

超高層大気への誘い

堀内 剛 二*

1. まえがき

元来筆者は客を招待して丁重にもてなすような、いわゆる社交性のあるたちではなく、どちらかといえば率直で無愛想な部類に属するものようである。だから読者をうまくいくるめて超高層大気の方へ引張りこむようなことは始めから考えないことにした。「水イタリテ渠成ル」、来たい人は来られるだろうではないか。はっきりいって、超高層大気は人間の居住条件を拒否している領域で、あまりの自由の故に「生からの自由」にも満ち満ちているとあってよい。所詮、人間の為すに耐える仕事はその生命と引きかえになるというのが、多くの貸借対照表の結果であろう。佐貫亦男博士の近著に「引力とのたゝかい」副題して「とぶ」という興味ある啓蒙書がある。その論旨の展開と文章のいわば「語り口」の巧妙さはさておいて、現代では、立ちどまって考えることはいまや不可能で、大江健三郎氏ではないが「見るまえに飛べ」であり、そして飛ぶものはいつかはイカサの如くその翼を焼かれて失墜する運命を敢受しなければならぬであろう。

2. その門に入るもの

近ごろ「教育技術」という言葉がよくきかれる。うまく教えると効果が挙がる、という考え方に立脚しているようである。しかし、あまり先生が馬鹿だと学生は自分独りでやろうと覚悟して自主性を獲得するということもあり得るのである。教育とは相対的なものであり、自己教育につきるのではあるまいか。古い話に、馬を河岸につれてゆくことは出来るが、水を飲ませることは出来ないと、実にうまいことをいったと感心させられる。

さて、超高層大気に限らず、ある任意の学術文化的領域に新に足をふみ入れる際、ひと思いに「飛びこむ」やり方と、計画的に「一段一段」ゆく慎重なやり方がある。前者の決断型は、すでに古典的大著として知られている Mitra S.K., *The Upper Atmosphere*, 2nd edition, The Royal Asiatic Soc., 1952 を読まれ

るがよい。これを完全に征服すれば、すでにして読者は超高層大気に参ずることが出来たといえよう。何事においても古典的名著を徹底的に読むことは、きわめて有効な読書法であり、乱読などは優柔不断の徒にこそふさわしいというべきであろう。

次いで、慎重派の読者、計画的に漸進したいという向きには、いわゆる対流圏の大気科学に精通していることを前提として、成層圏、中間圏、熱圏、外気圏、そして大気圏外の惑星間空間へ、というのが一応の形式的順序として考えられる。そのためには、手頃な小冊子として、Goody, R.M., *The Physics of the Stratosphere*, Cambridge Univ. Press, 1954 がある。Cambridge Monographs on Physics の1冊で200頁に満たないが、すぐれたテキストとして、今日やや古い感もするが、気象屋と物理屋の橋渡しに適當と思われる。しかし、昨今は、気象屋さん(と敬称をつけておく)、特に大気大循環の専門家の方々の攻勢が著しく、成層圏から中間圏へとその領域を拡大されて、その意味ですでに廣田勇、大気大循環の紹介(気象学入門講座3, 天気16巻3号)の末尾に挙げられた Murgatroyd, R.J., et al., *The Circulation in the Stratosphere, Mesosphere and Lower Thermosphere*, WMO Tech. Note No. 70, 1965 が割合に新しく、値段も手頃でおススメ出来る。内容は、同領域の物理的性質(Murgatroyd)、高緯度循環(Hare & Boville)、気象ロケット網資料の適用(シノプティック解析を含む、Teweles)、成層圏エネルギーバランス(Teweles)、26カ月週期(Murgatroyd)、70~160kmの大気現象(Kochanski)、クライマトロフィと標準大気(Murgatroyd)、となっていて、図と文献が豊富である。

3. 標準大気

ところで、上に標準大気のことに触れたが、これについては、最近いろいろと数値実験の試みがなされる場合、また超高層の諸問題について定量的評価をする場合に必ずといってよい程その必要にせまられるので一寸記しておくのも無駄ではあるまい。

* 気象庁図書課

古いものについてはかつて本誌にも書いたが、改めてこゝに引用することを省略し、こゝでは最近の著名もの2つ **U.S. Standard Atmosphere, 1962** と **CIRA, 1965** を挙げておこう。

