

GARP NEWS

GARP (地球大気開発計画) に関しては、すでに本誌において解説や会議報告の形でその内容紹介を行なってきたが、今後更にひろく気象学会会員の GARP への関心を深めていただくことを目的とし、GARP 小委員会に執筆を依頼して“GARP NEWS”を適宜掲載してゆくことになった(天気編集委員会)

国際協力のもとに、大気の大循環研究の飛躍的な進歩と長期天気予報の物理的数学的基礎の発展を図ろうとする Global Atmospheric Research Program (GARP) は、わが国においては日本気象学会総会の議決(1966年10月)、日本学術会議第48回総会の決議に基づく政府への勧告(1967年5月)等を経て実施段階に入り既に各大学、気象庁において準備研究が行なわれている。気象研究所を中心とする九州西方海上での特別気象観測もその一環である。わが国における研究計画の立案と各研究機関相互の連絡のため学術会議地球物理学研究連絡委員会に GARP 小委員会(山本義一委員長)が設けられ、その下に大気大循環、熱帯気象、地空相互作用、大気放射、観測技術開発、特別観測、TROMEX 計画の7部会が夫々活動している。

国際的には世界気象機関(WMO)と国際学術連合(ICSU)の間に連合組織委員会(JOC)が発足し、COSPARの第6作業部会とも連携しつつ諸計画を進めてきた。JOCの活動についてはこれまでも「天気」誌上に紹介されてきた(9月号小倉委員の報告参照)。今年に入ってJOCは二つの重要な決定を行なった。それは第1次 GARP 熱帯実験(Tropical Experiment)を早ければ1972年にマーシャル群島を中心とする西太平洋で、また第1次 GARP 全球実験(Global Experiment)を1974年から1975年にかけて行なおうとするもので、最近 WMO と ICSU 夫々の執行委員会に正式に勧告された。WMO と ICSU はこれを受けて、1970年初頭に共催の GARP 計画会議を開き、上記両計画に相当の貢献をする意志のある諸国間の協議に入ることとなった。なおこの NEWS の企画、調整は GARP 小委員会幹事が行なうが、文責はあくまで各執筆者にあり、決して小委員会の公式見解といった性質のものではないことをお断りしておきたい。

(小委員会幹事柳井迪雄)

日本における大気大循環の数値実験計画

窪田正八*・伊藤宏*・新田尚*

1. はしがき

日本の大気大循環の数値実験の研究はまだ計画の段階である。やや、具体的なものといえば菊地さんの球関数を用いて、ブロッキングの機構を調べたものぐらいであ

り、それも、完成したのはアメリカにいつからのことである。

われわれが今当面している問題点をあげると、第1に計算時間をどうやって生み出していかである。本来、この種の研究は気象研究所でやるべきことと考えられているから、現業の片手間にやることには問題があろう。あるいは、現業に有用な側面の強調ということになる。

* S. Kubota, H. Ito, T. Nitta 気象庁予報部 電子計算室

—1969年9月20日受理—

第2に man-power の問題である。数値実験について、多くの物理量の効果の定式化、あるいはパラメタリゼーションに関心をもつ専門家が少ない。放射については、片山さんがいるので心強いが、山の影響や海気相互作用の取扱いに苦しんでいる。それぞれの専門の方々にはつまらないことかもしれないが、積極的な参加を期待している。第3の問題はプログラマーの問題である。縁の下の力もちであるが、専門のプログラマーがあるのとないのとでは本質的な差異がでてくるらしい。数値実験ということは単なる数式の取扱いということからぬけ出し、工業的側面が強くなっているためであろう。

2. 現在および将来計画

幸い、数値予報の開発に用いられる計算スキーム、物理量の取扱いはそのまま大気大循環のシミュレーションに使える筈であるから、ルーチンモデルの開発との接点に注意しながら進めていけば将来の数値実験による研究にも有効であろう。ふつう長時間積分では運動エネルギーとうず度の二乗の保存条件を満足させるような計算スキームを用いるものであるが、1日や2日の予報ではそれほど神経質になる必要はないのではないかと考えられる。しかし、その後の経験によると、大循環モデルの数値実験にたえるようにしたスキームを用いたほうが、毎日予報の結果もよくなっていることが知られてきた。

