

## General Circulation I と II について

—気象学外国文献集紹介—

新 田 尚\*

## 1. どんな論文が収容されているか

今回の第2シリーズの **General Circulation** (大気大循環) の2巻は、毛利圭太郎氏(札幌管区気象台)と筆者で原案を作り、気象研究所の片山昭、相原正彦の両氏および東大の廣田勇氏に相談して御意見をうかがった上で決定した。もとより選択の責任は筆者等にある。その結果をリスト・アップして本文の最後に収録した。それを参照しながらこの拙文を読んで頂きたい。

## 2. どういう方針で選んだか

例えば気象学入門講座(3) **大気大循環論の紹介**(廣田勇: 天気16巻3号, 1969年3月)を開いて頂きたい。大気大循環論と一口にいても、その間口も奥行きも広大であることが理解されることと思う。また中には気候学や長期予報の立場から手をのばそうとする人もいるだろう。そこで論文の選択にあたっては

1. 大気大循環プロパーのもの
2. 大循環にも大切だが、どちらかといえば境界領域に属し、どの巻に収録したらよいか、よくわからないもの、

の二つのカテゴリーに区別した。そして、**General Circulation** の2巻には、上の1. に関するものを収録し、2. に属するものを **Stratospheric Circulation, Dynamic Meteorology** などへ配分した。この後の巻は、当初の計画にはなかったもので、論文を選んでいくうちに必要性が認められたものである。やはり第1集以来の10年の年月のうちに、気象学がなした発展の一端を示すものといえよう。

従って本文は専ら1. を中心に書いていくことになる。ところで大気大循環の問題のとりくみ方には、大別して次の三つがあると思う。すなわち、第1には観測事実に関するもの、第2に理論的考察の類、最後に理論や観測事実に立脚して行なう数値シミュレーションあるい

は数値実験の方向である。われわれもこの三つの方向にてらして重要な論文を集めた。刊行計画では、主として1960年以後の論文を収録するが、第1シリーズに入っていない論文で重要なものは含ませてもよい、とのことであった。そもそもこの計画が開始されたのが1968年も年末に近づいた頃だったが、その後いろいろな事情で中々発行までこぎつけなかったようである。しかし論文の選定の方は、**General Circulation** に関しては1969年春に終っていた。従ってその時点においては、当然1967、8年頃迄の論文が対象となるわけである。

さて具体的に選定する段階では、各巻の頁数を約200頁におさえられていたことが、ときにはずい分ときつい制限に感ぜられた。ためしに、読者諸賢においても一度御自分の専門分野の代表的論文を、過去10年の中からひろい出す試みを実行して頂きたい。200頁がどれ程少いものか、よくおわかり頂けると思う。**General Circulation** は2巻分の割当をうけてはいるが、上記方向はいずれもほぼ独立した分野のようなものであるし、個々の論文には概して大部のものが多い。別段ぐちをこぼすためにこういうことを書いているわけではない。いいなかったことは、後でも述べるように、収録論文は大気大循環を考える上でのひとつの指標となるにすぎない論文で、大きい頁数やごく最近のものであるために、泣く泣く除いたものがかなりある、ということである。この紙面をかりて、このことを改めて強調しておきたい。

## 3. 収録論文について

第1巻は **Observational studies** として、観測事実を扱った論文にあてた。順番は発表の年代順にならべられている。**Bryan** (1962) は海洋によって南北に運ばれる熱量の測定を論じている。地球の70%を占める海洋の存在が、大気大循環にとってどれ程重要であるか、いうまでもないことであるが、そのわりには実態はよく知られていない。数少ない研究の中からひろい出したわけである。**Obasi** (1963) は南半球で角運動量の極向き輸送を

