



HAL
open science

A summary of the Chiba Section, Japan

Yuki Haneda, Hiroki Hayashi, Misato Hongo, Kenji Horie, Masayuki Hyodo,
Atsuo Igarashi, Osamu Ishizuka, Toshiaki Irizuki, Takuya Itaki, Kentaro
Izumi, et al.

► **To cite this version:**

Yuki Haneda, Hiroki Hayashi, Misato Hongo, Kenji Horie, Masayuki Hyodo, et al.. A summary of the Chiba Section, Japan. *Journal of the Geological Society of Japan*, 2019, 125 (1), pp.5-22. 10.5575/geosoc.2018.0056 . hal-02340017

HAL Id: hal-02340017

<https://hal.science/hal-02340017>

Submitted on 1 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



千葉セクション：下部－中部更新統境界の国際境界模式層断面とポイントへの提案書(要約)

A summary of the Chiba Section, Japan: a proposal of Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Middle Pleistocene Subseries

Abstract

千葉セクション GSSP 提案チーム*

*GSSP proposal group**

2018年6月12日受付.

2018年9月21日受理.

責任著者：菅沼悠介(国立極地研究所)
Corresponding author: Yusuke Suganuma
(National Institute of Polar Research),
suganuma.yusuke@nipr.ac.jp

We propose the extensively studied Chiba section of the Chiba composite section (CbCS) as the Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) to define the base of the Middle Pleistocene Subseries and Chibanian Stage. The CbCS is a continuous and expanded marine sedimentary succession within the middle of the Kokumoto Formation, Boso Peninsula, Chiba Prefecture. It contains well-preserved pollen, marine micro- and macrofossils, a tightly-defined Matuyama–Brunhes (M–B) paleomagnetic polarity boundary, and numerous tephra beds, allowing the establishment of a robust and precise chronostratigraphic framework across the Lower–Middle Pleistocene boundary. Its deep-marine, open-ocean continental slope setting, coupled with high sedimentation rates with no evidence of abrupt deposition, has resulted in preserving both terrestrial and marine environmental changes in and around Marine Isotope Stage 19 (MIS 19). We have performed high-resolution oxygen isotope analysis, as well as detailed sedimentological, geochemical, and biostratigraphic studies of the CbCS, confirming the completeness of the stratigraphic interval spanning the Lower–Middle Pleistocene boundary. The M–B polarity boundary serves as the agreed primary guide for the Lower–Middle Pleistocene boundary, and the CbCS represents one of the most detailed marine sedimentary records yet obtained for this reversal, yielding an astronomical age of 772.9 ka with a duration of ca. 1.9 kyr. This section therefore offers an exceptional opportunity to calibrate the geological time scale as well as understand the dynamics of the geodynamo. The widespread Byk-E tephra lies close to the reversal, allowing precise regional lithostratigraphic correlation. The CbCS is easy to access from international airports. The section will be permanently preserved and maintained by the local government as a natural monument. Based on these attributes, the base of the Byk-E tephra bed in the Chiba section is the best horizon for establishing the GSSP that will define the Lower–Middle Pleistocene boundary.

Keywords: Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP), Lower–Middle Pleistocene boundary, Chiba composite section, Matuyama–Brunhes boundary, Marine Isotope Stage (MIS) 19

* 千葉セクション GSSP 提案チーム(ABC 順): 羽田裕貴, 林 広樹, 本郷美佐緒, 堀江憲路, 兵頭政幸, 五十嵐厚夫, 石塚 治, 入月俊明, 板木拓也, 泉賢太郎, 亀尾浩司, 川又基人, 川村賢二, 木村純一, 小島隆宏, 久保田好美, 中里裕臣, 西田尚央, 岡田誠, 荻津 達, 奥田昌明, 奥野淳一, 里口保文, 仙田量子, Quentin Simon, 末吉哲雄, 紫谷 築, 菅沼悠介, 菅谷真奈美, 竹下欣宏, 竹原真美, 渡邊正巳, 八武崎寿史, 吉田剛

Yuki Haneda, Hiroki Hayashi, Misato Hongo, Kenji Horie, Masayuki Hyodo, Atsuo Igarashi, Osamu Ishizuka, Toshiaki Irizuki, Takuya Itaki, Kentaro Izumi9, Koji Kameo, Moto Kawamata, Kenji Kawamura, Jun-Ichi Kimura, Takahiro Kojima, Yoshimi Kubota, Hiroomi Nakazato, Naohisa Nishida, Itaru Ogitsu, Makoto Okada, Masaaki Okuda, Jun'ichi Okuno, Yasufumi Satoguchi, Ryoko Senda, Quentin Simon, Testuo Sueyoshi, Kizuku Shikoku, Yusuke Suganuma, Manami Sugaya, Yoshihiro Takeshita, Mami Takehara, Masami Watanabe, Hisashi Yabusaki, Takeshi Yoshida

はじめに

国際境界模式層断面とポイント(Global Boundary Stratotype Sections and Points: GSSPs)とは、年代層序(単元)における階(Stage)の下限を規定する模式地(断面とポイント)(日本地質学会誌, 2001; 日本地質学会誌, 2018)である。各 GSSP は、国際層序委員会(International Commission on Stratigraphy: ICS)から提案されたプロポーザルを国際地質科学連合(International Union of Geological Sciences: IUGS)が批准することによって決定される。GSSP は、汎地球的に同時時間面を規定する重要なスタンダードとなるため、年代層序だけでなく、環境変動解析や放射年代のキャリブレーションなどにおいても重要な指標となる。

下部-中部更新統境界(Lower-Middle Pleistocene boundary) (以下 L-M 境界)GSSP の選出作業は、第四紀層序小委員会(Subcommission on Quaternary Stratigraphy: SQS)の下に設置された作業部会の審査に基づき GSSP 候補地を1つに絞ることから始められる。作業部会は、L-M 境界の“primary guide”を Matuyama-Brunhes (M-B) 境界とし、GSSP を認定する条件を、M-B 境界を含み、同境界が対応する酸素同位体ステージ(marine oxygen isotope stage; MIS)とその前後1つずつの MIS が見られる、陸上に露出した海成層とした(Head and Gibbard, 2005)。地球磁場極性の逆転は、地質記録中に磁気層序極性反転層準として記録されるだけでなく、近年は氷床コアに宇宙線生成核種生成率のピークとして認識されるなど(Raisbeck et al., 2006 など)、全球的なイベントであることから、下部-中部更新統におけるもっとも重要な層位基準とされている(Head et al., 2008 など)。一方、前期-中期更新世の境界は、氷期-間氷期サイクルの4万年から10万年周期への移行など、大気循環、氷床発達、および生物相の進化などにおいて大きな変動を経験した時代であり(Maasch, 1988; Mudelsee and Statterger, 1997; Mudelsee and Schulz, 1997; Raymo et al., 1997; Head and Gibbard, 2005; Clark et al., 2006; Head et al., 2008; Elderfield et al., 2012; Head and Gibbard, 2015 など)、最近“Early-Middle Pleistocene transition”などと呼ばれている(Head and Gibbard, 2015)。この Early-Middle Pleistocene transition における全球的気候変動を理解するためには、過去の気候変動を広域に対比・比較することが効果的であり、そのための基準面を設定するという意味でも L-M 境界 GSSP は重要な役割を持つ。

千葉複合セクション(Chiba composite section; 以下 CbCS)は、房総半島中央部に分布する上総層群本層中部に位置し、L-M 境界を含む連続的かつ堆積速度の非常に大きな海成泥質堆積物である(Kazaoka et al., 2015; Nishida et al., 2016; Okada et al., 2017; Suganuma et al., 2018)(Fig. 1)。CbCS は、その中心となる千葉セクションを含む養老川セクションと、その他4つのセクションから構成される。CbCS からは、保存の良い多種の海生化石、花粉化石、明瞭かつ高分解能で解析された M-B 境界、および多数

のテフラが報告されていることから、詳細で精度の高い年代層序の確立が可能である。また、CbCS には、鍵層として Ontake-Byakubi (以下 Byk-E) テフラが認められ(Fig. 2)(Takeshita et al., 2016), 772.7 ± 7.2 ka の単結晶ジルコン U-Pb 年代が報告されている(Suganuma et al., 2015)。さらに CbCS は、ユーラシア大陸の東端に位置するという立地条件から、偏西風やモンスーンの変動など大気循環や、北西太平洋における古海洋変動の解析にも適している。とくに千葉セクションは、成田・羽田などの国際空港からのアクセスも良く、地元自治体によって露頭の保存も確保されている。以上のことから、千葉セクションは、L-M 境界 GSSP にもっとも適した候補地の1つである。

2017年6月7日、千葉セクション GSSP 提案チームは第四紀層序小委員会の作業部会に千葉セクションの L-M 境界 GSSP 提案書(The Chiba Section, Japan: a proposed Global Boundary Stratotype Section and Point(GSSP) for the base of the Middle Pleistocene Subseries)を提出した。この提案書は、Kazaoka et al.(2015), Suganuma et al.(2015), Nishida et al.(2016), Okada et al.(2017), および Suganuma et al.(2018)の内容を中心とし、超高分解能で取得した浮遊性・底生有孔虫化石を用いた酸素同位体比変動、花粉分析、微化石群集、テフラの対比、およびその他の堆積学的・地球化学的分析結果を統合し、前期-中期更新世境界における陸域および海洋域における極めて詳細な環境変動記録を示すことで、CbCS の GSSP としてのポテンシャルを示した。そして、千葉セクション中に明瞭に認められる Byk-E テフラの基底を下部-中部更新統境界および「チバニアン階」を定める国際境界模式層断面とポイントとして提案した。本稿は、今回提出した提案書の内容のうち、論文として公表済みの部分について簡潔に要約したものである。

GSSP の基準と提案までの歴史

国際地質科学連合は、地質年代を国際年代層序表(International Chronostratigraphic Chart)として提示している。この GSSP 認定の活動は1977年に始まったが、時代区分の定義や年代などに関しては必要に応じて見直されており、前述の L-M 境界のようにまだ合意に至っていない時代もある。

Remane et al.(1996)は GSSP が満たすべき条件として、以下の点を列挙した。

- ・連続的かつ堆積速度の大きな海成層が、十分な層厚を持って露出していること。
- ・安定した環境で堆積し、層相の変化が著しくないこと、またテクトニックな変形、変成作用や強い続成作用を被っていないこと。
- ・豊富で多種の保存の良い微化石を産出し、長期的な微化石層序比較が可能であること。
- ・古地磁気層序や全球的なイベント(あるいは変動)を示す安定同位体比変動などの化学層序が確立していること。
- ・放射年代値の報告があること。
- ・古地理やそれに関係した層相について明らかにされていること。

ること。

- ・将来的な保存が確約されていること。
- ・アクセスが良いこと。

これらの条件のもと、Richmond(1996)はL-M境界GSSPについて、磁気層序極性反転層準を含む連続的な海成堆積物であり、十分な化石記録や他の指標などからその逆転がM-B境界であることが確認できることを条件とした。そのうえで、M-B境界、もしくは近接する岩相単位(lithological unit)の基底にL-M境界GSSPを置くこととした。

CbCSをL-M境界のGSSPに提案する動きは、熊井久雄氏(大阪市立大学名誉教授)先導のもと、1990年代から始まった。1990年後半に、国際第四紀学連合(The International Union for Quaternary Science: INQUA)のSubcommission on Major Subdivisions of the Pleistoceneの議長であるG. M. Richmond氏から当時アジア太平洋層序委員会の委員であった熊井氏と市原実氏へ、更新統の細分(特に下部・中部)の模式地として、房総半島が有力な候補地として考慮されている旨が伝えられ(日本第四紀学会, 1991)、熊井氏を中心にその対応が開始された。1991年8月に北京で行われたINQUA第13回大会において、Subcommission on Major Subdivisions of the Pleistoceneの委員長にRichmond氏、副委員長に熊井氏が選出され、候補地として日本(房総)、ニュージーランド、イタリアなどがあげられた(熊井, 1992)。これをうけて、日本第四紀学会は前述のSubcommissionに対応する研究委員会として、上・中・下部更新統境界に関する研究委員会(責任者: 熊井久雄)を設置して、対応することとした(日本第四紀学会, 1992)。1995年の第14回INQUAベルリン大会では、CbCSの概要を示すとともに初めて公式にL-M境界の模式地とする提案がなされ(Kumai, 1995)、CbCSの層序(Nirei et al., 1995)とM-B境界(Aida et al., 1995)を含めて6件の発表がなされた(米倉, 1996)。国内では1996年に、CbCSにおけるL-M境界の研究結果がproceedingsとしてまとめられた(Workshop for Quaternary Stratigraphy of Boso, 1996)。その後、INQUAの層序・年代学研究委員会(Commission on Stratigraphy and Geochronology: CSC)(委員長: Brad Pillans氏)は、イタリア南部のMontalbano JonicoセクションとValle di Mancheセクション、およびCbCSの3つの候補地の中から、L-M境界GSSPを選定する方針を示した(三田村・熊井, 2006)。その後しばらくGSSP選定議論に進展はなかったが、2013年にポルトガルリスボンで開催されたSTRATI(International Congress on Stratigraphy)2013において、改めてSQSの委員長に就任したMartin J. Head氏の下、2015年のINQUA名古屋大会を目指して、L-M境界GSSPの候補地を選出する動きが始まった。このSTRATI 2013の会議の時点において、イタリアの2カ所のセクションでは、MIS 20からMIS 18の間の連続的な層序が確認され、詳細な気候変動の復元と天文年代との対比も行われているなど、提案書の執筆に必要な情報はほぼ揃っていた。しかし、両セクションにはいくつかの問題点も指摘されてもいた。Valle

di Mancheセクションは、酸素同位体比変動曲線上でのM-B境界の位置に疑問が呈されていること、また鍵層となるPitagoraテフラが再堆積性である可能性が指摘されており、そのため同テフラの放射年代値も信頼できないとされていた(熊井私信)。また、Montalbano Jonicoセクションは続成作用によってM-B境界に対応した古地磁気記録が失われていること(Sagnotti et al., 2010)が問題とされた。一方、CbCSについてはGSSPの提案に不可欠な高分解能の酸素同位体比変動や古気候・古海洋記録についての研究はほとんど行われておらず、また、古地磁気記録などの基礎的なデータも査読付きの国際的な科学雑誌上において公表されていなかった。さらに、再堆積などの可能性を含めた堆積プロセスの詳細が不明であることなどの疑問点もあり、STRATI 2013の時点においては、とくにイタリア側から、CbCSの準備不足によってGSSPの提案に進めないことが重大な問題であると指摘されていた。この状況を鑑みてSQSのHead委員長は、CbCSの提案チームを再組織して、2015年のINQUA名古屋大会までにGSSP提案に必要なデータをCbCSの研究成果として国際誌上で発表することが必要であるとした。これを受けて2013年10月、我々は改めて日本国内にタスクチームを組織した。そして、日本第四紀学会の研究委員会として第四紀年代層序研究委員会を提案し、岡田誠が委員長に就任することで、GSSP提案書の執筆に不可欠な研究の遂行と論文発表を進めていくこととなった。

