

太平洋熱帯域での擾乱の発生について

邊田有理江・光田 寧

ON THE FORMATION OF TROPICAL DISTURBANCES OVER THE EQUATORIAL PACIFIC

By *Yurie HETA* and *Yasushi MITSUTA*

Synopsis

Tropical wave disturbances which later developed into tropical storms over the equatorial Pacific were analyzed using the satellite wind data and the rawin sonde wind data in July and September, 1980. There were 10 tropical storms during these two months in the western Pacific and 5 of them were analyzed from the initial wave disturbances. Four out of five tropical storms were developed from the easterly wave disturbances, which traveled with easterly wave along 10N from 150W in the eastern Pacific. There often existed the Mid Pacific Trough around 160W, 30N. With the westward movement of easterly wave disturbances, the upper cold lows were cut off from the Mid Pacific Trough and moved westward along 20N. These tropical storms in the western Pacific and in the eastern Pacific around 110W were both developed into tropical storms when they encountered the ascending motion area of the zonal circulation cells.

1. は じ め に

1980年の夏期に発生した台風について、以前の解析^{1,2)}から、台風が弱い熱帯低気圧 (Tropical Depression, 以下 TD と略記) として天気図上に現れる以前にも相対渦度場や発散場で擾乱が認められ、熱帯収束帯 (ITCZ) に沿って日付変更線の付近までさかのぼって解析された。しかし、その付近は解析範囲の東端にあたり、さらに東から伝わってくる可能性やあるいは新田ら³⁾によって示唆されたように南から伝わってくる可能性が残されていた。そこで本解析では GOES の衛星風ベクトルを加え、解析範囲を東太平洋までひろげ、こうした台風の初期擾乱の解析を前回と同じ1980年の台風の多かった7月、9月について再度行ってこの点の解明を試みた。

以前の解析では、TD が台風に発達する場所は、風の東西成分でみると、下層で西側の西風域と東側の東風域の境界の西側にあたり、台風はこうした大規模な上昇流域で発達していくことが示唆された。これについても、台風に加え、東太平洋に発達したハリケーンについて同様の解析を行い、台風の発達をとりまく大規模な場について調べた。

2. デ ー タ

一日一回 0Z の風場の解析を GMS 及び GOES の衛星風ベクトルを主に用いて行った。GOES の

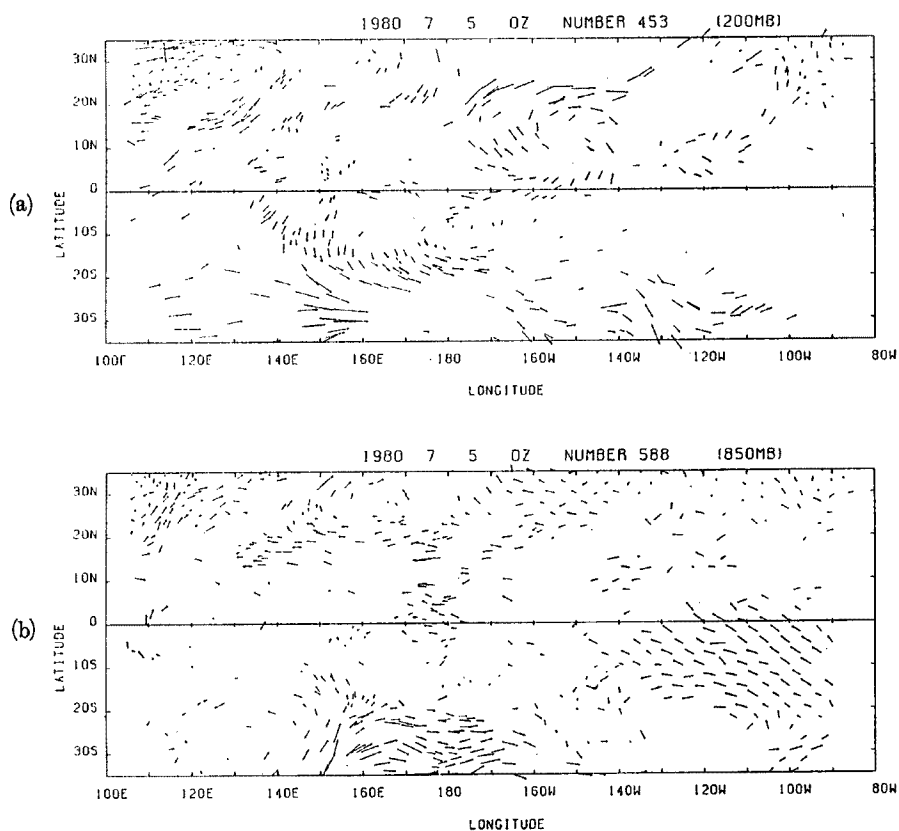


Fig. 1. Distributions of observational wind data at (a) 200 mb-level and (b) 850 mb-level at 00Z on 5 July, 1980.

