

昭和基地周辺における南極氷床の流動測定  
—GPS 通年観測の結果から—新井直樹<sup>1\*</sup>・伊藤 実<sup>1</sup>・土井浩一郎<sup>2,3</sup>・青山雄一<sup>2,3</sup>Measurement of Antarctic ice sheet movements in vicinity of Syowa Station  
through one year of GPS observationsNaoki Arai<sup>1\*</sup>, Minoru Ito<sup>1</sup>, Koichiro Doi<sup>2,3</sup> and Yuichi Aoyama<sup>2,3</sup>

(2010年8月18日受付; 2010年9月4日受理)

**Abstract:** We conducted GPS observations on the Antarctic ice sheet in the vicinity of Syowa Station, during wintering of the 48th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-48). Continuous GPS data for about one year was obtained for the first time. The flow velocity of the ice sheet, as determined by GPS analysis was 5.1 m/year, or 14 mm/day, and the direction was WNW. The movement of the ice sheet was fairly constant and no seasonal variations in velocity were observed.

**要旨:** 第48次日本南極地域観測隊における越冬期間中に、昭和基地近傍の南極大陸氷床において連続GPS観測を行い、約1年間の観測データを初めて取得した。解析結果から得られた氷床の流動速度は、西北西の方向に5.1 m/year、14 mm/dayであった。観測期間中、測位点の速度はほぼ一定で、明らかな季節変動は認められなかった。

## 1. はじめに

南極大陸氷床の長期的な流動速度を求めるため、これまでも昭和基地近傍の氷床上でGPS観測が行われてきた。第38次日本南極地域観測隊(以下、第~次隊)では、南極大陸氷床上のS16において5日間のGPS観測を行い、西北西の方向に13 mm/day (4.7 m/year)の流動速度を得た(Ootakiほか, 1998)。また、第41次隊では、とつぎ岬付近の裸氷帯N7、みずほ基地及びびやまと航空拠点YM175において複数回のGPS観測を行い、各点の流動速度

<sup>1</sup> 独立行政法人電子航法研究所. Electronic Navigation Research Institute, 7-42-23 Jindaijihigashi-machi, Chofu, Tokyo 182-0012.

<sup>2</sup> 情報・システム研究機構国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Midori-cho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

<sup>3</sup> 総合研究大学院大学複合科学研究科極域科学専攻. Department of Polar Science, School of Multidisciplinary Studies, The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), Midori-cho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

\* Corresponding author. E-mail: naoki@enri.go.jp

を求めた（土井ほか，2004）．さらに，S16 付近では測地部門によって GPS 観測が夏期に繰り返し行われ，年単位での流動速度（西北西の方向に 5 m/year）が得られている（白井ほか，2009）．しかし観測の困難さから，昭和基地周辺の氷床上の定点において，夏期及び越冬期を通じた連続的な GPS 観測は行われてこなかった．そのため，氷床の流動速度の季節変動の有無については，明らかにされていない．

第 48 次隊では，S16 付近の P50 において連続 GPS 観測を行い，約 1 年間の観測データを初めて取得した．本稿では，氷床上での連続 GPS 観測の概要と，流動速度の解析結果について述べる．

## 2. 観 測

観測点は，とっつき岬—S16 ルート上の P50 とした（図 1）．このポイントでは，気象部門（気象庁）によって気象ロボットの運用が行われている．2007 年 1 月 29 日，GPS 受信機を含む観測機器を，P50 の氷床上に設置した（図 2）．設置した観測機器の構成を図 3 に，仕様を表 1 に示す．GPS 受信機は，消費電力が小さく，低温での動作が可能な機種を選定した．アンテナポールの設置の際，ポールが傾斜しないように特に留意した．GPS 受信機とシールドバッテリーは，厚手の毛布で覆い保温箱に納めた．電源には，太陽電池と風力発電機を使用した．太陽電池は，同時に設置した地震計の観測システムに含まれるもので，電源出力を分岐して GPS 受信機に加えた．風力発電機は，太陽電池による電力が途絶える極夜期にも GPS 受信機に電力を供給する目的で設置した．GPS 受信機は 2 系統の電源入力を備えており，電圧値が高い電源入力を自動的に選択する機能を有している．これら 2 系統の電源入力に，太陽電池と風力発電機をそれぞれ接続した．設置作業は順調に行われ，設置当日から観測を開始した．サンプリング間隔は 30 秒，Elevation Mask（データを取得する GPS 衛星の最低仰角）は 0 度に設定した．

