

Japan Society for Mangroves
第30回 日本マングローブ学会年次大会

講演要旨集



マレーシア・サバ州マングローブ林にて / 馬場 繁幸

会場：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

**2024（令和6）年度
第30回日本マングローブ学会大会プログラム**

初日：令和6年12月7日（土）

| | |
|--|---|
| 8：30 受付開始（東京農業大学世田谷キャンパス 農大アカデミアセンター 地下1階） | |
| 口頭発表 一般の部（発表15分間，質疑応答4分間） 会場：横井講堂 | |
| 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 Part.2 ○小島 京祐（東京農大・院）・檜谷 昂（東京農大）・中西 康博（東京農大） |
| 9：50 | Environmental DNA metabarcoding (eDNA) as a tool for biodiversity monitoring and resource management in Nakama River, Iriomote Island, Okinawa, Japan. ○Marizka G. Juliano (University of the Ryukyus / Universiteit Gent)・Bernadeth Grace S. Pananganan (University of the Ryukyus / Kagoshima University)・Saki Sugawara (University of the Ryukyus / Kagoshima University)・Yukinobu Isowa (University of the Ryukyus)・Tadashi Kajita (University of the Ryukyus) |
| 10：10 | Integrating UAV Remote Sensing and Vegetation Indices for Species-Specific Biomass Estimation of Kandelia and Bruguiera Mangrove Species in Tojoutsumi Sea, Japan. ○Janepher Ogam Odhiambo (Tokyo University of Agriculture)・Sawahiko Shimada (Tokyo University of Agriculture)・Ayako Sekiyama (Tokyo University of Agriculture)・Hirayama Hidetake (Tokyo University of Agriculture)・John Bosco Mukundi Njoroge (Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology) |
| 10：30 | デジタル技術で監視するマングローブの環境応答 ○宮沢良行（九州大）・渡辺信（琉球大） |
| 10：50 | マングローブ林内環境のフォトグラメトリー解析 ○渡辺 信（琉球大）・福寺航大（九州大学）・加藤元康（南山大学）・小野賢二（森林総研）・木原友美（京都大学）・中村航（東京大学）・小田原泰志（南山大学）・藤本潔（南山大学） |
| 11：10 | マングローブ生態系における土壌から海洋への炭素プール移行の重要性 ○中村 航（琵琶研 / 東京大）・渡辺 謙太（港空研）・宮島 利宏（東京大）・宮入 陽介（東京大）、横山 祐典（東京大）・山口 保彦（琵琶研）・桑江 朝比呂（港空研）・佐々木 淳（東京大） |
| 11：30 | 各種マングローブの乾燥葉水抽出液の機能性に関する研究～化粧品原料としての可能性 ○本間 知夫（前橋工科大）・對比地 華（前橋工科大・院）・檜谷 昂（東京農大）・馬場 繁幸（ISME）・中西 康博（東京農大） |
| 11：50 | 昼食 役員会（12：20～） 会場：農大アカデミアセンター 地下1階 会議室 |

| 公開シンポジウム | |
|--|--|
| 『包括的な高精度データセットを構築することで開くマングローブ生態系研究の展開可能性』 | |
| 14 : 00 | 主旨説明 宮城 豊彦 (ISME /地域情報カスタマイズユニット) |
| 14 : 05 | 講演 I 国際マングローブ生態系協会のマングローブの保全・植林活動と、その活動を通じた高精度データを収集するための場の提供 ○馬場 繁幸・大城 のぞみ・毛塚 みお・金城 あけみ・与那原 章・馬場 花梨・貝沼 真美 (ISME) |
| 14 : 20 | 講演 II インドネシア国バリ島ベノア湾におけるマングローブ植林地の発達過程 (予報) ○宮城 豊彦 (ISME /地域情報カスタマイズユニット)・馬場 繁幸 (ISME)・鈴木 高二朗 (空港・港湾研)・山縣 史朗 (空港・港湾研)・柳沢 英明 (東北学院大学)・Djiti Mardiatono (Univ. Gadjah Mada, Indonesia)・Aulia Syifa Ardiati (Univ. Gadjah Mada, Indonesia)・Mohammad Basyuni (Universitas Sumatera Utara, Indonesia)・Fajar Yuliano (PRTH BRIN)・Ketut Gede Santi Budi (MIC, Bali Indonesia) |
| 14 : 35 | 講演 III マレーシア国サバ州サンダカン自然林保護区におけるマングローブ生態系の発達過程 ○宮城 豊彦 (ISME /地域情報カスタマイズユニット)・馬場 繁幸 (ISME)・柳沢 英明 (東北学院大)・山本 敦也 (中日本航空)・和田のどか (中日本航空)・檜谷 昂 (東京農大)・貝沼 真美 (沖縄科技大学院大)・Joseph Tangah・Douni Seligi・Jamiss Arbin・Fabian Koret・Charlesvyne Francis・Marrynah Matami・Viviannye Paul (Sabah Forestry Dept. Mangrove Task Force Team)・Rolando Robert (FRC, Sabah) |
| 14 : 50 | 講演 IV LiDAR 測量によるマングローブ林の微地形・樹木分布比較と潮汐動態の数値シミュレーション ○笠井 克己 (東京大)・後藤 和久 (東京大)・柳澤 英明 (東北学院大) |
| 15 : 05 | 講演 V LiDAR-SLAM による 3 次元点群データを用いたマングローブ単木情報の推定手法の検討 ○山本 敦也 (中日本航空)・宮城 豊彦 (ISME /地域情報カスタマイズユニット)・馬場 繁幸 (ISME)・柳澤 英明 (東北学院大学)・和田 のどか (中日本航空)・宇野女 草太 (中日本航空)・古川 恵太 (海辺研)・成瀬 貫 (琉球大)・檜谷 昂 (東京農大) |
| 15 : 20 | 講演 VI 3D スキャナによるマングローブ支柱根のアロメトリー式とその地域特性 柳澤 英明 (東北学院大)・宮城 豊彦 (ISME)・馬場 繁幸 (ISME)・檜谷 昂 (東京農大) |

| | |
|-------------------|--|
| 15 : 35 | 講演 VII 急激な海水準上昇の初期相におけるマングローブ生態系へのインパクト ○宮城 豊彦 (ISME/地域情報カスタマイズユニット)・馬場 繫幸 (ISME)・井上 智美 (国立環境研)・山本敦也 (中日本航空)・和田のどか (中日本航空)・柳沢 英明 (東北学院大)・檜谷 昂 (東京農大)・Adiilah Aungraheeta・Asmed Banharally (Reef Conservation, Mauritius) |
| 15 : 50 | 質疑応答・総合討論 |
| 16 : 15 | 公開シンポジウム 終了 |
| 休憩 (15 分) | |
| 16 : 30 | 総会 (会場：横井講堂) |
| 17 : 30 ~19:30 | 懇親会 (会場：国際センター 1F カフェテリアスペース) |

初日終了

2 日目：令和 6 年 12 月 8 日（日）

| | |
|--|--|
| 9：30 受付開始（東京農業大学世田谷キャンパス 農大アカデミアセンター 地下1階） | |
| 口頭発表 一般の部（発表 15 分間，質疑応答 4 分間） 会場：横井講堂 | |
| 10：00 | 衛星画像と空中写真を用いた南西諸島におけるマングローブ林の立地動態の把握 ○高橋 昂希（南山大・学生）・藤本 潔（南山大）・小田原 泰志（南山大・院） |
| 10：20 | 西表島における USLE 式を用いた集水域からの土砂流出量の推定とマングローブ林の立地変動 ○小田原 泰志（南山大・院）・藤本 潔（南山大） |
| 10：40 | ベトナム南部カンザー地区のマングローブ再造林地と放棄塩田植林地における樹種別動態と立地環境 ○加藤 天晴（南山大・学生）・藤本 潔（南山大、南遊の会）・石原 修一（駒場東邦中高、南遊の会）・横山 一郎（関東学院大学、南遊の会）・Phan Van Trung・Huynh Duc Hoan (Can Gio Mangrove Protection Forest Management Board) |
| 11：00 | 熱帯の乾燥地ジブチに生育する <i>Rhizophora mucronata</i> から観察された成長輪は年輪か？ ○檜谷 昂（東京農大）・亀田 望（東京農大・院）・Ibrahim Souleiman Abdallah (University of Djibouti)・Sadat Saleh Said (Energy and Environment Research Center, University of Djibouti)・桃井 尊央・島田沢彦・中西 康博（東京農大） |
| 11：20 | ジブチ原産 <i>Rhizophora mucronata</i> の材セルロース $\delta^{18}\text{O}$ ○亀田 望（東京農大・院）・檜谷 昂（東京農大）・Ibrahim Souleiman Abdallah (University of Djibouti)・Sadat Saleh Said (Energy and Environment Research Center, University of Djibouti)・桃井 尊央・島田沢彦・中西 康博（東京農大） |
| 11：40 | 農大マングローブ研究会の活動について ○加藤 直樹・坂本 優希（マングローブ研究会 /東京農大・学生）・檜谷 昂（東京農大） |
| 12：00 | 口頭発表 一般の部 終了 |

