

第7回都市環境シンポジウム/第7回沿岸大気・海洋予測と プロセス会議（合同開催）報告*1

近藤 裕 昭*2・稲垣 厚 至*3・井原 智 彦*4
大岡 龍 三*5・小田 僚 子*6・黄 弘*7
高橋 桂 子*8・竹林 英 樹*9・土屋 貴 史*10

1. はじめに

米国気象学会（AMS）の都市環境委員会と沿岸環境委員会が合同で主催する標記会議は2007年9月10日～13日カリフォルニア州サンディエゴにあるカタマランリゾートで開催された。筆者（近藤）はこれらのうち、都市環境シンポジウム関連の研究に関わっているが、このシンポジウム自体に参加したのは今回が初めてである。都市環境シンポジウムは、1982年フィラデルフィアで第1回目が開催されたがその後しばらく開催されず、2回目が1998年アルバカーキで開催された。その後ほぼ2年毎に開催されており、昨年と今年は連続して開催されている（第1表）。

今回は毎日午前中の2時間4題ほど都市環境シンポジウムと沿岸大気・海洋予測とプロセス会議の合同で plenary セッションを行い、その後合同の、あるいは単独で分かれたセッションを行った。セッション概要を第2表に示す。

期間中2日めの昼にはランチョンセミナーと都市大気関連研究ですぐれた業績をあげた個人・チームに2006年から米国気象学会から授与されることとなった Landsberg 賞を米国気象学会都市環境委員会（AMS Board of the Urban Environment）委員長の Petra Klein（オクラホマ大）から Tim Oke（プリティッシュ・コロンビア大）に授与するセレモニーがあった。

日本からの参加者は私を除くと皆若い人たちであり、9名が都市環境シンポジウムへの参加、また1名が沿岸大気・海洋予測とプロセス会議で招待講演を行った。またヨーロッパからの参加者も招待講演を中心にかなりあった。都市環境シンポジウムから見て、沿岸環境分野と合同で会議を行う意味は、海岸付近に立地・発展する都市環境に対する海や河川の寄与をど

第1表 米国気象学会都市環境シンポジウム開催経過。

回数	開催年	開催地	共同開催
第1回	1982	Philadelphia	
第2回	1998	Albuquerque	Ag. and Forest Met. Biometeorology and Aerobiology
第3回	2000	Davis	Ag. and Forest Met. Biometeorology and Aerobiology
第4回	2002	Norfolk	Ag. and Forest Met. Applications of Air Pollution
第5回	2004	Vancouver (カナダ)	Ag. and Forest Met. Applications of Air Pollution
第6回	2006	Atlanta	AMS Annual Meeting

*1 Report on the Seventh Symposium on the Urban Environment and the Seventh Conference on Coastal Atmospheric and Oceanic Prediction.

*2 Hiroaki KONDO, 産業技術総合研究所.

*3 Atsushi INAGAKI, 東京工業大学.

*4 Tomohiko IHARA, 産業技術総合研究所.

*5 Ryoza OOKA, 東京大学生産技術研究所.

*6 Ryoko ODA, 東京工業大学.

*7 Hong HUANG, 東京大学生産技術研究所.

*8 Keiko TAKAHASHI, 海洋研究開発機構.

*9 Hideki TAKEBAYASHI, 神戸大学.

*10 Takashi TSUCHIYA, 東京大学大学院工学系研究科.

第2表 会議で開催されたセッション。

合同セッション	
<ul style="list-style-type: none"> ・気象・気候・大気質の分野における沿岸-都市の相互作用と脆弱性 ・都市・沿岸気候の特性化：温度層・境界層の構造および大気応答 ・先進的なモデルの性能 ・都市沿岸地帯の観測と予測 ・都市-沿岸地域の緊急対応と大気質のためのモデリング ・沿岸・都市の拡散と大気質 	
沿岸大気・海洋予測とプロセス会議	都市環境シンポジウム
<ul style="list-style-type: none"> ・海岸域におけるモデルの可能性と手法の進展 ・米国西海岸におけるモデルの可能性と手法の進展 ・沿岸海洋と大気予測システム ・沿岸海洋と大気の観測と解析 	<ul style="list-style-type: none"> ・人間環境，都市気候，都市計画および生物気象 ・熱収支，水収支および人工排熱 ・先進的な都市気象モデル ・National Urban Database and Portal Tools (NUDAPT) ・都市沿岸環境の観測と計測 ・都市乱流と境界層 ・都市大気質と拡散 ・マイクロスケールモデルと物理模型によるモデル
ポスターセッション	

