

福島県東棚倉地域に分布する上部中新統久保田層の海生珪藻化石層序と古環境

柳沢幸夫¹・山口龍彦²・林 広樹³・高橋雅紀¹

Yukio Yanagisawa, Tatsuhiko Yamaguchi, Hiroki Hayashi and Masaki Takahashi (2003) Marine diatom biostratigraphy and paleoenvironment of the upper Miocene Kubota Formation in the Higashi-tanagura area, Fukushima Prefecture, northeastern Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 54(1/2), p. 29-47, 9 figs., 1 table.

Abstract: Marine diatom biostratigraphy is established for the upper Miocene Kubota Formation in the Higashi-tanagura area, Fukushima Prefecture, northeastern Japan. The formation is composed of muddy fine to medium-grained sandstone in the lower part, cross-bedded coarse-grained sandstone and bioturbated fine-grained sandstone in the middle part, and cross-bedded tuffaceous coarse-grained sandstone in the upper part. The Kubota Formation intercalates a number of key tuff beds (Kt-1 to Kt-7). Diatoms are contained only in muddy trace fossil *Rossetia* or thin layers of tuffaceous mudstone. The interval between the tuff beds Kt-1 and Kt-4C is assigned to the upper *Thalassiosira yabei* Zone (NPD 5C) of Yanagisawa and Akiba (1998) because of the occurrence of *Denticulopsis simonsenii* and *D. vulgaris* without *D. praedimorpha* nor *D. dimorpha*. The lowest horizon of the upper part of the formation is also correlative with the upper *T. yabei* Zone (NPD 5C). Direct correlation of diatom biostratigraphy to calcareous nannofossil, planktonic foraminiferal and radiolarian zonations is established in the Kubota Formation, but this is not coincident in part with Saito's (1999) Neogene magnetobiostratigraphic time scale. The middle part of the formation represents an outer sublittoral environment and includes three relative sea level changes with three marine flooding surfaces. Of the three, the first maximum flooding surface is the largest at a horizon two meters above the key tuff Kt-3, where diatom bathymetric indices show a maximum value. Relative sea level changes recognized in the Kubota Formation are correlated to those in the upper Arakawa Group distributed in Karasuyama area, Tochigi Prefecture. They were precisely synchronous between the two areas. This implies that this relative sea level changes were not local but more regional events, and may possibly be controlled by global eustasy.

Keywords: diatom, biostratigraphy, paleoenvironment, Neogene, Miocene, Kubota Formation, Tanagura, Fukushima, Japan

要 旨

福島県南部の東棚倉地域に分布する海成の上部中新統の久保田層から、生痕化石 *Rossetia* の試料を採取して珪藻分析を行い、計数可能な数の珪藻化石を検出した。これにより従来曖昧であった後期中新世における珪藻化石層序と放散虫・石灰質ナノ化石・浮遊性有孔虫層序との直接的な対応関係を明らかにできた。久保田層中部の凝灰岩鍵層 Kt-1 の直上から Kt-4B と Kt-4C の中間までの区間と、久保田層上部の基底部は、Yanagisawa and Akiba (1998) の *Thalassiosira yabei* 帯 (NPD 5C) の上部に相当

する。久保田層における珪藻化石層序と放散虫・石灰質ナノ化石・浮遊性有孔虫層序との対応関係は、斎藤 (1999) の標準微化石年代尺度とほぼ一致するが、一部問題も残されており今後の検討を必要とする。久保田層中部は、全体としては外部浅海帯の環境にあったものの、3回の相対的海水準の変動があり、3層準に海氾濫面が認められる。このうち凝灰岩鍵層 Kt-3 の直上にある最初の海氾濫面が最大のものであり、この層準で外洋性珪藻が多産して珪藻深度指標が最大値を示す。久保田層で認められた古水深 (相対的海水準) の変化のイベントは、生層序によって栃木県烏山地域の荒川層群上部に対比できる。相対的海水準の変

¹ 地球科学情報研究部門 (Institute of Geoscience, GSJ)

² 金沢大学大学院自然科学研究科 (Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, Kakumamachi, Kanazawa City, Ishikawa Prefecture, 920-1192 Japan)

³ 東北大学理学部地圏環境科学科 (Institute of Geology and Paleontology, Graduate School of Science, Tohoku University, Sendai, Miyagi Prefecture, 980-8578 Japan). 現所属: 防災科学技術研究所特別研究員 (Research Fellow, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention)

化は、両地域でほぼ同期している。このことは、この相対的
海水準の変化がローカルなものではなく、より広域のイベ
ントであり、グローバルな静海水準変動に支配されている可
能性もあることを示唆する。

1. はじめに

海成の新第三系では、古地磁気層序と微化石層序を組み
合わせた古地磁気微化石年代尺度が、標準的な年代尺
度として広く使われ、さまざまな地質学的イベントの精密な
年代決定やグローバルな広域対比に大きく貢献してきた
(Berggren *et al.*, 1995; 本山・丸山, 1998; Yanagisawa
and Akiba, 1998; 斎藤, 1999など)。しかし、古地磁気微化
石年代尺度の精度と確度は一様ではなく、後期中新世にお
いては、石灰質微化石層序(浮遊性有孔虫と石灰質ナノ
化石)と珪質微化石層序(放散虫と珪藻)の直接の対応関
係は全くついていない。このため、この区間では年代尺度
の信頼性がかなり劣るのが現状である。その主な原因は、
後期中新世においては、暖流系の石灰質微化石指標種と
寒流系の珪質微化石指標種が同じ層序セクションで共産
することが少なく、4種の微化石層序の対応関係を明らかに
する研究がほとんど行われてこなかったことにある。

本研究は、こうした後期中新世における古地磁気微化石
年代尺度の信頼性の低さを克服することを目的として、福
島県南部の東棚倉地域(第1図)に分布する上部中新統久
保田層の珪藻化石層序の検討を行ったものである。久保田
層では石灰質微化石と珪質微化石がともに産出することが
知られており(相田, 1988; 竹谷・相田, 1991; 島本ほか,
1998; Hayashi *et al.*, 2002)、後期中新世におけるこれら
の生層序の対応関係を直接確認することができる。さらに、
本層では凝灰岩層のフィッシュトラック(FT)年代およびカ
リウム-アルゴン(K-Ar)年代も報告され(Takahashi *et al.*,
2001a, 2001b)、微化石層序と放射年代との対応関係が判
明している。

しかしながら、久保田層では4種の主要微化石のうち、珪
藻化石については、破片が検出できたものの年代決定に有
効な珪藻種は検出できなかつたとされている(島本ほか,
1998)。これを再度確かめるため、筆者らも島本ほか(1998)
の試料を再分析してみたが、やはり珪藻化石の含有量は極
めて低く、破片状の珪藻しか検出できなかつた。その原因
は、久保田層の主な岩相が泥質砂岩であって、珪藻化石が
保存されるにはやや粒度が粗すぎるためと判断された。そ
こで、この研究では、珪藻化石が保存されている可能性の
残されていた細粒の泥質生痕化石を珪藻化石試料として
選択的に採取して分析を試みた。その結果、同定・計数可
能な珪藻化石の検出に成功し、後期中新世初期における
珪藻化石層序と他の微化石層序との直接的な対応関係を
明らかにできた。この論文では、その成果を報告し、併せて
久保田層の珪藻化石群集の変化に基づく古水深の変化と

栃木県烏山地域の荒川層群との対比について議論する。

2. 層序の概要

福島県南部の東棚倉地域(東白川郡棚倉町東部および
同郡塙町北東部)に分布する新第三系は、下位より中新統
の赤坂層・久保田層と、それらを不整合に覆う鮮新統の仁
公儀層からなる(第2図; 大槻, 1975; 高橋・天野, 1989; 島
本ほか, 1998)。以下、島本ほか(1998)の記載に従って、層
序の概要を記す。

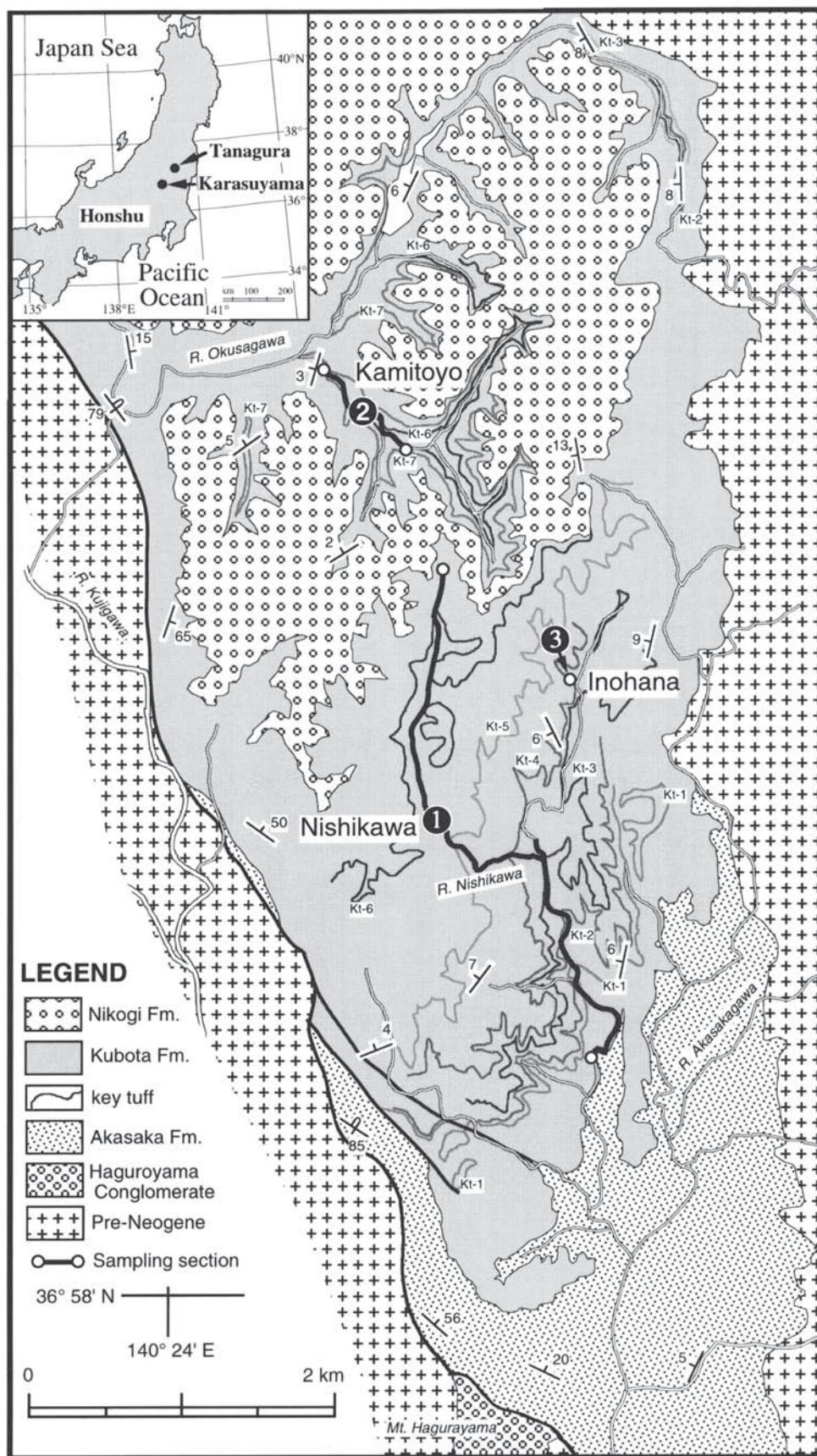
赤坂層は、1回の海進・海退によって形成された地層で、
岩相的には下部・中部・上部に3分される。赤坂層下部は阿
武隈帯由来の礫からなる礫岩である。赤坂層中部は中一粗
粒砂岩からなり、斜層理およびサンドパイプが見られ、海生
貝化石を産する。本層上部は泥岩・粗粒砂岩からなり垂炭
層を挟み、岩相から非海成層と推定される。

