第24回： 平成30年度

日本マングローブ学会大会

Annual Meeting JAPAN SOCIETY FOR MANGROVES

平成30年12月8日(土)・9日(日) 9:30受付開始

東京農業大学　世田谷キャンパス
1号館4階411教室

8(Sat), 9(Sun) December, 2018　open 9:30

Bldg. 1 4F Room 411 Setagaya campus
Tokyo University of Agriculture

公開シンポジウムⅠ

12月8日(土)14:00～16:00

『中学生・高校生によるマングローブに関する研究発表と「何でも相談」』

公開シンポジウムⅡ

12月9日(日)13:00～14:30

「西表島のマングローブ林を調査地とした高精度４次元データによるマングローブ生態系研究の新しい試み」

事務局： 中西 康博
〒156-8502　東京都世田谷区桜丘1-1-1 東京農業大学国際農業開発学科
Secretariat: Yasuhiro Nakanishi
Dep. of Int. Agr. Dev. Tokyo University of Agriculture 1-1- Sakuragaoka Setagaya Tokyo 156-8502
TEL: 03-5477-4177
URL: http://www.mangrove.or.jp/gakkai/taikai2018.html

平成30年度 第24回日本マングローブ学会大会プログラム

東京農業大学世田谷キャンパス　1号館411教室　一般発表15分，質疑応答5分

平成30年12月8日（土）

9:30　受付開始

10:00　ブルーカーボン、適応策・緩和策、環境研究総合推進費戦略研究などの用語が飛び交って、世の中の動きが早くてついていけません
○馬場繁幸（国際マングローブ生態系協会）・井上智美（国立環境研）・大城のぞみ（国際マングローブ生態系協会）・毛塚みお（国際マングローブ生態系協会）・木村法実（国際マングローブ生態系協会）・馬場花梨（国際マングローブ生態系協会）

10:20　Estimation of anthropogenic impact to mangrove watershed in Okinawa by using $\delta^{15}N$
○Ferdouse Zaman Tanu, Yasuhiro Asakura, Ko Hinokidani, Toru Miyata, Satoshi Takahashi, and Yasuhiro Nakanishi (Tokyo Univ. of Agric.)

10:40　分布北限で自殖を促進するマヤプシキ(*Sonneratia alba* J. Sm.)の花形態
○小林綾己(東京農大)

11:00　西表島マングローブ林における成帯構造に沿った昆虫の群集構造の変化
○太刀掛脩平・今井伸夫(東京農大)

11:20　カロチノイドを含むAvicennia alba黄色カルス細胞の微細構造とプロトプラスト共培養-画像解析法によるアレロパシー活性評価
○笹本浜子（神奈川大）・早津　学（新潟大）・鈴木季直（神奈川大）

12:15　役　員　会（412教室）

公　開　シ　ン　ポ　ジ　ウ　ム　Ⅰ　（1号館411教室）

『中学生・高校生によるマングローブに関する研究発表と「なんでも相談」』

14:00-14:05　趣旨説明　馬場繁幸（司会）
14:05-14:20　ボルネオ島研修報告
〇宮﨑 諒　（東京都立科学技術高校）
14:20-14:35　西表島体験談！
〇八田 桃花・〇小野寺 慶之・〇中村 遼太郎・〇宍戸 佑羽（東京都立科学技術高校）
14:35-14:50　散布体を用いた、極性に関する実験
〇伊藤遥香（山脇学園高校）・〇原田侑佳（山脇学園高校）・〇和田瑞生（山脇学園高校）・（山脇学園中学・高校）・渡辺信（琉球大）
14:50-15:05　マングローブの耐塩性を調べる研究
○柴田玲（山脇学園中学）・○渡邉栞花（山脇学園中学）・伊藤華子（山脇学園中学・高校）・渡辺信（琉球大）
15:05-15:20　マングローブ以外の植物について、耐塩性を調べる研究
○辰尾夢（山脇学園中学）・○中田朱音（山脇学園中学）・伊藤華子（山脇学園中学・高校）・渡辺信（琉球大）

16:30　総　　会（412教室）

17:30　懇　親　会（412教室）

平成30年12月9日（日）

9:30　受付開始

10:00　Recolonization of Mollusc Assemblages in Restored Mangroves Interrupted by Typhoon Chan-hom in the Philippines
Severino G. Salmo III (Ateneo De Manila Univ.; Univ. of the Ryukyus)

10:20　Heavy Metal Retention and Resorption in the Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) as Adaptation Strategy in Mining-Contaminated Sediments
Luisito L. Capua Jr. (Ateneo De Manila Univ.) and Severino G. Salmo III (Ateneo De Manila Univ.; Univ. of the Ryukyus)

10:40　The Role of Vegetation and Sediment Properties in the Adaptability of Mangroves Against Sea Level Rise
Vanessa E. Malapit (Ateneo De Manila Univ.) and Severino G. Salmo III (Ateneo De Manila Univ.; Univ. of the Ryukyus)

11:00　西表島由布島対岸における表層侵食・堆積測定の試み－マングローブ林における群落レベルでの海面上昇影響の実態把握（続報）－
○古川恵太（海洋政策研・横浜国大）・藤本 潔（南山大）・小野賢二（森林総研・東北）・渡辺信（琉球大）・谷口真吾（琉球大）・平田泰雅（森林総研）・羽佐田紘大（法政大）・Saimon Lihpai (Pohnpei State Government)

11:20　マングローブ林における群落レベルでの海面上昇影響の実態把握－Rhizophora属の立木密度と地盤高変動の関係－
○和田百合名（南山大）・藤本　潔（南山大）・小野賢二（森林総研・東北）・渡辺　信（琉球大）・谷口真吾（琉球大）・古川恵太（海洋政策研）・平田泰雅（森林総研）・羽佐田紘大（法政大）・Saimon Lihpai (Pohnpei State Government)

11:40　沖縄県西表島におけるマングローブ樹木年輪解析の可能性と意義
○宮城豊彦（東北学院大）・根原裕美子（竹富町教育委員会）・馬場繁幸（国際マングローブ生態系協会）・渡辺信（琉球大）・内山庄一郎（防災科技術研）、柳沢英明（東北学院大）・吉田璃菜（東北学院大）

公 開 シ ン ポ ジ ウ ム Ⅱ　（1号館411教室）

13:00　**「西表島のマングローブ林を調査地とした高精度４次元データによるマングローブ生態系研究の新しい**
趣旨説明：宮城豊彦・内山庄一郎・馬場繁幸（10分）
＜発表＞１課題15分，質疑応答5分（13：10-15：30）
沖縄県西表島仲間川マングローブ林の70年間の立地変動に関する総括的分析
○内山庄一郎（防災科学技術研究所）
マングローブ樹木の年輪分析による森林構造形成の解明　―沖縄県西表島仲間川での分析例―
○宮城豊彦（東北学院大）・根原裕美子（竹富町教育委員会）・馬場繁幸（国際マングローブ生態系協会）・渡辺信（琉球大）・内山庄一郎（防災科技術研）・柳沢英明（東北学院大）・吉田璃菜（東北学院大）
森林倒壊被害から解明するマングローブ林成立のメカニズム
○渡辺　信（琉球大）・内山庄一郎(防災科学技術研究所)・宮城豊彦（東北学院大）
３Dレーザースキャナーを用いたマングローブ形状の測定とその展開
○柳澤英明（東北学院大）・宮城豊彦（東北学院大）
マングローブを用いた気候変動に伴う沿岸災害の減災評価手法の開発
○森　信人（京都大）
航空レーザー計測システムの最新状況
○宇野女草太（中日本航空株式会社）
＜コメンテーション＞（15：30-15：45）
藤本　潔（南山大）・井上智美（国立環境研究所）・古川恵太（海洋政策研）
＜総括＞（15：45-15：50＞

ブルーカーボン、適応策・緩和策、環境研究総合推進費戦略研究などの用語が飛び交って、世の中の動きが早くてついていけません

○馬場繁幸（国際マングローブ生態系協会）・井上智美（国立環境研）・大城のぞみ（国際マングローブ生態系協会）・毛塚みお（国際マングローブ生態系協会）・木村法実（国際マングローブ生態系協会）・馬場花梨（国際マングローブ生態系協会）

1. 用語について

2009 年に UNEP が FAO 等との共同で印刷した報告書**"Blue Carbon"**に「生物が捕捉する炭素を生物学的な炭素(biological carbon)あるいは green carbon と呼ぶが、半分以上(55%)は、海生生物(marine living organisms)、すなわち陸上で捕捉されるのではないので(not on land)、ブルーカーボン(blue carbon)である」との記載があります。マングローブは海生生物ではないので、個人的にはブルーカーボンと呼ばれることに抵抗はありますが、マングローブ、アマモなどの海草、それに海藻や植物プランクトンが捕捉するのがブルーカーボンだそうです。

それだけではありません。最近は生態系サービス(ecological service)の用語が使われることがありますが、昔の生態学の教科書に生態系サービスって用語はあったのでしょうか。

地球温暖化が大きな問題になっていますが、気候変動への適応策(adaptation)とか緩和策(mitigation)って使われているけど、具体的にはどんなことなのでしょうか。

2. マングローブ博物館と植物園

スリランカで 2016 年 7 月 26 日の国際マングローブデー（International Mangrove Day）に「世界最初の博物館」がキャッチコピーでマングローブ博物館が建設されました。マングローブデーは各国が個別に実施していたのを、2015 年 UNESCO 総会で 7 月 26 日をマングローブ保全のための「国際マングローブデー」としようと宣言したことにはじまります。

本年 10 月 22 日には「世界最初のマングローブ植物園」がキャッチコピーで、2 年前(2016 年 10 月 13 日)に崩御されたタイ国王ラマ 9 世を偲んで International Mangrove Botanical Garden King Rama IX の起工式が行われました。この植物園はタイ国のチャンタブリに、3 年間かけて建設されます。

3. 気候変動に関する国内研究

年間 2 千万円～3 億円規模でマングローブが含まれる気候変動に関する研究が動いています。環境省環境研究総合推進費戦略研究（戦略的研究開発領域Ｉ）「気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究」（H27 ～H31）の中のサブテーマを国立環境研究所が担っておられるので国際マングローブ生態系協会もその一部をお手伝いさせていただいています。環境省環境研究総合推進費（低炭素領域の環境問題対応型研究）「グリーンインフラを用いた気候変動に伴う沿岸災害の減災評価手法の開発」については、日曜日の午後の公開シンポジウムで詳しいことが述べられます。

国際科学技術共同研究推進事業/地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development:　通称 SATREPS）では「ブルーカーボンを通して沿岸生態系保全と地球温暖化対策に貢献する」をキャッチコピーとしてインドネシア・フィリッピンで「コーラル・トライアングルにおけるブルーカーボン生態系とその多面的サービスの包括的評価と保全戦略」（H28～H33)が行われています。

世の中の動きが早くてついていくことができないのですが、私たちなりに、マングローブに関する国内外の動きと、私どもの協会のマングローブ植林活動について、発表の内容としては調査や研究ではないのですが、話をさせていただきたいと思います。

Estimation of anthropogenic impact to mangrove watershed in Okinawa by using $\delta^{15}N$

○Ferdouse Zaman Tanu, Yasuhiro Asakura, Ko Hinokidani, Toru Miyata, Satoshi Takahashi, and Yasuhiro Nakanishi (Tokyo Univ. of Agric.)

