

第 41 次南極地域観測隊において実施された南極氷床上における GPS 観測

土井浩一郎¹・今栄直也¹・岩田尚能²・瀬尾徳常³

GPS observations on the Antarctic ice sheet conducted during JARE-41

Koichiro Doi¹, Naoya Imae¹, Naoyosi Iwata² and Noritsune Seo³

(2003 年 10 月 7 日受付; 2003 年 12 月 3 日受理)

Abstract: We conducted GPS observations at three sites on the Antarctic ice sheet during wintering of the 41st Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-41). The three sites are N7 (vicinity of coastline), Mizuho Station (260 km inland on the ice sheet), and YM175 (bare ice field near the Yamato Mountains). Continuous data for more than four days were obtained and velocity vectors were determined with reference to the Syowa International GPS Service for Geodynamics (IGS) site using a precise ephemeris. The obtained velocity at N7 was 1.5 cm/day and the direction was N60°W. At Mizuho Station, the observed velocity was 6 cm/day and the direction was N60°W. These values showed good agreement with previous observations by H. Motoyama *et al.* (Nankyoku Shiryô, 39, 94, 1995). At YM175, continuous observation for more than 10 days was carried out; observed vertical and lateral displacements were about 1 cm. The considerable upward displacement as well as the small lateral displacement supports the meteorite accumulation hypothesis for the Yamato Mountains region.

要旨: 第 41 次南極地域観測隊における越冬期間中に、南極大陸氷床上の 3 点、すなわち、とつぎ岬付近の裸氷帯 N7、みずほ基地、やまと航空拠点 YM175 において GPS 観測を行い、各点の流動速度を求めた。N7 の移動速度は N60°W の方向に約 1.5 cm/day であった。みずほ基地の移動速度は N60°W の方向に約 6 cm/day という値であり、H. Motoyama *et al.* (Nankyoku Shiryô, 39, 94, 1995) が得た結果とよく一致している。YM175 では N71°W の方向へ 0.8 mm/day という水平方向の速度とともに、1.1 mm/day の上昇速度という結果を得た。この上昇運動はやまと山脈地域において提案されている隕石集積機構を支持するものである。

¹ 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

² 山形大学理学部. Faculty of Science, Yamagata University, 1-4-12, Kojirakawa-machi, Yamagata 990-8560.

³ 海上保安庁海洋情報部. Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard, Tsukiji, Chuo-ku, Tokyo 104-0045.

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴う海面上昇の可能性が指摘されており、検潮や衛星高度計による海面高度変化の観測が強化され、長期間のデータとして蓄積されつつある。一方、大陸氷床の増減についての情報は地球温暖化に伴う海面上昇量の予測を行う上での重要なファクターであるが、大陸氷床が常に流動していることもあり、ある点での標高変化から氷床の厚さの変化を長期間にわたって計測することは容易ではない。

合成開口レーダー (synthetic aperture radar: SAR) や高度計といった人工衛星や航空機を用いたリモートセンシング技術による高度計測方法は南極域のように広大でアクセスの困難な地域を観測するには極めて有効であるが、これまでのところ、沿岸域を除いて (例えば、小澤ら, 2000), それだけで十分に信頼性のあるデータが得られていないのも事実である。このため、地上で観測されたデータはその点での氷床の流動や高度変化のデータを与えるだけでなく、リモートセンシングデータの検証にも使うことができる。

第 41 次南極地域観測隊 (以後第 41 次隊と略記) では、沿岸および内陸の南極氷床上の 3 点において global positioning system (GPS) 観測を行った。氷床上での GPS 観測は氷床が常に移動しているために、全く同じ座標位置での観測とはいえないが、将来、かつて測られた場所で再測することにより、氷床表面高度の変化を精度よく検出することが可能である。

