

氷 に 關 する 文 獻

正 會 員 久 保 義 光*

I 氷の力學的性質 (B. Weinberg)

II 氷雪の性質に就ての理論的並に實驗的研究の豫定計畫 (B. Weinberg)

I 氷の力學的性質

Mechanical properties of ice.

Boris Weinberg

Leningrad, U. S. S. R.

C. S. G., I. A. S. H. Edinburgh.

内 容 目 次

1. 氷の力學的特質 (*Mechanical characteristics of ice*)
2. 彈性限界測定の摘要 (*Summary of determination of the limit of elasticity*)
3. 彈性係數測定の摘要 (*Summary of determination of the moduli of elasticity*)
4. 氷の塑性の特質 (*Characteristics of the plasticity of ice*)
5. 氷の塑性限界測定の重要性 (*Importance of the determination of the limit of plasticity of ice*)
6. 氷の彈性限界測定の摘要 (*Summary of determination of the limit of elasticity of ice*)
 - A. 淡水氷の壓碎に對する抵抗 (*The resistance to crushing of the ice of soft waters*)
 - B. 淡水氷の曲げに對する抵抗 (*The resistance of soft water ice to bending*)
 - C. 氷の他の變形に對する抵抗 (*Resistance of ice to other deformations*)
7. 雪の力學的性質 (*Mechanical properties of snow*)

I. 氷の力學的特質

外部からの機械的力の作用を受けたる固体の状態は、極めて適切な性質の分類に依つて次の如き連続的の段階に分つことが出来る。即ち、

I. 弾性段階 (*elastic stage*)、變形の大きさが力の作用の時間に依存せず、又 残留變形 (*residual deformation*) は零に等しい。

II. 塑性限界 (*plastic stage*)、變形の大きさは

時間の経過と共に増大し、而して残留變形は零に等しくはないが、併し力の作用が停止せる後は零に等しくなり得るし、或は又同じ時間の間に働く反對方向の力の作用に依つて零になり得る。

III. 脆性段階 (*brittle stage*)、外力の作用に

依り物體が漸次或は瞬間的に破壊し、而して反對方向の外力の作用に依つても最初の形になり得ない。

先づ最初に、幾分粗雑な近似さではある之等3段階を、作用する應力 (= 單位面積に働く力) F と t なる瞬間に於ける一時的變形 δ との如き關係で特徴付けることが出来る。

$$I. F = N\delta \dots\dots\dots (1)$$

$$II. F = \lambda + \eta \frac{d\delta}{dt} \dots\dots\dots (2)$$

$$III. F = \sigma + M \frac{d^2\delta}{dt^2} \dots\dots\dots (3)$$

但し N は弾性係數、 λ は弾性限界、 η は内部摩擦係數、 σ は塑性限界(即ち破壊強度)で、 M は問題の種類の変形に對する無抵抗性の尺度であり且問題の型の試験に對してのみの特性を有する係數である。

斯様にして、各種の変形の基本的特質を得る見地から、我々は N 、 λ 、 η 及び σ なる量を研究することに限定しやう。

弾性係數に關して——方、弾性限度、塑性限度及び内部摩擦係數に就ては唯想像されるのであるが——可能なあらゆる種類の變形に關して對應する特性は次の3つに整理することが出来る。即ち例へば、すべての弾性係數は、形の可變性のみを特徴付ける剛性率 (*Modulus of rigidity*) と、容積の可變性のみを特徴付ける壓縮率 (*Modulus of compressibility*) とに整理し得ることは確である。

氷の力學的特質に就て之迄なされたすべての研究を總括しても、實用上の要求を満足せしめる爲にすら我々の理論は非常に不充分であると云ふことが出来る。

私の考へでは、此の不充分さの主な理由は人間が取扱ふすべての物體に對する σ/λ なる商の

大きさのうちで、氷のそれが最大である様に思はれる事實にある。氷に對する此の値は實に數十の order であるに反し、例へば鋼のそれは約2に等しく、軟鐵に對しては時々10に達する程度である。

此の事情は氷の彈性的性質を研究する方法に於て大なる障害となるもので、それと云ふのが、氷の弾性限界が極めて小である爲、我々が自然状態に於て、又は實驗室に於て見出す氷は殆ど専ら塑性段階にあり、従つて N 並に λ を測定することは非常に困難である。

實用的見地から氷の最も重要な特質たるその塑性限界 σ の實測定値は、力が加へられた時間の長さ及び氷試片に加へられた機械的作用の全歴史に、可成りの程度まで、依存するものである、——換言すれば、應力 F が λ 或は 0 から σ まで相違する方法に依存するものである。

氷の力學的特質の測定——特にその塑性限界の決定——を困難ならしめる他の事情は、試験に使用される試片の一様性の缺如である。私は、斯かる試験に於て、最大應力は試片表層の確定せる場所に發生し得ることを指摘し得ると同時に此の層の二、三の各々の缺陷は、表層中に現れ且内側に擴がる龜裂が其處に形成される爲に、此の場所を試験片破壊開始の最も可能な起源たらしめるものであることをも指摘することが出来る。

試片の表層それ自身及び隣接層が一様であればある程、試験から得られる塑性限界に對する小さな値の可能性は小となる。機械的過程に依つて、より大なる寸法の氷塊から通常分割されると云ふ試験片製作方法そのものの爲に、又特に、氷片の多結晶構造の (*polycrystalline structure*) の爲に、試片外層の若干の不一様性は避

けることが出来ない。氷の個々の結晶 (*crystallite*) 或は粒子の寸法は通常可成り小さいから、試験さるべき試片の寸法が小さければ小さい程、上記のうち後者の影響は益々強くなるに違ひないであらう。

2. 弾性限界測定の摘要

此の量の特別の測定されて居ない。従つてその上限の値を間接に定める方法に於て、何等か観測され得る變強の無いことが、——或は少くも、一定應力の作用の下に於ける一時的變形の増大のないこと——氷の塑性の研究或はその弾性性質の測定の報告に於て主として述べられ得るのである。

弾性限界の正確な値を多少とも明確に與へた唯一の著者は *Fabian* 註①で、彼は氷の棒の伸び極めて正確に測定して、氷の弾性限界として次の値を與へた。

$$\lambda = 0.5 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots (4)$$

註① *Osk. Fabian*, —“*Über Dehnbarkeit und Elastizität des Eises*,” *Carls Repert. d. Phys.* 13, 447-452, 1877,

殆ど同じ時代に氷の研究をした *Pfaff* 註②は断面 $1.3 \times 2.5 \text{ cm}^2$ の氷の棒が、 3 kg の力をを受けた後6日間何等の伸びをも示さなかつたと述べて居るが、之から氷の値が求められる。

$$\lambda = 0.9 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots (5)$$

註② *Fr. Pfaff*, —“*Versuche über die Plastizität des Eises*” *Ann. d. Phys.* 155, 169-174, 1875

氷の弾性並に塑性の詳細な研究に於て、*Hess* 註③は唯3つの場合に、プリズムの曲げを研究して居た最小の重量を示した。之等3つの場合に於てすらの曲げが、常に明瞭に、時間と

共に、次の方程式に依り計算される最大應力を増大せしめた。

$$F = \frac{3}{2} \frac{Pl}{bh^2} \dots\dots\dots (6)$$

但し P は高さ h , 幅 b , 支間 l なるプリズムの中央に働く重量である、——即ち 7.48 kg 及び 8.9 kg/cm^2 は確に弾性限界よりも遙に大である。

註③ *Hans Hess*, —“*Elastizität und innere Reibung des Eises*,” *Ann. d. Phys.*, 84 05-431, 1902

類似の實驗に於て、*Tarr and Rich* 註④は、——見かける何處等の光學装置なしに——曲げを觀なかつた、即ちその實驗8及び6bに於て F は 4.35 及び 4.38 kg/cm^2 に等しかつたが、(實驗7に於ては棒は $F = 2.84$ で壞れたことを加へ得る) その時の應力は弾性限界よりも大であつた。

註④ *Ralph S. Tarr and John L. Rich*, “*The properties of ice. Experimental studies*,” *Zeitschr. f. Gletscherkunde*, 6, 225-249, 1912

同様にして、顯微鏡に依つて観測されたのであるが、観測された變形が小さい爲に、我々は *J. A. Sokolov* 註⑤の結果を全く眞實なりとすることは出来ないが、長さ 5.7 mm , 幅 0.87 mm の氷の單結晶の弾性に就て観測を行つた彼の示す處では、“ 3 gr. の重量を3分間加へ、その後でそれを取除いた後も、顯微鏡は同じ讀みを與へて居たから、 3 gr. に依る變形のみが弾性的なりと考へ得るであらう。” その時の全變形は接眼鏡顯微鏡の縮尺の分割の 0.3 ± 0.05 に等しいから、此の變形から生じた値 $F = 2 \text{ kg/cm}^2$ は疑もなく、單結晶すらの弾性限界のあり得る値よりも大である。

註⑤ *J. A. Sokolov*. —“*Young's modulus for*

a natural ice crystal." *Journ. of Applied Physics*, 3,275-277,1926(in Russian)

Koch 註^①の實驗に於ては、測定の精度は遙に大であつたが併し——例へば Hess に依つて説明された如く——此の限度を越さず研究することを狙つたにも拘らず、著者は又、彈性限界以上の應力を取扱つて居た。此のことは避けられぬ流れ (flow) の爲に、すべての測定が、載荷に依るよりも短い時間内に行ひ得る荷重除去に依つて、なされたと云ふ事情及びより遅い荷重除去に依つて、得られる彈性率は又數%小であつたと云ふ事實から解されるであらう。

註^① K. R. Koch, "Beitrag zur Kenntnis der Elastizität des Eises," *Sitz.-Ber. d. Naturw. Gesellsch. Freiburg*, 8(3), 314-329, 1885, and *Ann. d. Phys.*, 25,438-450, 1885;

