

上部更新統木下層中にみられる海浜堆積物の堆積様式の解明 — 定量的解析の試み —

楊元赤¹, 村越直美²

¹信州大学理学部理学科物質循環学コース

²信州大学理学部学術研究院理工学域理学系物質循環学分野

Sedimentological analysis for beach deposits in upper Pleistocene, Kioroshi Formation: Mini-sequence stratigraphy revisited

Motoka Yoh¹ & Naomi Murakoshi²

¹Course of Environmental Science, Department of Science, Faculty of Science, Shinshu University

²Institute of Science, School of Science and Technology, Academic Assembly, Shinshu University

Abstract: Application of sequence stratigraphic method (mini-sequence stratigraphy) to a succession in an outcrop of beach deposits was introduced by Masuda et al. (1995). This paper aims to reconstruct the depositional processes and to estimate the controlling factors of the formation of beach deposits of the upper Pleistocene, Kioroshi Formation, employing not only sequence stratigraphic method but also measurement of height variation of the boundary between foreshore and backshore deposits within the outcrop. Consequently, we estimate that the beach deposits were formed by frequent erosion and deposition by storm events during relative sea-level fall of 0.85 m in about 2,125 years, and the beach system moved seaward 40m at the rate of about 0.019m/yr.

キーワード：木下層，海浜堆積物，相対的海水準低下，時間層序図

Keywords: Kioroshi Formation, beach sediments, relative sea-level fall, chronostratigraphic chart

1. はじめに

茨城県行方市に見られる上部更新統浅海堆積物の露頭に対して，増田ら（1995）は露頭写真からシークエンス層序学的手法を用いて時間層序図を作成し，その海浜堆積物がストームによる侵食とその後の堆積を繰り返しながら，長期間に海水準が低下する過程で形成されたと主張した。しかし，海水準低下量や海水準低下期間は具体的に明らかになっていない。本研究では，同露頭の更新統最上部の木下層中にみられる海浜堆積物を対象とし，露頭写真から詳細な葉理構造を読み取り時間層序図を作成することに加え，前浜と後浜堆積物との境界を判定しその高度変化を測定することで相対的海水準低下量を推定し，さらに海浜堆積物の堆積過程の復元および堆積物形

成の支配要因を推定した。

2. 解析対象露頭の概要

解析対象は，茨城県行方市手賀小座山にある露頭（幅約40m，高さ約6m，北北西に面して東北東-西南西に伸張）にみられる海浜堆積物である。この露頭には下部から更新統下総層群最上部の木下層（下位から上部外浜，海浜，風成砂丘あるいは湿地の堆積物；層厚約5m）が分布し，その上位には根痕を含んだ粘土層（層厚30~80cm）で沿岸湿地の堆積物がみられる。最上位には関東ローム層が累重している（増田ら，1995）。小座山ビーチの海浜堆積物は，古東京湾の東縁に発達していたバリア島の東側に，およそ12.5万年前をピークとする「下末吉海進」後の

海退期に形成されたと考えられている(岡崎・増田, 1992; 渡部ら, 1987).

海浜地形はバームを境にして海側の「前浜」と陸側の「後浜」に区分される. この露頭の海浜堆積物はさらに前浜堆積物と後浜堆積物に細分され, 前浜堆積物は細粒砂からなる平行葉理が楔状に重なることが特徴的である. また, 後浜堆積物は中粒砂からなり, 砂鉄質な平行葉理がほぼ水平に発達することが特徴的である (Murakoshi and Masuda, 1992).

3. 海浜での侵食, 堆積作用

海浜での侵食・堆積作用は波浪条件に支配されている. ストーム時には強風によって波長に対して波高の高い波が発生し海浜堆積物が侵食される一方で, 静穏時には波長が長く波長に対する波高が比較的低くなり新たな海浜堆積物が堆積する (Reading, 1996). 前浜の傾斜は波浪条件によって影響を受け, 碎波高が高いほど前浜は急傾斜になり, 波長が長いほど前浜は緩傾斜になる (Sunamura, 1984). ストーム時の大波によっていったん前浜は侵食され前浜面が急傾斜になり, その後の静穏時に新たな海浜堆積物が堆積し傾斜の緩い前浜面が形成されるため, 侵食面を挟んで平行葉理のセットが楔状に重なる.