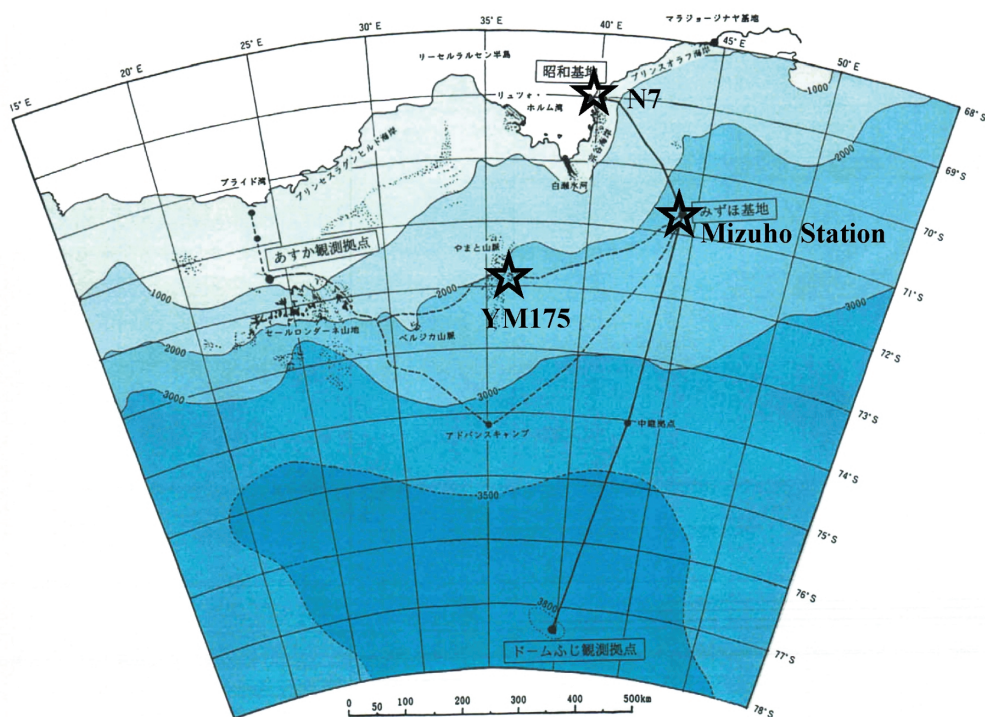
本稿では、第 41 次隊の越冬中に得られた GPS 観測の解析結果を示すとともに、検出された変動について報告する。

2. 観 測

GPS 観測を、とっつき岬—S16 ルート上の N7、みずほ基地 (Mizuho)、やまと航空拠点 (YM175) の計 3 ヶ所で行った。各点での観測を以下のように行った。1) 雪氷面に三脚を設置し、その上に GPS プレーンアンテナを取り付ける。2) 受信機 (Ashtech Z-FX) はバッテリーと一緒に毛布に包んで保温箱の中に入れ、アンテナケーブルを保温箱から出してアンテナに接続し観測を開始する。サンプリング間隔は 30 秒とし、elevation mask は 15° に設定した。3) 保温箱に雪が入らないように密閉する。状況によっては、三脚の脚をアイスアンカーなどに固定する。また、外気温に応じて、バッテリーの数を増やし、連続観測を続けられるようにした。なお、バッテリーは容量 100 AH–120 AH のシール型鉛蓄電池を用いた。

観測点を図 1 に示す。また、観測期間、位置 (緯度、経度、高さ) を表 1 に示す。

N7 はとっつき岬付近の裸氷帯にあり、海岸から約 1.5 km 内陸の地点に位置する。N7 での観測は、第 41 次隊で実施された宇宙塵採集 (Iwata and Imae, 2002) の際に、4 月、8 月、9 月の計 3 回同じ場所で行った。このため、N7 ではアンテナを 2 度置きなおしているが、目印をつけたアイスアンカーを氷床中に埋め込み、同じ場所に置けるように工夫した。図 2 に N7 での観測の様子を示す。



☆ GPS observation site

図 1 観測点位置

Fig. 1. Location of the observation sites.

表 1 各観測点の位置と観測期間

Table 1. Coordinates and observation period of each site.

Observation site	N7	Mizuho Station	YM175
Latitude (S)	68°55'18"	70°42'2"	71°44'21"
Longitude (E)	39°51'1"	44°17'5"	35°54'43"
Height (m)	158.73	2248.35	2157.10
Observation date	2000.4.27-5.1	2000.9.20-9.24	2000.11.20-12.4
	2000.8.14-8.18		2000.12.12-12.16
	2000.9.18-9.19		

みずほ基地での観測は 2000 年 9 月のみずほ旅行に同行した際に実施した。みずほ基地には 9 月 20 日から 24 日までの約 4 日間滞在し、その期間連続観測を行った。図 3 に観測の様子を示す。みずほ基地滞在中、外気温は -35°C \sim 50°C であり、寒さによるバッテリーの消耗を考慮して、2 個並列につないで保温箱に格納し、1 日 1 個のバッテリーを交換した。

やまと航空拠点での観測は、第 41 次隊越冬後半の隕石探査 (Imae *et al.*, 2002) の際に実施

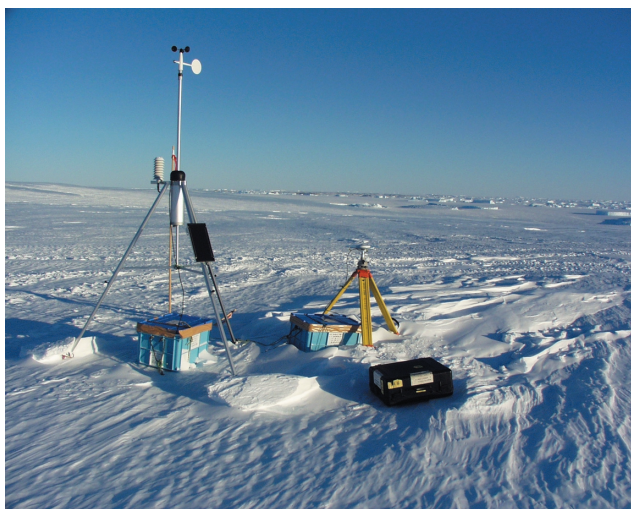


図 2 N7 での観測の様子
Fig. 2. Observation at N7.

