

JARE-43 人工地震探査におけるアイスレーダーによる氷床厚測定

高田真秀¹・戸田 茂²・神谷大輔³・松島 健⁴・宮町宏樹⁵

Radio echo sounding survey along the profile of the JARE-43 seismic exploration on the Mizuho Plateau, East Antarctica

Masamitsu Takada¹, Shigeru Toda², Daisuke Kamiya³, Takeshi Matsushima⁴ and Hiroki Miyamachi⁵

(2003年6月25日受付; 2003年8月26日受理)

Abstract: A seismic exploration was conducted in the austral summer of 2001–2002 by the 43rd Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-43) on the Mizuho Plateau, East Antarctica. We carried out the radio echo sounding survey along the seismic line in order to estimate the distribution of bedrock altitude. This report describes the outline of the radio echo sounding survey and the obtained result.

要旨: 第43次日本南極地域観測隊(43次夏隊)は、みずほ高原において地殻構造の解明を目的に、ダイナマイト震源による地震探査を行った。この探査と同時に、探査測線下の基盤地形の詳細な分布を求めるため、アイスレーダーによる測定を実施した。本報告では、アイスレーダー測定の概要と得られた結果について報告する。

1. はじめに

第43次日本南極地域観測隊(The 43rd Japanese Antarctic Research Expedition, 以下JARE-43と略す)では、第41次南極地域観測隊(JARE-41)に引き続き、「東南極リソスフェアの構造と進化研究(SEAL)計画」(金尾, 2001)に基づき、昭和基地周辺の大陸氷床上のみずほ高原において、氷床下地殻構造の解明を目的にダイナマイト震源による地震探査を行った。JARE-41では、みずほルート上のS17からZ20までの約180 kmの測線で探査を行ったが(宮町ら, 2001: 図1参照)、今回の探査では、みずほルートのH176のみずほルート

¹ 北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター。Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University, Kita-10, Nishi-8, Kita-ku, Sapporo 060-0810.

² 愛知教育大学教育学部地学教室。Aichi University of Education, 1, Hiroswa, Igaya-cho, Kariya 448-8542.

³ 白山工業株式会社。Hakusan Corporation, J-Tower, 1-1, Nikko-cho, Fuchu-shi, Tokyo 183-0044.

⁴ 九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター島原観測所。Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University, Shinyama 2, Shimabara 855-0843.

⁵ 鹿児島大学理学部地球環境科学科。Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, 1-21-35, Kourimoto, Kagoshima 890-0065.

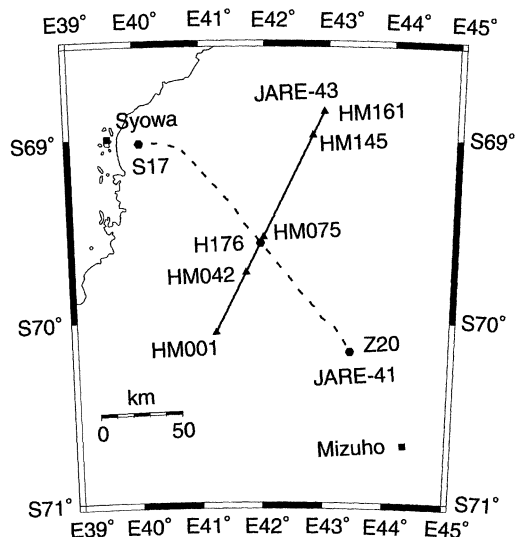


図1 アイスレーダー測定区間と地震探査測線 (HM ルート). アイスレーダー測定は HM042 から HM161 の区間で実施された. 点線は, 41 次隊で実施されたみずほルート上の人工地震探査測線を示す.

Fig. 1. Map showing the seismic refraction line (solid line) on the Mizuho Plateau in JARE-43. The radio echo sounding was carried out along the segment from HM042 to HM161. The dashed line indicates the JARE-41 seismic line along the Mizuho route.

にほぼ直交する約 150 km に及ぶ測線 (HM ルート: 図 1 参照) 上で薬量 700 kg の大発破が 7 カ所, 20 kg の小発破が 1 カ所行われた. また, 測線上には 161 台の地震計が展開された (宮町ら, 2003a). さらに, この地震探査の全観測点で, 位置測のための GPS 測定と重力測定が行われた.

地震波の走時を解析することによって, 探査測線下の氷床厚の分布を知ることができる. しかしながら, Tsutsui *et al.* (2001) によって指摘されているように, 地震波の走時解析によって得られる氷床厚は平均的な長波長分布であり, より詳細な分布, すなわち, 短波長分布を明らかにするには, 解像度が不十分である. 特に, 地震探査と並行して実施された重力測定では, その解析上, 氷床の影響を見積もる必要があるため, できるだけ詳細な氷床厚分布を明らかにすることが必要である. このため, 探査測線上において, 連続的にアイスレーダーによる氷床厚の測定を実施した.

