

常総台地東部の中・上部更新統下総層群の堆積相と そこに含まれる花粉化石群集の例（予報）

岡崎浩子¹・中里裕臣²・田村 亨²・本郷美佐緒³

¹ 深田地質研究所

² 産業技術総合研究所地質調査総合センター

³ 有限会社アルプス調査所

Sedimentary facies and pollen assemblages of the Middle-Upper Pleistocene Shimosa Group in the eastern part of the Joso Upland

OKAZAKI Hiroko¹, NAKAZATO Hiroomi², TAMURA Toru², HONGO Misao³

¹ Fukada Geological Institute

² Geological Survey of Japan, AIST

³ Alps Technical Research Laboratory Co., Ltd.

要旨：本論は関東平野東部（飯岡台地と鹿島・行方台地）で産出する MIS5 の層準の可能性のある花粉化石群集を、その採取地点およびその周辺地域の堆積相とともに報告するものである。関東平野東部には中・上部更新統の下総層群が分布し、これは約 10 万年周期の氷河性海水準変動の影響を受けて形成されている。繰り返す海水準変動によって堆積した陸成層や浅海成層からは、気候変動に伴った花粉化石群集が産出する。本論の目的は、採取した花粉化石群集組成と周辺の既報の花粉化石群集組成との比較から採取層準の推定を行うとともに、花粉化石群集が示す気候変化とその地層の堆積相から推定される調査地点の海水準変化との関係を検討するものである。これらの検討は、現在のところ試料数が少なく試験的で今後の研究の予察とするものである。
キーワード：常総台地東部、下総層群、花粉化石群集、堆積相

Abstract: The Middle to Upper Pleistocene Shimosa Group is distributed in the eastern part of the Kanto Plain, and was formed under the influence of glacial sea-level fluctuations with a cycle of approximately 100,000 years. The terrestrial and shallow-marine strata deposited by repeated sea-level changes have yielded pollen assemblages associated with climatic changes. Pollen assemblages from the Iioka Upland and Kashima-Namegata Uplands, eastern Kanto Plain, which may be part of the MIS5 strata, are described with the sedimentary facies at the collection sites and in the surrounding area. The purpose of this study is to estimate the stratigraphic position by comparing the composition of the pollen assemblages with previous reports, and to examine the relationship between the sea-level changes at the study site, which is inferred from the sedimentary facies analysis of the strata, and the climatic changes inferred from the pollen assemblages. This report is preliminary for future study.

Keywords: Joso Upland, Shimosa Group, pollen assemblages, sedimentary facies

1. はじめに

本論は関東平野東部（飯岡台地と鹿島・行方台地）で産出する MIS (Marine Isotope Stage) 5 の層準の可能性のある花粉化石群集をその採取地点およびその周辺地域の堆積相とともに報告するものである。

関東平野地域には約 45 万年から 8 万年前に存在した浅海域（古東京湾）に堆積した海成層が厚く堆積している。古東京湾の地層の形成は約 10 万年周期の氷河性海水準変動の影響を受けてきた。高海面期には浅海層が形成される一方、低海面期には陸域が広がり河川や湿地、砂丘などの陸成層が形成されている。繰り返される海水準変動で形成された陸成層や浅海成層中からは、気候変動に伴った花粉化石群集が産出する。花粉化石群集の変化が示す周期性は、例えば氷期・間氷期変動や東アジアのモンスーン変動との同調が示唆されている。火山灰や年代測定で層序の明らかな地層の連続試料の花粉化石群集からは、海水温の変動を示す海洋酸素同位体ステージの対比が行われている（五十嵐，2009；奥田ほか，2010 など）。また、花粉化石群集は異地性が大きいことから、群集の解析には、堆積域と植生の距離や高低差、花粉の散布形態など堆積環境との関係も重要な要素となっている（山野井，1994）。

地層の堆積環境を推定する手法としては堆積相解析があり、相対的海水準変動とそれに伴う堆積相の変化に基づき、堆積シーケンスと呼ばれる海進・海退相の組み合わせによる地層区分が行われている。また、堆積シーケンスと海洋酸素同位体ステージとの対比が行われている（Okazaki and Masuda, 1995 など）。

本論では、テフラと OSL (Optical Stimulated Luminescence) 年代により層序が確定している

飯岡台地から採取した花粉化石群集組成を報告すると同時に、その堆積相解析から推定される調査地域の海水準変化と気候変化の特徴を検討した。鹿島・行方台地では、一部 OSL 年代測定された試料を含む花粉化石採取地点の層序を堆積相とともに予察的に検討し、その花粉群集の成因について考察した。これらの検討は、花粉化石群集を産出した堆積相と推定される層序から、花粉化石群集の示す古気候と堆積シーケンスが示す海水準変動との関係を考察するものだが、現在のところ試料数が少なく試験的で今後の研究の予報とするものである。

2. 地質概説

関東平野東部に分布する古東京湾の堆積物は下総層群と呼ばれ、下位から地蔵堂層、藪層、上泉層、清川層、横田層、木下層、常総層で構成され、それぞれ海洋酸素同位体ステージ MIS 11, 9, 7e, 7c, 7a, 5e, 5c-5a の海水準変動に対応して堆積している（図 1）。

下総層群木下層の堆積面は MIS5e 面であり、関東平野に広く分布する。大磯丘陵では吉沢面、多摩丘陵・武蔵野台地では下末吉面、大宮台地では木下面、常陸・下総台地（常総台地）では下総上位面と呼ばれる（貝塚・松田，1982）。これらの面は Hk-KIP7 テフラ（町田・新井，2003）（なお本論で用いるテフラ名は町田・新井，2003 に従う）などが上部に挟在することにより対比されている。また、これより下位の面としては三浦半島の小原台面、三崎面が模式的なものとして知られ、下総台地では下総下位面、千葉第 1 段丘などが同様に MIS 5c, 5a 面に対比される（杉原，1970）。On-Pm1, Hk-TP などが指標テフラとなっている。

