様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科研費
KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ３０ 年　 ６ 月 １９ 日現在

機関番号：３２６８７
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2015～2017
課題番号：１５Ｋ０１１７４

研究課題名（和文）千葉県谷津干潟におけるアオサの空間動態および要因に関する研究

研究課題名（英文）Study on the spatial dynamics and occurrence factors of Ulva spp.at the Yatsu Tidal Flat, Chiba Prefecture

研究代表者
白木　洋平（SHIRAKI, YOHEI）

立正大学・地球環境科学部・准教授

研究者番号：８０５０８４１６

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,200,000円

研究成果の概要（和文）：谷津干潟を対象とし①アオサの季節変動パターン分析②アオサ分布に影響を与える微地形と水理条件の抽出③アオサ増殖に必要となる栄養塩の負荷源の特定について検討を行った．結果，人工衛星に用いることでアオサの季節変化を抽出できる可能性が示唆された．また南東部の潮流口は起伏に富み下げ潮後半にアオサが州に引っかかること，アオサは干潟内の栄養塩動態に大きな影響を及ぼすことがわかった．特にアオサは窒素源としてNO3-よりNH4+を優先して取り込み，NH4+の消失に大きな影響を与えることが示唆された．干潟の新たな窒素負荷源としてはヨシが挙げられ，春～秋に取り込んだ窒素を冬に干潟内に戻していることも示唆された．

研究成果の概要（英文）：This study focused on the spatial dynamics and occurrence factors of Ulva sp., and the following issues (1) to (3) were studied at the Yatsu Tidal Flat in Chiba prefecture. (1) Analysis of seasonal variation pattern in Ulva sp. (2) Influence of micro-landforms and hydraulic conditions on distribution of Ulva sp. (3)Specification of load source of nutrient salts needed for growth of Ulva sp. As the result, the following was clarified. (1)It was suggested the signal of seasonal change in Ulva sp. can be obtained using high spatial resolution satellite image data. (2) Southeastern inlet of the tidal flat is undulate and Ulva sp. is trapped on the bar at the late stage of ebb tide. (3) The presence of Ulva sp. affects the nutrients dynamics in Yatsu Tidal Flat. Especially, nitrogen uptake of Ulva sp. is greater with ammonium (NH4+) than with nitrate (NO3-). (4) It was suggested that nitrogen taken in from spring to autumn is returned to the tidal flat in the winter.

研究分野：環境動態学

キーワード：地理情報システム　リモートセンシング　地形　堆積物　潮流　栄養塩類（窒素・リン）　窒素・炭素安定同位体　微生物活性

１．研究開始当初の背景

干潟は多様で豊かな生態系の形成や水質の自浄作用だけではなく，潮干狩りなどといった文化的側面においても重要な役割を果たしているが，第 4 回自然環境保全基礎調査の海域生物環境調査報告書（干潟，藻場，サンゴ礁調査）第 2 巻藻場によると，高度経済成長期に工業用地等の確保を目的とした沿岸地域の開発が進んだことにより，現在では多くの貴重な干潟が消失しつつあるとされている．また，国土交通省港湾局や環境省自然環境局によって編集されている報告書「干潟ネットワークの再生に向けて―東京湾の干潟等の生態系再生研究会報告書」によると， 特に都市化が顕著に進行した東京湾の周辺では，その影響から 1945 年以前に残されていた干潟の 80%が消失したとの報告がなされている．このような社会的な背景から，これまで干潟の保全に関する研究が数多くなされている．しかしながら，多角的な視野を用いて総合的な解釈を行った研究はない．本研究対象地域でもある千葉県習志野市に位置する谷津干潟も東京湾に残された数少ない干潟の一つで，湾最奥部に約 40haの面積を持つ貴重な干潟である．シベリアなどの北の国と東南アジアやオーストラリアなどの南の国を行き来する旅鳥にとって渡りの途中の中継地とし大変重要な場所となっていることなどから，1993 年には「特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地に関する条約」に干潟として日本で初めて登録されている．しかしながら，近年この谷津干潟ではアオサの異常増殖（グリーンタイド現象：図1）や枯死，腐敗が問題となって

