

WMO気象衛星セミナー (東京 1964.11.27-12.8) に ついでの報告 (1)*

鈴木 弥 幸** 島 田 健 司***

1. 気象衛星の開発経過と将来計画

気象学は除々に発展してきたものではなく、階段状に発展してきた。古くは気圧計、温度計の発明、凧の採用等、近くはレーダーの採用によって気象学は飛躍的に進歩した。それ以上の飛躍が気象衛星には期待される。気象衛星によって地球表面の全域をメソスケール程度の細かさで観測することができ、観測についての2つの基本的要求、extent と detail のいずれも最高度に満されている。これを解析し、理論を作り、予報という手段によって理論を確め、いずれは weather control に大きな役割を果すことになろう。気象衛星を次のように分けて考えることができる。

(1) ロケット これについては衛星を適当な高さ、700~1000km の高さに打ち上げることと、適当な軌道に乗せることが問題になる。軌道は inclined orbit, pole orbit, equatorial orbit の3種類に分けることができる。TIROS I~VIIIは inclined orbit であって、軌道面と赤道面のなす角はI~IVは48度、V~VIIIは58度である。これらの場合はCDA (Command and data acquisition) station (後述)を2箇所に設けても衛星が地球を1周する間に必ず1回衛星と連絡をとるということはできない。NIMBUS Aは pole orbit であり、軌道面と赤道面のなす角は80度である。これは、衛星がある場所を通過する時刻、真太陽時はいつも同じであ

り、sun synchronous orbit ともいう。equatorial orbit は通信衛星シンコムに採用されたもので、このような気象衛星を将来上げる計画がある。赤道上3万6千kmの上空に打ち上げるもので、衛星は地球の自転と同じ速度で地球の周囲を廻転し、衛星は赤道上に固定しているように見える。すなわち earth synchronous orbit である。これによって地表の定まった区域を連続的に監視できるようになる。

(2) 衛星の本体 この主要部分を、電源、stabilization、通信部分、感部等に分けることができる。

電源 NIMBUS はその両側に張り出した太陽電池を張りつめた板が常に太陽の方に向くようになっていて、大きな電力を得ることができる。またその太陽電池には途中で計画を変更し高空核爆発の実験による核放射の影響を防ぐために強い被膜を用いた。将来は原子力を電源に使用することも考えている。

stabilization これには spin stabilization と earth orienteation の2通りがある。TIROS は前者であって、その自転軸は常に宇宙に固定した方向に向っており、NIMBUS は後者であって、その感部は常に地球の方向を向いている。地球の方向に向けておく方法には2通りある。一つは gas jet と wheel によるものであり、この方法は NIMBUS に用いられている。もう一つは gravity gradient による方法である。すなわち衛星の本体から200フィート程度の棒を出してその先に感部をとりつける方法である。月がぎまった面を常に地球の方向に向けているのも gravity gradient に基く。これはいずれ equatorial orbit において試験されよう。

通信部分 通信内容は観測結果の送信、衛星内の情報の送信、衛星への指令の受信の3つに分けることができ

* The Report on the Inter-regional Seminar on the Interpretation and Use of Meteorological Satellite Data, Tōkyō, 27 November-8 December 1964

** Yakō Suzuki, 気象庁観測部測候課

*** Kenji Shimada 気象庁予報部予報課

—1965年3月1日—

る。

感部 衛星で地表の状態を観測できる唯一の手掛りは放射である。(放射は可視域, 赤外, 紫外に分けることができる)放射計の開発は3つの段階に分けることができる。第1の段階はスペクトラムを解釈するための物理的な原理の研究, 第2の段階はそれらのスペクトラムを測定するための器械の開発, 第3の段階は衛星からの情報を気象に利用できるように交換することの検討である。

衛星にはこれらのほかに, ビーコン, 太陽感知器, 水平線探知器等の器械が積まれている。

(3) CDA station 今までのところ, Fairbanks (Alaska), アメリカ合衆国の東海岸と西海岸の3ヶ所に設けられている。これらの station の役目は, 衛星に指令を送ること, 衛星からの信号を受けること, 受けた信号を気象に利用できるようにすることの3つである。

