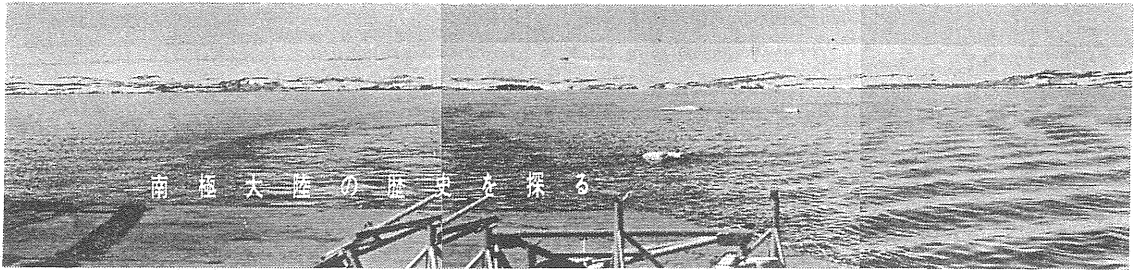


ケイシー基地（オーストラリア隊）沖から南極大陸を望む。氷床の中段水平の黒い筋が見えるのはモレイン。中央右よりに船が見える。



南極大陸の歴史を探る

木崎 甲子郎

I はじめに

地球上の最後の未知の大陸—テラ インコグニターであり、多くの探検家たちの残された活動の場所であった南極大陸も、いまはもう、その白いベールがはがれつつある。1957年第3回 IGY（国際地球観測年）以来、ICSU（国際学術連合会議）は分科会として、SCAR（南極研究特別委員会）を設け、南極の調査研究を国際協力のもとで行なうための母体とした。それ以後、各国の南極研究は急速に進展しはじめた。

現在、この大陸に基地を持っている国は、アメリカ、アルゼンチン、イギリス、オーストラリア、ソビエト、ニュージーランド、日本、フランス、ベルギー（オランダと共同）、チリ、南アフリカの12か国である。

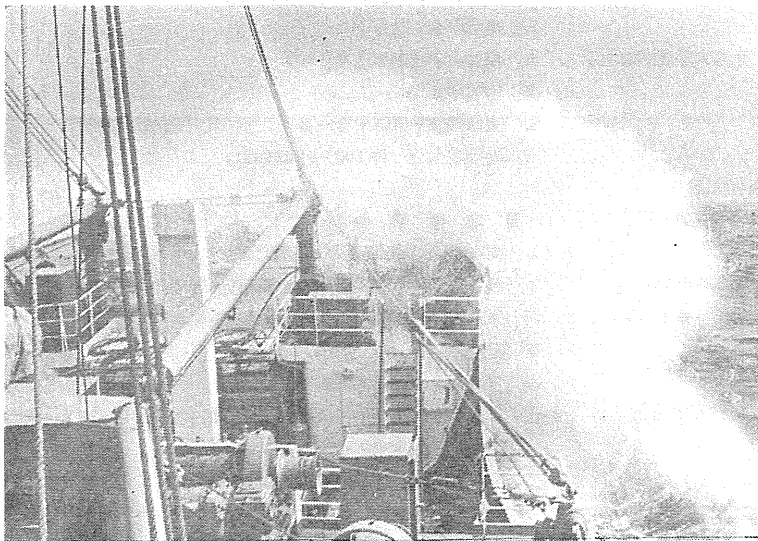
こうして、ここ10年あまりの間に南極についての知識が急激に増加し、その実体があきらかになるのもそれほど遠い将来ではない。

南極へ行くには船にかぎる。アメリカ隊に参加すると、ニュージーランドのクライストチャーチ空港から

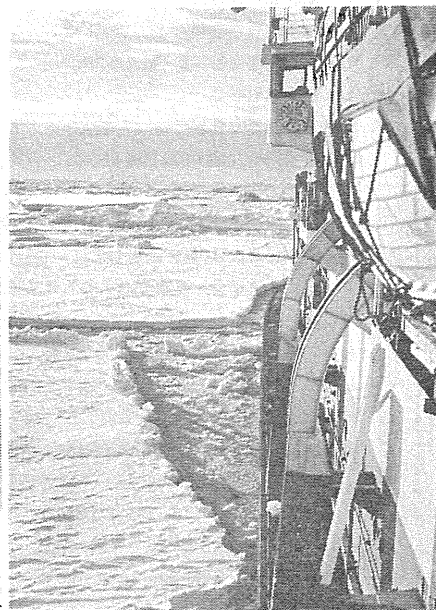
飛行機（ハーキュリーズ C130）で8時間ばかりであつというまにマクマード基地に着いてしまう。海路ほかの国の探検隊は船に揺られて10日もそれ以上もかかるわけである。吼える40度、嵐の50度を船のベッドにしがみついて越えるのである。飛行機のほうが、楽で現代的で能率的でよさそうだと思うのは、人情のあさましさというものである。

南緯50度を越えるころ、冰山を見つけるためにデッキに出る。どこの船でもそうらしいが、最初に冰山を発見した者には賞品がでる。オーストラリア隊では、無尽をやった。各人がなにがしかの（50セントぐらい）寄進をする。そして、最初の冰山発見者がその全部を胴元から頂戴するのである。

最初の冰山が現われると、それからは陸続と冰山が出現しはじめる。航空母艦のように平らなもの、洞穴のあるもの、古城のようなもの、形はさまざまだ。陽光に輝いている冰山は言葉もないほど美しい。冰山が多



吼える40度で、船は木の葉のようにもまれる



海氷原（バック・アイス）のなかにはいると、こんどは海水と船との衝突する音に悩まされる

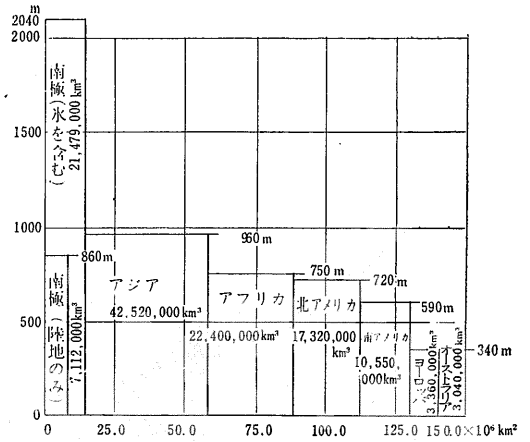
くなるころは 荒海もおさまり こんどは流氷（流氷とは 海水がいちど割れて かたまって流れ出したもの）が流れてくる。流氷原（バック・アイス）を抜け 青黒い海と輝く冰山群の間を走る船のデッキに立っていると 時間のたつのを忘れてしまう。

