

III-1 地球環境学分野

1. メンバ

教授 田中博、木村富士男(学内共同研究員)、鬼頭昭雄(学外共同研究員)

講師 日下博幸

2. 概要

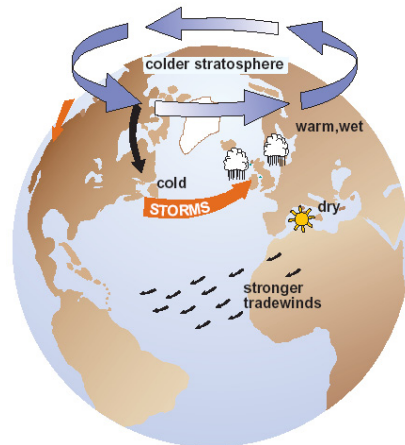
地球環境学分野における主な成果として、これまでESでしか走らないとされた全球雲解像モデルNICAMの7km解像度(GI=10)モデルが筑波大学の計算機システムで実行可能となった。北極振動、北極低気圧、ブロッキング、熱帯低気圧などの具体的な研究が開始され、NICAM-LETKFを開発した。また、国際会議 ISAR-1を開催した。大気大循環研究と並んで領域気象モデルWRFを用いたメソ気象シミュレーションが行われ、都市が降水に及ぼす影響評価、首都圏の気候再現計算、都市キャノピーモデルの開発などが行われた。さらには、つくば市のヒートアイランド観測を実施した。地球環境学分野として査読付き原著論文 8 編、報告書類 20 編、招待講演 3 件、学会発表等 32 件が行われた。

3. 研究成果

【1】北極振動とブロッキング高気圧の力学的成因と将来予測に関する研究(田中博)

(1) 北極振動研究

北極振動(Arctic Oscillation: AO)とは、ワシントン大学のThompson and Wallace (1998) により1998年提唱された現象で、北緯約60度を挟んで南北に海面更正気圧場が逆相関を持つというものである。本研究では、大気力学方程式系の固有解の中から位相速度がゼロとなり、減衰率が最もゼロに近い固有解についての構造を調べた。理論的に得られた固有解の構造は、北極圏で低圧偏差の時に中緯度で高圧偏差となり、しかもその高圧偏差の中心は太平洋と大西洋の二箇所に現れる。この構造を観測値から統計的に得られる北極振動パターンと比較すると、両者はほぼ完全に一致する。このことから、これが北極振動に対応する固有解であると判断できた(北極振動の特異固有解理論)。



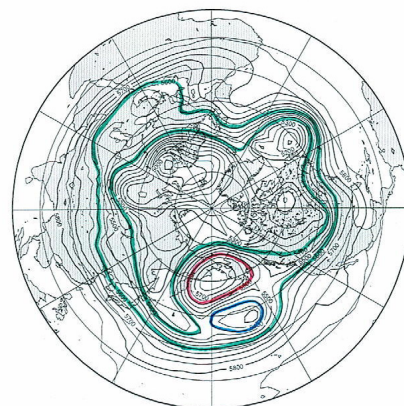
(2) ブロッキングの研究

ブロッキング高気圧とは、中高緯度対流圏にしばしば形成される背の高い高気圧のことである。高度場の順圧成分を取り出してその分布を調べてみると分かるように、ブロッキング高気圧の構造は、基本的に大気の高気圧成分に含まれている。ブロッキング高気圧は、ひとたび出現すると長い時には1カ月近く同じ場所に停滞し続

ける特徴がある。ジェット気流に流されて通常西から東に移動する大気下層の高低気圧や前線が、この背の高い高気圧の出現により東進をブロックされることから、この高気圧はブロッキング高気圧(または単にブロッキング)と呼ばれている。本研究では、筑波大学で開発された順圧大気大循環モデル(順圧Sモデル)を用いて、ブロッキングの再現実験を行い、その成因について研究した。

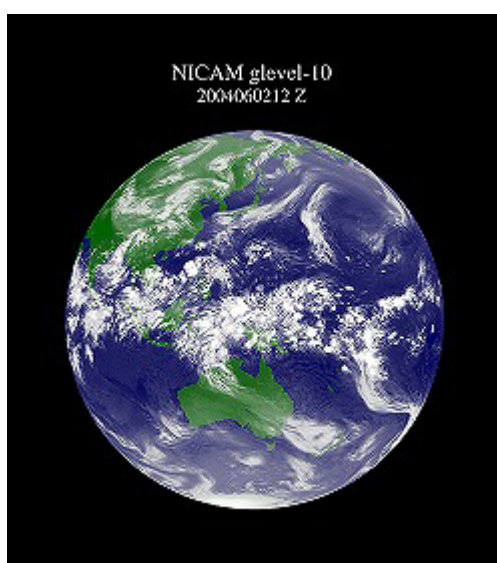
500 hPa Height

JMA GPV 97031412+00



【2】次世代型全球雲解像モデル NICAM の移植と開発(田中博)

