

ITOS-D VTPR 観測資料を用いた南半球循環の解析例*

廣 田 勇**

要 旨

改良型現業気象衛星 ITOS-D による VTPR (垂直温度分布放射計) 観測資料の有用性を確かめる目的で、1973年1月のある特定の日について、夏期南半球成層圏(10 mb)と同じく対流圏(500 mb)の解析を試み、従来他の観測手段により知られている夏期成層圏循環の特徴が良く表現されているかどうかを調べた。その結果、南半球成層圏で、従来の知識から見て充分有意と思われるプラネタリースケールの擾乱が見出されたが、それに重畳して中緯度で東西波長 5~6,000 km の波動も存在しており、後者は VTPR 各チャンネルの測定値から垂直温度分布・等圧面高度分布に換算する過程において対流圏傾圧不安定波動の影響が混入したものと考えられる。

1. はし が き

地球大気中にはほぼ一定の割合で存在する CO₂ (炭酸ガス) の15ミクロン帯赤外放射強度を気象衛星から遠隔測定することにより気温の垂直分布を推定する試みは、1960年代前半の TIROS シリーズに始まり、次いで60年代後半には実験用気象衛星 NIMBUS に引き継がれ SIRS (衛星赤外分光計) としてほぼ実用の域に達した。過去10年間の進歩の跡をふりかえると、ひとつにはもちろん測器・観測技術それ自体の目ざましい発展があり、他方には衛星による観測を気象学的に有用な物理量に換算する operational な手法の確立があった。その間の技術的諸問題については小平・嘉納(1972)の解説に詳しく述べられている。このような技術的進歩の結果をひとことで象徴的に述べるならば「気象衛星は現代の百葉箱である」とも言えよう。従って、衛星による観測資料をあたかも気圧計や温度計による観測値と対等に考え、純粋に気象学的な興味からの発想に基づき利用するという立場が生れてきたわけである。その一例として、60年代の TIROS 及び NIMBUS の観測からグローバルな成層圏循環に関していかなる有用な情報が得られたか、また SIRS data の大循環解析における長所は何か、等について書かれた廣田(1972a)の総合報告があるので参照されたい。

70年代に入り、気象衛星による赤外観測は大別して二つの方向を旨ざしていると考えられる。ひとつは実験衛星 NIMBUS シリーズの延長上にある SCR・PMR(天気20巻2号、用語解説参照)等の如く上部成層圏中間圏までを含む、より高層の観測を目的とするもの、もうひとつは観測の範囲は従来の SIRS と同じながらそれをより実用化したものである。本文ではこの後者にあたる ITOS-D の VTPR 観測資料を用いた解析例を示しその有用性を調べてみることにする。