久保田層は赤坂層を整合に覆う海成層で、中期中新世
から後期中新世の沿岸型貝類化石群である「塩原型動物
群」を産する(Chinzei and Iwasaki, 1967; Iwasaki, 1970;
鎮西ほか, 1981)。本層は赤坂層と同様に1回の海進・海退
によって形成されたものと考えられる。なお、久保田層では、
貝類化石群集(Iwasaki, 1970など)や貝形虫群集
(Yamaguchi and Hayashi, 2001)について詳細な研究が
行われている。

久保田層は岩相に基づいて、下部・中部・上部に細分さ
れる。(第2図)。久保田層下部は淘汰の悪い泥質細一中粒
砂岩からなり、*Crassostrea*などの内湾性の貝化石を多産
する。久保田層中部は本層の主体をし、久保田層下部の上
位に重なる斜層理の発達した粗粒砂岩と、バイオターベ
ーションのある泥質の塊状細粒砂岩からなる。このうち、斜層
理の発達した粗粒砂岩は、島本ほか(1998)では、久保田
層下部に含められていたが、この論文では後述する理由か
ら久保田層中部に含めた。久保田層中部には、しばしば貝
化石が散在して産するほか、マッドパイプ状の生痕化石
(*Rosselia*)がみられる。久保田層上部は斜層理の発達した
凝灰質粗粒砂岩である。久保田層中には、厚さ数10cmない
し数mの凝灰岩層が多数挟在し、このうちKt-1からKt-7の7
枚は鍵層として追跡される(島本ほか, 1998)。

仁公儀層は、久保田層を傾斜不整合に覆い、下部は八
溝帯由来の砂岩や頁岩の礫からなる礫岩、上部は白色凝
灰岩および凝灰質砂岩からなる。

島本ほか(1998)では、久保田層の下部と中部に境界を
斜層理の発達した粗粒砂岩と、その上位のバイオターベ
ーションのある泥質の塊状細粒砂岩の境界としていた(第2
図)。しかし、この論文では、本層下部と中部の境界を、淘汰
の悪い内湾性泥質細一中粒砂岩と斜層理の発達した粗粒
砂岩の境界に変更した。それは本層下部が内湾成堆積物
からなるのに対し、本層中部が外洋性の浅海堆積物からな
り、この間の大きな堆積環境の変化が、内湾性泥質細一中



第1図 東棚倉地域の地質図(島本ほか, 1998 による)。1: 西川セクション; 2: 上豊セクション; 3: 猪鼻セクション。

Fig. 1 Geological map of the Higashi-tanagura area with sampling sections (after Shimamoto *et al.*, 1998). 1: Nishikawa stratigraphic section; 2: Kamitoyo stratigraphic section; 3: Inohana stratigraphic section.

粒砂岩と斜層理の発達した粗粒砂岩との境界で起こっていると考えられること、および島本ほか(1998)が下部と中部の境界とした斜層理粗粒砂岩と泥質塊状細粒砂岩の境界が漸移的であって区分が難しいという理由による。

3. 試料と方法

試料は、原則として生痕化石*Rosselia*の泥質部を採取した。久保田層の*Rosselia*は層理に対してはほぼ垂直に延び、断面の直径は数cm、軸となる縦の孔は直径1cm以下で、厚い泥質の裏打ちのほぼ中心部を砂質堆積物で充填された軸が貫いている。この生痕化石は久保田層中部の凝灰岩鍵層Kt-3の下位1mからKt-4Bの上部3-4mまでの区間に密集して産し、とくにKt-3の直上1-2mで密集度が高い。しかし、久保田層中部のそれ以外の区間では比較的少なく、久保田層下部および上部ではほとんど見られないので、そうした層準では、通常の砂岩や二枚貝化石中の泥質堆積物あるいは砂岩中の凝灰質泥岩の挟みを分析試料として採取した。

試料は、主に島本ほか(1998)が微化石層序を検討した西川・上豊セクションにおいて採取した(第3図)。このほかに、棚倉町猪鼻の八幡鉱業の採掘場(猪鼻セクション)でも補備試料を採取した。

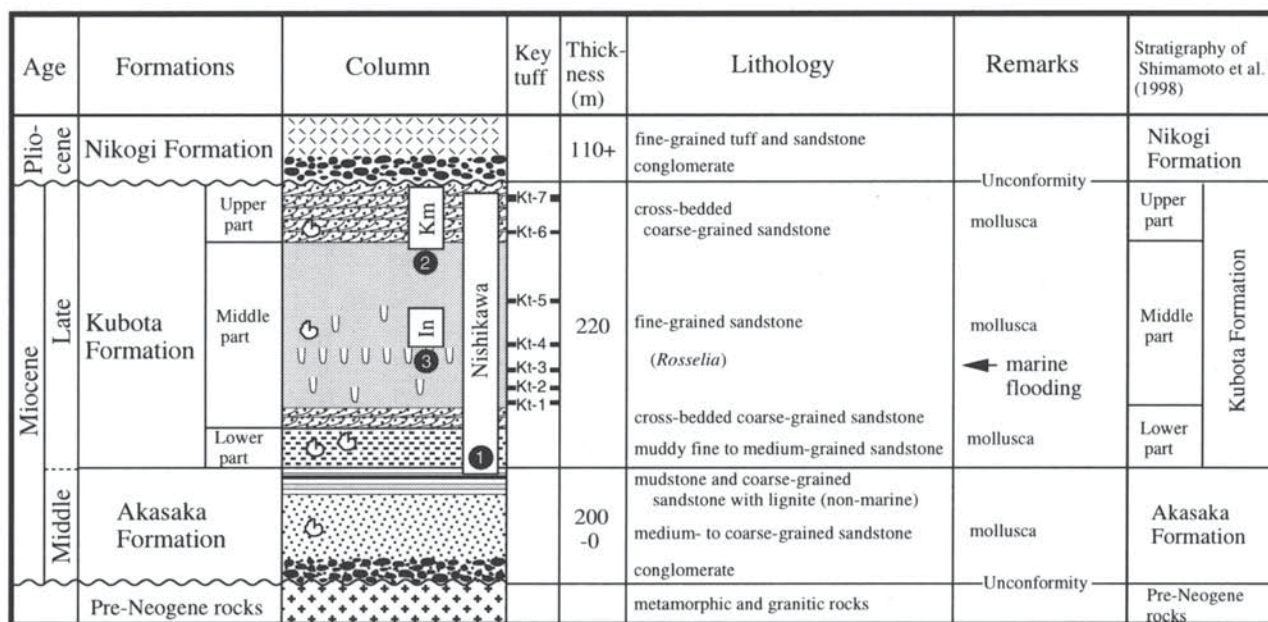
西川セクションは埴町久保田から小高に至る西川に沿ったセクションで、ここでは赤坂層上部から久保田層上部までが露出する。このセクションでは赤坂層から2試料、久保田層からは67試料を採取した(第4図)。上豊セクションは西川

セクションの北方にあたる棚倉町上豊付近の沢に沿ったセクションで、ここでは久保田層上部が見られる。このセクションでは11個の試料を採取した(第5図)。このほか、猪鼻セクションでは、久保田層中部の層準の補備試料10個を採取し、そのうち1個を処理分析した。処理した試料は合計で81個である。なお、第4図と第5図には、比較のために島本ほか(1998)が分析した試料の採取層準も併せて示してある。

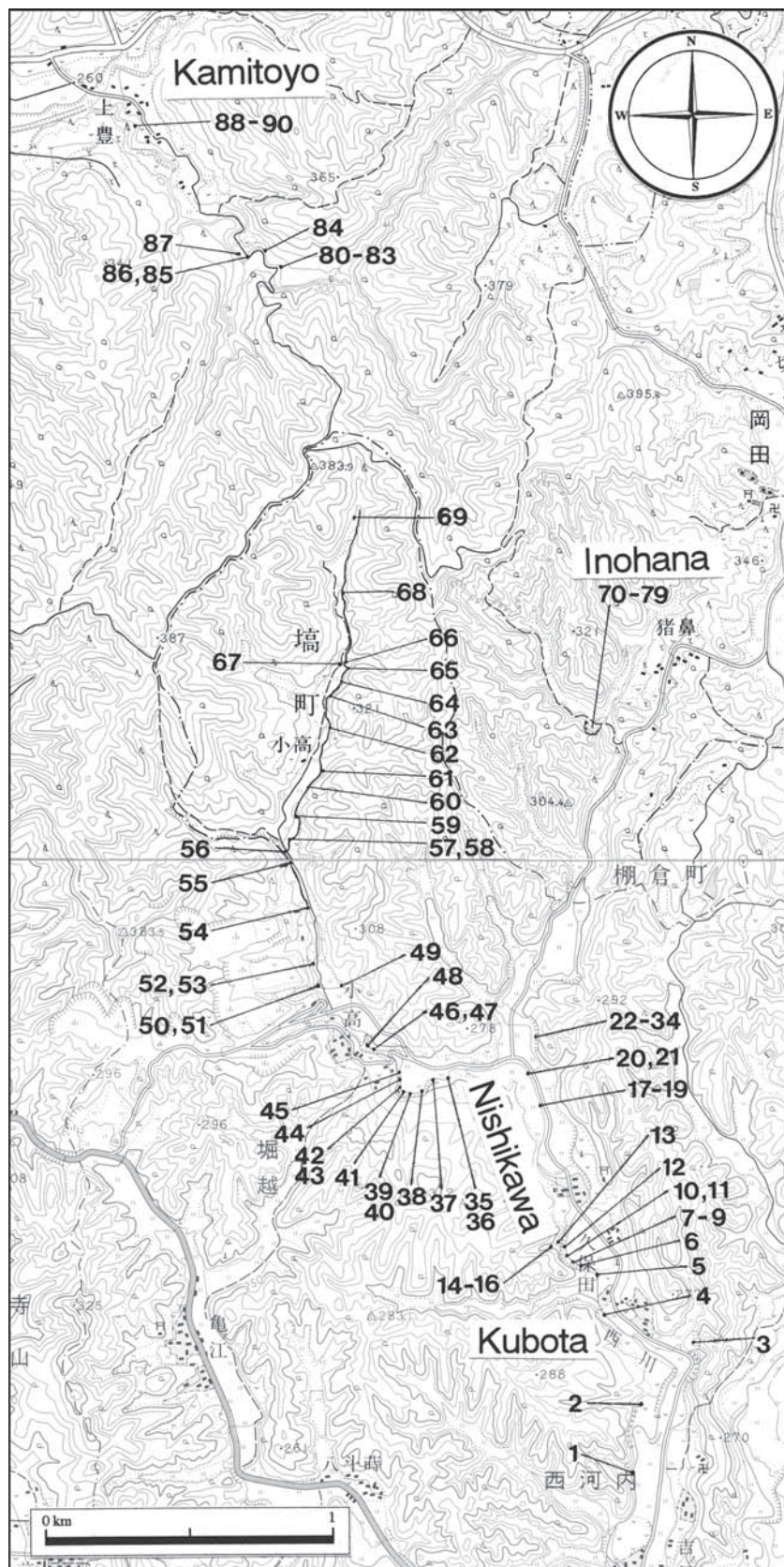
採取した試料はすべて産業技術総合研究所の地質標本館において、珪藻化石試料として登録保管されている(登録番号GSJ R75249-75338, 第1表参照)。

試料の処理は、柳沢(1999)の方法に従った。珪藻殻の算定は、*Chaetoceros*属の休眠胞子を除いて、観察されたすべての種の蓋殻数が100になるまで行った。その後、さらにカバーガラスの幅5mmの範囲を走査して、その過程で新たに認められた種はpresent(+)として産出表に記録した。また、破片としてのみ認められた種も同様にpresent(+)とした。休眠胞子については、上記100蓋殻算定時に認められた総数を別途記録した。なお、試料によっては珪藻殻数が極めて少ないため、算定数を50個またはそれ以下で止めている。

