

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26660126

研究課題名(和文) 風に伴う樹冠同士の衝突とその生態学的意義の評価

研究課題名(英文) Movement and collision of tree crowns by wind and their ecological consequences

研究代表者

小野田 雄介 (Onoda, Yusuke)

京都大学・農学研究科・助教

研究者番号：70578864

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：大きな森林では、隣り合う樹木のは完全に独立し、「樹冠の譲り合い」(Crown shyness)と呼ばれる隙間をもつ。「譲り合い」という優しい響きとは裏腹に、この樹冠の隙間は、強風時の樹冠の衝突によって形成され则认为られる。しかし、樹冠の隙間を研究した例は少なく、天然の森林で、樹種や樹木の形状にどう依存しているのかはわかっていなかった。そこで本研究では、以下の課題に取り組んだ。(1) 風によって、樹木がどのくらいたわむのか？(2) UAVを使用した樹冠の隙間を定量方法の確立、(3)樹冠の隙間が樹種や樹高、幹太さにどの程度依存するのか？

研究成果の概要(英文)：Crown shyness (CS) is a clearance between crowns of neighboring trees. CS is considered to be formed by movement and collision of crowns, which may depend on the wind speed, tree architecture and wood mechanical property. The variations of CS in natural forests are not well understood, thus we aimed to understand how CS is formed and to what extent CS depend on tree characteristics. In this study, we did the following tasks; (1) determining to what extent tree stems were deformed by wind and topography, (2) building a procedure to measure CS with UAV and (3) clarifying the links between CS and tree characteristics.

研究分野：森林生態学

キーワード：樹冠の譲り合い 風 UAV 競争 力学

## 1. 研究開始当初の背景

低い植生では、隣り合う植物は接触または絡みあって成長するが、大きな森林では、隣り合う樹木は完全に独立し、「樹冠の譲り合い」(Crown shyness)と呼ばれる隙間をもつ。「譲り合い」という優しい響きとは裏腹に、この樹冠の隙間は、強風時の樹冠の衝突によって形成されることが知られている(Robertson 1987)。樹高が高いほど、樹冠の動きが大きくなり、それゆえに、樹高が高い林では、樹冠の隙間が大きく、林冠の不揃いにも関連していると考えられる。



これまで、樹冠の隙間を研究した例はあまり多くない。樹冠の隙間を単に定量した研究(Putz 1983)や、植林地で樹冠の動きを計測し、個体同士がどの程度衝突するかを定量した研究などがある(Fish et al. 2006; Goudie et al. 2009)。しかし、自然植生において、樹冠の隙間を種間競争の視点から研究した例はない。

樹冠の動きは、風当たりに影響するため、尾根や谷などの立地環境にも依存する。また同じ風速でも、樹高、幹太さ、材剛性などサイズや種特性にも依存する。材料力学に基づいたアプローチとフィールド観測により、森林における樹冠の物理的競争関係を明らかにすることができると思われる。

## 2. 研究の目的

### (1) 風による幹のたわみ測定

風速に依存して幹がどの程度たわむかを測定する。また、尾根や谷という立地環境や種によってどう異なるかを明らかにする。

### (2) 樹冠の隙間を定量する方法の開発

当初は地上から写真撮影とレーザー距離計を組み合わせることによって樹冠の隙間を計測する予定であったが、研究期間中に、UAV(ドローン)の技術革新があったため、この手法を取り入れて、上空から樹冠の隙間

を定量する方法を確立する。

### (3) 樹冠の隙間の決定要因の解明

樹冠の隙間の大きさが異なる原因について、樹種や幹の形状の違いによって、どの程度依存するかを解析する。また樹高、幹直径、樹冠の形状、材剛性、風速を組み込んだ力学モデルの作製し、樹冠の揺れ予測する。

## 3. 研究の方法

### (1) 風による幹のたわみ測定

京都府木津川市北谷国有林にある森林総合研究所の山城試験地を利用させていただき、尾根と谷において、コナラ、ソヨゴ、リュウブの成木を対象に、幹の南側側面と東側側面の2ヶ所にひずみゲージを設置した(1ゲージ法)。動ひずみ測定器(東京測器、DC-004P; 共和電業、NTB-50A)を用いて、幹のひずみの0.1秒間隔で連続観測した。同時に測定できる数は、最大28チャンネルであり、測定器を分散設置して、尾根・谷で同時期にひずみの観測を行った。1回の観測はおよそ2週間で、合計3回の測定を行った。

