

# 20km 格子全球大気モデルによる冬季東アジアモンスーンの再現性

楠 昌司 (気象研究所 気候研究部)

## 1. はじめに

本研究では、20kmという高い水平分解能を持った全球大気モデルを用い、現在気候の再現実験を行った。20kmの水平分解能は、気候研究に用いられる全球大気モデルとしては前例が無いほど高いものである。以後、このモデルを20kmモデルと呼ぶ。

大気モデル相互比較計画 Atmospheric Model Intercomparison Project (AMIP:Gates 1992) が提唱する大気モデルの性能を評価する実験を行った。国際的に広く行われており AMIP 実験と呼ばれることが多い。大気モデルに観測された年々変動のある海面水温 Sea Surface Temperature (SST)を長期間与え、モデルの気候値や年々変動の再現性を調査した。2005年から2006年にかけて日本は大寒冬となった。20kmモデルによる2005/06年の日本の大寒冬の再現性も調べた。

本研究の成果は、文部科学省「人・自然・地球共生プロジェクト」の課題4「高精度・高分解能気候モデルの開発」において、全球大気モデル開発グループが行った数値実験に基づいている。

## 2. モデル

20kmモデル(TL959)は、気象庁の現業天気予報モデルを気象研究所で気候研究用に改造した静力学の全球大気モデルである(Mizuta et al. 2006)。TL959は、球面調和関数の3角形(Triangular)切断方式の最大波数が959であり、セミ・ラグランジュ法を適用するためガウスの1次(線形 Linear)格子を使用していることを表す。Yoshimura and Matsumura (2005)によるセミ・ラグランジュ法で、力学部分を高速化している。鉛直方向は60層、最上層は0.1 hPaで高度約65 kmに相当する。降水過程については、荒川・シューベルトの予報的積雲対流スキーム(Randall and Pan 1993)を使用している。20kmモデルによる実験は「地球シミュレータ」と呼ばれる世界最高・最大級のスーパー・コンピューターで行った(Habata et al. 2003; Habata et al. 2004)。

## 3. 実験設定

Rayner et al. (2003)による観測されたSSTおよび海氷の密接度データ(HadISST)を1979年1月から2006年2月まで20kmモデルに与えた。期間は27年2か月である。大気中の二酸化炭素濃度は348ppmで固定した。比較のため水平解像度を180kmにしたモデル(TL95)で全く同じ実験を行った。

図1は日本付近のモデル地形を示している。20kmモデルは180kmモデルに比べ、山の高さが3倍以上となっている。また、180kmモデルでは、実際には存在しない地形が海上にはみ出している。

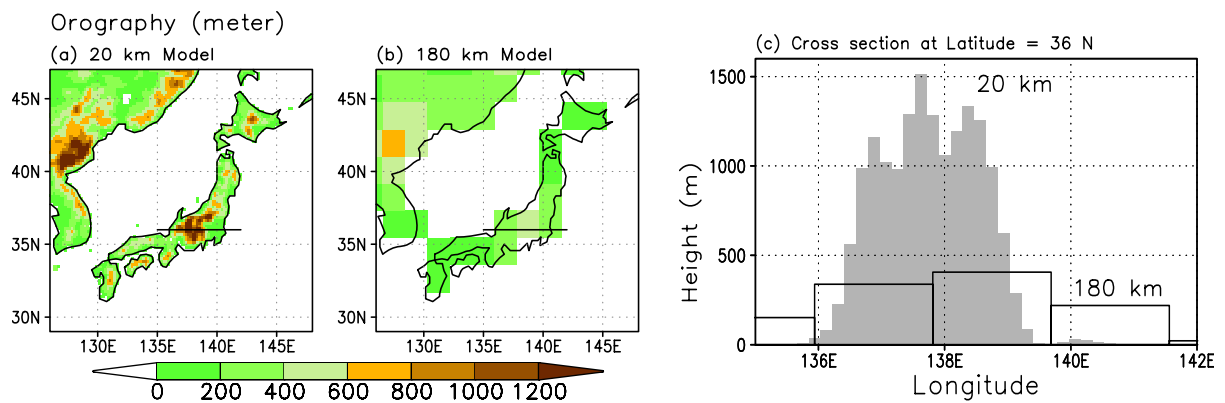


図1 モデルの地形(m)。 (a)20kmモデル、(b)180kmモデル、(c)北緯36度における地形断面、影が20kmモデル、白抜き棒グラフが180kmモデル、断面の位置は図1a, b中の直線

