

## 気象衛星の現状と利用についてのシンポジウム

(春季大会シンポジウム予稿)

会 期：5月22日(木)15時10分～17時

司 会：久米 庸孝

話題提供：土屋 清(気象庁予報)：低高度気象衛星の現状と利用

渡辺 和夫(気研台風)：静止衛星の現状と利用

関原 彊(気研高物)：気象衛星の将来計画

## I. 低高度気象衛星の現状とその利用\*

土 屋 清\*\*

## 1. 現 状

## 1.1 アメリカの衛星

アメリカが運営している低高度気象観測衛星にはエッサ・シリーズとニンバス・シリーズがある。エッサは現業用で環境科学局(ESSA)の所管、ニンバスは実験用で航空宇宙局(NASA)の所管である。

## A. エッサ・シリーズ

1966年2月1日に1号が打上げられてから現在までに9個打上げられた。9号の打上げは1969年2月26日。自動送画装置(APT)を装備したものと高性能ビデオカメラシステム(AVCS)を装備したものがあり、吾々の利用できるのは前者である。偶数番目のものがAPT用であり、奇数番目のものはAVCS用である。

今吾々が毎日利用しているのはエッサ8号(昭和43年12月15日打上げ)で6号の画質が低下したために打上げられた。2号や6号も利用はできるが画質は8号が一番良い。なお6号や2号、8号の写真撮影時間が重複する場合は8号が優先し、その間他の衛星のAPT装置は休止させられる。8号の高度は近地点約1410km、遠地点1490kmの準円軌道で、軌道傾斜角は約100度、周期114分

で、日本上空通過時刻は9時前後である。写真撮影間隔は352秒、撮影から地上で受画完了までの時間は、1枚の写真について208秒。その内訳は、起動信号3秒、位相信号5秒、映像送信200秒、1枚の写真は800本の走査線で構成され約3000km四方をカバーする。

いっぽうAVCS-ESSAの撮影間隔は260秒で、一軌道で6～12枚の写真が撮影される。この写真はアメリカのCDAステーション(指令資料収集所)で受信される。アメリカの気象衛星センターでは受信した1枚ごとの写真に電子計算機で計算しておいた緯度、経度線、地形、太陽反射点、写真中心の緯・経度、撮影年月日時分秒、軌道番号などを記入し、さらに全部の写真を電子計算機で合成して南北両半球、赤道地帯などをカバーする雲分布写真を一日一回作っている。

## B. ニンバス・シリーズ

2号の観測器の機能がだめになった後昨年5月に3号を上げたが失敗した。2号は今でも追跡用の電波(136.5MHz、350ミリワット)だけは送信していて、時々地上局からの指令でAPT写真を試験的に送ることもあるが実用にはなっていない。

新しいニンバスは1969年4月14日16時54分03秒(日本時)打上げに成功した。この衛星には改良テレビカメラ(イメージ・ダイセクターカメラ)が使われ、写真はAPT装置で送られる。夜間の高解像度放射計(HRIR)

\* Present Status of Orbiting Satellites and the Application of their Data.

\*\* K. Tsuchiya 気象庁予報課  
—1969年3月25日受理—

による写真も同じく APT 装置で送られる。また数値予報モデル確立を目的とした天気 の 3 次元構造を知るため新測器による実験観測も実施される。主な測器と実験は次のとおりである。

赤外干渉分光計 (IRIS) : 6~20 $\mu$  内のエネルギー測定。この範囲には 6.9 $\mu$  の水蒸気, 9.6 $\mu$  のオゾン, 15 $\mu$  の炭酸ガス吸収帯が含まれている。この観測資料から水蒸気, オゾン, 気温の 3 次元分布がわかる。

衛星赤外分光計 (SIRS) : 15 $\mu$  の炭酸ガス吸収帯を 7 つのスペクトル間隔で測定。スペクトルの間隔は 5cm<sup>-1</sup> なお 7 番目のチャンネルでは 11.4 $\mu$  に中心を持つ「大気の窓」領域の放射を測定する。

資料収集実験 (IRLS) : 観測気球 (USA 内でやく 6 個) や観測所 (約 20 箇所) から衛星を使って観測資料を自動的に収集する。

ニンバスでは次々と新しい大規模な実験が予定されており 1970 年に打上げを予定されているものではずっと複雑な分光計による観測, 紫外線, 太陽エネルギーモニター, 水蒸気測定などがすでに組まれている。

