

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月10日現在

機関番号：82707

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20360216

研究課題名（和文）干潟生態地盤学の展開による生物適合場の解明と
生物住環境診断チャートの作成研究課題名（英文）Role of geoenvironmental conditions in diverse benthos activity and
the ecohabitat chart based on ecological geotechnics

研究代表者

佐々 真志（SASSA SHINJI）

独立行政法人 港湾空港技術研究所 地盤研究領域 動土質研究チームリーダー

研究者番号：10392979

研究成果の概要（和文）：

多種多様な干潟底生生物の住活動と土砂物理環境の関わりを研究代表者らが開拓した生態地盤学手法の展開によって系統的に明らかにし、生物適合場の解明と住み分け行動の検証を通じて、生態保全・再生策の立案に直接活用しうる生物住環境診断チャートを作成した。そして、各地の自然・造成干潟における土砂環境／底生生物分布の一体調査と一連の室内試験および分析の結果に基づき、これまで未解明に留まっていた多種多様な干潟底生生物の生息分布と住み分けの実態が、同チャートときわめて良く整合していることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

By utilizing our new approach in Ecological Geotechnics, we performed a comprehensive set of field observations and surveys as well as six series of controlled laboratory experiments of benthos-soil systems in order to investigate the responses of six species of invertebrates that belonged to Arthropoda, Mollusca, and Annelida to the varying geoenvironments as manifested in the field. The results of the experiments revealed that for each of the burrowing activities, there exist optimal, transitional and critical geoenvironmental conditions, which are found to differ considerably between species, body sizes and weights. On the basis of these results, we have constructed an ecohabitat chart which enables an interspecific comparison of the burrowing performances and capabilities of the diverse benthic fauna in light of the associated geoenvironments in the field. The observed distributions of diverse benthos at various natural and artificial intertidal flats are found to be well consistent with the ecohabitat chart developed in this study.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	494,176	480,000	974,176
2011年度	1,105,824	0	1,105,824
年度			
総計	10,200,000	3,060,000	13,260,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：生態地盤学、生物多様性、生態系保全・再生

1. 研究開始当初の背景

大気、海、地盤が会う場である干潟域は、豊かな底生生物を育み高い水質浄化能を有

する沿岸自然環境のシンボリック的存在である。そのため、生態系や水質・水理環境を対象として、国内外において生態学、海岸工学、水

質化学等の分野から活発に研究がなされてきており、主に生物の食物連鎖や水循環過程について数多くの知見が蓄積されている。一方、多様な底生生物の生息環境を担う地盤表層の土砂環境場については、従来研究が実質的に進んでおらず理解が乏しく留まっていた。しかし、生態系の保全・再生を有効に実現するには、生物生息場としての生物住環境の適切な理解とこれに立脚した科学技術体系が必要不可欠である。

本研究代表者は、上述のような隘路を切り開くために、多種多様な底生生物が生息する干潟地盤内部の土砂環境場の体系的なモニタリング・評価手法を開発し、観測・実験・解析の協働によって、土中水分張力を表し大気圧を基準とした負の間隙水圧で定義されるサクションを核とした土砂環境動態が、多様な底生生物の住環境を形成する上で本質的な役割を果たしていることを世界に先駆けて明らかにした。さらに、砂質干潟の代表的な巣穴生物であるコメツキガニを対象として、現地動態観測と土砂環境を様々に制御した一連の生物応答実験を統合的に実施することによって、サクション、間隙、強度等の土砂物理環境が生物住活動の形態と密接にリンクしていること、ならびに巣穴発達のための臨界・最適・限界条件を支配していることを見出した。

2. 研究の目的

本研究は、上述のような“干潟生態地盤学”を、生物多様性を構成する重要種であり住活動の形態が顕著に異なる二枚貝（アサリ、シオフキ）、多毛類（ゴカイ、チロリ）、カニ（コメツキガニ）、エビ（テッポウエビ）および甲殻十脚類（スナモグリ）に展開し知見を体系化するものである。具体的には、これらの底生生物の住活動と土砂物理環境の関わりを一連の生態地盤実験を通じて詳しく調べることによって、住活動の適合条件ならびに土砂環境の選択行動を明らかにし、代表者らがこれまで調査・観測を実施してきた全国各地の自然・造成干潟の土砂環境／底生生物分布との整合性の検証を通じて、生物種に対応した土砂環境の適合場・不適合場の相互関係が一目瞭然な生物住環境診断チャートを作成することを目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、各地の自然・造成干潟における現地調査・観測とともに、大気・水環境因子を統一し地盤環境条件を精緻に制御・変化させて生物応答を詳しく検証しうる生態地盤実験手法の開発・適用によって、多様な底生生物応答に果たす土砂物理環境の役割を浮き彫りにした。具体的には、対象とする6つの底生生物種ごとに、次の4つの段階を通