図1．谷津干潟に分布するアオサ類

おり，これによる底質の貧酸素化や硫化水素の発生が干潟の代表的な機能である自浄作用の低下や周辺住民の住環境に多大な被害を与える悪臭を引き起こしている．そのため，アオサ抑制に向けた対策の確立が急がれている．このような背景からも，谷津干潟のアオサの発生要因を明らかにし，その要因について総合的な評価を行うことは，東京湾に残る貴重な干潟の保全に関する提言を行う上で極めて重要となってくる．

２．研究の目的

本研究では，①アオサの季節変動パターンの詳細についての分析，②アオサの分布に影響を与える微地形と水理条件の抽出，③アオサ増殖に必要となる栄養塩の負荷源の特定を行い，最終的にGISや統計的手法を用いて各課題で得られたデータの集約･図化･解析を行い，アオサの異常増殖過程をモデル化する．さらに，アオサの抑制方法について提言を行う．

3．研究の方法

①アオサの季節変動パターンの詳細についての分析

本研究では，谷津干潟のような広大な対象地域の現状把握や環境動態把握に適している衛星リモートセンシングの技術を用いてアオサの分布把握及び季節変動パターンの解析を試みた．なお，本研究で用いた人工衛星は高空間分解能センサを有するWorldView-3 および Geoeye-1 であり，本研究ではアオサ分布の年変化を抽出するために， 2015 年 1 月 20 日，4 月 16 日，10 月 26 日のデータを用いた．本研究では当初，正規化植生指数（以下，NDVI）を用いてアオサ分布の把握を試みたが，谷津干潟は場所により水深が大きく異なるため，NDVIを用いた評価では深度が大きい地点に存在するアオサを定量的に評価することが極めて困難であることがわかった．そこで，本研究では既往研究にてたびたび利用されている底質指標（Bottom

Index: BI) を算出することでアオサの分布について評価を行うことを試みた. なお, 底質指標は次式によって算出される.

$$BIij=\log\{(DN_i - DNdeep_i)/(DN_j - DNdeep_j)\text{^}K_{ij}\}$$
$$= \log(DN_i-DNdeep_i)-K_{ij}*\log(DN_j-DNdeep_j)$$

ここで, BI_{ij}はバンドi, jから導出される底質指標, DN_iはバンドiのDN値, DN_j:バンドjのDN値, $DNdeep_i$はバンド i の深海での DN 値, $DNdeep_j$:バンド j の深海での DN 値, K_{ij}はバンド i, j の水中消散係数比である. なお, K_{ij}は衛星画像の DN の自然対数を読み取り, バンド i, j について散布図を作成したときの回帰直線の傾きとしている. なお, 本研究では 2 つのバンドの DN (Digital Number) を使い, 消散係数比を導入して水深の影響を補正した.

②アオサの分布に影響を与える微地形と水理条件の抽出

干潟南東部と谷津川の接続部 (2 箇所ある潮流口うちの一つ) では測量と空中写真撮影など詳細な微地形調査を行うとともに, 表層の堆積物の粒径と構成物 (砂, 泥, 植物片, 貝殻) の分布図を作成した. またドップラー流速計とGPS付きブイを用いて, 潮汐クリークの流況を調査した. これらから地形, 表層堆積物, 流れがアオサの分布に与える影響を調べた.

③アオサ増殖に必要となる栄養塩の負荷源の特定

1) アオサの増殖に必要な栄養塩の負荷減として, 干潟内に生息するヨシが挙げられる. そこで, 谷津干潟内に生息しているヨシの各器官に蓄積する窒素安定同位体比の推移についての考察を行った. ヨシは 2013 年 7 月から 2014 年 1 月まで, 月に 1 回, 5 個体ずつ採集した. ヨシの各器官の窒素安定同位体比を分析には, 窒素･炭素安定同位体比質量分析システム (EA-IRMS) を用いた.

