

化石氷体－北アルプス内蔵助雪渓－による古環境復元の可能性

上田 豊

名古屋大学水圏科学研究所

464-01 名古屋市千種区不老町

1. はじめに

北アルプス立山山域の内蔵助雪渓（図1）の下部には、厚さ30mに達する氷体が存在し、多くの縦穴が分布している（吉田他，1983）。その古い氷体の表面直下と深さ16mにあった汚層から採取した植物片の ^{14}C 年代測定の結果、それぞれ930±270年前と、1700～1500年前という値が得られ、植物片の産出状況から、汚層を含む氷層の年代は、これと同程度と推定された（吉田他，1986）。したがって、この氷体は、日本最古の化石氷体ということが出来る。

そこで、さらに多くの試料の採取によって、より古い氷も含まれている可能性があるこの氷体の年代を確定するとともに、試料の物理・化学・生物学的解析、氷体の構造、付近の周氷河地形、気候条件等から氷体の形成、維持機構を解明することを目的として、1988～89年度文部省科学研究費・総合研究A「日本最古の化石氷体（北アルプス内蔵助沢）の構造と形成に関する研究」（代表者：樋口敬二）が実施された。この研究では、熱水ドリル（大畑・長田）によって深さ約19mの2つの縦穴（J，L）を内部作業できるように拡張した。そして、孔内の層構造を観測し（飯田他）、また多量の試料を採取してその植物片年代（中村）、氷体構造（清田他）、残留磁化（酒井他）、地球化学成分（佐竹）、雪氷微生物（幸島）、基底堆積物（小野他）などの分析・解析を行った。さらに、雪渓内部への固体粒子の混入過程（川田・園田）、氷河流動量を考慮した越年性氷の長期変動（藤井・竹中）、化石氷体による岩屑運搬モデル（小野他）などの氷体構造に関する基礎的研究、氷体の形成にかかわる立山山域の気候条件の解析（横山他，Morinaga・Yasunari）などがすすめられた。また、氷体から得られた結果を付近一帯の古環境と結びつけるための基礎的研究として、周氷河堆積物についての地形・地質学的研究（小野・渡辺，小野他，小林）がおこなわれた。

これらの研究結果については同研究（課題番号63302016）の研究成果報告書（樋口編，1990）に発表されている。ここでは、同報告書のいくつかの報文で共通してとりあげられている諸問題に焦点をあててまとめてみる。そして、化石氷体による古環境復元について、若干の私見を述べる。

2. 氷体の年代

内蔵助雪渓の氷体基底に届くJ穴の孔壁から採取した植物片から加速器質量分析によって中村が得た ^{14}C 年代は、もっとも古い物で1760（±140）年前であるが、底から表面にむけて順番に新しい年代をしめしているわけではない（図2）。氷体形成時にすでに古くなった植物片をとりこんだ場合と、氷体形成後により新しい植物片

が混入した場合、試料採取位置の水体形成年代にくらべ、それぞれ新しい方と古い方にずれる。

基底から高さ8.6m～9.2m高の範囲に、上位よりも若い190～600年前の試料があったことについては、これらの年代試料がこの部分だけに集中していることから、中村は氷体形成後の混入と考え、小野他も、これについては同様の解釈をしている。この部所には顕著な礫層が斜めに入っていることから、この解釈は支持できよう。

また、基底の試料が、そのすぐ上位にくらべて若い750～950年前であったことについても、中村は氷体形成後のとりこみの可能性をあげている。そして、測定した氷体中の植物片はすべて樹皮がついたままの、氷体に保護されて分解のすすんでいないハイ松の枝片と葉片であることから、不整合面下の氷体が1220～1760年前頃に比較的短期間で形成されたと考えた。

これについて小野らは、氷体形成時期について、氷体中の最古の植物年代を有意とするネオグラシェーション説と、基底でえられた若い年代を有意とする小氷期説をあげ、比較考察した。そしてネオグラシェーション期に形成された氷体の上に小氷期の氷体が重なる第3の仮説もあげ、3つのモデルのどれが妥当かについての結論は、現時点ではひかえている。

