

衛星気象学へのさそい

土屋 清*

“Satellite Meteorology” という言葉が使われ始めて 8 年以上経った。気象衛星は観測手段の一つにすぎないのだからこの英語を“衛星気象学”と直訳するのは異論もあろう。筆者自身 1962 年 Chicago 大学の大学院に“Satellite Meteorology”という講座が新設されたときにそれを単位としてとったことがあるが、最初はどういうものかはっきりはわからなかった。結局気候学や地理などがいろんな学問分野の総合知識を必要とするように、気象衛星を利用し、運用するために従来の気象学を基礎にして、天文、理論物理、古典力学、電子工学、地理、測地学などの一部を加えたもののように、講義の内容は驚くほど広い範囲におよんでいる。言葉の定義はその方面の専門家に任せことにし、ここでは気象衛星全般、その資料の利用、APT 写真業務などに関する参考書や文献などの紹介から始めよう。何よりも気象衛星とは？の知識を得るためには次の書籍が参考になる。

1. 気象衛星全般に関する入門書

一般向けの参考書として、日本語版では土屋：気象衛星—宇宙からみた地球の天気がある。衛星の歴史、構造、衛星から撮影した気象現象の写真、運動、APT (自動送画装置) など衛星やその資料など全般について一般向けに書いた解説書で、イロハから勉強するには参考になる。英語版としては同じような行き方をしたもので Hubert and Lehr: Weather Satellite がある。

科学衛星の力学、地球物理などに重点を置いた良書に Knighelle: Satellite Scientific Research があり、特に初期の科学衛星の歴史を知るにはよい。そのほか衛星の運動などを非常にわかり易く説明しているが総観気象に関する説明はない。また特に通信衛星、宇宙通信などに主眼をおき、一部気象衛星について簡単にふれているものに田尾ほか：宇宙通信概論があるが、惜しいことに現在は書店に在庫がないとのこと。

2. 気象衛星の運動、写真利用、緯経度記入などに関する参考書と文献

アメリカの ESSA の電子計算機による合成写真に

はかなり正確に緯度経度が記入されており、気象庁の APT モザイク図でも大ざっぱな緯度経度が記入されている。前者でも詳しく調べるとかなりの誤差のあることがあり、後者ではなおさらである。詳しい調査のためには雲や対象物の正確な位置を知る必要がある。回り道ではあるが現在数値積分をする人が自分で面倒なプログラミングの勉強を同じように、衛星写真を利用する場合その Photogrammetry を一応勉強しておくのも無駄ではないだろう。その意味で次の本が参考になる。

市販ではないが、Fujita: A Technique for Precise Analysis of Satellite Data (1961) と A Technique for Precise Analysis of Satellite Photographs (1963) がよい。この 2 書はほぼ同ようで、衛星写真の幾何学のほかに、衛星の運動などに関する公式、衛星写真解析に便利な地図作製の原理などが要領よく書かれている。ただスタイロスの斜写真の緯・経度記入法の所はこの方面の基礎の無い人には難解。斜写真の緯・経度記入法だけを説明したものとしては Frankel & Bristor: Perspective Locator Grids for TIROS Pictures があり、かなりわかり易く説明してある。電子計算機による写真合成の原理に関しては ESSA: Catalog of Meteorological Satellite Data—ESSA 3 T.V. Cloud Photography がある。電子計算機による写真処理法を研究するためには是非読んでおきたい本である。また日本語で書かれたものに、神子：衛星写真および DRIR のグリッディング、光学的処理法に関するものでは Watanebe: On the Theory and Technique of an Easy Method of Wide Range Photogrammetry for the Observation of Sea Ice がある。同氏はさらに APT 写真をアジア天気図や極東天気図に合うようにする光学装置の研究を続けているが、その完成は大いに期待されている。ATS 写真の緯経度記入法については土屋の解説があるが、最近の ATS 写真は前もって緯経線を記入したものが送られてくる。また気象庁作成の APT モザイク写真の利用に関するものに土屋：APT 写真用モザ

* 気象庁予報課

イク天気図と APT の SP の誤差, 付修正した SP がある。日本の APT 資料の場合個々の写真についての正確な位置を後でいちいちチェックはしていないから, 調査の場合にはらず自分でチェックする必要がある。

3. 放射資料利用に関するもの

地面, 海面, 森林の表面, 海水, 霧, 雲頂温度(雲の高さ), アルベード, オゾン, 水蒸気, 炭酸ガス, 熱収支の研究には放射資料が必要である。現在利用できるものは, 気象衛星タイロスやニパスのものだけであるが, 生の資料を 100% 信用しては利用できない。このへんが通常的气象観測資料の利用とはかなり趣が異なる。衛星の放射資料を利用するにはいろいろな問題があるから次のものを読むことを奨めたい。

