

## 第10回統計気候学国際会議 (10IMSC) 参加報告\*

藤部文昭\*<sup>1</sup>・高橋清利\*<sup>2</sup>・石原幸司\*<sup>3</sup>  
野沢徹\*<sup>4</sup>・塩竈秀夫\*<sup>5</sup>

### 1. 会議の概要

統計気候学国際会議 (International Meetings on Statistical Climatology = IMSC, <http://ccma.seos.uvic.ca/imsc/>) は、1979年に国際統計学会 (International Statistical Institute, ISI) 第42回大会のサテライト会議として日本 (八王子) で開かれたのが始まりであり、現在はほぼ3年ごとに開かれている。第10回会議 (10th International Meeting on Statistical Climatology, <http://imsc.iap.ac.cn/10imsc/>) は、中国科学院大気物理研究所とIMSC推進委員会 (Steering Committee) の運営により、2007年8月20日~24日に北京友誼賓館で開催された。友誼賓館は33.5 haの敷地に8つの建物を持つホテル兼イベント会場であり、IMSCの他にもいくつかの催しが行われていた。なお会場に掲示された中国語の会議名は「国際統計気候学会議」だった。

会議は招待セッション (18件)、アメリカ気象学会特別セッション (4件)、一般口頭セッション (101件)、ポスターセッション (47件; 第1図) から成り、



第1図 ポスターセッション会場 (8月22日)。

講演総数は事前に配られたプログラムによれば170件だった。ただし実際にはキャンセルや変更があり、ポスターのキャンセルは3割を超えた。セッションによっては、出席者が十数人しかいないこともあった。

以下は主なセッション名である。

Climate change detection and attribution/気候変化の検出と原因特定  
Climate data homogenization and climate trend/variability assessment/気候データの均質化と気候トレンド・変動の解析  
Climate extremes/極端な気象現象  
Climate reconstruction/気候復元  
Downscaling/ダウンスケーリング  
ENSO and monsoon/ENSO とモンスーン  
Forecast/気候予報  
Regional studies/地域研究  
Simulation tools for weather generation and risk assessment/weather generation とリスク評価の

\* Report of the 10th International Meeting on Statistical Climatology.

\*<sup>1</sup> Fumiaki FUJIBE, 気象研究所,  
ffujibe@mri-jma.go.jp

\*<sup>2</sup> Kiyotoshi TAKAHASHI, 気象研究所,  
ktakahas@mri-jma.go.jp

\*<sup>3</sup> Koji ISHIHARA, 気象研究所,  
kishihar@mri-jma.go.jp

\*<sup>4</sup> Toru NOZAWA, 国立環境研究所,  
nozawa@nies.go.jp

\*<sup>5</sup> Hideo SHIOGAMA, 国立環境研究所,  
shiogama.hideo@nies.go.jp

© 2008 日本気象学会

シミュレーションツール (weather generation) は、気候データに基づいて日々の天気状態の模擬的なデータを作ること)

Spatial patterns of climate/気候の空間パターン

参加者の多くは欧米の研究機関に所属する人であり、中国系の名前でも欧米から来た人が目立った。「自分は気候学者 (climatologist) ではなく、統計の専門家だ」という人もいたが、気候の研究で活躍してきた人も多く、Zwiers (CCCma) のように名を知られた人もいた。日本からは5人が参加し、うち気象研究所の3人 (藤部、高橋、石原) は気候データの解析に関連した研究を、国立環境研究所の2人 (野沢、塩竈) は気候予測に関する研究を発表した。

各講演の要旨とスライド資料はIMSCのホームページに掲載されている (<http://cccma.seos.utoronto.ca/imsc/proceedings.shtml>; 過去の大会の資料も掲載)。次の会議は2010年にスコットランドで開かれる。

以下、会議の内容を若干の感想を交えて報告する。なお、鈴木 (1980)、岡本 (1984)、田中・北川 (1992) が、それぞれ第1回、第2回、第5回会議について報告している。