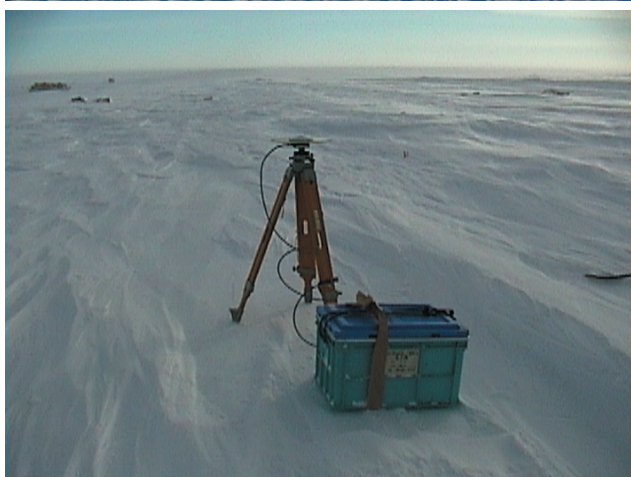


図 3 みずほ基地での観測の様子
Fig. 3. Observation at Mizuho Station.

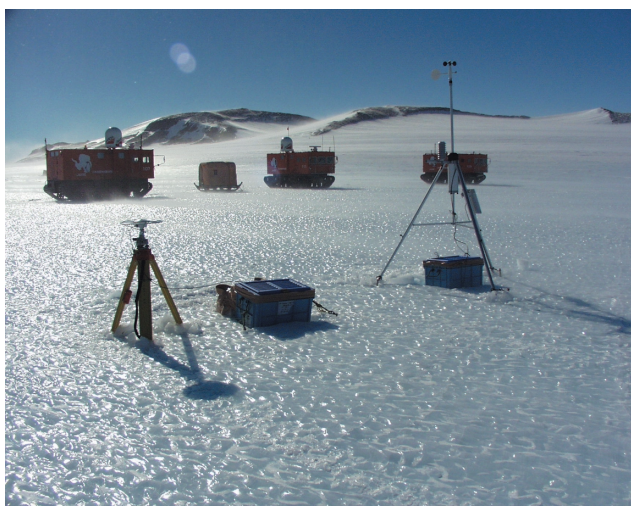


図 4 YM175 での観測の様子
Fig. 4. Observation at YM175.

した。やまと山脈での GPS による精密な氷床速度の測定は今回が初めてである。やまと山脈裸氷帯一帯は、隕石が数多く発見される場所として知られており、主なものだけでも 8 回の隕石探査が行われている。やまと航空拠点での観測は、図 4 にあるように、三脚の一部を裸氷の中に埋め込んで凍らせることにより表面での昇華の影響をなるべく抑え、氷床の動きをより正確に捉えられるように工夫した。

3. 基線解析

解析には基線解析ソフトウェア GPSurvey Ver. 2.35 (Trimble 社) を用い、昭和基地 IGS (International GPS Service for Geodynamics) 点 (SYOG) を基準点とした干渉解析を行った。解析には NGS (National Geodetic Survey) の Web サイト (<http://www.ngs.noaa.gov/GPS/GPS.html>) からダウンロードした精密軌道暦を使用した。なお、大気による伝搬遅延は標準大気モデルを用いて自動的に補正される。

各点とも 1 日ごとのデータを用いて解を求め、1 日ごとの基線長と位置を得た。表 2 (1), (2), (3) に N7, みずほ基地, YM175 の基線解析の結果を示す。なお、座標系は WGS84 系であり、基準楕円体は WGS84 楕円体である。

4. 各観測点の位置変化について

図 5 (a), (b), (c), 図 6 (a), (b), (c), 図 7 (a), (b), (c) に各点の緯度方向, 経度方向, 高さ方向の変位を示す。表 3 に各点の緯度方向, 経度方向, 高さ方向の変化率 (変動速度) を示す。各変動速度は線形回帰により求めた。

4.1. N7

N7 の位置はほぼ N60°W の方向に約 1.5 cm/day の速度で移動している。これまで S16 で行われた GPS 観測 (Ootaki and Fujiwara, 1998; Motoyama *et al.*, 1995) では、西北西に約 1.3 cm/day という観測結果が得られており、それより北西約 20 km にある N7 では北向きの変動成分が大きくなり、移動速度もやや大きいことがわかる。

