

—夏季大学講座内容③—

雪氷圏と人間

北海道大学名誉教授 若濱五郎

1. はじめに

地球は水惑星といわれるように、水(H₂O)が多量に存在することがその特徴である。地球上に生物が発生し、今もそれが生き続けることができるのは、水あればこそである。

水は、気体(水蒸気)、液体(水)、固体(氷、雪や霜も氷である)の3つの状態のうち、そのいずれかの形をとりながら、常に地球上を循環している。温暖地では一般に水の姿をとるが、寒冷地や高山などの低温の世界では、固体の姿、すなわち、雪や氷となって存在し、地上の広大な面積を蔽う。雪や氷の世界、これが「雪氷圏」である。

日本、中国北部、北ヨーロッパ、アメリカ北部の低平地等は、冬の間だけ雪や氷が地表に存在する。このような地域を特に「季節雪氷圏」とよぶ。これに対し、氷河地帯や南極氷床(氷床は大陸規模の面積に広がる氷河をいう)、北極海の海氷野、あるいはシベリア、カナダの永久凍土地帯のように、一年中、雪氷(凍土を含めて)が存在する地域は「永久雪氷圏」とよばれる(図3-1参照)。

典型的な季節雪氷圏であるわが国の日本海側一帯は世界でも有数の豪雪地といわれる。深い雪の中に2000万以上の人が密に住んでいるが、世界でも珍しい地域といわれる(図3-2)。従って、交通障害、都市雪害、なだれ等々、解決すべき多くの雪の問題を抱えている。一方、山の雪はわれわれの貴重な水資源であり、また、最近、雪の積極利用(利雪)や親雪がいわれ、雪との共存調和が図られるようになった。

近年、地球の気候変動、地球環境が、人類・生

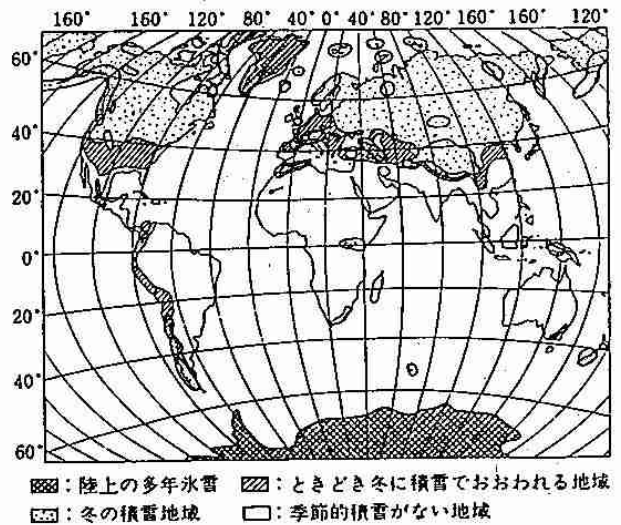


図3-1 世界の氷河氷床(万年雪氷圏)の分布と積雪地域(季節雪氷圏) [図は樋口 1977による]

物圏全体の大きな問題になってきた。本講義では雪氷圏が地球気候にどのように関わり合っているのかをのべ、雪氷圏の重要性を強調したい。

更に最近、宇宙空間にも大量の雪氷が発見された。これは「宇宙雪氷圏」とでもよぶべきものであろうか。宇宙の雪氷の研究は、太陽系の起源を知る上で重要な手掛りを与えることが期待されている。

