

リュツォ・ホルム湾東岸の氷河流動測定

藤原 健蔵*・吉田 栄夫**

Ice Flow Measurements on the East Coast of Lützow-Holm Bay, Antarctica

Kenzo FUJIWARA* and Yoshio YOSHIDA**

Abstract: An attempt was made at the measurements of surface velocities of ice flow in several places along the east coast of Lützow-Holm Bay in 1960 and 1961. Difficulties in preserving stakes and in selecting suitable sites for surveying and the limited time prevented the authors from making complete measurements. Sporadic results obtained during the above period may be insufficient for the detailed discussion on water mass balance of the region. Nevertheless, they can afford a clue to that problem, because they were obtained from various places including glaciers of small to large size and sheet flow which may be representative of the ice coast. Changes in positions of bamboo stakes were determined by triangulation with a Wild T₂ theodolite. Base lines were set up on ice-free areas.

Sheet flow was measured on the margin of ice sheet at a distance of 900 m from a coast line of the Ongul Strait. It revealed that there was a considerable difference between flow velocities in the warm season and those in the cold season. If seasonal changes are taken into consideration, flow rates are estimated as 10.0 to 3.2 m·year⁻¹, according to the localities of stakes. The Langhovde Glacier with a small floating ice tongue may flow at a rate of 172 m·year⁻¹, assuming the mean annual velocity to be twice as large as the velocity in the cold season. At the Hamna Glacier which may override higher subglacial rocks between Hamna and Breidvåggnippa than in the case of other glaciers only one stake could be surveyed. The stake set up on the ice close (200 m) to a rock exposure showed a movement at a rate of 1.5 cm·day⁻¹. The Hamna Ice Fall is a small tributary of the Hamna Glacier and its velocity near the snout was only 2.6 m·year⁻¹.

The Shirase Glacier is the largest ice stream on the coast of Lützow-

* 広島大学教養部. College of General Education, University of Hiroshima, Hegashi-senda-machi, Hiroshima.

** 広島大学文学部地理学教室. Department of Geography, Faculty of Literature, University of Hiroshima, Higashi-senda-machi, Hiroshima.

Holm Bay and pours into the bay head. Its movements were measured on the marginal part of its floating ice tongue near Insteodden. The measured rate reached 569 to 608 $\text{cm}\cdot\text{day}^{-1}$ which corresponds to 2.1 to 2.2 $\text{km}\cdot\text{year}^{-1}$. The accuracy of measurement is thought to be lowered by the short base line. But the high velocity may be indicated by the growth of tensional crack on fast ice which is accompanied by shear crack formed by thrusting of the glacier tongue. It may be safely said that an annual movement may reach at least a distance of 1.8 km, if the seasonal change of velocity is considered. Horizontal displacement of fast ice along shear crack off the tongues of the Telen and the Skallen Glaciers was measured as an indication of the movement of glaciers. The estimated rate was 1.1 $\text{m}\cdot\text{day}^{-1}$ which is comparable to the velocity of the medium size glacier (the Nishi-naga-iwa Glacier) on the Prince Olav Coast.

ま え が き

大陸氷末端の流動測定は、大陸氷の水収支の問題に直接かかわる重要な観測である。大陸氷が海に流出する場合3つのタイプをとる。すなわち 1) 氷床がそのまま直接海に達する布状流* (sheet flow), 2) 溢流水河や氷流* (ice stream) となって注ぐ比較的移動の速い氷河流* (stream flow) および 3) 氷棚をつくって海に押出す氷棚流動* (ice shelf movement) である (MELLOR, 1959)。Lützow-Holm 湾東岸には (図1), Langhovde 氷河, Honnör 氷河などのように氷河流をとるところが多く, また Ongul 島対岸を含む Langhovde 以北では, 布状流を示すところが多いが, 氷棚流動タイプの場所はない。

これら Lützow-Holm 湾東岸の大陸氷の流動については, 昭和基地東北方の布状流を対象とした1次隊の予察的測定 (立見他, 1959) や, 東経41°付近の西長岩氷河の氷舌端の分裂・移動の速さを, 空中写真から求めたもの (NAKANO *et al.*, 1960), あるいは Skallen 地区の流動測定 (AGETA *et al.*, 1971) などの報告がある。4次隊の結果については1部を速報した (NAGATA *et al.*, 1962)。4次および5次隊は大陸氷末端付近に標識を設け, これを露岩上に設置した基線から三角測量することによって, 大陸氷の流動量を求めてみた。標識を設置したのは, 7カ所に及ぶが, 標識が倒れて失われたり, 時間的また場所的な制約を受けて再測の機会を得られなかったところも多い。また, 標識設定や測量の際の地形的, 時間的限定のため, 適切な地点や方法を選び得なかった場合もある。ここでは再測のできた数カ所について, 測定結果を個別的に記述し, 不十分ではあるが今後の参考に供したい。この地域