閉会

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 Part 2

○小島京祐（東京農大）・檜谷昂（東京農大）・中西康博（東京農大）

緒言：マングローブ林に生息するベンケイガニ類は、主要な落葉消費者として生態系の物質循環に果たす役割は大きい。とりわけ *Neosarmatium* 属は、落葉を巣穴へと持ち去るカニとして知られている。このようなベンケイガニ類の採餌行動は、落葉に含まれる窒素やリン、微量金属元素やフェノール物質といった様々な物質の土壌への回帰・供給を促進させ、土壌の生物的・非生物的環境を大きく変化させると考えられる。しかし、上記カニ類により巣穴へと持ち去られる落葉量やカニ類が摂食・消費する量、摂食されずに巣穴に残存する量など、実測された例はごく僅かで、ほとんどが未解明である。そこで本研究では、ベンケイガニ類を対象とした、巣穴への落葉持ち去り速度試験（第1実験）と、野外ケージによる給餌試験（第2実験）を実施した。

材料と方法：第1実験は、沖縄県西表島東部の以下の4つ地点、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：フタバカクガニ *Parasesarma bidens* が優占するオヒルギ林において、2023年7月と2024年2月に実施した。各地点において、0.5m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置き、2時間放置後（冬季は4時間とした）、コドラート内に残った落葉を回収し、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することにより、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。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 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供試葉が巣穴へ運ばれる様子を確認するとともに、各地点のカニ類の個体密度を算出した。第2実験は、第1実験と同一地点において2024年7月に実施した。ランドリーネットと園芸支柱で作成した円筒ケージに土壌を敷き、そこへ *N. smithi*、*E. lafondi*、*P. biden* をそれぞれ10個体ずつ（雌雄各5個体）、計30ケージを設置した。予め重量を測定しておいた落葉をケージ内に1枚ずつ入れ、24時間放置し、その後に葉を回収した。給餌前後の葉重量差からマングローブ落葉の摂食速度（D.W. $\text{g ind.}^{-1} \text{h}^{-1}$ ）を算出した。

結果と考察：第1実験の結果は、2023年7月実験では、地点A～Dでそれぞれ 4.18 ± 0.75 (Mean \pm SE)、 2.12 ± 0.57 、 0.21 ± 0.06 および 0.18 ± 0.05 D.W. $\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ であった一方、2024年2月実験では、葉の持ち去りがまったく確認されなかった。このように夏期と冬期で持ち去り量に大差が示された理由は定かではないが、気温差による供試カニの行動力の違いが影響したのかもしれない。第2実験の結果は、*N. smithi* で 0.015 ± 0.002 (Mean \pm SE)、*E. lafondi* で 0.019 ± 0.002 、*P. biden* で 0.018 ± 0.002 (D.W. $\text{g ind.}^{-1} \text{h}^{-1}$) であった。カメラ画像の解析から、地点Aにおける *N. smithi* の個体密度は $4.2 \pm 0.6 \text{ m}^{-2}$ と推定された。この値を用いて *N. smithi* による落葉消費速度を算出すると 0.063 D.W. $\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ となった。同値は巣穴への持ち去り速度と比較して極めて小さいことから、*N. smithi* が持ち去った落葉の大部分は巣穴内部に残存している可能性が高いことが示唆された。今後は、これら巣穴への落葉持ち去り行動による、可給態鉄の生成や窒素、リン、炭素などの域内循環に対する寄与についても検討したい。

Environmental DNA metabarcoding (eDNA) as a tool for biodiversity monitoring and resource management in Nakama River, Iriomote Island, Okinawa, Japan.

○Marizka G. Juliano (University of the Ryukyus / Universiteit Gent) · Bernadeth Grace S. Pananganan (University of the Ryukyus / Kagoshima University) · Saki Sugawara (University of the Ryukyus / Kagoshima University), · Yukinobu Isowa (University of the Ryukyus) · Tadashi Kajita (University of the Ryukyus / Kagoshima University)

Effective conservation relies not only on the community with strong sense of management, and timely baseline data are essential. Environmental DNA (eDNA) has been increasingly used as a biodiversity assessment tool that can provide fast, accurate and cost-effective data. Iriomote Island has been listed as a UNESCO World Heritage Site due to its unique biodiversity, and 90% of the island is protected as a National Park. Mangrove rivers are essential landscape shaping the unique nature of Iriomote Island, but no regular fish census and monitoring have been conducted. We used eDNA metabarcoding by MiFish Primers to identify fish biodiversity in Nakama River that fosters the largest mangrove area in Iriomote Island and highly managed by local community. Water samples were collected in December 2023 and April 2024, and a total of 240 fish OTUs in which 149 fish species, 115 genera and 54 family were annotated, including endangered species (*Anguilla japonica*, *Rhyacichthys aspro*, *Toxotes jaculatrix*, *Mesopristes argenteus*, etc), and exotic/invasive species (*Oreochromis sp.*) were detected. Both samplings showed similar trends wherein the peak number of species detected were at mid-river sites (mix mangroves and *Brugiera gymnorhiza* dominated), followed by marine (river mouth and port), and fresh water (river head) recorded the fewest. The study is successful in providing relevant and useful baseline data on fish biodiversity, particularly reinforcing the need to protect and conserve the mangrove ecosystem in Nakama River due to its high biodiversity. It also showed that eDNA metabarcoding can be used for future monitoring activities.

Integrating UAV remote sensing and vegetation indices for species-specific biomass estimation of *Kandelia* and *Bruguiera* mangrove species in Tojoutsumi Sea, Japan.

○Janepher Ogam Odhiambo (Tokyo University of Agriculture), Sawahiko Shimada (Tokyo University of Agriculture), Ayako Sekiyama (Tokyo University of Agriculture), Hirayama Hidetake (Tokyo University of Agriculture), John Bosco Mukundi Njoroge (Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology)

Mangroves are vital to coastal ecosystems, providing biodiversity support, coastal protection, and significant carbon sequestration. Despite their important role they still emerge to be among the most threatened ecosystems in the world (Rizal, 2018). Most of the monitoring studies have heavily relied on the use of satellite images but they usually have a limitation of environmental condition interferences such as cloud cover (Ruwaimana et al., 2018). This study aims to evaluate the above-ground biomass (AGB) and vegetation health of two mangrove species, *Kandelia* and *Bruguiera*, in the Tojoutsumi Sea, Amami Island, Japan, using UAV-based remote sensing. High-resolution imagery collected by UAV was processed with OpenDroneMap and analyzed in ArcGIS Pro, enabling the extraction of vegetation indices, that is NDVI and red-edge indices, for each species. Field measurements, including diameter at breast height (DBH) and tree height, were used to calculate AGB, supporting a comprehensive analysis of each species' structural and spectral characteristics. By investigating the relationship between spectral indices and AGB, this study aims to enhance the understanding of species-specific vegetation patterns in mangrove ecosystems. The anticipated outcomes will provide insights into the effectiveness of UAV-derived indices for biomass estimation and mangrove species differentiation. This research has the potential to contribute to more accurate carbon stock assessments and support conservation efforts for mangrove ecosystems in coastal regions.

デジタル技術で監視するマングローブの環境応答

○宮沢良行（九州大・キャンパス計画室）・渡辺信（琉球大・熱研）

炭素吸収源や生物多様性保全の場としての役割が重要視されているマングローブは、吸水しづらい塩水を給水源とし、また温暖な気象条件ゆえに光合成の際には葉からの激しい水消費（蒸散）に頻りに直面するなど、過酷な環境に生育している。温暖化により、従来のように光合成をしても蒸散速度がさらに上昇することから、マングローブはさらなる吸水の必要性に駆られる、または給水能力に見合った水準まで光合成もろとも蒸散を抑制すると考えられている。気候変動にマングローブがどのように応答するのかを理解するには、一日、日々、そして季節ごとに環境が変化する中でマングローブの生理・生態特性を記録し、解析することが重要となるが、こうした生理現象をマングローブで長期観察した事例は極めて少ない。マングローブが生きる干潟では地盤が安定せず、また多くの地点が保護区であることから、大規模な計器を設置する、または商用電源を引くことが難しいことが原因として挙げられる。また機材設置用の足場に使用される金属工材や観測に使用される電子機器は塩分環境に対して非常に弱く、熱帯や亜熱帯の強烈な太陽光や頻りに襲来する台風も損傷のリスクを高めるため、計測に必要な高価な機械の設置は躊躇われる。そこで本研究では、近年発達した電子情報機器を活用することで独自の計測器と計測技術を開発し、植物生理現象の一つである蒸散の高精度の長期観測を試みた。本観測は西表島船浦湾の溪流沿いに自生するオヒルギとヤエヤマヒルギの共存する群落で実施された。オヒルギの幹地上 1.3m に直径 1.4mm のステンレス製のチューブの内部に温度計または熱源を配した熱パルス比型 (HRM) センサーを挿入し、葉面での蒸散へと至る樹液の流速を計測した。より径の小さいヤエヤマヒルギについては密着した枝茎の樹液流を計測する極小型の HRM センサーを自作し、日当たりの良い枝先端付近に設置した。これらセンサーを操作し、計測データを受信する媒体(データロガー)については、小型情報端末 ESP32XiaoC3 を核に自作した。電力源には、干潟上に設置した塩ビ管からなる櫓上に設置した小型のソーラーパネルと充電用鉛蓄電池を用いた。各個体に取り付けたセンサーとデータロガーで取得されたデータは端末間無線(ESP_NOW)によって単一の端末(Hub)に送信され、集約された他のデータと共に Hub 端末の MicroSD カードおよびオンライン(Google spreadsheet)に送信・保存される仕様とした。HRM による樹液流計測では温度変化を $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ で計測する必要があるが、本センサー及びデータロガーはこの水準での計測に成功した。計測された蒸散速度は光強度や大気の乾燥強度(飽差)と連動して時間変化し、飽差-蒸散関係には塩性土壌や乾燥地で観測されることの多い高飽差下での飽和は観察されなかった。このことは、マングローブの蒸散では吸い上げ困難な塩水の利用は制限とはなっておらず、光合成が多量の蒸散を必要とする真夏であっても葉は必要なだけの水を供給されている実態が明らかとなった。本観測は安価な部材と電子部品からなり小型であるため、設置に大規模な足場は必要なく、万が一塩水で故障したとしても取り換えが利く構成となっている。計測の精度も、安価な電子部品を使用したと言え、既存の研究と遜色なく、計測状況はオンラインで確認できる仕様となっているため、故障とその原因はいち早く検出される状態にある。本研究を通じて、過酷な観測環境のマングローブ林だからこそ、電子技術を活用することで問題を克服し、学術的に必要な観測を維持することが重要であることが示された。

