

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月8日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21510029

研究課題名（和文）白神山地（世界遺産）のブナ林更新に対する越境大気汚染の影響と
その対策に関する研究研究課題名（英文）EFFECTS OF TRANSBOUNDARY AIR POLLUTANTS ON SUCCESSION OF *Fagus crenata*
SHIRAKAMI MOUNTAIN RANGE (WORLD HERITAGE) AND ITS COUNTERMEASURE

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

研究成果の概要（和文）：本研究では、ブナ(*Fagus crenata*)の実生に対するオゾン(O₃)と酸性降下物による土壌窒素過剰の複合影響と両ストレスによって成長や純光合成速度が低下したブナ苗に対する土壌への石灰添加の効果を明らかにすることを目的とした。ブナ苗の個体乾物成長や純光合成速度に対するO₃の影響は、土壌への窒素負荷量によって変化することが明らかになった。一方、土壌への石灰添加は、オゾンと土壌への窒素負荷(50 and 100 kg N ha⁻¹ year⁻¹)によって低下したブナ苗の個体乾物成長や純光合成速度を回復させないことが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：To clarify the effects of O₃ and N load on the growth and net photosynthetic rate of *Fagus crenata* seedling and the effects of dolomite applied to the soil on the growth and net photosynthetic rate of the seedlings exposed to O₃ and grown under relatively high N loads (50 and 100 kg N ha⁻¹ year⁻¹). The N load significantly affected the extent of the negative effects of O₃ on the growth and net photosynthetic rate of the seedling. The application of dolomite to the soil did not recover the O₃ and N load-induced reduction in the growth and net photosynthetic rate of the seedlings.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：ブナ・越境大気汚染・更新被害・被害対策

1. 研究開始当初の背景

近年、日本においては光化学オキシダントの主成分であるオゾン(O₃)の濃度が増加し、全国的に光化学オキシダントの環境基準が達成されていない。この原因として、アジア大陸における窒素酸化物などのオゾン前駆

物質の排出量の増加が日本におけるオゾン濃度の上昇に寄与していることが指摘されている。さらに、アジア大陸における窒素酸化物の排出量の増加が日本における大気から地表面への窒素沈着量の増加に寄与していることが示唆されている。したがって、

アジア大陸からのオゾンや酸性降下物の越境輸送によって、日本の森林を構成している樹木が悪影響を受ける可能性がある。

白神山地は、1993年に日本で初めて国際連合教育科学文化機関 (UNESCO) の世界遺産に登録された。白神山地においては青森県南西部から秋田県北西部にまたがる約 17,000 ha が世界遺産に登録されたが、この地域は世界最大級と言われるブナの原生林が広がっている。白神山地のブナ林やその更新に対するオゾンや酸性降下物による越境大気汚染の悪影響を回避し、その衰退や更新被害を防止する必要がある。

森林の更新とは、森林を構成する樹木が成長、種子繁殖および枯死と世代交代を繰り返しながら森林が維持される持続的再生産過程のことである。もし、オゾンや酸性降下物などによって健全な森林更新が妨げられると、その世代交代は停滞・停止し、森林を構成している樹木による炭素固定量が低下する。その結果、地球温暖化がさらに促進され、最終的には森林生態系は破壊される。しかしながら、酸性降下物による窒素過剰は、樹木実生の成長や菌根菌との共生関係等の生理機能を低下させる可能性が十分にある。さらに、樹木実生の成長は、オゾン等のガス状大気汚染物質の悪影響を非常に受けやすい。現時点において、オゾンなどのガス状大気汚染物質と酸性降下物による土壌窒素過剰が樹木の成長、光合成などの生理機能、栄養状態、栄養を供給する共生菌の感染率および葉や木部の組織構造に及ぼす複合影響やそのメカニズムは解明されていない。このため、樹木に対するオゾンと酸性降下物の複合影響の発現メカニズムに基づいた森林更新被害の適切な防止策は提案されていない。

