

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. 古水深変化—

柳沢幸夫¹

Yukio Yanagisawa (2003) Miocene diatoms of the upper part of the Arakawa Group distributed in the Karasuyama area, Tochigi Prefecture, central Japan (part 2): Paleobathymetric change. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 54(1/2), p. 15-27, 5 figs.

Abstract: Paleobathymetric change is reconstructed for the upper Miocene sequence of the upper Arakawa Group distributed in eastern Tochigi Prefecture, central Japan, based on quantitative diatom analysis combined with analyses of benthic foraminifers and molluscs. The upper Arakawa Group constitutes a single sedimentary cycle with an upward bathymetric transition from outer sublittoral through middle bathyal to outer sublittoral environment. The middle part of the sequence represents an middle bathyal environment and includes three maximum flooding surfaces. Of the three, the first maximum flooding surface is the largest slightly above the base of the Tanokura Formation, where diatom bathymetric indices show a maximum value.

Keywords: diatom, bathymetry, maximum flooding, microfossil, Miocene, Neogene, Arakawa Group, Karasuyama, Tochigi, Japan

要 旨

珪藻化石データの定量的解析と、底生有孔虫および貝類化石を補助的に用いて、栃木県東部の烏山地域に分布する中新統荒川層群上部(大金層上部、田野倉層および入江野層)の堆積深度変化を復元した。荒川層群上部では、下位より堆積深度が外部浅海帯→上部漸深海帯→中部漸深海帯→上部漸深海帯→外部浅海帯と変化し、1つの堆積サイクルをなす。最も深くなった中部漸深海帯では、一次的にさらに深度が深くなる層準が、3層準挟まれており、このうち、田野倉層最下部にあるものが最も深度が深く、荒川層群上部のサイクル全体の最大海汎面である。

1. はじめに

荒川層群は栃木県東部那珂川支流の荒川沿いに露出する海成中新統である(酒井, 1986; 第1図)。前報(柳沢, 2003)では、荒川層群上部について珪藻化石分析を行い、詳細な珪藻化石層序を明らかにした。その結果、荒川層群については、石灰質ナノ化石層序(Honda, 1981; 田中・高橋, 1998, 2001)、放散虫化石層序(杉江, 1993; Sakai and Aita, 1994)、浮遊性有孔虫化石層序(宇佐美ほか, 1995; 林・高橋, 2000)および珪藻化石層序(柳沢, 2003)の主要4微化石層序が揃い、さらに多数の放射年代測定値(高橋, 1998; Takahashi *et al.*, 1999, 2000; Takahashi

and Iwano, 2000; Odin *et al.*, 2001)と併せて、極めて詳細な年代層序学的枠組みが構築された(柳沢, 2003)。これにより、荒川層群に刻まれたさまざまな地質記録を読み取り、グローバルな古環境変化や動植物群の変遷などを高精度・高確度で明らかにすることが可能となった。

この研究は、こうした年代層序学的枠組みを踏まえて、柳沢(2003)の珪藻化石のデータを中心とし、底生有孔虫化石(青島, 1987)および貝類化石(古沢ほか, 1987)のデータを用いて、荒川層群上部の堆積深度変化を復元し、グローバルな海水準変動との対比を行うための基礎的なデータを提供する。

2. 層序と年代

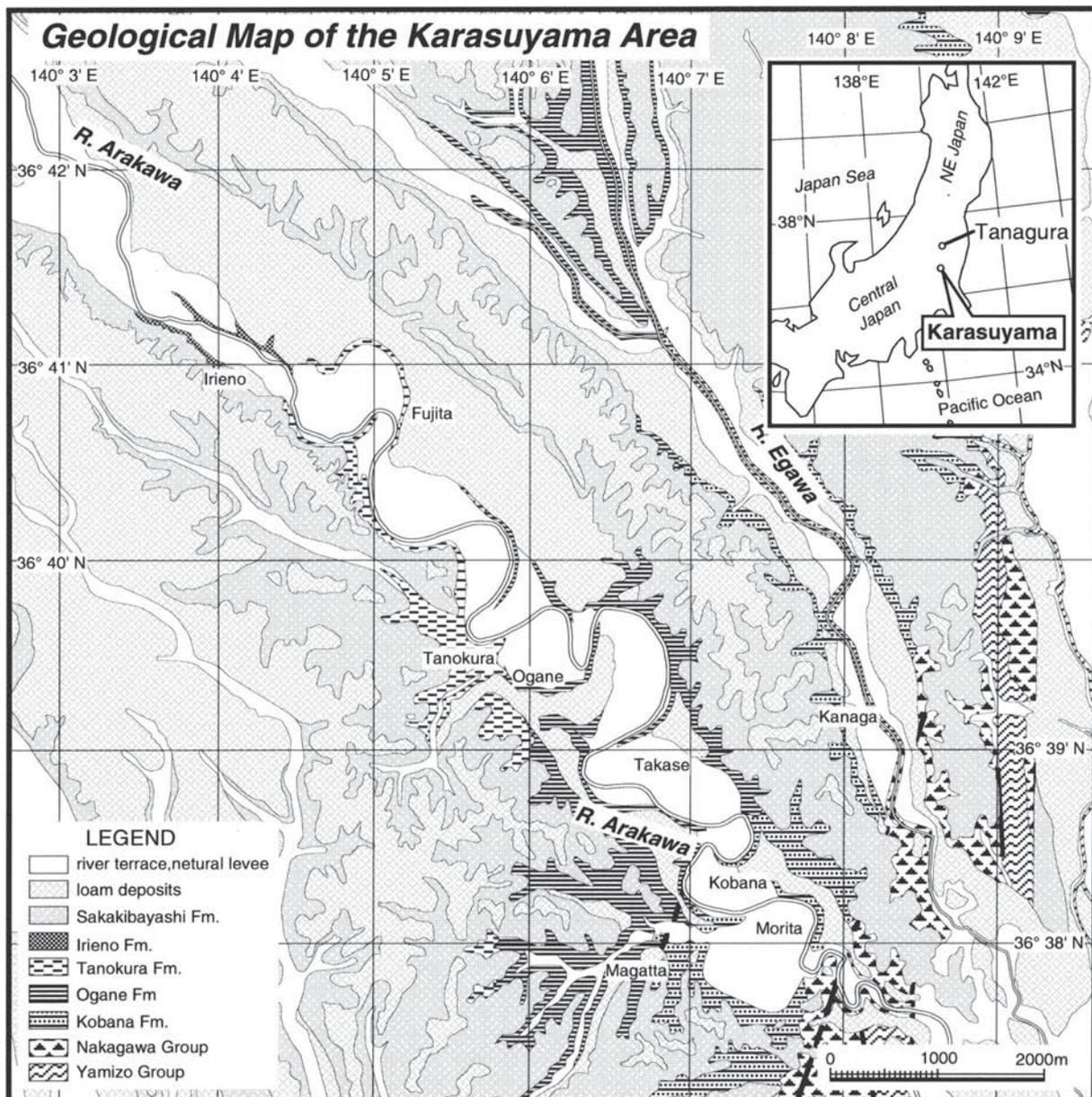
中新統荒川層群は、栃木県東部烏山地域を流れる荒川とその支流沿いに分布する。本層群は整合一連の4つの地層、すなわち、下位より小埴層、大金層、田野倉層および入江野層からなる(第5図参照; 酒井, 1986)。全層厚は約720mである。最下部の小埴層は、石灰質粗粒砂岩および泥岩からなる。大金層は、泥岩および砂質泥岩を主体とするが、本層の中部は特に細粒で暗紫灰色の硬質泥岩(本郷頁岩部層)からなる。田野倉層は珪藻質泥岩で、最上部は砂質泥岩からなる。入江野層は泥質砂岩からなり、全層準で貝類化石を多産する。荒川層群中には多数の凝灰岩層が挟まれており、いずれも良好な鍵層となる。

