

地球温暖化に伴う気候変動が大気循環の波数に与える影響

Influence of climate change to atmospheric circulation wave number in global warming condition

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生員 秦佳弘 (Yoshihiro Hata)

北海道大学大学院工学研究科環境フィールド工学専攻 准教授 山田朋人 (Tomohito Yamada)

北海道大学大学院工学研究科環境フィールド工学専攻 教授 泉典洋 (Norihito Izumi)

1. はじめに

近年叫ばれている地球温暖化に伴う気候変動の知見の集約ならびに評価を行う気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change、以下 IPCC とする) は、2100 年には地球の平均気温が $1.8\sim 4^{\circ}\text{C}$ 上昇すると予測しており、また将来の生態系や人間社会への深刻な影響を与えようと警告を発している (IPCC 第 1 次～4 次報告書)。地球温暖化に伴う気候変動は、単に平均気温を上昇させるだけではなく、洪水や干ばつの頻度や強度を引き起こすという指摘がなされている (Hirabayashi et al. 2008)。これは、温暖化によって、気温が地球上で均一に上昇するのではなく、緯度によって気温の上昇の程度が違うことにより、南北方向の温度勾配に変化が生じることに原因があると考えられる。この温度勾配は、大気の大循環である偏西風で傾圧不安定波を起こす要因であるので、温度勾配が変化することで傾圧不安定波の波数に変化が起きたのではないかと考えられる。傾圧不安定波の波数は、低気圧や高気圧の分布や周期性にとって重要であり、つまりは洪水や干ばつの頻度や強度に影響するのではないかと考えられる。

これらの背景から、温暖化による南北方向の温度勾配の変化と傾圧不安定波の波数の変化を調べる。2 章において南北の温度勾配と波数の関係を室内実験により定性的に確かめる。3 章においては、IPCC の第 4 次報告書に使用された大気循環モデル (General Circulation Model、以下 GCM とする) の出力値のデータの概要を示す、4 章では 20 世紀と 21 世紀の地表面気温の解析ならびに、温度勾配の経年変化を調べる。さらに 5 章では海面気圧のデータから傾圧不安定波の波数の変化を分析することで、6 章において 4 章と 5 章の結果から温度勾配と波数の比較を行う。

2. 回転水槽実験

2.1 実験の概要

南北の温度勾配の変化が実際に傾圧不安定波の波数に与える影響を室内実験により定性的に確かめるために回転水槽実験を行った。

図 1 に回転水槽実験の模式図を示す。この回転水槽実験で、温度勾配と回転によって発生した傾圧不安定波を観察する。3 重円筒型の容器に内側の水槽に冷水を、外側の水槽に温水を、そして中央の水槽に作業流体として常温の水を入れる。水槽全体を回転させることで作業流水において温度勾配と回転により傾圧不安定波が発生する。

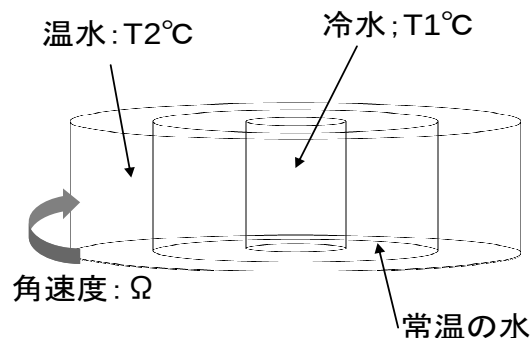


図1 回転水槽実験の実験装置の模式図

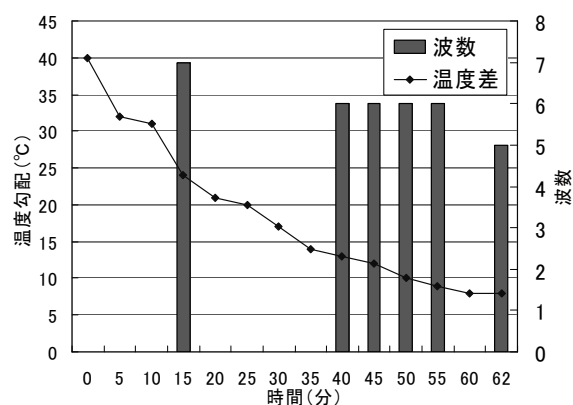


図2 温度勾配（内側と外側の水槽の温度差）の減少による波数の変化。開始 15 分後から観察をはじめた。15 分から 40 分、および 55 分から 62 分は波数の遷移過程であり、波数ははっきりしない。

