

Japan Society for Mangroves

第29回 日本マングローブ学会年次大会

講演要旨集



写真：ミクロネシア・ポンペイ島/藤本 潔

於、東京農業大学 世田谷キャンパス
〒156-8502 東京都世田谷区桜丘1-1-1

本大会は東京農業大学の助成を受けています

**2023（令和5）年度
第29回日本マングローブ学会大会プログラム**

令和5年12月2日（土）

8：30 受付開始（東京農業大学世田谷キャンパス 国際センター2F）	
口頭発表 一般の部（発表15分間，質疑応答4分間） 会場：榎本ホール	
9：30	ベンケイガニ類によるマングローブ落葉の消費と巣穴への持ち去り速度 ○小島京祐・檜谷昂・中西康博（東京農業大学）
9：50	マングローブ林の根系由来大型有機物の蓄積が地盤高上昇に及ぼす影響 —西表島における地下部有機物含有率と生根・死根比重— ○水谷 萌（南山大学）・藤本 潔（南山大学）・小野 賢二（森林総合研究所） 渡辺 信（琉球大学）・羽佐田 紘大（奈良大学）・古川 恵太（海辺つくり研究会） 木原 友美（京都大学）
10：10	LiDAR-SLAMによるマングローブ単木情報の推定と精度検証 ○山本 敦也（中日本航空株式会社）・宮城 豊彦（国際マングローブ生態系協会（ISME）/地域情報カスタイズ [®] ユニット）・馬場 繁幸（ISME）・柳澤 英明（東北学院大学） 古川 恵太（海辺つくり研究会）・成瀬 貫（琉球大学）
10：30	3D スキャナを用いた支柱根の詳細形状評価手法の構築 ○柳澤 英明（東北学院大学）・宮城 豊彦（ISME/地域情報カスタイズ [®] ユニット） 馬場 繁幸（ISME）
10：50	（独法）国際協力機構の技術協力プロジェクトに基づき（一財）海上災害防止センターが行う「モーリシャス国流出油対応に係る体制能力強化プロジェクト」 ○垣本 英臣（一般財団法人海上災害防止センター）
11：10	モーリシャス国におけるマングローブプラットフォーム（Mauritius Platform of Mangroves）の設立 ○宮城 豊彦（ISME/地域情報カスタイズ [®] ユニット）・馬場 繁幸（ISME） 古川 恵太（海辺つくり研究会） 山本 敦也（中日本航空株式会社） 柳澤 英明（東北学院大学） 中西 康博（東京農業大学） 成瀬 貫（琉球大学）
11：30	マングローブの起源と拡散—わかったこと・わからないこと ○向後 元彦（マングローブ植林行動計画）
11：50	昼食
	役員会（12：20～） （会場：国際センター2F 会議室2）

公開シンポジウム『マングローブ研究の最前線：Part 2』	
14：00	主旨説明 藤本 潔（南山大学） 座長：渡辺 信（琉球大学）
14：05	講演 I 「マングローブは水ストレス状態」の検証 ○宮沢 良行（九州大学）・渡辺 信（琉球大学）・種子田 春彦（東京大学）
14：30	講演 II マングローブ生態系内の土壌-水-大気間の無機炭素循環 ○中村 航（東京大学）
14：55	講演 III スキャナを用いた土壌断面観測による細根動態の推定と季節変動 ○木原 友美（京都大学）・小野 賢二（森林総合研究所）・諏訪 鍊平（国際農林水産業研究センター）・渡辺 信（琉球大学）・檀浦 正子（京都大学）・藤本 潔（南山大学）
15：20	講演IV 海面上昇下における群落レベルでのマングローブ立地変動とその規定要因の定量分析 ○藤本 潔（南山大学）・古川 恵太（海辺つくり研究会）・小野 賢二（森林総合研究所）・渡辺 信（琉球大学）・羽佐田 紘大（奈良大学）
15：45	総合討論（司会：渡辺 信）
16：15	公開シンポジウム 終了
口頭発表 中高生の部（発表 15 分間，質疑応答 4 分間）会場：榎本ホール	
16：20	体内塩濃度の簡易測定 ―コシヒカリと IR64 における検証― ○福嶋 くるみ（山脇学園高等学校 3 年）
小休憩（5 分）	
16：45	総会（会場：国際センター 2F 榎本ホール）
17：30	懇親会（会場：国際センター 2F 会議室 2）