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

今回検討したのは、柳沢(2003)が珪藻化石を分析した荒川層群の上部、すなわち大金層上部の凝灰岩層Og45から入江野層の上限までの区間である(第2図)。この区間は、珪藻化石層序ではYanagisawa and Akiba (1998)の *Thalassiosira yabei*帯(NPD 5C)から *Denticulopsis dimorpha*帯(NPD 5D)に、放散虫化石層序では本山(1999)の *Lychnocanoma magnacornuta*帯に相当する(柳沢ほか, 2003; 杉江, 1993; Sakai and Aita, 1994)。また, Honda (1981)による石灰質ナノ化石層序を, Okada and Bukry (1980)の化石帯区分に対比させると, 荒川層

群上部はCN6帯からCN8帯までにあたる。これらの微化石および放射年代から, 今回検討する荒川層群上部の地質時代は後期中新世初期にあたり, その年代は10.5-9.2 Maと推定される(柳沢, 2003)。

分析した区間の細粒堆積物の岩相変化(ただし挟在する凝灰岩層や凝灰質砂岩層を除く)を下位からみてる(第2図B)。大金層上部のOg42の上位では泥質砂岩からはじまり, 砂質泥岩を経て上位に向かって急速に細粒化し, Og48付近で泥岩へと変化する。これより上位の大金層最上部と田野倉層の大部分は珪藻質の泥岩からなる細粒



第1図 烏山地域の地質図(Takahashi and Iwano, 2000)。

Fig. 1 Geological map of the Karasuyama area, Tochigi Prefecture (after Takahashi and Iwano, 2000).

堆積物で占められる。田野倉層最上部のTn43付近から上位では、上方へと粗粒化が始まり、砂質泥岩を経て泥質砂岩へと急速に岩相が粗くなる。そして、荒川層群最上部の入江野層では全層準が泥質細粒砂岩からなる。このように、今回検討した荒川層群上部では、下位より岩相は泥質砂岩からはじまり、泥岩を経て泥質砂岩に変化する1つのサイクルをなしている。

3. データセットと方法

本論文では、柳沢(2003)の珪藻化石のデータを中心として、荒川層群上部の堆積深度の変化を復元する。しかし、基本的に海洋表層に棲む珪藻群集では深度については間接的な指標しか得られないので、底生生物であって、深度に関する直接的な情報を持っている底生有孔虫化石のデータ(青島, 1987)と、貝類化石のデータ(古沢ほか, 1987)を用いて、珪藻化石のデータを補い、それらを総合することにより荒川層群上部の堆積深度の変化を明らかにする。

珪藻化石については、まず主な沿岸性種、外洋性種および漸移種の頻度変化から群集全体の組成変化を概観する(第2図C)。また、珪藻化石群集の類似性に基づいてQモードのクラスター分析を行い(第2図F)、それを踏まえて珪藻化石群集の変化を記述するために群集帯を定義する(第2図G)。さらに珪藻化石群集の変化から深度を推定する珪藻深度指標(柳沢, 1996)を算定する(第2図D)。また、外洋性種の殻数変化(第2図E)についても検討する。

底生有孔虫化石については、青島(1987)のデータから多産する底生有孔虫種の産出状況を珪藻化石群集と対比する(第2図I)。そして、青島(1987)の記述を参考にして群集を識別し(第2図J)、秋元・長谷川(1989)および長谷川ほか(1989)の底生有孔虫化石に基づく古水深指標を用いて、各群集の古水深を推定する(第2図K)。

貝類化石については、古沢ほか(1987)の田野倉層上部～入江野層の貝類化石産出図から貝類化石種の層序学的分布を示す図(第4図参照)を新たに作成し、小笠原・増田(1989)の貝類化石の古水深指標を用いて古水深を推定し、それを珪藻化石群集の変化と比較する。

最後にこれらのデータを総合して、荒川層群上部の堆積深度の変化を復元する。

4. 珪藻化石群集

4.1 珪藻化石群集組成の変化

まず、産出した珪藻化石群集全体の変化の特徴を概観してみる(第2図C)。産出した珪藻化石群集では、*Paralia sulcata*, *Thalassionema* spp.および*Denticulopsis* spp.が優占的に産出し、これらの分類群で全群集の70-80%を占める。

やや塩分の低い沿岸水に特徴的な*P. sulcata*は、分析した区間の最下部(大金層上部のAR1-AR3)と上部(田野倉層最上部から入江野層, AR51-AR66)で多産する。

一方、外洋性の*Denticulopsis* spp.は、これとは逆に分析した区間の最下部や上部ではほとんど産出せず、その間の区間(大金層最上部から田野倉層中部)で産出している。

沿岸と外洋の漸移域に比較的多い*Thalassionema* spp.は、*Denticulopsis*属と同様に中間区間で多く産出するが、最下部と上部でも産出がみられる。

