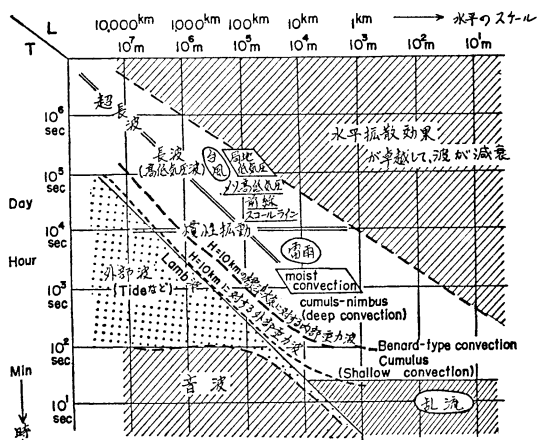


気象力学への道

新田 尚*

地球大気中に実現する気象現象には特有の時間、空間のスケールがあって、第1図にみるように模式的に分類することができる。1939年に Rossby によって初めて大規模な波動擾乱の存在が提唱されて以来今日迄、気象力学では図にみる気象現象を力学及び熱力学の問題として取り上げてきた。大規模な波は超長波、長波、短波と大別され、しかも地球表面の山岳系や海陸分布によって複雑に、非線型的に影響されて存在している。一方実際の天気との関連でもっとも規模の小さい波や対流現象についても早くから観測されてきた。そもそもこうした波動の存在を規定している要因は何であるのだろうか、ここでは紙面がないので、早速これから気象力学の勉強をするにはどうすればよいか、ということについて書いてみよう。

やはり最初は教科書からはじめるべきであろう。正野：気象力学序説または気象力学がよいと思う。ただしこれを読みこなすためには、第1回の講座にも書かれていたように、大学教養過程終了程度の数学と流体力学、熱力学の知識が必要である。気象力学では第1～6章は言葉や概念の定義のようなもので、細かい所はとばして忘れたときにみるようにしたい。第7章はこれからはしばしば用いる運動方程式だから徹底的に理解したい。第8章も大切な所だから疑念のないように、第9～11章はこの本の程度では中途半端なので軽く通り、第12章はとばしてよいと思う。そして偏西風帯の力学以後今日に至る気象力学発展の様様については、小倉：最近の気象力学(I)をすすめたい。なお補足として熱力学的事項の説明では荒川秀：気象熱力学がくわしい、輻射に関しては山本：大気輻射学がよい。教科書というのは元来退屈しがちなものであるが、基礎知識はそれを通して最も学びやすい。正野の教科書は気象力学の基礎に関して最小限のものを集めているので以上の線で辛抱強く読んでほしい。これはすべての勉強についていえることだが、常に勉強の対象を明確にし、本質的と思われることを先



第1図 時間、空間のスケールによる気象現象の分類

づ理解して全体像を築くことが大切で、いたずらに末梢的な事項や数式にとらわれぬようにしたい。ただし若い人には一度は基礎の方程式、関係式を自分の手で導き出されることを望みたい。

気象力学の和書では、その他吉武：気象力学、荒川秀：気象力学があるが、前者は著者自身の手で料理された家庭料理を味わう楽しさがあって特にうづ度方程式の特解がユニークだが、その反面近代気象力学の全体から見ると少し物足りない感じがする。後者は気象力学の花が満開する前夜の模様を伝える趣きがあって、現在30代後半以上の研究者は必ず一度はお世話になった筈である。学問の一分野がどのようにして発展してきたかを知る上で貴重な資料ではあっても、これから勉強をはじめの人がここから入る必要はないと思う。

先にも述べたように、正野の教科書については小倉の教科書にすゝまれるのがよい。本書は著者の多忙のために途中で中断して完結していないのが残念であるが、正野の教科書が終った、まさにそこからはじまって最近の展開を体系的に見事にとらえている。小倉の教科書によって気象力学独特の雰囲気をかぎとられ、基

* 気象庁予報部 電子計算室

基礎知識が自然現象の中で活々と駆使されていく様子がわかるだろう。いいかえれば、熱力学的回転流体が地球という惑星の上で重力にとらえられて運動するときを示す特性的な運動形態が、理路整然と一貫した態度で論ぜられている。しかし、いきなりそうしたことを味わう余裕が生じないかもしれない。そんな時は、**都田：大気の運動**が助けになるだろう。叙述は全く平明だが気象力学の勘所がよくおさえられている。案外わかったつもりの方がよくわかっていなかったりして教えられそうである。また小倉の教科書の内容のもっと具体的な取り扱いまたは応用といったことを知りたい人は、**岸保：数値予報新講**や**荒川昭：最近の大気大循環論**を参照されたい。

