層と奥境ノ沢砂岩泥岩部層は、主にタービダイト砂岩と泥岩の互層からなるが、礼振峰砂岩部層の方が互層の泥岩が薄く、砂岩層どうしが癒着していることもしばしばある。嵯山オリストストローム部層は、スランプ褶曲した砂岩泥岩互層や石灰岩のブロックを含むオリストストローム層で、厚さは最大 580 m に達する。本オリストストロームに相当する地層は、日高町から天塩中川町に至る地域において南北に広く分布する。アンモナイト、浮遊性有孔虫、炭素同位体比層序によると、礼振峰砂岩部層は上部アプチアンに対比され、嵯山オリストストローム部層～奥境ノ沢砂岩泥岩部層は下部～上部アルビアン

に対比される (Fig. 3).

丸山層：本層は、珪長質凝灰岩および凝灰質砂岩から構成され、北海道中軸帯全域に追跡される鍵層とみなされている (KY-2; Takashima et al., 2004). 幌加内地域では本層基底部に流紋岩巨礫を多量に含む再堆積性の礫岩を伴う。本層は浮遊性有孔虫化石 *Biticinella breggiensis* 帯の中に位置するため、上部アルビアンに対比される (Fig. 3).

日陰ノ沢層：暗灰色泥岩を主体とし、珪長質凝灰岩をしばしば挟む。また、本層下部にはタービダイト砂岩・暗灰色泥岩互層からなる金尻砂岩部層^{かなじり}を挟む (KY-3). アンモナイト、イノセラムス、浮遊性有孔虫化石、炭素同位体比層序に基づく、本層は上部アルビアン～上部セノマニアンに対比される (Fig. 3; Obradovich et al., 2002; Takashima et al., 2004; 2010; Kawabe et al., 2003). OAE 1d 層準とアルビアン/セノマニアン境界がそれぞれ、本層下部と金尻砂岩部層最上部付近に見出されている (Takashima et al., 2004). なお、Geologic Time Scale 2004, 2012, 2016 におけるアルビアン/セノマニアン境界の年代値は、幌加内地域に露出する本層に挟まる凝灰岩を基に算出されている (Obradovich et al., 2002; Ogg et al., 2004, 2012, 2016).

佐久層：佐久層は、主に泥岩優勢のタービダイト砂岩と泥岩の互層からなり、珪長質凝灰岩を頻繁に挟む。本層中部には互層の泥質部分が緑灰色を呈する、砂質シルト岩ないし泥質砂岩からなる層準 (Takashima et al., 2004 の KY-4) があり、鍵層として大夕張から苫前地域南部にかけて分布することが確認されている。この KY-4 層の基底部付近では、OAE 2 層準並びにセノマニアン/チューロニアン境界が見出されており、これらの区間を対象に各種化石層序、化学層序、放射年代が詳細に検討されている (詳細は後述)。本層は上部セノマニアン～上部チューロニアンに対比される (Fig. 3).

三笠層：本層は空知-蝦夷帯の西縁部 (空知背斜、万字・鳩ノ巣ドーム) に露出し、砂岩・礫岩を主体とする地層である。砂岩には、ハンモック型、トラフ型斜交層理もしくは生物擾乱が発達するものが卓越する。化石はトリゴニアやカキなどの浅海生二枚貝を多産する。本層はアルビアン最上部～上部チューロニアンに対比され、日陰ノ沢層下部～佐久層の浅海域の同時異相と考えられる。堆積学的検討により、三笠層には陸域～外側陸棚に至る多様な堆積環境が推定されている (Fig. 3; 安藤, 1990).

鹿島層：鹿島層は暗灰色泥岩を主体とし、珪長質凝灰岩を頻繁に挟む。本層下部には緑色を呈し、イノセラムスの破片を多産する凝灰質砂岩 (KY-5) を挟む。また、凝灰質砂岩および凝灰岩からなる地層を本層上部に挟み、KY-6 と名付けられている。本層は上部チューロニアン～下部カンパニアンに対比される (Fig. 3).

羽幌川層：本層は、鹿島層の浅海側の同時異相に相当する。下部は暗灰色塊状泥岩ないし砂質シルト岩からなり、鹿島層で述べた KY-5 を挟む。中部は暗灰色泥岩あるいは砂質シルト岩を主体とし、苫前地域ではタービダイト砂岩をしばしば挟む。苫前地域では、本層上部は泥岩から中粒・粗粒砂岩

に至る 2 回の上方粗粒化サイクルを示す。2 回目の上方粗粒化サイクル上部の粗粒砂岩は凝灰質で、鹿島層で述べた KY-6 にあたる (Takashima et al., 2004) 一方、三笠地域の³本層上部は、砂質シルト岩・泥岩を主体とし、凝灰質砂岩密集層 (KY-6) を挟む。本層は鹿島層と同様、全体的に珪長質凝灰岩を挟み、上部チューロニアン～下部カンパニアンに対比される (Fig. 3).

函淵層：砂岩、礫岩を主体とし、石炭、炭質泥岩、砂質シルト岩を伴う。砂岩にはハンモック型～トラフ型斜交層理が発達する。本層は三笠層同様、陸域～外側陸棚までの多様な堆積環境が推定されている (安藤ほか, 2007)。下部カンパニアン～暁新統に対比される (Fig. 3).

本巡検で観察する地質イベントの概要

海洋無酸素事変 2 (Oceanic Anoxic Event 2; OAE 2)

海洋無酸素事変 2 (以下、OAE 2) は、セノマニアン末～セノマニアン/チューロニアン境界付近にかけて発生した、海洋の広い範囲で無酸素環境が拡大したイベントだと考えられている (Schlanger and Jenkyns, 1976)。この無酸素環境の拡大により、広範囲に有機炭素に富む黒色頁岩が堆積し (Takashima et al., 2006)、海生生物の大規模な絶滅が起こった (例えば、Harries and Little, 1999; Leckie et al., 2002)。なお、蝦夷層群や English Chalk など一部のセクションでは、OAE 2 層準の有機炭素含有量は高くなく、汎世界的に還元的な環境が広がっていたわけではない (Takashima et al., 2011; Monteiro et al., 2012)。

OAE 2 の発生要因としては、カリブ海台など、大規模火成岩岩石区 (Large Igneous Provinces: LIPs) の形成による急激な温暖化が有力である (例えば、Snow et al., 2005; Kuroda et al., 2007)。Turgeon and Creaser (2008) および Du Vivier et al. (2015) は、OAE 2 開始の 2.3～5 万年前の地層からオスミウム同位体比の負のエクスカージョンを見出し、LIPs の活動が OAE2 に先行して起こったことを明らかにした。また、Barclay et al. (2010) は植物の気孔密度の測定により、二酸化炭素分圧も OAE 2 の開始直前に上昇していることを示した。一方、数値モデル実験の結果によると、OAE 2 における貧・無酸素水塊の時空分布を再現するには、温暖化だけでなく海洋への栄養塩の供給増加が必要とされており、温暖な気候と高い二酸化炭素濃度に伴う化学風化の増大が、海洋への栄養塩の供給を増加させ、無酸素水塊の発達に大きく寄与していた可能性がある (Ozaki et al., 2011; Monteiro et al., 2012)。

