

南半球の総観気象*

神 子 敏 朗**

1. はしがき

南半球の総観場が北半球と差異がある原因としては、南半球では海洋の占める割合が北半球よりはるかに多く、陸地もアンデス山脈を除けば、ヒマラヤ、ロッキー山脈に匹敵する高山がないことが考えられる。一般気象資料が少ないため各国それぞれモデルを設定して解析しなければならないし、特に南氷洋の解析の信頼度は低い。この欠陥を救済する手段としての気象衛星の役割は北半球よりはるかに大きい。オーストラリアでは我が国よりも早くから衛星資料の活用に努め、既にかなり多くの調査報告論文が提出されている。しかしまだ南半球の総観気象を完全に記述するまでには至っていない。

このような状態において南半球の VISITOR であった筆者が総括できるはずもないので、高低気圧、前線、月平均 500mb 面の状況、熱帯低気圧等、特にオーストラリア、ニュージーランド、南阿の人々が行なった研究から抽出し、ほぼ妥当と考えられるものを取り上げた。しかし前線については今でも論争の対象となっており、その間の経過を詳細に述べる。なお、26か月周期を含む成層圏の気象、南極大陸の気象の大部分、Southern Oscillation は割愛した。

2. 高低気圧の移動・分布・発達

IGY 以前における状況については多くの人々により報告されているが、Taljaard (1967) が行なった IGY 期間中の1957年7月～1958年12月の18か月間の地上天気図、500mb 天気図による調査が、もっとも多い気象資料に基づいているので代表的である。ただし彼は、IGY 期間中でも捕鯨期間以外は解析の信頼度が低く、また18か月間では一般的結論は得られないと付け加えている。

* The Outlook of Synoptic Meteorology in Southern Hemisphere

** T. Kamiko 気象予報課
—1969年8月30日受理—

1) 高気圧

かなり明りょうな高圧帯が南緯23～43度間にあり、半球をとりまいている。しかし高気圧セルの多発域はこの中心緯度より赤道方向に変位し、特に顕著な区域は西経180度～100度の太平洋、西経0度～15度の大西洋、東経90度～150度の印度洋、オーストラリア東部である。頻度の少ない所は大陸の西海岸である。南緯45度の緯線と南極大陸間の南氷洋（印度洋、大西洋の部分）では高気圧の中心は存在しない。南太平洋南部、南大西洋南西部には高気圧があらわれるが、頻度は月により季節により変動する。年中低気圧があるロス海には稀にしか高気圧は出現しない。なお西南極大陸（西経）ウェッデル海には高気圧が存在する。東南極大陸（東経）は高地のため気圧の海面更正値がなく、地上解析は行なはなかつたが、500 mb 面から推定するとか、または仮温度を何等かの方法で求め、海面値を算出すれば、南極大陸全体が高気圧性循環の区域となるであろう。

夏、亜熱帯高気圧の軸が30度より北に位置している部分は大西洋のみであるが、冬は30度以北に位置する部分が多く、オーストラリアの部分における変位は10度で最大である。二つの種類の高気圧があって、寒波が吹き出すとき、亜熱帯高気圧が南に伸びて、リッジが強まる形態としてあらわれるもの、ブロッキング高気圧として高緯度に拮がるものがある。後者のうちニュージーランド南東部に中心をもつ高気圧が顕著である。なお南緯50度以南にあらわれる高気圧の面積は小さい。

2) 低気圧

i) 発生地

一般に南緯35度～55度間の緯度で発生するが、例外として、アンデス東側の亜熱帯、さらにその東の大西洋、西経180度～120度の南太平洋北西部がある。また夏や移行期（春、秋）には南阿およびその近傍の印度洋にも多く発生するが、一般に大陸の東側の方が西側より発生率

が多い。中緯度帯においては春、夏、タスマン海、タスマニアの南、ニュージーランドに発生するものが多いが、南米東部の南緯45度~50度間には発生しない。南極大陸をとりまく近傍の海洋は、発達し終った低気圧、閉塞低気圧の場である。これも月、季節、年により若干の差はある。

ii) 中心の分布

南極大陸の周辺がもっとも多く、大陸沿岸のうち、湾をなしている部分に半分以上あり、岬や海洋へ凸出した部分では少い。10月ロス海東部は最も多く、ここは北半球の冬におけるアイスランドやアリューシャンのような低気圧の墓場に相当する。夏および移行期、大陸の亜熱帯に当る南阿、マダガスカル、西、北西および北東オーストラリア*、南米に heat low があらわれる。冬南阿、マダガスカル、西部オーストラリアに低気圧があらわれるが、南緯25度あたりの南米のものが顕著である。これらは山脈の風下にあらわれる低気圧または発生期の低気圧の場合もあり、南米の低気圧は切離した寒冷低気圧の場合もある。注目に値する顕著な事実は頻度の多い区域がスパイラル状の分布をしていることで、一つは南米から南東に向い、印度洋に面する南極に伸び、他の一つは南太平洋北西部からニュージーランド東部を経てメリーバードランド島に伸びる。南緯30度~40度間のチリの海岸に切離低気圧の地上に達するものが現はれるが、これは高圧帯が40度以南にあるときの東風帯内の風下低気圧である。タスマン海は各季節ともしばしば低気圧の場になり、切離した上層低気圧を伴っている。

iii) 半球平均による高低気圧の南北分布

夏には低気圧の発生する区域は冬より若干南偏し、45度付近にゆるやかな高極がある。22.5度あたりに第2次の極があり、これは熱帯低気圧による。25~40度間では冬は夏より多くの低気圧が発生し、27.5度における発生数は夏のその2倍である。

低気圧の頻度は夏には22.5度と62.5度に高極があり、37.5度および南極大陸に低極がある。なお亜熱帯の高極の位置は高圧帯の11度程北にあたる。冬は62.5度のみ一つの高極があるが、夏の周極トラフに伴うほど顕著ではなく、頻度は亜熱帯から徐々に増加し、30~50度間においては夏の頻度よりわずかに多いくらいである。南極大陸で低気圧は稀である。

* Taljaard は熱帯低気圧は取り扱っていないと述べているが、heat low が熱帯低気圧の場合もありうる。

iv) 高低気圧系の経路

IGY 期間中の9か月間の経路を Taljaard and Van Loon (1962, 1963), Taljaard (1964, 1965) がそれぞれ提出しており、ここでは典型的な経路について記す。

イ) 高気圧 追跡の困難なものが多いが、移動方向としては、大部分弱い赤道成分をもつ東である。南向きに進行する場所が三つあって、冬の南阿の南西岸、オーストラリア、夏のチリ南部海岸沖合で、おそらく上層の平均の谷の前面を進行するさいに起るものであろう。亜熱帯高圧帯の南における移動速度は40~50度間にある低気圧の速度と同じである。しかし冬や初春、ニュージーランド南東部に発生するブロッキング高気圧は別である。初春および春高気圧の経路がオーストラリア東部で二つに分岐し、一つは珊瑚海、ニューカレドニアに、他の一つはニュージーランドを横切る。南極大陸から中緯度を経て亜熱帯に達する高気圧は減多になく、ウェッデル海から南大西洋を北東進する高気圧があるが、亜熱帯には達しない。

