

台風発生数の経年変動について

藤井 健・山元龍三郎・光田 寧

INTERANNUAL VARIATION IN FREQUENCY OF TROPICAL CYCLONES IN THE NORTHWEST PACIFIC

By Takeshi FUJII, Ryozaaburo YAMAMOTO and Yasushi MITSUTA

Synopsis

The interannual variation in frequency of tropical cyclones in the northwest tropical Pacific (TNWP) reached to tropical storm intensity (the maximum wind speed ≥ 17.2 m/s) was investigated for the period 1911–86, and the spectral analysis by the maximum entropy method showed the distinct peak at the period of 8.9 years. The cross spectral analysis between TNWP and the tropical cyclones in the north Atlantic (TNA) indicated the significant coherence 0.96 at the period 7.9 years with almost in-phase. Using COADS (Comprehensive Ocean-Atmospheric Data Set), sea surface temperature (SST) in the northwest Pacific in July–October was analyzed in relation to TNWP, and the two distinct coherence peaks at the periods of 16 and 8.0 years were found out. At these two periods, the series of TNWP are about 180° out of phase with that of SST. These results appear to show the close relations of the genesis of TNWP with that of TNA and SST in the northwest tropical Pacific.

1. 序

台風の年間発生数の経年変動については、Chan¹⁾が35年間（1948～82年）の資料を用いてスペクトル解析を行い、36.6か月と21.3か月の周期に顕著なピークが存在することを示した。さらに、彼は南方振動指数（SOI）との間のクロススペクトルを求め、台風活動の経年変動はENSO現象と関係が深いことを示した。台風発生数に関する彼の解析においては10年前後の周期の変動にもピークが存在したが、彼はその論文では議論しなかった。

本研究においては、Chanが解析の対象とした周期よりも長い数年から20年前後の周期の変動を対象として、1911～1986年の76年間の年間台風発生数の時系列についてスペクトル解析を行い、卓越する周期について調べた。この台風の周期性について、大西洋で発生したハリケーンの周期性とも比較した。

また、台風の発生数は熱帯太平洋の気象や海洋の状態と関連していると考えられる。最近、米国の4つの機関（Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, University of Colorado, Environmental Research Laboratories, NOAA, NCAR and National Climate Data Center）が協力して、1854年以降の全世界の海洋上の船舶による観測資料を整備し、総合海洋気象観測データセット COADS (Comprehensive Ocean-Atmospheric Data Set) を作成した。このデータセットを利用して、台風発生域の海面水温の時系列についてスペクトル解析を行い、卓越する周期について調べた。さらに、台風の発生数と海面水温の間のクロススペクトルを求め、台風活動と海面水温との間の関連性について調べた。なお、船舶による海面水温の観測方法においては変遷があり²⁾、現実には生じていない変化が観測資料に現れている恐れもあるが、ここ

では観測資料に補正を行わずに使用した。

本調査において70年前後の資料から周期20年前後の変動のスペクトルを求めるには、Blackman-Tukey 法あるいはFFT法などではスペクトルの安定性が悪くなる恐れがある。そこで、比較的に資料数の少ない場合のスペクトル解析においても安定で分解能の高いスペクトルが得られる最大エントロピー法(MEM)を用いることにした。Burgの開発したMEMによりスペクトルを求める計算プログラムは日野³⁾により紹介されていて、これを利用することにした。また、台風活動がハリケーン活動や台風発生域の海面水温の間に卓越した周期の関連性を調べるために、MEMによりクロススペクトルを求めるHayashi⁴⁾の方法を利用して台風発生数と大西洋のハリケーン発生数、熱帯北西太平洋の海面水温の間のコヒーレンスと位相差を求めた。

2. 台風の年間発生数の経年変動

1911年から1986年までの76年間を台風活動の経年変動の調査の対象とし、台風の年間発生数については、1926～39年および1951年以降は気象要覧に、それ以外の年は伊勢湾台風調査報告⁵⁾に基づいた。これをFig. 1に示す。台風発生数の約2年および3年周期についてはChan¹⁾がすでに調査している。そこで、本調査においては数年以上の周期を対象とし、これ以下の短周期の変動を消去するために5年の移動平均をとり、破線で示す。台風発生数は1940年まで年々増加の傾向がある。現在の台風の定義(域内の最大風速が約17.2 m/s以上)が定められたのは1951年であり、また、現在のように観測網が整備されていない時期においては、確認されずに見逃された台風も少なくない。これが1940年までの発生数増加のトレンドが現れた一因であると考えられる。しかし、数年から20年前後までの周期の変動を解析の対象とすると、このトレンドは解析結果にほとんど影響を及ぼさないと考えられる。そこで、トレンドを消去しないで、Fig. 1に示した5年移動平均した発生数の時系列についてMEMによりスペクトル解析を行い、パワースペクトルをFig. 2に示す。