2) **谷津干潟のグリーンタイドを引き起こす海藻アオサの栄養塩, アンモニア態窒素 (NH_4^+), 硝酸態窒素 (NO_3^-), リン酸態リン (PO_4^{3-}) の取り込み特性を明らかにするために, アオサ培養実験を行った. 三角フラスコにアオサ** 10 g, **海水** 1L**加え, 窒素源として**NH_4Cl**と**KNO_3**を** 10 mgN L^{-1}, **リン源として**KH_2PO_4**を** 10 mgP L^{-1} **となるよう加えた. これらの三角フラスコを蛍光灯下で**20℃**に保ちながら培養を行った.** 0, **1, 3, 5, 7**, 10 **日目に** 10 mL**ずつ採水し栄養塩の濃度変化を測定した.** NH_4^+**濃度はインドフェノール青法,** NO_3^-**濃度は銅・カドミウムカラムを用いたナフチルエチレンジアミン吸光度法,** PO_4^{3-}**濃度はモリブデンブルー法で測定した.**

4. 研究成果

①従来までの研究においてもしばしば用いられている底質指標を利用することで干潟西岸のアオサ分布の情報を取得できる知見を得られたことから, 季節ごとの高空間分解能衛星画像を用いる事で季節変化のシグナルを得ることができる可能性を示唆することができた.

②干潟南東の潮流口では干潟全体に比べ貝殻を堆積物中に多く含み, 州と流路の発達により標高差が大きく流速が速い. 主に貝殻片の堆積と侵食により地形が数ヶ月単位で変化している.

③干潟南東の潮流口ではアオサは主に夏季に見られるが着生するものはほとんどない. 下げ潮前半には流速が遅くアオサは流れないが, 下げ潮後半に干潟中央部から多く流れ, 浅く速い流れで州に引っかかる.

④谷津干潟内に生息しているヨシの各器官に蓄積する窒素安定同位体比の推移は, 地下茎および茎は, 葉および穂との異なる窒素代謝を行っていることが明らかになった. また, 先行研究で示された冬季における窒素の地下茎への流転現象は, 窒素安定同位体比の推移でも観測でき, 説明可能であると考えられる.

④アオサを添加した三角フラスコにおけるNH_4^+, NO_3^-, PO_4^{3-}**濃度は, 時間とともに減少した.**

アオサによって取り込まれたと考えられた．また，NH_4^+の取り込み速度はNO_3^-の取り込み速度より高かった．したがって，アオサは窒素源としてNO_3^-よりNH_4^+を優先して取り込むことがわかった．

⑤地下茎および茎は，葉および穂との異なる窒素代謝を行っている．また，先行研究で示された冬季における窒素の地下茎への流転現象は窒素安定同位体比の推移でも観測でき説明可能である．

5．主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 9 件）

①Senga Y, Hiroki M, Terui S, Nohara S, Variation in microbial function through soil depth profiles in the Kushiro Wetland, northeastern Hokkaido, Japan, Ecological Research, 査読有, Vol.30, pp.563-572.
DOI: 10.1007/s11284-015-1257-3

②Sugahara S, Kamiya H, Suyama Y, Senga Y, Ayukawa K, Okumura M, Seike Y, Influence of hypersaturated dissolved oxygenated water on the elution of hydrogen sulfide and methane from sediment in the dredged area in polyhaline Lake Nakaumi, Landscape and Ecological Engineering, 査読有, Vol.11, pp.269-282.
doi: 10.1007/s11355-014-0270-y

③白木洋平，北沢俊幸，李盛源，千賀有希子，千葉県谷津干潟を対象とした干潟環境把握手法の提案 -外来種ホソウミニナを例として-，国際ICT利用研究研究会講演論文集，査読無，Vol.1，pp.35-36.