## 2. 解析の方法論に関する議論

会議全体を通じて、気候変動の解析手法やアプローチのあり方など、研究の方法論に関する発表が多かった。具体的な手法としては主成分分析に類する相関解析が目についたが、複数の手法を取り上げてそれぞれの得失を論ずる (その上で、ある手法を推奨する) という姿勢は多くの発表に共通していた。

Bürger (ベルリン自由大学) は“Significant noise (有意なノイズ)”と題する招待講演で、ノイズの長周期変動が卓越する場合 (桃色雑音、褐色雑音) には真の気候変動とノイズの見分けが非常に難しいケースがあることを、hockey stick debate (代替データから推定される過去1000年間の気温が、緩やかな下降に続いて20世紀に急上昇したという解析結果の真偽に関する論争) を題材にして指摘した。

Katz (NCAR) は、極値統計で時々使われる bootstrap 法は観測された最大値を超える値が出ないため、裾野の大きい (heavy tail) 確率分布には適しないことを指摘し、多くの極値分布に対応できる generalized linear modeling という解析ツールを紹介した。Smith (ノースカロライナ大学) は、空間分布

の統計 (spatial statistics) を加味した極値統計の方法をレビューし、一般化極値分布 (GEV=generalized extreme value distribution) のパラメーターの変動を最尤法で求め、アメリカの降水極値の25年再現値を推定した結果を示した。しかし、極値統計手法を取り上げた発表は少なく、最近日本で時々使われる L-moments の話はなかった。

Livezey (NOAA) は、30年間の平均値を10年ごとに更新するという現在の平年値が、急激な気候変動によって現在気候の代表性を持たなくなり、社会における計画や政策立案における有用性を失っていることを指摘した上で、過去データに1次トレンドを当てはめて得られる外挿値の利用を推奨した。Peng (NOAA) も、平年値は“もはや有効ではない (no longer valid)”として、過去10年程度のデータに基づく optimal climate normals (OCN) の活用を提案していた。これらは、気候変化が進む中で社会が求める“気候値”とはどうあるべきか、広い視点から考えていく必要性を示す問題提起だった。

このほか、観測点の分布が一樣でないときに、どうすれば空間代表性のある情報を得るかという問題や、データを古い時代まで遡るほど使える地点数が減ることへの対応などが論じられた。Wolter (NOAA) は、コロラド州の気温変動の研究発表の中で、複雑な地形のもとでは気候変動の空間的的代表性が悪いと、地域代表的な変動を捉えるためには地形の単純な地域よりもたくさんの地点が必要になることを論じた。これは、同じく地形の複雑な日本の気候研究にとって示唆に富む指摘だった。

## 3. データの構築・利用に関する研究

“Climate data homogenization and climate trend/variability assessment (気候データの均質化と気候トレンド・変動の解析)”のセッションでは、観測体制の変遷によるデータの不均質への対応が1つのテーマになった。具体的な問題は、観測所の移転、測器の変更、観測方法や時刻の変更、立地条件の変化などであり、それらを統計手法を駆使して処理しようとする発表が何件もあった。また、観測体制の変遷を記録したメタ情報が欠けている場合に、データの時系列から不連続を検出して移転等を推定する方法を紹介した研究もあった。

Kapala (ボン大学) はドイツの日降水量データのデジタル化 (data rescue) を紹介した。ドイツで

は19世紀末以降1000地点以上の観測データがあり、そのデジタル化を気象局で2年前から進め、すでにかかなりの部分を終えたとのことだった。藤部ほか(2007)も日本の区内観測による日降水量データのデジタル化を行っているところであるが、地点の位置や移転、測器の変更などのメタ情報の不足や、データ自体の不完全さなど、区内観測データを扱う際に出会うものと同様の障害がドイツでもあり、それらについてはできる範囲で対応しているとの話だった。

