

オゾン感受性の樹種間差異とブナ枯れの関係を考える ： 富山県・立山のブナ衰退を例に

久米, 篤
九州大学大学院農学研究院

<https://hdl.handle.net/2324/1789604>

出版情報：北方林業. 65, pp.80-83, 2013-03-01. 北方林業会
バージョン：
権利関係：

オゾン感受性の樹種間差異と ブナ枯れの関係を考える

—富山県・立山のブナ衰退を例に—

氏名 久米 篤 (くめ あつし)

区切り線

はじめに

今日、日本で観測されるレベルの大気汚染によって樹木が直接的に枯死してしまうという事はかなり稀な事例であろう。確かに、実験圃場などで苗を利用したオゾン(O₃)付加実験では、自然界では比較的高濃度な100ppb程度のO₃を長期間暴露すると、どの樹種でも多かれ少なかれ成長の低下が確認されるが、この程度のO₃ストレスで苗木が枯死してしまうことはまず無い。一方、野外においては、個々の大気汚染物質の濃度が実験条件下よりも低いと想定される環境下においても、枯死に至る被害が発生していると推定されることがある。このような違いを理解するうえで重要な考え方として、野外で生育している樹木はすでに様々な環境ストレスを受けており、結果的に大気汚染は複合ストレスの1要素としてのみ作用するということがあげられる。

主なストレスとしては、水、光、温度、栄養塩類などにかかわる非生物的要因が挙げられるが、それらに加えて樹木の成長に大きな影響を与えているのは他個体、あるいは他種との競争である。たとえば、土壌や日当たりなどの非生物的環境条件をそろえて、同一樹種を植えて成長の様子を比較したとしても、植栽密度が異なるだけで、その集団の成長速度や枯死率などは大幅に変化する。また、複数の樹種を混植した場合、樹種の組み合わせと非生物的環境の違いによって、その後の成長の様子は大きく異なってくるだろう。

たとえば、乾燥した貧栄養な土壌で日当たりが良ければ、カラマツなどの樹種が優位に立つであろうし、水分が十分にあり富栄養な土壌では、ヤナギやカンバ類の仲間が優位に立つだろう。また、

地下水位の違いなども、樹種間の成長速度に大きな差をもたらす要因となる。さらに、重要な観点として植生遷移があり、最初に定着した樹種(遷移初期種)が成長していくことによってその場所の環境が変化し、既存の種の優位性が失われ、時間と共に別の樹種(遷移後期種)に置き換わっていく現象は広く知られている。すなわち、自然界における樹木の枯死や樹種の入替わりには、競争や遷移の過程を通じたものが普通に見られる。

本稿では、国立公園のブナ・スギ混交林におけるブナの衰退現象を紹介し、摩周湖外輪山の衰退を考える一助としたい。

立山のブナ林

1971年に全面開通した立山黒部アルペンルートは、富山県立山駅と長野県扇沢駅の約25kmを結ぶ山岳観光ルートで、最大高低差は約2000mもある。ルート全体が自然公園法による中部山岳国立公園の特別保護地区および特別地域に含まれているため、自然景観をできるだけ損なわず、自然に与える影響を最小限に抑えるよう、関係者による様々な配慮がなされている。大量の積雪のため、12月から翌年4月上旬までは閉鎖されるが、毎年4月から11月までに100万人弱の観光客が通過する。一般車両の通行が規制されているため、ほとんどの観光客は美女平(標高977m)と室堂(標高2450m)の間を、立山有料道路を通行する大型バスによって輸送される。

しかし、道路沿いの樹木の枯死が目立つなど、開通当初より排気ガスの悪影響が指摘されたため、1978年からは富山県によるモニタリング調査が実施されてきた。その結果、ブナなどの一部の樹種については、沿線から遠く離れ、直接的な影響が及ばないと考えられる場所においても活力低下の傾向が見られるなど、より広域的な要因が影響している可能性が示唆された(富山県2002)。特に、日本海に面しているため、大陸からのO₃や酸性物質などの広域大気汚染の影響も予想された。

そこで、1998年より地球規模での環境要因の変化が立山一帯の自然にどのような影響を及ぼし、将来どのように進行していくのかを予想するために「立山植生モニタリング調査」事業が富山県に