さらにその次のニンバスではマイクロウェーブを使う温度測定実験などが予定されている。

C. 改良型タイロス (ITOS)

実験用衛星タイロスからエッサへと呼名は変わったが衛星本体の形は 10 年間ずっと同じであった。今度大改革が加えられ, 形もまったく違ったものになる。この衛星は今年後半か来年に打上げられる。これまでの現業用気象衛星エッサと違う主な点を第 1 表に示す。

なお APT 写真の走査速度と写真の重複度は前と同じ

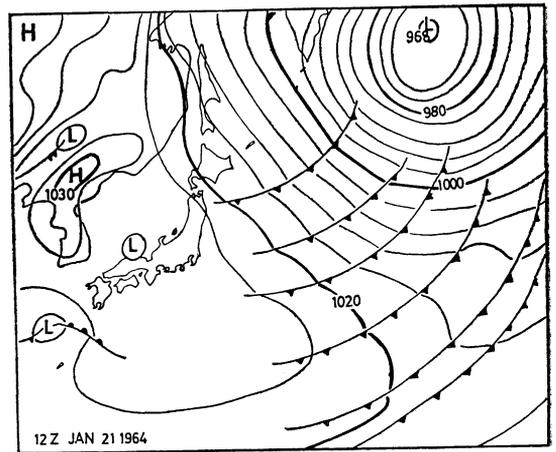
で, これまでの APT 受画装置の使用には差支えない。

1.2 ソ連の気象衛星 (METEOR)

ソ連の気象衛星観測は 1963 年のコスモス 13, 14 号で基礎実験を行なった後 1966 年から本格的に始まった。高度はアメリカの初期のタイロスと同じ 625km で, 軌道傾斜角は 81.2° の楕円形である。

測器としてはテレビカメラと 3 チャンネルの放射計 (8~12, 0.3~3, 3~30 $\mu$ ) で, 写真の解像度は 1.25 x 1.25km<sup>2</sup>, 1 枚の写真のカバーする範囲は 1000km 四方である。いっぽう放射計観測資料の解像度は 15 x 15km<sup>2</sup> で, 走査範囲は軌道に沿って 2500km 幅の地域をカバーできる。

アメリカの衛星よりも高度が低いので写真の解像度が



第 1 図 地上天気図。昭和 39 年 1 月 21 日 21 時

第 1 表 ITOS・ESSA (APT 用) のおもな相異点

|        | ITOS   |                           | ESSA  |
|--------|--|---------------------------|---|
| 写真の走査線 | 600 本  | 写真の端の方の解像度が ESSA よりも良くなる。 | 800 本   |
| 写真撮影間隔 | 260 秒  |                           | 352 秒   |
| 放射計    | 3 チャンネルの放射計・各チャンネルの測定波長範囲は, 0.52~0.73, 0.3~30, 10.5~12.5 $\mu$ 。APT 写真 1 枚送画終了後次の送画までの時間に, この一部を APT 装置で送る計画もある。 |                           | APT-ESSA にはない。ただし AVCS-ESSA にはアルベード測定用と地球からの長波放射測定用の放射計がある。 |
| その他    | 太陽プロトンモニター。太陽プロトンを 10, 30, 60Mev で, エレクトロンを 100, 750Kev で測定。   |                           |   |
| 姿勢     | ニンバスのように地心を向く  |                           | 車輪型。(放射計には不適當)  |

良くメソ現象の解析に適している。アメリカのように、一日も早く外国の研究者が自由に利用できるようにすることが望まれる。

1.3 フランスの気象観測用の衛星 (EOLE 計画)