また、Hao (中国科学院地理科学及び自然資源研究所)は、清朝時代に、皇帝への報告文書の中に記述されていた長江流域での降水記録を用いて、1736年以降のMeiyu (梅雨) 期間、東アジアモンスーンの長期的な変化を再現したことを報告した。このMeiyu期間の長期的な変化の理解は、今後の日本における梅雨期の長期的な気候変化の把握に役立つものと考えられる。

#### 4. 気候モデルを利用した解析：長期気候変化の検出

気候変動の実態解析のためにモデルを利用した研究が多かったのも、今会議の特徴である。例えば、“Climate change detection and attribution (気候変化の検出と原因特定)”のセッションにおいては、いわゆるWCRP CMIP3 (Meehl *et al.* 2007) と呼ばれる複数モデルの計算結果を観測データと突き合わせて気候変化を検出し、その原因を特定しようとするものが主流だった。

産業革命以降の地上気温変化については、大陸規模での気候変化シグナルの検出および原因特定の研究発表が大半を占めた。Stone (オックスフォード大学)は、自然要因のみを考慮した場合と自然+人為要因の両方を考慮した場合の20世紀再現実験結果から、各大陸で平均した地上気温の経年変化を観測データと共に示し、20世紀後半には、南極を除く地球上のすべての大陸において、人間活動に起因する温暖化シグナルが検出されることを報告した。陸域降水量に関しては、Zhang (CCCma) が観測データと複数モデルの計算結果とを統計的に比較し、20世紀の観測データに見られる北半球高緯度域と南半球熱帯～亜熱帯域の降水増加、および北半球熱帯～亜熱帯域の降水減少傾向は、いずれも人間活動に起因する変化であることを報告した。Wang (CCCma) は、海面気圧の観測データと複数モデルの計算結果を用いて、人間活動により、過

去50年間で北半球冬季の北大西洋北東部における低気圧活動度が増加し、その南側では減少していると示唆されることを報告した。ただし、モデルに見られるシグナルが観測の数分の1以下と著しく小さく、現状の気候モデルを用いた原因特定研究の限界を垣間見た気がした。

#### 5. 気候モデルを利用した解析：極端な気象現象

気候モデルを活用した研究は、“Climate extremes (極端な気象現象)”のセッションにおいても多く見られた。

Pall (オックスフォード大学)はProbabilistic Event Attribution (PEA) を使って2000年のイングランド・ウェールズ豪雨に対する気候変動の影響を見積もった結果を紹介した。PEAとは、気候変動要因(例えばCO<sub>2</sub>増加)を与えた場合と与えない場合についてそれぞれアンサンブル実験を行い、その現象の再現確率に対する気候変動の影響を評価する方法である。イングランド・ウェールズ豪雨については、「気候変動(近年の温暖化)と海面水温の変動が、その生起確率を高める」という結論だった。

2003年のヨーロッパ熱波については、すでにPEAによる研究例があるが、Hanlon (オックスフォード大学)は分解能を高めたモデルによる再評価を行い、人為的な気候変化が熱波発生のリスクを「少なくとも倍増させた」と報告した。日本でも会議の前の週に歴代の記録を更新する高温が観測され、熱中症のため10人を超える死者が出たところであり、夏の極端な高温を人命に関わる気象災害という観点から捉えて研究を進めていく必要性が感じられた。

また、Booら(韓国気象研究所)は地域気候モデルを用いた韓国の温暖化予測実験結果を紹介し、極端な降水現象の発現頻度が過去と同様に将来も高まる可能性があることを指摘していた。

#### 6. 気候変動予測の不確実性研究

不確実性を伴う気候変動予測に基づいて、温暖化緩和策や適応策などの政策決定を行っていくためには、確率的予測が必要である(Palmer and Räisänen 2002)。そのため、複数モデルの予測結果を統合して、どのように予測の確率分布を求めるかが、今回の会議の重要なテーマになった。

