

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03410

研究課題名(和文)複合的な環境変動による白神山地のブナ林被害に対する適応策に関する樹木生理学的研究

研究課題名(英文)Tree physiological study on the adaptation strategies for damage of Japanese beech forest due to combined environmental change in Shirakami Mountains

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) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：世界遺産である白神山地に広く分布しているブナの苗木に対するオゾン、土壌への窒素添加および高濃度CO<sub>2</sub>の単独および複合影響を調べた。オゾンによる純光合成速度の低下程度は土壌への窒素添加によって著しくなり、気孔を介して葉内に吸収されたオゾンあたりの影響が大きくなった。高濃度CO<sub>2</sub>は、オゾンによる純光合成速度の低下程度を抑制し、気孔閉鎖に伴う葉のオゾン吸収量の低下と葉内に吸収されたオゾンあたりの影響の低下を引き起こした。ブナ苗の個体乾物成長にオゾン、土壌への窒素添加および高濃度CO<sub>2</sub>の有意な交互作用は認められなかったが、オゾンによって低下し、土壌への窒素添加または高濃度CO<sub>2</sub>によって増加した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた成果の学術的意義は、世界で初めて、森林を構成している樹木に対するオゾン、大気から土壌への窒素沈着および高濃度CO<sub>2</sub>の複合影響を解明したことである。また、本研究で得られた成果の社会的意義は、ブナに対するオゾン、窒素沈着および高濃度CO<sub>2</sub>の複合影響の発現メカニズムに基づいた白神山地(世界自然遺産)のブナ林被害や更新阻害に対する樹木生理学的適応策の開発に基礎的知見を与えられることである。

研究成果の概要(英文)：We investigated the single and combined effects of ozone (O<sub>3</sub>), addition of nitrogen (N) to soil and elevated CO<sub>2</sub> on the seedlings of *Fagus crenata* that are widely distributed in the Shirakami Mountains, a World Heritage Site. The degree of O<sub>3</sub>-induced reduction in net photosynthetic rate became remarkable due to the addition of N to the soil, and the effect of ozone absorbed into the leaves through the stomata became large. Elevated CO<sub>2</sub> suppressed the O<sub>3</sub>-induced reduction in net photosynthetic rate, and caused a decrease in the amount of O<sub>3</sub> absorbed into the leaves due to stomatal closure and a decrease in the effect of O<sub>3</sub> absorbed into the leaves. No significant interaction of O<sub>3</sub>, N addition to soil and elevated CO<sub>2</sub> was observed in the whole-plant growth of the seedlings, but it was significantly reduced by O<sub>3</sub> and increased by N addition to soil or elevated CO<sub>2</sub>.

研究分野：環境ストレス植物学

キーワード：ブナ オゾン 高濃度二酸化炭素 窒素負荷 白神山地 環境変動 適応策

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

白神山地には世界最大級の原生的なブナ林が分布し、多種多様な動植物が生息・自生する貴重な生態系が保たれていたため、1993年12月にUNESCOの世界遺産(自然遺産)に登録された。しかしながら、近年、日本の森林で観測されている濃度レベルのオゾン(O<sub>3</sub>)、大気から地表面(森林土壌)への過剰な窒素沈着または大気CO<sub>2</sub>濃度の上昇は、日本の森林を構成している樹木の成長や光合成などの生理機能に悪影響を及ぼすことが明らかになってきた。また、近年、アジア諸国の経済発展に伴ってアジア大陸から日本への越境大気汚染(オゾンや窒素酸化物など)が深刻な環境問題として注目され、日本(特に日本海側地域)の大気汚染状況の悪化とその森林生態系への悪影響が懸念されている。そのため、これらの21世紀に予想される環境変動は、日本海側地域にある白神山地のブナ林やその更新にも悪影響を与え、このまま対策を講じないと世界遺産として保全していくことができなくなる可能性があるため、一刻も早く具体的な被害防止策や適応策などを検討する必要がある。そのためには、ブナに対するオゾン、大気から土壌への窒素沈着および高濃度CO<sub>2</sub>の単独および複合影響を解明する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究では、実験的研究によって、日本の代表的な落葉広葉樹であり、世界遺産(自然遺産)である白神山地に広く分布しているブナの実生(苗木)に対するオゾン、土壌への窒素添加および高濃度CO<sub>2</sub>の単独および複合影響を解明することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 供試植物および育成条件

