

GARP の全地球実験計画

—主として FGGE を中心に—

(1)*

新 田 尚**

1. はじめに

GARP の全体計画も次第に身近かな 研究計画や 観測計画となってきたことは、先に浅井 (1973)^(註1)が紹介した通りであるが、今回はその内 GARP の中核ともいふべき FGGE (第1次 GARP 全地球実験)を中心に、GARP の全地球実験計画についてまとめてみたい。1977年から78年にかけて実施が予定されている FGGE は、単なる観測計画ではなく、はっきりした研究目的をもった文字通りの実験計画で、成功するにせよ失敗するにせよ気象学の研究に大きいインパクトを与えるものと考えている。こうした状況を筆者なりに書いてみたい。従って本文の見解は、あくまで筆者個人のものであるが、GARP の内容については内外の諸資料や情報をなるべく忠実に紹介していくつもりである^(註2, 3)。

2. 全地球実験

全地球実験の目的を簡単に要約すると次のようになる。

(1) 地球大気の大規模運動についての物理的理解を深めること。

(2) 有効な予報期間を最終的な予報可能性の限界まで延長すること。

大気大循環を予報したりシミュレートする大気の物理モデルは、近年非常に進歩してきたが、観測データが十

分でないために今後の開発に障害が生じてきていることは、多くの研究者、技術者の等しく指摘する所である。その意味で、全地球実験は観測結果の解析的研究と理論的研究の間のギャップを埋め、両者間のバランスを回復するための努力であるともいえる。

そこで全地球的な規模の観測網を展開し、これまでデータの疎であった地域でも高層観測を実施し、地球上の大気の状態を同時に洩れなく測定しようという訳である。そのために、WWW (世界気象監視) の観測計画をベースにして更にいくつかの特別観測を付加しようとしている。また、観測データの処理には世界気象センター (World Meteorological Center 略して WMC) が当り、気象通信係を用いてデータを流すことになる。

全地球的観測データを用いた実験の目的を更に詳しくみると、次の四つに分けられる。即ち、

(i) 大気運動をよりよく理解して、長期予報と大気大循環や気候の研究に使え、よりリアリスティックなモデルの開発。

(ii) 天気系の子報可能性の限界の評価。

(iii) 大規模運動を予報するための初期値の決定。そのための各種の随時行われる気象観測データの同化 (assimilation)。

(iv) 大循環の大規模な特長をルーチ的に数値予報するために最適の総合的気象観測体系の設計。

先ず (i) についていうと、われわれの大規模運動についての理解にはまだまだ欠けている点が多い。特に、超長波の力学と偏西風のブロッキングに関しては殆どわかっておらず、現行のモデルもこれらの諸過程をうまく描写できない。また、南半球の大規模運動の力学と両半球の力学的相互作用についても、まだまだ多くの知識が必要である。更に、熱帯地方についてももっと研究されねばならない。大気中の種々のスケールの運動相互作用の作用を調べ、モデルが表現できない小規模運動が大規

* Global Experiment of GARP with Special Emphasis on FGGE, Part 1.

** T. Nitta: 気象予報部電子計算室

(註1) 浅井富雄, 1973: GARP に関する最近の動向 (GARP NEWS). 天気, 20, 364~368.

(註2) The First GARP Global Experiment, Objectives and Plans. GARP Publication Series No. 11, 1973, WMO/ICSU.

(註3) Report of the Planning Conference on the First GARP Global Experiment. GARP Special Report No. 8, 1972, WMO/ICSU.

