

気象衛星赤外分光計 (SIRS) 観測資料 に基づく成層圏循環解析の最近の話題*

廣 田 勇**

1. まえがき

最近わが国においても気象衛星に対する関心が一般に高まって来たのはよろこばしい。ここ数年間の日本気象学会誌をひもといてみると、オリジナルな論文はもとより、学会シンポジウム、解説、総合報告等、気象衛星に何らかの意味で関連のある記事が随所に目に触れる。一方、GARP (地球大気開発計画) の一環として、日本でも所謂「国産衛星」の打上げ計画が1975~6年を目標に気象研究所を中心として進められているのは良く知られているとおりである。

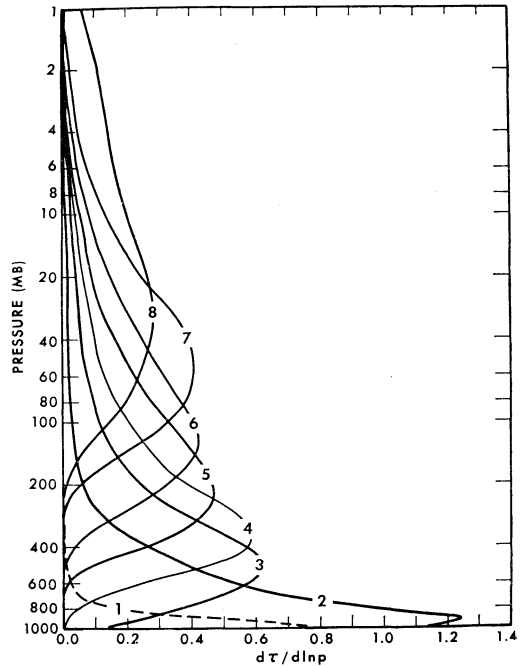
かかる事情をふまえて、ごく最近、気象研究ノートに小平・嘉納両氏によるテキストが「気象衛星 (I) 基礎編」として上梓され、引続き土屋氏他による (II) 応用編も準備中と聞いている。従ってここでは、屋上屋を重ねる愚を避けるために、少し見方を変えて気象衛星観測資料の利用の立場から成層圏循環解析に焦点をしばっていくつかの話題を拾ってみることにしよう。もとより筆者は、測器や観測・測定技術あるいはそれに附随する data processing 等々に関する知識がとぼしいので、これらの技術的問題についての説明は必要最小限にとどめ、詳しくは上記諸解説やテキストを参照して頂くことにする。

2. SIRS とは

SIRS (シアーズと読む) は、Satellite InfraRed Spectrometer (衛星赤外分光計) の頭文字を綴ったもので、大気放射強度を人工衛星から測定して大気の垂直気温分布を推定しようとするものである。その原理を極く

大づかみに述べると;

まず大気中で長波長放射を吸収射出する基準気体として炭酸ガス (CO₂) をえらぶ。CO₂ の混合比は殆ど一定 (約315ppm) でその変動は CO₂ 自身の混合化の 1~2% にすぎないから、放射強度の時間的・空間的変動は大気の温度の変動を直接反映することになる。実際には CO₂ の 15ミクロン帯のうちから 8 個の波長領域 (チャンネル) を定め、それぞれの波長帯の放射強度 (これを輝度, radiance という) を独立に測定すると、それらはある時刻ある地点での大気各層の気温の情報を与える。しかし



第1図 NIMBUS III, SIRS の CO₂ 15μm 帯 8 チャンネルの荷重函数高度分布

* Recent Progress of the Analysis of Stratospheric Circulation with Use of the SIRS Data.

** I. Hirota, 気象研究所予報研究部
—1972年4月12日受理—

第1図に見られるように、これら8個のチャンネルはそれぞれある高度の幅を持った層の積分された気温を表現していると考えられ、しかもそれらの層は互に重複しているから問題は多少複雑になる。たとえば第1図のチャンネル8の荷重関数の分布を見ると、30mb 附近に極大を持っているが、その輝度への寄与がどのレベルから来たのかは、他のチャンネルの輝度を知ってはじめてわかることになる。つまり、これら8個のチャンネル全体として大気の垂直気温分布の情報になっているわけである。以上の原理によって気温の垂直分布を求める方法は、数学的に言えば、連立積分方程式を解くことであり、この解法の問題は Inversion Problem と呼ばれている。しかし SIRS data を用いて解析しようとする対象(現象)の内容によっては、Inversion Problem を避けて、たとえばチャンネル8のみの radiance を用い、これを下部成層圏(100~10mb)の平均的(代表的)気温と考えて大よその循環の特徴をながめる、という簡便的な利用方法も可能である。

3. 衛星による観測技術の進歩

人工衛星に赤外放射計を搭載して大気を測定する試みは TIROS II(打上げ1960 Nov.)に始る。以下 TIROS III (1961 July), 同 IV (1962 Feb.), VII (1963 June) と続き、その後 NIMBUS シリーズに引継がれて NIMBUS II (1966 May), III (1969 Apr.), IV (1970 Apr.) から現在に至っている*。しかし初期の観測は測器自体のテストが中心だったようで、実際に観測資料から成層圏温度場の解析が行なわれたのは筆者の知る限り1963年の TIROS VII 以降である。それらの成果については第5節で述べる。

TIROS シリーズと NIMBUS シリーズの技術的相異のうち主なものは TIROS の赤外放射計は衛星上で calibration をしていないため、同時刻の気温の空間的変動は検出できても異った日の観測値の比較が信頼出来ないこと、また CO₂ 15 μ 帯のスペクトル幅が広すぎるため大気下層の分解能がなく特に雲分布の影響が強く入ってしまうことである。これら TIROS の欠点は NIMBUS では改良されているが、雲分布の影響を完全に取り除くことは依然として残された問題である。SIRS から推定した気温とゾンデの観測値とを雲量分布をパラメ