じて研究を遂行した。すなわち、A) 適合場解明のための住活動実験、B) 土砂環境の選択行動ならびに住み分け検証実験、C) 現地土砂環境／生物分布の調査・観測結果と生態地盤実験 A), B)の結果の突き合わせ、およびD) 住環境診断チャートの作成である。

4. 研究成果

多種多様な干潟底生生物の住活動と土砂物理環境の関わりを一連の生態地盤実験を通じて系統的に調べることによって、潜穴、巣穴形成、潜砂等の住活動の形態や生物個体の大きさ・重さの違いに依らず、生物住活動の適合場と限界場の両者が生物種ごとに存在することを世界で初めて明らかにした。そして、上述の生物適合場と限界場の生物種間の複雑な相互関係を現地土砂環境に照らして浮き彫りにする生物住環境診断チャートを構築した。

さらに、同チャートに照らして、熊本県白川河口干潟、千葉県夷隅川河口干潟、沖縄県那覇空港前面干潟、および山口県徳山造成干潟における土砂環境／底生生物分布の一体調査と一連の室内試験を実施し、これまで未解明に留まっていた多種多様な干潟生物の生息分布と住み分けの実態が、同チャートときわめて良く整合していることを明らかにした。

巣穴底生生物の住活動場が土砂環境の選択行動とパッチ形成に果たす役割を明らかにするために、新たに開発した干潟生態土砂環境再現水槽を用いたコメツキガニの土砂環境選択・パッチ形成実験および土砂環境探知能力の検証実験、ならびに、現地土砂環境動態を考慮した最適住活動モデルの構築と土砂環境／パッチ形成の実態調査を一体的に行った。その結果、当該生物は、巣穴発達のための最適・限界サクション場を探知する“生物センサ”を有し、地表サクションの空間勾配に基づいて、住活動に適した場を自ら選択して巣穴活動を行うことを世界で初めて明らかにした。そして、生物個体群（パッチ）の分布が、実験・現地調査結果の双方で、提案する最適住活動モデルによる予測と見事に整合するかたちで現れることを示した。これらの結果は、巣穴底生生物が、自らの住活動に適した土砂環境を選択してパッチを形成することを実証するものであり、最適採餌に基づく生息環境選択に関する既存の概念を覆すとともに、将来の生態応答予測にも活用が期待できる。

サクションを核とした土砂環境場が多種多様な生物の適合・限界場を支配するとともに、生物の環境選択行動やパッチ・分布形成に本質的な役割を果たしていること、ならびに、サクション上昇に対して適応できる生物種数が顕著に低下することを示した生物住環境診

断チャートに基づいて、人工的に創生した干潟において、サクシオンが、従来の環境指標を大きく上回り、生物多様性と最も高い相関を有することを解明した。

さらに、上述の生態地盤学を新潟県の3つの海浜に展開し、現地土砂環境/底生生物分布の一体調査と一連の室内試験および分析を行った。その結果、砂浜の種類やタイプに依らず、空気進入サクシオン値を基準としたサクシオンが砂浜潮間帯の飽和・不飽和、緩密、硬さ軟らかさ等の多様な生物住環境の発現を支配していること、そして、全海浜を通じた優占3種の小型甲殻類の生息限界域と高密度域の分布が、多様な生物住環境とともに生物住活動の最適・限界条件を支配するサクシオンによって統一的に規定できることを初めて明らかにした。本研究で得られた知見は、砂浜の底生生物分布に関する従来の隘路を突破しており、砂浜海岸における生態環境・水産資源の保全・管理に有効に資することができる。

以上に述べた一連の成果は、“干潟は、なぜ多様な生物による複雑な生態系が維持されているのか？”という根本的な問いに対して、新たな学際領域である生態地盤学の立場から解き明かすことに成功したと同時に、生物多様性の保全・再生に直接資する科学技術体系/新基盤を構築し、2つの干潟造成事業での検証を通じて、その有効性を包括的に実証したものであり、将来の沿岸環境・生態系の保全・再生策の立案に大きく寄与することが期待できる。

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29件)

