

2010年度堀内賞の受賞者決まる

受賞者：三好勉信（九州大学理学研究院）

藤原 均（東北大学大学院理学研究科）

研究業績：地表から熱圏までを含む大気大循環モデルの開発と大気領域間結合過程の研究

選定理由：地球大気は地表面から熱圏まで連続的に広がっており、対流圏から熱圏までの各領域間の様々な相互作用・結合過程を理解することは大変重要である。大気は、高度約60km以下では中性大気として振る舞うが、これ以上の高度領域では部分的に電離しており、気象学は前者を、超高層物理学は主に後者を研究対象領域としてきた。しかし、近年の様様な研究の進展にともない、中性大気と電離大気の相互作用の重要性が認識され、大気全体としての系の振舞いの理解が不可欠になってきた。

三好氏は九州大学において、地表面から熱圏までを含む中性大気を対象とした大循環モデルの開発、およびそれをういた中層大気・下部熱圏の大気力学の研究を遂行し、ノーマルモードロスビー波や潮汐波の振る舞いなどを明らかにしてきた。一方、藤原氏は東北大学において、極域の熱圏でのオーロラ現象に伴う加熱に対する大気の実験過程に着目して、観測および数値シミュレーションを遂行してきた。また、我国では先例がない熱圏モデルの開発に着手し、オーロラに伴う熱圏特有の物理・化学過程を解明してきた。

これらの研究にもとづいて、両氏はそれぞれが独自に開発してきた中性大気の大循環モデルと電磁気・化学過程を含んだ熱圏モデルを統合して、地表から大気上端（約600km）までを途中で境界を置くことなく統一的にシミュレーションできる高分解能数値モデルの開発に世界で初めて成功した。

このモデルにより、対流圏から中層大気、熱圏・電離圏にいたる全大気領域における大気力学過程の統合的な研究が可能となり、モデル中で再現された下層大気起源の大気潮汐波・惑星波・重力波などの大気波動が、超高層大気（熱圏）領域まで伝播し、超高層大気変動に影響するメカニズムなどが明らかになった。主な研究成果は以下の通りである。

1. 大気潮汐波の10-25日周期変動が、成層圏から高度300kmの熱圏まで及んでいることを示した。また、中間圏・下部熱圏の平均帯状風の季節

内振動（20-60日周期）が、大気潮汐波や高速ケルビン波による平均流生成により起こることを解明し、さらに、大気波動の変動が対流圏の対流活動の変動に起因していることを示唆した。

2. 熱圏・電離圏の日々変動に下層と上層大気の結合過程が重要であることを初めて定量的に解明した。すなわち下層大気中で励起された一日潮汐波や半日潮汐波が上方伝搬することで、下層大気の日々変動が熱圏領域でも現れること、また短周期・長鉛直波長成分の大気重力波は熱圏まで伝搬して、高度300kmの大気においても対流圏起源の変動が生ずることなどを明らかにした。

3. 極域の高度約300kmでオーロラ現象に伴う加熱によって大規模波動が発生することや、昼夜境界や真夜中の温度異常帯で地球の自転にともなって伝播性の擾乱が励起されることが初めて示された。さらに、この熱圏起源の大気擾乱は、下層起源の大気波動と相互作用することにより、複雑に変動しながら熱圏大気中を伝播するという、これまでにはない超高層大気変動に関する知見が得られた。

4. このモデルで計算された熱圏風によって駆動される電離層ダイナモ電流により、現実的な静穏日地磁気日変化（Sq：Solar quiet day variation）を再現できた。この成果は、19世紀に始まったSqの研究が、1960年代の大気潮汐波の理論解明を経て、現実的な対流圏の変動を含めた数値モデルにより再現されるという段階にきたことを示すものである。

中層大気から熱圏領域の大気観測は限られていることから、このモデルを駆動することで、今後さらに大気の上下結合過程に関する新たな知見が次々と解明され、大気科学を大きく進展させると期待されている。

三好勉信氏と藤原 均氏の研究は気象学（大気物理学）と超高層物理学が対象としてきた領域の結合過程を数値モデルにより明らかにすることに成功したものであり、気象学の境界領域・隣接分野の発展に大いに貢献するものである。

以上の理由により、日本気象学会は三好勉信氏と藤原 均氏に2010年度堀内賞を贈呈するものであ

る。

主な関連論文 (年代順) :