(4) 利用 衛星によって得た資料を如何に利用して行くかという問題で, これが, このセミナーの主題である。

次に現在までにあげられた気象衛星について特記しなければならぬ事項を説明する。

TIROS I; 1960. 4. 1-1960.6.19. カメラ2台(視野104度, 12.7度), Bergeron, Bjerkness らの温帯低気圧モデルそのまゝの雲の分布を実際に確かめることができた。

TIROS II; 1960.11.23-1961.10? カメラ2台(視野104度, 12.7度), 放射計(走査型)による測定に成功した。

TIROS III; 1961.7.12-1961.10.13. カメラ2台(視野104度), 放射計(走査型, 広域型, 半球型), ハリケーン, 台風を多数撮影した。

TIROS IV; 1962.2.8-1962.6.10 カメラ2台(視野104度, 76度), 放射計(走査型, 半球型), アメリカとカナダが協力してセントローレンス湾の海水の調査を行った。

TIROS V; 1962.6.19-1963.5.4. カメラ2台(視野104度, 76度), これまでの TIROS の軌道面と赤道面のなす角は48度であったが, それを58度にし, 極に近いところの観測もできるようにした。

TIROS VI; 1962.9.18-1963.9? カメラ2台(視野104度, 76度), 宇宙飛行士の着水域の気象調査に利用した。

TIROS VII; 1963.6.19-1964.10 現在作動中, カメラ2台, 走査型放射計の channel 1 (波長6 μ のH₂O

の吸収帯を測定する)の放射計を15 μ のCO₂の吸収帯を測定する放射計にかえた。これにより高さ20km程度の成層圏の平均温度を測定し, 成層圏の温度が1964年1月下旬カスピ海付近で急上昇した事実もつきとめた。channel 2は8~12 μ , (大気によってほとんど吸収されない波長域), channel 3は0.2~6 μ (地表によって反射された太陽光), channel 4は8~30 μ (地表からの長波放射), channel 5は0.55~0.75 μ (TVの感度の最もよい波長域)で, これらは, TIROS II, III, IV, VIIとも同じである。また TIROS VIとともに地球全域をおろすことができるように打ち上げた。

TIROS VIII; 1963.12.21-1964.10 現在作動中, カメラ2台。これによって APT の試験に成功した。

NIMBUS A; 1964.8.28-1964.9.25. HRIR, AVCS, APT の3種類の測器を積んだ, 極軌道。極軌道のために極地方は1日10数回観測される。南極の氷の写真が多数, セミナーの席上で示された。NIMBUS は TIROS より3つの点において優れている。

a. TIROS は電源が小さいので(20ワット)塔載測器が制限されるが, NIMBUS は電源が大きく(400ワット), レーダーを積む余裕さえある。しかし, レーダーは地上エコーと気象エコーの分離の困難等の問題がある。空電探知器は望みがある。200km²程度の解像度で空電を探知し, 正確な場所は写真で判定するという方法である。

b. TIROS の自転軸は宇宙に固定しているために, 地球に対して動き, 自転軸の方向を撮影するように取り付けられたカメラは宇宙の方向を向いてしまうこともあったが, NIMBUS の測器は常に地球の方向を向くように, NIMBUS 全体の方向, 姿勢が制御されるようになっている。NIMBUS の姿勢の測定には, NIMBUS の両側についている, 大気によって吸収されない波長4 μ の放射計を利用し, これを両腕を振り廻すような形で振り廻して地平線の4点を押え, これらの4点が NIMBUS を通る鉛直線について対称になるように NIMBUS の姿勢を制御する。このため地平線付近に非常に低温の雲があったりすると雲の部分を宇宙と間違えるために, 衛星は動揺する。このため, 波長15 μ のCO₂の吸収帯を利用する方法も考えているが, 感部がむずかしい点で問題がある。

c. TIROS は測器一つ代えるためにも衛星全体の設計をかえなければならなかったが, NIMBUS は電源や姿勢制御の部分と測器の部分が独立しているため, 部分

