

平成21年5月22日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19540468
 研究課題名（和文） 20世紀後半における全球海洋熱塩分膨張トレンドとその要因の解明
 研究課題名（英文） Linear trend of global mean oceanic thermal expansion and its mechanism during the latter half of the 20th century
 研究代表者
 安田 珠幾（YASUDA TAMAKI）
 気象庁気象研究所・気候研究部・主任研究官
 研究者番号：80354471

研究成果の概要：20世紀後半の全球平均海洋海面水位トレンドの熱膨張成分（熱膨張トレンド）とその要因を海洋大循環数値モデルを用いて調べた。その結果、海洋観測水温資料から求められた海洋表層における熱膨張トレンドの要因は、風応力による海洋循環の変化が30%、海面での加熱による変化が70%であることが明らかとなった。本研究結果は、全球平均海洋熱膨張トレンドには海面での加熱だけでなく風応力に対する力学的応答が含まれていることを海洋大循環数値モデルの感度実験によって初めて示したものである。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	0	2,100,000
2008年度	1,400,000	0	1,400,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	0	3,500,000

研究分野：海洋物理学

科研費の分科・細目：地球惑星科学、気象・海洋物理・陸水学

キーワード：気候変動、海面水位、海洋大循環数値モデル、海洋データ同化

1. 研究開始当初の背景

20世紀の全球平均海面水位は1.5mm/年の割合で上昇したことが報告されており、その要因の解明とともに、地球温暖化に関わる重要な問題として認識されている（気候変動に関する政府間パネル 2001）。この海面水位上昇の要因の一つとして、海洋内部の水温上昇による体積膨張（海洋熱膨張）が0.5mm/年の海面水位上昇（海洋熱膨張トレンド）を引き起こしたとされ、氷河融解などの他の要因に比べて大きいと考えられている（Cazenave and Nerem 2004など）。しかしながら、その

大きさには不確定さの幅が大きく、特に下記に挙げる3つの問題点が存在する。

(1) 海洋水温データの深度依存性

海面水位上昇への寄与が最も大きいとされる海洋熱膨張トレンドは、観測水温時系列データが存在する層（多くは1000m以浅）のデータを使用して求められたもので、それより深い部分の海洋変動は考慮されていない。しかしながら、そのような完全な観測水温データは現実には存在しないため、真の海洋熱膨張トレンドを把握することは不可能である。

(2) 海洋熱膨張トレンドの要因未解明

過去の海洋熱膨張トレンドの要因を解明することは、地球温暖化に伴う将来の海面水位予測を評価する際にも、過去現在の現象との相違を把握するという観点から必要となる。海洋熱膨張変動をもたらす水温変動は、大気からの熱獲得の変化（熱力学的効果）や風応力の変化に伴う海洋循環の変化（力学的効果）などによって引き起こされる。しかしながら、観測水温データでは、結果として生じる水温トレンドは把握できるが、その原因が熱力学的効果なのか力学的効果なのかを判別することが不可能である。

(3) 海洋塩分データ数の不足

近年、海洋内部の塩分変動による体積膨張（海洋塩分膨張）も海面水位変動に影響を与えていることが指摘され始めた。しかしながら、観測塩分データ数は観測水温データ数に比べて極端に少ないため、海洋塩分膨張トレンドが必ずしも正確に見積もられているとは言えず、さらなる研究が必要である。

上述の3つの問題点は、20世紀の全球平均海面水位上昇とその要因の解明にとって解決すべき重要な問題であるが、既存の海洋観測データだけでは解決することができない。そこで本研究は、海洋大循環数値モデルによる20世紀後半の海洋変動再現実験及び海洋データ同化によって塩分の再現性を高めた海洋再解析データ（海洋大循環数値モデルに水温・塩分・海面高度などの海洋観測データを組み込むことにより、現実の変動をより正確に再現した水温塩分時系列データ）を使用することで、これらの課題を解決しようとするものである。

2. 研究の目的

本研究は、海洋大循環数値モデルによる再現実験及び海洋再解析データの解析により、20世紀後半における全球海面水位上昇トレンドの海洋熱塩分膨張成分の大きさ及びその要因を明らかにすることを目的とする。具体的には、前節で挙げた問題点の解決策として、3つの課題を設定する。

