

白亜系の国際対比：最近の動向

長谷川 卓

金沢大学理工研究域自然システム学系

International correlation of Cretaceous System: recent progress

Takashi Hasegawa

Faculty of Natural System, Institute of Natural Science and Engineering, Kanazawa University

Abstract. We often consider whether the sedimentary features observed in strata of remote areas with similar ages represent identical event or not. One of them may precede the other with a mutual or causal relationship. International correlation is prerequisite for such basic discussions. We are still waiting for definitions of GSSPs (GSSP: Global Boundary Stratotype Section and Point) for five Lower Cretaceous stages. It is partly due to the endemism of index fossil groups including ammonoids from middle-late Jurassic. There have been some important progresses; a working group of International Subcommittee on Cretaceous Stratigraphy under International Commission on Stratigraphy voted and selected basal horizon of a zone of calpioneriids as a candidate of primary marker for the basal Cretaceous boundary. GSSP for the Aptian/Albian stage boundary was decided and ratified in March of 2016; planktonic foraminiferal *Microhedbergella renilaevis* was selected as a primary marker and a negative excursion of carbon isotope value as a crucial secondary marker. Cyclostratigraphy and astronomical tuning across Cretaceous GSSPs and chemostratigraphy of rare elements appear to be more significant for finer international correlation.

Key words: Cretaceous, international correlation, GSSP, stratigraphy, biostratigraphy, stage

はじめに

古環境学や古海洋学の分野では、地質学、古生物学、有機・無機地球化学、海洋学、地球物理学などと連携して非常に学際的な研究が見られるようになってきた。過去の地球がどのような変遷を経て現在の状態に至ったのか、を考えることは地球科学者にはもちろんのこと、一般市民にも強い興味を持って受け入れられている。科学として「過去の地球環境の変遷」を議論するときに本質的に重要なのは、過去の環境変動現象（イベント）の時間的同時性である。そしてそのイベントを地質学的カレンダーの中で何年何月何日何時何分何秒である、と特定することができること、すなわち地質学的タイムスケール（Geologic Time Scale）中での位置を厳密に特定することである。そのために国際地質科学連合（International Union of Geological Sciences : IUGS）には国際層序学委員会（International Commission on Stratigraphy : ICS）が設置され、絶えず対比精度の向上と対比基準の制定に関する議論が行われている。白亜系の年代層序学的研究は、ヨーロッパにおける研究が伝統的に踏襲されてきた。模式的分布地であるフランスにおいてアンモナイト等の大型化石に基づいて伝統的な層序区分がなされてきており、フランスの地名が各系の名称にも反映されている（例えばコニャック地方のコニアシアン、シャンパーニュ地

方のカンパニアン）。それらヨーロッパの地域的年代層序区分を国際的年代層序区分に格上げし、国際対比の基準にしたいというのが発言力の強いヨーロッパの地質学者の願いであり、またこれまで積み上げた研究とも整合的であることから、説得力も強い。以上のような背景から、既に決定した白亜系 GSSP（Global Boundary Stratotype Section and Point）はセノマニアン／チューロニアン階境界を除いてすべてがヨーロッパに置かれている。本総説では特に白亜系の国際対比に関連した最新の話題を紹介し、議論を行う。

GSSPの制定について

地質年代区分（時間の区分）は年代層序区分（地層、つまり地質体の区分）に基づくものであり、相対年代である。歴史的に海生無脊椎動物の消長を基本として国際年代層序区分（界、系、階など）がなされ、それに地質年代区分（代、紀、期など）を対応させている。国際年代層序区分の基準とするために GSSP が設定される。GSSP は日本語では「国際境界模式層断面とポイント」と翻訳されており（ICS, 2014）、世界中の地層の対比の基準になる一つの露頭断面を指定し、そこで見られる生層序、化学層序、古地磁気層序などを指標として国際対比を行うためのものである。GSSP に関しては、世界の層

