

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：12605

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12217

研究課題名(和文) 樹木のオゾン感受性に関する新規評価手法の開発

研究課題名(英文) Development of new method for evaluating the sensitivity of trees to ozone

研究代表者

伊豆田 猛 (IZUTA, Takeshi)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：20212946

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：オゾン存在下で個葉の光合成・蒸散速度が測定できるシステムを構築し、樹木のオゾン感受性の評価手法を開発した。シラカシとアラカシの純光合成速度に対するオゾンの影響は認められなかったが、スタジイやブナにおいてはオゾンによって純光合成速度の低下が引き起こされ、オゾン感受性に樹種間差異があることが示された。スタジイの純光合成速度はオゾン暴露開始4時間後から低下したが、シラカシの純光合成速度は5時間後まで低下しなかった。これらは長期オゾン暴露実験と同様な傾向であり、本研究で開発した手法を用いると、樹木の個葉に対する数時間のオゾン暴露によって長期的オゾン暴露に対する感受性を評価できることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：In the present study, we developed a new method for evaluating the sensitivity of trees to ozone based on the results obtained from short-term ozone-exposure experiment. We developed a new measurement system of net photosynthetic rate and transpiration rate during the exposure of a leaf to ozone for several hours. Net photosynthetic rate of *Quercus myrsinifolia* and *Quercus glauca* was not affected, but that of *Castanopsis sieboldii* and *Fagus crenata* was reduced by the exposure to ozone at 300 ppb for several hours. These results were in agreement with the results obtained from long-term ozone-exposure experiment for evaluating the sensitivity of trees to ambient levels of ozone. Therefore, it is possible to evaluate the sensitivity of trees to long-term exposure to realistic concentrations of ozone by the new method developed in the present study.

研究分野：環境ストレス植物学

キーワード：オゾン 樹木 樹木感受性評価

1. 研究開始当初の背景

光化学オキシダントの主成分であるオゾン(O<sub>3</sub>)は、植物に対する毒性が高いガス状大気汚染物質である。オゾンは樹木の光合成などの生理機能を阻害するため、森林を構成している樹木のCO<sub>2</sub>吸収による地球温暖化防止機能に悪影響を与えている可能性が高い。樹木に対するオゾンのリスクを評価するために、樹木のオゾン感受性(オゾンによる悪影響の受けやすさ)が評価されてきた。しかしながら、樹木のオゾン感受性の評価には大がかりな機器を組み合わせたオゾン暴露チャンバー等の設備が必要であり、それらの設備の維持管理のためには高度な技術も要する。実際に、欧米、日本および中国などの一部の国においてのみ、樹木のオゾン感受性の評価が行われており、多くのアジア諸国においては高濃度のオゾンが観測されているにもかかわらず、その評価は進んでいない。そこで、申請者らは、大がかりな設備を使わずに樹木のオゾン感受性を簡便かつ迅速に評価できる方法を開発する必要があると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、樹木のオゾン感受性を簡便かつ迅速に評価できる新規手法の開発を目的とする。具体的には、樹木の個葉の光合成・蒸散速度に対する数時間程度の短期オゾン暴露実験ができる装置を開発する。さらに従来の評価手法である樹木個体に対する長期オゾン暴露実験によって評価されたオゾン感受性の樹種間差異と個葉のオゾン暴露実験における光合成・蒸散応答を比較検討し、オゾン感受性を簡便かつ迅速に評価できるパラメータを選出する。

3. 研究の方法

(1) 個葉に対するオゾン暴露装置の開発

オゾン存在下における樹木の個葉の光合成・蒸散速度を測定できる装置を開発した。光合成測定法として広く用いられている同化箱法を採用し、それにオゾンの発生装置とその濃度制御機構を加えることによって、光合成に関する詳細なデータをリアルタイムで測定しながらオゾン暴露ができる装置を開発した。

(2) 長期オゾン暴露実験と個葉のオゾン暴露実験による樹木のオゾン感受性の評価

日本の代表的な常緑広葉樹であるアラカシ、シラカシおよびスダジイや落葉広葉樹であるブナなどを対象に、1成長期にわたる長期オゾン暴露実験をおこなった。本実験では東京農工大学 FM 多摩丘陵(東京都八王子市)に設置されたオゾン暴露チャンバー(既存設備)を利用した。ガス処理として、浄化空気区と外気オゾン濃度の1.0倍および1.5倍となる2種類のオゾン処理区の合計3処理区を設定し、チャンバー内で苗木を育成した。育成期間中に、個体の成長および葉の光合成活