う考えるかという点にある。そういう意味では海風や海面・河川水の温度の影響がどう都市環境に現れるかという観点の発表が主に plenary の講演を中心になされたが、詳細な考察はまだ始まったばかりである。そんな中で海風の数値的研究の草分けである M. A. Estoque (フィリピン) の講演があり、個人的には彼がまだ現役で研究を続けていることに感銘を受けた。

以下の報告にもあるが、過去、日本以外ではあまりやられてこなかった数値モデルを用いて都市環境を扱う研究がここ2年間で急速に欧米で盛んになってきている。またそれらのモデルをどのような場面で応用すべきかというコンセプトも明確であり(目的のため精度的にはある程度目をつむっているところもある。), そのために必要なデータの収集や都市域内における大規模実験も実施されてきている。このような欧米側(今や韓国・中国・香港等も巻き込んできている)の目標を定めたときの研究と連携のスピードの速さをいつも感じる。(近藤裕昭)

2. 数値モデルの深化と Urban Campaign について

AMS は毎年数多くの会議を開催しているが、都市環境に関連した気象をテーマとする都市環境シンポジウムは1~2年に1回程度の頻度で開催されている。井原は、昨年 Atlanta で開催された第6回には参加しなかったが、2005年に Vancouver で開催された第5回シンポジウム(5 Urban)に参加し、太陽熱高反

射塗料のもたらす CO₂排出削減効果について発表した。

第7回となる今回は(7 Urban), 5 Urbanと比較して参加者数はだいぶ少なく感じられたが、5 Urbanは4会議の併催であり、また今回は8月ではなく9月の開催となったためであろう(9月の場合、夏季休暇が終了している場合があり、また他の学会・会議の開催期間と重なってしまう可能性もある)。

井原はヒートアイランド対策のライフサイクル CO₂評価について発表したが、共同研究者である明星大の亀卦川が次世代気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting model) と都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデル AIST-CMBEM との単方向接続モデルの性能について発表したほか、近藤が合同セッションにて海風~沿岸~都市環境の気象について招待講演を行った。

一連の発表で、特に興味深かった発表は、都市気象モデルの深化と Urban Campaign である。以下、両者について概略を紹介する。

前者に関連して興味を惹かれたのは、地表面パラメータを中心としてさまざまな都市の情報をデータベース化する研究である(National Urban Database and Portal Tools; NUDAPT)。多くの発表があり、NUDAPT プロジェクトはそれひとつで1セッションを占めるほどであった。現段階ではツールの開発や簡単な解析にとどまっていたが、今後、気象モデルと連携していくものとみられる。また、今回は直接の関連

は見られなかったが、マルチスケールモデルの開発やビルエネルギー評価モデルの開発に関する話題提供もあった。特に、ビル内で使用されるエネルギーを屋外での気象と連成させて解くビルエネルギー評価モデル(BEM)は、これまで国外ではほとんど研究されていなかったテーマである。

前者の都市情報の研究(NUDAPT)と後者のモデル開発の研究の連携は今のところ見られないが、両者を結びつければ、都市におけるヒートアイランド対策をこれまでよりはるかに戦略的に研究できるであろう。5 Urbanではヒートアイランド関連は日本の研究者の独壇場であるように感じられたが、今回は、2003年のバリなど欧米各地で熱波による死者が数多く出ていることを受け、欧米の各研究チームは共同してグループを構成した上で、問題解決のために大々的に研究を進めているような感を受けた。これに対し、現状の国内ヒートアイランド研究は依然として個人ベースの研究にとどまっており、研究速度の遅さが気になった。エアコンが広く普及している日本では、都市住民が暑さによって直接死亡する事例は欧米と比較して桁違いに小さいが、暑さによって住民が間接的に受ける被害は決して小さくないため、欧米のようにもっと大々的に研究を進める必要があるのではないだろうかと思った。

後者のUrban Campaignは、5 Urbanで話題となった大規模都市気象観測プロジェクトである。明らかに示されていないが、いずれもおそらく9.11を受けたもので、多額の研究資金が提供されている模様であった。5 Urbanでは計画のみの発表であったが、今回は実際に観測した上での結果の発表があった。またかなり大がかりな拡散実験もされていた。ただ、それらをモデルの高精度化にはつなげていない印象を受けた。