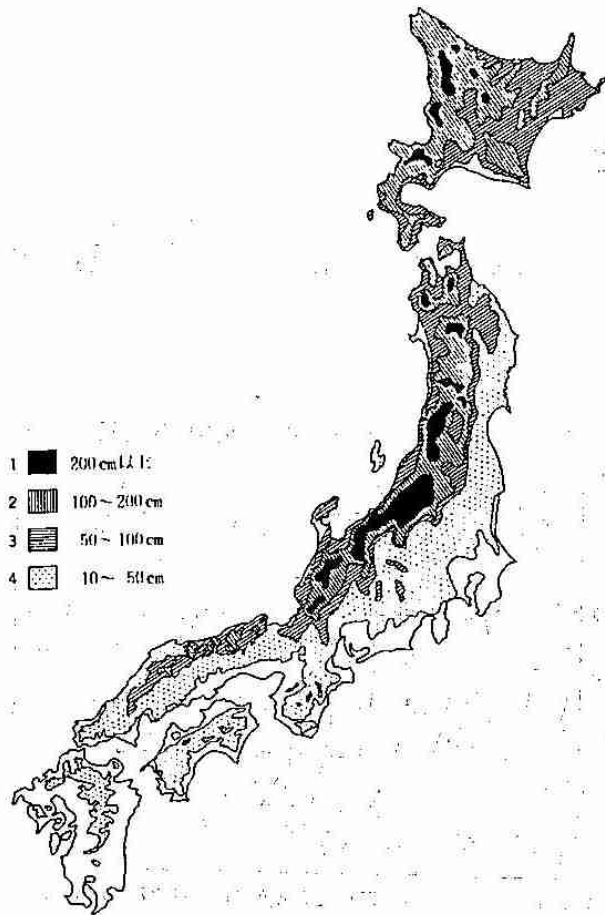


図3-2 日本の最大積雪深の平均分布
(気象庁編：日本気候図第2集、地人書館、1972より描き改める)

2. 雪氷圏の面積、雪氷の量と分布

地球上には、水(H₂O)はいろいろな形態で存在する。その夫々の質量とその百分率を表3-1に示した。これを見ると、地球上に存在する水の中で、海洋を除けば、雪氷の量がいかに多いかがわらう。これは、極域に存在する雪氷の量が多いことによる。

次に、地球上に存在する雪氷の面積と量の分布を見てみよう。表3-2に氷の面積分布を、また、表3-3に、純氷の量を示した。これによると、地球全体の純氷の量の実に90%が南極に、9%がグリーンランドに集中していることがわかる。陸地には、アラスカや北極圏の島々、ヒマラヤ、南米、アルプス等の高山帯に大小無数の氷河が見ら

表3-1 地球上に存在しているいろいろな形態の水の質量とその百分率
(ホインケスによる)

	質量×10 ¹² トン	百分率(%)
大気中(雲、霧、水蒸気等)	13	0.0009
地中(地中水分、浅い地下水)	62	0.004
塩水湖	100	0.007
湖沼、河川(淡水)	125	0.009
地下水(深)	8,000	0.58
氷と雪	28,000	2.0
海洋	1,348,000	97.4
合計	1,384,300	100.0
うち、淡水の占める分	36,200	2.6

表3-2 氷の面積分布(季節雪氷を除く)

	面積(km ²)	百分率(%)
南極地域	13,000,000	86
北極地方	2,080,000	13
山岳氷河	200,000	1
合計	15,280,000	100

表3-3 地球上に存在する純氷の量
(ホインケスによる)

	表面積(km ²)	体積(km ³)	質量×10 ¹² トン	百分率(%)
南極大陸	13,914,000	28,000,000	25,200	90
グリーンランド	1,802,000	2,660,000	2,400	9
その他	499,000	240,000	220	1
合計	16,215,000	30,900,000	27,820	100

れ、また、冬期、シベリア、ヨーロッパ北部、カナダ全土を蔽う積雪、それに、河川や湖沼の氷があるが、それらの氷、雪を全部集めても、わずか1%にしかならないのである。また、純氷ではないが、海水の量も南極の氷の量に比べれば桁違いに少なく、せいぜい0.1%のていどしかない。

しかしながら、積雪や海水は量としては少ないが、その面積が大きく、また、雪氷の日射反射率(アルベド)が大きくて太陽光(エネルギー)

の大半を反射してしまう性質があるので、地球気候に与える影響は大きい。

3. 雪氷と人間生活・社会との関わり

(1) 雪害とその対策

深い雪の中に住む以上、雪はわれわれの日常生活や社会に様々な形で直接・間接、関わり合うのは当然のことである。実際、雪はわれわれに多くの被害を与え、その対策を講じなければならぬが、一方で、多くの天恵をもたらしてくれる。本項では雪害について略記しよう。