大陸の沿岸近くでは 流氷原がないことが多い。そこに抜けるまでには 流氷のなかを 氷が船腹にぶつかる音を聞き 海水に衝突する振動に悩まされる。流氷帯を脱出すると あたりは急に静かになり 聞えるのはエンジンの音だけになる。そのころだ 大陸が見えだすのは。もし晴れておれば 青空の下の黒い海の水平線の上に 氷床が白い厚みのある帯のように広がっているのが見える。そして その帯と海との間に黒っぽい茶色の露岩が点々と望まれる。ときには 露岩は白い帯を断ち切るように青空に聳えている。

これが 白い大陸である。

II 南極大陸とは

南極大陸が南極点を中心にひろがった大陸で そのほとんど（約98パーセント）が氷に蔽われているということは 誰でもが知っている事実である。ところが この大陸が地球上で ずばぬけて標高の高い大陸であることはあまり知られていない。第1図は縦軸に平均標高横軸に面積をとって 地球上の各大陸を比較したものである。氷をはいでしまうと 他の大陸とそれほどのちがいはない。だが 現状のままでは 氷床を入れて比べると 平均標高2040メートルとなり 第二番目に高いアジア大陸（960メートル）の2倍以上高い ということになる。これだけでも寒いはずである。東南極の中

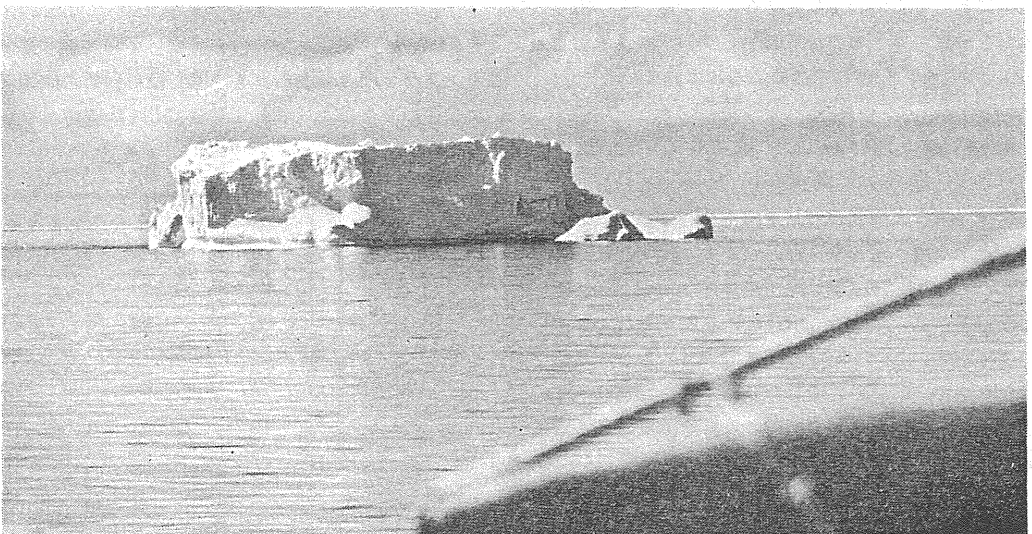


第1図 諸大陸の平均標高と面積と体積（ノ連南極アトラス）

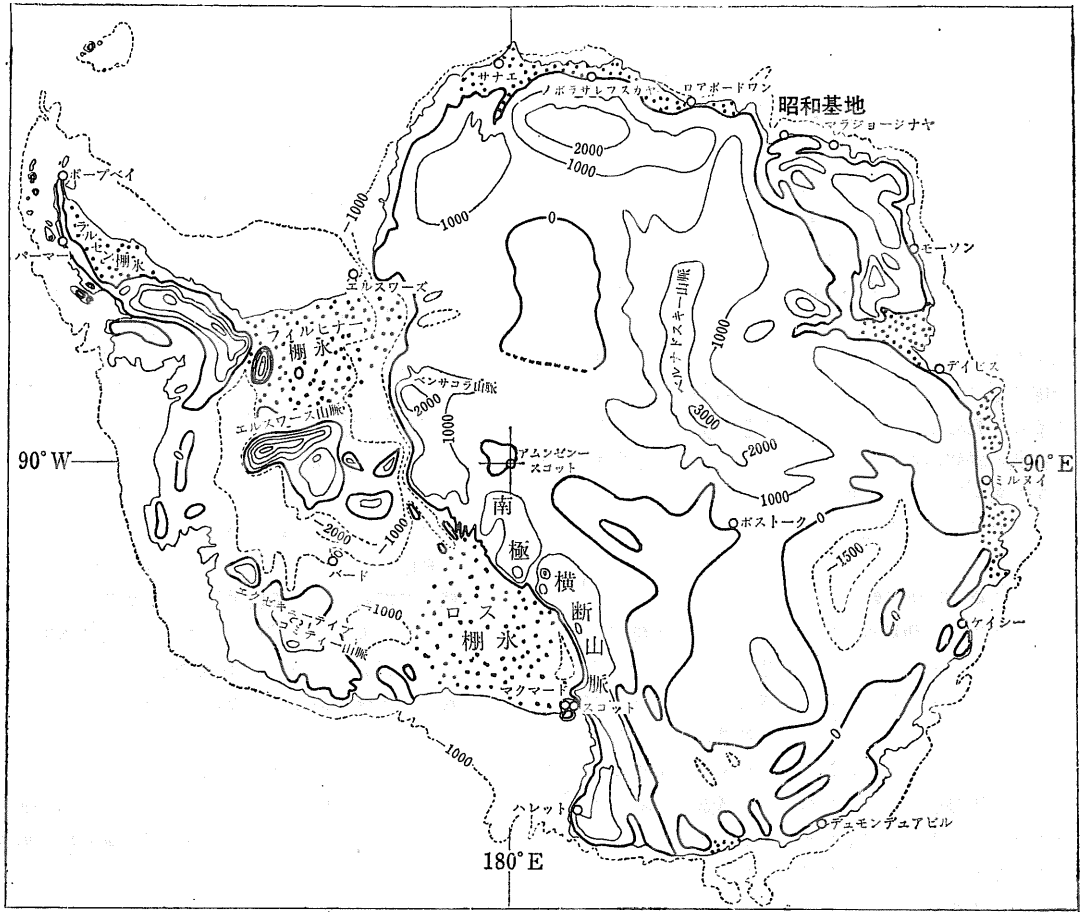
央高原にあるソビエトのポストーク基地で 1960年8月24日に -88.3℃という気温が記録された。これは 地球上で記録された最低気温として公認されている。

