

## 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 8 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560548

研究課題名（和文） 水辺植生基盤の洗掘と保全修復

研究課題名（英文） Conservation and Restoration of Aquatic Plants  
with Bed Erosion in Brackish Water Zone

研究代表者

林 建二郎（HAYASHI KENJIROU）

防衛大学校・システム工学群・准教授

研究者番号：70532787

## 研究成果の概要（和文）：

実際に現地に生育しているコアマモに作用する波力特性，および波による底質土砂の移動特性を室内水理実験と島根県中海における現地観測により調べ，コアマモの生育が可能な波浪限界の評価法を検討した．a) 本模型サイズと同程度の天然コアマモを引き抜くことが可能な  $cu_{amp}$  は， $cu_{amp} > 20\text{m/s}$  と推定できる．水深  $h = 0.6 \sim 0.7\text{m}$  程度の浅い海域においては，このような大きな水平水粒子速度を有する波の発生・存在は不可能である．従って，これら沈水植物が来襲波の波力によって引き抜かれる可能性は非常に小さいと考えられる．b) 平均粒径  $d_{50} = 0.51\text{mm}$  の珪砂を敷き詰めた砂層ボックス部の底面に生じる砂漣の発生状況を調べた．全面移動限界波高より少し大きな波高になると砂漣の発生が生じることを確認できた．c) 模型植生群がない砂面においては，そのシールス数  $\Psi$  が限界シールス数  $\Psi_c$  より小さい場合は，砂漣は生じず海底面の砂移動も生じていない．しかし，模型植生群を設置した場合は，模型植生群の沖側と岸側領域および模型植生群外の全計測線上で砂漣が誘発的に発生する．d) コアマモの群落が見られる島根県中海西岸の大井海岸や南岸の白鳥海岸において表層移動が生ずる移動限界波高  $H_i$  の評価を行った．湖面の風速  $U$  が  $6.5\text{m/s}$  以上になると表層移動が生ずることが推定された．e) これら底面における砂漣や砂移動現象の発生は，コアマモの生育阻害の原因と考えられる．

高潮や津波および河川の洪水流に対する防御策として海岸林や樹林帯の利用が検討されている．波がこれら透過性物体を通過するときに失われる波エネルギー量を評価すると，海岸林が有する波の透過率と反射率は評価可能である．本研究では，小型実松に作用する流体力特性と射流中における樹幹をモデル化した直円柱に作用する流体力特性を室内実験で調べ，海岸林が有する波の透過率と反射率特性を評価した．葉がある樹木には大きな流体力が作用する結果，海岸林からの波の反射率が顕著となることが分かった．射流中に置かれた直円柱の抗力係数が， $Fr$  数の増加に伴い減少する流れの機構も明らかにした．

## 研究成果の概要（英文）：

The effect of wave action on the establishment of *Zostera japonica*, a brackish submerged macrophyte growing mainly in coastal areas, is discussed. The wave forces acting on *Z. japonica* were measured by using a small two components load cell installed under the bed of wave flume. The wave forces were too small to pull out *Z. japonica* shoot from bottom sediment. Sediment transport and bed form development under waves were also observed, and *Z. japonica* shoot was pulled out from the sand bed of flume when large ripples appeared on the sand bed in wave flume.

Laboratory experiments were performed to study wave transmission and wave reflection capacity of mangroves and trees as coastal protection from waves. Drag forces on a live pine in small scale open channel flow were measured by using a load cell. Drag forces on a circular cylinder in rapid flow were also measured. A theoretical analysis based on application of the continuity and energy equations to flow through the rows of trees were

made to evaluate wave transmission and wave reflection capacity of mangroves and trees in coastal area. The significant wave reflection from mangroves with large and dense canopy was estimated.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,700,000	600,000	3,300,000
2010年度	600,000	105,000	705,000
2011年度	500,000	60,000	560,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	765,000	4,565,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：水辺植生，基盤洗掘，保全，修復

