

## 氷河と気候\*

樋口 敬二\*\*

## 1. まえがき

最近、北半球の寒冷化がひろく話題になりはじめた。この現象については、これまでも、いくつかの解説があるが(根本(1971), 朝倉(1970, 1971, 1972)), それに応ずる現象として氷河の変動に関心がもたれ(樋口, 1971), また、一部には、気候の寒冷化の表現として、小氷期といった言葉も使われるようになった。

そこで、これを機会に、氷河と気候との関係について、解説を試みることにした。なにぶん、これまで、気象関係の刊行物に氷河についての紹介がほとんどないため、総合報告というよりは、教科書的な内容を加味し、氷河についての理解と問題点の把握の役に立つようにつとめた。その点、あらかじめおことわりしておく。

また、氷河と気候との関係という課題の中には、地球の規模での氷河の拡大と気候の関係、いわゆる氷期論までが含まれるが、これについて述べるとすると、気候変動についての解説と議論にまで及び、あまりにも範囲が広がってしまう。

そこで、この解説では、一つの氷河と気候との関係というふうに問題をしばりたいと考えている。ただ、その方面に関心をもたれる方には、最近刊行の Lamb の著書“Climate, Present, Past and Future”(1972)が参考になると思う。また、vol. 1. しか出ていないが、各所に氷期論と関連の深い記述がみられる。また、氷期に関する事実をよく括めた教科書としては、Schwarzbach の著書“Climates of the Past”(1963)がすすめられる。一方、土屋跛著“気候の変動”(1962)も、氷期や氷期論に関する入門書である。

最後の氷期以降の気候変動のうち、“小氷期”また

は、最近これにかわる言葉としてよく使われているネオグレーションエイション (Neoglaciation) については、Denton と Porter (1970) による解説が参考になる。

一方、氷河そのものに関する日本語の入門書としては、ホームズ著竹内均訳“一般地質学Ⅱ”(1969)の「氷河」の項に教科書的内容がよくまとめられているので、すすめられる。また、氷河現象を理解する基礎的教科書としては、地球科学講座9“陸水”(1968)に大浦浩文の書いた「氷雪」の項がよい。

氷河に関する英文の入門書としては、Sharp の“Glaciers”(1960)が、写真も豊富でわかり易く、かつ500円でいどで安く、手頃である。しかし、氷河現象の物理学的理解には、Paterson の“The Physics of Glaciers”(1969)がよい。

また、氷河研究の集大成として、Lliboutry の“Traité de Glaciologie”(1964)があるが、上下二巻の大著であり、フランス語なので、とりつきにくい。しかし、氷河に関する事項の詳細を知ろうと思う場合、関係部分だけを読むと、参考になる。

なお、氷河研究の組織運営は、国際測地学地球物理学連合 (International Union of Geodesy and Geophysics, 略称 IUGG) の国際陸水 (水文) 科学協会 (International Association of Hydrological Sciences; 略称 IAHS) の国際雪氷委員会 (International Commission on Snow and Ice; 略称 ICSI) によって進められているので、氷河に関するシンポジウムの報告の多くは、IAHS の刊行物として出版されている。

日本における氷河研究については、樋口 (1972a) が、文献目録と解説を書いているので、これを参照にして、研究の発表雑誌を知っていただくとういが、外国の氷河研究は、国際雪氷学会 (International Glaciological Society) の“Journal of Glaciology”に発表される場

\* Glaciers and Climate

\*\* K. Higuchi, 名古屋大学理学部水質科学研究施設

合が多く、また、学界ニュースは、この学会の機関誌“Ice”に掲載されている。この雑誌の日本担当委員は、北海道大学低温科学研究所の黒岩大助教授なので、関心のある方は、連絡をとられることをすすめる。

ほかに、ヨーロッパでは、“Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie”に、氷河関係の論文が多い。

一方、現在進行中の国際水文学十年計画 (International Hydrological Decade; 略称 IHD) の一環として進められている氷河の調査は、各国の政府機関の刊行物として公表される例が多く、それについては樋口(1972b)の解説を参照されたい。

## 2. 氷河の形態と性質

氷河の形態を分類する方式は、前記の IHD の一環として氷河調査を行なうために、国際雪氷委員会が、これを括め、ガイド・ブックをつくった (UNESCO/IASH, 1969, 1970 a, c)。

詳細は、そちらを参考にさせていただきとして、氷河の基本分類だけをあげると、第1表のとおりである。なお、ここにあげた日本語訳は、暫定的なもので、氷河用語については、近く日本国内でも統一して定訳をつくる予定である。なお、氷河分類については、渡辺 (1969 a) の解説がある。

第1表 氷河の基本分類

| 基本分類用<br>コード番号 | 英<br>語<br>(UNESCO/IASH 1970 a) | 日 本 語<br>(暫定訳) |
|----------------|--------------------------------|----------------|
| 0              | Uncertain or miscellaneous     | 不確定又は下に入らないもの  |
| 1              | Continental ice sheet          | 大陸氷床           |
| 2              | Ice-field                      | 氷原             |
| 3              | Ice cap                        | 氷帽             |
| 4              | Outlet glacier                 | 溢流氷河           |
| 5              | Valley glacier                 | 谷氷河            |
| 6              | Mountain glacier               | 山岳氷河           |
| 7              | Glacieret                      | 小氷河            |
| 8              | Ice shelf                      | 氷棚             |
| 9              | Rock glacier                   | 岩氷河            |

