

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：31302

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01981

研究課題名(和文) マングローブ森林生態系の津波減勢効果とその社会実装に関する実証的研究

研究課題名(英文) Empirical research for tsunami reduction effect of mangrove ecosystems and its application

研究代表者

柳澤 英明 (YANAGISAWA, Hideaki)

東北学院大学・教養学部・准教授

研究者番号：70635995

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、3Dスキャナーを活用した形状分析、および水理実験・数値シミュレーションによりマングローブ林の津波減勢効果を定量化するとともに費用対分析を実施することで、マングローブ林を津波対策として現地適用していくための手法を構築することを目的とした。ベトナムおよび西表・石垣で取得したマングローブの3D形状データを解析することで支柱根の形状特性を明らかとした。またそれらを3Dプリンターで印刷し水理模型実験を実施することで数値シミュレーションモデルの妥当性を検証した。高精度マングローブ形状データと数値シミュレーション、費用対評価手法を組み合わせることで現地適応シナリオを検討するための手法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、マングローブ植林は、植林者の経験に基づく定性的な方法により実施されており、津波減勢効果などの科学的な知見を取り組むスキームが現場に整っていないのが現状であった。一方で、独特な支柱根構造を持つマングローブにおいては、その形状を精度よく表現しなければ津波に対する抵抗効果を正確に評価することはできないという学術上の課題もあった。そこで本研究では近年急速に発展してきた3D測量技術を生かし、マングローブ支柱根形状を定量的に評価する手法を構築した。さらに数値シミュレーションによる津波減勢効果と費用対効果を考慮することで、津波対策としてのマングローブ林の効果について評価する手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study is to construct methodology to apply mangrove ecosystems for the tsunami disaster countermeasure, using a shape analysis by the 3D scanner technology, hydraulic experiments, numerical simulation, and benefit by cost analysis. We investigated mangrove shapes in Can Gio, Vietnam, Iriomote and Ishigaki Island, Japan and clarify its characteristics analyzing the accurate mangrove 3D data. Using the accurate 3D mangrove model constructed by a 3D printer, we investigate tsunami reduction effects of mangrove forest by hydraulic experiments and numerical simulation. Integrating 3D mangrove data, numerical simulation and benefit by cost analysis, we propose the methodology to consider the scenarios to apply its for tsunami countermeasures.

研究分野：津波工学

キーワード：マングローブ 津波減勢効果 数値シミュレーション 3Dスキャナー

### 1. 研究開始当初の背景

2004年にインドネシア・スマトラ島北部沖で発生したマグニチュード9.1の巨大地震に伴う津波(2004年インド洋大津波)をきっかけに、マングローブ林の津波減災効果が世界で注目されるようになった。潮間帯に成立するマングローブ森林生態系には、海洋からのインパクトを真っ先に受けとめ、陸側に広がる人間環境を保全する機能が期待される。しかし、海側からのインパクトに対するマングローブの減災効果を定量化していくには、複雑な支柱根構造を持つマングローブの形状を精度よく再現しモデル化していく必要がある。一方、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ており、この技術をマングローブの形状測量に適用することで、複雑に絡み合う支柱根の構造や体積などを正確に把握することができるようになることが期待される。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も可能であり、マングローブの津波減勢効果を評価するための水理模型実験や数値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、マングローブ森林内の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かどうかの検証はされていない。

本研究では、人間社会に激甚なインパクトをもたらす津波災害に着目し、3D形状測量技術と数値シミュレーションモデルを用いて津波減勢効果の定量化を行い、生態系と防災・減災への役割を高めるための手法を検討する。さらに費用対効果を考慮した現地適用シナリオを検討することで、マングローブ森林生態系の有効活用の方法を明らかとする。