U.S. Standard Atmosphere, 1962 は U.S. Government Printing Office, Washington D.C. で刊行されているが、手取り早く見るには **Valley, S.I.**, 編の **Handbook of Geophysics and Space Environments, McGraw-Hill, 1965** に出ている。人工衛星大気密度資料で高度 700km までの密度、気圧、温度、平均分子量を与えている。これは平均状態であるが、最近 **ESSA, NASA, USAF** の手で、**U.S. Standard Atmosphere Supplements, 1966** が出され、緯度、季節、日中時間などの効果を入れたもの、およびその誤差の評価がなされた。

CIRA, 1965, 詳しくは **COSPAR (Committee on Space Research) International Reference Atmosphere, 1965** のいいで、**CIRA, 1961** の発展したものである。これについては先般「図書月報」(15巻2号, 1969) に記したので省略に従うが、高度 800km に達し、現在最もよく使用されているものであるが、その後の観測によって早晚修正がなされるであろう。筆者の記憶では、大気モデルで最も高々度までのものは **Anderson, A.D. and W.E. Francis JAS, 23 110, 1966** で高度 10000 km である。だが大気モデルは高度の高いことが必ずしも重要でないことはいうまでもない。このモデルには成分分布が昼夜別に出ていて好都合である。

これらのいわゆる「標準大気」なるものの変遷のあと、ないしはその一寸した訂正がどのような理由で、どのようになされたか、それは文字どおりわれわれの超高層大気への認識、肯定と否定の発展過程に外ならない。

4. 宇宙空間の科学へ

以上のべた超高層への招待は、しかしながら、どう見ても本筋ではなさそうである。そういった注文をされる読者のために、ハンディではあるがオルソドックスな良書(良書なるものは本来読みとばすことを拒否するものであるが)を掲げたい。その第一は、**Sir H. Massey, F.R.S., Space Physics, Cambridge Univ. Press, 1964**。で僅か 200 頁余の小冊である。原子物理学における Massey 教授の業績はすでに周知の通りで、超高層大気物理の大家やけるパイオニアであり、現在 British National Committee for Space Research の議長である。内容は、空間飛翔体による科学研究、研究技術、

下向きの観測(気象衛星、地球の形状)地上施設による超高層観測、空間飛翔体による中性大気観測、同電離圏構造の観測、天体よりの XUV 放射観測、太陽粒子放射と惑星間プラズマ、月惑星探測の試み、となっていて、最小限の数式、図表、を添えて最大の効果を挙げている。1962年11月 Cavendish Laboratory での Scott Lectures をまとめたもので、すぐれた著者による単独執筆の独自の特徴がよく打出されている点が注目されてよい。その独自性は上の内容にも覗えるが、例えば、本書には文献が全く掲げられていない。発刊時の書評(掲載誌名を失念したが)にはこれを欠点として指摘されていた記憶があるが、一度精読するに及んで文献などは二次的なものに過ぎないと悟らせるに足りるものがある。

Massey の著者とほとんど正反対といつて、立場で編まれたものに、**Satellite Environment Handbook 2nd Edition ed. F.S. Johnson, Stanford Univ. Press, 1965** がある。これは名前はハンドブックでも既掲のものとは異なり 200 頁足らずの手軽なものだが、内容的にはなかなかぎっしりとつまっている。内容は、超高層大気の構造 (Johnson)、電離圏 (Hanson)、粒子放射 (Dessler & O'Brien)、太陽放射 (Johnson)、流星塵 (Vedder)、電波ノイズ (Ko)、地球からの熱放射 (Johnson)、地磁気 (Dessler) で、図表と豊富な文献によって各領域のコンパクトな鳥瞰を与え、超高層大気の現状を概括して見る事が出来る。

5. 総合科学としての宇宙空間科学

超高層高気とは「引力とのたたかい」によって近來人類がかろうじて勝ちとった広大な新しい領域であって、総じて新しい領域には従来のあらゆる既知の知識が総動員される傾向がある。これは、いって見れば知的領域におけるゴールドラッシュであり、こういう次第であるから、宇宙空間科学に関する著書はオムニバス式編著であって、この点で研究面でも共同研究的色彩が強い。

オムニバス式編著のやや古きに属するものに、**Ed. Kuiper G.P., The Atmosphere of the Earth and Planets, Chicago Univ. Press, 1949** つづいて **Ed. Kuiper, G.P., The Solar System Vol. 1 The Sun, 1953; Vol. 2 The Earth as a Planet, Chicago Univ. Press, 1954** これらは地球大気をきわめて一般的に扱い「惑星としての地球」という現在広く受入れられている新しい観点を打出した画期的なもので、理論的にすでに今日の人工衛星、観測ロケット時代を予告するもので、その意味で Kuiper 博士の名は逸

することが出来ない。その後の10年を示す編著書は、

Ed. Le Galley, D.P., Space Science, John Wiley & Sons, 1963.

