

機関番号: 82109

研究種目: 基盤研究(A)

研究期間: 平成 20 年度～平成 22 年度

課題番号: 20244078

研究課題名(和文) 全球ダスト動態解明のための観測・解析・モデルインタラクション

研究課題名(英文) Observation, analysis and model interactive study for the understanding of global dust dynamical processes.

研究代表者

三上 正男(MIKAMI MASAO)

気象庁気象研究所・環境・応用気象研究部・部長

研究者番号: 60354510

研究成果の概要(和文): ダストの気候インパクトの定量的評価を高精度に行うことが出来るダストモデルの開発を、①発生過程の観測解析、②ダスト輸送途上の解析、③ダスト沈着量の観測解析と④ダストモデルの高度化のための技術開発により行った。①では、粒径別鉛直ダスト輸送量の評価法を確立し、ダスト発生モデルの検証を行い、スキームの最適化を行った。また②衛星及び地上ライダーの解析から、アジア域ダストがサハラ等に較べて高高度・長距離にわたって輸送される実態や、輸送中のダストでは粒径分布変化よりも内部混合の進行による形状変化が重要であることを明らかにした。さらに③乾性・湿性沈着観測ネットワークによる沈着フラックスの観測データを用いて、全球ダストモデル MASINGAR の粒径分布とモデルのダスト発生過程の改良を行うと共に④高精度データ同化システムと衛星ライダー観測値を組み合わせて、全球ダスト分布の客観解析値を作成し、東アジアのダスト発生量のモデル誤差推定を行なった。また同同化システムにより、モデルの再現性を大幅に向上することが可能となった。これらにより、発生・輸送・沈着各過程を寄り現実的に再現できるモデルを開発することが出来た。

研究成果の概要(英文): Development of global dust model that can evaluate a dust impact on the climate was made from (1) monitoring of dust emission processes, (2) analysis on dust transport processes using Lidar data, (3) network monitoring of dust wet and dry depositions, and (4) development of new data assimilation system for the model. The results were summarized as follows; (1) size resolved monitoring of dust emission was developed and was used for the validation of dust emission schemes, (2) long-range and high altitude transport characteristics of Asian dust was revealed by the lidar observation and it is shown that the change of the shape accompanied with the internal mixture is more important than the change of size distribution during the long-range transportation, (3) validation and improvement of dust particle size distribution and dust emission processes of MASINGAR, a global dust model, were done using wet and dry deposition data, and (4) Model error estimation was made by the dust data assimilation system using EnKF technique and satellite lidar data and the model representation of dust distribution was improved by this system. As a result, we could improve the global dust model for its representation of emission, transportation and deposition processes.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
平成20年度	19,400,000	5,820,000	25,220,000
平成21年度	9,500,000	2,850,000	12,350,000
平成22年度	8,200,000	2,460,000	10,660,000
総計	37,100,000	11,130,000	48,230,000

研究分野: 数物系科学

科研費の分科・細目: 地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード: 地球環境システム、ダスト、データ同化、放射強制力、黄砂予測

1. 研究開始当初の背景

大気中に浮遊するダストの気候インパクトは、直接効果による放射強制力、ならびに雲の生成(第一種間接効果)や降水過程(第二種間接効果)による放射強制力として気候モデルに組み込まれその定量化が試みられているが、その前提となるダストの発生・輸送・沈着の全過程の動態に関する科学的理解は依然不十分で、そのためダストモデルの精度の高度化が課題となっていた。

2. 研究の目的

本研究は、こうした背景の元、観測、データ解析ならびにモデル開発各研究間のインタラクションを作り出すことにより、ダストの気候インパクトの定量的評価を高精度に行うことが出来るダストモデルの開発を行い、全球ダスト動態の定量的把握とそれに基づくダストの気候インパクト評価の高度化を可能たらしめる技術的基盤を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) モンゴルにおける現地観測

2010年6月20日から23日まで、モンゴル国ウランバートルの南西約85 kmにある半乾燥草地のバヤンオンジュル(Shinoda et al., 2010)で観測を実施した。降水はなく地表面は乾燥しており、約十数 cm 高さまでの植生がまばらに分布する状態であった(図1)。