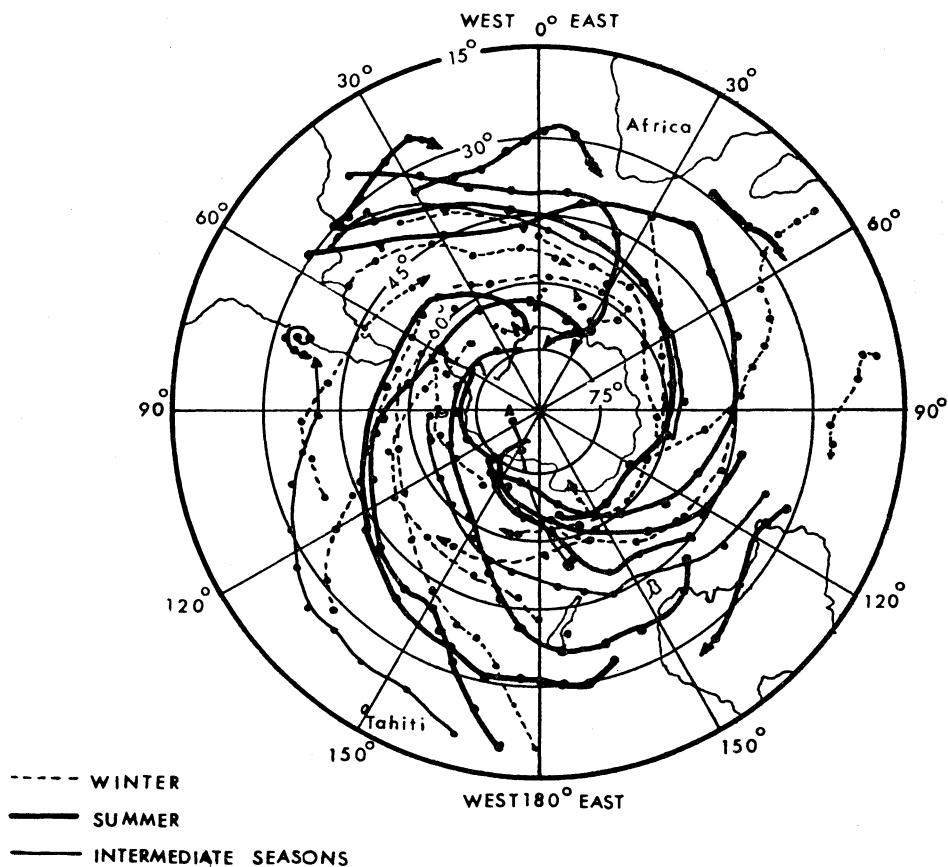
ロ) 低気圧 代表的な経路は第1図に示され、移動方向は主として東南東であり、周極トラフの場では南東ないし南または南南西に向う。南西太平洋では東または東北東に移動し、平均のトラフの後面を移動する場合に相当し、トラフの東部において南極大陸に向う。同様の方向すなわち東または東北東の経路はタスマン海と夏のオーストラリア南東部に見られ、切離低気圧の場合である。この区域の南の方では南向きの経路をとりロス海の墓場に向う。ブラジル東岸およびタスマン海を出発する低気圧はスパイラル状の経路をとる。なお年により高低気圧系の位置、経路に差があることは、北半球における経験と照し合せればあり得ることで、常に上記の経路をとるのではないことを銘記すべきである。

3. 月平均 500mb 面の総観状況

これについては IGY 期間中の資料により Van Loon (1965) が提出している。高層観測資料が少ないので 500~1000mb の比厚の解析から 500mb 面の高度場を作成し、限られた期間のものである。

地衡風の月平均値の南北分布によると、冬の極大風の値は夏よりも20%位小さく、プロフィールはなだらかで、極大の位置は冬のある月から次の月えとかなり変動する。しかし春になると極大は顕著になり、30度~60度における風の分布は夏まで同じ状態にある。これは海洋の温度が保存されており、南極大陸が極向きの温度傾度を強める役割を果しているからである。35度~55度間に

TYPICAL CYCLONE TRACKS



第1図 1957, 1958年における主な低気圧の経路
破線は冬の低気圧, 太い実線は夏の低気圧で細い実線は移行期の低気圧

おける日々の帯状示数から算出した西風の最大は夏が20 m/sec, 冬が16.6m/secである。冬のある二か月間の最大値は夏のある二か月間の平均値にも達しない。また夏の最低値でも冬の平均値よりはるかに大きい。冬における変動は大きい。

i) 相対角運動量の分布

相対角運動量を5度の緯度帯, 1 mbの厚さの気層について次式により計算する。

$$M = \int_{\varphi}^{\varphi+5} A \bar{u}_{\varphi} a \cos \varphi \cdot \frac{dp}{g}$$

ただし A は緯度帯の面積, \bar{u}_{φ} はその緯度帯における平

均帯状風, a は地球の半径である。

上式から各緯度帯における月平均値を求め, 北半球と南半球の南北分布を比較した。それによると北半球における西よりの相対角運動量の極は, 夏は38度, 冬は31度にある。一方南半球では夏は43度, 冬は28度にあつて, 南半球における変位は北半球よりはるかに大きい。

次に西風, 東風帯毎に半球平均の相対角運動量を算出し, 北半球, 南半球, 全球の値を第1表に示す。ただし海面および500mb面のみについて算出した。それによると

- 1月における全球の値は7月よりも25%大きい。

第1表 半球平均の相対角運動量 単位 10²⁸g·cm²/sec

	海面				500 mb			
	東風		西風		東風		西風	
	1月	7月	1月	7月	1月	7月	1月	7月
北半球	-22.59	-16.96	9.04	3.39	-8.48	-23.70	122.01	38.49
南半球	-19.93	-29.21	21.57	25.83	-9.76	-7.05	87.77	129.97
総量	-42.52	-46.17	30.61	29.22	-18.24	-30.75	209.78	168.46

2. 海面と 500mb 面における西よりの角運動量の和は1月は南半球よりも北半球の方が20%位大きい。7月には南半球は北半球の4倍である。

ii) 南北方向の質量輸送

リッジ、トラフの軸が緯度圏と交わる点における高度を読みとり、その差を求め全球についてリッジからトラフの差のみについて加える。それを $|\sum(R-T)|$ として表現すれば、 $|\sum(R-T)|$ はある緯度圏に沿う高度差の総和となり、南北方向の地衡風は次の式で示される*。

$$|\bar{V}_g| = \frac{g}{f} \frac{|\sum(R-T)|}{2\pi a \cos \varphi}$$

緯度圏の長さの weight を考慮し \bar{V}_g に緯度の cos を乗じ、その南北分布を調べた。それによると夏には南半球における南北輸送は北半球より大きく、差は50度で最大で北半球における輸送は南半球の72%である。

冬はすべての緯度で北半球の方が南半球より大きい。その差は夏における両者の差に比しずっと小さい。また40~45度では南半球の南北輸送量は北半球の90%に相当する。30~60度の緯度帯で半球平均 (\bar{V}_g) からの偏差を経度10度ごとに求めればトラフ、リッジの位置が推定できる。それによれば全年を通じ南太平洋にリッジがあり、夏には西経180~170度当りに第2のリッジがある。冬にはトラフはオーストラリア西方の印度洋にあり、春になるとさらに西に変位し、ニュージーランド付近にも別のトラフがあらわれる。夏のアフリカ南西部のトラフは顕著であるが秋になるとアフリカ南方に変位する。

4. 気象衛星資料による天気図解析

気象衛星のなかった時代においては、南半球の低気圧の性格について色々の説が唱えられた。Palmer は発生期は波動低気圧であるとした。しかし Gibbs は前線を伴っていないと主張した。また Langford は、いわゆる

低気圧族は南半球には存在しないとした。Clarke はオーストラリア地方の前線は低気圧の発達に伴って発生するとの説を述べた。これら混乱または相反している説を、Gibbs (1959) が総括し天気図解析のためのモデルを仮定した。すなわち南半球の中高緯度の低気圧は低緯度において前線を伴わないうずとして発生し、中緯度の西風帯まで南よりの経路をたどる。その後南極大陸をとりまく低圧帯に達し、停滞衰弱する。また二次的低気圧が中緯度低気圧の近傍に発生し、中緯度西風帯の北縁に向かって北東進する。

