

北太平洋西部海域におけるバイナリー台風の出現性と 経路モードの特徴について

石 島 英*・セルバンド ナタニエル**・宜野座 亮***

要 旨

北太平洋西部海域におけるバイナリー台風(相互作用しあう2つの台風を1組のシステムとみてBTSと略記する)の出現状況および特徴的経路モードの出現度数および出現背景について調べた。BTSは1年に約2回の割合で、5-11月に出現している。地理的には解析対象海域の中央部のブロックBにおけるE-W(東西方向)の初期相対位置から出現したケースが最も多かった。

経路の特徴としては、BTS期間を通して相互に低気圧性回転・接近する経路(CAモード)が全体の約35%を占め、その中の約半数は併合したケースであった。前半の低気圧性回転・接近のあと高気圧性回転・離反に転じる経路(CADモード)は45%であった。相互に高気圧性回転を主とした経路(aCモード)は僅か10%であった。

BTSを構成する2つの台風の強度は一般に不等であり、BTS期間平均の強い台風に対する弱い台風の強度比は0.64であった。強度およびサイズの不等性が経路モードの特性に影響する可能性を指摘した。

1. はじめに

Fujiwhara (1923)が水槽実験で示した2つの渦間の相互作用は藤原効果としてよく知られている。それは、ある距離以内に近づいた2つの低気圧渦は共通の回転中心の周りに相互に低気圧性回転を続けながら近づき併合することであった。Haurwitz (1951)は、ランキン渦を用いて実際大気中で相互作用し合う2つの渦の相対運動について理論的考察を行った。

Hoover (1961)は北大西洋・メキシコ湾海域と北太平洋西部海域の38個のBTSについて解析した結果、2つの渦の相対運動は多くの場合、前者においては高気圧性回転、後者においては低気圧性回転が多いと報

告している。その理由として、北大西洋では、個々の台風は南東から北西の方向に進み、その後転向して北東方向に進む経路をとる傾向が圧倒的に多いが、一方、北太平洋西部海域では、台風は転向なしに西に移動する傾向が強いことをあげている。そのことは、大西洋の方が亜熱帯高気圧(SH)の西縁における高気圧性水平シアアがしやすいことを暗示している。

北太平洋西部海域の22組のBTSを用いて、Brand (1970)は相対回転速度が、2つの台風の中心間距離(接近距離)の減少とともに大きくなる傾向をもとに、2つの台風は約1400 km以内の接近距離では相互に引き合うと述べている。Dong and Neumann (1983)は、北太平洋西部海域では殆どのBTSはITCZで発生し、2つの台風は相互に低気圧性回転運動をすると報告している。さらに、彼等は650 km以内では藤原効果が強く、それより離れている場合はITCZ内のステアリング流の寄与が強いと報告している。

Lander and Holland (1993)は北太平洋西部海域の資料に基づいて、相互に作用しあう2つの台風の相対回転運動の概念モデル(以後、L-Hモデルと略記)を示した。それによると、低気圧性回転で接近しあう2つの台風はその軌道が続けてついに併合するケース

* 琉球大学理学部(現所属:NPO 沖縄台風センター研究会)。

** 琉球大学理学研究科(現所属:フィリピン大気・地球物理・天文行政(PAGASA), リサーチ・ディベロップメント部)。

*** 琉球大学理学研究科(現所属:株式会社りゅうせき Network 情報システム部情報技術課)。

—1998年10月8日受領—

—2006年3月8日受理—

と途中で高気圧性回転軌道に変え離反するケースがあることがわかる。

Pokhil (1990) は、2つの台風の相対運動に関して、L-H モデルが示すような、低気圧性接近軌道の開始点 (Capture)、その軌道からの離脱点 (Escape)、両渦の併合開始点 (Merger) 等に関する知見の不足が台風などの予報精度を下げていると報告している。予報精度向上を意図し、Carr III and Elsberry (1998) は、同海域の BTS について亜熱帯高気圧やロスビー波動高圧部の存在を考慮にいれた視点から、2つの台風の相互作用について3種の BTS の出現形態を示し、それぞれについて、2つの台風の接近距離と回転速度の関係を示している。

本研究では、長年蓄積された台風位置に関する観測データを用いて、過去の研究例に比べて多くの現実大気中の BTS 例を解析することによって、北太平洋西部海域の BTS に関する観測面からの経路に関する知見を増やし、台風間相互作用のしくみの理解を深め、BTS を構成するそれぞれの台風の進行経路に関する予報精度の向上につなげることを目的としている。

2. 資料と解析方法

使用するデータは気象庁報告の「気象要覧」(1952-1996) による台風 (最大風速 17.2 ms^{-1} 以上の熱帯低気圧) の位置資料およびそれを原典とする台風位置データ集である (Ishijima and Balotro, 1994; Ishijima and Servando, 1998)。それらにはすべての台風に共通して、6時間毎の中心位置、最低中心気圧データが集録されており、また1978年以降の一部の台風についてはサイズデータ (風速 25 ms^{-1} の暴風半径) が含まれている。

Brand (1970)、Dong and Neumann (1983) などの研究によると、BTS はおおそ13-14度の緯度長の距離に2つの台風が接近したとき相互に影響し合うことが報告されている。最近の研究 (Carr III and Elsberry, 1998) では、出現形態によっては相互に影響しあうための2つの台風の最大接近距離は10-30度の緯度長に変わりうるということが報告されている。しかし、現状では2つの台風の相互影響開始の接近距離については定説はない。

本稿では、このような状況を踏まえて便宜的に、2つの台風が相互に影響し合える接近距離の閾値を13度緯度長とし、その閾値内に2つの台風が48時間以上持続して存続していることを BTS の定義の条件とし

た。この条件に該当する BTS を各年度ごとに、気象庁において発生順に通し番号で整理された台風の位置データ集の中から拾い上げた。その際、BTS の構成分子である2つの台風の生存期間 (熱帯低気圧から温帯低気圧になった場合も含めて) 内での強度変化を容認した上で、上述の定義条件を満たした期間がある場合はすべて BTS とした。

大陸や島嶼の配置や一般に知られる北西太平洋海域の気象総観場などのかかわりを念頭に置いて、解析対象域を東西に3つのブロックに分け、また BTS 開始時の2つの台風の相対位置を3つの方向範囲 (以後、初期相対位置と呼ぶ) に区分して解析する。3つのブロックは、

- ① ブロック A: 琉球弧-フィリピン諸島、南・東シナ海を含むアジア大陸沿岸の区域 (東の境界を 130°E に設定)、
- ② ブロック B: ブロック A の東の境界から東方 143°E 付近までの日本 (本州, 九州, 四国) の南方沖の海域、
- ③ ブロック C: 143°E - 180°E の北太平洋中部海洋域、