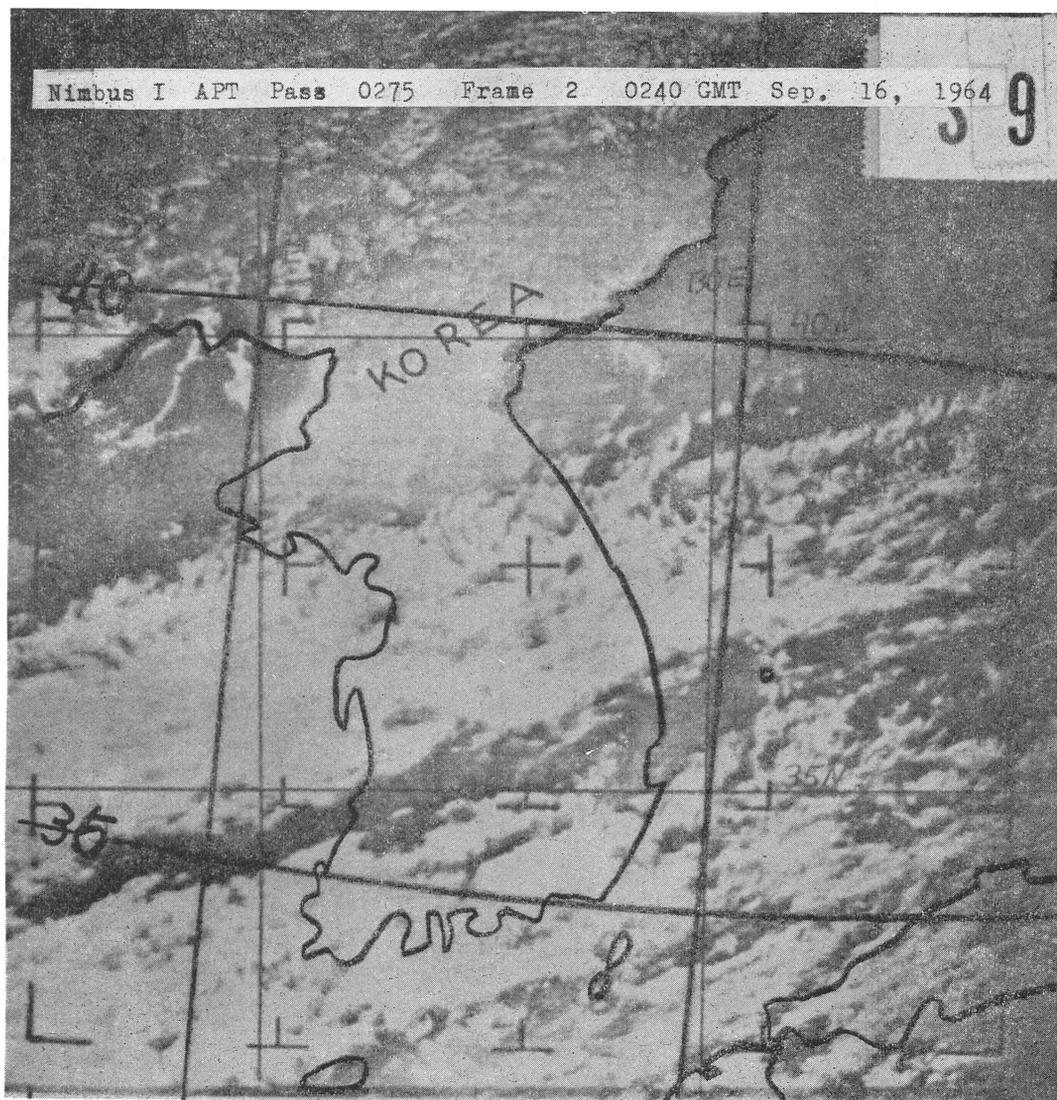
フランスはアメリカやソ連とはまったく行き方を異にし、気球、無人観測所や海洋上のブイから衛星を使って資料を集めることを計画している。この計画を EOLE-A と EOLE-B と言う。EOLE-A は南半球の大循環、EOLE-B は赤道地帯の循環を調べる目的で、EOLE-A の定圧高度気球の飛行高度は 300mb である。1969 年に

実現させると発表しているが打上げ技術などから考えて今年中の実現は疑問である。

2. 気象衛星資料の利用

気象衛星から撮影した写真や高解像度赤外放射計資料の写真表示は、自然の描いた天気図と言えよう。これらの資料は天気図解析、気象じょう乱のメカニズムの解明や天気予報は勿論海洋学、水産など利用面は多岐にわたっている。とても紹介しきれないのでその一部のみにとどめる。

2.1 天気図解析への利用



第2図 ニンバス1号の APT 写真, 昭和39年9月16日

2.1.1 前線解析の統一

「前線」ほど定義がはっきりしているのにもかかわらず、天気図上での表現に統一を欠いていたものは無かった。極端な例で恐縮ではあるが、その1例として気象庁刊行印刷天気図の昭和39年1月21日21時の天気図を第1図に示す。とにかく前線のオンパレードである。寒気のはんらんは確に一様ではなく、風のシャー線も何本もあり、気象衛星写真の雲バンドも、幅の広いバンド内に一段スケールの小さいバンドが写ってはいるが、第1図の前線は多すぎる。気象衛星写真では前線による雲バンド第3、7図に例示するように非常に明瞭に写る。気象衛星写真が利用されるようになってからは第1図のような天気図は姿を消した。これには数値予報や大循環の研究成果が現場に導入されたことも見逃せないが、一見して明瞭な写真の力は大きい。