ダスト濃度の測定にはダストラック(TSI社製、DRX Model8533)を用いた。ダストラックは5個のマルチチャンネルを有し、PM1、PM2.5、PM4、PM10、Total濃度を1秒毎に計測できる。測器の設置高さは1 mと10 mとして、10秒毎に記録した。

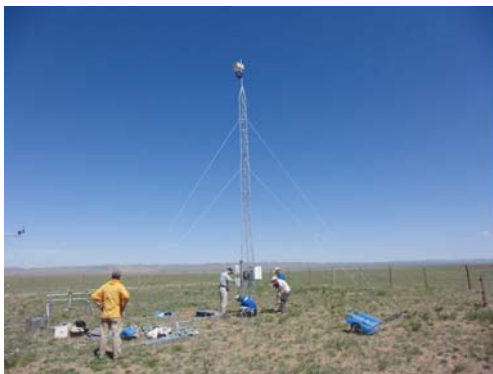


図1 10 m 観測塔の設置(2010年6月17日)

(2) ライダーによる輸送過程の解析

CALIPSO 搭載ライダー-CALIOP のデータ解析においては、NASA の WWW サイトから Level1 データを入手しライダー方程式に基づくインバージョンを行った。更に環境研で開発された偏光消滅度を利用するアルゴリズムに基づき黄砂消散係数の鉛直プロファイルを導出し、一定期

間において緯度・経度グリッド内でそれらを平均することにより黄砂消散係数の気候値 3次元分布データを作成した。一方、黄砂消散係数と粉塵濃度(TSP)との対応関係に関しては、国立環境研究所地上ライダーネットワークによる黄砂消散係数の下層(地上120~270m)の値と、環境省黄砂実態解明調査における地上24時間フィルターサンプリングによる粉塵濃度を利用した。

(3) 乾性湿性沈着のモニタリング

2008年10月下旬から2010年12月にかけて、札幌、富山、名古屋、鳥取、福岡、沖縄・辺戸岬の6ヶ所で、小笠原計器のUS-330を用い、湿性と乾性とを区別してダスト沈着物を採取した。雨水(湿性沈着物)は本体冷蔵庫内のボトルに保管され、乾性沈着物はデポジットゲージ内に設置した予め洗浄済みのポリ袋に採取した。試料は1週間毎に回収し、適宜、黄砂予報に応じて日単位の採取もおこなった。雨水試料には、採取直後に0.01%相当の殺菌剤(オスバン)を添加して常温保存し、乾性沈着試料と共に4週毎に名古屋へ集積し、孔径1 μm のヌクレポアフィルターでろ過後、残渣重量を秤量した。本研究では、蛍光X線分析法を用いて残渣試料中のFe量を測定し、黄砂中の平均的なFe含有量との関係から、鉱物質ダストの沈着量を求めた(浦ら, 2011: エアロゾル研究に投稿中)。

4. 研究成果

(1) ダスト発生モデルの検証

オーストラリアの休耕農地で実施した観測(Ishizuka et al., 2008)により、3.5メートルと1メートル高さのダスト濃度の測定結果を用いて粒径別ダスト発生モデルのパラメタリゼーションを行

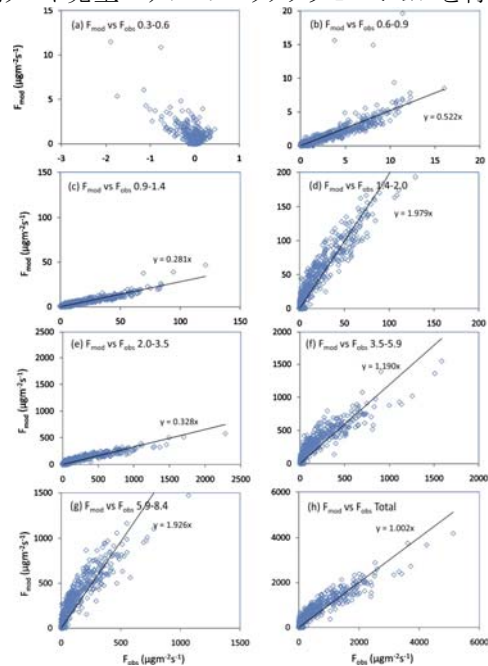


図2 粒径別ダストフラックスの観測値とモデル推定値との比較(Shao et al., 2011)