前述のように N7 では 1 年間で 3 度の観測が行われたが、各観測期間での変位速度を表 4 に示す。4 月末に行われた観測と 8 月中旬に行われた観測を比較すると、やや変動速度に差が見られるが、誤差の大きさから考えると実際に変化したとは考えにくい。なお、9 月中旬の観測は 2 日間しか行われず、2 個の解析結果しか得られていないので、誤差は示さない。

4.2. みずほ基地

みずほ基地については、N60°W へ 1 日約 6 cm (22.5 m/yr) の変動速度が得られた。みずほ基地は内陸旅行ルート of the 主要な通過点であり、これまでに何度か GPS による観測が実施さ

表 2 (1) N7-昭和基地間の 1 日ごとの基線解析結果
Table 2(1). Daily results of baseline analysis between N7 and Syowa Station.

Start Time (UT)	End Time (UT)	Period	Distance from SYOG		Distance from SYOG U-D comp. (S.D.)	Height from SYOG (S.D.)	Baseline Length (S.D.)	
			N-S comp. (S.D.)	E-W comp. (S.D.)			(m)	(cm)
Y M D H M S	Y M D H M S	H M S	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(cm)
00 04 27 00 00 30	00 04 27 23 59 00	23 58 30	9478.702 (0.021)	10698.505 (0.016)	91.679 (0.159)	107.653 (0.159)	14293.783 (0.018)	
00 04 28 00 00 30	00 04 28 23 59 00	23 58 30	9478.709 (0.033)	10698.492 (0.026)	91.678 (0.256)	107.653 (0.256)	14293.777 (0.028)	
00 04 29 00 00 30	00 04 29 23 59 00	23 58 30	9478.718 (0.021)	10698.477 (0.016)	91.677 (0.169)	107.652 (0.169)	14293.771 (0.019)	
00 04 30 00 00 30	00 04 30 23 59 00	23 58 30	9478.726 (0.025)	10698.466 (0.018)	91.673 (0.191)	107.648 (0.191)	14293.769 (0.021)	
00 05 01 00 00 30	00 05 01 06 17 30	06 17 00	9478.727 (0.048)	10698.457 (0.036)	91.694 (0.350)	107.669 (0.350)	14293.763 (0.042)	
00 08 14 12 17 30	00 08 14 23 59 00	11 41 30	9479.469 (0.027)	10697.099 (0.021)	91.712 (0.215)	107.686 (0.215)	14293.239 (0.024)	
00 08 15 00 00 30	00 08 15 23 59 00	23 58 30	9479.475 (0.020)	10697.09 (0.015)	91.715 (0.158)	107.689 (0.158)	14293.236 (0.017)	
00 08 16 00 00 30	00 08 16 23 59 00	23 58 30	9479.48 (0.023)	10697.078 (0.018)	91.713 (0.176)	107.687 (0.176)	14293.23 (0.020)	
00 08 17 00 00 30	00 08 17 23 59 00	23 58 30	9479.488 (0.019)	10697.064 (0.015)	91.718 (0.152)	107.691 (0.152)	14293.225 (0.016)	
00 08 18 00 00 30	00 08 18 10 24 00	10 23 30	9479.492 (0.023)	10697.055 (0.019)	91.719 (0.194)	107.692 (0.194)	14293.221 (0.021)	
00 09 18 09 48 00	00 09 18 23 59 00	14 11 00	9479.71 (0.027)	10696.667 (0.020)	91.729 (0.209)	107.703 (0.209)	14293.075 (0.023)	
00 09 19 00 00 30	00 09 19 16 23 30	16 23 00	9479.714 (0.025)	10696.66 (0.020)	91.735 (0.201)	107.708 (0.201)	14293.072 (0.023)	

SYOG: Syowa IGS site

表 2 (2) みずほ基地-昭和基地間の 1 日ごとの基線解析結果
Table 2(2). Daily results of baseline analysis between Mizuho Station and Syowa Station.

Start Time (UT)	End Time (UT)	Period	Distance from SYOG		Distance from SYOG U-D comp. (S.D.)	Height from SYOG (S.D.)	Baseline Length (S.D.)	
			N-S comp. (S.D.)	E-W comp. (S.D.)			(m)	(cm)
Y M D H M S	Y M D H M S	H M S	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(cm)
00 09 20 14 56 00	00 09 20 23 59 00	9 03 00	-195604.181 (0.136)	173336.325 (0.148)	-3145.424 (0.791)	2196.251 (0.791)	261374.006 (0.170)	
00 09 21 00 00 30	00 09 21 23 59 00	23 58 30	-195604.154 (0.080)	173336.325 (0.067)	-3145.411 (0.552)	2196.263 (0.553)	261373.986 (0.075)	
00 09 22 00 00 30	00 09 22 23 59 00	23 58 30	-195604.146 (0.038)	173336.26 (0.052)	-3145.48 (0.214)	2196.193 (0.214)	261373.937 (0.046)	
00 09 23 00 00 30	00 09 23 23 59 00	23 58 30	-195604.105 (0.043)	173336.203 (0.062)	-3145.474 (0.245)	2196.195 (0.245)	261373.869 (0.054)	
00 09 24 00 00 30	00 09 24 14 05 00	14 04 30	-195604.077 (0.097)	173336.178 (0.079)	-3145.446 (0.759)	2196.222 (0.759)	261373.831 (0.086)	

