

〈一般研究課題〉 地球温暖化による海面上昇を見据えた
沿岸空間の保全に関する研究
助成研究者 豊橋技術科学大学 加藤 茂



地球温暖化による海面上昇を見据えた 沿岸空間の保全に関する研究

加藤 茂
(豊橋技術科学大学)

Conservation of coastal zone considering sea level rise due to global warming

Shigeru Kato
(Toyohashi University of Technology)

Abstract :

In this study, a topographic survey and numerical simulation were conducted in Higashi-Hazu tidal flat in Mikawa Bay for the purpose of investigating the topographic change and sediment dynamics of the tidal flat due to sea level rise. UAV photographs of the tidal flat were conducted, and the topographic data constructed by the SfM process using UAV photos were analyzed for topographic features and changes. As a result of comparing with the survey results in 2021, it was confirmed that sediments were accumulated in the entire tidal flat, and the tendency was remarkable on the island side. Numerical calculations of waves and currents on the tidal flat by XBeach and sediment particle tracking based on the advection and diffusion processes were carried out to examine the effects of sea level rise. From the calculation results, it was indicated that the existence of the sandbar, which connects the land and the island, affects the wave and current conditions on the tidal flat and the formation of the present topography. It is also suggested that this sandbar has an important role in maintaining the tidal flat topography under the current sea level condition. Calculations assuming a mean sea level rise implied that the flow field over the tidal flat will change significantly from the current state when the sandbar is not exposed even at low tide, and there is a possibility of the sediment on the tidal flat flowing out the surrounding sea area.

1. はじめに

地球温暖化による将来の海面上昇は世界共通の課題である。日本では2100年までに最悪シナリオ(RCP8.5)の場合、90%弱の沿岸空間(砂浜や干潟など)が消失し、それによる経済損失は年間6.5億ドルとの推計もある。一方、干潟に生息する生物や藻類が吸収する炭素「ブルーカーボン」は新たなCO₂の吸収源として注目されており、干潟は今後のカーボンニュートラルな社会の形成に大きく貢献するものと期待されている。その一例として、国は「ブルーカーボン・オフセット・クレジット制度」を創設し、人工干潟等で新たに生まれたCO₂吸収量を認証し、売買可能にすることも目指している。しかし、上記のような干潟消失の危機が迫っているものの、将来に向けた干潟の維持管理についての議論は不十分なままである。干潟に対する海面上昇の影響についての研究は、既に2010年頃から海面上昇による水没面積の増加(干潟としての干出面積の減少)や、干潟地形そのものの変化や消失の予測が数多く実施されているが、地形変化を引き起こす土砂動態の変化やそれへの対応についての検討は非常に少ない。

本研究では、このような今後の新たな社会にとって重要な空間である干潟の存在を今後も維持するために、その地形変化特性の把握と地形変化を引き起こす土砂動態の解明を目指す。具体的には、図-1に示す三河湾内にある干潟を対象領域として、現地調査結果の分析による近年の地形変化を把握するとともに、数値シミュレーションによる現在の土砂移動状況の推定と海面上昇を考慮した場合の土砂移動状況の変化、それによる将来の干潟地形の保全に関して検討を行った。

