

海面水温の永年変動の実態

山元龍三郎

INTERDECADAL CHANGE OF SEA SURFACE TEMPERATURE

By Ryozaaburo YAMAMOTO

Synopsis

Decade-to-decade variability of the sea surface temperature from 1900 to 1979 are investigated, analyzing the monthly mean data involved in COADS. In order to correct the systematic error resulted from alternation of temperature measurement method, is applied the present author's method⁹⁾ derived by comparing the ship data with the data at fixed stations such as island and cape.

The abrupt increase of multi-year average temperature in the 1940's decade, that was suggested by Favorite et al.,⁴⁾ is confirmed over the Pacific. The results of EOF analysis indicate that the abrupt warming is found along the 30°N of the Pacific, and is much significant south-east of Japan Islands. It is most probable that the abrupt warming confirmed here should be closely connected with similar warming over Japan¹⁶⁾ and the abrupt intensification of the trade winds over the Pacific indicated by Whysall et al.¹⁷⁾

1. 緒言

海洋は、大気と共に地球の気候システムの主要な要素であり、その永年変動の実態を把握することは重要な課題であるが、100年以上の長期にわたって測器による観測データがあるのは海面水温だけである。半球ないし全球平均の海面水温の永年変化の実態把握は、Paltridge ら¹⁾ が、1880年以降の商船などによる観測データの解析により初めて試みた。それに対して、Barnett²⁾ は、商船などの海面水温の観測方法が1940年代を中心に変更されたことによる系統的誤差を考慮すべきだと批判している。Folland ら³⁾ は海上気温を基準としてグローバル平均の海面水温の観測データの補正を提案したが、その補正方法には難点があり、また、局地的なデータに適用できない。一方、遠州灘での海面水温が1940年代に約3°Cも急上昇したことを、Favorite ら⁴⁾ が商船等による観測データの解析により指摘しているが、水温観測の方法の変更にともなう系統的誤差の補正をしていない。この研究では、著者ら⁵⁾ が前に提案した系統的誤差の補正方法を適用し、今世紀はじめから1979年までの海面水温の分布の永年変動の特徴を、特に太平洋に注目して、把握しようとした。

2. 商船などによる海上気象観測のデータセット

商船や漁船による海洋気象の観測は19世紀の半ばから実施されてきたが、これらの観測データが気候変動の研究に供し得るように組織的にまとめられたのは、比較的最近のことである。この研究で利用するのは、COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) である。これは、米国の4機関 (Cooperative

Institute for Research in Environmental Sciences, University of Colorado, Environmental Research Laboratories, NOAA, NCAR および National Climatic Data Center) の協力でまとめられたデータセットである (Slutz ら⁸⁾)。これには、1854年から1979年までの商船や漁船による海上の気温・表面水温・水気温差・水蒸気圧・風速・気圧等のデータが含まれている。最近、1980年～1986年のデータが追加された (Woodruff,⁷⁾)。COADS には個々の観測データの他に、Monthly Summary Trimmed Group (MSTG) と名付けられた緯度・経度2度の四角形の中の観測データの月平均値も含まれている。ここでは、経年変動の研究を意図しているので、この MSTG に含まれている海面水温の月平均値データについて研究することとする。

3. 船舶による海面水温の観測データの系統的誤差

19世紀半ばから始まった商船等による海洋観測の精度は充分ではなく (Roll,⁸⁾)、特に、海面水温の観測方法は時代と共に、放熱防止をしていないバケツによるものから、放熱防止をしたバケツによるもの、そしてエンジン冷却水の測温へと変更された (例えば、Levitus⁹⁾)。特に、1940年代には観測方法がバケツ法からエンジン冷却水の測温に変えた船が多く、この時期を境にして、系統的誤差が含まれている (例えば、Barnett²⁾)。

Folland ら³⁾ は、海上気温データを基準として海面水温観測データの系統的誤差の算定をしている。その際、昼間の船舶での気温観測は日射による誤差を含んでいる公算が大きいため、それを避けて、彼等は夜間の観測データのみを取り上げた。一方、Jones ら¹⁰⁾ も海上の気温データを基準に採用しているが、彼等の利用した COADS では観測時刻の識別ができないので、先ず船舶による海上の気温データを陸地のデータと比較して補正した。この海上の気温の補正值と海面水温データとの比較により、水温データに対する補正值を提案したが、Folland ら³⁾ の補正值とは著しい差異が認められる。Wright¹¹⁾ も、中部太平洋における水温データを気温データとの比較により検討した。1950年以後は両者の年平均値の間には有意な差は殆ど認められないのに対して、それ以前においては水温データの方が低温となっていることを示し、これは1950年以前の水温観測の系統的誤差を示すものと考えて、補正值を提案している。