海浜堆積物の形成には相対的海水準変動が大きな影響を及ぼす (田村, 2022). 一般に相対的海水準が上昇すると海進が起こり, 前浜と上部外浜の堆積物が侵食され, その堆積物は下部外浜に堆積する (Reading, 1996; Bruun, 1962). 対して, 相対的海水準が低下するとそれまでの下部外浜が侵食され, その堆積物が上方に供給されることで前浜と上部外浜が前進し, 結果として海退を起こすことが知られている (Reading, 1996; Dominguez and Wanless, 1991). このように相対的海水準の変動に伴って海浜で侵食と堆積が起こることは「ブルーン則」としてよく知られている. また相対的海水準を変動させる要因として, 地震による隆起運動と氷河性海水準変動が挙げられる.

4. 研究方法

露頭の写真(全323枚)の各スライドをスキャナー(CanoScan 9950F)でスキャンし, デジタルデータ化した. スキャン後, Photoshop (Adobe社 CS4 ver. 11.0.2)を用いて1枚1枚の画像データを葉理の連続性を合わせながら合成することで1枚の「露頭画像」にした.

Illustrator (Adobe社 CS4 ver. 14.0.0)を用いて露頭画像の各葉理を肉眼で判別出来る可能な限りトレ

ースし, 「葉理トレース図」を作成した.

この葉理トレース図を用いて図中で葉理の連続性を追い, 葉理同士の関係すなわちオンラップ, ダウンラップ, トップラップを判別して抽出した. さらに, 同じ葉理関係で連続的に重なる一連の葉理群を「堆積ユニット」として認定し, 区分した.

さらに露頭画像とユニット区分図を用いて前浜および後浜それぞれの特徴的な堆積構造から各ユニットを前浜堆積物, 後浜堆積物に分類し, 前浜/後浜堆積物境界を判定した.

この境界の露頭中での絶対的な高度を把握するために, 別途露頭全体画像を用意し, その画像に前浜/後浜堆積物境界を描き入れた「露頭画像」をスケールを合わせて重ねて2枚重ね図とした. この図を用いて前浜/後浜堆積物境界の右端(露頭東端であり陸側に位置する)から左端(露頭西端であり海側)との水平高度差を測定した.

また堆積ユニット区分図から, 各ユニットの厚さ, 累重順, 露頭中での位置関係から「時間層序図」を作成した.

5. 結果

露頭画像(図1), 葉理トレース図(図2), 葉理同士の関係(図3), 堆積ユニット区分図(図4)を示す. 図1および図2では前浜堆積物(下部)に楔状に重なる平行葉理がみられ, 後浜堆積物(上部)に砂鉄の濃集した平行葉理, 脱水構造, トラフ型斜交葉理がみられた. 図2では画像中部, 上部にトラフ型斜交葉理(赤矢印)がみられ, 上部では葉理が断続的である一方, 下部では葉理が連続的であることが確認できた. 図3ではトップラップ構造, ダウンラップ構造, オンラップ構造がみられた. トップラップとダウンラップに比べてオンラップが少ない. 図4では15個の堆積ユニットが識別でき, 楔状に重なる平行葉理セット(堆積ユニット1~15)が識別できた.

露頭画像に前浜/後浜堆積物境界を描き入れたものを図5に示す. 前浜/後浜堆積物境界(青色)がZ字型に露頭左右に発達している. 露頭全体画像(図6a)と2枚重ね図(図6b)では, 前浜/後浜堆積物境界の高さが露頭左側すなわち海側に向かって低下する傾向がみられた. 前浜/後浜堆積物境界の露頭左端(海側)における総低下量は約0.85mだった.

時間層序図を図7に示す. 前浜堆積物である堆積ユニット2は下位層に対してダウンラップしながら発達していた. 堆積ユニット8~10が陸側に向かってオンラップしながら累重している様子が確認でき