東京大学気候システム研究センター(CCSR)と地球環境フロンティア研究センターでは、次世代大気大循環モデルと期待されている、非静



力正 20 面体大気モデル NICAM (Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model)を開発している。NICAM は超並列計算機対応で開発されており、筑波大学の超並列計算機 PACS-CS(2560-node, 14.3TF)への移植が進められている。NICAMは雲微物理過程を実装しているため、全球雲解像モデルとして、温暖化に対する雲応答について、より信頼に足る結果が得られると期待されている。ただし、NICAM の物理過程は開発途上のため、モデルの欠点を把握し改善するための基礎的なデータ解析が必要である。本研究では、NICAM の出力を解析し、観測や他の全球予報モデルと比較することで、現時点でのその予報精度を評価した。

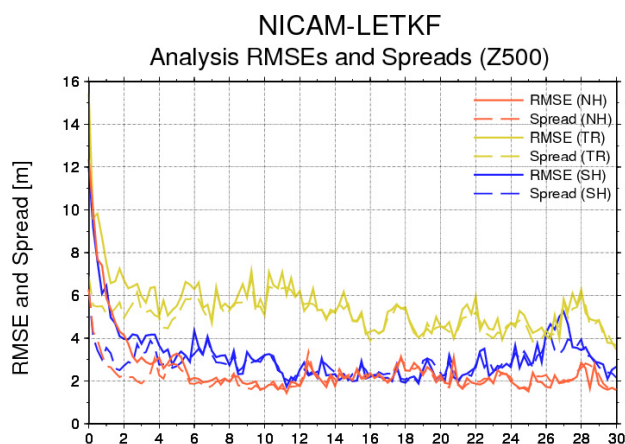
【3】アンサンブルカルマンフィルタによる 4 次元同化の開発 (田中博)

(1) 順圧大気大循環モデル(順圧Sモデル)による LETKF の開発

アンサンブル予報を用いた最新のよ次元同化技術である LETKF を筑波大学で開発した順圧Sモデルに応用し、そのアルゴリズム開発と収束性の検証実験を行った。

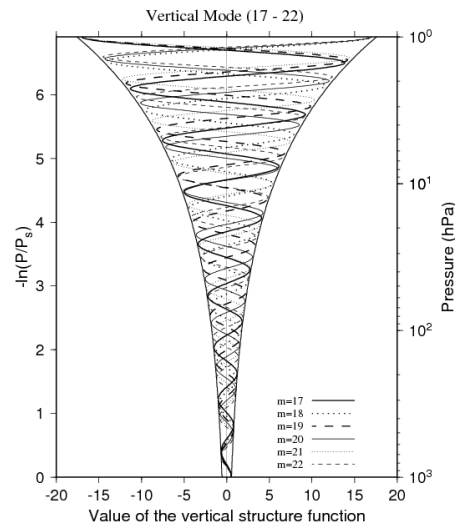
(2) 全球雲解像モデル NICAM による LETKF の開発

順圧Sモデルを用いた LETKF の検証実験を基礎として、全球雲解像モデル NICAM に LETKF を応用し、解析値が予報-解析サイクルを繰り返すうちに、次第に収束することを確認した。

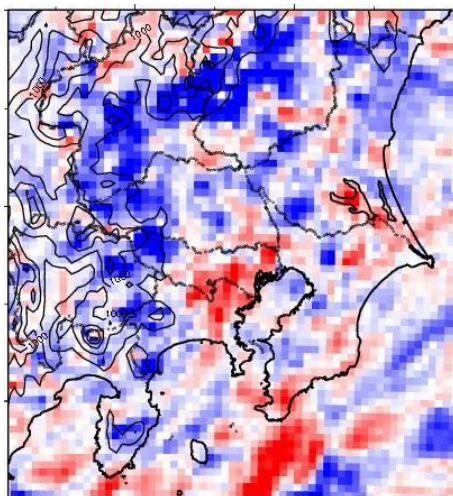


【4】大気大循環の3次元ノーマルモードエネルギー論の展開（田中博）

大気現象の卓越スケールの定量化には3次元ノーマルモード関数展開によるスペクトル解析が有用である。鉛直ノーマルモード関数展開において、これまで数値解を用いて行われた鉛直スペクトル解析を、本研究では静的安定度を定数と仮定して得られる解析解を用いて再検討した。その結果、水平波数スペクトルでこれまでに知られていた波数の-3乗則が鉛直波数スペクトルにおいても見られる事を明らかにした。



