

マングローブ保全・再生の手引き
ー高潮災害軽減の観点からー



国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute

近年、気候変動に起因するとみられる気象災害はその規模を増してきており、人間の社会生活にも大きな影響を及ぼしてきています。2022 年 2 月に公表された気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC）の第6次評価報告書においては、人為起源の気候変動は自然起源の気候変動を超えて幅広い悪影響とそれに関連する損失と損害を自然および人間に及ぼしていると明記されています。なかでも、日本を含むアジアモンスーン地域では、人口が集中しており、海岸線も長いことから、巨大化した台風による高潮被害などが甚大化しやすい状況にあります。とりわけこの地域に位置する開発途上国においては、人口の急増や生産力増大のためにしばしば無秩序な農地などへの改変や養殖池の造成によりマングローブが喪失しています。そのため、本来マングローブが有していた防災・減災機能が損なわれ、高潮災害の危険性が高まっています。このような高潮災害が発生する可能性のある地域は広範にわたるため、堤防などのインフラ整備による対策には自ずと限界があり、マングローブの保全・再生を通じて沿岸域のレジリエンスを高めて高潮による被害を軽減することが必要です。

こうした問題に対処するため、REDDプラス・海外森林防災研究開発センターでは、林野庁の「森林技術国際展開支援事業」において森林機能を活用した防災・減災技術を途上国で適用するための技術開発を行ってきました。本手引きは、マングローブによる防災・減災機能の発揮に向けた調査研究の成果を取りまとめたものです。マングローブの現状と減少・劣化の要因の解析（2章）、マングローブの防災・減災機能の評価手法（4章）、防災・減災のためのマングローブ活用例（5章）、地域住民の啓発の必要性（6章）など、マングローブを保全・再生して防災・減災機能を発揮させるために必要な情報を、幅広く記述しています。

この手引きが、海外においてマングローブの機能を活用した防災・減災に関心を持つ国内の団体や、省庁など公的機関、各国政府、国際機関・団体などの活動に貢献できることを願います。

令和 7 年 2 月

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
REDDプラス・海外森林防災研究開発センター
センター長 玉井 幸治

目次

巻頭言	1
1 章 マングローブとは	3
2 章 マングローブの現状と減少・劣化要因	11
3 章 マングローブの多面的機能	17
4 章 高潮被害に対するマングローブの防災・減災機能の発揮に向けて	21
5 章 自然を活用した解決策(Nature-based Solutions:NbS)とマングローブ保全・再生の動向	25
6 章 地域住民への意識調査とプロジェクト実施に必要な人的資源などの評価	29
7 章 マングローブ保全・再生のための留意点	35
引用文献	41

1章 マングローブとは

マングローブは、熱帯および亜熱帯の沿岸部の潮間帯上部に成立する大型の森林植物群落（森林）で、よく発達したものは樹高30 m以上に達します（図1-1，図1-2）。潮間帯は大潮の時の潮位の最も高いところと最も低いところの間にあり、潮が入って塩水に浸かるときと潮が引いて地面が現われるときの両方がある場所で、いわば海と陸の狭間の環境です。マングローブは熱帯・亜熱帯の沿岸部にときに幅数キロメートルにわたって広大に広がっていることがあります（図1-3）。「マングローブ」という語は、森林を指すだけでなく、個々の植物や生態系を指しても使われます。植物としてのマングローブは、潮間帯に生育する生態的に似た性質をもった樹木の総称で、いくつかの科に属する生理的性質や塩分に対する適応が互いに類似した常緑の高木および低木を指します。



図1-1. マングローブの外観



図1-2. 海水に浸かったマングローブ



図1-3. ベトナム北部紅河デルタに広がる
広大なマングローブ

【マングローブの分布】

マングローブの分布は気温の制限を受け、北限は鹿児島県喜入（北緯35度）で、南限はオーストラリアのメルボルン（南緯38度）とされています。雨量の影響はあまりなく、陸上植生が熱帯雨林となる湿潤熱帯から、砂漠となる乾燥熱帯まで、東西方向には太平洋諸島の一部を除いてほぼ全世界的に分布しています（Spalding et al. 2010）（図1-4）。マングローブは熱帯・亜熱帯の沿岸域に広く分布しますが、潮間帯に成立する性質上、その面積は実はそれほど大きくはありません。その一方で、海に最も接する森林として防災や水産資源の面で独特かつ重要な役割を果たしています。

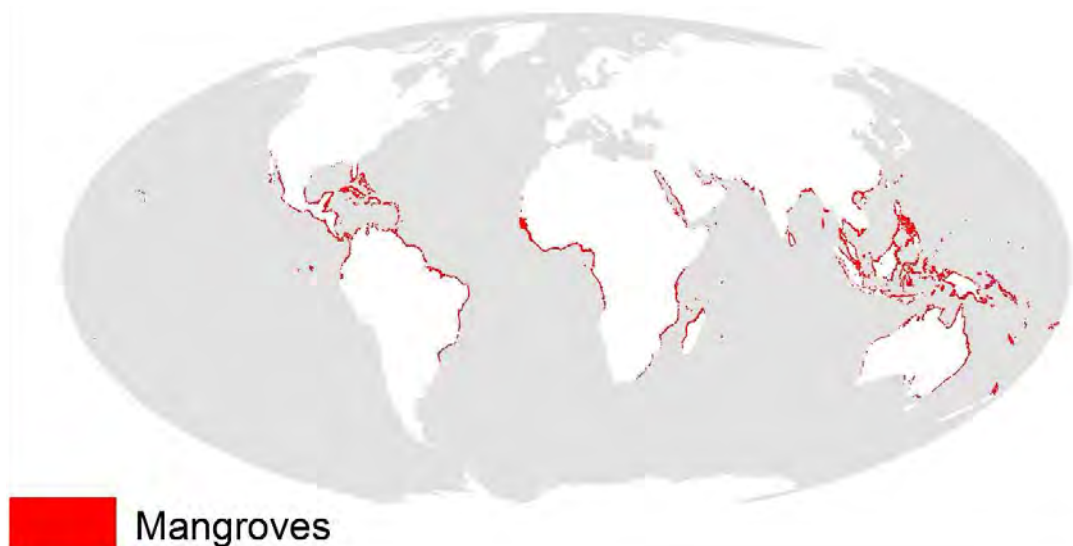


図1-4. マングローブの分布範囲Spalding et al. (2010)

マングローブの種数は赤道を中心とする熱帯域でもっとも多く、緯度が高くなるにつれ少なくなります。またインド洋および西太平洋沿岸と、アメリカ、西インド諸島および西アフリカ沿岸で種類は明確に異なり、それぞれ東型、西型のマングローブとして区別されています（Takayama et al. 2021）。東型と西型では同属の異なる種類が主要種となっており、ヤエヤマヒルギ属（*Rhizophora*）ではフタバナヒルギ（*R. apiculata*）やオオバヒルギ（*R. mucronata*）が東型に、アメリカヒルギ（*R. mangle*）が西型に分布しています。種類数は東型のマングローブが多く、世界のマングローブ植物（約70~100種）の大部分（約60種）が分布します（小見山2017）。種類が最も多くなるのは島嶼部東南アジアで、森林の規模もこの地域で世界最大になるとされています（図1-5）。一方、北限・南限域では森林の規模も小さくなります（図1-6）。

それぞれの海域内でも同属の種類でも分布が異なり、*R. apiculata*は東南アジアを中心にインドからオーストラリアまで分布します。一方、*R. mucronata*は東アフリカ沿岸まで低緯度でより西に長く分布します。ヤエヤマヒルギ（*R. stylosa*）は西太平洋の低緯度地帯から北に長く分布し沖縄（八重山諸島）にも見られます（馬場ら2024）。



図1-5. 赤道直下インドネシアのマングローブ



図1-6. 北限域の屋久島のマングローブ

【マングローブの特徴と種類】

主要マングローブと準マングローブ

マングローブはいずれも海水（塩水）の浸水に対する生理的な機能（体内に塩分を入れなく

するための機能や入ってきた塩分を排出する機能）を備えています。マングローブは塩水に対する生理的機能に加えて、浸水環境に適応した気根や胎生種子をもつ「主要マングローブ (major components)」と、塩水に対する生理的耐性だけを持つ「準マングローブ (minor components)」の2タイプに分かれます(Tomlinson 1986)。このほかマングローブの後背地や後浜などの少し地盤が高い場所を好んで生息しているものは、マングローブと一緒にマングローブ生態系を構成することから随伴種 (associates) と呼ばれます。随伴種は塩分と乾燥に適応した厚い葉をもつものが多いですが、塩水の浸水に対する生理的な耐性は備えておらず、気根や胎生種子を持つことはほぼありません。

マングローブの構成種

主要マングローブは、ヒルギ科の4属（ヤエヤマヒルギ属 (*Rhizophora*) ・オヒルギ属 (*Bruguiera*) ・メヒルギ属 (*Kandelia*) ・コヒルギ属 (*Ceriops*) ）と、ハマザクロ科ハマザクロ属 (*Sonneratia*) 、キツネノマゴ科ヒルギダマシ属 (*Avicennia*) 、シクンシ科ヒルギモドキ属 (*Lumnitzera*) および *Laguncularia* 属 (和名無し) 、ニッパヤシ (*Nypa fruticans*) です。*Ceriops* および *Laguncularia* 以外の属は日本にも分布します (図1-7、表1-1)。日本で見られるマングローブのうち、汽水に浸かった木、幹からタコ足状に突き出た根 (気根: 図1-8)、樹上から細長く垂れ下がる実 (胎生種子: 図1-9)、マングローブを象徴するこれらいずれの特徴も持つのが、ヒルギ科のヤエヤマヒルギ属 (*Rhizophora*) です。ヒルギ科の他の3属も板状や膝状の気根を持ち、胎生種子を作ります。

一方、地面から上に突き出るタイプの気根 (直立気根: 後述) を持つのが、*Sonneratia*、*Avicennia* で、これらは胎生種子を作りません。*Lumnitzera* は地表の上を這う根から地中に根を張ります。

日本には分布しませんが、準マングローブには、砲丸のような実をつけるセンダン科ハウガンヒルギ属 (*Xylocarpus*) 、胎生種子に似た角状の実をつけるヤブコウジ科ツノヤブコウジ属 (*Aegiceras*) などがあります。

気根 (呼吸根)

マングローブは水浸しで酸素が不足する土壌中の根に酸素を送るために空中に発達させた気根 (呼吸根とも言う) を持っています(小見山2017)。気根にはいくつかの形態があり、代表的なものとして、タコ足状に発達する *Rhizophora* の支柱根、地面から曲がった膝が突き出たような *Bruguiera* の膝根、地面から筍のように真っ直ぐに突き出た *Avicennia* や *Sonneratia* の直立気根 (筍根) が知られています (図1-8)。

気根には地下部の根に酸素を送る機能のほかに、*Rhizophora* の支柱根や *Kandelia* の板根のように泥湿地の軟弱な地面の上で植物体を支える機能を持っています。地中に発達した根には土壌を保全する効果が、地上部に発達した気根には内陸に到達する波の力を減衰させる効果が期待されます (詳しくは3章をご覧ください)。

表1-1. 日本に分布する主要マングローブの樹種（谷口2020をもとに改変）

科名	種名	分布の北限
ヒルギ科 Rhizophoraceae	オヒルギ (<i>B. gymnorrhiza</i>) ヤエヤマヒルギ (<i>R. stylosa</i>) メヒルギ (<i>K. obovata</i>)	奄美大島 沖縄島 鹿児島県喜入湾
キツネノマゴ科 Acanthaceae	ヒルギダマシ (<i>A. marina</i>)	宮古島
シクンシ科 Combretaceae	ヒルギモドキ (<i>L. racemose</i>)	奄美大島
ハマザクロ科 Sonneratiaceae	マヤブシ (<i>S. alba</i>)	西表島
ヤシ科 Palmae	ニッパヤシ (<i>N. fruticans</i>)	西表島

胎生種子

マングローブには、果実の中で種子が発芽し母樹についた状態である程度大きく成長してから散布される胎生種子（散布体とも言う）と呼ばれる種子をつけるものが多くみられます^(谷口2020)（図1-9）。胎生種子は、海流に乗って広い範囲に散布された先で定着するための適応と考えられています。すでに発芽した状態で母樹についている胎生種子は採集が一般の樹木に比べ容易です。またポットに植えて苗として養生するだけでなく、植林地に直接植え付けたりすることもあります（詳しくは7章をご覧ください）。



図1-7. 代表的なマングローブ

左上 : *R. stylosa*、右上 : *B. gymnorhiza*、左中 : *A. marina*、左下 : *S. alba*、右下 : *K. obovata*



図1-8. マングローブの気根

*Rhizophora*の支柱根（左上） *Bruguiera*の板根と膝根（右上）

*Avicennia*の直立気根（左下）

*Sonneratia*の直立気根と水平根（右下、分かるように泥を洗い出したもの）

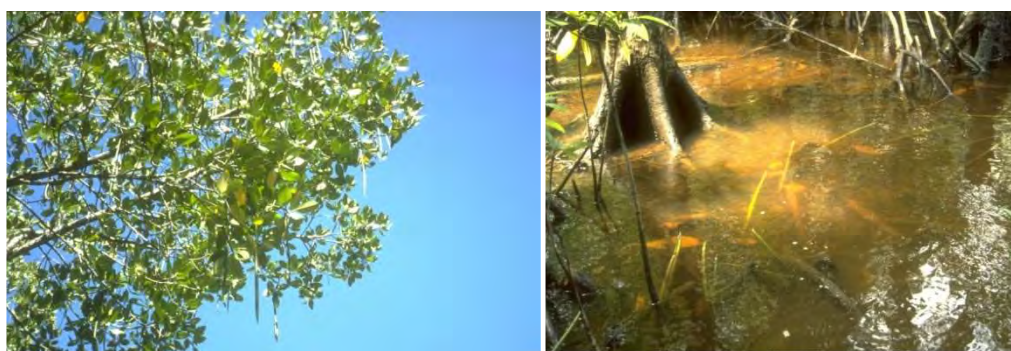


図1-9. *Rhizophora*の胎生種子：枝についた状態（左）と林内を漂う様子（右）

【マングローブの立地とマングローブ植物の生育場所】

マングローブは潮汐の影響を受け海水もしくは汽水が冠水するところに成立します（図1-1、図1-2）。冠水の頻度は、満潮のたびに毎日冠水するところから、春や秋の大潮の時しか海水をかぶらない年間数日程度のところまで場所によって異なりますが、この違いは主に海岸からの距離や地表面の高さによります。大まかには海に近く低い場所ほど海水に浸かりやすく、陸側の盛り上がった場所ほど海水に浸かりにくくなります。この違いは塩分の濃度の違いをもたらし、塩水の浸かり方に応じて海側から陸側に優占樹種が帯状に入れ替わる独特の光景（帯状構造：ゾーネーション）がみられます^(谷口2020)。

東南アジア沿岸域の典型的な例では、海岸線に近い部分に*Avicennia*や*S. alba*、その内側に*R.*

apiculata、さらに内側に*B. gymnorrhiza*、さらに内側の地盤の高いところに*Xylocarpus*の群落が見られます。ただし、高緯度の場所では種類が減ったり替わったりします。*Kandelia*に関しては東シナ海以北に*K. obovata*が分布し、南シナ海以南には*K. candel*が分布します。このような分布の違いは、冬期の低温に対する耐性と関係している可能性もあるため、高緯度域でのマングローブ植栽には自然の分布状態に留意する必要もあるでしょう。また、大きな河川の河口域では淡水の流入が見られるため、川沿いに耐塩性の比較的低い種類がよく生えます。例えば、東南アジアの低緯度地域では、*S. alba*とナンヨウマヤプシキ*S. caseolaris* が分布しますが、前者は汀線近くの海岸前縁部に群落を作るのに対し、後者は河岸沿いに群落を構成することが多く、より塩分の薄い場所を生育場所としていると考えられます。東南アジア沿岸や西太平洋の島嶼では*R. apiculata*と*R. mucronata*の両者が分布しますが、*R. mucronata*が汀線近くの海岸前縁部で帯状に群生するのにに対し、*R. apiculata*はそのやや内陸側に広い純林を作ります（図1-10）。