"Über die Elastizität des Eises," *Ann. d. Phys.*, 41,709-727, 1913

"Über die Elastizität des Eises." *Ann. d. Phys.*, 45,237-258, 1914

若し我々が Koch に依つて用ひられた最小荷重をとると、我々は棒に對する λ の次の様な最大値を見出すが

$$\lambda < \{ 6.6, 3.1, 3.9, 9.1, 5.8, 6.0, 7.6, 5.9 \} \dots (7)$$
$$\lambda < \{ 8.7, 4.8, 4.7, 4.8, 8.5, 3.7, 3.7, 10.6, 2.3 \}$$

その棒に對する曲げ試驗結果は夫々 1913年並に 1914年の論文の中に與へられて居る。振り試験に於ては、 λ の尙更に誇張された値即ち < 35 及び 28 kg/cm^2 の order の値を得て居る。

値(7)は大きすぎるが之は Koch の實驗に於ける力の作用の不充分な繼續時間に據るものであることが明かである。それで間接の方法——

氷の塑性變形に就ての觀測に Maxwell-Schwedoff の弛緩理論 (theory of relaxation) を適用することに依つて——で氷の彈性限界の値を定めることには若干の興味がある。

典型的な塑性固體に對して、又液體及び氣體に對し、Maxwell では次の様な推定を行つた。即ち變形が一定に保たれると law of compound interest に従つて時間と共に減する、即ち時々刻々の力の減少は、時間の等しい間隔に對應するものである。

弛緩時間即ち時間の長さを T とすると、變形を一定に保つ力が e 倍 (e は自然對數の底) だけ減少するときは Maxwell の法則に依り次の如くなる。

$$f_t = f_0 e^{-t/T} \dots \dots \dots (8)$$

但し f_0 は最初の瞬間の力、 f_t は大單位時間だけ經過した後の力である。

弛緩の問題に於ける次の飛躍が Schwedoff に依つてなされた。作用力が彈性限界を超過したときゼラチン $\frac{1}{2}$ の溶液に働く力の減少を彼は接測定して居たのであるが、law of compound interest に依り、過剩の力のみが彈性限界以上に減すると云ふことを結論するに至つた。斯くして彈性限界を λ で示すと、弛緩に關する Schwedoff の法則は、式(8)より更に一般的な次の式に依つて表される。

$$f_t - \lambda = (f_0 - \lambda) e^{-t/T} \dots \dots \dots (9)$$

此の式に據れば、時間は謂はば、その瞬間に於ける彈性限度以上の力の超過の一定割合をとるものであり、而して此の超過が零になる迄その様に無理にとり續ける。

λ が零に等しいか或は極めて小なるときは、

Schwedoff の法則を變形すると、その特別の場合たる Maxwell の法則になる。

若し變形が一定に保たれず、人為的に増大——一定割合でと假定す——すれば、然るときは常に、弛緩に依る力の減少に、増加する變形に依つて惹起された力の増大が加はる。その結果、力は増大し、單位時間中での弛緩からの損失が、同じ時間の間の變形の増加からの獲得に等しい様な値に漸近的に近づくものである。例へば剪斷の場合を考へ、剛性率を N 、剪斷角速度を φ で示すと、式(9)の代りに、一定 φ の場合に對して次の式が得られることは容易に證明される。

$$f_t - \lambda - NT\varphi = (f_0 - \lambda - NT\varphi)e^{-t/T} \dots (10)$$

充分に長い——理論的には無限に長い——時間の週期の後では、次式を得る、

$$f_\infty = \lambda + NT\varphi \dots (11)$$

剪斷角速度に對する應力は内部摩擦係數に他ならないが、決定的にする爲、係數 φ を加へることに依つて、物體が彈性限界を有し、且 Schwedoff の弛緩法則に従ふ場合には、次の式が得られる。

$$\eta_\infty = \frac{f_\infty}{\varphi} = NT + \frac{\lambda}{\varphi} = \eta_\infty + \frac{\lambda}{\varphi} \dots (12)$$

但し η_∞ は無限大の剪斷角速度に對應する内部摩擦係數の値を示す。

私註^⑦に依つてなされた氷の内部摩擦係數の測定は、此の係數は、變形速度に關し、而して式(12)に依つて表され得ることを示して居る。觀測に對應する實驗式——第4節(18)並に(19)參照——は、Neva 河の氷に對しては

$$\lambda = 0.57 \text{ kg/cm}^2 \dots (13)$$

氷河の氷に對しては

$$\lambda = 0.09 \text{ kg/cm}^2 \dots (14)$$

を與へた。

註^⑧ B. P. Weinberg, — "On the internal friction of ice." Journ. R. Phys.-Chem. Soc., Phys Part, 38, 186—224, 256—281, 289—394, 1906 (in Russian with an English abstract),

Shorter: "Über die innere Reibung des Eises," Ann. d. Phys., 18, 81—91, 1905, and 22, 321—332, 1907

"Über den Koeffizienten der inneren Reibung des Gletschereises und seine Bedeutung für die Theorien der Gletscherbewegung," Ztschr. f. Gletscherkunde, 1, 2212—47, 1906

3. 彈性係數測定の摘要

殆どすべての著者は彈性限界以上の氷を調べて居り、又此の事情が彈性係數に就てのその結果を充分の信頼を以て考察することを我々に許さないと云ふ陳述を正當化する爲に、彈性限界に就ては特に詳細に取扱つた。氷の場合に、註

① 典型的彈性變形の觀測に代ふるに、力の作用開始直後に發生し、且その作用停止と共に殆ど全くなつて了ふ變形の觀測を以てしやうとする試みは、極めて種々の結果を與へるものである。實に、Hess との私の討論の影響の下に、氷河氷に就て私の行つた特別の實驗の示す處に依れば、3秒乃至15分の時間に一定の力の作用に依つて生ぜられ、且相互に 1 : 40 すら の比をなす變形が悉く、力の作用停止の後に、確に違つた時間内ではあるが、全く零に戻つた。

註^⑨例へば、第2節 註^⑥參照

私の用いた方法は、荷重をかけたり或は取除いたり（此の操作を出来るだけ注意深く且ゆつくり行つたが）した後で、10~15秒の間の變形増加過程の觀測及び典型的な圖表の使用に依り、1分後行つたであらう處の變形のその後に於ける變化の値の計算を含んで居たが、疑もなく此の方法は、對應する彈性係數の大さの orderに就ての指示のみを與へ得るのである。同じことは多くの他の著書の測定に就ても云へる。

極めて短い時間内に力を作用させる（音の振動の週期の order の時間）ことか、或は力を作用させた後の極めて短い時間の變形を測ることが最もよい。何れの場合にも、現象は傳達機構及び試験片自身の部分の慣性の力——荷重の加速度に據る——に依つて複雑にされる。

上記のこと及び（大多数の場合、我々はその塑性領域に於ける氷を取扱ふので）氷の彈性係數の値を知ることは比較的に實用上の意義が少いので、私は Table (15) 並それに對應する若干の注意を與へる程度に説明をとどめやう。該表はヤング率 E 及び剛性率 $N(t/cm^2)$ の測定の概括を示したものであるが、傍線は（以下も同様であるが）著者自ら計算又は檢算した値である。

E の最初の測定の一つは Moseley に歸せられ而して $E = 9.3t/cm^2$ の値が始めて示されたことは注目すべきであるが、（第6節註(13)論文、又は "Phil. Trans, 1871"）私は此の著者の何れの論文に於ても何等 E の測定を見出し得なかつた。

Table (15)

著者 年に 年次	方 法	氷 試 験 片	限 男		E t/cm^2	N t/cm^2
			應 力 (kg/cm^2)	温 度 $^{\circ}C$ from to		
Young 1820 ?	② プリズム 音速速度	?	—	—	20	—
Bevan 1824	③ 曲 げ	湖 水	6	—	25	—
Frankenheim ?	④ ?	?	—	—	54	—
Troubridge ?	⑤ ?	?	—	—	77	—
Reusch 1871	⑥ プリズム 音速速度	人工、 \angle 凍結面	—	0°以下	24±1	—
Fabian 1877	⑦ 引張り	人 工	3	0°	17	—
Koch 1882	⑧ 曲 げ	湖 水	—	—	80-90	—
// //	//	//	—	-9	70	—
// 1885	⑨	氣泡ある湖水	—	-5	64-1	—
// //	プリズム の横振動	軸及 \angle 凍結面	—	-7	88	—
Fruhling 1885	⑩ 曲 げ	?	—	2 0	4-26	—
Hess 1902	⑪	軸 // \angle	—	1 0	18±1	—
// //	//	//	—	-5 -2	6±1	—
// //	//	軸 + f 及び \angle	—	0	38±2	—
// //	//	軸 // \angle	—	-5 -1	42±2	—
// //	//	粗 粒 子 状	—	//	25±2	—