である。また、3つの初期相対位置は2つの台風の間点を原点として得られる次の3つの方向範囲である。

- ① E-W 方向: E-W 軸の北・南に30度傾斜する2つの方向軸に挟まれる範囲、
- ② NNE-SSW 方向: E-W 軸の北に30度傾斜した方向軸と N-S 軸とで挟まれた範囲、
- ③ NNW-SSE 方向: N-S 軸と E-W 軸の南に30度傾斜した方向軸とで挟まれる範囲。

また、経路の特徴を把握するために、Haurwitz (1951) による方法で2つの台風の中心を結ぶ直線上の中間点 (セントロイド) のまわりの相対回転運動の軌跡を示す図 (以後、セントロイド相対経路と呼ぶことにする) を描画する。描画にあたっては、経路のパターン分類を主な狙いとしているので、2つの台風の強度差が相対回転に与える影響は考えない。セントロイド相対経路上での相互回転の方向と接近 (または離反) の特徴のみに基づいて、BTS を次の5つの経路モード、

- CA モード: BTS 期間を通して2つの台風が持続的に低気圧性回転で接近するケース (後半に低気圧性回転のまま離反する場合もふくめる)、

CADモード：BTS期間の前半に低気圧性回転・接近し、後半に高気圧性回転・離反するケース、

aCモード：BTS期間を通して、高気圧性回転が主であるケース（初期から一途に離反する場合は除く）、

STモード：BTS期間を通して相互回転や接近・離反などの相対運動が殆ど認められないケース、

CMモード：相互回転の符合や接近・離反が複雑に入り混じるケース、

に分類する。また、BTSの経路や構造の2つの台風の強度やサイズへの依存性を調べる。そのために、強度を表す最大風速として、次式の右辺に比例する V_{mx} を用いる

$$V_{mx} \propto \sqrt{P_{\infty} - P_{cx}} \quad (1)$$

(1)式で、 P_c は台風の中心気圧、 P_{∞} は台風の影響のない場の気圧で1020 hPaとする。ここで、 $x=s, w$ とする。 s と w はそれぞれ2つの台風の中の強い方と弱い方を指示する識別子である。BTSの強い台風に対する弱い台風の強度の比として強度比、 $IR (= V_{mw} / V_{ms})$ を定義する。

サイズを示す量として暴風半径の大きさ R_x (台風位置資料における 25 ms^{-1} 以上の風速域の半径)を用いる。ここで、 $x=b, n$ とし、 b と n はそれぞれサイズの大きい方と小さい方を示す識別子とする。また、大きい台風に対する小さい台風のサイズ比として $SR (= R_n / R_b)$ を定義する。SRの値は先述の台風位置資料の中で暴風半径のデータ報告がある最近の11個のBTSのみについて求める。

以上の解析手法によって、ブロック別、初期相対位置別にBTSの各経路モードの出現状況を解析し、その特徴的構造を2つの台風の接近距離や強度・サイズの不等性の視点から定性的に考察する。

3. 結果

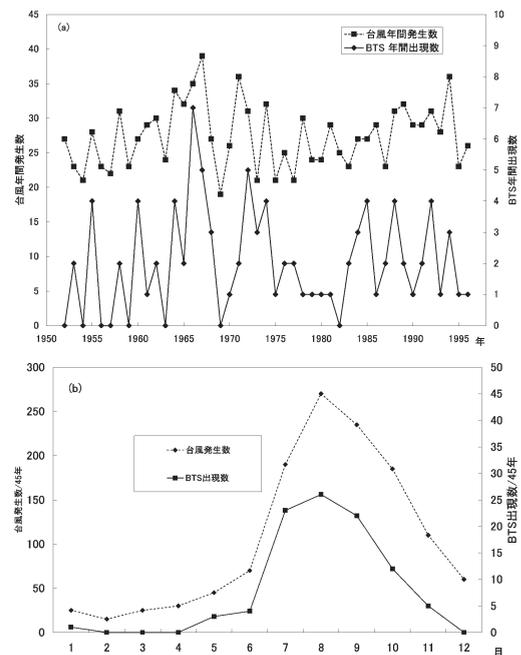
3.1 BTSの出現性

2節で述べた定義条件に該当するBTSの頻度は、解析期間45年間(1952-1996)に全体で91組あった。経年的にみると、1966年の出現数が最も多く7組出現しているが、一方2年もひきつづいてBTSが出現しない年もあり、平均では約2組/年の割合で出現している(第1図a)。BTS開始時の2つの台風の接近距離の閾

値として13緯度長を採用したが、それより長(短)くするとBTSの数は急増(急減)する傾向があった。この閾値を長くすると、実際には相互作用しあっていない台風をBTSとして拾いあげることがあり、また短くするとお互いかなり離れているが、間接的には相互作用しあっている場合(Carr III and Elsberry, 1998)を見落とすことになる。

BTSは5月から11月にかけて出現している(第1図b)。7月のBTSの出現率が高いのを除けば、解析期間の45年間の月別BTSの出現総数は個々の台風発生総数に応じて増減している。BTSの定義条件に該当する91組のBTSのなかには、BTS開始時すでに低気圧性または高気圧性回転で一途に離反していくケースが8個あった。それらのケースは経路モードの解析分類対象から除外した。

83個のBTSについてモード別、ブロック別および初期相対位置別に得られた経路モードの出現頻度結果は第1表のとおりである。BTS期間中、一貫して低気圧性回転・接近するCAモードが35%あり、前半は低



第1図 解析対象期間(1952-1996)における台風の年間発生数とBTSの出現数の経年変化。a) 解析対象期間の年間のBTSの出現数と台風の発生数。b) 解析対象期間の台風の発生数とBTSの出現数の季節変化。

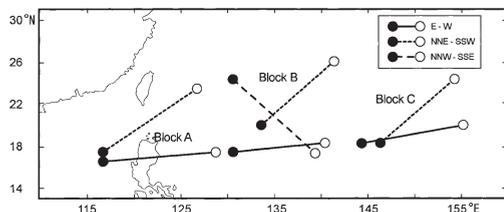
第1表 ブロック別、初期相対位置別、経路モード別の BTS の出現数.