図1-10. 海岸前面に群生する*R. mucronata*（左）と内陸側に純林を作る*R. apiculata*（右）

【マングローブの重要性】

マングローブは熱帯・亜熱帯沿岸域の潮間帯に成立することから、海域と陸域の間の緩衝帯としての役割を果たしています。マングローブは、海陸双方に由来する生物への住み処を提供する生物多様性保護機能や、高い一次生産能を背景とした膨大な炭素蓄積機能、木材や燃料、魚介類などの採集の場としての資源生産機能など、多様な生態系サービスを担っています（詳しくは3章をご覧ください）。さらに、近年の地球規模での気候変動の進行を背景にした海面上昇や大型台風の頻発により、これまでよりも大きな高波や強い暴風が発生し、沿岸域の災害リスクが増していることから、マングローブを含む沿岸部における防災・減災機能の発揮にも大きな関心が集まっています。

【マングローブの利用、破壊と修復】

マングローブは、建築材、燃料材といった木材資源の供給、魚介類の採集の場として地域人々の生活を支えてきました（図1-11）。また1980年代ごろからは、上質紙の原料としての伐採やエビ養殖池の造成が大規模に行われるようになりました（図1-11）。薪炭やパルプ原木としての利用では、伐採後に再植林がなされ持続的な生産が行われている地域があります。その一方、皆伐後に地形の改変をおこなう養殖池は、造成後に魚介の生産量が低下したり病害が発生したりした場合に、マングローブの再生が困難な状態で養殖池が放棄されます。その代替地として、新たな場所でマングローブを伐採して養殖池を開発するという破壊的な利用がこれまでしばしば行われてきました。近年のマングローブ減少要因の主なものとして、エビ養殖池や農地の造成、観光開発、沿岸開発、木材産業など直接の人為によるものに加え、気候変動の影響もあります（詳しくは2章をご覧ください）。



図1-11. マングローブ域での漁労（左） 養殖池造成のため伐採されたマングローブ（右）



図1-12. 新しく植栽されたマングローブ（左） 伐採後の再植林（右）

破壊されたマングローブを修復するための取り組みは、過去数十年以上にわたって続けられています（図1-12）。国や地方政府といった政府機関、国際援助機関が実施する大規模な事業から、民間NGOや地域の人々が独自に実施する小規模なものまで様々な取り組みがあります。このような取り組みの目的は、従来の地域の生活環境や人々の生計向上に加え、近年は炭素固定や、高潮や津波から海岸線や背後の集落を守る防災・減災のように、気候変動の緩和と適応が含まれるようになっていきます（詳しくは5章をご覧ください）。

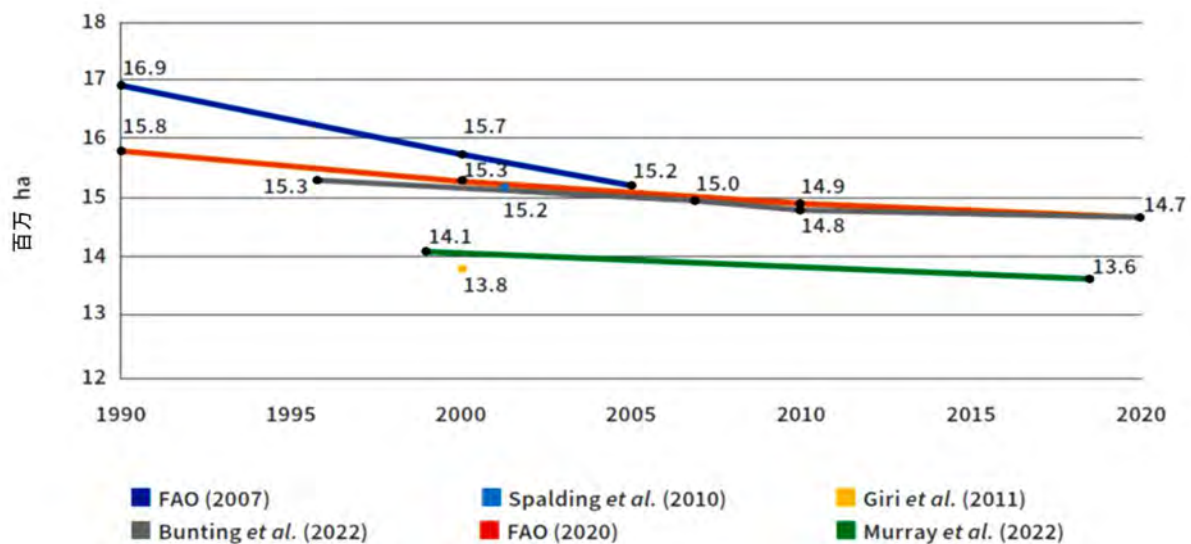
2章 マングローブの現状と減少・劣化要因

マングローブの保全・再生を図るには、マングローブの現状をしっかりと把握することがとても大切です。マングローブは、熱帯と亜熱帯の123か国の海岸や河口に沿って見られます。マングローブの生育適地は海岸線の狭い幅に限定されるため、マングローブが世界の熱帯林の面積に占める割合は1%未満でしかありませんが、海岸域に暮らす多くの人々に、例えば、海陸双方に由来する生物へのすみ処を提供する生物多様性保護機能や、高い一次生産能を背景とした膨大な炭素蓄積機能、木材や燃料、魚介類などの採集の場としての資源生産機能などの重要な生態系サービスを提供しています（UNEP 2023, 3章を参照）。一方で、マングローブの存立は、養殖や農地への転換、海岸開発、乱獲、農業や工業による汚染、気候変動の影響など、多くの人為的な圧力によって脅かされています。海岸線で見られるマングローブは、過去40年間に世界中で20%以上が失われたと推定されています（FAO 2023a）。気候変動の観点から見ると、マングローブの喪失による排出量は、森林減少による世界の排出量のほぼ5分の1を占めており、年間60億～420億米ドルの経済的損害をもたらしています（UNEP 2014）。

世界のマングローブの現状や減少・劣化要因を捉えるには、国際的な取り組みによるデータが必要です。国連では2つの機関がそれぞれ2023年にマングローブの現状とその変化についての報告書を出しています。一つ目は国連食糧農業機関（FAO）が公表した「The world's mangrove 2000–2020」です（FAO 2023b）。FAOのチームと世界の48人の画像解析者が、2020年のマングローブの面積、2000年から2020年間のマングローブの面積の変化、20年間の変化の要因に関するデータを収集・分析した結果に基づいています。そしてもう一つは国連環境計画が公表した「Decades of Mangrove Forest Change」です（UNEP 2023）。本項では、これらの国際機関が公表した報告書をもとに、世界のマングローブの面積変化とその要因について概観し、森林減少が他の地域と比べて著しいアジアの状況について説明します。

【マングローブ面積変化とその世界的傾向】

FAOの報告書（FAO 2023a）によると、2020年の世界のマングローブの総面積は1,480万haと推定されています。もちろんどのようなデータ、方法によって推定するかにより、その推定面積は変わってきますが（図2-1）、ここではFAOの報告書の値を用いることにします。マングローブの分布には大きな偏りが見られ、5分の2以上が南アジアと東南アジアに分布しています。



マングローブの面積変化は、自然拡大や植林により増加した面積と気候変動の影響などによる自然消失と人為的な土地利用転換や木材利用のための伐採により喪失した面積の差として表されます。自然拡大は、例えば、上流からの土砂流出が河口付近に堆積することによりマングローブの生育適地が作り出されることで生じます。2000年から2020年の間にマングローブが喪失した面積（677,000ha）の約半分は、2000年には存在しなかった場所へのマングローブの増加した面積（393,000ha）によって相殺されています。従って、この期間にマングローブが純減した面積は284,000haでした。

世界的には、現在までマングローブの増加面積が喪失面積を上回ることとはなく、森林減少が続いています。また、面積変化には現れませんが、養殖池からの汚水や生活排水、生活利用のための過度な抜き伐りにより、森林劣化も進んでいます。

マングローブの喪失に関して、2000年から2010年の10年間では年平均で38,280ha、2010年から2020年の10年間では年平均で29,410haの面積が喪失しました。一方、マングローブの増加に関しては、2000年から2010年では年平均で20,130ha、2010年から2020年では年平均で19,170haの面積が増加しました（図2-2）。この結果、マングローブの面積変化率は、2000から2010年の年間0.12%の減少から、2010から2020年には0.07%の減少と減少率が低下しています。

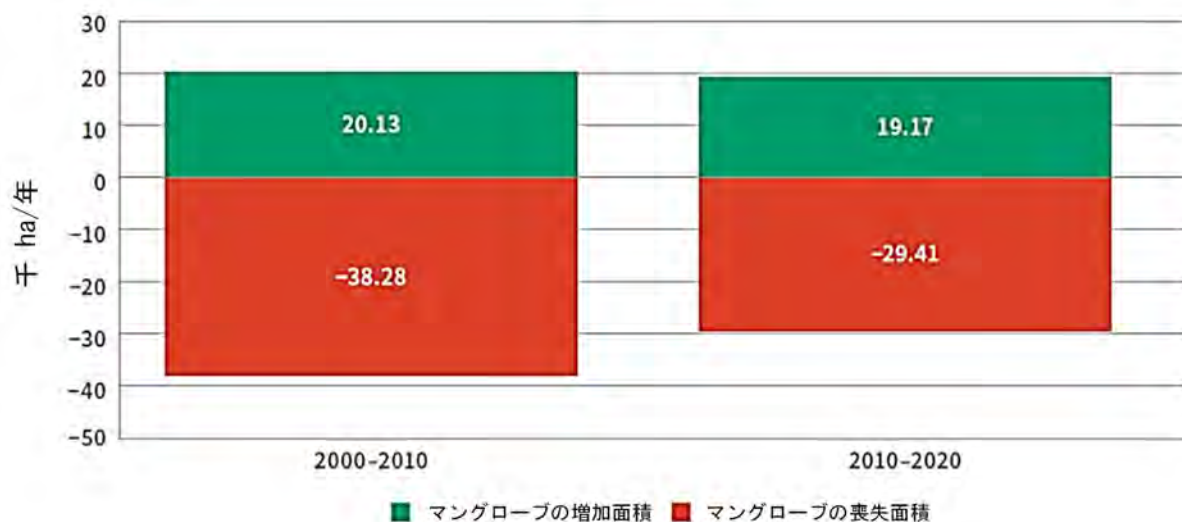


図2-2. 2000年-2010年と2010年-2020年の期間における世界のマングローブの年平均増加・喪失面積(FAO 2023b)

世界の地域別に見ると、マングローブの喪失面積が最も大きかったのはアジアでした。アジアが2000年から2010年の世界のマングローブの喪失面積の68%を占め、2010から2020年の54%を占めていました。しかし、喪失面積は2つの期間でほぼ半減していました。また、世界のマングローブの増加面積のうち、2000から2010年には47%を、2010から2020年には54%をアジアが占めていました。アフリカではマングローブの喪失面積が2つの期間でほとんど変わっていませんが、増加面積が増えているためマングローブの減少率は低下しています。同様に2つの期間を比較すると、中北米では、喪失面積の減少と増加面積の増加が見られ、森林減少から森林増加に転じていることがわかります。逆に、オセアニア、南米では2つの期間でマングローブは増加から減少に転じています（図2-3）。

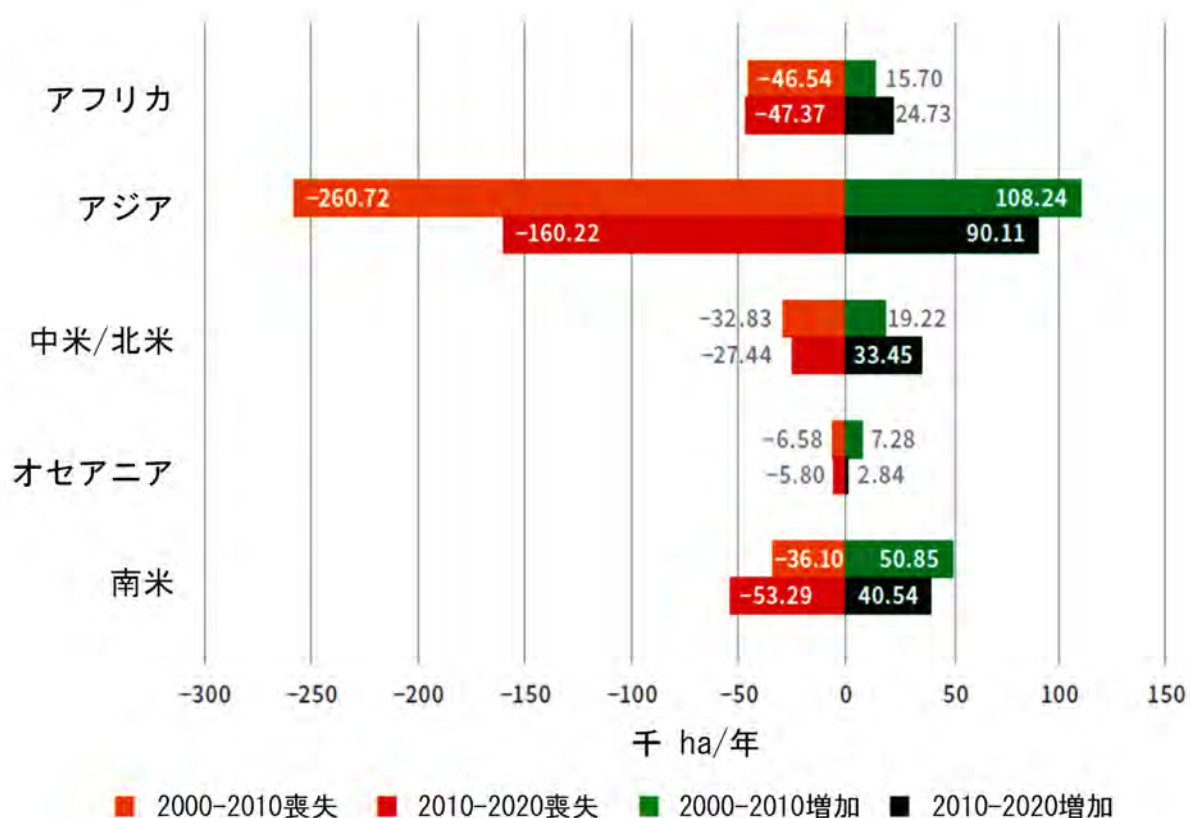


図2-3. 2000-10年と2010-20年の世界の地域別のマングローブの喪失・増加面積(FAO 2023b)

【マングローブの減少・劣化の要因】

2000年から2020年間のマングローブの喪失のうち、少なくとも43.3%がマングローブを水産業や農業（養殖、オイルパームプランテーション、稲作）に転換したことによるものでした。

マングローブの喪失面積は、養殖では2000年から2010年に比べて2010年から2020年には51%減少し、稲作では80%減少し、居住/インフラ開発では87%減少し、持続不可能な木材採取では73%減少していました。一方で、マングローブ減少の要因は多様化してきており、オイルパームプランテーション、自然災害、他の地域の開発の影響などの割合が増してきています（図2-4）。

