

## 2007年度日本気象学会賞・藤原賞の各受賞者決まる

日本気象学会賞受賞者：杉 正人

(気象研究所予報研究部)

業績：全球数値予報モデルの開発とそれを用いた気候予測に関する研究

選定理由：

1950年代の終わりに始まった数値予報技術は、60-70年代にかけて実用化され、さらに80年代には、予報期間が10日程度まで延長されるなどの大きな進展があった。これらの発展は、計算機と数値計算技術の進歩、および大気物理学の成果を取り入れた物理過程のパラメタリゼーションの高度化によって支えられてきた。

杉氏は、1977年から89年まで、気象庁の電子計算室、数値予報課で全球数値予報モデルの開発に携わり、放射スキームの高精度化などを行った (Sugi *et al.*, 1990)。これらの改良により気象庁全球モデルが気候研究のための大循環モデルとしても十分な性能を持つようになり、その後の多くの季節予報研究や気候研究の推進に寄与した。杉氏の開発した高精度放射スキームは、気象庁の領域モデルにも用いられ、日本の数値予報の精度向上に寄与した。

杉氏は1989年に気象研究所に移り、また92年から96年には、防災科学技術研究所に出向し、数値予報モデルを用いた気候予測に関する研究に取り組んだ。1つは低分解能 (約300 km メッシュ) のモデルを用いた、アンサンブル長期積分による大気の状態平均場の予測可能性に関する数値実験による研究であり、もう1つは、高分解能 (約120 km メッシュ) のモデルによる、地球温暖化が台風など熱帯低気圧に及ぼす影響に関する実験である。

予測可能性の研究では、海面水温の変動で強制される予測可能な変動と、内部力学的な要因による予測不可能な変動とを分離して、両者の相対的な大きさを定量的に評価する方法によって、季節予報が原理的にどこまで可能かという問題に関して明確な答えを示した (Sugi *et al.*, 1995a, 1995b, 1997; Kar *et al.*, 1996, 1997, 2001)。この結果は、季節予報技術の発展の方向を示すガイドラインとして、気象庁の季節予報業務の基本的な考え方にも大きな影響を与えた (Kusunoki *et al.*, 2001; Nakaegawa *et al.*, 2003)。

一方、温暖化が台風に及ぼす影響に関する研究で

は、大気中の二酸化炭素が増えて地球の温暖化が進むと、台風 (熱帯低気圧) の発生数が減少する、また熱帯低気圧発生数の著しい減少にもかかわらずその最大強度は弱くならない、という実験結果を示した。その理由についての詳しい解析を行い、温暖化により熱帯大気の状態平均層が現在より安定になり、熱帯の循環が弱くなるのが、台風が減る理由として重要であることを示した。また大気放射冷却における二酸化炭素と水蒸気の吸収帯のオーバーラップの効果によって熱帯の循環を駆動する積雲対流による加熱 (降水) が少ししか増えない点も重要であることを指摘した (Sugi *et al.*, 2002; Sugi and Yoshimura, 2004; Yoshimura and Sugi, 2005; Yoshimura *et al.*, 2006)。これらは、地球温暖化の進行により台風発生は減るがその強度は弱くならない、ということを明確な理由とともに示したものとして、台風への温暖化影響の世界的な先駆研究となった。また、温帯低気圧については、地球温暖化時には中緯度の傾圧性が現在より小さくなるため、その活動が弱まることも示した (Gen and Sugi, 2003)。

2002年地球シミュレータの登場によって、超高解像度次世代気候モデルによる地球温暖化実験が行われるようになってきた。杉氏は地球シミュレータ計画等の次世代気候モデルの開発研究の推進にも大きく貢献している。杉氏による上記先駆的研究での指摘は、気象研究所を初めとする近年の超高解像度次世代気候モデルによる地球温暖化実験でも基本的に支持されており、その正しさが証明されつつある。

杉氏は、季節予報や地球温暖化に関する問題の解決のためには、関連する気象学の基礎的な問題の解決が重要であるという認識に立って研究に取り組み、多くの成果を挙げてきた。現在、気象庁のモデル技術開発で指導的な役割を果たし、気象・気候統一モデルの開発・改良を推進しており、数値予報モデルを用いた気候予測研究のさらなる発展に尽力している。

以上の理由により日本気象学会は杉 正人氏に日本気象学会賞を贈呈するものである。

## 主な関連論文

Sugi, M., K. Kuma, K. Tada, K. Tamiya, N. Hasegawa, T. Iwasaki, S. Yamada and T. Kitade, 1990: Descrip-

