

## 第3回ミネラルダストに関する国際ワークショップ報告\*

三上正男<sup>\*1</sup>・石塚正秀<sup>\*2</sup>・田中泰宙<sup>\*3</sup>・清野直子<sup>\*4</sup>  
張代洲<sup>\*5</sup>・西澤智明<sup>\*6</sup>・弓本桂也<sup>\*7</sup>

### 1. はじめに

2008年9月15日から3日間にわたり、ドイツのライプチヒ市において、第3回ミネラルダストに関する国際ワークショップ (The 3<sup>rd</sup> International Workshop on Mineral Dust) が開催された (第1図)。

本ワークショップは、第1回目の米国ボールダー (1999年)、第2回目のパリ (2003年) の会議に次ぐ、3回目の会議で、21カ国から約150名の研究者が参加し、盛況であった (第2図)。日本からは、著者らを含む9名の研究者が参加した。

ダストに関する国際的な研究集会としては、この他に ICAR (International Conference on Aeolian Research) があるが、ICAR が風成浸食 (wind erosion) を中心とする地形学、土壌学、農業気象学的色彩が強いのに対し、本ワークショップは、土壌エアロ

ゾルの発生・輸送・沈着過程や物理・化学特性、光学特性と放射影響ならびに気象・気候への影響を中心とする大気科学的色彩が強いのが特徴で、このため参加者は気象学を専門とする研究者が多くを占めている。

また、このワークショップは、ワークショップの名にふさわしくこれまでの研究のレビューと今後の研究課題に関する議論を重視した運営が成された点で特徴



第1図 会場となったライプチヒ KUBUS。



第2図 ワークショップ風景。

\* Report on the 3rd International Workshop on Mineral Dust.

<sup>\*1</sup> Masao MIKAMI, 気象研究所,  
mmikami@mri-jma.go.jp

<sup>\*2</sup> Masahide ISHIZUKA, 香川大学工学部,  
ishizuka@eng.kagawa-u.ac.jp

<sup>\*3</sup> Taichu Y. TANAKA, 気象研究所,  
yatanaka@mri-jma.go.jp

<sup>\*4</sup> Naoko SEINO, 気象研究所,  
nseino@mri-jma.go.jp

<sup>\*5</sup> Daizhou ZHANG, 熊本県立大学,  
dz Zhang@pu-kumamoto.ac.jp

<sup>\*6</sup> Tomoaki NISHIZAWA, 国立環境研究所,  
nizizawa@nies.go.jp

<sup>\*7</sup> Keiya YUMIMOTO, 九州大学応用力学研究所,  
yumimoto@riam.kyushu-u.ac.jp

© 2009 日本気象学会

的である。口頭発表は、自らの研究成果の発表ではなく、与えられたテーマに関する研究のレビューと今後の研究指針を示す事が求められ、個々の研究成果の発表は、ポスターセッションで発表するという運営方針が採用された。口頭発表のテーマは、あらかじめ準備委員会で議論のうえ決められ、発表件数を整理すると共に比較的余裕のある講演時間と十分な議論の時間が与えられた。セッションあたり1時間割り当てられた議論では、準備委員会メンバーでとりまとめた質問票（研究課題と問題をまとめたもの）に基づいて座長が議論を牽引する方法がとられ、議論が個別の質問に偏重したり拡散したりする事が無いよう配慮された。また、口頭発表は若い世代を中心とする人たちが選ばれた。これは、世代交代を意識した事と、若い第一線の研究者の清廉な問題意識を反映させたいという意図で行われたのだが、良い配慮だったと思う。

セッションは、ポスターセッションを含め6つ設けられ、32件の口頭発表が行われた。ポスターセッションでは101件の発表がなされ、ポスターは3日間を通じて会場に掲示された。ポスターセッションのアブストラクトは、口頭発表のアブストラクトと共に本会議のホームページ (<http://dust2008.tropos.de/>; 2008年11月17日現在) からダウンロード出来る。各セッションの概要については、以下の章をご覧ください。