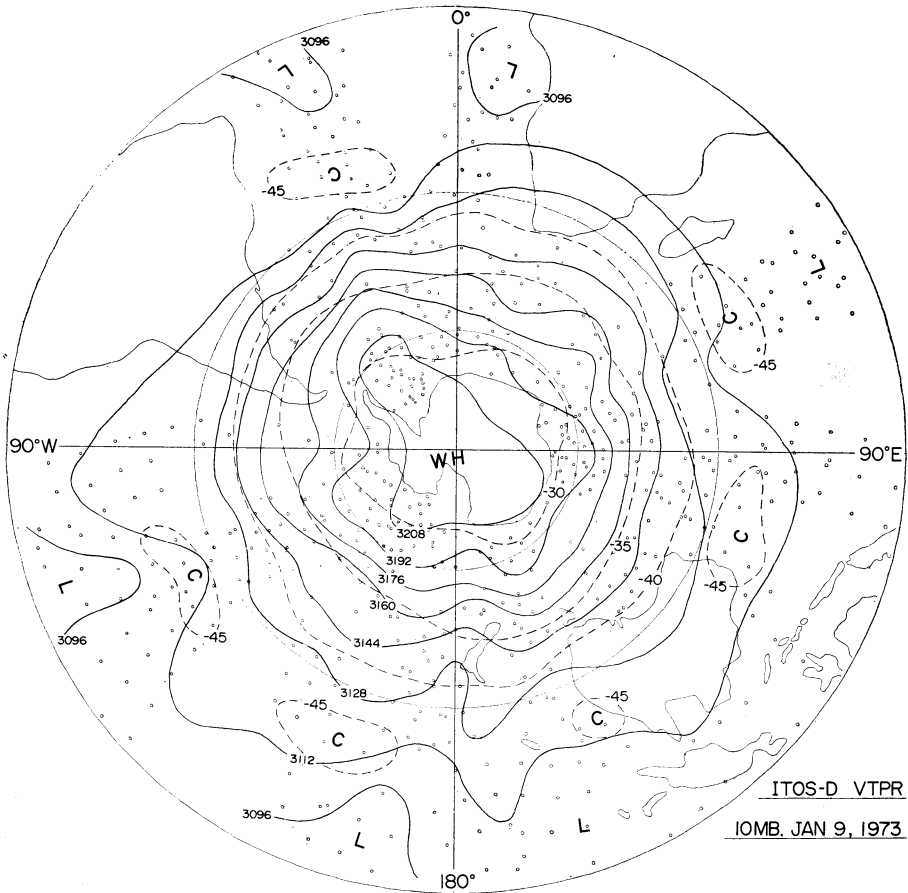
2. ITOS-D VTPR とその資料について

ITOS とは Improved TIROS Operational Satellite (改良型現業気象衛星) の略で、1972年10月に打ち上げられた第4号 (ITOS-D) は NOAA 2号とも呼ばれている。それに搭載されている VTPR (Vertical Temperature Profile Radiometer; 垂直温度分布放射計) の測定原理及びそのプロセスされた結果の通報形式は前述の SIRS と本質的には同じである。この資料は気象庁予報部通報課の ADESS (気象資料自動編集集中継装置) でワシントンからの高速通信回線より受信し、最終的には磁気テープに記録保管されている。詳細については土屋(1972)の解説を参照されたい。

1973年4月現在、測器は正常に作動しているが、通報されて来る VTPR 資料は陸上及び雲のある領域が除かれている。従って北半球の資料はかなり少ない。陸上の空白はゾンデ観測資料で補うことが出来る、と言うよりは衛星観測資料利用上の長所が、ゾンデ観測の少ない海洋上の空白を埋めることにあると言うべきであろう。こ

* Synoptic analysis for the Southern Hemisphere circulation with the aid of ITOS-D VTPR observations.

** I. Hirota 気象研究所予報研究部
—1973年5月7日受理—



第1図(a) VTPR 資料に基づく南半球 10 mb の synoptic chart.
 実線は高度 (単位10m), 破線は気温 (単位°C), 白丸は観測点を表す。

の事情は TIROS 以来, 衛星資料の応用例として南半球及び熱帯低緯度が主として解析の対象とされてきたことから直ちにうなずけよう。

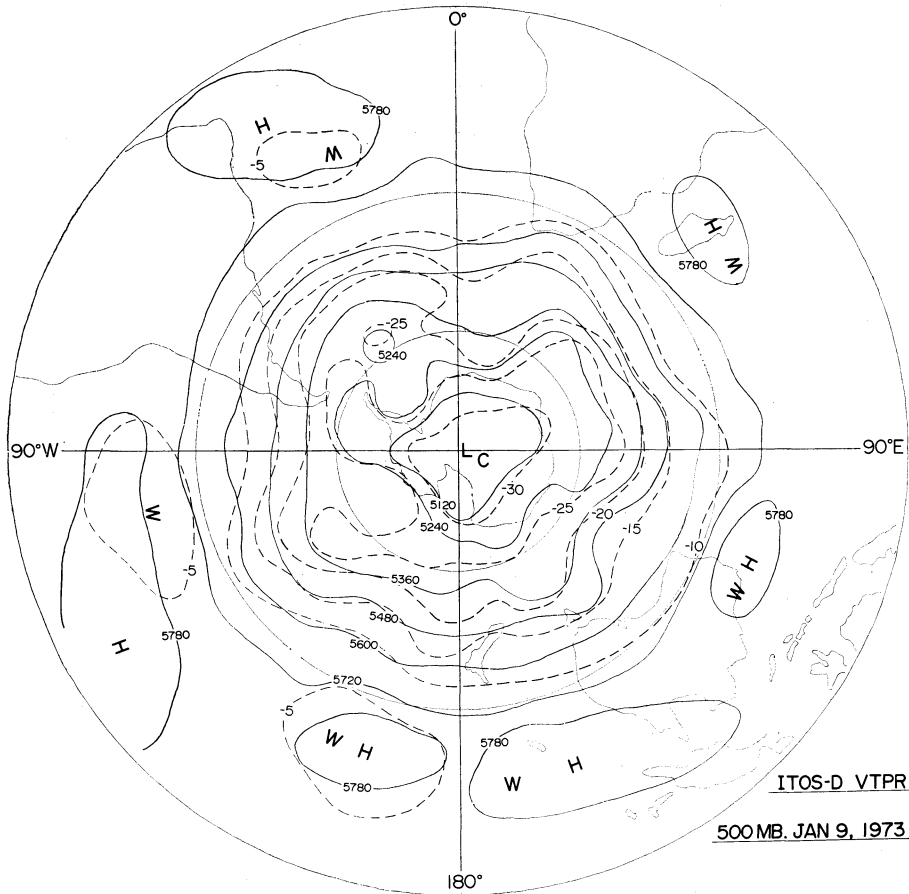
以上の理由から, 解析日としては比較的資料の多かった1973年1月9日をえらび, 対象としては南半球成層圏(10mb)に主たる着眼点を置き, 比較のために対流圏中層(500 mb)の解析も行った。陸上と雲域の除かれた data 数は各レベルにつき北半球で約 250, 南半球で約 580 であった。