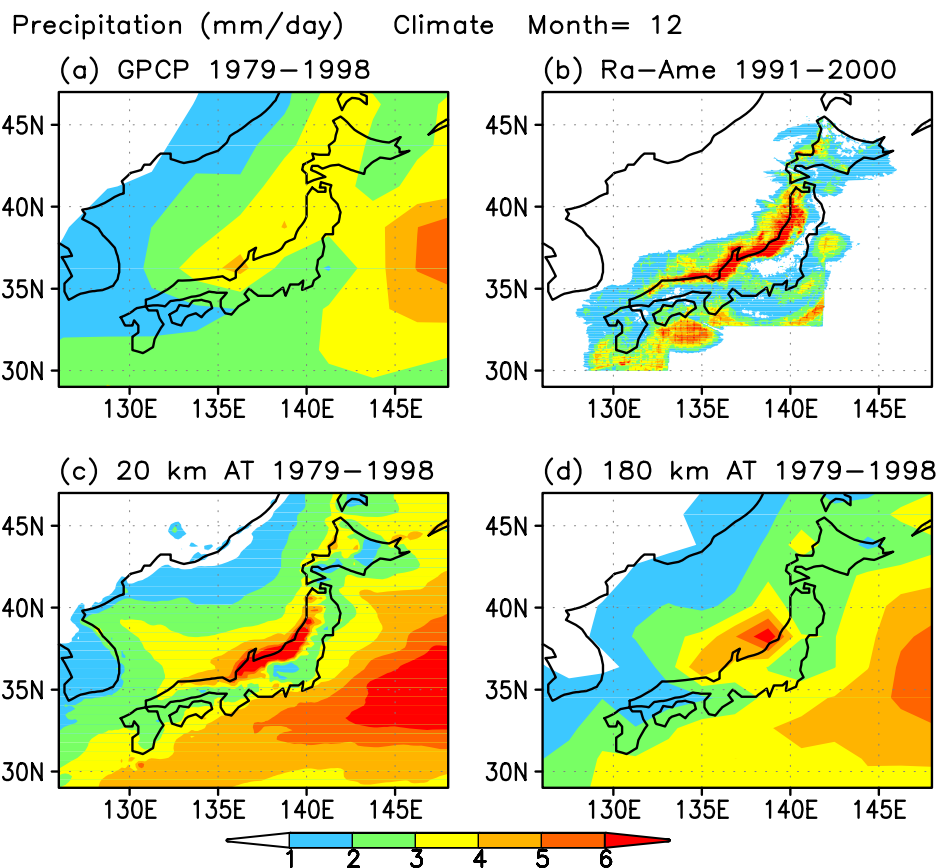


図2 12月の降水量の気候値(mm/day)、(a)観測値GPCPデータ(Adler et al. 2003)、1979~1998年の20年平均、格子間隔は2.5度、(b)レーダーアメダス合成値(Makihara 1996)、1991~2000年の10年平均、格子間隔は約5km、(c)20kmモデル、1979~1998年の20年平均、(d)180kmモデル、1979~1998年の20年平均

Mean Sea Level Pressure (hPa) Month = 12

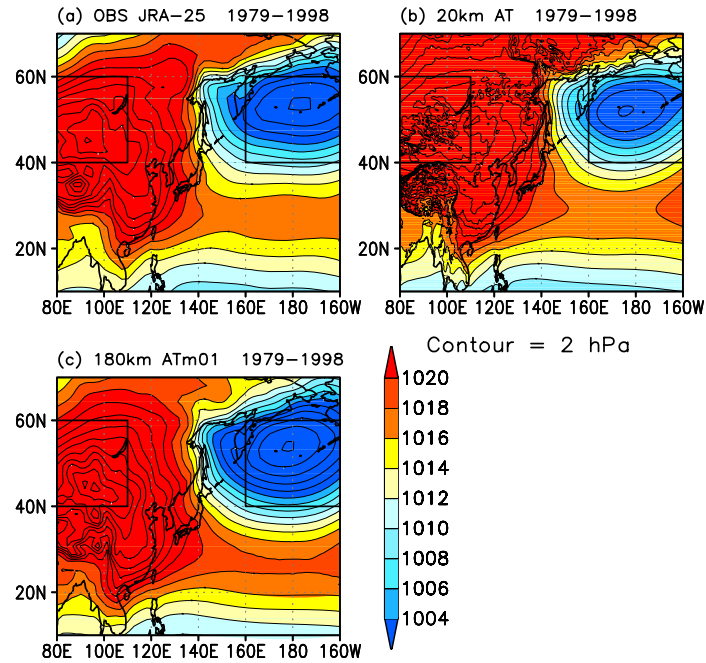


図3 12月の海面更正気圧の気候値(hPa)、等値線間隔2 hPa、1979~1998年の20年平均、(a)観測値 JRA-25 (Onogi et al. 2005)、矩形領域は図8で使用する指数の定義域、(b)20kmモデル、(c)180kmモデル