OAE 2 区間の層序学的研究については、化石層序と炭素同位体比層序を組み合わせた統合層序が世界中で盛んに研究されてきた。炭素同位体比層序については、有機・無機炭素の同位体比曲線は、ともに 2 つの正のピークによって特徴づけられる。このパターンについては、1st build-up, Trough, 2nd build-up, Plateau, Recovery の 5 つのセグメントに区分され (Paul et al., 1999)、1st build-up と Trough が下位側のピーク、2nd build-up～Recovery の区間が上位側の幅広いピークに相当する (Fig. 4)。この区分に基づく、

Fig. 4. Integrated stratigraphy around the Oceanic Anoxic Event 2 (OAE 2) interval in the Portland core, Western Interior Seaway, USA. Litho- and biostratigraphy and radiometric and astronomical recalibrated ages are from Meyers et al. (2012), and Os isotope data are from Du Vivier et al. (2014).

セノマニアン/チューロニアン境界は、Plateauの最上部付近に位置する(Paul et al., 1999; Sageman et al., 2006)。一方、Du Vivier et al. (2014)は、OAE 2区間の炭素同位体比曲線の対比基準面として、A, B, C層準を定義している。彼女らのA, B, C層準は、それぞれPaul et al. (1999)の1st build-up区間の最下部層準、Trough区間の $\delta^{13}\text{C}$ 値が最も低くなる層準、Plateau区間最上部(=セノマニアン/チューロニアン境界)層準に相当する(Fig. 4)。北米内陸部のWestern Interiorには、セノマニアン/チューロニアン境界のGSSPがあり、同地域では大型・微化石・炭素・オスミウム同位体比統合層序とCyclostratigraphy、凝灰岩中のジルコンのU-Pb年代値、サニディンの $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代値が詳細に検討され、白亜紀で最高精度の年代尺度が樹立されている(Fig. 4; Sageman et al., 2006; Meyers et al., 2011; Du Vivier et al., 2014)。

本巡検見学地点の大夕張の白金川セクションのOAE2層準は、日本の白亜系で初めて炭素同位体比層序が検討された例として重要である(Hasegawa and Saito, 1993)。同セクションの白亜系の古緯度については古地磁気の検討例(Ta-

maki and Itoh, 2008)があり、現在の緯度とあまり違いがないことが示されている。化石層序に関しては、大型化石に基づく対比により、見学地点付近にセノマニアン/チューロニアン境界の存在が示唆され(例えば、Hirano et al., 1977)、その後の長谷川らの一連の研究により、OAE2の化石・炭素同位体比層序による対比と古環境変動の解析がなされた(Hasegawa and Saito, 1993; Kaiho and Hasegawa, 1994; Hasegawa, 1995; 1997)。また、近年では、Takashima et al. (2011)やDu Vivier et al. (2015)により、オスミウム・炭素同位体比層序や凝灰岩のU-Pb年代値が検討され、OAE 2時期におけるLIPsの活動年代や、北米のWestern Interiorや欧州の各セクションとのOAE 2区間内の詳細な層序対比がなされている(Fig. 5)。これらの結果によると、94.8 MaにLIPsの活動が開始し、94.4 MaにLIPsの活動がクライマックスを迎え、OAE 2が発生した。その後、94.2 MaにLIPsの活動が終焉もしくは減衰したことが示されている。このセクションの海洋の酸化還元状態については、パイライト化度に基づく、1st build-up区間で貧酸素環境が卓越するが、それ以外の大部分の区間では酸化

Fig. 6. Summary of faunal, tectonic, and environmental events during the Aptian, adapted from Takashima et al. (2007). Grey shaded area indicates the horizon of *Orbitolina* limestone of the Kirigishiyama Olistostrome Member. [1], Hardenbol et al. (1998); [2], Weissert et al. (1998); [3], Clarke and Jenkyns (1999); [4], Bralower et al. (1997); [5], Erbacher et al. (1996) and Larson and Erba (1999); [6], Mutterlose (1998); [7], Coffin et al. (2002); [8], Weissert and Lini (1991).

Fig. 7. Aerial photomaps (Google Earth) showing the locations of stops 1a–1c and important stratigraphic horizons around the OAE 2. Symbols (e.g., C_B) are same as the caption to Figure 5. Dashed line shows the base of KY-4.

的な環境下にあったことが示されている (Takashima et al., 2011; Fig. 5). また、栗原・川辺 (2003) や Kurihara et al. (2012) では、本セクションの OAE2 層準付近における大型化石の絶滅・出現を詳細に論じている。

嵯山オリストストローム部層とオルビトリナ石灰岩

蝦夷層群下部のシューパーロ川層・嵯山オリストストローム部層に含まれる礁性石灰岩のオリストリスは、大型有孔虫オルビトリナや厚歯二枚貝などを特徴的に含み、“オルビトリナ石灰岩”と呼ばれ、古くからその存在が知られていた (矢部、

1901; Yabe and Hanzawa, 1926; Yabe and Nagao, 1926; Nagao, 1933). 石灰岩近傍において礫岩が発達することから、従来、この層準付近で広域に不整合を作るような陸化イベントが想定された。この変動は「中蝦夷地変」と名付けられ (橋本, 1954; 猪間, 1969), 神居古潭帯の広域な隆起に起因する前弧海盆における構造運動と解釈された (君波ほか, 1978; Okada, 1983; 新井田・紀藤, 1986 など)。しかし、大島ほか (1988) によって、このオルビトリナ石灰岩がオリストストローム中のオリストリスである可能性が指摘されて

Fig. 8(→). Photographs of the uppermost Cenomanian to basal Turonian interval along the Hakkin River section. A: Upper Cenomanian tuff (AD175). B: 1st Os isotope negative excursion horizon. C: 2nd Os isotope negative excursion horizon. D: Basal part of KY-4. Lithofacies changes from dark gray mudstone to greenish gray sandy siltstone. E: “A” horizon of Du Vivier et al. (2015), equivalent to the onset of OAE 2. F: Washed residue of pyrite-rich mudstone, just above the A horizon. G: “B” horizon of Du Vivier et al. (2015). H: “C” horizon of Du Vivier et al. (2015), equivalent to the Cenomanian–Turonian boundary.

Fig. 9. Geological map of the Soshubetsu area, adapted from Takashima (2000).