また 大陸の中央部を横切っている南極横断山脈はその延長4,000キロ 海拔2,000~4,000メートルの世界最大の山脈である。大ヒマラヤ山脈でさえ ブータンからパミールまで入れて2,500キロだから その大きさは見当がつこうというものである。

第2図は氷床をはがしてしまったときの基盤の地形図である。南極横断山脈を境にして東南極と西南極とははっきり分かれてしまう。西南極は南米アンデス帯に続く若い造山帯で きれぎれの群島になっている。その間には 深さ2,000メートルもの海がある。東南極では 西側は南極横断山脈でかぎられ 海岸沿いに0度



冰山 静かな海 水平線に海氷原が見える



第2図 南極大陸基盤の地形 (ソ連南極アトラス)

から東経90度にかけて高みがあり 氷床上にも点々と山脈が見られる(第3図)。さらに 中央部にも ベルナドスキー山脈などの 3,000メートルにおよぶ山脈が氷床の下にあることがわかってきた。また 第3図では氷床のもっとも厚いところでは 4,500メートルにもおよぶことが 90°E と180°の間にしめされている。

III 南極大陸は乾燥地域であること
—砂漠的気候—

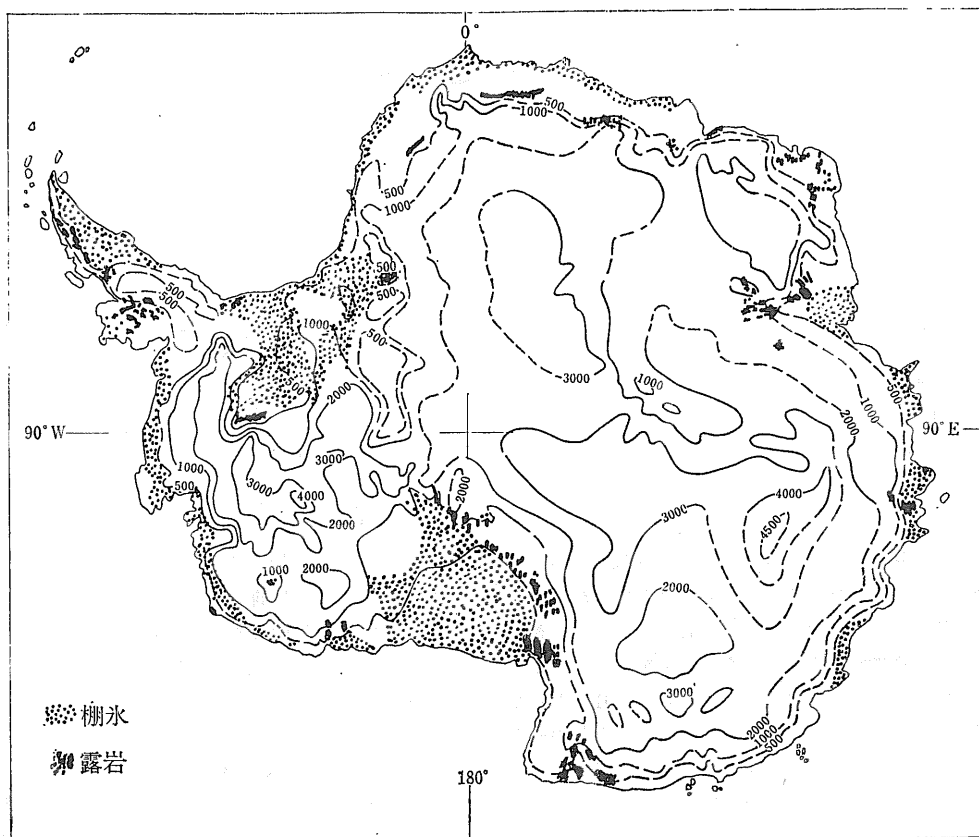
南極大陸の大半(98パーセント)が厚い氷床でおおわれているため 氷→水→湿気という中緯度の発想に陥りやすい。しかし 年平均気温が海岸地域でも -15℃前後になっているので 水分は氷に固定されてしまい ひどく乾燥している。昭和基地でも うっかりしているとハンマーの柄が乾燥してひび割れをおこしたり 抜けやすくなるほどである。これは冷蔵庫効果による空気の乾燥の影響である。

そのうえ 降水量がきわめて小さいので 乾燥地域の

傾向はさらに強められている(第6図)。第7図は日本隊の極点旅行によるデータである。プラトー基地までは雪尺(雪尺というのは 雪面に目盛をきざんだ棒を立てておき それによって積雪量を測定するもの。この間は前年の隊が雪尺を設定してあった)によって一年間の積雪量を出しプラトー基地から南極点までは 積雪の断面観測によるものである。これによっても 内陸部は40ミリぐらい

第1表 南極大陸の諸元 (ソ連南極アトラス)