このモデルは気象資料がないため真偽の程を判定しにくい。気象衛星の資料だけで天気図解析を行なう方法を Martin (1968) が提出した。彼はマッコリー (54°30'S, 158°57'E) とキャンベル (52°33'S, 169°09'E) のデータと衛星写真、HRIR にあらわれる雲パターン、その特性などとの関連を調べ、データの無い南氷洋の解析に適用することを試みた。すなわち第2表に分類された雲パターンと地上気象要素、500~100mb 比厚の平年値からの偏差、500mb 面の高度、温度、湿度、風速、風の垂直分布との対応を求めた。そこで1966年7月29日~8月4日について、一般気象資料も併用して12時間おきに地上天気図を作成し高低気圧、前線の状況を調べた。なお衛星の資料は AVCS モザイク、HRIR である。彼

第2表 雲パターンの分類

synoptic-scale	meso-scale
うず	スパイラルのコア、スパイラルバンド、スパイラルの前面、後面、三日月型またはコマ状
バンド	温暖前線帯、または寒冷前線帯、前線後面、または前面
対流性	バンド状、非バンド状
層状	solid, broken
巻雲状	連続した狭いバンド、めいりょうな縁辺をもつ雲層、線状の筋雲

* この表現は正確ではないが、南北方向への空気の移動量の尺度としたものである。

の得た結論は Rutherford (1964, 1966) の提出した結果と同じものが多く、また北半球においてほぼ常識となつているものが多いが、一応総括の意味で次に記す。

1) 南氷洋における大気の熱的、力学的構造は大雑把ながら衛星の資料だけで推定できる。

2) 寒冷、温暖、閉塞前線および高低気圧等組織化された循環はそれらに伴う雲パターンから推定できる。また低気圧の強さや成長段階は Brightness, 雲パターンの組織化の度合により判断できる。

3) 上層のリッチは層状の雲、トラフは対流性の雲パターンを伴うという事実を利用し、長波の振巾、位置を求めることができる。

4) 南半球においても個々の低気圧、前線に伴う雲パターンが持続性をもっているため、低気圧、前線は割合寿命の長いものであるという今までの知見が確認された。

5) 海洋上で弱い弱中の低気圧は低層の対流域内にある低気圧性のうずとしてあらはれる。流水上では曲がったフック形になる。

6) 前線上の波動、前線上に発生する三日月型雲パターンをもつ波動、前線の後面に発生する三日月型雲パターンは南半球に特有のものである*。

Martin の得た成果は現業作業に役立つが、Zilman (1968) はそれをもっと量的にした。彼は雲のうずが存在する場合におけるそれに対応する地上低気圧の示度、500mb 面の低気圧の高度、500mb 面にある寒気の強さ、またセル状雲パターンが存在する場合における 500mb 面ならびに成層圏の高度、地表気圧等を平年値からの偏差値として表現した表を作成した。ただしこの中で問題になるのは雲パターンの evolution (推移) と無関係に決定したこと、一般気象資料がない区域における平年値は信頼度が低いこと等である。

次に Streton (1968) は南半球の低気圧、前線系、赤道収束帯および流氷の消長を論ずるために、衛星写真のシリーズに Multiple Exposure Technique** を施して作成されたある期間の平均雲量分布を利用する例を提示した。彼の結論は次のとおりである。

1) 1967年10月前半雲量の多いバンドは本期間中の諸低気圧の経路を総合したものと一致する。

2) 2か月ないし4か月間の平均雲量分布は低気圧中心の分布***とよく一致する。

3) この種の手法は南半球の大循環の特性を知るうえに有益である。

5. 前線—オーストラリアにおける論争

4. の初めに述べた Gibbs の総括は大胆、あるいは非常識と感ずる読者があるかも知れない。しかし定義の仕方によってはそのようにもなる。また如何に稠密な資料が与えられても、解析者により異なった前線解析が行なはれるという実状がある。一方大気の状態を支配する要素としての重要性を考えればあまり問題にしなくてもよいとも考えられる。Gibbs は更に追討ちをかける。古典的な前線が存在することは否定しないが、前線と同じ程度の重要度や頻度をもつ非前線のラインが存在する。また前線を維持する垂直面、水平面内の変形場は低気圧に付ずいし、前線と同一速度すなわち寒気と同じ速度で動くことは滅多にない。従って真の前線はありえない。しかし実際には前線解析における二つの学派がある。一派は南北に他の派は東西に描画する。前者の前線はいわゆる meridional front と呼ばれ 亜熱帯高圧帯の二つの移動性高気圧間の変形場にあるが、前線の定義は満足していない。これは谷線であって前線ではない。

以上は極端な言い方をすれば Gibbs の哲学であるが、オーストラリアの気象人が全部彼の意見に従っているわけではない。

次に実際の前線または類似現象について述べる。夏にはオーストラリアの南の海岸は陸地に対する冷源となり、海岸線に前線が発生し (coastal front と呼ぶ)、数百哩もの距離を内陸に向かって移動する。この移動に伴う温度降下は cool change と呼ばれ、Berson 等 (1957, 1959) によれば、地表およびその近傍における不連続現象は single の場合と complex の場合がある。single change ならびに後者の leading change (最初の変化現象) は coastal front に発生する気配があるが、これらに伴う pressure jump を説明できないので、Tepper の説を準用し、逆転面に発生するものであろうと言っている。

一方 Clarke (1963) はこの種の現象に次の解釈を与えている。

1) 最初は寒冷前線がトラフに伴って陸上を北東に移動する。

2) 次第に寒冷前線に伴う気圧場が定常的になる。しかし地表の風シア(前面が北西風、後面西風)で示され

* 北半球においても同様な現象は認められている。

** 反覆露出法

*** 2., 2), ii) で紹介した Taljaard の結果を利用している。

る“前線”^{*}は移動しトラフは西の方に残る。この場合“前線”の両側の温度傾度は弱まる。一方主な傾圧帯はトラフの近傍にあって前線が新たに発生し移動を始める。また最初の“前線”はまもなく消滅するが、午後雷雨の発生を起すことがある。冬、オーストラリアに達する前線については神子(1963)が調査し、強い傾圧場に付ざしい特徴として次の現象が見出されると述べている。

- i) 風向の急変を伴うシア一線。
- ii) 水平温度傾度が顕著な前線または前線帯 (Godske (1957) の基準に合致する)。
- iii) 湿球温位により見分けられる気団の境界。オーストラリアでは冷たい空気は海洋から侵入してくるので前線またはシア一線の通過とともに、下層では露点温度が増加し、湿球温位の傾度は小さい。
- iv) 中層雲のバンドの後縁では下降気流があり、湿度や湿球温位は著しく減少し、前線面の上部に気団の境界があらわれる。
- v) 大雑把にはオーストラリアにあらわれる切離低気圧に伴い、暖気の閉塞現象が存在すると言える。しかし暖気と寒気の境界はかなり不明りょうで下層500m以下では、夜間強い逆転がありまた気団は急激に変質しているので転移層は trowal のような形をしているに過ぎない。

6. 前線—南阿における前線の研究

Taljaard, Schmitt, Van Loon (1961) は北半球の人人が提出した前線についての報告を検討するとともに、IGY 期間前の南半球の気象資料により、前線の総括をした。その内容は非常に参考になるので抜すする。

1) 昭和25年以降、昭和36年までの間に公表された前線に関する研究概念

古典的前線や気団説に対する支持または批判の度は異なっても、前線の存在を否定するものはなかった。しかし前線の構造や強さには著しい変動があること、大規模循環系の推移を支配するものとしての前線の占める位置は低く、大気傾圧性の方が重要である。

Reed (1955) は「古典的な“低気圧発生に関する極前線モデル”では前線帯の構造や状態を十分に記述できない。前線と呼ばれているものは不連続面に関する定義に従う前線ではなく、単に割合強い温度のコントラストをもつ場にすぎない。また低気圧が発達するさいにその風の場合に存在する変形場のため、前線が発生し強まる」と

