

GARP 組織委員会第二回会合報告*

小 倉 義 光**

1. はしがき

GARP 組織委員会 (JOC) の第一回会合については、すでに報告した*** (以下報告(1)という). JOC の第二回会合は1969年1月27日~30日, プリンストン大学の構内に建設された ESSA の Geophysical Fluid Dynamics Laboratory で開かれた. 本文はその会合の報告であるが, はしがきに代えて GARP について一言のべてさせていただきたいと思う.

GARP という言葉は次第に広く知られるようになっていられるが, GARP というものは衛星や水平探測気球やその他の方法で全地球的な気象観測をするものだという印象をもつ方がいられるようである. そのような観測をしてデータを得ること (いわゆる GARP の Global Experiment) は GARP にとって重要なことにはちがいないが, それだけではない. 大規模な天気の変動を記述し, 理解し, 予測するために不可欠な大気中の物理過程を理解することが必要なのである. GARP は本質的に大気大循環の理解を深めるための研究プログラムである. そのために, 大気境界層のマイクロ・スケールや積雲のスケールから全地球的なスケールまでのデータが必要とされるのである.

第1図は GARP 全体を模式的に示したものである. この図にある subprogramme や experiment の定義については報告(1)でのべた通りであるが, 要するに GARP はいくつかの subprogramme から成る. この中でも Global subprogramme は大規模運動を扱うもので, GARP の中でも中心的な存在をなすものである. その他の subprogramme は全地球的な観測システムの分解能よりも小さいスケールの現象を扱う. スケールが小さくとも, これが大規模運動のエネルギーの source や sink をなすから重要なのである. その意味で大気中の放射過程も重要なのである.

各々の subprogramme の中に experiment がある.

これは各々の subprogramme に必要不可欠な大規模な観測計画である. しかしこれが単に観測するものだけではないことは, 一例として Global Experiment についてのべるとおりである.

GARP Global Subprogramme に含まれるものとしては次のものが考えられている.

(a) 大循環の数値実験. 全地球的な観測システムによってどれだけのデータを得る必要があるかを定める道具として使われる.

(b) 格子間隔より小さいスケールの影響を考慮に入れた数値モデルをつくること.

(c) Global Experiment

(d) (c)で得られたデータを用いて数値実験を行い, 既存の大循環モデルが適切であるか, また各モデルによる予報の限界などをテストすること.

(e) GARP の全地球的な観測システム用のセンサーや観測技術の開発.

こうしたことから見て, 初めにのべた GARP の Global Experiment が GARP 全体の中で占める役割は次のように要約されよう.

(a) GARP Global Experiment は重要なものであることにちがいないが, Global subprogramme の一部分をなすにすぎず, その目的もこの subprogramme との関連において理解されるものである.

(b) GARP の Global Experiment の回数や性格は予め決めることはできない. 現在の段階で企画立案できるのはまず第1回の experiment だけである.

(c) Global Experiment と他の subprogramme に属する観測計画を同時に並行して行う必要が生ずるかもしれない. 例えば第1回の Global Experiment が第2回の tropical subprogramme の観測と一つのものとして実施されることもありうる.

以上を前置きとして, JOC の第二回会合について述べよう.