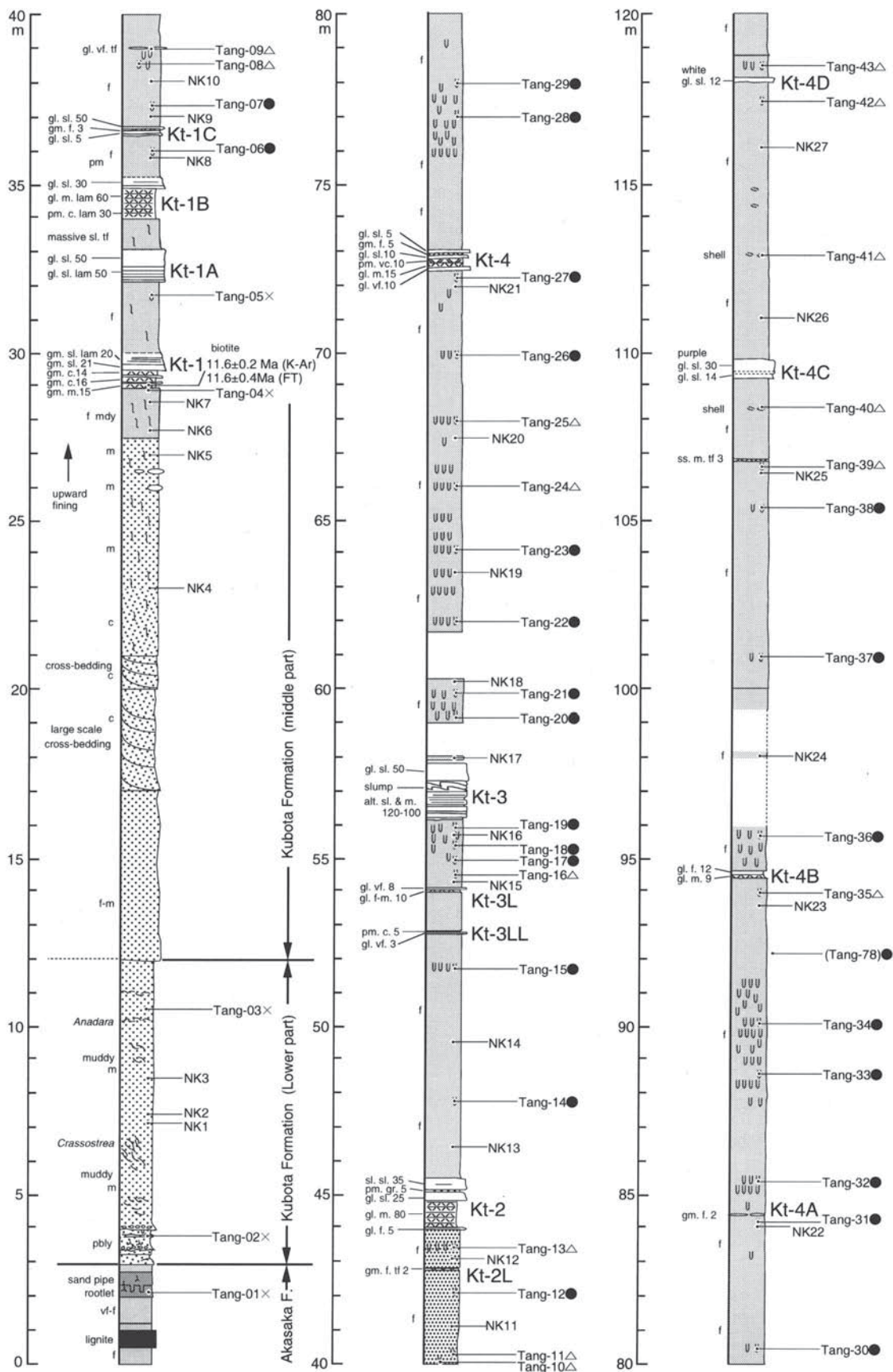
珪藻の保存状態は、殻の破損・溶解の程度や、頑丈な殻を持つ珪藻の頻度などを総合的に判断して、G(good), M(moderate), P(poor)の3段階に分けて表示した。珪藻殻の産出量の評価は、広視野光学顕微鏡600倍のもとで、カバーガラス上で100蓋殻算定に至るまでの走査線の数によって、次の3段階に分けた。すなわち、A(abundant) = 走査線1以下, C(common) = 走査線1-3, R(rare) = 走査



第2図 東棚倉地域の新第三系の層序(島本ほか, 1998による)。1: 西川セクション; 2: 上豊セクション; 3: 猪鼻セクション。
Fig. 2 Stratigraphy of the Neogene sequence in the eastern Tanagura area (after Shimamoto et al., 1998). 1: Nishikawa stratigraphic section; 2: Kamitoyo stratigraphic section; 3: Innohana stratigraphic section.

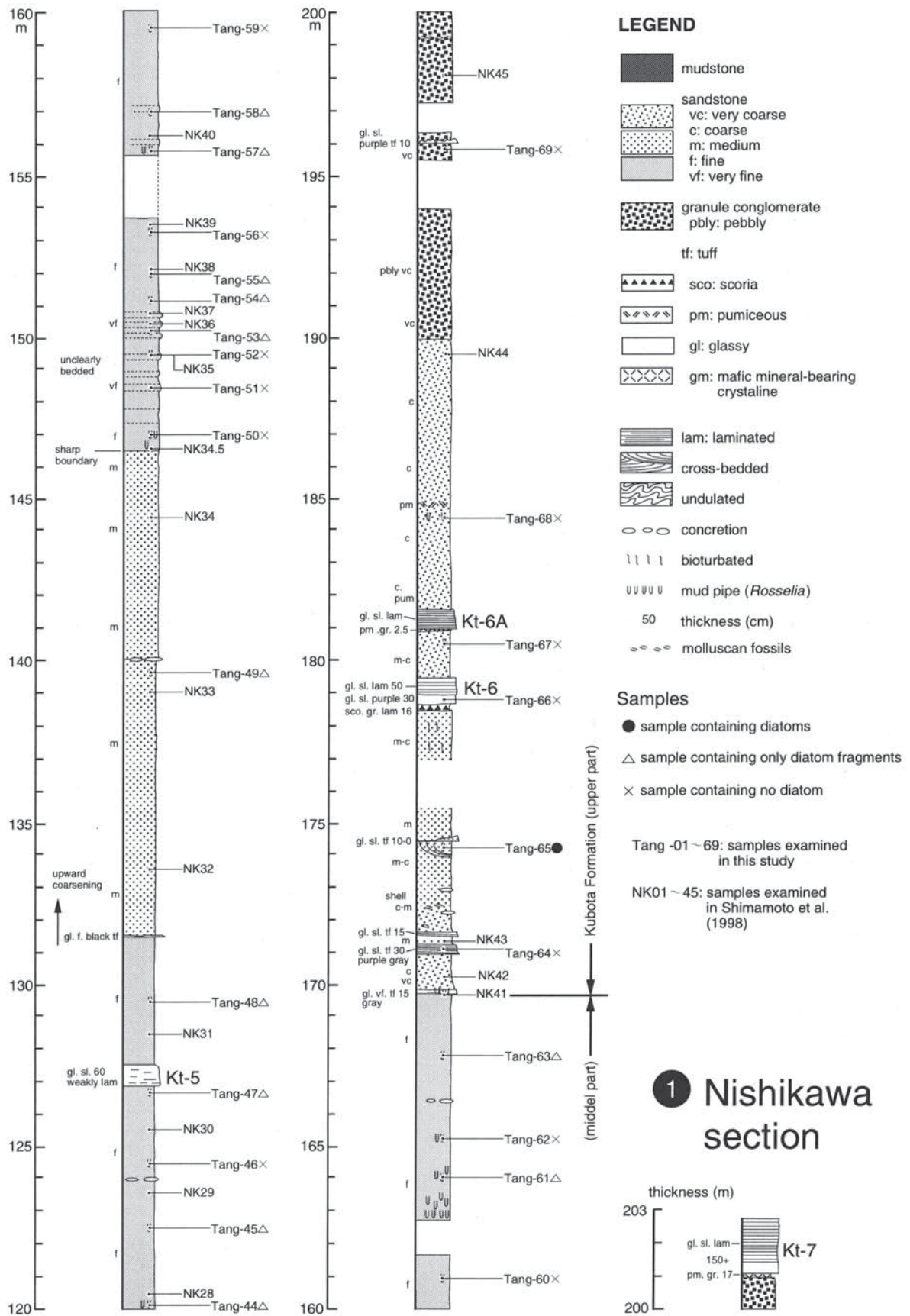


第3図 試料採取位置図。国土地理院発行の25,000分の1地形図「塙」と「棚倉」を使用。
 Fig. 3 Map showing sample locations. Topographic maps "Hanawa" and "Tanagura" at 1:25,000 in scale by Geographical Survey Institute of Japan.

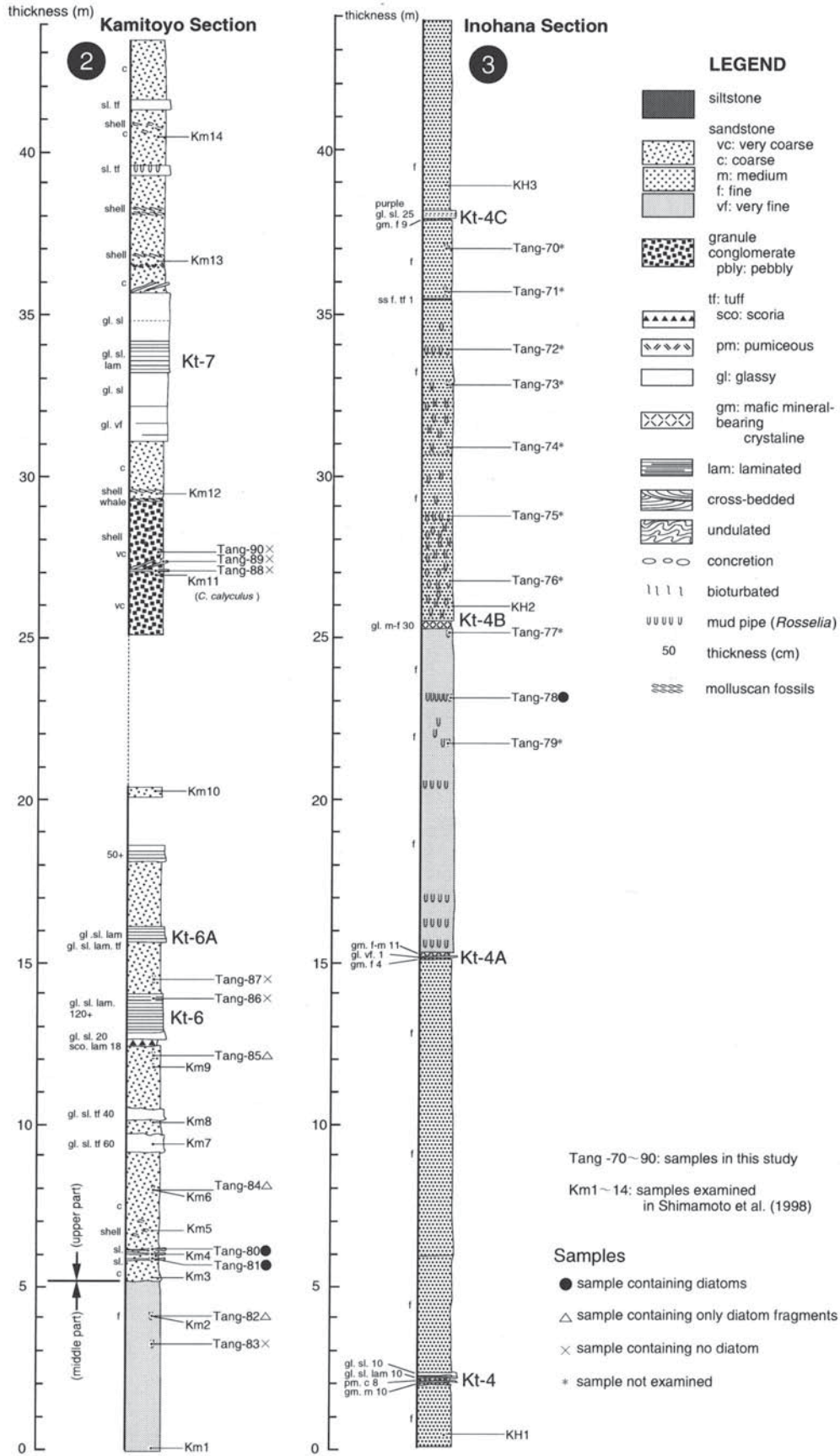


第4図 西川セクションの地質柱状図.

