

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05732

研究課題名(和文) 針葉樹上層木における、一時的な強風後に生じた成長様式の変化の解明

研究課題名(英文) Clarification on changes in the growth pattern of coniferous canopy trees after temporarily blown strong winds

研究代表者

関 剛 (Seki, Takeshi)

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

研究者番号：40353742

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：近年における極端な気象現象が増加している条件下で、台風等の一時的な強風が物理的な損傷の確認されていない樹木の中長期的な成長に及ぼす影響を検出することを目的として、北海道の天然林で上層に達しているエゾマツ、トドマツの幹および枝の伸長成長の履歴を過去に遡って追跡した。規模の大きかった2004年の台風が接近した地域で成長し続けている、損傷の痕跡が確認されない樹木個体では、この台風の前後で不連続的な変化は検出されなかった。一方、台風以前からの成長過程において、幹の先端付近で枝の混み合いの進行が検出された。枝の混み合いは受光量に影響を及ぼすことから、先端付近での生産性の低下の進行が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、気象観測施設から3 km以内に位置する天然林の樹木について過去の成長履歴を復元していることから、天然林の樹木の成長に強風が中長期的に及ぼす影響を予測する上で、気象観測施設のデータを用いた解析方法向上に寄与する。また、先行研究の多くでは樹木の成長履歴復元に幹の肥大成長における情報を用いているが、本研究は風に直面している群落上層での幹の伸長成長および枝の分枝・伸長成長の観点からの予測方法向上に寄与する。研究の過程で得られた、幹の先端付近での枝の混み合いの変化についての結果は、森林群落の上層木の成長予測における構成要素となることから、天然林の中長期的推移を予測する上で有効な情報となる。

研究成果の概要(英文)：With the recent increase in extreme climatic phenomena, in order to detect the effect of a temporary strong wind, including a typhoon, on the medium-to-long-term growth of trees with no physical scars, the trajectory of the elongation of the top of the trunk and branch axes was investigated for *Picea jezoensis* and *Abies sachalinensis* canopy trees in a natural forest in Hokkaido. In the forest in Hokkaido, where a 2004 typhoon caused severe damage to the island, no rapid change in the growth trajectory was detected for the canopy trees investigated. However, in the course of tree growth, including the period before the typhoon, a continuing increase in the density of branches was detected in the top part of tree crowns. Since light conditions for needles are influenced by the density of nearby branches, the increase suggests that a decrease in photosynthetic production continues in the top part of tree crowns.

研究分野：森林生態学

キーワード：上層木 林冠木 エゾマツ トドマツ 樹高成長 枝 樹冠発達 強風

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 植物は光合成器官である葉を光条件のよい空間に配置するために、垂直および水平方向に幹・枝を伸長する。群落の最上層で光合成と繁殖を行う樹木種の場合、幹・枝は複数年次にわたって生存する。器官の成長・維持に利用できる物質の量は有限であるため、長期間枝を存続させる樹木種は、生育地における環境変動の下で幹・枝が伸びすぎないように、年次間で変動させる成長様式を有していると推察される。

(2) 北海道で森林群落の最上層を形成するエゾマツ、トドマツでは幹の伸長は垂直方向の、枝の伸長は主として水平方向の、光条件のよい空間の獲得に寄与する。幹の伸長量は、周囲の樹木個体との光をめぐる競争に関わり、枝の伸長量は空間に配置できる針葉の量に関わっている。樹木は競争・針葉の量に関しては幹・枝の伸長量を大きくする必要はあるが、風の強い環境下では風の力による器官の被害を避けるため、これらの伸長量のある程度抑制している可能性がある。

(3) 強風が樹木の生存・成長に及ぼす影響については、樹木が機械的傷害を受けたことによる成長低下を扱った研究事例が多いが、幹・枝の外側における傷害が確認されない場合でも、内部で通導組織が損傷を受けた場合、樹木個体の上部に位置する幹・枝への水分・土壌栄養分の輸送能力が低下している可能性がある。このため、樹木が一時的な強風を受けた場合、樹木の生存・繁殖を持続させるために、幹・枝の成長への分配を変化させる可能性がある。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、近年における極端な気象現象の増加が指摘されている中で、一時的な強風が森林群落上層の中長期的な将来に及ぼす影響を予測する根拠を検出することである。具体的には、北海道で森林群落上層を形成するエゾマツ、トドマツの垂直・水平方向の伸長成長様式を、強風の記録が多かった2004年前後で比較する。

