



FGGE 観測体系と研究計画の現状*

新田 尚**

1. はじめに

日本の静止気象衛星も軌道にのり、FGGE も少しずつ身近かに感じられるようになってきた。第1図に示したように、FGGE の準備年 (Build-up Year) が本年の12月から始まり、本番の実施年 (Operational Year) がいよいよ来年12月から1年間にわたって繰り広げられる。実施年の期間中の観測体系の展開、特に、特別観測期間 (Special Observing Period, SOP) のために、最初に要請された観測体系がどの程度実現されるか、非常に注目される所である。すでに、そのための煮つめの段階にきており、現実的ではほぼ最終的な見通しをつけねばならなくなっている。その見通しに立って、予期される FGGE data set の内容を探りたいと思う。日本の利用者にとって必要な情報を、なるべく具体的に提供していきたい。

最後に、最も大切な研究のための利用について眺めることにする。昨年4月21日-22日、ストックホルムで FGGE Research Coordination Conference (研究統合会議) が開かれ、日本からは東大の岸保教授が出席され

た。この会議のレポートが最近出たので、それに沿って世界各国の研究への取り組みを見てみることにする。日本の研究者も、そろそろ具体的な計画の着手に踏み切っていただくことを願っている。なお、本文中に出てくる主な略語は、付録でまとめて解説した。

2. FGGE のタイム・スケジュール

第1図に、タイム・スケジュールを示した。前述の通り、準備年 (Build-up Year)

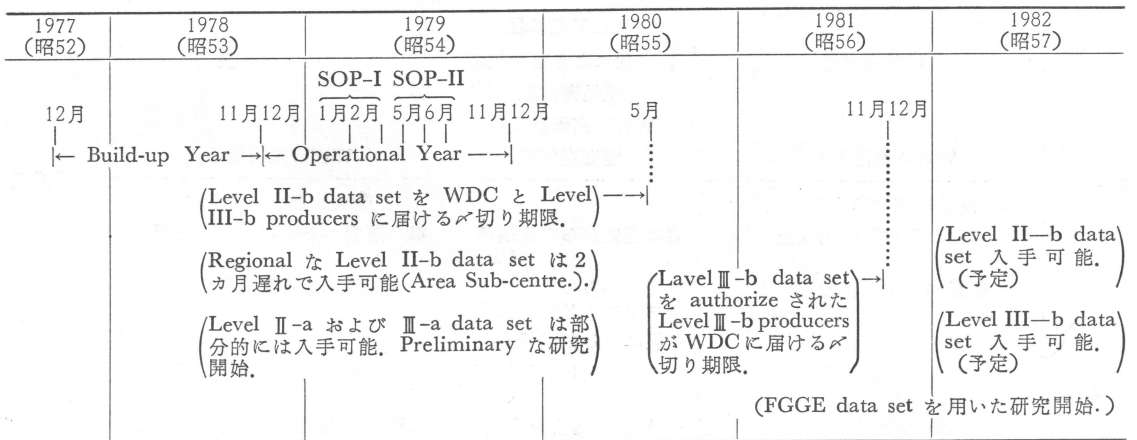
1977 (昭52) 年12月1日-1978 (昭53) 年11月30日
実施年 (Operational Year)

1978 (昭53) 年12月1日-1979 (昭54) 年11月30日
特別観測期間-I (Special Observing Period-I, SOP-I) 1979 (昭54) 年1月5日-3月5日

特別観測期間-II (SOP-II)

1979 (昭54) 年5月1日-6月30日

(この特別観測期間中は、特に、 $10^{\circ}\text{N}\sim 10^{\circ}\text{S}$ の熱帯赤道地帯で特別強化観測が実施される予定である。ただし、2カ月間一様に行なわれるのではなく、この期間の中でさらに最も観測が集中するのは、中間の約1カ月とみ



第1図 FGGE のタイムスケジュールとLevel II-b および III-b data set

* Present status of implementation of the FGGE Observing System and research coordination.

** T. Nitta, 気象庁電子計算室

られる。)

3. FGGE 観測体系の現状

GARP が発足し、全地球実験計画の中心の観測実験計画として FGGE が立案されたとき (1973 (昭48) 年頃)、気象衛星やキャリヤー・バルーンなど、来るべき新気象観測時代の花形を全部動員する華麗で壮大な観測体系が提案された。もちろん、経済上の無駄を省くために、重複を避け、WMO の WWW 計画をできるだけ利用し、なるべく安上がりでしかも十二分に密な観測網が展開されることになっていた (JOC, 1973; 新田, 1973; 新田, 1975),

ところが、その後やって来た石油ショックとそれに続く世界的なインフレと不況のために、FGGE の観測計画にも引き締めの影響が及び、たとえば、南半球上空に展開する予定であった定高度気球 (constant level balloon) の計画は遂に断念せざるを得なくなった。しかし、こうした悪い環境の中での関係者の努力が実を結び、十分とは言えないまでも一応意味のある全地球実験が行なえる所までこぎつけることができたのは、不幸中の幸いというべきであろう。

では、現状から見てどの程度の観測網が展開できるのか、次に見ていこう。FGGE 観測体系は、一種の総合的観測体系で、現実的な WWW 計画に基づきつつ、それが及ばない面を特別観測系で補っていこうという考え方で組み立てられている。その構成は次の通りである (第2図参照)。

(1) 基礎観測体系: FGGE 実施年の全期間を通じて観測される。

- a. WWWの地上および高層観測, 船舶および商業航空機からのデータ。
- b. 静止気象衛星: 雲の運動から求めた風の観測。
- c. 極軌道衛星: 気温の鉛直分布と海表面水温の観測。

(2) 特別観測体系: 特別観測期間 (SOP-I と II) 内のみ運営される。

- a. 熱帯赤道地方の風観測網 (観測船による高層観測, 航空機からのドロップ・ゾンデ観測, 熱帯地方の定高度気球による観測)。
- b. WWW高層観測地点の増強 (臨時的処置として)。
- c. 南半球海洋上の浮遊型パイの展開。

(3) 他の観測体系の寄与: 直接 FGGE のためだけに運営されるものではないが、大変役立つ観測系。

- a. 研究用衛星 (SEASAT, Nimbus-G など)。
- b. 航空機データの特別収集 (慣性航法装置を積んだ商業航空機からの気象データを特別に集める)。
- c. 個別の研究プログラムからのデータ。

第1表は、これらの各観測系が必要とする数量に対して、参加国から提供が約束されているものの数量を示している。これを見ると、熱帯赤道地方 (10°N ~ 10°S) に展開が予定されている、高層風観測船 (TWOS) がなかなか思わしく集められていないことがわかる。この部分は、大気大循環の熱源部に当たり、FGGE の目玉商

	極軌道衛星	静止気象衛星 観測船による高層観測 極軌道衛星 WWW高層観測網 定高度気球	極軌道衛星	
圏界面	WWW高層観測網		WWW高層観測網	圏界面
	商業航空機による観測 雲の運動からの風観測 (上層)	雲の運動からの風観測 (上層)	商業航空機による観測 雲の運動からの風観測 (上層)	
	衛星による気温鉛直分布	航空機からの ドロップ・ゾンデ観測 衛星による気温鉛直分布	衛星による気温鉛直分布	
	雲の運動からの風観測 (下層)	雲の運動からの風観測 (下層)	雲の運動からの風観測 (下層)	
	WWW地上観測網	WWW地上観測網	WWW地上観測網・浮遊型パイの展開	
北極	北半球	熱帯赤道地方	南半球	南極

第2図 FGGE の総合観測体系。この図にある全観測系は、FGGE 実施年の特別観測期間 (SOP-I と II) 中に展開され、残りの期間は WWW 地上および高層観測、静止衛星、極軌道衛星が主力となる。

第1表 FGGE 観測体系の実施予定の現状

(1977 (昭52) 年4月現在)

FGGE 観測体系	要請された数量	約束されている数量			更に必要とする数量
		確 実	可能性大	仮の約束	
基礎観測体系					
WWWの高層観測点	新規の観測点 26	15	—	2	9
	既設の観測点の施設の増強 40	22	—	—	18
極軌道衛星	4	4	—	—	—
静止気象衛星	5	5	—	—	—
特別観測体系					
航空機からのドロップ・ゾンデ	5つの経路	5	—	—	—
熱帯の定高度気球	300	300 ⁽¹⁾	—	—	—
熱帯の風観測船 (TWOS)	SOP-I : 50	15	11	12 ⁽²⁾	12
	SOP-II : 50	21	10	12 ⁽²⁾	8
TWOSのための高層風観測系 (レーダか Navaid)	SOP-I : 50	31 ⁽³⁾	—	—	19
	SOP-II : 50	35 ⁽⁴⁾	—	—	15
浮遊型パイ	300	295	—	15	—

(1)アメリカとフランスの間の適当な取り決めによる。

(2)さらに何隻かの観測船が FGGE のために追加が約束されているが、TWOSの地域 (10°N~10°S) では運営されない。

(3)現存の高層風観測系は全部で12。拠出された基金から購入し貸与される Navaid が 13。残りの6は加盟国自体が Navaid を持ってくる。

(4)現存の高層風観測系は全部で16。拠出された基金から購入し貸与される Navaid が 13。残りの6は加盟国自体が Navaid を持ってくる。

品的な観測計画である。先にキャリア・バルーン・システムが、財政的困難と技術的不確かさのために、定高度気球と航空機からのドロップ・ゾンデに置き換えられた。そのために、地理的な不均一さと鉛直方向のデータの疎密が増えているので、観測船の重要さが一段と増してきたわけである。特別観測期間中、かなりの資料を集中させて熱源の実体を正確に測定するために、現在も非常な努力がなされている。