Introduction: Mangroves, a complex ecosystem linking the biogeochemistry among land, ocean and fresh water, has recently been focused as a potential indicator of long term eutrophication assessment in coastal areas (Gritcan et al., 2016). Isotopic analysis of mangroves leaf $\delta^{15}N$ has successfully reflected the sign of source nitrogen whether of natural or anthropogenic origin (Fry et al., 2006). Authors had already found higher values of mangroves leaf $\delta^{15}N$ significantly different from those in non-mangroves both on Okinawa and Ishigaki islands (unpublished data). Henceforth, current research of determining $\delta^{15}N$ of NO_3^--N in mangrove watersheds as well as tree leaves grown along the watershed has been conducted to assume the magnitude of human impacts to mangroves in Okinawa.

Materials and Methods: Mangrove and non-mangrove leaves and water samples were collected from four watershed areas known as Kesaji river, Okukubi river, Manko lake and Southern Manko lake in Okinawa. Leaves after drying and grinding and water samples were analyzed by Isotopic Ratio Mass Spectrometer (IRMS) to determine $\delta^{15}N$. To analyze $\delta^{15}N$ in NO_3^--N, a recently proposed acetone method (Huber, 2011) was slightly modified to overcome some obstacles regarding the water samples.

Results and Discussion: The modified pretreatment process of water sample obtained satisfactory result by using standard KNO_3 solution (std. 0.06 ‰). The outcome of combustion efficiency and amount dependency of obtained nitrate salt from sample by IRMS were also in good consideration. The higher value of $\delta^{15}N$ in NO_3-N (9 to 14 ‰) and mangrove leaves (3 to 10 ‰) compared to non-mangroves (-1.4 to 3 ‰) disclosed a mark of anthropogenically formed active nitrogen in sampling watershed. Moreover, there was no consistent correlation found between the $\delta^{15}N$ in mangrove leaves and those in NO_3^--N in related stream water by simple statistical analysis might be due to the fact that the isotopic abundance of mangrove leaves was the sign of long term nitrogen absorption history, whereas, the diurnal tidal action, precipitation, complex cycling of nutrients by microbial interaction, continuous mixing of N-enriched excreta on forest floor made it practically difficult to show consistent relationship at a certain time. Nevertheless, the maximum average values of $\delta^{15}N$ in both leaf (around 9 ‰) and water sample (around 11‰) has been found in the largest Manko and Southern Manko lake watershed combinedly (38.2 km^2) associated with urbanized area in Okinawa. In conclusion, as the mostly stressed island by human disturbances among all mangroves in Japan (Okinawa Prefecture 2015) the results of $\delta^{15}N$ of samples exposed a clear hint of mangroves capability of absorbing and purifying enriched reactive nitrogen from surrounding watershed flowing down towards mangroves from anthropogenically influenced upstream area in Okinawa island.

分布北限で自殖を促進するマヤプシキ(*Sonneratia alba* J. Sm.)の花形態

○小林綾己（東京農大）

はじめに　個体群維持や種の分布拡大には、その場所で繁殖できることが重要である。送粉は繁殖の一部だが、送粉を行う動物がその植物の分布限界域で送粉機能を十分に果たしていない場合、植物は個体群維持のために様々な繁殖特性を獲得する可能性がある。環境に対する繁殖特性の変化もそのひとつで、この過程を明らかにすることは、植物の種分化を理解する出発点となりうる。広域分布する植物は、表現型可塑性や局所適応によって、新たな環境への分布を可能にしてきたと考えられる。マングローブ植物のマヤプシキは、ハマザクロ属のなかでは最も広域に分布し、その北限は日本の八重山諸島にある。マヤプシキはコウモリ媒花の特徴をもつが、八重山諸島西表島でのオオコウモリの訪花はいくつかの観察例(Lee et al. 2009)はあるものの、訪花者のほとんどは体サイズの小さい昆虫類のうえ、夜間の送粉効率の高い訪花も少ない。このような分布北限の環境でマヤプシキは、その個体群の維持のためにより自殖を可能とする特性をもつのではないかと予想した。そこで、分布北限でより確実な繁殖を可能とする開花特性として、自殖を促進するために柱頭葯間の距離が短縮すると仮定し、他殖と自殖の結実率の調査を行い、北限域のマヤプシキの繁殖特性を明らかにすることを試みた。

方法　花柱長が短縮し柱頭葯間の距離が近い花がどの程度存在しているか明らかにするため、2018 年 7 月および 9 月に西表島で、花柱と花糸の長さを計測した。また個体ごとに長花柱の花と長花柱の花の数を数えた。自家不和合性が強ければ自殖を促進する利益は小さい。そこで短花柱の花に対し強制自家受粉、強制他家受粉を行い、結実できるか調べた。

結果　西表島のマヤプシキには、一般的な花糸よりはるかに花柱が長い花と、花柱長が短く柱頭葯間の距離が著しく近い花とが存在していた。花柱長について階層的クラスター解析を行うと、明瞭に長花柱型と短花柱型の花に分けられた。短花柱型の花に対して人工的に自家受粉および他家受粉を行うと、1 果実あたり 330 個を超える大量の種子を生産した。自家受粉での結実率は 96.8%(n=1)で、他家受粉での結実率 96.6%(n=1)に匹敵する値となった。一方、人工授粉を行わなかった花の種子生産数は 1 果実あたり 58.8±20.0 個(平均±SD,n=5)で、いずれも 100 個に満たなかった。

考察　西表島のマヤプシキに見られた花柱の短い花は、自家受粉の起こる確率が高いと考えられ、西表島での訪花状況に対応してきたものである可能性が指摘できる。また受粉実験において、西表島のマヤプシキの短花柱の花は自家受粉でも十分に種子を生産できる可能性があること、西表島のマヤプシキの繁殖には花粉制限がかかっていることが示唆された。しかしながら受粉処理を実施できた花数が少なく、この地域の多くの個体で自殖が成功しているかは、今後ひきつづき検討が必要である。

謝辞

東京農業大学の武生雅明教授、中村幸人名誉教授にご指導いただきました。また、西表島民の方々をはじめ調査にご協力いただいた皆様に厚く御礼申し上げます。

Y.F. Lee, Takaso T, T.Y. Chiang, Y.M. Kuo, Nakanishi N, H.Y. Tzeng, Yasuda K. (2009)Variation in the nocturnal foraging distribution of and resource use by endangered Ryukyu flying foxes(*Pteropus dasymallus*) on Iriomotejima Island, Japan, Zoology,78(2):51-64

西表島マングローブ林における成帯構造に沿った昆虫の群集構造の変化

〇太刀掛脩平・今井伸夫（東京農大）

はじめに

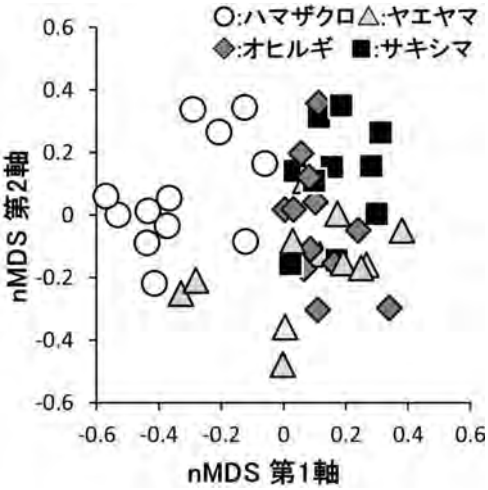
マングローブ林には、海側から内陸への冠水・土壌環境の変化に応じて樹種組成や林分構造が不連続に変化する「成帯構造」が見られる。この成帯構造に沿って、藻類や甲殻類など様々な分類群の多様性や群集構造が変化してゆくことが知られている。しかし、熱帯で高い多様性を誇る昆虫群集については研究が少なく、成帯構造に沿ってその変化を調べた研究は殆どない。本研究の目的は、沖縄県西表島マングローブの地形傾度に沿って、多様な生活様式から成る昆虫群集の多様性や群集構造がどう変化するのかを、それらの網羅的採集を通して明らかにすることである。

方法

調査は、西表島の後良川河口部で行った。ここでは海側から内陸に向かって、ヒルギダマシ・ハマザクロ群落、ヤエヤマヒルギ群落、オヒルギ群落、サキシマスオウノキ・シマシラキ群落の 4 つの群落がみられた（以下、それぞれハマザクロ、ヤエヤマ、オヒルギ、サキシマ群落）。2018/8/30-9/14、各群落においてルッキング(目視)、ビーティング(枝に付着した昆虫を叩き出す方法)、ライト FIT トラップ(紫外線による誘引)によって昆虫を採集した（今回はライト FIT トラップの 5 日間のデータのみ示す)。ライト FIT トラップは各群落に 3 つずつ、計 16 日間設置した。