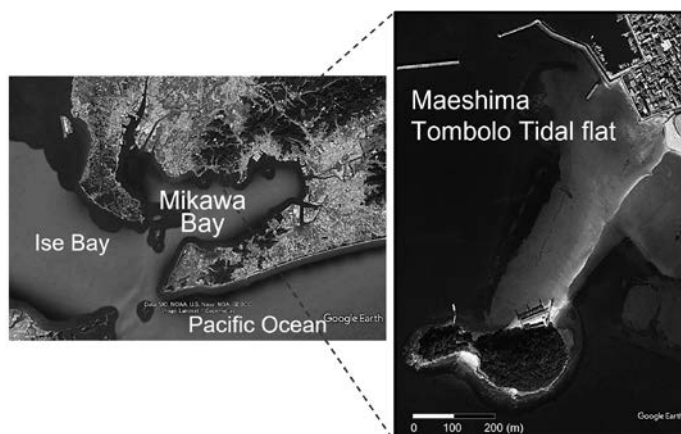


図-1 研究対象領域

2. UAVによる干潟の地形変化の実態把握

2022年8月26日に、干潟の地形データ取得を目的として、UAV(Phantom 4 RTK, DJI製)による干潟の空撮を行った。空撮条件は、過去の調査実績^{1), 2)}を参考に高度50m, オーバラップ(OL)率を90, サイドラップ(SL)率を65%とし、GCP(Ground Control Point: 陸上標定点)を15点設置した。また、UAVによる空撮と併せて、仮想基準点方式(VRS方式)のネットワーク型RTK-GNSS測量による対象領域内に配置したGCPおよび検証点の3次元位置情報計測を行った。UAVによる空撮画像の位置情報の取得およびRTK-GNSS測量には、リアルタイム配信サービスを活用した高精度測位を行った。

UAVによって得られた干潟の空撮写真と、GNSS測量によって得られた標定点の位置情報からSfM(Structure from Motion)処理を行い、DEM(Digital Elevation Model, 数値標高モデル)を作成した。SfM処理とは、UAVで連続的に重複して撮影した画像から対象物の3次元モデルを作成する処理である。SfM処理には、Agisoft社のMetashape Professionalを用いた。本研究では、2021年8月23日に同様の調査手法・条件で取得した干潟のDEMと比較することで、2021年8月～2022年8月

の1年間での干潟地形の変化を把握した。

図-2は、2021年と2022年のDEM(0.1m毎の等深線)を示している。南北方向(図の上下方向)に標高の高い砂州が形成されていることが分かる。2022年の地形では、-0.5mの等深線が西側に大きく張り出しており、標高0.0~-0.5mの浅い領域が砂洲に形成されたことが確認できた。

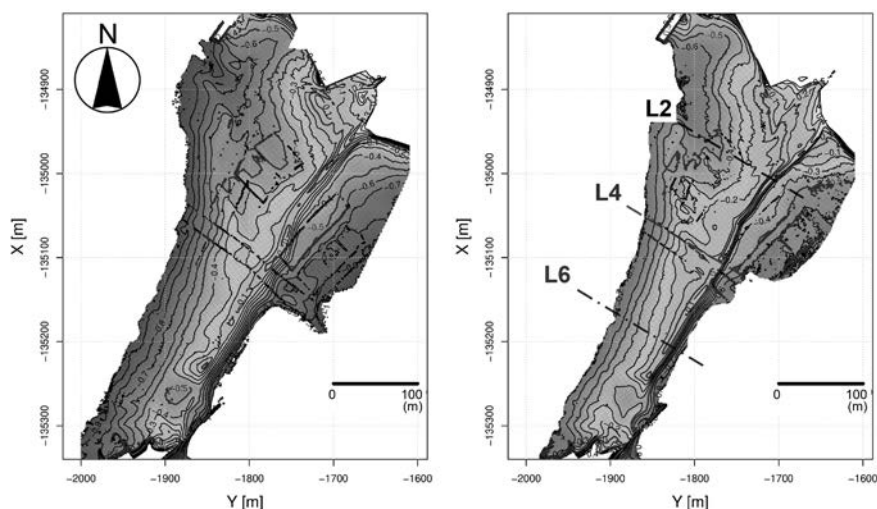


図-2 UAVによる調査で得られた干潟の地形
(左: 2021年8月21日, 右: 2022年8月26日.)

図-3は2021年~2022年の1年間での地形変化の差分を表している。ただし、図-2の比較でも明らかのように、年によって調査で地形が計測できた範囲が異なるため、図-3は2つのDEMで標高データが存在する範囲のみで差分を示している。正值は堆積、負値は侵食を表している。図中の白抜きの部分は表示範囲を超えた部分であり、大きな侵食・堆積が生じたことを意味している。

南北方向に伸びた陸と島を繋ぐ砂州の部分で顕著な変化が確認でき、一部がT.P.=0.0mよりも高くなっている(図-2の左図)。この浅い砂州(頂部)が存在することで、低水位時には海域がこの砂州(干潟)によって東西に二分され、島を回り込んだ波が東西両側から砂州に向かって伝播する。この波の作用によって、砂は干潟中央部(砂州周辺)に留められていることが考えられる。田畑ら¹⁾では、砂州に沿って砂の堆積と侵食が繰り返されることを明らかにしており、砂州が干出と水没を繰り返すことが現在の干潟の地形維持に影響しているものと推測される。

