

水惑星条件下における 海表面温度変化に対する極端現象の応答

一瀬 輪子^{1*}・北野 慈和²・山田 朋人³

¹学生会員 北海道大学大学院工学院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

²学生会員 北海道大学大学院工学院, 学術振興会特別研究員DC1 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

³正会員 北海道大学工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

* E-mail: isrs-bb@eis.hokudai.ac.jp

全球気候モデルによる将来予測では, 同一のモデルや気候シナリオにおいても全球平均温度, 南北温度勾配に対する気候感度が異なり, これらのパラメータは極端現象の発生確率に大きく寄与すると考えられる. 本研究では全球平均気温の上昇や南北温度勾配の程度によって決定される極端現象の応答を調査した. 水惑星条件において, 全緯度について海表面温度を一様に増加させた実験を行い, 平均的な降水量が増加, またその振れ幅が増大するという結果を得た.

Key Words : *Aqua-planet experiment, extreme event, sea surface temperature, probability distribution*

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次報告書によると, 世界平均地表面気温の年平均値は19世紀後半から現在まで上昇していることが確実とされており, 今後の極端現象の増加が危惧されている. 本研究では, 気温上昇の程度や緯度による上昇の差による温度の勾配の変化が極端現象に与える影響とそのメカニズムを解明することを目的として, 海表面温度(SST)の分布を変化させた水惑星実験条件下で, 全球気候モデル(AGCM)を用いた数値実験を行った. 水惑星実験とは, 地球表面から陸地, 海氷を除いた, 海の上に覆われた惑星を対象とした数値実験である.

先行研究において全球気候モデルを用いた水惑星実験は, 帯状に一樣なSSTを有する特性から積雲対流活動の集団運動に起因する30-60日変動の調査(Hayashi and Sumi¹⁾), 単純な境界条件を持つことからモデルの特性(Neale and Hoskins²⁾)や, モデルのタイムステップ, 水平解像度の違いによる降水量の特性の観察(Hai-Yang et al.³⁾)に利用された. また, Hu et al.⁴⁾は地形条件のない水惑星実験条件において, 現実大気と類似したブロッキング現象が見られ, ブロッキング現象の維持に緯度方向の温度勾配が不可欠な要素であると示した. Kodama and Iwasaki⁵⁾は緯度方向の温度勾配の異なるSSTを与えた水惑

星実験を行い, ストームトラックの極向きシフトなどの, 現実的な温暖化実験の物理過程を, エネルギーサイクルを用いて説明した.

最新の全球気候モデルを用いた研究によると, モデル及び気候シナリオ間で降水量の特性が異なることが示唆されている. 同一の気候シナリオにおいても全球平均地表面温度, 中緯度地域における南北温度勾配に対する気候感度に変化が生じることから, これらのパラメータは特に中緯度地域における極端現象の発生確率に大きく寄与すると考えられる. 本研究は全球平均気温の上昇や南北温度勾配の程度によって決定される極端現象の出現頻度について議論することを目的としている. 水惑星実験は複雑な境界条件を持たず, 現象の物理的理解を容易であるため, 温度に応答する極端現象を対象とした本研究に適している. 本実験では, 現実のSSTに近似させた基準SST, 基準SSTより全緯度において気温を3°C上昇させた全体+3 SSTにおいてAGCMを実行し結果を比較した. 第2章に実験設定, 第3章に実験結果, 第4章にまとめと今後の展望を記す.

2. 実験設定

本実験のAGCMには, MIROC(Model for Interdisciplinary Research on Climate)のバージョン5.7を利用した. 表-1に数

表-1 AGCM の条件設定.

