

第8回ジョージメイソン大学輸送・拡散モデリング会議出席報告*

山本 哲**

1. 概要

2004年7月13日から15日にかけて米国ヴァージニア州フェアファックスのジョージメイソン大学 (GMU) で開かれた第8回 GMU 輸送・拡散モデリング会議に出席した (第1図)。主催は米国・防衛脅威縮減庁 (DTRA) の合同科学技術事務所化学・生物学防衛計画、気象学連邦調整官事務所 (OFCM) 及び GMU で、会議のテーマは「大気中の輸送・拡散過程の理解の進展、国家安全保障のための必要条件への支援、異部門間の経験の共有」である。筆者はここ2年ほど、中国タクラマカン砂漠を起源とする風送ダストの自由大気への供給量を輸送・拡散モデルにより評価する仕事に取り組んでおり、輸送・拡散モデリングについて米国の現状を学ぶために出席した。

本会議は当初は招待講演のみによるほとんど内輪だけの20名ほどの会議だったらしいが、第4回(2000年)から一般参加者の投稿を受け付けるようになったこともあり、近年出席者はその10倍にふくれ上がっている。今回も約200人の出席者があり、約90件の講演がまるまる3日間にわたり、大部分口頭で、かつ単一会場で行われた (第2図)。「国際会議」ではなく、大部分の出席者は米国国内からであったが、カナダ、英国、イスラエル、フランス、ノルウェーなどからの出席もあった。日本からの出席は筆者1名であったが、ニューメキシコ州サンタフェ在住の山田哲二博士も出席されていた。会議の趣旨に沿って、米国からは大学・研究機関の研究者だけではなく、コンサルタント、行政、軍

関係者などが多く出席していた。

セッションのテーマは順に「センサー測定データ融合と拡散」「メソスケールのモデリングと拡散」「都市環境の監視と拡散」「都市規模モデリングと拡散」「国家安全保障のための大気中輸送・拡散モデリングの必要条件への支援 (OFCM 特別セッション)」「ペンタゴンシールドプロジェクト」「拡散モデルの評価と不確実性」「実験・観測研究」「拡散研究一般」であった。

2. セッション内容

9つのセッションで多種多様な講演が行われたが、以下会議の進行に沿って、筆者の印象に残ったものを紹介したい。

(1) センサー測定データ融合と拡散(セッション1)

このセッションは主催者のひとつである DTRA の合同科学技術事務所化学・生物学防衛計画の物理モデリング (気象モデル) の成果を発表するものだったようである。データ融合、輸送・拡散モデルの改良、都市域や建物内部での拡散のモデリングなど多岐にわたる。生物化学兵器を搭載したミサイルを空中で迎撃した場合の上空からの物質の拡散の影響評価、などといったことも想定されていた (Pace, DTRA)。

ここでの融合 (fusion) とは輸送・拡散モデルに実測データを取り込んで行くことである。気象要素と違い、測定値に連続性がなく、ノイズが多いのがひとつの特徴である。カルマンフィルタ、GARCH (generalised auto-regressive conditional hetero-skedasticity) といった方法 (Thomas, 英・Dstl), バイズ理論に基づく方法 (Kosovic, LLNL) などがあるようだ。生物兵器センサーから自然起源の拡散物質 (花粉, バクテリア, 孢子等) を自動的に区別するため、バックグラウンドのさまざまな特徴をモデル化し、人為起源と区別しようとする研究もあった (Fish, 英・Dstl)。現実の問題

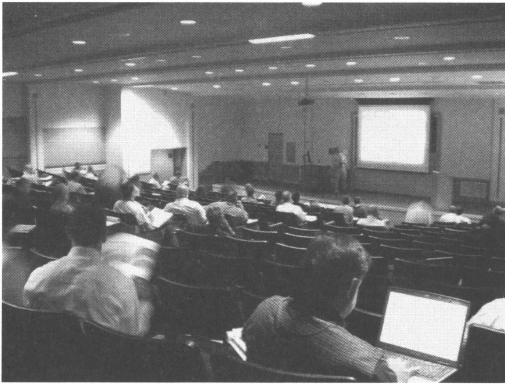
* Report of the 8th Annual George Mason University Conference on Transport and Dispersion Modeling.

