

茨城県大子町に露出する中新統内大野層の石灰質ナノ化石年代

宇都宮 正志^{1,*}・細井 淳¹

UTSUNOMIYA Masayuki and HOSOI Jun (2023) Depositional age based on calcareous nannofossil biostratigraphy of the Miocene Uchiono Formation exposed in Daigo Town, Ibaraki Prefecture, Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 74 (4), p. 179-185, 3 figs and 1 Table.

Abstract: Calcareous nannofossil assemblages in mudstone samples from the Miocene Uchiono Formation exposed in Daigo Town, Ibaraki Prefecture, Japan, were examined for the depositional ages. Five samples obtained from four sites yielded calcareous nannofossils indicating CN3 or CN4 zones, which are dated to 17.65–13.60 Ma (early–middle Miocene). These results are consistent with previous studies of radiometric ages of pyroclastic rocks as well as diatom biostratigraphy.

Keywords: biostratigraphy, calcareous nannofossil, Daigo district, Miocene, Uchiono Formation

要 旨

茨城県大子町に露出する中新統内大野層の泥岩について石灰質ナノ化石群集に基づく堆積年代の検討を行った。得られた試料のうち4地点5試料から石灰質ナノ化石の産出が認められ、それらはいずれも石灰質ナノ化石帯CN3もしくはCN4帯を示し、堆積年代は17.65–13.60 Ma (前期～中期中新世)の年代範囲内と考えられる。これらの結果は既存研究による火砕岩類の放射年代や珪藻化石年代と整合的である。

1. はじめに

茨城県大子地域には日本海拡大に伴い形成された棚倉堆積盆を埋積した中新統が広く分布する(第1図)。これらの堆積物は17–15 Maの棚倉堆積盆の急速な沈降と海進及び隆起を記録していることや(天野ほか, 2011; Hosoi *et al.*, 2020, 2023), 新第三紀の中では温暖な時期として知られる中期中新世の気候最適期 (Mid-Miocene climatic optimum) を含むことから、この時期の日本列島形成テクトニクスあるいは汎世界的な気候変動に応じた古環境や生物相の変遷を知る上で重要な研究対象である。棚倉堆積盆を埋積した地層群の最上部を構成する内大野層の堆積年代については同時異相と考えられている地層の微化石データにもとづいて間接的に推定されているが、内大野層そのものから微化石データは得られていなかった。今回、著者らは内大野層から石灰質ナノ化石の産出を確認し、堆積年代の検討を行ったので報告する。