供試植物として、ブナ(*Fagus crenata*)の3年生苗を用いた。供試土壌として、鹿沼土と赤玉土を1:1(体積比)の割合で混合した土壌を用いた。2018年6月14日に、供試土壌を詰めたワグネルポット(1/2000 a, 容積12L)に、1ポットあたり1個体ずつ各樹種の苗木を移植した。移植後、東京農工大学府中キャンパス(東京都府中市)に設置されている自然光型ファイトトロン(12台使用、S-180特殊型、小糸工業株式会社)内で、ブナ苗を2018年6月19日から2019年9月23日まで育成した(写真1)。ブナ苗の育成は、2018年6月19日~12月1日および2019年4月1日~9月23日はファイトトロン内で行い、2018年12月2日~2019年3月31日および2019年9月24日~2020年3月31日はファイトトロン近傍の野外条件下で行った。ファイトトロン内の気温と相対湿度は、それぞれ25/18(6:00~18:00/18:00~6:00)および70±10%に制御した。2018年6月15日に、ブナ苗の樹高、根元幹直径および葉数を測定した。これらの測定結果を基に、樹高と根元幹直径を掛け合わせて算出した幹体積の平均値と幹体積に対する葉数の割合の平均値が等しくなるように、各処理区にブナ苗を振り分けた。各ファイトトロンに、ブナ苗を30個体ずつ配置した。なお、ファイトトロン内における苗木のポジションエフェクトを緩和するために、ファイトトロン内のポットの並び替えを1ヶ月毎に行なった。

#### (2) ガス処理と土壌への窒素添加

本研究においては、2段階の大気濃度のオゾン処理、2段階の大気濃度のCO<sub>2</sub>処理および3段階の添加量の土壌への窒素添加をファクトリアルに組み合わせ、合計12処理区を設定した。

オゾン処理区として、ファイトトロン内にオゾンを添加しない低O<sub>3</sub>区とファイトトロン内のオゾン濃度を常に野外オゾン濃度の2.0倍に比例追随制御した高O<sub>3</sub>区の合計2処理区を設けた。CO<sub>2</sub>処理区として、野外空気にCO<sub>2</sub>を添加しない通常CO<sub>2</sub>区(ファイトトロン内の大気CO<sub>2</sub>濃度:400ppm)と大気CO<sub>2</sub>濃度が700ppmになるように野外空気にCO<sub>2</sub>を添加した高CO<sub>2</sub>区の合計2処理区を設けた。ガス処理区として、低濃度オゾンかつ通常濃度CO<sub>2</sub>に制御した区、高濃度オゾンかつ通常濃度CO<sub>2</sub>に制御した区、低濃度オゾンかつ高濃度CO<sub>2</sub>に制御した区、高濃度オゾンかつ高濃度CO<sub>2</sub>に制御した区を設定した。ブナ苗に対するガス処理は、2018年6月19日~12月1日および2019年4月1日~9月23日に行なった。

