

# 日本気象学会誌 気象集誌

(Journal of the Meteorological Society of Japan)

## 第83A 巻 2005年 3 月 目次と要旨

### 論 文

- 黒崎泰典・三上正男：東アジアにおけるダストイベントの特徴の地域による違い：  
ダスト発生，地上風，地表面状態の関係……………1-18
- 阿部 修・小杉健二・佐藤 威・望月重人・徐 俊栄・劉 明哲・山口 悟・魏 文寿：  
中国タクラマカン砂漠周辺の山岳地における快晴日の風送ダスト輸送量 ……………19-30
- 三上正男・青木輝夫・石塚正秀・矢吹貞代・山田 豊・高 衛東・曾 凡江：  
中国タクラマカン砂漠南部における砂漠エロゾルの個数粒径分布の観測 ……………31-43
- 矢吹貞代・三上正男・中村友紀・金山晋司・付 鳳富・劉 明哲・周 宏飛：  
アジア起源の風送ダストの発生域である中国西北部における大気エロゾルの特質  
—2001年3月より2004年4月までの3年間の観測のまとめ— ……………45-72
- 金井 豊・太田充恒・上岡 晃・寺島 滋・金井三千代・清水 洋・高橋嘉夫・甲斐憲次・  
林 政彦・張 仁健・盛 立芳：中国東部および日本国内で2001年から  
2003年にかけて採取した風送ダストの物理化学特性……………73-106
- 金山晋司・矢吹貞代・曾 凡江・劉 明哲・瀋 志宝・劉 立超・柳澤文孝・阿部 修：  
アジアダスト粒子の地球化学的特徴とその粒径依存性  
—起源トレーサーとしての Sr と Nd 同位体—……………107-120
- 山下克也・林 政彦・入江真由・山本和美・佐賀勝己・芦田政巳・白石浩一・岡部和夫：  
福岡県雷山（南西日本）上空の混合層上部と自由対流圏下部の鉱物粒子の  
量と存在状態：（2003年春季の無人航空機観測より）……………121-136
- 本吉弘岐・青木輝夫・堀 雅弘・阿部 修，望月重人：新庄における雪面アルベドの  
減少に対する人為起源エロゾル沈着による効果……………137-148
- 安井元昭・周 紀俠・劉 立超・板部敏和・水谷耕平・青木哲郎：中国沙坡頭のライダーで  
観測された，砂漠上空大気中ダストの鉛直分布……………149-171
- 増田一彦・真野裕三・石元裕史・大河原望・吉崎徳人：GMS-5から導出された  
2002年と2003年の春季における海洋上エロゾルの光学的厚さ……………173-186
- 竹見哲也：シビアな天候時における対流運動スケールのダスト輸送に関する  
数値シミュレーション……………187-203
- 清野直子・佐々木秀孝・山本 哲・三上正男・周 宏飛・曾 凡江：タリム盆地の  
ダスト現象に関わるメソスケール循環の数値シミュレーション……………205-218
- 鶴野伊津志・原田和博・佐竹晋輔・原由香里・王 自発：多重ネスト RAMS/CFORS  
ダストモデルでシミュレートされたタリム盆地の気象特性とダスト分布……………219-239
- 李 相三・全 映信・朴 淳雄・李 銀姫・南 在哲：2002年春季のアジア域  
ダスト事例における乾性沈着のシミュレーション……………241-254
- 田中泰宙・千葉 長：全球化学輸送モデル MASINGAR を用いたダストエロゾルの  
全球シミュレーション……………255-278
- 青木輝夫・三上正男・山崎明宏・矢吹貞代・山田 豊・石塚正秀・高 衛東・曾 凡江・

孫 俊英・劉 立超・周 茂光：中国西部及び中部の砂漠面で測定した 波長別アルベドと天底方向の反射率 .....	279-290
内山明博・山崎明宏・戸川裕樹・浅野準一：スカイラジオメータで観測された 風送ダストの特性—ADEC 第1回強化観測期間における結果— .....	291-305
堤 之智・大野智生・竹内一男：サンフォトメータで観測された日本における 1998年から2002年までの春季のエ어로ゾル現象の推移 .....	307-313
青木輝夫・田中泰宙・内山明博・千葉 長・三上正男・矢吹貞代・Jeffrey R. Key： 化学輸送モデルによって計算された鋳物性ダストによる放射強制力の感度実験 .....	315-331
石 廣玉・王 宏・王 標・山稜 龔・趙 天良・李 偉・青木輝夫： 晴天大気条件のもとでの放射強制力へのダストエ어로ゾルの光学特性の 影響の感度実験 .....	333-346

.....◇.....◇.....◇.....◇.....

### 黒崎泰典・三上正男：東アジアにおけるダストイベントの特徴の地域による違い：ダスト発生，地上風， 地表面状態の関係

Yasunori KUROSAKI and Masao MIKAMI : Regional difference in the characteristic of dust event in East Asia :  
relationship among dust outbreak, surface wind, and land surface condition

東アジアにおけるダストイベント（発生あるいは浮遊状態にあるダスト）の特徴の地域による違いを1988年3月から2004年5月の地上気象データを用いて調べた。地形および土地被覆（砂漠域，草原域，耕作域など）にもとづき，東アジアを11領域に分けた。土地被覆が砂漠域であるゴビ砂漠，黄土高原西部，タクラマカン砂漠においてダストは頻繁に発生している。しかしながら，浮遊ダストの出現頻度は地域によって大きく異なる。タクラマカン砂漠では，チベット高原，パミール高原，天山山脈といった地形がダスト粒子のタクラマカン砂漠からの流出を遮断するため，浮遊ダストが頻繁に観測される。一方，ゴビ砂漠と黄土高原では，浮遊ダストはめったに観測されない。これらの地域では，総観規模擾乱によってダストは発生するが，この総観規模擾乱によってダストはただちに風下域に

