

大学院生からみた今後の気象学

東京大学理学部地球物理学教室気象研究室大学院生*

1. はじめに

最近学会内において気象学の長期計画作成の動きがでてきている。長期計画作成にあたっては、具体的な設備の充実、研究者・技術者養成、資金の増額といった議論はもちろん重要だが、気象学の研究内容についての検討が十分にされ、どのような研究方向が今後必要とされているのかといった議論が色々な所でなされるなかで、具体的な計画案が練られることが望ましいであろう。1970年代の気象学の展望ということについては、天気1月号に座談会形式で掲載されているが、しかしまだまだ学会内で気象学の展望についての議論が活発になされているとは言い難い。そこで今回、東大理学部気象研究室の大学院生が2回にわたって話し合う機会があったので、それらをまとめてここに報告することにした。現段階では、気象学全般にわたる展望について網羅することは無理なので、まず自分達が実際にとりくんでいる研究分野について、常日頃感じてきていることを気楽に話し合った内容をまとめたものなので、学会内のある若手層の意見として参考にされ、他機関においても活発な議論がもたれれば幸いである。

2. 不安定論の展望

大気大循環の中で、中緯度の波動擾乱の果す役割の重要性が認識されたのは、今世紀、特に戦後になってからである。一方1920年頃、波動現象を認識したノルウェー学派の人達はこの擾乱を流体の不安定性で説明しようとした。これが気象における不安定論の始まりであろう。この研究は frontal wave theory として発展し、Kotschin (1932) によってモデルとして完成された。実はこのモデルで現在言われている傾圧不安定波も表現されていたのであるが、それは最近分った事である。この後、1947年に、Charney, 更に引き続いて Eady により、新しい

傾圧モデルが提出され、その不安定が詳論された。以後このモデルの解は Green らにより細かく調べられ、その特徴が明らかにされてきた。

この一連の系統とは別に、水平シアーによって不安定化する波(順圧不安定)、子午面運動の不安定(慣性不安定)等の研究もなされていた。最近では、傾圧+順圧モデル (Pedlosky, Brown, McIntyre etc.)、あるいは傾圧モデルに対する非地衡風の効果の研究 ('Arnason, Stone etc.) も行なわれている。特に計算機を使用する事により、Matrix 法や iterative method を使ってより複雑なモデルの解も容易に求められる様になった事が注目される。

不安定論は、モデル中に生じ得る種々の波の理解、予言に威力を発揮し、特に低気圧の構造、機構の説明に輝かしい成功を収めたが、線型化の為の制約にも注意する必要がある。その為、非線型の効果を取り入れる工夫も幾つかなされてきている。又これまでの不安定の取り扱いを改良し、変数分離出来ない問題での不安定の議論もされている (McIntyre)。今後も現象解明の一手法として、不安定論は有効であろうが、更にその手法を切り開いて、より広範囲の問題への適用を可能なものにしてゆけるだろう。

3. 最近の熱帯気象学と今後の展望

最近熱帯気象の研究が脚光をあびてきた。熱帯は広大な領域(緯度±30度以内)を占め、大気大循環においても重要な役割を果す地域でありながら、これまで観測が十分なされず、特異な現象(たとえば台風など)以外は放置されていたのが、1960年代に入り徐々に新現象が発見され、それに伴う理論も進展してきた。最近の熱帯気象の進展において特筆すべき現象の解明としては; 1. 成層圏準2年振動の発見 2. 赤道波動の発見—Yanai-Maruyama 波, Kelvin 波, 対流圏擾乱, 3. 大循環の統計量の解析があり、それらと相補うかたちで、1. 赤道波の理論, 2. 大循環の数値計算 3. 台風の数値実験