2 月 5 日，観測状況の確認のために，観測点を訪れた．観測機器の動作確認の結果，すべての機器の動作は正常で，GPS 受信機からデータをダウンロードして昭和基地に持ち帰った．持ち帰った観測データの初期解析の結果，観測点と昭和基地との基線長は約 18 km，昭和基地に対する高度差（楕円体高差）は約 +520 m であった．

5 月 5 日，観測機器の動作確認とデータ回収のために，観測点を訪れた．その際，風力発電機の取り付けボルトが折れ，支柱から外れていることを確認した．なお，隣接する気象ロボットの観測データによると，2 月 5 日～5 月 5 日における風速の最大値（最大瞬間風速）は 42 m/s（参考値）であった．現場での風力発電機の修復作業は不可能であったため，風力発電機本体は回収し，以後の電力は太陽電池のみに頼ることとなった．

その後の越冬期間中，7 月 19 日と 9 月 19 日に観測点を訪れ，観測機器の動作確認とデータ回収を行った．その間，風力発電機以外の観測機器の動作に支障は無く，データの取得は

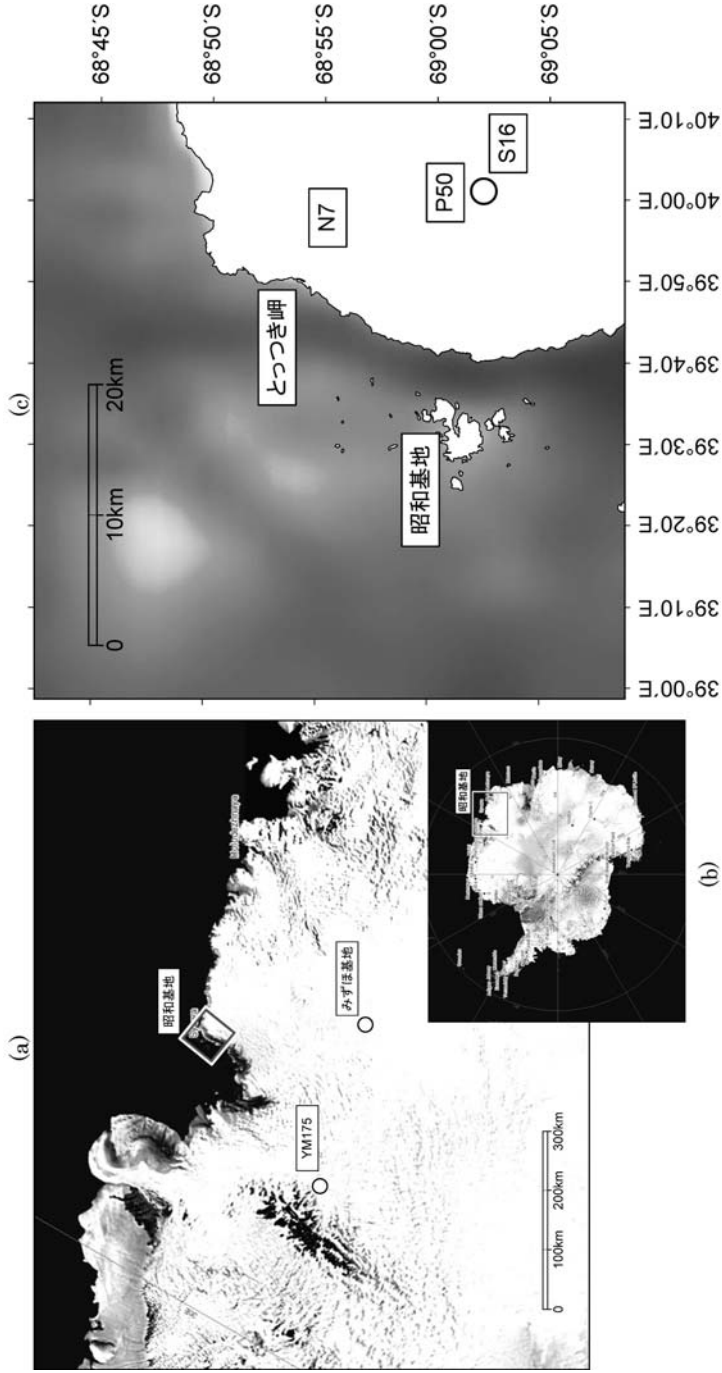


図 1 観測点位置  
Fig. 1. Map of observation sites.



図 2 観測点の様子 (P50)  
Fig. 2. GPS observation at P50.

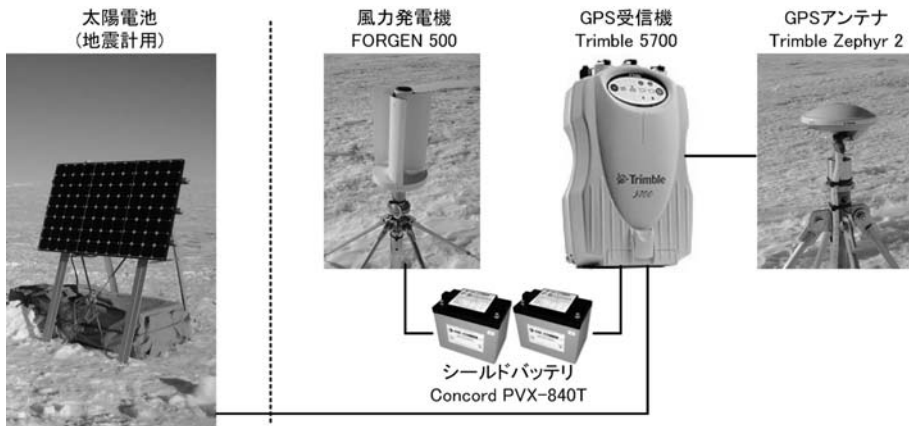


図 3 観測機器の構成  
Fig. 3. GPS observation instruments.

順調に行われた。

2008年1月22日、連続GPS観測を終了し、観測機器の撤去作業を行った。作業の際、目視で判断した限り、アンテナポールの傾斜は認められなかった。観測データは、第48次隊越冬終了時に国内へ持ち帰った。

