

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02249

研究課題名(和文) 風由来の環境ストレスの実態解明に基づく海岸林の地形・林冠の動態モデルの開発

研究課題名(英文) Development of a dynamic model of topography and canopy in coastal forest based on elucidating wind-derived environmental stress

研究代表者

南光 一樹 (Nanko, Kazuki)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：40588951

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：林冠への海塩付着が海岸林の樹高成長抑制の主要因であると考えられた。砂浜や砂丘の面積や体積の増大が林帯、特に林帯前面への海塩到達量を減らし、林帯前面の樹高成長が陸側林帯への海塩到達量を減らし、樹高成長抑制を減じる事がわかった。一方で、爆弾低気圧や台風による突発的なイベントが海塩到達量を一時的に著しく増大させ、不均一な樹高成長抑制を引き起こすことがわかった。雨が降れば着葉塩分は洗い流されるため、風だけでなく雨の動態も林冠動態推定に必要なことがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地域ごとに異なって求められる海岸林像に対して、それを実現するための海岸林の維持管理手法を示すことに貢献する。本課題で開発したDSMと風況シミュレーションを組み合わせた海塩到達量の推定手法と海塩付着による成長抑制の関係から、海岸林の成長予測が可能となり、内陸部への風由来ストレスの減少に必要な林帯幅や、必要な樹高に達するのに必要な年数の提示が可能となった。防風のために「あればよい」で済まされていた海岸林について、その防災的管理技術を向上できたことに社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：Sea salt accretion to the forest canopy was considered to be the main factor inhibiting tree height growth in coastal forests. Increasing the area and volume of sandy beaches and dunes reduces the amount of sea salt reaching the forest zone, especially the front of the forest, and tree growth in the front of the forest zone reduces the amount of sea salt reaching the forest zone on the land side, thus reducing the inhibition of tree growth. On the other hand, a sudden event such as a bomb cyclone or a typhoon can temporarily and significantly increase the amount of sea salt reaching the forest, resulting in uneven height suppression. Rainfall was found to be necessary for estimating the dynamics of the forest canopy not only by wind, but also by rainfall, because rainfall washes away the accretion salts.

研究分野：森林環境物理学

キーワード：海岸林 飛来塩分 風 林冠 飛砂

1. 研究開始当初の背景

海岸林は、沿岸部に安定した生活空間を提供するのに必要不可欠な生態系である。山地斜面の多い我が国において沿岸平野部は一見住みやすいが、強風や潮風で農作物が被害を受け、砂浜の広がる沿岸部では暴風により村が砂で埋まる等の災害が恒常的に発生する厳しい生活環境であった。内陸側を生活空間として確保するために、防風・飛砂防備・防潮効果を発揮するための海岸人工林の造成技術が江戸時代から開発されてきた。海岸人工林は、木材生産を主目的とした山地人工林とは造成目的が大きく異なる。

海岸林は、海岸特有の風由来の環境ストレスを受けるため、地形や森林が常に変動する。防災効果の高い海岸林の造成・維持管理を効率化するために、管理に伴う海岸林動態を予測するモデルが有効である。しかし、飛砂現象が恒常的に起こる砂質海岸では、海浜の地形変化、海岸砂丘の形成、海岸林前面の埋没があり、海岸林の地形は絶えず変化する。そして、海岸からの強風は枝葉や芽を乾燥させ、飛砂の衝突は樹体表面を傷つけ、飛塩の付着は葉をしおれさせるため、海岸林は山地斜面で生育する樹木よりも生育環境が厳しい。林帯全体としては、海岸側の樹高が低く、内陸に向かうほど樹高が高くなる風衝林形を作る。通常の山地斜面において、地域や樹種に応じた森林動態モデルや樹木成長曲線が多数開発され実用化に至っているが、風由来の環境ストレスによる地形と森林の変化が絶えず起きる海岸林に、それらを適用することができないという課題がある。