19：30 閉会予定

ベンケイガニ類によるマングローブ落葉の消費と巣穴への持ち去り速度

○小島京祐・檜谷昂・中西康博（東京農業大学）

熱帯・亜熱帯沿岸海域の生物生産に果たす鉄の役割に関する学術的関心が近年高まりつつある中、発表者らは同海域への鉄供給源としてのマングローブ生態系の機能に注目している。先行研究において、マングローブ水域は非水域に比べて鉄濃度が高い水準であることや、マングローブ群落から周辺水域へと供給される溶存鉄の主体は、マングローブ落葉中に含まれるフェノール性物質と鉄との複合体（有機錯体鉄）であり、その生成プロセスには落葉食のベントス類（巻貝類やカニ類）が深く関与していることなどを報告した(Matsutani et al. 2013; Hinokidani & Nakanishi, 2019; Nakanishi et al., 2020)。マングローブに生息するベンケイガニ類（Sesamidae）は、林床へ供給される落葉を直接摂食するが、とりわけ *Neosarmatium* 属は、落葉を自身の巣穴へと持ち去ったのちに摂食することが知られている。このような採餌行動は、落葉に含まれるフェノール性物質の土壌中への移動を促進させている一方で、窒素やリンなどの養分回帰作用とも評価できよう。ところが、同カニ類によって林床上で直接摂食される落葉量と、巣穴へ持ち去られる量との差異をカニの種別に実測した例は過去になく、また、持ち去られた落葉の摂食量と巣穴残存量の実態については明らかになっていない。そこで本研究では、マングローブ群落においてベンケイガニ類を対象にマングローブ落葉の消費量と巣穴への持ち去り速度を計測した。調査は2023年7月に沖縄県西表島東部の次の4つの地点、すなわち、地点A：アシハラガニモドキ *Neosarmatium smithi* が優占するオヒルギ林、地点B：アシハラガニモドキとオオベンケイガニ *Episesarma lafondi* の両種が優占するオヒルギ林、地点CおよびD： *Perisesarma* 属のベンケイガニが優占するオヒルギ林において実施した。各地点において、0.5 m 四方のコドラートをカニの巣穴を囲むように設置し、その中心に予め重量を測定しておいたマングローブ落葉を4枚ずつ置き、2時間放置後、コドラート内に残った落葉を回収・記録し、そのうち摂食痕が確認された供試葉のみを持ち帰り、速やかに生重減少量を計測した。上記試験は昼間干潮時に各地点で10反復ずつ行った。カニ類による落葉持ち去りの状況はコドラート上部に取り付けた Go Pro HERO 8 を用いタイムラプス撮影（5秒で1枚の撮影）により観察した。撮影された写真映像により、どの供試葉が巣穴へ運ばれたかと持ち去ったカニの種類は何かの2点を調べるとともに、各地点におけるマングローブ落葉の巣穴への持ち去り速度 (D.W. $\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) を算出した。その結果、同速度は、地点A～Dで 16.7 ± 3.02 、 8.50 ± 1.97 、 0.80 ± 0.23 および 0.70 ± 0.20 (Mean \pm S.E.) と、地点Aと地点CおよびD間で20倍程度の差が示された。また写真映像から判断すると、アシハラガニモドキは落葉を巣穴に持ち去るのに対し、オオベンケイガニは林床上で落葉を直接摂食していた。アシハラガニモドキの持ち去り速度は他と比較し極めて高かったことから、営巣土壌には持ち去った落葉の大部分は巣穴内に残存したと想定された。今後は、これら持ち去り速度の結果と土壌中の溶存鉄や窒素・リンなどの栄養塩含有率、さらには未分解の落葉量・有機物含有率との関連性を検証したい。

マングローブ林の根系由来大型有機物の蓄積が地盤高上昇に及ぼす影響

—西表島における地下部有機物含有率と生根・死根比重—

○水谷萌（南山大・学生）・藤本潔（南山大）・小野賢二（森林総研・東北）・渡辺信（琉球大・熱研）・羽佐田紘大（奈良大）・古川恵太（海辺研）・木原友美（京都大・院）

近年、温暖化に伴う海面上昇が表層侵食等の形でマングローブ林に影響を与えつつある。表層侵食に伴う地盤高低下は、海面上昇速度が土砂収支と根系由来大型有機物蓄積に伴う地盤高上昇速度を上回った場合に発生する。根系由来有機物蓄積が地盤高上昇に及ぼす影響を把握するためにはそれを体積として捉える必要がある。本発表では、土砂流入量が異なると考えられる西表島の2か所のマングローブ林を対象に、そのために必要となる樹種と地下部有機物含有率の関係、および樹種毎の直径階別生根比重と死根比重を報告する。

有機物含有率分析試料は、ジオスライサーを用い、後良川河口と由布島対岸固定プロット（IS1：後良川河口ヤエヤマヒルギ優占群落、IS2：後良川河口オヒルギ群落、IY：由布島対岸マヤプシキ→ヤエヤマヒルギ→オヒルギ带状構造群落）で深度50cmまで採取した。分析に用いたコアは、IS1が5本、IS2が4本、IYはマヤプシキ4本、ヤエヤマヒルギとオヒルギが各9本である。分析用試料は、各コアから深度別（10cm刻み）に各3点採取し、試料重量、絶乾重量を測定後、電気炉で480°Cで燃焼させた強熱減量から有機物含有率を算出した。IYの有機物含有率を深度別に群落間で比較すると、深度0-10cmはヤエヤマヒルギがマヤプシキ、オヒルギより有意に高く、オヒルギはマヤプシキより有意に高かった（Mann-Whitney U test: $p < 0.01$ ）。10-50cmはオヒルギがヤエヤマヒルギとマヤプシキより有意に高かった（10-40cm：Mann-Whitney U test: $p < 0.01$ 、40-50cm：オヒルギ vs ヤエヤマヒルギ、Student's t-test: $p < 0.01$ ）。ISは0-10cmでヤエヤマヒルギがオヒルギより有意に高く（Welch's t-test: $p < 0.05$ ）、10-50cmはオヒルギがヤエヤマヒルギより有意に高かった（Welch's t-test: $p < 0.01$ ）。地下部有機物量は、一般にヤエヤマヒルギ属群落で最高値を示すが、今回は表層を除きオヒルギ群落が最も高かった。空中写真によると、オヒルギ群落は1963年には既に存在するのに対し、IYとIS1のヤエヤマヒルギ群落は、それぞれ1986年以降、1995年以降に成立した極めて新しい群落であることから、オヒルギ群落より低い値となったものと考えられる。しかし、表層0-10cmではヤエヤマヒルギがオヒルギを上回っていることから、ヤエヤマヒルギの高い根系生産・蓄積力が読み取れる。

根の比重測定は比重瓶法で行い、現時点でオヒルギとマヤプシキの値が得られている。生根は直径階毎に（径0.5mm未満、0.5-2mm、2-5mm、5mm以上）、死根は階級分けせずに行った。その結果、両種とも生根は0.5mm未満の極細根が他の階級より有意に高く（Turkey's HSD test: $p < 0.01$ ）、死根はすべての階級の生根より有意に高かった（Turkey's HSD test: $p < 0.01$ ）。以上の結果より、根系由来大型有機物を体積として把握するためには、地下部有機物量に占める生根の階級別割合とともに、死根含有率も明らかにする必要があることが示された。

LiDAR-SLAM によるマングローブ単木情報の推定と精度検証

○山本 敦也 (中日本航空)・宮城 豊彦 (ISME・地域情報カスタイズ エット)・馬場 繁幸 (ISME)
柳澤 英明 (東北学院大学)・古川 恵太 (海辺つくり研究会)・成瀬 貫 (琉球大学)