オゾン発生器(OZC-05A, ダイレック)に、PSA酸素濃縮器(SO-008S, 山陽電子工業)によって発生させた高濃度酸素を供給し、無声放電によってオゾンを発生させた。発生させたオゾンは、電磁弁によって流量を制御し、野外空気と混合した後、ファイトトロン内に供給した。ファイトトロン内の大気オゾン濃度は、オゾン濃度計(Model 1210, ダイレック)を用いて1分間隔で測定した。測定したファイトトロン内のオゾン濃度をその後の60分間のファイトトロン内のオゾン濃度制御にフィードバックさせることで、ファイトトロン内のオゾン濃度を制御した。野外のオゾン濃度は、同オゾン濃度計によって10分間隔で測定した。オゾン暴露期間中に、ファイトトロン内と野外の大気オゾン濃度をデータロガー(8421-50, Hioki E.E.)で記録した。

高CO<sub>2</sub>区のファイトトロンには、CO<sub>2</sub>ボンベ(40L型)を用いてCO<sub>2</sub>を供給した。ファイトトロン内の大気CO<sub>2</sub>濃度をファイトトロンに備え付けのCO<sub>2</sub>濃度計によって測定し、測定したCO<sub>2</sub>濃度をファイトトロン内のCO<sub>2</sub>濃度制御にフィードバックすることで、ファイトトロン内の大気CO<sub>2</sub>濃度を制御した。CO<sub>2</sub>処理期間中に、ファイトトロン内の大気CO<sub>2</sub>濃度をデータロガー(LR5042, Hioki E.E.)で記録した。なお、ガス処理区毎に3棟の同型ファイトトロンを使用し、チャンパーレプリケーションを確保した。

土壌への窒素添加は、2018年6月28日、7月26日、8月27日、9月27日、10月30日および2019年4月1日、5月2日、6月3日、7月2日、8月5日、9月1日に、ポットに詰めた土壌の表面に

硝酸アンモニウム(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>)溶液を添加することによって行なった。ブナ苗の育成土壌への年間窒素添加量が0, 50 および 100 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>となる3段階の窒素添加区を設けた(N0、N50 および N100 と表記)。

### (3)気孔を介した葉の積算オゾン吸収量の算出

Kinose *et al.* (2014)によって開発されたブナの1st flush 葉の水蒸気気孔コンダクタンスの推定モデルをもとに、環境パラメータの値を変更したモデルを用いて、2019年のガス処理期間中における気孔を介した葉の積算オゾン吸収量を算出した。

### (4)純光合成速度の測定

2019年6月5日～6月13日、7月10日～7月18日、8月9日～8月13日および9月4日～9月12日(以降、それぞれ2019年6月、7月、8月および9月と表記)に、各処理区からブナ苗を9個体(各チャンパーあたり3個体)ずつ無作為に選び、1st flush 葉の純光合成速度を測定した。純光合成速度の測定には、携帯型光合成・蒸散測定装置(LI-6400, Li-COR Inc., Nebraska, USA)を用いた。測定葉の表面における光合成有効放射束密度(PPFD)が1500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>となるように設定した。通常CO<sub>2</sub>区で育成した個体はCO<sub>2</sub>濃度が400 μmol mol<sup>-1</sup>の条件下で、高CO<sub>2</sub>区で育成した個体はCO<sub>2</sub>濃度が700 μmol mol<sup>-1</sup>の条件下で、純光合成速度を測定した。測定葉を収容したリーフチャンパー内の気温と相対湿度は、25.0±0.1 および65±1%に制御した。

### (5)統計的解析

ブナ苗の純光合成速度、個体乾重量および地上部乾重量と地下部乾重量の比に対して、オゾン処理、土壌への窒素添加およびCO<sub>2</sub>処理を要因とした三元配置分散分析を行い、これらの要因の単独および複合影響の有意性を検定した。