模運動に及ぼす効果のパラメタリゼーションのより改良された方法を見つけ出す必要がある。(ii) に関しては、これまで行われた予報可能性の時間間隔についての推定は、用いた仮定によって1週間から3週間にわたっている。こうしたあいまいさを無くし、実際的にも理論的にもより確かな限界をはっきりさせるには、更に研究を重ねる必要がある。また、1週間、1ヶ月あるいは1シーズンにわたる平均の天候の状態を、われわれがどの程度予報できるかわかっていない。予報可能性がどのように悪化していくかを調べるためには、実況データに基づき、海洋もサーモクラインまで含むような、こみいった全地球モデルを用いて、1ヶ月、1シーズン更に望むべくは1~数年間の予報実験をくり返す必要がある。(iii) の問題は最近クロズ・アップされてきたものである。初期のデータに含まれている小さい誤差も、予報していくと時間と共に増大し、2~3週間後にはでたらめに選んだ2つの気象状態の差と同じ大きさのレベルに達する。現在の気象観測のネットワークは、全地球規模の天気予報を行うに適したデータの基礎を与えていない。だから、如何にモデルが改良されても、観測のネットワークが飛躍的に拡張されぬ限り、延長予報は本質的に改善されない。しかし、計算に用いる基礎的なデータの精度向上は、単にネットワークの増大だけでは達成されず、データの同化といわゆる初期状態を求める方法の改良にもよる。全地球実験は単なるデータ集めと考えるべきでなく、データ処理にも十分の手段を構じて各研究グループに行きわたるようにすることも重要な作業である。(iv) はいわば全地球実験の成果のひとつのしめくりともいえるべきもので、全地球実験のデータや経験をもとに、ルーチンの長期予報のための全地球合成観測体系はどうあるべきかを決めることが出来るであろう。これは実験期間中、全地球大気の実際の動静をつぶさに観測し、調査することによってのみ、はじめて成し遂げられる事柄である。こういう風にして得られたデータの組合せを用いて、各種のモデルによる数値実験を逐行し、データの密度や分布の一樣性等のファクターを組織的に変えていって、それらが予報精度に及ぼす効果を分離することが可能となるだろう。こういう風にして最適の体系が推定される。

以上のように、全地球実験は総合的な実験研究計画であるから、いろいろな角度からとらえていく必要がある。いわば複合的な構成をもった計画なのである。以

下、観測体系、データ処理体系、通信体系、予報体系の四つの方向からみていこう。第2と第4の体系は数値実験と深く関連している。

3. 観測体系

全地球実験の実施時にオペレーショナルになっているか、それに近い状態にあるとみなされる観測体系と、オペレーショナルな観測体系にみられる重大なギャップを埋めるための特別観測体系の二種類がある。前者の観測体系に属するものとしては (i) WWW の地上及び高層観測網、(ii) 商船、(iii) 商業航空機、(iv) 極軌道衛星、(v) 静止衛星があり、後者に関しては (i) 実験衛星、(ii) 赤道付近の熱帯の風のプロフィールを得る手段、(iii) 定高度気球、(iv) ブイ、(v) 地上あるいは氷上の自動ステーションがある。

3.1 オペレーショナルまたはそれに準じる観測体系

この体系は全地球実験中実施される予定のものである。

3.1.1 地上観測点に準拠した WWW 観測体系

(a) WWW 高層観測所

各国は種々の測器と技術を用いている。

(i) ラジオ・ゾンデ、(ii) レーウィン・ゾンデ、(iii) レーダーを用いたパイロット・バルーン、(iv) 光学的パイロット・バルーンなど。

許容誤差：

測定要素	許容誤差
風速	約±1m/sec; 10m/sec まで許容できる。
風向	±5°~±10°
気温	±1°C
気圧	地表面で±1mb から10mb 面で±0.2mb まで。
湿度	-10°C~40°Cの気温域で±5%; -10°C以下の気温で±5%以下; -40°C以下の気温では使用不能