さて、氷河には、第1表のような種類があるが、このうち、南極やグリーンランドにあるような広大な大陸氷床や極地方にある極地氷河を特殊な例として除くと、ほかの温暖氷河は、谷氷河を例にとって解説しても理解できると思われるので、ここでは、谷氷河について述べる

ことにする。

谷氷河の典型的なものは、第1図に平面図を示したように、上流域が広く、谷へ下るにつれて、しばまった形をしている。その断面は、第2図のようになっていて、氷は矢印のように谷の上流から下流へと流れる。その過程で、積雪が氷河氷に変態する。この場合、雪と氷との境目は、密度 0.820 g/cc とされている (UNESCO/IASH 1970 b)。

こんなふうに、氷河とは、上流にたまった雪が氷となって流れ下る現象であるが、氷河の表面は、涵養域と消耗域とに分けられる。ここでいう涵養とは、accumulation の訳であって、氷河上のある地点でそこに質量が加わるようなあらゆる過程を指す。降雪、降雨がその主なるものであるが、地ふぶき、なだれが重要な過程である氷河もある。

つぎに、消耗は、ablation の訳であって、上とは逆に、氷河上のある地点でそこから質量が失われる過程を指す。融雪による流出が主で、蒸発や地ふぶきで失われる分も含まれる。

そこで、一年を通算した涵養量と消耗量との差引きを、実質収支 (net balance) という。ふつう、氷河上には、この実質収支がゼロ、すなわち収支相殺する地点があり、これらを結ぶ線を、平衡線 (equilibrium line) とよぶ。そして、平衡線から上流の区域、すなわち、一年の涵養量が消耗量を上廻る区域を、涵養域 (accumulation area) とよぶ。

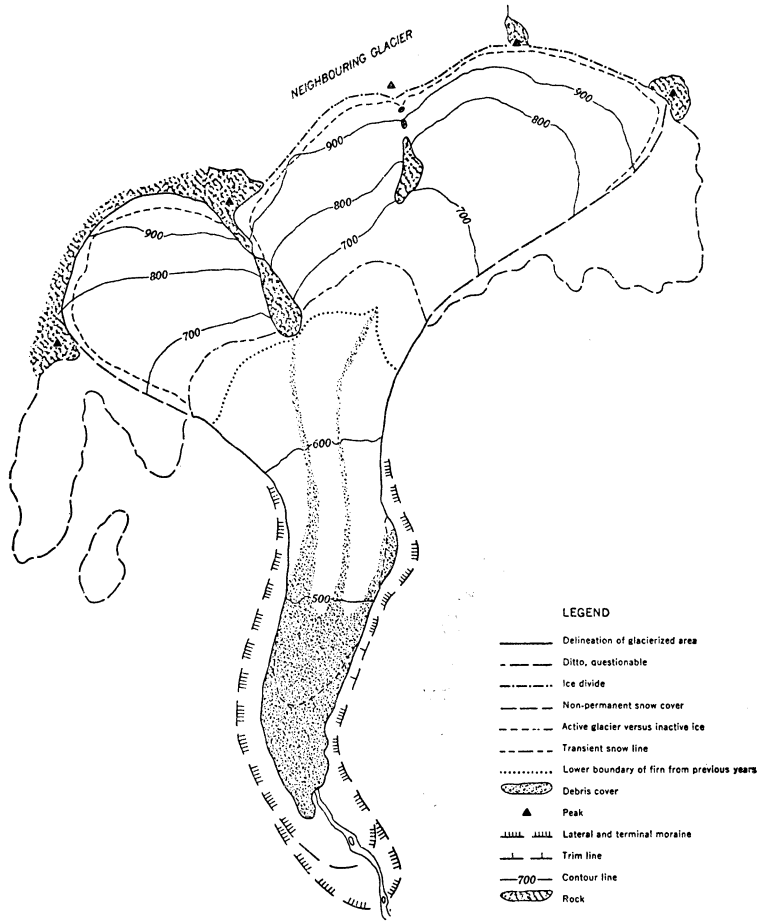
一方、平衡線より下流の区域、すなわち、一年の消耗量が涵養量を上廻る区域を、消耗域 (ablation area) という。

なお、氷河に関する用語の定義の詳細については、氷河の観測指針や氷河用語解説 (UNESCO/IASH 1970 a ; 1969) を参照していただきたい。

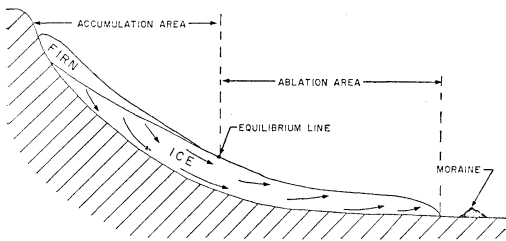
さて、上のような見方からすると、氷河の消長は、氷河全体としての涵養と消耗との差である質量収支 (mass balance) のプラス、マイナスとしてあらわされる。ところが、氷河全体の質量収支が、実際に観測でもとめられるようになったのは、ごく最近のことであって、それも限られた好条件の氷河についてであった。

そのために、質量収支ではなく、氷河の末端である氷舌 (snout) の前進、後退によって、氷河の消長をとらえる記録方法が、古くからとられてきた。

しかし、たとえば、気候の変化にともなって、それまで質量収支がマイナスであった氷河の収支が、プラス



第1図 典型的な谷氷河の平面図 (UNESCO/IASH 1970 a)