- Miyoshi, Y. and H. Fujiwara, 2003 : Day-to-day variations of migrating diurnal tide simulated by a GCM from the ground surface to the exobase. *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 1789, doi : 10.1029/2003GL017695.
- Miyoshi, Y. and H. Fujiwara, 2004 : Day-to-day variations of migrating semidiurnal tide simulated by a general circulation model. *Adv. Polar Up. Atmos. Res.*, **18**, 87-95.
- Miyoshi, Y. and H. Fujiwara, 2006 : Day-to-day variations of migrating semidiurnal tide in the mesosphere and thermosphere. *Mem. Natl. Inst. Polar Res., Special Issue*, **59**, 199-207.
- Miyoshi, Y. and H. Fujiwara, 2006 : Excitation mechanism of intraseasonal oscillation in the equatorial mesosphere and lower thermosphere. *J. Geophys. Res.*, **111**, D14108, doi : 10.1029/2005JD006993.
- Fujiwara, H. and Y. Miyoshi, 2006 : Characteristics of the large-scale traveling atmospheric disturbances during geomagnetically quiet and disturbed periods simulated by a whole atmosphere general circulation model. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L20108, doi : 10.1029/2006GL027103.
- Miyoshi, Y. and H. Fujiwara, 2008 : Gravity waves in the thermosphere simulated by a general circulation model. *J. Geophys. Res.*, **113**, D01101, doi : 10.1029/2007JD008874.
- Jin, H., Y. Miyoshi, H. Fujiwara and H. Shinagawa, 2008 : Electrodynamics of the formation of ionospheric wave number 4 longitudinal structure. *J. Geophys. Res.*, **113**, A09307, doi : 10.1029/2008JA013301.
- Forbes, J. M., S. Bruinsma, Y. Miyoshi and H. Fujiwara, 2008 : A solar terminator wave in thermosphere neutral densities measured by the CHAMP satellite. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L14802, doi : 10.1029/2008GL034075.
- Fujiwara, H. and Y. Miyoshi, 2009 : Global distribution of the thermospheric disturbances produced by effects from the upper and lower regions : simulations by a whole atmosphere GCM. *Earth Planets Space*, **61**, 463-470.
- Miyoshi, Y. and H. Fujiwara, 2009 : Gravity waves in the equatorial thermosphere and their relation to lower atmospheric variability. *Earth Planets Space*, **61**, 471-478.
- Miyoshi, Y., H. Fujiwara, J. M. Forbes and S. L. Bruinsma, 2009 : Solar terminator wave and its rela-

tion to the atmospheric tide. *J. Geophys. Res.*, **114**, A07303, doi : 10.1029/ 2009JA014110.

- Fujiwara, H. and Y. Miyoshi, 2010 : Morphological features and variations of temperature in the upper thermosphere simulated by a whole atmosphere GCM. *Ann. Geophys.*, **28**, 427-437.
- Fujiwara, H., Y. Miyoshi, H. Jin, H. Shinagawa, Y. Otsuka, A. Saito and M. Ishii, 2010 : Thermospheric temperature and density variations. *Proceedings IAU Symposium No. 264, Solar and Stellar Variability Impact on Earth and Planets, International Astronomical Union 2010, Cambridge University Press*, doi : 10.1017/S1743921309992857, 310-319.

受賞者 : 石井正好 (気象研究所気候研究部,
独立行政法人海洋研究開発機構
地球環境変動領域)

研究業績 : 歴史的海洋表層解析データセットの作成およびそれを用いた気候変動の監視と予測への貢献

選定理由 : 年々から数十年の気候変化の実態とメカニズムを正確に把握して、さらに近未来の気候を予測するために、海面水温をはじめ海洋表層の温度塩分状態のデータセットを長期にわたってグローバルに整備することは不可欠である。

石井氏は、神戸海洋気象台所有の海上気象観測データ (神戸コレクション) と全球的観測データベース (ICOADS) を用いたおよそ1世紀にわたる海面水温、海上気象要素の全球格子の客観解析データセット (COBE データセット) を作成し、さらに、過去数十年にわたる海洋表層水温・塩分についても全球格子の客観解析データセットを構築、気候変動の実態を明らかにすることに大いに貢献してきた。海洋表層の観測データは、その密度が十分でないことに加え、経年変化や長期変化もあるために、報告された観測値の品質管理やサンプリング誤差、計測法の変化の考慮、最適な解析法の選択等、さまざまな要素が考慮されねばならない。石井氏は、衛星による水位データや Argo 等の多様なデータの統合的処理、投下式水温水深計 (XBT) の深度推定誤差の評価、さらには3次元変分法に基づく独自の解析法の考案や大次元行列解析の計算法の考案等、緻密なデータ処理と独自の創意による研究の積み重ねをおこなってきた。この結果、現在、世界標準として世界の研究者に幅広く用いられる COBE の海