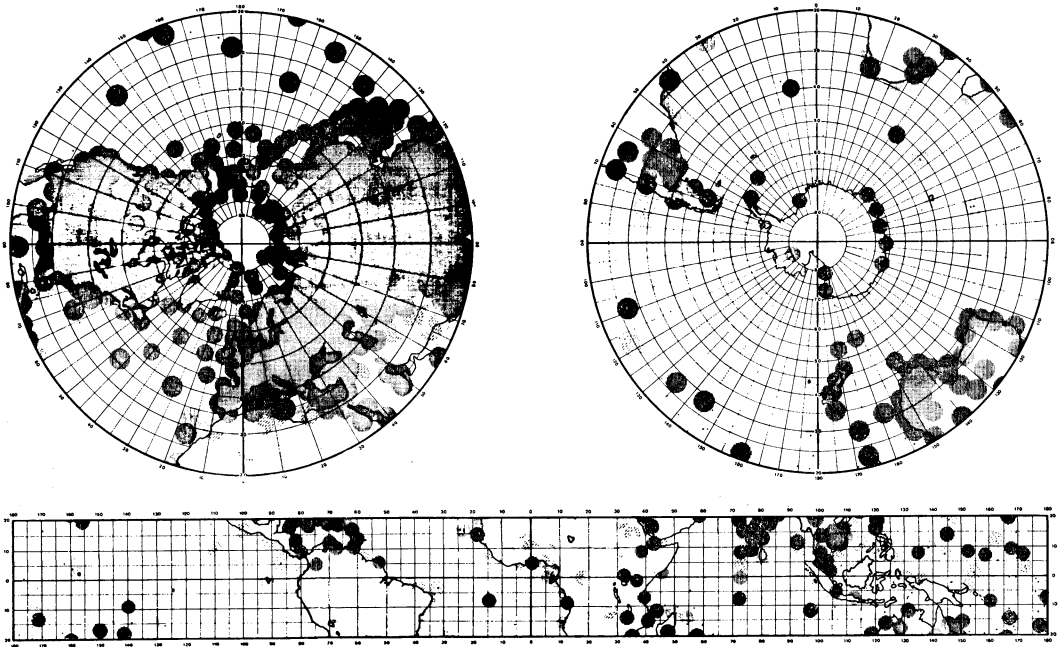
代表性：1~2時間、100~200km。(これらの数字は、上昇するラジオ・ゾンデの特性から決められた。)

観測頻度：1日2回(00及び12 GMT)。ある観測所では1日4回。





観測点分布：第1図の通りの分布が1975年度迄に実現のみこみ。北半球ではほぼ要求を満しているが、熱帯地方と南半球では不足。

(b) WWW 地上観測所

多種多様の観測が行われているが、全地球実験に主として用いられるものは次表の通り。



第1図 GARP の要請を満たす計画中及び既存の WWW の地上と高層観測ネットワーク。ひとつの観測所がカバーする領域は、その点を中心とする半径280km の円の面積で表わされ、それは $500 \times 500 \text{ km}^2$ の面積に対応。

-  1日2回 (00及び12GMT) 観測の地上及び高層観測所がカバーする領域。
-  1日1回 (00GMT) 観測の観測所がカバーする領域。
-  1日1回 (12GMT) 観測の観測所がカバーする領域。
-  1975年迄に完全な観測態勢に入るべく計画中の観測所がカバーする領域。

許容誤差：

測定要素	許容誤差
気圧	$\pm 0.1 \text{ mb}$
気温	$\pm 1^\circ \text{ C}$
風速	1 m/sec 又は 10% (どちらか大きい方)
風向	$\pm 10^\circ$
湿度	$\pm 5\%$
雲量	$\pm 1 \text{ octa}$
雨量	15%

代表性：観測点の位置と向きによる。

観測頻度：標準シノプティック時で1日8回まで。

観測点分布：居住地域は十分。ある地域では自動観測点も追加されている。海洋上は人の居住している多くの島のみ。

(c) 商業航空機からの測定

商業航空機にはドップラー・レーダーや慣性航法システムが装備されているので、航路沿いの実況の風の観測ができる。温度計も普通設置されているが、機体に近かすぎて自由大気の気温を代表しているとはいえない。北半球に関しては既にデータ入手の手配がなされているが、その他のルートについても、いくつかはオペレーションに入電できる見通しである。

許容誤差：

測定要素	許容誤差
風速	$\pm 3 \text{ m/sec}$
風向	?