** Akira YAMAMOTO, 気象研究所環境・応用気象研究部。(現所属: 独立行政法人 国立環境研究所地球環境研究センター)

© 2005 日本気象学会



第1図 会場となったジョージメイソン大学エンタープライズホールのある校舎。



第2図 会議風景。

では拡散源は不明であり、限られた測定値と推定した気象場から拡散源を推定するため、アジョイントモデル、拡散モデルなどを使って測定データから拡散源を推定しようという研究も進められていた (Brown, Aerodyne Research 社)。

開発手法・モデルの検証にはいろいろな野外実験のデータが使われているが、本会議を通じて多くの研究で使われていたのが MUST (Mock Urban Setting Test) 実験である。2001年9月に国防総省と環境省によりユタ州の陸軍試験場で行われたもので(時期的に、同時多発テロが契機というわけではない)、都市キャノピーの再現を意図したものである。建物の代わりに船用コンテナを200 m 四方に12×10個並べたものであるが、熱的環境に対する配慮が十分でないようにも思われた。

(2) メソスケールのモデリングと拡散

このセッションでは、メソスケールのモデリングや拡散実験などの発表が行われた。

2003年7月にオクラホマで行われた北米でこれまで最大規模の拡散実験 Joint Urban 2003 (JU2003) の紹介があった (Basara, オクラホマ大学)。150台の超音波風速計、30台の AWS, 9台のソーダ、3台のプロファイラ、2台のドップラーライダーなどが使われた。(よくあることだが)期待とは全く逆の風向きが卓越してしまい、なかなかよいデータが取れなかったようだ。

MM5, COAMPS など日本でも比較的名の通ったモデルによる数値実験も多数行われていたが、米国屈指の科学技術集団と言われる SAIC 社で開発された OMEGA (The Operational Multiscale Environment model with Grid Adaptivity) という気象モデルに目を引かれた。適応的非構造化三角形格子 (adaptive unstructured triangular mesh) を用い、任意の場所を動的に高解像度化できる。領域モデルとしても使われるが、全球にも拡張されており、全球を特異点なしに覆ってネスティングなしに関心あるところだけグリッドを細かく出来る (Sarma, SAIC)。

陸軍の軍用車両 Humvee に搭載したナウキャストシステムの開発といった話もあった (Stauffer, ペンシルバニア州立大学)。車載の小型プロファイラなどのデータを同化し、MM5, SCIPUFF (拡散モデル) を現場で走らせる。大学の気象学部でこのような開発を行い、自分が Humvee を運転する姿を見せて「私のセカンドカーは Humvee」などとはしゃいだりするのは日本では考えられない話である。

Pullen (NRL) は領域気象モデル (COAMPS) と海洋モデル (NCOM) を使ったアドリア海におけるボラ発生時のシミュレーションを報告した。予測された海面水温を大気にフィードバックさせた方が、冷却された海面が大気の安定度に反映し風速が弱まって実測に近かったという

Rife (NCAR) はソルトレイクシティを対象とした MM5 の 1.33 km シミュレーションを報告した。観測に表れている日変化より短い周期の変動のパワーを高解像度モデルは十分に再現していないので、この成分が卓越する日の予想成績 (Anomaly correlation) が悪くなる。高解像度になると RMS など従来の評価方法ではスコアが落ちてしまうという問題もあり、オブジェクトベースの評価手法 (詳細不明) を開発中とのこと。冬季オリンピック時のテロ対策のための気象予測が必

