

日本気象学会平成元年度秋季大会シンポジウム報告 “台風” —その最盛期における特徴と予測および防災について—

シンポジウム担当及び座長

石 島 英 (琉球大学短期大学部)

仲 吉 良 功 (南大東島地方気象台)

まえがき

御承知のとおり、東アジアモンスーン地帯は台風常襲地帯であります。とりわけ南西諸島地方は最盛期の台風が襲来するところであり、昔から、この地方の人々は台風を自然の脅威としておそれ、その予測や対策について苦慮しています。今日では、住宅環境、交通運輸等をはじめもろもろの技術科学文明が発達してきたため、自然の脅威としての存在はうすらいできたように思います。しかし、台風のもたらす強風、豊富な水、昨今の気象変動と台風の挙動など、依然として台風はなぞであり、実生活との係わりにおいても、学術的な面からみても大き

な関心の的になっています。

沖縄ではじめての事業として、日本気象学会は、本年度秋季大会をこの那覇市でもつことになりましたが、その準備段階において当地方の多くの方々から、あたたかい協力支援をいただいております。かようなこともあり、当地方においてもっとも関心の深い“台風”をシンポジウムのテーマとしてとりあげました。そして、シンポジウムのもちかたについても、これまでの学会の慣行を破って公開制にし、一般社会の方々にも参加していただけるように致しました。いくらかでも、学会活動を通しての研究成果が現地の住民に還元されることを期待したからであります。

1071 : 301 (台風; 気候システム)

1. 気候システムにおける台風*

住 明 正**

1. はじめに

気候における台風の位置づけを考える時には、二つの視点があり得る。一つは、気候システムの中の受動的要素としての視点である。いうまでもなく、地球大気の大規模な様相は、放射・対流平衡で記述できる。その対流の一形態として、台風があり、太陽から地表面に与えられた熱を運ぶ一形態として、我々の気候システムの一部品として、台風も存在する、という立場である。この視点で台風を考えるということは、従来の研究の言葉で言えば、台風の発生機構をさぐる、ということにほかならない。

もう一つの立場は、台風という擾乱が、気候システムの能動的な要素であり得るという立場である。もちろん

ん、そうはいつでも地質学的な時間スケールの気候変動に台風が効くとは考えにくく、それが効くのは季節変化から年々変動の時間スケールであろう。

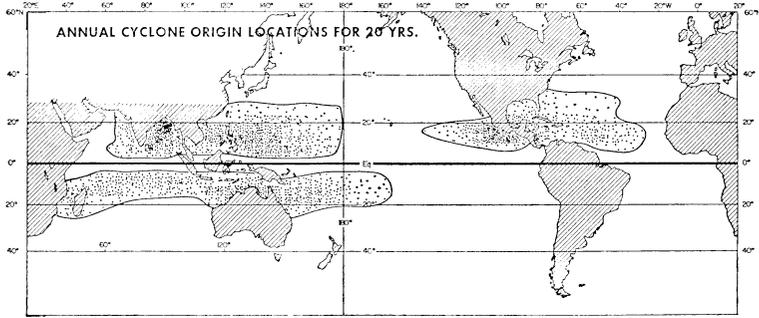
ここではこの二つの側面を簡単に見てゆくことによって、台風の気候システムの中での位置づけを考えてゆくことにしたい。