2. 地質概説

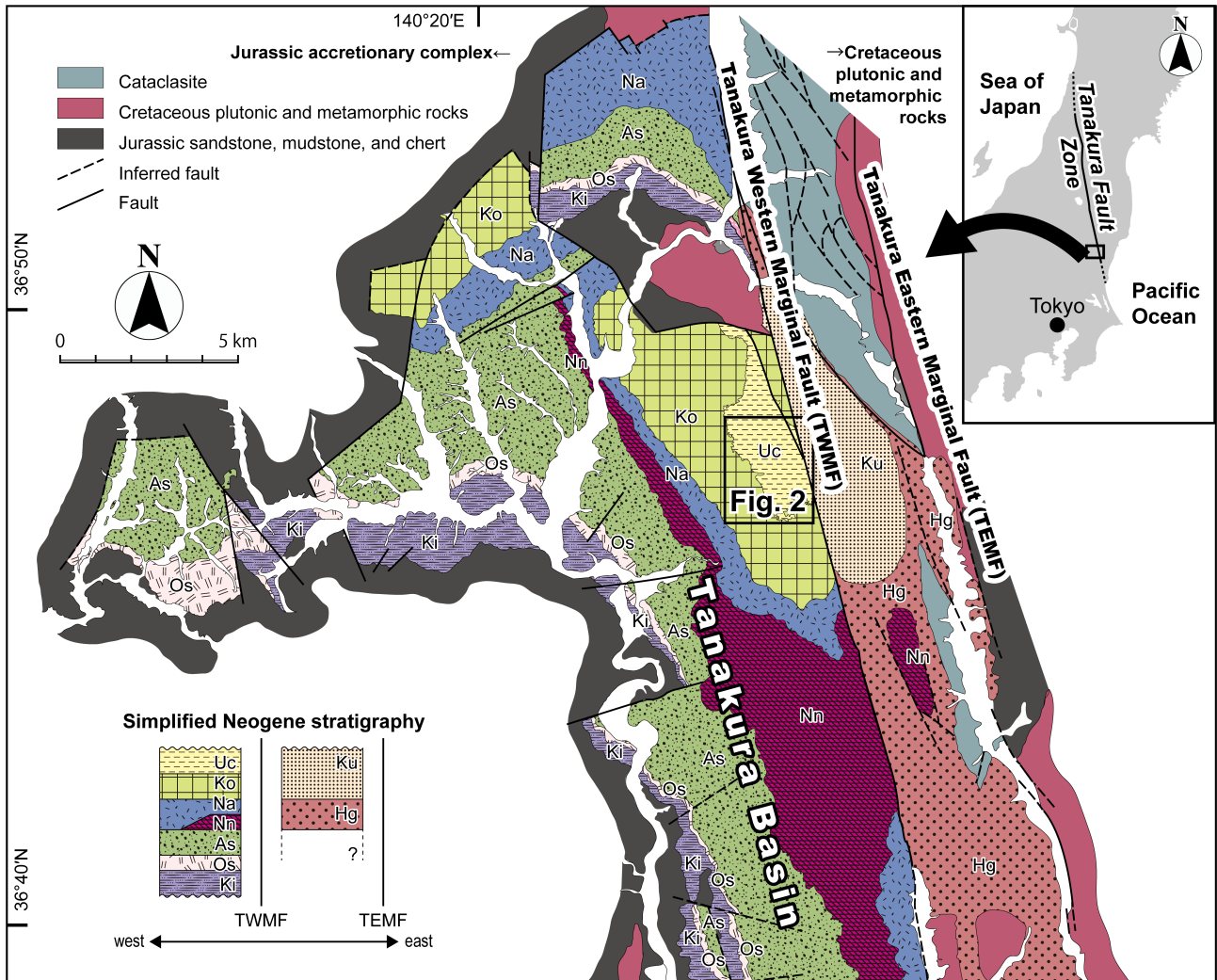
棚倉堆積盆は日本海拡大期の棚倉断層帯の活動によって形成された堆積盆である。棚倉堆積盆の形成史については諸説あるものの、最新の研究では棚倉堆積盆は棚倉断層帯の左横ずれ運動によって形成されるとともに急速に沈降し、その後、棚倉断層帯の右横ずれ運動によって隆起に転じたと考えられている(Hosoi *et al.*, 2020)。

棚倉断層帯は西側のジュラ紀付加コンプレックスと東側の白亜紀深成岩類、変成岩類の境界を成し、棚倉堆積盆は両者の間に発達する。棚倉堆積盆を埋積した主な中新統は下位から北田気層(層厚290–670 m)、大沢口凝灰岩部層(層厚130–180 m)、浅川層(層厚1,010–1,330 m)、男体山火山角礫岩(層厚6–270 m)、苗代田層(層厚150–300 m)、小生瀬層(層厚180–400 m)及び内大野層(層厚210 m)である(天野ほか, 2011)。北田気層はジュラ紀付加体を不整合に覆い、その上位の中新統は整合関係にある。大沢口凝灰岩部層と男体山火山角礫岩は主に火山岩からなるが、それ以外の地層は薄い火砕岩層を挟む碎屑岩で構成される。これらのうち本研究の対象である内大野層は砂岩を主体とし、礫岩や泥岩を挟む。砂岩は層厚数m以上の細粒～粗粒砂岩を主体とする。礫岩は層厚1 m程度から10 m以上の礫支持礫岩で、大礫や巨礫の円礫を主とする。礫は複数の礫種からなるものの、花崗岩類が主である。泥岩は主に厚さ数cmの薄層で砂岩と成層し、場所によってはやや砂質である。

北田気層と浅川層からは温帯から亜熱帯の植生を特徴

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

* Corresponding author: UTSUNOMIYA, M., AIST Tsukuba Central 7, Higashi 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan, Email m.utsunomiya@aist.go.jp

