

## ブナの陽樹冠と陰樹冠へのオゾン影響 ～開放系オゾン暴露実験による解析～

北海道大学大学院 農学院 稲田 直輝・毛 巧芝・王 曉娜  
北海道大学大学院 農学研究院 星加 康智・渡辺 誠・小池 孝良

### はじめに

近年、北半球において、対流圏オゾン（地表面から10km付近までをいう。以下オゾン）濃度が増加している。オゾン濃度は今後も増加し、植物の成長に悪影響を与えると考えられており(1)、オゾンの植物に対する影響評価の研究への取り組みがなされてきた(4)。しかし、従来のオゾンの植物に対する影響評価に関する研究の多くは、人工環境下で行われてきたものであり、人工環境下と自然環境下では、その微気象環境の違いも考慮せねばならず、野外での検証が必要とされる。そこで冷温帯に広く分布するブナの幼樹を対象とした開放系暴露装置を用いたオゾン付加実験を行った。

従来の実験からは、ブナはオゾンの影響を受けやすいとされている(4)。また、それぞれの葉は生育する環境が異なる。そこで個葉の受光量の違いに注目した。受光量が異なることにより、葉の形態に違いが生じ、オゾンによる光合成機能への影響が異なると考えられる。本研究では、受光量の違いに注目して、ブナの光合成速度へのオゾンの影響を明らかにすることを目的とした。

### 材料と方法

実験は北海道大学北方生物圏フィールド科学センター札幌研究林実験苗畑に設置された開放系オゾン暴露装置を用いて行った(縦5.0m×横7.2m×高さ5.5m)。実験対象は11年生のブナとした。光環境の違いにより生じる葉の形態的な違いのパラメータとしてLMA(Leaf mass per area, g m<sup>-2</sup>)を利用し、個葉に対するオゾンの光合成機能への影響を調べることにした。個葉の受光量は日射計フィルム測定器(オプトリーフ, 株式会社大成化工, 東京)を葉面に設置し(8/1), 2週間後(8/14)に回収した後、LMAを測定し、受光量とLMAの関係を調べた。植栽土壌は褐色森林土である。オゾン暴露実験は日中60ppbを目標にした制御で2011年8～11月および2012年5～10月まで行った。実際の日中平均オゾン濃度は2012年の実験期間中において、対照区で24.2ppb, オゾン区で59.6ppbであった。2012年6, 8, 10月に携帯型光合成蒸散測定装置(LI-6400, Li-Cor, Nebraska, USA)を用いて葉のガス交換速度を測定した。測定中の葉温と飽差は、それぞれ24-28℃と1.2-1.8kPaであった。CO<sub>2</sub>濃度が380ppmの時の光-光合成曲線を作成し、純光合成速度と気孔コンダクタンス( $G_s$ )を求め、光量子収率( $\phi_{680}$ : 680nmでの

値)、暗呼吸速度を算出した。そして、同一の葉を用いて純光合成速度-葉内CO<sub>2</sub>濃度曲線を作成し、最大カルボキシル化速度( $V_{cmax}$ )と最大電子伝達速度( $J_{max}$ )を算出した(2)。その際の光合成有効放射束密度は光飽和をもたらす1500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ に設定した。葉のガス交換速度の測定後に、リーフパンチ(直径9mm, リーフパンチ, 藤原製作所, 東京)で採取した葉を70℃で60時間乾燥させ、乾重量を測定し、LMAを測定した。統計解析としてANCOVA(共分散分析)を用い、 $p < 0.05$ で有意差ありとした。

### 結果

日平均積算受光量とLMAには正の関係がみられた。また、オゾンの処理区間にLMAの違いは認められなかった(図-1)。

純光合成速度は、6月において、オゾンによる影響が認められなかったが、8, 10月ではLMAが大きい葉においてオゾンにより低下した。一方、気孔コンダクタンスは6, 8月にはオゾンにより有意な低下がみられたが、10月では処理区間に差が見られなかった(図-2)。最大カルボキシル化速度と最大電子伝達速度は、6月にはオゾンによる影響が見られなかったが、8, 10月でLMAが大きい葉においてオゾンにより低下が認められた(図-3)。暗呼吸速度は6月においてはオゾンによる影響が認められなかったが、8, 10月においてはLMAが大きくなるほどオゾン付加により増加した。また、光量子収率はいずれの月もオゾンによる影響は認められなかった(図-4)。

### 考察

ブナの光合成速度は、8, 10月に受光量の大きい葉においてオゾンにより有意に低下した。最大カルボキシル化速度と最大電子伝達速度も同様であった。一方、気孔コンダクタンスはオゾンによる低下が6, 8月には認められたものの、10月ではみられなかった。よって、10月における結果から、長期的なオゾン暴露による光合成速度の低下は気孔コンダクタンスの低下よりも光合成機能(Rubisco活性, 電子伝達)の低下に起因する可能性が推察される。また、注目すべきは、光合成速度が低下したにも関わらず、光量子収率( $\phi_{680}$ )が低下しなかったことである。これはオゾンにより光化学系ではなく、生化学的機能が阻害されたことを意味する。また、オゾン付加