* 適切な訳語がないので, 未熟ではあるが仮訳を付した。

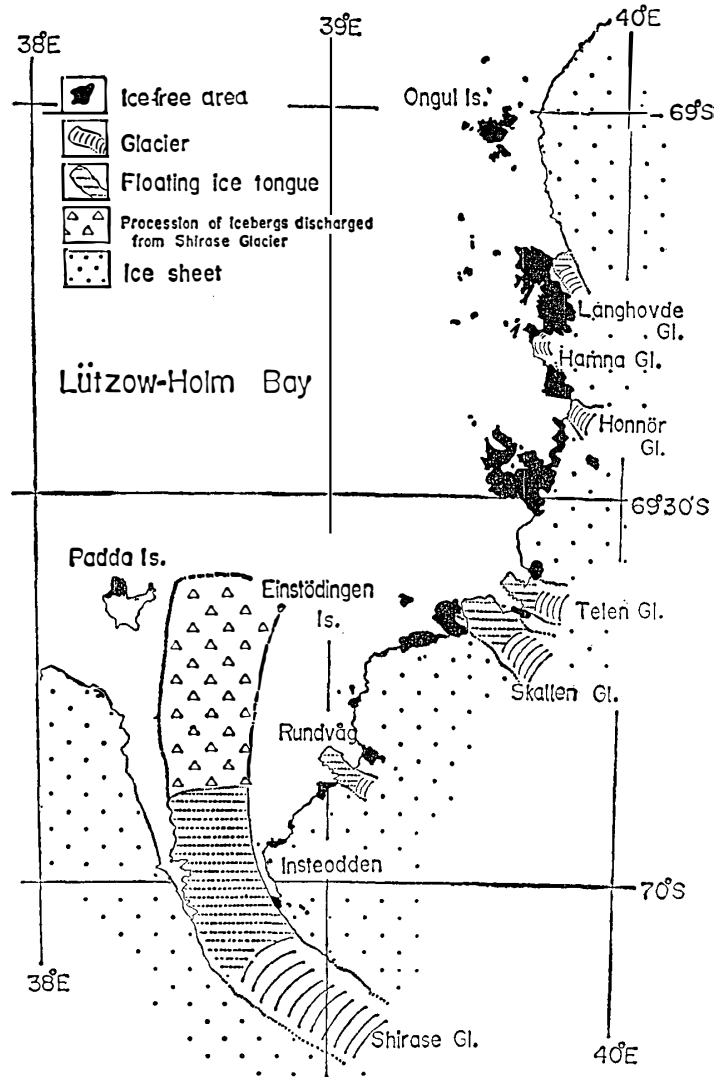


図 1 Lützow-Holm 湾の東岸

Fig. 1. The east coast of Lützow-Holm Bay.

の大陸氷の性状を知る 1 つの手掛りとなり得れば幸いである。標識にはふつつ竹竿を用い、Ongul 島対岸には空中写真撮影用のものを転用した。

1. Ongul 島対岸の大陸氷

Ongul 島対岸の大陸氷は、内陸から波状の起伏をもって緩やかに低下し、海岸付近でやや急傾斜し、最後は高さ 20 m 前後の氷崖で終わるところが多い。浮いている部分はほとんどなく、大部分の下底は直接基盤にのっているとみなされる。それは、海岸沿いに点在する小露岩や氷崖基部に現われている岩肌から推察でき、大陸氷末端の表面形態はこれらの基盤起

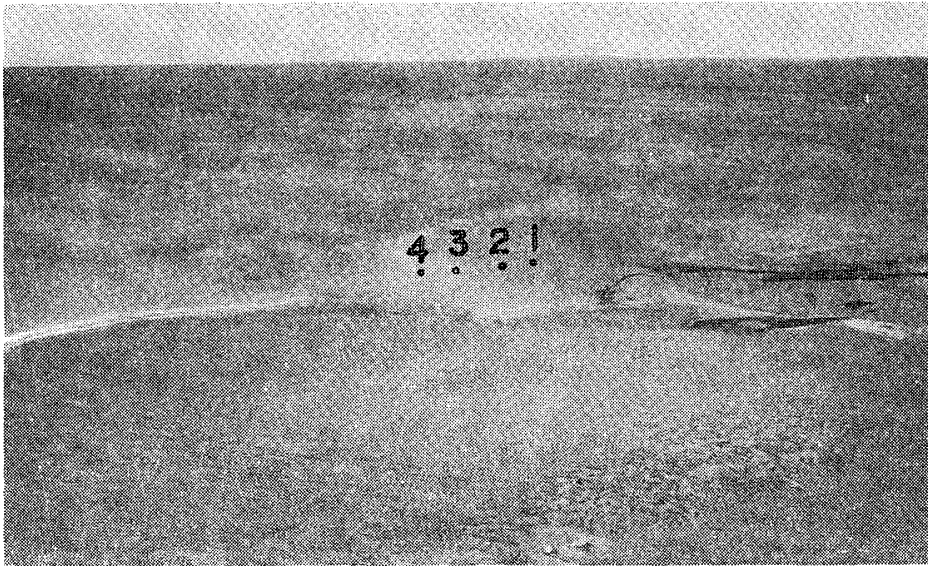


写真 1 オングル海峡大陸氷末端の測定標識

Photo 1. The location of the flow stakes along the east coast of the Ongul Strait.