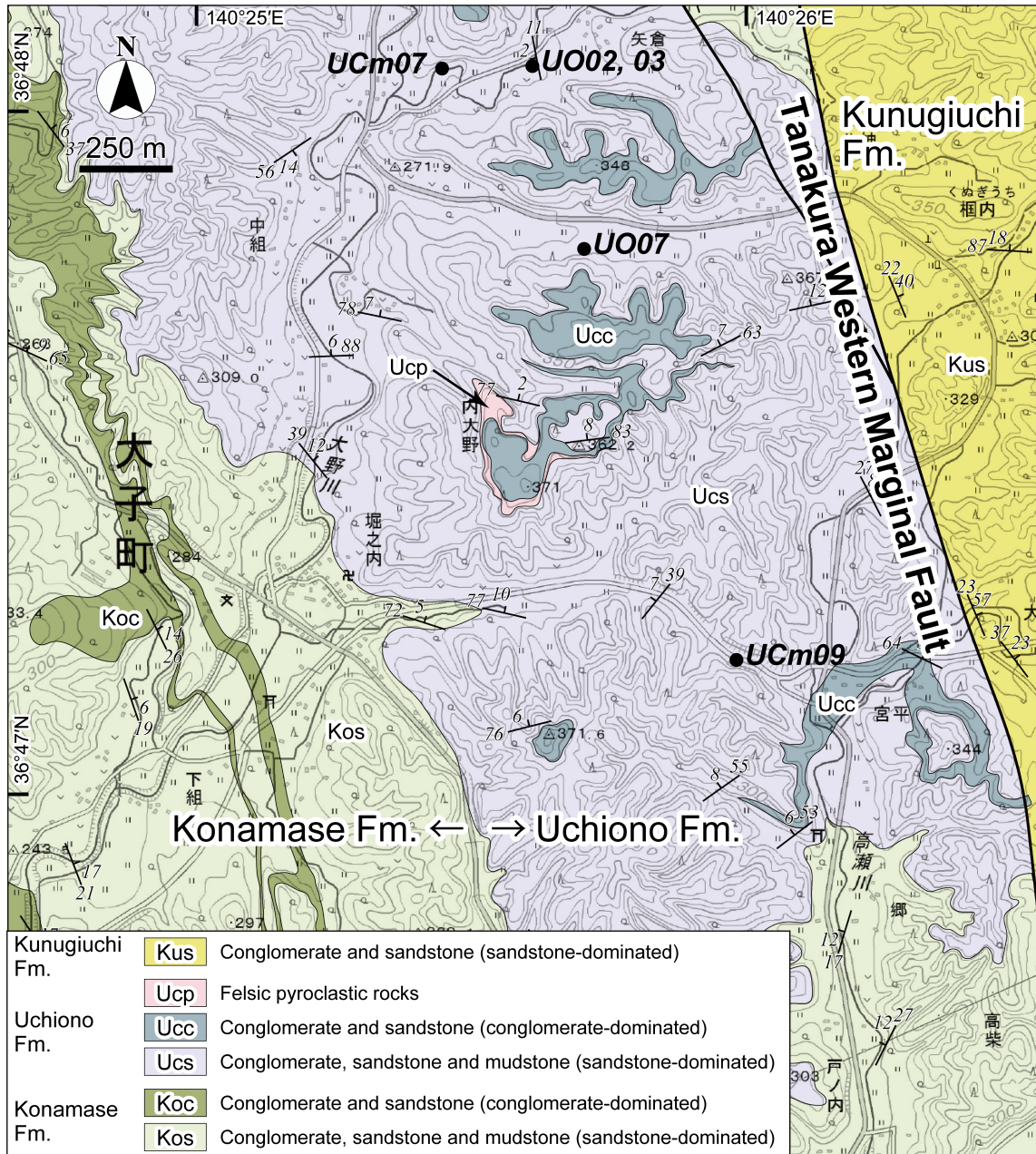


第1図 棚倉堆積盆の位置及び地質図。地質図は斎藤ほか(1992)を基に一部修正。Ki: 北田気層, Os: 大沢口凝灰岩部層, As: 浅川層, Nn: 男体山火山角礫岩, Na: 苗代田層, Ko: 小生瀬層, Uc: 内大野層, Hg: 東金砂山層, Ku: 柵内層。

Fig.1 Index map and simplified geological map of the Tanakura Basin area (partly modified from Saito *et al.*, 1992). Ki: Kitatage Formation, Os: Osawaguchi Tuff Member, As: Asakawa Formation, Nn: Nantaisan Volcanic Breccia, Na: Nawashiroda Formation, Ko: Konamase Formation, Uc: Uchiono Formation, Hg: Higashikanasayama Formation, Ku: Kunugiuchi Formation.