(2) 本研究で対象とするエゾマツ、トドマツでは非破壊的に過去の成長履歴を20-30年程度追跡可能である性質を利用して、伸長成長様式の変化の有無、または変化における樹種間の違いを、年次間で変動する成長量データから検出する。

### 3. 研究の方法

(1) 北海道後志地域・中山峠付近の国有林を調査地域とした。エゾマツ、トドマツが森林群落の上層を形成する林分で空中写真画像を用いて、予備的に調査対象候補の個体の位置を確認した。その後、現地において地上部から双眼鏡を使用して、樹木上部の幹・枝を観察し、幹・枝の機械的な損傷や針葉の顕著な脱落がない樹木個体を選出した。地上からの詳細な確認が困難な部位における損傷等の有無を確認するため、スリング、カラビナ、折りたたみ可能な合成樹脂製ラダー等を用いて樹木に登り、成長の持続状況を分枝形態の観察によって確認した。

(2) 調査対象樹種のうち、トドマツにおいては予備調査によるデータが蓄積されているため、本課題の期間では、主としてエゾマツを対象に調査した。最初の段階で、垂直方向の伸長成長の2004年以前からの履歴を調査した。エゾマツ、トドマツでは、1年に1回、初夏に幹の先端から当年生の幹と複数の枝が伸長する。この特性を利用し、過去の垂直方向の伸長成長については、幹において枝の基部が集合している部位どうしの間隔をスチールメジャー等で計測した。解析対象は1976年の時点ですでに樹高10mを越えていた個体とした。過去の樹高成長履歴を調査後、各樹種5個体ずつで解析を行なった。

(3) 枝については、幹の先端で分枝した枝と幹の伸長後に出現した枝とを区別し、幹の伸長開始位置との関係を計測することによって、枝の垂直的な位置を求めた。幹の先端で分枝して現在は太くなっている枝において、枝の過去の伸長成長を遡って計測した。

(4) 以上の計測から、幹の伸長履歴、枝の出現数・伸長の履歴を復元し、枝の垂直的な位置を求めることによって、幹において枝がどの程度混み合ってきたか(図1)についても履歴を復元した。これらの履歴に



図1 枝の混み合いの概念図(エゾマツ)

において、時系列分析による解析によって、2004年の強風前後の成長の変化の有無、樹種間での成長様式の違いについて調査した。

#### 4. 研究成果

(1) 樹木の成長様式と風との関係については、平均的に風の強い環境下における成長様式、および一時的な強風によって樹木個体における機械的損傷後の成長についての先行研究が蓄積されている(文献①)が、本研究では、機械的損傷が外見では確認されない樹木個体における樹高成長の成長履歴を過去に遡って追跡した(図2)。「それぞれの年の成長量はその直前における状態の影響のみを受ける」とするモデル(一般状態空間モデル)に基づいて解析した結果、エゾマツでは複数年かけて成長量が大きく変動する樹木個体が多いのに対し、トドマツでは長期的には成長量の変化が少ない一方で短い周期で変動する樹木個体の多いことが明らかになった(図2)

