

大気海洋結合モデルを用いた典型的なENSOのシミュレーション

升本, 順夫
九州大学大学院工学研究科水工土木学専攻 : 修士課程

山形, 俊男
九州大学応用力学研究所 : 助教授

<https://doi.org/10.15017/4784740>

出版情報 : 應用力學研究所所報. 66, pp.11-19, 1988-10. 九州大学応用力学研究所
バージョン :
権利関係 :



大気海洋結合モデルを用いた典型的な ENSO のシミュレーション

升 本 順 夫* 山 形 俊 男**

概 要

大気海洋結合数値モデルを開発し、これを用いてエル・ニーニョ現象の予測に必要な物理的背景を明らかにした。

まず、ENSO の暖かいエピソードの発現に必要な2つの条件を要約した。次いで、これらの前提条件のもとで簡単な結合モデルを走らせ、大気及び海洋の時空間的な発展をシミュレートした。比較的簡単なモデルであるにも拘らず、モデルの結果は1982/83年、1986/87年のENSO現象をよく再現している。この計算結果とアジアモンスーンに関する最近の観測事実から、ENSOの暖かいエピソードの発生と終息に最も必要な条件について議論を行った。

Key words: El Niño/Southern Oscillation, Oceanic Heat Content, Westerly Burst, Ocean-Atmosphere Coupled Model

1. は じ め に

近年、ENSOと呼ばれる赤道域の短周期気候変動の研究にはかなりの進展があった。比較的簡単な大気海洋結合モデルにおいて、大気海洋結合系に正のフィードバック機構の存在が見いだされた事はその一つである¹⁾²⁾³⁾。

現在、大気海洋結合系の発達機構に関してより詳細な議論が特に米国において成されているが、ENSOに似たサイクルをモデル中に作りだすことに重点が置かれており、その時空間的な発達過程を実際の観測結果と比較して示したものはない。またENSOに似たサイクルを実現したとする多くのモデルで、暖かいエピソードの発展が非現実的なほどにゆっくりとしたものになってしまっている⁴⁾。さらに、暖かいエピソードやこれを終息させる冷たいエピソードの発生のために、何が必要なのかということについても国際的なコンセンサスが得られているとは言い難い。

これらの問題を解く糸口を見つけるために、ここでは特にENSOの暖かいエピソード（エル・ニーニョ）の発生直前の大気と海洋の状態を要約し、ENSO現象の発生に必要な条件について議論する。次

* 九州大学大学院工学研究科修士課程水工土木学専攻

** 九州大学助教授、応用力学研究所

いで、適切と考えられる初期条件のもとで、Anderson-McCreary の海洋モデルと Gill の湿潤大気モデルを結合した簡単なモデルを走らせる。この結果を 1982/83 年、1986/87 年の暖かいエピソードと比較し、こうしたエピソードを励起したり、終息させたりするのは何が必要かを調べる。

2. ENSO の暖かいエピソードの前提条件

Nitta and Motoki (1987)⁵⁾ によれば、1986 年 5 月から 10 月頃にかけて海表面温度 (SST) が 29°C 以上という高温域が、赤道域西太平洋において日付変更線までのかなり広い範囲に広がっていた。この時期は、1986/87 年の大気海洋結合モードの発達する直前に相当する。1982/83 年の ENSO の時にも結合モードの発達する直前の 5、6 月頃までに、やはり広い範囲の赤道域西太平洋が高温化していた。更に、「ひまわり」の雲量データによれば、季節内変動に伴う活発な対流域がこの高い SST の領域と共に東進していた。この活発な対流域では西風のバーストとサイクロン渦対の発生という興味深い現象が発生していることが明らかになった。