序学者が国際層序学委員会傘下にある各系（例えば白亜系小委員会など）についての小委員会（Subcommission）とそこで設置する階ごとのワーキンググループ（WG：例えばベリアシアンWGなど）での議論を経て、国際層序学委員会による投票と議決、そして国際地質科学連会上級委員会での承認という形を取っている。白亜系のGSSP設定に関して重要な役割を果たす白亜系小委員会は、現在イタリア・ミラノ大学のMaria Rose Petrizzo教授が委員長、カナダ地質調査所バンクーバーのJames Haggart博士とウィーン大学のMichael Wagreich教授が副議長を務めている。他に同小委員会の委員は17名おり、日本からは川辺文久氏（文科省）と本稿著者の長谷川が加わっている。各階のGSSPについてGeologic Time Scale 2012 (GTS2012; Gradstein *et al.*, 2012) に非常に詳細な説明がなされている。年代決定指標として用いられる生層序、古地磁気層序、各種化学層序などについても個別の章を設けて詳細なレビューがなされ、また白亜系（紀）を含むすべての系についても独立にその環境変動と各種指標に関する有用性や問題点などが議論されており、地質学・古生物学を専攻する大学院生にはぜひ読んでいただきたい本である。

国際層序学委員会の提供しているウェブサイト (ICS, 2016) に示されている層序表 (Chart : 2016年4月バージョン) で白亜系の各階のGSSPを見ると、上部白亜系はチューロニアン／コニアシアン階境界とサントニアン／カンパニアン階境界を除いて確定している。一方下部白亜系については、アプチアン／アルビアン (A/A) 階境界に黄金スパイクが示されている以外は、白亜系基底 (チトニアン／ベリアシアン階境界) を含めて確定していない。A/A階境界に関しては、2016年4月に発効したばかりの最新のGSSPである。

GSSPはその場所での生層序、すなわち指標化石種の最上位または最下位産出層準 (Highest Occurrence : HO または Lowest Occurrence : LO) の分布や化学層序、例えば炭素同位体比のシャープなピークなど、が世界中の対比の指標となる。GSSPにおいて階境界を引く際に直接用いられた指標は主指標 (primary marker) と呼び、国際対比上最も重要な役割を果たす。その他に副指標 (secondary markers) がいくつか指定されており、それらを組み合わせて我々はGSSPと世界各地の地層の直接対比を試みるのである。その趣旨からすれば主指標はできるだけ世界の広い場所で明瞭に認識でき、かつシャープに決まるものが良い。

なお、LO, HOに関しては、それぞれFO (first occurrence), LO (last occurrence) という語が使われる場合もあり、どちらの系統を使うかは研究者によって異なっている。特に省略形で「LO」と書かれている場合にはそれがlast occurrenceなのかlowest occurrenceなのか判断しにくいこともある。firstやlastは時間の概念、

occurrenceは産出という地層を対象とした概念であることからfirst occurrenceなどは語としては非調和的であり、lowest occurrenceとしてのLOとhighest occurrenceとしてのHOの方が内容を明確に示している。

GSSPの空白域：ジュラ系中部～下部白亜系

実は下部白亜系だけではなく、ジュラ系中部のカロビアンから始まりオックスフォードアン、キンメリッジアン、チトニアンの4つの階の基底GSSPも確定していない。この範囲 (50 myr. 以上もの時間に相当する) は9つの階境界で連続してGSSPが決まっていないという、顕生累代では稀有の範囲なのである。そしてその中には白亜系の基底であるチトニアン／ベリアシアン階境界も含まれている。白亜系は顕生累代で唯一、その基底がGSSPで決定していない系境界なのである。

