

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04669

研究課題名(和文) UAVリモートセンシングによる干潟底生藻類及び熱環境の面的モニタリング手法の開発

研究課題名(英文) Development of a UAV remote sensing method for benthic diatoms and the thermal environment of tidal flats

研究代表者

仁木 将人(Niki, Masato)

東海大学・海洋学部・教授

研究者番号：30408033

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：干潟は、生物の住みかとなるばかりでなく、水質浄化や環境調節の役割を果たす重要な空間である。こうした干潟での観測は、広域な空間を短い干出時に素早く行う必要があるため、困難を極める。本研究課題では、短時間で広域な干潟の観測を実現すべく、波長別の撮影が可能な特殊なカメラ(スペクトルカメラ)を搭載したマルチコプターを活用し、干潟表面の植物量の指標であるクロロフィルa量を計測しマップ化する観測手法の検証を行った。干潟の乾燥状況、基質のサイズ、当日の気象状況などに影響を受けるものの、マップ化が行えることが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

干潟は、水質の浄化機能や炭素の貯留による気候変動の緩和といった環境調整の役割が期待されているが、都市部の沿岸では埋立てによりその面積が減少している。干潟のそうした価値を最大限評価するためには、広域的な干潟を短時間で正確に計測する新たな技術の導入が不可欠である。本研究では、近年しばしば使用されるようになったマルチコプターとスペクトルカメラの干潟表面での植物量観測への適用を行い、計測手法を確立した。本成果によって、干潟における観測や価値評価手法での精度が向上し、干潟の保全に繋がると期待される。

研究成果の概要(英文)：Tidal flats are significant areas that not only provide habitat for organisms, but also play a role in water purification and environmental regulation. The observation of tidal flats is difficult because it must be done quickly over a large area during a period of ebb tide. In this research project, a UAV (Unmanned Aerial Vehicle) equipped with a spectral camera, which is a camera capable of taking images at different wavelengths, was used to measure and map chlorophyll-a, an indicator of the amount of vegetation on tidal flats, in order to achieve observations over a large area in a short time. Remote sensing of tidal flats using UAVs is affected by the dryness of the tidal flats, the properties of the sediment, and weather conditions, but it was confirmed that the method can be used in combination with bottom sediment surveys to create maps.

研究分野：海岸環境工学

キーワード：干潟 UAV スペクトルカメラ リモートセンシング

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

河口域や内湾奥部に広がる干潟は、豊かな生態系を育み、二酸化炭素や栄養塩類を吸収・固定をする役割を持つ。加えて、干潟は、太陽エネルギーを吸収・発散することで、干潟内部と隣接する環境の熱循環にも大きく関与し、それらの生態系内での生物分布や物質循環にも影響を与えることが知られている。例えば、奄美大島の固有種リュウキュウアユは、環境省により絶滅危惧種 IA 類に指定されているが、稚仔魚の時期を春先の干潟を含む河口沿岸域で過ごす。リュウキュウアユ稚仔魚は高水温（20 度以上）への耐性が低いことが実験的に調べられており、局所熱収支の現場観測から干潟の吸熱による水温抑制効果の重要性が指摘されている。そのため、開発が進み干潟域が縮小した水域では、稚仔魚の育成に支障がある可能性を報告している。このように、生物の生息空間としてばかりで無く、環境調整の場としての働きを持つ干潟であるが、経済成長期には干拓のしやすさから開発が進んだ。現在では空間としての重要性が認識されるようになったため保全が進められ、維持管理、さらには再生のための研究が進められている。また、こうした干潟の重要性を評価するため、浄化機能や二酸化炭素の固定能力を経済価値として評価することが行われている。