データは時間がやや異なるが、GOES の 21 Z あるいは 22 Z のデータを、翌日 0Z のデータを合わせて用いた。Fig. 1 にデータの分布の一例を示す。解析範囲は 30 N~30 N, 110 E~90 W であるが、データは 35 S~35 N, 105 E~85 W のものを用いた。衛星風ベクトルに加え、上層には 200 mb の下層には 850 mb のゾンデの高層観測の風のデータも用いた。平均するとデータは、下層 850 mb で550個、上層 200 mb で370個であった。

こうしたデータをもとに、緯度経度1°の格子点での風を上下層についてそれぞれ求めた。上層については Dickerson⁴⁾ にならった内挿をしたのみであるが、下層については内挿値にさらに2次元 MASCAN モデルを用いて、質量保存則をみたすような補正を加えた²⁾。このようにして得られた風の場の例を Fig. 2 に示す。こうした格子点での風のデータから、相対渦度場、発散場を計算した。

海面水温 (Sea Surface Temperature ; SST) データについては気象庁長期予報課の編集した月平均の NOAA の気候解析値 (2°×2° box) を参照した⁵⁾。このデータは船による観測値をもとにしている。また雲活動の目安として NOAA の Outgoing Longwave Radiation (OLR) データ (2.5°×2.5° box) も参照した。

1980年の7月と9月に発生した台風のうち、その擾乱がはじめる解析期間にはいった5ケースについて再度解析を行った。9月の風の場合は GOES データの欠測のため1日から24日までの24日間についてのみ調べた。風をもとに計算された9月の月平均場はこの24日間の平均である。

3. 台風の初期擾乱について

以前の解析と同様に日々の発散場と相対渦度場から後に台風となる初期の擾乱をさかのぼって解析でき

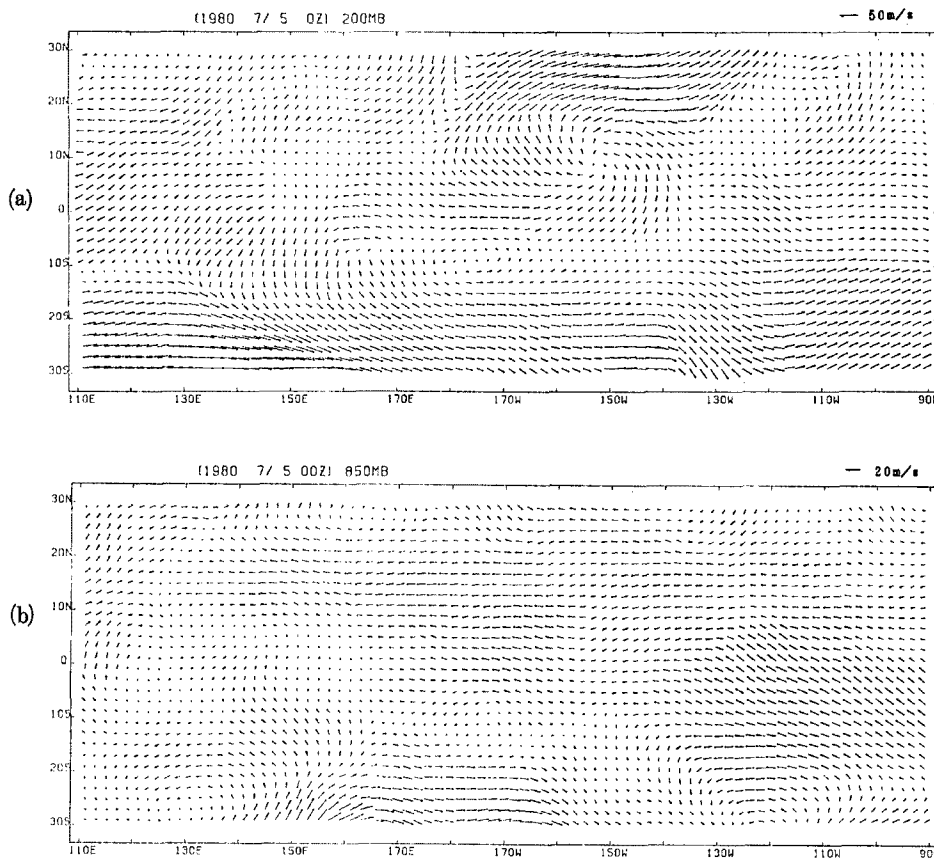


Fig. 2. (a) Interpolated wind field at 200 mb-level and (b) adjusted wind field at 850 mb-level using the Mass Consistent Flux Model, at 00Z on 5 July, 1980.

た。すなわち、上層の負の渦度域、発散域、下層の正の渦度域、収束域などが TD となる以前にも、ほぼ同じ付近に認められ、1日4～10度経度西へ進むのが解析された。Fig. 3 に、台風 T 8009 号 (Kim) についての解析結果を示す。この台風は1980年7月19日 21 Z に弱い熱帯低気圧として10.1 N, 149.6 E に認められたが、それに先立って 5 N～10 N 帯を西進する擾乱が 150 W, 8 N 付近から解析された。図に示した擾乱の位置は、上層の発散域や負の渦度域、下層の収束域や正の渦度域の平均的な位置から決められた。この擾乱は、Reed and Recker⁶⁾ の示した熱帯の波動擾乱と風や発散、渦度場で同様の特徴を示しており、偏東風波動擾乱と考えられる。またこうした擾乱の西進と対応して、図中の破線で示すように北側の 160 W, 30 N 付近から上層の正渦度域が南西にのび、さらに西へ移動する様子がみられた。Fig. 4 に月平均の上層の相対渦度場を示すが、160 W, 30 N 付近から西へ正の渦度域がのびている。これは Mid Pacific Trough 及びそれから分離された upper cold low の通路であると思われる。Fig. 5 に Luhue (21.59 N, 159.21 W) の温度偏差と風の鉛直時間断面を示す。14日 00 Z に 300 mb 付近に -0.4°C の負の温度偏差がみられ、風も北よりから南よりの風に変わっている。こうした特徴は Shimamura^{7,8)} によって示された upper cold low の特徴と一致している。天気図でも、上層の低気圧が切離される様子がみられた。これらのことから、Fig. 3 に示された上層の正の渦度域は、Mid Pacific Trough が南西にのび、upper cold low が分離し、西進する様子を示していると思われる。Mid Pacific Trough や上層の cold low ははじめ、初期擾乱の北から北東に位置するが、西太平洋上では、擾乱の北西にみられる。この位置は Sadler^{9,10)} に示されるように上層で北への吹き出しのチャンネルをつくり、擾乱の発達に好都合である。