経路モード	ブロック A		ブロック B			ブロック C		合計ブロック			
	初期相対位置		初期相対位置			初期相対位置		初期相対位置			
	E-W	NNE-SSW	E-W	NNE-SSW	NNW-SSE	E-W	NNE-SSW	E-W	NNE-SSW	NNW-SSE	合計
CA	6	4	8	3	1	5	2	19	9	1	29
CAD	4	3	7	7	7	4	6	15	16	7	38
aC	2	0	0	0	6	0	0	2	0	6	8
ST	1	0	1	1	0	0	0	2	1	0	3
CM	1	0	0	0	0	0	4	1	4	0	5
合計	14	7	16	11	14	9	12	39	30	14	83

気圧性回転・接近であったが、後半には高気圧性回転・離反に転ずる CAD モードが46%あった。高気圧性回転を主とした aC モードは10%あった。CA モードと CAD モードはすべてのブロックで出現しているが、aC モードの殆どはブロック B で出現している。

経路モードの違いを問わずに BTS 全体の地理的出現傾向をみると、BTS の出現はブロック B で最も多く全体のほぼ半分が出現しており、143°E 以西のブロック A と B の領域では全体の75%に達している。3つのブロックの全体平均で BTS の初期相対位置別の出現頻度をみると、E-W 初期相対位置が最も多く、次いで NNE-SSW 初期相対位置が多く、両初期相対位置で83%になる。NNW-SSE を初期相対位置とする BTS は僅少で、また、その出現もブロック B に限られた。

BTS を構成する2つの台風は、その生涯で1つのブロックから他へ移動し、ブロック間にまたがる場合が一般的である。ここでは、BTS の2つの台風の初期相対位置に基づいて、ブロック別、初期相対位置別に



第2図 ブロック別平均の初期相対位置 (2つの台風中心○と●を結ぶ線で表示)。——は E-W 方向の初期相対位置、-----は NNE-SSW 方向の初期相対位置、-----は NNW-SSE 方向の初期相対位置。

BTS 出現の緯度について比較すると第2図のようになった。ブロック別に BTS 出現状態を両台風の中心を結ぶ線分の中間点の平均緯度で示すと、E-W 初期相対位置から始まる BTS の場合は、解析対象域の西方から東方のブロックに行くにしたがってやや高くなる傾向があり、西方のブロックで約17°N、東方で約19°N にあった。NNE-SSW 初期

相対位置から始まる場合は、ブロック B でやや高く (約23°N) なる傾向があり、ブロック A および C での平均緯度は約21°N であった。また、NNW-SSE 初期相対位置から始まる場合はブロック B のみに限られているが、そこでは約21°N であった。本論解析対象全域について BTS 出現の平均緯度をみると約20°N であった。

3.2 BTS の2つの台風の経路の特徴

3.2.1. CA モードと CAD モード

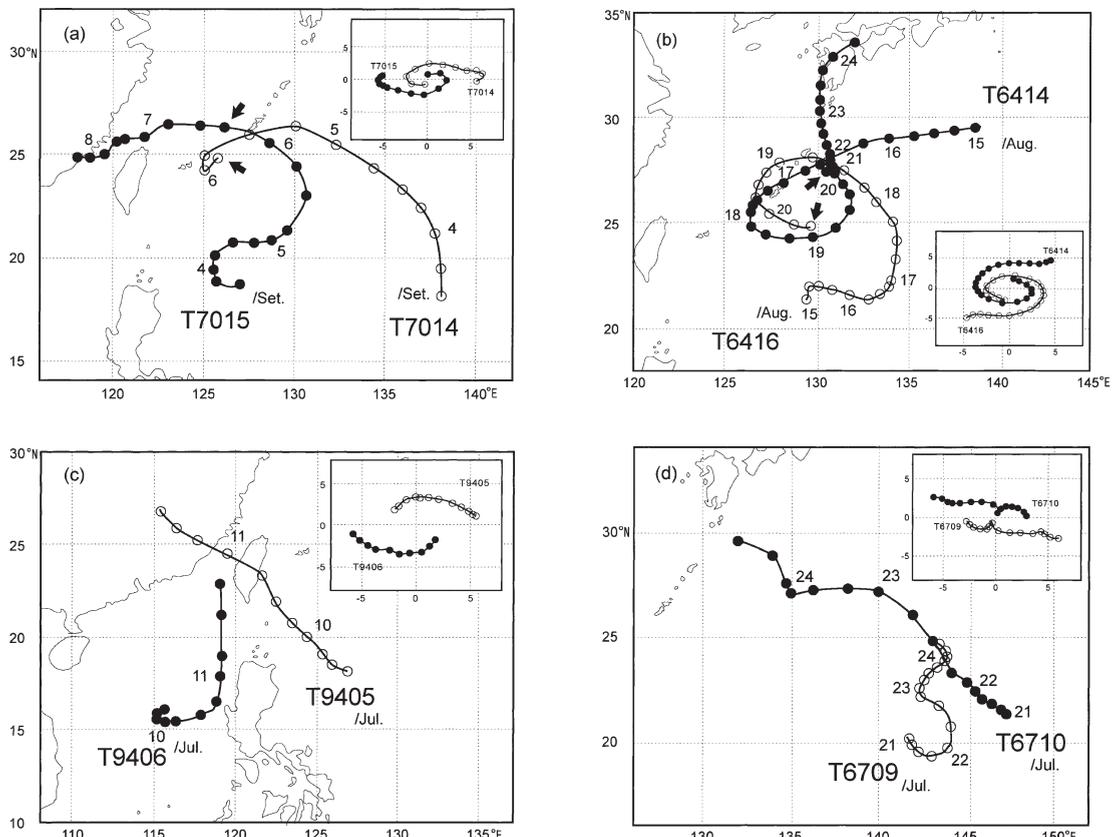
第1表に示した29例の CA モードの中には、併合した BTS (併合 CA モード) が全体で13組あった。残りの CA モードの BTS には、2つの台風が近距離まで接近したが併合することなく、低気圧性回転のまま離反したもの (非併合 CA モード) であった。ここで、併合の有無は、BTS の2つの台風中心位置に関する時系列データにおいて、ある時点から片方の台風のみデータが報告され、他方については中断されていることを確認することにより判断した。また、データ報告の中断の時点を併合の発生時点、その時点の両台風中心間の距離を併合接近距離 (以後 MSD と呼ぶ) とした。併合した CA モードの平均の MSD を示すと3.8度緯度長 (422 km) であった。

CA モードについて経路およびセントロイド相対経路の例を第3図に示す。第3図 a, b, c および d はそれぞれ BTS701415, BTS641416, BTS940506, BTS670910 のケースである。本稿では、例えば BTS940506 は1994年発生 の5号台風 (図中では T9405, 本文では T5) と6号台風 (図中では T9406, 本文では T6) を構成台風とする BTS のことである。

