

夏季東アジア域の天候の年々変動

荒井 美紀・木本 昌秀(東大・CCSR)

1. はじめに

夏季東アジア域の気候を特徴付けるものの一つとして、梅雨前線の存在がある。これは、東アジアモンスーンの一部と見做され (Ninomiya and Murakami 1987), その位置や強度は大きな年々変動を持つ。それゆえ、東アジアモンスーンや梅雨前線の変動のメカニズムを理解し、予測可能性を探る研究が多く行われてきた。日本付近の梅雨前線の年々変動に重要な役割を果たす、南の太平洋高気圧と北のオホーツク海高気圧のうち、太平洋高気圧の変動には熱帯域からの影響が指摘されている (Nitta 1987 など)。一方で、オホーツク海高気圧の年々変動は梅雨前線に影響を及ぼす (Kurashima 1969; Wang 1992) のみならず、日本の北東部を中心に冷夏をもたらすことも知られている (Ninomiya and Mizuno 1985; Kodama 1997)。

地球温暖化による影響を評価するための大気大循環モデルを用いた近年の研究で、梅雨前線上の降水の増加や、オホーツク海高気圧の強化が報告されている (Kimoto 2005)。Kimoto (2005) ではさらに、17 種類の大気海洋結合モデルの温暖化シミュレーション結果から、こうした気圧パターンは北東ユーラシアの地表面気温の増加と関連していることを指摘している。しかし、これまでのところ夏季東アジア域の将来予測は全般的に、異なる大気海洋結合モデルによる結果の一致点は少ない (Giorgi and Fransisco 2000)。

本研究では、まず、比較的解像度の高い大気大循環モデルを用いてこうした夏季の東アジア域の天候の年々変動の再現が可能かどうかについて議論する。さらに、二酸化炭素の増加に伴う気温上昇への投影を試み、現在気候との違いについて考察する。

2. 数値実験とデータ

本研究で使用した大気大循環モデルは、CCSR/NIES/FRCGGS (図 2)。このモードにおいては、ジオポテンシャル高度場は第 1 モードと比較して東西方

解像度は T106L56 とした。現在気候の再現実験としては (以下、現在気候実験と表記)、1979 年 1 月 1 日から 1998 年 12 月 31 日の期間の観測された海面水温を与えた積分を初期値を変えて 5 種類のアンサンブル実験を行った。比較する観測データは、主に ECMWF ERA-40、降水量のみ CMAP (Xie and Arkin 1997) の同期間を用いた。さらに、二酸化炭素倍増実験として、7 種類の研究機関が二酸化炭素倍増条件下で行った、大気海洋結合モデルによる気候値の増分を 1979 年 1 月 1 日から 1998 年 12 月 31 日の観測値に加えた海面水温を与えて、現在気候の 2 倍の二酸化炭素を与えて 20 年分の積分を行った。

3. 夏季東アジア域の主変動モード

モデルがどの程度現実の夏季 (JJA) の東アジア域の気候の年々変動を再現しているのか調べるため、夏季平均の 500hPa ジオポテンシャル高度場の東アジア及び北西太平洋域 (80°E-180°E, 20°N-70°N) に着目して解析を行った。この領域の観測の 20 夏分、現在気候実験の 20×5 夏分に対して EOF 解析を行った結果を図 1 に示す。第 1 主成分 (PC1) の 500hPa ジオポテンシャル高度場への線形回帰図より、観測 (図 1(a))、現在気候実験 (図 1(b)) で得られた最も卓越するモードは、共通して 130°E 付近で南北 3 重極構造を持つ。さらに、このモードは順圧的な構造をしており、正符号のときに低圧部にあたる、中国南部から西太平洋に伸びる降雨帯の強化を伴う (図 1(c), (d))。また、PC1 の時系列も観測と現在気候とで非常に良く似ており、アンサンブル平均と観測との相関係数は 0.65 であった。