ずしもうまくいかなかった、ということが背景にあるらしい。

山本はこのセッションで「タリム盆地における大気の循環およびダスト粒子の飛散と拡散の数値シミュレーション」の研究発表を行った。場所が地球の裏側で、会議の中ではやや異色の発表となった感もあるが、手法は多くの研究と共通しており、また使用しているダストフラックスの計算手法 (Shao, 2004) は多くの米国の研究者には目新しいものだったようで、幸いにも興味を持って好意的に受け入れてもらえたようである。

(3) 都市環境の監視と拡散

都市スケールの監視、拡散などに関する発表が行われた。

Hicks (NOAA/ARL) から NOAA が進めている UrbanNet の実地試験 DCNet の紹介があった。都市の拡散予測に最適な観測システムを構築するため、ワシントン DC で政府機関、研究所、大学の鉄塔、ライダー、ソーダー、プロファイラなどの観測網を展開している。もちろんこれも国土防衛 (homeland security) への貢献の1つと位置づけられている。

米・ENSCO 社ほかが長期的プロジェクトとして開発に取り組んでいる (NASA からファンドを得ている) という GEMS (Global Environmental MEMS Sensor) にはたいへん強い印象を受けた。マイクロメートルスケールの超小型で、相互通信機能を持った知的な使い捨てセンサーを開発し、空中に大量に撒布して気象データを得ようというものである。実現すれば従来型のセンサーでは観測不能だった激しい現象や建物まわりの風などの複雑な流れの直接観測も可能になる (Evans, ENSCO 社)。もちろん問題点も無数にあるように思われるが、ナノテクノロジーは世界的に最先端の競争が繰り広げられ、日々新技術が開発されている分野であり、日本でも同様の計画を検討する必要があるようにも感じられた。

(4) 都市規模モデリングと拡散

都市スケールでのモデリングに関する発表が行われた。

現実の拡散問題では緊急性が問われることが多く、マスコンモデル (Mass-Consistent Model) やパフモデルなどが広く使われており、経験則を盛り込んで改良するなどの努力も続けられている (Sontowski,

SAIC; Brown, LLNL)。

数値モデリングでは CFD 技術の拡張と、気象モデルの高解像度化の接点にある領域であり、CFD を拡張して熱的效果などを取り込んだものなど、さまざまなアプローチがあった。風洞実験などで評価されており、平均風についてはよいが、乱流強度についてはまだ十分でないものもあった。山田 (YSA 社) はメソスケール気象モデル HOTMAC (Higher Order Turbulence Model for Atmospheric Circulation) を格子間隔 2 cm で風洞実験に適用し、よい結果を得た。さらに熱的效果を入れたビル周りのシミュレーションを行った。拡散モデル RAPTAD (Random Puff Transport and Diffusion) はラグランジュ法だが、流れるのが粒子でなく拡散で膨張していくパフである。山田先生によると、濃度分布を計算するための粒子数がより少なくてすむよう、ご自身が考えだされたアイデアということだが、最近は広く使われているようである。

Camelli (GMU) は CFD モデル FEFLO-URBAN model による MUST 実験の再現実験を報告した。四面体要素による非構造メッシュの VLES (Very Large eddy simulation) モデルである。必ずしも高解像度 (要素数を 500K から 31 M まで変化) の方が高精度という結果にはなっていないようであった。31 M では計算時間間隔は 0.03 秒になり、15 分間の計算に 4 か月かかっていた。

メッシュが乱流を分解するのに十分な領域は LES で、そうでないところは RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) で計算する DES (Detached eddy simulation) と称するもの (Peltier, ペンシルベニア州立大学)、タイムステップ分割と濃度が大きいところだけ計算する Dynamic Deactivation の導入による計算の高速化の発表 (Löhner, GMU) もあった。

熱的效果などを組み込んだ CFD によるマンハッタン島を対象とした実験では、WTC 倒壊もモデル化され、そのムービーとかは生々しかったが、技術者の貪欲さを感じた瞬間でもあった (Huber, NOAA/ARL)。

(5) 国家安全保障のための大気中輸送・拡散モデリングの必要条件への支援 (OFCM 特別セッション)

本会議の主催機関のひとつである OFCM は米国の連邦気象業務・支援研究を調整するために 1964 年に設置された独立機関である。

今回の特別セッションは国家安全保障のための輸



第3図 OFCM 特別セッション. 政府機関からのパネリスト7人のうち4人が女性.