ーターとして詳細に調べる試みは、NMC の予報モデルを利用して Hyden(1971) が行なっている。

NIMBUS のもうひとつの特徴はその軌道が太陽同期であること、すなわち常に真昼側と真夜中側を通る極軌道を描いて1日に経度方向を一周することである。従って global な観測を1日2回行なうことに相当しているわけである。第2図に NIMBUS III の南半球側における軌道を示す。この図からわかるように観測領域は 81°S から81°Nまで、隣り合う軌道の間隔は経度にして27°である。個々の軌道は1日につき経度5.4°ずつズレるから5日毎に geographical に同じ軌道パターンとなる。各軌道上の観測値は、解析の目的に応じて、たとえば Objective Analysis の手法を用いて Synoptic Chart や緯度経度の格子点の値に焼き直すことが出来る。

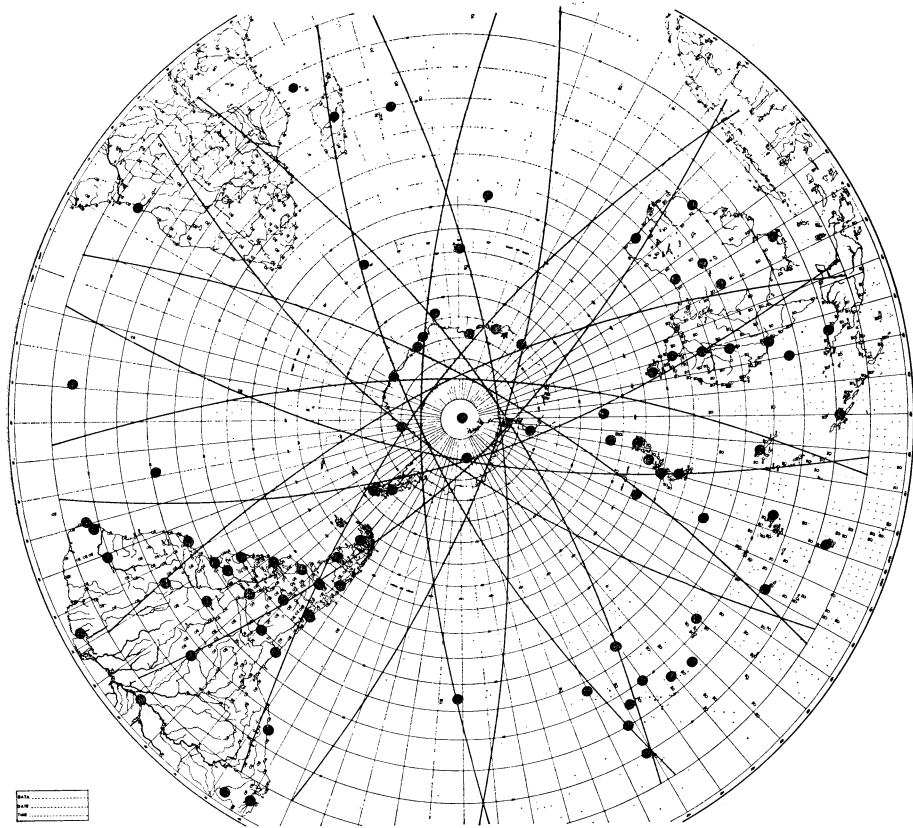
4. SIRS data の成層圏循環解析における意義と効用

さて、本論に入るとして、まず上に述べた SIRS による気温の観測値を用いて成層圏循環の解析を行なうことの意義について考察しよう。北半球において balloon(ゾンデ)の観測網が完備し、半球全体の成層圏循環やプラネタリースケールの擾乱に関する解析が可能になったのは1957~8年の IGY (国際地球観測年) からであった。ベルリン自由大学の高層天気図が10mb まで daily に発行されたり、冬の成層圏突然昇温現象の解析が北半球スケールで行なわれ始めたのもこの頃からである。60年代に入ってから気象ロケット観測が北米大陸上を中心として準ルーチ的に始められ、上部成層圏循環に関する知識も断片的ながら蓄積されてきている。これら balloon 及び rocket の観測に基いて為された解析の内容を羅列してみると；対流圏・下部成層圏の大気大循環(種々の budget)の統計及びその季節変動、長波・超長波の力学的特性、突然昇温の energetics、低緯度準二年周期変動と赤道波動の統計解析、上部成層圏及び下部中間圏の climatology、大気潮汐……等々が挙げられよう。

これらに対して気象衛星観測資料が如何なる長所を有しているかを見るために表1を掲げる。

この比較対照表から直ちにわかるように、SIRS の最大の特徴は、従来の観測がカバーしきれなかった赤道領域及び南半球を含む文字どおり global な観測を行なうことにある。しかもその時間空間密度は、いまわれわれの興味の対象である成層圏の諸現象——空間的にはプラネタリー・スケールで時間は数日から10日のオーダー以上のもの——を扱うには充分である。従ってこの長所を生かすために、赤外放射観測資料を用いた成層圏循環解

* TIROS では radiometer (放射計) を用いているため、SIRS という言葉は使われていないが、以下特に言葉上の区別に拘泥せず、一般に SIRS ということにする。



第2図 NIMBUS III の南半球における24時間の軌道 (実線). 黒丸は rawinsonde station

表1 Balloon, Rocket, Satellite (SIRS) の比較対照表

| 観測手段 | 高度 (km) | 領域 | 頻度 | 観測量 |
|----------------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Balloon (sonde) | $0 \leq Z \leq 30$ | 主として北半球の 15~20°N以北* | 2回/1日 | 風, 気温, 気圧 |
| Meteor. Rocket (rocket sonde) | $20 \leq Z \leq 60$ | 約30地点 主として北米大陸上 | 地点により異なる およそ1回/3~10日 | 同上 |
| Satellite (SIRS) | $0 \leq Z \leq 30 \sim 40$ | Global | 2回/1日以上に相当 | radiance (→気温→等圧面高度)** |

* もちろん赤道附近や南半球にもゾンデ観測点はあるが, 第2図に見られると通り, 北半球中・高緯度に比べて非常に少ない.