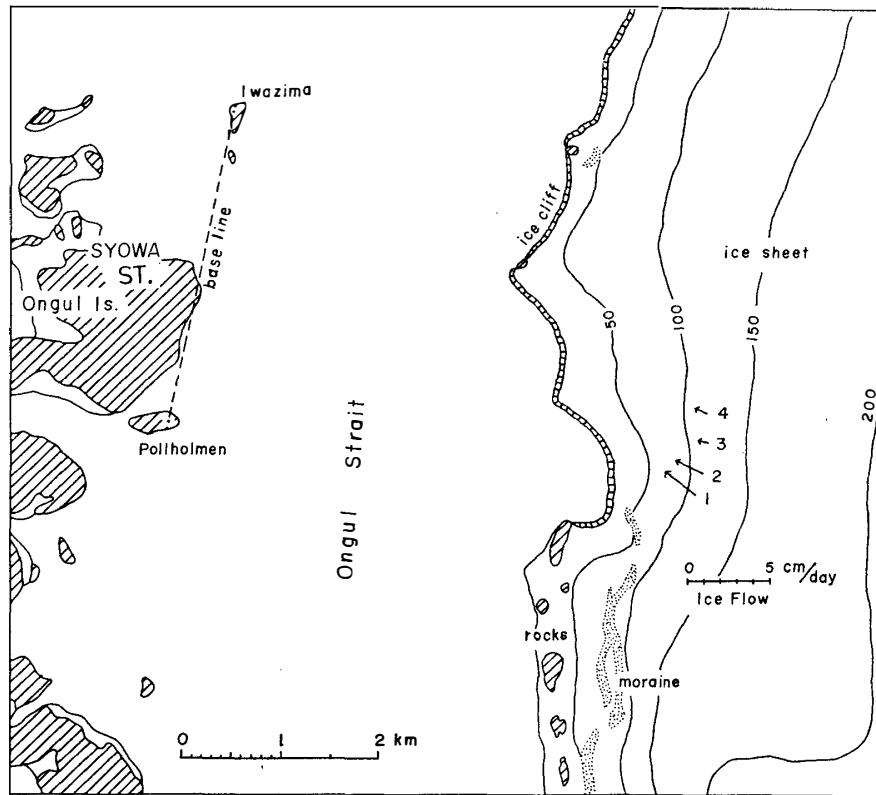


図 2 オングル諸島対岸の氷床の流動

Fig. 2. Movement of the ice sheet on the east coast of the Ongul Strait.

伏の影響をよく示している。

測定場所は Ongul 島対岸のモレーン帯北隣の裸氷域で、前面に奥行の浅い小湾がある(写真 1, 図 2)。この裸氷域の海拔 120 m 前後、海岸線(氷崖)から 900 m 内外の地点に 4 本の標識を 200 m おきに設け、これを岩島—Pollholmen 島間に設定した基線(基線長 3,305.18 m)から視準した。最初の測定は 1961 年 5 月 18 日で、以後 8 月 9 日と 12 月 22 日に再測した。3 回の測定値をそれぞれ座標平均計算し、その間の移動量と移動速度(1 日当り)を求めたのが表 1 である。

表 1 オングル海峡東岸の氷床の流動測定

Table 1. Results of measurements of ice flow on the ice sheet along the east coast of the Ongul Strait.

Stake No.		S 1	S 2	S 3	S 4
Period of observation					
May 18, '61—Aug. 9, '61 (83 days)	Movement (m)	1.08			0.37
	Rate (cm/day)	1.3			0.4
Aug. 9, '61—Dec. 22, '61 (135 days)	Movement (m)	4.16			1.35
	Rate (cm/day)	3.1			1.0
Total (218 days)	Movement (m)	5.24	3.87	1.56	1.72
	Rate (cm/day)	2.4	1.8	0.7	0.8

表 1 に示すように、各標識の移動量はそれぞれ違っており、また移動速度の季節的差異も認められる。標識間の差異は特に 1, 2 と 3, 4 の間で大きく、前者は後者のほぼ 3 倍近い速さで移動している。これは標識地点の大陸氷表面の形態(つまり基盤起伏)が違うためである。標識 1, 2 は小湾入に臨む急傾斜(6 度前後)の裸氷に位置するが、標識 3, 4 は小湾入からはずれた 4 度未満の緩斜面にある。つぎに季節別の流速をみると、5 月 18 日—8 月 9 日と 8 月 9 日—12 月 22 日とでは、後者が前者の 2.4 倍の速さとなっている。前者は昭和基地付近のいわば厳冬期であり、後者はこれに続く急激な気温上昇期に相当し(清野他, 1963)、従って大陸氷の流動速度はそれぞれの時期の気温(つまり氷の表面温度)に対応しているように思われる。Mawson 基地近くで行なった MELLOR の測定値(MELLOR, 1959)も、9 月—12 月の流速は厳冬期の 1.5~3.0 倍を示しているので、南極でも海岸地域の流動速度は季節的にかなり変化している場合が多いとみなされる。Skallen 地区の場合(AGETA *et al.*, 1971) 季節的な差が認められないのは、年間 2~7 m ときわめて停滞的な場所であるためと推定される。

2. Langhovde 氷河

Langhovde 山地とその東に広がる大陸氷との間には、幅 2.5 km の狭長な凹地があり、これを北北西に流れるのが Langhovde 氷河である（写真 2）。明瞭な氷河流タイプの氷河で、山地に接する西縁ばかりでなく、氷瀑をなして落下する東側の大陸氷の間にも明瞭なクレバス帯が発達する（写真 3）。氷河末端は Langhovde 南部山地北端の東方にあり、海拔 40

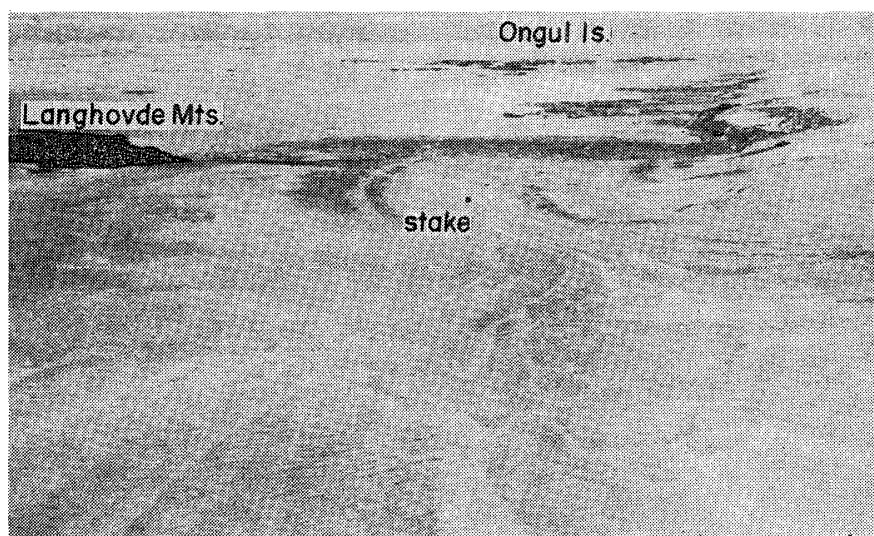


写真 2 Langhovde 氷河全景

Photo 2. A panoramic view of the Langhovde Glacier.