2. 受動的な要素としての台風

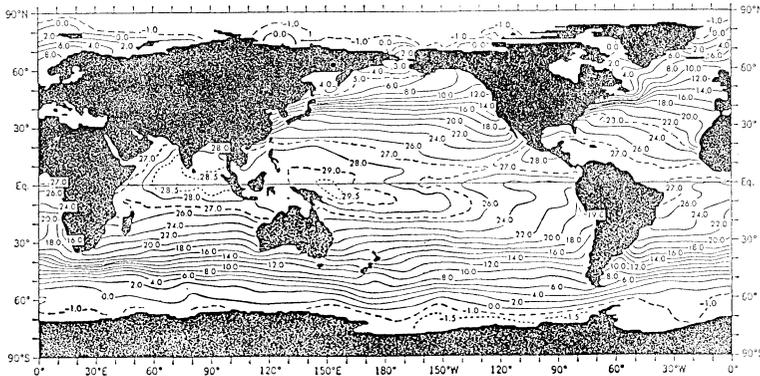
第1図は1952年から71年にかけての20年間に台風となった位置をプロットした図である (Gray, 1979)。一目でみて西太平洋、ベンガル湾、カリブ海、南インド洋など海面水温の高い所で発生しており、南半球の東太平洋などの海面水温の低い所では、台風が発生していないことが分かる(第2図)。要するに気候学的な意味あいからいえば、暖かい海の上で発生する積雲対流の水平的な運動

* Typhoon in the Climate system of the Earth.

** A. Sumi, 東京大学理学部地球物理学教室.



第1図 20年間（1952～71年）の間に最初に熱帯低気圧（最大風速 $>10\text{ms}^{-1}$ ）となった発生位置（Gray, 1979）.



第2図 年平均の海面水温（ $^{\circ}\text{C}$ ）（Levitas, 1982）

形態とし渦巻になるのが台風であり、本質的には、対流である、ということである。第1図でもう一つ気がつくことは、ハワイ付近で台風の発生数が少ないことである。これはこの付近の西風シアーのためである、といわれている。

第3図は全世界の台風の発生領域での平均の台風の発生数およびその割合である。全世界の台風の発生域の中で、圧倒的に西太平洋域が多いことが分かる。これは西太平洋域に存在する暖かい水（Warm Water Pool）の存在によるところが大きいことであろう。

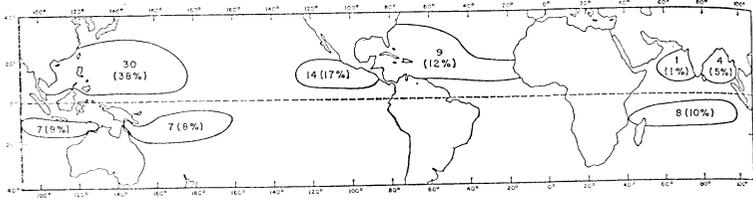
しかし台風以外にも積雲活動は存在する。むしろ台風こそが例外で、熱帯性擾乱やクラウド、クラスターなど台風に至るまでに至らない擾乱が数多く存在する。そこで生じる素朴な疑問は、この世では、何故に台風だけにならないのであろうか？ ということであろう。

例えば Riehl (1979) は、一つの平均的な台風（1000 km 程度の水平スケール）の中で発生する熱量は、経度

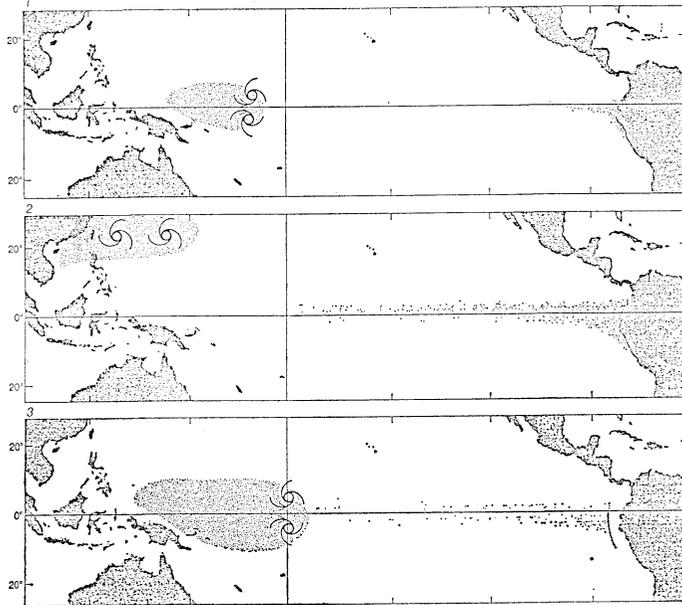
にして、30度に相当する赤道収束帯に存在する積雲対流のもたらす熱量に相当する、と見積っている。だから熱バランスの視点からみれば、赤道収束帯に積雲対流があるかわりに、いつも30度毎に台風が存在していても良いわけで、そうならないのなら、ならない理由があることになる。

