

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 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：12605

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2008 ～ 2012

課題番号：20120011

研究課題名（和文） 森林生態系におけるエアロゾルの沈着量と動態の評価手法の開発

研究課題名（英文） Development of the methods for the evaluation of deposition amount and dynamics of aerosol in forest ecosystem

研究代表者 原 宏 (HARA HIROSHI)

東京農工大学 名誉教授

研究者番号：60106226

研究成果の概要（和文）：

本研究では、森林に対するエアロゾルの乾性沈着量の推定法による評価を基本として、実用的な評価方法を開発することを目的とした。

森林内では、粒径1.0 - 2.0 μm のエアロゾルは43.2%が樹冠により捕捉されたことが明らかになった。葉面洗浄法で得られたブラックカーボンの沈着量は、濃度勾配法により測定された沈着量の1/3から2/3を占めており、葉表面への沈着が大きいことが示された。

研究成果の概要（英文）：

The goal of this work is to develop a practical method for the determination of the behavior and deposition flux of the aerosol. The forest canopy could collect 43.2% of the atmospheric aerosol in the diameter range from 1.0 to 2.0 μm . The result of the foliar rinsing method showed that 1/3 to 2/3 of the deposition measured by the Relaxed eddy correlation method was captured by the leaves.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
20年度	22,600,000	6,780,000	29,380,000
21年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
22年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
23年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
24年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
総計	48,800,000	14,640,000	63,440,000

研究分野：境界農学

科研費の分科・細目：境界農学

キーワード：乾性沈着、エアロゾル、鉛直プロファイル、森林、林内雨 - 林外雨法、葉洗浄法、オープンパス FT-IR、インフレンチアル法

1. 研究開始当初の背景

森林に対するエアロゾルの沈着は当該物質が雨に溶け水溶液の形で沈着する湿性沈着と、エアロゾルの形態のまま媒体となる空気の乱流により拡散・沈着する乾性沈着がある。これらの沈着は森林生態系に対する酸性

物質などエアロゾルの影響を考える上での基本であり、大気エアロゾルを森林が浄化するという観点からも重要である。しかし、エアロゾルの乾性沈着は、湿性沈着と比べると、その過程が複雑であり、理論、実験とも難しく長期広域的な観測に適した方法は得られ

てはいない。また、ガスについての乾性沈着の測定は最近大きく進展しつつあるが、エアロゾルの濃度をきめ細かく測定することが困難なこともあり、研究の歩みはきわめて遅い。

大気エアロゾルは固体状、液体状の微粒子であり、風によって森林に沈着する。エアロゾル成分のうち硫酸塩、硝酸塩、黒色炭素(BC)は植物に影響を及ぼすと考えられるので、森林に対する沈着量や沈着に関する動態を把握し、それらの評価方法を開発することを目的とする。BCとは、炭素を主成分とする燃料を高温で不完全燃焼する際に発生する、一般的にススと言われるものである。具体的には、ディーゼルエンジンの排気、石炭の燃焼、森林火災などからなる。大気中に存在するBCは、微粒子状のエアロゾルとして存在しており、太陽可視光線を効率良く吸収するため地球の温暖化の一端を担っているほか、植物の葉面に沈着した場合、遮光等による光合成活性の低下、植物生育の低下等の影響が懸念されている。

2. 研究の目的

森林では、キャノピーの多重構造や、森林環境における気象要素が林内への乾性沈着に大きな影響を及ぼすと考えられる。本研究では濃度勾配法、林内雨-林外雨法、葉洗浄法、オープンパス FTIR 分光法を用いて、乾性沈着の動態を把握し、林内における乾性沈着を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究の調査はすべて、東京農工大附属のフィールド研究施設である 12.6ha の里山、FM 多摩丘陵（東京都八王子市）で行われた。

SO₂、SO₄²⁻エアロゾルの捕集は、葉洗浄法、代理表面法および3段階構造のフィルターパック法を使用した。葉は各高度5枚ずつ採取した。採取したコナラ葉は1枚ずつ50 mL ポリプロピレン製遠沈管に入れ、超純水 50 mL に 400 rpm で 0~60 分間振とう抽出した。フィルターパックの1段階目および2段階目はインパクターを取り付けた。インパクターによって、粒径 10 μm 以上、2.5-10 μm の粒子を分けた。3段階目には SO₂ 捕集用のアルカリ含浸濾紙を設置した。