マングローブ林内環境のフォトグラメトリー解析

○渡辺信（琉球大）・福寺航大（九州大学）・加藤元康（南山大学）・小野賢二（森林総研）・木原友美（京都大学）・中村航（東京大学）・小田原泰志（南山大学）・藤本潔（南山大学）

森林を構成する樹木の空間分布、幹径、および地上部に露出した気根配置に関する詳細な情報は、森林の構造的・特性および動態の包括的な理解に不可欠である。これらのデータは、個体の成長パターンや林分構造の解析に寄与するだけでなく、生態系機能の主要要素である個体間および種間相互作用の解明にも寄与する。しかし研究対象となる調査プロットが長大化すると樹木の空間分布を把握するための現場作業は煩雑さが増し、正確性を損ねる事象も発生しがちである。

本研究では人力に依存してきたマングローブ林内の毎木調査作業を補完するために、写真撮影による林内環境情報収集を後述の4つのアプローチで実験し、結果を比較検討した。

- ① 汎用デジタルカメラを用いたフォトグラメトリー解析
- ② 小型ドローンを用いたフォトグラメトリー解析
- ③ 全方位型カメラ（アスフェルカル・球状レンズ）を用いたフォトグラメトリー解析
- ④ スマートフォンのガウシアンスキャンを用いたフォトグラメトリーモデル構築

実験目的は三つあり、第一に林内環境の詳細な様子を三次元データとして可視化すること。第二に林床のマングローブの根系の露出度合いを三次元モデル化し、地球温暖化による土壌流出の影響評価を可能な結果を得ること。第三に樹幹の直径や配置を数値化し、長期的なモニタリングに利用可能なデータを取得することである。

実験①②③では Structure from Motion (SfM) アルゴリズムを用い、収集した画像からポイントクラウドを生成、さらに Digital Surface Models (DSM) やオルソ画像を作成した。これらのデータからマングローブ林の地形や植生分布を詳細に把握出来る。実験①②の手法では通常ポイントクラウドにジオタグが付されるが、座標精度は林冠の鬱閉状態に依存する。実験③④はジオタグ無しの動画から静止画をスライスするプロセスを経るため、オブジェクトの相対関係とオブジェクト細部の再現性を期待したデータ収集方法である。実験④では使用したアプリケーションにガウシアンスキャンが用いられ、ガウス分布により三次元モデルを二次元投影して視覚化するアルゴリズムの恩恵で処理の高速化とモデルの精細化が図られている。

西表島とミクロネシアのマングローブ森林において、フォトグラメトリーデータを取得し、三次元モデルを作成した。①汎用デジタルカメラは鉛直方向の撮影が難しく、カメラの撮影角度に依存したオブジェクトの歪みが認められた。②小型ドローンは鉛直方向の撮影が可能で最もオルソ化した三次元モデルが得られるものの、枝葉等の障害物が密な空間のデータが取得出来なかった。樹冠高が高い林内ではその問題も解消された。③全方位カメラは既に測量実務で活用されており、高い精度のモデルが構築出来ることが示されているが、今回は十分な長さの自撮り棒が用意できず検証に耐える結果を得られなかった。④最も短時間で手軽に三次元モデルを獲得できたことから、現場の視覚記録としての活用が期待出来る。

マングローブ生態系における土壌から海洋への炭素プール移行の重要性

○中村航（琵琶研・東京大）・渡辺謙太（港空研）・宮島利宏（東京大）・宮入陽介（東京大）・横山祐典（東京大）・山口保彦（琵琶研）・桑江朝比呂（港空研）・佐々木淳（東京大）

マングローブや塩性湿地などの潮間帯植生は大気 CO₂ を吸収し土壌に有機物を隔離するブルーカーボン生態系としての働きが期待されている。マングローブ土壌における豊富な有機物の存在は、高い一次生産と嫌気的な土壌環境下による分解の遅さに起因すると考えられてきた。一方で、近年の研究の蓄積により、土壌有機物の分解により生じた無機炭素（全溶存無機炭素：DIC）がベントスの巣穴を通じて大量に海洋へ流出していることが明らかになった。また、周辺水域から大気への CO₂ 排出量と海洋への DIC の輸送量の比較から、土壌から流出した DIC の多くが海洋に留まる可能性が指摘されている。海洋は地球表面最大の CO₂ の吸収源かつ DIC の貯蔵庫であるため、マングローブ土壌で分解された有機物は DIC として海洋へ輸送されることで、さらに長期間大気から隔離されると考えられる。このようにマングローブのブルーカーボンには、現存する土壌の有機物に加えて、分解された後に海洋に隔離される炭素が存在している。しかしながら、気候変動の観点から見た土壌から海洋への炭素プール移行の重要性や、移行までの時間スケールに関してはほとんど知られていない。

本研究では、石垣島吹通川河口域に位置するマングローブ林を対象に、時間の指標となる放射性炭素同位体 ($\Delta^{14}\text{C}$) をトレーサとすることで、マングローブ林が光合成を通じて大気から吸収した CO₂ が土壌有機物の分解を介して海洋へ DIC として輸送されるまでの時間スケールを検証した。その結果、現在マングローブ土壌から分解され海洋に輸送されている DIC の $\Delta^{14}\text{C}$ の値は -61.6~-28.5‰であり、平均で深度 47~77cm に隔離されている有機物を起源とする可能性が示唆された。吹通川河口域のマングローブ土壌に含まれている有機物が、マングローブや背後の森林での光合成により生産された有機物を起源とすると仮定し、IntCal20 を用いて $\Delta^{14}\text{C}$ を校正すると、現在 DIC として海洋に輸送されている炭素の起源は平均で 80~570年前に大気から吸収された CO₂ であると推定された。これは、光合成を通じて生産された有機物は、数十から数百年間土壌に隔離された後に、一部は DIC として海洋の炭素プールに移行していることを示唆している。マングローブは潮間帯に生育域が限られており、土壌への有機物の隔離量は表層から基盤までの厚さに依存する。一方で、海洋への DIC の隔離量は大気水間の炭酸平衡により制御されるため、空間的な制約を受けづらいためである。輸送された DIC の長期的な安定性は、DIC が生産された際の全アルカリ度 (TA) の増加に依存しており、少なくともパイライト形成により増加した TA に匹敵する DIC は大気へ気化せず海洋に数万年スケールで取り込まれると予想される。そのため、気候変動の観点からは土壌で数十から数百年間隔離された後の、数万年スケールでの海洋への DIC としての隔離がより重要になると考えられる。

各種マングローブの乾燥葉水抽出液の機能性に関する研究～化粧品原料としての可能性

○本間 知夫（前橋工科大）・對比地 華（前橋工科大・院）・馬場 繁幸（国際マングローブ生態系協会）・檜谷 昂（東京農大）・中西康博（東京農大）

【はじめに・目的】

前橋工科大学では、県産農産物の高付加価値化、農産物の廃棄部位や未利用部位の有効活用に関する研究を実施している。例えば廃棄梅種子の水抽出液（梅エキス）が、メラニン色素の合成に関わる酵素であるチロシナーゼに対して阻害活性（＝美白活性）があることを示し、梅エキスは化粧品原料として採用・商品化されている。他にも梅エキスが腸管機能としてグルコース吸収を抑制することを示すなど、化粧品や食品の原料としての利用のための評価を実施している。

東京農業大学では、マングローブ植物の活用の1つとして、乾燥させた葉を煎じて得られるものをマングローブティーとして利用する研究を実施している。マングローブティーは乾燥葉の水抽出液であるため、前橋工科大学で実施している評価系（腸管機能に対する影響、美白活性の有無など）で、その機能性を調べてみることにした。まだ予備的な段階ではあるが、今回は美白活性について得られた結果を報告する。

【実験方法】

（材料）各種マングローブの成葉（1：フタバナヒルギ、2：ヤエヤマヒルギ、3：メヒルギ、4：ヒルギダマシ、5：ヒルギモドキ、6：マヤプシキ、7：オオハマボウ、8：オオバギ、いずれも2022年夏季に西表島にて採取）を、凍結乾燥してボールミルで粉碎した後、各粉末 150 mg に対して超純水 15 mL を加えて 30 分間振盪抽出を行った。得られた抽出液を遠心分離し、上清を孔径 1μm ガラスフィルターでろ過した液をサンプル液とした。なお、このサンプル液の調製は2023年10月13日、2024年5月28日に東京農業大学で行われ、前橋工科大学に冷凍あるいは冷蔵状態で送付された。