なお、MEMを利用する場合においては、予測誤差フィルターの項数を与えなければならないが、70前後の資料数から考えて、以下のいずれのスペクトル解析においても、この項数を25とした。

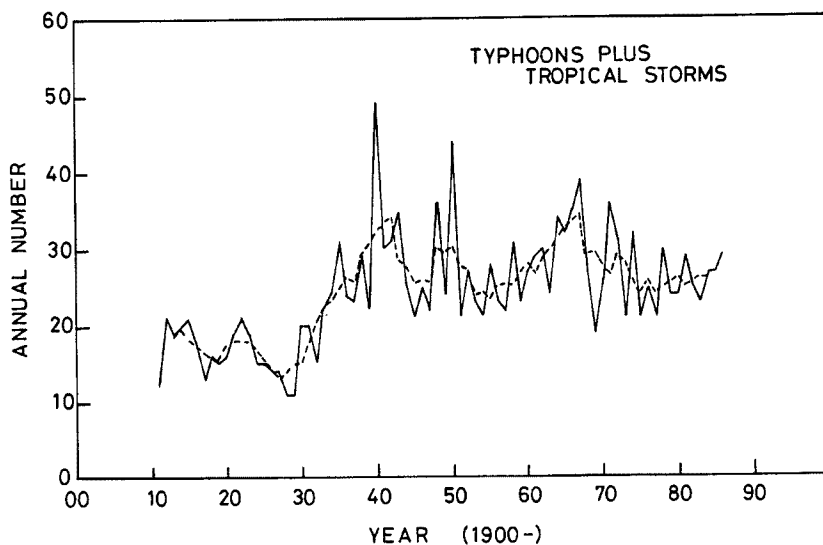


Fig. 1. Time series of annual frequency of tropical cyclones reached to tropical storm intensity (the maximum wind speed ≥ 17.2 m/s) in the northwest Pacific (TNWP). A broken line indicates 5-year running meaned frequency.

Fig. 2 においては、24と8.9年の周期に顕著なスペクトルピークが現れている。8.9年の周期のほうは Chan の解析において現れていたが議論の対象とされなかった周期約9年のピークに相当するものと考えられる。彼は1948～82年の35年間の発生数について解析したために、その有意性は低かったが、その2倍以上の76年間の資料によるわれわれの解析においてははっきりと現れているのである。

3. 大西洋のハリケーンの年間発生数の経年変動

台風の年間発生数の顕著な周期が北大西洋で発生したハリケーンの発生数（1911～86）のスペクトルにおいても現れているかどうか調べてみる。

北大西洋で発生したハリケーン（ここではハリケーンおよびトロピカルストームの総称として使うことにする）の年間発生数については、Dunn⁶⁾が1901～58年についてまとめている、1911～58年はこれによった。また、毎年、Monthly Weather Review には、1年間に北大西洋で発生したハリケーンの概要が報告されていて、1959～86年の発生数についてはこれに基づいた。ハリケーンの年間発生数の経年変動を Fig. 3 に示す。破線は5年移動平均の値である。

5年移動平均した発生数の時系列について、MEM によりスペクトル解析を行い、そのパワースペクトルを Fig. 4 に示す。周期18年および8.9年にピークがみられる。8.9年の周期のほうは、Fig. 2 に示したように台風の発生数のスペクトルにおいてみられた顕著なピークと同じ周期である。

なお、Hastenrath⁷⁾の解析によると、東太平洋のハ

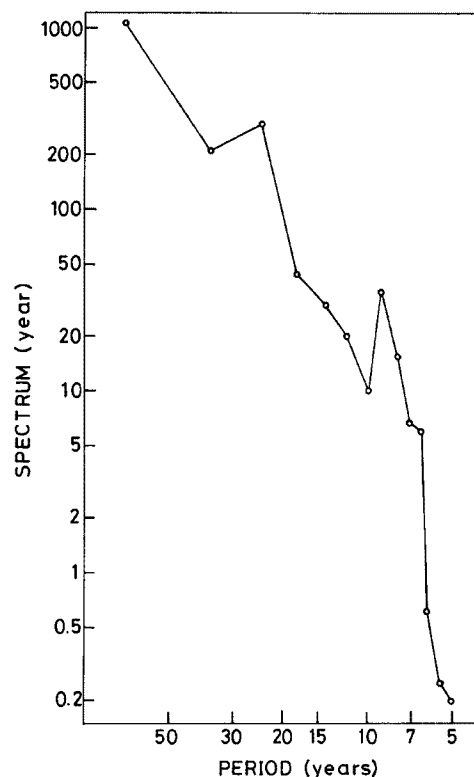


Fig. 2. Power spectrum by MEM for the time series of 5-year running mean frequency of TNWP shown in Fig. 1

