

論文の内容の要旨

生物・環境工学 専攻

平成 19 年度博士課程 入学 (進学)

氏名 星加 康智

指導教員名 大政 謙次

論文題目 落葉広葉樹を対象とした対流圏オゾンの影響評価のためのモデリング

近年、東アジア地域において、オゾンの前駆物質の排出量が増大していることに伴い、対流圏オゾンの濃度が増大している。対流圏オゾンは植物に有害な影響を与えることで知られている。従来、オゾン濃度を用いて、被害に対する汚染の程度をドース・レスポンスの関係などとして対応させる方法がとられてきた。しかしながら、ドース・レスポンス関係は、年により、場所により変化することが問題となった。オゾンは、気孔を介して葉内に入り、ダメージを与えるため、気孔によるオゾン吸収量の方が濃度ベースの手法よりも、オゾンの被害の影響に対して密接に関係があると考えられている。しかしながら、日本をはじめ、東アジア地域において、オゾン吸収量に基づいて、植物の被害との関連性を研究した例は少ないのが現状である。

また、吸収量推定のためのモデルにも課題がある。オゾンの影響は種間差があるため、樹種ごとに評価することが必要であること、オゾンは気孔閉鎖につながることでモデル化されていないことがあげられる。

そこで、本研究では、落葉広葉樹を対象として、まず、オゾン吸収量推定のために、従来の、オゾンによる気孔コンダクタンスへの影響を考えないモデルと、オゾンによる気孔コンダクタンスへの影響があると仮定したモデルを比較し、考察する。

次に、構築したモデルを用いて、対流圏オゾンの吸収量を推定し、葉面可視傷害の被害率の測定結果を用いて、両者の関係性の解析を行う。さらに、従来用いられてきた濃度を用いた手法と比較し、オゾン吸収量に基づく手法の可能性の検討・考察を行うことを本研究の目的とした。

本研究の構成は以下である。

第 1 章の序論に引き続き、第 2 章では、気孔コンダクタンスモデルの構築と、その検証を行った。測定局のあるオゾン濃度がわかっている場所で、ケヤキ・改良ポプラ・コナラといった既往の研究によりオゾンの影響が認められた 3 樹種を対象として、気孔コンダクタンス (g_s) の測定を行った。従来の、オゾンによる気孔コンダクタンスへの影響を考えないモデルである Model 1 として、次式を用いた。

$$g_s = g_{\max} * f_{\text{light}} * f_{\text{VPD}} * f_{\text{time}}$$

g_{\max} は、最大気孔コンダクタンス ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)、 $f_{\text{light}} \cdot f_{\text{VPD}}$ は、光合成有効放射量 (PAR)、葉面と大気間の飽差 (VPD) に対する影響をしめしたものである。 f_{time} は、午後に気孔が閉じやすくなるという知見をもとに、導出された経験パラメータである。

また、これに、オゾンによる気孔コンダクタンスへの影響があると仮定すれば、Model 2 のモデル式は以下で示される。Model 2 は次式で示される。

$$g_w = g_{\max} * f_{\text{light}} * f_{\text{VPD}} * f_{\text{time}} * f_{\text{O}_3}$$

f_{O_3} は、オゾンによる気孔コンダクタンスの影響 (0~1) を示す。 f_{O_3} とオゾン濃度に関する説明変数との関係を解析した結果、日中 (6時から 18時) の平均オゾン濃度がもっとも相関が高かった。

オゾン濃度の異なるサイトにおける、ケヤキの測定データを用いて Model 1 と、日中の平均オゾン濃度を説明変数とする f_{O_3} を加えた Model 2 を比較した。比較の結果、Model 1 は、オゾン濃度の比較的低い東大弥生キャンパスにおけるケヤキ成木の g_s の測定データには良く一致したが、オゾン濃度の高い田無町におけるケヤキ成木の g_s の測定データに適用した場合、Model 1 は、過大推定 (RMSE=60 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) となった。一方、Model 2 は田無町においても、良い一致 (RMSE=42 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) を示した。次に、Model 1、および、Model 2 のパラメータを用いて、オゾン濃度の高い田無町におけるケヤキの 10 年生苗

のデータへの適用を試みた結果、同様の結果が得られた。

さらに、田無町の改良ポプラと、コナラも同様に、Model 2 のパラメータ化を試みた。改良ポプラはオゾン濃度が増加するに従い、 f_{O_3} が低下する傾向が見られ、Model 2 の推定値は、測定データと良い一致を示した。オゾンに影響の受けにくいコナラは、日中の平均オゾン濃度とパラメータ f_{O_3} の間に関連性が見られなかった。

以上より、 f_{O_3} を含めた Model 2 による推定値は、オゾン濃度の高い地域において、オゾンの影響を受けやすい樹種に対して、気孔コンダクタンスの測定データの傾向をよりよく捉えることを可能にした。ただし、オゾン濃度の高い田無町の 8 月において、オゾンに感受性の高いケヤキの g_s が、成木、10 年生苗のいずれにおいても、一日中低い現象が生じた。現段階では、前後の十分なデータがなく、今後の検討課題として、この現象の挙動を捉えるため、前後の測定を行い、時系列変化を捉えていく必要があると考えられた。また、同じ樹種であっても、サイト間において、最大気孔コンダクタンス (g_{max}) のパラメータが異なる。他地域に適用していくためには、どのような g_{max} の値が、代表値として適切か、考察していく必要があるといえた。

第 3 章では、2 章においてパラメータ化した、改良ポプラの気孔コンダクタンスモデルを用いて、オゾン吸収量を推定し、葉面可視傷害の測定結果との関係を検討することを目的とした。

改良ポプラの、シュートごとの葉数、可視傷害のデータの取得を 2009 年の 5/21、6/8、6/19、7/10、7/16、8/7 の各日に行った。本研究では、葉面の半分以上に可視傷害がみられたものを可視傷害が生じた葉として記録した。可視傷害が生じたとした葉、および、被害を受け、その後途中落葉したものも含めた総数を、全展開葉数で除し、可視傷害の被害率として計算を行った。葉の気孔を介したオゾン吸収量 (F_{st}) の推定は、一次元直列抵抗モデルを用いた。 F_{st} は、次式で示される。

$$F_{st} = \left([O_3] - [O_3]_{leaf} \right) / \left(R_{b, O_3} + 1.65 / g_w \right)$$

$[O_3]$ は、大気オゾン濃度の一時間平均値 (ppb) である。 $[O_3]_{leaf}$ は、気孔底界面のオゾン濃度であり、0 と仮定した。 g_w は、気孔コンダクタンス ($mmol H_2O m^{-2} s^{-1}$) であり、1.65 は、水蒸気とオゾンの拡散係数の比を示す。 R_{b, O_3} は、オゾンに対する葉面境界層抵抗である。

可視傷害の被害増加率は、一つ前の測定との期間内における濃度ベースの指標との最大値とは相関が見られなかったが、一つ前の測定との期間内におけるオゾン吸収量 (6 時間合計) の最大値と高い相関 ($R^2=0.78$) が見られた。本研究の結果は、オゾン吸収量に基づいた手法が、従来のオゾン濃度のみから導かれる指標よりも、可視傷害の被害と関係があることを示唆した。

以上の結果より、総括として、本研究の結果から、従来用いられてきた濃度のみを用いた手法と比較し、オゾン吸収量に基づく本研究の手法は、オゾンの被害の現象をより捉える手法であると言える。