以降、本部層に含まれる石灰岩全てが現地性ではなく、オリストストロームによって深い海盆底に再堆積したものであることが次第に明らかとなってきた (Sano, 1995b; 川辺ほか, 1996; 三次・平野, 1997; 高嶋ほか, 1997a, b; 川村ほか, 1999; 佐野, 2000). 高嶋ほか (1997a) や高嶋・西 (1999) は、従来不整合の基底礫岩とされていたものは全てオリストストローム中の礫岩ブロックであることを示すとともに、石灰岩に含まれるチャートや珪質泥岩礫から三畳紀〜ジュラ紀の放射虫・コノドント化石が産出すること、礫岩には流紋岩や花崗岩礫が含まれることから、石灰岩の形成場をジュラ紀付加体の渡島帯に隣接した蝦夷海盆の西縁部に求め、中蝦夷地変を「大規模なオリストストロームを引き起こした変動」として

再解釈している。なお、オリストストロームの発生年代は、奥境ノ沢砂岩泥岩部層の年代から、アプチアン末期〜アルビアン最初期である可能性が高い (Fig. 3)。

オルビトリナ石灰岩には、一般にオルビトリナのほか、サンゴ類、厚歯二枚貝類、巻貝のネリネア類、紅藻類などが含まれており、佐野 (1995a, 2000), Sano (1995b), Iba and Sano (2006), Iba et al. (2011), Sano and Masse (2013) などに化石・堆積相の詳細が記載されている。石灰岩体自体の年代については、当初、本岩体に含まれるオルビトリナが *Orbitolina lenticularis* form group II *sensu* Hofker (1963) に分類され、上部アプチアンから下部アルビアンとされた (Matsumaru, 1971)。その後、伊庭らは、オルビト

Fig. 10. Route map (stops 2a–2c) along the Soshubetsu River, showing the distribution of the Kirigishiyama Olistostrome Member and limestone olistoliths.

リナの分類を再検討し, *Praeorbitolina cf. wienandsi*, *Mesorbitolina parva*, *M. texana* が産出すること, オリストストローム層形成を上限と考え, 石灰岩の年代を前期アプチアン後期～後期アプチアンとしている(伊庭ほか, 2005; Iba and Sano, 2006; Iba et al., 2011). 一方, 松丸らは *Palorbitolina lenticularis*, *Iraqia simplex* の産出から前期アプチアンと解釈しており(Matsumaru, 2005; Matsumaru et al., 2007), 年代に関する見解に相違がある. 伊庭らの時代論に基づく, オリストストロームの形成時期は, 石灰岩の堆積と大きな時代ギャップはないが, 松丸らの見解に基づく, 石灰岩は堆積後ある程度の時間を経て, 再堆積したことになる.

オルビトリナ石灰岩の形成場については, 勘米良・小畠(1972)によって, 浅海における礁や bioherm とする解釈がなされた. さらに佐野(1995a, 2000)や Sano(1995b)は, この石灰岩の岩相・化石相を詳細に解析し, その形成場として大陸縁の陸棚における rimmed shelf を提唱している. この石灰岩は白亜紀の北西太平洋域で最も高緯度に形成された礁性石灰岩であることから, 当時の温暖化イベントを示す重要な証拠と考えられる. Takashima et al.(2007)は, この石灰岩の形成について, 後期アプチアン後期の温暖化イベント(Weissert and Lini, 1998 の Aptian Green House Earth II)を反映している可能性を指摘した(Fig. 6). 一方,

白亜紀の温暖化はアプチアンからチューロニアンに至るまで断続的に継続するにもかかわらず(高嶋・西, 2017 のレビュー参照), 北西太平洋域では, この石灰岩の堆積後, 礁性石灰岩が形成されなくなるとともに, テチス海と北西太平洋で生物地理区の分化が生じるようになる. Iba and Sano(2007, 2008)や Iba et al.(2011b, c)は, この理由として, 南米・アフリカ大陸間のゲートウェイ(Equatorial Atlantic Gateway)の開通やベーリング海峡の成立に伴う, 地球規模の海流系の変化によって, 古黒潮のような暖流の北上が弱まったためと説明している.

見学地点の解説

Stop 1

Stop 1 は夕張市白金川流域に位置し, OAE 2 を含むセノマニアン最上部からチューロニアン最下部にかけての層序が露出している(Figs. 1, 2, 7). 蝦夷層群の佐久層中部に相当する層準で, 鍵層 KY-4 も含まれる. Fig. 5 の蝦夷層群の柱状図は, KY-4 の基底を 0 m としている.

Stop 1a セノマニアン上部の凝灰岩

[地形図] 1 : 25,000 地形図「白金川」

[位置] N43°02'44", E142°09'34".

[解説] 本凝灰岩は, Du Vivier et al.(2015)において CA-ID-TIMS によるジルコンの U-Pb 年代測定がなされた厚さ

Fig. 11. Columnar section of the Kirigishiyama Olistostrome, Okusakinawasawa Sandstone and Mudstone members, and the Maruyama Formation in the Soshubetsu area, adapted after Kawamura et al. (1999).

30 cm の白色結晶質凝灰岩(AD-175 : Figs. 5, 7 の T₁)で、-170 m の層準に挟まる(Figs. 5, 8A)。年代値は、95.11 ± 0.05/0.12 Ma とされている。構成粒子は粗粒砂サイズの長石、石英を主体とする。重鉱物では、黒雲母を多く含み、ジルコン、アパタイト、磁鉄鉱を伴う。

Stop 1b セノマニアン最上部の LIPs 活動層準

[地形図] 1 : 25,000 地形図「白金川」

[位置] N43°02'45", E142°09'32".

[解説] 本セクションのセノマニアン最上部では、2 回のオ

スミウム同位体比の負のエクスカージョンが記録されており(Figs. 5, 7 の O₁, O₂)、2 回目のエクスカージョンの方がシフトの規模が大きい(Fig. 5)。同様の変化は北米 Western Interior の Portland core でも見出されており、グローバルなイベントとみなされる(Du Vivier et al., 2015)。オスミウム同位体比における負のシフトは、海洋へのマントル由来のオスミウム(¹⁸⁸Os)の供給の卓越を示し、逆に正のシフトは風化による大陸地殻由来のオスミウム(¹⁸⁷Os)の供給が卓越したことを意味する(Peucker-Ehrenbrink and Ravizza, 2000)。このことから、OAE 2 以前のオスミウムの 2 回の

Fig. 12(→). Photographs of the Kirigishiyama Olistostrome Member and the Maruyama Formation in the Soshubetsu section. A: Conglomerate block and muddy matrix in unit A of the Kirigishiyama Olistostrome Member. B: Limestone olistolith and muddy matrix in unit B of the Kirigishiyama Olistostrome Member. C: Requieniid rudist and nerineoid gastropod (*Adiozoptyx*) individuals in the limestone olistolith. D: Orbitolina-rich facies in the limestone olistolith. E: Massive sandstone block and folded alternating beds of sandstone and mudstone in unit C of the Kirigishiyama Olistostrome Member. F: Folded mudstone in unit D of the Kirigishiyama Olistostrome Member. White dashed line shows a bedding plane. G: Felsic tuff beds of the Maruyama Formation.

