

南米南部の気象について

中島暢太郎・近藤裕史

ATMOSPHERIC CIRCULATION OF THE SOUTHERN SOUTH AMERICA

By *Chotaro NAKAJIMA* and *Hiroshi KONDO*

Synopsis

Several features of the atmospheric circulation of the southern hemisphere are described in relation to the weather conditions in the southern South America. The wave number and the phase of planetary waves of the southern hemisphere are discussed. The cloud pattern of the southern South America are analysed. The climatic change in the South America are also discussed. Finally, the local atmospheric circulation in the southern South America are studied.

1. ま え が き

著者の1人である中島は1967年末から1968年はじめにかけてチリ南部のパタゴニア南氷床へ京都大学アソシエイト学術調査隊長として出かけ、1983年末から1984年はじめにかけての文部省海外学術調査「パタゴニア地域の氷河における水文・気象学的調査」の隊長として再度そして今回は北氷床へ出かけた。著者の他の1人である近藤も後者の隊員として参加した。これらの調査は代表的な温暖氷河であるパタゴニアの氷床を地形学、氷河学、水文学および気象学的立場から実地調査することを目的としているが、交通不便であり危険でもあるこの地域の実態をかなり明らかにすることが出来た。前者の成果の一部は中島¹⁾によって発表され、日本の調査隊の成果の簡単なレビューが日本雪氷学会氷河情報センター「パタゴニア研究委員会」²⁾によって発表されている。後者の公式報告書は1985年のはじめに発刊される予定である。ここではパタゴニア地方の気象条件を理解するためのバックグラウンドとして既存の気象関係の資料を整理して南米南部の気象の特性について概論を行なうことにした。

南半球は北半球に比して陸地が少なく、気象観測地点が少ないために、南半球天気図を画くのは非常にむずかかった。われわれの第一回調査の頃は、軌道気象衛星の一日一回の雲画像が天気図を画くための一番のたよりになって、それに南米南部の数地点の観測値を加えて辛じて地域の上層と地上の天気図が画ける程度であった。しかし近年になって赤道上に配置された静止気象衛星によって、南半球の雲分布の時間変化も知ることが出来るようになり、また気象衛星ニムバスに搭載された波長別の放射計群によって南半球の放射収支の様子を知ること可能となってきた。ここでは、これらの新しい気象資料を基にして南半球の大気大循環の中で南米南部のおかれている状況を概説し、一方いくつかの長期観測資料を用いて気候変動の状況を概観し、さらにパタゴニア周辺の局地気象に言及したい。

2. 南半球の大気大循環と南米南部の気象条件

南半球と北半球の冬と夏の500 mb 平均図を比較してみると、北半球ではその差が著しく、また短期間の変動も著しいのに対して、南半球は夏冬を通じて中高緯度では帯状流が卓越していて、夏と冬の差が少ないことがわかる。北半球でも偏西風帯の中心は冬は南下し、夏は北上するけれども、南半球ではそれが帯状

流の形により単調な変動として南北に季節変化をする。したがって南米チリーの首都サンチャゴでは冬が雨季となり夏が乾季となる。しかし、南半球でも完全な帯状流というわけではなく、わずかながら波状をしている。帯状流からの変形の大きな原因としては南極大陸の形状があり、高緯度の大気循環はそれに対応して円形というよりは楕円形になりやすい。その長軸は 60°W から 120°E の方向に近いことが多い。これは波長 2 の波に相当する。また、大気循環の中心も地理学上の南極よりずれることがあり、これが南米側に近づくか遠ざかるかは南米南部の偏西風の軸の南北偏位に影響する。これは波数 1 の波に相当する。この原因の一つには地理学的南極と南極の最高地点あるいは最内陸とが一致していないこともある。

南半球の中緯度で帯状流からずれる原因としては、アフリカ、オーストラリアおよび南米大陸の存在がある。Van Loon³⁾ が統計的に調査したところによると南半球でブロッキング現象が起りやすいところが 3ヶ所あり、それはこれら三大陸の東側の海上であるという。これは波数 3 の波が中緯度に起りやすいことを示している。又このような中高緯度の地形の他にエル・ニーニョ現象のように低緯度の異常現象が高緯度に波及することがあることも良く知られており、1972~73年のエル・ニーニョ現象の影響については南米でも多くの研究がなされている。