** 第5節 Smith *et al.* (1970) 参照.

析の対象として最先に南半球が取り上げられたのは蓋し当然のなりゆきであった.

Balloon, Rocket との比較において重要な他の問題は観測の精度と高度であるが, SIRS の精度に関しては次節で個々の解析結果に則して考察することにし, また観

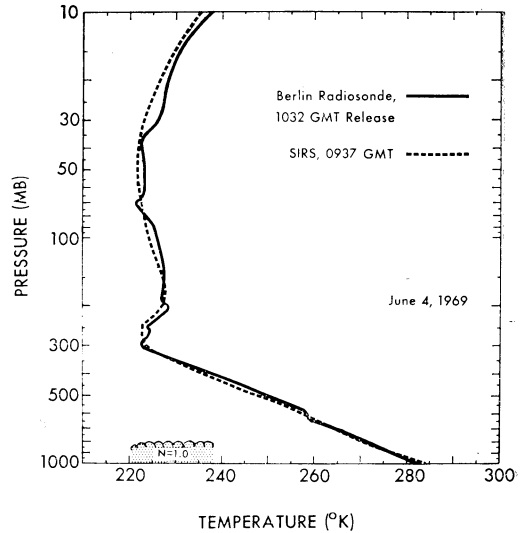
測の高度の extension については本文の最後で触れたい. いずれにせよ, このいわば第3の観測手段の有用性及びその使用法を考えるに際しては, 全く独立したものとしてではなく, 常に従来の確立された観測方法及び結果と比較してその信頼度を高めながら, 新しい領域, 新

しい問題へのアプローチを探ってゆく態度が必要なことは言をまたない。

5. SIRS を用いた解析例

第3節で述べたように、赤外放射計による観測値を用いて成層圏循環の解析が行なわれるようになったのは、1963年に打上げられた TIROS VII からであり、以後続々と解析例が論文の形で発表され始めた。(Bandein *et al.*, 1964; Norbberg *et al.*, 1965; Kennedy, 1966; Kennedy and Nordberg, 1967; Phillpot, 1967; Shen *et al.*, 1968 など)。TIROS VII の段階では、まだ Inversion によって気温の垂直分布を求めることは行なわれず、CO₂ 14.8~15.5 μ の単一のチャンネルによって高度 20km を中心とする下部成層圏の平均的気温の synoptic な分布が論ぜられていたに過ぎない。しかし Nordberg らは夙に 1963 July~Aug., Aug.~Sept. の期間(南半球の冬期)に成層圏突然昇温現象の反映と考えられる高温域が南印度洋に存在することを見出している。この 1963 Aug. を中心とする南半球冬期成層圏突然昇温は、引き続き上に挙げた数例の解析の対象とされ、ゾンデ観測との比較、synoptic pattern の解析、昇温の強さの見積り、高温域中心の移動の追跡…等が試みられた結果、IGY以来南極大陸周辺の balloon 観測から知られている南半球成層圏突然昇温現象のさまざまな特徴が再確認されたのみならず、従来南半球の最大難点であった洋上の空白を埋めることに成功した。Shen *et al.* は更に南北両半球の緯度 60° に沿う 10 日平均気温の季節変化を July-Dec. 1963 (南半球) と Jan.-June 1964 (北半球) について解析し両半球の比較を行なっている。

1969年に NIMBUS III が打上げられてから観測資料の質的向上は目ざましく、解析の内容もキメの細かい定量的なものとなった。この時期に、SIRS data の feasibility を高めたものとして特筆されるべき仕事が Smith *et al.* (1970) による気温の垂直分布を求める統計的手法の確立であった。第1図に示した8個の波長帯の radiance をもとに連立積分方程式を解いて気温の垂直分布を逆算する Inversion Problem は原理的には可能であるが、実際的にはパラメーターの自由度が多すぎて解が unique に定まらなかったり安定でなかったりする欠点を含んでいる。そこで Smith らは実測の気温と radiance との間の統計的関係を求めて、最小自乗法に基づく回帰方程式から気温及び等圧面高度分布を推定する実用的方法を提案した。解法の詳細については気象研究ノート111号(嘉納)にゆずり、ここでは NIMBUS III の

