

大林組技術研究所 正員 斉藤 二郎

同 正員〇上野 孝之

1. まえがき

世界の各地には多くの氷河があり、観光はもとより、水資源として無限の可能性を有している。我国においては現在氷河は存在しない。しかし、日本アルプスや日高山脈には氷河の痕跡を示すカルから、かつて氷河があったことが知られている。人工氷河は日本アルプスの多年性雪溪を氷河の規模にまで育てるという⁽¹⁾構想で、名古屋大学水圏科学研究所樋口教授によるものである。この構想を、新しい水制御の可能性の追求という観点でとらえ、日本アルプス剣沢に工学的人工氷河を計画した。本稿では人工氷河造成のための仮定条件と、計算で求められた人工氷河の概要を述べる。

2. 人工氷河造成の考え方

氷河は図-1の概念図に示すように、涵養域と消耗域とに大別できる。涵養量が消耗量を上回れば氷河は成長する。天然の氷河では涵養域と消耗域は自然に定まるが、人工氷河ではあらかじめ両者の境界を仮定しておく必要があり、剣沢の標高1850m地点に設定した。谷に越年した雪はすべて氷化するものとした。涵養域では自然の積雪に毎年人工的な雪（あるいは氷）を加えることによって次第に氷厚が増し、ある氷厚になると流動が始まる。そこで、図-2に示すような涵養、消耗、流動のモデルを設定し、流域のすべての区間で、積雪量+流入量-（融雪量+流出量）=0となれば氷河とみなすことができると考えた。定常状態になるまで繰返し計算を行い、剣沢流域のどの地点にどの程度の人工的な雪を加えるかを求めた。

3. 仮定条件

冬季の降水量は図-3に示す立山室堂の積雪量および⁽²⁾剣沢地区積雪深度図等から3000mmと仮定し、雪の密度は平均0.5g/cm³、氷の密度は平均0.85g/cm³と仮定した。

谷に集まる雪は自然降雪、風によって運ばれる雪および⁽³⁾雪崩によるものがあり、剣沢の地形を検討し、自然状態で流域面積の約40%が谷に集雪されると仮定した。夏季の融雪量は剣沢K点（標高2525m）の観測から図-4に示す気温と融雪量の関係を仮定した。流動を始める氷厚（hcr）は⁽⁴⁾次式によった。

$$hcr = \tau_b / (\rho g \sin \alpha) \times S1$$

ここに τ_b : 氷底面でのせん断力, α : 谷の傾斜(°)

S1 : 谷の形状から決まる形状係数 (0.445 ~ 1.0)

また、谷のある断面における氷河の流動速度(V)と流動量(Q)の関係は次式で与えられるものとした。⁽⁵⁾

$$Q = \bar{Y} \cdot \bar{V} \cdot Z = S2 \cdot Y \cdot S3 \cdot V \cdot Z$$

ここに Z : 氷厚, Y : 表面での氷河幅, $\bar{Y}$: 平均氷河

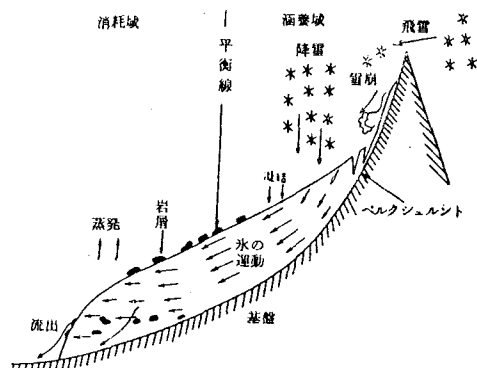


図-1 氷河の概念

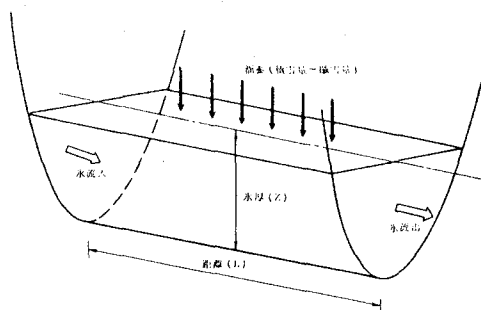


図-2 涵養、消耗、流動モデル

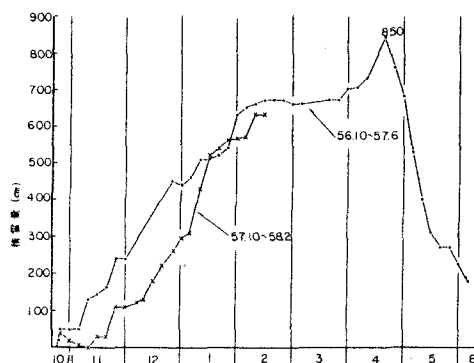


図-3 室堂（標高2400m）冬季積雪量

幅, V : 中心部の流動速度, $\bar{V}$: 平均流動速度, S_2 : $\bar{Y}/Y$ 形状係数 (0.5 ~ 1.0), S_3 : $\bar{V}/V$ 形状係数 (0.674 ~ 0.443)