【背景と目的】

近年、森林調査において地上レーザ計測 (Terrestrial LiDAR : Light Detection and Ranging) の活用に関心が高まっている。マングローブ林においても、LiDAR-SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) による手持ちのレーザスキャナを用いることで、高密度な 3次元データを効率的に取得することが可能である。3次元点群データを用いた単木レベルの計測事例は、樹形の構造が比較的単純な針葉樹林では多く報告されているが、広葉樹林では、幹曲がりや株立ち等、樹形に個体差が大きく複雑な構造であり、単木評価が難しいため事例は少ない状況にある。

本研究では、LiDAR-SLAM による 3次元点群データを用いてマングローブ単木の材積推定を簡便に行う手法を確立することを目的とし、胸高直径や樹高を単木ごとに求める手法を検討した。

【使用データ】

モーリシャス共和国 Ferney 地区のマングローブ林に設定した約 200m²の帯状区において、ハンドヘルド型レーザスキャナにより取得した 3次元点群データを使用した。同時期に従来法による毎木調査も実施されている。同計測範囲にあるサイズが大きい個体が分布する林分、矮小個体が分布する林分において各 50m²程度の検証用区画を机上設定し、3次元点群データを用いて単木レベルの解析処理を実施した。

【作業状況と今後の予定】

オープンソースソフトウェアである CloudCompare のセグメントツール等を使用して 3次元点群データを単木ごとに分類した。得られた単木データを用いて、胸高位置で 5cm 幅の幹断面を抽出し、円近似によって胸高直径を推定した。樹高の推定は、幹の中心位置および各樹冠の最大標高位置を樹頂とした 2通りで実施した。各推定結果は実測値との比較を行い、その誤差要因や最適な推定方法について考察した。また、上記で推定した直径および樹高から算出した材積と点群を用いたボクセルモデルにより算出した材積の結果を比較した。

本研究は、公益信託 商船三井モーリシャス自然環境回復保全・国際協力基金の助成受け、国際マングローブ生態系協会 (ISME) による「マングローブ生態系保全・再生と持続可能な利活用への技術支援と人材育成プロジェクト」の一部として実施されたものである。

3D スキャナを用いた支柱根の詳細形状評価手法の構築

○柳澤英明 (東北学院大)・宮城豊彦 (ISME/地域情報カスタムユニット)・馬場繁幸 (ISME)

1. はじめに：海と陸の境界である潮間帯のみに生育するマングローブでは、その立地条件や様々な外力要因（潮汐、波浪など）に阻まれ、調査の実施が困難となる。そのため調査できる範囲が限定されてしまい、定量的かつ統計的な議論が難しいケースも多い。一方で、近年、非接触型の測量手法である3D スキャナの活用が多様な分野に広がっており、マングローブ研究においても活用事例が見られるようになってきた。この3D スキャナ技術を有効活用することで、これまで定性的な評価にとどまっていた理解が、定量的かつ統計的な観点から議論ができる可能性がでてきた。そこで本研究では、十分な形状特性が把握されていないヤエヤマヒルギ属に特有な支柱根を対象に、3D 測量を実施し、定量的な観点からその形状特性を明らかにすることを試みた。

2. 研究対象について：本研究では、石垣島および西表島（ヤエヤマヒルギ）、ベトナム・カンザー地区（フタバナヒルギ）、モーリシャス（オオバヒルギ）を対象に3D スキャナによる測量を実施した。また本研究では、林縁部の密生した支柱根や矮性化した樹木は対象とせず、図1のような「直立型」「倒れ込み型」「はいずり型」等の明瞭な形状特性を有する支柱根を対象とした。



図1 測量対象とした典型的な支柱根タイプの3Dモデル

3. 研究結果：2019年～2023年にかけて、いくつかのプロジェクトで横断的に3D測量を実施し、データ収集を行った。生育状況に応じて体積の絶対値に差異が生じるため、株元の半径を用いて、 πr^α で正規化した結果、地域に関係なく、同様の傾向を示すことが分かった。また α を2.7とし、累乗近似で回帰式を作成した結果、高い相関を示すことが分かった。本式を用いることで、定量的に支柱根体積を算定することが可能である。

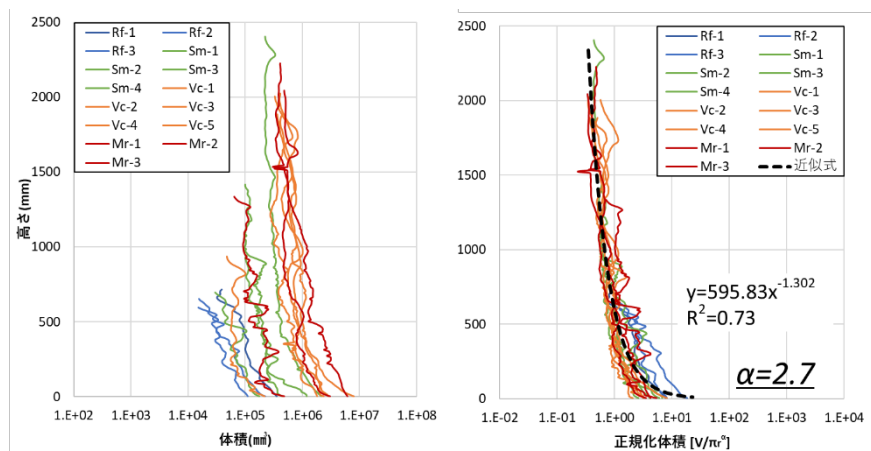


図2 支柱根体積の鉛直変化

(独法)国際協力機構の技術協力プロジェクトに基づき(一財)海上災害防止センターが行う
「モーリシャス国流出油対応に係る体制能力強化プロジェクト」

○垣本 英臣 (一般財団法人海上災害防止センター 業務部国際業務課)

