

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：31308

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00650

研究課題名(和文) 東日本大震災により攪乱を受けた藻場・干潟生態系の回復過程と流域圏からの負荷の評価

研究課題名(英文) Impacts of the Great East Japan Earthquake on *Zostera* bed and intertidal flat habitat in Miyagi Prefecture.

研究代表者

玉置 仁 (Tamaki, Hitoshi)

石巻専修大学・理工学部・教授

研究者番号：30364417

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：震災によりアマモ類が大幅に減少した牡鹿半島東岸の藻場では、その後の4.5～6.5年程度の経過で、タチアマモが震災前の水準まで回復したことが明らかとなった。アマモに関しては未だ減少した状態であり、その原因として、震災による地盤高低下と河川からの濁質流入による水中光量低下の影響が推察された。

松島湾東部海域の干潟については、震災後にシルト分増加と底質の汚濁化が認められ、これらによりアサリの生育が阻害されていることが推定された。干潟底質中のシルト分の起源を調べたところ、堤防建設に伴う微細な土砂の干潟への一部流入、ならびに湾口・湾外から流入してきた現地性由来の沈降物集積の影響が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

東日本大震災のような大規模な攪乱によって、藻場・干潟生態系はどのようなダメージを受け、その後、どう変化したのかについての一端を、本研究により明らかにすることができた。また調査対象とした両地点ともに、周辺域から流入してきた微細な土砂が、水中光量の低下など、これら生態系の回復過程に影響をもたらしたことも示唆することができた。さらに底質中の金属組成比と安定同位体比との併用による、シルト分の起源解析手法の高度化に向けたプラットフォームを得ることができた。

研究成果の概要(英文)：Zostera habitats (*Zostera marina* and *Zostera caulescens*) in the Oshika Peninsula dramatically decreased by the Great East Japan Earthquake of 2011. *Z. caulescens* habitat recovered in 4.5 - 6.5 years after the earthquake. On the other hand, the density of *Z. marina* remained at relatively low levels after the event. The low underwater light intensity due to the land subsidence and the discharged turbidity from the river after the earthquake were likely the factors responsible for the sparse density in *Z. marina*.

After the earthquake, increase in silt content and the eutrophication of sediment at the tidal flat were occurred in Matsushima bay. The settlements of *Ruditapes philippinarum* larvae were considered to be inhibited by the increase of the silt content of the sediment after the earthquake. Our results suggested that the silt content of sediment was influenced by the fine sediment discharged from coastal construction sites or transportations from the offshore side of the bay.

研究分野：環境生態工学

キーワード：東日本大震災 藻場 干潟 流域圏 起源解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

藻場や干潟は、自然的攪乱を受けたとしても、自己修復能力が働き、その環境に適応した生態系に再構築されることが知られている。しかし、東日本大震災の地震と津波のような大きな攪乱を受けたこれらの生態系が、その後どこまで回復しうるのか、さらにはそれを自律的に回復させるためにはどうすればよいのか、全く未検討の領域である。また沿岸環境も安定しておらず、震災から1年以上経過した後再び底質中のシルト分増加などの環境変化が複数の藻場・干潟で確認されている。これらの変化が何によって起きたのか、また復旧過程にあるが、津波の攪乱を受けた流域圏からは多量の微細な土壌粒子の流入が観察されており、これらの影響についても危惧されるが、その現状に関しては不明であった。

2. 研究の目的

東日本大震災から5年が経過したが、藻場・干潟は震災前の状態には未だ回復しておらず、また沿岸環境も変化し続けている。そこで攪乱を受けたこれらの生態系の回復過程と、及び地震・津波と流域圏からの負荷が震災後の沿岸環境の変化に及ぼした影響の解明を目的として、下記の3点を検討した。

地震と津波により攪乱を受けた藻場・干潟は、今後、どのような中長期的な回復過程をとるのか？

震災後、三陸の沿岸環境はどのように変化したのか？ またその変化は地震・津波に起因した地形変化等の影響によるものなのか、それとも震災により攪乱を受けた流域圏からの負荷によるものか？

攪乱を受けた藻場・干潟の回復をコントロールする主要なメカニズム(環境因子)は何か？

3. 研究の方法

地震と津波により攪乱を受けた三陸沿岸の藻場・干潟の東日本大震災からの中長期的な回復過程とその機構を踏査により検討した。調査対象として、宮城県石巻沿岸のアマモ類藻場(牡鹿半島東岸)・干潟(松島湾東部海域)とその後背地を含む流域圏を選定した。なお、いずれの藻場・干潟も今まで調査研究対象としており、震災前後における生物・環境データを有することを追記する。

