

原著論文

東アジア域における落葉広葉樹林を対象とした オゾン吸収量推定に関する成長期間の影響

Effect of Growing Season on Ozone Stomatal Flux for Deciduous Forests in East Asia

星加康智^{1*}、羽島知洋¹、清水 庸¹、滝川雅之²、大政謙次¹

Yasutomo Hoshika^{1*}, Tomohiro Hajima¹, Yo Shimizu¹, Masayuki Takigawa² and Kenji Omasa¹

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科 〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1

Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan

² 独立行政法人 海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター 〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町 3173-25

Frontier Research Center for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

3173-25 Showamachi, Yokohama, Kanagawa 236-0001, Japan

(2008年4月18日受付、2008年11月26日受理)

ABSTRACT

To assess ozone impacts on vegetation, the stomatal flux-based method is more appropriate than ozone concentration based indices. The flux-based method recently developed in Europe would also be useful for ozone risk assessment in East Asia. However, it should be modified to apply to the assessment in East Asia because of an interaction between regional climate and species-specific stomatal response on stomatal ozone uptake. For deciduous forest, the length of growing season, when ozone uptake is estimated, is also one of the determining factors. However, it was defined by a fixed time period in previous studies. The fixed time period may remain uncertainty in the estimation of ozone uptake. Therefore, stomatal response for deciduous forests was initially parameterized from scientific literature in East Asia to estimate stomatal ozone flux to deciduous forest. In addition, we made comparisons of simulated cumulative stomatal ozone flux (F_{st}) for deciduous forests between the following two cases of the length of growing season: 1) the fixed time period (the start and end of growing season were April 15th and October 15th, respectively) and 2) the period based on a phenological model for leaf development.

The results showed significant differences in F_{st} between both cases of the growing season length (up to 22%). In Case 2, high F_{st} was estimated not only in highest ozone concentration area but also in the moderately high ozone concentration area, such as western Japan and southern China. This showed that ozone effects might spread wide areas in East Asia.

Key words : East Asia, Growing season, Ozone flux modelling, Phenology, Stomatal conductance

*Corresponding author : Phone: +81-3-5841-8101, Fax: +81-3-5841-8175, E-mail: aa077093@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

近年、東アジア地域において、対流圏オゾンの前駆物質の排出量が急速に増加している (Naja and Akimoto, 2004)。このため、対流圏オゾンによる植物の影響の増大が懸念されている。

古くから、オゾンによる植生への影響は、成長量あるいは作物の収量とオゾン濃度 × 時間の関係として導かれるドース・レスポンスをもとに行われてきた。ドース・レスポンスは、オゾンの日中平均濃度などを用いて導かれているが、年・場所により変動することが問題であった。ドース・レスポンスは、植物影響との関係では、低濃度の時の影響を過大に推定していると考え、Fuhrer et al. (1997) は、40 ppb 以上の日中のオゾン濃度を積算する AOT40 を提案した。しかし、高濃度の重み付けにより、AOT40 が明確にドース・レスポンスの欠点を改善するとは限らない (Kobayashi, 1999)。また、実際にオゾンの被害につながるオゾン吸収量との関係が不明確である。葉内へのオゾン吸収は気孔を介して行われる。そのため、環境条件に対する気孔の反応は、オゾンの影響を評価する重要な要素である (Omasa et al., 2000; Omasa et al., 2002)。そこで、欧州では、AOT40 に加え、オゾンによる植物の影響を定量的に評価することを目的として、気孔を介したオゾン吸収にもとづくフラックススペースのアプローチが導入された (UNECE, 2004)。

日本では、オゾン曝露実験から、森林植生の成長量に及ぼすオゾンの影響を調べ、AOT40 を用いたクリティカルレベルの評価が行われている (Izuta et al., 2001)。また、Omasa et al. (2000) は、短期間における高濃度オゾンが光合成速度に及ぼす影響をオゾン吸収量との関係から調べた。しかし、フラックススペースのアプローチを用いて、オゾンによる植物の影響を評価する試みは、まだ行われていない。

東アジア地域でフラックススペースのアプローチを適用する上で、地域的な気象や植生の特徴を考慮に入れながら、手法の構築をしていくことが必要である。欧州では、森林のオゾンによる影響を、森林の成長期間を固定して推定している。しかし、対象地域すべてに、成長期間の単純な仮定を適用することには問題があり (Estella and Menzel, 2006)、固定された成長期間の仮定がオゾン吸収量の推定を不確実にする可能性がある。