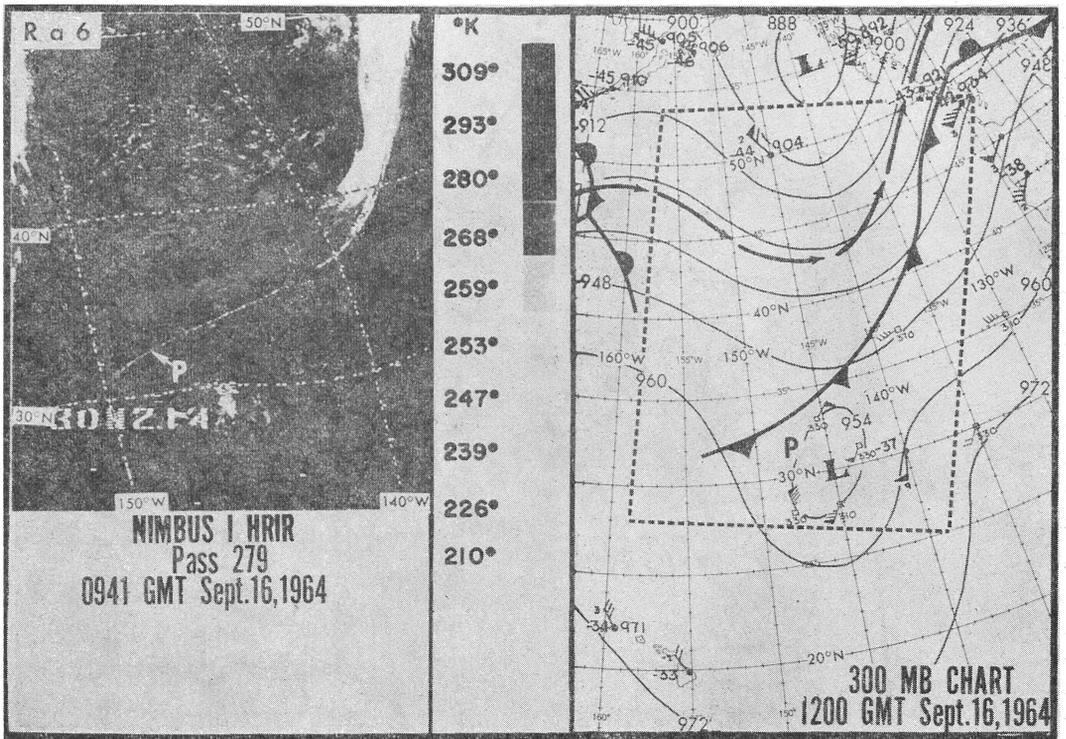
いわゆる総観スケールの天気図の解析には、現在のエッサの APT 写真は適当であるが、詳しい天気予報などにはもう少し解像度の良い写真のほうがよい。

第2図は現在の ESSA の高度の半分の高度から撮影した前線の写真である。前線に沿っての幅の広い雲バンドの中に幅数十 km の細い雲バンド、雲の上端からの吹

き出しなどを示す雲があって前線帯の雲分布の複雑な構造を示して、前線のメソ構造の研究やローカル予報などには欠かせない資料である。

雲の厚さは APT 写真でも濃淡からあるてい度推定できるが、雲の高度を知るには高解像度赤外放射計 (HR-IR) 資料が特に勝れている。第3図は東太平洋の前線の写真で色の濃淡が温度に対応している。興味あるのは右上隅から左下隅に向かって幅の広い白い雲バンドが 40°N, 140°W で急に薄くなっていることである。これはここから急に雲が低くなっていることを意味する。右側の 300mb 天気図からも上層の谷の後面で雲高の低くなるということがわかる。しかし雲の高さは低くなくてもさらに西の方へ 1000km 以上も 200~300 km ぐらいの幅の雲バンドが存在しているのは興味深い。下層に弱い収束場があり、上に逆転層や沈降域のある時にこのような雲バンドが現われるが、APT 写真では幅の広い雲バンドとして写ってしまう。

またこの雲バンドの南端の点から、北東の方向に非常に白くて (高い雲) 細い線状 (幅 20km ぐらい) 雲が北東にのびて、前線の雲バンドに連なっているが、この雲の下では強い対流現象のあることが予想される。資料が



第3図 HRIR 写真と地上および 300mb 天気図 (Nordberg による)