った。鉛直ダストフラックスの算定には、高度別のダスト濃度の鉛直勾配を用いる傾度法を用いた。

その結果、図 2 に示すように、ダスト発生モデルは 0.3-0.6 μm を除いて、観測データとよく一致する結果が得られた(Shao et al., 2011)。これより、高度別のダスト濃度を用いることで傾度法により鉛直ダストフラックスを推定できることが示された。

一方で、モデルによるダストフラックスは入力データである地表面土壌粒径に大きく依存することが分かった。

(2) モンゴルにおける観測結果

1 m と 10 m 高さにおいて、ダスト濃度が同時に増加する様子が観測された。このとき、3 m 高さにおいて、1 分平均風速が 5.6-6.4 m/s であった。

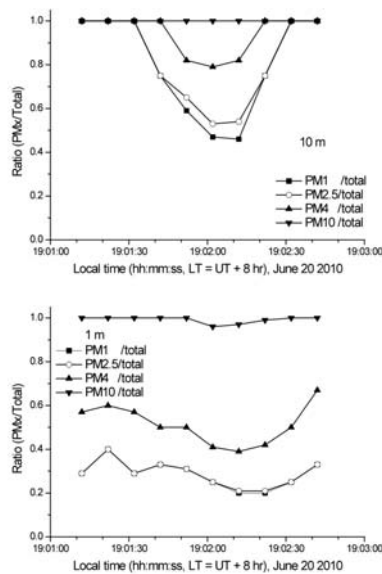


図3 Total 濃度に対する PM1, PM2.5, PM4, PM10 の比率の時間変化(10 m と 1 m 高さにおける比較)

粒径別にダスト濃度の特徴をみると(図 3)、10 m 高さでは強風時に大きい粒子が相対的に増加し、また、1 m 高さにおいても若干の増加が観測された。つまり、強風時に粗大粒子が上空まで輸送される結果が示された。また、1 m 高さでは 10 m 高さと比較して、PM4 サイズ以下のダストが継続的に飛散していることが分かった。

(3) ダスト輸送過程の解析

東アジア域のダスト分布の中期変動を CALIPSO の黄砂消散係数を利用して解析した。2007 年から 2010 年の春季については、発生域(ゴビ周辺)においては 2010 年に最も黄砂消散係数が大きくなったが、その緯度分布は例年通りである(図 4)。一方、日本域においても 2010 年には黄砂消散係数が上昇しているが、同時にその分布は

南へ偏っており、日本など風下域での黄砂濃度は発生源の変動以上に輸送パターン変動に依存することが明確になった。

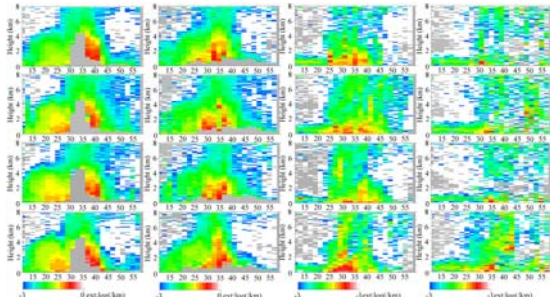


図4 CALIPSO による春季黄砂消散係数の緯度高度分布図。上から 2007,2008,2009,2010 年の結果、また左から 80-90E(タクラマカン付近),100-110E(ゴビ付近),130-140E(日本付近),170-180E(太平洋上)。