④Senga Y, Moriai S, Naruoka C, Nedachi R, Terui S, Characterizing the photochemical degradation of aquatic humic substances from a dystrophic lake using excitation-emission matrix fluorescence spectroscopy and parallel factor analysis, Limnology, 査読有, Vol.18, pp.97-110.
doi: 10.1007/s10201-016-0493-8

⑤Sugahara S, Suzuki M, Kamiya H, Yamamuro M, Semura H, Senga Y, Egawa M, Seike Y, Colorimetric determination of sulfide in microsamples, Analytical Science, 査読有, Vol.32, pp.1129-1131
doi: 10.2116/analsci.32.1129

⑥管原庄吾，神谷 宏，山室真澄，鈴木 舞，勢村 均，千賀有希子，江川美千子，清家 泰，ガラスシリンジを用いたヤマトシジミの硫化水素耐性試験，水産増殖，査読有，Vol.64，pp.205-208

⑦Kato T, Sugahara S, Murakami M, Senga Y, Egawa M, Omata K, Seike Y, Sensitive method for the oxidation-determination of trace hydroxylamine in environmental water using hypochlorite followed by gas chromatography, 査読有, Vol.33, pp. 691-695, 2017.
doi: 10.2116/analsci.33.691

⑧Kato T, Sugahara S, Kajitani T, Senga Y, Egawa M, Kamiya, Seike Y, Determination of trace hydrazine in environmental water samples by in situ solid phase extraction, Analytical Sciences, 査読有, Vol.33, pp. 487-491, 2017.
doi: 10.2116/analsci.33.487

⑨Shiraki Y, Kitazawa T, Lee S, Senga Y, A Method for Determining Batillaria attramentaria Distribution Using Aerial Balloon Photography and a Vegetation Index Camera: Demonstration at the Yatsu Tidal Flat, Chiba Prefecture, Advances in Remote Sensing, 査読有, Vol.7, pp.15-24, 2018.
doi: 10.4236/ars.2018.71002

〔学会発表〕（計 20 件）

①北沢俊幸，白木洋平，李盛源，飯塚和斗，南出大貴，谷口健太，金井友則，千賀有希子，「ヤジロベー法」超高分解能 3 次元地形モデルを目指して，日本堆積学会，2015，筑波大学（茨城県・つくば市）

②北沢俊幸, 金井友則, 谷口健太, 白木洋平,

地質遺産 3Dアーカイブの試み，日本地質学会，2015，信州大学（長野県・松本市）

③矢部詩織，中村昂樹，鏡味麻衣子，千賀有希子，ツボカビの寄生が珪藻Synedra から産生する溶存有機物に与える影響　-三次元励起蛍光スペクトル(EEM)-PARAFAC法を用いた解析-，日本生態学会，2016，仙台国際センター（宮城県・仙台市）

④盛合哲史，千賀有希子，三次元励起蛍光スペクトル-PARAFAC法を用いた水系腐植物質の紫外線分解過程の追跡，日本腐植物質学会，2015，名古屋大学（愛知県・名古屋市）

⑤千賀有希子，根立竜馬，盛合哲史，山内翔平，和田憲昭，近藤拓未，宮田勉，森朱音，佐藤翼，成岡知佳，矢部詩織，北沢俊幸，李盛源，白木洋平，谷津干潟におけるグリーンタイド現象と水質，日本陸水学会，2015，北海道大学（北海道・札幌市）

⑥佐藤翼, 諏訪裕一, 野原精一, 千賀有希子, 谷津干潟堆積物における脱窒とアナモックス過程，日本陸水学会，2016，琉球大学（沖縄県・中頭郡）

⑦成岡知佳，千賀有希子，湿原水における水系腐植物質の反応特性の解析，日本陸水学会，2016，琉球大学（沖縄県・中頭郡）

⑧熊崎悠一，成岡知佳，野原精一，千賀有希子，尾瀬ヶ原池塘における水系腐植物質の動態解析日本陸水学会，2016，琉球大学（沖縄県・中頭郡）

⑨Senga Y, Naruoka C, Moriai S, Phtochemical degradation of aquatic humic substances traced by EEM-PARAFAC analysis, INTECOL Wetlands, 2016, Changshu International Conference Center (Changshu,China)