雪害を大別すると、降雪によって起こる風雪害（吹雪・吹き溜りによる交通障害等）、着氷雪害（電力障害、鉄塔被害、交通障害等）、次に積雪によって起こる積雪災害（交通障害、建物倒壊、集落孤立、屋根雪処理、落雪被害、除排雪における二次災害、ライフライン被害、沈降力による被害（沈降力は、積雪が締まる時、積雪内に埋まった樹木の枝や道路側帯の構造物が大きな力で破壊される）、農林被害など）および雪崩災害がある。また、融雪による洪水、斜面崩壊、融雪遅延による農業被害などがある。

しかし、近年の社会の急激な変容に伴って、雪害もその様相が変化し、人々の雪害観や行政の対応も変わりつつある。すなわち、車の急増による車社会化・流通社会化、都市の過密化、農山村の過疎化、若者の流出と高齢化・情報化・オンライン化・ライフライン化、家庭の電化・自動化、省力化、核家族化などの進行に伴い、最近では都市機能や生活環境の阻害や任下を招くもの、特に水とエネルギー（電力、ガス、石油等）の供給システム、交通情報通信網などのライフラインの災害が雪害の中心となってきた。これは都市機能の維持システムに対する雪害ともいえる（雪氷防災、白亜書房、昭和61年刊行を参照）。

以上のような雪害を軽減防除するための対策は、研究面でも行政面でもいろいろと考えられている。その主なものを挙げると、まず、降雪

のきめ細かい高精度の量的予測がある。最近では降雪観測用のドップラーレーダーやデータ処理機、衛星画像の高度利用により、集中的に降るいわゆるドカ雪の予測もかなり進んできた。道路交通の維持については、降雪予測と連動させた除排雪態勢の早期配置と路面管理、コンピューターを駆使した交通システムの整備などが進められている。

(2) 寒冷・凍結による災害とその対策

北海道内陸部では、冬季、しばしば気温が $-30\sim-40^{\circ}\text{C}$ にまで下る。北緯 44° という中緯度地帯で、かつ、人が密に住む文明地でこのような低温を経験する地は珍しい。

北海道に限らず、広く北方圏諸国では、寒冷による河川・湖沼・ダム等の凍結、地面や樹木の凍結による被害が大きな問題である。特に、地面の凍結に伴う凍上現象によって生ずる道路、線路、建物、地中埋設物の変形や破壊の被害は大きい（凍上：地面が凍結するとき、地面が盛り上がる現象）。凍上による被害を防止するため、例えば道路では、凍上防止工法がとられ、また、ヒートパイプを利用した新しい方法も考えられている。

寒冷により海も凍結する。冬になると北海道オホーツク沿岸には流氷がやって来て、船舶・漁船の航行を阻害し、危険に陥し入れる。また、沿岸構造物や養殖漁業に大きな被害を与える。このため、レーダーや衛星画像を利用した流氷予測が行なわれ、また、流氷力（流氷が構造物などに及ぼす力）の研究とその力を逃れる方法も考えられている。

(3) 雪氷の恩恵、親雪・利雪時代

これまで雪や氷の害をのべてきたが、雪や氷はもともと人間に大きな利益を与えている。その最大のものは、雪は水資源ということであろう。例えば北海道で年間に使う水の総量の約半分は山の雪のとけ水といわれる。従って、山の雪がないと、北海道は存在しえない。世界的にみても、雪氷は多くの国の主要な水資源となっ

ている。パキスタン、アフガニスタン、イランなどの高山に降る雪と、それが固まってできた氷河は、これらの国の主要な水源であるし、ヨーロッパ、アメリカ、オーストラリア、南米などの高山地帯の雪や氷河もすべて貴重な水資源となっている。