性の変化を継続的に調査し、育成終了時に個体の乾重量を測定した。得られた結果に基づいて、成長および光合成に対するオゾンの影響とその樹種間差異を評価した。

長期オゾン暴露実験の結果に基づいてオゾン感受性が高いと評価された樹種および低いと評価された樹種を対象として、開発した個葉に対するオゾン暴露装置による光合成・蒸散速度に対するオゾンの影響を調査した。いくつかのオゾン濃度および暴露時間で検討を行った結果、下記の測定手順を評価手法として定めた。オゾンを暴露していないリーフチャンバーに対象葉をセットし、測定環境に葉を順化させた。各測定パラメータが安定した後に(約2時間後)、1時間にわたり純光合成速度および蒸散速度を継続測定した。この値をオゾンの影響がない条件での対照値とした。対照値の測定後、チャンバー内のオゾン濃度を300 ppbに制御し、その状態で8時間にわたって純光合成速度と蒸散速度のモニタリングを行った。8時間のオゾン暴露後にリーフチャンバー内を暗条件に保ち、葉の気孔が十分に閉じるのを待ち(約2時間)、1時間にわたりチャンバー内部および測定対象葉の表面に対するオゾンの収着速度を測定した。以上の測定結果から、葉の純光合成速度と気孔コンダクタンス(蒸散速度から算出する気孔の開き具合を示すパラメータ)および葉に存在する気孔を介したオゾン吸収速度の推移を測定した。

4. 研究成果

(1) 個葉に対するオゾン暴露装置の開発

本システムはオゾン暴露と葉の純光合成速度および蒸散速度の測定を同時に行える装置であり、ガスポンプ、マスフローコントローラー、オゾン発生器、葉を収納するリーフチャンバー、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>Oアナライザーおよびオゾンモニター等から構成されるエアフロー系と光合成を行うための光源およびチャンバー冷却装置等から構成される環境制御系を組み合わせた装置である。最終的に完成した装置の概要を図1に示す。

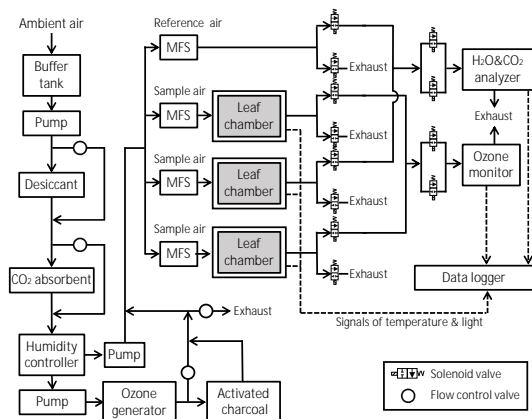


図1 本研究において開発されたオゾン存在下における光合成・蒸散測定装置の概要。

エアフロー系については、測定を行うための最適な各機器の配置・接続を検討するとともに、オゾン濃度の調整に適した接続チューブの選定等を行った。また、より多くの測定ができるようにリーフチャンバー(幅 8 cm × 奥行 8 cm × 高さ 4 cm)を当初の予定の 1 台から 3 台に増設した。

環境調節系のうち、光源に関して、いくつかの種類を試した結果、光照射に伴うチャンバーの高温化を極力抑えるために、クロロフィルの吸収波長帯である赤色(665 nm)と青色(470 nm)の LED ランプを搭載した人工光源を用いることとした。また、チャンバー内の温度について、当初ペルチェクーラーによる制御を行ったが、安定した制御が困難であり、かつ結露の問題が生じたため、スポットクーラーによって温度を制御することとした。

## (2) 長期オゾン暴露実験と個葉のオゾン暴露実験による樹木のオゾン感受性の評価

長期暴露実験によって日本の代表的な常緑広葉樹であるスダジイ、シラカシおよびアラカシなどの成長および光合成におけるオゾン感受性の評価を行った。図 2 に示した純光合成速度の例のように、アラカシとシラカシの成長と光合成機能に対するオゾンの影響は認められなかったが、スダジイにおいてはオゾンによってそれらの低下が認められた。この結果は、供試した 3 種の常緑広葉樹のオゾン感受性に樹種間差異があり、スダジイは他の 2 樹種と比較してオゾン感受性が高いことを示している。