ジオポテンシャル高度場、降水量、海面気圧場への第 2 主成分 PC2 の回帰図においても、観測と現在気候実験とはよく似た空間パターンを示し

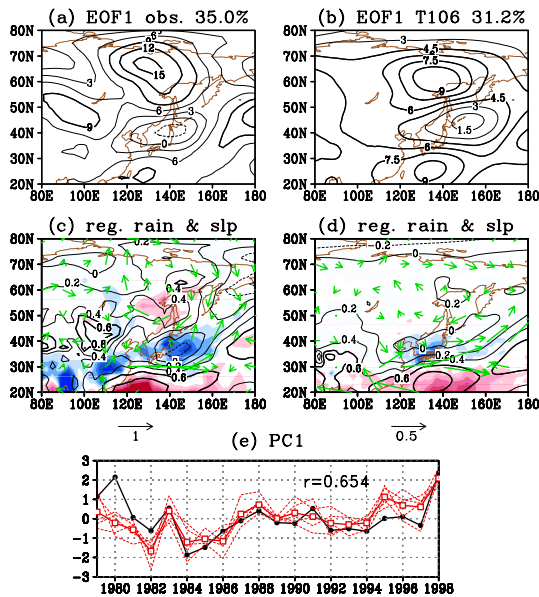


図 1: 夏季東アジア域 (80°E-180°E, 20°N-70°N) の 500hPa 面ジオポテンシャル高度場の PC1 への (a)(b)500hPa 面高度, (c)(d)海面気圧 (コンター), 降水量 (陰影: 間隔は0.2), 850hPa 面上の風 (矢印) への回帰. (e) 主成分 PC1 の時系列. 黒線は観測, 赤太線はアンサンブル平均, 赤点線は各アンサンブル.

向に広がった南北双極子構造をしており, この二つの波のコントラストが大きい. 観測と現在気候実験のアンサンブル平均の PC2 の時系列の相関は 0.50 と高い値を示した. これらのことは, この大気大循環モデルで, 東アジア域の夏季の天候の年々変動が現実的に表現されていることを示している. また, これら二つのモードはアンサンブル平均された場でも再現できたことから, 海面水温のような境界条件に大きく影響を受けていると考えられる. さらに, 同様の解析をより解像度の低い (T42L20) 大気大循環モデルの結果についても行ったが, これまでに示したような観測との一致は得られなかった.

4. 温暖化時の年々変動

本節では, 地球温暖化時の夏季東アジア域の気候の変化を, 二酸化炭素倍増条件下での 7 メンバーアンサンブル実験と現在気候実験の結果とを比較することにより議論する. 図 3 に, 夏季平均した 500hPa 面のジオポテンシャル高度, 2m 気温, 降水

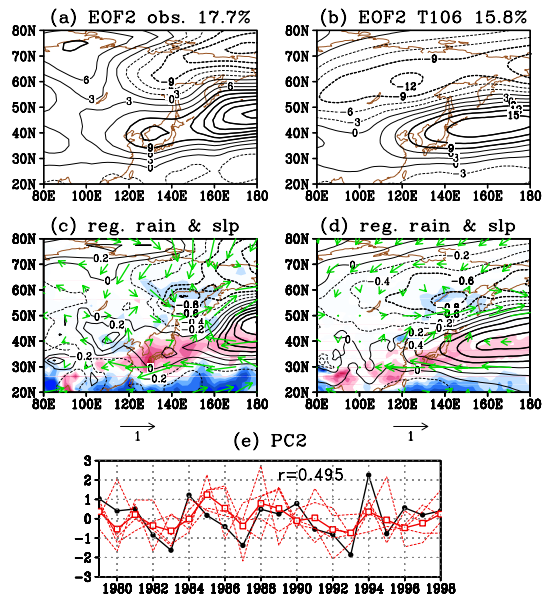


図 2: 図 1 と同様. 但し, PC2 への回帰図及び PC2 の時系列

量の二酸化炭素倍増実験と現在気候実験との 20 年気候値の差を示した. 二酸化炭素倍増条件下では, 2m 気温は北東シベリア域で特に増加し, 500hPa 面ジオポテンシャル高度場は北東シベリア域からオホーツク海にかけて特に増大している. また, この強化された高気圧の南端で降水が帯状に増えている. これらの空間的な構造は, 前節の現在気候の EOF 第 1 モードに似ている.

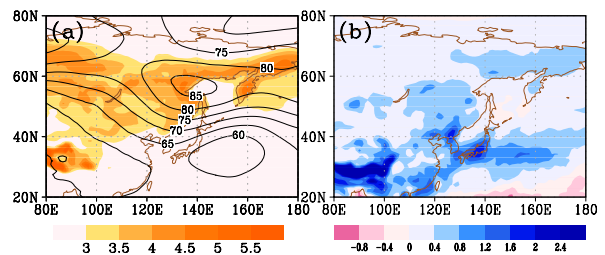


図 3: PD 実験と DCO2 実験との 20 年気候値の差. (a)2m 気温 (陰影) と 500hPa 面高度場 (コンター), (b) 降水量.