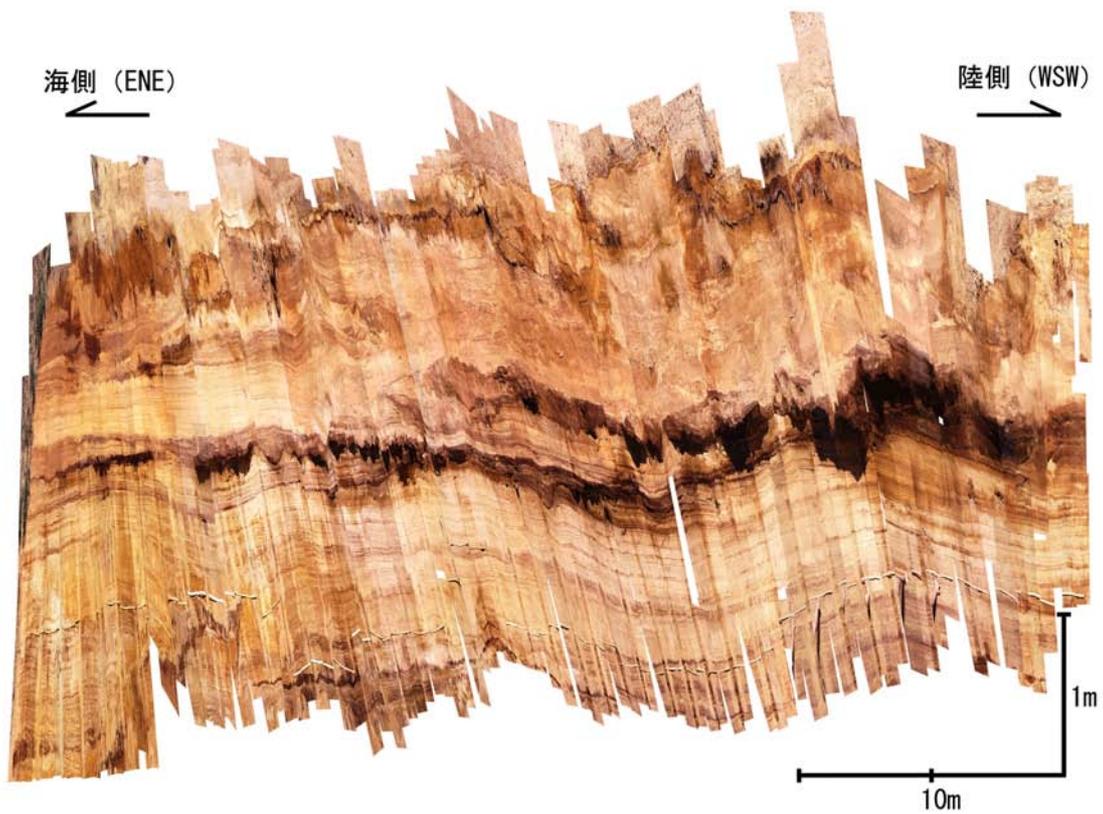


図1 露頭画像. 左右に伸びる茶色の細い線が平行葉理. 濃い茶色は砂鉄が濃集した葉理.

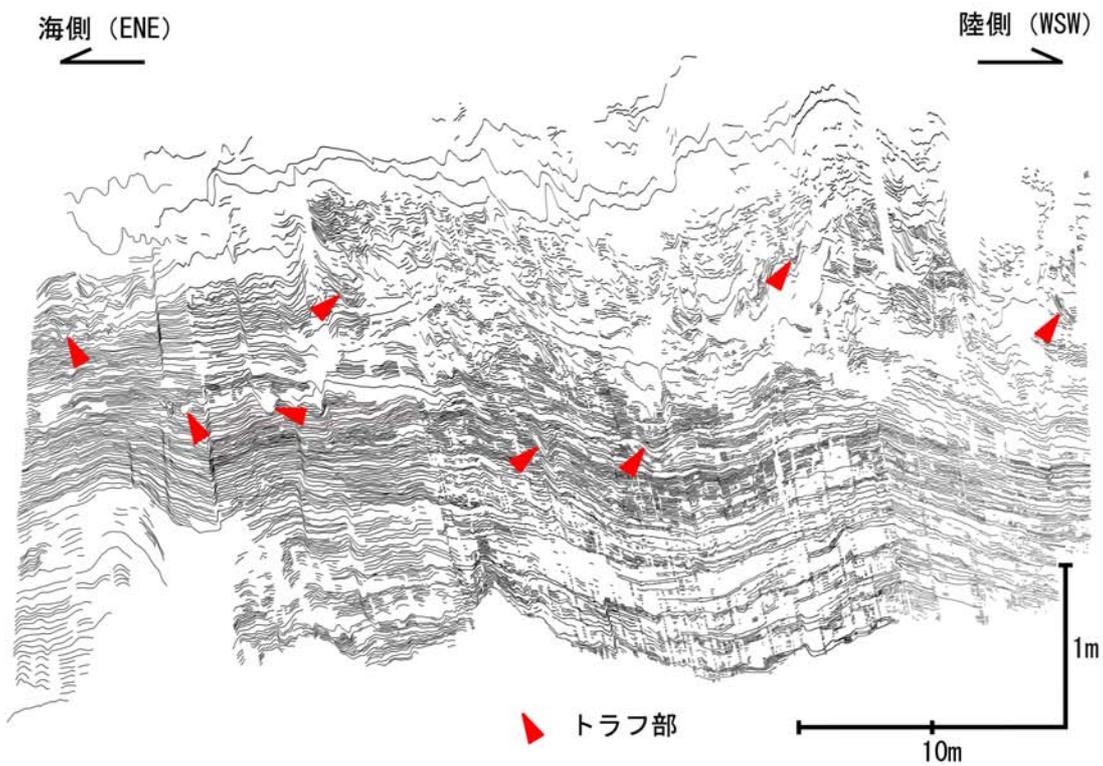


図2 葉理トレース図. 上部では葉理が断続的である一方, 下部では葉理が連続的である. 前浜堆積物(下部)に楔状に重なる平行葉理がみられ, 後浜堆積物(上部)に砂鉄の濃集した平行葉理, 脱水構造, トラフ型斜交葉理がみられた.

