Zyungo YOSIDA 1954 Studies on Skis (2). Theoretical Studies on the Resistance of Skis. *Low Temperature Science, Ser. A, 12.* (With English résumé p. 59.

スキーの研究 (2)*

(スキーの抵抗に關連した理論的考察)

吉田順五

(低溫科學研究所 應用物理學部門)

(昭和 29 年 3 月 受理)

藤岡敏夫は，スキー靴とスキーとのあいだに器械をとりつけ，スキーが靴に加える力について，その力のスキーの長さの方向における成分 f を自動的に記錄し，その結果を "スキーの研究 (1)" に發表した[1]。それによると，f はかなり激しい變動を示し，また，その平均値は左右のスキーについて同じではない。以下，f の變動の原因についてひとつの考察をあたえ，そのあと左右のスキーの f に差があることから生ずるいくつかの結果をとりあつかう。

藤岡の "スキーの研究 (1)" を，簡單に，報告 (1) とよぶことにする。

I. f の變動の原因についての一考察

スキー練習場のように雪がかなりかたくなつているところでは，スキーのすべつたあとが 5 mm か 1 cm ぐらいしか凹まないのが普通である。報告 (1) の第 3 圖の測定もこのようなばあいにあたる。こういうばあいについて，足がスキーにおよぼす力 f—これはだいたいスキーが雪からうける抵抗とみてよい—の變動の原因にたいして次のような考察を試みる。

吉田，黒岩[2]，木下[3] は雪の上に金屬圓筒を落下させ，それが雪のなかにめりこんでとまるまでの約 0.1 sec に，どんな力が圓筒に加えられるかをしらべた。それによると，比重 0.3 ぐらいのしまり雪では，圓筒が數 mm 落下するごとに强い力が現われ，雪の破壞がつぎつぎに何回も間歇的に下の方にむかつて進んでゆくことがわかる。スキーが進んでくると，雪は上からおされて破壞するが，この破壞もうえの金屬圓筒による破壞と同じ性質のものとみてよいであろう。ただ，スキーのばあいには，スキーが雪にめりこむ深さが 5 mm か 1 cm にしかすぎないので，破壞は何回もつぎつぎとはおこらず，ただ 1 回だけで終つてしまうと考えられる。ところで，現在のところ，破壞現象のおこるのは確率的であるとみるよりしかたがない。したがつて，スキーによる雪の破壞も確率的と考えると，破壞のしかたに變動が現われる。この破壞の變動によつて抵抗 f の變動を説明しようとするわけである。

破壞と f との關係はつぎのようにして求められる。木下は，さきにのべた研究[3] で，金屬棒

* 北海道大學低溫科學研究所業績 第 253 號

の底面が雪面から D だけしずんで止つたとき，$D\rho$ (ρ は雪の密度) と，雪に吸收された金屬圓筒の運動エネルギーとの間にほぼ比例關係のあることを見いだした。このエネルギーの，水平な $1\,\mathrm{cm}^2$ あたりの値を w とすると，$D\rho=1\,\mathrm{gr/cm^2}$ にたいして $w=0.7\,\mathrm{kg\text{-}wt\cdot cm/cm^2}$ である。v をスキーの速度，B をスキーの幅とすると，スキーは單位時間に Bv だけの面積の雪を破壞する。したがつて，Bvw のエネルギーがこの爲に必要である。いま，この破壞のために生ずる抵抗を f_b とすれば，f_b は單位時間に $f_b\cdot v$ だけの仕事をし，これだけのエネルギーが破壞によつて雪に吸收されたとみなければならない。したがつて，$f_b v=Bvw$ の關係がなければならず，これから