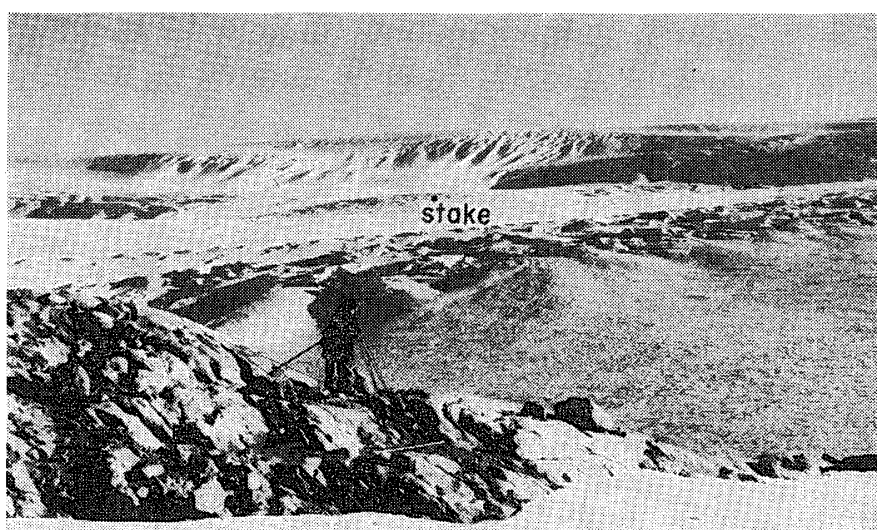


写真 3 Langhovde における測定

Photo 3. Ice flow measurement at Langhovde.

m 前後の、クレバスの多い急斜面をなす。これより下流の海岸線（北部山地北端の東方にある氷岸）までは浮氷舌と推定されており（吉川他，1957），きわめて低平である。

測定標識は氷河末端部の中軸線上に 3 本並べて立て，これを Langhovde 山地東麓の露岩より視準した。基線（253.11m）は標識までの距離（1,800 m 前後）に比べて短か過ぎたが，現地の地形的制約のためにこれ以上の長さを取り得なかった。測定は1961年5月10日，9月12日，12月31日に実施したが，3回目は標識が全部失なわれていたので失敗した。5月10日

表 2 ラングホブデ氷河，ハムナ氷河，白瀬氷河における流動測定

Table 2. Results of measurements of ice flow on the Langhovde, Hamna, and Shirase Glaciers.

Glaciers	Stake No.		Period of observation				
			S 1	S 2	S 3	S 4	S 5
Langhovde G.	May 10, '61–Sept. 12, '61 (135 days)	Movement (m) Rate (cm/day)	31.86 23.6	31.84 23.6	23.30 20.9		
Hamna G.	May 8, '61–Jan. 15, '62 (252 days)	Movement (m) Rate (cm/day)	3.62 1.5				
Hamna Ice Fall	May 25, '60–Sept. 29, '60 (127 days)	Movement (m) Rate (cm/day)	0.9 0.7				
Shirase G.	May 2, '60–Sept. 26, '60 (147 days)	Movement (m) Rate (cm/day)		837 569			855 608

— 9月12日（135日間）の移動量は，表2 に示したごとく 30 m 前後で，いずれも毎日 20cm 以上動いたことになる。しかし，この値は厳冬期のものであるから，気温の緩む11月以降はこれよりかなり大きいかも知れない。Langhovde 氷河で測定できなかった12月31日の観察によれば，クレバスの発達，表面の転動などによって標識設定場所付近の氷状は一変しており，明らかに9月以降氷河はかなり活発に動いたことを示していた。

3. Hamna 氷河

Hamna 氷河は Langhovde 山地—Breidvågrippa 山地間（3.5km）を東流するもので，両山地東縁を結んだ海拔 400m の大陸氷から急勾配をなして落下する溢流氷河の形態を示す（写真4），谷氷河地形を呈さないのは基盤が高いからであろう。北東への小分流は特に Hamna 氷瀑（Ice Fall）と呼ばれているが，これについては1960年5月25日および9月29日に測定した。しかし，基線の方向が地形に制約されて適切でなく，誤差は大きいと推定される。また主流については Breidvågrippa 側の海拔80m前後に4本の標識を設け，1961年5月8日に最初の測定を行なった。しかし，翌年1月15日の再測まで残っていたのは，Breidvå-

gnippa に近い (約200m) 1本だけであり、氷河中央部の裸氷域に立てた3本はすべて失なわれていた。表2の値はこの残存標識の移動値であり、氷河縁辺の動きの一端を示すに過ぎないが、参考のために記録しておく。

4. 白瀬氷河

白瀬氷河の全貌は知られていないが、かなり内陸から明瞭な氷流の形をとって流下し、下流で大陸氷中に顕著な谷状の地形を作り出しながら、末端は浮氷舌となって Lützow-Holm 湾頭に注ぐ。表面はクレバスの発達が著しく、大半はセラックス状をなして流動の激しさを示すと同時に、陸上からの接近をきわめて困難にしている。流動測定はわずかに到達し得た Instedden 西方の浮氷舌で行なったが (写真5、