近年は更に、雪氷や寒冷をもっと積極的に利用しようとする気運が高まり、利雪時代の到来といわれる。スキー・スケートなどのスポーツは勿論のこと、雪祭りなどの観光事業は従来も盛んに行なわれてきたが、現在は、水資源の更なる有効利用(雪ダムなど)、農産物の長期大量保存への利用、冷熱源としての利用などが研究、一部すでに実施されている。これらを通じて得た知識や技術を今後は寒冷圏諸国に輸出することも今後期待される。

利雪と共に、雪に対する考えも変わりつつある。折角雪国に住んでいて雪を嫌ってばかりではつまらぬし、雪国独自のユニークな文化も生まれぬ。最近では、雪に親しみ、雪との共存・調和を図ろうとする親雪がいわれ、雪国のアメニティー(快適さ)を追求しようとする動きが盛んである。もともと雪害という言葉は、大自然を敵視する人間本位の考えから出発したものである。大自然は人間・生物に害ばかりを与える筈がない。むしろ天恵なのである。

4. 雪氷圏と地球気候との関わり

前述のように、雪氷は地球表面の広大な面積を蔽っている。冬季、ユーラシア大陸、北米大陸はその面積の約半分が積雪に蔽われるといわれるし(図3-1)、また、海氷野は海洋面積の11%を、永久凍土は陸地面積の10%を占めるといふ。

雪氷は白銀の世界といわれるように、日射を効率よく反射し、その反射率は65~90%である。従って、地表の広大な面積を被覆する雪氷野の消長は、地球が受ける太陽エネルギーの増大・減少をもたらす、その結果、気候の変化をもたらすことになる。

人間活動の結果、現在大気中のCO₂濃度が急激に増加しつつある(図3-3)。CO₂は太陽光線に対しては素通しであるが、地球が放射する長波エネルギーをよく吸収するので、CO₂が増えると地球が温室に入ったと同じように、温暖化が起る

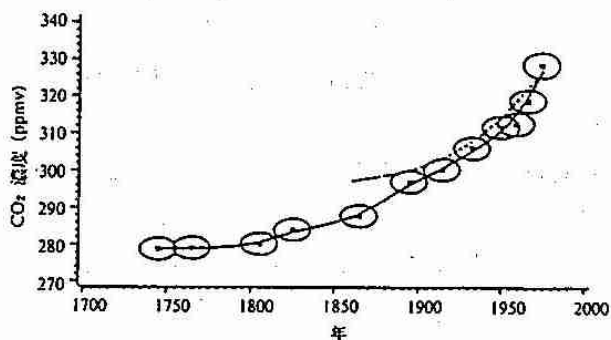


図3-3(a) 南極のサイプル基地で採取された氷床コア中の空気の分析から得られた過去200年にわたる大気中のCO₂濃度変化。測定値の周りの楕円の横の広がり、コア中に空気が密閉されるまでに要する時間(22年間)を示している。楕円の縦軸は実測値を平均した際の2σ(σ:標準偏差)である。点線はCO₂が化石燃料のみから放出されたと仮定した場合にモデルによって推定された過去のCO₂濃度である。(Neftel et al., 1985)

