

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 18 日現在

機関番号：12401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25550007

研究課題名(和文)胎生種子の形状に着目したマングローブ群落の動態に関する研究

研究課題名(英文) Study on the Mangrove zonation dynamics with morphological characteristics of the propagules

研究代表者

古里 栄一 (FURUSATO, Eiichi)

埼玉大学・理工学研究科・助教

研究者番号：30610901

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、熱帯および亜熱帯における沿岸植生であるマングローブの群落動態における胎生種子の影響を評価することを目的として、3年間で様々な研究を行った。沿岸環境の中でも本研究では沿岸潟湖に着目し、まず胎生種子の浮遊分散が生じる汽水環境に関する塩分成層を解析できるモデルを構築した。次に、周囲の塩分に応じたマングローブ胎生種子の浮遊特性に関する室内実験を、スリランカの現地で採取した種子を用いて行った。更にスリランカの現地における潟湖塩分の人為的地形変化に伴う変化と、これに応じたマングローブ群落の変化を解析した。これらに基づき、潟湖塩分や波のスケールによる胎生種子の輸送速度に関するモデルを提案した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research consists of the evaluation of transport characteristics of the mangrove propagules, developments of new model for estimating the lagoon salinity stratification and for transport of the propagules in relation to wave height. Firstly, prediction model for salinity stratification were developed by modifying previously proposed hydraulic model. Our model can analyze the response characteristics of salinity stratification to lagoon mouth morphology. By using field data, the efficiency of the model validated. Secondly, the temporal changes in both salinity and mangrove zonation after human intervention in lagoon mouth area were studied. Based on these knowledge, new transport model of mangrove propagule were developed. From the preliminarily field observation, basic concept of the model were constructed. The model consists of not only biological properties but also physical processes such as salinity and surface wave height as spatial scale of the waves.

研究分野：湖沼・貯水池等の水資源・環境保全技術

キーワード：マングローブ 胎生種子 分散 塩分成層 種子比重 相対波高 モデル

1. 研究開始当初の背景

マングローブは、亜熱帯及び熱帯域の沿岸地域において、生態系の基盤として重要な植生であるとともに、地域の水産資源として、また津波や高潮に対する減災の役割も果たす、重要な植物群である。共同研究を実施しているスリランカにおいては、近年急速な経済発展に伴い人口の集中する沿岸域における開発が活発であり、その一環として沿岸潟湖、特に海と潟湖を接続する潟口の地形改変が行われることが多い。その結果、潟湖の塩分や成層が変動し、様々な水環境要素に影響が生じる。とりわけ、マングローブ植物は塩分に対する応答性の異なる様々な種から構成されるために、潟口地形改変が、塩分環境を通じてマングローブ群落の構成を変化させる影響が想定される。

現在多くの国や地域でマングローブ林再生のための植林などの取組みが実施されているが、マングローブ林の保全や再生などにおいては、群落構成の動態メカニズムの理解が必要である。

本研究では、マングローブ群落の動態機構のうち、分布域の変化に強い影響を与える胎生種子の輸送問題に着目する。マングローブ植物は、胎生種子によって新たな木本が生育する。この胎生種子は、水面を浮遊し輸送されることによって移動する。したがって、胎生種子の輸送とこれに影響を与える塩分に関する理解が必要となる。

2. 研究の目的

(研究の全体構想) 本研究は、地球温暖化に伴い分布域減少の予想されるマングローブ群落の発達・拡大過程を理解するために、胎生種子の形状・浮遊形態に着目して種子の輸送・分散特性を明らかにして、マングローブ群落の成立過程の理解度向上を図る。これまでに研究例が少なかった「胎生種子輸送問題」について、「種子の形状と浮遊形態場」という新しい視点から、温暖化に伴うマングローブ群落への影響評価や群落保全や修復手法の構築に対して重要な情報を提供する。(本研究の具体的な目的)

- 1) 沿岸潟湖の塩分成層モデルの開発
- 2) 潟湖潟口開口前後の塩分・マングローブ群落分布の変化の評価(現地調査等)
- 3) マングローブ胎生種子の輸送モデルの構築

3. 研究の方法

本研究では、研究目的を達成するために、以下の複数の方法での研究を行った。

(1) 潟湖塩分環境の数値モデルによる評価 塩分成層モデルの構築

マングローブ胎生種子の輸送が生じる汽水域(潟湖)の流動と表層塩分濃度(密度)を解析する水理モデルを構築する。モデルの検証は解析対象潟湖(スリランカのコッガラ潟

湖・レカワ潟湖)の地形・気象・流入流出部の水位や流量データを、収集資料から整理して用いる。なお、これまでの埼玉大学とルフナ大学との共同研究において、対象潟湖の地形データや代表的な時期の塩分成層データ等は取得済みである。

