

機関番号：18001

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21860066

研究課題名（和文）

底質性状の動的平衡性の解析に基づく亜熱帯島嶼沿岸域の生態系管理目標の提案

研究課題名（英文）

Dynamic equilibrium of coastal sediment properties: analyses and application for coastal ecosystem management in subtropical islands

研究代表者

坂巻隆史 (SAKAMAKI TAKASHI)

琉球大学・亜熱帯島嶼科学超域研究推進機構・特命准教授

研究者番号：60542074

研究成果の概要（和文）：亜熱帯島嶼の沿岸域を対象に、底質の物理・化学的性状とその時空間変動を支配する水理環境との関係を統計的に把握した。特に、流速 - 底質性状の関係における非線形性については底質の粘着性が影響しているものと考えられた。さらに、沖縄本島の複数河口域での調査から、底質性状に及ぼす流域環境の影響を明らかにした。これらの結果から、沿岸域生態系の管理において考慮すべき要点を底質性状の安定的維持という視点から提示した。

研究成果の概要（英文）：We examined relationships between hydrodynamic conditions and sediment properties in subtropical, coastal soft-bottom habitats, and further proposed a mechanistic model for physical processes responsible for non-linearity of the relationships. We also found that coastal sediment properties reflect watershed environment in estuarine sites at which depositional processes dominantly control sediment properties. Based on our findings, we propose a guideline listing points which managers should take account of to properly manage coastal soft-bottom habitats.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,080,000	324,000	1,404,000
2010 年度	980,000	294,000	1,274,000
総計	2,060,000	618,000	2,678,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：干潟、堆積物、同位体分析、水理環境、ベントス

## 1. 研究開始当初の背景

亜熱帯島嶼の沿岸域生態系は、サンゴ礁、マングローブ、干潟、藻場など高い生物生産性と多様性を有した特徴的なサブシステムを包含する。しかし、亜熱帯島嶼に限らず世界各地の沿岸域生態系の多くが、陸域での開発とともに増大する土砂流入と底質の細粒化により大きなダメージを受けている(Thrush他 2004)。

干潟・浅海域では、底質の粒度や有機物含有量が生物相を左右する重要因子であることは広く知られている。一方で近年、筆者らの研究から、長期にわたり生物相が安定的に維持されるような干潟生態系においても、その底質性状（粒度、有機物含有量等）は水理環境の変動に伴い常に変動し続けながら一定幅に収まるいわゆる動的平衡の状態にあることが明らかとなっている

(幸福・坂巻他 2005; Sakamaki & Nishimura 2006)。また、そのようなプロセスは主に水理環境の時間変化にともなう底質の巻き上げ頻度・周期に大きく依存し、その違いによって異なる性状（有機物含有量、粒度など）を有した底質が形成される(Sakamaki & Nishimura 2007; 坂巻・西村 2008)。

底質への細粒懸濁物の堆積にともなう急激な生物相劣化は、多くの研究によって示されている(例えば、Norkko 他 2002; Lohrer 他 2004; Sakamaki & Nishimura 2009)。しかし、生態系の動的平衡性や非線形挙動の観測とモデル化は進んでおらず、現行の生態系管理に大きな不確実性をもたらしめている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は以下の4点である。

- 1) 沿岸域のフィールドにおいて底質性状と水理環境の関係を統計的に明らかにする。
- 2) 底質性状と水理環境の関係における非線形的関係をもたらし機構を解明する。
- 3) 河口域底質の底質性状に及ぼす流域環境の影響を明らかにする。
- 4) 上述の知見をふまえ沿岸域生態系を管理するうえで底質性状の安定的維持の視点から考慮すべき要点を具体化する。

## 3. 研究の方法

### 調査1：直上流速と底質含泥率の関係

沖縄県大浦川河口の干潟域において、底質含泥率が異なる35地点（砂質～泥質）を調査した（2009年6月22日～10月2日に22地点、2010年7月9日～9月24日間には13地点）。メモリー式2次元電磁流向流速計を4地点に設置し底質直上5cmの流速を2週間測定した（1Hzで30秒間、10分バースト）。流速計は2週間ごとに調査地点間で移設して測定を繰り返した。また各地点では、2週間の流速測定終了時、表層1cmの底質3サンプルを採取し含泥率（63μm以下粒径画分）を測定した。

### 調査2：<sup>210</sup>Pbによる砂分堆積速度の推定

大浦川河口で比較的高い含泥率の領域内にある地点で、砂分の堆積速度を把握するために放射性同位体鉛-210（<sup>210</sup>Pb）の測定を行った。2010年4月3日（大潮）の干潮時に、砂