### 1. 研究開始当初の背景

湖沼や河川河口域ならびに浅海域には、ヨシ等の抽水植物群落やアマモ、コアマモ等の沈水植物群落の藻場が発達している。環境への関心が高まり、これら水辺植生の保護・育成や植生が有する環境再生機能や土壌基盤の侵食防止機能も再認識され、その積極的な復元や利用が検討されている。また、これら水辺植生場は、底生動物、葉上・葉間動物あるいは稚仔魚の保育場として、水産学的に重要な位置を占めるとともに、湖沼・河口・沿岸生態系の重要な構成要素となっている。しかしながら、わが国においては湖岸や沿岸域の開発や水質汚濁により、これら水辺植生場の面積は年々減少の傾向をたどっているのが現状である。

水辺植生の生育阻害の原因としては、水質、光、温度、栄養等の生物化学的要因の他に、植物本体に作用する流れや波による流体力や波力に対する耐流・耐波能力の減少、植生基盤の洗掘による根茎の露出问题等の物理的要因が挙げられる。

申請者らは、長年にわたってこれら水辺植生に作用する流体力特性に関する研究を行ってきた。ヨシ、ササバモ、アサザ、コアマモ、アマモ等の実植物および植生模型に作用する流体力や波力の直接計測を分力計を使用して行い、a) 植生の茎部や葉部の形体は作用流体力の増加に伴い変形する結果、抗力係数は流速の増加に伴い減少すること、b) 作用流体力による茎部の倒折や基盤からの植生の離脱が生じる可能性は、正常に生育している植生においては極めて少ないこと等を定量的に明らかにした。その結果、水辺植生の生育阻害に及ぼす物理的要因としては、植生基盤の洗掘現象が極めて重要であることが確認できた。また、これら植生に

作用する流速と流体力の同時計測より、植生によって失われる流れエネルギーを評価し、植生部の抵抗則や消波特性を明らかにし、その評価式を提案した。

土砂基盤の洗掘現象は、流れや波の掃流力によって規定されている。しかし、植生が生育している植生基盤においては、a) 植生茎葉による浮遊土砂補足、b) 発達した根茎による土壌緊縛作用、c) 茎部や葉部の流れや波に対する揺動や渦励振動現象等の洗掘現象に対する影響も大である。しかし、植生基盤の洗掘現象の解明においてこれらの影響を総合的に考慮した研究は少ない。

また、これまでの申請者らが行なってきた現地調査（島根県中海）で、コアマモの分布と土壌硬度およびホトトギス貝の密度が関係している可能性が示唆されている。このことから、ホトトギス貝の「足糸」が流れや波浪に逆らって砂面流動を抑え土壌を安定化させることにより、コアマモを定着させる役目をはたしているのではないかと仮定が導き出されている。

### 2. 研究の目的

#### (A) 植生基盤における洗掘現象の解明と防止対策

現地観測および室内実験を行い、以下の洗掘特性を調べその防止策を検討する。

a) 植生基盤を構成する土砂の特性量と、土砂移動が生じる限界流速や移動限界水深の関係を明らかにする。

b) 上記関係に及ぼす、植生茎葉による浮遊土砂補足現象、発達した根茎による土壌緊縛作用、茎部や葉部の流れや波に対する揺動や渦励振動現象等の影響を明らかにする。

c) 生プラスチック、天然ヤシ繊維等の様々な素材の植栽用マットを利用し、その洗掘

防止効果と植生の生育に対する影響を明らかにする。

#### (B) ホトトギス貝による砂泥表層の硬化安定作用の検証

現地観測および室内実験を行い、ホトトギス貝などの小型底生二枚貝の出す「足糸」の砂泥表層の硬化安定作用の定量的評価を行う。

### 3. 研究の方法

#### (A) 植生基盤における洗掘現象の解明と防止対策

以下の室内実験と現地観測を実施する。

a) 2次元造波水槽の砂層ボックス内に設けた砂層上に、ヨシ等の抽水植生の茎部のみをモデル化した円柱群を直立設置し、土砂移動が生じる限界流速や移動限界水深の特性値におよぼす円柱設置密度や円柱径の影響を調べる。

