HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	気象庁137°E線観測データに見られる西部熱帯太平洋の経年変動とそのENSOとの関連
Author(s)	松本, 善之; 竹内, 謙介
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 51, 63-75
Issue Date	1988-09-30
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.51.63
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14197
Type	departmental bulletin paper
File Information	51_p63-75.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学地球物理学研究報告
Geophysical Bulletin of Hokkaido University, Sapporo, Japan
No. 51, September 1988, p. 63−75.

気象庁 137°E 線観測データに見られる西部熱帯太平洋の経年変動とその ENSO との関連

松本　善之*・竹内　謙介
北海道大学理学部地球物理学教室

（昭和 63 年 6 月 20 日受理）

Interannual Variation in the Western Tropical Pacific Ocean and Its Relation to ENSO, Seen in the Japan Meteorological Agency 137°E Line Observations

Yoshiyuki MATUMOTO* and Kensuke TAKEUCHI
Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received June 20, 1988)

Interannual variations in the western tropical Pacific are analyzed using the ocean temperature and salinity data along 137° E observed twice a year since 1971 to 1984 by Japan Meteorological Agency, and the following features are revealed.

1) Interannual variations in heat content in upper 500m are strongest between 5° N to 15° N.
2) Heat content anomaly is always negative at the end of the ENSO years.
3) Positive anomaly in heat content is found in every winter previous to ENSO event However, there are also some cases in which positive anomaly in winter is not followed by ENSO.
4) Marked positive anomaly in salinity is found after each ENSO events near the sea surface between the Equator and 15N.

Takeuchi's numerical model (1987) results are compared and shows reasonable skill in reproducing the interannual variations mentioned above.

I. はじめに

数年前までは ENSO の研究というと，東部熱帯太平洋と太平洋東岸のペルー沖を取り上げたものが多かった．しかし，研究が進むにつれて研究者の注目は西部から中部熱帯太平洋に移ってき

---

* 現在，日本電信電話株式会社
* Now with, Nippon Telegram and Telephone Corporation

ている．Pazen et al. (1986) は，1982年から1983年にかけてのENSOにおいて1981年後半に北太平洋中低緯度に暖かい水を持った高気圧性ロスビー波が西岸に近づいていることを示し，これがENSOの発生になんらかの影響を与えていることを示唆している．また，Takeuchi (1987) は，この事をモデルの中にみられる赤道波の解析から明らかにしている．Donguy et al. (1984) は，西部熱帯太平洋での大気－海洋結合系の重要性を唱えている．

しかしながらこの領域での観測データを用いた系統だった解析は今まで行われていなかった．そこで，今回行った解析は気象庁137°E線の長期定線観測（1972－1987，冬，夏，年2回）から温度，塩分，Dynamic Depth,等の経年変動を明らかにし，とくにENSO年を中心としてその前年にどの様な特徴があるのか，すなわちENSOの発生段階において西部熱帯太平洋がどの様な状態にあるのかを言及したい．

II．気象庁137° E線

今回行った解析データとして用いた気象庁137°E線とは，どのようなものであるかをここで簡単に触れておく．

Fig.1が137°E線の場所である．気象庁137°E線観測は，1967年以来，観測船，凌風丸によって行われてきた．1967年から1971年までは夏（6月あるいは7月）のみ，1972年以降は，冬（1月あるいは2月）と夏の年2回行われるようになっている．南北方向には当初，ニューギニアの北1°Sから日本の南34°Nまでの調査がおこなわれてきたが1986年よりニューギニアの領海問題から3°N以南の調査ができなくなった．長期間繰り返し行われている観測の中では南北方にこれだけの幅があるというのは世界にも例はなく，黒潮，黒潮反流，北赤道海流，赤道反流と様々な流れ，海洋構造が調査でき，この点においても海洋学上価値が高いものである．

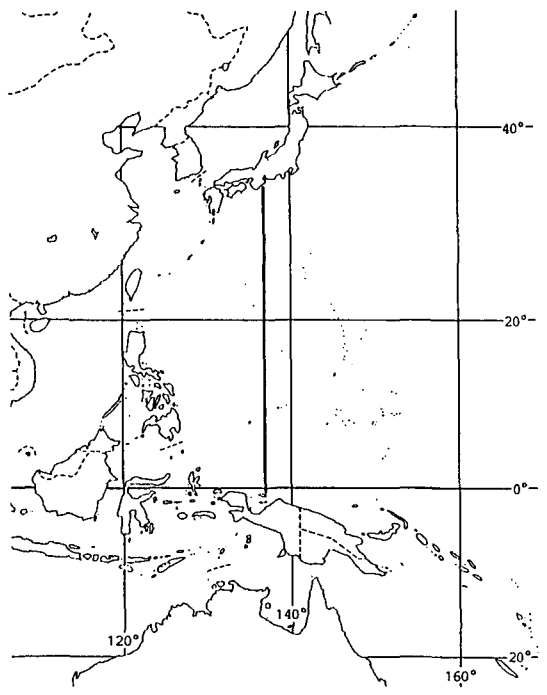

Fig. 1. The cruise track of R. V. Ryofu-Maru (Japan Meteorological Agency) 137° E observation (shown by thick solid line).