$$f_b = Bw$$

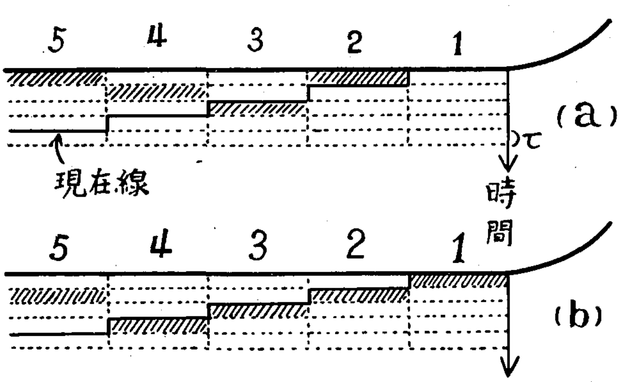
がえられる。$D=1\,\mathrm{cm}$, $\rho=0.3\,\mathrm{gr/cm^3}$ とすると，それに對應する w の値は $0.2\,\mathrm{kg\text{-}wt/cm}$ となり，スキーの幅 B を $7\,\mathrm{cm}$ とすれば

$$f_b = 1.4\,\mathrm{kg\text{-}wt}$$

である。$D=5\,\mathrm{mm}$ とすれば，f_b はこの半分であるから，だいたい，片方のスキーについて，f_b は $1\,\mathrm{kg\text{-}wt}$ の程度と考えてよいであろう。スキーの全抵抗 f は，報告 (1) によるとだいたい數 kg-wt であるから，f_b は全抵抗の 10～30% ぐらいをしめるとみてよいであろう。しかし，これは，平均値についてのことであつて，f_b はこの平均値を中心として變動するのである。

金屬圓筒を雪のうえにおとすと，破壞は約 0.02 sec ごとにつぎつぎと起つてゆく。それ故，その半分の時間 $\tau=0.01\,\mathrm{sec}$ のあいだに破壞のおこる確率 p は $\frac{1}{2}$ であり，破壞のおこらない確率 q もまた $\frac{1}{2}$ であると，だいたいにおいて考えてよいであろう。スキーによる雪の破壞も，このような確率でおこるものとする。

ある瞬間に，スキーが第1圖の位置にあるとして，スキーの長さを先端から $l=\tau v$ (v はスキーの速度) の區分にわけ，その區分に前の方から 1, 2, 3, 4 と番號をつける。そして，次の τ のあいだにおこる破壞の確率をもとめるのである。



第 1 圖

第1圖には，スキーから下の方にむかつて時刻がとつてあり，それを τ ごとに横線で刻んである。斜線をほどこしたのは，その時刻の τ のあいだに破壞がおこつたことを示すものとする。同圖の (a) では，第4區分の雪は，現在までに 3τ の時間壓力をうけているが，第1回の τ では破壞されず，第2回の τ で破壞されてしまつた。したがつて，現在以後

には破壊はおこりえない。第3區分は，現在までに 2τ の時間をへたが，そのあいだ破壊されず，現在につづく次の新たな τ で破壊される。第2部分は，その第1回の τ で破壊されているので，新たな τ では破壊しない。第1區分は，それがはじめて經過する新たな τ でも破壊しない。これは，もちろんひとつの例であるが，このときには，新たな τ のあいだには第3區分の雪だけが破壊するわけで，この τ のあいだの破壊抵抗はあまり大きくはない。第1圖(b) は極端な場合の例で，2, 3, 4 の區分は現在まで全部生殘つていて，新たな τ のあいだに 1 から 4 までの區分の雪が全部破壊する。このようなときは，この τ のあいだに，(a) の場合の 4 倍の大きさの破壊抵抗があらわれることになる。このように，ある τ のあいだに破壊される區分の數はいろいろあるわけで，そしてその數に破壊抵抗が比例するので，ここに抵抗の變動がおこることになる。

各區分の長さ $l=v\tau$ は，$v=10$ m/sec，$\tau=0.01$ sec とすれば $l=10$ cm である。ところで，n 番目の區分が現在まで破壊されずに生殘つている確率は q^{n-1} で，第5番目の區分についてのこの確率は $(1/2)^{5-1}=1/16$ となり，實際上，非常に小さい。したがつて，5番目以後の區分では，現在以後破壊のおこる確率はないものとしてもよいであろう。それで，いまからのちは，第1から第4の區分までについて考えることにする。つまり，スキーの先端から 40 cm までの範圍を考えることになる。