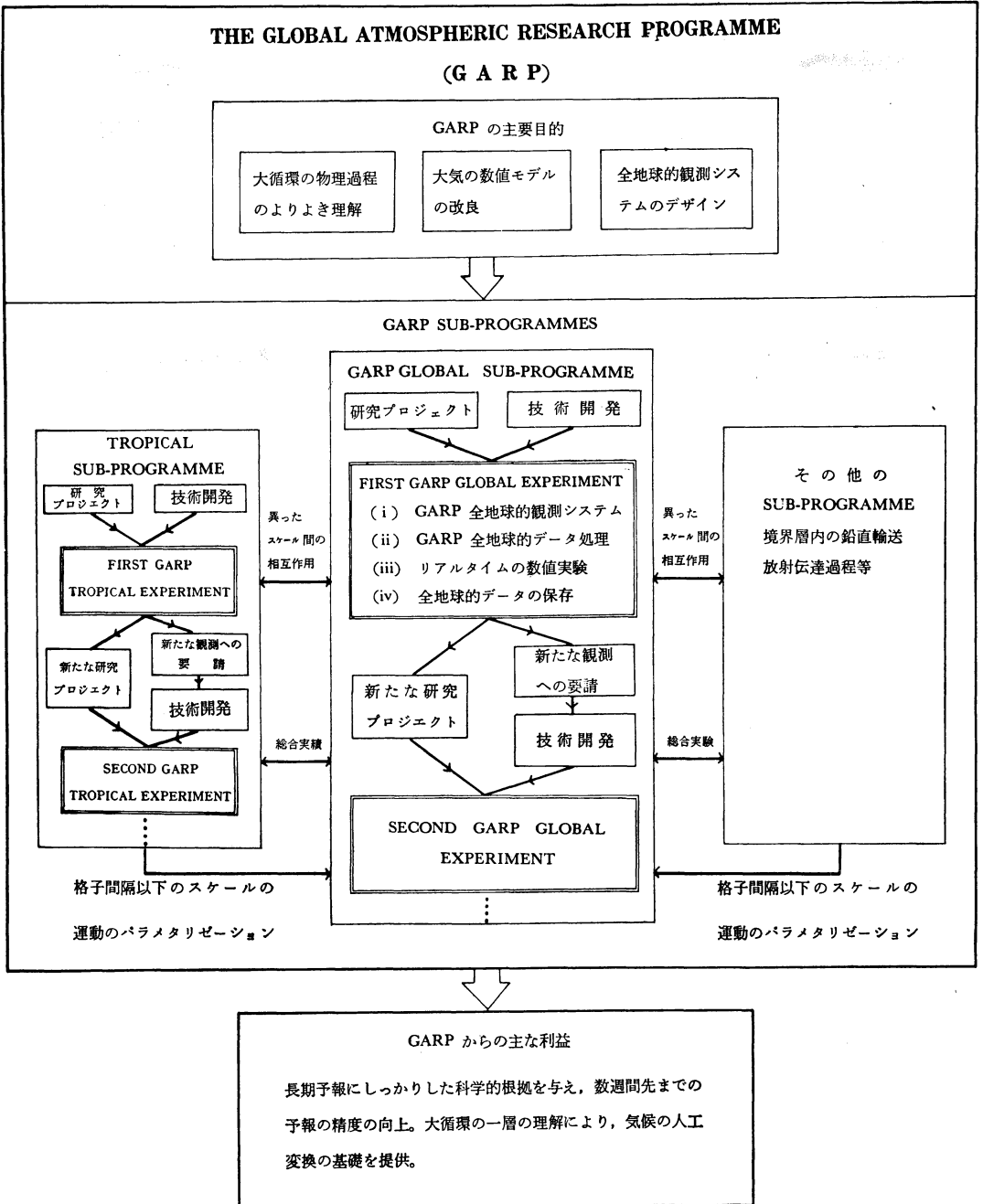
2. COSPAR 第6作業部会の報告

報告(1)でのべたように, COSPAR の第6作業部会は JOC からの要請に応じて, 現在及び近き将来にお

* Report on the 2nd Session of the Joint GARP Organizing Committee

** Y. Ogura 東京大学海洋研究所

*** 小倉義光: GARP 組織委員会第一回会合報告, 天気, 15 (1968), 473-476.
—1969年7月7日受理—



第1図

ける人工衛星による大気観測法の再評価を行なった。特に全地球の大気観測計画を1973年に行くとすれば、どの観測法からどれだけのものが期待できるかという点が焦点であった。

第6作業部会は1968年10月9～15日ロンドンで会合を開き、報告書をまとめた。我が国からは関原、岸保両氏が出席された。この報告書の内容は今後のGARP計画全体にかなり大きな影響をもつものであった。全文55ページの報告書の概要は既に紹介されているので*、それを参照していただきたい。この報告書によれば、1973年ごろに、期待できそうなことは主に次の通りである。