そこで、本研究では、東アジア地域 (20° N 100° E ~ 45° N 150° E) における落葉広葉樹林を対象として、気孔の環境条件への応答を既往の文献よりパラメータ化し、

気孔を介したオゾン吸収量の推定を試みるとともに、オゾン吸収量推定に及ぼす成長期間の影響を、オゾンフラックスモデルを用いて評価することを試みた。

2. データと方法

2.1 オゾン吸収量の推定手法

植物の気孔を介したオゾン吸収量は、一次元直列抵抗モデルを用いて推定した (UNECE, 2004)。群落上部の日なた葉のオゾン吸収速度 (F_{st}) は、次式で与えられる。

$$F_{st} = C(z_1) \cdot \{1 / (r_b + r_c)\} \cdot \{g_s / (g_s + g_{ext})\} \quad (1)$$

ここで、 $C(z_1)$ は群落高におけるオゾン濃度、 r_b は葉面境界層抵抗 ($s \cdot m^{-1}$)、 r_c は葉表面の抵抗 ($= 1 / (g_s + g_{ext}) \cdot s \cdot m^{-1}$)、 g_s は、気孔コンダクタンス ($m \cdot s^{-1}$)、 g_{ext} は葉面及びクチクラコンダクタンス ($m \cdot s^{-1}$) である。

葉面境界層抵抗 (r_b) は、次式で示される。

$$r_b = 1.3 \cdot 150 \cdot \sqrt{L_d / u(z_1)} \quad (2)$$

L_d は、風向きに直交する葉長 (m)、 $u(z_1)$ は、高さ z_1 における風速を示す。

気孔コンダクタンス (g_s) は、Jarvis 型モデル (Emberson et al., 2007) を用いて推定した。

$$g_s = g_{max} \cdot f_{age} \cdot \max\{f_{min}, f_{light}, f_{temp}, f_{VPD}, f_{SMD}\} \quad (3)$$

g_{max} は、最大気孔コンダクタンス ($mmol \cdot O_3 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) を示し、その他の関数は、0 から 1 までのスケールをとる。 f_{min} は、最小気孔コンダクタンス、 f_{age} は g_s の葉齢における変化を示し、 f_{light} 、 f_{temp} 、 f_{VPD} 、 f_{SMD} は、光合成有効放射 (PAR) ・ 気温 ・ 葉面飽差 ・ 土壌水分に対する g_s の応答を示す。 g_s のパラメータは次節にて述べる。 g_s 以外のパラメータは、UNECE (2004) で与えられているパラメータを用いた。

2.2 気孔コンダクタンスのパラメタリゼーション

g_s のパラメータは、文献値と既往のモデルで用いられている g_s のパラメータより求めた。まず、文献値 (Omasa et al., 1993; Takahashi, 2003) を数値化し、Boundary line analysis (Jarvis, 1976) を用いてパラメータ化した。この Boundary line analysis とは、環境変数と g_s のプロットデータは他の環境要因の影響を含むため、データを包括するような曲線を描くことで、他の要因の影響を取り除く手法である。次に、文献値より得た g_s のパラメータと、既往のモデル研究のパラメータ (Hiyama et al., 2005; Jin et al., 2003; Kaidaira and Yoshida, 2006; Sirisampan et al., 2003; Tanaka et al., 1998; Yamazaki et al., 2006) を平均して、本研究で用いる g_s のパラメータとした。導出された f_{light} ・

$f_{temp} \cdot f_{VPD}$ の各式を以下に示す。

$$f_{light} = 1 - \exp(-\alpha * PAR) \quad (4)$$

$$f_{temp} = \left\{ (T - T_{min}) / (T_{opt} - T_{min}) \right\} \times \left[\left\{ (T_{max} - T) / (T_{max} - T_{opt}) \right\}^{\frac{T_{max} - T_{opt}}{T_{opt} - T_{min}}} \right] \quad (5)$$

$$f_{VPD} = 1 / (1 + (VPD / a)^b) \quad (6)$$

α (= 0.0066)、および a (= 2.3)、 b (= 1.2) は定数であり、 T_{max} (= 45.1℃)、 T_{min} (= 32.8℃)、 T_{opt} (= 2.5℃) はそれぞれ最高、最低限界温度、最適温度である。括弧内は、本研究で用いた値を示した。また、 g_{max} は、平均して、 g_{max} (= 577 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) と導出した。

f_{SMD} は、Granier et al. (2000) の欧州における様々な樹種を対象とした群落コンダクタンスと土壌水分の関係のモデルをもとに、群落内の個葉における土壌水分による気孔反応は等しいと仮定して使用した。また、 f_{age} については、Maruyama and Honda (1993) が、 g_s のポテンシャルに関して、春先に葉がまだ完全に成熟していない時期には低く、成熟安定期に入ると十分に高まり、再び落葉直前に低くなることを示している。この知見をもとに、 f_{age} は線形に変化すると仮定した。また、 f_{min} は 0 とした (Jin et al., 2003)。