GTS2012を見ても解るように、GSSPが決していない上部ジュラ系から下部白亜系の範囲では、テチス動物群と同様にボレアル (北方) 動物群でも非常に詳細なアンモナイト生層序区分がなされており、異なる指標種が用いられている。エンデミズムが顕著な時代範囲とも言えよう。将来選ばれるであろうこの範囲のGSSPに求められる理想は、テチス型動物群の観点からも、またボレアル型動物群の観点からも完璧といえる産出状況を示すことである。テチス型動物群とボレアル型動物群の生層序の双方の基準種を含んでおり、かつそれらのHOまたはLOがLAD (Last Appearance Datum : 最終出現面) またはFAD (First Appearance Datum : 初出現面) に一致することが望ましい。しかしそのようなセクションを見出すのは動物地理の観点からも難しい。なぜなら双方の動物群の要素が共産する可能性があるのはそれぞれの縁辺地域であり、各化石種にとっては最良の生息環境ではない場所であって相対的に高い生存競争にさらされている場だからである。そのため一般的にHO = LAD, LO = FADとならない。では生層序以外の指標を主指標にすればよいのか。白亜系／古第三系境界のイリジウム濃度の急増層準や新生代暁新世／始新世境界の炭素同位体比エクスカージョン層準、そして第四系の酸素同位体比ステージを主指標とする例はある。しかし詳細な生層序が確立されているジュラ系中部～下部白亜系において、多くの層序学者を同意させられるような、広域同時性を担保できる生層序以外の有力な指標は存在しない。この範囲のGSSP設定にあたっては間接的でもよいからテチス／ボレアル型動物群の化石層序を統合できるようにすることが不可欠である。それらの生物地理区をまたぐ副指標、すなわち炭素同位体比層序や古地磁気層序およびその他の化学層序は副指標の地位にとどまるであろうが、それでも重要性が高いものとなるだろう (後半のアプチアン／アルビアン階境界の例を参照)。

白亜系基底

GSSP未確定の白亜系基底を議論するために白亜系小委員会にはベリアシアンWGが設置されている。その活動の状況はどうなっているのだろうか。白亜系基底はGTS2012では古地磁気クロンM18rの基底に仮置きされていたが、最新の地質年代層序の総括であるConcise Geologic Time Scale 2016 (CGTS2016; Ogg *et al.*, 2016)では上述の層準よりわずかに下位のカルピオネラ類(現在の有鐘虫に近縁のプランクトンと考えられており、中生界の遠洋性石灰岩に多産することがある。詳細はアームストロング・ブレイジャー, 2007を参照のこと)の*Calpionella alpina*帯の基底(同種の爆発的增加層準)を広域指標性という観点から重視することで合意が形成されつつあることが紹介されている。そして同WG委員長のW. Wimbledon (2016私信)によれば、境界の主指標および副指標に関して2016年6月にWGで投票が行われ、上述のカルピオネラ帯の基底が主指標の候補に選ばれた。カルピオネラ類が白亜紀の幕開けを飾る主役になる可能性が高まったのである。GSSPが決まらないのに先に境界の指標だけを決めようとするのは奇異に思えるが、GSSPの場所に関しても現時点ではスペインを始めいくつかのセクションについて議論がなされており、テチス域の露頭を選ぶことでWGは合意しているとのこと。2020年に予定されている総括版Geologic Time Scale 2020の発刊までには決定を目指している(Ogg *et al.*, 2016)。同WGの今後数年間の活動と議論の進展に注目したい。

アプチアン/アルビアン (A/A) 階境界

A/A階境界すなわちアルビアン階基底のGSSPに関しては、フランス・南プロバンスのPré-Guittardセクションにあるキリアン層準が認定されている。白亜系小委員会に設置されたアルビアンWGの中で議論が行われて提案論文が投稿された(Kennedy *et al.*, 2014)。2015年までにそれを基に小委員会での議論が進み、その取りまとめ(これが正式な提案論文となる)に基づき2015年8月に白亜系小委員会投票が行われ、承認された。その後国際層序学委員会による投票・承認を経て2016年3月にIUGS上級委員会による承認の結果、正式に発効した。承認を受けたGSSPの記述についてはすでにEpisodes誌に投稿されている。なお承認の結果はCGTS2016には反映されていない。