- 1) Watabe, Y. and Sassa, S.: Sedimentary stratigraphy of intertidal flats with various characteristics, *Soils and Foundations*, in press, 査読有, 2012.
- 2) Sassa, S., Watabe, Y., Yang, S. and Kuwae, T.: Burrowing Criteria and Burrowing Mode Adjustment in Bivalves to Varying Geoenvironmental Conditions in Intertidal Flats and Beaches, *PLoS ONE*, Vol. 6, No.9: e25041, 2011, 査読有, doi:10.1371/journal.pone.0025041.
- 3) Kuwae, T., Miyoshi, E., Sassa, S., and Watabe, Y.: Foraging mode shift in varying environmental conditions by the Dunlin, *Calidris alpina*, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 406, 281-289, 2010, 査読有, doi:10.3354/meps08519.
- 4) Sassa, S. and Watabe, Y.: Persistent sand bars explained by geodynamic effects, *Geophysical Research Letters*, Vol. 36, L01404, 2009, 査読有, doi:10.1029/2008GL036230.
- 5) Watabe, Y. and Sassa, S.: Application of MASW technology to identification of tidal flat stratigraphy and its geoenvironmental interpretation, *Marine Geology*, Vol. 252/3-4, 79-88, 2008, 査読有, doi:10.1016/j.margeo.2008.03.007.
- 6) 佐々真志, 渡部要一, 梁順普, 白井一洋: 漂砂-サクシオン動態効果の連成による生物生息砂州の自律安定と浅場造成高の最適設計, 土木学会論文集 B2, 査読有, Vol. 67, No.2, 1131-1135. 2011.
- 7) 梁順普, 佐々真志, 渡部要一, 岩本裕之, 中瀬浩太: 生物住活動性能チャートによる自然・造成干潟の住み分け評価分析と検証, 土木学会論文集 B2, 査読有, Vol. 67, No.2, 986-990. 2011.
- 8) 渡部要一, 佐々真志, 山田文彦, 林宏一: 中間軟弱層を含む干潟地盤の地層断面推定精度の向上-MASW と微動アレイ探査の併用, 土木学会論文集 B2, 査読有, Vol. 67, No.2, 1361-1365. 2011.
- 9) 佐々真志, 梁順普, 渡部要一, 梶原直人, 高田宜武: 砂浜海岸における水産有用魚類の餌資源生物分布に果たすサクシオンの役割, 土木学会論文集 B2, 査読有, Vol. 66, No.1, 1126-1130. 2010.
- 10) 佐々真志, 渡部要一, 梁順普: 巣穴底生生物の最適住活動モデルによる土砂環境選択行動とパッチ形成の実証, 土木学会論文集 B2, 査読有, Vol. 66, No.1, 1096-1100. 2010.
- 11) 渡部要一, 佐々真志: 多チャンネル型表面波探査(MASW)に基づく人工干潟安全管理手法の提案, 土木学会論文集 B2, 査読有, Vol. 66, No.1, 1406-1410. 2010.
- 12) Watabe, Y. and Sassa, S.: Evaluation of sedimentation history of sandbars at entrance of lake Tofutsu, Hokkaido, Japan, by MASW technology, *ASCE Geotechnical Special Publication*, No. 210, 1013-1022. 査読有, 2010.
- 13) 佐々真志, 渡部要一: 生態地盤学, 地盤工学会誌, 査読無, Vol.58, 48-49. 2010.
- 14) 佐々真志, 渡部要一, 梁順普: 生態地盤学の展開によるアサリの潜砂性能の系統的解明, 土木学会論文集 B2, 査読有, Vol. 65, No.1, 1116-1120. 2009.
- 15) 佐々真志, 渡部要一, 梁順普: 多種多様な干潟底生生物の住活動性能と適合・限界場の相互関係, 土木学会論文集 B2, 査読有, Vol. 65, No.1, 1226-1230. 2009.
- 16) 渡部要一, 佐々真志: UAV と MASW を活用した効率的な干潟堆積土砂調査, 土木学会論文集 B2, 査読有, Vol. 65, No.1,