水槽の直径は 35cm、中央の水槽の間隔は 6.1cm とし、角速度を毎分 15 回転で実験を行った。内側と外側の水槽の水温を測定し、その温度差を中央の水槽における半径方向の温度勾配と考える。この温度勾配を減少させながら実験を行い、波数がどのように変化するかを観察した。波数は目視により数える。

2.2 実験結果

図2に回転水槽実験の結果を示す。時間が進むごとに内側と外側の水槽の温度差である温度勾配は減少し、それにもとない波数も減少している。開始 15 分後から観察をはじめた。温度勾配が 24°C のとき 7 つの波が確認でき、その後、回転方向が互いに逆向きの渦が交互に 6 つずつならんだ模様が現れ、その渦が反対方向に回転する渦どうしで、1 つの波をつくり、開始 40 分後の温度勾配 13°C のときに 6 つの波が確認でき、さらにその 6

つの波が崩れて、開始 62 分後の温度差が 8℃のとき 5 つの波が確認できた。

この結果から温度勾配が減少することで、波数が減少するということを、定性的に確かめることができた。よって、大気循環における波でも同様に温度勾配が減少すれば、波数は減ると考えられる。

3. データ及び温暖化シナリオ

3.1 使用したデータ

IPCC の枠組みの中で世界中の大学、研究機関において GCM (Global Climate Model) による大気循環の再現実験ならびに温室効果ガス排出シナリオを GCM に与えた 21 世紀の予測実験が行われた。本研究では、気象庁気象研究所の全球気候モデル (MRI-CGCM2.3.2) による 20 世紀の再現実験の結果 (1961~2000 年)、および IPCC の温室効果ガス排出シナリオのひとつである、A1B シナリオを想定した 21 世紀の温暖化予測の結果 (2046~2065 年および 2081~2100 年) を使用した。解析には、地表面気温および海面気圧の日データを使用する。今回はデータ取得の都合上、気圧データは高層の気圧ではなく、海面気圧のデータで代用した。

3.2 温室効果ガス排出シナリオ

将来の温室効果ガスの排出量の予測を元に温暖化に伴う将来の気候変化予測が行われた。

IPCC は、経済活動や人口、石油に替わるエネルギー技術開発など、社会、経済的な面での将来予測を行い、複数のシナリオを想定した。これが、SERS (Special Report on Emissions Scenarios) シナリオという温室効果ガス排出シナリオである。図 3 に SERS シナリオにおける CO₂ 排出量予測を示す。

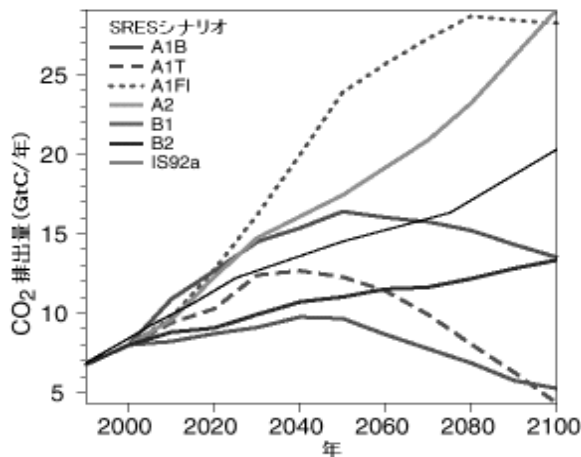


図3 SERS シナリオにおける CO₂ 排出量予測
気象庁ホームページ：IPCC 第三次評価報告書第一作業部会報告書政策決定者向けの要約（気象庁訳）

解析に用いた A1B シナリオは、A1 グループの、高い経済成長と地域格差の縮小を想定し、かつ、エネルギー源のバランスを重視することを想定している。図 1 より A1B シナリオでは、CO₂ 排出量は 2050 年あたりまで増加し、それをピークに減少に転じる。（IPCC 第三次報告）