図3)、ここでも幅100m 深さ40m ほどの流れに平行する大裂谷 (すでに氷山の分離が始まりかけているといえる) に妨げられて、氷流の中心へは接近し得ず、流動測定は縁辺において試みられたに過ぎない。また地形的制約や時間的制約のため、基線が177m と著しく短いものしかとれず、測定精度はかなり落ちる。しかし、現在まで他に資料は得られておらず、予備的調査としては意義あるものとする。

1960年5月2日-9月26日の測定結果は表2に示す通りで、流動速度は569ないし608 cm/day と著しく大きい。これまで報告された南極の氷河流タイプの速さは、ふつう300~500 m/year、大きいもので760m/year のものであるが (Gow, 1965)、この3倍ほどの値である。測定精度の悪さを考慮に入れても、少なくとも年間1.8km に達すると推定される。これは、白瀬氷河の流動の大きさを示すとともに、浮氷舌の特質を表わしているものと考えられる。氷棚の速い部分では、年間1.5~2.6km の値が知られている (ZUMBERGE, 1964; BEHRENDT, 1962)。なお、こうした流動の大きさの傍証とみなせる次の事実をあげることができる。

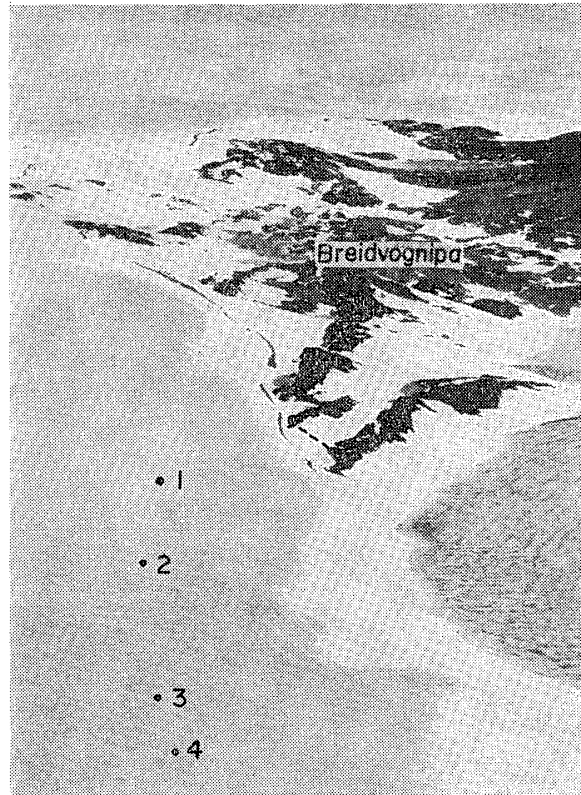


写真4 Hamna 氷河南部の流動測定地点
Photo 4. The location of the flow stakes in the southern part of the Hamna Glacier.

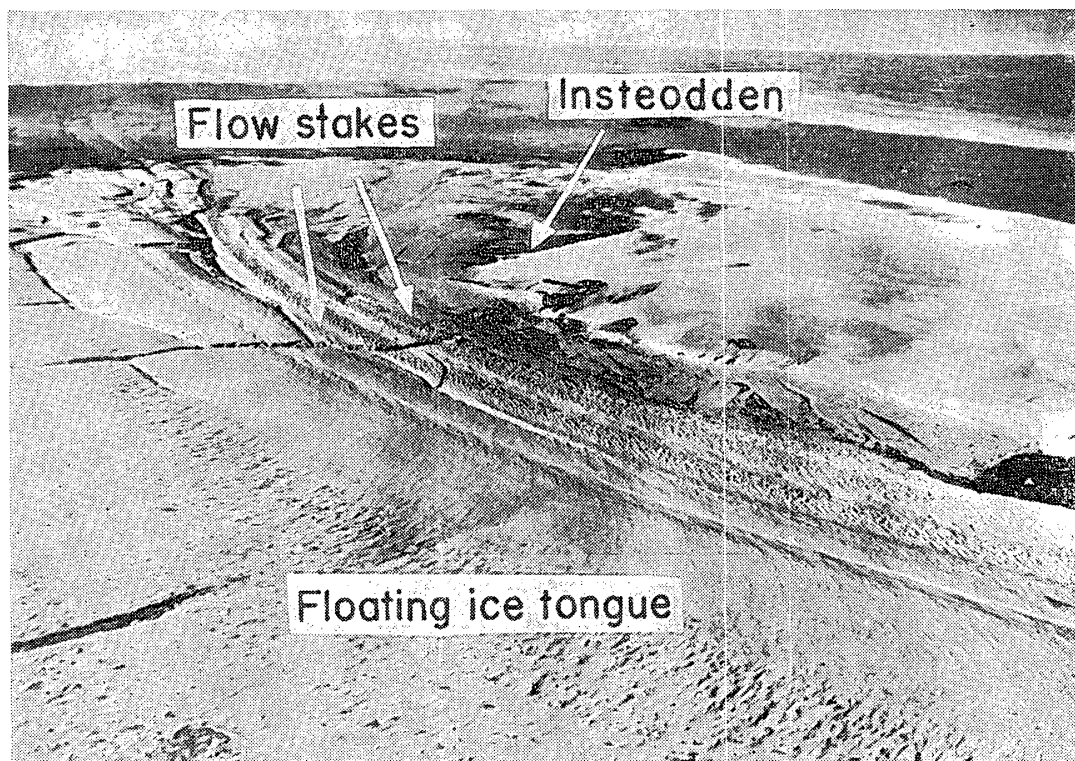


写真 5 Insteodden 付近の白瀬氷河浮氷舌と流動標識の位置

Photo 5. The location of flow stakes on the floating ice tongue of the Shirase Glacier near Insteodden.