次に南半球の 500 mb 面での波動の状況を示す一例として 1977年 5月 (南半球の秋) の例を示す。Fig. 1 は 1977年 4月 29日から 5月 30日までの 32日平均 (5月の平均) 500 mb 高度図で等高線は 120 m ごとに画かれており、5400 m の位置が示されている。また南緯 30° と 60° 線が破線で示されている。一番内側の閉じた等高線である 5040 m の等高線をみると、 90°W から 90°E の方向に長軸を持つ楕円となり、その楕円の中心は 90°E の方に片寄り、それは地理学的南極よりは南極高原の中心に近い。5400 m の等高線になるとほぼ円形となるがその中心はインド洋の方に向けて片寄っている。5640 m の等高線はほぼ帯状で南緯 40° の円に沿っている。このため 5400 m と 5640 m の等高線の間隔が広がり、太平洋の中緯度では偏西風が弱まっていることを示している。

次に南半球の 500 mb 面での大気循環の変動の様子をみるために Fig. 2 では Fig. 1 と同じ 1977年の 5月に 4日平均の循環がどのように変化して行ったかを A から F までの 6枚の連続図で示した。A から F までは順次、29 APR-2 May, 3-6, 7-10, 11-14, 15-18, 19-22 May の 4日平均 500 mb 図であり、破線で Fig. 1 の 5400 m の等高線が記入されており、4日平均図の 5400 m の等高線が極よりの部分は黒で塗りつぶし、逆に赤道よりの場合はその差を網目で示している。A 図では南米とニュージーランド付

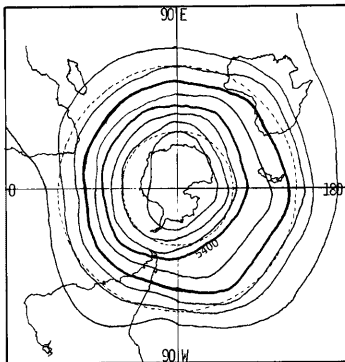


Fig. 1 500 mb height pattern of May 1977 in the southern hemisphere. Contours are drawn for 120 m intervals

近の著しいトラフが目立ち、B 図ではアフリカ付近のトラフが目立つ。D 図では 4 個のトラフが著しく、E 図では 5 個のトラフが目立ち、これら 6 枚の図の中でもっとも短い波長の波が著しい。F 図では再び 4 個のトラフが目立つ。しかし南極付近では波形が異なっていることに気付く。 30°S と 60°S との間では波数や波の位相は大きく異なっていないが、偏西風の著しく弱い太平洋域では位相が少々複雑である。

次に南米南部に注目して Fig. 2 を見直すと、A では深いトラフの中にあるがその軸はいく分太平洋寄りであり、B ではトラフの軸がいく分大西洋寄りとなっている。C では弱いトラフにおおわれ、大西洋側の強いリッジが目立つ。D ではトラフは完全に大西洋側にずれ、太平洋側は弱いリッジとなっている。E では強いリッジにおおわれ、大西洋側も太平洋側も強いトラフとなっている。F では強いリッジが太平洋側からこの地域にひろが