海岸林の管理は、転換期を迎えている。風由来の環境ストレスへの耐性の強さからクロマツが海岸林の主要な樹種として広く使われている。しかし、松くい虫被害による松枯れが猛威を奮っており、松枯れの抵抗性が高い苗の準備や、生育後のクロマツへの薬剤散布にはコストがかかるため、植栽戦略の変更や、広葉樹林化へのニーズが高まっている。また、気象条件(風向、風速、降雨)、立地条件(地形、飛砂発生源としての砂浜の面積や砂草帯の面積)、住民からの景観要望が異なるため、地域によって求められる海岸林像は異なる。個別の要望に沿った海岸林を作り上げるための海岸林の造成・維持管理が必要とされている。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえて、海岸林が受ける風由来の環境ストレス(強風、飛砂、飛塩)の実態を解明すること、ストレスによる地形や林冠構造の変化を明らかにすること、そして、それらを基に海岸林の地形と林冠の動態を推定するモデルを開発することを目的とした。

3. 研究の方法

特徴が異なる3箇所の調査地を設けた(表1)。風由来の環境ストレスを調べるために、各調査地の林帯前面で風向風速と飛来塩分量を測定し、林冠から葉を採取して着葉塩分量を調べた。海岸林の成長履歴を調べるために、樹木を伐倒し、樹幹解析や枝階痕からの過去の樹高履歴調査を行った。現在の海岸林の現況を得るために、UAVによる空撮から数値表層モデル(DSM)を作成した。石狩では過去の航空レーザー測量データからDSMを作成し、それらの差分から地形や海岸林樹高の変化を計算した。各調査地のDSMを用いて風況シミュレーションを行い、地形や林冠による風の乱れや風速の変化を計算した。このシミュレーションを基に、樹冠表面への飛来塩分の到達量を推定した。

表1 調査海岸林の特徴

	樹種	海風の強い時期	海岸線からの距離
石狩	カシワ	春先	(東側) 300-500 m
			(西側) 50-150 m
秋田	クロマツ	冬期	100 m
宮崎	クロマツ	台風	60 m

4. 研究成果

(1) 3箇所の調査地の海塩飛来量の特徴

調査地ごとの飛来塩分の特徴を調べるために、海塩付着量を測定できるACM型腐食センサを林帯前面に設置した(図1)。石狩と秋田は日本海側に面し、冬季に季節風由来の西からの強い海風が恒常的に吹くため、冬季に海塩付着量が大きく夏季に小さい傾向があった。石狩に比べて秋田の方が、海岸線からの距離が近いので、海塩付着量が大きかった。一方で宮崎は太平洋側に面しており季節風の影響は見られなかったが、台風が接近した秋季に海塩付着量が大きかった。

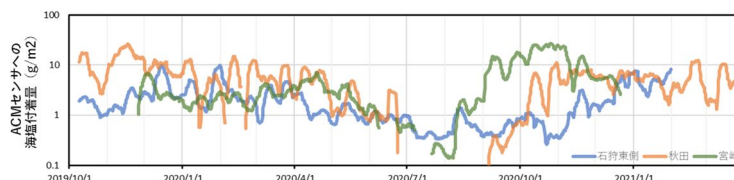


図1 各海岸の林帯前面に設置したの海塩付着量の時間変化

(2) 港湾建設による海岸地形の変化が海岸林樹高成長を変化させた（石狩）

1973年に着工した石狩湾新港の建設により、港の東側では砂が堆積して海岸線が前進し、西側では砂が侵食されて海岸線が後退している。この海岸線の前進・後退が海岸林の樹高成長に与える影響を評価した。

2019年の調査では、東側は西側より約3m樹高が高く、2003年と比較して約3m樹高成長していた。樹幹解析により、防波堤が建設された80年代に樹高成長が回復し、90年代に西側で再び成長抑制が起きていることを明らかにした。

20mグリッドスケールのDSM差分解析により、13～18年前に比べて西側では海浜や砂丘が侵食され砂浜体積が減少し、それらの侵食量が大きかった場所の後背部の海岸林の樹高成長が特に悪かった（図2左）。一方で東側では海岸線が遠ざかるだけでなく既存の砂丘前面に飛砂が堆積し砂丘の体積を増やしており、それらの堆積量が大きかった場所の後背部の海岸林の樹高成長が良かった（図2右）。海岸林前線部の林冠着葉塩分量はグリッド内平均樹高成長量と負の相関が認められ、飛来塩分ストレスが樹高成長を抑制していることが推察された。