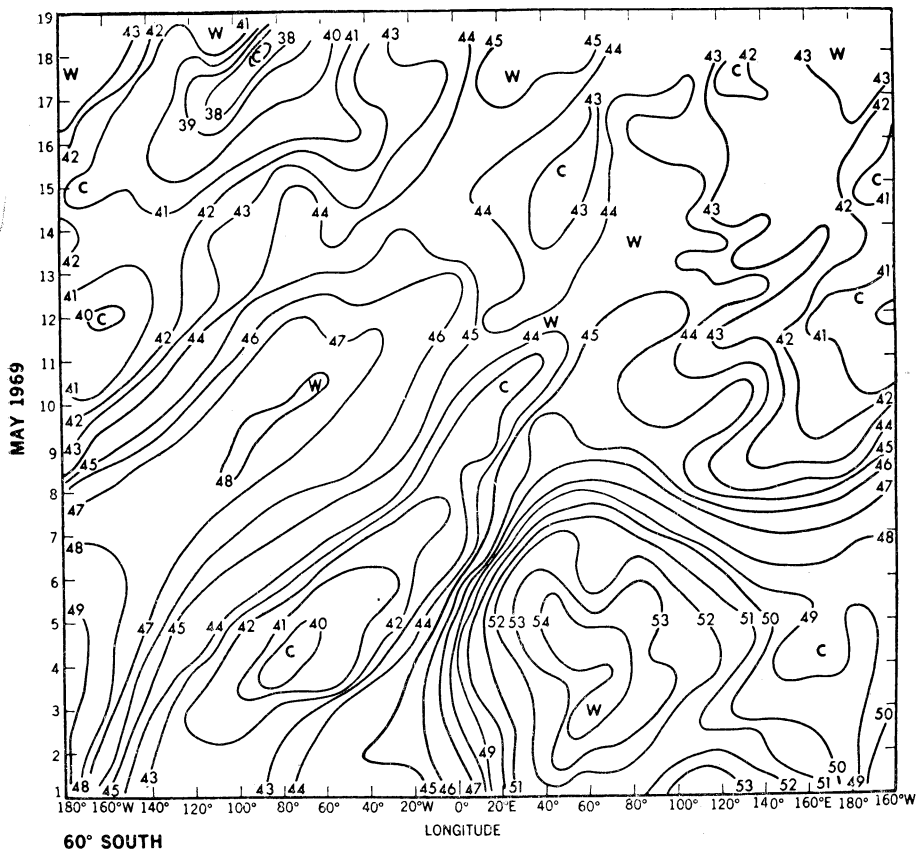


第3図 SIRS から計算した気温とラジオゾンデによる気温の実測との比較例 (Smith *et al.* 1970)

SIRS にこの方法を適用して求めた気温分布とラジオゾンデの観測値との比較の一例を示すにとどめる。第3図に見られる如く、特異点を除いては、両者の差は高々2°K程度である。等圧面高度は、斯様にして求めた気温の値と既知の対流圏のあるレベルの高度場とをもとに積み上げて推定する。

さて NIMBUS III の SIRS を用いて成層圏循環の解析を最初に行なったのは Fritz (1970) である。彼は第1図のチャンネル8 (frequency 669.3cm⁻¹) を用いて (a)南半球及び赤道成層圏の波動擾乱、(b) global な synoptics、(c)緯度平均気温の長周期変動、更に(d)気温の日変化等を詳しく解析した。このチャンネルの radiance は 100mb より上の大気層全体の平均的気温を反映していると考えられ、radiance の単位 erg cm⁻² sec⁻¹ ster⁻¹/cm⁻¹ の変化量がおおよそ 1°K の気温変化に対応するので、以下単位を ergs/ と略して数値の大きいほうが高温、その差が °K であると考えて頂く。

第4図は 60°S に沿う気温 (radiance) の time section で 1969年5月の例を示す。5月上旬には東西波数1の波が、中旬には波数2の擾乱がそれぞれ卓越し、おおよそ 15° longitude/day (≈10m/sec) の位相速度とともに東進しているのが見られる。5月はじめの 60°E(南印度洋上) 附近に弱いながら“warming”が見られ、そのときの 60°S に沿う高温域と低温域の最大温度差は約15°K



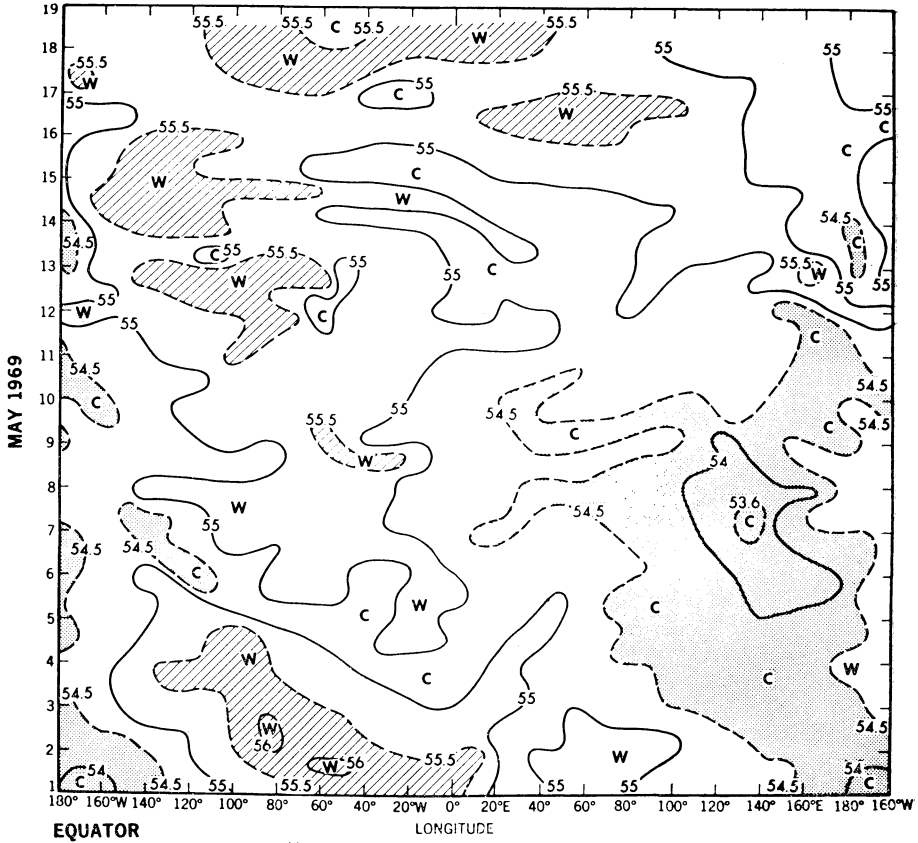
第4図 NIMBUS III SIRS, $\nu=669.3\text{cm}^{-1}$ での radiance の 60°S に沿う time section. (Fritz, 1970)

