

茨城県南部稲敷台地における第四系下総層群の堆積相 と軟体動物化石相

夫馬貴央 *[†]・安藤寿男 *・横山芳春 **

(2003年12月20日受理)

Depositional Facies and Biofacies of the Upper Pleistocene Shimosa Group in the Inashiki Area, the Southern Part of Ibaraki Prefecture

Takao FUMA *[†], Hisao ANDO * and Yoshiharu YOKOYAMA **

(Accepted December 20, 2003)

Abstract

The Middle to Upper Pleistocene Shimosa Group is distributed in the Inashiki Terrace of the southern part of Ibaraki Prefecture, and is divided into the Kami-izumi, Kiyokawa, Kioroshi and Joso Formations in ascending order. Ten depositional facies are recognized in the Shimosa Group through facies analysis. Their stacking patterns and distribution show that the group is formed by four depositional systems: fluvial, inner bay-lagoon, incised valley fill and beach-shoreface systems. During the stage of the Kiyokawa Formation, an inner bay bearing cool-water mud-bottom molluscan fauna changed into an open-marine shoreface environment at the maximum of transgression. In the stage of the Kioroshi Formation, the barrier island-lagoon system appeared after incised valleys formed during the preceding lowstand were filled. A large inner bay bearing warm-water sand-bottom fauna developed in the westerly back-barrier side. However, open-marine shoreface environments contemporary prevailed in the eastern part of the studied area. Fluvial systems developed in the stage of the Joso Formation, the final stage of the Shimosa Group.

Key words: Shimosa Group, Kiyokawa Formation, Kioroshi Formation, Pleistocene, depositional facies, relative sea-level change, sequence stratigraphy.

はじめに

茨城県南部に広く分布する中-上部更新統下総層群は、数10万～10万年前に関東平野に広がっていた古東京湾(Yabe, 1931; 成田研究グループ, 1962)を埋積した、主に浅海成の堆積物から形成されている。下

総層群は全体的に砂層を中心とし、間に泥層や砂礫層を挟在する堆積サイクルからなり、これらは1回の汎世界的な氷河性海水準変動に伴った海進海退によって形成されたものと考えられている(植田, 1969; 徳橋・遠藤, 1984など)。1980年代以降には、堆積相解析を導入することによって、さらに詳細な堆積過程

* 茨城大学理学部地球生命環境科学科 〒310-8512 水戸市文京2-1-1 (Department of Environmental Sciences, Faculty of Science, Ibaraki University, 2-1-1 Bunkyo, Mito 310-8512, Japan).

[†] 現: キューソー流通システム(株)(K. R. S. Co. Ltd.)

著者の安藤は茨城県自然博物館の第2-4次総合調査の調査員。

** 早稲田大学大学院理工学研究科 〒169-0051 新宿区西早稲田1-6-1 (Graduate School of Science and Technology, Waseda University, 1-6-1 Waseda, Shinjuku 169-0051, Japan).

の考察が行われてきた (Katsura *et al.*, 1980; Masuda and Okazaki, 1983; 岡崎・増田, 1992; Murakoshi and Masuda, 1992 など).

小論では、茨城県南部の牛久市、龍ヶ崎市を中心としてつくば市南部、新利根町、江戸崎町西部にわたる稲敷台地を調査対象 (図1) としている。この地域の海成層は、近年竜ヶ崎団体研究グループ (1994, 1998) によって堆積相解析を導入した研究が行われている。しかし、筆者らの予備調査によって、稲敷台地では内湾成相と外洋成相が入り組んでいることが判明したため、内湾成相の実態とその層序や分布を明らかにすることが課題であると考えられた。そこで、小論では詳細な野外調査を行い、堆積相解析やシーケンス層序解析、侵食境界面やテフラの追跡、軟体動物化石群集の解析などから得られた情報を統合して、層序を確定したうえで堆積環境を推定し、本地域における下総層群の堆積システムや堆積史を復元することを試みた。

本地域は、下総層群の各層の模式地があって研究が蓄積されている千葉県北部地域と、近年横山や安藤らによって詳細な堆積相およびシーケンス層序解析がなされている茨城県中部地域 (横山ほか, 2001a, b, 2002) との中間に位置する。したがっ

て、本地域において堆積相解析、シーケンス層序学的解釈を実施することは、茨城県中部以北と下総層群の標準層序との確実な対比を可能とし、両地域の広域対比はもとより、シーケンス層序学的対比の精度を向上させることに寄与するものと考えられる。

研究史および地質概説

稲敷台地の下総層群の研究は、小林 (1925)、大炊御門 (1935) が稲敷台地北部から内湾成軟体動物化石を記載したことにはじまる。菊池・館野 (1962) は、稲敷台地の下総層群を成東層および成田層下部層、上部層に区分し、成田層下部層では内湾生・寒流系種が卓越する準現地性の軟体動物化石が、成田層上部層では内湾潮下帯生・暖流系種が卓越するとした。

青木・馬場 (1977) では、茨城県南西部の竜ヶ崎層の記載を行い、従来よりもその下限を下げ、砂礫層のみではなくその下位の砂泥層も含むとした。青木・馬場 (1978) では、千葉県から茨城県にかけて分布する成田層の古地理を軟体動物化石群集から復元し、清川部層を氾濫原から浅い内湾、上岩橋部層を寒流の影響を強く受けた広い内湾、木下部層を最も海水準の上昇

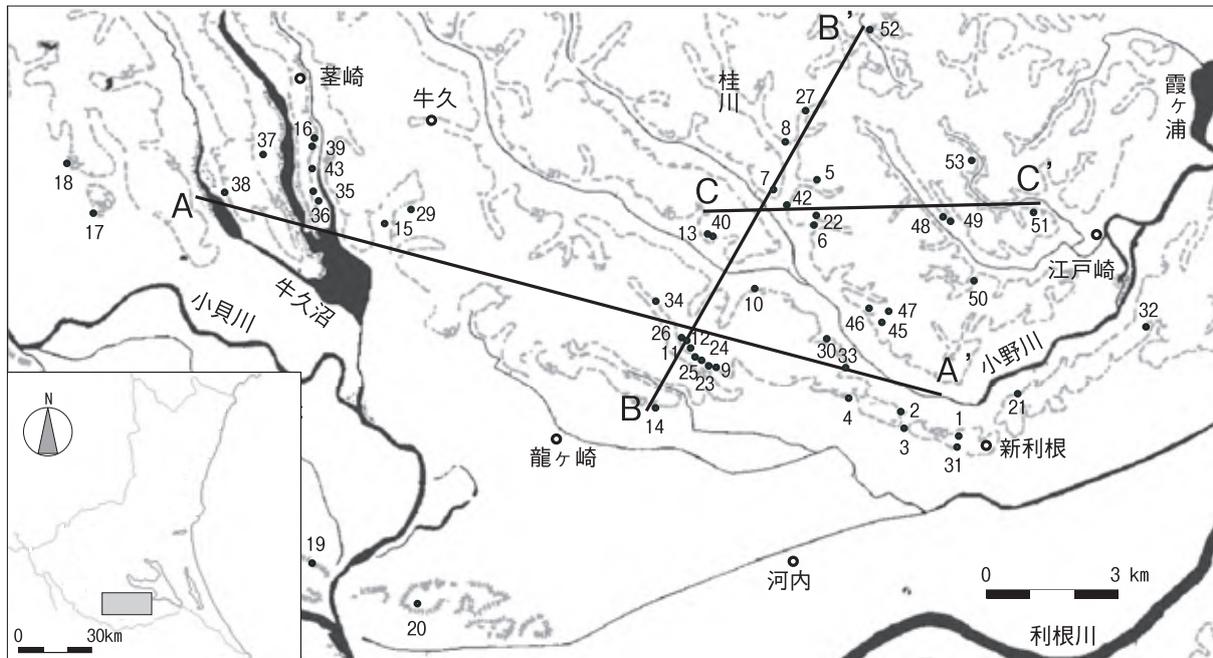


図1. 調査地域。番号は調査露頭。AA', BB', CC'はそれぞれ図4, 5, 6の断面線位置を示す。破線は標高20mの等高線。
 Fig. 1. Studied area. Numbers indicate studied exposures. Lines AA', BB', CC': location of cross sections in Figs. 4, 5 and 6, respectively. Broken line: contour 20 m high above sea level.

した時期の暖流の影響を受けた内湾で形成されたとした。青木・馬場（1979）では、霞ヶ浦－北浦地域における成田層を、軟体動物化石群集と海水準変動による海進・海退のサイクルにより、清川、上岩橋、木下の3部層に再区分した（図2）。

竜ヶ崎層は、堆積相解析導入時より詳細な堆積相解析がなされ、Katsura *et al.*（1980）によって蛇行河川堆積物が、池田ほか（1982）によって鳥趾状三角州の存在が報じられている。増田・岡崎（1983）は、竜ヶ崎層から蛇行河川相、鳥趾状三角州相、成田層から沖浜相、海浜相などを認識したうえで、それらの堆積構造と古流系について考察した。岡崎・増田（1989）は常総台地全体の木下層と常総層相当層をそれぞれバリアー期、鳥趾状三角州期の堆積物とみなし古流系を報じている。桂ほか（1985）は、成田層からハンモック型斜交層理、ウェーブリップルなどのストーム成堆積物が存在することを指摘し、増田・岡崎（1985）は、沿岸砂州堆積物から古水深の算定を試みた。

宇野沢ほか（1988）は、筑波台地において露頭・ポーリングコアから岩相層序・テフラ層序の研究を行い、下総層群を上位から常総層、木下層、上岩橋層、上泉層、藪層、地蔵堂層に区分した。しかしその後、中里（1993）によってテフラの追跡に基づいた詳細な層序対比がなされ、稲敷台地の上岩橋層は木更津地域の清川層と層序学的に同じものであるとした。岡崎・増田（1992）は、千葉県北部～茨城県南部において、古流向や堆積相解析から木下層・常総層の堆積システ

ムの復元を行い、木下層と常総層には溺れ谷埋積システム、潮汐三角州システム、外浜－海浜システム、蛇行河川システム、鳥趾状三角州システムが発達し、茨城県南部に鳥趾状三角州が存在したとしている。竜ヶ崎団体研究グループ（1994、1998）は稲敷台地において堆積相解析による木下層・上岩橋層の堆積環境復元を行い、上岩橋層を波浪卓越型の外洋に面した広い湾とし、木下層を上岩橋層より狭い湾に堆積したとしている。下総台地研究グループ（1996）は、取手市～龍ヶ崎市南部から手賀沼北岸地域の木下層の不整合面が階段状の形態を示し、これが海面の上昇と停滞によって形成されたとした。

近年では、シーケンス層序学が確立され（安藤、1990；斎藤ほか、1995）、千葉県北部の下総層群において多く取り入れられている（西川ほか、1998、2000；西川・伊藤、1997；岡崎ほか、1997；Ito *et al.*、1999；Nishikawa and Ito, 2000 など）。茨城県域においては、千葉県側を含む広域的な研究として Okazaki and Masuda（1995）があるほか、新治－鹿島台地以北の地域を対象とした Murakoshi and Masuda（1992）、市原ほか（1996）、松本・牧野（2000）、横山ほか（2001a, b, 2002）などが挙げられる。しかし、層序に異論の多い稲敷台地以北では、層序対比を含めシーケンス層序学的解釈にも差違が大きく、その堆積シーケンスの認定には議論の余地がある。

層序各説

千葉県北部から茨城県南部に広く分布する中～上部更新統下総層群は、房総半島姉崎地域において確立された層相とテフラの対比による7累層区分が標準層序として利用されている（杉原ほか、1978；徳橋・遠藤、1984；徳橋・近藤、1989 など）。稲敷台地における下総層群の層序は、中里（1993）によって千葉県側との対比がなされ、海成層は下位より上泉層、清川層、木下層に区分されていることから、本論でもこれに従った。

1. 上泉層

模式地：千葉県市原市上泉周辺および川原井周辺（三土、1937；青木、1967）。

層厚：本地域では沖積面下に没するため基底は確認できないが、3 m 以上。

本研究 稲敷台地南部	竜ヶ崎団体研究 グループ(1994) 稲敷台地	宇野沢ほか(1988) 筑波台地	岡崎・増田(1992) 成田・稲敷台地	青木・馬場(1979) 北浦・霞ヶ浦地域	中里(1993) 東茨城川沿岸	徳橋・遠藤(1984) 姉崎地域
常総層	常総層	常総層	常総層	板橋層	常総層	常総層
				龍ヶ崎層	姉崎層	姉崎層
木下層	木下層	木下層	木下層	木下部層	木下層	木下層
清川層	上岩橋層	上岩橋層	??層	成田層	清川層	横田層 清川層
上泉層	藪層	上泉層		清川部層	上泉層	上泉層
		藪層		??層	成東層	藪層
		地蔵堂層				地蔵堂層

図2. 茨城県南部地域と千葉県西部の下総層群の層序区分。
Fig. 2. Stratigraphic divisions of the Shimosa Group in the southern part of Ibaraki Prefecture and the western part of Chiba Prefecture.