干潟における研究の困難さの一つとして、面的な広がりや挙げられる。干潟全域の温度環境を評価する場合には、局所的な熱収支観測を行った結果を干潟全体に適用することが一般的である。しかし、干潟は、その緩い地形勾配によって低潮線付近から高潮線付近までの距離も長く、したがって冠水時間（干出時間）も両者の間では大きく異なる。加えて干潟には、滞筋や生物の生息孔、波による砂蓮や海岸付近の植生のような微地形が存在する。干潟の持つ地形の環境勾配（潮位、粒径、波浪への露出等）の中に、もっとマイクロなスケールでの環境勾配が存在しているのである。そうした微地形や冠水時間の差を丁寧に見積もる事によって初めて、実際の熱収支が求められるはずである。これは熱収支だけでなく、炭素の固定量や浄化機能の評価においても同様のことがいえる。干潟における主要な一次生産者は底生珪藻に代表される底生微細藻類である。こうした底生微細藻類の分布にも化学的、生物学的な要因とともに、微地形や干出時間の差とそれに起因する温度環境が影響を及ぼすと考えられるが、マイクロスケールの環境勾配がどのように生物分布に影響を与えるのかは不明である。

2. 研究の目的

本研究の対象領域は、三河湾北部に位置する東幡豆干潟である。東幡豆干潟は、陸域と沖にある前島との間に、トンボロ現象によりあらわれる前浜干潟である。アサリの豊富なこの干潟は、春から夏にかけて潮干狩りを目当てに多くの観光客が訪れる。しかし近年は、貝毒の発生やアカエイの食害が心配されるなど、その生育環境の劣化が懸念されている。我々の 5 年に及ぶ定期的な調査でも 2016 年に、急激に資源量が減少している傾向が見られた。漁業者からのヒアリングによれば、この減少に対して、2015 年冬季の急激な水温の低下が指摘されたが、原因解明には至っていない。近年、人為起源による気候変化や環境への影響、その適応や緩和策に関して科学的、技術的な議論が行われるようになったが、干潟域においても、海水面の上昇に伴う面積の減少や冠水時間の変化、温暖化に伴う熱環境の変化が研究対象となってきている。アサリに関しては、夏季の高温により干潟の温度環境が悪化し、資源量の回復を阻害しているのでは無いかとの報告もある。干潟における正確な熱環境の把握は、温暖化に適応した資源量の維持管理において重要な課題となるだろう。そこで本研究は、干潟域における微地形や冠水時間の差異が熱環境および一次生産へ与える影響を評価し、最終的には干潟全体での熱収支と一次生産量を見積もることを目的とし、本研究課題では面的な観測を可能とする観測機器の開発と、現地での適用による観測手法の有効性の確認を行う。

近年、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) の一種であるマルチコプターの個人での利用が一般化している。操作が簡便であり、空中での安定性の高いマルチコプターの登場により、研究の分野でも地形の測量や災害時の調査、生物の生息分布調査等で活用されるようになってきている。本研究は、マルチコプターにイメージ分光器を搭載することで、リモートセンシングにより干潟での面的観測を試みようとするものである。

3. 研究の方法

まず、2019 年に、独自に開発した多波長イメージ分光放射計の干潟での観測性能を確認するため、ファイバーマルチ分光器 (Photon Control 社製のファイバーマルチ分光器 (SPM-002) と標準反射板 (labshere 社製スペクトラロン拡散標準反射板) を使用) による観測との比較を行う現地観測を実施した。その結果、開発した多波長イメージ分光放射計と底生珪藻分布量の指標となる底質表面のクロロフィル a 量との間に、ある程度の相関が認められたため、2020 年に多波長イメージ分光放射計を UAV に搭載し、現地観測を実施する予定であった。しかし、コロナウイルスによる社会活動の制限を受け、隣県での現地観測の実施は困難となった。そのため、2020 年は機器の改良や、独自開発したセンサーにこだわらず市販のセンサーの導入の検討を行った。2021 年に社会活動が一部回復したため、機器の再検討結果により選定したマルチスペクトルカメラを搭載した市販の農業用ドローン (DJI 社製 P4 Multispectral) による撮影と底質の