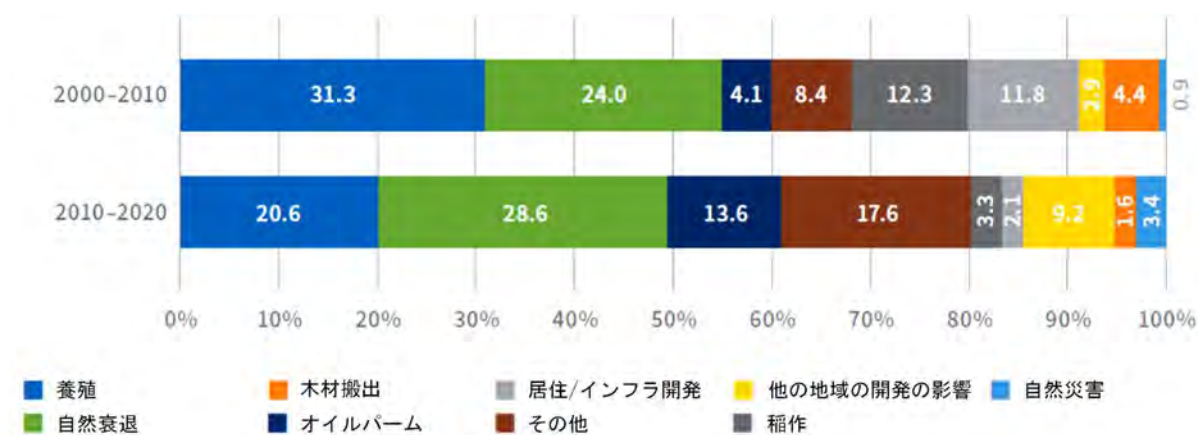


図2-4. 2000-2010年と2010-2020年のマングローブの喪失の要因の相対的割合(FAO 2023b)

全体として、世界のマングローブの面積の減少率は、2000年から2010年の期間と比較して2010年から2020年の期間は低下してきています。これは、マングローブの主要国における経済発展、回復、マングローブがもたらす多様な恩恵に対する認識の拡大、マングローブの保護強化によるところが大きく、現在では、残存するマングローブ地域の最大42%が法的保護下にあります(Leal and Spalding 2022)。

2010年から2020年にかけて、世界全体でマングローブが失われた主な人為的要因は養殖で、その割合は21%でした。これは2000年から2010年にかけての31%から減少したものであり、南アジアと東南アジアでこの要因の割合が減少したことによるものでした。逆にマングローブの養殖への転換は、2010年から2020年にかけて、北中米、南米、西・中央アフリカで急激に増加していました。

ここまでマングローブの喪失を引き起こす要因を見てきましたが、森林減少は喪失面積が増加面積を上回る場合に生じることから、マングローブが増加する要因にも着目しておく必要があります。2000年から2020年に世界全体で増加したマングローブ面積のうち、自然拡大が82%を占めています。残りが森林修復のための植林です。世界の地域別にマングローブの自然拡大と森林修復のための植林の割合を比較すると、アジアが最も積極的に植林を行っていました(図2-5)。

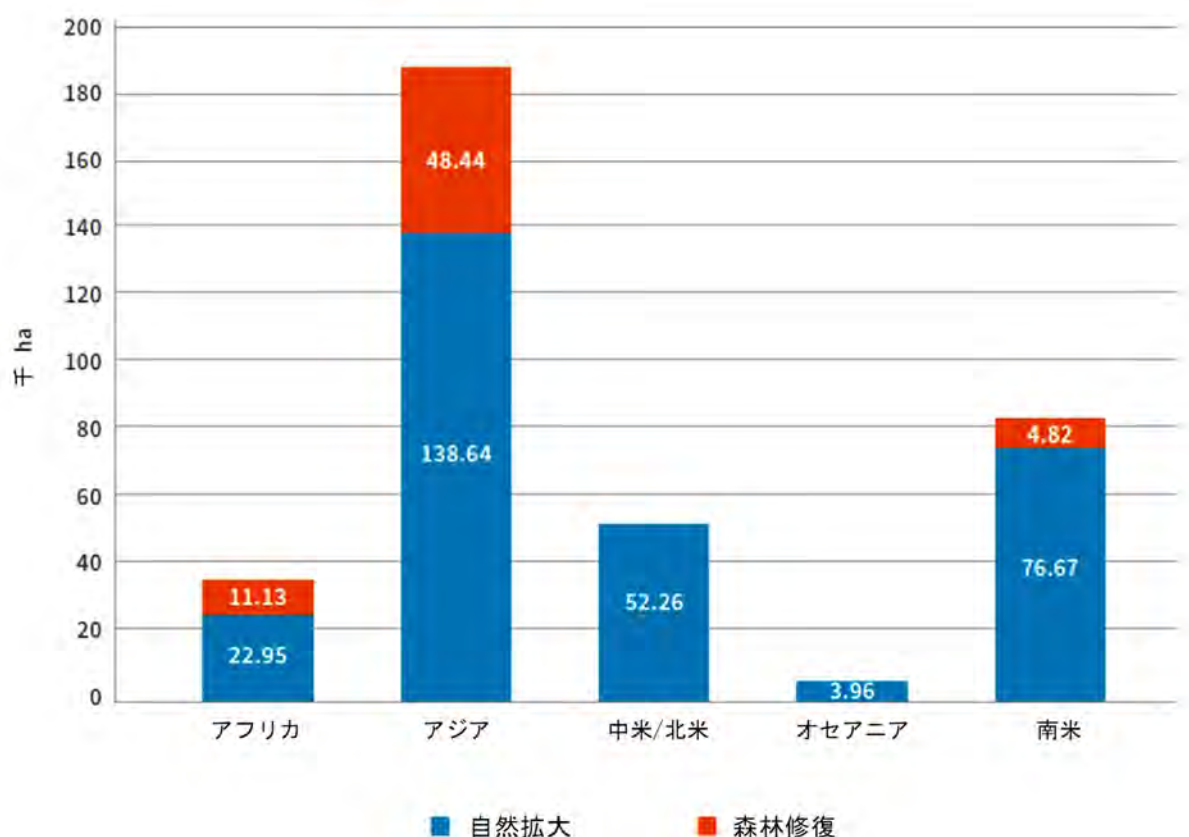


図2-5. 2000-2020年の世界の地域別のマングローブの増加面積と増加要因の割合(FAO 2023b)

世界的に見ると、自然拡大によって得られたマングローブの面積が、自然消失によって失われた面積を大きく上回っています。気候変動の影響が増していることを考えれば、自然消失が自然拡大を上回ると予想されますが、逆の傾向が観察されています。この結果は、気候変動が

マングローブ群落に及ぼす影響を予測することが難しいことを示していると同時に、環境変化に対応し、生息適地に応じた植生が定着するというマングローブの回復力も示しています。

【アジアの状況】

2020年におけるアジアのマングローブの面積は、世界のマングローブの面積の44%に相当する650万haと推定されます。FAOが集計したアフリカ、アジア、中北米、オセアニア、南米の5つの地域のうち、アジアは最大の面積を有し、そのほとんど（99.5%）が南アジアと東南アジアに分布しています。

マングローブの面積変化は、喪失面積と増加面積の差として得られますが、アジアの地域間でみると、地域によりマングローブの喪失面積と増加面積の傾向に大きな違いが見られました（表2-1）。西アジアと中央アジアでは、もとの面積が小さいため、2000年から2020年の間に面積の喪失も増加もしていませんでした。東アジアでは、マングローブの面積は20年間で毎年2.32%の割合で森林が増加していました。南アジアと東南アジアでは、2000年から2010年にかけて0.23%という比較的高い割合で森林が減少しましたが、2010年から2020年にかけては年間0.11%まで減少率が低下しています。

表2-1. アジアの各地域におけるマングローブの喪失面積と増加面積、年面積変化率

地域	喪失面積（千ha）		増加面積（千ha）		年面積変化率（%）	
	2000-2010	2010-2020	2000-2010	2010-2020	2000-2010	2010-2020
東アジア	0	0	2.95	2.58	2.74	1.90
南アジア・東南アジア	-261	-160	105	87.5	-0.23	-0.11
西アジア・中央アジア	0	0	0	0	0	0

南アジアと東南アジアでは、2000年から2020年の間にマングローブが失われる主な要因は養殖で、35%を占め、次いで自然消失（17%）でした。この自然消失には、海面上昇など気候変動の影響によってもたらされた立地環境の変化による喪失も含まれています。稲作とオイルパームプランテーションへの転換も重要で、それぞれの土地利用が喪失の13%を占めていました。

南アジアと東南アジアにおけるマングローブの喪失は、多様な要因によるものです。最も注目すべき点としては、養殖の割合が2つの期間で減少したことであり、稲作への転換や直接入植による開発も減少しています。他方、2010年から2020年にかけては、オイルパームプランテーションへの転換がマングローブの喪失の主な要因となっています。自然災害や他の地域の開発の影響がマングローブの喪失に与える影響も大幅に増加しています（図2-6）。他の地域の開発の影響としては、例えば川の上流にダムが建設されたり、マングローブに隣接する陸地側に道路、農地や養殖池が作られたり、マングローブの近くに港やホテルなどの大型施設が建設されたりなどの影響でマングローブが衰退した状況があげられます。

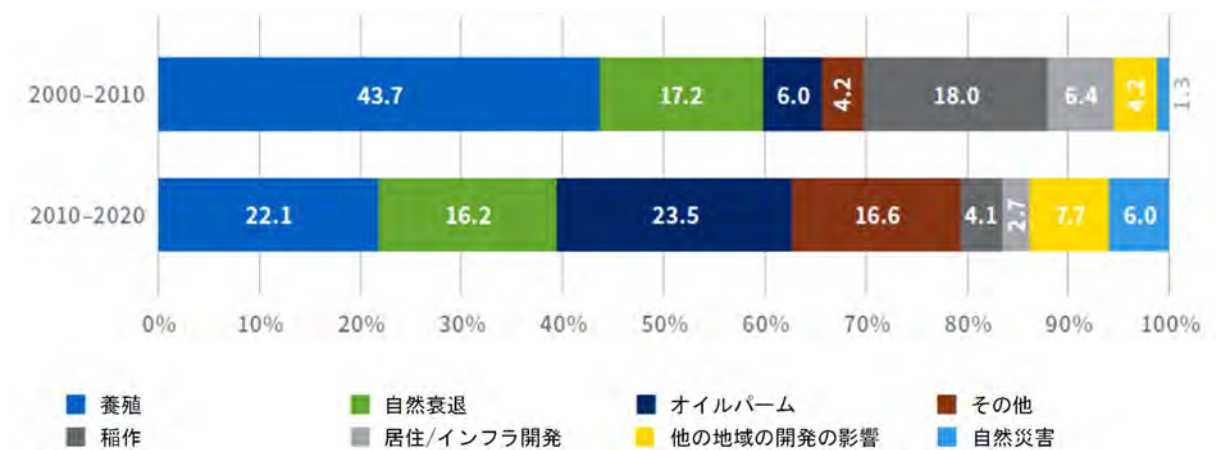


図2-6. 2000-2010年と2010-2020年の南アジア及び
東南アジアのマングローブの喪失の要因の相対的割合 (FAO 2023b)

20年間のマングローブ面積の拡大において、アジアでは他の地域よりも植林が大きな役割を果たしていました。日本を含む東アジアでは、わずかですがマングローブ面積が増加しており、そのすべてが植林によるものでした。南アジアと東南アジアでは、20年間で見られたマングローブ面積の増加の約4分の1が植林によるものです。

【状況把握のための便利なツール】

最後に、マングローブの現況を把握するのに便利なツールを紹介します（図2-7）。

グローバル・マングローブ・ウォッチは、マングローブをモニタリングするためのツールを提供するオンラインプラットフォームです (<https://www.globalmangrovetwatch.org/>)。このツールは、世界中のどこでどのような変化があるかについて、ほぼリアルタイムで情報を提供しています。ブラウザ上で各国におけるマングローブの生息範囲、マングローブの正味の面積変化、その国で見られる種が生息する国の数、その国で見られる種数とレッドリスト掲載の有無などがグラフや地図とともに調べられます。

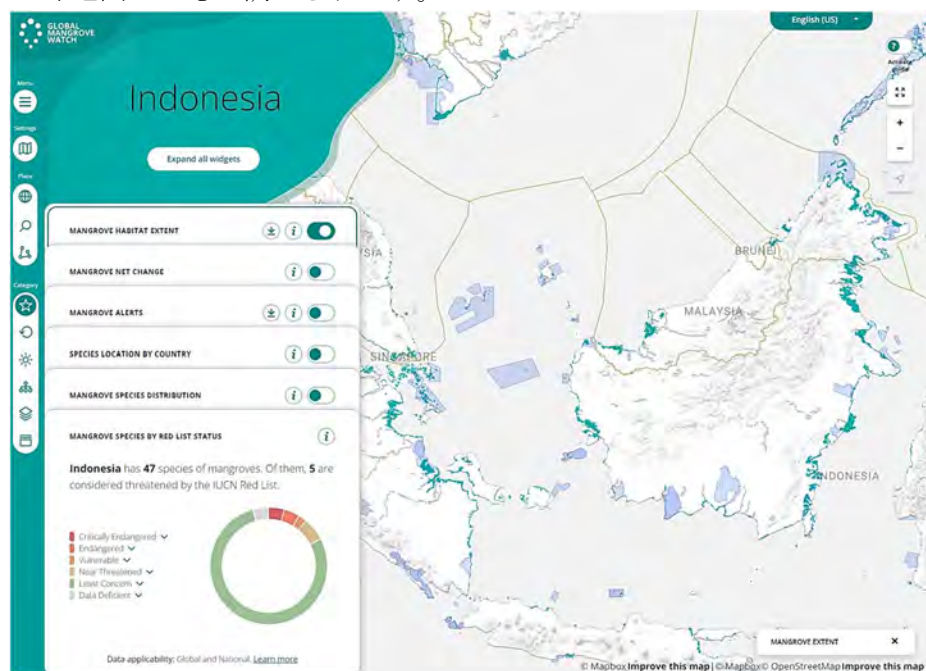


図2-7. グローバル・マングローブ・ウォッチの画面

3章 マングローブの多面的機能

マングローブは森と海、双方の特徴を持ち合わせた生態系であり、様々なサービスを産み出しています。国連が主導した「ミレニアム生態系評価」では、生態系のもたらすサービス（生態系サービス）は「供給サービス」、「調整サービス」、「生息・生育地サービス」、「文化的サービス」の4つに分類されます（図3-1）。本書で主に着目するマングローブの防災・減災機能は、これらのうちの「調整サービス」に含まれます。本章では、マングローブの防災・減災機能を生態系サービスの観点から概説した後に、その他のマングローブの持つ多面的機能をこれら4つの分類に基づいて紹介します。

図3-1. ミレニアム生態系評価に基づく4つの生態系サービス
TEEB報告書普及啓発用パンフレット 「価値ある自然」 環境省 (2024)

生態系サービスの分類		
供給サービス	1	食料（例：魚、肉、果物、きのこ）
	2	水（例：飲用、灌漑用、冷却用）
	3	原材料（例：繊維、木材、燃料、飼料、肥料、鉱物）
	4	遺伝資源（例：農作物の品種改良、医薬品開発）
	5	薬用資源（例：薬、化粧品、染料、実験動物）
	6	観賞資源（例：工芸品、観賞植物、ペット動物、ファッション）
調整サービス	7	大気質調整（例：ヒートアイランド緩和、微粒塵・化学物質などの捕捉）
	8	気候調整（例：炭素固定、植生が降雨量に与える影響）
	9	局所災害の緩和（例：暴風と洪水による被害の緩和）
	10	水量調整（例：排水、灌漑、干ばつ防止）
	11	水質浄化
	12	土壌浸食の抑制
	13	地力（土壌肥沃度）の維持（土壌形成を含む）
	14	花粉媒介
	15	生物学的コントロール（例：種子の散布、病害虫のコントロール）
生息・生育地サービス	16	生息・生育環境の提供
	17	遺伝的多様性の維持（特に遺伝子プールの保護）
文化的サービス	18	自然景観の保全
	19	レクリエーションや観光の場と機会
	20	文化、芸術、デザインへのインスピレーション
	21	神秘的体験
	22	科学や教育に関する知識