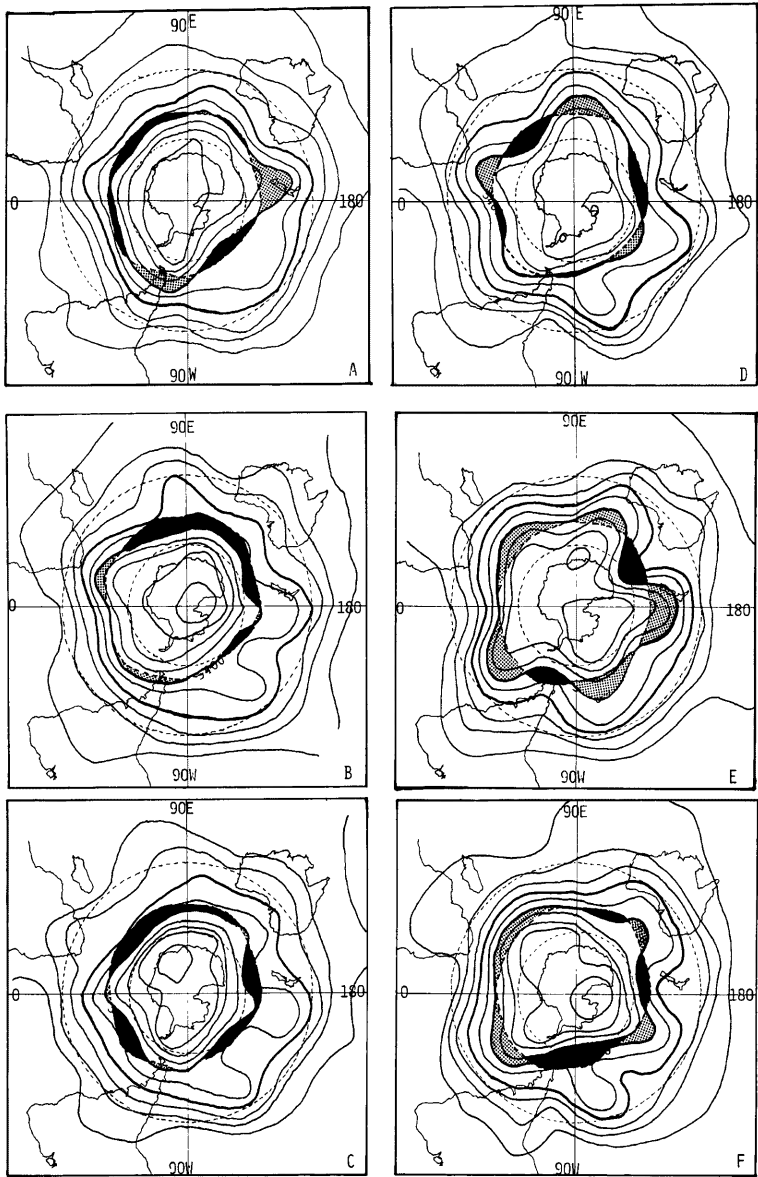


Fig. 2 4-days mean 500 mb height patterns of May 1977. A, 29 Apr.-2 May, B, 3-6 May, C, 7-10 May, D, 11-14 May, E, 15-18 May, F, 19-22 May. Black areas indicate positive and dotted areas indicate negative height anomaly of 5400 m contour lines relative to the monthly mean position

っていて大西洋には強いトラフがある。このようにトラフが太平洋側にあるか大西洋側にあるかは、偏西風の軸の南北の変位と共に、南米南部の気象条件にとって大きい影響を与える。このことは短期の天気変化と同様長期の気候変動についてもいえる。なお Fig. 1 と Fig. 2 はオーストラリア気象局発刊の天気図⁴⁾を基にして著者が平均操作を行なって作或したものである。

3. 南米南部の気候変動

気候変動を論ずる前に平均状態を理解しておく方がわかりやすいので Fig. 3 に1930~60年の30年平均値に基く南米各地の月降水量の年変化の分布を示す。棒グラフは左から順次1~12月の月降水量を示しているが、南半球であるから中央部が冬で、左右が夏に相当する。33°Sにあるサンチャゴなどは大体中緯度高気圧帯におおわれており、南部では偏西風が卓越している。したがって南部ではアンデス山脈の風上側のチリーでは年中多雨、風下側のアルゼンチンでは年中少雨となり、逆に 20°S 付近ではアンデス