III. 西部熱帯太平洋の鉛直と経年変化の断面

ここでは，137° E 線の温度，塩分などを中心に鉛直と時間方向に断面を取り 137° E に代表される西部熱帯太平洋はどの様な特徴を持っているのかを明かにしたい．

Fig. 2 が冬と夏の水温の鉛直断面である(それぞれ，1972 年から 1987 年までの平均)．5° N から 10° N にかけて 100 mから 200 mの深さに特にはっきりとした温度躍層があり，この温度躍層は，冬よりも夏の方が温度躍層が 20 mから 30 mぐらい上昇している．塩分に関する断面は，Fig. 3 である．赤道から 15° N にかけては，熱帯収束帯（ＩＴＣＺ）になっているので表層の塩分が低くなっている．季節的には，冬に比べて夏のほうが表層の塩分は高い．塩分躍層は，深さ 75 mから 100 mのあたりになっており温度躍層とは深さが違っている．

次に水温，塩分，Dynamic Depth, Heat Content についての経年変動を示して考察することにする．Fig. 4 が深さ 0 mと 150 mでの水温の経年変動で特徴的なのは，およそ 2 年位の周期で，正と負の偏差が交互に返されていることである．150 m深では，5° N から 15° N 付近にこの傾向が強い．

では，ENSO の前後ではどの様な変動になっているであろうか．1972 年から順を追ってみてみると，1972/73, 1976/77, 1972/83, 1986/87 の ENSO において，その前の年には正の偏差，ENSO の年には負の偏差になるという共通のパターンが見られる．つまり，ENSO の前に一旦，水温が上昇しているということである．このことは，前に述べた Pazen et al.(1986)や Takeuchi(1987)らが示唆した，ENSO の前年に高気圧性ロスビー波が現れるということを支持している．しかしながら，1982/83 ENSO に関しては，今世紀最大の ENSO であると言われながらも温度躍層の変動は他の ENSO に比べて小さい．

次に，Fig. 5 に表面塩分の経年変動を示す．この図では水温の経年変動にみられたようなおよそ 2 年の周期はみられないが，ENSO の影響は，はっきりとでている．ただし，ENSO の前年の偏差は，水温の経年変動のようにはっきりとは出ていない．

Heat Content と Dynamic Depth の経年変動の偏差を，それぞれ Fig. 6 と Fig. 7 に示した．Heat Content は，深さ 0 mから 500 mまでの水温を深さ方向に積分したもの，Dynamic Depth は，深さ 400 mを基準面にとったものとした．まず Heat Content であるが，Fig. 4 で示した温度躍層の経年変動と全く同じである．Dynamic Depth の経年変動の偏差も Heat Content それとほとんど同じであるが，Heat Content に比べてよりはっきりと正と負の違いが現れている．例えば，1982/83 ENSO の前後を見れば分かるであろう．これは，Dynamic Depth を計算に塩分の効果が含まれているからであり，Taft and Kessler（1987）も海洋の赤道力学の中で塩分の効果が重要であることを述べている．

特に注目すべき点は，どの変数にたいしても ENSO のシグナルは西部熱帯太平洋で十分に大きいということである（このことは Masuzawa and Nagasaka（1975）の中でも 1974 年までの気象庁 137° E 線データで示されている)．水温に関連したものは ENSO 前年には ENSO 年とは逆

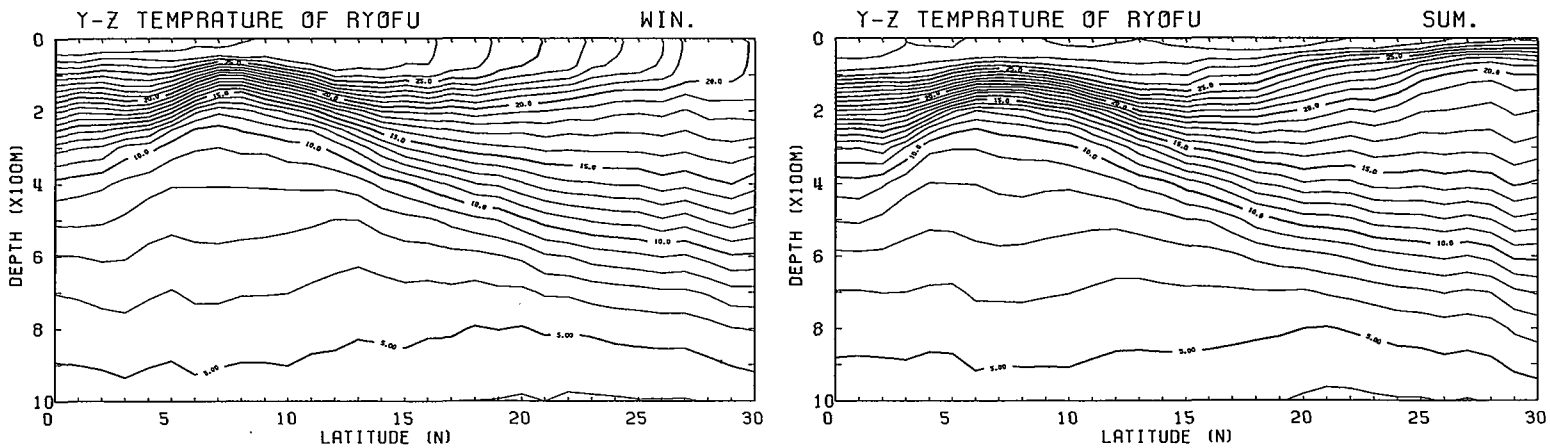

Fig. 2. Meridional section of temperature along 137° E averaged for winter (right panel) 194 summer (left) cruises, respectively. Contour Interval is 0.5° C.