負のエクスカージョンは、カリブ海台のような LIPs の活動開始と、LIPs 活動のピークをそれぞれ示すと解釈されている (Du Vivier et al., 2015). 一方、2つの負のエクスカージョンの間にある、オスミウム同位体比の高い区間は、LIPs の活動の一時的な減衰、風化作用の増大、もしくは海水準の低下などによって、海洋へ的大陸由来のオスミウムの供給が卓越したためと考えられている (Du Vivier et al., 2015).

本セクションの佐久層は、Fig. 5 の柱状図において、1 回目の Os の負のエクスカージョンが $-67 \sim -64$ m の区間 (94.8 Ma; Figs. 5, 7 の O_1)、2 回目の負のエクスカージョンが $-19.4 \sim -18.6$ m の区間 (94.4 Ma; Figs. 5, 7 の O_2) に見出されている。1 回目の Os の負のエクスカージョン区間は、生物擾乱の発達する暗灰色の泥岩を主体とするが、数 10 cm の厚さの緑色砂質シルト岩と 10 cm 前後のタービダイト砂岩の互層からなる地層 (厚さ約 1 m) を挟む (Fig. 8B)。2 回目の Os の負のエクスカージョン区間は、生物擾乱の発達する暗灰色泥岩からなり、厚さ 4 cm のタービダイト砂岩および厚さ 5 mm の珪長質凝灰岩薄層を挟む (Fig. 8C)。なお、2 回目の Os の負のエクスカージョンの下位に挟まる凝灰岩 (CT041 : Figs. 5, 7 の T_2) からは、 $94.59 \pm 0.03/0.11$ Ma の年代値が得られている (Du Vivier et al., 2015)。

Stop 1c OAE 2 層準

[地形図] 1 : 25,000 地形図「白金川」

[位置] $N43^{\circ}02'46''$, $E142^{\circ}09'29''$.

[解説] この区間では、暗灰色泥岩主体の地層から、緑灰色砂質シルト岩主体の地層 (KY-4) への岩相変化がみられる (Fig. 8D)。炭素同位体比およびオスミウム同位体比曲線および放射年代測定の結果に基づく、本セクションの OAE 2 は $-16.2 \sim +22.9$ m の区間に相当すると考えられる (Fig. 5)。Du Vivier et al. (2015) は、本セクションの OAE 2 区間の炭素同位体比基準面 A, B, C をそれぞれ -16.2 m, $+8.0$ m, $+22.9$ m の層準に対比し、セノマニアン/チューロニアン境界を $+22.9$ m の層準に設定している。OAE 2 の開始に相当する A 層準 (Figs. 5, 7 の C_A) 付近の岩相は、生物擾乱の発達する暗灰色泥岩からなり、厚さ 7 cm のタービダイト砂岩およびその直上に厚さ 4 cm の珪長質凝灰岩を挟む (Fig. 8E)。しかし、A 層準より上位では生物擾乱が弱くなり、パイライトを多産する (Fig. 8F)。この層準ではパイライト化度も高く、貧酸素環境にあったと推察される (Fig. 5, Takashima et al., 2011)。A 層準の 3 m 上位には、厚さ 4 cm の珪長質凝灰岩 (HK017 : Figs. 5, 7 の T_3) が挟まり、 $94.44 \pm 0.09/0.14$ Ma の年代が得られている (Fig. 5)。

B 層準 (Figs. 5, 7 の C_B) は、KY-4 層の基底からおよそ 8 m 上位に位置し、緑灰色砂質シルト岩からなる (Fig. 8G)。生物擾乱が発達しており、パイライト化度も低い。

C 層準 (Figs. 5, 7 の C_C) は生物擾乱の発達する緑灰色砂質シルト岩からなり、直上に厚さ 30 cm の珪長質凝灰岩密集層を挟む (Fig. 8H)。この密集層は厚さ 1.5~5 cm の 4

枚の凝灰岩層からなり、最下部の厚さ 5 cm の凝灰岩層 (HK018 : Figs. 5, 7 の T_4) から、 $93.92 \pm 0.03/0.11$ Ma の年代が得られている (Fig. 5)。

Stop 2

しむかつぶむらそうしゅべつ

Stop2 は、古冠村双珠別川沿いに位置し、シューパロ川層嵯山オリストストローム部層から丸山層にかけての連続層序を観察することができる。本地域の地質図、ルートマップ、柱状図を Fig. 9~11 に示す。

Stop 2a 嵯山オリストストローム部層の乱堆積相

[地形図] 1 : 25,000 地形図「双珠別湖」

[位置] $N42^{\circ}57'30''$, $E142^{\circ}30'57''$.

[解説] 本地点では、嵯山オリストストローム部層が広く露出する。褶曲した砂岩・泥岩互層や、5 m 以上の塊状砂岩のブロック、1 m 前後の礫岩ブロック、最大 10 m に達する石灰岩のブロックが互いに接する産状を観察することができる。川村ほか (1999) は、本地点の嵯山オリストストローム部層を双珠別スランプ体と呼び、その内部を Unit A~D の 4 つに区分している (Fig. 11)。Unit A は塊状砂岩・礫岩からなり、内部に流動変形した泥質ラミナを含む (Fig. 12A)。Unit B は泥質基質中に様々な大きさの石灰岩ブロックを含む (Fig. 12B-12D)。泥質基質にはへき開が発達する。Unit C は塊状砂岩・礫岩および剪断変形した砂岩泥岩互層からなり、砂質泥岩を伴う (Fig. 12E)。まれに数 10 cm の石灰岩ブロックを含む。Unit D は淘汰不良砂質泥岩を主体とし、厚さ 1 m 程度の礫岩および砂岩のブロック~レンズを含む (Fig. 12F)。

Stop 2b オルビトリナ石灰岩

[地形図] 1 : 25,000 地形図「双珠別湖」

[位置] $N42^{\circ}57'20''$, $E142^{\circ}31'8''$.

[解説] 大規模な石灰岩オリストリスの露頭が見られる。林道沿いの露頭は苔などに覆われて岩相の観察が困難であるが、露頭上部に本地点を模式地とする大型のネリネア *Adiozoptyxis hidakaensis* (Fukada, 1953 : Hayami and Kase, 1977) の密集層が確認される (Sano, 1995b; 深田, 2005)。この露頭に由来する巨大な転石が双珠別川の河原に点在しており、これらは化石相の観察に適している。転石では、ネリネア、レクイエニア科厚歯二枚貝、サンゴ、オルビトリナなどが見られる (Fig. 12C, 12D)。また、石灰岩基質には、チャート、珪質泥岩、各種火山岩の礫を見出すことができる。

Stop 2c 丸山層

[地形図] 1 : 25,000 地形図「双珠別湖」

[位置] $N42^{\circ}57'18''$, $E142^{\circ}31'11''$.

