

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 4 月 26 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25660148

研究課題名(和文)干潟間隙水の塩分安定化作用およびそれを介した生物間相互作用に関する研究

研究課題名(英文) Relationship between biodiversity and salinity stability of interstitial water in estuarine tidal flats

研究代表者

鬼倉 徳雄(Onikura, Norio)

九州大学・(連合)農学研究科(研究院)・助教

研究者番号：50403936

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：潮の干満に伴って塩分が大きく変動するにもかかわらず、河口干潟にはなぜ多様な生物が生息できるのか。干潟地中と環境水中に塩分ロガーを設置したところ、地中の変動の方が小さく、安定的であり、その現象は、様々な河川で確認された。地中の塩分の変動は干潟底質の粒径が小さいほど小さかった。いくつかの生物種の分布は塩分の安定性で説明できたことから、干潟の生態系観測に地中の塩分観測は必須となるだろう。

研究成果の概要(英文)：We measured water salinity under and on estuarine tidal flat by salinity loggers. The change of salinity under the flat was smaller than that on the flat, indicating stability of interstitial water salinity in estuarine tidal flats. Such salinity stabilities were measured in many river mouths. The changes of interstitial water salinity had significant correlation with sediment particle diameter on tidal flats. In addition, presence/absence of several fish, crab and bivalve species showed significant relationship with salinity stability of interstitial water. Measuring salinity of interstitial water may be essential for future research concerning tidal flat ecosystem.

研究分野：水産学

キーワード：干潟 塩分変動 間隙水 種多様性

1. 研究開始当初の背景

日本国内に現存する干潟の多くは河口域に面している。そして、一般に、河口域は塩分の劇的な変化に伴う環境圧を伴う(楠田・山本, 2008)。その変動で浸透圧条件が不安定なため、多くの生物には過酷な場所であり(Inui et al., 2010)、耐性を持つ一部の生物だけが河口干潟を利用できる(楠田・山本, 2008)と考えられてきた。にもかかわらず、自然下の干潟には豊かな生物群集の生息地があり、様々な生物の産卵場や保育場としての機能を含め、内湾生態系の維持・保全に重要な役割を果たしている(風呂田, 2006)。なぜ、塩分の劇的な変化を伴う過酷な条件下の干潟生態系が高い生物多様性を維持できるのか? 海外の先行報告では、干潟泥中の塩分が環境水塩分に比べて変動が小さいことを示している(Chapman, 1981)。我々は、この「干潟地中の塩分の変動」に着目した。我々は、事前調査で、最干潮時の干潟地中の間隙水塩分が周囲の環境水よりも高いこと、その水は無数に張り巡らされたアナジャコ類などの生息孔から多量に噴出することを確認していた。そこで、我々は、無脊椎動物の生息孔が干潮時の干潟地中の間隙水の塩分変動を和らげ、その結果として、狭塩性の生物を含む多様な生物種に生息環境を提供するという仮説を立てた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、河口干潟の地中塩分の安定性を確認するとともに、無脊椎動物の巣穴内における塩分が環境水よりも安定的なことを現地実測すること、巣穴が塩分安定化に寄与する可能性を探ること、塩分安定化に関するそれ以外の原因を探索すること、そして、塩分安定化が干潟の生物多様性の維持に寄与する可能性を統計的に示すことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 地中塩分安定化作用の確認と再現計算

2013年7月1日から7月25日の間、福岡県奥畑川の河口干潟に導電率ロガー(U24-002-C, Onset社)および水位計(U20-001-01-TI, Onset社)を設置し、塩分と水位の変動を実測した。河川水の滲筋部、干潟直上および地中の3か所に塩分計を、滲筋部に水位計を設置し、環境水では変動し、地中で安定することを確かめた。また、簡易な1次元拡散方程式(下式参照)によるモデルを用いて測定結果の再現計算を行った。

$$\frac{\partial C(t, z)}{\partial t} = k \frac{\partial^2 C(t, z)}{\partial z^2}$$

t: 時刻(s)。

C(t): 時刻 t における間隙水中の塩分(PSU)

z: 干潟表面からの深さ; k: 拡散係数。

(2) 巣穴内塩分の現地実測

2013年7月前半の大潮、小潮の最干潮時に、福岡県奥畑川と一貴山川の河口干潟に2~3地点を設け、無脊椎動物(CR1: コメツキガニ; CR2: チゴガニ; CR3: ハクセンシオマネキ; CR4: ヒメアシハラガニ; CR5: ヤマトオサガニ; MD1: アナジャコ; MD2: ヨコヤアナジャコ; 図2に対応)の巣穴にチューブを挿入して吸引採水し、生物各種の巣内の残留水塩分を測定した。また、その周囲にスコップで穴を掘り、地中間隙水の塩分を測定した。また、それらの作業と同時並行して、河川の底層の環境水の塩分を測定した。そして、それらの塩分を比較した(対応ある一元配置分散分析)。