第2図 典型的な谷氷河の断面図

に転じて、質量が増大しはじめても、それが末端に及んで、前進に転ずるまでには、時間がかかる。しかも、質量収支の変化と氷河末端の変化との関係も、氷河それぞれによって違う。

つまり、氷河の質量収支は、降積雪、融解といった気

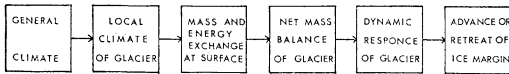
象現象に依存するところが大きいものに対して、収支の変化と末端の変化との関係は、気候要素も影響するが、主として氷河そのものの性質によって支配される。したがって、一般によくいわれる「気候変化に応じて氷河が前進後退する」というとらえ方では、現象が複雑になってしまう。

そこで、氷河の表面あるいは内部で起こる現象それぞれについて、気候とどのように関与しているか、を考えてゆくことにする。

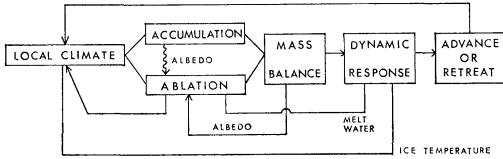
### 3. 気候変化に対する氷河の応答

前章で述べたように、気候と氷河との関係は、いくつかの段階にわけて考える方が、問題点がはっきりする。Meier (1965) の考え方にしたがると、気候変化が氷河末端に及ぶ過程は、第3図のようになる。

まず、大規模な気候変化が氷河付近の気候条件を変え



第3図 気候と氷河との関係 (Meier, 1965)



第4図 局地的な気候と氷河との関係 (樋口, 1972c)

る。吉野 (1968) による気候のスケールによれば、「大気候」の変化が「中気候」の変化におよぶわけである。その結果、氷河上の降雪、日射、気温などが変化して、氷河表面における質量とエネルギーの交換が変わる。それが、積雪、融解の変化をひきおこすので、氷河の質量収支が変化する。すると、氷河の流動といった力学的応答過程を経て、氷河の末端が変化する。

このような各段階をさらに分けて、それぞれの間のフィードバックを、樋口 (1972c) が模式的にかいてみたのが、第4図である。

まず、上にも書いたように、氷河付近の気候の変化によって、涵養と消耗の過程が変わり、その結果、氷河の質量収支が変化するわけだが、その関係については、次の章でくわしく述べることにして、ここでは、第4図に示した涵養の変化が消耗に与える影響、質量収支の変化が消耗に与える影響の例について述べよう。

極地方、あるいは、高山地域において、気候条件が変化して、夏期における地上気温の低下が起ったとする。すると、夏期の涵養過程としてそれまで雨として加っていた降水量が、雪に変わる。すると、氷河の汚れた表面が新雪でおおわれることになり、アルベドが大きくなる。その結果、氷河表面における日射の吸収が小さくなって、融雪量が減少する。このような関係によって、気温の低下によって、涵養の量は変らなくても、形態が変わり、それが消耗量の減少をひき起こすわけである。

同じ過程によって、春と秋の気温低下は、降水の形態の変化を通じて、消耗期間を短くする効果をもつ。実際、La Chapelle (1965) が、ブルー氷河で観測したところによると、春や秋の降雪によって、消耗期は短くなっている。

つぎに、ある年に気候条件の変化によって氷河の質量

収支が変化した場合、それが次の年に及ぼす影響を考えてみる。

ある年に、質量収支が平年よりはるかにプラスであったとすると、消耗期のおわりには平年なら積雪がとけて氷河水が露出する部分、その年には一部が雪でおおわれていることになる。すると、そんな場所のアルベドは平年より大きくなり、次の消耗期のはじめの時期に日射の吸収が少なくなるため、消耗量も少なくなる。したがって、前年の質量収支のプラスは、次の年の消耗を減らし、収支をプラスに向ける効果をもつ。

逆に、ある年に収支がマイナスだと、次の年に、氷が露出してアルベドの小さい場所の面積を増やし、日射の吸収を大きくして消耗を増加させ、収支をマイナスに向ける効果をもつ。

こんなふうに、氷河表面のアルベドの変化を通じて、涵養、消耗、収支の変動は相互に結びついており、そこに気候変化の効果が作用するわけである。

さて、以上のような諸現象を通じて、気候の変化が氷河の質量収支を変動させ、それが氷河の力学的応答過程を経て、氷河末端の前進後退となってあらわれるのは、第4図に示したとおりだが、氷河の力学的応答については、まだその詳細を論ずるだけの観測事実になく、むしろ、モデル化した氷河についての理論的研究が進んでいる。しかし、最初の章で述べた IHD 計画の一環としての氷河調査の結果が集積されると、観測事実と理論との対比も、今後大いに進められると期待される。

氷河の応答に関する理論は、主として Nye (1960) によって作られたもので、その詳細については、原論文や Paterson の教科書や、Nye (1969) による解説をみていただくことにして、ここでは、その結論だけをあげておく。

質量収支の変動に対する氷河の応答は、氷河の形、傾斜、大きさ、温度に依存し、また質量収支の変動の振幅、周期にも依存するという複雑なものであるが、その重要な性質は次の二つである。

その第一は、変動の増幅であり、わずかな質量収支の変動が、氷河末端の大きな変動となってあらわれる。そして、第二は、時間のずれであり、収支の変動と氷河末端の変動とは、ピークのずれができる。

これらの現象を、Nye (1960) は、質量収支の変動に伴う氷河の厚さの変化を、Kinematic wave と仮定して、理論的取扱いをおこなった。その結果、Kinematic wave の伝播速度は、氷そのものの流れの速度の4倍で