今回の井原の発表は、現在のAMSではまだ関心外の領域に属すると考えられ、並行セッションに多くの参加者が流れた上、会場からは対策コストの評価に関する質問が出た程度で、反応はそれほど良くはなかった。しかし、実際にヒートアイランド対策を導入するには、地球温暖化への影響も考慮せざるを得ないため、近いうちに大きな関心と呼ぶと思われる。それまで、精力的に今の研究を進めていくとともに、他の研究チームとも連携して、研究速度をより一層向上させたい。(井原智彦)

3. シミュレーション領域の拡大、観測技術の進歩

9月10日の都市気候のポスターセッションでは、主に都市キャノピーモデル、エネルギーバランスモデル、観測ネットワーク、観測手法についての研究が数多く見られた。都市キャノピーモデル、エネルギーバランスモデルについての研究は、風洞実験による検討やシミュレーションに組み込むための新たなモデルの開発という研究が盛んになされていた。

風洞実験による研究では、街区形状と風のパターンの関係に関して多くのデータが報告された。建物高さの違いが風のパターンに与える影響に関する研究がサンパウロ大学のAlessandra Rodrigues Prataによってなされ、シミュレーションの結果と合わせて報告された。同様に、建物高さを増減させた街区や通減させた街区形状についてユタ大学のBhagirath Addepalliらが風洞とPIV(Particle Image Velocimetry)を用いた実験を行い、CFD(Computational Fluid Dynamics 数値流体力学)コードや拡散モデルの評価に利用できるデータを示した。

また、シミュレーションにおいても都市のモデルを組み込み、評価する研究が盛んになされており、エネルギーバランスを用いて評価しているものが多い。ブリティッシュ・コロンビア大学のE. Scott KravynhoffらによるMicro-scale urban energy balance model(TUF-3D)や、フランス国立気象研究センターのAude LemonsuらによるTown Energy Balance Modelの組み込みなど様々なエネルギーバランスモデルが提案、開発されている。E. Scott Kravynhoffらの研究は、sensor-view modelと連成させ、都市形状の不規則さの影響に注目している。Aude Lemonsuらの研究では、それらのモデルとMontreal Urban Snow Experiment(MUSE)などの実測値が比較され、積雪の深さなどの特徴まで予測している等興味深い報告があった。CIEMATのFrancisco Salamacaは、建物と都市気候の双方向影響に注目し、Building Energy Model(BEM)をメソスケールのUrban Canopy Parameterization(UCP)に組み込んだ新しいモデルの開発を行っている。また、ウエストオンタリオ大学のJames A. Voogtらは、TEB-ISBA(Interactions Soil-Biosphere-Atmosphere)モデルを使い、更に過去のデータとMUSEによる観測値と比較検討している。この研究はThe Environmental Prediction in Canadian Cities(EPiCC) Networkという複数の大学によるもので、シミュレーション、実

測およびリモートセンシングを含んだプロジェクトである。

観測に関しては、米国海洋大気庁(NOAA)のChristoph A. VogelによるURbaNetプロジェクト内の高密度気候観測や、NOAAのWilliam R. Pendergrassらによる民間と国による2つの気象観測データをカップリングしたものなどが見られた。どちらも観測技術が高密度、高精度へと急激に進んでいることを感じさせた。

今回の会議では特に観測データに関しては複数の組織が共同でプロジェクトを行い、大きな成果を上げているように感じられた。シミュレーションでは多くのモデルの連成、データの組みに対して急激に進歩している勢いを肌で感じる事ができた。

(土屋貴史・大岡龍三)

4. 第7回都市環境シンポジウムの参加報告・感想 (都市乱流と境界層セッション)

今回の国際会議において、特に印象に残ったセッションである「都市乱流と境界層(Urban Turbulence and Boundary Layers)」についての感想を述べさせていただきます。ここでは主に都市内部におけるスカラーのディスページョンに関する研究について発表が行われました。都市キャノピー内の流れ場は近傍建物の直接的影響を受けるため非常に複雑で取り扱いが困難ですが、本セッションの発表ではその基礎過程に重点をおいた研究がいくつか見られました。

Hannaらの「Similarity relations seen in Manhattan turbulence observations」では、これまでの様々な都市観測で得られた、都市建物近傍における時間平均乱流統計量の比較について発表が行われました。上記の通り建物近傍の乱流場は非常に強い局所性を持っていますが、この研究では多数の観測データをコンポジットすることで、複雑な流れ場に内在する普遍的な性質について検討がなされていました。結果として、拡散過程を決定する風速変動の標準偏差が都市建物形態に依らず、大方近い値を持つことが指摘されました。ただ、その物理過程については今のところ不明とのことでした。