b) 円柱群内および砂層上部近傍の流れ特性を2成分レーザードップラー流速計(LDA)と流れの可視化装置(PIV)を使用して調べる。これらの流れの計測により、植生間流れの、空間流速分布、乱れ速度分布、レイノルズ応力分布等の流れ特性値を評価する。合わせて、せん断力計を植生基盤表面に設置し、基盤上に作用する壁面せん断力の直接計測を行い、せん断力強度およびその変動強度(rms値)の平面分布特性を調べる。

c) 現地で採集した比較的小型の実植生および植生基盤を、上記の2次元造波水槽内の砂層ボックス内に移設し、上記a), b)と同様な実験を行う。対象とする水辺植生の種類は、ヨシ、ササバモ、アサザ、コアマモ、アマモとする。

d) 上記関係に及ぼす、植生茎葉による浮遊土砂補足現象、発達した根茎による土壌緊縛作用、茎部や葉部の流れや波に対する揺動や渦励振動現象等の影響を調べる。

e) 生プラスチック、天然やし繊維等の様々な素材の植栽用マットを利用し、その洗掘防止効果と植生の生育に対する影響を明らかにする。

f) 現地に生育している、上記水辺植生群落の内外における、流れの計測と土壌基盤の洗掘状況を計測し、比較検討を行う。

現地における流速計測には、パルスコヒーレント式超音波流速計と小型電磁流速計を使用する。これら流速計の使用により、現地流れ流速の空間分布の精度の良い長期間計測(約40日間)が可能である。

土壌基盤の洗掘状況の計測には、砂面計(今回購入する主要備品)を使用する。植生が発達している場所と無植生の場所に、この砂面計と既存の差面計を同時設置し、洗掘による基盤面高さの経時変化を計測する。あ

わせて計測された流速や波高の経時変化記録との関係を調べ、植生基盤の土砂移動メカニズムの解明を行う。また、波や流れによる海底土砂移動や植生の揺動現象を水中カメラを用いて撮影する。

コアマモ群落周辺の海底地形の季節変化計測には、測量用トータルステーションと測量用GPSを使用する。併せて、リング法による地盤高計測法を7箇所で行なう。

現地観測は、主に中海の揖屋地区にある白鳥海岸と捷水路、中海の大根島にある島根大学汽水域研究センター-中海分室の地先海域、ならびに中海と宍道湖を結ぶ大橋川河口で行う。

また、これら現地計測には、研究協力者として大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻海岸工学研究室の有田 守助教、およびエスペックミック株式会社東京オフィスの木村保夫氏にご支援を頂いた。

#### (B) ホトトギス貝による砂泥表層の硬化安定作用の検証

以下の室内実験と現地観測を実施する。

a) 二枚貝の密度および植生の現存量と土壌の硬度・粒度との関係を調べる現地観測と複数(10箇所以上)のコアマモのパッチ内とそれに隣接する無植生の場所において、土壌硬度計により土壌の硬度を測定する。

b) 次に、そのうちのいくつか(3箇所以上)については、それぞれに直径約10cmほどの円形コドラット2~3個を設置し、深さ10cmまでの土壌とそこに含まれる植物体を攪乱しないよう柱状に採取し垂直の構造を記録する。

#### (C) 海岸林が有する波浪減衰効果

植生基盤における洗掘現象の解明と防止対策に関する研究の応用として、「2011年東北地方太平洋沖地震津波」による海岸林被害の現地調査を実施した。併せて、室内模型実験を行い、海岸林が有する、波浪減衰効果を評価した。

現地調査は、平成23年4月より鹿児島大学大学院理工学研究科、農学部、東北大学大学院工学研究科、京都大学防災研究所附属流域災害研究センター、日本大学工学部(郡山)、(独)独森林総合研究所気象害・防災林研究室との、共同観察の一部として実施した。