対象潟湖における塩分成層の解析と評価

構築したモデルを用いて、コッガラ潟湖等の潟口形状改変等に伴う近年までの塩分成層および表層塩分濃度の変動を解析する。

(2) 潟口開口前後の塩分およびマングローブ群落分布変化の評価

本研究での評価、解析対象である、潟湖の塩分環境とマングローブ群落分布の、潟湖開口前後の状態変化の現状を検討した。

開口前の分布評価

対象とした水域であるコッガラ潟湖では、1997年以降潟口域の近い改変が行われたために、これ以前の分布データが必要となる。これは、潟湖周辺の住民へのヒアリングに加えて、過去の航空写真からの検討を行った。また、塩分についてはレビューを行い1997年以前の塩分データを収集した。

開口後の分布調査

コッガラ潟湖において複数回の現地調査を行い、開口後である現時点での塩分の空間分布に加えて、マングローブ群落の現地調査を行った。塩分については、沿岸潟湖における流動特性を考慮して、雨季と乾季、大潮と小潮、上げ潮と下げ潮の各々の時期をカバーできるように実施した。また、比較対象としてレカワ潟湖でも現地調査を実施した。空間分布は、従前は表層での塩分調査のみ実施されていたが、塩分成層の形成が想定されたことから、水深方向に0.5mピッチで測定を行った。また、塩分だけでなく水温やD0等の測定も行い、総合的に塩分成層や混合特性を評価できるように努めた。

(3) 胎生種子の輸送モデル構築

現地での予備観測や文献調査に基づき、沿岸潟湖でのマングローブ群落の分布変動と胎生種子の浮遊・輸送形態という観点から輸送モデルを構築した。また、構築にあたっては現地で採取した胎生種子を用いた室内実験も行った。

室内実験：浮遊物の輸送モデルの構築

現地での予備的観測および関連文献等の収集や研究に基づき、浮遊物としての胎生種子の現地での輸送に関する力学的モデルを構築する。

モデル化にあたっては、関連する要素として、生物学的なパラメーターである、種子の形態特性としての種子長さやアスペクト比に加え、比重および周囲水の塩分に応じた浮遊角度を用いることとした。これらに基づき定まった浮遊時の実際の深度が浮遊時に輸送される過程における生物学的な条件として用いた。一方、周囲環境条件としては、上

述した塩分に加えて、水面波の規模を用いることとした。これは、特に現地予備観察において、同一種の種子であっても浮遊角度に応じて輸送速度が異なることを確認したことに基づく。

室内実験

上記構築したモデルにおける具体的なパラメーター値を定めるために、現地で採取した複数種の胎生種子を用いて塩分や浸水後経過時間に応じた浮遊深度や形態、および比重の現地分析と実験を行う。また、輸送速度についても、スリランカルフナ大学での大型水槽を用いた実験を行う。

4. 研究成果

(1)沿岸潟湖の塩分成層モデル

本研究では、対象とした沿岸潟湖の塩分予測モデルを開発した。図-1に研究対象潟湖を示す。研究を行ったスリランカの複数の沿岸潟湖の現地調査結果より、その塩分の空間分布は水平方向に一様であり、主に水深方向に異なった濃度であることが確認された。こうした現地の傾向に加えて、将来的なスリランカにおける社会実装を考慮して、わが国で近年多用される時空間的に詳細な解像度を有する数値モデルではなく、簡易な入力データにより概略の塩分成層を評価できるモデルを開発することとした。

図-2に沿岸潟湖における塩分成層モデルの概念図および、式(1)~(3)にバルクモデルを示す。これらのモデル式のパラメーターの詳細および前提条件等については発表論文を参照されたい(Perera et al. 2015)。現地調査結果に基づいて作成した塩分成層モデルの解析結果の一例として、図-3に本研究で開発したモデルによる、コッガラ潟湖およびレカワ潟湖における塩分成層の予測結果を、既存モデルと比較したものである。既存モデルにおいて成層を弱化させる混合外力として含まれていなかった風応力を考慮することにより沿岸潟湖における塩分成層を精度高く評価できることがわかった。

$$R_E = \frac{(\Delta\rho/\rho)g(Q_i/b)}{U_i^3} \quad (1)$$

$$F_m = \frac{(Q_i/bd)}{\sqrt{gd(\Delta\rho/\rho)}} \quad (2)$$

$$R_{IL} = \frac{\Delta\rho g Q_i d_{Ls}}{\rho_S (b_M d_M) U_i^3 + \sqrt{4C_D^3 \frac{\rho_a}{\rho_w} \rho_a (b_L L) U_h^3}} \quad (3)$$