* 新田勲, 高橋忠司, 時岡達志, 林良一, 佐藤康雄, 村上勝人, 木田秀次, 西口三登志
—1970年5月21日受理—

があげられる。

今後の問題として、解析の立場からは、観測網の拡張が絶対に必要であるが、短期間に解決する様子もない。しかしそういう現実であっても、新しい解析手法の開拓——たとえば今まで主に時系列データを使用してきたが、何とか工夫して空間的なデータ解析をすとか——は常に探究しなければならないだろう。現象としても、赤道波についてもまだその構造、性質については、解明されていない点が多いし、特に対流圏中の擾乱については、構造、性質について整理する必要があるであろう。更に、ITCZ、モンスーンについてもまだ記述的であり、今後は力学的立場からの考察が重要であろう。現象を説明する立場からは、成層圏準2年振動の原因はいまだもって解明されていない。赤道波の理論にしても、強制波か、不安定波かも波動の構造からだけでは決定できないし、不安定波としても、積雲流の熱放出が大規模波動へどうパラメータ化すれば、観測されるスケールの波動が最も不安定になるのかの問題が残されている。大循環の数値計算の大きな進展により、熱帯地方の現象もかなりの精度で再現されてきているが、実測の観測値が不十分な熱帯地域にとり、今後この種の数値シミュレーションによる研究の重要性が増してくるだろう。ただし、日本では計算機の使用の問題、研究者層のうすさのために、今後すぐ有力な武器になることは期待できないが、かなり簡便化したモデルによる数値実験等は、個々の要素の効果を調べる意味で追及する必要があるであろう。

4. 成層圏研究の現状と展望

1952年ドイツの Sherhag による成層圏突然昇温現象の発見以来、総観解析による昇温現象の再確認、当時対流圏の低気圧に対して成功を収めた傾圧波の理論で成層圏超長波の発達を説明する試み (Fleagle, Murray) がなされた。長波と超長波の異同が明確になっていなかったこともあり、不安定論は成功を収めることができなかった。

不安定論の行きつまりの後、実際の成層圏におけるエネルギー変換を調べるために、Reed 他、Miyakoda, Murakami, Julian & Labitzke 等が冬の成層圏について詳細なエネルギー解析を行なった。必ずしも一致しているわけではないが、主要な指摘は昇温期の擾乱の運動エネルギーが対流圏からの波動エネルギーの供給と擾乱の potential energy からの転換によるということであると思われる。又、このころから (Miyakoda), 冬季成層圏の一般の循環 (準定常波の存在) と Break down

(非定常過程)を一応わけて考えるべきだという認識が定着し始めたと思われる。この冬の成層圏における準定常波に対しては次の二つの解釈が考えられている。一つは Charney & Drazin による波動エネルギーの上方伝播理論で、これは Dickinson, Matsuno 等により、益々精密化されて成層圏中の定常的超長波をかなり説明している。

また、他方は偏西風帯中の傾圧不安定超長波と考える見方である。さて、それでは肝心の昇温現象はどう説明されるかという問題、これは今まで偏西風帯中の不安定波として考えられている (Charney and Stern) が依然として決定的なものはない。

今後 (1) 超長波の力学を基礎的に見なおすこと。
(2) 上部成層圏を加えた立体的な解析を行うこと。
(3) 大循環数値実験による成層圏循環の Simulation (Manabe & Hunt, Miyakoda et al.) (4) オゾンの光化学、輻射と力学とを結合した model の開発 (Lindzen) などが、一層問題となってくるのではなかろうか。

5. 雲物理学 (降雨機構の研究から) の現状と展望

第二次大戦以後、各国においてなされた人工降雨等の気象の人工変換に対する試みは、それまで実験と観測を通じて確立された降雨機構のモデルの自然への適用と、その結果を通じてのより強固なモデルの確立を意図していたように思われる。しかし、これ等の気象人工変換の試みは新しい測器の開発、観測による自然現象に対する新知識の数々を持たらしたが、その本来の意味について完全な成功であったとは言い難い。むしろ、この試みは雲がそれまで考えられていた以上に複雑なものであることを示した。(人工降雨による増雨効果に対する意見の相異、氷晶の自己増殖説等)。そこから雲物理学者は雲でおこる物理的な過程を完全に (定量的な意味において) 知っていなかったという批判が生れる。

以上の観点に立つと、研究方向を野外観測、室内実験、降雨機構のモデル化の三つに大別して、次のようなことが考えられる。

(i) 野外観測

雲の中の現象が複雑な過程であるという結論から、様々な観測手段でもって1つの自然現象に対して同時観測を行なうこと、又は天然を1つの大実験室として大規模な野外実験 (J. Simpson et al. による積雲に対する Seeding) を行なうことが期待される。発達する雲 (雲中の運動、生成、消滅) という考えで、従来の雲物理観測より一段スケールの大きい現象を含み、他領域にも関