3. VTPR の精度について

南半球全体の循環解析を行う前に, 個々の資料の精度を確認するため, 第1表には1973年1月9日22 Zに日本上空を通過した ITOS の軌道のうち, 根室(43.3N, 145.6E)に最も近接した測定点(43.1N, 146.7E)の

値と根室ゾンデ観測値との比較を示してある。1000 mb から 100 mb までの10層について VTPR の観測値と根室における1月10日00 Zのゾンデ観測値との偏差の root mean square を計算すると気温で 2.5°C , 高度で 38m であった。観測時刻差が2時間, 2点間の水平距離が約 90km, 一方この領域での時間空間変動度がおおよそ $[1^{\circ}\text{C}, 30\text{m}]/[10\text{時間}, 100\text{km}]$ であることを考慮すると, 時刻差は無視して良いが, 空間的分解能に多少の疑問が残る。しかし衛星の軌道に沿う観測点が空間的にかなり一様に分布していることを利用して解析の際一種の smoothing を行うならば, この VTPR の観測値は synoptic scale 以上の現象の解析をするには充分の精度があると言って良い。

なお, 最近 Finger et al. (1973) は, VTPR を含む



第1図(b) (a)と同じ。但し 500mb. 高度の単位はm.

各種の気象衛星観測とラジオゾンデ及びロケットゾンデ観測との比較を統計的に行っている。その結果を見ると、VTPRによる気温とゾンデによる気温の差は、統計の期間・緯度・高度による多少のちがいはあっても、平均値で 1°C 程度、標準偏差値では $2^{\circ}\sim 3^{\circ}\text{C}$ であり、この第1表の結果を裏づけている。

但し、これらの比較は北半球についてであり、南半球にそのまま当てはまるとは限らない。何故なら、気温の垂直分布を計算するための initial guess として、北半球ではゾンデ資料に基づく予報値を用いているのに対し、南半球では過去の解析値を用いているからである。更に注意を要することは、VTPRによる気温分布から高度場を求めるための reference level (基準気圧面)の取り方である。 18°N 以北では基準面として NMC の12時間

及び18時間予報による 850mb 高度場を用いられているが、 18°N 以南(南半球を含む)では海面気圧をすべて 1,000 mb と仮定している。従って南半球の特に下層では高度の誤差が北半球のそれにくらべかなり大きいことになる。しかしながら、本来大気下層にはあまり現れず対流圏中層及びそれ以上で卓越すると考えられる現象、即ち長波スケール以上の擾乱に関しては、その振幅の絶対値はともかくとして、その相対的位置関係(あるいは空間分布)についての解析精度は充分有意と考えてよからう。