〃	〃	〃	微粒子状	—	-3 -1	28±1	—	
〃	〃	〃	氷の凍結混合物	—	-3 0	23±2	—	
〃	〃	〃	水と砂を 泥を混合	—	-0.5	30±5	—	
〃	〃	〃	んだ圧した雪 ($p=20$ 気圧)	—	-0.2 0	5±0.4	—	
〃	〃	〃	同 上 ($p=30$ 気圧)	—	-2	15±2	—	
Weinberg	1905	⑩	圓筒の振り	河氷、軸+f	3-4	-5	—	16
〃	〃	〃	〃	〃	2-4	0	—	10
Weinberg	1905	⑩	圓筒の振り	氷 河 氷	0.3-2	-5	—	34
〃	〃	〃	〃	〃	0.8-4	0	—	8
Beardsley	1908	⑪	?	河 氷	—	—	13-25	—
Koch	1913	⑫	曲げ	湖水、軸+f	—	-8 -7	62±2	—
〃	〃	〃	〃	〃 軸+l	—	-8 -6	61±2	—
〃	〃	〃	〃	〃 軸+f及v/l	—	-7 -6	63±3	—
〃	1914	⑬	〃	河 氷	—	—	87	—
〃	〃	〃	〃	湖水、機械的に作 られた試片軸+f	—	—	96±2	—
〃	〃	〃	〃	同 上、 軸+l	—	—	112±3	—
〃	〃	〃	〃	表面融解せる湖 水、軸+f	—	—	37±1	—
〃	〃	〃	〃	同 上、 軸+l	—	0°	114±3	—
〃	〃	〃	プリズムの振り	湖水、軸+f	—	—	—	30±0.3
〃	〃	〃	〃	同 上、 軸+l	—	—	—	28±0.8
Krayer	1921	⑭	?	氷 河 氷	—	-3 -1	52	—
Pineghin	1923	⑮	曲げ	河 氷	—	—	—	●—
〃	1923	⑯	縦壓縮	〃	0.6-23	-12 -3	3-80	—
Sokolov	1926	⑰	曲げ	單結晶、軸+f	22	-6	26±4	—
Brockamp & Mothes	1930	⑱	爆發波速度	氷 河 氷	—	約0°	69	25

註⑩ "Note of Dr. Young," *Phil. Trans. for*
1820 III 306

(3) Benjamin Bevan,— "Account of Ex-
periment on the Elasticity of ice." *ibid.*,
304-306

(4) Mousson.— "Die Physik auf Grundl-
age der Erfahrung." Zurich, I. 167, 1858

(5) E. Reusch,— "Elastizitatmodul des
Eises," *Ann. d. Physik.* 9, 329-334, 1880,

Usually is quoted his paper of 1864 (§

5註⑩参照) where are no determination
of E.

(6) § 2註⑩参照

(7) § 2註⑩参照

(8) Quoted from Vasenko— § 9註⑩参照

(9) § 2註⑩参照

(10) § 2註⑩参照

(11) R. S. Beardsley,— "The design of
buttressed dams of reinforced concrete,"
Eng. News., 1908, Nr 217, The asterisp

preceding the reference denotes that the source has been inaccessible at the moment to the writer.

(12) § 2 註③参照 (1913年論文)

(13) § 2 註③参照 (1914年論文)

(14) Quoted from Royen—§ 4 註③参照

(15) N. V. Pineghin, — " Preliminary communication on investigation of the strength of river ice and its relation to the changes of the temperature," Reports (=Soobshch eniya) on Scient.—Techn. Works in Republic, 12, 12-14, 1924. (in Russian)

(16) N. V. Pineghin.—" On the changes, of the modulus of elasticity and of Poisson's ratio by river-iceat compression," Nauka i Tekhnika (Science & Technics), 5. Nr. 3-4(11).16.— 1927. (in Russian)

(17) § 2 註(5)参照

(18) B. Brockamp & H. S. Mothes, — " Seismische Untersuchungen am Pasterze-Gletscher," Zeitschr für Geophysik, 6, 428-500, 1930

Young, Reusch, Koch (1885) 及び Brockamp and Mothes 測定は——力の極めて短期間の作用から得られた結果を除いて——最も信頼するに足るものと考へられるに違ひない、但し Koch の測定では、多分弾性限界をほんの少しばかり超過したらしい處の最後の一つだけである。併し第一の群に對して我々が結果の間の可成りの不一致を述べねばならぬならば、我々は——Koch の實驗に關するものであるが——之等の實驗が極めて完全であるに拘らず、1913年

及び1914年の彼の實驗結果中の相違を説明することは幾分困難であることを指摘しなければならない。1913年の實驗は1914年のそれよりも約1.5倍だけ小さいヤング率を與へて居り、而して此の相違は、加へられた引張のより大なる値にのみ單に歸せられ得ない。と云ふのは1913年の實驗では軸の方向は結果に何等影響を及ぼさず、反對に1914年のそれでは、關係に於て全く明白な相違を與へて居る。

曲げから E を測定する多くの場右に次の式、

$$E = \frac{1}{4} \frac{l^3}{h^3 b} \frac{p}{\delta} \dots \dots \dots (16)$$

(δ は變形である) を用ひる可能性に就ての困難を既述のことに加へやうと思ふ、此の式は lcm 離れた2支點上に自由にある棒の曲げに關するものであるが、通常試験片は支點に凍り着いて居る。棒の端部が緊着せる場合に、式 (16) 中の係數 $\frac{1}{4}$ を係數 $\frac{1}{8}$ に變へることは確に正しくはないが、併し尙式 (16) に依つて計算された値は幾分大となるものと考へなければならぬ。

従つて氷の弾性係數に就ての我々の陳述に當り、ヤング率は $70 \sim 80t/cm^2$ の order, 剛性率は $25 \sim 30t/cm^2$ の order のものであることのみを云ひ得ると假定することはより定全であら。

最後にポアソン比 μ に關する若干の附加的 data を示さう。

此の係數の唯一の直接測定——即ち氷片の壓縮に關する Pineghin 註③の實驗——に於て、我々が觀測記録を有する6群のすべてに於て、 μ の値は應力の増加と共に増大する。全壓縮から計算されたヤング率が應力の増加と共に減少する5群に於ては、弾性限界を超過して居ることが分るが、此のとき μ の値は1.3~1.7倍増大するが、併し 0.435 を超さない。應力の増加と

共に E が增大する——48.9より90.5まで——最後の第6群に於ては、 μ の値は0.287から0.776まで増大するが、之は亦或る歪みに依つて、單に内部空隙の形成に據るもののみ解釋され得る。

若し *Pineghin* の實驗から、應力の増加に依つても實際上不變なものを選ぶと、我々は第4群から $\mu=0.326$ 第6群から $\mu=0.35 \pm 0.047$ を得る。

Koch は同じ試験片に對した、彼に依つて得られた E 並に N の値を對照して、縦方向が凍結面に平行なる試験片に對して $\mu=0.314 \pm 0.0007$ 、縦方向が凍結面に垂直なる試験片に對して $\mu=0.248 \pm 0.007$ を見出した。

最も直接なもの——従つて私には眞實に最も近いと思はれる——は、*Brockamp and Mothes* に依り、縦と横との變形の傳播速度を比較して得られた値即ち $\mu=0.361$ である疑もなく變形から得られた値は、氷河水に關したものであるが併し此の値は河水にも適用されると考へることが出来る、河水は氷の“粒狀”氷の場合と同様に、異なる方向に向いて居ない平行軸の集合であつて、此の河水に對して μ の値は0.36から比較的僅かばかり異なるのみである。

4. 氷の塑性の特質

非常に緩慢な經過性變形の典型的實例なる氷河に於ける氷の運動を考察するに當り、氷河學者は専ら式(2) 或は $\lambda=0$ なる場合に相當せるその簡易型をすら使つて居る、即ち

$$F = \eta \frac{d\delta}{dt} \dots\dots\dots (17)$$

従つて斯かる緩慢な經過に對する氷の基本的特質はその内部摩擦係數 η である。此の特質は、氷のより緩慢な變形にも亦適用し得るが、尙 η

の測定に於ける特別な氷河學的興味の爲に、我々は1907年の私の論文註①中にある總括及び、斯かる測定の批判的解析を引用すると共に、該論文から、最も詳細なものとして又此の方向に於ける最後の實驗的研究註②に次くものとして下に示す最終的實驗公式を引用するに止めやう、此の公式は *Neva* 河水の圓礫の振りの研究の38群の結果及び *Ointereisferner*, *Hochjochferner* 及び *Kesselwandferner* の圓礫の48群の結果を表すもので即ち (θ は溫度である)

$$\eta = 0.95 \left(1.13 - \frac{0.65}{\theta} \right) 10^{13} \frac{g}{cm, sec} + \frac{5.0 \times 10^5 \frac{g}{cm, sec^2}}{\varphi \frac{1}{sec}} \dots\dots\dots (18)$$

$$\eta = 0.38 \left(1.32 - \frac{0.65}{\theta} \right) 10^{13} \frac{g}{cm, sec} + \frac{0.9 \times 10^5 \frac{g}{cm, sec^2}}{\varphi \frac{1}{sec}} \dots\dots\dots (19)$$

但し φ は剪斷速度である。

註①ポーランド語の出来る人には、次の論文の對應する部分を推薦するが、之には又私の論文の最も本質的な部分が見出される。

A. B. Dobrowolski, — “*Historija naturalna lodu*” (Warszawa, 766-813, 1917)

(2) 最後のものは *Hans Hess* の研究である、“*Über die Plastizität des Eises*” *Ann. d. Phys.*, 36, 449-492, 1911

私の得た μ 及び N の値を比較すると、弛緩時間 T として次の如き値が得られることを書加へておかう。

	θ	$0^{\circ}C$	$-50^{\circ}C$	
T	{	<i>Neva-ice</i>	950^{sec}	1.67^{sec}(20)
		<i>Glacier-ice</i>	480	720

數分間乃至數時間の間一定の力が作用して居ると、式(17)の適用は——例令それが適用出来ても——變形速度に依存する η に據り、可成りの困難に遭遇する。

氷の變形過程の斯かる段階に對して、我々は上述の Hess の論文及び Royen 註⑥の廣汎な研究の結果を引用しやう。

註⑥ N. Royen, — "Istryckvid temperatur hognigar," *Hyllmingsskrift tilagnad F. V. ilh. Hansen pa sextloarsdagen. Stockholm, 356-383, 1922*

Hess 意見は次の如きものである。

"1. 適度の荷重に依り、内部摩擦係数は、力の作用の繼續と共に増大する、即ち5分經過した後は、近似的に時間に反比例し、一方それより短い時間内の力の作用に對しては、 η の増加は更に複雑な法則に従ふやうである。