(1) 海洋全層による熱膨張トレンドの評価

海洋大循環数値モデルを用いて20世紀後半の海洋変動を再現し、水温変動による海洋熱膨張トレンドの大きさを深度毎に計算する。

(2) 海洋熱膨張トレンドの要因解明

海洋大循環数値モデルの強制項である風応力と海面熱フラックスの一方の変動のみを与えた実験を行い、海洋熱膨張トレンドに対する「風応力による力学的効果」と「海面熱フ

ラックスによる熱力学的効果」を明らかにする。

(3) 海洋塩分膨張トレンドの評価・要因解明

海洋再解析データ及び海洋大循環数値モデル実験の結果を使用して、海洋塩分膨張トレンドに対する「風応力による力学的効果」と「海面淡水フラックスによる効果」を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 海洋大循環数値モデルによる海洋変動再現実験

20世紀後半について、風応力・海面熱・淡水フラックス時系列を強制項として、気象研究所海洋大循環数値モデルを駆動し、20世紀後半の海洋変動を再現する。

(2) 海洋熱膨張トレンドの評価

(1)で実施された海洋水温変動から、海洋熱膨張トレンドを計算する。

① 観測水温データから得られている見積もりと比較するため、観測水温データと同様の深度（700m）までの海洋熱膨張トレンドを求め、トレンドの大きさ・時空間的構造などの詳細な比較を行う。

② 海底までの海洋熱膨張トレンドの大きさを計算する。

(3) 海洋塩分膨張トレンドの評価

① 気象研究所海洋データ同化システム（MOVE）によって作成された海洋再解析データを使用して、海洋塩分膨張トレンドの大きさを計算し、観測塩分データから得られている見積もりと比較する。

② (1)で再現された海洋塩分の再現性について評価し、海洋大循環数値モデル実験による海洋塩分膨張トレンドを計算し、海洋再解析データによる海洋塩分膨張トレンドと比較する。

(4) 海洋大循環数値モデルによる強制パラメータ実験

20世紀後半について、海洋大循環数値モデルの強制項である風応力と海面熱フラックスのそれぞれ一方の変動のみを与えた2種類の実験を行う。

(5) 海洋熱膨張トレンドに対する力学的応答と熱力学的応答の解明

(4)で再現された海洋水温変動から、海洋熱膨張トレンドの大きさを計算する。さらに、(1)を合わせ、各実験における海洋循環及び海洋熱収支を解析し、海洋熱膨張トレンドに対する「風応力による力学的効果」と「海面熱フラックスによる熱力学的効果」を明らかにする。

(6) 海洋塩分膨張トレンドの要因解明

海洋再解析データの及び海洋大循環数値モデルによる実験結果を使用して、「風応力による力学的効果」と「海面淡水フラックスの効果」を明らかにする。

(7) 研究のとりまとめ

本研究で得られた海洋熱・塩分膨張トレンドとそれらの要因をまとめ、全球平均海面水位トレンドに対する海洋熱・塩分膨張トレンド寄与を評価する。

4. 研究成果

(1) 海洋大循環数値モデルによる海洋変動再現実験

20 世紀後半における海洋熱膨張トレンドを調べるため、海洋大循環数値モデルを用いて 20 世紀後半の海洋変動を再現した。使用したモデルは気象研究所共用海洋大循環モデル(MRI.COM; 石川ら 2005)である。0°-360°E, 75°S-75°N を計算領域とし、水平解像度は 1° (赤道域では南北 0.3°) である。海面境界条件として ECMWF 大気再解析データ (ERA40) の日平均データを使用した。海洋大循環数値モデルを用いて強制項に起因する海洋熱膨張トレンドを調べるためには、現実的な深層循環が再現され、強制データに起因しない長期トレンドが存在しないことが前提となる。そのため、まず大気再解析データの風応力・海面熱・淡水フラックスの 1958 年から 2001 年までの平均値を強制項として、900 年間の積分を行った。その後、深層循環の再現及び長期トレンドがないことを確認した上で、1958 年から 2001 年までの風応力・海面熱・淡水フラックス時系列を強制項を強制項として海洋大循環数値モデルを駆動し、20 世紀後半の海洋変動を再現した (実験 EXP_W+H)。なお本研究では、海洋の力学的及び熱力学的応答を調べるため、海氷及び河川水の流入はなく、海面淡水フラックス (蒸発-降水) に加えて海面塩分の気候値への緩和を行った。また、海面水位偏差の熱膨張成分は対象深度からの海面力学高度偏差とし、モデル及び観測資料 (Levitus et al. 2005) の年平均水温と年平均塩分気候値を使用して計算した。

