

## みずほ高原の基盤・表面地形および積雪の堆積について\*

西尾文彦\*\*・楠 宏\*\*

The Relationship of Bedrock, Surface Elevation and Snow Accumulation  
in Enderby Land, East Antarctica\*

Fumihiko NISHIO\*\* and Kou KUSUNOKI\*\*

**Abstract:** Results are presented of spectral analyses of the net snow accumulation, surface and bedrock profiles along the meridian of about 40°E, from Syowa Station to the South Pole, traversed by the Japanese party in 1968–1969.

There is a clear trend of increase of the wavelength of the surface maximum amplitude going inland. The prevailing wavelength of the surface undulation increases clearly toward the inland.

The “damping factor” or ratio of the bedrock amplitude to the surface amplitude has a minimum when the wavelength of the surface undulation is about 3 or 4 times of the mean ice thickness.

The accumulation pattern in the katabatic wind region is strongly influenced by the surface topography on both large and small scales; the maximum accumulation occurs near the ridge and the wind-ward side of slope while the minimum in the trough and lee-wind side.

## 1. ま え が き

氷床の表面にかなり一定の起伏があり、その波長は氷厚の数倍あることが指摘されている。この表面の起伏は基盤の起伏に起因しているとして、次式で示される起伏の減衰係数（基盤と表面の起伏の比）が理論的に導かれた (BUDD and CARTER, 1971).

$$\phi = \frac{\rho g h^2}{2.2\eta V}$$

ここで、 $\eta$  は粘性 (bar),  $V$  は流速 (m/year),  $h$  は氷の厚さ (m) である。

\* 第1回南極雪氷シンポジウムで発表。

\*\* 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, 9–10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

減衰係数  $\psi$  が最小値をもつ波長  $\lambda$  は

$$\lambda \approx 3.3 h$$

となり、表面の卓越した起伏は氷の厚さの約 3.3 倍となる。グリーンランド、ウィルクス氷帽 (BUDD and CARTER, 1971), クィーンモードランド (BEITZEL, 1970) での測定結果は理論式とよく一致することがわかった。

一方、氷床表面に堆積する積雪は、風の強い地域で飛雪となって風下側に運ばれる。このとき飛雪の堆積は表面の地形に影響されることが推察される。ウィルクス氷帽では、波長が約 10 km の卓越した表面起伏の風上側斜面に、起伏の谷部や風下側斜面より多くの積雪が堆積するという結果が報告されている (BLACK and BUDD, 1964)。

日本南極観測隊による東南極大陸内陸部の雪氷および気象状態についての観測は、第 9 次南極観測隊 (JARE-9) に始まり、氷厚、表面高度、積雪量などの観測データが報告されている (MURAYAMA, 1971; ISHIDA, 1972)。

この観測結果を用いて、1) 氷床表面の起伏の卓越波長、2) 表面の起伏と基盤の起伏との関係、3) 表面の地形と積雪の堆積についての解析結果を得たのでここに報告する。

## 2. 調査地域の区分

解析した地域は、第 9 次南極観測隊による南極点までのトラバースルートに沿って、つぎの三つに大別した。

(A) 地域 S 16 (南緯  $69^{\circ}01'57''$ , 東経  $40^{\circ}02'50''$ , 標高 523 m) から

S240 (南緯  $72^{\circ}00'80''$ , 東経  $43^{\circ}09'51''$ , 標高 2,590 m)

(B) 地域 S240 から

Plateau Station (南緯  $79^{\circ}14'48''$ , 東経  $40^{\circ}30'$ , 標高 3,624 m)

(C) 地域 Plateau Station から South Pole

この地域区分は標高が急激に増加している地域 (A), 比較的なだらかに標高が増している地域 (B) と大陸中央部 (C) および気候状態の地域区分を考慮して、さらに (A) 地域では第 10, 11 次隊による観測結果が得られていることと利用できるデータの数の関係から決められた。