【生態系サービスとしてのマングローブの防災・減災機能】

マングローブは、沿岸部における自然災害を最小限に抑えるバリアとして機能しています。例えば、インドでのサイクロン（Super Cyclone Amphan, 2020）やフィリピンでの台風（Typhoon Haiyan, 2013）では、マングローブが被害を軽減する役割を果たしたと報告されています（Chowdhury

et al. 2021, Kamil et al. 2021)。これは、マングローブが波や風のエネルギーを減衰させているためです。そのため、マングローブの防災・減災機能は、主にマングローブの量によって決まります。マングローブの林帯幅（海側林縁から陸側林縁までの距離）は減災機能を決定する最も重要な要素で、林帯幅が大きいほど波の減衰機能は大きくなります（Kamil et al. 2021）。これは、林帯幅が大きくなると、波に対するマングローブの抵抗だけでなく、海底との摩擦も増加するためです（図3-2）。さらに、マングローブのバイオマスが大きいほど、つまり樹木が高く太く密集しているほど、波や風に対する抵抗力も高まります。そのため、防災・減災のためには、林帯幅を広くし、植栽密度を高め、成長が良くバイオマスが増加する樹種を選ぶ必要があります。また、*Rhizophora*属が他のマングローブよりも効果的に波を減衰させることができることも知られています。その複雑な根の構造が波との摩擦を増し、抵抗力を高めるためです。このように、マングローブは防災・減災機能を通じて地域の災害を和らげる重要な生態系サービス（図3-1. 9番：局所災害の緩和）を提供しています。

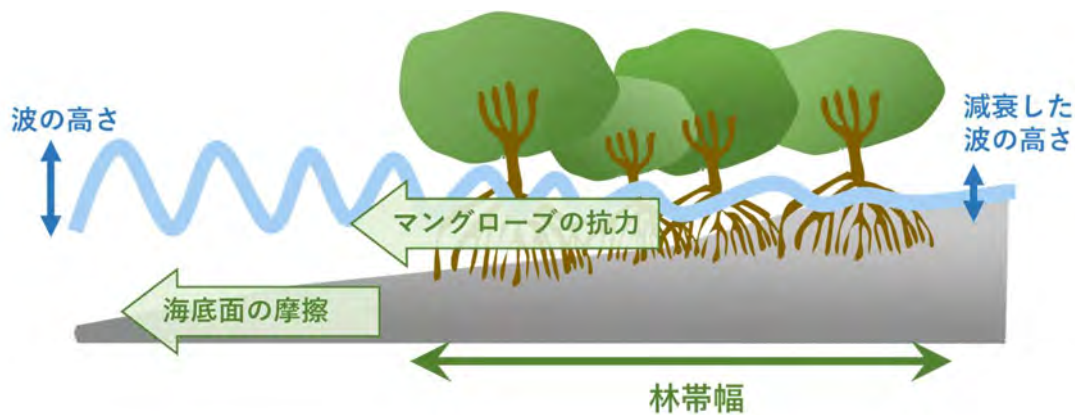


図 3-2. 林帯幅と波の減衰機能の関係。林帯幅が大きいほど、マングローブの抵抗力・海底面の摩擦が大きくなり、波の減衰機能は大きくなる。Kamil et al. (2021)を改変。

【マングローブのその他の主な多面的機能】

炭素蓄積機能（調整サービス）

地球温暖化の主要原因は、人間活動による二酸化炭素の放出による大気中の濃度上昇と考えられています。マングローブは、成長過程で二酸化炭素を吸収し、木の中に炭素を蓄積するため、地球温暖化の緩和に役立っています。マングローブの生産性は高く、成長速度は熱帯の湿潤林に匹敵します。また、マングローブの土壌にも多くの炭素が蓄積されており、他の生態系と比較しても非常に高い炭素保持能力があります。既往の研究によると、マングローブの面積あたりの土壌炭素蓄積量は、陸上の森林と比較して約5倍も多いとされています（Donato et al. 2011）（図3-3）。これは、マングローブの根の成長速度が速いためと考えられています（Ono et al. 2022）。マングローブは、その高い炭素蓄積効率と長期的な貯留能力から、国際的な炭素算定メカニズムに組み込まれることも増えています。パリ協定では、各国が自らが設定する温室効果ガスの排出削減目標（国が決定する貢献「Nationally Determined Contributions : NDC」）を5年毎に提出・更新することが義務付けられていますが、これを達成するため、多くの国々がマングローブの劣化を抑え、保全と回復に投資することを約束しています（Uddin et al. 2023）。

土壌形成機能・浸食抑制機能・水質・環境浄化機能（調整サービス）

マングローブは自身の独特でかつ複雑な呼吸根の形態構造によって流れてきた土砂を捕捉し

堆積させる機能（土壌形成機能・浸食抑制機能）を有しています。こうした機能は、沿岸域の護岸や地力維持だけでなく、マングローブ自らが生息する地盤の確保にも役立っています。

また、マングローブ生態系は、水中に存在する栄養塩や有機物を取り除き、河口域の水質を維持することに大きく貢献しています。この機能には、マングローブによる栄養塩の吸収だけでなく、マングローブ生態系に生息する微生物による浄化も含まれます。この浄化機能を利用して、河口水域に排水を放出する前に、エビ養殖池などの排水から窒素やリンを取り除くフィルターとしてマングローブを活用する方法も提案されています（Robertson and Phillips 1995）。さらに、マングローブは河口域の廃水から重金属や有機汚染物質を取り除く能力も持っています。マングローブは陸域の植物と比べて塩分を除去する能力が高いため、この根が塩分を除去する機能に焦点を当てた新しい淡水生成方法の研究も進行中です（Kim et al. 2016）。

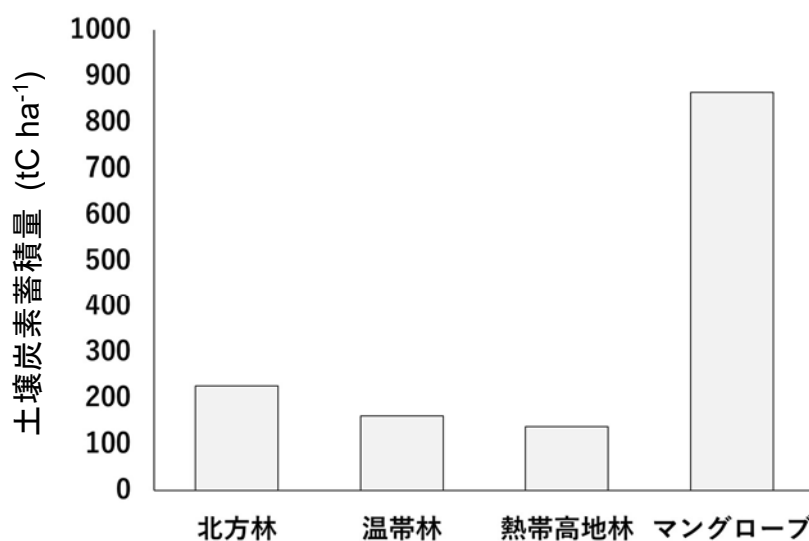


図3-3. 世界のマングローブにおける土壌中の炭素蓄積量と主要な森林との比較。Donato et al. (2011)を改変。値は根の炭素量を含む。マングローブのデータはインド太平洋のデータ。

生物多様性保護機能（生育・生息地サービス）

汽水域に生育するマングローブは、水辺の生態系や海岸の生態系、そして陸地の生態系と密接に関わり合っています。そのため、海洋、淡水、陸地の多様な動植物が生息する場所として機能しています。マングローブは、多くの魚類や甲殻類に産卵場所や捕食者から避難するための安全な場所を提供するとともに、多くの鳥類に営巣地や生息地を提供しています。また、潮の満ち引きが繰り返されることによって、栄養が豊富な環境となるとともに、マングローブから供給される有機物を餌とする多くの生物を養っています。このようなマングローブを中心とした生態系には、動植物だけでなく、豊富な無脊椎動物や微生物群集も生息しており、高い生物多様性を誇っています。

木材・海産資源生産機能（供給サービス）

マングローブは木材や海産資源を始めとした多くの資源を供給しています。地域の人々にとっては、家の柱材や栈橋などの建築材料として、また炊事用の薪炭材としても、マングローブは欠かせない存在です。マングローブの薪や炭は、地域の人々が家庭で使うだけでなく、商業

的にも広く生産されています。日本のバーベキューでよく使われる炭の多くも、マングローブから作られています。マングローブの中には、葉、芽、果実、苗木が食用として利用されているものもあります。東南アジアの土産物屋に行くと、マングローブの蜂蜜やお茶なども売られています。マングローブは、古くから沿岸の人々によって薬草や伝統医療に利用されており、特に地元の製薬会社で活用されてきました。例えばインドでは、*R. mucronata*の葉が狭心症に、*B. gymnorrhiza*の葉が下痢や血圧の薬として、準マングローブ種のシマシラキ (*E. agallocha*) の葉がハンセン病に用いられてきました (Vinoth et al. 2019)。このように、マングローブは沿岸地域社会に幅広いサービスと生産物を提供しています。

マングローブはまた、海産資源の重要な供給源としても機能しています (図3-4)。特に、マングローブは商業的に重要な魚種の稚魚の保育生息地として機能しています。これまでの研究では、マングローブには干潟や藻場など他の生息地には見られない多くの魚の幼魚が見られると報告されています。この理由については、主に2つの要因が挙げられます。まず、マングローブの高い生産性により、豊富な餌が生まれ、それが魚の数と多様性につながる事が挙げられます。もうひとつの理由は、稚魚がマングローブ内の複雑な根の間に隠れて捕食者を避けることができるというものです (Laegdsgaard and Johnson 2001)。



図3-4. マングローブ内の運河で漁をする地域住民

観光・文化資源提供機能（文化的サービス）

マングローブは観光資源としても有用であり、レクリエーション活動が盛んに行われています。マングローブのレクリエーション活動には、バードウォッチングやジュゴン・クロコダイルなどの野生動物ウォッチングを目的としたハイキングやボート遊び、釣りなどがあります。マングローブの観光とレクリエーションは、数十億ドル規模の産業と見なされており、人気のあるマングローブには、年間何十万人もの観光客が訪れています (Spalding et al. 2019)。また、これによりマングローブは、人々の生計、福祉、雇用などの社会的サービスや、教育、リラクゼーションなどの文化的サービスも提供しています (図3-5)。



図3-5. フィリピン・パナイ島のマングローブエコパーク

4章 高潮被害に対するマングローブの防災・減災機能の発揮に向けて

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けれども、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します。ただし、堤防の前線にマングローブがあった場合には、マングローブの幹、枝、呼吸根など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の高さを低減し、被害を軽減することができます。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、林帯幅を求めるためのマングローブの広がりや、波の方向に対するマングローブの投影面積を算出するための林分の平均直径、平均樹高、樹種ごとの樹形、立木密度などが必要となります。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ます。

【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、これを高潮といいます。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ます。

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す。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ます（図4-1）（気象庁ホームページより）。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ます（IPCC 2014）。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ります。

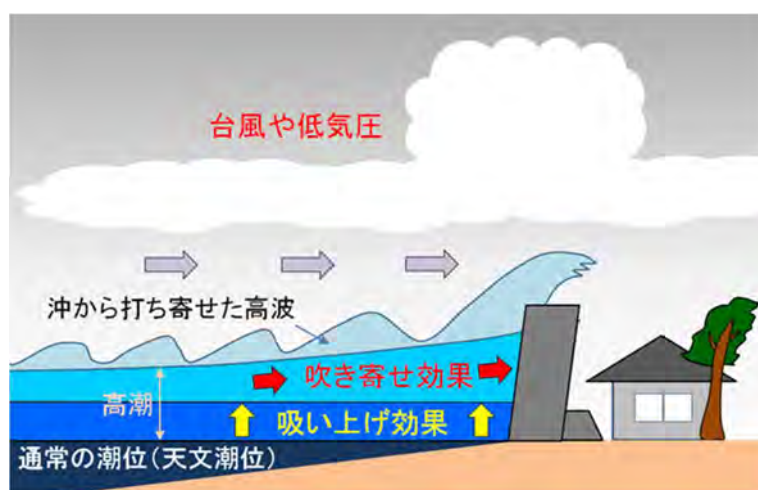


図4-1. 潮位、高潮、高波による被害の発生（気象庁ホームページより）

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、被害が大きくなります。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、マングローブがない場合には、高波による海水が陸地に浸水してきて被害が発生しますが、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ます（図4-2）（Mazda et al. 1997）。

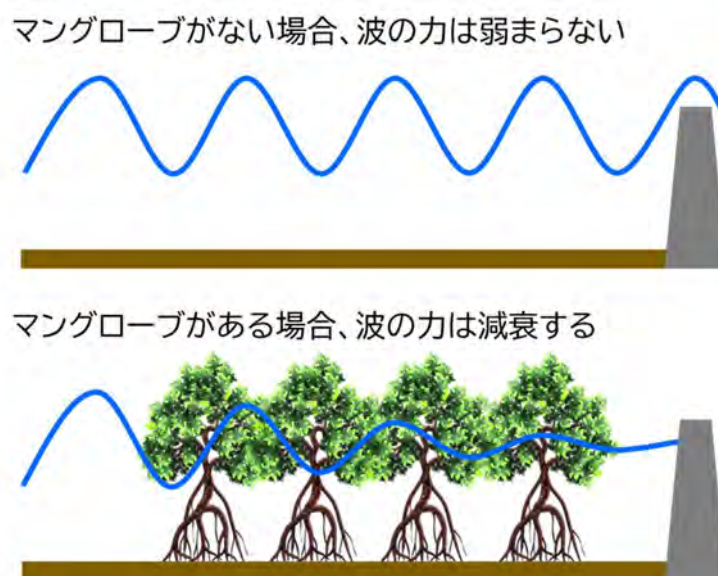


図4-2. マングローブによる波の減衰 （Mazda et al. 1997）を改変

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します。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します（図4-3）（Kamil et al. 2021）。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因子です。

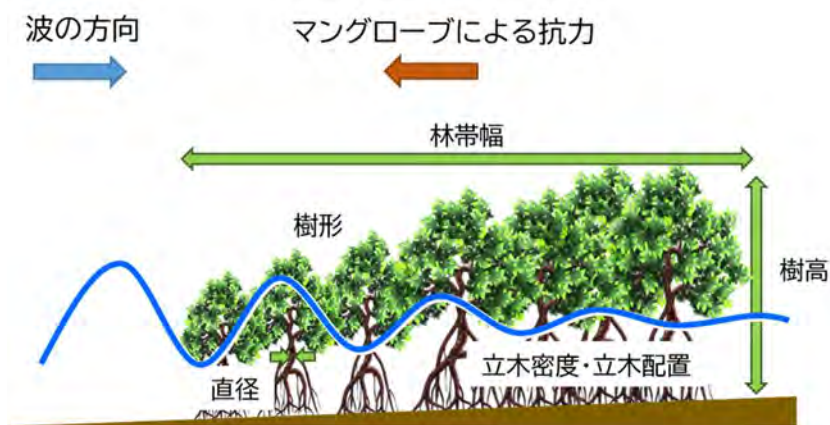


図4-3. マングローブの防災・減災機能に影響する要素 （Kamil et al. 2021）

【マングローブの防災・減災機能の評価の手法】

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す。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です。以上の情報は、地上調査によって広域に取得するのは困難であることから、リモートセンシングを用いた手法が有効です。

(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して算出します。高分解能衛星の分解能の定義は様々ありますが、分解能が30mのLandsat衛星や分解能が10m(モノクロ)と20m(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が可能です。これらのデータは無償で入手できます。また、手順(5)の立木密度を推定する際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でしょう。

(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します。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的に即した結果が得られ、対策にも反映させやすくなります。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します(図4-4)。