水温データの補正に関する上述の3つの研究は、いずれも水気温差の年々変化は不変だとの仮定を前提としている。しかし、Rodewald¹²⁾ や Perry & Walker¹³⁾ が述べているように、水温や気温の観測方法がほぼ一定と見做せる1950年以降に、海域によっては、寒気の移流の変化に伴って水気温差の有意な年々変化が認められる。この事実は、Folland ら³⁾ や Jones¹⁰⁾ および Wright¹¹⁾ の方法が普遍的に欠けることを示している。

筆者ら⁵⁾ は、局地的なデータに対しても適用できるような補正方法を求めるために、日本の沿岸や島の固定観測点での海面水温データと船舶の観測データとの比較を行い、船舶の海面水温データの系統的誤差を、Wright¹¹⁾ に従って、水気温差の関数として求めた。その結果、次の補正を提案した：

1945年以前の海面水温データに対して、

$$\text{補正值 (}^{\circ}\text{C)} = 0.5^{\circ}\text{C} + 0.1 \times \text{水気温差 (}^{\circ}\text{C)}$$

1950年以後のデータに対して、

$$\text{補正值} = 0.0$$

1945年～1950年のデータに対して、

上記の内挿値。

4. 海面水温観測データの処理

COADS の月平均値 (MSTG) データには、空間的・時間的に一様でないサンプリングによるランダム誤差が含まれている (Mobley & Preisendorfer¹⁴⁾)。これを抑制するために次のような処理をした。先ず、2度平方の海面水温および水気温差のデータについて、1950～1979年の30年平均値を平年値とし、それらの