また東アジア域のダスト(黄砂)の特徴を他地域のダストと比較し、黄砂の特徴を調べた。粒子の偏光解消度(非球形性の指標)の出現頻度分布を求め、その上限に近い値(99 パーセンタイル値、以下 $\delta 99$)を黄砂の指標とした。これによると、東アジア(黄砂領域)や西アジアでは高高度まで $\delta 99$ が高いがサハラ域ではダストは低空でのみ見られ、またオーストラリアでは $\delta 99$ そのものが他の地域よりも低い。更に東アジアでは高度 5km 以上において偏西風による東進後も北部太平洋上で $\delta 99$ がほぼ低下せずダストが頻繁に長距離輸送されていることが示された(図 5)。

Lat: 30 - 45N, Lon: 180 - 210E

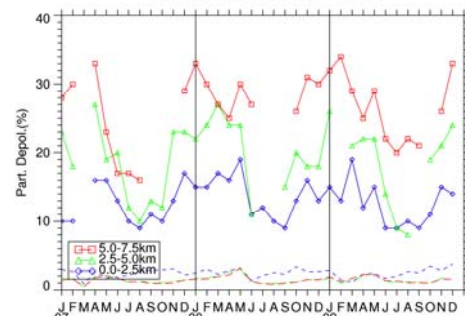


図5 $\delta 99$ の高度別季節変化。空間領域は 30-45N, 180-210E(中部太平洋)。

(4) 湿性乾性沈着過程のモニタリング

図 6 に、湿性沈着(青)と乾性沈着(赤)による鉱物質ダスト沈着量を示す。沈着量の季節変化は、湿性も乾性も春に最も高く、次いで秋~冬であった。湿性沈着量が高くなるイベントは、必ずしも全国規模ではなく、西日本だけ、あるいは札幌だけが高くなるケースもあった。また 2 年とも、夏季でも沈着量がゼロではなく、夏季に沈着するダストの起源について興味を持たれる。

表 1 に、2009 年と 2010 年(1 月から 12 月まで)に沈着した年間ダスト沈着量と、地点毎に 2 年分を平均した湿性と乾性沈着量の比(W/D)をま

とめた。2年間の地理的な傾向はほぼ一致し、湿性沈着量は富山・鳥取で高く、名古屋・辺戸岬で低かった。また、乾性沈着量は、福岡が最大値を示した。一方、2年を平均した湿性+乾性の総ダスト沈着量では、富山がもっとも多くて $12.6\text{g/m}^2\cdot\text{yr}$ 、鳥取と福岡は共に $10\text{g/m}^2\cdot\text{yr}$ 程度であった。富山や鳥取で湿性沈着量が高いのは、黄砂イベントの頻度が高い冬～春季に降水頻度が高いためと考えられる (Osada et al., SOLA, 2011)。また、湿性/乾性沈着量比は、富山で3程度なの、鳥取・福岡・辺戸岬では1程度を示し、傾向としては西に行くほど乾性過程による沈着比率が増していた。限られた試料数ではあるが、福岡で乾性沈着量の高かった試料では、粒径別 ($>10\mu\text{m}$ / $1-10\mu\text{m}$) 重量比が同時期の富山・鳥取での値に比べて高い傾向が見られた。発生源に近い地域では、粒径の大きなダスト粒子が先に乾性沈着することを暗示しており、今後さらに解析を進める予定である。

また、2009年3月と2010年3月に観測された顕著な黄砂イベントについて、本研究で得られた日スケールでの乾性沈着フラックスと、地方自治体によるSPM濃度モニタリングの結果とから、各地点における鉱物質ダスト粒子の乾性沈着速度を求めた。その結果、富山と鳥取では共に約 0.7cm/s (2009年)、富山と鳥取が約 1.5cm/s 、福岡では 2.1cm/s (2010年) という結果を得た。