(1) super pressure balloon (過圧気球)による中緯度地帯の高度200～150mbの風及び熱帯地方の850mbの風。

(2) 赤道上の静止衛星は南北緯度50度くらいまでの雲の写真をとれるから、それと高分解赤外線放射の連続観測により、雲の移動から雲頂高度での風。

(3) 過圧気球からの電波測高法により、中緯度地帯の海域上で200～150mb面の高度。

(4) 過圧気球により中緯度地帯200～150mbの気温。

(5) 全地球的に、人工衛星による放射測定により、成層圏下部から地表または雲頂までの気温高度分布。

(6) 対流圏中部及び下部における全水分量及び平均気温。

上記以外にできそうなことは、

(7) 熱帯地方の200～150mbの風と気温。

(8) 太陽の照っている極地方の200～150mbの風。

(9) 海域上の全水蒸気量。

その他技術の進歩に応じて可能になりそうなものとしては、

(10) 過圧気球により熱帯地方850mb及び熱帯と中緯度地帯の200～150mbにおける湿度。

(11) 赤外線放射測定により地表または雲頂までの水蒸気量の高度分布。

(12) 静止衛星からの気温及び湿度の高度分布測定。

(13) 上記以外の高度における水平探測気球。

上記の中で特に重要な二点について少し詳しく注釈をつけておこう。まず赤外線放射測定による気温高度分布の測定である。この方法はこれまで米、英、ソなどで気球や航空機を使って実験されてきたが、現在では4チャンネルの波長を使って、雲が全くない地域では高さ100mb

から地表まで100mbの厚さの気層の平均気温を1～2°Cの精度で観測できると信じられている。さらに2チャンネルを加えれば10mbの高さまで2°Cの精度で測定できるという。

そういわれても、問題は雲の存在である。気象衛星からの雲の写真を一見すればわかるように、地球上かなりの部分はいつも雲でおおわれており、上記の方法は雲の下の部分の大気については全く盲である。これに対しては、赤外線測定の空間分解能を従来より一桁あげて、雲のわずかな間隔から地表をねらおうという考えがだされている。もう一つの問題は絹雲のようなうすい雲やエアロゾルが上記の測定法に及ぼす誤差であって、これについての研究者の見解はまだ一致していない。

赤外線放射による測定法に対する上記のような欠点を除くものとして考えられているのは酸素0.5cm領域のマイクロ波を使う方法である。これならば氷晶雲や、水滴の大きさと数があり大きくない水雲ならば通過して、気温の高度分布測定が可能となろう。しかしこの方法は赤外線放射を用いる方法にくらべて技術開発が2～3年おこなわれているのが現状である。

次に過圧気球についてのべると、まず問題になるのがその寿命である。1969年1月までに米国とフランスで行なわれた実験の結果を一覧表にすると次の通りになる。

高さ (mb)	実験回数	平均寿命	最大寿命
30	10 (米)	50日	116日
100	22 (米) 10 (フ)	100	439 (依然浮遊中)
200	60 (米) 20 (フ)	90	351
300	50 (フ) 5 (米)	12 43	102 88
500	20 (米)	7	22
700	3 (米)	14	21
800	10 (フ)	11	20

これでわかるように、夜中または雲中のicingのため対流圏中部における寿命はきわめて短い。これの対策として、気球に適当なバルブをとりつけ気球をうまく上下に移動させれば、三次元的な観測も可能となることが考えられているが、技術的に解決されていない。つまり、重要な対流圏の真中あたりを過圧気球で観測できる見込みはまだないのである。

次に問題になるのはその気球の位置決定の精度と価格である。複雑なエレクトロニクス・パッケージを気球にのせた実験では1kmの精度で位置が決定できる見通

* 関原強：気象衛星の将来計画，天気，16（1969），167-173。

しがあるという。こうしたパッケージの価格は大量生産したとしても約\$3,000~4,000だという。然し現在開発中の簡単なものなら\$1,000~1,500でいくという。こうした点で気球の寿命が問題となるわけで、1年間滞空しているものならば100万円でも価値があるかも知れないが、短時間の寿命しかないと、到底ひきあわない。殊に初めは全地球に様に気球をばらまいても、ある時間後気球の分布はある地域にかたまってしまって、空白の地域ができてくる。それを絶えず補給しなければならぬから、できるだけ安価にしなければ実際上意味をなさない。