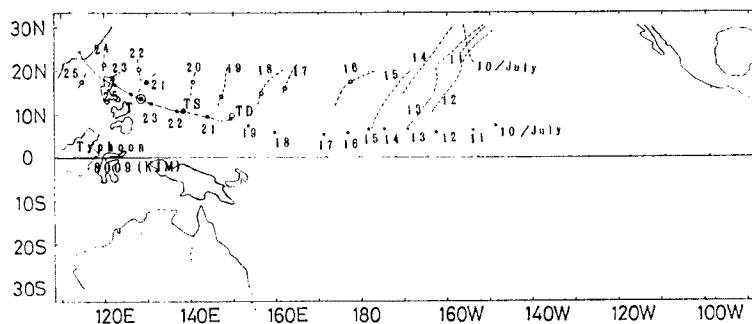


Fig. 3. Trajectory of the wave disturbance and the upper cold low for Typhoon 8009 (Kim). Dashed lines with number indicate the axes of the upper positive relative vorticity area, which showed the positions of Mid Pacific Trough at 00Z of the date showed by the number. Open circle on the dashed line shows the center of the upper cold low. Small open circles indicate the positions of the easterly wave disturbances at 00Z. Large open circle, closed circle and circle with a dot indicate the positions where the disturbance had the tropical depression (TD), tropical storm (TS) and Typhoon (T) intensity, respectively.

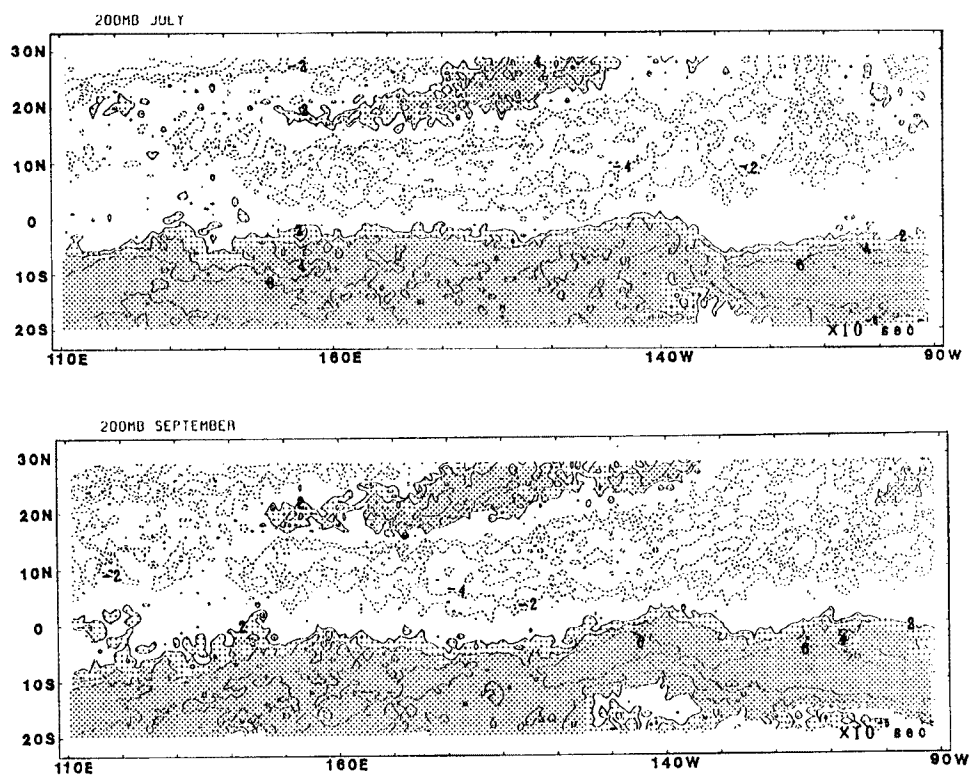


Fig. 4. Upper-level monthly-averaged relative vorticity fields for (a) July and (b) September, 1980. Contour interval is $2 \times 10^{-6} \text{ sec}^{-1}$. Shaded area indicates positive relative vorticity area ($\geq 2 \times 10^{-6} \text{ sec}^{-1}$).

Fig. 6 に他の台風についての初期擾乱及び台風の経路を示す。4つの台風について、10 N 付近の 140～170 W まで初期の波動擾乱をさかのぼれた。Fig. 7 に月平均の OLR の分布を示すが、こうした擾乱は IT CZ の雲バンドにそって西進しているものと思われる。ところで台風 T 8010 号については、擾乱が 170 E、