千葉複合セクションの概要

1. 地質概説

上総層群の層序学的研究は、1940年代より金原ほか(1949)、品田ほか(1951)、三梨(1954)、三梨ほか(1959)、三梨ほか(1961)、石和田ほか(1971)、三梨ほか(1979)、徳橋・遠藤(1984)らによって進められた。上総層群は太平洋プレートとフィリピン海プレートの西北西向きの沈み込みに対応した上総前弧海盆の発達に伴って堆積したとされる(Seno and Takano, 1989)。上総層群は、下位より黒滝層、勝浦層、浪花層、大原層、黄和田層、大田代層、梅ガ瀬層、国本層、柿ノ木台層、市宿層、長南層、万田野層、笠森層、および金剛地層で構成され(Kazaoka et al., 2015)、とくに房総半島中央部の養老川沿いにおいて露出が良く、連続的に観察することができる(Fig. 2)。そこでは層厚3000m以上であり、基本的には上方浅海化を示す(Ito and Katsura, 1992)。上総層群を構成する各層からは、石灰質ナノ化石(Takayama, 1967; 佐藤ほか, 1988)、浮遊性有孔虫化石(Oda, 1977)、珪藻化石(Cherepanova et al., 2002)、古地磁気層序(新妻, 1976)、および酸素同位体層序(Okada and Niitsuma, 1989; Pickering et al., 1999; 辻ほか, 2005)などが報告されている(Fig. 3)。また、上総層群には非常に多くのテフラが認められ、地層の広域対比や年代決定に用いられてきた(町田ほか, 1980; 菊地ほか, 1988; 鎌田ほか, 1994; 吉川ほか, 1996; 里口, 1997; 里口ほか, 1999; 長橋ほか, 2000; 鈴木2000; 高橋ほか, 2005; Satoguchi and Nagahashi, 2012など)。これらのデータを総合して、上総層群

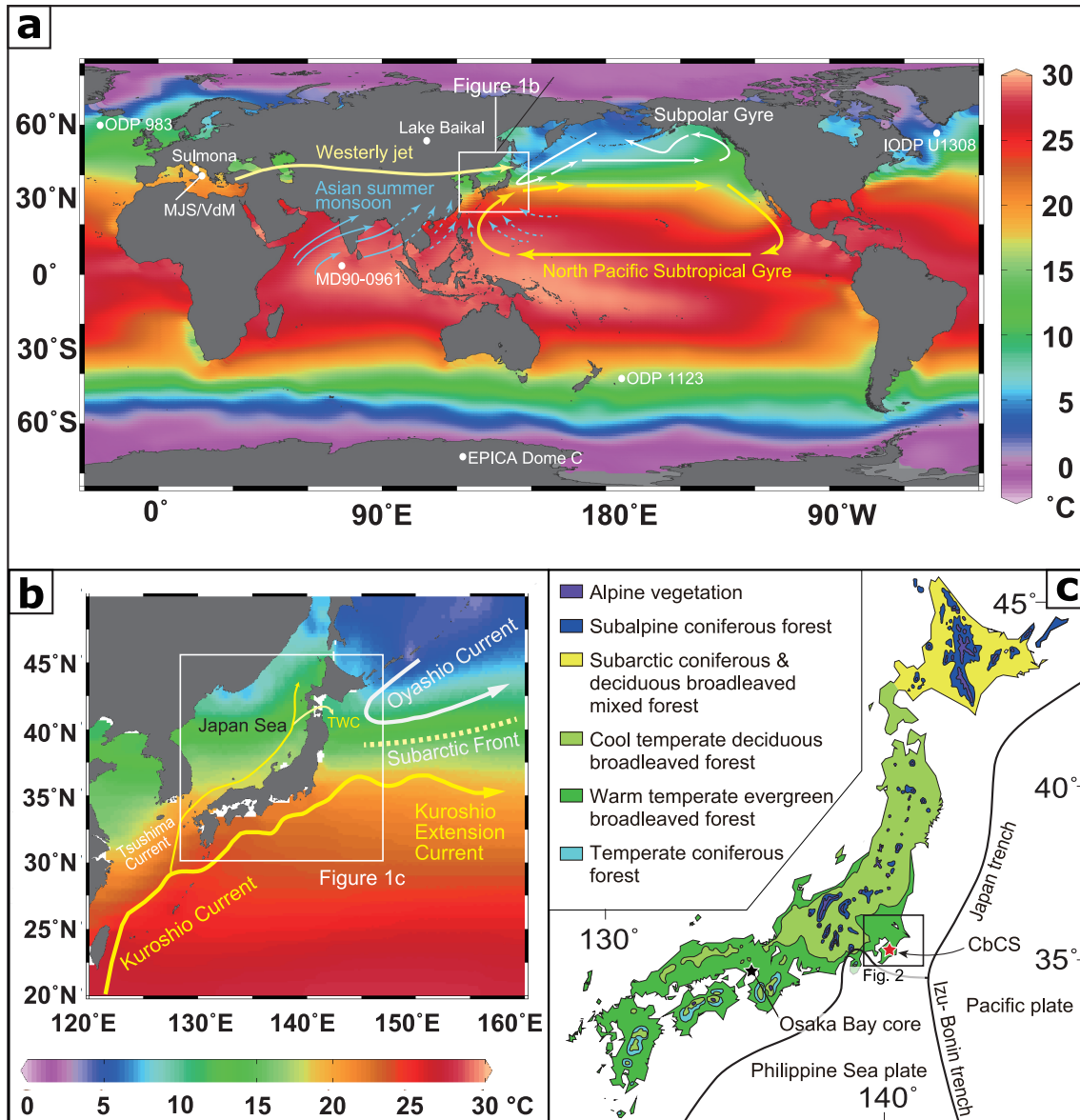


Fig. 1. Location and setting of the Chiba composite section, Kokumoto Formation, in the Kazusa Group, east-central part of the Japanese archipelago. (a) and (b) Oceanographic and atmospheric setting of the Japanese archipelago in summer. Location of the westerly jet during summer is based on Zhang et al. (2011). Positions of the major ocean currents in the North Pacific are drawn based on Brown et al. (2001). Ocean temperature gradient in these figures are based on the World Ocean Atlas 2013 (Locarnini et al., 2013) drawn by Ocean Data View software [URL1]. An arrow flowing from the Japan Sea to Pacific Ocean in Fig. 1b is the Tsugaru Warm Current (TWC). The boxes mark the location of Fig. 1b and 1c, respectively. (c) Potential vegetation map of the Japanese archipelago simplified from Yoshioka (1973). The locations of the borehole drilling cores, sections, and an Antarctic ice core referred in discussion are shown. Abbreviations: Chiba composite section, CbCS; Montalbano Jonico section, MJS; Valle di Manche section, VdM. Modified from Suganuma et al. (2018).

の堆積年代は2.4–0.45 Maと推定されている(Ito et al., 2016).

2. 房総半島における現在の海洋・気候環境

北西太平洋は、北方起源の親潮と南方起源の黒潮が衝突する黒潮–親潮混合水域とよばれる海域であり、古海洋変動研究において重要な海域の一つである。CbCSにおける古海洋学的記録は、前期–中期更新世の黒潮や親潮が形成する亜寒帯前線(Subarctic front)の動きを反映したものと考えられ、その記録は全球的な気候変動を理解する上で非常に重

要である。これらの水塊の混合は大きな緯度勾配を持っており、北西太平洋の極前線(Polar front)の南北への移動は、日本周辺海域の乾湿涵養をコントロールするアジアモンスーン変動を支配し、ユーラシアの乾燥域からの風成塵の供給にも影響を与えられている(Fig. 1a)。したがって、CbCSから復元された古海洋変動記録は、ユーラシア東縁中緯度域だけでなく、全球的な気候変動を理解する上でも重要なデータとなる。

また、日本列島は南北に長く、標高差も大きいため比較的

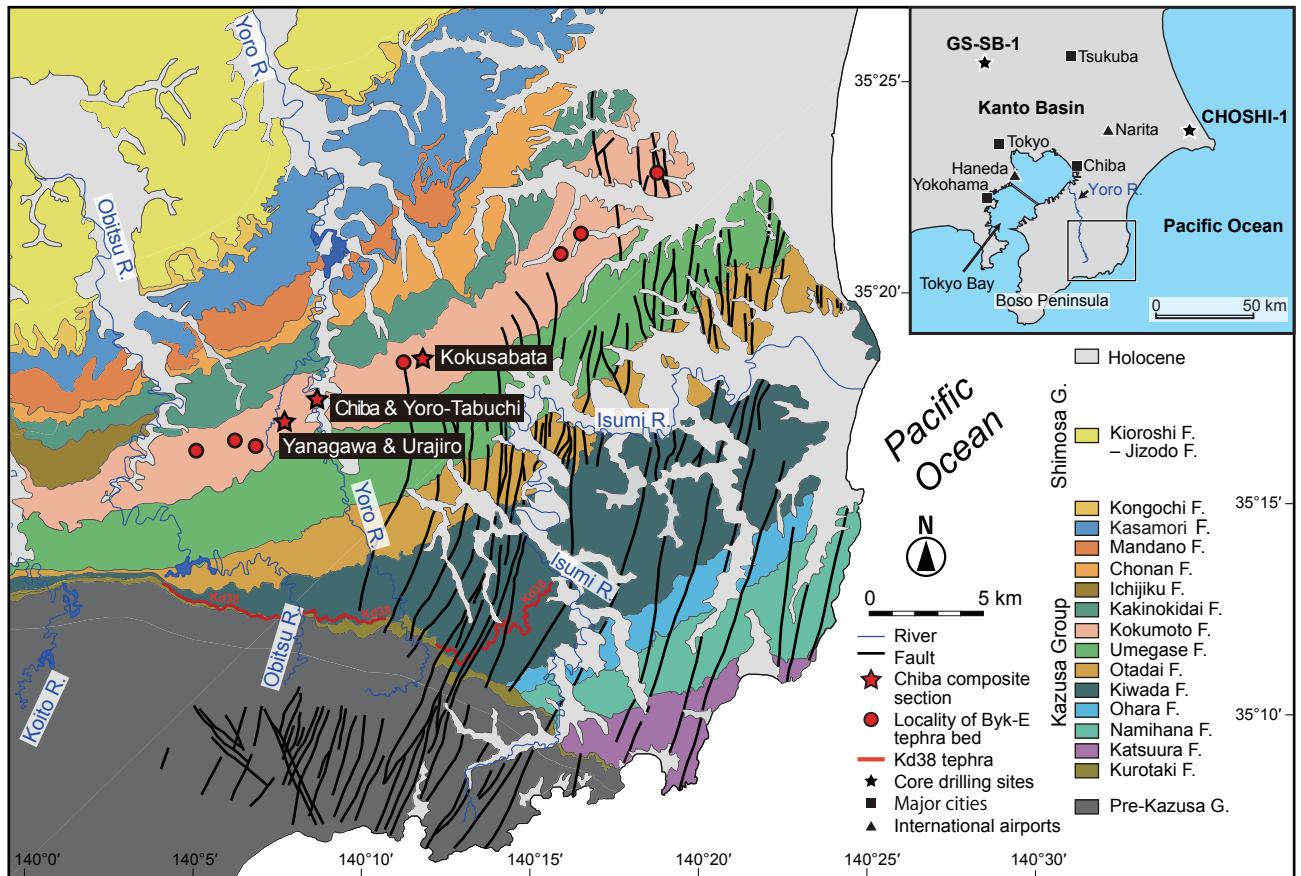


Fig. 2. Simplified geologic map of the Boso Peninsula based on Mitsunashi et al. (1961) and Ishiwada et al. (1971). Red stars and circles are locations of the Chiba composite section and Byk-E tephra bed used for detailed lithostratigraphic description. Modified from Suganuma et al. (2018).

