

III. 気象衛星の将来計画*

関 原 彊**

1. 気象衛星の沿革

アメリカの人工衛星の打上げは1959年の Vanguard II, Explorer VII といった所が草分けで光電池などをのせて上層の放射測定等を行なったりしたものである。本格的な気象衛星の開発は1960年から始まった TIROS シリーズの実験により開始されたといつてよい。測定は主としてビデオカメラによる雲の撮影、可視から赤外への放射センサーによる大気放射収支観測などが主要な項目であった。この時代にはドイツの Möller 教授、日本の山本教授など世界の気象放射学の権威者が動員されてその測定項目につき意見を求められている。Möller 教授の述懐によると当時のアメリカの人工衛星当局者側からは搭載器機については何等の意見ももたず全く白紙で任された状態で、述べる意見は100%容れられたということである。この辺の事情の最近の相異については後述するが、気象衛星の飛躍的進歩をもたらした大きな要素として姿勢制御技術の進歩があげられる。

人工衛星による雲の写真がはじめて全地球的な規模で得られたときは、たしかにセンセーショナルであった。気象学はこれを契機として飛躍的進歩をとげるであろうといわれ、多くの人々が人工衛星のデータ解析にとびついた。ところが、初期の人工衛星は絶対空間に固定した方向のまわりに回転する姿勢安定方式をとっており、得られる写真がこれらを修正してつなぎ、気象学者の議論の対象となる材料が得られるまでに約半年もかかるという始末であった。そこで考えられるような華々しさはそう急には来ないといわれた時期もあった。そこで1964年に打上げられた気象衛星 NIMBUS については全く別の姿勢制御方式がとられ、衛星は絶えず真下の地表面をむくことになり、得られるデータの利用率がぐっと増すことになった。

1966年には TIROS シリーズの実験が実用段階に入り従来の NASA の行なって来た開発計画から、ESSA からの出資で行なわれる実用気象衛星 ESSA シリーズが発射した。この姿勢方式は車輪からころがる様にして進

行しつつ、ビデオカメラで雲の写真をとるもので、写真撮影という目的に問題をしばるかぎり、この方式でよいようである。この1966年には他にもう一つの重大な進歩がとげられた。それは静止衛星に伴って開発された、スピンスキャンカメラの成功により、地球全表面の約4分の1程度の20分毎の連続写真がとれるようになったことである。これは台風などの動きが映画として手にとるように見える事になった点において正に画期的であるといえる(第1表参照)

2. GARP 計画

このような技術的革新は、当然気象学の方法そのものに大きな影響を与える。そしてその動きは目下活潑にすすめられ、世界気象機構(WMO)を通じて各国の気象業務へも影響しつつある。

第2次大戦後、電子計算機の開発により気象学に数値予報という新分野が開かれ、天気予報に一大変革をもたらされているのは周知の事実である。これにより予報の問題はある境界条件、初期条件のもとに、微分方程式を数値的に解くことに帰した。そこで問題となるのは、その条件として与えるべきデータである。これは常識でも分ることだが、予報すべき期間間隔をひろげれば、それだけ広範囲のデータが要求される。現在専門家の教える所では、その期間を1~2週間にとれば、全世界の気象データが必要であるとのことである。

ところで現在の通常の観測網で蔽われている部分は、全世界の約20分の1程度で、残りの欠測の部分は砂漠とか海洋上などで、この部分を通常の観測網を延長して蔽うことは、費用、労力からいって不可能である。数年前にアメリカの数値予報学者の発案で提唱された、WWWあるいはGARP計画は、全世界の観測網を拡充して、週間予報をやろうというのが狙いであるが、その実現性の根拠は、観測網の残りを補なうことは人工衛星を使用することで可能になるだろうという見通しの上に立っている。以来この計画は1967年に開かれたGARPを目的としたWMOとICSU(国際学術連合会議)の合同委員会(JOC)の結成などを契機として、活潑に実現に向い進展しつつある。

