

「あじさい」SLR データ解析による一次基準点・下里間の基線ベクトル推定[†]

藤田雅之*, 仙石 新**

Estimation of Baseline Vectors between First Order Control Points and Simosato based on Analyses of AJISAI SLR Data[†]

Masayuki FUJITA* and Arata SENGOKU**

Abstract

The Hydrographic Department of Japan (JHD) has operated a mobile SLR station since 1988 in the framework of the marine geodetic control project. In 1996, it has completed a first observation cycle at 14 fiducial points called the First Order Control Points (FOCP) distributed at major off-lying islands and at some coastal areas in Japan.

The AJISAI data at all the FOCP were analyzed with global data. The used software is GEODYN-II developed by NASA. The reference fixed stations are GSFC (Maryland, USA) and Haleakala (Hawaii, USA), for which the coordinates of the ITRF93 with its velocity field are adopted as a priori values. The RMS of the resulted range residuals for the FOCP data are 5-10 cm, which is comparable to those of all the global stations.

The stability of the solutions for the baseline vectors between the FOCP and Simosato, the stationary SLR station in central Japan, was examined by comparing the solution with those obtained under different estimation conditions. As a result, followings are concluded: (1) the estimated baseline vector can be determined within 1cm as far as the coordinates of both the FOCP and Simosato remain as estimated parameters; (2) it can be well determined by a single arc analysis; (3) it can be determined within 1cm when the frequencies of estimations of the empirical acceleration and the drag coefficient are less than 3days; (4) the estimation does not depend on the frequency of estimation of the solar radiation pressure coefficient; (5) the estimation does not depend on the selection of the atmospheric density model if the drag coefficient is appropriately estimated.

Comparison of the estimated baseline lengths with those of the marine geodetic results of JHD shows that they agree within 3-4 cm except for three sites.

1. はじめに

水路部では、海洋測地の推進を目的として、人工衛星レーザー測距 (SLR) 観測を実施している。このうち、第五管区海上保安本部下里水路観測所 (和歌山県) では、1982年以来固定式装置による定常観測を、また、離島等に設けられた基準点(一

次基準点と呼ぶ) では、1988年以来可搬式装置による1点2-3カ月程度の短期集中観測を行い、その位置決定を行ってきた。

一次基準点は、海洋測地網の骨格として、主要な離島及び本土内に14点設けられているが、1996年の銚子の観測をもって、その全点において一度ずつ観測が行われたことになる。取得されたデー

[†] Received 1996 November 5th; accepted 1997 February 7th.

* 海洋研究室 Ocean Research Laboratory.

** 航法測地課 Geodesy and Geophysics Division.

タは、主に国産測地衛星あじさいの測距データであり、その他限られてはいるが、米国測地衛星ラジオス等のデータも得られている。今後、下里との基線長及び基線ベクトルの変化を監視する目的で、これらの基準点において再測を行う計画である。

水路部の海洋測地における一次基準点データ解析は、主に下里と一次基準点のデータのみを用いる局所法 (SPORT 法: Sasaki et al., 1989) によって行われてきた (福島他, 1991; 藤田, 1995)。この方法は、グローバル観測局のデータを待たず、迅速に結果が得られるよう工夫されたものであるが、基線長は比較的精度よく決まるものの、ベクトルの各成分の決定精度は劣るとされている (Sengoku, 1991)。また、解析条件の制約から、全データを活用することができないため、幾何学的悪条件やデータ不足による精度劣化が起こることも少なくない。

これに対して Sengoku (this issue) は、グローバル観測局データを用い、テキサス大の解析ソフトウェア UTOPIA により、1994年男鹿までの13点について解析を行った。この解析では、一次基準点以外の観測局の座標値をテキサス大の基準座標系 SSC (CSR) 94L01r02に固定し、これに基づく一次基準点の絶対座標値を決定した。また、一部の基準点において、ラジオスデータを用いた決定座標の精度評価を行い、良好な結果を得ている。

一次基準点解析はこれまで、その絶対位置を求めることに主眼を置いていたが、今後の変動観測に応用するためには、下里との基線決定精度が重要となる。本稿では、銚子を含む一次基準点全14点におけるあじさいデータを、米国航空宇宙局 (NASA) のソフトウェア GEODYN-II (Eddy et al., 1986) を用いて再解析した結果について示し、主に下里との基線ベクトル及びその絶対値としての直線基線長解の、解析条件に対する安定性

