

III. 地球環境研究部門

V. 地球環境分野

1. メンバー

教授 田中博（センター勤務）、植田宏昭（学内共同研究員）
木村富士男（学外共同研究員 JAMSTEC）、鬼頭昭雄（学外共同研究員 気象研）
准教授 日下博幸（センター勤務）
助教 若月泰孝（学内共同研究員）
研究員 寺崎康児（国立極地研究所、センター勤務）
大学院生 20 名、学類生 8 名

2. 概要

地球環境学部門における主な活動としては、全球雲解像モデル NICAM (G1=10) の 7km 解像度モデルによる大規模計算を T2K-Tsukuba システムを用いて行った結果の解析を進めたことがあげられる。2008 年 9 月を初期値とした数値積分と、2009 年 1 月を初期値とした数値積分を、それぞれ夏と冬に 1 か月ランとなるように数値積分期間を延長して時間積分を行った。この他に 14 km 解像度 (G1=9) のデータを用いて北極振動、北極低気圧、温帯低気圧、ブロッキング、熱帯低気圧などの研究を継続した。特に北極低気圧の 3 次元構造について、NICAM による数値実験の結果と気象庁全球 η 面ガウス格子 (20 km 格子) の解析値とを比較した。極渦による大規模場からの渦度の供給と北極前線ジェットの傾圧性により発達するメソ低気圧の極渦との併合が重要であることを見出した。大気大循環研究と並んで領域気象モデル WRF を用いた都市気候シミュレーションが行われ、都市気候の将来予測、多治見猛暑の実態調査を推進したほか、建物解像 LES モデルの開発をセンター内共同研究として手掛け、都市キャンपीモデルの改良に役立てられた。地球環境学分野として査読付き研究論文 24 編、学会発表等多数が行なわれた。

3. 研究成果

【1】都市気候の将来予測

(1) 温暖化影響評価研究者のためのダウンスケーリング (日下)

政策担当者や技術職員・研究員が単独で各地域の温暖化予測評価を実施可能にするため、「温暖化影響評価研究者のためのダウンスケーラシステム」(ダウンスケーラ)の開発を行っている。平成 24 年度は、平成 23 年度に開発したダウンスケーラをベースに、影響評価研究者(ユーザー)の意見を取り入れる形で改良を行った。具体的には、前年度のアドバイザリー会合などで出された意見や、テストユーザーからの要望をまとめ、改良箇所に反映させた。例えば、平成 23 年度版では解像度を 20km-5km から選択するのみであったが、平成 24 年度版では、30km-10km の解像度も選択することが可能となった。また、1) 計算領域の緯度経度を手動で入力する機能、2) 第

1 領域と第 2 領域をマウスで選択する機能を追加した (図 1)。これにより、計算領域選択の自由度が大きくなった。その他、ユーザーの要望を反映して、計算領域設定・計算結果表示における県境のプロット、計算設定に関するアドバイスの画面表示などの機能を追加した。



図 1 計算領域を手動入力で指定する機能 (左図) と マウス選択する機能 (右図)

(2) 建物解像並列 LES モデルの共同開発 (日下)

都市気候の詳細な研究では、モデルの空間解像度を数十メートル以下とする必要があるため、本研究では、都市の詳細な熱環境を解析可能な Large Eddy Simulation (LES) モデルの開発を行っている。平成 24 年度は、都市街区スケールでの詳細な気温分布を再現するのに必要となる放射モデルの開発を行い、LES モデルに組み込んだ。開発した放射モデルでは、建物による影や建物間の多重反射を考慮することができるため、現実に近い都市の放射環境を再現することが可能である。この放射モデルを LES に組み込み、流体計算と連成させ、計算を行った。結果は、10 時の地表面の影の位置 (図 1a) と地上 1.5m での気温の水平断面図 (図 1b) であり、直射日光が当たる日向では日影より 0.3°C 程度気温が高い様子が示されている。このように、建物間放射モデルを導入したことで直射日光が当たっている場所と日影となっている場所とで気温差が現れ、より現実的な計算が可能となった。LES モデル開発では