4.2 珪藻化石群集のクラスター分析

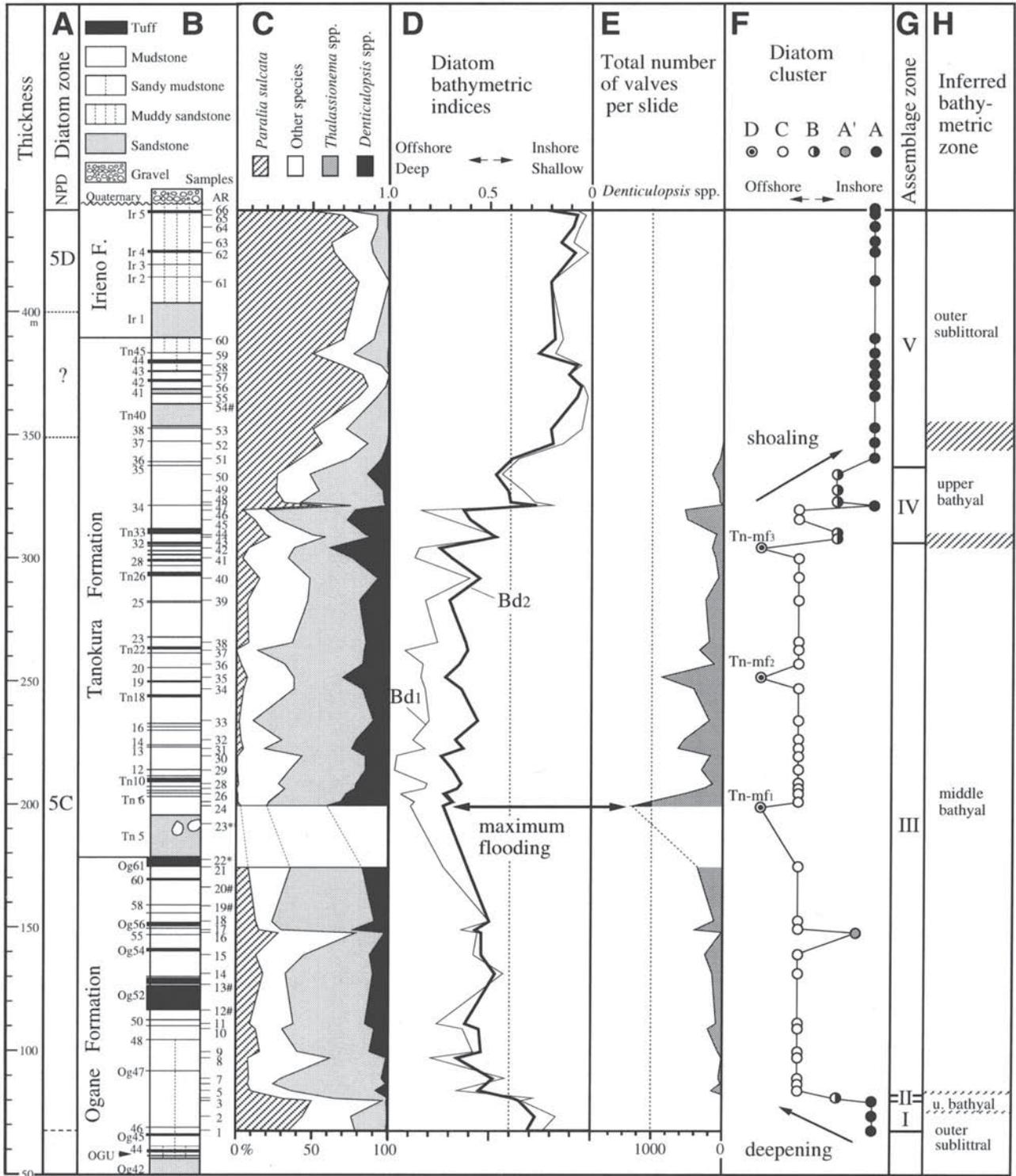
以上のような珪藻化石群集の変化を踏まえた上で、分析した試料をグループに分けるため、珪藻化石群集の類似性に基づいてQモードのクラスター分析を行った。いずれかの試料で少なくとも1%以上の産出をみた分類群を有効として分析に使用した。ただし、今回は環境要因に基づくグループを識別することを主な目的としているので、分析した試料のカバーする地質学的時間範囲で起こった系列進化の影響を取り除く必要がある。そこで、とくに産出頻度が高い*Denticulopsis*属および*Thalassionema*属については、以下のようにあらかじめいくつかの種を1つの分類群にくくった上で計算を行った。まず、*Denticulopsis*属では、*Denticulopsis simonsenii*, *D. vulgaris*, *D. praekatayamae*は、一連の進化系列に属する(Yanagisawa and Akiba, 1990)ので1つにまとめた。また、*Thalassionema*属でも、*Thalassionema nitzchioides*と*T. hirosakiensis*は形態が類似するので1つにまとめた。以上の操作をした上で、61分類群を用いて分析を行った。

類似度として相対頻度から計算した相関係数を、連結法としては算術平均使用非加重ペア・グループ法(UPGMA法)を用いた。計算ソフトはSTATISTICAを用いた。

結果を第3図に示す。連結スケジュールの累積相関が0.87付近でプラトーに達し、このレベルで5つのクラスターが識別された。これらのクラスターの層序的分布を第2図Fに示す。

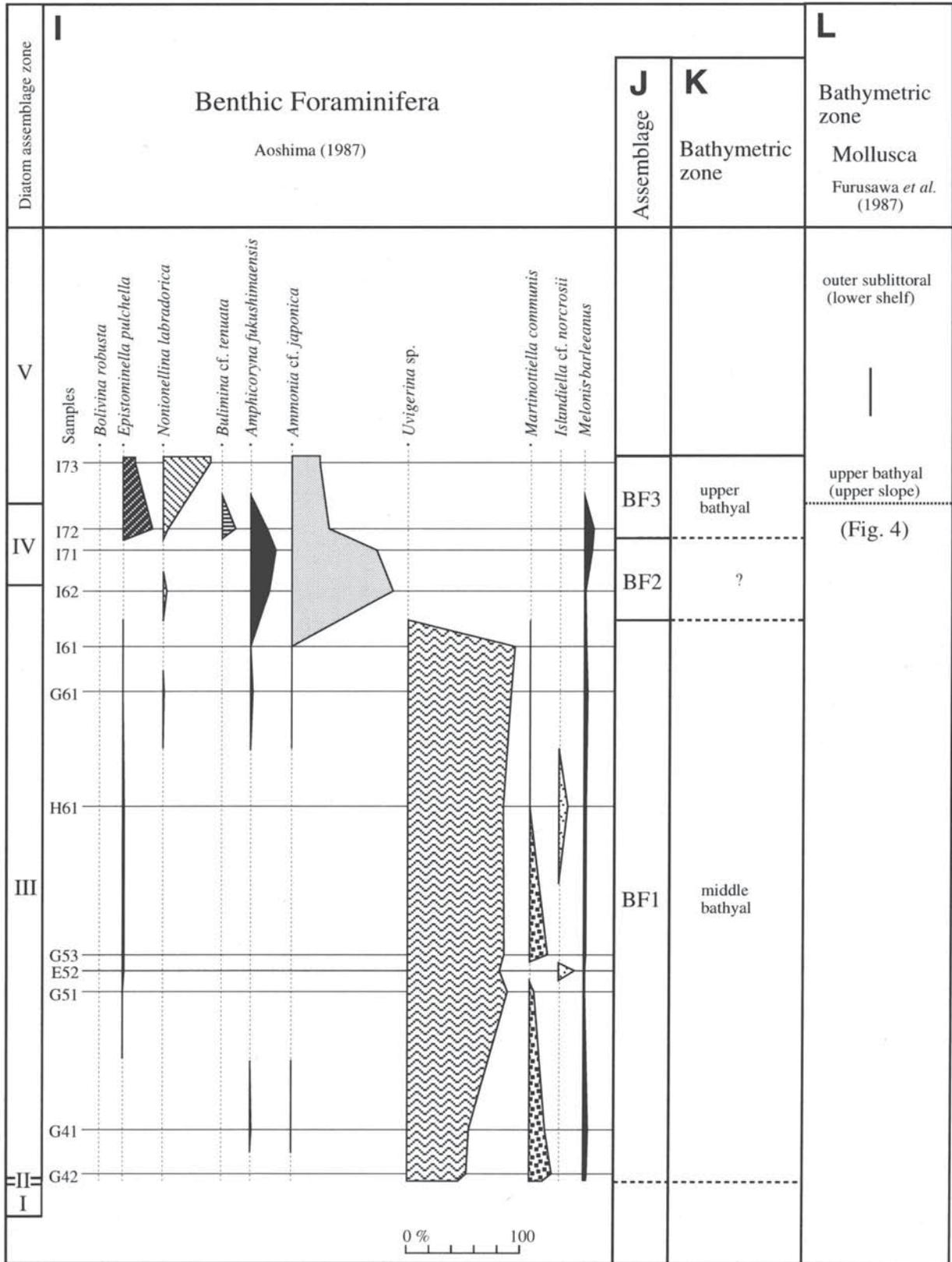
クラスターA:大金層の凝灰岩Og45の上位の3試料(AR1-AR3)と田野倉層上部と入江野層の16試料(AR47, AR51-AR66)の計19個からなる(第3図)。岩質は泥質砂岩ないし砂質泥岩のものが多く、沿岸性の*Paralia sulcata*を35%以上(多くは50%以上)含み、*Denticulopsis*属などの外洋性珪藻をほとんど含まないことで特徴づけられる。*Thalassionema*属は、30%以下(多くは20%以下)である。

クラスターA':大金層最上部の泥岩試料AR16のみからなり、類似する試料は他にはない。*P. sulcata*は28%、*Thalassionema*属は19%、*Denticulopsis*属は1%である。このクラスターの特徴は、*Actinocyclus ingens*を23%と高率に含むことである。*A. ingens*は頑丈な殻を持ち、保存の悪い試料では相対的に頻度が高くなることが多いので、この



第2図 荒川層群上部の珪藻化石、底生有孔虫および貝類化石のデータ。

Fig. 2 Diagram showing data on diatoms, benthic foraminifers and molluscs in the upper Arakawa Group. A: diatom zones, B: columnar section, c: floral change in diatom assemblage, D: diatom bathymetric indices, E: total number of valves of *Denticulopsis* spp. per slide, F: diatom clusters, G: diatom assemblage zones, H: Inferred bathymetric zones, I: occurrence of selected benthic foraminiferal species (Aoshima, 1987), J: benthic foraminiferal assemblages, K: bathymetric zones inferred from benthic foraminifers, L: bathymetric zones inferred from molluscs (Furusawa *et al.*, 1987).



