

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：12401

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2018～2022

課題番号：18KK0116

研究課題名（和文）環境ストレス指標による高潮災害脆弱島嶼部のマングローブ林再生技術の開発

研究課題名（英文）Development of mangrove plantation techniques as a bio shield against storm surges using physiological stress tolerance index

研究代表者

浅枝 隆（Asaeda, Takashi）

埼玉大学・理工学研究科・名誉教授

研究者番号：40134332

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：東南アジア島嶼部では、*Rhizophora*、*Avicennia*、*Sonneratia*のマングローブ種が優占しており、高潮等に対しバイオシールドとしての役割を果たしている。ところが、*Rhizophora*ばかりが植林されること、またこの種は極めて排他的で単一種の群落を形成することから生物多様性が低下していることが明らかになった。

次に、これらの種が環境から受けるストレスの強度を指標化し、そのストレス強度を測定した。その結果、直立し根が深いため、*Rhizophora*が他と比較して引き潮時に受けるストレスが低く生存率が高くなることがわかった。ただし、高潮、強風等には脆弱であり検討が必要なが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マングローブの植林に当たり、これまで*Rhizophora*属のみが植林されてきた。これによって、多様性が極めて低くなり、景観も損なわれている。マングローブの場合、生長に時間がかかるため、植林法を改善して結果が現れるまでに数十年かかる。本研究では、この問題を指摘、早急な改善の必要性を示している。また、*Rhizophora*が選択される大きな理由が生存率が高いことである。この理由が、干潮時の土壌水分の減少にあることを指摘している。これにより、植林する場所の選定方法が定まる。さらに、従来は、試行錯誤によって長期間かけて求めていたストレス特性を、光量子収率の利用で短期間に得られることを示している。

研究成果の概要（英文）：*Rhizophora*, *Avicennia* and *Sonneratia* are dominant mangrove genera in South East Asian islands. Among them, only *Rhizophora* are selected for the plantation because of the easiness to plant and to get propagules, and higher survival rate after the plantation, and the low cost. However, the genus is extremely exclusive against other species, because of its dense prop root system, therefore, biodiversity was extremely low in the planted forest and landscape was changed. The fluorescence quantum yield analysis indicated that the highest stress was loaded by the depletion of soil moisture when the ground surface was exposed during ebb tide. Therefore, it was found that *Rhizophora* had the lowest stress, because of their upright morphology and deep root system, compared with other genera with widely spread root system. In return, however, *Rhizophora* had a low tolerance against storm surges and strong winds.

研究分野：水域生態学

キーワード：マングローブ植林 バイオシールド *Rhizophora stylosa* *Avicennia marina* ストレス解析 光合成の量子収率 生物多様性 津波、高潮

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

2004年の津波の際に、海岸にマングローブ林があると、津波や高潮被害が軽減されるという事実が知られて以降、バイオシールドとしての役割を期待して、植林が盛んに行われている。ところが、この地域では、*Rhizophora*、*Avicennia*、*Sonneratia* の3種類が優占するにもかかわらず、植林においては、*Rhizophora stylosa* ばかりが選択されてきた。この種は、高い密度でも生長することから、植林後同時に生長する個体によって直線的な稜線ができあがったり、単一種の群落形成されるなど、不自然な環境が形成されてきた(図1)。また、この種は、高潮、津波に対して極めて脆弱である。東南アジアの諸国におけるマングローブの植林においてはわが国の活動の影響が強いにもかかわらず、わが国において、こうしたことが話題にされることはなく、*Rhizophora* の単一種で植林されてきた。他方、マングローブの植林は村を守るために重要な作業ということで、現地の住民も積極的に参加してきている。しかし、その多くでは、わが国の指導に基づく場合が多く、必ずしも、望ましい植林が行われているわけではない。



図1 自然のマングローブ林(左)と植林されたマングローブ林(右)