(2)現地における塩分変化とこれにより生じたマングローブ群落分布の変化

図-4に、研究対象であるコッガラ潟湖における代表的なマングローブ植物であるオオバヒルギ(*Rhizophora mucronata*)と塩分の潟

湖開口前後の変化を示す。図より分かるとおり、潟湖の開口後、潟湖の塩分の上昇が生じるとともに、オオバヒルギの分布域が潟湖の上流部まで拡大している。図-5に他のマングローブ植物の分布域の変化を示す。低い塩分濃度に適性の高い、ペニヤマプシキ(*Sonneratia caseolaris*)の分布域が、開口後に上流部に後退していることがわかる。このように、コッガラ潟湖においては、局所的な地形改変である潟湖開口部における砂丘除去と突堤建設により、潟湖全体の塩分環境が全域的に変化し、その結果マングローブ群落分布の大規模な拡大・衰退が生じた。これらの詳細は、発表論文等を参照されたい。このような、塩分環境の変化によるマングローブ植物の分布域の変化は、胎生種子の分散速度が影響を与えている。マングローブにかかる生態学的な学術・技術的知見について、国内外の先行例を書籍および学術論文などについてレビューしたが、その生態学的重要性に関する指摘はいくつか事例があるが、具体的な胎生種子の分散速度に関する先行研究は殆ど見当たらなかった。