BTS701415 は1970年9月3日15時 (JST)、ブロック B の海域で E-W の初期相対位置から開始した。2つ

の台風 T14 と T15 は相互に低気圧性回転で接近し、久米島と宮古島間で併合した。その後1つの台風 (T15) となって西進し、中国福州に上陸した。開始時に本 BTS の西側に位置した T15 は、フィリピンのルゾン島の北東沖で開始から9月5日09時 (JST) までゆっくり北東進し沖縄本島の南東沖に達した。一方、開始時に BTS の東に位置していた T14 は、開始後しばらく T15 に比べて速い速度で北上し、その後北西進に転じ、9月5日09時 (JST) 頃には、沖縄本島の東方沖の大東島付近に達した。したがって、E-W の初期相対位置から始めて同 BTS の2つの台風は90度の相対回転を経て、T14 は北に、T15 は南に位置するようになった。

その後、2つの台風とも西向き成分が強くなったが、T15 は北西進のスピードを増し、T14 とほぼ同緯度帯に達した。一方、これまでの北への移動で高緯度に位置するようになった T14 は方向を南西に変え、ゆっくり南下し、さらに沖縄県の宮古島・石垣島付近で反時計周りにメソスケールの U ターンを示し北上した。その結果、2つの台風は接近を速め、台風間の距離は最短になった。2つの台風間の距離が約1.7緯度長まで接近した9月6日09時 (JST) 後には、T14 のデータはなく T15 のデータのみになっているので、その時点で T14 は T15 に併合した (第3図 a の矢印) と判断できる。



第3図 CAモードのBTSの経路とセントロイド相対経路(挿入図)の例。○と●は台風を中心位置。経路開始点近くのTではじまる記号は台風認識記号(例:T7014は1970年発生 of 台風14号)。a) 併合CAモードのBTS701415の場合: BTSの開始時(1970年9月3日15時JST)より併合数日後迄の6時間毎のデータによる台風経路。セントロイド相対経路は併合時迄。経路沿いの数字は03時JSTの日付。太い矢印(→)は併合時点。b) 併合CAモードのBTS641416の場合: BTSの開始時(1964年8月15日03時JST)以外はaと同じ。c) 非併合CAモードのBTS940506の場合: BTSの開始時(1994年7月9日09時JST)より終了時まで6時間毎のデータによる台風経路。経路沿いの数字は03時JSTの日付。d) 非併合CAモードのBTS670910の場合: BTSの開始時(1967年7月21日03時JST)以外はcと同じ。

BTS641416もブロック B において出現した併合 CA モードの典型的な例である。先述の BTS701415 とちがって、同 BTS は T14 がほぼ 30°N の NNE 側、T16 が 21°N ~ 22°N の SSW 側の NNE-SSW 初期相対位置で、1964 年 8 月 15 日 03 時 (JST) に開始した。BTS 期間前半には、T14 ははじめゆっくり西南西方向に進んだが、その後南向き成分を強め、さらに反時計廻りに東向きに転じた。その間、T16 ははじめ東南東進し、その後ゆっくり北上しつつ西向き成分を強めて北西進し、T14 とおなじく反時計廻りに進行方向を南西に変えた。その結果、T16 が BTS の NNE 側に、T14 が SSW 側に入れ代わった。この 180 度の相対低気圧性回転を 2 つの台風は約 3 日半かけて経過し、ゆるやかに接近した。BTS 期間後半には、T14 は東向きから北向きに転じ北上した。一方、T16 は西進しながら南向き成分を強め、さらに反時計廻りに南東進に変わった。

その結果、同 BTS の構成は 8 月 20 日 09 時 (JST) 頃には、沖縄本島の北東海域で、T14 がほぼ北東に、T16 がほぼ南西に位置するようになり、3.2 緯度長に接近した。丁度その時点で T16 のデータ報告は中断され、T14 のデータのみ報告されていることから、同 BTS の 2 つの台風はこの時点で併合した (第 3 図 b の矢印) と判断できた。T14 は併合後、北上して九州西岸に上陸した。同 BTS の特徴は、BTS 期間の前・後半を通して 5 ~ 6 日の長期間をゆるやかに影響しあったことであった。

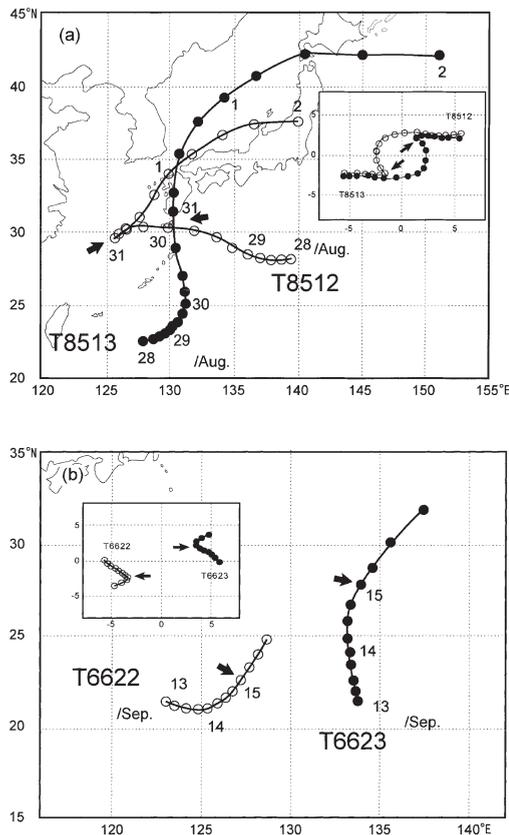
BTS940506 はブロック A の海域で、片方の T6 がルゾン島西方沖の南シナ海、他方の T5 が同島の東方海域で、1994 年 7 月 9 日 09 時 (JST) に開始した (第 3 図 c)。E-W の初期相対位置から 2 つの台風が低気圧性回転で接近しようという点においては先述の BTS701415 と同じであった。しかし、Chang (1982)、Bender *et al.* (1987) などの数値シミュレーションの結果で知られているように、初期に BTS の東側に位置した T5 が台湾島に接近した頃に、台湾島の地形による力学的影響で大きく北側にずれたため、2 つの台風は十分接近し合うことができなかつたと考えられる。また、中国大陸へ先行上陸した大型で強かつた T5 が、水蒸気の補給の減少と地表摩擦の増加の影響で勢力を落とした頃に、南シナ海から中国大陸南東部にむけて北上し接近した小型で弱かつた T6 も T5 と同様に地勢や摩擦の影響で勢力を落としたと考えられる。2 つの台風はほぼ同時に消滅したことから、両台風間

には併合はなかつたと判断できる。

また、BTS670910 はブロック C で、1967 年 7 月 20 日 21 時 (JST) E-W の初期相対位置から開始した (第 3 図 d)。同 BTS の初期に東側にあった T10 はトロコイド経路 (Holland and Lander, 1993; 上野, 2000) をとって、海洋上の長い距離をゆるやかな弧を繰り返し描いて、北太平洋中央部から西部海域へ北西進した。一方、初期に西側にあった T9 は、北西進を続けていた T10 を西へやり過ぎたあとゆっくりと北上した。T10 は BTS 開始直後のトロコイド経路上の南へ尖ったクリスピー点付近で T9 と 1.5 緯度長まで接近したが、2 つの台風は併合することなく、相互に低気圧性回転を持続したまま離反していった。