* Future Planning of Meteorological Satellite

** T. Sekihara

—1969年3月25日受理—

第1表 アメリカの気象衛星年表

名前	打上げ年月日	軌道傾角(°)	高さ(km)	センサ
Vanguard II	17 Feb. 1959		650/3600	光電地
Explorer VII	13 Oct. 1959			黒球, 白球
TIROS I	1 Apr. 1960	48	740	ビデオカメラ2コ
TIROS II	23 Nov. 1960	48	740	ビデオカメラ2コ, 中角赤外1, 広角放射1
TIROS III	12 Jul. 1961	48	740	ビデオ2コ, 中角赤外1, 広角放射1, 無方向放射1
TIROS IV	8 Feb. 1962	48	740	同上
TIROS V	19 Jun. 1962	58	740	ビデオカメラ2コ
TIROS VI	18 Sept. 1962	58	740	同上
TIROS VII	19 Jun. 1963	58	740	ビデオカメラ2コ, 中角赤外1コ 無方向放射1コ
TIROS VIII	21 Dec. 1963	58	740	APT 1コ, ビデオカメラ1コ
NIMBUS I	28 Aug. 1964	太陽同期	1100	精密ビデオカメラ1コ, 狭角赤外1コ APT 1コ
TIROS IX	22 Jan. 1965	//	740/3000	ビデオカメラ2コ
TIROS X	2 Jul. 1965	//	740	ビデオカメラ2コ
ESSA-I	3 Feb. 1966	//	740	ビデオカメラ2コ
ESSA-II	28 Feb. 1966	//	750	APT 2
NIMBUS II	15 May. 1966	//	1100	精密ビデオカメラ1, 狭角赤外1, 中角赤外1
ESSA-III	2 Oct. 1966	//	1400	精密ビデオカメラ2
ATS I	7 Dec. 1966	地球同期	36000	気象データ伝達ファックス, スピンスキャンカメラ
ESSA-IV	26 Jan. 1967	太陽同期	1400	APT 2
ATS II	6 Apr. 1967			精密ビデオカメラ1
ESSA V	20 Apr. 1967	太陽同期	1400	精密ビデオカメラ2
ATS III	5 Nov. 1967	地球同期	36600	天然色スピンスキャンカメラ1, 高解像カメラ1, 気象データ伝達, データ収集 (OPLE)
ESSA VI	10 Nov.	太陽同期	1400	APT 2
ESSA VII	14 Aug. 1968			精密ビデオカメラ2 水平面放射

(Hael R.A. ベルゲン放射会議 (Aug. 1968) 報告より)

3. GARP における気象衛星将来計画

この様に気象衛星の GARP に占める役割は核心をなすものである。これについての計画案は、COSPAR (宇宙研究会議) の第6作業班が JOC からの諮問により行なっている。我が国からは気象庁岸保氏と筆者が参画している。以下にその内容を述べて見る。

この計画に関する議論の進め方は、将来の気象衛星を如何にすべきかという命題に対して、気象力学者から出される要求と気象衛星技術者からの解答、更に後者からの意志表示とそれに対する前者の返答、といった対話の繰返しで進められるわけのものである。ここでこの作業の前提となった JOC からの決定事項を述べると「GA

RP 計画の時期としては1973年に一応の観測網がしけるように考えること、測器の発達状況に応じ、順次年を追って観測網を充実させ、1979年に完成の目標をおくこと、次に観測の項目については、週間数値予報の初期条件を与える気象要素に目標をしばること。」である。

このような状況のもとに提出された測定すべき項目と、精度などならびに結論として答申された項目は、要約するとそれぞれ第2表、第3表の様になる。そのあらすじを述べると以下の様になる。当然風、気温、気圧の測定が主体となるが、その領域は第2表の通り、全地球、地上から10mbの成層圏にわたり、測定網の密度は約400km四方の水平メッシュ、200mbの垂直分解能が目標であ

第2表 GARP において要求される測定項目

大 気 パ ラ メ ー タ	精 度
V (x, y, p, t,) (風)	± 3 m/sec
T (x, y, p, t,) (温度)	± 1°C
q _v (x, y, p, t,) (水蒸気)	10%
P ₀ (x, y, t,) (等圧面高度) Reference Pressure	0.2%
水 平 分 解 能	400 km
垂 直 分 解 能	200 mb
水 平 領 域	全 地 球
垂 直 領 域	地表から10 mb まで
頻 度	1日1回

第3表 GARP における気象衛星測定技術の現状

測 定 項 目	衛 星 塔 載 実 験	開 発 完 成	開 発 中	概 念 段 階	備 考
1. 垂直分布測定 (赤外) 気温 水蒸気 必要測定技術形式 (気温水蒸気) GARP プロトタイプ	広帯域分光器 雲頂, 地表の放射測定 1969 (NIMBUS B-2) 1970 (NIMBUS D) 1972 (?) NIMBUS E 1973(?) NIMBUS F 発足決定後3~4年	測定は角度 分解能不充 分	検知機感度 (冷却) 50μ, 100μ, H ₂ O		気球又は飛行機で実証済み 対流圏で4パラメータ 雲頂及び地表については衛 星で実証済み 雲が問題 雲と雲の間を狙う要あり, 雲の統計資料が必要 気球で原理は実証済み, 対 流圏で3パラメータ雲の統 計資料必要うすい, シーラ スの下の測定は可能
2. 垂直分布測定 (マイクロ波) 気温 水蒸気 湿度, 水蒸気 必要技術形式 プロトタイプ	1972 NIMBUS E 決定後3~4年目	1970	現在	現在	原理は解析的に証明済み対 流圏で3~4パラメータ 雲, 雨中での伝達をくわし く吟味する必要がある 原理は解析的に証明済み, 1パラメータ (全量) 海面 上のみ有効
3. 星の光の屈折 (P 又は ρ) 必要技術形式				現在	原理は証明済み (月光屈折 を含む)成層圏のみに有効, ある密度層の高さを決定す るのに用いられる
4. 電波の屈折 (P 又は ρ) 必要技術形式	安定な送受信機		複数衛星	現在	火星ロケットで実験, 地球 については目下開発中 1973年までには間に合わず
5. 雲の移動から 風の測定 a. 静止衛星から 必要技術形式 プロトタイプ b. 低高度極円軌道 必要技術形式	高解像カメラ (現) 1971-ATS-F 1970年に可能	ATS-1 ATS-3	赤外高解像カ メラ (1970~71)	半自動的デー タ 受理 現在	原理は証明済み, 非常に高 解像が必要, 高層の雲から の赤外放射特性を知る必要 がある (高さについて) これまで多くの人工衛星で 実験済みだが精度不充分

