

7

第7章 高潮被害に対する マングローブの 防災・減災機能



マングローブの保全と再生は、その高い炭素蓄積機能から気候変動緩和策の有効な手段の一つであるばかりでなく、気候変動による海面上昇や、海水温度の上昇に起因して巨大化が想定される台風による高潮リスクの軽減、沿岸域の侵食防止など、国土保全のための防災・減災を含む気候変動の適応策の面でも期待されている。

本章では、沿岸生態系における気候変動の適応策の鍵となるマングローブの高潮被害に対する沿岸域の防災・減災機能を評価するとともに、マングローブの植林における留意点を整理する。

- Recipe - T09 マングローブに対する地域住民の意識調査
- Recipe - T10 波や風に対する根返り耐性の定量評価
- Recipe - T11 リモートセンシングによる防災・減災機能評価
- Recipe - T12 マングローブ植林における留意点

マングローブに対する地域住民の意識調査

この上の Recipe は

Recipe - P06 マングローブ
の防災・減災機能

マングローブの保全・植林プロジェクトの成功には、マングローブの役割を地域住民がどう認識しているかを把握することが不可欠である。調査方法を選択する際には、地域住民との直接対話を行う方法を選択することが望ましい。調査対象者には、地域住民の中でも特にマングローブの保全や植林に影響を与える可能性が高いグループも含める。マングローブ保全や植林プロジェクトに必要な人的資源、自然資源、専門知識、物的資源、資金などを評価することも重要である。注意する点としては、マングローブの再生事業の現場では誤った場所に誤った樹種が植えられることがある点や、類似のプロジェクトから得られた経験や教訓を考慮せずに再生が行われる点が挙げられる。

INFO

1) 環境省の令和5年版環境・社会・生物多様性白書では、「自然が有する機能を持続可能に利用し、多様な社会課題の解決につなげる考え方」であり、国連では「自然を活用して気候変動や自然災害を含む社会的課題に対応し、人間の幸福と生物多様性の両方に貢献するもの」と定義されている。

INFO

2) Anderson, C.C., Renaud, F.G. (2021) A review of public acceptance of nature-based solutions: The 'why', 'when', and 'how' of success for disaster risk reduction measures. *Ambio* 50, 1552–1573.

INFO

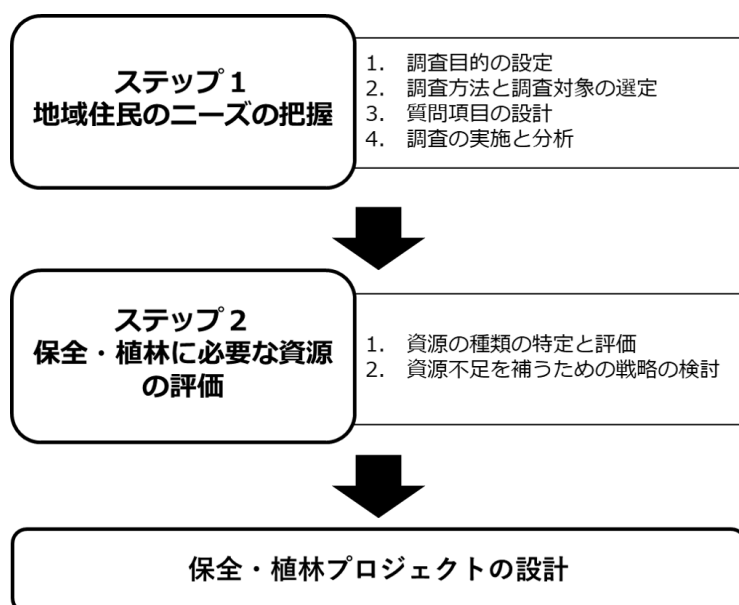
3) Walters, B.B., et al. (2008) Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquat. Bot.* 89, 220–236.

地域住民への意識調査の必要性

気候変動や自然災害を含む社会的課題への対策を目的としたマングローブの保全・植林プロジェクトの成功には、そのマングローブの役割を地域住民がどう認識しているかを把握することが不可欠である。一般的に「自然を基盤とした解決策」(NbS, Nature-based Solutions)¹⁾の長期的な成功は、それが一般大衆に受け入れられるかどうかにかかっており、そのためには、施策、個人、社会的背景に関連する要因を体系的に検討することがより重要になる²⁾。

NbSの一つであるマングローブの長期的な管理には、とくに地域住民とのコミュニケーションと相互理解が不可欠である。マングローブの民族生物学・社会経済学・管理についてのレビュー論文によれば³⁾、地域住民を植林労働力の供給源としてのみ利用し、回復した生態系の様々な利用方法の長期的な管理に関与させないマングローブ再生プログラムは、成功しにくくなると指摘されている。さらに、コミュニティベースのマングローブ管理の現状と持続可能性に関するレビューでは⁴⁾、沿岸の貧しい住民や声なき人々は、マングローブに依存し、強い文化的絆と伝統的知識を持っている場合があり、彼らを排除した管理は成功しづらいとされている。

このため、気候変動や自然災害対策を目的としたマングローブの保全・植林プロジェクトでは、地域住民が特定の便益を得るためにマングローブを利用している場合、その利用方法に配慮しながら気候変動への適応



INFO

4) Datta, D., et al. (2012)
Community based mangrove
management : A review on
status and sustainability. J.
Environ. Manage. 107, 84–95.

図 T09-1 マングローブの保全・植林プロジェクトを設計する際に求められる地域住民への意識調査と資源の評価

や自然災害の防災・減災機能を強化する方法を探ることが重要である。地域住民がどの程度マングローブに経済的・文化的に依存して生活しているかという背景を把握し、その現地の文脈の中で、彼らが気候変動への適応や自然災害の防災・減災の観点からマングローブを保全・植林する重要性をどの程度認識しているかを理解することが、プロジェクト成功への第一歩となる。

そこで、地域住民の意向や社会・経済状況にも考慮したプロジェクトにするため、一般的にマングローブの保全・植林プロジェクトを設計する際に求められる地域住民への意識調査の方法とプロジェクトにおける資源の評価項目について説明する（図 T09-1）。

地域住民のニーズの把握

(1) 調査目的の設定

最初のステップとして、調査の目的を明確化することが大切である。ここでは、防災・減災のためにマングローブ保全や再生プロジェクトを実施する際の地域住民のニーズや関心事を把握することを目的として設定する。

(2) 調査方法と調査対象の選定

調査方法を選択する際には、アンケート調査（questionnaire-based survey）や、キー・インフォーマント・インタビュー（key informant

INFO

5) Angelsen, A., et al. eds. (2011). Measuring livelihoods and environmental dependence: Methods for research and fieldwork, Earthscan. Center for International Forestry Research (CIFOR), London.