## 4. 研究成果

### (1)気孔を介した葉のオゾン吸収量の算出

ブナ苗の気孔を介した葉のオゾン吸収量の推定は、Jarvis (1976)が開発した気孔コンダクタンス(*g<sub>s</sub>*)の経験モデルを応用して行った。気孔を介した葉のオゾン吸収速度は、大気オゾン濃度とオゾンに関する気孔コンダクタンス [*g<sub>s</sub>(O<sub>3</sub>)*] の積で表すことができる(式1)。この *g<sub>s</sub>(O<sub>3</sub>)* は、水蒸気気孔コンダクタンス [*g<sub>s</sub>(H<sub>2</sub>O)*] に係数をかけたものである。

$$\text{オゾン吸収速度} = \text{O}_3 \text{濃度} \times g_s(\text{O}_3) = \text{O}_3 \text{濃度} \times 0.663 \times g_s(\text{H}_2\text{O}) \quad (\text{式 } 1)$$

本研究では、以下に示した *g<sub>s</sub>(H<sub>2</sub>O)* を予測するモデルを構築するために、育成期間中の様々な条件で、合計で約850回の *g<sub>s</sub>(H<sub>2</sub>O)* の測定を行った。その中の最大水蒸気気孔コンダクタンスを *g<sub>s</sub>(H<sub>2</sub>O)* の最大値(*g<sub>max</sub>*)とした。*g<sub>s</sub>(H<sub>2</sub>O)* の環境応答は、日射量や有効積算温度といった様々な環境要因に対する *g<sub>s</sub>(H<sub>2</sub>O)* の *g<sub>max</sub>* に対する相対的な環境応答(*f*)を示しており、*g<sub>s</sub>(H<sub>2</sub>O)* の実測値よりモデル式のパラメタリゼーションを行った(式2)。*g<sub>s</sub>(H<sub>2</sub>O)* の実測値と得られたモデルによる推定値の関係を検討したところ、比較的高い推定精度を持つモデルを作成することができた。

$$g_s(\text{H}_2\text{O}) = g_{\text{max}} \times f_{\text{light}} \times f_{\text{phen}} \times \text{MAX}(f_{\text{min}}, (f_{\text{VPD}} \times f_{\text{temp}} \times f_{\text{O}_3\text{conc}} \times f_{\text{swc}})) \quad (\text{式 } 2)$$

図1に、2019年4～9月におけるブナ苗の気孔を介した葉の積算オゾン吸収量を示した。高CO<sub>2</sub>区における積算オゾン吸収量は、通常CO<sub>2</sub>区のそれに比べて低かった。これに対して、土壌への窒素添加は積算オゾン吸収量に影響しなかった。

### (2)純光合成速度に対するオゾン、土壌への窒素添加および高濃度CO<sub>2</sub>の単独および複合影響

図2に、2019年6～9月におけるブナ苗の光飽和時の純光合成速度を示した。純光合成速度は、オゾンによって有意に低下し、土壌への窒素添加および高濃度CO<sub>2</sub>によって有意に増加

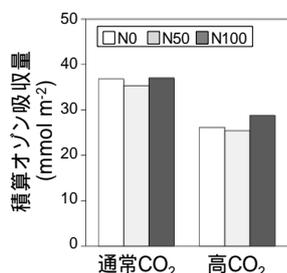


図1 2019年4～9月におけるブナ苗の気孔を介した葉の積算オゾン吸収量。

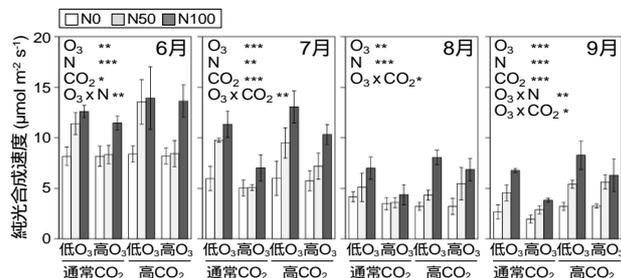


図2 2019年6～9月におけるブナ苗の光飽和時の純光合成速度に対するオゾン、土壌への窒素添加および高濃度CO<sub>2</sub>の単独および複合影響。

した。また、6月と9月において、純光合成速度にオゾンと土壌への窒素添加の有意な交互影響が認められた。土壌へ窒素を添加していないN0区ではオゾンで純光合成速度がほとんど低下しなかったのに対して、N50区とN100区ではオゾンによる著しい純光合成速度の低下が認められた。すなわち、土壌への窒素添加によってオゾンによる純光合成速度の低下が悪化した。さらに、7月、8月および9月において、純光合成速度にオゾンと高濃度CO<sub>2</sub>の有意な交互作用が認められ、通常CO<sub>2</sub>区に比べて高CO<sub>2</sub>区ではオゾンによる純光合成速度の低下が抑制された。