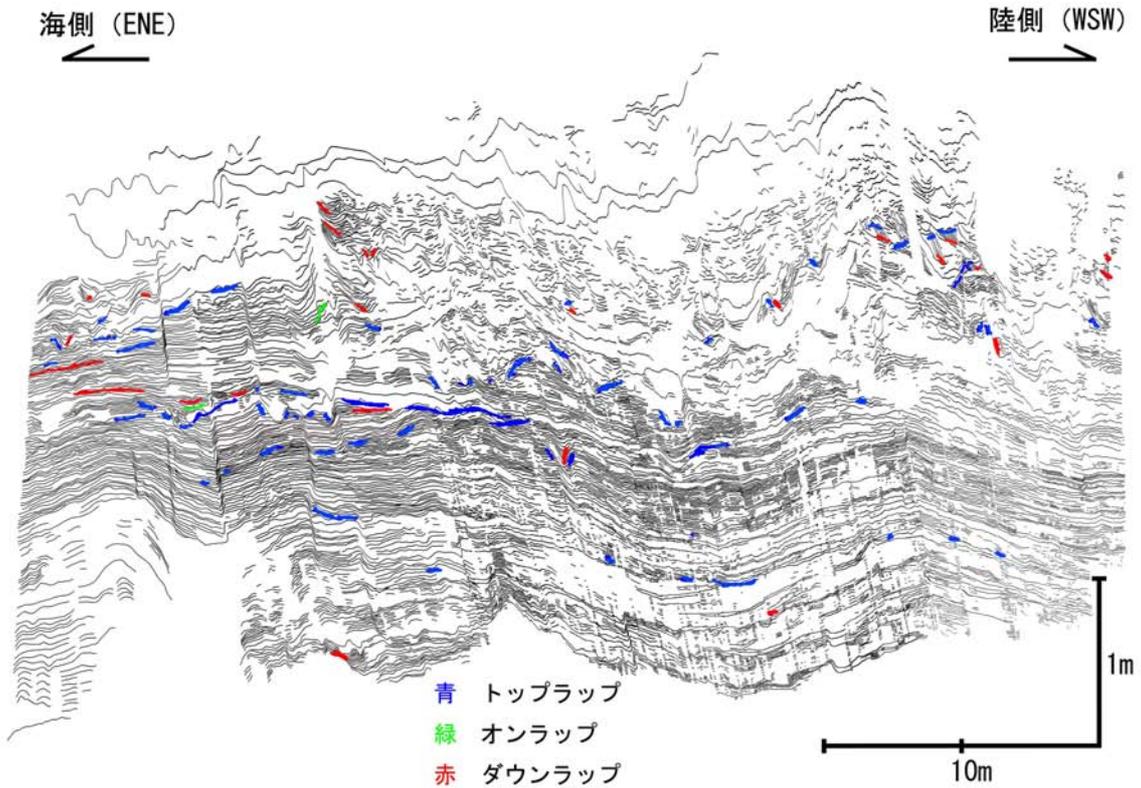


図3 葉理同士の関係の抽出図. トップラップ構造, ダウンラップ構造, オンラップ構造で累重する葉理構造がみられる.

