

平成 21 年 6 月 16 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18710027

研究課題名（和文） 東アジアにおける酸性・酸化性物質の乾性沈着推計手法の開発

研究課題名（英文） Development of a dry deposition estimation method for acid substances and oxidants in East Asia

研究代表者

松田 和秀（MATSUDA KAZUHIDE）

明星大学・理工学部・准教授

研究者番号：50409520

研究成果の概要：東アジアにおける酸性雨の影響評価に資するために、当該地域における酸性・酸化性物質の乾性沈着を精度よく推計できる手法を開発した。開発にあたっては、日本、中国、タイにおいて個別に実施されてきたフィールド観測に基づく沈着速度研究の結果を集約し、沈着速度のパラメタリゼーションを東アジアに適したものに更新した。更新したパラメタリゼーションを用いて、国内の遠隔地域における乾性沈着を推計し評価を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	900,000	0	900,000
2007年度	800,000	0	800,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	300,000	3,000,000

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：大気圏影響評価，東アジアの酸性雨，乾性沈着，沈着速度

## 1. 研究開始当初の背景

酸性雨が及ぼす生態系への影響を評価するためには、対象とする領域への沈着量を精度良く推計することが基本となる。欧州や北米では乾性沈着を推計する沈着速度のパラメタリゼーションが概ね確立された段階にあるが、東アジアの場合、東南アジアの熱帯地域の気候や熱帯林、あるいは北東アジアの黄土等、特有の気候や沈着面があり、欧米のパラメタリゼーションをそのまま適用することには問題がある。一方、近年、東アジアにおけるパラメタリゼーションの開発に必要な当該地域における乾性沈着フィールド観

測が着手されてきており、その知見の集約が望まれる段階にある。

## 2. 研究の目的

大気中の酸性、酸化性物質が東アジアの森林や土壌などの地表面に直接沈着するいわゆる乾性沈着を精度良く推計する手法を開発し、その実態を明らかにすることを目的とする。これまで日本や中国、タイなどで個別に実施されてきたフィールド観測に基づく沈着速度研究の結果を集約し、東アジア独自の沈着速度パラメタリゼーションの開発を行う。

### 3. 研究の方法

#### (1) 既存知見の集約

これまで、日本や中国、タイなどで個別にフィールド観測を実施してきた国内の研究成果を集約すると共に、米国、欧州の関連研究機関へ訪問し、乾性沈着推計手法に関する最新の知見を取りまとめる。

#### (2) 乾性沈着推計手法の開発

(1)の結果をもとに、東アジア地域におけるフィールド観測データを用いて欧米で開発されている沈着速度パラメタリゼーションを検証し、当該地域に適したものに改良を施す。

#### (3) 乾性沈着の推計・評価

(2)で開発された沈着速度パラメタリゼーションを用いて、東アジア酸性雨モニタリングネットワークの測定地点において、乾性沈着の推計、評価を行う。

### 4. 研究成果

#### (1) 既存知見の集約

東アジア地域における乾性沈着研究の知見の集約を目的として、計3回、大気沈着研究会を開催した。開催日は、2006年8月24日、2008年2月15日、2009年2月18日で、3回とも明星大学において開催した（各回のプログラムはホームページに公開）。なお、2009年2月の最終の研究会は、タイおよびマレーシアから研究者を招聘し、国際ワークショップ（Workshop on Atmospheric Deposition in East Asia）として開催した。また、2006年9月3日～10日にかけて、乾性沈着推計手法の基礎を作った米国海洋大気局大気資源研究所（NOAA-ARL）および乾性沈着モニタリングネットワークを運営している米国環境保護庁（US-EPA）を訪問し、これまでの米国における調査研究の経緯および最新の情報を入手した。さらに、2007年8月25日～9月2日にかけて、欧州の関連機関であるノルウェー大気資源研究所（NILU）、オランダエネルギー研究センター（ECN）等を訪問し、欧州における研究の現状および今後の方向性について意見交換を行った。

本活動の一環として、タイの熱帯林におけるフィールド観測のデータを用いて、既存の推計手法の検証を行った結果、 $O_3$ の沈着速度については、Wesely (1989)で北米用に定義されている5つの季節分類のパラメタリゼーションのうち、乾性は「transitional spring」、雨季は「midsummer with lush vegetation」の分類が第一次近似的に適用可能と考えられた。 $SO_2$ の沈着速度に関しては、特に表面が湿潤となる期間が増加する雨季に、Wesely (1989)の推計式との差が大きくなり、湿潤表面への取り込み促進効果を取り入れた別の推計式の方が、比較的实际値に近いことを示