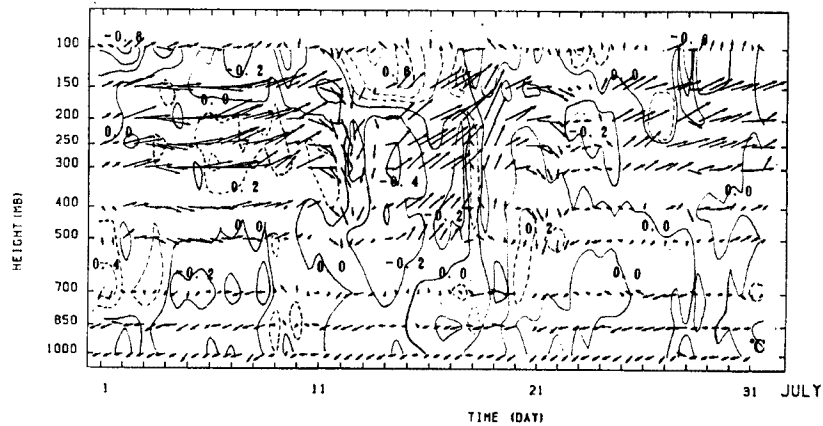


Fig. 5. The time cross section of temperature anomaly and wind at Luhue. Solid and dashed lines show temperature negative and positive anomaly from the monthly mean in July, 1980. Length of vectors indicates horizontal wind and the length similar with one unit of the axis of abscissa corresponds to 20 m/s.

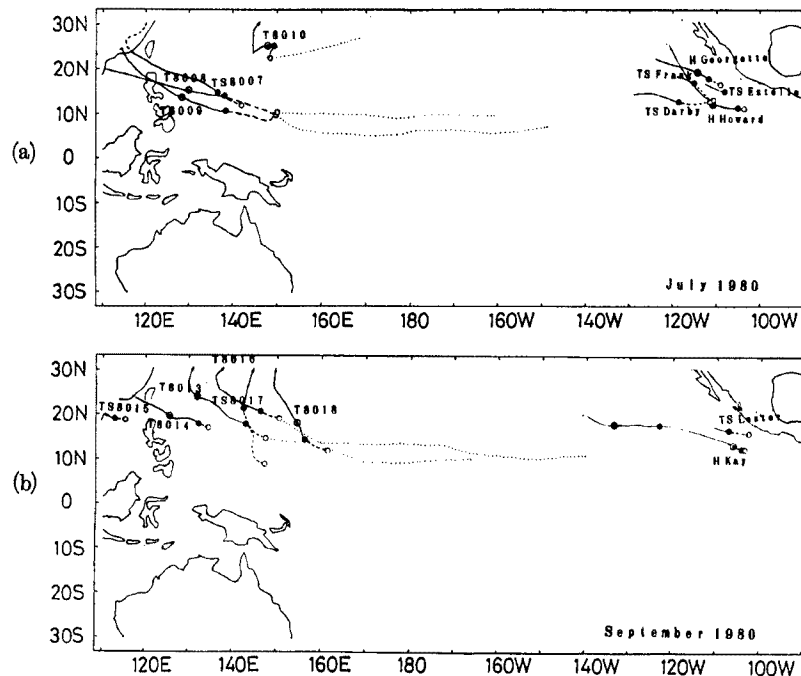


Fig. 6. Broken lines show the trajectories of wave disturbances which later developed into tropical storms during (a) July and (b) September, 1980. Symbols are the same as in Fig. 3. Circles with a dot indicate the points where the tropical storms developed into typhoons (T) or hurricanes (H).

30°N 付近から南西に伝わっている様子が解析された。この台風がみられた7月下旬には ITCZ の雲バンドははっきりとはせず、T 8010 号の経路のあたりに雲がみられた^{1,2)}。この台風については、もう少し北側まで含めた解析が必要である。

T 8010 を除く他の4例については、T 8009 についてのべたように、擾乱が最初にみられる付近の北側で

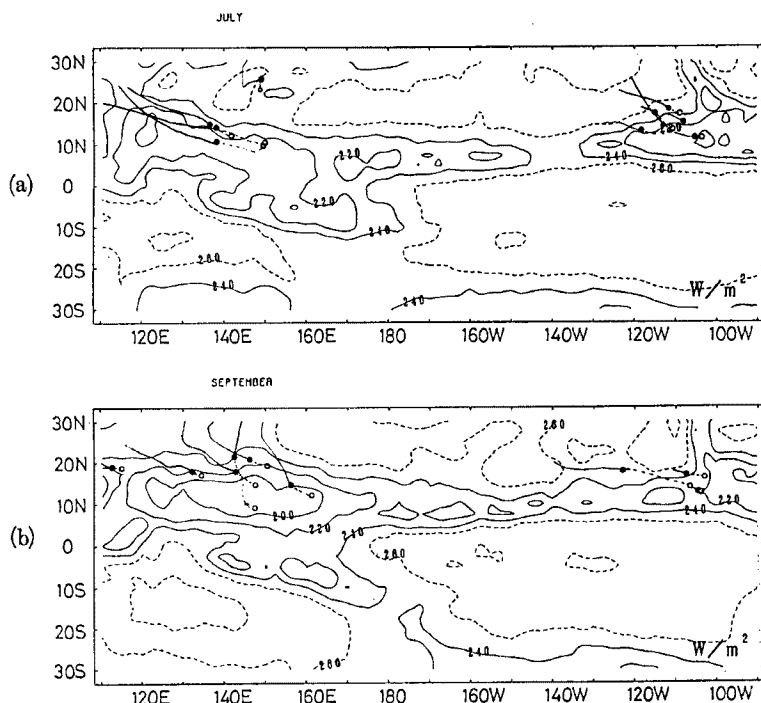


Fig. 7. Monthly-averaged outgoing longwave radiation (OLR) data for (a) July and (b) September. Contour interval is 20 W/m. Symbols are the same as in Fig. 3.