INFO

6) Poverty Environment Network (2007) PEN Technical Guidelines - version 4 - May 2007. Centre for International Forestry Research.

interview)、フォーカス・グループ・ディスカッション (focus group discussion)、参加型ワークショップ (participatory workshop) など、地域住民との直接対話を行う方法を選択することが望ましい^{5), 6)}。直接対話を行わない方法としては、インターネットを利用したオンラインアンケート調査も考えられるが、開発途上国においては、住民がパソコンやスマートフォンを所有していない、安定したインターネット接続環境がないなどの制約も考慮する必要がある。確保できた予算額や調査期間によって実施可能な調査方法や調査回数は異なる。もし、複数の方法を組み合わせて実施することができれば、より詳細な調査結果を得ることが可能である。

調査対象者には、地域住民の中でも特にマングローブの保全や植林に影響を与える可能性が高いグループも含める。例えば、マングローブの周辺に居住している住民、農民、漁業者、地域リーダー、女性、若者などである。調査方法によって必要な調査対象者数が異なるため、選択された方法に基づいて適切なサンプルサイズを決定する。既に同様の調査が実施され、その結果が報告書や学術論文などで公開されている場合は、それらを参考にして調査方法や対象者を選択することもできる。

(3) 質問項目の設計

マングローブの重要性や利用方法、保全に関する意識などに焦点を当てた質問項目を設計する。地域住民がマングローブにどのような価値を見出し、どのような支援が必要とされているかを探求する。ここでは、マングローブの防災・減災の役割に着目するが、他のマングローブの機能も住民が重視することが事前に分かっている場合、その利用方法に配慮しながら防災・減災機能を強化する方法を探ることも重要なので、全体の質問量とのバランスを考え、無理のない範囲でこれらを含める。

(4) 調査の実施と分析

選択した方法に基づいて、地域住民に対して調査を実施する。彼らの意見や経験を収集し、マングローブに対する意識やニーズを把握する。調査を行う際には、インフォームド・コンセントを確保することが重要である。インフォームド・コンセントは調査倫理の一つであり、調査目的や内容、負担、データの保管方法などについて、対象者が十分な情報を提供され、理解し、同意を得ることを指す。対象者はいつでも同意を取り消すことができる。通常、口頭での説明と同意が行われるが、文書化された同意書を用いて説明し、同意書に署名する方法も行われる。

INFO

7) 日本では、2003年に制定された「個人情報の保護に関する法律」によれば、個人情報とは「氏名、生年月日その他の記述等により特定の個人を識別することができるもの」や「個人識別符号が含まれるもの」とされる。

このような社会調査で収集したデータには、しばしば個人情報⁷⁾に相当するものが含まれる。個人情報を保護するためには、収集した情報に加工を施すことにより、個人を特定できないような状態に変換し、プラ

イバシーを確保することが求められる。こうして、必要な情報の利用・共有が可能な加工済みのデータが揃ったら、これを分析し、地域住民の意識やニーズ、優先事項や関心事を把握する。

マングローブ保全と植林に必要な資源の評価

(1) 資源の種類の特定と評価

マングローブ保全や植林プロジェクトに必要な地域住民の労力や技能といった人的資源、マングローブそのものや自然環境といった自然資源、植林や保全に必要な技術やノウハウなどの専門知識、植林に必要な苗木などの材料などの物的資源、資金などを評価する。

(2) 資源不足を補うための戦略の検討

上記の評価を実施し、資源が特定の分野で不足していることが分かった場合、それを補うための戦略を検討する。例えば、資金不足の場合は、国際援助やパートナーシップを活用して資金調達の方法を検討する。経験や現地の知識の不足が明らかな場合は、地域住民、政府機関、地元の NGO などと協力して、プロジェクトを実施するためのパートナーシップを築く。彼らの意見や経験を活用し、より効果的なプロジェクトを実現するための協力関係を構築する。

2つのステップに共通する注意点

共通する注意点としては、植栽場所や植栽樹種に関する自然科学的知見はある程度十分であるにも関わらず⁸⁾、マングローブの再生事業の現場では誤った場所に誤った樹種が植えられることがある点や⁹⁾、類似のプロジェクトから得られた経験や教訓を考慮せずに再生が行われ、努力の重複や資源の浪費を招くことがある点である³⁾。さらに、国や自治体から提供される苗木が自生樹種でない¹⁰⁾、植栽適地でないと分かっているのに土地の権利の問題がないオープンアクセスな場所であるがゆえに植栽される¹¹⁾、といった事例も報告されている。このような問題の原因には政府系組織のマングローブ植林についてのトレーニング不足や役人の理解不足も考えられる⁹⁾。さらには、ビジネスとして植林をする団体もあることから、本来なら「マングローブの維持・管理」を目的とした植林活動が、いつの間にか「プロジェクトの維持・管理」を目的とした植林活動になってしまい、生育しないことがあらかじめ分かっているのに植林を行う場合もあり得る。このような課題を現場で克服するためには、適切な資源の評価とその結果に基づく当事者の教育と関係者間の相互理解と協力が不可欠である¹²⁾。

INFO

8) Ellison, A.M. (2000) Mangrove restoration: Do we know enough? *Restor. Ecol.* 8, 219–229.

INFO

9) Woodhouse (2022) Lessons and guidance for policy from MAP's community-based ecological mangrove restoration best practice, in: XV World Forestry Congress: Building a Green, Healthy and Resilient Future with Forests. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Seoul.

INFO

10) Pham, T.T., et al. (2022) The Effectiveness of Financial Incentives for Addressing Mangrove Loss in Northern Vietnam. *Front. For. Glob. Chang.* 4, 1–16.

INFO

11) Primavera, J.H., Esteban, J.M.A. (2008) A review of mangrove rehabilitation in the Philippines: Successes, failures and future prospects. *Wetl. Ecol. Manag.* 16, 345–358.