### 4. 研究成果

#### (A) 植生基盤における洗掘現象の解明と防止策

以下の成果が得られた。

a) 2次元造波水槽内の模型海浜砂層上に、ヨシ等の抽水植生やアマモ等の沈水植物をモデル化した円柱群や人工海藻およびこれら実植生を設置し、植生に作用する波力特性、

植生基盤内の局所洗掘特性，ならびに海浜地形変化に及ぼす植生群の影響を調べた．沈水植物が波力により引き抜かれる可能性は非常に小さく，植生基盤内に生じる局所洗掘による根の露出により沈水植物が消滅する現象を明らかにした．

b) 平成 21～22 年度に，中海の大橋川河口，揖屋捷水路，米子空港南海岸，白鳥海岸での植生調査およびコアマモ移植実験を行なった．コアマモの生育密度が少ない米子空港南海岸や白鳥海岸では，植生基盤の洗掘防止対策としてヤシ繊維等を利用した植生マットへの移植を行なったが，その効果は認められなかった．

c) 平成 23 年度は，中海の白鳥海岸で現地観測を 6 回（4 月，6 月，7 月，10 月，12 月，3 月）実施した．自然生育および移植したコアマモ群落周辺の海底地形は，年間通して大きな変動はないが，高波浪時には若干低下する傾向が見られた．その結果，コアマモ群落の生育は 4 月～10 月の間には認められたが，10 月以降は確認できなかった．波高と流速計測の結果，湖面の風速が約 6.5m/s 以上になると，海底砂の表層が集団で動く「表層移動」が生じることを推定した．この表層移動の結果，本海域ではコアマモの安定した生育は困難であると思われる．

(B) ホトトギス貝による砂泥表層の硬化安定作用の検証

以下の成果が得られた．

a) ホトトギス貝の「足糸」による砂泥表層の硬化安定作用を検証するための現地観察を行なった．ホトトギス貝の成育密度には季節変化があったが，「足糸」による束縛や貝本体の存在により砂泥表層の安定化現象は認められた．しかし，ホトトギス貝群落内でのコアマモの成育密度は希薄であった．

b) 他の文献報告に見られるように，コアマモとホトトギス貝の共存，共生は困難であることを確認した．

(C) 海岸林が有する波浪減衰効果

以下の成果が得られた．

a) 津波流体力による松林の倒壊，倒伏の実態や，津波来襲時の高速流による松樹幹周りの局所洗掘現象を観察した．

b) 葉なしの針葉樹に比べて葉がある針葉樹には大きな抗力が作用することを，分力計を用いた流体力の直接計測により確認した．

c) 樹幹をモデル化した直円柱に作用する流体力特性を室内実験で調べ，射流中に置かれた直円柱の抗力係数が，Fr 数の増加に伴い減少する流れの機構を，円柱表面の圧力分布計測より明らかにした．

d) 樹木群に作用する抗力により樹木群内でのマニングの値  $n$  は大きく増加する結果，樹木群内での流れは常流流れとなり，樹木群の上

流側には跳水が生じることを明らかにした．

e) 高密度の間隙体である樹冠部の消波能力は高く，波の反射率も顕著となることを確認した．

## 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 17 件)

- ① Ohbayashi, K. , Hodoki, Y. , Kunii, H. , Estimation of the genetic composition of a near-threatened tidal marsh plant, *Carex rugulosa*, in Japan, *Wetlands*, 査読有, Vol. 32, 2012, 175-184, DOI : 10.1007/s13157-011-0266-4
- ② 林建二郎、國井秀伸、有田 守、木村保夫、湖沼の水辺植物(コアマモ)の定着に及ぼす波浪の影響、土木学会論文集 B1(水工学)、査読有、Vol. 68、2012、1723-1728、
- ③ 國井秀伸、汽水湖の環境と賢明な利用、河川文化、査読無、54 巻、2011、4-7、
- ④ 林建二郎、辰野正和、長林久夫、橋本晴行、多田 毅、単独樹木に作用する流体力、土木学会論文集 A2 (応用力学)、査読有、Vol. 67、2011、569-580、
- ⑤ 林建二郎、齋藤 良、浅野敏之、浦島三朗、海岸林に作用する流体力の評価、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、査読有、Vol. 67、2011、571-576、
- ⑥ Sakuno, Y. , Kunii, H. , Cyanobacteria bloom mapping using satellite data in brackish Lake Shinji and Lake Nakaumi, *Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 査読有、2011、
- ⑦ 荒木悟、國井秀伸、太田川河口域における塩生植物群落の現況、ホシザキ・グリーン財団研究報告、査読無、14 巻、2011、251-256、
- ⑧ 林建二郎、齋藤 良、開水路中に設置された直立円柱群中の河床せん断力評価、土木学会論文集 B1 (水工学)、査読有、Vol. 55、2011、1141-1145、
- ⑨ 林建二郎、樹木に作用する流体力評価の実験、防衛大学校理工学研究報告、査読有、48 巻、2011、29-40、
- ⑩ 國井秀伸、ラムサール条約登録 5 周年を迎えた中海、Jawan、査読無、Vol. 98、2010、9-11、
- ⑪ 林建二郎、齋藤 良、植生群中の底面せん断力評価と局所せん断力、特性、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読有、Vol. 66、No. 1、2010、1106-1110、
- ⑫ 林建二郎、齋藤 良、樹木群に作用する波の透過率と反射率の評価、海洋開発論