水平解像度	T42 (緯度2.8°, 経度1.67°四方)
鉛直解像度	10hpaまで20層(σ座標系)
解析対象期間	10年
スピニングアップ時間	1年
基礎方程式 ⁶⁾	連続式, 静水圧式, 熱力学式, 水蒸気保存則
積雲対流スキーム	Arakawa and Schubert ⁷⁾
鉛直対流スキーム	Mellor and Yamada ⁸⁾

値実験の設定を示す。実験は陸地, 山岳地形, 海氷を取り払い, 全体を海に覆われた水惑星条件で行った。下部境界条件として, 東西一様で, 赤道に対して南北対称の SSTを与えた。基準実験のSSTは現実の東西平均SST分布を以下の近似式で示したQobs SST(Neale and Hoskins²⁾)を利用し, 全緯度において3°Cずつ高く設定したものを全体+3実験のSSTとした。

$$sst(\phi) = 27 \left[1 - \left\{ \sin^2\left(\frac{3}{2}\phi\right) + \sin^4\left(\frac{3}{2}\phi\right) \right\} \right] \quad (1)$$

ここで ϕ は北極からの緯度変化(°)を示す。作成したSST分布を図-1に示す。SST以外の条件は両実験で同一とし, 実験において太陽放射条件を南北対称とするため日付を春分に近い3月20日に設定した。スピニングアップ期間を1年間設け, 以降10年間の結果を解析に用いた。

3. 実験結果

図中の表記では, 基準実験を破線, 全体+3実験を実線で表記することとする。

(1) 地表2m高さ気温

地表2m高さ気温について, 全体+3実験ではSST分布と同様に全体がおおよそ一様に3°Cずつ上昇した。10年間(3653日分)の帯状平均日平均2m高さ気温について緯度ごとにヒストグラムを作成し, 以下の正規分布の式を用いて確率密度関数を導いた。

$$f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (2)$$

ここで, x は各データ, μ は平均値, σ は分散を意味する。

北緯80°, 40°, 赤道上の確率密度関数について図-2に示す。緯度に関わらず全体+3実験では平均値はおおよそ3°Cずつ上昇しており, 分散の値も大きく変化しない。2m高さ気温は海表面温度に大きく影響を受け, 発生確率についても変化が少ないことがわかる。

sea surface temperature distribution[deg]