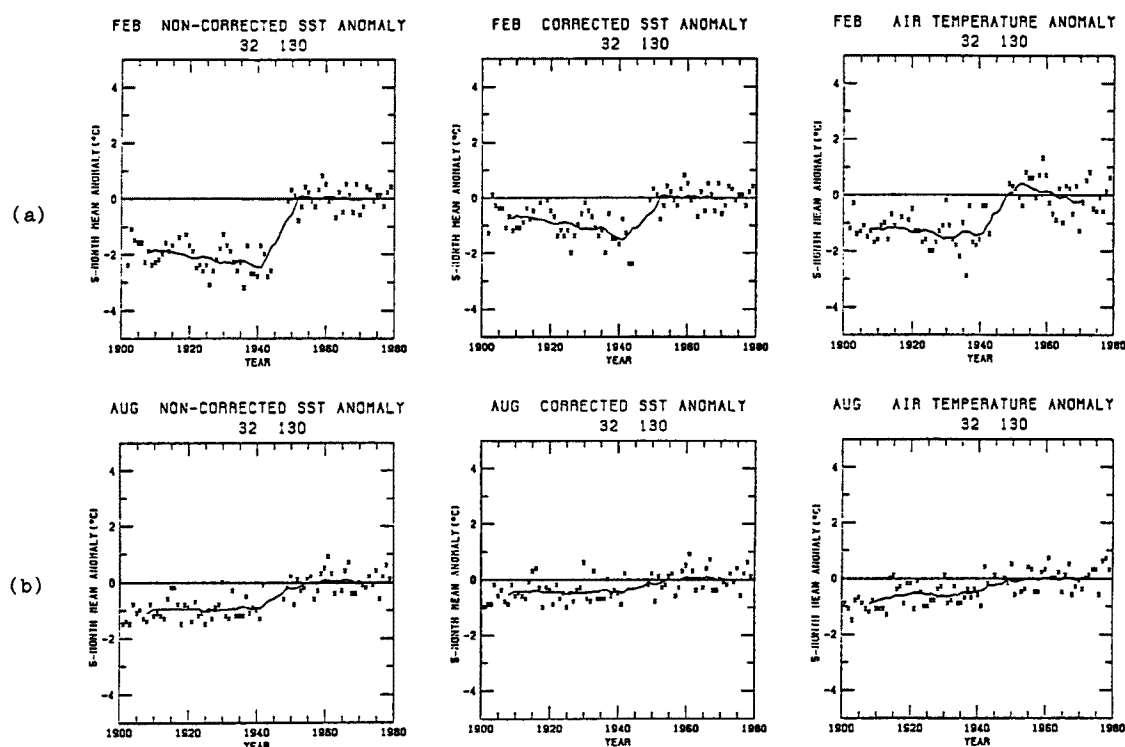


Fig. 1. Anomalies of monthly mean sea surface temperature (SST) and air temperature over 32-36°N, 130-140°E in February (a) and August (b). Non-corrected SST, corrected SST and air temperature data are given in the left, central and right panels, respectively.

平年偏差の品質管理を実行した。具体的には、各月の平年偏差の年々の時系列において、15年の移動平均からの偏差が標準偏差の2倍以上のものは除外することとした。次に、季節変化を残してランダム誤差を抑制するために、全ての偏差の時系列に5か月の移動平均を施した。

更に、空間平均によりランダム誤差を抑制するために、経度方向に10度にわたって平均したが、この平均操作でも卓越スケールは充分に表現できる (Kenyon¹⁵⁾)。南北2度、東西10度の範囲の平均の水温データについて、前節で述べた系統的誤差の補正を行った。このようにして得られた水温データについて、ランダム誤差を更に抑制するために、更に緯度方向に4度の範囲で平均して、緯度4度、経度10度の範囲の空間平均を求め、これを、以後の解析に用いることとした。

5. 日本の東方海上における海面水温の長期変動

北緯32度～36度、東経130度～140度における2月と8月の船舶による海面水温の観測データと系統的誤差を補正したものを Fig. 1 に示す。比較のために気温の偏差も併せて示した。データのばらつきが著しいので、15年の移動平均を実線で示している。Favorite ら⁴⁾ が年平均水温について指摘した1940年代後半の唐突な昇温が、補正值においても認められるが、特に2月など冬において顕著である。その様相は気温と量的にもほぼ一致している。この多年にわたる平均値の唐突な変化は、前に著者ら¹⁶⁾ が陸上の観測データにおいて注目して、「気候ジャンプ」と命名したものと同様なものと考えられる。Fig. 2 に、太平洋の北緯32度～36度の緯度帯に沿う海面水温の推移を、東経120度～130度から東経170度～180度にわたって示している。いずれも、1940年代後半に唐突な昇温を示しているが、特に西部で顕著であることが認められる。

