

南極地方の広域GPS連続観測データの解析

Wide Area Analysis of GPS Data in Antarctica

測地観測センター 山田晃子・大滝 修・畑中雄樹・宮崎真一
Geodetic Observation Center

Akiko YAMADA, Osamu OOTAKI, Yuki HATANAKA, Shin-ichi MIYAZAKI

測 地 部 丸山一司
Geodetic Department Kazushi MARUYAMA

地殻調査部 板橋昭房
Crustal Dynamics Department Akifusa ITABASHI

要旨

南極昭和基地には、第36次南極地域観測隊が設置したGPS連続観測局がある。この観測データの質のチェックをするために周囲のIGS観測局のデータとともに解析を始めた。

観測データの欠測が多かったことや長基線のため二重位相差を用いることが難しいことから、単独測位を選択した。通常の単独測位では座標値や速度ベクトルを推定するための十分な精度が得られないため、ジェット推進研究所が開発した「GIPSY-OASIS II」の精密単独測位解析を用いて、昭和基地とIGS連続観測局のGPSデータの解析を行った。解析結果から座標値・速度ベクトルを算出し、プレート内変形とプレート運動の推定を行った。

昭和基地の解析結果には、推測される座標値からかなり大きなずれを生じる観測日が見られる。その原因として、解析において受信器のタイムタグに問題があることが判明した。その原因は現在調査中である。

1. はじめに

南極昭和基地にはGPS連続観測局がある。この観測局は、1995年2月に第36次南極地域観測隊によって設置され、同3月より観測を開始している。当初は、試験的に10日毎に衛星通信を用いてデータを転送したり、観測

隊がデータを持ち帰っていたが、現在では毎日データを転送するシステムが確立しており、国立極地研究所のサーバーを経由してデータを取得している。南極プレート上には、IGS連続観測点は5点ある（Casey, Davis, Kerguren, McMurdo, O'Higgins）。昭和基地のGPS連続観測点は、南極や測地、特にGPSに関する研究などにおいて重要な役割を果たすと思われる。

1995年4月の観測データから昭和基地のGPSデータの点検を兼ねて周囲のIGSの観測点と解析を行っている。一般的な二重位相差を用いる解析手法を用いてこれらのGPSデータを解析するのは非常に難しいため、単独測位を選択した。しかし、通常の単独測位では十分な精度が得られないため、ジェット推進研究所が開発した「GIPSY-OASIS II」を用いた。解析結果から座標値と速度ベクトルを算出し、南極プレートの運動の動向を推測する。

昭和基地の解析結果は、推測される座標値からかなり大きなずれを生じる観測日が見られる。良質な観測データを取得するためにその原因を究明する必要がある。

2. 解析データ

解析データには、南極昭和基地とIGS連続観測点6点を使用している（表-1）。使用したIGSの観測点は南極プレート上に5点、太平洋プレートとオーストラリア

表-1 観測点情報

Site name	Receiver	Antenna	Clock	Agency
Syowa	ROGUE SNR-8000	DORNE MARGOLIN T	RUBIDIUM	
Casey	ROGUE SNR-8100	DORNE MARGOLIN T	RUBIDIUM	AUSLIG
Davis	ROGUE SNR-8100	DORNE MARGOLIN T	QUARTZ/INTERNAL	AUSLIG
Kerguren	ROGUE SNR-8C	DORNE MARGOLIN T	RUBIDIUM	CNES
McMurdo	ROGUE SNR-8000	DORNE MARGOLIN T	INTERNAL	NASA/JPL
O'Higgins	ROGUE SNR-8000	DORNE MARGOLIN T	H-MASER/CESIUM	IfAG
Macquarie Is.	ROGUE SNR-8100	DORNE MARGOLIN T	QUARTZ/INTERNAL	AUSLIG

プレートの境界上の1点である。観測点が一度トラブルを生じると、現地である南極に行かなくてはならないために、約3ヶ月はデータが送られてこない。

3. 解析手法

3.1 解析ソフト

昭和基地の観測点は、当初10日毎に送られていて、相当する観測日にIGSの観測点のデータは欠測が多く、基線を組むことが難しかった。2つ目は、南極には、観測点が少なく、最短の基線長で約1,400km、最長の基線では4,000kmと基線がかなり長く、同一衛星のデータの二重位相差を用いる解析手法の採用は難しい。そのため、単独測位を選択した。解析ソフトには、精密単独測位のできるジェット推進研究所の開発した解析ソフト「GIPSY-OASISⅡ」を使用した。