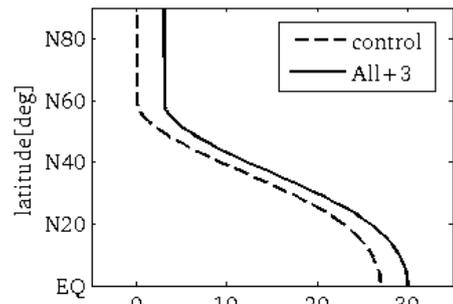


図-1 SST 分布の設定。破線が基準実験, 実線が全体+3実験を示す。SST 分布は東西一様, 赤道に対して南北対称とした。

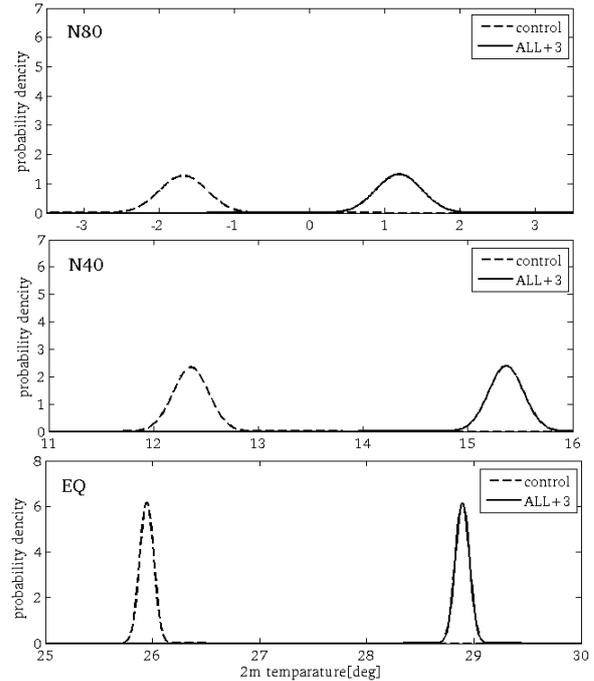


図-2 地表 2m 高さ日平均気温の確率密度分布。上から北緯 80°, 40°, 赤道上について示す。正規分布より確率密度関数を導いた。

(2) 降水量

図-3に10年平均日積算降水量(mm/day)についての帯状平均値, 緯度方向の分布を示した。両実験において上昇気流による積乱雲の生成が活発な赤道上で降水量が突出し, 下降気流地域の亜熱帯高圧帯で落ち込み, 中緯度で温帯低気圧に伴う雨によって降雨量が多いという現実大気に則した分布が見られる。10年平均値について, 全体+3実験では, 基準実験に比べ赤道上で降水量の増加が大きく, 温帯での極大が高緯度側に移動する傾向が見られる。また, 10年分(3653日分)の降水量について緯度ごとにヒストグラムを作成し, 以下の対数正規分布の式を用いて確率密度関数を導いた。

$$f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (3)$$

$$\sigma = \log(m^2 / \sqrt{v + m^2}), \mu = \sqrt{\log\left(\frac{v}{m^2} + 1\right)} \quad (4,5)$$

ここで x は各データ, μ , σ はパラメータ, m , v はそれぞれ平均, 分散を意味する.

北緯80°, 40°, 赤道上の確率密度関数について図-4に示す. 全体+3実験ではおよそ全緯度において分散が大きくなり, また降水量の平均も大きくなる傾向が見られた. 北緯40°地点では平均値が小さくなったが, 極大位置が高緯度側に移動したことに起因するものだと考えられる. 平均値, 分散値は全体として上昇し, 降水量の増加とその振れ幅の増大が見られた.

4. まとめと今後の展望

水惑星実験条件における数値実験によって, 地表2m高さ気温と降水量の解析を行った. 気温については極端現象とみられる結果は得られなかったが, 降水量の増加と振れ幅の増大という, 降水に関する極端現象の増加がうかがえる結果を得た.

今後は境界条件として与えるSST分布の種類を増やして実験を行い, 連続無降雨日数やブロッキング現象の発生確率の評価, エネルギーサイクルを利用した現象のメカニズムの理解など様々な方向から解析を行う. また, 傾圧不安定波を再現する「底面に冷熱源を持つ回転水槽実験」⁹⁾ととのエネルギー解析などを用いた定性的な比較も行う予定である.

謝辞: 本研究はMEXT/SICAT, MEXT/SOUSEI (theme C-i-C), JSPS科研費15K18118の成果の一部である.

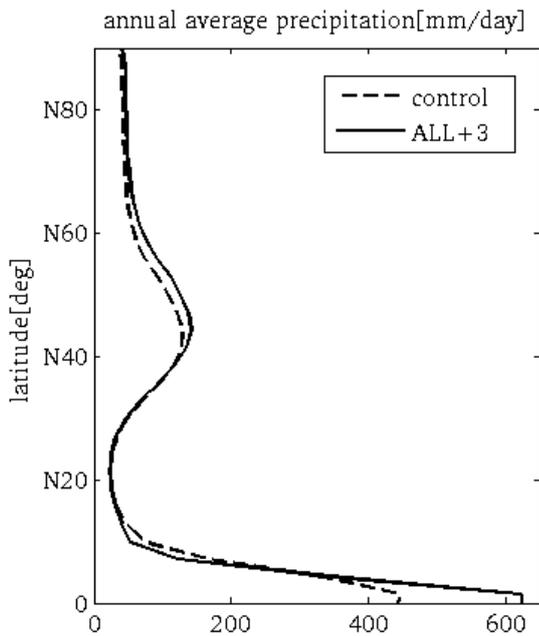


図-3 日積算降水量の10年, 帯状平均値. 全体+3実験での降水は, 赤道付近で大きく, 中緯度の極大位置が高緯度に移行する傾向がある.