⑩谷口健太，北沢俊幸，白木洋平，李盛源，千賀有希子，谷津干潟の潮流口における地形とアオサの関係，日本堆積学会，2017，信州大学（長野県・松本市）

⑪千賀有希子，北村 友佳，王川 香澄，柴木叶，小林 渉，佐藤 翼，成岡 知佳，北沢俊幸，李盛源，白木洋平，谷津干潟におけるグリーンタイドと微生物活性，日本陸水学会，2017，駒ケ岳グランドホテル（秋田県・仙北市）

⑫佐藤翼，諏訪裕一，黒岩恵，千賀有希子，谷津干潟堆積物における脱窒とアナモックスの集積培養，日本陸水学会，2017，駒ケ岳グランドホテル（秋田県・仙北市）

⑬成岡知佳，千賀有希子，腐植栄養湖赤沼における水系腐植物質動態に微生物が与える影響，日本陸水学会，2017，駒ケ岳グランドホテル（秋田県・仙北市）

⑭鏡味麻衣子, 千賀有希子, Jason Woodhouse, Christian Wurzbacher，Hans-Peter Grossart，珪藻寄生性菌類がバクテリア群集構造およびDOM組成に与える影響, 日本陸水学会, 2017, 駒ケ岳グランドホテル（秋田県・仙北市）

⑮Senga Y, Naruoka C, Nohara S, Microbial function and chemical properties through a wetland soil depth profiles, ASLO 2017 Aquatic Sciences Meeting, 2017, Hawaii Convention Center (Honolulu, Hawaii)

⑯Naruoka C, Senga Y, Tracing the information of aquatic humic substances in bog water using EEM-PARAFAC, ASLO 2017 Aquatic Sciences Meeting, 2017, Hawaii Convention Center (Honolulu, Hawaii)

⑰中嶋雄吾，白木洋平，李盛源，千葉県谷津干潟における水質の日変化に関する研究，国際ICT利用研究学会，2017，ユマニテク短期大学（三重県・四日市市）

⑱大石悠平，白木洋平，高分解能衛星を活用したアオサ分布の年変化，国際ICT利用研究学会，2017，ユマニテク短期大学（三重県・四日市市）

⑲白木洋平, 北沢俊幸, 李盛源, 千賀有希子, 空撮用気球と植生指標カメラを利用したホソウミニナ分布の把握手法の提案　–千葉県谷津干潟を例として–，環境科学会，2017，北九州国際会議場（福岡県・北九州市）

⑳白木洋平，大石悠平，高空間分解能衛星を用いたアオサ分布の判読に関する一考察 -千葉県谷津干潟を例として-，国際ICT利用研究研究会，2018，立正大学（東京都・品川区）

〔図書〕（計　１件）

千賀 有希子 他，共立出版，陸水環境化学，2017, p.148

〔産業財産権〕

○出願状況（計　０件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計　０件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

６．研究組織

(1)研究代表者
白木 洋平　（SHIRAKI YOHEI）
立正大学・地球環境科学部・准教授
研究者番号：80508416

(2)研究分担者
千賀　有希子　（SENGA YUKIKO）
東邦大学・理学部・准教授
研究者番号：30434210

北沢　俊幸　（KITAZAWA TOSHIYUIKI）
立正大学・地球環境科学部・准教授
研究者番号：40516861

李　盛源　（KITAZAWA TOSHIYUIKI）
立正大学・地球環境科学部・専任講師
研究者番号：90466665

(3)連携研究者
（　）

研究者番号：

(4)研究協力者
（　）