Fig. 4 Stratigraphic columnar section of the Nishikawa stratigraphic section.



第4図 続き.
 Fig. 4 Continued.



第5図 上豊セクションの地質柱状図.

Fig. 5 Stratigraphic columnar sections of the Kamitoyo and Inohana stratigraphic sections.

東棚倉地域の中新統久保田層の珪藻化石層序 (柳沢ほか)

第1表 西川および上豊セクションにおける珪藻産出表. 保存;G:良好,M:中,P:不良,産出量;A:豊産,C:普通,R:稀産.産出,+:存在.
Table 1 Occurrence chart of diatom species in the Nishikawa and Kamitoyo stratigraphic sections. Preservation, G: good, M: moderate, P: poor; Abundance, A: abundant, C: common, R: rare; Occurrence, +: present.

Diatom zones (NPD)	5C ? ? ? ?	5C 5C 5C 5C 5C	? ? ? ? ? 5C	5C 5C 5C 5C	? ? ? ? ?	5C 5C 5C 5C	? ? ? ? ?	5C 5C 5C 5C	? ? ? ? ?	5C 5C 5C 5C	? ? ? ? ?	5C 5C 5C 5C	? ? ? ? ?	5C 5C 5C 5C	? ? ? ? ?	
Sample number (Tang-)	06 07 12 14 15	17 18 19 20 21	22 23 26 27 28	29 30 31 32 33	34 78 36 37 38	81 80 65										
Registered sample number (GSJ)	R75254 R75255 R75260 R75262 R75263 R75265 R75266 R75267 R75268 R75269	R75271 R75274 R75275 R75276	R75277 R75278 R75279 R75280 R75281	R75282 R75283 R75284 R75285 R75286	R7529 R7528 R7529 R7528 R7529	R75292 R75293 R75294 R75295 R75296	R7530 R7529 R7528 R7529 R7528	R7530 R7529 R7528 R7529 R7528	R7530 R7529 R7528 R7529 R7528	R7530 R7529 R7528 R7529 R7528	R7530 R7529 R7528 R7529 R7528	R7530 R7529 R7528 R7529 R7528	R7530 R7529 R7528 R7529 R7528	R7530 R7529 R7528 R7529 R7528	R7530 R7529 R7528 R7529 R7528	R7530 R7529 R7528 R7529 R7528
Preservation	P P P P P	P P P P P	P P P P M	P P P P P	P P P P P	P P P P P	P P P P P	P P P P P	P P P P P	P P P P P	P P P P P	P P P P P	P P P P P	P P P P P	P P P P P	
Abundance	R R R R R	R R R R R	R R R R C	R R R R R	R R R R R	R R R R R	R R R R R	R R R R R	R R R R R	R R R R R	R R R R R	R R R R R	R R R R R	R R R R R	R R R R R	
<i>Actinocyclus cf. curvatus</i> Janisch	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>A. ellipticus</i> grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>A. ingens f. ingens</i> (Rattray) Whiting et Schrader	13	10	7	27	11	11	12	23	13	3	8	19	18	13	11	
<i>A. ingens f. nodus</i> (Baldauf) Whiting et Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>A. octonarius</i> Ehrenberg	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Actinopychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	1	+	+	+	2	3	1	2	4	1	1	4	1	2	4	
<i>Adoneis pacifica</i> Andrews	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Arachnoidiscus</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Aulacoseira</i> spp.	2	2	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Azpeitia endoi</i> (Kanaya) Sims et Fryxell	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>A. nodulifera</i> (Schmidt) Fryxell et Sims	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>A. vetustissima</i> (Pantocsek) Sims	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Cavitatus jouseanus</i> (Sheshukova) Williams	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>C. miocenicus</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Cocconeis californica</i> Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>C. costata</i> Gregory	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>C. curvirostrata</i> Brun et Tempère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>C. scutellum</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>C. vitrea</i> Brun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coccinodiscus marginatus</i> Ehrenberg	8	13	2	3	7	1	4	2	3	-	4	8	5	12	3	
<i>C. radiatus</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Cladogramma dubium</i> Lohman	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Clavicula polymorpha</i> Grunow et Pantocsek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Crucidentacula nicobarica</i> (Grunow) Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Delphineis surirella</i> (Ehrenberg) Andrews	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Denticulopsis hustedii</i> (Simonsen et Kanaya) Simonsen	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>D. hyalina</i> (Schrader) Simonsen	1	+	4	5	1	-	-	-	-	1	1	-	-	-	1	
<i>D. ichikawae</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>D. lauta</i> (Bailey) Simonsen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>D. praedimorpha</i> var. <i>praedimorpha</i> Barron ex Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>D. simonsenii</i> Yanagisawa et Akiba	1	-	-	1	1	2	1	2	3	14	-	+	-	2	1	
<i>D. vulgaris</i> (Okuno) Yanagisawa et Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S-type girdle view of <i>D. simonsenii</i> group	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Diploneis smithii</i> (Brébisson) Cleve	-	-	-	1	3	-	3	1	1	+	1	1	-	2	+	
<i>Goniothecium odonotella</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Grammatophora</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Hemidiscus cuneiformis</i> Wallich	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Koizumia adaroi</i> (Azpeitia) Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Mediaria splendida</i> Sheshukova	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Melosira sol</i> (Ehrenberg) Kützing	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Nitzschia cf. grunowii</i> Hasle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>N. heteropolica</i> Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>N. praeinholdii</i> Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) Agardh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	3	9	3	23	6	41	42	36	20	10	27	8	10	21	13	
<i>Plagiogramma starophorum</i> (Gregory) Heiberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Proboscia barboi</i> (Brun) Jordan et Priddle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Rhaphoneis amphicerus</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Rhizosolenia miocenicus</i> Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>R. styliformis</i> Brightwell	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Rouxia californica</i> Peragallo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehrenberg) Hasle et Sims	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Stephanogonia hanzawae</i> Kanaya	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Stephanopyxis</i> spp.	9	5	7	1	-	1	4	2	-	+	8	7	4	6	2	
<i>Thalassionema hirasakiensis</i> (Kanaya) Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>T. nitzschoides</i> (Grunow) H. et M. Peragallo	8	6	3	22	13	27	20	16	35	24	39	36	6	35	42	
<i>Thalassiosira cf. brunii</i> Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>T. grunowii</i> Akiba et Yanagisawa s.l.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>T. leptopus</i> (Grunow) Hasle et Fryxell	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>T. manifesta</i> Sheshukova	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>T. temperei</i> (Brun) Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>T. yabei</i> (Kanaya) Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total number of valves counted	50	50	33	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Resting spore of <i>Chaetoceros</i>	7	8	7	13	9	45	13	27	31	64	8	8	9	27	62	

線3以上.

(第6図).

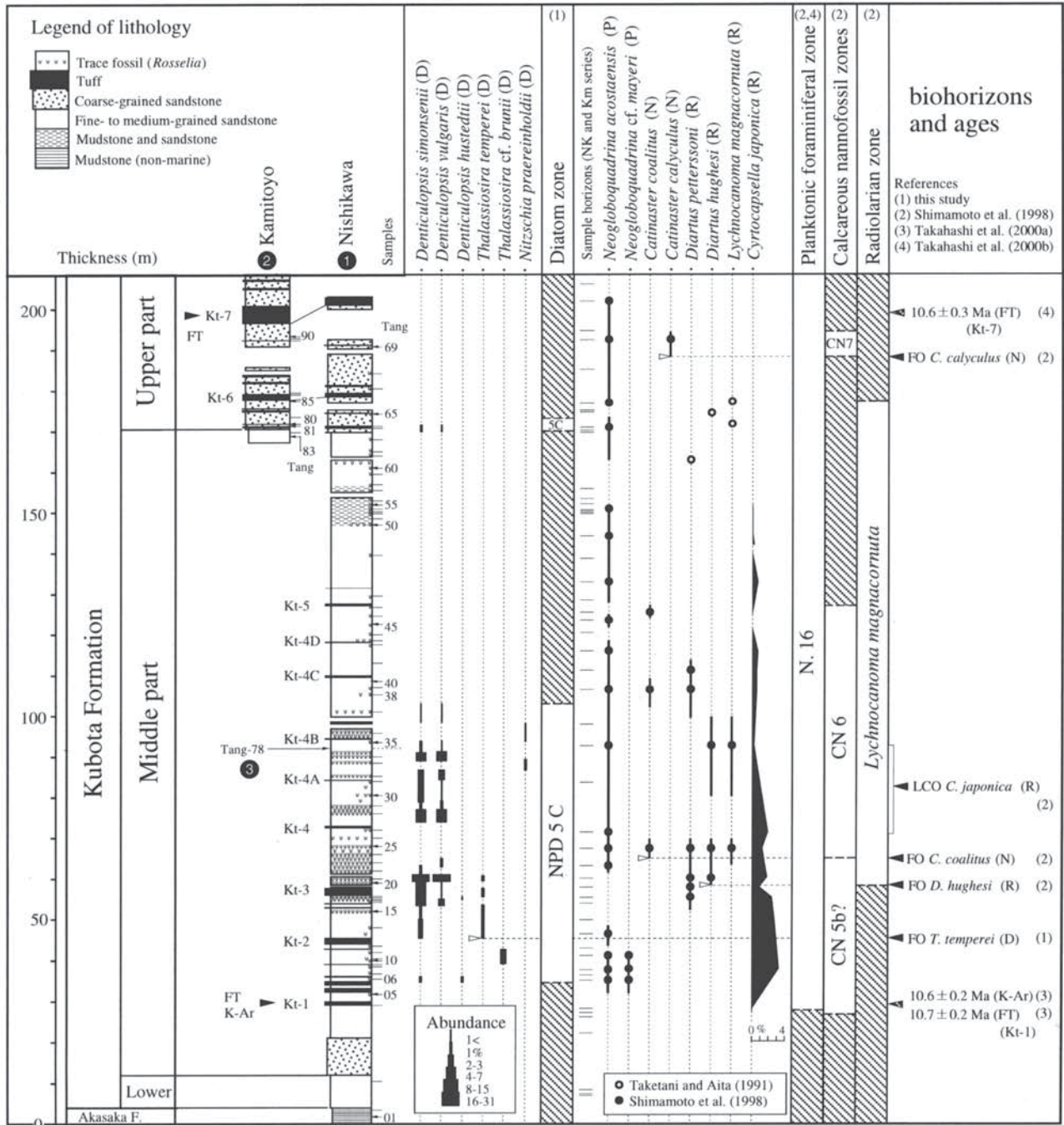
4. 結 果

分析した81試料のうち,28個から計数可能な数の珪藻化石が産出した(第1表).それ以外の試料からは,珪藻化石は産出しないか,または破片のみが産出したにすぎない

西川セクション(第4図)では,赤坂層と久保田層下部の試料(Tang-01からTang-03)には,珪藻は全く含まれていなかった.久保田層中部の凝灰岩鍵層Kt-1からKt-3の1.5m下位までの層準から採取したTang-04からTang-16では,Tang-06,07,12,14,15から珪藻化石が検出されたが,含有珪藻化石の数は極めて少なく,100蓋殻の算定が可能

だったのはTang-14のみであった。それ以外では珪藻化石は破片が含まれているだけであった。久保田層中部の凝灰岩鍵層Kt-3の下位1mからKt-4Cの下位4mまでの層準から採取した試料Tang-17からTang-38では、Tang-24とTang-

25の2試料を除く20個の試料から、ほぼ連続的に計数可能な数の珪藻化石が産出した。しかし、その上位のTang-39からTang-63では、珪藻化石は無産ないし破片として見つかるのみであった。さらに久保田層上部の試料(Tang-64か



第6図 久保田層における珪藻、浮遊性有孔虫、石灰質ナノ化石および放射虫の主な種の層序分布。珪藻化石帯区分はAkiba (1986) およびYanagisawa and Akiba (1998)、浮遊性有孔虫化石帯区分はBlow (1969)、石灰質ナノ化石帯区分はOkada and Bukry (1980)、放射虫化石帯区分は本山 (1999)による。

Fig. 6 Stratigraphic distribution of selected diatoms (D), planktonic foraminifers (P), calcareous nannofossils (N) and radiolarians (R) in the Kubota Formation. Diatom zonation after Akiba (1986) and Yanagisawa and Akiba (1998), planktonic foraminiferal zonation after Blow (1969), calcareous nannofossil zonation after Okada and Bukry (1980) and radiolarian zonation after Motoyama (1999).