第2図 続き.
Fig. 2 Continued.

種の頻度は試料の保存の程度を判断する基準とされることもある(たとえば, Barron, 1980など). AR16の上下近傍の試料の保存状態がM(moderate)ないしG(Good)であるのに対し, この試料だけは保存状態がP(poor)である(柳沢, 2003). このことから, AR16の特異な群集組成は, 珪藻殻の溶解などの保存状態を低下させる何らか要因によって, 組成が元々の組成から大きく歪んだ結果である可能性がある.

クラスターB: 大層上部のAR4(砂質泥岩)と田野倉層上部のAR43, AR44, AR48-50(泥岩)の6試料からなる小さなクラスターである. *P. sulcata*は20-30%, *Thalassionema*属は35-55%, *Denticulopsis*属は1-15%である.

クラスターC: 試料数30個からなる大きなクラスターで, 大層最上部から田野倉層上部までのほとんど試料(AR5-15, 18, 21, 22, 24, 26-34, 36-41, 45, 46)は, このクラスターに属する. 岩質はすべて泥岩である. *P. sulcata*は20%以下と少なく, *Thalassionema*属は35%以上(多くは40-60%), 外洋性の*Denticulopsis*属は1-30%である.

クラスターD: 田野倉層の4つの泥岩試料(AR23, 25, 35, 42)から構成される小さなクラスターで, 外洋性の*Denticulopsis*属を30%以上の高率で含むことが特徴である. 沿岸性の*P. sulcata*は10%以下と極少量で, *Thalassionema*属は20-40%である. なお, 試料AR23は, Tn5の砂岩中に含まれた泥岩ブロックからの試料であるので, 以下の古環境の議論では用いないことにする.

以上述べた各クラスターを特徴づける種の構成とクラスターの構造から, それぞれのクラスターは次のような群集を反映していると考えられる.

第3図にあるように, A-Dのクラスターは, 相関係数7.5以下でみると, AとA'とB, C, Dが2つの大きなグループをなす. 前者は沿岸性の*P. sulcata*が優占するのに対し, 後者のグループは外洋性の*Denticulopsis*属と漸移域に多い*Thalassionema*属が群集の大部分を占める. このことから, 前者は, 陸棚の沿岸水を, 後者は陸棚斜面域の混合水を代表する群集を示すと考えられる. そして, 後者のグループのうち, クラスターBはC, Dに比べて沿岸性の*P. sulcata*頻度が大きいことから, 沿岸水と陸棚の混合水の境界部の水域を, 一方, クラスターDは, 外洋性の*Denticulopsis*属の頻度がクラスターCより高いことから, 完全な外洋水と陸棚斜面域の水塊との境界の群集であると判断できる. これらをまとめると, クラスターA, B, C, Dは, この順序で陸からの距離, すなわち水深に比例して並んでいると解釈できる. したがって, クラスターAが最も浅く, クラスターDが最も深い水深に対応した群集であると考えられる.

以上のクラスターの層序的分布を記述するため, ここでは各クラスターの分布を基に, 今回分析した区間内で下位よりI-Vの5つの群集帯を定義した(第2図G).

最下部のI帯(AR1-3)はクラスターAで, II帯(AR4)はクラスターBで, それぞれ特徴づけられる. III帯(AR5-AR42)は

大部分がクラスターCに占められ, その中にクラスターDが散在する. IV帯(AR43-AR50)はクラスターBで特徴づけられるが, 短い期間での珪藻化石群集の組成変化が著しく, 帯中にクラスターAやCが混じる. 最上部のV帯(AR51-AR66)は, クラスターAのみからなる.

4-3 珪藻深度指標の変化

次に珪藻深度指標を用いて, 荒川層群上部の深度変化を検討する. 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.

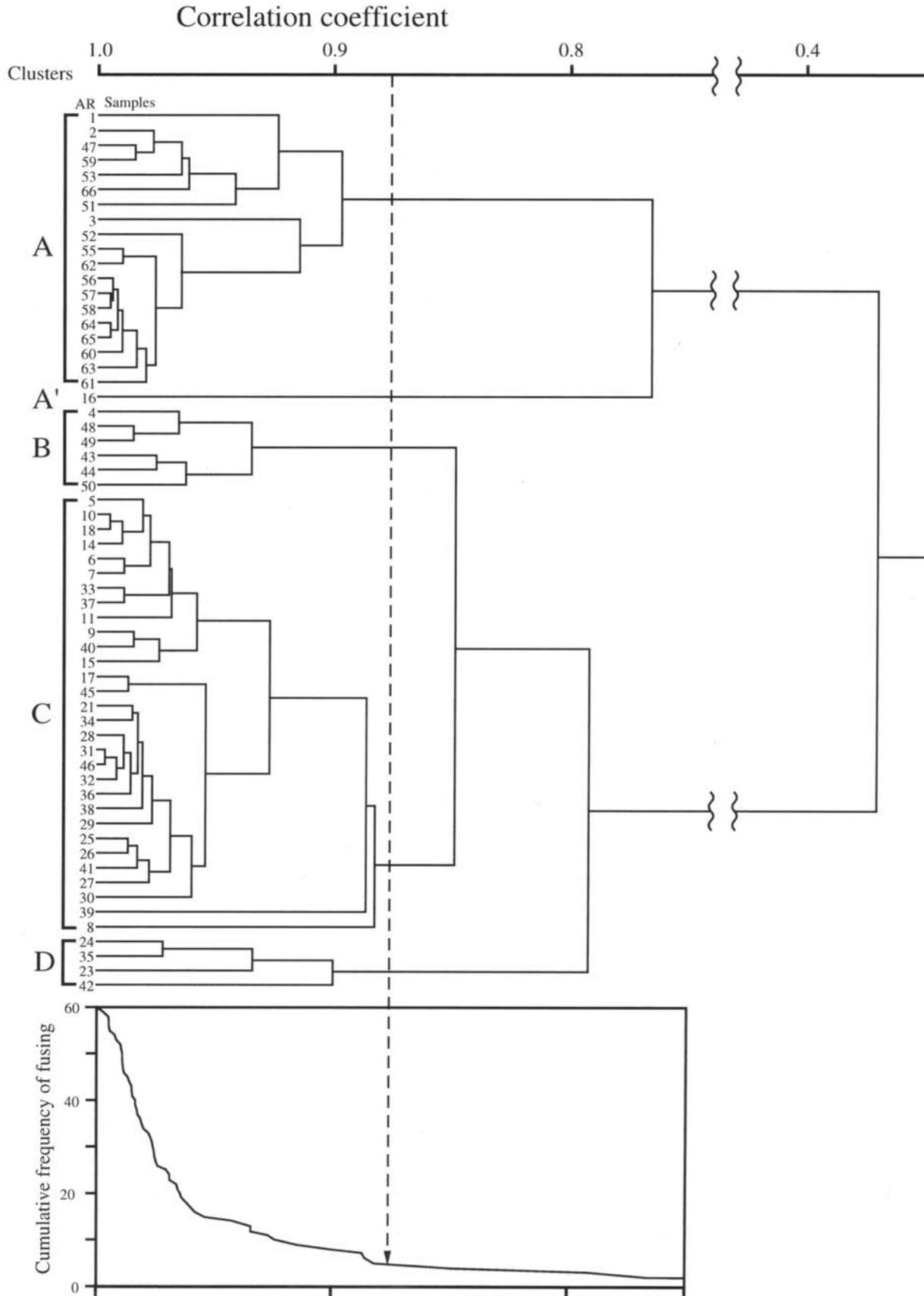
2つの指標のうち, Bd1は沿岸性種と外洋性種のみ混合の程度を示すのに対し, Bd2はこれに中間の漸移域に多い種の頻度を加えた指標である. 柳沢(1996)が指摘しているように, Bd1のほうが感度はよいが, 適用できる深度範囲は狭く, 陸棚外側から斜面域に適用範囲が限られ, 陸棚内側や深海域では飽和してしまう. これに対して, Bd2は感度は鈍いが, 適用可能な範囲はBd1よりもやや広く, 深度の浅い陸棚内側や, 斜面から深海域まである程度は適用できる. しかし, いずれの指標とも, 実際に有効に使えるのは陸棚外側と斜面域であり, その範囲外では水深の変化をほとんど反映しない.