その最新のA/A階境界のGSSPについて紹介したい。南プロバンス地方にはA/A階境界付近には連続した地層が露出している。全体として白色の炭酸塩岩が卓越する同地方において、アプチアン階からアルビアン階にかけて灰色の泥灰岩(マール)が卓越する。その範囲は海底の酸素が前後の時代より少なかった時代としてOAE1

(Schlanger and Jenkyns, 1976)と呼ばれたが、その後泥灰岩の中でも特に泥質で剥離性の高い頁岩の発達する層準がいくつか報告され、その層準で特に酸素の欠乏が著しかったという観点からOAE1a, OAE1b, OAE1c, OAE1dなどと細分され、ヨーロッパのみならず広域に認識されるイベント層準として知られている。これらのOAE1bなどの呼称が先行してしまっているが、実は南プロバンスやイタリアではそれらの頁岩が良い鍵層になることが知られており、セリ層準(OAE1a相当層準)、パキール層準(OAE1b相当層準)、ボナレリ層準(OAE2相当層準)などと名前が付けられていた。その他にもヤコブ層準、レーンハート層準など複数の頁岩層準が知られているが、その一つが今回A/A階境界のGSSPに選ばれたキリアン層準である。キリアン層準は広域的な海洋無酸素事変として知られるOAE1bに相当するパキール層準より下位にあり、パキール層準と非常に類似した岩相変化を示す。OAE1bに類似した(それよりも規模の小さな)酸素欠乏イベントを示していると考えられ、その広域連続性には説得力がある。

今回のGSSPの決定に至るまで多くの議論があり、実は同じPré-Guittardセクションのパキール層準が一度はA/A階境界として提案された経緯がある(Kennedy *et al.*, 2000)。これはパキール層準基底部におけるアンモナイト類・*Leymeriella tardefurcata*のLOをFADとして認め、これを主指標とする提案であった。パキール層準そのものはOAE1bの主イベントとしてキリアン層準よりも広域で認識できるという大きな長所がある反面、GSSP候補地・候補層準におけるGSSPとしての機能性に問題が呈された。提案されたA/A階境界直下にわずかな層序的不連続が認められること、主指標となるアンモナイト種のFADの広域性に問題があること、微化石や化学マーカーなどの副指標が限られていることなどが議論され、最終的に白亜系小委員会でも否決されたのである(Kennedy *et al.*, 2014)。

新しいA/A階境界のGSSPの主指標は浮遊性有孔虫年代面である。副指標として浮遊性有孔虫、ナノプランクトン、イノセラムス、アンモナイトの年代面さらに炭素同位体比変動や地域的な岩相変化の合計28指標が示されている。伝統的なヨーロッパの年代層序が大型化石によって組まれてきた背景を考えると、アルビアン/セノマニアン階境界(上部白亜系の基底)に続いてA/A階境界(アルビアン階基底)に対しても主指標として浮遊性有孔虫が選ばれたというのは、浮遊性有孔虫研究者の立場から考えると画期的と言える。

A/A階境界のGSSPには28の副指標層準が示されているが、それらは上部アプチアン階から下部アルビアン階最上部までに渡っており、その中には上述の*Leymeriella tardefurcata*のLOも含まれている。副指標の中で階境界近傍のキリアン層準付近を示すものは、浮遊性有孔虫の

Pseudoguembelitra blakenosensis のHOと炭素同位体比の約1.5‰の負エクスカージョンの極小層準のみである (Kennedy *et al.*, 2014のfig. 4とfig. 5). 炭素同位体比は炭酸塩を用いて測定されたデータであるが, 南フランスプロバンス地方の同層準では有機炭素同位体比にも同様の負のエクスカージョンが見られるようである (長谷川ほか, 2002).