無いので断言はできないが不安定線と考えてもよさそうである。

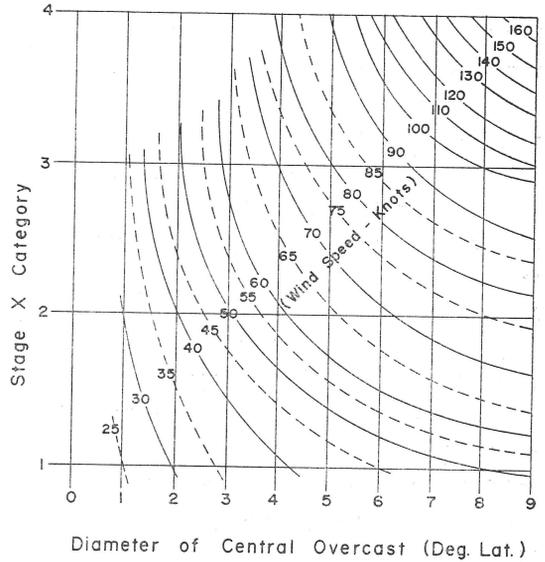
2.1.2 低気圧

低気圧の発生、発達の様も写真で明瞭にわかる。以前は日本の太平洋側を通過する低気圧はなかなか閉塞されなかったが、最近是非常に早く閉塞低気圧を描くようになった。雲分布を見ると低気圧の閉塞現象はかなり早い。

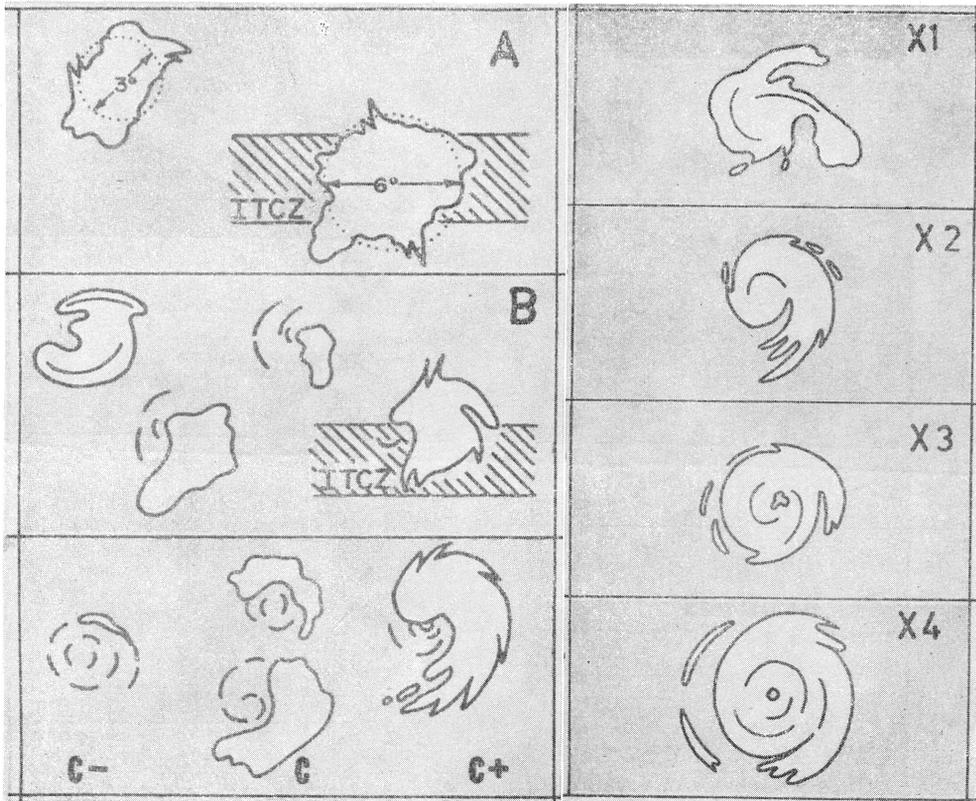
また低気圧の大きさも大きいものから小さいものまでいろいろあり、特にカムチャツカ東方では直径300kmぐらいの小低気圧が頻繁に現われる。

2.1.3 台風

台風は発生時から完全につかまえられるようになり、各発達段階に対する雲の分類もほぼ整理できた。第4図はアメリカ気象衛星センターの応用グループが整理したもので、発達の度合に応じてA、BからX4までに分類している。X1以上が日本で発表する台風の強さになったものである。さらにこのX1以上の段階に発達したもののについては、雲の直径と最大風速との間にかなりよい



第5図 台風の雲の直径から最大風速を推定するノモグラム (NESC 1965)