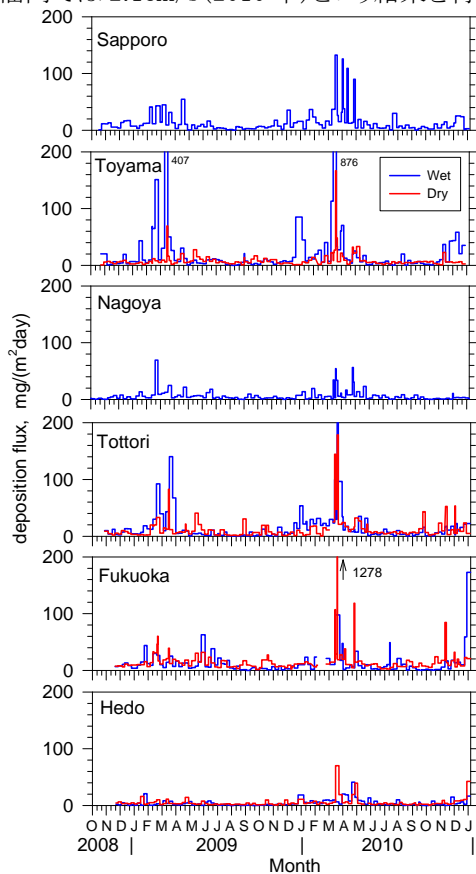


図6 湿性(青)・乾性(赤)沈着量の観測結果 ($\text{mg/m}^2\cdot\text{day}$)。福岡の2010年2月5日～24日は装置故障のため欠測

表1 沈着量観測結果 ($\text{g/m}^2\cdot\text{yr}$)

	湿性沈着		乾性沈着		湿性/乾性比
	2009	2010	2009	2010	平均
札幌	4.1	5.4			
富山	8.7	10.6	2.8	3.1	3.3
名古屋	2.4	2.1			
鳥取	5.1	5.9	3.2	4.9	1.4
福岡	4.0	5.5	4.7	5.7	0.9
辺戸岬	1.1	2.2	1.5	2.5	0.8

(5)ダストモデルの高度化に関する研究

本研究課題において展開されたダストエアロゾルの乾性・湿性沈着別観測ネットワークデータと、全球エアロゾルモデル MASINGAR によるシミュレーションとの比較を行い、モデルの輸送過程・沈着過程に関する誤差の評価を行った。観測とシミュレーションによる乾性・湿性沈着量比から推定されるダストの平均粒径はシミュレーションよりも大きいこと、またダスト発生に対する東アジア地域での土壌水分の重要性が見いだされ、これはダスト発生過程を改良し、土壌の粒径分布データを変更すること、臨界摩擦速度の土壌水分依存性を変更することにより改善されることが明らかとなった。

また、本研究課題において新規開発に成功したデータ同化システムを用い、全球ダスト濃度の解析値を作成した。解析期間は2006年12月から2007年11月までの1年間であり、このような長期にわたる安定したデータ同化実験は世界的にも稀である。また、このデータ同化システムはダスト濃度の解析だけでなく地表面ダスト放出量の推定も可能であり、東アジアにおける黄砂の放出源分布を詳細に定量化することに成功した。ここで作成したダスト解析値はダスト動態解明に直接的に貢献するデータセットとなっただけではなく、副次的に得られた解析誤差を詳細に分析することによってダストモデルの問題点を見つけ出す情報源となった。これはダストモデルのさらなる高精度化に繋がるフィードバックとなった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

Ishizuka, M., M. Mikami, J. Leys, Y. Yamada, S. Heidenreich, Y. Shao, and G. H. McTainsh (2008): Effects of soil moisture and dried rain-droplet crust on saltation and dust emission, *Journal of Geophysical Research -Atmospheres-*, Vol.113, D24212, pp.1-15, doi:10.1029/2008JD009955.

Shinoda, M., Kimura, R., Mikami, M., Tsubo, M., Nishihara, E., Ishizuka, M., Yamada, Y., Munkhtsetseg, E., Jugder, D. and Kurosaki, Y. (2010): Characteristics of Dust Emission in the Mongolian Steppe during the 2008 DUVEX Intensive Observational Period, SOLA (The Scientific Online Letters on the