白瀬氷河の浮氷舌は、いわゆる円丘氷山群（吉田他，1962）と呼ばれる氷山密集地帯に漸移し、これは1957—62年には、Lützw-Holm 湾中央まで張り出していたが、その途中 Padda 島と Einstödingen 島の間（直線距離18km）を通る。1962年1月21日撮影の空中写真によれば（写真6）、両島に接する氷山帯側面に、幅740m（Padda 島側）、570 m（Einstödingen 島側）の開水面が認められる。しかし、前年の9月23日の Einstödingen 島での観察では、同所にわずか2 m幅のクラックが存在したに過ぎない。開水面はこのクラックの発達したものである。氷河の流動は常に続いており、これによって生じたクラックが拡大して開水面が生ずれば、厳冬期には結氷するであろう。また夏期には薄い海水は融解するであろう。また必ずしも氷山列の移動量が、そのまま海水の移動、すなわち開水面の成長量に表われているとは限らないかも知れない。しかし、9月下旬は海水の成長のマキシマムに近く（1967年10月上旬、Skallen 氷河浮氷舌の押出しによって生じた開水面が Skallen 地区で観察された。この時期にはこのような開水面が維持されるようになるらしい）、また、この地域は円丘氷山群に示されるように積雪が多く（吉田他，1962）、空中写真の観察によっても、9月以

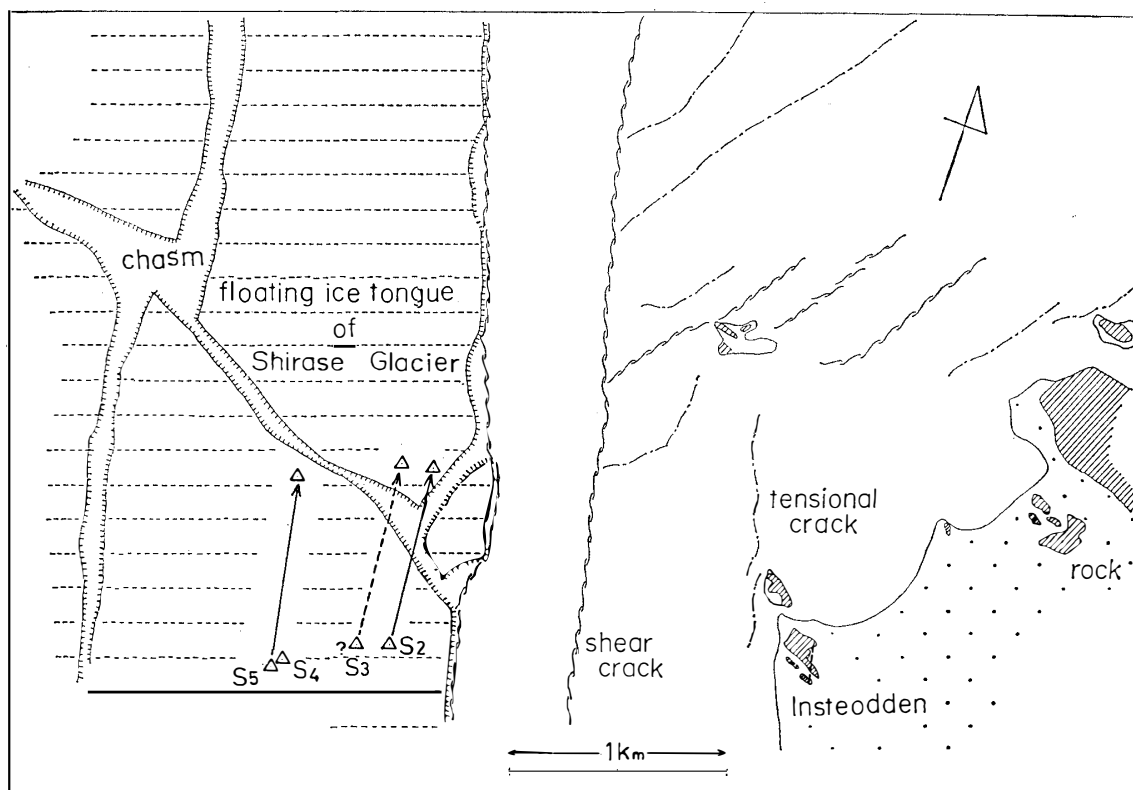


図3 白瀬氷河浮氷舌の流動（氷舌の割れ目やクラックは1962年1月21日撮影の空中写真による）

Fig. 3. The movement of the floating ice tongue of the Shirase Glacier (Chasm and crack pattern was drawn from an airphoto taken on Jan. 21, 1962).