2. 測定機器

今回使用した機器は, 送受信系 (60 MHz 送受信機, 八木アンテナ: 主要緒元は表 1 参照), データ収録系 (ノートパソコン, デジタルオシロ, 車載 GPS) で構成される (図 2). 60 MHz 送受信機の電源には, 雪上車の配電盤の DC24V を使用した. データ収録系の機器は, 同配電

表 1 送受信系の主要緒元
 Table 1. Specification of the radio echo sounding survey.

Antenna	Type Gain	3 elements Yagi Antenna 7.2 dBi
Receiver	Minimum sensitivity	-110 dBm
Transmitter	Frequency Peak power Pulse width Pulse repeat frequency	60 MHz 1 kW 1 μ s 1 kHz

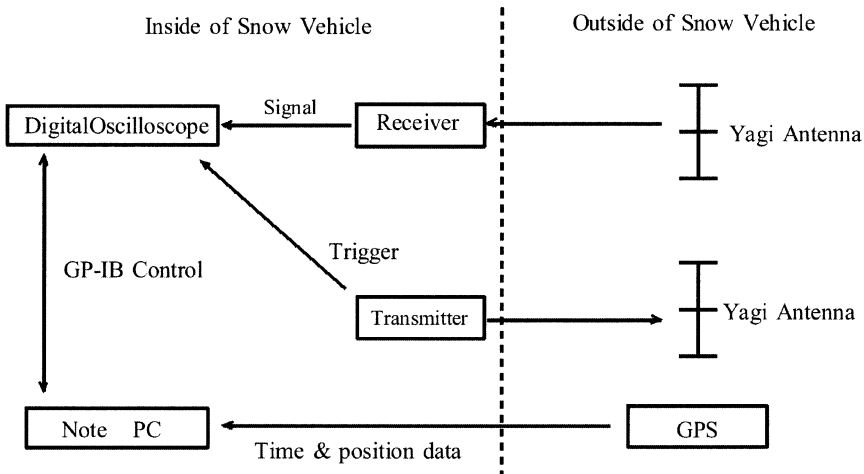


図 2 測定装置の構成

Fig. 2. Configuration of the instruments used in the radio echo sounding survey.

盤にインバーター (Max. 500 W) を接続し, AC 100 V に変換後, 使用した. また, アンテナと送受信機を直接ケーブルでつなぐことはできなかったが, 高い周波数において高性能な N 型コネクタが雪上車の壁に埋め込まれていたため, N 型コネクタを中継することによって, 雪上車外部に氷床面に対して垂直に固定された八木アンテナと雪上車内部の送受信機を同軸ケーブルでつないだ.

測定には, 大型雪上車 SM108 号車を使用した. 2001 年 12 月 26, 27 日に, 隊員 4 名で, 雪上車に観測機器を設置し, ほぼ 1 日半を要した. 今回の測定のために, 単管パイプを雪上車に固定するための台座, 単管パイプとアンテナを取り付けるためのアンテナ取り付け金具を新規に製作した. 現地におけるアンテナ組み立て時, アンテナ素子をねじ止めた部分にアルミホイルを巻き, その上から粘着テープを巻いて補強した. これにより, ねじ止めた部分が強度を増すだけでなく, 多少ねじがゆるんでも, 導通があるためアンテナの機能が保たれ

る。結果的には、雪面の状況が良好であったため、雪上車のゆれは小さく、アンテナ素子が折れるようなトラブルはなかった。また、雪上車内部では、送受信機を固定するために、雪上車に設置されていたラックに穴を開け、ボルトで固定した。データ収録系の機器については、機器の下にスポンジを敷いて雪上車の振動を防ぐ工夫をしたのち、ゴムバンドでラックに固定した。

3. 測 定

アイスレーダーの測定は、次のようにして行われた:

- 1) 60 MHz 帯のパルス波 (パルス幅 1 μ s, 繰返し周期 1 kHz) を、送信アンテナから、氷床に向けて発射し、基盤から反射された電波を受信アンテナで受信し、デジタルオシロに送る。
- 2) 送信機から同期をとるためのトリガーがデジタルオシロに送られる。デジタルオシロでは、トリガー受信時を送信アンテナからのレーダー発射時刻とし、発射時刻から 50 μ s までの受信レーダーエコーを 20 ns サンプリングで計測する。
- 3) 測定されたエコーの S/N (信号対雑音) 比を向上させるため、上に述べた 2) を 256 回繰返し、スタックアベレージングし、一つの波形データ (氷床内部からのエコー強度の時間変化) を作成する。この間の処理に約 24 秒を要した。