つぎに、CAD モードの BTS の運動の特徴を BTS851213 と BTS662223 の例 (第 4 図) でみる。BTS851213 は NNE-SSW 初期相対位置で 1985 年 8 月 27 日 03 時 (JST) から、一方 BTS662223 は E-W 初期相対位置で 1966 年 9 月 13 日 09 時 (JST) から開始した。BTS851213 では、片方の T12 は小笠原諸島付近海域から、他方の T13 は南西諸島の南東方海域から開始した (第 4 図 a)。T12 の西進と T13 の北上により 2 つの台風は、前半あたかも CA モードの経路をとるかのようになり、相互に低気圧性回転を維持しつつ接近し、南九州近くの海域で 4.8 緯度長 (533 km) まで接近した。西進して九州長崎県南西沖の東シナ海に達した T12 は、地上天気図 (省略) によると、中国大陸北方の高気圧の張り出しに阻まれて停滞したように思われる。T13 は、T12 の停滞の間、その北東方の房総沖に小笠原付近から北上しつつあった T14 と BTS を形成しうる接近距離にあったから、T12、T13、T14 の間には何らかの三角関係の相互作用があったと考えられる。T13 は九州西岸にそって足早に北上しているが、その頃が 2 つの台風の経路が低気圧性回転・接近から高気圧性回転・離反へ変わった時点 (第 4 図 a の矢印) であった。その後、T13 はさらに日本海を北上し、それに追従するかのようになり停滞していた T12 は北東進に転じ、日本海側沿岸を北上している。ちなみに、同 BTS の片方の台風であった T13 は、九州西岸を足早に北上したとき有明海で漁船転覆などの大惨事を惹き起こした。

BTS662223 では、BTS 前半の低気圧性回転・接近の時間が BTS851213 と比較して短く、セントロイド相対経路は低気圧性のスパイラル回転に至らないまま高気圧性回転に転じ遠ざかつた (第 4 図 b の矢印) BTS 例であった。CAD モードは全体で 38 例 (第 1 表) あり、

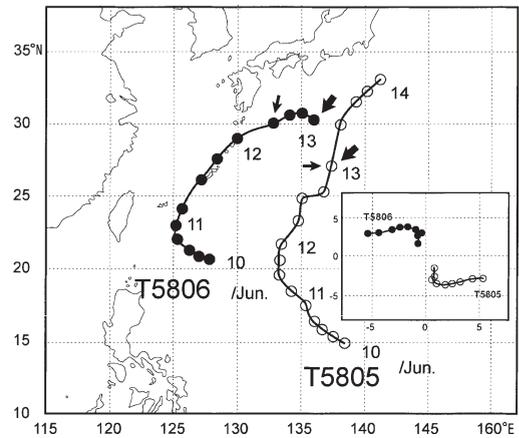


第4図 CADモードのBTSの経路とセントロイド相対経路(挿入図)の例。○と●は台風の中心位置。a) BTS851213の場合: BTSの開始時(1985年8月28日03時JST)より終了時までの6時間毎のデータによる台風経路。経路沿いの数字は03時JSTの日付。矢印(➡)は低気圧性回転・接近から高気圧性回転・離反への移行時点。b) BTS662223の場合: BTSの開始時(1966年9月13日09時JST)以外はaと同じ。

高気圧性回転・離反に変わった時点の平均接近距離は8.6緯度長(955 km)であった。

3.2.2. aCおよびその他のモード

BTS期間を通して、高気圧性の相互回転が卓越したaCモードは8例(第1表)あった。BTS710406のみがブロックAで出現しており、残りはすべてブロックBで出現している。初期相対位置でみると、E-W初期相対位置の例はBTS710406とBTS962021だけで、残りはNNW-SSE初期相対位置の出現である。これらのaCモードの例を個別にみると、①BTS580506の例: 2つの台風がほぼ平行して北西進し、その後北東進す



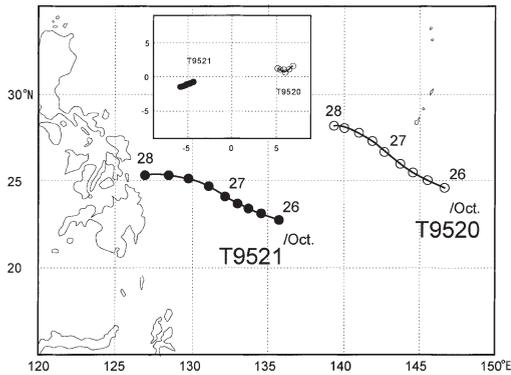
第5図 aCモードのBTS580506の経路とセントロイド相対経路(挿入図)の例。BTSの開始時(1958年6月10日03時JST)より終了時までの6時間毎のデータによる台風経路。経路沿いの数字は03時JSTの日付。太い矢印(➡)は併合時点。細い矢印(➡)は温帯低気圧化した時点。

るケース(第5図), ②BTS911314の例: 両台風とも終始平行して北東進するケース(図略), ③BTS600506やBTS741011の例: 一貫して初期相対位置でNNW側の台風が北北西進し、SSE側の台風が西北西進するケース(図略), ④BTS622426, BTS662426, BTS710406, BTS962021の例にみるように、NNW側(またはW側)の台風が一貫して北東進し、SSE側(またはE側)台風は一時北西進した後、北東進に転ずるケース(図略)がある。

上記①のBTS580506について詳述すると、同BTSはブロックBで早い季節6月に出現した。6月初旬の地上天気図(図略)が示すように、同BTSは沖縄地方で梅雨期中休みが過ぎた頃に、本邦南東方の亜熱帯高気圧(SH)の南西縁海域で6月10日の03時(JST)頃出現した。フィリピン諸島のはるか東方沖で初期にSSE側にあったT5とNNW側にあったT6が同BTSを形成した。前半、同BTSの2つの台風は北西方向に平行して進んだが、その後11~12日には2つの台風とも相並んだまま北~北東方向に向きを変えた。SHのより西の縁を移動するT6のスピードがSHの内側を移動するT5より速かったため、セントロイド相対経路は高気圧性回転・接近を示した。その後、T6は12日9時には四国南方沖で温帯低気圧化した。なお北上してきたT5と低気圧性回転・接近し、13日9時

には併合し（第5図のT5経路上の太い矢印）、その後は双方とも温帯低気圧となって北東進した。本BTSは終末時にはCAモードもどきの振る舞いをしたユニークなaCモード例であった。