運び去られる。

臨界風速を一定 ( $6.5 \text{ ms}^{-1}$ ) としたときの強風発生頻度とダスト発生頻度の相関解析から，ダスト発生，地上風，地表面状態の関係の地域による違いを明らかにした。この相関解析より，3月および4月の砂漠域では，主に地上風の状態がダスト発生を決定づけることが分かった。一方，草原域では，主に地表面状態がダスト発生を決定づける。砂漠域においても5月は，地表面状態がダスト発生に大きく影響しており，地上風の影響はほとんど見られない。積雪の臨界風速への影響の考察から，3月の内モンゴルと河西回廊および4月の北モンゴルにおいて，積雪のダスト発生への影響が著しく大きいという結果が得られた。ダスト発生の季節変化，年々変化やダスト発生臨界風速の平均値についても，地域毎の違いを比較した。

### 阿部 修・小杉健二・佐藤 威・望月重人・徐 俊栄・劉 明哲・山口 悟・魏 文寿：中国タクラマカン砂漠周辺の山岳地における快晴日の風送ダスト輸送量

Osamu ABE, Kenji KOSUGI, Takeshi SATO, Shigeto MOCHIZUKI, Junrong XU, Mingzhe LIU, Satoru YAMAGUCHI and Wenshou WEI : Aeolian Dust Transportation on Fine Days over the Slopes in Mountainous Areas Around the Taklimakan Desert, China

山岳地における風送ダスト観測のため，天山山脈お

よび崑崙山脈の中腹の標高約2500 mの所にそれぞれ

視程計を伴った自動気象観測装置を設置した。どちらの斜面もタクラマカン砂漠に面しており、定常的に日中、麓から上昇流に運ばれてダストが飛来する。山岳地で唯一連続的なデータとして得られる視程からダスト空間濃度を推定するため、ダスト濃度を制御した室内で視程と数濃度の同時測定を行い両者の相関を求め、これを野外観測に適用した。ダストの数濃度から質量濃度への変換に用いた粒子のバルク密度は、タクラマカン砂漠で採取された典型的鉱物として知られる

石英の値とした。大気中のダストの粒径頻度分布によれば、質量濃度に寄与するのは直径2~5 $\mu\text{m}$ の粒子がほとんどであったので、この平均値3.5 $\mu\text{m}$ の球形の均一粒径の粒子と仮定してダスト輸送量を求めた。また、今回は視程に対する降雨や霧の影響を除くため、快晴日のデータのみを用いた。その結果、山岳地における風送ダスト輸送量は、3~6月に多くなることから、これらは麓におけるダスト発生の活動の度合いを反映しているものであることが示唆された。

### 三上正男・青木輝夫・石塚正秀・矢吹貞代・山田 豊・高 衛東・曾 凡江：中国タクラマカン砂漠南部における砂漠エアロゾルの個数粒径分布の観測

Masao MIKAMI, Teruo AOKI, Masahide ISHIZUKA, Sadayo YABUKI, Yutaka YAMADA, Weidong GAO, and Fanjiang Zeng : Observation of Number Concentration of Desert Aerosols in the South of the Taklimakan Desert, China.

中国タクラマカン砂漠南部でオプティカルパーティクルカウンタを用いたエアロゾルの個数粒径分布の観測を行った。観測は、タリム盆地の南部に位置する小さなオアシスの周縁で2002, 2003, 2004年の春季に実施した。季節変化を比較するため2002年7月にもオアシス周縁での観測を実施し、また地域変化を比較するためオアシス観測点から南東に13.7 km 離れた砂礫砂漠上でも同様の観測を行った。

ダストイベント後のエアロゾル個数粒径分布はダストイベント前に比べ大きな増加を示し、粒径が大きい粒子ほどその増加は大きい事が分かった。2002年4月, 2003年3月, 2004年3-4月の平均エアロゾル粒径分布によれば、1) いずれの期間も個数粒径分布は直径2か

ら3 $\mu\text{m}$ が極大個数を示し、2) 体積粒径分布では直径5 $\mu\text{m}$ 以上の大粒子が支配的であった。しかしながら、春季各年毎の個数粒径分布のばらつきは大きい。これは、各年毎のダスト粒子の発生量がダストイベントの強度と回数に強く依存しているためだと考えられる。

オアシス周縁とゴビ砂漠の粒子数の時間変化は、直径1 $\mu\text{m}$ 以上の大きな粒子では非常によい一致を示す。両地点のエアロゾル粒子の変化は、オアシス効果に伴うオアシスと周辺の局地循環によるものではなく、崑崙山脈とタリム盆地間の局地循環に伴う風系の日変化によるものであると考えられる。

### 矢吹貞代・三上正男・中村友紀・金山晋司・付 鳳富・劉 明哲・周 宏飛：アジア起源の風送ダストの発生域である中国西北部における大気エアロゾルの特質—2001年3月より2004年4月までの3年間の観測のまとめ—

Sadayo YABUKI, Masao MIKAMI, Yuki NAKAMURA, Shinji KANAYAMA, Fengfu FU, Mingzhe LIU, and Hongfei ZHOU : The characteristics of atmospheric aerosol at Aksu, an Asian dust-source region of north-west China : A summary of observations over the three years from March 2001 to April 2004

アジア起源の風送ダストの気候への影響を評価するため、風送ダスト発生域の1つとされる中国西北部タクラマカン砂漠北縁の阿克蘇において、2001年3月から2004年4月まで、乾性降下物採取装置、ハイボリウムエアサンプラー、アンダーセンサンプラーを用いて

エアロゾルの採取を行い、得られた結果を、気象観測結果と比較した。

観測期間中のエアロゾル最大濃度は、2003年4月のダストストーム時に記録されたもので、TSP(全浮遊粒子)として5.2 $\text{mgm}^{-3}$ であった。エアロゾル濃度は