層序関係：露出がなく下位層との関係は不明。上位は清川層、もしくは木下層に不整合によって覆われる。

分布：調査地域東部の一部の台地最下部に分布している。

層相：やや固結した細～中粒砂からなり、白斑状生痕、管状生痕、溶脱した離弁の貝化石が散在的に見られることが多い。

対比：中里（1993）の上泉層に等しい。筑波台地で研究を行った宇野沢ほか（1988）や千葉県の模式地周辺で層序の追跡を行った岡崎（1996）、岡崎ほか、（1997）では上泉層、稲敷台地を扱った竜ヶ崎団体研究グループ（1994、1998）では藪層というように、2つの解釈がある。小論では、清川層を千葉県側から本調査地域までを追跡した中里（1993）に従い、層序的位置や固結の状態を考慮して上泉層とみなした。

2. 清川層

模式地：千葉県袖ヶ浦市大鳥居付近（植田，1969；青木・馬場，1971）。

層厚：6～9 m。

テフラ：江戸崎町本郷（Loc. 51 付近）において清川層の指標テフラであるKy 4 が報告されている（中里，1993）が、本調査では確認できなかった。しかし、ほぼ同層準の下部外浜相中に直径5 mm～1 cm 程度の水磨された軽石からなる厚さ1～3 cm 程度の軽石層が調査地域全域に追跡できることから、清川層の指標テフラとして用いた。これを、龍ヶ崎市薄倉町（Loc. 23）を模式地として薄倉軽石（UsP）と新称する（図版2 h）。その鉱物組成は斜長石を多量に含み、有色鉱物では多い順に斜方輝石、角閃石、単斜輝石を含んでいる。

層序関係：下位の上泉層を不整合によって覆い、上位の木下層に不整合によって覆われる。

分布：調査地域全域の台地下部に分布している。

層相：下位からハンモック型斜交層理を呈する淘汰の良い極細粒～細粒砂層、トラフ型斜交層理や平板型斜交層理を呈する淘汰のやや悪い細粒～中粒砂層、白斑状生痕や管状生痕を含む淘汰中程度の細粒～中粒砂層が見られる。また調査地域東部では、最下部に生物擾乱の発達した粘土～細粒砂層が見られる。

対比：竜ヶ崎団体研究グループ（1994）の上岩橋層、中里（1993）の清川層に等しい。馬場・青木（1972）、青木・馬場（1978、1979）の成田層上岩橋部

層と清川部層も本層に対比される。竜ヶ崎団体研究グループ（1994）は、本地域の砂質堆積物を主体とした浅海成層を模式地上岩橋層上部砂層にあたるとしているが、中里（1993）はKy 4 の追跡から上岩橋層が清川層と同一層であるという見解を示している。岡崎（1996）、岡崎ほか（1997）は、千葉県北部で清川層の模式地付近から利根川南岸までの堆積システムを認定している。

3. 木下層

模式地：千葉県印西市木下付近（横山，1930；小島，1959；下総台地研究グループ，1984）。

層厚：3～15 m。

層序関係：下位の清川層、一部で上泉層を不整合に覆い、上位をローム層に整合に、常総層にチャンネル状の不整合で覆われる。

分布：調査地域全域の台地中～上部に分布している。

層相：調査地域中部から西部においては、下位から、生物擾乱が発達し軟体動物化石密集層を含む淘汰中程度の細粒～中粒砂層、生物擾乱が発達した粘土～シルト～細粒砂の互層が見られる。そして調査地域東部では、下位から生物擾乱の発達したシルト～細粒砂層、ハンモック型斜交層理、平行層理を呈する極細粒～細粒砂層、平板型斜交層理、トラフ型斜交層理を呈する細粒～粗粒砂層、白斑状生痕・植物片を含む極細粒～細粒砂層が見られる。また調査地域東部の開析谷においては、大規模平板型斜交層理を呈する淘汰の良い細粒砂～シルト層が見られる。

対比：台地面を構成する主たる海成層であり、馬場・青木（1972）、青木・馬場（1978、1979）の成田層木下部層、宇野沢ほか（1988）、竜ヶ崎団体研究グループ（1994、1998）、岡崎・増田（1992）、岡崎（1996）の木下層にほぼ等しい。また、青木・馬場（1977）の竜ヶ崎層の一部も含まれる。

4. 常総層

模式地：茨城県龍ヶ崎市（小玉ほか，1981）。

層厚：1～4 m。

層序関係：下位の木下層をチャンネル状の不整合で覆い、ローム層によって覆われる。

分布：調査地域全域の台地上部に分布している。

層相：下部は、トラフ型斜交層理や平板型斜交層理を呈する淘汰の悪い細粒～中粒砂層で上方細粒化の傾向

が見られる。上部は、植物片や根痕を含む塊状の粘土～極細粒砂層が見られる。

対比：下部の砂礫層が竜ヶ崎層または竜ヶ崎砂礫層（中村・福田，1953；小島，1959），上部の泥層が常総粘土層（中村・福田，1953；菊池・館野，1962 など）あるいは板橋層（青木・馬場，1972）とされていたが、下部層、上部層共に陸成の堆積物であり、同時異相の関係にあるため、小玉ほか（1981）では常総層と一括している。

常総層と木下層上部の砂泥層は同時異相であるという見解（例えば、青木・馬場，1977）もあるが、小論では下部に河川成の砂礫層が確認された場合のみ常総層とし、木下層から漸移的に砂泥層または粘土層が累重している場合は常総層には含めず木下層とした。今後のテフラ対比から、確実な層序およびその年代対比が求められよう。

堆積相解析

稲敷台地南部における下総層群の計 53 露頭における野外地質調査結果から、層相、色調、淘汰、堆積構造、大型化石、生痕化石、生物擾乱、侵食基底面の形状などの特徴によって、A～J の 10 の堆積相を識別した。また、堆積相 B, D, G, H, I については 2 つもしくは 3 つの亜相に細分した（図 3）。

1. 堆積相区分・堆積環境

(1) 堆積相 A

塊状で無層理の厚さ 50 cm ～ 2 m 程度の凝灰質粘土～シルト質極細粒砂からなり、植物根痕や植物片をしばしば含む。調査地域の常総層の最上部、常総層に覆われない場合の木下層最上部に認められる（図版 1a）。木下層では堆積相 C, G を漸移的に覆い、常総層では堆積相 B を漸移的に覆って分布する。上位はローム層に覆われる。

堆積環境：堆積相 A は塊状な泥質堆積物からなり、根痕や植物片が見られることから、陸域の湿地における堆積物であると考えられる。

(2) 堆積相 B

B1：平板型斜交層理を呈する厚さ 30 cm ～ 1 m 程度の淘汰不良な細粒～中粒砂からなり、下底はチャンネル状の侵食性形状を示し細礫や径 1 ～ 5 cm の泥礫の粗粒なラグを伴うことがある。また、層理面に沿って植

物片を含み、全体的に中粒～細粒砂への級化傾向が見られることがある。調査地域全域の常総層下部に認められ、堆積相 B2 と共存することがあり、堆積相 A に漸移する。

B2：トラフ型斜交層理を呈する厚さ 50 cm ～ 1 m 程度の淘汰不良な細粒～中粒砂からなり、下底はチャンネル状の侵食性形状を示す。また中粒～細粒砂への上方細粒化の傾向が見られることが多い（図版 1b）。調査地域全域の常総層下部に認められ、堆積相 B1 と共存し A に漸移する。

堆積環境：一方向流で形成されたトラフ型斜交層理や平板型斜交層理のセットが数枚累重し、セットサイズは上方へ小型化していくこと、粒子の円磨度が低く、上位に堆積相 A が累重して上方細粒化ユニットを構成していることから、河川流路の堆積物であると考えられる（Miall, 1996）。

(3) 堆積相 C

塊状または弱い平行層理を呈する厚さ 1 ～ 5 m のシルト～シルト質極細粒砂からなり、平行層理部にウェーブリップルやカレントリップルを伴うことがある（図版 1c）。また、管状生痕（*Ophiomorpha* isp.）やむらくも状の生物擾乱を伴う。調査地域中部から西部の木下層上部に広く分布し、堆積相 D, E を漸移的に覆い、常総層に覆われない場合には堆積相 A に漸移する。

堆積環境：本相は主に塊状または一部平行層理を呈する生物擾乱を伴う細粒相（シルト又はシルト質極細粒砂）で上下の堆積相の累重関係から、エネルギーレベルの低い内湾のラグーンにおける堆積物であると考えられる。

(4) 堆積相 D

D1：レンズ状からフレーザー状層理を呈する厚さ 50 cm 以下の粘土、シルトおよびシルト質極細粒砂の互層からなり、シルト部や極細粒砂部に頻繁にウェーブリップルを伴う（図版 1d）。また、管状生痕（*Ophiomorpha* isp., *Thalassinoides* isp.）やむらくも状の生物擾乱を伴う。木下層中下部に広く分布し、堆積相 D2 と共存し F を覆う。中部地域から西部地域では堆積相 C に漸移的に覆われ、東部地域では堆積相 I1, I2 に平坦またはチャンネル状の侵食面によって覆われる。

D2：セット高 5 cm, 幅 30 cm 程度の小型のトラフ型斜交層理を呈する厚さ 50 cm 以下の淘汰の良いシルト～細粒砂からなり、シルト部には管状生痕（*Ophiomorpha*

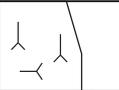
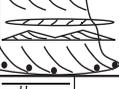
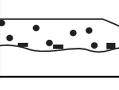
堆積相	模式図	記 載	堆積環境
A		塊状で無層理の凝灰質粘土～シルト質極細粒砂からなり、植物根痕や植物片をしばしば挟在する。	湿地
B	1 	平板型斜交層理を呈する淘汰不良な細粒～中粒砂からなり、下底はチャンネル状の浸食性形状を示し、細礫や泥礫の粗粒なラグを伴うことがある。また、層理面に沿って植物片を含み、級化傾向が見られることがある。	河川流路
	2 	トラフ型斜交層理を呈する淘汰不良な細粒～中粒砂からなり、下底はチャンネル状の侵食性形状を示し、細礫や泥礫を含む。また、級化の傾向が見られることが多い。	
C		塊状または弱い平行層理を呈するシルト～シルト質極細粒砂からなり、平行層理部にウェーブリップルを伴うことがある。また、管状生痕やむらくも状の生物擾乱を伴う。	ラグーン
D	1 	レンズ状からフレーザー状層理を呈する粘土、シルトおよびシルト質極細粒砂の互層からなり、シルト部や極細粒砂部に頻繁にウェーブリップルやカレントリップルを伴う。また、管状生痕やむらくも状の生物擾乱を伴う。	潮汐低地/ 潮汐流路
	2 	セットサイズの小さなトラフ型斜交層理を呈する淘汰の良いシルトから極細粒砂からなり、シルト部には管状生痕やむらくも状の生物擾乱を伴う。	
	3 	上方へセットサイズが小型化するトラフ型斜交層理を呈する淘汰の良い極細粒～細粒砂からなり、極細粒砂部に管状生痕を伴う。	
E		大型フォーセットを呈する淘汰の良い細粒砂で、フォーセット面から垂直にシルトへ上方細粒化していく。またシルト部に細粒砂からなるクライミングリップルを含む。むらくも状の生物擾乱を強く受けている。	潮汐 デルタ
F		生物擾乱を強く受けたやや淘汰の悪い細粒～中粒砂からなり、トラフ型斜交層理が発達し、粘土やシルトをレンズ状もしくは薄層状に挟在することがある。Rosselia isp.などの管状生痕や軟体動物化石の密集層を伴うことが多い。	内湾
G	1 	塊状の淘汰不良な含細礫中粒砂からなり、根痕や植物片等の炭質物を多量に含み、まれに管状生痕も伴う。	後浜
	2 	僅かに平行層理を呈する淘汰の良い鉄質中粒～細粒砂からなり、白斑状生痕 (Macaronichnus segregatis) を伴う。また、管状生痕や溶脱した離弁の軟体動物化石が散在することがある。	海浜 前浜
	3 	平板型斜交層理やトラフ型斜交層理を呈する淘汰中程度の細粒砂～粗粒砂からなり、白斑状生痕 (Macaronichnus segregatis) が密集する。	
H	1 	トラフ型斜交層理を呈する淘汰中程度の細粒～中粒砂からなり、多少の管状生痕を伴うことがある。また基底は直線状の侵食性形状を示し、細礫を含むことがある。	上部外浜
	2 	平板型斜交層理を呈する淘汰のやや悪い細粒～粗粒砂からなり、ウェーブリップルやウェーブデューン、レンズ状粗粒砂層を伴うことがある。また基底は直線状やチャンネル状の侵食性形状を示し、細礫を含むことがある。	
I	1 	平行層理を呈する淘汰の良い極細粒～細粒砂からなり、しばしば管状生痕を伴うことがある。	下部外浜
	2 	ハンモック型斜交層理を呈する非常に淘汰の良い極細粒～細粒砂からなり、しばしば管状生痕や逃避生痕、溶脱した軟体動物化石が散在的に見られる。	
	3 	ウェーブリップルを呈する淘汰の良い細粒砂と生物擾乱を呈するシルトの互層からなる。	
J		塊状で淘汰不良の含細礫粗粒砂からなり、基底は明瞭な凹凸のある侵食性形状を示す。	海進ラグ

図 3. 稲敷台地地域の下総層群の堆積相区分と各堆積相の特徴。

Fig. 3. Facies and their characteristics of the Shimosa Group in the Inashiki Terrace.

isp., *Thalassinoides* isp.) などの生物擾乱を伴う。木下層中下部に広く分布し、堆積相 D1 と共存し、F を漸移的に覆う。中部地域から西部地域では堆積相 C に漸移的に覆われ、東部地域では堆積相 H2, I3 に平坦またはチャンネル状の侵食面によって覆われる。

D3: 上方へセットサイズが小型化するトラフ型斜交層理を呈する厚さ 1 m 程度の淘汰の良い極細粒～細粒砂からなり、極細粒砂部に管状生痕 (*Ophiomorpha* isp.) を伴う。調査地域中部の (Loc. 6 の 1 露頭) の木下層に確認でき、堆積相 F を平坦で軽微な侵食面で覆い C に漸移的に覆われる。