【5】都市が降水におよぼす影響評価（日下博幸）



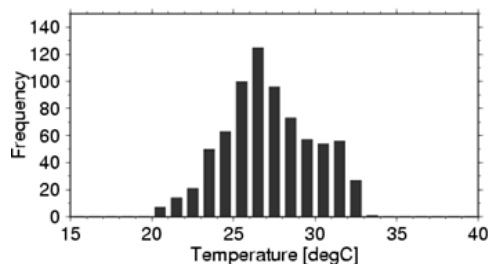
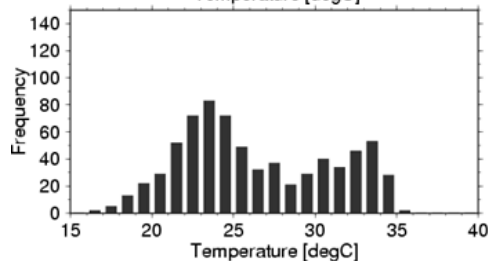
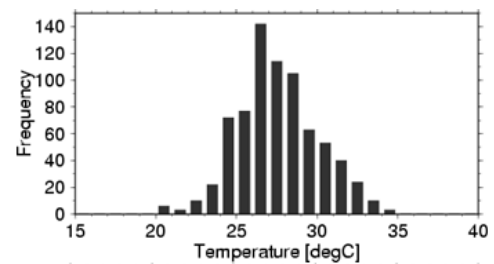
東京で発生もしくは発達した複数の降水事例に対して都市の感度実験を行った。

その結果、いくつかの事例では都市の存在が降水量を増加させるという結果を得たが、計算条件や対象事例によっては異なる結果も得られた。これは、シミュレーションに対する都市の有無の影響が、他の物理素過程モデルや初期値に用いるデータの影響に比べて相対的に小さいことや、結果にカオス性が明瞭に現れたためだと考えられる。この結果は、都市の感度実験が都

市降水の研究に対して。従来の決定論的な感度実験を行う際は細心の注意を払う必要があることがわかった。

【6】首都圏の気候再現計算の精度検証: 将来予測に向けて（日下博幸）

WRFモデルを用いて、8月の1か月シミュレーションを過去5年分(2002年~2007年)行った。従来の短期間シミュレーションで用いられてきた平板都市モデルを用いた場合は、気温の出現頻度、日変化とも再現性はあまりよくなかったが、都市気候用に開発された都市キャノピーモデルを用いた場合、将来の気候予測に使えるレベルの結果が得られることを確認した。



【7】都市キャノピーモデルの開発（日下博幸）

建物付近の地上気温をより精度良く求めるために、多層都市キャノピーモデルを開発した。東京都の神田および日本橋内約15カ所で観測された気温を用いてモデルの検証を行った結果、

測器の誤差と同程度(0.5°C)の誤差で街区内の気温を計算できることがわかった。

【8】つくば市のヒートアイランドの実態調査(日下博幸)

茨城県つくば市は東京とつくば市を結ぶつくばエクスプレスの開通により近年第二の発展を遂げている。そこで、つくば市内の公園や学校など 40 カ所に温度計を設置し、つくば市のヒートアイランドの実態調査を行った。その結果、冬季晴天日ではつくば駅付近は郊外に比べて 5°C 程度気温が高くなる傾向があることがわかった。