長期暴露実験においてオゾン感受性が低かったシラカシとオゾン感受性が高かったスダジイを対象として、開発した個葉に対するオゾン暴露装置による純光合成速度および気孔コンダクタンスに対するオゾンの影響を調査した。スダジイの純光合成速度および気孔コンダクタンスはオゾン暴露開始 4 時間後から低下し始めたのに対して、シラカシのそれらは 5 時間後まで低下しなかった(図 3)。さらに、得られた結果から、8 時間

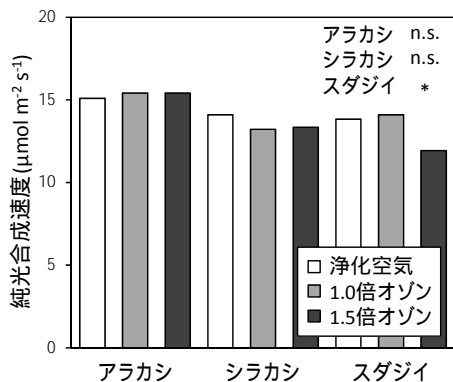


図 2 アラカシ、シラカシおよびスダジイの純光合成速度に対する長期オゾン暴露の影響。図の右上にオゾンの影響に関する分散分析の結果を示した(\*  $p < 0.05$ , n.s. not significant)。

の積算光合成量のオゾンによる阻害率はスダジイにおいてシラカシよりも大きかった(図 4)。これは長期オゾン暴露実験と同様の傾向であり、個葉に対する数時間程度のオゾン暴露によって、樹木のオゾン感受性を評価することが可能であることを示している。さらに、葉に存在する気孔を介したオゾン吸収量とオゾン吸収量あたりの光合成阻害率を算出したところ、スダジイはシラカシに比べてより多くのオゾンを経気孔から吸収したことが明らかになり、そのことがスダジイにおける高いオゾン感受性を引き起こす要因であると考えられる。

本研究において、短時間で樹木のオゾン感受性を評価する装置を開発することに成功した。今後はこの装置を用いて、多くの樹種のオゾン感受性を評価することが可能となり、日本だけでなく、アジアなどの多くの国々において、樹木に対するオゾンのリスク評価を行うことができるようになると考えられる。

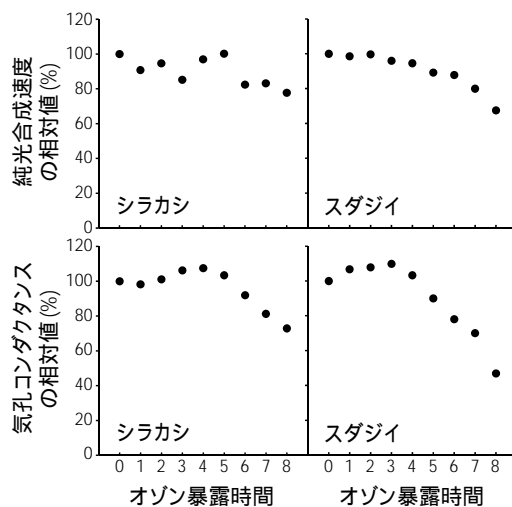


図 3 オゾン暴露(300 ppb)に対するシラカシとスダジイの純光合成速度と気孔コンダクタンスの応答。オゾン暴露開始時の各値を 100%とした相対値として表している。

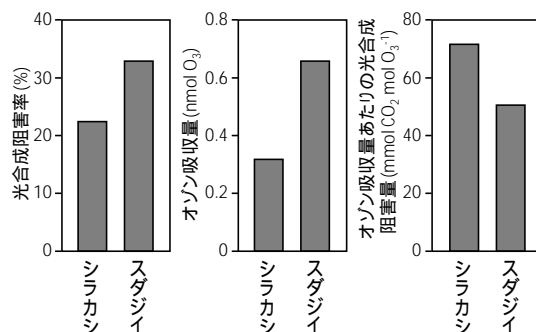


図 4 8 時間のオゾン暴露(300 ppb)によるシラカシおよびスダジイの葉の光合成阻害率、オゾン吸収量およびオゾン吸収量あたりの光合成阻害量。

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3件)

Kinose, Y., Fukamachi, Y., Okabe, S., Hiroshima, H., Watanabe, M. and Izuta, T. (2017) Photosynthetic responses to ozone of upper and lower canopy leaves of *Fagus crenata* Blume seedlings grown under different soil nutrient conditions. *Environmental Pollution*, 223, 213-222, 査読有.

DOI: 10.1016/j.envpol.2017.01.014

Kinose, Y., Fukamachi, Y., Okabe, S., Hiroshima, H., Watanabe, M. and Izuta, T. (2017) Nutrient supply to soil offsets the ozone-induced growth reduction in *Fagus crenata* seedlings. *Trees (Structure and Function)*, 31, 259-272, 査読有.