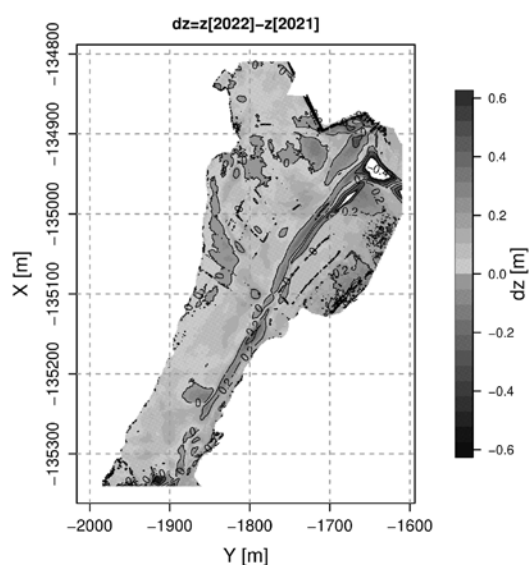


図-3 2021~2022年の地形変化

一部の領域で大幅な侵食が生じているが、全体的には堆積傾向にあり、特に干潟中央付近から島に向けての砂州周辺で顕著な堆積が生じていることが明らかとなった。また侵食は陸側(北側)の領域で多く生じている。図-4に示した干潟の断面地形(断面位置は図-2を参照)を確認すると、陸から島に繋がる砂州の特に陸側の部分(L2, 実線)では、砂州頂部の位置が東側に移動したことで、

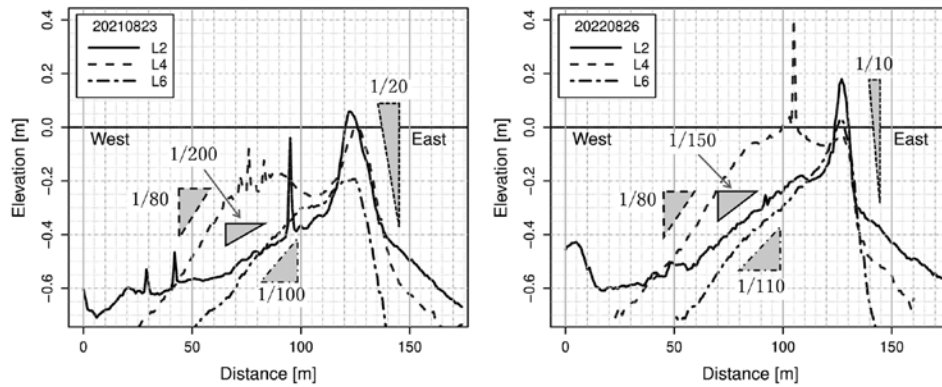


図-4 干潟の砂州に直交する横断面地形の比較(左:2021年,右:2022年)

西側で侵食, 東側で堆積が生じていることが明らかである. また, 陸側(L2, 実線)では砂州頂部の西側の勾配がやや急勾配化しているのに対して, 中央部(L4, 破線)では勾配にほとんど変化がなく, 反対に島側(L6, 一点鎖線)においては全体的に標高が上がっているとともに, やや緩勾配化していることも確認できた. 以上から, 同じ干潟内であっても領域によって地形変化の傾向が異なることが確認された.

3. 干潟上での土砂移動に及ぼす海面上昇の影響に関する検討

本研究ではオープンソース・プログラムであるXBeach(eXtreme Beach behavior)³⁾を用いて, 干潟上での流動場とそれによる土砂移動の数値計算を行った. 今回の計算では, 海面上昇の影響を検討するために, 過去の現地観測結果²⁾を参考に比較的穏やかな波浪条件で, 潮位変化の大きい大潮期の約1潮汐(12時間)を対象期間とした. 図-5に計算対象領域, 表-1に主な計算条件を示す. また, 干潟上に流れの計算結果によって移動する粒子(仮定の土砂粒子)を配置し, 流動による土砂粒子の移動をランダムウォーク法を応用した粒子拡散モデルによって追跡した.