表 1 観測機器の仕様

Table 1. Observation Equipment Specifications.

GPS 受信機 : Trimble 5700	
対応周波数	L1, L2
チャンネル	24
筐体	完全密封マグネシウム合金
耐衝撃性	MIL-STD-810F
質量	1.4 kg
寸法 (W×H×L)	13.5 cm × 8.5 cm × 24 cm
電源	11–28 V DC
消費電力	2.5 W
動作温度	–40°C ~ +65°C
湿度	100%防湿
記録メディア	Compact Flash
GPS アンテナ : Trimble Zephyr 2	
対応周波数	L1, L2, L5
アンテナ利得	50 dB
耐衝撃性	MIL-STD-810F
質量	0.55 kg
寸法 (直径×高さ)	16.2 cm × 6.2 cm
動作温度	–40°C ~ +70°C
湿度	100%防湿
風力発電機 : FORGEN 500	
出力 (風速 12.5 m/s)	12 W
運転温度	–30°C ~ +100°C
寸法 (直径×高さ)	200 mm × 370 mm
質量	3.65 kg
シールドバッテリー : Concord PVX840T	
定格電圧	12 V
容量(25°C) 24 時間率	84 Ah
使用温度範囲	–40°C ~ +72°C
寸法 (L×W×H)	259 mm × 168 mm × 227 mm
質量	25.9 kg
太陽電池モジュール : SunPower Corporation SPR-90 (設置枚数 : 3 枚)	
最大出力	90 W
最大出力動作電圧	17.7 V
最大出力動作電流	5.1 A
使用温度範囲	–40°C ~ +60°C
寸法 (L×W×H)	1038 mm × 527 mm × 46 mm
質量	7.4 kg