採取による干潟表面のクロロフィル a 量観測を実施し課題の抽出を行った。2020 年度に、前年度結果を精査し、底質の観測項目を増やし再度の観測を実施した。

4. 研究成果

(1) 2019年に行ったファイバーマルチ分光器による現地観測結果では、673nm の吸収帯を利用した底生珪藻現存量の推定の可能性が認められた (図-1)。ただし、計測した反射光は、反射範囲によって、海草や海藻の影響を受ける場合があり、撮影画像の切り取り範囲に注意が必要であることが分かった。また、代表的な植生指数の中では、NDVI (正規化差植生指数) や RVI (比植生指数) との相関が高かった。これに対して、独自開発した多波長イメージ分光放射計を使った観測では (図-2)、ファイバーマルチ分光器での観測結果ほど現象をつぶさには把握出来ていなかった (図-3)。これは、多波長イメージ分光放射計では、バンドパスフィルタを用いて、特

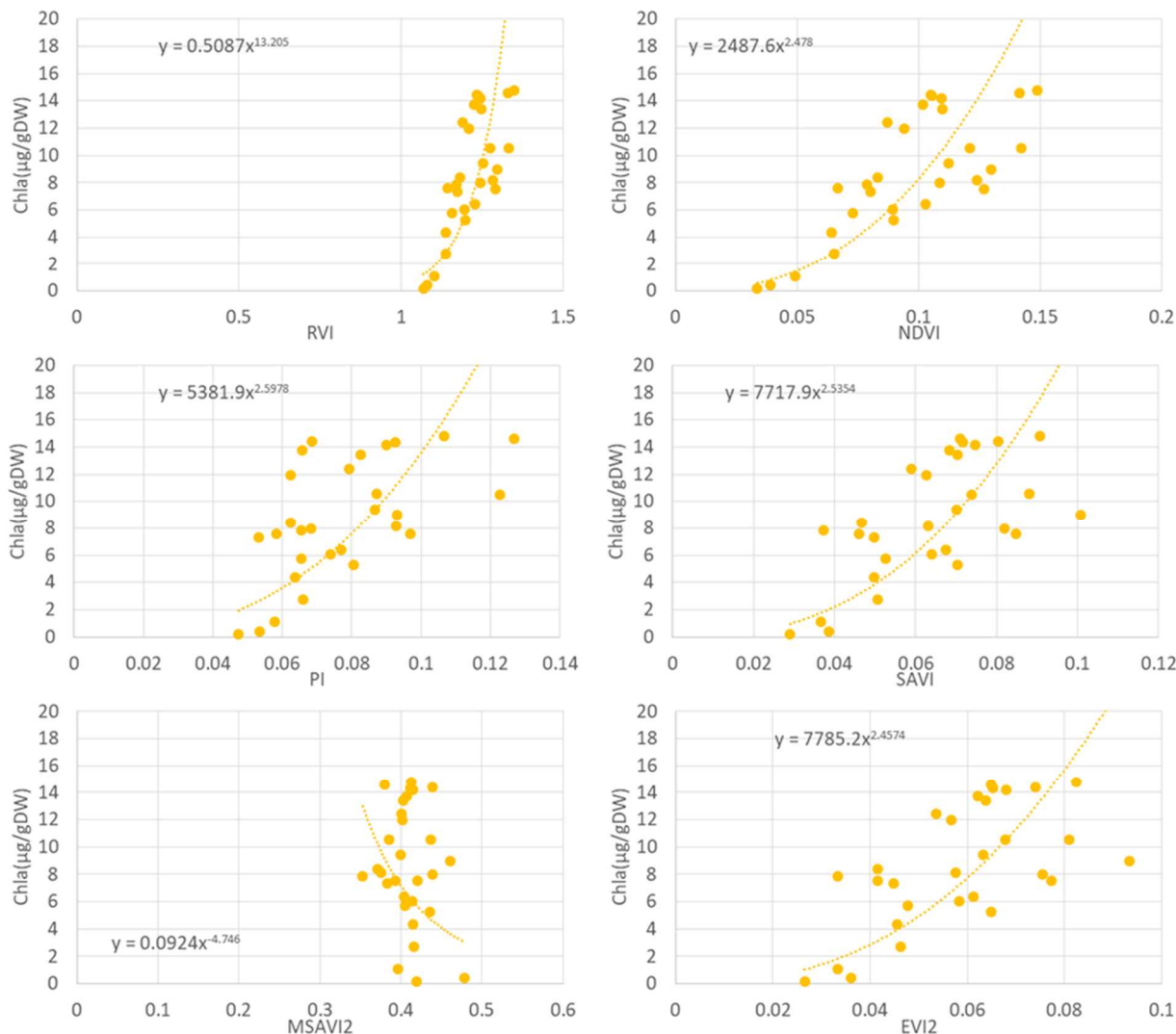


図-1 クロロフィル a 量と代表的な植生指数結果との相関図

定波長付近の画像を取得しているが、半値幅が広く、市販のファイバーマルチ分光器の解像度と同程度の精度で値を取得できていないことに由来していると考えられた。その他、多波長イメージ分光放射計に搭載されたイメージセンサの感度の関係で、晴天の日中では露光時間が十分に取れないため、撮影結果の代表性に関して課題が認められた。