気象力学と気象熱力学とは車の両輪のようなものだが、不幸にして気象熱力学についての既刊の教科書は、気象力学の側からみていずれも不満足なものばかりである。基礎知識を理解されたら、むしろ**片山：地球の熱収支**や**都田：大気力学における熱**へ直接すゝまれるのがよいと思う。そこに気象力学にとって熱の問題とは何か、という問に対する解答を見出されることであろう。

さて、こゝ迄すゝまれた読者のために英文の教科書を紹介しておこう。本講座第1回であげられた **Haltiner and Martin** や **Petterssen (Vol. 1)** の教科書の力学の部分は、正野の教科書に対応する内容をもってどちらもすぐれている。前者がどちらかといえば標準的な Textbook という感じであるのに対して、後者は中緯度の対流圏内擾乱の構造や動静といったものを中心にすえた上での説明でやゝ限られてはいるが全体としてひとつのまとまりをみせているのが対照的である。更にすすんだものを求める読者には現在の所、**Eliassen and Kleinschmidt: Dynamic Meteorology** が最も標準的だと思う。非常に高価な本の一部分なので、どうしても図書館を利用する必要がある。構成は大体正野の教科書と同じであるが、ひとまわり詳しくて深いように思う。数式が多く最初はとっつきにくい印象を与えるが、大学の専門課程のテキストに好適と考える。英文の教科書ではこの他、**Eckart: Hydrodynamics of Oceans and Atmospheres** (理論物理学的な眼で海洋と大気の流体力学をまとめたもので頭の整理によい)、**Godske, Bergeron, Bjerknes and Bundgaard: Dynamic Meteorology and Weather Forecasting** (内容的にはやゝ古くて偏西風波動以後の発展には殆んどふれていないが、熱力学、運動学、回転流体力学の基礎知識、気候学的及び総観的モデル、天気予報といった事項につい

てこん切丁寧な説明がなされているので、むしろ事典的に使うのに便利である。)の2冊が参考になると思う。

気象力学そのものを扱ったものではないが、その流体力学的背景に対する理解を深め、ひいては気象力学に清新の気を吹き込むためにふさわしい教科書が最近あい次いで刊行された。**Greenspan: The Theory of Rotating Fluid** は回転流体力学の最新の成果も含めた総合的なもので、後でふれる回転水槽実験の理論的説明もなされている。残念ながらこの方面の和書が皆無なのは、我国のこの分野の研究の遅れを示すものであろう。同様のことは流体力学の最近の教科書についてもいえるように思う。そういう意味で **Batchelor: An Introduction to Fluid Dynamics** がよい。また非回転の2次元 parallel flow を主な対象としてはいるが不安定理論の流体力学的基礎を与えてくれるものとして **Lin: The Theory of Hydrodynamic Stability** があるし、**Phillips: The Dynamics of the Upper Ocean** は海洋力学の教科書ながら示唆する所が多いと思う。残念ながらこの方面についても和書はみあたらない。

さて気象力学とはどういうことをやる学問であるかが大体つかめた読者の中には、それでは一体これからはどんなことが学問の最尖端の問題となるのか、という疑問を抱かれる方があられるだろう。筆者の主観に従って研究課題を以下簡単に列記するが、順番は必ずしも問題の重要度を意味しないし、詳細は本講座の夫々の部分を参照されたい。

1. 大規模、低周波波動擾乱の力学：超短波、長波、高低気圧波の時間、空間的構造、波同志の相互作用、不安定度、上部成層圏まで含めた擾乱の構造やエネルギー伝播性、特に低緯度地方における擾乱の力学的特性、静力学及び地衡風調節の理論、回転流体力学といった眼で擾乱をみなおすこと、惑星大気を統一的にながめる比較惑星流体力学の展開、力学的過程・熱力学的過程・光化学的過程が共存した場合の取り扱い等々が考えられる。これらの諸問題については巻末の文献にある。広田、新田、岸保、Platzman, Phillips, Monin and Obukhov, Dutton and Johnson, Goody: Atmospheric Radiation I の第8・9章、といった文献が決定的でないまでも問題の経過と現状、将来のみとおしを与えてくれるだろう。また **Starr: Physics of Negative Viscosity Phenomena** は少しひねった角度から眺めることを教えてくれるだろう。彼はジェット流などの集中化現象を比喩的に負の粘性と呼び、地球から太陽系にいたる回転

流体運動の特性を論じている。

2. 高周波波動擾乱の力学：大気潮汐から水爆実験の気圧振動に到る高周波の主として重力波の現象の実態についても未解決な問題が多いようである。大気潮汐については **Wilkes** や **Haurwitz**, 重力波の鉛直伝播に関する全体の見通しについては **Lindzen**, **Hines** がある。小規模な山越え気流については **Alaka** がよくまとまっている。