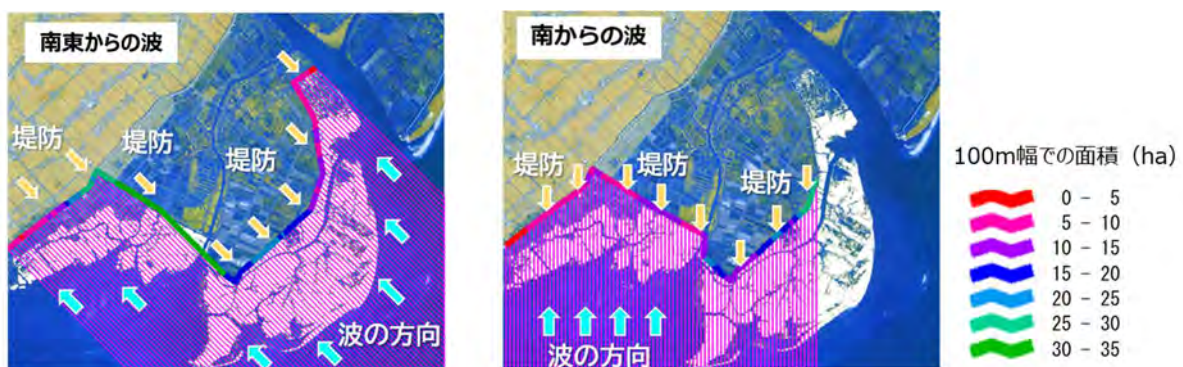


図4-4. 100 m幅での波の方向に対する堤防までのマングローブの面積の算出
ベトナム・スアントウイ国立公園における事例

(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ますが、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す。そこで、高分解能衛星データのテクスチャ情報など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います。

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

(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ます。この場合、立地の違いが影響することがあり、留意が必要です。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ます。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します。

(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す。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ます。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ますが、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ります。

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ります。

(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、高波が減衰させる度合いの指標となります。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ますが、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、実用的ではありません。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ります。

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100m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します。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します。

5章 自然を活用した解決策(Nature-based Solutions:NbS)とマングローブ保全・再生の動向

自然を活用した解決策（Nature-based Solutions : NbS）とは、気候変動、防災、水・食料資源の持続的利用、生物多様性の維持、貧困対策などの様々な社会的課題の解決のために、地形、地質、水循環、動植物など、その場所の自然の特性を踏まえたアプローチで進める活動の総称（環境省自然環境局 2022）で、国際自然保護連合（IUCN : International Union for Conservation of Nature）や世界銀行などの実務者が提唱した概念です。NbSには、①複数の社会課題の同時解決に繋がる、②住民の暮らしの質（Quality Of Life）や地域の魅力向上に寄与する、③国レベルの、あるいは世界的な社会課題解決にも貢献できる、④初期導入コストを抑えられる、⑤状況の変化に合わせて柔軟に対応できる、⑥自由度が高い選択肢と将来に豊かな資源とを残せる（後悔の少ないアプローチ）などの利点が挙げられています。

2章で紹介したように、20世紀後半からの急速な開発や土地利用の転換により膨大な面積のマングローブが劣化し、喪失しました。その一方で、マングローブの保全・再生の取り組みが世界各地でなされてきました（表5-1および5-2）。特に、近年の社会的課題解決に対してNbSを推進する世界的な潮流を背景に、マングローブの保全・再生についても「災害リスク軽減」や「気候変動への緩和・適応」を目的としたNbSとして活動に取り組まれる事例が増えています。本項では、日本の民間団体等によって、これまでに組織的に熱帯・亜熱帯地域で展開されてきたマングローブの保全・再生に関するNbSの取り組み活動の一部を紹介します。

【気候変動緩和、沿岸生態系保全を目的としたマングローブを活用した NbS事例】

2009年の国連環境計画（UNEP : United Nations Environment Programme）の報告書では、沿岸域のマングローブを含む海洋生態系において光合成によって取り込まれた炭素を「ブルーカーボン」と呼び、このブルーカーボンを新たな吸収源対策の選択肢として提示しました（Nellemann et al. 2009）。3章で紹介したように、マングローブは他の生態系に比べ高い炭素蓄積能を有する（Donato et al. 2012, Alongi et al. 2020など）ことから、マングローブは気候変動対策の観点から世界的に大きな社会的関心を集めています。

2015年のCOP21（Conference of Parties 21 : 国連気候変動枠組条約第21回締約国会議）では、2020年以降の国際的な気候変動対策の枠組みとして、先進国・途上国問わず全ての国が参加する公平かつ実効的な法的枠組みであるパリ協定が採択されました。パリ協定では全ての参加国と地域に、2020年以降の温室効果ガス削減目標である「国が決定する貢献（Nationally Determined Contributions : NDC）」を定めることを求めています。各国が表明したNDCに関して、浅海域あるいはブルーカーボンの活用を言及している国は多く、緩和効果については28カ国、適応効果については59カ国に上ります（堀・桑江 2017）。さらに、米国やオーストラリアなどでは、IPCCの湿地ガイドラインに基づき温室効果ガス吸収量を算定し、国家温室効果ガス（Greenhouse Gas : GHG）排出・吸収インベントリに計上しています。日本政府は、マングローブによる吸収を差し引いたGHG排出量を報告していましたが、21年度分からはブルーカーボンとしての吸収量を差し引いてGHGインベントリに計上するようになりました。

こうした背景の下、1980年代以降、気候変動対策や沿岸生態系保全を目的としたマングローブ保全・再生に関するNbSの取り組みが、世界各国で多数取り組まれてきました（表5-1）。「持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals:SDGs）」では、マングローブの保全・再生に向けた取り組みは「13. 気候変動に具体的な対策を」だけでなく、地域住民、地域社会との協働を通じて「14. 海の豊かさを守ろう」や「15. 陸の豊かさを守ろう」、さらには「1. 貧困をなく

そう」や「2. 飢餓をゼロに」、「11. 住み続けられるまちづくりを」などにも貢献するものです。そうしたことから、東京海上グループやリコー・ジャパン、商船三井などの日本企業やACTMANG (Action for Mangrove Reforestation: マングローブ植林行動計画) やISME (International Society of Mangrove Ecosystems: 国際マングローブ生態系協会) などの民間団体はマングローブ保全・再生活動に積極的に取り組んでいます。

表5-1. 気候変動対策、沿岸生態系保全を目的としたマングローブ保全・再生に関するNbSの取り組み事例

国名	プロジェクト名	NbSの取組概要	実施母体	実施期間	出典
アラブ首長国連邦、オマーン国、クウェート国、サウジアラビア王国、パキスタン・イスラム共和国	アラビア湾岸のマングローブ植林	砂漠にマングローブを育てるための植林	砂漠に緑を	1983～1988	向後(1988), 向後(2014)
インドネシア共和国	インドネシアにおけるマングローブ植林のボランティア活動	マングローブ林の保護・再生のための植林	日本財団	1985～1991	日本財団HP
パキスタン・イスラム共和国	パキスタンでのマングローブ生態系保護のための植林、苗畑整備およびパキスタン・ミヤニワにおけるマングローブ植林協力	マングローブ生態系保護のための植林	ISME (International Society of Mangrove ecosystems: 国際マングローブ生態系協会)	1994～1997	馬場・北村(1999), 国際マングローブ生態系協会HP
エクアドル共和国	サンチアゴ マタヘ河口域におけるマングローブ植林	劣化マングローブ林の修復・再生	ACTMANG (Action for Mangrove Reforestation: マングローブ植林行動計画)	1994～2003	望月(2002)
ベトナム社会主義共和国	カンザー地区におけるマングローブ植林	劣化マングローブ林の修復・再生	ACTMANG	1995～	望月(2002)
セネガル共和国	西アフリカにおけるマングローブ生態系回復のための植林事業	マングローブ苗畑造成および植林	ISME	1997	馬場・北村(1999), 国際マングローブ生態系協会HP
フィリピン共和国	SDGsの活動を広げるマングローブ植林	沿岸域環境再生のためのマングローブ植林	イカオ・アコ	1997～現在	リコー・ジャパンHP, イカオ・アコHP
アラブ首長国連邦	アラブ首長国連邦アブダビ首長国におけるマングローブ植林	植林計画の事前調査、試験的マングローブ植林、新たな植栽方法検討に係る調査	ISME	1999～2001	国際マングローブ生態系協会HP, ジャパン石油開発HP
ミャンマー連邦共和国	イラワジデルタにおけるマングローブ植林	乱伐と違法な水田開発による荒廃マングローブ林の再生	ACTMANG	1999～現在	望月(2002)
タイ王国	マングローブ植林プロジェクト (ランーン)	エビ養殖池等への転換地からのマングローブの再植林	OISCA (The Organization for Industrial, Spiritual and Cultural Advancement-International: オイスカ)	1999～現在	東京海上グループHP, オイスカHP
ベトナム社会主義共和国	カンザー地区におけるマングローブ植林	マングローブ再植林事業および保育・管理作業、成長経過モニタリング作業	南游の会	2001～現在	南游の会HP
ブラジル連邦共和国	草の根パートナー型事業"ブラジル国北部の沿岸の荒廃マングローブ生態系復元事業"、住民主導によるマングローブ生態系修復への協力、ブラジル連邦共和国パラ州ブラカンサ郡内における住民主導によるマングローブ生態系修復	荒廃したマングローブ林の再生および環境教育事業	ISME、JICA (Japan International; Cooperation Agency: 国際協力機構)	2005～2007、2008、2009	国際マングローブ生態系協会HP
マレーシア	マレーシア・サバ州におけるマングローブ植林活動	違法伐採による劣化マングローブ林の再生および野生生物保護・生物多様性保全の観点からのマングローブ植林	ISME	2011～現在	国際マングローブ生態系協会HP, 東京海上グループHP
セネガル共和国	ブティ・コートおよびサルム・デルタのマングローブ保全および持続的利用のための調査・管理計画策定	マングローブの持続的管理に係る調査およびマングローブ林持続的管理計画策定	JICA	2012～2014	国際協力機構(2015)
インドネシア共和国	SDGsの活動を広げるマングローブ植林	劣化マングローブ林の再生	ワイエルフォレスト株式会社	2006～現在	リコー・ジャパンHP, ワイエルフォレストHP
モーリシャス共和国	生態系保全・再生と持続可能な利活用への技術支援と人材育成	マングローブ生態系の保全再生と持続可能な利活用および人材育成	ISME	2022～現在	国際マングローブ生態系協会HP, 商船三井HP

【沿岸災害リスク軽減を目的としたマングローブを活用した NbS 事例】

気候変動に伴う海面上昇や強大化した台風の頻発により沿岸域の災害リスクが増加しつつある状況の中、海岸林やマングローブ、サンゴ礁などで構成される沿岸生態系が持つ防災・減災機能への期待が高まっており、マングローブを含む沿岸生態系の保全・再生に対しても関心が集まっています。マングローブを含む沿岸生態系が持つ波の減衰機能に関しては波の観測やモデルを使った数値シミュレーションにより定量評価が行われており、マングローブ前縁に分布するサンゴ礁による海底の高まりやマングローブの複雑な樹形（特に支柱根、呼吸根）によって波のエネルギーが減衰されることが報告されてきました（Kamil et al. 2021, Guannel et al. 2016, Spalding et al. 2014など）（4章参照）。また、2004 年インド洋大津波などの経験から、マングローブが津波被害の軽減に効果があったとの報告もあります（Forbes and Broadhead 2007, Yanagisawa et al. 2009）。

こうした科学的知見を背景に、近年、沿岸災害のリスク軽減を目的としたマングローブの保全・再生に関するNbSの取り組みは、マングローブ生態系の分布コア地域である熱帯アジア地域を中心に活発となっています（表5-2）。企業や民間団体のCSR（Corporate Social Responsibility：企業の社会的責任）活動の内容も、単なる劣化マングローブの保全・再生から気候変動対策、そして沿岸域の防災・減災へと、時代の変遷とともにその目的が多様化してきていることがみてとれます。

ただし、マングローブなどの自然を活用した沿岸域の防災・減災には限界があることから、従来沿岸域の防災・減災に一役を担ってきた堤防や防波堤、消波ブロックなどのコンクリート構造物と組み合わせマングローブや海岸林などの防災林を配置することが提案されています（鶴田他 2021）。また、それらを組み合わせ配置する事例も見られます（図5-1）。これは、これまでコンクリート構造物（グレーインフラ）のみで対応してきた災害などの脅威に対し、その一部を防災林（グリーンインフラ）にも担ってもらい、なおかつ平時には自然の恵みを享受しようというものです。グレーインフラ、グリーンインフラ双方の特性（メリット、デメリット）を理解し、相互に補完しあう形で適切に組み合わせ導入することが肝要であり、グレー・グリーンインフラのベストミックスのための技術開発が各国で模索されています。



図5-1. 沿岸域におけるグレー・グリーンインフラ組み合わせ事例

左：消波ブロック＋マングローブ、右：堤防＋クロマツ林

表5-2. 沿岸災害軽減や沿岸保全を目的としたマングローブ保全・再生に関連するNbSの取り組み事例

国名	プロジェクト名	NbSの取組概要	実施母体	実施期間	出典
タイ王国	タイ電力公社森林再生プロジェクト	水源林、マングローブ、コミュニティフォレスト等の植林と保全・再生・維持管理を通じた企業イメージ向上のためのCSRプロジェクト	NDPMC (National Disaster Prevention and Mitigation Committee : タイ国家防災・減災委員会)、RFD (Royal Forest Department : タイ王室林野局)	1982～現在	森林総合研究所 REDDプラス・海外 森林防災研究開発センター(2022)
バングラデシュ共和国	マングローブ植林プロジェクト (チッタゴン)	サイクロン災害の軽減を目的とした、荒廃マングローブ林の再生	OISCA	1992～現在	東京海上グループ HP, オイスカHP
インドネシア共和国	マングローブ植林プロジェクト (インドネシア)	高波等による海岸浸食防止を目的としたマングローブ植林	OISCA	1990～現在	東京海上グループ HP, オイスカHP
フィジー諸島共和国	マングローブ植林プロジェクト (フィジー)	海岸浸食防止を目的としたマングローブ植林	OISCA	1993～現在	東京海上グループ HP, オイスカHP
ベトナム社会主義共和国	ベトナム災害対策事業	海岸部へのマングローブ植林やその維持管理を通じて、住民によるマングローブ林の保護効果に関する理解共有の深化と、住民生計の向上、およびマングローブ林による保護効果の向上など	デンマーク赤十字社、 日本赤十字社、 ベトナム赤十字社	1997～2017	森林総合研究所 REDDプラス・海外 森林防災研究開発センター(2021)
モルディブ共和国	モルディブ共和国でのマングローブ植林活動、島嶼国での住民の命と生活を守るための海岸防災林の造成	海岸線保全を目的としたマングローブ植林	ISME	2002～ 2004、2006 ～2008	国際マングローブ生態系協会HP
ミャンマー連邦共和国	エーヤワディ・デルタ住民参加型マングローブ総合管理計画	エーヤワディ・デルタ内にマングローブ苗木の植栽、マングローブ林の持続的な管理と住民生活の貧困緩和のための体制構築	JICA	2004～2007	森林総合研究所 REDDプラス・海外 森林防災研究開発センター(2021)
フィリピン共和国	南ルソンマングローブ植林プロジェクト	台風、高潮災害軽減を目的としたマングローブ植林	OISCA	2004～現在	東京海上グループ HP, オイスカHP
インド共和国	インド・グジャラート州のマングローブ植林活動	海岸浸食の緩和、雇用機会の提供、生物多様性の保全を目的としたマングローブ植林	ISME	2009～現在	国際マングローブ生態系協会HP, 東京海上グループHP
キリバス共和国	キリバス共和国・タラワ環礁でのマングローブ植林活動	海面上昇に伴う海岸浸食の緩和を目的としたマングローブ植林	ISME	2010～現在	国際マングローブ生態系協会HP, コスモ石油HP
インドネシア共和国	マングローブ生態系保全と持続的な利用のASEAN地域における展開	マングローブ管理センターの行政組織化、マングローブの持続的管理、環境教育、エコツーリズム、リモートセンシング等の技術普及のための管理体制等の構築	JICA	2011～2014	森林総合研究所 REDDプラス・海外 森林防災研究開発センター(2021)
タイ王国	Ecosystem Protection Infrastructure and Community Projects (EPIC : 生態系保護インフラと地域社会プロジェクト)	サイクロン、高潮、津波等の沿岸災害に対する強靱性の構築を目的とした、エビ養殖等で劣化したマングローブ林のコミュニティベースでの再生	IUCN (International Union of Conservation of Nature and Natural Resources : 国際自然保護連合)	2012～2017	森林総合研究所 REDDプラス・海外 森林防災研究開発センター(2022)
フィリピン共和国	災害に強い、森に守られた地域社会づくりプロジェクト	台風による大波軽減を目的としたマングローブ植林 (レイテ島) と、水源林再生のための植樹	OISCA	2015～2018	オイスカHP
フィリピン共和国	台風の影響を受けた沿岸生態系の生物多様性保全による持続可能な沿岸保護プロジェクト	マングローブと沿岸森林資源に焦点を当てた災害後の復旧技術支援、マングローブの苗木生産と植林技術ガイドの提供、海洋保護区とマングローブ林エコパーク化の推進等	DENR (Department of Environment and Natural Resources : フィリピン政府環境天然資源省)、GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit : ドイツ国際協力公社)	2018～2021	森林総合研究所 REDDプラス・海外 森林防災研究開発センター(2022)
インド共和国	インド沿岸域の自然生態系の保全回復と機構への強靱性強化	マングローブや海藻等の自然生態系の保全・回復と気候に適応可能なバリューチェーンの構築	GCF (Green Climate Fund : 緑の気候基金)	2019～2025	森林総合研究所 REDDプラス・海外 森林防災研究開発センター(2022)