本論文では, 柳沢(1996)が常磐地域の中新統で示した区分にはほぼ従って, 主な種を上述の3つのカテゴリーに分けた. なお, 外洋性種については, *Actinocyclus ellipticus*, *Azpeitia* spp. *Hemidiscus cuneiformis*も加えた. ただしこれらの産出頻度は数%以下なので, これらを除いても結果に大きな影響は及ばない. 計算した珪藻深度指標の値の変化を第2図Dに示す.

珪藻深度指標は, Bd1及びBd2ともに同じような変化を見せる. 最下部のI帯では珪藻深度指数は0.5以下の低い値であるが, II帯からIII帯へと急激に値が大きくなり, III帯中では0.5以上の高い値が続く. IV帯では, 値の変動が大きいものの全般的には値が急に低下し, V帯では再び低い値となっている.

このようにBd値の変化から, 下部での深海化と上部での浅海化, すなわち1回の海進と海退のサイクルがあることが明瞭に読みとれる. Bd値が最も高い値を示すのは, 田野倉層最下部のTn-5の上位5-25 mの部分であり, この部分で最も海進が進んで深度が深くなったことがわかる.

珪藻は表層に棲むために, 珪藻群集から直接深度を求めることはできないが, 柳沢(1996)によれば, 現世のペーリ



第3図 荒川層群上部の珪藻化石群集のQモードクラスター分析のデンドログラム。

Fig. 3 Dendrogram of Q-mode cluster analysis for diatom assemblages of the upper Arakawa Group.

ング海では、陸棚と陸棚斜面の境界(浅海帯と漸深海帯の境界)は、Bd値ではほぼ0.4に相当する。これが仮に中新世の日本周辺でも当てはまるとすれば、I帯とV帯が浅海帯、II, IIIおよびIV帯は漸深海帯の深度に相当する。

4-4 珪藻殻数の変化

この研究の分析では、珪藻殻数の絶対量を正確に測るための厳密な処理と計数は行っておらず、通常の珪藻化石層序のための半定量的で粗い算定を行っているのみである。したがって、珪藻殻数の値それ自身はほとんど信頼性はないが、殻数変化全体の傾向は表していると考えられる。

ここでは外洋性である*Denticulopsis*属の殻数のみを示した(第2図E)。*Denticulopsis*属の殻数は、下限から上位に向かって増大し、田野倉層最下部のAR25付近で最高になる。この層準は、ちょうどBd値が最大になる区間であり、また、最も沖合の環境を示すクラスターDに対応する。その上位では、殻数は増減を繰り返しながらも徐々に減少し、入江野層に入ると*Denticulopsis*属はほとんど産出しなくなる。

4.5 珪藻化石群集と堆積深度の変化

以上、さまざまな側面から珪藻群集を解析してきた。それらから荒川層群上部の古水深の変化をまとめると以下のとおりである。

前述のように、さまざまな指標から、荒川層群上部全体は、下位より堆積深度が浅→深→浅と変化する1つの明瞭なサイクルをなしていることがわかる。まず、最下部のI帯はクラスターAからなり、浅海帯を指示する。その上位はわずか1試料で代表されるクラスターBからなるII帯を経て、III帯の漸深海帯と急激に変化する。このことは、この層準で海進が急速に進んだことを明瞭に示す。その上位は、漸深海帯の深度を示すIII帯が長い区間にわたって続くが、途中でクラスターDからなる一次的に深度がさらに深くなる層準が、3層準存在する。ここでは、これらを下位よりTn-mf1, Tn-mf2, Tn-mf3とする(第2図F)。このうち、Tn-mf1のBd値が最も大きく、*Denticulopsis*属の含有量が最も多くなるので、荒川層群上部のサイクルの最大海進はこの層準にあると判断される。Tn-mf2とTn-mf3の層準も近傍の層準に比べ水深が深くなっていることは確かであるが、外洋性種はTn-mf1よりも少ないので、海進の程度はTn-mf1より小さいと判断される。その上位のIV帯では、やや大きな振動を伴いながらも、深度が浅くなり、最上部のV帯では再び深度は浅海帯へと変化する。

5. 底生有孔虫化石および貝類化石群集

5-1 底生有孔虫化石群集の変化

青島(1987)は、荒川層群全体の底生有孔虫化石について研究を行っているが、ここでは、その研究結果を珪藻化石群集の変化と直接対比するために、今回珪藻化石を検

討したOg45以上の層準について、青島(1987)の図1と表2を基に主な種の層序学的分布を示す図を作成した(第2図I)。さらに青島(1987)の記述を参考にして、下位からBF1, BF2, BF3の3群集を識別した(第2図J)。なお、群集BF1は青島(1987)が荒川層群で認めた3つの群集のうちの*Uvigerina* sp.を主とする群集の一部に、また群集BF2とBF3は*Ammonia* cf. *japonica*を特徴とする群集にそれぞれ相当する。

次に、秋元・長谷川(1989)及び長谷川ほか(1989)の底生有孔虫に基づく古水深指標を用いて、各群集の古水深を推定した(第2図K)。推定にあたっては、長谷川ほか(1987)の第3表(西南日本太平洋側及び関東)の後期中新世の上限深度帯を示す指標を主に用いたが、この指標に載っていない種については、同表の中期中新世・鮮新世部分も参考にした。また、本地域は関東北部に位置し、東北日本に隣接することから、長谷川ほか(1987)の第2表(東北日本)の指標も考慮に入れた。

群集BF1は試料G42からI61に認められ、*Uvigerina* sp.が50-90%を占める。このほかに十数%以内の*Martinottiella communis*, *Islandiella* cf. *norcrossi*を伴う。*Uvigerina* sp.は、種名が同定されていないので確実なことは言えないが、この属の種の上限深度帯はいずれも西南日本太平洋側及び関東の後期中新世では、中部漸深海帯以深とされている。一方、*M. communis*及び*I. norcrossi*の上限深度帯はともに上部漸深海帯である。以上から、BF2の深度帯は中部漸深海帯であると推定できる。