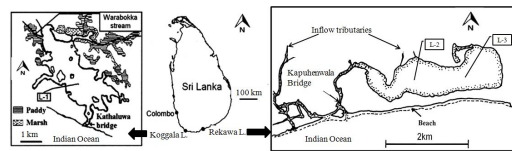


図-1. コッガラ潟湖とレカワ潟湖

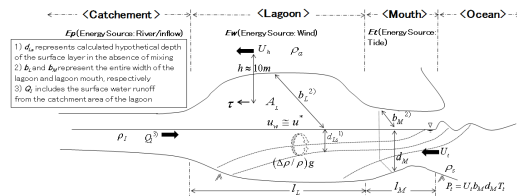


図-2 スリランカの沿岸潟湖における塩分成層のモデル

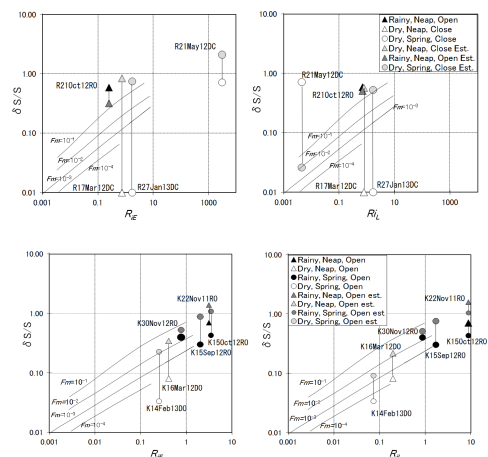


図-3 塩分成層モデルによるコッガラおよびレカワ潟湖における予測結果

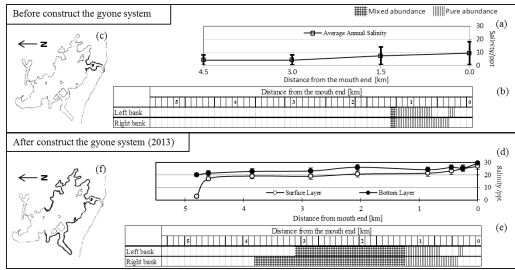


図-4 コッガラ潟湖におけるオオバヒルギ (*Rhizophora mucronata*) の潟口開口前後の分布域の変化

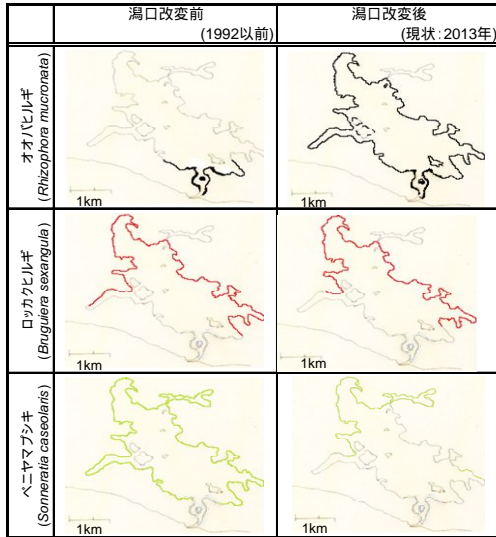


図-5 コッガラ潟湖におけるマングローブ植物の分布域の変化

このため、塩分環境と胎生種子の分散速度に関する以下の研究を実施した。

(3) 胎生種子の分散速度のモデル開発 胎生種子の形状と浮遊形態および塩分環境に着目して

現地における予備実験において、アスペクト比の大きい、すなわち細長い形状が顕著なオオバヒルギの胎生種子が、現地において垂直および水平の両方向に向いた浮遊形態をとることに加え、その移動速度が浮遊方向の違いにより明らか異なることを確認した。現地での観察結果に基づき、図-6 に示す相対波高に基づく輸送速度のモデルを構築することとした。ここで、相対波高とは、波高に対する胎生種子の浮遊時の水深の比に相当する。

胎生種子の浮遊時の水中の最大水深は、胎生種子の形状やサイズのみならず、塩分に応じた浮遊形態に応じて変化する。一方、胎生種子の輸送に対して影響を与える水面波は、その波の空間スケールに対して十分に浮遊胎生種子が小さければストークスドリフトに応じて輸送されるが、胎生種子が大きい場合には波の回転運動が胎生種子の上部と下部に作用し、結果として顕著な水平方向の輸送が生じない可能性がある。

Table Classification of mode of drift of propagule of Mangrove (Ex. R.m.)

輸送タイプ	相対水深	輸送速度	現象のイメージ
1 (サーフィン)	大 ($H \gg D_p$)	速い	Type 1
2 (鉛直)	中 ($H < D_p$)	遅い	Type 2
3 (疑似無波)	小 ($H \ll D_p$)	極めて遅い	Type 3

図-6 マングローブ胎生種子の浮遊形態と輸送特性・速度に関するモデル模式図

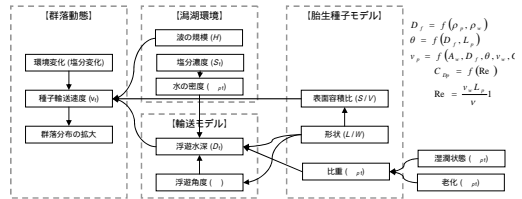


図-7 マングローブ胎生種子輸送モデルの構成要素概念図

これは理論的には妥当であるが、そうした輸送速度の胎生種子形状や浮遊形態および塩分との関係のモデル化のためには、具体的なデータを用いた定式化が必要となる。

図-7 に、本研究で構築したマングローブ胎生種子の輸送速度に関する状態変数の相互関係を示す。物理的周囲環境要素としての塩分と胎生種子の形態特性であるアスペクト比に応じて、有効浮遊水深が定まる。この有効浮遊水深と水面波のスケールとの関係に応じて胎生種子の輸送速度が定まることになる。輸送速度は、水粒子そのものの移流速度を無視すればストークスドリフトに比例することになる。したがって、本モデルにおける最も重要な7基本パラメータは、生物学的な要素である、図-8 に、最も胎生種子のアスペクト比の大きなマングローブ植物として選定したオオバヒルギの胎生種子を用いた、塩分および浸水日数に応じた浮遊形態の実験結果を示す。図より分かるとおり、浮遊深度および浮遊角度は塩分に応じて顕著に異なる。これは現地における観察結果と一致する。また、これらの浮遊特性は浸水後日数に応じた大きな変化は認められなかった。

これらの実験結果に基づくと、特にアスペクト比の大きい胎生種子を生産するオオバヒルギは、周囲塩分に応じて、その輸送速度が顕著に異なることが推察される。具体的には、塩分が何らかの理由、たとえば潟湖において潟口が開き、その結果潟湖の塩分が上昇した場合には、浮遊形態が水面に完全に浮遊するタイプとなる。これは、波のストークスドリフト効果に影響が大きくなることにつながり、輸送速度の上昇に繋がる。生態学的な観点においては、塩分の上昇による胎生種子の輸送速度の増加は、環境適応として分布拡大に対して正の影響を与える。上述した、コッガラ潟湖における塩分上昇に応じた