ある、質量収支と末端での変動のピークの時間ずれは、変動の周期の約1/4である。などの結論を得ている。たとえば、40年ていどの周期で質量収支が変動する場合、収支の最大から約10年おくれで、末端は最も前進した位置を示すことになるわけである。

また、Nye (1965) は、逆に、氷河末端の変動記録から過去の質量収支の変動を推定することを、いわゆる Inverse problem として解く取扱いも発表しているが、それを検討するに十分な観測資料のある氷河の例はごく少ないので、その検討は、今後の課題である。そして、それが可能としても、推定できるのは、質量収支の変動であって、その原因となる涵養や消耗の変動がわかるわけではない。

それらの点や、氷河の応答特性が、氷河そのものの性質に依存していて、同じ気候の変化の条件下にあって、氷河によって違う応答をすることを考えると、氷河末端の変動だけからその原因となった気候の変化を推定することの困難がよくわかると思う。

さらに、問題を複雑にしているのは、氷河サージ (surge) とよばれる現象で、氷河が普通速の10倍から100倍もの速さで突然に前進する現象である。その原因は、まだ明らかにされていないが、気候の変化とともに氷河内部の条件の変化にも関係があるらしく、同じ氷河末端の変動であっても、上述の気候変化に伴うものと区別しなければならぬ。この現象については、Patersonの教科書や、Symposium on Surging Glaciersの報告(1969)を参照していただきたい。

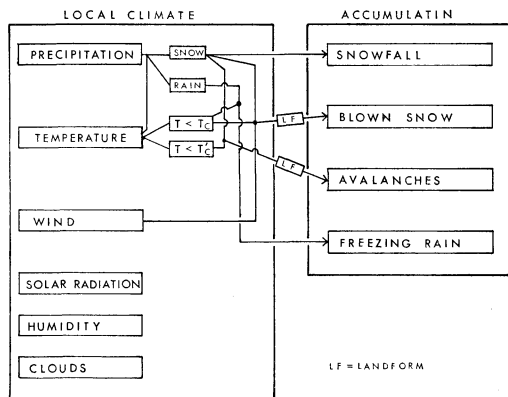
#### 4. 氷河の涵養に関する気象要素

前章では、気候の変化に伴う質量収支の変動、それに対する氷河の応答について述べたが、これからの章では、収支をきめる涵養と消耗の過程に関する気象要素について述べる。

まず、涵養に関する気象要素であるが、2でふれたように、氷河の涵養源は主として降雪であり、ついで地ふぶき、それにあまり多くはないが、なだれが重要な場合もある。そのほか、氷河上に降った雨の凍結が涵養源となる例も、まれにある。

そのような涵養の諸過程と気象要素との関係を、樋口(1972c)がまとめてみたのが、第5図である。

この図をみただけで、相互の関係はわかると思われるが、地ふぶきについて説明しておく。まず、地ふぶきが起こるには、降雪によって積雪が地面にあることが条件であるが、その場合、地ふぶきが起こるかどうかは、大



第5図 氷河の涵養に関する気象要素 (樋口, 1972c)

浦ら(1967)の研究などによっても示されているとおり、気温と風速との組合せによってきまる。ある風速によっては、気温がある値以上になると起こらない、この値を  $T_c$  とし、第4図では、 $T < T_c$  で示した。

また、第4図で、なだれに関連して、 $T > T_c'$  とあるのは、温暖地方では気温がある値以上になるとなだれが起こり易いことを示している。

一方、雨の凍結も、気温がある値より低い時に起こるので、 $T < T_c$  で示している。

そのほか LF として、地形要素をいれたのは、地ふぶきが雪面に蓄積して涵養となるのは、吹きだまりの例でよくわかるように、地形の効果が大きいからである。

なだれの場合も、地形と関係が深く、なかでも傾斜が支配的要因とされている。

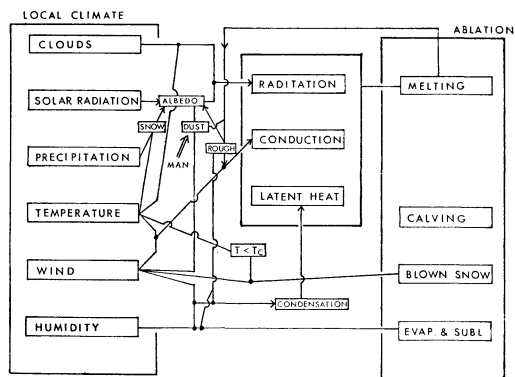
#### 5. 氷河の消耗に関する気象要素

氷河における消耗過程の主なもの、融雪であり、ほかに、地ふぶきによって氷河流域内へ飛び去る雪、蒸発、昇華による消耗がある。しかし、南極やグリーンランドのような大陸氷床では、氷山として流出する calving が消耗の大きな部分をしめる。

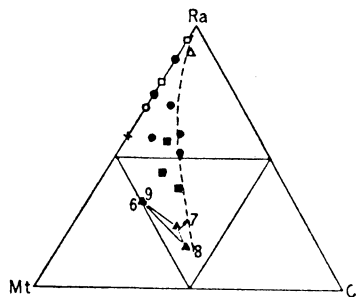
そこで、消耗、なかでも融雪と気象要素との関係を、樋口(1972c)がまとめてみたのが、第6図である。