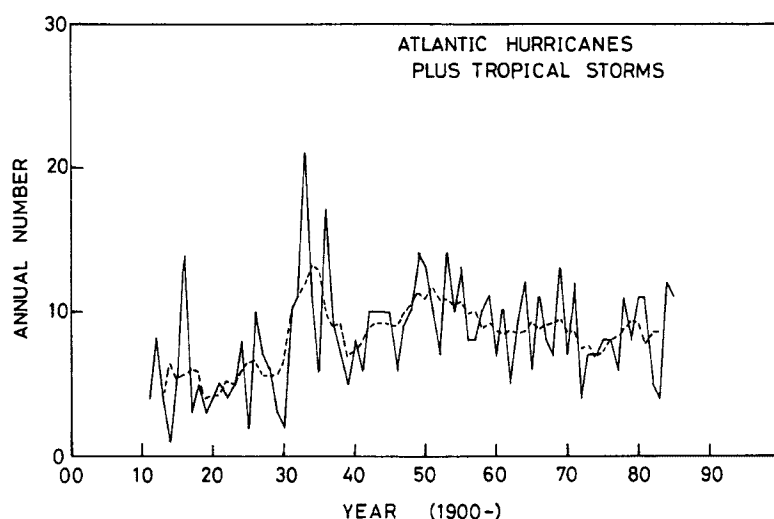


Fig. 3. Same as Fig. 1, except for tropical cycloens in the north Atlantic (TNA)

リケーンの発生数(1947~72年の資料)において、周期13.4年のピークよりも低いが、8.5年あたりにピークが存在している。

また、ベンガル湾のサイクロンの発生数については、Subbaramayya and Rao⁸⁾が1880~1979年の資料により、スペクトル解析を行っている。これによると、卓越した周期は35~40年、3.0年、および2.1年であるが、周期10年程度にもピークが見られる。

このように、熱帯低気圧年間発生数の約9年の変動周期は北半球の各海洋で共通に存在しているようであり、大気や海洋の大循環との関連性があるのかもしれない。

次に、台風とハリケーンの年間発生数の両方の時系列について、各周期の相関の強さと位相差を調べるために、クロススペクトル解析を行った。コヒーレンスと位相差を Figs. 5 (a), (b) に示す。コヒーレンス平方根(相関係数)の値は0.96で、極めて高い。また、この周期の位相差は 16° で、ほとんど位相差がない。したがって、北西太平洋と北大西洋における熱帯低気