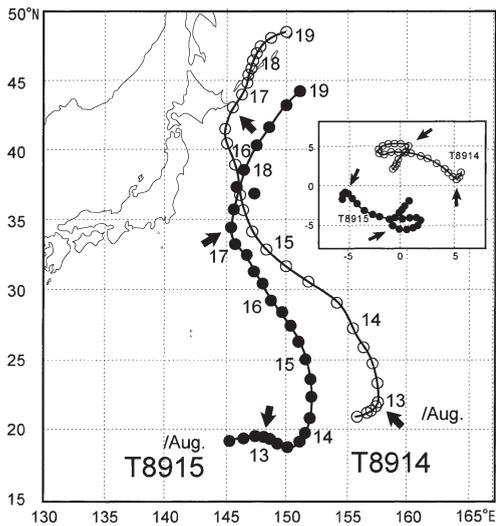
BTS952021は2つの台風の相互回転角と接近距離の時間変化が非常に小さい、つまり相対運動が微小な



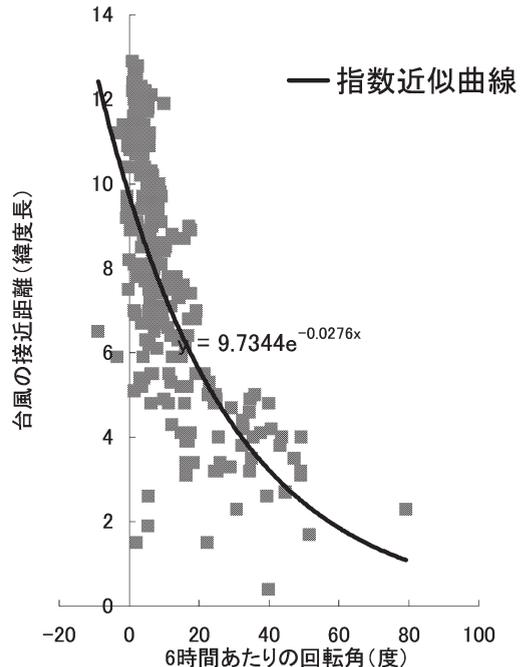
第6図 STモードのBTS952021の経路とセントロイド相対経路(挿入図)の例。BTSの開始時(1995年10月26日03時JST)より終了時までの6時間毎の台風経路。経路沿いの数字は03時JSTの日付。

STモードの例である(第6図)。STモードに共通した特徴は、2つの台風がほぼ平行した経路をとることである。ここでは、経路の平行性の欠如により生ずるセントロイド相対経路の2つの台風の初期相対位置からのズレがBTS期間平均で2緯度長以内にとどまった3例をSTモードとしてとりあげた(第1表)。STモードおよびそれに近い平行経路の例は、日本や朝鮮半島付近の高緯度帯でも存在したが、多くはフィリピン東方海域の熱帯収束帯域内にみられた。

BTS891415はCMモードの例である(第7図)。同BTSは北太平洋中部海域にあたるブロックCで1989年8月11日に発生し、延々と約3000kmを北上する過程で複雑なセントロイド相対経路を示した。同BTSのT14とT15は初期の短い期間は相互に高気圧性回転で接近した。その後、CADモードもどきに、14日の午後まで低気圧性回転・接近を示し、その後一変して高気圧性回転・離反する傾向をみせた。その後、2つの台風は北海道東方および北東方の高緯度海域に達して、突然に今度はCAモードもどきに低気圧性回転・接近し、8月19日併合した。このような回転方向と接



第7図 CMモードのBTS891415の経路とセントロイド相対経路(挿入図)の例。BTSの開始1日後の時刻(1989年8月12日09時JST)より約1週間後まで6時間毎の台風経路。経路沿いの数字は03時JSTの日付。経路沿いの矢印(→)から矢印(⇨)まではCADモードであった期間。



第8図 CAモードについて2つの台風の相互の回転角(度/6時間)と接近距離(緯度長)の関係。

近・離反の変化の繰り返しは混在した点は他のCMモード（第1表）にも共通した特徴であった。

3.2.3. 回転角と接近距離

低気圧性回転・接近の相対運動をしたCAモードのデータを用いて、6時間当たりの回転角（横軸）と2つの台風の接近距離（縦軸）の相関について解析した結果を第8図に示す。2つの台風の6時間当たりの低気圧性回転角は最大でほぼ80度、また、接近距離は約2緯度長以下になる場合があることを示している。指数近似曲線を参考にデータのおおむねの傾向を読むと、2つの台風が接近するにしたがい回転角が急速に大きくなるのがわかる。ただし、データの近似曲線からのズレの傾向からみて、接近距離が4～5緯度長を境界として、それ以上に離れた領域では接近距離に対する回転角の増え方はゆるやかである。

3.3 BTSの強度比とサイズ比の特性

第1表にあげたすべてのBTSについて、6時間毎のデータによる個々の強度比IRは0.3～0.9の幅で大きく変化している。ブロック別と初期相対位置別の平均でみると、強度比には大差はなかった。また、29組のCAモードと38組のCADモードの平均強度比でみると、前者で0.62、後者で0.66、両モード平均で0.64であり、ややCADモードの方が大きかった。

サイズデータの得られた11組の個々のBTSについて、BTS期間について平均の2つの台風の平均接近距離、平均強度比、および平均サイズ比を第2表に示す。ただし、平均サイズ比についてはBTS期間内におけるサイズデータ報告のあった時間帯で平均されたものである。11組中の7組（第2表a）は、BTS期間開始の時点から2つの台風の

強弱や大小の立場が変わらないケースである。その中の2例のBTS830506とBTS940506は、BTS期間を通して平均サイズ比も平均強度比も小さい（特定の片方の台風が大きくて強く、他方は小さくて弱い）場合で、2つの台風がかなり近く（約5～6緯度長）まで接近したCAモードのBTSであった。残りの5例はすべてCADモードで、その中の3例は上記のCAモードと同じく特定の片方の台風が大きくて強いケースで、残りの2例（BTS920304とBTS922526）は特定の片方が小さくて強いケースであった。資料数が少ないので断定的なことは言いえないが、第2表aから、平均サイズ比も平均強度比も比較的大きい（2つの台風間でサイズも強度も大差がない）場合は、相互にかなり離れた接近距離（11～12緯度長）で離反するCADモードになる傾向があるように読める。

2つの台風間で、強弱や大小の立場が前半と後半で

第2表 BTSの2つの台風間の強度比とサイズ比、経路モード、最短接近距離（緯度長）等。a）BTSの期間を通して2つの台風間の強弱（大小）の立場が変わらない場合、b）BTSの期間の前半と後半で2つの台風間の強弱（大小）の立場が変わる場合。