融雪のための熱源は、日射、空気からの顕熱輸送、雪面における水蒸気の凝結に伴う潜熱の放出である。この三つの重要度は、氷河が存在する地域によってちがう。渡辺(1969b)は、上の三つの熱源が、融雪に使われる全熱量においてしめる割合を三角ダイアグラムであらわし、氷河の特性をあらわす指標とした。

第7図がそれであって、これを見ると、南極では、日



第6図 氷河の消耗に関する気象要素 (樋口, 1972c)



Ra: 輻射 Mt: 顕熱 C: 潜熱  
 ▲ 釧沢 (日本) □ 南極地方  
 ■ 亜寒帯地方 ● アラスカ・ロッキー ○ アルプス + パタゴニア △ 赤道アフリカ

第7図 氷河・雪渓上での融解につかわれる熱源の割合 (渡辺, 1969b)

よっておおわれている場合など、それぞれの場合によって、大きな違いがある。また、積雪でおおわれている場合でも新雪の時と、融雪の進んだ時とは違う。樋口・名越 (1973) が示すように、融雪の進行にともなって、積雪中の固体粒子が表面に蓄積して汚れを増し、アルベドが小さくなる。

そこで、重要なことは、第6図にも示しておいたように、人間活動による大気汚染によって積雪中の固体粒子の量が増えると、雪面での蓄積も増加し、その結果、アルベドが小さくなって融雪が促進され、氷河の質量収支が変わる可能性である。

すでにダビタヤ (1967) は、コーカサスと中央アジアの氷河について、その可能性を論じているが、このような過程は、人間活動が気候変化を通じて氷河に影響を与えるだけではなく、直接に氷河そのものの収支を変えるものとして注目すべきであろう。

これは、いわゆる inadvertent modification (うっかりやってしまった改造) であるが、人為的に氷河の質量収支を人工制御する試みもある。樋口 (1971) も紹介したように、ソ連とチリで、氷河の表面に石炭ガラを撒布して日射の吸収を増して融解を促進し、氷河からの流出を増そうという実験がおこなわれた。Bazhev (1971) の報告によると、 $1\text{ m}^2$  に  $50\text{ g}$  の粉をまくと、氷河からの流出量を50%増加できるという。しかし、この発表に対しては、氷河の質量収支は微妙なバランスの上になっただけなので、人工的な操作によってこのバランスをくずすと、長期的にみてマイナスになるのではないかと、という批判も出ており、環境破壊に関連して、自然現象の人工制御に慎重になってきたのは、氷河についても、同じである。

6. 最近における氷河の変動傾向

以上のべてきたように、気候の変化と氷河の変動との関係は、複雑であり、不明の点も多いので、一つの氷河の変動を気候変化の指標としてとらえるのは無理である。

しかし、広範囲にある多数の氷河の傾向を長期的にみると、やはり気候の変化と対応していると考えられる。

たとえば、第8図に過去6000年にわたる世界中の山岳地帯の氷河の平均的な変動を示したが、これによると、この期間に最も氷河が前進したのは、19世紀の中頃であり、以後、急激に後退して最近に至っているが、この傾向は、気温の上昇傾向と一致している。

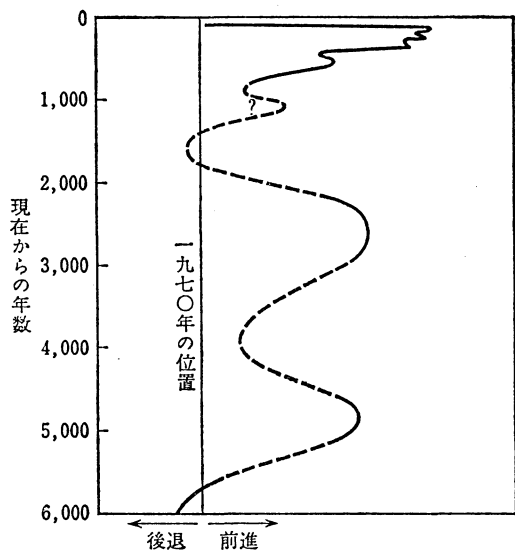
しかし、冒頭でも述べたように、北半球の平均気温

射が主な熱源であるが、アラスカや亜寒帯地方では、日射、顕熱が主な熱源である一方、日本の釧沢雪渓では、夏になると、日射よりも、顕熱と潜熱が重要になる、といった性質がわかる。

これらの三つの熱源に関する気象要素として、第6図にあげたようなものが考えられるが、その間にあって、アルベドが重要であることは、3でも述べたとおりである。

そこで、第6図をみると、気象要素と氷河の消耗過程との関係がわかると思われるが、そのなかで、アルベドについて、すこし説明を加えておく。

氷河の表面のアルベドは、露出した氷河水である場合、積雪でおおわれている場合、塵、土砂、岩屑などに



第8図 過去6000年にわたる世界中の山岳氷河の平均的な変動 (Denton & Porter, 1970)