この部分と高層観測点の全般的強化を除けば、現在の世界的経済情勢の下で望みうる最高の動員ぶりといってもよいのではないだろうか。不幸にして、当初 JOC が規定した全地球実験計画の目標には到達できないようだが、それをいくらか下まわる所まではいける見込みだし、有意義な国際協力事業として成功することは確実だと思われる。

4. FGGE データ管理体系とデータの流れ

まずはじめに、GARP で用いているデータの処理段階を示す用語を説明しておこう。

Level I データ：適当な物理単位で表わされた測器の読取值。いわば、生のデータのこと。ただし、測器から

の単なる信号ではない。たとえば、放射輝度、定高度面気球の位置などがこれに相当し、これらのデータはさらに気象要素への変換を必要としている。

Level II データ：気象的パラメーターのこと。各種の気象測器から直接測定されたもの、あるいは Level I のデータから変換されたもの。例としては、定高度面気球の位置測定から求めた平均風の値があげられる。

Level II のデータは、次の3つのカテゴリーに分類されている。すなわち、

Level II-a data set : 現業の打ち切り時間内に入植したすべてのデータからなるセット。

Level II-b data set : 最終的に完成された、全地球を覆うデータからなるセット。このデータ収集のために打ち切り時間を十分延長し (たとえば観測後2, 3カ月まで)、FGGE の基本的な data set にしようとするもの。

Level II-c data set : やはり、打ち切り時間を延長して集めたものだが、特に、気候研究のために必要なデータからなるセット。

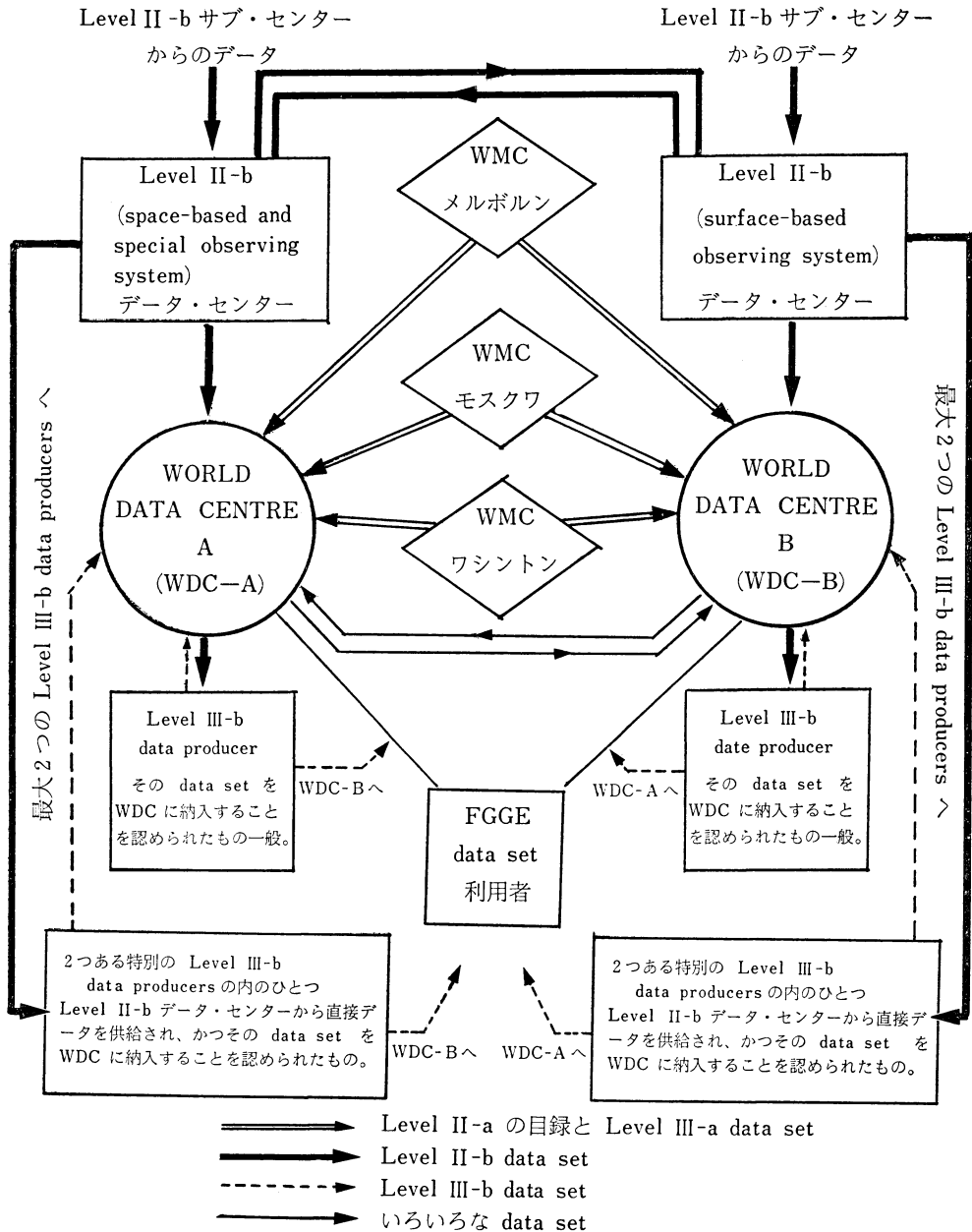
Level III データ：初期状態のパラメーターのこと。4

次元データ同化の手法を用いて、Level II のデータから求めた解析値。風、気圧、気温などの場が互いに力学的平衡状態にあるように要請されている。Level III のデータにも、次の二つのカテゴリーがある。

Level III-a data set : Level II-a data set から求め

た現業的解析値。

Level III-b data set : Level II-b data set から求めた全地球実験の研究用解析値。これは観測実験後1年ぐらひかけて作られる。



第3図 データの保存と配布のスキーム

本章では、FGGE data set を利用する立場に立って、そのために必要なデータ管理体系に限定して見ていこう。前章で述べた FGGE 観測体系によって観測されたデータ (data II-b) は、大別して二つの流れにわけられる。ひとつは、地上および高層観測所 (surface-based observing system) が観測したデータ、もうひとつは、上空の観測系 (space-based observations system) および特別観測体系 (special observing system) が観測したデータで、前者はソ連に、後者はスウェーデンにそれぞれ集められる。この両国が、Level II-b data set のデータ・センターとなっている。両センターは、直ちにお互いが作成した data set を交換し、それぞれに完全な Level II-b data set が一組ずつ備え付けられる (第3図参照)。また、それらの data set は、WDC-A と B に納入されるとともに、二つの特別の Level III-b data producer (GFDL と ECMWF の予定) にも直接 Level II-b data set が送られる。

Level III-b data producer は、すでに予定されている GFDL (米：地球流体力学研究所) と ECMWF (ヨーロッパ共同体：ヨーロッパ中期予報センター) のほか、希望すればどこでも立候補できるが、でき上がった data set が JOC によって authorize されねばならない。もし、JOC がある水準に達していると認めれば、これらの data producer は WDC に Level III-b data set を納入保存してもらえ、Level III-b data set は、4 次元解析の手法で作られるので、その意味で model dependent である。したがって、なるべく多くの producer が出て、それらのつくる data set の中から一番秀れたものが選ばれる形が望ましい。また、producer の方も、Level II-b data に早く接することができる利点があり (殊に特別の二つの producer へは Level II-b データ・センターから直接送られる)、Level III-b data を作成する技術の改良のみならず、全地球実験の研究を早くスタートさせることが可能である。残念ながら、日本には Level III-b producer の候補がないが、こうした他の研究機関とのギャ

ップにも注意しておく必要があると思う。

周知のように、一般の FGGE data set の利用者は WDC-A か B から購入することになる。WDC-A はアメリカのアッシュビル (Asheville) に、WDC-B はソ連のモスクワにそれぞれ設置されることになっているが、詳しいことはまだ発表されていない。データ全体の量については、

Level II-b data set : $7 \cdot 10^6$ characters/day

Level III-b data set : 10^7 characters/day

で、これらが、

Density : 800 BPI

Mode of recording : NRZI

Recording code : binary

Number of tracks : 9

Parity : odd

の磁気テープに納められる。大ざっぱに言って、Level II-b, III-b の data set のそれぞれについて、1日1本分の磁気テープが必要だから、もし1年分ということになると、それぞれの data set が磁気テープ365本に納められ、全部で合計730本ぐらいの莫大な数量となる見込みである。なお、特別観測期間 (SOP-I と II) の方が他の期間より相対的にデータ量が多いのは言うまでもない。価格は、磁気テープとそれへの書き込みの実費および郵送料程度ということである。