堆積環境: 堆積相 D1 はレンズ～フレーザー状層理やウェーブリップルが発達するシルトとシルト質砂層の互層で特徴づけられ、泥と砂が間欠的に堆積する潮汐低地の堆積物と考えられる。また堆積相 D2, D3 のセットサイズの小さなトラフ型斜交層理は、潮汐低地内で潮汐流の影響をやや強く受けた場所と考えられ、潮汐流路の堆積物と推定される (Reading and Collinson, 1996)。

(5) 堆積相 E

幅 2 m 高さ 1 m 程度の南南西～南西向きの大規模フォーセットを呈する淘汰の良い細粒砂からなり、フォーセット面から垂直にシルトへと上方細粒化していく。シルト部には細粒砂からなるクライミングリップルが含まれる。またシルト部はむらくも状の生物擾乱を強く受けている。調査地域東部の木下層に局地的 (Locs. 2, 50) に分布し、堆積相 C に漸移的に覆われる。

堆積環境: 塊状シルト～極細粒砂を主体とし、開析谷地形を埋積するという分布特性、セット内で上方細粒化する大規模フォーセットが認められること、陸側への古流向を示すことから、開析谷の谷筋に沿って発達した小規模な上げ潮潮汐三角州の堆積物の可能性が考えられる。

(6) 堆積相 F

生物擾乱を強く受けた厚さ 1～3 m のやや淘汰の悪い細粒～中粒砂からなり、コンボリューションや小型のトラフ型斜交層理を伴う。また *Rosselia* isp. を伴う。木下層では *Tapes variegatus kioroshiensis*, *Macra chinensis*, *Megangulus venulosa*, *Anadara subcrenata*, 清川層では、*Anadara broughtoni*, *Macoma tokyoensis*, *Dentalium octangulatum* などの軟体動物化石の密集層を伴っている (図版 1e, 2f, 2g)。本相の基底はサイク

ル境界になることが多く、細礫や径 5～10 cm 程度の泥礫を含むことがある。調査地域中部から西部の木下層下部に広く分布し、堆積相 G, H2 を起伏のある侵食面で覆い堆積相 C, D に漸移的または軽微な侵食面によって覆われる。清川層では東部地域の下部に分布し、堆積相 H1, I2, I3 に平坦でシャープな侵食面によって覆われる。

堆積環境: 海生軟体動物化石密集層を伴うが、波浪堆積構造がほとんど見られず、強い生物擾乱を受けていることから閉鎖的内湾の堆積物であると考えられる。また木下層では *Tapes variegatus kioroshiensis* や *Anadara subcrenata* に代表される内湾砂底群集 (松島, 1984)、清川層では、*Macoma tokyoensis* や *Anadara broughtoni* に代表される内湾泥底群集 (松島, 1984) の軟体動物化石が産出することからも、内湾環境と考えられる。

(7) 堆積相 G

G1: 塊状で厚さ 50 cm～1 m 程度の淘汰不良な砂鉄質含細礫中粒砂からなり、根痕や植物片、炭質物を多量に含み稀に上位から掘り込まれた管状生痕 (*Ophiomorpha* isp.) も伴う (図版 1f)。調査地域全域の清川層上部、木下層上部に所々見られ、堆積相 G2 を漸移的に覆う。上位は清川層では堆積相 D1, F に起伏のある侵食面によって覆われ、木下層では堆積相 A に漸移し、堆積相 B1 には起伏のある侵食面によって覆われる。

G2: わずかに平行層理もしくは低角くさび型斜交層理を呈する、厚さ 50 cm～2 m 程度の淘汰の良い砂鉄質中粒～細粒砂からなり、白斑状生痕 (*Macaronichmus segregatis*) を伴う (図版 1g)。また、管状生痕 (*Ophiomorpha* isp.) や溶脱した離弁の軟体動物化石が散在することがある。調査地域全域の清川層上部、調査地域東部の上泉層や木下層上部に見られ、堆積相 G3, H を漸移的に覆う。上位は、上泉層では堆積相 F, J に起伏のある侵食面によって覆われ、清川層では堆積相 G1 には漸移的に、堆積相 D2, F, J には起伏のある侵食面によって覆われる。そして、木下層では、堆積相 B2 にはチャンネル状の侵食面によって覆われ、堆積相 G1 には漸移的に覆われる。

G3: 平板型斜交層理やトラフ型斜交層理を呈する厚さ 30 cm～1 m の淘汰中程度の細粒～粗粒砂からなり、白斑状生痕 (*Macaronichmus segregatis*) を伴う。調査地域全域に散在的にみられ、堆積相 H1 を漸移的に覆い G2 に漸移的に覆われる。

堆積環境: 堆積相 G1 は植物片を含む黒褐色で砂鉄質な堆積物であり, G2 の前浜相を覆い, 堆積相 A の湿地相に漸移することから, 後浜の堆積物であると考えられる. 堆積相 G2 は, 前浜において押し波と引き波によって形成された低角くさび型斜交層理 (swash cross-stratification; Harms *et al.*, 1975) を呈する砂鉄質葉理を伴う石英質細～中粒砂であることに加えて, 前浜の潮間帯に特有な白斑状生痕 (*Macaronichnus segregatis*; Clifton and Thompson, 1978) が含まれることから, 前浜の堆積物であると考えられる. 堆積相 G3 は白斑状生痕を含むことから前浜環境が推定されるが, トラフ型斜交層理や平板型斜交層理が共存することから, 上部外浜に近い前浜下部の堆積物と考えられる. 小論では, 前浜相と後浜相は海浜相として一括した.

(8) 堆積相 H

H1: トラフ型斜交層理を呈する厚さ 30 cm ～ 1.5 m 程度の淘汰中程度の細粒～中粒砂からなり, 管状生痕 (*Ophiomorpha* *isp.*) を伴うことがある (図版 1h). 基底はチャンネル状の侵食性形状を示し細礫が含まれることがある. 本相は清川層中部に広く分布し, 木下層では西部地域に分布する. 堆積相 H2 と共存し, 堆積相 I をチャンネル状の侵食面で覆い, 堆積相 G に漸移する.

H2: 平板型斜交層理を呈する厚さ 30 cm ～ 2 m の淘汰のやや悪い細粒～中粒砂からなり, ウェーブリップルやウェーブデューン, レンズ状に粗粒砂を伴うことがある (図版 2a). また基底は直線状やチャンネル状の侵食性形状を示し細礫が含まれることがある. 清川層の中部に広く分布し, 木下層では東部地域で確認した. 堆積相 H1 と共存し, 堆積相 D を平坦またはチャンネル状侵食面で, 堆積相 I をチャンネル状の侵食面で覆い, 堆積相 G2 に漸移する.

堆積環境: トラフ型斜交層理, 平板型斜交層理, ウェーブリップル～デューンを呈する砂層は, 平穏時の沿岸流や離岸流によって形成された堆積構造と考えられるため, 本相は波浪卓越環境の上部外浜の堆積物と考えられる (斉藤, 1989).

(9) 堆積相 I

I1: 平行層理を呈する厚さ 50 cm ～ 1 m の淘汰の良い極細粒～細粒砂からなり, しばしば管状生痕 (*Ophiomorpha* *isp.*) を伴うことがある. 清川層の中部に点在して分布し, 木下層では西部地域 (Locs.

47, 51) の中部から下部で確認した. 堆積相 I2 と共存し, 堆積相 H にチャンネル状の侵食面で覆われる.

I2: ハンモック型斜交層理を呈する厚さ 1 ～ 4 m 程度の非常に淘汰の良い極細粒～細粒砂からなり, しばしば管状生痕 (*Ophiomorpha* *isp.*) や逃避生痕が見られる (図版 2b). 清川層の下部に広く分布し, 木下層では東部地域 (Locs. 8, 53) で確認した. 堆積相 I1, I3 と共存し堆積相 F を平坦な侵食面で覆い, 堆積相 H にチャンネル状の侵食面で覆われる.

I3: ウェーブリップルを呈する淘汰の良い細粒砂と生物擾乱を呈するシルトとの互層からなり, 全体で厚さ 50 cm ～ 1.5 m 程度である (図版 2c). 調査地域中部から東部の清川層下部に分布する. 堆積相 I2 と共存し堆積相 F を平坦な侵食面で覆い, 堆積相 I2 に漸移的に覆われる.

堆積環境: I2 に特徴的なハンモック型斜交層理 (Harms *et al.*, 1975) は, ストーム時の波浪で形成される特徴的な堆積構造であることから, I2 と累重関係にある I1, I3 も波浪限界以浅の下部外浜の堆積物であると考えられる (斉藤, 1989). ただし, I3 のシルトは, 平穏時に沈積したものと考えられることから, 内側陸棚に近い, もしくは波浪の弱い内湾における下部外浜環境で堆積した可能性も指摘される.

(10) 堆積相 J

塊状で厚さ 20 cm 以下の淘汰不良の含細礫粗粒砂からなり, 基底は明瞭な起伏のある侵食性形状を示す (図版 2d, e). 調査地域の清川層最下部, 木下層最下部の一部に分布し, 堆積相 D1, E, F, I1 に覆われる. 堆積環境: 本相は, 下底に明瞭な侵食面を持つ堆積物であることに加えて, その上部には下位相と比較して相対的に深い水深において堆積した堆積相が累重することから, 海進の際に細粒堆積物が吹き分けられ, 粗粒堆積物が残留することによって形成された海進ラグ堆積物であると考えられる.

2. 堆積相分布

堆積相の三次元的分布を, 西北西-東南東断面 (図 4: A-A' 断面), 南西-北東断面 (図 5: B-B' 断面), 中央部-東部断面 (図 6: C-C' 断面) に投影して作成した対比柱状図から, 堆積相の累重様式や侵食面の連続性に注目して述べる. そして, 堆積相の分布から推定される堆積システムについても示す. 地層対比は基本的には中里 (1993) の層序に従ったうえで,

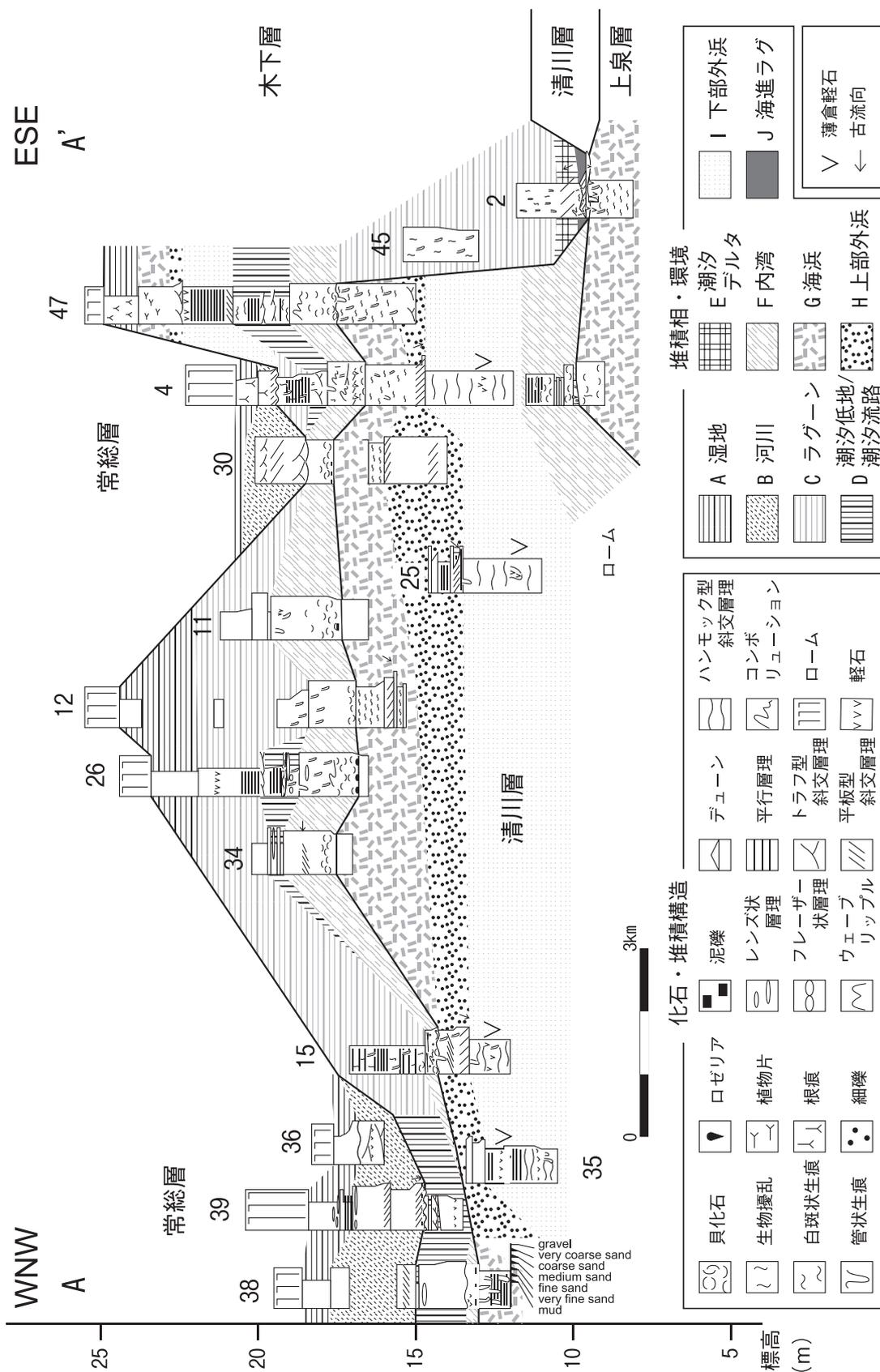


図 4. AA' 断面 (西北西 - 東南東) における下総層群の地質柱状対比と堆積相分布。

Fig. 4. Correlated columnar sections and facies distribution along the AA' (WNW-ESE) cross line.