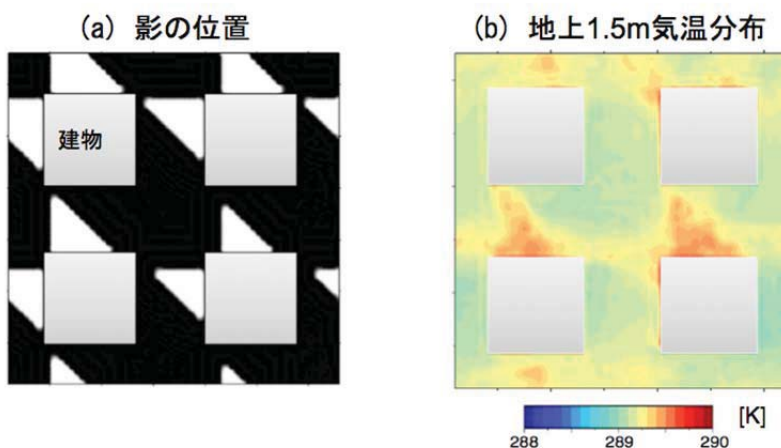


図 2 (a) 建物間放射モデルで計算した影の様子 (10 時)。 (b) 放射モデルと LES モデルを結合し、街区内気温分布を計算した結果。日向では影の領域よりも 0.3°C 程度気温が高い様子がみられる。

他に、計算の高速化のため、並列化に加え GPU 化を引き続き行っている。本研究は文科省 RECCA プロジェクトの一環として行われ、本センターの計算機科学の研究者の協力を得た共同開発を推進している。

【2】 NICAM を用いた北極低気圧の数値実験とその解析 (田中、寺崎)

文科省グリーン北極事業の一環で北極気候変動研究プロジェクトが 2011 年度から開始されている。今年はその 2 年目となった。北極気候変動研究は近年の地球温暖化研究の最前線として位置付けられ、北極海の海氷の減少は、地球温暖化の研究課題として重要であると同時に、北極海周辺の天然資源の発掘や北極航路の開拓という経済的理由からも注目されている。特に、2012 年は 2007 年を超える夏季の海氷現象がみられた。