測定項目	衛星搭載実験	開発完成	開発中	概念段階	備考
ング 必要技術形式 プロトタイプ	ここでは考慮しない				地面温度を別に測定する必要がある
13. マイクロ波による極地方氷マッピング 必要技術形式 プロトタイプ	ここでは考慮しない				原理は理論的に確立
14. 紫外線によるオゾン分布 必要技術形式 プロトタイプ	1970 NIMBUS-D ここでは考慮しない				ロケットと気球により原理は実証済み
15. データ収集システム	1968 ATS-3 1669 NIMBUS B-2 1970 NIMBUS D 1970 EOLE		IRLS EOLE		船、飛行機、ブイその他無人観測所で実験されるだろう
16. 通常観測によるデータ収集 必要技術形式 地上降水 船 自動観測所 ブイ	1968 ATS-3 1969 NIMBUS-B2 1970 NIMBUS-D 1969 NIMBUS-B2	ラヂオゾンデ	1969 NIMBUS-B2 現在 現在	現在	技術実証済み 船の位置が報告されれば容易、多分地上気圧のみ 各国で開発中、UHF又は有線により行なっているものもある 多くのものが開発され又開発中 GARP はで非常に多くのものが必要

註 地上施設については WMO の CIMO で考慮されている。その内容は

- a) ブイからのラヂオゾンデ、レーウィンゾンデのデータ
- b) ドロップゾンデからのレーウィンデデータ
- c) 商船からのレーウィンデデータ
- d) 地表からの間接測定
- e) 陸上海上の自動観測所
- f) 地上に基地を置く気象観測網の充実に関する国内及び国際計画
- g) レーダーによる降水の定量観測
- h) 商船利用の観測システム
- i) 多くの観測、パラメータに対する標準器
- j) 新しいレーウィンゾンデのシステム解析

る。これに対しあげるべき人工衛星は、赤道上にあげられた静止衛星4コと極軌道の衛星2コ、赤道軌道の衛星1コが予定され、静止衛星によってはもっぱらテレビカメラと赤外センサーにより昼夜の雲の動きを監視し、このデータからは雲を媒介とした風のデータが得られる。極軌道の衛星からは、赤外センサーによる炭酸ガス吸収帯の測定で、主として気温の垂直分布の測定が見込まれる。この測定は雲の影響を受け易いので、現在では赤外センサー程開発が進んでいないが、0.5cmの酸素のマイクロ波吸収帯の測定が有望で、出来ればこれも搭載するよう予定される。気圧の測定は今の所人工衛星による

直接測定に有効なものがないので、これは定密度層に浮遊させた浮遊ゾンデからの情報に頼る。この浮遊ゾンデは約1000コ程とばして、人工衛星による情報収集と位置決定により、風と気温のデータが得られることになっている。この役割は二つの極軌道衛星と、一つの赤道軌道衛星に与えられることになっている。静止衛星からの太陽の海面による反射光の模様は、また風のデータをも提供することになっている。極軌道の二つの衛星は又適当な赤外域の測定で水蒸気量のデータも与えることになっている。

4. 我が国の気象衛星将来計画

第4表 気象衛星開発スケジュール（昭和44年3月5日現在気象庁において予算要求中のもの）

項目 年度	衛星開発計画（I型）			地上施設整備計画	経費 （億円）
	I-1号	I-2号	I-3号		
	雲の写真撮影 地面雲頂温度の測定 （10~12μ）	雲の写真撮影 大気温度垂直分布の 測定（15μ） アルベド測定 （0.3~4.0μ） 大気放射の測定 （4~50μ）	雲の写真撮影 湿度垂直分布測定 オゾン垂直分布測定		
43	窓領域赤外センサー 開発基礎実験	赤外分光器検定装置 開発			0.09
44		基礎実験による分光 方式の決定			0.14
45	TVカメラ 塔載用センサー開発 テレメトリー機構部 開発			環境試験装置 試験用送受信装置	4.2
46		データ処理装置		データ処理装置 データ伝送装置	6.4
47	プロトタイプ		データ処理装置	CDAステーション 施設	22
48	フライトタイプ	塔載用分光器開発	塔載用分光器開発	射場用環境装置	19
49	打上げ	51年度打上げ予定	53年度打上げ予定		

