

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03761

研究課題名(和文) 東京湾周辺地区の沖積層形成過程の海洋物理学的手法による解明

研究課題名(英文) Investigating the formation process of fine-grain Holocene layers in the Tokyo Bay area from a physical-oceanographic perspective

研究代表者

上原 克人 (UEHARA, KATSUTO)

九州大学・応用力学研究所・助教

研究者番号：80223494

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：東京湾は完新世と呼ばれる過去1万年間に海面変動や土砂埋積により、形状が大きく変化したが、湾内の潮汐や波浪がそのような地形変化に付随してどのように変わり、海洋生態系などに影響を与えたかについては研究例がなかった。そこで本研究では近年蓄積が急速に進んだ東京湾周辺の地質情報を利用して古地形を作成し、潮汐、波浪、海上風の再現実験を行った。その結果、潮汐は海面が低かった完新世初期に最も強く、波浪と海上風は、湾域が拡大した完新世中期(7千年前)に、現世より強かったことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は地質情報の解釈を進める上での材料としてフィードバックされるほか、地震などの防災上重要な沖積層とよばれる軟弱地盤の形成過程の理解向上の形で、社会的・工学的にも貢献することが期待される。さらに、東京湾の過去1万年間の地形発達過程は、伊勢湾・有明海を始め、湿潤なモンスーン気候下にある東アジア・東南アジアの多くの内湾と共通しており、今回得られた結果は他の多くの内湾域に対しても適用可能である。

研究成果の概要(英文)：Paleotidal and paleowave simulations have been conducted to investigate changes in tides and wind-waves taken place in Tokyo Bay, central Japan during the last 10,000 years when the bay has changed its shape to a large extent. It was found that tides were most developed during the early Holocene while wind-waves were stronger than present during the mid Holocene stage when the length of the bay axis extended twice as large as that of at present.

研究分野：海洋物理学

キーワード：古潮汐 古波浪 東京湾 気候変動 海面変動 海岸線 数値シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

報告者はこれまで東シナ海や北西ヨーロッパ陸棚など、世界各地の大陸棚における最終氷期最盛期以降の過去2万年にわたる潮汐・波浪の変遷を調べ、それらの海洋流動場の変遷が現地の海底地形や過去の海洋浮遊生物の組成などに影響を与えてきたことを明らかにしてきた。

その過程で、現象をより深く理解するためには、大陸棚で見られる空間スケール数十キロの現象に加え、より詳細な沿岸域の数キロスケールの現象の把握も必要であるとの認識に至り、本研究を計画した。対象地域として東京湾を選んだのは、(a) 2010年代に入り、一部地域で高精度な地質データが刊行され、詳細な古地形復元や地質データとの対比が可能になったこと、(b) 東京湾の地形発達過程は、伊勢湾、有明海を始め、東アジア・東南アジアの多くの内湾と共通しており、東京湾で得られた知見が他の内湾にも適用可能であることが期待されるためである。

内湾周辺の詳細な地質情報が利用可能な地域が世界的に見ても非常に少ないことや、計算機能力・計算技術の制約などから、内湾域の古潮汐・古波浪を海洋物理学的な視点から調べた例は非常に限られており、特に沖積層の堆積効果などを東アジア特有の地質条件を考慮した事例は本研究が初めてであると思われる。

2. 研究の目的

東京湾における過去1万年間の完新世と呼ばれる時代の波浪及び潮汐現象の変遷を数値モデルにより復元するとともに、変化のメカニズムを海洋物理学的な視点から明らかにすること。

3. 研究の方法

(1) 地形データの作成 (データ解析)

特に潮汐の推定精度を決定する最大の因子は海底地形データであるため、数値モデルで使用する過去1万年間の古地形データを1万年～4千年前については千年間隔で、さらに現世ならびに1930年代について様々な資料を参照することで作成した。報告者が知る限り、東京湾全体を網羅した古地形復元結果はKaizuka et al. (1977)以降公表されておらず、今回作成したデータは、その後40年間の地質学・地盤工学の膨大な知見が反映された最新の成果である。