[解説] 本地点では丸山層の珪長質凝灰岩密集層を観察できる (Fig. 12G)。丸山層は北海道中軸部全域に追跡できる鍵層 KY-2 で、大規模な珪長質火山活動の痕跡である。この凝灰岩は変質した火山ガラスを主体とし、石英、長石を伴う。重鉱物としては黒雲母を主体とし、ジルコン、アパタイ

ト、磁鉄鉱を伴う。

謝 辞

編集委員の川上源太郎博士(北海道立総合研究機構地質研究所)には巡検の機会を与えていただいた。また、匿名の査読者2名からのコメントによって本稿は改善された。以上の方々に感謝申し上げます。

文 献

- Ando, A., Kakegawa, T. and Takashima, R. and Saito, T., 2002, A new perspective on Aptian carbon isotope stratigraphy: Constraints from $\delta^{13}\text{C}$ records of terrestrial organic matter. *Geology*, **30**, 227–230.
- Ando, A., Kakegawa, T., Takashima, R. and Saito, T., 2003, Stratigraphic carbon isotope fluctuations of detrital woody materials during the Aptian Stage in Hokkaido, Japan: Comprehensive $\delta^{13}\text{C}$ data from four sections of the Ashibetsu area. *Jour. Asian Earth Sci.*, **21**, 835–847.
- 安藤寿男(Ando, H.), 1990, 上部白亜系中部蝦夷層群三笠層の堆積相分布と前進性シーケンス(Shallow-marine sedimentary facies distribution and progradational sequences of the Mikasa Formation, Midde Yezo Group(Upper Cretaceous)). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **96**, 453–469.
- Ando, H., 2003, Stratigraphic correlation of Upper Cretaceous to Paleocene forearc basin sediments in northeast Japan: cyclic sedimentation and basin evolution. *Jour. Asian Earth Sci.*, **21**, 921–935.
- 安藤寿男・栗原憲一・高橋賢一(Ando, H., Kurihara, K. and Takahashi, K.), 2007, 蝦夷前弧堆積盆の海陸断面堆積相変化と海洋無酸素事変層準(Depositional facies changes along the Yezo forearc basin transect and Cenomanian-Turonian oceanic anoxic event horizon: Yubari to Mikasa). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **113**, 補遺(Supplement), 185–203.
- Ando, T., Sawada, K., Nakamura, H., Omatsu, K., Takashima, R. and Nishi, H., 2017, Depositional environments and maturity evaluated by biomarker analyses of sediments deposited across the Cenomanian-Turonian boundary in the Yezo Group, Tomamae area, Hokkaido, Japan. *Island Arc*, **26**, e12178.
- Barclay, R. B., McElwain, J., C. and Sageman, B. B., 2010, Carbon sequestration activated by a volcanic CO_2 pulse during Ocean Anoxic Event 2. *Nature Geoscience*, **3**, 205–208.
- Bralower, T. J., Fullagar, P. D., Paull, C. K., Dwyer, G. S. and Leckie, R. M., 1997, Mid-Cretaceous strontium-isotope stratigraphy of deep-sea sections. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **109**, 1421–1442.
- Clarke, L. J. and Jenkyns, H. C., 1999, New oxygen isotope evidence for long-term Cretaceous climatic change in the southern hemisphere. *Geology*, **27**, 699–702.
- Coffin, M. F., Pringle, M. S., Duncan, R. A., Gladchenko, T. P., Storey, M., Muller, R. D. and Gahagan, L. A., 2002, Kerguelen hotspot magma output since 130 Ma. *Jour. Petrol.*, **43**, 1121–1139.
- Du Vivier, A. D. C., Selby, D., Condon, D. J., Takashima, R. and Nishi, H., 2015, Pacific $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ isotope chemistry and U–Pb geochronology: synchronicity of global Os isotope change across OAE 2. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **428**, 204–216.
- Du Vivier, A. D. C., Selby, D., Sageman, B. B., Jarvis, I. and Gröcke, D. R., Voigt, S., 2014, Marine $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ isotope stratigraphy reveals the interaction of volcanism and ocean circulation during Oceanic Anoxic Event 2. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **389**, 23–33.
- Erbacher, J., Thurow, J. and Littke, R., 1996, Evolution patterns of radiolaria and organic matter variations: A new approach to identify sea-level changes in mid-Cretaceous pelagic environments. *Geology*, **24**, 499–502.
- Fukada, A., 1953, A new species of Nerinea from central Hokkaido. *Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. 4*, **8**, 211–216.
- 深田淳夫(Fukada, A.), 2005, 北海道占冠(シムカップ)村双珠別川産のネリネア類 *Adiozoptyxis hidakaensis* (Fukada) の産状についての研究(Occurrence of Nerineidae *Adiozoptyxis hidakaensis* (Fukada) in Shoshubetsu River, Shimukappu Village, Hokkaido, Japan). 財団法人深田地質研究所年報(*Ann. Rep. Fukada Geol. Inst.*), **6**, 153–166. *
- Hardenbol, J., Thierry, J., Farley, M. B., Jacquin, T., Graciansky, P.-C. d. and Vail, P. R., 1998, Mesozoic and Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European basins. *SEPM Special Pub.*, **60**, 3–13 (8 charts).
- Harries, P. J. and Little, C. T. S., 1999, The early Toarcian (Early Jurassic) and the Cenomanian-Turonian (Late Cretaceous) mass extinctions: similarities and contrasts. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **154**, 39–66.
- Hasegawa, T., 1995, Correlation of the Cenomanian/Turonian boundary between Japan and Western Interior of the United States. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **101**, 2–12.
- Hasegawa, T., 1997, Cenomanian-Turonian carbon isotope events recorded in terrestrial organic matter from northern Japan. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **130**, 251–273.
- Hasegawa, T., 1999, Planktonic foraminifera and biochronology of the Cenomanian-Turonian (Cretaceous) sequence in the Oyubari area, Hokkaido, Japan. *Paleontol. Res.*, **3**, 173–192.
- Hasegawa, T. and Saito, T., 1993, Global synchronicity of a positive carbon isotope excursion at the Cenomanian/Turonian boundary: validation by calcareous microfossil biostratigraphy of the Yezo Group, Hokkaido, Japan. *Island Arc*, **2**, 181–191.
- 橋本 亘(Hashimoto, W.), 1954, 北海道中生界の堆積と変形(Sedimentation and deformation of Mesozoic formations, Hokkaido), 石枝誌(*Jour. Japan. Assoc. Petrol. Technol.*), **19**, 101. *
- Hayami, I. and Kase, T., 1977, A systematic survey of the Paleozoic and Mesozoic Gastropoda and Paleozoic Bivalvia from Japan. *Bull. Univ. Mus., Univ. of Tokyo*, **13**, 159.
- Hirano, H., Matsumoto, T. and Tanabe K., 1977, Mid-Cretaceous stratigraphy of the Oyubari area, central Hokkaido. *Palaeontol. Soc. Japan, Spec. Pap.*, **21**, 1–10.
- Hofker, J. Jr., 1963, Studies on the genus *Orbitolina* (Foraminifera). *Leidse Geologische Mededelingen*, **29**, 181–254.
- Iba, Y., Mutterlose, J., Tanabe, K., Sano, S., Terabe, K. and Misaki, A., 2011a, Belemnite extinction and the origin of modern cephalopods 35 m.y. prior to the Cretaceous–Paleogene event. *Geology*, **39**, 483–486.
- Iba Y. and Sano S., 2006, *Mesorbitolina* (Cretaceous larger foraminifera) from the Yezo Group in Hokkaido, Japan and its stratigraphic and paleobiogeographic significance. *Proc. Japan. Acad.*, **82**, 216–223.
- Iba Y. and Sano, S., 2007, Mid-Cretaceous step-wise demise of the carbonate platform biota in the Northwest Pacific and establishment of the North Pacific biotic province. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **245**, 462–482.
- Iba Y. and Sano, S., 2008, Paleobiogeography of the pectinid bivalve *Neithea*, and its pattern of step-wise demise in the Albian Northwest Pacific. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **267**, 138–146.
- Iba, Y., Sano, S. and Miura, T., 2011b, Orbitolinid foraminifers in the Northwest Pacific: Their taxonomy and stratigraphy. *Micropaleontology*, **57**, 163–171.
- Iba, Y., Sano S. and Tanabe, K., 2011c, A Tethyan bivalve, *Neithea* (Cretaceous pectinid) from northern California, and