複数枚の撮影結果を平均化するという撮影での工夫が必要であることが分かった。しかし、得られた結果は、クロロフィル a 量との間に相関が認められ、開発したカメラの干潟への適用性可能性が確認された。



図-2 多波長イメージ分光放射計による撮影結果

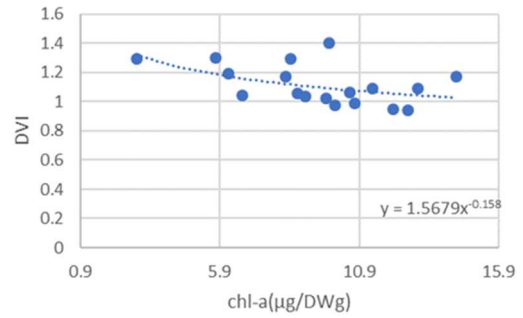
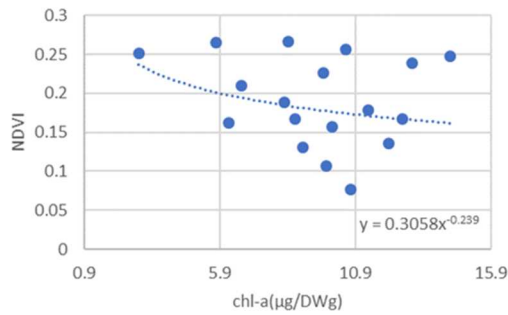


図-3 波長イメージ分光放射計による撮影結果から作成した植生指数とクロロフィル a 量との相関図

(2) 2020年に観測機器に関して再検討を行い、農業用に開発され、マルチスペクトルカメラを搭載し植生指数の計測が行える後処理ソフトウェアを備えた DJI 社製 P4 Multi spectral を導入し、コロナウィルスから社会活動が一部回復した 2021 年度に東幡豆干潟での観測を実施した。観測では、現地干潟に一边 50cm のコドラートを設置し、UAV による撮影を行った後、コドラート中央部の底質を採泥した。採泥土は冷蔵して持ち帰り凍結乾燥機により乾燥処理した後 1g 程度分取し、ジメチルホルムアミドによりクロロフィル色素を抽出し分光分析を行った。得られた吸光度を使って Moran の式によりクロロフィル a 量を求めた。また、画像の解析には DJI 社製の Terra を使用し、植生指数 NDVI のマップ画像を作成した (図-4)。NDVI 合