第 n 番目の區分が現在まで破壊されずに殘つている確率は q^{n-1} であるから，次の新たな τ のあいだにこれが破壊される確率を p_n とすれば

$$p_n = q^{n-1}\cdot p$$

であり，この新たな τ でもなお破壊されない確率 q_n は

$$q_n = 1-p_n$$

である。したがつて，新たな τ で，4區分のうちひとつも破壊されない確率を P_0，4區分のうちどれかひとつが破壊される確率を P_1，4區分のうち，どれかふたつずつが破壊される確率を P_2，以下 P_3, P_4 もおなじ意味にとるとすると

$$\begin{aligned}
P_0 &= q_1q_2q_3q_4\\
P_1 &= p_1q_2q_3q_4+q\ p_2q_3q_4+q_1q_2p_3q_4+q_1q_2q_3p_4\\
P_2 &= p_1p_2q_3q_4+p_1q_2p_3q_4+p_1q_2q_3p_4+q_1p_2p_3q_4+q_1p_2q_3p_4+q_1q_2p_3p_4\\
P_3 &= p_1p_2p_3q_4+p_1p_2q_3p_4+p_1q_2p_3p_4+q_1p_2p_3p_4\\
P_4 &= p_1p_2p_3p_4
\end{aligned}$$

となる。$p=q=\dfrac{1}{2}$ として p_n, q_n の値を定め，それを $P_0, P_1\cdots P_4$ にいれて計算すると

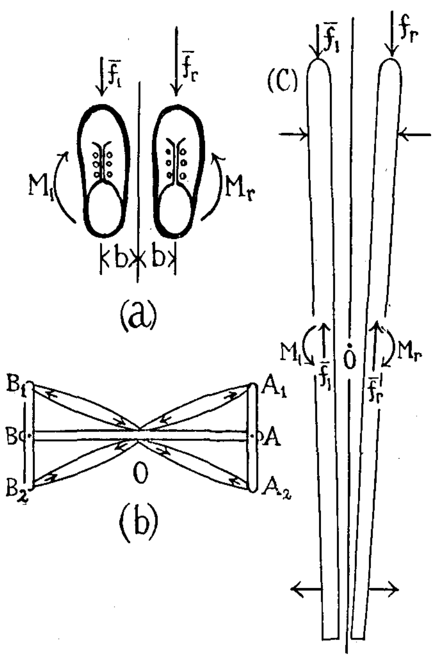
$$P_0 = 0.307, \quad P_1 = 0.474, \quad P_2 = 0.191, \quad P_3 = 0.075, \quad P_4 = 0.004$$

となる。第5區分以後には新たな破壊はおこらないものと假定してあるので．ここにえた數値は近似的なものにはちがいない。しかし，だいたいのことはこれでうかがえるはずである。

4 區分のうちの1區分が破壊されたときに生ずる破壊抵抗が破壊抵抗の平均値，すなわち，さきにのべた f_b にひとしいことは明らかである。$P_1=0.474$ であるから，この平均値 f_b の現われる確率は 50% よりすこし小さい。$P_0=0.307$ は，破壊抵抗が現われない確率が 30% もあることを示している。また $2f_b$ の破壊抵抗は約 20% の確率で現われ，$3f_b$ の破壊抵抗は約 8 % の確率をもつている。このように破壊抵抗の變動は非常にはげしいことが豫想される。全抵抗 f に對してのこの變動の影響は，f_b の f に對する比率が大きいほど强くあらわれる。もしも，f_b が f の 30% をしめているとするならば，f の平均値を 100 にとると，破壊區分の數が 0 のときは $f=70$，破壊區分の數が 1, 2, 3, 4 のとき f はそれぞれ 100, 130, 160, 190 となり，最大値は最小値の 2.5 倍の値になる。實測の結果を，いまえた理論的結果が完全に說明しうるとはいえないし，また f の變動には他の原因も考えられるが，うえに考えたような破壊抵抗の機構が相當な程度において f の變動を支配しているとみてよいであろう。