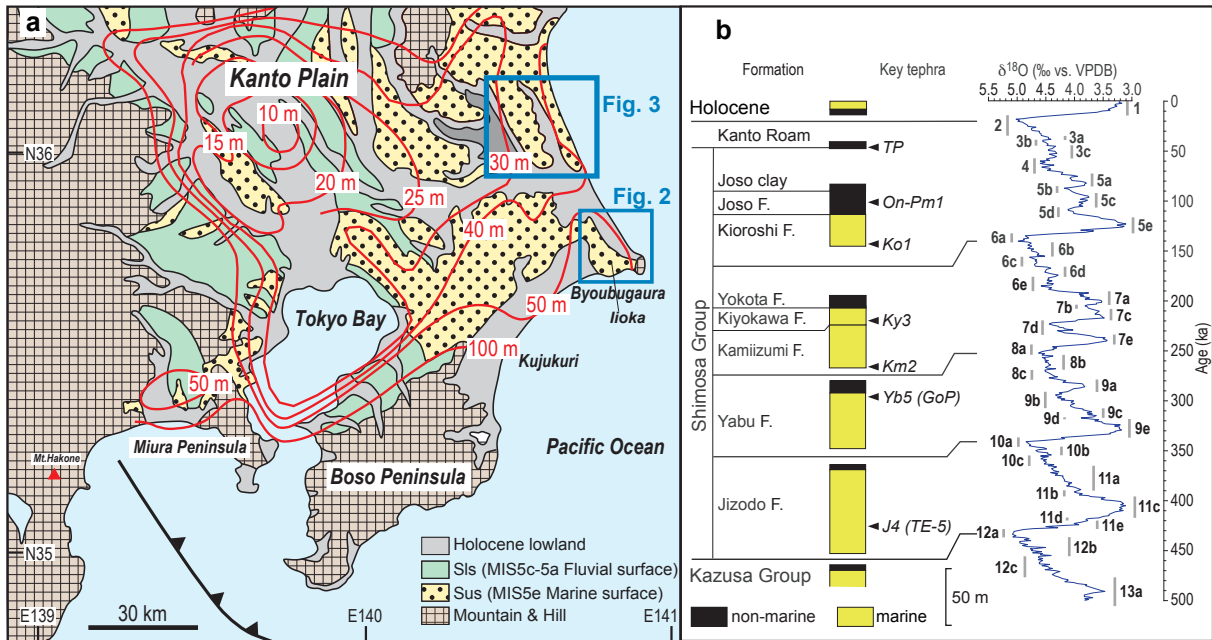


図1 調査地域と層序。(a) 関東平野の地形面分類（貝塚，1987より改変）。Sus：下総上位面，Slis：下総下位面。(b) 下総層群の年代層序。MIS (Lisiecki and Raymo, 2005; Railsback et al., 2015) との対比は中里・佐藤 (2001) による。Okazaki et al. (2022) より改変。

調査したのは常総台地東部にあたる千葉県飯岡台地と茨城県鹿島・行方台地の下総層群から産出した花粉化石群集である。それぞれの台地では Okazaki et al. (2022), Tamura et al. (2022) においてテフラおよび OSL 年代が得られている。

飯岡台地は標高 65 m ~ 25 m で、高位面、中位面、低位 1 面、低位 2 面の 4 つの面が認められた (Okazaki et al., 2022) (図 2b)。これらの離水年代は OSL 年代から高・中位面は約 100 ka，低位 1 面・2 面は約 85 ka の年代が得られた。従って、高位・中位面は MIS 5c 面，低位 1・2 面は MIS 5a 面と考えられ，この値は低位 1 面の最下部に挟在した MIS 5c の指標テフラ On-Pm1 テフラの存在と整合した。また，飯岡台地を構成する貝化石を含む砂層は浅海から陸成で香取層と呼ばれ，従来，岩相と地形面の標高から木下層 (杉原，2000) に連続するとされてきたが，上記の結果から常総層に対比される。常総層 (小玉ほか，

1981) は主に茨城県中部に分布する河成層により定義されていたが，飯岡台地では同時期の海成層が認められることが明らかになった。

茨城県霞ヶ浦以東の常陸台地の主体をなす海成段丘面は，従来 MIS 5e に堆積した木下層が構成する下総上位面に一括されてきた。大井ほか (2013) は，鹿島台中軸部は標高が 40–45 m と周囲より 10–15 m 高く，中軸部より海岸側の台地面はあまり開析されていない特徴を示すことから台地中軸より西の北浦側を常陸台地下位面，以東の海岸部を鹿島面と呼んだ。ローム層最下部に K-Tz や Aso-4 に相当するテフラが見いだされることから常陸台地下位面は 5d 初期，鹿島面は MIS 5c の海成段丘面で，鹿島面は常総層の層厚だけ台地の標高が高くなっているとしている。鹿島・行方台地の下総層群は，岡崎 (1992)，中里 (2008) では最下部は藪層で，斜交層理などがみられる細粒砂層が当該地域に広く分布するとして

いる。この上位に、基底に浸食面をもち砂層からなる清川層がのる。さらにその上位の木下層は下位層を谷状および平坦な浸食面で削って砂礫層が認められ、上方に砂泥互層もしくは塊状泥層が重なる。これらは側方に層相変化が激しい。本論では便宜的にこの層準の地層を“谷埋め堆積物”とし、この層準の花粉化石試料を主に分析している。この上位には平坦な浸食面(ラビンメント面)を挟んで浅海成の細粒から中粒砂層がのる。さらにその上位にそれらを薄くチャンネル状に浸食して河川成の粗粒砂層の常総層がのる。

大井・横山(2011)は木下層より下位層を藪層、上泉層、清川層、横田層に区分し、それぞれの指標テフラを示した。さらに木下層の谷埋め堆積物を剣尺部層、ラビンメント面以上を行方部層として2部層に分けている。

Tamura et al. (2022)は鹿島台地の中軸部で深さ35mのボーリングコア(GS-HKT-1)をとり、OSL年代を測っている。既報の標高と岩相からこの結果との対比をすると、岡崎(1992)、大井・横山(2011)の藪層・上泉層はMIS 7、木下層の谷埋め堆積物相当層はMIS 5d、ラビンメント面以上の木下層と常総層はMIS 5cに相当すると考えられる(図3b)。

従って、当地域の層序にはいくつかの異なる見解がある。

3. 調査方法

標高については、飯岡台地ではいくつかの主要な露頭の標高についてRTK-GPSで求めた。鹿島・行方台地ではボーリング資料を除く露頭については1/2500地形図から基準点標高を読み取り、ハンドレベルにより露頭標高を求めた。その他国土地理院の5m DEMを用いて段彩図を作製した。

堆積相区分は岩相、粒度、堆積構造、基底面形状、組織、色調、含有化石、古流向などの層相観察に基づいて行った。また、堆積相解析により堆積環境を推定した。

花粉・孢子化石の分離およびプレパラート作製は、以下の手順で行った。水酸化カリウム処理により試料(約100g)を泥化・分散させる。1 μ 振動篩で粘土鉱物を分離・除去する。大型時計皿処理により植物質を濃集する。フッ化水素酸処理により珪酸塩鉱物を分解除去する。重液(塩化亜鉛、比重約1.9)を用いて比重分離し、植物質を濃集する。酢酸処理を行った後、アセトリシス処理(濃硫酸:無水酢酸=1:9の混合液を加え、1分間湯煎)によりセルロースを分解・除去する。酢酸処理および水洗を行った後、分離試料をグリセリンゼリーで封入する。封入材の乾燥を防ぐため、カバーガラスの周囲をネイルエナメルで密封する。花粉化石の計数は同定された花粉・孢子化石のうち、完全形または破片の場合は半分以上残っていたものを対象とした。木本植物の花粉化石総数が1試料につき200個を越えるまで計数した。また、この過程で観察される草本植物の花粉化石およびシダ植物の孢子化石も集計した。

4. 調査結果

4.1 堆積相

4.1.1 飯岡台地(図2a, 2b)

香取層(常総層)でみられる堆積相は堆積相A~Iの以下である(Okazaki et al., 2022)。

堆積相A: 波食台相

下位の鮮新-更新統の浸食面上に、層厚30cm以下の貝化石片を含む亜円礫の細礫~中礫混じりの砂礫層がみられる。浸食面直下の犬吠層群の泥岩中には主にカモメガイ、ニオガイなどにより形