田畑ら³⁾, 中村ら⁴⁾の研究において, 砂州を横切った東西方向での砂の移動が確認されていることから, 現在の海水面条件では水位が下がることで干潟中央部の南北に延びた砂州が干出し, 東西方

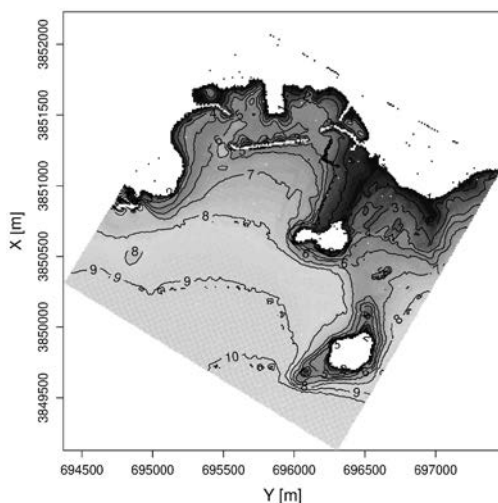


図-5 計算領域(海底地形)

表-1 計算条件

項目	設定値
計算期間	12 時間 (半日周潮で1 潮汐分)
計算格子数	300×300 (格子サイズ 7.5 m)
底面摩擦モデル	Chezy式(C= 50)
波浪モデル	Surfbeatモード
海面抵抗係数	1.0×10^{-3}
波浪境界条件	沖合での波浪観測値を参考に沖側境界に一樣に入力.
潮位境界条件	沖合での水位観測結果を参考に潮位変動として計算領域に一樣に入力
地形情報	内閣府防災会議(10 m 格子) + UAV で取得した DEM+測深データ

向の土砂の移動を抑制していると考えられる。また、前述したように、砂州の干出によって干潟周辺海域が東西に二分され、沖から入射する東向きの波に加えて、沖側にある島を回り込んだ西向き（東から）の波が干潟中央の浅い領域（砂州）に向かって作用することで、現在の東西に延びた砂州を形成、維持していると推察される。したがって、現在の低水位時に干出する海象条件と地形条件が、現在の干潟地形の維持に重要な条件であると言える。

図-6は潮位（水位）の時間変化を示しており、図-7～9は図中の①～④の時間での計算結果を示している。また、図-7は粒子追跡計算における粒子の初期配置である。図-8は現在の海水面条件で粒子追跡を行った結果である。砂州の西側に配置した粒子（赤、青）は西からの波の作用によって東向きに移動するが、低水位の時間帯には干出した砂州によって東向きの移動が抑制されている。また、砂州の東側に来襲する波は沖合の島（前島）による回折波であるため、西側に比べて波による作用外力が小さく、更に図-4に示したように西側に比べて地形勾配が急であるため、干潮から満潮に向かう上げ潮の時間帯においても、砂州の東側に配置した粒子（水色、紫）の移動は僅かである。移動した粒子は全体的に島側へ移動する傾向がある。地形調査で明らかとなった島側で標高が上がっている（堆積している）こともとも整合する。現在の海面水位であれば、西側の土砂移動を適切に管理することで、干潟の地形維持や干潟上の土砂量の管理は可能であると考えられる。