(1)アマモ類藻場調査

2017年～2019年にかけて、既往の調査で設置していた測線を対象として、海草類ごとの生物量を潜水により測定した。また深浅測量により水深の変化を計測した。さらに底質の粒度組成、硫化物濃度、水中光量などの環境特性を把握し、震災前後の状態とを比較・検討した。なお後背地では、津波により山林が荒れてしまい、流域圏から河川を通しての微細な土壌粒子の流入が2016年時に観察されていた。そこで濁度計等により、濁質河川水の湾内への広がりを推定し、水中光量減少に及ぼす濁水流入の影響を検討した。

(2)干潟調査

2017年～2019年にかけて、深浅測量により、干潟の水深と地形勾配の変化を検討した。また底質の粒度組成、有機物含有量、硫化物濃度等の物理化学的特性を評価した。さらにマクロベントスの生物量を計測し、これら取得されたデータと震災前後の状態とを比較・検討した。また干潟にアサリを移植し、その生育状況と環境変動との関係を調査した。

地震・津波の攪乱を受けた本干潟では、震災後に底質中のシルト分の増減が観測され、これを起因とした環境変動がアサリの生育を制限、もしくは促進したことが推定されている(後述)。そこでこのシルト分の由来を明らかにするために、2015年から2017年にかけて採取された干潟等試料を用いて、炭素安定同位体比と金属組成比による底質の起源解析を行った。なお2017年時については、干潟等底質の他に、湾外・湾口から干潟にかけて設置されたセジメントトラップの捕集物についても起源解析試料として採取し、分析に供した。

4. 研究成果

(1)牡鹿半島東岸にあるアマモ類藻場

地震とそれに伴い発生した津波により草体が流出し、湾内のアマモとタチアマモ群落が大幅に減少していた(図1)¹⁾。震災前と震災後(2012年7月)とのアマモ類の分布域を比較したところ、地震と津波によりその面積が9割以上減少したことが明らかとなった。次に震災前(2004年6月)から2018年11月にかけて、400mの2測線上に出現したアマモとタチアマモの株密度のデータを用いて、2way ANOVAの解析をしたところ、両ラインともに海草種ごとに時間に対する密度変化が有意に異なり($p < 0.1$)、つまりは震災後のアマモとタチアマモの回復状況に違いが見られたことが分かった。そこでDunnnettによる多重比較を行ったところ、一つ目の測線においては2017年8月に、他方の測線では2015年8月以降において、タチアマモの株密度が増加して震災前と同程度になったことが示された(図2; $p > 0.1$)。一方、アマモについては、全ての時期において震災前に比べて有意に減少した状態であった($p < 0.1$)。以上のことから、震災から4.5年～6.5年程度の経過で、複数年にわたりタチアマモの密度分布が震災前の水準まで回復したことが明らかとなった。



図 1 震災後にわずかに残存したタチアマモ (2011年8月)



図 2 群落が回復したタチアマモの様子 (2017年8月)

そこでなぜ震災後のアマモとタチアマモの株密度の増加傾向に差異が見られたのかを考えるにあたり、両海草種の回復状況が異なる地点を選定して、その原因を検討した。本地点に関しては過去にアマモが繁茂していたが、震災後にはタチアマモの優占した場所となる。震災後には水中光量が減少しており($p < 0.05$)、光補償点から見積もられたアマモの生育に必要な日積算光量を下回る頻度が、震災前に比べて3倍程度増加したことが明らかとなった。以上のことから、本地点の残存したアマモが増加しきれない原因として、震災後の水中光量減少の影響が推定された。次にタチアマモについて検討したところ、その生育下限水深付近で計測された日積算光量が震災後の先の地点の光量に比べて有意に低いことが分かった($p < 0.05$)。このことからタチアマモに関しては、低光量下でも生育しうることが示唆され、震災後の水中光量減少下においても、アマモに比べてその後の回復が有利となったことが推定された。

本地点では、1m程度の地盤高の低下が認められていることから、地震・津波による地盤高低下が、震災後の水中光量減少の一因であることが推定された。一方、濁度計測を行ったところ、深所に比べて表層において濁度の上昇が見られたこと、ならびに降雨後に濁度が上昇する傾向を示したことから、本湾にそそぐ河川からの濁質負荷の影響が推察された。さらにこの濁度上昇に伴う日積算光量の低下も確認された($p < 0.05$)。以上のことから、震災後の水中光量減少の要因として、地震・津波による地盤高低下に加えて、河川からの濁質負荷の影響が推察された。本湾の後背地では、地震・津波により山林が荒れてしまい、降雨時に微細な土砂の河川への流入が観察されている。このような流域圏からの濁質負荷が、震災後の湾内の水中光量減少に寄与したのかもしれない。