群集BF2は試料I62とI71からなり、*A. cf. japonica*の多産(73-83%)と*Amphicoryna fukushimaensis*の産出(8-11%)で特徴づけられる。このうち、*A. japonica*は、後期鮮新世—前期更新世の東北日本では、内部浅海帯が上限深度帯である。一方、*A. fukushimaensis*は表に載せられていないので、その上限深度帯についての情報はない。また、群集BF2では、西南日本・関東の中期中新世で上限深度帯が下部漸深海帯とされる*Melonis barleeanus*が数%産出するが、産出頻度が低く深度推定の決め手にならない。以上の情報のうち*A. cf. japonica*の上限深度帯のみに基づくと、群集BF3の深度は内部浅海帯となる。しかし、内部浅海帯は陸棚上部に相当し、岩相としては砂岩が予想されるのに対し、試料I61とI71の岩相は珪藻質泥岩であり、この深度推定は岩相とは矛盾する。このように、BF2については、現在のところ堆積深度を推定するのは難しいと言わざるをえない。

珪藻深度指標の変化や珪藻のクラスターの分布(第2図D, F)でわかるように、群集BF2に相当する部分では、珪藻化石から推定される深度は変動が激しく、一時的には浅海帯の環境があったかもしれない。群集BF2の底生有孔虫化石群集は、たまたまこうした深度になった時期の浅い群集に相当しているのかもしれない。いずれにしろ、この部分の底生有孔虫化石群集については再検討が必要である。

群集BF3は試料I72とI73からなり, *Epistominella pulchella* (10-25%), *Nonionellina labradorica* (4-41%) 及び *A. cf. japonica* (24-32%) が産出する. *N. labradorica* の上限深度帯は, 西南日本・関東の鮮新世では上部漸深海帯である. *A. cf. japonica* については, 前述のように問題は残るが, *E. pulchella* の上限深度帯は, 上部漸深海帯ないし中部漸深海帯上部なので, *N. labradorica* の上限深度帯と合わせると, 群集BF3の深度は上部漸深海帯である可能性が高い.

以上のように, 荒川層群上部の底生有孔虫化石群集は, BF1, BF2, BF3の3つの群集に区分される. 群集BF2の深度は不明確なものの, 群集BF1は中部漸深海帯, 群集BF3は上部漸深海帯の深度が推定され, 荒川層群上部では上位に向かって深度が浅くなっていったことがわかる

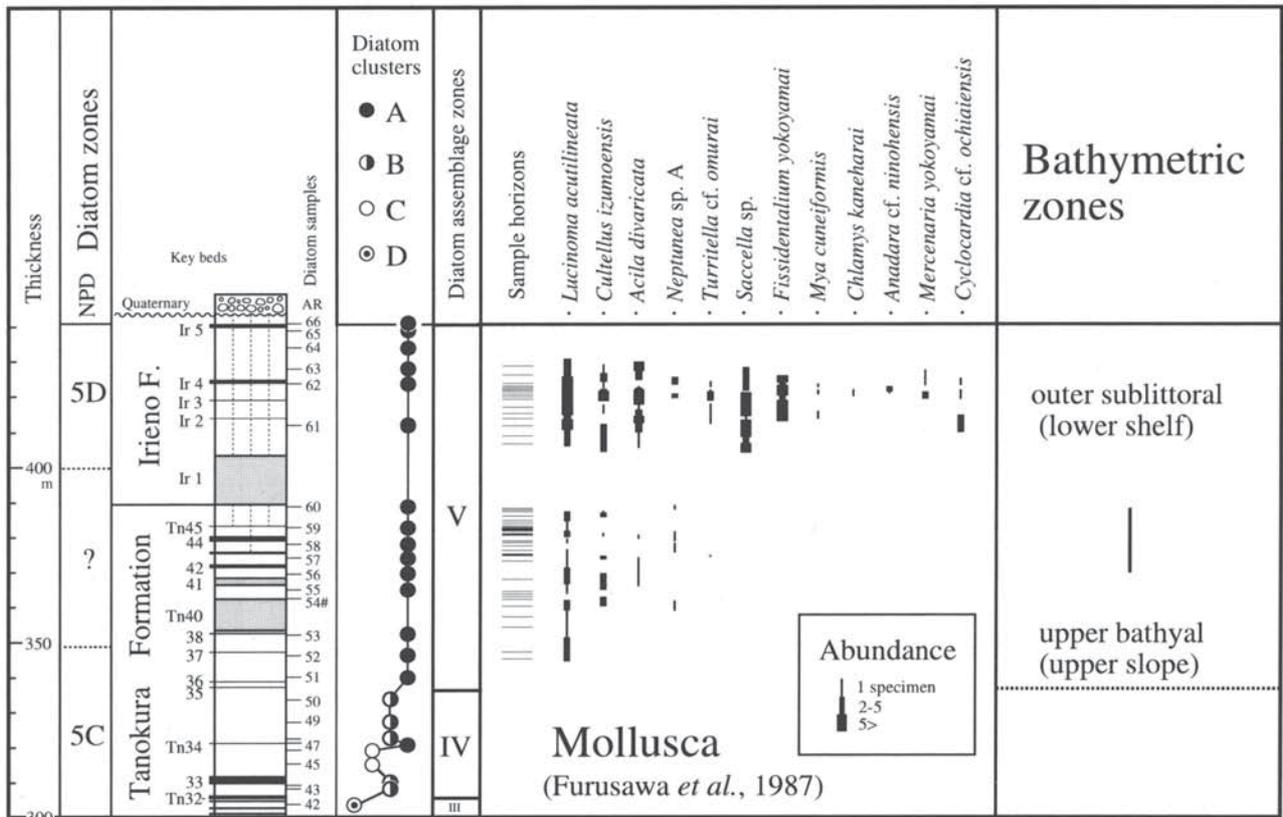
次に, 底生有孔虫化石群集と珪藻化石群集帯を対比する. まず, 中部漸深海帯と推定される群集BF1は, 珪藻化石群集帯のIII帯にほぼ相当する. III帯はBd 値から漸深海帯の深度を推定したが, これは底生有孔虫化石に基づく推定と矛盾しない. III帯はほとんどがクラスターCからなるので, おそらくクラスターCは中部漸深海帯に対応すると思われる. また, クラスターDに相当する層準では底生有孔虫化石

のデータはないものの, クラスターDはCよりも明らかに外洋性の要素が多く, Cより深い水深を示すので, 下部漸深海帯の深度を示す可能性もある.

一方, 上部漸深海帯を示す群集BF3は, 珪藻化石では群集帯IV帯上部からV帯最下部に対応する. 底生有孔虫化石群集と珪藻化石群集での区分が一致せず, さらにIV帯では, 群集組成の変動が激しいので, 底生有孔虫化石群集と珪藻化石群集の間のはっきりした対応関係はわからないが, IV帯の主体を占めるのはクラスターBであるので, おそらくクラスターBは深度では上部漸深海帯に相当するもの見られる.