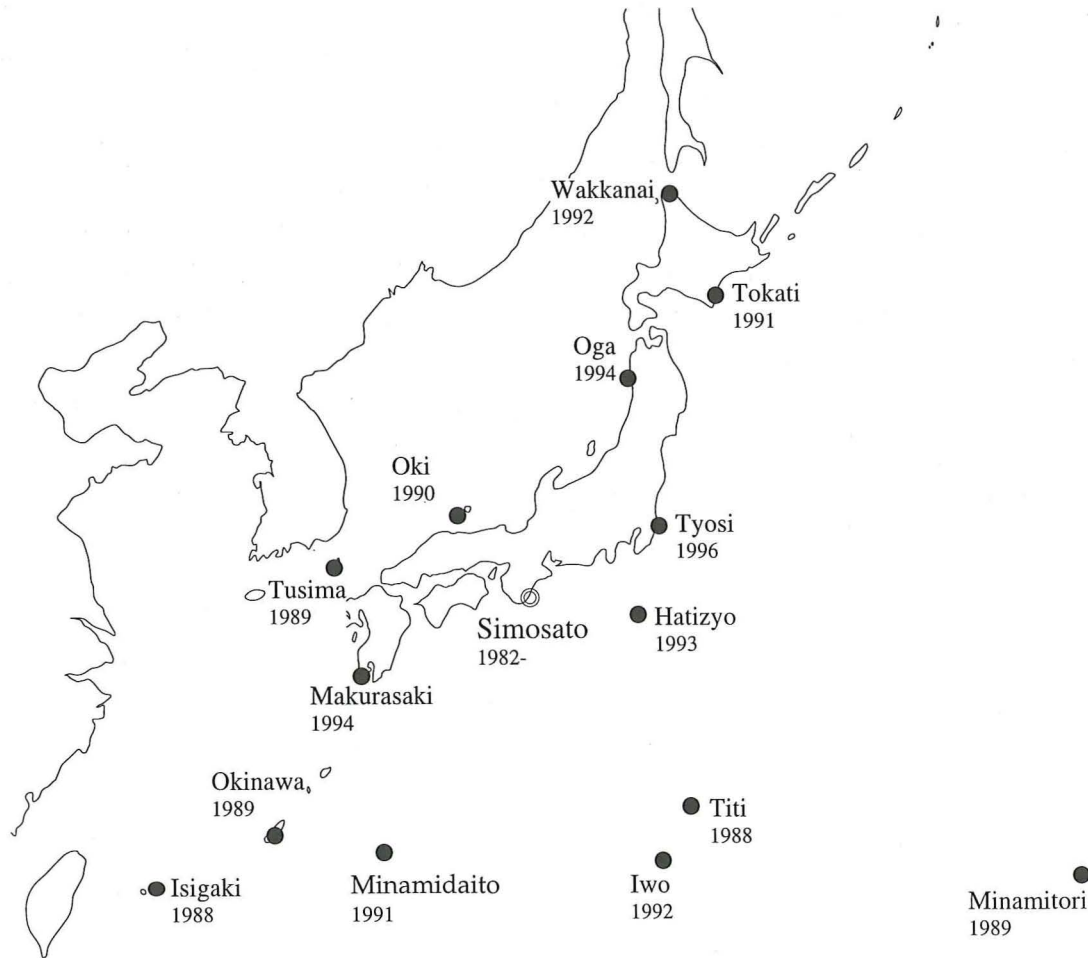


Fig. 1 Map showing locations of Simosato and the FOCF.

について考察する。

2. データおよび解析条件

下里及び一次基準点14点の位置を、Fig. 1に示す。下里から一次基準点までの基線長は、八丈島が約360kmで最も短く、南鳥島が約2020kmで最も長い。

解析に用いたデータは、あじさいのグローバルノーマルポイントデータである。ノーマルポイントデータとは、各観測局が取得した全データから、選別補間により圧縮されたデータを意味し、SLR解析の際には広く用いられている。これらのデータのうち、一次基準点を除くグローバルデータは、テキサス大学で作成されたものを用い、一次基準点データは独自に作成した。ただし、最後の銚子についてのみ、グローバルデータは、CDDISで作成されたものを用いた。

各点について、解析した期間、及び一次基準点、下里で解析に用いられたパス数を Table 1 に示す。同表には、後出の図等で用いられる各一次基

準点の省略名も共に示している。

解析に用いられたソフトウェアは、NASAゴダード宇宙飛行センター(GSFC)で開発されたGEODYN-IIである。

推定的手法として、衛星の位置・速度を全解析期間の初期時刻に一度だけ解く単アーク法を用いた。また、衛星に働く外力に関するパラメータとして、大気抵抗係数を3日毎、経験的加速度のcross-track, radial成分の平均運動フーリエ成分を3日毎、太陽輻射圧係数を30日毎に推定した。