### 2. 研究の目的

従来、マングローブ植林は、植林者の経験に基づく定性的な方法により実施されており、最新の科学的な知見を取り組むスキームが現場に整っていないのが現状である。防災・減災機能を活用した効果的な植林活動を実施していくためには、学術的観点から総合的に課題解決に取り組み、新たなマングローブ森林生態系の活用技術を構築していく必要がある。本研究では、複数の調査地点における比較を通じてマングローブ森林生態系の生育や形状に関する環境条件を解明する。またその条件を考慮した際に得られる津波減勢効果を定量化するとともに費用対効果を考慮することで、マングローブ森林生態系による防災・減災機能を最大限に高め、実用化していくための手法を構築することを主目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究企画では、東南アジア(ベトナム)および八重山諸島(石垣・西表島)のマングローブ林を対象として、以下の4手法に基づいて調査研究に取り組んだ。(1)3Dレーザースキャナーによりマングローブ支柱根の形状測量を行い、マングローブ形状をモデル化する、(2)マングローブの森林構造を把握するため、低価格3Dスキャナー、ドローンによる空撮、衛星画像解析、立地地盤の強度分析を行う、(3)3Dデータおよび森林構造を考慮した水理模型実験や数値実験を実施し津波減衰効果を定量化する、(4)津波減勢効果と費用対効果を考慮した現地適用シナリオを検討する手法を構築する。これらの成果に基づき、マングローブ森林生態系の津波防災への有効性を明らかとする。

### 4. 研究成果

#### (1)3Dレーザースキャナーによりマングローブ支柱根の形状測量とモデル化

本研究企画では、ベトナム・カンザ地区および沖縄県西表島および石垣島を対象とし、3Dレーザースキャナーによる形状測量を行った(図1)。また再現精度を検証するため、毎木調査およびメジャーによる測量も実施した。その結果、3Dデータとメジャーによる測定結果の誤差は、樹径で1cm以内であることが分かった。また樹径と根高を考慮して正規化することで、支柱根体積を定式化することができた。

(2)マングローブの森林構造の把握手法の開発と現地適用

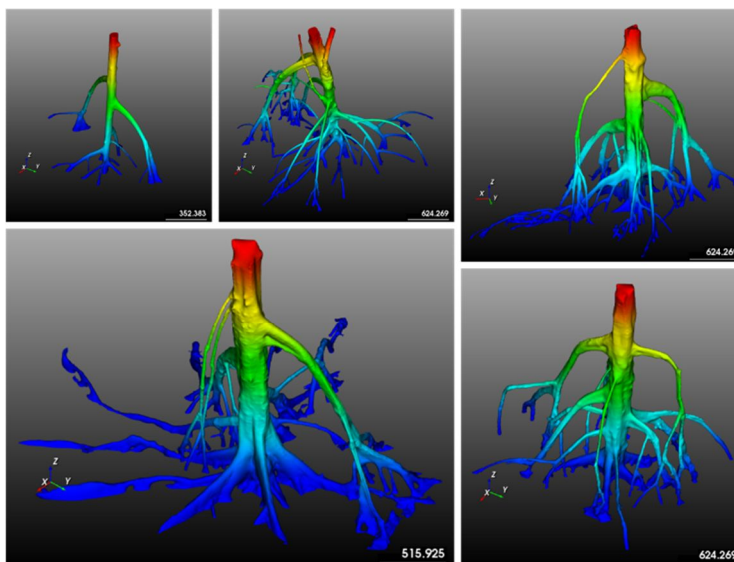


図1 ベトナム・カンザ地区で取得したマングローブ支柱根(*Rhizophora apiculate*)の3Dデータ

本研究企画ではさらに、マングローブ森林構造を把握するための低価格3D スキャナーシステムの開発を行った。精度検証として、石垣島宮良川のマングローブで3D 計測を行った。RPLidar A3M1 における測量では、メジャーに対する比較において、二乗平均平方根誤差で1.57cm、平均値に対する誤差率は11%程度となった。一般的に3D スキャナーによる森林測量では樹径誤差±2cm 以内に押さえることを目標としていることから、本システムでも十分な精度で評価できることがわかった。3D 計測は準備等を含めても数十分程度で50m×15m程度の範囲の測量を完了でき、毎木調査の効率化が可能である(図2)。ただし、RPLidar A3M1等の低価格LiDARセンサーは、黒色に近い樹木などに対して、部分的にデータが抜けてしまう場合もあった。一方、UTM-30LX-EWでは、RPLidar A3M1に対して倍程度の測量範囲を測量でき、黒色に近い物体に対しても点群の抜けが少ない結果となった。測量目的と予算に応じて、3D スキャナーシステムを組んでいくことが重要であるといえる。