送・拡散モデルの開発計画のドラフトを討議することを目的に設定された (Williamson, OFCM).

非常事態において大気拡散モデリングの結果を総合し、国民への被害を最小限にするため Interagency Modeling and Atmospheric Assessment Center (IMAAC) の設立が検討されていることが報告された。DHS の主導で省庁間の運営委員会により設立されることが考えられている (Suski, DHS)。続いて「輸送・拡散に関する支援業務の提供において進化する連邦機関の役割と責任」のテーマでのパネルディスカッション(第3図)となり、NOAA/NWS, NOAA/ARL, NOAA/National Ocean Service, DTRA, 国立大気放出物情報センター (NARAC: National Atmospheric Release Advisory Center), 原子力規制委員会 (NRC: Nuclear Regulatory Commission), 環境保護庁 (EPA: Environmental Protection Agency) からの7名のパネリストによる大気拡散予測とその利用・発表に関係した業務紹介などがあった。

NOAA はメソスケール気象モデル Eta-12 に輸送・拡散モデル HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) の結果をすぐ得られるサイト READY (Real-time Environmental Applications and Display sYstem) を運用しており、利用されている方も多いと思う。手軽な情報受信のための Weather Radio なども運営されている。CAMEO, ALOHA は EPA と NOAA が提供している事故時における化学物質の拡散シミュレーションモデルである。NARAC は核物質の拡散対応のための組織で、各種拡散モデル、気象モデル、CFD モデルなどを使用している。地方の緊急体制との協力も進められ

ている。IMAAC と NRC との関係の微妙さを伺わせる講演もあった。拡散モデルの結果はそのまゝの形では非専門家には提供すべきでないということを強く主張するパネリストもいた。

続いて、OFCM が2003年10月に設立した連邦政府機関をメンバーとした「大気中輸送・拡散モデリング (研究と開発計画) のための合同作業部会」(JAG/ATD(R & DP): Joint Action Group for Atmospheric Transport and Diffusion Modeling (Research and Development Plan)) がまとめた「大気中輸送・拡散モデリングのための連邦研究の要請とプライオリティ」のドラフトが紹介された (Walter, 陸軍研究事務所)。なお、報告書は2004年9月に発表された (JAG/ATD (R & DP), 2004)。本報告書、また本セッションで使用されたプレゼンテーションは、OFCM ウェブサイト <http://www.ofcm.gov/> からダウンロードできる。

(6) ペンタゴンシールドプロジェクト

「ペンタゴンシールド」は国防総省に対する生物化学兵器攻撃に対応するため、国防総省の研究・開発部門である高等研究計画局 (DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency) の特別計画研究室 (SPO: Special Projects office) の資金で実施されている研究開発プロジェクトである。建物スケールまでの影響評価・予測モデルを開発することを目的とし、モデル検証に必要なデータを得るため実地での大規模実験 (要するにペンタゴンの建物上・周囲に多数の観測装置を展開しての3次元的气象観測, SF6拡散実験) も行われた。観測では複数台のドップラーライダーなど最新鋭機器も導入され、係留気球の乱流観測との比較が行われた。ペンタゴンを対象として風洞実験や CFD も実施されている。

会議の時点では観測が終わってまだ2か月後であり、観測の紹介、途中経過の報告などにとどまっていたが、各政府機関 (DARPA, NOAA など)、大学 (コロラド大学)、研究所 (NCAR, NOAA/ARL など)、軍、民間セクターなどとの協力関係が良好であるように見えた。これに限らずこうした部門、省庁にまたがった協力関係は日本とは異なり、もともとあったものようだが、それが同時多発テロ後の危機意識の高まりでさらに強固となっているようである。危機感、切迫感が共有されていることは如実に感じられた。今回は会場が特に同時多発テロ発生地近傍であったことも無関係ではないかもしれない。また、こうした内容が

