

高層大気物理学入門

廣 田 勇*

1. はじめに

まず用語の説明から始めよう。ふた昔ほど前までは、人間の背の高さ以上はすべて高層と呼ばれ、surface(地上)に対して、850 mb も 500 mb もあるいは成層圏も等しく高層天気図の名のもとに記述されてきた。古い意味での高層気象学 (aerology) の性格を示す例として、当時の気象学会の高層気象のセッションではラジオゾンデの話などが多かったように記憶する。しかし、今は違う。IGY (1957-58) 以降、地球規模での大気の立体構造や振舞いに関する知識や理解が進むにつれて、かなた上空の気象現象をとらえる見方は急速に変貌してきた。つまり、単に高いことに意味があるのではなく、高いが故に地上付近とは非常に異なった大気の様相が見られることにこそ本質的な意味のあることが認識されるようになってきた。たとえば、大気の名稱を、その垂直温度分布に応じて下から順に、対流圏 (0~10 km)、成層圏 (10~45 km)、中間圏 (45~80 km)、熱圏 (80 km 以上) と呼ぶのは、それなりの十分な裏付けを持っているのである。

熱圏はまた電離圏であり、独自のさまざまな地球物理学的現象が存在する。これらを扱う学問 エアロノミー (aeronomy) に相当する日本語は、ふつう習慣的に“超高層物理学”というが、超高層なるものの下限は必ずしもはっきりしてはいない。中間圏は、従来エアロノミーと気象学との境界領域として、未知のまま残されてきた問題を多く抱えている。このような事情をふまえ、最近では気象学者と超高層物理学者との協力で、10~100 km の領域を“中層大気”としてとらえようとする動きが国際的に出始めている。1980年代に予定されている MAP (Middle Atmosphere Program) はその具体的なあらわれと言える。しかし、中層大気という言葉が定着するにはもうあと数年かかると仮定し、本稿では“高層”という言葉を一応便宜的に成層圏から下部熱圏までの、高度にして 10~100 km の大気に対して用いることにする。

さて、旧来の気象学は、人間生活との関連や観測上の制約などの理由から、主として対流圏のいわゆる“天気”に密着した現象を取り扱ってきた。これに対し、近年の観測の進歩につれて、高層大気は温度場のみならず、運動の形態や物質の分布など、あらゆる点において下層大気中の天気現象とは異なった様相を示すことが知られてきた。このことは必然的に、高層大気を研究対象とする学問の構成が、従来の気象学のそれとは異なったものであることを要請するに至る。つまり、単なる現象論的記述の域を脱し、あらためて、より根源的な物理過程の複合体として高層大気中の現象を見る必要が生じてきたわけである。最近、気象学にかわって“大気物理学”という言葉がしばしば使われるようになったのは、まさにこの理由によるところが大きい。

2. 高層大気へのアプローチ

文献紹介に先立って、高層大気に興味を持ちこれから勉強を始めようとする人々の為に、まず、どのような心構えが必要かを述べておくことはあながち無意味でもあるまい。

その第一は、言うまでもなく、高層大気の自然の姿を知ることである。そしてそのためには、当然、観測の手段に関する心得が必要となる。バルーン(ラジオゾンデ)の到達限界高度(約 10 mb ≒ 30 km) より上の観測は、主としてロケットや衛星に頼らざるを得ない。これらの比較的新しい観測方法を理解することは、単に技術上の問題にとどまらず、いったい高層大気に関してどのような物理量がいかなる精度で得られているかを知る上で極めて重要である。同時にそれは、高層大気の平均状態 (climatology) やそれに重畳するさまざまな時間空間スケールの変動(擾乱)を巨視的に把握することにつながる。

高層大気の特徴を理解する上で必要な第二のポイントは、物質(大気組成)の分布である。下層大気においてこれに対応するのは主として水蒸気のみであり、場合によっては混合比一定の空気を考えても良いが、高層においては大気組成の変動を抜きには議論の進まない場合が

* I. Hirota, 京都大学理学部

多い。たとえば、気温のグローバルな分布やその季節変化を説明するには当然大気放射学の知識や考え方を必要とするが、高層大気中の放射過程にはその場における物質分布が直接強く関与する。

一方、放射過程に起因する高層大気温度分布は、地球の回転や重力の効果と相まって固有の運動（風系や波動）を作り出す、したがって、これらの現象の説明には、対流圏中の高低気圧や前線、対流などとはまた違った力学理論の構成が要求される。さらにまた、プラネタリー波、潮汐波、重力波等に代表される高層大気波動は、それ自身、熱や運動量や物質の広範囲にわたる輸送を担い、より複雑な大循環システムを構成することになる。

要約すれば、高層大気の様子を知り、その振舞いを理解するためには、学問に王道なしのたとえ通り、本シリーズ基礎コースにある種々の分野を一通り身につけておくことが要求されよう。

しかし、それだからといって怯むことはない。未知なるものへの素朴な憧憬こそ学問にとって最大の力である。まず、取りつきやすいところから第一歩を踏み出し、然る後に足場をしっかりと固めてゆく態度も大切なことは言をまたない。

3. 何を読めばよいか

旧版の“気象学の手引き”には、堀内剛二氏の“超高層大気への誘い”と関口理郎氏による“成層圏と中間圏の気象学”があり、それぞれ1970年までのテキストや総合報告が紹介されている。それらの内には、現在の学問レベルから見ても依然として立派に通用するものも少なくない。しかし、ここでは主として70年代に入ってから書かれたものを中心に紹介しよう。古くても価値のあるものは、当然最近の文献の中に生き続けているはずであるから、その取捨選択は読者に委ねる。

以下、項目別に文献の紹介・解題を試みるが、もちろんこの順番にすべてを読めという意味ではないし、また読んだからといって直ちに高層大気物理学が皆理解できるというわけにもゆくまい。上に述べたとおり、幅広い視野に立った上でそれぞれの興味を追求し、最後には個々の原論文を読み切ってほしい。

(1) 啓蒙書

一般向きの科学啓蒙書（単行本）はエアロノミーの分野に優れたものが多く見られる。たとえば、**Craig**：宇宙空間の科学（畠山訳，1969）、**Ratcliffe**：太陽・地球・電波（関口訳，1972）、**小口**：宇宙空間の科学（1974）、**赤祖父**：オーロラ（1975）等は通俗書というよりむしろ

立派なエアロノミー入門書であり、専門家の一読にも十分耐え得る好著といえよう。これらの本を通して、高層大気の雄大な姿に初めて目を開かれる若い読者も多いであろう。

これに対し、気象学の立場から書かれた高層大気一般向け啓蒙書はほとんどない、その理由のひとつは、この領域の研究の歴史が比較的浅いことであろう。これを裏返して言えば、高層大気物理学とは未知の問題をたくさん含んだこれからの学問分野だということになる。学問とは、既存の知識を単に修得することではない、これから新しいテキストを自ら創ってゆくことこそ学問である。その魅力を感じ取ってほしい。

(2) 解説・総合報告

高層大気個々のトピックスに関し、和文で書かれた解説や総合報告の類は数多くあり、それぞれ対象とする読者層も異なっている。

観測・測定に関しては、やや専門的だが**気象研究ノート NO. 111**（1972）気象衛星特集号に、**嘉納**：放射測定及びそれによる気象要素の推定があり、同じく**No. 130**（1976）には、**小川**：大気微量成分の分光測定がある。気象衛星の赤外放射観測による成層圏中間圏の気温分布測定とその大循環論への応用については、**廣田**：気象衛星赤外分光計観測資料に基づく成層圏循環解析の最近の話題（1972）、**気象衛星から見た高層大気大循環**（1975）、最近の気象衛星による成層圏中間圏の観測的研究（1977）の3編の解説が平易を旨として書かれている。

オゾンをはじめさまざまな大気組成に関するものとしては、**等松**：超高層大気分光学（1974）、**成層圏光化学**（1977）、**小川**：成層圏微量成分の高度分布（1975）などが、観測と理論の両面からかなり程度の高い議論を展開している。高層大気中の物質分布の問題は、最近、人間生存における環境という立場からもとらえられている。**島崎**：大気圏オゾンの破壊（1977）は、この問題を一般向けにわかり易く説明し、**小川**：大気組成のグローバルな人工変成（1977）はプロフェッショナルな立場からこれを論じている。**小野**：成層圏エロゾル粒子（1977）も、放射環境の見地から将来ますます重要視されるであろうエロゾルの問題を、基礎的な立場から観測を中心に解説したものである。

一方、力学・大循環に関しては、**松野**：成層圏突然昇温について（1971）、**成層圏の気象**（1977）が昇温現象にまつわる高層大気力学の要点を明快に説明している。読者はこの名解説を一読しただけで、下層大気気象力学

と高層大気のとが非常に異なっていることを直ちに納得できるであろう。成層圏・中間圏のプラネタリー波動全般については、前出の廣田の解説のほか、佐藤：プラネタリー波動について(1977)が過去の多くの観測的・統計的研究を網羅している。準2年周期振動にまつわる赤道成層圏独特の現象は、柳井・丸山：熱帯成層圏大気の運動(1969)に詳しく述べられて以来、最近の和文解説は見当たらない。しかし、このことは赤道高層大気研究の停滞や終了を意味するものではない。赤道波動の成因論や伝播論、さらには、中間圏の半年周期振動との関連等々、近い将来新しい赤道高層力学の展開が期待されている。

対流圏では比較的馴染みの薄い大気潮汐や内部重力波もまた、高層大気力学にとってきわめて重要なテーマである。これに関する文献としては、総合報告というよりも教科書風にアレンジされた、田中・加藤：大気中の内部重力波(1975)が挙げられる。

解説文の紹介の最後に、波動による物質輸送を扱ったユニークなものとして、木田：大気中の大規模拡散(1977)を挙げておこう。これもまた、従来の教科書には見られない斬新な問題意識を含んだ好エッセイである。

(3) 教科書

一般向け啓蒙書の場合と同じく、エアロノミーの分野ではすでに永田・等松：超高層大気の物理学(1973)の如き本格的な教科書があるが、不幸にしてわが国の気象学者の手になる高層大気の教科書はまだない。それで、やむを得ず英語で書かれた最近の教科書、Houghton：The physics of atmospheres(1977)およびHolton：The dynamic meteorology of the stratosphere and mesosphere(1975)の2冊を掲げる(天気1977年9月号本だに紹介済)。前者は学部程度の入門テキストで、気象学全般を扱っているが、特に、赤外放射や高層大気の記述が新しい。後者は突然昇温や準2年周期振動を中心に、最近の高層大気力学を扱ったもので、大学院生以上のレベルの専門書である。同じ意味で、超高層大気物理のプロをみざす学生にとっては、Akasofu・Chapmanの大著Solar-terrestrial physics(1972)も一度は必ず通り過ぎるべき道標であろう。

(4) その他

一般読者にとって、入手の困難さ、英語で書かれていること、内容の程度の高さ、等々の理由から、この入門講座には必ずしも適当とは思われないが、高層大気に関

する最近の貴重な文献という意味で次の3編を挙げておく。

(i) CIAP 報告書 No. 1 (1975)：The natural stratosphere of 1974. SST の影響調査のためアメリカ運輸省がまとめた成層圏研究成果の総合報告書。

(ii) Dickinson：Meteorology of the upper atmosphere(1975)。1970年代前半に発表された高層大気物理に関するぼう大な数の論文を整理・分類したレポート。

(iii) MAP Planning document(1976)。前述のMAPで今後どのような研究が重要かを学問的見地からまとめた研究計画書。

おわりに

以上、駆け足で高層大気物理学の概略と関連文献の紹介を試みた。限られた紙数ゆえ、手引きとしても不完全な部分が多々あろうが、船が岸辺を離れることさえできれば水先案内人の主な役目は終わったことになる。

わが国における高層大気物理学研究者の層の薄さに相反して、たとえばMAPに象徴されるように、この分野の世界的な発展を考えると、これから勉強・研究を始める読者の中から、高層大気に興味を持ち意欲的に取り組む人がひとりでも多く現われることを望みたいものである。

文 献

(本文の紹介順。ただし解説・総合報告については表題を省略した)

(1) 啓蒙書

R.A. Craig (高山久尚訳), 1969: 宇宙空間の科学, Science Study Series, 26, 192頁, 河出書房新社。
J.A. Ratcliffe (関口理郎訳), 1972: 太陽・地球・電波, 世界大学選書, 234頁, 平凡社。

小口 高, 1974: 宇宙空間の科学, 221頁, NHKブックス, 日本放送出版協会。

赤祖父俊一, 1975: オーロラ, 自然選書, 230頁, 中央公論社。

(2) 解説・総合報告

嘉納宗靖, 1972: 気象研究ノート, 111, 211-238。

小川利紘, 1976: 同上, 130, 75-104。

廣田 勇, 1972: 天気, 19, 283-292。

———, 1975: 自然(中央公論社), 4月号, 28-37。

———, 1977: グロスベッター, 15, 2・3, 1-9。

等松隆夫, 1974: 分光研究, 23, 267-284。

———, 1977: 科学(岩波書店), 47, 11-17。

小川利紘, 1975: 天気, 22, 215-226。

島崎達夫, 1977: サイエンス(日本経済新聞社), 7, 80-93。

- 小川利紘, 1977: 天気, 24, 499-517.
 小野 晃, 1977: 科学, 47, 18-26.
 松野太郎, 1971: 天気, 18, 483-491.
 ———, 1977: 科学, 47, 2-10.
 佐藤康雄, 1977: 天気, 24, 135-151.
 柳井迪雄, 丸山健人, 1969: 天気, 16, 239-260.
 田中 浩, 加藤 進, 1975: 気象研究ノート, 126,
 1-72.
 木田秀次, 1977: 天気, 24, 415-430.
(3)教科書
 永田 武, 等松隆夫, 1973: 超高層大気物理学,
 453頁, 物理科学選書, 6, 裳華房.
 J.T. Houghton, 1977: The physics of atmospheres,

- 203頁, Cambridge Univ. Press.
 J.R. Holton, 1975: The dynamic meteorology of
 the stratosphere and mesosphere, 218 頁, Met.
 Monographie, 37, Ame. Met. Soc.
 S. Akasofu and S. Chapman, 1972: Solar-terres-
 trial physics, 889頁, Oxford Univ. Press.
(4)その他
 CIAP Final Report, 1975: DOT-TST-75-51~56,
 Technical Information Service, U.S.A.
 R.E Dickinson, 1975: Reviews of Geophysics and
 Space Physics, 13, 771-790.
 Middle Atmosphere Program, Planning Docu-
 ment, 1976: 98頁, イリノイ大学, U.S.A.



続 気象学入門講座

これからの予定

(太字は既に掲載されたもの、カ
 ッコ内は掲載された号巻)

- 気象学へのガイダンス (25.4)
[基礎コース]
 気象解析の手引き (25.5)
 気象力学・気象熱力学
 気象放射学
 高層大気物理学入門 (25.5)
 雲物理学・降水物理学
 大気電気学・大気化学
 気象観測と気象器械
 気象統計学
 気候学
 生活と気象
[アドヴァンスト・コース]
 気象予測論

- 回転流体力学を学ぶために
 対流論
 中小規模現象の気象学
 大気大循環論
 エーロゾルの気象学
 気候変動論
 熱帯気象学
 高層大気力学
 高層大気物理
 大気境界層の物理
 衛星気象学
 レーダ気象学
 惑星気象学
 自動気象観測(隔測)・通報システ

- ム
 応用気象学
 大気汚染の気象学
 実験気象学
 天候・気候変化の気象学
 海洋気象学
 極気象学
 気象災害論
 気象教育論
 気象データ処理法
[研究のすすめ方]
 最近の気象資料
 論文の書き方
 気象学教科書・参考書のリスト