浮遊性有孔虫をアルビアン基底の指標にするという試みは, Huber and Leckie (2011) による非常に精力的かつ詳細な調査と記載によって成功に導かれた. 主指標に選ばれた浮遊性有孔虫は実は非常にユニークで, GSSP主指標採用のわずか5年前の2011年に同論文により新属新種として記載された *Microhedbergella renilaevis* という種であるが, 多くの浮遊性有孔虫研究者にはなじみのない属種である. この種は南フランスなどテチス海西部を始め, 北大西洋のブレイクノーズ, フォークランド海台 (南大西洋高緯度), エズマス海台 (南インド洋高緯度) で確認され, 非常に広範囲に分布することが示されている (Huber and Leckie, 2011; Petrizzo *et al.*, 2012, 2013). 一部の副指標にも同属の別種が採用されている. 同論文は記載を含む生層序の論文としてはまれに見る息を呑むような大論文で, その迫力には圧倒されるところがある. 一方で, GSSPの指標種としては問題もある. 類似する形態のものも多く, 保存が悪いと種の同定までは至らない可能性が高い. また保存が良くてもかなりの鑑定眼を必要とする. このことはアルビアン/セノマニアン階境界のGSSPにおいて主指標種である *Thalmaninella globotruncanoides* が日本でも良く産出し, 形態的にも相対的に大きくて認識しやすく, 良いマーカーになっていること好対照である (Ando, 2016).

日本においてA/A階境界が存在する可能性がある北海道の蝦夷層群で, 主指標種である *M. renilaevis* や重要な副指標種を鑑定し認識することは難しいと思われる一方で, 炭素同位体比の変動が明瞭かつ重要な副指標として機能する可能性がある. Takashima *et al.* (2004) はA/A階境界にハイエイタスを想定しており, 蝦夷層群ではこの層準が欠如している可能性があるが, 彼らの検討したのは大夕張地域であり, 他の地域では同境界が保存されている可能性がある. 同層群では炭素同位体比層序の研究は進んでおり (Hasegawa, 1997; Hasegawa *et al.*, 2003; Takashima *et al.*, 2010を参照), 日本におけるA/A階境界の特定に向け, 今後の研究が期待される.

白亜系国際対比：その他の近年の動向

CGTS2016 (Ogg *et al.*, 2016) が発行され, 最新の年代層序区分と各系の層序区分について若干の説明がなされている. GTS2012では誤差表示となっていたチューロニアンとセノマニアンの基底の数値年代であるが, この

CGTS2016では誤差表示が消えている. 数値年代はそれぞれ93.9 Ma, 100.5 Maとなっており, GTS2012から変更はない.

CGTS2016には言及はないが, この背景には Meyers *et al.* (2012) による包括的なセノマニアン/チューロニアン (C/T) 階境界の年代論がある. 彼らは同境界付近で詳細な放射年代データを追加し, Sageman *et al.* (2006) による軌道周期年代との対応を明らかにした. これにより浮動軌道周期年代 (floating orbital timescale) の固定がなされたことが評価されている. 軌道周期には理論上誤差が存在しないため, 境界位置の軌道周期上の位置が特定されるのであれば, 誤差は記述すべきでないということになる. アルビアン/セノマニアン階境界の数値年代からも誤差が消えている. これについての詳細は分からないが, おそらくC/T階境界で固定された軌道周期年代を遡り, アルビアン/セノマニアン階境界のGSSPである Most Risou セクションにおいて放射年代と周期層序, そして岩相層序との対応が付くことが担保されるのであろう. 同様の理由から, 今後チューロニアン/コニアシアン階境界でGSSPが設定される場合に, 軌道層序が明瞭に示されるのであれば誤差の無い年代で示されることになるであろう. なお新生代の階境界の数値年代は, 全て長期・短期離心率周期 (405 kyr, 100kyr), 一部についてはより小さい周期によってキャリブレーションがなされており (Ogg *et al.*, 2016), GSSP未確定のものも含めて誤差表示のない数字が示されている.

新生代の大部分ではこのように周期層序による数値年代の特定が可能になってきている. 放射年代を複数のセクションから提出すると同時に, 軌道周期年代との対応を明確にすることが白亜系でも国際対比上重要である.