- its biogeographic implications. *Paleontolog. Res.*, **15**, 79–84.
- 伊庭靖弘・瀧 修一・吉田孝紀・疋田吉識 (Iba, Y., Taki, S., Yoshida, K. and Hikita, Y.), 2005, 北海道北部中川地域の下部蝦夷層群最下部から大型有孔虫 *Orbitolina* を含む石灰含礫の発見とその意義 (*Orbitolina*-bearing limestone pebbles from the lowermost part of the Lower Yezo Group (Lower Cretaceous) in the Nakagawa area, northern Hokkaido, Japan and its significance). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **111**, 67–73.
- 猪間明俊 (Inoma, A.), 1969, 中蝦夷地変と中部蝦夷層群の堆積 (上) (下) (Intra-Yezo disturbance and deposition of the Middle Yezo Group). 石技誌 (*Jour. Japan. Assoc. Petrol. Technol.*), **34**, 11–17, 21–25.
- Kaiho, K. and Hasegawa, T., 1994, End-Cenomanian benthic foraminiferal extinctions and oceanic dysoxic events in the northwestern Pacific Ocean. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **111**, 29–43.
- 勘米良亀齡・小島郁生 (Kammera, K. and Obata, I.), 1972, 日高累層群石灰岩の岩相と生相概報 (A preliminary study on litho- and bio-facies of limestones of the Hidaka and Sorachi Groups in the Hidaka Mountains, Hokkaido). 国立科博専報 (*Mem. Natl. Sci. Mus.*), **5**, 203–212.
- Kawabe, F., 2000, Cretaceous stratigraphy in the Oyubari area, central Hokkaido, Japan. *Bull. Nat. Sci. Mus., Tokyo, Ser. C, Geol.*, **26**, 9–56.
- 川辺文久・平野弘道・高木恭 (Kawabe, F., Hirano, H. and Takagi, K.), 1996, 北海道北大夕張地域白亜系的大型化石層序 (Biostratigraphy of the Cretaceous System in the northern Oyubari area, Hokkaido). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **102**, 440–459.
- Kawabe, F., Takashima, R., Wani, R., Moriya, K. and Nishi, H., 2003, Biostratigraphy of the Upper Albian to Lower Cenomanian in Oyubari, Hokkaido, Japan: implications for the Cretaceous biochronology in the North Pacific. *Acta Geologica Polonica*, **53**, 81–91.
- 川村信人・植田勇人・鳴島勤 (Kawamura, M., Ueda, H. and Narushima, T.), 1999, 前弧海盆堆積物中の不整合とスランプ体—中部蝦夷層群基底部の層位的現象— (Unconformities and slump bodies recognized in forearc sediments—stratigraphic phenomena at the basal part of the Middle Yezo Group, Sorachi-Yezo Belt, central Hokkaido—). 地質学論集 (*Mem. Geol. Soc. Japan*), **52**, 37–52.
- Kodama, K., Maeda, H., Shigeta, Y., Kase, T. and Takeuchi, T., 2000, Magnetostratigraphy of Upper Cretaceous strata in South Sakhalin, Russian Far East. *Cretaceous Res.*, **21**, 469–478.
- 君波和雄・高橋功二・間庭賢 (Kiminami, K., Takahashi, K. and Maniwa, K.), 1978, 北海道の白亜系—エゾ層群と根室層群— (The Cretaceous system in Hokkaido-Yezo and Nemuro Groups—). 地団研専報 (*Monog. Assoc. Geol. Collab. Japan*), **21**, 111–126.
- 栗原憲一・川辺文久 (Kurihara, K. and Kawabe, F.), 2003, セノマニアン/チューロニアン期境界前後の軟体動物相—北海道大夕張地域と米国西部内陸地域の比較— (Molluscan faunal changes across the Cenomanian/Turonian boundary: A comparison between the Oyubari area, Hokkaido, Japan and the Western Interior, USA). 化石 (*Fossil*), **74**, 36–47.
- Kurihara, K., Toshimitsu, S. and Hirano, H., 2012, Ammonoid biodiversity changes across the Cenomanian-Turonian boundary in the Yezo Group, Hokkaido, Japan. *Acta Palaeontol. Polonica*, **57**, 749–757.
- Kuroda, J., Ogawa, N. O., Tanimizu, M., Coffin, M. F., Tokuyama, H., Kitazato, H. and Ohkouchi, N., 2007, Contemporaneous massive subaerial volcanism and late Cretaceous Oceanic Anoxic Event 2. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **256**, 211–223.
- Larson, R. L. and Erba, E., 1999, Onset of the mid-Cretaceous greenhouse in the Barremian–Aptian: Igneous events and the biological, sedimentary, and geochemical responses. *Paleoceanography*, **14**, 663–678.
- Leckie, R. M., Bralower, T. J. and Cashman, R., 2002, Oceanic anoxic events and plankton evolution: biotic response to tectonic forcing during the mid-Cretaceous. *Paleoceanography*, **17**, doi: 10.1029/2001PA000623.
- Matsumaru, K., 1971, Certain larger Foraminifera from Japan. *Jour. Saitama Univ., Fac. Educ.*, **20**, 149–159.
- Matsumaru, K., 2005, *Praeorbitolinoides*, a new Orbitolinid foraminiferal genus from the Lower Aptian (Cretaceous) of Hokkaido, Japan. *Micropaleontology*, **51**, 93–99.
- Matsumaru, K., Aizawa, M., Mukai, K. and Furusawa, A., 2007, Note of Orbitolinid foraminifera from the Lower Aptian (Cretaceous) Shimanoshita Mudstone, Lower Yezo Group, Hokkaido, Japan. *Jour. Saitama Univ., Fac. Educ.*, **56**, 367–372.
- Matsumoto, T., 1942, Fundamentals in the Cretaceous stratigraphy of Japan, Part 1. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ., Ser. D, Geol.*, **1**, 129–280.
- Meyers, S. R., Siewert, S. E., Singer, B. S., Sageman, B. B., Condon, D. J., Obradovich, J. D., ..., Sawyer, D. A., 2012, Intercalibration of radioisotopic and astrochronologic time scales for the Cenomanian-Turonian boundary interval, Western Interior Basin, USA. *Geology*, **40**, 7–10.
- 三次徳二・平野弘道 (Mitsugi, T. and Hirano, H.), 1997, 北海道中軸部下部蝦夷層群の白亜紀放射状化石 (Cretaceous radiolaria from the Lower Yezo Group, central Hokkaido, Japan). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **103**, 113–125.
- Monteiro, F. M., Pancost, R. D., Ridgwell, A. and Donnadieu, Y., 2012, Nutrients as the dominant control on the spread of anoxia and euxinia across the Cenomanian–Turonian oceanic anoxic event (OAE2): Model–data comparison. *Paleoceanography*, **27**, PA4209.
- Moriya, K., Nishi, H., Kawahata, H., Tanabe, K. and Takayanagi, Y., 2003, Demersal habitat of Late Cretaceous ammonoids: evidence from oxygen isotopes for the Campanian (Late Cretaceous) northwestern Pacific thermal structure. *Geology*, **31**, 167–170.
- Mutterlose, J., 1998, The Barremian–Aptian turnover of biota in northwestern Europe: evidence from belemnites. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **144**, 161–173.
- Nagao, T., 1933, A new variety of *Toucasia carinata* (Math.) from the Lower Cretaceous of Japan. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. 4*, **2**, 163–167.
- 新井田清信・紀藤典夫 (Niida, K. and Kito, N.), 1986, 北海道における白亜紀島弧—海溝系—その地質構成と構造史— (Cretaceous arc-trench systems in Hokkaido). 地団研専報 (*Monog. Assoc. Geol. Collab. Japan*), **31**, 379–402.
- Nishi, H., Takashima, R., Hatsugai, T., Saito, T., Moriya, K., Ennyu, A. and Sakai, T., 2003, Planktonic foraminiferal zonation in the Cretaceous Yezo Group, Central Hokkaido, Japan. *Jour. Asian Earth Sci.*, **21**, 867–886.
- Nemoto, T. and Hasegawa, T., 2011, Submillennial resolution carbon isotope stratigraphy across the Oceanic Anoxic Event 2 horizon in the Tappu section, Hokkaido, Japan. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Paleocool.*, **309**, 271–280.
- Obradovich, J. D., Matsumoto, T., Nishida, T. and Inoue, Y., 2002, Integrated biostratigraphic and radiometric study on the Lower Cenomanian (Cretaceous) of Hokkaido, Japan. *Proc. Japan Acad., Ser. B*, **78**, 149–153.
- Ogg, J. G., Agterberg, F. P. and Gradstein, F. M., 2004, The Cretaceous period. In Gradstein, F., Ogg, J., Smith, A., eds., *A Geologic Time Scale*. Cambridge University Press, Cambridge, 344–383.
- Ogg, J. G. and Hinnov, L. A., 2012, Cretaceous. In Gradstein, F. M., Ogg, J. G. and Smith, A. G., eds., *The Geological Time Scale*. Cambridge University Press, Cambridge, 793–853.
- Ogg, J. G., Ogg, G. M. and Gradstein, F. M., 2016, *A Concise*