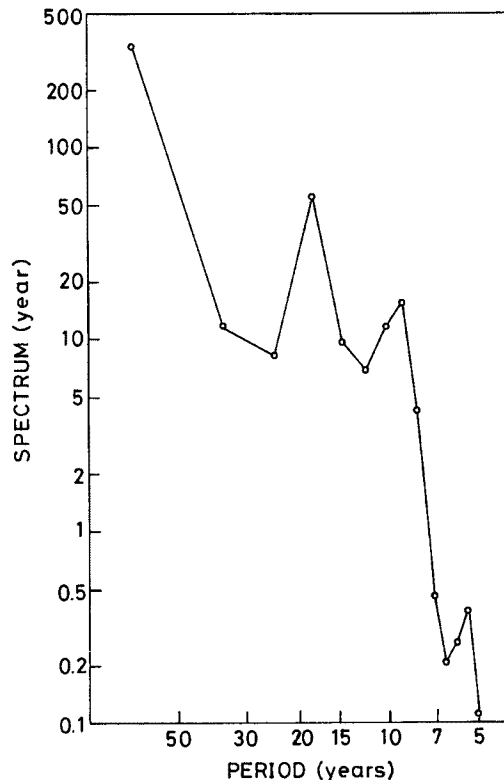


Fig. 4. Same as Fig. 2, except for TNA

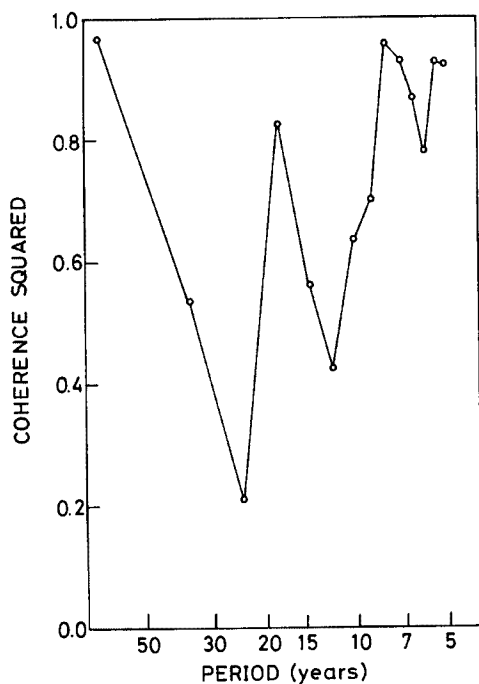


Fig. 5 (a). Coherence squared between the annual frequency of TNWP and TNA

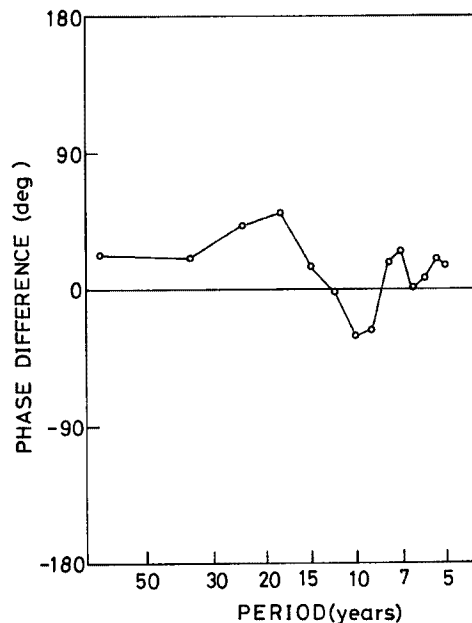


Fig. 5 (b). Same as Fig. 5 (a), except for phase difference. The annual frequency of TNA leads for positive values of phase difference.

圧の発生数の10年近くの周期の変動はほぼ並行している。

4. 熱帯北西太平洋における海面水温と台風発生数の関係

熱帯太平洋上で発生した熱帯低気圧が気象庁の定義による台風の強さに発達する位置の分布は、饒村・宮沢⁹⁾の調査によると、熱帯太平洋北西部と南シナ海の10~20°Nおよび110~180°Eの領域である。また、1年のうちで、台風の主な発生時期は、7月から10月までの4か月間とみなすことができる。そこで、緯度2度、経度2度のボックスごとに累年月平均値としてまとめられているCOADSの海面水温の資料をボックスごとにこの4か月間の各年の平均値を求め、台風発生数との関連を調べる資料とした。

観測資料が得られているボックスの割合の分布を年別に調べるために、110~180°Eの領域を経度10度ごとに7つの海域A~Gに分け、7~10月のうち少なくとも1か月は観測資料が得られているボックスの割合を海域ごとに調べると、Fig. 6 になる。ただし、1876~1979年の104年間で、観測資料が得られている延べ月数が300か月以下のボックスは除外してある。東の海域FおよびGでは1970年代でも資料が少なく、資料の得られているボックスは、それぞれ、24% (6ボックス) と12% (3ボックス) にすぎない。

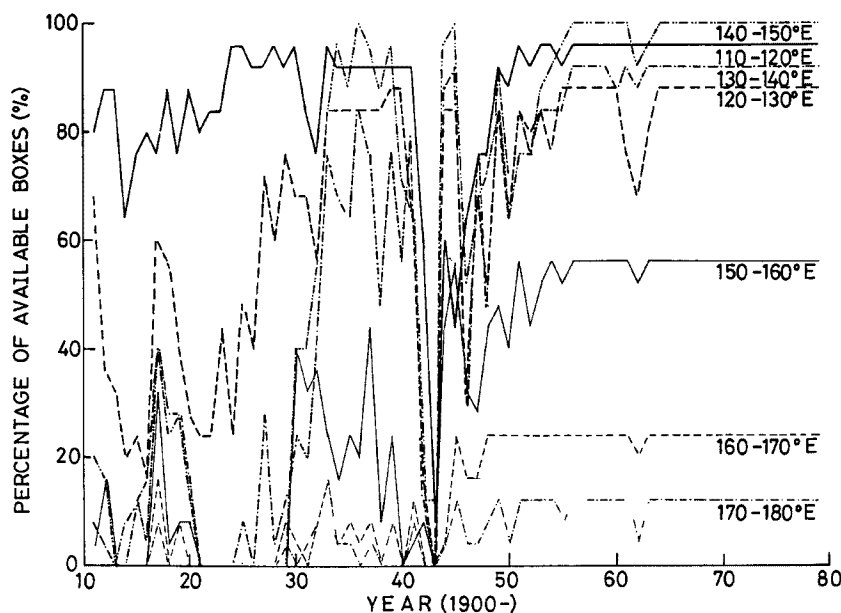


Fig. 6. Percentage of boxes where observed data of sea surface temperature (SST) are available during the period for July ~ October