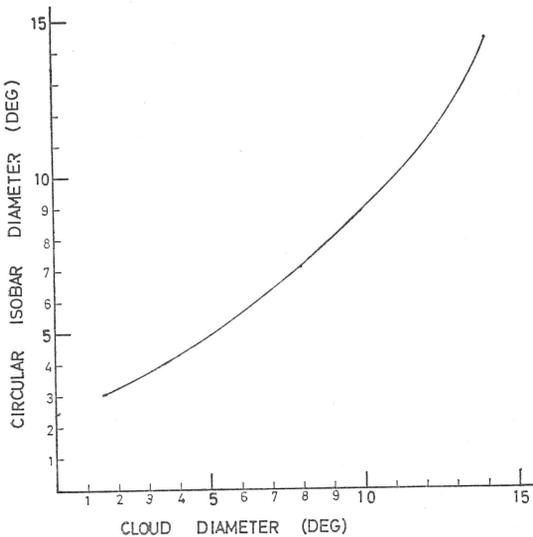


第4図 模式的に示した台風の各発達段階の雲の形。(NESC 1965)

対応が認められ、アメリカの気象衛星センターでは第5図のようなノモグラムを作った。筆者らが1966年の台風について調べた結果では、飛行機観測値との標準偏差はX1~X4についてそれぞれ8.8, 5.5, 19.4, 6.1m/sであったが少し工夫すればかなり有効に使え。例えば台風の雲の直径が6度とき、雲の型をX3にすると43m/sであるのに対してX4と判定すれば59m/sになり、その差は16m/sにもなってしまう。実際の応用に当っては、X3.5のようにすれば推定値と実測値の差はずっと縮まりそうである。

解析官が一番問題にする中心気圧の推定は、Boucherらが台風上部の絹雲の吹出しを利用して推定するノモグラムを作ったが、APT写真では絹雲の識別が困難なので利用できない。アメリカの気象衛星関係の人々に聞いてもあまり実用にはなっていないようである。

台風の大きさもよく問題になる。筆者らが雲の直径と円形等圧線(気象庁のアジア天気図上)との関係を調査した結果では、相関係数は最低気圧出現以前が0.33, 出現以後では0.67で最低気圧出現以後には相関はよくなる。第6図は最小自乗法で求めた雲の直径から円形等圧線を



第6図 雲の直径から円形等圧線を推定するノモグラム。

求める図である。

2.1.4 ジェット流

ジェット流の位置は航空気象にとって極めて重要であり、天気予報にも見逃すことはできない。Whitneyらは集中的にこの研究をしていて、彼の言によるとかなり

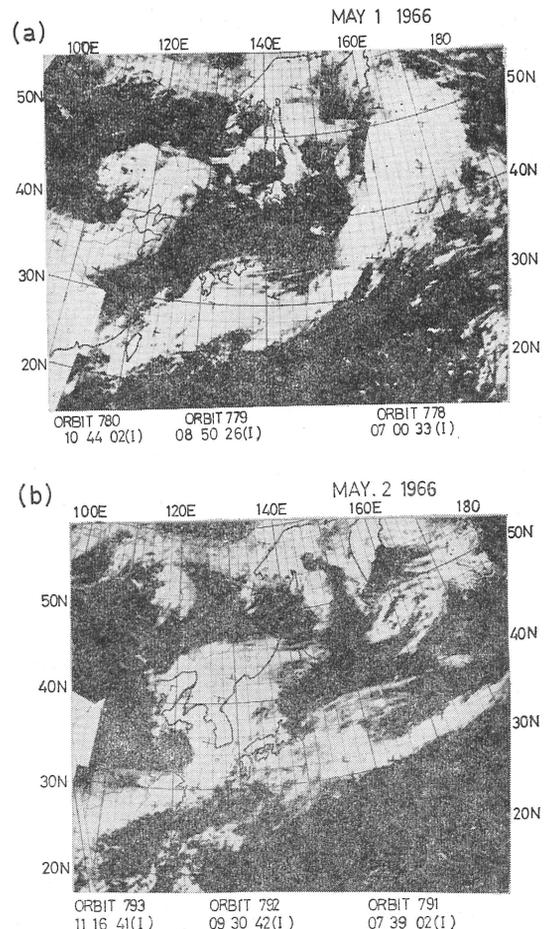
の精度で雲分布からその位置を決められるとのことである。筆者らの調査では、冬は比較的容易であるが夏は難かしい。

2.2 天気予報への利用

天気予報は、晴れ、曇、雨かを予報することだから衛星写真の利用度は非常に大きい。低気圧の後面の寒冷前線、特にそれが東西に横たわっている時には、雲分布や形にはかなりの保存性があるが、南北になるに従って変化は大きいようである。予報のうえで特に問題になる低気圧の発達については、あるてい度の経験則が見出されている。