した。これらの検証結果を図1に示す。

これらの取りまとめの結果、日本や東南アジアの雨季などの気候下では湿潤なキャノピーによる  $SO_2$  などの水溶性ガスの取り込みが促進されること、アルカリ性に富む中国の土壌（黄土）への酸性、酸化性ガスの沈着特性、東南アジアの森林への既存のパラメタリゼーションの適用性、粒子状物質の森林への乾性沈着が理論計算よりも大きいこと等、当該地域における特徴的な知見が蓄積されてきていることを示した。さらには、これら一連の東アジアにおける研究結果は、乾性沈着の諸過程においては欧米での最近の知見と大きく異なるものではなく、気候や植生・土壌の分布など東アジアの地域性を十分考慮すれば、その知見を適用できることを明らかにした。

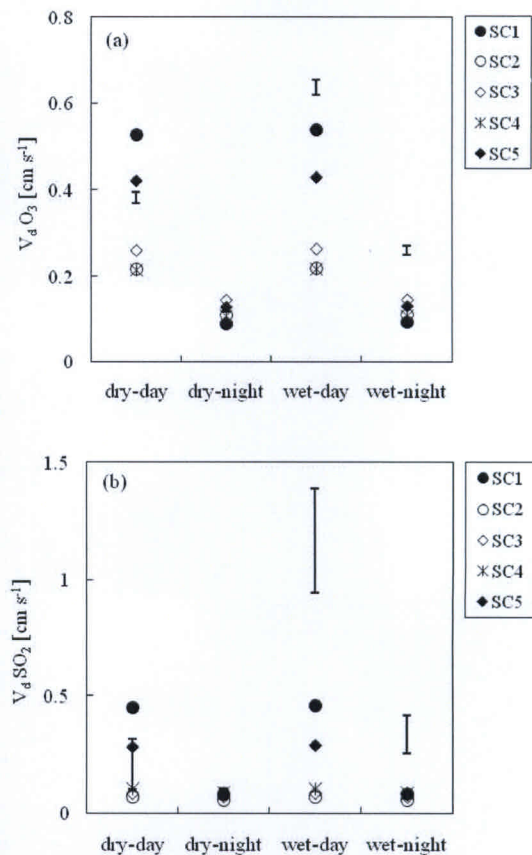


図1 熱帯林（タイ）における乾季・雨季／昼間・夜間別の沈着速度パラメタリゼーションの検証（SC1-5:季節カテゴリー別推計値、棒線：観測平均値の95%信頼区間）

#### (2) 乾性沈着推計手法の開発

(1)で集約された知見に基づいて、乾性沈着を推計するための沈着速度推計法を構築した。沈着速度推計の基本式は抵抗モデルと呼ばれる以下の式に基づく。

$$V_a^i(z) = (R_a(z) + R_b^i + R_c^i)^{-1} \quad (1)$$

ここで、 $V_a^i$ ：沈着速度、 $i$ ：沈着成分、 $z$ ：推計高度、 $R_a$ ：空気力学抵抗、 $R_b$ ：準層流抵抗、 $R_c$ ：表面抵抗である。推計法を構築するにあたり、特に、水溶性ガスである  $SO_2$  と  $NH_3$  の湿潤表面への取り込み促進効果と、実測に基づく粒子成分の森林への沈着速度パラメタリゼーションの適用に留意し改良を行った。さらに、これらの改良に伴い  $R_a$  の推計精度が沈着速度の推計精度に与える影響が相対的に大きくなることを考慮して、 $R_a$  推計法の精緻化を行った。 $R_a$  の最も重要な要素である摩擦速度 ( $u^*$ ) の推計法に関し、超音波風速計による測定から得られた微気象データを用いて検証を行った結果、 $u^*$  推計法は大気安定度が異なる昼夜間別に推計しても測定値を良く再現することができた。図2にその検証結果を示す。

構築した沈着速度推計法の評価のため、森林および草地に対し、国内の遠隔域に位置する利尻、佐渡関岬、梶原、辺戸岬において、2004年4月1日から2005年3月31日の1年間の沈着速度を推計した。図3に推計された  $SO_2$ 、 $HNO_3$ 、 $NH_3$  の沈着速度月平均値の季節変動を示す。 $HNO_3$  の変動は風速の変動に酷似していた。これは  $R_a + R_b$  の変動を反映したもので、さらに、 $R_a + R_b$  の風速以外の要素である大気安定度の安定時と不安定時の影響が月平均により相殺されたためと考えられる。 $SO_2$  の季節変動は、概ね、暖候期に高い相対湿度と寒候期に高い風速の変動を足し合わせた変動パターンを示しており、 $R_a + R_b$  と、湿潤表面による取り込み促進効果