Ed. Le Galley and Roson, Space Physics, John Wiley & Sons, 1964.

Ed. Hess, W.N., Space Science, Blackie & Son. 1965.

などであって、Space Science の名はここに確立されたといえる。この時期に、日本でもロケットによる研究観測が発展して、同種の編著書が見られた。

前田憲一、永田武、畑中武夫編、宇宙空間の科学、白桃書房、1960。

がそれであり執筆者はすべて現役研究者であり、宇宙空間科学の全貌を和文で読むことができる。

6. 地球物理的観点から

だが Space Science といった仰々しいものでなく、いわば地球物理屋の立場から興味をひきそうな著書はないかといわれると、あまり適当かどうか分りかねるが、

Ed. Ratcliffe, J.A., Physics of the Upper Atmosphere, Academic Press, 1960.

Ed. Odishaw, H., Research in Geophysics Vol. 1 Sun, Upper Atmosphere and Space, MIT press. 1964.

がある。ともに良書であるが、後者が多少新しく、範囲も広いといえよう。それは題名からも知れるように、太陽と地球との関連に重点がおかれていて、つまりは昨今流行の観点である。Odishaw 氏は米 IGY 執行委員として、Kaplan, J. と共に「まえがき」に名を連ねている。その寄稿者は60名に近く、全21章で章別著者は共著者を含めて30名に達している。しかしもちろんオムニバス式編著はその編集の手際と内容のこなれ方にあるのであって、その点エディターの見事な調整を目次の一見によって知ることが出来る。その若干を例せば、1章太陽 XUV 放射 (de Jager), 2章太陽フレア (Ellison and Reid), 4章コロナ膨張 (Parker), 7章磁気圏界面 (Frank & Van Allen), 8章デュオコロナ (Chamberlain), 9章電離圏成分と太陽依存 (Friedman), 10章超高層大気の構造 (Nicolet), 15章極光 (Chapman and Akasofu), 16章大気光 (Barbier)) 等で、なお日本の筆者に大林、永田、松下各教授の名が見られ、日本の研究水準が窺える。少し新しいものには **Ed. King, J.W. and W.S. Newman, Solar Terrestrial Academic Press, 1967** があり、全10章で執筆担当は

一流専門家をそろえ、特にソ連の著者 Gringauz 以下2名が含まれている。

いま少し気象屋に魅力のあるものという注文には、オゾンで有名なフロリダ州立大学の **Craig, R.A., The Upper Atmosphere, Meteorology and Physics, Academic Press, 1965** はいかがであろう。これには Meteorology という名詞が書名にあるだけでなく、多少オゾンをやったり、前掲 Goody の書で予備知識があれば読めるようになっている。それに丁寧な付録がついていて、所用の知識が手取り早く得られるようになっている。超高層とまではゆかぬが100km 程度のことを知るためにはおすすめしてよいと思う。どうもこの「気象学」という学問は、つらつらその発展過程をながめて見ると「天気予報」というものにいささか引きずり廻されて来ているようで、シノプティクスとかいうことにならないと困るといった感があるようである。これは余談として気象屋さんが成層圏から中間圏へと辺境を犯しその領域を広げることは、誠に結構なことといわねばならない。成層圏に「天気」はなくても、予報をやりたい方は風の予報をすればジェット機や SST 時代でも間に合うのではあるまいか。

却説、気象ということで米気象学会を引合いに出すとして、1967年5月31日～6月2日同会主催のシンポジウム「70km 以上の気象学研究」(Meteorological Investigation above 70km) の報告が **AMS. Meteorological Monographs, Vol. 9 No. 31, April 1968** として刊行された。

この No. 31 は AMS の Atmospheric Problems of Aerospace Vehicles についての委員会がスポンサーで、Aerospace Environment Division がまとめた。一ことでいうと既述の WMO Tech.Note No. 70 の現代版といったところであるが、内容的にはかなり地球物理的色彩が濃厚である。全く、この場合 Meteorological Investigation とは何か、と問いたくなるほどフレキシブルな用語であって、筆者ひそかに本来はかくあるべきだと思つたものである。読者よ、願くは「気象学」をより広義に解しようではないか。たださき地球はせせこましくなつて来ている現在である。もぐるよりは「飛ぶ」方がまだしもせいせいするというものである。

さて、S. Teweles 博士をプログラム委員長として、このシンポジウムの目的を、超高層大気の最新の知識をレビューすることに重点が置かれ、engineering problems は二の次とされ、詳細はここに略するの外ない