よって開始され、現在まで詳細な森林動態調査が続けられている。調査地の1つであるブナ平(標高1180m)では、1999年に道路に隣接するブナ・スギ混交林に100m×100mの調査区が設定され、毎木調査・マッピングが行われ、その後の枯死・衰退程度が記録されている(富山県 2008)。ここでは、ブナ平においてバス通行量と大気汚染、森林動態との関係について測定・解析を行った研究を中心に紹介する(Kume et al. 2009)。

大気汚染分布

2006年9月から11月にかけて、道路脇から森林内部にかけて小川式パッシブサンプラーを設置し、道路からの距離と二酸化窒素(NO_2)及び O_3 濃度、気温、相対湿度を測定した。小川サンプラーは、測定対象ガスに反応する化学物質を染み込ませた“ろ紙”を、分子拡散率を調整した容器内に設置し、時間当たりの反応量から平均濃度を評価するもので、その精度については世界的に高く評価され、電源が利用出来ない調査地における標準的な測定手法の1つとなっている。

立山有料道路のバス通行量については、富山県道路公社から提供を受けた。また、バスの発着地である美女平では、立山黒部貫光株式会社より測定器設置場所と電源の提供を受け、大気汚染の連続測定も行った。



図-1 ブナの幹(高さ2m)に設置された小川サンプラー(<http://ogawajapan.com>)と温湿度計

平均 NO_2 濃度は測定期間中のバス通行量と高い相関を示し、道路際で最も高く、道路から70m離れた森林内でも影響が確認された(図-2)。ただし、平均 NO_2 濃度は通行量が最も多い期間の道路際においても3.5ppb以下であり、道路由来の大気汚染が森林に直接的な影響を与えている可能性は低く、一般車の乗り入れ規制によって道路からの排気ガス影響が低く抑えられていることがわかった。一方、平均 O_3 濃度は道路からの距離にかかわらず高い値を示し(図-3)、1週間の平均濃度が60ppbを越えることもあった。

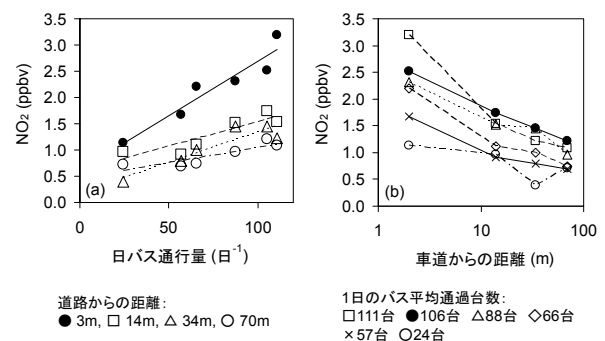


図-2 立山・ブナ平林内の大気 NO_2 濃度(Kume et al. 2009より作成)

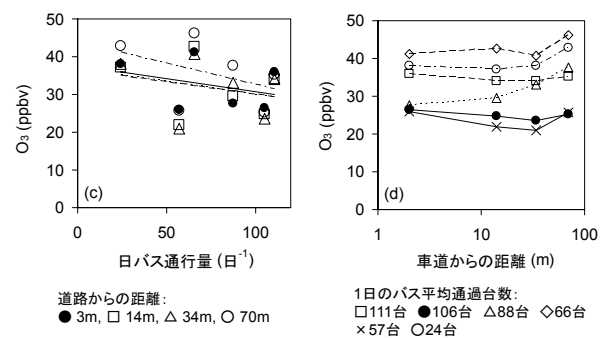


図-3 立山・ブナ平林内の大気 O_3 濃度(Kume et al. 2009より作成)

美女平における連続測定の結果は、 NO_2 濃度については観光バスの登山が始まる8時過ぎから上昇し、昼間に低下し、夕方下山時にまた上昇し、夜間にはほぼゼロになるという、バスの運行と密接な関係を示した。一方 O_3 濃度は、夏季においては富山平野からの汚染物質の吹き上げの影響を強く受け、午後には80ppbを超えることもあり、秋以降は大陸からの気流の影響を強く受けることが明らかになった。これらの測定結果は、ブナ平に

おける大気汚染は、従来から指摘されていた近接する道路からの排気ガスの影響よりも、遠距離から輸送されてくる広域大気汚染の影響のほうが大きいことを示した。

ブナ平の森林動態

ブナ平調査区内の全個体の胸高断面積の合計は1999年に40.4m²、2006年に39.5m²で、ほとんど変化しなかった。しかし、ブナの胸高断面積は21.6m²から19.4m²へと約10%減少し、一方スギでは17.9m²から19.0m²へと約6%増大していた。つまり、ブナの胸高断面積減少量とスギの胸高断面積増加量がほぼ一致していたため、林分全体では見かけ上ほとんど変化しなかったことになる。樹木の各成長指標は、いずれも道路からの距離とは有意な関係が見られなかった(図-4)。このことは、現在の森林動態には、道路はほとんど影響を与えていないことを示唆している。