3.2 精密単独測位

精密単独測位は、従来の単独測位と比べその精度は格段によく、座標値や速度を算出するのに十分な精度を持っている。

従来の単独測位との違いとして、次の2点が挙げられる (Zumberge, 1997)。

1つ目の理由として、単独測位は、疑似距離のみを使用するが、精密単独測位では搬送波位相も使用する。疑似距離は、電波の速度に受信器の時計による時間をかけたもので精度が悪い。2つ目の理由として、単独測位は衛星のパラメータとして広報暦を使用するが、精密単独測位では精密暦を使用する。精密単独測位で使用する暦は、ジェット推進研究所が解析を行ったグローバルな解析結果から推定された衛星軌道と時計である。精密暦の軌道の精度は、数cmである。それに比べ、広報暦から得られる衛星軌道の精度は40cmより悪い。GIPSYで使用する精密暦等のファイルは、ジェット推進研究所から提供されている。IGSの精密暦は衛星の位置を15分ごとに推定しているが、ジェット推進研究所が提供している暦は5分ごとである。

3.3 座標系

1996年6月30日に、座標系はITRF93からITRF94に変更された。座標の連続性を保つために、座標変換パラメータを使用してITRF93の座標値をITRF94に変換した。しかしながら、観測点によっては連続性が保たれなかったり、変更前後で速度が変わってしまったために、今回の解析結果は座標系変更後のITRF94の座標値のみ