次に, 二酸化炭素倍増実験と現在気候の年々変動を比較するため, 前節で得た EOF の各モードに

二酸化炭素倍増実験の年々変動を投影した．図4は JJA 各月の各アンサンプルの結果を，現在気候の EOF1, EOF2 で張られた二次元空間上に投影した散布図である．

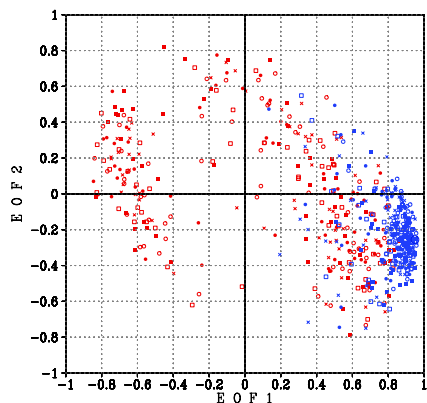


図4: 東アジア域の夏季 (JJA) の 500hPa 高度偏差場の現在気候実験の EOF1 (横軸) 及び EOF2 モード (縦軸) へ投影した散布図．現在気候実験は赤印，二酸化炭素倍増実験は青印．アンサンプル毎に印を変えて表示した．

現在気候のジオポテンシャル場の年々変動 (図4の赤印) は，EOF1 への射影の符号による2つのレジームに分かれている．EOF1 への正の投影の大きいレジーム (図4の第1, 4象限に局在) では，ジオポテンシャル偏差場は，EOF 第1モード (図1) に見られた東シベリアから南へ三重極構造をもつような空間パターンを持ち，梅雨前線は強化される．負の投影の大きいレジーム (第2, 3象限に局在) はその逆となる．但し，観測値のこれと同様の散布図では，散布図上の点が少ないために，このような明瞭な2つのレジームは現れなかった．このような2つのレジームの存在も興味ある問題であり，どのようなモデルの力学によって生じるのかについては今後の課題としたい．

一方で，二酸化炭素倍増実験の散布点は EOF1 への正の投影の大きいレジームに集中していた．二酸化炭素倍増時のジオポテンシャル高度場や降水量の気候値の変化は，Palmer (1999) や Corti et al. (1999) で議論されたように，このレジームの出現頻度の変化に拠っている．ただし，本研究で議論に用いているのは，Palmer (1999) で述べら

れているような大気のみ内部変動モードではなく，海面水温などの境界条件との相関の高い「強制」モードである．また，Palmer (1999) や Corti et al. (1999) では，こうしたレジームの出現頻度の地球温暖化による変化を北半球の冬季において議論していたが，本研究ではこれと似た現象が，大気大循環モデルによって再現された夏季の東アジアの気候変化においても起こり得ることを示した．

5. まとめと今後の課題

本研究では，夏季東アジア域における年々変動が，比較的解像度の高い大気大循環モデルにより再現可能であることを示した．さらに温暖化時の年々変動を現在気候の主変動モードへの投影することにより，EOF1 への射影の大きいレジームの出現頻度が現在と比較して増大する，という結果を得た．これは，二酸化炭素倍増実験と現在気候実験の気候値の差に現れる，東シベリア域の高気圧偏差及び梅雨前線上の降雨の増加と一致している．こうした地球温暖化による天候レジームの出現頻度の変化については，単純な気候モデルで大気内部変動に関して Palmer (1999) が議論した．現在気候のアンサンプル実験の全メンバーの第1主成分の時系列が観測のそれとよく似ていることから，主変動モードの年々変動は海面水温のような境界条件からの応答とも考えられる．一般には夏季の東アジア域の天候の予測可能性は低いと言われている (Brankovic and Palmer 1997, 2000) が，こうした東アジア域の年々変動に影響を及ぼす境界条件を詳しく解析し要因の特定を行うことで，今後の気候モデルの改良に対し貢献出来る可能性がある．

そこで，現在気候の EOF 第1モードと関係している地表面の境界条件を探るため，観測及び現在気候実験の PC1 の 2m 気温への回帰を計算した (図5)．現在気候実験では観測のそれと比較して正のアノマリーが支配的ではあるが，回帰パターンには共通点が多い．共通する特徴を持つ，95%の有意水準を越えた部分は，熱帯太平洋域の西の正の偏差，中央-東の負の偏差，大西洋の亜熱帯と極域に存在している．前者の SST 偏差は，梅雨前線や東アジアモンスーンとの関係が示唆されている

(Nitta 1987; Lau et al. 2000) . これらの領域は地球温暖化時の夏季の東アジア域の変動に重要な役割を果たすと考えられる . 実際に , 熱帯太平洋域のこれらの海面温度の増大は , 大気海洋結合モデルによる二酸化炭素倍増実験でも報告されている (IPCC 2001) .