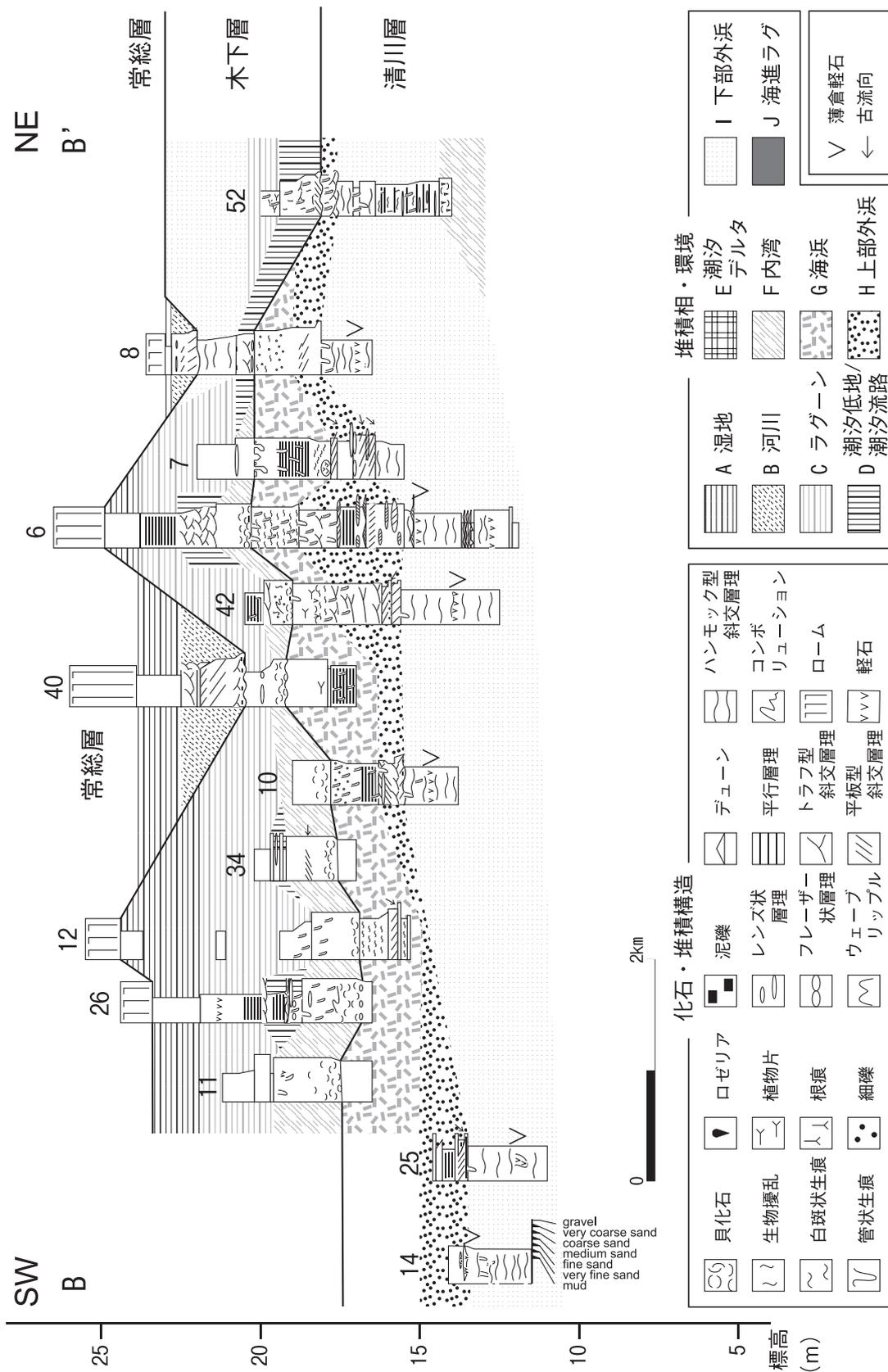


図 5. BB' 断面（南西－北東）における下総層群の地質柱状対比と堆積相分布。

Fig. 5. Correlated columnar sections and facies distribution along the BB' (SW-NE) cross line.

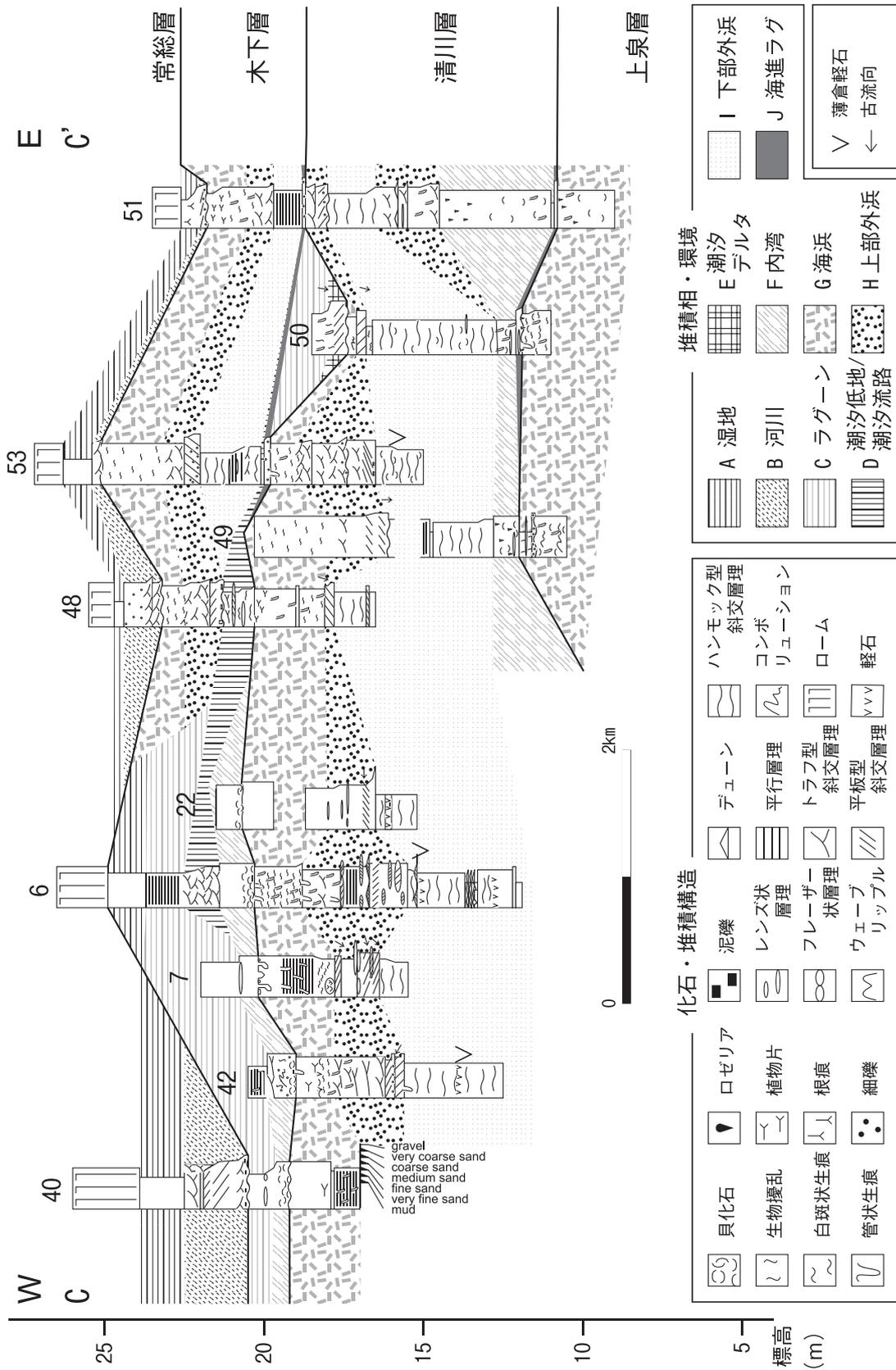


図 6. CC' 断面 (西-東) における下総層群の地質柱状対比と堆積相分布。

Fig. 6. Correlated columnar sections and facies distribution along the CC' (W-E) cross line.

堆積相の側方への連続性、明瞭な堆積相境界、侵食境界面やテフラを用いた。各露頭の標高は、国土地理院発行の2万5千分の1地形図の水準点をもとに、ハンドレベルを用いた簡易測量によって求めた。

(1) A-A' 断面

上泉層: 断面東部の最下部において、本層の最上部のみが確認されたに過ぎないが、堆積相 G の海浜相からなっていることから外洋の波浪卓越環境で形成されたものと考えられる。岡崎ほか (1997) によると、利根川南岸の上泉層はエスチュアリー相、潮流口相、ラグーン・内湾相、外浜相、海浜相が累重するとみなされることから、本地域ではその最上部の海浜相が観察できたものと考えられる。

清川層: 断面全域の下部に分布し、本層上限の標高が西方に下がる傾向があるため、西方ほど本層下部の露出が悪くなる。基本的に外洋成の堆積相 I-H-G という上方浅海化サクセッションからなり、外浜-海浜システムのもとで形成されたものと解釈できる。断面中西部の Loc. 15 においては、上位の木下層に侵食され堆積相 G が消失している。基底まで観察できる断面東部では、堆積相 I の下位に内湾相の堆積相 F が確認され、内湾-潟システムが成立していたことが示唆される。また、本層の堆積相 I の中に厚さ 1~3 cm 程度の薄倉軽石が層状またはレンズ状に含まれる。薄倉軽石は A, B, C 断面全ての清川層の堆積相 I に分布することが確認できる。

木下層: 断面全域の上部に分布し、西部ほど分布標高が下がる傾向にある。断面中部から西部にかけては、堆積相 F を覆って C, D が分布し、内湾、ラグーン成の堆積相が累重することから、内湾-潟システムが発達していたものと判断される。また、断面中部 (Locs. 12, 26) では最上位に堆積相 A が分布している。

断面東部 (Loc. 47) では、堆積相 F, D を覆って上部に外洋浅海成の堆積相 I-H-G が累重していることから、内湾-潟システムの後に外浜-海浜システムが成立していたものと判断される。

断面東端部 (Locs. 2, 45) では、Loc. 47 以東の木下層と同じ標高 15~25 m に露出が見られなかったが、標高 8~16 m には堆積相 C が厚く (層厚約 8 m) 発達し、その最下部には堆積相 J, E が認められる。この標高と同じ層準は、Loc. 47 以東では清川層に相当し堆積相がまったく異なる。堆積相 C の上位層準

は Loc. 47 では F の内湾相が見られる。この堆積相 J-E-C は累重様式と堆積相の類似性から開析谷埋積システムの堆積物であると解釈できる。つまり、木下層の最下部が、清川層すべてを侵食した谷地形を充填して、上泉層と直接接しているものと判断される。したがってここでは清川層は欠如している。この谷地形の北方延長は、C-C' 断面でも認められる。

常総層: 断面全域最上部に局所的に分布し、西部 (Loc. 39 周辺) と東部 (Loc. 30) において河川成の堆積相 B-A の分布が確認されることから、河川システムが発達していたものと判断される。

(2) B-B' 断面

上泉層: この断面においては確認されていない。

清川層: 本層は層厚 3~8 m で断面全域に分布し、下限は露出しない。南端部 (Locs. 14, 25) では、上部以上の層準の露出が確認できなかった。また中部では分布標高が 3 m 程度高いことが確認できた。全体的に外浜-海浜システムの堆積相 I-H-G という累重が見られる。しかし断面北端部 (Loc. 52) では、堆積相 I の下位に内湾-潟システムの堆積相 F が確認された。

木下層: 断面全域に分布し、全体的に内湾-潟システムの堆積相 F-C, D という累重が見られる。しかし断面北端部 (Loc. 8) では、堆積相 D を覆って外洋成の堆積相 I が確認された。

常総層: 断面全域最上部に局地的に分布し、中部 (Loc. 40) と北端部 (Loc. 8) において河川システムの堆積相 B-A の分布を確認している。

(3) C-C' 断面

上泉層: A-A' 断面と同様に断面東部で確認されたにすぎないので、その全容は不明であるが、堆積相 G の海浜相が確認されていることから、外洋の波浪卓越環境の中で形成されたものと考えられる。

清川層: 断面全域に分布し、全体的に外浜-海浜システムの堆積相 I-H-G という累重が見られる。しかし断面東部 (Locs. 49, 50, 51) では、堆積相 I の下位に内湾-潟システムの堆積相 F が確認された。

木下層: 断面西部では、内湾-潟システムの堆積相 F-D-C への累重が見られることに対し、断面中部 (Locs. 48, 53) では堆積相 D を覆い、そして東端部 (Loc. 51) では堆積相 J を覆って外浜-海浜システムの堆積相 I-H-G が発達する。また断面東部の一部 (Loc. 50) においては、清川層を削り込んだ谷を埋めて、開析谷埋積システムの堆積相 E-C が認められ

た。本層は東部では層厚3～5 m、西端で約1 mと西方に薄くなる傾向がある。

常総層：断面最上部に局地的に分布し、西端部 (Loc. 40) と中部～東部 (Locs. 48, 53, 51) において河川システムの堆積相 B-A が確認された。