3. 中小規模の波動擾乱の力学：力学自体これから開拓されるべき分野なので適当な解説書や総合報告はないが、前線性波動については **Eliassen**, もっと規模の小さいものについては気象庁：北陸豪雪調査報告第9章基礎理論の展望がある。中小規模の波動が何故発生し発達するかという不安定性や波の相互作用に関してもはっきりしたことはわからない。まだ個々の論文をひとつずつ勉強していく段階である。

4. 対流現象及び対流性積雲の力学：標準的な教科書としては **Chandrasekhar: Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability** の第1, 2, 3, 7, 8, 11, 12, 13章がある。気象学への適用については **Ogura** や **浅井** がある。ここでも力学がこれから創られようとしているため、上の総合報告に引用されていたり、これから発表される個々の論文について勉強していくほかなさそうである。方向としては、対流そのものを扱う立場と他の規模とりわけ大規模の現象との相互作用に重点をおく立場とがあって、夫々にぎやかに研究されているようである。

5. 乱流現象：確かに気象力学の重要な一部門であってその重要性はますます増加しているようであるが、この入門講座で別に話があると思うので省略したい。

6. 水槽実験結果の理論的説明：地球をとりまく空間で生じている現象を実験室内で再現しようとする水槽実

験の結果を理解しようとする理論も数多いが、実験そのものの結果については **Fultz et al.** が全体の展望を与え、最近では数値実験も手がけられてきた。

7. 数値予報：大規模擾乱の短期変動を電子計算機で模写 (simulate) しようとするもので、別に話がある筈である。これは気象力学の一応用技術という面があるのでその関係は密接で、数値予報の成果はまた気象力学へ feedback される。そういう意味で数値予報関係の参考文献は気象力学を学ぶ上で有益である。東京数値予報グループ：数値予報 I は現在も生きている内容もっているし、岸保：数値予報新講は最も新しい内容と物理的意味に重点をおいた説明が特徴だし、気象庁予報部：数値予報は手取り速い解説書といえるだろう。

8. 大気大循環の力学：既に第3回の入門講座で話された分野である。

老婆心ながら最後にひと言。文献の勉強ではどうか本をみて森をみないという諺を思い出してほしい。細かい数式の運用や導出は確かに気になる所だが、基礎的事項の定義、概念さえしっかりとくり返してのみ込んだならば、気象力学の感じ(他の力学と一体どう違うのかという特徴)をよくつかむようにしてほしい。また更にすゝんで特定のテーマにむかわれるときも、観測事実の理解と尊重の上になつて自分の頭で考えながら問題の本質を先ずがっちりつかみ、しかる後詳細な点に及んでいくという態度をもって頂きたい。勉強や調査研究の成果は必ず自分でまとめてみて、常に仕事を積み重ねていくようにしたいものである。

この稿をまとめるに当たって小倉義光、窪田正八、岸保勘三郎、相原正彦、廣田勇の諸氏の御意見をきかせて頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。ただし本文の責任はあげて筆者にあるのはいうをまたない所である。

文 献 (本文中の文献を種類別にして掲載順に並べた)