結果

種数と個体数は、内陸のサキシマ群落で多く、ヤエヤマ群落に向かって減少した後、海側のハマザクロ群落で最大を示した。最内陸のサキシマ群落では、アリ類が優占していた。海側のハマザクロ群落では、地表徘徊性昆虫(ハネカクシやゴミムシなど)の種数・個体数が多かった。種組成を非計量多次元尺度構成法（NMDS）で解析したところ、ハマザクロ群落と陸側 3 群落は NMDS 1 軸に沿ってそれぞれ左側と右側に別れ、種組成が明瞭に異なることが分かった（右図)。陸側 3 群落内では、NMDS 2 軸に沿って海側から陸側にかけた変化がみられた（下から上にヤエヤマ→オヒルギ→サキシマ群落)。



NMDS による昆虫群集組成の序列化。各点はトラップを示す。図内のトラップ間距離が近いほど種組成は似ていて、遠いほど種組成は異なる。ハエ目は解析から除外した

考察

マングローブ林の昆虫群集組成は、群落間で異なった。昆虫にとって最も生育環境が厳しいとおもわれた海側のハマザクロ群落で、種数・個体数、特に地表徘徊性昆虫のそれが最大となった。これは、ハマザクロ群落が干潟-森林のエコトーンであること、樹木がまばらで環境的異質性に富むこと、ミナミトビハゼのような大型捕食者を欠くことなどが、地表徘徊性昆虫の多様性にプラスの効果をもたらしたと考えられる。一方、林分構造が単純でミナミトビハゼが高密度に生育するヤエヤマ群落は、地表徘徊性昆虫を欠いていた。冠水頻度が低い最内陸のサキシマ群落は、アリ類が優占し種数・個体数も多かった。以上のように、冠水環境だけでなく、各群落特異的な生態的要因もマングローブの昆虫群集集合を規定している可能性があることが分かった。

カロチノイドを含む *Avicennia alba* 黄色カルス細胞の微細構造と プロトプラスト共培養-画像解析法によるアレロパシー活性評価

○笹本浜子（神奈川大）・早津　学（新潟大）・鈴木季直（神奈川大）

ウラジロヒルギダマシ*Avicennia alba* は、汽水域に生育するマングローブ植物の中でも海側にも生育し、耐塩性が強いと考えられる。これまで、子葉由来の液体培養細胞とプロトプラスト培養において、強いNa 耐塩性が明らかにされた（Hayashi et al. 2009, Hasegawa et al. 2013）。また子葉由来カルス細胞の微細構造解析とX線マイクロアナリシスによる元素分析により、培養培地中のCa塩濃度による生育阻害の特徴を明らかにした（Hayatsu et at. 2017）。一方、*A. alba* 胚軸由来のカルスは、通常のCa塩濃度の培地で継代培養可能であり、暗所で強い黄色を呈するカルス系が確立された。 最近このカルスのプロトプラスト培養においても、Ca添加による生育阻害と、Na, K, Mg, などの塩による好塩性が、レタスプロトプラスト培養との比較によって示されている。

本研究では、ヘキサン抽出物の解析により、上記*A. alba* 黄色カルスが、カロチノイドのネオキサンチンを含む可能性を示唆した。また、透過型電子顕微鏡観察により、微細構造の特徴を明らかにした。さらに、アレロパシーバイオアッセイ法であるプロトプラスト共培養法により、レタスプロトプラストの細胞壁形成期における促進、細胞分裂期における強い阻害、および画像解析法によるレタスの黄色集積に対する阻害効果など、*A. alba* の特異なアレロパシー活性を検出した。カロチノイド色素は、光合成での働きがよく知られている一方、生長阻害やストレス耐性に働く植物ホルモンであるアブシジン酸の生合成に影響を与える可能性も考えられる。暗所培養細胞におけるカロチノイド色素によるアレロパシー活性の検出は新規の知見と考えられる。

「材料・方法」

*A. alba*の胚軸由来カルス（Tsuchiya et al. 2013）は、各1 μM の2,4-D、チジアズロンを含むmAA基本培地, 3% sucrose, 0.8% agar 培地で、28℃暗条件で1.5-2ヶ月間ごとの継代培養により濃い黄色を呈したものを、同条件で数年間継代培養を続けて用いた。

カロチノイド色素は、$CaCO_3$を少量加え乳鉢磨砕後、イソプロパノールで抽出し、ヘキサン層に回収し、二波長分光光度計により吸収波長を解析した。

微細構造観察には、低融点アガロース(VII)を用いて固化、6% glutaraldehyde, 2% OsO4 固定後、アセトン系列で脱水し、Epoxy 樹脂に置換包埋した。ウルトラミクロトームにより70 nm 厚の切片を得、Uranyl acetate, Lead citrate で染色し、透過型電子顕微鏡 JEOL JEM-2100により観察した。

プロトプラスト共培養-画像解析法は、*A. alba*プロトプラストは、0.6 M mannitolを含む各1%のCellulase RSとDriselase 20、約24時間80rpmでの振とう処理単離後、95 μmメッシュを通し、0.6 M sucrose層との300g 密度勾配遠心により精製した。レタスのプロトプラストは明所で約1週間育成した無菌芽生えの子葉を細断し、Cellulase RSとMacerozyme R10 各1%、0.6 M mannirol中で一晩処理し、63 μmのメッシュを通した。Mannitol による遠心洗浄は300gまたは100g 5 min、3回行った。各プロトプラストを5 μLずつ、レタスは6-100 x10^3/mL、*A. alba*は3-300 x10^3/mL となるように、96穴シャーレ中 50 μLの液体培地（MS, 2,4-D 1 μM, BA 0.1 μM, 3%sucrose, 0.6 M mannitol）に加えた。5日および12日培養後に、レタスプロトプラストの変形細胞数と、分裂細胞数を倒立顕微鏡下で計数した。黄色集積は33日後に、96穴シャーレのスキャンによりjpg画像を得、Image JとExcel により解析した。

ボルネオ島研修報告

○宮﨑 諒（東京都立科学技術高校）

都立科学技術高等学校では 2018 年 3 月 25 日から 31 日にマレーシア・ボルネオ島研修が行われ、私を含む 8 人の生徒がボルネオ島マレーシア領サバ州を訪れた。研修の目的は「ボルネオ島に生息する動植物の観察を行うこと」、「プランテーションによる森林伐採の現状を知ること」である。本発表はその体験や成果を報告するものである。

Kota Kinabalu Wetland Center や Klias Peat Swamp Field Center ではボルネオ島に生息する貴重な植物や動物の観察を行った。マングローブ林は日本のものと比べると密度が濃いような印象を受けた。フタバガキ科の樹木やウツボカズラなど熱帯雨林特有の植物を観察することもできた。また、クルージングをした川では、テングザルやホタルなどを観察した。

Klias Peat Swamp Field Center では地平線まで広がるアブラヤシのプランテーション農場を目の当たりにして、その規模に衝撃を受けた。ここから生産されるパーム油を我々が大量に消費していることが恐ろしくも感じた。

私たちは、サバ森林局の森林再生プロジェクトに参加させていただき、マングローブの植林活動を手伝わせていただいた。約 1000 本のマングローブを植林したが、上空からカメラで見ると広大な土地のほんの小さな一角でしかなく、失われた森林を再生することの難しさを自分の身をもって感じた。

研修後はボルネオ島の環境保全を目的とする学生団体が主催するシンポジウムに触発され、私も少しではあるが独自の活動を行った。

この発表では、遠い国で起こっている森林破壊が我々日本人の生活と密接な関係があること、高校生の私が実際にボルネオ島の現状を見て何を感じたかを伝えたい。

西表島体験談！

○八田 桃花・○小野寺 慶之・○中村 遼太郎・○宍戸 佑羽
（東京都立科学技術高校）

平成 30 年 8 月 6 日～10 日の 4 泊 5 日、琉球大学熱帯生物圏研究センターにお世話になり、西表島研修を行った。

日本は約 70%が森林に覆われた森林大国だが、その中でも西表島は島の 90%が森林に覆われている、とても自然豊かな場所である。その自然豊かな西表島で我々は、琉球大学名誉教授馬場繁幸先生、琉球大学熱帯生物圏研究センターの渡辺信先生、成瀬貫先生のご指導の下、マングローブ植物ややその周辺に生きる生物について観察を行った。観察では、東京では見られない、オヒルギ、メヒルギ等の亜熱帯のマングローブ植物を見ることができた。また、汽水で生きられるマングローブ植物の塩分の排出には、葉にためて落葉させたり、葉の裏の白い毛に塩を貯めるなどの方法があることを学び、実際に自分の目で観察することができた。さらに、マングローブの一番の特徴でもあると言える「根」についても膝根、板根、支柱根、筍根があることを知ることができた。他にも、「散布体」という普段目にする種子とは違ったマングローブ林という環境で育つために進化している種子を目で見て学ぶことができた。

海水が混じる汽水域でも生きていけるマングローブは根の張り方や繁殖方法、葉のつき方を変えることでその環境に適応している姿を見ることができた。ほとんど触れたことがないようなマングローブ植物に触れるという貴重な経験をさせていただき、とても興味深かった。植物だけではなく、その周辺に生きているミナミコメツキガニや、キバウミニナなどの小動物たちも見ることができた。また、西表島研修を通して、セマルハコガメやカンムリワシ、キシノウエトカゲなどの天然記念物やヤシガニなどの絶滅危惧種にも出会うことができた。

さらに、西表島を散策していると川や海岸沿いで、国内、海外から流れてきたゴミを発見した。黒潮の影響で海外からもゴミが流れてくることや、もともとこの場所にいない外来生物が存在していることについて、もともとあった環境が壊されてしまうのではないか、という危機感を感じた。西表島は、観光地開発やロードキルの問題、ゴミ問題など、様々な問題を抱えていて、我々はこれらの問題を実際に見て確認することができた。