INFO

12) これらのステップを経て得られた調査結果を活用して、地域住民の意識向上や参加を促進するための活動としては、教育・普及プログラムの実施などが挙げられる。

波や風に対する根返り耐性の定量評価

この上の Recipe は

Recipe - P06 マングローブ
の防災・減災機能

波や風等の流体に対して樹木は抵抗体として働き、波や風からの外力の作用を減衰させる。波や風から受ける外力の作用が樹木の物理的耐性を下回れば、樹木は抵抗体として働き続けるが、反対に外力の作用が上回れば、樹木に被害が発生する。引き倒し試験を行って海岸線前縁のマングローブの限界回転モーメントを測定することで、マングローブの風や波に対する根返り耐性を指標化し、比較することが可能となる。マングローブの根返り耐性は樹種や樹木サイズ、立地環境に依存する。特に、幹周囲に多くの支柱根を持ち、砂質堆積地に生育していた *R. stylosa* は、泥質な堆積物上に生育し、ケーブル根タイプのマングローブである *S. caseolaris* や *S. apetala* よりも根返り耐性が高い傾向にある。

根返り耐性の定量評価の必要性

波や風等の流体に対して樹木は抵抗体として働き、波や風を減衰させる。波や風から受ける流体力（外力）の作用が樹木の物理的耐性を下回れば、樹木は抵抗体として働き続けるが、反対に外力の作用が上回れば、幹折れや根返りを起こして、樹木に被害が発生する。沿岸域においてマングローブそのもの、及びそれらの多面的機能を維持するためには、これらのマングローブの根返り耐性を理解した上で、防災インフラとしての海岸防災林の配置を検討することが重要である。なぜなら、マングローブは、しばしば、強風、高潮、高波などによって被害を受けるため、その際には沿岸域の防災・減災機能が喪失したり、低下したりしてしまうからである。

引き倒し試験とは

引き倒し試験は、風や波に対する樹木の根返り耐性を指標することを目的として実施する試験であり、海岸線の前縁に生育するマングローブの根返り耐性の指標値として、それらの限界回転モーメント（ M_{max} ：kN m）を現地調査によって測定・把握するものである。試験方法の一例及び根返り耐性の指標値 M_{max} の計算方法を以下に紹介する。

地上高約 1m の高さで、ポリエステル製ソフトスリング（安全使用荷重に留意すること）を測定木の幹に装着し、それを金属製ワイヤーと連

INFO

1) Peltola H, Kellomäki S, Hassinen A, Granander M (2000) Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *For. Eco. Manage.* 135:143-153

INFO

2) Nicoll. B. C., Achim. A., Mochan. S., and Gardiner. B. A. (2005) Does steep terrain influence tree stability? A field investigation. *Canadian Journal of Forest Research* 35:2360-2367.

INFO

3) Kamimura K, Shiraishi N (2007) A review of strategies for wind damage assessment in Japanese forests. *J. For. Res.* 12:162-176

結して、引き倒し荷重がピークに達するまで人力で引き倒す（図 T10-1 及び図 T10-2）^{1), 2), 3)}。引き倒し荷重は 20kN 容量のロードセル（SW3-20kN、株式会社イマダ）を用いて測定することが可能であり、そのデータは 50Hz データロガー（eZT、株式会社イマダ）で記録できる。ロードセルで測定した引き倒し荷重及び各 1m の高さにおける測定木の重量から、Nicoll ら²⁾ が報告しているように、測定木の引き倒しによる回転モーメント (M_{pulled} 、kN m、式 1) と測定木の重量による回転モーメント ($M_{gravity}$ 、kN m、式 2) を算出する。さらに、 M_{pulled} と $M_{gravity}$ の和を、根元を中心とした回転モーメント (M_{total} 、kN m、式 3) として算出する。

$$M_{pulled} = F H_p \cos(\beta - \alpha) \quad (1)$$

$$M_{gravity} = g m H_g \sin \beta \quad (2)$$

$$M_{total} = M_{pulled} + M_{gravity} \quad (3)$$

ここで、 F は測定木に対するウインチによる引き倒し荷重 (kN)、 H_p と H_g は測定木に巻いたスリング高と測定樹木の重心高 (m)、 β 及び α は鉛直方向と幹のなす角と水平方向と引っ張り方向のなす角、 m は樹木の質量 (kg)、 g は重力加速度 (9.8m/s^2) を表している。角度 α と β は、引き倒し試験の間にビデオ撮影を行い、画像上で計測する。一般的に測定木の引き倒し荷重が大きくなるにつれて、 M_{total} は増加する。測定木の引き倒し荷重の計測は、ウインチによる測定木の引き倒し前に開始し、荷重がピークに達し、減少に転じた時点、または幹角度 (β) が 30° を超えた時点で終了とする。一般に、波や風に対する根返り耐性の

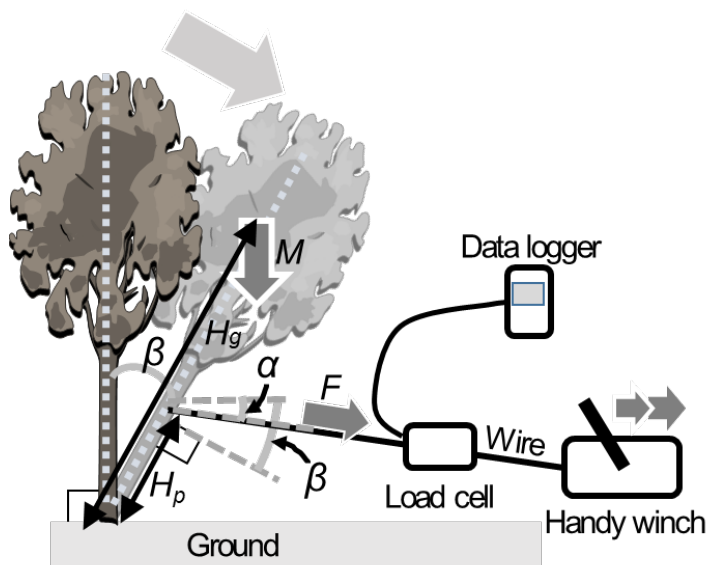


図 T10-1 引き倒し試験における測定項目の概念図

図 T10-2 *S. caseolaris* の引き倒し試験の様子

指標である M_{max} は、記録された M_{total} の最大値、すなわち最大回転モーメントと定義されるので、上記の試験方法により M_{max} を求めることで根返り耐性の指標化が可能となる。