台風やハリケーンが熱や水蒸気を北に輸送するものとしての認識は昔から存在した。それ故に、その数やふるまいは、熱や水の南北輸送に大きな影響を及ぼしているはずである、と思っている人は多いことと思われる。事実、昔はその様は論文も書かれている（Erickson and Winston, 1972）。しかし定量的に見積ってみると、1年間に台風が全球で100個でき北上して熱を運ぶとしたとしても、全ての熱輸送の1%程度という見積りがなされている（Fendell, 1974）。

しかしながら、このような大雑把な議論——言葉を替えば、本質的で大胆な議論——は、観測手段の精密化と



第3図 台風の年平均の発生数



第4図 熱帯低気圧が El-Nino を励起する模式図 [(Ramage, 1982)による]。 (i) 春先に、西太平洋に、双子低気圧が出来、暖水域を東に拡げる、 (ii) 夏には、台風は、北半球で発生する、 (iii) 秋になると、暖水域が拡がっており、双子低気圧は、日付変更線付近で発生する。これに伴う西風が入れば、エルニーニョが発達し、双子低気圧が発生しなければ、ここで、ENSO は終わる

数値モデリングの能力の向上と共に衰退し、台風そのものを詳細に解明してゆく精緻な学として台風学が発展していった様に思われる。その一例として、80年代にまとめられた報告書 (Anihas, 1982; Elsberry *et al*; 1985) などには、台風の大循環に及ぼす効果などの記述は全く見られない。

しかし、時代は70年代、80年代の分析的、解析的な研

究をすすめる時代から、総合の、統合の時代へと変化している様に思われる。その様な中で、次に述べる能動的な要素としての台風という視点が、再度浮上してきたのである。

台風という擾乱が気候システムの中の重要な要素であるという認識は、それほど、多くの支持を集めているわけではない。例えば Lorentz (1966) などは、当時の台風などを表現できないモデルでも大気大循環のシミュレーションが可能なることを持って、台風などの熱帯擾乱

3. 能動的要素としての台風

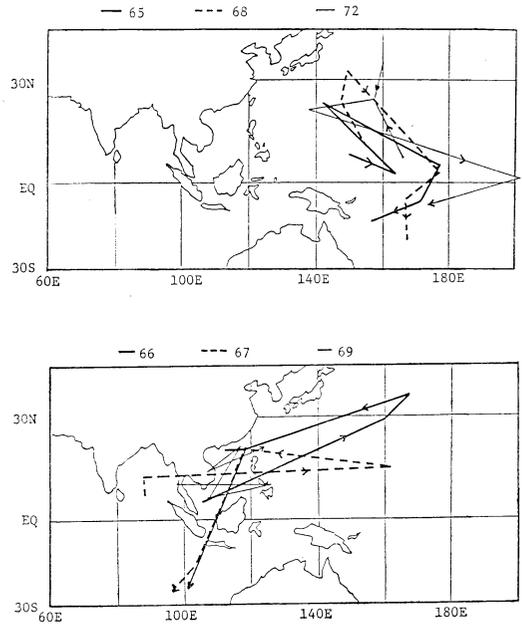
台風というのは、風速が強くなった熱帯低気圧のことを示す。ここでの議論では、台風と熱帯性低気圧を区別する必要はないので台風という言葉で熱帯性低気圧を代表させることにする。

は、大気大循環にとっては、二義的であるとした（つまり、熱帯で熱が出てさえいれば良いのであって、それが台風であろうとなかろうとそれ程の差異はない、ということである）。