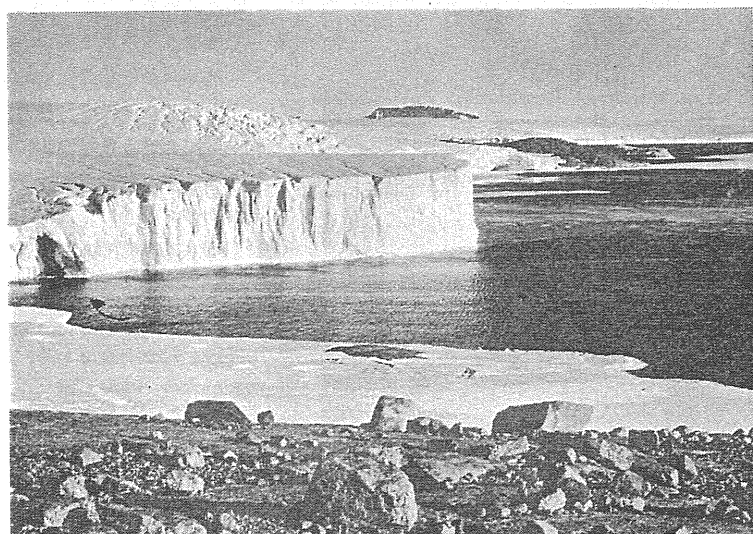
	棚氷を含めず	棚氷を含める
面積 (km ²)	12,513,000 (周辺の島を含む)	13,975,000
平均標高(m)	2,300	2,040
水の量 (km ³)	23,449,000	24,031,000
氷床の平均厚さ(m)	1,880	1,720
基盤の平均標高(m)	860	
最高峰(m)	5,140 西南極ビンソン山	



第3図 南極大陸の氷床の厚さ 黒点は露岩 点は棚氷(ソ連南極アトラス)

で 海岸の昭和基地付近でも たかだか 230 ミリであることがわかる。日本列島の降水量が1,000 ミリ以上であることを考えると 南極大陸がいかに乾燥しているかということがわかる。

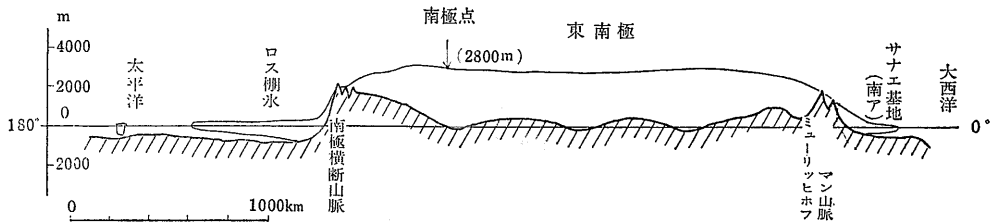
大陸の内陸を旅行してみると その景観がいかに砂漠的であることに気がつく。硬いあるいは乾燥雪の雪



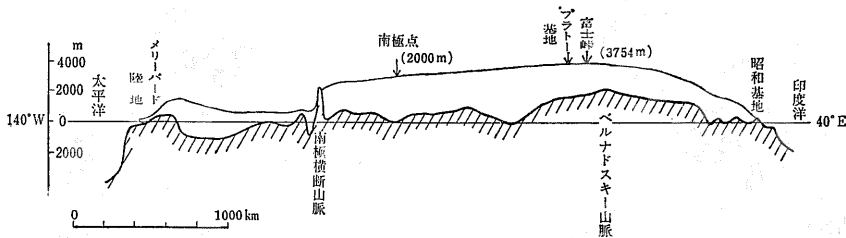
大陸氷が押し出されて 海岸に氷崖を作っている。これが何年かたつと切り離されて氷山になる。その氷山は毎年10センチずつ前進している。モーズン基地(オーストラリア隊)付近



氷山の生まれるところ



第4図
子午線沿いの南極大陸の断面図(木崎)



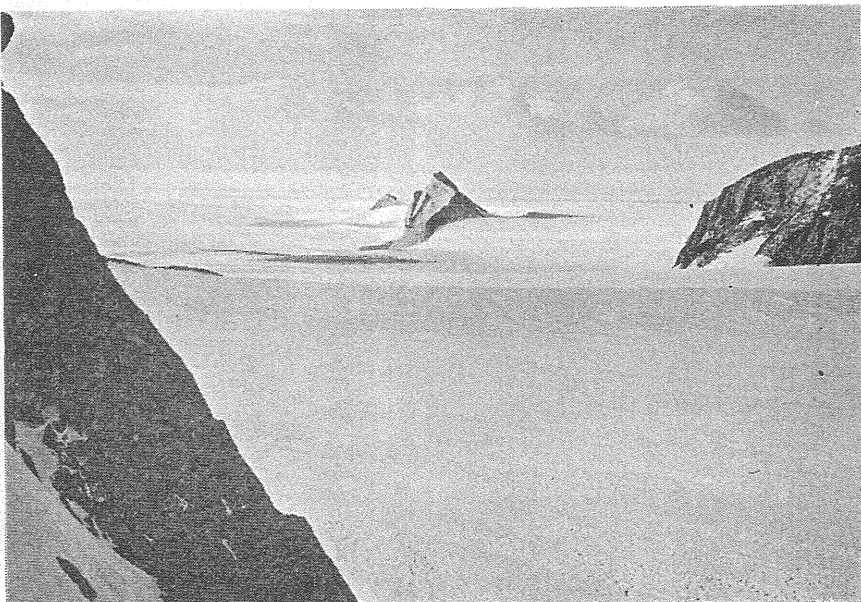
第5図
昭和基地を通る南極大陸の断面図(木崎)

面が見わたすかぎり続いている。その雪面には風によるでこぼこの模様(サストルギー)が刻まれている。地平線のそこだけにある雲の下から進むにつれて現われてくる岩山。そこには一木一草もない。ただ荒々しく削られた奇態な山塊と崩れ落ちた岩屑だけである。緑と水の安らぎなど望まれるはずもない。殺伐としたものである。わたしはオーストラリア中央部の砂漠を旅行したとき、南極大陸の奥地旅行と同じ印象をうけた。細かな赤土の舞い上る道、広茫としたステップ、砂礫の平原、地平線の彼方に見える奇妙な岩山。これはまさに南極の内陸旅行と同じではないか。