SYOG: Syowa IGS site

表 2 (3) YM175-昭和基地間の 1 日ごとの基線解析結果
 Table 2(3). Daily results of baseline analysis between YM175 and Syowa Station.

Start Time (UT)	End Time (UT)	Period	Distance from SYOG		Distance from SYOG		Distance from SYOG		Height from SYOG (S.D.)	Baseline Length (S.D.)	
			N-S comp. (S.D.)	(m)	E-W comp. (S.D.)	(m)	U-D comp. (S.D.)	(m)		(m)	(cm)
Y M D H M S	Y M D H M S	H M S									
00 11 21 00 00 3	00 11 21 23 59 0	23 58 30	-308659.633 (0.076)	-128416.877 (0.077)	-128416.877 (0.077)	-6638.252 (0.265)	2106.01 (0.265)	334373.638 (0.084)			
00 11 22 00 00 3	00 11 22 23 59 0	23 58 30	-308659.634 (0.108)	-128416.871 (0.109)	-128416.871 (0.109)	-6638.232 (0.390)	2106.031 (0.390)	334373.636 (0.119)			
00 11 23 00 00 3	00 11 23 23 59 0	23 58 30	-308659.632 (0.073)	-128416.876 (0.073)	-128416.876 (0.073)	-6638.246 (0.270)	2106.017 (0.270)	334373.636 (0.079)			
00 11 24 00 00 3	00 11 24 23 59 0	23 58 30	-308659.63 (0.074)	-128416.877 (0.075)	-128416.877 (0.075)	-6638.233 (0.271)	2106.029 (0.271)	334373.634 (0.083)			
00 11 25 00 00 3	00 11 25 23 59 0	23 58 30	-308659.635 (0.096)	-128416.879 (0.099)	-128416.879 (0.099)	-6638.238 (0.368)	2106.025 (0.367)	334373.64 (0.105)			
00 11 26 00 00 3	00 11 26 23 59 0	23 58 30	-308659.63 (0.081)	-128416.88 (0.076)	-128416.88 (0.076)	-6638.238 (0.291)	2106.025 (0.290)	334373.636 (0.088)			
00 11 27 00 00 3	00 11 27 23 59 0	23 58 30	-308659.629 (0.089)	-128416.88 (0.093)	-128416.88 (0.093)	-6638.25 (0.331)	2106.012 (0.331)	334373.636 (0.097)			
00 11 28 00 00 3	00 11 28 23 59 0	23 58 30	-308659.65 (0.142)	-128416.893 (0.148)	-128416.893 (0.148)	-6638.277 (0.508)	2105.987 (0.507)	334373.661 (0.160)			
00 11 29 00 00 3	00 11 29 23 59 0	23 58 30	-308659.625 (0.134)	-128416.864 (0.135)	-128416.864 (0.135)	-6638.204 (0.463)	2106.058 (0.463)	334373.625 (0.142)			
00 11 30 00 00 3	00 11 30 23 59 0	23 58 30	-308659.639 (0.133)	-128416.866 (0.068)	-128416.866 (0.068)	-6638.299 (0.521)	2105.964 (0.522)	334373.64 (0.136)			
00 12 01 00 00 3	00 12 01 10 28 3	10 28 00	-308659.627 (0.277)	-128416.909 (0.116)	-128416.909 (0.116)	-6638.215 (0.981)	2106.048 (0.983)	334373.644 (0.283)			
00 12 01 10 43 3	00 12 01 23 59 0	13 15 30	-308659.616 (0.223)	-128416.851 (0.097)	-128416.851 (0.097)	-6638.241 (0.877)	2106.02 (0.879)	334373.612 (0.223)			
00 12 02 00 00 3	00 12 02 23 59 0	23 58 30	-308659.641 (0.199)	-128416.892 (0.084)	-128416.892 (0.084)	-6638.247 (0.776)	2106.016 (0.778)	334373.651 (0.202)			
00 12 03 00 00 3	00 12 03 23 59 0	23 58 30	-308659.639 (0.086)	-128416.886 (0.053)	-128416.886 (0.053)	-6638.239 (0.337)	2106.024 (0.337)	334373.647 (0.088)			
00 12 04 00 00 3	00 12 04 09 18 3	09 18 00	-308659.63 (0.150)	-128416.882 (0.174)	-128416.882 (0.174)	-6638.231 (0.524)	2106.031 (0.524)	334373.636 (0.169)			
00 12 14 00 00 3	00 12 14 23 59 0	23 58 30	-308659.627 (0.058)	-128416.889 (0.058)	-128416.889 (0.058)	-6638.23 (0.219)	2106.033 (0.219)	334373.637 (0.064)			
00 12 15 00 00 3	00 12 15 23 59 0	23 58 30	-308659.622 (0.128)	-128416.895 (0.060)	-128416.895 (0.060)	-6638.193 (0.481)	2106.069 (0.482)	334373.634 (0.131)			
00 12 16 00 00 3	00 12 16 04 34 3	04 34 00	-308659.628 (0.144)	-128416.889 (0.153)	-128416.889 (0.153)	-6638.192 (0.512)	2106.07 (0.510)	334373.636 (0.170)			

