

3. 氷床を巡る生物探査と地球環境変動

伊 村 智*

1. 地球システムの中での南極

南極大陸を覆い尽くす氷床は、降り積もった雪が融けることなく厚く堆積したもので、最大で4000 mもの厚さに達している。年平均気温が -10°C ほどの標高の低い大陸縁辺部では、夏期に氷床表面に融け水の流れが生じることも多いが、一年の大半は凍結状態にある。標高が3000 mを超える内陸部では、年平均気温は -50°C を下回り、夏期にも最高気温が -30°C 程度までにしかならない。まさにここは地球の寒極であり、冷源として全球的な気候を支配する場となっている。また、氷床はもともと降雪が堆積したものであるから、成分的にはほぼ純水に近い淡水の水である。南極氷床の体積は約 $30 \times 10^6 \text{ km}^3$ に及ぶと見積もられているが、これは地球上に存在する淡水の約70%に相当する莫大な量である。氷床はいわば、南極大陸上の凍結した真水のダムであり、その貯水量が海水の量を左右すると共に、全球的な水循環にも影響する。「文明圏から遙かに離れた異世界」というイメージが強い南極であるが、地球全体の気候や水バランスを考える上ではきわめて重要な役割を担っていることになる。

2. 生物圏としての氷床

地球上の生命は、水無しには生存し得ない。一年を通して氷点下の気温が続く南極では、水は常に固体で

ある氷の状態にあり、生物はこれを利用できない。利用できる水がほとんど無いという点で南極と砂漠は似たような環境であり、ともに極めて生命に乏しい。このような環境で生命を探すためには、制限要因となっている水がわずかでも存在する場所を探せばよいことになる。南極の大陸氷床周辺では氷床表面と氷床底に水の存在が知られており、それぞれ大きな注目を集めている。

2.1 氷床表面

氷床の表面はもちろん雪氷に覆われているが、たとえ気温が -30°C であっても、強い直射日光の降り注ぐ夏の氷床では表面に薄く液体の水の膜を生じることが多いようである。窒素やリンなどの栄養塩類はほとんど皆無で、強力な日射を受ける不安定な環境ではあるが、低標高の氷床上には藻類とバクテリアが、高標高の氷床でもバクテリアが見つかっている。注目されるのは、南極点付近の氷床上から分離された *Deinococcus* 属のバクテリアである (Carpenter *et al.* 2000)。この種類は、低温ばかりでなく紫外線、放射線、乾燥などの種々のストレスに対する強靱な耐性を持ち合わせている点でも極めて興味深い。特異な生理活性や耐性を持つ生物探査の場として、氷床表面はかなり有望である。

2.2 氷床下湖

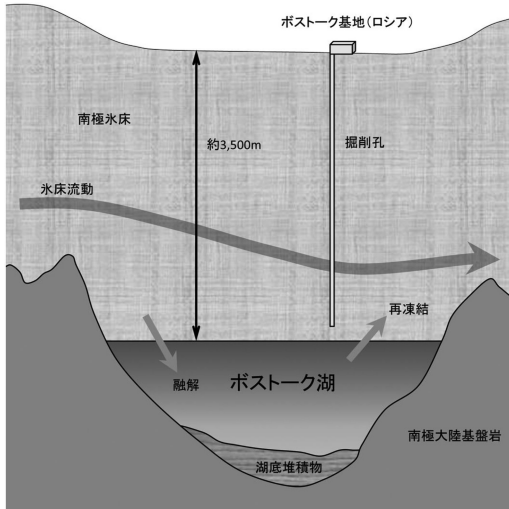
一方で、凍てつく氷床の底、南極大陸基盤岩と接する付近に大量の融け水が存在することが、近年次々に明らかになってきた (Siegert 2000)。そのきっかけとなったのが、地球上最大の氷床下湖であるポスター

* 国立極地研究所／総合研究大学院大学極域科学専攻、

〒190-8518 東京都立川市緑町10-3.

imura@nipr.ac.jp

© 2013 日本気象学会



第1図 ポストーク湖の概念図。

ク湖の発見である (Robin *et al.* 1970)。これは、湖面は厚さ3500 mを超える氷床の下にあり、面積は琵琶湖の20倍以上、水深1000 mに達しようという膨大な淡水の水塊である (第1図)。分厚い氷床に覆われるため完全に暗黒の世界であるが、地熱の供給があることから水温 -3°C 程度と想像されている。氷床による圧力がかかっているため、この温度でも凍結することなく液体の水が保持されている。当初は、酸素が消費され尽くした環境であると想像されていたが、積雪時に氷床に閉じこめられていた空気が氷床下湖にゆっくりと供給されるため、むしろ酸素は豊富に存在するようである。ポストーク湖の湖水の起源は、氷床下の融け水が地形のくぼみに溜まった物では無いと考えられている。それは、南極大陸に氷床が発達を始める以前から存在した湖が、浸食を受けずに氷床下で水塊を保持できたものであるらしい。氷床に封鎖されて以来、1000万年以上にわたって地上と隔絶されてきた、いわば化石のような湖である。