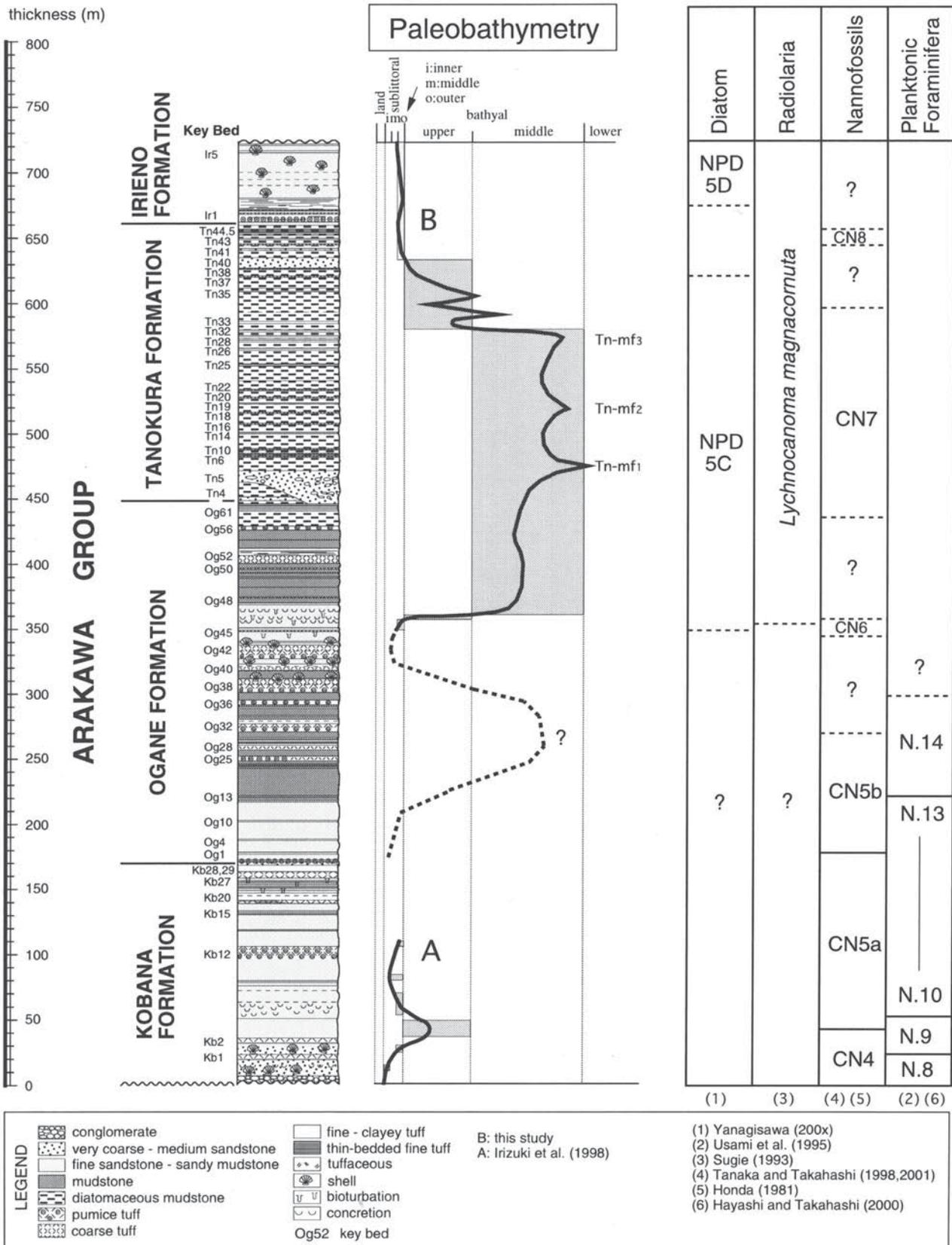
5-2 貝類化石群集の変化

古沢ほか(1987)は, 田野倉層上部(Tn37より上位)と入江野層の貝類化石について詳細な研究を行っている. ここでは, その結果を今回の珪藻化石群集の変化と直接対比するために, 古沢ほか(1987)の図2と表1を基に, 主な貝類化石種の層序学的分布を示す図(第4図)を新たに作成した. なお, 古沢ほか(1987)は, 産状からみて産出した貝類化石のほとんどは自生であると判断しているが, Tn40から産出する *Ostrea* sp. は浅海からもたらされたものとしている



第4図 荒川層群上部における貝類化石の産出, データは古沢ほか(1987)による.

Fig. 4 Occurrence of molluscs from the upper Arakawa Group. Original data form Furusawa et al. (1987).



第5図 荒川層群における古水深変化と微化石層序。

Fig. 5 Bathymetric change and biostratigraphy in the Arakawa Group. Diatom zonation: Yanagisawa and Akiba, (1998), Radiolarian zonation: Motoyama (1999), Nannofossil zonation: Okada and Bukry (1980); Planktonic foraminiferal zonation: Blow (1969).

ので、第5図からは除外した。

まず、田野倉層上部からは、*Lucinoma acutilineata* (Conrad), *Cultellus izumoensis* (Yokoyama), *Acila divaricata* (Hinds), *Neptunea* sp. Aが産出する。一方、入江野層からは上記4種のほかに、*Saccella* sp., *Fissidentalium yokoyamai* (Otuka), *Mya cuneiformis* (Böhn), *Cyclocardia* cf. *ochiaiensis* (Chinzei)など多様な種の産出が認められ、田野倉層上部とはやや異なる群集組成を示す。とくに*Saccella* sp., *F. yokoyamai*は、入江野層では多産するのに対し、田野倉層上部からは全く産出しない点で大きな違いがある。また、入江野層の貝類化石群は、田野倉層上部のそれに比べ産出個体数が多く、この点でも異なっている。

古沢ほか(1987)は、これらの貝類化石から田野倉層上部と入江野層は陸棚下部から陸棚斜面上部、すなわち外部浅海帯から上部漸深海帯で堆積したと考えている。この推定は、小笠原・増田(1989)による貝類化石の水深指標の推定ともおおむね一致する。

古沢ほか(1987)が検討したTn-37より上位の区間のうち、田野倉層上部は、底生有孔虫化石群集ではBF3にあたり、上部漸深海帯の深度が推定される(第2図K, L)。これは、貝類化石から求められる深度と一致する。一方、古沢ほか(1987)が貝類化石を検討した区間は、珪藻化石群集帯ではすべてV帯(クラスターではA)に相当する(第4図)。このことは、クラスターAが、上部漸深海帯から外部浅海帯の深度(おそらくほとんどが外部浅海帯)に当たることを示す。

6. 堆積深度の変化

以上述べてきたように、本論文では、珪藻化石のデータを解析して荒川層群上部の相対的な深度変化を明らかにした。また、深度に関する直接的な情報を持つ底生有孔虫化石と貝類化石のデータとの対応関係から、珪藻化石のデータだけではわからなかった珪藻化石群集の直接的な深度帯を明らかにした。ここでは、それらを総合することにより荒川層群上部の堆積深度の変化を総括する。

すでに触れたように、大金層上部の鍵層Og45より上位の荒川層群上部では、下位より堆積深度が浅→深→浅と変化する1つのサイクルとなっている。

最下部の珪藻化石群集帯I帯は、岩相が砂質泥岩で珪藻ではクラスターAからなり、堆積深度は外部浅海帯と推定される。その上位は、わずか1試料で代表されるクラスターBからなるII帯の上部漸深海帯を経てIII帯の漸深海帯と急激に変化する。これに伴って岩相は急速に上方細粒化し、砂質泥岩から泥岩へと変化する。こうした変化は、深度が急速に深くなり、海進が急速に進んだことを示している。

漸深海帯を示すIII帯は、大金層上部と田野倉層の中・上部を含む長い区間であり、ほとんどが中部漸深海帯を示すクラスターCからなる。しかし、途中には、クラスターDから