重力モデルはJGM-2 (Nerem et al., 1994)を70次まで、大気モデルはMSIS86 (Hedin, 1987)を用いた。また、地球回転パラメータは、国際地球回転事業の月報 (IERS Bulletin B) の final value に固定した。

基準座標値として、米・メリーランド (NASA/GSFC) とハワイ (Haleakala Observatory) の位置を固定した。固定座標には、ITRF93の位置座標及び速度場 (Boucher et al., 1994) を用いた。ITRF93座標値は元期1993.0で与えられているた

Table 1. Data summary for the First Order Control Points (FOCP). Abbreviations for the FOCP are used in the following tables and figures. Numbers of passes for Simosato during the observation periods are also shown.

Site name	(Abbrev.)	Start epoch (yyymmdd.0)	End epoch (yyymmdd.0)	Number of passes	
				FOCP	Simo
Titi	(TT)	880121.0	880228.0	34	98
Isigaki	(IS)	880724.0	880903.0	27	28
Minamitori	(MT)	890115.0	890317.0	41	49
Okinawa	(ON)	890709.0	890820.0	44	43
Tusima	(TS)	891007.0	891118.0	50	40
Oki	(OK)	900917.0	901024.0	27	26
Minamidaito	(MD)	910113.0	910204.0	12	39
Tokati	(TK)	910826.0	911025.0	21	54
Iwo	(IW)	920122.0	920314.0	25	35
Wakkanai	(WK)	920907.0	921013.0	24	26
Hatizyo	(HT)	930203.0	930311.0	19	75
Makurasaki	(MK)	940128.0	940311.0	11	58
Oga	(OG)	940814.0	940921.0	18	60
Tyosi	(TY)	960110.0	960307.0	62	80

め、それぞれの解析では、速度場を用いて各基準点の解析期間の初期時刻に時間伝播させた値を用いている。また、解析における各局の重みは均一とした。

あじさいの質量中心補正值として、1.007 mを与えた。また、あじさいの非等方輻射圧モデル(Sengoku et al., 1995)を適用した。さらに、下里のデータについてのみ、一般に報告されている測距バイアス値+7 cmを、測距値から差し引く補正を

行った。

3. 推定結果

Table 2に、推定された地心直交座標3成分とそれぞれの推定誤差、さらに、一次基準点とグローバル全局それぞれの距離残差を示す。ここでの距離残差とは、測距値(観測値)と解析後の局位置から決定軌道までの距離(計算値)の差の自乗和の平方根を指す。またTable 3に、下里からの基

Table 2. Estimated rectangular geocentric coordinates of the FOCP with the rms of resulted range residuals (m).

Site	X		Y		Z		Residual RMS	
							FOCP	all
TT	-4491072.311	0.020	3481527.911	0.022	2887392.004	0.020	0.046	0.066
IS	-3265753.798	0.021	4810000.840	0.020	2614265.635	0.020	0.052	0.058
MT	-5227190.039	0.018	2551882.337	0.023	2607609.849	0.017	0.120	0.148
ON	-3505323.669	0.019	4532740.991	0.018	2792253.157	0.017	0.076	0.094
TS	-3344473.916	0.016	4087076.263	0.016	3564512.521	0.015	0.106	0.122
OK	-3536204.424	0.019	3749974.186	0.025	3744418.415	0.016	0.052	0.062
MD	-3786331.517	0.024	4320316.193	0.023	2761964.083	0.025	0.052	0.062
TK	-3788457.912	0.014	2820917.951	0.014	4271798.281	0.014	0.090	0.088
IW	-4522801.801	0.012	3622640.405	0.013	2656232.056	0.012	0.092	0.106
WK	-3522929.119	0.010	2779243.479	0.012	4517637.339	0.012	0.086	0.074
HT	-4087880.318	0.017	3451764.241	0.015	3460902.383	0.013	0.048	0.058
MK	-3528449.724	0.026	4162495.219	0.020	3291166.953	0.022	0.080	0.058
OG	-3731492.594	0.018	3164405.340	0.017	4078228.570	0.014	0.054	0.054
TY	-4021278.003	0.014	3273585.521	0.015	3701666.336	0.012	0.072	0.060

Table 3. Estimated baseline vector components and baseline lengths from Simosato to the FOCP (m).