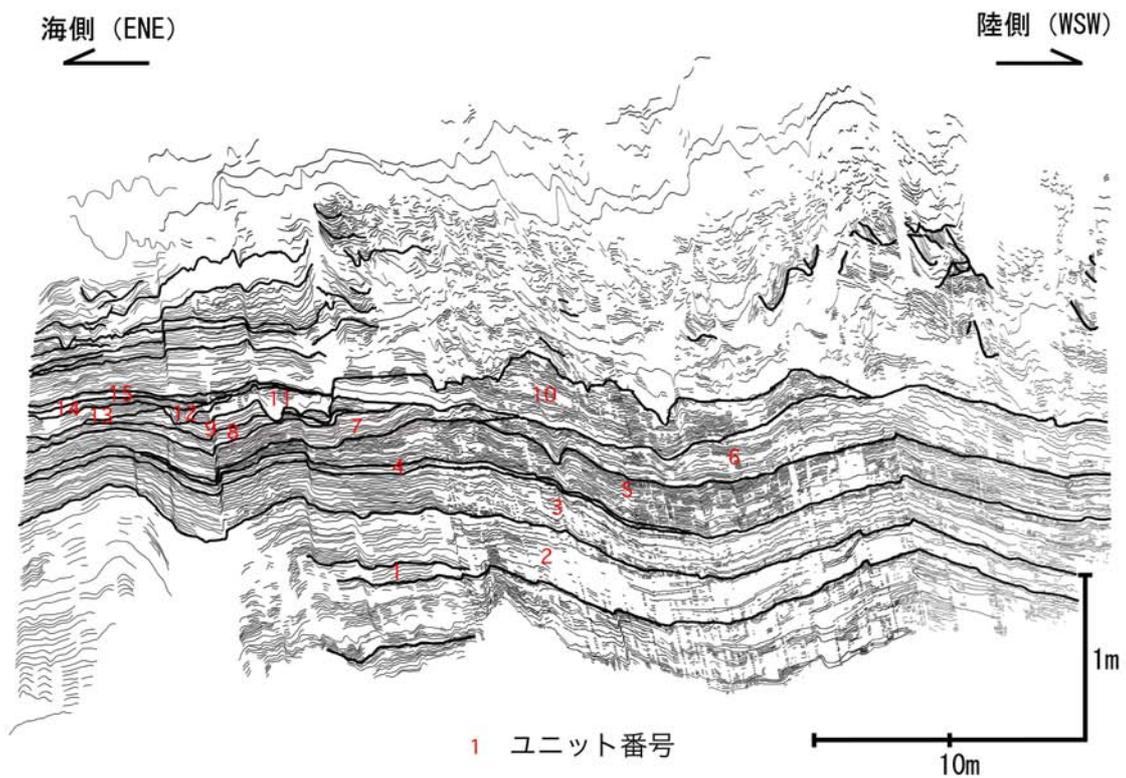


図4 堆積ユニット区分図. 細い線が葉理トレース線, 太い線が堆積ユニット境界. 15個の堆積ユニットが確認できた.