- tion and performance of the JMA operational global spectral model (JMA-GSM88), *Geophys. Mag.*, **43**, 105-130.
- Sugi, M., R. Kawamura and N. Sato, 1995a : The climate simulated by the JMA global model, Part 1 : Global feature, Report of National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, **54**, 155-180.
- Sugi, M., R. D. Nair and N. Sato, 1995b : The climate simulated by the JMA global model, Part 2 : Tropical precipitation, Report of National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, **54**, 181-197.
- Sugi, M., R. Kawamura and N. Sato, 1997 : A study of SST-forced Variability and potential predictability of seasonal mean fields using the JMA global model, *J. Meteor. Soc. Japan*, **75**, 717-736.
- Kar, S. C., M. Sugi and N. Sato, 1996 : Simulation of the Indian summer monsoon and its variability using the JMA global model, *Pap. Meteor. Geophys.*, **47**, 65-101
- Kar, S. C., M. Sugi and N. Sato, 1997 : Tropical intra-seasonal oscillation (30-60 day) during N. H. summer in the JMA model simulations, *J. Meteor. Soc. Japan*, **75**, 975-994.
- Kar, S. C., M. Sugi and R. Kawamura, 2001 : Interannual Variability of Indian Summer Monsoon and Internal Variability in the JMA Global Model Simulations, *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**, 607-623
- Kusunoki, S., M. Sugi, A. Kitoh, C. Kobayashi and K. Takano, 2001 : Atmospheric Seasonal Predictability Experiments by the JMA AGCM, *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**, 1183-1206
- Nakaegawa, T., M. Sugi and K. Matsumaru, 2003 : A long-term numerical study of potential predictability of seasonal mean fields of water resource variables using MRI/JMA-AGCM, *J. Meteor. Soc. Japan*, **81**, 1041-1056.
- Kawamura, R., M. Sugi and N. Sato, 1995a : Interdecadal and interannual variability in the northern extratropical circulation simulated with the JMA global model. Part I : Wintertime leading mode, *J. Climate*, **8**, 3006-3019.
- Kawamura, R., M. Sugi and N. Sato, 1995b : Interdecadal and interannual variability in the northern extratropical circulation simulated with the JMA global model. Part II : Summertime leading mode, *J. Climate*, **8**, 3020-3027.
- Kawamura, R., M. Sugi, T. Kayahara and N. Sato, 1997a : Recent abnormal changes in wintertime atmosphere response to tropical forcing, *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 783-786.
- Kawamura, R., M. Sugi and N. Sato, 1997b : Interdecadal and interannual variations over the North Pacific simulated by a set of three climate experiments, *J. Climate*, **10**, 2115-2121.
- Kawamura, R., M. Sugi, T. Kayahara and N. Sato, 1998 : Recent extraordinary cool and hot summer in East Asia simulated by an ensemble climate experiment, *J. Meteor. Soc. Japan*, **76**, 597-617.
- Sugi, M., A. Noda and N. Sato, 2002 : Influence of the Global Warming on Tropical Cyclone Climatology : An Experiment with the JMA Global Model, *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 249-272.
- Sugi, M. and J. Yoshimura, 2004 : A mechanism of tropical precipitation change due to CO<sub>2</sub> increase, *J. Climate*, **17**, 238-243.
- Yoshimura, J. and M. Sugi, 2005 : Tropical cyclone climatology in a high-resolution AGCM—Impact of SST warming and CO<sub>2</sub> increase—, **1**, SOLA, 133-136.
- Yoshimura, J., M. Sugi and A. Noda, 2006 : Influence of global warming on tropical cyclone frequency, *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 405-428.
- Geng, Q.-Z. and M. Sugi, 2003 : Possible change of extratropical cyclone activity due to enhanced greenhouse gases and sulfate aerosols.—Study with a high-resolution AGCM, *J. Climate*, **16**, 2262-2274.