## 2. 研究の目的

こうした背景の下、1) *Rhizophora stylosa* の植林によって作られるマングローブ林と自然のマングローブ林の種構成や樹木密度等の違いを明らかにし、2) *Rhizophora stylosa* が選択される理由の一つが、植林後の生存率が高いことがあることから、その理由を明らかにする。3) 好ましいマングローブ植林のありかたを示す。4) 対象にする、Philippines 中央部、セブ近郊の地域では、KP-Center of Mangrove Research が活動が続けているが、これまで科学的作業はできていないでいた。この組織の活動を活発にし、今後のマングローブ植林の管理が可能なレベルに引き上げる。

## 3. 研究の方法

研究は、以下のように進められた。

- 1) 研究の対象地は、Philippines 中央部、セブ市沖に位置する Olango 島とした。ここでは、約50年前から、マングローブの植林が行われており、現在も継続中である。また、セブ島には、KP Center for Mangrove Research という組織で、この地域のマングローブの植林、研究が行なわれていることから、共同で研究を行うこととした。
- 2) 現地の自然もしくは植林されて形成された *Rhizophora stylosa* 群落において、異なる環境の場所において多数のコドラートを設け、コドラート内の各樹種の数求めた。
- 3) 温室実験によって、異なる水位、異なる塩分の濃度で、*Rhizophora stylosa* の生長実験を行って、葉中の過酸化水素濃度を測定することで、ストレスが高くなる水位、冠水頻度、塩分濃度を求めた。
- 4) 現地において、異なる環境に生えるマングローブ種の葉を採取、葉中の過酸化水素濃度を測定することで、ストレスが強度を求め、環境要素に対し整理を行った。
- 5) ストレスの分析を屋外で容易に行うために、様々な条件の場所に生えるマングローブの葉において、蛍光の量子収率を測定、ストレスと環境条件との関係を求めた。

## 4. 研究成果

以下のような結果が得られた。

- 1) *Rhizophora stylosa* の群落では、自然に形成した群落においては、樹木密度が2000/ha以上にはならないのに対し、植林された群落で枯死率が低いと2000/ha以上になり、密な群落が形成される。*Rhizophora stylosa* の場合、支持根も伴うことから、土壌表面が障害物で覆われることになり、他の種の種子が侵入できないだけでなく、干満の際の流動が制御されることで、浮遊土砂が堆積、比高が高くなり、これも他の種の種子の侵入を妨げる要因になる。そのため、ほぼ単一種の群落が形成される。他方、自然に形成された群落では、樹木密度が低く他の種の種子の侵入が可能なことから、*Rhizophora stylosa* の割合も低く、また、その割合もゼロから100%に広く分布し、多様性が高くなる(図2)。

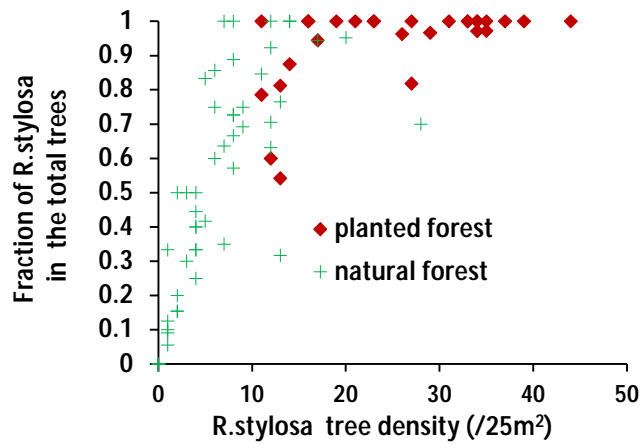


図2 Rhizophora stylosa の自然群落および植林された群落での樹木密度及び Rhizophora stylosa の割合

- 2) Rhizophora stylosa は、一日のうちで、冠水頻度が限られる場合には、水没しない限り、大きなストレスにはならない。ただし、塩分濃度の増加と共に、ストレス強度は高くなり、葉に含まれる  $H_2O_2$  濃度は上昇する。しかし、常時水没している場合には枯死により、ストレス強度は極めて高くなり個体が枯死する。そのため、 $H_2O_2$  濃度は逆に減少する (図 3、4)。