（美白活性の測定）美白活性は、チロシナーゼの活性に対する阻害の有無を調べ、阻害率を算出して評価した。なお、既存の美白成分としてよく利用されるコウジ酸を対照とした。

【結果・考察】

8種類のマングローブ植物の成葉を乾燥して得られた水抽出液のチロシナーゼ阻害活性（美白活性）を調べたところ、特にマヤプシキ、フタバナヒルギで高い美白活性が得られた（図1）。美白活性を調べる際、サンプル液

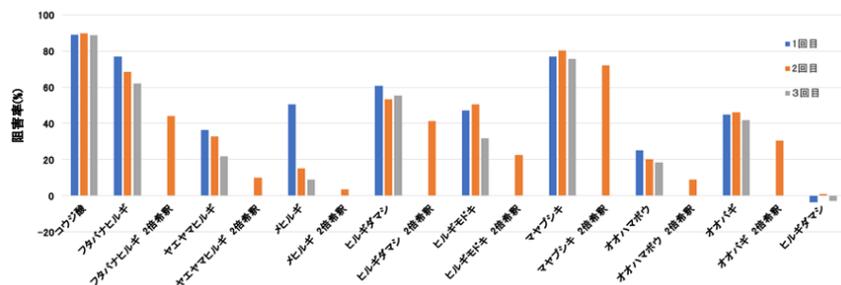


図1 各種サンプル液のチロシナーゼ阻害活性

原液とサンプル液原液を2倍に希釈した液で調べたが、特にマヤプシキでは2倍希釈液でも高い美白活性が得られ、美白活性成分が多く含まれていると思われた。2回目のサンプル液でも、マヤプシキ、フタバナヒルギで高い美白活性が得られたが、他の種類でも1回目よりも高い美白活性を示すものがあった。今回、乾燥させた葉の水抽出液はマングローブティーとしての利用に加えて、化粧品原料としても利用できる可能性があるものが見出された。他にも前橋工科大学では抗ニキビ効果に関する実験も実施しているので、これらサンプル液についても調べる予定である。

**国際マングローブ生態系協会のマングローブの保全・植林活動と、
その活動を通じた高精度データを収集するための場の提供**

○馬場 繁幸・大城 のぞみ・毛塚 みお・金城 あけみ・与那原 章・馬場 花梨・貝沼 真美 (ISME)

1 国際マングローブ生態系協会のマングローブ植林等に関する現在の活動

国際マングローブ生態系協会(International Society for Mangrove Ecosystems : ISME)は、1990年に設立し、事務所を琉球大学に置いた、世界のマングローブの保全や再生等に関する活動を行っている国際 NGO/NPO である。

これまでにインド、スリランカ、ブラジル、モルジブ、タイ、アラブ首長国連邦などで植林活動を行ってきたが、現在は、COSMO エコ基金の支援により 2004 年からのキリバスでのプロジェクト、東京海上日動火災保険株式会社からの寄付金で 2009 年に開始したインド・グジャラート州でのマングローブ植林、同じく同社の寄付金で 2011 年に開始したマレーシア・サバ州でのマングローブ林の保全・再生プロジェクト、2022 年に開始した商船三井モーリシャス自然環境回復保全・国際協力基金によるマングローブ生態系保全・再生プロジェクトを継続している。

2 調査方法の改善とデジタルデータの収集

従来のマングローブ林での森林調査は、干潮時に泥の中を巻き尺や測高桿を持ち歩いての調査で、労力と時間を必要としている。

近年は、マングローブ林を含めての森林調査において、ドローンだけではなくて、手持ちのレーザー計測の適用が始まっており、マングローブ林においても、手持ちのレーザースキャナーを用いた LiDAR-SLAM (Light Detection and Ranging - Simultaneous Localization and Mapping) 技術による高密度な 3 次元データ収集とマッピングが可能となっており、中日本航空株式会社の山本氏、和田氏等にご協力頂き、モーリシャスのマングローブ林や、マレーシア・サバ州のマングローブ林での調査が行われている。

3 ヤエヤマヒルギ属の根系の体積の数値化

ヤエヤマヒルギの地上部現存量を求める時、これまでは幹の現存量のみを求め、支柱根の根量を含めていないこともあるが、支柱根の量を見捨てることはできないので、東北学院大学の柳澤先生に数値化を試みて頂いている。

4 マングローブ林の地下部の炭素蓄積量の計算

「マングローブ林が他の森林に比較して炭素蓄積量が大きい」と言われているが、生育場所によって環境条件や構成樹種が異なることから、一概に「マングローブ林が他の森林に比較して炭素蓄積量が高い」とは言えないので、環境と樹種の違いを踏まえて、東北学院大学名誉教授の宮城先生に地下部の炭素蓄積量の調査をお願いしている。

5 場の提供と調査費用提供への国際マングローブ生態系協会の貢献

精度の高いデータを収集するためには、調査しやすい場の提供と、調査費用が必要とされるので、国際マングローブ生態系協会では、マレーシア・サバ州ではマングローブ林内に設置された木道を利用した調査の交渉や、土壌分析をサバ州森林局の森林研究所にお願いするなど、効率的で、費用のかからない方式での調査を推進するなど、多くの研究者の皆さんと協力しての効率的な調査場所の提供や、必要な資金の確保などに努めるつもりである。

インドネシア国バリ島ベノア湾におけるマングローブ植林地の発達過程(予報)

○宮城 豊彦 (ISME/地域情報カスタマイズユニット) ・馬場 繁幸 (ISME) ・鈴木 高二朗 (空港・港湾研) ・山縣 史朗 (空港・港湾研) ・柳沢 英明 (東北学院大学) ・Djiti Mardiatono (Univ. Gadjah Mada, Indonesia) ・Aulia Syifa Ardiati (Univ. Gadjah Mada, Indonesia) ・Mohammad Basyuni (Universitas Sumatera Utara, Indonesia) ・Fajar Yuliano (PRTH BRIN) ・Ketut Gede Santi Budi (MIC, Bali Indonesia)

【はじめに】

陸海境界の相互作用系である潮間帯に発達する森林生態系であるマングローブ林は、陸域の森林生態系とは異なる特性を持つと考えられる。この相互作用が働く潮間帯では、その微細な場所的な特性に由来する様々な作用との間で、更に作用系が機能し、その総和としての森林相や土地の実際が出来上がっているのだろう。人との関係もまた複雑である。発表者らは、この数年来長足の発展を遂げつつあるセンシングツールを用いて、マングローブ林とその立地地盤との把握精度を抜本的に高精度化することを務めている。この取り組みがどのような成果として具体的に提示できるかについては、まだ十分に明確化できる状況にはないものの、個別の調査事例は徐々に蓄積されている。この報告は、SATREPS (地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム：沿岸でのレジリエンス社会構築のための新しい持続性システム、研究代表者 森 信人京大防災研教授) の一環で開始したサブテーマ (マングローブ・砂浜などのグリーンインフラによる減災機能の評価とグレーインフラを組合わせた最適な減災機能の定量化、チームリーダー 鈴木高二朗空港港湾研) の初期的な現地調査報告である。

【調査地と方法】

調査の開始地はインドネシア国バリ州 (バリ島) の南部に位置するベノア湾である。ここは面積約 50 km² のラグーンで湾内には *Rhizophora apiculate*, *R. mucronate*, *Sonneratia alba* を主体とするマングローブ林が 1 km 程度の林帯幅で広がっている。ラグーンの北岸一帯では、広大に放棄されたエビ養殖池をマングローブ林に再生する事業が行われ、約 30 年生の人工林が広がる。ここでは、ISME の馬場繁幸が、その当初から事業を指導してきた経緯があり、その経験知を踏まえて再生林とその立地地盤がどのように発達しているのかを把握できる。さらに、湾とその周辺は空港や高速道路、市街地、港湾などのインフラの整備が進んでいる。今期の調査では、森林林床の地形地質条件を明らかにしてすることを目標とした。

【植林地から自然林縁部までの植生・地形・堆積物断面構造の把握】

地形断面はオートレベルによるレベル測量によって把握した。林床堆積物は Geoslicer NM5 を用いた不攪乱コアを用いて特徴を把握した。併せて、ガジャマダ大において堆積物中の有機物量を計量すべく、定体積コアサンプルを取得し、近々分析に供する。林床堆積物の分析によって、本域のマングローブ林はサンゴ砂礫からなる潮間帯下部を基盤として発達したもので、その起源の解明は C-14 年代測定を実施中である。厚さ 0-80 cm のマングローブ林林床堆積物は、*S.alba* 林においては有機質の砂泥勝ち、*R. Mucronate*, *R. apiculate* 林で細根に富む有機質堆積物となり、同物質が攪乱された状態の堆積物となる。ここでは、*Sonneratia* 自然林、*Rhizophora* 自然林、同人工林の 3 つのゾーンごとに森林状態・微地形・堆積物特性が類型化し、定量的な把握が実施できる。今後森林相の定量的な把握が進む。

マレーシア国サバ州サンダカン自然林保護区におけるマングローブ生態系の発達過程

○宮城 豊彦 (ISME/地域情報カスタマイズユニット)・馬場 繫幸 (ISME)・柳沢 英明 (東北学院大)・山本 敦也 (中日本航空)・和田のどか (中日本航空)・檜谷 昂 (東京農大)・貝沼真美 (沖縄科技大学院大)・Joseph Tangah・Douni Seligi・Jamiss Arbin・Fabian Koret・Charlesvyne Francis・Marrynah Matami・Viviannye Paul (Sabah Forestry Dept. Mangrove Task Force Team)・Rolando Robert (FRC, Sabah)