(3) 干潟地中の塩分安定化作用の普遍性確認

2014年4月から2015年6月にかけて、九州北部地方の様々な河口干潟(16河川)で、河川横断方向に各1つの調査ラインを設けた。そのライン上の滲筋部、干潟地中の2か所に先の導電率ロガーを設置し、約2週間、15分間隔で塩分の連続測定を行った。得られた環境水と間隙水のデータからそれぞれの塩分変動量および平均塩分を算出し、環境水と間隙水間を比較した。

(4) 安定化に寄与する要因の分析

熊本県の1級河川である球磨川および前川の河口域に位置する八代干潟において、32地点の調査地点を設けた。2015年10月13日から26日、および10月27日から11月12日の間、それぞれの地点の地中に先の導電率ロガーを設置し、15分間隔で干潟地中間隙水の塩分の連続測定を行った。得られた塩分のデータを用いて、期間中の塩分の最大値と最小値の差を塩分変動量(S)とした。同年10月26、27日には底質を採取し、ふるい分けて粒度組成を調べ、中央粒径を算出した。また、気象庁の潮位表を参考にして各地点の地盤高を割り出すとともに、2015年10月26~29日に撮影した空撮画像を使って作成したDEMデータを用いて、地盤高データの精度を確認した。最後に、Sを目的変数、中央粒径と地盤高を説明変数として重回帰分析を行った。

(5) 塩分安定化と生物との関連性の解析

先の底質採取時には、手網とスコップを用いた生物相調査を並行して実施した。採捕した生物は10%ホルマリンで固定し、実験室にて種同定を行った。採集された生物のうち、ハゼ類19種、カニ類21種、アナジャコ類4種、エビ類8種、二枚貝類11種の5分類群について、各種の出現/非出現を目的変数、Sとその二乗項をそれぞれ説明変数として一般化線形モデル(GLM)を構築した。モデルの妥当性については、ROC分析を用い、AUCが0.7を超えたもののみを有意なモデルとして採用した。

4. 研究成果

(1) 塩分安定化作用の確認と再現計算結果

澇筋部、干潟直上の塩分は、潮汐（水位）の変化に合わせて大きく変動しているにもかかわらず、地中の塩分は30PSU程度で安定していた（図1）。また、直上の変動に比べて、およそ2倍の周期で変化していた。境界条件として、 $C(t, 0)$ に干潟上塩分の実測値、 $C(t, 1)=30$ 、 $k=2.5 \times 10^{-9}(\text{m}^2/\text{s})$ 、初期条件として $C(0, z)=30$ を用いた。計算値は実測値より10PSUほど低い値となった。実測値が計算値よりも高い値をとったということは、塩分を高め安定化させる何らかの作用があることを示している。