5年ぶりの開催となった今回のワークショップでは、前回バリでの会議の時と比べ、ダストの研究が多くの点で大きく前進している事が改めて強く感じられた。この5年間で、アフリカ・中東及び東アジアで多くのプロジェクトが実行され、ダストの光学特性や雲核化・氷晶核化過程について多くの知見が蓄積された。気候モデルの雲物理過程にもダストが組み込まれるようになりつつある。また、ダストの気象ならびに気候へのインパクトに関しても、これまでの直接効果や間接効果の議論のみならず、短期予報へのインパクトやサハラダストのハリケーン活動への影響などが活発に議論されるようになった。さらに特筆すべき事は、5年前には存在しなかった衛星搭載ライダー(CALIOP/CALIPSO)の運用開始と、それと相前後して進められつつあるダストモデルへのデータ同化技術の適用である。5年前には夢であった研究が、ワークショップで最新の研究例として紹介されるのを目の当たりにして、筆者のみならず参加した研究者は等しく興奮を覚えたと思われる。

一方、ダストの基礎的研究課題については、実のと

ころ5年間でめざましい進歩は見られず、今回のワークショップでも依然未解決の課題として議論された。たとえば、地表面からの鉛直ダストフラックスについては、いまだに信頼すべき観測データは世界にほとんど存在しない(全くではない)。また大気中ダストのもっとも基本的な情報である粒径についてすら信頼すべき質の観測データが得られず、会議でもこの点に関し多くの議論が集中した。会議ではさらに、モデルの検証に必要な沈着量のデータセットがほとんど無い事も問題点として提起された。ダストモデルに関しては、今や日本の研究者が牽引車となってダストデータ同化を進めており、この点に関してはめざましい進歩が見られるが、肝心の全球スケールの地表面条件のデータセット、特に土壌粒径情報に関しては、現在でも全く不十分であり、これがモデルの実性能向上の大きな足かせとなっている現実は5年前と何ら変わってはいない。こうした基礎研究の停滞は、ダストの研究者が怠慢であったという理由だけではないはずである。大気科学が巨大科学となり、多くのファンドが必要とされるいっぽうで、応用研究には社会的投資が行われるが、基礎研究への投資は後回しにされるという傾向は、我が国だけの問題でも無さそうである。

(三上正男)

## 2. セッション1

セッション1は、ダストのエミッションと沈着の観測とモデルに関して、6件の口頭発表と18件のポスター発表が行われた。

### 2.1 ダストエミッションと沈着の観測

口頭発表では、ケルン大学の Y. Shao により、これまでのダストエミッションスキームがレビューされ、ダスト発生量を正確に推定するためには、サルテーション粒子(直径数十～数百 $\mu\text{m}$ の鉱物粒子)・ダスト粒子・地表面土壌粒子の粒径分布の観測が重要である点を指摘すると共に、ダスト発生理論の進歩は緩やかであるが、今後、現地観測データの解析と合わせて理論の修正が必要である事等が議論された。またニジュール発展研究所の J. L. Rajot らにより、ダストエミッションの観測について、ダスト発生域における現地観測例を紹介しつつ議論が行われた。まず、M. Mikami (気象研究所) と J. Leys (豪 NSW 州政府環境気候変動局) による、オーストラリアにおける複数の測器を用いたサルテーションとダストエミシ

ンの総合観測例や、J. L. Rajot と G. Bergametti (パリ大学) によるニジュールで行われたダスト発生域での乾性/湿性沈着の観測例が紹介され、次にダストフラックスの観測技術上の諸問題や、未だに時間的に稠密で細かい粒径分解能を持つダストフラックスのデータが無いこと、飛散理論とエミッションスキームの検証が進まない問題等について議論が行われた。

ポスター発表では、香川大学の石塚らは、降雨後の弱いクラスター (土壌粒子が個結して形成される薄い膜) 形成時のダストエミッションの観測に基づき、クラスターに伴う地面表層土壌粒径分布の変化がダストエミッションの粒径分布をコントロールする結果を報告した。鳥取大学の黒崎らは、SYNOP データを用いた北東アジア全域のダスト発生臨界風速の分布と地表面条件の対応について発表を行った。また、農地における耕作機械による人為的なダスト発生を観測や羊の放牧による影響に関する観測結果などに関する発表が R. Funk (ドイツ土壌風致研究所)、D. Goossens (ネバダ大学)、Hoffmann と Funk (ドイツ土壌風致研究所) により行われた。全体として、他のセッションと比較して、ダスト発生域での観測事例の報告が少ないことが残念に感じられた。(石塚正秀)