## 3. 解析方法

解析に用いたデータは、(A) 地域では第 10, 11 次隊によって得られた 2 km 毎の年間積雪量、気圧測高による表面高度および電波氷厚計による氷厚の値である。表面高度から氷厚を

差し引いた値を基盤高度とした。しかし氷厚測定の見欠がある地点では重力の測定結果から氷厚を推定し、基盤高度を求めた。(B)、(C) 地域では、第 9 次隊による 4 km 毎の積雪量と表面高度の測定結果を用いた。

これらの積雪量、表面高度および基盤高度のデータから卓越した起伏の波長を調べるためにパワースペクトルを求めた。パワースペクトルを計算するに当たって、非常に長い波長成分を除くために、次のような処理を行って解析した。

$$y_i = x_i - (1/m^2)[x_{i-m+1} + 2x_{i-m+2} + \dots + (m-1)x_{i-1} + mx_i + (m-1)x_{i+1} + \dots + x_{i+m-1}]$$

ここで、添字  $i$  はある測点、 $m$  はある測点  $i$  から  $m$  番目の測点を示す。 $x_i$  はある測点  $i$  での積雪量、表面高度および基盤高度の測定値である。従って、 $y_i$  はある測点  $i$  での測定値から加重平均値を差し引いた残差を示すことになる。今回  $m=10$  としたので、(A) 地域では波長  $\lambda$  は 4~80 km、(B)、(C) 地域では波長  $\lambda$  は 8~160 km の範囲で解析が行われた。

## 4. 結 果

### 4.1. 氷床の表面起伏の卓越波長について

パワースペクトルの解析結果から表面の起伏の卓越波長  $\lambda$  はつぎのように求められた。

(A) 地域で 7 km および 15 km、(B) 地域で 18 km および 40 km、(C) 地域で 30 km および 50 km と明らかに大陸内部に向かうにつれて波長が長くなっている。図 1, 2 および図 3 にはこれらの結果を示した。

### 4.2. 氷床表面の起伏と基盤の起伏との関係

図 1 からわかるように、(A) 地域で基盤の起伏の卓越した波長は、約 8 km および 20~30 km に顕著に現れている。しかし、表面の起伏の波長は約 7 km および 15~20 km 付近に卓越している。いまトラバースルートに沿った平均の氷の厚さ  $h$  を約 1,800 m とすると、減衰係数が最小の値をあたえる表面の起伏の波長  $\lambda$  は、 $\lambda \approx 3.3 h$  の関係から約 6 km となる。図 4 には、BEITZEL (1970) と同様の方法によって求めた減衰係数を示した。観測値のばらつきは大きいですが、平均氷厚の約 3~4 倍で減衰係数が最小になる傾向をみる事ができる。

### 4.3. 表面の起伏が積雪の堆積におよぼす影響について

積雪量の測点による違いと表面の起伏との関連をみるために、(A) と (B) 地域のトラバースルート上で代表的な部分を図 5, 6 に示した。いずれも、表面の起伏の風上側斜面には起伏の谷部や風下側斜面より多くの積雪があることを現わしている。このような積雪の堆積過