多様な植生を有し、花粉記録を用いた気候復元に適している。現在の房総半島および関東平野における植生は常緑広葉樹林 (Warm-temperate broadleaved evergreen forest) である。これに対し、関東平野の後背地には落葉広葉樹林 (Cool-temperate deciduous broadleaved forest) が広がり、その周辺の山岳域には針葉樹林 (Subalpine coniferous forests) および高山植生 (Alpine vegetation) がある (Fig. 1c; 吉岡, 1973)。上総層群中に産出する花粉化石は風もしくは河川などの水流によって運ばれたと考えられ、後背地の気候変動を復元する上で貴重なデータを提供する。

3. CbCS の年代モデル

上総層群では既に詳細な年代層序が確立しており (Kazao-ka et al., 2015), これらを基礎として CbCS の年代モデルは構築されている。とくに酸素同位体層序は、地域的な年代層序をグローバルな天文年代に対応させることができるため、極めて重要である。Okada and Niitsuma (1989) および Pickering et al. (1999) に基づくと、上総層群大田代層より上位の層準が MIS 35 から MIS 15 に対応し、その中でも CbCS は MIS 21 から MIS 18 に対応する (Figs. 3, 4)。また、この対比から上総層群の堆積速度が非常に大きいこと (平均約 200 cm/kyr), そして堆積速度は氷期-間氷期サイクルと連動する相対的海水準変動を反映した岩相変化に対応

していることが明らかになった (Kazaoka et al., 2015)。
CbCS を含む養老川沿いの国本層と房総半島東端部の銚子地域から採取されたボーリングコア (CHOSHI-1 コア) (Fig. 2) の間では、火山ガラスの屈折率および主成分化学組成の比較から、CbCS の Ku1, Ku2B, および Ku3 テフラが CHOSHI-1 コアで見られる Yk9, Yk8.5, および Yk7.5 テフラと対比され (中里ほか, 2017; Suganuma et al., 2018), この対比に基づく CbCS の上限は MIS 18/19 境界より上位に対応する (Suganuma et al., 2015; Okada et al., 2017)。Suganuma et al. (2018) では、CbCS の酸素同位体比変動をさらに上位に伸ばすことで直接 MIS 18/19 境界を決定した。そして、この CbCS の酸素同位体比変動を、南太平洋において底生有孔虫化石の酸素同位体比変動記録から構築された海水準プロキシ曲線 (Elderfield et al., 2012) に対比することで天文年代に対応した年代モデルを構築した (Fig. 4) (Suganuma et al., 2018; Fig. 6)。この年代モデルに従うと、CbCS は MIS 20 後半 (801 ka) から MIS 18 前半 (748 ka) に対応すること、CbCS における堆積速度の極小 (44 cm/kyr) のタイミングは最高海水準期に対応することが明らかになった。また、M-B 境界における堆積速度は 89 cm/kyr と見積もられた。

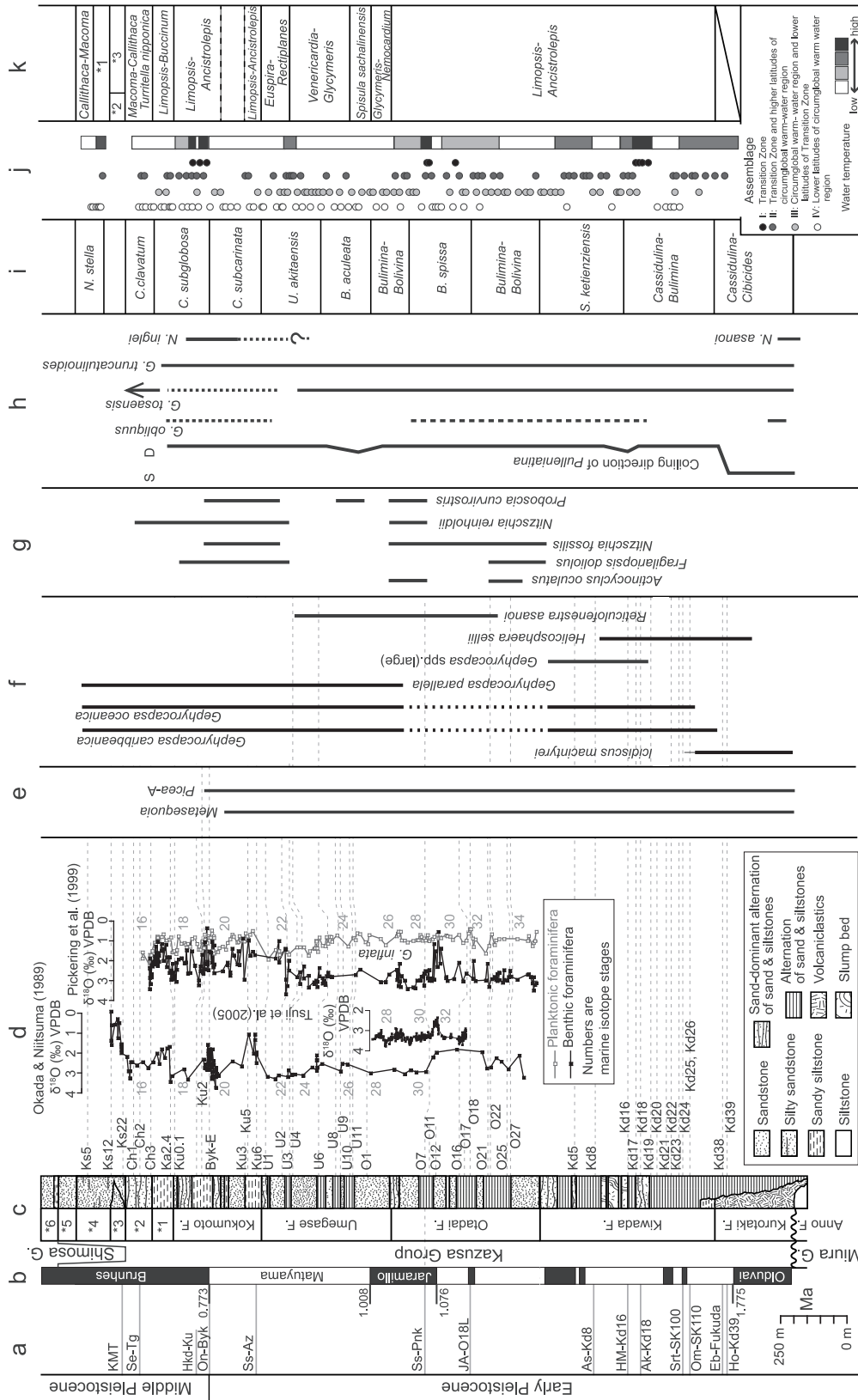


Fig. 3. Chronostratigraphic and chronologic summary of the Kazusa Group modified after Kazaoka et al. (2015). (a) Lithostratigraphy of the Kazusa Group modified after Kazaoka et al. (2015). (b) Magnetostratigraphy (Niitsuma, 1976), with ages based on Singer (2014). (c) Lithostratigraphy based on Mitsunashi et al. (1961) and Nirei (2004) with traceable tephra beds. *1: Kakinokidai Formation, *2: Chonan Formation, *3: Mandano Formation, *4: Kasamori Formation, *5: Kongochi Formation, *6: Jizodo Formation. For the detailed lithology of the Kazusa Group and descriptions of the tephra beds, please see Kazaoka et al. (2015). (d) Oxygen isotope ratios of planktonic and benthic foraminifera. Planktonic data are from *G. inflata* (Pickering et al., 1999), and benthic data are from several species calibrated to *Uvigerina* spp. (Okada and Niitsuma, 1989; Pickering et al., 1999; Tsuji et al., 2005). (e) Stratigraphic distribution of main pollen taxa (Onishi, 1969). (f) Stratigraphic distribution of index species of calcareous nanofossils (Sato et al., 1988; 1999). (g) Stratigraphic distribution of index species of diatoms (Cherepanova et al., 2002). (h) Stratigraphic distribution of index species of planktonic foraminifera (Oda, 1977, 1979; Igarashi, 1994; Shikoku et al., 2016). (i) Benthic foraminiferal assemblages (Baba, 1990). *1: *Portlandia-Sriodontalium*, *Nemocardium samarangae* *Macoma calcareo*, *2: *Nemocardium-Limopsis*, *Spisula-Glycymeris*, *3: *Portlandia-Sriodontalium*, *Limopsis tokaiensis tajima*.

千葉複合セクションの層序

1. 岩相層序

CbCS は、その中心となる千葉セクションを含む養老川セクション(35°17.41'N; 140°8.48'E)のほかに、養老田淵セクション(35°17.41'N; 140°8.49'E)、柳川セクション(35°17.15'N; 140°7.88'E)、浦白セクション(35°16.85'N; 140°7.47'E)、小菫畑セクション(35°18.52'N; 140°11.89'E)からなる(Fig. 5)。これらのセクションは詳細な火山灰層序および岩相層序によって高精度で対比されており、CbCSの総合柱状図が構築されている。千葉セクションは、GSSPとして提案されている養老川沿いの露頭であり、L-M境界を明瞭に観察することができる。

CbCSは生物擾乱の発達したシルト層からなり、静穏な水塊条件下で細粒な懸濁粒子がゆっくりと堆積して形成されたと考えられ、粒度組成は垂直方向に顕著な変化を示さない(Nishida et al., 2016)。重力流起源の薄い砂層がとくにセクション下部で見られるものの、スランプや不整合などの不連続な堆積を示す証拠は認められておらず、比較的安定した堆積環境が示唆される(Nishida et al., 2016)。

2. 化石層序

上総層群の化石に関する研究は、海生および陸生生物の化石ともに非常に多く行われている。それらは大型化石だけでなく、微化石に相当するものも含んでおり(Kazaoka et al., 2015)、これまでに検討された主な化石は、貝類化石(成瀬, 1973; 馬場, 1990)、翼足類化石(氏原, 1986)、花粉化石(大西, 1969; Suganuma et al., 2018)、渦鞭毛藻類化石(提案書の未公表データ)、浮遊性および底生有孔虫化石(Oda, 1977; 尾田, 1979; 五十嵐, 1994; Igarashi, 1996; 生越, 1961; Aoki, 1968; 紫谷ほか, 2016)、石灰質ナノ化石(佐藤ほか, 1988, 1999; Suganuma et al., 2018)、珪藻化石(Cherepanova et al., 2002)、放散虫化石(Suganuma et al., 2018)、そして貝形虫化石(提案書の未公表データ)である。

提案書では、前述の各種微化石のうち、詳しい元データを付録として添付した上で、従来の研究結果、Suganuma et al. (2018)、そしてその後の検討結果を加味して、上総層群およびCbCSの国本層における各種化石の特徴を記載した。議論した化石は、花粉化石、石灰質ナノ化石、珪藻化石、浮遊性有孔虫化石、底生有孔虫化石、放散虫化石、翼足類化石、渦鞭毛藻類化石、貝形虫化石、大型貝類化石である(Fig. 3)。各化石の記載の概略は以下の通りである。

2.1. 花粉化石 上総層群の花粉化石の研究は大西(1969)によって行われ、花粉化石に基づく上総層群堆積時の気候変動が議論されている。上総層群からは全体として、マツ属、トウヒ属、ツガ属、そしてスギ科の産出が卓越するとされ、中でも*Metasequoia*属の産出上限が国本層中に認められることが特徴である。これに加えて、Suganuma et al. (2018)はCbCSにおける酸素同位体ステージMIS 20からMIS 18にかけての詳細な花粉化石を検討し、とくにMIS 19cに相当する層準に顕著な温暖期を認めている。

2.2. 石灰質ナノ化石 上総層群の石灰質ナノ化石は、佐藤ほか(1988, 1999)によって検討され、北西大西洋で設定された第四系石灰質ナノ化石基準面を適用することによって、上総層群各層の年代が明らかになった。その結果、少なくとも2.06 Maから0.889 Maにかけての10枚の石灰質ナノ化石基準面が認定された。ただし、それらの研究ではCbCSを含む国本層について検討した試料間の層位間隔はあまり細かいものではない。そのため、Suganuma et al. (2018)とその後の追加検討によって、詳細な石灰質ナノ化石層序が検討されたが、M-B境界に相当、もしくはその境界近傍に位置する石灰質ナノ化石基準面は明らかになっていない。一方、化石群集の変化からは主にMIS 19に相当する層準の温暖期に表層海洋の安定性が増したことが示唆された。

2.3. 珪藻化石 上総層群の珪藻化石はCherepanova et al. (2002)によって検討され、上総層群には計7枚の化石基準面が認められることと、珪藻化石群集に基づいた表層海水温の復元が行われている。とくに、汽水および沿岸の珪藻化石が国本層の中部に顕著に産出することが特徴である。

2.4. 浮遊性有孔虫化石 上総層群に関する浮遊性有孔虫化石の研究の結果、6つの浮遊性有孔虫化石の標識種が認められている(Oda, 1977; 尾田, 1979; 五十嵐, 1994; Igarashi, 1996; 生越, 1961; Suganuma et al., 2018; 紫谷ほか, 2016)。それらのうち、*Neogloboquadrina inglei*の産出上限(ca. 0.7 Ma; Kucera and Kennett, 2000)が国本層上限のわずかに下位に認められることから(紫谷ほか, 2016)、M-B境界を示唆する化石基準面となる可能性がある。一方、浮遊性有孔虫化石群集の検討結果からは、本邦太平洋側周辺海域の主要な海流、すなわち親潮、黒潮、そして津軽海流の変遷を読み取ることができる(五十嵐, 1994)。その結果、M-B境界のやや上位で黒潮の影響が大きくなったことが示唆されている(Igarashi, 1996; Suganuma et al., 2018)。

2.5. 底生有孔虫化石 Aoki (1968)は上総層群の底生有孔虫化石の研究を行い、同層群に17の有孔虫化石群集帯を認定した。それらの化石群集の変化からは、国本層堆積時に寒冷期と温暖期が繰り返していたことが指摘されている。一方、国本層のM-B境界前後の底生有孔虫化石に焦点を当てたKamemaru (1996)は、漸深海帯を特徴づける底生有孔虫化石群集の中に、内側陸棚の底生有孔虫化石種が多量に混在していることを指摘した。

2.6. 放散虫化石 上総層群全体の放散虫化石の研究は行われていない。そのため、Suganuma et al. (2018)に加え、提案書作成時にCbCSから産出する放散虫化石の詳細な検討を行った。それらによると、CbCSの国本層堆積時の表層海洋は、黒潮と親潮の両者の影響を受けており、とくにMIS 19に顕著な温暖期が認められている。

2.7. 翼足類化石、貝類化石、貝形虫化石、渦鞭毛藻化石 翼足類化石と貝類化石は、上総層群全体での検討が行われており(氏原, 1986; 成瀬, 1973; 馬場, 1990)、いずれも表層海流の変動に応じた群集および種組成の変化が認められている。また、提案書では新たに貝形虫化石と渦鞭毛藻化石の検