なり、一次的にさらに深度が深くなる層準が、3層準(Tn-mf1, Tn-mf2, Tn-mf3)挟まれている。このうち、Tn-mf1が珪藻深度指標の値が最も大きく、かつ外洋性の*Denticulopsis*属の含有量が最も多くなっている。したがって、荒川層群上部全体のサイクルの最大海進はTn-mf1の層準にあると考えられる。Tn-mf2とTn-mf3の層準も近傍の層準に比べ水深が深くなっているが、その程度はTn-mf1よりも小さい。これらのクラスターDの層準は、下部漸深海帯の深度まで達していた可能性もある。

その上位のIV帯では、大きな深度の変化を伴いながらも深度が上方に浅くなる。そして、上部漸深海帯の深度を経て、最上部のV帯では再び深度は外部浅海帯となる。

以上のように、この研究では珪藻化石、底生有孔虫化石および貝類化石という異なる生物群の化石データを用いて、詳細な深度変化を明らかにすることができた。これを、荒川層群全体の柱状図に示したのが第5図である。この図には、Irizuki *et al.* (1998)によって明らかにされた貝形虫化石群集に基づく小埤層下部の深度変化も併せて示した。中間の小埤層上部と大金層下部については、まだ堆積深度に関するデータは得られていないが、酒井(1986)の高瀬頁岩部層に相当する大金層中部では、明らかに岩相が上下の区間に比べて細粒となっており、この部分で深度が深くなっていることは確かである。そこで、荒川層群上部との岩相との比較から、予想される深度変化を波線で示してみた。今後、底生有孔虫化石を用いて、荒川層群の全層準について、詳細な深度変化が復元され、グローバルな海水準変動との対比や、テクトニクスとの精密な対比が行われることが期待される。

7. まとめ

本論文では、珪藻化石のデータを中心とし、底生有孔虫化石と貝類化石を補助的に用いて、荒川層群上部(大金層上部、田野倉層および入江野層)の堆積深度の変化を復元した。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 荒川層群上部は、下位より堆積深度が外部浅海帯→上部漸深海帯→中部漸深海帯→上部漸深海帯→外部浅海帯と変化する1つの明瞭なサイクルをなしている。

(2) 最も深くなった中部漸深海帯では、一次的にさらに深度が深くなる層準が、3層準挟まれており、このうち、田野倉層最下部にあるものが最も深度が深く、荒川層群上部のサイクル全体の海進面である。

謝辞: 宇都宮大学農学部の酒井豊三郎教授、相田吉昭助教授および1993年当時同大学教育学部の研究生であった杉江博幸氏(現芙蓉建設)には、珪藻化石を分析した試料を提供していただいた。熊本大学理学部の長谷川四郎教授および筑波大学の小笠原憲四郎教授には、それぞれ底生有孔虫化石および貝類化石について、有益な御助言を

いただくとともに,原稿を査読していただいた。地球科学情報研究部門の高橋雅紀博士には,本論文の第1図および第5図を作成するための電子ファイルを提供していただき,さらに原稿を読んで貴重なコメントをいただいた。また,海洋資源環境研究部門の田中裕一郎博士と斎藤文紀博士には,査読を通じて有益な御助言をいただいた。ここに感謝の意を表す。

文 献

- 秋元和實・長谷川四郎(1989)日本近海における現生底生有孔虫の深度分布—古水深尺度の確立に向けて—。地質学論集, no. 32, 229-240.
- 青島睦治(1987)荒川層群の有孔虫化石(1)。栃木県博研報, **5**, 37-55.
- Barron, J. A. (1980) Lower Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy of Leg 57, off northern Japan, Deep Sea Drilling Project. In Scientific Party, *Init. Rep. Deep Sea Drilling Project*, **56** & **57**, Part 2, Washington (U. S. Govt. Printing Office), 641-685.
- Blow, W. H. (1969) Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In Brönnimann, P. and Renz, H. H. eds., *Proc. First International conference on planktonic microfossils (Geneva, 1967)*, Leiden, no. 1, 199-421.
- 古沢菜穂子・松居誠一郎・酒井豊三郎(1987)上部中新統田野倉層及び入江野層の貝化石群。栃木県博研報, **5**, 57-79.
- 長谷川四郎・秋元和實・北里 洋・的場保望(1989)底生有孔虫にもとづく日本の後期新生代古水深指標。地質学論集, no. 32, 241-253.
- 林 広樹・高橋雅紀(2000)栃木県烏山地域中新統荒川層群中部の浮遊性有孔虫生層序。地質雑, **106**, 689-702.
- Honda, N. (1981) Upper Cenozoic calcareous nannofossil biostratigraphy of the Pacific side of Japan. Dissertation Tohoku Univ., Sendai, 111p.
- Irizuki, T., Ishizaki, K., Takahashi, M. and Usami, M. (1998) Ostracode faunal changes after the mid-Neogene climatic optimum elucidated in the middle Miocene Kobana Formation, central Japan. *Palaeontol. Res.*, **2**, 30-46.
- 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.
- Odin, G. S., Takahashi, M. and Cosca, M. (2001) ⁴⁰Ar / ³⁹Ar geochronology of middle Miocene calcareous nannofossil biohorizons in Japan. *Chem. Geol.*, **171**, 239-252.
- 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). *Marine Micropaleontol.*, **5**, 321-325.
- 酒井豊三郎(1986)中新統荒川層群(栃木県)の模式地における層序。宇都宮大学教養部研究報告, **19**, Sec. 2, 49-70.
- Sakai, T. and Aita, Y. (1994) Neogene siliceous microfossil-bearing sequences of the northern Kanto district - Field trip for the post-conference excursion of Interrad VII, Osaka 1994-. *Guide Book for Interrad VII Field Excursion*, Organizing Committee of Interrad VII Osaka 1994, 63-88.
- 杉江博幸(1993)放散虫化石群集による上部中新統荒川層群の古環境解析。大阪微化石研究会誌, 特別号, no. 9, 313-335.
- 高橋雅紀(1998)栃木県烏山地域に分布する中新世荒川層群の複合層序学的研究(1)。石油技術協会平成10年度春期講演会要旨集, 48.
- Takahashi, M. and Iwano, H. (2000) Fission track age of the Og1 Tuff in the Miocene marine sequence of the Arakawa Group in the Karasuyama area, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **51**, 477-484.
- Takahashi, T., Tanaka, Y. and Okada, T. (1999) Chronostratigraphy of middle Miocene marine sequence in the Karasuyama area, central Japan: with special reference to the CN 5a/CN 5b boundary. *Jour. Jap. Assoc. Petrol. Tech.*, **64**, 454-461
- Takahashi, M., Hayashi, H., Tanaka, Y. and Okada, T. (2000) Integrated stratigraphy of the lower part of the Miocene Karasuyama sequence, central Japan. *Jour. Jap. Assoc. Petrol. Tech.*, **65**, 571-583.
- 田中裕一郎・高橋雅紀(1998)栃木県烏山地域に分布する中新統荒川層群下部の石灰質ナノ化石層序。地質雑, **104**, 779-793.
- 田中裕一郎・高橋雅紀(2001)栃木県烏山地域, 中新統荒川層群下部における石灰質ナノ化石 *Reticulofenestra* 属のサイズ分布パターンの層位変化。地質雑, **107**, 557-564.
- 宇佐美守弘・高橋雅紀・尾田太良(1995)栃木県荒川層群小墻層の浮遊性有孔虫による微化石層序。日本地質学会第102年年会要旨, 137.

栃木県烏山地域の中新統荒川層群の古水深 (柳沢)

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(2003)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.

Yanagisawa, Y. and Akiba, F. (1990) Taxonomy and phylogeny of the three marine diatom genera, *Crucidenticula*, *Denticulopsis* and *Neodenticula*. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **41**, 197-301.

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)