代表性：数10km と数分。

観測頻度：約 10° の間隔で風の決定を行う。

観測点分布：観測は航空ルートに限られている訳だが、北半球ではデータが疎な領域にも相対的に数多く行われている。一方、熱帯地方や南半球では全く限定されている。

(d) 商船からの測定

今回は約40隻がラジオゾンデの装置を備えているが（その内14隻は風の観測も行う）、データは無線でオペレーショナルに送られる。多数の地上観測も無線でオペレーショナルに通報される。

許容誤差：

測定要素	許容誤差
高層観測	(a) と同じ
地上気圧	±0.5mb
表面海水温度	±0.5°C (船舶エンジン用水の取入口で通常は測定)
風速	±1.5m/sec 又は15% (どちらか大きい方)
風向	±15°
気温	±0.5°C (氷結状態を除く)
雲量	±1 octa
雨量	15%

代表性：測定結果は数分間の平均をとる。

観測頻度：最小限1日1回、時にはもっと。

観測点分布：北半球の大部分は十分に密で、必要とする分布を得るために船舶を選択できるぐらいある。しかし20°N以南は(特定の沿岸地方を除いて)不十分である。

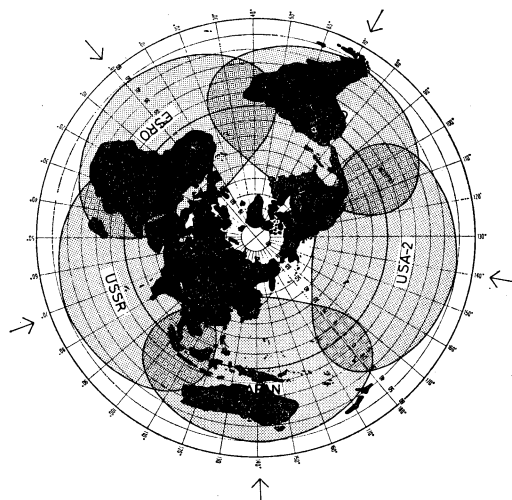
3.1.2 極軌道衛星

種々の測定技術は結局次の種類にまとめられる。(i) 放射強度をいくつかのスペクトル領域で測定して、気温や水蒸気のプロフィール、放射面の温度に翻訳する。(ii) 雲、雪、氷におおわれている領域を撮影する。

全地球実験には2個の極軌道衛星が適当で、多くの地域で他の観測手段と重複してデータが得られるとみているが、それでも50°S~60°Sや極冠では持続的に雲があるので、気温や水蒸気のプロフィールは求めにくいとみなされている。極軌道衛星からの情報についても詳細な現状分析と予測がなされているが、紙面の関係上省きたい。別に適当な解説がなされるものと思う。

3.1.3 静止衛星

静止衛星については、日本、ヨーロッパ連合、ソ連が各1個、アメリカ2個の計5個の打上げが予定されており、大半は1976年末までに地球をおおう軌道にのせられることになっている(第2図)。静止衛星からの測定が



第2図 静止衛星の配置図。風速の推測が可能な、各衛星点から50°の最大角度距離も示す。各打上げ国の計画を額面通りうけた場合。

なされる要素は、(i) 雲の連続的の追跡による風、(ii) 気温の鉛直プロフィール等であるが、各国の事情により必ずしも統一されていない。詳しいことは、極軌道衛星同様省略する。

3.2 特別観測体系

3.2.1 実験衛星体系

GARP とは別の目的で打上げられる気象衛星(コスモスやニンバスのような)を利用するものだが、現在の所具体的な予定はない。研究段階としては、マイクロウェーブを用いた雨量測定(少雨か多雨かの区別)や土壌水分の測定の可能性が論じられている。これらの装置を備えた気象衛星が全地球実験の期間中に打上げられる可能性はあるが、それまでに多くの研究を必要とするだろう。

3.2.2 赤道付近の熱帯の風のプロフィールを得る手段

無線航法信号(ローラン、ローランC、オメガ)を利用してゾンデを追跡する方法で、目下開発中である。ローランCが最も高精度とみなされるが、発信局が少ない。適当なデータ処理技術を伴えば、オメガ・システムが満足すべき精度と頻度を与える。具体的には、(i) 商船からのオメガゾンデの展開、(ii) 特別の船舶観測所(iii)成層圏のキャリアー・バルーンからのオメガ・ドロップゾンデの展開、(iv) 航空機からドロップゾンデの展開、といった各種のシステムが考えられ、それぞれ技