ブラックカーボンは多摩丘陵内のタワー高度 30 m および 25 m においてテープ式光吸収率計を設置して測定した。テープ式吸収率計はハンディブラックカーボンモニターによって補正を行い、EC の濃度を算出した。測定期間は平成 22 年 11 月 1~2 日、12~17 日である。また、30 m のポイントに気温センサー付きの超音波風速計を設置し 10 Hz で風速と気温をモニターした。これらの測定値から乾性沈着速度を見積もりフラックスを算出した。

オープンパス FTIR 分光法は地上に設置し

た潜望鏡型出入射ユニット付赤外分光光度計 (JASCO, VIR-9550) から射出された赤外光を金蒸着平面反射鏡 (120 mm×80 mm) で鉛直上方にはねあげ、タワー壁面のレール上に設置した昇降可能な金蒸着コーナークューブミラーアレイ (反射面約 45 cm×45 cm) で反射させて分光光度計に戻した。この測定で、地表からコーナークューブミラーまでの高度方向の大気の赤外吸収スペクトルが得られる。片道光路長 (ミラーアレイの高さ) を 1, 3, 5, 8, 10, 20, 30, 40 m として測定を行った。分解能は 0.5 cm⁻¹、積算回数は 128 回とした。得られたスペクトルから、既に報告した重回帰の方法 (観測されたスペクトルを標準スペクトルでフィッティングする方法) 2, 3) で、大気中の微量成分 (CO, ¹³CO₂, CH₄, N₂O, H₂O, SO₂) の光路に沿った積算濃度を求め、光路長に対して積算濃度がどのように変化するかを検討した。

4. 研究成果

(1) 葉表面における粒子の存在状態

実際にどのような粒子が葉に捕捉されているのか、捕捉された粒子の葉上での存在状態を明らかにするため、新たに実葉の電子顕微鏡観察を行った。測定葉は、2012 年 10 月中旬に東京農工大学の FM 多摩丘陵で採取し、走査電子顕微鏡で分析を行った。

コナラ葉の表面には土壌や海塩粒子、生物片のような粒子の他に、微生物や菌類のような糸状の構造も見られた。

(2) 個葉への BC 沈着量

葉洗浄法は実葉について BC の沈着量を測定把握することができるもっとも直接的な測定方法である。2011 年では、7 月以降は、ある一定の葉表面への BC 沈着量で、各高度で平衡状態に達することが観察された。ある濃度以上では、雨等による流亡が生じるものと考えられた。本年では、葉展開期に着目し、葉表面に沈着した BC 量の測定を 2011 年および 2012 年に行った。対象樹種はコナラで、高度は 4~6, 15 および 20 m である。

両年ともに、4 月 20 日前後より葉の展開が急速にはじまり、5 月末で林内の葉面積指数 (LAI) は 4~5 と平衡状態に達した。BC の沈着量は、高度が上がるほど、葉面積あたりの沈着量の増加が認められた。2011 年の沈着量は、2012 年に比べて高い値となったが、それぞれの 20 m における沈着量と葉展開日数を比較すると、2011 年では沈着の初期速度は 0.24 mg m⁻² day⁻¹ であるのに対して、2012 年では 0.28 mg m⁻² day⁻¹ となりほぼ同程度の BC 沈着速度であったことが示された。葉展開期と同時に BC の沈着量が増加すること、高度別によって沈着量が異なることは、LAI の増加により、林内における大気環境が大きく変わったことが葉表面への沈着に影響していることを示唆した。