泥質の1地点（B地点）と泥質域内にある2地点を選定し（D・S地点）の各地点でコアサンプラー（φ12cm×60cm）による底質サンプルの採取を行った。B・D・S地点で、それぞれ深さ方向に48cm、35cm、40cmの底質コアを採取した。採取した底質サンプルは1cm間隔で分割して、ふるい分けされた125μm～250μmの粒度画分に対して<sup>210</sup>Pbの測定を行った。ゲルマニウム半導体検出器によりγ線測定を行いサンプル中の<sup>210</sup>Pb（46.5keV）、<sup>214</sup>Pb（352keV）の放射能をそれぞれ定量した（単位 Bq/g）。底質中に含まれる<sup>226</sup>Ra（放射平衡時には<sup>238</sup>Uや<sup>214</sup>Pbの放射能と同等）に由来する放射能の寄与を差し引き過剰鉛（<sup>210ex</sup>Pb）として解析した。

### 実験1：底質粘着力に及ぼす含泥率の影響

大浦川河口に位置する干潟内で、ふるい分けにより細粒画分（63μm以下）および粗粒画分（250～750μm）の採取を行い、それらを用いて異なる含泥率の底質を人工的に作製した（含泥率は0%、0.5%、1%、1.5%、3%、5%、7.5%、10%、12.5%、15%、20%、30%）。それらを塩ビ製の円筒形容器（φ11cm×6.5cm）に詰め、海水中でばっ気しながら馴養した。開始から6～8日目と20～22日目の計6日間は6時間海水を抜き干出状態を再現した。そして馴養開始から6日後、13日後、28日後の計3回、海水で間隙水が満たされた状態でペーンせん断試験を行った。

### 調査3：河口底質性状と流域環境の関係

沖縄本島16流域の河口に位置する干潟を

表1 調査3における測定項目

測定項目	rw	gw	rg	bg
全リン(TP)	○	○	-	-
全炭素(TC)	-	-	○	○
全窒素(TN)	○	○	○	○
リン酸態(PO4)	○	○	-	-
溶存無機態リン(DIP)	○	○	-	-
硝酸態窒素(NO3)	○	○	-	-
亜硝酸態窒素(NO2)	○	○	-	-
アンモニア態窒素(NH4)	○	○	-	-
溶存有機態窒素(DON)	○	○	-	-
溶存無機態窒素(DIN)	○	○	-	-
窒素安定同位体比(δ <sup>15</sup> N)	-	-	○	○
炭素安定同位体比(δ <sup>13</sup> C)	-	-	○	○
炭素/窒素比(C/N)	-	-	○	○
pH	○	○	-	-
酸化還元電位(Eh)	-	○	-	-
含泥率(mcr)	-	-	-	○
含水率(wcr)	-	-	-	○
粘着性(v)	-	-	-	○
塩分(salt)	○	○	-	-

rw:河川水、gw:干潟底質中間隙水、  
rg:河川水中懸濁態粒子、  
bg:干潟底質粒子

対象に底質サンプリングを実施した。調査対象河口は、沖縄本島内で東西南北にできるだけ均等に分布するよう設定した。各河口につき3地点を設けて干潮時に底質を採取し、さらに河口に流入する河川水の採取を行った。干潟底質の採取は、直径約10.5cm、深さ約7cmのコアサンプラーで行った。分析項目は表1の通りである。そして、得られたデータから変数の組み合わせを変えて複数の主成分分析を行った。

#### 4. 研究成果

##### <調査・実験結果>

**調査1**：各種の底質直上流速の分布に関する統計値と底質含泥率の間には負の関係がみられた。特に、流速15cm/s以上の観測頻度と底質含泥率は、明確に非線形的な負の関係にあった(図2)。観測頻度が0.15以下の地点ではそれ以上の地点に比べ含泥率が顕著に高く、さらに含泥率が10~45%の間で大きくばらついた。

**調査2**：各地点とも底質深さ方向への粗粒画分中 $^{210\text{ex}}\text{Pb}$ 量に多少ばらつきはあるが、全体的にはD地点で最も多く(0.054±0.015Bq/g)、続いてS地点(0.024±0.010Bq/g)、B地点(0.019±0.005)となった(図3)。各地点とも粗粒画分中の $^{210\text{ex}}\text{Pb}$ は底質深さ方向へ減少する傾向が見られ、D地点では深さ11cmで急激な減少傾向が見られた。B、D、S地点の砂分の堆積速度は、それぞれ2.1、11.1、2.3cm/年と推定された。

**実験1**：せん断抵抗は、含泥率3%ではほぼ0に近く、5%で急激に大きくなり10%および12.5%で最も大きく15%以上ではやや小さくなった(図4)。

**調査3**：干潟底質データを用いた主成分分析では、汚濁した河川水質等に強い影響を受けていると考えられる河口(stn.10)、森林起源有機物の堆積が示唆された河口(stn.29)など、流域環境とリンクする河口がいくつか存在した(図5)。一方では、河川や流域環境では底質の化学的特性を説明できない河口も存在した。