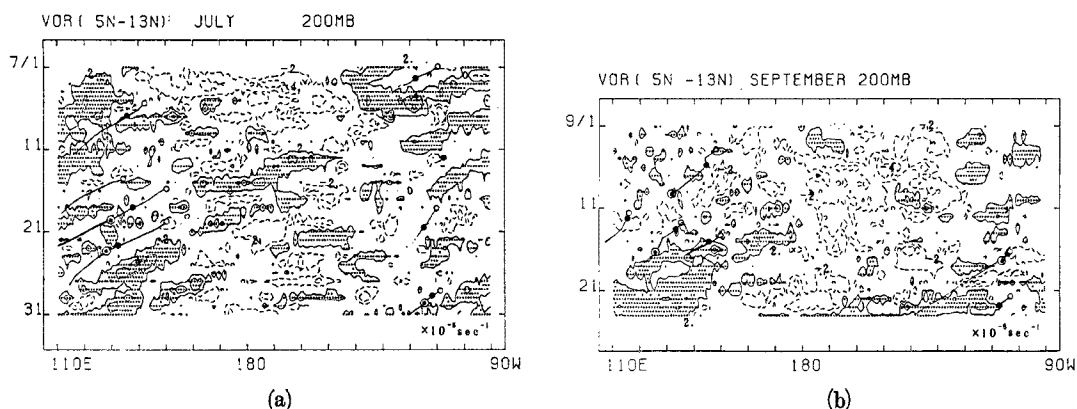


Fig. 8. Time-longitude sections of relative vorticity between 5N~13N at 200 mb-level for (a) July and (b) September, 1980. Shaded regions denote positive anomaly values from the monthly mean of July and September, 1980, respectively. Thick lines denote the longitudinal positions of tropical cyclones. Symbols are the same as in Fig. 3.

Mid Pacific Trough に相当すると思われる上層の正の渦度域が南西にのびて、擾乱の西進につれて西へ移動する様子が解析された。Upper cold low は西太平洋では擾乱の北西にみられたが、Mid Pacific Trough が南西にのびている付近では擾乱の北から北東に位置し、20°N 付近を西進していた。

台風の初期擾乱の強さは後にその擾乱がどこまで発達するかによってはほとんど変わらず、この擾乱の強さは後の発達とは関係しないように思われた。また初期擾乱の位置が後の台風への発達に関係することもない。

Fig. 8 に上層の相対渦度場の $5^{\circ}\text{N}\sim 13^{\circ}\text{N}$ 帯の時間経度断面を示す。 140°W 付近ではあまりはっきりしないが、正負の渦度域が西へ伝わる様子がほぼ全経度帯にわたって認められる。西太平洋の台風についてみられたように、東太平洋のハリケーンについても、TD となる以前にも東側から、上層の負の渦度域が西進するのを見ることができる。こうしたことは、上層発散域、下層収束域、下層の正の渦度域についての時間経度断面でも認められ、これらのことから、東太平洋の熱帯低気圧についても、東側から伝わる初期の波動擾乱の存在が示唆される。偏東風上の擾乱は 100°W 以東と 150°W 付近から西にみられ、 110°W 付近と 140°E 付近で熱帯低気圧へと発達していく。こうした初期擾乱ができれば必ず台風まで発達するわけではなく台風の発生を考えると、発達域の大規模な場が大きく影響するように思われた²⁾。次章ではこの台風の発達した、 110°W 、 140°E 付近の場や擾乱が最初に解析される 150°W 付近の大規模な場についての解析結果をのべる。

4. 台風をとりまく熱帯域の特徴

以前の解析からも明らかなように初期擾乱が TD へと発達する付近は東西風成分でみて西風東風の境界点近くに位置していた。**Fig. 9** に下層の東西風成分の時間経度断面を示す。前章でみたような初期擾乱が

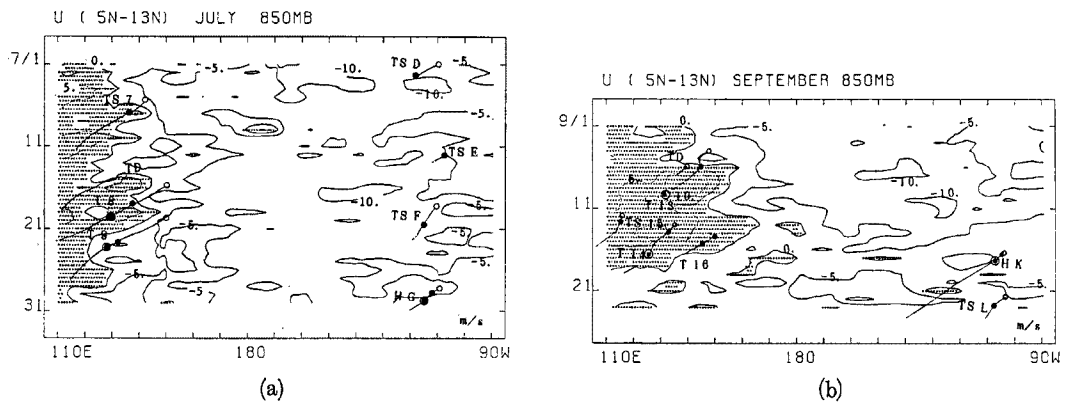


Fig. 9. Time-longitude sections of the zonal wind component averaged between 5°N and 13°N at 850 mb level. The contour interval is 10 m/s. Regions of westerly wind are shaded. Thick lines and symbols are the same in Fig. 8.