により受光量の大きい葉で、暗呼吸速度が上昇した理由として吸収したオゾンの解毒あるいはオゾンによる障害の修復のために各種機能が増加したと考えられる。受光量の大きい葉で光合成機能へのオゾン影響が認められたが、受光量の小さい葉ではオゾンによる光合成に関するパラメータへの影響は確認できなかった。この理由として、気孔コンダクタンスが小さいためにオゾンの取り込みが少なかったことなどが考えられる。

本研究の結果からブナにおけるオゾンの影響は、受光量の大きい葉ほど光合成速度の低下が引き起こされることが分かった。ただし、既往の報告(3)によれば、ヨーロッパブナでは、陰葉の方が陽葉よりもオゾンの影響が大きかったとされている。この点に関連して、光環境の違いによってオゾン影響に違いが生じる原因を、今後、葉の内部構造の違いや気孔の応答などを検討することにより、究明したいと考えている。

謝辞

本研究は環境省地球環境研究推進費(B-1105)、科学研究費補助金(基盤研究B 23380078, 若手研究B 24710027

および 24780239) の一部支援を得た。記して感謝する。

引用文献

(1) Ashmore MR. (2005) Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. *Plant Cell and Environment*- **28**: 949-964.  
 (2) Farquhar GD., von Caemmerer S. and Berry JA. (1980) A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C3 species. *Planta* **149**: 78-90.  
 (3) Kitao M., Löw M., Heerd C., Grams T E E., Haberle K. and Matyssek R. (2009) Effects of chronic elevated ozone exposure on gas exchange responses of adult beech trees (*Fagus sylvatica*) as related to the within-canopy light gradient. *Environmental- Pollution*- **157**: 537-544.  
 (4) Yamaguchi M., Watanabe M., Matsumura H., Kohno Y. and Izuta T. (2011) Experimental Studies on the Effects of Ozone on Growth and Photosynthetic Activity of Japanese Forest Tree Species. *Asian Journal of Atmospheric Environment* **5**: 65-78.

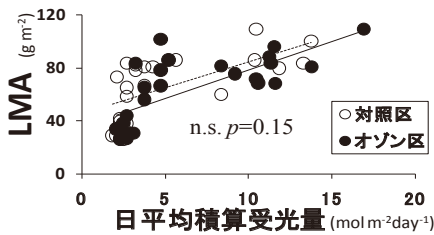


図-1 日平均積算受光量と LMA の関係

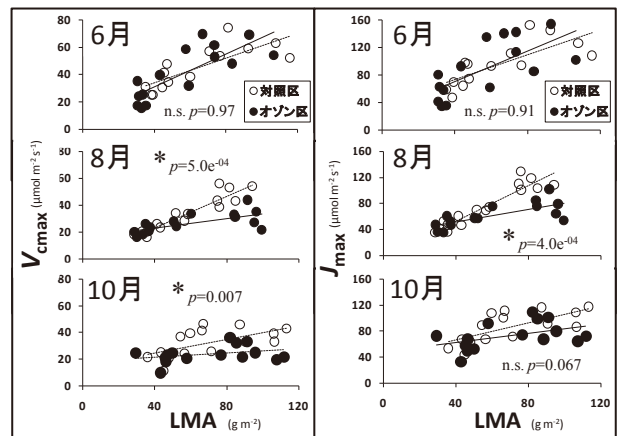


図-3 最大カルボキシル化速度、最大電子伝達速度と LMA の関係

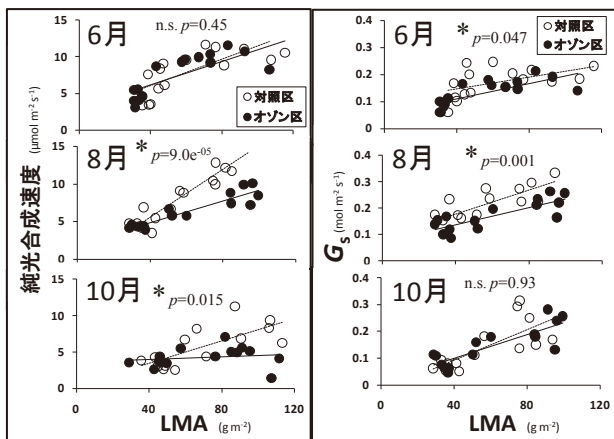


図-2 純光合成速度、気孔コンダクタンスと LMA の関係

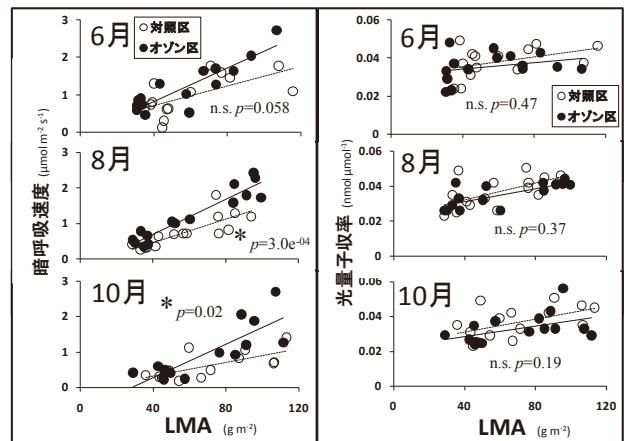


図-4 暗呼吸速度、光量子収率と LMA の関係