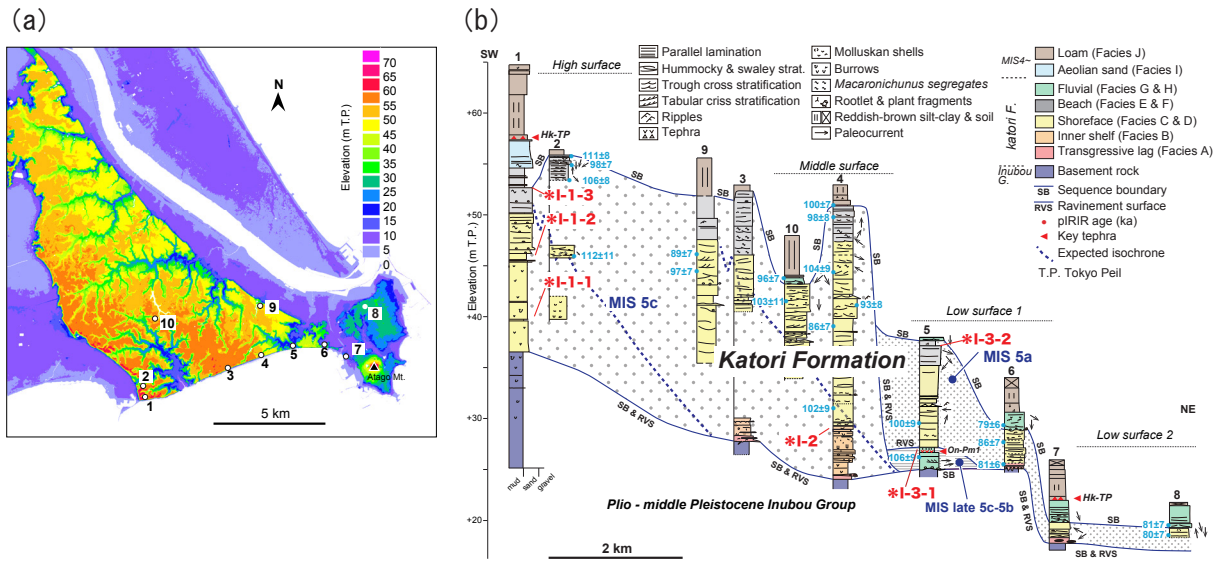


図2 (a)飯岡台地のデジタル標高モデルと調査地点の位置。標高は国土地理院提供の基盤地図データから引用した。○は調査地点の位置を示す。(b)飯岡台地の地質断面。各柱状図は堆積相、粒度、OSL年代、解釈される堆積環境を示す。*は花粉分析試料の採取位置を示す(Okazaki et al., 2022より改変)。

成された穿孔が顕著である。これは香取層基底にみられる波食台相である。

堆積相 B：内側陸棚～下部外浜相

堆積相 A の上位に漸移してみられる場合がある。

泥層と細粒砂層の互層（厚さ約 2m）で生物擾乱が激しい。上部浅海帯～下部浅海帯のエゾヌメやエゾマテ、エゾバイ、ビノスガイ、イタヤガイなどの貝化石を含み、*Thalassinoides suevicus* や *Rosselia socialis* などの生痕化石が多数認められる。内側陸棚～下部外浜相である。

堆積相 C-D：外浜相

下位には堆積相 A、堆積相 B がみられる場合がある。下部（堆積相 C）はハンモック状斜交層理やスウェール状斜交層理が発達する比較的厚い（厚さ約 6～8m）極細粒～細粒砂層からなる。斜交層理の基底には細礫や貝殻片が認められる。砂層中には極粗粒～細礫からなるウェーブリップルとそれを覆う泥層が、数層準に挟在する。上部（堆積相 D）は厚さ約 3～5m で細粒

～中粒砂層からなりスウェール状斜交層理や比較的大型のトラフ型斜交層理がみられ、生痕化石 *Macaronichnus segregatis* がみられる。香取層の中部にみられる外浜相である。

堆積相 E-F：海浜相

堆積相 D の上位に漸移する堆積相 E は厚さ約 3m で平行葉理の発達する淘汰の良い細粒～中粒砂層からなり、生痕化石 *Macaronichnus segregatis* を多産する。前浜の堆積物（前浜相）である。この砂層の上位には植物痕のある凝灰質粘土層の堆積相 F があるが、後浜の湿地堆積物（沿岸湿地相）である。これらを含めて海浜相とする。香取層の上部にみられる。

堆積相 G-H：河川相

堆積相 G は下位層とは明瞭な浸食面をもって接する。浸食面上に径 1～2cm の垂角礫もしくは泥岩偽礫を伴い、トラフ型斜交層理やリップル葉理を示す細粒～中粒砂層からなる。河川の流路堆積物（河川流路相）である。この上位の堆積相 H は植物痕のある凝灰質粘土層がみられ、河川の

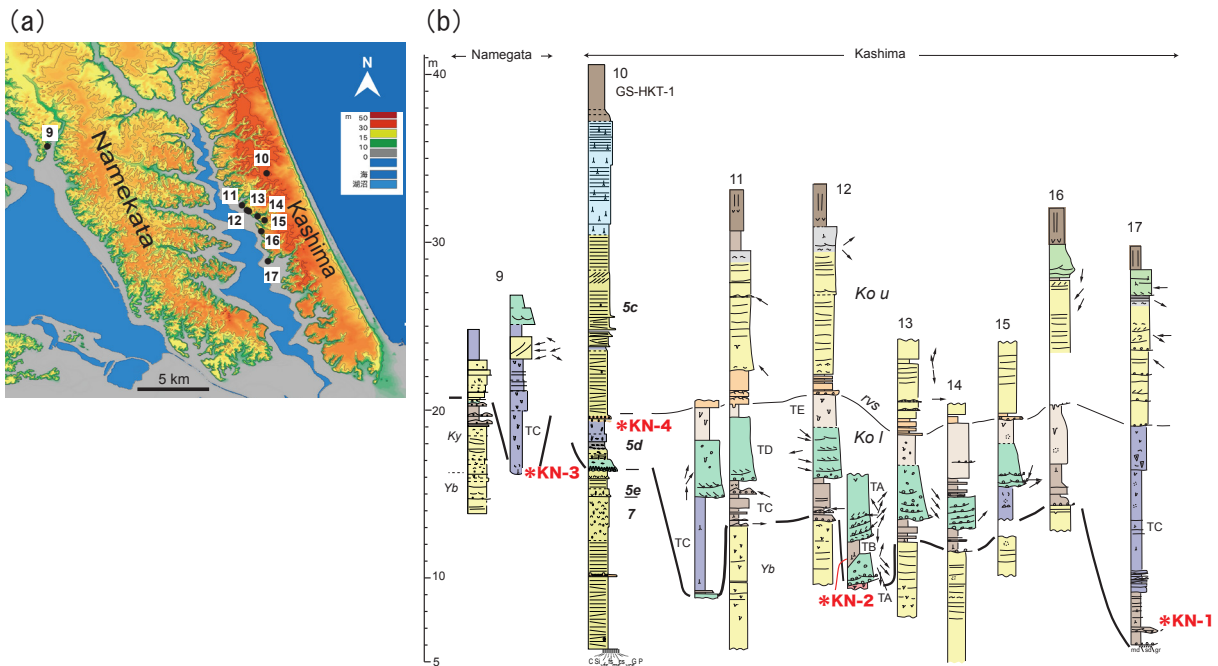


図3 (a) 鹿島・行方台地のデジタル標高モデルと調査地点の位置。●は調査地点の位置を示す (Tamura et al., 2022 を改変)。 (b) 鹿島・行方台地の地質断面 (岡崎, 1992 ; Tamura et al., 2022 より改変)。*は花粉分析試料の採取位置を示す。柱状図の凡例は図2 (b) 参照。堆積相 TA ~ TE は本文参照。Kou ; 木下層上部。KoI ; 木下層下部, Ky ; 清川層, Yb ; 藪層。

氾濫原堆積物である (河川氾濫原相)。これらを含めて河川相とする。地点5から東の調査地点の香取層の上部にみられる。

堆積相 I : 砂丘相

堆積相 F や堆積相 H の上位にみられる。層厚は 1m 以上で分級の良い細粒砂からなる。まれに斜交層理が認められる。

4.1.2 鹿島・行方台地 (図 3a, 3b)

