



# 天 気

1986年8月

Vol. 33, No. 8

1071 ; 602 (熱帯低気圧 ; IWTC)

## 熱帯低気圧に関する国際ワークショップの報告\*

北出 武夫\*\*・嶋村

克\*\*\*・山岬 正紀\*\*\*\*

### 1. ワークショップの全容

昭和60年11月25日から12月5日までの11日間にわたってタイのバンコクで熱帯低気圧に関する国際ワークショップが開かれた。WMO主催で国連開発計画 (UNDP) 等が後援してタイ気象台の近くにあるバンコクのインバラホテルで参加者全員が泊り込んで行われた。この会議の目的は、

- (1) 全球的な観点から熱帯低気圧に対する現在の知識や予警報や研究の傾向を調べること。
- (2) 地球上の各地域固有の様々な必要性を配慮しつつ、将来の予報や研究に対する報告書を作り、将来への指針を提供すること。
- (3) 参加者間、特に研究者と予報官の交流をはかり、将来にわたる協力関係をうちたてること。

であった。世界28カ国から86名の参加者があり、日本からは私達3人が参加した。この会議はアメリカ、コロラド大学の Gray がプログラム委員長となり WMO 事務局の協力のもとにその立案を行った。まずワークショップに先がけて次の様な9つのトピックに分けて、各分野の現状を総括する500ページ以上にわたる報告書が参加者の分担によって作成された。

- (1) 全球的、地域的観点からみた熱帯低気圧の特性

- (2) 熱帯低気圧の構造
- (3) 熱帯低気圧の発生
- (4) 熱帯低気圧の強さと構造の変化
- (5) 熱帯低気圧の移動
- (6) 熱帯低気圧の数値モデル
- (7) 熱帯低気圧に対する観測と解析技術
- (8) 沿岸被害
- (9) 予警報の評価と改善

ワークショップにおける議論は上記の報告書にもとづいて行われた。各トピックにもとづいた専門別のグループによる分科会と全体会議を繰り返したほか、予報官と研究者との交流を図るという意味から、各種の専門家を混在させたグループ分けによる分科会も行われ、議論が行われた。最終的なワークショップの報告書は近々 WMO から刊行されるはずである。その中では、ワークショップの中での議論の総括と共に、このワークショップが非常に有意義であったことと、この様な熱帯低気圧の専門家の交流をこの会議だけにとどめず、常設的な委員会を WMO のもとに作り組織化する事を WMO に要望している。上記の WMO の報告書には、ワークショップで討論された学問的内容を充分含められないので、その部分は別の形で刊行されることが企画されている。編集委員長にはアメリカの R.L. Elsberry があたり、熱帯低気圧に対する現在の知識の集大成という形で再構成して民間の出版社から発行される予定である。

会議の内容が多岐にわたるので日本から参加した3人が、それぞれ興味深く思った事を述べる事で、この会議

\* Reports of the International Workshop on Tropical Cyclones.

\*\* Takeo Kitade, 気象庁予報部数値予報課

\*\*\* Masaru Shimamura, 気象庁予報部予報課

\*\*\*\* Masanori Yamasaki, 気象研究所台風研究部

の報告としたい。

## 2. 研究面について

山嵜 正紀

対流雲の効果をパラメタライズした熱帯低気圧（以下 TC と書く）のモデルが提案されてから20年になる。軸対称バランスモデルによる研究をスタートとして、その後のプリミティブモデルによる研究、1970年代に入ってから3次元モデルによる研究が行われ、さらには予報モデルの開発へと発展している。一方、TC と対流雲のメカニズムの理解を目的とした研究も既に10年になる。TC のメカニズムを見直し、対流のパラメタリゼーションを改善することによって新たな TC モデルが作られ、それをういた研究も始まっている。このような流れに対応して、観測及び解析面からの TC の理解も少しずつ変わってきている。

今回のワークショップでは、これまでの研究で得られた結果をとりまとめ、今後の研究の方向を探り、さらには予報技術の改善に資することをひとつの目的とした。ここでは、研究面のいくつかの問題を紹介し、研究の動向を述べてみたい。