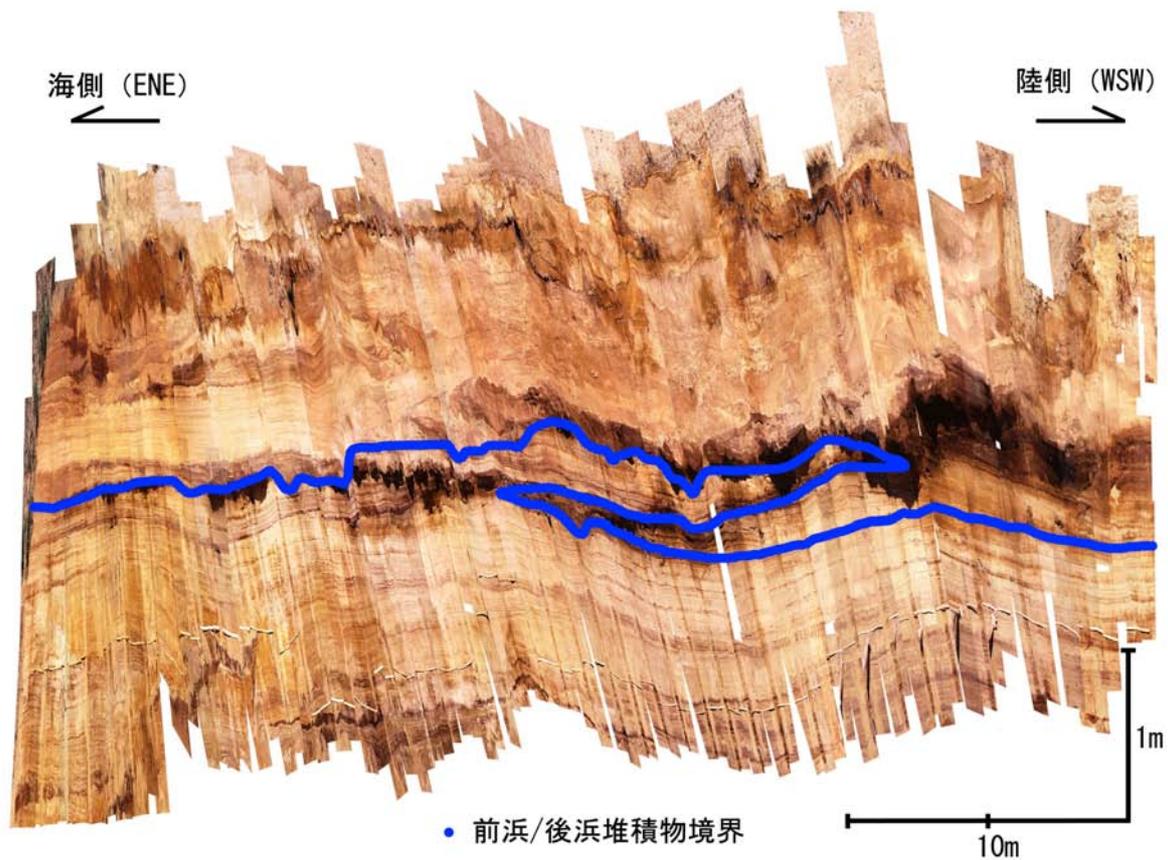


図5 露頭画像に描き入れた前浜/後浜堆積物境界(青色). 前浜/後浜堆積物境界がZ字型に露頭左右に発達している.

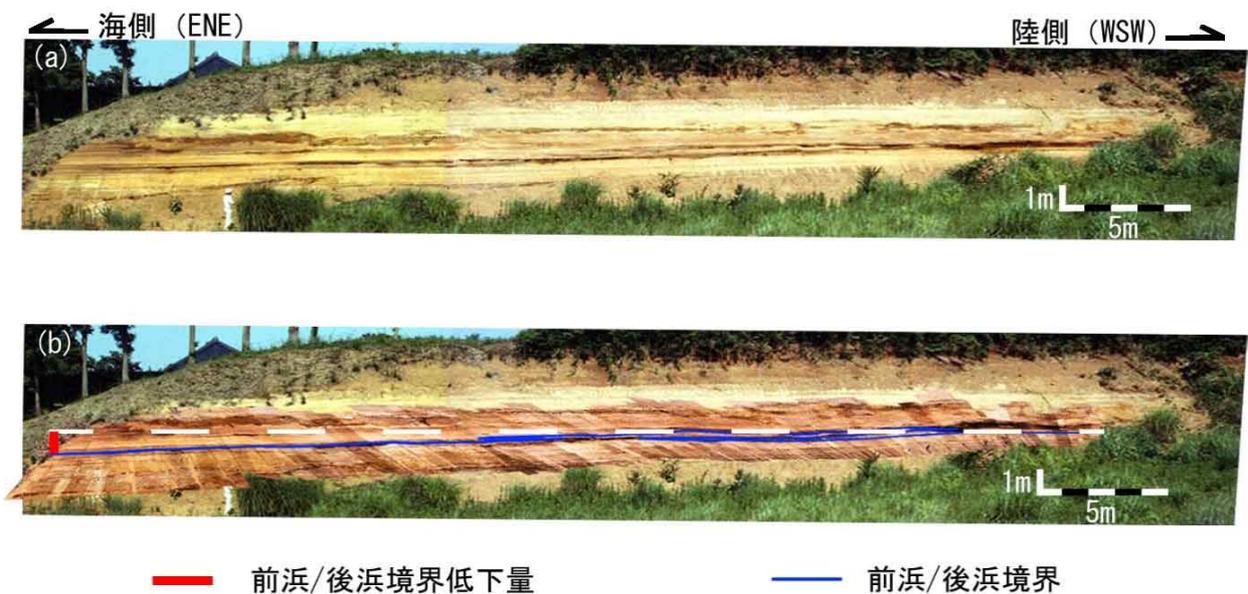


図6 露頭全体を遠景撮影した画像(a)と2枚重ね図(b). 白破線はほぼ水平な線. 前浜/後浜堆積物境界の高さが左側に向かって低下しており, 露頭左端における前浜/後浜堆積物境界の位置の低下量は約0.85mに達する.