図 1 は、140°E から 160°E の範囲の赤道域西太平洋において、このような西風のバーストの発生した日数の頻度を 1969 年から 18 年間にわたって示したものである⁶⁾。すべての ENSO 年 (1972、76、82、86 年) で西風の頻度が高い。これは太平洋東部にある高水温域に吹き込む風のためであり、ENSO の暖かい大気海洋結合モードの発生した後では当然であろう。しかし、ここでは結合モードの発生する半年以上も前から既に西風の頻度が著しく高くなっていることに注目したい。例えば、1982/83 年の ENSO では結合モードは 1982 年 7 月頃に発生したと考えられるが、西風の頻度は前年の 1981 年 10 月から 1 月の期間で既に著しく高くなっている。1986/87 年の ENSO では、結合モードは 1986 年 9~10 月頃に発生したと考えられる。ところが、既に 1985 年 10 月から 1 月の期間で同様に西風の頻度が著しく高くなっているのである。

一方、White et al. (1985)⁷⁾ は XBT の資料解析により、竹内 (1987)⁸⁾ は FSU の風により駆動した浅

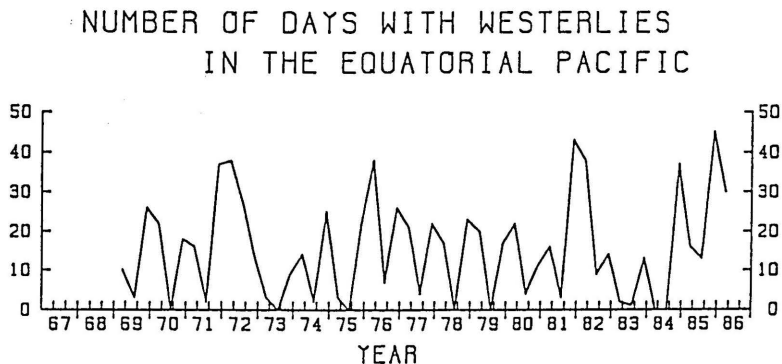


図 1 赤道域西太平洋における西風のバーストの発生頻度。1969 年から 1986 年までの発生日数を 2 月~5 月、6 月~9 月、10 月~1 月の 3 期間で積算。

水海洋モデルの解析から ENSO 年の前年には赤道域の西太平洋で海洋熱容量 (OHC) が異常に高いことを指摘した。最近 Miyakoda et al. (1987)⁷⁾ も GFDL の海洋大循環モデルを NMC の風により駆動し同様の結果を得ている (図 2 a)。竹内 (1987) によれば 1973, 74, 83 年には西太平洋の OHC が高いにもかかわらず翌年にエル・ニーニョは発生していない。つまり、西太平洋に正の OHC 異常が存在すれば必ず ENSO の暖かい結合モードが発生するというわけではない。つまり、西太平洋の正の OHC 異常は結合モード発生のための必要条件の一つに過ぎないと言えよう。ここで大気側の状況を見てみよう。図 1 において 1973~74 年, 1974~75 年及び 1983~84 年には、西風のバーストの頻度はかなり低いことがわかる。

以上のことから、少なくとも西太平洋の OHC 異常と西風のバーストの両方が暖かい ENSO エピソードの発現のために必要であると考えられる。大気と海洋の双方の条件がそろって初めて赤道域の広い範囲に正の SST アノマリーが分布することになり、大気海洋結合モードの発生する基盤が整うと考えられる。Miyakoda et al. (1987) は OHC に関しても同様の結果を得ていて、この段階をエル・ニーニョの Buildup Phase と呼んでいる (図 2 b)。ペルー沖の海面温度がピークを示すのは、この Buildup Phase であるが、これは ITCZ の季節変動に呼応してもともと海面水温が高まる季節に対応するためである。大気海洋結合モードの発達過程を示す南方振動の指標がピーク値を取るのは、この約 1 年後である (図 3 a, b)。