"2. 破壊應力に近似的に近い大なる荷重では、内部摩擦係数は力の作用の繼續と共に減少する。

"(t-t₀) 秒間に惹起した變形を a、之に相當した變形速度を $\frac{da}{dt}$ で表すと、適度の荷重に對して次の數學的表式が得られる、

$$\frac{da}{dt} = \frac{c}{t} \dots\dots\dots(21)$$

$$a = c \log \frac{t}{t_0} \dots\dots\dots(22)$$

但し c は荷重、試験片寸法及び時間 t に關係せる量である。

"大きな荷重に對して、第一近似式は次の如

きものであつて、

$$a = a_0 + bt^2 \dots\dots\dots(23)$$

こゝで a は彈性變形であり、b は荷重及び氷片寸法に關係する。私が準備的には結末をつけ得なかつた研究を更に詳細に調べると多分、(23)式の t の乗幂として 1 と 2 との間但し 2 により近い値を與へるであらう。"

Royen はその作用時間 t (時間)、氷の試験片の溫度 θ 及び作用する一定應力の大きさ F (kg/cm²) から、氷の相對的壓縮 a の大きさの實驗的研究の結果として、此の相關を次の一般式で表さうとさへ試みた、

$$a = \frac{cF^2 \sqrt{t}}{1 + \theta} \dots\dots\dots(24)$$

但し c は 679.10 註⑥に等しい。

説明を完成する爲、氷の壓縮に關する研究を述べやう。註⑥

註⑥ Gio Giuseppe Bianconi, — "Esperienze intorno alla flessibilita del Ghiaccio," *Memorie Accad. sci. Istituto di Bologna, 1, 155-166, 1871, (N. B. In the following papers of the same author in the same "Memorie"—9, p. 581, 1869, 10, p. 595, 1870, 2, p. 355, 1872, which are usually cited together with the above mentioned, there is not a word about any experiments of the author)*

R. W. Wood, — "Effects of pressure on ice." *Amer Journ. of Sci. 40, 30-37, 1891 (Shorter: Nature, 43, 309, 1891)*

G. Tammann, — "Über die Ausflussgeschwindigkeit krystallisierte Stoffe" *Ann. d. Phys., 7, 198-224, 1902*

Hans Hess, — § 2 註⑥茲に本節註⑥参照
 O. D. V. Engeln, "Experimental Studies
 and Observations on the Ice Structure,
 Amer. Journ. of Sci., 40, 449-472, 1915.

Tammann 及び Hess の實驗に於ては、流
 れ (flow) は融解壓より若干低い力で開始し
 たが、Hess が——比例に関するものとして——
 融解速度と、なぞらへた處の流れの速度は、
 壓力の増加と共に、極めて迅速に増大する。流
 れ壓力 (flow pressure) 融解壓及び——實際上
 無限に高い流れの速度の起る壓力との間の相關
 は、Table (25) で示されるが、之は Hess の
 實驗に關するものであり、初期壓力、融解壓力
 及び最大壓力は P_0 , P_{melt} 及び P_{max} で示
 されて居る。

Table (25)

θ	p°	P_{melt}	P_{max}
-5.7	642	678	665
-10.7	1116	1228	1130
-15.7	1611	1681	1729
-21.7	2000	2070	2100
-27.7	2200	—	2240

本表で與へられた流れ—壓力の値は幾分大き
 な孔に相當したものである。小さな孔或は圓錐
 容器との間隙の場合には、Hess は流れ—壓力、
 (flow-pressure) は壓縮に依る断面の減少 m に
 近似的に比例すると看做し、而して確證の爲
 (H. Hess, —, Die Gletscher, Braunschweig,
 28, 1904) $0^\circ C$ に於ける流れ—壓力に關する次
 の data を示した、

Table (26)

m	14	9	6.3	3.1	1.7
P	500	345	230	100	30
	Tammann		Hess		

溫度の上昇に伴つて、"融解速度"が極めて
 急速に増大すること、及び溫度が低下すると一
 定の融解速度を得る爲には非常に増大した壓力
 を加へる必要があることに依り、溫度の影響が
 現される。

Hess は最小流れ—壓力 (kg/cm^2) と溫度と
 の相互關係を次の式で表した、

$$d_{min} = -70t - 2t^2 \dots \dots \dots (27)$$

私は Hess 註⑥ に従つて次のことを記して
 おかう、"押出された小片に依つて示される如
 く、變形に依つて、凍結に依つて得られた氷の
 放射方向の結晶が破壊すると、流れの孔 (flow-
 aperture) から、小粒子より成る一塊の氷の破
 片 (Eisbreccie) が現れる。最大の變化は押出
 された小片の境界中に明示される：こゝに又氷
 の部分的の融解が生じ、此の水が壓力を受けな
 い場所で復氷するとき、氷粒の若干の、増加を
 來たす。

註(5) H. Hess, — "Das Eis der Erde," —
 S. Gutenberg. Handbuch der Geophysik.
 7 Nr. 1, p. 13, 1933.

5. 氷の塑性限界測定の重要さ

氷の機械的性質を特徴付ける常數から、塑性
 限界は最大の實際上の關心を持つに違ひない。
 併し實驗はそれに対して——少くも實驗室條件
 では——非常に異つた結果を與へる。

若し我々が氷の利用に關心を有するならば最
 も重要な基礎事項は、我々の使用する氷の各片
 の破壊が起り得る最小の應力である。而して我
 々は構造物或は裝置を設計して、その基礎下
 にある氷の各片に、氷の塑性限界の之等の最小値
 を超す應力が働かぬやうにしなければならな
 い。

反對に若し我々が氷に対する闘争に關心を有するならば、我々にとって最も重要な要素は氷が粉々に破壊せず耐へ得る最大の應力であつて、その抵抗が、例令零にまではなくても、塑性限界よりも可成り小さな値にまで減少することに依つて、此の破壊は伴はれるものである。氷の機械的作用に堪へる構造物は、實驗で得られた氷の塑性限界の最大値を若干超過する各々の應力にそれが抵抗し得る如く計算されなければならぬ。

それで氷の強度の研究の結果として、得られた弾性限界値の平均を示すと云ふ多が大少力かれ通常の方法は——例令斯かる平均がそれからの平均の偏倚の説明を伴つて居たとしても——實際上の要求に殆ど答へないものと考へなければならぬことが分る。

その實驗結果が與へられるに違ひない處の一群の實驗から得られた最小値並最大値を示すことは、此の點に關しては遙に有益であるが、併し斯かる $deta$ さへ實際上の目的には充分と考へられない。實際どの程度まで、之等の極端な値が試験の條件の結果であり得るか云ふ疑問と共に、下記の $deta$ を用ひなければならぬであらう人々は、塑性限界の斯かる異常に大きな、又斯かる異常に小さな値に如何に屢々出會ふかに就て極めて完全な概念を持たなければならぬ。氷の機械的性質を利用したり、或はその性質に闘争する大多數の場合の一時的特徴に據り、稀に起る塑性限界最小値を若干超過する様な氷に及ぼす應力を許したり、或は氷の作用を受ける構造物の抵抗を、特殊の場合の弾性限界最大値以下に許すこと、換言すれば氷の極めて低い壓力の爲に、或は氷の働く構造物の極めて

強い抵抗の爲に、金を使ふよりは寧ろ或る程度、の被害の危険を冒すことが、經濟的により妥當である場合が屢々ある。塑性限界の最小並最大値の知識は、氷の斯かる極端な強度から得られる正規の値に對應せざる構造が出會ふべき場合に於ける被害に對して防護手段を合理的に講ずるのにも役立つ。

斯かる考察から、及び氷の塑性限界の問題の極めて重要なるに據り、我々は先づ第一に各種の變形に對する氷の強度試験に關する契期に於て、我々手に入り得るかぎりのすべての始源の數字的 $deta$ を蒐集し、而して第二に、之等 $deta$ の $deta$ に基いて、塑性限界の異つた値の頻度曲線を畫かうと試みることに決定したのである。

一方に於て $deta$ の餘計の小分割を避ける爲、又他方に於て餘計な圖式表示を避ける爲、次節(6)の各々の表に於ては、個々の試験の $deta$ を手に入れることの出來た各研究の結果は、10個宛の群に分けてある、即ち結果が上昇する順序に排列されてゐるときは、試験全數の次々の10番目の群に分けたのである。各々の10個に對して、表は全結果の總平均値の百分率で表した對應する試験結果の平均値を與へて居る。試験の數が10の倍数でないが、併し $10a \pm b$ に等しいとき——但し a, b は整数で $b \leq 5$ あるが——2つの中間の10個に於て試験の數は b 偶數値に對して $10 \pm \frac{b}{2}$ 、 b の奇數値に對して $10 \pm \frac{b+1}{2}$ に等しいととられた。

下に與へられた總括を使用するに當つては、得られた頻度分布曲線は次の2つの事情の相伴つた影響を表すことを記憶すべきである、

1) 試験の爲にとられた氷試料の抵抗に於ける實際の相違、

2) 避け得られぬ実験上の誤差。

後者は、——一般にとるに足らぬと思はれる器械誤差以外に——増大する應力を漸次又は躍進的に加へることに依つて、試験片が破壊されるに至る時間の長さの影響及び試験片の局部的缺陷の影響に依つて累加される。

局部的缺陷に就ては既に第1節で述べて居り、時間の影響に關しては、我々は確信を以て、應力の増加がより迅速に實現される程得られる塑性限界の値はより大である。逆に迅速な試験で得られた塑性限界の値よりも小なる應力が償くことの許される時間一大なる程、試験片が斯かる低い外部的的機械的作用に依つてすらも破壊する確率は大である。

すべて之等の事情から、第一の値及び恐らく第二の10個の値も亦通常然自條件の下に作用して居る可意り多くの氷塊に對應せる値及び、表面の層が非難の打ち處の無い程一様であるときの實驗から得られる値よりも小であると考へさせられるのである。

表層のことを談べたので、氷の所謂硬度は硬度の鑛物學的尺度で測ると1.5と評價されることを指摘しやう。

氷の表面に於ける搔疵 (scratch) に關しては Reusch 註^①の唯此の點に就ての觀察のみを引用しやう、「小刀の凸つた刃を或る壓力の下に、刃の切線に平行に、氷の上に引くと、此の線に沿つて氷自身に龜裂が入ると共に、此の線に沿つて或る確かさを以て氷は壞れる。」Reusch は之を硝子にぼす *diamond* の作用と比較し、「なる搔疵は硝子にも氷にも氷にも生じない」と云ふことを附加して居る

註^① R. Reusch, — "Betirage zur Lehre

vom Eis." *Ann. d. Phys.* 121, 573-578, 1864.