面水温および海上気象データセットと海洋表層データセットを作成することに成功した。この海洋表層データセットはこれまでの Levitus のデータとは独立した別の唯一のデータとして、またより時間分解能が高く、全ての解析データについて誤差評価を実施しその結果をデータセットに含めていることから、国際的にも高い評価を得ている。

石井氏の作成した COBE および海洋表層データセットは、さらに以下のような研究に発展し多くの研究成果が得られてきている。

1. 温暖化に伴う海面水位変動の把握に関する研究や過去の海洋表層の温暖化の実態を明らかにする研究として、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第4次報告書でも数多く引用され、現在も多数の論文に貢献している。
2. 気象庁-電力中央研究所による大気長期再解析 (JRA25) 作成にあたり、信頼できる長期境界条件として重要な役割を果たした。
3. 観測データの大気海洋結合気候モデルへの同化をすることで気象庁のエルニーニョ監視予測システムの実現に貢献した。
4. 海面水温データ (COBE) と海洋表層データセットを用いて 大気海洋結合モデルの初期値化をより精緻にすることにより、気候の十年規模変動の予測可能性を示す研究に重要な貢献をした。

石井氏の研究業績は、気候変化・変動の実態とメカニズム解明の基礎となるデータセットの作成を通じて、これまで未開拓領域であった気候変動の監視・予測の可能性を切り開くものとして評価できる。

以上の理由により、日本気象学会は石井正好氏に2010年度堀内賞を贈呈するものである。

主な関連論文 (年代順) :

- 石井正好, 金久博忠, 1989 : 気候一次元 “模型” の解析. 天気, 36, 291-302.
- Ishii, M., I. Yoshikawa and M. Kimoto, 1994 : Air-sea fluxes obtained from an operational global data assimilation system. *Geophys. Mag.*, 45, 19-54.
- 石井正好, 吉川郁夫, 木本昌秀, 1993 : 全球四次元データ同化システムから得られた海面フラックスの紹介. *グロースペクター*, 32, 16-30.
- 吉川郁夫, 石井正好, 1994 : 気候監視のための海洋データ同化システム—大気海洋結合モデルによる季節予報に向けて—. 気象庁予報部数値予報課報告・別冊報告,

- (40), 104pp.
- Kimoto, M., I. Yoshikawa and M. Ishii, 1997 : An ocean data assimilation system for climate monitoring. *J. Meteor. Soc. Japan*, 75, 471-487.
- Ishii, M., M. Kimoto and M. Kachi, 2003 : Historical ocean subsurface temperature analysis with error estimates. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 51-73.
- Sakamoto, T. T., H. Hasumi, M. Ishii, S. Emori, T. Suzuki, T. Nishimura and A. Sumi, 2005 : Responses of the Kuroshio and the Kuroshio Extension to global warming in a high-resolution climate model. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L14617, doi : 10.1029/2005GL023384.
- Ishii, M., A. Shouji, S. Sugimoto and T. Matsumoto, 2005 : Objective analyses of sea-surface temperature and marine meteorological variables for the 20th century using ICOADS and the Kobe Collection. *Int. J. Climatol.*, 25, 865-879.
- Ishii, M., M. Kimoto, K. Sakamoto and S.-I. Iwasaki, 2006 : Steric sea level changes estimated from historical ocean subsurface temperature and salinity analyses. *J. Oceanogr.*, 62, 155-170.
- AchutaRao, K. M., M. Ishii, B. D. Santer, P. J. Gleckler, K. E. Taylor, T. P. Barnett, D. W. Pierce, R. J. Stouffer and T. M. L. Wigley, 2007 : Simulated and observed variability in ocean temperature and heat content. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 104, 10768-10773.
- Lombard, A., D. Garcia, G. Ramillien, A. Cazenave, R. Biancale, J. M. Lemoine, F. Flechtner, R. Schmidt and M. Ishii, 2007 : Estimation of steric sea level variations from combined GRACE and Jason-1 data. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 254, 194-202.
- Ishii, M. and M. Kimoto, 2009 : Reevaluation of historical ocean heat content variations with time-varying XBT and MBT depth bias corrections. *J. Oceanogr.*, 65, 287-299.
- Lyman, J., S. A. Good, V. Gouretski, M. Ishii, G. C. Johnson, M. D. Palmer, D. M. Smith and J. Willis, 2010 : Robust warming of the global upper ocean. *Nature*, 465, 334-337.
- Mochizuki, T. M. Ishii, M. Kimoto, Y. Chikamoto, M. Watanabe, T. Nozawa, T. T. Sakamoto, H. Shioyama, T. Awaji, N. Sugiura, T. Toyoda, S. Yasunaka, H. Tatebe and M. Mori, 2010 : Pacific decadal oscillation hindcasts relevant to near-term climate prediction. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 107, 1833-1837.