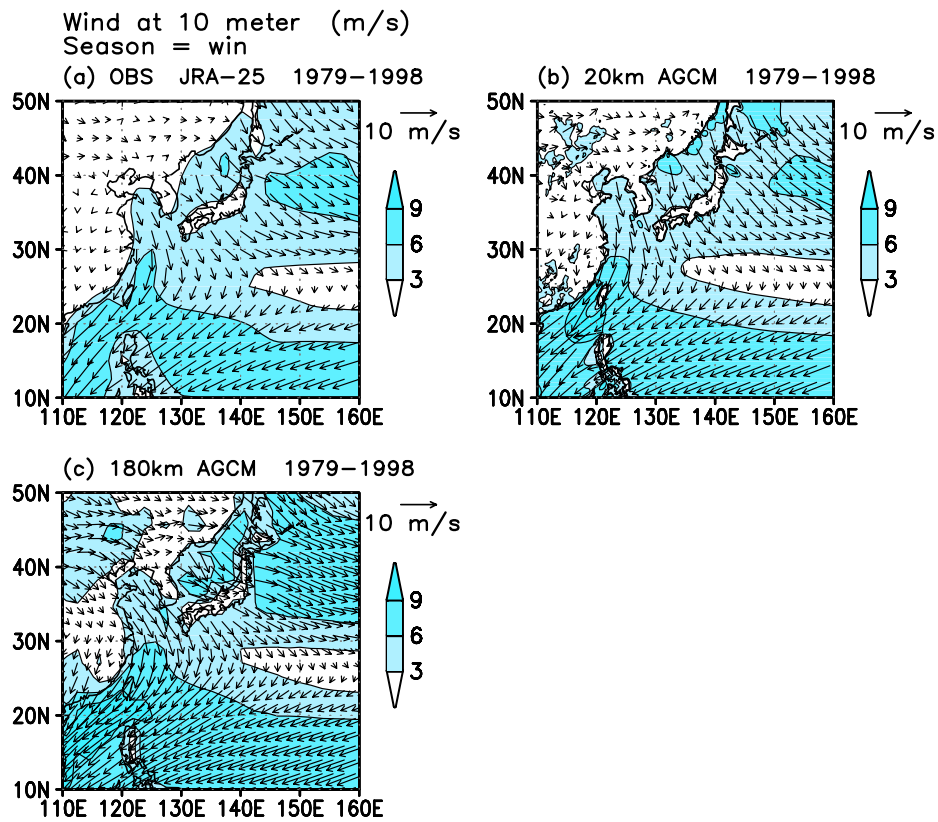


図4 冬(12~2月)の高度10m地上風の気候値(m/s)、等値線は風速の絶対値で間隔は3 m/s、1979~1998年の20年平均、(a)観測値 JRA-25、(b)20kmモデル、(c)180kmモデル

#### 4. 検証用観測データ

日本の長期再解析 JRA-25 (Onogi et al. 2005)を使用した。用いたデータセットは水平分解能が経度・緯度 2.5 度で、日本付近で約 210 km である。期間は 1979 年 1 月～2006 年 2 月。

降水量は、Adler et al. (2003)による the Global Precipitation Climatology Project (GPCP) である。水平分解能は経度・緯度 2.5 度である。期間は 1979～2001 年の 23 年間。日本については Makihara (1996)によるレーダーアメダス合成値も用いた。水平分解能は約 5km、期間は 1991～2000 年の 10 年。

#### 5. 気候値

観測、モデルともに気候値は 1979～1998 年の 20 年平均とした。図 2 は、12 月の降水量の気候値を示している。20km モデルは、180km モデルよりも日本海側での降水の集中がより良く再現されている。20km モデルの方が 180km モデルよりも地形がより現実的になっていること (図 1) が原因の一つである。図 3 は、12 月の海面更正気圧の気候値を示している。20km モデル、180km モデル共に観測値を概ね再現している。しかし、180km モデルでは、アリューシャン低気圧の中心気圧が観測よりも低い。図 4 は冬(12～2 月)の地上風の気候値を示している。20km モデル、180km モデルともに観測値を概ね再現している。しかし、180km モデルでは、日本海と日本の東海上の風速が観測よりも大きい。これは 180km モデルの地形が滑らか過ぎること (図 1) に関係している。図 5 は冬の 500 hPa 高度の気候値を示している。北極域にある 5100m の等値線で囲まれた領域を見ると、20km モデル、180km モデルともに観測値より狭い。即ち、北極でモデルの高度が観測より高い。また、中緯度でモデルの高度が

