

全球温暖化に対する南極域の応答感度についての 海氷の影響を減らした検証

山中 晴名 HARUNA YAMANAKA 517370

気象・気候ダイナミクス研究室 指導教員：立花 義裕 教授

Keywords：南極域，地球温暖化，大気海洋結合モデル，CMIP6

1. 研究背景・目的

南極氷床・南大洋は地球システムにおいて巨大な淡水・熱・CO₂のリザーバとしての役割を担う^[1]。1970年代後半以降，西南極の温暖化^[2]や南大洋深層水の昇温^{[3][4]}が観測されている。一方，東南極の地表気温^[2]や高緯度の表層水温^[3]には有意な温暖化が確認されず，海氷域面積はむしろ増加傾向にある^[5]。それぞれの要素の変動メカニズムや将来予測について観測データや数値実験を用いた研究が数多くなされている最中である。数値実験を用いた南大洋の将来予測研究の一つとして Bracegirdle et al., (2020)^[6]がある。この研究では大気海洋結合モデルを用いて，温暖化レベルの低い（21世紀末における放射強制力が小さい）実験のほうが，温暖化レベルの高い（21世紀末における放射強制力が大きい）実験よりも，全球の2m気温 / 海面水温の上昇に対する南極域の2m気温 / 海面水温の応答感度が良いという結果を得た。しかしながら，この結果を導くまでに1点の懸念が残る。2m気温と海面水温はともに海氷の有無に大きな影響を受ける物理量であるが，使用された結合モデルは過去の海氷変動をうまく再現できていない^[7]。よって海氷の将来予測においても不確実性が否定できない。ゆえに先行研究の結果は，この不確実性による影響を少なからず受けたものではないかと考えられる。

以上より本研究では，Bracegirdle et al., (2020)^[6]の解析を，海氷の影響が少ない（主に大気循環によって決まる）500hPa面の気温で置き換えて行った場合，同じ結果となるのかどうかを検証することを目的とする。

2. 使用データ

先行研究に倣い，第6期結合モデル相互比較プロジェクト（CMIP6）^[8]で提供されている大気海洋結合モデルの実験データを利用した。使用変数は20世紀再現実験および4種類（温暖化レベルが低い，中程度，高い，極めて高い）の将来実験^[9]における500hPa面気温，2m気温である。また，それぞれのモデルの再現性を確認する基準として，ヨーロッパ中期予報センターの再解析データ ERA5^[10]の500hPa面気温を用いた。モデル・再解析データともに1995年～2014年（将来実験は2081～2100年）の月平均値を使用した。

3. 解析手法

モデルの選抜

500hPa面気温で先行研究^[6]の結果を検証するにあたり，南大洋領域の再現性の良いモデルのみに絞り解析する。ここでの再現性とは，過去の気候値および長期変化の誤差が小さいことを理想とし，次の2基準をともに満たすモデルのみ選抜した。

◎南緯60度～南緯80度の領域平均値について，再解析データと比較して

①月平均値の気候値（1995～2014年）の誤差が各月±1K以下である

②年平均値（1981～2014年）の誤差が各年±1K以下である

全球温暖化に対する応答感度の検証

先行研究^[6]に倣い，全球2m気温の変化に対する各緯度での500hPa面気温の応答感度を（式1）より求めた。温暖化レベルの低い・中程度の実験の応答感度のほうが温暖化レベルの高い・極めて高い実験よりも良ければ，先行研究^[6]と同じ結果となる。さらに，温暖化レベルの最も低い実験と極めて高い実験との間で応答感度の差があるかどうかをt検定により確認した。

4. 結果と考察

モデル選抜結果

現在（2021年2月）入手可能である44個のモデルのうち，上述した2つの基準をともに満たすモデルは7個であった。

応答感度の検証

7個のモデルを用いて500hPa面気温の応答感度（式1）を緯度ごとに求めた。夏季（12～2月）の南緯60度～南緯75度と冬季（6～8月）の南緯50度付近で応答感度の逆転（温暖化レベル低い>高いの順に応答感度が良い）がみられる（図1）。ただし温暖化レベルの低い実験と極めて高い実験との差の検定の結果，信頼水準90%で差があるといえる緯度帯は，夏季では南緯37度～南緯68度および南緯0度～南緯11度，冬季では南緯53度～南緯56度，南緯29度～31度および南緯7度～南緯11度である。よって，応答感度の逆転のみられる緯度帯は一部有意差が認められた。

5. まとめ

本研究では海水の影響の少ない 500hPa 面気温の全球 2m 気温上昇に対する応答感度を調べた。そして、先行研究^[6]と同じく、温暖化レベルの高い実験より低い実験のほうが、南極域の応答感度が良くなるのかを検証することを目的とした。