また、物理量の効果を調べるとき静止大気から出発し、加熱によって運動をひき起し、純粋に物理量に対応する大気の状態を作り出していくようにする。その理由は一般につきのように考えられている。実際の大気には、モデルに含まれる以外の物理量が含まれている。そのため、実際の大気を初期条件として用いると、地形のようなものが大気の運動に及ぼす効果を調べようとしても、はっきりしないという欠点がある。それを避けるために考えられたのが上記の方法であるが、それには如何にも時間がかかってしまう。また、われわれの目的は自然の解明であるから、都田がやっているように初めから初期値として実際の大気を用い1例2、3週間の予報ということにしてみようということにした。週間予報に役立つ利点がある反面、上記の欠点はさけられないが、諸外国の経験を生かしながら注意深く解析していけば相当の結果がえられるだろうと考えている。

予報期間がこの程度でも、南北両半球の相互作用は大きい。とくに、低緯度地方は大気大循環のエネルギー源であるにもかかわらず、運動や大気の構造ははっきりしていない。したがって将来大循環モデルを走らせるに

は全球的規模をとることにして、その mapping を考えておこうということになった。計算スキームにしても、接続などということは厄介である。

もう一つ計算時間に関連して層の数がある。大雑ばな計算によると3層がせい一杯ということになった。しかし、これでは下層の境界層の入れ方や成層圏のことを考えると不十分で5層はほしい。この段階になると嫌だなしにプリミティブモデルにならざるをえないだろう。そのほうが、気圧場から風の場を計算しているバランスモデルより簡単で、物理量の取扱いにも便利である。ルーチンモデルの改善のうち中規模じょう乱の取り扱いをねらっているプリミティブモデルの領域はアジア太平洋領域ということにして近い将来ルーチン化されると思うが、それも積分時間24時間、格子間隔100kmということのできるのだが、大循環モデルとなるとそう簡単にはいかない。じょう乱の発生ということになると、フロントの扱いなども考慮しなければならないが、それには格子間隔を100km ないし50km にしないとイケない。ということになると、必要とする計算時間は天文学的になり、われわれの手にはおえない。これに対し、つぎの2つの道を考えている。一つは、中小規模じょう乱の研究を進め運動量や熱のフロントによる輸送をルーチン観測より測定値を用いて表現できるかどうかを調べることであり、もう一つは上記のルーチン予報の結果を解析し、下層のじょう乱の不安定化の条件、それと上層のじょう乱との関係などをチェックしていくことである。

さて少し観点をかえた話題に眼を転じよう。これは上述の数値解析にも関連することだが、初期状態問題といわれている。この問題はいろいろな方向に関連しているが、大きくわけて次の3つを含んでいるといえよう。

- (1) 観測点、観測する気象要素に関係した問題。
- (2) 与えられたデータから最も適切に対象とするじょう乱を解析する問題。
- (3) プリミティブモデルのための初期値を用意する問題。

まず第一の問題については、これまで既に国際的な作業グループの意見が出されているが、それらは主として観測網をどのように展開していけばよいかという点に焦点がしばられていたと思う。しかし気象衛星、超圧気球、観測用航空機、海洋上のブイなど新しい観測手段の発展に伴って、観測というものの自体の再検討、対象とする現象（その時間・空間スケールなど）をはっきりさせた上での観測網の展開、また単に出来る限りいろいろな

ものを測定するというのではなく、どういふ気象要素を測定することが最も有効かといった点についての検討が重要になってきた。そのためには、ある程度対象とする現象の特性を知る必要があり、その上で有効な観測をすればその現象の理解が一層深まると思ふ。具体的な例でいへば、大規模な大気運動に関しては中・高緯度では気圧（あるいは等圧面高度）の観測の方が信頼度が高いので、主としてその観測が行われているが、もし風向・風速の観測が多量に、そしてより正確に行なわれるならば大変有用であるといったことがわかってきた。これは、大規模運動の数値実験でテストしてみた結果わかってきたことである。