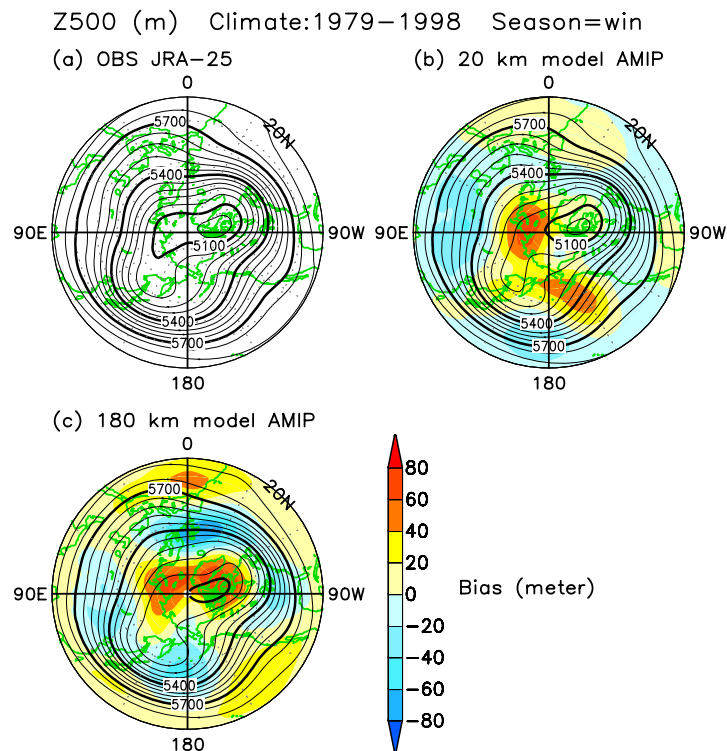


図 5 冬(12～2 月)の 500 hPa 高度の気候値(m)、等値線間隔は 60m、1979～1998 年の 20 年平均、(a) 観測値 JRA-25、(b)20km モデル、影は誤差、(c)180km モデル、影は誤差

観測より低い。地衡風平衡を考慮すると、モデルでは西風ジェットが観測より弱い（図略）。

モデルは冬の東アジア・モンスーンの気候値を概ね良く再現している。従来の研究では、モデルによる冬の東アジア地域のモンスーンの再現性は良いことが知られている（楠 2003）。気候変動に関する政府間パネル第4次報告書(IPCC AR4, <http://www.ipcc.ch/>)に参加した大気海洋結合モデルでも冬の東アジア・モンスーンの再現性が良いことが報告されている(Hori and Ueda 2006)。本研究でも、20kmモデルによって同様の傾向が確かめられた。

## 6. 年々変動

図6は日本を含む東アジア域で平均した12月の500 hPa高度偏差の年々変動を示している。平均した領域は気象庁気候情報課でモデルの検証に使用している JAP 領域と同じである。観測では1980年代中ごろで低く、その後1990年代前半までに上昇する傾向がある。モデルではその変動がある程度再現されているものの、1990年代中ごろ以降は観測をほとんど再現できていない。全期間中の観測とモデルの時系列の相関係数は低い。Kusunoki and Kobayashi (2003)は、水平分解能が180kmのモデル(T63)に観測されたSSTを与え季節予報実験を行っている。季節予報では大気の初期条件を与えるので、本研究に比べ予測可能性の観点からは有利である。Kusunoki and Kobayashi (2003)のFig. 14には、各格子点で求めた500hPaの観測とモデルの年々の時系列の相関係数が示されている。どの季節も熱帯では高いが、中高緯度では低い。これは、中高緯度の大気の変動がSSTで支配されているのではないことを意味している。本研究の結果(図6)は、Kusunoki and Kobayashi (2003)の結果と整合する。

2005/06年の日本の大寒冬は、2005年12月が特に寒かった。図6を見ると2005年は観測期間中最も大きな負偏差となっている。2005年はモデルでも負偏差が出ているが、絶対値が過小である。