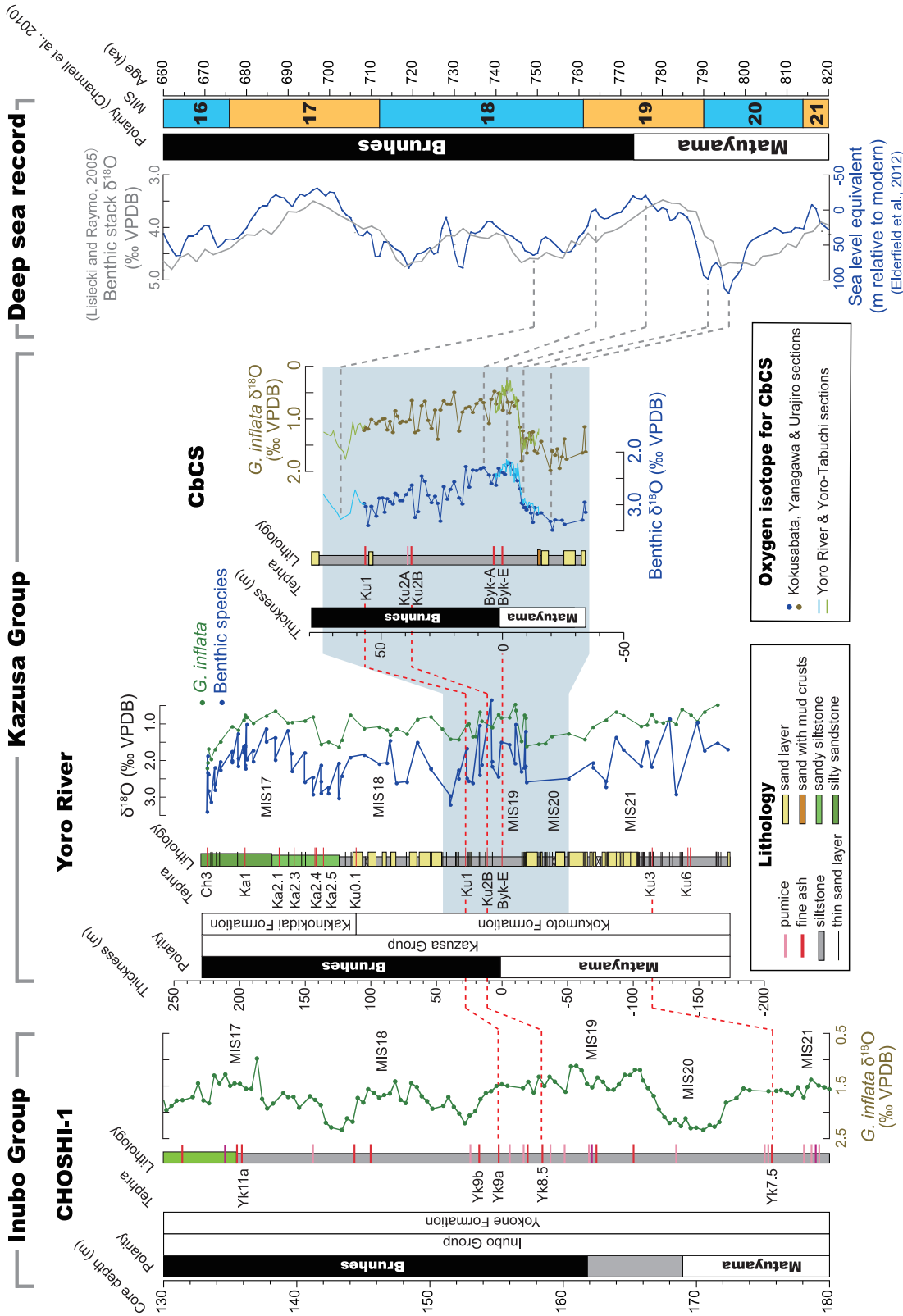


Fig. 4. Chronostratigraphic correlations between the Kazusa Group, including the Chiba composite section and deep-sea records. The age model is based on visual matching with the sea level proxy of Elderfield et al. (2012). The LR04 benthic stack (Lisiecki and Raymo, 2005) is also shown for comparison. The newly obtained high-resolution oxygen isotope ($\delta^{18}\text{O}$) stratigraphy from the Chiba composite section, in addition to that of Pickering et al. (1999), is also correlated to the $\delta^{18}\text{O}$ stratigraphy from the CHOSHI-1 core (Kameo et al., 2006), based on marker tephra bed correlations and major features of the $\delta^{18}\text{O}$ record. VPDB: Vienna Pee Dee Belemnite, MIS: Marine Isotope Stage. The ages of the MIS boundaries follow Lisiecki and Raymo (2005) and are taken from http://www.lorraine-lisiecki.com/LR04_MISboundaries.txt. Chiba composite section: CbCS. Modified from Suganuma et al. (2018).

討を行った結果も報告されている。

3. 古地磁気層序

CbCS を含む、上総層群を対象とした古地磁気学的研究は長い歴史を持つ。中川ほか(1969)は、房総半島全体の新生代磁気層序を報告し、CbCS 近傍の養老川沿いにおいて逆磁極から正磁極への変化を発見し、M-B 境界を Ku2 テフラの下位約 30 m とした。その後、Niitsuma(1971)、新妻(1976)、および新妻・藤井(1984)による一連の研究によって、柳川セクションにおいて M-B 境界は Ku2 テフラの下位 50 m 付近であることが示され、M-B 境界の 2 m 上位の白色細粒火山灰層(TNTT テフラ)が報告されている。また、Okada and Niitsuma(1989)は、柳川セクションと、平蔵川および長南において TNTT テフラの直下に M-B 境界が確認されることを報告した。この TNTT テフラは養老川沿いにおける千葉セクションにおいて、一連のテフラ(Byk-A~D)とともに改めて Byk-E テフラとして記載されているものである(Kazaoka et al., 2015)。そして、Tsunakawa et al.(1999)は、この古地磁気記録を基にして、M-B 境界における地磁気変動の復元を行った。その後、Aida et al.(1995)、会田(1997)、および会田(2011)によって、千葉セクションにおける M-B 境界が Byk-E テフラの下位 1.5–2.0 m 付近に位置することが報告された。なお、これらの先駆的な研究においては、M-B 境界はすべて段階交流消磁により求められた古地磁気方位から決定されていた。

一方、Suganuma et al.(2015)は柳川および小草畑セクションから採取した試料に対して段階熱消磁を行い、過去の古地磁気方位が二次的な磁化の影響を受けていることを明らかにして、M-B 境界が Byk-E テフラの上位約 0.8 m に修正されることを示した。続いて、Hyodo et al.(2016)は田淵セクション近傍で掘削したボーリング試料を用い、やはり M-B 境界が Byk-E テフラの上位 1 m 付近に位置することを報告している。さらに最近、Okada et al.(2017)は千葉セクションおよび養老田淵セクションから新たに超高分解能(10 cm 間隔)の古地磁気記録を報告し、これらのセクションにおいて M-B 境界に対応する古地磁気方位の変動が Byk-E テフラの上位 0.2 m から 1.95 m の間に認められること、そして M-B 境界が Byk-E テフラの上位 1.1 m に位置することを示した(Figs. 5, 6)。この結果は、Suganuma et al.(2015)および Hyodo et al.(2016)の結果ともほぼ整合的であり、いずれも CbCS における M-B 境界が Byk-E の上位 1 m 付近に位置することを示している(Fig. 5)。

以上の結果から、CbCS における M-B 境界は MIS 19c 末に位置し、その天文年代値は 772.9 ka となることが明らかになった(Suganuma et al., 2018)。この M-B 境界年代値は、北大西洋(773.1 ka; Channell et al., 2010; Channell, 2017)およびインド洋(772 ka; Valet et al., 2014)から報告されている天文年代値と整合的である。また、海成堆積物中の ^{10}Be フラックスのピークから推定される M-B 境界年代値(772 ka; Valet et al., 2014; 770–772 ka; Suganuma et al., 2010; Simon et al., 2016; 768.5–776.0 ka;

Simon et al., 2017)、および最近年代モデルが改訂された南極アイスコア(EPICA Dome C)の ^{10}Be フラックスから求められた年代値(771.7 ± 6.0 ka)とも整合的である(Antarctic Ice Core Chronology 2012[AICC2012]; Bazin et al., 2013)。CbCS における地磁気逆転期間(仮想的な地磁気極が南/北に移行する期間とし、定義は各論文に従う)についても、CbCS の年代モデルに従うと 1.9 kyr と推定され(Okada et al., 2017)、北大西洋の記録(2.9–6.2 kyr)(Channell et al., 2010)とほぼ一致する。一方、CbCS の年代モデルに基づき、Byk-E テフラの U-Pb 年代値から M-B 境界年代値を計算すると 771.5 ± 7.2 ka となる。

4. 火山灰層序

上総層群では、前述のように詳細な火山灰層序がすでに確立されており、とくに養老川および周辺のセクションは日本列島における鮮新-更新統火山灰層序のタイプセクションの一つとされている(Satoguchi and Nagahashi, 2012)。また、これらのテフラは、大阪層群、古琵琶湖層群、および魚沼層群などの鮮新-更新統の火山灰層との広域対比も進められている(町田ほか, 1980; 鎌田ほか, 1994; 里口, 1995; 里口ほか, 1999; 里口ほか, 2000; 長橋ほか, 2000; Suzuki et al., 2005)。

4.1. Byk-E テフラ Byk-E テフラは、房総半島中央部に分布する上総層群の L-M 境界において、もっとも顕著な鍵層である(Okada and Niitsuma, 1989; Kazaoka et al., 2015; 七山ほか, 2016)。CbCS において、Byk-E テフラは 1.0–5.0 cm 厚の白色の軽石質細粒火山灰であり、上下を黒灰色の砂質シルト層に挟まれる。火山ガラスの形状は主に軽石型で、大量の角閃石とわずかな直方(斜方)輝石と単斜輝石を含む。層相、記載鉱物学的、角閃石の主成分化学組成、および層序学的な関係から、Byk-E テフラは古期御嶽火山起源の YUT5 テフラと対比されている(Takeshita et al., 2016)。

Byk-E テフラは下位の砂質シルト層を侵食することなく堆積していることから、降下火山灰堆積物であると考えられる。Suganuma et al.(2015)は、Byk-E テフラに含まれるジルコン粒子を対象として SHRIMP(Sensitive High-Resolution Ion Microprobe)U-Pb 年代測定を行い、Byk-E テフラの噴出年代として 772.7 ± 7.2 ka の値を得ている。Byk-E テフラは、CbCS において M-B 境界の直下に位置していることから、M-B 境界の年代決定だけでなく、さまざまな放射年代値のキャリブレーションに対しても重要な情報を提供する。

4.2. その他のテフラ CbCS からは、Byk-E テフラ以外にも複数のテフラが確認されている(Kazaoka et al., 2015; Nishida et al., 2016; Suganuma et al., 2018)。Byk-E テフラの上位には Byk-A~D の計 4 枚のテフラが、CbCS 上部の厚いシルト層中には Tas(A-C)および Tap(A および B)が認められ(Kazaoka et al., 2015)、セクション間の対比に重要な役割を果たしている(Fig. 5)。

5. 化学層序

CbCS から得られた浮遊性・底生有孔虫化石の酸素同位

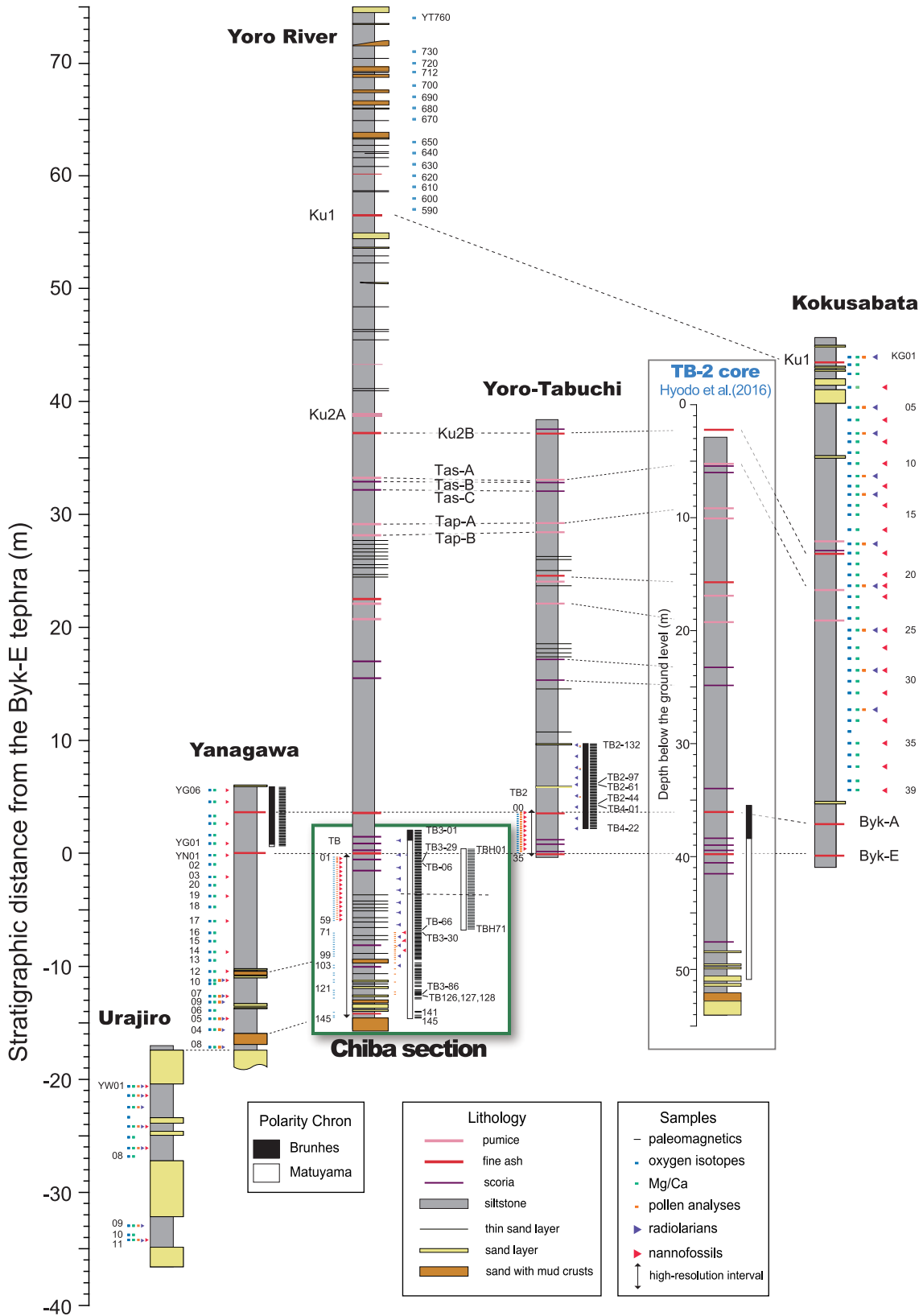


Fig. 5. Detailed stratigraphic correlations of the Chiba composite section between the Urajiro, Yanagawa, Yoro River, Yoro-Tabuchi, and Kokusabata sections in comparison with a drilled core (TB-2 core) near the Chiba (proposed GSSP) and Yoro-Tabuchi sections (Hyodo et al., 2016). The stratigraphic correlations are based on lithological changes and marker tephra beds. Sampling horizons for paleomagnetic (thin horizontal bars), $\delta^{18}\text{O}$ (light blue lines) measurements (Suganuma et al., 2015; Okada et al., 2017; Suganuma et al., 2018), pollen (orange squares), and marine microfossils (calcareous nannofossils: red triangles and radiolarians: purple triangles) are shown in the figure. Modified from Suganuma et al. (2018).

