

野外調査と操作実験による対流圏オゾンが樹林地に与える影響評価

北海道大学・大学院農学研究院 小池孝良

1. はじめに

オゾン(O₃)影響という、よく混乱されるのは、成層圏オゾンであり、不思議な表情を目にする。そこでO₃には「良いオゾン」と「悪いオゾン」があって、最近、問題になっているのは、対流圏オゾンであり光化学スモッグの本体であることを説明する。そうすると、日本の大気汚染は改善されたはずで、国内での汚染物質濃度も低下してきている (Fig.1) のに、研究のための研究をしているのではないかと周囲の仲間からは怪訝な顔をされる。実際、1970年代に深刻化した苫小牧地域でのストロブマツの異常落葉は、当初、土壌の問題でカリウム欠乏とされたが、続く酸性雨研究の調査を詰めて行くなかで、酸性霧の影響が実証された。それらの活動によって脱硫装置が一般化し、大気環境は改善された。次の「予算」ネタがO₃なのか? というふうである。

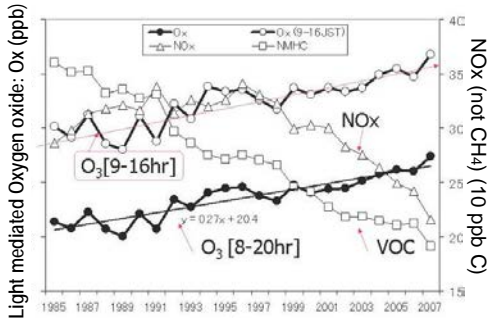


Fig.1. Trend in the concentration of precursor of Ozone in Japan (after Ohara 2011)

たしかに1970年代には、当時の林業試験場(現・森林総研)の移転時の目玉として大気汚染実験棟という閉鎖空間での大気汚染影響の研究がなされた。続く当時・群馬県衛生研究所から関東平野でのスギの衰退(=酸性雨)は、調査・実験からヒートアイランド現象の影響が大きいと結論づけられた。

この様に、周辺からの指摘は一理あるが、日本をとりまく大気環境は刻々と変化しているおり、大気環境の劣化の影響は、直接、陸上植物の生産環境へ影響を与える。持続的資源管理がキーワードとして再び注目を集めてきた。作物とは違って、資源生産や住環境への注目は後回しになりがちである。

「ころばぬ先の杖」というが、大気環境学会の植物影響部会メンバーとして取り組んできた研究成果を本稿で紹介したい。

2. 研究の流れ

2. 1. 大気環境は都心部の方がきれい!

Nature(2003)に紹介されたポプラの研究は、その衝

撃の成果は今も生々しい。ニューヨーク都心から郊外に向かって、土壌・栄養・水分環境を揃えたポットにクローンのポプラを植えて生育させると「空気の綺麗なはずの」郊外の個体の成長が抑制されていた。そこから、反応式、 $\text{NO} + \text{O}_3 \rightleftharpoons \text{NO}_2 + \text{UV}$ (矢印には紫外線が関与)へ注目が集まった (Fig.2)。

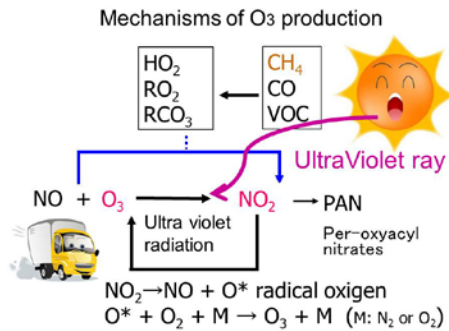


Fig.2. Chemical reaction of nitrogen compounds and ozone formation with UV radiation. (After ACAP)

主にディーゼル車の燃焼時に生成される排気ガス中の窒素酸化物が大気中のO₃と反応して「中和」され、無毒のNO₂となり、場合によっては、栄養分にもなり得る。ここで、前駆物質の対流とO₃の影響が明確になった。

2. 2. 摩周湖外輪山のダケカンバの衰退

道総研・環境科学センターからのご紹介で行われた弟子屈町と北大との包括連携協定の成果を述べる(川井田・小池 2014)。ダケカンバ林衰退の原因解明に迫ることになった。木が枯れること理由は、誘因(無機環境変化など)、素因(樹種の感受性など)、原因(最終的な理由)に大別できる。2009年までのO₃モニタリングの結果から、北海道全域の季節変化を見ると濃度が同調していた。そこで越境大気汚染の影響が指摘された。外輪山山頂に近い場所では火山灰土壌が厚く滞積し、そこに遷移前期種のダケカンバが生育している。

ダケカンバは典型的な外生菌根菌依存の植物なので、光合成作用が抑制されると感染できる白根量が減り、共生体を構成する外生菌根菌は光合成産物の最大30%を必要とするが、活動がO₃汚染環境では抑制される。そのために宿主であるダケカンバでは養水分(特にリンと水、さらに窒素)が吸収できづらくなり、オホーツク側で多発するフェーン現象などで高温になると吸水が追いつかず、その分、樹冠の枯れ下がり(ダイバック)が生じ、そこから腐朽菌が侵入して枯死に至ると考えている (Fig. 3)。取