- Atmosphere), Vol.6, pp.9-12, doi:10.2151/sola.2010-003, JOI JST.JSTAGE/sola/2010-003.
- Shao, Y., M. Ishizuka, M. Mikami, and J. F. Leys (2011), Parameterization of size-resolved dust emission and validation with measurements, J. Geophys. Res., 116, D08203, pp.1-19, doi:10.1029/2010JD014527.
- Osada, K., T. Ohara, I. Uno, M. Kido, and H. Iida, Impact of Chinese anthropogenic emissions on submicrometer aerosol concentration at Mt. Tateyama, Japan, Atmos. Chem. Phys., 9, 9111-9120, 2009
- Osada, K., Y. Shido, H. Iida and M. Kido, Deposition processes of ionic constituents to snow cover, Atmospheric Environment, 44, 347-353, 2010.
- Osada, K., S. Ura, M. Kagawa, M. Mikami, T. Y. Tanaka, S. Matoba, K. Aoki, M. Shinoda, Y. Kurosaki, M. Hayashi, A. Shimizu, and M. Uematsu, Temporal and spatial variations of wet deposition flux of mineral dust in Japan, SOLA, 7, 49-52, 2011.
- 長田和雄・川北康介・上田紗也子・水野祐貴, テストダスト粒子に含まれる水溶性物質の体積割合, エアロゾル研究, (掲載決定:2011年3月10日), 2011.
- Shimizu A. (2011): Relationship between Lidar-derived Dust Extinction Coefficients and Mass Concentrations in Japan., SOLA, 7A, 1-4
- Tanaka, T.Y. (2011): The effects of snow cover and soil moisture on Asian dust: I. A Numerical Sensitivity Study, SOLA, 7A, 036-039
- Sekiyama, T.T. (2011): The effects of snow cover and soil moisture on Asian dust: II. Emission estimation by lidar data assimilation, SOLA, 7A, 040-043.
- [学会発表] (計33件)
- Sekiyama, T.T., Dust aerosol analysis and prediction with 4D-EnKF data assimilation, EGU General Assembly 2010, 2010年5月4日
- Mikami M., Total saltation fluxes under dry and weakly-crusted conditions, The General Assembly 2010 of the European Geosciences Union, 2010年5月7日
- 長田和雄, 非水溶性粒子沈着量の水平分布と季節変化, 日本気象学会春季大会 2010年度春季大会, 2010年5月24日
- 石塚正秀, JADE IOP 期間中の OPC を用いた休耕農地におけるダストフラックスの観測, 日本気象学会 2010年度春季大会, 2010年5月24日
- 三上正男, ADE IOP 期間中の休耕農地における飛砂フラックスデータの作成, 日本気象学会 2010年度春季大会, 2010年5月24日
- Ishizuka, M., Dust flux measurements at a fallow wheat field using optical particle counters, The Seventh International Conference on Aeolian Research, 2010年7月6日
- Mikami, M., Total saltation flux estimated from time and size resolved measurements in JADE-IOP, The Seventh International Conference on Aeolian Research, 2010年7月6日
- Ishizuka, M., Development of new sand particle counter and its calibration in a wind tunnel experiment, The Seventh International Conference on Aeolian Research, 2010年7月8日
- Shao, Y., Size-resolved Dust Emission Scheme and Validation with Field Measurements, The Seventh International Conference on Aeolian Research, 2010年7月8日
- 原由香里, 地上/衛星搭載ライダーにより示されたアジアダストの季節変動, 第27回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2010年8月3日
- 田中泰宙, ダストエアロゾル沈着ネットワークと数値シミュレーションの比較実験, 第27回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2010年8月4日
- 関山剛, 大気エアロゾルのデータ同化, 第27回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2010年8月5日
- 長田和雄, ダスト沈着量の季節変化と水平分布, 第27回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2010年8月5日
- 石塚正秀, オーストラリア JADE IOP における休耕地上のダストフラックス, 第27回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2010年8月5日
- 清水厚, 日本国内のライダーで観測された黄砂消散係数と重量濃度との対応, 第27回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2010年8月5日
- 三上正男, オーストラリア JADE IOP における休耕地上の飛砂飛散フラックス, 第27回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2010年8月5日
- 長田和雄, 日本へのダスト沈着量分布, 第51回大気環境学会, 2010年9月9日
- 原由香里, 衛星/地上ライダーにより示された東アジア域における非球形エアロゾル分布の季節変動, 第28回レーザーセンシングシンポジウム, 2010年9月9日
- 清水厚, ライダーによるダスト・球形粒子消散係数と OPC によるサイズ別粒子数との比較, 第28回レーザーセンシングシンポジウム, 2010年9月9日
- 田中泰宙, Aerosol and Atmospheric Chemistry Researches in JMA and MRI, 台湾行政院環境保護署ワークショップ, 2010年9月14日
- 関山剛, Aerosol Data Assimilation with Lidar Observations and Ensemble Kalman Filter, The Second GAW Aerosol Lidar Observation Network (GALION) Workshop, 2010年9月22日
- 関山剛, Dust analysis and prediction with ensemble-based data assimilation, 9th AeroCom Workshop, 2010年9月28日
- 田中泰宙, Development of an Aerosol Model in the