これらの g_s のパラメータは水蒸気に対するものであるが、Omasa et al. (2000) は、O₃ の吸収速度と葉の蒸散速度の関係がほぼ正比例であることを示している。よって、水蒸気に対する g_s を用いて、オゾンに対する g_s を見積もることが可能となる。Omasa et al. (2002) によると、オゾンの拡散係数と水蒸気の拡散係数の比は、以下の式 (7) で近似可能である。

$$D^{O_3} / D^{H_2O} = (M^{O_3} / M^{H_2O})^{-1/2} \quad (7)$$

D^x は、分子 X の拡散係数、 M^x は X の分子量を示す。この近似式を用いて、オゾンに対する g_s を推定した。

2.3 成長期間の仮定

成長期間の仮定は、第一に固定した成長期間を用いた場合と、第二に積算温度等によるフェノロジカルモデルを用いて推定される成長期間を用いた場合の2つとした。

固定した成長期間は、植物季節に関する文献を参考に仮定した。Aoki and Hashimoto (1995) は、岩手山麓において、5月6日から15日に葉が展葉を開始し、10月25日から11月1日に落葉を終了したと報告している。また、Chen et al. (2005) は、中国における植物季節データより、1982年から1993年の平均で、4月8日から5月7日に展

葉を開始し、9月25日から10月26日に落葉を終了すると述べている。よって、東アジア地域における展葉開始日は、4月初旬から5月上旬であり、落葉終了日が9月下旬から11月初旬と捉えることができる。これらの中間の時期である4月15日から10月15日の6ヶ月間を、本研究では、固定した成長期間と仮定した。

次に、フェノロジカルモデルに関しては、広域において適用されているモデルを用いた。展葉時期はグローバルレベルの落葉広葉樹林を対象とした有効積算温度 (GDD; Growing Degree Days) のモデルを用いた (Botta et al., 2000)。このモデルは、日平均気温が5℃未満である低温の日数 (NCD; Number of chilling days) により植物の展葉に必要な有効積算温度が減少する、という考え方 ($GDD \geq -68 + 638 * \exp(-0.01 * NCD)$) をもとにしたモデルである。また、落葉時期に関しては、White et al. (1997) のモデルを用いることとした。White et al. (1997) は、米国における植物季節データより、日長が11時間以下かつ土壌温度が11℃以下になった時、または土壌気温が2℃以下になった時に落葉すると述べている。以上の2つのフェノロジカルモデルを組み合わせ、成長期間を推定した。

2.4 入力データ

オゾン濃度入力データ、および気象データに関しては、Takigawa et al. (2005) により計算された東アジア地域の2002年のデータ (空間解像度 2.8° × 2.8°, 20° N 100° E ~ 45° N 150° E) を用いた。また、本研究は、Fang and Yoda (1990) による中国における植生分布と温量指数の関係より、潜在的な落葉広葉樹林の分布を求めて使用した。

3. 結果及び考察

Fig. 1 (a) に、固定した成長期間を用いた場合のオゾン吸収量 (Case 1) と、(b) にフェノロジカルモデルを用いて推定した成長期間におけるオゾン吸収量 (Case 2) を示す。まず、Fig. 1(a)を見ると、北京やその周辺のGrid Aで、68.1 mmol m⁻² と最大のオゾン吸収量を示した。逆に、北海道 (Grid B)、および、モンゴルや内蒙古地域 (e.g. Grid C) では、オゾン吸収量が小さく推定された。

Fig. 2 に、季節ごとの平均オゾン濃度を示す。Fig. 2 (b) より、Grid A は、夏季に 60 ppb 以上と最大の平均オゾン濃度を示した。逆に、Grid B は、オゾン濃度が季節を通して、25 ppb から 35 ppb と低い (Fig. 2)。よって、植物の成長期におけるオゾン濃度の違いが、Grid A と Grid B のオゾン吸収量の違いにつながったと考えられる。しかし、Grid C では、夏季のオゾン濃度は比較的高い (Fig. 2 (b))。よって、Grid C では、オゾン濃度以外の要素が、オゾン