6. 氷の彈性限界測定の總括

こゝで S. M. Andreus に依つてなされた斯かる測定の總括を與へるが、之は彼の論文から借りたものである。(若干の補足を以て——主により古い外國の測定から)

A. 淡水氷の壓碎に關する抵抗

各種の著者の研究結果を纏むるに當つて、之等の結果は次の獨立の要求に依つて分類された。

1) 試料が採取された層の深さに従つて、上層 (0~10cm) と下層とが別々に論ぜられた。中間層も最底层も風で攪亂されない靜水から強成される爲に、期待され得る様に、中間層及び最低層からの試料に對する平均値の豫備的計算は大した差異を示さなかつたので上層下層以上の分類は行はれなかつた。

2) 結晶軸に關しての力の方向に従つて、すべての *deta* は2つの群に分れた、即ち a) 力の方向が結晶軸に平行なとき ($\sigma \parallel$); b) 力の方向が軸に垂直のとき ($\sigma \perp$)。

3) 試験の間の氷の河度に従つて、各個々の試料の溫度は、結果を群に合せしぬずに考慮された。

残念ながら多くの著者は、之等の要素のすべて或は一部分すらをも考慮に入れなかつた。

我々は次の様に従つて結果を分類することは全然控へた：

4) 氷の強成の状態

4) 強成の時期から、その試験に至るまでの氷の溫度の歴史

6) 力の作用の時間及び試験中の時間に伴つ

てのその變化

7) 試験の寸法及びその製作の正確さ(面の平行)

8) 壓縮表面の特質

多くの著者は、同じ層及び同じ塊からの對の試料を試験して居るので、第1に力が結晶に平行なるとき、第2にそれに垂直なるとき、斯かる隣接せる試料に対する商 $\sigma_{\parallel} / \sigma_{\perp}$ は、結晶軸に関する力の方向が記録されない處でのすべての *data* を用ひることの可能性を與へた。

Table (28)

試験の數	商 $\sigma_{\parallel} / \sigma_{\perp}$	
	上層	下層
平均	1.33 ± 0.53	1.83 ± 1.02
中央 (median)	1.13	1.23

最大	4.20	6.88
最小	0.32	0.23

異つた温度で測定された σ の値はすべて、B. P. Weinberg の研究の結果、卸ち "河水の機械的抵抗に及ぼす温度の影響" 註⑩ を用ひて $\theta = -3^{\circ}$ に於ける値 σ_3 に變改された。斯かる變改の結果は次の Table (30) に與へられて居るが、此の内 *n* は測定の数を示す。

註⑩ *Bulletin (Izvestiya) of the central Geophys. Observatory 2, 2-233, 1929*

(in Russian with an English abstract)

Fig. 1 (p.29) は商 $\sigma_3 / \sigma_{\theta}$ に對し次の値を與ふ

$$\left. \begin{aligned} &\theta = 0^{\circ}; -5^{\circ}; -10^{\circ}; -15^{\circ}C \\ &63 - \sigma_{\theta} = 1.15; 0.95; 0.84; 0.77 \end{aligned} \right\} \dots(29)$$

Table (30) 壓碎に依る氷の彈性限界の平均値

著者	上層			下層								
	σ_{\parallel}			σ_{\perp}								
	<i>n</i>	中央	平均	<i>n</i>	中央	平均						
Beasonov ②	3	—	51.7	1	—	15.4	11	63.8	63.8	7	19.8	20.1
Pineghin 1923 ③	(11)	—	26.1	(11)	—	21.6	(22)	—	32.3	(22)	—	26.8
" 1924 ④	16	20.8	33.9	11	23.4	23.9	25	33.2	35.7	22	21.8	28.9
Sergheev ⑤	2	—	36.8	2	—	24.7	4	33.5	33.8	4	16.0	16.8
Arnold-Alabieff ⑥	—	—	—	11	37.9	38.7	—	—	—	32	30.2	31.1
Ice Station ⑦	11	33.6	30.2	11	28.6	26.4	28	39.8	41.3	22	19.3	19.1
Sergheev ⑤ (軸方向不詳)	4	—	16.3	—	—	18.2	8	—	13.0	—	—	31.5
Vasenko (天然氷) ⑧	—	—	—	—	—	—	3	25.8	22.2	1	—	32.7
Makarov (人工氷) ⑨	—	—	—	—	—	—	8	37.5	39.8	—	—	—
Bell ⑩	—	—	—	—	—	—	6	47.1	47.4	2	—	44.0
Barnes & Mackay ⑪	—	—	—	—	—	—	7	19.7	21.9	9	21.5	21.1
Krayger ⑫	—	—	—	—	—	—	7	—	(61 / 147)	8	—	(42 / 75)
Finlayson ⑬	—	—	—	—	—	—	7	—	135	1	—	79

	力に對する結晶軸方向圧不		
	1	—	21.7
Moseley ⑧			
Vasenko (人工氷) ⑨	13	26.4	22.9
Gzovsky ⑩	(10)	—	(14.7)
Indlow ⑪	(20)	—	(23.0)
Mees ⑫	(1)	—	(28.2)
Fruhling ⑬	(10)	—	(10.4)
Bell ⑭	3	—	(62.0)
Engeln ⑮	3	—	(65.6)
Katanskij ⑯	2	—	(70.6)
Brown ⑰	(15)	—	(34.0)

註⑧ E. A. Aezsonov, "Results of investigations of ice of R. Tomj before the ice-drift of 1915 (abstract)," *Bull.* (*—Izvestiya*) *Tomsk. Technol. Inst.*, 43, Nr. 3, 27-28, 1923 (*in Russian.*)

⑨ § 3 註⑮参照

⑩ N. V. Pineghin, *Note-books on the tests of ice from the 28/12-23 to 30/3-24*

⑪ B. N. Sergeev, "Organization of winter passage of waggons over ice and the behaviour of an ice-layer under load," 18th *Magazine* (=Shornik) of the Dept. of Eng. Investigations, *Scient. — Technol. Committee of the Peoples Commissariat of Transport.* 84,5-35, 1928 (*in Russian*)

⑫ V. I. Arnold-Alabieff, "Investigation of the strength of ice of the Gulf of Finland" and 1923, 1927 and 1928, "Bulletin" (=Izvestiya) *Centr. Geodhys. Observatory*, 2, 15-28, 1929 (*in Russian with an English abstract.*)

⑬ Scientific-methodical ice Station of the Central Hydro-meteorological Service of

USSR, "Journals of tests of the strength of ice of the Gulf of Finland for 1930-36."

⑭ B. P. Vasenko,—"Ice." *Magazine* (=Shornik) *Inst. Eng. Ways of Communications.* 50, 497-528, 1899 (*in Russian.*)

⑮ S. O. Makarov,—"Yermak in ice." *St. Petersburg*, 418-422, 1911 (*in Russian*)

⑯ Howard T. Barnes,—"ice Engineering"

H. T. Barnes,—"The crushing strength of ice," *Trans. R. Soc. Canada*, 8 Sect III, 19-22 1914; H. T. Barnes, J. W. Hayward and Norman McLeod,—"The expansive force of ice," *ibidem*, 29-50,

⑰ Royenから引用—§ 4, 註⑮参照

⑱ J. W. Finlayson,—"Tests on the shearing of ice," *Can. Engineer*, 53, N. 5 101-103, 1927

⑲ Henry Moseley,—"On the mechanical properties of ice," *Phil. Mag.* 39, 1-8 1870

⑳ Vasenko より引用上記 註⑮参照

㉑ V. Katanskij,—"Transmission of freight waggons along the track laid on the
the

ice of R. Volga near Saratov in the winter of 1915-16 and execution of observations on the influence of a load on the state of the ice cover." Messenger (=Vestnik) of the Saratov Department of the Russian Techn. Soc. 11-12, 235-248 1917,

⑩ E. W. Brown,—"Appendix to the Report to Joint Board of Engineers of the St. Lawrence Waterways" 1926,,

括弧内に示したものは、温度が示されていない試験の結果と、著者がその試験の数を示していない場合の試験の推定の数である。

我々は又 Bydin 註⑩ の68測定の測定の平均値— $\sigma=16.4$ を引用しやうと思ふが此の測定は春の流氷中に氷に就て行はれたものであつて、即ちその破壊が既に開始され従つて總平均の計算に考慮されなかつた氷に就て行はれたものである。著者に依つて示されなくて、推定された試験の数は、私に依つて計算された結果と同様に括弧内に入れられた。

註⑩ F. J. Bydin,—"Strngale against the ice of the River Svirj," Svirjstroj 141-148, 1934 (in Russian)

Table (30) の最初の5行即ちここで述べられたすべての要素が示されて居る data からの weighted mean は、上層に対して $\sigma_{上}=33.9$ ($n=31$), $\sigma_{下}=29.0$ ($n=30$), 下層に対して $\sigma_{下}=$

42.4($n=68$), $\sigma_{上}=26.0$ ($n=87$)

こゝで Table (28) の第2行を考慮に入れると次のことが見出される、

$$\left. \begin{aligned} \sigma \parallel \text{upp} / \sigma \parallel \text{low} &= 0.820 \\ \sigma \parallel \text{low} / \sigma \parallel \text{low} &= 0.556 \\ \sigma \parallel \text{upp} / \sigma \parallel \text{low} &= 0.607 \end{aligned} \right\} \dots\dots (31)$$