Earth System Model of Meteorological Research
Institute of Japan Meteorological Agency, 9th
AeroCom Workshop, 2010年9月29日
関山剛, Overview - MRI/JMA - Asian Dust
Simulation, Prediction, and Verification, The
Second International Cooperative for Aerosol
Prediction (ICAP) Workshop, 2010年10月1日
石塚正秀, 水文気象観測による黄砂発生と土壌水分
との関係の解明、第11回地下環境水文学に関する
研究集会、2010年10月16日
長田和雄, ダスト粒子の湿性・乾性沈着量分布、
日本気象学会 2010年度秋季大会、2010年10
月27日
石塚正秀, モンゴル半乾燥草地における10メートル
観測塔のダスト濃度の予備観測、日本気象学会
2010年度秋季大会、2010年10月27日
清水厚, CALIPSO搭載ライダーを利用したダスト偏光
解消度の地域特性解析、日本気象学会 2010年
度秋季大会、2010年10月27日
原由香里, 地上/衛星搭載ライダーにより示された東
アジア域における非球形エアロゾル分布の季節
変動、日本気象学会 2010年度秋季大会、2010
年10月27日
田中泰宙, ダストエアロゾル沈着ネットワークと数値シ
ミュレーションの比較実験、日本気象学会 2010
年度秋季大会、2010年10月27日
Kang Jung-Yoon, Comparison of different dust
emission schemes by implementing them into
WRF/Chem, 日本気象学会 2010年度秋季大
会、2010年10月27日
三上正男, モンゴル国バアンオンジュルにおける10m
観測塔設置と粒径別高度別ダスト濃度観測、鳥
取大学乾燥地研究センター 平成22年度共同研
究発表会、2010年12月4日
関山剛, Dust Aerosol Analysis and Prediction with
Lidar Observations and Ensemble Kalman Filter,
AGU Fall Meeting 2010, 2010年12月15日

6. 研究組織

(1)研究代表者

三上 正男 (Mikami Masao)
気象研究所・環境・応用気象研究部・部長
研究者番号:60354510

(2)研究分担者

長田 和雄 (Osada Kazuo)
名古屋大学・環境学研究科・准教授
研究者番号:80252295

石塚 正秀 (Ishizuka Masahide)
香川大学・工学部・准教授
研究者番号:50324992

清水 厚 (Shimizu Atsushi)
独立行政法人国立環境研究所・アジア自然
共生研究グループ・主任研究員
研究者番号:90332238

田中 泰宙 (Tanaka Yasumichi)
気象研究所・環境・応用気象研究部・主任
研究官
研究者番号:50435591

関山 剛 (Sekiyama Tsuyoshi)
気象研究所・環境・応用気象研究部・主任
研究員
研究者番号:90354498

(3)連携研究者

山田 豊 (Yutaka Yamada)
独立行政法人 理化学研究所・ラピッド・エン
지니어リングチーム・先任技師
研究者番号:70392165

原 由香里 (Yukari Hara)
独立行政法人国立環境研究所・アジア自然共
生研究グループ・研究員
研究者番号:30462493

眞木 貴史 (Takashi Maki)
気象庁気象研究所・環境・応用気象研究部・
主任研究官
研究者番号:30462493
(H22年度より連携研究者)