**日本気象学会賞受賞者：佐藤正樹**

(海洋研究開発機構地球環境  
フロンティア研究センター，  
東京大学気候システム研究セ  
ンター)

**富田浩文**

(海洋研究開発機構地球環境  
フロンティア研究センター)

**業績**：準一様格子を用いた全球雲解像大気モデルの  
開発とそれによる熱帯対流雲集団のシミュ  
レーション

**選定理由**：

大気大循環は基本的に放射エネルギー収支の非平衡  
に起因する対流運動である。これまでの大気大循環モ  
デルでは南北の加熱差による対流である温帯低気圧な  
どは直接扱うものの、上下の対流は、メソスケール対  
流雲システムという独特の基本構造を有しているにも

拘わらず、それを直接表現せずパラメタ化で扱ってきた。

地球フロンティア研究システム（現 地球環境フロンティア研究センター）では、2002年に稼働を開始した地球シミュレータを活用した新しい大気モデルとして、メソスケール対流雲、特に熱帯域のクラウドクラスターを直接表現し得る非静力学方程式に基づく全球大気モデルの開発を開始した。佐藤正樹氏をリーダーとするチームは、この世界に類を見ない野心的計画に挑戦し、1999年後半以降7年に渡って様々な問題を解決し、全球雲解像大気モデル NICAM (Nonhydrostatic Icosahedral Atmosphere Model) の開発に成功した。その開発過程の要点は次の通りである。

1. 20面体格子を採用し、“Spring dynamics”方式を導入し、メッシュ間隔が準一様で同時に2次の差分精度を有する効率的な超高解像度モデルを作り上げた。
2. モデルは質量・エネルギーの両方を保存する非静力学過程のアルゴリズムを装備し、長時間、高精度の安定した積分が可能なるものである。
3. テスト実験として乾燥大気条件での Held-Suarez 実験を行い、更に3.5 km の格子サイズによる温帯低気圧のライフ・サイクル再現に成功した。
4. 水蒸気とその凝結に関する雲物理過程の導入に際してはスコールラインの生成・発達シミュレーションを実施し、放射過程の導入に際しては、雲・放射相互作用を取り入れて長時間にわたる放射対流平衡実験を行い、精度を確認した。

このように数値計算的に、また物理的に信頼のおける大気モデルであることを段階的に確かめた上で、それを用いて、2004年に「水惑星実験」を実施し、その結果を翌年に2編の論文として発表し、世界の研究者から大きな注目と賞賛を浴びた。

実験で得られた重要な成果は、熱帯域大気の大気対流と循環が「メソスケール対流システムから成る西進するクラウドクラスター」「数1000 km スケールのクラウドクラスターの集団で東進するスーパークラウドクラスター」「波数1で対流と結合したケルビン波の卓越」という階層を成している事と、それぞれの構造と振舞いが現実大気のものと同じ形で再現された事である。この結果を持って対流雲パラメタ化の改善を目指す水惑星実験モデル相互比較に参加し、パラメタ化の不充分さを明確に示し得た事で、大気モデルの将来に大きなインパクトを与えつつある。

1956年に発表された N. A. Phillips の数値実験は南北加熱差の条件下で温帯高・低気圧が傾圧不安定波として自然に発生し西風ジェットを維持することを示したのに対し、今回の実験は、熱帯域の上下加熱差の下での湿潤対流とそれが生み出すより大きな赤道域大気構造を現実的に再現したものとして気象学、大気大循環論に画期的意義を持つ。一方、水惑星実験で偏東風波動も熱帯低気圧も生じなかった事は、Phillips の実験における傾圧不安定波とは異なり、これらの現象の発現には季節変化や現実的な海陸分布・海面水温の不均一が必要である事を示唆している。

さらに、7 km メッシュを用いた水惑星条件下の30日積分で海面水温を一様に2K 高くした実験との比較を行い、温度上昇で中・高緯度の雲量が増し、アルベドが大きくなる事を示し、この条件下では雲を直接表現したモデルで地球温暖化における雲・放射フィードバックが負であることを示した。

振り返ってみると、Bjerknes, Rossby, Charney らによって進められて来た20世紀の気象力学は、中・高緯度域における安定成層をした大気の大規模現象の力学、即ち「ポテンシャル渦度保存則に依拠した準二次元的渦の力学」であった。それが成熟の域に達し、その枠組みの中で ECMWF をはじめ世界中で数値天気予報が成功を収めつつも Madden-Julian 振動の再現が最大の障壁となっている事を考えると、今回の水惑星実験は、大気の残り半分の熱帯で生じている対流とその集団の力学を数値実験的に研究する熱帯対流気象学新時代の幕開けを告げるもので、熱帯気象をはじめ雲が主役を演じる気象の体系的理解に新しい視点を与えたものと言える。

以上の理由により日本気象学会は佐藤正樹氏、富田浩文氏に日本気象学会賞を贈呈するものである。

#### 主な関係論文

- Tomita, H., M. Tsugawa, M. Satoh and K. Goto, 2001 : Shallow Water Model on a Modified Icosahedral Geodesic Grid by Using Spring Dynamics, *J. Comp. Phys.*, **174**, 579-613.
- Satoh, M., 2002 : Conservative Scheme for the Compressible Nonhydrostatic Models with the Horizontally Explicit and Vertically Implicit Time Integration Scheme, *Mon. Wea. Rev.* **130**, 1227-1245.
- Satoh, M., 2003 : Conservative Scheme for a Compressible nonhydrostatic model with moist processes, *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 1033-1050.