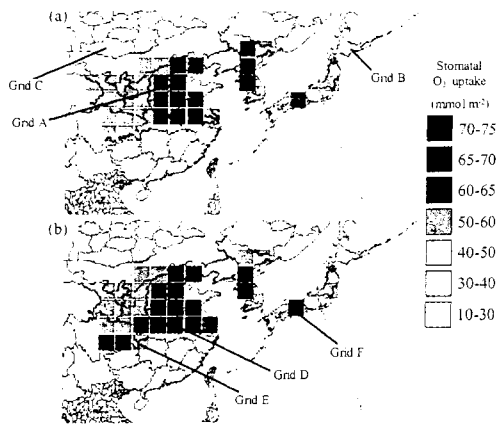


Fig. 1 Estimated stomatal ozone uptake to forests for the growing season in 2002. Case 1 (Fig. 1a) and Case 2 (Fig. 1b) show the estimated uptake based on the fixed time period of growing season and the time period using the phenological model, respectively.

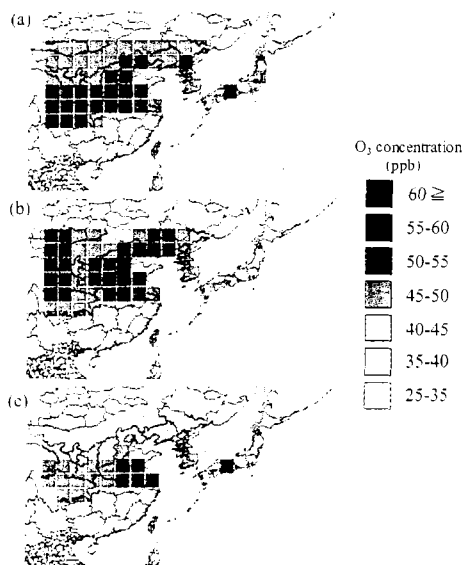


Fig. 2 Distribution of mean ozone concentration in spring (Apr-May) (a), summer (Jul-Aug) (b) and autumn (Sep-Oct) (c) for 2002.

吸収量を制限していると考えられる。

Fig. 3 に夏季 (7-8 月) の平均の f_{SMD} の値を示す。土壌水分による g_s への影響は、東アジア地域の多くで小さいが、乾燥地域として知られる Grid C 周辺で強く影響を及ぼす結果となった。また、Grid C では、夏季におけるオゾン吸収量が、 1.6 mmol m^{-2} と推定され、成長期間全体のオゾン吸収量の 12% 程度であった。よって、乾燥した環境条件が、気孔の閉鎖につながり、Grid C でオゾン吸収

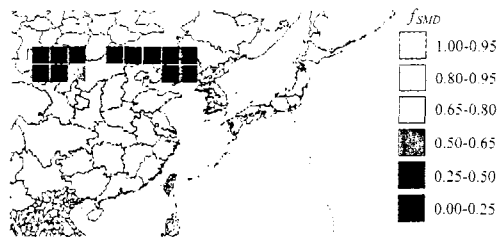


Fig. 3 Distribution of mean f_{SMD} during summer (Jul-Aug)

量が小さく推定されたと考えられる。したがって、オゾン濃度とともに、地域的な環境条件がオゾン吸収量に影響を及ぼすことが分かった。

次に、Case 2 (Fig. 1 (b)) を見ると、特に、日本の関西地方 (Grid F) や、中国の華中地域から重慶周辺 (e.g. Grid D, Grid E) で、Case 1 (Fig. 1 (a)) に比べてオゾン吸収量が増大した。これらの地域の多くは、夏季に高濃度オゾンを示す Grid A と、ほぼ同程度のオゾン吸収量を示し、河南省付近のグリッド (Grid D) では最大値 74.8 mmol m^{-2} と推定された。また、Case 1 (Fig. 1 (a)) と比較して、オゾン吸収量の増加は、重慶付近の Grid E において、最大で 22% であった。

Case 2 の成長期間は、例えば Grid A において、4 月 3 日から 10 月 19 日、Grid E において 3 月 26 日から 11 月 1 日であった。すなわち、Grid A では、Case 1 に比べて、16 日成長期間が長くなったのに対し、Grid E では、Case 1 に比べ、成長期間が約 1 ヶ月延伸した結果となった。よって、Grid E では、成長期間が延伸したことにより、Case 2 のオゾン吸収量の方が、大きく増大する結果をもたらしたと考えられる。