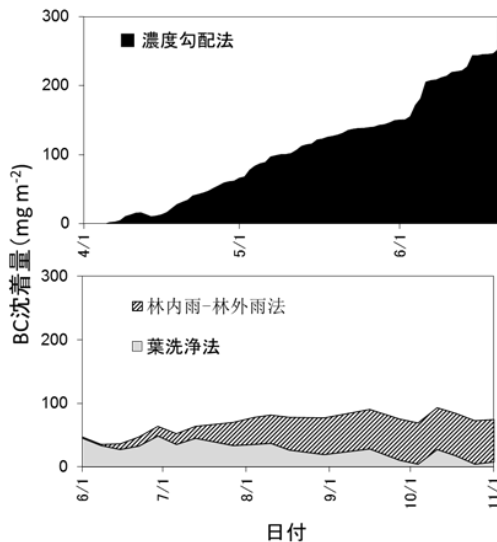


図1 濃度勾配法, 林内雨-林外雨法, 葉洗浄法による林へのBC沈着積算量の比較

(3) BC沈着量の収支

地上 30 m(U)と 25 m(D)での濃度観測により濃度勾配を求め, 30 mの位置にある超音波風速計等の測定値により渦拡散係数を Erismann and Draaijer (1995)の方法で算出し, それらの積でフラックスを日単位で見積った. 2011年4月~6月の期間でBC濃度は平均 1.8 mg m^{-3} (U), 0.083 mg m^{-3} (D)とUではDの20倍程度の濃度であった. 対応する沈着量は大きく変動したが, ほとんど $5 \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 以下で平均値は $3.1 \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ であった. この結果を用い, 沈着積算量を算出し, 葉表面への沈着と林内雨-林外雨法により得られた森林内へのBC沈着量と比較した(図1).

測定期間が異なるため, 直接的な比較は難しいが, 測定期間が重なる6月については, 濃度勾配によって算出されたBC沈着量は 107.6 mg m^{-2} であるのに対して, 葉表面に沈着している量は $28.6 \sim 49.1 \text{ mg m}^{-2}$, 林内雨-林外雨法における積算沈着量は 15.7 mg m^{-2} であった. 不明分については, 直接土壌に沈着したものと考えられた.

(4) 森林フィルターモデルと乾性沈着量

エアロゾルでは粒径による森林樹冠に捕捉機構は異なることから, OPCにより3高度でエアロゾル数濃度の粒径別採取 ($0.3 - 0.5 \mu\text{m}$, $0.5 - 0.7 \mu\text{m}$, $0.7 - 1.0 \mu\text{m}$, $1.0 - 2.0 \mu\text{m}$, $2.0 - 5.0 \mu\text{m}$, $5.0 \mu\text{m} <$)を行い, CFMの検証を行った. 図1には, 粒径 $1.0 - 2.0 \mu\text{m}$ のエアロゾルにCFMを適用した結果を示しているが, 樹冠上空と樹冠下部を用いると最も相関係数(r)が高いことが分かる. 回帰直線の傾きから粒径 $1.0 - 2.0 \mu\text{m}$ のエアロゾルは43.2%が樹冠により捕捉されることが分かった.

(5) オープンパス FTIR 分光法

オープンパス FTIR 分光法は, 大気中の赤外吸収スペクトルを測定する手法である. 本研究では, オープンパス FTIR 分光法を用いて森林大気中の微量成分の高度分布の測定を試みた. 測定には潜望鏡型の赤外線出入射ポートを備えた FTIR 分光光度計 (Jasco, VIR-9550)を用いた.

H_2O と CH_4 の分布は大きく異なった. H_2O は10 m以下の低い部分で傾きが急になっており, この部分での濃度がそれよりも高い部分よりも大きくなっていることがわかる. 一方 CH_4 の分布は, 下に凸の分布となっている. これは低い部分で濃度が小さくなっていることに対応する. 低高度での高い水蒸気濃度は, 地面や樹木から放出される水蒸気によると考えられる. 今後この部分での分布をさらに詳細に観測するとともに, 吸湿性エアロゾルの挙動との関係を検討する必要がある. CO 濃度の高度分布はまだ精度良く観測されていない. しかし CH_4 の分布と同様に高高度で濃度が大きくなる傾向が見られる. すなわち CO は森林外部の発生源から到達している可能性が高いと考えられた.

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8件)

1. 曾田美夏, 大河内博, 緒方裕子, 大川浩和 (2013). メチレンブルー吸光光度法を用いた都市大気エアロゾル中陰イオン界面活性物質の迅速定量, 分析化学, 掲載決定 (3月1日). (査読有)
2. 名古屋俊士, 香村一夫, 大河内博 (2012), 東日本大震災と環境汚染, 早稲田大学ブックレット, p. 75-105(査読有)
3. 小林由典, 大河内博, 緒方裕子, 為近和也, 皆巳幸也, 名古屋俊士 (2012), 富士山における大気および大気水相中揮発性有機化合物濃度に関する一考察, 大気環境学会誌, 47, 33-44. (査読有)
4. 鈴木佳祐, 大河内博, 緒方裕子 (2012), 首都近郊小規模森林における生物起源揮発性有機化合物 (BVOCs) の大気動態, 大気環境学会誌, 47, 51-57. (査読有)
5. 吉村季織, 福原亘治, 三ツ木健一郎, 高柳正夫 (2011). Microsoft Excelを用いたケモメトリクス計算 (4) - 主成分回帰 -, 日本コンピュータ化学会論文誌, 10, 32-43. (査読有)
6. 高柳正夫 (2011). 講座: 赤外分光測定法-基礎と最新手法. 15. 近赤外分光法, 分光研究, 60, 107-114. (査読有)
7. 吉村季織, 茂谷明宏, 高柳正夫 (2010). Microsoft Excelを用いたケモメトリクス