図3に、2019年6~9月におけるブナ苗の平均純光合成速度を示した。図2に示した6~9月の純光合成速度について、測定間隔を考慮して加重平均を行った純光合成速度を平均純光合成速度とした。平均純光合成速度は、オゾンによって低下し、土壌への窒素添加および高濃度CO<sub>2</sub>によって増加した。

図4に、2019年6~9月におけるオゾンによるブナ苗の平均純光合成速度の低下率を示した。オゾンによる平均純光合成速度の低下率は、N0区で小さく、N50とN100で大きかった。また、同低下率は、通常濃度CO<sub>2</sub>条件に比べて高CO<sub>2</sub>条件で小さかった。

図5に、ブナ苗のオゾン吸収量あたりの平均純光合成速度の低下率(光合成低下率)を示した。N0区に比べて、N50区やN100区において、オゾン吸収量あたりの光合成低下率は大きかった。これに対して、高CO<sub>2</sub>区におけるオゾン吸収量あたりの光合成低下率は、通常CO<sub>2</sub>区におけるそれに比べて低かった。したがって、オゾンによる純光合成速度の低下程度が土壌への窒素添加によって悪化したのは、気孔を介した葉のオゾン吸収量の増加によるものではなく、葉内に吸収されたオゾンあたりの悪影響が大きくなったためであると考えられる。また、高CO<sub>2</sub>区では気孔を介した葉のオゾン吸収量の低下に加えて、葉内に吸収されたオゾンあたりの悪影響が緩和されることによって、オゾンによる純光合成速度の低下が抑制されたと考えられる。

### (3) 乾物成長に対するオゾン、土壌への窒素添加および高濃度CO<sub>2</sub>の単独および複合影響

図6に、2019年9月におけるブナ苗の個体乾重量に対するオゾン、土壌への窒素添加および高濃度CO<sub>2</sub>の単独および複合影響を示した。個体乾重量は、オゾンによって有意に低下したが、土壌への窒素添加または高濃度CO<sub>2</sub>によって有意に増加した。しかしながら、個体乾重量に、オゾン、土壌への窒素添加および高濃度CO<sub>2</sub>の有意な交互作用は認められなかった。したがって、本研究においては、上記の光合成応答が個体乾物成長に影響するほどは大きくなかったと考えられる。

図7に、2019年9月におけるブナ苗の地上部乾重量と地下部乾重量の比(S/R比)に対するオゾン、土壌への窒素添加および高濃度CO<sub>2</sub>の単独および複合影響を示した。S/R比に、オゾンと土壌への窒素添加の有意な交互作用は認められなかったが、オゾンと高濃度CO<sub>2</sub>の有意な交互作用が認められた。すなわち、通常濃度CO<sub>2</sub>環境ではオゾンによってS/R比が増加したが、高濃度CO<sub>2</sub>環境ではそのような増加は認められなかった。このように、土壌への窒素添加と

