

## 南極氷床と大気水圏

名古屋大学環境学研究科（寄稿当時） 上田 豊

（写真集「南極」、（財）日本極地研究振興会、技報堂出版、2006 に寄稿）

### 地球の冷源

南極氷床は緯度が高いため、日射の受熱量がもともと少ない。そのうえ、日射の反射率が地球上で最も高い純白の雪原が中国・インドを合わせた大面積で広がり、日射熱をわずかしか吸収しない。しかも氷床表面の海拔高度は平均 2 千 m を越え、地球上で最も高い高原状の大陸である。これらのため、南極氷床は地球の冷源として、グローバルな大気環境に強く作用している。

内陸氷床の表面で冷やされ密度を増して重くなった気層は、3 千 m を越える高原から重力によって斜面を吹き降る。この斜面下降風はほぼ定常的な地吹雪を起こすので、内陸の積雪表層の一部ははぎとられ、飛雪となって沿岸方向へ運ばれる。また沿岸から内陸へ高まる氷床の地形は、沿岸を東進する低気圧の内陸への進入をはばむので、降雪量は内陸部ほど少なく、積雪は沿岸部に集中する。こうして広大な氷床は、“白い砂漠” と呼ばれる少雪・乾燥の内陸高原域、飛雪・削はくが卓越する斜面下降風域、多雪・湿潤の沿岸域と、気候地理的に異なった特徴をそなえている。

南極は寒い、と簡単に一言でイメージされている。しかし、年平均気温は海岸の昭和基地で - 10 程度でしかなく、内陸高原のドームふじでは - 54 で、日本の基地だけで比べても 40 以上の違いがある。

### 氷床の規模

巨大な氷床の形態は、雪上調査旅行による高度・氷厚データの蓄積、航空機による氷厚レーダー観測、定密度無人気球からの電波高度計測定等に加え、1990 年代から人工衛星による表面高度観測もできるようになって、次第に明らかになってきた。1982 年からはイギリスのスコット極地研究所によるデータ編纂結果が信頼されてきた。ところが 1990 年代に入り、新しいデータ・セットの追加と空間分布算出法の見直し・改良から、南極氷床の従来の高度と氷厚の平均値が過大なことがわかってきた。2000 年代に入って南極科学委員会 BEDMAP コンソーシアムによる氷厚データの国際編纂により、氷床全体の氷量が従来より約 2 割も少ない数値が発表された。

表 1 で両者を比較すると、新しい平均値の方が表面高度は低く、氷厚はさらに小さい値となり、表面高度から氷厚を差し引いて得られる基盤高度は高くなっている。地球の陸氷全量の大部分は南極氷床にあるので、この氷厚の違いは世界の海面の高さにして 16m 分にもなる。これはもちろん、実際に氷が減少したのではなく、データの空白域や測定の粗さのため、いかに氷床の全貌を正確に把握するのが困難かを表している。だから新しい数値

も、今後さらに修正されることになるだろう。

いずれにせよ従来から知られていたように、地球上の雪氷の約9割が南極氷床にあり、その内の約9割が面積・平均氷厚ともに大きい東南極氷床（南極横断山脈から東経側）にあって、西南極氷床（同山脈から西経側）に比べて氷床の主体を占めていることには変わりない（表2）。また、平均表面高度も東南極氷床の方が高く、平均基盤高度は西南極氷床の方が低くて、西氷床の基盤の大半は海面高度以下であることも、変わらない。

表1 南極氷床の規模に関する平均値の新旧比較（棚氷を除く接地部分） 単位：m

	表面高度*	氷厚	基盤高度	海面相当高**
Drewry 編 (1983)	2290	2450	- 160	73
British Antarctic Survey (2000)	2190	2034	+ 153	57

\* 表面高度：[氷厚] + [基盤高度]（原典には記載無し）

\*\*海面相当高：[氷床の水当量体積] ÷ [海洋総面積]

表2 南極氷床の規模に関する平均値の東西比較\*

（棚氷を除く接地部分） 単位：m

	氷厚	海面相当高
東南極氷床	2226	52
西南極氷床	1306	5

\*British Antarctic Survey (2000)による

## 氷床の雪氷収支と海水位変動

氷床が拡大しているか縮小しているかは、雪氷の氷床への収入量と氷床からの支出量とのバランス（質量収支）で決まり、収支がプラスであれば拡大、マイナスなら縮小する。地球上の陸水量と海水量の総和は一定と考えてよいので、氷床の拡大分は海水量の減少による水位の下降、縮小分は海面上昇につながる。だから、全陸氷の9割を占める南極氷床の収支の動向は重要である。氷床全体の収支を海面変化との関係で把握するには、すでに海に浮かんでいる棚氷を含めず、氷床の外周を氷が海に浮かびはじめる接地線で区切り、その内側になる接地氷床の表面収支（+）と、浮上・分離して冰山となる接地線からの流出量（-）の和としてとらえる。

氷床の平均年間表面収支は、降雪量（+）を主体に、飛雪量（+ -）、昇華量（+ -）、沿岸部の夏に限られる融解量（-）の総和で決まる。「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC, 2001)は、各研究者による接地氷床の表面収支の見積もり結果（1995年以降に発表された4件）を平均したが、これを接地氷床の全面積で平均すると、水にして年間149mmになる。この表面収支は降雪量（降水量）にほぼ該当し、南極氷床では全地球の平均降水量の1～2割しか降っていないことになる。