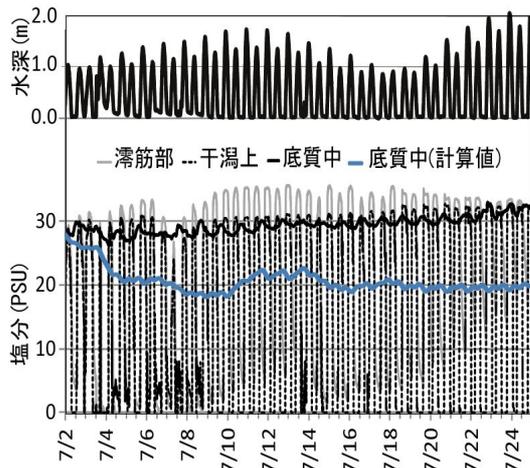


図1 奥畑川河口部における塩分・推移の実測地および再現計算結果

(2) 巣穴内残留水と地中間隙水の塩分比較

奥畑川では、大潮時の調査で、カニ類5種（CR1-5）とアナジャコ類2種（MS1-2）の巣穴内残留水の採水に成功した（図2）。これらの塩分は、澇筋部の環境水塩分が5PSU未満の時でも高い塩分を保持しており、一見、無脊椎動物の巣穴が干潟の地中間隙水の塩分安定化に寄与しているように見えた。しかしながら、同時に採水した地中の間隙水の約半数は、巣穴残留水より高い塩分を示し、その最大値は9PSUを示した（CR5）。また、無脊椎動物の巣穴がほとんど確認されない場所でも間隙水は高い塩分を保持していた（生物なし）。この結果は、巣穴による塩分保持機能以外に地中の塩分を安定化させる作用が存在する可能性を示している。統計的には、地中間隙水と環境水間、巣穴残留水と環境水間に有意な差が認められ、地中間隙水と巣穴残留水間に有意差は認められなかった。なお、小潮時でも同様の傾向を示し、また、一貴山川でも同様となった。

(3) 地中間隙水塩分の安定化の普遍性

様々な環境特性を持つ16河川の河口干潟において、環境水と間隙水の塩分変動には有意な相違が認められ（Wilcoxonの符号検定）、

間隙水の方が有意に小さかった。この結果は、河口干潟の地中間隙水の塩分が環境水に比べて安定的である現象が、普遍的に起こっている可能性を示している。

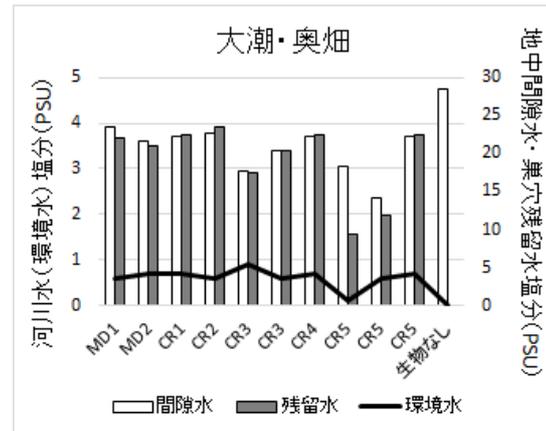


図2 奥畑川河口部（大潮時）における干潟地中間隙水、無脊椎動物巣穴内残留水および環境水の塩分

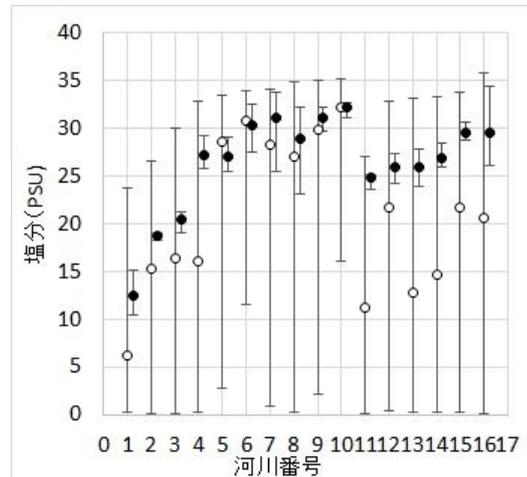


図3 16河川の環境水と間隙水の平均塩分と変動幅（●：環境水、○：間隙水）。1-10は日本海側に流入する河川、11-16は瀬戸内海側に流入する河川。(1)唐原川(2)瑞梅寺川(3)祓川(4)多々良川(5)雷山川(6)長峡川(7)上ノ河内川(8)朽網川(9)室見川(10)城根川(11)大根川(12)汐入川(13)西郷川(14)桜井川(15)釣川(16)奥畑川

(4) 地中塩分安定化に寄与する環境要因

重回帰分析の結果、 S は中央粒径値を有意な正の変数として選択した。この結果は、底質の粒径が大きいほど塩分が変動しやすく、底質が細かいほど塩分が安定することを示している。底質の粒径は、干潟地中で塩分を高め安定化させる作用の一因であると考察される。粒径が大きい干潟は、透水性が高く、環境水が干潟の間隙に侵入しやすいた