4. 南半球成層圏と対流圏の解析例

第2節で述べたように、VTPR 資料の比較的多かった1973年1月9日をえらび夏期南半球成層圏10mb面と対流圏500mb面の解析を行ったものが第1図である。

第1表 VTPR の観測値と根室ゾンデ観測値との比較

地 点	VTPR(43.1N, 146.7E)		根室ゾンデ (43.3N, 145.6E)			
	1月9日22Z		1月9日12Z		1月10日00Z	
時刻	気温(°C)	高度 (m)	気温(°C)	高度 (m)	気温(°C)	高度 (m)
1,000	0	149	-1.9	135	-2.9	158
850	-12	1,422	-9.7	1,406	-10.1	1,430
700	-19	2,890	-14.9	2,899	-13.9	2,913
500	-32	5,330	-31.7	5,360	-33.9	5,380
400	-42	6,880	-43.1	6,900	-42.9	6,900
300	-52	8,780	-52.7	8,780	-51.9	8,800
250	-52	9,960	-51.1	9,970	-52.5	9,980
200	-50	11,410	-48.9	11,430	-47.7	11,440
150	-50	13,290	-50.1	13,310	-47.9	13,340
100	-53	15,930	-48.1	15,970	-49.1	16,010

図中実線が等圧面高度、破線が気温、白ヌキの丸印はVTPR観測点(総数約580)を示す。南半球における通常のゾンデ観測地点数が100に満たないことを考え合せると、この衛星による観測点の数と分布の一様性のもつ利点は直ちに理解されよう。

さて、この10mb面のsynoptic chartから夏期南半球成層圏循環に関し次のような特徴がよみとれる。

- (1) 南極が高温で高気圧。すなわち半球全体で東風が卓越し、帯状平均地衡風は中緯度で最大。
- (2) この成層圏東風に重畳してプラネタリースケールの擾乱が見出される。波数分析の結果については後述するが、大まかに言ってsubtropicsで波数1と3が卓越している。
- (3) 更にプラネタリースケールの擾乱以外に、長波のスケールの擾乱も見出される。擾乱の振幅は必ずしも大きくはないが、トラフ・リッジとも各緯度にわたりsystematicに存在している。

以上の特徴を従来他の観測手段から知られている夏期成層圏循環の特性と比較してみよう。まず(1)については従来多くのゾンデ観測に基づく北半球の解析(例えばベルリン自由大学のdaily 10-mb synoptic chartなど)から良く知られているとおり、極の高温高圧をとりまく東風の存在は夏期成層圏の基本的特性である。しかしゾンデ観測に基づく解析結果は資料が必ずしも充分多くはないこともあって通常極を中心とするほぼ同心円状のパターンを示し、(2)で述べたプラネタリースケールの擾乱は下部・中部成層圏のdaily mapからは一般には検出されていない。この事情は、冬期成層圏極夜偏西風中に恒常

的に見出される大規模波動擾乱が主としては対流圏に励起源を持つ強制ロスビー波の上方伝播によるものであるのに対して、夏期成層圏東風帯状流中では波動エネルギーの上方伝播があり得ないことの結果として理解されている。

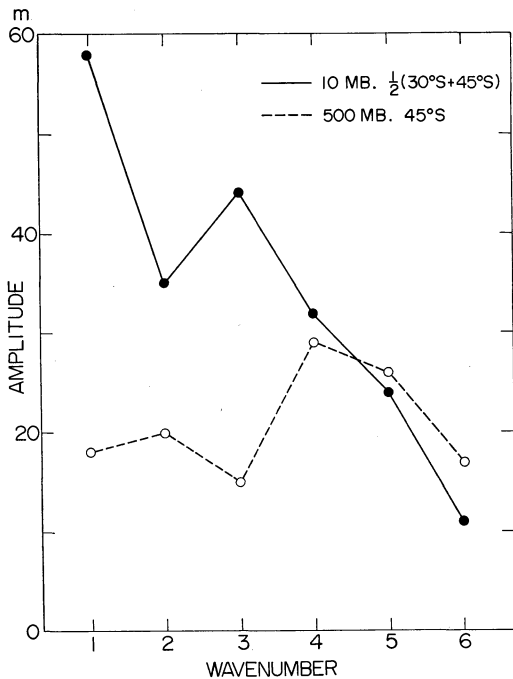
しかしながら一方、夏期成層圏波動に関する解析的研究も断片的ではあるがいくつか集積されている。ゾンデ観測に基づくものとしては、Scherhag(1960)が1958年7月の北半球20mbレベルで波数1の西進温度擾乱を発見、Muench(1968)も1963年7月の10~15mbレベルで東西風成分に同じく波数1の西進プラネタリー波動を検出している。最近になって、Fritz and Soules(1972)がNIMBUSⅢのSIRSのうち100mbより上層の気温を代表すると考えられるチャンネル8のradiance(赤外放射輝度)を用い、夏期南半球成層圏温度場に波数2ないし3の波動擾乱が卓越することを示している。更に、廣田(1972b)は北半球中低緯度の気象ロケット観測資料を解析し、1969年夏期の高度30~60kmにわたる上部成層圏・下部中間圏に波数2ないし3の非定常プラネタリー波動が存在することを示した。