独自の選抜基準により選んだ 7 個のモデルで応答感度 (式 1) を求めた結果、夏季 (12~2 月) 冬季 (6~8 月) とともに応答感度の逆転がみられた。よって、海水の影響の少ない 500hPa 面気温においても先行研究^[6]と同じ結果が得られた。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導いただいた立花義裕教授に深く感謝いたします。また、数多くの助言をいただいた同研究室の安藤雄太研究員、太田圭祐氏、中西友恵氏、加藤茜氏、中村祐貴氏、その他研究室の皆様へ感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 大島慶一郎, 須藤斎, 北川暁子ほか, 2018: 巨大リザーバ: 南大洋・南極氷床. *低温科学*, **76**, 1-12, 13-23, 50-70, 145-152.
- [2] Steig, E. J., et al., 2009: Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 International Geophysical Year. *Nature*, **457**, 459-462.
- [3] M. Meredith et al., 2019: Polar Regions : Special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. *Water Policy*, **3**, 203-320.
- [4] Purkey, S. G. and G. C. Johnson, 2010: Warming of Global Abyssal and Deep Southern Ocean Waters between the 1990s and 2000s: Contributions to Global Heat and Sea Level Rise Budgets. *Journal of Climate*, **23**, 6336-6351.
- [5] 氷域面積の長期変化傾向(全球), 気象庁, https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/a_1/series_global/series_global.html, 最終閲覧日: 令和 3 年 2 月 3 日
- [6] T. Bracegirdle et al., 2020: Twenty first century changes in Antarctic and Southern Ocean surface climate in CMIP6. *Atmospheric Science Letters*, **21**, 1-14.
- [7] Q. Shu et al. 2020: Assessment of Sea Ice Extent in CMIP6 With Comparison to Observations and CMIP5. *Geophysical Research Letters*, **47**, 1-9.
- [8] V. Eyring et al., 2015: Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development Discussions*, **8**, 10539-10583.
- [9] B. O'Neill et al., 2016: The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, **9**, 3461-3482.
- [10] H. Hersbach et al., 2020: The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **146**, 1999-2049.

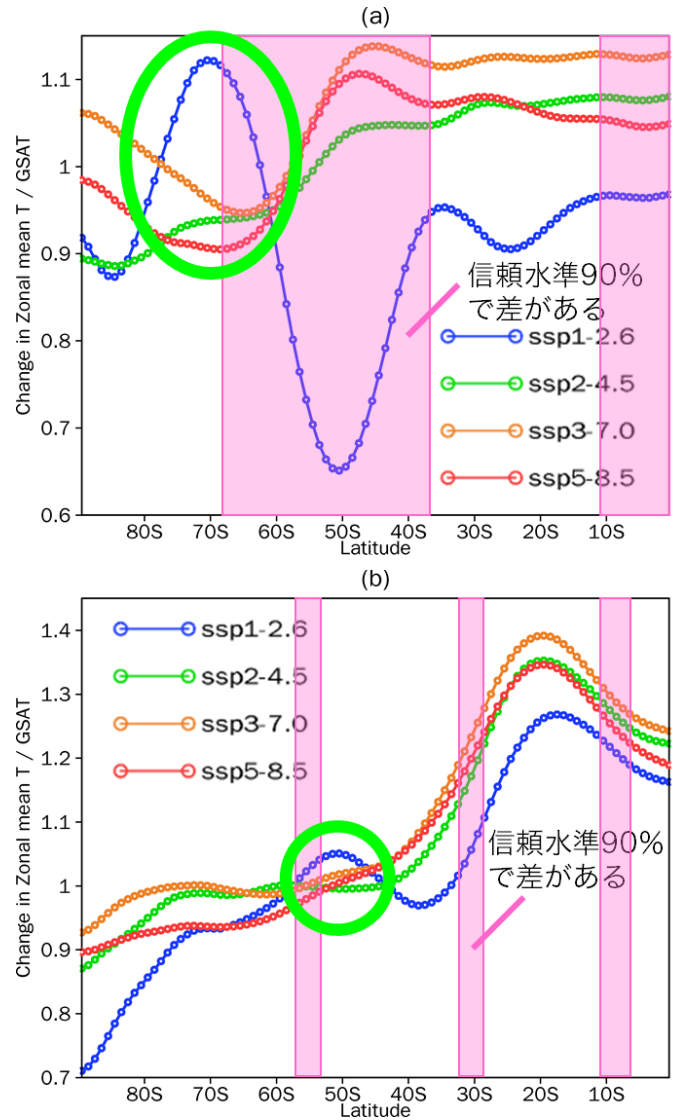


図 1 応答感度 (式 1)

(a) 夏季 (12~2 月), (b) 冬季 (6~8 月)

青<緑<橙<赤の順に温暖化レベルが高い実験。7 モデルのアンサンブル平均値を示している。緑丸で囲った緯度帯で応答感度の逆転がみられる。桃色の網掛けは、温暖化レベルの低い実験と極めて高い実験との間に差がある (信頼水準 90%) 緯度帯を示す。

$$\text{応答感度 [K/K]} = \frac{500\text{hPa 面気温の (2081~2100 年平均値)} - (1995~2014 年平均値)}{\text{全球 2m 気温の (2081~2100 年平均値)} - (1995~2014 年平均値)} \quad (1)$$