- 1441-1445. 2009.
- 17) 渡部要一, 佐々真志, 林宏一, 小林耕一: 濤沸湖における湖口周辺砂州の表面波探査を活用した堆積形成史の復元, 土木学会論文集 B2, 査読有, Vol. 65, No.1, 661-665. 2009.
 - 18) 渡部要一, 佐々真志, 林宏一: 多種多様な干潟で得られた干潟土砂堆積構造のスペクトル解析, 土木学会論文集 B2, 査読有, Vol. 65, No.1, 1096-1100. 2009.
 - 19) 佐々真志, 渡部要一: 干潟バー地形の動的安定機構の解明, 海岸工学論文集, 査読有, 第 55 巻, 1176-1180. 2008.
 - 20) 佐々真志, 渡部要一, 桑江朝比呂: 鳥と地盤と底生生物の関係に果たす水際土砂環境の役割, 海岸工学論文集, 査読有, 第 55 巻, 1171-1175. 2008.
- [学会発表] (計 2 3 件)
- 1) Sassa, S., Watabe, Y., Yang, S. and Kuwae, T.: Biogeophysical interactions between behavior of crabs, bivalves and birds and intertidal geoenvironmental variability. *American Geophysical Union Fall Meeting 2011*, San Francisco, 2011.
 - 2) Watabe, Y. and Sassa, S.: Stratigraphy of intertidal flats with various scales and soil types: Sandflats, mudflats, and subtropical intertidal flats. *Proceedings of the 21th International Offshore and Polar Engineering Conference*, Maui, 365-372, 2011.
 - 2) Sassa, S. and Watabe, Y.: Role of suction dynamics effects in intertidal sandbar morphodynamics. *Proceedings of the 7th International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment*, Miami, 824-834, 2011.
 - 3) Sassa, S. and Watabe, Y.: Role of Waterfront Suction in Morphodynamics and Benthic Ecology of Intertidal flats. *Proceedings of the 8th International Symposium on Ecohydraulics*, Korea, 1297-1304, 2010.
 - 4) Sassa, S. and Watabe, Y.: Physical modeling for Ecological Geotechnics, *Proceedings of the 7th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics*, Zurich, 1483-1488, 2010.
 - 5) Sassa, S. and Watabe, Y.: Ecological Geotechnics: Performance of benthos activities controlled by suction, voids and shear strength in tidal flat soils. *Proceedings of 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, パネリスト講演*, Egypt, 316-319. 2009.
 - 6) Sassa, S. and Watabe, Y.: Role of Waterfront Suction and Related Geoenvironments in Benthic Ecology of Intertidal Flats. *Proceedings of the 2nd International Multidisciplinary Conference on Hydrology and Ecology: Ecosystems Interfacing with Groundwater and Surface Water*, Vienna, 261-264. 2009.
 - 7) Sassa, S. and Watabe, Y.: Morphodynamics of Intertidal Sand Bars: Feedback between Sediment Transport and Suction Dynamics Effects. *Proceedings of the 4th International Conference on Scour and Erosion*, Tokyo. 567-573. 2008.
 - 8) Watabe, Y. and Sassa, S.: Application of UAV aerial photography to temporospatial assessment of tidal flat geomorphology. *Proceedings of the 4th International Conference on Scour and Erosion*, Tokyo. 519-525. 2008.
 - 9) 佐々真志, 渡部要一, 梁順普, 白井一洋: 干潟砂州の自律安定機構の解明と覆砂高の最適設計, 第 46 回地盤工学研究発表会講演集, 2139-2140, 神戸, 2011.
 - 10) 梁順普, 佐々真志, 渡部要一, 岩本裕之, 中瀬浩太: 生物住活動性能チャートによる自然・造成干潟の住み分け分析と検証, 第 46 回地盤工学研究発表会講演集, 2131-2132, 神戸, 2011.
 - 11) 渡部要一, 佐々真志, 山田文彦, 林宏一: 中間軟弱層を有する砂質干潟における MASW の適用と測定精度向上に関する研究, 第 46 回地盤工学研究発表会講演集, 2135-2136, 神戸, 2011.
 - 12) 佐々真志: 生態地盤学: 干潟・砂浜海岸の生態系・地形動態に果たす土砂物理環境の役割, 第 9 回海環境と生物および沿岸環境修復技術に関するシンポジウム **特別講演**, 広島, 1-52. 2010.
 - 13) 佐々真志, 渡部要一, 梁順普: 巣穴底生生物の土砂環境選択行動とパッチ形成の実証, 第 45 回地盤工学研究発表会講演集, 2029-2030, 松山, 2010.
 - 14) 佐々真志, 梁順普, 渡部要一, 梶原直人, 高田宜武: 水産有用魚類の餌資源生物分布に果たすサクシヨンの役割, 第 45 回地盤工学研究発表会講演集, 2031-2032, 松山, 2010.
 - 15) 渡部要一, 佐々真志: 多チャンネル型表面波探査(MASW)による人工干潟安全性評価, 第 45 回地盤工学研究発表会講演集, 2037-2038, 松山, 2010.
 - 16) 佐々真志: 干潟の堆積物動態・生態系に果たすサクシヨンの役割, 日本堆積学会 **基調講演**, 茨城, 2010.
 - 17) 佐々真志, 渡部要一, 桑江朝比呂, 梁順普: 鳥と地盤と底生生物の多様性の関係に果たす水際土砂環境の役割, 第 8 回「海環境と生物および沿岸環境修復技術に