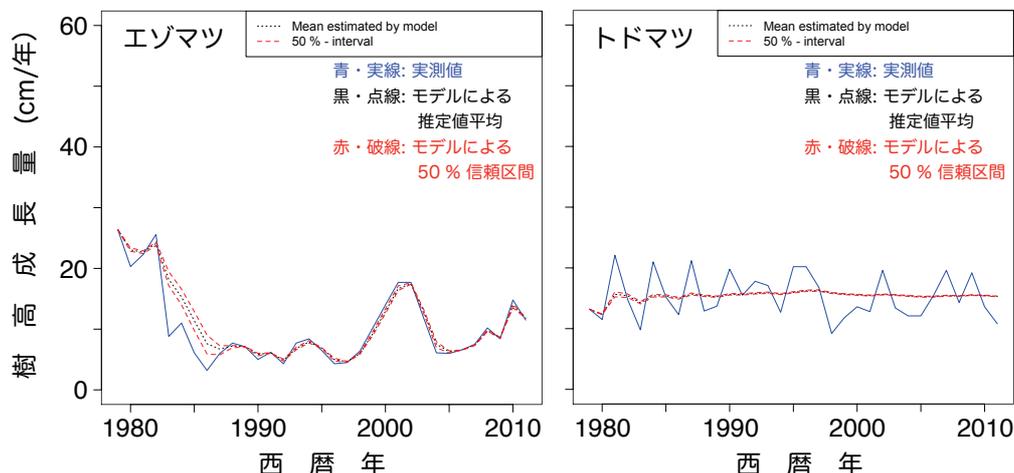


図2 1976年の時点で樹高10mを越えて群落上層に達していた樹木における、幹の年間伸長量の経過例とモデルによる軌跡。2樹種について1個体ずつ示す。

)。植栽した針葉樹を対象とした先行研究(文献②、③)では、樹木個体の若い時点におけるデータも含むため、成長段階の進行にともなう伸長量の減少を考慮したモデルを用いることによって、計測データから得られた樹高成長量の年次間変動を解析している。本研究では、樹木個体の年齢の未確定・天然林における樹木個体間の生育環境の不均一性を考慮して、上層に達した時点以降を対象に、一般状態空間モデルによる解析を行ったが、解析結果から2樹種間において成長特性に違いのあることが示唆された。天然林における先行研究において、トドマツと同じモミ属のオオシラビソでは、トドマツと同様に短い周期の樹高成長量の変動が検出されている(文献④)。

(2) 樹高成長量・枝の伸長量の年次間変動に対し、一般状態空間モデルを適用した解析で2004年の強風直後での変化の有無を調べた結果、強風後に急激な、または大きな変化は検出されなかった。すなわち、伸長履歴からは台風前後の成長量の変化は示されなかった。

(3) 上層に達した樹木個体における枝の動態のうち、枝の数においては、エゾマツ個体間で変異が検出された(図3)。枝の数が0-4本まで変動する樹木個体と2-4本の範囲での変動に収まる樹木個体が確認された。枝の数は、分枝前年における幹の伸長量と正の相関があった。これ

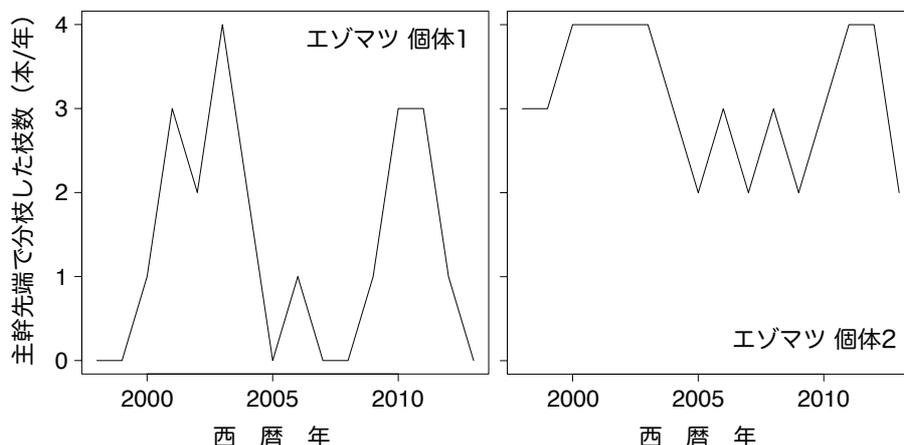


図3 エゾマツ主幹先端部で分枝した枝の数の動態における個体変異

に対し、トドマツでは分枝しない年が生じるほどの枝の数の変動は確認されなかった。また、幹の伸長量と翌年の分枝数との間に相関はなかった。エゾマツにおける分枝数の大きな変動は、樹冠上部における長い枝と短い枝の不連続的な積み重なり（図1：幹の先端付近）の形成、その結果として短い枝の下側に位置する長い枝における光条件のよい空間の創出に寄与していることが示唆された。

(4) 幹の長さあたりで算出した枝の混み合い（図1）の時系列的な変化では、一般状態空間モデルに基づいて推定した変化の軌跡（図4）によると、解析した樹木個体において混み合いが減少した個体は確認されず、増加した個体が過半数を占めた（表1）。上層に達している樹木個体の幹の先端付近は光条件のよい空間であるが、将来的には幹・枝の伸長にともなって光は当たりにくく変化する。すなわち、幹の先端付近で枝の混み合いが進行することは、中長期的には樹冠上部での枝の生産性が低下しやすい条件になると予想される。詳細については、枝の上での針葉の配置等について調べる必要があるが、上層に達した樹木の生産性が機械的な損傷を受けていない樹冠においても変化している可能性を検出したことは、本研究で当初予想していなかった成果である。