Cocealらによる「A conceptual model of turbulent dynamics over groups of buildings」ではDNS(Direct Numerical Simulation 直接数値シミュレーション)を用いた数値解析により、都市建物に見立てた立方体キャノピー群周りの流れについて検討が行わ

れていました。DNSであるためレイノルズ数や計算領域が小さいものの、時間平均的な流れ場は風洞実験結果と非常によく合っており、さらに、地面に並べられた立方体から平板乱流境界層に見られるようなヘアピン渦が発生し、それが立方体キャノピー内外の乱流輸送過程に影響しようといった発表内容でした。

以上2つの発表は共に都市内部の乱流輸送過程解明を目的としたものですが、前者は非常に複雑な条件下から、後者は極端に単純化された条件下から、その本質的・普遍的性質について検討している点について興味深く感じました。

他に、Mayorらによる「Elastic backscatter lidar observations of a gust front passage over Washington DC on 7 May 2004」では、コヒーレントドップラーライダーを用いたガストフロントの水平分布計測について発表が行われました。今回の発表では主に観測手法の説明が主でしたが、鮮明に可視化された大気乱流場が非常に印象的でした。このドップラーライダーやDNSといった、都市大気乱流研究としては新しくかつ強力な道具が用いられ始めたことも強く実感いたしました。

(稲垣厚至)

5. 第7回都市環境シンポジウムに参加して(ポスターセッション)

私は2日目のポスターセッションにおいて発表致しました。1日目、2日目の18時~20時まで立食形式の簡単な食事と飲み物を取りながらリラックスした雰囲気でのポスターセッションでした。

発表の内容は、建築の分野で盛んに研究が進められております屋上緑化、高反射率塗料、保水性舗装、人工排熱削減方策、などの種々のヒートアイランド対策技術の導入効果を簡易に評価する方法について検討したものです。建築の分野では、従来から屋根、壁、外構などにおける建材の技術、空調関係のシステムを含めた省エネルギー技術、などの個別の技術開発が大変熱心に行われています。しかし、その技術を導入した場合のヒートアイランド緩和効果の評価については、個々の技術開発者のレベルでは十分に行われておらず、特に異なる種類の技術間での比較が出来ていないというのが実情です。そこで本研究では、一般的にメソスケールの気象モデルを用いて検討される内容(最近では都市キャノピーモデルが組み込まれている)を、上空の気象条件に鉄塔での観測結果を直接用いることで、簡易に計算することを提案しました。もしこの簡

易計算法が導入されれば、建築分野で開発されている種々のヒートアイランド対策技術の導入効果の簡易評価が可能となり、更に良い技術の開発につながると思定しております。

ポスター発表では、外国の研究者の方が聞きに来て下さり、内容の隅々に至るまで熱心に質問して下さいました。また、都市キャノピーモデルの研究をしている若い研究者の方が、可能であれば自分の研究にも取り込みたいと言われていました。日本の研究者の方も質問して下さい、ポスターの内容に留まらず様々な情報交換をさせて頂きました。時間中はポスターの前に立っている必要があったため、他のポスターについて質問する機会が少なかったのですが、隣で発表されていた韓国ソウルの都市再開発の事例に関して、測定の様子やシミュレーションによる評価の可能性などについて意見交換をさせて頂きました。

会議中は口頭発表を聞いて勉強させて頂いたのですが、特にメソスケールモデルとCFDモデルの接合に関する発表が多かったという印象を受けました。発表時間の関係で接合の際の詳細までは表現されていなかったように思いますが、この内容に関して、都市キャノピーモデルの組み込み、適切なパラメータの設定、そのためのデータベースの整備などの課題について指摘されておりました。（竹林英樹）

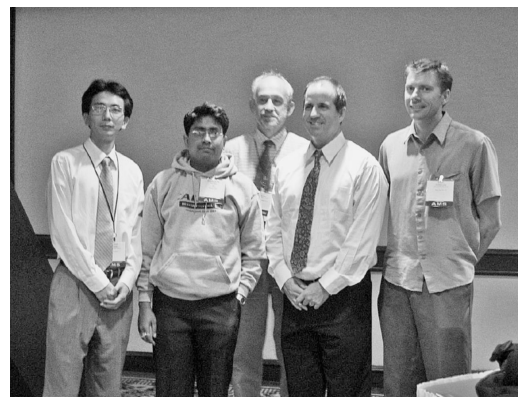
6. 第7回都市環境シンポジウムに参加して（都市大気質と拡散セッション）

AMS主催の国際会議に参加するのが今回は3回目であり、主にテロ対策に係わるEmergency Response技術、マルチスケールモデルのネスティング技術、WRF/MM5の最新開発動向等に興味を持って聴講した。