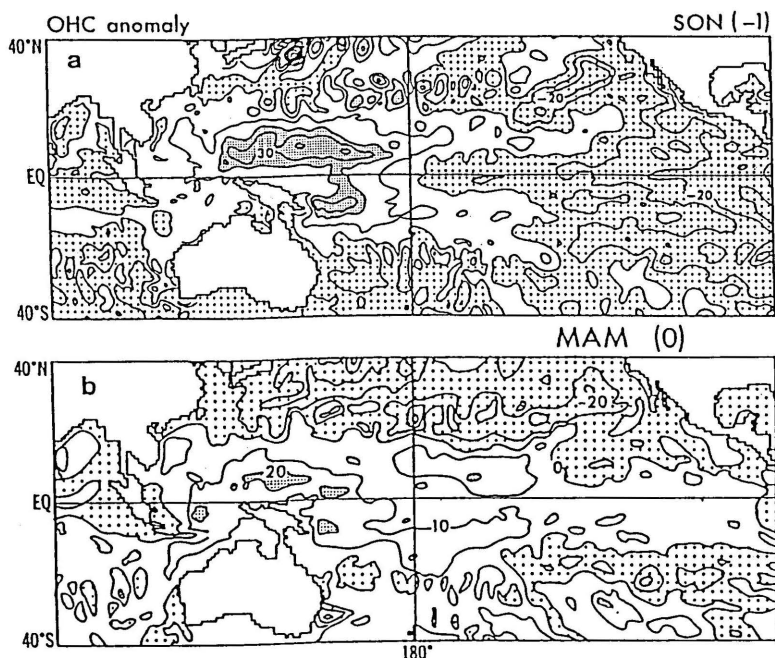


図 2 GFDL モデルによる ENSO の (a) Antecedent Phase (発生前年の 9 月から 11 月) 及び (b) Buildup Phase (発生年の 3 月から 5 月) の海洋熱容量のアノマリー。等値線は 10×10^{15} J ごと。

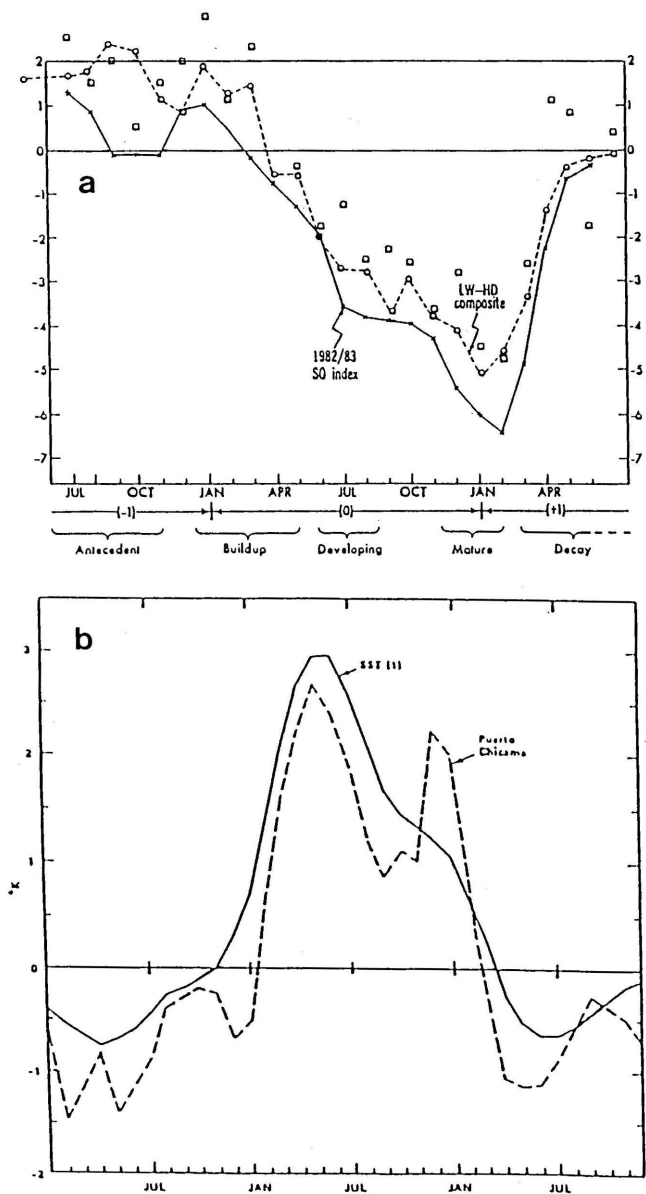


図3 (a) 1982/83年及びコンボジットの南方振動の指標。□はNMCの解析から求めた南方振動の指標。(b) ペルー沖でのエル・ニーニョ時の海表面温度アノマリーの変化(1951, 53, 57, 65, 69, 72年のコンボジット)。