述べている。

また Bleeker (1950, 1960) はノルウェー学派による前線、低気圧モデルを次のように批判した。「前線に伴う上昇は強い傾圧性の場に見出され、上部大気中の非地衡運動が前線に伴う循環系の構成に重要な役割を果たしており、前線面滑昇運動という考え方は改めるべきである。またしばしば見られる pre-cold front cooling, post warm front warming こそ重視すべきで、真の前線面自身の重要性は2次的である。実際には寒冷前線の通過直後には前線性逆転は見出されず、かなり離れてから逆転が見出され、湿度は逆転の底では高く、逆転の上では著しく減少し、暖気の滑昇は存在しない。

2) 前線の基準の現実的設定

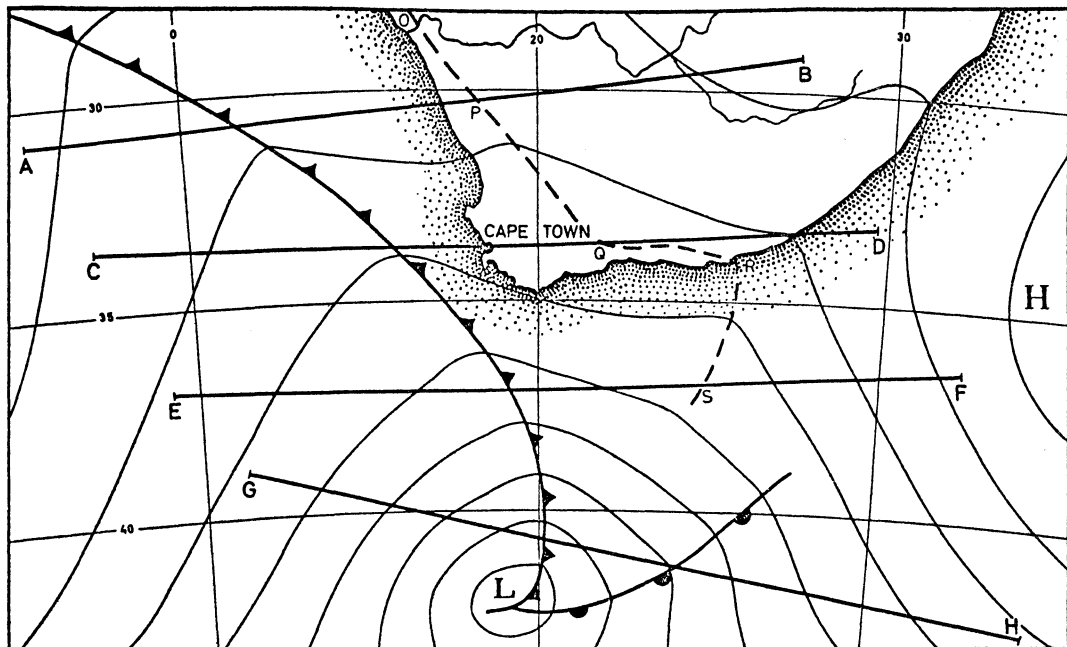
このような問題点があるにもかかわらず、IGY 期間中の地上天気図を解析するため次のような基準を設けた。すなわち前線とは狭い傾斜した層で最少とも3軒まで達し、その層を水平に切断した面上で温度は亜熱帯で3度、また中緯度および極地方では3~5度急激に変化する。ただし層の巾については規定しない。

3) 亜熱帯、中緯度、亜南極、南極にあらわれる前線強度、発生回数を除くと、本質的には同じであるが、一応各区域にあらわれる前線の差異について述べる。

i) 亜熱帯 (25~40度)

ここでは温暖前線が減多になく、寒冷前線の前面における冷却という現象があり、他の区域と異なる。冬には35度以南では強い傾度をもつ傾斜した層が高層まで及ぶこともあるが、一般にその強さは中緯度と同じである。ここにおける特徴は1軒ないし2軒の高さに持続性の強い沈降性逆転が存在することで、海洋の東部では低くまた顕著で、南米や南阿付近ではオーストラリア、南西太平洋よりも顕著である。このため寒冷前線が通過するとき各区域により異なった現象があらわれる。冬、亜熱帯では海上や大陸で放射冷却をうけた冷たい湿潤な薄層の空気の上に乾燥した空気が沈降している。もし逆転層の傾斜が小さい場合に厚い空気層から浅い層の方に移流がおこると、温度降下が観測され、その時間的、空間的分布は一樣である。また逆方向に移流がおこるときには昇温が観測される。これらは初歩的な事実ではあるが、しばしば寒冷前線または温暖前線の通過と誤解される。これら傾斜する逆転層は700mb または600mb 面にまでは到達しない。また不安定線、スコールライン、moisture front、海陸風前線、cool change 等の非前線現象と真の前線を区別する方法は述べないが、一応湿球温位の分布

* 衛星の雲写真によれば閉塞低気圧に伴う寒冷前線と解析される。



第2図 a 亜熱帯におけるモデル化した低気圧 OPQRS は leader front の位置

状態から判別することを勧める。

亜熱帯における前線モデル

冬の南阿に見られる経過を総合したモデルを第2図a, b に示した。現場作業では、温暖前線を亜熱帯にまで延長する傾向があるが、高層資料によればその転移層は低く、6. の2) で述べた前線の基準に該当しないので、この図では温暖前線を中緯度に限定させてある。ここで特徴を述べると、

1) 暖かい大陸性熱帯気団が涼しい海洋性熱帯気団に変わる leader front OPQRS, これは寒冷前線の前面にあって準逆転層の forward boundary であり、その逆転層は前線の近くでは高く、亜熱帯の沈降性逆転に伴うもので前線ではない。しかし地上の気象要素の変化を見ると海洋性熱帯気団、海洋性極気団の差（前線の両側）よりも強い不連続がおこる。

2) 中層雲を伴う陸上の逆転

これは北よりの風の場の中において、トラフが北に伸びている場合に顕著であり、中層雲を伴っていることから温暖前線または閉塞前線の接近と誤り易い。しかしこれは貿易風逆転に伴うもので冬の特性である。この逆転下の空気 (650~600mb) は十分湿潤で、南向きの気流が収束、上昇するさいに雲を発生せしめている。