## 2.2 ダストエミッションと沈着のモデル

数値モデルにおけるダストの放出と沈着に関しては、K. Darmenova (ジョージア工科大学) による領域モデルのレビューと、気象研究所の田中による全球モデルに関するレビューがそれぞれ行われた。衛星リモートセンシングによるダスト発生域の特定に関しては、K. Schepanski (ライプニッツ対流圏研究所) がレビューを行い、TOMS aerosol index から最近の静止衛星を用いた観測まで、様々な手法を解説した。最後に、G. Bergametti (パリ大学) は沈着過程のレビューを行い、全球エアロゾルモデル比較実験 AEROCOM に提出されたモデルによるダストの収支を元にした解析などを紹介した。

2003年の第2回ダストワークショップ以降、ダスト発生プロセスに関しては概念的な変化は基本的でないものの、領域および全球モデルにおけるダスト放出・沈着過程では、気象と土壌の条件に応じた複雑な物理的モデルが採り入れられつつある。しかし、土壌の粒径などの地表面特性は、全球スケールでのデータセットが不足していることから、不確実性が大きい。また、発生プロセスモデルの違いよりも、気象モデルや

客観解析による風速・摩擦速度や降水などの数値モデルによる気象場の精度の方が、ダスト発生量への影響がむしろ大きいこともあり、数値モデル間の差が依然として大きいことの原因となっている。また、沈着過程に関してもモデル間のばらつきは大きく、特に湿性沈着では扱うプロセスの違いとモデル内の降水が異なることから、不確実性が大きくなっていると考えられる。

今後の課題としては、ダストの粒径分布の扱いや、ダスト粒子の非球形性の考慮や粒径  $10 \mu\text{m}$  を超える巨大粒子の扱いを改善する必要があることが指摘された。

総合討論では、数値モデルにおけるダストの質量収支は粒径の範囲などがモデルによって大きく異なるため、何らかの標準的評価方法を考えるべきというコメントや、ダストモデルに使用できる共通の地表面特性のデータセットを作成するための努力を行うべきかなど、研究グループ間の協力によるダストモデリングの改良についても議論された。また、現地観測・実験と微小スケールでの現象と大規模モデルとのスケールギャップをいかにして埋めるかという問題も課題として残されている。セッション終了後、座長をつとめられた B. Marticorena (パリ大学) と話す機会があり、粒径分布に対する表現が重要である、という点は研究手段が異なっても共通している、という話になったのが印象的だった。(田中泰宙)

ポスター発表では、清野 (気象研究所) らが、気象庁非静力学モデルを用いたシミュレーションに基づき、タリム盆地においてはダストストーム時の循環に伴い短時間で効率的なダストの鉛直輸送が生じる可能性について発表した。口頭発表セッションと同様ポスター発表でも多くの主題が論じられていて、数値シミュレーションに関するものは比較的少なかったが、様々な素過程に注目して観測との比較などからモデル精度向上を検討する試みが進められていることがわかった。2日目の午後、ポスターセッションに先だって行われた招待講演で、WMO の SDS-WAS 展開計画と GAW の下でのライダー観測ネットワーク GALION 構築などを紹介した L. Barrie (WMO) は、アジアとりわけ日中韓では現業部門 (operation) と研究 (research) の協力がうまくいっている、大学との連携もとれていると報告していたが、会議からは、サハラでの最近の大規模な観測プロジェクト



トを背景に、欧米（特に仏・独）では層の厚い研究が行われているという印象が残った。（清野直子）

### 3. セッション2

このセッションでは、ダスト粒子輸送中の変質に関する現在までの理解と今後の課題について6件の口頭発表と24件のポスター発表がなされ、総合討論ではダスト粒子のサイズや組成の記述及び得られた結果のモデルへの応用について議論が行われた。