づける植物化石やマングローブ林を特徴づける花粉化石が産出し(永戸, 2008; 山野井ほか, 2011), 浅川層上部からは *Ostrea* や *Vicarya*, *Anadara* 等の汽水域の貝類化石が報告されている (Omori, 1958; 大槻, 1975; Takahashi and Amano, 1984). 男体山火山角礫岩からは深海性の巻貝である *Phanerolepida* が (野田・菊池, 1980), 苗代田層からは *Miogyopsina* や *Operculina* などの有孔虫化石 (大槻, 1975) のほか, 軟体魚類の椎骨化石 (二階堂・菊池, 1983), 甲殻類化石 (安藤ほか, 2019) が得られている. 内大野層からは, フナクイムシの生痕化石が見つっている (大森昌衛私信, 天野ほか, 2011). 以上から堆積環境は北田気層と浅川層中部までは陸成層, 浅川層上部から内大野層までは海成層と考えられる.

堆積年代について, 最上部の内大野層は同時異相と考えられている源氏川層から得られた珪藻化石データに基づき, Yanagisawa and Akiba (1998) の珪藻化石帯 NPD4A 帯とされ (Maruyama, 1984), その年代区間は 15.9–14.5 Ma である. また近年 Hosoi *et al.* (2020, 2023) により放射年代測定及び古地磁気測定が実施された. 浅川層中部, 苗代田層下部, 内大野層上部の火砕岩層からそれぞれ 17.1 ± 0.6 Ma, 17.4 ± 0.9 Ma, 15.4 ± 0.5 Ma の U-Pb 年代値が得られている. この放射年代値と古地磁気層序学的結果及び先行研究をふまえた堆積年代は, 北田気層, 浅川層及び男体山火山角礫岩は約 17.2–16.6 Ma, 苗代田層が約 16.6–16.3 Ma と小生瀬層は約 16.7–15.7 Ma, 内大野層は約 15.7–15.3 Ma とそれぞれ見積もられている.



第2図 試料採取地周辺の地質図及び泥岩試料 (UO02, UO03, UO07, UCm07, UCm09) の採取地点図。地質図に第四系は示していない。

Fig.2 Geological map of this study, showing the locations where mudstone samples UO02, UO03, UO07, UCm07, UCm09 were obtained. Quaternary sediments are not shown.

3. 試料と方法

本研究では、大子地域に分布する中新統内大野層の4地点より採取された計5試料の泥岩試料 (UO02, UO03, UO07, UCm07, UCm09) について検討を行った (第2図)。各試料はいずれも携帯型ドリルで古地磁気測定用に採取されたものの一部であり、肉眼観察で青灰色を呈する新鮮な部分を切り出してスミアスライド作製用試料とした。

スミアスライドの作製手順は、まず水を一滴乗せたカバーガラスの上に堆積物試料の表面をカッターで削って泥粒子を投下し、カバーガラス上で懸濁した泥水を爪楊枝で引き伸ばした後、100から150℃に熱したホットプレート上で乾燥させた。乾燥後、カバーガラスに付着した試料の表面をカッターで削って粗粒な粒子を除去し、紫外線硬化剤を滴下したスライドガラスに載せて封入した後、紫外線照射装置を用いて約10分間紫外線を照射

第1表 採取された堆積岩試料から産出した石灰質ナノ化石. 産出頻度は次のように示す; A: abundant (多産), C: common (普通), F: Few (少産). 保存状態は次のように示す; G: good (良好), M: moderate (中程度), P: poor (悪い). 産出状況は次のように示す; +: 産出が確認された種.

Table 1 Distribution chart of calcareous nannofossil identified from the sedimentary rock samples. Abundance; A: abundant, C: common, F: few. Preservation; G: good, M: moderate, P: poor. +: present.