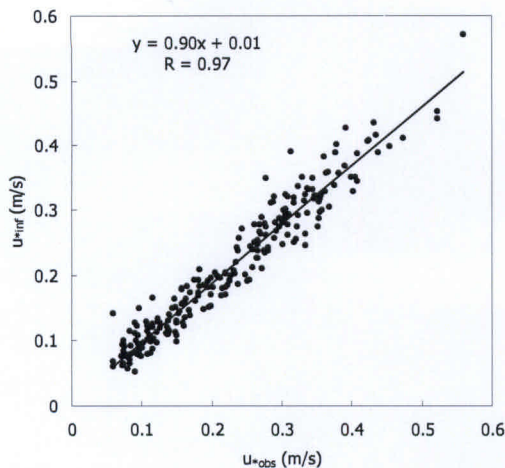


図2 熱帯林(タイ)における摩擦速度パラメタリゼーションの検証 ( $u_{inf}^*$ ：推計値、 $u_{obs}^*$ ：超音波風速計による観測値)

の変動に基づく  $R_c$  の両方の変動を反映したものと考えられる。 $NH_3$  は相対湿度の季節変動と似た傾向を示しており  $R_c$  の変動に大きく依存していると考えられる。

推計の結果、 $SO_2$  と  $NH_3$  の湿潤表面への取り込み促進効果が再現されており、かつ、森林で推計された粒子成分の沈着速度がより実測値(文献値)に近いレベルになったことが確認された。

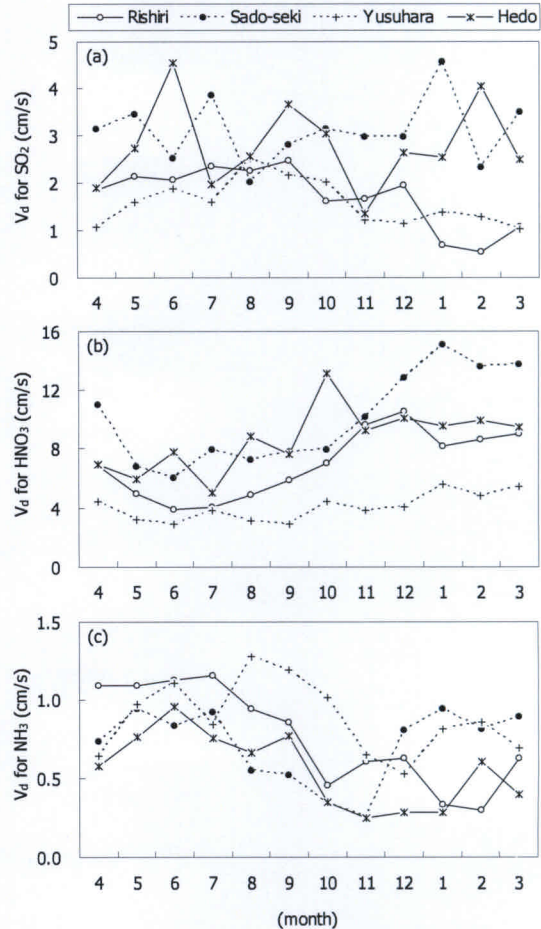


図3 国内遠隔域における改良型パラメタリゼーションにより推計された  $SO_2$ 、 $HNO_3$ 、 $NH_3$  の沈着速度

### (3) 乾性沈着の推計・評価

開発されたパラメタリゼーションを用いて、東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(EANET)の国内測定地点において、沈着面を森林と設定して乾性沈着を推計した。当該計算には、EANET局で測定されている気象データを入力値として各成分の沈着速度を求め、大気濃度データとの積により硫酸( $SO_2$ 、粒子状  $nss-SO_4^{2-}$ )および窒素( $HNO_3$ 、アンモニア、粒子状  $NO_3^-$ 、粒子状  $NH_4^+$ )の乾性沈着を推計した。さらに、推計された乾性沈着に湿性沈着を合わせて

総沈着量（酸性沈着）の評価を行った。図4に乾性および湿性沈着の分布図を示す。総沈着量の分布は、硫黄と窒素で同様な傾向が見られ、本州および沖縄で多く、北海道（利尻）、小笠原で少なかった。湿性沈着と乾性沈着の比は、硫黄、窒素共に概ね同レベルであった。さらに、窒素沈着において、アンモニアの総沈着量は硝酸の総沈着量と同レベルであった。