- 文集、査読有、26 巻、2010、1017-1022、
- ⑬ Kothyari U.、Hashimoto H.、Hayashi K.、Effect of tall vegetation on sediment transport by channel flow, Journal of Hydraulic Research、査読有、Vol.47、No.6、2009、700-710、DOI : 10.3826/jhr.2009.3317
- ⑭ Kothyari U.、Hayashi K.、Hashimoto H、Drag coefficient of unsubmerged rigid vegetation stem in open channel flows, Journal of Hydraulic Research、査読有、Vol.47、No.6、2009、691-699、DOI : 10.3826/jhr.2009.3283
- ⑮ 林建二郎、齋藤 良、開水路中に設置された直立円柱群中の河床せん断力評価、水工学論文集、査読有、25 巻、2009、985-990、
- ⑯ 林建二郎、分力計を用いた水理構造物に作用する衝撃的流体力評価、応用力学論文集、査読有、12 巻、2009、851-858、
- ⑰ 林建二郎、齋藤 良、波動場に設置された円柱周りの底面せん断力の評価、海洋開発論文集、査読有、25 巻、2009、1251-1257、

[学会発表] (計 23 件)

- ① 杉本太郎、林建二郎、射流中に設置された円柱に作用する抗力特性、第 39 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集、2012 年 3 月、関東学院大学(神奈川県)、
- ② 中嶋鉄太、林建二郎、水辺植生群まわりの海底地盤変動に及ぼす波浪の影響に関する基礎的研究、第 39 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集、2012 年 3 月、関東学院大学(神奈川県)、
- ③ 林建二郎、木村保夫、工藤孝浩、静穏海域にアマモを生やしたい、全国アマモサミット 2011、2011 年 11 月 20 日、大阪海遊館ホール (大阪府)、
- ④ 寺本行芳、浅野敏之、林建二郎、多田毅、今井健太郎、坂本知己、2011 年東北地方太平洋沖地震津波発生後の宮城県名取市閘上浜における海岸林被害の実態、日本海岸林学会石巻大会研究発表会要旨集、2011 年 10 月、石巻専修大学 (宮城県)、
- ⑤ 泉 佑二、林建二郎、波による海岸地形変化に及ぼす植生の影響、第 38 回土木学会関東支部技術研究発表会、2011 年 3 月 11 日、法政大学デザイン工学部 (東京都)、
- ⑥ 東屋和樹、林建二郎、海岸林の有する波の透過率・反射率の評価、第 38 回土木学会関東支部技術研究発表会、2011 年 3 月 11 日、法政大学デザイン工学部 (東京都)、
- ⑦ 國井秀伸、宍道湖・中海における自然再生の現状と課題、日本生態学会、2011 年 3 月 10 日、札幌コンベンションセンター (北海道)、
- ⑧ 作野祐司、國井秀伸、衛星画像から見た宍道湖・中海のアオコ分布の特徴-2010 年 11 月撮影画像、汽水域研究会、2011 年 1 月 9 日、松江くにびきメッセ (島根県)、
- ⑨ 國井秀伸、宍道湖における水草の突発的な分布拡大について、汽水域研究会、2011 年 1 月 8 日、松江くにびきメッセ (島根県)、
- ⑩ 荒木悟、國井秀伸、河口域に見られるハマサジの発芽と塩分条件、汽水域研究会、2011 年 1 月 8 日、松江くにびきメッセ (島根県)、