5. FGGE data set の構成

さて、このようにして作成される FGGE の data set は、どんな構成をし、どういう精度のデータであろうか。現在わかっている範囲で見てみよう。

5.1 Level II-b data set

Level II-b data set の内容を構成するデータについては、第2表に列記したものが予定されている。これらのデータが、編集されて1日分1本ずつの磁気テープに記録される見込みである。利用する立場からいうと、それぞれのデータの精度が気になる所である。現在、GARP 活動本部でつかんでいる誤差値を以下に示す。

大気中

(1) 風

(i) WWW 高層観測系 $\pm 1 \text{ ms}^{-1}$ (風速 10 ms^{-1} 以下のとき)

$\pm 10\%$ (10 ms^{-1} 以上のとき)

(ii) 静止気象衛星 (注1) $\pm 3 \text{ ms}^{-1}$ (下層風)

$\pm 6 \text{ ms}^{-1}$ (上層風)

(iii) 熱帯の風観測船 (注2) $\pm 2 \text{ ms}^{-1}$

(注1) 現在の段階では静止気象衛星から観測した雲運動に基づく風のデータの精度についてコンセンサスが得られていない。本文で示した値は、JOC の Working Group on Numerical Experimentation (WGNE) の評価だが、必ずしも多数の同意が得られていない。誤差 $\pm 1 \sim 3 \text{ ms}^{-1}$ で求まるという意見もある。

(注2) この精度は、地理的領域、1日の中の時間、利用できるオメガ中継局の数などに依存する。

第2表 観測データの型と量

電報・データの型	頻 度	範 囲	デ ー タ の 量
TEMP	00 と 12GMT および手に入る限り06と18 GMT	全球	臨時および通常の高層観測所より入電するすべてのデータ。(地点名はWMO 発行 Manual on GTS, Part A と C (できれば B と D も) 記載のものおよび臨時のもの)。
PILOT	00, 06, 12 と 18 GMT	全球	同 上
TEMP SHIP	00, 06, 12 と 18 GMT	全球	入手可能なすべてのデータ。(熱帯風観測船からのデータも含む)。
PILOT SHIP	00, 06, 12 と 18 GMT	全球	入手可能なすべてのデータ。
SYNOP	00, 06, 12 と 18 GMT	全球	臨時および通常の上層観測所より入電するすべてのデータ。(地点名は WMO 発行 Manual on GTS の地上観測点 (2 欄から 5 欄まで) および臨時のもの)。
SHIP	00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 と 21GMT	全球	入手可能なすべてのデータ。
BATHY と TESAC	非定時	全球	入手可能なすべてのデータ。
CODAR/AIREPS (AIDS も含む)	非定時	全球	入手可能なすべてのデータ。
気象衛星による気温と湿度の鉛直分布	非定時	全球	水平解像度を 500km として 1 日当たり約 6,000 個のデータ。
気象衛星による風のベクトル (SATOB)	定 時	50°N~50°S の間	5 個の衛星から上層風と下層風に対して 1 日当たり約 7,500 個のデータ。
気象衛星による海水表面温度 (SATOB)	非定時	全球	1 日当たり約 10,000 個の気温のデータ (非常にくもった領域ではデータなし)。
航空機によるドロップ・ゾンデ (TEMP DROP)	非定時	赤道帯 (10°N~10°S)	入手可能なすべてのデータ。1 日当たりの電報数未定。
定高度面気球 (COLBA)	非定時	大よそ (20°N~40°S)	1 日当たり約 400 通の電報。
浮遊型パイ (DRIBU)	非定時	南半球 (20°S~65°S)	入手可能なすべてのデータ。
気象衛星による放射量の測定 (radiance)	非定時	全球	1 日当たり約 6,000 通の電報。

(iv) 航空機からのドロップ・ゾンデ (後日わかる予定)

(v) 熱帯の定高度気球 (目下検討中)

(注3) ジャンボ・ジェット機の慣性航法システムを利用する高精度の AIREPS。

(注4) 風と同様、極軌道衛星による気温の鉛直分布の精度に関してもコンセンサスが得られていない。また、対流圏中層がよくて、境界層と圏界面では相対的に精度が劣ることも指摘されている。ここに示した値は、Bengtsson・Morel が求めたものである。

(vi) 特別の航空機 (AIDS)(注3) 1.5ms⁻¹ (ベクトルの RMS)

(2) 気温

(i) WWW 高層観測系 ±0.5°C

(ii) 極軌道衛星(注4) ±2~3°C

(iii) 熱帯の風観測船 ±0.5°C

(iv) 航空機からのドロップ・ゾンデ ±0.5°C

(v) 熱帯の定高度気球 ±0.5°C (推定)

(vi) 特別の航空機 (AIDS) ±1.5°C

(3) 気圧

- (i) WWW高層観測系 ± 1 mb
- (ii) 熱帯の風観測船 ± 1 mb
- (iii) 航空機からのドロップ・ゾンデ ± 2 mb
- (iv) 特別の航空機 (AIDS) ± 12m (高度のRMS)
- (4) 相対湿度
 - (i) WWW高層観測系 ± 5% (圏界面か 300mb 面, どちらか低い方まで) ± 10% (それ以上の面)
 - (ii) 極軌道衛星 ± 30%
 - (iii) 熱帯の風観測船 (i) と同じ
 - (iv) 航空機からのドロップ・ゾンデ (気温によって変わる)

海面上

- (1) 気温
 - (i) WWW地上観測系 ± 0.1°C
 - (ii) 極軌道衛星 ± 1.0~1.5°C
 - (iii) 熱帯の風観測船 ± 0.1°C
 - (iv) 浮遊型ブイ 1°Cよりよい
- (2) 地面近くの気圧
 - (i) WWW地上観測系 ± 0.5mb
 - (ii) 熱帯の風観測船 ± 0.5mb
 - (iii) 浮遊型ブイ 1 mb

さて、Level II-b data set をわれわれが入手できる時期であるが、一応、実施年終了後6ヵ月までにWDCに納入されることになっている。したがって、それ以後、つまり1980 (昭55) 年の半ば以降に入手が可能となるわけであるが、こうした国際協力事業の場合予定より遅れるのが普通であるから、安全係数をかけて見積もることが望ましいと思う。

Level II-b data set で使用されるデータの形式 (format) や品質管理 (quality control) についても、すでにかかなりの議論がなされているが、今後なお変更される可能性もあり、利用上直ちに必要ない事柄でもないで、本文では省略する。

なお、日本 (東京) は、Area Sub-centre のひとつとして、アジア地区と南太平洋地区の通常気象観測点のLevel II-b データを集めることになっているから、局地的な研究に利用できる可能性がある。全球的なものでも、WMC の Level II-a data set が利用可能である。

5.2 Level III-b data set

5.2.1 解析される気象要素

ジオポテンシャル

海面気圧

- 水平風成分
- 鉛直速度 (モデルから導いたもの)
- 気温
- 海面水温
- 相対湿度

さらに、雲分布、積雪、降水量、熱流束などのパラメーターについても解析されることが望まれている。また、用いた観測資料の品質と分布を示す、統計的な「解析誤差」のデータも付け加えられる予定である。

5.2.2 解析の解像度と範囲

要請されている解像度は、水平に250km、鉛直に10層、時間間隔12時間 (特別観測期間中は6時間) である。海水表面温度や熱流束のようなパラメーターは、数日間の平均値で示すことになるとと思われる。

一般的に言って、Level III-b data set には少なくとも一つの特別観測期間が含まれることになっているが、特に、Level II-b データ・センターから直接Level II-b data set を受け取る Level III-b producer (GFDL と ECMWF) に限っては、FGGE 実施年の全期間にわたる解析を行なうことになっている。

Level III-b data set の範囲は、一般に全球領域であることが望まれているが、上述の GFDL と ECMWF では、全球領域の解析を行なう予定である。

5.2.3 データ量

Level III-b data set に含まれる1日当たりの気象場の数を、第3表に示した。この表で、括弧内は二つの特別観測期間中のものである。

総計で114枚の図 (SOP-I と II の期間中は228枚) に相当する解析が毎日作成される予定である。そして、前

第3表 1日当たりのLevel III-b データの量 (括弧内は特別観測期間中の値)

パラメーター	1日当たりの頻度	鉛直面の数	1日当たりの気象場の数
ジオポテンシャル高度	2 (4)	10	20 (40)
風の水平成分	2 (4)	10	40 (80)
気温	2 (4)	10	20 (40)
相対湿度	2 (4)	6	12 (24)
海面気圧	2 (4)	1	2 (4)
海水表面温度	1/3 (1/3)	1	1/3 (1/3)
(間接的に求めた) 鉛直速度	2 (4)	10	20 (40)

総計114 (228)

述のように（第4節参照）、1日分の Level III-b データが1本の磁気テープに収録されることになっている。

5.2.4 データが入手できるまでの時間

Level III-a data set も、II-a と同様 WMC で準リアル・タイムに作成されるから、24~36時間後に入手可能となるわけだが、WMC が多数の利用者にサービスする機能を持つかどうか別問題で、この点をしっかりとつめておく必要がある。