これらの断片的知識を総合して考えると、その力学的機構はさておき、夏期成層圏に大規模波動擾乱の存在することは疑う余地のない事実であり、従ってVTPR資料の解析から得られた南半球10mb面でのプラネタリー波動は充分有意なものであると結論して良からう。

但しプラネタリー波動に関して常に注意を要することは定常波と非定常波の分離の問題である。この解析例は特定の1日のみについてであるため、本来分離は不可能

であるが、波数3について見れば45°Sでのリッジの位置が90°W(南米西岸), 30°E(アフリカ), 150°E(オーストラリア)にあり, van Loon and Jenne(1972)が1月の月平均200mbで, また Solot and Angell(1973)がGHOST balloonの統計を用いて年平均200mbでそれぞれ示した定常波のリッジの位置と良い対応を示していることから判断して, このVTPR解析結果から得られたプラネタリー波動は南半球の海陸分布に起因する定常波成分をも含んでいると推測される。この問題は, 将来VTPRの解析を長期間にわたり行うことによってより明らかにされるであろう。

ところが(3)で述べた10mb面での波数5程度の長波については, 従来波動伝播理論及び実測に基く解析のいずれの面からもその存在は支持されていない。長波はふつういわゆる傾圧不安定性に起因するものと考えられ, 対流圏中緯度で卓越するのが特徴である。事実第1図(b)に見られる如く, 南半球500mbでは長波のみが卓越している。成層圏と対流圏のちがいを明確に表わすために, 第2図には10mb及び500mb高度場のスペクトル分布を示した。波動の卓越緯度を考慮して10mbでは30°Sと45°Sとの平均値, 500mbについては



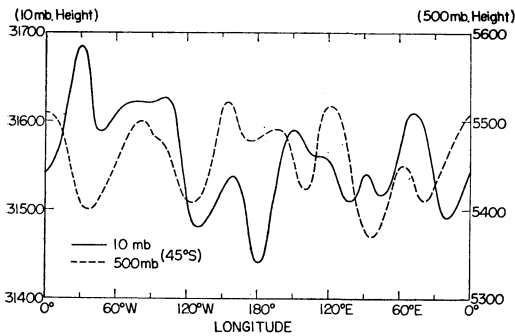
第2図 1973年1月9日南半球等圧面高度のスペクトル分布

45°Sでの値を用いてある。特定の1日のみであるにもかかわらず, 成層圏では波数1及び3のプラネタリースケールが卓越し対流圏では波数4ないし5の長波スケールにピークが存在するという特徴がきわめて明瞭に表現されている。この第2図で見るとかぎり10mbにおける波数4以下の短い波のスペクトルは急激に低下しているが, 4と5の振幅は対流圏のそれと同程度の大きさであり, 従って単なるランダムな誤差ではなく何らかの意味を持っているものと考えざるを得ない。成層圏における長波の存在が理論的にも観測的にも一応否定されている以上, この解析結果に現われた波数4~5の波の意味づけはVTPR資料そのものの中に求められるべきであろう。ひとつの可能性として考えられることは, VTPRの各チャンネルの測定値から統計的方法((Smith et al., 1972)により指定気圧面気象要素に換算する過程において, initial guessが不適当な場合に生ずる気温そのものの誤差と, 海面気圧一定という仮定から来る高度場のバイアスが残っていることの両方の理由で, 対流圏の影響が成層圏にまで誤って反映することである。もしそうならば, 成層圏の長波は対流圏のそれと位置的に相関を有しているはずである。このことを確かめるため, 45°Sに沿う500mbと10mb高度の経度分布を示したのが第3図である。この図からわかるように, 90°E~150°E附近を除けば, 10mbにおける長波のトラフ・リッジの位置は500mbでのそれと比較して10~15°程度西にずれた明らかな一対一の対応を示している。従って10mb面に存在する長波は, 単なるランダムな誤差から生じた見かけの波ではなく, VTPRの赤外放射測定値から垂直温度分布高度分布に換算する過程において対流圏傾圧不安定波動の影響がsystematicに混入したものと考えられる。この欠点は, 雲のある領域での垂直分解能の問題とともに, 今後解決すべき技術的課題であろう。