この問題に関して、ベイズ統計を用いた取り組みがいくつか報告された。ベイズ統計では、複数モデルの

予測は真の気候変化を中心としたある母集団から偶然得られたサンプルであると捉え、さらに観測とモデルの比較を行うことで予測の確率分布を求める。Forest (マサチューセッツ工科大学) は、全球平均気温や海面水位の変化の確率予測を行い、用いる観測データ同士が独立であるかの検討が非常に重要であると指摘した。Knutti (スイス連邦工科大学) は、今後20-30年より後では予測の平均とばらつきの比が一定になるという興味深い性質を示した。Tebaldi (NCAR) は、ベイズ統計を用いた大陸規模での確率的予測手法を紹介した。一方、Stone (オックスフォード大学) は、ベイズ統計による確率予測が事前確率分布の仮定に敏感であることを批判し、事前確率分布を必要としない「気候変動の最適指紋法 (optimal fingerprinting)」を用いる方法の優位性を主張した。

会議の中でたびたび指摘されていたことだが、現時点では、どの確率的予測手法がより良いかに関して一致した意見は得られていない。特に問題なのは、確率的予測手法の成績を評価する方法自体が確立されていないことだ。この「確率予測手法の評価手法」は、今後数年間に大きな発展が望まれる課題だと感じた。

## 7. ダウンスケーリング

ダウンスケーリング研究でも、不確実性をどのように評価するかが大きなテーマとなっていた。Bachner (ボン大学) は、ダウンスケーリングに用いる領域気候モデルのパラメタリゼーションを取り替えることで発生する不確実性を調べた。特に対流スキームを取り替えた場合の不確実性が大きい。複数のスキームを用いた結果を平均することで、よりよい結果を得られる場合があることを示した。統計的ダウンスケーリングに関しても、複数の手法を比較して、手法による予測の差を求め、どの方法がより良いかの検討を行う研究が多かった。例えば、Huth (チェコ大気物理研究所) は、線形な統計ダウンスケール方法と非線形なニューラルネットワーク法を用いてヨーロッパ各地の気温を再現した場合の成績を比較し、線形な方法の成績が全般的によいことを示した。

## 8. 感想

統計解析の方法論やデータの均質性の問題が、日本の気象学会で踏み込んで議論されることはなかなかないことである。これらを気候研究に関わる重要なテーマとして捉え、正面から議論する会議の様子は新鮮

だった。講演の中味自体は筆者の不勉強でついていけない部分が多々あったが、統計気候学に取り組む姿勢には教えられることが多かった。気候研究にとってモデルの重要性が増していることは、逆に考えれば、モデルの計算結果を生かす上で統計的なアプローチの役割が大きいということでもある。統計と気候の双方に深い洞察を持ちつつ、優れた手法を構築していくことが課題であると感じた。藤部自身は、“Climate change detection and attribution” のセッションで、日本の気温変化における都市化の影響評価について発表した。統計手法は単純なもので、研究の方法論に重点を置いた他の発表とは異質だったが、都市気候になじみの薄い人からは新鮮に見えたらしく、何人かから好意的な評価を頂いた。(藤部文昭)

石原は、会議3日目に“Global average surface temperature anomalies with COBE-SST”との演題でポスター発表を行った。地球温暖化の進行の程度を知るためには、全球平均気温の監視が不可欠なことから、気象庁をはじめ世界複数の機関でルーチン的に行われている。今回の発表は、COBE-SST という日本独自の SST データを用いた気象庁による監視業務を紹介することと、最近取り組んでいた全球平均気温の不確実性 (サンプリング・エラー) の評価に関する研究成果を示すものであった。しかし、各発表者が自分のポスターを前にして、ゆっくり議論を交わすことがほとんど不可能なほどポスター会場が狭かったこともあり、全体的にポスター会場を訪れる参加者が少なかったのは残念であった。それでも中国科学院や韓国気象庁などからの参加者へは十分アピールすることができた。全球平均気温についての情報は、Tokyo Climate Center (TCC) のウェブサイト上でアジア各国に向けて提供していることから、特にアジア各国の研究者に紹介できたことは今後の気象庁の温暖化に関する業務としても有意義であったと思われる。