TSP 及び PM<sub>11</sub> (粒子<11 μm) 濃度ともに、春季及び夏季のダスト現象が観測された時に増加し、特に春季に高濃度が集中している。一方、乾性降水量は、春季だけでなく夏季あるいは秋季にも観測され、ダスト現象が、春季だけでなく、夏季あるいは秋季にも発生していると言う観測結果と良い一致を示した。

春季及び夏季には、エアロゾルは、3.3~7.0 μm にピークをもつ一峰性粒径分布を示すが、冬季においては、土壌起源粒子による3.3~7.0 μm と人為起源粒子による0.65~1.1 μm にピークをもつ二峰性粒径分布を示す。可溶性イオンの分析結果から、冬季にみられる人為起源粒子は、主として硫酸アンモニウム、硝酸アンモニウムからなり、冬季の暖房用に用いられる石炭燃焼に起因すると考えられる。

阿克蘇のエアロゾルは炭酸カルシウム(方解石)、塩化ナトリウム(岩塩)、硫酸カルシウム(石膏、アンハ

イドライト)のような蒸発残留塩類鉱物を含むのが特徴である。これらの蒸発残留塩類鉱物は、阿克蘇周辺に広範囲に分布する塩類化土壤中に普遍的に存在する塩類鉱物であり、土壌粒子とともに空气中に舞い上げられたものとおもわれる。

阿克蘇エアロゾルの元素組成を、タリム盆地の代表的な表層土壌である砂漠砂(<125 μm)、黄土、塩類化土壌(<125 μm)と比較すると、SiO<sub>2</sub>含量が減少し、FeO、K<sub>2</sub>O、MgOが増加している。このことは、表層土壌に比べて、エアロゾル粒子は、Fe、K、Mgに富む雲母や粘土鉱物を多く含んでいることを意味する。雲母や粘土鉱物は、代表的な土壌構成鉱物である石英に比べて風化されやすく、小さい粒子が多い為、風によって土壌表面から選択的に大気中に舞い上げられる為であろう。

#### 金井 豊・太田充恒・上岡 晃・寺島 滋・金井三千代・清水 洋・高橋嘉夫・甲斐憲次・林 政彦・張仁健・盛 立芳：中国東部および日本国内で2001年から2003年にかけて採取した風送ダストの物理化学特性

Yutaka KANAI, Atsuyuki OHTA, Hikari KAMIOKA, Shigeru TERASHIMA, Noboru IMAI, Michiyo KANAI, Hiroshi SHIMIZU, Yoshio TAKAHASHI, Kenji KAI, Masahiko HAYASHI, Renjian ZHANG, and Lifang SHENG : Characterization of aeolian dust in east China and Japan from 2001 to 2003

風送ダスト粒子の変動や特徴を明らかにすることを目的として、中国との共同研究「風送ダストの大気中への供給量評価と気候への影響に関する研究」(ADEC)の中で、我々は試料採取装置を中国の北京、青島、合肥、日本の那覇、福岡、名古屋、つくばに設置し2001年から2003年までの長期観測を行って試料を採取し、全浮遊粒子(TSP)濃度、粒径分布等や物理化学特性を検討した。その結果、ダスト濃度の季節変動は春季に高くなっており、北京、青島、合肥では冬季にも高くなる事が判明した。粒径分布では、0.5 μm 付近の人為起源物質によるピークと大陸起源のダスト成分と見られる4-5 μm 付近のピークの二山形を示し、イベントの際には後者が増加した。前者はブラックカーボンやNH<sub>4</sub><sup>+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が多く含まれPb、Cd、Sn、

Sb、Bi等も高かった。後者の水溶性成分ではNa<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>等が高濃度であった。2002年と2003年の春に集中観測期間(IOP)が設定され、IOP-1(2002年)のダストイベント時には粗粒の割合が増え、濃度は北京>青島>合肥、北京>福岡>名古屋>つくば>那覇の順となる傾向が見られた。しかし、IOP-2(2003年)ではあまりイベントが観測されなかった。長期観測によって、平常時の日本各地におけるダスト濃度はさほど差はなく、中国で大きな分別がなされれば均質なダストとなっていると考えられた。TSP、PM<sub>11</sub>(粒径11 μmより小さい粒子)、PM<sub>2.1</sub>(粒径2.1 μmより小さい粒子)や鉱物質等の季節変化が検討され、春季に観測されるダスト量は発生域からの距離に応じて減少していることが示された。

金山晋司・矢吹貞代・曾凡江・劉明哲・瀋志宝・劉立超・柳澤文孝・阿部修：アジアングスト粒子の地球化学的特徴とその粒径依存性一起源トレーサーとしてのSrとNd同位体一

Shinji KANAYAMA, Sadayo YABUKI, Fanjiang ZENG, Mingzhe LIU, Fumitaka YAMAGISAWA, and Osamu ABE : Size-Dependent Geochemical Characteristics of Asian Dust—Sr and Nd Isotope Compositions as Tracers for Source Identification—

2001年と2002年に、アジアングスト起源地域の一つと考えられる中国北西部から中央部の広い地域(策勒, アクセ, トンフ, シャバトウ, 阿克蘇, 敦煌, 沙坡頭)においてエアロゾル試料を採取した。これらのエアロゾル試料を全粒子成分(TSP)とTSP中の直径 $5\mu\text{m}$ 未満の粒子成分( $\phi < 5\mu\text{m}$ )に分けて分析し、両者の化学組成Sr・Nd同位体組成を比較した。TSPと $\phi < 5\mu\text{m}$ の化学組成には若干の相違が認められ、鉱物組成割合の変化に起因すると考えられた。Sr同位体比はTSPに対して $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.71770 \sim 0.72030$ ,  $\phi < 5\mu\text{m}$ に対して $0.72349 \sim 0.72737$ と、細かい粒径成分中で明確に高くなった。一方、Nd同位体比を規格化した $\epsilon_{\text{Nd}}(0)$ 値( $\epsilon_{\text{Nd}}(0) =$

