

機関番号：82110

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2010～2011

課題番号：21710035

研究課題名 (和文) 酸性降下物による植物影響評価のための精緻な物質沈着モデルの開発

研究課題名 (英文) Development of a sophisticated land surface model for impact assessments of acid substances on vegetation

研究代表者

堅田 元喜 (KATATA GENKI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力基礎工学研究部門・研究員

研究者番号：00391251

研究成果の概要 (和文)：

植物生態系への酸性物質の総合的な負荷量を評価することを目的に、乾性・湿性・霧水沈着を含めた包括的な沈着過程と葉面水の蒸発に伴う濃縮等の物理化学過程をモデル化し、植物への物質沈着量とともに樹冠内部の酸性降下物の濃度および沈着量の鉛直分布を評価できる精緻な地表面モデルを開発した。

研究成果の概要 (英文)：

An atmosphere-soil-vegetation model that includes dry deposition of gaseous and particulate matters onto vegetation has been developed and validated with the data of gas and particle fluxes observed over vegetation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

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：物質沈着、酸性降下物、植物影響、地表面モデル

## 1. 研究開始当初の背景

東アジアでは、経済成長や人口増加に伴うエネルギー需要の増大に伴い、大気汚染物質の排出量が著しく増加している。我が国では、酸性降下物(陸上生態系へ降下する酸性の大気汚染物質)による植物被害(森林衰退や作物被害)が各地から報告され、今後の拡大化が懸念されている。酸性降下物による植物被害を検討する上で、様々な形態で沈着する酸性降下物の負荷量を定量的に評価することは、最も基本的かつ重要な研究課題である。

酸性降下物の植物影響を正確に評価するためには、乾性・湿性・霧水沈着過程、およ

び葉面水の蒸発に伴う濃縮等の物理化学過程を考慮した植物層内部における酸性物質の動態を再現可能な精緻な数値モデルが必要である。

## 2. 研究の目的

本研究では、大気から陸面への酸性物質の移行過程とその植物影響を評価するために、放射性物質等の環境負荷物質の動態解明を目的に開発を進めてきた大気-植生-土壌 1次元多層モデルをベースにして、植生への酸性物質の沈着量を予測可能な陸面モデルを開発・検証する。また完成したガス状・粒子

物質の沈着過程を考慮した陸面モデルを国内の山地森林に適用し、その妥当性を確かめる。

### 3. 研究の方法

本研究では、申請者が開発中の陸面モデル SOLVEG (図1) に、酸性降下物のガス状および粒子状物質の植生への乾性沈着過程と葉面水の蒸発に伴う濃縮等の物理化学過程を導入し、それらを異なる観測データを用いて段階的に検証する。ガス状・粒子状物質の乾性沈着過程は、森林上で観測された乾性沈着フラックスを用いて検証する。

六甲山の森林地帯において測定された直接法に基づく森林への酸性降下物の乾性・湿性・霧水洗着量のデータを用いて、モデルの国内への適用試験とともに、葉面における物理化学過程を含めた森林への酸性降下物の沈着過程を検証する。

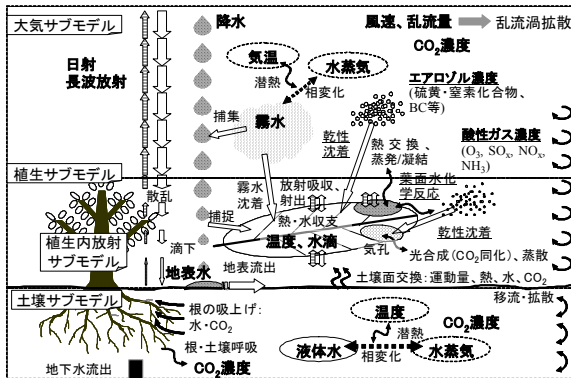


図1 本研究で開発した大気-土壌-植生モデル SOLVEG の概念図

### 4. 研究成果

#### (1) 植生へのガス状物質の乾性沈着過程のモデル化

植物影響評価において重要なガス状物質(オゾン・SO<sub>2</sub>・NO<sub>2</sub>・NH<sub>3</sub>)の沈着過程を新たにモデル化した。ガス状物質は、日中、光合成とともに開かれる気孔を通じて吸収される。各植生層のガス状物質の沈着フラックスは、葉面近傍の大気中と気孔内部のガス濃度と、光合成過程によって計算される気孔抵抗を用いてモデル化した。植生への沈着フラックスは、全植物層の沈着量を全層について積算することで算出する。