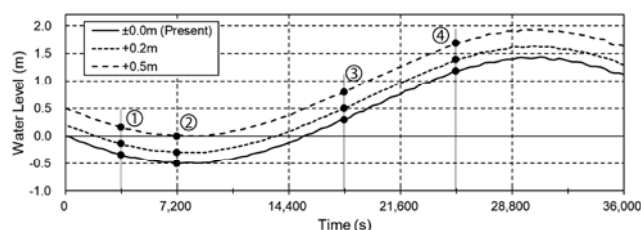


図-6 潮位（水位）の時間変化
①～④は図-8～10の図の時間を示している。

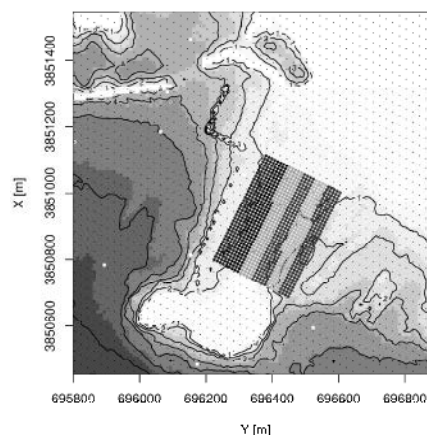


図-7 移動を追跡する粒子の初期配置

今後、地球温暖化による海面上昇が継続することはほぼ確実であり、IPCC第5次評価報告書では2100年までに最低でも26cm(RCP2.6, 低位安定化シナリオ)、最大で82cm(RCP8.5, 高位参照シナリオ)と予測されている。潮位変化によって日常的に干出、水没が生じる干潟にとって、平均海面の上昇は海象条件やそれによる土砂移動に大きく影響を及ぼすものと考えられる。特に本研究の対象領域は、図-4に示したように標高-0.5m以浅の非常に浅い領域が広がっており、砂州の一部は標高0.0m(平均海面)以上である。しかし、最も標高の高い位置でも0.2m以下である。

図-9は、RCP2.6シナリオに相当する平均海水面を20cm上昇させた条件下での計算結果、図-10はRCP4.5シナリオ(中位安定シナリオ)に相当する平均海水面を50cm上昇させた条件下での計算結果を示している。図-9の20cm上昇のケースでは、図-8に比べて西側の粒子の移動がやや活発であるが低水位時には砂州頂部が干出することで、東向きの移動を抑制されている。また、東側の粒子も図-7と同様に移動範囲は比較的限られている。しかし、図-10の50cm上昇のケースでは、配置した粒子全体が僅かな時間で大きく移動し、この後に続く満潮から干潮に向かう下げ潮の時間帯で

は、その多くが初期配置の領域から流出してしまう結果となった。50cmの平均海面上昇により砂州が干出しなくなり干潟周辺海域の分割は生じなくなることで、波や流れ、土砂(粒子)の移動が干潟上を常時通過することが可能となる。したがって、現在のような干潟の東西両側から干潟中央付近への波、流れ(外力)の作用は生じず、干潟域に土砂が留まる可能性は非常に低くなることが推測される。

