

RESPONSE EXPERIMENT OF PACIFIC OCEAN TO ANOMALOUS WIND STRESS  
WITH OCEAN GENERAL CIRCULATION MODEL

BY

OCEANOGRAPHICAL RESEARCH DIVISION

気象研究所技術報告

第24号

海洋大循環モデルを用いた風の応力異常に対する太平洋の応答実験

海洋研究部

気象研究所

METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE, JAPAN

MARCH 1989

# Meteorological Research Institute

Established in 1946

Director : Dr. Yasushi Okamura

Forecast Research Division	Head : Mr. Isao Kubota
Climate Research Division	Head : Mr. Kazuhi Kiriyaama
Typhoon Research Division	Head : Mr. Kiyoshi Kurashige
Physical Meteorology Research Division	Head : Mr. Mitsuru Asahi
Applied Meteorology Research Division	Head : Mr. Tsunehiro Majima
Meteorological Satellite and Observation System Research Division	Head : Mr. Syoichi Koinuma
Seismology and Volcanology Research Division	Head : Dr. Mamoru Katsumata
Oceanographical Research Division	Head : Mr. Akira Sano
Geochemical Research Division	Head : Dr. Yukio Sugimura

1-1 Nagamine, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305, Japan

## Technical Reports of the Meteorological Research Institute

Editor-in-chief : Mamoru Katsumata

Editors : Fumiaki Fujibe      Hideji Kida      Yoshimasa Takaya  
          Shigeru Chubachi      Junji Sato      Osamu Uchino  
          Itsuo Furuya      Masahiro Endoh      Hisayuki Inoue

Managing Editors : Makoto Matsushita, Kazuyuki Nakayama

### Technical Reports of the Meteorological Research Institute

has been issued at irregular intervals by the Meteorological Research Institute since 1978 as a medium for the publication of survey articles, technical reports, data reports and review articles on meteorology, oceanography, seismology and related geosciences, contributed by the members of the MRI.

## 序

アフリカの乾燥・砂漠化が例であるように、近年、気候問題が世界的に重要視されている。その気候の形成や変動には海洋が大きくかかわり、と言うよりも、相互に影響を及ぼし合う関係にあることも認識されている。

1979年の世界気候会議で承認された「世界気候計画（WCP）」は、以後、具体的作業に入り、「世界気候研究計画（WCRP）」の中で、大気・海洋問題が重要な課題になっている。TOGA（熱帯海洋・全球大気研究計画）や WOCE（世界海洋循環実験計画）が例である。

現在、海洋を含めた気候異変には、自然科学分野のみならず、政治・経済関係、さらには一般の人々も強い関心を示している。ちょっとした気象異変や、社会の変わった動きにすら、「エル・ニーニョの所為ではないか」という。これは豊富な情報が一因であろう。また、約20年前のエル・ニーニョ発生時に、連鎖反応的に起きた世界的な農業と経済の混乱が、わが国では豆腐の異常値上げとして食生活に顕現したことを記憶しているからかもしれない。ユーザーが要求する知識内容は様々であろうが、大気と海洋の壮大で複雑な相互作用を解明し、将来の現象を予測することが、我々の役目であろう。

しかし、元来、海洋は人間が生存している場ではない。このため、観測データも知識も不十分である。今後、衛星をはじめ、新しい観測技術によって、データも知識も蓄積されようが、それでもかなりの年月が必要であろう。しかし、それまで、いや、それから、何らかの方法で、目的に近づく努力が必要である。それが、モデル手法による海洋変動の把握と予測である。外国では、1960年代後半から、モデルを用いた海洋と気候の研究が盛んになり、その様子は本報告の膨大な Reference からもうかがえる。わが国でも、大学等で成果をあげつつある。

さて、気象研究所海洋研究部では、動的な海洋をイメージに置いて、昭和58年度から「海洋大循環数値モデルの開発」を開始し、途中で計算能力の向上もあって、予期以上の成果をあげて、一応、昭和62年度で終了させた。今後は、このモデルを基礎にして、大気・海洋相互作用や様々な海洋現象を研究していく所存である。

本報告は、開発途中のモデルを試行したものである。良いにつけ悪いにつけ、様々な鍵を顕在化させているので、今後の研究にとって良い道標となろう。海面に及ぼす風の変動・異常が、いかに海洋（主として水温構造）に影響を及ぼすかがテーマであり、その産物は予測される海洋状態である。

内容は、まず、モデルの紹介にかなり力をそそぎ、入力要素として水温・塩分・海水の密度・海流などの海洋要素と風・気温・降水・蒸発などの大気要素を用いている。これを動かして動的な定常状態を作り上げる。これに、太平洋の海洋大循環を大きく支配している赤道付近の東風と

北半球の貿易風を様々に変化させて与え、モデルを駆動させて、対応する海洋状態を産出している。

本報告の目的は、前記の TOGA や WOCE の指向に合致しているが、結果は必ずしも満足すべきものではない。海洋の渦スケールは大気の高・低気圧スケールに比較して 1 桁以下であるので、同レベルの産物を得るには、さらに計算機的能力向上が必要である。また、必要とする海洋データも質・量ともに不十分である。今後は、相互に補完しながら、研究を推進していきたい。