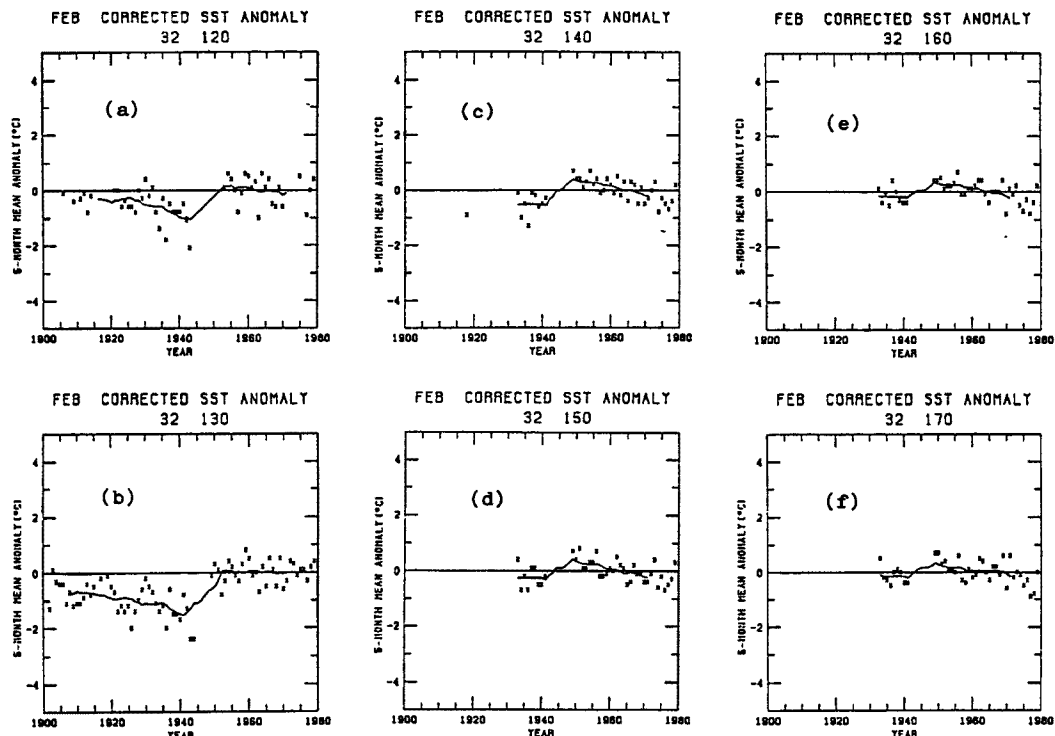


Fig. 2. Corrected sea surface temperature anomalies in February along the zonal band of 32-36°N. Panels (a), (b), (c), (d), (e) and (f) show the data over the longitudinal ranges of 120-130°E, 130-140°E, 140-150°E, 150-160°E, 160-170°E and 170°E-180°, respectively.

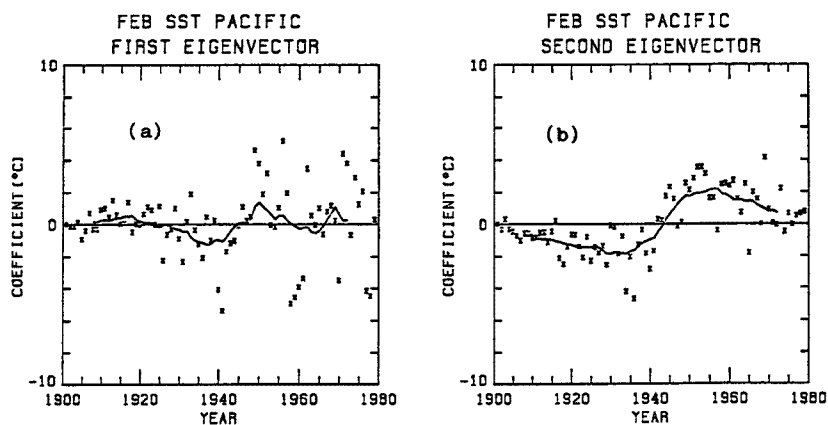


Fig. 3. Time coefficient of the first eigenvector (a) and the second one (b) of sea surface temperature anomaly in February over the Pacific.

6. 太平洋における海面水温の気候ジャンプ

1940年代に日本近海で認められた海面水温の急上昇が他の海域でも発現しているかどうかを確認するために、太平洋・大西洋・インド洋について個別に、補正した海面水温データの主成分分析を行った。大西洋やインド洋では明らかではなかったが、2月の太平洋では1940年代に「気候ジャンプ(昇温)」が認められた(Fig.