船舶やコンテナで事故が発生した場合、往々にして燃料油や貨物油、貯蔵油やケミカルなどが流出し、海や港湾など公共の水域を海洋汚染してしまう。

当センターは、海上に流出した油やケミカルの防除活動等を行う指定海上防災機関であり、1976年の創設以来 200 件を超える事故対応を実施している。また、油やケミカルの防除資機材を全国に配備し緊急対応する業務や、平時はコンサルタント業務として事故に備えた事前計画の策定や、訓練業務として実火や実油を用いた火災消火・流出油対応訓練を国内外の受講生に提供している。

2020 年 7 月、モーリシャスに日本船主の貨物船 WAKASHIO 号が座礁し、流出油事故が発生した。事故後同国の要請に基づき、国際協力機構は「モーリシャス国流出油対応に係る体制能力強化プロジェクト」を実施することとなり、当センターが委託を受けて同プロジェクトを、事前計画策定(潮流調査等を実施し、結果に基づく油防除の事前計画策定)、人材育成(国際海事機関(IMO)の推奨する油防除訓練を提供)、資機材供与の 3 つの観点から進めている。本報告では特に潮流調査と油防除の事前計画の策定、人材の育成に関し、2023 年 5 月から 11 月にかけて同国にて実施したので報告する。

海面上に吹く風の影響を受けにくく潮流の流向流速に追従し漂流する、GPS を内蔵したブイを作成し、モーリシャスの主要港であるポートルイス港の港湾区域内で一定時間漂流させ、潮流の面的挙動を計測した。ポートルイス港水路では上げ潮(図 1 内赤矢印)でも下げ潮(図 1 内青矢印)でも、港口の方向へ流れる潮流が実測された。また港湾区域内の海岸線を陸上から踏査し、海岸線の性状をアメリカ海洋大気庁の規定する指標を用いて区分し、潮流の面的挙動と共に、QGIS を用いて地図上に落とし環境脆弱性指標図: Environmental Sensitivity Index (ESI) Map を作成した。また海上の流出油は、潮流に 100%、風に 3%の影響を受け拡散することが IMO の訓練テキストに記載されており、実測した潮流データとポートルイス港の風配図から、港内での 100kl の低硫黄燃料油の流出油事故を想定したシミュレーションを作成した。

2023 年 7 月にモーリシャス行政職員を対象とした IMO 油防除訓練を実施し、作成したシミュレーションを用いて図上演習を行い、環境的脆弱性、経済的脆弱性、文化的脆弱性の観点から討議し油防除の事前計画を策定した。当該事前計画は、同年 10 月に実施したポートルイス港近辺で活動する漁業関係者や石油関連施設、NGO 等を招いて開催した、初歩的な油防除手法を勉強するワークショップにおいて、内容が確認された。今後同計画は、モーリシャスの流出油国家緊急時計画に、参照資料として含まれる予定となっている。

同様の事前計画策定、人材育成は、2024 年 1 月から 8 月の間に WAKASHIO 号が座礁した海域を対象に、実施予定である。



図 1 ポートルイス港の ESI Map

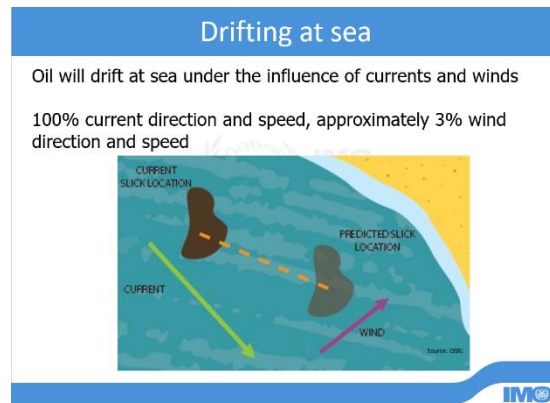


図 2 IMO の油防除訓練テキスト抜粋

モーリシャス国におけるマングローブプラットフォーム(Mauritius Platform of Mangroves)の設立

○宮城豊彦(ISME/地域情報カスタマイズ エット)・馬場繁幸 (ISME)・古川恵太 (海辺研)・山本敦也 (中日本航空)・柳沢英明 (東北学院大学)・中西康博 (東京農大)・成瀬 貫 (琉球大)

はじめに：2020年7月に、表題国を取り巻くサンゴ礁への座礁事故が発生し、その際の流出燃料がマングローブ林を含む沿岸域を汚染した。日本政府は、同国からの支援要請を受けて国際緊急援助隊を派遣し、筆頭者も含めて一連の初期対応を行った。同国側でも油汚染の除去と並行して汚染影響のモニタリングを地域 NGO (Reef Conservation などが開始した。わが国は JICA を通じて当初から緊急援助隊として参加し、同国の災害復旧策を練るとともに、沿岸の社会経済状況の改善策を検討するなどを行っている。この事案の当事者である商船三井も、モーリシャス事務所を開設し、同社の目標の一つに環境修復を設定した。加えて、同国内の社会・環境改善に資するための「自然環境回復保全・国際協力基金」を設立し国内外の NGO/NPO の事業に資金提供している。ISME(国際マングローブ生態系協会)は、この間、緊急援助隊・長期モニタリングプロット設置の助言などで関わり、現在は、昨年から上記基金を得て「モーリシャスのマングローブ生態系保全・再生と持続可能な利活用への技術支援と人材育成事業」を実施し、同国マングローブ生態系に関する基礎的・概要的な理解のための成果が得られつつある。また、本年度はプロジェクト目標のマイルストーンとなる「地域と我々とを結ぶ共通理解の場としての Mauritius Platform of Mangroves : MPM」を設立するためのワークショップを開催した。

モーリシャス国のマングローブ生態系：同国は南緯約 20 度、インド洋マダガスカル島の東に位置し、周囲をサンゴ礁に囲まれた周囲約 250 km、第三期に噴出した玄武岩からなる孤島で、微小潮汐域にある。約 500 年前オランダ人が上陸するまでは無人島で、以後フランス・イギリスなどの植民地となり、徹底した土地・環境改変が行われた歴史がある。大半の陸域はサトウキビ畑であり、僅かに残された森林も、そのほとんどは外来種で構成される。地形改変は沿岸域にも及び広範に埋め立てられた。一説には、元来存在したマングローブ林は開発で 50ha までに減少し、政府は 2001 年から急遽保護政策を実施しているとされる。筆頭者の画像判読では 2020 年時点で 230ha 程度と推定した。その中で森が良好に保全される 2 地域での現地調査と、Google Earth の画像比較や地形・堆積物分析を通じ、当該国のマングローブ生態系は、微小潮汐域に成立し、面積的には小規模で、広範囲な破壊後の自然再生林であり、地球規模で進行する急激な海面上昇の影響を敏感に受けるものと推測された。