3. 簡単な大気海洋結合モデルの結果

大気海洋結合モードがエル・ニーニョの Buildup Phase からどの様に発展して行くかを見るために、簡単な大気海洋結合モデルを走らせた。モデル海洋は Anderson and McCreary (1985)¹⁰⁾ を用いた。これは海洋の熱力学過程を最も簡単な形で取り入れているためである。赤道上での海洋混合層の厚さは 100 m とした。モデル大気は Gill (1982)¹¹⁾ の提案した湿潤モデルを赤道域に適用したものである¹²⁾。但し、蒸発率は SST の関数としている。水蒸気で飽和した大気中で水蒸気の収束が起ると、蒸発や収束によって補給される余分な水蒸気は雨となる。大気の加熱率はこの降水量に比例させている。大気の等価深度は 450 m とし、東進する湿潤ケルビン波の位相速度は 11.2 m/s である。

前節で述べたように、暖かい ENSO の結合モードが発生する直前には赤道太平洋の広い範囲で既に SST は上昇し、OHC も増大している。この初期状態に対応して、海洋混合層に平均温度が赤道太平洋の全域で 30.8°C であったと仮定する。大気の飽和水蒸気量は常に 28°C の時の 7 cm で与えられており、初期状態としてはこの飽和している状態を選んだ。ここで、海洋混合層の初期の平均温度の絶対値はあまり意味はなく、ただ 28°C を越えて与えている点が重要である。

図 4 a は赤道上で大気の東西風のアンノマリーの $x-t$ 図、図 4 b は降水率の正のアンノマリーの $x-t$ 図、図 4 c は海の混合層の厚さのアンノマリーの $x-t$ 図である。初めの 100 日ぐらいまで西風のアンノマリーは赤道上海 140°E 付近に極大値を持つが、その後 0.6 m/s 程度の位相速度で自発的に東進し、約 1 年後にはモデル太平洋の東側に到達している。降水率の正のアンノマリーも付随して東進し、1 年後にはモデル太平洋の東側に到達している。風系の移動に伴って混合層の厚さのアンノマリーはその東西傾度の急な部分が同様のゆっくりした位相速度で東進している。また、図 4 a では位相速度が約 10 m/s の湿潤ケルビン波がみられる。図 4 c では正のアンノマリーのフロントを形成する海洋の断熱ケルビン波のシグナルがみられ、位相速度はおおよそ 1.5 m/s である。これらの速い現象では、大気と海洋がそれぞれ独立して振舞っている事がわかる。

図 5 は 1982/83 年の暖かいエピソード時における西風のアンノマリー (a) と水位のアンノマリー (b) の観測結果である。図 6 は 1986/87 年の同様の現象に対する海洋混合層下部 (20°C) の深度の $x-t$ 図である (NMC の風で海洋大循環モデルを駆動し、XBT 観測値を同化したもの)。大気海洋結合モードの発生時期に違いはあるものの (1982 年は 7 月頃、1986 年は 10 月頃) モデルの結果との対応は極めて良いと言えるだろう。特に、140°E から日付変更線までの西太平洋に西風のバーストを与えた結果 (図 7) との対応は極めて良い。比較的簡単なモデルでこのような良い結果が得られるということは、ENSO の暖かい大気海洋結合モードの構造とその発展がいかに頑丈で秩序だったものであるかを示唆している。このことは、大気の長期予報にとって極めて朗報である。即ち、大気予報大循環モデルに海洋モデルを結合し、このような秩序構造を捉えることができるならば、長期予報技術は著しく向上するであろう。