$10^4 \times [(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})/0.512636 - 1]$ )は、両方の粒径成分中ではほぼ一定の $-11.3 \sim -9.3$ を示した。これらの結果から、同位体組成の粒径依存性をアジアングストの起源同定に有効なRb-Sr ( $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} - ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )及びSr-Nd ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - \epsilon_{\text{Nd}}(0)$ )同位体相関図において定義した。また中国北西部のタクラマカン砂漠から中央部の中央黄土高原にかけての広い地域が同位体的に同一のダスト起源成分であることが示唆された。長距離輸送によるダストの粒径変化とそれによって起こりうる地球化学的特徴の変化を把握することは、アジアングストとその起源成分とを比較する上で重要である。

山下克也・林政彦・入江真由・山本和美・佐賀勝己・芦田政巳・白石浩一・岡部和夫：福岡県雷山(南西日本)上空の混合層上部と自由対流圏下部の鉱物粒子の量と存在状態：(2003年春季の無人航空機観測より)

Katsuya YAMASHITA, Masahiko HAYASHI, Mayu IRIE, Kazumi YAMAMOTO, Katsumi SAGA, Masami ASHIDA, Kouichi SHIRAIISHI, and Kazuo OKABE : Amount and state of mineral particles in the upper mixed layer and the lower free troposphere over Mt. Raizan, southwestern Japan : Unmanned airplane measurements in the spring of 2003

2003年の春季に福岡県雷山上空の混合層上部と自由対流圏下部において、エアロゾル粒子の直接観測とサンプリングを実施した。観測のプラットフォームには、無人航空機を使用し、これに粒子数濃度と粒径分布測定用の光散乱式粒子計数装置と粒子サンプリング用の二段分級カスケードインパクターを搭載した。サンプリングされた粒子を、エネルギー分散型X線分析器を用いて粒子の組成分析を行った結果、混合層内では、鉱物粒子、海塩粒子、鉱物と海塩が内部混合した粒子が粗大粒子で支配的であった。一方、微小粒子では、硫酸塩粒子が支配的であった。また、自由対流圏では、微小粒子、粗大粒子ともに鉱物粒子が支配的であった。粒子数濃度と粒子組成より鉱物を含む粒子の体積濃

度を見積もったところ、混合層では $5.7 \times 10^{-6} \sim 4.1 \times 10^{-5} \text{cm}^3 \text{m}^{-3}$ であり、自由対流圏では $8.1 \times 10^{-7} \sim 2.0 \times 10^{-6} \text{cm}^3 \text{m}^{-3}$ であった。

混合層の鉱物粒子を含む粒子の数に対する鉱物と海塩が内部混合した粒子の割合は、自由対流圏のそれよりもかなり高い値であった。この結果は、鉱物と海塩が内部混合した粒子が海洋境界層内で形成されていることを示唆するものである。また、観測を行なった期間から2日前までの気象データを解析したところ、これまで最も効率的な混合粒子の形成プロセスと考えられてきた雲過程を通じた形成プロセスでは、観測された多量の混合粒子の形成を説明できないということが示唆される結果が得られた。

**本吉弘岐・青木輝夫・堀 雅弘・阿部 修, 望月重人：新庄における雪面アルベドの減少に対する人為起源エアロゾル沈着による効果**

Hiroki MOTOYOSHI, Teruo AOKI, Masahiro HORI, Osamu ABE, and Shigeto MOCHIZUKI : Possible Effect of Anthropogenic Aerosol Deposition on Snow Albedo Reduction at Shinjo, Japan

山形県新庄市において、2001年から2003年までの2回の冬期間にわたり、可視域および近赤外域における広帯域雪面アルベドの連続観測と数日間隔での積雪断面観測を行った。アルベドの積雪粒径および積雪中の乾性不純物濃度に対する依存性について、大気-積雪系の放射伝達モデルを用いた計算値と観測とを比較した。その結果、鉍物性ダストに加え、スス粒子のように、さらに吸収性の強い不純物が積雪中に含まれてい

たことが示唆された。また、降雪後の経過時間とともに積雪粒径および不純物濃度の増加がみられ、これと対応するように降雪後の雪面アルベドの減少 (snow aging 効果) が観測された。オプティカルパーティクルカウンタによる雪面上の大気エアロゾル濃度の測定から、約1 ppmw 程度の不純物が降雪時の湿性沈着により積雪へ取り込まれたと考えられる結果が得られた。

**安井元昭・周 紀俠・劉 立超・板部敏和・水谷耕平・青木哲郎：中国沙坡頭のライダーで観測された、砂漠上空大気中ダストの鉛直分布**

Motoaki YASUI, Jixia ZHOU, Lichao LIU, Toshikazu ITABE, Kohei MIZUTANI, and Tetsuo AOKI : Vertical profiles of Aeolian dust in a desert atmosphere observed using lidar in Shapotou, China

ADEC の第1回集中観測期間中に中国寧夏回族自治区沙坡頭の偏光ライダーを用いて観測された大気中ダスト鉛直分布の時間変化の特徴についての解析を行った。ライダーで得られたダストを含むエアロゾル消散係数鉛直分布の時系列データと、ワイオミング大学のウェブサイトからダウンロードした Yinchuan, Pingliang のラジオゾンデサウンディングデータを基にした上空風、温位などの気象条件との比較解析を行った。その結果、以下のような特徴があることがわかった。