根返り耐性に関するマングローブの樹種特性

マングローブの根返り耐性、すなわち M_{max} は樹種や樹木サイズによって変化する（図 T10-3）⁴⁾。また、当然ながら立地環境の影響も受ける。 M_{max} と樹木サイズの関係は、すべてのマングローブ樹種において、 $D_{0.3\text{ m APR}}$ 、 DBH 、 $D_{0.3\text{ m APR}}^2H$ 、 DBH^2H 、 TAB の増加に伴って概ね増加傾向を示す（ $D_{0.3\text{ m APR}}$ 、 DBH 、 H 、 TAB は、それぞれ地上部支柱根上部 0.3 m 高直径、胸高直径、樹高及び地上部バイオマス合計を表している）。*R. stylosa*、*S. caseolaris*、*S. apetala* について、 M_{max} と $D_{0.3\text{ m APR}}$ または DBH 、 $D_{0.3\text{ m APR}}^2H$ または DBH^2H 、 TAB との間の回帰式及び調整済み決定係数 (R^2_{adj}) は表 T10-1 のように報告されている。

表 T10-1 樹種ごとの樹木サイズと限界回転モーメントとの関係

<i>R. stylosa</i>	$M_{max} = 9.60 \times 10^3 D_{0.3\text{ m APR}}^{2.80}$	$(R^2_{adj} = 0.908, p < 0.0001^*)$
	$M_{max} = 3.41 \times 10^2 D_{0.3\text{ m APR}}^2H + 160$	$(R^2_{adj} = 0.882, p < 0.0001^*)$
	$M_{max} = 3.54 \times 10^{-1} TAB - 1,329$	$(R^2_{adj} = 0.842, p = 0.0003^*)$
<i>S. caseolaris</i>	$M_{max} = 2.70 \times 10^2 DBH^{1.98}$	$(R^2_{adj} = 0.919, p < 0.001^*)$
	$M_{max} = 4.26 \times 10^2 DBH^2H + 350$	$(R^2_{adj} = 0.971, p < 0.0001^*)$
	$M_{max} = 8.12 \times 10^{-2} TAB - 357$	$(R^2_{adj} = 0.967, p < 0.0001^*)$
<i>S. apetala</i>	$M_{max} = 5.93 \times 10^2 DBH^{2.19}$	$(R^2_{adj} = 0.886, p = 0.0003^*)$
	$M_{max} = 6.18 \times 10^2 DBH^2H + 271$	$(R^2_{adj} = 0.976, p < 0.0001^*)$
	$M_{max} = 8.25 \times 10^{-2} TAB - 466$	$(R^2_{adj} = 0.913, p < 0.0001^*)$

INFO

4) Ono K, et al. (2024) Resistance to uprooting among mangrove trees at the Urauchi River mouth, Japan, and the Red River delta, Vietnam: A mechanical analytical comparison based on an in-situ tree-pulling experiment. 森林立地 66: 17-26.

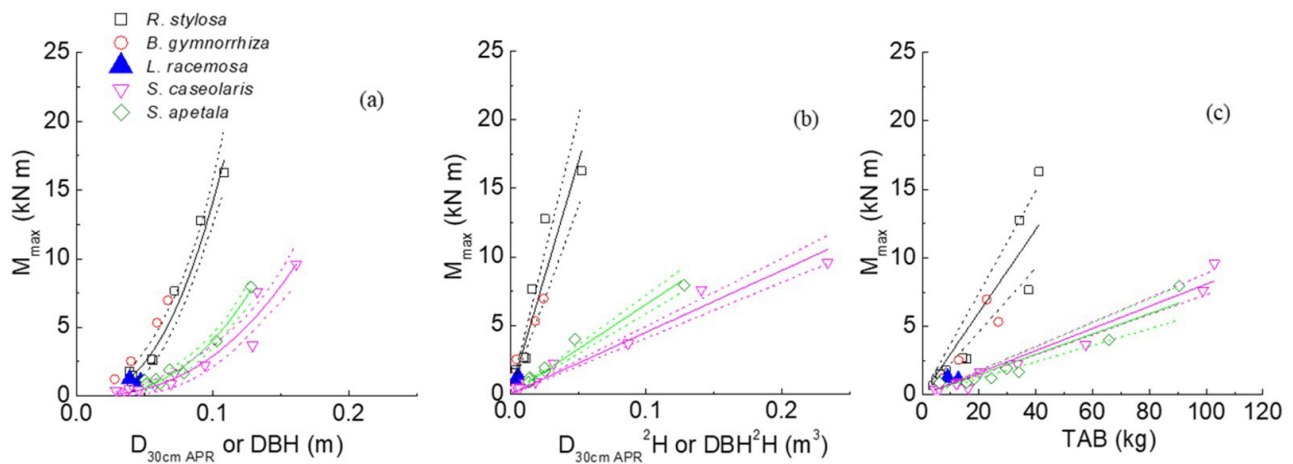


図 T10-3 限界回転モーメント (M_{max}) と (a) 幹直径 (最上部の支柱根の元から 30cm 上の高さでの直径 [$D_{0.3m APR}$] または胸高直径 [DBH])、(b) 幹直径の 2 乗に H を掛けたもの ($D_{0.3m APR}^2 H$ または $DBH^2 H$)、及び (c) 地上部バイオマス (TAB) との関係⁴⁾
 実線は回帰直線、破線は 95% 信頼区間を表す

一般に、陸上林域の樹木では相対成長関係が観察されており、マングローブも、 $D_{0.3m APR}$ 、 DBH 、 H を従属変数として相対成長式を作成する場合、同様な関係性が報告されている⁵⁾、⁶⁾。このことから、樹木サイズに関するパラメータは、マングローブの幹を支える地下根の量を示す相対的な指標であり、根と地盤との相互作用による根返り耐性を表している。

樹幹直径の大小にかかわらず、 M_{max} を根の抵抗性の指標とした場合、幹周囲に多くの支柱根を持ち、砂質堆積地に生育していた *R. stylosa* は、泥質な堆積物上に生育し、ケーブル根タイプのマングローブである *S. caseolaris* や *S. apetala* よりも根返り耐性が高い傾向にある。同様に、幹の比重は、外力の作用に対する幹の曲がりやすさや固さを通じて M_{max} に影響すると考えられる。したがって、引き倒し試験では、マングローブにおける地盤の堆積状態やマングローブ種による幹の比重の違いに留意する必要がある。

INFO

5) Komiyama, A., Pongparn, S., and Kato, S. (2005) Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. Journal of Tropical Ecology. 21:471-477.