【はじめに】 陸海境界の相互作用系である潮間帯に発達する森林生態系であるマングローブ林の成立・発達・維持・更新機構は、陸域の森林生態系とは異なる特性を持つと考えられる。それは端的に言えば植物にとっては毒である海水環境下に成立する点に集約されるかもしれない。しかしながら、その反応系のみならず、その場所も植物も更に作用系が機能し、その総和としての森林相や土地の実際が出来上がっているのだろう。人との関係もまた複雑である。発表者らは、この数年来長足の発展を遂げつつあるセンシングツールを用いて、マングローブ林とその立地地盤との把握精度を抜本的に高精度化することを務めている。この取り組みがどのような成果として具体的に提示できるかについては、まだ十分に明確化できる状況にはないものの、個別の調査事例は徐々に蓄積されている。本シンポジウムでは、ISME が東京海上日動による補助事業の一環として開始したマングローブ生態系の科学的な初動調査の報告を行う。

【調査地と方法】 調査地はマレーシア国サバ州サンダカンの原生的なマングローブ生態系保護林 (Sepilok Laut 地区) と同州の植林プロジェクトサイト 2カ所である。保護林は *Rhizophora apiculate*, *R. mucronate*, *Bruguiera sexangular*, *Lumnitzera littorea*, *Ceripos tagal* 等多樹種で構成されるマングローブ林が Tidal Creek 沿いに広がっている。ここでも木道が整備されており、泥濘や錯綜した根系との格闘を最小限に調査を進めることが出来る。木道沿いの観察から詳細調査地の見当を着けて、手持ち LiDAR 計測による樹木の形状・比重計測 (柳沢)、Handy SLAM を用いた森林・林床の詳細点群データ取得 (山本・和田)、Geoslicer NM5 による林床堆積物の採取・観察・年代測定 (宮城・馬場・檜谷) などを、Joseph をリーダーとするタスクフォースメンバーと共に実施した。

【原生林保護区での植生・地形・堆積物断面構造の把握】 SLAM によるデータ取得の結果、林床微地形、マングローブ林の状況が高精度点群データ化された。これについては別に報告する。この中で、例えば林床微地形と潮位との関係についても、そのレンジ、浸潤・露出過程の時空間的な変化実態を捉えることが出来た。林床の堆積構造を把握するために、陸地側から Tidal Creek 側に側線を設定し、4本の不攪乱コアを取得した。森林と林床の微地形は SLAM の地形断面はオートレベルによるレベル測量によって把握した。陸側では 138 cm の深度までマングローブ起源の泥炭層が蓄積しており、その C-14 年代値からは約 1500 年以前からマングローブ林の形成が始まり、その後順調に泥炭層を形成しながら現在に至る状況が確認できた。Tidal Creek に近づくに連れて泥炭層の直下には青灰色粘土層が確認された。本マングローブ林は現在の海水準微変動の下で森林環境を形成・維持していることが明らかになった。FRC において堆積物中の有機物量を計量すべく、定体積コアサンプルを取得し、近々分析に供する。今後森林相の定量的な把握が更に進むと思われる。

LiDAR 測量によるマングローブ林の微地形・樹木分布比較と潮汐動態の数値シミュレーション

○笠井克己（東京大）・後藤和久（東京大）・柳澤英明（東北学院大）

潮間帯上半部に発達するといわれているマングローブ林は、微地形スケールでの地形変化によって優占する樹種が置き換わる、いわゆるゾーネーションを示すことが知られている。局所的なマングローブの生育環境を規定する要因としては、降雨量や潮汐、波浪、河川水の影響などがこれまで指摘されており、それらも林内の微地形の与える影響が大きいと考えられる。しかしながら、微地形がマングローブ生態系の形成・生育メカニズムにどのように影響しているのか未だ詳細な解明には至っていない。特に、マングローブ林内の微地形や樹木の分布など、マングローブの生育環境を広範囲かつ詳細に把握することは極めて重要であると言える。

発表者らは、琉球列島のマングローブ林を対象として LiDAR (Light Detection and Ranging) 技術を用いた林内測量を行い、微地形や空間的な樹種の分布を把握することを試みてきた。その結果、従来より広範囲のエリアで高解像度かつ高精細なデータセットを得ることに成功した。このうち、本研究では石垣島宮良、沖縄本島大浦、奄美大島住用での測量結果（地形データと樹種分布）を用い、樹種ごとの標高分布の把握と 3 次元的な樹木のマッピングを行い、地域差を検討した。また、石垣島宮良において、マングローブ樹種分布の規定要因の一つと考えられている潮汐に着目し、Delft3D により 2023 年の 1 年間の潮汐変動計算を実施し、林内の流れの数値シミュレーションを行った。そして、シミュレーション結果から、微地形がマングローブ林内での潮汐の動き及ぼす影響や、樹木分布が潮汐でどのように規定されているのか検討した。

琉球列島の各地域で LiDAR 測量を行い、分布の比較を行った結果、マングローブ樹木の生育標高のモード値や標高範囲には地域差があることが明らかとなった。地域差ができる要因については解明に至っていないものの、微地形に基づく分布の違いを数千本数単位で定量的に把握できたことにより、今後マングローブ樹木の分布に地形が及ぼす影響を統計的に議論できるようになると期待される。

潮汐の数値シミュレーションでは、現時点では主に樹木の影響を除いた純粋な微地形に基づいた潮汐シミュレーションを行なっている。マングローブ樹木が潮汐に与える影響を詳細に考慮したモデルによる検討が必要であるが、高精細な地形データ、樹木分布を得ることで、従来よりはるかに高解像度で潮汐の局所的な動きを再現できることが示唆された。また、現時点での結果からは、マングローブ樹木の分布範囲が潮汐によって制約されている様子を把握することができた。今後、モデルの高精度化、現地観測でシミュレーション結果の再現性の検証を行っていく予定である。

このような高解像度かつ高精細なデータセットを用いた樹木分布比較と数値シミュレーションを行うことで、地域ごとの分布の違いの理由など、マングローブ生育環境が規定される要因の解明につながることを今後期待される。

LiDAR-SLAMによる3次元点群データを用いたマングローブ単木情報の推定手法の検討

○山本 敦也 (中日本航空)・宮城 豊彦 (ISME/地域情報カスタマイズユニット)・馬場 繫幸 (ISME)
柳澤 英明 (東北学院大学)・和田 のどか (中日本航空)・宇野女 草太 (中日本航空)
古川 恵太 (海辺研)・成瀬 貫 (琉球大)・檜谷 昂 (東京農大)

【背景】

森林資源を持続的に利用する上で現存量の正確な把握は不可欠であり、地域ごとの森林状況に応じた炭素量収支の算定が求められている。陸域の森林の計測手法として、レーザ光を用いて距離や角度を測定するLiDAR (Light and Detection and Ranging) が定着しつつある。近年では、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) の応用により、徒歩で移動をしながら周辺の地物を計測できるレーザスキャナ (LiDAR-SLAM) が登場し、より簡便な計測が可能となっている。LiDARによる精細な3次元データを取得できれば、現地毎木調査の効率化に加え、従来では測定が困難であった、樹幹等の形状計測や材積推定への活用が期待できる。

本研究では、従来の毎木調査に代わる、林分構造の定量化を行う手法を検討することを目的として、複数地域のマングローブ林を対象としてLiDAR-SLAMによる計測を行い、提案する計測手法の再現性について検証・考察を行った。

【調査地と方法】

西表島、モーリシャス、マレーシアサバ州において生育するマングローブ林を対象として、ハンドヘルド型レーザスキャナ (LiDAR-SLAM) を用いた計測を実施した。取得データは、フィルタリング、セグメンテーション等の処理を施し、地表面および単木ごとに分類した。得られた単木データは、胸高直径及び樹高の推定のほか、樹冠の構造解析に使用するデータとするため、目視判読により幹枝と葉を分離した後に1cm立方体 (ボクセル) で集計し各材積を算出した。胸高直径と樹高の精度評価には、計測範囲の一部で実施した毎木調査による実測値を用いた。

【取組状況と将来展望】

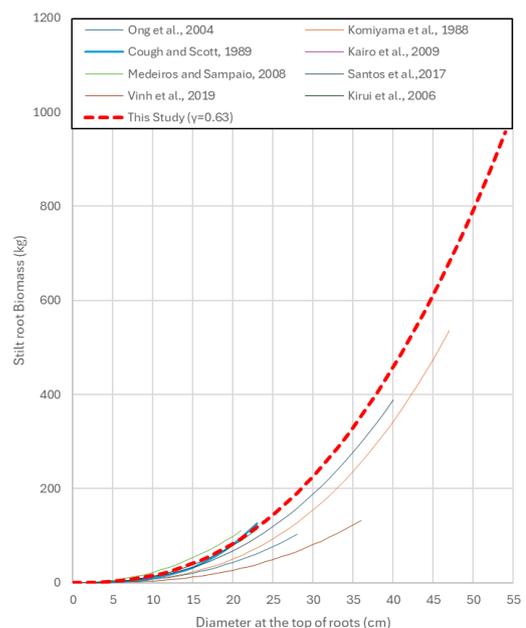
3次元点群データを用いた単木解析により、各個体の形状や位置関係等の詳細把握が可能であることを確認した。胸高直径や樹高に加え、樹冠面積等の樹冠量の指標が単木レベルで算出可能である。各単木情報の推定結果は、調査林分ごとに比較を行うことで推定精度や構造的特徴の再現性を検証した。ボクセルモデルによる推定材積について、従来のアロメトリー式による推定値との相関分析の結果、正の相関が認められた。一部のバラつきが大きいデータにおいては、幹や枝の発達状況等の違いが反映されていることが考えられた。引き続き、様々な状況の林分において実用を重ね、LiDAR-SLAMデータから推定できる単木情報の有効性、また最適な適用方法を検討していく必要がある。