気象庁気候情報課では500 hPa高度偏差によるさまざまな指標を定義し、1か月予報や季節予報に利用している(若林と濱田 2004)。極東極渦指数(FEPV)は日本の冬の地上気温と高い負相関がある。北半球東西指数(NHZI)、極東東西指数(FEZI)、中緯度高度(MIDH)は日本の冬の地上気温と高い正相関がある。これらの指数について図6と同じ図を作ったところ、FEZIとMIDHの再現性が180kmモデルで良かった。20kmモデルの180kmモデルに対する優勢性は見出せなかった。

図7は12月の850 hPa気温偏差の年々変動を示している。観測値は500 hPa高度偏差と同じような年々変動を示している。モデルは観測された年々変動を再現できていないが、500 hPa高度偏差(図6)に比べると相関係数は高い。これは850 hPaの方が500 hPaより地上に近いので、850 hPa気温の方が500 hPa高度よりSSTの影響を受けやすいためと思われる。観測では2005年の偏差は $-1.75^{\circ}\text{C}$ で、1984年の $-1.76^{\circ}\text{C}$ の次に寒かった年だった。2005年はモデルでも負偏差が出ているが、180kmモデルの方が観測に近い。

図8は12月のシベリア高気圧とアリューシャン低気圧との気圧差の年々変動を示している。気圧差は寒気の吹き出しの強さに対応している。20kmモデルは180kmモデルより気圧差の再現性が良い。2005年は観測期間中最も大きな気圧差となっている。これは寒気の吹き出しが強かったことを示唆しており、2005年の500 hPa高度と850 hPa気温が大きな負偏差を示していることと整合する。なお、シベリア高気圧、アリューシャン低気圧それぞれ単独の年々変動を調べたところ、20kmモデルによるアリューシャン低気圧の再現性のみが良かった。

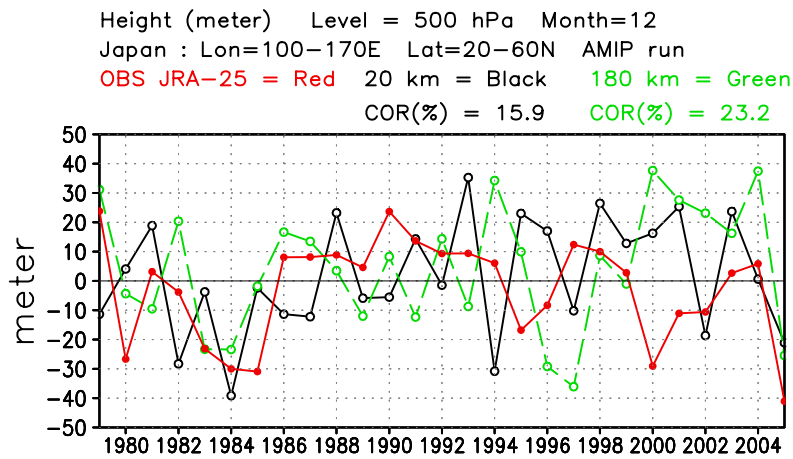


図6 12月の500 hPa高度偏差の年々変動(m)、東アジア域平均(100-170E, 20-60N)、赤い実線が観測JRA-25、黒い実線が20kmモデル、緑の破線が180kmモデル、COR(%)は観測とモデルの時間相関係数