(2) 海洋熱膨張トレンドの評価

20 世紀後半の再現実験で得られた海洋水温データから 1960 年から 2001 年までの 0-700m の海洋熱膨張トレンドを計算した (図 1 黒線)。その結果、全球平均海洋熱膨張のトレンドは +0.253mm/年となり、観測水温データから見積もられる +0.278mm/年 (図 1 緑線) とほぼ一致した。

さらに、海洋熱膨張を求める際の基準とする深さの取り方による全球平均熱膨張トレンドの大きさの違いを調べた結果、図 2 の黒

線で示されるように、全球海洋熱膨張は 0-2000m の層で全球平均トレンドが最大で +0.43mm/年となるが、海洋全層では +0.1~0.2mm/年であることが明らかとなった。この値は 0-700m の観測水温によって計算される全球平均海洋熱膨張トレンドより小さく、海洋全層の水温の影響を考えた場合、全球平均海面水位トレンドには海洋熱膨張以外の過程が重要であることを示唆する。

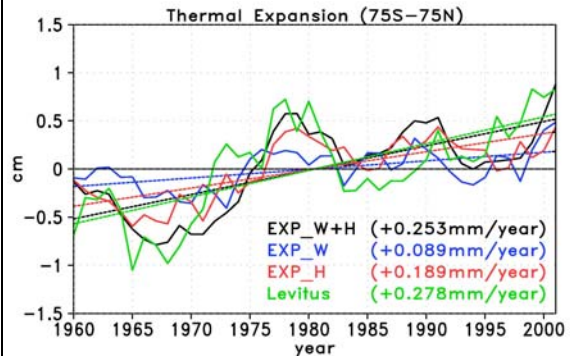


図 1 全球平均した 0-700m の海洋熱膨張偏差時系列. 黒: EXP_W+H, 青: EXP_W, 赤: EXP_H, 緑: 観測水温. 直線は 1960 年から 2001 年までの線形トレンドを表す.

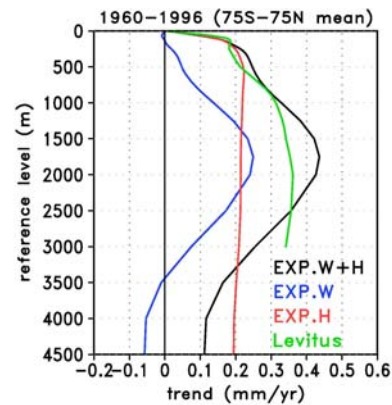


図 2 1960 年から 2001 年までの海洋熱膨張トレンド. 基準とする深さの関数で示す. すなわち、縦軸が z (m) の場合、海面から z (m) までの層を考慮して計算したことを意味する (例えば、2000m での値は 0-2000m の海洋熱膨張トレンド). 黒: EXP_W+H, 青: EXP_W, 赤: EXP_H, 緑: 観測水温.

(3) 海洋塩分膨張トレンドの評価

気象研究所海洋データ同化システム (MOVE) により、1949 年から 2005 年までの全球海洋再解析データを作成し、海洋熱膨張トレンドや塩分変動による海面水位トレンドの大きさを計算した。全球海面水位トレンドに対する塩分の効果は、海洋大循環数値モデル実験の塩分データを用いて計算した全球海面水位上昇トレンドが 0.02mm/年となり、全球海