さらに本研究企画ではドローンによる空撮と複数の年代の衛星画像解析を行った結果、沖縄県西表島浦内川河口に広がるマングローブ林が年2mの速度で拡大していることが分かった。また毎木調査の結果、約30年でヤエヤマヒルギからオヒルギへ30%まで交代し、約45年で約60%が交代することが分かった。このような森林拡大率や樹種変化は津波減勢効果を考慮する上で重要なパラメータであり、今後さらなる調査によって環境条件に対する変化を明らかとしていく必要がある。また本研究ではマングローブの基礎的な耐波能力を把握するため、地盤強度を検証した結果、潮汐及び波浪の冠水頻度によって変化していることが分かった。今後、津波に対するマングローブの応答特性を評価する上で、基礎的なデータを構築することができた。

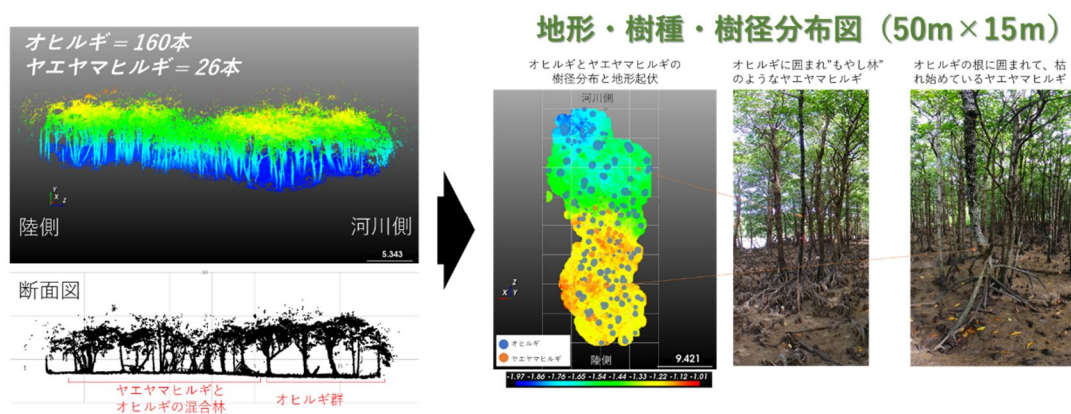


図2 低価格3D スキャナーによるマングローブ森林構造の把握

(3) 3D データおよび森林構造を考慮した水理模型実験および、数値実験

マングローブモデルを組み込んだ数値モデルの妥当性を検証するため、3D プリンターを用いて印刷した模型を用いて水理模型実験を行った。その結果、数値モデルはマングローブ前面の這い上がり、背後における減衰傾向をある程度再現可能であることが分かった。さらに数値モデルを用いて、マングローブ樹木の成長および森林面積の拡大率を考慮して津波減勢効果を評価した結果、植林から15年後には流体力の減衰率が14%であったのに対し、80年後には森の拡大により、30%程度まで減衰できるようになることが分かった。今後さらに、枝葉などの効果や倒木の影響を考慮したうえで評価精度の向上を行っていく必要がある。

(4) 津波減勢効果と費用対効果を考慮した現地適用シナリオの検討

マングローブと防潮堤の効果の組み合わせシナリオを検討するため、図3に示す評価フローを構築した。これに従い、津波減勢効果と費用対効果のベストマッチングを検討することが可能となった。今後は、多様な地域パラメータを検証し、現地に適用していく必要がある。