SYOG: Syowa IGS site

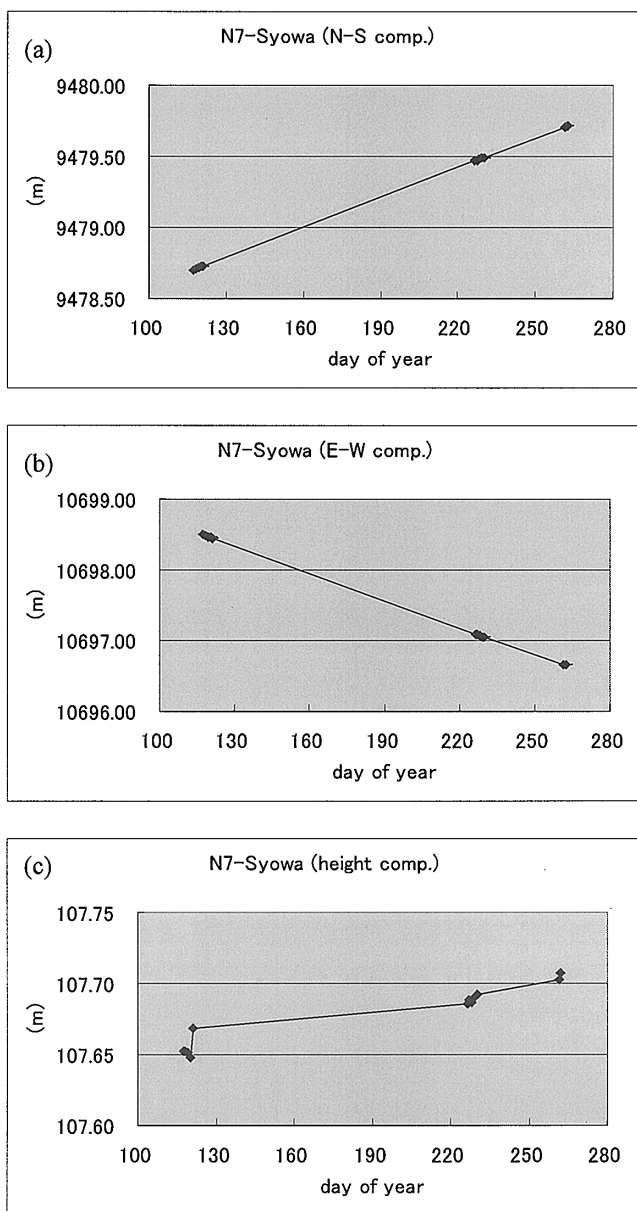


図 5 N7—昭和基地間の (a) 南北方向 (b) 東西方向 (c) 高さ方向の距離変化
 Fig. 5. Distance changes between N7 and Syowa Station. (a) N-S component, (b) E-W component, (c) Height component.

れている。例えば, Motoyama *et al.* (1995) が得た速度は約 22 m/yr (方向は N63°W) であり, 今回得られた結果とよく一致している。