3. Global Sub-programme

報告(1)でのべたように、JOCの下に数値予報作業部会が作られた。この作業部会の目的は、今後 Global Experiment をデザインするためにどのような数値実験が必要か、またその仕事を国際的にもどう調整して能率よく進めていったらいいのか案を作ることであった。すなわち当時の考えかたはこうであった。いろいろ数値実験して、大気の状態を定義するためには、これだけの気象データがあることが望ましい。ついてはそのデータを衛星や気球など新しい観測技術で得ることができるかどうか技術やさんにきく。技術やさんの方からはこれだけの量をこれだけの精度で測ることなら可能だが、それで充分か数値実験やさんにききかえす。こうして両者の対話をくりかえしていけば、しっかりした experiment の計画ができあがるであろうということであった。

数値予報作業部会は1968年7月10~11日、オスローで第1回会合を開いて、上記の目的を達成するための討議を行ない、必要と思われる種々の研究項目をあげた。これらの項目は大気大循環の物理過程を理解する上で、是非必要なものであって、本ページ脚注の窪田氏の解説文中に紹介があるから参照していただきたい。ついで第2回会合が、1968年12月2~5日、WMO-ICSUの数値予報シンポジウムと時を同じくして東京で開かれた*。この第2回会合の席上で、前節でのべた COSPAR の第6作業部会からの報告書の草稿が示され、討議の焦点となった。その事情はこうである。

大規模な運動に関連して大気の状態を定義する物理量としては、次のものが必要であると、1967年7月ストックホルムでの研究会議はのべている。まず観測の精度に

ついては風は $\pm 3\text{ m/s}$ 、気温は $\pm 1^\circ\text{C}$ 、水蒸気量は10%内の誤差、reference level は0.2%の誤差、そして水平方向の分解能は400km、鉛直方向の分解能は200mb、これだけのデータを高さは地面から10mbまで文字通り全地球的に一日に一回得る必要があるという。ところが前節でのべたように1973/4年頃期待される観測法では、たとえ現在テスト中の方法がこの1~2年の間に成功したとしても、なおかつ到底これを満足するわけにはいかないのである。そしてその事情は、たとえ Global Experiment を1973年でなくて1975年に延ばしたとしてもたいしたちがいはないと COSPAR の報告書はいう。

しかし、これだけでは大気の状態を定義するのに全くだめだともいえないのである。たとえば前述の東京シンポジウムで発表された都田氏の研究によると、そこでは力学的にしっかりしたモデルを用いている限り、数値予報の初期条件として地表の気圧あるいは上昇速度などの気象データが全くなかったとしても、数日後には他の層からの影響としてこれらの量がモデル内部で作りあげられていくというのである。

しかし残念ながらこの種のデータの redundancy について研究は始ったばかりで、われわれはまだ十分な知識はもっていない。たとえば大規模な大気の運動においては、対流圏のほぼ真中600mbのあたりで位置エネルギーから運動エネルギーに変換が最も行なわれる。第6作業部会でいうように、運動エネルギーが最も集中している200mbと、エネルギーの逸散が最も大きい900mbあたりだけのデータがあって、対流圏の真中のデータが得られなかったとしても大丈夫なのであろうか。

こうして COSPAR の第6作業部会の報告と JOC の数値予報作業部会から報告をうけて、JOCは Global Experiment について、正直なところやや難しい決定をせまられたわけである。何故ある程度の決定をせまられたかといえば、Global Experiment の実施がきまってから、実際に実施するまで予算措置や国際的とりきめなどのため、少なくとも3カ年の準備期間が必要だからである。それにしては現在不確定要素が多すぎる。衛星や気球による幾つかの観測方法はここ1~2年のテスト結果を見ないと信頼性がわからない。しかし1973年前後にもし全地球的観測をやる計画を作るならば、現在かなり確かと思われる方法だけに頼らざるを得ない。データの redundancy についての研究も今後の進展を待たなければならない。

こうした点をめぐって JOC で討議が重ねられた結

* この第2回会合の一部は、WMO の CAS/CSM の数値予報部会と合同で行なわれた。その報告については次の解説を参照していただきたい。窪田正八：WMO CAS/CSM 数値予報合同作業委員会報告。天気、16 (1969), 58-64。