口頭発表では、P. Formenti（パリ大学）が複数のサイトで採集したダスト粒子の元素組成と鉱物組成の地域の差に注目し、大気中の鉱物輸送により地域の差が徐々に小さくなっているにもかかわらず、Fe/Caとillite/kaoliniteの組み合わせがダストの発生源地を示すトレーサとして有効的な指数であることを報告した。K. Kandler（ダルムシュタット大学）はアフリカダストを研究対象としている国際共同研究プロジェクトSAMUMを紹介した。この研究では、初めて個別粒子の情報をもとにして粒子の光学的な特性（Aerosol Optical Depth）の評価を試したが、得られた結果は放射測定装置で直接に測った結果と比べて特に大きな誤差があり、原因としては粒子への非鉱物成分の混合が推測された。北アフリカ及びその風下地域で実施された観測で得られたダスト粒子の粒径分布についてA. Petzold（ドイツエアロスペースセンター）により発表があり、ダスト粒子の大きさの測定については測定装置の原理及び各種設定の違いのせいで、依然として大きな不確実性が存在することが示された。現場調査で直接測ったOptical あるいはAerodynamicな粒径分布とAERONETから得られたような換算アルゴリズムに依存する粒径分布の取り扱いについては、口頭発表後の総合議論でも大きな懸念が示された。ダスト粒子表面に生じる化学反応について、Y. Balkanski（フランス気候環境研究所）は観測と実験室内の研究で得た鉱物粒子表面で化学反応が生じるメカニズム及びその粒子への影響に関する結果を紹介した。TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>を含む鉱物粒子の表面に近紫外・可視光照射することによりNO<sub>2</sub>はHONOとHNO<sub>3</sub>に変わることが確認されて、定量的な結果が複数の現場調査の結果と一致していることも報告した。K. Desboeufs（パリ大学）は、鉱物粒子の水溶性と潮解性に関して水に溶けるAl, Si, Feなど金属成分が微量ではあるが生物地球化学的に重要であることを指摘し、モロッコやニジェールなどでの測定の結果、水溶性の

鉄の量の割合は0.009~0.15%であることも報告した。筆者は、個別粒子の分析で近年得られた結果及び今後の課題についてレビューを行った。ダスト粒子の変質に伴う粒子吸水性の変化、大きさの変化、及びそれらの変化によるダスト粒子の挙動と働きを紹介し、ダスト粒子の性状と働きを求める際に天気の影響にも十分な注意が必要であることも呼びかけた。また、最近話題になっているダストと空中微生物の関係の研究にも触れた。

ポスターセッションでは、24件の発表があったが、内容により主にダスト粒子の鉱物組成（6件）、粒子中の鉄（5件）、粒子サイズ或いはマスの分布（11件）に関する研究に分けられる。その内、筆者が注目したのはLafon（パリ大学）ら、ドイツダルムシュタット工科大学のKandlerやLiekeらによるSAMUMの研究により得られた粒子の大きさと鉱物組成の間に関連があるという研究、Shi（英国リーズ大学）らによる強い酸性大気条件の下で粒子表面の非均一反応でナノサイズの鉄粒子が作られるという研究、ならびに緒方（熊本県立大学）らによる個々の粒子の測定でも黄砂粒子中に微量な水溶性鉄が存在することの発見である。

今回の発表とまとめの内容は、2003年のパリ第2回会議の時と比べて、ダスト粒子の鉱物特徴、変質過程、含まれた鉄の状態及び粒子の吸水力などについて様々な進歩があったが、観測分野の全体を見れば進歩が遅く、知りたいことと解明されたことの間依然として大きなギャップがあり、数値モデルを利用している研究の要望に対して殆ど応じられない現状を強く感じた。（張代洲）

### 4. セッション3

本セッションでは、ダストの測定・解析手法や得られた光学・放射特性について8件の口頭発表と23件のポスター発表が行われた。

口頭発表では、M. Schnaiter（カールスルーエ研究センター）が、収集したダスト粒子の実験室での化学・光学特性の測定手法のレビューを行うとともに、長光路セルを用いた消散係数の分光測定法や光音響分光測定法を用いた吸収係数の測定といった最先端技術についても紹介した。また、I. N. Sokolik（ジョージア工科大学）は実験室でのダストの化学特性の測定結果を基にしたダスト光学モデルの構築の重要性やその手法について論じた。J. Reid（米海軍研究所）は米主

導のダスト観測キャンペーン PRIDE と UAE2で見られたアフリカダストの陸域・洋上での鉛直構造や海洋への輸送過程について述べ、これらが数値モデルによって十分再現できなかったことを示した。D. Müller (ライブニッツ対流圏研究所) は、欧州主導の集中観測 SAMUM でのライダーおよびスカイラジオメーターによる地上観測について述べ、導出されたエアロゾル光学特性と航空機観測との結果に不一致があったことを示した。O. Kalashnikova (NASA ジェット推進研究所) と C. Hsu (NASAゴダード宇宙飛行センター) は、衛星搭載受動型センサーの測定データを用いたエアロゾル導出手法やそのプロダクト (光学的厚さや一次散乱アルベド等) のレビューを行った。また、地表面反射率の高い陸域でのエアロゾル導出手法や赤外放射データを用いたダスト導出手法といった近年話題の解析手法も紹介した。J. Redemann (NASA エイムス研究センター) は衛星搭載受動型センサーから導出されたダストの光学的厚さや直接放射強制力の航空機観測を用いた検証・比較研究のレビューを行った。M. Wendisch (ドイツヨハネスグーテンベルク大学) は、観測データを基にしたダストの直接放射強制力の推定結果や感度実験結果について論じ、ダストの非球形性が大気を冷却する効果を強めている可能性を示唆した。また、ダストの直接放射強制力の推定では、地表面反射率も正しく評価する必要があると述べた。