的な改造が容易である。

次に NIMBUS に積まれた3つの器械について説明する。

HRIR (High Resolution Infrared Radiometer). NIMBUS の下面には、大気の吸収を受けない波長 4μ の放射を測定する放射計が取り付けられており、この放射計の前面には鏡が取り付けられている。この鏡は回転し、廻転するにつれて、NIMBUS の進行方向に向かって右、下、左、上、右、…の方向からの放射を測定できるようになっている。従って NIMBUS は放射計を振り廻しながら進行している形になり、これによって NIMBUS からの視界内に入る地域の全部を走査することができる。放射の強い部分は高温の部分で、雲がないか、雲が低い部分に相当し、放射の弱い部分は低温の部分で、雲が高い部分に相当する。放射の分布図を描かせれば、これによって、雲の分布、雲頂の凡その高さが判る。解像力は 0.5 度、TIROS の写真と同程度で地上、 $10\text{km} \sim 6\text{km}$ 程度の間隔の格子点の温度を定量的に決定することもできる。例えば、Grand Canyon の地形を判別することもできる。受信後 $15 \sim 30$ 分には緯経線が入った写真が得られる。しかし、HRIR を有効に使うことができるのは夜間に限られる。昼間は 4μ の波長域に強い太陽の反射光が入ってくるために、HRIR によって得た放射の分布図は、解像度の悪い TV カメラによって撮影された写真のようになる。よって昼の雲の分布は AVCS で観測することになっている。

AVCS (Automatic Vidicon Camera System). NIMBUS の下面には3箇の TV カメラが積まれていて、そのうちの一つは真下を向いており、他の2つは両側を向いていて、NIMBUS が予定の高度に打ち上げられれば、これら3箇のカメラによって進行方向右側の地平線から左側の地平線までの全域を撮影できるようになっている。108秒ごとに撮影され、1軌道について $32 \times 3 = 96$ 枚の写真が得られ、これによって地球の昼間の部分の雲の分布を隙間なく観測することができる筈である。雲頂の高さを判別することができないという点においては HRIR に劣るが、雲の細部を識別できるといふ点で、HRIR を補って余りある。

APT (Automatic Picture Transmission). この受信装置は日本2箇所、沖縄、フィリピン、ガムの米軍基地の外、世界中70数箇所に設けられている。実際に NIMBUS A の APT を利用した写真を見ると4枚の写真によってインドネシアから中国大陸の北部まで隙間な

くおぼわれている。この受信装置をアメリカで始めて作った時は43,000ドルかかったが、現在は10,000ドルでできる。日本でも現在、20,000ドルでできるそうである。手持ちのラジオの部品でバラックセットを作って受信しているという話も聞いている。これによって3分毎に衛星から撮影している写真を直接受画することができる。今後 APT を常に使用できるように気象衛星を計画する。また緯経線が入った写真が受画できるようにすることも考えているし、夜間の雲の分布にも使えるようにするとのことである。

TIROS I (eye) は、NIMBUS と同じ極軌道、自転軸は軌道面に垂直、側面両側に1箇所ずつ2箇のカメラが取り付けられていて、カメラが地球の方向を向いた時に、撮影するようになっている。ただし、1つのカメラは進行方向の右側26度、もう1つのカメラは進向方向の左側26度を撮影する。これまでの衛星は実験衛星で NASA (アメリカ航空宇宙局) が担当してきたが、近いうちに気象局の管理予算で実用衛星が打ち上げられよう。その時に使用されるものはこの種類のものである。

TIROS は今後とも引続いて打ち上げられ、楕円軌道、赤道軌道、gravity gradient、測器等の試験に利用される。

2. 気象衛星資料の解釈と利用

今回のゼミナールの目的は次の2つである。

(1) synoptic, meso, micro の atmospheric mechanism が雲のパターンを特徴づけているのであれば、後者から前者をある程度推測できよう。これへの試みの幾つかを説明することが目的の一つである。

(2) Bergeron, Bjerkness らがあらゆる資料を集めて描いたモデル、また膨大な資料によって調査されつつある熱低の構造を一挙に眺めることができるようになった。そこで、これらのモデルをいかに修正し、解析や予報に利用するかを説明するのが目的の一つである。

次にこれらについて説明する。

(1) Cb, 中規模細胞の雲写真の解釈

APT や TIROS カメラによる写真にうつし出される雲や地形は、解像力の関係で、好条件のもとでも 1km が限度である。したがって、航空写真や、人間の目にうつる雲の微細構造は、衛星の写真にはみられないことが多い。たとえば、扁平な C_u が散在している所を、衛星写真でうつすと、まっくろくなり雲がないようにみえる。発達した対流に伴う数層の雲は、きわめて明かるくうつる。またうすい C_i はうつらないが、厚い C_i はう

つる。

C_b の群は、それから生じた中・高層の雲と共に、きわめて明かるくうつり、その一方の端がすどく切れ落ち、反対側の端はぼけていることが多い。すどく切れしている側は風上である。