執筆：小野 賢二

6章 地域住民への意識調査とプロジェクト実施に必要な人的資源などの評価

本章は、本書の利用者が、防災・減災を主眼としたマングローブの保全・再生プロジェクトにおいて、現地の利害関係者、とくに地域住民の意向や社会・経済状況を考慮する際の一助となることを目的とします。そこで、まず、防災・減災におけるマングローブの役割についての地域住民の意識調査の必要性について説明します。次に、一般的にマングローブの保全・再生プロジェクトを実施する際に求められる意識調査の方法を説明し、プロジェクト実施に必要な人的・物的資源の評価項目を概観した後、最後にこれらを進める際の注意点を示します。

【地域住民への意識調査の必要性】

近年の社会的課題解決に対する世界的な潮流を背景に、マングローブの保全・再生が「災害リスク軽減」や「気候変動への緩和・適応」を目的とした「自然を活用した解決策」（以下、NbS）^{*1}として推進される事例が増えています（詳しくは5章をご覧ください）。一般的にNbS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重要です（Anderson and Renaud 2021）。

NbSの一つであるマングローブの長期的な管理には、現地の利害関係者、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す。マングローブの民族生物学・社会経済学・管理についての総説（Walters et al. 2008）によれば、マングローブ再生プロジェクトの成功は、地域社会や自治体の支援および関与の度合いに強く依存しており、地域住民を植林労働力としてのみ利用し、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場合、成功は厳しいとされています。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（Datta et al. 2012）では、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ます。

このため、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（詳しくは3章をご覧ください）、その利用方法に配慮しながら気候変動への適応や自然災害の防災・減災機能を強化する方法を探ることが重要です。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ります。

^{*1} 環境省の令和5年版環境・社会・生物多様性白書（環境省 2023）によれば、自然を活用した解決策（NbS：Nature-based Solutions）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」と定義されています。

【プロジェクトでの意識調査の方法とプロジェクト実施に必要な資源の評価項目】

一般的に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・再生プロジェクト（以降、プロジェクト）を設計・実施する際に求められる、地域住民を含んだ利害関係者を対象とした意識調査の実施手順と、その結果を基にしたプロジェクト実施に必要な資源の評価は図6-1のような流れになります。以降、この図に沿って説明します。

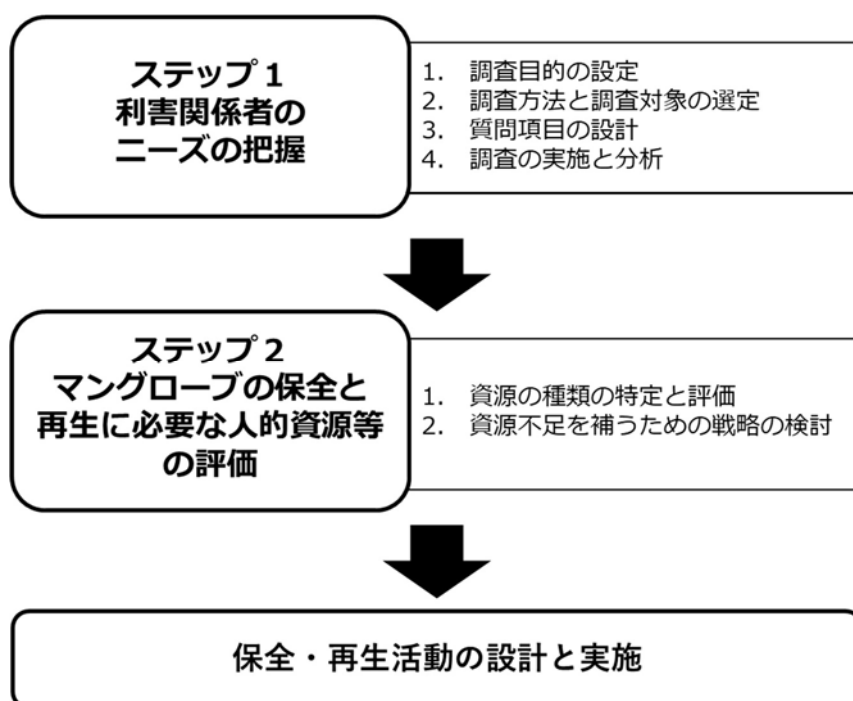


図6-1. マングローブの保全・再生プロジェクトを実施する際に求められる地域住民を含む利害関係者を対象とした意識調査とプロジェクト実施に必要な資源の評価の流れ

ステップ1：利害関係者のニーズの把握

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します。本章は、プロジェクトを実施する際に、地域住民を含む利害関係者のニーズや関心事を把握することを目的として設定しています。

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、キー・インフォーマント・インタビュー (key informant interview) や、フォーカス・グループ・ディスカッション (focus group discussion)、アンケート調査 (questionnaire-based survey)、参加型ワークショップ (participatory workshop) など、なるべく行政当局や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でしょう（詳しくは、Angelsen et al. (2011)、Poverty Environment Network (2007) などをご覧ください）。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ますが、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にいないなどの制約も考慮する必要があります。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ります。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す。

調査対象者には、マングローブ管理や農林水産業を担当する行政関係者、土地の所有者、地

域住民を含めます。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／受ける可能性が高いグループ（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）が対象者に含まれるように配慮します。なぜなら、マングローブの保全・再生の実現可能性は、劣化の程度や生物物理的要因に加え、マングローブの劣化や喪失を招いた社会的・経済的要因や、利害関係者のプロジェクトに対する不安の背景にある社会的・経済的な課題に、プロジェクト活動が対処できるかどうかに依るからです（Beeston et al. 2023）。

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します。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ます。

3. 質問項目の設計

ここでは、プロジェクト実施に向け、事前調査と本調査の二回に分けた意識調査を想定して質問項目の設計について説明します。

事前調査では、本調査でサンプル世帯へのアンケート調査を実施することを念頭に、調査対象地域を決め、同地域における人口や地域住民の生計手段、プロジェクトに対する現地の利害関係者のニーズや関心事を把握する必要があります。このため、事前調査での現地行政当局やプロジェクト関係者への質問には、プロジェクトが対象とする場所の土地所有・保有権とマングローブの利用や管理の権限との関係性はどうなっているのか、プロジェクトのある場所の利害関係者は誰でマングローブに対してどのようなニーズがあるのか、マングローブがある周辺の土地利用の現状はどうなっているのか（入手可能であれば、土地利用地図や集落の位置などの関連地図も入手する）、マングローブの損失・劣化の要因は何かといった項目を含めます。これらの要素について理解することは、より詳細なデータ収集の内容を決定するための重要なステップです。

本調査では、事前調査の結果や先行研究を参考にし、プロジェクト地域や周辺の地域住民の基礎情報（例：家族数／個人数、貧困・所得レベル、教育情報などの重要な社会経済データ、主な生計・経済活動など）、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します。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します。今回は、マングローブの防災・減災の役割に着目していますが、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（詳しくは3章をご覧ください）、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ですので、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ます。質問内容が理解しやすく、地元の人々がスムーズに答えられるように、事前にテストを複数回行うことが望ましいです。

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します。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します。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す。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します。対象者はいつでも同意を取り消すことができます。通常、口頭での説明と同意が行われますが、文書化された同意書を用いて説明し、同意書に署名する

方法も行われます。

また、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^{*2}に相当するものが含まれます。個人情報を保護するためには、データの匿名化と符号または番号の付与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ます。匿名化では、名前や住所などの個人を特定できる情報を削除します。入力された個々のデータに対して個人とは無関係な符号や番号を割り当てることで、元の個人情報を分かりにくくします。さらに、データを集計して統計的に扱うことで、個人を特定できない状態をさらに強化します。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します。

本調査で得られた性別、年齢、職業、居住地などの社会・地理的属性を考慮したデータを収集すると、各グループがどの程度マングローブ保全に関心を持っているかが把握できます。例えば、森林総合研究所がベトナム森林科学アカデミー（Vietnamese Academy of Forest Sciences）と共にベトナム沿岸域の高潮災害に関する調査研究を実施しているスアントゥイ国立公園周辺の調査地^{*3}では、保全・再生対象のマングローブは防潮堤の周辺に広がっており、地域住民は防潮堤の外側（海側）と内側の両方に住んでいます。この調査地は、防潮堤の外側に住んでいるグループの方が内側に住んでいるグループよりも今後の植林活動への参加に肯定的である世帯の割合が高い傾向が見えてきました（図6-2）。

マングローブの利用者の性別や年齢層で、マングローブ資源の利用の仕方の違いが生ずるかどうかの分析も可能です。例えば、男性が伐採に従事し、女性や子どもが採取活動に参加している場合、それぞれの活動の頻度や経済的影響を評価することで、どのような資源が不足しているか、どのグループがより支援を必要としているかが明らかになります^{*4}。さまざまな利用者グループがプロジェクトにどのような影響を及ぼすか／受けるかを理解するためには公開されている生計分析ツールも活用できます^{*5}。

以上のような分析を通じて、地域住民の意識、ニーズ、優先事項、関心事を包括的に理解することができます。これらの情報をもとに、NbSとしてのマングローブ植林プロジェクトを長期的に成功させるための戦略を立てることが可能になります。

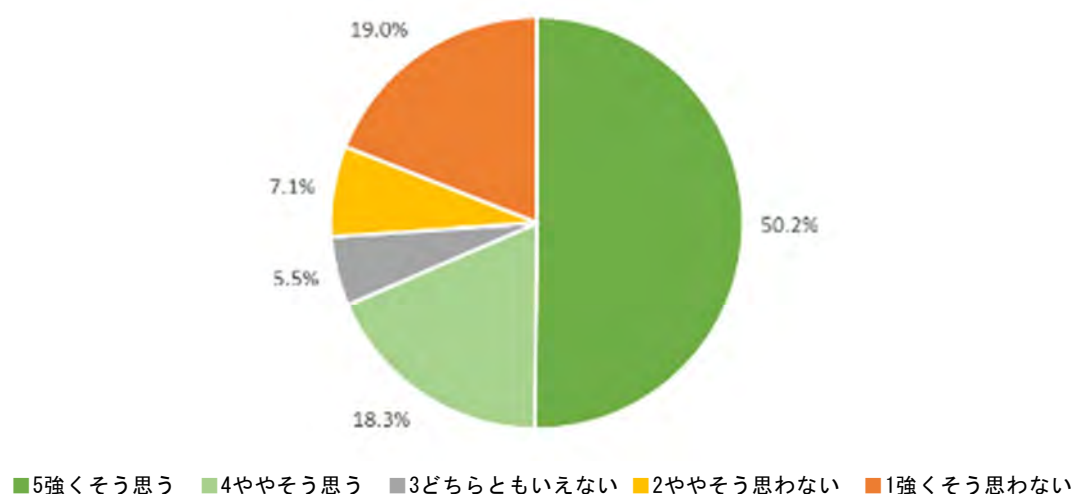
^{*2} 日本では、2003年に制定された「個人情報の保護に関する法律」によれば、個人情報とは「氏名、生年月日その他の記述などにより特定の個人を識別することができるもの」や「個人識別符号が含まれるもの」とされています。

^{*3} 詳しくは、森林総合研究所REDDプラス・海外森林防災研究開発センターのホームページ（<https://redd.ffpri.affrc.go.jp/>）をご覧ください。

^{*4} 例えば、Gender Analysis Toolkit for Coastal Management Practitioners（MFF, SEI, SEAFDEC 2018）、Handbook for evaluating child labour in Agriculture（FAO 2015）といったツールが利用可能です。

^{*5} 例えば、Sustainable Livelihoods Guidance Sheets（DFID 1999）、Livelihood Assessment Tool-kit（FAO and ILO 2009）、Livelihoods Toolbox（Livelihoods Centre, n.d.）などがあります。

今後も機会があればマングローブの植林活動に参加したいですか。



		今後のマングローブ植林活動に	
		肯定的である (5, 4)	肯定的とは言えない (3, 2, 1)
居住地は 防潮堤の	外側	37	6
	内側	176	92

図6-2. ベトナム・スアントゥイ国立公園周辺における住民のマングローブの植林活動に対する意向（ $n = 311$ ）。防潮堤の外側に住んでいるグループの方が内側に住んでいるグループよりも植林活動への参加に肯定的である世帯の割合が高い傾向があった（防潮堤の外側に住んでいる世帯と内側に住んでいる世帯のうち、「強く思う」または「やや思う」と回答した世帯の間のカイ二乗検定、 $p < 0.05$ ）。

ステップ2：マングローブの保全と再生に必要な人的資源等の評価

1. 資源の種類の特定と評価

上記の調査結果などをもとに、プロジェクトに必要な、保全・再生活動参加へのモチベーションの高い地域住民の人数または世帯数、地域住民の労力や技能といった人的資源、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、資金などを評価します。マングローブについての生物・物理的な専門知識（潮汐の浸水やマングローブ帯の形成など）や物的資源の詳細な評価項目については7章をご覧ください。

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します。例えば、人的資源が不足している場合は、地元の労働力を活用するために、地域住民の訓練プログラムを実施し、植林や保全作業のために必要なスキルを習得してもらうことを検討します。経験や現地の専門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協力関係を築きます。

具体的には、地域住民が持つ伝統的な知識を活用し、地元のNGOなどが提供する技術支援や

トレーニングプログラムを活かすことが考えられます。また、政府機関との協力により、法的支援や政策の整合性を図ることができます。さらに、大学や研究機関と連携することで最新の研究成果や技術を導入し、プロジェクトの効果を高めることができます。物的資源や資金不足の場合は、国内外の援助機関や政府の補助金の活用、民間企業などとの協力体制の構築を通じて必要な機材や材料を提供するための資金調達の方法を検討します。

【2つのステップに共通する注意点】

これらのステップにおいては、プロジェクトを成功させるための科学的知見と現場実践には乖離がある点について注意する必要があります。どのような場所にどのようなマングローブ樹種を植栽すればよいかについての自然科学的知見はある程度十分であるにも関わらず (Ellison 2000)、プロジェクト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ります。例えば、フィリピンでは*Rhizophora*が、台風や高潮の影響を受けやすい開けた場所や海沿いの場所には適していないにも関わらず、入手しやすく植栽が容易であるため植栽されることがや、植栽する時期（潮の干満や季節のスケジュール）を考慮しないプロジェクトが少なくないことが報告されています (Camacho et al. 2019)。他にも、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 (Primavera and Esteban 2008)、国や自治体から提供される苗木が自生樹種でない (Pham et al. 2022) といった事例も報告されています。

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ます (Woodhouse 2022, Lewis 2000)。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、元々「マングローブの保全・再生」を目的としていた植林活動が、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ます(筆者の関連事業者へのヒアリング)。このような課題を現場で克服するためには、再生技術を開発する人、その利用を保証する人、そしてそれを利用する人の間のコミュニケーションと管理当局の教育が不可欠です (Lewis 2000) *6。