Site	dx		dy		dz		Baseline	
TT	-668684.107	0.024	-217835.704	0.025	-620181.329	0.024	937665.031	0.024
IS	556634.604	0.025	1110637.339	0.025	-893307.650	0.023	1530148.993	0.025
MT	-1404801.736	0.021	-1147481.190	0.022	-899963.364	0.020	2024874.084	0.021
ON	317064.645	0.019	833377.421	0.019	-715320.022	0.018	1143123.199	0.019
TS	477914.434	0.018	387712.729	0.018	56939.226	0.017	618033.528	0.018
OK	286183.853	0.023	50610.564	0.027	236845.192	0.017	374911.019	0.022
MD	36056.891	0.024	620952.630	0.022	-745609.074	0.025	970986.694	0.028
TK	33930.497	0.015	-878445.590	0.016	764225.078	0.014	1164842.437	0.017
IW	-700413.429	0.013	-76723.168	0.014	-851341.157	0.012	1105100.530	0.014
WK	299459.315	0.014	-920120.075	0.016	1010064.141	0.014	1398758.880	0.018
HT	-265491.958	0.017	-247599.336	0.015	-46670.814	0.013	366018.545	0.017
MK	293938.656	0.027	463131.639	0.021	-216406.249	0.022	589680.010	0.019
OG	90895.741	0.020	-534958.250	0.018	570655.396	0.015	787457.901	0.019
TY	-198889.697	0.016	-425778.026	0.016	194093.246	0.015	508444.911	0.016

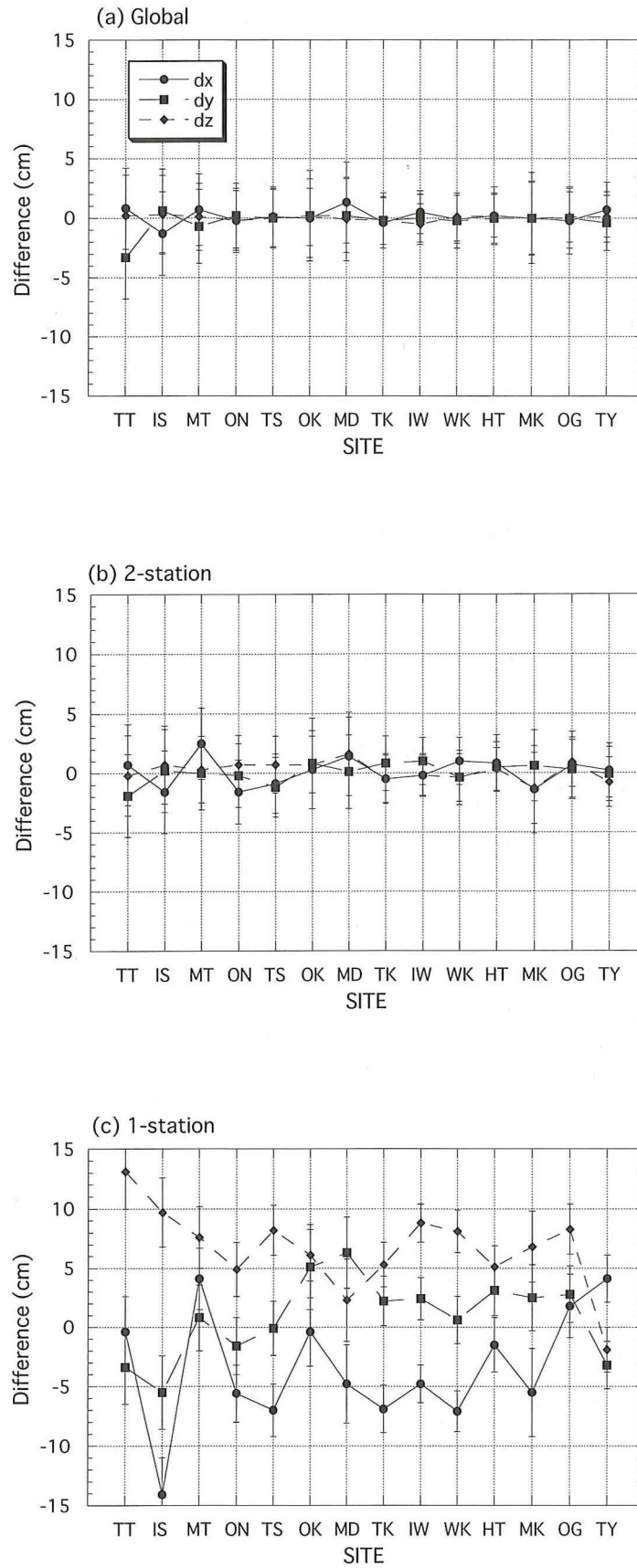


Fig. 2 Comparison of baseline vectors from Simosato to the FOCP estimated for the different fixed stations. Plotted are the relative values to those for the reference solution where Maryland and Hawaii are fixed. The fixed stations adopted for the comparison are (a) Maryland and Greenwich, (b) all stations except Simosato and the FOCP and (c) all stations except the FOCP.