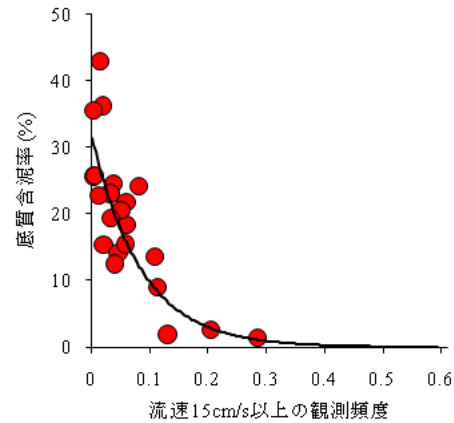


図2 調査1における底質含泥率と流速15cm/s以上の観測頻度の関係

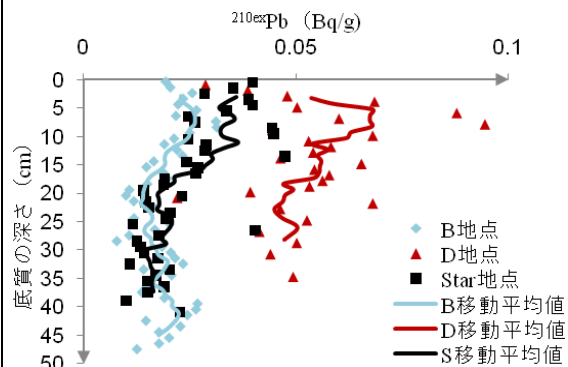


図3 3地点における底質深さへの単位底質重量当たりの $^{210\text{ex}}\text{Pb}$ 放射能の変化

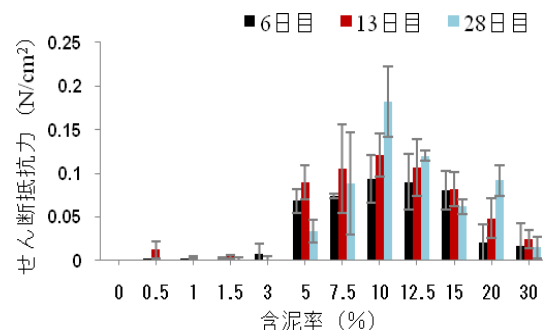


図4 室内実験における底質の粘着力と含泥率の関係

##### <考察>

**底質性状に及ぼす水理環境の影響**：流速15cm/s以上の発生頻度と底質含泥率の有意な関係から調査対象領域においては巻き上げや沈降といった物理的なプロセスが含泥率を支配していると判断できる。本調査より流速15cm/sの観測頻度と含泥率の間に明確な負の関係が見られたのは、底質の巻き上げりと細粒画分の洗い流しに伴う含泥率の低下が頻繁に起こるか否かで各地点の含泥率

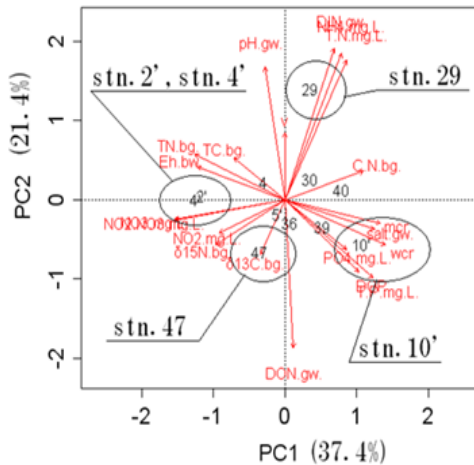


図5 干潟底質データに関する主成分分析

が支配的に決定されていたためと考えられる。

**砂泥質・泥質域における砂分の堆積速度：**D地点では底質深さ方向へ11cmで急激に砂分（粗粒画分）の $^{210}\text{exPb}$ が減少し階段状になっていた。これは過去に平水時で堆積した砂分中の $^{210}\text{exPb}$ が減少していたところに出水等によって新たな砂分が大量に堆積したため、 $^{210}\text{exPb}$ が急激に変化したと考えられる。D地点の底質形成は出水等による砂分の大量流入の影響を強く受けていると推察される。B・S地点では砂分の $^{210}\text{exPb}$ は底質の深さ方向へ減少傾向を示し大きな変化が見られないことから、底質形成に出水等による短期的な大量の砂分流入の影響は受けていなかったと考えられる。B地点では、砂分の $^{210}\text{exPb}$ 量が最も低く、深さ方向へのばらつきも小さかったことから過去に大きな出水等によって50cm以上の底質が一気に流入したことも考えられる。同じ泥質域内（D・S地点）であっても砂分の堆積速度が異なることから調査1でみられた流速頻度と含泥率の関係における高含泥率領域内のばらつきは、出水等による砂分の流入量および頻度の違いによるものと推察される。