(1) 松島湾東部海域における干潟

地震・津波の攪乱を受けた本干潟については、震災後のシルト分増加と底質の汚濁化(還元層の発達、一部で硫化物の増加)が確認された。また後背地等の周囲で堤防が建設されたときには、細砂以下の画分の上昇が認められた。アサリ密度に関しては、震災時に低下した後、若干の回復が認められたが、2015年8月以降には減少に転じていた。隣接する干潟と併せて検討したところ、震災後の底質のシルト分増加と汚濁化が、アサリ浮遊幼生の着底阻害、ならびに着底後の翌年以降のアサリの生残を制限していることが推定された。

そこで干潟にアサリ(1~2歳貝)を移植し、環境変動との関係を調べたところ、2018年の冬季に沖合で造成された人工干潟からの砂が流入したせい、同年夏季に底質のシルト分が減少した折には、移植アサリのへい死率が、底質が泥化していた時期に比べて低減し、かつ成長速度の上昇といった生育状況の改善が認められた。また底質中のシルト分の増加に伴う、間隙水中の溶存酸素濃度の減少が見られ、おそらくこれも一因として、震災後のアサリ成貝の生育を阻害していたと考えられた。

このように底質中のシルト分の増減を起因とする環境変動がアサリの生育に影響を及ぼしたことから、このシルト分の由来を明らかにするために、2015年~2017年に採取された試料を用いて、金属組成比と炭素安定同位体比分析による底質の起源解析を行った。

2015年時には、後背地の堤防建設の際に設置された排水口(湾奥部)、ならびに周囲の堤防工事完了後の現場底質から採取されたシルト分の金属組成比が、湾奥にある本干潟の複数の場所の泥分と似かよっていた。またベントス等観測地点を通る2ライン(Line 1 & 2)において、シルト分の由来を検討したところ、両ラインともに観測地点を含む堤防建設に近い場所で採取された表層底質の金属組成比については、上記の工事現場土壌と類似しており、そして $\delta^{13}C$ についても $-23.3 \sim -24.0\%$ と低く、異地性の有機物の堆積を示唆することができた。以上のことから、後背地等の周囲で行われていた堤防建設に伴って、微細な土砂が干潟に一部流入していたことが推察された。

一方、2017年時については、両ラインともに概ね工事現場底質に似た金属組成比を示したが、 $\delta^{13}C$ については、水深のある場所において値が増加する傾向となっており、現地性有機物の集積が推察された。セジメントトラップにより捕集された沈降物の $\delta^{13}C$ が高かったことから、水深のあるところにおいて、その堆積がみられたものと考えられた。これらのことから、基盤高の高いところでは、金属組

成比から工事由来と推察される土壌が残るものの、地盤の低い場所に関しては、現地性由来の有機泥が堆積し始めたものと考えられた。

2017年時の干潟南西側においては、湾口・湾外等のセジメントトラップの捕集物(シルト分)の金属組成比と類似し、 $\delta^{13}C$ が比較的高い底質が多く認められたことから、これらの場所の泥分については、湾口・湾外から流入してきた沈降物による影響が推察された。また湾口部で行われている堤防工事現場から採取された底質とも金属組成比が似ていたことから、工事現場からの微細な土砂も一部混じって干潟に流入している可能性が考えられた。

なお2019年時には、干潟沖合で造成された人工干潟からのびた砂嘴によって、湾央部干潟の南側を流れる海水流動が遮断されたことに伴い、これらの場所における底質中のシルト分の増加を確認している。

以上のことから、地震・津波の攪乱を受けた干潟の震災後の底質環境の変化、特に踏査により明らかとなったアサリの生育に影響を及ぼした底質中のシルト分の増減に関しては、湾口・湾外からの沈降物の堆積に加えて、周囲の沿岸工事を由来とする微細な土砂の干潟への一部流入の影響も寄与したことが推察された。