砂浜・砂丘の変化に伴う樹高成長の違いは林縁から数百メートル内陸にわたって影響があった。林縁から100m内陸までの樹高成長量について、海岸線の法線方向での砂浜・砂丘断面面積の変化量と高い相関があることを見出した。以上のことより、港湾建設により海岸地形が変化し、その海岸地形の変化が、海岸林への飛来塩分ストレスを変化させて、海岸林の成長に影響を与えるプロセスが明らかとなった。



図2 石狩湾新港の西側と東側での海岸線の法線方向でのDSM横断面図。塗りつぶしは海岸林の存在するエリア

(3) 春先の極端な強風が2段階の海岸林樹高成長抑制を引き起こした（秋田）

海岸林の樹高成長抑制プロセスを明らかにするため、林帯幅70mの20年生クロマツ海岸林の海側、中間、陸側のクロマツについて樹高成長履歴を調査した（図3）。クロマツは1年毎に輪生の枝を生やすため、枝階や枝階の跡を数えることで、過去の樹高を推定することができる。どの位置のクロマツも植栽後3年目より樹高成長が増大した。海側では、樹高が高さ2mの防風柵を超えた植栽後7年過ぎから急激に樹高成長抑制が始まったが、陸側は平均的には際立った樹高成長抑制は確認されなかった。中間は、最初は陸側に比べて樹高成長量が小さかったが、次第に陸側と同等の成長量となった。林帯前面の防風柵と、成長する海側クロマツが風を弱め、陸側の樹高成長ストレスを軽減し、成長抑制を小さくしたと考えられる。2020-21年冬季の調査では、中間と陸側の着葉塩分量に差が見られなかった。

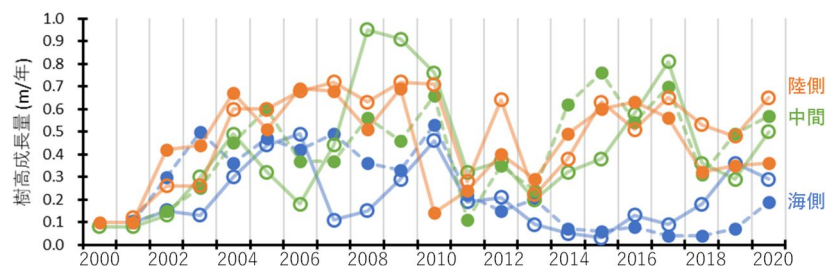


図3 秋田の調査地における海側、中間、陸側のクロマツの年ごとの樹高成長量

しかし2011年と2013年に、陸側クロマツでも極端な樹高成長抑制が見られた（図3）。これは2012年4月の爆弾低気圧の接近（秋田市において10分間最大風速28.9m/s）が原因であると考察した。まず、爆弾低気圧による極端な風が2011年に伸長成長した樹頂部分の枯れ下がり

を引き起こし、2011年に当時達した樹高よりも枝階から判断できる樹高が低くなったと推察した。そして、爆弾低気圧による枝葉のダメージにより2012年の光合成量が低下して冬芽の成長が小さくなり、翌2013年の成長量を蓄積できなかったためであると推察した。春先の極端な風が2段階の樹高成長抑制を引き起こすことを明らかにした。

(4) 着葉塩分量の時間変動を明らかにし、その推定モデルを構築した(宮崎)

海岸林の成長抑制要因となる着葉塩分量の動態を把握するために、海側林縁近くに着葉塩分量の調査プロットを設置した。定期的にクロマツの葉を採取して着葉塩分量を測定した。2019年9月の台風10号の通過後、着葉塩分量が大きかったが(0.090 mg/cm²)、その後の4mmの降雨の後の着葉塩分量は小さくなっており(0.004 mg/cm²)、雨による着葉塩分の洗い流しがあることを実証した。