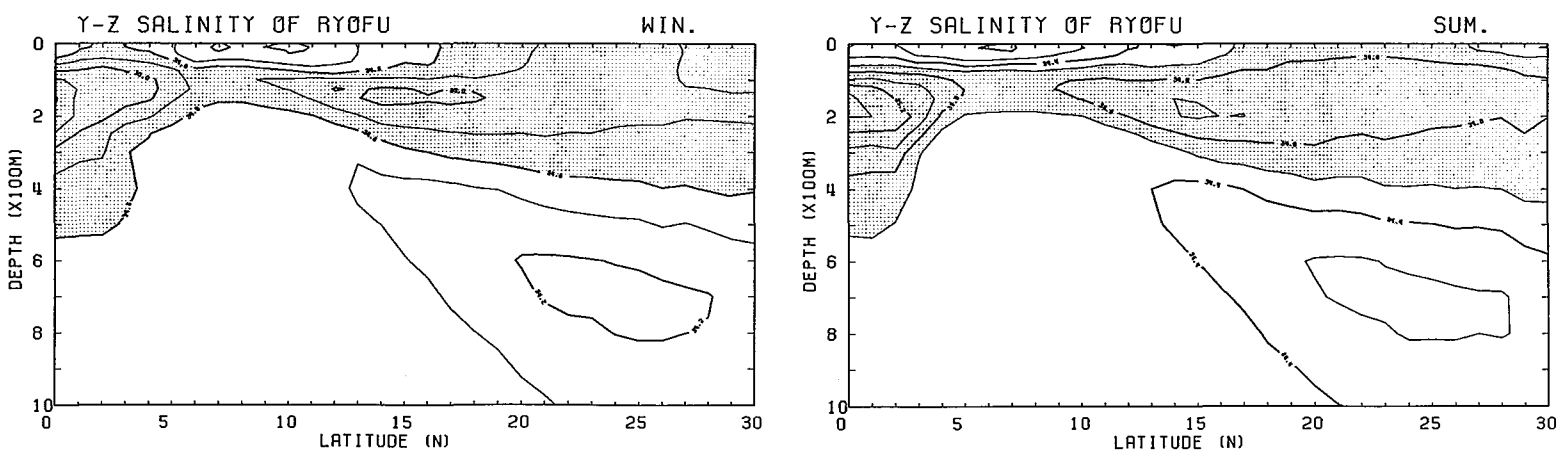

Fig. 3. Same as Fig. 2 except for salinity. The contour interval is 0.1%.

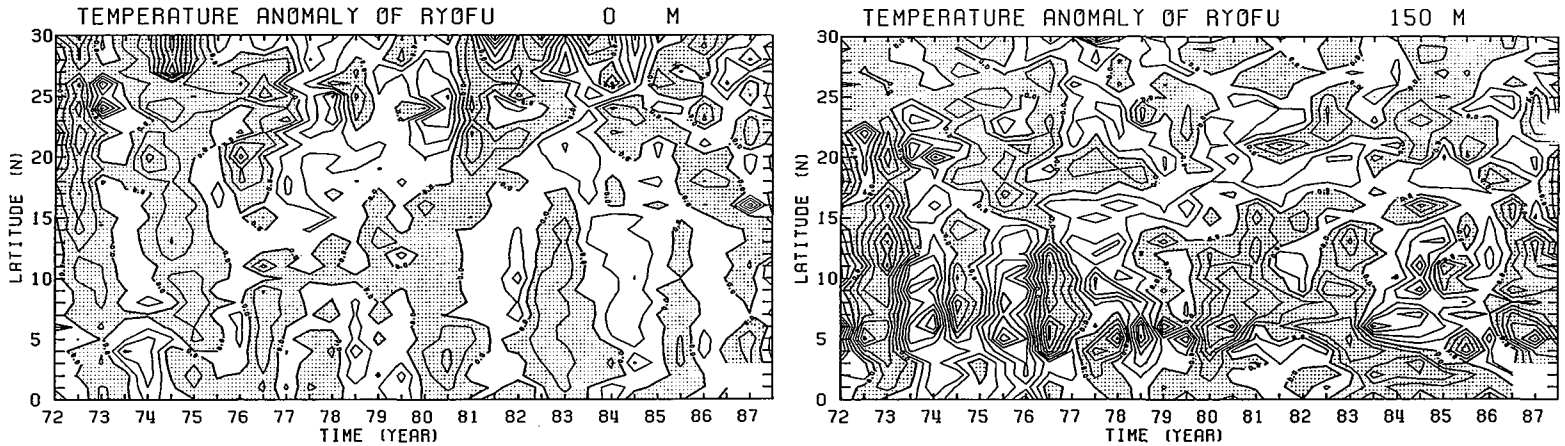

Fig. 4. Variation of temperature anomaly along 137° E from 1972 to 1987 at (right) the sea surface and (left) the 150m depth. Shadow indicates negative. The contour interval is 0.5° C in (a) and 1.0°C in (b), respectively.

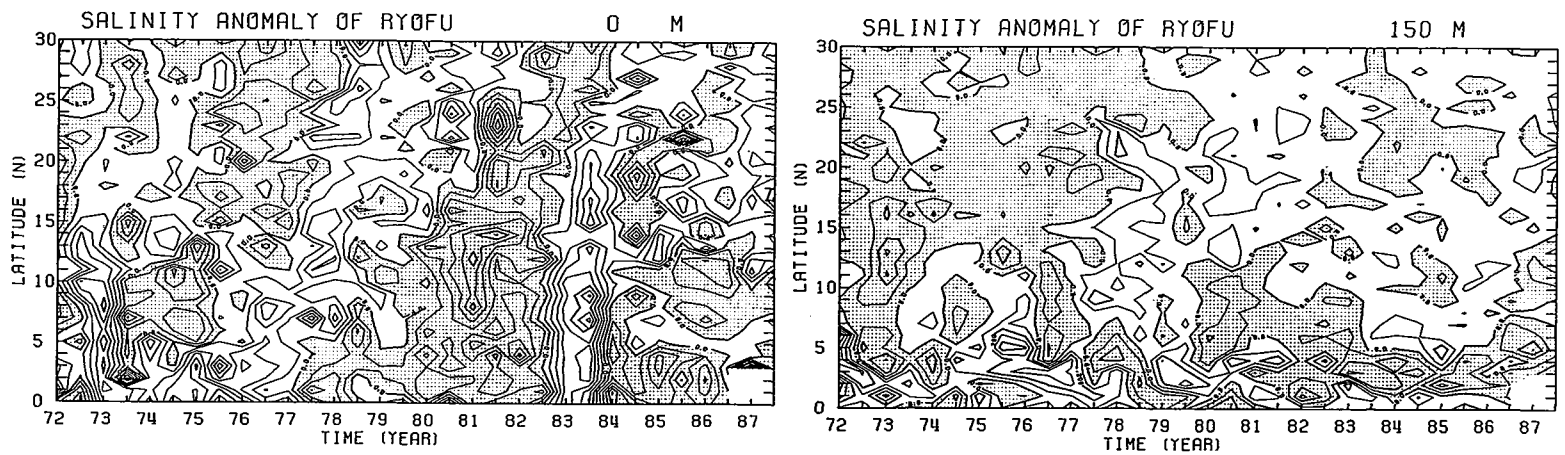

Fig. 5. Same as Fig. 4 except for salinity. The contour interval is 0.1%.