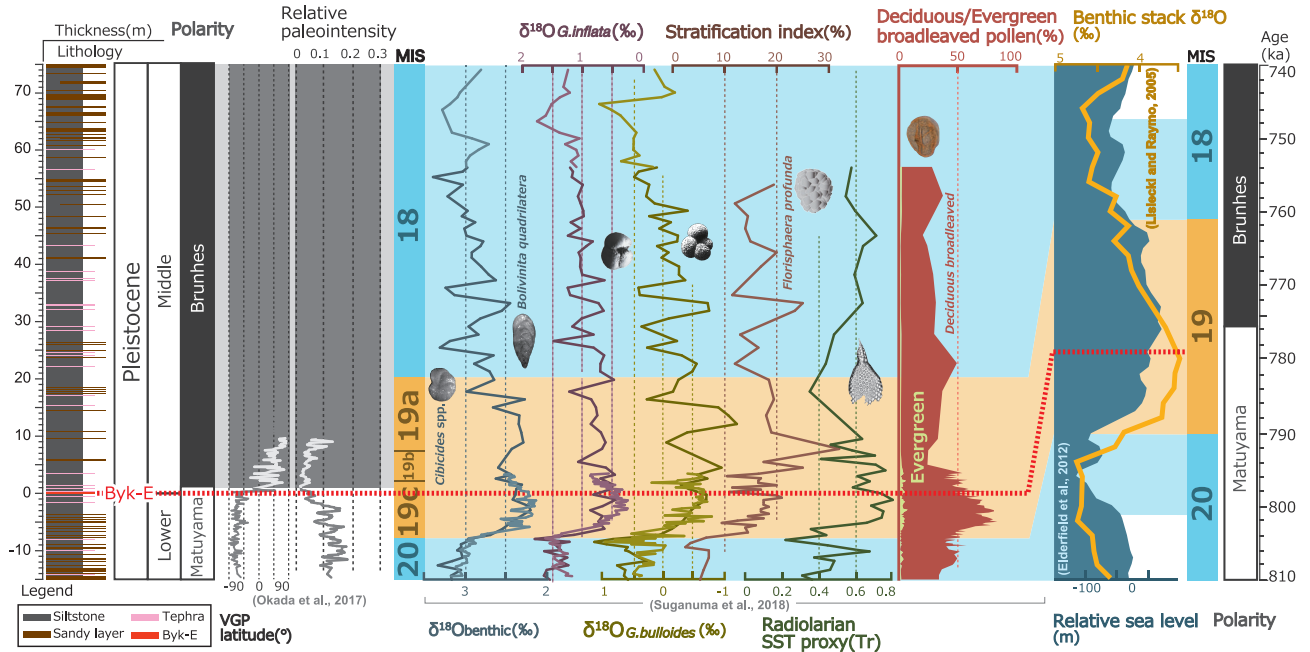


Fig. 6. Chronostratigraphic and stratigraphic features observed in the Chiba composite section: Clearly recognized geomagnetic polarity reversal (Matuyama–Brunhes boundary), high-resolution $\delta^{18}\text{O}$ stratigraphy from benthic and planktonic foraminifera, paleoceanographic and paleoclimatic changes reconstructed by marine microfossils and pollen records. Schematic pictures of analyzed fossils are shown. SST: sea-surface temperature. The LR04 benthic stack (Lisiecki and Raymo, 2005) and the eustatic curve of Elderfield et al. (2012) are shown for comparison.

体比変動から、MIS20 後半から MIS18 前半における北西太平洋の古海洋変動が復元された (Figs. 6, 7)。詳細な変動に注目すると、Termination IX 直後と MIS19 後半から MIS18 前半において、浮遊性有孔虫化石の酸素同位体比は数千年より短い周期の変動を示す。この酸素同位体比の変動幅は、底生有孔虫化石の酸素同位体比変動よりも明らかに大きい。表層水温または塩分の変化を示していると考えられる。現在の北西太平洋においては、一般に塩分の緯度勾配は小さいが、温度の緯度勾配は非常に大きい。また、浮遊性有孔虫化石の酸素同位体比の温度感度 ($-0.24\text{‰}/^{\circ}\text{C}$) は、塩分の感度よりも大きい ($+0.5\text{‰}/\text{salinity}$) (Oba et al., 2006)。したがって、CbCS における浮遊性有孔虫化石の酸素同位体比変動は、この海域における表層 (< 50 m, *Globigerina bulloides*) および亜表層 (100–200 m, *Globorotalia inflata*) の水温変動を示していると考えられる。とくに、Termination IX 直後における急激な水温変動は、Younger Dryas のような急激な寒冷化イベントを示している可能性がある。一方、MIS19 後半から MIS18 前半の表層・亜表層水温は他の時代と比較して大きく変動する (Fig. 7)。このことは、この期間に北西太平洋において顕著な水塊の変動が起きたことを示唆する。

MIS19 における他地域の古気候・古海洋変動記録との比較

CbCS から復元された古気候・古海洋変動、とくに酸素同位体比変動および花粉化石の変動は、Termination IX のタイミングにおいてミランコピッチサイクルと整合的である。また、この記録を南極アイスコア (EPICA Dome C) の

古気候記録 (Augustin et al., 2004; Jouzel et al., 2007; Bereiter et al., 2015)、北大西洋およびインド洋における海洋酸素同位体比変動 (Channell and Kleiven, 2000; Hodell et al., 2008; Valet et al., 2014)、汎地球的海洋酸素同位体比変動スタック (LR04) (Lisiecki and Raymo, 2005)、海水準プロキシ (Elderfield et al., 2012)、および bipolar seesaw model にしたがって再構築したグリーンランドの古気候記録 (Barker et al., 2011) と比較すると (Fig. 7)、それぞれ Termination IX 直後、および MIS19 後半から MIS18 前半における寒暖の変動がほぼ同調していることがわかる。一方、Valle di Manche セクションの酸素同位体比変動 (Capraro et al., 2017) と、イタリア中部 Sulmona 湖における酸素同位体比および炭酸塩含有量記録 (Giaccio et al., 2015) は、他の古気候記録に対して Termination IX のタイミングがやや早く、M–B 境界の年代も明瞭に異なっている。最近、Sulmona 湖の M–B 境界の年代については再磁化の影響が指摘されるなど (Evans and Muxworthy, 2018)、Valle di Manche セクションにおける M–B 境界の年代・層位については再検討が必要と考えられる。また、Montalbano Jonico セクションの酸素同位体比変動 (Simon et al., 2017) は、非常に分解能が高いものの、MIS19 後半に一部欠落が示唆される (Fig. 7)。

近年、MIS19 は、軌道要素の特徴から現在の間氷期 (MIS1) のアナログとして注目を集めている。CbCS は、MIS19 における古気候・古海洋変動記録を高分解能で解析できるだけでなく、M–B 境界を用いて、南極アイスコアの古気候記録とも直接の対比が可能であり、将来的な研究発展

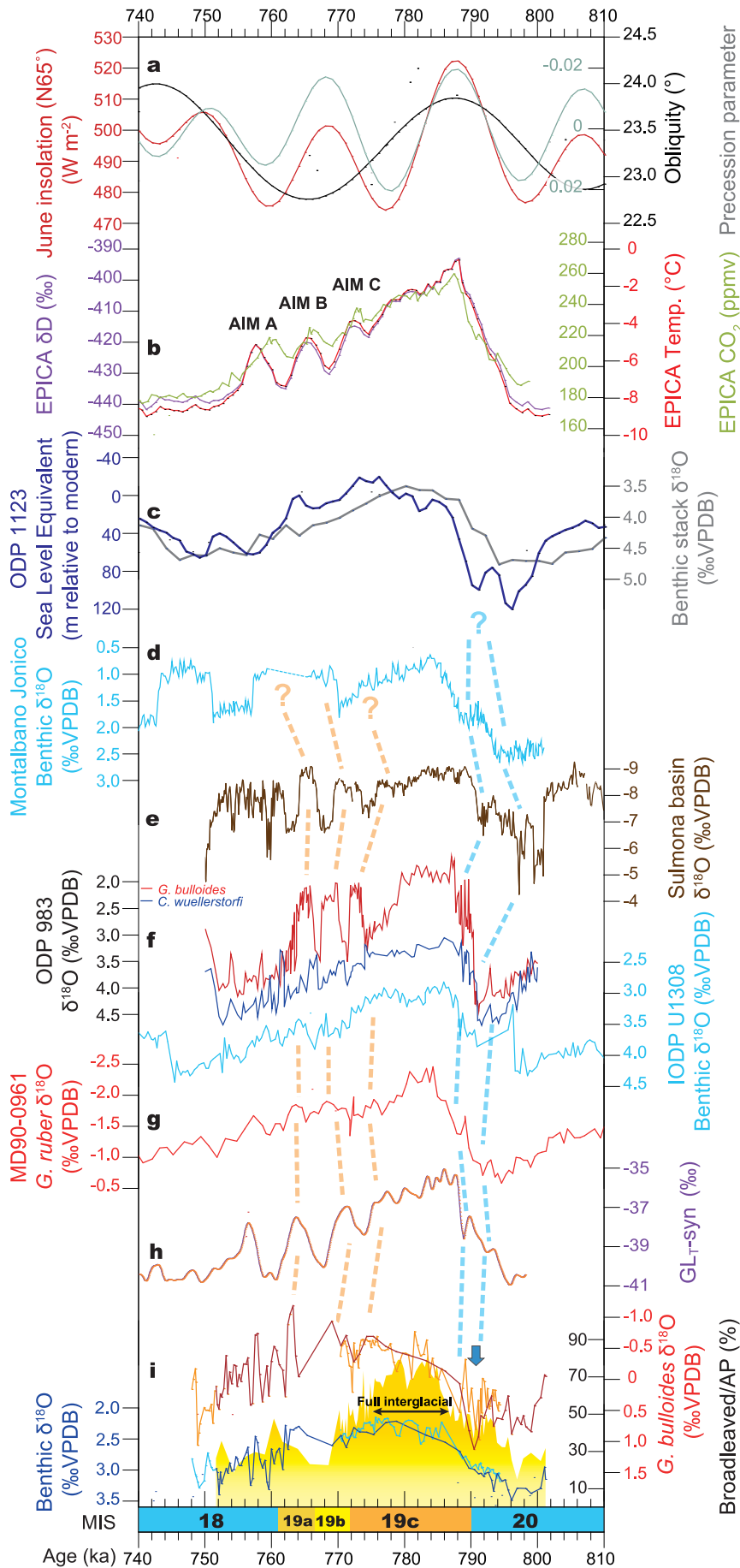


Fig. 7. Paleoclimatic and paleoceanographic changes through MIS 19. (a) 65°N insolation in June (red), and precession parameter (gray) and obliquity (black)(Laskar et al., 2004). (b) Deuterium isotope (purple)(Augustin et al., 2004), and temperature change (red) (DTs) (Jouzel et al., 2007) from deuterium content, and CO₂ concentration (yellowish green)(Bereiter et al., 2015) records of the European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA) Dome C ice core. (c) LR04 benthic stack (gray) (Lisiecki and Raymo, 2005) and sea level proxy (blue)(Elderfield et al., 2012). (d) Benthic δ¹⁸O record from the Montalbano Jonico section, Italy (light blue)(Simon et al., 2017). (e) Oxygen isotope (δ¹⁸O) stratigraphy from the Sulmona lake sediments, central Italy (brown) (Giaccio et al., 2015). (f) δ¹⁸O records of Ocean Drilling Program (ODP) Site 983 (red/blue) (Channell and Kleiven, 2000) and Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Site 1308 (light blue)(Hodell et al., 2008) from the North Atlantic. (g) δ¹⁸O records from the Indian Ocean (red)(Valet et al., 2014). (h) A synthetic record of Greenland climate variability (δ¹⁸O) based on the thermal bipolar seesaw model (purple)(Barker et al., 2011). (i) δ¹⁸O stratigraphy of benthic and planktonic foraminifera with the broadleaved pollen percentage (yellow shade) from the Chiba composite section (Suganuma et al., 2018). Red/blue lines are from the Yanagawa, Urajiro, and Kokusabata sections (1.0 m spacing), and orange and light blue lines are from the Yoro River and Yoro-Tabuchi sections (0.2 and 1.0 m spacing). Possible location of the Younger Dryas-type cooling event is shown by a blue arrow. Ages of each data are based on each studies. Modified from Suganuma et al. (2018).

が期待される。

結 論

我々は、中部更新統の基底とそれに伴って命名されるチバニアン階を定義する GSSP として、房総半島中央部に位置する千葉複合セクション(CbCS)の中心となる千葉セクションを提案すべく、既存の研究に加えて、高精度・高分解能での古地磁気変動、酸素同位体比変動、花粉分析、微化石群集、テフラの広域対比、およびその他の堆積学的・地球化学的な研究成果を積み上げた。これまでに明らかになった千葉セクションおよびCbCSの特徴は以下の通りである。

- (1) 千葉セクションおよびCbCSでは、L-M境界GSSPの“primary guide”であるM-B境界が明瞭に確認できる。天文年代モデルに基づく、CbCSにおけるM-B境界年代値は772.9 ka、地磁気逆転期間は1.9 kyrと推定される(Suganuma et al., 2018)。
- (2) 千葉セクションにおいて、古期御嶽火山起源の広域テフラであるByk-EテフラがM-B境界の約1.1 m下位に認められ、CbCSにおける詳細な対比を可能としている(Okada et al., 2017)。Byk-Eテフラから得られた 772.7 ± 7.2 kaのU-Pb zircon年代(Suganuma et al., 2015)もCbCSの天文年代モデルを支持している。
- (3) 高分解能の底生有孔虫化石の酸素同位体層序によって、千葉セクションおよびCbCSにおいてMIS20後半(801 ka)からMIS18前半(748 ka)の氷期-間氷期サイクルに対応した連続的な半遠洋性堆積物が確認された(Suganuma et al., 2018)。M-B境界における堆積速度は89 cm/kyrである。
- (4) 保存の良い、花粉化石、各種の海生微化石(石灰質ナノ化石、珪藻化石、浮遊性・底生有孔虫化石、放射虫化石、翼足類化石、貝形虫化石、渦鞭毛藻化石)、海生大型化石(貝化石)、そして酸素同位体比変動などの地球化学的データによって、MIS 20後半からMIS 18前半にかけての詳細な古気候・古海洋変動が復元された。

以上の千葉セクションおよびCbCSの特徴は、L-M境界GSSPとしての要求基準をすべて高いレベルで満たす。また、千葉セクションは、2つの国際空港を通して、海外からもアクセスが良く、露頭の保存も進められている。以上のことから、我々は千葉セクション中に明瞭に認められるByk-Eテフラの下面をL-M境界GSSPのもっとも優れた層準として提案する。