である。南半球の「秋」にこのような昇温の存在することは興味深い。また波数2の移動性超長波が南半球高緯度成層圏で観測された例は従来まれであったが、これは思うにゾンデの観測網が粗すぎたためであろう。

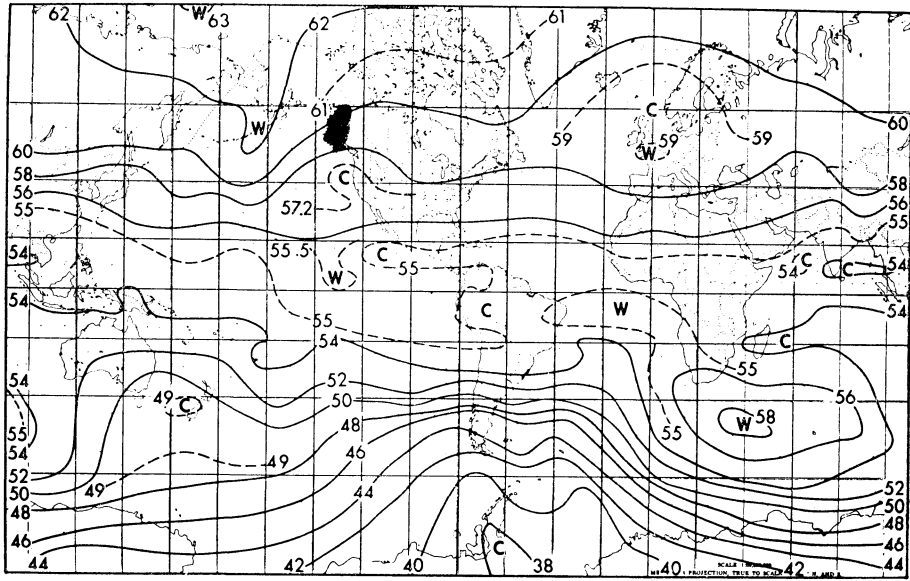
第5図は同様の解析を赤道について行なったもので、5月上旬に波数1の西進波(位相速度 25°long./day)が見られる。赤道成層圏には混合 Rossby 重力波及び Kelvin 波と呼ばれる大規模波動の存在することがすでに多くの統計的研究により確かめられている(例えば柳井・丸山両氏の解説参照)。しかしそれらは主として太平洋上の限られた地点での観測を時間スペクトル法により空間に引き直したものであり、赤道を一周する同時観測の解析は殆どされていない。その意味からも、この赤道に沿う time section は興味深い。但し第5図からわかるように擾乱に伴う東西の温度差が僅か 2°K であり、SIRSの分解能の限界に近いことがひとつ(従来の赤道波の検

出が、温帯場や高度場からでは困難で、主として実測の風によるものであることに注意)、もうひとつの難点は混合 Rossby 重力波と Kelvin 波の卓越波長・高度及び移動方向・速度が相異なる為、この解析の如き単一チャンネルでは垂直の分解が出来ず異種の波がまざって見えてしまうことになる。この問題は将来 SIRS の精度が高まり、かつ前述の Smith らの方法で垂直分布がわかって各層毎に解析が行なわれるようになれば自ずから進歩が期待される。

以上述べた大規模擾乱の空間分布を見るために第6図に1969年5月4日の全球的な synoptic chart を示す。Fritz は更に5月から10月にわたって低緯度領域での緯度平均した radiance が季節変化以外に1ヶ月以下のタイム・スケールで変動していることを見出し、この変動と中・高緯度の循環の変動との対応を考察している。この問題は次に述べる Fritz and Soules (1970) の解析で

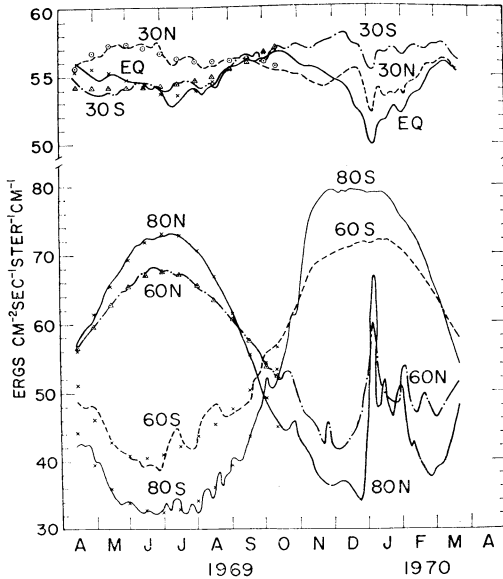


第5図 第4図に同じ、但し赤道。



RADIANCES (ergs/cm²/sec/ster/cm⁻¹)
SIRS - NIMBUS III $V=669.3 \text{ cm}^{-1}$

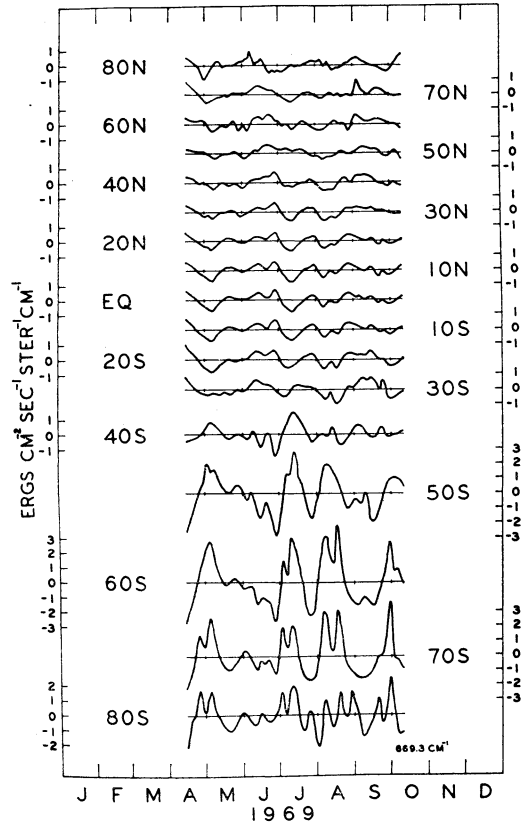
第6図 NIMBUS III SIRS による1969年5月4日の Synoptic chart. (Frtiz, 1970)