果、JOC としては、現在の時点で得られたすべての情報を総合して、第1回の Global Experiment を実施すべき十分な根拠があり、したがってもっと詳細な計画作成にとりかかるべきであると判断し、次のような勧告を採択した。すなわち WMO と ICSU の Executive Committee によって、1974/75年の内の12カ月を First GARP Global Experiment と指定すること。報告(1)でいう準備段階のAとBは、数値予報作業部会、COSPAR の第6作業部会、CIMO の報告書によって一部分達成されたとみなすこと。そしてC段階は今後A及びBをさらに進めていくのと並行して出発させること。できるだけ早い機会に1974/75年の第1回 Global Experiment の実施について国際的などりきめを行うために、WMO と ICSU が適切な国際機構を作りあげること、などである。

First GARP Global Experiment については次節でさらに詳しくのべるが、註としては、今後の種々のテストや研究の結果に応じて、この計画にある程度の flexibility をもたせなければならないとしている。また、準備のB段階としても考えなければいけない点がたくさんある。たとえば、

(a) 気象衛星、過圧気球、WWW の地表及び上層観測、船舶、航空機、ドリフトさせるブイ、自動観測計などによる特殊観測などをどう組み合わせ一体とした最善の観測システムを作るか。

(b) 衛星のコントロール及び衛星からのデータを送るための地上施設。

(c) 生の観測データを、大循環モデルを走らせている計算機に直接入れることのできる形にするための処理。

(d) データを収納するセンター及びリアルタイムで作業する研究機関にデータを送るための通信関係の問題。

(e) 観測期間中、気球やドリフトさせるブイが失われた場合、それを次々と補充することをどうモニターで調整するか。

(f) 将来の研究のためのデータの収納と再びそれをとりだすこと。

こうしたことは JOC の事務局が WMO の事務局の助けをうけつつ原案を作ることになっている。

4. 第1回の Global Experiment

1974/75年の12カ月を First GARP Global Observing Year (F.G.O.Y.) とする。この期間中次の二種類の観

測を行う。

A型観測：観測年の間継続して行なうもので、WWW の地上及び高層観測所(商用の船舶と航空機を含む)による観測と、次にのべる GARP の Global Observing System 中の衛星副システムによる観測から成る。

B型観測：観測年の間、1か月ずつ2回行なう特別観測。

ここに GARP の Global Observing System とは、観測年の期間に実施される全地球的な観測システムの総務であって、次のようないくつかの副システムから成る。

衛星副システム (A型観測)。2個または3個の低高度極軌道の衛星、4個の静止衛星、過圧気球の追跡用としての赤道軌道の衛星1個からなる。

過圧気球副システム (B型観測)。圏界面付近(中緯度で200mb)及び熱帯地帯で900mbの気球。

その他のB型観測としては海上及び地上の無人観測所及び特殊ゾンデによる観測がある。

こうしたA型及びB型観測によって、前にものべたようなデータが得られるわけである。それにしても、このような観測実験を行なうには、気象界でかつてない程密接な国際協力が必要なことはいうまでもない。それは単に通信やデータ処理における協力、領土上空を過圧気球が通過するなどの政治的協力にとどまらない。企画の段階、及び得られたデータを用いての研究の段階において、いろいろなレベルでの国際協力もある。そしてなによりも観測実施の段階で、どれだけの国際協力が得られるかにその成否がかかっている。参考までに Global Experiment を実施するのにどれだけの費用がいると見積られているかをのべておこう。これには、WWWが計画する地上、高層観測網の強化拡充は含まれていない。

(a) 静止衛星。現在の米国のものと同じ静止衛星をもう1個作って打ち上げる費用は、1,000万ドルのオーダー。観測年の間に作動する地上局を設立する費用は200万ドル、衛星からの情報を処理する計算機施設が200万ドル。

(b) 中、高緯度帯用の過圧気球。観測年の中の特別観測期間に、絶えず600個の気球が浮遊しているために、補充分を入れて2,000個の気球が必要であるとする。搭載機器をふくめて約400万ドル。気球の位置決定用の電子機器を極軌道の衛星にのせると、その費用が300万ドル。