清川層, 木下層の堆積シーケンス

清川層下部の露出がよく、木下層の堆積相の側方変化の大きい C-C' 断面を選び、堆積相の分布、累重様式、地層侵食面の追跡から、清川層および木下層におけるシーケンス層序解釈を示してみたい。以下に用いるシーケンス層序学用語は安藤 (1990)、齊藤ほか (編) (1995) などにに基づく。

1. 清川層

清川層の基底には明瞭な侵食面が認められ、上泉層との不整合面をなすことからシーケンス境界であると解釈することができる。本侵食面をシーケンス境界 1 (SB1: sequence boundary) と呼ぶ。そして、下位の上泉層も 1 つの堆積シーケンス (DS: depositional sequence) を構成していると判断されることから DS1 と呼ぶ。

SB1 の上位には、内湾-潟システムの堆積相 J-F の累重からなる内湾成相 (図 7) が確認されている。このことから、SB1 は内湾が侵入してきた際に形成された侵食面、すなわち内湾ラビンメント面 (BRS1: bay ravinement surface: Nummedal and Swift, 1987) でもあると考えられる。したがって図 7 では SB1=BRS1 と表記した。

内湾-潟システムの堆積物の上位には、外浜-海浜システムの堆積相 I-H-G または H-I-H-G の、上方浅海化サクセッションからなる外洋成相が累重している。この基底には平坦な侵食面が認められるが、これは上位に外洋成堆積物が累重することから、海進が進行して外洋環境が成立した際に波浪侵食によって形成された波浪ラビンメント面 (WRS1: wave ravinement surface: Nummedal and Swift, 1987) と解釈できる。

清川層における最大海氾濫面 1 (MxFS1: maximum flooding surface) は、下部外浜相の最も細粒化する層準に求めることができ、これより下位を海進期堆積体 1 (TST1: transgressive systems tract)、上位が高海水準期堆積体 (HST1: highstand systems tract) と解釈され

る。HST1 上限は、木下層基底の起伏のある不整合面に相当し、シーケンス境界 (SB2) であるとみなされることから、清川層は 1 つの堆積シーケンス (DS2) を構成しているものと解釈できる。

2. 木下層

清川層との不整合面である SB2 は、A-A' 断面東端部で見られるように、調査域東部で、最大で清川層の全層準をチャンネル状に削りこんだ明瞭な侵食面をなすことがあり、このようなチャンネルを埋積して開析谷埋積システムの堆積相 J-E-C が発達している。

調査地域東部の開析谷が発達しない所では内湾-潟システムの堆積相 D または J-D からなる内湾成相が薄く累重し、その上位には堆積相外浜-海浜システムの J-I-H-G, I-H-G もしくは H-G のサクセッションからなる厚い外洋成相が認められる。これに対し、西部では内湾-潟システムの堆積相 F-D-C-A または F-A が累重する厚い内湾成相が認められる。したがって、開析谷が埋積された後、内湾が成立し西部に拡大していったものと考えられ、木下層の内湾-潟システムの堆積物基底に認められる侵食面は、内湾ラビンメント面 (BRS2) と解釈することができる。そして、BRS2 の下位に開析谷埋積システムが発達する東部を除く地域では、BRS2 がシーケンス境界をなし SB2=BRS2 となる。

また、調査地域東部の外洋成相基底の侵食面は、外洋性波浪による波浪ラビンメント面であると解釈することができる (WRS2)。調査地域中部～西部では、このような外洋成堆積物は認められないことから、木下層を形成した海進による外洋性の波浪卓越環境が、調査地域中部以西には至らなかったことを示している。そして、木下層堆積時には調査地域東部では外洋成相が、中部以西では内湾成相が同時異相として成立したことが示唆される。おそらく、東部の下部に発達していた内湾成相は外洋成相の形成時に削剥を受けて、特に東端部では内湾成相の全層準が失われた可能性がある。

木下層における MxFS2 は、外浜-海浜システムが発達する調査地域東部では、清川層と同じく外洋環境が最も拡大した層準を示す、下部外浜相で最も細粒化する層準に求めることができる。一方、内湾-潟システムが厚く発達する中部～西部には、最も海水準が上昇した際の明瞭な証拠は堆積相の粒度変化からは確認

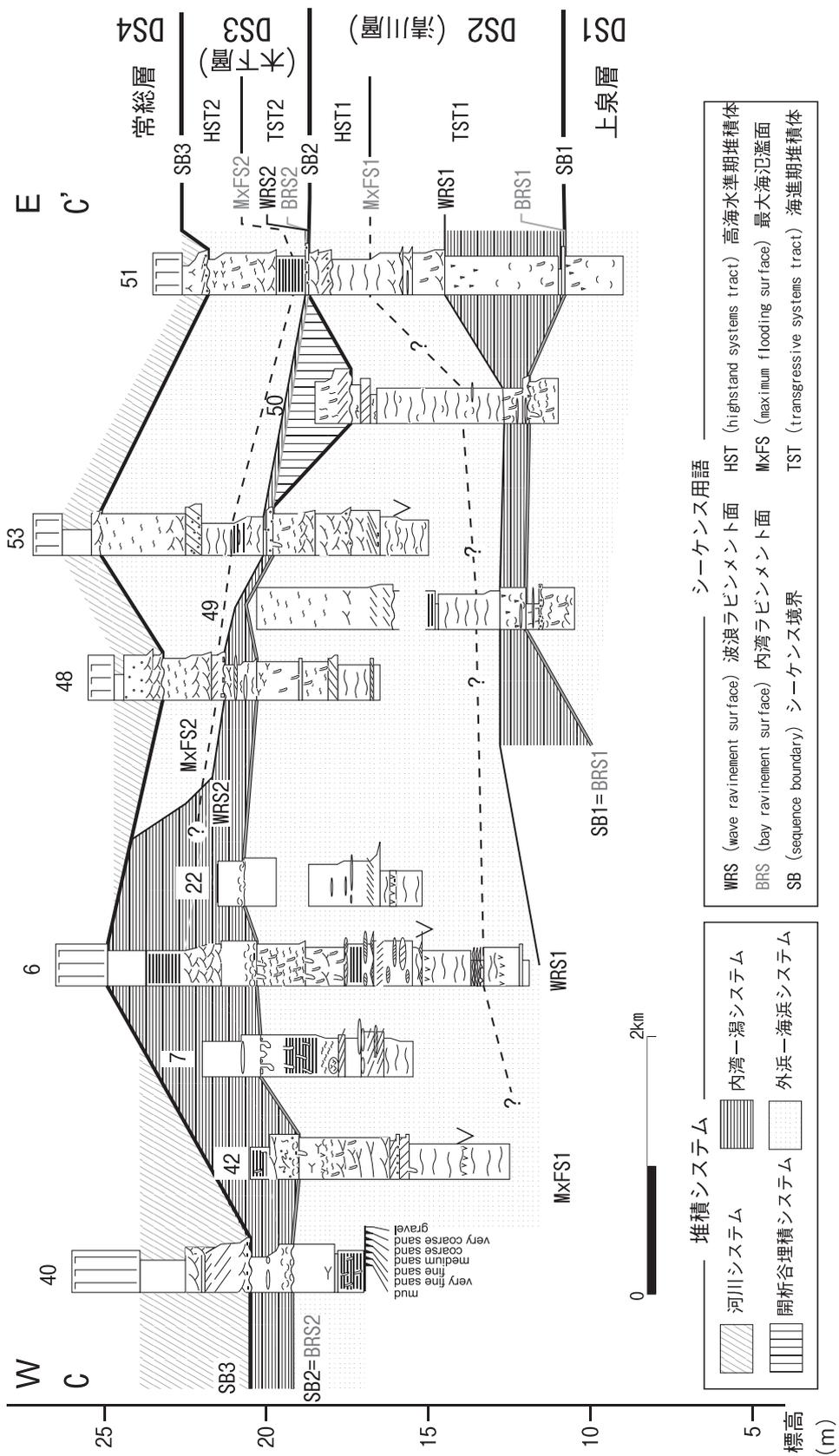


図7. 稲敷台地のCC'断面(西-東)における下総層群のシーケンス層序。柱状図の記号は図4-6を参照。
 Fig. 7. Sequence stratigraphy of the Shimosa Group along the CC' (W-E) cross line in the Inashiki Terrace.

できないことから、MxFS2はLoc. 22と48の間で追跡が困難になってしまう。バリアー島の内湾側でのMxFSの認定は、Nishikawa and Ito (2000)では、潮汐三角州相内に認定しているが、最も陸側のラグーン相または潮汐低地相の発達する地域ではやや追跡が曖昧になっている。また、横山ほか(2001b)では最も粗粒化するウォッシュオーバー相または海浜相の認められる層準としているが、本地域ではこれらの堆積相は確認されていない。これらのことからバリアー島の内湾側におけるMxFS2の追跡に問題点は残るが、MxFS2より下位をTST2、上位をHST2と解釈することができる。

木下層の上限は、堆積相B-Aの累重する河川システムの堆積物である常総層の基底からチャンネル状に削り込まれる不整合面である。これはシーケンス境界(SB3)であると解釈することができる。したがって木下層をDS3、常総層をDS4と呼ぶ。

軟体動物化石群集

稲敷台地における下総層群は、内湾成の軟体動物化石を産出することで知られ、小林(1925)、大炊御門(1935)以降多数の研究例がある(例えばO'Hara et al., 1998など)。しかし、堆積相解析から復元される堆積環境と群集組成から推論される古環境とを統合した総合的な解釈や、1露頭における複数層準や厚い化石層内での産状・群集変遷を記載した例は少ない。そこで本項では、既存研究における成果を踏まえた上で、現在でもよく露出し標本採取が可能な龍ヶ崎市貝原塚の木下層を代表として、軟体動物化石記録から古環境変遷情報を抽出してみたい。

1. 清川層の内湾泥底群集

清川層下部の内湾相である堆積相Fには、霞ヶ浦西岸地域の阿見町掛馬(Loc. 44)、阿見町烏津(大炊御門, 1935; 馬場・青木, 1972; 大原ほか, 1998)において、*Anadara broughtoni*, *Macoma tokyoensis*, *Dentalium octangulatum*などが卓越する化石層が見られる。これらは、松島(1984)の内湾泥底群集に相当するものと考えられる。自生的産状を示すものが多いが、一部水流によって運搬・擾乱されレンズ状に密集している。清川層の軟体動物化石群集は*Glycymeris yessoensis*, *Peronidia venulosa*などの寒流系種が卓越することが知

られており、これは北東の鹿島灘側に開口部をもった内湾という地理的条件に起因しているものとされている(青木・馬場, 1973)。

2. 木下層の内湾砂底群集

木下層下部の内湾相である堆積相Fには、龍ヶ崎市貝原塚町(Loc. 26)、江戸崎町上君山(Loc. 48)において、*Tapes variegatus kioroshiensis*, *Anadara subcrenata*, *Macra chinensis*, *Peronidia venulosa*などの卓越する化石層が見られる。これらは、松島(1984)の内湾砂底群集に相当するものと考えられる。レンズ状に密集する産状を示し、ほとんどの個体が離弁・磨耗していることから、かなりの程度洗掘・運搬されて集積したものと考えられる。江戸崎町上君山では、化石層基底から下位層に掘り込んだ管状生痕を化石破片が充填している産状が観察された。このほかに、殻が溶脱しているが同じ群集組成からなると考えられる化石層が龍ヶ崎市薄倉町(Loc. 11)、牛久市奥原町(Loc. 6)、新利根町上根本(Loc. 4)などで確認されている。

木下層の軟体動物化石群集は*Macra chinensis*を多産し、*Tapes variegatus kioroshiensis*などの温帯種が多いとされるが、利根川以北では*Spisula sachalinensis*や*Peronidia venulosa*など、寒流系種が普通に見られるとされる(青木・馬場, 1973)。

3. 龍ヶ崎市貝原塚町における木下層中の群集変遷

研究地域のほぼ中央に位置する龍ヶ崎市貝原塚町(Loc. 26)の木下層下部では、層厚約1.5mの軟体動物化石層が認められる(図8)。基底は起伏のある明瞭な侵食面をなし、直上には泥礫層を伴う。侵食面の上位は軟体動物化石を含む含細礫中粒砂層(堆積相F)、レンズ状～フレーザー状層理を呈する粘土・シルトおよび極細粒砂の互層(D1)、小型のトラフ型斜交層理を呈するシルト～細粒砂層(D2)、弱い平行層理を呈するシルト(C)、そして塊状無層理の粘土(A)に遷移していく。最上位の堆積相Aを除いて全ての層準で管状生痕やむらくも状の生物擾乱が発達する。

化石層1: 木下層の基底から上位40cmまでの中粒砂層からなる化石層で、水平的には10m以上連続していたことが確認できる。化石に方向性はほとんど見られないが一部層理面に沿って配列している。保存状態は比較的良好で磨耗はほとんど見られず、殻のやや