図1. 作成した古地形データの例。湾域が最も拡大した7千年前の海陸分布と現世の衛星画像を重ねたもの。緑色が当時の陸域、白い部分が現在は陸地であるが、当時は水没していた地域。いわゆる縄文海進最盛期と呼ばれるこの時代には、今日の東京東部の低地や多摩川・鶴見川の三角州など広範な地域が水没していた。

(2) 古潮汐モデル実験（数値実験）

潮汐の推定には、新たに開発した2次元潮汐モデルを使用した。対象海域には広い干潟が含まれるため、潮間帯を扱える数値スキームを組み込み、先に作成した古地形データと組み合わせることによって現世、1930年代、4千年前から1万年前（千年間隔）について数値実験を行った。

(3) 古波浪モデル実験（数値実験）

波浪の計算はSWANモデルと呼ばれる浅海域用の波浪推算モデルを用いて実施した。本研究では基本的なメカニズムを明らかにするために、現実に近い風の代わりに、東京湾で卓越する北北西並びに南南西の風が一定の風速（10m/s）で吹いた場合の波浪場を、現世、1930年代、並びに湾域が最も拡大した7千年前について推定した。

(4) 領域気象モデル実験（数値実験）

波浪の成因となる湾内の海上風が海陸分布の変化に伴い、どのように変わったかを領域気象モデルWRFを用いて推定した。モデルの境界条件には現世の値を用いるものの、境界値の直接の影響を減らすため、本州南西部を対象とした大領域と東京湾周辺の小領域の2段階のネスティングにより計算を行っている。現世並びに湾域が最も拡大した7千年前について実施した。

4. 研究成果

(1) 古潮汐推算

モデル実験の結果、4～9千年前の東京湾の潮差は現在よりも大きかったことが明らかになった(図2)。特筆すべき点は、当初の予想に反し、潮汐増幅率が最も大きかったのは、湾域が最も拡大した7千年前(図2中)ではなく、海面が低かった9千年前(図2右)であったことである。

解析の結果、前述の現象は、湾口での外力に対する振動応答特性として考えることで説明可能で、東京湾の潮汐は湾長が短いほど、そして水深が増加するほど弱まるとの一般的な関係を導出することに成功した。

この湾内の潮汐増幅率と湾長・水深との関係は、東京湾以外の内湾にも応用可能であり、この関係式を使用することで、湾内の埋立てや将来の海面上昇がどのような潮汐変化をもたらすかについても簡単に予測できることが明らかになった。

(2) 古波浪推算

現在の東京湾沿岸には、例えば京葉地区のJR総武線沿線に沿って伸びる海食崖や、その先の埋立地の地下に広がる波蝕台など、過去の波浪により生じたと推定される地形が数多く存在する。地質解析からは、そのような地形の多くが湾域拡大期に形成されたと見積もられていることから、現世並びに湾域が最も広がった7千年前の波浪を数値モデルにより推定した。

本研究では、素過程を調べる目的で、時々刻々と変化する現実の風ではなく、一定風向・風速を持つ風を吹かせた場合について実験を行った。その結果、現在の東京湾で卓越する南南西並びに北北西の風を吹かせた場合、風下側の岸付近で観測される波高は、7千年前の方が現世より、南風の場合に1～2割、北風の場合には1～3割増大することが明らかになった(図3)。解析の結果、このような波高の増大は、主に吹走距離(波浪が風が吹かれ続けて発達する距離)の増加によるものであることが明らかになった。