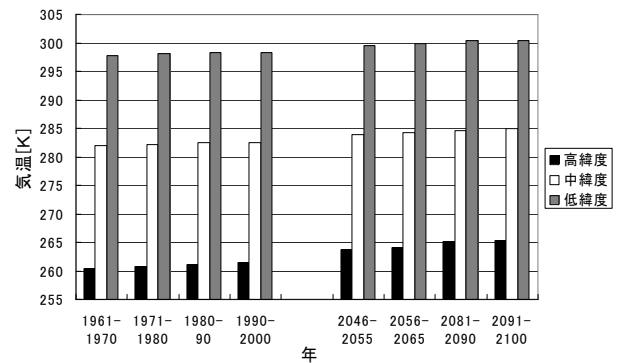


図 4 低緯度、中緯度、高緯度の年平均気温。20 世紀、21 世紀において、10 年ごとに平均する

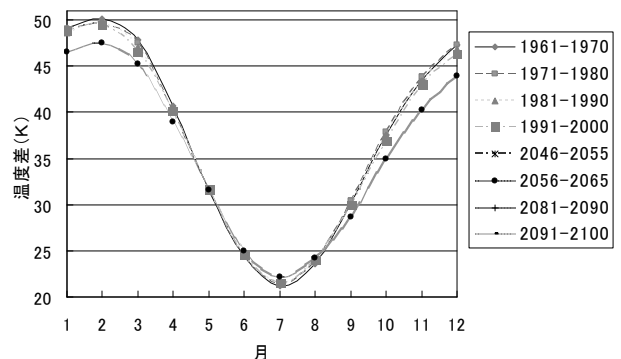


図 5 各月の温度勾配(低緯度地域と高緯度地域の気温差)の 10 年平均値。20 世紀のデータをグレー、21 世紀を黒で表す

4. 20 世紀と 21 世紀の地表気温

4.1 緯度別に見た温暖化による気温上昇

図 4 は 20 世紀から 21 世紀までの年平均気温を低緯度、中緯度、高緯度ごとに示す。本論文では、北緯 0~30° を低緯度、北緯 30~60° を中緯度、北緯 60~90° を高緯度と定義する。それぞれの緯度帯における気温の平均をその緯度帯の平均気温とする。そして、20 世紀、21 世紀の気温を 10 年ごとに平均した。どの緯度帯においても 21 世紀の方が 20 世紀よりも気温が高く、温暖化の進行が確認される。また 1960 年代から 2090 年までの気温の上昇値を緯度帯別に見ると、低緯度帯で 2.6K、中緯度帯で 3.0K なのに対し、高緯度帯は 4.8K 上昇した。すなわち温度の上昇は高緯度帯の方が中、低緯度帯に比べ上昇が著しい。これは高緯度と低緯度の温度差、すなわち南北の温度勾配は減少する傾向にあるといえる。

4.2 月別にみた南北の温度勾配の解析

北半球を対象とし南北の温度勾配の解析を行った。南北の温度勾配は、低緯度帯と高緯度帯の平均気温の差と定義した。毎日の南北の温度勾配を月平均し、各月において年代ごとに図 5 に示す。

5 月~9 月にかけては、南北の温度勾配はほとんど変化していないのに対し、9 月~4 月にかけては南北の温度勾配の減少が見られる。特に、10 月~3 月にかけての減少が大きく、1961 年から 2100 年にかけて、3K 以上減少している。2 章で行った実験で示した通り、これらの月で、波数の変化が大きいと推測される。

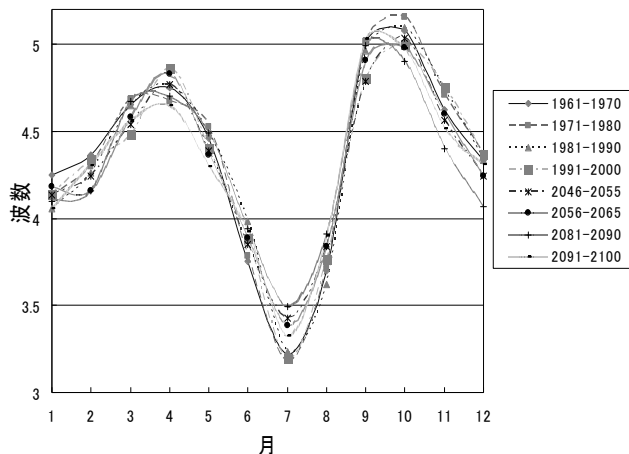


図 6 月ごとにおける地表面の波数の 10 年ごとの
 平均値。20 世紀のデータをグレー、21 世紀を黒で
 表す

5. 地表面での波数

中緯度帯において海面気圧から地表面での波数の推定を行った。東西方向に低気圧性、高気圧性の大気場が分布することで波が形成されるので、海面気圧からこれらの配置を調べることで波数を推定する。まず、中緯度帯において、緯度ごとに平均気圧をもとめ、各緯度において気圧データと平均値の差を求める。そして、それぞれにおいて平均気圧からの値の大小、すなわち符号の正負によって高気圧か低気圧か判断する。経度一周において、符号の正負の変わり目の点の数を数え、一つの周期で気圧の符号が変わる点は、2 点あるので、その値を 2 で割ることで、波数とした。