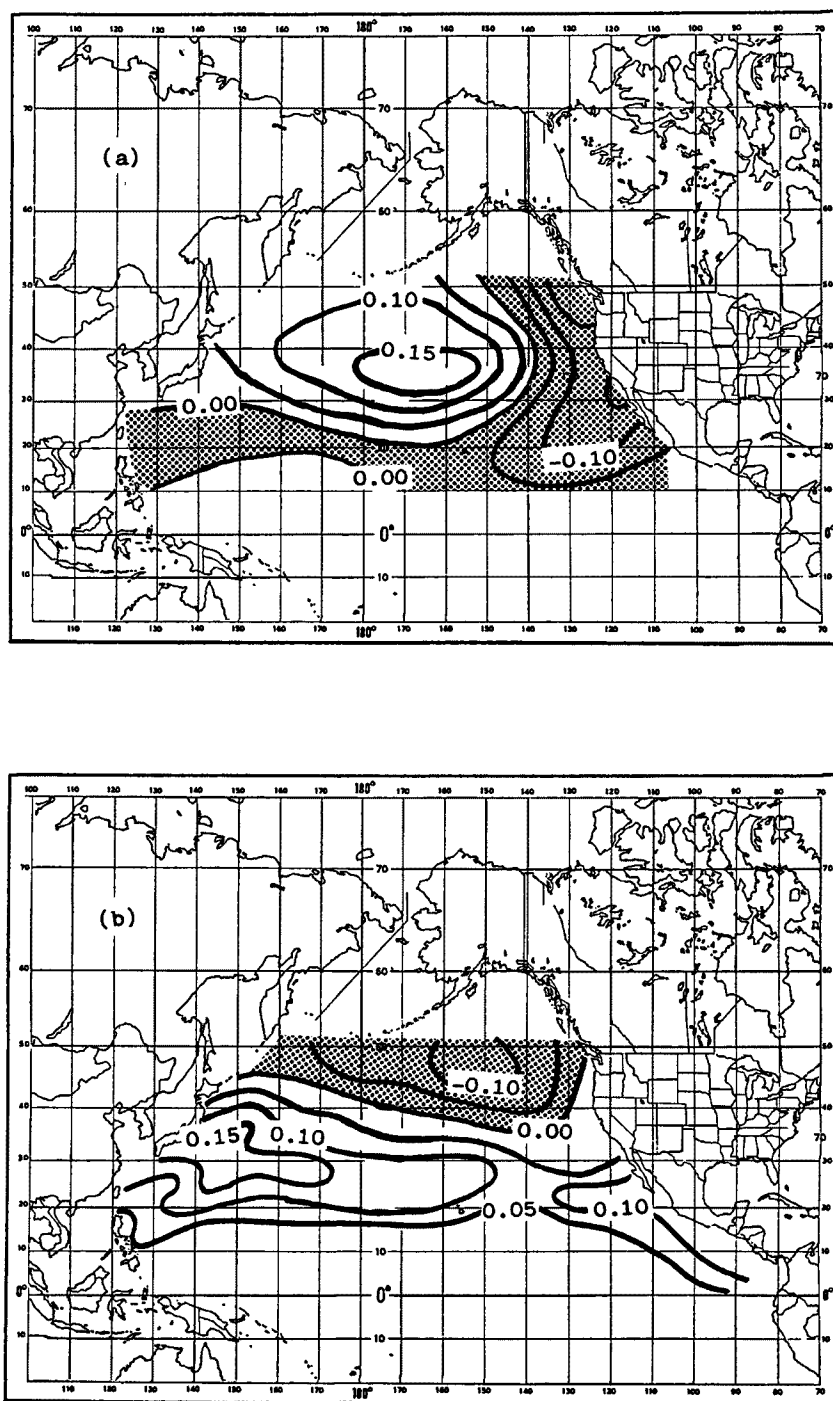


Fig. 4. The first eigenvector (a) and the second one (b) of sea surface temperature anomaly in February over the Pacific. The areas with negative value are shaded.

3)。第1主成分と第2主成分の寄与率は、それぞれ19.2%, 14.1%で大きくないが、第2主成分の時間係数が1940年代に急上昇して「気候ジャンプ」の発生を示している。それらの固有ベクトルを Fig. 4 に示したが、第2主成分は北緯40度を境にして南北にほぼ逆位相である。そして、北緯30度の緯度線に沿って、大きい変

化が日本から東方に伸びていることが認められる。

この水温の「気候ジャンプ」と同じ頃に、日本の陸上の観測データでも「気候ジャンプ」が起こっていることを、前に著者ら¹⁶⁾は指摘している。これが、この研究で指摘した水温の「気候ジャンプ」と密接に関連しているものと考えられる。また、北太平洋の貿易風の東風成分がほぼ同じ時期に急に強くなっていることが、Whysall ら¹⁷⁾によって報告されている。彼等は、水温変化との関連については言及していないが、貿易風の変化が黒潮の変動をもたらす可能性が充分にあるので、これらの「気候ジャンプ」の相互の関連性は今後の研究課題である。

7. 結語

COADS の海面水温の観測データを解析して、過去約100年間の変化の実態を把握しようとした。商船などの水温データに含まれる系統的誤差を、別の論文で著者ら⁵⁾が提案した方法で補正した。その結果、Favorite ら⁴⁾が前に指摘した1940年代における日本の東方海上での水温の多年の平均値の急上昇(気候ジャンプ)の発現を確認することができた。

海面水温データの主成分分析を行ったが、1940年代に大西洋やインド洋では明瞭な「気候ジャンプ」を認めるに到らなかった。一方、太平洋においては第2主成分には「気候ジャンプ」を確認できて、この現象が北緯30度に沿って日本近海から太平洋中部にわたる広域の現象であることが分かった。