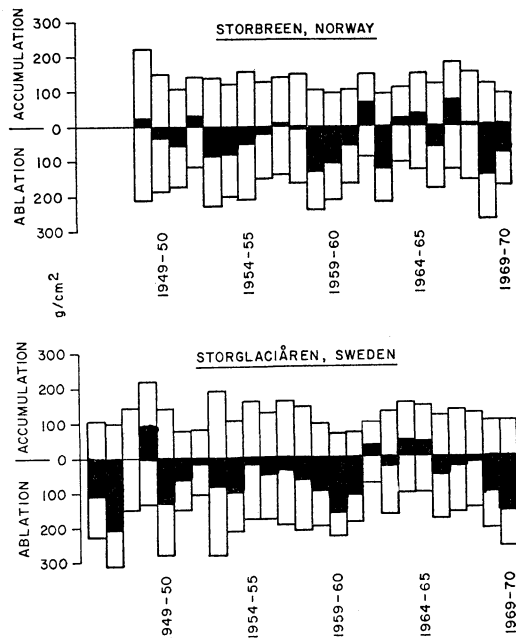
は、1940年ごろから下降の傾向に転じ、それが氷河の変動にあらわれると考えられる。そこで、各地域の、最近における氷河の変動傾向について述べよう。

北半球全体としてみると、樋口 (1971) が報告したとおり、気温の変動と氷河の変動は同じ傾向を示している。朝倉 (1971) の解析によれば、高緯度地方における気温の変動は、シベリア側で寒冷化、カナダ・アラスカ側ではほとんど変わらないか、場所によっては温暖化しているとされているが、このような寒冷化の地域的差異は、氷河の変動にも反映している。

まず、スイス、オーストリアなどのヨーロッパ・アルプスの氷河についてみると、Kasser (1967)、Hoinkes (1971) らの調査では、質量収支がマイナスからプラスに最近かわった氷河の例が多い。

つぎに、Løken (1972) は、大西洋の両岸、すなわちスカンジナビア、北極ウラル、スピッツベルゲン、グリーンランド、カナダ北部のエルズミア島、アクセル・ハイベルグ島、メイン島、デヴオン島、バッフイン島などの氷河の質量収支に関する資料をまとめた総合報告を書いているが、それによると、これらの大西洋両岸北部にある氷河は、ここ50年あまり縮小の傾向にあったが、最近の数期間は、質量収支がプラスになる年があらわれてきている。

第9図は、この地域でもっとも長期間にわたって質量



第9図 ノルウェー、スウェーデンの氷河の質量収支の最近における変動 (Løken, 1972)

収支の観測がつけられているノルウェー南部の氷河 Storbreen とスウェーデン北部の氷河 Storglaciären の収支の変動を示したものである。これを見ると、1960年以後に収支プラスの年が多くなっていることがわかる。

一方、気温の変化がすくないといわれるカナダ、アラスカなどでは、氷河の質量収支は、マイナスがつづいている。たとえば、Stanley (1971) によると、1965年以降 IHD 計画の一環として観測を実施中の西カナダ6ヶ所の氷河のうち、5ヶ所が収支マイナス、1ヶ所がプラスであった。

また、アラスカの氷河は、若浜 (1970) が末端が後退した氷河の例をあげているとおり、ここ50年あまり縮小している氷河が多く、最近でも質量収支マイナスの氷河が報告されているが、現在 IHD 計画として進められている氷河調査の結果が集積されると、傾向が明らかになっていると思われる。

以上は、山岳氷河の変動であるが、氷雪の量からいうと、地球上の氷雪の90%は南極氷床、9%はグリーンランド氷床であり、山岳氷河は、わずか1%にすぎない。

そこで、これらの大陸氷床の変動傾向について、最後に述べておく。

南極氷床の質量収支については、上田(1971)の総合報告にくわしく述べられているが、それによると、これまでの収支の見積り12例を総合すると、南極氷床の氷量は、ほぼ定常状態に近いが、わずかに増大の可能性がある、という。

一方、グリーンランド氷床については、Hoinkes(1968)の総合報告によると、見積3例のうち2例が収支プラスとなっている。したがって、グリーンランド氷床の氷量も、南極と同様、ほぼ定常状態に近いが、わずかに増大の可能性がある、というのが妥当なところであろう。

しかし、なにぶんにも、極地の観測は、まだ精度も期間も充分とはいえないので、地球上の水収支を論ずるためにも、大陸氷床の質量収支に関する調査や研究は、今後の重要な課題である。

以上が各地の氷河における質量収支の変動傾向であるが、ほかに、いわゆる氷河の消長の指標として、末端の前進後退があるが、これまでの章で説明したとおり、氷河末端の変動と気候変化の関係は、氷河そのものの性質にも依存していて複雑なので、ここでは、紹介しなかった。しかし、イタリア・アルプスについては、Vanni(1971)が、この地域の150あまりの氷河について、その前進後退の記録を、1で述べた雑誌“Ice”に、毎年のように報告している。

その報告から、樋口(1972c)がまとめたところによると、ここ10年ほどの傾向として、約50%が後退、約10~20%が前進、他が停止か不明となっている。

こんなふうに、氷河末端の前進後退は、質量収支にくらべると観測し易いので、数多くの氷河について実施し、それを総合して傾向を論ずるという方法がもちいられている。そのような結果については、Symposium of Obergurgl-Variations of the regime of existing glaciers(1962)を参照していただきたい。

そのほか、気候の変化によって、氷河が生成、消滅するという現象がある。たとえば、最近、BradleyとMiller(1972)は、カナダ北部のバフイン島にある数ヶ所の気象観測結果から、この地域においては、消耗期の気温が低下し、涵養期の降水量が増大するという氷河の質量収支をプラスとするに最適の気候の変化が起こっていることを示すとともに、この地域では、1960年には、雪のなかった圏谷に、1970年に氷河が形成していることを報告している。