(石原幸司)

再解析データにおける極端な降水現象の再現についてポスター発表を行ったが、検証に用いたインド気象局作成の日グリッド降水量データについて尋ねられることが多く、信頼性の高い検証データが求められていることを感じた。再解析データそのものについては、R. Smith (ノースカロライナ大学) は特に降水量について、realistic ではないと講演で述べていたが、観点

によってはそのような評価も止むを得ないところであろう。これまで統計的手法についての話を聞く機会はあまりなかったのが、会議での議論は新鮮に感じられたが、予備知識不足ということの裏返しでもあり、今後統計的手法の利用を検討していく必要性を感じた。

(高橋清利)

気候変動の将来予測に関しては、不確実性をどのように定量化・削減するかが主要なテーマであった。政策決定のためには不確実性の定量化は必要不可欠であるが、日本の気象学会ではあまり議論されていない。今後、大きく発展させていくべき分野であろうと感じた。塩竈は、気温の極端現象に関して、20-30年後でも地球温暖化の影響が内部変動の不確実性よりも大きくなると発表した。Min (CCCma) とモデルによる不確実性に関する議論を行い、近未来予測に関しても様々な種類の不確実性を定量評価することが重要だという認識を得たことは有意義だった。(塩竈秀夫)

産業革命以降の気候変化シグナルの検出については、全球規模での地上気温に関する講演は皆無に等しく、もはや、全球規模の気温変化が人間活動の影響を受けていることは疑いようがなく、大陸～亜大陸規模での気候変化シグナルの検出および原因特定に焦点が移行していることを、強く印象付けられた。また、解析対象となる物理量の幅も広がっていると感じた。複数モデルの計算結果が比較的容易に入手可能となったことも、これらの大きな要因の1つであろう。また、不勉強にして詳細は理解できなかったが、天気予報や季節予報の検証に関連して、観測データとモデルの計算結果をいかに比較すべきか、といった講演などは大いに考えさせられ、大変有意義であった。(野沢 徹)

#### 謝 辞

会議への参加に当たり、藤部・高橋・石原は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (B) 「極端な気象現象の発生頻度とその長期変動に関する研究」(課

題番号18340145) の支出を、野沢は同じく基盤研究 (B) 「人為起源の温暖化シグナルの検出を目指した気候の長期内部変動に関する数値実験的研究」(課題番号18310016) の支出を受けた。塩竈は、環境省地球環境研究総合推進費 (S-5) より支援を受けた。

#### 略語一覧

CCCma : Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis カナダ気候センター  
 CMIP : Coupled Model Intercomparison Project 結合モデル相互比較プロジェクト  
 COBE : Centennial in-situ Observation Based Estimation of SST and marine meteorological variables 海上気象要素客観解析データベース  
 NCAR : National Center for Atmospheric Research 米国大気研究センター  
 NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration 米国海洋大気庁  
 WCRP : World Climate Research Program 世界気候研究計画

#### 参 考 文 献

藤部文昭, 松本 淳, 小林健二, 2007 : 区内観測による日降水量データのデジタル化と降水長期変動解析への利用. 日本気象学会予稿集, (92), D364.  
 Meehl, G. A., C. Covey, T. Delworth, M. Latif, B. McAvaney, J. F. B. Mitchell, R. J. Stouffer and K. E. Taylor, 2007 : The WCRP CMIP3 multimodel dataset : A new era in climate change research. Bull. Amer. Meteor. Soc., 88, 1383-1394.  
 岡本雅典, 1984 : 第2回統計気候学国際研究集会報告. 天気, 31, 673-677.  
 Palmer, T. N. and J. Räisänen, 2002 : Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. Nature, 415, 512-514.  
 鈴木栄一, 1980 : 統計気候学国際会議について. 天気, 27, 461-467.  
 田中 博, 北川源四郎, 1992 : 第5回統計気候学国際研究集会の報告. 天気, 39, 719-722.