謝 辞

GSSP提案にあたり、Gerald M. Richmond氏、Brad Pillans氏、およびMartin J. Head氏と、日本におけるGSSP提案活動の先駆者である故・市原実氏および関係者の皆様に深く敬意を表します。また、提案チームの一員の熊井久雄氏は、病气療養中のため本論の執筆に加わって頂けませんでした。これまで長年チームの活動を率いてこられた

こと、そして提案書の執筆に際して頂いたご支援に対して深く感謝申し上げます^(註1)。さらに提案書作成にあたってお世話になった、田淵町会の皆様、市原市、千葉県、および文科省の関係各位、楡井久氏をはじめとする古関東深海盆ジオパーク認証推進協議会の皆様、風岡修氏をはじめとする千葉県環境研究センターの方々にも深く感謝申し上げます。そして、三名の匿名査読者および担当編集者からたいへん有益かつ建設的なご助言・コメントを頂きました。

文 献

- 会田信行(Aida, N.), 1997, 中・下部更新統境界の模式セクション候補地の古地磁気層序-上総層群本層- (Paleomagnetic stratigraphy of the type section (proposed site) for the Lower/Middle Pleistocene Boundary: Kokumoto Formation). 川村信人・岡孝雄・近藤務編, 加藤誠教授退官記念論文集 (*Commemorative Volume for Professor Makoto Kato*), 275-282.
- 会田信行(Aida, N.), 2011, 田淵露頭にゴールドスパイクを-中・下部更新統境界国際模式地候補の整備・保全と物語観光- (Aiming to gain the Golden-spike to Tabuchi outcrop: Consolidation and preservation of the type section proposed). 日本地球惑星科学連合2011年大会予稿集 (*Japan Geosci. Union Meet. 2010, Abstr.*), O022-P11.
- Aida, N., Furuno, K. and Kagawa, A., 1995, Paleomagnetic stratigraphy of Kazusa Group, Boso Peninsula, Japan. -Matuyama/Brunhes magnetic polarity reversal in the Kokumoto Formation. *XIV INQUA Congress in Berlin, Abstr.*, 6.
- Aoki, N., 1968, Benthonic foraminifera of Kazusa Group, Boso Peninsula. *Trans. Proc. Palaeontol. Soc. Japan, N. S.*, **70**, 238-266.
- Augustin, L., Barbante, C., Barnes, P. R. F., Barnola, J. M., Bigler, M., Castellano, E.,...Zucchelli, M., 2004, Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature*, **429**, 623-628.
- 馬場勝良(Baba, K.), 1990, 関東地方南部, 上総層群の貝化石群 (*Molluscan Fossil Assemblages of the Kazusa Group, South Kwanto, Central Japan*)*. 慶応義塾幼稚舎(Keio Yochisha), 445p.
- Barker, S., Knorr, G., Edwards, R. L., Parrenin, F., Putnam, A. E., Skinner, L. C.,...Ziegler, M., 2011, 800,000 years of abrupt climate variability. *Science*, **334**, 347-351.
- Bazin, L., Landais, A., Lemieux-Dudon, B., Kele, M. H. T., Veres, D., Parrenin, F.,...Wolff, E., 2013, An optimized multi-proxy, multi-site Antarctic ice and gas orbital chronology (AICC2012): 120-800 ka. *Clim. Past*, **9**, 1715-1731.
- Bereiter, B., Eggelston, S., Schmitt, J., Nehrbass-Ahles, C., Stocker, T. F., Fischer, H.,...Chappellaz, J., 2015, Revision of the EPICA Dome C CO₂ record from 800 to 600 kyr before present. *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 542-549.
- Brown, E., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D. and Wright, J., 2001, Chapter 3-Ocean currents, Ocean Circulation (*Second Edition*). Butterworth-Heinemann, Oxford, 37-78.
- Capraro, L., Ferretti, P., Macri, P., Scarponi, D., Tateo, F., Fornaciari, E.,...Dalan, G., 2017, The Valle di Manche section (Calabria, Southern Italy): A high resolution record of the Early-Middle Pleistocene transition (MIS 21-MIS 19) in the Central Mediterranean. *Quat. Sci. Rev.*, **165**, 31-48.
- Channell, J. E. T., 2017, Complexity in Matuyama-Brunhes polarity transitions from North Atlantic IODP/ODP deep-sea sites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **467**, 43-56.
- Channell, J. E. T., Hodell, D. A., Singer, B. S. and Xuan, C., 2010, Reconciling astrochronological and ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages for the Matuyama-Brunhes boundary and late Matuyama Chron. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **11**, Q0AA12, doi:

^(註1)熊井久雄氏は2018年10月に逝去されました。熊井氏の功績をたたえらるとともに、謹んで哀悼の意を表します。

- 10.1029/2010GC003203
- Channell, J. E. T. and Kleiven, H. F., 2000, Geomagnetic palaeointensities and astrochronological ages for the Matuyama–Brunhes boundary and the boundaries of the Jaramillo Subchron: palaeomagnetic and oxygen isotope records from ODP Site 983. *Philos. Trans. R. Soc. London.*, **A358**, 1027–1047.
- Cherepanova, M. V., Pushkar, V. S., Razjigaeva, N., Kumai, H. and Koizumi, I., 2002, Diatom biostratigraphy of the Kazusa Group, Boso Peninsula, Honshu, Japan. *Quat. Res. (Daiyonki-Kenkyu)*, **41**, 1–10.
- Clark, P. U., Archer, D., Pollard, D., Blum, J. D., Rial, J. A., Brovkin, V.,...Roy, M., 2006, The middle Pleistocene transition: characteristics, mechanisms, and implications for long-term changes in atmospheric pCO₂. *Quat. Sci. Rev.* **25**, 3150–3184.
- Elderfield, H., Ferretti, P., Greaves, M., Crowhurst, S., McCave, I. N., Hodell, D. and Piotrowski, A. M., 2012, Evolution of ocean temperature and ice volume through the mid-Pleistocene climate transition. *Science*, **337**, 704–709.
- Evans, M. E. and Muxworthy, A. R., 2018, A re-appraisal of the proposed rapid Matuyama–Brunhes geomagnetic reversal in the Sulmona Basin, Italy. *Geophys. Jour. Int.*, **213**, 1744–1750.
- Giaccio, B., Regattieri, E., Zanchetta, G., Nomade, S., Renne, P. R., Sprain, C. J.,...Bassinot, F., 2015, Duration and dynamics of the best orbital analogue to the present interglacial. *Geology*, **43**, 603–606.
- Head, M. J. and Gibbard, P. L., 2005, Early–Middle Pleistocene transitions: an overview and recommendation for the defining boundary. In Head, M. J. and Gibbard, P. L., eds., *Early–Middle Pleistocene Transitions: the Land–Ocean Evidence*, Geol. Soc. London, Spec. Publ., **247**, 1–18.
- Head, M. J. and Gibbard, P. L., 2015, Early–Middle Pleistocene transitions: Linking terrestrial and marine realms. *Quat. Int.*, **389**, 7–46.
- Head, M. J., Pillans, B. and Farquhar, S. A., 2008, The Early–Middle Pleistocene transition: Characterization and proposed guide for the defining boundary. *Episodes*, **31**, 255–259.
- Hodell, D. A., Channell, J. E. T., Curtis, J. H., Romero, O. E. and Röhl, U., 2008, Onset of “Hudson Strait” Heinrich events in the eastern North Atlantic at the end of the middle Pleistocene transition (~640 ka)? *Paleoceanography*, **23**, PA4218, doi: 10.1029/2008PA001591.
- Hyodo, M., Katoh, S., Kitamura, A., Takasaki, K., Matsushita, H., Kitaba, I.,...Okada, M., 2016, High resolution stratigraphy across the early-middle Pleistocene boundary from a core of the Kokumoto Formation at Tabuchi, Chiba Prefecture, Japan. *Quat. Int.*, **397**, 16–26.
- 五十嵐厚夫 (Igarashi, A.), 1994, 浮遊性有孔虫群集の主成分分析による上総層群堆積時の古海洋環境の復元 (Paleoceanographic changes during the deposition of the middle Pleistocene Kazusa Group, central Japan: Estimation based on the principal components analysis of planktonic foraminifera). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **100**, 348–359.
- Igarashi, A., 1996, Biostratigraphy of the Chiba section of the Boso Peninsula toward establishing the Lower–Middle Pleistocene boundary stratotype based on planktonic foraminiferal analyses. In Internal Research Group for the Lower–Middle, Middle–Upper Pleistocene Boundary, Japan Association for Quaternary Research, ed., *Proceedings on the Research of Stratotype for the Lower–Middle Pleistocene Boundary*, 36–45.
- 石和田靖章・三梨 昂・品田芳二郎・牧野登喜男 (Ishiwada, Y., Mitsunashi, T., Shinada, Y. and Makino, T.), 1971, 日本油田・ガス田図 10 茂原 (1: 15,000) (*Geological Maps of Oil and Gas Field of Japan No.10, Mobara, 1: 15,000*). *地質調査所 (Geol. Surv. Japan)*.
- Ito, M., Kameo, K., Satoguchi, Y., Masuda, F., Hiroki, Y., Takano, O.,...Suzuki, N., 2016, Neogene–Quaternary sedimentary successions. In Moreno, T., Wallis, S., Kojima, T. and Gibbons, W., eds., *The Geology of Japan*, Geol. Soc. London, 309–337.
- Ito, M. and Katsura, Y., 1992, Inferred glacio-eustatic control for high-frequency depositional sequences of the Plio–Pleistocene Kazusa Group, a forearc basin fill in Boso Peninsula, Japan. *Sediment. Geol.*, **80**, 67–75.
- Jouzel, J., Masson-Delmotte, V., Cattani, O., Dreyfus, G., Falourd, S., Hoffmann, G.,...Wolff, E. W., 2007, Orbital and millennial Antarctic climate variability over the past 800,000 years. *Science*, **317**, 793–796.
- 鎌田浩毅・檀原 徹・山下 透・星健英夫・林田 明・竹村恵二 (Kamata, H., Danhara, T., Yamashita, T., Hoshizumi H., Hayashida, A. and Takemura, K.), 1994, 大阪層群アズキ火山灰および上総層群 Ku6C 火山灰と中部九州の今市火砕流堆積物との対比—猪牟田カルデラから噴出した co-ignimbrite ash— (Correlation of the Azuki Volcanic Ash of the Osaka Group and the Ku6C Volcanic Ash of the Kazusa Group to the Imaichi pyroclastic-flow deposit in central Kyushu, Japan—A co-ignimbrite ash erupted from Shishimuta caldera—). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **100**, 848–866.
- Kamemaru, A., 1996, Biostratigraphy of the Chiba Section of the Boso Peninsula toward establishing the Lower–Middle Pleistocene Boundary Stratotype based on benthic foraminiferal evidence. In Internal Research Group for the Lower–Middle, Middle–Upper Pleistocene Boundary, Japan Association for Quaternary Research, ed., *Proceedings on the Research of Stratotype for the Lower–Middle Pleistocene Boundary*, 46–54.
- Kameo, K., Okada, M., El-Masry, M., Hisamitsu, T., Saito, S., Nakazato, H.,...Taira, A., 2006, Age model, physical properties and paleoceanographic implications of the middle Pleistocene core sediments in the Choshi area, central Japan. *Isl. Arc*, **15**, 366–377.
- 金原均二・大山 桂・小野 映・伊田一善・本島公司・石和田靖章.....安國 昇 (Kanehara, K., Oyama, K., Ono, A., Ida, K., Motojima, K., Ishiwada, Y.,...Yasukuni, N.), 1949, 千葉縣茂原町附近の天然ガス (Natural gas in the vicinity of Mobara, Chiba-ken). *石技誌 (Jour. Japan. Assoc. Pet. Technol.)*, **14**, 245–274.
- Kazaoka, O., Suganuma, Y., Okada, M., Kameo, K., Head, M. J., Yoshida, T.,...Kumai, H., 2015, Stratigraphy of the Kazusa Group, Central Japan: a high-resolution marine sedimentary sequence from the Lower to Middle Pleistocene. *Quat. Int.*, **383**, 116–135.
- 菊地隆男・楡井 久・楠田 隆 (Kikuchi, T., Nirei, H. and Kusuda, T.), 1988, 上総・下総両層群の層序に関する 2・3 の問題 (Some stratigraphical problems of the marine Pliocene and Pleistocene deposits in the Boso Peninsula, Kanto District, Japan). *地質学論集 (Mem. Geol. Soc. Japan)*, **30**, 51–65.
- Kucera, M. and Kennett, J. P., 2000, Biochronology and evolutionary implications of Late Neogene California margin planktonic foraminiferal events. *Mar. Micropaleontol.*, **40**, 67–81.
- 熊井久雄 (Kumai, H.), 1992, C-1 層序委員会 (Commission of Stratigraphy). 第四紀研究 (*Quat. Res. (Daiyonki-Kenkyu)*), **31**, 50.
- Kumai, H., 1995, Overview of Chiba Research Area and Section-Proposal for stratotype for the Lower–Middle Pleistocene boundary. *XIV INQUA Congress in Berlin, Abstr.*, 150.
- Laskar, J., Robutel, P., Joutel, F., Gastineau, M., Correia, A. C. M. and Levrard, B., 2004, A long term numerical solution for the insolation quantities of the Earth. *Astron. Astrophys.*, **428**, 261–285.
- Lisiecki, L. E. and Raymo, M. E., 2005, A Pliocene–Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic δ¹⁸O records. *Paleoceanography*, **20**, PA1003, doi: 10.1029/2004PA001071.