- Xiao, F., Okazaki, T. and Satoh, M., 2003 : An accurate semi-Lagrangian scheme for rain drop, *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 974-983.
- Tomita, H., Satoh, M. and Goto, K., 2003 : Development of a nonhydrostatic general circulation model using an icosahedral grid, *Parallel computational fluid dynamics*, Eds. Matsuno, K., Ecer, A., Periaux, J., Satofuka, N., Fox, P., Elsevier Science, 115-123.
- Goto, K., Tomita, H. and Satoh, M., 2003 : Computational performance of the dynamical part of the next generation climate model using an icosahedral grid on the Earth Simulator, *Parallel computational fluid dynamics*, Eds. Matsuno, K., Ecer, A., Periaux, J., Satofuka, N., Fox, P., Elsevier Science, 63-69.
- Tomita, H. and Satoh, M., 2004 : A new dynamical framework of nonhydrostatic global model using the icosahedral grid, *Fluid Dyn. Res.*, **34**, 357-400.
- Tomita, H., H. Miura, S. Iga, T. Nasuno and M. Satoh, 2005 : A global cloud-resolving simulation : Preliminary results from an aquaplanet experiment, *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L08805, doi : 10.1029/2005GL022459.
- Satoh, M., H. Tomita, H. Miura, S. Iga and T. Nasuno, 2005 : Development of a global cloud-resolving model—a multi-scale structure of tropical convections—, *J. Earth Simulator*, **3**, 11-19.
- Miura, H., H. Tomita, T. Nasuno, S. Iga, M. Satoh and T. Matsuno, 2005 : A climate sensitivity test using a global cloud resolving model under an aqua-planet condition, *Geophys. Res. Lett.* **32**, L19717, doi : 10.1029/2005GL023672

日本気象学会藤原賞受賞者：故 木田秀次  
(京都大学名誉教授)

業績：数値モデルによる気象学及び気候学研究の推進と日本気象学会の運営への貢献

選定理由：

故木田秀次氏は、1968年に東京大学理学部を卒業後大学院に進学、大気オゾンの解析に関する研究や物質輸送に関する研究に携わった。1974年気象研究所予報研究部研究官に着任し、1975年には「大気輸送に関する研究」で東京大学から学位を取得した。その後、気象研究所気候研究部主任研究官、気象庁数値予報課数値予報班長、気象研究所応用気象研究部研究室長などを歴任したほか、米国航空宇宙局エイムズ研究セン

ター、米国プリンストン大学地球流体力学研究所などで延べ4年にわたって研究を行った。1993年からは京都大学理学部教授に就任、2006年3月に定年退職した。

木田氏は数値モデルを用いて中層大気物質循環の解明に貢献し、その業績により1985年度日本気象学会賞を受賞した。受賞対象となった一連の論文において、木田氏は、下部成層圏の物質循環がBrewer-Dobson循環型子午面循環とほぼ等温位面上の渦拡散とで説明できることを、数値モデル内の物質のラグランジュ的解析で示すことにより当時の議論に決着をつけ、さらに、初めて重力波を陽に表現するモデルを用いて中層大気子午面循環の様相を明らかにした。また、気候研究においても、領域気候モデル開発に大きな貢献を行った。これまでの領域気候モデルにおいては、計算領域境界付近で計算結果を親モデルの値や解析値などに強制的に近づける処理をしていたため、気候計算のように積分時間が長くなると、強制される境界付近の値と内部計算領域の値に大きな違いが生じ、種々の問題を生じさせていた。木田氏とそのグループは、境界付近でのみ親モデルや解析値に近づけるのではなく、比較的大きな構造については領域モデル全体もしくはモデル上部で親モデルや解析値を用いる、「スペクトル結合」と名付けた新たな領域結合計算手法を世界に先駆けて開発し、この画期的な計算手法によって上記の問題を回避できる事を示した。この研究によって、気候予測に関する問題を具体的な対策に結びつけることが出来る局地気候の数値モデルによる研究が進展し、気候問題の解決に大きく貢献した。