線ベクトル3成分及び基線長を、それぞれ推定誤差と共に示す。これらの解は全て、それぞれの解析の初期時刻における値である。

Table 2からわかるように、解析後の一次基準点データの距離残差の標準偏差は、5-10cmであり、グローバル全局についての距離残差と同程度である。解析期間の長さで残差の間に相関関係は認められない。

4. 考察

4.1-4.3では、本解析によって求められた一次基準点・下里間の基線ベクトル解の安定性について議論する。まず4.1では解析の際に用いた固定局を変えることにより、解がどのような影響を受けるかを、全基準点について比較する。次に4.2で、軌道パラメータの推定頻度の影響、さらに4.3で、大気モデルの違いによる影響について検討する。最後に4.4では、これまで水路部で求められた海洋測地成果との比較を行う。なお以後、前節 Table 2, 3で示した推定結果を基準解と呼ぶ。

4.1 固定局の相違

上記解析では、メリーランドとハワイを固定局として選択したが、ここでは固定局の組み合わせの変化による基線推定結果への影響について考察する。そのために、固定局として次の3通りの場合について解析を行い、基準解との差を求める。

- (a) 米・メリーランドと英・グリニッジ (Royal Greenwich Observatory) を固定
- (b) 一次基準点と下里以外を固定 (2局のみ推定)
- (c) 一次基準点以外を固定 (1局のみ推定)

ただし、(a)については、八丈島と枕崎の解析期間中、グリニッジのデータが欠落しているため、メリーランド1局のみを固定している。

Fig. 2に、下里から一次基準点への基線ベクトル3成分の元の推定値との差を、(a), (b), (c)それぞれについて示す。図から明らかなように、(a), (b)では、各成分とも大変よい一致を示している。特に、(a)では、ほとんどについて、その差が1cm以下である。これに対して、(c)では、全成分について5-10cm程度で大きくばらつく。

Fig. 3に、基線長差を(a), (b), (c)まとめて示す。上記と同様の傾向が見られるが、特に(a)についてはさらに一致がよく、その差は全点にわたり1-2mmを越えない。

これらの比較結果から明らかなように、下里から一次基準点へのベクトル及び基線長の推定結果は、下里を推定するか否かに大きく影響されるが、他のグローバル局を推定するか否かによる影響は小さい。

Fig. 4に、参考のため、下里からのベクトルではなく、推定された一次基準点の絶対座標そのまま

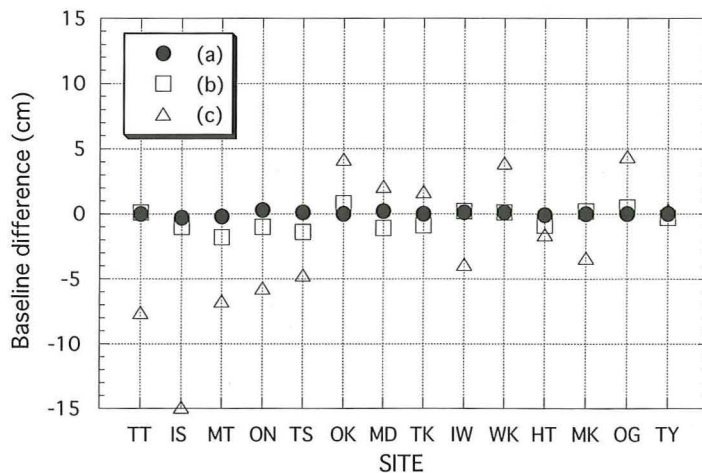


Fig. 3 Comparison of estimated baseline lengths between Simosato and the FOCF for the different fixed stations. See the caption of Fig. 2 for the three cases.