第4図(口絵)に C_b , C_u , S_c の衛星写真を示す。上段の二つの写真は典型的 S_c なる写真である。左上の写真は一見して活発な対流を示すパターンであることがわかるが、きわめて広い地域にわたって、一様であり、一つ一つのかたまりの大きさもそろっていることが特徴である。

右上の写真では3種類の異なった細胞がみられる。“a”はオープン型の細胞で、 C_u , C_b のいずれの場合にも見られる。これは下方から強く熱せられた時に生じる細胞である。“b”はクローズド型の細胞で上方がとくに冷やされた場合に生じる。“クモ”状に見える“c”は“a”と“b”の間にしばしばみられることから、オープン型からクローズド型、またはその逆の移行期に生じる型と考えられる。

下方の二つの写真は C_b の集団をうつしたものである。いずれも、形や、並びかたが不規則であり、明かるく輝やいているのが特徴である。 C_b のかたまりの一つ一つをよくみると、一方の側がけばだっているのがわかる。これは C_b の頂上部が上層風に吹き流されているためであり、この方向は、 C_b の指向流(ふつうは700mbの風と考えてよい)と300mb~200mbの風のシャーに一致する。(Monthly Weather Review, Vol. 92, No. 6, 1964, 283-296. 参照)

(2) 熱帯における C_b と C_i の写真の解釈

貿易風帯では、よく、 C_u が線又は帯状に連なって生ずる。この C_u の線(帯)は上下のシャーベクトルに沿って生じる。ふつう貿易風帯ではシャーベクトルと運動ベクトルとは平行なので、貿易風帯に発生する雲の並び方によって風向を推測することができる。しかし、シャーベクトルが、風向とまったく異なる場合もあり、このときには雲の線(帯)は風向とは一致しない。熱帯地方で流線解析をおこなう場合、このような関係を心得ておけば、衛星写真をじゆうぶんに利用することができる。

(3) ITC と高々度の流線解析への雲写真の利用

ITC (赤道収束帯)は衛星写真には幅広い雲の帯としてあらわれる。これは非常に幅の広いことが特徴であり、東太平洋の ITC のように、活発な天気現象が、きわめて幅せまく現れる所においても、300mile もある。

ITC 上の擾乱は、このひろい雲の帯の中に、渦巻としてあらわれる。

C_i の写真は熱帯地方では上層(200mb 又は300mb)の流線解析に利用されることは前に述べたが、第5図に一例を示す。第5図の中央部では、レーウインの観測だけを見ると、一つの大きな低気圧性の渦が存在するように見える。第6図の C_i の写真からシャーの方向を読みとって、これを第5図の中に矢印で記入する。このシャーを考慮して、流線をひいてみると(細実線)、図の中央部の低気圧性の渦は前に解析されたものよりずっと小さなものであり、その東方には大きな高気圧性の渦が存在していることがわかる。