成長期間の延伸によるオゾン吸収量の増加は、春季と秋季のオゾン吸収量に依存する。そこで、Grid E の Case 2 におけるオゾン吸収量を対象に、季節ごとのオゾン吸収量の割合を比較した。すると、春季 (4-5 月) が 28%、秋季 (9-10 月) が 24% となった一方で、夏季 (7-8 月) は 32% であり、春季と秋季のオゾン吸収量は夏季のオゾン吸収量と大差が見られなかった。Fig. 1 (b)、および Fig. 2 より、Case 2 において、Case 1 と比べてオゾン吸収量の増加した日本の関西地方 (Grid F) や中国の華中地域から重慶周辺 (e.g. Grid D, Grid E) は、東アジア地域の比較的高濃度の地域であるとともに、夏季の平均オゾン濃度が春の平均オゾン濃度を下回る地域である。この現象は、夏季のモンスーンによって、これらの地域が海洋性の清浄気団下におかれるために生じる (Yamaji et al., 2006)。つまり、

春季と秋季のオゾン吸収量が大きい値をとったことは、東アジア地域におけるオゾン濃度が、春季や秋季に比べて、夏季に低くなるという季節変化の特徴に影響を受けていることを示している。一方、欧州では、オゾン濃度の比較的に高い地域において、春から夏に長期間に渡る極大を持つのが特徴的である (Pochanart et al., 2001) ことを考えると、成長期間の仮定の違いが、欧州以上にオゾン吸収量に影響を及ぼすと考えられる。

本研究は、フェノロジカルモデルを加えて、成長期間の違いがオゾン吸収の推定量へ及ぼす影響の評価を試みた。フェノロジカルモデルによる展葉・落葉時期の推定結果と、Chen et al. (2005) の植物季節データと比較すると、北京周辺や華中などでは良い一致を示したが、中国東北部のような地域では誤差が大きかった。しかし、フェノロジカルモデルを使用した場合、固定した成長期間に比べて、オゾンの悪影響が及ぶ可能性がある地域においては、その有用性が示された。

4. おわりに

東アジア地域の既往の文献をもとに、気孔コンダクタンスのパラメタリゼーションを行い、成長期間の仮定を固定した場合と、フェノロジカルモデルを用いた場合のオゾン吸収量を比較した。成長期間の仮定の違いにより、東アジア地域における落葉広葉樹林を対象とした場合に、気孔を介したオゾン吸収量の推定値が最大で約 22% 変化したが、オゾン吸収量推定の際に、成長期間と生育環境の双方が重要であると考えられた。今後、推定精度の検証のために、現地でのオゾンフラックスの観測を含めた検討が必要であろう。

引用文献

Aoki, Y. and Hashimoto, R., 1995 : Leaf phenology of woody plant species in a cool-temperate secondary forest of *Quercus serrata*. *Bull. Iwate Univ. Forests*, **26**, 29-41.

Botta, A., Viovy, N., Ciais, P., Friedlingstein, P. and Monfray, Y., 2000 : A global prognostic scheme of leaf onset using satellite data. *Glob. Change Biol.*, **6**, 709-725.

Chen, Y., Hu, B. and Yu, R., 2005 : Spatial and temporal variation of phenological growing season and climate change impacts in temperate eastern China. *Glob. Change Biol.*, **11**, 1118-1130.

Emberson, L., Buker, P. and Ashmore, M. R., 2007 : Assessing the risk caused by ground level ozone to European forest trees : A case study in pine, beech and oak across different climate regions. *Environ. Pollut.*, **147**, 454-466.

Estella, N. and Menzel, A., 2006 : Responses of leaf colouring in four deciduous tree species to climate and weather in Germany. *Clim. Res.*, **32**, 253-267.

Fang, J. and Yoda, K., 1990 : Climate and vegetation in China IV. Distribution of tree species along thermal gradient. *Ecol. Res.*, **5**, 291-302.

Fuhrer, J., Skarby, L. and Ashmore, M. R., 1997 : Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe. *Environ. Pollut.*, **97**, 91-106.

Granier, A., Loustau, D. and Breda, N., 2000 : A generic model of forest canopy conductance dependent on climate, soil water availability and leaf area index. *Ann. For. Sci.*, **57**, 755-765.

Hiyama, T., Kochi, K., Kobayashi, N. and Sirisampan, S., 2005 : Seasonal variation in stomatal conductance and physiological factors observed in a secondary warm-temperate forest. *Ecol. Res.*, **20**, 333-346.