2. 研究の目的

本研究では、我が国の代表的な落葉広葉樹であり、世界遺産である白神山地に広く分布しているブナの実生に対するオゾンと酸性降下物による土壌への窒素負荷の複合影響とそのメカニズムを実験的研究によって解明することを目的とした。さらに、オゾンや酸性降下物による土壌への過剰な窒素負荷によって発現するブナ実生の成長や光合成の低下に対する土壌への石灰添加の効果を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

ブナ (*Fagus crenata*) の 2 年生苗を褐色森林土 (花崗岩母材) を詰めた 6.5 L のポットに移植し、東京農工大学フィールドミュージアム多摩丘陵 (東京都八王子市) に設置した O₃ 暴露チャンバー内 (写真 1) で 2010 年 6 月 8 日から 2011 年 10 月 31 日までの二成長期間にわたって育成した。3 段階のガス処理



写真 1 オゾン暴露チャンバー (東京都八王子市).

と 4 段階の窒素処理を組み合わせ、合計 12 処理区を設定した。ガス処理区として、活性炭フィルターによって O₃ を除去した浄化空気区 (CF 区)、チャンバー内の O₃ 濃度を野外のその 1.0 倍または 1.5 倍に制御した 1.0×O₃ 区および 1.5×O₃ 区を設けた (3 チャンバー反復)。窒素処理区として、窒素負荷量が 0, 20, 50 または 100 kg ha⁻¹ year⁻¹ となるように、NH₄NO₃ 溶液を土壌表面から添加した N0 区、N20 区、N50 区および N100 区を設けた。2011 年 5 月 7 日に、N50 区および N100 区で育成したブナ苗の半数の個体に、苦土石灰 (CaCO₃ : MgCO₃ = 1 : 1) を 4887 kg ha⁻¹ で土壌表面に添加した (L 区)。育成期間中に、ブナ苗の純光合成速度、水蒸気気孔拡散コンダクタンス、RuBP カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ (Rubisco) 活性・濃度、クロロフィル濃度および土壌溶液の pH を測定した。育成終了時においてブナ苗をサンプリングし、各植物器官の乾重量を測定した。

4. 研究成果

図 1 に、2011 年の育成終了時におけるブナ苗の個体乾重量に対する O₃ と土壌への窒素負荷の単独および複合影響を示した。ブナ苗の個体乾重量に O₃ および土壌への窒素負荷による有意な単独影響と交互作用が認められた。N0 区 および N100 区においては、1.5×O₃ 区の個体乾重量は CF 区のそれに比べて有意に低かった。N20 区においては、1.0×O₃ 区と 1.5×O₃ 区の個体乾重量は CF 区のそれに比べて有意に低かった。これに対して、N50 区においては、個体乾重量にガス処理区間の有意な差は認められなかった。

図 2 に、各窒素処理区で育成したブナ苗における葉の単位 O₃ 吸収量あたりの個体乾重増加量の低下率を示した。なお、個体乾重増加量の低下率とは、O₃ 処理区における育成終了時のブナ苗の個体乾重量から育成開始時の個体乾重量を差し引いた値である個体乾重増加量を CF 区のそれと比較した低下率である。葉の単位 O₃ 吸収量あたりの

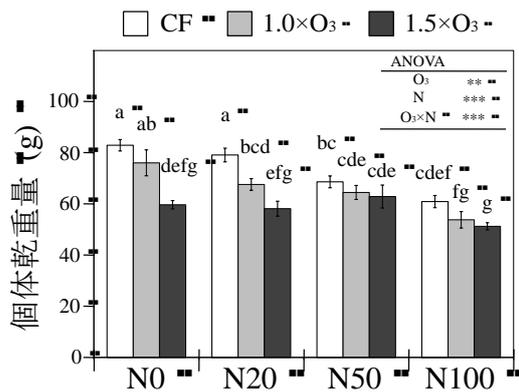


図1 2011年の育成終了時におけるブナ苗の個体乾重量に対するO₃と土壌への窒素負荷の単独および複合影響。異なるアルファベットの着いた値間には有意差がある(p<0.05)。