- 関するシンポジウム」論文集. 三重, 2009.
- 18) 佐々真志, 渡部要一, 梁順普: 生態地盤学Ⅰ: アサリの潜砂性能の系統的解明～稚貝から成貝まで～, 第44回地盤工学研究発表会講演集, 1817-1818, 横浜, 2009.
 - 19) 酒井陽平, 日下部治, 佐々真志, 渡部要一, 梁順普: 生態地盤学Ⅱ: アサリとシオフキの潜砂挙動の違いとその支持力的解釈, 第44回地盤工学研究発表会講演集, 1819-1820, 横浜, 2009.
 - 20) 佐々真志, 渡部要一, 梁順普: 生態地盤学の展開Ⅲ: 多種多様な干潟底生生物の住活動性能と適合・限界場の相互関係, 第44回地盤工学研究発表会講演集, 1821-1822, 横浜, 2009.
 - 21) 渡部要一, 佐々真志, 林宏一, 小林耕一: 濤沸湖における湖口周辺砂州の表面波探査結果に基づく堆積形成史の復元, 第44回地盤工学研究発表会講演集, 1827-1828, 横浜, 2009.
 - 22) 佐々真志, 渡部要一: 鳥と地盤と底生生物の関係における水際土砂環境の重要性, 第43回地盤工学研究発表会講演集, 2157-2158, 広島, 2008.
 - 23) 渡部要一, 佐々真志: カナダ・フレーザー川河口の広大な干潟の堆積環境, 第43回地盤工学研究発表会講演集, 2161-2162, 広島, 2008.

〔産業財産権〕

○取得状況 (計1件)

名称: 干潟防波堤
 発明者: 渡部要一, 佐々真志, 熊谷隆宏, 池野勝哉, 高田公一
 権利者: 同上
 種類: 特許
 番号: 特許第4780386号
 取得年月日: 2011年7月15日
 国内外の別: 国内

〔その他〕

本研究の成果を取り上げた新聞記事等一覧

- 1) 2007年8月1日発刊, 土と基礎 (55巻No. 8), 干潟の水・土砂・生物の地盤工学的研究の可能性「地盤工学が拓く生物学」
- 2) 2009年1月19日掲載, 港湾空港タイムズ(1面), 「干潟砂州の安定理由解明 米科学誌で高い評価」
- 3) 2009年1月20日掲載, 化学工業日報 (10面 (環境面)), 「干潟砂州「動かぬ理由」解明 土中水分張力が関与 港湾空港技術研」
- 4) 2009年1月23日掲載, 日刊建設工業新聞 (1面), 「干潟砂州の動的安定性を解明 港湾空港技研 佐々グループ 地盤

内水位と負圧に着目」

- 5) 2009年1月28日掲載, 環境新聞 (水循環面), 「砂州はどうして動かない? 地下水位と水分張力が関係 港湾空港技研のチーム「長年の謎」を解明」
- 6) 2009年2月9日掲載, 建設技術新聞 (1面), 「世界初, 干潟砂州の動的安定性を解明 干潟地盤の設計・維持管理が可能に」
- 7) 2009年7月20日掲載, 港湾空港タイムズ (1面), 「世界初, 干潟の不思議を解明」
- 8) 2010年1月1日発刊, 地盤工学会誌 (58巻 No. 1), 「生態地盤学」
- 9) 2010年9月1日発刊, 地盤工学会誌 (58巻 No. 9), 地盤工学と農林学・生態学. 「地盤工学から生態地盤学へ」
- 10) 2011年3月1日発刊, 月刊建設, 55巻 No. 3), 「生態地盤学: 生物多様性と地形安定の両立を実現する工学指針」

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐々 真志 (SASSA SHINJI)
 独立行政法人港湾空港技術研究所 地盤研究領域 チームリーダー
 研究者番号: 10392979

(2) 研究分担者

渡部 要一 (WATABE YOICHI)
 独立行政法人港湾空港技術研究所 地盤研究領域 チームリーダー
 研究者番号: 00371758

桑江 朝比呂 (KUWAE TOMOHIRO)
 独立行政法人港湾空港技術研究所 沿岸環境研究領域 チームリーダー
 研究者番号: 40359229

(3) 連携研究者

浜野 龍夫 (HAMANO TATSUO)
 徳島大学 大学院 教授
 研究者番号: 90399668

瀬口 昌洋 (SEGUCHI MASAHIRO)
 佐賀大学 理事
 研究者番号: 20093974

(4) 研究協力者

梁 順普 (YANG SOONBO)
 韓国チェジュ大学 研究員