係する大きな観測網が必要であろう。そのような観測が行われる前にはこれまで行われた人工降雨実験を雲物理学の発展においてどのように位置づけるかという点を総括することが必要である。

(ii) 室内実験

室内実験は行きづまりだという声が聞かれないでもない。確かに従来と同じ方法ではその感も免れえないが、一つの方向性として、実験の大型化 (UCLA の風洞等) 又は性能の向上により精度を 1~2 order あげることが考えられる。そうすることによって、従来では見つからなかった現象がでてくるかも知れないし、モデル化に対する定量的な実験としても意味あることである。

(iii) 降雨機構のモデル化

大型計算装置の出現により、単に定性的なモデルを考えるにとどまらず、パラメーター化を行なうことにより定量的なシミュレーションが可能になった。パラメーターを変えるだけで自然現象とのつながりがないではないかという批判もある。その意味で、モデル化は単にそれ

のみが先行するという形ではなく、野外観測、室内実験モデルの三つが相互に影響しあつてゆかなければならない。モデル化が孤立した雲にとどまらず、ある地域の気象現象 (例えば北陸豪雪) に対しても行われるようになった時、気象の人工変換の効果が一層はっきりするであろう。

以上の研究を押し進めるには、共通の研究目的を持った研究者の自主的な組織が必要になると思う。それは研究者間の交流を活発にすることから生れると思うが、その中心的な役割を気象研究所や設立の要望されている大気物理研究所がになって行くことを期待したい。更に研究が物性的な雲物理学の枠をぬけることを考えると、よりスケールの大きい対流、中規模擾乱の研究者との交流、又は雲物理学を学んだ人が積極的にその方向をとり入れていくことが望ましい。大学での研究としては、新しい人材の供給と共に、基礎研究、新分野 (例えば惑星大気) への進出など今述べた方向と違った立場もあると思う。

[書評]

杉浦吉雄著 海洋と化学 (海洋開発シリーズ 8) B 6—207 ページ, 400 円, 1970 年 9 月共立出版社)

昨年、発刊された P.K. Weyl の "Oceanography" をみると全体を 6 部に分け、その第 4 部を "The Salt of the Sea" と題し、塩分と炭素循環を主な柱にして海洋化学をまとめている。問題が多岐にわたるから、このようにはっきりした柱を立てないと、とても書ききれないからである。杉浦のこの本も序文をよむと「化学」と結びつく問題として何を取り上げるかについて色々と思ひめぐらしたようにみうけられるが、出来上った構成をみると、基本的な問題、汚染等の応用的問題をふくめて、対象はかなり広い分野にわたっている。研究の第一線で仕事をしている人の労作だけあって、尖端的問題が各分野でよく網羅されており、海洋化学のもっとも新しい本といえるが、しかし本のスケールに対して対象がいくらか多すぎた感じで、部分的に喰いたりぬ感じがしないわけではない。

たとえば本書では海洋の汚染として放射能によるよごと、スモッグによるよごれが取上げられており、後者

はわずか 2 ページで、しかも余白が 1 ページ以上もあるといった工合で、本をつくる上での不手ぎわが他の個所と共に目立つのであるが、目下の急務である石油による海洋の汚染についてふれられていないのは、やはり手落ちであると思う。大気汚染に関連して CO₂ も関心がもたれるが、この経年的増加については他章でのべられているが、海がこれに対してはたず役割りについては、1 ページ半の余白を残しながら十分な説明が与えられているとはいえない。「炭酸ガスは、海中の中で、水と化合して炭酸をつくるのだが、これには時間がかかる。そのために、炭酸ガスが海水に溶けるのに時間がかかるのだ」とボリンの説を紹介しておられるが、(p. 93) これは同語反復ではなからうか。

通読して第 2 章第 3 節の「海面に集る物質と泡」(p. 84) あたりから後半の方がよみやすかった。前半がややむずかしく感ぜられるのは、基本的なことが、海洋学上の何のために行われるのかについて、十分書きこまれていないからで、後半に入り、海洋学の事実が主に叙述されるようになるにつれ興味がわいてくるのである。この著者には、せめて本書の 2 倍程度のスペースを与え、テーマを精選して十分に書きこんでもらいたかった。

(根本 順吉)