< 引用文献 >

玉置仁, 村岡大祐. 東日本大震災による藻場・干潟生態系の攪乱とその後の回復過程. 環境技術, 42, 2013, 558-563.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 鈴木まゆみ, 小瀬知洋, 大野正貴, 玉置仁, 川田邦明	4. 巻 42
2. 論文標題 東北沖津波によるかく乱を受けた干潟の回復過程に及ぼす防潮堤工事の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 水環境学会誌	6. 最初と最後の頁 163 ~ 169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2965/jswe.42.163	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 Suzuki Mayumi, Kose Tomohiro, Tamaki Hitoshi, Kawata Kuniaki	4. 巻 16
2. 論文標題 Estimation of 2011 Tohoku-Oki Tsunami Deposit Origins by Cluster Analysis Using Metal Composition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Water and Environment Technology	6. 最初と最後の頁 1 ~ 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2965/jwet.16-079	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 Tamaki Hitoshi, Muraoka Daisuke	4. 巻 47
2. 論文標題 Impact of the Great East Japan Earthquake on the Seaweed (<i>Eisenia bicyclis</i>) Habitat at Oshika Peninsula, Miyagi, Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Advances in Natural and Technological Hazards Research	6. 最初と最後の頁 249 ~ 264
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-58691-5_15	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 -
1. 著者名 仲岡 雅裕, 玉置 仁, 村岡 大祐, 徳岡 誠人, 小松 輝久, 田中 法生	4. 巻 83
2. 論文標題 三陸沿岸域におけるアマモ場の東日本大震災前後の変化	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本水産学会誌	6. 最初と最後の頁 659 ~ 663
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2331/suisan.WA2432-6	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 高橋直也, 玉置仁
2. 発表標題 沿岸工事後の後背の干潟底質中のシルト分の増減が移植アサリの生育に及ぼした影響
3. 学会等名 第22回日本水環境学会シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玉置仁, 高橋直也, 澁谷真人, 小瀬知洋, 坂巻隆史, 村岡大祐
2. 発表標題 東日本大震災により攪乱を受けた松島湾の干潟生態系のその後の変化
3. 学会等名 日本水産学会東北支部大会ミニシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 澁谷真人, 丸山千賀, 鈴木まゆみ, 大野正貴, 小瀬知洋, 川田邦明, 高橋直也, 玉置仁, 坂巻隆史
2. 発表標題 波津々浦湾干潟底質における周辺域からの負荷の堆積挙動
3. 学会等名 第54回日本水環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋直也, 玉置仁, 小瀬知洋, 坂巻隆史
2. 発表標題 攪乱条件下における人工干潟の底生生物相と干潟環境の変化
3. 学会等名 第54回日本水環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋直也、高谷貴之、玉置仁、丸山千賀、小瀬知洋、坂巻隆史
2. 発表標題 沿岸工事の前後におけるアサリの生育と干潟底質・水質環境の変化
3. 学会等名 第53回日本水環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 澁谷真人、関根正也、丸山千賀、鈴木まゆみ、大野正貴、小瀬知洋、川田邦明、玉置仁、坂巻隆史
2. 発表標題 波津々浦湾における干潟底質の粒度組成の変動と湾周辺からの堆積物負荷との関係
3. 学会等名 第53回日本水環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸山千賀、鈴木まゆみ、大野正貴、小瀬知洋、川田邦明、玉置仁、坂巻隆史
2. 発表標題 波津々浦湾干潟における周辺域からの堆積物負荷が干潟底質へ及ぼす影響
3. 学会等名 第53回日本水環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸山千賀、鈴木まゆみ、小瀬知洋、川田邦明、玉置仁、坂巻隆史
2. 発表標題 波津々浦湾干潟の底質環境変化における周辺域からの流入物の寄与
3. 学会等名 第21回日本水環境学会シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Muraoka Daisuke, Tamaki Hitoshi
2. 発表標題 Effects of the Great East Japan Earthquake on the Eisenia bicyclis community at Oshika Peninsula, Miyagi, Japan
3. 学会等名 The JSFS 85th Anniversary-Commemorative International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 丸山千賀, 鈴木まゆみ, 小瀬知洋, 玉置仁, 川田邦明
2. 発表標題 多変量解析による津波浸食後の干潟底質中のシルトの起源
3. 学会等名 第20回日本水環境学会シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 丸山千賀, 半谷睦, 鈴木まゆみ, 小瀬知洋, 川田邦明, 玉置仁, 坂巻隆史
2. 発表標題 東日本大震災により攪乱を受けた干潟における周辺域からのシルトの負荷源
3. 学会等名 第52回日本水環境学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 半谷睦, 丸山千賀, 鈴木まゆみ, 小瀬知洋, 川田邦明, 玉置仁, 坂巻隆史
2. 発表標題 震災後の回復過程における波津々浦湾干潟底質への外洋からの流入物の影響
3. 学会等名 第52回日本水環境学会年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 坂巻隆史、西村修（柳哲雄編著）	4. 発行年 2019年
2. 出版社 公益財団法人国際エメックスセンター	5. 総ページ数 367（内、52-65を担当）
3. 書名 森は海の恋人か，持続可能な沿岸海域実現を目指した沿岸海域管理手法の開発	

〔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	小瀬 知洋 (Kose Tomohiro) (60379823)	新潟薬科大学・応用生命科学部・准教授 (33101)	
研究 分担者	坂巻 隆史 (Sakamaki Takashi) (60542074)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	