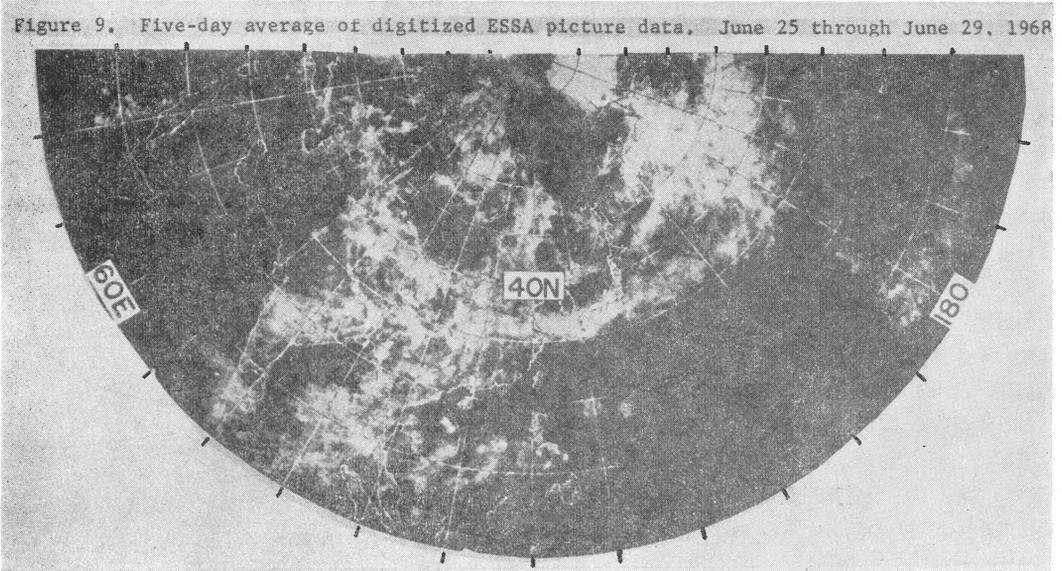
2.2.1 低気圧の発生、発達

日本の南岸ぞいから台湾の方に前線の雲バンドがあるとき、満州の方から上層の谷が近づいて来ると、台湾付

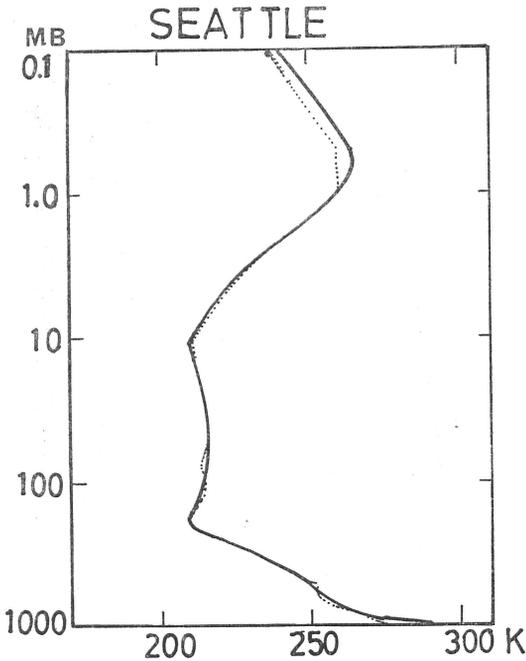


第7図 APT モザイク写真。昭和41年5月1日、2日。

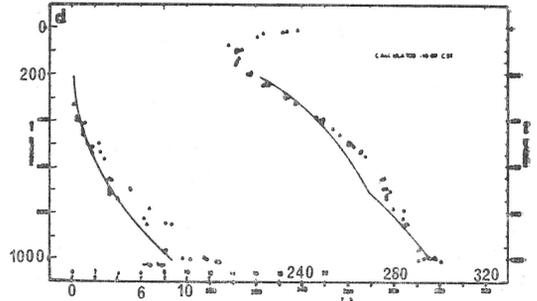




第10図 北半球の日本を中心とする半球の半旬平均雲分布図。  
昭和43年6月25日～29日 15時（地方時）ごろのもの



第11図 a. 放射計資料 (15 $\mu$  CO<sub>2</sub> バンド) から求めた温度の垂直分布, Wark & Fleming 1966による。