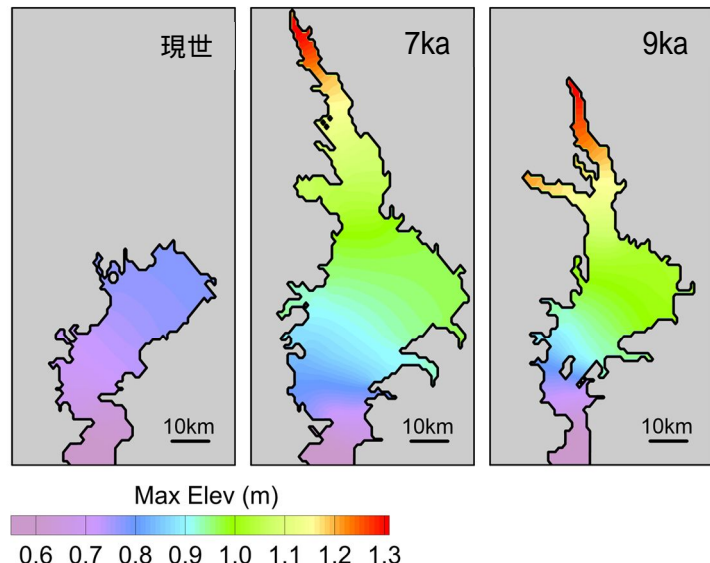


図2. 現世(左)、湾域が拡大した7千年前(中)、海面が低かった9千年前(中)の大潮平均高潮面(大潮時の潮差の半分)の分布。

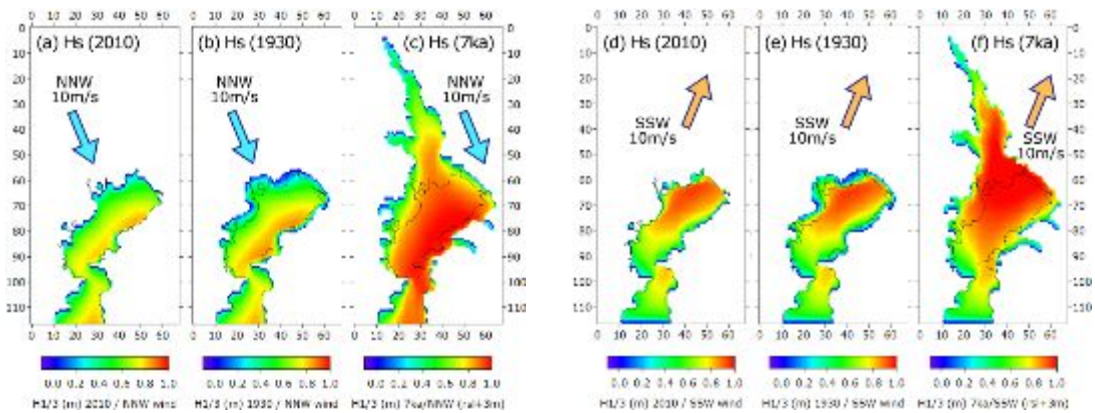


図3．北北西の風(a-c)または南南西の風(d-f)が吹いた場合の(a, d)現世、(b, e)1930年代、並びに(c, f)7千年前の数値実験から得られた有義波高分布。

(3) 海陸分布の変化が海上風に与える影響

波浪が生じる原因である表層風は、一般的に摩擦力の違いから海上と陸上では前者の方が強い傾向にある。このことから、海域が広がっていた年代の海上風は現世とはどのように異なっていたのかを領域気象モデルを用いて推定した。図4は、冬季の北風が吹いている時の風速の絶対値を色で示したものであるが、湾域が拡大した7千年前には湾を吹き抜ける海上風が強まっていたことが示され、駆動源である海上風の強化の面からも当時の波浪は現在より大きかったことが示唆された。