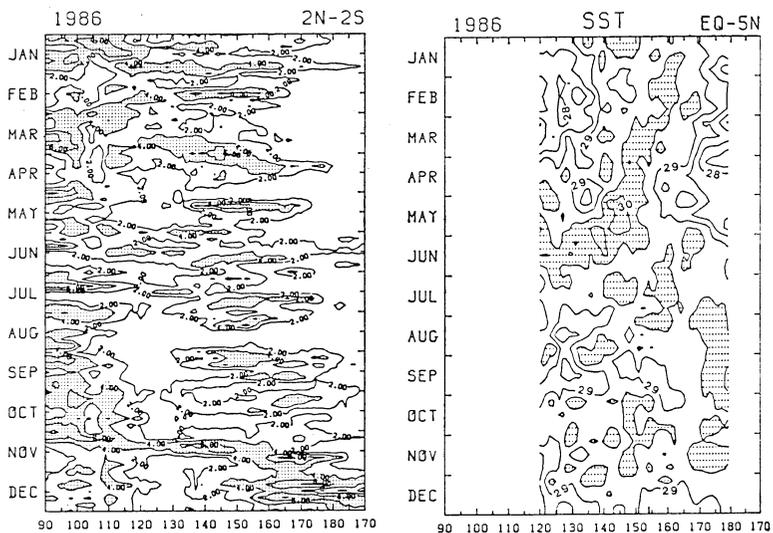
同時に台風の発生には季節性が強く見られこと、逆にいえば、台風自身が季節の進行を変える程の強い力を持ち得ないという印象が強かった様に思われる。もう少しはっきりいうと、台風のような渦が季節変化などの気候システムの運きに影響を与えてしまうとすれば、季節進行はきわめて統計的・確率的になってしまうことになり、予測可能性などはきわめて低くなってしまい、それは困る、という視点があった様に思われる。

一方、秋雨前線のあけと秋の深まりなどの場の急激な展開は、台風の日本付近の通過に伴うこともしばしば気づかれ、1か月程度の大気の変動には、台風のふるまいも大きく影響しているという印象も強いものがある。

総観規模の擾乱が季節変化や年々変動に影響し得るという視点から、「西風バーストに伴う双子低気圧が、ENSO 発展に不可欠である。しかしながら、西風バーストに伴う双子低気圧が発生するか否かは、1年も前には予測不可能である。よって ENSO はそれほど容易に予測できるものではない」と、単純なモデルで ENSO を予測できると主張しているモデラーに対し、現実を



第5図 夏から冬にかけて西太平洋域における月平均の対流中心の移動経路、(上)は、太平洋中央部を移動し、(下)は、大陸沿いに移動する場合である(Sum, 1987)。



第6図 1986年の赤道域(2°N-2°S)の雲域の時間経度断面図(左)と、海面温度の時間-経度断面図(右)、5月と11月に顕著な西風バーストが見られた(Nitta and Motoki, 1989)。5月のバーストに伴い暖かい海が東に急激に拡がっていること、11月バーストにより、対流が東進していることが分る。

熟知しているとする熱帯気象学者として批判したのが Ramage (1982) であった (第4図参照)。一面で見れば、揚げ足取りともいえなくもないが、いかにお金を取る為とはいえ、あまりにも安易に予測できるといすぎるモデラーに対する反感があったのであろう。このような頑固な皮肉屋がいることもアメリカの懐の深さを表しているとも言える (最も側に居られれば迷惑であるが)。

ENSO の予測可能性の問題は別としても、季節変化における総観規模擾乱が重要であるという認識は最近深まってきた様に思われる。

このような指摘は、熱帯地方で顕著な30~40日モードに関連して、Murakami *et al.*, (1984) でも、Nakazawa (1986) でも行われてきた。つまり、30~40日モードに伴って、台風などの総観規模の擾乱が発生しているというのである。最もこれらの研究では、30~40日間隔で発生するから、30~40日モードが解析されるのか、30~40日モードがあるために、台風の発生が規定されているのかについては明確にされたわけではなかった。