マングローブ域の概況とプラットフォーム構築：同国のマングローブ林は、住民の日常生活圏にある貴重な沿岸自然生態系で、これを対象に多数の NGO・政府機関・大学が様々な活動を行っている。沿岸住民にとってのマングローブ林は、裏庭的な状況にあるようだ。即ち身近だが前庭とは異なる扱いをする対象である。他の住民や旅行者は、マングローブ林を外から眺めていても、実際には林内に入ることは殆どない。住民にとっては、裏庭で油汚染事故が発生したのであるから、その裏庭での事故に対して、政府機関だけではなく、住民主体の NGO、NPO が油の除去や、生態系の保全・再生に取り組んできている。事故後の幅広い活動とそれらの活動から得られた知見を無駄にせず、今後もより効率的に活動を行うための情報交換の場が必要とされる。私どもは、商船三井、現地で極めて活発に活動している NGO の Reef Conservation や Ciel Group と、話し合いを重ね、2023 年 11 月にプラットフォーム構築のためのワークショップを開催した。その結果、参加して頂いた 13 機関の方々の満場一致のご賛同でプラットフォームの設置が認められた。このプラットフォームによって、今後より一層の効率的な意見交換が期待される場所である。

マングローブの起源と拡散

○向後元彦 (マングローブ植林行動計画)

要旨

- きわめて少ない研究分野である。だから意味があり、だからおもしろい。
- 発端： 2009年のエジプト西砂漠 Wadi el Hitan、マングローブの根系とされる化石に出会う。マングローブの起源や進化について考えたことがないことに気づく。



Wadi Hitan テチス海のクジラ化石 マングローブ根系化石か？ ヒルギダマシ属の葉化石 大英自然史博物館収蔵庫にて

- 研究方法： 素朴な方法を採用。①文献： UNESCO. Bibliography on Mangrove Research 1600-194 (1981) と Tomlinson. Botany of Mangroves (1986)から始まる、②世界の自然史博物館訪問、③テチス海をめぐるフィールド調査。 * 40余年のマングローブとの付き合いが土台となる。 **分子生物学。若干の勉強はした。が後期高齢者には難しすぎる。

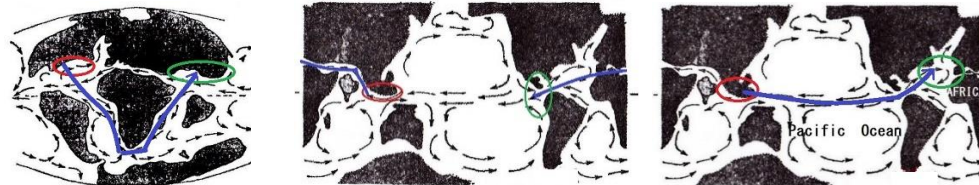


古生物探求の旅

マングローブ研究、世界に足跡をのこした 1978~2020

■結果

- 1. 起源と拡散： P. Saenger and G. Luke による仮説を検討。*図化は筆者による。



仮説 1

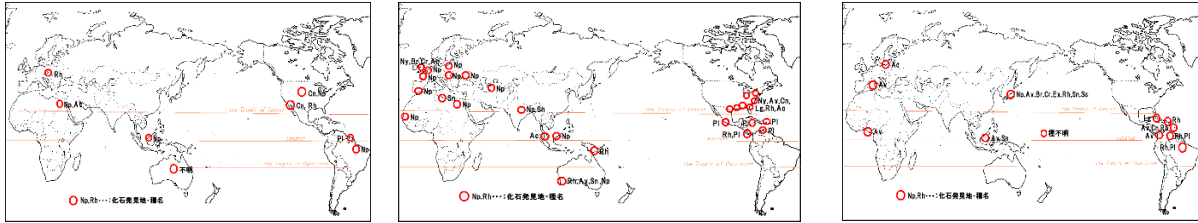
仮説 2

仮説 3

○：起源 ○：終着地域 —：拡散ルート

- ・起源——東テチス海と西テチス海沿岸の2地域。これは化石記録からうなずける。
- ・拡散——3仮説とも誤り。化石記録も、またほかの観点からも整合性がない。

2. どこで、どの種類が出現したのか： 限られた化石記録からだが、はじめての出現が白亜紀後期(約1億年前)であったことを明らかにする。出現が一回きりか複数回だったかはわからない。が、後者の可能性がたかいと考える。



白亜紀後期(1億500万~6600万年前) 始新世(5600万~3390万年前) 中新世(2303万~523万年前)

Av:ヒルギダマン属, Ko:コノカルプス属, Pl:ペリシエラ属, Rh:ヒルギ属 *以下属略名は省略。

3. 東は東、西は西： 広大な太平洋の存在/種子の発芽能力期間の限界——この2つの要因がマングローブの世界分布を二分する[東・西マングローブ (Tomlinson,1968)]。これは白亜紀後期からはじまり現在までつづく。南西太平洋諸島に分布する *Rh. samoensis* が *Rh. mangle* と同じことが分子生物学による解析からは証明された。が、それは中南米からの拡散ではなく、ハワイの場合と同じく人による移植と考える。



西マングローブと東マングローブ ハワイにマングローブはなかった *Rh. samoensis*, トムリンソン仮説

4. どのようにしてマングローブになったのか： 熱帯に分布する淡水湿地林。そのうち15科17属の木性被子植物におこった事件である。眠っていた耐塩性遺伝子が目覚め、マングローブになった。だが何が原因で目覚めたのかがわからない。白亜紀の大海進(生き残るには耐塩性遺伝子を機能させねばならない)、もしくは大海退(広大なニッチ・潮間帯が出現した)と考えたが、どちらも否定せざるを得なかった。*起源が古いミモチシダ属はデボン紀(4.2~3.6億年前)から耐塩性遺伝子が働いていたと考える。