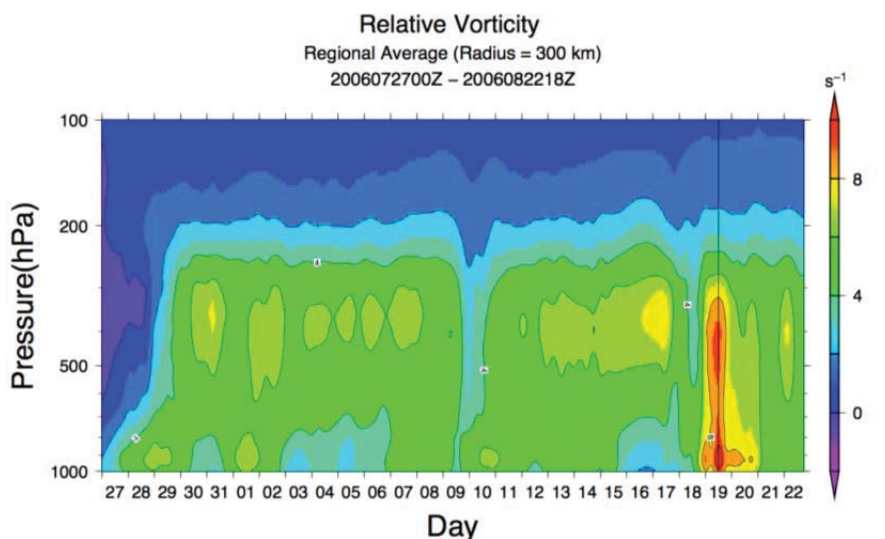


図3 2006 年 7 月に発生した北極低気圧の中心周辺で平均した相対渦度の時間鉛直断面図。

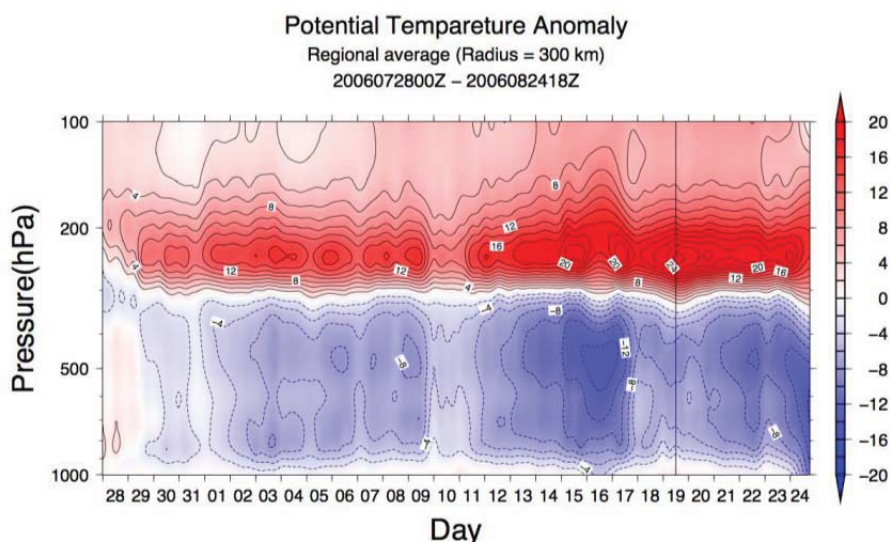


図 4 2006 年 7 月に発生した北極低気圧の中心周辺で平均した温位アノマリの時間鉛直断面図。

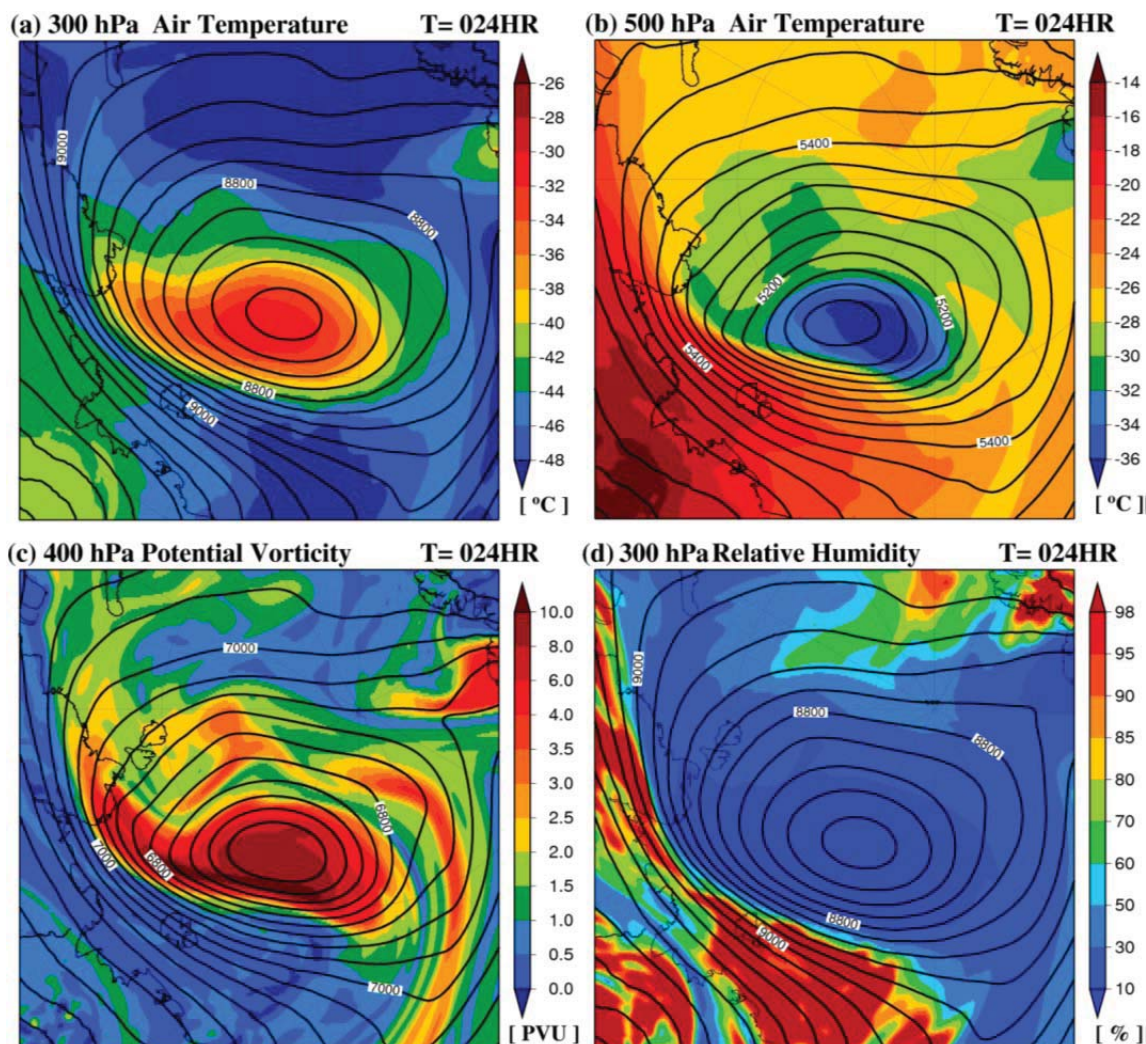


図5 NICAM による 2008 年 6 月に発生した北極低気圧の中心周辺の (a) 300hPa 気温、(b) 500hPa 気温、(c) 400hPa 渦位、300hPa 相対湿度 (Aizawa et al., 2013)。

その原因の一つに、スーパー北極的気圧の発生があった。北極海の海氷の消長には、ポーフォート高気圧と対をなし、北極海ダイポール気圧配置をもたらす北極低気圧の存在が重要であり、その成因解明と動向予測に注目が集められている。本研究では、全球雲解像モデル NICAM を用いて行った 2008 年 6 月の北極低気圧の 3 次元構造を、気象庁全球 η 面ガウス解析値の構造と比較した。この北極低気圧は北極海上を 20 日以上も迷走した低気圧で、温帯低気圧とは異なる特徴や構造を持つ。NICAM による数値実験の結果では、中心の低気圧性の渦度は対流圏上層の極渦と一体化した順圧構

造を持ち、極渦周辺の北極前線の傾圧性により対流圏下層で発達したメソ低気圧と併合を繰り返すことで長期間持続していることを示している(図3-5)。

【4】 3D ノーマルモードによる 3 次元基本場の傾圧不安定解析 (田中)

地球大気は非線形流体力学におけるハミルトニアンシステムであり、全エネルギーを保存すると同時に剛体力学にはない渦位という量を保存する。静止大気を基本場とする全球大気のノーマルモードは、大気潮汐理論により Hough 関数としてその解が知られている。これは上記ハミルトニアンシステムを、基本場に重なる微小擾乱として線形化することで求まる解析解であり、線形システムもハミルトニアンシステムを構成する。