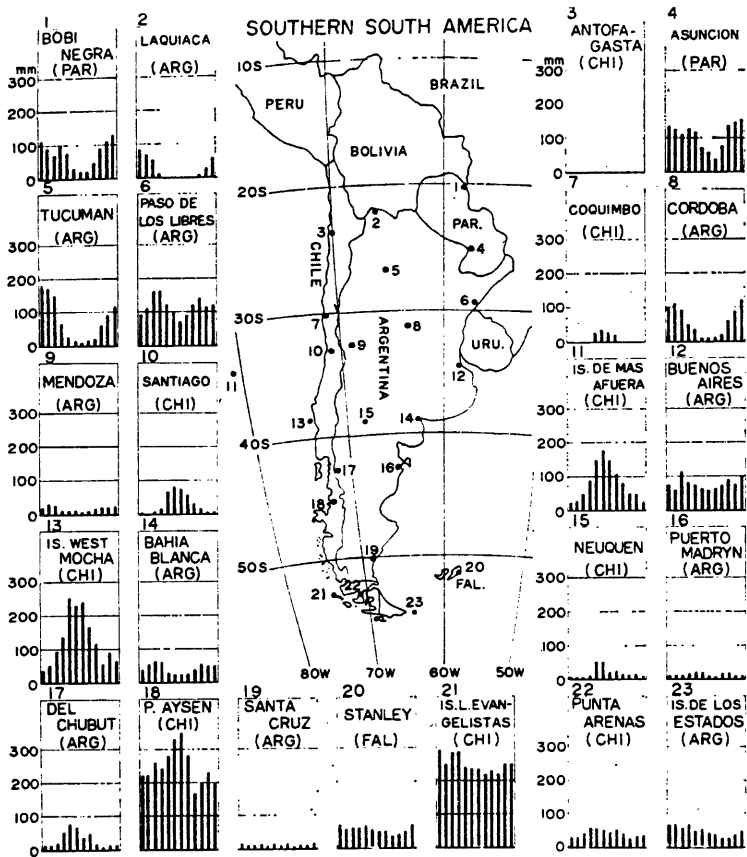


Fig. 3 Annual variation of the monthly rainfall amounts at various stations in the South America

の風上側のブラジル、パラグアイなどでは年中比較的多雨、風下側のペルー、チリーでは年中ほとんど無降水となり、Santiago などの中緯度では気圧帯の南北方向の振動によって乾季と雨季を生ずる。Fig. 3 はおおむねこのような特性を示している。

前章でも述べたように、このような平均状態からのずれすなわち気候変動は、南米南部の場合主として偏西風帯の強さとその中心軸の南北方向の偏位および偏西風波動のトラフが太平洋か大西洋か、そしてそのトラフが強いか弱いかによって生ずる。そのような異常の遠因としてはエル・ニーニョのような現象なども考えられる。

上述のように、南米南部の風上側では年中降水量が大きいが、その変動の例として Fig. 4 に Ancud (41°52'S), Isla Guafó (43°34'S), Puerto Aysen (45°24'S), Cabo Paper (45°50'S) および Bahir Felix (52°58'S) の1930年から1960年までの年降水量の変動を示す。その変動の振幅が如何に大きいかを示すため最下段に京都の年降水量の変動の様子も記入しておいた。これを見ると例えば Cabo Paper と Bahia Felix のように変動の位相が殆んど逆の場合があることに気付く。しかし、年による偏西風軸の南北方向の変位で降水量が増えるところと減るところが生ずることは容易に理解出来る。

次にもっと長期の気候変動をみてもみる。南米最南端の Punta Arenas という町に San José という古い教会があり、ここに Monsenór Fagnano という歴代神父の名を冠した気象観測所があり、ここでは永い期間

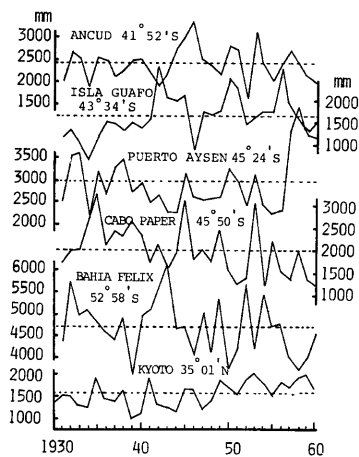


Fig. 4 Monthly total rainfall amounts at four stations in Chile and Kyoto Japan from 1930 to 1960

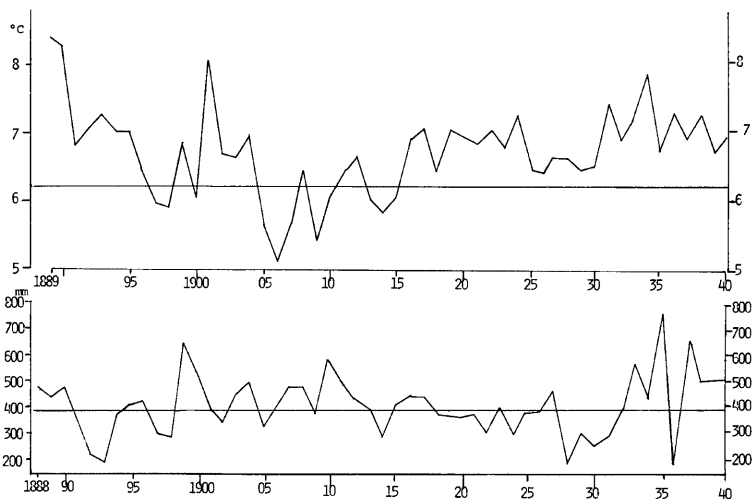


Fig. 5 Annual mean temperatures (upper) and annual total rainfall amounts (lower) at Punta Arenas from 1889 to 1940. (from "El Clima de Punta Arenas" by Mons Fagnano)