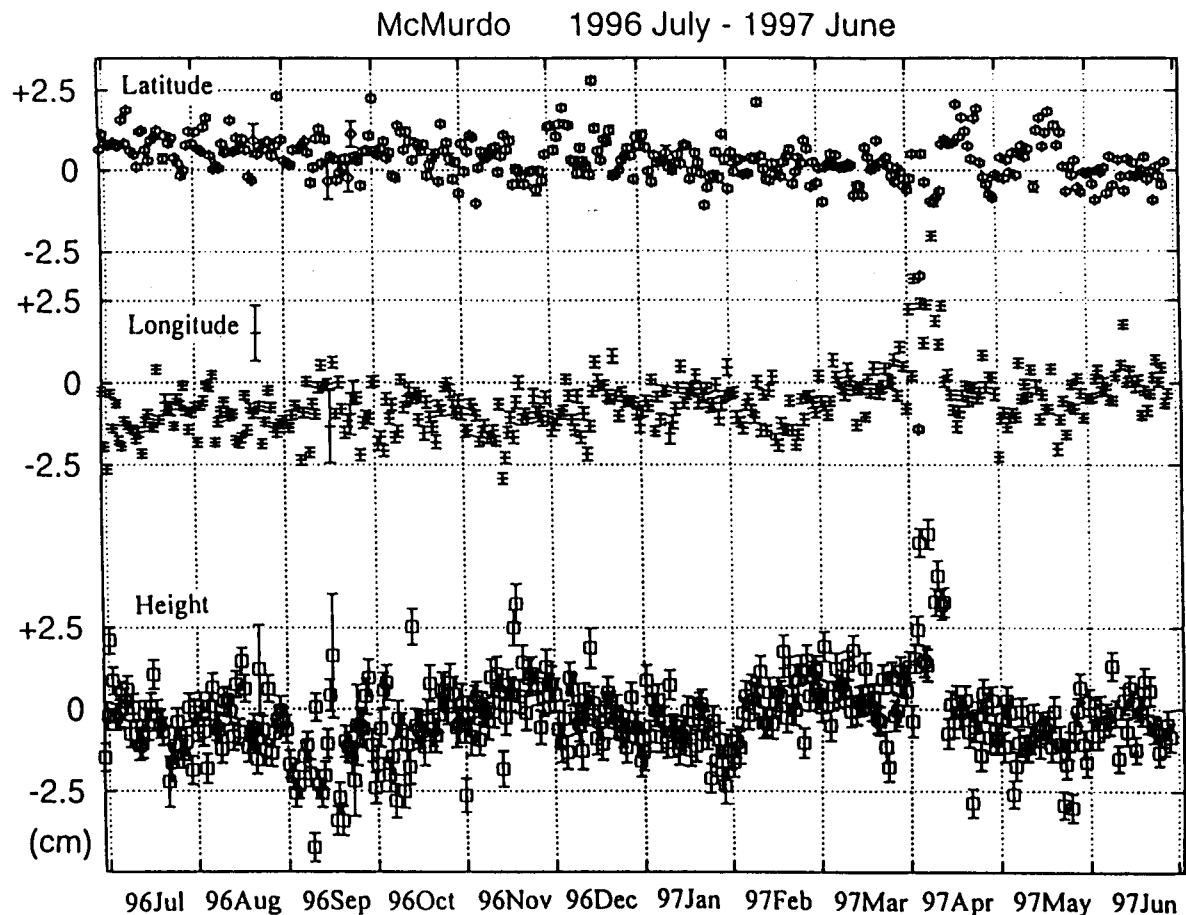


図-1 McMurdo時系列

を使用する。

作成した。図－1は、その1つである。時系列から各観測点の1997年1月1日における座標値と速度を算出した（表－2、表－3、表－4、表－5）。図－2は解析結果から得られた速度ベクトルをプロットした地図である。

4. 解析結果

精密単独測位の解析結果から、各観測点毎に時系列を

表－2 座標値 (XYZ, ITRF94)

Site name	X (m)	Y (m)	Z (m)	dx (mm)	dy(mm)	dz(mm)
Syowa	1766207.8686	1460290.3801	-5932297.7652	0.1067	0.1023	0.2454
Casey	-901776.1544	2409383.4235	-5816748.4185	0.1009	0.1049	0.1961
Davis	486854.5517	2285099.3093	-5914955.6820	0.1138	0.1141	0.2242
Kerguren	1406337.3652	3918161.1731	-4816167.4263	0.0956	0.1226	0.1401
McMurdo	-1311703.2518	310815.1077	-6213255.1830	0.1291	0.1328	0.4036
O'Higgins	1525872.5117	-2432481.3391	-5676146.1890	0.1114	0.1151	0.1993
Macquarie Is	-3464038.5430	1334172.7888	-5169224.4013	0.1503	0.1303	0.1930

表－3 座標値 (緯度・経度・楕円体高, ITRF94, WGS-84楕円体)

Site name	Latitude (degree)	Longitude (degree)	Height (m)
Syowa	-69.006957330	39.583744391	50.0902
Casey	-66.283358733	110.519705456	22.4518
Davis	-68.577322583	77.972613661	44.4048
Kerguren	-49.351466540	70.255521424	73.1270
McMurdo	-77.838348552	166.669324722	98.0668
O'Higgins	-63.320723546	-57.900340695	30.7840
Macquarie Is.	-54.499532741	158.935833723	-6.6746

表－4 速度ベクトル (XYZ, ITRF94)

Site name	X (mm/yr)	Y (mm/yr)	Z (mm/yr)	dX (mm)	dY (mm)	dZ (mm)
Syowa	6.86	-0.56	-5.89	0.37	0.36	0.87
Casey	-3.91	6.05	-44.92	0.31	0.33	0.63
Davis	-0.97	-6.40	1.18	0.37	0.37	0.74
Kerguren	-7.47	-1.60	2.79	0.33	0.41	0.47
McMurdo	3.55	-14.53	-7.99	0.25	0.25	0.79
O'Higgins	10.97	3.90	16.89	0.38	0.40	0.71
Macquarie Is.	-32.77	18.85	5.36	0.47	0.42	0.61

表－5 速度ベクトル (緯度・経度・楕円体高, ITRF94, WGS-84楕円体)

Site name	Lat (mm/yr)	Lon (mm/yr)	H (mm/yr)	dLat (mm)	dLon (mm)	dH (mm)
Syowa	2.49	-4.80	7.26	0.21	0.34	0.93
Casey	-11.62	1.54	43.95	0.18	0.32	0.69
Davis	-5.59	-0.38	-3.46	0.22	0.37	0.79
Kerguren	-1.24	6.49	-4.74	0.14	0.30	0.62
McMurdo	-9.74	19.42	16.66	0.24	0.35	1.08
O'Higgins	9.84	11.36	-13.96	0.21	0.35	0.80
Macquarie Is.	33.52	-5.81	17.33	0.19	0.40	0.76