4. 研究業績

〈研究論文〉

1. Watarai, Y. and H.L. Tanaka 2008: Characteristics of the JRA-25 dataset from the viewpoint of global energetics. International Conf. on Reanalysis. February 2008, Tokyo Japan.
2. 田中博 2008: 異常気象をもたらす北極振動の解明とその予測(第3報). アサヒビール学術振興財団研究紀要、地球環境科学.
3. 田中博 2008: 地球温暖化予測のための気象シミュレーション:気象モデルへの逆問題の応用. 統計数理研究所、21 世紀の診断工学とその周辺(6), 99-112.
4. Byun, H.R., H. L. Tanaka, H. Michalopoulou, R.P. Pandey and D. Azzaya 2008: A study on ice control for the production of 5th-generation water resources and the arrest of global warming. Asia-Pacific J. Atmos. Sci., 44, 137-146.
5. 田中博 2001: カオスの壁を越える天気予報への挑戦. 数理解析研究講究録 1209, 10-17.
6. Matsueda, M. and H. L. Tanaka, 2008: Can MCGE Outperform the ECMWF Ensemble? SOLA, 4, 77-80.
7. 田中博 2008: ロスビー波の碎波と飽和理論によるブロッキングと北極振動の励起メカニズム. 日本流体力学会年会 2008 .
8. Tanaka, H.L., 2008: The First International Symposium on the Arctic Research: Drastic Change under the Global Warming, Preface. Proc. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan. 1-2.
9. Tanaka, H.L., and M. Ohhashi, 2008: Mechanism of the Decadal-Scale Variation of the Arctic Oscillation Index. Proc. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan. 20-23.
10. Ohhashi, M. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Analysis of Arctic Oscillation Simulated by Global Warming Prediction Models. Proc. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan. 222-225.
11. Terasaki, K. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Spectral energetics analysis of the general circulation of the atmosphere in the vertical wavenumber domain. Proc. First International Symposium on the Arctic

- Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan. 230-233.
12. Seta, M. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Research of forcing sources causing the blocking high related to the Okhotsk high. Proc. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan. 249-252.
 13. Kondo, K. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Influence of local ensemble transform Kalman filter with the NICAM on high latitudes. Proc. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan. 226-229.
 14. Kato, S. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Prediction experiments of the Arctic Oscillation index using a barotropic general circulation model. Proc. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan. 241-244.
 15. Ikeda, M. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Positive feedback between polar jet and polar mode of baroclinic instability. Proc. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan. 210-213.
 16. Fujiwara, F. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Interaction between the baroclinically unstable wave and the subtropical and polar-frontal jets. Proc. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan. 234-237.
 17. Takahashi, S. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Dynamics and statistics of cyclones over the Arctic Ocean compared with extra-tropical cyclones. Proc. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan. 214-217.
 18. 田中博, 2008: 日本の異常気象と北極振動の関係. 2008 年度雪氷防災研究講演会報文集、防災科学技術研究所、雪氷防災研究センター. 1-6
 19. 田中博, 2009: 異常気象をもたらすと北極振動の力学. 「てんきすと」, 第 56 号, 2009 年 1 月, 1-3.
 20. Kondo, K. and H. L. Tanaka 2009: Comparison of the extended Kalman filter and the ensemble Kalman filter using the barotropic general circulation model. J. Meteor. Soc. Japan, 87, 347-359.
 21. Kusaka, H., (2008) Recent progress on urban climate study in Japan: *Geograph. Rev. Japan*, 81, 361-374.
 22. Ohashi, Y., T. Kawabe, Y. Shigeta, Y. Hirano, H. Kusaka, H. Fudeyashu, and K. Fukao (2008) Thermal Environments in Commercial and Residential Spaces in Okayama City, Japan, Using the Wet-Bulb Globe Temperature Index. Evaluation of Urban. *Theoretical and Applied Climatology*, 95, 279-289..
 23. Suga, M., R. Oda, H. Kusaka, and M. Kanda (2009) Impacts of anthropogenic energy and urban canopy model on urban atmosphere, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 53. 283-288.
 24. 日下博幸・大庭雅道・鈴木智恵子・林陽生・水谷千亜紀 (2009) 冬季晴天日におけるつくば市のヒートアイランド: 予備観測の結果. 日本ヒートアイランド学会論文集, 4, 10-14.
 25. 畔柳秀匡・大橋唯太・亀卦川幸浩・岡和孝・重田祥範・平野勇二郎・日下博幸・Fei Chen (2009) 街区構造と電力需要の違いが都市熱環境に及ぼす影響—大阪市街地を対象にした解析—. 水工学論文集, 53, 289-294.

26. 日下博幸(2008) ヒートアイランド気象学事始め(2). 日本ヒートアイランド学会誌, 3, 36-39.
27. 日下博幸(2009) 領域気象モデル WRF について. ながれ, 28, 3-12.
28. 井上君夫・木村富士男・日下博幸・吉川実・後藤伸寿・菅野洋光・佐々木華織・大原源二・中園江(2009) 気候緩和評価モデルの開発と PC シミュレーション. 12, 1-25.