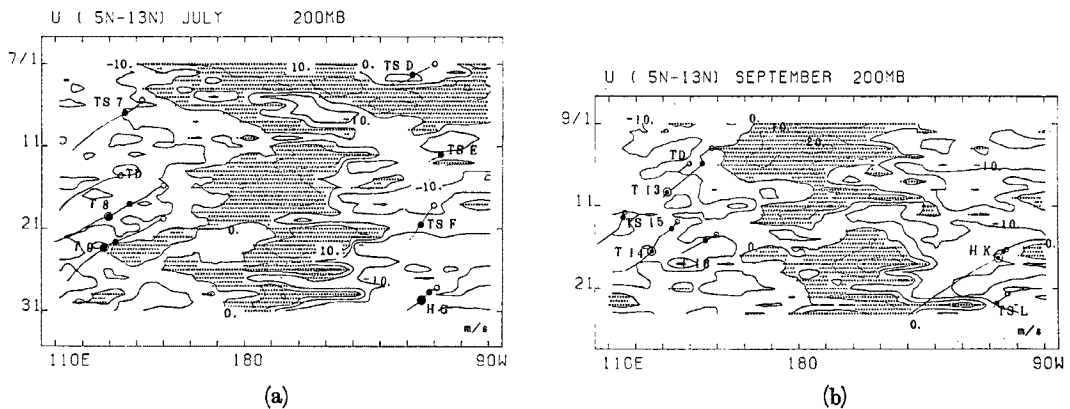


Fig. 10. As in Fig. 9 except at 200 mb level.

TD, 台風, Typhoon へと発達していくのは, 西風, 東風の境界の西側の下層西風域であった。一方, ハリケーンの発達する 110 W 付近は弱い東風域であり, 西風域はみられない。Fig. 10 に上層の東西風の時間経度断面を示す。下層の西風, 東風の境界のやや東側 150 E 付近に, 東風域西風域の境界がみられ, 西側に

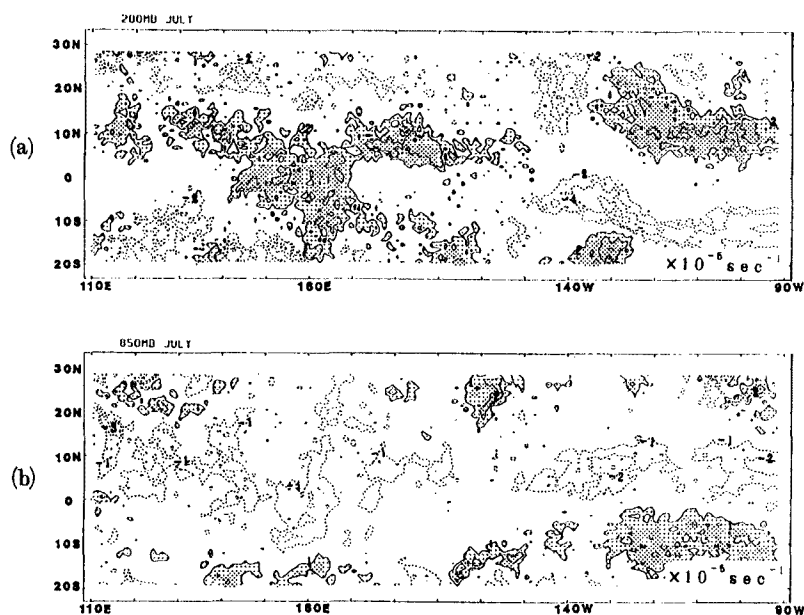


Fig. 11. Monthly-averaged divergence field at (a) 200 mb and (b) 850 mb for July, 1980. Shaded area indicates divergence area.

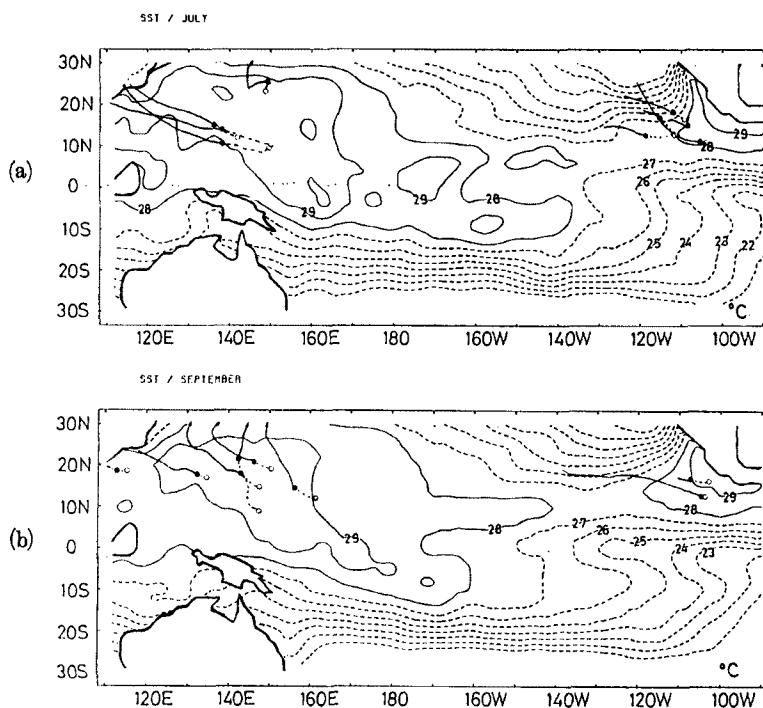


Fig. 12. Monthly-averaged sea surface temperature (SST) for (a) July and (b) September, 1980. Symbols and lines are the same as in Fig. 6.