雪上車は時速 10–12 km 程度で移動しながら、これらの手順を繰り返して、連続観測を行った。したがって、一つの波形データは約 80 m 区間の平均的データということになる。得られた波形データは GP-IB 経由でノートパソコン (CPU: MMX Pentium 166 MHz, メモリサイズ: 64 MByte) に収録され、車載の GPS から得られるデータ作成時の時刻、緯度、経度などの情報と同時に記録された。また、人工地震探査測線上の観測点とそのルート上に 500 m 毎に立てられた旗竿を通過する毎に、通過時刻を記録した。

測定を実施した日付と観測点範囲を表 2 に示す。測定の結果、図 1 の HM161 から HM042 までの約 109 km の区間で、データを収録することができた。S16 から探査測線の起点 H176 までの移動時にも、試験観測としてアイスレーダーを動作させたが、途中から、基盤岩からのエコーが観測されなくなった。当初、アンテナと送受信機を結ぶ雪上車外部の同軸ケーブルの中芯が寒さで縮んだ結果、N 型コネクタなどで接触不良生じた、もしくは、もともとエ

表 2 測定を実施した日付と観測点範囲

Table 2. Log notes schedule of radio echo sounding survey.

Date	Location	Operation distance (km)
2002. 1. 21	HM001 \rightarrow HM057	56.2
2002. 1. 23	HM057 \rightarrow HM107	40.1
2002. 1. 24	HM067 \rightarrow HM095	23.1
2002. 1. 25	HM095 \rightarrow HM161	66.2
2002. 1. 28	HM068 \rightarrow HM042	20.6

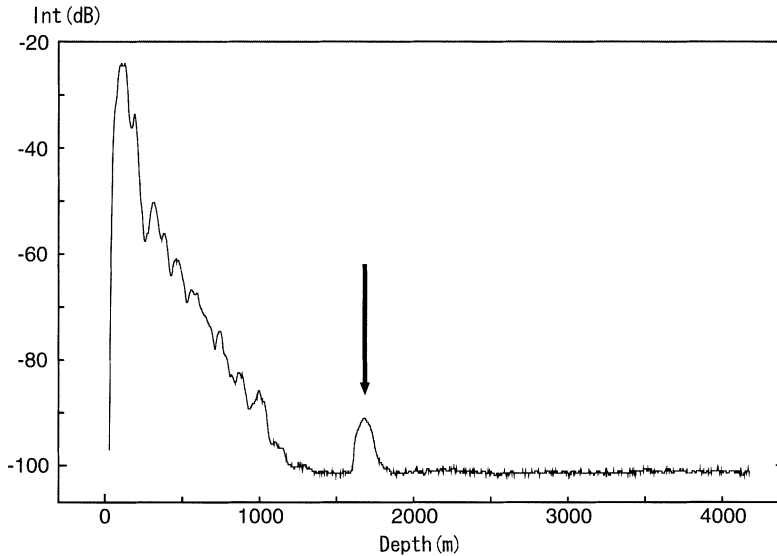


図3 氷床からのエコー強度の記録例. 横軸は氷床表面からの深さ, 縦軸はエコーの強度を示す. 矢印は基盤からのエコーを示す.

Fig. 3. An example of an observed radio echo. The arrow in the figure shows an echo reflected from the bedrock surface. The vertical axis shows the intensity of the echo. The horizontal axis shows the depth from the ice sheet surface.

コーが弱い場所であると考えた。だが、実際には、雪上車内部と外部を中継するN型コネクタの異常による接触不良が原因であった。2002年1月24日に、N型コネクタの異常を発見したので、HM001からHM041までの区間については、正常なデータを得られなかった。

図3に氷床内部からのエコー波形データ例を示す。アイスレーダー観測では、氷床直下の基盤(岩盤)層からのエコー以外に、1) 氷床内部で結晶方位が周りと異なる層からのエコー、2) 火山噴火に伴う堆積物などによる酸性度が高い層からのエコーなどが観測される(神山, 1995)。図3において、深さ1700m付近に見られるピークが基盤からのエコーであり、深さ1500m未満に見られるピークは、上に述べた1)や2)に起因すると考えられる。また、図4に、全測定区間で得られた波形データの波形強度変化の連続分布を示す。図4の横軸は、HM161からの距離を示しているが、観測中の雪上車の移動速度は一定でなく波形時系列データをそのままプロットしたので、10km毎の目盛の間隔は一定ではない。図中の右に矢印で示されている部分が、基盤からのエコーである。HM075およびHM145付近では、基盤からのエコーが微弱になっていることがわかる。

4. 解析原理および結果

アイスレーダーの測定原理は、アンテナから発射された電波が基盤岩にあたって反射し、受信されるまでの往復所要時間を計測することによって、基盤岩までの距離、すなわち氷床厚を