こういった問題は人間の活動によるものがほとんどで、人間が自然に悪影響を与えてしまっている。我々は、この目で貴重な西表の自然を見てきたからこそ、人間と自然が共存できる世界を目指したい。

散布体を用いた、極性に関する実験

○伊藤遥香（山脇学園高校）・○原田侑佳（山脇学園高校）・○和田瑞生（山脇学園高校）・（山脇学園中学・高校）・渡辺信（琉球大）

私たちは２０１７年５月に山脇学園中学校の教育プログラム「野生生物調査隊」に参加し、西表島で様々な実習を行った。この取り組みでマングローブに興味を持ち、毎年実験を行っているが、昨年度は２つの実験を行った。１つは、異なるマングローブ樹種の発芽・発根特性を調べる実験である。もう１つは、３等分にした散布体を砂の上で横向きに置いた場合、縦にさして置いた場合における発芽・発根の有無を調べる実験である。これらの実験を行い、散布体の上下方向を反対にすることで発芽・発根がどうなるのか興味を持ったため、今年度はメヒルギを用いて以下の実験を行った。

ヤナギの小枝の再生実験（Pfeffer,1904・Hermann Vöchting,1878）では、茎頂が上、根端が下にある状態を正位、逆になっている状態を逆位とすると、逆位で本来の位置に芽・根が出たと報告されている。このことから、メヒルギを逆位にした場合、オーキシンの極性移動により、Pfeffer、Hermann Vöchting の実験と同様に、本来の位置に芽・根が出るという仮説を立てた。

栽培は、暗条件、湛水（散布体が半分程浸かる水量）、水道水という条件下で、本校の実験栽培棚を用いて行った。この条件は「異なるマングローブ樹種の発芽・発根特性を調べる実験」の結果、本校での実験において生育に最適と分かった条件である。メヒルギは正位３本、逆位３本を１セットとし、全部で２セット用意した。容器の両端から紐を張り、散布体を吊るして逆位とした（下図）。観察は２週間に 1 回行い、現在も実験を継続している。現時点では、正位の散布体に芽・根が出た個体があったのに対し(写真１)、逆位の散布体に芽・根が出たものはなかった(写真２)。また、逆位の散布体表面が茶色に変色しているものがあった。

仮説とは異なり、逆位の散布体から芽・根が出なかったことに関しては以下のことが考えられる。まず、採取してから実験開始までの期間が長く、散布体の状態が悪かったため、成長しにくかった可能性が考えられる。しかし、メヒルギは成長速度が遅いため、今後実験を続ける中で発芽・発根する可能性も考えられる。もう一つは、水による影響である。参考にした Pfeffer, Hermann Vöchting の実験と本実験の違いは、水中で栽培したか否かである。このことから、水の有無が逆位で栽培した散布体に何らかのストレスを生じさせ、発芽・発根に影響を及ぼした可能性がある。状態の良い個体を用いて実験を行い、再度結果を得たい。その際は、成長の早いオヒルギを用いる予定である。

＜参考文献＞絵とき植物生理学入門改訂３版　曽我康一・宮本建助・井上雅裕

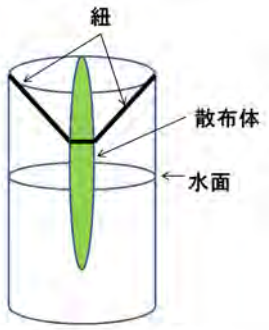


図. 逆位の実験の模式図

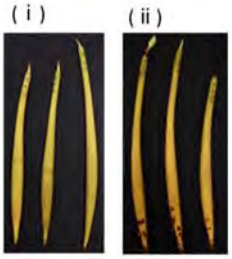


写真1(正位)

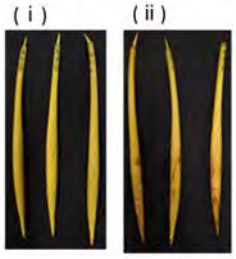


写真2(逆位)

(i) 実験開始 9月16日
(ii) 最終測定11月22日

マングローブの耐塩性を調べる研究

○柴田玲　○渡邉栞花　伊藤華子　渡辺信

私たちは今年度、山脇学園中学校の教育プログラム「西表野生生物調査隊」に参加し、5月に西表島に訪れた。現地でマングローブを観察する中で、マングローブが生育できる塩分濃度の限界はどのくらいなのか、という疑問をもった。そこで、ヒルギ科のヤエヤマヒルギ，オヒルギ，メヒルギの3種類を用いて、各樹種の耐塩性を調べる実験を行った。

実験で用いた3樹種を、分布している汽水域の塩分濃度が高い順に並べると、ヤエヤマヒルギ、メヒルギ、オヒルギとなる。このことから、樹種毎の耐塩性も同様になるという仮説を立てて実験を行った。

各樹種で、散布体3本を1グループとし、計5グループ用意した。遮光処理をしたパスタケース（H28 ㎝×φ9 ㎝）に、濃度0%・0.4%・0.8%・1.2%・1.6%の塩化ナトリウム水溶液と散布体を入れた。温度約25度の栽培実験棚で、暗条件・湛水（散布体が半分ほど浸かる水位）の条件で栽培した。生重量，葉の枚数，茎の長さ，根の本数について、2週間に1回測定を行った。

実験の結果より、図1の写真から12週では3種とも0.8%以上の塩分濃度の散布体は芽も根も茶色く変色していた。塩分濃度0.4%では、ヤエヤマヒルギ、オヒルギ共に一部茶色に変色した部分があるものの、発根、茎の伸長、一部葉の展開も観られた。しかしメヒルギは、根側が茶色く変色し枯死し始めていた。

相対生長率(図2)を見ると、ヤエヤマヒルギでは0～0.8%が0以上、オヒルギでは0～0.4%が0以上であった。また12週の内にヤエヤマヒルギは順調に値を伸ばしたが、オヒルギは、4週から8週をピークに下降していることからヤエヤマヒルギがオヒルギより耐塩性が高いと推察される。一方メヒルギの相対生長率は、全ての濃度で0以上であるものの0%、0.4%を除いて6週をピークに下降に転じている。図1の写真の状態も考えると、0.4%以上の塩分濃度に対する耐性が無いと考えられる。根の本数(図3)については、ヤエヤマヒルギは全ての濃度で2週目で発根した。オヒルギは0～0.4%では2週目に、0.8%以上は6週目以降に発根した。メヒルギは4週ではすべての濃度で発根するものの、12週の図1の写真を見ると0.4%以上では枯死している。茎の伸長・葉の展開については、ヤエヤマヒルギでは0%で12週より見られ、0.4%も葉は12週には見られた。オヒルギは、0%が4週に茎の伸長が、8週に葉の展開が見られ、ヤエヤマヒルギより速かった。

しかし、0.4%ではヤエヤマヒルギのみ葉の展開が観られたことよりヤエヤマヒルギの方が耐塩性が高いことが示唆される。一方メヒルギでは0%では12週で茎の伸長、葉の展開が観られ非常に遅かった。0.4%でも12週で葉が展開した。

結果より、仮説で示したとおりオヒルギに対してヤエヤマヒルギの方が耐塩性が高いことが示唆された。しかしメヒルギのみ相対生長率がすべての濃度で0以上になったにも関わらず、写真(図1)からは他の2種に比べて顕著な生長が見られなかった。その要因として、メヒルギは成長が遅いだけでなく、実験開始が7月からとなり、特にメヒルギの保存状態が悪く、正確なデータが得られなかった可能性が考えられる。相対生長率(図2)もまた、各樹種とも10週あたりより下降しているのは、気温の低下及び散布体の持つデンプン量が関係しているのではないかと考えた。

図1. 12週間後

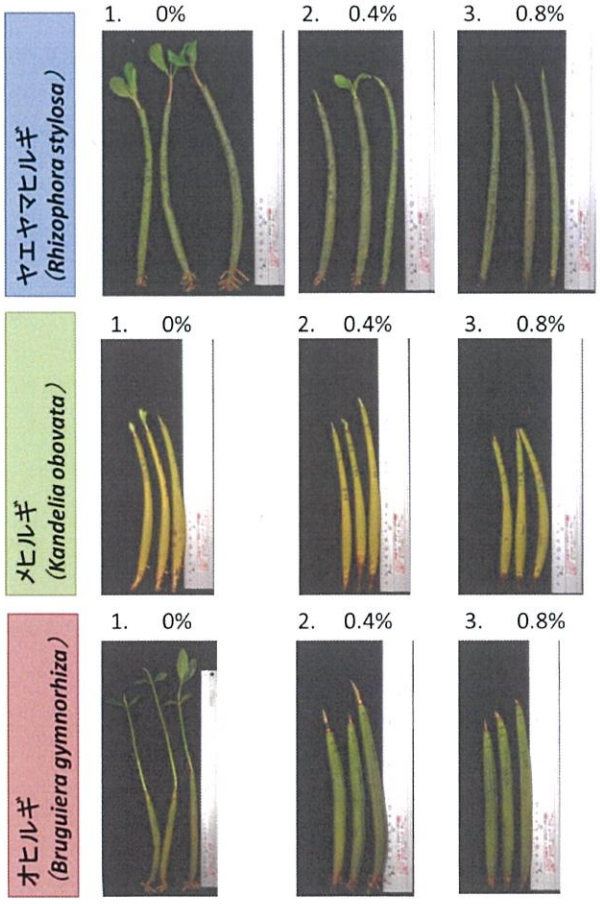


図2.