(c) 熱帯用の過圧気球。気球に約250万ドル。赤道軌道衛星に塔の載機器が350~500万ドル。熱帯地方のいく

つかの地点に飛昇基地を作る費用が300~400万ドル。

(d) 海上ブイ・システム、500km おきにブイをおくとすると、700個のブイを必要とし、1個に5,000~7,000ドルぐらいか。かりにこのブイを船で配置すると、1隻の船を動かす費用が1日に2,000ドル。1日に1個ずつ配置するとすると、配置するだけの費用が150万ドル。

5. Tropical Experiment

報告(1)でのべたように、JOC の下に熱帯擾乱に関する研究グループが作られた。このグループはウィスコンシン大学にて1968年10月21日から11月8日まで開かれ、日本からは柳井氏が参加した。そのグループの報告書については既に詳しく紹介されているから参照していただきたい*。

この報告書をうけて、JOC は種々討議し、さらにJOC コンサルタントたるワシントン大学 Wallace 氏からの報告書などを考慮した結果、次のような勧告をだすことになった。

First GARP Tropical Experiment の目的は、前述の研究グループのいう雲の cluster の研究である。すなわち cluster の内部構造がどうなっているか、その大きさ、形、寿命などが何によって決定されるか、シノプティック・スケールの運動とどのように相互作用を及ぼしあっているかを明らかにすることを主要目的とする。

その目的を達成するために、特別の観測を実施する。その地域としては、WMO-GAe の熱帯気象の作業グループ (1966)、GARP の研究会議 (1967) 及び JOC の熱帯擾乱に関する研究グループ (1968) からの勧告と同じく北太平洋西部を勧告する。この地域内に、シノプティック・スケールの観測区域として東経130°から180°まで、赤道から北緯15°までの区域を考える。さらに、その中にメソ・スケールの観測区域としてマーシャル群島を中心とした東経164°—173°、北緯3.5°—12.5°の10°km²の区域をとる。この区域を勧告した理由は、一つにはこの区域で活発な擾乱が頻繁におこり、また雲の cluster がいろいろの発達段階をとることであり、もう一つの理由は、この区域に島が多く、既存あるいは計画中の地上及び上層観測網が、メソ・スケールとシノプティック・スケールの相互作用を調べるのに都合だからである。

実施の時期としては、メソ・スケールの観測は1972年7月から9月までの3カ月間とし、シノプティック・ス

ケールの観測は同年1月から12月までの1年間とする。

但し、この観測区域及び実施時期の決定は、その区域に静止衛星がうちあげられるか否かに従う (これは、Tropical Experiment には、静止衛星による観測がかけがえのないものであるという JOC の結論によるものである)。

それでは第1回の Tropical Experiment での観測システムはどうであろうか。

(1) 宇宙からの観測

(a) 165°E 上の静止衛星1個

(b) 圏界面付近及び900mb での過圧気球。個数は未定。

(2) 地上からの観測

(i) メソ・スケール観測網

(a) 上層観測としては Majuro 島のゾンデ観測所は既に実施中。Kwajalein 島に1か所、WWW の実施計画として1971年に実施予定。これ以外に島を用いて6か所の臨時観測所を必要とする。