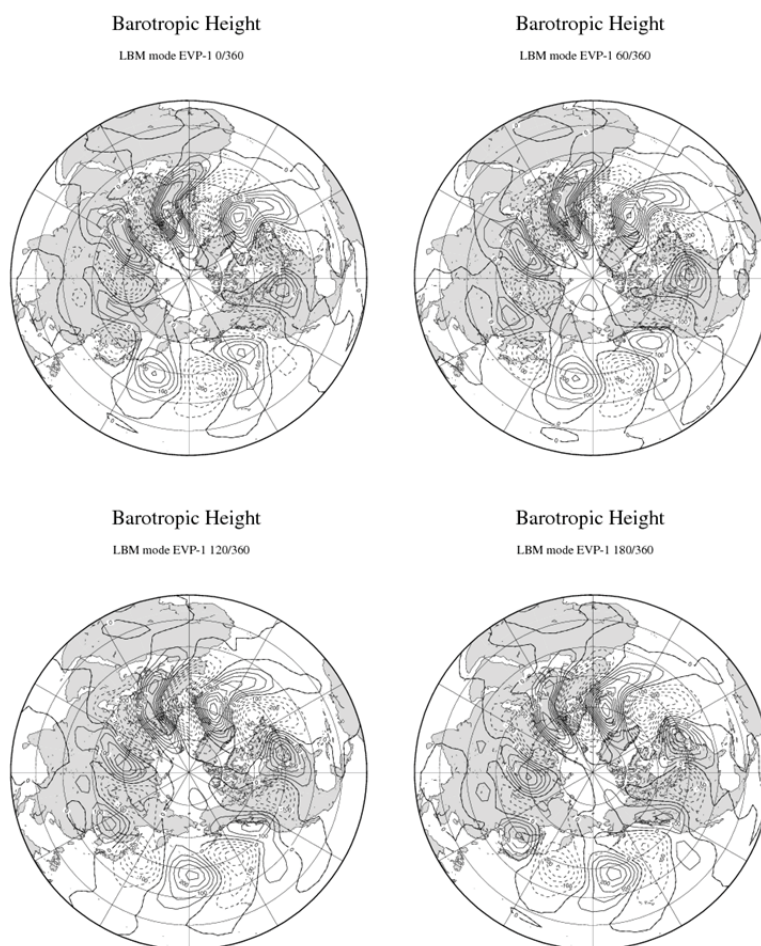


図6 冬季の 3 次元基本場における傾圧不安定 Charney モードのライフサイクルの理論解を、位相角 0, 60, 120, 180 度の順圧高度場で示した分布図 (Tanaka and Seki, 2013)。

基本場が鉛直子午面で変化する帯状平均気候値の場合、基本場からエネルギーを受け取り増幅する傾圧不安定が発生し、それが中緯度の温帯低気圧を発達させる。本研究では、静止大気における3D ノーマルモードを正規直交基底とした3D スペクトルモデルを構築し、東西方向にも変化する3次元的な気候値を基本場とした線形方程式の固有値問題を解くことで、順圧傾圧不安定理論の一般化を行った。帯状平均基本場における傾圧不安定波は、東西波数 6 付近に最大増幅率を持ち、波数で分割された領域での構造が東進し、ライフサイクルが完結する。それに対し、基本場が東西方向にも変化する場合の最大増幅率の傾圧不安定波は、ひとつの周期の構造変化を波数倍した期間でひとつのライフサイクルが完結する。図6は周期的に変化する順圧高度場を、位相角にして0度、60度、120度、180度の場合について示した図である。ここで、180度の図は0度の図を逆部号にした図となる。この間にトラフとリッジの関係が入れ替わると同時にひとつ東に移動することが解る。したがって、図6の360度を解の1周期とすると、その東西波数倍だけ同様に移動することで、ひとつのライフサイクルが完了する。大西洋では亜熱帯ジェットと寒帯前線ジェットが分かれ、ダブルジェットになっているところを傾圧不安定波が背景の基本場を感じながら東進する。一方、日本付近では、亜熱帯ジェットと寒帯前線ジェットが合流し、強い1本のジェットになった背景場を感じながら傾圧不安定波が東進する。このように、背景場に応じて変形しながら東西方向に地球を1週することでひとつのライフサイクルが完了する。これが3次元基本場における線形プリミティブ方程式の最大増幅率を持つ傾圧不安定波の解の振る舞いである。

4. 教育

指導学生（田中）

D1：（地球）相澤、近藤

M2：（地球）長門、山上、植木、川津、小林、武田

M1：（地球）足立、海野、木野、馬場

B4：（地球）

指導学生（日下）

D3（地球）： 秋本、池田、高根

D2（地球）： 岡田、豊田

D1（地球）： 加藤、ドアン

M2（地球）： 水成、西、平田、阿部

M1（地球）： 久野、藤田、廣田、桑門、工藤

B4（地球）： 大高、柿沼

集中講義 岩手大学「地球規模環境論」（田中）

集中講義 首都大学東京「空間情報科学」（日下）

5. 受賞、外部資金、知的財産権等

文科省 GRENE 北極研究プロジェクト、田中

文科省 RECCA プロジェクト、日下

環境省 S8 プロジェクト、日下

6. 研究業績

研究論文他 (査読付き)