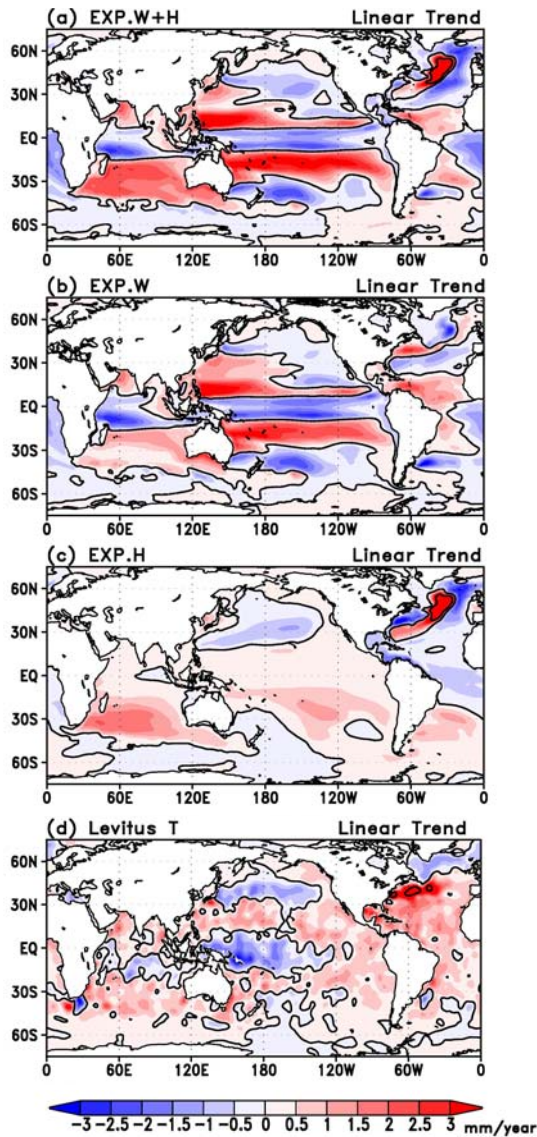


図3 1960年から2001年までの0-700mの海洋熱膨張トレンドの空間分布。(a) EXP_W+H, (b) EXP_W, (c) EXP_H, (d) 観測水温。

海洋熱膨張トレンドの約10%であることが明らかとなった。

(4) 海洋大循環数値モデルによる強制パラメータ実験

海洋大循環数値モデルで再現された20世紀後半における全球平均海洋熱膨張トレンドに関して、「海面風応力トレンドに対する力学的効果」と「海面熱フラックストレンドに対する熱力学的効果」を明らかにするため、海洋大循環数値モデルの強制項である風応力と海面熱フラックスのそれぞれ一方の変動のみを与えた2種類の歴史実験、すなわち、海面熱フラックスを気候値で与え風応力を経年変化させた実験(実験EXP_W)と、海面熱フラックスのみ経年変化させた実験(実験

EXP_H)を行った。

(5) 海洋熱膨張トレンドに対する力学的応答と熱力学的応答の解明

海洋大循環数値モデルによる上記2種類の実験結果を使用して、1960年から2001年までの0-700mの全球平均海洋熱膨張トレンドを計算した。その結果、風応力の変動のみを与えた実験(EXP_W)では+0.089mm/年、海面熱フラックスの変動のみを与えた実験(EXP_H)では+0.189mm/年となった。(2)で述べたように風応力と海面熱フラックスの両方の変動を与えた実験(EXP_W+H)における全球平均海洋熱膨張トレンドは+0.253mm/年であった。したがって、20世紀後半における0-700mの全球海洋熱膨張トレンドの要因は、「海面風応力トレンドに対する力学的効果」が約30%、「海面熱フラックストrendに対する熱力学的効果」が約70%であることが明らかとなった。また、海洋熱膨張トレンドの空間分布についても海洋大循環数値モデルによる実験で観測結果が再現されており、感度実験により、その分布の要因が風応力強制の線形トレンドであることが明らかとなった。

さらに、全球平均海面水位上昇が加速した1993年から2001年までの海洋熱膨張トレンドに関しては、西部太平洋での増加トレンドや東部北太平洋での減少トレンドがモデルで再現されており、風応力のみで駆動した実験(EXP_W)の寄与が大きい(図4)。また、この期間の全球平均海洋熱膨張トレンド+0.902mm/年の80%が「海面風応力トレンドに対する力学的効果」であることが明らかとなった。

(6) まとめ

20世紀後半の全球平均海洋海面水位トレンドの熱膨張成分(熱膨張トレンド)とその要因を海洋大循環数値モデルを用いて調べた。その結果、海洋観測水温資料から求められた海洋表層における熱膨張トレンドの要因は、風応力による海洋循環の変化が30%、海面での加熱による変化が70%であることが明らかとなった。本研究成果は、全球平均海洋熱膨張トレンドには海面での加熱だけでなく風応力に対する力学的応答が含まれていることを海洋大循環数値モデルを用いた感度実験によって初めて示したものである。

また、観測水温時系列データが存在する層である0-700mの観測水温によって計算される全球平均海洋熱膨張トレンドは、海洋全層の水温データで計算される値より大きく、全球平均海面水位トレンドの要因として海洋熱膨張以外の過程が重要であることを示唆するものである。