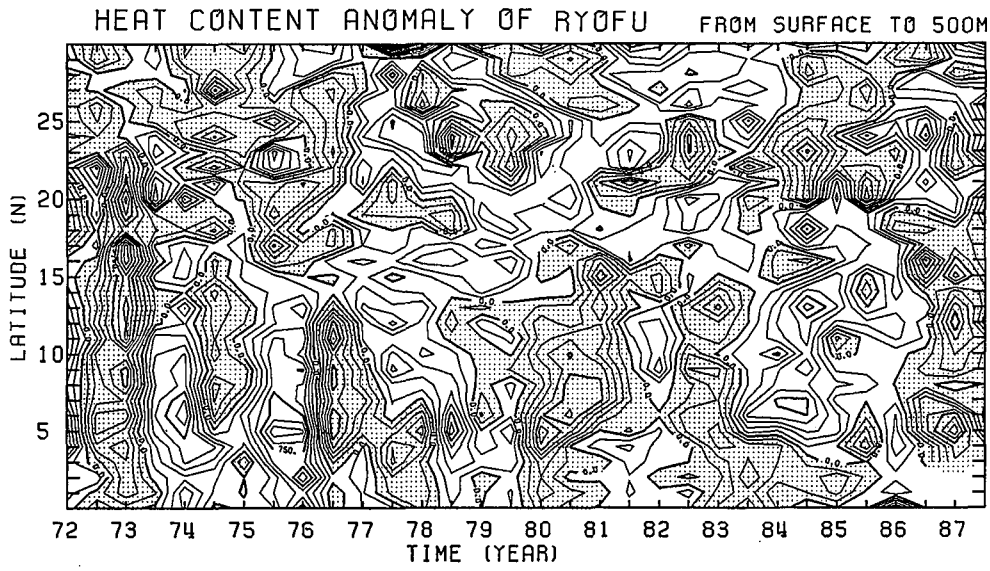

Fig. 6. Anomaly of heat content in the upper 500m along 137° E from 1972 to 1987. Shadow means negative. Contour interval is 150°C m.

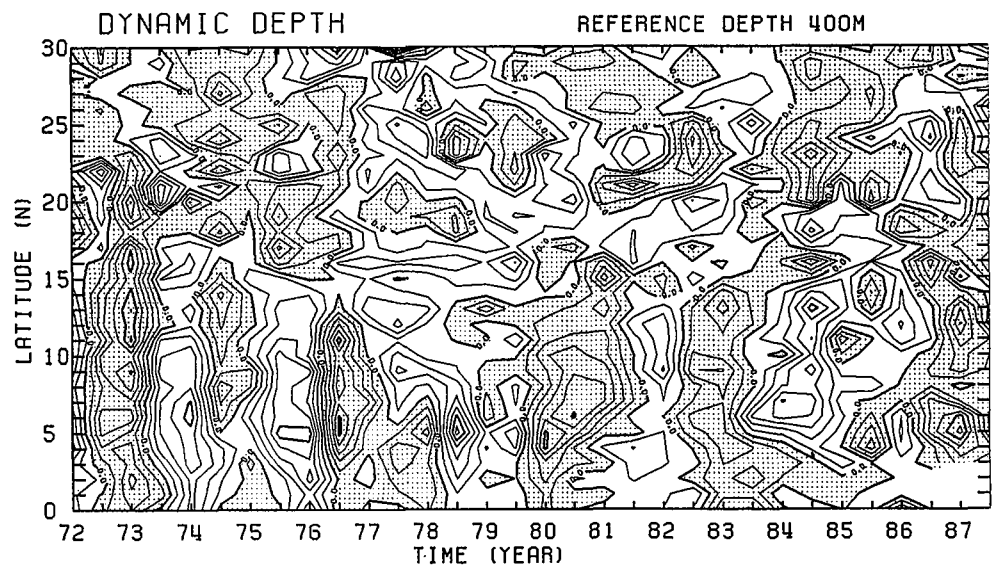

Fig. 7. Same as Fig. 6 except for dynamic depth anomaly referred to 400m. The contour interval is 4.0m²/s².

のセンスの偏差が出ている．また，その経年変動の偏差がおよそ2年ぐらいの周期を持っているように見えることも興味深い．

IV. 137° E線データに対する解析

1．鉛直モード展開

まず，137° E 線に関する鉛直モードの固有関数を求める．このための基本密度場として，Levitus (1982) の気候値から得られた密度場を用いている (Fig. 8)．この鉛直モード関数と気象庁 137° E 線データから求めた圧力の偏差によって各モードの成分が計算される．しかしながら，この鉛直モード解析にはいくつかの問題点がある．まず，このモード展開というのは，線型性を仮定しており，非線型な物理的要素が強ければこの方法は意味をなさない．もうひとつ問題となるのは，気象庁 137° E 線のデータが深さ 1000 m までしかないことである．完全に各モードに分解するためには底までのデータが必要であるが，これに関しては，各々のモード間での寄与率がわかればある程度の補正ができるので，実際ここではそれを行うことにした．

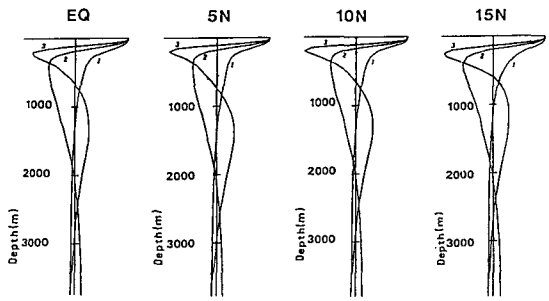

Fig. 8. Vertical mode function calculated from the density structure at, from the left, the equator, 5° N, 10° N and 15° N along 137° E. Density data is taken from the climatological data by Levitus (1982).