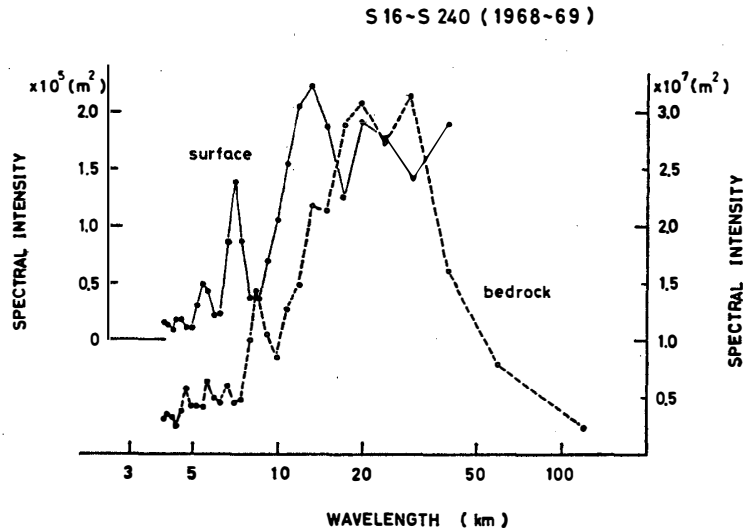


図 1 表面高度と基盤高度の波長別のパワースペクトル (S16 から S240)  
 Fig. 1. Power spectra for surface and bedrock deviation profiles from S16 to S240.

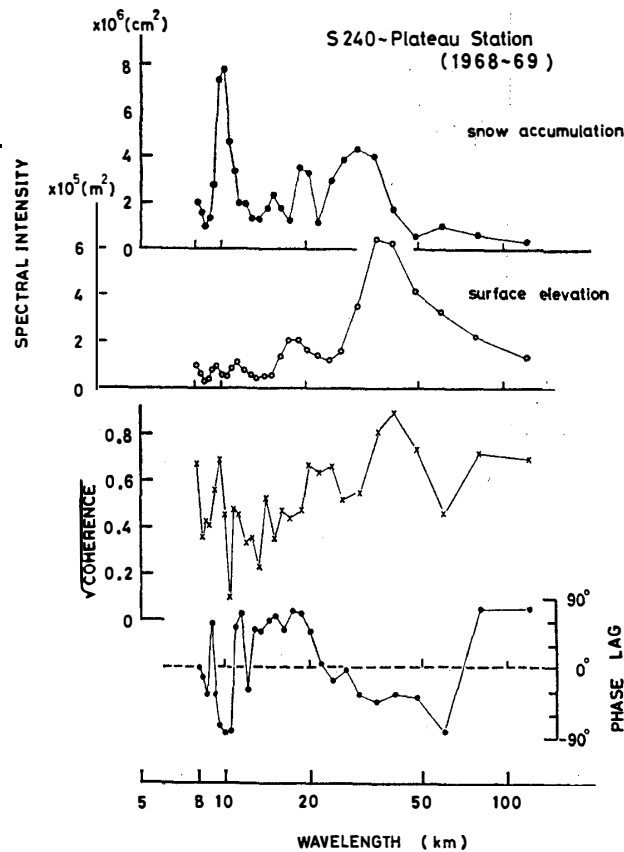


図 2 年間積雪量と表面高度の波長別のパワースペクトル, コヒーレンスおよび位相差 (S240 から Plateau Station)  
 Fig. 2. Power spectra, coherence and phase lag for snow accumulation and surface deviation profiles from S240 to Plateau Station.

図 3 表面高度の波長別のパワースペクトル  
(Plateau Station から South Pole)  
Fig. 3. Power spectra for surface deviation  
profiles from Plateau Station to  
South Pole.

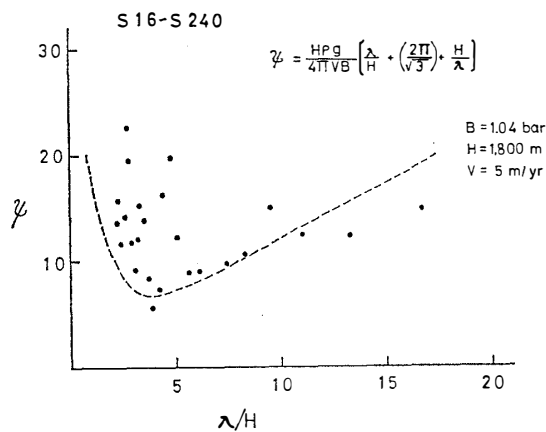
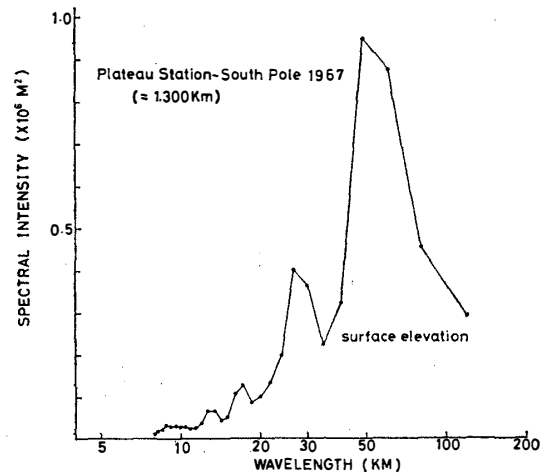