らTang-69)では、Tang-65から計数可能な珪藻化石が産出した以外、珪藻化石は無産ないし破片が産出したに留まる。なお、Tang-65は生痕化石ではなく、砂岩中に挟まる泥質凝灰岩である。

上豊セクション(第5図)のTang-80からTang-90の試料では、久保田層上部の基底部にあたる泥質凝灰岩の試料Tang-80およびTang-81から計数可能な珪藻化石が産出したが、残りの試料では珪藻化石は無産か破片のみの産出であった。なお、試料Tang-80およびTang-81は、西川セクションの試料Tang-65より2.5-3m下位に対比される(第6図)。

猪鼻セクション(第5図)で採取したTang-78からは珪藻化石が産出した。この試料は、凝灰岩層Kt-4Bの下位2.3mの層準に相当する。第6図では、その層序学的位置を西川セクションの柱状図に示した。

産出した珪藻化石の保存状態は全体として不良であり、多くの試料で殻の頑丈な*Actinocyclus ingens*や*Coscinodiscus marginatus*の頻度が比較的高い。ただし、試料Tang-21, 28, 34は例外的にやや保存がよく、この中でも特にTang-21は保存状態が最も良好で、*Denticulopsis simonsenii*および*D. vulgaris*が多産する。

5. 珪藻化石層序

上記の結果を基に珪藻化石帯を認定する(第6図)。珪藻化石帯区分は、Akiba (1986)およびYanagisawa and Akiba (1998)の北太平洋中—高緯度珪藻化石帯をそのNPDコード番号とともに用いる。また、対比に有用な生層準は、Yanagisawa and Akiba (1998)のDコード番号を使用する。

久保田層中部の下部層準にあたるTang-06, 07, 12, 14, 15は、含有珪藻化石の数が少なく、化石帯判定はやや難しい。ただし、このうち試料Tang-06からは、*Thalassiosira yabei*帯(NPD 5C)に産出が限定される*Denticulopsis hustedtii*が産出すること、また*Denticulopsis praedimorpha*と*D. dimorpha*が産出しないこと、さらに後述のように、これより上位の試料Tang-17から78が確実に*T. yabei*帯と認定されることから、試料Tang-06も*T. yabei*帯であると判定できる。

久保田層中部の中部層準にあたる試料Tang-17から38のうち、Tang-17, 21, 23, 28, 32, 34, 78, 37は、*D. simonsenii*と*D. vulgaris*を含み、*Denticulopsis praedimorpha*も*D. dimorpha*も産出しないことから、*T. yabei*帯であると認定できる。とくに、Tang-21, 28, 34は保存がよく、指標種である*D. simonsenii*と*D. vulgaris*を多く含むことから、この認定はほぼ確実であると言える。一方、試料Tang-22, 26, 27, 33, 36, 38については、化石帯認定の指標となる*Denticulopsis*属が稀産ないし無産であるので、個々の試料のレベルでは化石帯の認定は困難である。

久保田層上部の基底部の試料Tang-81は、量は少ないものの*D. simonsenii*と*D. vulgaris*を含み、しかも*D. praedimorpha*と*D. dimorpha*が産出しないので、*T. yabei*帯である可能性が高い。一方、Tang-80およびTang-65は指標種である*Denticulopsis*属が無産であるので、化石帯の認定は難しい。

以上のことから、久保田層中部の凝灰岩鍵層Kt-1Bの直上からKt-4BとKt-4Cの間までの区間と、久保田層上部の基底部は、*T. yabei*帯(NPD 5C)に相当すると判断される。とくに凝灰岩鍵層Kt-3の下位1mからKt-4Bの下位2.5mまでの区間は、指標種の*Denticulopsis*属が比較的多産するので、*T. yabei*帯と確実に判定できる。

*T. yabei*帯内では有効な生層準として、その上部に*D. hustedtii*のアクメ・終多産出層準(D55.8)がある(Yanagisawa and Akiba, 1998)。Yanagisawa and Akiba (1998)によれば、*D. hustedtii*はこの層準までは連続的に産出し、ここで短いアクメを作って多産した後、その上位では散点的に稀産するとされる。東棚倉地域の久保田層中部では、*D. hustedtii*はTang-06とTang-18にわずかに産出するのみで、連続産出やアクメは認められない。したがって、久保田層中部で*T. yabei*帯と認定できた区間は、*D. hustedtii*のアクメ・終多産出(D55.8)よりも上位にあたる*T. yabei*帯上部に相当する可能性が高い。

常磐地域の多賀層群では、*D. hustedtii*のアクメ・終多産出(D55.8)の数m上位に、*Thalassiosira temperei*の初産出層準が存在する(柳沢, 2000)。久保田層では、この*T. temperei*の初産出層準が、Tang-12とTang-14の間に認められる。これは、久保田層が*T. yabei*帯の上部に相当するという上述の推定と合致する。

以上のことから、久保田層中部の凝灰岩鍵層Kt-1Bの直上からKt-4BとKt-4Cの間までの区間と、久保田層上部の基底部は、*D. hustedtii*のアクメ・終多産出層準(D55.8)よりも上位の*T. yabei*帯(NPD 5C)上部に相当すると考えられる。

6. 微化石層序および放射年代との対比

次に、この研究で明らかになった珪藻化石層序と、既報の各微化石層序と凝灰岩の放射年代との対応関係について考察し、現時点での久保田層の年代層序を総括する(第6図)。

6.1 浮遊性有孔虫化石層序

相田(1988)は久保田層の浮遊性有孔虫群集を検討し、本層上部から*Globorotalia dehiscens* (Chapman, Parr et Collins)と*Candeina nitida* (d'Orbigny)を検出し、前者がBlow (1969)のN.5帯からN.18帯から産出し、後者がN.17帯で出現することを根拠にして、久保田層上部にN.17-N.18帯に対比される層準があると指摘した。一方、島

本ほか(1998)およびHayashi *et al.* (2002)は,その初産出がBlow (1969)のN.16帯下限を規定する*Neogloboquadrina acostaensis* (Blow)が凝灰岩Kt-1とKt-2の間の層準から産出し始め,ほぼ久保田層の上限まで産出すること,さらにその初産出がN.17帯下限を定義する*Globorotalia plesiotumida* Blow et Bannerが久保田層からは産出しないことから,久保田層中部のKt-1の直上から本層の最上部までが,すべてBlow (1969)のN.16帯に相当すると認定した。また, Hayashi *et al.* (2002)は,久保田層中部の下部層準では,その終産出がN.14帯の上限を定義する*Neogloboquadrina mayeri* (Cushman et Ellisor)に類似した*N. cf. mayeri*が*N. acostaensis*と共産することから,この部分はN.16帯の最下部に相当するとしている。

6.2 石灰質ナノ化石層序

島本ほか(1998)は,久保田層の石灰質ナノ化石層序を報告しているが,化石帯の指標種の産出は散点的であるため,化石帯の認定には問題が残されている。まず,久保田層中部では,その初産出がOkada and Bukry (1980)のCN6帯の下限を規定する*Catinaster coalitus* Martini et Bramletteが,Kt-4の下位50cm,Kt-4Cの下位2.5mおよびKt-5の下位1.5mの3試料から産出し,*Catinaster calyculus* Martini et Bramletteや*Discoaster hamatus* Martini et Bramletteが共産しないことから,Kt-4の下位からKt-5の直下までの区間は,Okada and Bukry (1980)のCN6帯と認定されている。また,Kt-4の直下からKt-1の下位2mの区間では,*C. coalitus*が産出せず,CN4帯の上限で消滅する*Sphaenolithus heteromorphus* Deflandreと,CN5a帯の上限で消滅する*Cyclicargolithus floridanus* (Roth et Hay)が見つからないことから,この区間はCN5b帯である可能性があると考えられる。しかし,その初産出がCN5b帯の下限を定義する*Discoaster kugleri* Martini et Bramletteは産出していないので,化石帯認定の確実度は低い。一方,上豊セクションにおける久保田層上部のKt-7の下位4mの試料からは,その初産出がCN7帯の下限を規定する*Catinaster calyculus*が検出されており,少なくともこの試料はCN7帯と認定できる。しかし,*C. calyculus*の産出したのはわずか1試料のみであり,*C. calyculus*の初産出層準がさらに下位に下がる可能性は十分にある。

なお,島本ほか(1998)では,この試料はCN7b-CN8a帯とされているが,Berggren *et al.* (1995)や斎藤(1999)によれば,*C. calyculus*の産出はCN7帯に限定される。

6.3 放散虫化石層序

島本ほか(1998)によれば,放散虫は久保田層中部のKt-3の直上からKt-4Cの直下までの区間で多産する。凝灰岩Kt-3の上位1-2mの層準には,*Diartus pettersoni* (Riedel et Sanfilippo)から*D. hughesi* (Campbell et Clark)への

進化的初出現層準が存在する。この生層準の年代と,*Lychnocanoma magnacornuta* Sakaiが産出することから,久保田層中部のKt-3の直上からKt-4Cの直下までの区間は,本山(1999)の*L. magnacornuta*帯の下半部と認定される。一方,竹谷・相田(1991)によれば,久保田層上部の最下部(Kt-6の下位)でも*L. magnacornuta*が産出しており(第6図),少なくともこの層準までは,*L. magnacornuta*帯に属すると考えられる。なお,*Cyrtocapsella japonica*は久保田層中部の下半部で数%以上で比較的多産するが,Kt-4より上位では急減して1%以下となる。

6.4 放射年代

Takahashi *et al.* (2001a)は,久保田層中部の最下部に挟在する凝灰岩層Kt-1について,ジルコンのFT年代 10.7 ± 0.2 Ma(誤差は 1σ)と,黒雲母のK-Ar年代 10.6 ± 0.2 Ma(誤差は 1σ)を報告している。また,Takahashi *et al.* (2001b)は,久保田層上部の凝灰岩Kt-7について,ジルコンのFT年代 10.6 ± 0.3 Ma(誤差は 1σ)を得ている。