次に、この海域別に、海面水温の平均をとり、これらの経年変動を Figs. 7 (a)~(g) に示す。7つの海域の全部について資料が得られている1951~1979年の29年間について海域ごとに海面水温の平均値と標準偏差を求め、Table 1 に示す。平均値では中央の3つの海域C, D およびE では29°Cを超えている。一般に東の海域ほど標準偏差が大きく、経年変動が大きくなっている。

このように、解析の対象とした領域内では、海面水温の分布は一様ではなく、また、資料が得られているボックスは西の海域に偏っている（とくに1940年以前は顕著）ので、単純に平均をとらないで、経度10°ごとに分けた海域別の1951~1979年の間の平均値を平年値とし、各海域の海面水温の平年偏差の時系列を求めた。これを資料が得られている全海域にわたって平均して、海面水温の平年偏差の時系列を求め、Fig. 8 に示す。

この図によると、海面水温は1940年代に急上昇していて、それ以前は平年値よりも1°C近く低い傾向が

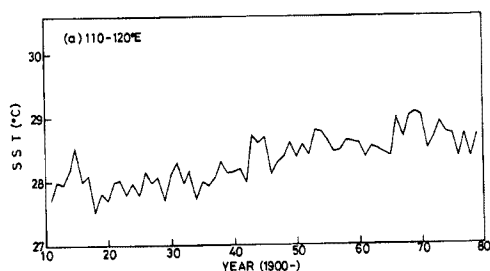


Fig. 7 (a). Time series of the four months (July-October) mean SST in the region A (110-120°E and 10-20°N). A broken line shows the period of no observation.

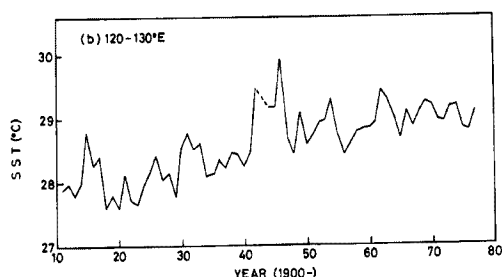


Fig. 7 (b). Same as Fig. 7 (a), except for in the region B (120-130°E and 10-20°N)

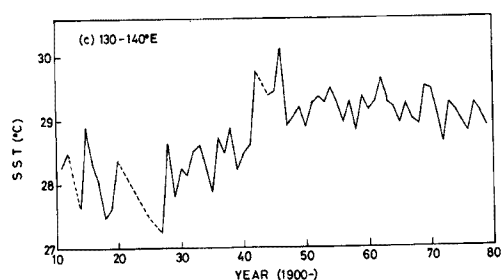


Fig. 7 (c). Same as Fig. 7 (a), except for in the region C (130-140°E and 10-20°N)

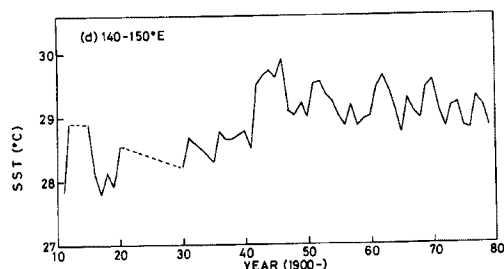


Fig. 7 (d). Same as Fig. 7 (a), except for in the region D (140-150°E and 10-20°N)

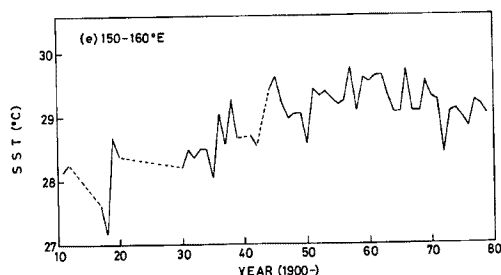


Fig. 7 (e). Same as Fig. 7 (a), except for in the region E (150-160°E and 10-20°N)