Level III-b data set は、非常に複雑な手順を踏んで作られ、かつ、最終結果は JOC の authorization を受けねばならぬため、FGGE の実施年終了後、最低2年はかかるものとみられる。したがって、それ以後、つまり1981（昭56）年末か1982（昭57）年初頭以降に入手可能となるわけであるが、やはり、安全係数をかけて見積もるのがよいと思われる。研究の順序としては、Level II-b data set から着手し、その後 Level III-b data set を取り扱うような計画が望ましいと考えられる。なお、FGGE 実施年の間、上述のように WMC で Level II-a, III-a の data set が作られるから、それらを入手すると、不完全ながらも例年よりは多くのデータが入電した data set を用いた、quick look または予備的な研究は可能である。

Level III-b data set で使用されるデータの形式 (format) や品質管理 (quality control) については、Level II-b data set と同様の事情で時期尚早と思われるので、本文では省略する。

6. GARP 第1目的に関連した研究

ストックホルムでの FGGE Research Coordination Conference では、各国別の研究計画が発表されたが、ここでは研究題目毎にまとめて見ていこう。

JOC が設定した GARP の第1目的は：

対流圏と成層圏における、天気変化を支配する大規模で非定常な運動を理解するために、本質的に重要な物理過程の研究を進めること。それを通じて、1日から数週間にわたる気象予測の精度向上を図ること、

である。この目的達成のために必要な研究課題は、大別して、

- (1) データの処理と解析
- (2) モデル作り
- (3) 予測可能性と予測
- (4) 現象論的研究

の4つに分けられる。それぞれについて見ていこう。

6.1 データの処理と解析

6.1.1 内挿と同化過程

限られた量の気象データが、時間・空間的に不均一に入ってきた場合、均一な格子網、あるいは波数空間に変換するためには、どのような方法が最適かという問題である。具体的に問題点を下に列記してみよう。

(1) 客観解析

- a. 熱帯の構造関数：最適内挿法 (optimum interpolation method) を適用するのに構造関数が必要だが、風、気温、湿度の場に小規模な特徴があること、地衡風平衡が成り立たないこと、一般に気象場が非等方であることによって、中・高緯度に使われている構造関数の計算法は低緯度では使えない。したがって、全く新しい計算法の開発が必要である。
- b. 湿度場の解析：現行の解析法では、小規模なノイズを除去することができないから、はっきりした水蒸気場の勾配が決定できず、予報開始後約12時間の間における、飽和、雲の形成、降雨をもたらしような水蒸気の収束を正しく見積もれない。
- c. 3次元の最適内挿法：現行の3次元多重変分最適内挿法では、高次の行列の変転を必要とする。これは、非常に時間のかかる計算で、現業に使うわけにはいかないので、もっと効率のよい計算法の開発が待たれる。
- d. 観測網最適化の研究：相異なる観測体系の誤差の構造と、大気の基本パラメーターの構造に関する知識に基づいて、系統的に観測網の最適化を行なうことができる。しかし、それに必要な共分散 (covariance) の計算法には、多くの仮定がなされている。より一般的な計算法の開発が望ましい。

(2) 気象衛星資料の同化

- a. 気温のデータ：依然として気象衛星による気温のデータには、大きい誤差が存在する。系統的な誤差を補正していくために、ラジオゾンデとの比較を続ける必要がある。
- b. 風のデータ：気象衛星による風データも、比較的雲高が正しく決められる下層の積雲を使った場合は精度がよいが、熱帯の高層雲や一般に中・高緯度の雲の場合は、雲高がはっきりと決まらないので利用価値が下がる。雲写真上の、追跡しようとする雲要素の高度決定法を改良する必要がある。
- c. 雲からの情報の同化：元来、気象衛星の雲写真には、湿度、気温の鉛直分布、鉛直速度に関する有

用な情報が含まれているので、これらの情報を同化するための手法を開発する必要がある。

(3) Initialization

- a. 山の影響：急な斜面の山を越える気流の場合、地衡風平衡が成り立たないので、initialization の過程に含めることができない。また、大規模な山の周辺をまわる効果を、あらかじめ風の場合に含めておくためには、山の周辺の気圧場の正確な解析が必要である。こうした問題点を解決しないと、非現実的な初期場ができてしまう。
- b. 境界層：急な山と同じ困難が、境界層の initialization にもある。境界層では摩擦のため、地衡風の関係が成り立たないからである。
- c. 湿度場：現在の湿度場の initialization だと、偽の小規模な発達をもたらす、大規模な天気現象の展開をおさえる恐れがある。
- d. 低緯度：コリオリの力による拘束力の弱い低緯度地方における、正しい平衡の条件は何であるのか、重力波の減衰の遅い低緯度地方では、どういった initialization の過程が有効なのか、こうした疑問を解決しないと、低緯度地方の短期数値予報の精度が向上しない。
- e. 重力-慣性波：高周波の重力-慣性波は、initialization によるか、数値積分の過程で、一般には取り除くことができる。ただ、このどちらの方法によるかによって結果が違ふのは、重力-慣性波と総観規模の運動との間に、凝結のような物理過程を通じて相互作用が見られるからである。正しい取り扱い方の研究が望まれる。

(4) FGGE 観測/資料処理プログラムの意味づけ

- a. FGGE観測体系：気象衛星からの観測データしかない領域（かなりの広範囲にわたる）での、データ・チェックをどうするかが難しい問題である。品質管理の上からも、通常の観測をこうした領域で増やすことが必要である。衛星センターでも、違ったチャンネル（二つの赤外と一つのマイクロ・ウェーブ）からの情報を比較して系統的誤差を取り除くような品質管理が望ましい。
- b. 資料処理体系：多くの異なった段階での資料処理があって、FGGEの資料処理体系は大変複雑になっている。中でも、品質管理とデータ・モニタリングの問題が重要である。FGGEの成否は、観測点のひろがりやデータの品質、特に、気象衛星

のそれによる所が大きい。気象衛星資料を制御するための効率のよいシステムを、FGGE 資料処理センターで設立し、系統的誤差を検出しなければならない。それには、ラジオゾンデ観測との比較が必要である。

次に、Level II-b と III-b の data set の producer が十分連絡をとる必要がある。同様に、Level II-b センターと地域副センター (Area Sub-centre) も連絡を密にし、技術的および施設の問題点をチェックしたり比べたりし、さらに、お互いのグループが持っている困難な点についても知らせ合うべきである。そうして、すべての問題点が共通に理解されていることが大切である。

できるならば、利用者側で FGGE の Level II-b と III-b データについて、もっと詳しくその必要性を示してほしい。データ・ファイルを効率よく編集し Level II-b と III-b の各 data set 製作中にいくつかの誘導量（流束など）を計算する準備のためにも、こうした利用者の声が大切である。

6.1.2 観測体系の評価 (Observing Systems Evaluation, OSE)

GARP の考え方の中心には、対象とする気象現象のスケールを明確にし、そのスケールの現象の検出に最適の観測網を展開しようという考えがある。FGGE では大規模運動を対象としているので、その観測網の展開計画を作成するに当たって、数値実験的に情報を求めた。それが、OSSE (Observing Systems Simulation Experiments 観測体系シミュレーション実験) である。OSSE は、FGGE の実施案を作る上で主要な役割を果たしたが、観測体系の導入が、解析や予報の改良にどの程度貢献するかを決めるのに、ややもすれば楽観的すぎる結果を与える傾向があった。この偏った傾向は、OSSE に用いられた大気循環モデルとこれらのモデルから求めた人工的に合成したデータの、不完全さの結果であると考えられる。そこで、FGGE data set の利用のひとつとして観測体系の評価を行なう場合、OSE という考えが出されている。これは、目的は OSSE と同様、観測体系の気象面での適用価値の評価にあるが、その適用価値を決定するのに、実際にいろいろな観測体系を施行して realistic に見積もっていかうとするものである。したがって、将来展開される観測体系の優劣を、ずっとよい精度と大きい確実さで決められると期待される。

しかし、これをなし遂げるには、FGGEの期間中に施

行される観測体系は、最小限の要請を上まわるもので、ある程度の重複が見られるものであることが絶対必要である。というのは、OSE の過程で、問題になっている観測体系の重要性を調べるために、その観測データの全部または一部を取り除くことをするからである。特に、現在の観測網が貧弱な熱帯地方と南半球では、この時点で計画中の FGGE 観測体系の全面的施行が重要なこととなっている。

6.1.3 将来のWWW体系の設計

将来の現業的観測体系の設計には、たとえば、全地球的海況の解析と予報、極地方の海水の集中度と層厚、暴風雨警報サービスといった気象の応用面でのデータへの要請とともに、これらの OSE の結果もぜひ考慮に入れられるべきである。こうした要請のすべてについて注意深い配慮を払わないと、現業的サービスの観点から見て全地球的観測体系はその効果を表わすことができない。

今後出される各種の筋の通った要求を満たすためにも、将来の全地球的観測体系は、できる限り、地球上の既存の観測点分布にみられる非斉一性を除去するように組み立てられるべきである。さらに、現状と比べて、もっと多くの気象学のおよびその他のパラメーターが常に要求されるようになり、これらのデータを全部WMCとRMCへ現業的に届ける仕事が、さしせまって必要となることが考えられる。

6.2 モデルの作成

6.2.1 物理過程と parameterization

GARP の第 1 目的を遂行するために、大気の実現的な数値モデルを作成するには、現実の大気中に起こっている物理過程を、これらのモデルの中でも適切に表現する必要がある。大規模な力学的降水のような過程は、モデルの解像度さえ十分に高ければモデルの中でも直接的に表現できる。格子間隔以下の規模で起こる対流とその効果のような過程は、格子以上に与えられている量を用いて parameterize されねばならない。