第11図 b. 気球につけた干渉計の測定資料 (20～5 $\mu$ , から求めた水蒸気と気温の垂直分布, Smith 1968 による。図の横軸は混合比。

前線の傾斜が非常に急であるか、雲バンドにそって強い収束——あるいは集中があると考えられる。前線が不活

発な時は雲バンドは細くすき間ができて色も薄い。このように長くてシャープな厚い雲バンドの現われる時には強いじょう乱が発生することは藤田教授の静止衛星の写真から作った映画からも確認されている。しかし第9図に示すような雨量が、いつ？ どこで？ おこるかを予報することは中規模じょう乱発生メカニズムが解明されるまでは不可能であろう。こゝで期待が持たれるのはじょう乱の発生する以前に放射計による観測資料に多量の水蒸気存在が現われることである。

2.2.3 豪雪の予報

冬の季節風時に日本海上に発生する雪雲は芸術品と言

われるくらい美しいさまざまな形ができるが、雲の形や流れの方向が降雪量の予報に利用できる。

### 2.3 気候学への利用

これまでの地球上の平均雲量はわずかな観測所の観測値をもとに推定していた。大陸はこれでも良かったが、海洋上の島などは地形の影響でそだけ雲量が多いので、海洋上の雲分布の推定には必ずしも適当でない。

衛星写真を使って光学的に時間積分したり、電子計算機内で雲の明るさをデジタル化して時間積分することにより、半旬、旬、月、年平均雲量が極めて容易に得られる。これらの資料は気候学のみならず、大循環や長期予報にとっても利用価値の高い資料である。第10図は1968年6月25日～29日の5日間の雲分布の積分値で梅雨前線（寒帯前線）が日本の南半分を覆い、さらに印度の方までのびているのがよくわかる。

さらに細かい自然地理の研究には人間衛星によるカラー写真が特に勝れている。

### 3. 直面する問題点

現在気象衛星資料利用で最大の問題点は、大気の物理量の三次元分布の推定である。気象衛星の出現は気象現象の解明に非常に貢献をしたが、同時に多くの新たな問題を提示した。その一つは気温や水蒸気量の、垂直、水平分布の推定で、放射計、干渉分光計の推定値から得られ、Inverse Problem として多くの研究者が努力している。

第11図は Wark らが経験的直交関数 (empirical orthogonal function) を使って放射資料から求めた気温の垂直分布であるが非常に良い近似である。

**結語** 以上低高度気象衛星の現状と利用についてごく簡単に紹介した。それでも与えられたページ数を大分オーバーしてしまった。気象衛星もいちおう現業に利用できることは証明されたが、今後は放射計とその資料解析法の開発が強く望まれていることを付記しておく。なおこの稿を書くに当たっていろいろ参考文献を示さなかったが、下記の論文を参照した。

### 参 考 文 献

- Albert E.G., 1968: The improved TIROS satellite, 16 pp, ESSA
- Anderson R.K., E.W. Ferguson, V.J. Oliver, 1965: The use of satellite pictures in weather analysis and forecasting. WMO Tech. Note 75, 184 pp, WMO
- Boldirev V. G., 1968: The "METEOR" cosmic meteorological system, 15 pp, WMO
- Boucher, J.B., C.J. Bowley, E.S. Meritt, C.W.C. Rogers, P.E. Sherr, W.K. Widger, 1963: Synoptic interpretations of cloud vortex patterns as observed by meteorological satellites. 149 pp, ARACON Geoph. Co.
- Morel P., 1968: The EOLE programme. 7 pp, University of Paris.
- Nordberg W., 1968: Development of meteorological satellite in U.S.A., 16 pp, NASA
- Smith W.L., 1968: An improved method for calculating tropospheric temperature and moisture from satellite radiometer measurements. Month. Weather Rev., 96, 387—396
- Tsuchiya K., T.Fujita, 1967: A satellite meteorological study of evaporation and cloud formation over the western Pacific under the influence of the winter monsoon. J. of Meteor. Soc. of Japan, 45, 232—250
- 土屋清, 保科正男, 1967: 気象衛星 APT 写真から見た西太平洋の寒帯前線・低気圧・ジェット流に伴う雲. 研究時報, 19, 61—73
- , 1966: APT 写真に現われた豪雨時の雲分布解析. 1966秋季気象学会発表
- , 伊熊聖一, 1968: APT 写真に現われた台風の雲の直径と最大風速および円形等圧線との関係. 測候時報, 35, 113—116
- 土屋清, 1966: 気象衛星—宇宙から眺めた地球の天気, 189 pp, 学芸書房
- Wark D.Q., H.E. Fleming, 1966: Indirect measurements of atmospheric temperature profiles from satellites. Month. Weath. Rev. 94, 351—362
- Whitney, L.F., A. Timchalk, T.I. Gray Jr., 1966: On locating jet streams from TIROS photographs. Month. Weath. Rev., 94, 127—138