1. Okada, M., Kusaka, H., 2013 : Proposal of a new equation to estimate globe temperature in an urban park environment. *J. Agric. Meteor.*, 69(1), 23-32.
2. 仲野久美子, 仲吉信人, Alvin C.G. Varquez, 神田学, 足立幸穂, 日下博幸, 2013 : 最新の都市パラメタリゼーションを導入した集中豪雨シミュレーション. 土木学会論文集 B1(水工学), 69(4), I335-I360.
3. 高根雄也, 日下博幸, 高木美彩, 岡田牧, 阿部紫織, 永井徹, 富士友紀乃, 飯塚悟, 2013 : 岐阜県多治見市における夏季晴天日の暑熱環境の実態調査と領域気象モデル WRF を用いた予測実験 -物理モデルと水平解像度に伴う不確実性の検討-. 地理学評論, 86-1, 14-37.
4. 高根雄也, 日下博幸, 原政之, 2012 : IPCC SRES A2 シナリオ下での三大都市圏の夏季気候の将来予測 : WRF-UCMによる力学的ダウンスケーリング. 日本ヒートアイランド学会論文集, 7, 18-26.
5. Adachi, S. A., Kimura, F., Kusaka, H., Inoue, T., Ueda, H., 2012 : Comparison of the Impact of Global Climate Change and Urbanization on Summertime Future Climate in the Tokyo Metropolitan Area. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, Vol.51, No.8., 1441-1454.
6. 日下博幸, 高根雄也, 阿部紫織, 高木美彩, 重田祥範, 大橋唯太, 布和宝音, 2012 : オープンスペースで実施した定点観測によって捉えられた夏季晴天日におけるつくば市のヒートアイランド : 都市内外の気温差に関する不確実性の評価. 日本ヒートアイランド学会論文集, 7, 1-9.
7. Ishizaki, N. N., Shiogama, H., Takahashi, K., Emori, S., Dairaku, K., Kusaka, H., Nakaegawa, T., Takayabu, I., 2012 : An Attempt to Estimate of Probabilistic Regional Climate Analogue in a Warmer Japan. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 90B, 65-74.
8. Kusaka, H., Chen, F., Tewari, M., Dudhia, J., Gill, D. O., Duda, M. G., Wang, W., Miya, Y., 2012 : Numerical Simulation of Urban Heat Island Effect by the WRF Model with 4-km Grid Increment: An Inter-Comparison Study between the Urban Canopy Model and Slab Model. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 90B, 33-45.
9. Kusaka, H., Hara, M., Takane, Y., 2012 : Urban climate projection by the WRF model at 3-km horizontal grid increment: Dynamical downscaling and predicting heat stress in the 2070' s August for Tokyo, Osaka, and Nagoya metropolies. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 90B, 47-63.

10. Ishizaki, N. N., Takayabu, I., Oh'izumi, M., Sasaki, H., Dairaku, K., Iizuka, S., Kimura, F., Kusaka, H., Adachi, S. A., Kurihara, K., Murazaki, K., Tanaka, K., 2012 : Improved performance of simulated Japanese climate with a multi-model ensemble. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 90(2), 235-254.
11. Iizumi, T., Takayabu, I., Dairaku, K., Kusaka, H., Nishimori, M., Sakurai, G., Ishizaki, N. N., Adachi, S. A., and Semenov, M. A., 2012 : Future change of daily precipitation indices in Japan: A stochastic weather generator-based bootstrap approach to provide probabilistic climate. *Journal of Geophysical Research-Atmosphere.*, Vol117, D11114 19PP.
12. Zagar, N., K. Terasaki, and H. L. Tanaka 2012: Impact of the Vertical Resolution of Analysis Data on the Estimates of Large-Scale Inertio-Gravity Energy. *Mon. Wea. Rev.* 140, 2297-2307.
13. Sang-Min Lee, Hi-Ryong Byun, and Hiroshi L. Tanaka 2012: Spatiotemporal Characteristics of Drought Occurrences over Japan. *J. Applied Meteor. and Clim.* , 51, 1087-1098..
14. 田中博 (分担執筆) , 2012: [地学基礎]. 森本他監修、実教出版社, 文科省検定済教科書、191 pp.
15. 田中博 (分担執筆) , 2012: [地学基礎]. 森本他監修、実教出版社, 教授用指導所、215 pp.
16. Tanaka, H.L., A. Yamagami, and S. Takahashi 2012: The structure and behavior of the Arctic cyclone in summer analyzed by the JRA-25/JCDAS data. *Polar Science*, 6, 55-69.
17. Nagato, Y. and H. L. Tanaka 2012: Estimation of global warming trend without the contributions from decadal variability of the Arctic Oscillation. *Polar Science*, 6, 15-22.
18. Tanaka, H.L., and S. Seki 2013: Development of 3D spectral linear baroclinic model and the application to the baroclinic instability associated with positive and negative Arctic Oscillation Index. *JMJS*, 90, 193-213.
19. Aizawa, T. , H. L. Tanaka, and M. Satoh 2012: Rapid arctic cyclogenesis by the cloud resolving global model NICAM. (Accepted in *Meteor. Atmos. Phys.*)
20. 木野公朝・田中博, 2013: AOI 方程式を用いた北極振動の解析的研究. (投稿中)
21. Dowsett, H.J., K. M. Foley, D. K. Stoll, M. A. Chandler, L. E. Sohl, M. Bentsen, B. L. Otto-Bliesner, F. J. Bragg, W.-L. Chan, C. Contoux, A. M. Dolan, A. M. Haywood, J. A. Jonas, A. Jost, Y. Kamae, G. Lohmann, D. J. Lunt, K. H. Nisancioglu, A. Abe-Ouchi, G. Ramstein, C. R. Riesselman, M. M. Robinson, N. A. Rosenbloom, U.