花粉化石試料を採取した木下層下部の谷埋め堆積物について岡崎 (1992) (堆積相 A を TA とし、一部改変している) により述べる。ちなみに木下層上部のラビンメント面より上位の地層には、下位から外浜相 (堆積相 C-D)、海浜相 (堆積相 E-F)、河川相 (堆積相 G-H) および風成相 (堆積相 I) がみられる。

堆積相 TA

下位の累層とはチャンネル状の浸食面をもって接する。亜角礫の中礫を含む極粗粒から中粒砂からなり、厚さは約 2m で、下部は礫質で顕著な堆積構造が認められないが、上部はより細粒でトラフ型斜交層理や平板型斜交層理が認められる。地点 12 の堆積相 A の上部では、ヘリンボーン構造やマッドドレイプを挟在する平板型斜交層理のセットが厚さ 30-50cm のフォーセット層理をつくっている。潮流チャンネルの堆積相と考えられる。

堆積相 TB

堆積相 TA の中部に不規則な浸食面をもって挟在する。厚さは約 2m で材などの植物片の多い泥炭質な塊状泥層である。淡水生の *Cymbella*, *Pinnularia*, *Gomphina* 属などや汽水生の *Diploneis smithii*, *Coscinodiscus lacustris* などの珪藻化石、またハンノキやミズメなどの樹木やヒシ、ヒルム

シロ属、ホタルイなどの湿地や水辺にはえる草本木の植物化石を普通に産出する（地点 12）。潮流チャンネルの埋積相と考えられる。

堆積相 TC

比較的大規模な谷状の浸食面をもち、浸食面上には中礫など粗粒堆積物がみられ、塊状ないしは泥勝ちな層相を堆積相 TC とする。地点 17 では厚さは約 10m で、基底は浸食面を示し、下部から中部は細礫を含む粗粒砂層と泥層の互層からなる。この下部にある下位の粗粒砂層は塊状で、泥層は泥炭質もしくは植物片を含む。上位の粗粒砂層は厚さ 30–100cm のチャンネル状で、フォーセット状のトラフ型斜交層理が発達する。この粗粒砂層は側方に泥質になり、生物擾乱の激しい泥質砂もしくはレンズ状からフレーザー状層理のみられる泥層となる。上部は細粒砂からなり、下位にアズマニシキやマガキなど汽水域から湾口部に生息する貝化石の密集帯を含みウチムラサキガイが合弁で認められ、上位は生物擾乱が激しい。これらは下部から中部は堆積相 TA, TB, 上部は後述する堆積相 TD, TE の同時異相と考えられるが、ここではこのような泥勝ちの谷埋め堆積物を溺れ谷埋積相とする。

ちなみに岡崎（1992）の潮汐低地相（堆積相 C, 地点 11, 12）はこの下部に相当するが、大井・横山（2011）では上泉層と異なる層準にしている。

堆積相 TD

中粒から粗粒砂からなり上方細粒化がみられる。厚さは約 2m で、浸食面をもって下位の堆積相 TA, TB および塊状泥層からなる TC を覆う。厚さ 20–30cm の平板型やトラフ型斜交層理が発達し、まれにヘリンボーン構造が認められる。潮流口相と考えられる。

ちなみに大井・横山（2011）による清川層の感潮水路相は層相がここにあげている潮流口相と

似るが、下位に TA, TB, TC を伴うことから区別される。

堆積相 TE

塊状泥質砂層からなる。厚さは 0.5–2m で、堆積相 TD の上位に漸移的に重なる。上部にスナモグリやアナジャコなどの大型の管状生痕（直径 2–3cm, 長さ 10–20cm）を含む。ラグーン相と考えられる。

4.2 花粉化石群集

4.2.1 飯岡台地（図 4）

I-1-1, -2, -3（地点 1）

香取層の下部（I-1-1）、中部（I-1-2）、上部（I-1-3）から採取している。それぞれ、堆積相 C（下部外浜相）、堆積相 D（上部外浜相）、堆積相 F（沿岸湿地相）のシルト層である。

常緑針葉樹の *Cryptomeria*（スギ属）が最も多く、*Pinus* subgen. *Diploxylon*（マツ属ニヨウマツ類）および落葉広葉樹の *Carpinus/Ostrya*（クマシデ属／アサダ属）、*Quercus* subgen. *Lepidobalanus*（コナラ属コナラ亜属）がこれに次いで産出した。また、常緑広葉樹の *Q.* subgen. *Cyclobalanopsis*（コナラ属アカガシ亜属）はわずかに産出した。全ての試料において、木本植物の花粉化石総数が 200 個未満であった。

I-2（地点 4）

香取層の最下部から採取している。堆積相 B（内側陸棚～下部外浜相）のシルト層である。

温帯常緑針葉樹の *Picea*（トウヒ属）、*Tsuga*（ツガ属）、*Pinus*（マツ属）および *Sciadopitys*（コウヤマキ属）などの分類群が優勢で、落葉広葉樹の *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* がこれらに次ぐ。暖温帯常緑針葉樹の *Podocarpus*（マキ属）を極めて低率に伴う。また、冷温帯落葉広葉樹の *Fagus* が低率であるとともに、暖温帯常緑広葉樹