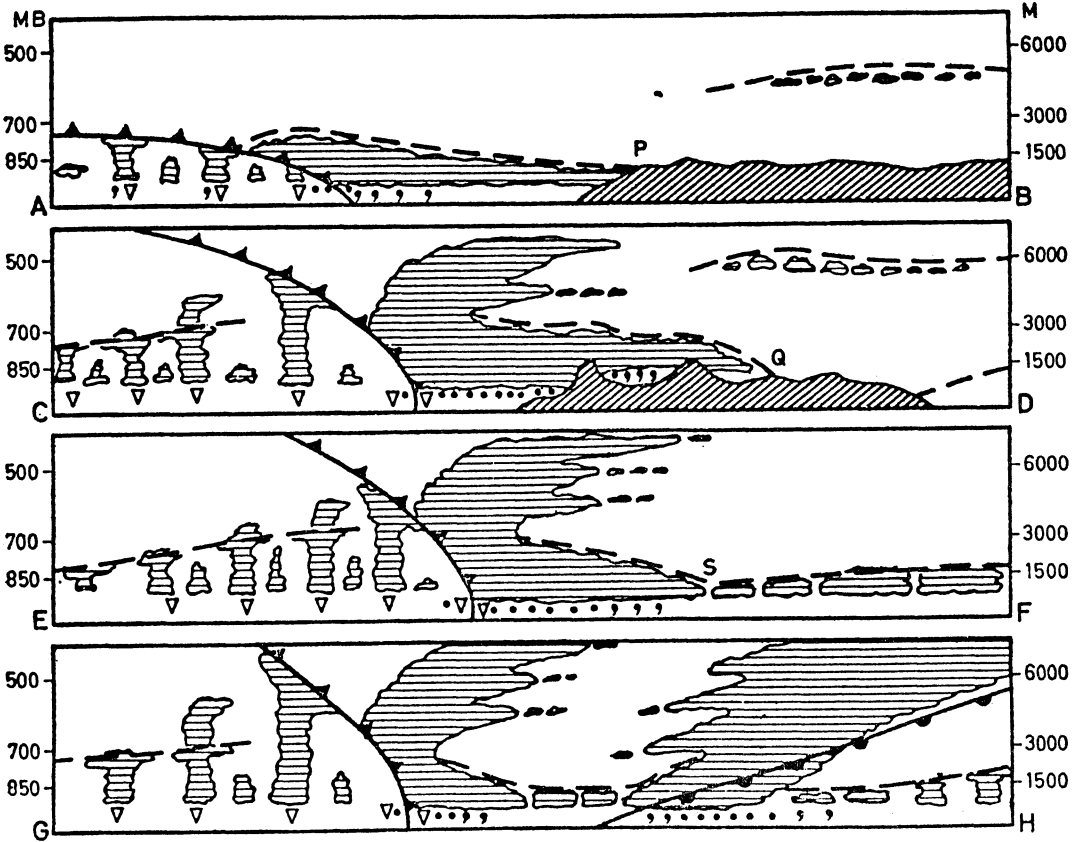
3) 寒冷前線背後の海洋性極気団内にある沈降性逆転。

中緯度帯

大西洋、印度洋ではほぼ南緯40~55度、太平洋で40~60度の緯度帯である。南緯40度当りは亜熱帯の逆転が卓越する場と、垂直温度分布の変動が大きい場の境界にあたる。南の境界は夏になると海面水温の変動が小さい区域を南に控えている所である。この地帯は西風帯の中心域で低気圧系が発達し東南東に移動する。上層の温度は日日著しく変動し、前線が顕著であることを暗示する。また海面水温の傾度が強く、夏には 500~1000mb の比厚の強い傾度があらわれる。このため空気の南北運動により海面ばかりでなく高層では温度が著しく変化する。

亜南極帯

ここは海面ばかりでなく空気の温度が一様で Van Loon (1955), Vowinckel (1957) により対流圏の下半分が準正圧であることが明らかにされた。北の境界は大西洋、西印度洋とも50度、太平洋は55ないし60度で南の限界は南極海岸である。ここでは表面温度や露点温度の不連続から前線を決定することが難しく、気圧、風の場の不連続雲分布、降水が有効な手がかりとなる。温度の変化は観測誤差の範囲内のことも多い。大部分は閉塞前



第2図b 第2図aのAB, CD, EF, GHに沿う断面図
破線は逆転または安定層, 前線や降水は通例の記号で示す。

線のようで、また大部分の気圧系は前線を伴っていない。夏には捕鯨船の観測があるので、上記の事実を知ることができるが、冬は資料がないので断定できない。しかし次のことだけは判っている。すなわち大陸の氷原と北の流氷原の間に温度ならびに湿度の強い傾度があり、南極海岸の観測所の高層気温の標準偏差は夏のその2倍である。

南極大陸

冬大陸をとりまく流氷上では、氷帽や氷崖上と同じく、強い放射による強い逆転があり、表面温度の代表性は全くない。ここでは前線と混同する数種の不連続が発生する。夏に開水面が近くにある場合、南東よりの katabatic wind が北よりまたは西よりの風になると、温度や湿度が増加する。このような風の逆転は亜南極帯にある低気圧が西または北西から近づくときに起る。地上気象要素の変化や雲の増加を見ると、温暖前線の通過のような印象を与えるが、暖い海洋性気団が冷たい乾燥し

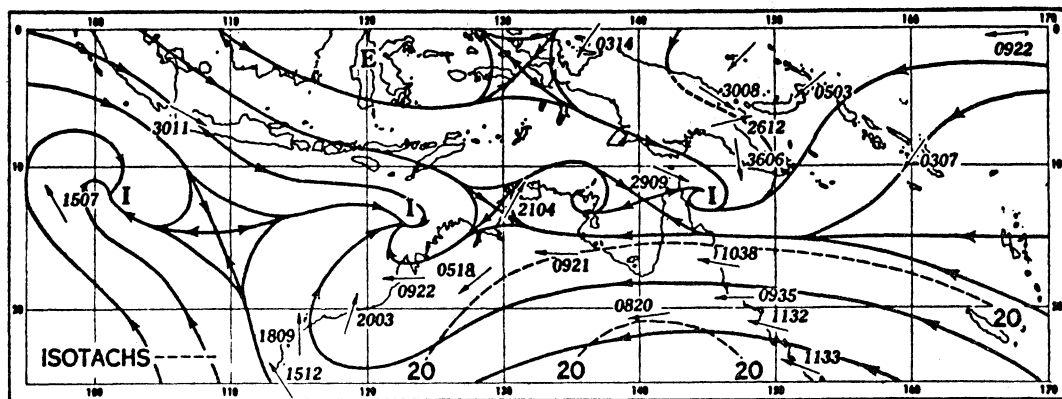
た空気と交代するのは地表近くの層に限られている。また高層における昇温は徐々に進行し、前線の定義は満足されない。他の種の偽前線は、放射により発生した逆転が強い風の中にある乱流により突然破壊される場合に生ずる。また急に雲量が増加すると下向き長波放射のため地表温度が急激に上昇し、温暖前線の通過と間違ってしまう。逆に強い katabatic wind が海洋性の気団をおしのけるさいに、寒冷前線の通過と解釈される場合もある。しかし真の前線通過は高層観測資料から見出すべきで、深い層中の温度の急激な変化により決定される。

7. 熱帯低気圧

北半球よりも気象資料が少ないので完全には把握されていない。今後気象衛星の資料が活用され今までと異なった結果が得られるかも知れない。しかし今までに発表された論文により紹介する。

1) 赤道トラフと熱帯低気圧

一般気象資料に気象衛星の雲写真および雲解析を併用



第3図 850mb 流線図, 1963年1月21日00Z 実線は流線, 破線は等風速線 (ノット単位)

して Southern (1964) が下層に重点をおいて夏季の熱帯域の総観状況を調べた。期間は1963年1月18日から24日までで、赤道トラフが広い範囲にわたり南進し、北部ではモンスーンに伴う雨が降り始めた。熱帯低気圧がトラフ内にあり、あるものは警報を発表する程の低気圧に発達した。第3図にはこの期間中のある日の850mb面の流線が示されている。一般的な流れの場を見ると、東経100~150度間の南緯10度以北は西風で20度以南は東風となっている。この両者の間にトラフがありチモール海の南緯14度、東経123度あたりに熱帯低気圧があり、西南西に移動している。衛星の雲写真(省略)によるとコア雲の周辺に線状雲があって、それらは下層風中の南風、南西風、西風の合流を示している。別の低気圧がヨーク半島の東にあって南東に移動中で、北東風と南東風が収束している。

2) 南半球の熱帯低気圧の実態

Brunt と Hogan (1956) がオーストラリア周辺の熱帯低気圧について報告している。東岸低気圧(東経135度以東)、西岸低気圧(東経135度以西)に分け、それぞれ50年、38年間の資料に基づいており、第3表に月別頻度が示されている。ここでは一応12月から2月までを夏、3月から5月までを秋としているので、完全に夏、

第3表 熱帯低気圧の頻度 (10年当り)