めと考えられる。

(5)塩分安定化と生物分布

GLMの結果、ハゼ類7種、カニ類4種、アナジャコ類1種、テッポウエビ類2種、ニ枚貝類1種がSを有意な説明変数として選択した(表1)。Sの増加に伴って出現確率が増加する種が3種、減少する種が6種、凸型を示す種が6種であった。これらの結果は、塩分の変動量の選好性が種によって異なり、一見、塩分が安定的な場を好む種と不安定な場を好む種が存在するように見える。しかしながら、環境水側の塩分変動量は、最小でも9.6、最大で24.7であり、環境水に比べてはるかに変動量が小さい地中塩分の変動範囲内の生物の応答である。Sの増加に伴って出現確率が減少する種は極めて安定的な環境を好む種、凸型を示す種はやや安定的な変分環境を好む種と考えられる。そして、Sの増加に伴って出現確率が増加する種は、高い変動を好むというよりは塩分変動に比較的体制を持つ種、もしくは地中をあまり利用しない種であると考えのが妥当であろう。絶滅危惧種のチワラスボやタビラクチで塩分の安定化の寄与が確認できたことから、安定化したエリアの方が不安定な場よりも潜在的には希少種を含めた生物多様性に貢献しているのかもしれない。また、共生関係に着目したとき、エドハゼ(G4)を除くと、テッポウエビ類(PS1-2)の巣穴を利用するタビラクチ(G1)とツマグロスジハゼ(G2)、

表1.一般化線形モデルが構築された種と塩分変動に対する各種の応答

科	種	応答曲線
ハゼ	エドハゼ	正
ハゼ	タビラクチ	負
ハゼ	チワラスボ	負
ハゼ	ツマグロスジハゼ	負
ハゼ	ニクハゼ	凸
ハゼ	ヒメハゼ	凸
ハゼ	マハゼ	凸
スナガニ	オサガニ	正
スナガニ	コメツキガニ	正
スナガニ	ムツハリアケガニ	負
モクズガニ	トリウミアカイソモドキ	凸
アナジャコ	ヨコヤアナジャコ	凸
テッポウエビ	ハシボソテッポウエビ	負
テッポウエビ	マングローブテッポウエビ	負
マルスダレガイ	アサリ	凸

アナジャコ類(MS1)の巣穴を利用するトリウミアカイソモドキ(CR1)とニクハゼ(G3)が宿主と極めて類似した選好性を示していた(図4)。

5.まとめ

河口干潟の環境水の塩分は潮汐に応じて大きく変動する一方、地中間隙水の塩分がいずれの河川においても安定的であることが

証明された。当初想定した塩分の安定化に対する無脊椎動物の巣穴の寄与は明瞭化できなかったものの、その安定化に底質の粒径が深く関与することが明らかとなった。本研究で確認されたこれらの物理現象は、広く一般に河口域で発生する事象であろう。

生物については、地中の塩分変動に対しては様々な応答を示したが、干潟の中での環境利用の相違に関連性を持つものと考えられ、今後、さらなる研究を進める必要があるだろう。また、生物間相互作用を通して種を維持する共生種と宿主との関係性を、塩分変動幅というこれまで使われてこなかった環境変数で示すことができた。それ故に、干潟生態系にみられる多様な生物とそれらの相互作用を解き明かすために、今後の干潟での調査には、塩分の安定性に関する観測は必須となるだろう。