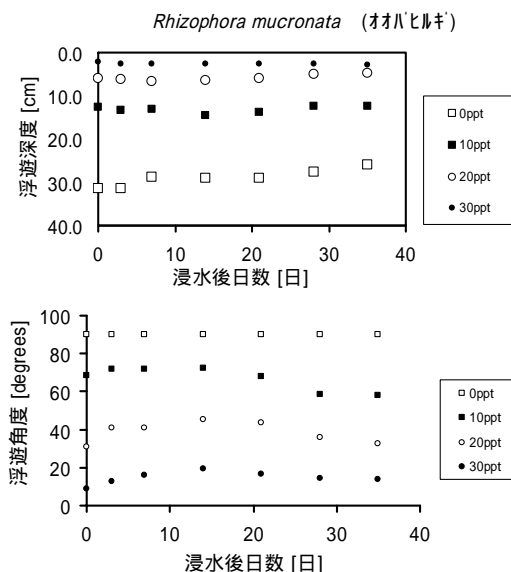


図-8 マングロープ胎生種子浮遊特性実験結果

速やかなオオバヒルギの分布域の拡大において、こうした塩分上昇に応じた輸送速度の増加が一定の影響を与えていると考えられる。今後は、アセスメントや保全対策の計画、評価において、こうした塩分と有効浮遊深度との関係に応じた輸送速度の違いを考慮することにより、更に適切な意思決定ができると考えられる。

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 4 件)

G.L Perera, E. Furusato and T. Priyadarshana, A simple bulk model to estimate salinity stratification of permanently open choked coastal lagoons in Sri Lanka, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 71, No. 4, I_25-I_30, 2015. (査読有)

G. L. Perera, E. Furusato and T. Priyadarshana, Applicability of Salinity Stratification Estimation by New Bulk Model for Two Choked Coastal Lagoons in Sri Lanka, Symposium Proceedings of ACEPS (International Symposium on Advances in Civil and Environmental Engineering Practices for Sustainable Development), (University of Ruhuna, Galle, Sri Lanka), pp. 102-109 2015(査読有)

E. Furusato, G. L. Perera, N. Tanaka, G. P. Amarasekara and T. Priyadarshana, Current characteristics of salinity stratification of two coastal lagoons in southern area of Sri Lanka after different human interventions, Proceedings of International Symposium on Advances in Civil and Environmental

Engineering Practices for Sustainable Development, pp.231-237, 2013. (査読有)
G.A.H.S. Chathuranga, E. Furusato, G.L. Perera, N. Tanaka and T. Priyadarshana, Zonation pattern of mangrove in southern Sri Lankan Lagoon after human interventions at lagoon mouth area, Proceedings of the Special Session on Coastal Structures, 4th International Conference on Structural Engineering and Construction Management 2013 (ICSECM), pp. 120-128, 2013. (査読有)

[学会発表](計 4 件)

古里 栄一・T. Priyadarshana・G.A.H.S. Chathuranga, マングロープ胎生種子の形状や浮遊特性に基づく移動モデル, 応用生態工学会第 19 回研究発表会講演集, OJ-4, 146, 2015. 日本大学郡山キャンパス (福島県郡山市, 2015 年 9 月 11 日)

古里 栄一・T. Priyadarshana, マングロープ胎生種子の浮遊特性に関する実験, 第 49 回日本水環境学会年会 2-C-10-1, 2015. 金沢大学 (石川県金沢市, 2015 年 3 月 17 日)

古里 栄一・T. Priyadarshana・E.M. Weerakoon・G.A.H.S. Chathuranga・G. L. Perera, 渦口形状の人為的改変による潟湖の塩分濃度とマングロープ群落分布の変化, 第 42 回土木学会関東支部技術研究発表会, -94, 2015. 東海大学湘南キャンパス (神奈川県・平塚市, 2015 年 3 月 5 日)
G. L. Perera, E. Furusato, N. Tanaka, Tilak Priyadarshana, The applicability of classical bulk model for estimating salinity stratification of choked coastal lagoons in Sri Lanka, Proc. of JSCE 16th International Summer Symposium, pp. 61-62, 2014. (大阪大学豊中キャンパス, 大阪府豊中市, 2014 年 9 月 10 日)

[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]

ホームページ等

(特になし)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古里 栄一 (FURUSATO, Eiichi)

埼玉大学・理工学研究科 助教

研究者番号: 30610901

(2) 研究分担者

田中規夫 (TANAKA, Norio)
埼玉大学・理工学研究科 教授
研究者番号： 80323377