た。後浜堆積物である堆積ユニット11～15が海側にのみ偏在して分布していた。

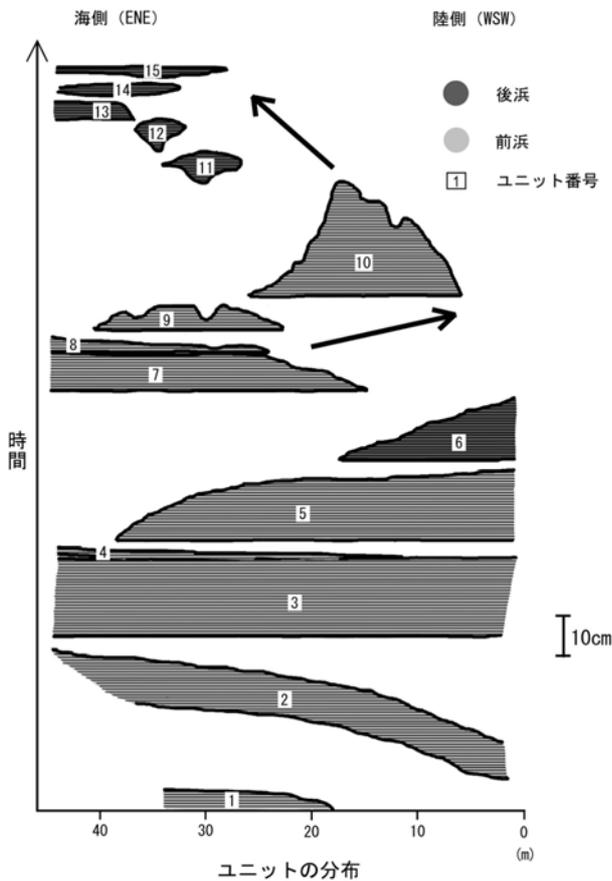


図7 時間層序図。横軸が露頭右端を0mとしたときのユニット分布位置。縦軸が時間の流れでユニットの堆積順を表す。下から図4中の堆積ユニット1～15である。スケールは堆積物の厚さを示す。

6. 考察

前浜/後浜堆積物境界の位置の変化(図6)と、ユニットの累重関係やユニット内部の特徴的な葉理同士の関係(図7)について考察する。

6.1 前浜/後浜堆積物境界の位置の低下

画像解析の結果、露頭左右端で前浜/後浜堆積物境界の位置が左側(海側)に向かって約0.85m低下していた(図6)。前浜堆積物が堆積する範囲は潮間帯に相当するため、前浜/後浜堆積物境界と汀線の高度は一定の距離を保って変化すると考えられる。従って、前浜/後浜堆積物境界の高度変化から堆積時の海面の高度変化が推定できると考えられる。露頭で前浜/後浜堆積物境界が左側(海側)に向かって約0.85m低下していたことから、小座山ビーチの海浜堆積物が形成される過程で相対的海水準がおよそ0.85m低

下したと推定できる。相対的に海水準を低下させるには、陸地が隆起するかあるいは絶対的海水準が低下すれば良い。また露頭にみられる前浜/後浜堆積物境界の位置が海側に向かって低下するには、堆積物形成後にその地層自体が海側に傾けば良いので、地震による傾動運動も前浜/後浜堆積物境界の位置の海側への低下を引き起こした可能性がある。

地震による隆起運動について考察する。小座山ビーチの海浜堆積物の堆積時期に、鹿島-房総隆起帯での地震による隆起運動があったことが明らかになっている(増田・中里, 1988)。地震による隆起運動によって相対的海水準が急激に低下すると、新海水準に適応して新たに海浜堆積物が発達し、新・旧海浜堆積物との間に海成段丘が形成される。この場合地震による隆起運動によって形成された前浜/後浜堆積物境界は、旧海水準で形成された前浜堆積物と新海水準で形成された後浜堆積物との境界と解釈できる。地震による隆起運動では、この境界が汀線に直交する断面内で小座山ビーチ露頭のようにZ字型に伸びる形成過程は説明できない。従って、隆起運動は相対的海水準の低下を引き起こした要因としては不適であると考えられる。

傾動運動について考察する。小座山ビーチの海浜堆積物はおよそ12.5万年前をピークとする下末吉海進後の海退期に形成されたことが明らかになっており(岡崎・増田, 1992)、増田・中里(1988)は下末吉海進期にはほぼ水平面だったと考えられている下末吉面の標高をこの地域で追うことで鹿島-房総隆起帯の傾動運動を明らかにした。この傾動運動によって小座山ビーチの露頭周辺では下末吉面が東西10kmで5mの標高差があり、相対的に東側が高い。このことから小座山ビーチの露頭内では傾動運動によって東側(海側)に比べて西側(陸側)が0.02m低くなっていることになる。この値は前浜/後浜堆積物境界の位置の低下量に比べて不十分であり、ほとんど無視できる。このことから傾動運動を相対的海水準の低下に影響を与える要因として除外した。

氷河性海水準低下について考察する。氷河性海水準低下によって徐々に相対的海水準が低下し、それに対応して海浜堆積物が形成される位置が徐々に海側へ移動するとともに高度が低下すると考えられる。海浜堆積物の形成位置が海側へ移動する過程でストームによる侵食作用とその後の堆積によって、前浜/後浜堆積物境界が海側あるいは陸側に前進あるいは後退すると考えれば、本研究で確認された露頭左右にZ字型に発達する前浜/後浜堆積物境界を説明できる。従って、氷河性海水準低下が相対的海水準低下