6.5 年代層序のまとめ

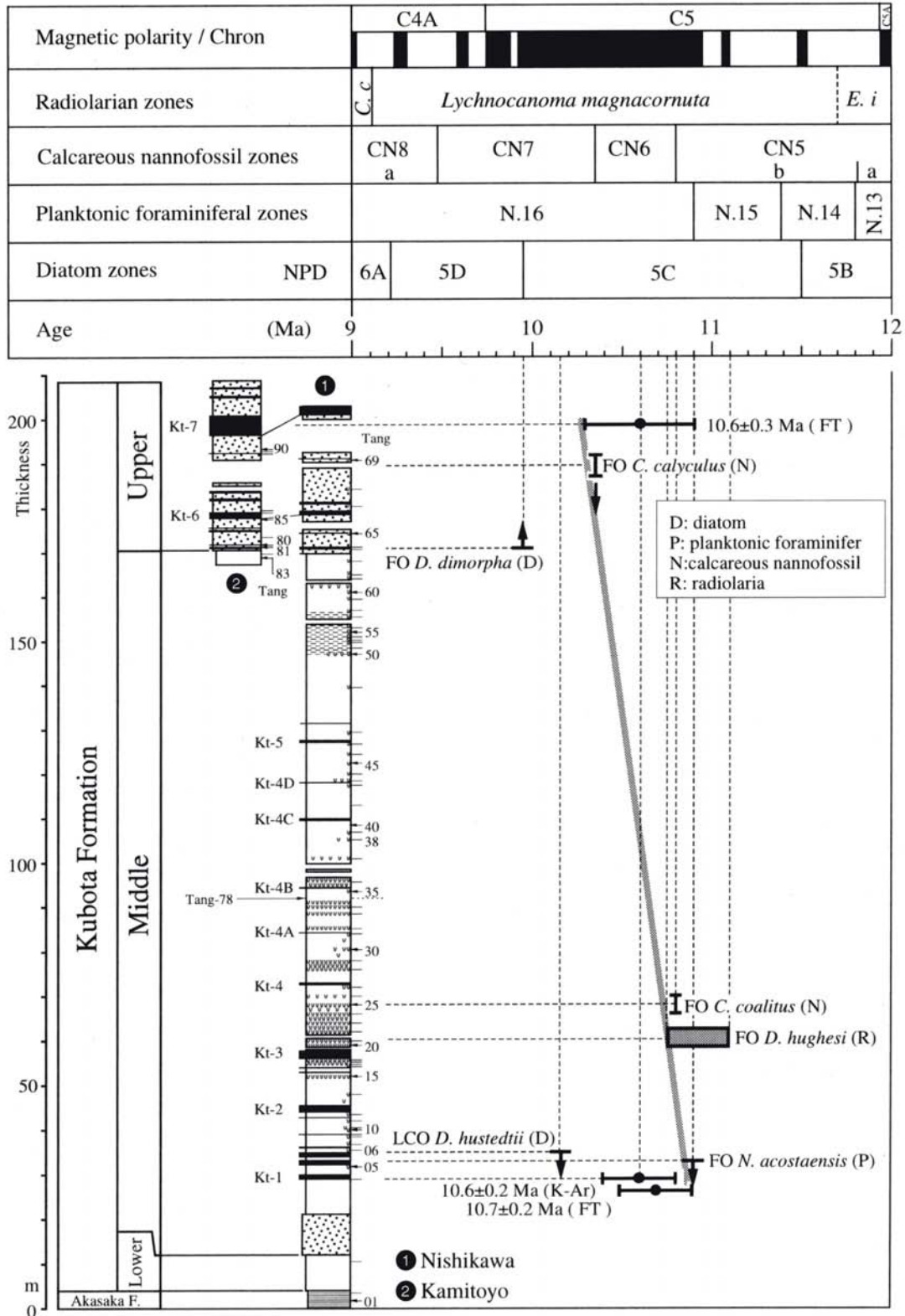
以上の久保田層の浮遊性有孔虫化石層序・石灰質ナノ化石層序・放散虫化石層序と今回の珪藻化石層序とは,化石帯レベルでの大まかな対比に関するかぎり,斎藤(1999)の提案した新第三紀の標準微化石年代尺度とは矛盾しない(第7図)。すなわち,久保田層中部の下半部(Kt-1からKt-4Cまで)は,珪藻化石層序では*T. yabei*帯の上部に,浮遊性有孔虫化石層序ではN.16帯に,石灰質ナノ化石層序ではCN5b-CN6帯に,そして放散虫化石層序では*L. magnacornuta*帯にそれぞれ相当し,斎藤(1999)の微化石年代尺度とはおおよそ矛盾しない。なお,珪藻の*D. hustedtii*の終多産出層準の推定年代(10.1 Ma; Yanagisawa and Akiba, 1998)は,Kt-1の放射年代とは一致しないが,この生層準については年代の推定に問題があり(柳沢,2000),今後の検討を要する。

以上述べてきたように,久保田層における微化石層序の対比は斎藤(1999)の微化石年代尺度とはおおよそ矛盾しないものの,細かな点では問題もあるので,今後,さらに試料数を増やして再検討する必要がある。

堆積速度曲線は,幾つかの生層準や放射年代に一部矛盾があるために,一義的に引くのは難しいが,久保田層に見られるほとんどの生層準の年代と放射年代は,10.0-10.7 Maの区間に収まるので,Takahashi *et al.* (2001b)が示したように,久保田層の堆積速度は極めて速い(25.5cm/1000年以上)と推定される。

7. 珪藻群集に基づく古水深変化の復元

次に久保田層から産出した珪藻群集の変化から,久保田層堆積時の古水深の変化について考察し,さらに放散虫,



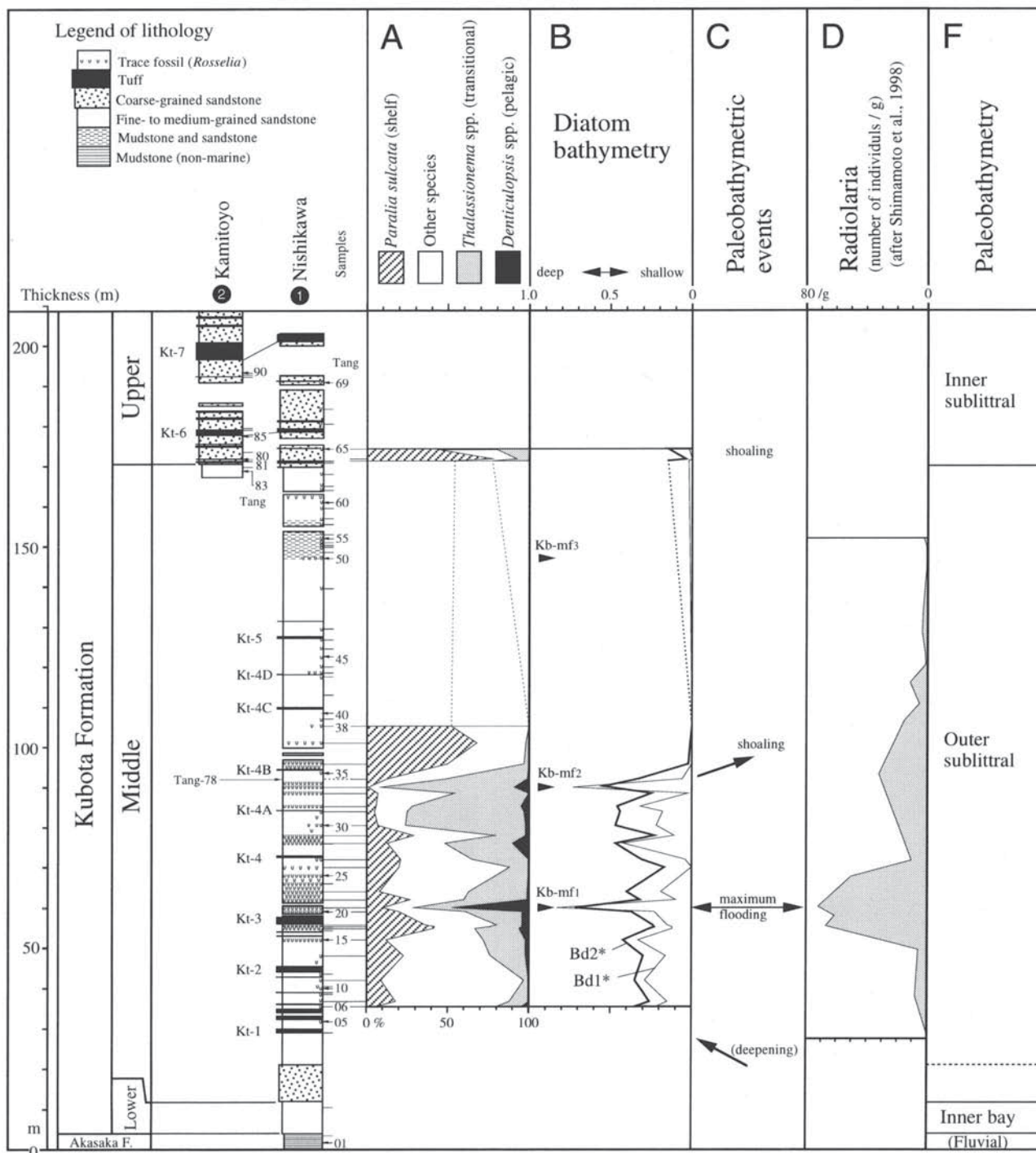
第7図 久保田層における堆積速度曲線。地磁気微化石年代は斎藤(1999)に基づく。珪藻化石帯区分はAkiba (1986) およびYanagisawa and Akiba (1998), 浮遊性有孔虫化石帯区分はBlow (1969), 石灰質ナノ化石帯区分はOkada and Bukry (1980), 放射虫化石帯区分は本山 (1999)による。C. c.: *Cycladophora cornutoides*; E. i.: *Eucyrtidium inflatum*。

Fig. 7 Sedimentation rate curves for the Kubota Formation. Magnetobiochronology after Saito (1999). Diatom zonation after Akiba (1986) and Yanagisawa and Akiba (1998), planktonic foraminiferal zonation after Blow (1969), calcareous nannofossil zonation after Okada and Bukry (1980) and radiolarian zonation after Motoyama (1999). C. c.: *Cycladophora cornutoides*; E. i.: *Eucyrtidium inflatum*。

有孔虫, 貝形虫および貝類化石群集から示唆される古水深変化を総合して, 久保田層全体の古水深変化を復元する。

まず, 久保田層から産出した珪藻のうち, 頻度の高い *Paralia sulcata*, *Thalassionema* 属および *Denticulopsis* 属の頻度の変化から, 群集全体の変化を概観する(第8図A)。陸棚域沿岸性の底生種の代表である *P. sulcata* は, 久

保田層中部の Kt-1 から Kt-4B のまで平均 10-20% 程度の頻度で産出するが, Kt-4B 付近で急増し, これより上位では平均 50% 以上の高い頻度で産する。一方, 外洋性珪藻の代表である *Denticulopsis* 属は, 久保田層中部の Kt-1 から Kt-4B までは平均数% 以下の産出であるが, Kt-3 の直上 2m の Tang-21 でのみ 47% と突出して多産する。また,



第8図 久保田層における古水深の変化。A: 珪藻群集変化, B: 珪藻深度指標, C: 古水深イベント, D: 試料1g中の放射虫の個体数(島本ほか, 1998), F: 堆積環境。

Fig. 8 Paleobathymetric change in the Kubota Formation. A: Diatom floral change; B: Diatom bathymetric indices; C: Paleobathymetric events; D: Number of radiolarian individuals per gram after Shimamoto *et al.* (1998); F: Depositional environments.