### 3. 解析結果

極夜前に風力発電機が故障したこと、極夜期に太陽電池の電力が途絶えたことから、6月10日~7月4日の約1ヶ月間観測データが欠測した。しかし、それ以外の期間は順調に観測が行われ、約1年間の観測データを取得した。

今回の観測で用いた GPS 受信機の観測データは、Trimble 社で規定されたバイナリ形式のファイル (T01 フォーマット) で保存されている。これらのバイナリファイルを、Trimble Convert to RINEX utility を用いて、RINEX フォーマット (The Receiver Independent Exchange Format) に変換した。RINEX フォーマットは、異なる受信機の GPS データを統一的に解析するために定義された、アスキー形式の標準的なフォーマットである。RINEX フォーマットに変換した 1 日ごとの観測データについて基線解析を行い、各日の測位解を得た。測位計算には、SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) による、SCOUT (Scripps Coordinate Update Tool) を利用した (<http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/SCOUT.cgi>)。基線解析の際、昭和基地内の IGS 点 (SYOG) を基準点として用いた。GPS の基線解析においては、測位解の精度の向上のために、目的とする観測点を囲む複数の基準点を用いて解析を行うことが一般に行われている。しかし、観測点近傍には SYOG 以外の IGS 点が存在しないため、SYOG のみを基準点として解析した。

図 4 に、2007 年 1 月から約 1 年間の、測位点の X 方向、Y 方向、Z 方向の変化を示す。座標系は ITRF2005 (Altamimi, 2009) を用いている。2007.5 付近 (2007 年 6 月末) の Epoch でプロットが欠けている部分があるが、これは極夜期に太陽電池の電力が途絶えて欠測した時期を表している。

同様の期間について、測位点の緯度方向、経度方向、高さ方向の変化を図 5 に示す。緯度方向、経度方向と比較して、高さ方向は縦軸のスケールを拡大している。この図において、測位点の分布を直線で近似した傾きを表 2 に示す。1 年あたりの速度は、北方向に 1.38 m/year、西方向に 4.94 m/year、下方向に 0.16 m/year で、観測期間中ほぼ直線的な分布を示し、季節に依存した流動速度の変動は確認されなかった。

図 6 に、測位点の水平方向 (経度—緯度) の変化を示す。観測点における流動は、速度 5.1 m/year、方位  $286^\circ$  であった。1 日あたりの速度は、西北西の方向に約 14 mm/day となる。この結果は、Ootaki ほか (1998) による結果 (西北西の方向に 13 mm/day (4.7 m/year))、及び白井ほか (2009) による結果 (西北西の方向に 5 m/year) とほぼ一致しており、観測点周辺の流動速度が一定であることが確認された。過去に行われたこれらの観測と、今回の観測から得られた速度ベクトルを、併せて図 7 に示す。

今回の結果から、観測点付近における水平方向の流動速度は、日単位の細かいスケールで明らかになった。しかし、垂直方向の変化については、単一の観測点のデータのみでは評価が難しく、複数の GPS 観測点による線的・面的な観測、あるいは他の観測手法を組み合わせさせた検討が必要である。