(4) 熱帯低気圧の強さ

1. 発生期にある熱帯低気圧

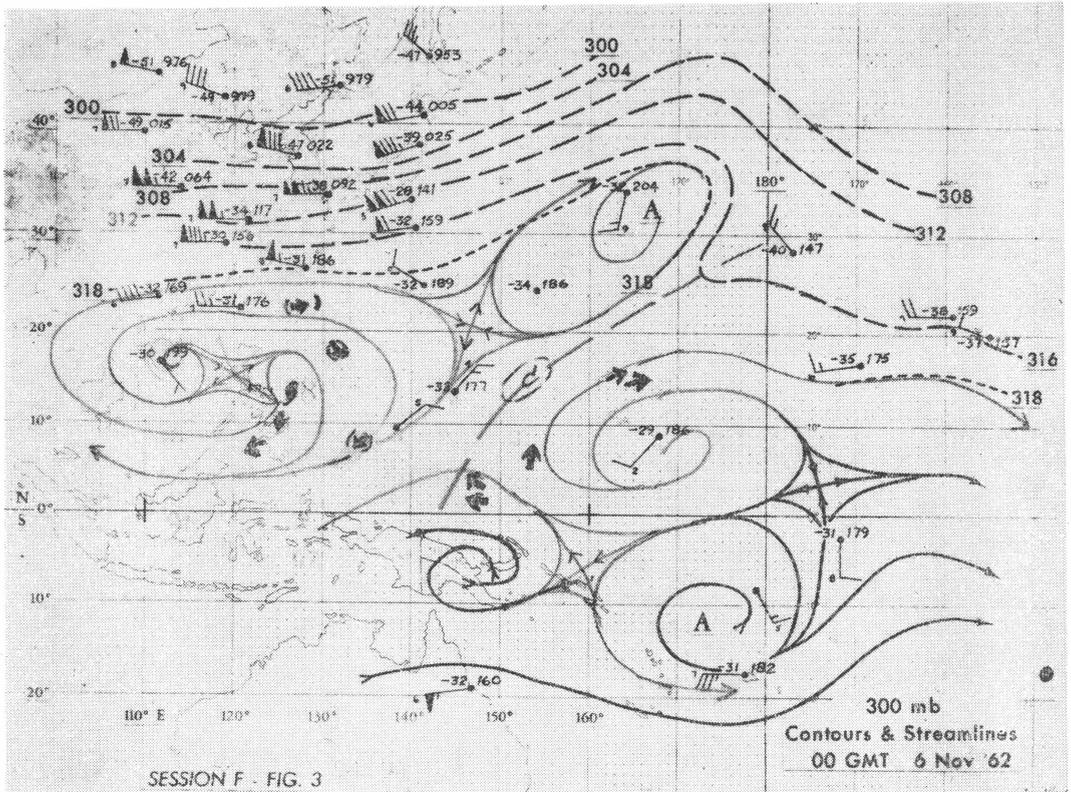
熱帯低気圧の発生期すなわち、最大風速が34ktに達するまでの期間をつぎの4つの段階にわけて考える。

(第7図を参照)

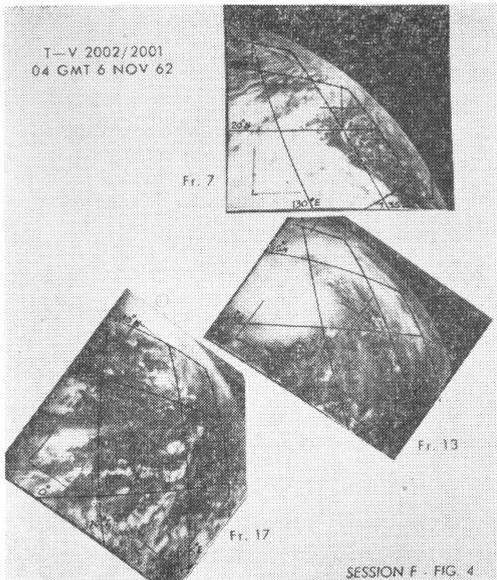
A 一段階 (偏東風波動) 地表面に閉じた等圧線は存在せず、また、流線による渦も、きわめて弱い又は存在しない。しかし、上層には、はっきりした渦がみられる。この時期にとった衛星写真にみられる特徴は、活発な対流性の雲が地表をおおっていることである。雲でおおわれた部分の形は不規則であるが、波動の軸、すなわち、ほぼ南北の方向にいくぶん長いことが多い。風速は一般には弱い、もっとも気圧の低い部分の北東方で25~30ktに達することもある。TIROSの写真では、この段階では、①渦の中心を決定することができるような、はっきりした対流性の雲の帯はなく、②発達した台風などにみられるような、上層で高気圧性に吹き出している C_i の流れもまだみられない。

B 一段階 (弱い熱帯低気圧のはじまり)

中心部の風速は20kt未達、1本以上の閉じた等圧線が描ける。中心部の循環を示すらせん状の雲が低い層にかすかにあらわれる。コマ状の雲が時にみられる。これは第7図Bにみられるように、頭の部分より、尾の部分の方が広い。渦の中心はこのコマ型の頭の部分に存在する。コマ型の雲の大部分は C_b を含む厚い対流性の雲によって構成されており、弱い熱帯低気圧の東象限に存在するのがふつうである。幅広い尾の部分は、図に見られように漸近流線に沿ってあらわれる。渦の北方で、彎曲した対流性の雲の帯があらわれることがある。この曲がり方によって、コマ状の雲の西の境界を決定できる。中心付近の風速は20ktをこえないが、コマ