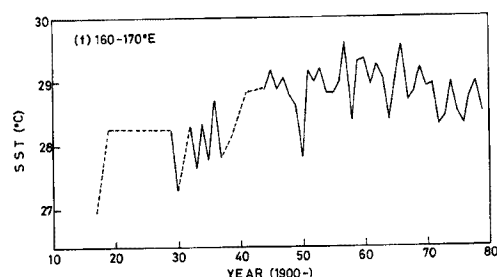


Fig. 7 (f). Same as Fig. 7 (a), except for in the region F (160-170°E and 10-20°N)

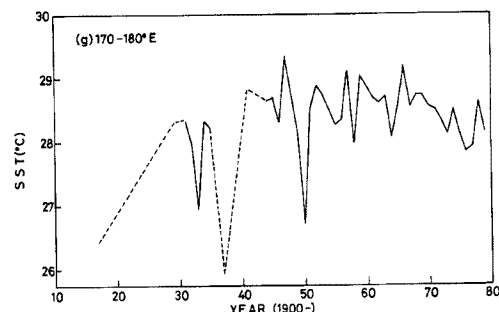


Fig. 7 (g). Same as Fig. 7 (a), except for in the region G (170-180°E and 10-20°N)

Table 1. Mean values and standard deviations (S.D.) of SST for 1951-1979 in the 10° latitude × 10° longitude regions in the 10-20°N

Region	Longitude (°E)	SST (°C)	
		Mean	S.D.
A	110-120	28.65	0.22
B	120-130	28.96	0.23
C	130-140	29.17	0.24
D	140-150	29.16	0.26
E	150-160	29.26	0.29
F	160-170	28.91	0.36
G	170-180	28.50	0.35

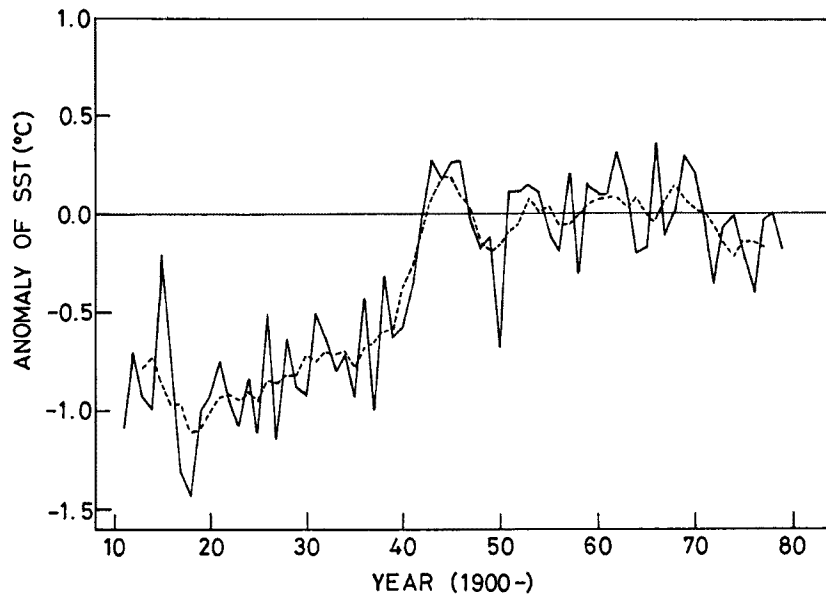


Fig. 8. Time series of SST anomalies averaged over the regions A~G, relative to 1951-79 mean in each region. A broken line indicates 5-year running mean.

ある。これは、他の海洋においても現れている現象 (Folland et al.¹⁰⁾ など) であり、その原因については、Roll²⁾, Barnett¹¹⁾, Wright¹²⁾ などはバケツで海水を採取する方法からエンジン用冷却水の取り入れ口で測定する方法へと測定方法が変遷したことによるものと考えた。しかし、山元ら¹³⁾ は日本沿岸における測定資料においても1940年代に水温が急上昇していることから、日本付近の海域では、方法の変遷によるものだけではなく、現実にも上昇したものと考えている。

Fig. 8 に示した海面水温の時系列のスペクトルは Fig. 9 のようであり、周期8.0年と16年に顕著なピークがみられる。Folland et al.¹⁰⁾ が MEM により1861~1980年の全球の海面水温の資料を用いて求めたスペクトルにおいても、周期83年に次いで周期16年にやはりピークが現れていて、この周期はわれわれが解析の対象とした熱帯北西太平洋だけの現象ではないようである。