II. 左右のスキーにかかる力の不平均

報告 (1) にあるように，多くのばあい，スキーの力 f — スキーが足をうしろの方におしている力— は左右のスキーで相當にちがつている。瞬間ごとにちがうだけでなく，平均値についてもちがつている。それゆえ，スキーヤーの体は，平均として，いつでも一方に回轉させようとする回轉モメントを足を通じてうけ，その方向にグルグルまわつていなければならないことになる。しかし，實際にはそのようなことはおこらない。これに對しては，つぎのような說明が可能である。



第 2 圖

第2圖で左右のスキーの中心線のあいだの距離，すなわち，左右の足の中心線のあいだの距離を $2b$ とし，スキーヤーの体の重心の眞下の點を O とする。平均として，左右の足に $\bar{f}_r$, $\bar{f}_l$ の力がかかつているとすると，$\bar{f}_r$ は，O 點のまわりに，上から右まわり下の方向に $b\bar{f}_r$ なる回轉モメントをもち，$\bar{f}_l$ は上から左まわり下の方向に $b\bar{f}_l$ なる回轉モメントをもつ。したがつて，体全体としては右まわりに $b(\bar{f}_r-\bar{f}_l)$ なる回轉モメントをうけることになり，これは，なんらかの方法でうちけされなければならない。それでつぎのように考える。第2圖 (a) にかいた M_r, M_l の回轉方向とは反對の方向に，したがつて，

第2圖(c) にかいた M_r, M_l の回轉方向とおなじ方向に，体が，足を通じて各のスキーに，回轉モメントが M_r, M_l なる偶力をおよぼしている。そして，$M_r=b\bar{f}_r$, $M_l=b\bar{f}_l$ となつている。すると，反作用として，うえにのべたのとは反對の回轉方向に，つまり，第2圖(a) に示したのとおなじ回轉方向に，スキーが足に M_r, M_l の偶力を作用させることになる。この反作用としての偶力は，O點のまわりに $b\bar{f}_r$, $b\bar{f}_l$ なる回轉モメントをもつているから，ちようど，$\bar{f}_r$, $\bar{f}_l$ のO點のまわりの回轉モメントを打消す。したがつて，体全体に對する回轉モメントは 0 になり，体は回轉しないことになる。

しかし，うえのように，M_r, M_l がそれぞれ $\bar{f}f_r$, $b\bar{f}_l$ にひとしいという條件はきつすぎるのであつて，かならずしもそうでなくてもかまわない。全体として，からだに作用する回轉力のモメントが 0 になれば体はまわらないのであるから，

$$M_r - M_l = b(\bar{f}_r - \bar{f}_l) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

が滿足されるように M_r, M_l がなつていれば，それで充分である。

以上のような足の作用は，模型的に，つぎのようにして起るものと考えられる。第2圖(b) の棒 AB の兩端に心軸によつて棒 A_1A_2, B_1B_2 がとりつけてあり，これに紡錘形で代表した筋肉が圖のようにとりつけてある。この全体が体で，A_1A_2, B_1B_2 は右左の足をあらわす。M_r, M_l は筋肉 OA_2, OB_2 がちぢもうとしており，筋肉 OA_1, OB_1 がのびようとしていることによつて生れるものとするわけである。

つぎにスキー自身についてであるが，左右のスキーはおのおの第2圖(c) に示したように，足から，M_r, M_l なるモメントの偶力をうけている。これは，雪がスキーに及ぼす力から生ずる回轉力によつて打ち消されるよりほかにはしかたがない。それには，圖に示したように，各のスキーが，全体の進行方向にたいしてすこし傾いて，しかも，うちがわのエツジが少しきいているような狀態になつているとするのが，ひとつの考えかたであろう。そうすると，圖に水平な矢印で示したような力が横から作用して，M_r, M_l をうちけすことになる。このことには，エツジの線が直線でないことも大いに關係していると思われる。

$\bar{f}_r > \bar{f}_l$ とすれば，(1)式からわかるように，$M_r > M_l$ なので，右のスキーの傾きの方が左のより大きくなければならない。スキーの傾きが大きいほど，M が大きくなるとともに抵抗 $\bar{f}$ も大きくなるはずである。報告(1) にあるように，体重が餘分にかかつている方のスキーは $\bar{f}$ が大きい。その第一の原因は荷重が大きいほど，スキーに作用する摩擦抵抗や破壞抵抗が大きくなるためである。ところで，うえにのべたことによると，この体重の不平均から生じた $\bar{f}$ の不平均は，さきにのべたようにして回轉モメントを生じ，それがスキーを進行方向にたいして傾け，またそれがふたたび $\bar{f}$ の不平均の増大をもたらすという結果になる。この循環は，しかしながら，体による調節のためにあるところでとまることになるが，それはそれとして，以上の