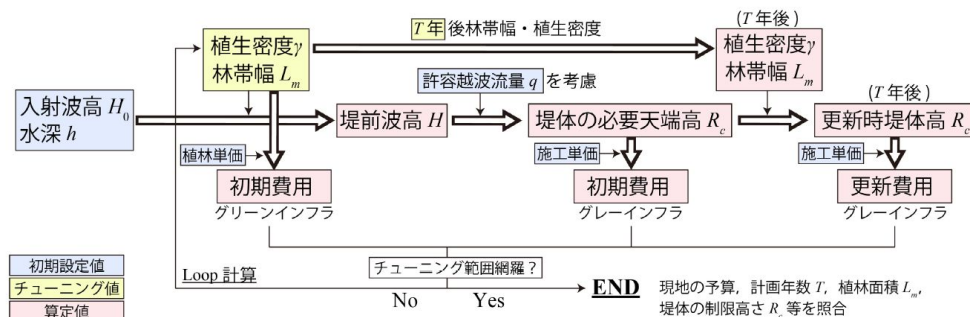


図3 グリーンインフラ及びグレーインフラの組み合わせ決定手順例(鶴田ら, 2021)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Hideaki YANAGISAWA, Toyohiko MIYAGI, Shigeyuki BABA	4. 巻 12
2. 論文標題 Mitigation effects of mangrove forests on tsunami impacts in Upolu Island, Independent State of Samoa - Field surveys and numerical modeling of the 2009 event	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 MANGROVE SCIENCE	6. 最初と最後の頁 3-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 柳澤英明・宮城豊彦	4. 巻 11
2. 論文標題 3D レーザースキャナーを用いたマングローブ支柱根の構造特性に関する検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MANGROVE SCIENCE	6. 最初と最後の頁 23-26
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 宮城豊彦・馬場繁幸・内山庄一郎・柳澤英明・渡辺 信	4. 巻 11
2. 論文標題 沖縄県西表島におけるマングローブ樹木の成長量と成長輪の対応	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MANGROVE SCIENCE	6. 最初と最後の頁 17-22
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 宮城豊彦	4. 巻 90-8
2. 論文標題 世界のマングローブ林を把握する-経験値を集約する全球ダイレクトセンシング-「リレーエッセイ 地球を俯瞰する自然地理学No.81」	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 科学	6. 最初と最後の頁 667-679
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鶴田 修己, 鈴木 高二朗, 柳澤 英明, 森 信人	4. 巻 37
2. 論文標題 海岸保全施設としてのグリーンインフラのライフサイクルコストの検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 海洋開発論文集	6. 最初と最後の頁 181-186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.77.2_1_181	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 柳澤英明、宮城豊彦	4. 巻 11
2. 論文標題 3Dレーザーキャナーを用いたマングローブ支柱根の構造特性に関する検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mangrove Science	6. 最初と最後の頁 23-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 柳澤 英明, 宮城 豊彦
2. 発表標題 低価格Lidarを用いた簡易3Dキャナーによる マングローブ測量システムの開発と精度検証
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮城豊彦, 井上智美, 柳澤英明, 渡辺 信, 馬場繁幸
2. 発表標題 センシング分野の技術革新がもたらす新しいマングローブ研究
3. 学会等名 マングローブ学会シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳澤英明, 宮城豊彦
2. 発表標題 マングローブ森林測量のための低価格3Dスキャナの開発と現地適用性の検証
3. 学会等名 マングローブ学会シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鶴田修己, 鈴木高二朗, 柳澤英明, 森信人
2. 発表標題 防護機能を有するグリーンインフラのライフサイクルコストの検討
3. 学会等名 マングローブ学会シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳澤英明
2. 発表標題 海岸林の防災効果とその限界
3. 学会等名 REDDプラス・海外森林防災研究開発センター国際セミナー
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮城豊彦
2. 発表標題 森林で沿岸域を守る-防災・減災技術の開発に向けて-
3. 学会等名 REDDプラス・海外森林防災研究開発センター国際セミナー
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柳澤 英明
2. 発表標題 低価格Lidarを用いた簡易3Dスキャナーシステムの構築
3. 学会等名 2021年度日本地理学会春季学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮城豊彦・阪口法明・堀野上貴章
2. 発表標題 2020年7月、モーリシャスで発生した油流出事故がもたらすマングローブ林への影響とその対応
3. 学会等名 日本サンゴ礁学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮城豊彦・阪口法明・堀野上貴章
2. 発表標題 2020年7月にモーリシャス沿岸で発生した日本船座礁事故と油流出事故がもたらすマングローブ林への影響とその対応
3. 学会等名 日本マングローブ学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳澤英明、宮城豊彦、会田俊介
2. 発表標題 3Dマングローブ模型を用いた津波減勢効果の検討
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	宮城 豊彦  (MIYAGI Toyohiko)  (00137580)	東北学院大学・人間情報学研究所・研究員   (31302)	
研究 分担者	渡辺 信  (WATANABE Shin)  (10396608)	琉球大学・熱帯生物圏研究センター・准教授   (18001)	
研究 分担者	鈴木 高二朗  (SUZUKI Kojiro)  (50360764)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・グループ長   (82627)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
ベトナム	Transport Science and Technology		