第7図 NIMBUS III の SIRS ($\nu=669.3\text{cm}^{-1}$) による南北両半球特定緯度平均の radiance の Annual march. (Fritz and Soules, 1970)

詳細に論じられた。

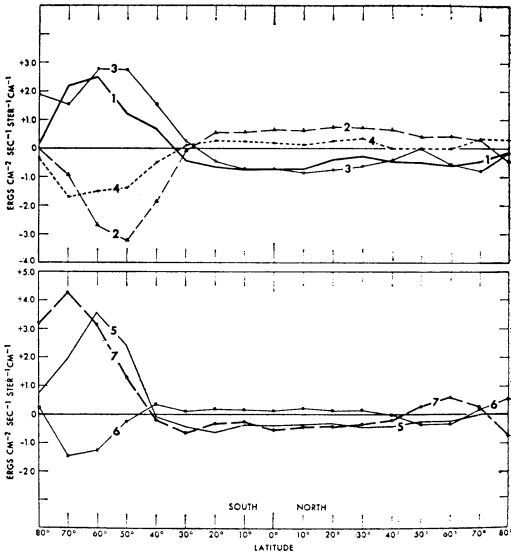
彼らは Fritz (1970) と同じ data を 1969年4月～1970年4月の1年間に拡張し、特に1969年4～10月の南半球の冬期間に着目した。第7図はその1年間にわたる南北両半球の緯度80°、60°、30°及び赤道に沿って平均した radiance の Annual march を示したものである。冬半球の中・高緯度で、強弱の差こそあれ成層圏突然昇温現象の反映と見られる radiance の変動が存在する。夏半球中・高緯度の変動は主として季節変化によるものであり、緯度60°と80°での南北温度勾配の逆転が北半球では4月と9月、南半球では10月と3月にそれぞれ起っていることがわかる。低緯度の変動は第7図ではわかりにくい、次の第8図では明らかになっている。すなわち4月から10月(南半球の寒冷期)にわたり、毎日の緯度平均 radiance から、1年及び半年周期の調和項を差し引いた偏差値を両半球各緯度について並べてみると、南半球中高緯度に見られる10日のオーダーの時間スケールを持つ変動(振幅約3°Kの昇温)に対応して、低緯度及び北半球では振幅約1°Kの変動が見られ、しかも25°S～45°Sあたりを境に位相が逆転していることがわかる。この逆位相の輝度(温度)変化をより見やすくしたのが第9図で、上が5月から7月、下が8月から9月にかけての輝度偏差値のピークを拾い出してその緯度分布を示



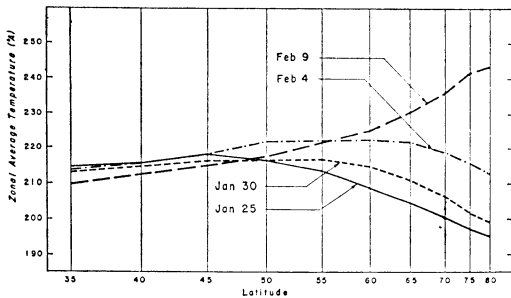
第8図 1969年4～10月の期間における、南北両半球各緯度の radiance 偏差値。南半球高緯度昇温に対応する低緯度及び北半球の降温に着目のこと。(Fritz and Soules, 1970)

してある。この図により、冬期南半球中高緯度の温度変化(昇温現象)は決してローカルなものではなく、夏半球を含む全球的な規模での成層圏循環の変動であることが明らかになった。更に細かく見ると、この逆位相変化の節(nodal point)の位置は季節と共に変化しているようで、南半球の秋口から真冬にかけて緯度が下り(25°S)春先には極寄り(45°S)に移動している。

第8図及び第9図に見られる冬半球高緯度成層圏昇温と低緯度降温の逆位相関係は、実はゾンデ観測資料に基づく北半球冬期成層圏突然昇温解析で夙に示唆されていた事実である。Reed et al. (1963) は1957年 Jan.～Feb. の突然昇温の解析を行なった際、第10図に示すように、50mb面における Feb. 9 の高緯度昇温に伴い50°N附近を境に低緯度側の気温が下降していることを見出した。この図は35°N までしか示されていないが、1963年



第9図 南半球緯度偏差値変動のピーク時期における緯度分布. 折線上の数字は日附. 1(5月2日), 2(6月26日), 3(7月10日), 4(7月26日), 5(8月8日), 6(9月2日), 7(9月30日) (Fritz and Soules, 1970)



第10図 1957年冬期北半球成層圏突然昇温に伴う, 50mb 緯度平均気温変化の緯度分布. (Reed et al., 1963)

Jan.~Feb. の突然昇温に関して Julian と Labitzke(1965) が全く同様な事実を 30mb 面上の 10°N までの領域で示している. これらの観測事実は, 冬の成層圏突然昇温の際に, Charney-Drazin 理論の示す定常バランスがくずれて, 上向き伝播のプラネタリー波に伴う冬側極向きの熱輸送が, それによって励起される平均子午面循環の断熱昇温・冷却作用を上まわって極の高温化及び低緯度側の低温化を作り出しているものと解釈される. Fritzらの解析結果は, Reed らの赤道を含まない解析からの

推測を裏づけて, 冬半球の昇温を補償する子午面循環が赤道を越え夏半球側にも及んでいることを確認したことになり, 突然昇温現象の理解の為に重要な知識を提供した.