外国人も出席するこのような会議で紹介されるのは驚きであった。

(7) 拡散モデルの評価と不確実性

野外実験結果によるモデルの評価, モデル間の比較, 新しい評価方法の提案と適用などの発表があった。

Platt (防衛研究所) は利用者指向 MOE (measure of effectiveness) による ETEX 実験 (1994年) の評価を行った。ETEX には気象庁のモデルも参加している。従来の指標と同等の評価が出来るとともに, 人口密度に応じた影響度の変化などを考慮した評価も可能なところが, 「利用者指向」という所以らしい。

Hanna (ハーバード公衆衛生大学) は拡散モデル間の違いを統計的に評価する方法を提案し, ソルトレイクシティで行われた大規模拡散実験 Urban2000の6つのモデルでの計算結果に適用した。ちなみに Hanna 博士は2003年まで GMU に在籍し, この会議の創立者でもあるとのことで, 会議全体を通じて存在感を示していた。博士は Hanna Consultants というコンサルタント会社の代表でもあり, 政府機関, 企業, 大学などの多くの仕事をされているようである。

(8) 実験・観測研究

2004年4月, トリニダドのポートオブスペインで強盗に撃たれて43歳で死去した Robert Macdonald 博士 (カナダ・ウォータールー大学) を記念するセッション。博士の名前で発表された平面レーザー誘起蛍光 (PLIF: Planar Laser Induced Fluorescence) 法によるストリートキャニオンを模した水槽拡散実験のほか, 水槽実験, 観測実験などの発表が続いた。JSLSCAD (Joint Services Lightweight Standoff Chemical Agent Detector) という化学兵器センサーの試験のための水上での拡散実験, といった発表 (Patton-Hall, 海軍水上戦センター) があった。マスタード, VX, 神経ガスなどが赤外線波数800-1200の領域に強い吸収を持つことを利用したセンサーだそうだが, Bieringer (マサチューセッツ工科大学) は主にドップラーレーダーを利用して最小二乗法により境界層内の水平2 km, 鉛直500 m 間隔で風の3次元分布を算出するシステムとその検証実験を紹介した。

(9) 拡散研究一般

航空機の航跡なども考慮した農薬の空中散布の影響のシミュレーション, 地形分解能の拡散モデルの結果

への依存性 (Babarsky, NGIC), 有毒産業化学物質の化学過程を取り込んだ拡散モデルの開発 (Henley, ENSCO 社) 遺伝的アルゴリズムを利用してレセプターモデルやガウス型の拡散モデルを適用して発生源を特定する手法の開発 (Haupt, ペンシルバニア州立大学) など基礎から応用にいたる多様な研究についての発表があった。

3. 会議雑感

物質拡散の各種手法によるモデリング (統計的モデル, 気象モデル, CFD, LES, DNS 等) に関する多数の発表があったが, それを支えるものとして, 米国各地の都市や野外実験サイトでの大規模な拡散実験が多数行われており, 多くのモデル研究でその結果が評価に使われていた。綿密に実測データを得ることはモデル研究に不可欠であることがよく理解されていると思われた。

また, 都市上空の3次元風の分布の把握にドップラーライダーが使われるようになってきていることを印象づけられた。乱流計測にも応用可能のようである。波長1.5 μm のアイセーフな赤外光を使っているので, 都市域での使用にも問題はないという。夜間ジェットの盛衰や混合距離の鉛直分布など, 教科書的な現象であるが, 鉛直断面図など2次元的に見る事ができるのは圧巻であった。

会議や課題の性格に関係することと思われるが, 理屈抜きで応用面の評価を優先させた技術的・工学的な内容の発表も多く, 気象学的な新しい発見や, 画期的な新技術の開発といった観点から注目される発表は必ずしも多いとはいえなかったように思う。拡散源もはっきりしない生物化学兵器の拡散を建物スケールまで予測するなど, 高度化・多様化する要求に対し, 必要な技術開発が遅れているという印象もあるが, 官民からのこうした要求の実例をいろいろ見ることができたのは面白かった。