中村がのべているように、1760年前の試料が表面上に長期にさらされていた可能性が低く、また、1979年にすぐ近くの縦穴底部で同様の1720(±170)年前の試料が得られていること(樋口他, 1988; Yoshida et al., 1990)などから、現時点では、氷体底部層はおおよそ1700～1800年前に形成された可能性の方が高いと考えられる。ただ氷体の年代については、他の部位の試料も残っているので、今後の年代測定結果から、さらに慎重な検討を加える必要がある。

3. 氷体の構造

内蔵助雪渓全体の概要と縦穴孔内での現場の観察および考察は、飯田他によって報告されている。また、かつて採取された雪氷コアを含め、今回の縦穴による氷試料の物理解析結果は清田他、化学分析結果は佐竹が報告している。

これらは共通して、J穴基底から13.2mの高さに観測される不整合面(図2・破線)を境とした、諸要素の垂直プロファイルの大きな差異を指摘している。この不整合面には、すぐ上がトリチウム濃度のピークから1963年(佐竹)、すぐ下が植物年代で930(±270)年前(樋口他, 1988)、1380(±240)年前(中村)と、その上下に大きな年代のへだたりがある。これは、氷の密度・粒径・結晶C軸方位(清田他)、トリチウム濃度・酸素同位体比(佐竹)などの性質のちがいとなってあらわれている。

また、注意すべきは、この不整合面の下位1～2mに、密度、トリチウム濃度、酸素同位体比の不連続面が位置していることで、清田他と佐竹はともに、融解水の浸透による影響の下限とした。また、この面は層構造の観測では不明瞭だが、年代の不連続面でもある可能性も考えている。

そして、基底部の約1 mにも、底からの融解水や不純物の影響によると考えられる密度、トリチウム濃度のちがいがみられる。このようなことから清田他は、氷体をその諸性質から、表面から不整合面まで、その直下の不連続面まで、中間部、底部の計4つの部分に分けられるとした。

なお、佐竹は塩化物イオンと硫酸濃度のプロファイルから、基底より2.6 mと8.6 mの高さにも、かって表面が長期間露出していた堆積中断期があったと考えている。

4. 氷体の歴史

内蔵助雪溪に近接する“はまぐり雪”基底に6000～7000年前頃の腐植質埋没土があったことから、このヒプシサーマル期は北アルプスの圏谷は高山植生でおおわれ、内蔵助氷体も消滅していた可能性が強い(藤井・竹中)。また立山・室堂周辺は、泥炭層の年代からおよそ4400年前と2100年前に植生がかなり豊かであったと推定される(小野他)。

内蔵助雪溪の化石氷体の形成時期について、小野他は2.でのべたネオグラシェーション説でおよそ1800年前、小氷期説で700年ほど前に形成され(はじめ)た場合について考察している。また、藤井・竹中は、小氷期を含む1400～1000年前の地球規模の氷河拡大期、あるいは尾瀬ヶ原で推定されている2100～1200年前と600～200年前の2つの寒冷期に対応している可能性が高いとしている。

いずれにしても、化石氷体の形成時期は現在よりも寒冷であったことが推察される。それは、この氷体の孔内試料に含まれる微生物相から幸島が推定しており、佐竹も3.でのべた不連続面の上位と下位の酸素同位体比の平均値の差から、1.5℃ほど低温であったと推定した。

氷体形成後も、その表面では現在の化石氷体が残る程度の涵養と消耗が持続した(飯田他)。しかし問題となるのは、現在の他の雪溪にみられる氷体底面からの地熱および水流による融解である。これについては、飯田他は地温が低いために大きくはなかったと考えており、また、底面での水流がほとんどないこと、あっても水温はほぼ0℃とみられるため、氷体を融かさないことなどが考えられる。底面融解に関する現場観測は、場所が氷体基底であるため困難であるが、1988年10月に縦穴底に底面融解測定のための測点を設置した。1991年10月に再測できたが、その間の変化は測定誤差程度であり、今後の再測にそなえて、氷体底部の流動も含めた、より精度の高い測点を設置してある。