を引き起こした可能性が高い。

岡 (1991) は古東京湾と相模平野の堆積物から、中・上部更新統堆積時の海水準変動を推定し、下末吉海進後、およそ0.4mm/年で海水準が低下したと主張している。前浜/後浜堆積物境界の高度は露頭左端で左側(海側)に向かって0.85m低下していたため、0.4mm/年の速度で約0.85m海水準を低下させるにはおよそ2.125年かかる計算になる。

6.2 時間層序図から読み取った堆積過程

時間層序図(図7)より、小座山ビーチの海浜堆積物はストーム時の侵食とその後の堆積を繰り返しながら海浜システムが海側へ約40m前進する過程で形成されたことが分かった。堆積ユニット2でみられたダウンラップ構造は海浜システムの前進により前浜堆積物が海側へと堆積位置を移動させた結果であると考えられる。前浜堆積物の堆積ユニット8~10がそれぞれオンラップしながら累重していた。これは、堆積ユニット3~6が堆積した後、ストームによって堆積ユニット3~6の一部がいったん侵食され、その後静穏時の波によって再度前浜堆積物の形成が始まり(堆積ユニット7~)、さらに前浜ユニットの堆積位置が陸側に移動した結果だと推測できる。海側に分布する後浜堆積物のユニット11~15は、海浜システムの前進が進み、後浜堆積物の堆積中心も海側へ移動した結果だと解釈した。

加えて、本研究で確認された相対的海水準低下の期間(約2,125年)と海浜システムの前進距離(40m)から、海浜システムの平均前進速度をおよそ0.019m/年と求めることができる。

7. 結論

茨城県行方市手賀小座山の露頭にみられる木下層中の海浜堆積物の露頭写真から、露頭画像、葉理トレース図を作成し、葉理関係の抽出および堆積ユニット区分を行った後、時間層序図を作成した。これらの図から前浜/後浜堆積物境界の判定とその位置の変化量を測定した。

前浜/後浜堆積物境界の判定とその位置の変化量の測定から、前浜/後浜堆積物境界が露頭左右でZ字型に発達しており、その高度が海側に向かって約0.85m低下していたことが判明した。時間層序図の解析から、陸側に向かってオンラップしながら累重している前浜堆積物ユニット、下位層に対してダウンラップしながら発達する前浜堆積物ユニット、最後に海側に偏在して分布する後浜堆積物のユニットがみられた。

これらの結果と、岡(1991)の下末吉海進後の相対的海水準の低下速度(0.4mm/年)から、約2,125年で海浜システムが海側に前進し、前浜/後浜堆積物境界の高度が約0.85m低下したといえる。この低下を引き起こした原因を、前浜/後浜堆積物境界がZ字型に露頭左右に伸びていたことから氷河性海水準低下に求めた。氷河性海水準低下の期間と海浜システムの前進距離から、海浜システムの前進速度をおよそ0.019m/年と求めることができた。

【引用文献】

- Bruun, P., 1962, Sea-level rise as a cause of shore erosion. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, **88**, 117-130.
- Dominguez, J. M. L. and Wanless, H. R., 1991, Facies architecture of a falling sea-level strandplain, Doce River coast, Brazil. Special Publications of the International Association of Sedimentologist, **14**, 259-281.
- 増田富士雄・中里裕臣, 1988, 堆積相からみた鹿島-房総隆起帯の運動像. 月刊地球, **10**, 616-623.
- 増田富士雄・岡崎浩子・横川美和・村越直美・酒井哲弥, 1995, 更新統の海浜堆積物に対するmini-sequence stratigraphy. 地質学論集, **45**, 101-109.
- Murakoshi, N. and Masuda, F., 1992, Estuarine, barrier-islands to strand plain sequence and related ravinement surface developed during the last glacial in the Paleo-Tokyo Bay, Japan. Sedimentary Geology, **80**, 167-184.
- 岡重文, 1991, 関東地方南西部における中・上部更新統の地質. 地質調査所月報, **42**, 553-653.
- 岡崎浩子・増田富士雄, 1992, 古東京湾地域の堆積システム. 地質学雑誌, **98**, 235-258.
- Reading, H. G., 1996, Sedimentary environments: Processes, facies and stratigraphy, third edition. Blackwell Science, 688p.
- 斎藤文紀, 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**, 164-179.
- Suramura, T., 1984, Quantitative predictions of beach-face slopes, Geological Society of America Bulletin, **95**, 242-245.
- 田村亨, 2022, 海岸堆積システムと相対的海水準変動. 伊藤慎 編, 堆積構造の世界, 朝倉書店, p. 182.

(原稿受付 2023.3.10)