1) 境界層がよく混合された状態は午前11時ごろから日中を経て夜中の午前2時ごまで続いた。このような状況下では、乾燥対流による鉛直混合が、特に日中

によく観測された。2) 乾燥対流の成長は、大気の安定度だけでなく、総観規模の気象場による力学的な強制力 (風の鉛直シア、高気圧、低気圧に伴う組織的な下降、上昇流) によってもコントロールされていたと考えられる。3) 混合層の厚さと総観規模の気象場との関連は、乾燥対流のアスペクト比 (水平スケール/鉛直スケール) の変化にも反映されていた。

活発な対流が起きるためには大気の状態が熱力学的に不安定であることが必要条件であることは良く知られているとおりであるが、今回の観測、解析結果は、砂漠上空で生じた乾燥対流の盛衰のメカニズムには、風の鉛直シアの強さ、高気圧、低気圧に伴う組織的な下降、上昇流の働きが重要であることを示している。

**増田一彦・真野裕三・石元裕史・大河原望・吉崎徳人：GMS-5から導出された2002年と2003年の春季における海洋上エアロゾルの光学的厚さ**

Kazuhiko MASUDA, Yuzo MANO, Hiroshi ISHIMOTO, Nozomu OKAWARA, and Yoshito YOSHIZAKI : Aerosol Optical Thickness over the Oceans Derived from GMS-5 during Spring 2002 and 2003

静止気象衛星 (GMS-5) の可視データから導出した海洋上エアロゾルの光学的厚さ (AOT) の値を検証するために、綾里、与那国島、南鳥島で気象庁がサンフォトメータを使って測定した値と比較した。2002年と

2003年の3-4月において、GMS-5とサンフォトメータから導出した AOT の上記3観測地点での日々変動の様子はよく一致していた。61個のサンプルについての相関係数は0.85であった。GMS-5から求めた3観測地

点の近傍海域での月代表値（一か月間の中央値）とサンフォトメータによる月平均値とを比較した。両者の差（GMS-5からサンフォトメータを引いた値）は2002年の3月と4月について $-0.03$ と $0.03$ （綾里）、 $-0.01$ と $0.18$ （与那国島）、 $0.01$ と $0.07$ （南鳥島）であった。

2002年と2003年の3～4月について、海洋上エアロゾルのAOTの分布状況と両年の相違を調べるために、北緯 $60^\circ$ ～南緯 $60^\circ$ 、東経 $80^\circ$ ～西経 $160^\circ$ の $120^\circ \times 120^\circ$ の領域を $30^\circ \times 30^\circ$ の16個の区域に分け、それぞれの区域での月代表値を求めた。区域別のAOTの月代表値は南半球では $0.1$ 以下、北緯 $0^\circ \sim 30^\circ$ では $0.1 \sim 0.2$ 、北緯

$30^\circ \sim 60^\circ$ では $0.2$ 以上で特に大陸近くでは $0.4 \sim 0.5$ と大きい値を示した。2003年におけるAOTの値は2002年に比べて概して小さい値を示したが、AOTの差はそれほど大きいものではなかった。アジア大陸起源の黄砂の影響がAOTの値に影響を及ぼすと考えられる東経 $110^\circ$ から西経 $160^\circ$ の北半球での6区域における2002年から2003年にかけてのAOTの増減を3月～4月について調べた結果、のべ12区域で増加、減少、変化なしの区域数はそれぞれ3、8、1であり、AOTの差は $-0.04 \sim 0.03$ であった。

### 竹見哲也：シビアな天候時における対流運動スケールのダスト輸送に関する数値シミュレーション

Tetsuya TAKEMI: Explicit Simulations of Convective-Scale Transport of Mineral Dust in Severe Convective Weather

シビアな天候時における対流運動スケールのダスト輸送について、ダストの放出・輸送モデルを組み込んだ3次元の雲解像シミュレーションの手法によって調べた。数値シミュレーションは、スコールライン型の対流系における対流運動や雲のスケールの各過程（上昇流・下降流、冷氣プール、降水など）を明示的に表現することを意図しており、スコールライン・システム内部に見られる対流スケールのダスト輸送の基本的なメカニズムに焦点をあてるため、理想化した設定のもとで計算を行なう。中国ゴビ砂漠で生じた激しいダストストームの1事例での観測に基づき計算を始めた結果、単純化した設定にもかかわらず、雲解像モデルはスコールラインやそれに伴ったダストストームの観測面での特徴をよくシミュレートした。

ダストは、まず地上で発達した冷氣プールにより生じた強風により地面から放出され、冷氣プール内に取り込まれて混合される。冷氣プール内部では、 $10 \text{ mg m}^{-3}$ 以上にも達するダスト濃度が見られる。冷氣プール先端部での活発な乱流混合により、ダストは冷氣プール内から外へと運ばれ、そして冷氣プール先端部での上昇流域に取り込まれる。次に、この上昇流によりダストは上空に輸送され、上空ではスコールラインのシステムスケールでの循環により、スコールラインと直交方向に層状に広がっていく。上空では、システム後方への輸送のほうが前方への輸送よりも顕著である。本研究で提示したダスト輸送に関する対流運動スケールのメカニズムは、活発な積乱雲を伴う寒冷前線レインバンドの場合にも適用できる考え方である。

### 清野直子・佐々木秀孝・山本 哲・三上正男・周 宏飛・曾 凡江：タリム盆地のダスト現象に関わるメソスケール循環の数値シミュレーション

Naoko SEINO, Hidetaka SASAKI, Akira YAMAMOTO, Masao MIKAMI, Hongfei ZHOU, and Fanjiang ZENG: Numerical Simulation of Mesoscale Circulations in the Tarim Basin Associated with Dust Events