図 6 は波数の 10 年ごとの平均値を示す。10 月～12 月は 20 世紀よりも 21 世紀の方が波数は減少し、7 月と 8 月は、波数が増加していることが分かる。

中緯度帯では一般に才低気圧性、高気圧性の大気場が存在しその数や分布によって、天気の周期的な変化がおきる。解析により 10 月から 12 月にかけて波数の減少がみられたが、波数が減少すると波に交互に配置される低気圧と高気圧大気の数が減るので、これらの月では天気の周期変化は 20 世紀に比べ遅くなるのではないだろうか。

6. 南北温度差と波数の比較

4 章と 5 章で行った南北の温度差と地表面での波数の結果を比較し、南北の温度勾配と波数の間の関係を調べた。

20 世紀から 21 世紀にかけて、南北の温度勾配の減少が大きかった 2 月と 10 月～12 月においては、波数も同様に減少している。また、南北の温度勾配がほとんど変化しなかった 5 月、6 月において、波数も同様に変化していない。これらは、2 章で示した波数の物理的特性と一致している。しかし、南北の温度勾配の減少が大きかった 1 月、3 月、9 月、において波数に変化に傾向が表れていないこと、南北の温度勾配があまり変化していない 7 月、8 月において波数が増加する傾向にあることは波の物理的特性と一致せず、今回の解析結果からは説明することはできなかった。

今回波数を数えるにあたり、平均気圧からの値の大小による符号の正負によって高気圧か低気圧か判断し、その周期を数えるという簡易な方法を用いたが、それでは傾圧不安定現象以外を原因とする波動による誤差が含まれてしまう。今後は経度一周における最も卓越する波動の周期をフーリエ解析を用いて調べることににより、より詳しい波数の解析を行い、今回の波数の解析ではわからなかった波数変化の傾向がないかどうかを調べる予定である。

7. まとめ

大気循環における波の波数は低気圧と高気圧の分布や周期性を発生させ、天気の周期的な変化を引き起こす。

温暖化により洪水や干ばつの頻度や強度の増加を引き起こされるという指摘がなされているが、これは温暖化に伴い南北方向の温度勾配が変化し、それにより大気循環における波の波数が変わることで、低気圧と高気圧の分布や周期性に変化を起こすことに原因があるのではないかと考えられる。そこで、まず 2 章で回転水槽実験によって、傾圧不安定波は温度勾配が減少すれば、波数は減少するということを定性的に確かめた。4 章で低緯度と高緯度の温度差である南北の温度勾配の変化を示し、温暖化により 9 月～4 月にかけて温度勾配は減少していることがわかった。2 章における温度勾配と波数の関係からこれら月で波数は減少するのではないかと考えられる。また、5 章で地表面の波数は 10 月～12 月にかけて 20 世紀と比較して減少していることがわかった。よって、これらの月において気圧の周期変化が遅くなると考えられ、これが洪水や干ばつの頻度や強度の増加がおきるのではないかと考えられる。

今後の予定として、今回はデータの入手の都合で波数の推定に高層の気圧ではなく海面気圧で代用したが、今後は高層の気圧を用いて解析を行う予定である。また、今回解析に用いた気象庁気象研究所の GCM の出力値だけでなく、他の研究機関の A1B シナリオによる GCM の出力値も同様に解析することでそれらのモデル間の比較を行い、解析結果をより信頼性の高いものにする。さらに、他の温暖化シナリオにおける南北の温度勾配と波数の結果を今回の比較しどのような関係があるのかを含め解析を行う。

参考文献

- 1) 瓜生道也：回転水槽に現れる流れの構造とその安定性、日本物理学会誌 第 32 巻第 8 号 1977.
- 2) 気象庁ホームページ：IPCC 第 3 次評価報告書第一作業部会報告書政策決定者向けの要約（気象庁訳）、http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc_tar/spm/spm.htm
- 3) 気象庁ホームページ：IPCC 第 4 次評価報告書第一作業部会報告書政策決定者向けの要約（気象庁訳）、http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/ipcc_ar4_wg1_spm_Jpn.pdf
- 4) Hirabayashi, Y., S. Kanae, S. Emori, T. Oki, M. Kimoto: Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate, *Hydrological Sciences - Journal - des*