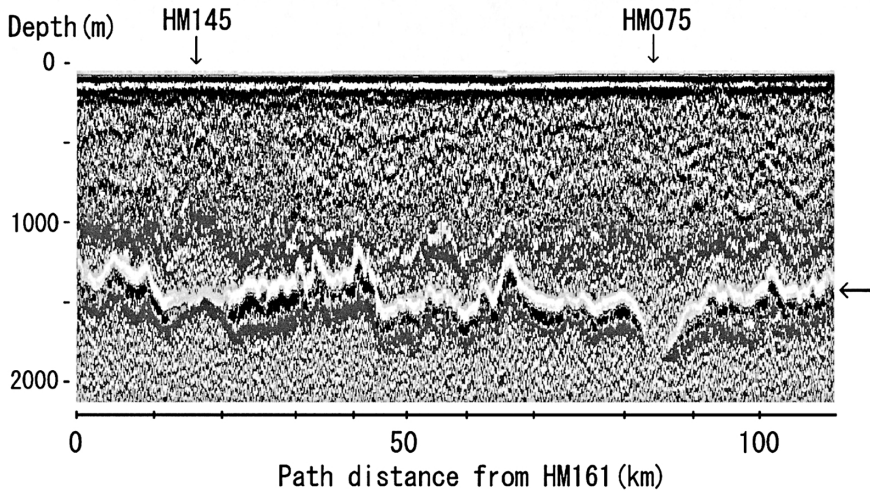


図4 氷床からのエコー連続記録。横軸はHM161からの距離、縦軸は氷床表面からの深さである。図中の矢印は基盤層上面からのエコーを示す。

Fig. 4. A continuous chart of the observed radio echo along the profile. The vertical axis indicates the depth from the ice sheet surface. The horizontal axis shows the distance from HM161 with the location codes. The arrow in the figure indicates an echo reflected from the bedrock surface.

推定する。電波の往復所要時間を t (s), 電波の伝播速度を v (m/s) とすると, 氷床厚 d (m) は,

$$d = vt/2 \text{ (m)}, \quad (1)$$

となる。ただし, 氷床中を通過する電波の速度は, 真空中を通過するときに比べて遅くなる。水の屈折率を n , 真空中の電波の速度を c (3×10^8 m/s) とすると,

$$v = c/n \text{ (m/s)}, \quad (2)$$

が成り立つので, 氷床厚は, 式(1), (2) から,

$$d = ct/2n \text{ (m)}, \quad (3)$$

で与えられる。

送受信アンテナ間距離を変化させて観測すると, 氷床内の伝播速度を実測可能である(松岡ら, 1997)。だが, この測定は, 技術的に困難であること, 時間的制約などの理由から, 今回の観測では, 伝播速度を求める測定を行わなかった。そのため, 本報告では, 探査測線直下の氷床は純水であると仮定し, -8.7°C における純水の屈折率(=1.78)を用いて, 氷床厚を求めた。なお, アイスレーダーの距離分解能は, 使用するパルス幅を τ (s), 電波の伝播速度を v (m/s) とすると, $\tau v/2$ (m) なので, 今回の観測では約 84 m である。

これまで, 日本南極地域観測隊ではアイスレーダーを用いた氷床厚測定が行われている(たとえば Maeno *et al.*, 1994)。今回のデータ解析では, 深度約 2000 m までの基盤エコーを検出する前野氏の氷厚自動検出プログラムを使用した。このプログラムを適用し, 観測されるエコーの中から, 最深部のエコーのピークを検出して, 氷床厚を求めた。その結果, ノイ

ズなどの理由から、基盤からの反射波を読み取れなかった領域や、基盤からのエコー強度が小さいため基盤と異なる層からのエコーが基盤と判断された領域があった。これらの領域については、エコー強度分布(図5)から、直接、最深部からのエコーのピークを判別して氷床厚を決定した。しかしながら、HM075付近では、基盤からのエコーの減衰が大きく、検出することができなかった。

エコーの減衰の要因として、以下の2つが考えられる。ひとつは、これまでの研究(Mac, 1978)で指摘されているように、氷床と基盤の間に水が存在している場合である。また、エコー強度が弱まっている区間は、地震波の走時解析から推定された基盤構造において、基盤の起伏が急激に変化している区間に対応していることが指摘されている(Miyamachi *et al.*, 2003b)。したがって、ふたつ目の原因として、基盤の傾斜が急なため、レーダー反射波が、十分な強度のエコーとして受信方向に戻ってこなかった可能性が考えられる。ただし、今回の測定結果が、どちらの原因であるかは明らかではない。

得られた氷床厚の結果を表3および図6に示す。表3において、人工地震探査の各観測点下の氷床厚は、各観測点の通過時刻が含まれている波形データから得たものである。観測点の座標値は、別途実施されたGPS測量から得た値(WGS-84系)で、標高は海拔高度ではな