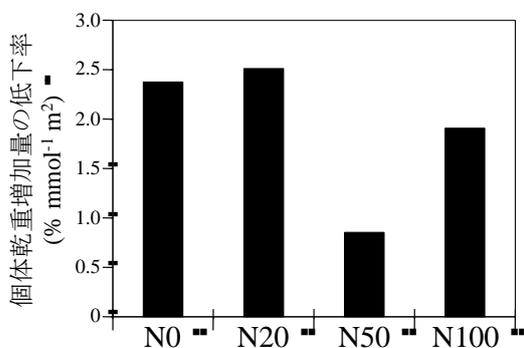


図2 各窒素処理区で育成したブナ苗における葉の単位O₃吸収量あたりの個体乾重増加量の低下率。

個体乾重増加量の低下率は窒素処理区間で異なり、N50区<N100区<N0区<N20区の順に低かった。この原因として、土壌への窒素負荷が葉内におけるO₃の解毒能力を変化させ、特にN50区においては葉の活性酸素消去系酵素の活性が高かったことなどが考えられる。

図3に、2010年9月における純光合成速度に対するO₃と土壌への窒素負荷の単独および複合影響を示した。CF区と1.0xO₃区における純光合成速度は土壌への窒素負荷によって有意に低下したが、1.5xO₃区では純光合成速度に対する土壌への窒素負荷の有意な影響は認められなかった。このことから、ブナ苗の純光合成速度に対するO₃の影響は、土壌への窒素負荷量によって変化することが明らかになった。同時期に測定した水蒸気気孔拡散コンダクタンスまたはRubisco活性と純光合成速度との間に有意な正の相関が認められた。したがって、純光合成速度におけるO₃と土壌への窒素負荷の複合影響は、

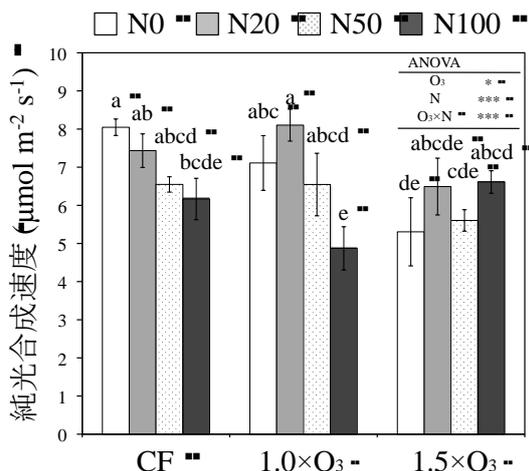


図3 2010年9月における純光合成速度に対するO₃と土壌への窒素負荷の単独および複合影響。

気孔開閉と葉緑体におけるCO₂固定能力に対する両処理の複合的な影響に起因すると考えられる。

図4に、2011年の育成終了時におけるN100区で育成したブナ苗の個体乾重量に対するO₃と土壌への石灰添加の単独および複合影響を示した。ブナ苗の個体乾重量はO₃によって有意に低下した。これに対して、ブナ苗の個体乾重量において、土壌への石灰添加による有意な影響およびO₃と土壌への石灰添加の有意な交互作用は認められなかった。なお、N50区で育成したブナ苗の個体乾重量と純光合成速度にオゾンと土壌への石灰添加の有意な単独および複合影響は認められなかった(データは示さず)。