BTS名	BTS期間 平均 強度比	BTS期間 平均 サイズ比	経路 モード	最短 接近距離	備考
(a) BTS期間中を通して2つの台風間の強弱（大小）の立場が変わらない場合					
BTS830506 (T05:大・強)	0.63	0.33	CA	6.3	接近のみ
BTS940506 (T05:大・強)	0.65	0.38	CA	5.3	接近のみ
BTS911920 (T19:大・強)	0.71	0.55	CAD	10.7	△
BTS851314 (T13:大・強)	0.71	0.67	CAD	10.8	○
BTS931920 (T19:大・強)	0.73	0.70	CAD	11.0	△
BTS920304 (T03:小・強)	0.81	0.75	CAD	12.0	○
BTS922526 (T25:小・強)	0.82	0.64	CAD	11.4	○
(b) BTS期間の前半と後半で2つの台風間の強弱や大小の立場が変わる場合					
BTS922728			CAD	11.3	○
前半 (T27:大・強)	0.82	0.90			
後半 (T27:小・強)	0.80	0.92			
BTS782324			CAD	9.8	○
前半 (T23:大・強)	0.89	0.66			
後半 (T23:大・弱)	0.80	0.80			
BTS851213			CAD	4.8	○
前半 (T12:小・強)	0.88	0.64			
後半 (T12:小・弱)	0.83	0.51			
BTS891415			CM	8.6	○
前半 (T14:大・強)	0.93	0.71			
後半 (T14:小・弱)	0.88	0.86			

○はBTS期間の前半（後半）における接近（離反）が明瞭、△は○の特性が軽微である。

変わる場合(第2表b)をみると、① BTS922728では、前半にはT27が優勢で大きくて強く、後半には強さは維持したがサイズは逆転しT28が大きくなった。また、② BTS782324の場合には、前半は強度もサイズもT23が優勢であったが、後半には大きさは持続したが、強度は逆転しT24が強くなった。③ BTS851213の場合は(第4図a)、前半にはT12が小さくて強かったが、後半にはサイズは小さいまま強さが逆転してT13が強くなった。④ BTS891415の場合(第7図)は、前半にはT14は大きくて強かったが、後半にはT15が強度もサイズも逆転し優勢になった。同BTSはいくつかのモードが混ざりあった複雑な構成のCMモードとして分類されているが、3.2.2でみたように、20°Nから45°Nの広範囲の海域ではCADモードの性格を強くもっていた(第7図の太い矢印間に対応する期間)。

4. 結果の考察

本節では、Servando and Ishijima(1998), Servando(2002), Ritchie and Holland(1993), 等に基づき、CAモードの併合接近距離の大きさについて考察する。3.2.1で述べたように、13組の個々の併合CAモードの解析で得られたMSDは1.5~7.0緯度長の範囲で変動し、平均で3.8緯度長(422 km)であった。Servando and Ishijima(1998)において、初期の最大風速 V_m を30~50 ms^{-1} 、最大風速半径 R_m を100~200 kmで強度・サイズが2つのモデル渦で等価の場合について、順圧モデルを用いて初期の接近距離を変えて行った数値実験の結果では、併合の閾値は約600 kmであり、上述の平均MSDはそれより約180 km小さかった。その理由は、利用した数値モデルの再現精度の限界やモデル渦度のパラメーター設定の不適切さに起因するモデル台風渦と現実の台風間の不一致があること、また、本解析ではMSDの算定には、6時間という台風観測時系列上の位置データ入手の時間間隔が長いことがもたらす台風位置決定精度の限界などが関与していると考えられる。

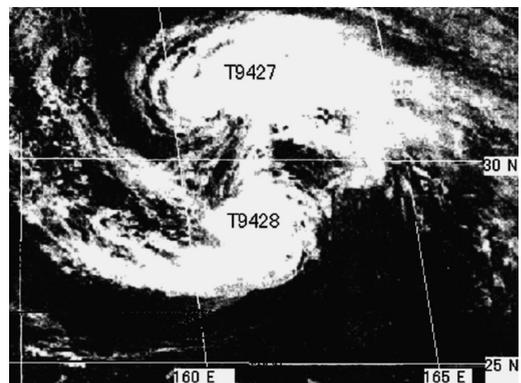
Ritchie and Holland(1993)の理論考察(RHEXと略す)では、最大風速 V_m 、最大風速半径 R_m の異なった2つの渦が併合するのに必要な最短の接近距離として下記の臨界併合接近距離 R_c 、

$$R_c = \frac{R_{ms}}{\alpha_c} \left(\frac{V_{ms}}{V_{mw}} \frac{R_{mw}}{R_{ms}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

が与えられている。ここで、s(w)は強(弱)いを表し、 V_{ms} , R_{ms} (V_{mw} , R_{mw})は強(弱)いモデル台風渦の最大風速、最大風速半径を表す。 α_c は実験的に得られた定数であり、RHEXによれば0.286である。この(2)式の R_c は V_m , R_m で規定されたランキン渦に、最も大きな変形が起きるための渦間の接近距離(それ以内に接近すると併合が起きる)として推測されたものである。

BTS942728は人工衛星時代になって観測された併合CAモードの1つである。このBTSについて、(2)式による R_c がMSDの推定値として有効かどうかの検証をしてみる。ここで、 V_m は(1)式で、 R_m は暴風半径データで代替する。暴風半径による R_m の代替は(2)式の検証には必ずしも適当ではない。しかし、暴風半径が R_m と比例すると仮定すれば、最大風速半径の比 R_{mw}/R_{ms} を暴風半径の比で置き換えることが可能である。(2)式の括弧の外にある R_{ms} については観測データが得られないものの、1つの試みとして暴風半径で代替してみることにする。

BTS942728の観測データの前半では、T27の中心示度は965 hPa、 R_m として利用する暴風半径は210 kmであった。しかし、後半では中心示度は990 hPaまで浅まり、暴風半径は150 kmに萎縮した。一方、T28はBTS期間を通して比較的弱く、その中心示度は1000-990 hPa程度にとどまった。T28については、暴風半径のデータはBTS期間の後半だけに報告されており、それは60~80 kmであった。第9図は1994年9月26日10



第9図 BTS942728の併合直前(1994年9月26日01Z)のGMSの可視画像(Lander, 1995)。BTSの片方の台風はT9427(米国の台風呼称: PAT)、他方の台風はT9428(米国の台風呼称: RUTH)。