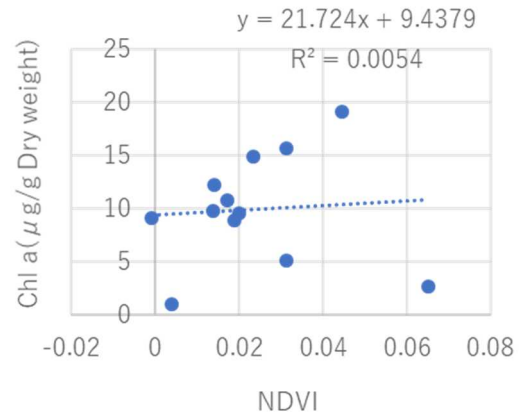


図-5 クロロフィル a 量と NDVI の相関図



図-4 撮影結果から作成した NDVI マップ

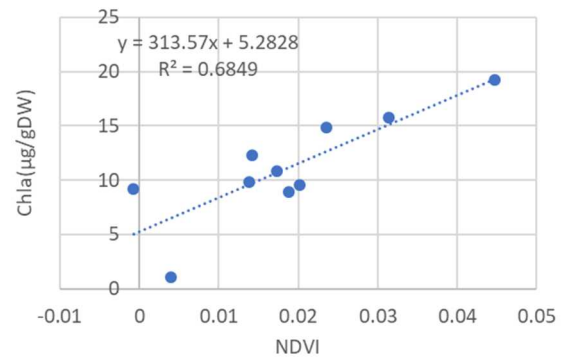


図-6 クロロフィル a 量と NDVI の相関図

(水を多く含む地点を除いている)

成画像は、海藻の繁茂した転石や、干潟上に残された海藻・海草で高い値を示した。一方で、海藻の付着していない転石の上部にも高い値を示す場合が見られた。作成した NDVI マップからフリーソフトの SeaDas を使い植生指数の値を抽出した。画像からの NDVI 値の抽出結果と底質分析によるクロロフィル a 量との相関図を図-5 に示す。両者の相関は低く、いくつか傾向の異なる地点が見られたため、可視光の撮影画像を精査した。その結果、傾向の異なる地点に水溜状のものが見られたため、水溜が確認できた 2 地点のデータを削除した (図-6)。削除したデータによる相関は有意水準 5% で相関が認められた。

(3) 2021 年の結果を踏まえ、2022 年に、底質の観測項目 (クロロフィル a 量に加えて、採泥した底質から含水比、強熱減量及び粒度組成を計測) を増やし、再度干潟での撮影を行った。UAV による観測結果から、昨年度と同様に海藻の見られない転石帯で高い値を示した (図-7)。こうした原因を検討するため、NDVI 画像を作成するために使用した赤色光 (red) と近赤外光 (NIR) の画像データから輝度を抜き出し、地点毎の両者の関係を整理した (図-8)。単位は画像上の輝度の読み取り値であり無次元である。干潟上の観測地点付近のデータは直線上に並んでいるが、転石帯に関しては異なる傾向を示し、その傾きは干潟上よりも大きくなっている。そのため転石帯では反射値が大きくなれば、赤色光に対して近赤外光での反射値がより大きくなると考えられ、近赤外光と赤色光の差をその和により除した NDVI は、大きな値となる。一般的に乾燥した