考えが正しいならば，体重のかけかたの少しばかりの不平均も大きな $\bar{f}$ の不平均をまねくという結果になるわけである。

III. スキーヤーの体による調節

前の節では，スキーが足に及ぼす力 f の平均値について考えたが，實測される f には，だいたい 0.2 sec ぐらいの週期のはげしい變動がある。この變動部分を，左右のスキーについてそれぞれ u_r, u_l とする。すなわち，

$$u_r = f_r - \bar{f}_r, \qquad u_l = f_l - \bar{f}_l$$

である。この變動のために，スキーヤーの体に加わる回轉モメントにも變動部分があるわけで，それは

$$m = b(u_r - u_l)$$

にひとしい。ただ，この m は平均値が 0 であるから，これが打ち消されないとしても，スキーヤーのからだは左右に交互にこまかく回轉するにすぎず，一方向にむかつてグルグルまわるということはない。しかし，人間のからだは，これにたいして反應し，体がこまかく左右にふられるのをできるだけ打ち消すように調節するものと想像される。

体の調節作用がないと假定したばあいに，スキーが足に及ぼす力の變動部分を，左右の足について v_r, v_l で表わす。これらは，たとえば，前の節 I でのべたようなことを原因としてあらわれるわけである。これにたいして，足は，右足が w なる力でスキーを前におすならば，左足はおなじ w なる力でスキーをうしろに引こうとする反應を示すものと假定する。その結果，スキーによつて，右足は $v_r + w$，左足は $v_l - w$ なる力でうしろにおされることになり，それが u_r, u_l として測定されるわけである。

ところで，体は，v_r, v_l のこまかい變動にたいして忠實には反應しないであろうし，またその反應にはおくれがあるであろう。それで，w は，それの反作用としての偶力（つまり，足が w なる力をスキーに加えたために，その反作用として，スキーが足を通じて体に加える偶力）

$$r = 2bw$$

が v_r, v_l によつて生ずる回轉モメント

$$s = b(v_r - v_l)$$

の現在（時刻 t）よりまえ τ という時間のあいだの平均値をうちけすように現われると假定する。すなわち，

$$r(t) = -\frac{1}{\tau}\int_{t-\tau}^{t} s(\xi)\,d\xi$$

と假定するわけである。したがつて，實際にスキーヤーの体にはたらく回轉モメントは

$$\left.\begin{aligned} m(t) &= s(t)+r(t) \\ &= s(t)-\frac{1}{\tau}\int_{t-\tau}^{t} s(\xi)\,d\xi \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (2)$$

となり，これがまえにだした $b(u_r-u_l)$ にひとしいわけである。この回轉モメントは，s よりも變動が少なくなつているはずであるが，實際の測定でみられるように，完全に 0 になるわけではない。したがつて，これにより体は左右にこまかく回轉させられる。

以上のことから出發して，雪からくる直接の回轉モメントの變動 s が，m においてはどの程度に緩和されいるか，また，τ の値はどのくらいになるかをみようとするわけである。

以下，時間についての平均値をあらわすのに E をつかうことにする。たとえば f の平均値 $\bar{f}$ は $E\{f\}$ であらわされる。

(1)式の兩邊を二乘して時間平均をとると

$$E\{m^2\}=E\{s^2\}-2E\left\{\frac{s}{\tau}\int_{t-\tau}^{t} s(\xi)\,d\xi\right\}+E\left\{\left(\frac{1}{\tau}\int_{t-\tau}^{t} s(\xi)\,d\xi\right)^2\right\}$$