にわたって気象観測が行なわれており、その記録の一部が印刷刊行⁵⁾されている。Fig. 5 はその資料を用いて1888年から1940年までの年平均気温と年降水量の変化を示した。気温の方は1905年頃までの下降とその後のゆっくりとした上昇のトレンドが目立つ。降水量は1890年代と1930年頃の少雨が目立っている。短い周期では気温と降水量の負の相関が目につく。

次に季節変化も考慮して1月と7月の Santiago と Punta Arenas の月降水量の1919年から1940年までの変化を Fig. 6 に示す。Punta Arenas は偏西風の軸より南にあるためとアンデス山脈の南端に位置しているためもう少し北の太平洋側にくらべると年降水量はかなり少ない。1月の年平均降水量が 38 mm, 7月のそれが 28 mm と夏の方がやや降水量が大であるが Fig. 6 にみられるように年によっては順位が逆転する。一方, Santiago の方は平年値が1月は 3 mm 7月は 76 mm と年較差が非常に大きく, Punta Arenas にくらべて1月は非常に少なく7月は倍ぐらい多い。1月はほとんどの年は無降水であるが1930~33年のように100 mm 近く降る年が3年もつづくことがある。一方 Santiago の7月の降水量の変動はきわめてはげしく, 1921年, 24年, 29年, 39年のようにきわめて少なく渇水になやまされる年と1926年のような大雨の年がある。

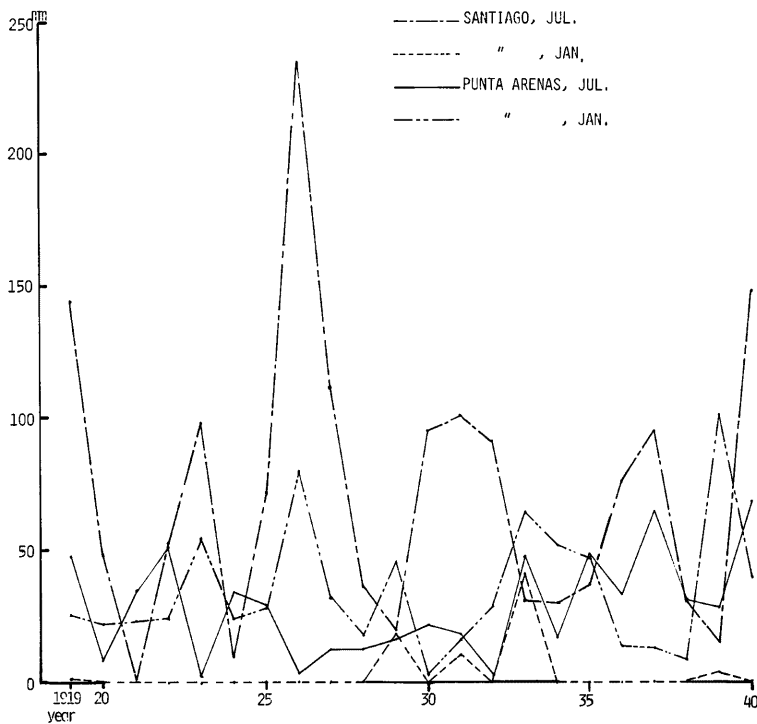


Fig. 6 Monthly total rainfall amounts in July and January at Santiago and Punta Arenas from 1919 to 1940