INFO

6) Komiyama, A., Ong, J. E., Pongparn, S. (2008) Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. Aquatic Botany. 89:128-137.

リモートセンシングによる防災・減災機能評価

この上の Recipe は

Recipe - P06 マングローブ
の防災・減災機能

通常の潮位と高潮の高さの合計は堤防の高さを超えないが、これに高波の高さを加えた合計の高さが堤防の高さを超える場合、堤防を越水して堤防内の住宅地などに浸水被害が発生する。堤防の前線にマングローブがある場合には、マングローブの立木に波が当たる際に発生する渦による波の力の減衰（渦粘性効果）により、堤防を乗り越える波を抑え、被害を軽減することができる。マングローブの防災・減災機能を広域に評価するためには、マングローブの林帯幅や、波の方向に対するマングローブの投影面積を算出する必要があり、リモートセンシングを用いた手法が有効である。

マングローブが防災・減災機能を果たす条件

台風や発達した低気圧が通過する場合、潮位が大きく上昇することがあり、これを高潮という。高潮は、台風や低気圧の中心では気圧が周辺より低いため、気圧の高い周辺の空気が海水を押し下げ、中心付近の空気が海水を吸い上げるように作用する結果、海面が上昇する吸い上げ効果と、台風や低気圧に伴う強い風が沖から海岸に向かって吹くことで、海水が海岸に吹き寄せられて、海岸付近の海面が上昇する吹き寄せ効果により生じる。

高潮は周期が約 10 分から数時間の範囲であるのに対し、強い風によって発生する周期の短い波が高波である。高潮被害は、月や太陽の引力による通常の潮位（天文潮位）と、高潮や高波による海面の上昇、そして堤防の高さとの関係によって引き起こされる（図 T11-1）¹⁾。IPCC の報告書によると、2006 年から 2015 年の海面上昇速度は過去 100 年間で前例のな

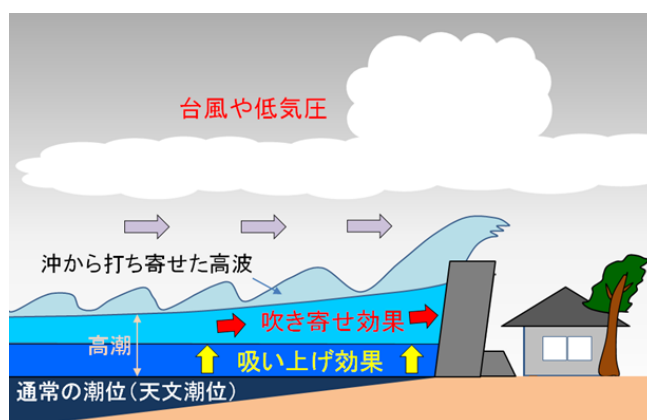


図 T11-1 潮位、高潮、高波による被害の発生¹⁾

INFO

1) 気象庁
<https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/knowledge/tide/takashio.html>

いスピードであり、20 世紀の海面上昇速度の約 2.5 倍に相当する 3.6mm/年で上昇していると報告されている²⁾。このペースで海面が上昇し続けると、その上昇分が天文潮位に加わるため、高潮被害の頻度が増すことになる。

通常の潮位と高潮の高さの合計が堤防の高さを超える場合、潮位も高潮もその変動が長周期であることから、海水が長時間に亘って堤防を越えて陸地に浸水してくるため、被害が大きくなる。これに対し、通常の潮位と高潮の高さの合計は堤防の高さを超えないものの、これに高波の高さを加えた合計の高さが堤防の高さを超える場合がある。この場合、マングローブがないと、高波による海水が陸地に浸水してきて被害が発生する。その一方、マングローブがあれば、マングローブの立木に波が当たる際に発生する渦による波の力の減衰（渦粘性効果）により、堤防を乗り越える波を抑え、被害を軽減することができる。（図 T11-2）³⁾。

マングローブの渦粘性効果による防災・減災機能は、波が当たるマングローブの立木の面積に依存する。そのため、波の方向に対するマングローブの林帯幅、立木の根系を含む樹種ごとの樹形、直径や樹高、立木密度や立木配置が影響する（図 T11-3）⁴⁾。なかでも林帯幅は、波の方向に対するマングローブの立木の投影面積を大きくする効果が高い。

マングローブの防災・減災機能を広域に評価するためには、林帯幅を

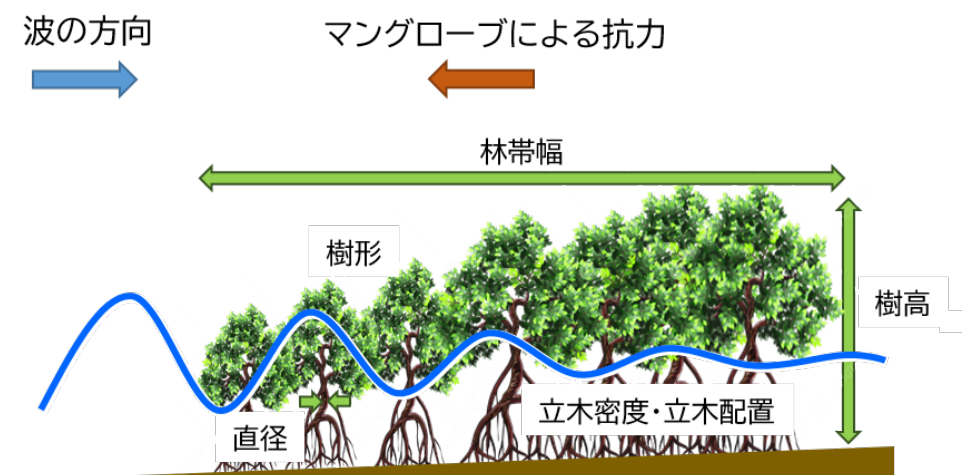
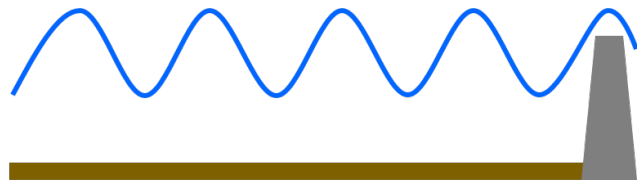