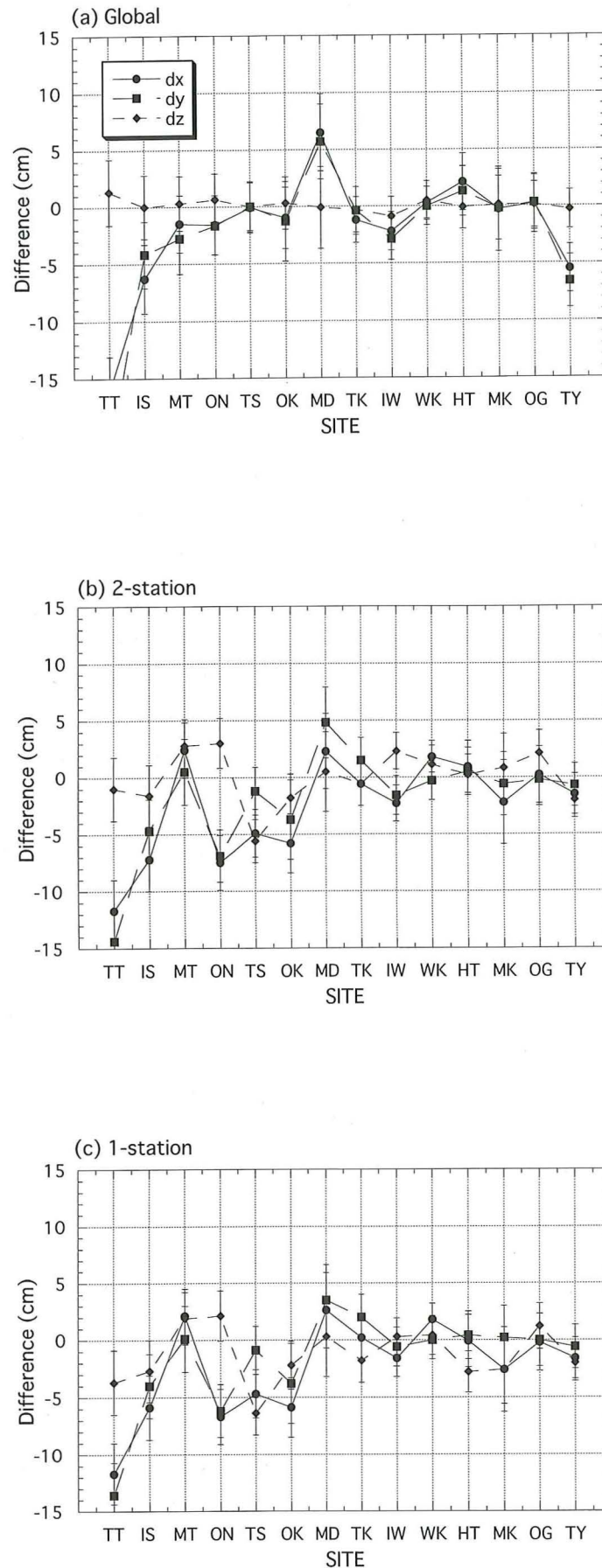


Fig. 4 Comparison of estimated absolute rectangular coordinates of the FOCF for the different fixed stations. See the caption of Fig. 2 for the three cases.

の値について、同様の比較を行った結果を示す。

(a)については、父島でX,Y成分の差が15cmを越えている他、石垣島、南大東島、銚子についても、X,Y成分の差が5cm以上と大きい。その他の点については、2-3cm以内で一致している。総じてZ成分はよく一致していることから、固定局としてハワイとグリニッジを入れ換えることで、推定座標の経度方向に差が生じていると考えられる。

(b), (c)は、(a)に比べると全体的にばらつきが大きいが、詳しく見ると、観測年が古いほど差が大きくなる傾向がある。この一因として、ITRF93の速度場による局位置の時間伝播誤差が影響していることが考えられる。また、図には直接示していないが、(b)と(c)の推定座標値の差は小さく、このことから、グローバル局を固定した場合、下里の座標値の違いは、一次基準点の座標値にあまり影響を与えないことがわかる。

ここで重要なことは、(a)の場合、推定された一次基準点の座標値は局によっては大きな差があるが、下里との基線ベクトル各成分の差は小さく、基線長の推定値はほぼ同一と言ってよいことである。例えば、父島については、座標値はX, Y成分に20cm近い差があるにもかかわらず、ベクトルではY成分に3.2cm程度、基線長に至っては、その差が1mm以下となる。このことから、下里を含むグローバル局位置を推定した場合、たとえ固定局の座標値に多少の誤差があっても、基線長の推定値にはほとんど影響を与えないと結論される。