口頭発表の後、ダストの光学・放射特性の理解を深め、またそれをモデル化していくにはどういった測定 (放射測定・サンプリング)・解析手法 (非球形計算・モデル化)・観測戦略 (実験室・地上・航空機・衛星) が必要かについて、1時間程の意見交換がなされた。

ポスター発表は、SAMUM 観測キャンペーンに関連する発表が最も多く (全23件中10件) 地上・航空機観測から得られたダストの光学・放射特性や鉛直分布そして衛星データとの比較など、内容は多岐にわたっていた。また、AERONET のスカイラジオメーターを用いたダストの光学特性・放射特性研究も多かった (5件)。ダストの非球形性に関わる研究発表 (現状のダスト非球形モデルを用いた放射観測データの再現実験や測定したダスト形状を用いた光学特性計算など) も5件あった。これはダスト光学モデルの構築や放射強制力の推定に関わる問題であり、その関心の高さが伺える。その他にモンテカルロ法を用いたダストの3次元不均質分布に対する放射場計算や、ダストと煤粒

子の内部混合粒子をエアロゾルチャンバーで作成し、その光学特性を測定する研究等も発表された。日本からは西澤 (国立環境研) によって、2波長偏光ライダーデータを用いたダストの非球形性を考慮したエアロゾル導出手法とその解析結果についての発表が行われた。 (西澤智明)

## 5. セッション5

セッション5は「Integration of models and remote sensing data for characterization of 3D spatiotemporal distribution of dust aerosol」と題して行われた。近年注目を集めているデータ同化とCALIPSOをはじめ衛星観測を用いた研究に焦点を集めたセッションであり、聴衆の関心は高かったように思う。

まず、D. Winker (NASA) がCALIOP/CALIPSOの観測データを用いたダストに関する研究の発表を行った。CALIPSOが捉えたサハラ砂漠から大西洋、アジア域から北極へとダストが輸送される様子やチベット高原・インドにおけるエアロゾルの鉛直分布などが示された。今後の課題としては、CALIPSOライダーからのエアロゾル消散係数の導出 (ライダー比すなわちエアロゾル消散係数と後方散乱係数の比S1の決定方法など) や雲とダストの判別法 (CAD) の改善などが指摘された。次に、A. Ansmann (ライブニッツ対流圏研究所) がヨーロッパおよび国際的なライダー観測ネットワーク (EARLINET, GALION) の紹介を行った。また、MODISに代表される passive remote sensing やCALIPSOに代表される active remote sensing、さらに地上ライダーネットワークについてそれぞれの長所・短所をまとめ、両者を結びつける必要性を指摘した。筆者はダストモデルにおけるデータ同化に関する最近の研究のレビューを行うとともに、4次元変分法を用いたインバースモデリングの紹介を行った。環境研ライダーネットワーク、MODIS Deep Blue AOT, CALIPSOデータを用いたアジア域のダストを対象としたデータ同化結果について発表し、今後のダストデータ同化の方向性および背景誤差評価の困難さと重要性を指摘した。次に、O. Torres (米国ハンプトン大学) がOMI/Eos-Auraの近紫外チャンネルを用いたプロダクト Absorbing Aerosol Index (AAI), 光学的厚さ (AOD), 単散乱アルベド (SSA) の紹介とそれらを用いたサハラダストの解析結果について発表した。また A-train に