参考文献

- 1) Hayashi, Y.-Y., and Sumi, A. : The 30-40 day oscillations simulated in an aqua-planet mode, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 64, pp.451-467, 1986.
- 2) Neale, R. B., and B. J. Hoskins. : A standard test for AGCMs including their physical parametrizations I, *The proposal. Atmos. Sci. Lett.*, 1, 101-107, doi:10.1006/asle.2000.0020, 2001.
- 3) Hai-Yang, Y., Qing, B., Lin-Jiong, Z., Xiao-Cong, W., and Yi-Min, L. : Sensitivity of precipitation in aqua-planet experiments with an AGCM, *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, Vol. 7, No. 1, 1-6, 2016.
- 4) Hu, Y, Yang, D., and Yang, J. : *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 35, L19818, doi:10.1029/2008GL035351, 2008.
- 5) Kodama, C., and T. Iwasaki., : Influence of the SST rise on baroclinic instability wave activity under an aqua-planet condition., *J. Atmos. Sci.*, 66, pp. 2272-2287, 2009.
- 6) Haltiner, G. J. and R. T. Williams : *Numerical prediction and Dynamic Meteorology* (2nd ed.), John Wiley and Sons, pp.477, 1980.
- 7) Arakawa, A., and W. H. Schubert : Interaction of cumulus cloud enable with the large-scale environment. Part I. *J. Atmos. Sci.*, 31, 671-701, 1974.
- 8) Mellor, G. L., and T. Yamada : Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Rev. Geophys. Atmos. Phys.*, 20, 851-875, 1982.
- 9) 一瀬輪子, 北野慈和, 山田朋人, 渡部靖憲, 泉典洋: 底面の加熱および冷却を伴う回転水槽実験による傾圧不安定波の再現, *土木学会論文集 G(環境)*, 71(5), I_289-I_294, 2015.
- 10) 乙部直人, 筆保弘徳, 菅田誠治, 伊賀啓太, 佐藤正樹, 田島俊彦, 佐藤元, 酒井敏, 三村和男, 山田朋人, 北野慈和: 回転水槽実験のこれまでとこれから, *日本気象学会機関誌「天気」* (印刷中)

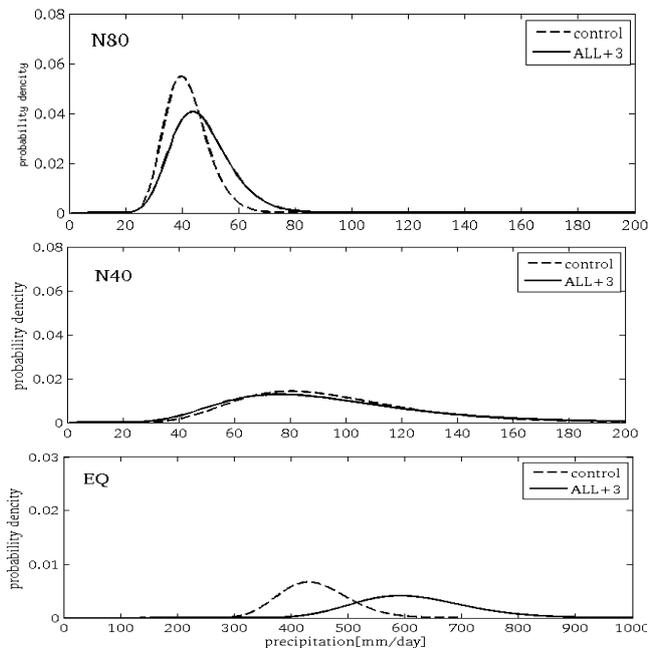


図-4 対数正規分布より導いた日積算降水量の確率密度分布. 北緯 80°, 40°, 赤道について示す. 全体+3実験では分散が大きい. 北緯 40°地点で降水量が小さくなるのは極大位置の変化によるものだと考えられる.