4.2 軌道パラメータの推定頻度

SLR解析では、衛星初期位置、速度をはじめとする軌道パラメータを推定することにより、衛星軌道誤差を小さくしている。ここでは、最初と最後の観測である父島と銚子について、これらのパラメータの推定頻度に対する基線推定値の変化を調べることにし、解の安定性を確認する。

Table 4に、以下で議論するそれぞれの条件で推定された基線ベクトル各成分、基線長、父島と銚子の解析後残差、全局の解析後残差をまとめて示す。アスタリスクで示した値が基準解である。なお、同表には次節4.3の結果も共に含んでいる。

まず、衛星の初期位置・速度の推定頻度の影響を調べるために、単アーク解である基準解を複数アーク解析結果と比較した。複数アーク解析とは、解析期間内で衛星の位置、速度を複数回推定する方法であり、ここでは衛星位置速度の推定頻度を3日とした。

Table 4から、基線の推定結果は父島、銚子共に、約1cmで一致している。このことから、単アーク法は、十分安定した結果を与えていることがわかる。

次に、あじさいに働く外力に関するパラメータである経験的加速度、大気抵抗係数、太陽輻射圧係数の各推定頻度による影響について検討する。Table 4には、各パラメータの推定頻度として、経験的加速度は1日、2日、3日、4日、5日、10日、大気抵抗係数は1日、3日、5日、10日、太陽輻射圧係数は5日、15日、30日の場合について、それぞれ示している。

Table 4に示された値のうち、基線長の推定結果の変化をFig. 5に示す。図は、父島と銚子それぞれについて、最も頻繁に推定した場合との差を描いている。経験的加速度については、頻度が4-5日を越えると差が急速に大きくなる。また、大気抵抗係数は、経験的加速度に比べると頻度の低下に対する差の拡大は緩やかである。それでも、父島では10日で約3cmの差となる。いずれの場合も、より頻繁に推定するほど、残差の標準偏差は小さくなる。以上の2種のパラメータに比べて、太陽輻射圧は推定結果、残差の標準偏差共に、推定頻度あまり依存せず、頻度30日までの結果は1cm以内に収まる。以上の基線長推定値の変化に見られる傾向は、ベクトル各成分についてもほぼ同様である。

4.3 大気密度モデル

GEODYN-IIでは、大気密度モデルとして、J71 (Jacchia, 1971), DTM (Barlier et al., 1978), MSIS86 (Hedin, 1987) の3つのモデル選択が可能である。ここでは、これらのモデルについて、基線ベクトルの推定結果を比較した。結果をTable 4に示す。表からわかるように、基線ベク

Table 4. Estimated baseline vector components and baseline lengths under different estimation conditions for (a) Titi and (b) Tyosi, together with the rms of range residuals in m. The partition corresponds to the condition for the satellite elements, the empirical acceleration ("a"), the drag coefficient ("d"), the solar radiation pressure coefficient ("s") and the atmospheric density model, respectively. The number subsequent to "a", "d" and "s" indicates the estimation frequency in day. The asterisk indicates the reference condition.

(a) Condition	dx	dy	dz	Baseline	Residual RMS	
	(-668684)	(-217835)	(-620181)	(937665)	Titi	All
single*	.107	.704	.329	.031	0.046	0.066
multi	.110	.692	.348	.042	0.030	0.054
a01	.113	.699	.337	.039	0.036	0.054
a02	.114	.722	.329	.040	0.044	0.062
a03*	.107	.704	.329	.031	0.046	0.066
a04	.130	.718	.331	.052	0.050	0.070
a05	.130	.727	.360	.073	0.052	0.074
a10	.126	.714	.390	.086	0.112	0.108
d01	.102	.676	.339	.027	0.038	0.052
d03*	.107	.704	.329	.031	0.046	0.066
d05	.111	.702	.330	.033	0.056	0.070
d10	.122	.735	.339	.055	0.092	0.094
s05	.112	.700	.325	.031	0.046	0.062
s15	.109	.700	.330	.032	0.046	0.064
s30*	.107	.704	.329	.031	0.046	0.066
MSIS*	.107	.704	.329	.031	0.046	0.066
DTM	.108	.696	.333	.032	0.042	0.064
JAC	.102	.684	.336	.027	0.044	0.066