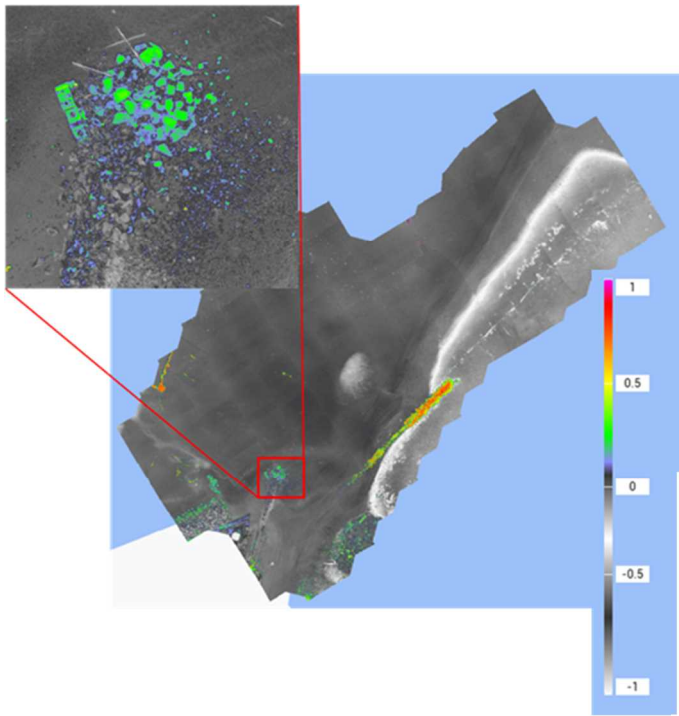


図-7 撮影結果から作成した NDVI マップ

土壌では反射率が高くなる傾向が見られるため、転石帯の良く乾燥している地点（転石の上部）で NDVI 値が高くなっていたと考えられた。

2022 年の観測は春季（3 月）及び夏季（9 月）に実施した。それぞれの季節に対応した NDVI 値とクロロフィル a 量のグラフを図-9 に示す。観測毎に分けて求めた相関係数は、春季が 0.81、夏季が 0.82 と高く、相関が認められたが、両者を統合して求めると、0.52 と相関が認められるものの値が低下した。NDVI は植物の活性や被覆度、成長といった事項の検討に利用され、季節の違いによる気温や日射量といったものに影響を受け、異なる傾向を示していると考えられた。その他、計測した底質の含水比、強熱減量及び粒度組成と各波長画像の輝度との間で相関分析等を行った。含水比が低い場合に輝度が高くなる傾向が見られた。また、クロロフィル a 量と強熱減量や粒度分析から求めた中央粒径との間で相関が認められた。また、NDVI を求めた近赤外光と赤色光との差の規格化よりも、赤色波長端光と赤色光との差の規格化の方が、相関が高かった。そのため、観測結果から赤色波長端光と赤色光の差を規格化して求めた指数からクロロフィル a 量の推定式を作成し、マップ化を行った（図-10）。

今回の研究を通し、目標としていた干潟における面的観測手法の確立に関して、クロロフィル a 量について図化が行えた。今後得られた図を基に、干潟微地形の底生珪藻の分布の影響と言ったミクروسケールでの環境勾配の検討を進めたいと考えている。

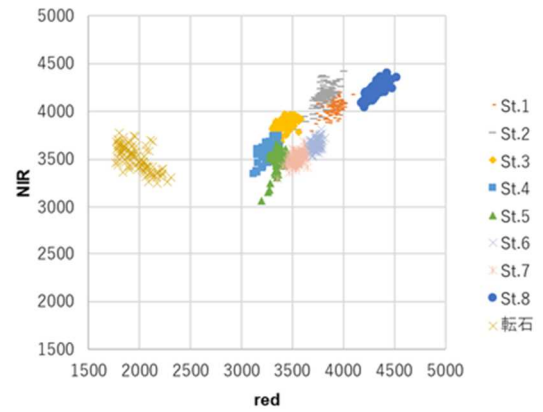


図-8 赤色光と近赤外光の輝度

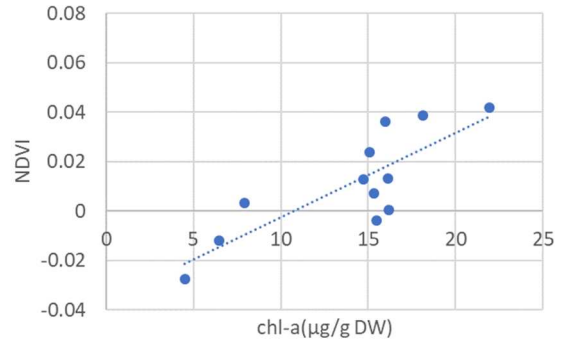
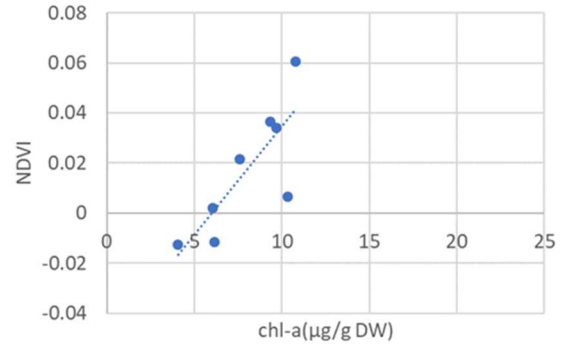