*6 また、本章の範疇を超えますが、プロジェクトの成功には、景観レベルにおけるプロジェクトサイトの位置づけや将来の気候の変化の考慮といったより広い文脈の理解、具体的な実施計画と資金調達、そしてモニタリングと評価が必要となります。これらの詳細は、Beeston et al. (2023) をご覧ください。

7章 マングローブ保全・再生のための留意点

2章で紹介したように、近年の急速な開発や土地利用の転換によって膨大なマングローブが喪失しました。2000年以降に喪失したマングローブの60%は人為活動によるものであり、そのうちの47%は海産物養殖や農業のための土地利用の転換に起因しています（Spalding & Lean 2021）。マングローブの劣化・喪失は沿岸域における防風・防潮や海岸浸食防止、景観保護、木材・水産資源の提供、炭素隔離などの様々な多面的機能を低下させ、沿岸域で生活する人々の生活に悪影響を与える状況となっています。

こうした事態を背景に、世界各地でマングローブの保全・再生が積極的に取り組まれています（4章参照）。気候変動に伴う海面上昇によりマングローブの分布域縮小・消滅や内陸側への後退が予測される（藤本ら 1989）現在、それぞれの国や場所におけるマングローブの樹種ごとの生育適地や特性を理解して、マングローブの保全・再生を図り、多面的機能を回復していくことが肝要です。既往の研究成果によると、植林する際には、1)生育適地の判定、2)採種法および採種適期、3)育苗、4)植栽の4点について、適切な時期に、適切な方法で行われることがマングローブの保全・再生の鍵となるとされています（国際マングローブ生態系協会 1998、国際緑化推進センター 2022など）。

【生育適地の目安】

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ます。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す（図7-1）。

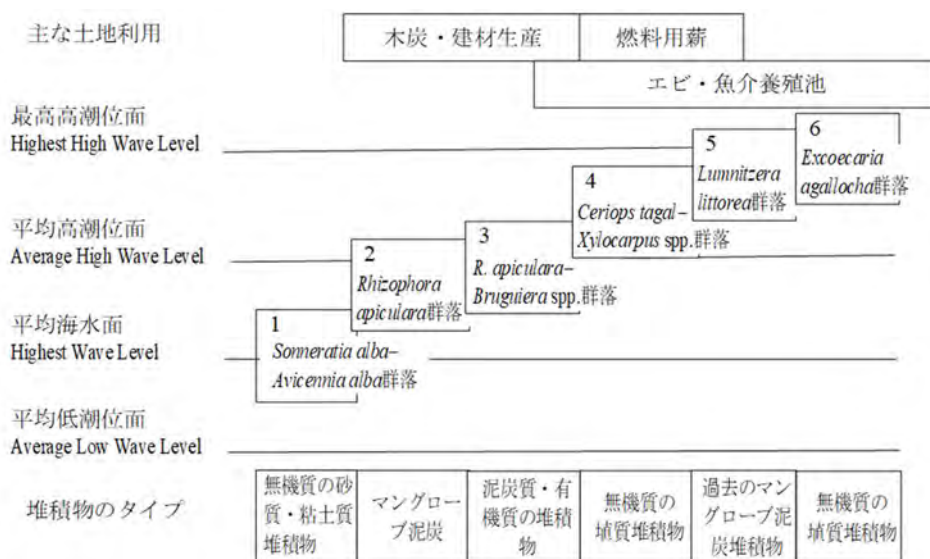


図7-1. 東南アジアにおけるマングローブ群落の垂直分布と潮位・地盤高、堆積物、および主な土地利用との関係（Mochida et al. 1999、宮城ら2003を引用・改変）

樹種により生育適地の立地条件は異なるため、しばしば樹種ごとに帯状分布を示します。沖縄県西表島では、汀線付近の海岸前縁には*Avicennia*や*Sonneratia*が優占し、それらの後背地や河川沿いには*Kandelia*や*Rhizophora*が優占し、さらに内陸側の地盤高が上がったところには*Bruguiera*が優占することが多いとされています（馬場・北村 1999）。地盤高とマングローブ群落の垂直分布の関係（図7-1）からも分かるように、生育適地の立地条件は樹種ごとに異なります。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ありません。図7-1のようなマングローブの植生分布と潮位や地盤高の関係は、実際にマングローブ植林を行う上で参考となる非常に重要な情報ですが、実際には植栽予定地によって植栽可能な樹種、入手可能な樹種が限られ、潮位周期や雨季・乾季で塩分濃度も大きく異なることから、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本格的な植栽に移行するのが肝要です。なお、マングローブの定着・生育への最大の阻害要因は、波による物理的作用です。具体的には波による苗木の流亡や損傷、地盤の浸食、土砂堆積による苗木埋没です。そのため、沿岸域荒廃地でのマングローブ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す（国際緑化推進センター 2022）。

【適切な採種法、採種適期および種子の取り扱い】

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、および採種後の種子の取り扱いが鍵となります。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ります（図7-2）。胎生種子とそれ以外の種子では取り扱いが異なるので注意が必要です。



図7-2. 種々のマングローブ果実と胎生種子

○採種①～胎生種子の場合

前章で紹介したように、一部のマングローブ（ヒルギ科の*Bruguiera*、*Rhizophora*、*Kandelia*などとヤシ科の*Nypa*）は胎生種子を生産します。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の方が効率的です。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とされています（馬場・北村 1999）。

なお、胎生種子の採種適期はそれぞれの樹種や国・地域の気候条件によって異なります。国際マングローブ生態系協会(1998)の報告によると、例えば、沖縄において*Bruguiera*、*Rhizophora*、*Kandelia*の胎生種子の採種時期は、それぞれ2～4月、3～5月、7～8月、西表島の*Avicennia*では9～11月と、日本国内でも樹種により採種適期が異なっています。また、*R. apiculata*の胎生種子

の成熟時期（採種適期）を地域別にまとめてみました（表7-1）。以上のように、樹種や地域ごとに胎生種子の採種適期が異なるので、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と良いでしょう。

表7-1. *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

（馬場・北村 1999より引用・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
プーケット（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

○採種②～胎生種子以外の場合

マングローブのうち、*Sonneratia*や*Lumnitzera*、アオイ科サキシマスオウノキ属（*Heritiera*）などは胎生種子をつけません。*Avicennia*や*Aegiceras*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します。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て植え付けることができますが、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ります。以下に、いくつかの樹種の種子について紹介します。

*S. alba*の果実は成熟すると母樹からすぐに離脱してしまうので、母樹から完熟した果実を採取することは難しいとされます。完熟した果実は柔らかくなっており、落果すると果実内の小さな種子は波で流されてしまうため、野外での大量採種は困難を極めます。一方で未成熟な果実から種子を取り出すことは難しいことも分かっています。そのため、*S. alba*の採種では、未成熟の果実を母樹より採取し、それらをバナナなどの果実と共存させて追熟を促進することによって効率的な採種が可能となります。

付随的なマングローブ構成種であるサキシマスオウノキ（*H. littoralis*）の種子は大型で、果実の種皮は水をはじくので水に浮きます。果実はそのまま苗床に播種することもできますが、発芽には長い時間がかかるので、発芽を誘引するためには果実の中の種子を傷めぬよう果皮の一部を切り取って播種をすると良いでしょう。

*Avicennia*の採種時期は、西表島では9～11月、インドネシア・バリ島では11～3月とされています。西表島は*Avicennia*の分布北限であるため、果実の大きさは18～28 mm程度で、熱帯のものよりややサイズが小さいですが、採種にあたってはできるだけ大きく、黄緑色から黄色っぽく変色し、成熟したもの（そのようなものは種子に触るだけで簡単に落果します）を集めることが肝要です。サイズの小さなものでも播種後数日以内には発根すると言われています。*Avicennia*について、採種後の種子の取り扱いで最も留意すべきは、採種後できるだけ早く種子から果皮を取り除くことです（馬場・北村 1999、国際マングローブ生態系協会 1998）。*Avicennia*には種皮はなく、

種子の外側を覆っているのは果皮です。*Avicennia*の果皮は腐敗の進行が早いため、果皮が付いた状態で置いておくと子葉も腐敗してしまうため、果皮が付いたまま種子を保存することは望ましくありません。*Avicennia*の種子を沢山集めてきたら果皮を無理に取らずに、まずはバケツに半分くらいまで種子をいれ、それに淡水（川の水か水道水、井戸水など）をいっぱいまで満たし、一晩ほど放置して下さい。次の日にはほとんどの種子の果皮が自然に剥皮しています。剥皮した果皮と種子をそのままバケツに一緒に入れっぱなしにすると、子葉が腐敗してしまうので、剥皮後は速やかに取り分けることが望ましいです。剥皮した種子は、苗床かポットに播種し、育苗しましょう。播種後の灌水には海水より淡水の方が発根率、発芽率が良い傾向にあります（馬場・北村 1999）。

○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いてください。このとき、バケツに直接日が当たらないように、日陰に置いておくようにしましょう。日なたにおいておくと、バケツの水が温められて、胎生種子が茹だってしまい、枯死してしまいますので、注意しましょう。

一方で、マングローブの種子も果実も、冷蔵庫では保管しないようにしましょう。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います。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ようです。

【苗畑における育苗】

Tomlinson（1986）の分類によると、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ますが、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す。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ったりするためです。マングローブを育苗する必要性が生じた際には、植栽を予定している地域で育苗技術が確立されている樹種を確認し、それらに準ずるのが良いでしょう。以下では、既往の報告（馬場・北村 1999, 国際協力機構 2015）を参考に、育苗のための苗畑を整備、管理する上での一般的な留意事項について紹介します。

苗畑では潮汐を利用して自然灌水で育苗する場合が多い（図7-3）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、苗畑を設定します。干潮時に苗床に海水が停滞しないよう留意します。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ります。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でしょう。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亡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させたりする必要があります。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ます。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します。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ます。作業性や経費節約の観点から、苗畑近くの容易に入手できる土を用いるのが良いでしょう。



図7-3. 実生苗生産のための苗畑のようす

【植栽】

マングローブの植栽では、胎生種子の収集が容易で苗木の数を揃え易く、また苗木の取り扱いも比較的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まい、留意することが肝要です。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植栽樹種を選びましょう。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注意深く検討し、決定するのが良いでしょう。

参考までに、表7-2に植栽に用いる苗木の植栽方法とその留意点について、苗木の種類別に整理しました。

表7-2. 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、日なた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。

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ります。対策としては、定期的な巡視による付着物などの除去、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ます。

【気候変動進行下におけるマングローブの保全・修復植林】

地球規模での気候変動により世界の平均海面水位は急速に上昇しています。1902～2010年の間に世界の海面水位は0.16 m上昇し、2006～2015年の海面上昇速度は3.6 mm/年との報告がされています(IPCC 2021)。近年の海面上昇速度は直近100年間では例のない早さです。

既往研究において、地形学および地質学的手法によって試算されたマングローブ泥炭の堆積速度の上限値は1～5 mm/年以下と報告されています(Fujimoto et al.2023)。マングローブは潮間帯上部にのみ生育可能な生態系であるため、これらの地盤堆積速度を海面上昇速度が上回る場合、マングローブは生存の危機に曝されることとなります。すなわち、近年の急激な海面上昇に対してマングローブは生存の限界に近付きつつあることが指摘できるでしょう。

一方で、*R. stylosa*は高い細根生産能力を持つことが知られています(例えば、Noguchi et al. 2020, Ono et al. 2022他)(図7-4)。その高い細根生産能力によって自らマングローブ泥炭を生産・蓄積することで*R. stylosa*は地盤高を上昇させ海面上昇に対して生息域を維持しています(Fujimoto et al. 2023)。こうしたことを背景に、“海面上昇速度が5mm/年程度であれば*R. stylosa*はその生息地を維持できる可能性が高い”との指摘もあります(Fujimoto et al. 2024)。また、最近の研究では、タコ足上の根(支柱根)を特徴とする*R. stylosa*は、*Sonneratia*のマングローブより風や波に対する抵抗性が高く、根ごとひっくり返って倒れる「根返り」を起こしにくいとも言われています(Ono et al. 2024)。

気候変動による海面上昇や大型台風による災害リスクが高まる中、マングローブを活用して沿岸部での防災・減災対策を講ずる際には、こうしたマングローブの樹種特性を参考にしながら、植栽すべき樹種の選択や植栽樹種の配置方法などを検討していくと良いでしょう。例えば、伐採や台風による倒木で裸地となった箇所で波や風の影響を受けやすい海岸前縁部には、*Rhizophora*を積極的に植栽し、*Sonneratia*をその後背に植栽するなど、植栽方法を工夫すると良いのかも知れません。

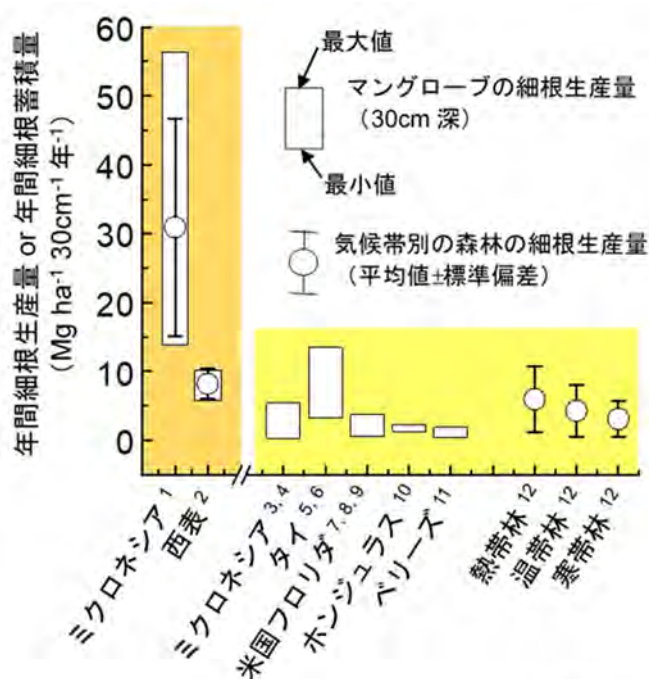


図 7-4: マングローブの年間細根生産量 (または細根蓄積量) ($\text{Mg ha}^{-1} 30\text{cm}^{-1} \text{年}^{-1}$) とマングローブ以外の森林生態系の年間細根生産量 ($\text{Mg ha}^{-1} \text{年}^{-1}$)

著者らの結果

¹Ono et al. (2022), ²Fujimoto et al. (2023)

既往研究の報告値

³Cormier et al. (2015), ⁴Gleason and Ewel (2002), ⁵Noguchi et al. (2020), ⁶Poungpam et al. (2016), ⁷Castaneda (2010), ⁸Castaneda-Moya et al. (2011), ⁹Sanchez (2005), ¹⁰Cahoon et al. (2003), ¹¹McKee et al. (2007), ¹²Finér et al. (2011)

引用文献

【1章】

- 馬場繁幸・毛塚みお・大城のぞみ・馬場花梨・金城あけみ・与那原章・貝沼真美 2024 沖縄のヤエヤマヒルギ (*Rhizophora stylosa* Griff.) の学名と和名について *Mangrove Science* 15:3-8
- 小見山章 2017 マングローブ林 変わりゆく海辺の森の生態系 京都大学学術出版会
- Spalding M, Kainuma M, Collins L 2010 *World Atlas of Mangroves* (version 3.1). A collaborative project of ITTO, ISME, FAO, UNEP-WCMC, UNESCO-MAB, UNU-INWEH and TNC. London (UK): Earthscan, London. 319 pp
- Takayama K, Tateishi Y, Kajita T 2021 Global phylogeography of a pantropical mangrove genus *Rhizophora*. *Scientific Reports*, 11, 7228
- 谷口真吾 2020 北限に分布するマングローブの生理生態と再生 海外の森林と林業 108:43-48
- Tomlinson PB 1986 *The Botany of Mangroves*, Cambridge University Press, Cambridge (UK) 419pp.