- Geologic Time Scale 2016*. Elsevier, Oxford, 240p.
- Okada, H., 1983, Collision orogenesis and sedimentation in Hokkaido, Japan. In Hashimoto, M. and Uyeda, S., eds., *Accretion Tectonics in the Circum-Pacific Regions*. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 91–105.
- 大島逸夫・前田晴良・岡村眞(Oshima, I., Maeda, H. and Okamura, M.), 1988, 北海道シュエパロ川上流地域の下部白亜系層序 (Lower Cretaceous stratigraphy in the upper stream of the Shuparo River, Hokkaido, Japan)*. 日本地質学会第95年大会要旨 (95th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.), 174.
- Ozaki, K., Tajima, S. and Tajika, E., 2011, Conditions required for oceanic anoxia/euxinia: Constraints from ocean biogeochemical cycle model. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **304**, 270–279.
- Paul, C. R. C., Lamolda, M. A., Mitchell, S. F., Vaziri, M. R., Gorostidi, A. and Marshall, J. D., 1999, The Cenomanian-Turonian boundary at Eastbourne (Sussex, UK): A proposed European reference section. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **150**, 83–121.
- Peucker-Ehrenbrink, B. and Ravizza, G., 2000, The marine osmium isotope record. *Terra Nova*, **12**, 205–219.
- Quidelleur, X., Paquette, J. L., Fiet, N., Takashima, R., Tiepolo, M., Desmares, D., ..., Grosheny, D., 2011, New U–Pb (ID-TIMS and LA-ICPMS) and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological constraints of the Cretaceous geologic time scale calibration from Hokkaido (Japan). *Chem. Geol.*, **286**, 72–83.
- Sageman, B. B., Meyers, S. R. and Arthur, M. A., 2006, Orbital time scale and new C-isotope record for Cenomanian–Turonian boundary stratotype. *Geology*, **34**, 125–128.
- Schlanger, S. O. and Jenkyns, H. C., 1976, Cretaceous oceanic anoxic events: Causes and consequences. *Geol. Mijnbouw*, **55**, 179–184.
- 佐野晋一(Sano, S.), 1995a, 北海道中央部下部蝦夷層群の“Orbitolina 石灰岩”の堆積モデル (Depositional model of the “Orbitolina limestones” in the Lower Yezo Group, Central Hokkaido, Northeast Japan)*. 月刊地球 (*Chikyu Monthly*), **17**, 602–607.
- Sano, S., 1995b, Lithofacies and biofacies of Early Cretaceous rudist-bearing carbonate sediments in northeastern Japan. *Sediment. Geol.*, **99**, 179–189.
- 佐野晋一(Sano, S.), 2000, 見えない“礁”を推定するー北海道中央部下部白亜系石灰岩を例としてー (Reconstruction of the Early Cretaceous carbonate platform from olistoliths embedded in the Lower Yezo Group, Central Hokkaido, Northeast Japan)*. 月刊地球号外 (*Chikyu Monthly, Extra ed.*), **29**, 45–59.
- Sano, S. and Masse, J.-P., 2013, First record of a primitive radiolitic rudist from Japan. *Paleontolog. Res.*, **17**, 317–324.
- Shigeta, Y., Izukura, M., Nishimura, T. and Tsutsumi, Y., 2016, Middle and late Campanian (Late Cretaceous) ammonoids from the Urakawa area, Hokkaido, northern Japan. *Paleontolog. Res.*, **20**, 322–366.
- Snow, L. J., Duncan, R. A. and Bralower, T. J., 2005, Trace element abundances in the Rock Canyon Anticline, Pueblo, Colorado, marine sedimentary section and their relationship to Caribbean plateau construction and oxygen anoxic events 2. *Paleoceanography*, **20**, doi: 10.1029/2004PA001093.
- Tamaki, M. and Itoh, Y., 2008, Tectonic implications of paleomagnetic data from upper Cretaceous sediments in the Oyubari area, central Hokkaido, Japan. *Island Arc*, **17**, 270–284.
- Takashima, R., 2000, *Late Mesozoic Volcanism and Tectonics in Hokkaido, Japan. –Evolutional history of an island arc along the eastern margin of Eurasian Continent–*. Ph. D. Thesis, Tohoku University, 171p.
- Takashima, R., Kawabe, F., Nishi, H., Moriya, K., Wani, R. and Ando, H., 2004, Geology and stratigraphy of forearc basin sediments in Hokkaido, Japan: Cretaceous environmental events on the Northwest Pacific margin. *Cretaceous Res.*, **25**, 365–390.
- 高嶋礼詩・西弘嗣(Takashima, R. and Nishi, H.), 1999, 中蝦夷地変の再検討と北海道の白亜紀テクトニクス (Re-evaluation of the intra-Yezo disturbance and the Cretaceous tectonics in Hokkaido, Japan). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **105**, 711–728.
- 高嶋礼詩・西弘嗣(Takashima, R. and Nishi, H.), 2017, 白亜紀の火成活動と温暖化・環境変動 (Cretaceous warming and environmental changes linked to volcanism). 化石 (*Fossils*), **101**, 69–74.