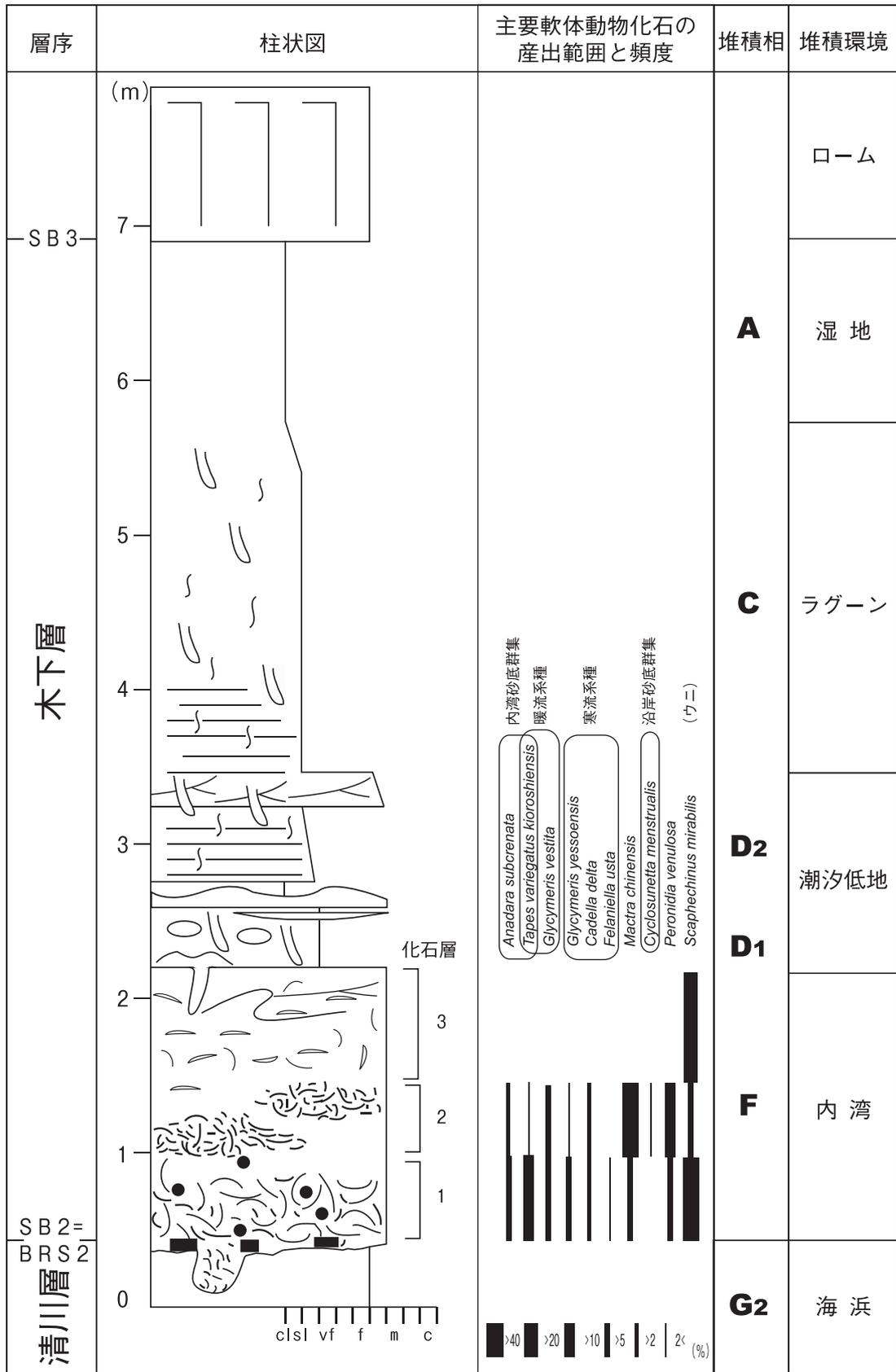


図 8. 稲敷台地の CC' 断面 (西-東) における下総層群のシーケンス層序.

Fig. 8. Geographic distribution of depositional facies and sedimentary history of the Shimosa Group in the Inashiki Terrace.

薄い *Maetra chinensis* もほとんどが破片化せずに残っている。産出化石は *Tapes variegatus kioroshiensis* が最も多く、次いで *Maetra chinensis*, *Glycymeris vestita*, *Glycymeris yessoensis*, *Peronidia venulosa*, *Anadara subcrenata* となっている。合弁個体は *Peronidia venulosa*, *Anisocorbula venusta* がわずかに層理面に沿って見られる程度である。また寒流系種の *Glycymeris yessoensis*, *Cadella delta*, *Felaniella usta* の保存がよく、*Mercenaria stimpsoni* の破片も見つかった。その他に棘皮動物の *Scaphechinus mirabilis* が保存よく大量に産出する。

また基底では下位の堆積相 G2 に対し直径数 cm におよぶ管状生痕が掘り込まれ、堆積相 F の特に化石破片を含んだ中粒砂で充填されているが、著しく破片化しているため種の同定はできない。これは、清川層と木下層の間の不整合面上で、内湾形成期初期に生活していた生物の巣穴痕に、運搬され破片化した貝殻が入り込んだものと考えられる。

化石層 1 は、殻の保存は良いが合弁個体がほとんど認められず、離弁殻、破片殻がお互いに密に積み重なっている部分が多いことから、波浪や水流の物理的営力によって洗掘・運搬・集積したものと考えられる。やや薄殻の *Maetra* は破片化の程度が小さいことから洗掘履歴が短く急速埋没したことも予想される。

化石層 2: 化石層 1 の上位 20 ~ 50 cm の中粒砂中には、幅 30 ~ 50 cm, 厚さ 20 ~ 30 cm 程度のレンズ状に軟体動物化石密集層が認められる。軟体動物化石に方向性はほとんど認められないが、一部で下に凸の貝殻が層理に沿っているのが認められた。保存状態は化石層 1 に比べて悪く、*Peronidia venulosa*, *Rapana venosa* などの殻の厚いものだけが破片化せずに残っている。*Scaphechinus mirabilis* も細かい破片が認められるのみであり、破片化が進行している *Maetra chinensis* が産出化石の半分以上を占め、順次 *Peronidia venulosa*, *Cadella delta*, *Olivella japonica*, *Glycymeris vestita*, *Anisocorbula venusta*, *Anadara subcrenata*, *Tapes variegatus kioroshiensis* となっている。そして、沿岸砂底群集 (松島, 1984) に属するとされる *Cyclosunetta menstrualis* がわずかながら認められる。なお、化石層 2 で認められた寒流系種は *Cadella delta* のみである。

化石層 2 は破片化しているものが多いことから、内湾波浪などによって洗掘・運搬されて集積した洗掘履歴の長いものと考えられる。

化石層 3: 化石層 2 の上位に認められる厚さ 60 cm 程

度の、コンボリューションを伴う淘汰中程度の中粒砂からなる。軟体動物化石は溶脱してしまっているが散在する。保存が悪いため軟体動物は種の特定ができないが、棘皮動物の *Scaphechinus mirabilis* がほぼ層理面に沿って散在している。

化石層 1 から 3 への変化: 前述のように化石層 1 基底の侵食面は、内湾ラビンメント面 (BRS2) と解釈することができ、その下位に開析谷埋積システムが発達しないこの場所では、BRS2 がシーケンス境界をなし SB2=BRS2 となる。したがって化石層 1 から 3 への産状や組成変化は木下層が堆積した内湾における海進作用の過程を記録している。

まず、化石層 1 は基底侵食面の連続性とその上下の堆積相の変化や累重様式から、海進時に粗粒堆積物が残留した海進ラグ堆積物と考えられる。*Tapes variegatus kioroshiensis*, *Anadara subcrenata* などの温帯内湾砂底種が多産するが、*Felaniella usta* のような寒流系の種も認められることから、異なる水塊の群集が混合していることが明らかである。これは、暖流が優勢であるが多少寒流の影響があった内湾環境で形成されたものか、もしくは、当初寒流の影響化で生息していた群集とその後の内湾群集が波浪等で混合した可能性が考えられる。

化石層 2 の構成種は基本的に化石層 1 と類似しているが、化石層 1 で産出した寒流系種がほとんど認められない。化石層 1 の時期より海進が進行して、内湾が拡大して内湾種が卓越するようになったためと考えられる。

堆積史

ここまで述べてきた稲敷台地南部の下総層群の層序、堆積相分布、シーケンス層序学的地層境界面の分布、軟体動物化石群集の変遷、テフラを総合し、稲敷台地南部の清川層、木下層および常総層の堆積史と地史を復原したい (図 9)。

1. 清川層内湾形成期

清川層をもたらした海進初期には内湾環境が形成され、寒流系種を主体とした内湾泥底の軟体動物群集が多数生息していた。この内湾は、竜ヶ崎団体研究グループ (1994) では広い湾の内側陸棚として解釈されているものに相当する。清川層は分布標高が低

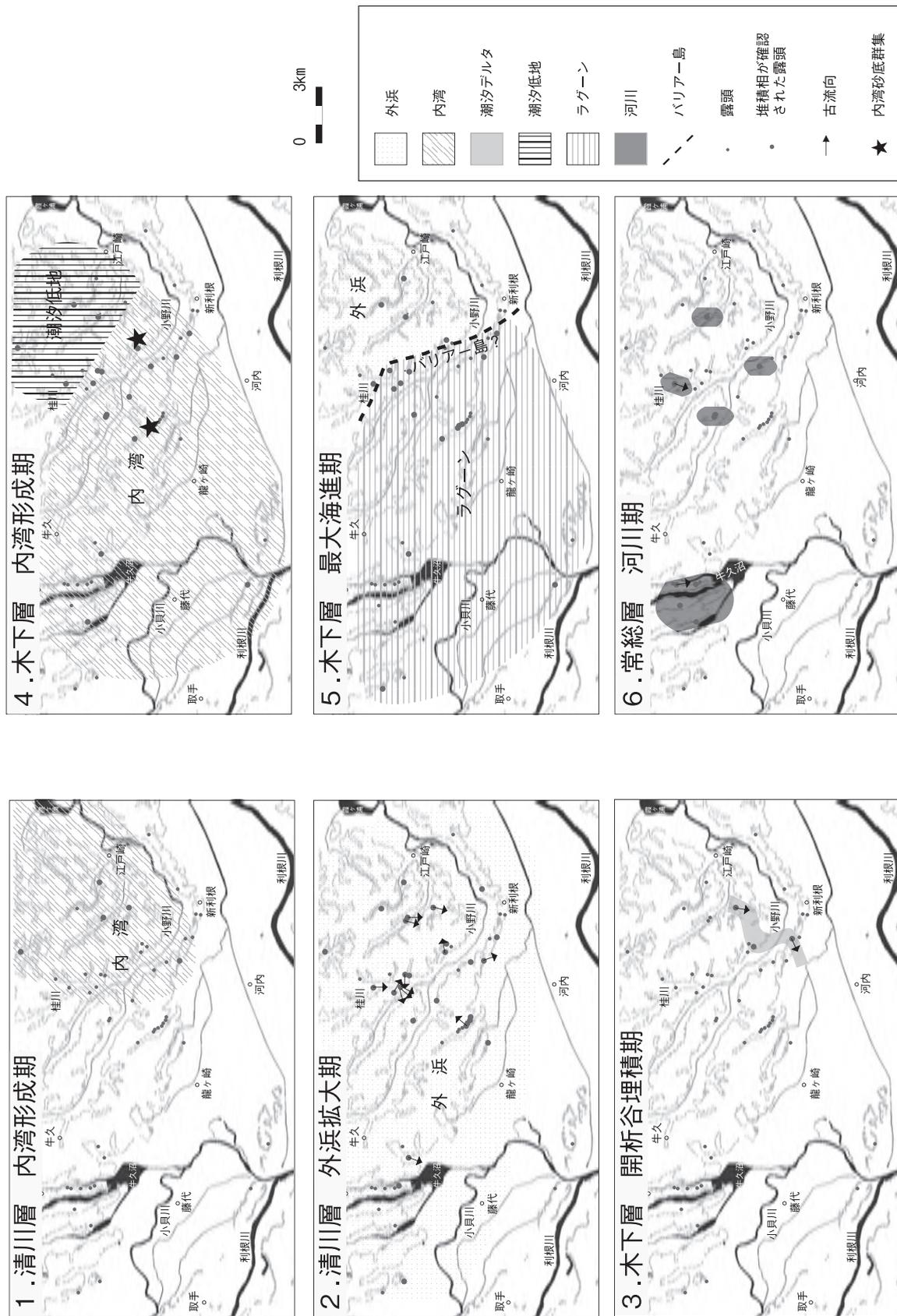


図 9. 稲敷台地の CC' 断面 (西-東) における下総層群のシーケンス層序.

Fig. 9. Geographic distribution of depositional facies and sedimentary history of the Shimosa Group in the Inashiki Terrace.