\* 気象庁予報部電子計算室

論じたものとして、今や global に論じられるようになった大循環論にとって貴重な情報である。Oort (1064) の測定は平均場を使ったりしているが、年間を通して組織的にエネルギーの cycle を調べたものとして重要だと思ふ。特にエネルギー変換の統計図は価値あるものだと考へる。Gilman (1965) のも南半球のデータを処理したのとしてとり上げた。Kreuger et al. (1965) は 5 年間にわたる年々変動を求めているが、中でも有効位置エネルギーへの変換が年間を通じて、また年から年にかけてどのような変動を示すか、を初めて明らかにした有名な論文である。つづく Obasi (1965) も南半球の情報ということで収録されている。Peixoto (1965) のは水蒸気の解析をしている点で、次の Starr et al. (1965) と共にその代表的なものとして採用した。Bjerknes (1966) の論文は、海水温の変動が大気の大循環にどう影響を与えるか、についてのひとつの証拠を提出しようとするものである。この人らしいアイデアの仕事で、観測事実のひとつの観方を与える例と考へて収めることにした。Fletcher (1966) の仕事は、大循環に及ぼす北極付近の熱収支の影響、特に極氷の役割について論じたものである。大循環のエネルギー論にとって、エネルギーの生成ばかりでなく消費もまた欠かせない情報で、Kung (1966) は運動エネルギー消費を系統的に実測風から推定している。その内の代表的な論文をひとつ採り上げた。最後に Wiin-Nielsen (1967, 1968) の論文は、大循環のエネルギー論を 1 年間を通して行ったもので、種々の観測事実を巧みに構成して、大循環についてひとつのイメージをつくり上げようとしている。

観測事実を調べた論文は、近年でもおびただしい数にのぼっている、第 1 巻は中、高緯度の、それも対流圏を主体として選んだわけであるが、それでも落さざるを得ないものが幾多を数えた。

さて第 2 巻であるが、この巻は Theoretical and numerical studies とした。すなわち、比較的簡単な取扱いを通じて大循環のメカニズムを理論的に究明しようとする仕事と、複雑な大気モデルを用いて非線型の方程式系を数値時間積分し、観測事実とどこまで一致した計算結果を得ることができるか、といった数値シミュレーションや諸々のパラメーター等を変えた場合に大循環の様相はどう変わるか、といった数値実験関係の仕事から成り立っている。大気大循環の場合、事柄が余りにも複雑に入りくみからみあっているために、理論的なよい論文は少

く、むしろ数値シミュレーションや数値実験関係が盛んなようである。所が、1969 年春の時点ではまだ十分論文にまとめられておらず、どちらかという学会やシンポジウムでの論文発表、映画による結果のデモンストレーション、正式印刷以前の rough draft が流通する、といった段階であった。主としてアメリカでの、活発なグループからの発表を公平に扱うためには時期が熟していないと判断せざるを得なかった。また、数値モデルも dry model から次第に moist model へと移行しつつあった。元来、数値実験関係の論文は、結果が多岐にわたるためにいずれも頁数が多い部厚いものである。そういった事情を考へて、さし当りその時点でも少し古いが将来残りそうなものを収録することにした。従って選択にあたったひとりとして、是非近い将来より完備した論文集をつくりたいものと願っている。

Charney (1959) の論文は、先の Phillips による数値実験の結果をふまえて理論的考察を行ったものである。Mintz (1964) がまとめたのは、いわゆる Mintz-Arakawa モデルを用いた大循環シミュレーションの報告で、簡単なモデルながらその見事な一致は人々を驚かせた。つづく Leith (1965) の論文も、それ以後の 2 篇と共に数値的研究の部類に属する。Leith は現在中止しているが、ひと頃話題をにぎわしたひとりである。彼の場合、結果を専ら映画にしてしか発表せず、よくその内容がわからなかった。物理学者が大気大循環にとりくんだ例としてそういう点からも面白いし、モデルにも独特の工夫をこらした部分があるために採り上げた。Manabe et al. (1965), Smagorinsky et al. (1065) は、NOAA の Geophysical Fluid Dynamics Laboratory で大々的に行っている実験の最初の報告である。今回収められたこの関係の論文の中では、モデルが最も複雑で現実大気に近い。また、同じモデルの構成を保ちつつ dry と moist の両方の場合を比較している。(論文リストの順番を、年代順、同じ年ならアルファベット順と統一したため、この場合も Manabe et al. が moist の場合を、Smagorinsky et al. (1966) が dry の場合をそれぞれ扱っている。) Kraus et al. (1966) の仕事も数値実験であるが、うんと単純化したモデルながら季節の変動をしらべようとした点に特長がある。大循環の数値実験の道順が、最初は特定の季節(普通は変化や現象が顕著な冬)を採り上げて、ノルマルの状態を再現しようすることからはじまって、現在ようやくノルマルの季節変動を再現するところへさしかかっている。やがて待望久し

いアノマリーの研究へと向うのであろうが、季節変動を、ノルマルの状態で再現することもまだこれからなされるべき仕事である。そういった意味で、Kraus et al. は先鞭をつけたという点が主なメリットと考えられる。もっと複雑で現実の気象に近い取扱いがなされればあるいは必要がなくなるかもしれない。次の Bryan et al.