木田氏は京都大学在職中、多数の大学院生を指導し、多くの若手研究者を世に送り出した。また、日本気象学会の活動にも大きく貢献した。第25期(昭和63年)より理事を務め、当初は講演企画を担当し、第27期からは主に総合計画担当理事として、定款の変更に関わる文部省との長期にわたる折衝、会員制度の改革、各種気象講習会の共催・後援など、学会理事として最も負担の多い仕事の数々を遂行した。また、最近では電子レター誌 SOLA の創刊を先導し、提案から2年余りの2005年1月にその創刊を実現した。2006年7月からは日本気象学会第34期理事長として学会を指導する立場となり、すべての学会員に公平な学会運営を目指したが、その志半ばにして2006年11月逝去した。

木田氏は日本気象学会のみならず、日本学術会議に

おいては、第17期以降気象学研究連絡委員会の活動に携わると共に、5年にわたって国際気象学・大気科学協会 (IAMAS) の日本代表を務め、日本の大気科学ひいては世界の大気科学の発展に貢献した。

以上の理由により、日本気象学会は故木田秀次氏に藤原賞を贈呈するものである。

日本気象学会藤原賞受賞者：石 廣玉

(中国科学院大気物理研究所)

業績：大気環境に関する日中共同研究の推進

選定理由：

石 廣玉氏は、1968年山東大学卒業後、1979年中国政府派遣第一期留学生として来日、1982年東北大学で理学博士の学位を取得した。以来、今日に至るまで20年以上の長きにわたり、東アジアにおける大気環境、特にエアロゾルと温室効果気体に係る日中共同研究の推進に大きく貢献した。

大気エアロゾルに対する関心が少なかった1980年代に、大型気球を用いたエアロゾルの観測を日本側に提案し、名古屋大学と大気物理研究所の共同研究として、対流圏上部から成層圏のエアロゾル、オゾンに関する観測を実施した。1990年代には、小型気球を日本の研究者と共同開発し、これを用いて、上部対流圏のスス粒子の検出、タクラマカン砂漠の上空に浮遊する鉱物粒子の分布や性状の解明など注目すべき多くの成果を得た。

GAME/HUBEX の一環として開始された高精度放射観測研究は、その後、日射計、スカイラジオメーター、ライダー等を用いた SKYNET に発展し、エアロゾルの雲や放射収支への影響に関する研究として現在も継続されている。

2001年から実施された風送ダストに関する日中共同研究においては、中国側の研究代表者として研究を推進し、タクラマカン砂漠から北京・青島に至る、中国を横断する、ライダー、放射計、サンプリング等の日中共同観測を実施し、東アジアにおける風送ダストの発生及び長距離輸送過程の解明に多大な貢献をした。

中国における温室効果気体の挙動に関する現状の知識は著しく限られており、その解明は国際的にも大きな課題となっている。これまで中国では唯一の WMO/GAW ステーションである Waliguan のみで高精度観測が行なわれていたが、2003年から、中国科学院大気物理研究所、中国気象科学院、地球環境学研究所、および東北大学の共同で、中国国内の8か所で二酸化炭素・メタンの濃度及びその同位体比の観測を開始している。この共同観測においても石氏は中国側の代表としてプロジェクトを強力に推進してきた。これまでに得られた成果だけでも、中国国内の二酸化炭素濃度は日本に比べて数 ppm 程度高いこと、季節変動の振幅が大きいこと、日本上空の対流圏中部における二酸化炭素濃度の変動は中国における排出の影響を大きく受けていることなどが初めて明らかになっている。

このように、上記の様々な日中共同研究において、石氏は共同研究者として、さらには研究代表者として、研究計画の立案・調整、中国側研究者のとりまとめ、関係各機関との連絡調整等々、多大な貢献をした。この貢献なしにはいずれの共同研究も成果をあげることが不可能であったといえる。

現在迄に出版された石氏と日本側研究者の共著論文は63編に及び、日本気象学会に所属する多数の研究者が、東アジアのエアロゾル、温室効果気体関係の研究で成果を挙げることができたのも石氏の貢献に依るところが大きい。現在も気象学の多くの分野で日中共同研究が行われているが、その礎を築いた人物であるといっても過言ではない。さらに、石氏の蒔いた種は、次の世代に引き継がれようとしており、両国の多くの若手研究者が様々な形での学術交流を進めつつある。

エアロゾルおよび温室効果気体を中心とした大気環境の日中共同観測研究、並びに学術交流における石氏の永年にわたる功績には顕著なものがあり、我が国の大気科学研究の進展に大きく寄与したといえる。

以上の理由により、日本気象学会は石 廣玉氏に藤原賞を贈呈するものである。