すでに実施された、AMTEX や GATE, FGGE 期間中に実施されることになってい、る JASIN, MONEX, WAMEX, FGGE 以後に計画されている、ALPEX といった、GARP の副計画の多くは、大気中の小規模物理過程の理解、および、GARP の第 1 目的にとって最も重要な大規模過程と、この小規模過程との相互作用の理解を、それぞれ増進させるように計画が練られている。GATEは、その中でも、熱帯大気中の対流、境界層の効果、放射の parameterization のスキームを發展させる

上で特に重要な観測実験計画であって、周知のように相異なる規模（大規模、中規模、小規模）の現象を観測するような観測網が展開された。

FGGE の data set それ自身は、一般にこれらの格子間隔以下の規模の過程を詳細に調べられるほどには、高い解像度で表わされていないが、予報モデルのために開発されたか、目下開発中の、parameterization のスキームをテストする、絶好の機会をもたらすものであろう。特に、Level II-b data set は、総観規模の現象に対する質の高い全球解析となる管で、全球モデルや狭い領域のモデルによる 2, 3 日予報を実測値の解析と比べると、比較的簡単に parameterization のスキームをテストできると考えられる。

6.2.2 数値予報モデルの設計

大部分のモデル作成者は、数値モデルや数値解析技術の開発・テスト・比較をするとき、当然 FGGE データを使うと思われるが、それによって、鉛直と水平の解像度に対するモデルの感度の研究や側面境界条件の選択の仕方を含めた nested model の設計などをすすめることができる。

ここでは、特に、FGGE データの利用の立場から見てみよう。

最も重要な問題は、大気モデルにおける、100mb 以上の高層大気の鉛直表示の問題である。現在、現業で使われているモデルの持つ重大な弱点の内のいくつかは、この問題に関連していると信じてよい理由がある。したがって、この問題に対しては、Level II-b データを少しでも高い高度まで、そして、密な解像度で作り上げるようにすべきである。この点を解決しない限り、高い高度面の Level II-b データを作ることができない。

第 2 の問題は、スペクトル・モデルにおける水平基礎関数の選択の問題で、この関数を定める上で、Level II-b data set の、熱帯地方と南半球の部分が極めて重要である。

6.3 予報可能性と実験予報

大気の初期状態を決定する上での避け難い誤差と、完全なモデルに対してさえその誤差が成長するのを防げないというモデル固有の傾向とが結びつくために、数値予報が絶対正確な予測をするということとはあり得ない。ここ 10 年間以上にわたって、予報可能性の研究の主要な対象とされたのが、この内在する誤差成長機構であった。

現実のモデルは決して完全でない。そして、諸モデルが実際に持つ予報能力を把握する上で決め手となるの

は、観測誤差と解析誤差の相対的影響度、内在的誤差の成長の仕方、モデルの欠点などを取り出すことである。

以下に、主な未解決の問題を列挙してみよう。

(1) 予報可能性

これまでの予報可能性についての研究によると、平均の内在的 RMS 誤差が2倍になるのは、約2日ということであったが、代表的な補正時間 (correction time) の統計的研究から明らかになったように、高・低気圧がよく通過する緯度とブロッキング領域にはさまれた、北半球中緯度地方では、こうした倍増時間が factor で4ぐらい変わるようである。それに対応して、予報可能性も変わるはずなので、もっと注意深く調べる必要がある。

(2) 予報の問題

(i) 初期値

それぞれの子報モデルに適した initialization の方法を通して、初期値の最適利用を行なうに当たって、まだ多くの問題が残っている。わけでも興味深いのは、データの数が少ない領域で大気の状態を定義する、データ同化法 (data assimilation method) の有効性の問題である。

(ii) 空間と時間のスケール

モデルの水平解像度が、モデルの子報能力に及ぼす影響について、さらに引き続いて研究されるべきである。狭い領域のモデルを用いた場合の、予報可能性の時間幅を見積もるためには、誤差の水平伝播を調べることが重要である。

また、ある決まった時間と空間のスケールを持った運動が、他のスケールの運動に比べて、それよりいっそう予報しやすいというようなことがあるのか、ないのかといったことも研究すべきである。この結果を用いて、予報や予報結果の検証 (verification) のスキームを考える必要がある。

(iii) モデルの鉛直構造

モデルの鉛直の解像度と上部境界条件が、モデルの子報能力に及ぼす影響についても、もっと検討されねばならない。この問題は、特に、低気圧発生時のエネルギー変換過程や長波の運動と関連している。

(iv) 下層の境界における外力

今後、いっそう、地表面付近のエネルギー源や抗力が、予報に及ぼす効果を研究すべきである。

山岳系と大気との相互作用については、その重要

性はよく知られているものの、必ずしも正しく取り扱われていない。地面と海面からの熱および水蒸気輸送についても、もっと調べられるべきである。延長予報のためには、「弱い結合」の大気-海洋モデルが多分必要だろう。

(v) 内部エネルギー源

雲分布を考慮した放射加熱・冷却が、モデルの子報能力に及ぼす影響についても、よくわかっていない。潜熱の放出量を適切に予報することは、予報期間を延長するために大変必要なことである。特に、数値モデルにおける対流の取り扱い方の違いが、予報に与える影響を調べる必要がある。

(vi) 検証の方法

予報能力を測定するいろいろな方法の性質について、いくつかの疑問が残っている。研究の進捗状況をはかるためにしばしば用いられる客観法は、予報の効用の主観的評価と必ずしも対応しない、ということを知っておく必要がある。

6.4 現象論的研究と GARP 地域副計画

FGGE を中核として、その周辺にいくつかの地域副計画 (MONEX, WAMEX, POLEX など) が予定されている。これらの副計画では、上に述べたような問題を地域的に取り扱うほか、各国の関心と情勢に応じて、現象論的研究も考えられている。詳細は省略するが、単なる記述ではなく、物理的背景の考察にいたるような筋道のすっきりした研究ができるように、計画が作られている。

7. GARP 第2目的に関連した研究

JOC が設定した GARP 第2目的は：

気候の物理的基礎をよりよく理解するには、大気大循環について十分解明されねばならない。その大気大循環の統計的性質を決定する諸要因の理解にとって、本質的な役割を果たしている、対流圏と成層圏内の諸物理過程を研究すること、である。

7.1 解析的研究

7.1.1 大気大循環研究 (輸送とエネルギー論; 季節変動; スペクトル解析)

FGGE データは、1年間にわたる大気大循環を記述したものとしては、これまで求められたうちで最も正確なものと考えられる。そして、大気の大規模な動静を予測しようとするモデルの検証にとって、考えられる最良

の data set であると言えよう。大循環の解析的研究にとって、この data set の持つ価値に関しては、少なくとも以下の点が言えると思う。

(i) この FGGE データは、大循環の実況の特性として知られているものの精度を研究する、また新たな機会を与えてくれる。

平均子午面輸送のような、大循環の持つ性質をいろいろな実況データから見積もる仕事には、いつも誤差の限界がつきまとう。それは、なにも南半球だけに限らず、北半球の海洋上のような観測網が貧弱な領域でも言えることである。

大気大循環の、帯状平均・時間平均した特性は、原理的には、個々の観測点での高層観測値の時間平均を空間的に解析して行なった統計 (mixed space-time domain) からでも、あるいは、気象要素の日日解析値 (space domain) の時間平均からでも、そのどちらからでも決めることができる。最も広汎にわたって行なわれた解析的研究は、mixed space-time domain を用いたものである。これら二つのスキームは、相異なる内在的誤差の源を持つが、それについてこれまで系統的に調べられたことがない。FGGE データに基づいて、この点の不確かさを定量的に見積ることができ、

(ii) FGGE データは、今日まで殆ど知られていない大循環の特性について、何か新しい情報をもたらしてくれる。

- これまで作られた中で最も完全な全球データとして、FGGE データは、たとえば次のような点について、新しい情報をもたらす可能性がある。
- いろいろ違った分解法を用いた、大気のスเปクトル特性、
 - 有効位置エネルギーの生成、
 - (Level III-b data set から計算した) 有効位置エネルギーから運動エネルギーへの変換および鉛直流束過程、
 - 運動量やエネルギー等の平均子午面輸送のやり方 (たとえば、数式の上で space-domain と mixed space-time domain の差をなす、非定常な軸対称循環の役割)、
 - 運動量、水、エネルギーの地域的収支とこれらの全球統計における役割、
 - 領域相互の結合の仕方の特性および程度。

7.1.2 地域的研究

大気の動静を、帯状平均した統計量で表現すると、気候の過程の内部に立ち入った考察をする上で、非常な制約を受ける。というのは、海陸の違いや地形の正味の効果によってもたらされる、経度方向の変動が、季節変動の主要な特徴だからである。FGGE データを用いた地域的な研究は、たった1年間のデータであるにしても、局地気候を正確に描写し、こういう気候状態を実現するにいたった過程を、個々の素過程にわけてきちんと整理する上で、今日最も信頼するにたる目録作りを行なうことを可能とするであろう。ある見方からすれば、こうした研究は最良の data set を用いているから、いろいろな調査結果の精度を判断する基準とみなすことができよう。別の観点からすると、こうした研究は準平衡状態にある気候のそれぞれの成分が、地理的にどう分布しているかを解析することに当たる。そして、そうした準平衡状態の気候は、正確にモデル化される必要がある。というのは、局地的な季節の進行、あるいは、長い目で見ても気候変動と系統的な変化といったものを表わす項は、この平衡状態からのズレに当たるので、ズレをきちんとつかむためには、基準の状態がしっかり表わされていなければならない。