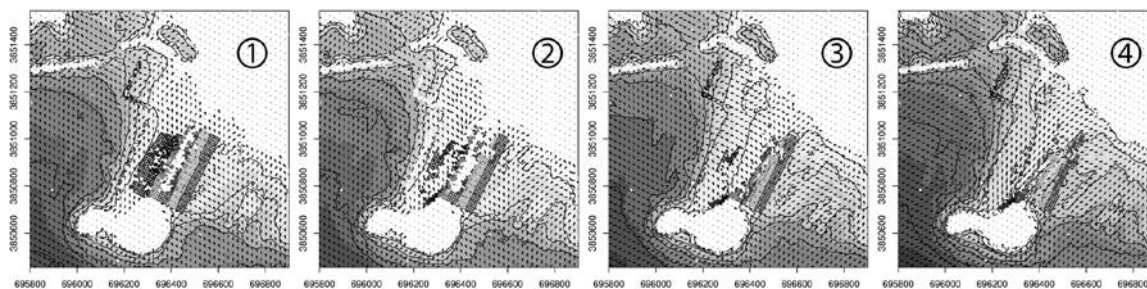


図-8 現在の平均海水位での計算結果

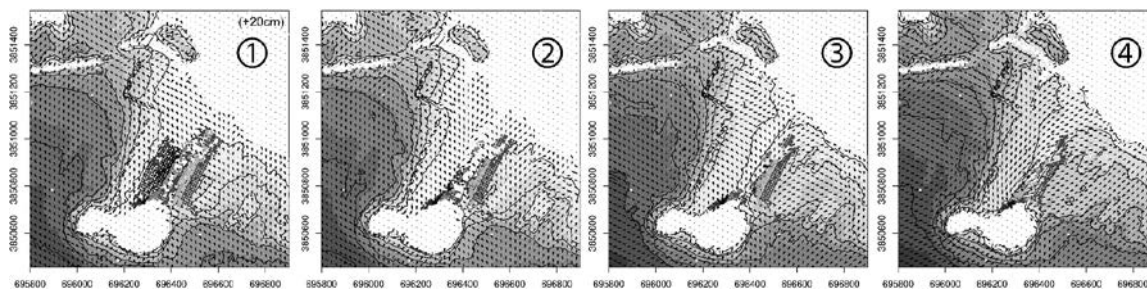


図-9 平均海水位を20cm上昇させた場合の計算結果

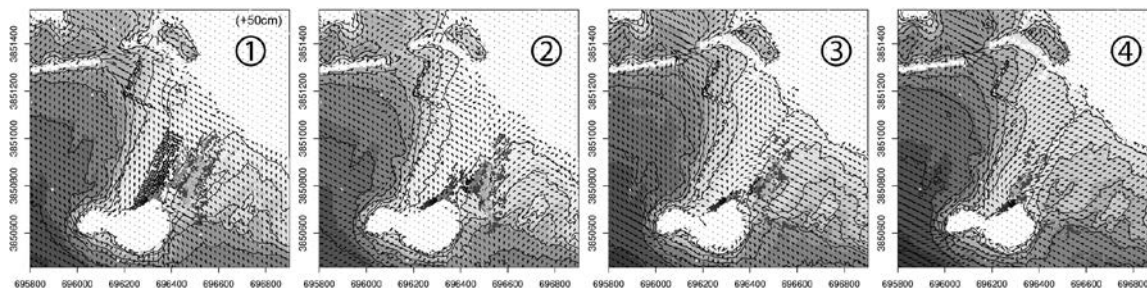


図-10 平均海水位を50cm上昇させた場合の計算結果

5. まとめ

本研究では、現地の地形調査により現在の干潟地形の特徴を把握し、1年間の地形変化の様子を分析した。また、数値計算から干潟上での土砂移動状況を予測し、海面上昇が生じた場合の土砂移動の変化について考察を行った。得られた知見は下記のとおりである。

- ・地形調査により、干潟の地形は2021年8月から2022年8月の1年間で干潟域全体で浅くなっている傾向がある。その傾向は島側で顕著であることが明らかとなった。
- ・陸と沖合の島を繋ぐ南北方向に延びた砂州が形成されており、その周辺での地形変化が顕著であり、活発な土砂移動が生じていることが推測された。
- ・海面上昇を考慮した場合の土砂移動では、現在の南北方向に延びた砂州の干出しが生じる程度の

海面上昇(今回のケースでは20cm程度)であれば、現状の土砂移動の傾向から大きく変化する可能性は低いと考えられる。

- ・一方で、砂州の干出が生じなくなるほどの海面上昇では、干潟上での土砂移動の傾向は大きく変化し、周辺海域への土砂流出が発生することも危惧される。
- ・地形調査、数値計算の両方から、当該干潟ではこの砂州(浅い領域)の存在が地形維持に重要であることが推測される。

今後は、地形調査を継続し当該干潟の地形データを蓄積するとともに、台風等の強力な気象・海象外力に対する地形変化や土砂移動を詳細に把握することを目指す。また、数値計算では現地の現象の再現精度を向上させるとともに、現地調査と併用することで現地調査のみでは把握が困難な平面的な土砂移動の解明に繋げることが必要である。

参考文献

- 1) 田畑貴大, 加藤茂, 中村亮太, 小田敏弘, 西園大貴, 岡辺拓巳: UAV による干潟地形計精度の検証と継続的なモニタリングへの適用性の検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.74, No.2, pp.I_961-I_966, 2018.
- 2) 栗谷樹, 加藤茂, 岡辺拓巳, 仁木将人: 干潟における流動場と地形変化の数値解析, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol.76, No.2, pp.I_336-I_341, 2020.
- 3) Roelvink, J.A., Reniers, A., van Dongeren, A. R., van Thiel de Vries, J.S.M., McCall, R., Lescinski, J.: Modeling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands, Coast. Eng., 56, pp.1133-1152, 2009.
- 4) 中村亮太, 加藤茂, 田畑貴大: 台風1718号にともなう干潟上の地形変化機構の解明-愛知県西尾市東幡豆の事例-, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.74, No.2, pp.I_823-I_828, 2018.