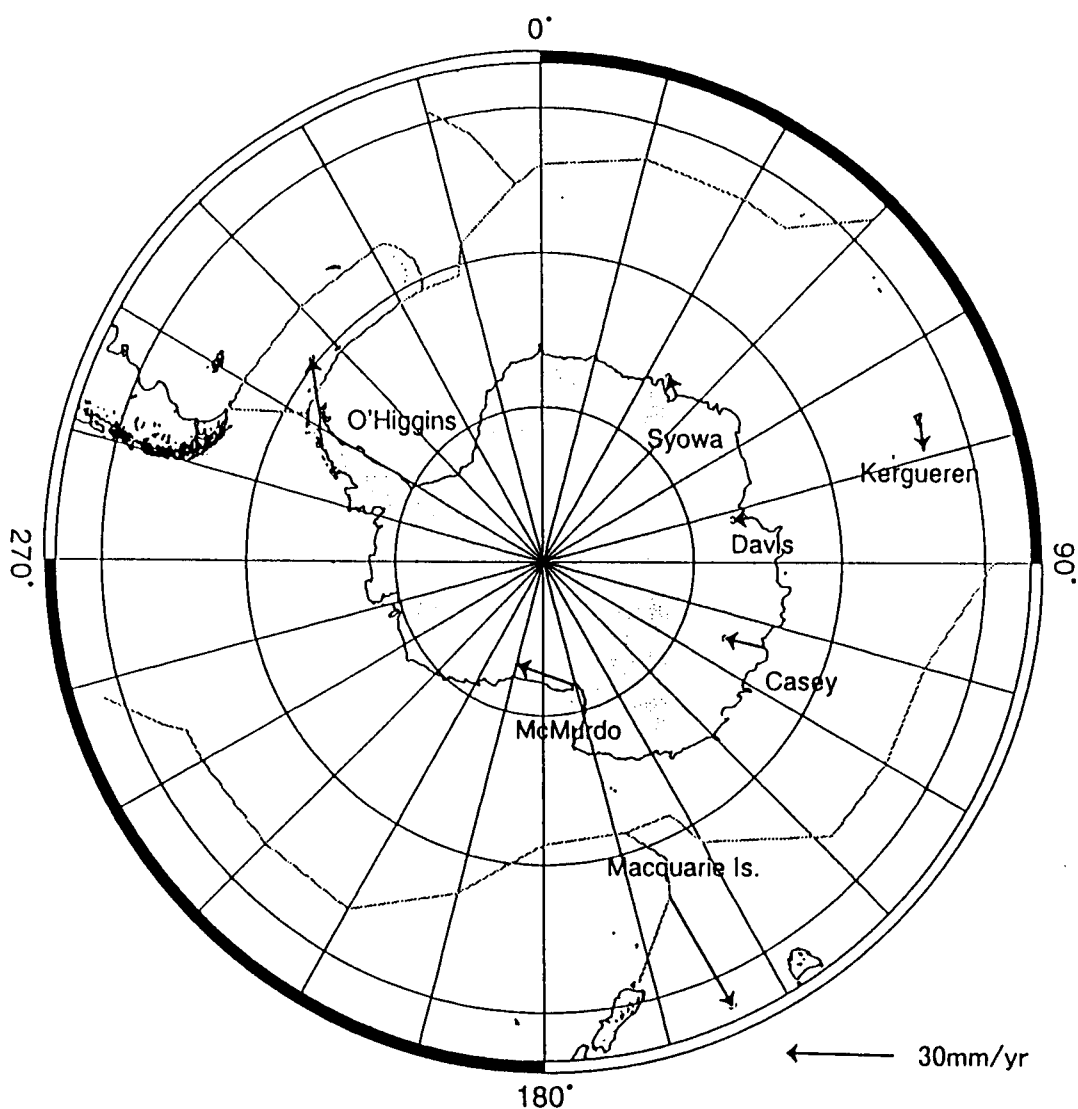


図-2 南極地域の速度ベクトル

5. 昭和基地

図-3は昭和基地の時系列である。昭和基地のGPSデータの解析結果は、約1割が計算時の誤差が大きくなったり、推定される座標値からずれている。大きなずれの生じる方向は、高さの方向である。解析結果が悪い観測日のデータは、十分な観測量があるにも関わらず、計算時に何らかの理由により、使用するデータが極端に削られている。RINEXファイルを見ると疑似距離の数値がかなり大きくなっていった。ベルン大学の開発した解析ソフト「BERNESE」を使用して時計のずれを推定したところ、昭和基地以外のルビジウムを使用している観測点の時計のずれが $10^{-4} \sim 10^{-5}$ であるのに対して、昭和基地の時計のずれは $10^{-2} \sim 10^{-4}$ とかなり大きいことが解った(表-6)。このことから、受信器のタイムタグに問題があると判断した。タイムタグの問題の理由は現