含まれる5つのセンサー(CALIPSO, MODIS, PARASOL, AIRS, OMI)について紹介し、OMIとCALIPSOを結びつけた研究を例として、複数のセンサーを用いることによる相乗効果の可能性を示唆した。コーヒーブレイクを挟み、P. Ginoux(プリンストン大学)がMODIS Deep Blue AOTと土地利用変化のデータを用いた人為起源(砂漠化の影響による)ダスト発生量の推定について発表した。また、ダスト発生量の長期時間変動の評価を目的として、土壤植生モデルと結合したGCMを用いた研究の紹介とその必要性を指摘した。最後に、J. Reid(米国海軍研究所, D. Westphalの代理)が高解像度の土壤情報データを用いることによるダストの予報精度の改善について報告した。また、3次元変分法をフレームワークとし、MODIS Deep Blue AOTを同化するダスト予報システムについて紹介を行い、データ同化による精度向上を示した。今後の課題としては、正確な誤差の見積り的重要性、データ同化を意識した観測計画の必要性を指摘した。

本セッションでは、特にCALIPSOとデータ同化が議論の中心になった。CALIPSOに関しては、ライダー比の推定方法(地域・粒径分布への依存性などの課題)について活発なやりとりが行われ、偏光解消度の利用などが提案された。Winkerからはデータ同化に対してどのように観測データを提供すべきかといった話題が提示され、衛星観測データ使用に関する様々な注意点(ダストの非常に濃いとき、地面の状態による不確実性)が話し合われた。また、モデルの相互比較に関する議論も行われ、田中(気象研究所)がADECで行われたモデル相互比較(DMIP)の結果について説明した。

最後に、本セッションにエントリーされたポスター発表からいくつかピックアップし紹介する。原(国立環境研究所)はCALIPSOと領域気象モデルWRFを組み合わせ、タクラマカン砂漠における夏季のダストの鉛直プロファイルの解析結果を報告した。黒崎(鳥取大学)は50年分のWMOのSYNOPデータベースの視程および現在天気の数値データを用いて、ダストの発生頻度の季節変動とその地域差を明らかにした。Anton Darnenov(ジョージア工科大学)はWRFにダスト発生・輸送過程を組み込んだWRF-DuMoを開発し、ダスト発生プロセスのパラメータ(スキーム、粒径分布、舞い上がり高さ)を変化させた感度実験を行い、発生過程の不確実性の大きさを示した。

このような特定の話題を対象にしたワークショップでの講演、およびディスカッションへの参加は筆者にとっては初めての経験であったが、現在どのような研究がホットで最先端なのか、その中で自分の行っている研究がどのような位置付けにあるのかを強い衝撃を伴って知ることができた。また、厳しい質問や指摘もいただき励みにもなった。若輩者の私が言うのも何であるが、若手の研究者こそ、このような場に積極的に参加すべきだと感じた。(弓本桂也)

## 6. セッション6

セッション6では、ダストの雲と気象・気候への影響に関して発表・議論が行われ、6件の口頭発表と16件のポスター発表がなされた。口頭発表及びそれに続く討論では、鉱物粒子の水雲及び氷雲の形成に与える影響と短期的な気象場及び長期的な気候場に与える影響ないし相互作用に関する議論が行われた。

口頭発表では、A. Nenes(ジョージア工科大学)が、ダスト粒子の雲粒子形成パラメタリゼーションに関するレビューを行い、水溶性物質を取り込んだダスト粒子(aged dust)は、古典的ケーラー理論に従うが、発生直後のダスト粒子(fresh dust)は水の吸収に関する異なった物理過程が必要である事や、そのためにはCCNの活性化実験が重要である事などを報告した。P. J. Demott(コロラド州立大学)は、ダストの氷晶核化作用に関するレビューを行い、CFDC(Continuous flow diffusion chamber)などを用いて世界各地でサンプルした資料の各温度における水/水フェーズの相対湿度と氷晶化活性率の実験結果、ならびにINSPECT, PACEDEX等の観測キャンペーンの氷晶核数濃度と大気温度などの観測結果などをレビューし、大きな粒径のエロゾルの氷晶核化に及ぼす重要性を指摘すると共に、モデルの氷晶核化パラメタリゼーションにおいて過度のプロセスの単純化がもたらす危険について議論を行った。またC. Hoose(オスロ大学)は、全球モデルの立場からダストと水雲(Warm clouds)、混合雲(Mixed-phase clouds)および巻雲(Cirrus clouds)の形成過程についてレビューを行った。Hooseはこの中で、ダストのaging(人為起源物質との内部混合)に伴い様々なCCN過程や混合雲での氷晶核形成過程があり、どのような条件下でどんな過程が重要かについて実験や観測が不足しており、それが間接効果の定量化の壁となっていることを訴えた。