氷体の履歴で最も多くの興味を集めたのは、流動の有無である。氷体流動の証拠があれば、それが氷河であったことになる。これにふれた報文5篇がともに、それぞれの視点から、流動があったとする一致した考えをのべている。

まず飯田他は、孔壁の底部層理が下流に向かって大きく持ちあがり、乱れた複雑な構造をしていること、これらの層にティルに酷似した砂礫層や基底からとりこまれたと考えらる礫があること、氷体下部の逆断層構造の存在などは、流動の結果によると

しか考えがたいとした。また清田他は、下部氷体の結晶形状、気泡形状の異方性、C軸方位分布から、流動の可能性を示唆した。さらに酒井他は、下部氷体汚れ層の残留磁化から、試料が堆積後かなりの傾動を受けていることを見いだした。

小野他は、氷体基底部の堆積物に含まれる石英砂粒の表面組織、マトリックスの粒度組成、礫の円磨度から、氷体の粒動にともなう削磨作用を受けているとした。そして底部氷体中の礫の長軸方向、汚れ層の構造などからも、この化石氷体が、かつて氷河であったと推定した。

以上のことから、内蔵助化石氷体は、かつて氷河として活動していたと結論してよいであろう。

その流動速度については、藤井・竹中はグレンの流動則から、表面で傾斜方向に平均7 cm/年、また小野他は、氷体形成時にその上流端でとりこまれた異物が現在位置まで移動してきたと仮定して、その斜距離と氷体形成後の年数から、ネオグラシェーション説で平均9 - 10 cm/年、小氷期説で2.4 cm/年をえた。藤井・竹中の値と、小野他のネオグラシェーション説の値が似ているが、藤井・竹中の計算は雪渓中央平坦部の傾斜7°の層流を仮定しているのに対し、小野他のモデルでは、基盤30°、表面20°の地形をとっている。ちなみに傾斜30°を藤井・竹中の式に代入すると約5 m/年となる。

いずれにしても、上記の値は、氷河の流動速度としてはきわめて小さい。その理由の一つは、最終氷期末期に形成されていたと考えられる氷体末端モレーン（小野他）が、流動の障壁となったことであろう。

さてそれでは、もともと流速の小さかったこの氷体が現在も流動しているか、すなわち現存氷河なのであろうか。この問題については、清田他が結晶C軸方位分布から、現在も非常に弱い流動している可能性も残るとし、藤井・竹中は完全塑性体モデルでは、現在の雪渓厚の最大季節でも流動を起すには厚さ不足とした。この問題については、流動量の精密測量がこころみられているが、雪渓表面の高さが積雪と融雪で年間約20 mにもわたって変化するため測量標識の維持が困難であり、これからの課題として残されている。

5. おわりに - 古環境復元の可能性

以上に述べてきたように、まず、この化石氷体が存在しているという事実から、BP 2000年以降に、この場所が氷河の存在できる環境にあったこと、そして、それが融けきらずに現在まで保存される環境が続いたことがわかる。これらが、最近数千年間の北アルプス山稜付近の環境条件の大枠をあたえるが、その枠の中で想定できる古環境の歴史シナリオは多様で、しぼりこむには課題が多い。

この化石氷体では、縦穴を利用して人間が氷体内に入り、現場での直接観測や、集中的な多量の試料採取が可能である。こうして、氷体自体が保存している環境情報を、表面からの掘削によるコア解析よりも多面的にとりだすことができるが、全層に融解水が介在しているため、堆積当時のまま保存されている情報には限界がある。また堆