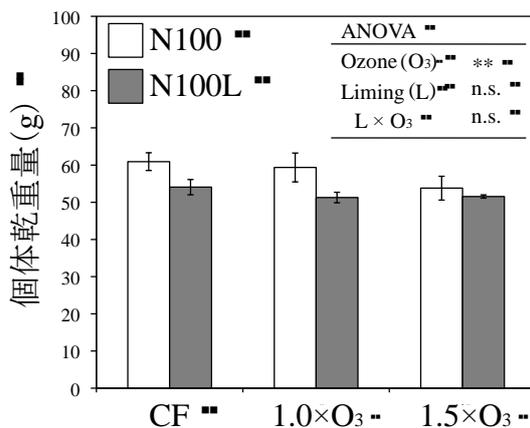


図4 2011年の育成終了時におけるN100区で育成したブナ苗の個体乾重量に対するO₃と土壌への石灰添加の単独および複合影響。

2011年9月における土壌溶液のpHに、土壌への石灰添加による有意な上昇が認められた。また、2011年7月におけるブナ苗の葉のRubisco濃度は、土壌への石灰添加によって有意に増加した。しかしながら、図5に示したように、N100区で育成したブナ苗の葉の純光合成速度は、土壌への石灰添加によって有意に低下した。この時、土壌への石灰添加によって葉のクロロフィル濃度が有意に低下した。したがって、O₃や土壌への窒素負荷によるブナ苗の純光合成速度の低下は、土壌への石灰添加によって回復しないことが明らかになった。

以上の結果より、ブナ苗の個体乾物成長や

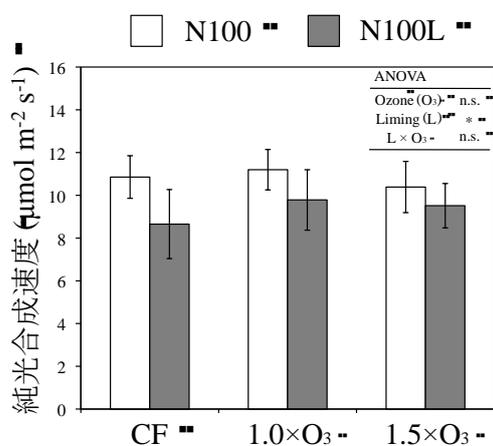


図5 2011年7月におけるN100区で育成したブナ苗の葉の純光合成速度に対するO₃と土壌への石灰添加の単独および複合影響。

純光合成速度に対するO₃の影響は、土壌への窒素負荷量によって変化することが明らかになった。したがって、今後、ブナに対するオゾンの影響を評価する際には、大気から地表面への窒素沈着量を考慮する必要がある。一方、土壌への石灰添加は、オゾンと土壌への窒素負荷(50 and 100 kg N ha⁻¹ year⁻¹)によって低下したブナ苗の個体乾物成長や純光合成速度を回復させないことが明らかになった。したがって、白神山地におけるO₃や土壌窒素過剰によるブナ更新被害の防止策として、土壌への石灰添加は適切ではないと考えられる。

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4件)

- ① Makoto Watanabe, Masahiro Yamaguchi, Hideyuki Matsumura, Yoshihisa Kohno and

Takeshi Izuta (2012) Risk assessment of ozone impact on *Fagus crenata* in Japan: Consideration of atmospheric nitrogen deposition. *European Journal of Forest Research*, 131, 475-484, DOI: 10.1007/s10342-011-0521-5, 査読有

- ② Makoto Watanabe, Masahiro Yamaguchi, Hideyuki Matsumura, Yoshihisa Kohno, Takayoshi Koike and Takeshi Izuta (2011) A case study of risk assessment of ozone impact on forest tree species in Japan. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 5, 5(4), 205-215, DOI:http://dx.doi.org/10.5572/ajae.2011.5.4.205, 査読有

- ③ 伊豆田 猛, 樹木に対するオゾンと酸性降水物の影響. *生物の科学 遺伝*, 65, No. 2, 2011, 40-44, http://www.nts-book.co.jp/item/detail/summary/bio/20051225_42bk11.html, 査読有

- ④ Masahiro Yamaguchi, Makoto Watanabe, Hideyuki Matsumura, Yoshihisa Kohno and Takeshi Izuta (2011) Experimental studies on the effects of ozone on growth and photosynthetic activity of Japanese forest tree species. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 5(2), 65-78, DOI:10.5572/ajae.2011.5.2.065, 査読有