放射資料にどんなものがあるかは 1 の入門篇に属することであるが, 長波領域では大体大気の窓領域(8~12 μ あるいはもう少し狭い場合もある), 長波放射(ほぼ 7~30 μ でもう少し狭い場合もある), 水蒸気吸収帯(6.0~6.5 μ), 炭酸ガス吸収帯(ほぼ 14.8~15.5 μ) のものである。短波の領域では 0.55~0.75 μ の可視部とアルベード測定用の 0.2~6.0 μ (または 0.2~5 μ) のものがある。また夜間の地表面や雲頂温度を知るためには高解像度赤外放射計(HRIR)による観測資料がある。この波長領域は 3.2~4.2 μ でこの方の解像度はかなりよい。この資料は白黒による写真表示, 数字あるいはアナログでも表わせる。

タイロス関係の放射資料をとり扱う場合に参考になる本として Fujita: *Outline of a Theory and Example for Precise Analysis of Satellite Radiation Data* がある。また資料を扱う場合に絶対に必要なものは, NASA で放射計をつけた衛星ごとに出版している *Radiation Users' Manual* や, この本に Calibration curves (測器の感度減衰に関する補正), 資料入手法など必要なことは全部記されている。

上記文献は放射資料利用の場合の参考書で, 放射学に関するものではない。日本にはその道の世界的権威者も居ることで別の機会に紹介されるであろうが, さし当って勉強したい人のために参考になるものを数篇記しておく。関原: *気象放射入門* これは入門者のために書かれたもので, 本稿の目的に最も合致したものであろう。さらに進んだ段階の人々のためには次のようなものがある。Wark and Fleming: *Indirect Measurements of Atm. Temp. Profiles from Satellite*. Smith: *An improved Method for calculating*

Trop. Temp. and Moisture form Satellite. Radiation Measurements, Yamamoto: Numerical Method for estimating. Strat. Temp. Distr. from Sat. Measurements in the CO₂ Band. Wark, Yamamoto and Lienesch: Methods of Estimating infrared Flux and Surface Temp. from Met. Satellite. Fujita, Baralt and Tsuchiya: Aerial Measurement of Rad. Temp. over Mt. Fuji and Tokyo Areas and their Application to the Determination of Ground and Water Surface Temperature.

気象衛星の分野で最近最も重要視されて来たのが放射計, 干渉分光計, マイクロウェーブなどによる気温, 水蒸気, オゾンなどの三次元分布や風速を推定する問題である。その意味で次の Hilleary ほかの *Indirect Measurements of Atm. Temp. Profiles from Satellites. III. The Spectrometer and Experiments* はいろいろ参考になる。いずれにしてもこれからの気象衛星, あるいは気象, 地質, 海洋, 火山観測などで放射計がその主要部になることが考えられる。しかしながら放射計そのものの製作となると非常に難しいようであり, 理論物理, 電子工学の専門家に頼らねばならないだろう。一方メーカー側では気象側の問題点が分らないようである。このことは筆者自身日本の宇宙開発に関連して多くの関係者から受けた印象で, 一層その感を強くしたのでここに付記した。

4. 衛星写真の解釈に関するもの

個々の気象現象に関しては無数の論文があるが, 総合的なものとしては Anderson R.K., E.W. Ferguson, V.J. Oliver: *The Use of Satallite Pictures in Weather Analysis and Forcasting* が良い。使われている写真は昔のタイロスの写真を主にしたものでやゝ古いが入門書としては最適の本。近く改訂版が出る予定である。筆者による全訳(2年前のものだが)は気象庁から業務用として配布されている。術語や内容の一部などについて筆者も疑問に思う点があり, Oliver や Anderson と討論したことがあるが訳は原本通りである。内容は雲の型の一般的な分類やその特徴, 気象現象との対応などについて多くの人々の研究を網らしている。その他山岳や島の影響など衛星写真の解釈に当て注意すべきことや写真解析からわかったことなどについて多くの実例と比べながら説明している。写真の例は世界全般に及んでいるが, 日本付近の例は余り多くはな

い。

また1968年11月24日～12月6日、メルボルンで行われた WMO 主催の気象衛星資料利用に関するシンポジウムの資料は今年中にオーストラリア気象台から出版される予定である。前記 Anderson らによる WMO 技術報告と内容はあまり変らないが、ATS の写真から作った映画による解析結果があり、雲の運動を取扱っている。出版されたら是非目を通すことをすすめたい。なおこれからは写真解析も一枚の瞬間写真ではなく、静止衛星の写真から作った映画による雲の運動を考慮した解析が重要になるであろう。