種類	12	1	2	3	4	計
東岸低気圧	2	9	8	9	3	31
西岸低気圧	3	5	6	6	1	21
計	5	14	14	15	4	52

* いずれも10年間当りの値

秋にのみ、熱帯低気圧が存在することになる。この表にあるものと同程度またはそれ以上の強さの熱帯低気圧は大西洋に74個、北太平洋に211個あって南半球はやや少な目であることが知れる。

3) 地域分布

オーストラリアとその周辺を緯度5度、経度5度で構成する区域に分割し、それぞれの区域を通過した10年間当りの個数の分布図を月毎に作成した。それらによると12月にはニューカレドニアから西北西に伸びヨーク岬に向う軸を中心とする区域、西オーストラリアの北西岸およびその付近に頻度が高い。1月にはこの範囲が拡がり、頻度が増加し、2月にはタスマン海に拡がっている。第4図はこの月の分布である。3月にはタスマン海ではさらに南に拡がる。4月には北西岸の区域のものは狭くなり、頻度も激減し、珊瑚海でも頻度は少なくなるが区域はほぼ同じである。

4) 移動方向

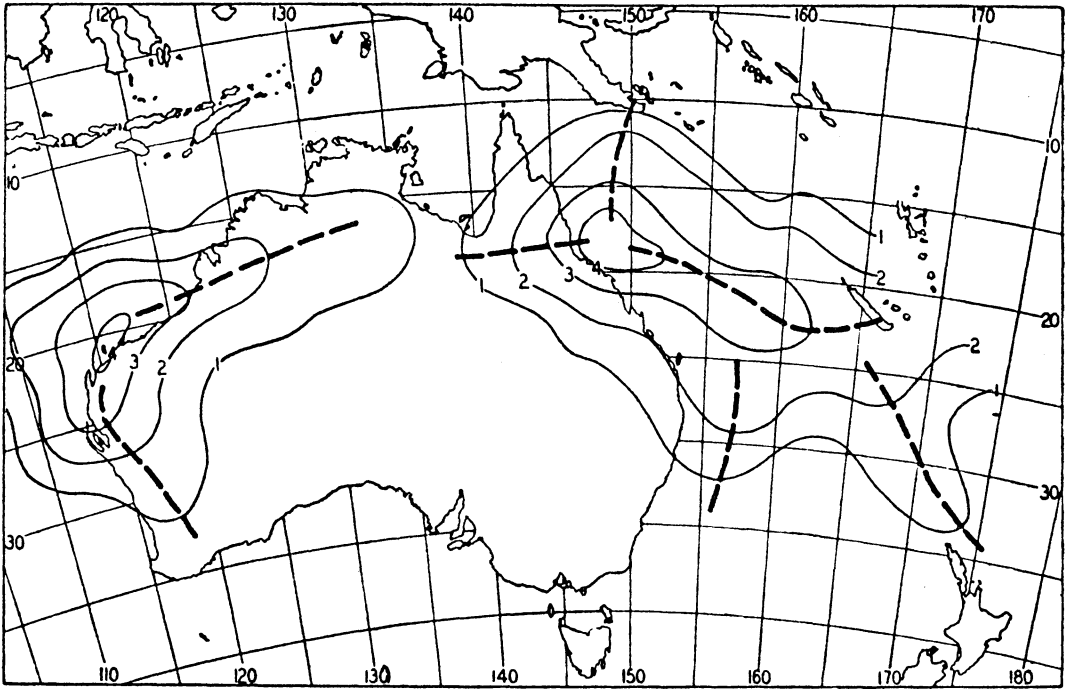
珊瑚海の低気圧は全シーズン主として南東に進むが、2・3月には南西に進むものがしばしばあらわれる。4月は南または南東に向う。これらの傾向は上層の西風の強さと密接に結びついている。西岸低気圧は月による変化が顕著ではなく、20度以北は南西、以南は南東に進む傾向がある。

5) 経路

海上における経路を見ると、半分近くは抛物線である。東岸低気圧は直進するものが同数くらいある。西岸低気圧の場合には、海岸を横切る前には直進することが多い。第4表に経路の型と頻度(%)を示す。

熱帯低気圧の構造

ここまでは Brunt と Hogan による調査であるが、



第4図 5度四方内を通過した10年間当りの熱帯低気圧の数(2月)太い破線は極大の軸を示す

第4表 熱帯低気圧の径路の型と頻度(%)

種類	東岸低気圧	西岸低気圧
拋物線	39	31
ほぼ直線	37	48
逆旋回	12	8
Cusp*	10	11
経路の重複	2	2
計	100	100

* ある点において不連続に変わる経路

次に Bond と Rainbird (1956) による構造の調査の概要について述べる。但し地上の観測資料およびレーダー写真に基づいたものである。

- 1) 南半球の熱帯低気圧は北半球のそれに類似している。
- 2) 1955~1956年の熱帯低気圧に関する限り北半球のハリケーンや台風程強いものはなかった。
- 3) 眼の直径が15~40哩位で、豪雨は雲の壁(wall cloud)の前面に降っている一例が観測された。

その他

- 1) Gabite (1963) によると、ニュージーランド北部、

北東部の熱帯低気圧は西経170度以西の南緯8度から18度の赤道収束帯に発生し、12月から2月までは西進し、他の月には東に向う。

2) 赤道以南の印度洋の熱帯低気圧についてはほとんどわからなかった。しかし最近 Johnson (1969) がAPT写真を利用して“モニカ”という熱帯低気圧とその経路を紹介している。モニカは1968年3月下旬モーリシャス島の東および南東海面を西南西に進行し、29日13時(グリニッチ標準時)にはロドリゲスを眼が通過した。そのさい中心気圧935mb, 最大風速74m/secを記録した。その後31日には向きを変え南東に進んだ。

8. オーストラリア地域における熱帯低気圧の発生と発達

Mcrae (1956) は熱帯低気圧と大気の成層ならびに200mbの流れのパターンの関連について調べた。

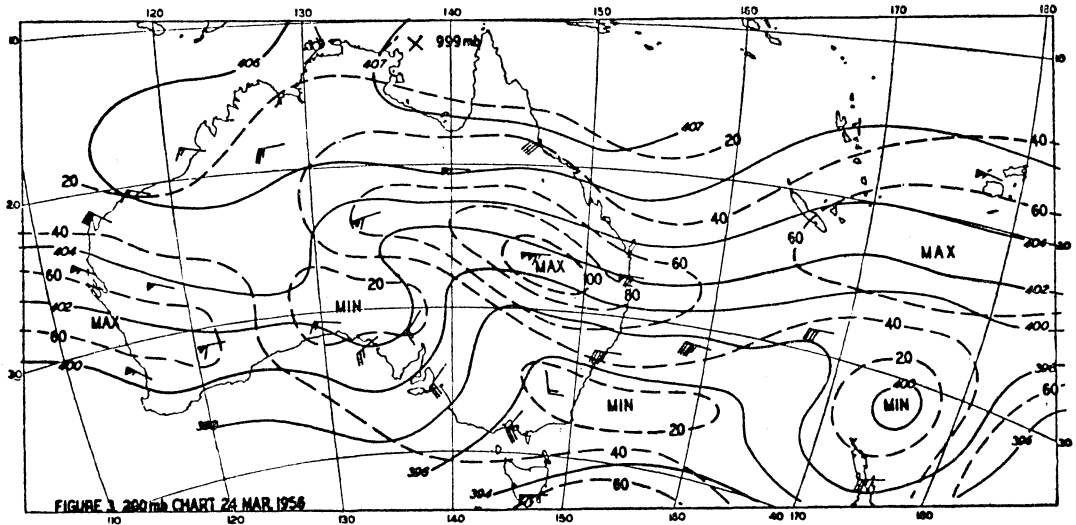
1) 潜在不安定との関係

各地の高層観測資料の月平均値により、潜在不安定度の月別分布が第5表に求められている。第3表と対照すると、潜在不安定な時期に熱帯低気圧が存在することが判る。

2) 200mb面における発散の分布との関係

第5表 潜在不安定の月別分布

地名 月	DARWIN	COCOS	TOWNS VILLE	PORTHEAD LANO	NANDI
1	×		×	×	×
2	×		×	×	×
3	×	×	×	×	×
4	×	×	×		
5			×		
6			×		
7			×		
8					
9			×		
10	×		×		
11	×		×		
12	×		×	×	×
緯度 (S)	12°26'	12°11'	19°15'	20°23'	17°45'
経度 (E)	130°52'	96°50'	146°46'	118°37'	177°27'