4. 気象衛星からみた南米

最初に述べたように陸地しかがって観測所の少ない南半球では気象衛星の役割は北半球よりはるかに大きい。特に天気予報の立場からは米国の東西2個の赤道上の静止気象衛星からの毎時の雲画像の効用は絶大なものがある。勿論大気の立体解折にはニンパスの波長別情報が重要であるが、ここでは上記の2個の静止衛星のうち東側の衛星から得られた電画像を例として示すこととした。この衛星は日本の「ひまわり」より3年早い1974年から運用されているSMS/GOESと呼ばれているもので、70°Wに位置している。したがって南米南部と大体同じ緯度となる。現地時刻の正午に近い1700Zでは可視画像も全面が昼となり円形のすべての雲がみられるので、Photo. 1とPhoto. 2には1980年1月と7月の15日の1700Zの画像を示すこととした。すなわち、Photo. 1の左には可視画像、右には同時刻の赤外画像で夏の状況が例示されている。北半球との比較のためあえて全球画像を示した。南半球の夏は北半球の冬に対応するため、北半球では発達した低気圧がみられるが南半球の夏にも大西洋南部に発達した低気圧がみられる。可視画像ではアンデス山脈に沿うもののほか各地に多くの雲がみられるが、赤外画像と比較してみると、その大部分は背の低い雲であることがわかる。しかしウルグアイからボリビアの方に延びる帯状の雲（偏東風に対応）と南米最南端に近い

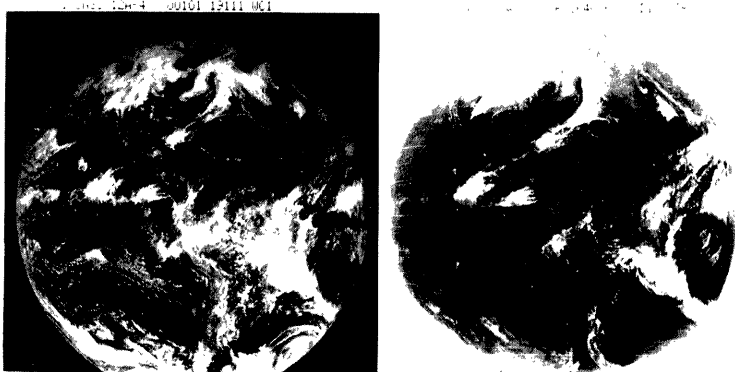


Photo 1 Cloud Pattern from SMS/GOES of 1700 z 15th, January, 1980 (Left WC Right I R)

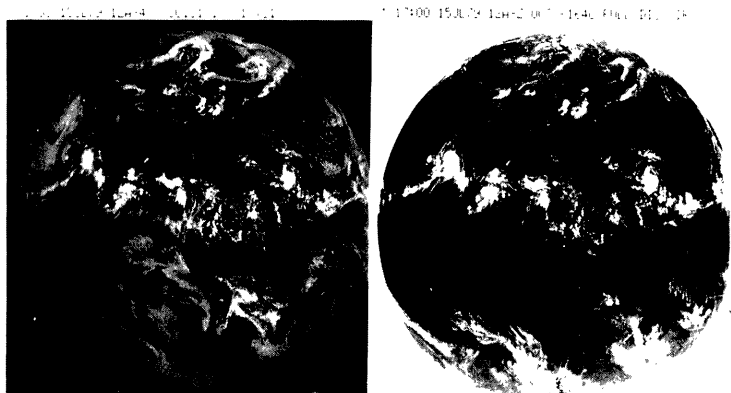


Photo 2 Same as Photo. 1 but for 15th, July, 1980

ところで東西に延びる帯状の雲(偏西風に対応)は赤外でもはっきりしている。別に寒冷前線に伴うと思われる南北方向の雲がアルゼンチンにかかっている。パタゴニア地域では偏西風が氷陸に沿って風上側で南北に広がっている様子もみられる。一方、南半球の冬、北半球の夏に対応する **Photo. 2** では南米南部の帯状の雲の南北方向の幅が夏より広がって、北に偏位しているのがみられる。それより北の中緯度でもアンデスの高い部分に沿って赤外画像でも雲がみられる。南米の太平洋岸では広域にわたって海霧がひろがっているのも夏との大きな差異である。