5. 日本列島が亜熱帯だったとき：



現在までつぎの9属の花粉が発見されている。かつて日本は台湾の気温と同じであった。

Avicennia, Ceriops, Bruguiera, Excoecaria, Kandelia, Nypa, Rhizophora, Scyphiphora, Sonneratia

体内塩濃度の簡易測定 —コシヒカリと IR64 における検証—

○福嶋くるみ (山脇学園高等学校 3 年)

【背景・目的】

塩類集積土壌の修復保全は、現代の農業生産における課題の一つである。この背景を踏まえ、イネには生物的除塩の機能もあると考え、日本型水稻品種コシヒカリおよびインド型水稻品種 IR64 を供試し、Na への耐性評価と吸収能力について検討した。また、高度な機器の導入が困難な遠隔地での簡易測定を目的に、小型イオンメーター等の有用性も検討した。

【実験方法】

1. 栽培条件

品種ごとの供試個体数は各処理につき 20 個体とした。播種後、発芽発根した籾を 3 日後に黒色ポリスチレン製容器(縦 255×横 170×高さ 130 mm) 計 3 つに移植し、明期 16 時間に制御して、23 日間水耕栽培した。溶液の調整は OAT ハウス培養液を添加し、播種後 15 日後に対照(0 mM) と NaCl 処理(50、100 mM)を設けて Na 耐性実験を開始した。水耕液は 3 日毎に交換した。

2. 測定

試料は、洗浄した後、乾燥させて粉碎した。ICP-AES(Thermo SCIENTIFIC 製)では湿式灰化を行った。試料 0.1 g に濃硝酸 10 mL を添加し、予備灰化、メイン分解を経て、濃硝酸で溶解した。超純水で 50 mL まで希釈し、Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn を測定した。一方、簡易測定では試料 0.3 g を電気炉を用い、800°C で 10 時間灰化処理を行い、脱イオン水 1 mL で溶解し、コンパクト型水質計[Na⁺] (HORIBA 製) で測定した。また、塩分屈折計 (AUTOUTLET 製) でも同様に測定した。

【結果・考察】

NaCl 添加濃度の増加に伴い、コシヒカリと IR64 の乾物重は減少し、Na 含有率は地上部、根ともに増加傾向にあった。これらは IR64 において顕著であった (図 1、2)。Na 含有率はいずれの品種でも、対照区では地上部より根が高く、塩処理区では根より地上部が高く示されたことから、Na 制御機能がはたらいっていないと考えられる。一方、K 含有率は、NaCl 添加濃度の増加に伴い、地上部、根ともに少なくなる傾向にあり、特に根において顕著であった (図 3)。

これは Na による拮抗阻害と考えられる。Na/K 比の増加により、組織中の pH が安定せず、平衡状態が崩れたともいえる。さらに、IR64 の葉において NaCl 添加濃度の増加に伴い、Mg 含有率は少なくなった。

また、コンパクト型水質計[Na⁺]では NaCl 添加濃度の増加に伴い、微量ながらコシヒカリの葉での Na 含有率の増加が認められた。塩分屈折計では測定範囲から外れたため、結果が得られなかった。