東風域、東側に西風域がみられるが、西風域は 140 W 付近までで、その東は東風域となっている。また、東太平洋での TD の現れるあたりの東側には再び西風域がみられる。この上層の東西風からは、150 E と 100 W 付近に上層発散域、140 W 付近に上層収束域をもつような東西循環セルの存在が示唆される。こうした太平洋上に 2 つの上昇流域をもつような東西循環セルの存在は Krishnamurti¹¹⁾¹²⁾ 等によっても北半球の平均場について解析されている。こうしたセルの下降流域付近から初期擾乱がみとめられ、そうした波動擾乱は西進して東西セルの上昇流域付近で発達をはじめる。しかし、下層の東西風からは、140 W 付近の下降流域や 110 W 付近の上昇域などの東側のセルははっきりとは見出せない。

Fig. 11 に 7 月の上層と下層の月平均の発散場を示す。下層 10 N 付近には収束域が点在しており、上層には発散域がひろがっており、こうした場合は、主に南北方向の熱帯収束帯の特徴を示している。細かくみると上層 140 W、10 N 付近には北からの収束域がのび、発散域がとぎれており、下層 160 W、10 N 付近でも収束域が弱くなっており、東西方向のセルの特徴も重なっていると思われる。

Fig. 12 に海面水温の分布を示す。10 N にそう付近はほとんどが、台風の発生条件の 26°C~27°C をこえる高い SST 域である。初期擾乱や台風は SST 28°C 以上の領域上にほとんど認められる。西太平洋では 20 N をこえてかなり北側まで 29°C 以上の高温域がひろがり台風が北西進しながら発達していく。一方東太平洋ではメキシコの西の高 SST 域でできた TD は北西へ進むと急激に SST の低い海域上にはいりあまり発達せずに減衰してしまう。

5. 考察とまとめ

以上の結果をまとめると、台風の多くは、東太平洋 150 W、10 N 付近から西進してくる初期の波動擾乱から発達する。波動擾乱は中緯度上層の Mid Pacific Trough の南東付近から認められ、Mid Pacific Trough が南西にのび、cold low が切離されるのに対応して、西進していく。はじめ 10 N 付近の初期擾乱は Mid Pacific Trough 等の南から南東に位置しているが、南太平洋では upper cold low の南西に位置するようになる。この位置関係は台風発達に好都合なものであるとおもわれる^{9,10,13)}。

西太平洋の TD、台風の発達する位置は、200 mb と 850 mb の風の東西成分でみてやると、下層で西風が収束し上層で発散するような東西循環セルの上昇流域に位置していた。

東太平洋のハリケーンについては、下層であまりはっきりしなかったが、上層ではやはり発散を示していた。こうした平均的な上下層の場を **Fig. 13** に概念的に示す。流線は主に 7 月の平均場にもとづいて描いた。140 W 付近は、上層の場から考えると下降流域であると思われるが、下層では南北方向の収束が大きく雲活動が東西にくらべやや少ない程度の上昇流域であると思われる。TD、台風が現れる場所は、鉛直シアで考えれば **Fig. 9**、**Fig. 10** から示されるように鉛直シアの小さい付近にあたる。古くから台風の発生条件として知られる小さな鉛直シア¹⁴⁾という条件は東西セルでみた大規模な上昇流域であることであったかもしれない。

また台風の発達する場所では下層で南半球からの南風が西からの西風とともに強まる様子がみられた。オーストラリアの東側の風をみてみると、TD の現れる 3~5 日前に南風が強まる傾向が見られた。Love¹⁵⁾ は熱帯低気圧の発達に与える冬半球の影響を議論している。その中で、南半球から赤道側への南風の強まりが、熱帯域での東西循環を強めるのではないかといったシナリオを示している。台風の発達は 140 E より西側の下層西風域がひろがり強まるときにみられており、台風の発達には、東西、南北の大規模な場が、大きく影響していると思われる。上下層の東西風をみると 10 日~30 日くらいの周期で西風東風の境界が変化しており²⁾、そうした変化と台風の発生に関係があるようにみえる。Madden and Julian¹⁶⁾ に示されたような季節内変動のスケールの現象と対応しているのかもしれない。多くの台風でみられた初期の波動擾乱の強さはその後の発達の度合とはほとんど関係しないように思われた。このことから、台風発生には、むしろ東