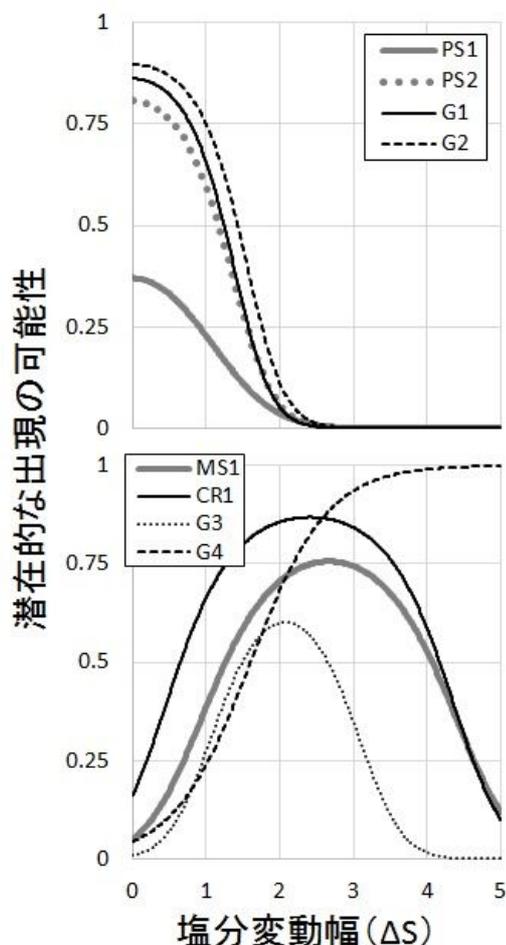


図4 塩分変動に対する各種の出現に関する応答曲線。共生関係が知られている種間、可能性が示唆されている種のみ描写した(PS1:ハシボソテッポウエビ; PS2:マングローブテッポウエビ; G1:タビラクチ; G2:ツマグロスジハゼ; MS1:ヨコヤアナジャコ; CR1:トリウミアカイソモドキ; G3:ニクハゼ; G4:エドハゼ)。

<引用文献>

楠田哲也・山本晃一(2008)河川汽水域～その環境特性と生態系の保全・再生～,技報堂出版,東京

Inui R, Onikura N, Kawagishi M, Nakatani M, Tomiyama Y, Oikawa S (2010) Selection of spawning habitat by several gobiid fishes in the subtidal zone of a small temperate estuary. Fisheries Science 76:83-91.

風呂田利夫(2006)干潟底生動物の種多様性とその保全. 地球環境 11:183-190.

Chapman P (1981) Measurements of the short-term stability of interstitial salinities in subtidal estuarine sediments. Estuarine, Coastal and Shelf Science 12:67-81.

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1件)

Koyama A, Inui R, Iyooka H, Akamatsu Y, Onikura N, Habitat suitability of eight threatened gobies inhabiting tidal flats in temperate estuaries: model developments in the estuary of the Kuma River in Kyushu Island, Japan, Ichthyological Research, DOI 10.1007/s10228-015-0490-7

伊豫岡宏樹, 浜田晃規, 渡辺亮一, 山崎惟義, UAV-SfM (Unmanned Aerial Vehicle - Structure from Motion) による地形モデルの干潟ハビタット評価への適用, 土木学会論文集 G (環境), 71, 2015, 131-136

[学会発表](計7件)

小山彰彦・乾隆帝・鬼倉徳雄, 汽水域に生息するカニ類の種多様性は河川の流域特性に左右されるのか?, 日本生態学会, 2016年3月, 仙台市国際センター

松永誠弥・小山彰彦・伊豫岡宏樹・鬼倉徳雄, 河口干潟の間隙水塩分・水温の安定化と生物多様性, 日本水環境学会九州支部発表会, 2016年2月, 佐賀大学

小山彰彦・乾隆帝・鬼倉徳雄, 河川流域の環境特性でカニ類の分布は説明できるのか?, 日本ベントス学会・プランクトン学会合同大会, 2015年9月, 熊本県立大

伊豫岡宏樹・浜田晃規・渡辺亮一・山崎惟義, UAV-SfM 手法を用いた干潟地形変化の把握, 土木学会第70回年次学術講演会, 2015年9月, 岡山大学

伊豫岡宏樹・浜田晃規・山崎惟義・渡辺亮一, 低空航空写真を用いたハビタットの把握手法に関する研究, 土木学会西部支部発表会, 2015年3月, 琉球大学

伊豫岡宏樹・浜田晃規・山崎惟義・渡辺亮一, 低空航空写真を用いた生物生息環境の評価, 日本水環境学会九州支部発表会, 2015年2月, 鹿児島高専

伊豫岡宏樹・浜田晃規・山崎惟義・渡辺亮一, 中高度航空写真と SfM を用いた河川

ハビタットの把握手法に関する研究, 応用生態工学会, 2014年9月, 首都大学東京
伊豫岡宏樹・乾隆帝・鬼倉徳雄, 干潟間隙水中の塩分変動の現地実測, 日本水環境学会九州支部発表会, 2014年3月, 鹿児島高専

[図書](計0件)

[産業財産権]

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

[その他]

該当なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

鬼倉 徳雄 (ONIKURA, Norio)

九州大学・大学院農学研究院・助教

研究者番号: 50403936

(2)研究分担者

伊豫岡 宏樹 (IYOOKA, Hiroki)

福岡大学・工学部・助教

研究者番号: 40432869

(3)連携研究者

なし