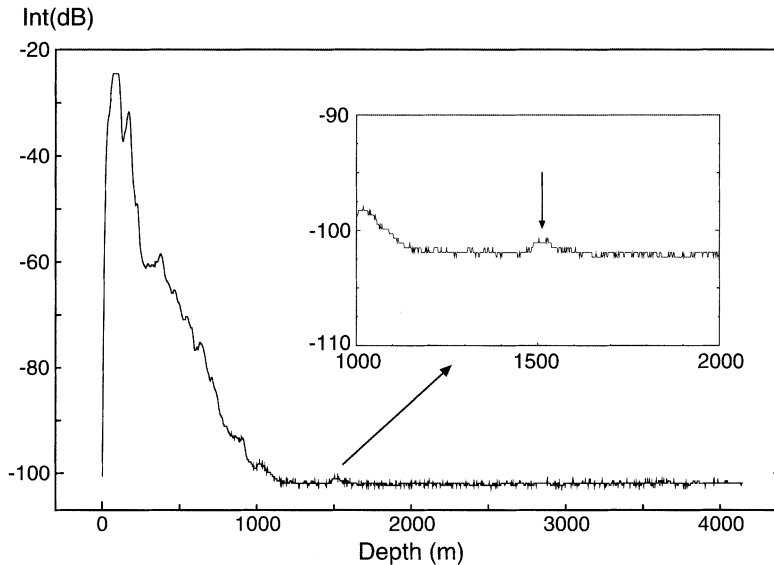


図5 HM145付近でのエコー強度の分布。横軸は、氷床面からの深さ、縦軸は、エコーの強度を示す。図中右上は、深さ1500m付近のエコーの拡大図で、矢印は基盤からのエコーを示す。

Fig. 5. A distribution chart of the radio echo observed at HM145. The vertical axis shows the intensity of the echo. The horizontal axis indicates the depth from the ice sheet surface. The inset shows the echo enlarged around a depth of 1500 m, where the arrow shows an echo from the bedrock surface.

表3 アイスレーダーによる測定結果

Table 3. Results of the radio echo sounding survey.

Distance from HM161 (km)	Location Code	Latitude (South) (degree)	Longitude (East) (degree)	Altitude (m)	Thickness of Ice sheet(m)	Altitude of Bedrock(m)
0	HM161	68.8531	42.9369	1339	1398	-59
(0.50)					1398	
1.01	HM160	68.8613	42.9262	1344	1404	-60
(1.51)					1433	
2.01	HM159	68.8694	42.9155	1345	1437	-91
(2.51)					1428	
3.01	HM158	68.8775	42.9048	1346	1393	-47
(3.51)					1352	
4.02	HM157	68.8856	42.8941	1351	1333	18
(4.52)					1306	
5.02	HM156	68.8937	42.8834	1358	1335	23
(5.52)					1364	
6.02	HM155	68.9019	42.8727	1363	1391	-28
(6.52)					1410	
7.02	HM154	68.91	42.8621	1362	1403	-41
(7.52)					1398	
8.03	HM153	68.9181	42.8513	1363	1408	-45
(8.53)					1389	
9.03	HM152	68.9262	42.8406	1376	1376	0
(9.53)					1345	
10.04	HM151	68.9344	42.8298	1385	1442	-57
(10.54)					1502	
11.04	HM150	68.9425	42.8191	1385	1506	-121
(11.54)					1540	
12.04	HM149	68.9506	42.8084	1380	1560	-180
(12.54)					1545	
13.04	HM148	68.9587	42.7975	1380	1528	-148
(13.54)					1539	
14.05	HM147	68.9668	42.7868	1395	1523	-128
(14.55)					1516	
15.05	HM146	68.9749	42.7759	1405	1537	-132
(15.55)					1523	
16.05	HM145	68.9831	42.7651	1413	1518	-105
(16.55)					1515	
17.06	HM144	68.9912	42.7543	1418	1485	-67
(17.56)					1486	
18.06	HM143	68.9993	42.7435	1426	1509	-83
(18.56)					1531	
19.06	HM142	69.0074	42.7327	1433	1516	-83

表3 続き
Table 3. Continued.