*Denticulopsis*属は, Kt-4Bより上位ではほとんど産出しなくなる。陸棚域と外洋域の間の漸移帯で相対的に頻度の高い *Thalassionema*属 (柳沢, 1996) は, Kt-1からKt-4Bまでは平均20-30%の産出であるが, Kt-4Bの直下で82%まで急増した後, その上位では急減して数%以下となる。以上の群集の変化から, 以下の2つのことが言える。

(1) Kt-3の直上では外洋性の *Denticulopsis*属が多産しており, この層準で環境が最も外洋的になったことを示す。

(2) Kt-4Bの下位数mの層準より上位では, 陸棚域沿岸性の *P. sulcata*が急増して外洋性の *Denticulopsis*属が産出しなくなり, また漸移帯に多い *Thalassionema*属も急減している。このことは, この層準で急激に沿岸性の環境に変化したことを示唆する。

次に, こうした変化を更に明確に調べるために, 柳沢 (1996) の珪藻深度指標を算出した (第8図B)。柳沢 (1996) は, 沿岸性種と外洋性種の混合の程度から間接的に堆積古水深の相対的な変化を推定する2つの指標 (Bd1, Bd2) を提案し, それが中期中新世においても有効であることを示した。Bd1とBd2は次のように定義される。

$$Bd1 = Xp / (Xs + Xp)$$

$$Bd2 = (0.5Xt + Xp) / (Xs + Xt + Xp)$$

ここで, Xsは陸棚域沿岸性の主として底生種の頻度の合計, Xpは沖合い外洋性の浮遊性種の頻度の合計, Xtはその中間の漸移域に多い種の頻度の合計を表す。また, 陸棚域沿岸性種, 外洋性種および漸移種の区分は, 柳沢 (1996) の第1表Bによった。ただし, 著者の最近の研究によれば, 保存が悪い試料では外洋性種とされる *Actinocyclus ingens*と *Coscinodiscus marginatus*が多くなって群集組成がゆがんでしまい, 珪藻深度指標は実際の岩相変化や底生有孔虫群集から推定される深度とはずれてしまうことが明らかになりつつある。そこで, この論文では, この2種を除いた上で, 珪藻深度指標を計算した (第8図のBd1*とBd2*)。ただし, この2種以外の頻度も保存状態に影響を受けるので, 他の化石の情報などを加味して, 珪藻深度指標の解釈は慎重に行う必要がある。

第8図を見ると, 珪藻深度指標はほとんど0.4以下であり, 柳沢 (1996) の示した基準では, 外部浅海帯の深度を示す。しかし, 珪藻深度指標はKt-3の直上では, 0.4以上の高い値を示しており, この層準で最も深くなったこと, すなわち最大海進がこの層準にあることがわかる。ここでは, 外洋性の *Denticulopsis*属が47%の高率となっている。また, Kt-4Bの直下より上位では珪藻深度指標が急に小さくなっており, 急速な浅海化が起こったことを示している。さらに, Kt-4Bの下位2.5mで珪藻深度指標が急減する直前で, 珪藻深度指標 (とくにBd1*) が高い値を示していることがわかる。ここでは, 外洋性の *Denticulopsis*属の頻度は9%とそれほど高くはないが, *Thalassionema*属の頻度が83%と高く, 沿岸性種の *P. sulcata*が1%と極めて低い頻度となっている。したがって, この層準でもKt-3の直上に次いで一時的に

深度が深くなったことがわかる。以上2つの深度が深くなる層準 (海氾濫面) を下位よりKb-mf1とKb-mf2とする。

次に島本ほか (1998) が示した放散虫の産出量 (1グラム当たりの産出個体数) の変化 (第8図D) と珪藻深度指標の変化を比較してみる。放散虫は久保田層中部のKt-3の直上からKt-4Cの直下までの区間で1gあたり10個体以上多産し, とくにKt-3直上では, 放散虫の産出量がピーク (1グラムあたり60-70個体) となっている。竹谷・相田 (1991) も, 西川の支流のKt-3の直上にあたる層準で放散虫が豊富に, 多様な種が産出することを報告している。この放散虫の豊富層準は, 珪藻深度指標がピークを示すKt-3直上の層準に完全に一致する。また, 放散虫の産出量はKt-4B付近より上位で減少しており, 珪藻深度指標の変化ほど急激ではないものの, 同様な変化パターンを示す。基本的には外洋性である放散虫がKt-3直上で多産することは, この放散虫の豊富層準が上下の区間に比べ相対的に外洋的な環境にあったことを示す。これは, この層準で外洋性珪藻である *Denticulopsis*属が多産して, 珪藻深度指標も最も深い深度を示すことと調和的である。

島本ほか (1998) によれば, 深度の指標となる全有孔虫個体数に対する浮遊性有孔虫個体数の比 (P/B比) は, 珪藻の産出したKt-1からKt-4Bの区間は, 珪藻化石が産出しないKt-1より下位の区間と久保田層中部の上半部よりも相対的に高い値, すなわち深い深度を示している。したがって, この久保田層中部のKt-3の直上の層準は, 久保田層の中で深い深度を示しているKt-1からKt-4Bまでの区間の中でも, とくに深い深度を示す層準であり, この付近に最大海氾濫面が存在するものとみられる。

以上のように, 珪藻群集, 放散虫群集および有孔虫群集からみた久保田層の古水深の変化は, 次のようにまとめられる。(1) 久保田層では, 中部の最下部 (Kt-1の下位) で岩相が急速に上方細粒化して水深が深くなり, Kt-3の直上2mで最大の海進 (Kb-mf1) を迎えた。(2) その後, Kt-4Bの下位2.5mでも2番目のやや弱い海進 (Kb-mf2) があった。(3) その上位では, 急速に浅海化した。

ところで, Yamaguchi and Hayashi (2001) は, 久保田層の貝形虫群集を検討し, それに基づいて底質の環境変化を明らかにしている。それによれば, 貝形虫群集は, 久保田層下部が暖流の影響を受けた内湾の環境を, 久保田層中部は暖流の影響のある浅海帯の環境を示唆する。この結果は, 今回の珪藻化石分析から得られた結果と矛盾しない。一方, 彼らは群集の主成分分析を行い, 外洋の影響を示す第2主成分が, 久保田層中部を通じて上位に向かって大きくなり, 凝灰岩Kt-5とKt-6の中間 (この研究のTang-50付近の層準, 第8図) で最大になること, すなわちここに相対的海水準が高くなった層準が存在することを明らかにした。この層準を第8図ではKb-mf3として示している (ただし, この層準では, 珪藻化石はほとんど含まれておらず, 珪藻と貝形虫群集の結果を直接比較することはできない)。しかし, 貝

形虫群集では、珪藻化石群集から明らかになったKb-mf1やKb-mf2に相当する海沓濫面に相当するものが見あたらず、珪藻群集とは異なる結果となっている。しかし、これは次に述べるように、貝形虫の非産出や分析した試料が異なることによる見かけ上の違いにすぎない可能性が高い。

まず、Kb-mf1のある凝灰岩Kt-3付近では貝形虫がほとんど産出しないので、第2主成分の変化にKb-mf1が現れないのは当然である。また、Kb-mf2を中心として上下30mの区間ではわずか1試料しか貝形虫が分析されておらず、しかもその試料とほぼ同じ層準の試料では珪藻化石がほとんど含有されていない。このように、たまたまKb-mf2の層準では、貝形虫が分析された試料が少ないために、海進を示すシグナルが貝形虫化石群集から取り出すことができなかったと思われる。

すでに触れたように、Iwasaki (1970)は久保田層の貝類化石群集を詳しく検討し、本層下部に*Ostrea*群集と*Anadara-Dosinia*群集、中部に*Lucinoma-Turritella*群集、そして上部に*Mizuhopecten-Chlamys*群集を識別している。東北地方の新第三系の貝類化石の古水深指標をまとめた小笠原・増田(1989)に基づくと、本層下部は深度30m以浅の内湾、中部は深度100-200mの外部浅海帯、上部は深度30m以浅の内部浅海帯と推定される(Yamaguchi and Hayashi, 2001)。この結果は、珪藻化石の産出する久保田層中部に関しては珪藻化石から推定される古水深とよく一致する。

以上述べてきた久保田層の古水深変化は、以下のようにまとめられる。

- (1) 久保田層下部は、外洋の影響を多少受けた内湾の環境であった。
- (2) その上位では、急速な海進が進んで外洋的な環境となり、本層中部はほぼ外部浅海帯の環境下にあった。
- (3) 本層中部は、全体としては外部浅海帯の環境にあったものの、3回の相対的海水準サイクルが存在し、3層準に海沓濫面(Kb-mf1, Kb-mf2, Kb-mf3)が認められる。このうちKb-mf1が最大のものであり、これが久保田層全体の海沓濫面に相当する。
- (4) 本層中部から上部へかけては海退が進み、本層上部では内部浅海帯の環境に置かれた。

8. 烏山地域荒川層群との対比

次に、本地域から南西に約47km離れた栃木県烏山地域(第1図)の荒川層群上部との対比を行う。荒川層群上部については、詳しい微化石層序と年代層序が明らかにされ(柳沢, 2003aなど)、その年代は久保田層とほぼ同じであることがわかっている。また、荒川層群上部でも古水深変化が明らかにされており(柳沢, 2003b)、久保田層での古水深変化との比較が可能である。

第9図に対比図を示した。荒川層群は、下位より小埜層、

大金層、田野倉層および入江野層からなるが、ここで対比を行う荒川層群上部は、大金層上部、田野倉層および入江野層である。大金層は、泥岩および砂質泥岩を主体とする。田野倉層は珪藻質泥岩で、最上部は砂質泥岩からなる。入江野層は泥質砂岩からなり、全層準で貝類化石を多産する。荒川層群中には多数の凝灰岩層が挟まれており、いずれも良好な鍵層となる。荒川層群の上部(大金層上部の凝灰岩層Og45から入江野層の上限まで)は、珪藻化石層序ではYanagisawa and Akiba (1998)の*Thalassiosira yabei*帯(NPD 5C)最上部から*Denticulopsis dimorpha*帯(NPD 5D)に、放散虫化石層序では本山(1999)の*Lychnocanoma magnacornuta*帯に相当し(柳沢, 2003a)、久保田層と荒川層群はほぼ同じ化石帯に属し、ほぼ同じ年代の地層であることがわかる。

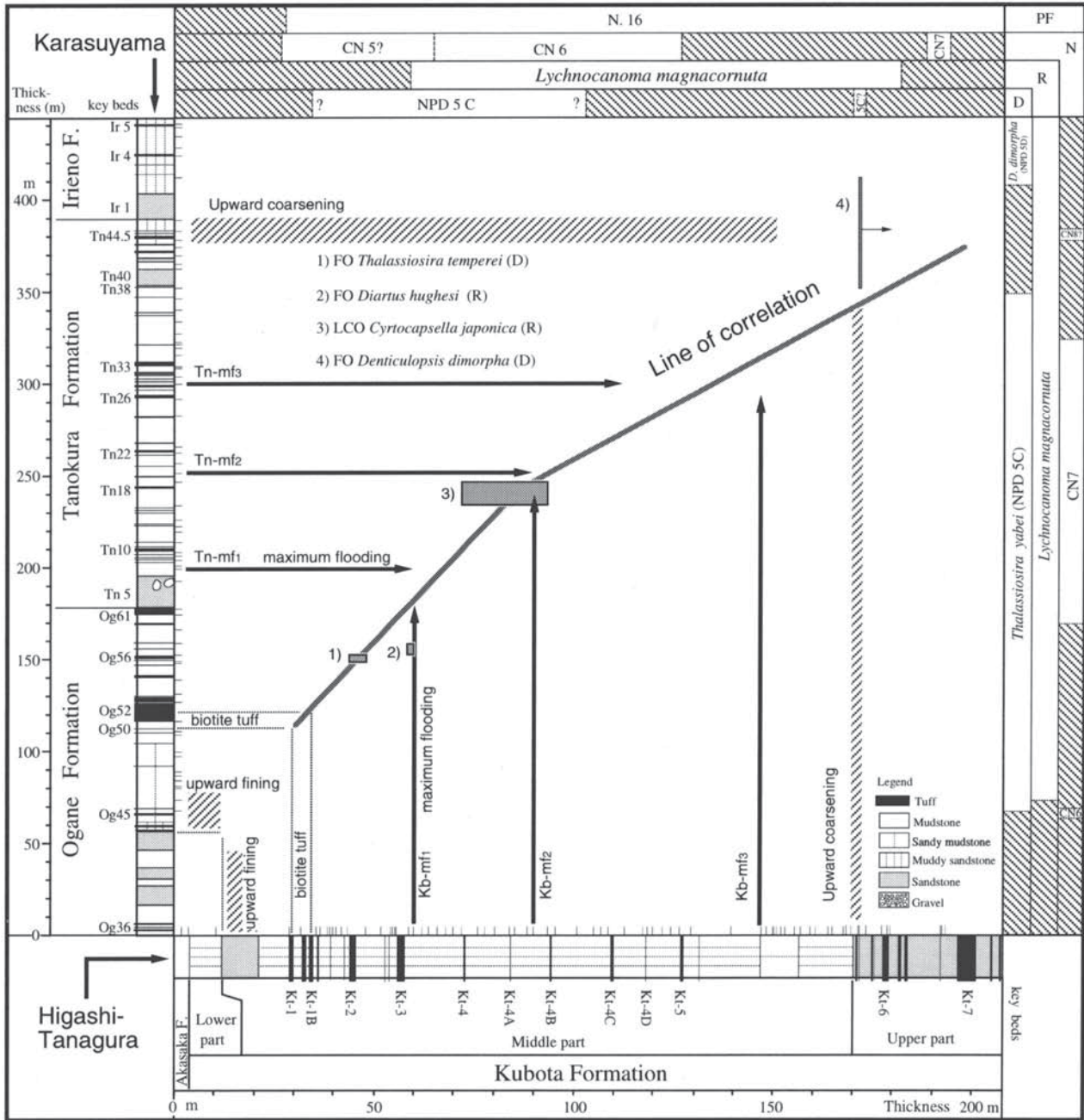
なお、石灰質ナノ化石層序では、久保田層がOkada and Bukry (1980)のCN5—CN6帯に属するのに対し(島本ほか, 1998)、荒川層群上部はCN7帯およびCN8帯に相当し、両者の化石帯は一致しない。この食い違いの原因は現段階でははっきりしないものの、既述のように久保田層では化石帯指標種の産出状況が不良であり、このことが化石帯対比の食い違いを起している可能性もあるので、今後久保田層および荒川層群の石灰質ナノ化石層序については再検討が必要と思われる。