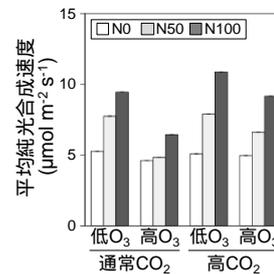


図3 2019年6~9月におけるブナ苗の平均純光合成速度に対するオゾン、土壌への窒素添加および高濃度CO<sub>2</sub>の単独および複合影響。

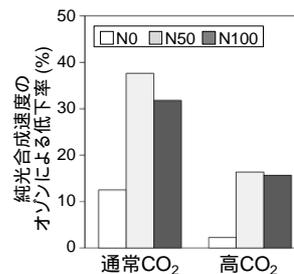


図4 2019年6~9月におけるオゾンによるブナ苗の平均純光合成速度の低下率。

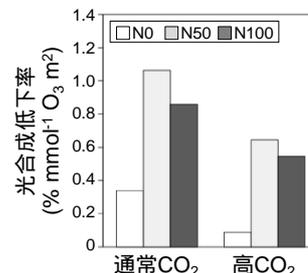


図5 2019年6~9月におけるブナ苗のオゾン吸収量あたりの平均純光合成速度の低下率(光合成低下率)。

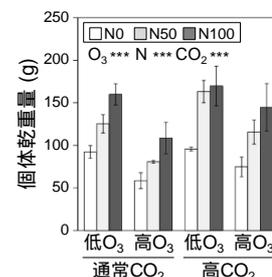


図6 2019年9月におけるブナ苗の個体乾重量に対するオゾン、土壌への窒素添加および高濃度CO<sub>2</sub>の単独および複合影響。

高濃度 CO<sub>2</sub> でオゾンとの交互作用に違いが認められたが、その理由として、オゾン吸収量に対する土壌への窒素添加と高濃度 CO<sub>2</sub> の影響の違いが考えられる。土壌への窒素添加は気孔を介した葉のオゾン吸収量を変化させなかったが、高濃度 CO<sub>2</sub> 環境では同オゾン吸収量は低下した。このような葉のオゾン吸収量の変化の有無が、オゾンと土壌への窒素添加の複合影響とオゾンと高濃度 CO<sub>2</sub> の複合影響の違いの原因になっていると考えられる。

#### (4) 結論

本研究において、ブナ苗のオゾンに対する成長・光合成応答に与える土壌への窒素添加の影響と高濃度 CO<sub>2</sub> の影響は異なることが明らかになった。土壌への窒素添加によって、オゾンによる光合成速度の低下が悪化し、吸収したオゾンあたりの影響が大きくなることが明らかになった。これに対して、高濃度 CO<sub>2</sub> は、オゾンによる光合成速度の低下を抑制することが明らかになった。この原因として、高濃度 CO<sub>2</sub> による気孔閉鎖にともなう葉のオゾン吸収量の低下と葉内に吸収したオゾンあたりの影響が小さくなったことが考えられる。また、ブナ苗の個体乾重量にオゾン、土壌への窒素添加および高濃度 CO<sub>2</sub> の3者の有意な交互作用は認められないが、個体乾重量はオゾンによって低下し、土壌への窒素添加または高濃度 CO<sub>2</sub> によって増加することが明らかになった。また、オゾンによるブナ苗の S/R 比の増加は、高濃度 CO<sub>2</sub> によって抑制されることが明らかになった。

#### 引用文献

- Jarvis, P.G. (1976) The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B.*, 273, 593-610.
- Kinose, Y., Azuchi, F., Uehara, Y., Kanomata, T., Kobayashi, A., Yamaguchi, M. and Izuta, T. (2014) Modeling of stomatal conductance to estimate stomatal ozone uptake by *Fagus crenata*, *Quercus serrata*, *Quercus mongolica* var. *crispula* and *Betula platyphylla*. *Environmental Pollution*, 194, 235-245.