3D スキャナによるマングローブ支柱根のアロメトリー式とその地域特性

柳澤英明（東北学院大）・宮城豊彦 (ISME) ・馬場繁幸 (ISME) ・檜谷昂（東京農大）

マングローブは主に熱帯・亜熱帯地域の潮間帯上半部に分布し、多様な生態系サービスを提供している。その中でも優れた炭素蓄積能力は、ブルーカーボンと呼ばれる海域周辺の炭素を貯留する機能として注目を集めている。一般的に、マングローブのバイオマス量の算定には、樹径と乾燥重量とのアロメトリー関係式が使われており、多くの研究事例がある。ただ、アロメトリー関係は、底質などの環境要因によって変化するため、精度の高い評価を実施するためには、それぞれの地域で関係式を構築する必要がある。しかしながら、アロメトリー関係を明らかにするためには、大小様々なマングローブを十数本～数十本以上伐採しなければならず、多大な労力を必要とする。さらに、近年、マングローブは多くの国々で保全対象となっていることから伐採許可を得ることは難しく、研究を実施することが困難な状況にある。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きた。この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、マングローブの構成要素の中でも、特に形状に地域性がみられるヤエヤマヒルギ属の支柱根に着目し、3D スキャナを用いて体積のアロメトリー関係式を構築する。本研究では、石垣・西表島、ベトナム・カンザー、マレーシア・サバ州、モーリシャスを対象とし、計 54 本の支柱根について3D 測量を実施した。さらにサバ州で支柱根の一部を伐採し、比重特性について測定した。その結果、支柱根の乾燥比重は 0.7~0.51 となり、平均で 0.63 となった。この値を体積のアロメトリー式に乗算し、既往研究と比較した結果、Kirui et al., 2006（ケニア）とほぼ一致した。さらに地域差を把握するため、サバ州とモーリシャスのデータを比較した結果、樹径 30cm で約 3 割程度のバイオマス量の差が見られた。モーリシャスでは潮汐差が数十 cm と狭く冠水頻度が低い。一方で、サバ州は潮汐差が大きく、冠水頻度も高い。そのため、支柱や気根としての機能が必要とされ、支柱根が発達したものと考えられる。3D スキャナを用いることで非接触測量が可能となることから、伐採許可を得る必要はなく、さらに複数の国々で特別な制限なく、統一された手法で調査することができ、地域差を正確に比較することが可能となった。今後は、より多くの国々でデータを収集するとともに、矮性化した樹木、結合や株立ちした樹木も対象に入れて、アロメトリー関係式を構築していく予定である。

謝辞：乾燥重量の測定において、サバ州森林局 Joseph Tangah 氏をはじめ多くの方の助力を得ました。ここに記し感謝申し上げます。



急激な海水準上昇の初期相におけるマングローブ生態系へのインパクト

○宮城 豊彦 (ISME/地域情報カスマイズ²ユニット)・馬場 繫幸 (ISME)・井上 智美 (国立環境研)・山本敦也 (中日本航空)・和田のどか (中日本航空)・柳沢 英明 (東北学院大)・檜谷 昂 (東京農大)・Adiilah Aungraheeta・Asmed Banharally (Reef Conservation, Mauritius)

【はじめに】 マングローブ生態系は潮間上半部という限られたニッチに成立する森林生態系である。温暖化に伴う急激な海面上昇は、そのニッチ自体の大変動を意味するのだから生態系自体の存続に係る深刻な現象であろう。発表者らは、1990年代後半から、海面上昇速度と森林立地変動の関係を把握する一連の研究を進めてきた。中でも藤本等はミクロネシア国ポンペイ島に大規模な固定プロットを設け、長期の定点計測を進めている。Saintilan et al (2020)は、完新世初期の急激な海面上昇下におけるアメリカ大陸とオーストラリア各地のマングローブ立地変動を概観し、その上昇速度が7mm/yrに達すると、この森林の生存に深刻な影響が出ると予測した。彼らは、報告の中で近年、界面上昇の速度が加速化していることにも触れ、近未来にはマングローブ生態系に深刻な影響が出る可能性を指摘している。我々(とりわけ高齢化した)は、急激な海面上昇過程に身を置きながらも、半世紀にわたってマングローブ生態系の現地調査を継続している。半世紀の経験知は我々に、生態系の変化過程を実感させてきたのかと言えば、それは心許ないのではないか。近年の急速なセンシングツール発達の手を得て、また1950年代から蓄積した様々な画像情報を得て、海面上昇過程とマングローブ生態系分布の関係を精密に評価することに取り組むことが可能ではないかと考える。

【断片的な調査データ】 広域を詳細に観察するとオーストラリア大陸はインダスデルタ、パキスタンなどではマングローブ生態系は陸側に拡大している。これらの地域に共通するのは、広大な塩性湿地が広がり、潮汐環境域が陸側に拡大していると見られることだ。日本の西表島浦内川河口部では様々な分布変化が見られる。その中で滞水系の最奥部(陸域からの土砂供給から隔絶した静謐な土地条件)にあるマングローブ林ではSLAMによる高精度計測データを取得したことにより、5cm間隔の等高線図を作り上げ、海面上昇過程の森林立地変動を考察した。現在の平均海面より若干下位では浸食作用が目立ち、併せて実生も若木も確認できない。その一方で地盤高の高い場所では実生・若木の分布は広く確認できた。堆積物の一部では顕著な酸化状況も確認できた。西部インド洋のモーリシャス国は潮汐差が小さな微小潮汐域にある。海面上昇はグローバルな作用であり微小潮汐域であってもほぼ同じように作用すると考えられ、さらに海面上昇速度は加速傾向にある。画像から見る限り、マングローブ林の海側への拡大は確認困難だが、陸側への拡大は確認できた。その一部の林分で、SLAMによる地形計測とマングローブ林、更に陸側に隣接するPongamia林との関係を観察した。塩分濃度は両地域ともに約1%程度であった。この中で、ポンガミア域での森林の劣化が顕著であった。一方マングローブ林では地盤高がやや高い場所での実生が顕著であった。

冒頭にも述べた通り、海面の急激な上昇とは、マングローブハビタットとその生態系が全体として影響を被る作用である。それが端的に可視化できるのはハビタットの縁辺部、すなわち海側縁辺と陸側縁辺であろう。海側縁辺は潮汐流の影響域への作用として顕在化する。一方で陸側は隣接植生域への潮間帯環境の侵入拡大として顕在化するのではないか。高精度の立地環境データを取得し、植物相の変化過程を観察すること、海面上昇初期相の実態を把握することになるのではないか。

衛星画像と空中写真を用いた南西諸島におけるマングローブ林の立地動態の把握

○高橋昂希 (南山大・学生)・藤本 潔 (南山大)・小田原泰志 (南山大・院)

地球温暖化に伴う海面上昇は確実に進行しつつある。南西諸島では、種子島で 2.71mm/year (1966 年 1 月～2021 年 12 月)、奄美大島で 2.66mm/year (1981 年 1 月～2021 年 12 月)、沖縄本島東岸の沖縄検潮場で 1.69mm/year (1976 年 1 月～2022 年 12 月)、石垣島で 2.59mm/year (1987 年 1 月～2022 年 12 月) の海面上昇が観測されている (Permanent Service for Mean Sea Level [PSMSL]: <https://www.psmsl.org/>掲載のデータを用い発表者が計算)。海面上昇がマングローブ林へ及ぼす影響の現れ方は、海面上昇速度とマングローブ立地における堆積速度の相対関係で決まる。本研究では、南西諸島の種子島、奄美大島、沖縄本島、宮古島、および石垣島のマングローブ林を対象に、空中写真と衛星画像を用いて 1970 年代以降の立地変動を明らかにすることを目的とする。

1970 年代のマングローブ林の分布はオルソ化された地理院地図の空中写真、その後の分布範囲は Google Earth を用いて把握する。これらの画像を QGIS 上でジオリファレンスして取り込み、マングローブ域をポリゴン化した後、マングローブ域の変化を視覚的、定量的に比較検討する。1980～1990 年代に関しては、地理院地図でオルソ化された空中写真が公開されていないため定量化して立地変動を分析することはできないが、必要に応じて補足的に使用する。