モデルの検証結果の一例として、晴天時の畑地上のCO<sub>2</sub>フラックスとオゾンの沈着速度の計算結果を図2に示す。いずれの計算結果も、観測結果と良く一致した。日中、CO<sub>2</sub>フラックスの増加とともにオゾンの沈着速度が増加しており、ガス状物質の沈着は光合成に伴う気孔の開閉で説明できることがわかった。また、モデルは森林上で観測されたガス状物質のフラックスも良く再現し(図略)、

新たにモデル化した計算モジュールが妥当であることが示された。

夜間、葉面に露が発生する場合や、霧や雨で葉が濡れている場合には、ガス状物質が葉面水と反応するプロセスも重要となる。この葉の「濡れ」による影響を計算するために、葉面水でのガスの化学反応を計算するモジュールを作成した。ガス状物質の反応過程の計算には、雲水中の化学反応式に基づいて、大気中のCO<sub>2</sub>と水溶性のガス状物質(HNO<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub>、HCl、NH<sub>3</sub>)の濃度と葉面水中の濃度と間のイオン平衡と、葉面水中でのH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>とオゾンによるSO<sub>2</sub>の液相酸化反応に基づいてモデル化した。このモジュールを用いることで、葉面水中の濃度だけでなく、酸性物質の植物への影響を評価する上で重要となる酸性度(pH)も予測することが可能となった。

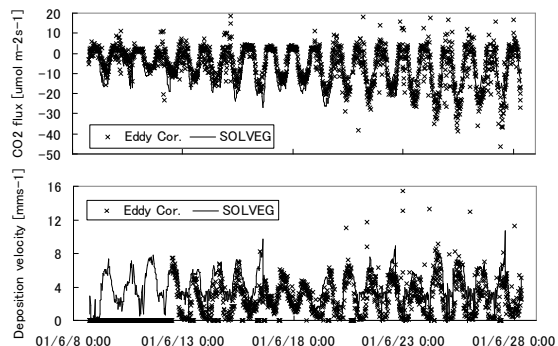


図2 トウモロコシ畑での(a) CO<sub>2</sub>フラックスと(b) オゾンの沈着速度の時系列変化(実線:計算値,プロット:観測値)。

#### (2) 植生への粒子状物質の乾性沈着過程のモデル化

霧粒よりも小さい粒径10 nm~1 μmのエアロゾルの沈着過程を新たにモデル化した。

10 nm~1 μmの粒子の植生への沈着過程は、主にブラウン拡散とさえぎり効果による粒子の葉への衝突で記述され、これらの捕集効率を記述するモデル式が提案されている。粒子のブラウン運動による葉への衝突は、粒径が小さいほど重要な捕集過程となる。ここでは、均一充填のフィルターの拡散捕集実験に基づく半実験式を用いた。この式は、他の実験式と異なり風速の増加とともに葉へのブラウン拡散による捕集効率が低下する効果を含んでいる。また、ブラウン拡散と慣性衝突の影響が小さい粒径0.1~1 μmの粒子の沈着過程として重要となる「さえぎり」の効果は葉面の粒子捕集効率の式として導入した。これらと慣性衝突・重力沈降の効果による葉への粒子の沈着量を植物層ごとに計算し、全層について積算した値を算出する。

モデルの検証には、2001年7月にドイツの針葉樹林上で、空気力学的方法(渦相関法)

によって測定された粒径 11 nm~0.9 μm のエアロゾルの数濃度フラックスのデータを用いた。図 3a は、このフラックスとそれを用いて算出した数濃度ベースの沈着速度の観測値とモデルによる計算値の時系列変化を表す。広く用いられるモデルの計算結果が観測値を過大評価したのに対し、本研究で開発したモデルは、観測結果を良く再現した。

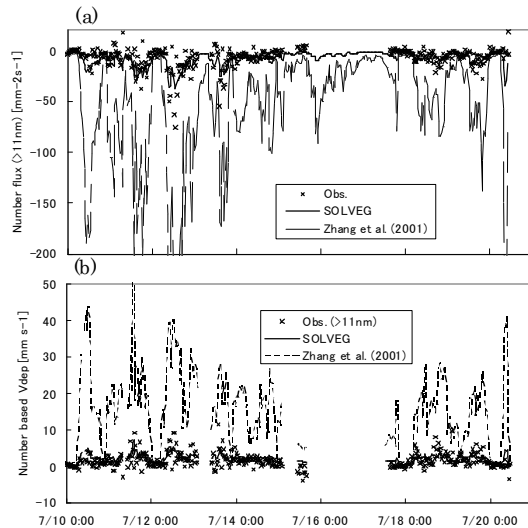


図 3 針葉樹林上のエアロゾル数濃度の (a) フラックスと (b) 沈着速度の時系列変化 (実線：計算値、プロット：観測値、点線：広く用いられているモデルによる計算値)。