計算 (3) 一重回帰による定量法一, 日本コンピュータ化学会論文誌, 9, 109-120. (査読有)

8. 小林亜矢, 小島雄紀, 大河内 博, 名古屋俊士 (2010). スチレンジビニル共重合体樹脂を用いたローボリウムエアサンプラーによる大気中ガス状多環芳香族炭化水素採取法と迅速前処理法の開発, 分析化学, 59, 645-652. (査読有)

[学会発表] (計 106 件)

1. 大河内博 (2013). 富士山体を利用した自由対流圏高度におけるエアロゾル—雲—降水相互作用の観測. NPO 富士山測候所を活用する会第 6 回成果報告会, 東京大学, P-03, 1 月 27 日.
2. Hara H., T. Kashiwakura, K. Kitayama, H. Ogata, S.D. Kimura, H. Okouchi, M. Takayanagi (2013) Atmospheric Black Carbon and its dry deposition onto actual foliage. Abstract of International Symposium on Aerosols in East Asia and their Impacts on Plants and Human Health, pp. 42-43, Nov. 29-Dec. 1, 2012, Tokyo, Japan.
3. Takayanagi M., R. Yanagi, K. Yamamoto, N. Yoshimura, K. Matsuda, and H. Hara (2013) Open-path FTIR spectroscopy for observation of vertical distribution of atmospheric trace gases in a forest. Abstract of International Symposium on Aerosols in East Asia and their Impacts on Plants and Human Health, pp. 120-121, Nov. 29-Dec. 1, 2012, Tokyo, Japan
4. Ogata, H., Okochi, H. (2012). Capture efficiency of aerosol particles by the forest canopy in a small forest located at western part of Tokyo, Japan. Workshop on Atmospheric Deposition in East Asia 2012, Bangkok, Thailand, November 20.
5. 柏倉巧、北山響、木村園子ドロテア、大河内博、高柳正夫、原 宏 (2012) ブラックカーボンの森林内における濃度プロファイル: 葉面沈着量および大気濃度による評価 「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト」シンポジウム、A03-04、京都 (2012 年 1 月 24 日～26 日)
6. Kyo Kitayama, Yuuki Kimura, Takeshi Mori, Takumi Kashiwakura, Shogo Ota, Sonoko Drothea Kimura, Hiroshi Okochi, Akira Takahashi, Sadamu Yamagata, Naoto Murao and Hiroshi Hara (2011). The characteristics of black carbon deposition in the forest, Extended Abstracts of the 7th Asian Aerosol

Conference, p. 20, Xi' an, China, August 17-20, 2011.

7. Okochi, H., Kurishima, N., Murakami, S., Miyazaki, A. (2011), Observation of forest filter effect for acidic substances in a small forest in the west of Tokyo, The 8th International Conference on Acid Deposition: ACID RAIN 2011, Beijing, China (Jun 17, 2011)
8. Okochi H., Seki K., and Hara H. (2010). Canopy buffering capacity and leaching process of inorganic nitrogen from the ecosystem in a small forest ecosystem in the Tokyo Metropolitan area, Pacificchem 2010, Hawaii, USA (Dec. 15-20, 2010)
9. 太田将伍, 木村 園子ドロテア, 木村祐紀, 原 宏 (2010). 多摩丘陵における林内の植生に対する乾性沈着, 日本土壤肥料学会, 1-14, 9 月 7 日～9 日

[図書] (計 1 件)

高柳正夫 (2010). (社) 照明学会 食物安全への赤外放射応用研究調査委員会 報告書, 58-63.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原 宏 (HARA HIROSHI)
東京農工大学・名誉教授
研究者番号: 60106226

(2) 研究分担者

高柳 正夫 (TAKAYANAGI MASAO)
東京農工大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号: 50192448

木村園子ドロテア
(KIMURA SONOKO DOROTHEA)
東京農工大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号: 60397015

大河内 宏 (OKOCHI HIROSHI)
早稲田大学・理工学研究院・教授
研究者番号: 00241117

緒方 裕子 (OGATA HIROKO)
早稲田大学・理工学研究院・助手
研究者番号: 80613512