図 T11-3 マングローブの防災・減災機能に影響する要素 ⁴⁾より作成

マングローブがない場合、波の力は弱まらない



マングローブがある場合、波の力は減衰する

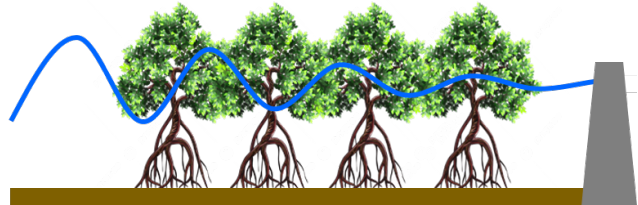


図 T11-2 マングローブによる波の減衰 ³⁾より作成

INFO

2) IPCC (2014) 変化する気候下での海洋・雪氷圈に関する IPCC 特別報告書

INFO

3) Mazda Y, Magi M, Kogo M, Hong PN (1997) Mangroves as a coastal protection from waves in the Tong King delta, Vietnam. *Mangrove and Salt Marshes* 1: 127-135.

INFO

4) Kamil EA, Takaijudin H, Hashim AH (2021) Mangroves as coastal bio-shield: A review of mangroves performance in wave attenuation. *Civil Eng. J.* 7:1964-1981.

マングローブの防災・減災機能の評価の手法

求めるためのマングローブの広がりに関する情報が必要である。また、波の方向に対するマングローブの投影面積を算出するために、林分の平均直径や平均樹高、樹種ごとの樹形、立木密度などが必要となる。これらの情報を地上調査から広域に取得するのは困難であり、リモートセンシングを用いた手法が求められる。

(1) 高分解能衛星からのマングローブの抽出

波の方向に対する林帯幅を求めるためには、高分解能衛星を用いた分類によりマングローブを抽出するのがよい。高分解能衛星の分解能の定義は様々あるが、分解能が 30 m の Landsat 衛星や分解能が 10 m (モノクロ) と 20 m (カラー) の Sentinel-2 衛星でも広域の林帯幅を求めるのに用いることは可能である。これらのデータは無償で入手できる。また、手順 (5) の立木密度の推定に衛星データを用いる場合、サブメートルの分解能を持つ衛星データが必要なることから、この手順 (1) において高分解能衛星データを用意するのがよい。

(2) 波の方向に対する堤防までのマングローブの面積の算出

波が岸に向かって進行する際に、マングローブを通過してくる距離、すなわち林帯幅が波の減衰に大きく影響する。ただし、波は樹木によって進行方向を変えることがあり、また、広域での 1 本 1 本の樹木配置を捉えることも難しいことから、林帯幅を長さで捉えるより、ある一定の幅にどれだけマングローブの面積があるかを推定する方が現実に即した結果が得られ、対策にも反映させやすい。そこで、海から陸地に向かう様々な方向に対して、波の方向に対する堤防までの一定幅でのマングローブの面積を計算する。

(3) 林分高の推定 (ドローン、衛星 LiDAR、林齢 - 樹高曲線)

リモートセンシング技術を用いて広域で林分高を推定する技術としては、ドローンを用いた方法と、衛星 LiDAR を用いた方法が考えられるが、ドローンは搭載できるバッテリーの容量から、また、衛星 LiDAR はその観測システムから、対象となるマングローブ全域のデータを取得することはほぼ不可能である。そこで、高分解能衛星データのテクスチャ情報等を用いて分類を行い、類似するエリアに同じ林分高を割り当てるという処理を行う。

このようなりモートセンシング技術を用いることができないが、マングローブの植栽した年が明らかな場合、林齢と樹高の関係から林分高を推定することが可能である。

(4) 直径-樹高曲線、樹形の推定

手順 (3) で必要となる直径-樹高曲線は、マングローブの樹種ごとに胸高直径と樹高を計測することにより得られる。この場合、立地の違いが影響することがあり、留意が必要である。手順 (6) の波の方向に対する全立木の投影面積の積算で必要となる樹種ごとの樹形については、多視点ステレオ写真測量 (Structure from Motion : SfM) の技術を用いて、地上で 1 本の樹木に対して 360° の方向からデジタルカメラで撮影した写真を用いて再現することができる。それぞれの樹種においては、樹形が相似形であるという仮定をおいて、胸高直径と樹高からそれぞれの樹木サイズでの相似形の樹形を復元する。

(5) 立木密度の推定

取得された画像の地上分解能に応じて、リモートセンシング技術により立木密度の推定が可能である。最も用いられる手法としては、局所最大値フィルタを用いる方法が挙げられる。サブメートル級の衛星データは 1000 本/ha 程度以下の立木密度の推定に用いることができるが、それ以上の立木密度の林分では、1 本の樹冠に十分な数の画素が含まれず、局所最大の画素が発生しない樹木が多くなるため、立木密度の推定が極端に過小推定になる。

植林計画に基づき植栽された林分では、植栽記録により植栽密度が分かることがある。

(6) 波の方向に対する全立木の投影面積の積算

波の方向に対する全立木の投影面積は、高波が減衰する度合いの指標となる。樹木群の波の減衰については様々なモデルが提案されているが、これを広域評価に用いるには、モデルを実装するために必要となるパラメータの不確実性が高かったり、パラメータの取得が困難であったりするため、実用的でない。投影面積の積算値は、マングローブによる防災・減災機能の低い箇所を明らかにすることができ、防災・減災対策を施す優先箇所を判断することが可能になる。

波の方向に対する全立木の投影面積を算出するには、いくつかの波の高さ (天文潮位 + 高潮の高さ + 高波の高さ) を仮定して、これに対し、それぞれの波の方向に対する一定幅 (例えば 100 m 幅) での波の高さまでの樹木の波の方向の投影面積の合計を算出する。波は樹木が障害物として存在する場合、回り込んでその樹木の後方に進むので、全ての立木の投影面積を合計として指標とする。