第5図 200mb 天気図. 1956年3月24日. 実線は等高度線(100呎単位), 破線は等風速線(ノット単位)

熱帯域は正圧であるから、ソレノイドは無視できる程小さい。渦度方程式中の緯度効果は無視すれば次の式が成立つ。

$$\text{Div } \mathbf{V} = - \frac{\mathbf{V} \cdot \Delta \zeta^*}{\zeta + f}$$

ただし \mathbf{V} , ζ , f は一般に使はれている記号。

* 実際は $\mathbf{V} - \mathbf{C}$ であるが、定性的に見積る場合、 $\mathbf{V} > \mathbf{C}$ ということから、 \mathbf{C} が省略されている。但し \mathbf{C} は渦度場の移動ベクトル。

ここで渦度を自然座標で表現すると、 $VK_s - \frac{\partial V}{\partial n}$ となる。但し V は風速であり、 K_s は流線の曲率、 n は V に直交し風向きに右側に向くようにとる。それから 200mb 面における流線等風速線のパターンから発散場を推定する。さしあたり安定度から見ると熱帯低気圧の発生に都合がよい南緯25度以北について発散分布を検討した。それによると一例を除き大部分の熱帯低気圧は亜熱帯ジェットの暖気側に位置し、その付近の流線の曲率は高気圧

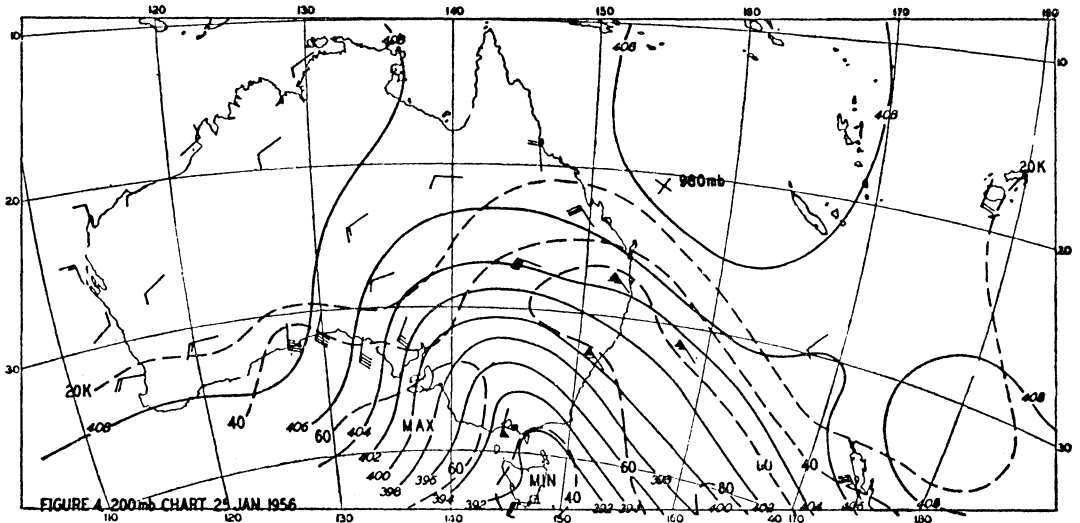
性でしかも下流に向い、高気圧性が増加し、風速も増加する。次に典型的な例により説明する。

i) 第5図は1956年3月24日の200mb 天気図で、熱帯低気圧の存在する×のあたりおよびその南は下流に向かって高気圧性曲率ならびに風速が増加し、発散場となっている。この日以降熱帯低気圧は発達した。しかし北西オーストラリアにあった熱帯低気圧が同様な風パターンに伴う発散場であって、最初は発達したが、後には埋積した例があった。この時にはジェット流は西オーストラリアを北西から南東に横切り、東オーストラリアに移動した前線に伴っていた。このため前線の背後にある高気

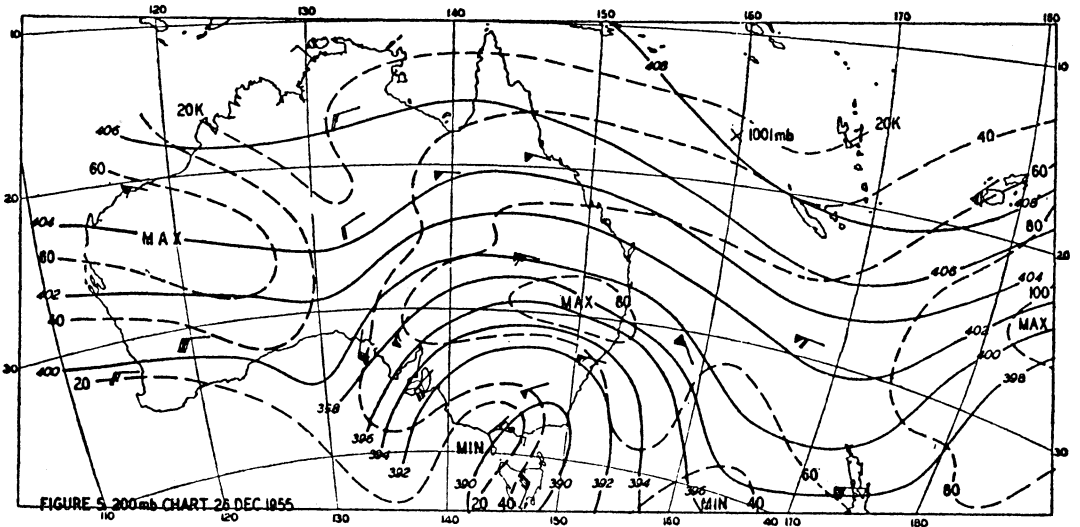
圧から乾燥した安定な空気が熱帯低気圧の下層に流れ込んだ。北西オーストラリアの熱帯低気圧についてはこのような経過に留意する必要がある。

ii) 第6図は1956年1月25日の200mb 天気図で東オーストラリアの風速ならびに高気圧性シアが下流に向かって増加しており、×にある熱帯低気圧の南に発散がある。このような場合はトラフの振巾が増大する場合と切離低気圧が存在する場合にあらわれる。またトラフや切離低気圧の発達中、高気圧の主軸が東西から南北の方向をとると共に発散域は南に移動する。

iii) 第7図は1955年12月26日の200mb 天気図で、熱



第6図 第5図に同じ。但し1956年1月25日。



第7図 第5図に同じ。但し1955年12月26日。

帯低気圧のある×の南や南東部では、高気圧性曲率、高気圧性シア、風速のいずれも下流に向い増加している。

上記3例のように発散がある場合、少なくとも最初は地上の熱帯低気圧は発達している。例外としてすでに存在している地上低気圧の北東側に発散がある場合があり、低気圧の上部から下降する空気が安定で、低気圧の発達が阻害される。また風速とパターンとの移動が comparable な場合には発散は大きくなく、熱帯低気圧はあまり発達しない。

総括すると1955~1956年間にあった19個の熱帯低気圧のうち、発達した14個に伴う場は上記3例のいずれかに類似した場に属し、200mb 面の北西風、北東風、西風の下部に存在している。5個の例外のうち1個は Riehl (1954) の提示した発散場(上部対流圏において赤道方向に移動する流れの中の発散)に伴っている。他の4例は資料のない区域に発生している。