之等の係数を用ひ若干の補足假定の下に、Table (30) の data は次の様な $\sigma \parallel \text{low}$ の値に改められる。

Table (32)

著者	n	$\sigma \parallel \text{low}$
第1の著者	90	39.9
—//— form $\sigma \parallel \text{upp}$	42	38.9
—//— from $\sigma_{上} \parallel \text{low}$	109	47.1
—//— from $\sigma_{下} \parallel \text{upp}$	47	44.7
Sergheev	12	34.4
Vasenko	4	32.6
Makarov	8	43.7
Bell	8	53.6
Barnes and Mackay	16	31.0
Finlayson	2	142.0
最後の11著者	78	43.7
總平均	416	42.8

結果が各々の著者及び各々の指標 σ に對する平均の百分率で表され ($n > 10$ とす) て居るときは、10個宛の偏倚の分布は次の通りであつた

Table (34) 10個宛の平均値

著者 (試験数)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. 上層 $\sigma_{上}$ Pineghin (16)	44	49	56	57	60	63	84	105	134	289

Ice Station (11)	49	66	71	92	96	98	111	115	117	188
平均 (27)	46	56	63	74	78	80	97	110	125	238
2. 上層 σ_{\perp}										
Pinoghin (11)	35	49	58	82	94	100	108	130	143	206
Arnold-Alabieff (11)	49	66	71	92	96	98	111	115	117	188
Ice Station (11)	48	75	81	100	103	110	116	119	119	121
平均 (33)	44	63	70	91	98	103	112	121	126	172
3. 下層 $\sigma_{=}$										
Bezsonov (11)	73	74	74	85	98	103	106	116	135	135
Pineghin (25)	23	29	34	48	67	100	129	140	178	290
Ice Station (28)	53	75	90	92	94	99	104	112	131	148
平均 (64)	50	59	66	75	86	100	113	123	147	191
4. 下層 σ_{\perp}										
Pineghin (22)	37	45	49	58	67	87	94	123	154	305
Arnold-Alabieff (32)	68	75	80	89	96	101	113	118	125	139
Ice Station (22)	37	47	60	73	89	110	120	138	155	168
平均 (76)	47	56	63	73	84	99	108	127	145	204
5. 層及び力の結晶軸に関する方向不明										
Vasenko (人工氷) (13)	38	44	46	74	84	109	125	132	157	184
Cydin (68)	30	48	67	84	93	106	120	135	149	176
平均 (81)	31	47	64	82	92	106	121	135	148	177

Table (34) の各平均値が、表の各分類内の異つた著者の値よりも、より一致して居ると云ふ事實から、層の深さ及び力に関する結晶の方向は σ の分布に何等著しい影響がないと云ふことになる。従つて我々は Table (34) のすべての値から總平均をとることが出来る。斯くて次の値が得られる。

10個	1	2	3	4	5	} (35)
	48	57	64	79	88	
σ_{\perp}	6	7	8	6	10	
$\sigma_{=}$	99	111	123	139	195	

鹽分氷の壓碎に對する抵抗に關しては、私は Makarou の測定から次の平均値 (0°C に於て) を示さう、即ち密度 1.018 の鹽分氷の凍結より得られた氷の 8 回の測定に對して $\sigma = 24.7 \pm 4.9$ 密度 1.025 の鹽分氷からの氷の 9 回の測定に對して $\sigma = 18.5 \pm 3.2$ 軟水からの氷に對する $\sigma = 24.7 \pm 7.9$ に對して、天然の鹽分氷に對する $\sigma = 9.6 \pm 3.3$ (10 回の試験)。之等の説明は、豫め想像される様に、鹽分有量の増加共に氷抵抗が減少することを明瞭に示して居る。

B. 軟水氷の曲げに對する抵抗

我々はこゝで次の3つの場合を分類しなければならぬ。

- a) 軸 Kf
- b) 軸 $\perp f$ 並に
- c) 軸 $|| l$

次の總括に入つて居る *Ice Station* の測定に於ては a) 及び b) の場合のみが分類されて居る。Bezonov に依つては a) 及び c) の場合のみである。力と軸との相互の方向に就て若干示して居る他の残りの *deta* に於ては b) 及び c) の場合が明瞭に分けられてゐない。b) の場合はより有り得るので、我には *Table (36)* の之等の試験に此の場合を引用した。

場合 a) 及び b) は最後の結果に於て、同一の断面表面 (*fracture-surface*) (結晶軸に関するその方向に關しては) を與へるので曲げに依

る破壊に於ては、同一つ作用を生ずるに違ひない。それで塑性限界は之等の場合に始ど同一であるに違ひない。氷に對する伸張率及び壓縮率が深度に依り、又實際上感知せられる勾配 (*gradient*) に依り相違し得るものと考へられるときのみ、此の塑性限界は異なる。斯かる相違の確認は此の種の試験に依つて可能であるよりは、他の順位 (*order*) の正確さを必要とするので、場合 a) 及び b) を分類することは不可能に思はれる。同じ氷塊の同じ層が方法 a) 及び b) に依つて試験された場合の試験の結果から比 oa/ob を決定せんとする試みも亦確定的結果に到達するのに失墜した：試験の数は幾分少く (36) 而して此の値は廣く分散し、その平均値は 1.4 であつた。

Table (36) 曲げに依る氷の塑性限界の平均値

著 者	上 層			下 層				層の示されざるもの			
	a	b	x	a	b	c	x	a	b	c	x
	n σ	n σ	n σ	n σ	n σ	n σ	n σ	n σ	n σ	n σ	n σ
Vasenko ③	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 24.3
Makarov ③	—	—	—	—	—	—	—	313.1	—	—	—
Weinberg ③	—	—	10 13.3	—	—	—	15 17.3	—	—	—	—
Bezonov. 1913 ③	24 13.0	—	—	78 15.4	—	—	—	—	—	—	—
〃 1914 ③	—	—	(10) 11.0	—	—	—	(15) 11.4	—	—	—	(60) 11.2
〃 1915 ③	(30) 13.6	—	—	(30) 13.6	—	(30) 32.2	—	—	—	—	—
Kätanskij ③	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 33.6
Sergheev ③	2 17.3	2 6.2	1 9.9	4 18.6	4 7.6	—	2 14.9	—	—	—	—
Podder ③	—	—	10 7.4	—	—	—	47 11.5	—	—	—	—
Ice Station ⑦	16 14.2	14 16.2	—	19 14.7	13 12.0	—	—	—	—	—	—
〃 1930 ⑦	12 14.8	8 17.8	—	111 16.3	37 14.2	—	—	—	—	—	—
〃 1934 ⑦	8 8.6	1 16.1	—	18 9.2	3 7.1	—	—	—	—	—	—
Fruhling ②	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9 13.6
Hess ②	—	—	—	—	—	—	—	222.8	234.6	459.6	—

〃	下	<i>x</i>	15	60	66	73	75	84	97	111	132	151	188	
<i>Bezsonov</i>	上	<i>x</i>	24	59	76	79	81	87	97	107	118	138	172	
〃	下	<i>a</i>	78	33	57	80	92	99	104	115	123	128	170	
<i>Podder</i>	上	<i>a</i>	10	77	82	85	88	99	104	107	110	110	141	
〃	下	<i>x</i>	47	68	81	88	90	93	97	106	141	120	136	
<i>Ice Station 1930</i>	〃	<i>a</i>	19	57	74	85	92	97	99	102	115	127	154	
〃	〃	<i>b</i>	18	36	44	48	80	83	88	120	148	150	181	
〃	上	<i>a</i>	16	67	69	87	89	95	98	103	114	133	138	
〃	〃	<i>b</i>	14	75	83	88	88	91	99	114	116	124	126	
〃	〃	<i>a</i>	13	61	66	74	84	86	104	120	126	136	151	
〃	1631-34	下	<i>a</i>	111	39	61	77	85	94	103	114	124	136	162
〃	〃	〃	<i>b</i>	37	32	40	55	88	110	121	125	133	141	172
〃	1636	〃	<i>a</i>	18	41	53	65	65	72	85	87	186	192	196
平均..... 430				47	62	83	86	94	102	113	126	135	162	
				千2	千9	千8	千5	千6	千6	千7	千8	千8	千13	

Table (37) の最後の行と、Table (36) の data との間の平均をとると、次の値が見出される。

10個	1	2	3	4	5	} (38)
$\sigma / \dots 100$	46	60	75	83	92	
σ	6	7	8	9	10	
	101	112	125	137	175	

之等を *deta* 図表に描くと、平均より 2 倍小で、 $1 \frac{1}{2}$ 倍大なる抵抗が殆ど 10 の場合から 1 つ

の中で出會はされ得て、而して 3 倍小で 2 倍大なる抵抗が約 50 の場合から 1 つの中で出會はせられることが分る。

Makarov の *deta* からは、鹽分水に対して、密度 1.018 の鹽水の凍結に依つて得られた水では (4ヶの測定の平均) $\sigma = 6.4 \pm 1.4$ 、密度 1.025 の鹽分水からの氷に対して (3ヶの測定の平均) $\sigma = 7.8 \pm 5.0$ 、而して淡水氷では $\sigma = 11.9 \pm 0.3$ に對して天然の鹽鹽分水では (13ヶの測定の結果) $\sigma = 7.9 \pm 1.8$ を得て居ることを附加しやう。

Table (39)
引裂 (tearing) 並に切斷 (cutting) に對する塑性限界平均値
($\theta = -3^\circ C$)

著者	上層				下層			
	$\sigma =$		$\sigma \perp$		$\sigma \parallel$		$\sigma \perp$	
	<i>n</i>	平均	<i>n</i>	平均	<i>n</i>	平均	<i>n</i>	平均
引裂 (Tearing)	(8)	1.28	(11)	7.2	(22)	12.1	(22)	8.8
<i>Pineghin</i> ⑥			(63)	12.0				