降に張った薄い海水を除いて、海氷の融解は開水面の成長に大きくきくことはないと推定される。以上の事を考慮すれば、前述のクラックの幅は、少なくとも1961年9月23日から翌年1月21日までの約4カ月間の氷山帯の移動量を示すものとして差しつかえあるまい。Padda島側も同様と考えれば、この期間における氷山帯の移動速度は4.7m/day (Einstödingen側) および6.1m/day (Padda島側) となる。この値は前述の Insteodden における浮氷舌測定値にはなほだ近い。測定時期や場所の違いなどがあって、同格には論じ得ないものの、かかる著しい近似は注目し値する。Insteodden 近傍の剪断クラック* (shear crack) の1960年9月24日～28日の変化、同年5月1日にみられた新雪を切って形成された浮氷舌のクレバス〔流動に対して斜めに入った開裂(張力)性の割目〕、9月25日に直接氷河の側方侵蝕によって垂直な断崖の形成されつつある Insteckleppane において聞き得た氷河の流動音なども、こうした激しい氷河の流動の存在を支持する現象であろう。

なおここで、円丘氷山群について付言したい。円丘氷山は方形に近い平面形をもち、縁部が緩く低下して側方からはドーム状にみえるため、円丘氷山と呼ばれている。長期間湾内

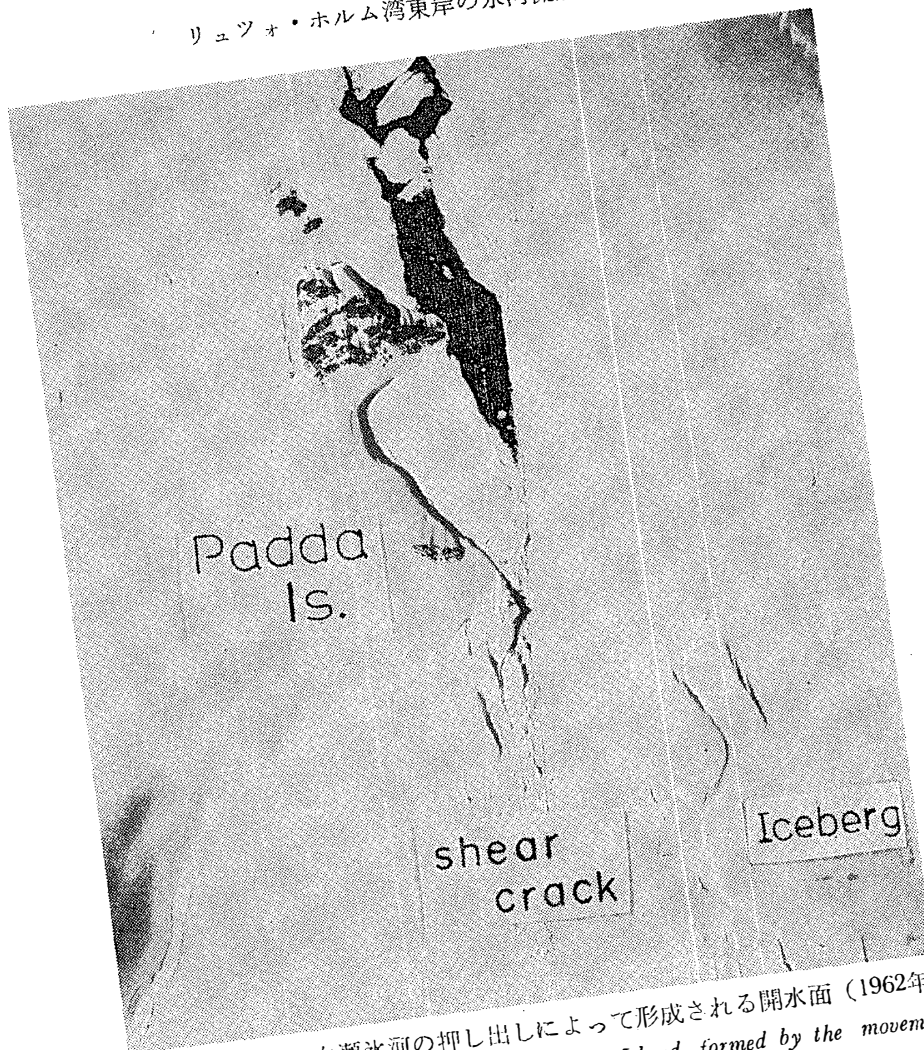


写真 6 Padda 島北東岸の白瀬氷河の押し出しによって形成される開水面 (1962年1月21日)
 Photo 6. Open water at the northeast coast of Padda Island, formed by the movement of the floating ice tongue of the Shirase Glacier.

に漂って老化もしくは風化した冰山であるともいわれている。しかし、Rundvåg 沖など一部にはかかる成因を持つものがあるが、むしろこれは Lützow-Holm 湾湾奥の積雪と、白瀬氷河の激しい押し出しによるのであろうとかつて筆者の1人は指摘した(吉田他, 1962)。1957年, 1959~1961年の海氷上の踏査および1960年のヘリコプターによる観察によれば、既述のクラック, 開水面の形成を含めて, 活発な流動によって周辺海水へ大きな影響を与えながら, 1957~1961年にはしだいに冰山群の北端は北上した(正確に決定することは難しいが, 1次, 4次, 5次隊の結果を比較してみてもいささかである)。しかし, 1967年2月のヘリコプターによる観察では北端はかなり南にあった。すなわち, この間かなりの冰山の流失があったと考えられる。これがいつ起こったのかは不明であるが, 少なくとも浮氷舌に連なる円丘冰山群が, 長年月を経て風化したと考えるべきでないことを暗示している。1967年8月の

昭和基地—Molodezhnaya 踏査において、北海道大学石田完博士と筆者の1人（吉田）は、縁辺部が緩やかに低下した多くの氷山を観察し、これらが直交もしくは斜交するクレバスが密集した氷山であって、縁辺がクレバスに沿ってズレ落ちて低下しているものと推定した。動きの活発な氷河からは多数のクレバスを有する氷山が形成され、これらは縁辺を低め、積雪の多いところでは見事な方形の平面形をもつドームを作り出し、円丘氷山と呼称されるようになるのであろう。円丘氷山群の頂部にクレバスの多いことは経験的に知られている。