#### 4. ま と め

南極大陸氷床上の P50 において、夏期及び越冬期を通じた連続 GPS 観測を行った。約 1

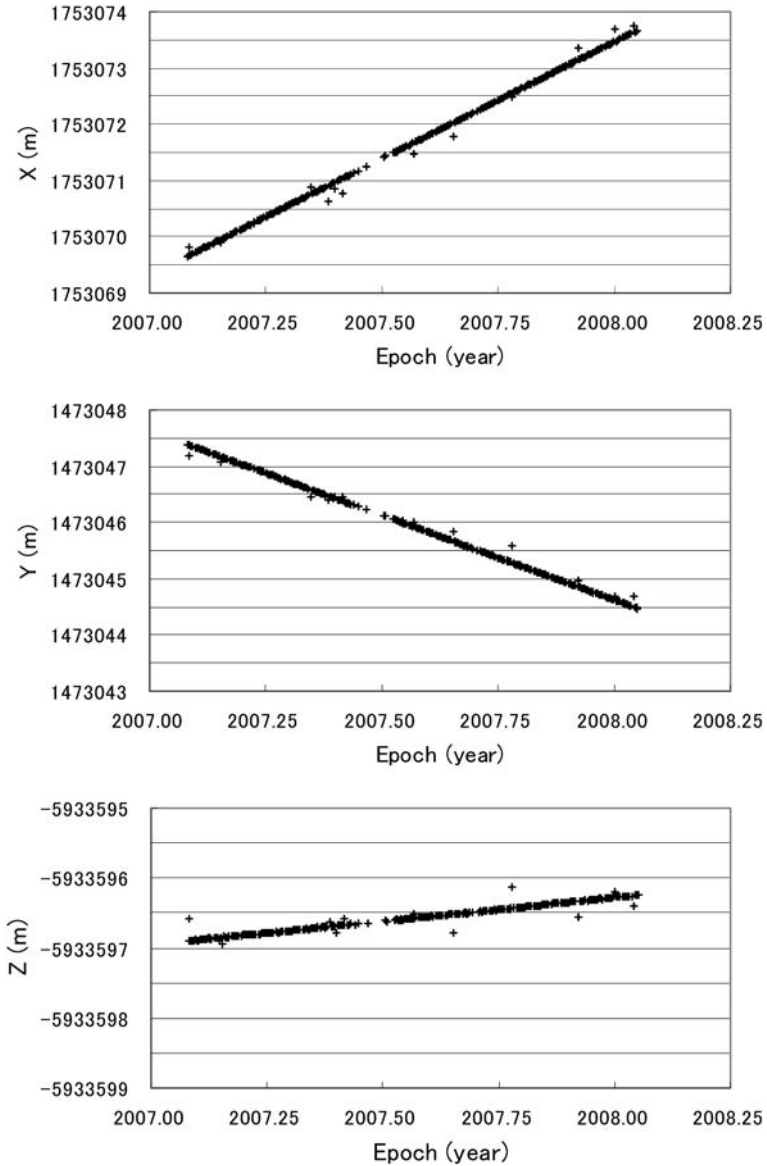


図 4 測位点の変化 (XYZ 方向)

Fig. 4. Time series of changes in X, Y, and Z coordinates.

年間の観測データを初めて取得し、基線解析を行って各日の測位解を求めた。これにより得られた氷床の水平方向の流動速度は、西北西の方向に 5.1 m/year, 約 14 mm/day であった。また、観測点における氷床の流動速度に、季節に依存した変動は認められなかった。今後は、流動速度に加えて氷床の増減の傾向を探るために、GPS による更なる連続的な観測と、垂直方向の変動の評価が必要である。