まず、筆者（黄）が発表したセッション（都市大気質と拡散：Session 14 Urban Air Quality and Dispersion Studies III）であるが、会議の最後のセッションであり、筆者の他に、Dr. Michael J. Brown (LANL, Los Alamos National Laboratory) の研究グループから2件の発表とMr. Payra (Indian Institute of Technology Delhi) の発表があった（第1図）。Dr. Michael J. Brownはテロ対策や市街地における危険物質拡散に関する研究に携わっており、汚染ガス拡散を素早く計算できるQUICモデル (Quick Urban and Industrial Complex dispersion modeling system) を開発したことで知られている。LANL,

University of Utahをはじめ、ソフト会社等とも共同して、できるだけリアルタイムで汚染質を予測する手法に取り込んでいる。今回、An operational event reconstruction tool used with biological agent collectors for source inversion applicationsを題として、時間逆解析による危険物質発生源と発生強度を予測する手法を紹介した。早く発生源を探知するため、計算コストの小さいGaussianモデルを使い、リアルタイムで観測した風速場を逆転させ、濃度逆解析を行っている。同グループのもう1件はDr. Eric R. Pardyjak (University of Utah) のUsing video gaming technology to achieve low-cost speed up of emergency response urban dispersion simulationsであった。この研究は、CPUの代わりに、グラフィックスプロセッサGPU (Graphics Processing Unit) を利用し、汚染質拡散計算を実行し、計算スピードはCPUより180倍も速い結果になり、さらにGPUを利用すると、リアルタイムの可視化にメリットがあり、GPUによる科学計算の可能性を示した。同グループからは、他にも、汚染物質拡散に関して10件ほどの発表があり、組織的で盛んに研究を行っているとの印象を強く受けた。

米国大気研究センター (NCAR) の一つの動きとして、Pentagon Shield Systemの開発についてDr. Thomas T. Warner (NCAR) により紹介された。これはPentagonをテロから防ぐため開発された危険物質拡散予測システムであり、AMSのBulletin (Warner *et al.* 2007) にも掲載され注目されているプロジェクトである。予測計算はマルチスケールモデル



第1図 右からDr. Pardyjak, Dr. Brown, Dr. Hanna, Mr. Payra, 筆者（黄）。

のネスティングにより実現され、モデルはMM5→VDRAS (four-dimensional Variational Doppler Radar Assimilation System)→VLAS (Variational Lidar Assimilation System)→CFDとなっている。

また、話題になっているWRFの開発状況について、Land Surface Modelの開発を担当しているDr. Fei Chen (NCAR)に伺った。WRFの開発に関して、キャノピーモデルの開発はほぼ終わり、現在はCFDやNOAAが開発中の都市データベースシステム(NUDAPT)との連携などが進められているとのことであった。

最後に、今回の学会に参加し、アメリカでは組織的に研究を行っていることが印象に残り、さらに、いつものことではあるが、英語力の一層の研鑽が重要であると感じた。(黄 弘)

7. 沿岸域の海洋と大気の子測システム

筆者が招待講演として発表させていただいたセッションは、局所的/高解像度のシミュレーションをもとにして、沿岸域における海洋大気の大気熱的差異に起因する循環が内陸大気循環場に与える影響評価はもちろん、レーダー観測などの電波伝搬に与える影響の評価にまで応用するような発表もあり、大変興味深いものであった。用いられているモデルは、COAMPS (The Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System)やWRFなど、広く用いられているモデルが多く、実際に現業で用いられているバージョンと初期値は実際に現業で使われているものが使用されていた。

Peter C. Chuらは亜熱帯やモンスーンの影響を強く受けるホルムズ海峡(SOH)の流れのパターンを、1way大気海洋結合モデルを用いて解析した。流動パターンと渦の生起パターンとの生起時期の一致性を解析しており、渦の有無がより大域的な流動パターンと関連していることを示唆していた。Don Mortonらは、ネスティングしたWRFを用いて、ポーフォート海とその隣接した陸面領域の強風事例についてのシミュレーション結果を紹介した。Robert E. Marshallは、The Wallops 2000 Microwave Propagation Measurement Experimentという観測プロジェクトで、対流上部の乾いた大気が水蒸気勾配を急速に変化させて形成されるダクト(大気中の超屈折)が、無線周波数システムに影響を与える可能性が示唆されたことに関連し、2005年6月にCalifornia Baja Sur周辺