Izuta, T., Matsumura, H., Kohno, Y. and Shimizu, H., 2001 : Experimental studies on the effects of ozone on forest tree species. *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, **36**, 60-77.

Jarvis, P. G., 1976 : The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Philos. T. Roy. Soc. B.*, **273**, 593-610.

Jin, S., Zhou, X. and Fan, J., 2003 : Modeling daily photosynthesis of nine major tree species in northeast China. *Forest Ecol. Manag.*, **184**, 125-140.

Kadaira, A. and Yoshida, H., 2006 : Study on a model of stomatal conductance on an evergreen broad leaves tree and a deciduous broad leaves tree. *J. Environ. Eng.*, **608**, 105-111.

Kobayashi, K., 1999 : Assessing the impacts of tropospheric ozone on agricultural production. *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, **34**, 162-175.

Maruyama, K. and Honda, M., 1993 : Stomatal responses in *Fagus crenata*, *Quercus crispula* and *Q. serrata* seedlings. *Res. Bull. Niigata Univ. For.*, **26**, 75-88.

Naja, M. and Akimoto, H., 2004 : Contribution of regional pollution and long-range transport to the Asia-Pacific region : Analysis of long-term ozonesonde data over Japan. *J. Geophys. Res.*, **109**, D21306, doi : 10.1029/2004JD004687.

Omasa, K., Saji, H., Youssefian, N. and Kondo, N., 2002 : *Air Pollution and Plant Biotechnology*. Springer, Tokyo, 445pp.

Omasa, K., Shimizu, H., Ogawa, K. and Masuki, A., 1993 : Diagnosis of trees from helicopter by thermographic system. *Environ. Control in Biol.*, **31**, 161-168.

Omasa, K., Tobe, K., Hosomi, M., Yoshida, M. and Kobayashi, M., 2000 : Experimental studies on O₃ sorption mechanism of green area -Analysis of O₃ sorption rates of plants and soils-. *Environ.*

- Science*, **13**, 33-42.
- Pochanart, P., Akimoto, H., Maksyutov, S. and Staehelin, J., 2001: Surface ozone at the Swiss alpine site Arosa: the hemispheric background and the influence of large-scale anthropogenic emissions. *Atmos. Environ.*, **35**, 5553-5566.
- Sirisampan, S., Hiyama, T., Takahashi, A., Hashimoto, T. and Fukushima, Y., 2003 : Diurnal and seasonal variations of stomatal conductance in a secondary temperate forest. *J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour.*, **16**, 113-130.
- Takahashi, K., 2003 : Diurnal variations in stomatal conductance of *Betula ermanii* and *Pinus pumila* at the timberline on Mt. Shogigashira, central Japan. *J. Phytogeogr. Taxon.*, **51**, 159-164.
- Takigawa, M., Sudo, K., Akimoto, H., Kita, K., Takegawa, N., Kondo, Y. and Takahashi, M., 2005 : Estimation of the contribution of intercontinental transport during the PEACE campaign by using a global model. *J. Geophys. Res.*, **110**, D21313, doi: 10.1029/2005JD006226.
- Tanaka, K., Kosugi, Y., Ohte, N., Kobashi, S. and Nakamura, A., 1998 : Model of CO₂ flux between a plant community and atmosphere, and simulation of CO₂ flux over a planted forest. *Jpn. J. Ecol.*, **48**, 265-286.
- UNECE, 2004 : Revised manual on methodologies and criteria for mapping critical levels/loads and geographical areas where they are exceeded. chapter 3 : Mapping critical levels for vegetation. UN/ECE convention on long range transboundary air pollution. Umweltbundesamt, Berlin, Germany. 53 pp.
- White, A. M., Thornton, P. E. and Running, S. W., 1997 : A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. *Glob. Biogeochem. Cyc.*, **11**, 217-234.
- Yamaji, K., Ohara, T., Uno, I., Tanimoto, H., Kurokawa, J. and Akimoto, H., 2006 : Analysis of the seasonal variation in the boundary layer in East Asia using community multi-scale air quality model : What controls surface ozone levels over Japan? *Atmos. Environ.*, **40**, 1856-1868.
- Yamazaki, T., Kato, K., Kuwada, T., Nakai, T., Park, H. and Ohta, T., 2006 : Land surface model simulation on CREST forest sites using measured leaf-scale physiological parameters. In *International workshop on H₂O and CO₂ exchanges in Siberia*. Amsterdam, pp.81-84.