以上のようにして求めた鉛直第 1，第 2 モード振幅偏差の経年変動を示したのが Fig. 9 である．この図を見て分かることは，第 1 モードの振幅が第 2 モードのそれよりもはるかに大きいということである(第 1 モードの等値線間隔は第 2 モードのそれの 2 倍)．また，第 1 モードの形は，Fig. 4 で示した温度躍層の変動とほとんど同じである．第 2 モードについては，正と負の偏差の並び方は第 1 モードと同じであるが，全体の形はかなり異っている．このことは，後で述べるモデル (Takeuchi, 1987) の中にも見られる．

2．EOF 解析

137° E 線に沿った鉛直断面内の水温と塩分に対し EOF 解析を行った．Fig. 10 が水温に対する EOF，Fig. 11 が塩分に対する EOF である．これぞれ第 2 モードまでの固有関数と振幅の経年変動を示しておく．(これ以下のモードについては，寄与率も低く，物理的意味もほとんど無いと考えられるので触れない)．まず水温の EOF から見ていくことにする．第 1 モードの寄与率は，34.6%，第 2 モードのそれは，9.4%となっており，第 1 モードが支配的である．第 1 モードのパターンは，変動が最大なところが深さ 150 m 緯度 6° N 付近になっており Fig. 2 の中にみられる温度躍層の位置に一致している．振幅に関しては，今まで述べてきた温度躍層やそれに関連するものの経年変動とよく一致しておりこれらに対する考察と同じである．第 2 モードについて見る

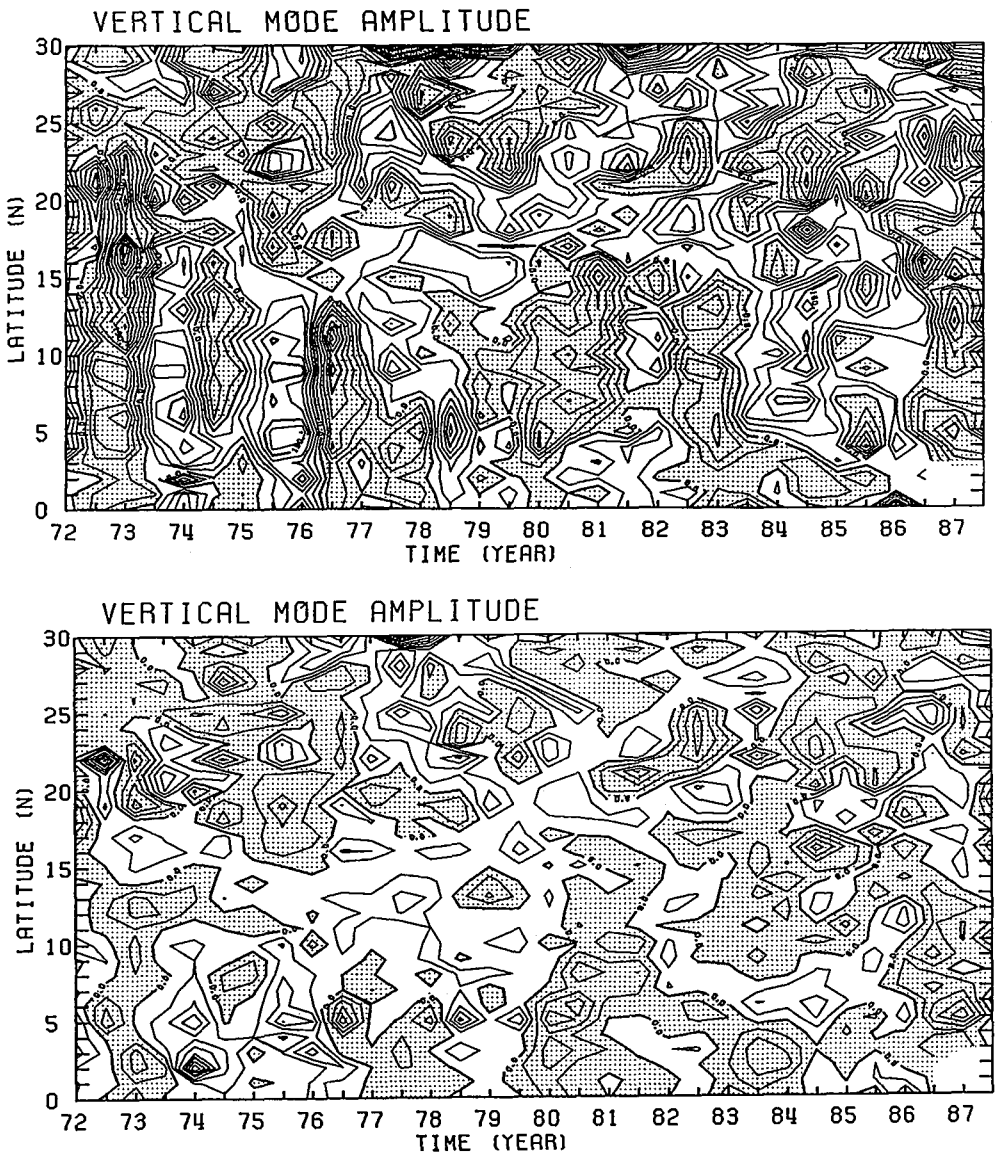

Fig. 9. Variations in amplitudes of (a) the first and (b) second vertical mode along 137° E calculated from Ryofu-Maru observations using the vertical mode function shown in Fig. 8.