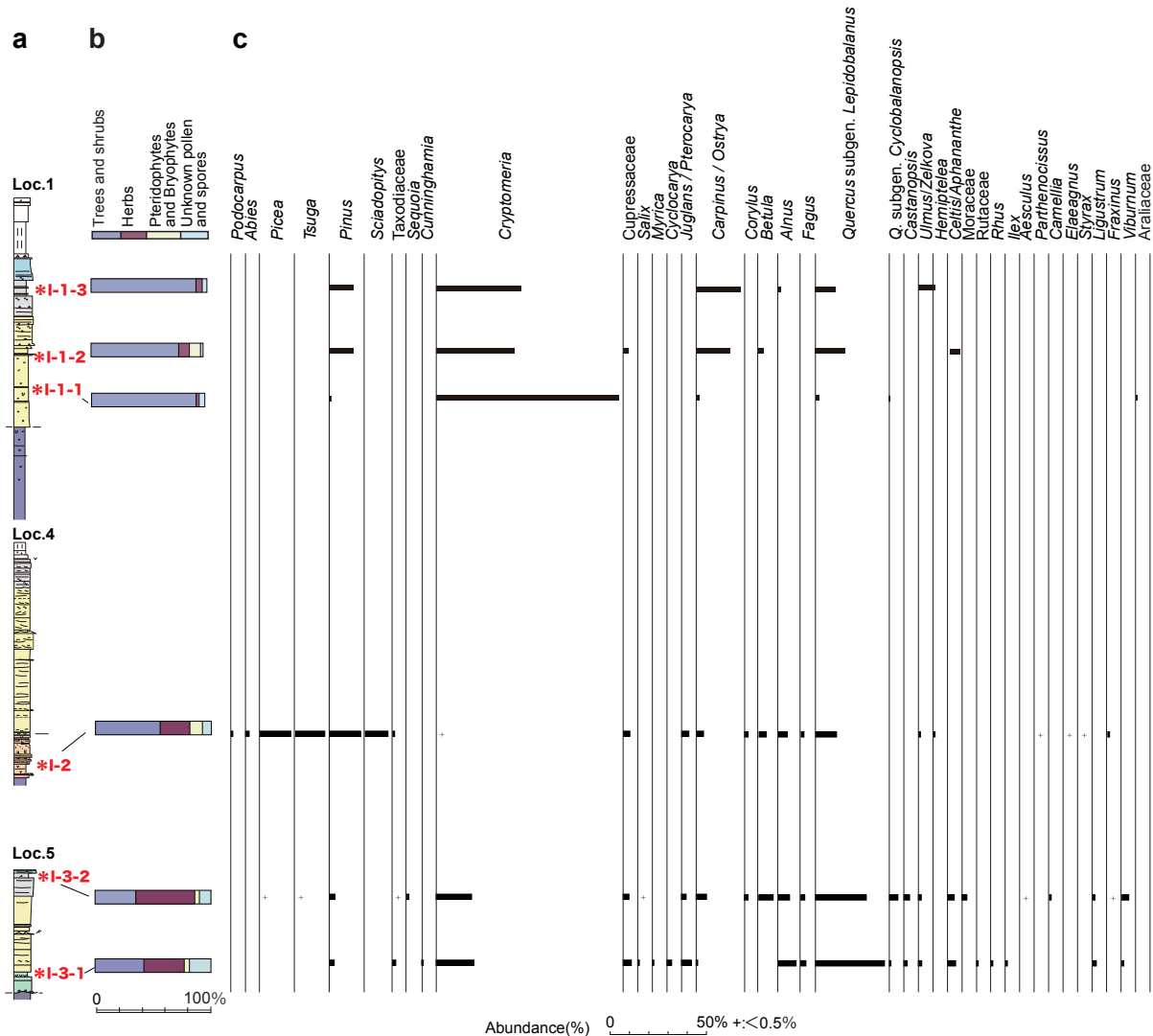


図4 飯岡台地の花粉ダイアグラム。(a) 試料の採取地点柱状図と採取層準。(b) 花粉組成。(c) 花粉産出率。Okazaki et al. (2022) より改変。

Quercus subgen. *Cyclobalanopsis* はほとんど産出しないことから、森林古植生は暖温帯上部から冷温帯下部にかけて優占する中間温帯林であったと考えられる。ただし、周北極要素のシダ植物である *Selaginella selaginoides* (コケスギラン) の産出も認められることから、中間温帯林の後背山地には冷温帯林が広がっていたと考えられる。

I-3-1 (地点5)

香取層の下部の堆積相 F (沿岸湿地相) から産出する。温帯落葉広葉樹の *Quercus* subgen.

Lepidobalanus および温帯常緑針葉樹の *Cryptomeria* が優勢で、温帯落葉広葉樹の *Betula* (カバノキ属)、*Alnus* (ハンノキ属)、*Carpinus/Ostrya* などの分類群がこれらに次ぐ。*Picea* および *Tsuga* などの *Pinaceae* (マツ科) 針葉樹の分類群は極めて低率であり、暖温帯常緑広葉樹の *Quercus* subgen. *Cyclobalanopsis* および *Castanopsis* (シイノキ属) が低率ながらも産出することから、森林古植生は暖温帯上部から冷温帯下部の広葉樹林を主体とし、低湿地には

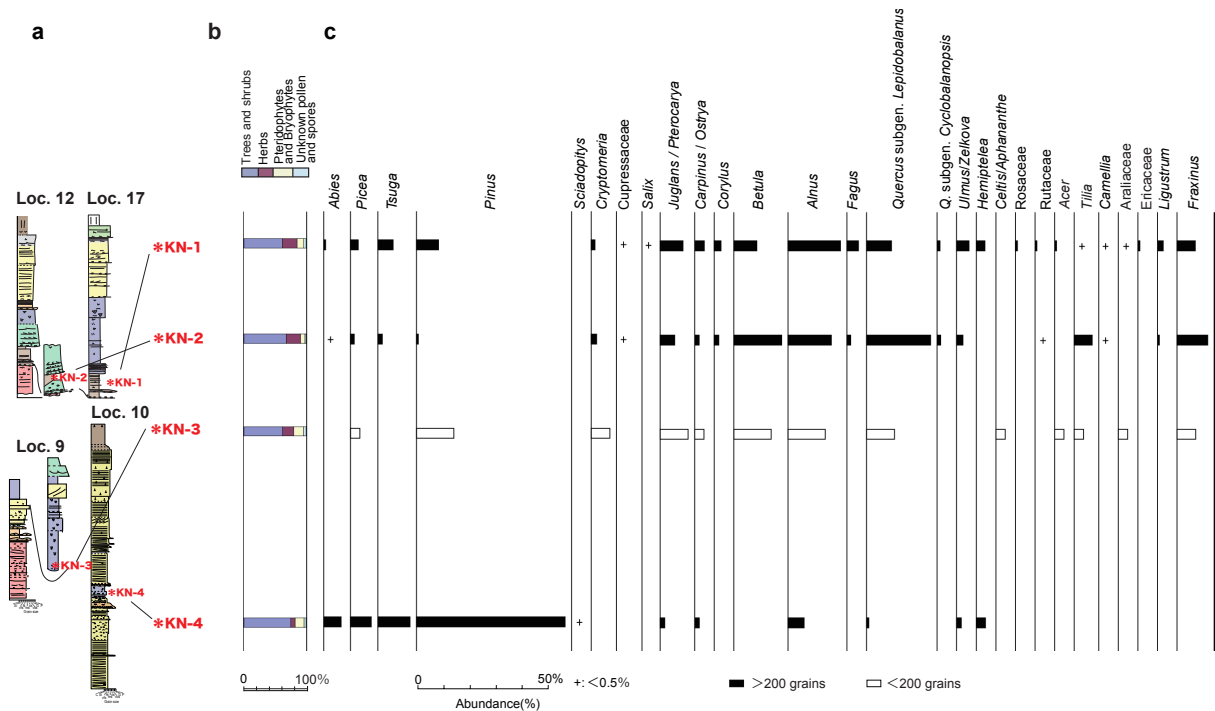


図5 鹿島・行方台地の花粉ダイアグラム。(a)花粉試料の採取地点柱状図と採取層準, (b)花粉組成, (c)花粉産出率。

Cryptomeria が生育していた可能性がある。

また、草本植物花粉の占める割合が高く（図4 (b)）、堆積場の湿地には *Artemisia*（ヨモギ属）および *Gramineae*（イネ科）、*Cyperaceae*（カヤツリグサ科）が生育し、開けた湿地であったと推定される。泥層からは量は少ないが珪藻化石を産出する。海水種がやや多く、*Stephanodiscus minutulus*、*Eunotia serra* などの淡水種を伴うが、淡水種のほとんどが完個体の状態で保存されているのに比べ、海水種は破片化したものが目立ち、下位層からの再堆積の可能性もある。

I-3-2 (地点5)

香取層の上部の堆積相 H（河川氾濫原相）から産出する。温帯落葉広葉樹の *Quercus subgen. Lepidobalanus* および温帯常緑針葉樹の *Cryptomeria* が優勢で、温帯落葉広葉樹の *Alnus*、*Juglans/Pterocarya*（クルミ属/サワグルミ属）などの分類群がこれらに次ぐ。Pinaceae 針葉

樹の分類群は極めて低率であり、暖温帯常緑広葉樹の *Quercus subgen. Cyclobalanopsis* および *Castanopsis*（シイノキ属）が極めて低率ながらも産出することから、森林古植生は暖温帯上部から冷温帯下部の広葉樹林を主体とし、低湿地には *Cryptomeria* が生育していた可能性がある。また、草本植物花粉の占める割合がやや高く、堆積地の湿地には *Gramineae*（イネ科）および *Artemisia*（ヨモギ属）、*Cyperaceae*（カヤツリグサ科）が生育し、開けた湿地であったと推定される。

4.2.2 鹿島・行方台地（図5）

KN-1.2.3 (地点17, 12, 9)