平成元年 3 月

気象研究所海洋研究部長

佐 野 昭

Response Experiment of Pacific Ocean  
to Anomalous Wind Stress  
with Ocean General Circulation Model\*

by

Oceanographical Research Division  
Meteorological Research Institute

海洋大循環モデルを用いた風の応力異常に  
対する太平洋の応答実験\*\*

気象研究所海洋研究部

---

\* Presented by Yoshihiro Kimura : Marine Department, Japan Meteorological Agency, and  
Masahiro Endoh : Oceanographical Research Division, Meteorological Research Institute

\*\* 木村吉宏 : 気象庁海洋気象部  
遠藤昌宏 : 海洋研究部

## Contents

Abstract .....	1
和文概要 .....	2
1. Introduction .....	3
2. Description of the Model .....	4
2.1 Governing equations .....	4
2.2 Model domain and boundary conditions .....	5
2.3 Prognostic equations .....	7
2.4 Grid system and finite difference equations .....	9
2.4.1 Grid system .....	9
2.4.2 Time differencing .....	12
2.4.3 Momentum equations .....	12
2.4.4 Temperature and salinity equations .....	17
2.4.5 Boundary conditions .....	18
2.4.6 Vorticity equation .....	20
2.4.7 Programming .....	21
2.4.8 Notes .....	22
2.5 External forcing .....	23
2.6 Vertical resolution of the model ocean and initial conditions .....	24
2.7 Computation and parameters .....	25
3. Normal State .....	28
3.1 Time integration .....	28
3.2 Horizontal distributions .....	29
3.3 Vertical sections .....	36
3.4 Meridional circulation and meridional heat transport .....	41
3.5 Comments .....	42
4. Response Studies .....	48
4.1 Introduction .....	48
4.2 Response to anomalous forcing in the equatorial ocean .....	53
4.2.1 Anomalous eastward wind (cases 100 and 101) .....	53

4.2.2 Effect of the difference in the longitude of the forcing anomaly (cases 110, 120 and 130) .....	69
4.3 Response to anomalous forcing in the extra-equatorial ocean .....	78
4.3.1 Anomalous trade wind increase (cases 200 and 201) .....	78
4.3.2 Variation 1 (case 210) .....	87
4.3.3 A warm anomaly (case 250) .....	89
4.4 Summary and remarks .....	89
References .....	95

## Abstract

A general circulation model of the ocean is developed for the study of dynamical response to the wind stress change. The model is idealized in the horizontal dimension having a rectangular shape with flat bottom topography. The purpose of the present report is to describe the model developed and to present the results in detail.

The numerical model extends over  $100^\circ$  in the east-west direction from  $30^\circ\text{S}$  to  $54^\circ\text{N}$  in the meridional direction with 8 levels in the vertical direction and  $2^\circ$  (N-S)  $\times$   $2.5^\circ$  (E-W) horizontal grid spacing. Zonally uniform wind stress and heat and salt fluxes imposed on the sea surface drive the steady normal general circulation in 140 years of integration.

Anomalies of wind stresses corresponding to (1) relaxation of the easterly winds in the equatorial region and (2) intensification of the trade winds in the tropical/subtropical region are imposed for 90 and 180 days, respectively. Temperature anomalies defined as the difference between the results for anomalous and normal wind stresses are traced for a few years.

Separation of the response into the baroclinic mode and the surface mode is apparently recognized. The surface mode anomaly is mainly advected by the background quasi-zonal steady circulation. Temporal variation of SST is very sensitive to the horizontal structure of the normal temperature field, due to the advection of temperature by anomalous horizontal currents associated with the Ekman pumping or subsurface temperature anomaly.



## 概 要

風の応力の変動に対する力学的応答を調べるために海洋大循環モデルを開発した。モデルは矩形で海底は平である。この報告はモデルと計算結果の詳しい記述である。

モデル海域は、東西幅が  $100^\circ$ 、南北が  $30^\circ\text{S}$  から  $54^\circ\text{N}$  までの緯経線で囲まれた球面で、鉛直 8 層、水平  $2^\circ$  (南北)  $\times$   $2.5^\circ$  (東西) の格子を持つ。東西方向に一樣な風の応力、熱・塩分のフラックスを海面で与え、定常解が得られるまで 140 年間積分する。

風の応力の異常は、(1)赤道海域での東風の弱まりと、(2)熱帯・亜熱帯海域での貿易風の強化を、それぞれ 90 日と 180 日与える。このようにして得られる海水温の変動を数年にわたって追跡、解析する。

その結果、海洋の応答が、傾圧モードと海面モードとに別れることが分かった。海面モードは、おもに定常的な循環場により流される。海面水温 (SST) の時間変動は、エクマン・ポンピングや亜表層の水温変動と関連した水平流による温度移流のため、定常場の水平温度構造にたいへん敏感である。