白亜系国際対比の今後

GSSPが未設定の各階のワーキンググループにおいて努力がなされている. 特にベリアシアンWGで白亜系基底の議論が精力的に行われるので, 「最後の系境界GSSPの決定」の瞬間を期待して見守りたい. これに関して同WGは陸-海対比の観点や, 陸成層についても白亜系の基底を認識できるよう意識が置かれており, 歓迎すべき点である (この層準では世界的に見ても陸成層が広く分布することも背景にある). 日本においても手取層群中にジュラ/白亜系境界が存在すると考えられること, また日本人が主導するIGCP608によるモンゴル湖成層の研究もWGに意識されている (W. A. P. Wimbledon, 2016私信) ことも踏まえ, 日本発の研究がジュラ/白亜系境界の議論の一翼を担えるよう, WGと交流を持つなど, 一定の意識を持っていくべきであろう.

白亜系に限らず最近のGSSP設定に際しては, 副指標として炭素同位体比層序が重視される場合が多い. 全岩

炭酸塩の無機炭素同位体比変動が用いられる場合が多いが、有機炭素、個別有機分子炭素、特定生物殻（浮遊性有孔虫など）を用いる多様な手法による分析データが考えられる。それぞれの試料の状況を理解し、ベストな手法を用いて炭素同位体比層序を構築していくことが肝要であろう。

白亜系でも手法や測定層準数、測定数などを改善することで放射年代の誤差を0.1 myr程度まで絞り込むことができている。この精度の数値年代は、潜在的に浮動軌道周期を固定することができる。軌道周期層序を構築でき、かつ高い精度の放射年代が出せる露頭は、年代層序に軌道周期層序を組み込むという観点で非常に重要である。今後のGSSPの議論でも軌道周期層序の統合が意識されるであろう。

また、今後は環境に敏感な元素（Osなど）やIrなど地球外天体由来の元素など、全世界の同時性を担保出来る層序指標、また海成層だけでなく陸成層にも応用できる層序指標が国際的な対比指標として注目されていくことだろう。例えばセノマニアン／チューロニアン階境界付近のOAE2層準（ボナレリ層準相当層）では日本の研究者の主導により巨大火成岩区由来元素の検出が行われている（Kuroda *et al.*, 2007）。それらは現在準備中のGTS2020に掲載されるものと期待される。

おわりに

日本の白亜系の国際対比に関しては、松本達郎氏（2009年逝去、日本古生物学会名誉会長、九州大学名誉教授）による大型化石生層序（Matsumoto, 1942）と高柳洋吉氏（東北大学名誉教授）の有孔虫生層序（Takayanagi, 1960）が基礎となった。その後の白亜系研究の国際的高まりの中で、両氏を中心として日本も積極的に国際プロジェクトに参画すると同時に国内の裾野も拡大した。その成果はMatsumoto（1977）および平野（1985）に整理されている。その研究熱は東アジア発のIGCPプロジェクトによる国際連携に受け継がれ、岡田博有、平野弘道、安藤寿男各氏がリーダーとして活動されて現在に至っている。1990年代より生層序に加えて炭素同位体比層序が白亜系国際対比では重視されるようになり、本稿著者である長谷川卓（Hasegawa, 1997; Hasegawa, *et al.*, 2003など）、平野弘道氏を中心とした早稲田大学グループ（Uramoto, *et al.*, 2009など）、西弘嗣・高嶋礼詩両氏（Takashima *et al.*, 2010）などにより詳細な国際対比が実現し、白亜紀の広域的イベントについて日本の地層から議論ができる土台が形成されてきた。

以上のような経緯で日本の白亜系の重要性は国際的に認知されることとなり、国際層序学委員会の白亜系小委員会には日本から長年に渡り代表を送り出してきた。松本達郎氏、斎藤常正氏（東北大学名誉教授）、そして平野

弘道氏（2014年逝去、早稲田大学教授）が長年委員を務められてきたが、各氏はいずれも日本古生物学会会長も務められた。現在は前述の通り日本から2名の委員を出しているが、長年の日本の白亜系研究が国際的に評価された結果と考えている。