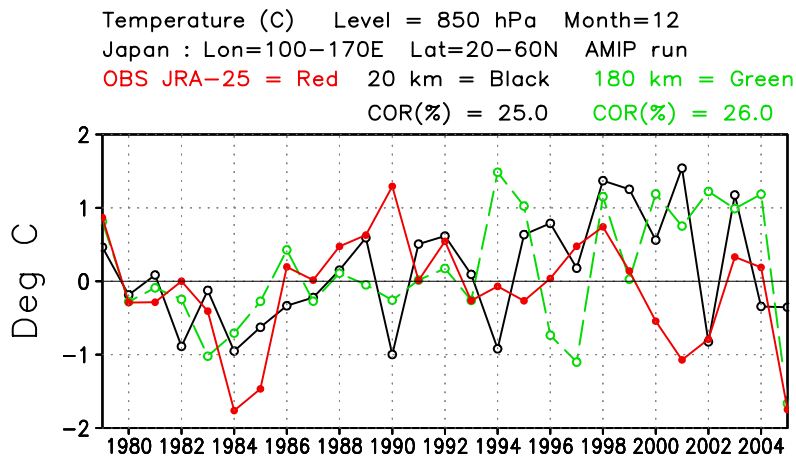


図7 12月の850 hPa気温偏差の年々変動(°C)、形式は図6と同じ

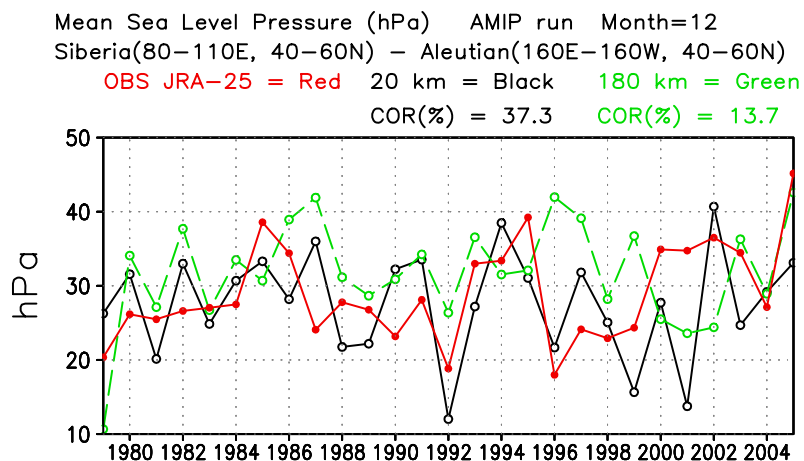


図8 12月のシベリア高気圧(80-110E, 40-60N)とアリューシャン低気圧(160E-160W, 40-60N)との気圧差の年々変動(hPa)、シベリア高気圧とアリューシャン低気圧の定義域を図3に示す。