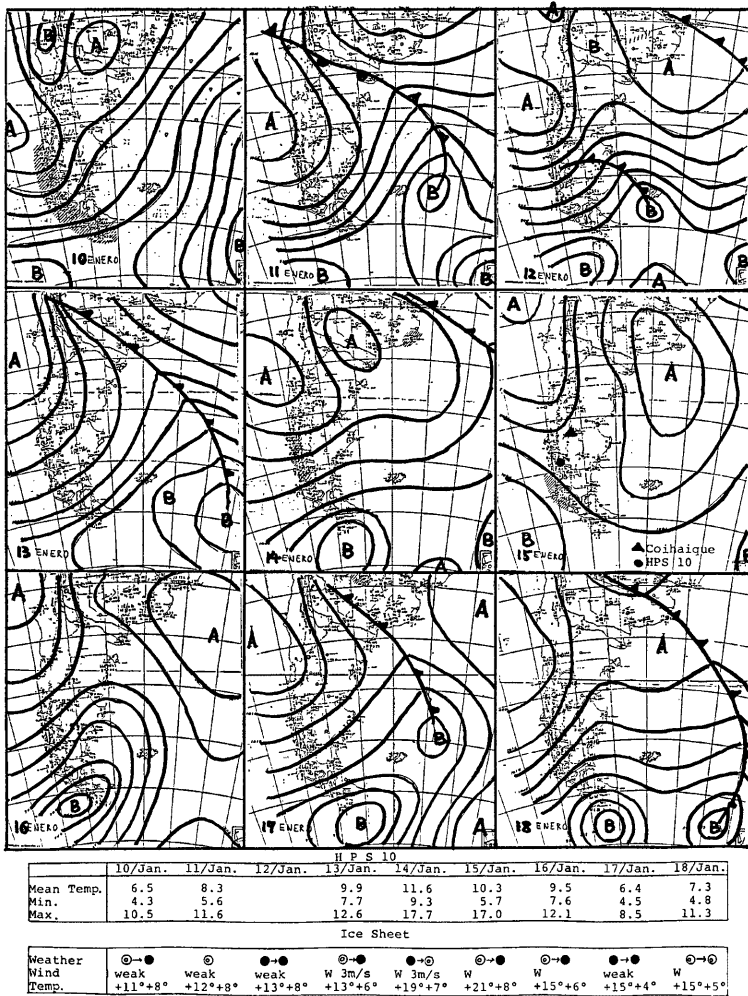


Fig. 7 Daily weather maps of the southern South America from 10th to 18th January and the wether records of the base of HPS 10 and on the southern ice sheet of Patagonia of the same days

5. パタゴニア周辺の局地気象とその年変化

45°S から 52°S にかけては南、北にわかれたパタゴニア氷床があるが、1968年1月に中島らは 49°S 付近のパタゴニア南氷床から西側に流れる氷河番号10番の氷河の末端で気象観測を行なった。ここはほとんど海拔高度がない。一方この頃兵庫県の六甲学院の阪上秀太郎隊長のひきいる登山隊がチリー側からアルゼンチン側へ氷床を横断した。Fig. 7 は1968年1月10日から18日までの南米南部付近の地上天気図および京大隊が測定した平均、最低、最高気温および六甲学院隊⁶⁾ から提供を受けた氷床上の天気、風および最高、最低気温を示す。図中、Aは高気圧、Bは低気圧の中心を示す。天気図をみると10、11日は大体高気圧におおわれ、12日は気圧の谷が通過、13日から15日は大体高気圧におおわれているが16日から18日にかけては低気圧が南を通っている。最高気温は海岸でも氷床上でも14~15日が高く10~11日と17日が低い。1月15日は天気図からみても東風となるが、一般風の方向と氷河の走向が一致したために氷河に沿うおろし風が夕刻には 30 m/s ぐらいいも達し、われわれのテントは床つきだがその中に荷物を入れたまま 10 m 以上も吹き飛んだ。

パタゴニア周辺でも場所によって気象条件が非常に異なることを示すために Fig. 8 には 42°S から 52°S, 71°W から 75°W までの比較的せまい地域に散在する 6 個の観

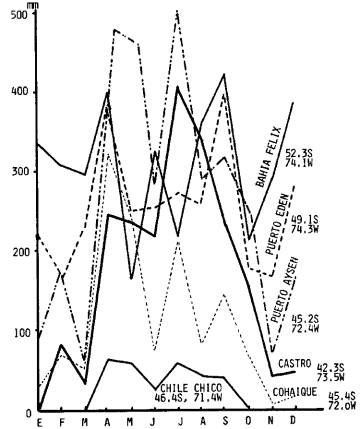


Fig. 8 Monthly total rainfall amounts at six stations in the southern South America in 1970