第5図 300mb 流線解析 太い矢印は C_i および C_b の写真から続みとつた上層風速シャワーの方向。



第6図 台風および ITC にあらわれた C_b の写真

の尾の部分では30~35kt に達することがある。

C 一段階 (やや発達した弱い熱帯低気圧)

中心部の等速風線は 20~30kt である。B 段階の特徴はまだ失なわれていないが、渦の中心に巻き込む C_u の列は、より明瞭である。中心付近の風速は 20~30kt であるが、東半円のコマ状の対流性の雲のかたまりの中では、45kt 位の強い風を観測することもある。

中心の風速が 30kt に近づくと、中心そのものははっきりしなくなる。収束最大の場所がコマ状の雲の帯の所から、熱低の中心に向かって移動するためである。上層では中心から吹き出す流れが生じ、 C_i のすじによりその様子が示されるようになる。この時の最大風速は、熱低の中心付近で観測される。もっとも強い風は、この時期に形成されつつある“目”の東の部分に存在する。

D 一段階 (弱い熱帯低気圧の終末期から台風の初期まで) 中心付近の風速は 31~40kt。この発達段階では、上層での外向きの流れが非常に顕著になる。渦は寒気核から暖気核に変化するが、中心位置は、中層あるいは上

FORMATIVE STAGES OF TROPICAL CYCLONE DEVELOPMENT

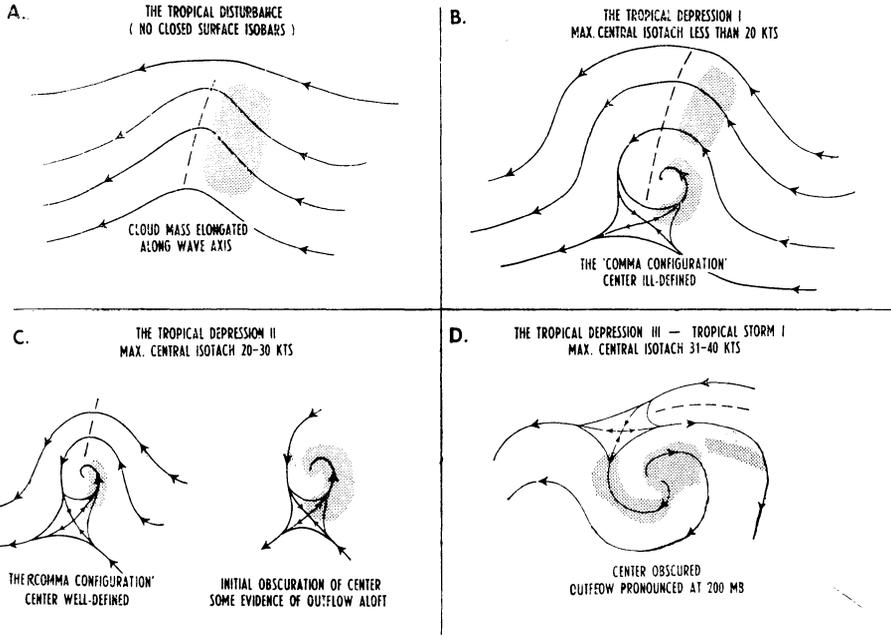


FIGURE 1 SESSION G

第7図 熱帯低気圧の発生段階

層の雲にさえぎられ、はっきりきめられない。中心部の雲塊の直径は緯度にして1~3度で、強さが増すにつれ、直径も大きくなる。中層、上層の雲にさまたげられるので、衛星写真には、「目」やそのまわりの「壁雲」が見られない。幅2度以上にわたる厚い雲の帯が何本か、渦の中心に向かい、低気圧性にまき込んでいる。大きな2本の雲帯は南西象限と、北東象限によくあらわれる。らせん状の雲の帯の上にはCiのすじが認められるが、これは、急速に強まりつつある熱低の上に高気圧が発達し、この高気圧から流れ出る気流の方向を示すものである。

つぎに実例を写真によって示そう。

第8図は発生期の各段階にある熱帯低気圧の衛星写真である。写真AはC一段階にあるもので、東象限にコマ型の雲の帯がみられるが、西象限にはうすい対流性の雲の帯がみられ、このため、うずの中心がはっきりわかる。写真BはD一段階のもので、中心部に円型の雲の塊が輝いており、うすいCiが高気圧性に吹き出しているのか見られる。下層には対流性の雲の帯が、中心に向か