こんなふうに、現存する氷河の変動だけではなく、こ

れまで存在しなかった氷河の形成は、現在、北半球の気候が寒冷化の傾向にあるといわれているだけに、今後、興味ある研究課題である。

## 7. これからの問題

前章のおわりで述べたように、氷河が形成し、存在するための気候条件はどのようなものであるかは、氷期論とも関連して、氷河と気候との関係における最も根本的な問題であり、これから解明されるべきものである。しかしこの問題には、気象要素とともに地形その他の要素が複雑にからみ合っており、それを論ずると範囲が広がるので、氷期論と同じように、ここでは省いた。

そこで、これからの問題点として、特に気象と関連の深いものをあげておくと、その第一は、氷河地域における気象状態を知ることである。

4, 5の章で述べたように、氷河の涵養、消耗に関係する気象要素については、かなりよくわかっている。しかし、氷河上で、それらの要素がどのような組み合わせで起っているかが、わからないのである。つまり、局地的な気候が氷河地域でどのようにになっているのかが、わかっていないのである。

それを知るには、低地における気象観測だけでは不可能であって、やはり、氷河地域における現地気象観測が必要である。

第二の問題点は、氷河の存在そのものが、局地的な気候をどのように変えているか、を知ることである。第4図にも示しておいたように、気候の変化に氷河が応答し、さらに気候の変化に影響を及ぼすというフィードバックの過程を解明しないと、氷河と気候との関係を理解したことにはならない。

そして、この問題を解明するにも、氷河地域における気象観測と氷河調査の同時観測によらなければならないのである。

これまで、氷河からの流出と気候要素との関係などについて、統計的研究が数多くおこなわれている。このような研究は、流出量の予想といった実用的目的には役立つが、一つの氷河だけに関する結果であって、一般化することができない。しかも、氷河と気候との間に存在する物理的過程が、統計からでは、わからないのである。その点においても、氷河地域における気象・氷河の観測にもとづいた予測が、今後要求されるであろう。

そこで、これからの問題は、短期間ではなく長期にわたって気象と氷河の同時観測を実施し、氷河現象と気象現象とを包括して理解してゆくことである、と思われる。



## 文 献

- 1) 朝倉正, 1970: 日本の気候変動と大気の大熱冷源の研究(Ⅱ), (Ⅲ), 気象研究ノート, 第105号, 291-319.
- 2) 朝倉正, 1971: 最近の北半球における寒冷化とその仮説的原因論, 天気, **18**, 462-464.
- 3) 朝倉正, 1972: 異常気象と環境汚染, 科学ブックス 18, 共立出版.
- 4) Bazhev, A.B., 1971: Experiments on artificial increase of snow melting in the firn basin of the mountain glacier in order to increase the run off. Abstract of the Symposium on Snow and Ice in Mountainous Area, XV General Assembly of IUGG, Moscow, July 30-August, 14, 1971.
- 5) Bradley, R.S. and G.H. Miller, 1972: Recent climatic change and increased glacierization in the eastern Canadian Arctic, Nature, **237**, 385-387.
- 6) ダビタヤ, F.F., 1967: 現代の自然変化, 天気, **14**, 307-310.
- 7) Denton, G.H. and S.C. Porter, 1970: Neoglaciation, Scientific American, June, 101-110.
- 8) 樋口敬二, 1971: 氷河をめぐる話題, 天気, **18**, 570-571.
- 9) 樋口敬二 1972 a: 氷河・雪溪, 雪氷, **34**, 97-104.
- 10) 樋口敬二, 1972 b: 氷河情報センターの構想, 樋口敬二著, 地球からの発想, 新潮社, 265-277.
- 11) 樋口敬二, 1972 c: 氷河の動勢から見た今世紀の気候変化, 文部省特定研究「人間の生存と自然環境」シンポジウム 大気汚染と気候変化, 1972年12月6日, 東京.
- 12) 樋口敬二, 名越昭男, 1973: 積雪表面における固体粒子の蓄積とアルベドの関係, 日本気象学会1973年度春季大会, 東京.
- 13) Hoinkes, H., 1968: Das Eis der Erde, Umschau, **10**, 301-306.
- 14) Hoinkes, H., 1971: Hydrometeorological implications of the mass-balance of Hintereisferner 1952/53-1969/70, Abstract of the Symposium on Snow and Ice in Mountainous Area, XV General Assembly of IUGG, Moscow, July 30-August 14, 1971.
- 15) ホームズ, A(竹内均訳), 1969: 一般地質学Ⅱ 東京大学出版会, 633-691.
- 16) Kasser, P., 1967: Fluctuations of glaciers 1959-1965, IASH/UNESCO.
- 17) La Chapele, E. 1965: The mass budget of Blue glacier, Washington, J. Glaciology, **5**, No. 41, 609-623.
- 18) Lamb, H.H., 1972: Climate, present, past and future, vol. 1, Methuen & Co Ltd.
- 19) Lliboutry, L., 1964: Traite de glaciologie, Tome I, II, Masson & Cie.
- 20) Løken, O.H., 1972: Growth and decay of glaciers as an indicator of long-term environmental changes, International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries, Special publication No. 8, 71-87.
- 21) Mass-balance terms, 1969, J. Glaciology, **8**, No. 52, 4-7.
- 22) Meier, M.F., 1965: Glaciers and climate, H.E. Wright and D.G. Frey, ed., The quaternary of the United States, 795-805.
- 23) 根本順吉, 1971: 北極寒冷化の実体, 気象, No. 174, 8-9.
- 24) Nye, J.F., 1960: The response of glaciers and ice-sheets to seasonal and climatic change, Proc. Roy. Soc. Edinb. (A), **256**, 559-584.
- 25) Nye, J.F., 1965: A numerical method of inferring the budget history of a glacier from its advance and retreat, J. Glaciology, **5**, No. 41, 589-608.
- 26) Nye, J.F., 1969: The advance and retreat of glaciers, Weather, **24**, 501-512.
- 27) Oura, H., T. Ishida, D. Kobayashi, S. Kobayashi and T. Yamada, 1967: Studies on blowing Snow II, Physics of Snow and Ice II, The Institute of Low Temperature Science, 1009-1117.
- 28) 大浦浩文, 1968: 冰雪, 山本莊毅編, 陸水, 共立出版, 300-330.
- 29) Paterson, W.S.B., 1969: The physics of glaciers, Pergamon Press.
- 30) Schwarzbach, M., 1963: Climate of the past -An Introduction to paleo climatology, D. van Nostrand Company, Ltd.
- 31) Sharp, R.P., 1960: Glaciers, University of Oregon Books.
- 32) Stanley, A.D., 1971: Mass and water balance studies at selected glacier basins in western Canada, Abstract of the Symposium on Snow and Ice in Mountainous Area, XV General Assembly of IUGG, Moscow, July 30-August 14, 1971.
- 33) Symposium of Obergurgl-Variation of the regime of existing glaciers, 1962, IASH Publication No. 58.
- 34) Symposium on surging glaciers, 1969, Canadian J. Earth Sciences, **6**, 807-1018.
- 35) 土屋巖, 1962: 気候の変動, 恒星社厚生閣.
- 36) UNESCO/IASH, 1969: Variations of existing glaciers, Technical papers in hydrology 3.
- 37) UNESCO/IASH, 1970 a: Perennial ice and snow masses, Technical papers in hydrology