北東アジアにおける風送ダストの重要な供給源のひとつ、タクラマカン砂漠を有するタリム盆地のダスト現象についてメソスケール環境を調べた。同じ北東アジア域でも、ゴビ砂漠のダスト現象は総観規模の低気圧の通過に同期して生じるのに対し、タクラマカン砂漠では飛砂や浮遊塵といったダスト現象が長期間続く

傾向がある。2002年4月12日から15日にかけて発生したタリム盆地の顕著なダスト現象について数値シミュレーションを行った。用いたモデルは、水平格子間隔 $20 \text{ km}$ の気象研究所地域気候モデル（MRI-RCM）である。MRI-RCMは地上風の空間分布や時間変化を適切に表現していた。計算の結果、タリム盆地では3種

類のメソスケールの気流が順を追って生じることがわかった。これらの気流が次々と発達することや複数の気流が共存することによって、タリム盆地内の様々な地域で強風とそれに伴うダストの舞上がり引き起こされている可能性がある。こうしたメソスケール環境

は、タリム盆地においてダスト現象が長い期間にわたり観測される要因とも考えられる。さらに、これらの気流の発達は温帯低気圧の後方で見られる総観場の大気構造と密接に関係していることがわかった。

### 鶴野伊津志・原田和博・佐竹晋輔・原由香里・王 自発：多重ネスト RAMS/CFORS ダストモデルでシミュレートされたタリム盆地の気象特性とダスト分布

Itsushi UNO, Kazuhito HARADA, Shinsuke SATAKE, Yukari HARA, and Zifa WANG : Meteorological Characteristics and Dust Distribution of the Tarim Basin Simulated by the Nesting RAMS/CFORS Dust Model

多重ネストに対応した領域気象・ダスト輸送モデルを用いてタクラマカン砂漠を含むアジア域の気象とダスト発生・輸送のモデルシミュレーションを行った。タリム盆地周辺の急峻な地形を表現するために、水平解像度が81 km, 27 km, 9 km の3つ計算格子ネストを用い、タクラマカン砂漠領域の春季の典型的な気象とダストエピソードをシミュレートした。計算は2001年4月の1か月を連続で行った。モデルで計算された気象パラメータはWMOの地上気象通報SYNOPとADECの策動での観測データと比較した。その結果、モデルはタリム盆地内の複雑な気流構造の変化と寒冷前線が天山山脈を通過する際に発生した重力流的な強風の盆地内への侵入、河西回廊側からの東風の侵入などの気象特性を再現することが確認された。ダストの発生に密接に関係する東風の発生時の平均構造を、タ

リム盆地のほぼ中央に位置する観測点で東風がシミュレートされた時点のコンポジット解析から行い、東風が全計算期間の約1/2の期間に頻繁に出現していたことを示した。この東風領域の空間スケールは東西約1000 km, 南北400 km, 高度約2~3 kmの大きさを持ち、ダストの高濃度域の広がりとの相関があることを示した。更に、月平均ダスト濃度のタクラマカン砂漠の東部と西部での比較を行い、計算されたダストの地上濃度は西部が東部の約60%であるが、SYNOPの視程観測から推定した濃度は逆に西部が東部の2倍以上の濃度を与えることを示した。この結果は、現在用いている強風時にダストの発生するスキームのみではタクラマカン砂漠西部の浮遊性ダスト現象を十分に説明できないことを示していた。

### 李 相三・全 映信・朴 淳雄・李 銀姫・南 在哲：2002年春季のアジア域ダスト事例における乾性沈着のシミュレーション

Sang-Sam Lee, Youngsin Chun, Soon-Ung Park, Eun-Hee Lee, and Jae-Cheol Nam : Estimation of Dry Deposition during Asian Dust Events in Spring 2002

アジア域でのダスト乾性沈着について、韓国 Seoul National University で開発された Asian dust aerosol model (ADAM) を用い、春季の顕著な事例(期間 I : 2002年3月15~24日, 期間 II : 2002年4月4~14日)の数値シミュレーションを行った。乾性沈着量評価のために、ダスト発生モジュールにおいては、ダスト発生域における土壌タイプ; ゴビ, 砂沙漠, 黄土および混合土壌に応じ、構成粒子毎の対数正規分布に基づいたダスト粒子の粒径分布が設定されている。沈着速度は重力沈降のほか、乱流粘性と空気力学的抵

抗から粒径毎に求められる。計算された乾性沈着速度と安眠島(Anmyeondo)におけるオブティカルパーティクルカウンタの観測結果の比較を行った。期間 I と期間 II における両者の相関係数は、それぞれ、0.78 および 0.54 であった。乾性沈着速度は、粒径に依存し、直径 0.82~1.35  $\mu\text{m}$  の粒子で最小となった。乾性沈着量の平均的な粒径依存性としては、重く滞留時間の短いことから大粒径粒子ほど寄与が大きい。空間分布としては、発生域に近い地域ほど乾性沈着率が高いことがわかった。

## 田中泰宙・千葉 長：全球化学輸送モデル MASINGAR を用いたダストエアロゾルの全球シミュレーション

Taichu Y. TANAKA and Masaru CHIBA : Global Simulation of Dust Aerosol with a Chemical Transport Model, MASINGAR

本研究では、全球エアロゾル輸送モデル MASINGAR (Model of Aerosol Species IN the Global Atmosphere) に統合されるダストエアロゾルのモジュールを開発した。このダストモジュールではダストの放出過程はサルテーション・ボンバードメント理論に基づいている。ダスト放出量の計算に必要な土壌の粒径分布は全球の土性データベースに基づいて求める。ダストを放出する地表面の受食性には植生・積雪・土地利用・土壌の種類を考慮する。乾性および湿性沈着過程の計算では粒径への依存性を考慮する。