同じ1969年南半球冬期の SIRS data の解析は, Miller et al. (1970) によっても試みられている. 彼らは主としてチャンネル8と7の radiance を用い, 昇温時の南半球成層圏の synoptics, 60°S に沿う 2-wave pattern の東進などを議論している.

一方 Johnson と McInturff (1970) は, 現象の解析ではなく, SIRS data の operational な利用法を開発する目的で, 1969年5月~9月の期間について次のような比較を行なった. まず NIMBUS III の SIRS に Smith et al. の方法を適用し, 100, 50, 30, 10mb の objective analysis を行なう. その際, SIRS のみから求めたもの, 及びある特定のレベルの rawinsonde の観測値を SIRS に結合したものとを, rawin にもとずき NMC の operational な objective analysis で求めた 10 mb の contour とそれぞれ比較し, 最も近似の良い方法を探す. 結論として, 現在 NMC が daily の数値予報に用いているモデルの最上層であるところの 100mb のゾンデ観測値と SIRS data を結合させて成層圏のパターンを推定するのが最も良いようである. 但しこの比較は data の都合上, 夏の成層圏の場合のみであり, 大規模擾乱の卓越する冬の成層圏に関しては, あらためて調査する必要がある.

Quiroz (1971) はやはり NIMBUS III SIRS に Smithらの方法を適用して北半球冬期成層圏の温度場の垂直構造を解析し, 北半球数ヶ所の気象ロケット観測と比較しつつ, 突然昇温の起る高度と温度擾乱の振幅分布に関するモデルの構成を試みている.

6. 将来の展望

前節で紹介したいくつかの SIRS 解析例は, まず気象衛星関係者の demonstration にはじまり, 次第に user の側に移行してきたように思われる. その内容も現象論としての面白さ——たとえば従来観測の少なかった南半球や赤道領域の成層圏など——と同時に, operational な利用法の開発に進んできている. 今後観測が蓄積され, 解析例が増加するにつれて SIRS の信頼性と有用性はますます高められてくるであろう.

SIRS のひとつの限界は, その垂直分解能とも関連して, 現在のところ高度 40km 以上の観測が出来ないことである. この欠点を改善するために J. T. Houghton を

中心とするイギリスのグループは Selective Chopper Radiometer (略称 SCR) を開発して NIMBUS IV に搭載しテストを行なっている。その測定原理の詳細は Abel *et al.* (1970) を参照して頂くとして、概略のみを述べると、SCR も CO₂ 15 μ の赤外放射を利用し、A ~ F の6個のチャンネルを用いる。チャンネル A は 2mb (\approx 42km) に、B は 20mb (\approx 26km) にそれぞれ中心を置く荷重関数を有し、垂直分解能の上限は一応 50km と考えられる。これによりほぼ成層圏全層がカバーされることになる。1970 Apr. の打上げ後、SCR による上部成層圏温度場の観測結果が速報されている (Ellis *et al.*, 1970; Barnett *et al.*, 1971)。Labitzke (1971) は 1971年 Jan. の成層圏突然昇温の case study で SCR チャンネル A の radiance を気象ロケット資料に基く 45km の温度場の synoptic pattern と比較し、良い一致を見ている。Houghton らのグループでは、1972年から SCR 観測資料の印刷発行を計画していると聞く。1950年代から60年代にかけてベルリン自由大学の Scherhag 一派が為した成層圏循環解析への貢献に匹敵するものが生れることを期待したい。

観測高度限界を更に引き上げるためには、SIRS や SCR のように衛星から地球大気を垂直に見下ろす方法は不相当となり、大気の赤外放射を水平に測るほうが望ましい。極く最近、Gille と House (1971) はこの方法で大気の気温垂直分布を測定する原理を論じ、数度の誤差の範囲で高度 75km 付近まで観測が可能であることを示唆している。

いずれにせよ、近い将来、われわれの高層大気に関する情報は飛躍的に増加するであろう。そしてそれらの観測事実、高層大気循環の理論あるいは大循環数値実験の verification として役に立つばかりでなく、更に未知の新しい現象をもわれわれに教えてくれることであろう。

7. あとがき

言うまでもなく、本来、総合報告とか解説とかの類は、その分野でオリジナルな仕事をした研究者が自分の仕事を骨子に書くべきもので、本文の如き単なる紹介ならば学生レポートの域を出ない。しかし日本において現在のところ気象衛星観測資料の研究面での活用は雲の写真解析以外には充分とは言えないようである。その理由は、思うに、未だ日本では自力で観測し、自分達の data としてそれを自由に使える、といった環境が整っていないからではなからうか。気象学は本来国際的な学問であって、日本とか外国とかの区別をすること自体おかしい、

というのはまことに一理ある考え方である。だがしかし、現実にはどうであろうか。昨年、筆者は在米中、NMC の Upper Air Branch を訪れて、Finger, Quiroz, Johnson, Miller 他の諸氏の SIRS data を用いた研究を見ながら成層圏循環の諸問題を議論する機会を得た。また、NCAR においては Labitzke 女史や Gille 氏などと高層大気観測及び解析の問題についてよく討論した。その際の印象として、data というものは、まさに“生きもの”であって、観測する側と使用する側との連結のあるなしは、言ってみれば、自然の中で躍動する動物を見るのと博物館の片すみで剥製の標本を見ること位のひらきがあると感じたことであつた。