Distance from HM161 (km)	Location Code	Latitude (South) (degree)	Longitude (East) (degree)	Altitude (m)	Thickness of Ice sheet(m)	Altitude of Bedrock(m)
(19.56)					1516	
20.07	HM141	69.0155	42.7219	1438	1516	-78
(20.57)					1543	
21.07	HM140	69.0236	42.7111	1444	1531	-87
(21.57)					1533	
22.07	HM139	69.0317	42.7001	1445	1508	-63
(22.57)					1484	
23.08	HM138	69.0399	42.6893	1448	1474	-26
(23.58)					1464	
24.08	HM137	69.048	42.6785	1454	1464	-10
(24.58)					1477	
25.08	HM136	69.056	42.6676	1458	1482	-24
(25.58)					1450	
26.08	HM135	69.0642	42.6567	1459	1506	-47
(26.58)					1482	
27.09	HM134	69.0723	42.6458	1461	1477	-16
(27.59)					1438	
28.09	HM133	69.0804	42.635	1464	1453	11
(28.59)					1469	
29.10	HM132	69.0886	42.6241	1468	1455	13
(29.60)					1431	
30.10	HM131	69.0967	42.6132	1474	1399	75
(30.60)					1372	
31.11	HM130	69.1048	42.6023	1481	1460	21
(31.61)					1443	
32.11	HM129	69.1129	42.5913	1477	1423	54
(32.61)					1224	
33.11	HM128	69.1209	42.5804	1483	1273	210
(33.61)					1315	
34.12	HM127	69.1291	42.5694	1492	1359	133
(34.62)					1352	
35.12	HM126	69.1372	42.5585	1494	1421	73
(35.62)					1425	
36.12	HM125	69.1453	42.5476	1495	1435	60
(36.62)					1418	
37.12	HM124	69.1534	42.5367	1498	1423	75
(37.62)					1433	
38.13	HM123	69.1615	42.5257	1498	1403	95
(38.63)					1386	
39.13	HM122	69.1696	42.5146	1498	1404	94
(39.63)					1389	

表3 続き
Table 3. Continued.

Distance from HM161 (km)	Location Code	Latitude (South) (degree)	Longitude (East) (degree)	Altitude (m)	Thickness of Ice sheet(m)	Altitude of Bedrock(m)
40.13	HM121	69.1777	42.5037	1500	1339	161
(40.63)					1270	
41.13	HM120	69.1857	42.4926	1505	1246	259
(41.63)					1269	
42.14	HM119	69.1939	42.4817	1507	1359	148
(42.64)					1328	
43.14	HM118	69.202	42.4706	1511	1332	179
(43.64)					1361	
44.14	HM117	69.21	42.4596	1519	1361	158
(44.64)					1440	
45.15	HM116	69.2182	42.4486	1521	1575	-54
(45.65)					1617	
46.16	HM115	69.2263	42.4375	1521	1621	-100
(46.66)					1625	
47.16	HM114	69.2344	42.4265	1522	1619	-97
(47.66)					1606	
48.16	HM113	69.2424	42.4154	1524	1624	-100
(48.66)					1587	
49.16	HM112	69.2505	42.4044	1526	1570	-44
(49.66)					1599	
50.17	HM111	69.2586	42.3933	1526	1573	-47
(50.67)					1577	
51.17	HM110	69.2667	42.3823	1527	1592	-65
(51.67)					1570	
52.17	HM109	69.2748	42.3712	1527	1585	-58
(52.67)					1543	
53.18	HM108	69.2829	42.3601	1531	1514	17
(53.68)					1465	
54.18	HM107	69.291	42.349	1537	1531	6
(54.68)					1516	
55.18	HM106	69.2991	42.3379	1540	1541	-1
(55.68)					1536	
56.18	HM105	69.3072	42.3268	1541	1521	20
(56.68)					1494	
57.18	HM104	69.3152	42.3158	1542	1531	11
(57.69)					1557	
58.20	HM103	69.3233	42.3042	1542	1567	-25
(58.70)					1609	
59.20	HM102	69.3314	42.2933	1544	1633	-89
(59.70)					1633	
60.20	HM101	69.3395	42.2822	1544	1636	-92

表3 続き
Table 3. Continued.

Distance from HM161 (km)	Location Code	Latitude (South) (degree)	Longitude (East) (degree)	Altitude (m)	Thickness of Ice sheet(m)	Altitude of Bedrock(m)
(60.70)					1628	
61.21	HM100	69.3477	42.271	1545	1599	-54
(61.71)					1588	
62.21	HM099	69.3558	42.2599	1545	1547	-2
(62.71)					1453	
63.22	HM098	69.3638	42.2487	1548	1484	64
(63.72)					1511	
64.22	HM097	69.3719	42.2375	1547	1555	-8
(64.72)					1519	
65.22	HM096	69.38	42.2263	1542	1443	99
(65.72)					1345	
66.23	HM095	69.3881	42.2151	1542	1320	222
(66.73)					1308	
67.23	HM094	69.3962	42.2039	1543	1320	223
(67.73)					1442	
68.23	HM093	69.4043	42.1927	1539	1443	96
(68.73)					1486	
69.24	HM092	69.4123	42.1815	1535	1523	12
(69.74)					1504	
70.24	HM091	69.4204	42.1702	1533	1543	-10
(70.74)					1560	
71.24	HM090	69.4285	42.159	1534	1531	3
(71.74)					1582	
72.24	HM089	69.4365	42.1478	1535	1582	-47
(72.74)					1592	
73.25	HM088	69.4446	42.1365	1538	1587	-49
(73.75)					1531	
74.25	HM087	69.4527	42.1252	1539	1531	8
(74.75)					1570	
75.25	HM086	69.4608	42.114	1541	1543	-2
(75.75)					1541	
76.26	HM085	69.4688	42.1027	1541	1545	-4
(76.76)					1589	
77.26	HM084	69.4769	42.0913	1543	1592	-49
(77.76)					1611	
78.26	HM083	69.485	42.08	1543	1589	-46
(78.76)					1573	
79.27	HM082	69.493	42.0687	1543	1573	-30
(79.77)					1558	
80.27	HM081	69.5011	42.0574	1543	1526	17
(80.77)					1541	

表3 続き
Table 3. Continued.