TC に関する解析的研究としては、近年個々の TC の発生過程の詳細な研究は少なく、気象衛星からの雲の特徴と TC の発生や強度の関係を論じた Dvorak の研究が重要で、今回の報告の中でも多くの人たちの興味をひいた。近年数値モデルによる発生の研究も行われているが、観測からの特徴を再現できるもの近いと思われる。

TC の発生を気候学的に論じた Gray の研究も今なおひろく引用されている。Gray が重要と考えている6個の季節発生因子の意味づけは発生メカニズムの理解と共にさらにはっきりさせていくことが必要であろう。

TC の発生に対する上層の場の重要性は古くから論じられてきたテーマであるが、今なお明らかにされていない。今回の報告では、上層の吹き出しの型、とくに吹き出しが1つまたは2つのジェットという形で集中するという特徴もっていることが、TC の発生、発達に重要であるという結果が強調された。北半球の台風の場合、南半球の高気圧が台風の吹き出しの赤道方向への流れを強める場合や、中緯度の長波の谷が台風の北西側にきたときに高緯度方向への吹き出しを強める場合とが典型的な例とされている。上層発散を強めるこのような上層の流れの役割のほかに、寒冷核型低気圧の役割 (Shimamura, 1981) などについても、数値モデルを用

いた今後の研究が望まれる。

近年とくに注目すべき研究の発展は、TC の発生に数十日という周期がみられるという指摘である (Gray, 1979)。この変動は、よく知られている40~50日周期 (及び15~25日周期) の季節内変動と関係をもっている (Nakazawa, 1986)。さらに ENSO や QBO との関係についても研究が行われている。これらの研究は、TC もの発生のメカニズムを明らかにするうえで不可欠であろう。

発達した TC の巨視的構造については古くから多くの観測があり比較的良好に知られているが、スパイラルレインバンド (降雨帯) の構造やメカニズムについてはまだよくわかっていない。今回の報告で Willoughby はレインバンドを停滞性 (TC 中心に相対的に) のものと伝播性のものに大別し、後者を、何らかの不安定 (熱放出など) による重力波として解釈している。このような説明は、3次元モデルを用いた Anthes (1972) らの研究以来いわれているものであるが、観測されるレインバンドの伝播速度はあまり速くないし、Tatehira (1961) の解析や近年の観測 (Ishihara *et al.*) からの構造も重力波的でない。一方、停滞性のバンドについては、流体力学的不安定によるというよりは、非対称な摩擦や熱、ベータ効果、一般流のシアなど非対称な強制力が重要ではないかといっている。こまかい格子を用いて対流を記述した TC モデルからの結果はこれらの解釈 (とくに前者について) と異なっている。観測からのレインバンドの解明は、降雨の予測という面だけでなく、TC モデルを改善していくうえでもとくに重要である。

TC の強さや大きさ、構造を論ずるとき問題になる量としては、中心気圧、最大風速、暴風域や強風域の大きさ、最大風速の位置、眼の大きさなどがある。今回の報告では、'intensity' と 'strength' および 'size' という3つの量を重要な量として定義し、観測面からそれらの関係について示された。中心気圧があまり変化しないのに強風域が拡大したり、外域の風はあまり変わらないのに中心気圧や中心近くの風が大きく変化するのはよくみられる。メカニズムの解明という意味では、最初にあげたいくつかの要素にたちもどって、これらの間にどういった関係があるのか、またそれらはどのような条件によって決まっているのか、を明らかにする必要がある。数値モデルでは、最大風速の位置の変化や初期状態への依存性などある程度の理解は得られているものの、強さや大きさの変化の予測という点では研究はあまり進んでいない。

TCの移動に関しては、理論や数値モデルからの研究は少なく、ロスビーの北向きドリフトの解釈、蛇行に対するマグナス効果、一般流の方向からの摩擦による偏り(Kuo, 1969)の理論の妥当性など、古くからの基礎的な問題はまだまだよく理解されていない。また、大規模な流れが鉛直シアや水平シアをもっているときの移動の問題をはじめとして、多くの問題が今後の研究として残されている。移動の問題は予報上重要なことから、今回のワークショップでも、今後もっとも力を入れていくべきテーマのひとつとしてリコメンデーションに入れられている。