積層が消失している年代もあるため、連続した時系列情報は得られない。

しかし、氷体に残された気体、花粉、他の化学物質などから、土質堆積物では得られない古環境情報を得る可能性は、まだ残されているであろう。また、山本他（1986）、Yamamoto and Yoshida（1987）のインパルス・レーダーによる内部構造の解析では、すでに試料が得られた層よりもさらに古い層構造が残っており、そこからより古い年代試料が得られれば、氷体の年代をさらに確実にし、古環境の時間スケールを延長して復元できる可能性もでてくる。そして、他の数多くある縦穴の内部構造も調査して空間情報を拡張し、それらの多点情報を整合できれば、考えられる古環境のシナリオも、より明確になると期待される。

参考文献

- 樋口敬二（編）（1990）：日本最古の化石氷体（北アルプス内蔵助沢）の構造と形成に関する研究。平成元年度科学研究費補助金（総合研究A）研究成果報告書、全181頁。
- 樋口敬二・山本勝弘・吉田 稔・大畑哲夫（1988）：北アルプス・内蔵助雪渓の下部氷体の形成年代について。名古屋大学加速器質量分析計業績報告書（I），名古屋大学アイソトープ総合センター，33-35。
- 山本勝弘・飯田 肇・高原浩志・吉田 稔・長谷川 浩（1986）：インパルスレーダーによる内蔵助雪渓の内部構造調査。雪氷，48，1-9。
- Yamamoto, K. and Yoshida, M. (1987) : Impulse radar sounding of fossil ice within the Kuranosuke perennial snow patch, central Japan. *Annals of Glaciology*, 9, 1-3.
- 吉田 稔・伏見碩二・池上宏一・竹中修平・高原浩志・藤井理行（1983）：北アルプス，内蔵助雪渓の氷体部に存在する縦穴の分布と形状。雪氷，45，25-32。
- 吉田 稔・山本勝弘・中村俊夫（1986）：1500-1700年前の化石氷体-内蔵助雪渓下部氷体の年代推定-。昭和61年度日本雪氷学会秋季大会講演予稿集，191。
- Yoshida, M., Yamamoto, K., Higuchi, K., Iida, H., Ohata, T. and Nakamura, T. (1990) : First discovery of fossil ice of 1000 - 1700 year B.P. in Japan. *J. Glaciology*, 36, 123, 258 - 259.