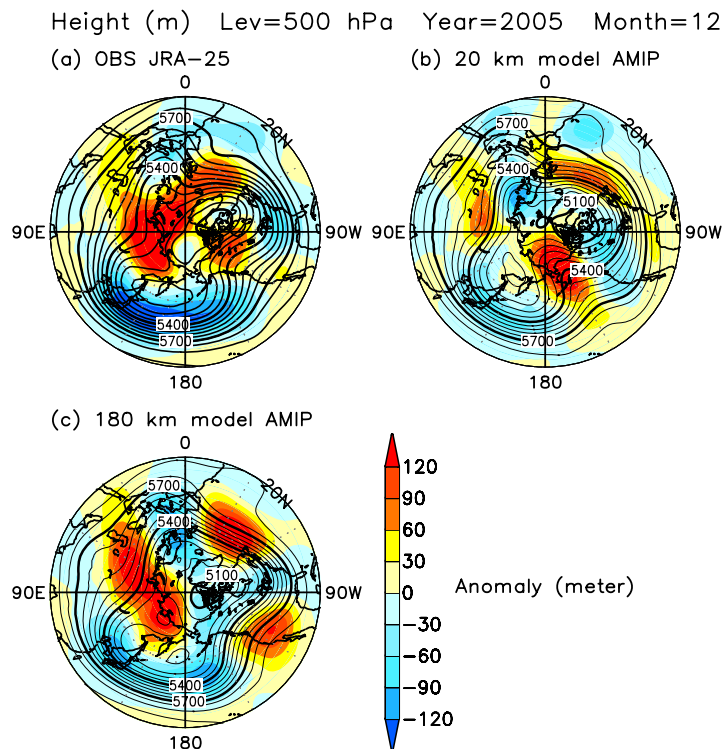


図9 2005年12月の500 hPa高度(等値線間隔60 m)と偏差(影)、(a)観測値 JRA-25、(b)20kmモデル、(c)180kmモデル

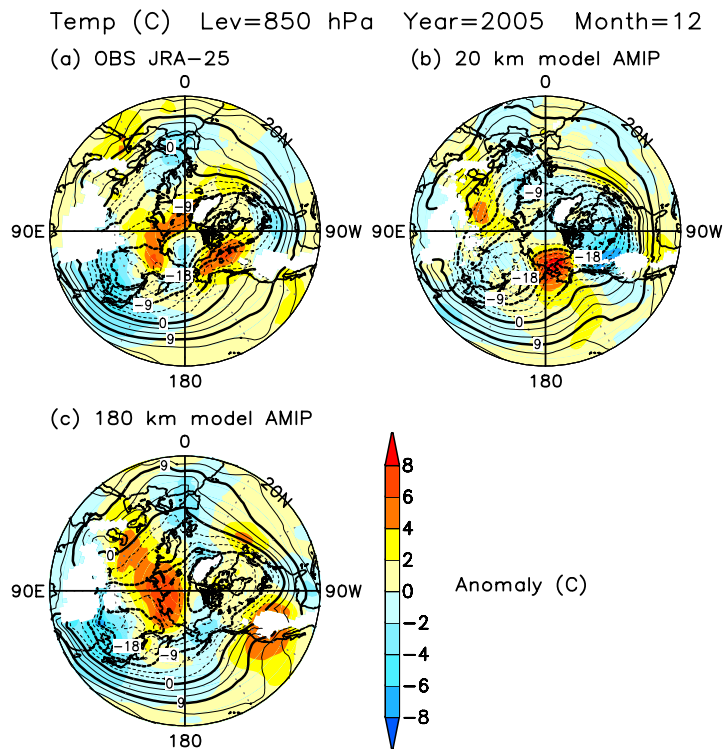


図10 2005年12月の850 hPa気温(等値線間隔3 °C)と偏差(影)、(a)観測値 JRA-25、(b)20kmモデル、(c)180kmモデル

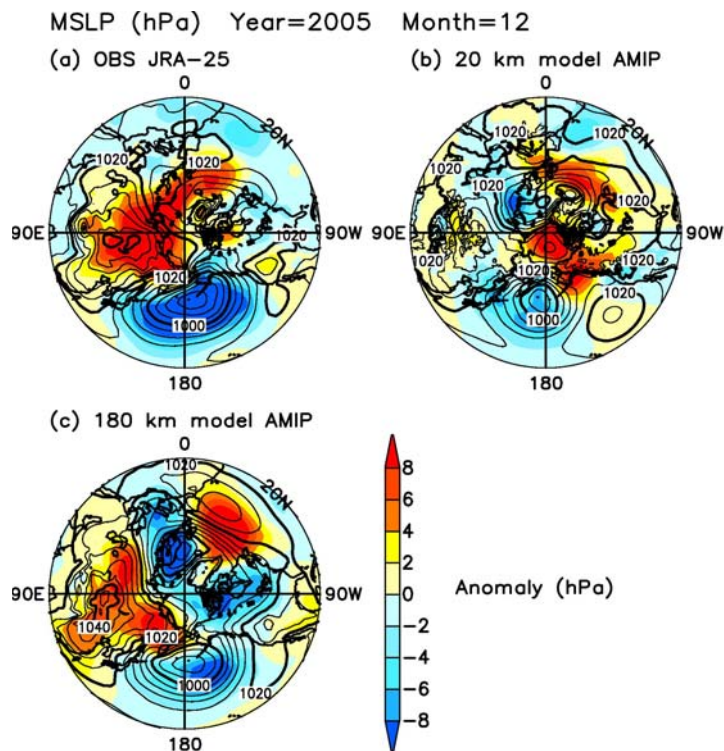


図 11 2005 年 12 月の海面更正気圧(等値線間隔 4 hPa)と偏差(影)、(a)観測値 JRA-25、(b)20km モデル、(c)180km モデル

## 7. 2005 年 12 月の偏差分布

日本が大寒冬となった 2005 年 12 月の大気大循環の再現性を調べた。図 9 は 2005 年 12 月の 500 hPa 高度と偏差を示している。20km モデル、180km モデル共に日本付近の負偏差と西風ジェットの蛇行を良く再現している。20km モデルは、シベリアの正偏差が弱い。180km モデルは、アラスカのリッジが弱く、正偏差が南にずれている。

図 10 は 2005 年 12 月の 850 hPa 気温と偏差を示している。20km モデル、180km モデル共に日本付近の負偏差を良く再現している。シベリアとアラスカの正偏差の再現性については、500 hPa 高度と同様な欠点がある。

図 11 は 2005 年 12 月の海面更正気圧と偏差を示している。20km モデル、180km モデル共に日本付近の負偏差を再現しているが、絶対値が足りない。20km モデルはシベリアの正偏差が弱い。

20km モデルは、2005 年 12 月の日本付近の大気の偏差場を良く再現している。180km モデルも同様な再現性を示している。日本付近以外の地域については、20km モデルと 180km モデルで再現性の違いが見られた。この実験では観測された SST のみをモデルに与えていることから、2005 年 12 月の日本付近の大気の流れは SST の影響を受けていた可能性がある。

## 8. まとめ

20km モデルは冬の東アジア地域の降水量、海面更正気圧、地上風、500 hPa 高度の気候値を良く再現している。特に、降水量については局所的な地形が表現されているため、日本海側の降水の集中が再現されている。20km モデルは、東アジア地域の 500 hPa 高度場の年々変



動を再現できない。20km モデルは、寒気の吹き出しの強さに対応するシベリア高気圧とアリューシャン低気圧との気圧差の年々変動を再現している。

20km モデルは、日本が大寒冬となった 2005 年 12 月の日本付近の大気の偏差場を良く再現している。この実験では観測された SST のみをモデルに与えていることから、2005 年 12 月の日本付近の大気の流れは SST の影響を受けていた可能性がある