### 3. 数値モデラーの立場から

北出 武夫

熱帯低気圧(TC)の振舞や構造を数値モデルによって研究することはTCの研究の大きな部分を占めるにいたっている。このテーマは会議では独立したトピックとして取り扱われたが、他の構造や移動の議論においても数値モデルによる結果や方法論が議論の対象となった。これらの議論の参加者は数値モデリングに対する態度によって3つに分類される様に思われた。1つは数値モデルの結果は実際のTCをかなりよく表現しており、それによってTCという現象の理解がかなり得られていると考え、その予報についても将来の向上を確信している人々であり、もう一方は数値モデルで再現される事は単なる作り事であり、実際の気象中における現象は非常に複雑で、その物理的理解はこれからのより細かい観測と解析を待たなければならないとする人々、別の人々は実際のTCの予警報に従事しており、数値モデルがよりよい予報の資料を与えてくれる事を望んでおり、どちらかという過剰とも思える期待を持つか、まったくあてにならないとする人々である。そういった人々が一堂に集まって議論しあった訳であるが、議論のかみあわないところもあったが、様々な角度から繰り返して議論することにより、それなりの交流がなされたと思われる。

数値モデリングの分科会の中で議論された事のうち印象に残ったものを列挙しよう。アメリカの地球流体力学研究所(GFDL)のKuriharaは、主に彼等の最近の細かい解像度を持つ数値モデルを用いて、TCが島に近づいた時にその地形によってTCがどの様に振る舞うかを詳しく解析した例を示し、数値モデルによる予報の可能性を皆に示し、積極的に数値モデルの擁護論を展開したのが印象的であった。

Anthesは数値モデルによるTC予報の誤差が、何によって起こるかの定量的評価の問題提起を行った。TCの進路予報に関しては、初期の解析場の誤差が全体の72時間予報誤差の70%を占め、差分による誤差やモデルに含まれる物理過程のパラメタリゼーションの誤差の全体の予報誤差への寄与率は、それぞれ10%と20%と評価した。一方TCの強さの72時間予報に対しては、物理過程のパラメタリゼーションによる誤差寄与率が大きく、全体の50%、初期値の誤差が40%、差分誤差によるものが10%と評価した。これらの評価は単なる主観的なものに過ぎないが、おおむね妥当なものと考えられ、これからのTCに対する数値予報モデルの改善には、初期場の解析の精度の向上と、物理過程のパラメタリゼーションの改善が不可欠である事を示唆している。

TCの予報に対する初期場をいかにして得るかという問題は重要な問題として議論された。特に低緯度では観測データが充分得られないので、初期場でのTCをいかに表現するかが難しい。この場合、気候学的なTCに対する知識を利用して、標準的なTCをモデルの初期場にはめこむ事が考えられている。衛星写真や飛行機観測のデータを取り入れて、TCのサイズや強さを決める方法が行われている。しかし、TCの非対称性や一般場との相互作用を、どのように初期場に取り入れるかが重要な研究課題として指摘された。また、初期場の初期値化の問題も、データの不足とからんだ困難な問題として討論された。

物理過程のパラメタリゼーションに関連して、積雲対流の効果をパラメタライズしないでそのままモデルの中で記述するYamasakiらの行っている数値実験が、TCの振舞の理解に大きく寄与しており、将来的にもこれらの研究の重要性が指摘された。これらのモデルは、積雲セルに併う下降流や雲の中の雲物理過程が、TC等の大きなスケールの擾乱に重要な役割を果たしうることを示している。