ダストの気候学的な放出量・沈着量・空間分布を求めるため、ナッジング手法を用いてデータ同化した25年間分(1979年~2003年)のシミュレーションを行っ

た。0.2から20  $\mu\text{m}$  の粒径範囲のダストの全球での年間放出量は2149 (1817~2339)  $\text{Tg yr}^{-1}$ 、大気中滞留量は17.9 (15.6~20.4)  $\text{Tg}$  と求められた(括弧内は年々変動の範囲)。シミュレーションによる地表付近のダスト濃度および沈着量は観測値と、また放出量は従来のモデルによる結果と比較した。従来のモデルでは東アジアのダスト放出地域に近い観測点でのダスト濃度とその季節変化の振幅は過小評価される傾向にあったが、このモデルではそれらは良好に再現された。全球シミュレーション結果では、ダストの質量収支の定量的な評価は放出されるダストの粒径分布に敏感であることが示された。

## 青木輝夫・三上正男・山崎明宏・矢吹貞代・山田 豊・石塚正秀・高 衛東・曾 凡江・孫 俊英・劉 立超・周 茂光：中国西部及び中部の砂漠面で測定した波長別アルベドと天底方向の反射率

Teruo AOKI, Masao MIKAMI, Akihiro YAMAZAKI, Sadayo YABUKI, Yutaka YAMADA, Fan-Jiang ZENG, Weidong GAO, Jun-Ying SUN, Li-Chao LIU, and Mao-Xian ZHOU : Spectral Albedo of Desert Surfaces Measured in Western and Central China

2001年の春と2003年の秋に中国西部及び中部で、分光器を用いて波長域0.35~2.5  $\mu\text{m}$  における砂漠面の波長別アルベドと天底方向の反射率を測定した。砂漠面はタクラマカン砂漠南部の策勒<sup>チーラ</sup>、北部の阿克蘇<sup>アクス</sup>、バダインジャラン沙漠の額濟納<sup>エチナ</sup>、テンゲル砂漠周辺の主に砂礫からなるゴビ状または砂砂漠である。観測されたアルベドはいずれの地点でも紫外域で低く(0.05~0.11)、波長約0.6  $\mu\text{m}$  にかけて0.2~0.3まで急激に増加した。最大値に達する波長は1.8~2.2  $\mu\text{m}$

付近で、アルベドは測定地点によって0.37から0.49の範囲に分布した。天底方向の反射率も基本的にアルベドと同様の波長分布を示したが、どの波長でもアルベドより低かった。それぞれの測定地点で複数の地表面に対して測定したアルベド及び反射率から計算した標準偏差は、阿克蘇<sup>アクス</sup>と額濟納<sup>エチナ</sup>のゴビで他の観測点に比べ大きなばらつきがあった。これらのデータセットは気候予測、リモートセンシング、放射強制力などの研究に有益であろう。

## 内山明博・山崎明宏・戸川裕樹・浅野準一：スカイラジオメータで観測された風送ダストの特性—ADEC 第1回強化観測期間における結果—

Akihiro UCHIYAMA, Akihiro YAMAZAKI, Hiroki TOGAWA, and Junichi ASANO : Characteristics of Aeolian Dust Observed by Sky-Radiometer in the Intensive Observation Period 1 (IOP1)

風送ダストの発生域から日本にいたる輸送途上での風送ダストの特性を調べるために、スカイラジオメー

タの観測網を構築した。中国に5か所(阿克蘇<sup>アクス</sup>、策勒<sup>チーラ</sup>、沙坡頭<sup>シャパトウ</sup>、青島<sup>チンクオ</sup>、北京<sup>ペキン</sup>)、日本国内4か所(那覇、福岡、

名古屋, つくば) にスカイラジオメータを設置した. このうち6か所の観測点(策勒, 沙坡頭, 那覇, 福岡, 名古屋, つくば) のデータは, 自動的に電話回線を利用して気象研究所に転送される. スカイラジオメータで得られたデータの解析から, 風送ダストの可視から近赤外域の光学的厚さと半径0.01から5  $\mu\text{m}$  の範囲の粒径分布が得られる.

2002年4月に行われた集中観測期間のデータを解析して次の結果が得られた.

(1) 風送ダストが観測される日は, オングストローム指数が, 0.0から0.5の範囲にあり, 半径0.5  $\mu\text{m}$  以上の領域で体積粒径分布が著しく増加する. (2) 半径0.5  $\mu\text{m}$  以上の粗大粒子の全光学的厚さへの寄与は, 発生域(阿克蘇, 策勒, 沙坡頭), ダスト現象が観測されたや日本国内の観測点では, しばしば70%を超える. (3)

同様に, ダスト現象が観測される日には, 半径0.5  $\mu\text{m}$  以上の粗大粒子の全体積への寄与は, しばしば80%を超える. (4) 発生域の粒径分布は, 光学的厚さが変わってもほとんど変わらない. このことは, 発生域でのエアロゾルの主成分は常に風送ダストであることを示している. (5) 日本国内で観測される風送ダストの体積は, 発生域の約3分の1であった. (6) 0.5  $\mu\text{m}$  以上の粒径分布を対数正規分布で近似し, 粒径分布のパラメータを決定した. その結果, 有効半径は, 中国国内では2.1~2.3  $\mu\text{m}$ , 日本国内では, 1.6~1.8  $\mu\text{m}$  であった. 粒径分布の広がりや0.67~0.87でばらついており, 特徴は見いだされなかった. 観測点間の粒径分布には差があり, 輸送途上で比較的大きな粒子が除去されること, 人為起源のエアロゾルが含まれることによって引き起こされている.