Distance from HM161 (km)	Location Code	Latitude (South) (degree)	Longitude (East) (degree)	Altitude (m)	Thickness of Ice sheet(m)	Altitude of Bedrock(m)
81.28	HM080	69.5092	42.046	1542	1533	9
(81.78)					1540	
82.28	HM079	69.5173	42.0347	1541	1572	-31
(82.78)					1597	
83.29	HM078	69.5254	42.0233	1540	1629	-89
(83.79)					1697	
84.29	HM077	69.5334	42.0119	1538	-	
84.79	HM076	69.5374	42.0064	1539	-	
85.29	HM075	69.5415	42.0006	1539	-	
85.79	HM074	69.5455	41.9949	1542	-	
86.30	HM073	69.5496	41.9893	1544	-	
86.79	HM072	69.5536	41.9835	1547	1834	-287
87.30	HM071	69.5576	41.9778	1550	1817	-267
87.80	HM070	69.5616	41.9722	1552	1776	-224
88.30	HM069	69.5657	41.9664	1553	1730	-177
88.80	HM068	69.5697	41.9607	1554	1688	-134
89.30	HM067	69.5736	41.9544	1553	1648	-95
89.80	HM066	69.5778	41.9494	1552	1622	-70
90.30	HM065	69.5817	41.9437	1550	1611	-61
90.80	HM064	69.5858	41.9379	1551	1602	-51
91.31	HM063	69.5899	41.9322	1550	1580	-30
91.81	HM062	69.5939	41.9263	1550	1551	-1
92.31	HM061	69.5979	41.9207	1547	1491	56
92.81	HM060	69.6019	41.915	1547	1486	61
93.31	HM059	69.6059	41.9093	1547	1528	19
93.81	HM058	69.61	41.9036	1547	1536	11
94.31	HM057	69.614	41.8979	1547	1535	12
(94.81)					1496	
95.32	HM056	69.6221	41.8863	1547	1516	31
(95.82)					1526	
96.33	HM055	69.6302	41.8748	1544	1533	11
(96.83)					1545	
97.33	HM054	69.6382	41.8635	1545	1506	39
(97.83)					1553	
98.33	HM053	69.6462	41.8519	1547	1540	7
(98.83)					1502	
99.34	HM052	69.6543	41.8405	1549	1492	57
(99.84)					1486	
100.34	HM051	69.6624	41.8289	1547	1464	83
(100.84)					1462	
101.34	HM050	69.6704	41.8174	1547	1388	159

表3 続き
Table 3. Continued.

Distance from HM161 (km)	Location Code	Latitude (South) (degree)	Longitude (East) (degree)	Altitude (m)	Thickness of Ice sheet(m)	Altitude of Bedrock(m)
(101.84)					1415	
102.35	HM049	69.6785	41.8061	1545	1452	93
(102.85)					1470	
103.35	HM048	69.6866	41.7944	1541	1494	47
(103.85)					1528	
104.36	HM047	69.6947	41.7829	1537	1470	67
(104.86)					1494	
105.36	HM046	69.7027	41.7715	1534	1506	28
(105.86)					1533	
106.36	HM045	69.7107	41.7598	1531	1508	23
(106.86)					1491	
107.37	HM044	69.7188	41.7483	1529	1453	76
(107.87)					1489	
108.37	HM043	69.7268	41.7366	1525	1482	43
(108.87)					1462	
109.37	HM042	69.7349	41.725	1521	1411	110

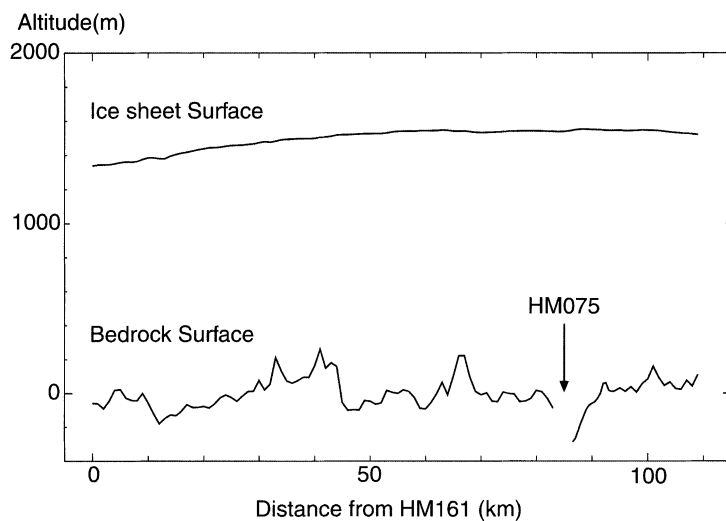


図6 氷床面及び基盤の標高分布. 横軸は HM161 からの距離, 縦軸は標高 (WGS-84 系橢円体高) を示す.