術的な検討が進んでいる。また赤道付近の熱帯 (10°N ~ 10°S) をなるべくすき間なくおおうように、以上のシステムを組み合わせることも研究されている。オメガゾンデ・システムの性能は次の通りである。

許容誤差：

測定要素	許容誤差
風	$\pm 1 \sim 2 \text{m/sec}$
気温	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
高度/気圧	100mb の層の高度を 5mb の精度で。

鉛直分解能：キャリアー・バルーン・ドロップゾンデで対流圏内 6 ~ 8 面、30mb と圏界面の間の成層圏内数面がみこまれている。船舶観測所ではもっと高くなり、ほぼ 1 km 毎に可能。

水平分解能：これは純粋に経済的な問題。

代表性：風はドロップゾンデに対しては 2 km の厚さの層の平均、船舶から放球した通常のおメガゾンデで 1 km の厚さの層の平均。

観測頻度：最少限 1 日 1 回、もし勧告案より疎にすれば 1 日 2 回可能で目下検討中。

3.2.3 定高度気球

超圧気球を用いて等密度面をとばすもので、風の推定と他の要素の測定に十分使えることが示されている。主なシステムとしては、アメリカの GHOST (Global HORIZONTAL Sounding Technique) 計画とフランスの Eole 計画とがあって、既に多くの興味深い成果を発表しているが、ここでは結論だけを要約しよう。

許容誤差：

測定要素	許容誤差
気温	0.5°C
高度	$\pm 20 \text{m}$ 以下をめざしている。
気圧	0.5mb をめざしている。
風	$1 \sim 2 \text{m/sec}$

鉛直分解能：200mb と 150mb の間のひとつの面。

水平分解能：約 500km

代表性：110分毎 (気球はこの間に平均 100km 動く) に次々と位置を測って風を推定。気温、高度 (気圧) は本質的にはスポットの値。

観測頻度：GARP で定めた 500km の格子要素の 70% で 1 日 1 回入手の予定。

3.2.4 ブイ

多くの海洋研究計画で、多種の海洋観測と海気相互作用

用観測のための高級な測器が開発されているが、概して高価につく。そこで全地球実験のための衛星に準拠したデータ伝送と位置決定システムを用いた小型簡易ブイの開発も試みられている。これらは、遠隔の海洋領域での使用に便利である。海洋上に放流しておいても、1日にキロのオーダーでしか移動しないので、 $500 \times 500 \text{km}^2$ の GARP の格子要素から大きくはみだすことはなく、海洋表面層の大規模運動の測定に貴重なものとなるだろう。測定要素としては、表面海水温度と海洋上の表面気圧である。こうした小型簡易ブイの展開については、海洋研究船や海洋研究観測点への補給船を中心に依頼していくことになるだろう。

3.2.5 赤道地方と南半球

FGGE の本番では、上記の観測体系を総動員し有機的に関連させて、全地球上の大気の状態をくまなく観測しようとしているが、最大の悩みは赤道付近の熱帯と南半球の観測網の問題である。最近入ったニュースによれば、種々の数値実験の結果、WWW の観測網・極軌道衛星・静止衛星に加えて、1日約 300 個の風の観測点を、特別強化観測期間に 10°N ~ 30°S の赤道ベルト地帯で要求されている。それを実現するために、次の混成特別観測体系が勧告されている。

i) 約 30 隻の観測船に測風装置を設備する。

ii) それぞれ 100 個のドロップゾンデを積載した、約 80 個のキャリアー・バルーンを 24km の高度でとばす。

iii) 適当な島に臨時観測所を設ける。

また、南半球に対しても、次のような混成特別観測体系が提案されている。

i) 定高度気球。特別強化観測期間に 200mb 面付近で約 300 個放球する。

ii) 浮遊ブイ。 50°S ~ 65°S の定常的にくもっている帯状地域で、地上気圧と表面海水温度を測定する。約 150 個放流する。

以上、現在までの所確定されている測定手段とその性能を中心に、GARP の FGGE の際に展開するべく計画されている観測体系についてみてきた。GARP の JOG (Joint Organizing Committee) では、先ず実験計画を成功させる上で必要な観測上の要請を出し、計測技術の現況と観測手段の動員の可能性を慎重に検討した上で、全地球実験のための観測体系についての勧告案を提出している。すなわち、科学的目的、技術的可能性、機材の入手可能性の三者の均衡の上になつて、全地球実験を実