となる。m, s は變動する量であるが，その平均値は 0 である。それで，その平均的な大きさを表わすものとして，それらの自乘平均 $E\{m^2\}, E\{s^2\}$ を使おうとするわけである。$\sqrt{E\{m^2\}}$，$\sqrt{E\{s^2\}}$ の方がなお適當であるが，簡單のために，前者で考えることとする。

うえの式は次のようにかきかえられる。

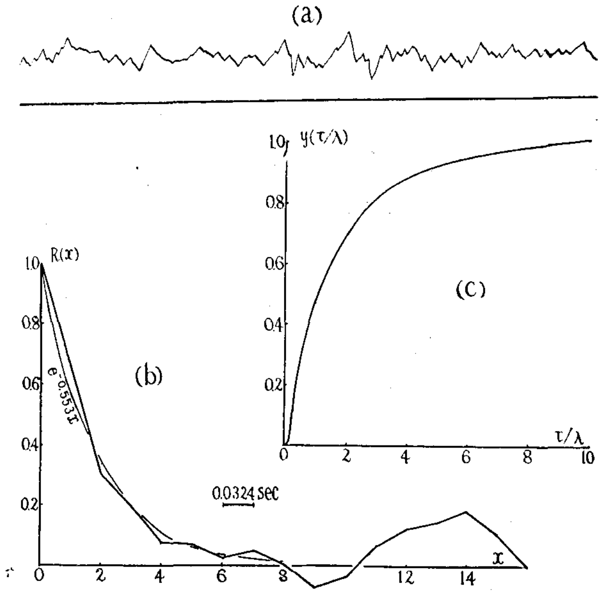
$$E\{m^2\} = E\{s^2\}\left\{1-\frac{2}{\tau}\int_0^{\tau} S(\eta)\,d\eta+\frac{2}{\tau^2}\int_0^{\tau} d\eta\int_0^{\eta} S(\omega)\,d\omega\right\} \quad \cdots\cdots (4)$$

ただし，この式で，$S(\eta)$ は，$s(t)$ の自己相關係數で

$$S(\eta) = E\left\{s(t)\,s(t+\eta)\right\}\Big/E\left\{s^2(t)\right\}.$$

をあらわす。$S(\eta)$ は $\eta=0$ では 1 である。そして，いまのばあいのように，s が確率的に變動するときには，η が大きくなるとともに $S(\eta)$ はへつてゆき，η がある値以上になると 0 になる。もともと，$S(\eta)$ は，η だけはなれた時刻における s のふたつの値の關連度の平均を示すものであつて，η が小さいほど關連度は大きく，η が大きくなければ，關連度はへり，ついに 0 になるということである。

S は s についての相關係數であるが，s は体の調節作用がないと假定したときの回轉モメントであるから，實際には測定しえない。それで，S のかわりに m についての相關係數 R を代用することにする。$m=b(u_r-u_l)$ で，u_r, u_l は實測によつてきめられるので，m は計算でもとめられる。しかし，ここでは，さらに簡單のため，u_l が比較的小さいばあいの例について u_r の自己相關係數をとり，それを R の，したがつてまた S の代用としてつかうことにする。相關係數に關するかぎりでは，このようにしても，それほど大きな誤まりはないと考えられる。



第 3 圖

第3圖(a)は，u_r の記録のひとつの例で，4.2 sec 間にわたるものである。このあいだに，スキーは 43 m 走つた。同圖(b)は，(a)についてとつた自已相關係數 $R(x)$ で，横軸 x の單位は $(4.2/130)=0.0324$ sec である。$x=8$ で R は 0 になり，そのあとも變動をつづけてゆくが，ここでは簡單のため，$x=8$ からさきは $R=0$ と考えることにする。そして，R は $e^{-x/\lambda}$ で表われるものとする。$(1/\lambda)=0.553$ ととれば，圖に示したように，これでかなりよく實際があらわされる。λ は，0.0324 sec を單位とすれば 1.31 であるが，sec を單位とすれば

$$\lambda = 0.059 \text{ sec}$$

である。また R が O となる x の値 8 は，0.26 sec にあたる。

(4)式の R にうえの函數をつかつて計算すると

$$E\{m^2\} = E\{s^2\}\left\{1+2\frac{\lambda}{\tau}e^{-\frac{\tau}{\lambda}} - 2\frac{\lambda^2}{\tau^2}\left(1-e^{-\frac{\tau}{\lambda}}\right)\right\}$$