ひずみ観測と同時期に、尾根の一点で森林の代表値として風速の観測を行った。風速計は三次元の超音波風速計(Young, Model81000)を用いた。アルミポールの上に風速計を設置することにより、林冠上部付近の8mの高さで風速を観測した。風速計のデータは、汎用マイクロコントローラ(Arduino uno R3, Arduino Software)に16ビットのAD変換器(ADS1115, Texas Instruments)とSDカードモジュール(seed studio)を組み込んだ装置によって、SDカード上に記録した。また、マイクロコントローラにはリアルタイムクロックモジュール(秋月電子)を組み込み、正確な時刻を記録できるように制御した。

### (2) 樹冠の隙間を定量する方法の開発

UAV(DJI, Phantom 2)を用いて、空撮を行った。市販の機種に、DJI 2.4 Datalinkを組み込み、Ground Stationというソフトでコントロールすることにより、予め決めたルートを自動航行させることができる。この改良を行い、またカメラはRicoh GRを用いて、インターバル撮影により、上空からの連続撮影を行った。撮影高さは高すぎると解像度が落ち、低すぎると、写真合成ができないので、本研究の目的では高さ50m前後が適切であった。撮影場所は、山城試験地や上賀茂試験地のほか、高台寺国有林などで行った。連続撮影した画像は、sfm解析ソフトウェア(Agisoft, PhotoScan)を用いて、3Dモデル化した。またこのソフトによってオルソ画像を作製し、樹冠の隙間の定量を行った。



### (3) 樹冠の隙間の決定要因の解明

空撮によるオルソ画像をもとに、現地に行き、空撮によって捉えたそれぞれの樹冠の確認作業を行った。上空からは2本に見えた木が実際は1本である場合や、逆に上空からは1本に見えた木が実は2本である場合などもあり、現地確認作業は非常に重要であった。個体ごとの樹冠を確定後、それぞれの個体の高さや幹の太さ、枝の分岐位置などを測定した。これらのデータを用いて、樹冠の隙間の決定要因の解析を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 風による幹のたわみ測定

コナラを20個体(尾根9、谷11)、ソコゴを15個体(尾根8、谷7)、リョウブを7個体(尾根5、谷2)、計42個体のひずみ観測を行った。幹のたわみ(ひずみ)は、風速に依存しており、風速の約1.5乗程度の指数増加を示した(図2)。

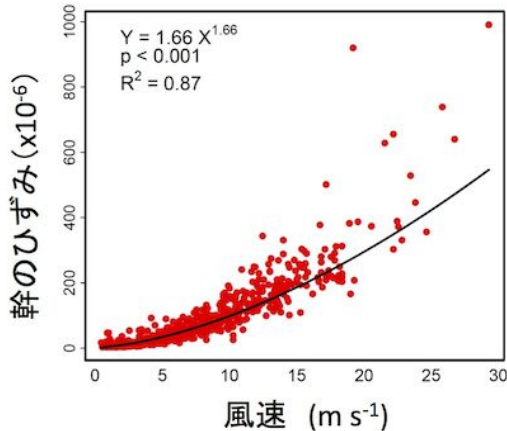


図2. ひずみゲージによる幹のひずみ測定の一例。風速が増加すると指数的にひずみが増加する(幹がたわむ)。(中嶋聖徳、小南裕志、小野田雄介. 未発表)

一般に、谷の個体のほうが尾根の個体よりも、幹太さに対する高さが高い傾向があった。風速を  $15 \text{ m sec}^{-1}$  で一定と仮定した場合の力学モデルからの安全率を計算すると、いずれの種においても、尾根の個体の方が安全率の高い傾向を示した。しかし、実際のひずみ観測による安全率は尾根と谷で同程度、もしくは谷の方が高い傾向を示した。つまり、この事実は、谷のほうが風当たりが弱く、そのため、力学的には不安定(スレンダー)な形をしていても、同程度の安全率になったと考えられた(図3)。