- Salzmann, C. Stepanek, S. L. Strother, H. Ueda, Q. Yan, and Z. Zhang, 2013: Sea surface temperature of the mid-Piacenzian ocean: A data-model comparison. *Scientific Reports*, 3, 2013, doi:10.1038/srep02013.
22. Haywood, A. M., D. J. Hill, A. M. Dolan, B. Otto-Bliesner, F. Bragg, W.-L. Chan, M. A. Chandler, C. Contoux, A. Jost, Y. Kamae, G. Lohmann, D. J. Lunt, A. Abe-Ouchi, S. J. Pickering, G. Ramstein, N. A. Rosenbloom, L. Sohl, C. Stepanek, Q. Yan, H. Ueda, and Z. Zhang, 2013: Large scale features of Pliocene climate: Results from the Pliocene model intercomparison project. *Clim. Past*, accepted.
23. Inoue, T., and H. Ueda, 2012: Delay of the Baidu withdrawal in Japan under global warming condition with relevance to warming patterns of SST. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90, 855-868.
24. Kamae, Y. and Ueda, H.: Mid-Pliocene global climate simulation with MRI-CGCM2.3: set-up and initial results of PlioMIP Experiments 1 and 2, *Geosci. Model Dev.*, 5, 793-808, doi:10.5194/gmd-5-793-2012, 2012.

7. 異分野間連携・国際連携・国際活動等

センター内連携： LES-GPU グループ

大規模気象計算 WG

産学官連携： 岐阜県多治見市と連携協定（日下）

国際活動： 米国大気研究センター訪問、米国アラスカ大学訪問、アラスカ大学との大学間協定

北極環境研究コンソーシアム、国際北極科学会議 (IASC) 副議長（田中）

8. シンポジウム、研究会、スクール等の開催実績

気象学会公開気象講演会「地球温暖化問題における科学者の役割」（田中）

気象学会夏季大学「北極圏の温暖化と異常気象」教育と普及委員会企画（田中）

9. 管理・運営

地球環境科学専攻長、学長補佐、全学FD委員会委員長、教育企画室員、教育イニシアチブ機構（田中）

全学計算機システム委員会委員、自然系学類計算機委員会委員長、研究科学生生活委員会委員、専攻広報委員会委員、学類メンタルヘルス学生支援チーム、CCS 大規模メニューコア仕様策定委員会委員、T2K 運用連絡会委員、HA-PACS 運用連絡会委員、TCA 仕様策定委員会委員、学際共同利用委員会委員、など（日下）

10. 社会貢献・国際貢献

茨城県県民大学 平成 24 年度夏季講座 講師（田中）

熱中症予防声かけプロジェクト 実行委員、NEDO 発電量予測技術委員会 / 発電量予測技術研究会 委員、気象庁気候問題懇談会 検討部会 委員 (日下)

11. その他

放送大学客員教授、気象学会理事、地球惑星連合代議員 (田中)
気象大学校非常勤講師、International Association for Urban Climate(IAUC) 理事、日本ヒートアイランド学会理事、気候影響利用研究会幹事 (日下)
メディア出演：NHK「ニュースウォッチ9」、テレビ朝日「報道ステーション」、日経産業新聞「先端人」、ラジオ Inter FM「GREEN STATION」ほか (日下)