となる。この式の大弧括でくくられた部分を $y(\tau/\lambda)$ とすれば，y は τ/λ の小さい値にたいしては

$$y(\tau/\lambda) = \frac{2}{3}\left(\frac{\tau}{\lambda}\right) - \frac{1}{4}\left(\frac{\tau}{\lambda}\right)^2$$

であり，全体としては，第3圖(c)の曲線であらわされる。$\tau=0$ では $E\{m^2\}=0$ であるが，$\tau=0$ ということは，体の反應がおくれなく即座におこなわれることを意味し，したがつて，調節が完全であるために $E\{m^2\}=0$ となるとして，當然豫期される結果である。しかし，實際

には $E\{m^2\}$ は O ではないから，体の反應には，おくれと平均化の時間 τ が存在しなければならないことになる。

(c) 圖でみると，y は，τ/λ の値が 4 以上になればあまり變化しない。それまでのところでは，τ/λ の變化にたいして急激な變化を示す。一方，おなじ條件のもとで，ちがつたスキーヤーによつて行われた實驗結果は，力 f の變動について大きな個人差のあることを示している。このことを τ の個人差に歸するならば，人体の調節作用が，$y(\tau/\lambda)$ の變化が大きくでるような τ の範圍において行われることを示唆する。それで，かりに，τ/λ は，だいたい 1 から 4 までの範圍にあるものとすると，$\lambda=0.06$ sec であるから，τ は 0.06 sec から 0.24 sec の範圍内におちることとなる。そして，τ が 0.06 sec のときは，$E\{m^2\}$ は $E\{s^2\}$ の約半分で，0.24 sec のときは約 9 割である。$\sqrt{E\{m_\tau\}}$，$\sqrt{E\{s^2\}}$，で考えると，前者は後者の 7 割から 9 割 5 分にへつているにすぎず，調節作用はそれほど大きくはないことになる。しかし，うえに假にさだめた (τ/λ) の値の範圍は別の方面から決定される性質のもので，もし，この範圍の小さい方の限度をもつと小さくとつてもよいのならば，調節作用の効果は大きいという結果にみちびかれることになる。

文　　献

1) 藤岡敏夫　1954　スキーの研究 (1). 低温科學 (物理篇), **12**, 37～49.
2) 吉田順五・黒岩大助　1950　衝撃荷重による積雪沈下の經過. 雪氷, **12**, 2 號, 28～33.
3) 木下誠一　1953　雪の中に落下する物体に及ぼされる抵抗. 低温科學, **10**, 13～25.

Résumé

T. Huzioka registered by automatic recording device the force f with which the skier's foot pushed the ski while he was running down the hill covered with snow. The force f was not constant but varied irregularly and, moreover, its mean value was not the same on each of the skis. The irregularity of the force f and the difference of its mean values was found to be different for different skiers although the experiments were carried out under the same conditions.

I

A physical cause of the irregularity of the force f was discussed under the assumption that the snow was broken down by varying probability when it was pushed down by the tip of the running ski. It was shown that the deviations of the force f from its mean value amounting to several tens % could appear with considerably large probabilities.

II

Since the mean values of the force f were not the same on each of the skis, the body of the skier would have to be kept turning if there were no counter forces compensating the turning action of the forces f's. The origin of these counter forces was

supposed to be a small deviation of the skis from the direct-advancing direction of the skier. The original cause of the difference between the forces f's is the unequality of the loads on each of the skis. It was concluded that a small diffecence between the weights of skier acting on each of the skis was effective enough to produce considerable amounts of the deviations of the skis' directions with the result that the resistance to skis was considerably increased.

III

The effect of the personality of the skier on the degree of irregurality of the force was explained by the response with which the skier's body made an effort to reduce the turning action of the fluctuating angular moment produced by the irregular change of the forces f's. Under a reasonable assumption on the mechanism of response it was shown that the effect of the angular moment expressed by its mean square value was reduced to 50–90% of the original value.