この表面収支でもたらされた水は、世界の海面高が 5mm 下がる量に相当する。一方、海面高を上げる接地線からの流出量の見積もり例は少なく不確実で、数件ある近年の氷床収支（表面収支 + 接地線流出量）の見積もり例は、海面相当高にして年間約 1mm の上昇か下降かの範囲でばらついている。最近では人工衛星によって氷床高度の変化を直接精密に観測できるようになった。その最新の解析では、1992～2002 の 10 年間の平均年間値で、南極氷床全体ではごくわずかな縮小が検出され、それは 0.08mm の海面上昇にあたる。その東西の内訳は、東氷床はわずかに拡大して 0.04mm の海面下降、西氷床は縮小して 0.12mm の海面上昇となる（Zwally ら, 2005）。いずれにせよ、現在の南極氷床の雪氷収支は、ほぼ平衡しているとみなされよう。

地球温暖化が進むなかで、今後の南極氷床は縮小して世界の海面を上げるのだろうか？

IPCC(2001)は、2100 年には 1990 年より海面は 11～77cm の範囲で上昇するとしているが、南極氷床は海面の 17cm 下降から 2cm 上昇の範囲で変動するとし、むしろ拡大の可能性が高いとみている。このように推定幅が大きいのでその中間値をとると、海面上昇は 44cm で、上昇分の内訳は、海水の昇温による膨張で 6 割強、世界各地に分布する氷河の縮小で 3 割弱、グリーンランド氷床の縮小で 1 割弱と算定している。

## 氷床は将来も安定か？

温暖化で南極氷床が拡大する理由としては、もともと極寒の南極域では数度程度の昇温による融解量の増加は沿岸部のみでわずかなこと、逆に気温上昇は海氷域を減らし水蒸気量の増えた大気の海洋・内陸間の循環を活発化させて内陸の降雪量が増えること、などが考えられる。温度の変わりにくい海洋に取り囲まれた南極大陸は、地球の陸氷の 9 割を占めながらも温暖化に対しては安定しており、むしろ全陸氷の 1%にも満たない世界各地の氷河が、温暖化にはもろくて、桁違いに変動しやすいのである。

ただ南極氷床は氷の存在量が絶大なだけに、不気味な存在ではある。とくに、基盤の大半が海面高度より低い西南極氷床では、温暖化で海面上昇と棚氷の融解・薄化が進み、棚氷がささえられていた座礁点から解放されて冰山流出が促進、それがさらなる海面上昇・流出促進をまねき、氷床縮小を加速することも考えられている。IPCC(2001)では、この現象が今世紀中に起る可能性は、ほとんどありえない(very unlikely)としているが、さらに数百年・数千年先の将来については、現時点での知識では確かな予測はできない。

一方、西南極氷床に比べて安定と考えられる東南極氷床は、本当に大丈夫なのか？

日本隊が東南極・白瀬氷河の氷床流域で、海岸より約 450km の内陸から海側流出口へ約 300km の範囲にかけて 1969～87 年に観測した結果、氷厚が年当たり内陸寄りでは数 10cm、海寄りでは数 m ほど薄くなりつつあることがわかった。これは、氷床底面が水で滑るために流速が増える範囲が内陸側へ広がってきたからとも考えられ、当時この現象がさらに進むという、白瀬氷床流域の不安定性が提唱された。その後この地域での観測はなく、現状は確認されていない。

白瀬氷河の流出口での氷の流速は年間2～3 kmと世界最大級だが、南極氷床から流出する氷量の9割程度は、数は少ないがこのような高速の氷流から排出されていると考えられている。つまり高速氷流は、安定した内陸深奥部まで流路を複雑に張り巡らせていることになる。氷床の安定性を考察するには、まずその複雑な動力学から明らかにしていかなければならない。

地球の気候が変化することによって南極氷床が変動すれば、地球の冷源が変わるわけだから、その結果は大気を通して地球規模の気候にはね返ってくる。また、氷床は周囲の海洋に冰山を排出し、冷たい淡水の融け水が海水の温度や塩分の分布に影響している。それらが大きく変動すれば、海流循環にも作用し、海洋を通して地球規模の環境を変化させるだろう。このように南極氷床と大気水圏は、相互に作用しながら地球環境を形成し変化させている。南極氷床が今後も安定を保つか、不安定になるかは、地球環境の将来にもかかわっている。

## 文 献

- British Antarctic Survey (2000): BEDMAP-Bed topography of the Antarctic. Sheet No. BAS (Misc) 9, Cambridge.
- Drewry, D.J., ed. (1983): Antarctica: glaciological and geophysical folio. Cambridge, Scott Polar Research Institute.
- IPCC (2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press, 881pp.
- Zwally, H.J., Giovinetto, M.B., Li, J., Cornejo, H.G., Beckley, M.A., Brenner, A.C., Saba, J.L. and Yi, D (2005): Mass changes of the Greenland and Antarctic ice sheets and shelves and contributions to sea-level rise: 1992-2002. *J. Glaciology*, 51 (175), 509-527.