### 堤之智・大野智生・竹内一男：サンフォトメータで観測された日本における1998年から2002年までの春季のエアロゾル現象の推移

Yukitomo TSUTSUMI, Tomoo OHNO, and Kazuo TAKEUCHI: Annual Variations of Spring Aerosol Events Observed by Sun Photometers from 1998 to 2002 over Japan

気象庁の観測によると, 2000年から2002年にかけて日本での黄砂現象の報告が増加した. この黄砂現象の増加を, 1998年から2002年までの気象庁のサンフォトメータによる波長500 nmのエアロゾル光学的厚さ( $\tau_{500}$ )とオングストローム指数( $\alpha$ )の毎分値を使って検証した. 顕著なエアロゾル現象( $\tau_{500} > 0.3$ )を「顕著な大粒子現象」( $\alpha > 1.0$ )と「顕著な小粒子現象」( $\alpha < 1.0$ )に分類した. その結果, 綾里での2000年から2002年の「顕著な大粒子現象日」の発生は, 明らかにそれ以前の2年間より増加するとともに, 中国や日本での黄砂現象の発生頻度とも対応していた. しかし, 与那

国島では, 「顕著な大粒子現象日」の発生は, 中国の黄砂発生頻度とはっきりした対応が見られなかった上に, 粒径分布の指標となるオングストローム指数の発生分布は, 典型的な黄砂現象はまれで, むしろ顕著な小粒子現象の発生が多いことを示していた. これから与那国島の春のエアロゾル光学的厚さの増大には, 黄砂のような大粒子よりむしろ比較的小きな粒子が主として影響していることが判った. 流跡線解析の結果は, この小粒子が台湾や中国東岸の都市からの大気汚染起源か, 東南アジアのバイオマスバーニングによる煙によることを示唆している.

### 青木輝夫・田中泰富・内山明博・千葉 長・三上正男・矢吹貞代・Jeffrey R. Key：化学輸送モデルによって計算された鉱物性ダストによる放射強制力の感度実験

Teruo AOKI, Taichu Y. TANAKA, Akihiro UCHIYAMA, Masaru CHIBA, Masao MIKAMI, Sadayo YABUKI, and Jeffrey R. KEY: Sensitivity Experiments of Direct Radiative Forcing Caused by Mineral Dust Simulated with a Chemical Transport Model

Streamerを基礎にした放射伝達モデルSRTMASを用いて, 鉱物性ダストによる放射強制力の直接効果について, ダストの光学・物理特性, 地表面アルベド,

太陽天頂角, 雲に対する感度実験を行った. 大気とダストの鉛直分布は日本付近の海上, タリム盆地の砂漠, サハラ砂漠, シベリアの雪面の4か所に対して化学輸

送モデルによって計算した。放射強制力を計算する上での最適条件についても、SRTMAS で用いる stream 数が精度に与える効果と、ダスト以外のエアロゾルがダストまたは全エアロゾルによる放射強制力に与える影響という観点からテストした。大気中に複数のエアロゾルがある場合、ダストによる放射強制力は、ダストのみがあるときと、エアロゾルが全くないときの正味放射量の違いからではなく、全エアロゾルがあるときと、ダスト以外のエアロゾルがあるときの正味放射量の違いから計算すべきである。その方法による感度実験の結果、大気上端におけるダストによる瞬間放射強制力に対する複素屈折率の感度は、アルベドに強く依存していることが分かった。すなわち、ダストモデルの違いが瞬間放射強制力に与える効果は、高いアルベドの地表面上で顕著で、海の上では相対的に小さい。これは高いアルベドの地表面上で大気（ダスト）と地表面の間における多重反射が、ダスト粒子による光の

吸収を強めるためである。砂漠上では、ダストの変動可能な複素屈折率の範囲において、大気上端における瞬間放射強制力は、正負両方の符号を取り得た。また、変動可能な砂漠上のアルベド範囲においても、大気上端における日平均放射強制力は、正負両方の符号を取り得た。波長別アルベドについても大気上端における短波放射強制力に与える効果を様々な地表面に対して調べた結果、ダストの有効半径が $0.6\ \mu\text{m}$ よりも小さな場合、仮に広帯域アルベドが同じでも、地表面のタイプによって放射強制力は変化しうることが分かった。これは地表面アルベドとダストの消散係数の波長分布の違いによるためである。雲とダスト層の鉛直位置関係は、砂漠と海面上では大気上端における全波長放射強制力にとって非常に重要であった。しかし、積雪面上では雲の効果は一般に小さかった。その理由は雲のアルベドが雪面のそれに近いためである。

#### 石 廣玉・王 宏・王 標・山稜 龔・趙 天良・李 偉・青木輝夫：晴天大気条件のもとでの放射強制力へのダストエアロゾルの光学特性の影響の感度実験

Guangyu Shi, Hong Wang, Biao Wang, Sunling Gong, Tianliang Zhao, Wei Li, and Teruo Aoki : Sensitivity Experiments on the Effects of Optical Properties of Dust Aerosols on Their Radiative Forcing under Clear Sky Condition

大気中のダストエアロゾルによる放射影響の定量的な評価においては多くの不確定さがあり、ダスト粒子の光学特性がその大きな原因となっている。本研究では、放射強制力への光学特性の影響を評価するために感度実験を行った。数値実験は、ダストの屈折率、一次散乱アルベド、非対称因子、光学的厚さの影響について行った。ADEC プロジェクトで決定した東アジア域における最新の屈折率と世界気象機関(WMO)による屈折率モデルを比較のために使った。放射強制力の計算においては、太陽放射及び地球放射に対する k-分

布モデルを使った。WMO モデルと比較して、東アジアダストモデルは、太陽放射波長域では散乱が大きく、吸収が弱い特性を持ち、このことが大気上端で WMO モデルよりも大きな負の強制力を引き起こすことが分かった。より重要なことは、波長域によっては大気上端での放射強制力の正負の符号が二つのモデルで反対になりうる領域があることである。このことは、ダスト粒子の放射強制力を定量的に評価するためには光学特性の正確な測定の必要性を示している。