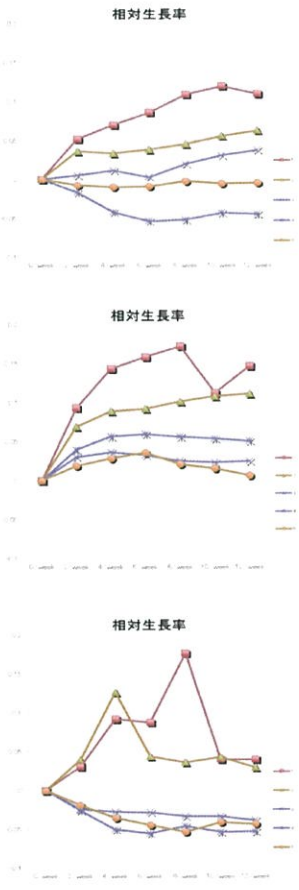
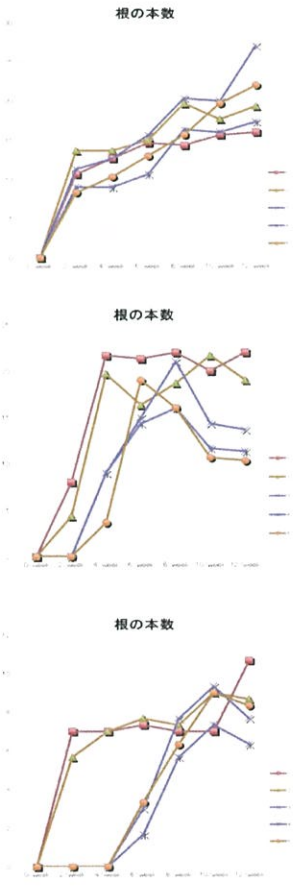


図3.

1	2	3	4	5
0%	0.4%	0.8%	1.2%	1.6%



マングローブ以外の植物について、耐塩性を調べる研究

○辰尾夢（山脇学園中学）・○中田朱音（山脇学園中学）・伊藤華子（山脇学園中学・高校）・渡辺信（琉球大）

私達は今年度山脇学園中学校の特別教育プログラムに参加し、５月に西表島に訪れた。その際に、汽水域に生息し耐塩性のあるマングローブに対して、私達にとって身近な植物にはどの程度耐塩性があるのか、という疑問をもった。そこで、普段よく口にする野菜を用いて実験を行いました。

植物が生育する土壌中に、塩分は多く含まれてはいないため、塩分濃度が高くなるにつれて発根率が低下するという仮説を立てた。その中で、実験に用いたトマトは塩に強いと聞いたことがあったため、実験を通して調べることにした。

耐塩性を調べる植物として、実験を始めた７月に発芽する植物の中から、トマト、キュウリ、小カブの３種類を選んだ。３種の種子が実験で用いるのに適した発根率かを調べるため、次のような方法で実験を行った。シャーレに濾紙をしいて、７ｍｌの脱イオン水を種子が浸るくらいまで入れた。種子は各植物１０粒ずつ入れた。ふたをした状態で２７℃～２８℃に設定した恒温機に入れて二週間放置し、発根した種子数から発根率を算出した。その際、根の長さも測定した。３種の植物の発根率はすべて７０％以上であったため、これらの種子を用いて実験を開始した。

耐塩性を調べる実験も、発根率実験と同様の方法で行った。上記の実験における脱イオン水を、塩分濃度０％、０．０２％、０．２％の食塩水にして発根率および根の長さを測定した。

トマト、キュウリ、小カブの結果は、表１、表２、表３の通りである。トマトは塩分濃度０．０２％のときに、０％に比べて根が長く伸長した。しかし、０．２％での発根率は低く、根の伸長も抑制された。このことから、３種類の塩分濃度のうち、トマトの生育には０．０２％の塩分濃度が適しており、この濃度に対する耐塩性があることが分かった（表１）。また、仮説で述べた「トマトは塩分に強い」を示す結果でもあるのではないかと考えられる。キュウリは塩分濃度が０．０２％以上の場合に、０％のときよりも発根率が高くなった。０．０２％と０．２％の場合を比較すると、発根率は塩分濃度が低い０．０２％の方が高い。しかし、根は塩分濃度が高い０．２％の方がよく伸長し（表２）、根の色も白く良好である。小カブは塩分濃度が高くなるにつれて、発根率が低下し、根の伸長も抑制された（表３）。根の状態は、茶色がかった色となり、透明度が高くなっていた。このことから、耐塩性は低いと考えられる。

今回の実験では、それぞれの植物の成長できる塩分濃度の限界が、明確にわからなかった。今後、植物によって塩分濃度を変えて、さらに実験を行う予定である。また、発根率および根の長さに加えて、根の状態を顕微鏡で観察し、耐塩性との関係を考えたい。

表1. トマトの発根率および根の長さ

濃度(%)	発根率(%)	平均(mm)
0	100	99. 0
0. 02	100	104. 3
0. 2	80	84. 0

表2. キュウリの発根率および根の長さ

濃度(%)	発根率(%)	平均(mm)
0	60	65.1
0.02	100	94.4
0.2	80	147.6

表3. 小カブの発根率および根の長さ

濃度(%)	発根率(%)	平均(mm)
0	100	116. 8
0. 02	70	116. 9
0. 2	70	80. 9

Recolonization of Mollusc Assemblages in Restored Mangroves Interrupted by Typhoon Chan-hom in the Philippines

Severino G. Salmo III (Ateneo De Manila University; University of the Ryukyus)

ABSTRACT

The effects of a catastrophic typhoon on mollusc assemblages in mangrove plantations of different ages were investigated. Molluscs were sampled from infaunal, epifaunal and arboreal assemblages of mangrove stands in Lingayen Gulf, northwest Philippines. Prior to the occurrence of the typhoon, there were clear positive trajectory patterns in the complexity of mollusc assemblages with stand age of mangrove forests. This was observed in species composition through the succession in dominance from pioneer to seral or putative climax species, and assemblage type. However, the occurrence of the typhoon altered the vegetation and sediment conditions (reduced tree density and canopy cover resulted to an increased temperature and reduced redox). Shifts in species composition and dominant species from mature mangrove-associated species (pre-typhoon) to an abrupt return in dominance of pioneer species (post-typhoon) were observed but were more evident in older stands than in intermediate-aged stands. The reduced presence and activities of molluscs (i.e. as bioturbation) may have contributed to the delayed recovery of mangroves. The prospects for recovery of the system to pre-typhoon levels are therefore uncertain where the re-establishment of edaphic mollusc assemblages appears to be highly dependent on the recovery of vegetation and sediment conditions.

Keywords: mangrove, restoration trajectory, mollusc assemblage, disturbance, typhoon, Philippines

Heavy Metal Retention and Resorption in the Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) as Adaptation Strategy in Mining-Contaminated Sediments

Luisito L. Capua Jr. (Ateneo De Manila University) and Severino G. Salmo III (Ateneo De Manila University; University of the Ryukyus)

The sediments in Lake Uacon, Zambales (central Luzon, Philippines) are severely contaminated by mining effluents, particularly Copper (Cu; 16 ppm) and Nickel (Ni; 767 ppm). Among mangrove species, *Avicennia marina* (Forsk.) is known to absorb high concentrations of HMs but is not clear how it can survive a HM-contaminated environment. In this study, we assessed the retention and resorption of Cu and Ni in the sediments, roots and leaves in *A. marina* and compared among trees, saplings and seedlings. The retention and resorption of HMs were evaluated through Biological Concentration Factor (BCF; the ratio of HM concentrations between roots and sediments), Translocation Factor (TF; the ratio of HM concentrations between leaves and roots), and Biological Accumulation Coefficient (BAC; ratio of HM concentrations between leaves and sediments). Results showed high BCF (8 to 75), TF (39 to 74) and BAC (3 to 56) indicating that *A. marina* effectively retain and resorb the HMs. These continuous retention and resorption serves as an adaptation strategy for *A. marina* to survive the contaminated sediments, and more importantly, limits the spread of HMs in the adjacent environment.

The Role of Vegetation and Sediment Properties in the Adaptability of Mangroves Against Sea Level Rise

Vanessa E. Malapit (Ateneo De Manila University) and Severino G. Salmo III (Ateneo De Manila University; University of the Ryukyus)

ABSTRACT

Mangrove forests, particularly those located in coastal fringes, are vulnerable to sea level rise (SLR). Depending on the status of ecosystem health, mangroves have the capacity to adapt and mitigate the impacts of SLR using various bio-physical processes. If the sediment supply and the litter production are sufficient to maintain the elevation capital, then it can compensate SLR, otherwise it will be submerged. In this study, we determined and assessed the rate of change in sediment surface elevation in Calapan City, Oriental Mindoro, Philippines. The changes in elevation were measured (using rod Surface Elevation Table; rSET) in four representative sampling sites traversing seaward to landward transect. The rate of elevation change was also tested for correlation with vegetation and sediment attributes. Results showed that the rate of surface elevation change ranged from -4.71 cm yr^{-1} (seaward) to -0.92 cm yr^{-1} (landward), implying vulnerability to SLR but were more apparent in SW. The SW sites have lower canopy cover, lower organic matter, and more expose to tidal actions. In contrast, the midward (MW) and landward (LW) sites showed less vulnerability as compared to SW sites because of better vegetation and sediment conditions, and less exposure to tide. Our findings imply that mangroves in Silonay, even though looks healthy, are generally vulnerable to submergence. Only around 30% of the forests are considered adaptive to SLR. The results of this study could be used as basis for conservation and in developing possible adaptation and mitigation strategies against SLR.