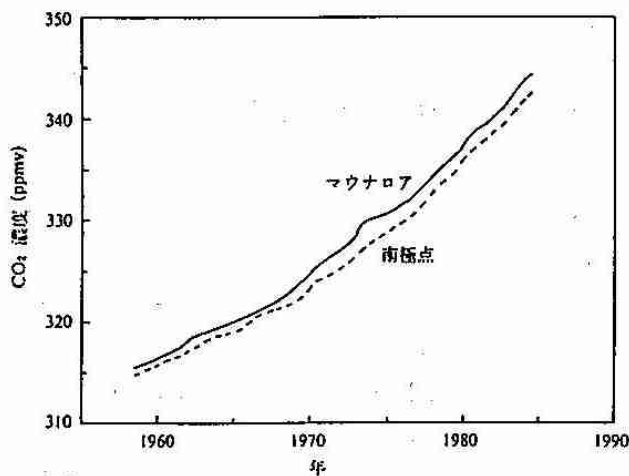


図3-3(b) マウナロアと南極点におけるCO₂濃度の経年変化

(温室効果)。もし温暖化が進行すると、温暖化→雪氷面積の減少→受領太陽エネルギーの増大→温暖化→雪氷面積の減少と、一方通行で温暖化が進む可能性がある。もし、このように温暖化が進めば、グリーンランドや南極などの陸上の雪氷が大量にとけ、海に流れ込む結果、海面が上昇し、低平地は水没の危機に陥る。勿論、実際にはこのように単純には進まないであろう。例えば、温暖化すれば海面や陸地からの水の蒸発が盛んになるため、雲量が増える。雲は日射をよく反射するから、雲量の増大は温暖化を妨げる方向に作用するであろう。しかし今のところこれらの効果を量的に把握するのに十分な観測資料や、諸過程、メカニズム、計算に必要なパラメーター等が欠けているので、現在各国で行なわれている気候予測のモデル計算には不確実性が多い。

そこで、近年、大気、海洋、陸水、雪氷、地球化学、植生等の分野を含む地球圏・生物圏国際協

同研究計画(IGBP)を国際学術連合会議(ICSU)が提唱、各国に勧告した。わが国もそれを受けて1990年度よりスタートした。しかし、雪氷学はすでに20年も前から地球規模の気候変動に注目し、南極、北極や高山帯の雪氷を調べてきた。その代表的な例が氷床の深層掘削による古気候・古環境の復元である。

南極やグリーンランドは厚さが2000~3000m以上の厚い氷で蔽われている。これらの氷は過去少なくとも20万年間に降り積った雪が押しつぶされてできた氷であり、氷の中には過去20万年間の地球の気候や環境がそのまま凍結され、保存されている。そこでボーリングによって深層までの氷を採取し、氷を分析して過去の気候(気温)、CO₂などの大気成分、および火山灰や微量化学物質などを求めることにより古気候、古環境を復元しようとするプロジェクトが、既に、米国、ソ連、デンマーク、日本などで行なわれてきた(図3-4)。