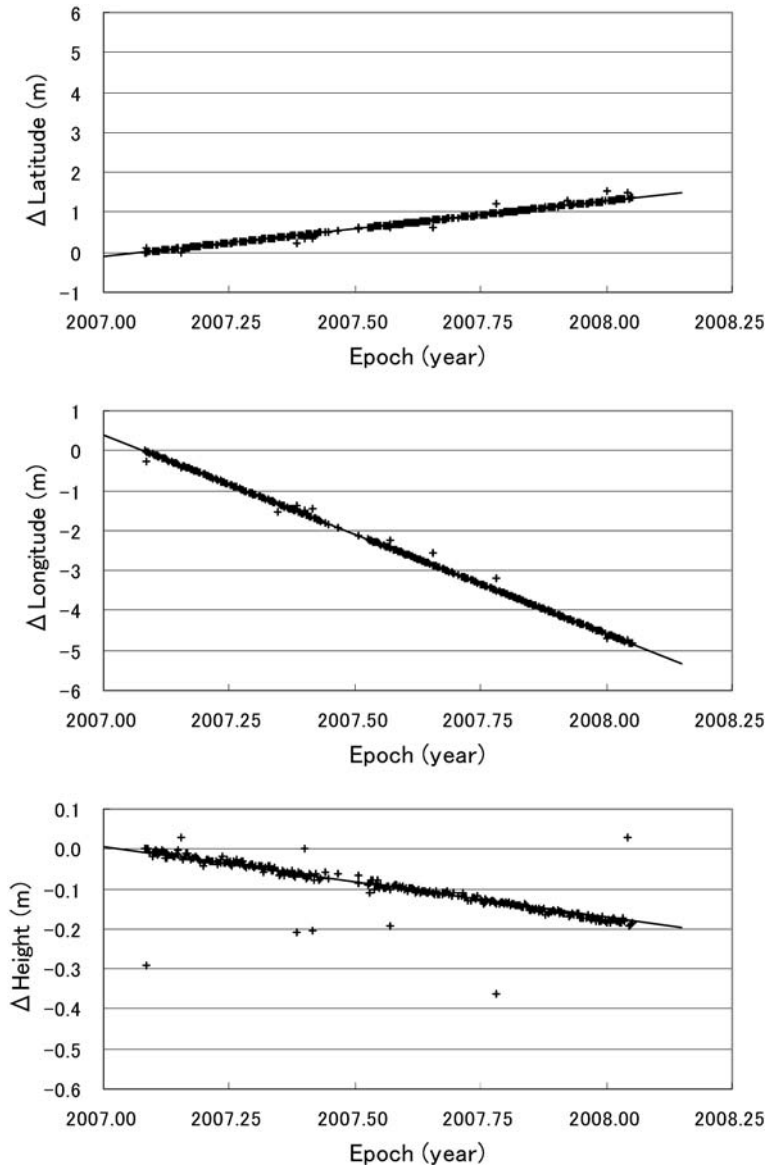


図 5 測位点の変化（緯度経度高さ方向）. 細実線は近似直線.

Fig. 5. Time series of changes in NS and EW coordinates. Thin lines: fitted lines.

表 2 測位点の変化

Table 2. Positioning Data.

	緯度方向	経度方向	高さ方向
傾き (m/year)	1.38	-4.94	-0.16
標準偏差 (m)	0.012	0.017	0.015
サンプル数	277	277	277



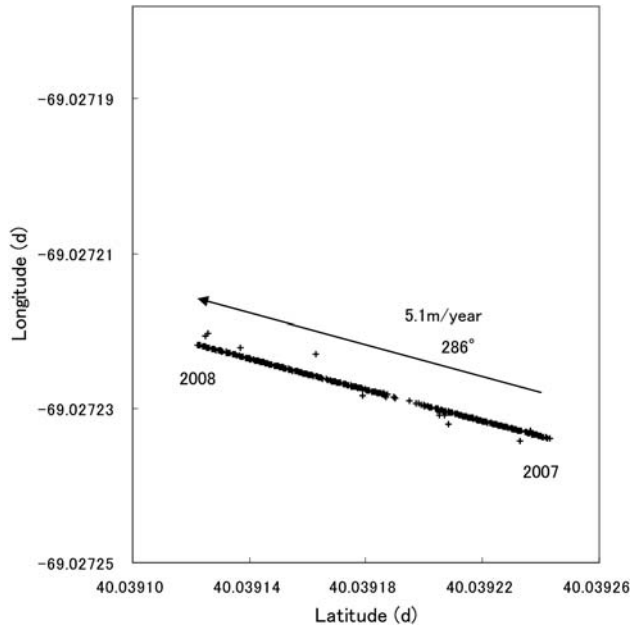


図 6 測位点の変化（水平方向）

Fig. 6. Time series of changes in horizontal coordinates.