Keywords: mangrove, surface elevation, adaptation, vulnerability, sea level rise, Philippines

西表島由布島対岸における表層侵食・堆積測定の試み
ーマングローブ林における群落レベルでの海面上昇影響の実態把握（続報）ー

○古川恵太（海洋政策研・横浜国大）・藤本　潔（南山大）・小野賢二（森林総研・東北）・
渡辺　信（琉大・熱研）・谷口真吾（琉球大）・平田泰雅（森林総研）・羽佐田紘大（法政大）・
Saimon Lihpai（Pohnpei State Government）

海面上昇によるマングローブ林への影響を定量的に評価するために、西表島由布島対岸において短期的な表層侵食・堆積速度の測定を試みた。海面上昇に対して林内の土砂の堆積速度が十分に早ければ、マングローブ林はその変化に適応できるが（藤本ほか 1989）、堆積速度が遅いか、侵食速度がそれを上回る場合には海面上昇への適応ができなくなる（Furukawa *et.al.* 2002）。

堆積速度については、林床に径 7cm のセジメントトラップを空間的に設置することで測定した。また、堆積物中の有機物を簡易に推定するために 400 度で燃焼させ秤量した。浮遊している土砂が水中で十分に混合している場合には、土砂供給源から自然対数関数に近似される堆積状況となる（Furukawa *et.al.* 1997）ことを利用して堆積状況を推測した。侵食速度は、空間的な測定が難しいので、海側の林分境界において濁度を時間的に密（1 分毎）に計測することで侵食の様子を推測することとした。結果を図 1 に示す。

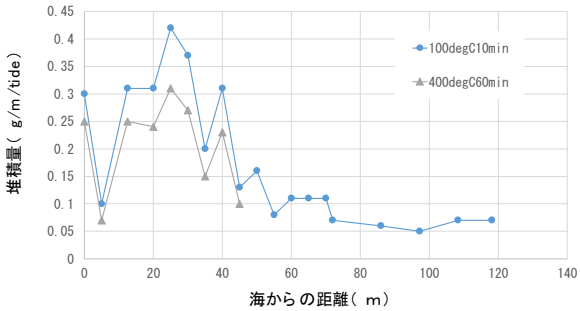


図１：西表島観測結果（セジメントラップ）

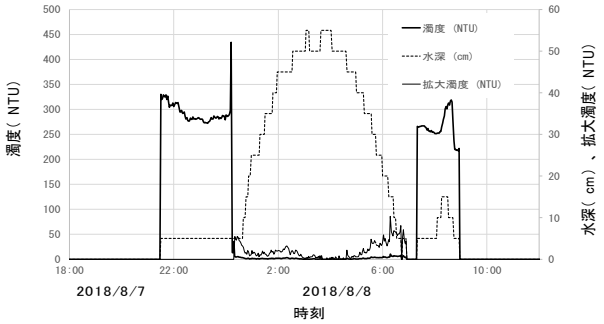


図２：西表島観測結果（濁度）

堆積量の測定からは、海側端部では波による侵食の影響とみられる堆積量の減少が見られるものの、基本的には海側からの土砂供給が推察される状況であった。ただし、その絶対量は堆積傾向にある林分の測定値からは 10-100 倍小さい状況となっている。一方、濁度の時間変化をみると、満潮による浸水が顕著である 0:00-7:00 の間は、下げ潮時の濁りが上げ潮時の濁りより高いことから、潮汐による侵食が進行している様子が推察された。ただし、浸水前後の非常に水位が低い時に大きな濁度が観測されており、シートフロー状の土砂輸送が発生を示唆している。そうであれば、図 1 の堆積の大部分はこの時に起こっている可能性がある。

今後はミクロネシア、ポンペイ島でのなど海面上昇による侵食が懸念されているマングローブ林での観測結果の解析を進めるとともに、表層侵食の実態を空間的に明らかにするための手法を開発していく予定である。

参考文献

藤本潔ほか 1989. 国際協力推進協会報告書(宮城豊彦・Maximino, G.編), Furukawa *et.al.* 2002. Effects of sea level rise on asian mangrove forests, Proceedings of the 30th PIANC-AIPCN Congres, 536-546, Furukawa *et.al.* 1997. Currents and sediment transport in mangrove forest, ECSS, **44**, 301-310.

マングローブ林における群落レベルでの海面上昇影響の実態把握
－*Rhizophora* 属の立木密度と地盤高変動の関係－

○和田百合名（南山大）・藤本　潔（南山大）・小野賢二（森林総研・東北）・渡辺　信（琉球大）・谷口真吾（琉球大）・古川恵太（海洋政策研）・平田泰雅（森林総研）・羽佐田紘大（法政大）・Saimon Lihpai (Pohnpei State Government)

フィリピンからミクロネシアに至る西太平洋低緯度地域では、近年、年 10mm を超す速度で海面が上昇しつつある（IPCC 2013）。島嶼マングローブ立地は一般に流入土砂量が少ないため、まず *Rhizophora* 属の群落が成立し、マングローブ泥炭が堆積する（Fujimoto et al. 2015 など）。しかし、遷移が進むとその優占度が低下し、泥炭堆積速度は低下すると考えられる。泥炭堆積速度が低下した林分は海面上昇の影響をいち早く被る可能性が高い。ミクロネシア連邦ポンペイ島の *R. stylosa* 林や *R. apiculata* 林では今のところ海面上昇の影響はみられないものの、他の樹種が優占する林分では表層侵食が確認されている（藤本 2016）。本発表では、まずポンペイ島の主要群落に設置した侵食/堆積観測杭による 1 年間の地盤高変動について報告する。次にエスチュアリ型マングローブ林内に設置した 1ha 固定プロット（PE: 50m×200m）における 20 年間のモニタリングデータを用い、*Rhizophora* 属の立木密度と地盤高変動の関係について分析する。

侵食/堆積観測杭には直径約 5mm のステンレス製の棒を用い、*R. stylosa*、*R. apiculata*、*Sonneratia alba*、*Bruguiera gymnnorhiza* 各群落内の既存固定プロット（それぞれ、PR, PC, PS, PK）の海側と内陸側（PC のみ中央部にも設置）に、基盤に達するまで、それぞれ 5 本ずつ設置した。各プロットの 1 年間の地盤高変化は、PR が 0.98±0.86cm、－0.82±1.37、PC が 0.88±0.82、0,18±0.79（中央部）、0.40±0.25、PS が－0.28±0.68、－0.04±0.36、PK が－0.18±1.85、－0.14±1.37 で、*Rhizophora* 群落で堆積、*Sonneratia* と *Bruguiera* 群落で侵食傾向にあることが確認された。なお、PE はエスチュアリ型立地にあり、泥炭層厚が 5 m を超えるため観測杭は設置できなかった。

PE では *R. apiculata* の分布に粗密がみられるため、その立木密度と地盤高変化の関係を分析した。分析にあたっては、ArcGIS 3D Analyst を用いて 1994 年と 2014 年の地盤高図を作成し、それぞれ 10m×10m のサブプロット毎に平均地盤高を求め、その差を 20 年間の地盤高変化データとした。立木密度は各サブプロット内の *R. apiculata* の出現本数をカウントして求めた。その結果、*R. apiculata* の立木密度と地盤高変化との間には弱い正の相関がみられた（r=0.208）。区間毎にみると、海側から 0－50m と 150－200m 区間では両者の間により強い正の相関がみられた（それぞれ r=0.428、0.626）。50－150m の間はほぼ全域が堆積傾向にあり、立木密度との関係はみられなかった。PE の堆積物は基本的にはマングローブ泥炭からなるが、河口部に位置するためやや無機物も混入する（Fujimoto et al. 1999）。プロット内では *S. alba* の呼吸根分布にも粗密がみられるほか、板根を持つ *X. granatum* の分布にも偏りがみられる。土砂流入が期待される立地では土砂捕捉力に影響を与える可能性があるこれらの樹種との関係も分析する必要があろう。

参考文献

Fujimoto, K. et al. 1999. *Ecological Research* 14: 409-413. Fujimoto, K. et al. 2015. *Open Journal Forestry* 5: 48-56. 藤本潔 2016. 日本地理学会発表要旨集 90: 101. IPCC 2013. http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/

沖縄県西表島におけるマングローブ樹木年輪解析の可能性と意義

○宮城豊彦（東北学院大）・根原裕美子（竹富町教育委員会）・馬場繁幸（国際マングローブ生態系協会）・渡辺信（琉球大）・内山庄一郎（防災科技術研）、柳沢英明（東北学院大）・吉田璃菜（東北学院大）

熱帯潮間帯の森林生態系であるマングローブ林の研究が新展開を迎えようとしている。ここでは、その展開の萌芽の一つとして年輪解析の試みとその意義について発表したい。

この森林はいつからどう発達して今があるのか。マングローブ林の調査分析の成果は断面で説明されることが多い。世界の熱帯潮間帯上半部で同じように成立するマングローブは、断面で理解するのが合理的だ。しかし、広域の土地と森林の状態とその変化を定量的に把握することが必要なのは言うまでもない。近年の Laser, UAV/SfM, Digital 3D などを用いた樹と森の DB 化によって、マングローブ林の時空間的な状態が、極めてダイナミックに変化していることが見えてきた。ただ、樹齢は、「マングローブは熱帯林だから年輪は無い！」という認識があり、樹齢（展開して森林の年齢）を分析するのは非現実的だとされていた。外観を定量的に把握できても、その要素である樹木の時間軸が設定できなければ、森林の成長に関する時間軸に大きな穴が開く。植林でもグリンインフラ機能の評価・予測でもそうだ。北限の大規模林を持つ西表島で、2007 年の巨大台風で森林が破壊されたのを契機に、関係機関の許可を得て、枯損木を用いて年輪解析を試行している。偽年輪もあるという意見もあるが、マングローブであろうと年間環境の変化があれば、年輪として認識できる。ただし、ヤエヤマヒルギなどはマングローブならではのクセもある。

本報告では、倒壊木の玉切り許可を得たこと契機に、１）そもそもマングローブ樹には年輪は有るのか。２)年輪はどのように可視化できるか。３）年輪があるとどのような理解が進むのか。の３点について試行の結果を報告したい。

１)年輪は周期的な成長の多寡によって形成されるものであるから、この観点から複数の研究例がある。西表島はマングローブ分布のほぼ北限に位置し、湿潤熱帯域のそれと比較して年輪が確認できる可能性が高い。