一方、近年ダストを含むエアロゾル放射強制力が地表面温度を変化させる事による地表面のフラックスや大気安定度への影響については、気象・気候それぞれの観点から注目されているが、本セッションでもこれに関するテーマについて発表が行われた。

C. Pérez (バルセロナスーパーコンピュータセンター) は、領域モデルの立場からダストが大気場を与えるフィードバックについてレビューを行い、ダストの放射強制力が地表面の風速や熱フラックスに無視出来ない影響を与えているが、現状では定量的な議論を行うにはダストの光学的特性が依然不確定である事、またより長期間 (季節, 年) にわたるフィードバック効果について、マルチモデルアンサンブルなどによる感度実験が重要である事を報告した。R. L. Miller (コロンビア大学) は、大気中ダストが大気場や降水に与える影響について、単純化した熱収支式を用いて、地表面のダスト放射強制力や大気上端 (TOA) のダスト放射強制力にともなう潜熱配分の影響を議論し、次に全球モデルを用いてサハラダストが亜熱帯収束帯 (ITCZ) を赤道方向に変位させる事によるハドレー循環や降水量への影響を議論した。その結果、地表面の強制力に伴い降水量は減少する事、降水量はTOAの強制力にも敏感である事、さらに短い時間スケール (数時間~数日) では、ダスト層が深い対流の強化やそれに伴う循環を生じさせるのに対し、数ヶ月から数年にわたる長い時間スケールでは、ダストは蒸発量を抑制する結果となる事を示した。P. Knippertz (ドイツヨハネスグーテンベルグ大学) は、サハラダストのハリケーン活動に与える影響に関する研究のレビューを行い、大西洋のSSTへの影響、SALが西アフリカモンスーンを通じてハリケーンの発達域 (MDR) に与える影響、さらにはサハラダストの雲過程への影響などの作業仮説について、観測データに基づいた議論を行い、ダストと雲、放射、SSTの大規模循環場も含むフィードバック効果とSALの力学的および微物理的影響に関する研究が急務である事を訴えた。

いっぽうポスターセッションは、16件の発表があり、SAMUMキャンペーン中のライダー観測によるダストの氷晶核化過程 (A. Ansmann ら)、ダストブルーム中の氷晶核観測 (P. J. DeMott ら)、全球及び領域モデルでの雲核形成パラメタリゼーション (ジョージア工科大学の P. Kumar)、エアロゾル放射強制力のハリケーンへの効果 (R. L. Miller)、サハラ

砂漠境界層中のダストの放射効果とフィードバック (ライプニッツ対流圏研究所の B. Heinold ら)、南北非対称熱帯循環へのエアロゾル放射強制力効果 (コロンビア大学の P. Xian と R. L. Miller) や1930年代アメリカ中西部を襲った 'ダストボウル (砂塵嵐)' へのダストとSSTの影響 (コロンビア大学の B. I. Cook) など、多彩な内容の発表が行われた。

筆者としては、R. L. Miller グループによる一連の発表が興味深かった。例えば R. L. Miller はダストによる大西洋海面水温のクーリングの時間応答に関する一次元モデル実験の結果、一夏程度の時間スケールでダストが高濃度になった程度では海面水温への効果は一時的であるが、例えば1960年代と1980年代のようにdecadalなダスト濃度が3倍も異なるような場合は、明らかにSST低下に伴うハリケーンの活動の低下が考えられるという発表を行っている。また P. Xian と R. L. Miller は、南北非対称のGCMを用いた降水へのエアロゾルの効果に関する数値実験により、ダストによる北半球夏のハドレー循環の赤道よりへの変位と、ITCZの南半球への移動が2~3週間早まる効果を示し、そのためサハラのダストがサハルの降水を減少させるとした結果を発表した。

筆者は、5年前の第2回ワークショップと比較して、サハラや北太平洋での大規模現地観測とそれとリンクした室内実験やモデル実験が盛んに行われている点と、ダストの放射強制力が大規模循環場や熱帯性擾乱に与える影響について、間接効果をも考慮しつつ研究が進められている点に強い印象を受けた。この分野は未解明の過程が多いが、それだけ研究としてはチャレンジングでもあり、新鮮で興味深い研究発表が多かったように思う。 (三上正男)