備考：ロケットの開発状況及び内外技術の進展状況に応じてマイクロ波センサー開発及び静止衛星塔載機器（スピンスキャンカメラ等）の開発は重要項目として新たに入るであろう。

項目 年度	衛星開発計画（II型）		地上施設整備計画*	経費 （億円）		
	大気圏浮遊ゾンデ関係	衛星塔載機器関係				
43	耐過気圧気球開発	システムデザイン （気球位置決定方式の研究）		0.2		
44						
45	気球搭載用軽量機器開発	エンジニアリングモデル		0.3		
46						
47				プロトタイプ製作 呼出し応答測器の総合テス ト	試験用送受信装置 データ処理装置	5.6
48						
49	気球放流テスト	フライトタイプ製作		15.2		
51年度打上げ予定			* I型と共通のものを除く			

我が国においては、昭和42年にはじめて気象研究所において「気象衛星センサーの開発」という項目の特別研究が認められ、この年からはじめて5ヶ年計画の研究が開始された。狙いは赤外線センサー、特に10 μ 附近の窓領域の測定器械開発にしている。一方、昭和43年8月宇宙開発委員会発足以来、我が国でも急速にこの方面の組織拡充計画が進められ、本年10月には科学技術庁宇宙開発推進本部（昭和39年設立）を主体とした宇宙開発事業団が発足の運びとなり、我が国の宇宙開発事業もいよいよ活潑に軌道にのりつつある。

そこで今、我々の問題を考える場合に是非考慮しなくてはならない前提条件がある。それはロケットの開発状況である。これについては、現在宇宙開発推進本部が担当している。最終的には昭和48年完成を目標として静止衛星として120kg のものをあげ得る N-ロケットの開発が進められているが、現在具体的に開発途上にあるのは、それに到る中間段階のもので、高度 1000km 程度の軌道衛星ならば85kg 程度、静止衛星ならば30~35kg 程度のものをあげ得る Q-ロケットが考えられており、これは昭和46年に打上げを予定されている。

さらに各種実用衛星開発の進展状況を見ると、通信・気象・航行・測地等の中で、現在通信衛星が実用の段階

として最も進んで居り、国際的共同利用における分担金の問題などに関連して、政府の力の入れ方も最も強く、従ってさきに述べたロケット開発の当面の目標は、通信衛星の打上げにおかれている。この様な実用段階の面からは、気象は通信について二番目に位置している。

以上の背景のもとに、気象庁もこの問題に積極的前向きに対処すべきことが決定され、日本の気象衛星は昭和49年にその第1号をあげるべく計画がたてられ軌道は極円軌道、搭載器械は雲の写真を送るビデオカメラと夜間の雲のデータを送る窓領域赤外線センサーである。これはできれば映像を送る赤外線テレビカメラが望ましいと考えられる。第2号は赤外線センサーによる大気温度測定、第3号は水蒸気・オゾンセンサーといったものをそれぞれ昭和51年、昭和53年に予定されている。その手順は第4表の如く考えられている。

気象衛星において特に要求される性能は、前にも述べた姿勢制御である。NIMBUS 式か ESSA 式かは、今後の技術の発展とのかね合いで、まだ分らない。今までの話でお分りのように今後のこの分野の発展は、電気工学または機械工学などの技術者と気象測器技術者との対話、気象測器技術者と一般気象学者との対話を有効に積み重ねることによってのみ成し遂げられるものと信じる。

COSPAR 第6作業委員会報告

きたる5月11日~24日にプラグで COSPAR 総会が開催されますが、気象への応用面をうけもつ第6作業委員会ではそのとき次のような会合を行ないます。

(A) 資料の利用

1. 気象衛星のルーチン予報作業への利用 (報告者 Haupt)
2. 1968年に行われた EOLE Balloon Project (フランスの気球と衛星による上層風の観測) について (報告者 Morel)
3. 1968年に行われた Ghost Balloon Project (アメリカの気球と衛星による上層風の観測) について (報告者 Lally)

(B) GARP に対する衛星の役割

1. 1970年代における GARP に対する観測計画について (報告者 Ruttenberg)
2. JOC の GARP に対する一般計画について (報告者 Garcia)
3. WWW 計画について (報告者 Ashford)

(文責 岸保)