２)材には放射状構造と輪状構造があり、特にマングローブ（特にコヒルギなど）の場合は放射状構造が目立つ。しかし明瞭な乾季が存在するベトナムのカンザ地区などでは植林後の樹齢が輪状構造の数と一致することが知られている。本研究では、材を研磨・画像解析の各局面で放射状構造を目立たなくする工夫を行い、輪状構造の浮彫り化を行った。

３）西表島ではオヒルギ・ヤエヤマヒルギ双方で年輪構造の解析が可能であった。樹齢が判ることで、林齢・更新などの評価が可能になった。

公開シンポジウムⅡ「西表島のマングローブ林を調査地とした
高精度４次元データによるマングローブ生態系研究の新しい試み」

コンビーナー：宮城豊彦・内山庄一郎・馬場繁幸

熱帯・亜熱帯の潮間帯に広がるマングローブ林は、「熱帯の不思議な森」としての興味ばかりではなく、津波・高潮などへの防災機能、地球温暖化抑制機能としての炭素蓄積量の多さ、生物の多様性、「海の里山」として沿岸住民の生活と密接に結びついた森林としての機能などから、学術研究の対象として、多くの研究者が継続的に研究を行ってきているが、そのマングローブ林について、私たちは、西表島を主な調査地とし、新しい方向での研究を試みている。

マングローブ林は、潮間帯に成立しているとされるが、潮間帯を平均海水面の上部と下部に分けると、マングローブ林が成立しているのは、潮間帯の上部である。この潮間帯上部に成立するマングローブ林が、地史的にみて、いつ頃から形成されてきたのかについては、これまで地形的な断面調査を通じて説明されることが多かった。

しかしながら、ドローンなどのような無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle : UAV）を利用した調査や、SfM手法（Structure from Motion：対象物を幾つもの方向から撮影した複数枚の画像から，その３次元構造をデジタルで復元する手法）を用いることにより、従来とは異なる新しい解析方法が急速に進んでいる。

それらの新しい解析手法での結果と、従来からの空中写真や林分解析、個々の樹木の年輪解析結果などをデータベース化することにより、過去から現在までの時間的な変化も定量できるようになってきている。

したがって、UAV/SfMなどの新しい手法による３次元的、すなわち立体的な構造解析だけではなく、データベースを活用することにより、経年的、すなわち時系列な解析も可能となってきたことから、それを４次元的なデータ解析と呼ぶこともできよう。

４次元的にマングローブ林あるいはマングローブ生態系を解析することが可能となると、従来からの景観的な特徴だけではなく、その発達メカニズムのモデル化についても、これまでの研究とは異なる道を開くことになるのではないかと思っている。

今回の公開シンポジウムでは、環境省環境研究総合推進費（環境問題対応型研究）「グリーンインフラを用いた気候変動に伴う沿岸災害の減災評価手法の開発」（研究代表者：京都大学防災研究所 准教授 森 信人）と共催で、先端的な研究を行っている各方面の研究者に集まって頂き、新しいマングローブ研究の方向性についてのシンポジウムを企画したので多くの方々の参加をお願いしたい。

沖縄県西表島仲間川マングローブ林の 70 年間の立地変動に関する総括的分析

○内山庄一郎（防災科学技術研）・宮城豊彦（東北学院大）

沖縄県西表島の仲間川マングローブ林は、国内最大の面積を持つ充実した森林生態系であり、長年の調査研究データが蓄積されている地域でもある。そのような中、2012 年の空中写真において大規模な倒木エリアが発見された（内山・宮城、2014）。現在まで、Uchiyama and Miyagi (2016) により 1978 年から 2015 年までの 38 年間における森林変化の定量化が行われた。本研究は、この倒木現象の解明に光を当てるべく、次の五つの目的を設定し調査を実施した。

1. 倒木範囲をもたらした原因を明らかにする。倒木の主原因と想定される台風の前後に、無人航空機撮影と写真測量調査を行い、倒木範囲の変化を定量化する。
2. 倒木範囲が生じた時期を明らかにする。過去 70 年間に撮影された空中写真、人工衛星画像を収集し、まとまった倒木範囲が生じた時期を特定する。
3. 倒木範囲の拡大・縮小傾向を定量的に明らかにする。倒木の発生以降のアーカイブにより、倒木範囲の面積変化を計測する。
4. 倒木以前の森林の状態を把握するため、仲間川マングローブ林で行われたとされる伐採（今村、2000）について、その規模や内容を明らかにする。伐採当時と現在のそれぞれの空中写真から、樹木密度を計測する。
5. 伐採から 70 年間の森林の立地変動を明らかにする。空中写真等から植生分布や樹冠閉塞度を定性的に判読し、現地調査により、森林全体の植物個体の分布状況を確認する。

この結果、現在の仲間川デルタのマングローブ生態系は、安定的な海水準の下で形成、維持されてきた伐採前の森（第一世代）を端緒として、その後、二種類の外因による大きな破壊を経験した。最初は人間の手によるもので、1940 年頃から 1945 年にかけてのカッチ生産のための大規模な間伐であり、次は、2006 年から現在に至るまでの、調査地近傍や直上を通過した台風による強風であった。最初の大間伐から約 60 年間で伐採後に定着した第二世代の成長により立地は回復し、森林は再生したかのように見えた。しかし、2006 年 9 月の台風による破壊が生じた後は、森林の回復傾向は明確ではない。

1. 1940 年～1945 年頃：間伐による大規模な破壊
2. 2006 年 8 月頃まで：伐採後に定着した第二世代の個体を中心とした森の再生
3. 2006 年 9 月以降：台風の強風による低標高域に立地するオヒルギ群落の大規模な倒木
4. 2015 年 12 月現在：倒木は拡大傾向にあり、実生の定着による回復は見られない

一方で、仲間川マングローブ林にのみ倒木が継続している理由について、未解明な点が多い。一帯の環境が、マングローブが生育可能な環境条件から外れて、不適合が生じている可能性が考えられる。今後は、樹木の成長量や地盤高の変化と堆積物の調査を行う。

公開シンポジウムⅡ「西表島のマングローブ林を調査地とした
高精度 4 次元データによるマングローブ生態系研究の新しい試み」

マングローブ樹木の年輪分析による森林構造形成の解明
―沖縄県西表島仲間川での分析例―

○宮城豊彦（東北学院大）・根原裕美子（竹富町教育委員会）・馬場繁幸（国際マングローブ生態系協会）・渡辺信（琉球大）・内山庄一郎（防災科技術研）、柳沢英明（東北学院大）・吉田璃菜（東北学院大）

潮間帯の上半部にのみ成立する森林生態体系であるマングローブ生態系は、海水準変動や陸海相互作用系の下で生態系の発達や変動が展開する。従って、例えば地球温暖化による急激な海面上昇のようなことが起きれば、その影響はマングローブ生態系に真っ先に影響が及ぶ。一方で陸海境界の森林は、高潮・潮・塩害・津波などの海からの破壊力に対して陸域を護る機能を有しており、同時に陸域からの砂泥や諸物質の海へ拡散を抑制する機能をも期待されている。ところが、マングローブ林自体は潮間帯上半部という微妙な環境下にあって、潮位との関係で優占種が置き換わる帯状構造を持つ。これらを一言で括れば、「潮間帯の微妙な環境条件に左右されながらも陸海双方の作用を緩和させることが期待されている森林生態系」となるだろう。

しかしながら、このような森林生態系がどの様に構築され、どう変化するのかについては、海水準や地盤高との関係での理解に止まっており、これは生態学的な分析よりも地学的な時空間のなかでの理解でしかない。この背景には科学的なアプローチを阻害する幾つかの要因があった。端的には「マングローブの構成種は熱帯林であるから年輪は無く、樹齢の評価が出来そうにない。泥濘に立地する森林の全体像を、陸域のそれと同じように把握することの物理的な困難性があった。更にはこれらの背景のために、森林構造を長時間の時系列的な変化を追跡することにまで至らなかった。」などの状況がある。

このシンポジウムでは、先に報告したマングローブ樹木の年輪解析を沖縄県西表島のマングローブ林で実施した例を示す。西表島の仲間川河口部一帯には日本最大規模のマングローブ林が発達し、古くは菊池他（1978,80）の微地形、潮位、マングローブ群落の関係に関する研究があり、その後も多数の研究者による研究・調査歴が蓄積している。近年では、この森林全域をカバーする範囲の成長量に関連して、Uchiyama & Miyagi (2016)の報告では、1978 年のカラー空中写真と 2015 年に取得した UAV による DSM データとから、約 37 年間における上方成長量を導き出した。ここで報告する年輪解析の結果は、調査地とした中央水路から西船着川に断面で見れば、樹齢 70 年程度の森林、樹齢が 100 年を超える樹木と森林、若齢林など幾つかのステージ林齢の森が帯状構造を作っている可能性が指摘できた。

森林倒壊被害から解明するマングローブ林成立のメカニズム

○渡辺信（琉球大学）・内山庄一郎（防災科技術研）・宮城豊彦（東北学院大）

地球温暖化が要因と考えられる気象現象の一つに熱帯低気圧の大型化があり、その被害が全球的に増加する傾向にある（UNEP/WMO-IPCC 2014）。日本では勢力が最大化した台風（最大瞬間風速70m 以上）が八重山諸島を高頻度で直撃し、その影響で生じたと推定される大規模なマングローブの倒壊被害が幾つも確認されている（西表森林生態系保全センターとの共同研究）。