## 7. 雑感

会場となったライプチヒ KUBUS は、今回のワークショップでホストを務めた Ina Tegen が所属するライプニッツ対流圏研究所 (LITR) に隣接した会議場で、市内中央部からトラムで数分のところにある。ライプチヒは、ドイツ有数の歴史を持つライプチヒ大学や、世界初のコンサートオーケストラとしても有名なライプチヒ・ゲバントハウス管弦楽団などでも有名な文化と芸術の街である。街の中心部には、ベルリンの壁崩壊の引き金となった月曜礼拝が行われ、旧東ドイツ民主化運動の記念碑ともなった聖トーマス教会がそびえ、その周りには美しい街並みの旧市街が広がっ

ており、ゲーテやバッハゆかりの名所・旧跡なども点在している。こうした街並みのそこかしこには、数百年の歴史を持つドイツレストランが建ち並び、日本からの参加者達も、昼間は慣れない英語とダストで文字通りホコリまみれになった頭の中を、当地自慢の地ビールで清掃 (scavenge) することが出来たのは幸いであった。

次回の開催は、4年後の2012年を予定しており、開催地には日本も候補として挙がっている。4年後、ダストに係わる大気科学がどれだけの進歩を達成しているのか、またその中で日本がどれほどの寄与を成し遂げているのか？それは、今回参加した私たちをはじめとする我が国の研究者の頑張りにかかっているはずである。(三上正男)

#### 略語一覧

AAI : Absorbing Aerosol Index  
 ADEC : Aeolian Dust Experiment on Climate Impact  
 AERONET : NASA AeROsol RObotic NETwork  
 AEROCOM : 全球エアロゾルモデル比較実験  
 AIRS : Atmospheric Infrared Sounder, NASA A-Train  
 の一つ、大気赤外サウンダ  
 AOD : Aerosol Optical Depth  
 A-Train : NASA の6機の衛星からなる地球観測衛星隊。  
 OCO, AQUA, CLOUDSAT, CALIPSO, PARASOL, AURA からなる。  
 CAD : Cloud-Aerosol Discrimination  
 CALIOP : Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization, CALIPSO に搭載されている衛星搭載ライダー  
 CALIPSO : The Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation, NASA A-Train の一つ、雲・エアロゾル観測用衛星  
 CCN : Cloud Condensation Nuclei  
 CFDC : Continuous Flow Diffusion Chamber  
 DMIP : Dust Model Intercomparison  
 EARLINET : European Aerosol Research Lidar Network  
 Eos-Aura : Earth Observing System 計画に基づく地球大気化学衛星, NASA A-Train の一つ

GALION : GAW Aerosol Lidar Observation Network  
 GAW : Global Atmosphere Watch, WMO の全球大気監視計画  
 GCM : General Circulation Model  
 ICAR : International Conference on Aeolian Research  
 INSPECT : Ice Nuclei Spectroscopy campaign  
 ITCZ : Intertropical Convergence Zone  
 KUBUS : ライプチヒ市のヘルムホルツ環境研究センター (HELMHOLTZ Center for Environmental Research) に付属する会議センターの名称  
 MDR : Main Develop Region, ハリケーンの発達域  
 MODIS : Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, 衛星搭載雲・エアロゾルセンサー  
 MODIS deep blue AOT : MODIS の Deep-Blue チャネルと呼ばれる波長域のシグナルを用いて評価された光学的厚さ (Aerosol Optical Thickness)  
 NASA : National Aeronautics and Space Administration, アメリカ航空宇宙局  
 OMI : Ozone Monitoring Instrument, Eos-Aura 衛星に搭載されたオゾンセンサー  
 PACEDEX : PACific Dust EXperiment  
 PARASOL : Polarization and Anisotropy of Reflectances for Atmospheric Science coupled with Observations from a LIDAR, POLDAR 衛星に搭載されるエアロゾルセンサー  
 PRINDE : Puerto Rico Dust Experiment  
 SAL : Saharan Air Layer  
 SAMUM : Saharan Mineral Dust Experiment  
 SDS-WAS : Sand and Dust Storm Warning and Assessment System  
 SSA : Single Scattering Albedo  
 SST : Sea Surface Temperature  
 SYNOP : Surface Synoptic Observations, 地上実況気象観測  
 TOMS : Total Ozone Mapping Spectrometer  
 UAE2 : United Arab Emirates United Aerosol Experiment  
 WMO : World Meteorological Organization  
 WRF : Weather Research and Forecasting model, 米国の次世代天気研究・予測モデル  
 WRF-DuMo : WRF Dust Module