こうした地域的研究は、いろいろな仕方で分類できるが、そのうちでも効果的なのは、次の3つのグループに分ける分類である。

- 季節の進行の形態学と地域気候学、
- 別々の地理的領域での収支の研究、
- 外力・内力の項 (forcing function) の地理的分布の解析、

大気を持つ特性は、異なる場所で、異なる割合で、異なる仕方で変化する。FGGE データを用いると、FGGE 期間中の大気大循環の、大規模な準定常の特徴とその変化を描きだすことが可能となる筈である。季節変化や年変化を simulate する目的で、大循環数値モデルや統計的力学モデルを作る場合、これらの特徴は正確にモデルに組み入れられる必要がある (長期間の大気変動を扱う場合は、気候を支配するメカニズムの、より高次の平衡状態によって支配されている示数が、これらの特徴を表わしていると考えられる)。こうした研究には、次のものが含まれる。

- 農作不振な地域における気候平衡、
- 地球上の異なる場所におけるモンスーン系、
- このほかの熱帯地方の気象研究、特に、ITCZ の動静

と各半球内での積算量の平衡、
 一放射などの諸量の、全球全般にわたる平衡状態、および、その日日変化と季節変化。

特定の気象要素の収支の研究は、時としては、より広い目的を持った調査を行なう上で、大変役に立つものとなる。たとえば、次のような水収支のよい例がある：

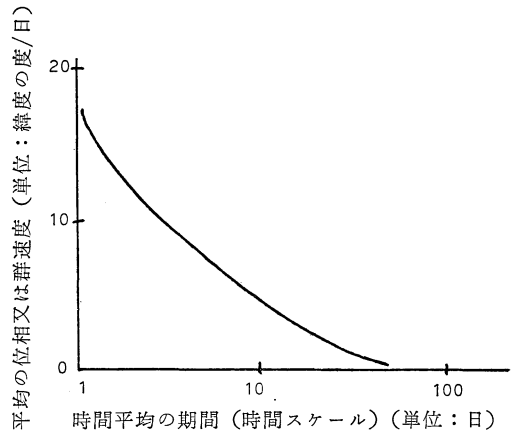
- 一南極における氷域の水収支、
- 一たとえばサハラやオーストラリアのような、水蒸気源または消散域としての大陸領域、
- 一地中海の水収支。

第3番の強制力の分布の研究は、次のような考えによるものである。すなわち、季節変化というものは、地理的に決まった場所に固定された forcing function, それに対する大気の時間平均した反応および渦動(時間平均状態からの瞬間的な偏倚の正味の結果)といった、三者の間の不均衡がもたらす残差項である、とする考えである。異なる時間スケールの大気運動を調べてみると、もし、それぞれ違った期間にわたる時間平均をとったとした場合、結果としてあらわれる流れの中の波の位相速度は、第4図に掲げたような系統的变化を示すことがわかる。このことは、日日の時間スケールで考えているときは、大気波動の位相速度の変動を予測しているわけだが、いっぽう、月々の時間スケールで考えているときは、波は殆ど定常となり、われわれはその位置を予測していることを意味している。したがって、現実に着している海洋や大陸が表現する、地理的に固定された強制力、この強制力の季節毎の強度、大気のこの強制力に対する反応と相互作用、といったものは、すべて気候過程をなしている。FGGE のデータを用いて、これらの素過程をそれぞれ地域的に研究できる見込みだが、わけても、地理的に分布している熱・冷源を地域的に研究できる点大きい。

7.1.3 気候モニタリング・システム的设计

気候研究プログラムを推進していく上で本質的な点は、いくつかの適当なパラメーターを選んで、適切な精度で全球的に連続測定する準備を進めることである。FGGE は次の点で、こうした測定プログラムをうまく設計する上で、大きな助けとなるであろう。

- (i) FGGE データを分析することによって、気候研究のため連続的にモニターすべきパラメーターの選択上での基礎が与えられる。
- (ii) FGGE 期間中のデータ取り扱い上の経験は、現在用いられている測器の持つ精度を、きちんと見



第4図 時間平均をとった期間(時間スケール)と平均の位相速度の関係。

積もるのに大変役立つと考えられる。

- (iii) FGGE データを用いると、雲量のようなパラメーターについて、広範囲の条件下で、気象衛星からの測定値と地上の観測所での測定値との比較が可能となると考えられる。
- (iv) FGGE の要請は、測器の開発、特に、気象衛星に搭載する測器の開発、および、気象衛星による遠隔測定から、気象に役立つ情報を取り出す技術の開発に対して、実質的な推進力となっている。この点で、赤外域かマイクロ・ウェーブ域での放射輝度の衛星観測から、気温の鉛直分布を求める過程を改良し、新しい技術を開発することには、依然さし迫った必要性がある。

次に、成層圏の問題について、若干触れておく。現在、成層圏に関して多くの関心が持たれ、沢山の研究が行なわれているが、特に、自然発生的および人為的なさまざまな気象素過程が、オゾン層にどんな効果を与えるかについて、きちんとした評価を行なう点に努力が集中している。この評価を行なうためには、成層圏循環を詳しく理解する必要がある。成層圏循環が下層大気の循環と密接に結びついているので、FGGE 期間中に対流圏で起こる現象が十分観測できる利点を大いに活用することが望ましい。また、FGGE 期間中に成層圏観測をきちんと行なうことも大切で、そうすることによって、上部成層圏と下部成層圏の循環の間の相互作用を、ずっとよく理解できることになる。

7.2 モデルの作成と parameterization

7.2.1 気候モデルにおける総観規模の過程の parameterization

実際問題として、たとえば、数年以上にわたるような長期間の気候シミュレーションを行なう場合、モデルの中で総観規模の現象を支配する流体力学の法則が、単純化したやり方で取り扱われていることが必要である。言うまでもないことだが、計算時間の節約に見合った単純化の程度に応じて、explicit な力学のさまざまな程度の parameterization が可能であろう。その系列に沿ったシミュレーションの期間は、次のようになると見られる。

- (i) 完全な大気-海洋結合大循環モデルによるシミュレーションを、大気の時間スケールで数年にわたって行なう、
- (ii) 完全な大気-海洋結合大循環モデルによるシミュレーションを、大気の時間スケールを縮めておいて、海洋の時間スケールにして 10^2 年にわたって行なう、
- (iii) スペクトル表示の大気大循環モデルを、海洋大循環モデルと結合させて、約 10^3 年にわたってシミュレーションを行なう、
- (iv) 帯状平均した、Austausch 表示^(注)の大気-海洋結合大循環モデルで、約 10^5 年にわたってシミュレーションを行なう、
- (v) 帯状平均した地表面熱収支のシミュレーションを、約 10^6 年にわたって行なう、
- (vi) 1次元の対流-放射平衡の関係を約 10^6 年にわたって計算し、可能な平衡状態を求める。

上に述べたそれぞれの方向での、適当な総観規模の parameterization のスキームを作るために、すでに多くの研究が進行中である。次の10年間に、つぎつぎと出されるであろう新しい観測結果と新しい理論結果に基づいて、多くの新しい、あるいは、過渡的な型の parameterization が導かれるものと期待される。最後の4つの型の「気候モデル」[(iii) から (vi)] は、特に中型の計算機を持つ研究グループにとって魅力あるものであろう。

一連の parameterization のスキームの内のどれかを検定し、その正当性を確認するためには、少なくとも1年間を完全にカバーする、ちゃんとした data set が手に入り、また、上に述べたような大循環モデルが手許に置かれている必要がある。そして、最後には、用いた parameterization のスキームによる物理量の輸送とエネルギーの関係が、少なくとも同じ時の1年間にわたる

(注) 高・低気圧など総観規模の運動による熱や角運動量の輸送過程を、Austausch 係数を用いた乱流拡散の式で parameterize することを意味している。

これらの量の観測値と一致している必要がある。

さらに、長期にわたる気候の問題に対しては、代わりになるデータと最高の大循環モデルが必要となろう。それゆえ FGGE は不可欠のものであり、特に、両半球間のやりとりや季節から季節への移りかわりを調べる上で本質的な要素と言える。したがって、気候の予報可能性と感度 (sensitivity) を明らかにする努力が進捗するかどうかは、FGGE と直接にあるいは間接に関連していると言えよう。