DOI: 10.1007/s00468-016-1481-7

渡辺 誠, 山口真弘, 伊豆田 猛 (2016) 樹木に対するオゾンの影響. *大気環境学会誌*, 51(6), A67-A75, 査読有.

[学会発表](計11件)

Watanabe, M., Kinose, Y., Hoshika, Y., Koike, T. and Izuta, T., Photosynthesis of upper and lower canopy leaves of Siebold's beech under elevated ozone. XIX International Botanical Congress (IBC2017), 23-29 July 2017, Henzhen, China.

渡辺 誠, 黄瀬佳之, 星加康智, Evgenios Agathokleous, 小池孝良, 松村秀幸, 河野吉久, 伊豆田 猛. 日本の森林樹種の成長および乾物分配のオゾンに対する応答. 第128回日本森林学会大会, 2017年3月27日, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)

黄瀬佳之, 伊豆田 猛. 養分状態が異なる土壌で育成したブナ苗のCO<sub>2</sub>固定量に対するオゾンの影響. 第128回日本森林学会大会, 2017年3月27日, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)

Kinose, Y., Okabe, S., Hiroshima, H., Watanabe, M. and Izuta, T. (2016) Nutrient supply to soil offsets the ozone-induced reduction in growth of *Fagus crenata* seedlings. The 2nd Asian Air Pollution Workshop, 22 October 2016, Research Center for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.

Watanabe, M., Hiroshima, H., Kinose, Y., Okabe, S. and Izuta, T. Nitrogen use efficiency for growth of *Fagus crenata* seedlings under elevated ozone with different soil nutrient conditions.

The 2nd Asian Air Pollution Workshop, 22 October 2016, Research Center for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.

伊豆田 猛. 大気環境問題とそれらの植物影響について. 府中市環境保全活動センター事業(府中かんきょう塾 2016), 2016年10月8日, 東京農工大学(東京都府中市)

伊豆田 猛. 地球のお医者さんに学ぶ, 植物に対する環境ストレスの影響. 東京都公園協会 緑と水の市民カレッジ, 2016年10月1日, 東京都公園協会 緑と水の市民カレッジ(東京都千代田区)

黄瀬佳之, 岡部成晃, 廣島ひろか, 渡辺 誠, 伊豆田 猛. 養分状態が異なる土壌で育成したブナ苗の上位葉と下位葉の光合成能力に対するオゾンの影響. 第57回大気環境学会年会, 2016年9月8日, 北海道大学(北海道札幌市).

岡部成晃, 黄瀬佳之, 廣島ひろか, 伊豆田 猛, 渡辺 誠. 異なる土壌養分条件下で育成したブナ苗の植栽土壌における呼吸速度に対するオゾンの影響. 第57回大気環境学会年会, 2016年9月8日, 北海道大学(北海道札幌市).

渡辺 誠, 廣島ひろか, 黄瀬佳之, 岡部成晃, 伊豆田 猛. 異なる土壌養分条件におけるブナ苗の成長における窒素利用効率に対するオゾンの影響. 第57回大気環境学会年会, 2016年9月8日, 北海道大学(北海道札幌市).

- 11 伊豆田 猛. 日本の森林構成樹木に対するオゾンと土壌への窒素沈着の影響. 日本学術会議公開シンポジウム(気候変動と森林生態系の持続性), 2016年7月21日, 日本学術会議(東京都港区)

[図書](計2件)

Watanabe, M., Hoshika, Y., Koike, T. and Izuta, T. (2017) Chapter 5 Effects of ozone on Japanese trees. *Air Pollution Impacts on Plants in East Asia* (Edited by Takeshi Izuta), pp. 73-100, Springer.

Watanabe, M., Hoshika, Y., Koike, T. and Izuta, T. (2017) Chapter 6 Combined effects of ozone and other environmental factors on Japanese trees. *Air Pollution Impacts on Plants in East Asia* (Edited by Takeshi Izuta), pp. 101-110, Springer.

[産業財産権]

出願状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:

種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

伊豆田 猛 (IZUTA, Takeshi)  
東京農工大学・大学院農学研究院・教授  
研究者番号：20212946

##### (2) 研究分担者

渡辺 誠 (WATANABE, Makoto)  
東京農工大学・大学院農学研究院・特任准教授  
研究者番号：50612256

##### (3) 連携研究者

( )  
研究者番号：

##### (4) 研究協力者

( )