って巻き込んでいる。写真Cは偏東風波動で、A一段階に属する。写真Dは、B | 段階に属する。コマ型の雲塊が北から南へ入り込み、下層にはCuの細い帯が数本みえるが、中心部には写真Bに見られるような雲塊が存在している。これは中心部で暖気核がまだ完成されていないことを示すものである。

(5) 台風 (中心付近の最大風速が 34kt 以上) の最大風速の推定

台風の発達に応じて変化する雲の模様は、衛星写真にはっきりとあらわれる。地表面における最大風速は、雲の模様と関係があるから、台風の衛星写真を分類することにより、台風の強さ、(中心付近の最大風速)を推定することが可能である。

台風の最大風速を推定するために、つぎの二つの作業をおこなう。

1. 台風の雲塊の中に、ある対称性を満足させるような円を描いて、その直径を測る。
2. 雲の帯模様 (Bandedness) の分類をする。

第1の作業手順は、つぎの通りである。まず、台風

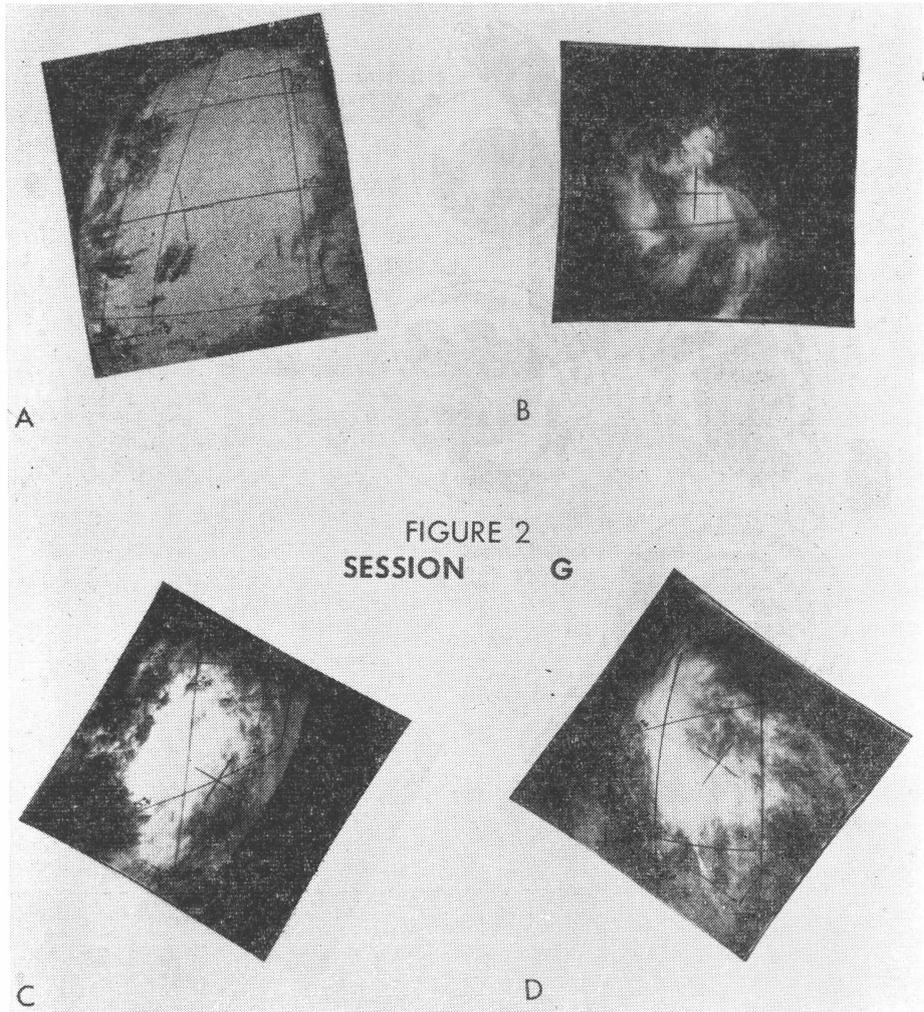


FIGURE 2
SESSION G

第 8 図 熱帯低気圧の納期段階を示す写真

よる、曇天域を雲の帯や、周辺における、雲の切れ目などと共に地図に写す。つぎに連続した曇天域（この場合幅が60海里未満であれば、雲に切れ目があっても考慮に入れない）にコンパスをあて、この曇天域に入る最大の円を描く。この直径を60海里（緯度1°）を単位として測る。30海里未満の直径は0とする。