Sample	UO02	UO03	UO07	UCm07	UCm09
Abundance	C	C	F	C	F
Preservation	G	M	M	M	M
<i>Calcidiscus leptoporus</i> (Murray and Blackman)	1		3		
<i>C. macintyreii</i> (Bukry and Bramlette)	+				
<i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller	41	54	36	44	20
<i>Coccolithus miopelagicus</i> Bukry					
<i>Ceratolithus</i> spp.					
<i>Cyclicargolithus floridanus</i> (Roth & Hay) Bukry	2	3	5	1	2
<i>Amaurolithus</i> spp.					
<i>Discoaster deflandrei</i> Bramlette & Riedel	2	2	2	+	2
<i>Discoaster</i> spp. (with 6 rays)	1			1	
<i>Discoaster</i> spp. (with 5 rays)					
<i>Helicosphaera carteri</i> (Wallich) Kamptner	1	6	2	2	1
<i>Helicosphaera scissura</i> Miller	5		1	+	
<i>Helicosphaera ampliapertura</i> Bramlette & Wilcoxon					
Small placolith (<3 μm)	18	11	9	20	17
<i>Reticulofenestra</i> spp. (3.1-4.0 μm)	15	4	13	11	21
<i>Reticulofenestra</i> spp. (4.1-5.0 μm)	4	4	7	7	14
<i>Reticulofenestra</i> spp. (5.1-6.0 μm)					4
<i>Reticulofenestra</i> spp. (6.1-7.0 μm)		1	2	2	9
<i>Reticulofenestra pseudoumbilicus</i> (Gartner) Gartner (>7 μm)					4
<i>Sphenolithus heteromorphus</i> Deflandre	2	2	3	5	3
<i>Sphenolithus</i> spp.	7	13	16	7	2
<i>Umbilicosphaera</i> spp.	1		1		1
Total	100	100	100	100	100
CN zone (Okada and Bukry, 1980)	CN3-4	CN3-4	CN3-4	CN3-4	CN3-4

した.

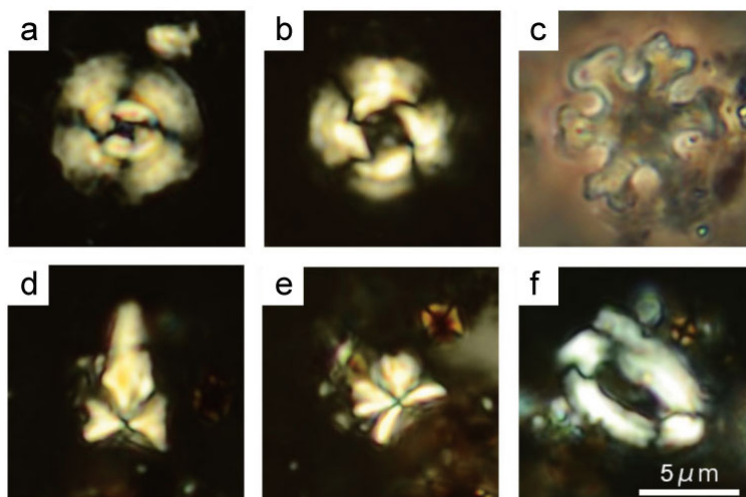
以上の手順によって得られたスミアスライドを、偏光装置を備えたOlympus製生物顕微鏡BX-53Pにて1,500倍油浸で検鏡し、石灰質ナノ化石の種同定を行った。同定にココリスの長径などのサイズ計測が必要な種については、三眼鏡筒に接続した一眼レフカメラのライブビュー機能を用いて引き伸ばした画像をディスプレイに表示し、物差しで計測した。

石灰質ナノ化石の産出量については、0.1 mm²内に観察される平均的な個数が10個より多い場合をAbundant, 1~10個をCommon, 1個未満の場合をFewとして評価した。また、保存の程度については、溶解または再結晶により同定が困難な石灰質ナノ化石がおおよそ3割以下の場合Good, 3~6割を占める場合はModerate, 6割よりも多い場合はPoorとして評価した。