時点では不明である。

6. 南極プレート

解析結果の座標値と速度ベクトルから、南極プレートの内部変形とプレート運動について推測する。

観測点の座標値と速度から観測点間の斜距離の変化を算出した。基線長1,400kmから4,000kmで、数mmの変化である(表-7)。これから推測される面積歪みは、 $10^{-9} \sim 10^{-10} \text{yr}^{-1}$ とかなり小さい。斜距離がかなり長いいため、地表面での歪みの問題があると思われるが、プレート内の変動はほとんど無いと思われる。

また、南極のプレートオイラー極を推定し、NNR NUVEL-1 (Argus and Gordon, 1991)やLarson et al. (Larson et al., 1997)と比較した。(表-8)

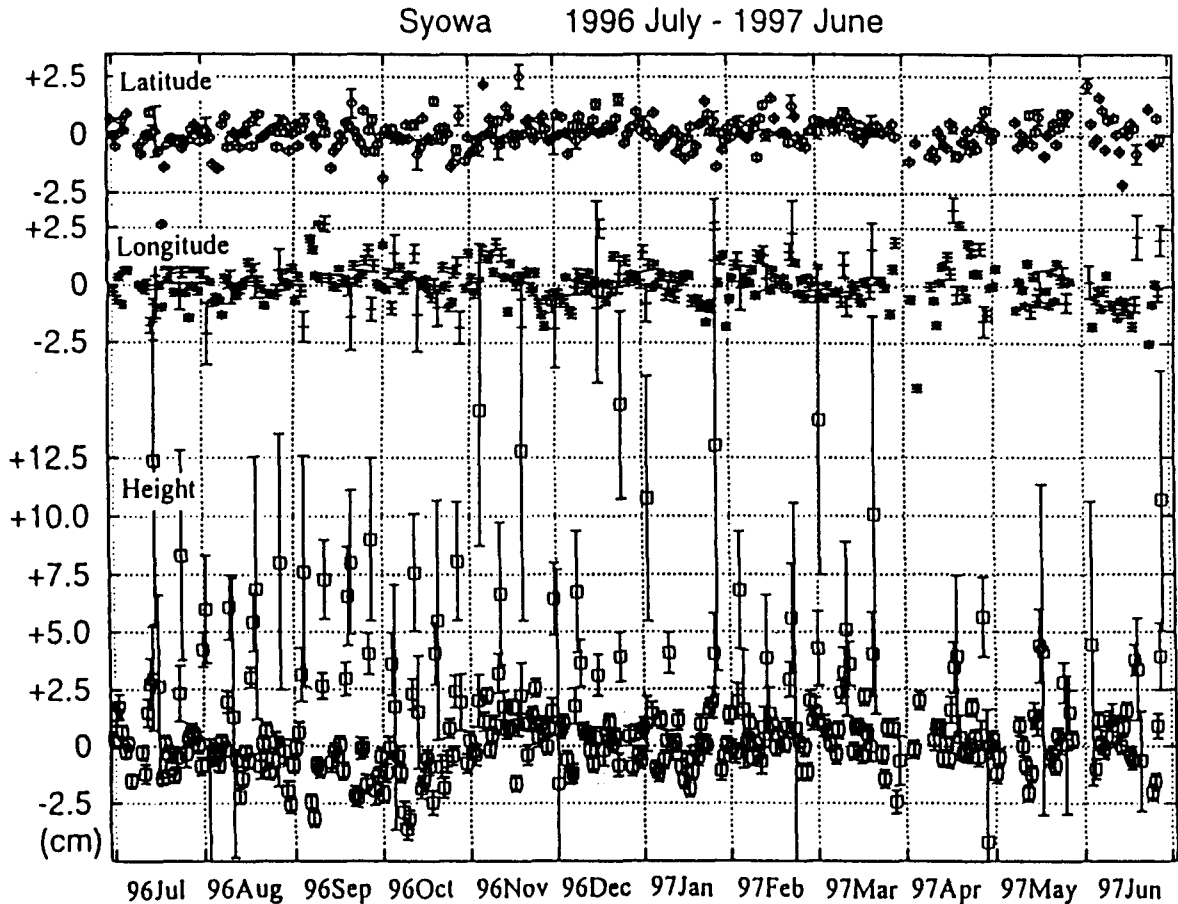


図-3 昭和基地の時系列

表-6 時計のずれ(秒) (1996. 16~25)