第2の作業は第9図を標準にして雲の帯模様を5種の

うちの一つに分類する。

曇天域の直径と、帯模様の分類ができたならば、第9図の右側のグラフを用いて最大風速を推定する。たとえば、直径が7度で、帯模様の種類が③に属するならば、最大風速は100ktである。

飛行機観測や船の実況と比較してみると、精度はかなりよく、10%位の誤差である。

CATEGORIES OF INTERNAL BANDING

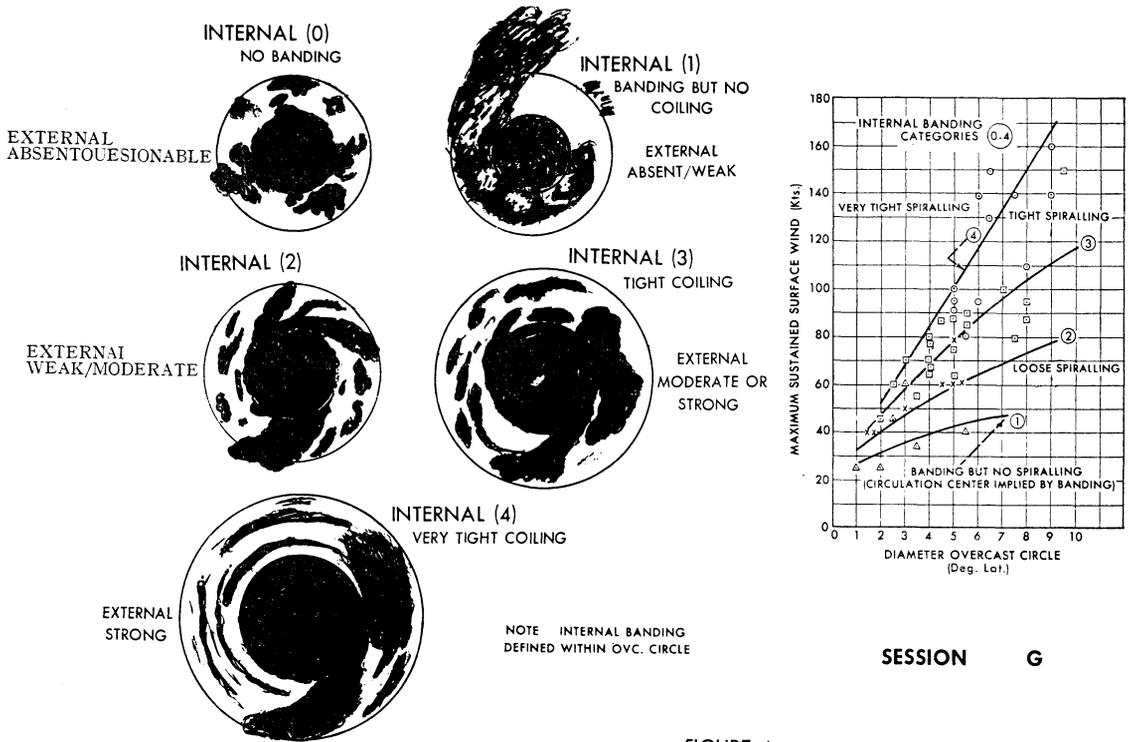


FIGURE 4

第9図 台風の最大風速を測定するための図

SESSION G

巻雲と絹雲

篠原 武次*

全国の管区気象台の観測課長が集った会議においても、また、決裁という名の官のルールにおいても、この雲形の改名については、意見らしい意見はなかったと聞いている。にもかかわらず、ジャーナリズムがとりあげたり、新聞の読者欄へ反対意見がよせられたりした。言葉はみんなのものであり、学術用語とはいえ、ファミリーなものを変えるにはそれにふさわしい手続が必要であ

る。今回の改名が官僚的だとの批判には反省したい。

これはまったく個人的な意見だが、雲形の分類に用いられている“巻・積・層”は、いずれも“巻いている”“積みかさなっている”“層をなしている”の意で、分詞形容詞とか完了体形動詞と呼ばれる役割をしている。だから、そのうちの一つだけを具象性のつよい形容詞的名詞“絹”に変えるのは分類名の統一性を乱すように思われる。

* Takeji Shinohara 気象庁観測部