施しようという訳である。これら三つの基本的要素は、
今後も進歩、改善、変更されうるものだから、ここに紹

介した観測体系も決して最終的なものとはいえないこと
に注意して頂きたい。(未完)

月例会のお知らせ

レーダ気象

主 題：レーダ気象

日 時：12月13日（木）9時30分～16時00分

会 場：気象庁内

研究発表

午前の部（9時30分～12時00分）

1. 牧野義久・立平良三（本庁電計）：デジタル化されたエコーのコンピュータ処理（15分）

レーダ情報のコンピュータ処理技術の開発の手始めとして、エコースケッチ図を 10×10 kmのメッシュでデジタル化し、いくつかの簡単な演算を試みた。主な演算内容は、（1）全国のエコー合成図の作成、（2）エコーパターンのスペクトラムの計算、（3）対流圏中層の風によるエコーパターンの短時間外挿、（4）レーダ雨量の積算値の計算、などである。レーダは莫大な量の情報を供給できる測器であるが、現在は処理技術が未開発のために充分利用されるに到っていない。レーダ情報の処理技術の中核をなすものはここで取上げたようなコンピュータの利用であり、ここで例示したいくつかの演算だけでも実用化されれば、レーダ情報の利用は大きく前進するものと思われる。

2. 青柳二郎（気研衛星）：レーダ信号デジタル平均装置（15分）

降水から反射するレーダ変動信号をレーダ観測区全域にわたって精度良く同時に平均できる様なレーダ信号平均装置を試作した。本装置は5cm波帯気象レーダに接続して動作し得る様に構成すると共に各種パラメータの設定の容易さ、動作の安定性等から全面的にデジタル方式を採用した。製作の目的は第1にレーダへデジタル技術を導入するのに必要な基本的ハード構成の一つとして考えている。しかし現用レーダに等エコー装置を併用して用いても効果的に利用できるよう配慮した。

3. 七沢 謙（札幌管区）：日本海北部で観測されたうずエコー（15分）

昭和46年2月9日、沿海州と北海道のほぼ中間の海上で、明瞭な左巻うず構造をもったエコーが啓風丸レーダで観測され、局地天気図で中規模の低気圧が対応していることがわかった。海岸近くうずエコーが観測された例は数多くあるが、海上の真中での例は珍らしい。このうずエコーは100～200kmのスケールのもので約6時間サイクルで発生・発達・消滅、また新しく発生の過程をくり返した。ここではその過程や、啓風丸の高層・海洋・海上気象観測資料を使って解析結果及び成因に関する一考察について述べる。

4. 由田建勝（札幌管区）：冬の北海道西岸で観測されるレーダエコーと風の場の関係（15分）

冬期において北海道西海岸で観測されるレーダエコーは典型的なタイプとして三つの型に分類できる。一つは低気圧の前面に対応する層状エコーであり、また一つは西高東低の季節風気圧パターンにおける線状エコー群であり、最後の一つは西海岸小低気圧に関連した弧状エコーである。これらのタイプのエコーが出現する時の総観スケールやメソスケールの気象状況は当然ながらそれぞれのタイプにより異なっている。ここでは風の場に着目し、北海道上空の水平発散量および渦度の計算を行い、その垂直構造を求め、これと三つのタイプのレーダエコーとの対応関係を明らかにした。発散・渦度の計算には札幌・稚内・根室の高層風観測データを使用した。

5. 二宮洗三・秋山孝子（気研予報）：冬期黒潮海域の擾乱のレーダ解析（15分）

冬期黒潮海域において発生・発達する総観規模・中間規模擾乱をTime lapse composite および広域合成レーダ天気図によって解析し、それにとりなす総観場の変動を主として高層資料の時系列およびスペクトル解析の手法によって記述する。

6. 二宮洗三（気研予報）：冬期黒潮海域のバルク的特性（15分）