時 (JST) の同 BTS の併合直前の雲画像 (Lander, 1995) であり, それから 2 つの台風の大まかな強度やサイズのイメージがつかめる。

同 BTS 期間の T27 と T28 の後半平均のデータを用いて (2) 式から R_c を試算した結果は 200 km であった。同 BTS について観測データから得られた MSD は 255 km であったので, (2) 式で得られた R_c は 50~60 km の違いはあるものの, ほぼ近い値を与えている。これは RHEX の (2) 式において R_m を暴風半径に置き換えることにより, ある程度の MSD 推定ができる可能性を示唆している。

併合の時期や接近距離を的確に予測することは, 台風を警戒する立場からすると, 警戒体制の負担を半減できるか, 倍増に導くかにつながることであり, 重要なことである。だが, 現状では併合接近距離に関して, 特に実測データを用いた観測解析上の知見は少ない。今後の研究に期待したい。

5. まとめ

北太平洋西部海域における BTS の出現状況をブロック別, 初期相対位置別, 経路モード別に示した。また, BTS の経路の形成や構造のしくみ, および BTS を構成する 2 つの台風の強度やサイズに対する依存性等について定性的に検討した。

本論の解析対象域では, BTS は 5 月から 11 月にかけて 1 年に約 2 回の頻度で出現し, その約半数は日本南方・フィリピン東方のブロック B の海域で出現している。初期相対位置別の統計では, E-W と NNE-SSW 初期相対位置における BTS の出現が多く両初期相対位置で 83% あり, また, NNW-SSE 初期相対位置の出現数は 17% と少ない。

観測データから得られた平均の CA モードの併合接近距離は約 3.8 緯度長 (422 km) であった。本稿で参考にしたシミュレーションによる見積もりとは約 180 km の違いがあった。また, 現実の台風併合があった 1 例について, RHEX の理論考察により得られた推定値とは約 50 km の違いがあった。

CAD モードの BTS の出現数は 45% と最も多かった。CAD モードの前半の経路構造は CA モードのそれと類似しているが, 後半に低気圧性回転・接近から高気圧性回転・離反に変わる位置は 2 つの台風の平均接近距離が 8.6 緯度長 (955 km) になるところであった。

2 つの台風の強度およびサイズの違いが大きい場合には, BTS は CA モードの経路をとり, 2 つの台風の

強度およびサイズが同程度の場合は CAD モードの経路をとる傾向が示唆された。

今後は, 特に BTS 経路形成の亜熱帯高気圧場などへの依存性, CAD モードの離反が起こる時点の接近距離の予想, CA モードの併合接近距離推測の精度向上, BTS 期間の台風相互間のエネルギー授受交換, 等々について詳細な研究を重ねる必要があらう。

謝 辞

この研究のために古い年代の低緯度地域の地上天気図参考にあたって沖縄気象台業務課と石垣島地方気象台のお世話になった。お取り計らいいただいた関係機関の方々に感謝の意を表したい。また, 石島 聡君が度重なる資料の整理作業等に協力してくれたことに謝意を表したい。

また, 本論文の初投稿以来, 数回にわたる改稿が必要であったが, そのたびに担当編集委員の別所康太郎氏には, 査読者の選定依頼や連絡などに多大のお世話をいただいたことを記し, 衷心から感謝の意を表したい。あわせて査読にあたって, 有益懇切なコメントやアドバイスをいただいた本稿査読者の方々に衷心から感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- Bender, M. A., R. E. Tuleya and Y. Kurihara, 1987: A numerical study of the effect of island terrain on tropical cyclones, *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 130-155.
- Brand, S., 1970: Interaction of binary tropical cyclones of the western North Pacific Ocean, *J. Appl. Meteor.*, **9**, 433-441.
- Carr III, L. E. and R. L. Elsberry, 1998: Objective diagnosis of binary tropical cyclone interactions for the western north Pacific Basin, *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 1734-1740.
- Chang, S. W., 1982: The orographic effects induced by an island mountain range on propagating tropical cyclones, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 1982.
- Dong, K. and C. J. Neumann, 1983: On the relative motion of binary tropical cyclones, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 945-953.
- Fujiwhara, S., 1923: On the growth and decay of vortical systems, *Quart. J. Roy. Meteor.*, **49**, 75-104.
- Haurwitz, B., 1951: The motion of binary tropical cyclones, *Arch. Meteor. Geophys. Bioklim*, **B4**, 73-86.
- Holland, G. and M. Lander, 1993: The meandering

- nature of tropical cyclone tracks, *J. Atmos. Sci.*, **50**, 1254-1266.
- Hoover, E., 1961 : Relative motion of hurricane pairs, *Mon. Wea. Rev.*, **89**, 251-255.
- Ishijima, S. and R. Balotro, 1994 : Basic data of tropical cyclones in the western North Pacific, *Bull. Coll. of Sci., Univ. of the Ryukyus*, (58), 75-580.
- Ishijima, S. and N. Servando, 1998 : Basic data of binary tropical cyclones in the western North Pacific, *Bull. Coll. of Sci., Univ. of the Ryukyus*, (65), 81-115.
- Lander, M., 1995 : The merger of two tropical cyclones, *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 2260-2265.
- Lander, M. and G. J. Holland, 1993 : On the interaction of tropical cyclone scale vortices. I : Observations, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **119**, 1347-1361.
- Pokhil, A. E., 1990 : Interaction of tropical cyclones in the Pacific ocean, *Meteorogiya I, Hidrologiya*, No. 6, 60-67.
- Ritchie, E. A. and G. J. Holland, 1993 : On the interaction of tropical cyclone scale vortices, II : Discrete vortex patches, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **119**, 1363-1379.
- Servando, N. T., 2002 : An observational and numerical study on the interaction between two tropical cyclones. College of Science (Phd thesis), Univ. of the Philippines, Diliman, Quezon City, 1-155.
- Servando, N. T. and S. Ishijima, 1998 : Numerical simulation of the interaction of binary cyclones using a barotropic model, *Bull. Coll. Sci., Univ. of the Ryukyus*, (65), 53-72.
- 上野 充, 2000 : 数値モデルによる台風予報, 気象研究ノート, (197), 日本気象学会.

Occurrences of Binary Tropical Cyclones and the Characteristics of their Track-modes in the Western North Pacific Basin

Suguru ISHIJIMA*, Nathaniel SERVANDO** and Ryo GINOZA***

* (*Corresponding author*) *Faculty of Science, University of the Ryukyus (Present affiliation : Okinawa Typhoon Center Forum, 584-8, Uema, Naha-city, Okinawa, 902-0073, Japan).*

** *The Graduate School of Science & Engineering (Present affiliation : Div. of Research and Development, Republic of the Philippines, Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration (PAGASA)).*

*** *The Graduate School of Science & Engineering (Present affiliation : Information Technology Section, Div. of Network Information System, Ryuseki Corporation).*

(Received 8 October 1998 ; Accepted 8 March 2006)