**干潟底質形成に及ぼす粘着力の影響：**実験1の結果から含泥率3~5%は粘着力が底質に影響を及ぼす遷移域であると考えられる。またせん断抵抗力が含泥率10%および12.5%で最も大きくせん断抵抗力を高める粗粒分と細粒分の混合割合が存在すると考えられる。室内実験から含泥率が5%でせん断抵抗

力が急激に大きくなり10%および12.5%で最も大きくなったことから、調査1の含泥率と流速頻度の関係で流速頻度が0.33（含泥率5%~13%）の地点で急激な含泥率の上昇がみられたのは底質巻き上がりに対する抵抗力（粘着力）が生じたためと推察される。

**3つの底質形成パターン：**本研究の調査・実験の結果から、含泥率の違いによって底質形成を決める因子が異なり、おもに砂質・砂泥質・泥質のそれぞれに対して3つの底質形成パターンが存在するものと考えられる。砂質では、流れに大きく影響を受け底質の巻き上がりおよび洗い流しが含泥率を支配していると考えられる。一方、砂泥質では、締め固まった底質が形成され新たな粒子の堆積が妨げられて、泥質よりも底質が古くから形成されていると考えられる。これより、砂泥質では水理環境と底質粘着力の2つに底質含泥率は支配されていると考えられた。泥質では流れが小さいことから、底質攪乱の影響をほぼ受けないと考えられる。そのため基本的には粒子の沈降が促進され高含泥率が維持されているが、砂分の堆積速度の違いによって含泥率大きく異なっているものと考えられた。さらに調査3においても、含泥率の比較的高いすなわち泥質の場で流域環境がより強く反映される傾向がみられ、泥質の底質性状は流入物の組成に強く支配されていることが示唆される。

**沿岸域生態系管理への応用：**以上の結果より、沿岸域生態系保全のための底質性状の適正管理に向けては、特に以下の点について配慮が必要である。

- 1) 底質含泥率によって形成過程は異なり、底質含泥率が水理環境のみに支配される場（砂質）、水理環境および底質粘着力の2つに決定される場（砂泥質）、沈降粒子の組成の場（泥質）と3つの堆積形態が存在する。干潟生態系の保全再生では、それぞれの異なる底質形成パターンを念頭に置いて、底質性状の適正な管理を目指す必要がある。
- 2) 流速15cm/s以上の発生頻度は、底質性状（特に含泥率）を予測するのに有効な指標になると考えられる。しかし、その一般性については更なる検証が必要である。

- 3) 含泥率の急激な上昇/低下をもたらす流速の閾値（本研究では流速 15cm/s 以上の発生頻度 0.15）は、干潟生態系保全のための底質性状および底生生物相の安定的維持を目指すうえで、考慮されるべき重要な指標値になると考えられる。
- 4) 流速が小さく堆積過程が卓越する泥質の場では、局所スケールでの水理環境だけではなくより大きな空間スケールも視野において流域環境の底質性状への影響を加味し、生態系管理がなされる必要がある。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 4 件）

- ①宮平謙、坂巻隆史（印刷中）水理観測と同位体分析に基づく干潟底質細粒画分の動態解析—沖縄県大浦川河口における事例—、*土木学会論文集 G*（査読有）
- ②坂巻隆史（2011）河口干潟における河川由来有機物の動態と底生動物による利用、*日本生態学会誌*、61: 63-69.（査読有）
- ③T. Sakamaki, J. Y. T. Shum and J. S. Richardson（2010）Watershed effects on chemical properties of sediment and primary consumption in estuarine tidal flats: importance of watershed size and food selectivity by macrobenthos. *Ecosystems*, 13: 328-337.（査読有）
- ④坂巻隆史、西村修（2009）浅海域における有機物フローに関わる物理・化学過程、*沿岸海洋研究*、47: 11-18.（査読有）

〔学会発表〕（計 2 件）

- ①宮平謙、坂巻隆史：同位体分析に基づく干潟底質細粒画分の動態解析。土木学会第 65 回年次学術講演会（北海道大学、2010 年 9 月 1 日）
- ②坂巻隆史：河口域における河川由来有機物の流入と底生動物による利用。日本生態学会第 57 回大会（東京大学、2010 年 3 月 18 日）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

坂巻 隆史（SAKAMAKI TAKASHI）

琉球大学・亜熱帯島嶼科学超域研究推進機構・特命准教授

研究者番号：60542074