図 4 減衰係数  $\phi$  の理論値と観測値.  $\phi$  は図 1 で求められた表面高度に対する基盤高度の波長別のパワースペクトルの比の平方根をあらわす.  
理論値をあらわす点線は、図中に示した値を用いた ( $B$  は粘性係数,  $H$  は平均の氷厚および  $V$  は年間の流動量).

Fig. 4. Theoretical and measured values of  $\phi$ , Budd's "damping factor".  $\phi$  is the ratio of bedrock to surface deviation profiles. The computed curve (dotted line) is based on the parameters shown in the figure.  $B$  is the viscosity coefficient,  $H$  the mean ice thickness and  $V$  the velocity of ice.

程は、斜面下降風の強く吹く地域で起こっており、大陸中央部付近の、風の弱い地域では積雪が一様に堆積している (ENDO and FUJIWARA, 1973).

## 5. 考 察

今回の解析で用いた積雪量、表面高度、氷厚の測定結果は、それぞれ雪尺、気圧高度計お

図 5 年間積雪量と表面の起伏の相対的な高度.

表面の起伏の相対的な高度は、各測点での表面高度から 40 km にわたる加重移動平均値を差し引いた値である。

各測点での値は

$$x_i' = (x_{i-1} + 2x_i + x_{i+1}) / 4$$

によって平滑化されている。

卓越風向は図の右から左に向かっている。

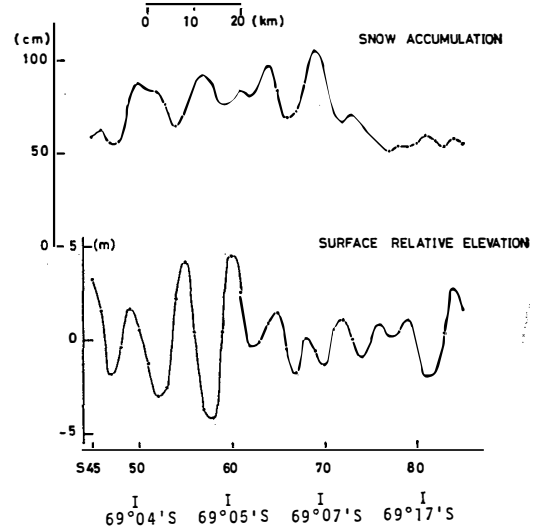


Fig. 5. Accumulation over an undulating slope. Plotted for a typical section of the traverse route are; the annual net snow accumulation for each stake (above) and the surface relative elevation (below), obtained from the difference between the surface elevation at each stake and 40 km weighted running mean. Each profile has been smoothed according to  $x_i' = (x_{i-1} + 2x_i + x_{i+1}) / 4$ .

The direction of prevailing wind is from right to left in the figure.

図 6 年間積雪量と表面の起伏の相対的な高度.