Fig. 6. Altitude distributions of the ice sheet surface and the bedrock surface. The altitude is the height from the normal ellipsoid in the WGS-84 system.

く、楕円体高である。また、HM161 からの距離にカッコがつけられている点は、探査測線のルート工作时に設置された旗竿の地点であり、隣接する観測点のほぼ中間である。これらの詳細は、宮町ら (2003a) に記述されている。得られた氷床厚の結果から、HM073 から HM077 を除いた HM161 から HM042 までの区間の平均的氷厚は 1496 m であり、この区間における基盤層上面の平均楕円体高は -6 m であることがわかった。また、基盤層上面の起伏の変化が見られ、特に、みずほルートと交差する付近 (HM075 付近) では、急激な谷地形であると推定される。

5. ま と め

人工地震探査測線上の約 109 km の区間 (HM161 から HM042) で、アイスレーダー測定を実施し、良好な氷床厚データを収録することができた。得られたデータを利用することによって、地震探査の速度構造解析 (例えば、地震波の走時補正) および重力解析 (例えば、ブーゲー異常の計算) に対して、重要な情報を提供することができる。

謝 辞

アイスレーダー観測のために、国内準備、S16 での立ち上げなどで、多くの方々から支援を頂いた。石崎教夫隊員 (43 次越冬)、高橋康博隊員 (43 次夏隊)、中野浩司隊員 (43 次越冬)、中村俊宏隊員 (43 次越冬)、柳澤盛雄隊員 (42 次越冬)、吉田 望隊員 (43 次越冬)、前野英生博士 (通総研)、松岡健一博士 (地球研)、金尾政紀博士 (極地研)、古川晶雄博士 (極地研) にも、お世話になった。特に、前野氏からは、解析プログラムの提供、アドバイスなど、絶大なる支援を頂いた。

文 献

- 神山孝吉 (1995): 極域の雪氷観測・解析技術に関する研究小集会報告。南極資料, **39**, 68-73.
- 金尾政紀 (2001): 東南極盾状地からみた大陸進化形成史—「SEAL 計画」におけるジオトランセクトの概要と意義—。東京大学地震研究所彙報, **76**, 3-12.
- Mae, S. (1978): The bedrock topography deduced from multiple rader echoes observed in the Mizuho Plateau, East Antarctica. Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.), **61**, 23-31.
- Maeno, H., Kamiyama, K., Furukawa, T., Watanabe, O., Naruse, R., Okamoto, K., Suitz, T. and Uratsuka, S. (1994): Using a mobile radio echo sounder to measure bedrock topography in East Queen Maud Land, Antarctica. Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol., **8**, 149-160.
- 松岡健一・白岩孝行・浦塚清峰・大井正行・前野英生・山口 悟・Muravyev, Y.D.・成瀬廉二・前 晋爾 (1997): ロシア連邦カムチャツカ半島のウシュコフスキー氷冠におけるアイスレーダ観測。雪氷, **59**, 257-262.
- 宮町宏樹・村上寛史・筒井智樹・戸田 茂・民田利明・柳澤盛雄 (2001): 東南極みずほ高原における屈折法地震探査実験—第 41 次夏期観測概要—。南極資料, **45**, 101-147.
- 宮町宏樹・戸田 茂・松島 健・高田真秀・高橋康博・神谷大輔・渡邊篤志・山下幹也・柳澤盛雄 (2003a): 東南極みずほ高原における屈折法および広角反射法地震探査—観測概要 (第 43 次夏隊報告)—。南極資料, **47**, 32-71.

- Miyamachi, H., Toda, S., Matsushima, T., Takada, M., Watanabe, A., Yamashita, M. and Kanao, M. (2003b): A refraction and wide-angle reflection seismic exploration in JARE-43 on the Mizuho Plateau, East Antarctica. *Polar Geosci.*, **16**, 1–21.
- Tsutsui, T., Murakami, H., Miyamachi, H., Toda, S. and Kanao, M. (2001): *P*-wave velocity structure of the ice sheet and the shallow crust beneath the Mizuho traverse route, East Antarctica, from seismic refraction analysis. *Polar Geosci.*, **14**, 195–211.