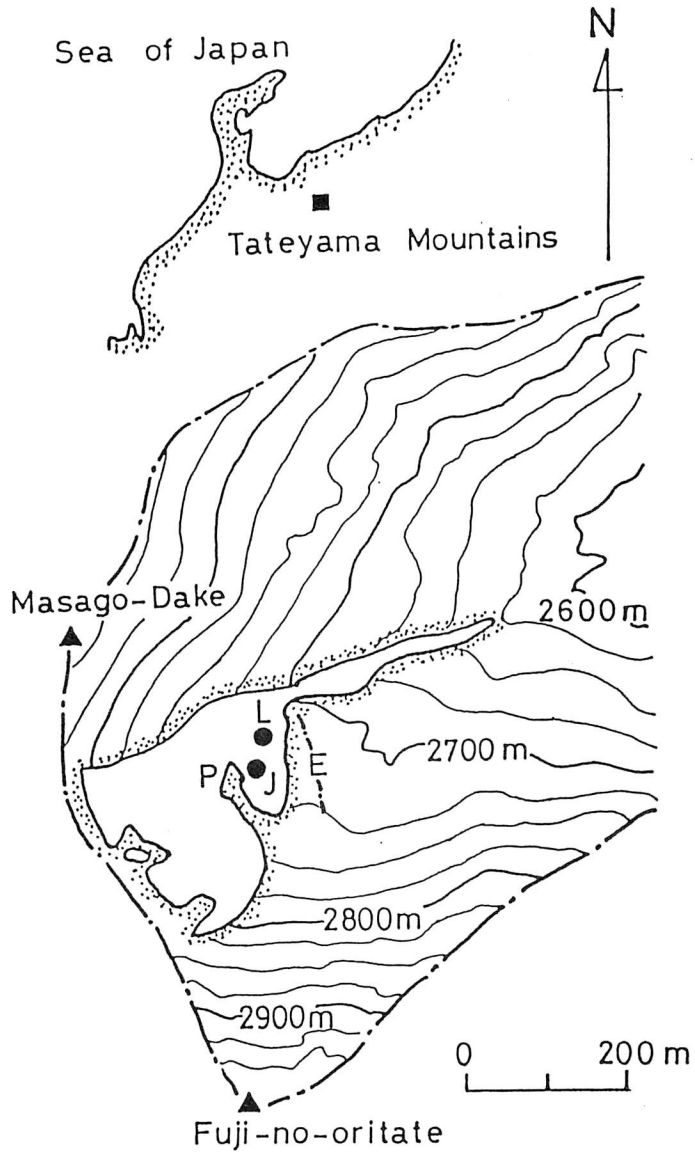


図1 立山山域・内蔵助雪渓と、調査した縦穴（J, L）。（樋口編, 1990）

P : プロテラス・ランパート

E : 終堆石

Kuranosuke Snow Patch in Tateyama Mts. and observed holes (J, L)

P : protalus lampart

E : end moraines

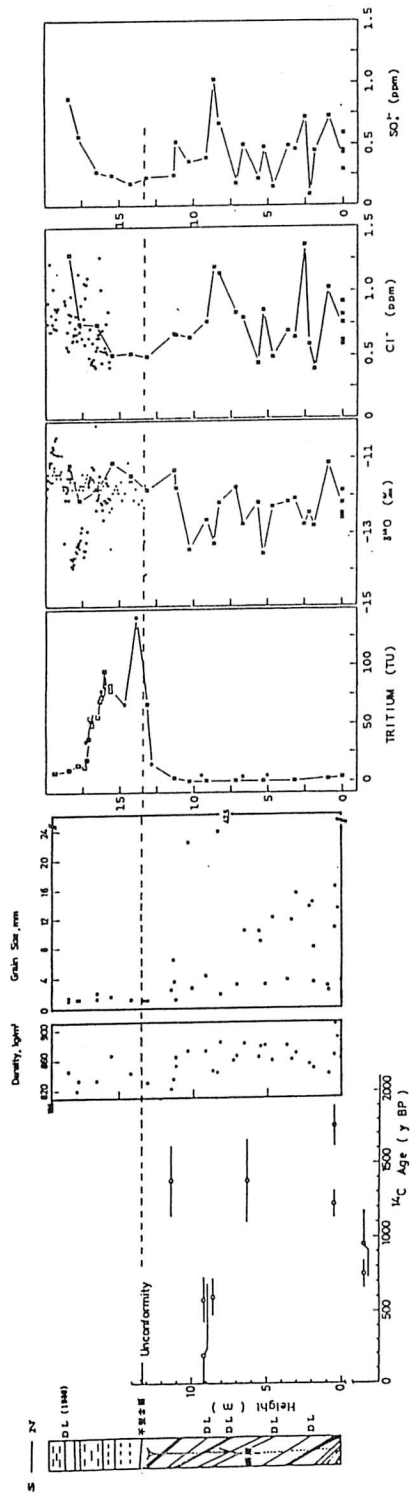


図2 内蔵助雪渓J穴の層構造(1988年)と試料解析結果(縦穴基底を0mとし、破線は不整合面)。(樋口編, 1990)

Stratigraphy in 1988 and analytical results of samples of Hole J in Kuranosuke Snow Patch (base of the hole: 0m, unconformity: dashed line)

**Fossil ice of Kuranosuke Snow Patch in the Northern Japan Alps:
a possibility of studies on the environmental history**

Yutaka Ageta
Water Research Institute,
Nagoya University

Abstract

From ^{14}C dating of plant samples obtained from a vertical hole in the snow patch, ages of the fossil ice were estimated to be 1200 - 1800 BP. Palaeo - environments around the ice body were studied from the structure of the ice body, physical, chemical and biological analyses of ice samples from the hole and periglacial conditions around the snow patch. These results are summarized and a possibility of studies on the environmental history is commented briefly in this report.