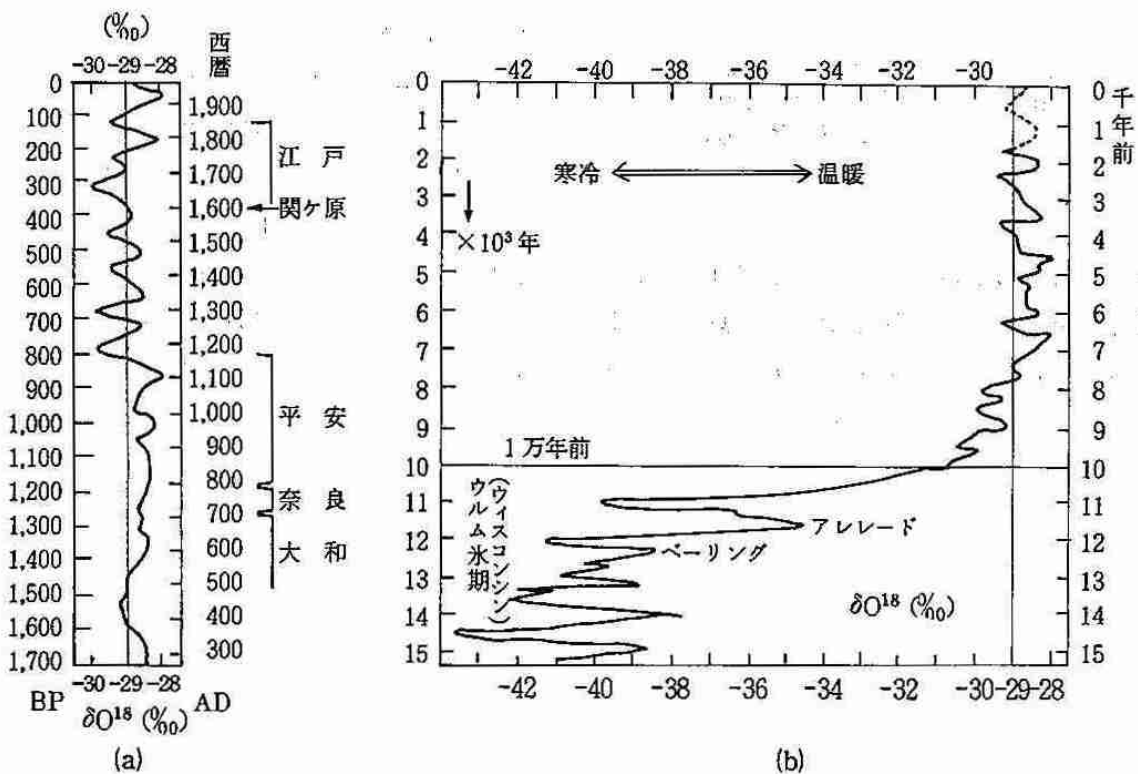


図3-4 グリーンランド氷床の深層ボーリングで得られた氷試料を解析して得られた過去の気候 (b) 過去1万5千年前まで (a) は西暦300年から現在までを拡大したもの

従来得られた結果によると、過去16万年間の気候の変遷はCO₂の増減と非常によい相関を示し、CO₂増大期は温暖化し、CO₂の少ない時期は寒冷期となっている。このことから、現在のCO₂の急増は地球を温暖化に導くものとする考えが更に強まった(図3-5)。

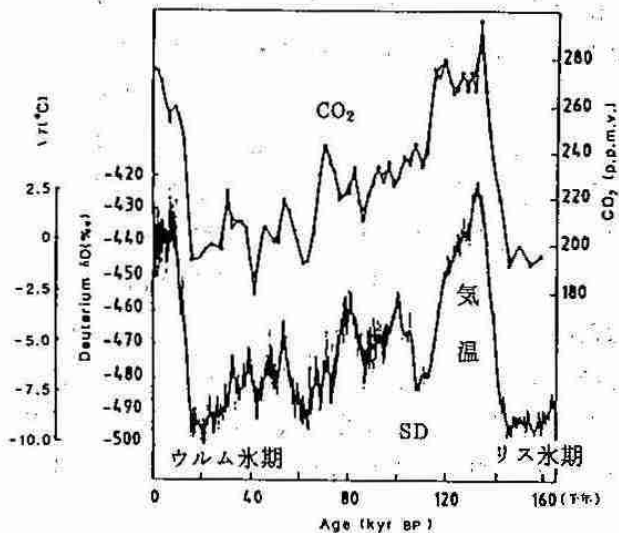


図3-5 南極ポストーク基地で採取された2200mまでの深層氷の分析から得られた過去16万年前までの気候とCO₂濃度の変化

一方、これら氷の分析結果は気候に関するモデル計算の正否の検証にも役立つ。計算を過去に遡って行ない、深層氷の分析で得られた気温やCO₂量と比較検討すればよいわけである。これらの意

味を含め、わが国の南極観測でも平成3年度、第32次越冬隊は、南極大陸第2の高所、Fドームの頂上3807m地点で深さ2500m級のボーリングを開始し、過去15万年間の古気候、古環境の復元を目指しているが、国際的にもその成果が期待されている。

5. おわりに

以上、雪氷圏と人間の関わり、特に、雪氷害とその対策、利雪・親雪、水資源といった身近な問題から、地球気候・環境といったグローバルな問題の概略をのべてきたが、解明すべき課題が山積している。これら問題の解決には、雪氷の性質はもちろん、雪氷と大気、雪氷(海氷)と海洋、雪氷と大地(植生を含め)などの間の相互作用(エネルギーや物質のやりとり)など、雪氷をとりまく自然を正しく理解しなければならない。現在、雪氷研究はこのような立場から進められている。

【参考文献】

- 木下 誠一 編著：「雪と氷のはなし」
技報堂出版 1988年
- 高橋博・中村勉 編著：「雪氷防災」 白亜書房
1986年
- 花房 龍男 監修 北海道新聞社編：「北の気象」
北海道新聞社 1990年
- 日本雪氷学会編：「雪氷辞典」 古今書院
1990年