1940年代には、この水温の「気候ジャンプ」の他に、日本の陸上の気温などでも、また、北太平洋の貿易風の強さでも、「気候ジャンプ」がほぼ同じ時期に発現していて、これらは互いに密接に関連しているものと考えられる。

謝辞

この研究は気候変動国際協同研究計画(WCRP)の一部として行われ、文部省国際共同研究等経費によって、データ処理には、京都大学理学部気候変動実験施設の計算機システム、FACOM M-340R が使用された。

参 考 文 献

- 1) Paltridge, G. and S. Woodruff: Changes in global surface temperature from 1880 to 1977 derived from historical records of sea surface temperature. Mon. Wea. Rev., Vol. 109, 1981, pp. 2427-2434.
- 2) Barnett, T. P.: Long-term trends in surface temperature over the oceans. Mon. Wea. Rev., Vol. 112, 1984, pp. 303-312.
- 3) Folland, C. K., D. E. Parker and F. E. Kates: Worldwide marine temperature fluctuation 1856-1981. Nature, Vol. 310, 1984, pp. 670-673.
- 4) Favorite, F. and D. R. McLain: More on the cold eddy south of Enshunada: Evidence of an approximate 3°C increase in mean sea surface temperature sometime between 1941 and 1949. Journ. Oceanogr. Soc. Japan, Vol. 28, 1972, pp. 254-259.
- 5) 山元龍三郎・岩嶋樹也・星合誠: COADS の海面水温データの系統的誤差の算定について。海と空, 第65巻, 1989, 第1号(印刷予定)。
- 6) Slutz, R. J., S. J. Lubker, J. D. Hiscox, S. D. Woodruff, R. L. Jenne, D. H. Joseph, P. M. Steurer and J. D. Elms: Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set Release 1. Climate Research Program, ERL, Boulder, Colorado, 1985.
- 7) Woodruff, S. D.: COADS 1980-86 interim products. Private communication, 1986.
- 8) Roll, H. U.: Physics of the Marine Atmosphere. Academic Press, New York, 426PP.
- 9) Levitus, S.: A comparison of the annual cycle of two sea surface temperature climatologies of the

- world ocean. *Journ. Phys. Oceanogra.*, Vol. 17, 1987, pp. 197-214.
- 10) Jones, P. D., T. M. L. Wigley and P. B. Wright : Global temperature variations between 1861-1984. *Nature*, Vol. 322, 1986, pp. 430-435.
 - 11) Wright, P. B. : Problems in the use of ship observations for the study of interdecadal climate changes. *Mon. Wea. Rev.* Vol. 114, 1986, pp. 1028-1034.
 - 12) Rodewald, V. M. : Einige hydroklimatische Besonderheiten des Jahrzehntes 1961-1970 im Nordatlantik und im Nordoilearmeere. *Deutsche Hydrog. Zeit.*, Bd. 25, 1972, pp. 97-117.
 - 13) Perry, A. H. and J. M. Walker : *The Ocean-Atmosphere System*. Longman, London and New York. 1977, 114 p.
 - 14) Mobley, C. D. and R. W. Preisendorfer : Statistical analysis of historical climate data sets. *Journ. Climate and Appl. Met.* Vol. 24, 1985, pp. 555-567.
 - 15) Kenyon, K. E. : A large-scale longitudinal variation in surface temperature in the North Pacific. *Journ. Phys. Oceanog.* Vo. 7, 1977, pp. 256-263.
 - 16) Yamamoto, R., T. Iwashima and Sanga-N. K. : Climatic Jump : a hypothesis in climate diagnosis. *Journ. Met. Soc. Japan*, Vol. 63, 1985, pp. 1157-1160.
Yamamoto, R., T. Iwashima, Sanga N. K. and Hoshiai, M. : An analysis of climatic Jump. *Journ. Met. Soc. Japan*, Vol. 64, 1986, pp. 273-281.
山元龍三郎・岩嶋樹也・Sanga N. K.・星合誠：大気大循環における気候ジャンプ。京都大学防災研究所年報，第30号，B-1号，1987，309-325頁。
 - 17) Whysall, K. D. B., N. S. Cooper and G. R. Bigg : Longterm changes in the tropical Pacific surface wind field. *Nature*, Vol. 327, 1987, pp. 216-219.