### 謝辞

本研究は、文部科学省「人・自然・地球共生プロジェクト」の課題 4「高精度・高分解能気候モデルの開発」全球大気モデル開発グループの多くの仲間の協力により行われました。以下の方々に感謝します。気象研究所：尾瀬 智昭、上口 賢治、鬼頭 昭雄、柴田 清孝、野田 彰、保坂 征宏、安田 珠幾、行本 誠史、吉村 純、吉村 裕正、気象庁予報部数値予報課：岩村 公太、大和田 浩美、岡本 幸三、経田 正幸、北川 裕人、小森 拓也、酒井 亮太、坂下 卓也、竹内 義明、田宮 久一郎、中川 雅之、成井 昭夫、平井 雅之、美濃 寛士、村井 臣哉、山口 宗彦、山田 和孝、気象庁地球環境・海洋部気候情報課：釜堀 弘隆、川合 秀明、前田 修平、藪 将吉、地球科学技術総合推進機構：荒川 理、大内 和良、水田 亮、宮本 健吾、村上 裕之、福田 和代（五十音順）。

### 参考文献

- Adler, R. F., G. J. Huffman, A. Chang, R. Ferrano, P.-P. Xie, J. Janowiak, B. Rudolf, U. Schneider, S. Curtis, D. Bolvin, A. Gruber, J. Susskind, P. Arkin and E. Nelkin, 2003: The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979–Present). *J. Hydrometeor.*, **4**, 1147–1167.  
<http://precip.gsfc.nasa.gov/>
- Gates, W. L., 1992: AMIP: The atmospheric intercomparison project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **73**, 1962–1970.  
<http://www-pcmdi.llnl.gov/projects/amip/index.php>
- Habata, S., M. Yokokawa and S. Kitawaki, 2003: The development of the Earth Simulator. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, **E86-D**, 1947–1954.
- Habata, S., K. Umezawa, M. Yokokawa and S. Kitawaki, 2004: Hardware system of the Earth Simulator. *Parallel Computing*, **30**, 1287–1313.
- Hori, M. E. and H. Ueda, 2006: Impact of global warming on the East Asian winter monsoon as revealed by nine coupled atmosphere–ocean GCMs. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L03713, doi:10.1029/2005GL024961.
- 楠 昌司、2003: 第5章「モンスーンの予測可能性」、気象研究ノート第204号「モンスーン研究の最前線」、川村隆一編集、153–188.
- Kusunoki, S. and C. Kobayashi, 2003: Skill evaluation of probabilistic forecasts by the atmospheric seasonal predictability experiments. *J. Meteor. Soc. Japan*, **81**, 85–112.
- Makihara, Y., 1996: A method for improving radar estimates of precipitation by comparing data from radars and raingauges. *J. Meteor. Soc. Japan*, **74**, 459–480.
- Mizuta, R., K. Oouchi, H. Yoshimura, A. Noda, K. Katayama, S. Yukimoto, M. Hosaka, S.

- Kusunoki, H. Kawai and M. Nakagawa, 2006: 20km-mesh global climate simulations using JMA-GSM model - Mean Climate States -. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 165-185.
- Onogi, K., H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, J. Tsutsui, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, S. Kadokura and K. Wada, 2005: JRA-25; Japanese 25-year Reanalysis—progress and status—. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **131**, 3259-3269.  
<http://jra.kishou.go.jp/>
- Randall, D. A., and D. M. Pan, 1993: Implementation of the Arakawa-Schubert cumulus parameterization with a prognostic closure. Meteorological Monographs, Vol. 24, No. 46, The representation of cumulus convection in numerical models. American Meteorological Society, Chapter 11, 137-147.
- Rayner, N.A., D.E. Parker, E.B. Horton, C.K. Folland, L.V. Alexander, D.P. Rowell, E.C. Kent, and A. Kaplan, 2003: Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res.*, **108**, D14, 4407, doi:10.1029/2002JD002670  
<http://dss.ucar.edu/datasets/ds277.3/>
- 若林 正夫、濱田 啓次、2004: 4 節 大規模場と日本の天候、平成 16 年度季節予報研修テキスト、気候の変動と季節予報、気象庁気候・海洋気象部気候情報課発行、平成 16 年 10 月、40-64.
- Yoshimura, H. and T. Matsumura, 2005: A two-time-level vertically-conservative semi-Lagrangian semiimplicit double Fourier series AGCM. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Ocean Modeling, **35**, 3.27-28.