国際対比は生層序が基準となっていることは現在でも変わっていない。その一方で化石研究者、特に微化石研究者が世界的に育たない状況である。この状況は日本においても深刻である。なぜそうなのか、日本の大学の教育システム、教員研究費の獲得システム、PDの就職問題などが関連していると思われる。独立した微化石層序学者となるには層序学のトレーニングが不可欠だが、大学ではそのための実習を行うことが年々難しくなっている。安全意識の高まりが「少しでもリスクがあることは当初からしない」という風潮に変質してしまったうえ、教員は組織改組などに忙殺され学生指導のために長期間大学を離れることができない。また教員は競争的資金確保のために古海洋学・古環境学などトピック性の高い研究にシフトするため、学生たちはその研究の一部を自らの課題研究として取り組むことになる。研究の基礎となる生層序を自ら構築して議論を展開するという形で学生が成長していくことは現状では難しい。

微化石分類学者・生層序学者が対外的に高い評価を得やすい状況をつくり若手研究者が安定した研究職を得られるよう、日本古生物学会をはじめ学術コミュニティで知恵を絞り、学生たちが分類学や層序学のスキルを磨きながら注目度の高い研究を発信していける環境を作っていきたいと考えている。

謝辞

本論は2016年1月に京都大学で開催された日本古生物学会第165回例会のシンポジウム（1）「白亜紀の層序学・古生物学の進展と環境変動」において講演した内容を、関連する情報を補填してまとめたものである。

早稲田大学前教授である故・平野弘道先生との長年のお付き合いの中で、多くの国際対比に関する考え方を学ばせていただいた。私が現在日本を代表する立場で国際委員を務めていけるのも、また今回古生物学会機関誌の「化石」に寄稿させていただき、読者の皆様に白亜系の国際対比の現状を紹介させていただいているのも、平野先生からの温かいご指導とご助言の賜物であると信じるものである。この場をお借りして、平野弘道先生に深い感謝の意を表すものである。本稿作成には白亜系小委員会副委員長長のJ. Haggart博士、同小委員会前副委員長長のB. Huber博士、同小委員会ベリアシアンWGのW. A. P. Wimbledon教授から多くの情報を提供いただき、ご教示を受けた。本論はIGCP608「白亜紀のアジア-西太平洋地域の生態系システムと環境変動」の活動の一貫として

行われたものである。同プロジェクトの代表であり、本特集の編集を担当された安藤寿男茨城大学教授には長年に渡り多くのご助言とご助力をいただいていた。本稿を査読頂いた川辺文久、高嶋礼詩両博士からは本稿修正に当たり貴重なコメントをいただいた。以上の方々に謝意を示したい。