種子島北東部の湊川下流域では 1977 年から 1995 年の間にマングローブ林の海側林縁部はやや海側に拡大し、立木密度も増加したが、それ以降は後退傾向にあることが明らかになった。特に、2015～2021 年の後退は顕著で、立木密度の低下も確認できる。奄美大島の住用川河口部では、1977 年以降マングローブ林の海側林縁部は前進傾向にあるものの、2013 年以降顕著な前進はみられない。沖縄本島の慶佐次川河口部でも 1977 年以降明らかな海側への拡大が認められるが、2009 年以降は顕著な拡大は認められない。宮古島北部の島尻マングローブ林は、1977 年以降急速に面積を拡大させたが、2007 年以降河道と直行方向には拡大傾向にあるものの、海側への顕著な拡大は見られない。石垣島北部の吹通川河口部は、1977 年以降マングローブ分布域に顕著な変化は認められない。

以上のように、南西諸島のマングローブ林は、種子島を除き、1970 年代以降は急速に海側に拡大したが、今世紀に入るとその拡大速度は低下している。その要因としては、集水域からの土砂流入量の減少と近年の海面上昇の影響が考えられる。種子島の湊川河口で 1995 年以降後退傾向に転じた要因は、集水域の最高高度が 120m 程度で集水面積も比較的狭く、畑地面積も比較的狭いため、流出土砂量が相対的に少ないこと、またマングローブ泥炭を生産しないメヒルギ 1 種のみが生育しているためマングローブ立地内での地盤高上昇速度が海面上昇速度を下回ったためと推定される。今後は各集水域の土地利用変化とそれに伴う土砂流出量の変化を GIS を用いて定量的に把握し、海面上昇速度とマングローブ林の立地変動の関係をより具体的に明らかにする予定である。

西表島における USLE 式を用いた集水域からの土砂流出量の推定とマングローブ林の立地変動

○小田原泰志 (南山大・院)・藤本 潔 (南山大)

地球温暖化に伴う海面上昇は確実に進行しつつある。上昇速度は 1901~2018 年の長期間では 1.7mm/year であるものの、1993~2018 年は 3.25mm/year、2006~2018 年は 3.69mm/year と加速傾向にある (IPCC 2021)。南西諸島の石垣島でも 1987~2022 年の間に 2.6mm/year で上昇しつつある。マングローブは潮間帯上部の限られた範囲にしか生育できないため、海面上昇がその存続に多大な影響を与えることが予想される。既に、石垣島に隣接する西表島では、バックマングローブ種のシマシラキの立ち枯れ現象や、海側のヤエヤマヒルギ林と内陸側のオヒルギ林の地盤高の逆転現象が確認されており、その要因は海面上昇に伴う表層侵食の影響である可能性が指摘されている (藤本ほか 2022)。ヤエヤマヒルギ属は海面上昇に対しマングローブ泥炭を堆積させることで地盤高を高め立地を維持してきた (Fujimoto et al. 1999 など)。一方、マングローブ泥炭が生産されない林分では立地を維持するためには外部からの土砂流入が重要となる。本発表では、西表島東部の後良川、相良川、由布島対岸集水域における 1970 年代以降の土地利用変化とそれに伴う土砂流出量の変化を見積もると共に、マングローブ分布域がどのように変化してきたかを明らかにする。

1978 年と 2012 年の空中写真を地理院地図よりダウンロードし、それぞれの年代ごとの土地利用図を作成した。土砂流出量は USLE 式を用いて推定した。USLE 式は土地利用の違いによって土砂流出量を推定する方法で、降雨係数、土壌係数、地形係数、作物係数、保全係数の積で求めることができる。本研究では ArcGIS Pro を使い、面積の広い森林、畑地、裸地に対しては傾斜角 10° 毎の中間値、それ以外を土地利用分類毎に平均傾斜与えて簡易的に算出する方法に加え、推定精度を向上させるため 10m グリッド毎に算出する方法も試みた。

1978 年と 2012 年の土砂流出量は、前者の方法では、後良川集水域 (875ha) がそれぞれ 1106t/year、862t/year、相良川集水域 (579ha) が 1734t/year、833t/year、由布島対岸集水域 (394ha) が 1545t/year、1020t/year と推定された。後者の方法では、後良川集水域がそれぞれ 619t/year、645t/year、相良川集水域が 2058t/year、1068t/year、由布島対岸集水域が 749t/year、553t/year と推定された。後良川集水域と由布島対岸集水域で簡易法の方が大きく見積もられた要因は、前者は森林、後者は裸地に対する傾斜角の入力値が実際の平均値より大きかったため、相良川集水域は簡易法の方が小さく見積もられたのは、森林と裸地に対する入力値が実際の平均値より小さかったためと考えられる。後良川集水域は 9 割以上が森林で、森林からの流出が大半を占める。相良川集水域は 1978 年には裸地からの流出が最も多かったが、2012 年には裸地からの流出は激減した。由布島対岸集水域では 1978 年は裸地からの流出が最も多かったが、2012 年にはそれは減少し、畑地からの流出が増大した。今回の分析結果は、西表島のマングローブ林は、年 2.6mm 程度の海面上昇に対しては集水域から少なくとも年 550t 程度の土砂流出があれば海側に拡大できることを示唆している。

【参考文献】藤本潔ほか(2022): 第 28 回日本マングローブ学会大会発表要旨集: 3. Fujimoto et al. (1999): TROPICS 8(3): 239-255. IPCC (2021): The Physical Science Basis.

ベトナム南部カンザー地区のマングローブ再造林地と
放棄塩田植林地における樹種別動態と立地環境

○加藤 天晴 (南山大・学生)・藤本 潔 (南山大、南遊の会)・石原 修一 (駒場東邦中高、南遊の会)・横山 一郎 (関東学院大・非、南遊の会)・Phan Van Trung・Huynh Duc Hoan
(Cán Gio Mangrove Protection Forest Management Board)

カンザー地区はベトナム戦争時に米軍によって行われた枯葉剤攻撃でマングローブ林が壊滅的な被害を受けた。戦後大規模な植林事業が行われ、現在ではほとんどの土地がマングローブに覆われるまでに回復している。しかし、一部地域では立地条件に適さない樹種(ユーカリ)が植えられたため十分な植生回復が見られない不成績造林地や、塩田として開発されたが生産性の低さから放棄された土地が広がっている。南遊の会とカンザーマングローブ保護林管理署はこれらの土地で本来の多様な生態系を取り戻すために、2002 年から不成績造林地へ、2010 年から放棄塩田へ植林を行うとともに、成長モニタリング調査を行ってきた。不成績造林地へ植林した樹種は *Ceriops tagal* と *Lumnitzera racemosa* である。放棄塩田には当初同じ 2 種を植林したが、活着率が低いため、2016 年から *Sonneratia alba* と *Avicennia marina* の植栽試験を開始した。本発表では本年 8 月に実施した 2002 年再造林地と 2016 年放棄塩田植林地に設置したモニタリングプロット(以下、それぞれ VCG02、VCG16 と表記)における調査結果を踏まえ、これまでの樹種別生育状況と立地環境(特に地盤高または冠水率)との関係を分析する。また、VCG02 では 2003 年から地下部炭素蓄積量の変化も追跡調査しており、その結果の概要も報告する。

VCG02 のプロットサイズは 10m×30m、VCG16 は 20m×15m である。VCG02 の地盤高は、2003 年 7 月 13 日 13 時 10 分の水面からの比高で算出した。VCG16 は、2017 年 8 月 21 日の満潮線を基準に水準測量を行い、近接するブンタオの潮位表を用いて冠水率(年間全満潮回数に対する冠水回数)を算出した。各プロット内の地盤高差はそれぞれ 19.5cm、17 cm で、VCG16 の冠水率は 29.4~47.9% である。

VCG02 の生存率は、*C. tagal* が 85.0%、*L. racemosa* が 62.5% であった。2024 年の平均樹高と平均直径は *C. tagal* が 9.2m と 7.4cm、*L. racemosa* が 8.7m と 7.6cm であった。樹高は樹幹が閉鎖しているため正確な測定が困難なため、平均直径が 1.5cm を超えてからの直径データを用いて平均成長速度を算出した。その結果、いずれの種も地盤高と成長速度の間に相関はみられなかった。深度 30cm と 50 cm までの土壌中炭素蓄積量は、2003 年から 2007 年の間はいずれも大きく減少した(30cm 深: 88t/ha→56t/ha、50cm 深: 181t/ha→122t/ha)。これは、再造林にあたり一旦裸地化したことで表層有機物が分解したためと考えられる。その後、30cm 深では徐々に増加しつつあるのに対し(2009 年: 63t/ha→2024 年: 76t/ha)、50cm 深では一貫した増加傾向には至っていない(2009 年: 138t/ha→2024 年: 112t/ha)。

VCG16 は植林後間もないため成長量をより正確に把握できる樹高を用いて分析した。2023 年 8 月までの生存率は *S. alba* が 36.9%、*A. marina* が 80% と明らかに *A. marina* が高かった。冠水率と樹高成長量の間には、*A. marina* で有意な正の相関が認められた ($R^2=0.8309$)。冠水率 40%未満の立地では 2023 年 8 月までに *S. alba* の 80% が枯死したのに対し、*A. marina* の枯死率は 18.8% と明らかに低かった。これまでの試験植林結果を踏まえると、放棄塩田における最適植林樹種は *A. marina* といえよう。しかし、2023 年 8 月以降に *A. marina* も大量枯死し、2024 年 8 月の生存率は *S. alba* が 7.7%、*A. marina* が 26% に激減した。大量枯死はこの間の異常乾燥に起因する可能性がある。