が、第1部気象的資料取得(議長 Craig, 講演者 Kellogg ほか)第2部気象的過程のエネルギー源(同 Siger; Schiff, Lindzen など), 3部中性大気(同 Jacchia ほか; この講演者8名に及び, Champion, Murgatroyd, Harris-Priester, Hines など), 4部荷電大気と中性大気の相互作用(同 Knecht; Lauter, Lüst, Sugiura など), 第5部測定法と精度および測室結果(同 Dubin; Webb, Smith, Spencer, Johnson など), 6部パネルディスカッション, ここにはきわめて興味あるテーマについての討論による要約が掲げられて, I) 下部境界条件の熱圏モデルへの影響, II) 中性大気の問題への理論的アプローチ, III) 電離領域での中性成分の動静, IV) 100km 以下での測定の諸問題などが含まれている。

7. 文献その他

紙数もつきて来たので, 超高層関係の雑誌を掲げていささか便宜に供したい。JAS で知られる米気象学会の **J. Atmosph. Sci.** は第二次大戦後 **J. Meteor.** 名での世界気象学界をリードしたものの後継誌, 改題後急速に内容を改めて大気科学の名にふさわしい論文を広く収録している。また, JGR と略称する **J. Geophys.**,

Res. は戦前著名な **Terr. Mag.** の後継誌。改題当時季刊であったものが, 現在は月に2回刊行され, 年間大きな論文を収めて, 超高層関係は奇数ナンバーになっている。なお, 専門誌といえるものに, 例えば下記がある。

J. Atmospheric and Terrestrial Physics (Ratcliffe 編集), **Planetary and Space Science** (D.R. Bates 編集), **Space Science Reviews** (de Jager 編集)

なお, COSPAR 年次総会プロシーディングが **Space Research** として I~VIII (1961~1968) North-Holland Co. (VIを除く) から出ていて, 昨年度東京大会のものは IXとして近刊される予定である。

文献についてはここで偶々日本気象学会で1960年以降程度の Selected papers を各領域でリプリントする計画があり, 筆者はその超高層関係の主要論文選定を命ぜられたので, 参考までにその写しを添付しておこう。

ところで, 筆者の超高層大気への招待は果して読者のお気に召したであろうか。ギリシャ神話によるエコーはなかなかの美人であった由であるが, 出来れば白髪の筆者も一度はお目にかかりたいと思っている。

LIST FOR SELECTED PAPERS IN THE UPPER ATMOSPHERE

- Hinteregger, H.E. *et al*, 1965, Solar XUV Radiation and Neutral Particle Distribution in July 1963 Thermosphere, *Space Research*, V, pp. 1175-1190.
- Patterson, T.N.L. *et al*, 1963, The Distribution of Interplanetary Hydrogen, *Planet Space Sci.*, **11**, pp. 767-778.
- Dalgarno, A., 1961, Charged Particles in the Upper Atmosphere, *Ann. Géophys.*, **17**, pp. 16-49.
- Hanson, W.B., 1963, Electron Temperatures in the Upper Atmosphere, *Space Research*, III, pp. 282-302.
- Holmes, J.C. *et al*, 1965, Ionospheric Chemistry, *Space Research*, V, pp. 756-766.
- Ferguson, E.E., 1967, Ionospheric Ion-Molecule Reaction Rates, *Rev. Geophys.*, **5**, pp. 305-327.
- Hoffman, J.H., 1967, A Mass Spectrometric Determination of the Composition of the Nighttime Topside Ionosphere, *JGR*, **72**, pp. 1883-1888.
- Barth, C.A., 1966, Rocket Measurement of Nitric Oxide in the Upper Atmosphere, *Planet. Space Sci.*, **14**, pp. 623-630.
- Narcisi, R.S., 1966, Ion Composition Measurements and Related Ionospheric Processes in the D and Lower E Regions, *Ann. Géophys.*, **22**, pp. 224-234.
- Parker, E.N., 1965, Dynamical Theory of the Solar Wind, *Space Sci. Rev.*, **4**, pp. 666-708.
- Hines, C.O., 1963, The Upper Atmosphere in Motion, *QJRMSS*, **89**, pp. 1-42.
- Champion, K.S.W., 1968, Composition of the Mesosphere and Lower Thermosphere, *Met. Monogr.*, Vol. 31, pp. 47-56.
- Lindzen, H.S., 1967, Thermally Driven Diurnal Tide in the Atmosphere, *QJRMSS*, **93**, pp. 18-42.
- Geisler, J.E. and S.A. Bowhill, 1965, Ionospheric Temperatures at Sunspot Minimum, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **27**, pp. 457-474.