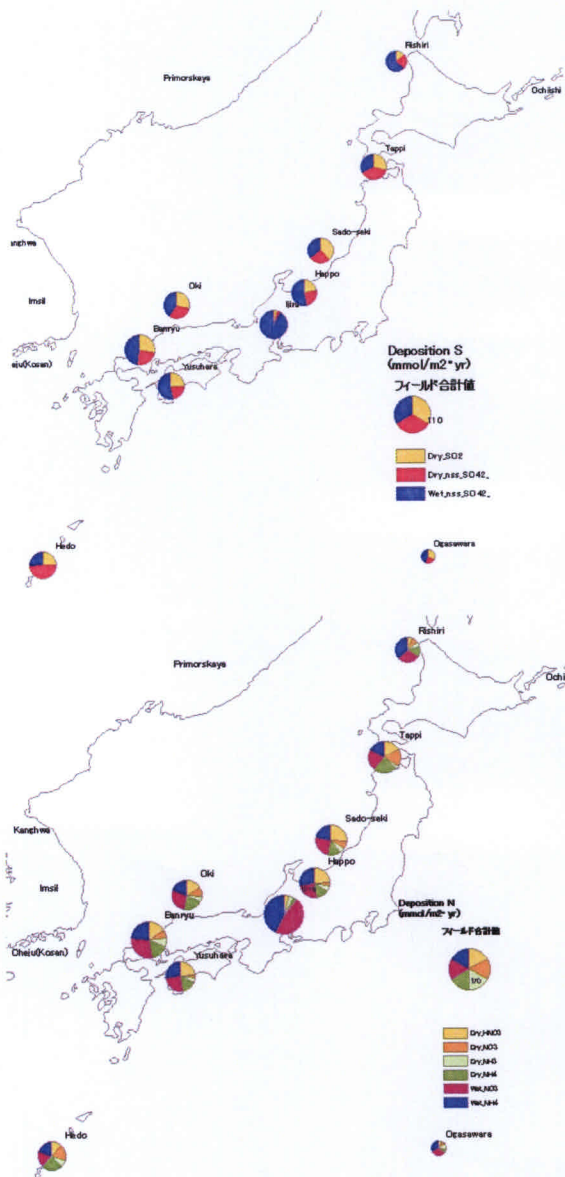


図4 国内遠隔域における硫黄（上）および窒素（下）の乾性および湿性沈着量（Dry\_X：X成分の乾性沈着、Wet\_X：X成分の湿性沈着、nss：non sea salt）

### 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6件）

- ① 松田和秀、東アジアにおける乾性沈着モニタリング手法の開発、大気環境学会誌、44、1-8（2009）査読有
- ② 松田和秀、大気中硫黄および窒素化合物の乾性沈着推計-沈着速度推計法の更新-、大気環境学会誌、43、332-339（2008）査読有
- ③ 林 健太郎、松田和秀、欧州における大気由来の窒素負荷研究の動向、日本土壤肥料科学雑誌、79、122-124（2008）査読無
- ④ 松田和秀、高橋 章、林 健太郎、反町篤行、東アジアにおける乾性沈着フィールド研究、大気環境学会誌、42、261-270（2007）査読有
- ⑤ 松田和秀、高橋 章、米国における乾性沈着モニタリングの現状、エアロゾル研究、21、369-371（2006）査読無
- ⑥ K. Matsuda, I. Watanabe, V. Wingpud, P. Theramongkol, T. Ohizumi, Deposition velocity of O<sub>3</sub> and SO<sub>2</sub> in the dry and wet season above a tropical forest in northern Thailand, *Atmos. Environ.*, 40, 7557-7564（2006）査読有

〔学会発表〕（計4件）

- ① 松田和秀ら、タイ北部熱帯林におけるオゾンおよび二酸化硫黄の沈着速度、第23回エアロゾル科学・技術討論会、2006年8月、福岡大学
- ② K. Matsuda et al., A review of field studies on sulfur and nitrogen dry deposition in East Asia, The 10th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality, May 2007, Hong Kong
- ③ 松田和秀ら、東アジアにおける硫黄および窒素の乾性沈着フィールド研究、第48回大気環境学会年会、2007年9月、岡山理科大学
- ④ 松田和秀ら、改良型沈着速度推計法による硫黄および窒素化合物の乾性沈着推計第49回大気環境学会年会、2008年9月、金沢大学

〔その他〕

大気沈着研究会等の情報をホームページで公開

<http://www.hino.meisei-u.ac.jp/es/matsuda/index.html>

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

松田 和秀 (MATSUDA KAZUHIDE)

明星大学・理工学部・准教授

研究者番号：50409520