### 4. 予報官の立場から

嶋村 克

今回のワークショップに予報現場で働く予報官として参加した。その立場から、技術的側面の問題点や技術開発の動向の中から特に印象に残ったものを若干述べてみたい。

TCの総観的・統計的進路予報の現状もかなり詳しく分析された。

いわゆる指向流の概念の正当性は認められたが、二・三の問題点も指摘された。指向流を求めるのに、熱帯ではジオポテンシャル高度より風を用いる方がよいが、統計的回帰式などを用いようとすると、風の historical data が不十分である点に問題があること、格子点に展開した資料を利用する場合、緯経度方向に格子点を展開すると、指向流が弱めに出て予測が遅くなる傾向があり、TC の移動方向に合わせて格子点を展開する方がよいことなどの指摘があった。

統計的方法は、近年手法が高度化された割には、予測精度は頭打ちとなっているといわれている。その最大の原因は、特に5~15度の緯度帯における、客観解析の精度の悪さにあること、この問題の打開策として、衛星や飛行機観測の資料の高度な利用技術（後述）の開発と、解析手法そのものの開発が重要であることが強調された。

またよくいわれるように、TC の現在と過去の中心位置と移動ベクトルの解析精度が、持続 (persistence) 予報や統計的進路予報に大きく影響することが再三指摘された。これに関連し、中心位置の短周期変動を除去する新手法（後述）の紹介が目玉された。

統計的予報法で用いる各予測因子の相対的重要性は、海域によって異なるようである。また各海域における統計的予報精度から予報の難易度を比較すると、オーストラリア周辺は大西洋より難しく、東太平洋と北インド洋は容易であることが示された。これは客観解析精度が海域で異なることのほかに、不規則な移動をする TC の多い海域ほど統計的予報の精度が悪いことに起因しているようである。不規則な移動をする TC に対する特別の配慮の必要性が強調された。これに関連して、数値予報は、定量的には不十分ではあるが、この不規則移動を起こす総観場の前兆を示すことがある点が指摘された。この前兆を予報官が早く察知することは、現状ではかなり大切であるようだ。また北西太平洋域は、この不規則な移動（複数個の TC の相互作用も含めて）をする TC が多いことも指摘された。

一般に12~24時間の予報は、持続性予報・統計予報の精度がよく、48~72時間と先になる程、数値予報が相対的に精度がよくなるが、これは世界的傾向であることを確認した。この両者の長所を生かして予報を組み立てる方策が論じられた。

数値予報も含めて客観的予報法はすべて一長一短があり、万能の予報法は皆無であるので、各予報法の結果を

検証し、状況別に誤差特性を求めることの大切さを改めて痛感した。

強度と構造の変化の予報は、特殊な場合を除いて、今のところこれといった決め手がないことを再確認した。ただこれに関連し、TC の盛衰を中心気圧（と最大風速）で見ただけでは不十分であると指摘されたことは重要である。中心域の強さ (Intensity) 以外に、暴風域全体の風の強さ (Strength) と強風域の広さ (Size) に注目すると、この内 Strength と Size は相関が高いが、Intensity と Strength や Size との相関が小さいとの調査結果が示された。日本は台風のこれら3要素を解析としては取扱っているが、独立した被予測要素として、さらに明確に意識する必要がある。

TC 予報への気象衛星の果たす役割が、予期した以上に大きくクローズアップされた。

中でも注目されたのは、衛星資料の総合利用による指向流や数値予報初期場解析の技術開発（米国、ウィスコンシン大）である。これは雲や水蒸気場の特徴の追跡から求まる上・中・下層風や VAS (Vertical Atmospheric Sounding, 静止衛星搭載) や TOVS (軌道衛星搭載) から得られる鉛直温度分布（これから得られる傾度風）などを他の資料と共に用いて、指向流場や初期値場を総合的に解析するシステムの開発で、これによる数値予報結果も示された。

衛星画像を用いるものでは、6.7  $\mu\text{m}$  (水蒸気吸収) 帯の画像の動画から、上層水蒸気パターンの変化を把握し、TC の進路予報に利用する方法 (Dvorak による) が注目された。亜熱帯高気圧の位置・強度・構造の変化をみるのに、このチャンネルの画像が有効であると思われ、今後の GMS への搭載の要望が出された。