文献

- Ando, A., 2016. Recent contribution to the standard Albian/Cenomanian boundary chronology from Hokkaido, Japan: A review for data reintegration and numerical age recalibration. *Cretaceous Research*, **64**, 50–58.
- アームストロング, H. A.・ブレイジャー, M. D., 2007. 微化石の化学 (Microfossils, Second Edition, 池谷仙之・鎮西清高訳), 276p., 朝倉書店, 東京.
- Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D. and Ogg G. M. (eds.), 2012. *The Geologic Time Scale 2012*. 1144p., Elsevier, Amsterdam.
- Hasegawa, T., 1997. Cenomanian/Turonian carbon isotope events recorded in terrestrial organic matter from northern Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **130**, 251–273.
- 長谷川卓, 西 弘嗣, 岡田尚武, 坂本竜彦, Luc Beaufort, Fabianne Giraud, Oliver Friedrich, 古川麻里子, 川幡穂高, 大河内直彦, 高嶋礼詩, 山村 充, 勝田長貴, 2002. 白亜紀の海洋無酸素事件 (OAE1b) の高分解能解析. 月刊地球, **24**, 454–460.
- Hasegawa, T., Pratt, L. M., Maeda, H., Shigeta, Y., Okamoto, T., Kase, T. and Uemura, K., 2003. Upper Cretaceous carbon isotope stratigraphy of terrestrial organic matter from Sakhalin, Russian Far East: a proxy of carbon isotopic composition of atmospheric CO₂. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **189**, 97–115.
- 平野弘道 (編), 1985. 白亜系の国際対比—現状と問題. 地質学論集, **26**, 172p.
- Huber, B. T. and Leckie, M., 2011. Planktonic foraminiferal species turnover across deep-sea Aptian/Albian boundary sections. *Journal of Foraminiferal Research*, **41**, 53–95.
- International Commission on Stratigraphy, 2014. International Chronostratigraphic Chart (国際年代層序表) 2014年2月. <http://www.stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2012Japanese.pdf>.
- International Commission on Stratigraphy, 2016. International Chronostratigraphic Chart v 2016/04. <http://stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2016-04.pdf>.
- Kennedy, W. J., Gale, A. S., Bown, P. R., Caron, M., Davey, R. J., Gröcke, D., Wray, D. J., 2000. Integrated stratigraphy across the Aptian-Albian boundary in the Marnes Bleues, at the Col de Pré-Guittard, Arnayon (Drôme), and at Tartonne (Alpes-de-Haute-Provence), France, a candidate Global Boundary Stratotype Section and Point for the base of the Albian Stage. *Cretaceous Research*, **21**, 591–720.
- Kennedy, W. J., Gale, A. S., Huber, B. T., Petrizzo, M. R., Bown, P., Barchetta, A. and Jenkyns, H. C., 2014. Intergrated stratigraphy across the Aptian/Albian boundary at Col de Pre-Guittard (southeast France): A candidate Global Boundary Stratotype Section. *Cretaceous Research*, **51**, 248–259.
- 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 and Planetary Science Letters*, **256**, 211–223.
- Matsumoto, T., 1942. Fundamentals in the Cretaceous stratigraphy of Japan, Part 1. *Memoirs of Faculty of Science, Kyushu Imperial University Series D*, **1**, 129–280.
- Matsumoto, T. (organizer), 1977. Mid-Cretaceous Events –Hokkaido Symposium, 1976-. *Palaeontological Society of Japan, Special Papers*, **21**, 265p..
- Meyers, S. R., Siewert, S. E., Singer, B. S., Sageman, B. B., Condon, D. J., Obradovich, J. D., Jicha, B. R. and 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.
- Ogg, J. G., Ogg, G. M. and Gradstein, F. M., 2016. *A Concise Geologic Time Scale 2016*. 240p, Elsevier, Amsterdam.
- Petrizzo, M. R., Huber, B. T., Gale, A. S., Barchetta, A., Jenkyns, H. C., 2012. Abrupt planktic foraminiferal turnover across the Niveau Kilian at Col de Pré-Guittard (Vocontian Basin, southeast France): new criteria for defining the Aptian/Albian boundary. *Newsletters on Stratigraphy*, **45**, 55–74.
- Petrizzo, M. R., Huber, B. T., Gale, A. S., Barchetta, A., Jenkyns, H. C., 2013. Erratum: Abrupt planktic foraminiferal turnover across the Niveau Kilian at Col de Pré-Guittard (Vocontian Basin, southeast France): new criteria for defining the Aptian/Albian boundary. *Newsletters on Stratigraphy*, **46**, 93.
- 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. *Geologie en Mijnbouw*, **55**, 179–184.
- 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 north-west Pacific margin. *Cretaceous Research*, **25**, 365–390.
- Takashima, R., Nishi, H., Yamanaka, T., Hayashi, K., Waseda, A., Obuse, A., Tomosugi, T., Deguchi, N., 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 and Planetary Science Letters*, **289**, 570–582
- Takayanagi, Y., 1960. Cretaceous foraminifera from Hokkaido, Japan. *Science Reports of the Tohoku University Second Series (Geology)*, **32**, 1–154.
- 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. *Geological Magazine*, **146**, 161–774.

(2016年10月12日受付、2017年1月14日受理)