と，これは，ちょうど5°Nから6°Nを境に2つに分かれている，このことは赤道から5°N付近までの温度躍層が上がると5°Nから10°N付近までの温度躍層は下がるというものである．振幅などを含めて考えても，第2モードは物理的に何を意味しているのか今の所分からない．

次に塩分に関するEOF解析である．第1モードは，明かに表層の塩分の変化のパターンを示すもので，変動の最も大きいところは緯度5°Nから10°Nにかけてであり，振幅の経年変動を見てもFig. 5で示した表面塩分偏差の経年変動とよく一致している．またFig. 5でもそうであった

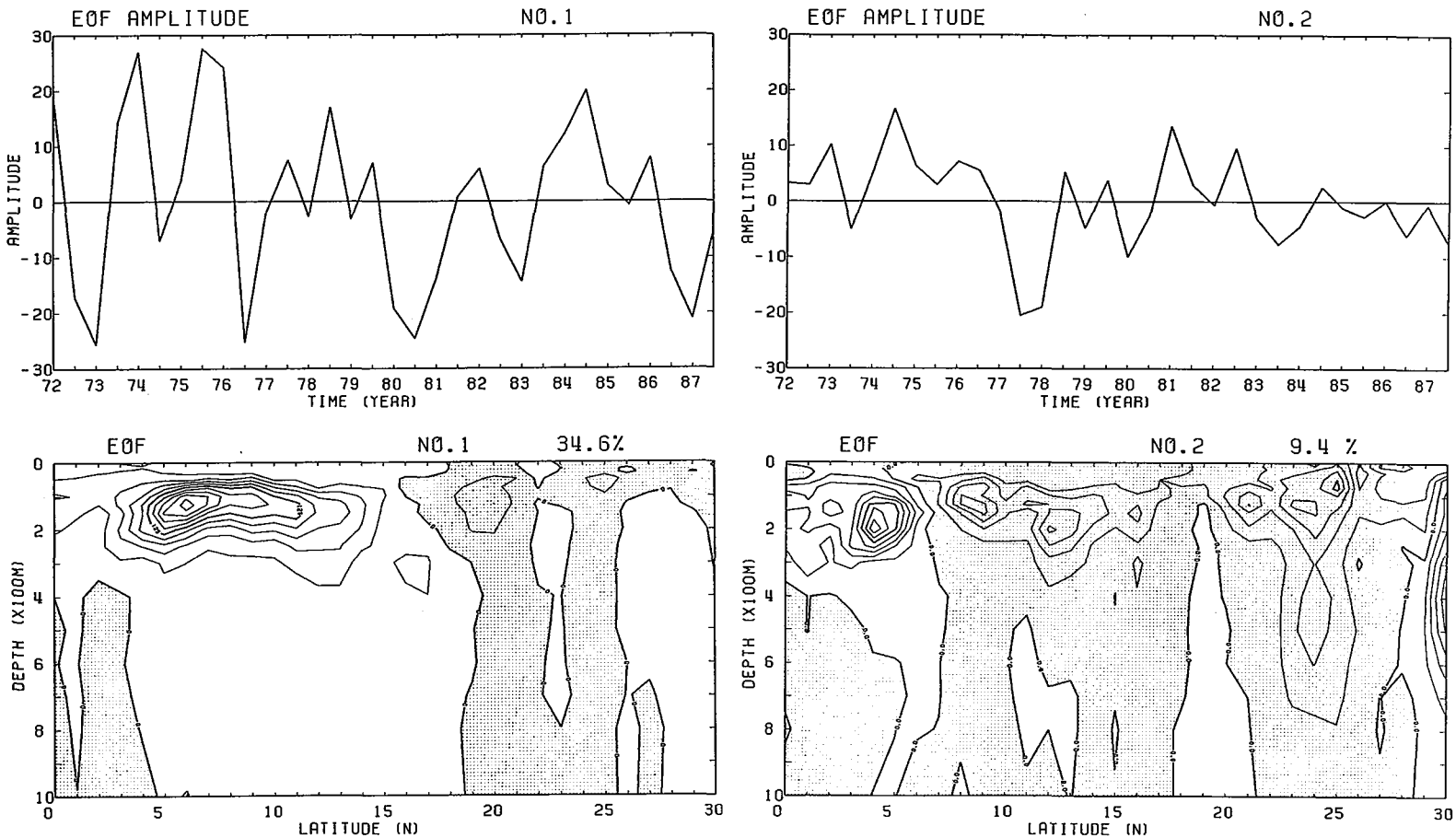

Fig. 10. Time evolution of amplitudes (upper panel) and the spatial distribution (lower panel) of the first (a) and the second (b) eigenvectors of temperature in the meridional section along 137° E.