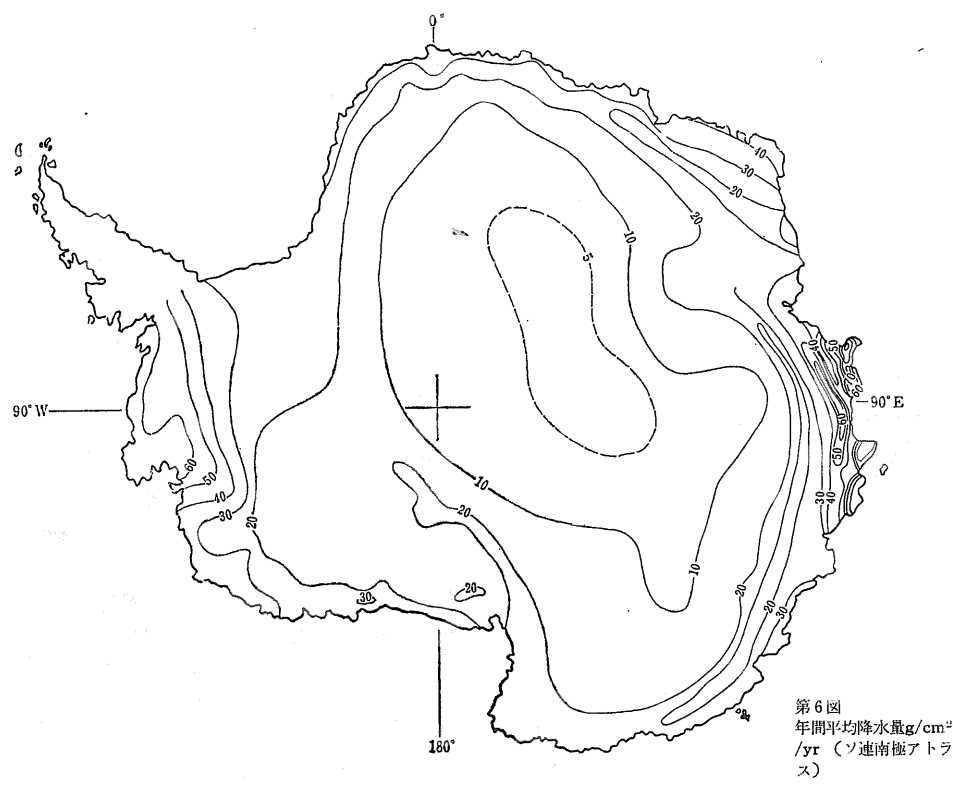
この景観から与えられる印象の共通性は、水の作用の欠除である。“風と砂と岩”と“風と雪と岩”はともに同じような景観を作っている。

とにかく、南極大陸が乾燥地域であることは降水量の少なさだけでなく、地形学的ないろいろの証拠が認められることからあきらかである。マクマード入江周辺、バンガー・ヒル、ノックス海岸、ベストフォールド・ヒルなどには、広い無雪地域があり、青々とした水を湛えた塩湖や塩類の結晶が見られる。かつて南極に「オアシス」があると喧伝されたのは、このような場所であった。マクマード入江の周辺には、尻なし塩湖、塩類

結晶のほか、炭酸石灰や石膏が土壌といっしょに堆積している。つまり尻なし塩湖は昇華量が降水量や流入量を上まわる乾燥地帯のみに見られるものである。ライト谷のバンダ湖はその代表的なもののひとつである。一般にこのような塩湖の大きさは、その供給盆地に比べて小さい。たとえば死海は870平方キロでその供給盆地は25,600平方キロである。その比は約1:29になる。ところがバンダ湖の比はこれに比べてもひどく小さい。このような低い比はこの地域が非常に



やまと山脈の一部 みわたすかぎりの氷床の上に 岩峰(スナタク)が突き出している



第6図
年間平均降水量g/cm²
/yr (ソ連南極アトラス)

乾燥していることをしめすものである。

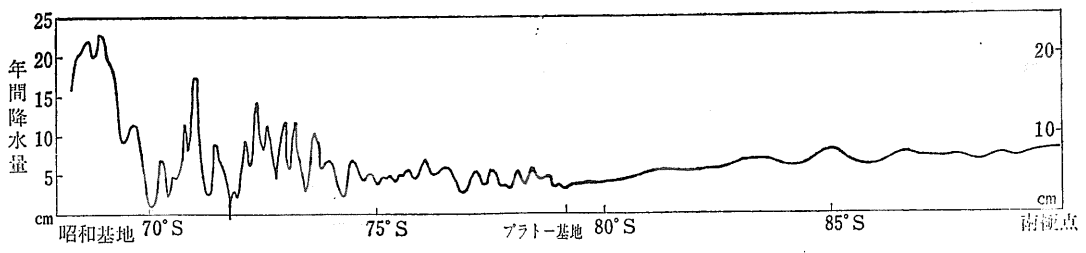
風成層砂丘

乾燥地域には風成層がつきものである。南極大陸でも例外ではない。マクマード入江や東南極の二三の個所に知られている。マクマード入江のビクトリア谷では厚さ2メートル長さ2.5キロにわたる漂砂層がさらに高さ3~11メートル長さ600メートルのバルカン砂丘が3.5キロにわたって続いていることが発見されている。また0.5~1.0キロの鯨背状の砂丘があることもわかった。これらの砂丘の表面下30センチには硬い雪層があった。そしてこれらの砂丘は10年間に平均21メートル西に移動していた。部分的には1日12センチの速度で移動しているところもある。

風成層があれば風蝕礫もあるはずである。ライト谷

やビクトリア谷では一平方メートルに53個(2.5×12.5センチ)の風蝕礫が数えられた。これらの礫は1ないし2つの面が滑らかでやや凹面をなし西側に急傾斜している。礫の東側には酸化膜ができています。3センチより小さい礫にはピラミッド型のきれいな三稜石(ドライカンター)がよく見られる。この風蝕は西方にある氷床プラトーから吹きおろしてくる強い東風のせいである。このような風蝕礫の発達にはつぎのような条件が考えられる。

- 1) 植生がない
- 2) 降雪が少ない
- 3) 風が強い
- 4) 砂の量は礫を削るのには十分だが礫を埋めるほど多くはない



第7図 昭和基地と南極点との年間降水量(積雪量から換算) (藤原 遠藤 1971)