さらに, 氷河の流動速度は世界の氷河観測で得られている氷厚, 表面傾斜, 表面流速の関係を参考にして図-5の関係に従うものと仮定した。氷河造成年数はできる限り自然に近い状態で成長させることを前提として20年と仮定した。

4. 人工降雪量と自然の寒冷量

数値計算によって人工降雪の必要量は場所によって異なるが, 平均的には水換算で $4.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ が得られた。人工降雪をすべて散水によって得ると仮定した場合, 散水量と自然冷却の熱収支は次式から計算することができる。

$$Q_a \div (a + bU_{10}) \cdot (T_0 - T_2) \quad (\text{cal}/\text{cm}^2, \text{day})$$

ここに Q_a : 大気によって雪面から奪われる熱量, a , b : 係数, U_{10} : 雪面上10mの風速, T_0 : 雪面温度, T_2 : 雪面上2mの気温

図-6に示す室堂の冬季最高・最低気温の観測結果を用いて冬期(11月~4月)の熱量を計算すると $Q_a = 4.8 \times 10^4 \text{ cal}/\text{cm}^2$ となる。水が氷に相変換するときの熱量を L とすると凍結量は $Q_a/L \div 6 \text{ m}$ となる。したがって 4.5 m の散水量は自然冷却で氷に変換できるということになる。

散水開始から20年経過した剣沢本流の人工氷河の縦断面および代表的な横断面を図-7に示す。この人工氷河は平均 $130 \text{ m}/\text{年}$ の速さで流動し, 全体の氷の量は約3億トンである。

5. あとがき

人工降雪(あるいは人工集雪)の方法としては人工雪崩の誘発, 他地域からの雪の輸送などが考えられる。

しかし, 涵養域全体に安定供給を図るためにパイプによる空中散水の方法を考えた。氷河先端部に造成したダム湖を水源として涵養域周辺に

図-7 人工氷河の縦・横断面

パイプラインを設置し, 全体で $50 \text{ ton}/\text{min}$ の水を散布し, 必要とされる人工降雪に充たさせることとした。この計画で検討したことは雪ダム構想などの新しい水制御技術に応用できるものと思われる。最後に, 当計画に対して, ご指導とご助言を戴いた名古屋大学水圏科学研究所樋口敬二所長, 大畑哲夫助手に誠意を表します。

参考文献: (1) 樋口敬二: 人工氷河の構想, (2) 立山黒部貫光協調査資料, (3) Gray & Male: Hand Book of Snow, (4) 樋口敬二他: 剣沢における多年性雪溪の研究(II), 雪氷42巻3号, 1980, (5) W.S.B Paterson: The physics of Glaciar, 1981, (6) Nye: Jurnal of Glaciarogy, Vol.5, (7) Budd Allison: Empirical scheame for Estimating the Dynamics of an Measured Glaciaris, 1975, (8) 小島賢治: 融雪機構と熱収支, 気象研究ノート

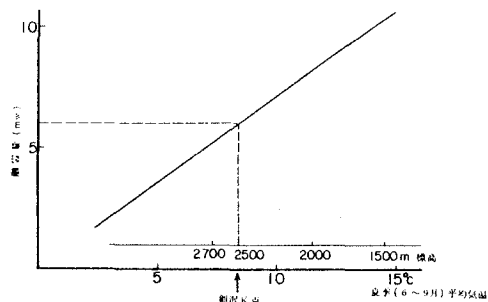


図-4 夏季平均気温と融雪量の関係

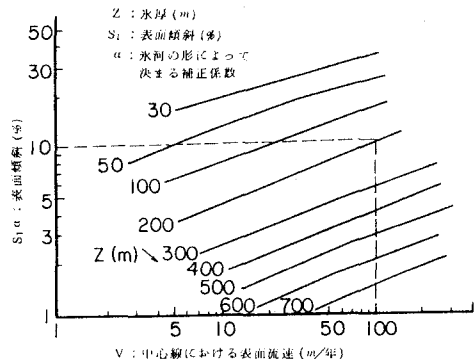


図-5 世界の氷河の氷厚と表面流速

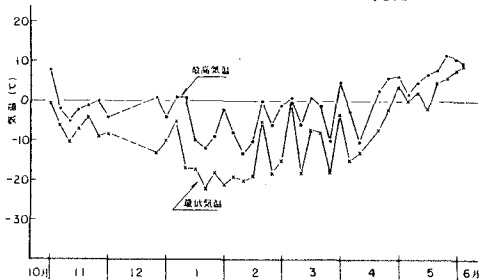


図-6 室堂の冬季最高・最低気温