7.2.2 気候モデルにおける物理過程の parameterization

大気大循環モデルで parameterize すべき物理過程の大部分に対する、まず最初に考えられる FGGE データの利用としては、既存のスキームをテストして改良することであろう。これらのスキームは、物理的理解と FGGE とは独立のケース・スタディに基づいて作り上げられたものである。気候のシミュレーションのための、定量的に信頼できるモデルの開発にとって、これは大変重要な段階である。たとえば、雲量と放射の典型的な parameterization を取り上げてみよう。この parameterization のスキームでは、ある格子の四角形の上で平均した可視および赤外放射の流束を、総観規模の鉛直速度の鉛直プロフィール、気温、湿度で表わす。このスキームのテストのためには、総観的状况や場所が異なるさまざまなケースをかなりの分量集め、統計的に調べねばならない。すなわち、WWWと船のデータをモデルに同化させて、局所的鉛直速度場およびそれと一貫性のある湿度場を求め、次に、気象衛星観測や飛行機観測で求めた、いろいろな波長域の放射強度に対して、parameterize したスキームによる流束を検証するわけである。長期間の時間スケールに対しては、放射が大気構造に及ぼす効果が最も重要となるから、統計的評価が望ましい。事実、視角の変動と格子が作る正方形上で平均をとる必要性から、このやり方が多分一番実際的でもであると考えられる。同時に、格子以下のスケールの現象の構造を研究することによって、卓越する雲型と各総観場の種類を定量的にチェックできるだろうし、ひいては、parameterization のスキームの改良に役立つであろう。

FGGE がもたらす、もうひとつの絶好の機会と言えるものに、この期間中に静止衛星から観測した下層雲の運動と、その近くにいる船が測った風の観測値との間の相関関係を明らかにできることがある。そうすることによって、気象衛星による風の観測資料を、下層の大気循

環と地表面応力の気候的インデックスとして、長期間にわたって使えるものかどうかの検定ができる。

気候モデルに取り入れるべき物理過程の parameterization の手法を開発するために、対象とする特定の過程に関する詳細な知識が必要である。その目的とする所は、モデルが直接表現するスケールよりも小さいスケールの過程が関わっている、実際に自然界に見られるような複雑な相互作用を、大きいスケールの場のパラメーターだけの簡単な関係で置き換えるような手法を設計する点にある。FGGE の data set は、第1目標としては、新しい parameterization の手法を開発する基礎資料とするというふうには作られていない。さらに、parameterization の研究に必要なデータは、ある限られた領域でのみ必要なだけで、全地球実験を必要とするといったような類のものではない。それにもかかわらず、次に述べるような理由で、FGGE 期間中も parameterization の問題に力を注ぐ必要がある。

- (i) parameterize しようとするいくつかの物理過程に対して、それらの過程をよく理解し適切に表現するためには、特に、総観規模の風の場合をうまくとらえる必要がある（たとえば、雲とエーロゾルの parameterization）。
- (ii) FGGE data set があると、parameterization の手法の設計に重要な、たとえば、鉛直速度といった変数を、これまでになかったよい精度で計算することが可能となる。
- (iii) FGGE data set は、もしそれがなかった場合にはある意味で実行不可能ともいえる、parameterization のテストを可能とするので、この機会は十分利用すべきである。

しかしながら、ここで注意したいことは、多くの場合、補足的なデータを必要とする見込みだということである（下記事項参照）。それゆえ、この分野における特定の問題設定は、できる限り早く行ない、こうした補足データの収集を可能とすべきである。ここで強調したいのは、この仕事は普通一国または一研究所単位でやれそうかどうかということである。というのは、ある限られた領域内のデータでやれるからである。そして、全地球実験のための資源と競合しない筈である。

地表面のアルベド

陸地上のアルベドは、特に水の循環による。FGGE は、すでに計画されているアルベドの気象衛星観測を利用して、アルベドと水循環に関するいくつかの過程を調

べる絶好の機会を提供してくれるだろう。

積雪のひろがりとアルベド

積雪域のひろがりとアルベドは、過去の天気と地表面の特性に依存する。特に、地形や植生など地表面の性質が大きく影響する。基本的な天気要素といろいろな型の地域における積雪の深さを詳しく観察することによって、雪のアルベド（格子が囲む領域で平均した）が気候モデルに用いられる基本パラメーターに依存する関数形を決める、parameterization スキームを設計できるようにする必要がある。

土壌と植生のアルベド

上述のごとく、特定の地域における地上観象を詳細に行なうことによって、土壌アルベドや蒸発散などと大気の大規模な場の性質を表現する気候モデルの基本パラメーターとの間に、ある関係をつける必要がある。それには、多くの場合、水収支についての大まかな考えを持つための水理学的な情報がある。できる限り早く着手されることが望ましい。

エーロゾル

エーロゾル気候学に関するわれわれの知識は、現在きわめて貧弱である。視程観測値を注意深く分析し、特に FGGE 期間中のより豊富な風の測定値を利用して熱帯地方のデータを調べることによって、エーロゾルの発生源、消散域、分布がわかり、したがって、大気中の滞留時間が求まるはずである。ある特定期間、特別観測が必要となろう。特に重要なことは、熱帯地方で特別観測期間 (SOP) 中の船が使える時と、中・高緯度で陸地と海の間の違いが最も問題となる場所での海洋上の研究を行なうことである。

7.2.3 海洋モデルと海洋-大気結合モデル

JOC (GARP の合同組織委員会) では、海洋と大気の相互作用の問題に対して、次の3つの方向からとりかかると言っている。

- (i) 海洋が大気に及ぼす影響を、あらかじめ規定した海表面水温の変化に対する大気モデルの反応を調べることによって研究すること。
- (ii) 大気が海洋に及ぼす影響を、あらかじめ規定した気象条件に対する海洋モデルの反応を調べることによって研究すること。
- (iii) 大気と海洋の間のフィード・バックの特性に関する問題のうちいくつかは、それぞれの反応について完全に理解する以前に、その研究に着手できるはずである。

FGGE の期間中、全地球上の大気は、これまでになく密な観測点の分布と強化された観測の下に研究されるわけである。けれども、海洋観測点の分布は、気象衛星による海表面水温データを除いて、とうてい全球的とは言えない。それゆえ、現在の状況下の FGGE がなしうる主要な貢献としては、上の3つの方向の内の第2番目の線を進めていくことが考えられる。

気候研究の進歩にとって非常に重要だと考えられる海洋学のプログラムのいくつかは、FGGE 期間中手を抜くことになるだろう。たとえば、POLYMODE、JASIN、NORPAX の一部。こうした手抜きが生じるのは、もともと非常に数が少ない海洋観測船を、FGGE 期間中赤道海洋上に特に集中させることが、熟慮の上決断されたからである。

そうしたマイナス面を伴うけれども、熱帯大西洋、熱帯太平洋、インド洋といった場所では、FGGE 期間中気象情報が改良されるために、海洋学の国際共同研究プログラムも大きい利益を受けるはずである。そうしたプログラムはまだ十分計画されていないけれども、以下にその例を示す。

(i) 熱帯大西洋地域では、赤道潜流の変動が研究されることになっている。これらの研究が進められると、赤道潜流についてのわれわれの理解は非常に改良されることになり、太平洋に見られるこれに対応する海流についても推論が可能となり、ひいては、モデルの中での赤道潜流の表現法の改良につながるであろう。これらの潜流は、海洋にとっても大気にとってもともに大変重要である。海洋では、潜流は相当な量の水を輸送し、潜流を考慮しない海洋モデルは不完全なものと言える。海表面では潜流の作用で水温が低下し、数百 km 南か北にある水に比べて数度も低下することがある。このようにして赤道地方の海表面水温が低下すると、気象へ直接大きい影響が及ぶばかりでなく、水温低下の現象そのものが時間とともに変動する点が注目される。

(ii) 熱帯太平洋地域では、今やエル・ニーノ (El Niño) 現象は南米沿岸に限った局地的現象ではなく、赤道太平洋地帯の数千 km にわたる海洋循環中に見られる、顕著な変化の一端として表われたものであると考えられている。これらの変化は、おそらく、大気によって駆動されたものであろう、FGGE 期間中、この地域の大部分で収集される

予定の海洋データの解釈の一助として、改良強化された気象観測網の利点を活用することが考えられる。終局の目標は、モデル化の技術の改良と、できることならばエル・ニーノ現象全体の予測にある。この現象が適確に予測されることは、南米地方にとって局地的に重要であるのみならず、全地球の気候にとってもまた大切な事柄である。

(iii) インド洋では、MONEX の一部および INDEX の両方から海洋のデータが求まることになっている。この領域の海表面水温の変動は、インドのモンスーンの動静にとって重要な役割を果たしていると長い間考えられてきた。FGGE 期間中、海洋の大気への影響のみならず、大気が海洋の状態を決定する仕方をも調べる、またとない好個のデータを求めることが計画されている。この両方の効果とも、将来のモンスーン予報モデルに取り入れねばならないと考えられる。

上に述べたように、FGGE の期間中、高緯度の多くの海洋学プログラムはその規模が削減されるが、それにもかかわらず、特に以下に示すようないくつかのすばらしい機会を提供してくれる。

(iv) FGGE 期間中に非常に改善されるはずの気象データを解析することによって、海表面水温を決定する海洋上部混合層の動静を記述するモデルをテストする、非常にいい機会を提供してくれる。南半球の浮遊型ブイのデータも、こうしたモデルが、たとえば次のような場合にどの程度役立つかということのテストに使える。すなわち、量的には最小だが質的には桁はずれに良いデータが、インプットされたような場合である。