第2表 地球上に存在する純水の量 (ホインケス 1968)

	表面積(km ²)	体積(km ³)	質量(10 ¹⁵ gr)	%
南極大陸	13,914,000	28,000,000	25,200,000	90
グリーンランド	1,802,000	2,660,000	2,400,000	9
その他	499,000	240,000	220,000	1
計	16,215,000	30,900,000	27,820,000	100

つまり 乾燥(砂漠的)気候条件以外なものでもない。このような乾燥地形はひとつには大陸全体にわたる降水量の少なさにあるのであろう。つぎに考えられることは 周氷河地形のひとつの特徴をしめしているということである。次章に述べるように 南極大陸の氷は増加しているようである。とすれば 氷の増加とこの乾燥気候とはどう関連するのであろうか 興味ある問題である。

IV 南極の氷は増えているか

南極大陸の氷が融けてしまったら 地球上の海水が増加し 海面が60メートルも上昇する。そのときには世界の大都会はみな海に沈んでしまうだろう。という話がよくされる。話としてはおもしろいが 南極の氷が増加していると考えられている現在ではあまり意味がない。むしろつぎの氷期がやってきて 日本列島に氷河が発達したとき 何メートル海面降下があり この小さな島国でどのくらい領土が広がるかを考えたほうが楽しい。

この南極の氷が融ける話は だから 南極大陸にはいかに膨大な量の水が固定されているかを物語っている例として理解したほうがよらしい。第2表は地球上の純水の量を示したものである。もちろん 地球上の水の97.4パーセントは大洋の海水であり つぎに多いのが氷と雪で2パーセントを占め その他は湖水 河川 地下水 大気中の水を含めて0.6パーセントにしかならない。したがって 地球上の純水の90パーセントを占める南極大陸の氷の量の増減が 海面変化に直接影響し 地球上の気候変動の問題にまでつながりをもってくることがはいうまでもない。

南極大陸で各国の氷河学者が南極氷床の水の質量収支を重点テーマにしているのも当然のことといえる。日本隊のエンダービーランド プロジェクトといわれる長期計画も昭和基地内陸の水の収支決算を行なうことを目標にしているのである。

では 氷床の収支決算はどうやってきめるのであろうか。これは簡単な算数である。

収 入: 降水量
支 出: 蒸発量 融け水の流出量
氷山として流出する量
氷床や棚氷(棚氷とは 氷床が海中に押し出して海に浮んでいる状態でロス棚氷 フィルヒナー棚氷などがある)の底で融けて流出する量
風で運ばれて海に飛んでいく雪の量 など

収入と支出をさしひき計算すれば収支がプラスなら氷は増え マイナスならば氷は減っているわけである。だが この広い大陸のすくない観測点で これらの量をいかに測定し いかに評価するかという困難な問題がひかえている。したがって 現在の段階では かなりの推定をとまなざるをえない。最近の二つの水収支計算の結果を第3表にあげる。結論は バルジン スェトオバとレエベもともに南極の氷は現在増加しているというのである。レエベ博士の増加量が他の二人のそれに比べて少ないのは 考えられる値より収入を低く支出を高く見積ったからだとのべている。

とにかく 南極の氷は増加しているとすれば 表に見られるような海面降下が生じているはずである。ところが 実際の観測によると 現在地球の海面は毎年1ミリの速度で上昇している。この上昇は 他の山岳氷河の後退 大洋底の構造地質学的な上昇 あるいは海水温度のわずかな上昇などによって由来したものであり 南極氷床の影響を考えないで説明できるとしている。

第3表 南極大陸の水収支決算

	バルジンとスェトオバ (1967)	レエベ(1967)
雪の堆積	+2420 × 10 ¹⁵ g/yr	+1900
氷の流出		
棚氷	-730	-800
氷河流動	-260	-520
周縁部	-190	-50
融解蒸発		
表面	—	-10
底面	-20	—
棚氷の下底	-250	-200
質量収支	+970	+240
比収支	+6.9g/cm ²	+1.7g/cm ²
海面変化	-2.7mm/yr	-0.7mm/yr

他地域の氷河との比較

地球は現在間氷期にあり アルプスでも アラスカやカナダでも氷河は後退しているといわれてきた。ところが 南極大陸の氷はいま増加しているようにみえる。では 他の氷床や氷河はどうであろうか。第4表にホインケスのまとめた最近の世界の氷河の水収支をしめした。この表を見ると ヨーロッパアルプスでは のきなみにプラスであり氷の量が増加している傾向があり スカンジナビアでは逆に減少している。カナダとアメリカでは両者が混在している。これらの収支決算は1964~1966年の二年間のものだから かならずしも正確な傾向を示しているとはいえないが それでも 現在の氷河の収支の動向をうかがうことはできる。

また グリーンランドの氷床では 収支がプラスで氷の量が増加しているという値を出している人のほうが多い。こうしてみると ある地域ごとに あるいは氷河ごとに増加減少の両方の傾向があるようだ。すくなくとも地球上の氷河が現在後退しつつあるという定説はなりたないことがわかったのである。

氷河サージの重要性

氷河の前進後退が地域ごとに あるいは氷河ごとに違っているとすると 簡単に 氷期には氷河は前進し 間氷期になると後退するという考えはなりたない。つまり 氷期と氷河の消長とは直接対比させることができなくなる。

そこで 最近注目されている氷河サージ(氷河の異常前進)が脚光を浴びるようになった。氷河サージとは氷河上流部から巨大な量の氷が数十年に一度のわりで突然 短期間のうちに異常に速い速度(通常の10~100倍)で流下し その結果 氷河末端が一時的に急激に進出する現象である。いったん サージが生じたあと 末端はしだいに後退し数十年かかって旧態に復する。そしてふたたびサージが発生する。だから 氷河を観察したとしても 氷河は前進している時より後退していると判断されるチャンスが多いことになる。これまで サージは世界各地で観察され報告されているが 地震やなにかの突然の変動によってひきおこされる氷河の異常現象と考えられていた。しかし それは誤りでサージこそ氷河流動の本質的な運動様式であると指摘されるようになった。地震帯で 地殻やマントルに何十年もかかって徐々に蓄積されてきたひずみエネルギーがあると きその限界を越えて突然地震が発生する。というのと似た現象である。