【2章】

- FAO 2023a Global effort to safeguard mangroves steps up. FAO News and Media https://www-fao-org.translate.goog/newsroom/detail/global-effort-to-safeguard-mangroves-steps-up/en?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=ja&_x_tr_hl=ja&_x_tr_pto=wapp (2024/9/21閲覧)
- FAO 2023b The world's mangroves 2000–2020. Rome <https://doi.org/10.4060/cc7044en> (2024/9/21閲覧)
- Leal M, Spalding MD 2022 The State of the World's Mangroves 2022. Global Mangrove Alliance <https://www.wetlands.org/publication/the-state-of-the-worlds-mangroves-2022/#> (2024/9/21閲覧)
- UNEP 2014 The Importance of Mangroves: A Call to Action Report. UNEP <https://www.unep.org/resources/report/importance-mangroves-people-call-action-0> (2024/9/21閲覧)
- UNEP 2023 Decades of Mangrove Forest Change. UNEP <https://www.unep.org/resources/report/decades-mangrove-forest-change-what-does-it-mean-nature-people-and-climate> (2024/9/21閲覧)

【3章】

- Chowdhury A, Naz A, Iyer AS, Bhattacharyya S 2021 Ecosystem Based Disaster Risk Reduction at Indian Sundarbans: A Lesson Learned from AMPHAN Supercyclone. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 796
- Donato DC, Kauffman JB, Murdiyarso D, Kurnianto S, Stidham M, Kanninen M 2011 Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nat. Geosci.* 4, 293–297
- Kamil EA, Takaijudin H, Hashim AM 2021 Mangroves as coastal bio-shield: A review of mangroves performance in wave attenuation. *Civ. Eng. J.* 7, 1964–1981
- 環境省 2024 価値ある自然－生態系と生物多様性の経済学：TEEBの紹介 14 pp https://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/library/files/TEEB_pamphlet.pdf (2024/9/26閲覧)

- Kim K, Seo E, Chang SK, Park TJ, Lee SJ 2016 Novel water filtration of saline water in the outermost layer of mangrove roots. *Sci. Rep.* 6, 1–9
- Laegdsgaard P, Johnson C 2001 Why do juvenile fish utilise mangrove habitats? *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 257, 229–253
- Ono K, Fujimoto K, Hirata Y, Tabuchi R, Taniguchi S, Furukawa K, Watanabe S, Suwa R, Lihpai S, 2022 Estimation of total fine root production using continuous inflow methods in tropical mangrove forest on Pohnpei Island, Micronesia: Fine root necromass accumulation is a substantial contributor to blue carbon stocks. *Ecol. Res.*, 2003–2005
- Robertson AI, Phillips MJ 1995 Mangroves as filters of shrimp pond effluent: predictions and biogeochemical research needs. *Asia-Pacific Symp. Mangrove Ecosyst.*, 311–321
- Spalding MD, Parrett CL, Spalding M, Parrett CL 2019 Global patterns in mangrove recreation and tourism. *Mar. Policy*, 103540
- Uddin MM, Abdul Aziz A, Lovelock CE 2023 Importance of mangrove plantations for climate change mitigation in Bangladesh. *Glob. Chang. Biol.* 29, 3331–3346
- Vinoth R, Kumaravel S, Ranganathan R 2019 Therapeutic and Traditional Uses of Mangrove Plants. *J. Drug Deliv. Ther.* 9, 849–854

【4章】

- IPCC 2014 変化する気候下での海洋・雪氷圏に関するIPCC 特別報告書
- 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
- 気象庁 <https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/knowledge/tide/takashio.html>
- 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

【5章】

- Alongi DM 2020 Global significance of mangrove blue carbon in climate change mitigation. *Sci.* 2:67; doi:10.3390/sci2030067
- 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
- Donato DC, Kauffman JB, Mackenzie RA, Ainsworth A, Pflieger AZ 2012 Whole-island carbon stocks in the tropical Pacific: Implications of mangrove conservation and upland restoration. *J. Env. Manag.* 97:89-96
- Forbes K, Broadhead J 2007 The role of coastal forests in the mitigation of tsunami impacts. *FAO* 30pp.
- Guannel G, Arkema K, Ruggiero P, Verutes G 2016 The power of three: Coral reefs, seagrasses and mangroves protect coastal regions and increase their resilience. *PLOS ONE* DOI:10.1371/journal.pone.0158094
- 堀正和、桑江朝比呂 2017 ブルーカーボン：浅海におけるCO₂隔離・貯留とその活用 地人書館
- イカオ・アコHP <http://ikawako.com/> (2024/5/10閲覧)
- ジャパン石油開発HP <https://www.jodco.co.jp/csr.html> (2024/5/10閲覧)
- Kamil EA, Takaijudin H, Hashim AM 2021 Mangroves as coastal bio-shield: A review of mangroves

performance in wave attenuation. Civil Eng. J 7:1964-1981

環境省自然環境局 2022 生態系を活用した気候変動適応策 (EbA) 計画と実施の手引き 国立環境研究所編 37pp

国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所REDDプラス・海外森林防災研究開発センター 2021 森林を活用した防災・減災の取組 Country Report 2020年度 インドネシア共和国、タイ王国、ミャンマー連邦共和国 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所REDDプラス・海外森林防災研究開発センター編

国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所REDDプラス・海外森林防災研究開発センター 2022 森林を活用した防災・減災の取組 Country Report 2021年度 タイ王国、インド共和国、フィリピン共和国 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所REDDプラス・海外森林防災研究開発センター編

国際協力機構(JICA) 2015 インドネシア共和国 マングローブ生態系保全と持続的な利用のASEAN地域における展開 プロジェクト終了時評価調査報告書 89pp

国際マングローブ生態系協会HP <http://mangrove.or.jp/index.html> (2024/5/10閲覧)

コスモ石油HP <https://ecolozoo.cosmo-energy.co.jp/ecotour> (2024/5/10閲覧)

向後元彦 1988 緑の冒険－砂漠にマングローブを育てる－ 岩波新書 223pp

向後元彦 2014 マングローブ植林－沙漠と湿潤熱帯の経験から 日緑工誌39:486-492

望月章 2002 マングローブ植林とNGO活動－ベトナム、エクアドル、ミャンマー、プロジェクトを自邸として－ ランドスケープ研究66:97-101

南游の会HP <http://www.namdu.jp/> (2024/5/10閲覧)

Nellmann C, Corcoran E, Duarte CM, Valdés L, De Young C, Fonseca L, Grimsditch G 2009 Blue carbon. A rapid response assessment. United Nations Environment Programme 78pp

日本財団HP <https://nippon.zaidan.info/kinenkan/history30/4/4603.html> (2024/5/10閲覧)

オイスカHP <https://oisca.org/projects/> (2024/5/10閲覧)

リコー・ジャパン株式会社HP <https://www.ricoh.co.jp/sales/about/sustainability/special/2022> (2024/5/10閲覧)

商船三井HP <https://www.mol-mauritius-fund.jp/> (2024/5/10閲覧)

Spalding MD, McIvor AL, Beck MW, Koch EW, Möller I, Reed DJ, Rubinoff P, Spencer T, Tulhurst TJ, Wamsley TV, van Wesenbeeck BK, Wolanski E, Woodroffe CD 2014 Coastal ecosystems: A critical element of risk reduction. Conservation Letter 7:293-301

東京海上グループHP <https://www.tokiomarine-nichido.co.jp/world/greengift/mangrove/> (2024/5/10閲覧)

鶴田修己、鈴木高二朗、柳澤英明、森信人 2021 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 土木学会論文集B3 (海洋開発) 77:I_181-I_186

ワイエルフォレストHP <https://ylforest.co.jp/> (2024/5/10閲覧)

Yanagisawa H, Koshimuma S, Goto K, Miyagi T, Imamura F, Ruangrassamee A, Tanavud C 2009 The reduction effects of mangrove forest on a tsunami based on field surveys at Pakarang Cape, Thailand and numerical analysis. Estuarine, Coastal and Shelf Science 81:27-37

【6章】

Anderson CC, Renaud FG 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

<https://doi.org/10.1007/s13280-021-01502-4>

- Angelsen A., Larsen HO, Lund JF, Smith-Hall C, Wunder S 2011 Measuring livelihoods and environmental dependence: Methods for research and fieldwork, Earthscan. Center for International Forestry Research (CIFOR), London. <https://doi.org/10.17528/cifor/003341>
- Beeston M, Camero C, Hagger V, Howard J, Lovelock C, Sippo J, Tonneijk F, Bijsterveldt VC, van Eijk P 2023 Best practice guidelines for mangrove restoration.
- Camacho LD, Gevaña DT, Sabino LL, Ruzol CD, Garcia JE, Camacho ACD, Oo TN, Yiu E, Maung AC, Saxena K, Liang L, Takeuchi K 2019 Sustainable Mangrove Rehabilitation for Global and Local Benefits, Asia-Pacific Network for Global Change Research. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11918.51523>
- Datta D, Chattopadhyay RN, Guha P 2012 Community based mangrove management : A review on status and sustainability. *J. Environ. Manage.* 107:84–95. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.013>
- DFID 1999 Sustainable livelihoods guidance sheets, Departement for International Development.
- Ellison AM 2000 Mangrove restoration: Do we know enough? *Restor. Ecol.* 8:219–229 <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2000.80033.x>
- FAO 2015 Handbook for monitoring and evaluation of child labour in agriculture. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome
- FAO, ILO 2009 The Livelihood Assessment Tool-kit
- 環境省 2023 令和5年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書
- Lewis RR 2000 Ecologically based goal setting in mangrove forest and tidal marsh restoration. *Ecol. Eng.* 15:191–198. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(00\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(00)00070-7)
- Livelihoods Centre, n.d. livelihoods toolbox [WWW Document]. URL <https://www.livelihoodscentre.org/web/livelihoods-centre/toolbox> (accessed 9.20.24)
- MFF, SEI SEAFDEC 2018 Gender Analysis Toolkit for Coastal Management Practitioners. Thailand
- Pham TT, Vu TP, Hoang TL, Dao TLC, Nguyen DT, Pham DC, Dao LHT, Nguyen VT, Hoang NVH 2022 The Effectiveness of Financial Incentives for Addressing Mangrove Loss in Northern Vietnam. *Front. For. Glob. Chang.* 4:1–16. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.709073>
- Poverty Environment Network 2007 PEN Technical Guidelines - version 4 - May 2007. Centre for International Forestry Research
- Primavera JH, Esteban JMA, 2008 A review of mangrove rehabilitation in the Philippines: Successes, failures and future prospects. *Wetl. Ecol. Manag.* 16:345–358. <https://doi.org/10.1007/s11273-008-9101-y>
- Walters BB, Rönnbäck P, Kovacs JM, Crona B, Hussain SA, Badola R, Primavera JH, Barbier E, Dahdouh-Guebas F 2008 Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquat. Bot.* 89:220–236. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.02.009>
- 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

【7章】

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

- Cahoon DR, Hensel P, Rybczyk J, McKee KL, Priffitt E, Perez BC 2003 Mass tree mortality leads to mangrove peat collapse at bay islands, Honduras after Hurricane Mitch. *Journal of Ecology* 91: 1093–1105
- Castaneda E 2010 Landscape patterns of community structure, biomass and net primary productivity of mangrove forests in the Florida coastal everglades as a function of resource, regulators, hydroperiod, and hurricane disturbance. LSU Doctoral Dissertations:2823. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_dissertations/2823, 171pp
- Castañeda-Moya E, Twilley RR, Rivera-Monroy VH, Marx BD, Coronado-Molina C, Ewe SML 2011 Patterns of root dynamics in mangrove forests along environmental gradients in the Florida coastal everglades, USA. *Ecosystems* 14:1178–1195
- Cormier N, Twilley RR, Ewel KC, Krauss KW 2015 Fine root productivity varies along nitrogen and phosphorus gradients in high- rainfall mangrove forests of Micronesia. *Hydrobiologia* 750:69–75
- Finér L, Ohashi M, Noguchi K, Hirano Y 2011 Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystems. *For. Ecol. Manage.* 261:265–277
- Fujimoto K, Furukawa K, Ono K, Watanabe S, Epwriam E 2023 Effects of sea-level rise on blue carbon stocks of mangrove ecosystems: insights from Pohnpei Island, Federated States of Micronesia. *Carbon Footprints* 2:15
- 藤本潔、宮城豊彦、Melana E 1989 温室効果に伴う急激な海水準上昇のマングローブ生態系へ及ぼす影響の予測に関する基礎的研究ーフィリピン、パグビラオ近郊のマングローブ林を例にー (宮城豊彦、マキシミノ G編 フィリピン、ルソン島におけるマングローブ的環境の成立とその人為破壊の実証的研究および修復への提言) 31-43 国際協力推進協会報告書
- Fujimoto K, Watanabe S, Ono K, Furukawa K 2024 The present and future of Micronesian mangrove forests in the context of rising sea levels. In: (Monaco E, Abe M eds.) *Sustainable development across Pacific Islands. Lessons, challenges, and ways forward*. Springer Nature Singapore Pte Ltd.) 213-226
- Gleason SM, Ewel KC 2002 Organic matter dynamics on the forest floor of a Micronesian mangrove forest: An investigation of species composition shifts. *Biotropica* 34: 190–198
- IPCC 2021 Climate change 2021: the physical science basis. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (2024/9/21閲覧)
- 国際協力機構 (JICA) 2015 保全地域における後背地回復技術マニュアルー養殖地跡地のマングローブ生態系ー 保全地域における生態系保全のための後背地回復能力向上プロジェクト報告書 77pp
https://www.jica.go.jp/Resource/project/indonesia/008/materials/ku57pq00001vqp6f-att/manual_02_jpn.pdf (2024/9/21閲覧)
- 国際マングローブ生態系協会 1998 海と生きる森ーマングローブ林ー 63pp
- 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
- McKee KL, Cahoon DR, Feller IC 2007 Caribbean mangroves adjust to rising sea level through biotic controls on change in soil elevation. *Molecular Ecol.* 16:545-556
- 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

- Mochida Y, Fujimoto K, Miyagi T, Ishihara S, Murofushi T, Kikuchi T, and Pramojanee P 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
- Noguchi K, Pongpan S, Umnouysin S, Patanaponpaiboon P, Duangnamol D, Yoneda R, Utsugi H, Sato T, Tabuchi R 2020 Biomass and production rates of fine roots in two mangrove stands in southern Thailand. JARQ 54:349-360
- Ono K, Fujimoto K, Hirata Y, Tabuchi R, Taniguchi S, Furukawa K, Watanabe S, Suwa R, Lihpai S 2022 Estimation of total fine root production using continuous inflow methods in tropical mangrove forest on Pohnpei Island, Micronesia: Fine root necromass accumulation is a substantial contributor to blue carbon stocks. Eco. Res. 37:33-52
- Ono K, Noguchi H, Lihn NTM, Tùng DT, Tri TQ, Takahata K, Mori N, Baba S, Miyagi T, Yanagisawa H, Phương VT, Hirata Y 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
- Pongpan S, Charoenphonphakdi T, Sangtuan T, Patanaponpaiboon P 2016 Fine root production in three zones of secondary mangrove forest in eastern Thailand. Trees 30:467-474
- Sanchez BEG 2005 Belowground productivity of mangrove forests in southwest Florida. LSU Doctoral Dissertations: 1652. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_dissertations/1652, 107 pp
- Spalding M, Lean M 2021 The State of the World's Mangroves 2021. Global Mangrove Alliance <https://www.mangrovealliance.org/wp-content/uploads/2021/07/The-State-of-the-Worlds-Mangroves-2021-FINAL.pdf> (2024/9/21閲覧)
- Tomlinson PB 1986 The botany of mangroves. Cambridge Univ. Press. pp. 413

本書の引用記載

小野賢二 編 (2024) マングローブ保全・再生の手引きー高潮災害軽減の観点からー
森林総合研究所 REDD プラス・海外森林防災研究開発センター, 46pp.
ISBN: 978-4-909941-46-6

マングローブ保全・再生の手引きー高潮災害軽減の観点からー

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

REDD プラス・海外森林防災研究開発センター

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

編集・発行：REDDプラス・海外森林防災研究開発センター

発行日：2025（令和7）年2月5日