### (3) 六甲山地の針葉樹林へのガス・粒子沈着

(1), (2) で開発したモデルを、国内の六甲山地における針葉樹林に適用した。モデルの入力に必要な気象および大気中濃度は気象モデルと化学輸送モデルによって計算し、これらが計算期間中良好に再現されることを確認した。このデータを上部境界条件として用いた SOLVEG によるガス状物質の沈着速度を図 4 に示す。難水溶性ガスの沈着速度の計算値 (図 4a) は、海外の針葉樹林における計算値と近い値を示した。また、水溶性ガスの中で、 $\text{HNO}_3$  の沈着速度が最も大きかった。 $\text{SO}_2$  と  $\text{NH}_3$  の沈着速度の計算値は、同地域での樹冠水収支法によって測定された観測値 (図 4b、右上) と良好に一致しており、SOLVEG による計算結果は妥当であると考えられる。

図 5 に、粒径に対する粒子状物質の沈着速度の計算値を示した。六甲山における沈着速度は、日中・夜間ともに、ドイツでの日中の沈着速度に近い値を示した。これは、六甲山では夜間の風速が日中のそれと同じまたはそれ以上に大きいためと考えられる。計算結果は、ガス状物質と同様に、樹冠水収支法によって測定された 1μm 前後の粒子の沈着速度とも良好に一致した。

これらの加えて、エアロゾルの沈着と同様

のメカニズムで葉面に沈着する霧の沈着フラックスの計算結果も、観測結果と良好に一致した (図略)。これらの結果から、本研究課題で開発したモデルが国内の森林へのガス・エアロゾル・霧沈着量を推定する上で有効に活用できることが示された。

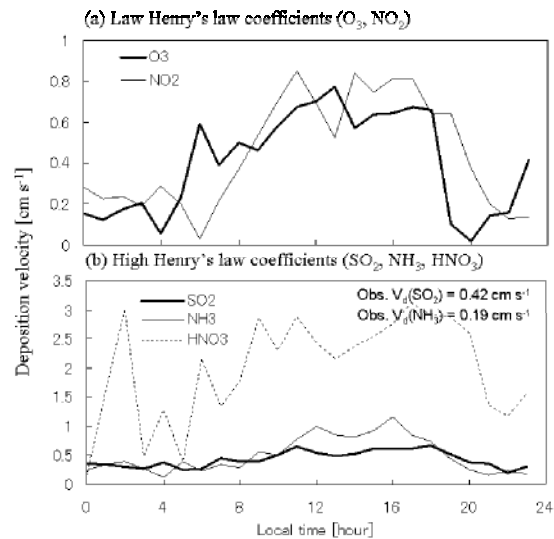


図 4 SOLVEG で計算した六甲山地の森林における (a) 難水溶性、および (b) 水溶性のガス状物質の沈着速度の日変化。

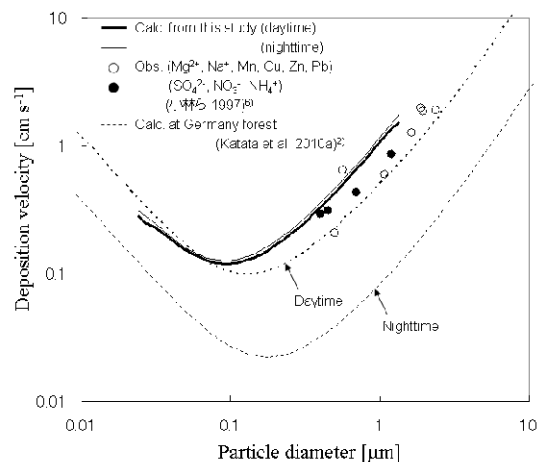


図 5 SOLVEG で計算した六甲山地の森林におけるエアロゾルの沈着速度 (点線：ドイツの針葉樹林における沈着速度の計算値)。

## 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 5 件)

① Katata, G., Nagai, H., Kajino, M., Ueda, H., and Hozumi, Y. (2010). Numerical study of fog deposition on vegetation for atmosphere-land interactions in semi-arid

and arid regions. *Agr. Forest Meteorol.*, 150, 340-353.