表面の起伏の相対的な高度は、各測点での表面高度から 80 km にわたる加重移動平均値を差し引いた値である。各測点での値は

$$x_i' = (x_{i-1} + 2x_i + x_{i+1}) / 4$$

によって平滑化されている。

卓越風向は図の右から左に向かっている。

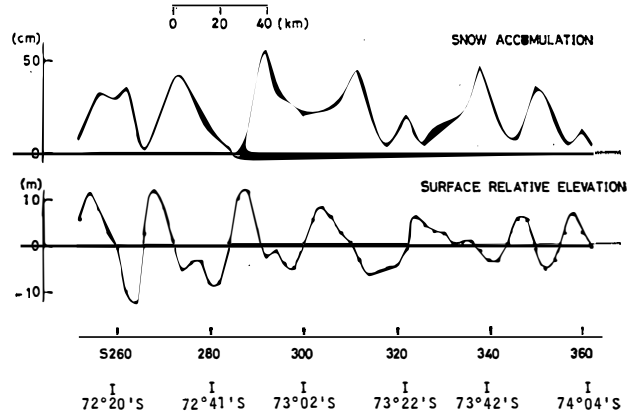


Fig. 6. Accumulation over an undulating slope. Plotted for a typical section of the traverse route are; the annual net snow accumulation for each stake (above), and the surface relative elevation (below), obtained from the difference between the surface elevation at each stake and 80 km weighted running mean. Each profile has been smoothed according to  $x_i' = (x_{i-1} + 2x_i + x_{i+1}) / 4$ .

The direction of prevailing wind is from right to left in the figure.

よび電波氷厚計を使って測定されたものである。これらの機器による測定結果の誤差を算出しなければ、解析結果の精度を評価することは困難である。いま、簡単な誤差の見積りを試してみる。

雪尺による積雪量の測定は、 $\pm 1$  cm の精度で求められるが、1本の雪尺では地形の影響のため、ある地域の積雪量を求めるには誤差が大きくなる。従って、少なくとも数本の測定値の平均値から積雪量を求める必要がある。一方、気圧測高による表面高度の測定値は基地から 10 km 離れるごとに 1 m の誤差をもつということが報告されている (BENTLEY, 1964)。誤差の見積りとしては少し大きいですが、いまこの値を考慮して、図 6 をみってみる。表面起伏の相対的な高度として  $\pm 10$  m であるから、水平的には 200 km の範囲内であれば、有意な差をもった起伏であると考えることができる。

## 6. あ と が き

ここで報告した解析結果は、第 11 次隊以後も引続き観測されたデータを解析することによって検討されるであろう。おわりにあたり貴重な積雪量のデータを提供していただいた北海道大学低温科学研究所の遠藤八十一氏に厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- BEITZEL, J. E. (1970) : The relationship of ice thickness and surface slopes in Dronning Maud Land. International Symposium on Antarctic Glaciological Expedition (ISAGE), Hanover, New Hampshire, U.S.A., 3-7 September 1968, 191-203.
- BENTLEY, C. R. (1964) : The structure of Antarctica and its ice cover. *Research in Geophysics, Solid Earth and Interface Phenomena*, **2**, 335-389.
- BLACK, H. P. and W. F. BUDD (1964) : Accumulation in the region of Wilkes, Wilkes Land, Antarctica. *J. Glaciol.*, **5** (37), 3-15.
- BUDD, W. F. and D. B. CARTER (1971) : An analysis of the relation between the surface and bedrock profiles of ice caps. *J. Glaciol.*, **10** (57), 197-209.
- ENDO, Y. and K. FUJIWARA (1973) : Characteristics of the snow cover in East Antarctica along the route of the JARE South Pole Traverse and factors controlling such characteristics. *JARE Sci. Rep., Ser. C (Earth Sciences)*, **7**, 27 pp.
- ISHIDA, T. (1972) : Glaciological research program in Mizuho Plateau-West Enderby Land, Part 1, 1969-1971. *JARE Data Rep.*, **17** (Glaciology), 217 pp.
- MURAYAMA, M. (1971) : Report of the Japanese Traverse Syowa-South Pole 1968-1969. *JARE Sci. Rep., Spec. Issue*, **2**, 279 pp.

(1975 年 9 月 27 日受理)