次に第二の問題にうつろう。これは4次元解析 (four-dimensional assimilation) ともいわれていることで、第三の問題とも関連がある。簡単にいうと、普通われわれが手にする観測データは、対象とする現象を大体とらえていても、物理的に相互に矛盾なしに測定できている訳ではない。再び大規模運動を例にとるならば、観測データの中には観測誤差もあるし、他の時間・空間スケールの現象も含まれている。また、観測高度や時刻を異にする資料（飛行機やバルーンの観測）も扱わなければならない。第二の問題は、これらのデータから、如何にして対象とする現象を最も正しく、物理的な一貫性をもってとり出すか、ということである。そして4次元というのは、単に空間的な分布を適切にとり出すだけでなく、時間的な動静に対しても正しく表現しようという意図を含んでいる。

最後の問題は、第二の問題のつづきのようなもので、もしわれわれが大規模運動に対してプリミティブモデルを適用するならば、如何にして重力・慣性波のような、対象としないがモデルの解に含まれる波動の発生をおさえるか、ということになる。

なお、これからの計画として大きな方向は北半球大気の解析であろう。電計室では45年4月から北半球傾圧バランスモデルを走らせようとしているが、その時えられる北半球大気のADPの結果(1000, 850, 700, 500, 300, 200, 100mbの7層の ϕ, v, q, T)を用いて大気の構造を調べようとしている。気研からは1) 熱の仮定を含まない ω を求め、熱関数の分布を計算する。2) 大気のエネルギー構造や非地衡風成分の分布を求めることが提案され、予報課の週間予報からは、日常作業に有用と思われる傾圧効果、定常波と非定常波の相互作用をみたい旨がのべられ、長期予報からはそのほかに div

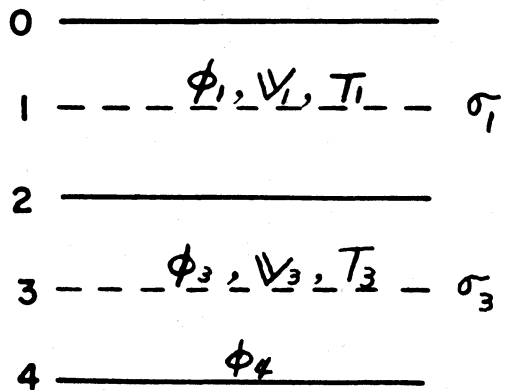
$(q\mathbf{v}) + \frac{\partial}{\partial p}(\omega q)$ を求めアジアモンスーンにおける水収支の研究を進めてはどうかと意見がのべられている。

3. 初期状態問題

今、具体的に考えられているものをあげると

- (a) 3次元の観測データで、もしある場所の風或いは気圧の観測に欠測や間違いがあったとした場合に、その影響はどのように拡がるか。また、それは気象要素によってどう変るか。(大気のある状態に、人工的にデータのない部分をつくって数値実験をするという意味で、これはショック実験のひとつといえる。)
- (b) プリミティブモデルの初期値をつくる、ひとつの方法である「擬似予報」のやり方を低緯度にも適用してテストする。又、中・高緯度でより改良した方法を考案する。
- (c) 長期間の数値積分を人工的なデータを初期値として行い、その結果をあたかも実際の大気の如く考えて、時間的に遅れたり早かったりしたデータを、ある時間の解析にどのようにとり入れていくかの実験をする。これは一種の sequential analysis である。(ここで人工的なデータを用いたのは、この場合完全な観測が、扱っているすべての気象要素に対して得られ、しかも数値積分の時間間隔毎にそれらが存在している場合に対応するからである。たゞし仮定としては、テストに用いたモデルが自然界でも成立つとしていることで、もしこの仮定がいちじるしく悪い場合には、このテストの結果は有用な情報とはならない。)

最後に伊藤さんが、垂直差分のとり方について考えら



れたことを原文のまましておく。

4. プリミティブモデルにおける差分表示

ロレンツ方式から高度したがって風を定義した層の間に温度を定義する鉛直差分にきりかえた時の問題について書いてみたい。

最初にロレンツ方式での静力学の釣合の式の差分式についてのべる。ここでは鉛直座標としてはいわゆる σ -系の場合を考える。ロレンツ方式の代表的な差分表現として荒川さんのものを借りることにする。二層モデルの場合(前頁の図)、静力学の釣合の式は

$$C_p \frac{\theta_1 + \theta_3}{2} (p_1^k - p_3^k) = - (\phi_1 - \phi_3) \dots\dots (1)$$

$$\pi (\alpha_1 \sigma_1 + \alpha_3 \sigma_3) = \phi_1 + \phi_3 - 2\phi_4 \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $\theta \equiv T/p^k$, $\alpha = RT/p$,