熱帯の乾燥地ジブチに生育する *Rhizophora mucronata* から観察された成長輪は年輪か？

○檜谷 昂 (東京農大)・亀田 望結 (東京農大・院)・Ibrahim Souleiman Abdallah (University of Djibouti)・Sadat Saleh Said (Energy and Environment Research Center, University of Djibouti)・桃井 尊央 (東京農大)・島田沢彦 (東京農大)・中西 康博 (東京農大)

ジブチ共和国ムシャ島は面積が 4 km² ほどの小島で、マングローブ面積は 0.4 km² ほどである。同島には *Rhizophora mucronata*、*Avicennia marina* および *Ceriops tagal* の 3 樹種が自生しており、*R. mucronata* と *A. marina* の純林がその大部分を占めている (2022 年 2 月調査時点)。*R. mucronata* に関しては樹高が 13 m を超え、根高直径も 20cm を優に超える個体が優占する成熟した群落も観察された一方、*R. mucronata* 林では立ち枯れや大規模な倒木によって大小のギャップが形成されており、こうしたギャップでは、実生の定着はほとんど見られなかった。加えて、同国本土沿岸部のマングローブ林を踏査した際にも、*R. mucronata* の枯死木が随所に観察された。マングローブの大規模枯死は、他の地域でも報告されており、気候変動の影響が指摘されている (Chung et al., 2023; Machava-António et al., 2024)。

他方、伐採された *R. mucronata* 枯死木の断面から年輪のような縞模様が観察された (図 1)。多くの熱帯樹木と同様、マングローブにおいても年輪は明瞭には形成されない (Sass et al., 1995) とされていたものの、一部の樹種 (e.g. *Rhizophora* 属) において年輪の存在が近年報告されている (Verheyden et al., 2004; Yu et al. 2004; Chowdhury et al., 2008; Robert et al., 2015)。樹木の年輪は樹齢を示すのみではなく、過去の気候を復元するためのプロキシとしても広く利用されつつあり、年輪幅や炭素・酸素同位体比の変動を読み解くことで気候変化や樹木の気候応答を推測することができる。しかしながら、マングローブを対象とした研究事例は非常に少ない。

本発表では、熱帯乾燥地のジブチに生育するマングローブ *Rhizophora mucronata* で観察される成長輪が年輪か否かを考察するとともに、同マングローブ樹種を対象とした年輪セルローズ酸素同位体自然存在比を用いた気候変動影響評価に関する試みについて報告する。



図 1 ジブチ共和国ムシャ島の *Rhizophora mucronata* 枯死木より採取した円盤サンプル



図 2 ムシャ島における *Rhizophora mucronata* の大規模な枯死 (2023 年 9 月撮影)

ジブチ原産 *Rhizophora mucronata* の材セルロース $\delta^{18}\text{O}$

○亀田 望結 (東京農大・院)・檜谷 昂 (東京農大)・Ibrahim Souleiman Abdallah (University of Djibouti)・Sadat Saleh Said (Energy and Environment Research Center, University of Djibouti)・桃井 尊央 (東京農大)・島田沢彦 (東京農大)・中西 康博 (東京農大)

緒言：近年マングローブの大規模な突然死がいくつかの地域で報告されており、気候変動との関連性が指摘されている。例えば、オーストラリア北部沿岸では 7,000 ha にも及ぶ広大なマングローブが一斉に立ち枯れを 2016 年に起こしている。この未曾有の大規模枯死の原因については、2011 年から続いた少雨とエルニーニョ現象という気候変動がマングローブに深刻な水ストレスを生じさせたと推察されている (Duke et al., 2017; Gauthey et al., 2022)。本研究の調査対象地としたジブチ共和国においても、マングローブの大規模枯死が観察されているものの、その原因は定かではない。他方、過去の気候変動を復元する手法のひとつに、樹木年輪のセルロース酸素同位体比 $\delta^{18}\text{O}$ は、降水量と負の相関を示す(中塚, 2014)ことを利用した酸素同位体年輪年代法(Nakatsuka et al., 2020; 中塚, 2021; Sano et al., 2022)がある。そこで本研究は、この新たな解析手法のマングローブ樹種に対する適用可能性を検討することを目的とした。ジブチを含むアフリカの角地域は、この十数年の間で早魃が頻発しており、2016 年にはエルニーニョ・南方振動による大早魃が起こっている (UNICEF, 2016) が、こうした過去の気候変動がジブチのマングローブ樹木年輪に記録されている可能性があると考えた。

材料と方法：ジブチ共和国ムシャ島において明瞭な成長輪が観察された *Rhizophora mucronata* の枯死木から円盤試料を 2023 年 4 月に採取した。採取個体の枯死時期は衛星写真の判読により 2017 年から 2018 年にかけてと推定された。円盤ディスクから厚さ 1.5mm の小口薄片 (図 1) を作成し、化学処理を経て、純粋な α -セルロース片を得た。これを実体顕微鏡と眼科用メスを用いて成長輪ごとに切り出し (図 2)、ホモジナイズ後、銀カプセルに封入し、熱分解型元素分析計/同位体比質量分析計 (TCEA/IRMS) により酸素安定同位体自然存在比 $\delta^{18}\text{O}$ を測定した。ここでは、測定が終了した 2 個体についての結果を報告する。

これまでの結果：成長輪毎に α -セルロース $\delta^{18}\text{O}$ を測定した結果、中心部から外縁部にかけて同値は徐々に上昇する傾向 (乾燥化の兆候) が示され、また 2 個体の $\delta^{18}\text{O}$ 値は相同的であった。枯死時期を 2018 年と仮定し、洪水や早魃といった極端な気象現象の記録 (Ghebregabher et al., 2016; Climate Change Knowledge Portal, World Bank) と照合した結果、成長輪の $\delta^{18}\text{O}$ は早魃期に上昇し、洪水後に低下する傾向が示された。



図 1 薄片サンプル

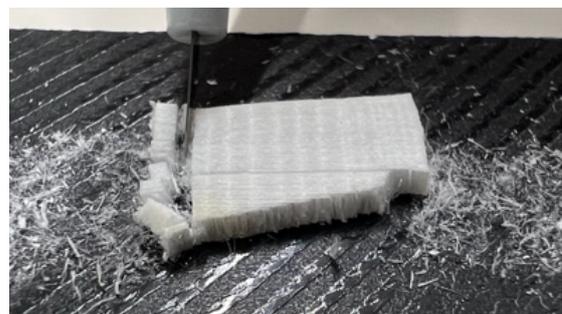


図 2 成長輪毎にセルロース薄片を切り出す様子

東京農大マングローブ研究会の学生活動について

○加藤 直樹・坂本 優希（マングローブ研究会 / 東京農大・学生）・檜谷 昂（東京農大）

1. マングローブ研究会について

私たちマングローブ研究会は東京農業大学の同好会として、2006年に大田克洋先生（東京農大・名誉教授）と有志の学生を中心に、以下の設立趣旨のもとで発足しました。

- ・マングローブをみんなで愛してマングローブについての学びを豊かにすること。
- ・農大内で研究室や学科の垣根を越えてマングローブ研究の活性化を図ること。
- ・研究や学生活動を通して、マングローブの保全をすること。

所属学生の減少とコロナ禍の影響もあり、2020年に同好会の存続危機を一度迎えましたが、2021年に新体制をスタートさせ、今では3学部、1専攻から45人の学生及び院生が所属する大所帯の文化系同好会にまで成長しました。本発表では、当研究会が2021年から沖縄県の西表島で実施しているマングローブに関する調査や学生活動について報告します。

2. 西表島における海洋ゴミ問題に関する調査

私たちは、2021年に初めて西表島を訪れ、現地の美しい海やマングローブ林の壮大さを知りました。それと同時に、海岸やマングローブには多くの海洋ゴミが散乱している現状にショックを受けました。この体験を契機に、2022年から西表島において海洋ゴミの実態調査をスタートさせました。2022年7月に西表島東海岸のマングローブにおいて、どのような種類の海洋ゴミがマングローブ林内に漂着しているのかについて調査しました。2023年度と2024年度は、調査対象をマイクロプラスチックにまで広げ、西表島のどの地域に海洋ゴミ（マイクロプラスチック）が多く集積しているのかを明らかにするため、東西南北10ヶ所の海岸においてライントランセクトを設定し、コドラート法によるマイクロプラスチックの現存量調査を実施しました。これらの調査結果は、毎年11月に行われる収穫祭・文化学術展において一般来場者に向けて発表しています。今後は、マングローブ群落の内部にも多く存在するであろう海洋プラスチックゴミがマングローブにどのような影響を及ぼしているのか、その相互関係について調べていきたいと考えています。

3. マングローブ共生微生物に関する調査

2024年度はマングローブ研究会の新しい挑戦として、耐塩性の異なるマングローブ3樹種：ヤエヤマヒルギ（*Rhizophora stylosa*）、マヤプシキ（*Sonneratia alba*）、オヒルギ（*Bruguiera gymnorhiza*）の根圏微生物とバルク土壌の菌叢に違いがあるのかについて調査を行いました。現時点では、種・属の細かな同定まではできていませんが、3樹種の菌種に違いが認められました。今後は、新たに同定を進めるとともに、微生物叢に関する解析を耐塩性の観点から行う計画です。

謝辞：マングローブ研究会の活動に際し、西表島古見村の方々には大変お世話になりました。また、ISMEの馬場繁幸先生には2022年度に西表島にてマングローブ課外授業を行っていただき、また現地調査においても便宜を図っていただきました。林野庁、環境省、沖縄県からは調査許可をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。