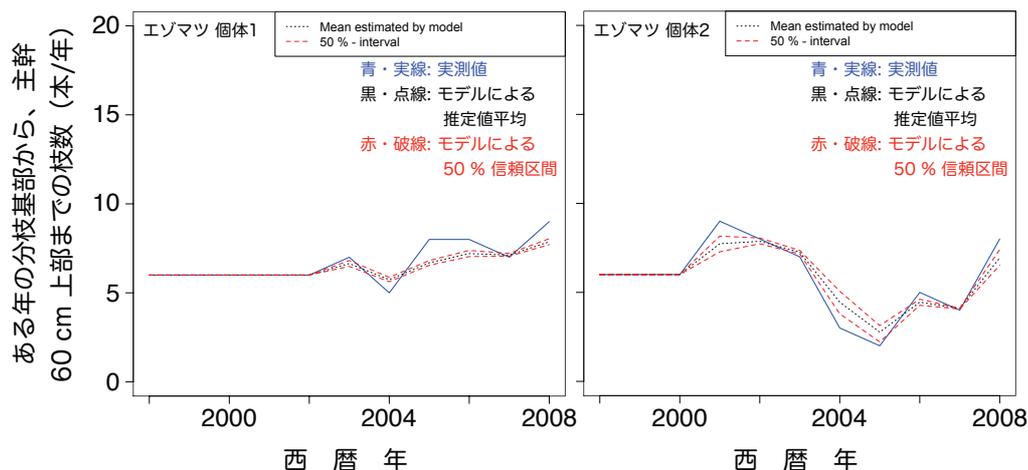


図4 ある年の分枝基部を起点とし、その上部 60 cm までの範囲内に位置していた枝の数（枝の混み合いの指標）における経過例とモデルによる軌跡  
（左：推定された軌跡が増加傾向の例 右：同軌跡が変動を示す例）

表1 一般状態空間モデルで推定した、枝の混み合いの変化パターンに該当する樹木個体ごとの個体数

	枝の混み合いの変化パターンごとの個体数 (1999-2008に分枝した枝)			
	上方 40 cm 以内		上方 60 cm 以内	
	エゾマツ	トドマツ	エゾマツ	トドマツ
一定	1	2	1	1
増加	3	2	3	3
減少	0	0	0	0
変動	1	1	1	1

分枝した枝の数とその基部から上方 40 cm 以内、および 60 cm 以内に位置する、主幹から分枝していた枝の数における変化パターンを示す

(5) 上層に達した樹木における樹冠の生産性は、強風による攪乱を受けない場合の中長期的な成長量の変化における樹種間の違い（文献⑤）に関わる要素である。このため、今後、枝の混み合いが持つ意味については、幹の先端付近での枝における針葉の配置・生産性等の詳細な情報が必要である。同時に、幹の先端付近での枝の時系列的な変化が樹冠全体における枝の生存・成長とどのように関わっているのかを調べることで、樹木個体の成長量の変化パターンを解明する上で必要である。

<引用文献>

① Mitchell S J, Wind as a natural disturbance agent in forests: a synthesis, *Forestry*, 86, 2013, 147-157

- ② Mäkinen H, The suitability of height and radial increment variation in *Pinus sylvestris* (L.) for expressing environmental signals, *Forest Ecology and Management*, 112, 1998, 191-197
- ③ Guan B T, Chung C-H, Lin S-T, Shen C-W, Quantifying height growth and monthly growing degree days relationship of plantation Taiwan spruce, *Forest Ecology and Management*, 257, 2009, 2270-2276
- ④ Seki T, Influence of annually fluctuating seed-cone production and climatic factors on the upper-crown expansion of canopy trees of *Abies mariesii* Masters (Pinaceae), *Plant Species Biology*, 23, 2008, 129-139
- ⑤ Hiura T, Go S, Iijima H, Long-term forest dynamics in response to climate change in northern mixed forests in Japan: A 38-year individual-based approach, *Forest Ecology and Management*, 449, 2019, 117469

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Seki, Takeshi (関剛)
2. 発表標題 Annual variation in height growth of canopy trees of <i>Picea jezoensis</i> and <i>Abies sachalinensis</i> for 33 years (エゾマツおよびトドマツ林冠木の樹高成長における、33年間での年次間変動について)
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 SEKI Takeshi (関剛)
2. 発表標題 Relationship between height growth and branch extension in the canopy trees of <i>Picea jezoensis</i> and <i>Abies sachalinensis</i> (エゾマツおよびトドマツ林冠構成個体における樹高成長と枝の拡張の関係について)
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 関剛
2. 発表標題 エゾマツ林冠木における、細長い葉群を有する一次枝で形成される樹冠形態について
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------