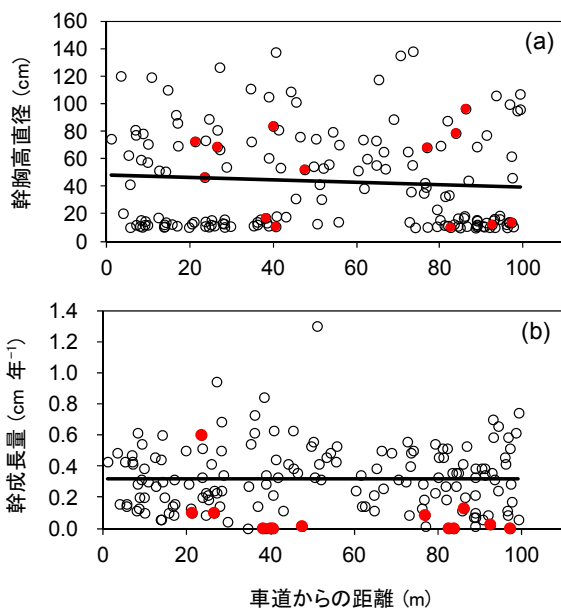


図-4 車道からの距離と(a)幹胸高直径と(b)モニタリング期間(1999-2006)の幹成長量の関係。●は枯死個体。

7年間のモニタリング期間中に14本の樹木が枯死したが、そのうち11本がブナであり、大木ほど肥大成長量が減少していたが、スギは1本も枯死せず、大木ほど肥大成長が増大していた(図-5)。

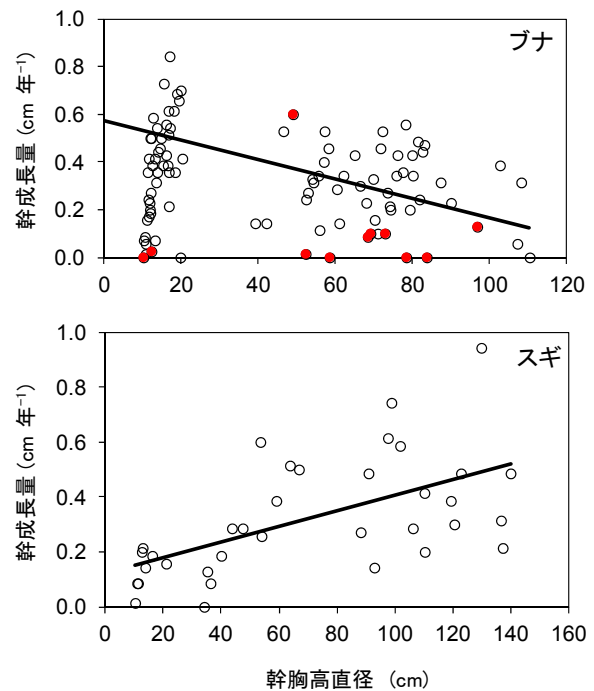


図-5 モニタリング期間のブナとスギの幹成長量と胸高直径の関係。●は枯死木(ブナのみ、スギは枯死せず)。

富山県のようなブナ林では、プロット内で大きな胸高直径を持つ木ほど成長量が大きく、生存率も高いこと、そして林分の発達に伴ってブナ優占度が増加する傾向があることが明らかになっている(石田 2003)。しかし、ブナ平の傾向は反対であった。この現象の理解には、現在の大気汚染環境と樹種特性の違い、すなわちブナとスギの違いが鍵になるのではないかと考え、現在、研究を進めている。渡辺・山口(2011)のモデル予測が示すように、O₃が成長に及ぼす悪影響はスギよりもブナにおいて著しく大きく、特に窒素負荷の影響を考えた場合には、立山周辺地域を含む富山県南部のブナ林は高リスク地域となっている。また、近年の大気CO₂濃度の上昇は、スギにおいてはO₃ストレスを緩和する一方で、ブナでは効果が無い可能性が栽培実験によって示されている(Matsumura et al. 2005)。さらに、スギは非耐陰性樹種(Yamashita et al. 2006)であり、新しくギャップが出来た場合にはブナよりもより大きな成長促進効果があると考えられる。現在のブナ平のO₃濃度は、O₃感受性のブナ成木の衰退を引き起こすほどに上昇しており、ブナ衰退で生じたギャップにO₃