なお、佐伯¹⁴⁾ は 10~40°N の北西太平洋における1950~85年の船舶の観測資料による海面水温のスペクトル解析 (FFT 法) を行っているが、これらの周期にピークが現れていない。これは、資料収集期間、解析対象域、解析方法などの相違によるものと思われる。

次に、海面水温と台風の発生数の間でクロススペクトル解析を行い、コヒーレンスと位相差を Figs. 10 (a), (b) に示す。周期16年にコヒーレンスの顕著なピークがみられ、コヒーレンス平方根は0.90である。

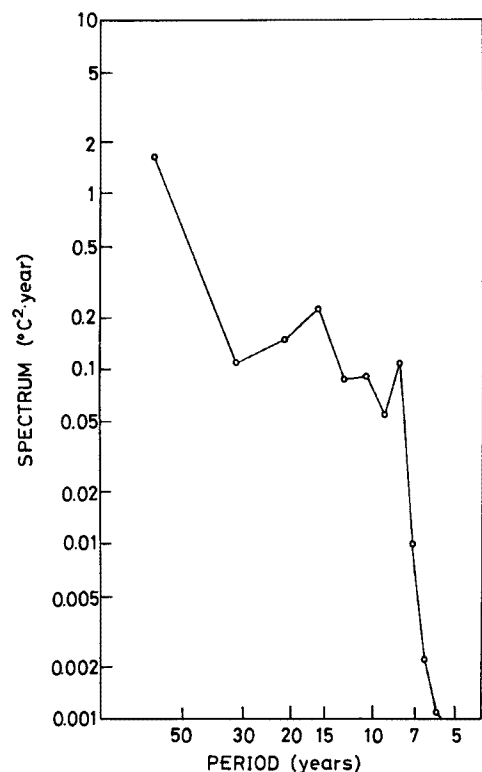


Fig. 9. Same as Fig. 2, except for SST

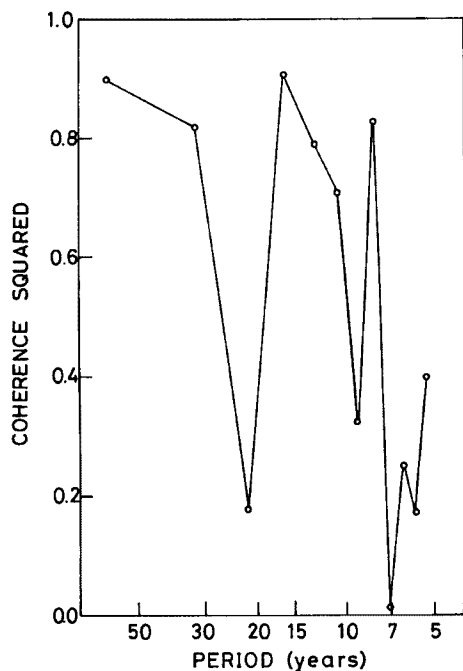


Fig. 10 (a). Coherence squared between the annual frequency of TNWP and SST

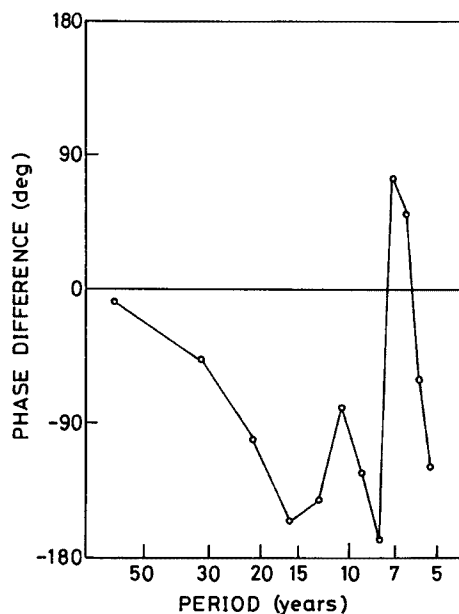


Fig. 10 (b). Same as Fig. 10 (a), except for phase difference. The time series of SST leads for positive values of phase difference.