[学会発表] (計15件)

- ① 山口真弘, 渡辺 誠, 松村秀幸, 河野吉久, 伊豆田 猛, ブナ苗の光合成活性と窒素代謝に対するオゾンと土壌への窒素負荷の複合影響, 第123回日本森林学会テーマ別シンポジウム, 2012年3月28日, 宇都宮大学(栃木県宇都宮市)

- ② 渡辺 誠, 山口真弘, 松村秀幸, 河野吉久, 小池孝良, 伊豆田 猛, 日本の森林樹種に対するオゾンのリスク評価, 窒素沈着の考慮, 第123回日本森林学会テーマ別シンポジウム, 2012年3月28日, 宇都宮大学(栃木県宇都宮市)

- ③ Takeshi Izuta, Effects of transboundary air pollutants on plants, JICA Capacity Development, 2012年3月13日, 東京農工大学農学部(東京都府中市)

- ④ 伊豆田 猛, 樹木に対する越境大気汚染物質の影響, 東京大学森林科学セミナー, 2012年2月9日, 東京大学農学部(東京都文京区)

- ⑤ 伊豆田 猛, 植物に対する越境大気汚染物質の影響, オゾン等による植物影響シンポジウム, 2011年10月1日, 弟子屈町川湯ふるさと館(北海道川上郡)

- ⑥ 大谷葉子, 平井ゆかり, 寺田祐一朗, 安土文鹿, 伊豆田 猛, ブナ苗の成長、光合成および葉の栄養状態に対する土壌への窒素負荷の影響, 第52回大気環境

- 学会, 2011年9月14日, 長崎大学(長崎県長崎市)
- ⑦ 安土文鹿, 母袋 朗, 松村友絵, 伊藤伸一郎, 山口真弘, 伊豆田 猛, ブナ苗の成長、光合成および炭素固定量に対するオゾンの影響, 第52回大気環境学会, 2011年9月14日, 長崎大学(長崎県長崎市)
 - ⑧ 伊豆田 猛, 植物に対する越境大気汚染物質の影響, 第28回エアロゾル科学・技術研究討論会 特別講演, 2011年8月28日, 大阪府立大学(大阪府堺市)
 - ⑨ 伊豆田 猛, 府中市の大気はだいじょうぶ?, 府中市エコサマースクール, 2011年8月24日, 東京農工大学(東京都府中市)
 - ⑩ 伊豆田 猛, 葉のオゾン吸収量に基づいた植物に対するオゾンの影響評価, 大気環境学会関東支部講演会, 2011年6月3日, ムーブ町屋(東京都荒川区)
 - ⑪ 伊豆田 猛, 植物に対する越境大気汚染物質の影響, 大気汚染による植物影響に関するシンポジウム, 2010年12月22日, JST イノベーションプラザ北海道(北海道札幌市)
 - ⑫ 伊豆田 猛, ブナ苗の成長、純光合成速度および葉の栄養状態に対する土壌への窒素負荷の影響, 第51回大気環境学会, 2010年9月8日, 大阪大学(大阪府吹田市)
 - ⑬ 伊豆田 猛, 府中市の大気はだいじょうぶ? 府中市エコサマースクール, 2010年8月25日, 東京農工大学(東京都府中市)
 - ⑭ 伊豆田 猛, 都会の植物は元気かな?, びっくり! エコ100選, 2010年8月13日, タカシマヤ新宿店(東京都新宿区)
 - ⑮ Takeshi Izuta, Effects of air pollutants on plants. Asia Center for Atmospheric Pollution Research (ACAP) Special Seminar. 2010年7月20日, アジア大気汚染研究センター(新潟県新潟市)

[その他]

ホームページ等

<http://www.tuat.ac.jp/~negitoro/>

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

船田 良 (FUNADA RYO)

東京農工大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号: 20192734