スミアスライドを顕微鏡のメカニカルステージを用いて走査し、一試料あたり合計100個を目安に石灰質ナノ

化石の同定と計数を行った(第1表)。計数の際には、ココリス全体の半分以上が残っているものを1個として数え、半分に満たないものはpresent (+)として表記した。ただし、形態が大きく異なるココリスは破片化や溶解による欠損しやすさも異なると考えられ、同定の基準となる形質が欠損しやすいこともあるため、厳密な定量比較は難しい。上記の計数に加え、産出量がきわめて少ない種の有無も評価するため、24 mm × 36 mmのカバーガラス全域を走査し、その過程で認められた種はpresent (+)として記録した。

石灰質ナノ化石の分帯はOkada and Bukry (1980)による帯区分(CN帯)を適用し、化石帯境界の数値年代は、原則としてGeologic Time Scale 2020 (Raffi *et al.*, 2020)に従った。その他、メキシコ湾地域の生層序(Boesiger *et al.*, 2017)や三田・高橋(1998)による房総半島の生層序データなども参考にした。種同定に関しては基本的にYoung (1998)に従い、*Reticulofenestra*属は種同定は行わ



第3図 内大野層から産出した石灰質ナノ化石の偏光顕微鏡写真。(c)のみ位相差像, その他は直交ニコル像. スケールバーは5 μm. 種名は下記英文キャプションに記載.

Fig. 3 Photomicrographs of the key species of calcareous nannofossils from the Uchiono Formation.

(a) *Cyclicargolithus floridanus* (Roth & Hay) Bukry, cross polarized light, (b) *Reticulofenestra pseudoumbilicus* (Gartner) Gartner, cross polarized light, (c) *Discoaster deflandrei* Bramlette & Riedel, phase-contrast, (d, e) *Sphenolithus heteromorphus* Deflandre, cross polarized light, (f) *Helicosphaera scissura* Miller, cross polarized light. Scale bar is 5 μm.

ずサイズごとに計数した。このうち、ココリスの長径が7 μm以上の*Reticulofenestra*属は生層序学的な便宜性から*Reticulofenestra pseudoumbilicus*と呼ぶ。*Sphenolithus*属については年代決定指標として重要な*Sphenolithus heteromorphus*とそれ以外の*Sphenolithus*属(*Sphenolithus* spp.)に区分した。これは前期～中期中新世の*Sphenolithus*属の多様性の高さを考慮したもので、*Sphenolithus* spp.は*Sphenolithus moriformis*と*Sphenolithus abies*を含み、両者の形態的多様性が高いことから同定は行わなかった。

4. 結果

検討した試料は*Coccolithus pelagicus*と*Reticulofenestra* spp.が卓越し、群集の過半数を占める。UCm09に関しては*Reticulofenestra* spp.の合計が7割を占めており、*C. pelagicus*に対して卓越する点や長径7 μmを超える*Reticulofenestra pseudoumbilicus*が産出する点が他の試料と異なっている。次いでsmall placolith (<3 μm)と長径3.1–4.0 μmの*Reticulofenestra* spp.が多い。*Discoaster deflandrei*をはじめとした*Discoaster*属は過成長や溶解の影響で種同定が困難な場合が多かった。年代決定の鍵種は、その消滅がOkada and Bukry (1980)のCN4帯の上限を規定する*Sphenolithus heteromorphus*が全ての試料から産出した。また、その消滅がCN3帯の上限を規定する*Helicosphaera ampliaperta*が産出しなかった。また全ての試料から、始新世からCN5a垂帯まで産出する*Cyclicargolithus floridanus*が産出した。*C. pelagicus*の近縁

種として*Coccolithus miopelagicus*が知られているが、今回検討した試料からは産出しなかった。本種は一般に14 μmを超える個体を指し、一般に14 μmを超える個体が出現するのはCN5b垂帯であることが知られている(Young, 1998)。

