

## 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となります。

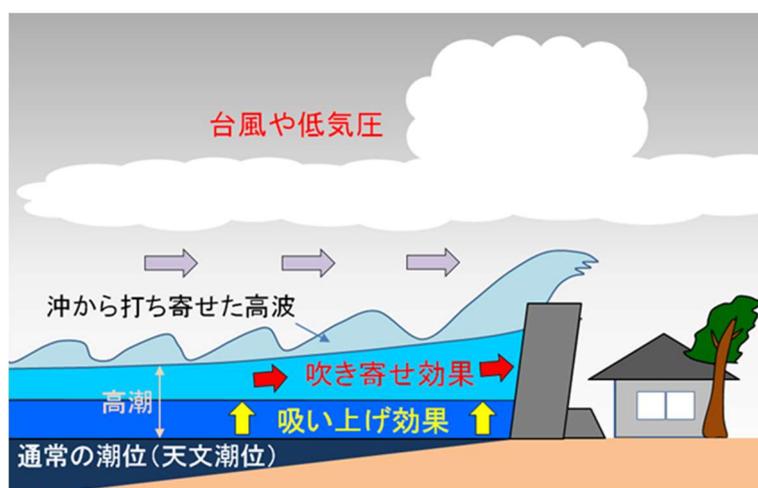
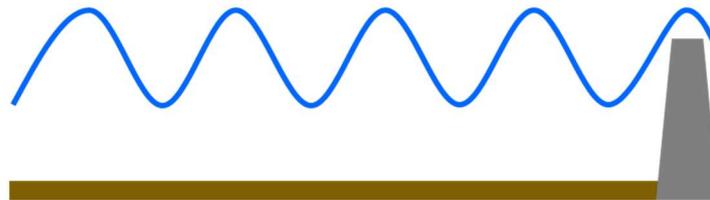


図4-1. 潮位、高潮、高波による被害の発生 （気象庁ホームページより）

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）。

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

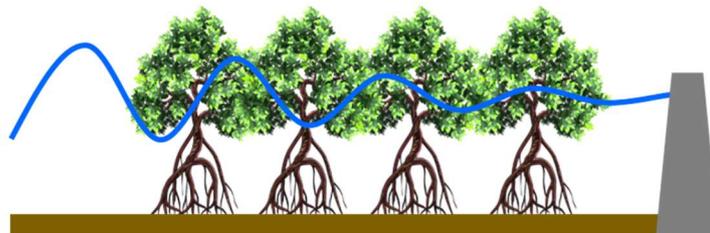


図4-2. マングローブによる波の減衰（Mazda et al. 1997）を改変

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。

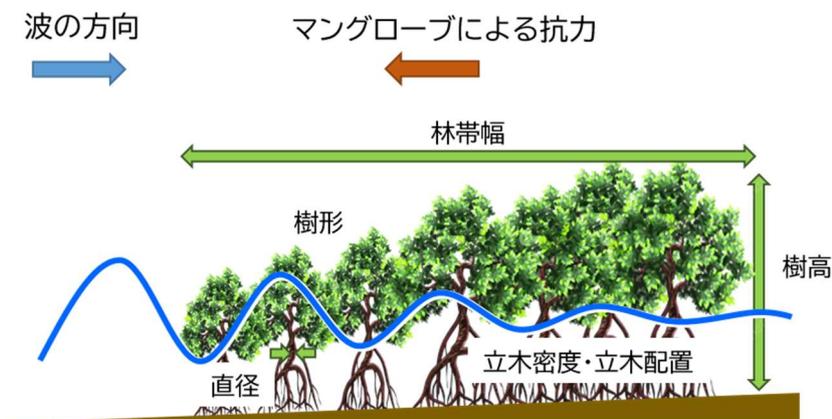


図4-3. マングローブの防災・減災機能に影響する要素（Kamil et al. 2021）

### 【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)。

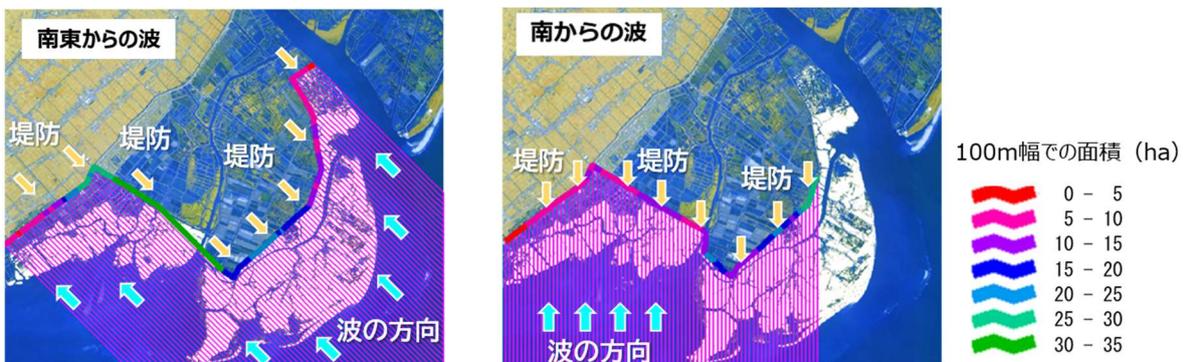


図4-4. 100 m幅での波の方向に対する堤防までのマングローブの面積の算出  
ベトナム・スアントウイ国立公園における事例

#### (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った処理を行います。

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。