(1967) は海洋大循環の数値的研究の仕事である。海洋大循環は、大気大循環と同様海洋学において重要な問題であるばかりでなく、最近では両者を単一系としてとらえることの重要性が叫ばれるようになった。海洋と大気の相互作用という点から考えても当然のなりゆきと思う。今回は収録されていないが、既に単一系とした数値実験も試みられている。その意味でこの論文が採用された。

Lorenz (1967) ののは大気大循環に関する、非常にユニークなすぐれた総合報告の一部である。廣田が入門講座で紹介している通りであるが、出来れば一冊全頁を収録した方が読者には親切であったかもしれない。しかしそれもできないので、問題提起、理論的研究、今後の問題点だけ採録した。その次の Manabe et al. (1967) は、先の moist の場合のつづきで、特に熱帯地方の解析に力をそそいだものである。Tropical Meteorology の方からの要請もあって特にここに収めた。最後の Saltzman (1968) は、準定常じょう乱に関する研究のレビューを行なったもので、大規模な地形や熱源の影響による強制波動を論じたものの代表として収録した。

#### 4. 残された問題点

筆者はもとより、われわれは概して文献が好きなのである。第1シリーズも好評であったと聞いている。確かに文献が手許にあれば何とはなしに心強いし、研究、調査、討論を行なう上で大変便利でもある。しかも気象学会の Selectel Meteorological Papers のようにまとめられてあれば、いちいち図書室へ足を運ばなくとも、直ちにとり出すことができる。第1シリーズが外国人にも需要が多く、本郷辺りの地球物理関係専門の古本屋で、1セット、7、8万円という値段がつけられたようである。また、今回のシリーズの編集委員の経験でも、早くも外国人の申込みをみている。

この解題の文章を書きながら、一体この文献集はどういう使われ方をするのだろうか、という問が胸の内に湧いてきた。はじめにも述べたように、その分野の最近の発展がひととおりのわかるような、代表的な論文を集めたものとして、日常学会員に便宜を供するのは勿論のことであろう。しかし学会員たりとて、全頁をはじめからお

しまい迄読破しようとはしないだろう。少なくとも大部分の人は、そうすれば必要に応じて読む、それもそのとき関心をもった論文だけみることになるだろう。それはそれとして結構な利用の仕方であろうと思うし、筆者自身もそうすることが多いと考えている。

しかし中には、とに角専門分野毎にまとめてあるのだから、各巻を斜めに読んでもよいから全体として最近の学問の進歩の跡がわかるように編集しておいてほしい、という人もいるだろう。刊行計画でも、総合報告を採り上げるように、とのことでもあったので、この **General Circulation** でもなるべくその趣旨に従ったつもりである。だが、頁数の制限から、やはり欠けているものがあることを痛感する。そういう点で、先の Lorenz の本や、次の書物は全体の展望を知る上で便利だと思う。

G.A. Corby 編: The Global Circulation of the Atmosphere. Royal Meteorological Society, 1970, 257頁, 定価約5,000円

B.B. Lusignan and John R. Kiely 編: Global Weather Prediction—The Coming Revolution, Holt, Rinehart and Winston, 1970, 307頁, 定価約6,000円

今回の文献集が、大気大循環の最近の進歩を伝えるばかりではなく、できうるならば、学会員の中でこのテーマに興味をもっておられる方々ひとりひとりについて、その人としての「大気大循環論」が組み立てられる上でお役に立つことを、選択にあたった者のひとりとして心から祈っている。

#### 収録論文リスト

##### General Circulation

##### Volume I: Observational studies

- 1) Bryan, K., 1962: Measurements of meridional heat transport by ocean currents. J. Geophys. Res., 67, pp. 3403-3414.
- 2) Obasi, G.O.P., 1963: Poleward flux of atmospheric angular momentum in the southern hemisphere. J. Atmos. Sci., 20, pp. 516-528.
- 3) Oort, A. H., 1964: On estimates of the atmospheric energy cycle. Mon. Wea. Rev., 92, pp. 483-493.
- 4) Gilman, P.A., 1965: The mean meridional circulation of the southern hemisphere inferred from momentum and mass balance. Tellus, 17, pp. 277-284.
- 5) Kreuger, A.F., J.S. Winston, and D.A. Haines, 1965: Computation of atmospheric energy and its transformation for the northern hemisphere for a recent five-year period. Mon. Wea. Rev., 93, pp. 227-238.