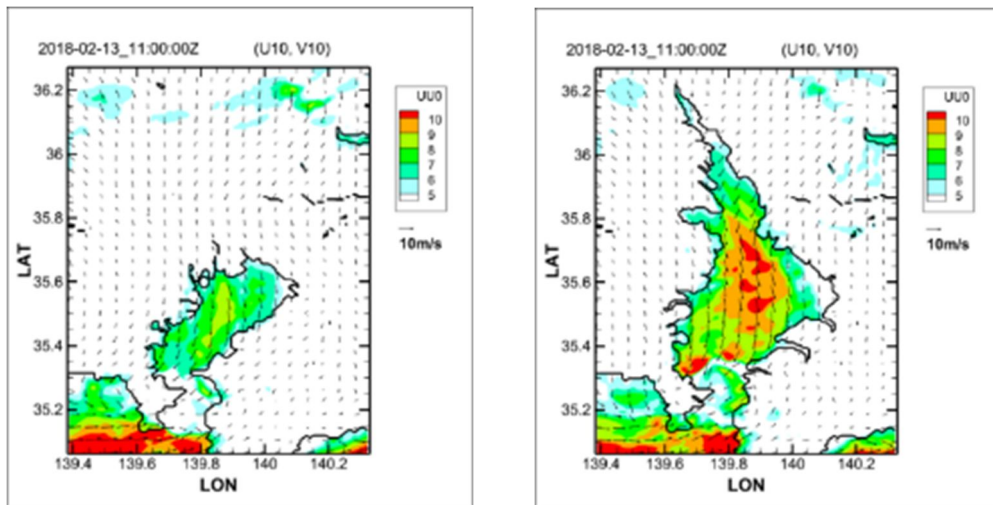


図4．現世(左)並びに7千年前(右)の海陸分布によって生じる地表面風速の数値実験による推定結果。

(4) まとめと今後の課題

完新世と呼ばれる過去1万年間の古地形を作成し、潮汐、波浪、海上風の再現実験を行った結果、潮汐は完新世初期に最も強く、波浪と海上風は、湾域が拡大した完新世中期(7千年前)に、現世より強かったとの結果が得られた。これらの結果は地質情報の解釈を進める上での材料としてフィードバックされるほか、地震などの防災上重要な沖積層とよばれる軟弱地盤の形成過程の理解向上の形で、社会的・工学的にも貢献することが期待される。

本研究の特色の一つとして、実験結果を示すだけでなく、結果に至るプロセスの解析を進めた点も挙げられる。これは、今回の研究が根拠とした古地形などの情報が将来更新される可能性が高く、その場合今回の結果がどのように変わるか見通しを立てることを可能とするためである。例えば潮汐に関しては湾内の潮汐変化と湾の水深及び湾長との関係を明らかにできたことで、将来、地質情報から得られる湾の古水深の推定値が変わった場合でも容易に対応可能であり、さらには将来の海面上昇に対する湾の潮汐応答なども予測することが可能となった。学会発表の過程で、地質関係者から最も反応があったのは、湾域拡大時の波浪強化を示す結果であった。報告者が知る限り、古環境分野においては類似の研究例は見られない。従来の地質学的な知見に、吹走距離や海面粗度など、海洋物理学的な概念を組み合わせることで得られた成果であると考えられる。

今後の課題としては、研究期間内に終わることが出来なかった気象モデルで再現された過去の海上風が引き起こす波浪場の推定、並びに実際の地学情報との結果の対比である。後者に関しては、例えば地質学的なアプローチでは特定が難しい京葉沿岸の波蝕台の形成時期の推定などを想定している。さらに、本研究を進める過程で、古潮汐を推定する際に湾に流入する河川への潮汐遡上を加味する必要があるかもしれないことが明らかになった。結果次第では、現在地質学的なアプローチにより決定されている過去の東京湾の北限の推定値が10キロ前後(約2割)変化する可能性があり、今後この点も掘り下げて研究して行きたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 上原 克人	4. 巻 740
2. 論文標題 東京湾における縄文時代の潮汐変化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 考古学ジャーナル	6. 最初と最後の頁 30-32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Uehara Katsuto, Saito Yoshiki	4. 巻 225
2. 論文標題 Tidal amplitude decreases in response to estuarine shrinkage: Tokyo Bay during the Holocene	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Estuarine, Coastal and Shelf Science	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ecss.2019.05.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Uehara Katsuto
2. 発表標題 Tidal changes at Asian Deltas in response to future sea-level rise
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上原克人、斎藤文紀
2. 発表標題 完新世の東京湾における潮汐変化とその要因
3. 学会等名 2019年度日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上原克人
2. 発表標題 最終氷期最盛期以降の対馬海峡における潮汐環境変動：数値モデルによる推定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsuto Uehara
2. 発表標題 Tidal changes in relation to the Holocene sea-level rise
3. 学会等名 KIGAM foreign-expert seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------