いために、内湾相の広がりを確認できるのは調査地域東部（江戸崎町西部，新利根町西部）に限られる。清川層下部が沖積面下に没する調査地域中部～西部（牛久市，龍ヶ崎市，つくば市）では内湾相を追跡することは難しいが，稲敷台地北部の美浦村，阿見町では本地域で認められた群集と同様な内湾泥底群集を含む内湾相が清川層下部から確認されている（大炊御門，1935；菊池・館野，1962；馬場・青木，1972）。さらに，本調査地域北方の新治台地，北東～東方の行方台地，鹿島台地南部にも認められている（馬場・青木，1972）ことから，茨城県南部に広く同様な内湾環境が広がっていた可能性が指摘できる。この時期の軟体動物化石群集が寒流系種を主体とすることは，鹿島灘に湾口をもち親潮系寒流が流入していた内湾，すなわち古東京湾と呼称するよりむしろ，“古霞ヶ浦湾”（青木・馬場，1978）と呼ぶに相応しい地理的背景に起因していた可能性が高い。

2. 清川層外浜拡大期

清川層堆積期での海進がさらに進むと，外洋の波浪卓越環境が拡大し，外浜－海浜システムが成立した。この外洋環境は，最大海進期には調査地域全域に広がり，その後の相対海水準の低下に伴って海側へ前進していったと考えられる。

3. 木下層開析谷埋積期

清川層形成後の低海水準期には，河川による谷の開析が生じた。今回確認した開析谷の1つは，調査地域東部の江戸崎町小羽賀（Loc. 50），江戸崎町上君山和田（Loc. 45），新利根町下根本杓掛（Loc. 2）へと南南西～南西方向に延びている。開析谷には海進に伴って海水が浸入し，開析谷埋積システムの潮汐三角州～ラグーン相によって埋積が進行した。フォーセット斜交層理から求めた古流向は南西～南南西方向を示し，陸側への強い流れの存在が推測されることから，谷沿いに上げ潮潮汐三角州が発達していたものと考えられる。

木下層の開析谷は，調査地域南部の龍ヶ崎市南部から取手市，利根川南岸の手賀沼北岸地域からも知られている（下総台地研究グループ，1996）。

4. 木下層内湾形成期

海進が進むと再び内湾が形成され，調査地域のほぼ

全域に広がった。この内湾の砂底には軟体動物群集が生息しており，これらが波浪や潮汐流などで運搬され化石密集層が形成された。調査地域東部では潮汐低地相が確認されていることから，潮汐卓越環境が広がっていたことが示唆される。竜ヶ崎団体研究グループ（1994）は，稲敷台地の木下層は東京湾などの狭い湾もしくは広い湾の奥部ではあるが，斎藤（1989）の暴浪卓越型陸棚モデルが成立していると解釈した。しかし，堆積相分布からは，むしろ波浪の影響が極めて乏しい内湾の環境が卓越していたものと考えられる。このような内湾環境は，木下層堆積時に出現したとされるバリアー島（例えば岡崎・増田，1989）の内湾側において形成されたものと判断される。

木下層に含まれる軟体動物化石は上位に向けて寒流系種が減少し，暖流系種が増加することから，バリアー島によって寒流の流れ込みが妨げられたことに加え，この時期に既に古東京湾の南開口部（現在の浦賀水道）が通じており（貝塚，1958），“古浦賀水道”から黒潮系暖流が本地域まで流れ込んでいた（青木・馬場，1978）可能性がある。

5. 木下層最大海進期～海退期

木下層最大海進期には，海進に伴いバリアー島が陸側に後退したとされ，その後退域は霞ヶ浦東岸の行方台地までとされている（岡崎・増田，1989；岡崎・増田，1992；Murakoshi and Masuda, 1992）。そのバリアー島最大後退域より内湾側に位置する稲敷台地でも，調査地域中～西部では波浪の影響の弱い内湾－潟システムの堆積物が卓越する。しかし，今回，調査地域東部では外浜－海浜システムの堆積物が確認されたことから，波浪卓越環境が成立していたことが示唆される。つまり，内湾環境と外洋環境が同時に，かつ狭い範囲内で成立していたのである。ただし，東部の木下層の外洋成堆積物は清川層と比較してより泥質細粒であり，波浪の影響の弱い内湾的な要素が強かったものと判断される。

バリアー島内側において外浜環境が形成されうる可能性としては，バリアー島の開口部である潮流口を通じて外洋水が侵入して外洋波浪が達していたことが挙げられる。実際に，この地域東方の潮来地域に潮流口が存在していたことが確認されている（岡崎・増田，1989）。また，潟が拡大した時期に湾中央部において波浪卓越型の環境が発達していた可能性も指摘され

る。さらに、バリアー島が従来の解釈より内側まで後退してきた、もしくはバリアー島の内湾側にもう1つ小規模なバリアー島が存在したという可能性もあるかもしれない。

外浜相の分布限界に近い江戸崎町 (Loc. 47) では、内湾-潟システムと外浜-海浜システムの堆積物が、それぞれ上方粗粒化サクセッションを形成している。これは、まず海進に伴ってバリアー島が後退する時に、バリアー島内側の内湾域にバリアー島が近づくことによって上方粗粒化サクセッションが形成された後、バリアー島が通過して外浜-海浜システムの上方浅海化サクセッションが形成された可能性を示唆している。

その後、相対的海水準の低下により東部では外浜-海浜システムが海側に前進していったと考えられる。西部~中部では内湾の埋積が進行したが、内湾-潟システムの離水時期は遅く、古鬼怒川水系の鳥趾状三角州が筑波台地~稲敷台地北西部に発達した“鳥趾状三角州期”に及んでいたとされる (池田ほか, 1982; 増田・岡崎, 1983)。

6. 常総層河川期

この時期には、調査地域全域は完全に海退し陸化した。牛久沼周辺地域に古小貝川・古鬼怒川水系の河川が、そして牛久市東部から江戸崎町西部に古小野川水系の河川が出現した。その古流向は本調査地域が南北に狭いため広く追跡することは出来なかったが、牛久沼周辺では南南東方向を示し、増田・岡崎 (1983) によって復元された古小貝川水系の蛇行河川の古流向と一致する。

まとめ

1. 稲敷台地の下総層群は、堆積相分布、侵食面の追跡、テフラの追跡から、下位より上泉層、清川層、木下層、常総層に区分することができた。
2. 計53露頭における調査から10の堆積相を識別し、それらの累重関係などから堆積環境を推定した。これにより、湿地、河川流路、ラグーン、潮汐低地、潮汐三角州、内湾、海浜、上部外浜、下部外浜、海進ラグの堆積相が確認された。
3. 堆積相の分布をもとにその堆積システムを復元した結果、下総層群は河川、内湾-潟、開析谷埋

積、外浜-海浜の4つのシステムから構成されることが判明した。

4. 清川層、木下層に対して、シーケンス層序学的解釈を行った結果、清川層にはSB1, BRS1, WRS1の3枚の侵食面が、木下層にはSB2, BRS2, WRS2, SB3の4枚の侵食面を認定することができた。さらに、各層にTST, HSTを認定することができ、それぞれは1回の相対的海水準変動に伴う堆積シーケンスを構成していることがわかった。
5. 清川層、木下層、常総層の堆積史は以下のように解釈することが可能である。清川層堆積期では、初期に内湾が形成され、海進最盛期には、調査地域全域に外洋性環境が広がった。木下層堆積期では、初期に開析谷が埋積され、その後バリアー島-潟システムの成立に伴い内湾が形成された。しかし調査地域東部では、ほぼ同時期に外洋性の環境が想定されることから、両者の関係についてさらなる検討が必要である。常総層形成期では河川環境が発達していた。

謝 辞

小論を執筆するにあたり、独立行政法人農業工学研究所造構部の中里裕臣氏、国土交通省国土地理院地理調査部の大井信三氏には、下総層群の層序およびテフラに関して貴重な御助言を頂いた。茨城大学教育学部の牧野泰彦教授には粗稿を査読頂き、原稿を改善するにあたって有益な御指摘を頂いた。また、茨城大学理学部地球生命環境科学科の天野一男教授、岡田誠助教授には有益な議論を頂いた。茨城大学理学部地球生命環境科学科卒業生の中村壮也氏には野外調査などに際しご協力を頂いた。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 青木直昭. 1967. 地蔵堂層および敷層について. 地質雑, **73**: 1-5.
- 青木直昭・馬場勝良. 1971. 木更津-市原地域の瀬又、上泉および成田層の貝化石群とその産出総準. 地質雑, **77**: 137-151.
- 青木直昭・馬場勝良. 1977. 茨城県南部の竜ヶ崎層. 筑波の環境研究, (2): 114-120.
- 青木直昭・馬場勝良. 1978. 成田層の古地理. 筑波の環境

- 研究, (3): 187-197.
- 青木直昭・馬場勝良. 1979. 霞ヶ浦-北浦地域の下総層群. 筑波の環境研究, (4): 186-195.
- 安藤寿男. 1990. 堆積シーケンスとその境界の認定と意義. 地学雑誌, **99**: 247-261.
- 馬場勝良・青木直昭. 1972. 茨城県, 霞ヶ浦-北浦地域の下総層群の層序区分. 地質雑, **78**: 577-584.
- Clifton, H. E. and J. K. Thompson. 1978. *Macaronichnus segregatis*: a feeding structure of shallow marine polychaetes. *Jour. Sediment. Petrol.*, **48**: 1293-1302.
- Harms, J. C., J. B. Southard, D. R. Spearing and R. G. Walker. 1975. *Depositional Environment as Interpreted from Primary Sedimentary Structures and Stratification Sequences*. SEPM Short Course Notes, (2): 161 pp.
- 市原季彦・高塚 潔・下山正一. 1996. 生痕層序. 地質雑, **102**: 685-699.
- 池田 宏・水谷かおり・園田洋一・伊勢屋ふじこ. 1982. 筑波台地の地形発達-古霞ヶ浦の鳥趾状三角州. 筑波の環境研究, (6): 150-156.
- Ito, M., T. Nishikawa and H. Sugimoto. 1999. Tectonic control of high-frequency depositional sequences with durations shorter than Milankovitch cyclicity: an example from the Pleistocene paleo-Tokyo Bay, Japan. *Geology*, **27**: 763-766.
- 貝塚爽平. 1958. 関東平野の地形発達史. 地理評, **31**: 59-85.
- Katsura, Y., F. Masuda and H. Ikeda. 1980. Meandering stream deposits in the Pleistocene Ryugasaki Formation, Ibaraki, Japan. *Memorial Vol., Prof. S. Kanno*, pp. 435-451.
- 桂 雄三・増田富士雄, 岡崎浩子, 牧野泰彦. 1985. 筑波台地周辺の第四系中にみられるストーム堆積物の特徴. 筑波の環境研究, (9): 56-62.
- 菊池隆男・館野俊男. 1962. 茨城県江戸崎町および千葉県多古町周辺の第四系. 地質雑, **68**: 17-28.
- 菊池隆男. 1981. 常総粘土層の堆積環境. 地質学論集, (20): 129-145.
- 小林貞一. 1925. 土浦の介殼化石. 地質雑, **32**: 84-88.
- 小玉喜三郎・堀口万吉・鈴木尉元・三梨 昂. 1981. 更新世後期における関東平野の地塊状造盆地運動. 地質学論集, (20): 13-28.
- 小島伸夫. 1959. 印旗沼付近の成田層群について. 地質雑, **65**: 595-604.
- 牧野泰彦・増田富士雄. 1989. 古東京湾のバリアー島. 日本地質学会第96年水戸大会見学旅行案内書, pp. 151-199.
- 横山次郎. 1930. 関東南部の洪積層. 小川博士還暦記念地学論集, pp. 307-382.
- 増田富士雄・岡崎浩子. 1983. 筑波台地およびその周辺台地の第四系中に認められる方向を示す構造. 筑波の環境研究, (7): 99-110.
- Masuda, F. and H. Okazaki. 1983. Two types of prograding deltaic sequences developed in the late Pleistocene Paleo-Tokyo Bay. *Ann. Rep. Inst. Geosci. Univ. Tsukuba*, **9**: 56-60.
- 増田富士雄・岡崎浩子. 1985. 筑波・稲敷台地の第四系中の沿岸砂州堆積物による古水深の推定. 筑波の環境研究, (9): 42-55.
- 松本 現・牧野泰彦. 2000. 酒沼周辺に分布する上部更新統見和層の堆積相. 茨城県自然博物館研究報告, (3): 1-16.
- 松島義章. 1984. 日本列島における後氷期の浅海性貝類群集-特に環境変化に伴うその時間・空間的変遷-. *Bull. Kanagawa Pref. Mus.*, **15**: 36-109.
- Miall, A. D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits*. Springer, Berlin, 582 pp.
- 三土知芳. 1937. 7万5千分の1地質図幅「茂原」. 地質調査所.
- Murakoshi, N. and F. Masuda. 1992. Estuarine, barrier-island to strand-plain sequence and related ravinement surface developed during the last interglacial in the Paleo-Tokyo Bay, Japan. *Sediment. Geol.*, **80**: 167-184.
- 中村一夫・福田 理. 1953. 常総台地の地形および地質(要旨). 地質雑, **59**: 694.
- 中里裕臣. 1993. 下総層群清川層と上岩橋層の層序学的関係. 千葉県中央博研報, **2**: 115-124.
- 成田研究グループ. 1962. 下末吉海侵と古東京湾. 地球科学, **61**: 8-14.
- 西川 徹・伊藤 慎. 1997. 古東京湾初期の中期更新世堆積体の発達過程. 地質雑, **103**: 1144-1161.
- Nishikawa, T. and M. Ito. 2000. Late Pleistocene barrier-island development reconstructed from genetic classification and timing of erosional surfaces, paleo-Tokyo Bay, Japan. *Sediment. Geol.*, **137**: 25-42.
- 西川 徹・伊藤 慎・杉本英也. 1998. 地層から読み取るバリアー島の発達過程. 地質雑, **104**: 477-494.
- 西川 徹・伊藤 慎・大原 隆. 2000. 最大海氾濫面形成時期の空間的变化: 房総半島中部更新統敷層を例として. 地質雑, **106**: 15-30.
- Nummedal, D. and D. J. P. Swift. 1987. Transgressive stratigraphy at sequence-bounding unconformities: some principles derived from Holocene and Cretaceous examples. *In: Nummedal, D., O. H. Pilkey and J. D. Howard, (eds.), Sea Level Fluctuation and Coastal Evolution*. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ., (41): 241-260.
- O' Hara, S., M. Sugaya and K. Endo. 1998. Molluscan fossils from the Kioroshi Formation of the Kasumiga-ura District in the central Kanto Plain. *Bull. Ibaraki. Nat. Mus.*, (1): 19-32.
- 大炊御門経輝. 1935. 茨城県稲敷郡阿見村および舟島村の貝化石層. 地球, **24**: 26-35.
- 岡崎浩子. 1996. 下総層群の堆積サイクルの特徴と形成過程. 千葉県中央博研報, **4**: 1-8.
- 岡崎浩子・増田富士雄. 1989. 古東京湾の流系. 堆積学研究会報, (31): 25-32.
- 岡崎浩子・増田富士雄. 1992. 古東京湾の堆積システム. 地質雑, **98**: 235-258.
- Okazaki, H. and F. Masuda. 1995. Sequence stratigraphy of the