氷河が気候変動とは直接関係なく 周期的に前進後退をくりかえしているという現象をこれで説明できるであ

第4表 世界各地の水河の水収支 gr/cm² (ホインケス 1968)

氷 河 名	1964~1965	1965~1966
ス イ ス		
Aletschgletcher	+126	+ 59
Grresgletcher	+ 92	- 20
Limmerngletcher	+ 92	+ 50
Silvrettagletcher	+119	+110
フ ラ ン ス		
Gl. de Serennes	+ 3	+ 42
ド イ ツ		
Scheeferner	+188	+100
オーストリア		
Langtalferner	+ 38	+ 57
Vernagtferner	—	+ 82
Hintereisfevner	+ 92	+ 34
Kesselwandferner	+104	+ 59
Sonnblickkees	+219	+ 88
スウェーデン		
Storglaciären	+ 43	- 54
ノルウェー		
Bläisen	+ 54	-127
Storsteinsfjallbreen	+ 44	- 83
Cainhavarrebreen	+ 21	- 95
Ålfotbreen	+ 47	-161
Nigardsbreen	+ 91	- 92
Gråsubreen	+ 41	- 29
Storbreen	+ 34	-110
Hellstugubreen	+ 52	- 67
Tunsbergdalsbreen	—	-109
Hardangerjøkulen	+ 51	- 64
Folgefonni Ost	+ 5	-150
Folgefonni West	+ 4	-137
カ ナ ダ		
Ram River Glacier	—	+ 18
Peyto Gl.	+ 9	+ 7
Woolsey Gl.	- 60	- 9
Place Gl.	- 65	- 25
Sentinel Gl.	—	+ 15
Decade Gl.	+ 4	- 73
Barnes Ice Cap	+ 5	-100
北アメリカ		
Gulkana Gl.	—	- 19
South Cascade Gl.	- 21	-108
Blue Gl.	- 32	+ 58

ろう。しかし これにはある一定の気候条件——収支が全体としてプラスである——という大前提がなければならぬ。そうでなければ 氷河が不安定になるまで雪を蓄えてサージを惹起することができないであろう。さらに気候変化が生じたとき サージのおこりかたにも違ってくるであろう。

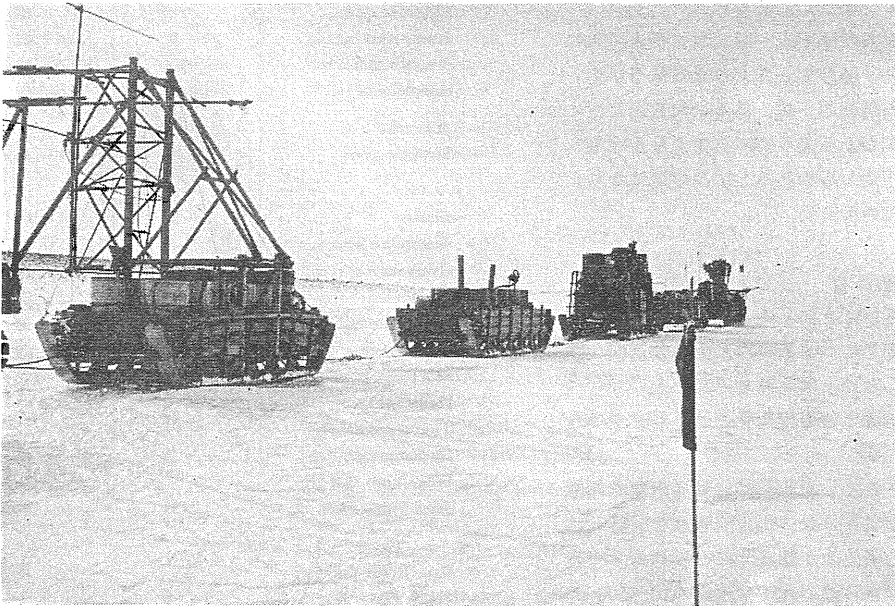
南極のような大氷床がサージをひきおこしたらどうな

るか。これは小さな山岳氷河のサージとは比較にならないほど大きな影響を与えることになる。この問題をとりあげて A.T. ウィルソン (1964) は南極氷床のサージによる氷期起源説を提唱した。

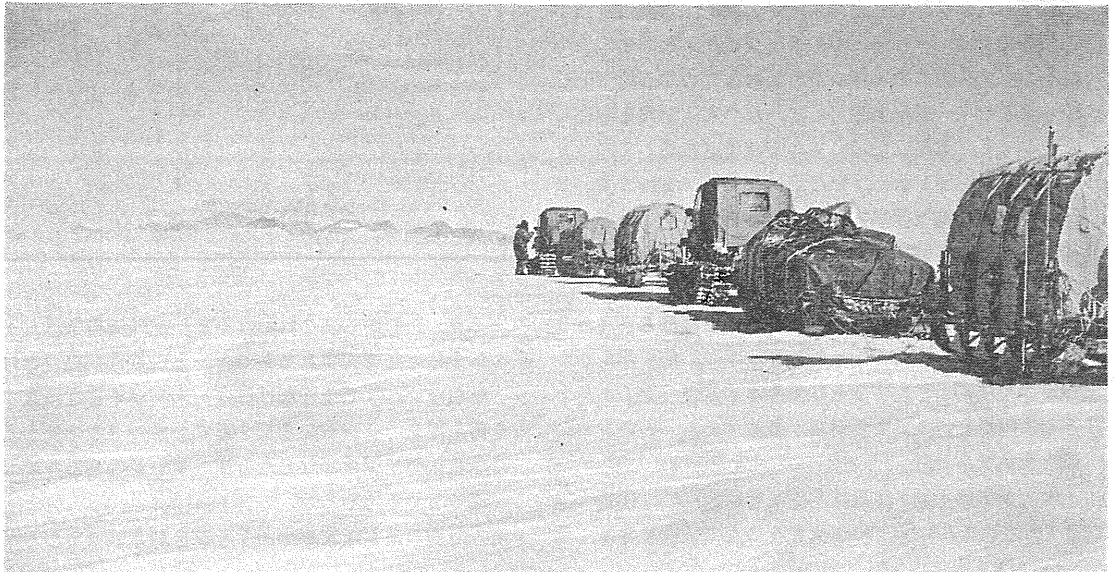
氷床が大きくなればなるほど不安定になることは理論的に計算されている。しかも南極氷床は現在すこしづつ成長しているらしい。したがって南極氷床の不安定度が増し将来サージがおこるかもしれない。現にアイスランドやスピッツベルゲンでは氷冠からのサージが観測され 5~10m/h という速度で氷冠周縁が海に張