- ⑪ 國井秀伸、ラムサール条約登録後の中海における汽水域生態系の再生と長期生態学研究 (科研費基盤研究(A)) を終えて -イントロダクション-、汽水域研究会、2011 年 1 月 8 日、松江くにびきメッセ (島根県)、
- ⑫ 國井秀伸、宍道湖・中海の自然再生に関する最近の動向、生物地球化学研究会 (招待講演)、2010 年 11 月 6 日、島根大学 (島根県)、
- ⑬ 國井秀伸、ラムサール条約登録 5 年目を迎えた宍道湖・中海、日本湿地学会、2010 年 9 月 4 日、法政大学市ヶ谷キャンパス (東京都)、
- ⑭ 國井秀伸、生物多様性と中海の自然再生、中海自然再生協議会、2010 年 5 月 22 日、鳥取県西部総合事務所会議室(鳥取県)、
- ⑮ 齋藤 良、林建二郎、開水路中に設置された円柱群中における河床変動値計測、土木学会関東支部技術研究発表会、2010 年 3 月 14 日、日本大学理工学部(東京都)、
- ⑯ 伊沢貴史、林建二郎、樹木に作用する突風の流体力評価について、土木学会関東支部技術研究発表会、2010 年 3 月 14 日、日本大学理工学部 (東京都)、
- ⑰ 林建二郎、齋藤 良、開水路中に設置された直立円柱群中の河床せん断力評価、防衛施設学会平成 21 年度年次研究発表会、2010 年 1 月 19 日、新宿区立歴史博物館講堂 (東京都)、
- ⑱ 木村保夫、林建二郎、工藤孝浩、生け簀にアマモを生やしたい、全国アマモサミット 2009、2009 年 11 月 13 日、米子コンベンションセンター (鳥取県)、
- ⑲ 林建二郎、齋藤 良、波による植生基盤上の砂の移動特性と壁面せん断力分布、全国アマモサミット 2009、2009

年 11 月 13 日、米子コンベンションセンター（鳥取県）、

- ⑳ 國井秀伸、中海におけるアマモ・コアマモの現状と課題、全国アマモサミット 2009、2009 年 11 月 6 日、米子コンベンションセンター（鳥取県）、
- ㉑ 國井秀伸、中海自然再生事業における研究者の役割、島根県立大学－北京大学国際関係学院学術シンポジウム、2009 年 11 月 3 日、北京大学国際関係学院（中国）、
- ㉒ 程木義邦、大林夏湖、宮本康、田中法生、國井秀伸、斐伊川水系におけるコアマモ群落の遺伝的多様性と集団構造の評価、応用生態工学会、2009 年 9 月 25 日、埼玉会館（埼玉県）、
- ㉓ 齋藤 良、林建二郎、波動場に設置された円柱群中の河床せん断力評価、土木学会第 64 回年次学術講演会、2009 年 9 月 4 日、福岡大学（福岡県）、
- ㉔ Hodoki, Y.、Ohbayashi, K.、Miyamoto, Y.、Tanaka, N.、and Kunii, H.、Evaluation of genetic diversities in *Zostera japonica* for seagrass restoration in brackish water systems、First ASIAHORCs Joint Symposium、2009 年 7 月 18 日、名古屋大学（愛知県）

〔図書〕（計 1 件）

- ① 國井秀伸、地人書館、日本生態学会編自然再生ハンドブック「宍道湖・中海の自然再生事業の現状と課題」、89-96p.、2010、264

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

林 建二郎 (HAYASHI KENJIROU)  
防衛大学校・システム工学群・准教授  
研究者番号：70532787

### (2) 研究分担者

國井 秀伸 (KUNII HIDENOBU)  
島根大学・汽水域研究センター・教授  
研究者番号：70161651