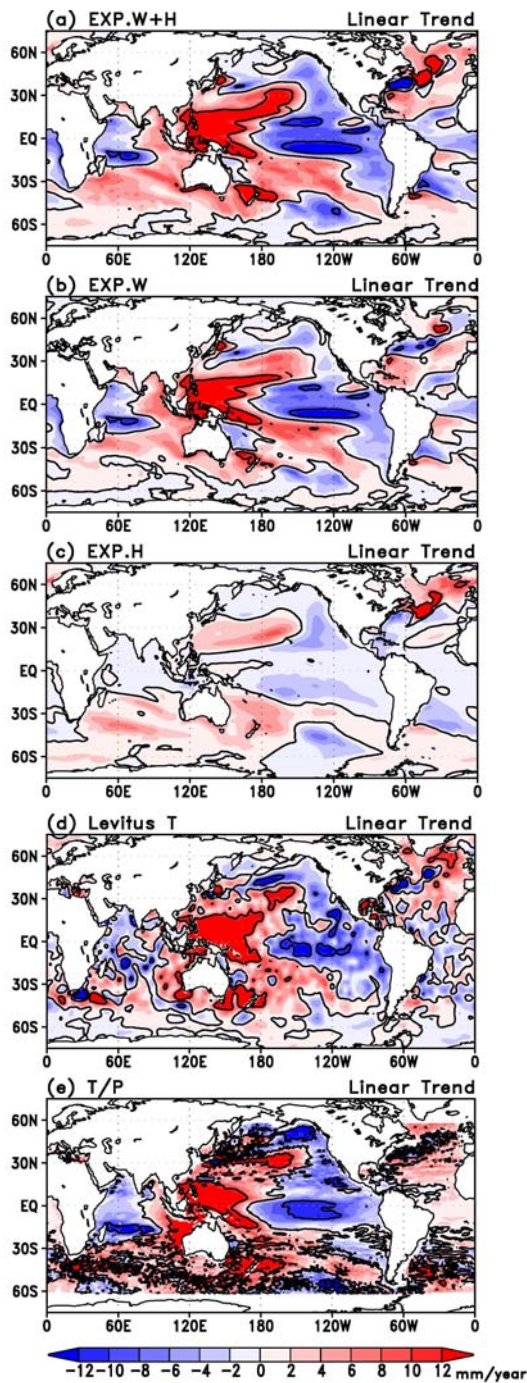


図4 1993年から2001年までの0-700mの海洋熱膨張トレンドの空間分布. (a) EXP_W+H, (b) EXP_W, (c) EXP_H, (d) 観測水温, (e) 海面高度計.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計9件)

- ① 安田珠幾、北太平洋亜熱帯モード水の体積及び水温の長期変動、2007年度日本海洋学会秋季大会、2007年9月27日、沖縄県中頭郡西原町。

- ② Satoshi Matsumoto、OSSE/OSE activities with Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) System. II: Impacts of salinity and TAO/TRITON、GODAE-OOPC OSSE/OSE Meeting、2007年11月3日、フランス・パリ。
- ③ Satoshi Matsumoto、Ocean Climate Variability and Water Mass Variability in the Reanalyses of the MRI Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) System、2008 Ocean Sciences Meeting、2008年3月5日、アメリカ合衆国・オーランド。
- ④ 安田珠幾、20世紀後半における全球海面水位トレンドの熱膨張成分、日本気象学会2008年度春季大会、2008年5月21日、神奈川県横浜市。
- ⑤ Satoshi Matsumoto、Ocean Climate and Water Mass Variabilities in the Ocean Reanalyses、2008 Asia Oceania Geosciences Society、2008年6月18日、大韓民国・プサン。
- ⑥ Tamaki Yasuda、Linear Trend of Global Mean Sea Level due to Thermal Expansion during 1960-2001: OGCM Experiments、2008 Western Pacific Geophysical Meeting、2008年7月29日、オーストラリア・ケアンズ。
- ⑦ 松本聡、同化データからみた海洋の長期変動解析、第12回データ同化夏の学校、2008年8月22日、青森県むつ市。
- ⑧ 松本聡、海洋再解析データを用いた北太平洋中層における長期変化の解析、2008年度日本海洋学会秋季大会、2008年9月26日、広島県呉市。
- ⑨ Satoshi Matsumoto、Climate Variability of North Pacific Intermediate Water analyzed with ocean reanalysis data of MOVE/MRI.COM、GODAE final symposium、2008年11月14日、フランス・ニース。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安田 珠幾 (YASUDA TAMAKI)

気象庁気象研究所・気候研究部・主任研究官

研究者番号：80354471

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

藤井 陽介 (FUJII YOSUKE)

気象庁気象研究所・海洋研究部・研究官

研究者番号：6034894

松本 聡 (MATSUMOTO SATOSHI)

気象庁気象研究所・海洋研究部・研究官

研究者番号：00414561