### (2) 樹冠の隙間を定量する方法の開発

連続撮影された空撮画像を sfm 技術によって合成し、その合成画像を用いて、樹冠の隙間の定量を行った。シイは明瞭な樹冠の譲り合いをもつ傾向があり、合成画像からも十分

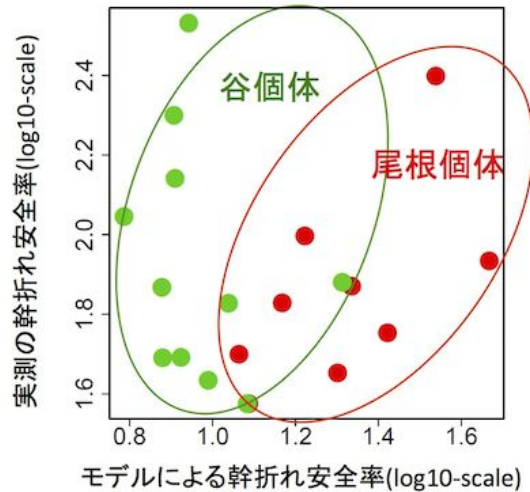


図3. 尾根と谷に生育するコナラの風に対する幹折れ安全率。尾根での風速が  $15 \text{ m/s}$  時での実測の安全率と、モデルによる安全率の推定との関係。モデルでは谷個体のほうが安全率が低い(折れやすい)という評価になるが、実際は、谷個体は風当たりが弱いので、実測の安全率は尾根個体と変わらない。(中嶋聖徳、小南裕志、小野田雄介. 未発表)

に解析することができた。この方法は、林床から測定する手法に比べると、数十倍の効率で測定が可能である。一方で、上空からの画像では、高さによる樹冠の棲み分けが判別できないため、樹冠が接しているのか、階層的に棲み分けしているのか区別しにくいこともわかった。

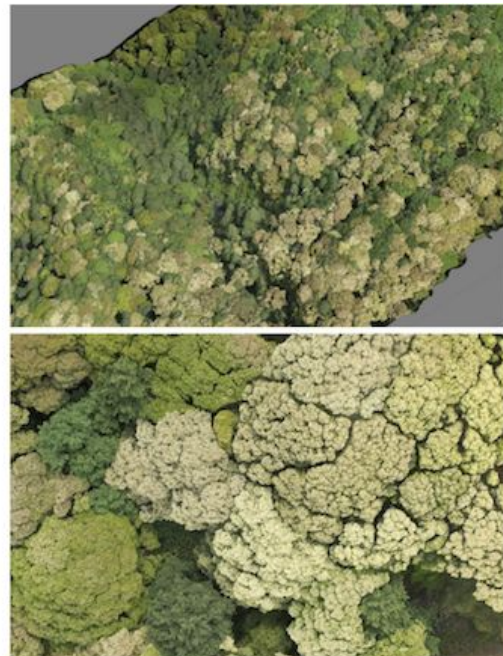


図4. ドローンによる空撮画像を使用した森林3Dモデルの一例(上図)と樹冠の隙間の定量に利用した写真の一例(下図)(板東玲青、小野田雄介. 未発表)。

### (3) 樹冠の隙間の決定要因の解明

高台寺国有林において、116本の樹木について樹冠の隙間の定量を行った。内訳は、スダジイ79本、ヒノキ32本であった。樹冠の隙間は、ヒノキ同士ではほとんど形成されないが、シイ同士ではよく形成され、シイ・ヒノキではその中間であった。ヒノキで樹冠の隙間が形成されない理由は、ヒノキの樹冠が紡錘形をしているため、樹冠上部で、隣接個体とぶつかり合うことがないためであると考えられる。

樹冠の隙間の違いを、樹高、幹太さ、樹高/幹太さによって、それぞれ相関をみたところ、樹高や太さだけでは有意な相関は見られなかったが、樹高/幹太さは、樹冠の隙間と有意な正の相関が見られ、個体がスレンダーなほど樹冠の隙間が大きくなることわかった(図5)。