5. 議論

石灰質ナノ化石群集に基づき大子地域の内大野層の堆積年代について議論する。大子地域の内大野層からはCN4帯の上限を規定する*Sphenolithus heteromorphus*が全試料から産出した(第3図)。本種の産出下限は17.65 Ma、産出上限は13.60 Maとされる。全ての試料においてCN3帯上限(14.86 Ma)を規定する*Helicosphaera ampliaperta*は産出せず、UO02, UO07, UCm07から本種と形態が類似する*Helicosphaera scissura*が産出した。*H. scissura*の産出年代区間は一般に*H. ampliaperta*とほぼ同じであるが(Perch-Nielsen, 1985)、メキシコ湾地域の石灰質ナノ化石層序と年代層序スケールでは*H. scissura*の産出上限は14.0 Maと見積もられ、*H. ampliaperta*の産出上限(14.9 Ma)よりも若い(Boesiger et al., 2017)。*H. ampliaperta*は地域によって全く産出しないことが知られており、*Discoaster deflandrei*の多産上限(15.80 Ma)などの代替指標が用いられている(Rio et al., 1990; Sato et al., 1991; Takayama, 1993; 三田・高橋, 1998など)。しかし、今回検討した試料においては上述のとおり*Discoaster*属の溶解や過成長の影響が認められ種同定が困難な場合が

あったことや、試料採取層準が散点的であることから石灰質ナノ化石群集における*Discoaster*属の産出頻度の層位変化を検討することが難しい。以上をふまえると、内大野層の試料はCN3-4帯として化石帯を広く区分せざるを得ず、年代範囲としては17.65–13.60 Maに相当すると考えられる。以上の結果は既存の珪藻化石帯や放射年代の検討から推定される内大野層の堆積年代(約15.7–15.3 Ma : Hosoi *et al.*, 2020, 2023)と調和的である。

三田・高橋(1998)は房総半島の中新統木の根層の石灰質ナノ化石層序と*Reticulofenestra*属のサイズ変化を検討し、長径7 µm以上の*Reticulofenestra pseudoumbilicus*が木の根層の凝灰岩鍵層Kn-3の直下よりも上位で産出することを報告した。彼らはまた、CN3帯とCN4帯の境界はKn-3より下位のKn-1凝灰岩層より下位に推定されている。*R. pseudoumbilicus*のサイズを考慮すると、試料UCm09に関しては他の試料よりも堆積年代が若くCN4帯上部に制約できる可能性がある。ただし常磐地域の下部~中部中新統高久層群ではCN3帯で*R. pseudoumbilicus*が産出したという報告もあることから(岡田, 1990)、*Reticulofenestra*属のサイズ変化とCN帯との関係については他地域での十分な検討が必要であろう。

6. まとめ

茨城県大子町に分布する中新統内大野層から初めて石灰質ナノ化石の産出を確認し、その生層序帯を検討した。結果はいずれの試料も石灰質ナノ化石帯CN3からCN4帯を示し、堆積年代は17.65–13.60 Ma (中期中新世)の年代範囲内と考えられる。産地が散点的であることや*Discoaster*属の溶解や過成長の影響が認められることから*Discoaster*属の産出頻度の層位変化を検討することが難しく、さらなる年代制約は困難であるものの、これらの結果は内大野層の既存研究による火砕岩類の放射年代や珪藻化石年代と調和的である。