マングローブ植林における留意点

この上の Recipe は

Recipe - P06 マングローブ
の防災・減災機能

マングローブの生育適地は地盤高や潮汐環境により規定され、樹種により異なる。そのため、予備的な植栽試験を行って生育適地の条件を検討した後、本格的な植栽を始めるのがよい。マングローブを植栽し、着実にマングローブの再生を進めるためには、植栽のための健全な実生苗や胎生種子の確保、さらには確実に実生苗を得るための採種、及び採種後の種子の取り扱いが鍵となる。マングローブの植栽では、苗木が用意し易く取り扱いも容易なヒルギ科などのマングローブ実生苗ばかりを選んで植栽することで、同一樹種による単純林となってしまうような留意する。残存している樹種と同様な潮汐環境の立地環境を見極めて、どこにどの樹種を植えるかを注意深く決定する。

INFO

1) Mochida et al. (1999) A phytosociological study of the mangrove vegetation in the Malay Peninsula. -Special reference to the micro-topography and mangrove deposit- TROPICS 8:207-220

INFO

2) 宮城豊彦、安食和宏、藤本潔 (2003) マングローブーなりたち・人びと・みらいー 古今書院 193pp.

マングローブの生育適地の判定

マングローブの生育適地は地盤高や潮汐環境により規定される。波浪の影響が弱い、平均海水面から最高高潮位までの干潟がマングローブの生育立地である(図T12-1)^{1), 2)}。樹種により生育適地の立地条件は異なる。一方で、生育適地の立地条件は許容範囲が広く、また国や地域によってマングローブ生息域の堆積状況(地盤高や土性)も潮汐環境(潮位、潮

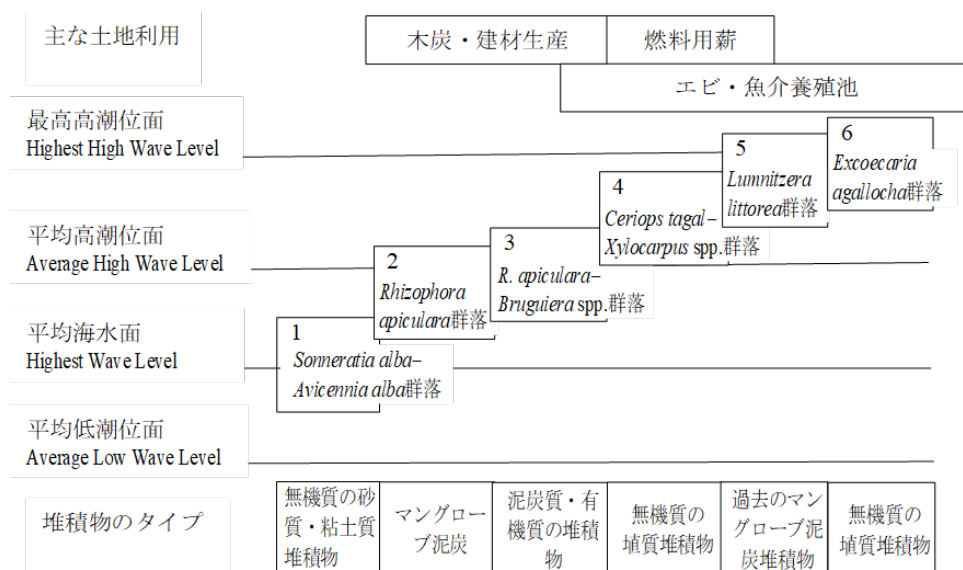


図 T12-1 東南アジアにおけるマングローブ群落の垂直分布と潮位・地盤高、堆積物、及び主な土地利用との関係 ^{1), 2)}より改変

差、冠水頻度、冠水時間）も大きく異なることから、どの国、どの地域にも当てはまるマングローブの適地条件は未だ明らかではない。そのため、予備的な植栽試験を行い、その地域における生育適地の条件を吟味してから本格的な植栽に移行するのがよい。

マングローブの定着・生育への阻害要因は、波による苗木の流亡や損傷、地盤の侵食、土砂堆積による苗木埋没である。そのため、沿岸荒廃地での植林の際には事前の地盤環境や潮汐動向の把握が重要である³⁾。

適切な採種法と種子の取り扱い

マングローブを植栽し、着実にマングローブの再生を進めるためには、植栽のための健全な実生苗や胎生種子の確保、さらには確実に実生苗を得るための採種、及び採種後の種子の取り扱いが鍵となる。マングローブは種によって胎生種子を作るものと作らないものがある。

採種①～胎生種子の場合

一部のマングローブ（ヒルギ科のオヒルギ属、ヤエヤマヒルギ属、メヒルギ属など）は胎生種子を生産する。一度にたくさんの胎生種子を採種するには、十分に成長し地上に落下した胎生種子を拾うより、母樹に付いている胎生種子を採種する方が効率的である。その際は、果実から胎生種子を無理に取り外すのではなく、乾燥しないよう水を入れたバケツ中で採種した胎生種子の下端 1/3 ～ 1/2 程度を水に浸し、自然に果実と胎生種子が離れるのを待つのが良い⁴⁾。樹種や地域ごとに胎生種子の採種適期が異なるので（表 T12-1）、それぞれの植栽予定地での適切な方法、採種時期の検討のために、事前の予備調査を行うのが望ましい。

採種②～胎生種子以外の場合

マングローブのうち、ハマザクロ科マヤブシキ属やシクシン科ヒルギモドキ属、アオイ科サキシマスオウノキ属などは胎生種子をつけない。

表 T12-1 フタバナヒルギ (*R. apiculata*) の花芽形成、開花、胎生種子の成熟時期等の地域間比較⁴⁾より改変

地域名 (国名)	雨季	花芽の発達	開花時期	胎生種子の成熟時期	花芽形成～胎生種子落果の期間	開花～完熟の期間
ブーケット (タイ)	4～11月	8～11月	12～4月	1～7月	34～35ヶ月	4～6ヶ月
ラノン (タイ)	—	ほぼ周年	10～2月	4～6月	32ヶ月	5.3ヶ月
クラン (マレーシア)	—	周年	周年	7～9月	32～33ヶ月	6～7ヶ月
ヒンチンブルック島 (オーストラリア)	1～5月	8～9月	1～4月	1～4月	27～31ヶ月	9～10ヶ月
ハルマヘラ島 (インドネシア)	—	—	—	—	42ヶ月	9.8ヶ月
バリ島 (インドネシア)	12～4月	周年	周年	12～3月が最盛期	23ヶ月	5.7ヶ月

INFO

3) 国際緑化推進センター (2022) マングローブ再生ガイドブック 立地条件及び荒廃要因に応じたマングローブの再生技術 国際航業株式会社発行 66pp.