連日朝8時から午後6時近くまでの日程にも関わらず, 大部分の出席者が全日出席し, きわめて活発に議論を展開しており, 米国の研究者の体力 (知力に加えて) にも驚かされた。本報告の投稿に時間を要したのも筆者の知力と体力では非常に盛り沢山の内容を消化するのにたいへんな時間を要してしまったからである。

こうした流体力学, 気象学, 流体工学などの各分野にまたがった領域で, 基礎から応用にいたる内容の議



第4図 Boybeyi 博士と記念撮影 (CAMPにて)。

論が、産学官の研究者・技術者から実務者までの専門家が一堂に会して行われることは、本会議のたいへんユニークな点であろう。日本でもこのようなきわめて応用性の高い、地表面付近の大気・物質拡散モデリングにテーマを絞った会議が開かれることを期待したい。

4. CAMP 訪問

会議翌日に GMU の総合大気モデリング計画 (CAMP) を訪問した。総合的研究環境・分野での先進性を提供する大気モデリンググループとして、同大学の計算科学部の研究計画の1部門として1997年に創立され、会議で事務局を務めていた Boybeyi 博士が代表者を務めている。現在一時的にキャンパス外の商用ビルに間借りしていて、非常に狭いところであったが、行われている研究は世界最先端である。

トルコ出身の Boybeyi 博士 (第4図) は SAIC における OMEGA モデルの開発チームの主要メンバーである。OMEGA については会議でもいくつか紹介されたが、簡単な説明をしていただいた。1つのモデルで幅広いスケールの現象に対応したシミュレーションができ、都市スケールから局地循環、ハリケーン、大気大循環、さらには火星大循環とそれによる物質輸送・拡散モデリングの結果を見せていただいた。博士は現在 SAIC にも籍はあるようで、論文などを見ると所属を使い分けているようであったが、詳しいことは聞けなかった。Ma 博士からは不安定成層下で行われた野外実験での鉛直速度スケールの提案など、最新研究成果の紹介を受けた。他にも、大気乱流・拡散モデリングの専門家としてイタリア出身の Franzese 博士、ニューラルネットワークを使った気象予報プログラムの改善

に取り組んでいるロシア出身のポスドクの Novakovskaia さん、自作のモデルで山岳波のシミュレーションを行っている英国出身の学生の Lindeman さんなど、CAMP では世界各国から研究者が参集して各種のメソスケール現象・都市環境モデリングなどに取り組んでいる。筆者の関心とも多くの点で共通しており、これを機会に今後も情報交換を続けていきたいと感じた。

5. フェアファックス雑感

成田から直行便14時間でダレス国際空港に到着、フェアファックスまで公共交通機関ではバスと地下鉄を2回乗り継がないといけないので、不慣れた土地でもあり安易にタクシーで行くことにしたが、タクシーの運転手はフェアファックスへの道を全く知らず、無線で聞きながら運転していた。フェアファックスに着いても、街並みがとにかく分散しているので、店とかぜんぜんないように見えたが、目が慣れてくると木々の中にかかなり大きい店が立ち並んでいることに気づく。思えば筆者がアメリカの郊外都市を訪問するのはこれが初めてであった。