図-9 NDVI とクロロフィル a
(上：3 月 3 日，下：9 月 9 日)

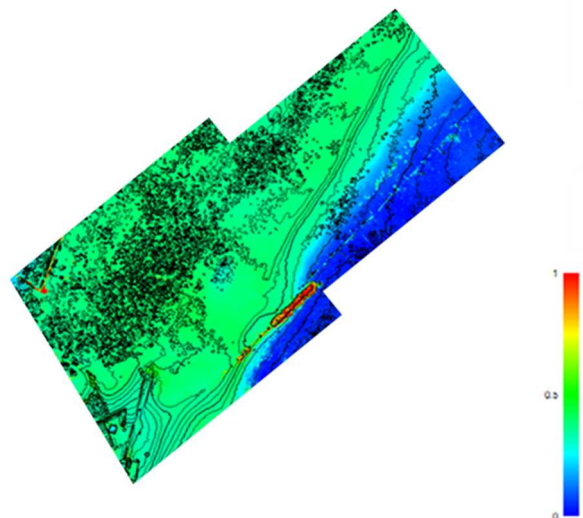


図-10 2022 年 3 月 3 日の観測結果（赤色波長端と赤色の差を規格化して求めた指数からクロロフィル a 量を推定，単位は μ g/g DW)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 KURITANI Itsuki, KATO Shigeru, OKABE Takumi, NIKI Masato	4. 巻 76
2. 論文標題 NUMERICAL SIMULATION OF FLOW FIELD AND SEDIMENT TRANSPORT ON TIDAL FLAT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B3 (Ocean Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_336 ~ I_341
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.76.2_I_336	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 NIKI Masato, TAN Hiroyuki, TANAKA Akihiko, KATO Shigeru	4. 巻 76
2. 論文標題 BASIC STUDY ON THE OBSERVATION OF BENTHIC DIATOMS IN TIDAL FLATS USING MULTI-BAND IMAGING RADIOMETER	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_1357 ~ I_1362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.76.2_I_1357	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tan Hiroyuki, Oishi Tomohiko, Tanaka Akihiko, Katsumata Takaaki, Niki Masato	4. 巻 -
2. 論文標題 Multi-band optical imaging sensor for coastal ocean color remote sensing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2542607	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6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 仁木将人
2. 発表標題 多波長イメージ分光放射計による干潟のリモートセンシングの試験研究
3. 学会等名 応用生態工学会 第24回研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 仁木将人
2. 発表標題 農業用 UAVによる干潟表面のクロロフィル a量の観測の可能性
3. 学会等名 令和3年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仁木 将人、藤井元紀、飯野航太、黒川敦史、菱田千裕、丹 佑之、田中 昭彦
2. 発表標題 光を使った干潟表面のクロロフィルa 観測に関する基礎的検討
3. 学会等名 令和元年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 仁木将人、丹佑之、田中昭彦、加藤茂
2. 発表標題 農業用ドローンによる干潟表面のクロロフィルa量の観測の可能性
3. 学会等名 令和3年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 仁木将人、丹佑之、田中昭彦、加藤茂
2. 発表標題 マルチスペクトルカメラを登載したドローンによる干潟表面のクロロフィルa観測
3. 学会等名 第70回海岸工学講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 仁木将人、丹佑之、田中昭彦、加藤茂
2. 発表標題 多波長イメージ分光放射計を用いた干潟の 底生珪藻観測に関する基礎的検討
3. 学会等名 第67回海岸工学講演会
4. 発表年 2020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
研究分担者	加藤 茂 (Kato Shigeru) (40303911)	豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授 (13904)	
研究分担者	田中 昭彦 (Tanaka Akihiko) (00758005)	東海大学・清水教養教育センター・准教授 (32644)	
研究分担者	丹 佑之 (Tan Hiroyuki) (90770909)	東海大学・清水教養教育センター・講師 (32644)	

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
---------	---------