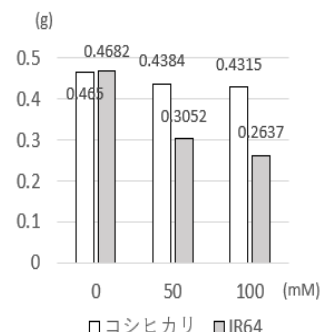


図 1

NaCl 処理が乾物重に及ぼす影響

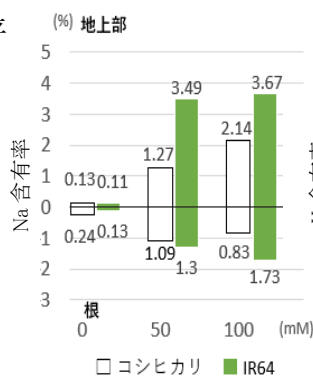


図 2 乾物重あたりの Na 含有率

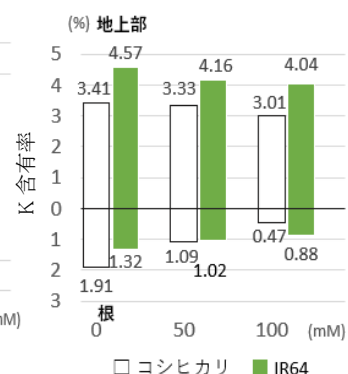


図 3 乾物重あたりの K 含有率

「マングローブは水ストレス状態」の検証

○宮沢良行（九州大・キャンパス計画室）・渡辺信（琉球大・熱研）・

種子田春彦（東京大・理学研究科）

海岸沿いや河口付近に生育するマングローブは、根圏から汽水や海水を吸い上げて利用して成長をする。光合成の際に発生する蒸散により水を失い、水を失った葉に根圏から吸い上げた水を絶えず補給しなければならない植物にとって、塩濃度の高い水を吸い上げることは難しい。葉で生じた陰圧を原動力に吸水する植物にとって、陰圧である浸透圧が強い塩水の場合、淡水の場合よりも葉に強い陰圧が必要とされるからである。葉が生じさせられる陰圧には限りがある上、強すぎる葉の陰圧は葉自身や水の吸い上げ経路である道管に負の影響を及ぼすことから、マングローブでは吸水速度の上限が低く、蒸散が激しい環境下で葉は水の供給不足に晒される、と考えられてきた。実際に、葉の蒸散速度が陸域の他種と比べて低く環境変化に敏感な節水型であるなど、乾燥地の植物に典型的な特性も観察されている。一方で、マングローブの葉が強い陰圧を生じることができる上、道管も強い陰圧への耐性を持つことも知られており、マングローブが吸水に不自由することなく光合成を行い成長している、という仮説も示唆されている。年中温暖な環境にあることもあり、森林としての生産性の高いマングローブだが、高温や湿度低下に起因した大気の乾燥や根圏の塩濃度上昇など、吸水に関連する環境の変化に強く影響を受けて光合成や蒸散が抑制される「水ストレス下の植物」なのか、強い乾燥耐性によりそうした影響を受けないのか、ほとんどわかっていない。この研究では、西表島船浦湾に自生するオヒルギとヤエヤマヒルギを対象に、樹木の環境をかく乱することなく蒸散を長期的に観測できるように、幹と枝に、根圏から吸い上げられた水の流れ(樹液流)を測るセンサーを設置し、蒸散速度の代替値(Heat pulse velocity : HPV)を計測した。切り取った枝についた葉を用いて、葉レベルでの光合成と蒸散の計測を試みた。また葉の生み出す陰圧の指標水ポテンシャルと、その限界値である膨圧喪失時の水ポテンシャル(\square_{TLP})を、冬と、水利用の激しくなる夏とで観測した。葉の蒸散が、計測開始とともに低下するなど、空気の乾燥に敏感であったのに対して、HPVは環境条件に対応して日・季節変動し、日射や大気の乾燥の程度(VPD)とともに直線的に増加していた。この傾向は、比較的海岸より内陸に生育するオヒルギに限らず、生息地の海側の辺縁部に生きるヤエヤマヒルギでも見られた。一般に、変動する環境下で葉が水供給に不自由することなく光合成できる場合には、蒸散と VPD には強い正の相関が観察される。一方、水ストレスに晒され、一定以上の速度で蒸散(吸水)できない植物では、VPD が上昇しても蒸散は増加しない、飽和型の HPV-VPD 関係を示すことから、マングローブの葉の光合成や蒸散は、光や温度など光合成を決める環境要因によって決まり、水供給不足に起因した抑制は発生していないことが明らかとなった。葉の陰圧は、樹液が流れず、根圏と葉が定常状態になった夜明け前でも非常に強く、マングローブの生息地は吸水に過酷な環境であることが明らかとなった。日中、マングローブは葉の陰圧をさらに強くすることで樹液流を生み出していたが、その際の葉の陰圧は限界値 \square_{TLP} よりも弱く、マングローブは本調査地での吸水に不自由していない事実が改めて示された。本研究により、対象となったマングローブは、その高い乾燥耐性を武器に、葉の蒸散に見合う吸水を維持して成長できる、生産性の高い樹木であることが明らかとなった。

マングローブ生態系内の土壌-水-大気間の無機炭素循環

○中村航（東京大）

気候変動への関心の増加に伴い、大気中に流出した炭素を取り除く生態系による CO₂ の自浄作用が大きな注目を浴びている。とりわけ、森林と海洋の境界部に存在するマングローブ林には、他の生態系と比較しても豊富な炭素が埋没されていることが知られている。一方で、マングローブ林による純一次生産量（NPP）の推計値と、土壌内部への炭素の埋没速度（Burial rate）の推計値には大きな解離があり、この“行方不明の炭素”が大きな関心事となっていた。Bouillon et al. (2008)はこの行方不明の炭素の大部分はマングローブ林から海洋への全溶存無機炭素（DIC）の輸送であるという仮説を示し、過去 15 年間の研究の蓄積により、行方不明の炭素のほぼすべてが DIC として海洋に流出していたことが明らかになった。これは、マングローブ林の一次生産により土壌内部に堆積した有機物は、大部分が土壌内部で分解され、潮位との相互作用により沿岸海域へと流出していることを意味する。この土壌内部からの DIC の流出により、マングローブ水域では CO₂ 濃度が極めて増加するため、マングローブ水域は大気への CO₂ の排出源として機能する。しかしながら、マングローブ水域から大気への CO₂ フラックスと DIC の海洋への輸送量の比較から、水域から大気への CO₂ の排出は、海洋への DIC の輸送の約 10%程度に過ぎず、輸送された DIC のほとんどは海洋に留まることが明らかになった。これは、マングローブ土壌からは DIC と共に大量の全アルカリ度（TA）が流出することに起因している。大気水間の炭酸平衡を考慮すると、水中で DIC の濃度が増加しても TA も同時に増加する場合は大気への CO₂ の排出が抑制される。気候変動の緩和の観点からは、大気から CO₂ を取り除くことが大事であり、上記のメカニズムによりマングローブから流出する DIC は海洋へ留まることが予想される。海洋は約 2000 年スケールで循環しており、一度海洋に取り込まれ深海に輸送された炭素は、約 1000 年間は表層に戻らない。そのため、マングローブから海洋への DIC の輸送はマングローブの持つ新たな炭素貯留機能であると考えられている。

生態系による炭素の自浄作用には、各地域での気候や環境に大きく依存する。そのため、インド太平洋地域の分布の北限域に位置する我が国のマングローブ林は、炭素循環を明らかにする上で、地理的に重要な場所に位置している。しかしながら、我が国のマングローブ林を対象とした、炭素動態に関する研究は、そのほとんどがバイオマスやストックに着目したものであり、海洋との相互作用により発生する DIC や CO₂ の動態に着目した研究はわずか数%に過ぎない。本講演では、発表者の博士研究の一環として行った、石垣島、西表島の 8 つのマングローブ水域での調査を基に、我が国のマングローブ林での水域を介した炭素動態について紹介する。

引用：Bouillon, S., Borges, A. V., Castañeda-Moya, E., Diele, K., Dittmar, T., Duke, N. C., ... & Twilley, R. R. (2008). Mangrove production and carbon sinks: a revision of global budget estimates. *Global biogeochemical cycles*, 22(2).