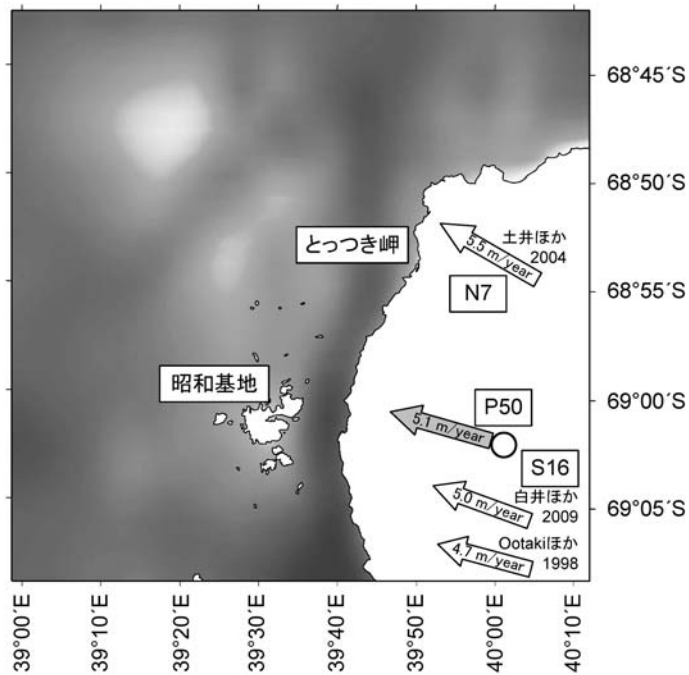


図 7 各観測点の速度ベクトル

Fig. 7. Velocity vectors of observation sites.

## 謝 辞

本観測を実施するにあたり、第 47 次、第 48 次及び第 49 次日本南極地域観測隊の隊員諸氏に、多大なご支援をいただいた。特に、観測機器の設置、データ収集、撤去作業に直接的にご協力いただいた、地圏・千田隊員（第 47 次）、永島隊員、藤原隊員（第 48 次）、測地・白井隊員（第 48 次）、高畑隊員（第 49 次）、気象・野村隊員（第 48 次）に、深く感謝の意を表したい。

本稿で使用した気象ロボットの観測データは、気象庁からご提供いただいた。データ提供にご協力いただいた気象庁南極観測事務室の関係諸氏に、深く感謝の意を表したい。

本稿で使用した地図の作成に、国立極地研究所 GIS ポータルサイトを利用した (<http://geogisopen.nipr.ac.jp/gisopen/>)。

## 文 献

- Ootaki, O. and Fujiwara, S. (1998): Measurement of ice sheet movement at S16, East Antarctica using GPS. *Polar geosci.*, **11**, 9–13.
- 土井浩一郎・今栄直也・岩田尚能・瀬尾徳常（2004）：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。南極資料, **48**, 7–18.
- 白井宏樹・高畑嘉之・雨貝知美（2009）：南極大陸 S16 周辺の氷床変動（Ⅱ）。第 29 回極域地学シンポジウムプログラム・講演要旨。東京, 2009-10, 国立極地研究所, 87–88.
- Altamimi, Z. (2009): The International Terrestrial Reference Frame (ITRF2005). Geodetic reference frames: IAG symposium Munich, Germany, 9–14 October 2006, H. Drewes (ed.). Berlin, Springer, 81–82 (International Association of Geodesy Symposia: **134**).