葉への海塩供給と雨による洗い流しのプロセスを追うために、林外雨と林内雨の量と含有塩分量を測定した。海風風速(=海岸線の法線の両側45°の間の風速)と林外雨の1時間降雨強度の測定データ及び国土交通省NOWPHASから得た有義波高(=ある時間に観測された波高の高いほうから順に全体の3分の1の個数の波の波高の平均)から着葉塩分量の時間変動を推定した(図4)。着葉塩分量の推定において、風速からの推定よりも波高からの推定のほうがモデルの誤差が小さく、風速と波高を組み合わせると、より推定誤差が小さくなった。本試験地は海岸線から60mに位置しており(表1)、海岸線から近い場所では、海塩粒子の風による輸送だけでなく、砕波により発生した海塩粒子が直接付着するプロセスもあるため、波高の把握が着葉塩分量の把握に重要であることが明らかとなった。

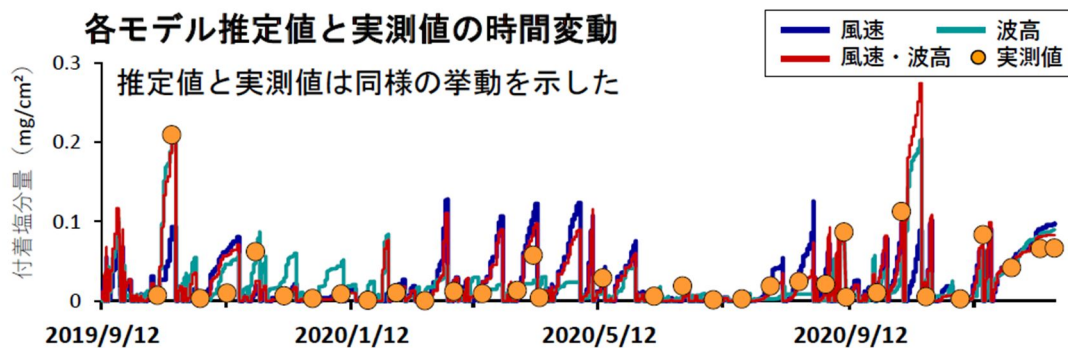


図4 宮崎のクロマツ海岸林プロットにおける着葉塩分量の実測値と推定モデルによる時間変動

(5) 風況シミュレーションを用いた樹冠到達塩分量の推定

3つの調査地の結果から、飛来塩分によるストレスが樹高成長を抑制していることが想定された。各調査地のDSMを用いて風況シミュレーションを行い、それに基づいて樹冠表面への飛来塩分の到達量を推定した。海岸線の上空10m地点で10m/sの風速が吹いている場合の石狩湾新港の東側でのシミュレーション例を示す(図5)。海風が砂丘や林帯前面にぶつかったときに風が乱れ微細な上昇風が生じ、渦となってその背後に下降風を生じさせている様子が見られる(図5のW)。

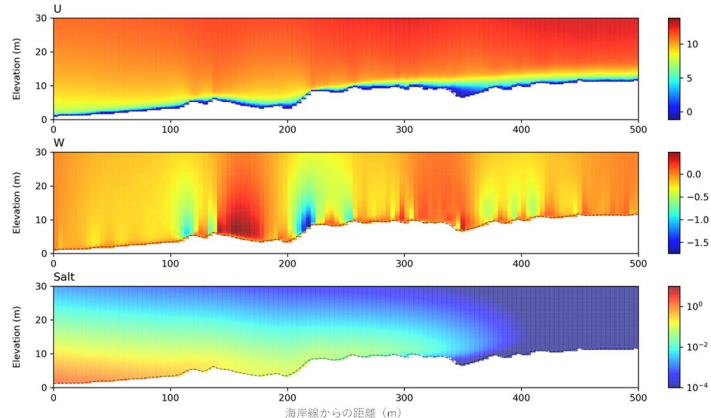


図5 海岸線の法線方向でのDSM横断面図における、水平風速(U, m/s)、鉛直風速(W, m/s)、飛来塩分量(Salt)、石狩湾新港の東側。鉛直風速は下向きが正の値。