5. 衛星の構造, APT 装置 APT 写真受画業務などに関するもの

タイロスについては Allison と Neil の編集した **TIROS Final Report on the Tiros 1 Met. Sat. System** ニンバスについては NASA 出版の **Mission operation Plan Nimbus C., Nordberg: Development of meteorological Satellites in U.S.A.** などが適当であろう。A.T.S. については NASA の **Met. Data Catalog for the A.T.S.** などよいが、衛星本体や付属設備などの観測機器を製作する専門技術者が欲するほど詳しくはない。

専門家むけの文献については一部文献名もわかっては

いるがなかなか手に入りにくい。

APT 装置については NASA の Guide ブックが良い。日本語で書かれたものに渡辺和夫らの APT 受画装置がある。また APT 写真受画業務に関するものでは、ESSA で編集した **APT Users' Guide** が最もすぐれている。

6 結語

以上ごく大ざっぱに衛星気象学というよりは衛星とその利用の参考文献の紹介になってしまったが、まだ衛星利用の初期段階で衛星気象学という学問体系が確立されていない現状なので御了承願いたい。あるいは現在多くの「何々 Meteorology,」の何々という部分は将来大気の本物の状態の記述、表現が完全にできるようになれば当然不必要になるものであろうから、本稿の表題も「気象衛星とその資料の利用」とでもしておいたほうが良いのかも知れぬが、一応そのまゝにすることにした。この文中の参考文献は引用順に最後に載せてある。外国の文献や機関誌の無い地方官署の会員や一般気象愛好家、地学の先生などに日本で簡単に手に入る読み易い文献を聞かれることが多いので、参考文献 (28) 以後に日本人達が発表したものをつけ加えた。

最後にこの稿を書くに当って御援助して頂いた神子敏朗、安藤正次の両氏に謝意を表したい。

参考文献

- △ 1) 土屋清, 1966. 気象衛星—宇宙からみた地球の天気, 学芸書房
- △ 2) L. Hubert and P.E. Lehr, 1967: Weather satellite. Blaisdell, London
- △ 3) D. Kinghelle, 1962: Satellite and scientific research. Routledge and Kegan, London
- △ 4) 田尾一彦, 浅井順一, 沢路和明, 1966: 宇宙通信概論, 地人書館,
- 5) T. Fujita, 1961: A technique for precise analysis of satellite data: Vol.1 Photogrammetry.ESSA
- 6) ———, 1963: A technique for precise analysis of satellite Photographs. SMRP Rpt. The University of Chicago
- 7) ESSA 1967*: Catalog of meteorological satellite data-ESSA 3 television cloud photography, Part 2, ESSA, U.S.A.
- 8) M. Frankel and L. Bristor, 1962: Perspective locator grids for TIROS pictures. ESSA,U.S.A.
- △ 9) 神子敏朗, 1967: 衛星の写真および DRIR の Gridding, 測候時報, 34, 191—202
- 10) K. Watanabe, 1961: On the theory and technique of an easy method of wide range photogrammetry for the observations of sea ice distribution. Ocean. Mag., 12, 77—121
- △ 11) 土屋清, 1968: ATS 写真の緯度, 経度記入法と解像度, 天気, 15, 39—41
- 12) ———, 1967: APT 写真用モザイク天気図と APT 写真の SP. 誤差と修正した SP. 測候時報, 35, 309—318.
- △ 13) 関原強, 1966: 気象放射学入門, 天気, 13, 127—134.
- 14) T. Fujita, 1963: Outline of a theory and example for precise analysis of satellite radiation data, SMRP Rpt. 15, The University of Chicago, U.S.A.