② Katata, G., Regalado, C.M., Ritter, A., and Nagai, H. (2009). Application of a land surface model that includes fog deposition over a tree heath-laurel forest in Garajonay national park (La Gomera, Spain). *Estudios de la zona no saturada del Suelo (Studies of the Vadose Zone)*, ZNS' 09. IX, 393-400.

③ 大河内博, 堅田元喜 (2009). 大気沈着—第3講 雲・霧沈着, *大気環境学会誌*, 45, A1-A12.

④ 堅田元喜, 永井晴康, 植生への粒子沈着モデルの研究動向とその課題、*エアロゾル研究*, 25巻、2010、323-330

⑤ Katata, G., Nagai, H., Zhang, L., Held, A., and Klemm, O. (2011). Development of an atmosphere-soil-vegetation model for investigation of radioactive materials transport in the terrestrial biosphere. *Prog. Nucl. Sci. Technol.*, 掲載決定.

[学会発表] (計11件)

① Katata, G., and Nagai, H. (2009). Numerical study of surface water and energy exchanges in arid regions using detailed land surface model including fog deposition on vegetation. 2nd Integrated Land Ecosystem-Atmosphere Processes Study (iLEAPS) Science Conference, Melbourne, Australia, pp. 70-73.

② Kajino, M., Katata, G., Hiraki, T., Aikawa, M., Kobayashi, T., and Nagai, H. (2010). Numerical study of fog deposition onto mountainous forest using atmosphere, aerosol chemical transport, and land surface models: Chemical and physical properties of fog and aerosols. 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Munster, Germany, FOGDEW2010-23.

③ Katata, G., Held, A., Nagai, H., and Klemm, O. (2010). Numerical model study of dry deposition of particles onto vegetation. International Aerosol Conference 2010, Helsinki, Finland, 7G6.

④ Katata, G., Kajino, M., Hiraki, T., Aikawa, M., Kobayashi, T., and Nagai, H. (2010). Numerical study of fog deposition onto mountainous forest using atmosphere, aerosol chemical transport, and land surface models: Estimation of water and matter deposition by fog deposition. 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Munster, Germany, FOGDEW2010-26.

⑤ Ritter, A., Katata, G., Regalado, C., and Nagai, H. (2010). Parameter estimation fog a detailed atmosphere-soil-vegetation model including fog deposition onto vegetation (SOLVEG) by inverse optimization. 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Munster, Germany, FOGDEW2010-12.

⑥ 堅田元喜, 梶野瑞王, 平木隆年, 藍川昌秀, 小林禎樹 (2009). 樹雨に伴う森林への物質沈着量の推定に関する数値的研究, 第26回エアロゾル科学・技術研究討論会, A02.

⑦ 堅田元喜, Andreas, H. (2009). 植生への大気中粒子状物質の沈着過程を考慮した地表面モデルの開発, 第26回エアロゾル科学・技術研究討論会, A03.

⑧ 堅田元喜, Klemm, O., 永井晴康 (2009). ガス状物質の乾性沈着過程を考慮した精緻な地表面モデルの開発, 第50回大気環境学会年会, 1E0942.

⑨ 堅田元喜, 永井晴康 (2010). 放射性物質の移行研究のための精緻な大気-土壌-植生モデルの開発, 日本原子力学会 2010年春の年会, A42.

⑩ 堅田元喜, Zhang, L., 永井晴康 (2010). 葉の濡れが及ぼすガス状物質の乾性沈着への影響に関する数値的研究, 第51回大気環境学会年会, 3G1400.

⑪ 堅田元喜, 梶野瑞王, 平木隆年, 藍川昌秀, 小林禎樹, 永井晴康 (2010). 気象・エアロゾル化学輸送・霧水沈着モデルを用いた山岳森林への霧水沈着に関する数値的研究, 第51回大気環境学会年会, 3I0900-1. ⑦

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

[http://www.tuat.ac.jp/~aerosol/pub\\_research/A03K09HPJ.htm](http://www.tuat.ac.jp/~aerosol/pub_research/A03K09HPJ.htm)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

堅田 元喜 (KATATA GENKI)

日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門 環境動態研究グループ

研究者番号: 00391251

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし