

## 気象学入門講座 (22)

## 成層圏と中間圏の気象学

関 口 理 郎\*

## 1. はじめに

すでに「超高層大気への誘い」として堀内剛二氏がこの入門講座において Aeronomy に重点を置いて執筆されているので、屋上屋を重ねる嫌いはあるが、編集部厚望もあり、できるだけ堀内氏が触れなかった部門に重点を置き、成層圏から中間圏における気象学への手引きとして書くことにする。ただ、この入門講座が大気の空間的分割によって統一的に企画されたものではなく、成層圏や中間圏の気象学をすべて網羅するには間口が広すぎて、まとまりのないものとなる恐れがあるし、浅学の筆者には荷が重過ぎよう。しかし、対流圏の気象学の入門が企画されないのに、成層圏・中間圏の気象学が一本の柱として立てられるのは、探測の歴史が浅く、理論はもちろん観測の面からも解明されていないことが多く、分化されるほど発展していないともいえよう。

このテーマの中に含まれる主なものを筆者なりに拾い上げてみると、測定技術・オゾン層・光化学理論・大循環・重力波・大気潮汐・エネルギー伝播・上下の大気層との coupling・突然昇温・低緯度の準2年周期・放射などがある。

まず、われわれの超高層に関する知識のおおざっぱな出発点として、Mitra: **General Aspects of Upper Atmospheric Physics** を考え、この入門講座を書くことにする。

## 2. 測定技術

高層観測には気球やロケットなどによる直接探測と分光学的方法や電波・放射などによる間接探測がある。通常の気球観測は主としてラジオゾンデによるが、これに関連しては高層観測指針、磯野：気象器械(II)、小熊：高層気象観測装置が手近かな一般参考書として適当である。指針は実際の観測を行なうための手引きであり、磯野は測定精度や原理を考える上の入門書として適当であ

る。小熊は現在日本で使われている高層観測用の受信機、ゾンデ類を網羅し解説している。

**Handbook of Meteorological Instruments (Part II, Instrument for Upper Air Observations)** は日本では行なわれていない方法も含めての解説であり、その他 **Selected Meteorological Papers No. 21, Meteorological Instruments** や **Compendium** も参考になろう。

Rocket 観測については、Webb: **Structure of the Stratosphere** の中に述べられているほか、Carten, Jr.: **Meteorological Accuracies for Use in the Design and Operation of Aerospace Vehicles**, Rockney: **Recent Developments in High Altitude Meteorological Soundings in the U.S.A.** などが手順であるが、有住：成層圏・中間圏の気象観測は入手も容易であり、問題点の把握には都合がよい。

オゾン観測については、オゾン観測指針、山本：気象輻射学でドブソン分光光度計による観測は学べる。ゾンデによる観測は Kobayashi: **An Various Methods of Measuring the Vertical Distribution of Atmospheric Ozone (I) ~ (III)** がある。

なお、この他の参考書や論文で基礎的なものは巻末に掲げる。

## 3. 超高層大気一般

堀内氏がすでに掲げたものと重複するが、Murgatroyd et al.: **The Circulation in the Stratosphere, Mesosphere and Lower Thermosphere** は1960年前半の優れた総合報告といえる。また、畑中：宇宙空間への道は肩がこらずに読めるエッセイであるが、含蓄ある入門書として推めたい。Graig: **The Upper Atmosphere, Meteorology and Physics** は中間圏までの気象学を本気で勉強したい人には是非一読をすすめたい。Quiroz: **Meteorological Investigation of the Upper**

\* 気象庁観測部

**Atmosphere** は約 70km 以上の気象現象についての Symposium の Proceedings であるが、**Craig** 以後の発展を review したものであり、歯ごたえはあるが、観測、気象学 Aeronomy を有機的に網羅したモノグラフである。さらに堀内：超高層物理学は中間圏からはじまって太陽までを網羅した力作であり、相当の予備知識がないと読みこなすのは骨であるが、ハンドブックとして利用価値は高い。

最近、中間圏・電離圏大気力学とエネルギー収支に関するシンポジウムが開かれ、多くの総合報告がなされた。そのプロシーディングは入手ににくい、貴重な文献集である。

#### 4. 大気大循環

大気大循環で成層圏と中間圏とだけを切り離して論ずることは時代おくれになりつつあるが、歴史的にみると、この領域についての研究が対流圏の大循環論に較べて立ちおけていることもあるので、主な論文や総合報告を挙げてみよう。

まず、大気大循環論(入門講座)で廣田も推奨している荒川：最近の大気大循環論は成層圏の循環を学ぶために先ず一読をすすめたい。総合報告としては朝倉・村上・根山：成層圏気象に関するシンポジウム、杉本・関口：同上、松野：上部成層圏・中間圏大気の運動は平易な解説としてすすめたい。

レベルを少し上げると、廣田：超長波の力学に関する問題点、新田：対流圏と下部成層圏の相互作用における超長波の役割はすぐれた総合報告であり、超長波が卓越する成層圏の循環を学ぶものには一読をすすめたい。また、新田：気象力学における数値シミュレーションは最近のシミュレーション手法によるオゾンの循環などの研究の現状が紹介されている。Mieghem: *New Aspect of the General Circulation of the Stratosphere and Mesosphere* はようやく成層圏・中間圏の気象学研究が盛んになりつつあった 1963年におけるすぐれた review であり、一つの mile stone として興味深いものがある。

前出の(3. の最後)プロシーディング中にある廣田：中間圏の *Planetary Wave* に関する理論的観測的研究の概要も一読の価値ある総合報告である。

突然昇温に関しては、Murgatroyd et al. (前出) の中に review されているが、論文としては Miyakoda: *Some Characteristic Feature of Winter Circulation in the Troposphere and Lower Stratosphere,*

*Reed. et al.: A Spectral Analysis of the Energetics of the Stratospheric Sudden Warming of Early 1957* の二つが手法が対照的で参考になるが、他にも類似の case study は数多い。

#### 5. 重力波、大気潮汐

この問題についてはまず松野(前出)を読むのがよい。あるいは、Lindzen や Hines の総合報告(前出の Quiroz の中、巻末参照)も優れた review であるがこれらの著者の原論文——各総合報告の巻末文献から選べばよい——を読むことをすすめたい。なお、沢田：大気の潮汐に関する最近の話題は前出(3. の最後)の内容に筆を加えた充実したものと聞かすが、この原稿を書いているときは未印刷であった。(天気の今月号の解説)

#### 6. 放射・光化学・オゾン

成層圏や中間圏の放射に関しては非熱力学的平衡の問題が無視できなくなるが、この問題を中心とした総合報告としては山本・田中：高層大気の放射特性(前出、3. の最後、天気今月号に再掲)がある。Leovy: *Energetics of the Middle Atmosphere* は光化学と放射を含んだ review であるが、この内容は関原によって紹介されているので天気の読者にとって好都合である。

光化学については Craig (前出) のほかに、堀内：超高層大気の化学を紹介するに止めておく。オゾン層に関する光化学については、Leovy (前出) のほか、関口：オゾン層の光化学理論に現状が紹介されている。古典的な総合報告としては Götz: *Ozone in the Atmosphere* も面白いが、その後の進歩を念頭において読んでもらいたい。論文的色彩の濃いものではあるが、Craig: *The Observations and Photochemistry of Atmospheric Ozone* は仲々に入手は困難である。

オゾン全般の review として Götz のほか、関口：大気オゾン、清水：大気オゾンの研究があるが最近まで含めたものが欲しい時期にきているように思われる。このほか、都田：成層圏の大気循環(I)もオゾンを主にあつかったユニークな review である。

Craig: *Radiative Temperature Changes in the Ozone Layer* に述べてあるような放射だけを分離した取り扱いには Leovy: *Radiative Equilibrium of the Atmosphere*, Lindzen and Goody: *Radiative and Photochemical Processes in Mesospheric Dynamics* などの論文によって一段と進展したのである。これら論文は決して読破できないものではないので一読してほしい。

最近のハイライトは **Hunt and Manabe: Experiments with a Stratospheric General Circulation Model** であろう。光化学、放射力学、すべてを含んだシミュレーションであり、日本の計算機の現状ではとても真似のできない研究であるが、最も正統的な研究方法の典型として読んでほしい論文である。

### 7. あとがき

書き終わってみると、ずいぶん寄った選択や不適当な推奨をしたのではないかと危惧の念が湧いてくる。また、たとえば、物理量の輸送関係に関しては何も触れないでしまったが、上に挙げたものの中から概要はくみとれるのでお許し願いたい。たとえば、関口、清水の総合報告や Hunt and Manabe の論文の引用文献の中から拾っていただきたい。

また、26か月周期振動については、柳井氏の「熱帯力学への招待」(9月号)を参考にさせていただきたい。

### 文 献

本文中に引用したものには○印をつけた。また、内容によって本文のセクション番号(I, II, III, IV, V)をつけてある。

#### 一般向解説

- III 畑中武夫, 1964: 宇宙空間への道, 岩波新書.
- III R.A. Craig, 1968: The Edge of Space, (島山久尚訳, 河出書房新社, 「宇宙空間の科学」)

#### 教科書・総合報告

- I Mitra, S.K., 1951: General Aspects of Upper Atmospheric Physics, Compendium of Met.
- II 高層観測指針, 1963: 気象庁.
- II 磯野謙治, 1956: 気象器械(その2) 気象学講座第6巻, 地人書館.
- II 小熊一人, 1969: 高層気象観測装置, 気象研究ノート, 99巻.
- II Handbook of Meteorological Instruments (Part II, Instruments for Upper air Observations), 1961, Meteor. Office, London
- II Webb, W.L., 1966: Structure of the Stratosphere and Mesosphere, Academic Press, New York
- II オゾン観測指針, 1970: 気象庁.
- II, V 山本義一, 1956: 気象放射学, 地人書館.
- II Ference, Jr. M., 1951: Instruments and Techniques for Meteorological Measurements Compendium of Meteorology.
- II Cartern Jr. A.S. 1966: Meteorological Accuracies for Use in the Design and Operation of Aerospace Vehicles, Bull. A.M.S. Vol. 47, No. 9.
- II Rockney, V.D., 1965: Recent Developments

in High Altitude Meteorological Soundings in the U.S.A., Proc. Scientific Session of CIMO-V, Tokyo.

- II 有住直介, 1968: 上部成層圏と中間圏の気象観測, 天気15巻, 4号.
- V Kellog, W.W., 1964: Meteorological Soundings in the Upper Atmosphere, Technical Note No. 60, W.M.O.
- II, III, IV, VI Meteorological Investigations of the Upper Atmosphere, edited by R.S. Quiroz, Meteor. Monograph No. 31. (1968)
- II Murgatroyd, R.J., et al., 1965: The Circulation in the Stratosphere, Mesosphere and Lower Thermosphere, WMO Technical Note No.70.
- III, VI Craig, R.A., 1965: The Upper Atmosphere, Meteorology and Physics, Academic Press, New York.
- III, VI 堀内剛二, 1969: 超高層物理学, 共立出版.
- III, IV, V, VI 中間圏・電離圏大気力学とエネルギー収支に関するシンポジウム, 1970, 宇宙航空研究所.
- IV 荒川昭夫, 1958: 最近の大気大循環論, 気象研究ノート, 9巻4号.
- IV 朝倉正, 村上多喜雄, 根山芳晴, 1965: 成層圏に関するシンポジウム, 天気12巻7号.
- IV 杉本豊, 関口理郎, 1966: 成層圏気象に関するシンポジウム, 天気, 13巻1号.
- IV, V 松野太郎, 1968: 上部成層圏大気の運動, 天気15巻, 4号.
- IV 廣田勇, 1968: 超長波の力学に関する問題点, 気象研究ノート95号.
- IV 新田尚, 1968: 対流圏と下部成層圏の相互作用における超長波の役割, 気象研究ノート, 95号
- IV, V, VI 新田尚, 1970: 気象力学における数値シミュレーション, 気象研究ノート, 3号.
- IV Van Mieghem, J., 1963: New Aspects of the General Circulation of the Stratosphere and Mesosphere, Berlin Stratospheric Symposium.
- V 沢田竜吉, 1970: 大気の潮汐に関する最近の話題, 天気, 17巻10号.
- V 山本義一, 田中正之, 1970: 高層大気の放射特性, 天気, 17巻10号.
- V Leovy, C.B., 1967: Energetics of the Middle Atmosphere, IUGG Lucerne.
- V 関口理郎, 1969: オゾン層の光化学理論, 化学の領域, Vol. 23, No. 4.
- V 関原彊, 1968: 中間圏と成層圏の熱放射, 天気15巻, 4号.
- V 堀内剛二, 1969: 超高層大気の化学, 化学の領域(南江堂), Vol. 23, No. 4.
- V Götz, F.W.Pi, 1951: Ozone in the Atmosphere, Compendium of Meteorology
- V Craig, R.A., 1950: The Observations and Photochemistry of Atmospheric Ozone, Me-

teoro. Monographs, Vol. 1, No. 2.

- V 関口理郎, 1960: 大気オゾン (I), (II), 天気, 第7巻.
- V 清水正義, 1965: 大気オゾンの研究 (I), (II) 天気, 12巻, 6, 7号.
- V 都田菊郎, 1965: 成層圏の大気循環 (I), グロス・ベッター, 3巻4号.
- V Craig, R.A., 1951: Radiative Temperature Changes in the Ozone Layer, Compendium of Meteorology.

### 論文

- II Meteorological Instruments, Selected meteorological Papers, No. 21, compiled by Meteor. Soc. Japan (1963).
- II Kays, M., and R.O. Olsen, 1967: Rocket Temperature and Wind Sensors for Synoptic Observations., Bull. A.M.S., Vol. 48, No. 9.
- II Thompson, D.C. 1968: Aerodynamic Heating of Miniature Bead Thermistors in a Ratified Airstream, J. Appl. Met., Vol. 7, No. 3.
- V Yata, A., 1960: Correction for the Temperature Data Obtained by MT-135, System, Geophys. Magazine, Vol. 35, No. 1.
- II Wagner, N.K., 1964: Theoretical Accuracy of a Rocketsonde Thermistor, J. App. Met., Vol. 3, No. 3.
- II Wagner, N.K., 1961: Theoretical Time Cons-

tant and Radiation Error of a Rocketsonde Thermistor, J. Met. Vol. 18.

- II Kobayashi, J., et al. 1966: An Various Methods of Measuring the Vertical Distribution of Atmospheric Ozone, Papers in Met. and Geophys. Vol. 17, No. 2.
- IV Miyakoda, K., 1963: Some Characteristic Features of Winter Circulation in the Troposphere and Lower Stratosphere, Technical Report No. 14, The University of Chicago.
- IV Reed, R.J., et al. 1963: A Spectral Analysis of the Energetics of the Stratospheric Sudden Warming of Early 1957, J. Atmos. Sci., Vol., 20, No. 4.
- V Leovy, C., 1964, Radiative Equilibrium of the Mesosphere, J. Atmos. Sci. Vol. 21, 238-248.
- V Lindzen, R. and R. Goody, 1965: Radiative and Photochemical Processes in Mesospheric Dynamics: Part I, Models for Radiative and Photochemical Processes, J. Atmos. Sci. Vol. 22, 341-348.
- V Hunt, B.G., and S. Manabe, 1968: Experiments with a Stratospheric General Circulation Model: III, Large-scale Diffusion of Ozone Including Photochemistry. Mon. Wea. Rew., 97, 287-306.

### [書評]

エルマー.R. ライター著 松本誠一訳

### ジェット気流 (天気はどう影響するか) 現代の科学34

B6-223ページ 420円 1970年7月 河出書房新社

ジェット気流の発見が、第二次大戦の東京空襲時であることは、大方の気象技術者は知っているが、その時の詳しい状態が記載されているのは本書が初めてのようだ。戦後、わが気象界においても、ジェット気流の解析や理論、象報技術への応用などについて、盛んに論議された時期もあった。最近になって、ジェット気流返り咲きの傾向があらわれ、航空関係はもちろん、一般天気予報でも数値予報のかげにかくれてはいるが、その重要性が認識されつつあるようだ。

本書の特徴としていえば、ジェット気流を応用気象学の広い視点からとらえたもので、しかも記述がポピュラーサイエンス方式をとり、わが国気象関係解説書ではあ

まり見られない斬新さがある。内容はかなり専門的ではあるが、気象関係以外の一般科学愛好者が読んでも退屈はしないと思う。さらに、この方面の第一人者である松本誠一氏の訳で、随所にわかり易い訳注が入れられているので助かる。

ジェット気流の全ぼうを、知らず知らずのうちに与えてくれるのが本書である。専門の予報技術者の立場からすれば、「ジェット気流と天気」との関係に多少不満が残るかも知れないが、本書はより次元の高い啓蒙書であることを知り、読後感のすばらしいことにおどろかされるにちがいない。

(山田 一)