5. むすび

ITOS-DのVTPR観測資料を用いた南半球成層圏対流圏解析例の考察を通して, われわれはこの資料の有用性に関し次のような結論を導くことが出来よう。

まず第一に, 観測点の空間分布が一樣であることの利点として広域な海洋におおわれた南半球及び熱帯低緯度の循環解析に適していること, 第二には対象とする現象がプラネタリースケールであるならば精度(水平分解能)の上からも充分有意な情報が得られること, 第三には等圧面高度と気温の一応独立した二種の気象要素が与えられていることから, 大規模運動に伴う水平熱輸送・



第3図 45°S に沿う等圧面高度の経度分布

運動量輸送等，大気大循環の理解の上で基本的な物理量が少なくとも定性的には信頼出来る精度で求められるであろうこと，更には観測方法が定着したことによって質的に統一された data が今後長期間継続して得られることになり，個別の解析の域を脱して climatological な記述が可能になること，……等々があげられる。

一方，長波スケール以下の現象の解析にこの資料を用いることに関しては現在のところ依然として多くの問題が残されている。特に雲が直接介在していると考えられる現象については，赤外放射観測資料のみからどの程度有用な情報が得られるから今後の研究にまつところが大きい。一例として1974年2月に南西諸島海域で展開される AMTEX において，ITOS の観測資料を利用する計画がたてられている。その目的のためには，今後わが国でも data 使用者の側からの，それぞれの対象とする現象に応じた利用法の開発が是非必要になってくるであろう。

謝辞

VTPR 資料を用いる際して，気象庁気象衛星課の畑賢秀・土屋清両氏にいろいろ御教示いただいた。NOAA における VTPR の実際の処理方法や未発表の調査結果等については，NMC, Upper Air Branch の R.S. Quiroz

氏が筆者の問い合せに対し私信で親切に教えて下さった。記して厚く感謝の意を表したい。データのプロットは気象研究所の石川正勝氏（現在気象衛星課）に，また製図は篠田日奈子さんをお願いした。あわせてお礼申し上げたい。

文献

- 1) Finger, F.G., M.E. Gelman and K.W. Johnson, 1973: Compatibility of satellite-derived stratospheric temperatures and observed radiances with data from radiosondes and rocketsondes. (to be published)
- 2) Fritz, S. and S.D. Soules, 1972: Planetary variations of stratospheric temperatures. *Mon. Wea. Rev.*, **100**, 582-589.
- 3) 廣田 勇, 1972 a : 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. *天気*, 19巻, 283-292.
- 4) 廣田 勇, 1972 b : 夏期中間圏のプラネタリー波動. 中間圏電離圏大気力学 研究会報告. 19-23.
- 5) 小平 信彦・嘉納 宗靖, 1972: 気象研究 ノート 111号 (気象衛星特集号)
- 6) Muench, H.S., 1968: Large-scale disturbances in the summertime stratosphere. *J. Atm. Sci.*, **25**, 1108-1115.
- 7) Scherhag, R., 1960: Stratospheric temperature changes and the associated changes in pressure distribution. *J. Meteor.* **17**, 575-582.
- 8) Smith, W.L., H.M. Woolf and H.E. Fleming, 1972: Retrieval of atmospheric temperature profiles from satellite measurements for dynamical forecasting. *J. Appl. Meteor.* **11**, 113-122.
- 9) Solot, S.B. and J.K. Angell, 1973: The mean upper-air flow in Southern Hemisphere temperate latitudes determined from several years of GHOST balloon flights at 200 and 100mb. *J. Atmos. Sci.*, **30**, 3-12.
- 10) 土屋 清, 1972: VTPR とその資料について, *天気*, **19**, 575-577.
- 11) van Loon, H. and R.L. Jenne, 1972: The zonal harmonic standing waves in the Southern Hemisphere. *J. Geophys. Res.*, **77**, 992-1003.