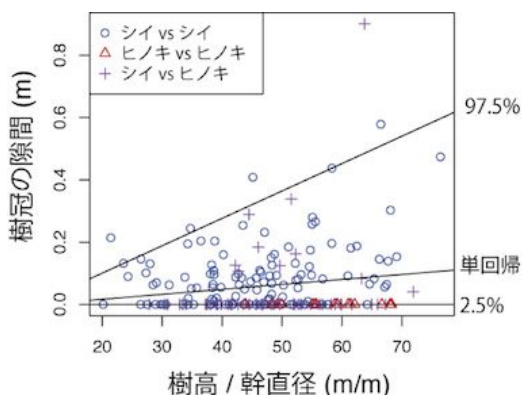


図5. 樹冠の隙間と樹高/幹直径の関係。樹高/幹直径は隣接する個体の平均値である。上空からの写真では、樹冠同士の高さの棲み分けは評価できず、樹冠が接していなくても、隙間を0として評価してしまうことがある。そのため、分位点回帰により、上限値に注目する。樹木がスレンダーなほど、樹冠の隙間は大きくなる傾向がある。(板東玲青、小野田雄介。未発表)。

風によって、樹冠がどの程度動くかを、力学モデル(片持ち梁)を構築することによって推定した。このモデルでは、風による抗力は、樹冠の面積と風速に依存すると仮定した。また幹の太さや高さ情報は、現地で測定した情報を用いた。材のヤング率は10 GPaを用いた。風速20m/sでの樹冠の揺れ幅と、実際の樹冠の隙間は同じオーダーになり、ある程度の突風に対する適応として、樹冠の隙間が形成されていることが示唆された。その一方で、モデルから推定された樹冠の揺れ幅は、実際の樹冠の隙間と必ずしも良い相関があるわけではなく、立地要因や高さによる棲み分けなど他の要因も重要であることが示唆された。

その他、本研究に関連して、樹木の形質と競争の国際共同研究や、水流による強い物理

ストレスを受ける海草の力学に関する国際共同研究、樹木と竹の競争関係の研究を行った。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

Onoda Y, Schieving F & Anten NPR. (2015) A novel method of measuring leaf epidermis and mesophyll stiffness shows the ubiquitous nature of the sandwich structure of leaf laminae in broad-leaved angiosperm species. *Journal of Experimental Botany* 66: 2487–2499. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv024>

Kunstler G et al. incld Onoda Y (2015) Plant functional traits have globally consistent effects on competition. *Nature*. 529, 204–207. doi:10.1038/nature16476

de los Santos CB, Onoda Y, Vergara JJ, Pérez-Lloréns JL, Bouma TJ, La Nafie YA, Cambridge ML, Brun FG (2016) A comprehensive analysis of mechanical and morphological traits in one third of world seagrass species. *Marine Ecology Progress Series* 551:81-94. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps11717>

Onoda Y, Wright IJ, Evans JR, Hikosaka K, Kitajima K, Niinemets Ü, Poorter H, Tosens T, Westoby M. (2017) Physiological and structural tradeoffs underlying the leaf economics spectrum. *New Phytologist* 214: 1447–1463. DOI: 10.1111/nph.14496

[学会発表](計4件)

中嶋聖徳, 北山兼弘, 小南裕志, 小野田雄介 (2015) 風による幹のひずみ観測から明らかにする尾根・谷間の樹形の違い. 日本生態学会第62回全国大会 (2015年03月19日, 鹿児島)

小野田雄介, Feike Schieving & Niels PR  
Anten (2015) 葉っぱ、薄いのになぜ丈夫? 新  
手法により明らかになった葉の超効率的な  
力学構造. 植物学会大会 (9/6-9/8, 新潟)

小林慧人, 北山兼弘, 小野田雄介 (2017)  
放棄竹林拡大に及ぼす侵入地の光環境の重  
要性. 日本生態学会第 64 回全国大会 (2017  
年 03 月 15 日, 東京)

小野田雄介 (2017) 葉の形質の気候傾度パ  
ターンとそのメカニズムの考察. 日本生  
態学会第 64 回全国大会(3/14, 東京)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

特になし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小野田雄介 (ONODA, Yusuke)  
京都大学・大学院農学研究科・助教  
研究者番号: 70578864

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者

### (4) 研究協力者

中嶋聖徳 (NAKASHIMA, Kiyonori)  
京都大学・大学院農学研究科・修士

板東玲青 (BANDO, Reo)  
京都大学・大学院農学研究科・学士

小南裕志 (KOMINAMI, Yuji)  
森林総合研究所・関西支所・グループ長  
研究者番号: 70353688