KN-1.2.3 サンプルはそれぞれ地点17の堆積相 TC（溺れ谷埋積相）、地点12の堆積相 TB（潮流チャンネル埋積相）、地点9の堆積相 TC（溺れ谷埋積相）で、いずれも谷状の基底をもつ谷埋め堆積物の最下部の泥炭質および泥質の堆積相

である。これらの花粉化石群集はよく似ており、*Alnus* や *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* などの温帯落葉広葉樹が優勢であり、暖温帯常緑広葉樹の *Quercus* subgen. *Cyclobalanopsis* をわずかに伴う。*Cryptomeria* はほとんど産出しない。なお、KN-1 では、現在の日本列島には自生していない温帯落葉広葉樹 *Hemiptelea* (ハリゲヤキ属) が数%産出したが、KN-2 ではほとんど産出しなかった。また、KN-2 と同時に産出する植物化石としてハンノキやミズメなどの樹木やヒシ、ヒルムシロ属、ホタルイなどの湿地や水辺にはえる草本木の植物化石が産出し、従って、これらは河畔林を形成していた可能性が高い。森林古植生は中間温帯の落葉広葉樹林であったと考えられる。

KN-4 サンプル (地点 10)

Tamura et al. (2022) の GS-HKT-1 コアの泥層からなる Subunit D-2 (湿地相) の最上部から採取した。この堆積相から産出する珪藻化石は、下部は淡水生の浮遊性 *Aulacoseira* spp. と *Staurosira* spp. でその上位に *Eunotia* spp. や *Gomphonema* spp. などの付着性種がみられ、沼沢地から湿地環境である。中部は汽水生や海生種の *Paralia sulcata* と *Pseudopodosira kosugii* が卓越し、潮間帯の干潟になる。また、上部で淡水生の *Staurosira* spp. が優占し、沼沢地の堆積環境が推定されている。

ここでの木本植物の産出組み合わせは、主に常緑針葉樹の *Pinus* が最も優勢で、*Abies* (モミ属)、*Picea*、*Tsuga* がこれに次ぐ。落葉広葉樹の分類群は低率であった。温帯落葉広葉樹の *Hemiptelea* を伴うことから、森林古植生は中間温帯の温帯針葉樹林 (モミ・ツガ林) ~ 冷温帯下部の針葉樹林であったと考えられる。モミーツガ型の温帯針葉樹林は夏期には連続的な降水があるが冬期には降水の少ない地域に発達する。

なお、消滅属の *Hemiptelea* が数%産出したが、*Cryptomeria* はほとんど産出しない。これらのことから、古気候は冷涼で夏期の降水量は多かったが冬期の降水量は少なかったと考えられる。緑藻類の *Pediastrum* (クンシヨウモ属) が多量に産出したことから、淡水域の堆積環境が示唆され、珪藻化石群集と一致する。

5. 考察

5.1 花粉化石群集から推定される層準

本論の試料は散点的だが、これらと既報の主に常総台地東部の花粉化石群集との比較から層序の推定を試みる。比較群集は茨城県筑波台地 (坂田ほか, 2018)、下総台地 (Nakazawa et al., 2017)、大宮台地 (本郷・水野, 2009; 中澤ほか, 2006)、鹿島沖 MD01-2141 コア (五十嵐, 2009) などである。これらの研究が花粉分析を行った層準は上総層群~下総層群大宮層 (本郷・水野, 2009)、清川層~木下層 (坂田ほか, 2018)、木下層 (中澤ほか, 2006; Nakazawa et al., 2017)、木下層~沖積層 (MIS6-1) (五十嵐, 2009) で、また、試料採取地点の堆積相が記載されているのは、中澤ほか (2006)、坂田ほか (2018)、Nakazawa et al. (2017) などである。

本論では、サンプル採取層準と推定される主に清川層~常総層 (MIS7-5) 層準の花粉化石群集を比較対象とした。次にそれぞれの概要を述べる。清川層の報告は本郷・水野 (2009)、坂田ほか (2018) などがある。坂田ほか (2018) では下位から上位にかけて河川の氾濫原相から塩水湿地・湾奥の堆積相 (P1-2zones) に *Picea*、*Pinus*、*Tsuga*、*Alnus* などが産出するが *Cryptomeria* は低率である。本郷・水野 (2009) の FS-Pol-5, 4 帯がそれぞれ該当し、この他に *Quercus* subgen.

Lepidobalanus や *Hemiptelea*, *Fagus* などみられる。また、連続資料ではないが奥田ほか（2006）の下総台地南部の河川の放棄河道相の花粉化石群集は、*Alnus* を除くと主に *Picea*, *Cryptomeria*, *Ulmus/Zelkova*（ニレ属／ケヤキ属）からなり、*Cryptomeria* が比較的高率であるところが上記の群集とは異なる。

中里・佐藤（2016）では横田層と推定される下総台地東部の谷埋積層（“多古チャンネル”）の花粉化石群集を報告している。谷埋積層の下部の沿岸湿地相は基底部が *Picea* の卓越（I 帯）で特徴づけられ、その上位（II 帯）は *Betula*, *Alnus*, *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* のほか *Abies*, *Tsuga*, *Picea* などがみられる。*Cryptomeria* は少数である。

木下層（5e）は主に下部の谷埋め堆積物と上部の潟～外浜・海浜相に分けられている（坂田ほか，2018；中澤ほか，2006；Nakazawa et al., 2017）。最下部の河川相（PZ I：Nakazawa et al., 2017）のからは *Alnus*, *Quercus* subgen. *Lepidobalanus*, *Juglans/Pterocarya* などが優勢し、*Cryptomeria* は低率である。下部のエスチュアリーから内湾相からは *Tsuga*, *Pinus*, *Fagus*, *Lepidobalanus*, *Juglans/Pterocarya*, *Carpinus/Ostrya*, *Hemiptelea* などが産出する。上部のラグーン相では *Cryptomeria* が多産し、*Picea*, *Tsuga*, *Pinus*, *Alnus* が産出する。

常総層（MIS 5c, 5a）は *Cryptomeria* と *Sciadopitys* の消長によって特徴づけられ、これは東アジアの夏のモンスーン変動に関連づけられている。時期は少しずつれるが MIS 5d, 5b に亜寒帯針葉樹林の構成要素である *Picea*, *Tsuga* が増加し、*Cryptomeria*, *Sciadopitys* が衰退している。MIS 5c, 5a では *Cryptomeria*, *Sciadopitys* の増加と温帯要素の *Fagus*, *Juglans/Pterocarya*, *Quercus*

subgen. *Lepidobalanus* などの落葉広葉樹の混交がみられる。

次に本論で得られた花粉化石群集の組成の特徴を上述した群集と比較した。

5.1.1 飯岡台地

香取層のサンプル No.I-1-1, -2, -3（地点1）と I-3-1, -2（地点5）は、I-1-1, -2, -3 は下部・上部外浜相と沿岸湿地相で、I-3-1, -2 は、層準は異なるが沿岸湿地相や河川氾濫原相の陸成層から産出している。これらからは温帯針葉樹の *Cryptomeria* や温帯落葉広葉樹 *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* を産出する。これらを既報で *Cryptomeria* が多い群集と比較をする。木下層の Nakazawa et al. (2017) の PZ II 帯や坂田ほか（2018）の P4 帯は *Cryptomeria* が多い点では似ているが、*Picea*, *Tsuga*, *Pinus* が見られないことが異なる。五十嵐（2009）によれば、MIS 5e の後半から *Cryptomeria* と *Sciadopitys* が増加し、MIS4 で減少する。その期間、*Cryptomeria* と *Sciadopitys* は変動し、亜間氷期の 5c や 5a で顕著に増えるところでは、*Picea*, *Tsuga* が減る。調査地点では *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* もみられることから MIS 5c や 5a の可能性がある。OSL 年代と火山灰からは MIS 5c（No. I-1-1, -2, -3 と I-3-1）と 5a（No. I-3-2）の堆積物（Okazaki et al., 2022）と考えられ、MIS 5c, 5a の群集と推定される。