り出して棚氷になった例も報告されている。サージはもはや異常現象ではないと考えられている現在南極氷床にサージが生じてもおかしくはない。

ウィルソンの氷期起源説は南極氷床のサージが地球の気候を変えたという考えにもとづくものである。現在のようない間氷期に南極大陸への雪氷の蓄積が続き徐々に大氷床を形成するにいたる。地熱により氷床の底はしだいに温められるがそれより温度をあげる影響をもつのは氷厚の増加によって圧力融点(氷の融点は圧力100気圧につき約0.7℃融点降下する)に達することであ



内陸旅行隊の隊列 その上のやぐらはアイスレーダー これで連続的に氷床の厚さを測ることができる(安藤)



やまと山脈に近ざくと山脈の上空にだけ雲が見える

る。氷床の底では温度が上昇し再結晶やクリープを起しやすくなり ついには融けて流動しやすくなる。ひとたび流動しはじめると氷床底面と岩盤との摩擦によって莫大な量のポテンシアル・エネルギーが熱に変わる。ブル(1957)によれば年間300メートルの氷の流動は $720\text{cal/cm}^2/\text{yr}$ ぐらいの熱を氷床の底面に供給するという。これは通常の地熱流の18倍にもあたる。かくて氷床の底は融けてますます滑りやすくなり外洋に向かって押し出されていく。これが南極氷床のサージである。その結果大陸周縁には巨大な棚氷ができそれは南極収斂帯(南緯50度)あたりまで進出するのである。この巨大な棚氷のために1,000万平方マイルの面積あたりの太陽輻射反射率が8パーセントから80パーセントに増加する。これは地球全体の太陽からの輻射エネルギーの流入を約4パーセント減らすことになる。地球は寒くなり北半球や山地に氷床や氷河が形成される。太陽輻射反射率はますます増加し北半球にはスカンジナビア氷床 ローレンシア氷床などが形成される。800万平方マイルにもわたって氷床が地上を蔽ったため地球に入る太陽エネルギーは80パーセントも減少し平均気温は6℃も低下する。しかしサージが生じたのち南極氷床は薄くなり氷床底面付近の温度は圧力融点以下になる。かくてサージの流動が止る。海洋を蔽った棚氷も氷の補給がなくなるので後退をはじめ。海面はしだいに上昇し南半球の海洋は温められしたがって北半球もしだいに暖かくなる。こうして氷期は終わりを告げるのである。

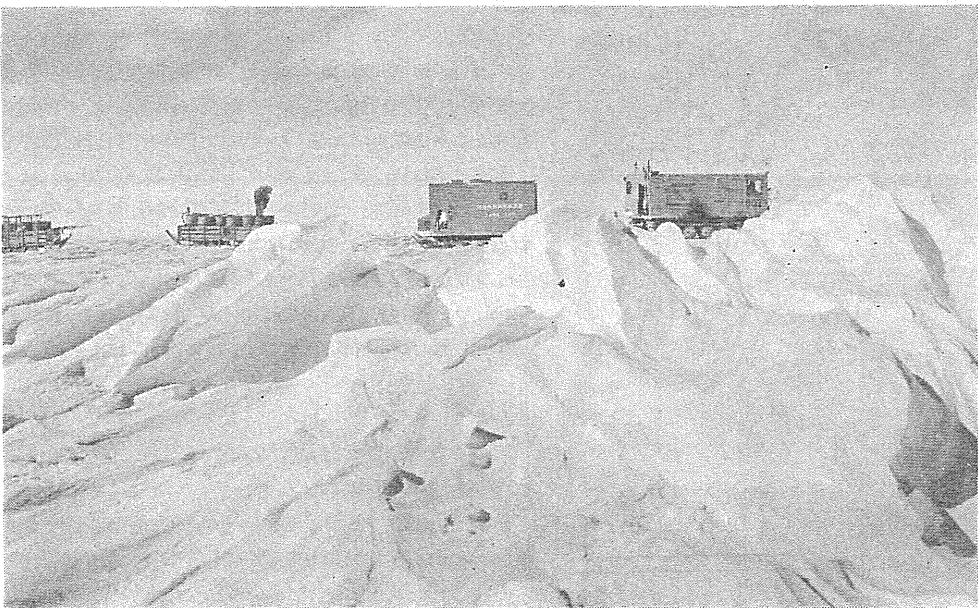
このウィルソンの説は氷期の周期性を説明するには具合がいい。しかし第四紀以前の氷期については問題が残る。とにかく南極氷床の存在が第四紀の氷期とその消長の原因になっているというのが彼の説の独創的なところである。

南極氷床の変動を説明するためこれまで主張されてきたのはおもにつぎの4つの仮説である。

- 1) 暖い間氷期に雪や氷の蓄積が増加し氷床が広がる。一方第四紀の氷河作用の時期には南極では蓄積が減り氷床は後退する(スコット 1905)。
- 2) 北半球での氷河作用によって海面降下が生じ南極氷床は北方海洋上に拡大する(ホリン 1962)。
- 3) 南極氷床の前進は北半球の氷河作用と同時期であり氷床の温度降下による気候変化をとまなう(シユムスキー 1963)。
- 4) 南極氷床の周期的なサージが汎世界的な第四紀氷河作用の引き金になる(ウィルソン 1964)。

これらの仮説を確かめ評価するためには氷河遺跡や周氷河地形の調査ももちろん必要であるが氷床そのものの研究もなされなければならない。とくに歴史的に地質時代にさかのぼって当時の気候条件などを調べることが大切になってくる。

(筆者は 北海道大学理学部)



風によってできた
サストルギー
(安藤)