- 1.
- 38) UNESCO/IASH, 1970 b: Seasonal snow cover, Technical papers in hydrology 2.
- 39) UNESCO/IASH, 1970 c: Combined beat, ice and water balances at selected glacier hasins, Technical papers in hydrology 5.
- 40) 吉野正敏, 1968: 気候学, 地人書館.
- 41) 若浜五郎, 1970: アラスカの氷河の消長および氷河サージについて, 文部省科部研究費報告気候変化の水収支に及ぼす影響, No. 2, 93-110.
- 42) 渡辺興亜, 1969 a: 氷河の分類とヒマラヤ地域の氷河の特性, 文部省科学研究費報告, 氷河について—ヒマラヤ地域氷河調査のための指針, 2-7.
- 43) 渡辺興亜, 1969 b: 1968年度罌沢圏谷における氷河学的調査の報告, 日本雪氷学会, 昭和44年度全国研究発表大会, 富山.

## 第17期 第9回常任理事会 議事録

日時 昭和48年4月16日(月)14~17時

場所 気象庁海洋気象部会議室

出席者 磯野, 小平, 二宮, 河村, 窪田, 北川, 川村, 丸山各常任理事

列席者 中村庶務委員

### 報告

〔庶務〕

- 1) 3月22日, 常任理事会の議決により, 各支部長あてに「賛助会費による学会の増収についてのご願い」を発送した。

〔ノート〕

- 1) 気研ノートに「質疑応答」「追加解説」欄を新設することにした。

〔講演企画〕

- 1) 夏期大学講座は, 7月30日~8月2日の4日間に変更した。
- 2) 関西支部と共催の「メソ気象シンポジウム」は, 6月8~9日に京都で開催する。
- 3) 秋季大会のシンポジウムは「新しい計測法とその利用の展望」とする。

〔長期計画〕

昨年5月に長期計画発表後の活動状況

- 1) 当面の重点的活動として, 学会支部活動を盛んにすることと, 全国大会での集中講義・セミナーの実施を提起した。
- 2) 研究者の育成と水準の向上の面で, (1)大学院での講義, 指導の充実, (2)研究を生かせる就職先の拡大, (3)気象庁における研究環境の確立を提起した。
- 3) 会員を多方面から迎え入れることをよびかけた。
- 4) 機関誌の内容充実を実現するために, 学会財政の改

善を図る必要がある。

〔南極〕

差し当たり次のことを行なう。

- 1) 各機関および会員への呼びかけ。
- 2) 天気に南極研究観測の経過と文献目録の掲載。
- 3) 本年秋季大会に「南極」のセッションを設け研究発表を募る。

### 議題

- 1 総会準備について。

- |               |          |
|---------------|----------|
| 1) 事業経過報告(要綱) | } 原案了承   |
| 2) 事業計画(要綱)   |          |
| 3) 昭和48年度予算案  | } 一部修正了承 |
| 4) 昭和47年度決算   |          |

- 2 その他

- 1) 次の学術賞, 学術奨励金候補者推薦要綱を承認  
学術賞・学術奨励金候補者推薦要綱
1. 被推薦者は会員に限る。
  2. 推薦実施の決定は原則として常任理事会で行う
  3. 会員の応募, 推薦申出があるとき, 担当理事は資料意見等を付して常任理事会に提出し, 必要があれば, 2名以上の会員の意見を徴して資料とする。会員の申出によらず常任理事の発議で推薦を行うこともできる。
  4. 同一候補者, 同一題目については4回以上連続して推薦することは行わない。ただし研究内容に著しい発展があるときはこの限りでない。
- 2) 賛助会員勧誘計画表(案)を承認  
承認事項 通常会員黒田隆ほか19名, 賛助会員東洋理化学工業株式会社の入会を承認。