- Locarnini, R. A., Mishonov, A. V., Antonov, J. I., Boyer, T. P., Garcia, H. E., Baranova, O. K.,...Seidov, D., 2013, *World Ocean Atlas 2013, Volume 1: Temperature*. Levitus, S., ed.; Mishonov, A., Technical ed.; NOAA Atlas NESDIS, 73, 40p.
- Maasch, K. A., 1988, Statistical detection of the mid-Pleistocene transition. *Clim. Dyn.*, **2**, 133–143.
- 町田 洋・新井房夫・杉原重夫(Machida, H., Arai, F. and Sugihara, S.), 1980, 南関東と近畿の中部更新統の対比と編年-テフラによる一つの試み-(Tephrochronological study on the middle Pleistocene deposits in the Kanto and Kinki districts, Japan). 第四紀研究(*Quat. Res. (Daiyonki Kenkyu)*), **19**, 233–261.
- 三田村宗樹・熊井久雄(Mitamura, M. and Kumai, H.), 2006, 層序・年代学研究委員会活動報告(Activity reports of Commission on Stratigraphy and Geochronology for JpQR). 第四紀通信(*QR Newsletter*), **13**(5), 9.
- 三梨 昂(Mitsunashi, T.), 1954, 房総半島鬼沓山南部の地質-特に岩相の時空的ひろがりについて-(Geology of the southern distinct of Kinadayama, Boso Peninsula-Notes on the extension of rock facies in time and space-). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **60**, 461–472.
- 三梨 昂・菊地隆男・鈴木尉元・平山次郎・中嶋輝允・岡 重文.....青木 滋(Mitsunashi, T., Yazaki, K., Kageyama, K., Shimada, T., Nakajima, T., Oka, S.,...Aoki, S.), 1979, 東京湾とその周辺地域の地質 特殊地質図(20)10 万分の1 地質図および同地質説明書(*Explanatory Text of the Geological Map of Tokyo Bay and Adjacent Areas. With Miscellaneous Map Series(20). Scale 1: 100,000*). 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 91p.
- 三梨 昂・安国 昇・品田芳二郎(Mitsunashi, T., Yasukuni, N. and Shinada, Y.), 1959, 千葉県養老川・小櫃川の上総層群の層序-養老川・小櫃川流域地質調査報告-(Stratigraphical section of the Kazusa Group along the shores of the Rivers Yoro and Obitsu). 地調月報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **10**, 83–98.
- 三梨 昂・矢崎清貫・影山邦夫・島田忠夫・小野 暎・安国 昇.....鎌田清吉(Mitsunashi, T., Yazaki, K., Kageyama, K., Shimada, T., Ono, E., Yasukuni, N.,...Kamata, S.), 1961, 日本油田・ガス田図4 富津-大多喜(1: 50,000) (*Geological Maps of the Oil and Gas Field of Japan No. 4, Futtsu-Otaki, 1: 50,000*). 地質調査所(Geol. Surv. Japan).
- Mudelsee, M. and Schulz, M., 1997, The Mid-Pleistocene climate transition: onset of 100 ka cycle lags ice volume build-up by 280 ka. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **151**, 117–123.
- Mudelsee, M. and Stattegger, K., 1997, Exploring the structure of the mid-Pleistocene revolution with advanced methods of time-series analysis. *Geol. Rundsch.*, **86**, 499–511.
- 七山 太・中里裕臣・大井信三・中島 礼(Nanayama, F., Nakazato, H., Ooi, S. and Nakajima, R.), 2016, 茂原地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の1 地質図幅) (*Geology of the Mabara District. Quadrangle Series, 1: 50,000*). 産総研地質調査総合センター(Geol. Surv. Japan, AIST), 101p.
- 中川久夫・新妻信明・早坂 功(Nakagawa, H., Niitsuma, N. and Hayasaka, I.), 1969, 房総半島新生代古地磁気編年(Late Cenozoic geomagnetic chronology on the Boso Peninsula). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **73**, 267–281.
- 中里裕臣・里口保文・竹下欣宏(Nakazato, H., Satoguchi, Y. and Takeshita, T.), 2017, 房総半島養老川における上総層群中-下部国本層テフラの再検討(Reexamination of the tephra from middle to lower Kokumoto Formation, Kazusa Group along the Yoro river, Boso Peninsula). 日本第四紀学会2017年大会講演要旨(*Programme and Abstracts, JAQR2017*), 47, 19.
- 長橋良隆・里口保文・吉川周作(Nagahashi, Y., Satoguchi Y. and Yoshikawa S.), 2000, 本州中央部における鮮新-更新世の火砕流堆積物と広域火山灰層との対比および層位噴出年代(Correlation and stratigraphic eruption age of the pyroclastic flow depositions and wide spread volcanic ashes intercalated in the Pliocene-Pleistocene strata, central Japan). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **106**, 51–69.
- 成瀬 洋(Naruse, H.), 1973, 上総層群泥質岩中の軟体動物化石(Molluscan fossils from the pelitic rocks of the Kazusa Group in the Boso Peninsula, Japan). 東北大学理科報告(地質学) 特別号(*Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.), Spec. Vol.*), **6**, 59–67.
- 日本地質学会訳編(Translated by Geological Society of Japan), 2001, 国際層序ガイド(*International Stratigraphic Guide*). 共立出版(Kyoritsu Shuppan), 238p.
- 日本地質学会訳(Translated by Geological Society of Japan), 2018, 国際年代層序表(*International Chronostratigraphic Chart*) http://www.geosociety.jp/uploads/fckeditor//name/ChronostratChart_jp.pdf.
- Niitsuma, N., 1971, Detailed study of the sediments recording the Matuyama-Brunhes geomagnetic reversal. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **43**, 1–39.
- 新妻信明(Niitsuma, N.), 1976, 房総半島における古地磁気層位学(Magnetic stratigraphy in the Boso Peninsula). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **82**, 163–181.
- 新妻信明・藤井 昇(Niitsuma, N. and Fujii, N.), 1984, 地球磁場逆転にともなう環境および生物量の変化(Analysis on the Changes in the paleoenvironment and biomass during geomagnetic reversal by means of oxygen and carbon isotope). 静岡大学地球科学研究報告(*Geosci. Rep. Shizuoka Univ.*), **10**, 123–132.
- 日本第四紀学会(Japan Association for Quaternary Research), 1991, 第四紀研究連絡委員会議事録(Minutes of Liaison Committee of JpQR). 第四紀研究(*Quat. Res. (Daiyonki-Kenkyu)*), **30**, 117–118.
- 日本第四紀学会(Japan Association for Quaternary Research), 1992, 評議員会議事録(1992年度第1回)(Minutes of board of Councillors of JpQR(No.1/1992)). 第四紀研究(*Quat. Res. (Daiyonki-Kenkyu)*), **31**, 422–424.
- 楡井 久(Nirei, H.), 2004, 京葉ウォーターフロント地下と放射性廃棄物処分地(Subsurface under Keiyo waterfront area and high level nuclear waste disposal site). 月刊地球(*Chikyū Monthly*), **26**, 415–422.
- Nirei, H., Kusuda, T., Kazaoka, O., Kamura, K., Suenaga, K., Iwamoto, H. and Morisaki, M., 1995, Lithostratigraphy of Boso area, Japan, *XIV INQUA Congress in Berlin, Abstr.*, 200.
- Nishida, N., Kazaoka, O., Izumi, K., Suganuma, Y., Okada, M., Yoshida, T.,...Nirei, H., 2016, Sedimentary processes and depositional environments of a continuous marine succession across the Lower-Middle Pleistocene boundary: Kokumoto Formation, Kazusa Group, central Japan. *Quat. Int.*, **397**, 3–15.
- Oba, T., Irino, T., Yamamoto, M., Murayama, M., Takamura, A. and Aoki, K., 2006, Paleooceanographic change off central Japan since the last 144,000 years based on high-resolution oxygen and carbon isotope records. *Global Planet. Change*, **53**, 5–20.
- Oda, M., 1977, Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the late Cenozoic sedimentary sequence, Central Honshu, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **48**, 1–76.
- 尾田太良(Oda, M.), 1979, 10. 房総半島-東部-(10 Boso Peninsula-Eastern area). 土 隆一編, 日本の新第三系の生層序及び年代層序に関する基本資料(*In Tsuchi, R., ed., Fundamental Data on Japanese Neogene Bio-and Chronostratigraphy*). 黒船印刷(Kurofune Printing Co. Ltd.), 24–27.
- 生越 忠(Ogose, S.), 1961, 房総半島における鮮新-更新両世の境界付近の地層から産する軟体動物化石群集の示す水温の変化についての一考察(Some considerations concerning the thermal changes indicated by the molluscan fossils from the Upper Pliocene and the Lower Pleistocene strata in the Boso Peninsula, south Kanto, Japan). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **67**, 655–669.
- Okada, M. and Niitsuma, N., 1989, Detailed paleomagnetic records during the Brunhes-Matuyama geomagnetic reversal and a direct determination of depth lag for magnetization in marine sediments. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **56**, 133–150.

- Okada, M., Suganuma, Y., Haneda, Y. and Kazaoka, O., 2017, Paleomagnetic direction and paleointensity variations during the Matuyama-Brunhes polarity transition from a marine succession in the Chiba composite section of the Boso Peninsula, central Japan. *Earth. Planets Space*, **69**, 45, doi: 10.1186/s40623-017-0627-1.
- 大西郁夫 (Onishi, I.), 1969, 房総半島・上総層群の花粉フロラ (Pollen flora of the Kazusa Group in the Boso Peninsula, Japan). *地球科学 (Earth Sci. (Chikyu Kagaku))*, **24**, 222–224.
- Pickering, K. T., Souter, C., Oba, T., Taira, A., Schaaf, M. and Platzman, E., 1999, Glacio-eustatic control on deep-marine clastic forearc sedimentation, Pliocene-mid-Pleistocene (c. 1180–600 ka) Kazusa Group, SE Japan. *Jour. Geol. Soc., London*, **156**, 125–136.
- Raymo, M. E., Oppo, D. W. and Curry, W., 1997, The Mid-Pleistocene climate transition: A deep sea carbon isotopic perspective. *Paleoceanography*, **12**, 546–559.
- Raisbeck, G. M., Yiou, F., Cattani, O. and Jouzel, J., 2006, ¹⁰Be evidence for the Matuyama-Brunhes geomagnetic reversal in the EPICA Dome C ice core. *Nature*, **444**, 82–84.
- Remane, J., Bassett, M. G., Cowie, J. W., Gohrbandt, K. H., Lane, H. R., Michelsen, O. and Wang, N., with the cooperation of members of ICS, 1996, Revised guidelines for the establishment of global chronostratigraphic standards by the International Commission on Stratigraphy (ICS). *Episodes*, **19**, 77–81.
- Richmond, G. M., 1996, The INQUA-approved provisional Lower–Middle Pleistocene boundary. In Turner, C., ed., *The Early–Middle Pleistocene in Europe*. Balkema, Rotterdam, 319–327.
- Sagnotti, L., Cascella, A., Ciaranfi, N., Macri, P., Maiorano, P., Marino, M. and Taddeucci, J., 2010, Rock magnetism and palaeomagnetism of the montalbano jonico section (Italy): Evidence for late diagenetic growth of greigite and implications for magnetostratigraphy. *Geophys. Jour. Int.*, **180**, 1049–1066.
- 佐藤時幸・亀尾浩司・三田 勲 (Sato, T., Kameo, K. and Mita, I.), 1999, 石灰質ナンノ化石による後期新生代地質時代の決定精度とテフラ層序 (Validity of the latest Cenozoic calcareous nanofossil datums and its application to the tephrochronology). *地球科学 (Earth Sci. (Chikyu Kagaku))*, **53**, 265–274.
- 佐藤時幸・高山俊昭・加藤道雄・工藤哲朗・亀尾浩司 (Sato, T., Takayama, T., Kato, M., Kudo, T. and Kameo, K.), 1988, 日本海側に発達する最上部新生界の石灰質微化石層序 その4: 総括—太平洋側および鮮新統/更新統境界の模式地との対比 (Calcareous microfossil biostratigraphy of the uppermost Cenozoic formations distributed in the coast of the Japan Sea, Part 4: Conclusion). *石枝誌 (Jour. Japan. Assoc. Pet. Technol.)*, **53**, 475–491.
- 里口保文 (Satoguchi, Y.), 1995, 上総層群中・下部の火山灰層序 (Tephrostratigraphy in the lower to middle Kazusa Group in the Boso Peninsula, Japan). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **101**, 767–782.
- 里口保文 (Satoguchi, Y.), 1997, 上総層群の火山灰層序及び上総・大阪・魚沼層群のテフロゾーンとの比較 (Tephrostratigraphy of the Kazusa Group in the Boso Peninsula and the comparison of tephrozones among the Kazusa, the Osaka, and the Uonuma groups, Japan). *地球科学 (Earth Sci. (Chikyu Kagaku))*, **51**, 104–116.
- Satoguchi, Y. and Nagahashi, Y., 2012, Tephrostratigraphy of the Pliocene to Middle Pleistocene Series in Honshu and Kyushu islands, Japan. *Isl. Arc*, **21**, 149–169.
- 里口保文・長橋良隆・黒川勝己・吉川周作 (Satoguchi, Y., Nagahashi, Y., Kurokawa, K. and Yoshikawa, S.) 1999, 本州中央部に分布する鮮新—下部更新統の火山灰層序 (Tephrostratigraphy of the Pliocene to Lower Pleistocene formations in central Honshu, Japan). *地球科学 (Earth Sci. (Chikyu Kagaku))*, **53**, 275–290.
- 里口保文・渡辺真人・中条武司・片岡香子 (Satoguchi, Y., Watanabe, M., Nakajo, T. and Kataoka, K.), 2000, 上総層群下部に挟在する Kd38 火山灰層—房総半島におけるその対比の再検討— (Kd38 volcanic ash bed intercalated in the lower part of the Kazusa Group in the Boso Peninsula, central Japan: Re-examination for the correlated volcanic ash bed). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **106**, 189–204.
- Seno, T. and Takano, T., 1989, Seismotectonics at the Trench-Trench-Trench triple junction off central Honshu. *Pure Appl. Geophys.*, **129**, 27–40.
- 紫谷 築・林 広樹・谷口 龍・Dettman, D., 兵頭政幸 (Shikoku, K., Hayashi, H., Taniguchi, R., Dettman, D. L. and Hyodo, M.), 2016, 上総層群国本層の浮遊性有孔虫生層序と古海洋の復元 (Planktonic foraminiferal biostratigraphy and paleoceanographic reconstruction of the Pleistocene Kokumoto Formation, Kazusa Group in the Boso Peninsula, Japan). *日本地球惑星科学連合 2016 年大会講演要旨 (Japan Geosci. Union Meet. 2016, Abstr.)*, SGL39-04.
- 品田芳二郎・牧 真一・高田康秀・大森えい (Shinada, Y., Maki, S., Takada, Y. and Omori, E.), 1951, 千葉県国吉町附近鹹水沃度調査 (Investigation of iodine brine waters in the vicinity of Kuniyoshi-machi, Chiba Pref.). *石枝誌 (Jour. Japan. Assoc. Pet. Technol.)*, **16**, 312–326.
- Simon, Q., Bourlès, D. L., Bassinot, F., Nomade, S., Marino, M., Ciaranfi, N., Blamart, D., 2017, Authigenic ¹⁰Be/⁹Be ratio signature of the Matuyama-Brunhes boundary in the Montalbano Jonico marine succession. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **460**, 255–267.
- Simon, Q., Thouveny, N., Bourlès, D. L., Valet, J.-P., Bassinot, F., Ménabréaz, L., Beaufort, L., 2016, Authigenic ¹⁰Be/⁹Be ratio signatures of the cosmogenic nuclide production linked to geomagnetic dipole moment variation since the Brunhes/Matuyama boundary. *Jour. Geophys. Res.*, **121**, 7716–7741.
- Singer, B. S., 2014, A Quaternary geomagnetic instability time scale. *Quat. Geochronol.*, **21**, 29–52.
- Suganuma, Y., Haneda, Y., Kameo, K., Kubota, Y., Hayashi, H., Itaki, T., Okada, M., 2018, Paleoclimatic and paleoceanographic records of Marine Isotope Stage 19 at the Chiba composite section, central Japan: A reference for the Early–Middle Pleistocene boundary. *Quat. Sci. Rev.*, **191**, 406–430.
- Suganuma, Y., Okada, M., Horie, K., Kaiden, H., Takehara, M., Senda, R., Head, M. J., 2015, Age of Matuyama-Brunhes boundary constrained by U-Pb zircon dating of a widespread tephra. *Geology*, **43**, 491–494.
- Suganuma, Y., Yokoyama, Y., Yamazaki, T., Kawamura, K., Horng, C. S. and Matsuzaki, H., 2010, ¹⁰Be evidence for delayed acquisition of remanent magnetization in marine sediments: Implication for a new age for the Matuyama-Brunhes boundary. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **296**, 443–450.
- 鈴木毅彦 (Suzuki, T.), 2000, 飛騨山脈貝塩給源火道起源の貝塩上宝テフラを用いた中期更新世前半の地形面編年 (Kaisho-Kamitakara Tephra erupted from the Hida Mountains in the early half of the Middle Pleistocene and its significance for the geomorphic chronology of Central Japan). *地理評Ser. A (Geogr. Rev. Japan, Ser. A)*, **73A**, 1–25.
- Suzuki, T., Eden, D., Danhara, T. and Fujiwara, O., 2005, Correlation of the Hakkoda-Kokumoto Tephra, a widespread Middle Pleistocene tephra erupted from the Hakkoda Caldera, northeast Japan. *Isl. Arc*, **14**, 666–678.
- 高橋直樹・満岡 孝・加藤 新・横山一己 (Takahashi, N., Mitsuoka, T., Kato, A. and Yokoyama, K.), 2005, 南関東地域における第三紀/第四紀境界付近のテフラ鍵層 Kd38 の対比—房総半島の上総層群と千倉層群との対比— (Correlation of the key tephra bed Kd38 occurring near the boundary between Tertiary and Quaternary in the southern part of the Kanto Province, central Japan—Correlation in the Kazusa Group and the Chikura Group, Boso Peninsula). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **111**, 371–388.
- Takayama, T., 1967, First report on nanoplankton of the upper