近年、厚い氷床の下面では、基盤岩に接する部分はかなりの割合が溶けているとされており、凍てつく氷床の下面は水浸し、というイメージが一般的になってきた。氷床下には湖とそれをつなぐ流れがあり、場所によっては湿地も広がる、地上の陸水環境とあまり変わらない世界であると言える。陸上与異なるのは、大気の代わりに氷床が存在することである。地上に見られる大気を介したダイナミックな水循環に代わって、氷床が介在する非常にゆっくりとした、しかし基

本的な構造はほとんど変わらない水循環が成立していると考えられる。

そしてこの氷床下水環境に、微生物の存在が想定されているのである (Karl *et al.* 1999; Priscu *et al.* 1999)。100年以上ほぼ隔絶された、低温高圧の異常環境に生命が存在するとすれば、彼らは我々を取り巻く世界とは異なる進化の道筋を歩んできたに違いない。ポストーク湖の直上にあるロシアの基地では、湖水のサンプリングを目指して掘削が進んでおり、2011年中には湖面に到達し、2012年中に初のサンプルが回収される予定である。引き続いてイギリス、アメリカもそれぞれ、異なる氷床下湖からのサンプル回収を目指している。我が国は氷床下湖掘削には関わっていないが、氷床の底面までのコアの掘削に成功し、微生物らしいものを発見し、現在その正体を分析中である。現代のパンドラの箱から何が出てくるのか、期待は高まる。

※追記 2012年2月5日20時25分(モスクワ時間)、ついに掘削孔がポストーク湖の湖面に到達したとのニュースが流れた。本格的なサンプリングは翌年に持ち越されたが、2012年は、人類が氷床下湖の直接探査を開始した年として長く記憶されることであろう。翌2012-13年シーズンには、イギリスのエルスワース湖掘削計画は失敗したものの、ロシアが再度サンプルを回収すると共に、アメリカがウィランス氷流地域での氷床下湖掘削に成功し、サンプルとともに湖底の映像をも撮影した。激しい掘削競争を終えた今、いよいよ主戦場は生物解析へと移っている。

3. 生物学的アーカイブとしての氷床

4000 mもの厚さを持つ南極大陸氷床は、最大で100万年前からの大気の記録を、時系列的に記録していると言われる。これは、降り積もる雪とともに閉じ込められてゆく大気が、上から下に、順に積み重ねられてゆくためである。厚く、安定して積み重なり、その後の攪乱の無い場所を探して各国が競って氷床コアを掘り出し、この大気の記録を読み取ろうとしている。我が国も、標高3800 mを越えるドームふじ基地において深層掘削を行い、過去72万年間の気候変動の復元に成功している (本山 2010)。

我々は今、氷床上に大気とともに飛来しているバクテリアやウイルス、花粉などを対象として、気候変動と生物的環境の関わりを分析しようとしている。一細胞からのDNA分析技術を駆使して、この100万年間

の地球生態系の歴史を復元しようとする試みである。氷床は、年代ごとに中身が整理された、理想的な冷凍庫貯蔵庫として使えるのだ。

生きるものを拒む極寒の南極。しかし今やそこは、まさに生物研究の“ホットスポット”となろうとしているのである。

参 考 文 献

- Carpenter, E.J., S. Lin and D.G. Capone, 2000: Bacterial activity in south pole snow. *Appl. Environ. Microbiol.*, **66**, 4514-4517.
- Karl, D.M., D.F. Bird, K. Björkman, T. Houlihan, R. Shackelford and L. Tupas, 1999: Microorganisms in the accreted ice of Lake Vostok, Antarctica. *Science*, **286**, 2144-2147.
- 本山秀明, 2010: 氷床コアに記録された気候・環境変動。エアロゾル研究, **25**, 247-255.
- Prisco, J.C., E.E. Adams, W.B. Lyons, M.A. Voytek, D. W. Mogk, R.L. Brown, C.P. McKay, C.D. Takacs, K. A. Welch, C.F. Wolf, J.D. Kirshtein and R. Avci, 1999: Geomicrobiology of subglacial ice above Lake Vostok, Antarctica. *Science*, **286**, 2141-2144.
- Robin, G. de Q., C. W. M. Swithinbank and B. M. E. Smith, 1970: Radio echo exploration of the Antarctic ice sheet. *Int. Assoc. Sci. Hydrol. Publ.*, **86**, 97-115.
- Siegert, M.J., 2000: Antarctic subglacial lakes. *Earth-Sci. Rev.*, **50**, 29-50.