site	Syowa	Casey	Davis	Kergueren	McMurdo	O'Higgins
260	1.109E-02	1.364E-04	4.167E-04	-1.842E-05	1.540E-07	-3.000E-09
261	1.496E-02	1.607E-04	4.418E-04	-1.910E-05	3.800E-08	-1.170E-07
262	1.882E-02	1.851E-04	4.668E-04	-2.001E-05	1.580E-07	0.000E+00
263	2.269E-02	1.848E-05	4.919E-04	-2.056E-05	-1.260E-07	-1.500E-08
264	2.655E-02	4.172E-05	5.170E-04	-2.067E-05		-8.500E-08
265	4.197E-04	6.513E-05	5.422E-04	-2.049E-05	1.100E-08	-1.760E-07
266	4.280E-03	8.860E-05	5.673E-04	-2.106E-05	-1.450E-07	4.100E-08
267	8.141E-03	1.121E-04	5.923E-04	-2.094E-05		-1.360E-07
268	1.200E-02	1.353E-04	1.750E-05	-2.065E-05	-8.500E-08	1.780E-07
269	1.588E-02	1.587E-04	4.273E-05	-1.964E-05	-1.100E-08	3.700E-08

7. 結 論

南極地域のGPSデータを精密単独測位で解析を行い、座標値と速度ベクトルを算出した。南極プレートは大陸内において内部変形がほとんどないと思われ、プレート自体の動きを算出した。

座標系は、次にITRF 96に変更される。長期の座標値

の変化を見る上で、座標系変更前後の解析結果の整合性

・連続性を保つことは、今後も避けられない問題である。

昭和基地のGPSデータは、タイムタグの問題が残っている。1998年1月にルビジウムの交換を行ったが、結果はしばらく先になる。今後の連続観測を行っていく上でこの問題を解決することが第一の課題である。

表-7 基線長変化

	baseline (epoch 1996.5)(m)	baseline (epoch 1997.5)(m)	(mm/yr)
Syowa-McMurdo	3297539.5853	3297539.5887	3.4
Syowa-O'Higgins	3908586.2404	3908586.2320	-8.4
Syowa-Davis	1522286.2483	1522286.2518	3.5
Syowa-Kergueren	2723303.6168	2723303.6100	-6.8
McMurdo-Davis	2687301.7779	2687301.7806	-2.7
McMurdo-Casey	2174683.1439	2174683.1465	2.6
McMurdo-O'Higgins	3983214.5005	3983214.4886	-11.9
McMurdo-Macquarie Is.	2601885.5242	2601885.5686	44.4
Casey-Macquarie Is.	2853165.5639	2853165.5877	23.8
Casey-Davis	1397636.0180	1397636.0244	6.4
Casey-Kergueren	2933421.3135	2933421.3297	16.2
Davis-Kergueren	2172481.3812	2172481.3730	-8.2

表-8 オイラー極の推定

	Latitude (deg)	Longitude(deg)	ω (deg/m.y.)
This study	62.7	-128.4	0.22
Larson et al.	60.5	-125.7	0.24
NNR-A	63.1	-115.7	0.24

謝辞

データの取得において、京都大学防災研究所の根岸弘明氏、京都大学の東敏博氏、極地研究所の野木義史氏、金尾政紀氏、南極地域観測隊にご尽力をいただいた。プレート運動の推定において、国立天文台の日置幸介氏の

プログラムを使わせていただいた。南極・プレートにおいては、極地研究所の渋谷和雄氏、土井浩一郎氏、久保篤規氏には多くの助言を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- DeMets, C., R. Gordon, D. Argus, and S. Stein, Current plate motions, *Geophys. J. Int.*, 101, 425-478, 1990.
- DeMets, C., R. Gordon, D. Argus, and S. Stein, Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions, *Geophys. Res. Lett.*, 21, 2191-2194, 1994.
- Larson, K. M., and J. T. Freymueller and S. Philipson, Global plate velocities from the Global Positioning System, *J. Geophys. Res.*, 102, 9961-9981, 1997.
- Zumberge J. F., M. B. Heflin, D. C. Jefferson, M. M. Watkins, F. H. Webb, Precise Point Positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *J. Geophys. Res.*, 5005-5017, 102, 1997.
- 飛田幹男 (1997): 地球基準座標系間の座標変換, 1997年合同学会予稿集, 296, 1997.
- Argus, D., and R. Gordon, No-net rotation model of current plate velocities incorporating plate motion model NUVEL-1, *Geophys. Res. Lett.*, 18, 2039-2042, 1991.