り分け、ダケカンバは異形葉型のため、越年効果があつて前年の悪環境の影響を翌年に持ち越す。このことが原因解明を困難にしている。

Mechanism of tree declining hypothesis

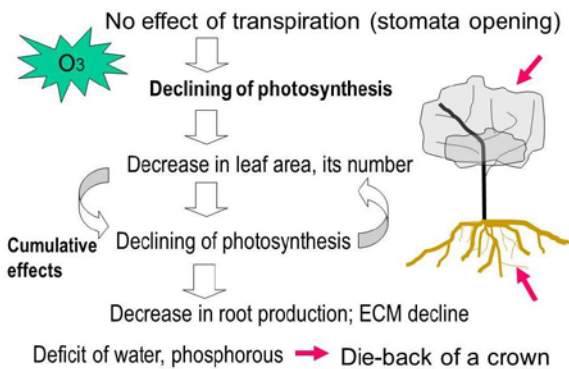


Fig.3. Schematic representation of die-back of Mountain birch in the somma of Lake Mashu. (Koike original)

2. 3. 野外開放施設でのブナ成木への O₃ 影響

Sitch らの Nature (2007)によると O₃が植物の総一次生産量を最大 30%抑制することを予測した。これに先だつてドイツ南部のミュンヘン工科大学では、屋外暴露施設で大気2倍濃度の O₃付加を行った結果、明確な種間差が見られ、ヨーロッパブナでは平均 80ppb-O₃環境で幹の太りは樹冠部で著しく抑制され対照区と比べ、幹全体の太りは 44%低下したことを報告した。日本でもブナでは 60ppb 付加であっても初期2年で幹の太りは約 25%抑制され、細根の生産も抑制されていた(渡辺ら未発表)。

2. 4. 高 O₃と CO₂との複合影響：カラマツの例

進行する大気 CO₂濃度は 2013 年 5 月には遂に 400ppmV を越え、マウナ・ロアの観測では、CO₂濃度は増加の一途を辿っている。O₃と CO₂の複合影響に関する大規模な操作実験は北米ミシガンで行われ、パルプ材料のポプラ類を対象に行われた。その結果、ポプラでは細根の生産が高 O₃で抑制され、高 CO₂では増加した。では、北日本の主要造林樹種であるカラマツ類ではどうであろうか。実はカラマツは北海道の郷土種ではなく、炭鉱坑木生産のために長野・山梨周辺から移入した樹種である。また、カラマツ属をみるとユーラシア大陸の東半分のほぼ全域を覆う。従つて地球環境の保全にも重要な樹種と言える。

さて、北海道では植林初期に植えたカラマツが収穫され再植林時期を迎えた。その材料として、カラマツを花粉親にグイマツを母親に作出されたグイマツ雑種 F₁は諸害に対する耐性が高いだけでなく、成長や幹の比重が高く CO₂貯留能も高いため有望な再造林樹種とされている(Kita et al. 2009)。これらの樹種の成長への O₃影響を先ず調べた。4 段階の O₃濃度 (5, 25, 50, 80ppb) で育成した結果、グイマツ雑種 F₁の成長は 50ppb 以上で急激な成長低下を見せたが、一方、カラマツでは 25ppb で最高の成長を示

し、Hormesis(緩やかなストレスは成長を促す)現象を示した (Fig. 4)。これからの結果からは、成長が速い分、気孔からの O₃や CO₂の取り込みが多くグイマツ雑種 F₁は O₃感受性が高いと考えられる。

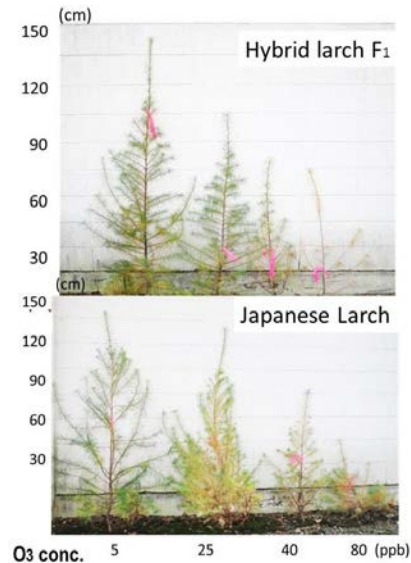


Fig. 4. Height growth of 2 larch species treated under 4 levels of O₃ with OTC. Upper: Japanese larch, Lower: Hybrid larch F₁

(After Kita et al. 2018)

高 CO₂環境では、植物は気孔を大きく開く必要が無いため水利用効率も増加する。開放天井をもつチェンバー (OTC) を用いて高 O₃(=60ppb)と CO₂(=600ppm) 育成試験を行った結果、対照と比較すると成長は高 O₃で抑制され、高 CO₂で増加した。O₃と CO₂の複合影響を見ると、成長は対照と高 O₃処理の値を示した。また、共生菌類の感染率と種数も成長と同じ傾向を示した。

2. 5. シグナル物質としての BVOC と高 O₃

都市内の樹林地を構成するシラカンバ類にハンノキハムシ (ハンノキ類の狭食者) の食害が目立っている。しかし、郊外では被害は明瞭ではない。各種実験の結果、シラカンバなどが出す BVOC (生物起源の起源揮発性有機ガス) は、餌としてのシラカンバの生育場所を示すはずであるが、これが高 O₃によって壊れたり大気中での滞留時間が短くなって、郊外では、食害が少ないと考えている。実際、訪花性昆虫の活動は、BVOC に依存しており、アメリカ中央部ではウリ科作物を中心に受粉ができず、生産量が低下していることが指摘された(Fuentes et al. 2013)。

3. まとめ

局所的ではあるが、O₃の影響は様々な場面で生態系へ重要な影響を及ぼしている。モニタリングと生態系影響を同時に測定し、その影響軽減につなげる必要を述べた。ここで紹介した内容は多くの学生、PD によって実施された。記して感謝する。