4. おわりに

エル・ニーニョの発生直前の大気と海洋の状態から、発生に必要な条件について議論を行った。また、その条件を初期条件として簡単な大気海洋結合モデルを走らせた。

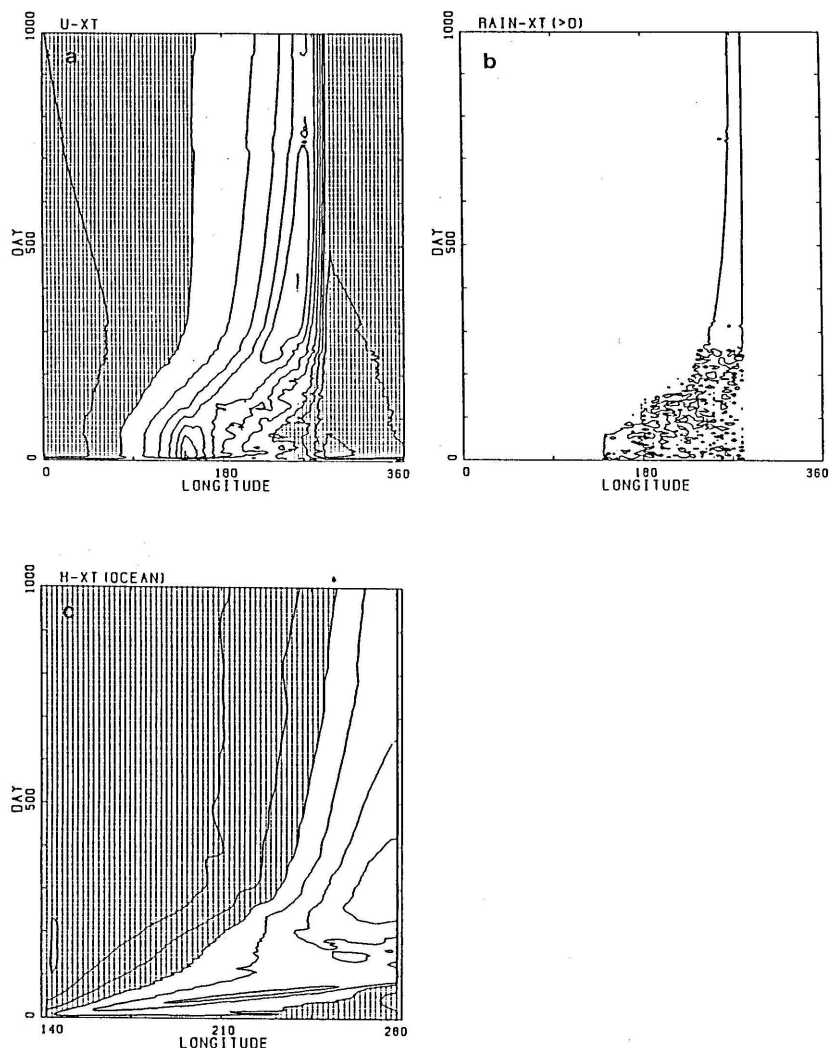


図4 大気海洋結合モデルによる赤道上の東西風のアンモリー (a), 降水率のアンモリー (b) 及び海混洋合層の厚さのアンモリー (c) の時間発展。等値線はそれぞれ 1 m/s, 1×10^{-5} cm/s, 10 m 間隔。

ENSO 現象の発生に必要な条件としては、少なくとも西太平洋の OHC 異常と西風のバーストの両方が必要であることがわかった。これらの条件の監視は比較的容易であり、ENSO の暖かいエピソードの長期予報には極めて有効であろう。加えて、本研究で示した結合モデルの結果は観測結果とよく一致し、実際の結合系の発達過程をよく表しているものと考えられる。

現実の暖かいエピソードは 1 年程度持続した後急速に消滅するにも関わらず、本モデルは最終的には暖かいエピソードの完熟期の状態に落ち着いてしまう。結合モードは東進した後東岸で海洋のロスビー