ENSO など季節進行における台風などの総観規模の擾乱の寄与の可能性は、Sumi (1987) でも、データを用いて西太平洋域における季節進行の多様性として示されている。その結果によれば西太平洋域では、夏から冬にかけての対流活動の季節進行には、太平洋西岸を沿って南下する場合と太平洋中央部を南下する場合と二通りあり (第5図)、この場合には、秋に西太平洋域に発生する台風の分布の経度分布に差が見られるというのである。この事実も依然として台風の発生を決める要因が季節変化をも決めていることを主張できるものではないことに注意する必要がある。更に、ENSO の引金としての西風パーストの重要性に関しても、数多くの議論がある (Lukas *et al.*, 1984; 山形, 1988)。これについても西風パーストは、ENSO のスケールの変動に規定された一現象であるとの批判もある (村上, 1988)。最後にこの様な30~40日モードが ENSO の進行に関し、確率的に影響を与えるとすれば、現実の ENSO のふるまいに近いようなモデルを作り得るということが Lau (1985) によって提案されている。

この様な問題の証明は結局信頼できる大気-海洋結合モデルを用いて数値実験する以外にはなく、現在、信頼できるモデルを作るべく全世界で努力中である。

4. おわりに

季節進行や ENSO などが予測可能か否かは別として

も、季節進行や ENSO 現象などが単に Filter した量の変化ではなく、具体的な event の時系列であるという認識は、最近強まっている様に思われる。その一つの例が、熱帯太平洋でのスーパークラスター (Hayashi and Sumi; Nakazawa, 1986) の東進やそれに伴う西風パーストおよび双子低気圧の発生、更にそれに伴う西風の加速・強化そして、その結果としての大気-海洋結合モードの励起というシナリオである (第6図)。(Nitta and Motoki, 1987)。

現在では西太平洋域にいろいろな観測網が展開されており、その実態が徐々に明かにされつつある。それを更に押し進め、西太平洋域の大気海洋結合系のふるまいを明らかにしようとしているのが、現在計画されている TOGA-COARE である。この研究計画により、我々の認識は、飛躍的に進展することであろう。

この研究計画には、日本から近いこともあり、大学側を中心にした J-COARE (西太平洋大気-海洋相互作用研究計画 (住, 1988) と、気象庁を中心としたアジアモンスーンの研究計画によって、日本の研究者が参加する準備が行われていることも付け加えておきたい。

参考文献

- Aulic, R.A., 1982: Tropical cyclones, their evolution, Structure and effects, Amer. Meteor. Soc. 208 pp.
- Elsberry, R.L., W.M. Frank, G.J. Holland, J.D. Jarrell, R.L., Southern, 1985: A Global View of Tropical Cyclones.
- Erickson, C.O. and Winston, J.S. 1972: Tropical storm, mid-latitude cloud-band connections and autumnal buildup of the planetary circulations, J. Appl. Meteor., 11, 23-36.
- Fendell, F.E., 1974: Tropical Cyclones, Advances in Geophysics, 17, 1-100.
- Gray, W., 1979: Hurricanes; Their formation, structure, and likely role in the tropical circulation, Meteorology over the Tropical Oceans, D.B. Show (ed), Roy. Meteor. Soc.
- Hayashi, Y.Y. and A. Sumi, 1987: The 30-40 day oscillations simulated in an "Aqua-planet" model, J. Meteor. Soc. Japan, 64, 451-467.
- Lau, K.H., 1985: Elements of a Stochastic-Dynamical Theory of the Long-Term Variability of the El Nino/Southern Oscillation, J. Atmos. Sci., 42, 1552-1558.
- Levitus, S., 1982; Climatological Atlas of the World Ocean, NOAA Professional Report.
- Lukas, R., S.P. Hayes, and K. Wyrtki, 1984:

- Equatorial sea level response during the 1982-83 El-Nino, *J. Geophys. Res.*, **89**, 10425-10430.
- Lorentz, E.N., 1967: The nature and theory of the general circulation of the atmosphere, WMO-No. 218.
- 村上多喜雄, 1988: ENSO と西風バースト, *天気*, **35**, 673-686.
- Murakami, T., T. Nakazawa, and J. He, 1984: On the 40-50 day oscillations during the 1979 Northern Hemisphere Summer, *J. Meteor. Soc. Japan*, **62**, 440-484.
- Nakazawa, T., 1986: Intraseasonal Variations of OLR in the tropics during the FGGE year, *J. Meteor. Soc. Japan*, **64**: 17-34.
- , 1988: Tropical super clusters within intraseasonal variations over the western Pacific, *J. Meteor. Soc. Japan*, **66**, 823-839.
- Nitta, Ts. and T. Motoki, 1987: Abrupt enhancement of convective activity and low-level westerly burst during the onset phase of the 1982-83 El-Nino, *J. Meteor. Soc. Japan*, **65**, 497-506.
- Riehl, H., 1979: *Climate and Weather in the Tropics*, Academic Press.
- Ramage, C.S., 1986: El Nino, *Scientific American*, **254**, 6, 55-61.
- Sumi, A., 1986: On the movement of the Convection Center from summer to winter season in the northern hemisphere, *J. Meteor. Soc. Japan*, **64**, 605-611.
- 住 明正, 山形俊男, 竹内謙介, 安成哲三, 1989: 西太平洋大気海洋相互作用研究計画, 昭和63年度科研費総合(B)報告書
- 山形俊男, 1988: ENSO 現象の発生予測について, *グロースベッター*, **26**, 98-105.

1071: 4011 (台風; レインバンド; 数値予報モデル)

2. 台風の構造

(発生, 発達シミュレーション, 台風数値予報モデルを含む)*

山 岬 正 紀**

私に与えられた話題提供の上記テーマについて, 数値モデルをやっているものの立場から述べてみたい。

台風の構造の特徴といえば, 中心気圧が低いこと, 風が強いこと等のほかに, warm core(温暖核)即ち台風の中心付近の上空の温度が高いことがあげられる。warm core は台風のメカニズムを考えるうえで重要な特徴である。低い中心気圧と warm core とは静力学平衡の関係で密接に結びついている。warm core は対流雲による熱によってつくられ, 対流雲は, 海面からの潜熱, 顕熱の供給によって大気が条件付不安定(潜在不安定)であることと密接に関係している。海面からの潜熱, 顕熱の供給は非常に重要で, 熱帯大気の成層状態からみて, もし海面からの供給がなければ1000 mb以下の台風ができないであろうことはずいぶん昔からいわれてきたことである。

warm core の特徴として Hawkins and Rubsam(1968)の第9図: ハリケーンの観測例 (以下図の引用略)。中

心付近の上空には大きな正の温度偏差がある。300~250 mb (高さ10 km 位) の所で最大である。下層では温度傾度の大きい所があって, これは目の壁雲の位置に対応している。同じ論文の第10図: 風速分布。風速の最大は中心から少しはなれた所にある。どの位はなれているかは台風によって違い発達時期によっても違う。発達期では一般に中心の方へ近づき, それ以後は中心から遠ざかるのが普通である。最大風速の位置は目の壁雲の位置と密接に関係している。強い風は上空のかなり高い所まで及んでいるのも特徴である。

風についてのメカニズムの基礎的なことをまとめてみると, 下層の気圧傾度が下層での吹きこみ, 鉛直循環をつくり, 絶対角運動量が輸送されて風の回転成分の場をつくる。風の回転成分の場と気圧場とは, 境界層を除けば傾度風平衡をある程度満たしている。風の回転成分が強い台風では地表摩擦による吹きこみが顕著にみられ, これも鉛直循環に寄与する。これは台風のメカニズムを考えるうえで非常に重要である。

ここまでは台風を巨視的にみたとときの構造の特徴とメカニズムであるが, よく知られているように, 台風内の対流は目の壁雲 (eyewall) やらせん状降雨帯 (spiral

* The Structure of tropical cyclones (and simulation of formation and development and numerical prediction model).

** Masanori Yamasaki, 気象研究所台風研究部。