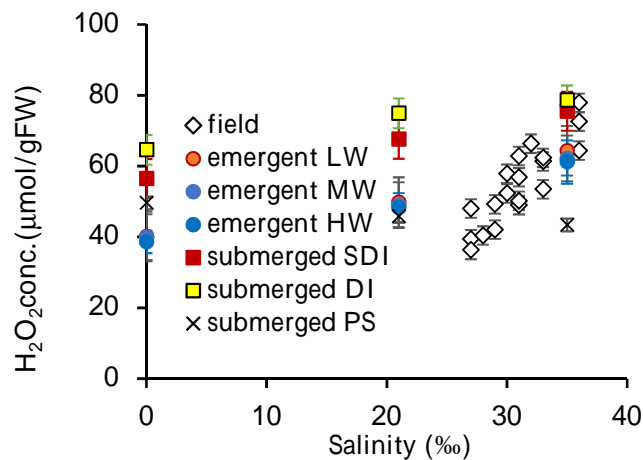


図3 実験及び現地での塩分濃度及び冠水深及び頻度の違いによる R. stylosa の葉の  $H_2O_2$  濃度  
LW: 低水深、MW: 中水深、HW: 高水深 ただし、樹木上部は露出  
SDI: 6 時間/日水没、DI: 3 時間 x 2 回/水没、PS: 常時水没

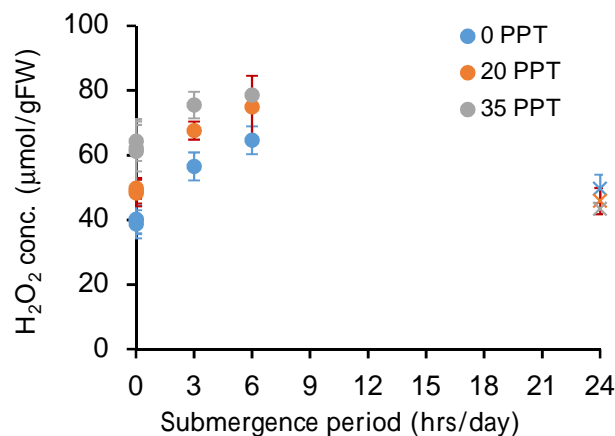


図4 異なる塩分濃度の水に水没した場合の  $H_2O_2$  濃度 × は常時水没の場合を示す。

- 3) 対象とした Philippines 中央部では、水際においては、*Rhizophora stylosa* の他に、*Avicennia* 属、*Sonneratia* 属が主要なマングローブである。
- 4) 熱帯では、潮の干満によって土壌表面が露出すると短時間のうちに表面が乾燥する。そうした場所では、土壌表面の露出後、短時間のうちに、*Sonneratia* 属や *Avicennia* 属の受けるストレスは極めて高くなる ( $F_v/F_m$  が低下する)。ただし、満ち潮で再び冠水すると、ストレスは低下する ( $F_v/F_m$  は復活する)(図5)。