(b) 地上観測としては、上記の島以外に15か所を要す。

(c) 三隻の定点観測船による上層観測。

(d) 八機の航空機により、10か所で100—200mbの高度からドロップ・ゾンデ。

(e) 約八機の航空機により低層及び中層の気象観測。

(f) 上層観測地点すべてにおいて、けい留気球により、高さ約1,500m までの気象観測。

(g) 地上観測地点において、けい留気球により高さ500m までの気象観測。

(h) メソ・スケール観測区域の少くとも半分をおおうためには、最小限5個のレーダーを要す。

(i) その区域に少なくとも25個のブイをおく手配を要す。

(ii) シノプティック・スケール観測網

(a) この区域に9か所レーウィン・ゾンデ観測点あり。

(b) 2か所のレーウィン・ゾンデ観測点をおく計画があるが実施時期未定。

(c) WWW により、さらに2か所のレーウィン・ゾンデ観測点をおく計画があるが実施時期未定。

(d) パイロット・パルーン観測点が2か所。

(e) さらに20か所の地上観測点を加えて、WWW の地域的観測網は完成する。

* 柳井迪雄：GARP 組織委員会熱帯擾乱グループ報告、天気、16(1969)87-95。

上述の計画がすべす実施されたとして、さらに十分な分解能でシノプティック・スケールをみるために、次のものが必要である。

(a) 二隻の定点観測船、1隻はフィリピンの東、1隻は 20°N , 147°E の地点。

(b) 4地点でドロップ・ゾンデをおとすための航空機。

以上の JOC の報告はただちに WMO と ICSU の Executive Committee に送られた。

6. その他

(1) 大気と海洋の相互作用

JOC は次の二つのことを勧告した。

(i) 第1回の Global Experiment にとって、ブイによる海上の観測網の展開は、データの少ない海域ではかけがえのないものであるから、必要とするブイを開発し生産する価格がいくらであるかを調査すること。

(ii) 大気と海洋の間の熱交換は、大陸と海洋の境をなす比較的細い地帯で強く行なわれているから、この地帯での熱交換過程について理論的及び観測的研究を進めること。

(2) 放射

放射の効果を数値予報モデルに組み入れることについて、さらに討議するために、JOC の数値予報作業部会の次回会合に、放射の専門家三名が招かれることになった。また地表における差引きの放射量について適当な観測網をもつことが重要であるとして、適当と思われる測器や観測密度について WMO に調べてもらうことになった。

(3) 成層圏の突然昇温

これに関連した experiment については、衛星からの赤外放射測定によって、近い将来成層圏の数レベルで温度が測定できるかもしれず、したがって GARP の目的としては、そのために特に高いところまで測るよう特別の努力をしなくてもいいのではないかというのが JOC の見解であった。したがって JOC としては、WMO の CAS がこの観点かから成層圏の突然昇温の experiment を考えてくれるよう示唆した。

(4) Basic Data Set

すでにのべたように Global Experiment をデザインするためには実際のデータを使って、いろいろと数値実験を行なう必要がある。とくにそれぞれの数値予報モデルや大気大循環モデルの特性を相互に比較したり、あるいはデータの四次元的な解析の方法を検討するためには

基本となるデータを一揃い用意しておくと便利である。

この種のデータを揃えるということは、やりかた次第で極めて簡単でもあるし、複雑にもなる。例えば一つの World Meteorological Center (WMC) でふつうのテレタイプでうけているデータだけならば、極めて迅速に少くとも北半球の大部分のデータを揃えられる。ところが一方アメリカでは、わずかに5日間であるが殆ど完璧にデータを集めようとしたが最近中止した。完成するまでに3年かかるというのである。実際に必要かつ実現可能なのはこの両極端の間くらいであろうが、どれだけのデータをどれくらいの期間集めるかについて、JOC の決定の概略は次の通りである。

まず1か月分(かりに1969年11月分)の Basic Data を揃えること。それがうまくいったら続いて夏の季節の1か月たとえば1970年6月のデータを揃える。北半球については少なくとも一つの WMC が中心となってふつうのテレタイプにあるデータを集め検査ししまっておく役目をし、これにいくつかの RMC や NRC が WMC に協力して、完全な北半球データを揃える。南半球および南緯20度内の熱帯地方となると上記のようなやりかただけでは足りなくて、1,000mb, 500mb, 200mb 面での subjective な解析による格子点での値を加えることが必要となろう。そしてこれをするためには、WMC の一つ、及び十分な計算設備をもった研究機関の協力が是非とも必要であろう。

こうして利用できるデータは、地表、上層、船、航空機をとわず、すべて集められることになるが、揃えるべきデータの数を減らすために次の制限を設ける。

(a) 大陸上での地上観測は間隔約300kmのネットを構成するような観測所だけに制限する。

(b) 北半球大陸上の地表及び上層観測データは 0000 GMT だけを集める。

(c) 大陸上の航空機のデータは、データの少ない区域(たとえばサハラ)を除いては集めない。

(d) 海洋上交通頻繁な航空路に沿った飛行機からの電報はあらかじめ決めておいたもののみとする。

その他降水量、雲、海面温度等についてもものべてあるがここでは省略する。いずれにしても、この basic data を使っているいろいろの数値実験をしようと思えば、データを揃えることを急がねばならない。それでどの気象センターがどの役割をするかなどの具体的なことは至急 JOC の委員長が WMO の事務局長と相談して必要な処置をとることとなった。