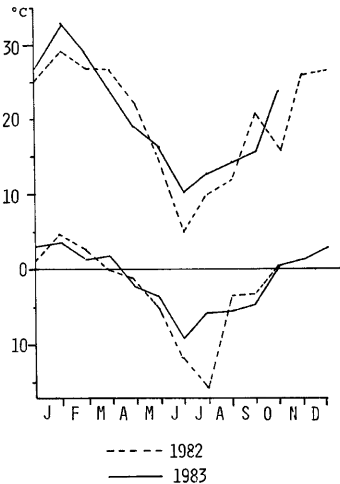


Fig. 9 Monthly mean daily maximum and minimum temperatures at Coyhaique in the southern South America in 1982 and 1983

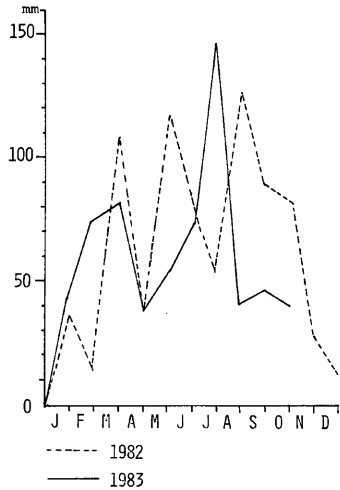


Fig. 10 Monthly total rainfall amounts at Coyhaique in 1982 and 1983

測所の1970年の月降水量の年変化を示した。東部のアルゼンチンに近い Chile Chico では冬季に 70 mm 程度の降水があったが夏季は雨が降っていない。Cohaique や Castro では夏には降水量が非常に減るが、冬には月降水量が 300 mm をこえることがある。Bahia Felix や Puerto Eden では降水量の年変化が非常に小さいが、特に夏には月降水量が 400~500 mm にも達している。

次に年による気象条件の差を示す例として Cohaique の1982年と83年の最高気温と最低気温の月平均値の年変化を Fig. 9 に示した。1982年の冬が非常に寒かったことがわかる。この冬には電力用ダムが凍結して長期の停電になやまされている。Fig. 10 は同じ年の Cohaique の月降水量の年変化を示している。夏には降水量が少なく冬に多いことは共通であるが、冬の間の降水量のピークが年によって著しく異なることも示している。

6. 結 語

最初にも述べたようにこの報告ではパタゴニアの気象・水文の局地気象学的調査に先立って、南半球の気大気循環とこの地方の局地気象の関連を概観することを目的としたが、現在でも十分な資料の入手が困難であり、現地調査をさらにつづける必要がある。

A. B. Pittock^{7),8)} のように有限要素法を用いてこの地域の気候特性を明らかにしようとする意欲的な論文が発表されているが、用いられた資料はやはり1931-60年の古い資料に限られていることから資料不足がうかがえる。

この報文をつくるに当たって貴重な資料を提供していただいた15年前と今回の調査隊の隊員をはじめ、六甲学院隊などの登山報告およびチリ気象局の資料を利用させて頂いたことに感謝する。またこの研究生の一部は文部省科学研究費海外学術調査「パタゴニア地域の氷河における水文・気象学的調査」(番号58041045)を利用して頂いた。図の整理などは大野富子、片岡玲子の御両人の協力を得た。

参 考 文 献

- 1) 中島暢太郎・佐藤和秀：南米南部の気候変動について、日本気象学会、「気象研究ノート」, 第105号, 1970, pp. 368-376.
- 2) 日本雪水学会氷河情報センター、パタゴニア研究委員会：パタゴニア氷河研究に向けて、日本雪水学会、「雪氷」, 1983, pp. 55-58.
- 3) Van Loon : Blocking Action in the Southern Hemisphere, Part 1, NOTOS, 5, 1956, pp. 171-179.
- 4) オーストラリア気象局：南半球シノプチック・チャート, 1977.
- 5) Monsenor Fagnano : El clima de Punta Arenas, 1945, pp. 46.
- 6) 阪上秀太郎：パタゴニア氷床横断, 芙蓉書房, 1970, pp. 306.
- 7) A. B. Pittock : Patterns of Climatic Variation in Argentina and Chile-I. Precipitation, 1931-60, Monthly Weather Review, Vol. 108, 1980, pp. 1347-1361.
- 8) A. B. Pittock : Patterns of Climatic Variation in Argentina and Chile-II. Temperature, 1931-60, Monthly Weather Review, Vol. 108, 1980, pp. 1362-1369.