スキャナを用いた土壌断面観測による細根動態の推定と季節変動

○木原友美（京都大・院）・小野賢二（森林総研・東北）・諏訪鍊平（JIRCAS）・

渡辺信（琉球大・熱研）・檀浦正子（京都大）・藤本潔（南山大）

研究の背景：近年、新たな CO₂ 吸収源として、ブルーカーボン（沿岸及び海洋生態系により吸収・貯留された炭素）が注目を集めている。マングローブは、限られた地域にしか生育しないにもかかわらず、ブルーカーボン生態系の炭素貯留量の約 14%を担っており、単位面積当たりの炭素貯留能が極めて高い。特に、根への炭素配分が高く、土壌中には細根（直径 ≤2mm）由来の膨大な量の炭素が貯留されていることから、マングローブ林の高い炭素貯留能には細根が大きく寄与していると言える。よって、マングローブ林における炭素循環を把握するためには、細根動態を明らかにすることが不可欠である。

マングローブ林での新たな細根動態観測法の適用：これまでのマングローブ林における細根動態研究では、土壌コアサンプリングにより半年～数年単位で生産・枯死・分解量が推定されてきたが、細根（特に直径 ≤0.5mm の極細根）は消長が速いため、この時間分解能では過小評価となる可能性が高い。そこで本研究では、陸上の森林生態系で開発された細根動態観測法であるスキャナ法をマングローブ林に適用した。スキャナ法は、土壌中にアクリル製の観察用箱を埋設して固定し、その箱にスキャナを差し入れ、任意の時間間隔で土壌断面画像を撮影、画像に投影された根を時系列に沿って解析することで、根の伸長及び消失量を推定する手法である。この手法では、土壌中の根を直接的かつ短い時間分解能で観測することができるため、消長の速い極細根の動態も捉えることが可能である。本研究では、西表島船浦湾のオヒルギ林及びヤエヤマヒルギ林に観察用箱を設置し、①長期観測（1～3 か月に 1 回の頻度で撮影）、及び②①の撮影頻度では捉えきれないターンオーバーの速い細根動態を明らかにするための短期観測（1～2 日に 1 回の頻度で撮影）を行った。画像解析には、①にはディープラーニングを用いて自動で根を検出するソフトウェア（ARATA）、②には手動で根をトレースするソフトウェア（WinRHIZO Tron）を用いた。

結果と今後の課題：細根動態の季節変動については、春から秋にかけて伸長量が増加する傾向が見られた。また、1 日 1 回の頻度での撮影で動きのあった根は、直径 0.5mm 以下の極細根だった。現地で採取した根サンプルの形態解析から、それらの根は 1 次根もしくは 2 次根であると判断される。養水分吸収の役割を担う 1、2 次根の生産が活発であることが考えられる。

本研究において、同一箇所土壌断面画像を連続的に撮影し、根を追跡する手法を確立することができた。一方、スキャナ法は 2 次元で細根動態を捉えるため、林分の単位面積あたりの細根生産量を推定するためには、3 次元で動態を推定する必要がある。スキャナに投影された根を重量に換算する手法等を今後検討したい。

海面上昇下における群落レベルでのマングローブ立地変動とその規定要因の定量分析

○藤本 潔 (南山大)・古川恵太 (海辺研)・小野賢二 (森林総研・東北)

渡辺 信 (琉球大・熱研)・羽佐田紘大 (奈良大)

海面上昇が確実に進行しつつある現在、マングローブ林には既に目に見える形での影響が現れつつある。その顕著な現象のひとつが表層侵食である。一方で、同様の海面上昇速度下にあっても表層侵食が見られないマングローブ群落も存在する。

IPCC(2021)によると、全球平均での海面上昇速度は1901～2018年の長期間では1.73mm/年であるが、1971～2018年は2.33mm/年、1993～2018年は3.25mm/年、2006～2018年は3.69mm/年と、近年加速傾向にあることが指摘されている。IPCC(2013)では、フィリピンからミクロネシアに至る北西太平洋低緯度地域で、1993～2012年の間に年10mmを越す急激な海面上昇が報告された。ミクロネシアのポンペイ島では、このような急激な海面上昇が進む中、オヒルギ林やマヤプシキ林で顕著な表層侵食が進み、本来は地中に埋没しているはずのケーブル根や呼吸根が露出している群落がみられる一方で、ヤエヤマヒルギ林やフタバナヒルギ林では表層侵食は認められず、マングローブ泥炭の堆積によって地盤高が上昇しつつある(Fujimoto et al. 2023ab)。全球平均とほぼ同じ速度で海面が上昇しつつある西表島でも、表層侵食の影響で地盤高が低下した可能性があるオヒルギ林が存在する一方で、河口部では海側に立地を拡大させつつあるマングローブ林も存在する(藤本ほか 2022)。

このように、同様の海面上昇下にあってもその影響の現れ方は立地環境や群落タイプに応じて異なる。影響の現れ方を左右する要因は、集水域からの土砂流入および潮汐に伴う上げ潮時の土砂流入と下げ潮時の土砂流出といった外部要因と、樹種毎の主として根系生産・分解プロセスに連動したマングローブ泥炭蓄積能力などの内部要因に大別される。本研究は、ポンペイ島と西表島を対象とし、これら外部要因と内部要因の双方から分析することによって、海面上昇下においてどのような立地環境にあるマングローブ林が表層侵食等の負の影響を受けるのかを群落レベルで定量的に評価することを目的としている。外部要因に関しては、集水域における土砂輸送、林内での土砂沈積量、および潮汐流に伴う土砂フラックスをモデル化する。集水域における土砂輸送のモデル化においては、土砂流入量に影響を及ぼすと考えられる集水面積、集水域の地形・地質条件、土地利用や森林状態についてGISを用いて定量評価する。内部要因はマングローブ泥炭堆積量を単位面積当たりの体積として把握することで、地盤高上昇への寄与率を定量化する。

本発表では、研究計画の概要と研究方法を紹介すると共に、これまでに得られた途中結果を報告する。また、これまでの研究から見てきた課題や今後の方向性についても言及する。

参考文献：IPCC(2013) Climate change 2013: The physical science basis. IPCC(2021) Climate change 2021: The physical science basis. Fujimoto et al. (2023a) *Ecological Research* 38: 494-507. Fujimoto et al. (2023b) *Carbon Footprints 2*: article no.15 (DOI: 10.20517/cf.2023.12). 藤本ほか(2022) 第28回日本マングローブ学会発表要旨集: p.3.