謝辞: 地質調査総合センターの田中裕一郎シニアマネージャの査読と修正意見により本稿は改善された。ここに記して感謝する。

文 献

- 天野一男・松原典孝・及川敦美・滝本春南・細井 淳(2011) 棚倉断層の新第三紀テクトニクスと火山活動・堆積作用。地質学雑誌, **117**(補遺), 69–87。
- 安藤寿男・加藤久佳・齋藤和希(2019) 茨城県大子町の中新統苗代田層(久慈川層群)から産出した十脚甲殻類チュウコシオリエビ属化石。茨城県自然博物館研究報告, no. 22, 1–10。
- Boesiger, T., de Kaenel, E., Bergen, J. A., Browning, E. and Blair, S. A. (2017) Oligocene to Pleistocene taxonomy and stratigraphy of the genus *Helicosphaera* and other placolith taxa in the circum North Atlantic Basin. *Journal of Nannoplankton Research*, **37**, 145–175。
- Hosoi, J., Danhara, T., Iwano, H., Matsubara, N., Amano, K. and Hirata, T. (2020) Development of the Tanakura strike-slip basin in Japan during the opening of the Sea of Japan: Constraints from zircon U–Pb and fission-track ages. *Journal of Asian Earth Sciences*, **190**, 104157。
- Hosoi, J., Tani, Y., Okada, M. and Haneda, Y. (2023) Rotated transtensional basins formed during back-arc spreading in Japan: Simultaneous rapid tectonic rotation and basin subsidence. *Tectonics*, **42**, e2022TC007642。
- Maruyama, T. (1984) Miocene diatom biostratigraphy of onshore sequences on the Pacific side of Northeast Japan, with reference to DSDP Hole 438A (part 2). *Science reports of the Tohoku Imperial University. 2nd series, Geology*, **55**, 77–140。
- 三田 勲・高橋雅紀(1998) 房総半島、中部中新統木の根層および天津層下部の石灰質ナノ化石層序。地質学雑誌, **104**, 877–890。
- 永戸秀雄(2008) 茨城県大子地域における中新世植物化石群。化石, **84**, 37–46。
- 二階堂章信・菊池芳文(1983) 茨城県中新統苗代田層産サメ類椎骨化石。地質学雑誌, **89**, 299–301。
- 野田浩司・菊池芳文(1980) 中新統男体山火山角礫岩層産 *Phanerolepida expansilabrum* (KURODA), 貝類学雑誌, **39**, 69–73。
- 岡田尚武(1990) 第三節. 石灰質ナノ化石. 常磐地域に分布する新第三系の地質時代と堆積環境: 浜通り地方形成史の解明, 46–49, 図版8–9, 福島県立博物館。
- Okada, H. and Bukry, D. (1980) Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry 1973, 1975). *Marine Micropaleontology*, **5**, 321–325。
- Omori, M. (1958) On the geological history of the Tertiary System in the Abukuma mountainland with special reference to the geological meaning of the Tanakura Shear Zone. *Science reports of the Tokyo Kyoiku Daigaku*, **6**, 25–116。
- 大槻憲四郎(1975) 棚倉破砕帯の地質構造。東北大地質古生物研邦文報, **76**, 1–71。
- Perch-Nielsen, K. (1985) Cenozoic calcareous nannofossils. In Bolli, H. M., Saunders, J. B. and Perch-Nielsen, K. eds., *Plankton Stratigraphy*, 427–554. Cambridge University Press, New York.
- Raffi, I., Wade, B. S., Pälike, H., Beu, A. G., Cooper, R., Crundwell, M. P., Krijgsman, W., Moore, T., Raine, I., Sardella, R. and Vernyhovova, Y. V. (2020) *The Neogene Period*. In *Geologic Time Scale 2020*, pp. 1141–1215, Elsevier.

- Rio, D., Fornaciari, E. and Raffi, I. (1990) Late Oligocene through Early Pleistocene calcareous nannofossils from western equatorial Indian Ocean (Leg 115). In Duncan, R. A. *et al.*, eds., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **115**, 175–235, College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- 斎藤登志夫・高橋治之・天野一男 (1992) 棚倉断層周辺新第三系地質図. 茨城大学理学部.
- Sato, T., Kameo, K. and Takayama, T. (1991) Coccolith biostratigraphy of the Arabian Sea. In Prell, W.L., *et al.*, eds., *Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Results*, **117**, 37–52, College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- Takahashi, H. and Amano, K. (1984) Miocene Transgression in and around the Tanakura Shear Zone. *Bulletin of College of General Education, Ibaraki University*, no. 16, 149–162.
- Takayama, T. (1993) Notes on Neogene calcareous nannofossil biostratigraphy of the Ontong Java Plateau and size variations of *Reticulofenestra* coccoliths. In Berger, W. H. *et al.*, eds., *Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Results*, **130**, 179–229, College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- 山野井 徹・斎藤喜和子・小笠原憲四郎・永戸秀雄 (2011) 茨城県北部浅川層 (中部中新統) から熱帯性マングローブ花粉化石の産出. *地質学雑誌*, **117**, 538–543.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F. (1998) Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **104**, 395–414.
- Young, J. R. (1998) Neogene. In Bown, P. R., ed., *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*, Chapman & Hall, London, 225–265.

(受 付 : 2022 年 12 月 9 日 ; 受 理 : 2023 年 10 月 10 日)