- late Pleistocene Paleo-Tokyo Bay: barrier islands and associated tidal delta and inlet. In: Fleming, B. W. and A. Bertholoma (eds.), *Tidal Signatures in Modern and Ancient Sediment*, Intern. Assoc. Sediment, Spec. Publ., (24): 275-288.
- 岡崎浩子・佐藤弘幸・中里裕臣. 1997. 古東京湾に発達した2つのタイプの堆積シーケンスー下総層群上泉層, 清川層および横田層ー. 地質雑, **103**: 1125-1143.
- Reading, H. G. and J. D. Collinson. 1996. Clastic coasts. In: Reading, H. G. (ed.), *Sedimentary Environments: Process, Facies and Stratigraphy*, pp.154-231, Blackwell Sci., Oxford.
- 竜ヶ崎団体研究グループ. 1994. 稲敷台地南部の下総層群ー上岩橋層と木下層の堆積相, 層序, 古環境(その1)ー. 地球科学, **48**: 535-551.
- 竜ヶ崎団体研究グループ. 1998. 稲敷台地南部の下総層群ー後期更新世以降の地殻変動(その2)ー. 地球科学, **52**: 378-390.
- 齊藤文紀. 1989. 陸棚堆積物の区分と暴風型陸棚における堆積相. 地学雑誌, **98**: 350-365
- 齊藤文紀・保柳康一・伊藤 慎(編). 1995. シーケンス層序学: 新しい地層観を目指して. 地質学論集, (45): 1-249.
- 下総台地研究グループ. 1984. 千葉県手賀沼周辺地域における木下層基底の形態と層相の関係. 地球科学, **38**: 226-234.
- 下総台地研究グループ. 1996. 下総台地北東部の層序および地質構造(その1)ー層序および標準層序との対比. 地団研専報, **45**: 1-23.
- 杉原重夫・新井房夫・町田 洋. 1978. 房総半島北東部の中・上部更新統のテフロクロロジー. 地質雑, **84**: 583-600.
- 徳橋秀一・遠藤秀典. 1984. 姉崎地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1図幅). 地質調査所, 136 pp.
- 徳橋秀一・近藤康生. 1989. 下総層群の堆積サイクルと堆積環境に関する一考察. 地質雑, **95**: 933-951.
- 植田房雄. 1969. 房総半島北部の地質. 堆積輪廻. 東洋大紀要, (11): 1-30.
- 宇野沢昭・磯部一洋・徳橋秀一・田口雄作・永井茂・石井武丸・相原輝雄・岡 重文. 1988. 2万5千分の1筑波研究学園都市およびその周辺の環境地質図説明書. 特殊地質図, 地質調査所, 139 pp.
- Yabe, H. 1931. Geological growth of the Tokyo Bay. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **9**: 333-339.
- 横山芳春, 安藤寿男, 森 大規. 2001a. 茨城県鹿島台地, 大洋村田塚における第四系下総層群木下層の堆積シーケンスと軟体動物化石. 茨城県自然博物館研究報告, (4): 57-69.
- 横山芳春・安藤寿男・大井信三・山田美隆. 2001b. 下総層群“見和層”に認められる2回の相対海水準変動の記録: 茨城県南東部石岡ー銚田地域の例. 堆積学研究, (54): 9-20.
- 横山芳春・大井信三・中里裕臣・安藤寿男. 2002. バリアー島に規制された堆積相と地形形成: 茨城県東茨城台地西縁地域における下総層群“見和層”を例に. 堆積学研究, (55): 17-28.

(要 旨)

夫馬貴央・安藤寿男・横山芳春. 茨城県南部稲敷台地における第四系下総層群の堆積相と軟体動物化石相. 茨城県自然博物館研究報告 第7号(2004) pp. 1-22, pls. 1-2.

茨城県南部, 稲敷台地周辺に分布する中〜上部更新統下総層群上泉層, 清川層, 木下層, 常総層を対象に堆積相解析を行った結果, 10の堆積相が識別できた. それらの累重関係や分布から, 河川, 内湾ー潟, 開析谷埋積, 外浜ー海浜の4つの堆積システムを復元できた. 清川層堆積期では, 初期に寒流系の内湾泥底軟体動物群集の生息場であった内湾が海進最盛期には調査地域全域に及ぶ外洋性環境に変化した. 木下層堆積期では, 初期に開析谷が埋積され, その後バリアー島ー潟システムの成立に伴い, 暖流系の内湾砂底群集が卓越する内湾が形成された後に埋積された. 調査地域東部では, ほぼ同時期に外洋性環境が存在していた. その後常総層を形成する河川が発達した.

(キーワード): 下総層群, 清川層, 木下層, 更新統, 堆積相, 相対的海水準変動, シーケンス層序学.

図版と説明

(2 図版)

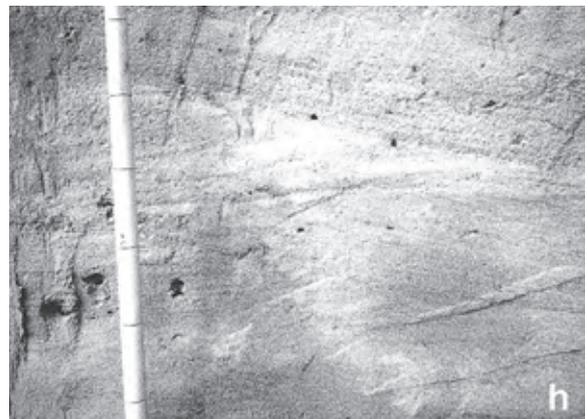
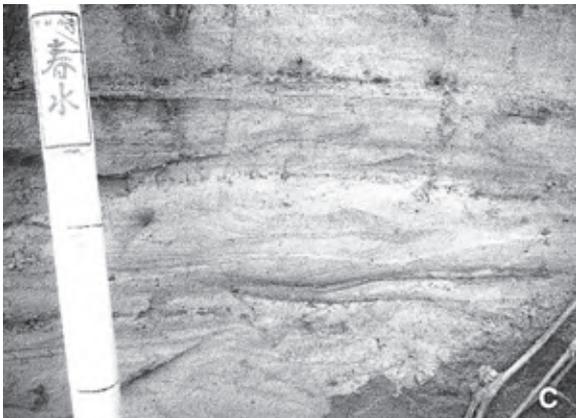
Plates and Explanations

(2 plates)

図版 1 (Plate 1)

- a. 木下層最上部で観察された河川氾濫原相の塊状粘土層 (堆積相 A). 龍ヶ崎市貝原塚町 (Loc. 26).
- a. Massive clay of flood plain facies (facies A) in the uppermost part of the Kioroshi Formation, Shimosa Group at Kaiharatsuka (Loc. 26), Ryugasaki City.
- b. 常総層に見られる河川流路相の平板型斜交層理 (堆積相 B2). 牛久市桂町中坪 (Loc. 26).
- b. Planar cross-stratified medium to fine sand of fluvial channel facies (facies B1) in the Joso Formation at Nakatsubo (Loc. 26), Katsura, Ushiku City.
- c. 木下層に見られるラグーン相のシルト・極細粒砂互層 (堆積相 C). 牛久市奥原町 (Loc. 6).
- c. Interbedded silt and very fine sand of lagoonal facies (facies C) in the Kioroshi Formation at Okubara (Loc. 6), Ushiku City.
- d. 木下層によく見られる, 潮汐低地相のレンズ状~フレーザー状層理を示す砂泥互層 (堆積相 D1). 垂直性管状生痕も発達する. 龍ヶ崎市貝原塚町 (Loc. 26).
- d. Interbedded silt and very fine to fine sand of tidal flat facies (facies D1) showing lenticular to flaser bedding and vertical burrows. This facies can be frequently observed in the Kioroshi Formation. Kaiharatsuka (Loc. 26), Ryugasaki City.
- e. 木下層に卓越する内湾相の塊状生物擾乱細粒~中粒砂層 (堆積相 F). 溶脱した貝化石を含む. 龍ヶ崎市貝原塚町 (Loc. 26).
- e. Bioturbated, massive fine to medium sand of inner bay facies (facies F) dominated in the Kioroshi Formation at Kaiharatsuka (Loc. 26), Ryugasaki City. Bivalve fossils whose shells were dissolved are frequently contained within lamina.
- f. 木下層上部の後浜相の炭質物を含む細粒砂層 (堆積相 G1). 江戸崎町上君山 (Loc. 47).
- f. Carbonaceous remains-bearing fine sand of backshore facies (facies G1) in the upper part of the Kioroshi Formation at Kamikimiyama (Loc. 47), Edosaki Town.
- g. 木下層上部の前浜相の白斑状生痕 (*Macaronichmus segrigatis*) が発達する細粒砂層 (堆積相 G2). 江戸崎町上君山 (Loc. 47).
- g. Much burrowed (*Macaronichmus segrigatis*) fine sand of foreshore facies (facies G2) in the upper part of the Kioroshi Formation at Kamikimiyama (Loc. 47), Edosaki Town.
- h. 木下層上部の上部外浜相のトラフ型斜交層理中粒~細粒砂層 (堆積相 H1). 江戸崎町下蒲ヶ山 (Loc. 48).
- h. Trough cross-stratified medium to fine sand of upper shoreface facies (facies H1) in the upper part of the Kioroshi Formation at Shimokamagayama (Loc. 48), Edosaki Town.

Plate 1



図版 2 (Plate 2)

- a. 清川層上部で観察される上部外浜層の平板型斜交層理粗粒～中粒砂層 (堆積相 H2). 牛久市奥原町 (Loc. 6).
- a. Planar cross-stratified coarse to medium sand of upper shoreface facies (facies H2) in the upper part of the Kiyokawa Formation at Okubara (Loc. 6), Ushiku City.
- b. 清川層に卓越する下部外浜相のハンモック型斜交層理細粒～極細粒砂層 (堆積相 I2). 牛久市奥原町 (Loc. 6).
- b. Hummocky cross-stratified fine to very fine sand of lower shoreface facies (facies I2) dominated in the Kiyokawa Formation. Okubara (Loc. 6), Ushiku City.
- c. 清川層の下部外浜相に見られるウェーブリップル斜交層理極細粒砂層 (堆積相 I3). 牛久市奥原町 (Loc. 6).
- c. Interbedded silt and very fine sand of lower shoreface facies (facies C) in the Kioroshi Formation at Okubara (Loc. 6), Ushiku City.
- d. 清川層を侵食して上泉層 (前浜相: G1, G2) と直接重なる木下層最下部の淘汰不良含細礫粗粒砂層 (堆積相 J). 木下層基底の侵食面はシーケンス境界をなし, その上位に開析谷埋積システムの堆積相 J, E, C が累重する. 堆積相 J の上部は右方向にフォーセットする斜交層理が発達するが, 上限のシルト質細粒砂層との境界は対称的なクレストが保存されており, 波長 (50~60 cm), 波高 (5~8 cm) が大きいことと合わせ, ウェーブデューンとみなされる. 新利根町下根本沓掛 (Loc. 2).
- d. Poorly-sorted, granule-bearing coarse sand of facies J in the base of the Kioroshi Formation at Kutsukake (Loc. 2), Shimonemoto, Shin-tone Town. The upper part shows rightward-inclined forset-bedding. The upper surface capped by the upper facies (E) of bioturbated silty sand, forms wave dune 50 to 60 cm long and 5 to 8 high with symmetrical crest. The Kioroshi Formation composed of facies J, E and C (incised valley fill deposits) directly overlies the Kami-izumi Formation (foreshore facies: G1, G2) with a sequence boundary, eroding away all the Kiyokawa Formation here.
- e. d 中左部の拡大. 上泉層～木下層境界の不整合面 (シーケンス境界).
- e. Enlargement of the middle left part of d. Unconformity between the Kami-izumi and Kioroshi Formations (sequence boundary).
- f. 木下層下部の堆積相 F における化石密集層の産状. 軟体動物化石は内湾砂底種を主体とする. 龍ヶ崎市貝原塚町 (Loc. 26).
- f. Fossil shellbed in facies F of the lower Kioroshi Formation at Kaiharatsuka (Loc. 26), Ryugasaki City. The shellbed is dominated by molluscan species dwelling on inner bay sand-bottom.
- g. 木下層下部の堆積相 F における化石密集層の産状. 軟体動物化石は内湾砂底種を主体とし, 下部は殻がお互いに重なり合って密集しているが凸側を下に向けた二枚貝が多く, 上部は凸側を上にして葉理に沿って配列している. 江戸崎町上君山 (Loc. 47).
- g. Fossil shellbed in facies F of the lower Kioroshi Formation at Kami-kimiyama (Loc. 47), Ryugasaki City. In the lower part of the shellbed, shells are concentrated and stacked each other, though convex-downward valves are common. On the other hand, convex-upward valves are dominated and arranged forming lamina.
- h. 清川層下部の堆積相 I に含まれる薄倉軽石層 (UsP). 龍ヶ崎市薄倉町 (Loc. 23).
- h. Pumice tuff (Usukura Pumice: UsP) contained in facies I of the lower part of the Kiyokawa Formation. Usukura (Loc. 23), Ryugasaki City.