なお、衛星画像の雲の特徴を人間が解析し、数値予報の初期値場の解析に役立たせようとする姿勢が、特に米国の開発担当者に見られた。

さらに中心気圧や雨量測定のためのマイクロ波センサー資料など新資料と、その解析手法の開発に期待が集まった。

気象衛星と並んで、飛行機観測にもいくつかの興味ある動向がみられる。

飛行機観測の自動化と衛星経由のリアルタイムデータ伝送機能を駆使した、米国の新観測システムが紹介された。これによると、TC 観測航路上の風・気圧 (高度) の詳細な資料を予報現場でリアルタイムの使用ができる。これを使うと、中心から 100 km 程度外側の等圧線

から中心位置を決めることにより、コア領域の実際の気圧中心や、衛星レーダーによる中心にみられるトロイダル運動などの短周期変動を除去した、安定した移動が得られ、この情報が進路予報精度向上に役立つことが、上陸時の具体例と共に示された。

飛行機からドロップゾンデを多数落とし、取得データを衛星経由で解析センターに伝送してリアルタイムで利用するシステムも米国で試験中である。こちらはTC周辺の総観場解析の精度向上を目標としており、数値予報の改善例も示された。

飛行機観測資料利用の解析的調査が、最近米国コロラド州立大学で始められていることに注目する必要がある。コンポジット手法により、種々の層別化された状況下のTCの構造に深く立入っており、この有望な資源が日の目を見つつある。

レーダーも地上・航空機搭載両面でデジタル化とドップラーレーダー化が進んできた。

今回のワークショップでは、このようなTechnologyの発展が、数値予報の開発とともに、最近のTCの予報精度の高原(Plateau)傾向を打破する車の両輪としてハッキリ認識することができた。またTechnologyの発達には、異質で非同時の多くの観測資料を生む。TC予報のための4次元同化解析手法の開発を準備しておく必要性を痛感した。

最後に、今回のワークショップでは、予報業務面の収獲も少なくなかったことと、ここで述べたような先端技術の途上国への技術移転の問題や、研究者と予報官との間のギャップ解消策などについて突込んだ議論もでて、有益だったことをつけ加える。

## 第13回(昭和61年度)日産学術研究助成候補の推薦募集

### 1. 助成の趣旨

自然科学を主とする学術の有意義な研究であって、先駆的かつ独創的なもの、また学際的なグループによって行われるものに対し助成を行い、わが国の基礎学術の向上、進展に寄与しようとするものであります。

### 2. 助成対象研究分野

助成対象を資源・エネルギー、環境の分野の基礎研究および応用研究とし、本年度は当該分野のうち次のような研究を期待します。(省略)

なお、極めて創意性に富むもので、これを実証する研究業績によって将来の発展が見込まれる萌芽的研究に対しては一般研究助成(B)とし、また必ずしも実験を伴う研究のみでなく、いわゆるソフトの研究に対して調査研究助成として扱います。

### 3. 助成対象の研究者

貴学(協)会に関する自然科学分野の研究に従事しており、1~3年を要する上記の研究を行おうとする研究者および研究グループで、その研究成果が学術の進歩、発展に貢献する所が大きいと思われるもの。

### 4. 研究助成金額と助成件数

一般研究助成(A)は研究期間が長期にわたる研究、学際的グループ研究等で、助成期間は2~3年、総額約2億円、10件程度。一般研究助成(B)は極めて創意性に富む萌芽研究で、助成期間は1年、総額約4千万円、15件程度。調査研究助成は総額1千万円で3件以内。

### 5. 推薦件数

助成区分を通じ1学・協会より1~3件とします。

### 6. 推薦者

学・協会の代表者とします。

### 7. 推薦手続

所定の推薦用紙に必要事項を記入し、当財団あてに1部をご送付願います。

### 8. 推薦締切日

昭和61年11月10日(月)

詳しいお問合せは下記にお願い致します。

〒100 東京都千代田区麹町 4-5

日本気象協会中央本部

Tel. (03) 295-1521

竹内 清 秀