- Takashima, R., Nishi, H., Huber, B. and Leckie, M., 2006, Greenhouse world and the Mesozoic ocean. *Oceanography*, **19**, 82–92.
- 高嶋礼詩・西弘嗣・斎藤常正・長谷川卓(Takashima, R., Nishi, H., Saito, T. and Hasegawa, T.), 1997b, 北海道シュエパロ川流域に分布する白亜系の地質と浮遊性有孔虫化石層序 (Geology and planktonic foraminiferal biostratigraphy of Cretaceous strata distributed along the Shuparo River, Hokkaido, Japan). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **103**, 543–563.
- Takashima, R., Nishi, H., Yamanaka, T., Hayashi, K., Waseda, A., Obuse, A., ..., Mochizuki, S., 2010, High-resolution terrestrial carbon isotope and planktic foraminiferal records of the Upper Cenomanian to the Lower Campanian in the Northwest Pacific. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **289**, 570–582.
- Takashima, R., Nishi, H., Yamanaka, T., Tomosugi, T., Fernando, A. G., Tanabe, K., ..., Hayashi, K., 2011, Prevailing oxic environments in the Pacific Ocean during the mid-Cretaceous Oceanic Anoxic Event 2. *Nature Communications*, **2**, 2341, doi: 10.1038/ncomms1233.
- Takashima, R., Nishi, H. and Yoshida, T., 2017, Stratigraphic and Petrological Insights into the Late Jurassic–Early Cretaceous Tectonic Framework of the Northwest Pacific Margin. In Itoh, Y., Takano, O., Takashima, R., Nishi, H. and Yoshida, T., eds., *Dynamics of Arc Migration and Amalgamation-Architectural Examples from the NW Pacific Margin*. InTech, doi: 10.5772/64579.
- Takashima, R., Sano, S., Iba, Y. and Nishi, H., 2007, The first Pacific record of the Late Aptian warming. *Jour. Geol. Soc., London*, **164**, 333–339.
- 高嶋礼詩・鈴木紀毅・小池敏夫・斎藤常正(Takashima, R., Suzuki, N., Koike, T. and Saito, T.), 1997a, 北海道双珠別地域における下部・中部蝦夷層群境界の不整合の再検討とその地史的意義ー中蝦夷地変の再検討ー (Reexamination of the unconformity proposed at the boundary between the Lower and Middle Yezo Groups in the Soshubetsu area, Hokkaido, and its geological significance-reevaluation of the intra-Yezo disturbance-). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **103**, 489–492.
- Toshimitsu, S., Maiya, S., Inoue, Y. and Takahashi, T., 1998, Integrated megafossil-foraminiferal biostratigraphy of the Santonian to lower Campanian (Upper Cretaceous) succession in northwestern Hokkaido, Japan. *Cretaceous Res.*, **19**, 69–85.
- Turgeon, S. C. and Creaser, R. A., 2008, Cretaceous Anoxic Event 2 triggered by a massive magmatic episode. *Nature*, **454**, 323–326.
- Uramoto, G., Abe, Y. and Hirano, H., 2009, Carbon isotope fluctuations of terrestrial organic matter for the Upper Cretaceous (Cenomanian–Santonian) in the Obira area of Hokkaido, Japan. *Geol. Mag.*, **146**, 761–774.
- Uramoto, G., Tahara, R., Sekiya, T. and Hirano, H., 2013, Carbon isotope stratigraphy of terrestrial organic matter for the Turonian (Upper Cretaceous) in northern Japan: Implications for ocean-atmosphere $\delta^{13}\text{C}$ trends during the mid-Cretaceous climatic optimum. *Geosphere*, **9**, 355–366.
- Weissert, H. and Lini, A., 1991, Ice age interludes during the time of Cretaceous greenhouse climate. In Müller, D. W., McKenzie, J. A. and Weissert, H., eds., *Controversies in Modern Geology*. San Diego, California, Academic Press, 173–191.

- Weissert, H., Lini, A., Follmi, K.B. and Kuhn, O., 1998, Correlation of Early Cretaceous carbon isotope stratigraphy and platform drowning events: a possible link? *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **137**, 189–203.
- Yabe, H. and Hanzawa, S., 1926, Geological age of *Orbitolina*-bearing rocks of Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, Ser. 2, **9**, 13–20.
- Yabe, H. and Nagao, S., 1926, *Praecaprotina*, nov. gen. from the Lower Cretaceous of Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, Ser. 2, **9**, 21–24.
- 矢部長克 (Yabe, H.), 1901. 北海道に於けるオルビトリナ石灰岩の発見. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **8**, 187–190.

*English translation from the original written in Japanese

(著者プロフィール)

高嶋礼詩 東北大学学術資源研究公開センター・総合学術博物館准教授. 本巡検案内書では, 総括・原稿執筆を担当.

佐野晋一 富山大学大学院理工学研究部(都市デザイン学系)教授. 本巡検案内書では, 後期アプチアンの石灰岩の現地調査と記載を担当.

林 圭一 北海道立総合研究機構 地質研究所 研究主任. 本巡検案内書では, 海洋無酸素事変2層準の現地調査担当.

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