幸いにして、わが国においても衛星打上げ計画が着々と進んでいる。問題は従って、今後観測者とデータ利用者との間の連絡を如何に有効に進めてゆくかであろう。GARP 計画のキー・ポイントも結局のところ煎じつめればそこに落着くと思われる。現象そのものを扱う側として、われわれは観測資料というものの意味をあらためて考える時期にきているのではないだろうか。SIRS data 利用の問題はその一例と考えられるのである。

謝 辞

この解説の草稿に目を通して術語や文献などについていろいろ御教示下さった片山昭、土屋清両氏に感謝致します。

参 考 文 献

和文解説

- 1) 土屋清・渡辺和夫・関原壘, 1969: 気象衛星の現状についてのシンポジウム。天気, vol. 16, 155—173.
- 2) 土屋清, 1971: SIRS の資料について。測候時報, vol. 38, 202—205.
- 3) 小平信彦・嘉納宗靖, 1972: 気象衛星特集号 (I), 気象研究ノート No. 111.
- 4) 土屋清他, 1972: 気象衛星特集号 (II), 気象研究ノート No. 113 (発刊予定).
- 5) 柳井迪雄・丸山健人, 1969: 熱帯成層圏大気の運動。天気, vol. 16, 239—260.

論 文

- 1) Abel, P. G., P. J. Ellis, J. T. Houghton, G. Peckham, C. D. Rodgers, S. D. Smith and E. J. Williamson, 1970: Remote sounding of atmospheric temperature from satellites II. The selective chopper radiometer for Nimbus D. Proc. Roy. Soc. London A. 320, 35—55.
- 2) Banded, W. R., M. Halev and I. Strange, 1964: A radiation climatology in the visible

- and infrared from the TIROS meteorological satellite. NASA X-651-64-218.
- 3) Barnett, J. J., R. S. Harwood, J. T. Houghton, C. G. Morgan, C. D. Rodgers and E. J. Williamson, 1971: Stratospheric warming observed by Nimbus 4. *Nature*, vol. 230, 47-48.
 - 4) Ellis, P. J., G. Peckham, S. D. Smith, J. T. Houghton, C. G. Morgan, C. D. Rodgers and E. J. Williamson, 1970: First results from the selective chopper radiometer on Nimbus 4. *Nature*, vol. 228, 139-143.
 - 5) Fritz, S., 1970: Earth's radiation to space at 15 microns: stratospheric temperature variations. *J. Appl. Meteor.*, **9**, 815-824.
 - 6) Fritz, S. and S. D. Soules, 1970: Large-scale temperature changes in the stratosphere observed from Nimbus III. *J. Atmos. Sci.*, **27**, 1091-1097.
 - 7) Gille, J. C. and F. B. House, 1971: On the inversion of limb radiance measurements, I. temperature and thickness. *J. Atmos. Sci.*, **28**, 1427-1442.
 - 8) Hyden, C. M., 1971: Nimbs 3 "SIRS" pressure height profiles as compared to radiosondes. *Mon. Wea. Rev.* **99**, 659-664.
 - 9) Johnson, K. W. and R. M. McInturff, 1970: On the use of SIRS data in stratospheric synoptic analysis. *Mon. Wea. Rev.*, **98**, 635-642.
 - 10) Julian, P. R. and K. B. Labitzke, 1965: A study of atmospheric energetics during the January-February 1963 stratospheric warming. *J. Atmos. Sci.*, **22**, 597-610.
 - 11) Kennedy, M. S., 1966: An atlas of stratospheric mean-isotherms derived from TIROS VII observations. NASA X-622-66-307.
 - 12) Kennedy, M. S. and W. Nordberg, 1967: Circulation features of the stratosphere derived from radiometric temperature measurements with the TIROS VII satellite. *J. Atmos. Sci.*, **24**, 711-719.
 - 13) Labitzke, K. B.: 1971: Synoptic-scale motions above the stratopause. Paper presented at the XV general assembly of IUGG in Moscow.
 - 14) Miller, A. J., F. G. Finger and M. E. Gelman, 1970: 30-mb synoptic analyses for the 1969 Southern Hemisphere winter derived with the aid of Nimbus III (SIRS) data. NASA TM X-2109.
 - 15) Nordberg, W., W. R. Bandeen, G. Warnecke and V. G. Kunde, 1965: Stratospheric temperature patterns based on radiometric measurements from TIROS VII satellite. *Space Research*, **5**, 783-809.
 - 16) Phillipot, H. R.: 1967: An examination of polar stratospheric warming using temperatures determined from TIROS VII radiation measurements. Tech. Rept. No. 8, International Antarctic Meteorological Research Centre.
 - 17) Quiroz, R. S., 1971: The determination of the amplitude and altitude of stratospheric warmings from satellite-measured radiance changes. *J. Appl. Meteor.*, **10**, 555-574.
 - 18) Reed, R. J., J. L. Wolfe and H. Nishimoto, 1963: A spectral analysis of the stratospheric sudden warming of early 1957. *J. Atmos. Sci.*, **20**, 256-275.
 - 19) Shen, W. C., G. W. Nicholas and A. D. Belmont, 1963: Antarctic stratospheric warmings during 1963 revealed by 15-micron TIROS VII data. *J. Appl. Meteor.*, **7**, 268-283.
 - 20) Smith, W. L., H. M. Woolf and W. J. Jacob, 1970: A regression method for obtaining real-time temperature and geopotential height profiles from satellite spectrometer measurements and its application to Nimbus 3 "SIRS" observations. *Mon. Wea. Rev.*, **98**, 582-603.