5. その他の現象からみた流動

Kjukevåg 沖には、白瀬氷河の場合と同様に、Telen 氷河、Skallen 氷河の押出しによると考えられる剪断クラック*あるいは開裂クラック* (tensional もしくは rift crack ともいえよう)が生ずる。1960年9月24日および9月27日にこれを雪上車で横断したが、そのシュプールのズレから推定すれば、1.1m/dayの移動を行なったことになる。これをそのまま年間の流動と考えると、400m/year となり、Olav 沿岸の西長岩氷河と似た数値が得られる。

1937年当時 Honnörbrygga と呼ばれた浮氷舌を伸長していた Honnör 氷河は、現在浮氷舌をあまり出していないが、押出しは活発であり、1957年1月、1962年1月の空中写真、1960年、1967年の地上からの調査では、いずれも末端部の変化が顕著であった。1960年9月には、剪断クラックのほか、リップルマークをもつ裸氷の海氷が比高2mほどの一種のしゅう曲を受けているのが観察された。クラックからみて、300~500m/year のオーダーの流動速度をもつのではないかと推定される。

6. 年間流動量の概算

以上のように、これまでの測定は時間的制約もあって、断片的な結果しか得られなかった。特に、流動しやすいとみられる温暖期（1~4月）に測れなかったので、年間の流動量を正しく算出できなかった。しかし、概算程度ならば、これまでの結果によっても求めることができよう。

オングル島対岸の標識1についてみると、5~12月の平均流速は2.4cm/dayである。1~4月の温暖期はこれより遅いとはまず考えられないから、全年の平均流速が2.4cm/day以上であることは確実である。今この値によって年間の流動量を算出すると、8.76mとなる。しかし温暖期を含めた全年の平均流速は、厳冬・温暖両期にまたがる9~12月の流速（3.1cm

/day)に近いことも当然予想できるので、この仮定に立って計算すれば、11.32m/yearとなる。すなわち標識1の年間流動量は、最も少なく見積もっても8.76m、やや大きくみると11.32mであるから、10m±とみたら大きな誤りはない。標識4について同様の概算をすれば、3.2m±/yearとなる。

厳冬期のラングホブデ氷河の流速は23.6cm/dayであるが、しかし年間を通じての平均流速はMELLORのTaylor氷河、Ongul島対岸の大陸氷の季節的变化から推察できるように、少なくとも厳冬期流速の2倍とみなければならぬ。今この仮定に立ってLanghovde氷河の年間流動量を概算するならば、流心付近において最低172m動いたとみることができ

る。
白瀬氷河は5~9月の値を基礎としても年間1.8~2kmに達するらしい。季節的变化を考慮すればさらに大きいことも予想され、本地域の氷の収支にきわめて大きい意義を持つと推定される。再測が強く要望される所以である。

お わ り に

以上氷河流動測定結果と、それに基づいて温暖期における流速の増大を仮定しての年間表面移動量の算定について述べた。大陸氷末端の流動状態を更に詳しく知るためには、今後は測定標識の数をふやすとともに、年間における測定回数を多くする必要がある。対象氷河の形態と氷厚の測定、それらと流速の関係の具体的把握が望まれる。

なおこの調査の実施に当っては、4次、5次越冬隊の方々に大変御世話になった。ここに記して感謝の意を表したい。

付記：この報告は測定したときから大変遅れてしまった。白瀬氷河の流動がきわめて大きく、これを再度確かめたいと筆者の一人吉田が考えたためである。8次越冬の際これを果したいと考えたが不可能であった。その後もこれは容易ではなく、これまでに測定されていないので、一まず報告することとした。

文 献

- AGETA, Y. and R. NARUSE (1971): Measurement of ice flow around Skallen Rock, South of Syowa Station, Antarctica. *Antarctic Rec.*, **42**, 61-64.
BEHRENDT, J. C. (1962): Geophysical and glaciological studies in the Filchner Ice Shelf Area

- of Antarctica. *J. Geophys. Res.*, **67**, 221-234.
- GOW, A. J. (1965): The ice sheet. Antarctica, ed. by T. Hatherton, Methuen & Co. Ltd., London, 221-258.
- MELLOR, M. (1959): Ice flow in Antarctica. *J. Glaciol.*, **3**, 377-384.
- NAGATA, T. and Y. YOSHIDA (1962): Glaciology. Japanese Contribution to the IGY and IGC, **IV**, 138-141.
- NAKANO, T., T. KAJI and Y. HARADA (1960): Some information on the glacier and geology in the vicinity of Ongul Island. *Antarctic Rec.*, **10**, 32-36.
- 清野善兵衛・三枝隆次・鈴木信雄・坂口威 (1963): 第5次南極地域観測隊越冬隊気象部門概報. 南極資料, **17**, 1-17.
- 立見辰雄・菊地徹 (1959): 南極昭和基地付近の地学的観察 (その2). 南極資料, **8**, 1-21.
- 吉田栄夫・村越望・矢田明 (1962): 第4次南極地域観測隊越冬隊の調査旅行における気象観測について. 南極資料, **15**, 12-24.
- 吉川虎雄・戸谷洋 (1957): 第1次南極地域観測隊地理部門報告. 南極資料, **1**, 1-13.
- ZUMBERGE, J. H. (1964): Horizontal strain and absolute movement of the Ross Ice Shelf between Ross Island and Roosevelt Island, Antarctica, 1958-1963. *Antarctic Snow and Ice Studies*, ed. by M. Mellor, Antarctic Res. Ser., **2**, Am. Geophys. Union, Washington, D. C., 65-81.

(1972年3月29日受理)