また、周期8.0年にもコヒーレンス平方根0.83の顕著なピークがみられる。これら2つの周期の位相差は、それぞれ、 -156° (-6.9 年) および -168° (-3.7 年) である。台風の年間発生数と海面水温の間で存在しているこれらの2つの卓越した周期の変動においては、位相がほぼ逆になっていて、海面水温の低い年には台風の発生数が多くなるということを表している。

5. 結 語

台風の発生数の経年変動においては、周期8.9年の顕著なスペクトルピークがあり、大西洋のハリケーンにも同じ周期にピークが存在している。また、周期7.9年の両者の間のコヒーレンス平方根は0.96であり、位相差はほとんどない。台風とハリケーンの発生数の間には、このように10年近くの変動周期が存在していることが明らかになったが、東太平洋のハリケーンやベンガル湾のサイクロンの発生数にも同じくらいの周期が存在していて、今後、大気や海洋の大循環との間に関連性があるのかどうかについて調べてみるとともに、南半球の熱帯低気圧の発生数についてもスペクトル解析を行う必要があると思われる。

さらに、COADSを用いて、台風発生数と台風の発達する海域における海面水温の間の関係について調べた。その結果、台風発生数と海面水温の間のコヒーレンスは周期8.0年と16年あたりには顕著なピークがあった。ただし、これらの周期の変動は、位相がほぼ逆で、海面水温が低い年に台風の発生数が増加することを表している。Aoki and Yoshino¹⁵⁾の調査によると、台風の年間発生数は2年前の10月の熱帯太平洋東部の赤道付近の海面水温と最も相関が高い(相関係数0.57以上)という結果が得られている。この海域はエルニーニョのときに海面水温の上昇が顕著な場所であり、台風発生数の多かった1950年および1967年の2年前にはエルニーニョが発生している。また、Chan¹⁾による台風発生数とSOIの間のクロススペクトル解析においても16年に近い周期でコヒーレンスは高くなっている。彼は、この周期については議論していないが、本調査のように、彼が用いたよりも長い期間の資料により台風発生数とSOIの間の関係を調べてみる必要があると思われる。今後、われわれは、今回の調査で対象とした熱帯北西太平洋のほかに、エルニーニョ発

生域の熱帯東太平洋などの海面水温や SOI が台風発生数とどのような関係にあるかについて調べる予定である。

最後に、本研究で使用した総合海洋気象観測データセット COADS は気象庁海上気象課の好意で入手できたもので、感謝の意を表す。また、MEM によるクロススペクトル解析については、京都大学理学部気候変動実験施設の岩嶋樹也助教授に有益な助言をいただいた。感謝の意を表す。なお、本研究の解析には、京都大学理学部気候変動実験施設の電子計算機システム FACOM M-340 R および京都大学防災研究所資料センターの電子計算機システム FACOM M-340 Q を使用した。

参 考 文 献

- 1) Chan, J. C. L.: Tropical cyclone activity in the North-West Pacific in relation to the El Niño/Southern Oscillation phenomenon. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 113, 1985, pp. 599–606.
- 2) Roll, H. U.: *Physics of Marine Atmosphere*, Academic Press, New York, 1965, 426pp.
- 3) 日野幹雄：スペクトル解析，朝倉書店，1977，300 pp.
- 4) Hayashi, I.: Space-time cross spectral analysis using the maximum entropy method, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 59, 1981, pp. 620–624.
- 5) 気象庁：伊勢湾台風調査報告（資料編），気象庁技術報告，第 7 号，1961，428 pp.
- 6) Dunn, G. E. and B. I. Miller: *Atlantic Hurricanes*, Revised Edition, Louisiana State Univ. Press. 1960, 377 pp.
- 7) Hastenrath, S. and W. M. Wendland: On the secular variation of storms in the Tropical North Atlantic and Eastern Pacific, *Tellus*, Vol. 31, 1979, pp. 28–38.
- 8) Subbaramayya, I., and S. R. M. Rao: Frequency of Bay Bengal Cyclones in the post Monsoon season, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 112, 1984, pp. 1640–1642.
- 9) 饒村 曜・宮沢清治：台風に関する諸統計一月別発生数・存在分布・平均経路—，*研究時報*，32 卷，1980，pp. 107–133.
- 10) Folland, C. K., D. E. Parker and F. E. Kates: Worldwide marine temperature fluctuations 1856–1981, *Nature*, Vol. 31023, 1984, pp. 670–673.
- 11) Barnett, T. P.: Long-term trends in surface temperature over the oceans, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 112, 1984, pp. 303–312.
- 12) Wright, P. D.: Problems in the use of ship observations for the study of interdecadal climate changes, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 116, 1986, pp. 1028–1034.
- 13) 山元龍三郎，岩嶋樹也，星合 誠：海上気象観測データによる気候診断（第 1 報），（発表予定）。
- 14) 佐伯理郎：北西太平洋の亜熱帯循環の経年変動，*海と空*，第 63 卷，第 3 号，1987，pp. 113–125.
- 15) Aoki, T. and M. M. Yoshino: Relation between the frequency of typhoon formations and sea surface temperature. *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 62, No. 1, 1984, pp. 172–175.