〈学会発表〉

(A)招待講演

1. 田中博, 2008: 日本の異常気象と北極振動の関係. 2008 年度雪氷防災研究講演会、防災科学技術研究所.
2. 田中博, 2008: 気象学とカオス、日本気象学会秋季大会、大気象サイエンスカフェ
3. Tanaka, H.L., and M. Ohhashi, 2008: Mechanism of the Decadal-Scale Variation of the Arctic Oscillation Index. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan.

(B)その他の学会発表

1. 田中博 2008: ロスビー波の碎波と飽和理論によるブロッキングと北極振動の励起メカニズム. 日本流体力学会年会.
2. Tanaka, H.L., 2008: The First International Symposium on the Arctic Research: Drastic Change under the Global Warming, Opening Address. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan.
3. Ohhashi, M. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Analysis of Arctic Oscillation Simulated by Global Warming Prediction Models. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan.
4. Terasaki, K. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Spectral energetics analysis of the general circulation of the atmosphere in the vertical wavenumber domain. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan.
5. Seta, M. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Research of forcing sources causing the blocking high related to the Okhotsk high. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan.
6. Kondo, K. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Influence of local ensemble transform Kalman filter with the NICAM on high latitudes. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan.
7. Kato, S. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Prediction experiments of the Arctic Oscillation index using a barotropic general circulation model. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan.

8. Ikeda, M. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Positive feedback between polar jet and polar mode of baroclinic instability. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan.
9. Fujiwara, F. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Interaction between the baroclinically unstable wave and the subtropical and polar-frontal jets. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan.
10. Takahashi, S. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Dynamics and statistics of cyclones over the Arctic Ocean compared with extra-tropical cyclones. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan.
11. 日下博幸・足立幸穂・木村富士男・原政之・羽入拓朗(2008)領域気候モデルを用いた将来の都市気候予測. 日本地理学会秋季大会.
12. 日下博幸・北畑明華(2008)寒冷前線通過時の降水パターンのメカニズムの解明. 日本地理学会秋季大会
13. 日下博幸・秋本祐子(2008)2007年8月16日多治見猛暑の数値シミュレーション. 日本ヒートアイランド学会全国大会.
14. 日下博幸・大庭雅道・鈴木智恵子・林陽生(2008)冬季晴天日におけるつくば市のヒートアイランド現象ー予備観測の結果ー. 日本ヒートアイランド学会全国大会.
15. 日下博幸・秋本祐子(2008)スカイスポーツのための局地気象研究:筑波山フライトエリアで発生するアーベントテルミックの要因解明. 日本気象学会春季大会.
16. 局地風の数値シミュレーションの現状と課題.第 49 回気候影響・利用研究会シンポジウム.
17. 高根雄也・大橋雄太・亀卦川幸浩・岡和孝・重田祥範・平野勇二郎・日下博幸・Fei Chen・Mukul Tewari・Shiguang Miao (2008) 夏季に大阪平野で発達する局地循環と都市化が地域の気候場の形成に及ぼす影響-大気境界層の熱・水収支の解析-. 日本ヒートアイランド学会全国大会.
18. 高根雄也・日下博幸・原政之・足立幸穂・木村富士男(2008)熊谷猛暑の形成メカニズムー2007年8月16日の事例解析. 日本ヒートアイランド学会全国大会.
19. 高根雄也, 大橋唯太, 亀卦川幸浩, 岡和孝, 平野勇二郎, 日下博幸, Fei CHEN, Mukul TEWARI, Shiguang MIAO, 2008:夏季に大阪平野で発達する局地循環と 都市化が地域の気候形成に及ぼす影響-大気境界層の熱・水収支解析, 日本気象学会 2008 年度秋季大会.
20. 高根雄也(2008)2007年8月16日に発生した熊谷猛暑の形成メカニズム. 第49回気候影響・利用研究会シンポジウム.
21. 高根雄也, 日下博幸, 原政之, 秋本祐子, 木村富士男, 足立幸穂, 2008: 2007年8月16日に発生した熊谷猛暑の形成メカニズム-WRF モデルを用いた熱収支解析, 日本気象学会 2008 年度秋季大会.
22. 池田亮作・日下博幸(2008)簡略化した多層都市キャンピーモデルの開発. 日本ヒートアイランド学会全国大会.
23. 宮由可子・日下博幸(2008)鉛直構造に着目した空っ風の気候学的研究.第 49 回気候影響・利用研究会

シンポジウム。

5. シンポジウムの開催

第1回国際北極研究シンポジウム(ISAR-1)の開催(実行委員長)。参加者は総勢190名、(海外11カ国から59名、日本人131名)で、北極海の海氷激減に関するシンポジウムステートメントを発表。