フェアファックスはヴァージニア州とはいってもワシントン DC 郊外と言った方が適切なくらいである。私は恥ずかしながら今回の旅行で初めて知ったのだが、ワシントン DC というのは存外に狭く、ニュースなどでよく聞く「ペンタゴン」も「アーリントン国立墓地」も「ワシントン・ダレス国際空港 (「ワシントン」が付いたのが正式名称)」もみなヴァージニア州にある。ワシントン DC の中心からは、メトロで30分ほど、「ヴィーン」(Vienna/Fairfax-GMU) という終点の駅から、CUE バスというフェアファックス市の運行する循環バスが出ていて (ちなみに CUE とは City-University-Energysaver の頭文字らしいがこじつけっぽい気もする)、50セント (地下鉄乗車時に乗換券をもらっておけば25セント) で GMU など主要な場所に行ける。ルート66の真ん中にあるメトロのターミナル駅ヴィーン (やはり「ヴィエンナ」と書くべきか) は多数の大きな駐車場に取り囲まれ、駅前にはバス・タクシー乗り場、あとはアメリカの町並みでよく見る新聞の販売機がずらっと並んでいるだけで、店屋はただの1件もない。車社会だし、メトロは駅構内・車内とも飲食喫煙厳禁なので、駅前には店がなくても別に困らないようだ。私の住む町にももうすぐ東京につながる電車がやって来るが、駅前の風景はやはりいづれこんな

ものになってしまうのではないかと妄想してしまった。

ワシントンDCではちょっとしたビルに入るときも荷物を調べられたが、ここまで来ると全くそんなことはなく、のんびりした雰囲気が漂うようにも見えた。GMUは広大で緑豊かなキャンパスを有する、ということだけはけっこう歩くことになるのだが、昼食は毎日大学学食になってしまう。大学の規模の割には貧相な気もしたが、やはり車でどこかに行ってしまうのかもしれない。夕食はサンタフェから2回飛行機を乗り継いでロナルド・レーガン・ワシントン・ナショナル空港(ペンタゴン近く、ここもヴァージニア州)からレンタカーで来られていた山田哲二先生が他の会議の出席者と一緒にレンタカーでレストランに連れて行ってくださったりしたので、たいへん有り難かった。

謝 辞

本会議への出席は科学技術振興調整費「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(第II期)」(研究代表者・三上正男)の一部として実施された。日本からの出席者が米国に不慣れな筆者1人という状況で、山田哲二先生にはいろいろお世話になった。記して深い感謝の意を表する。

略語一覧

ALOHA : Areal Locations of Hazardous Atmospheres
 ARL : Air Resources Laboratory 大気資源研究所 (NOAA)
 AWS : Automatic Weather Stations
 CAMEO : Computer-Aided Management of Emergency Operations
 CAMP : Comprehensive Atmospheric Modeling Program 総合大気モデリング計画 (GMU)
 CFD : Computational Fluid Dynamics 計算流体力学
 COAMPS : Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System
 DHS : Department of Homeland Security 米国・国土安全保障省

DNS : Direct Numerical Simulation
 Dstl : Defense Science and Technology Laboratory 英国・防衛科学技術研究所
 DTRA : Defense Threat Reduction Agency 米国・防衛脅威縮減庁
 ETEX : European Tracer Experiment 欧州トレーサー実験
 GMU : George Mason University ジョージメイソン大学
 LES : large eddy simulation
 LLNL : Lawrence Livermore National Laboratory ロレンス・リバモア国立研究所
 MEMS : Micro Electro Mechanical Systems
 MM5 : The Fifth-Generation NCAR/Penn State Mesoscale Model (米国・ペンシルバニア州立大学とNCARが共同開発したメソモデル)
 NCAR : National Center for Atmospheric Research
 NCOM : Naval Coastal Ocean Model
 NRL : Naval Research Laboratory
 NGIC : National Ground Intelligence Center
 NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration 米国海洋大気庁
 NOS : National Ocean Service (NOAA)
 NWS : National Weather Service (NOAA)
 OFCM : Office of the Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research 気象学連邦調整官事務所
 SAIC : Science Applications International Corporation

参 考 文 献

Joint Action Group for Atmospheric Transport and Diffusion Modeling (Research and Development Plan), 2004 : Federal Research and Development Needs and Priorities for Atmospheric Transport and Diffusion Modeling, FCM-R23-2004, Office of the Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research, Washington DC, USA, 115pp.
 Shao, Y, 2004 : Simplification of a dust emission scheme and comparison with data, J. Geophys. Res., 109, D10202, doi : 10. 1029/2003JD004372, 2004.