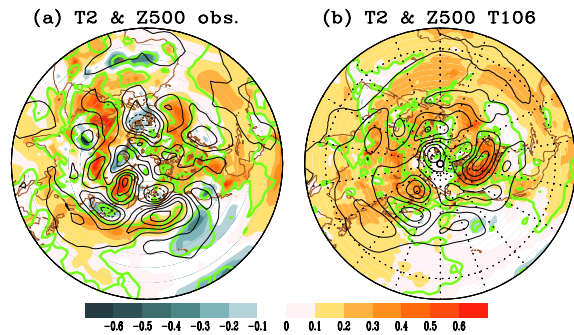


図 5: 地表面気温 (陰影) 及び 500hPa 面高度 (コンター) の PC1 への回帰 . 緑線は有意水準 95% 以上の領域を示す .

また , 境界条件として与えた海面気温だけでなく , 積分計算の結果である地表面上の気温においても , 東シベリア域に共通して高温偏差が見られた . この東シベリア域の高温偏差は , オホーツク海高気圧に伴うブロッキング高気圧と関係していることが唆されている (Nakamura and Fukamachi 2004; Tachibana et al. 2005; Arai and Kimoto 2005) . この関係は , 図 3 に示した二酸化炭素倍増による東シベリア域の高温化と高気圧偏差の増大と一致している . これらの境界条件がどのように東アジア域の気候に影響を及ぼすのかについては , 今後さらに解析を進め明らかにしたい .

謝 辞

本研究は , 科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業「水の循環系モデリングと利用システム」の援助を受けて行われました . また , 本研究で用いた大気大循環モデルの積分は , 文部科学省「人・自然・共生プロジェクト」(東大 CCSR/ 国立環境研究所/地球フロンティア研究グループ) によって実行されたものです . データのご提供に感謝致します .

参考文献

- Arai, M. and M. Kimoto, 2005: Relationship between springtime surface temperature and early summer blocking activity over Siberia. *J. Meteor. Soc. Japan*, **83**, 261–267.
- Brankovic, C., and T. N. Palmer, 1997: Atmospheric seasonal predictability and estimates of ensemble size. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 859–874.
- , and —, 2000: Seasonal skill and predictability of ECMWF PROVOST ensembles. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **126**, 2035–2067.
- Corti, S. F. Molteni and T. N. Palmer, 1999: Signature of recent climate change in frequencies of natural atmospheric circulation regimes. *Nature*, **398**, 799–801.
- Giorgi, F., P. H. Whetton, R. G. Jones, J. H. Christensen, L. O. Mearns, B. Hewitson, H. Von Storch, R. Francisco, and C. Jack, 2001: Emerging patterns of simulated regional climatic changes for the 21st century due to anthropogenic forcings. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 3317–3320.
- Inatsu, M. and M. Kimoto, 2005: Two types of inter-annual variability of the mid-winter storm-tracks and their relationship to global warming. *Sci. Online Lett. Atmos.*, **1** 61–64.
- IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Science of Climate Change*, edited by J. T. Houghton et al., 944 pp., Cambridge Univ. Press, New York.
- K-1 model developers, 2004: K-1 coupled GCM (MIROC) description. edited by H. Hasumi and S. Emori, *K-1 Technical Report*, **1**, 34pp., Cent. for Clim. Syst. Res., Univ. of Tokyo, Tokyo.
- Kimoto, M., 2005: Simulated change of the East Asian circulation under the global warming. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L16701.
- Kodama, Y. -M., 1997: Air-mass transformation of the Yamase air-flow in the summer of 1993. *J. Meteor. Soc. Japan*, **75**, 737–751.
- Kurashima, A., 1969: Reports on Okhotsk High—Report of the Annual Meeting on Forecasting Technique for the Year 1966—. *Journal of Meteorological Research*, **21**, 170–193.

- Nakamura, H. and T. Fukamachi, 2004: Evolution and dynamics of summertime blocking over the Far East and the associated surface Okhotsk high. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **130**, 1213–1234.
- Ninomiya, K. and H. Mizuno, 1985: Anomalously cold spell in summer over Northeastern Japan caused by northeasterly wind from polar maritime airmass. *J. Meteor. Soc. Japan*, **63**, 845–871.
- Ninomiya, K. and H. Muraki, 1986: Large-scale circulations over East Asia during Baiu period of 1979. *J. Meteor. Soc. Japan*, **64**, 409–429.
- Nitta, T., 1987: Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **65**, 373–390.
- Palmer, T. N., 1999: A nonlinear dynamical perspective on climate prediction. *J. Climate*, **12**, 575–591.
- Tachibana, Y., T. Iwamoto, M. Ogi and Y. Watanabe, 2004: Abnormal meridional temperature gradient and its relation to the Okhotsk high. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 1399–1415.
- Wang, Y., 1992: Effects of blocking anticyclones in Eurasia in the rainy season (Meiyu/Baiu season). *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 929–951.
- Xie, P. and Arkin, P. A., 1997: Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, **78**, 2539–2558.