柳沢(2003b)によれば、荒川層群上部は、1回の海進海退からなるシーケンスで、最も深くなった環境ではおおそ中部漸深海帯の深度となっており、そこでは3つの層準に海沓濫面(Tn-mf1, Tn-mf2, Tn-mf3)が認められる(第9図)。

荒川層群上部と久保田層で、共通する生層準は多くはないが、以下の4つの生層準、1) *Thalassiosira temperei*の初産出(珪藻)、2) *Diartus hughesi*の初産出(放散虫)、3) *Cyrtocapsella japonica*の終多産出(放散虫)および4) *Denticulopsis dimorpha*の初産出(珪藻)を用いて対比を行った。対比に使用した生層準の位置がやや曖昧な部分もあるので、正確は対比線を引くことはできないが、ほぼ直線的な対比線が返ける。

この対比図をみて気づくのは、まず東棚倉地域の久保田層の凝灰岩Kt-3直上で認められた海沓濫面Kb-mf1が、烏山地域の荒川層群田野倉層の最下部の鍵層Tn5の直上にある海沓濫面Tn-mf1にほぼ対比できることである。この海沓濫面は、それぞれ久保田層および荒川層群上部において最も海進が進んだ層準であるという点で共通する。さらに、やや小さな海進であるKb-mf2も、ほぼTn-mf2に対比できる。また、Kb-mf3に関しては、やや位置がずれるものの、Tn-mf3に対応している。

このほか、久保田層中部の最下部に認められる急速な海進に伴う上方細粒化が、荒川層群の大金層上部のOg-45の前後の層準にある急激な海進と上方細粒化に対応する。また、久保田層中部から上部にかけての見られる岩相の上



第9図 久保田層と荒川層群上部(烏山地域)との対比。荒川層群の微化石層序は柳沢(2003a)による。珪藻化石帯区分はAkiba (1986) およびYanagisawa and Akiba (1998), 浮遊性有孔虫化石帯区分はBlow (1969), 石灰質ナノ化石帯区分はOkada and Bukry (1980), 放射虫化石帯区分は本山 (1999)による。

Fig. 9 Correlation between the Kubota Formation and the upper part of the Arakawa Group in the Karasuyama area. The biostratigraphy of the Arakawa Group after Yanagisawa (2003). Diatom zonation after Akiba (1986) and Yanagisawa and Akiba (1998), planktonic foraminiferal zonation after Blow (1969), calcareous nannofossil zonation after Okada and Bukry (1980) and radiolarian zonation after Motoyama (1999).

方粗粒化(海退)と、荒川層群の田野倉層最上部から入江野層にかけての上方粗粒化(海退)がほぼ対比できる。

このように、堆積盆が異なるにもかかわらず、東棚倉地域の久保田層と烏山地域の荒川層群上部では、古水深の変化、すなわち相対的海水準の変化のイベントがほとんど同

時的である。その違いは、久保田層の方が荒川層群上部に比べて、全体の堆積深度が浅いことと、層厚が約半分であることのみであり、相対的海水準の変化は、両地域でほぼ同期している。このことは、この相対的海水準の変化がそれぞれの堆積盆地でのローカルな現象ではなく、少なくとも東

棚倉地域と烏山地域を含む広域の現象であることを示しており、グローバルな海水準変動を反映している可能性も示唆している。

9. おわりに

この研究では、東棚倉地域に分布する上部中新統の久保田層から泥質生痕化石 *Rosselia* の試料を採取して珪藻分析を行い、従来曖昧であった後期中新世における珪藻化石層序と放散虫・石灰質ナノ化石・浮遊性有孔虫層序について、その直接的な対応関係を明らかにできた。また、珪藻化石を用いて深度変化を明らかにするとともに、栃木県烏山地域に分布する荒川層群上部と対比した。

(1) 久保田層中部の凝灰岩鍵層 Kt-1 の直上から、Kt-4B と Kt-4C の中間までの区間と、久保田層上部の基底層は *Thalassiosira yabei* 帯 (NPD 5C) の上部に相当する。

(2) 久保田層における珪藻化石層序と放散虫・石灰質ナノ化石・浮遊性有孔虫層序の対応関係は、斎藤 (1999) の標準微化石年代尺度とほぼ一致するが、一部には矛盾する点があり、今後の検討が必要である。

(3) 久保田層中部は、全体としては外部浅海帯の環境にあったものの、3回の相対的海水準の変動があり、3層準に海汎濫面が認められる。このうち凝灰岩鍵層 Kt-3 の直上にある海汎濫面が最大のものであり、外洋性珪藻が多産して珪藻深度指標が最大値を示す。

(4) 久保田層で認められた古水深 (相対的海水準) の変化のイベントは、生層序によって栃木県烏山地域の荒川層群上部に対比され、相対的海水準の変化は両地域でほぼ同期している。このことは、この相対的海水準の変化がローカルな現象ではなく、広域の現象であることを示す。

この研究では、従来十分な珪藻化石を検出することができなかった久保田層から、泥質生痕化石 *Rosselia* にねらいを絞って分析することにより、珪藻化石層序の指標化石の検出に成功した。このことは、久保田層と同様に砂質堆積物からなり、従来珪藻化石が産出しないと報告されている地層であっても、砂岩中に産する泥質生痕化石を分析することによって珪藻化石を検出し、年代層序について貴重なデータを得ることができることを示している。今後、こうした手法を用いることにより、珪藻化石層序をさらに有効に活用していくことが期待できる。

謝辞: 元石油資源開発株式会社技術研究所の秋葉文雄氏には、初期段階の原稿を読んでいただき、原稿をよりよいものにして行く上で有益な御助言をいただいた。また、海洋資源環境研究部門の田中裕一郎博士には、久保田層および荒川層群上部の石灰質ナノ化石層序についてコメントをいただいた。地球科学情報研究部門の渡辺真人博士と中江 訓博士には、査読を通じて貴重な助言をいただいた。日本地質地質学会には、第1図 (地質図) の図面転載の

許可をいただいた。ここに深く感謝の意を表す。

文 献

- 相田 優 (1988) 福島県棚倉地域の久保田層より産する新第三紀浮遊性有孔虫化石. 福島県博紀要, **2**, 13-27.
- Akiba, F. (1986) Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene through Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. In Kagami, H., Karig, D. E., Coulbourn, W. T., *et al.*, *Init. Repts. Deep Sea Drilling Project*, U. S. Govt. Printing Office, Washington D. C., **87**, 393-480.
- Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher, C. C. III and Aubry, M. -P. (1995) A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. *SEPM Special Publ.*, no. 54, 129-212.
- Blow, W. H. (1969) Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In Brönnimann and Renz eds., *International Conference of Planktonic Microfossils, 1st, Geneva (1967), Proceedings.*, **1**, 199-422.
- Chinzei, K. and Iwasaki, Y. (1967) Paleocology of shallow sea molluscan fauna in the Neogene deposits of Northeast Honshu, Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, no. 67, 93-113.
- 鎮西清高・岩崎泰穎・松居誠一郎 (1981) 福島県棚倉地方の新第三系: その層序と化石群. 日本地質学会第88年学術大会巡検案内書, 86-102.
- Hayashi, H., Yamaguchi, T., Takahashi, M. and Yanagisawa, Y. (2002) Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the upper Miocene Kubota Formation in the eastern Tanagura Formation, Northeast Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **53**, 409-420.
- Iwasaki, Y. (1970) The Shiobara-type molluscan fauna. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. 2*, **17**, 351-444.
- 本山 功 (1999) 本邦含油新第三系をめぐる放散虫化石層序の進歩—化石帯区分の進歩—. 石油技誌, **64**, 28-39.
- 本山 功・丸山俊明 (1998) 中・高緯度北西太平洋地域における新第三紀珪藻・放散虫化石年代尺度: 地磁気極性年代尺度 CK92 および CK95 への適合. 地質雑, **104**, 171-183.
- 小笠原憲四郎・増田孝一郎 (1989) 東北地方新第三系貝類化石の古水深指標とその応用. 地質学論集, no. 32, 217-227.
- Okada, H. and Bukry, D. (1980) Supplementary modification and introduction of code numbers to the

- low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973;1975). *Mar. Micropaleont.*, **5**, 321-325.
- 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報, no. 76, 1-71.
- 斎藤常正(1999)最近の古地磁気層序の改訂と日本の標準微化石層序. 石油技誌, **64**, 1-15.
- 島本昌憲・林 広樹・鈴木紀毅・田中裕一郎・斎藤常正(1998)福島県東部棚倉地域に分布する新第三系の層序と微化石年代. 地質雑, **104**, 296 - 312.
- 高橋治之・天野一男(1989)新第三系・第四系, 棚倉地域. 日本の地質2, 東北地方, 共立出版, 99-104.
- Takahashi, M., Hayashi, H., Danhara, T., Iwano, H. and Okada, T. (2001a) K-Ar and fission track ages of the Kt-1 Tuff in the Miocene marine sequence in the Tanagura area, Northeast Japan. *Japan Assoc. Petrol. Technol.*, **66**, 311-318.
- Takahashi, M., Iwano, H., Yanagisawa, Y. and Hayashi, H. (2001b) Fission track age of the Kt-7 Tuff in the Miocene Kubota Formation in the eastern Tanagura area, Northeast Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **52**, 291-301.
- 竹谷陽二郎・相田 優(1991)福島県棚倉地域の中新統久保田層より産する放射虫化石. 福島県博紀要, **5**, 31-51.
- Yamaguchi, T. and Hayashi, H. (2001) Late Miocene ostracodes from the Kubota Formation, Higashi-Tanagura Group, Northeast Japan, and their implications for bottom environments. *Paleontol. Res.*, **5**, 241-257.
- 柳沢幸夫(1996)水深指標としての珪藻群集. 堆積学研究, no. 43, 59-67.
- 柳沢幸夫(1999)金沢市南部地域に分布する中新統の珪藻化石層序. 地調月報, **50**, 49-65.
- 柳沢幸夫(2000)珪藻 *Denticulopsis hustedtii* のアクメ・終多産出イベントの生層序学的有効性. 地球科学, **54**, 73-89.
- 柳沢幸夫(2003a)栃木県烏山地域に分布する中新統荒川層群上部の珪藻化石—その1. 珪藻化石層序—. 地調研報, **54**, 1- 13.
- 柳沢幸夫(2003b)栃木県烏山地域に分布する中新統荒川層群上部の珪藻化石—その2. 古水深の変化—. 地調研報, **54**, 15- 27.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F. (1998) Revised Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **104**, 395-414.

(受付:2002年8月14日;受理:2003年1月22日)