これまで申請者らは大規模な倒壊被害が発生したマングローブ林の調査において（図 2）、ドローン空撮により林床の地盤高を除く林分全体の 2.5 次元表層情報を、現地測量から倒壊地の部分的断面構造を把握した（挑戦的萌芽研究 2016）。その結果、以下に記す五つの点が明らかとなった。①2007 年の大型台風直撃後の倒壊面積は僅かだが、その後徐々に被害が拡大し、現在でもマングローブ林は減少し続けている。②大面積倒壊被害は主要マングローブ樹種でヒルギ科の一種であるオヒルギ純林（*Bruguiera gymnorhiza*）のみで発生し、隣接するヤエヤマヒルギ純林（*Rhizophora stylosa*）では発生しない。③オヒルギ林倒壊現場には小さな澪筋（非常に緩やかな小川）が存在するが、隣接するヤエヤマヒルギ純林には存在しない。④倒壊現場の地盤高は倒壊が発生していない林分よりも 40 センチから 80 センチ低下し､少なくとも今迄に 10,000 トンの泥土が流出した。⑤地盤高が低下した倒壊現場には新規実生が殆ど存在せず、短中期的な森林再生の見込みがない。上記の結果からこの倒壊現象は台風による一過的なイベントではなく、当該オヒルギ林が生存可能な生態ニッチのスレッシュホールド（閾値）を超える段階に達したために発生したのではないかと推察した。

公開シンポジウムⅡ「西表島のマングローブ林を調査地とした
高精度４次元データによるマングローブ生態系研究の新しい試み」

３D レーザースキャナーを用いたマングローブ形状の測定とその展開

○柳澤英明（東北学院大）・宮城豊彦（東北学院大）

近年、３D レーザースキャナーによる非接触型の形状測量が盛んにおこなわれるようになってきた。この技術をマングローブの形状測量に適用することで、これまで評価が難しかった支柱根などの構造を正確に把握することができるようになると期待される。また３D レーザースキャナーによって作成されたデータは３D プリンターで印刷することが可能であり、マングローブの波浪減衰効果などを評価するための水理模型実験に応用することができる。しかしながら、これまで３D レーザースキャナーをマングローブ測量に適用した事例がなく、潮間帯という困難な測量環境において効率的かつ高精度な評価が可能であるかどうかの検証はされていない。そこで、本研究ではベトナム・カンザ―地区における樹齢の異なるマングローブを対象に３D スキャンを行い、精度検証を行った。今回の計測では携帯性に優れた DPI-8X ハンディスキャナーを利用した。DPI-8X は ASUS Xtion センサーによる赤外線カメラと RGB カメラを利用し、SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）技術によって形状測定をする３D スキャナーで、計測範囲は 0.8～3.5m とされている。ただし、太陽光に弱く直射日光が差し込む場所での計測ができないのが難点となる。ベトナム・カンザ―地区において、1998 年(19 年生)と 1978 年（39 年生）に植林されたマングローブ(*Rhizophora* sp.)の測定を行った結果、19 年生のマングローブは樹径 7cm、支柱根の総体積は 0.0078 ㎥、39 年生は樹径 23㎝、支柱根の総体積は 0.19 ㎥と評価された。樹径については巻き尺による測量と比較し、㎝以下の誤差で評価されており高精度に測定することができた。以上より、３D レーザースキャナーはマングローブ測量に有効であることが分かった。しかしながら、直射日光が差し込むような場所での３D 測量には失敗しており、計測環境に注意する必要がある。このような場所で３D データを取得したい場合には、日の出や日の入り前の太陽光が弱い時間を狙う必要がある。

また本研究ではマングローブによる波浪減衰効果を定量評価するため、３D プリンターにより 1/10 スケールの高精度マングローブ模型を作成し、水理模型実験を実施した。高精度マングローブ模型を利用した水理模型実験を行うことで、精度の高い分析が可能となった。

本研究は、環境省環境研究総合推進費「グリーンインフラを用いた気候変動に伴う沿岸災害の減災評価手法の開発」（課題番号：2-1712）で実施されたものである。

図１1978 年に植林されたマングローブの３D 測量結果
（左）写真 （右）３D データ

マングローブを用いた気候変動に伴う沿岸災害の減災評価手法の開発

○森　信人（京都大学・防災研究所）

気候変動に伴う台風の特性の変化が予想されている。2013 年にフィリピンに上陸したスーパー台風 Haiyan に代表されるように、近年の北西太平洋では非常に強い台風と、高潮・高波による沿岸災害が発生しており、その被害が深刻になることが懸念されている。一方、2004 年のインド洋津波では、マングローブによる減災効果が認識され、沿岸災害の軽減策として「グリーンインフラ」の価値が注目されてきた。しかし、その植林範囲・保全は経験則によるところが多く、津波以外の多様な沿岸ハザードや地域特性に応じた軽減効果、ライフサイクルやトータルコスト等に関し、科学的・定量的な知見が十分ではない。

本研究では、図１に示すように次の２点を目標とする。第１に、台風による沿岸災害軽減のためのグリーンインフラの導入効果推計のため、台風のダウンスケールからハザード評価、さらにマングローブによる減災効果を評価可能な統合的モデル開発とこれに関連した要素開発を行う。第２に、フィリピンをケーススタディとして、グリーンインフラとこれを補うグレーインフラ導入による減災効果とライフサイクルコストを最適化する評価手法をまとめる。具体的には、気候変動に伴う台風・沿岸災害ハザードの長期評価が可能なモデル開発を行う。続いて、マングローブによる沿岸災害軽減のための数値モデル、現地観測および機能・コスト評価を行う手法の開発を実施する。

本研究は，環境省環境研究総合推進費「グリーンインフラを用いた気候変動に伴う沿岸災害の減災評価手法の開発」（課題番号：2-1712）の成果であり，参画研究者の皆さんに感謝します.

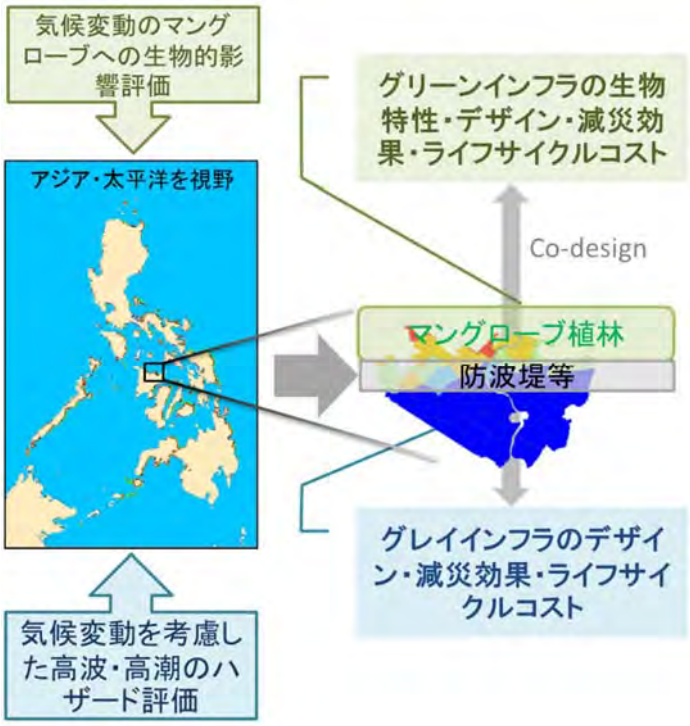


図１：研究ターゲットと得られる成果のイメージ

航空レーザ計測システムの最新状況

○宇野女 草太（中日本航空株式会社）

航空レーザ計測は、地表の３次元情報（座標）を面的かつ高精度に取得できる技術である。航空機から照射したレーザが地表で反射し戻ってくるまでの時間（距離）と航空機の位置・姿勢情報から、地表で反射した点（樹木・建物・地面など）の正確な位置と高さが算出される。

航空レーザ計測の最大の特徴は、航空写真や衛星画像では確認し難い「樹木の下にある地表面」を捉えられる点であり、近年の計測システムの高精度化や高機能化を背景に、平成 13 年度には公共測量（地形図、標高モデルなど）に適用され、現在は森林・砂防・河川・防災など様々な分野で広く利用されている。

本発表では、奄美大島で取得された３次元計測データのマングローブ林への適用事例を中心に、航空レーザ計測システムの概要から最新技術までを紹介する。

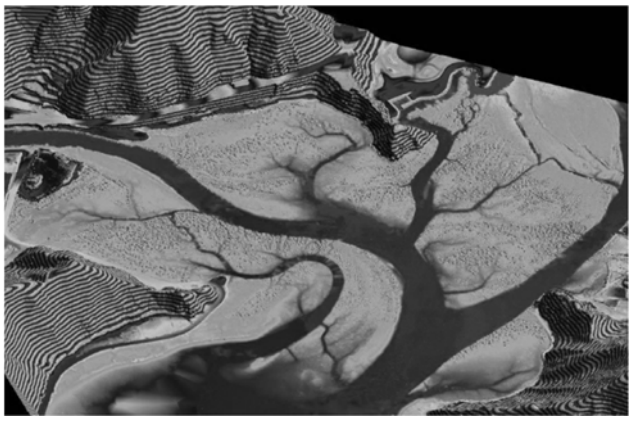
【発表内容】

・航空レーザ計測システムとは

航空レーザ計測システムは、レーザスキャナ、GNSS（全球測位衛星システム）、IMU（慣性計測装置）で構成され、多くの場合デジタルカメラも同時搭載されている。計測されたデータは、樹木や建物等の地物に加え、地表面の３次元情報（座標）を取得することができる。

・計測事例

奄美大島のマングローブ域で計測された３次元計測データから、マングローブ林の表層高さ（DSM）や地表高さ（DEM）、またそれらを差分処理することにより樹高（DCHM）を把握することができる。



【奄美大島における計測事例（DEM）】

・研究事例

奄美大島で現地測量を実施し、マングローブ林での航空レーザ計測データとの比較を行った。その結果、高い再現性（精度）でマングローブ地形が捉えられていることを確認した。

（第 18 回・第 19 回日本マングローブ学会で発表済（○真壁、宮城、宇野女ら））

・最新技術

①UAV 搭載型レーザ：

UAV（ドローン）に小型のレーザ計測システムを搭載することで、100 点/㎡以上の高密度な計測が可能となり、繁茂した植生下においても、地表面の微地形を正確に把握することができる。

②航空レーザ測深（ALB）

従来の航空レーザ計測システムでは不可能であった水面下の地形を計測することができる。このため、海岸や河川管理での利用が広がりつつあり、マングローブへの適用も今後期待される。