INFO

4) 馬場繁幸、北村昌三 (1999) マングローブ植林のための基礎知識—マングローブ林の再生のために— 国際緑化推進センター編 139pp.

クマツヅラ科ヒルギダマシ属やサクラソウ科ツノヤブコウジ属などは母樹上で少しだけ幼根と幼芽（胚軸）を成長させて、母樹から離脱する小型の半胎生種子を生産する。前述した大型の胎生種子を生産する樹種では、胎生種子そのものを実生苗として扱うことができるので、胎生種子を植栽地に直挿しして植え付けることができるが、胎生種子をつけない樹種では種子（半胎生種子）が小さいため、植栽に当たっては実生苗を育苗し、それを植栽地に植栽する、という手順が必要となる。

採種後の種子の取り扱い

採種後の胎生種子を採ったその日に植え付けない場合には、バケツに胎生種子の下 1/3 が水に浸かるようにしておく。このとき、バケツに直接日が当たらないように、日陰に置いておく。日向に置いておくと、バケツの水が温められて胎生種子が茹だって枯死してしまう。また、マングローブの種子と果実は、冷蔵庫では保管しないようにする。多くのマングローブの胎生種子は 10～15℃以下になると茶色くなって枯れてしまう。1～2週間程度、胎生種子を保存する場合には、バケツに胎生種子の下 1/3 くらいが水に浸かる状態で、風通しの良い、日の光が直接当たらない場所で保管すると良い。

苗畑における育苗

INFO

5)Tomlinson P. B. (1986)
The botany of mangroves.
Cambridge Univ. Press. pp.
413.

世界には 110 樹種以上のマングローブが分布するとされているが⁵⁾、育苗技術が確立されているのはそれらのごく一部の樹種や限定された地域のみである。それは樹種ごとに適地の条件が違ったり、地域ごとに潮位や地盤高、冠水頻度、土壌、気温、降水量、塩分濃度などの環境が異なるためである。

苗畑では潮汐を利用して自然海水で育苗する場合が多いので、平均海水面よりも若干低い地盤高に合わせて地盤を均し、苗畑を設定する。干潮時に苗床に海水が停滞しないよう留意する。海水が停滞すると、日射により塩分濃縮や水温上昇が起こり、根系傷害や苗の枯死を誘引する恐れがある。必要に応じて排水溝を苗床の周囲に設置し、排水性を確保すると良い。潮汐差が大きい地域では、満潮・干潮時の海水の流入出によって苗や地盤が流失することがないように、海水の流入口からの距離に配慮したり、竹柵の設置により水流を減衰したりする必要がある。乾季で降雨がなく日中の気温がかなり上昇するような立地や、干潮時に地温が高くなりすぎる立地に設定した苗畑では、遮光ネットやニッパヤシの葉を編んだもので遮光を行うと、極端な地温上昇が緩和され、日焼けによる傷害を避けることができる。なお、50%以上の強度の遮光を行った場合には、植栽前に被陰を解いて馴化させた上で苗の山出しを行うことを

推奨する。ポット苗用の用土は、特定の土を用意する必要は無く、苗畑近隣の土でも砂でも良いとされている。作業性や経費節約の観点から、苗畑近くで容易に入手できる土を用いるのが良い。

マングローブの植栽

マングローブの植栽では、苗木が用意し易く取り扱いも容易なヒルギ科などのマングローブ実生苗ばかりを選んで植栽してしまい、結果として同一樹種による単純林となってしまうよう留意する。植栽樹種は、植栽予定地の近隣に残っているマングローブの樹種構成を参考にして選択する。また、植栽する場所についても、残っているマングローブの地盤高と樹種構成の関係性を参考にし、残存している樹種と同様な地盤高で、同様な潮汐環境の立地環境を見極めて、どこにどの樹種を植えるかを注意深く検討し、決定するのが良い（表 T12-2）。

植栽後に植栽した苗の生育や生存に影響を与える要因として、漂着物やフジツボの付着、カイガラムシの発生、カニや水牛による食害、潮汐や波浪による地盤や苗そのものの流失などがある。対策としては、定期的な巡視による付着物等の除去、倒伏苗の植え直し、枯死した苗の補植、防風・防潮のための竹柵の設置などが考えられる。

表 T12-2 植栽に用いる苗木の種類別の植栽方法とその留意点

苗木の種類	植栽方法	植栽上の留意点
胎生種子	直挿し	○基本的には苗畑での育苗を必要ではなく、胎生種子を直接植栽箇所に直挿しして植え付けることができる。 ○採種した胎生種子をすぐに植えない場合は、日向に放置しないようにし、風通しの良い日陰に置き、日焼けを防止する。 ○土が柔らかな場合は胎生種子をそのまま土の中に挿し付ける。 ○土が硬い場合には胎生種子を傷めぬよう、ガイド棒により穴を作ってその穴に挿し込む。穴のサイズは胎生種子の直径よりやや小さいと良い。 ○潮の流れによって流されぬ深さ、すなわち胎生種子の全長の下1/3程度が埋まる深さまで挿し付けると良い。 ○オオバヒルギのように長さが80cmもあるような長い胎生種子を植える場合には、竹などの杭を立て、それに胎生種子を麻紐などで結わえ、潮や風で倒れないように工夫する。
実生苗	植え穴	○ポットの大きさと同じ大きさの植え穴で植え付けする。 ○植え穴が浅すぎると植栽した苗が倒伏、流失するので、ポット苗の寝際と地面の高さは同じになるように調整する。 ○ポット苗を植える際は、必ずポットを取り外す。ポットのまま植え付けると、根が伸びられずに生育不良になるので、注意する。 ○ポットを外す際は、ポット内の用土を崩さないこと。また、ポットから出ている根を損傷しないように注意する。 ○取り除いたポットのビニル袋はその場に放置せず持ち帰る。放置ビニルが波に流され、植えた苗に巻き付き、苗を損傷する恐れがあるためである。
自然定着の苗		○漂着し、定着した苗の密度が高い場合には、間引きする。