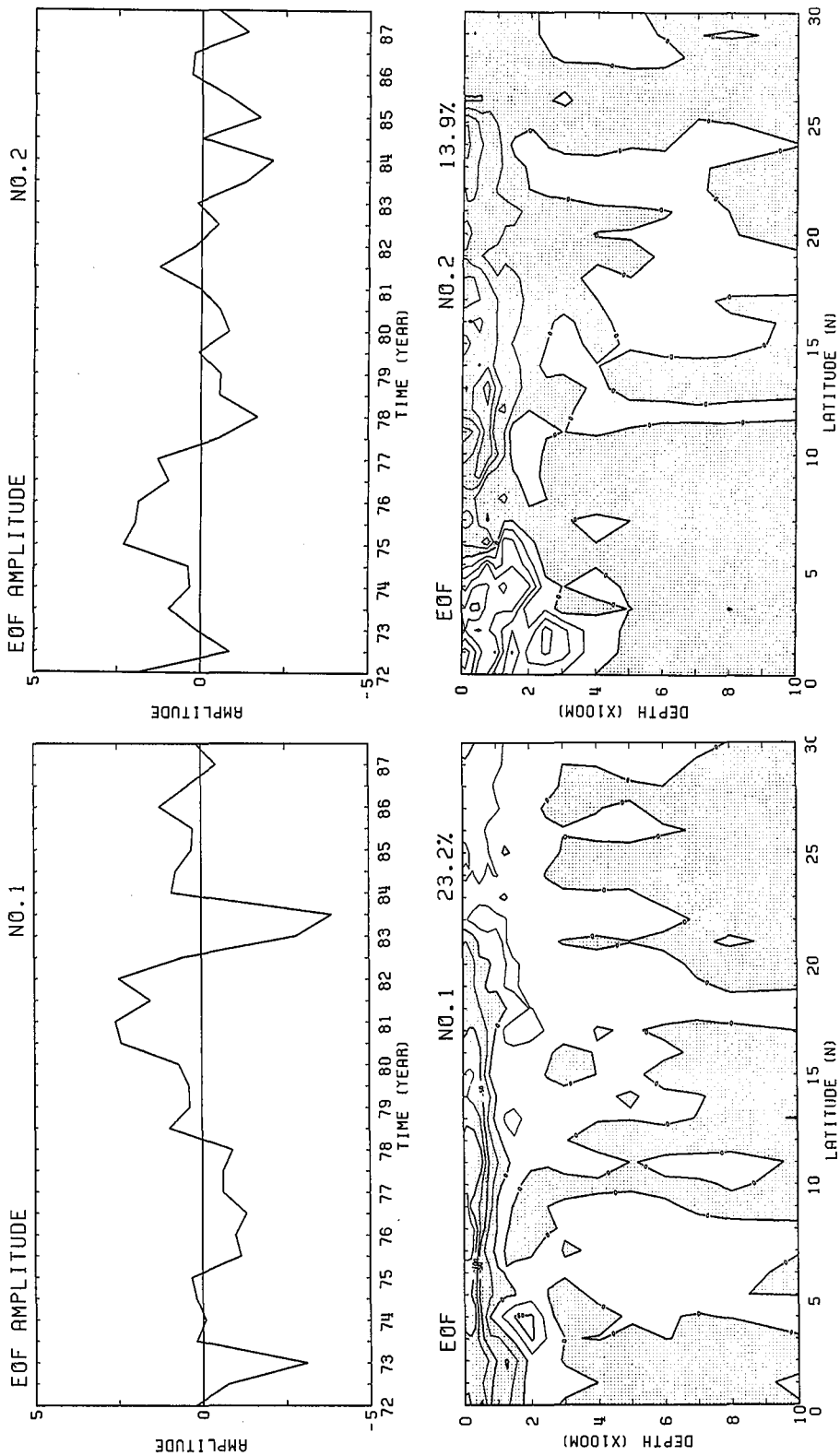

Fig. 11. Same as Fig. 10, except for salinity.

が，水温ほど経年変動が周期的でなく 1972/73 と 1982/83 ENSO の偏差が極めて目立っている．第 2 モードについては，その寄与率が 13.9% と高く無視することはできない．パターンは，5°N 付近を境として正と負の部分がはっきりと分かれている．これは水温の EOF 第 2 モードの形とよく似ている．振幅の動きを見ても一致している点が多い．これは，ENSO のパターンの他に何か別の変動の形があるものと思われるが，今のところは分からない．

V．数値モデルと観測との比較

観測だけではなかなか対象とする空間をすべて完全にとらえることはできないので，それを補うためにも数値モデルが必要になる．しかし，あくまでモデルであるために実際の海とは異なる部分も多い．そこで，ここでは今まで述べてきた観測結果を数値モデル（Takeuchi, 1987）と比較することにする．

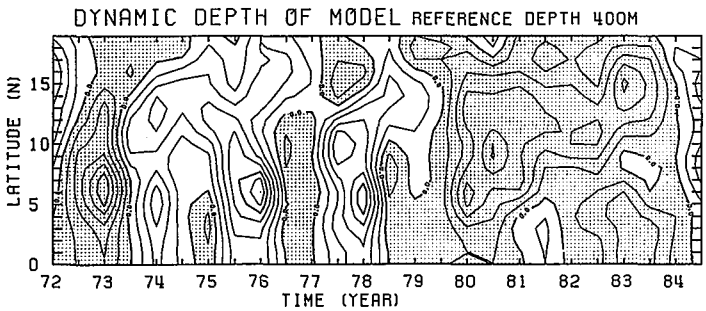

Fig. 12. Same as Fig. 7, except for model dynamic depth anomaly (Takeuchi, 1988).