(v) 浮遊型ブイの航跡を調べると、南半球の海洋中にみられる「メソ・スケール渦動」の分布と強度に関する、非常に多数の、重要な手がかりが与えられるだろう。これらの渦動の性質と分布に関しては、現在のわれわれの理解が大変限られているので、それが信頼できる海洋モデルや海洋-大気結合モデルの開発上、大きな障害となっている。

(vi) 海氷の漂流について、北極と南極の両方で測定することになっている。非常によい気象解析、特に、南半球のこれまでにない好個の気象解析が求まるはずだから、海氷の移動のモデルをテストし、改良することが可能と考えられる。こうしたモデルは、海氷のひろがりモデル化する試みに

とって欠くことのできないものであろう。冬季の氷と開水のコントラストは大気モデルの下面の境界条件における最大変化のひとつとも言え、1年間を通じてアルベドのコントラストを最もシャープにする一因となっているので、これらの現象をよく理解することは、信頼できる気候モデルにとって本質的に重要だと考えられる。

- (vii) FGGE 期間中は、気象衛星から求めた海表面水温のデータは、ブイや船からの通常では考えられないほどに豊富な地上観測値 (ground truth) によって、照合される。したがって、海表面水温の全データを考慮した詳しい分布図が使えるので、これまでになく実際に近い海表面水温を用いて大気モデルを走らせる、よい機会に恵まれることと思われる。

8. 各国の FGGE 関連研究計画とわが国における研究態勢

今回の Research Coordination Conference の報告書には、1977年4月現在の各国の FGGE 関連研究計画が、各項目毎に分類され、表示されている。誌面の都合で本文では詳細な紹介は省くが、主要な点を以下にまとめてみる。そしてそれとの関連で、わが国の研究態勢を考えてみたい。

8.1 データ処理関係

各国ともデータの処理に関心を示しているが、観測体系の評価 (OSE) と4次元データ同化に特に関心が集中している。

8.2 モデルの作成

数値シミュレーションや数値実験、数値予報を現在行ない、あるいはこれから行なおうとしている国が、それぞれの研究機関や現業機関の計画を提出している。それを見ると、関心はすべてのテーマに及んでいるが、中でも物理過程の parameterization に高い関心が寄せられている。また、数値モデルについては、水平・鉛直の解像度のテスト、スペクトル法を用いる関数の選択などのテーマもあげられている。

8.3 予報可能性と予報

この分野にも多数の関心が寄せられている。関心のひろがりも多彩で、特に、アメリカで多くの大学や研究機関が参加の意志を表明しているのが注目される。

8.4 現象論的研究と GARP 地域副計画

この分野に対しても、各国の計画はかなり進んでいるようで、副計画にはより多くの国の参加が見込まれてい

る。やはり身近かなテーマが取り上げられているからであろう。

8.5 大循環研究

かなり具体的な形で、各国の計画が出されているが、主としてデータを使った解析的研究に焦点を合わせている国、身近かな問題だけに限っている国、幅広く手がけようとしている国など、いろいろな特色がある。

8.6 気候モデルの作成と parameterization

まだ、関心を示している国の数が限られており、むしろ、これから出てくると予想される。わが国も、この分野ではまだ遠慮している感じが強い。

8.7 海洋モデルと海洋-大気結合モデル

各国の関心はまだ部分的なテーマが主だが、今後、多彩な計画が出されることが期待される。特に、海洋学の研究者・技術者の側から積極的な関心が寄せられることが必須条件と考えられる。

8.8 FGGE データ利用と研究計画に参加を表明している諸国

副計画まで含めると20カ国以上に及ぶが、この中には共同体も含まれる。さらに、中心的役割が期待されている国としては、オーストラリア、カナダ、フィンランド、フランス、西ドイツ、インド、日本、ノールウェー、スウェーデン、ソ連、英国、米国、ヨーロッパ中期予報センター (ECMWF) があげられる。

8.9 日本の研究態勢

FGGE の本番開始まで、あと1年を残すのみとなった。わが国も、観測体系への参加 (静止気象衛星 GMS の運用、熱帯地域での風の特別観測への観測船の派遣) とデータ処理と管理体系への協力 (Level II-b データ副センターとしての同データの収集) のために、気象庁を中心として着々と準備を進めている。また、FGGE 期間中に実施される MONEX, POLEX には、大学関係者、極地研、気象研などの研究者の参加が予定されている。

いっばう、FGGE のデータ利用の方はどうだろうか。まだ具体的なイメージがつかめないためか、本格的な討論がなされていない。本文が、少しでも具体的なデータ量、内容、配布についての参考資料となり、これからわが国で FGGE に関する研究計画を進めていく上で役に立つことを祈りながら筆を置くことにする。

文 献

- 浅井富雄, 1973: GARP に関する最近の動向, 天気, 20, 364-368.

ICSU/WMO, 1977: FGGE—the Implementation/Operations Plan. The Data Management Plan, WMO, 134pp.

———, 1977: A Summary of the FGGE Implementation Plan, WMO, 90pp.

Joint Organizing Committee (JOC), 1973: The First GARP Global Experiment—Objectives and Plans, GARP Publications Series, No. 11, ICSU/WMO, 107pp.

———, 1976: Report of the JOC AdHoc Working Group on Global Data Base for Climate Research (Princeton, 21-23 April 1976), ICSU/WMO, 37pp.

———, 1977: Report of the FGGE Research Coordination Conference, (Stockholm, 21-22 April 1977), ICSU/WMO, 52pp.

宮田元靖, 長田多美子, 1975: 気象学, 海洋物理学 研究者のための略語集, 天気, 22, 579-596.

新田 尚, 1973: GARPの全地球実験計画——主として FGGE を中心に——, 天気, 20, 622-652.

———, 1975: GARP の全地球実験計画, 測候時報, 42, 390-396.

付録: 略語解説

AIDS: Aircraft Integrated Data System の略. 最新型の航空機が備えている情報記録システム. 記録された情報は磁気テープのカセットの形で保存され, 空港で復元される. その中に気象情報(気温, 気圧, 飛行高度, 慣性航法から求めた風など)も含まれる.

CODAR: WMO がきめた飛行機観測データの通報式. しかし, 実際には殆ど用いられず, AIR-EPS (ICAO の通報式) が通用している.

ECMWF: European Centre for Medium Range Weather Forecasts の略. ヨーロッパ共同体(EC) がまとまって設立した中期予報のセンター. A. Wiin-Nielsen を所長, L. Bengtsson を研究担当次長に迎え, 1978年6月からの10日予報現業開始をめざして活潑に仕事をしている.

GFDL: Geophysical Fluid Dynamics Laboratory の略. NOAA 傘下の研究所だが, Princeton 大学にも所属し, ユニークな活動をしている. 気候と大気大循環のシミュレーションの研究, 10日ないし1カ月の実験予報, 台風の3次元モデルなどの主要テーマのほか, 各種の解析的研究や理論的研究も行なっており, 世界的にもこの方面のひとつの中心となっている.

JASIN: Joint Air-Sea Interaction Experiment の略. イギリスが中心となって進めている, 大西洋

での境界層の観測実験計画. いわば AMTEX の大西洋版.

JOC: Joint Organizing Committee の略. GARP を推進している IUGG と WMO の下において, 実行の中心的組織. 各国の指導的学者, 研究者をもって構成され, 東大の岸保教授もメンバーの1人. JOC の下に JPS (Joint Planning Staff) があって, いわば実施面の常設の司令部の役割を果たしており, これと並列して WMO の GAO (GARP Activities Office) があって実験実施の作戦および実行部隊となっている. JPSCと GAO は同じ director の Prof. Döös をいただいている.

NAVAID: Navigational aid の略. 元来は船舶の航行などに用いられる無線位置決定方式のシグナルのこと. FGGEの SOP 中に, 世界中の OMEGA 局から発射する電波を利用して, 熱帯地域の風観測に用いようとするもの. レーダ追跡装置を持たない観測船が放球したラジオゾンデの位置を, 船上に設置したこの NAVAIID の装置で各オメガ局の VLF 電波を受けながら決定していく計画である.

NORPAX: North Pacific Experimentの略. IDOE (International Decade of Ocean Exploration) の中の一海洋研究計画.

POLYMODE: Polygon (ソ連) +MODE (米) Experiment の略. ソ連の Polygon に配置した海洋中の渦の観測計画と, 米の Mid-Ocean Dynamics Experiment の同様の計画を結合したものの.

TESAC: 海洋観測データの通報式のひとつ. 海水温と塩分とが報ぜられる. BATHY は海水温のみ.

TWOS: Tropical Wind Observing System の略. FGGE の実験観測の中心をなすもので, 二つの SOP 中に 10°N と 10°S の間の熱帯地域で, 観測船, 定高度気球, 航空機からのドロップ・ゾンデを特に動員して, 通常の WWW観測網を強化しようとしている. この, 特別に動員する観測体系をさす.

WDC: World Data Centre の略. GARP 関係の資料は, 原則として WDC-A (米, Asheville に設置) と WDC-B (ソ連, Moscow に設置) に全く同じものが保存される予定で, 利用者はこれらのどちらかから, 実費で入手することになっている.

WMC: World Meteorological Centre の略. WWW 計画で世界的な気象通信網と解析センターの中心となるもので, 北半球は米の Washington, D.C., ソ連の Moscow, 南半球は豪の Melbourne がなっている.