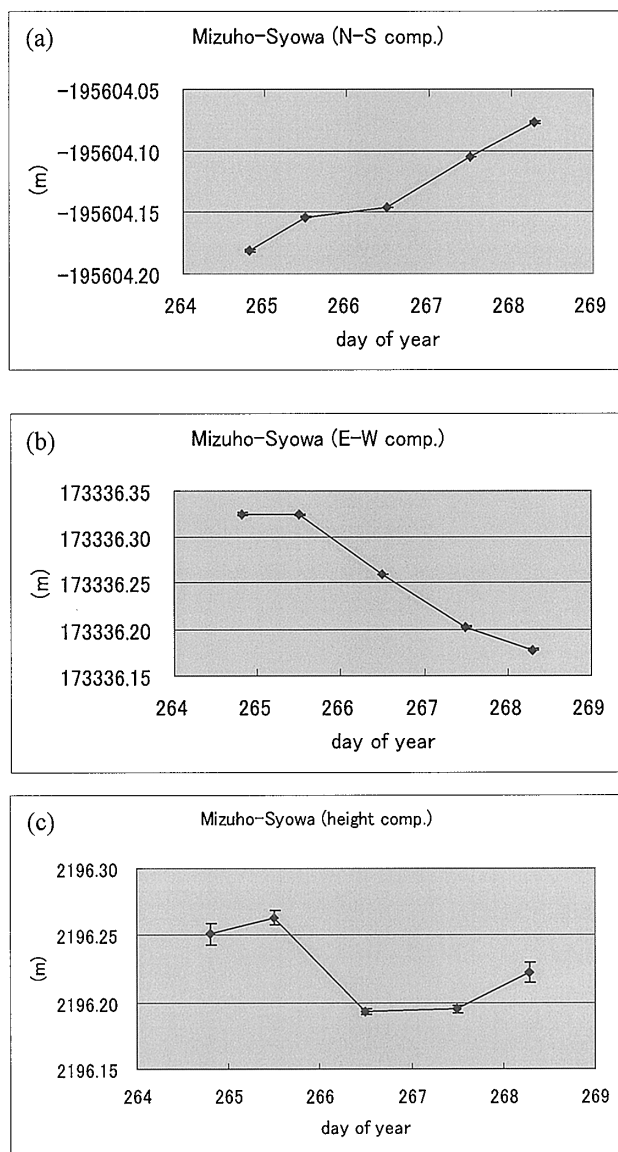


図 6 みずほ基地—昭和基地間の (a) 南北方向 (b) 東西方向 (c) 高さ方向の距離変化
 Fig. 6. Distance changes between Mizuho Station and Syowa Station. (a) N-S component, (b) E-W component, (c) Height component.

4.3. YM175 (やまと航空拠点)

YM175 は 0.8 mm/day の速さではぼ $N71^\circ W$ へ動いているが、年間に直しても約 30 cm であり、水平移動は殆どないことがわかる。一方、高さ方向にはやや上昇傾向が見られ、その大きさは 1.1 mm/day であった。同時期に実測された昇華量は 0.7 mm/day (Imae *et al.*, 2002)

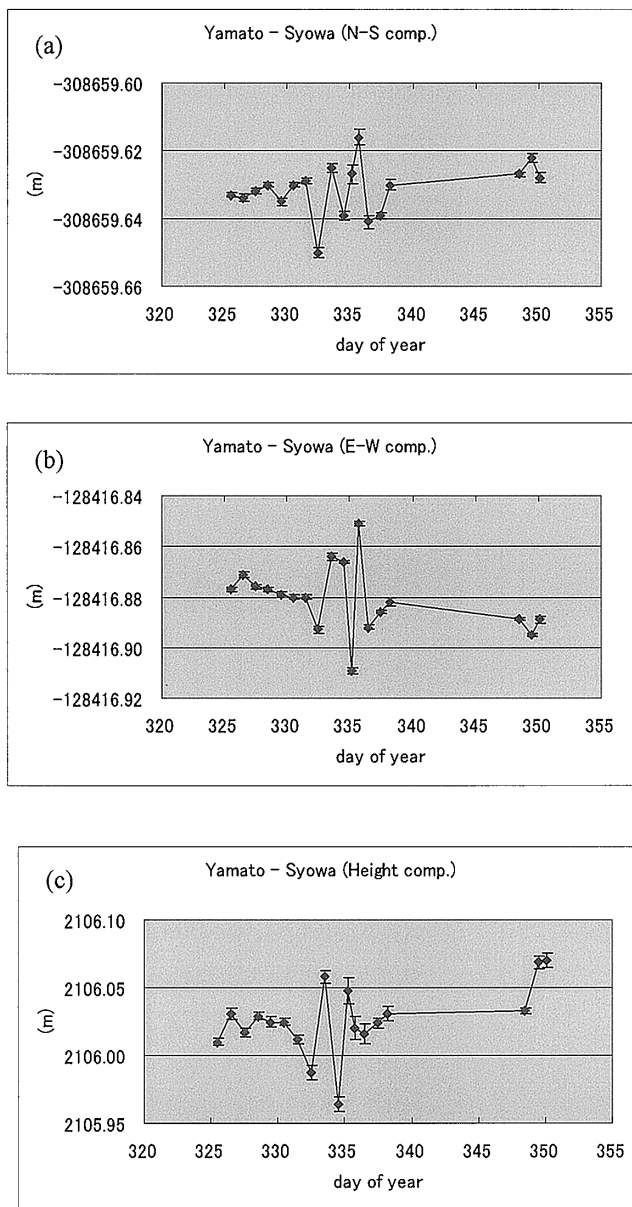


図 7 YM175—昭和基地間の (a) 南北方向 (b) 東西方向 (c) 高さ方向の距離変化
 Fig. 7. Distance changes between YM175 and Syowa Station. (a) N-S component, (b) E-W component, (c) Height component.