Schumacher. Moritz	Ⓔ	(4)	7~8
Moseley	Ⓔ	(8)	(7.0±1.0)
Fabian	Ⓔ	(5)	(2.4)
Fruhling	Ⓔ	9	12.6
Vdsenko	Ⓔ	2	6.3±3.2
Finlayson	Ⓔ	10	13.6±1.4
Mc Connell and Kidd	Ⓔ	(5)	7.2
平均		(106)	10.8
切斷 (Cutting)		(11)	6.2
		(11)	7.2
		(22)	7.5
		(18)	8.2
Pineghin	Ⓔ	(62)	6.9
Moseley	Ⓔ	13	(8.4±0.7)
Finlayson	Ⓔ	(10)	(6.6)
平均		85	7.1

註Ⓔ §2. 註Ⓔ 参照、7~8 kg/cm² なる値は Hess に依りその23論文の頁に與へられて居る。“Die Gletscher” は同じ起源のものらしい。

Ⓔ §2註(1)参照

Ⓔ James Mc Connell and Dudley A Kidd, — “On the plasticity of glacier of other ice” Proc. Roy. Soc, Lond., 44, 331-367, 1888

C. 他の變形に對する氷の抵抗

氷の圓端の捩りの實驗 註Ⓔ から私は、Neva の氷に對して(3つの値の平均) $\sigma_2 = 4.1 \pm 1.7$ kg/cm²、氷河に對して、(6つの値の平均) $\sigma_2 = 5.6 \pm 2.1$ kg/cm² の値を得たことを、説明を充分にする爲に附加しやう。

註Ⓔ §2 註の参照

7. 雪の機械的性質

實際上の問題に於て——特に雪に依る移動並にスキー競技に對して——眞に重要たり得る處

の此の種の唯一の性質は、壓縮に際しての塑性限界の値である。不幸にして、此の點に關し私が偶然出會つた唯一の指示は H. F. Abels^{註33} のそれであつて、即ち“雪が荷重を支持し得る能力は、その密度のみならず又その溫度にも關係するものであり、”而して又積雪の密度 13.8のときは1人の人間を全く充分には支持し得ないが、13.5及び13.0の密度のときは支持し得る。

註(33) “Measurements of the density of snow at Ekaterinburg.” Meter. Messenger (=Vestnik) 2, 60-68, 1892

附 記

Edinburghの會議の爲に此の報告書の編纂をしてから、私は氷と雪の機械的性質に關して若干の附加的論文を見出し得たし、又報にソ聯の氷學者 (cryologist) から澤山の未發表の測定を受取つた。斯かる補足的の data を此の報告書中に入れることは實際上不可能であるので、氷學 (cryology) に關する論文に適した雜

誌の一つに之等の *data* を發表することを望むる。

で、私は此の報告書の内容を変更しないのであ

(以上)

II 水雪の性質に就ての理論的並に實驗的研究の豫定計畫

An attempt at a program of theoretical and experimental investigations of the properties of snow and ice.

Boris Weinberg

Leningrad. U. S. S. R.

C. S. G. I. A. S. H. 1936, Edinburgh.

内 容 目 次

1. 前 言
2. 問題の提示
3. 結 言

1 前 言

氷の利用方法並に氷に對する鬭争方法は、各種の氷の性質及びそれら氷の異なる状態に就ての強力な理論的、實驗的並に觀察的研究に依つて本質的に改善される。恰かも *Livingstone* の時代に於ける *Africa* の如くは依然 “暗黒大陸” であるので斯かる強力化が必要である。

逆説の様に思はれる此の陳述の説明をして私は若干の實例を示さう。

氷の融解熱の如き氷に基本的物理常数が之迄18ヶ以上の實驗研究の題目となつて居る。約20~25年以前にはその最近の——その時代に於ける——測定 (15°C カロリーにて) の次の結果が極めてよく一致して居るので、我々は融解熱を約 0.05 cal/gr 即ち 0.06% の精度で知つて居たと考へて居た。

Smith © 1903.....79.59

Bogojawlensky © 1904.....79.61

Behn © 1905.....79.69

Dieteriei © 1905.....79.60

Dickinson, Harper and Ostorne,

© 1913.....76.64

Dickinson and Osborne, © 1914.....79.68

註 © *Phys., Rev*, 17, 193, 1903

© *Schrift d. Dorpater Naturf. Ges.* 13,

1., 1904

© *Ann. d. Phys*, 16, 653, 1905

© *Ann. d. Phys.*, 16, 593, 1905

© *Reduced by W. A. Roth, Zeitschr. f.*

Phys. Chem. 63, 441, 1908

© *Bull. Bur. Stand.*, 10, 235, 1914

© *Bull. Bur. Stand.*, 12, 49, 1915

その後2つの論文が現れ——*Maass and*

Waldbauer のもの (*Journ. Am. Chem. Soc.*,

47, 1, 1925) 及び *Barnes and Maass* のもの

(*Canad. Journ. of Research*, 3, 205, 1930)——

注意深い測定結果を與へ、各々 79.42 並に 79.40 の値に達したのである、即ち上述の値と約 0.2 cal/gr 即ち 0.25% 異つて居る。

他の基本常數—水の三重點（即ち此の點に於ける溫度並壓力）—も亦、水の融解の溫度の直接測定及び此の溫度に及ぼす溶解空氣の影響の計算（或は又直接測定）から $0^{\circ}.0001C \sim 0^{\circ}.0002C$ 以内にあると知られて居る様に思はれて居る（*Prytz, Journ. de Phys., 2, 353, 1893, + 0^{\circ}.00099*; *Moser, Ann. d. Phys., 1, 341, 1929, + 0^{\circ}.00098*; *Thomas. Journ. Res. Bur. Stand., 12, 323, 1934, + 0^{\circ}.00097*）。併し若し我々が此の點を、各種の溫度に於ける氷の融解壓、氷の蒸氣壓及び過冷却水並に $0^{\circ}C$ 以上の溫度の水の蒸氣壓の最も確からしい曲線の交叉點として決定しやうと試みるならば、我々は三重點の溫度に對する値として $+0^{\circ}.042C$ を得る。斯かる不一致は、上述の曲線が充分完全に決定されると望み得ても、之等 3 曲線全部の徑路の不充分な正確さに歸せらるべきであらう。

Bevan は 1826 年氷のヤング率の値を得る爲に池の結氷板中に切取つた氷の細長い小片の先端に荷重を載せて、その舌状の小片を曲げることによつて若干の測定を行つた。*Bevan* 後誰が、張りつぬたまゝであつて、氷塊から切出された氷の試験片ではない、結氷板の機械的性質を決定しやうと試みたり、又その自然状態でない状態で試験しただらうか。

而して雪の結晶の結晶學的形（形結晶學的常數ではなくて）以外にその何らかの性質を我々は知つて居るだらうか？融解熱さへも——約 95 年前——*Regnault* に依る僅かばかりの測定の問題であつたが、而してその測定が氷に就ての

彼の測定と同じ結果を與へたと云ふことに全く驚くべきことである、と云ふのは各々の雪の結晶を被つて居る凝縮した空氣の層は、氷塊の融解熱に比較して雪の見かけの融解熱に比較して雪の見かけの融解熱を著しく増大せしぬるだらうことを我々は推定し得るからである。

岡田 及び *Defant* の測定を示す處によれば、積雪の或る層の密度は、表面以下此の層までの深さのみならずその上のすべて層の壓力にも據るものである。併し誰が、一定壓力の下にある積雪の一定の層の密度の時間に伴ふ増大——即ち復氷に依る増大——を研究しただらうか？

之等の實例（後記する處から分る様にその數は非常に増加するかも知れぬが）は明白に次のことを示して居る、固體 H_2O は、例令液體 H_2O 及び氣體 H_2O に就いて行はれた程注意深く且完全ではなくても、尙それが現在迄に研究されて來たより以上遙か完全に研究されなければならぬ。

2. 問題の提示

從つて氷學 (*cryology*) に就ての我々の智識中の多くの重要な間隙を充たす處の氷に就ての研究の豫定を樹立することは餘計なことではないであらう。私を斯かる問題を以下に掲げたが、(1) を附せる數字は、私の意見では、實際上の目的に最も重要であるもの、(2) を附せる數字はそれ程は必要でないもの、(3) を附せる數字は幾らか二義的實用上の興味を示すが併し理論的見地よりは本質的なものである。星印——2つ或は1つ——は、それに関する研究が全然ないか、或はその問題に就ての智識が極めて不十分なものである。