I-2 のサンプル（地点4）は内側陸棚～下部外浜相から採取している。この試料では温帯針葉樹 *Picea*, *Tsuga*, *Pinus* および *Sciadopitys* などの分類群が優勢である一方、*Fagus* は低率で、*Cryptomeria*, *Quercus* subgen. *Cyclobalanopsis* は産出しない。この群集を *Picea*, *Tsuga*, *Pinus* が多く *Cryptomeria* が少ない群集と比較

をしてみる。坂田ほか (2018) の清川層では、*Cryptomeria* は低率で *Picea*, *Tsuga*, *Pinus* が多いが、*Fagus* が含まれる。また、筑波台地や千葉県北部の *Cryptomeria* が少なく *Picea*, *Tsuga*, *Pinus* が含まれる MIS 5e 中部に相当する層準 (坂田ほか, 2018 の P3 帯, Nakazawa et al., 2017 の PZIII 帯) では *Hemiptelea* (ハリゲヤキ属) が高率に産出する。五十嵐 (2009), 公文ほか (2009) では亜氷期の MIS 5d および 5b で *Cryptomeria* が低くなり、相対的に *Tsuga*, *Pinus* が増加する。従って、5d および 5b の可能性がある。上位層の OSL 年代は MIS 5c であることから 5d の可能性がある。このサンプルの堆積相は内側陸棚～下部外浜相で最も深い環境を示す。広範囲に分布しやすい *Picea*, *Tsuga*, *Pinus* が比較的多いが、*Quercus* subgen. *Lepidobalanus* や暖温帯常緑針葉樹の *Podocarpus* もみられることから、少し暖かい時期の群集かもしれない。

5.1.2 鹿島台地

KN-1, -2, -3 サンプル (地点 17, 12, 9) を採取した堆積相は、溺れ谷埋積相 (堆積相 TC) の基底や潮流チャンネル埋積相 (堆積相 TB) などの沿岸に近い淡水～汽水成層である。*Alnus* や *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* などの温帯落葉広葉樹が優勢であり、暖温帯常緑広葉樹の *Quercus* subgen. *Cyclobalanopsis* をわずかに伴う。*Cryptomeria* はほとんど産出しない。KN-2 からは植物化石としてハンノキやミズメなどの樹木や湿地、水辺にはえる草本木の化石が産出している。これを既報の *Alnus* などの温帯落葉広葉樹が優勢な群集と比較する。木下層の最下部は、Nakazawa et al. (2017) の PZ I 帯の群集では、*Alnus*, *Quercus* subgen. *Lepidobalanus*, *Juglans*/*Pterocarya* などの優勢と *Cryptomeria* の低率が、

KN-1, -2, -3 サンプルと共通する。Nakazawa et al. (2017) が述べる沼沢地相の堆積相とも一致する。同じく五十嵐 (2009) と比較すると、*Alnus* や *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* などの温帯落葉広葉樹が相対的に優勢となるのは、MIS 5e の下部のみである。従って、これらの群集は木下層最下部の河川の影響の強い堆積環境で形成された可能性が考えられる。ちなみに層序が確定していないが、本郷ほか (2011) の上泉層とも似ている。

KN-4 (地点 10) は湿地相から採取し、主に常緑針葉樹の *Pinus* が最も優勢で、*Abies*, *Picea*, *Tsuga* がこれに次ぐ。この群集を *Picea*, *Tsuga*, *Pinus* などで特徴づけられる群集と比較する。筑波台地の清川層 (坂田ほか, 2018 の P1 帯) では、*Pinus*, *Abies*, *Picea*, *Tsuga* が優勢で *Hemiptelea* が数%産出したが、*Cryptomeria* はほとんど産出しない。これらのことは KN-4 の群集に類似している。また、中里・佐藤 (2016) の横田層とは *Betula*, *Alnus*, *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* がいないかもしくは低率で該当しない。木下層下部は、既報で特徴的な *Hemiptelea* がこのサンプルでは低率で該当しない。5e 以降の五十嵐 (2009) や公文ほか (2009) で報告されている花粉群集では、*Pinus* などの常緑針葉樹が優勢で、*Fagus* や *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* などの落葉広葉樹の分類群が極めて低率で *Cryptomeria* はほとんど産出しないことから、MIS 5d の下部と考えることもできる。すなわち、KN-4 は MIS 7d または MIS 5d の可能性がある。MIS 5d はここで得られている OSL 年代と整合的である。

5.2 堆積シーケンスと花粉化石群集

本論は少数のサンプル数で試行的ではあるが堆積シーケンスと花粉化石群集の特徴との関係に

ついて考察する。

飯岡台地の香取層の地点1のサンプルNo.I-1-1, -2, -3の群集組成は五十嵐（2009）のMIS 5c, 5aの花粉群集に類似する。OSL年代からMIS 5cの高海面期の堆積体に推定される。これらはそれぞれ下位から下部外浜相（堆積相C）、上部外浜相（堆積相D）、沿岸湿地相（堆積相F）と堆積環境が異なるが、よく似た群集組成を示す。従って、堆積期間中は比較的安定した気候が推定され、外浜相～海浜相の層厚も厚いことから調査地域での速い堆積速度、堆積物供給の多さが推定される。

地点4のサンプルNo.I-2はMIS 5cの堆積シーケンスの最下部の内側陸棚～下部外浜相から産出する。これは上位の外浜相－海浜相よりも寒い群集組成からなり、調査地点および周辺の地層より深い堆積環境を示す。内側陸棚～下部外浜相の堆積時、海水準は最も高く海岸線は最も内陸に入りこんでいたことが想定される。針葉樹類の花粉要素はより高い山地から飛来したか、もしくは寒い時期の森林組成が暖かい植物相に置き換わる過渡期を示している可能性がある。その後の海水準低下で海浜平野システムが沖側へ前進して陸域が広がり、上述のNo.I-1-1, -2, -3（地点1）などで示される湿った温暖な植生域が増加した可能性がある。

地点5のサンプルNo.I-3-1, -2はいずれも陸成層だが層準は異なり、堆積時期が異なる。これらは、上述のNo.I-1-1, -2, -3とよく似た群集組成を示し、同様にMIS 5c, 5aが推定される。No. I-3-1の直下に挟在するOn-Pm1テフラの降灰時期はMIS 5cの高海水準期より少し海面が下がった時期であり、五十嵐（2009）公文ほか（2009）のMIS 5c花粉群集と整合する。その上位のI-3-2はMIS 5aの花粉群集を示すと考えら

れる。従ってこれらが1つの堆積シーケンスを形成することからは一時的な地面の隆起が推定される。すなわち、MIS 5cの高海水準期から少し海面低下した時期に急激な隆起が起り、局所的に河川相が形成され、MIS 5cの花粉群集が包含された。その後、その上位に次のMIS 5aの高海面期の海浜平野が前進し、次のMIS 5aの河川相を形成したと考えられる。