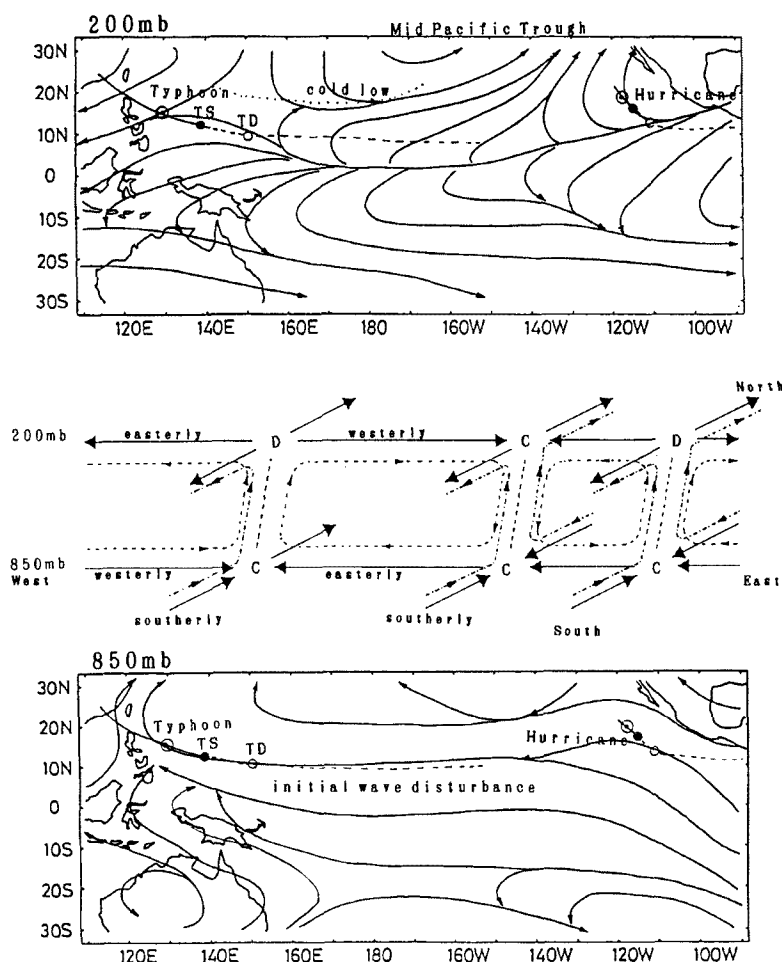


Fig. 13. Schematic view of stream-lines at 200 mb and 850 mb. The middle figure shows the zonal and meridional circulation cells along 10N zone. C and D indicate convergence and divergence, respectively.

西循環や南半球の流れなどの大規模場が影響することが示唆される。

初期擾乱のみえはじめる付近では Mid Pacific Trough が南西へのびるのが認められた。10 N 付近の初期波動擾乱の発生あるいは強まりには Mid Pacific Trough を通し中緯度からの影響があるものと思われる¹⁷⁾。またそこは、東西循環の下降流域と考えられる 140 W の西側にあたっていた。Mid Pacific Trough から切離され西進する upper cold low は、初期擾乱の北から北西に位置している。こうした位置変化が Reed and Recker⁶⁾ に示された。偏東風波動擾乱の軸の傾きなどの特徴が東西でちがうことに対応するのかもしれない。また Shimamura^{7,8)} は cold low が暖化してウォームコアに変化するという事例解析例を示している。こうした 10 N 付近の波動擾乱と 20 N 付近の cold low の相互関係を明らかにするためには今後さらに多くの解析が必要であると思われる。

訂正：Fig. 4. と Fig. 11. の図中の単位が、 10^{-5}sec^{-1} と印刷されていますが、これは 10^{-6}sec^{-1} の誤りですので訂正してお読み下さい。

参 考 文 献

- 1) 邊田有理江・光田 寧：台風発生期の流れの場についての解析，京都大学防災研究所年報，第31号

- B-1, 1988, pp 219-236.
- 2) Heta, Y.: An Analysis of Topical wind fields in Relation to Typhoon Formation over the Western Pacific, *J. Meteor. Soc. Japan*, 68, 65-77.
 - 3) Nitta, T. and Y. Takayabu: Global Analysis of the Lower Tropospheric Disturbances in the Tropics during the Northern Summer of the FGGE Year Part II: Regional Characteristics of the Disturbances. *PAGEOPH*, 123, 1985, pp. 272-292.
 - 4) Dickerson, M.H.: MASCON-Mass Consistent Atmospheric Flux Model for regions with complex terrain. *J. Appl. Meteor.*, 17, 1978, pp. 241-253.
 - 5) 気象庁予報部：季節予報資料，長期予報テクニカルノート，No. 30. 長期予報資料第8705号，117 p.
 - 6) Reed, R.J., and E.E. Recker: Structure and Properties of Synopticscale Wave Disturbances in the Equatorial Western Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 28, 1971, pp. 1117-1133.
 - 7) Shimamura, M.: The Upper-tropospheric Cold Lows in the Northwestern Pacific as Revealed in the GMS Satellite data. *Geophys. Mag.*, 39, 1981, pp. 119-156.
 - 8) Shimamura, M.: An Application of GMS Satellite Data in the Analysis of the Upper Cold Low in the Western North Pacific. *Geophys. Mag.*, 40, 1982, 113-151.
 - 9) Sadler, J.S.: A role of the Tropical Upper Tropospheric Trough in Earley Season Typhoon Development. *Mon. Wea. Rev.*, 104, 1976, pp. 1266-1278.
 - 10) Sadler, J.S.: Mid-Season Typhoon Development and Intensity Changes and the Tropical Upper Tropospheric Trough. *Mon. Wea. Rev.*, 106, 1978, pp. 1137-1152.
 - 11) Krishnamurti, T.N.: Tropical East-west Circulations during the Northern Summer, *J. Atmos. Sci.*, 28, 1971, 1342-1347.
 - 12) Krishnamurti, T.N.: Tropical East-west Circulations during the Northern Winter, *J. Atmos. Sci.*, 30, 1973, 780-787.
 - 13) 村松照男：台風の構造の変化と移動に関する研究—台風7916の一生—，*気象研究技術報告第14号*，1985，p 117.
 - 14) Gray, W.M.: Global View of the Origin of Tropical Disturbances and Storms. *Mon. Wea. Rev.*, 96, 1968, pp. 669-700.
 - 15) Love, G.: Cross-Equatorial Interactions during Tropical Cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 1985, pp. 1499-1509.
 - 16) Madden, R.A. and P.R. Julian: Description of Global-Scale Circulation Cells in the Tropics with a 40-50 Day Period. *J. Atmos. Sci.*, 29, 1972, pp. 1109-1123.
 - 17) 黒田雄紀：20°N 帯の波動と対流雲バンド．*気象衛星センター技術報告*，4，1981，pp 21-42.