その解決が特別の氷學上の問題に極めて有用

たり得る處の觀察の演繹の一般理論に関する若干の問題をも此の表中に含めた。

※(3) その測定的全體性に基いて物理常數の最も確からしき値を見出す方法、

※2(3) 或る觀測された不定の物理學的特質の最も確からしき最小値並に最大値を見出す方法、

※※3(1) 氷片中の液體成分の含有率並分布を實驗的に測定する方法の提唱、

4(1) 水中の氣泡の量並分布を測定する爲に用ひられた方法並に斯かる測定結果の總括、

5(2) “純碎な”氷の密度の最も確からしき値及びその溫度、液體並に瓦斯混合物の含有量、壓力に伴ふ變化に就ての批判的對比並發見、

6(2) 融解熱に就て同上、

※※7(2) 昇華熱に就て同上、

※8(2) 比熱に就て同上、

9(2) 光軸に關して各種の方向に於ける熱傳導率に就て同上、

※10(2) 各種の波長に對する常光線並に異常光線の屈折率に就て同上、

※11(2) 各種の波長の光の吸收係數並に又射數に就て同上、

※※12(3) 各種の周波の電氣振動に對する電媒長數に就て同上、

※13(3) 電氣傳導度に就て同上、

※※14(3) 透磁率に就て同上、

15(2) 氷並に過冷却水の蒸氣壓に就て同上

※16(2) 光軸に關して各種方向の熱膨脹係數に就て同上、

※17(2) 體積壓縮係數に就て同上

※※18(3) 三重點に於ける溫度並に壓力の最も確からしき値の計算及びその近くに於ける融解、昇華並に蒸發曲線の最も確からしき値の

A) 之等の *deta* と共に融解熱、昇華熱、蒸華熱及び水蒸氣、水、氷の比熱並に密度及びそれらの溫度並に壓力に伴ふ變化等の直接測定、

B) 之等の變數間の熱力學的相關に基いての計算

※※19(1) 氷の變形の、作用力並時間への依存性の研究の批判的分析、

※20(1) 各種起源の氷の彈性率の最も確からしき平均値、最小値並に最大値の批判的對比並に發見

※21(1) 彈性限界、内部摩擦係數並に弛緩時間に就て同上、

※22(1) 各種變形に對する塑性限界(引張力)に就て同上、

※※23(1) 氷の昇華熱の新たなる測定

※※24(1) 熱傳導率に就て同上

※25(2) 屈折に就て同上、

※26(2) 吸收並に反射に就て同上、

※※27(3) *Raman* スペクトルに就て同上、

※28(3) 電媒常數に就て同上、

※29(3) 透磁率に就て同上、

※30(3) *Verdet* 常數の新たなる測定、

※※31(3) ピエソ(壓) 電氣的性質の同上、

※※32(3) ピロ(焦)

※33(3) 氷並に雪の放射能の同上、

※34(3) 氷並に雪の結晶學的常數の同上、

35(1) 氷並に過冷却水の蒸氣壓の同上、

36(2) 兩者熱膨脹係數の同上、

- 37 (2) 兩者の壓縮率の同上、
- ※38 (2) 過冷却水の蒸發熱の同上、
- ※※39 (2) 各種の大きさの雪結晶蒸氣壓の同上、
- ※40 (2) 雪の融解熱の同上、
- ※※41 (2) 雪の比熱の同上、
- ※42 (1) 作用力並に時間の函數として氷の變形を表す法則に就ての新たな研究、
- ※43 (1) 氷の彈性係數並に彈性限界の新たな決定
- ※44 (2) 内部摩擦係數並に弛緩時間 (結局光學的方法に依り) の同上、
- ※45 (1) 異なる表面に對して氷の靜止摩擦係數の同上、
- ※46 (1) 之等の表面に對して氷の運動摩擦係數の同上、
- ※47 (1) 氷の凹凸表面の場合並に雪の場合の同上、
- ※48 (1) 氷の塑性限界 (特に活荷重に對して) —全體として—の同上、
- ※※49 (1) 張りつめたまゝの結氷板の全體としての塑性限界の同上、
- ※50 (3) 異なる密度の積雪の支持力の同上、
- ※※51 (1) 復氷現象の定量的實驗研究、
- ※※52 (2) 復氷の數學的理論、
- ※53 (2) *Bottomley* の實驗に就ての理論並に實驗的研究
- ※※54 (2) 積雪の凝縮の定量的實驗研究
- ※55 (1) 過冷却水が—何等かの外部的作因もなく—自然に結晶化し得るか否かの問題に就ての明確なる解答、
- ※(56) (1) 水に接觸した固體上の定つた點で、充分過冷却した水に結晶化を惹起せしめる要素の研究、
- ※57 (1) 平面の等溫面 (過冷却水中の水平氷片) の場合、過冷を含む圓錐管の場合及び過冷却水中に自由に生長しつゝある單結晶の場合に於て、過冷却水中の氷の結晶化速度の測定、
- ※58 (2) 2つの相を分離する面が動いて居る場合に於ける熱傳導の基本的方程式の一般化、
- ※※59 (2) その境界並にその周圍媒質の溫度が一定なるとき、六角柱と六角板に對する熱傳導の場合、
- ※※60 (2) 異なる直徑を有する圓錐形障害物のまはりを流れる冷い且濕つた空氣の溫度並に溫度の分布に就ての (風洞 *aerodynamical tube* 内に於ける) 實驗的研究、
- ※※61 (2) 異なる傳道度並に直徑を有する圓錐上に自然状態で結ぶ霜 (*hoar-frost*) の量の定量的測定、
- ※62 (2) 異なる輻射係數の表面を有する物體或は異なる熱傳導率並に幾何學的形を有する物體上に自然状態で結ぶ霜 (*rime*) の量の定量的測定、
- ※※63 (2) 閉塞循環を有する特別の垂直風洞内で、上昇氣溫に依つて與へられた雪の結晶の大きさ並に形の變化の研究、
- ※※64 (3) その結霜に影響を有する條件の變化に據る窓霜模様の変化に就ての定量的研究
- ※※65 (2) 雪の結晶を人工的に保存する可能性を決定する條件の研究及び自然状態で地面に落ちた後のその結晶の變化の研究、
- ※66 (2) 降雪時の雪結晶の全體としての測定方法及び此の方面に於ける實際の研究、
- ※67 (2) 雪の結晶の形大きさ並に特殊性と、之

- 等の雪の結晶が落ちて来て大気層中の高層氣象學的條件との間の相關、
- 68 (1) 雪の測定の各種の方法の批判的對比
- 69 (1) 雪の堆積の方法並に結果の同上、
- ※70 (1) 地域的並に地球の雪—地圖の構成、
- ※71 (2) 雹粒の微構造に就ての觀察、
- ※72 (3) 結氷板の形成(氷並に水蒸氣からの)及び此の形成を生ずる條件の定量的測定、
- ※※73 (1) 熱損失の實驗的損失—結局、空氣の溫度、濕度並に相對速度の函數及び氷或は水の表面溫度の函數として、空氣、氷或は水の境界からの、輻射に依る損失、對流に依る損失、傳導に依る損失並に狀態の變化に依る損失に、之等の熱損失をけることに依つて、(靜止して且水及び氷より軽い液體の相に依つて被はれて居るとき；靜止して且水より軽く氷より重い液體の相で被はれて居るときは、動いて居る)
- ※74 (1) 水面或は氷面の熱平衡測定の方法並に結果の批判的對比、
- ※75 (1) *Devik* の理論の方程式中の係數の同上、
- ※※76 (1) 河底の熱平衡の實驗的測定方法に関する提唱及び通常凍着氷 (*frazil-ice*) 並に碇着氷 (*an chor-ice*) が形成される河川に提唱された方法を適用すること、
- ※※77 (1) 凍着氷並に碇着氷の形成を妨げるか、或は少くする爲に水より軽く、氷より重い液體を斯かる河川の水面におくことの實驗、
- 78 (1) 結氷板の形成を加速せしめる方法並に結果の批判的對比、
- 79 (1) 各種の雪並に氷現象の豫測及び斯かる豫測の成功の評價に就て同上、
- 80 (1) 異なる局地的事情に適應し得る様な、基本的の雪並に氷現象に於ける普遍的術語に関する提唱、
- ※81 (2) 各種の荷重を受けた結氷板の變形の理論的研究、
- 82 (2) 雪氷の各種の利用の批判的總括、
- 83 (2) 雪氷の各種の有害な作用及び斯かる被害に對する闘争方法に就ての同上、
- ※84 (2) 異なる深さに於ける氷河萬年雪の密度並構造の觀測及びその結果と、近くの觀測所の以前の氣象學的記錄との比較、
- ※85 (2) 氷河學的研究の新方法並に装置の批判的分析、
- ※86 (2) 氷河の堆積地域に於ける雪の堆積消散地域に於ける氷の融解並に表面の異なる點の速度の詳細な研究及び氷の厚さの測定(例へば音響測深に依り)並に異なる溫度及壓力の氷の内部摩擦係數の測定、
- ※87 (2) 氷河に於ける氷の運動理體の批判的解析、
- ※※88 (1) 氷河流動の極めて長い範圍の豫測に對して氷河の觀測された表面速度からの理論的演繹を用ひる方法の入念なる仕上げ、
- 89 (2) 冬季凍結土壤或は永久凍結壤に関する研究結果の批判的總括、
- ※70 (2) 上述の目的に用ひられる方法並装置に就ての同上、
- 91 (1) 農業、交通機關及び建造物に及ぼす凍結土壤の有害な作用と闘事する方法に就て同上、

3 結 言

上述の豫定は、若し部分的の希望事項——變

化と追加は避けられないが——として採用されるならば、斯かる豫定の同じ特定の項目に就て別々の科學的研究所、實際的研究所及び科學者の研究を禁止する傾向を持つものでは決してなく、唯不必要な繰返しを避け、或は——多くの場合に非常に有用な——繰返しを更に益々有効ならしめんとするものである。最大の希望は、斯かる豫定を各種の研究所に通報し、而して研究所の各員或は研究所に關係ある個々の科學者が研究しやうと望む項目を (*International Congress of Snow and Glaciers*) へ示すやうにすることである。此の様にして極地以上に注意に値する“氷圈”(Cryosphere)に就ての國際的共同研究に達し得るであらう。而して極地に就ては、2つの立派な國際極地年鑑 (*Internat*

ional Polar Years) を持つて居るのであとかから、各國の氷學者の努力を、同一時代に、促進し且凝結する爲に國際雪氷年鑑 (*International Snow and Ice Years*) (或は短く氷年鑑 *Ice Years*) をつくることは有益であらう。

氷學の研究結果は種々の雜誌、書籍及びその他出版物に分散されて居るので、*A. B. Dobrowolski* の強調せる如く、氷學の研究を發表する雜誌にとつて、その研究を、例令現在では *A. B. Dobrowolski* の計畫した國際氷學綜覽 (*International Cryological Review*) 或はそれに類似のものは發行されないが、第1回國際氷年鑑 (*1st International Ice Year*) に捧げられた之等の雜誌の特別號に集中せしめることは望ましいことであらう。 (以上)