鹿島・行方台地では谷埋め堆積物を中心に試料採取を行った。谷埋め堆積物とは潮汐チャンネルやその埋積相（堆積相TA, TB）、溺れ谷埋積相（堆積相TC）、潮流口相（堆積相TD）、ラグーン相（堆積相TE）などの堆積物をさすが、これらは堆積シーケンスでは海進期の堆積体の主要な構成要素である。谷埋め堆積物は泥質層からなり、堆積速度が小さいことから海水準変動と古気候変化の関係を推定できる可能性がある。

この谷埋め堆積物の層序については、この上位層が木下相当層と考えられてきたことから木下層（岡崎，1992；大井・横山，2011）、またTamura et al. (2022)のOSL年代によるMIS 5d層がある。鹿島・行方台地の谷埋め堆積物のKN-1, -2, -3, -4の分析は、この層序を検証する目的があったが、Tamura et al. (2022)のMIS 5dの湿地相から採取したKN-4サンプルはKN-1, -2, -3よりも寒い群集組成を示し、これらは一致しない。KN-1, -2, -3サンプルはMIS 5eの最下部群集と似るが、いずれも谷埋め堆積物の基底に近いサンプルで気候よりも堆積場の影響を反映した群集の可能性もある。また、Tamura et al. (2022)のMIS 5dの湿地相の珪藻化石群集は下部から上部にかけて淡水から海水、さらにその上で淡水群集になり、海水準の変動を記録している可能性があり、古気候もこの間に変化した可能性もある。本研究ではKN-1, -2, -3サンプルは谷埋め堆積

物の最下部から、KN-4 サンプルはこの最上部から採取したものであり、これらの不一致は採取層位によるものかもしれない。

6. 今後の課題

本論で試みた花粉化石群集組成による層序の推定は、より系統的な分析が必要である。特に鹿島・行方台地の谷埋め堆積物は異なる層準のものが浸食、堆積をしている可能性もあり、より詳細な堆積相の検討が必要である。また、堆積シーケンスとの関係では、谷埋め堆積物の垂直方向に連続試料を取り、気候はどのように変化するか、それによって谷埋め堆積物の海水準変化と気候変化との関係を明らかにできるのかを検討していきたい。

文献

本郷美佐緒・水野清秀 (2009) : 埼玉県さいたま市で掘削された深作 A-1 ボーリングコアの花粉化石群集. 地質調査研究報告, **60**, 559–579.

本郷美佐緒・納谷友規・山口正秋・水野清秀 (2011) : 関東平野中央部埼玉県菖蒲町で掘削された 350 m ボーリングコア (GS-SB-1) から産出した花粉化石群集. 地質調査研究報告, **62**, 281–318.

五十嵐八枝子 (2009) : 北西太平洋・鹿島沖コア MD01-2421 の MIS 6 以降の花粉記録 : 陸域資料との対比. 地質学雑誌, **115**(7), 357–366.

貝塚爽平 (1987) : 関東の第四紀地殻変動. 地学雑誌, **96**(4), 223–240.

貝塚爽平・松田磐余 (1982) : 首都圏の活構造・地形区分と関東地震の被害分布図 (20 万分の

1 付図 2 と解説 48p.), 内外地図.

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**, 113–128.

公文富士夫, 山本正伸, 長橋良隆, 青池 寛 (2009) : 最終間氷期の環境変動 — 日本列島陸域と周辺海域の比較と統合 —. 地質学雑誌, **115**(7), 301–310.

Lisiecki, L. E. and Raymo, M. E. (2005): A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, **20**, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071.

町田 洋・新井房夫 (2003) : 新編 火山灰アトラス — 日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 336p.

中里裕臣 (2008) : 常陸台地. 日本地質学会編, 日本地方地質誌 3 関東地方, 朝倉書店, 325–331.

中里裕臣・佐藤弘幸 (2001) : 下総層群の年代と“鹿島”隆起帯の運動. 第四紀研究, **40**(3), 251–257.

中里裕臣・佐藤弘幸 (2016) : 千葉県北部地域の下総層群の層序. 地質調査総合センター速報 No.71 平成 27 年度沿岸地域の地質・活断層調査研究報告, 55–78.

Nakazawa, T., Sakata, K., Hongo, M. and Nakazato, H. (2017) : Transition from incised valley to barrier island systems during MIS 5e in the northern Chiba area, Kanto Plain, central Japan. *Quaternary International*, **456**, 85–101.

中澤 努・中島 礼・植木岳雪・田辺 晋・大嶋秀明・堀内誠示 (2006) : 大宮台地の地下に分布する更新統下総層群木下層のシーケンス層序学的研究. 地質学雑誌, **112**(5), 349–368

岡崎浩子 (1992) : 下末吉海進に伴う潮流堆積

- 相の発達。一茨城県鹿島台地の下総層群木下層一。千葉中央博自然誌研究報告。 **2**(1), 15–23.
- Okazaki, H. and Masuda, F. (1995): Sequence Stratigraphy of the late Pleistocene Paleo-Tokyo Bay: barrier islands and associated tidal delta and inlet. In Flemming, B. W. and Bartholoma, A. eds., *Tidal Signatures in Modern and Ancient Sediments*. International Association of Sedimentologists Spec. Publ., **24**, 275–288.
- Okazaki, H., Nara, M., Nakazato, H., Furusawa, A., Ito, K. and Tamura, T. (2022): Coastal progradation associated with sea-level oscillations in the later phase of the Last Interglacial period, central Japan. *Quaternary Science Reviews*, **285**, 107507.
- 奥田昌明・中川 毅・竹村恵二 (2010) : 花粉による琵琶湖など長期スケールの湖沼堆積物からの古気候復元の現状と課題。第四紀研究, **49**(3), 133–146.
- 奥田昌明・百原 新・平山 廉・岡崎浩子・兼子尚知 (2006) : 下総層群清川層堆積期間 (MIS7) の古気候状態 —花粉ほか代理指標からの考察—。第四紀研究, **45**(3), 217–234.
- 大井信三・西連地信男・横山芳春・安藤寿男 (2013) : 常陸台地における段丘面区分の再検討。茨城県自然博物館研究報告。 **16**, 51–56.
- 大井信三・横山芳春 (2011) : 常陸台地の第四系下総層群の層序と堆積システムの時空変化。地質学雑誌, **117**, 103–120.
- Railsback, L. B., Gibbard, P. L., Head, M. J., Voarintsoa, N. R. G. and Toucanne, S. (2015): An optimized scheme of lettered marine isotope substages for the last 1.0 million years, and the climatostratigraphic nature of isotope stages and substages. *Quaternary Science Reviews*, **111**, 94–106. doi:10.1016/j.quascirev.2015.01.012.
- 坂田健太郎・納谷友規・本郷美佐緒・中里裕臣・中澤 努 (2018) : 茨城県筑波台地に分布する中—上部更新統下総層群の層序の再検討。地質学雑誌, **124**(5), 331–346.
- 杉原重夫 (1970) : 下総台地西部における地形の発達。地理学評論, **43**(12), 703–718.
- 杉原重夫 (2000) : 波状の変形が見られる下総台地。貝塚爽平・小池一之・遠藤邦彦・山崎晴雄・鈴木毅彦編, 日本の地形4 関東・伊豆小笠原, 東京大学出版会, 222–224.
- Tamura, T., Okazaki, H., Naya, T., Nakashima, R., Nakazato, H., Seike, K. and Okuno, J. (2022): Luminescence chronology for identifying depositional sequences in an uplifted coast since the Middle Pleistocene, eastern Japan. *Frontiers in Earth Science*, **10**, 10:967572. doi: 10.3389/feart.2022.967572.
- 山野井 徹 (1994) : 花粉学事典。日本花粉学会, 朝倉書店, 371–373.