注: △は特に一般的な知識を得るために好適な本または文献

* 各タイロスの写真のカタログもある。値段は、たいいてい数ドル以下。

- 15) Goddard Space Flight Center: TIROS* radiation data users' manual. NASA, U.S.A.
- 16) D.Q. Wark and H.E. Fleming, 1966: Indirect measurements of atmospheric temperature profiles from satellites, *Month Weather Review* **94**, 351—362.
- 17) W.L. Smith, 1968: An improved method for calculating tropospheric temperature and moisture from satellite radiometer measurements. *Month. Weather Review*, **96**, 387—396.
- 18) G. Yamamoto, 1961: Numerical method of estimating the stratospheric temperature distribution from satellite measurements in the CO₂ band. *J. of Meteor.* **18**, 581—588.
- 19) D.Q. Wark, G. Yamamoto and J.H. Lienesch, 1962: Methods of estimating infrared flux and surface temperature from meteorological satellites. *J. of Atmos. Sci.*, **19**, 369—384.
- 20) T. Fujita, G. Baralt and K. Tsuchiya, 1968: Aerial measurement of radiation temperature over Mt. Fuji and Tokyo areas and their application to the determination of ground and water-surface temperatures. *J. of Appl. Meteor.*, **7**, 801—816.
- 21) D.T. Hilleary, E.L. Heacock, W.A. Morgan, R.H. Moore, E.C. Mangold and S. D. Soules, 1966: Indirect measurements of atmospheric temperature profiles from satellites. III. The spectrometer and experiments. *Monthly Weather Review*, **94**, 367—377.
- 22) L.J. Allison and A. Neil, 1961: Final report on the TIROS I meteorological satellite system, NASA, U.S.A.
- 23) NASA, 1966: Mission operations plan Nimbus C, NASA,** U.S.A.
- △24) W. Nordberg, 1968: Development of meteorological satellites in the United States. NASA
- 25) NASA, 1967: The applications technology satellite meteorological data catalog. NASA,*
- 26) ———: A guide to construction of inexpensive automatic picture-transmission ground stations. NASA
- △27) 渡辺和夫, 竹内芳郎, 中川威, 今村芳也, 1966: APT 受画装置, 日本電気技報, 78, 54—60
- 28) K. Ninomiya, 1966: Some aspects of the cloud formation and the air mass modification over the Japan Sea in winter revealed by TIROS observation. *Pap. Met. Geophys.*, **16**, 157—178.
- 29) ———, 1967: Some aspect of the cloud formation and the air mass modification over the Japan Sea in winter revealed by TIROS observation (Part II). *Pap. Met. Geophys.*, **17**: 135—149.
- 30) K. Tsuchiya and T. Fujita, 1967: A satellite meteorological study of evaporation and cloud formation over the western Pacific under the influence of the winter monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, **45**, 232—250.
- 31) 土屋清・保科正男, 1967: 気象衛星 APT 写真から見た西太平洋の寒帯前線, 低気圧, ジェット流に伴う雲, 研究時報, **19**, 61—73.
- 33) 土屋清, 渡辺和夫, 1968: ATS 写真解析による冬季太平洋上の雲分布. 天気, **15**, 189—195.
- △33) ———, 伊熊聖一, 1968: APT 写真に現われた台風の雲の直径と最大風および円形等圧線の直径との関係, 測定時報, **35**, 113—116.
- 34) K. Kikuchi and T. Kasai, 1968: Stereoscopic analysis of photographs taken by NIMBUS II APT. *J. Meteor. Soc. Japan*, **46**, 60—67.
- 35) T. Fujita, T. Izawa, K. Watanabe, I. Imai, 1966: A model of typhoons accompanied by inner and outer rainbands. *J. App. Meteor.*, **6**, 3—19.
- △36) 井沢竜夫, 1969: 気象衛星の発展と静止衛星, 科学, **39**, 45—52.
- 37) 神子敏朗, 岡野光也, 1966: 人工衛星雲写真による衰弱中の熱帯低気圧 Kathy の解析, 研究時報, **18**, 441—452.
- △38) 沢田昭夫, 1968: APT 資料による海氷縁の追跡について, 天気, **15**, 532—536.
- 39) K. Tsuchiya and M. Hoshina, 1968: Kinematic and Synoptic Analyses of the polar frontal cloud band in APT pictures. *Geoph. Mag.*, **34**, 237—259.
- 40) K. Watanabe, 1967: Summary of Drift Ice in the Okhotsk Sea. *Internat. Cof. on Low Temp. Sci.*, Vol. 1, 667—686, Hokkaido Univ.
- △41) 土屋 清, 1968: 気象衛星の現状と将来, 新しい気象学, 13—22, 日本気象学会.
- △42) ———, 1969: 低高度気象衛星の現状とその利用, 天気, **16**, 155—163.
- △43) 渡辺和夫, 1969: 静止衛星の現状とその利用, 天気, **16**, 164—166.
- △44) 関原 疆, 1969: 気象衛星の将来計画, 天気, **16**, 167—173.

* タイロス番号により年が違ふ。入手の場合はタイロス番号を指定して Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland U.S.A.へ申込む。

** 正確な名前は Goddard Space Flight Center, NASA, Greenbet, Maryland, U.S.A.