Fig. 12 がモデルから求められた Dynamic Depth の偏差の経年変動である．(但し観測のサンプリングスケールと同じにするために 1 月と 7 月のデータをプロットした．) これと Fig. 7 の観測データから求めた Daynamic Depth を比較すると，非常によくその変動パターンが似ているのが分かる．この 2 つの相関を緯度の関数として取ったのが Fig.14 である．赤道から 5°N よりも 5°N から 15°N あたりの方が相関が良いのは，温度躍層の影響が強いからで，逆に低緯度で相関が悪いのは，ノイズなどが大きくなっているからと思われる．

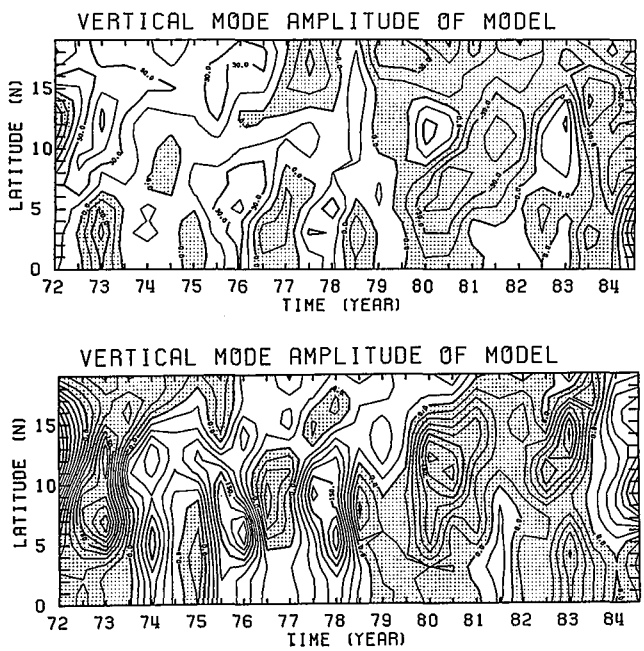

Fig. 13. Same as Fig. 8, except for model output.

変動の内部の構造を調べるため，モデルに対しても鉛直モード展開を行った．その方法については，第2章で述べたものと全く同じであり，ここでも第1モードと第2モードを計算した(Fig. 13)．結果は，Dynamic Depthがそうであったように観測のデータから求めたものと良い相関がえられている(Fig. 14)．第1モードは7°Nから15°Nあたりまで相関が高く，逆に低緯度の5°Nより南では低くなっている．ところが，第2モードは第1モードに比べて低緯度でも良い相関が得られているが，高緯度では，第1モードほど相関が高くない．これは，鉛直高次モードほど赤道波の捕捉される範囲が小さくなることによると思われる．

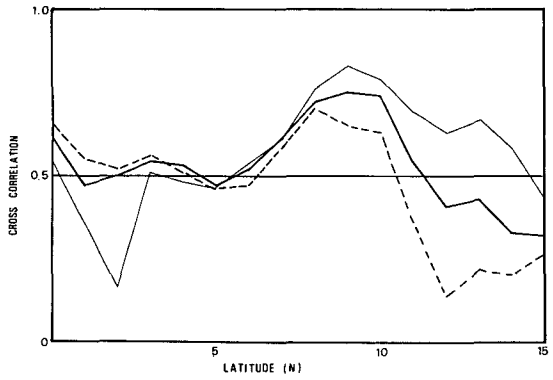

Fig. 14. Cross correlation between the obrerved and the modeled dynamic depth (thick line), amplitude of the first (thin line) and the second vertical mode (dash line), along 137° E.

この様に，数値モデルと観測の結果がこれだけ似ているということは，西部熱帯太平洋の観測で不十分なところは数値モデルの結果からある程度補うことができ，しかも数値モデルの解析を行うことにより，実際の海で起きていることを推測するための有力な手がかりに成り得ることを示している．

VI. まとめと今後の課題

今回の解析によって西部熱帯太平洋に於てENSOに関連した経年変動がこれまで予想されていた以上に大きいことが分かった．それらをもっと具体的に述べるならば，次のようになる．

1．西部熱帯太平洋の経年変動の偏差は，ENSOの時を中心としておよそ2年ぐらいの周期を持って振動しているように見える．

2．ENSOの前年には，必ずENSOとは逆のセンスを持った偏差が比較的強く出ている．

特に，2番目のことについては第1章でものべたPazen et al. (1986) やTakeuchi (1987) などが示唆したENSO前年に現れる高気圧性ロスビー波と密接な関係があることは明かであり，彼らのシナリオを支持していると思われる．しかし．疑問点もまだ多く残されており，例えば，同じように正と負の偏差を示していながらENSOになるときとならないときがあるのは何故なのか，2年周期で振動しているように見えるのは何故かなどである．これらのことは，観測，数値モデルのどちらからも示されており，何故この様な結果になったかをはっきりさせることがこれから必要になってくる．

謝辞　本論文をまとめるのに用いたデータは，気象庁海洋気象部海洋課から提供していただいたものであり，観測あるいは，データをまとめるにあたって携わっていた皆様に深く感謝したします．特に，佐伯理郎博士には大変なお手数をおかけしました．厚く御礼申し上げます．また，図をまとめるにあたりましては，石川貴之君に手伝っていただきました．感謝致します．

文　献

Donguy, J. R., A. Dessier, G. Eldin, A. Moriere and G. Meyers, 1984.Wind and Thermal Conditions along the Equatorial Pacific. *J. Mar. Res.*, **42**, 103−121.

Levitus, S., 1982. Climatological Atlas of the World Ocean. *NOAA Professional Paper No. 13,* U. S. Govt. Printing Office, 173pp.

Masuzawa, J. and K. Nagasaka, 1975. The 137° E Oceanographic Section. *J. Mar. Res.*, **Supplement,** 109−116.

Pazen, S. E., W. B. White, M. Inoue and J. J. O' Brien, 1986. Off-equatorial Influence upon Pacific Equatorial Dynamics Height Variability during the 1982−1983 El Nino/Southern Oscillation Event. *J. Phys. Oceanogr.*, **91,** 8437−8449.

Taft, B. A., and Kessler, W. S., 1987. On the Effect of Salinity on the Dynamics of the Pacific Ocean Tropical Circulation. *Tropical Ocean-Atmosphere newsletter*, **41,** 8−10.

Takeuchi, K., 1988. Roles of Equatorial Waves in the Onsets and Terminations of ENSO in the Hokkaido University Ocean Model. *Extended Abstract of Japan-U. S. Workshop on the El Nino/Southern Oscillation Phenomenon.*