領域において、実際に航海観測を3日間行い、海陸風の存在と大気境界層の厚さについて解析した結果を報告した。その解析結果は、陸風がある期間においてもダクトが形成され、昼夜を問わず船舶レーダーの電波がその影響を受けている可能性があることを示唆していた。Venkata Srinivas Challa, L.らは、ミシシッピ-Gulfcoast地域に対して、海陸風のメソ規模シミュレーションを高解像度ネスティングによって実施し、沿岸域由来の大気循環が内陸の広範囲に影響を及ぼす可能性を示し、沿岸域の大気汚染が内陸まで及ぶことを示唆していた。高橋らは、都市スケールのモデルとメソスケールあるいはより時空間の大きなスケールとの大気海洋結合モデルによるシミュレーションの可能性について紹介した。沿岸域においても、大気海洋相互作用のみならず、気候変動に伴って沿岸域においてどのような変化を受けるかについては、発表終了後も多くの質問を受け他の研究者の関心が非常に高いことを感じた。セッション発表内容からもわかるように、事例ごとの研究が多いのは、シミュレーションのコストの高さや応用・適用範囲が広範であることから否めないが、沿岸域の大気海洋相互作用、循環特性に関してのさらに知見を統合できるようなアプローチの探索の必要性も痛感した。(高橋桂子)

8. 沿岸域に発展する都市の大気環境問題

筆者は今回が初めての海外口頭発表で、いささか緊張していた部分もあり、会議の様子を十分に把握できたとは言えないが、自分が興味を持った講演および感想を中心に報告したいと思う。筆者が講演した「都市沿岸環境の観測と計測 (Observing and Monitoring the Urban-Coastal Environment)」セッションでは、主に都市大気への物質拡散に関する報告が多かった。Qian (University of California Riverside)は海岸沿いから放出させたスカラー物質濃度観測値の大気汚染モデル(TAPM)における再現性を検証し、放出時の浮力を考慮しない場合は比較的良い結果を示すが、考慮した場合は熱的内部境界層高度の予測が不的確であり十分な精度が得られないことを報告した。Flaherty (Pacific Northwest National Laboratory)は高層ビルが立ち並ぶManhattanにおける浮遊物質の拡散観測実験を行い、複雑な都市形状であることによって、拡散領域が放出地点よりも風上側を含む地点にまで拡大することを示し、また、Barlow (University of Reading)はロンドン中心部における観測およ

びモデル結果から、交差点部における上昇流の発生機構など都市域内での複雑な乱流挙動を考察した。都市活動の活発化に伴う汚染物質の広がり、また事件・事故の両面からも、都市に拡散する物質の状況を把握することは非常に重要であり、現在の主要なテーマのひとつであることが本セッションでも確認された。

また今回は「都市環境シンポジウムと沿岸大気・海洋予測とプロセス会議の共同開催」ということであり、沿岸域に発達する都市の大気環境に着目した研究報告もいくつかなされた。同セッション内で、小田（東京工業大学）は現地観測により得られた東京湾の海表面温度（SST）変化をメソ気象モデルに導入することで都市の気温に及ぼす影響を考察し、都市気象スケールの大気問題では正しい SST 変化を考慮することが重要であることを示唆し、同様にジョイントセッションにおいて Calmet (Laboratoire de Mécanique des Fluides) が沿岸域の SST と土壤水分

量が都市気象モデル入力パラメータの鍵となることを、地中海沿岸都市を対象とした観測および LES (Large Eddy Simulation) 結果から報告した。都市化による都市域内の複雑な乱流特性を把握することに加え、沿岸部に多くの大都市が存在するという事実から沿岸域の特性を正しく考慮することの重要性が指摘された。
(小田僚子)

参 考 文 献

- Warner, T., P. Benda, S. Swerdlin, J. Kniewel, E. Armenta, B. Aronian, B. Balsley, J. Bowers, R. Carter, P. Clark, K. Clawson, J. Copeland, A. Crook, R. Frehlich, M. Jensen, Y. Liu, S. Mayor, Y. Meillier, B. Morley, R. Sharman, S. Spuler, D. Storzold, J. Sun, J. Weil, M. Xu, A. Yates and Y. Zhang, 2007: The Pentagon Shield Field Program; Toward critical infrastructure protection. Bull. Amer. Meteor. Soc., **88**, 167-176.