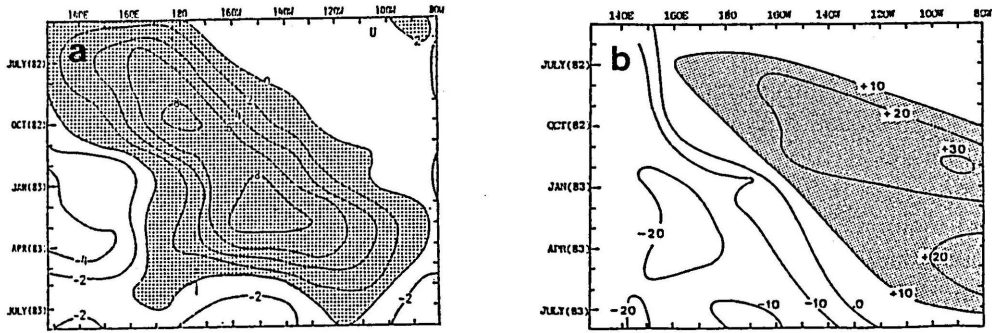


図5 1982/83年の赤道太平洋の西風のアノマリー (a) と水位のアノマリー (b) の時間発展 (観測値). 等値線はそれぞれ 1 m/s, 1 cm 間隔.

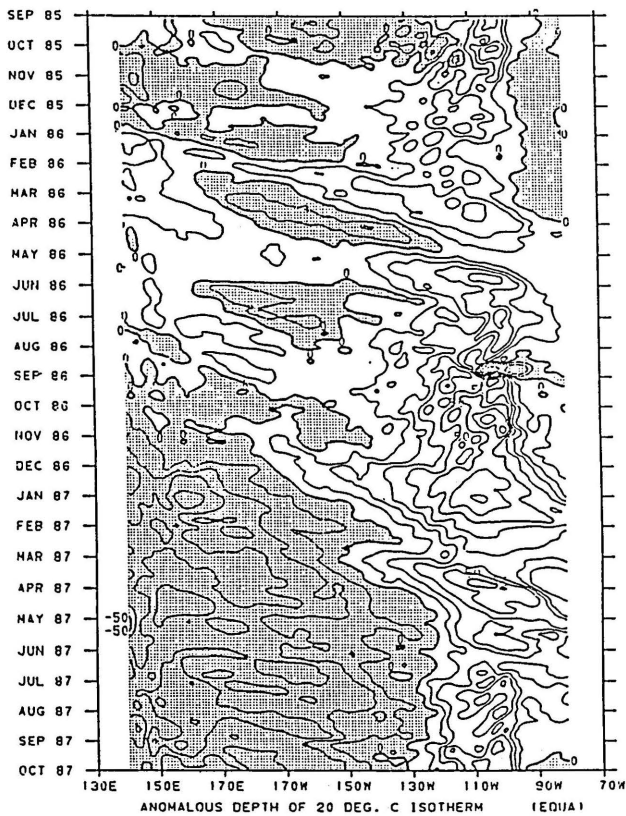


図6 1986/87年の海洋混合層下部の深度の時間発展. NMC/CAC のモデル に XBT データを同化したもの. 等値線は 10 m 間隔.