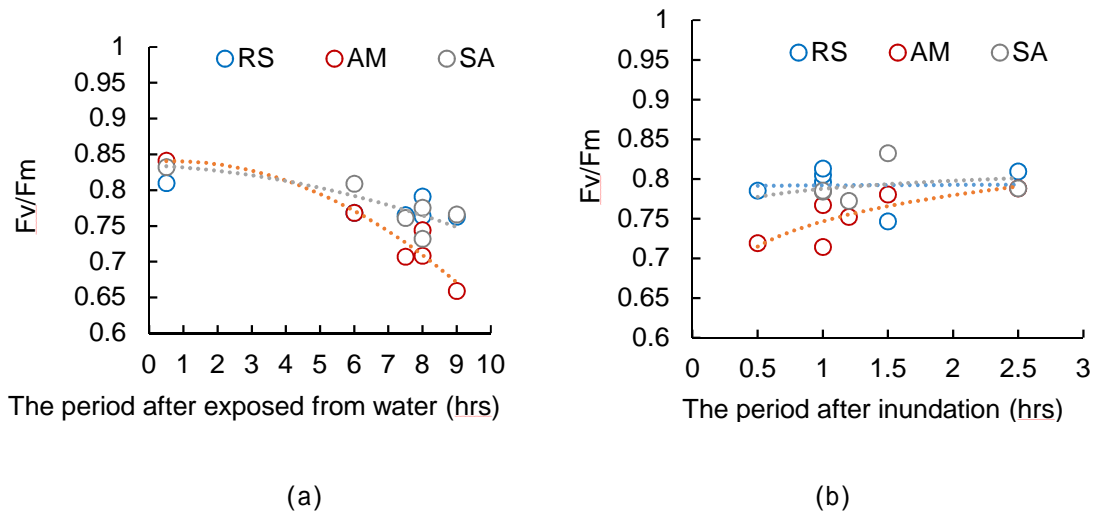


図5 干潮で地面が露出後のストレスの上昇(図5(a))、満ち潮で冠水後のストレス強度の低下(図5(b))、RS:*Rhizophora stylosa*、AM:*Avicennia marina*、SA:*Sonneratia alba*

*Rhizophora* 属のストレスは低いままで維持される。この理由は、*Rhizophora* 属の場合、樹形が直立しており、幹は上に向かって伸びる。他方、根も支持根も含め、地中で下向きに伸びる。他方、*Sonneratia* 属や *Avicennia* 属の根は、地中で網の目状に半径 10m 近くの広さで水平に広がり、地上に向かって多数の気根を形成している。そのため、*Rhizophora* 属においては、根が深くまで伸びていることから、地上が乾燥した状態になっても水分を供給できるものの、他の種においては、根の深さが浅く、地表面付近から乾燥化が進むと十分な水分を得ることができないことから、ストレス強度が上昇することにある。

こうした結果は、実験で得られた、塩水であったとしても、冠水した状態の方が、ストレスが低く抑えられるという結果に符合する。

ところが、*Rhizophora* 属は、鉛直方向に根が伸びていることから、高潮や津波といった横からの波力に対しては弱く、容易に倒木しやすい。ところが、他の種の場合には、広がった網状の根の上に土壌があることから、横からの力に対して極めて強い。高潮や津波に対しては、適した種といえる。



*Rhizophora stylosa*

*Avicennia marina*

*Sonneratia alba*

図6 この地域で主要なマングローブ種

- 5) こうしたことから、植林を行う際の場所の選定に際しては、*Sonneratia* 属や *Avicennia* 属の方が好ましい。しかし、これらの種において植林を考える際には、*Rhizophora* の植林が行われた場所よりも、比高が低く容易に水を吸収可能な場所が好ましいと考えられる。マングローブ林内部では、樹木が存在する中で潮の干満が生ずることから、潮が満ちる際に

は、浮遊土砂が樹木密度の高い場所に堆積し、逆に、潮が引く際には樹木の中の土壌表面は洗掘されるため低くなる。こうしたことから、地表面には 50 cm を超える高低差をもつ凹凸が形成される（図 7）。そのため、潮が満ちる際には、潮が連続した窪地を辿って上昇することから、連続した窪地においては、潮の満ちる時間は土壌表面の平均勾配から求まる時間よりも 1 時間以上早くなる。また、干潮の際にも、窪地は水溜まりとして残される。実際に、Sonneratia や Avicennia の種はこうした窪地やその側面から生えているものも多い。これまで植林は、広い場所で一様に行われてきたが、個々の苗木や種子を植える場所の選定には、付近の状況を鑑みて、湛水しやすい場所を選んで行うことで、植林後の生存確率を上昇させ、効率的に行えると考えられる。