は地表面(層-4)の気圧, その他は慣用のものである。変数を連続量として考えた場合には、差分表現の(2)式は、

$$\int_0^1 \phi d\sigma \equiv [\phi\sigma]_0^1 - \int_0^1 \frac{d\phi}{\pi d\sigma} \cdot \pi \sigma d\sigma \\ = [\phi\sigma]_0^1 + \int_0^1 \alpha \cdot \pi \sigma d\sigma \dots\dots\dots (3)$$

に対応している。(3)式は、いうまでもなく、気柱の重力ポテンシャル・エネルギーが内部エネルギーの R/C_p 倍という関係式であるから、荒川さんの差分表現は気柱の全ポテンシャル・エネルギーを的確にあらわしているといえる。それはさておき、層-3と層-4の層厚は(1)を(2)に代入して求めることができるが、ロレンツ方式では(1)と同じ形では表現していない。いかえれば $(\phi_3 - \phi_4)$ に直接関連している温度を定義していないので、全気柱のエネルギーの関係を利用して表現している。

一方、風したがって高度を定義した層の間に温度を定義する場合には、 $(\phi_3 - \phi_4)$ に直接結びつく最下層を代表する温度が定義されることになる。そして最下層の静力学の釣合の式の差分表現が微分式と自然な形で対応させるには層-4に最下層の気温を定義するのが好都合のようである。この方式の鉛直差分を使ったモデルを用い、地面まざつを考慮しない自由大気中の運動を表現する場合を考えよう。もし、最下層の気温変化を自由大気中の温度変化と同じ式を用いると、初期にじょう乱の発達するような基本場を与えた時は、じょう乱は下層ほど発達し、かつ気圧の軸は下層では極度に西にかたむき、上層では逆に東に傾いている。同じ基本場を与えて地衡風モデルで計算したもの——それは実際の大気中で地面摩擦

の影響を直接受けていない上層の運動をかなりよく近似しているとみなせるもの——とはかなり大きくいちがいがあがる。最下層を代表する気温を層と層の中間に定義しても、下層の発達がいづらか緩和される程度で、本質的な様相は変わらないように思える。

このような結果をもたらした原因は容易に考えられる。たとえば、最下層のトラフの前面では南からの暖気流のみがあつて上昇流による冷却がない(又はよわい)ので、下層で大きな昇温を生じる。実際の大気では自由大気の下には境界層があつて、その層の中の収れんに伴う上昇流がある筈である。それによって下層の昇温をかなりおさえていると思われる。そこで、層の数を増やさないでこの効果を入れるために層-4に ζ_3 (うず度)に比例した上昇流を source あるいは sink として与えてやると地衡風モデルで計算したものと同じような様相を記述できる。

ところがロレンツ方式では $(\phi_3 - \phi_4)$ と直結した気温はなく、 T_3 は自由大気の下層を代表しているとみなせるので、上のように sink や source を与えなくても、地衡風モデルで計算したものと同じような結果がえられる。

以上のような経験から、自由大気中の運動のみを抽出して記述するにはロレンツ方式の方が便利である。ただし、このことは鉛直座標に σ -系を使った場合のことで p -系にはあてはまらない。その理由は、 p -系では地衡風モデルと同じように、 T_4 を変数として定義しなくとも完全系を組立てることが出来るからである。しかし、予報モデルを組立てる場合には、地面摩擦の効果を考慮したり又は更に境界層を含んだモデルに進むことが必要にならう。境界層も含ませようとする時には、後者の方が便利のように思える。というのは、運動の記述に関しては両者とも同じであるが、境界層の気温をあらわすには——具体的に如何にパラメタライズして表わすかということが決まらなければ正確な議論はできない——後者の方がわかりやすい形でつくれる。

最後に、準地衡風近似の予報モデルではじょう乱の移動が下層でおくれるので、今までも色々の熱効果を入れることで改良してきた。その線にそう改良と同時に地衡風モデルには含まれていない最下層の温度場の変動も考慮に入れてやることも一つの方向だという気がしてきた。

〔付記〕ここでの話は層の数があまり多くない場合で、層の数が充分多くなると事情は変わるかもしれない。