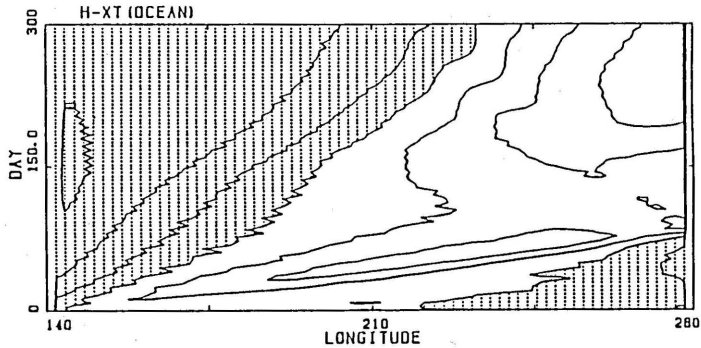


図7 図4(c)と同じ。但し初期に西風のバーストを西太平洋で与えたもの。

波を励起するが、大気海洋の相互作用はこのロスビー波に対しては散逸効果として働いてしまうためである。勿論、この暖かいエピソードは外力として強い東風のアノマリーを加えることにより、容易に終息させることができる。最近、Parthasarathy et al. (1987)¹³⁾ は ENSO の完熟期での 850 mb の高さにおける西風のアノマリーと、そのあとの夏の全インド降水量との相関を調べた。その結果、これらの間には 0.8 以上の正の相関があることが分かった。このことは、ENSO がまだ完熟期にあるにも関わらずアジアの夏季モンスーンが急速に復活し、冷たいエピソードが発達することを示している。赤道太平洋に関してみれば、東風が復活し赤道湧昇が活発化することになる。しかし、何故モンスーンが復活し東風のアノマリーが生じたのかという重要な問題が残る。関連することではあるが、Buildup Phaseにおいて西太平洋の OHC が何故高まったのかという問題も残されている。この様に暖かいエピソードの急激な終息と、冷たいエピソードの出現と発展については未だによく理解されていないと言えよう。今後、これらの問題を解くためにデータ解析結果と整合性のよいモデル研究がますます必要となろう。

参 考 文 献

- 1) Philander, S. G. H., T. Yamagata and R. C. Pacanowski: Unstable air-sea interactions in the Tropics, *J. Atmos. Sci.*, 41 (1984), 604-613.
- 2) Yamagata, T.: Stability of a simple air-sea coupled model in the Tropics, In: *Coupled ocean-atmosphere models*, J. C. J. Nihoul (Ed.), Elsevier, Amsterdam (1985), pp. 767.
- 3) Hirst, A. E.: Unstable and damped equatorial modes in simple coupled ocean-atmosphere models, *J. Atmos. Sci.*, 43 (1986), 606-630.
- 4) Zebiak, S. E. and M. A. Cane: A model El Niño/Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, 115 (1987), 2262-2278.
- 5) Nitta, T. and T. Motoki: Abrupt enhancement of convective activity and low-level westerly burst during the onset of the 1986-87 El Niño, *J. Met. Soc. Japan*, 65 (1987), 497-506.
- 6) Keen, R. A.: The role of cross-equatorial tropical cyclone pairs in the southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, 110 (1982), 1405-1416.
- 7) White, W. B., G. A. Meyers, J. R. Donguy and S. E. Pazan: Short-term climatic variability in

- the thermal structure of the Pacific Ocean during 1979-82, *J. Phys. Oceanogr.*, 15 (1985), 917-935.
- 8) 竹内謙介: FSU モデルに見られる El Niño/Southern Oscillation の前兆, 北海道大学地球物理学研究報告, 492 (1987), 381-386.
- 9) Miyakoda, K., A. Rosati, R. Gudgel and Y. Chao: Study of the 1982/83 El Niño and Southern Oscillation with an ocean GCM and observational data, Part 1: El Niño Sequence. (1987), to be submitted.
- 10) Anderson, D. L. T. and J. P. McCreary: Slowly propagating disturbances in a coupled ocean-atmosphere model, *J. Atmos. Sci.*, 42 (1985), 615-629.
- 11) Gill, A. E.: Studies of moisture effects in simple atmospheric models: the stable case, *Geophys. Astrophys. Fluid Dynamics*, 19 (1982), 119-152.
- 12) Yamagata, T.: A simple moist model relevant to the origin of intraseasonal disturbances in the Tropics, *J. Met. Soc. Japan*, 65 (1987), 153-165.
- 13) Parthasarathy, B., G. W. Poly and K. M. Weickmann: Relationships between Pacific Ocean zonal wind indices and Indian Monsoon Rainfall, *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter*, 41 (1987), 3-7. Unpublished Manuscript.

(昭和 63 年 5 月 31 日 受理)