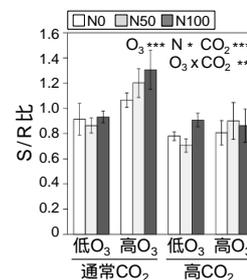


図7 2019年9月におけるブナ苗の地上部乾重量と地下部乾重量の比(S/R比)に対するオゾン、土壌への窒素添加および高濃度 CO<sub>2</sub> の単独および複合影響。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 7件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 伊豆田 猛
2. 発表標題 オゾンの植物影響
3. 学会等名 大気環境学会近畿支部講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊豆田 猛
2. 発表標題 大気環境変化とその植物影響
3. 学会等名 大気環境学会60周年記念シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊豆田 猛
2. 発表標題 大気環境と植物
3. 学会等名 大気環境学会植物分科会全国講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊豆田 猛
2. 発表標題 オゾンの植物影響
3. 学会等名 大気環境学会近畿支部講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口真弘, 宮口光太, 松本美佐子, 黄瀬佳之, 渡辺 誠, 伊豆田 猛
2. 発表標題 高濃度CO <sub>2</sub> および土壌窒素負荷条件下で栽培したブナ苗の葉のオゾン吸収量推定モデルの構築
3. 学会等名 第61回大気環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 布施 剛, 青木拓朗, 松本美佐子, リーセイ, 有浦 涼, 張 雅卓, 黄瀬佳之, 山口真弘, 渡辺 誠, 伊豆田 猛
2. 発表標題 ブナ苗の葉のガス交換速度に対するオゾン、高濃度CO <sub>2</sub> および土壌への窒素負荷の単独および複合影響
3. 学会等名 第61回大気環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 有浦 涼, 松本美佐子, リーセイ, 布施 剛, 青木拓朗, 張 雅卓, 黄瀬佳之, 山口真弘, 伊豆田 猛, 渡辺 誠
2. 発表標題 ブナ苗の光合成の変動光に対する応答性に与える高濃度CO <sub>2</sub> とオゾンの単独および複合影響
3. 学会等名 第61回大気環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 リーセイ, 布施 剛, 青木拓朗, 松本美佐子, 有浦 涼, 宮口光太, 張 雅卓, 黄瀬佳之, 山口真弘, 渡辺 誠, 伊豆田 猛
2. 発表標題 ブナ苗の成長に対するオゾン、高濃度CO <sub>2</sub> および土壌への窒素負荷の単独および複合影響
3. 学会等名 第61回大気環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊豆田 猛
2. 発表標題 大気汚染とその植物影響, 光化学オキシダントと植物
3. 学会等名 西東京市保谷駅前公民館環境講座 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊豆田 猛
2. 発表標題 植物に対する光化学オキシダントの影響
3. 学会等名 環境省と大気環境学会との光化学オキシダント勉強会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊豆田 猛
2. 発表標題 環境ストレスと植物
3. 学会等名 環境学習講座「府中かんきょう塾2020」 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡辺 誠, 松本美佐子, リーセイ, 青木拓朗, 有浦 涼, 呂 雨晴, 黄瀬佳之, 山口真弘, 伊豆田 猛
2. 発表標題 ブナ苗の成長と光合成に対するオゾン、土壌窒素添加および高濃度CO2の影響
3. 学会等名 第132回日本森林学会年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 伊豆田 猛	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 444
3. 書名 大気環境の事典 (樹木に対するオゾンの影響)	

1. 著者名 黄瀬佳之, 渡辺 誠, 山口真弘, 伊豆田 猛	4. 発行年 2020年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 162
3. 書名 大気環境と植物 (植物に対するオゾンと環境要因の複合影響)	

1. 著者名 伊豆田 猛	4. 発行年 2020年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 235
3. 書名 木本植物の生理生態 (複合環境ストレスの評価に向けて)	

1. 著者名 渡辺 誠	4. 発行年 2020年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 235
3. 書名 木本植物の生理生態 (大気汚染)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

伊豆研究室における樹木に対するオゾンの影響に関する研究  
<http://www.tuat.ac.jp/~negitoro/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	渡辺 誠  (WATANABE MAKOTO)  (50612256)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授   (12605)	
研究 分 担 者	山口 真弘  (YAMAGUCHI MASAHIRO)  (60736338)	長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環境)・准教授   (17301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------