本シミュレーションは、以下の仮定に基づいて行った。海塩粒子は海岸線で発生し海面から上空に向かって指数的に減少する、海塩粒子の発生量は本来砕波波高や波の周期によって決まるが、ここではまず一定の発生量を与える、海塩粒子の粒径分布は考えておらず平均的な粒径を与える、海塩粒子は水平風と鉛直風によって輸送され終端速度による自由落下により下方に落ちる、表層(地面または林冠面)に落ちた粒子はそこで捕捉される。本研究期間ではチューニングが間に合わず、別途検討を続けることとした。

シミュレーションにより、海岸線から遠くなるほど、そして標高が高くなるほど林冠部への海塩到達量が減少した。しかしながら 20m/s を超える強風では海塩粒子が林帯前の地表に落下する前に林帯に到達してしまうため、距離による海塩到達量の減衰効果が期待できなかった。これらのシミュレーションのケースを増やすことで、海塩到達量を一定の値に減らすための林帯幅や求める海岸林の構造を提示することができることを確認した。

(6) まとめ

着葉塩分が海岸林の樹高成長を抑制する要因であると考えられた。砂浜や砂丘の面積や体積の増大が林帯、特に林帯前面への海塩到達量を減らし、林帯前面の樹高成長が陸側林帯への海塩到達量を減らし、樹高成長抑制を減じる事がわかった。一方で、爆弾低気圧や台風による突発的なイベントが海塩到達量を一時的に著しく増大させ、不均一な樹高成長抑制を引き起こすことがわかった。雨が降れば着葉塩分は洗い流されるため、風だけでなく雨の動態も林冠動態推定に必要であることがわかった。3つの異なる海岸林での研究により、海岸林の地形変化による林冠動態の推定モデルのための、実測データ蓄積と海塩付着量シミュレーションの技術開発を達成した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 南光一樹・新田響平・篠原慶規・岩崎健太・水永博己
2. 発表標題 風由来の環境ストレスを踏まえた20年生海岸クロマツの樹高成長履歴
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮崎拓馬・篠原充輝・篠原慶規・南光一樹・岩崎健太・新田響平・水永博己
2. 発表標題 海岸林における付着塩分量の時間変動及びそのモデル化
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩崎健太・南光一樹・中田康隆・真坂一彦・篠原慶規・新田響平・水永博己
2. 発表標題 港湾建設に伴う海岸線変化が生じさせた海岸林樹高成長の空間的不均質性.
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩崎健太・南光一樹・中田康隆・真坂一彦・篠原慶規・新田響平・水永博己
2. 発表標題 石狩海岸林の樹高成長に及ぼす海浜地形の影響.
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮崎拓馬・篠原充輝・篠原慶規・南光一樹・岩崎健太・新田響平・水永博己
2. 発表標題 宮崎海岸におけるクロマツ林の付着塩分量とその挙動.
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nanko, K., Katsushima, T., Suzuki, S. and Sakamoto, T.
2. 発表標題 Prediction of wind-blown sand transport on different beach throughout Japan
3. 学会等名 EGU General Assembly 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 南光一樹・勝島隆史・鈴木覚・坂本知己
2. 発表標題 日本の海岸における飛砂量全国マッピングに向けた予測手法の開発
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会
4. 発表年 2019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	岩崎 健太 (Iwasaki Kenta) (70723047)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部 林業試験場・研究職員 (80122)	

6. 研究組織（つづき）

	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	新田 響平 (Nitta Kyohei) (50640637)	秋田県農林水産部（農業試験場、果樹試験場、畜産試験場、水産振興センター及び林業研究研修センター）・林業研究研修センター・研究員 (81401)	
研究分担者	篠原 慶規 (Shinohara Yoshinori) (10615446)	宮崎大学・農学部・准教授 (17601)	
研究分担者	水永 博己 (Mizunaga Hiromi) (20291552)	静岡大学・農学部・教授 (13801)	

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