図 7 連続した窪地

- 6) 共同で研究を行った、KP-Center for Mangrove Research は、高いレベルの研究を行うことが可能である。ただし、これまで、企業に所属し、CSR 活動として行われていたことが、研究活動の障壁になっていた。そのため、研究活動を目的とした NPO 法人として申請することになった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 T.Asaeda, M.H.Rashid, X.Liping, L. Vamsi-Krishna, A.Barnuevo, C.Takeuchi, M.Rahman	4. 巻 13
2. 論文標題 The distribution of submerged macrophytes in response to intense solar radiation and salinity reveals hydrogen peroxide as an abiotic stress indicator	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4548
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-3048-1	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 該当する
1. 著者名 T.Asaeda, M.Rahman, L.Vamsi-Krishna, J.Schoelynck, M.H. Harun	4. 巻 12
2. 論文標題 Measurement of foliar H2O2 concentration can be an indicator of riparian vegetation management	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 13803
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-17658-2	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 該当する
1. 著者名 T.Asaeda, M.Rahman, L.Vamsi-Krishna, J.Schoelynck, M.F.Rashid	4. 巻 12
2. 論文標題 Measurement of foliar H2O2 concentration can be an indicator of riparian vegetation management	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 13803
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-17659-2	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 該当する
1. 著者名 T.Asaeda, M.Rahman, X.Liping, J.Schoelynck	4. 巻 13
2. 論文標題 Hydrogen peroxide variation patterns as abiotic stress responses of Egeria densa	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science	6. 最初と最後の頁 855477
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpls.2022.855477	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 該当する

1. 著者名 T.Asaeda, M.H.Rashid, J.Schoelyck	4. 巻 8
2. 論文標題 Tissue hydrogen peroxide concentration can explain the invasive of aquatic macrophytes: A modelling perspective	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Environmental Science	6. 最初と最後の頁 516301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fenvs.2020.516301	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 該当する

1. 著者名 T.Asaeda, A.Barnuevo	4. 巻 432
2. 論文標題 Oxidative stress as an indicator of niche-width preference of mangrove <i>Rhizophora stylosa</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Forest Ecology and Management	6. 最初と最後の頁 73-82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.foreco.2018.09.015	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 該当する

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 T.Asaeda, A.Barnuevo, M.Rahman
2. 発表標題 The tidal water characteristics and the mangrove forest biodiversity
3. 学会等名 40th IAHR World Congress 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T.Asaeda
2. 発表標題 Oxidative stress as an indicator of niche-width preference of <i>Rhizophora stylosa</i> and its involvement in mangrove plantation
3. 学会等名 International conference, towards net zero emissions: Policy and practice (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T.Asaeda, A.Barnuevo, M.Rahman
2. 発表標題 The Tidal Water Characteristics and the Mangrove Forest Biodiversity
3. 学会等名 40th IAHR World Congress Vienna (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T.Asaeda
2. 発表標題 Species-specific advantages of mangroves growing at intertidal zones
3. 学会等名 ECSA 58 & EMECS 13 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T.Asaeda
2. 発表標題 Folier H2O2 concentration-based stress modelling in plants: Implications for riparian vegetation management
3. 学会等名 1st Journal Of Ecohydraulics Webinar, IAHR (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takashi Asaeda
2. 発表標題 Riparian vegetation, a mixture of natural gifts and hisotry of human activities
3. 学会等名 CEED 2020 5th International Conference on Environmental Engineering and Sustainable Development (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Takashi Asaeda
2. 発表標題 Application of hydrogen peroxide indicator to evaluate the habitat preference of plant species in the riparian zone
3. 学会等名 6h ISRS Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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	金子 康子 (Kaneko Yasuko)  (30194921)	埼玉大学・教育学部・教授  (12401)	
研究分担者	セナヴィラタナ ジャヤサンカ (Senavirathna Jayasanka)  (70812791)	埼玉大学・理工学研究科・助教  (12401)	
研究分担者	今村 史子 (Fumiko Imamura)  (50568459)	日本工営株式会社中央研究所・先端研究センター・専門部長  (92103)	

	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
研究協力者	バーヌエボ アブナー (Barnuevo Abner)		KP-Center for Mangrove Research, the Philippines 所属

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
フィリピン	フィリピン大学	カネパッケージ・マングローブ 研究所	