教科書

正野 重方：気象力学序説。A 5 版425頁，岩波書店。

正野 重方：気象力学。岩波全書，384頁，岩波書店，430円。

小倉 義光：最近の気象力学 (I)。気象研究ノート，第17巻第1号 (1966年8月) 1～61頁。

荒川 秀俊：気象熱力学。新気象学叢書，120頁，地人書館，400円。

山本 義一：大気放射学。A 5 版，172頁，岩波書店。

吉武 素二：気象力学。気象学講座第2巻89頁，地人書館，250円。

荒川 秀俊：気象力学。A 5 版，岩波書店。

都田 菊郎：大気の運動，新天学文講座第5巻「地球物理」(前田憲一編)第Ⅲ章 (83～118頁)，恒星社厚生閣，1000円。

岸保勘三郎：数値予報新講。新気象学叢書，180頁，地人書館，550円。

1969年5月

- Eliassen, A., and E. Kleinschmidt: *Dynamic Meteorology. Handbuch der Physik. Band 48, Geophysik II*, pp. 1~154, Berlin, Springer-Verlag, 1957, 約27,000円。
- Eckart, C.: *Hydrodynamics of Oceans and Atmospheres*. Pergamon Press, 290p. 1960, 3,940円。
- Godske, C.L., T. Bergeron, J. Bjerknes, and R.C. Bundgaard: *Dynamic Meteorology and Weather Forecasting*. American Meteorological Society, 800p. 1967, \$ 15.00.
- Batchelor, G.K.: *An Introduction to Fluid Dynamics*. Cambridge Univ. Press, 615p. 1967, \$ 13.50.
- 東京数値予報グループ: 数値予報 (I). 気象研究ノート, 第7巻第3号 (1956年6月) 99~204頁。
- 気象庁予報部 (執筆: 新田尚・磯野良徳): 数値予報. 電子計算室報告別刷第10号 (昭和43年3月) 145頁
- 専門書**
- Greenspan, H.P.: *The Theory of Rotating Fluid*. Cambridge Monographs on Mechanics and Applied Mathematics. Cambridge Univ. Press, 327p. 1968, \$ 15.00.
- Lin, C.C.: *The Theory of Hydrodynamic Stability* 上と同じ出版, 155p. 1966 (再版), \$ 7.50.
- Phillips, O.M.: *The Dynamics of the Upper Ocean*. 上と同じ出版, 261p. 1966, \$ 11.50.
- Dutton, J.A., and D.R. Johnson, 1967: *The Theory of Available Potential Energy and a Variational Approach to Atmospheric Energetics*. *Advances in Geophysics*, Vol. 12, Academic Press, pp. 333~436, \$ 18.00.
- Goody, R.M.: *Atmospheric Radiation, I. Theoretical Basis*. Oxford Univ. Press, 436p. 1964, \$ 15.00.
- Starr, V.P.: *Physics of Negative Viscosity phenomena*. McGraw Hill, 256p. 1968, \$ 9.95.
- Wilkes, M.V.: *Oscillations of the Earth's Atmosphere*. Cambridge Univ. Press, 76p. 1949, 約1,000円。
- Chandrasekhar, S.: *Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability*. Oxford, Clarendon Press, *The International Series of Monographs on Physics*, 652p. 1961, 約7,000円。
- 総合報告**
- 荒川 昭夫, 1958: 最近の大気大循環論. 気象研究ノート, 第9巻第4号, 229~362頁。
- 片山 昭, 1962: 地球の熱収支. 気象研究ノート, 第13巻第2号, 101~169頁。
- 都田 菊郎, 1957: 大気力学における熱. 気象研究ノート, 第8巻第2号, 118~133頁。
- 広田 勇, 1968: 超長波の力学に関する問題点. 気象研究ノート, 第95号, 62~79頁。
- 新田 尚, 1968: 対流圏と成層圏の相互作用における長波, 超長波の役割. 気象研究ノート, 第95号, 80~108頁。
- Platzman, G.P., 1968: Rossby Wave. *Quart. J. Roy. meteor. Soc.*, Vol. 94, No. 401, pp. 225~248.
- Phillips, N.A., 1963: Geostrophic Motion. *Reviews of Geophysics*, Vol. 1, No. 2, pp. 123~176. (植村八郎氏による翻訳が地球物理文献抄, 第12巻第7号1966年3月にある)
- Monin, A.S., and A.M. Obukhov, 1959: A Note on General Classification of Motions in a Baroclinic Atmosphere. *Tellus*, Vol. 11, No. 2, pp. 159~162.
- Haurwitz, B., 1964: Tidal Phenomena in the Upper Atmosphere. WMO Technical Note, No 58, 約300円。
- Lindzen, R.S., 1968: Lower Atmospheric Energy Sources for the Upper Atmosphere. *Meteorological Monograph*, Vol. 9, No. 31: Meteorological Investigations of the Upper Atmosphere, pp. 37~46, \$ 10.00
- Hines, C.O., 1968: Tidal Oscillations, Shorter Period Gravity Waves and Shear Waves. 上と同じ *Meteorological Monograph*, pp. 114~121.
- Alaka, M.A.: *The Airflow Over Mountains*. WMO Technical Note, No. 34, 約3,000円。
- Eliassen, A., 1966: Motions of Intermediate Scale: Fronts and Cyclones. *Advances in Earth Science*. The M. I.T. Press, pp. 111~138, \$ 20.00.
- 気象庁, 1968: 北陸豪雪調査報告. 気象庁技術報告, 第66号, (第9章 基礎理論の展望 392~431頁)。
- Ogura, Y., 1962: A Review of Numerical Modeling Research on Small Scale Convection in the Atmosphere. *Meteorological Monograph*, Vol. 5, No. 27: Severe Local Storms (Sep. 1963) (布装10,000円, 紙装9,000円)
- 浅井 富雄, 1968: 積雲対流に関する理論的研究. 天気, 第15巻第6号, 227~236頁。
- Fultz, D., R.R. Long, G.V. Owens, W. Bohan, R. Kaylor, and J. Weil, 1959: Studies of Thermal Convection in a Rotating Cylinder with Some Implications for Large-Scale Atmospheric Motions. *Meteorological Monographs*, Vol. 4, No. 21, 5,000円。
- 解説書**
- 岸保勘三郎, 1963: 傾圧大気の性質. 測候時報, 第30巻第3号, 57~101頁。
- 気象庁予報部 (執筆: 岸保勘三郎), 1963: パロクリニック大気の性質, 電子計算室報告別刷第7号 (昭和38年6月) 83頁。