その他 Mcrae は次のような結論に達している。

1) 熱帯低気圧の移動は対流圏上部の発散場の移動と同じである。

2) 熱帯低気圧が海面水温の様な海域外に移動する場合、または外側の気により暖核が破壊されると温帯性になる。夏の両半球における水温分布の比較によれば、熱帯低気圧は北大西洋、北太平洋の方がオーストラリア海域よりも赤道からずっと離れた所まで暖核であることが類推される。

9. 展望

端的に言えば、総観気象学は観測手段の開発・整備・強化に伴って発展してきた。このことは南半球でも例外ではない。しかし気象事業に従事する人の質、数とも北半球より劣っており、観測網も不備であるので、北半球の総観気象学に追いついてきたのが実状である。今後WWW計画の進行とともに観測網の整備に努力が傾注されるが、一般気象資料の不備は不可避で、依然として人工衛星に依存しなければならない。オーストラリアでは遅ればせながら6年前から数値予報の開発にのりだし、マーチン化を旨としている。問題になるのは現在試みている狭い範囲ならともかく、半球の予報を行なう場合、衛星の資料から初期値をどの程度まで正確に記述できるかということである。

次に解説では触れなかったが Southern Oscillation の研究で Troup (1965) が暗示した北半球と南半球の大気

の相互関係は多くの人に関心を寄せている問題である。但しその関係を知ると同時にあるいはその前に南半球の大気における質量、運動量、エネルギー収支が明らかにされなければならない。そのさきがけと見なせるものとして、Priestley (1951) は運動量の平衡を調べるさいに赤道と南緯30度間の海洋の資料により摩擦ストレスを算出した。また Obashi (1963) は IGY 期間中の南半球の資料により相対角運動の収束、および極向き輸送を調べ、相対角運動量の輸送に対する transient eddy の重要性、ならびに夏には相対角運動量の両半球間の交換に対し、停滞性うずが大きい役割を果していることを述べている。一方吉田 (1967) は資料の信頼度の高いオーストラリア域についてほぼ同様な調査を行ない、限られた領域にもかかわらず Obashi と大体同じ結果を得ている。

現在 Nimbus III号で実験されている SIRS (赤外分光放射計) が明年あたりから実用される段階にあり、笠原 (1968) が試みている全球の大循環のシミュレーション等の検証が可能となり、またシミュレーションを通じて両半球大気の相互関係も明らかにされるであろう。

この解説の作成にあたり、特に気象庁予報課の土屋技官に便宜と助言を、また気象研究所の飯田研究官に文献について種々教示して戴いた。また天気編集各委員の助言および激励に感謝するものである。

引用文献

- Berson, F.A., Reid, D.G., and Troup, A.J., 1957: The summer cool change of southeastern Australia I, Tech. Pap. No. 8, C. S. I. R. O. Div. Met. Physics., 1-48.
- Berson, F.A., Reid, D.G., and Troup, A.J., 1959: The summer cool change of southeastern Australia II, Tech. Pap. No. 8, C. S. I. R. O. Div. Met. Physics., 1-69.
- Bond, H.G. and Rainbird, A.F., 1956: Structure of tropical cyclones, with particular reference to 1955-1956 in the Australian region, Proceedings of the tropical cyclone symposium, Brisbane. 159-170.
- Brunt, A.T. and Hogan J., 1956: The occurrence of tropical cyclones in the Australian region, Proceedings of tropical cyclone symposium, Brisbane. 5-18.
- Clarke, R.H., 1963: Private communication.
- Gabite, J.F., 1963: The origin of tropical cyclones, Proceedings of interregional seminar on tropical cyclones in Tokyo, 53-58.
- Gibbs, W.J., 1959: Antarctic synoptic analysis, Antarctic Meteorology, 84-95.

- Godske, C.L., 1957: Dynamic Meteorology and Weather Forecasting, Amer. Met. Soc., Boston.
- Johnson, R.P., 1969: The development of tropical cyclone "MONICA" as seen from satellite photographs, *Weather*, **24**, 181-186.
- Kamiko, T., 1964: Detailed structure of two subtropical frontal zones, *Aust. Met. Mag.*, No. **46**, 54-75.
- Kamiko, T., 1964: A developing subtropical depression and its frontal structure, *Aust. Met. Mag.*, No. **47**, 1-14.
- Kasahara, A. and Washington, W.M., 1968: Thermal and dynamical effects of orography on the general circulation of the atmosphere, Proceedings of the WMO/IUGG symposium on numerical weather prediction in Tokyo, Japan Meteorological Agency, IV-47-IV-56.
- Martin, D.W., 1968: Satellite studies of cyclonic developments over the southern ocean, Tech. Rep. No. **9**, International antarctic meteorological research center.
- Mcrae, J.N., 1956: The formation and development of tropical cyclones during the 1955-1956 season in Australia, Proceedings of the tropical cyclone symposium, 1956, 233-281.
- Obashi, G.O.P. 1963: Poleward flux of angular momentum in the southern hemisphere, *J. atmos. Sci.*, **20**, 516-528.
- Priestley, C.H.B., 1951: Physical interactions between tropical and temperate latitude, *Quart. J.R. Met. Soc.*, **77**, 200-214.
- Riehl, H., 1954: *Tropical Meteorology*, McGraw-Hill, New York.
- Rutherford, G.T., 1964: A Tiros IV interpretation exercise over southern Australia, *Aust. Met. Mag.*, No. **46**, 1-16.
- Rutherford, G.T., 1966: Synoptic use of meteorological satellite data in sparse data regions, *Aust. Met. Mag.*, Vol. **14**, No. **4**, 133-151.
- Southern, R.L., 1964: Application of satellite data in the north Australian tropical region during the summer monsoon, Proceedings of the symposium on tropical meteorology, New Zealand Meteorological Service, 572-581.
- Streton, N.A., 1968: A note on multiple image photo-mosaics for the southern hemisphere, *Aust. Met. Mag.*, Vol. **16**, No. **4**, 127-136.
- Taljaard, J.J., Schmitt Wand H. van Loon, 1961: Frontal analysis with application to the southern hemisphere, *Notos*, **10**, 25-58.
- Talaard, J.J., and H. van Loon, 1962: Cyclogenesis, cyclones and anticyclones in the Southern Hemisphere during the winter and spring of 1957, *Notos*, **11**, 3-20.
- Taljaard, J.J., and H. van Loon, 1963: Cyclogenesis, cyclones and anticyclones in the Southern Hemisphere during the summer of 1957-1959, *Notos*, **12**, 37-50.
- Taljaard, J.J. 1964: Cyclogenesis, cyclones and anticyclones in the Southern Hemisphere during autumn, 1958, *Notos*, **13**, 31-36.
- Taljaard, J.J. 1965: Cyclogenesis, cyclones and anticyclones in the Southern Hemisphere during the period June to December 1958, *Notos*, **14**, 73-84.
- Taljaard, J.J., 1967: Development, distribution and movement of cyclones and anticyclones in the southern hemisphere during the IGY, *J. Appl. Meteor.*, **6**, 973-987.
- Troup, A.J., 1965: The southern oscillation, *Quart. J.R. Met. Soc.*, **91**, 490-506.
- Van Loon, H., 1965: A climatological study of the atmospheric circulation in the southern hemisphere during the IGY, Part 1, 1 July 1957-31 March 1958, *J. Appl. Met.*, **4**, 479-515.
- Yoshida, K., 1967: An assessment of the transport of momentum in the Australian sector of the southern hemisphere, Tech. Rep., **7**, International Antarctic meteorological research center.
- Zilman, J.W., 1968: Interpretation of satellite data over the southern ocean using the technique of Martin, Presented at the Seminar on the interpretation of meteorological satellite data, Melbourne, 1968.