であり、上昇量と昇華量がほぼ釣り合っている。やまと山脈周辺は隕石が大量に見つかる地域であり、ここに隕石が数多く発見される理由として、氷床の流動がやまと山脈でせき止められ、氷床が上昇するものの、昇華量も多いため、氷床とともに運ばれてきた隕石だけがそ

表 3 各観測点の変位速度
Table 3. Displacement velocity at each site.

Site	Lat. comp. (cm/day)	Lon. comp. (cm/day)	Height comp. (cm/day)	Total (cm/day)	Baseline comp. (cm/day)
N7	0.700	-1.281	0.035	1.460	-0.495
R.M.S.E.	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000
Mizuho	3.026	-5.173	-1.496	6.177	-5.670
R.M.S.E.	0.031	0.031	0.197	0.202	0.032
YM175	0.025	-0.074	0.112	0.137	0.002
R.M.S.E.	0.003	0.002	0.010	0.011	0.003

表 4 N7 の各観測期間における変位速度
Table 4. Displacement velocity solutions at N7 for three epochs.

Period	Lat. Comp. (cm/day)	Lon. Comp. (cm/day)	Height comp. (cm/day)	Total (cm/day)	R.M.S.E. (cm/day)
Apr.27-May 01, 2000	0.774	-1.321	0.029	1.531	0.223
Aug.14-Aug.18, 2000	0.659	-1.285	0.148	1.452	0.069
Sep.18-Sep.19, 2000	0.627	-1.097	0.784	1.487	

こに取り残されるという隕石集積機構が考えられている (Nagata, 1978). その集積機構では、この地域での氷床の上昇が必要であるが、本測定結果はそれを支持すると考えられる。今回はわずか 1 点での GPS 観測であったが、複数点で繰り返し測定することにより、集積機構の解明につながる情報がさらに得られると思われる。

5. ま と め

氷床上の 3 点、すなわち、とっつき岬付近の N7、みずほ基地、YM175 で GPS 観測を行い、各点での変動速度を得た。これらのうち、N7、YM175 では初めて GPS 干渉測位により求めた変動速度である。

N7 では越冬中 3 度同じ場所で観測を行い、S16 において得られている流動速度よりもやや大きい値を得た。1 回目と 2 回目の観測で変動速度にわずかに差が見られるものの、誤差の範囲内であり、変動速度に季節変化があるのかどうか不明である。みずほ基地付近では、これまでにも GPS による干渉測位が行われており、Motoyama *et al.* (1995) で得られた結果とよく一致している。YM175 では水平位置はほとんど変化していないが、垂直方向で上昇傾向が見られ、同時期に観測された昇華量 (Imae *et al.*, 2002) とほぼ釣り合っていることから、Nagata (1978) により提案されている隕石集積機構を支持する結果と言える。

大陸氷床の増減を調べるには、同じ場所で測定する必要があるが、氷床は常に移動しており、同じ座標の場所で測定するのは容易ではない。しかし、流動方向や速度はほぼ一定であり、その移動先は予測可能であることから、例えば、100 m 四方ほどの範囲に GPS 受信機を

複数台配置し長期間観測領域が重なるような観測を行うことによって、ある位置の高度変化をモニターすることが可能であろう。

文 献

- Imae, N., Iwata, N. and Shimoda, Y. (2002): Search for Antarctic meteorites in the bare ice field around the Yamamoto Mountains by JARE-41. *Antarct. Meteorite Res.*, **15**, 1–24.
- Iwata, N. and Imae, N. (2002): Antarctic micrometeorite collection at a bare ice region near Syowa Station by JARE-41 in 2000. *Antarct. Meteorite Res.*, **15**, 25–37.
- Motoyama, H., Enomoto, H., Furukawa, T., Kamiyama, K., Shoji, H., Shiraiwa, T., Watanabe, K., Namasu, K. and Ikeda, H. (1995): Preliminary study of ice flow observation along traverse routes from coast to Dome Fuji, East Antarctica by differential GPS method. *Nankyoku Shiryô (Antarct. Rec.)*, **39**, 94–98.
- Nagata, T. (1978): A possible mechanism of concentration of meteorites within the meteorite ice field in Antarctica. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **8**, 70–92.
- Ootaki, O. and Fujiwara, S. (1998): Measurement of ice sheet movement at S16, East Antarctica using GPS. *Polar Geosci.*, **11**, 9–13.
- 小澤拓・土井浩一郎・澁谷和雄 (2000): JERS-1 の干渉合成開口レーダ法を用いた南極氷床流動・変形の検出. *測地学会誌*, **46**, 43–52.