- 6) Obasi, G.O.P., 1965: On the maintenance of the kinetic energy of mean zonal flow in the southern hemisphere. *Tellus*, 17, pp.95-105.
  - 7) Peixoto, J., 1965: On the role of water vapor in the energetics of the general circulation of the atmosphere. *Physica*, 4, pp.135-170.
  - 8) Starr, V.P., J.P. Peixoto, and A.R. Crisi, 1965: Hemispheric water balance for IGY. *Tellus*, 17, pp.461-472.
  - 9) Bjerknes, J., 1966: A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. *Tellus*, 18, pp. 820-829.
  - 10) Fletcher, J.O., 1966: The arctic heat budget and atmospheric circulation. *Proceedings of the Symposium on the Arctic Heat Budget and Atmospheric Circulation*, Jan. 31-Feb. 4, 1966, Rand Corporation Memorandum, RM-5233-NSF, pp. 23-44.
  - 11) Kung, E.C., 1966: Large-scale balance of kinetic energy in the atmosphere. *Mon. Wea. Rev.*, 94, pp. 627-640.
  - 12) Wiin-Nielsen, A., 1967: On the annual variation and spectral distribution of atmospheric energy. *Tellus*, 19, pp. 540-559.
  - 13) Wiin-Nielsen, A., 1968: On the intensity of the general circulation of the atmosphere. *Reviews of Geophysics*, 6, pp.559-579.
- Volume II. Theoretical and numerical studies
- 1) Charney, J.G., 1959: On the theory of the general circulation of the atmosphere. *The Atmosphere and the Sea in Motion (The Rossby Memorial Volume)*, pp.178-193.
  - 2) Mintz, Y., 1964: Very long-term global integration of the Primitive equation of atmospheric motion. *WMO-IUGG Symposium on Research and Development Aspects of Long-Range Forecasting*. WMO Tech. Note. No. 66, pp. 141-155.
  - 3) Leith, C.E., 1965: Numerical simulation of the Earth's atmosphere. *Methods in Computational Physics*, Vol. 4, New York, Academic Press, pp. 1-28.
  - 4) Manabe, S., J. Smagorinsky, and R.F. Strickler, 1965: Simulated climatology of a general circulation model with a hydrological cycle. *Mon. Wea. Rev.*, 93, pp.769-798.
  - 5) Smagorinsky, J., S. Manabe, and J.L. Holloway, 1965: Numerical results from a ninelevel general circulation model of the atmosphere. *Mon. Wea. Rev.*, 93, pp. 727-768.
  - 6) Kraus, E.B., and E.N. Lorenz, 1966: Numerical experiments with large-scale seasonal forcing. *J. Atmos. Sci.*, 23, pp. 3-12.
  - 7) Bryan, K., and M.D. Cox, 1967: A numerical investigation of the oceanic general circulation. *Tellus*, 19, pp. 54-80.
  - 8) Lorenz, E.N., 1967: The nature and theory of the general circulation of the atmosphere. *WMO*, No. 218, TP. 115.  
Chapter I: The Problem, pp. 1-9.  
Chapter VIII: Theoretical Investigations, pp. 135-144.  
Chapter IX: The Remaining Problems, pp. 145-151.
  - 9) Manabe, S. and J. Smagorinsky, 1967: Simulated climatology of a general circulation model with a hydrologic cycle. II. Analysis of the tropical atmosphere. *Mon. Wea. Rev.*, pp. 155-169.
  - 10) Saltzman, B., 1968: Surface boundary effects on the general circulation and macroclimate: A review of the theory of the quasi-stationary perturbations in the atmosphere. *Meteorological Monographs*, Vol. 8, No. 30, (Causes of Climatic Change), pp 4-9.

## 気象学外国文献集第2集刊行について

気象学文献集刊行委員会

既に「天気」3月号で案内した通り、刊行の準備が整っていますが、印刷部数をきめる上で購入希望者総数を早く知る必要があります。まだ申込みを終わっていない希望者は、3月号に添付したハガキ又は官製ハガキで、至急学会本部宛お申込み下さい。