- Tertiary and Quaternary of the southern Kanto region, Japan. *Jahrb. Geol. Bundesanst.*, **110**, 169–198.
- Takeshita, Y., Matsushima, N., Teradaira, H., Uchiyama, T. and Kumai, H., 2016, A marker tephra bed close to the Middle Pleistocene boundary: Distribution of the Ontake-Byakubi tephra in central Japan. *Quat. Int.*, **397**, 27–38.
- 徳橋秀一・遠藤秀典(Tokuhashi, S. and Endo, H.), 1984, 姉崎地域の地質・地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)(*Geology of the Anesaki District. Quadrangle Series, Scale 1: 50,000*). 産総研地質調査総合センター(Geol. Surv. Japan), 136p.
- 辻 隆司・宮田雄一郎・岡田 誠・三田 勲・中川 洋・佐藤由理・中水勝(Tsuji, T., Miyata, Y., Okada, M., Mita, I., Nakagawa, H., Sato, Y. and Nakamizu, M.), 2005, 房総半島に分布する下部更新統上総層群太田代層と梅ヶ瀬層の高精度堆積年代-石油公団研究井 TR-3 コアの酸素同位体比・古地磁気・石灰質ナンノ化石に基づく年代層序-(High-resolution chronology of the lower Pleistocene Otadai and Umegase Formations of the Kazusa Group, Boso Peninsula, central Japan: Chronostratigraphy of the JNOC TR-3 cores based on oxygen isotope, magnetostratigraphy and calcareous nannofossil). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **111**, 1–20.
- Tsunakawa, H., Okada, M. and Niitsuma, N., 1999, Further application of the deconvolution method of post-depositional DRM to the precise record of the Matuyama-Brunhes reversal in the sediments from the Boso Peninsula, Japan. *Earth Planets Space*, **51**, 169–173.
- 氏原 温(Ujihara, A.), 1986, 鮮新-更新統上総層群産浮遊性貝類群集と古水温変遷(Pelagic Gastropoda assemblages from the Kazusa Group of the Boso Peninsula, Japan and Plio-Pleistocene climatic changes). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **92**, 639–651.
- Valet, J. P., Bassinot, F., Bouilloux, A., Bourlès, D., Nomade, S., Guillou, V.,...Dewilde, F., 2014, Geomagnetic, cosmogenic and climatic changes across the last geomagnetic reversal from Equatorial Indian Ocean sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **397**, 67–79.
- 米倉伸之(Yonekura, N.), 1996, 国際第四紀学連合第 14 回大会報告(Report on International Union for Quaternary Research, XIV International Congress, August 3-10, 1995, Freie Universität Berlin, Germany). 第四紀研究(*Quat. Res. (Daiyonki-Kenkyu)*), **35**, 41–62
- 吉川周作・里口保文・長橋良隆(Yoshikawa, S., Satoguchi, Y. and Nagahashi, Y.), 1996, 第三紀・第四紀境界層準の広域火山灰層-福田・辻又川・Kd38 火山灰層-(A widespread volcanic ash bed in the horizon close to the Pliocene-Pleistocene boundary: Fukuda-Tsujimataga-Kd38 volcanic ash bed occurring in central Japan). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **102**, 258–270.
- 吉岡邦二(Yoshioka, K.), 1973, 植物地理学(*Plant Geography*). 共立出版(Kyoritsu-Shuppan), 84p.
- Workshop for Quaternary Stratigraphy of Boso(WQSB), 1996, Stratigraphy of the Quaternary sediments in the Boso Peninsula on the Pacific Ocean, Central Japan. In Internal Research Group for the Lower-Middle, Middle-Upper Pleistocene Boundary, Japan Association for Quaternary Research, ed., *Proceedings on the Research of Stratotype for the Lower-Middle Pleistocene Boundary*, 13–23.
- Zhang, Y. and Huang, D., 2011, Has the East Asian westerly jet experienced a poleward displacement in recent decades? *Adv. Atmos. Sci.*, **28**, 1259–1265.
- [URL] Schlitzer, R., Ocean Data View. <http://odv.awi.de/>.
- * English translation from the original written in Japanese.
- 付記：千葉セクション GSSP 提案書 提案チーム
羽田裕貴¹, 林 広樹², 本郷美佐緒³, 堀江憲路^{4,5}, 兵頭政幸⁶, 五十嵐厚夫⁷, 石塚 治^{8,9}, 入月俊明², 板木拓也⁸, 泉賢太郎¹⁰, 亀尾浩司¹¹, 川又基人⁵, 川村賢二^{4,5}, 木村純一⁹, 小島隆宏¹, 久保田好美¹², 中里裕臣¹³, 西田尚央¹⁴, 岡田誠¹, 荻津 達¹⁵, 奥田昌明¹⁶, 奥野淳一^{4,5}, 里口保文¹⁷, 仙田量子¹⁸, Quentin Simon¹⁹, 末吉哲雄⁴, 紫谷 築², *菅沼悠介^{4,5}, 菅谷真奈美²⁰, 竹下欣宏²¹, 竹原真美⁴, 渡邊正巳²², 八武崎寿史¹⁵, 吉田 剛¹⁵
- Yuki Haneda¹, Hiroki Hayashi², Misato Hongo³, Kenji Horie^{4,5}, Masayuki Hyodo⁶, Atsuo Igarashi⁷, Osamu Ishizuka^{8,9}, Toshiaki Irizuki², Takuya Itaki⁸, Kentaro Izumi¹⁰, Koji Kameo¹¹, Moto Kawamata⁵, Kenji Kawamura^{4,5}, Jun-Ichi Kimura⁹, Takahiro Kojima¹, Yoshimi Kubota¹², Hiroomi Nakazato¹³, Naohisa Nishida¹⁴, Itaru Ogitsu¹⁵, Makoto Okada¹, Masaaki Okuda¹⁶, Jun'ichi Okuno^{4,5}, Yasufumi Satoguchi¹⁷, Ryoko Senda¹⁸, Quentin Simon¹⁹, Testuo Sueyoshi⁴, Kizuku Shikoku², *Yusuke Suganuma^{4,5}, Manami Sugaya²⁰, Yoshihiro Takeshita²¹, Mami Takehara⁴, Masami Watanabe²², Hisashi Yabusaki¹⁵, Takeshi Yoshida¹⁵
- ¹ 茨城大学理学部
Department of Environmental Sciences, Ibaraki University, 2-2-1 Bunkyo, Mito, Ibaraki 310-8512, Japan.
- ² 島根大学大学院総合理工学研究科
Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Shimane University, Nishikawatsucho 1060, Matsue, Shimane 690-8504, Japan.
- ³ 有限会社アルプス調査所
Alps Technical Research Laboratory Co., Ltd. 2287-27 Toyoshina-takibe, Azumino, Nagano 399-8204, Japan.
- ⁴ 国立極地研究所
National Institute of Polar Research, 10-3 Midori-cho, Tachikawa, Tokyo 190-8518, Japan.
- ⁵ 総合研究大学院大学極域科学専攻
Department of Polar Science, School of Multidisciplinary Sciences, The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), Midori-cho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518, Japan.
- ⁶ 神戸大学内海域環境教育研究センター
Kobe University, Research Center for Inland Seas, Rokkodai, Nada-ku, Kobe, 657-8501, Japan.
- ⁷ 復建調査設計株式会社
Fukken Co., Ltd. Tokyo Branch Office, 3-8-15 Iwamoto-cho, Chiyoda, Tokyo 101-0032, Japan.
- ⁸ 産業技術総合研究所地質調査総合センター
Geological Survey of Japan, AIST, Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan.
- ⁹ 海洋研究開発機構
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Yokosuka, Kanagawa 237-

- 0061, Japan.
- ¹⁰ 千葉大学教育学部
Faculty and Graduate School of Education, Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Inage, Chiba, Chiba 263-8522, Japan.
- ¹¹ 千葉大学大学院理学研究院
Department of Earth Sciences, Chiba University, 1-33 Yayoi, Inage, Chiba, Chiba 263-8522, Japan.
- ¹² 国立科学博物館
Department of Geology and Paleontology, National Museum of Nature and Science, 4-1-1 Amakubo, Tsukuba, Ibaraki 305-0005, Japan.
- ¹³ 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門
Institute for Rural Engineering, NARO, 2-1-6 Kanondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8609, Japan.
- ¹⁴ 東京学芸大学環境科学分野
Department of Environmental Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita, Koganei, Tokyo 184-8501, Japan.
- ¹⁵ 千葉県環境研究センター
Chiba Prefectural Environmental Research Center, 3-5-1 Inagekaigan, Mihama, Chiba, 261-0005, Japan.
- ¹⁶ 千葉県立千葉中央博物館
Natural History Museum and Institute, Chiba, 955-2 Aoba-cho, Chuo, Chiba 260-8682, Japan.
- ¹⁷ 滋賀県立琵琶湖博物館
Lake Biwa Museum, 1019 Oroshimo-cho, Kusatsu 525-0001, Japan.
- ¹⁸ 九州大学大学院比較社会文化研究院
Faculty of Social and Cultural Studies, Kyushu University, 744 Motooka, Nishi-ku, Fukuoka 819-0395, Japan.
- ¹⁹ Centre Européen de Recherche et d'Enseignement en Géosciences de l'Environnement (CEREGE-UM34), Europôle Méditerranéen de l'Arbois, BP80, 13545 Aix-en-Provence, cedex 4, France.
- ²⁰ 技研コンサル株式会社
Giken Consul., Ltd. 1-15-3 Shimokoide, Maebashi, Gunma 371-0031 Japan.
- ²¹ 信州大学教育学部
Institute of Education, Shinshu University, 6-ro Nishinagano, Nagano 380-8544, Japan.
- ²² 文化財調査コンサルタント株式会社
Archaeological Research Consultant, Inc. 131 Shimohigashikawatsu, Matsue 690-0822 Japan.

(著者プロフィール)

菅沼悠介 情報・システム研究機構・国立極地研究所／総合研究大学院大学. 千葉セクション GSSP 提案チームにおいて、GSSP 提案書の取りまとめを担当。E-mail: suganuma.yusuke@nipr.ac.jp

(要 旨)

千葉セクション GSSP 提案チーム, 2019, 千葉セクション: 下部-中部更新統境界の国際境界模式層断面とポイントへの提案書(要約). 地質雑, **125**, 5-22. (GSSP proposal group., 2019, A summary of the Chiba Section, Japan: a proposal of Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Middle Pleistocene Subseries. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **125**, 5-22.)

千葉セクションを中期更新世の基底とチバニアン階を定義する国際境界模式層断面とポイント(Global Boundary Stratotype Sections and Points: GSSPs)として提案した。千葉セクションは、千葉複合セクションの中心セクションであり、房総半島中央部に分布する下部-中部更新統境界を含む連続的かつ堆積速度の非常に大きな海成泥質堆積物である。同セクションからは、多種の海生化石と花粉化石、Matuyama-Brunhes (M-B) 境界、酸素同位体比変動、および多数のテフラが報告されている。とくに M-B 境界直下の Byk-E テフラからは 772.7 ± 7.2 ka の U-Pb 年代値が報告されており、これらを基に詳細な年代層序が確立している。千葉セクションはアクセスも良く、露頭の保存も確約されている。以上のことから、千葉セクションは下部-中部更新統 GSSP にもっとも適した候補地である。

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

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