耐性で陽樹のスギが増大していると解釈できる。ブナ平の大気環境の変化がブナに対するスギの競争力を高め、ブナからスギへの樹種交代を促進している可能性は高い。

一方、ブナ平周辺ではブナ稚樹の新規加入も盛んであるため(石田 2004), 今後の植生動態が注目される。O₃による成長低下の影響を受けたとしても、ブナの稚樹はスギ林の下で生き残れる可能性も高いため、数十年後には、新しいブナ平として再生している可能性もあるだろう。

立山の霧とオゾン

O₃の効果は、必ずしも気体としてのO₃だけによって生じるものではないことが明らかになってきている。たとえば、家電製品でも応用されているように、プラズマ放電によってオゾン様粒子を発生させ、直接的にO₃を発生させることなく脱臭や殺菌の効果を生じさせることができる。これらの効果には活性酸素やOHラジカルの生成が重要な役割を果たしていると考えられている。葉の表面に付着した水滴中に過酸化水素(H₂O₂)が含まれていると、OHラジカルの生成に伴って、O₃暴露による場合と同様の光合成蒸散機能の低下が生じることが様々な暴露実験によって実証され、野外の汚染地域でも確認されている(久米ら 2011)。

立山では頻繁に霧が発生し、それらが樹木の葉の表面に付着し、樹雨として林床に供給されることも多い。立山における大気観測では、pH3.5以下の強い酸性霧だけではなく、100 μMを超える高濃度のH₂O₂を含んだ霧が度々検出されているため(Watanabe et al. 2010), 酸性霧による樹冠からの溶脱促進と同時に、液相を介したO₃効果による植生への影響が予想されている。H₂O₂は大気O₃によって生成が促進され、特に山岳域におけるO₃濃度が上昇していることから、野外におけるH₂O₂濃度の測定データの蓄積が求められている。日本のように、霧や露が生じやすい湿潤な環境では、森林へのO₃影響評価において、気相と液相の両面からの影響評価が実体解明の鍵となるかもしれない。

大気汚染物質が植物群集に与えている影響を野外で直接評価することは容易ではない。ダイナミックに変化する汚染物質を把握するためには、

大気・環境化学的な測定が不可欠である。実際に植物に負荷される量は、現場の実態に即した評価が必要となる。また、広域大気汚染の現実的な影響評価には、種間相互作用という視点が不可欠であろう。今後、森林長期モニタリングの結果の解釈においても、大気環境の変化は重要なポイントとなる可能性がある。

(九州大学農学部附属北海道演習林)

引用文献

- 石田仁 (2003) 富山県におけるブナ林の分布と動態. 数理統計 51:59-72
- 石田仁 (2004) 立山アルペンルート沿線におけるブナの植栽と事後経過. 日本緑化工学会誌 29:503-506
- Kume, A.ほか5名 (2009) Influence of air pollution on the mountain forests along the Tateyama-Kurobe Alpine route. Ecol. Res. 24:821-830
- 久米篤・渡辺幸一・永淵修・朴木英治 (2011) 広域大気汚染の現状と森林生態系への影響 -屋久島と立山の事例-日本生態学会誌 61: 97-106
- Matsumura, H.ほか7名 (2005) Impacts of elevated O₃ and/or CO₂ on growth of *Betula platyphylla*, *Betula ermanii*, *Fagus crenata*, *Pinus densiflora* and *Cryptomeria japonica* seedlings. J. Agric. Meteorol. 60:1121-1124
- 富山県 (2002) 環境変動と立山の自然-立山植生モニタリング調査報告書- (小島覚編)
- 富山県 (2008) 環境変動と立山の自然(II) -立山植生モニタリング第II期調査成果報告書- (小島覚編)
- Watanabe, K.ほか9名 (2010) Chemical characteristics of fog water at Mt. Tateyama, near the coast of the Japan Sea in central Japan. Water Air Soil Pollut. 211:379-393
- 渡辺誠・山口真弘 (2011) 日本の森林樹種6種に対する窒素沈着を考慮したオゾンのリスク評価. 日本生態学会誌 61:89-96
- Yamashita, K.ほか4名 (2006) Effects of residual trees on tree height of 18- and 19-year-old *Cryptomeria japonica* planted in group selection openings. J. For. Res. 11:227-234