(b) Condition	dx	dy	dz	Baseline	Residual RMS	
	(-198889)	(-425778)	(194093)	(508444)	Tyosi	All
single*	.697	.026	.246	.911	0.072	0.060
multi	.682	.025	.253	.906	0.070	0.060
a01	.700	.023	.247	.909	0.066	0.066
a02	.702	.024	.242	.909	0.070	0.064
a03*	.697	.026	.246	.911	0.072	0.060
a04	.703	.026	.232	.908	0.080	0.068
a05	.709	.036	.250	.925	0.088	0.076
a10	.711	.990	.226	.878	0.104	0.110
d01	.690	.030	.249	.912	0.068	0.060
d03*	.697	.026	.246	.911	0.072	0.060
d05	.699	.027	.243	.911	0.080	0.074
d10	.702	.032	.239	.915	0.084	0.086
s05	.689	.021	.248	.904	0.074	0.064
s15	.693	.023	.247	.907	0.072	0.066
s30*	.697	.026	.246	.911	0.072	0.060
MSIS*	.697	.026	.246	.911	0.072	0.060
DTM	.697	.026	.247	.911	0.072	0.060
JAC	.698	.026	.246	.911	0.072	0.060

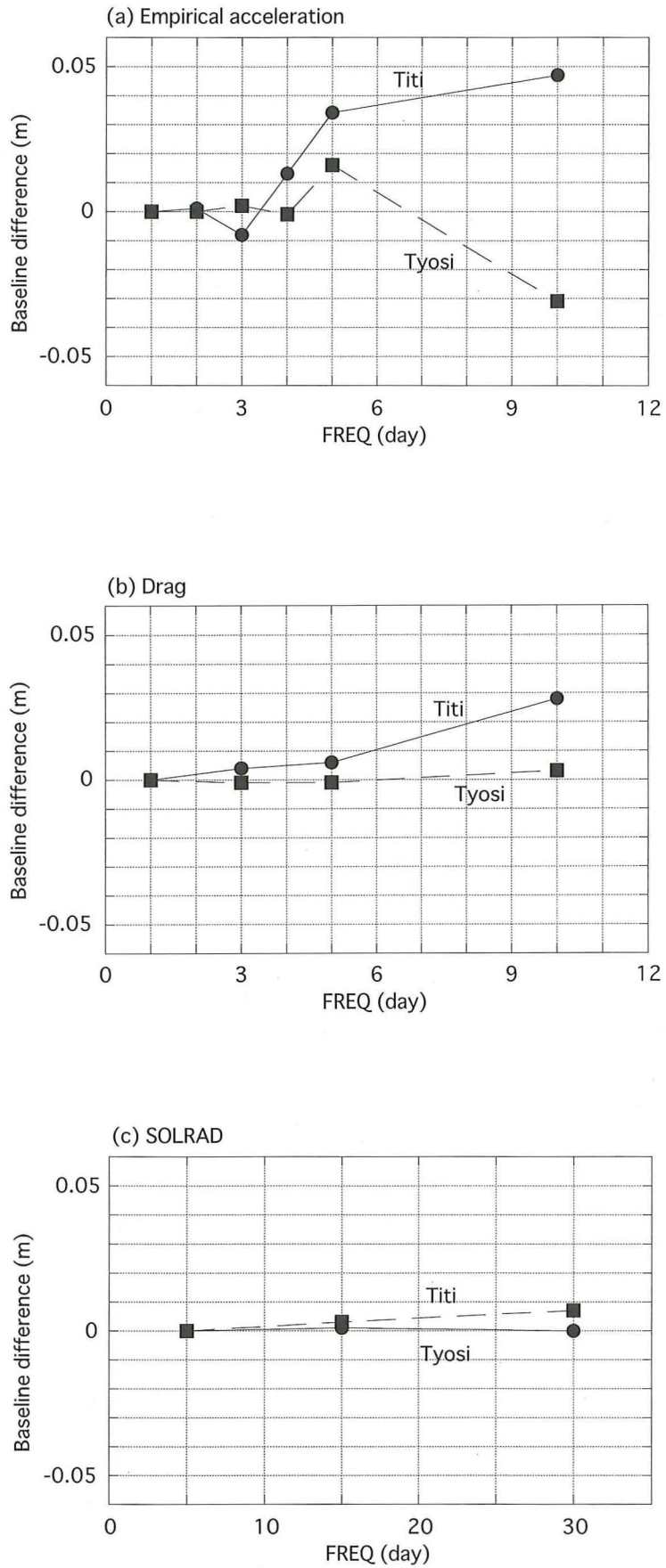


Fig. 5 Variation of estimated baseline lengths against the frequency of estimation of non-gravitational force parameters for Titi and Tyosi : (a) empirical acceleration ; (b) drag coefficient ; (c) solar radiation pressure coefficient.

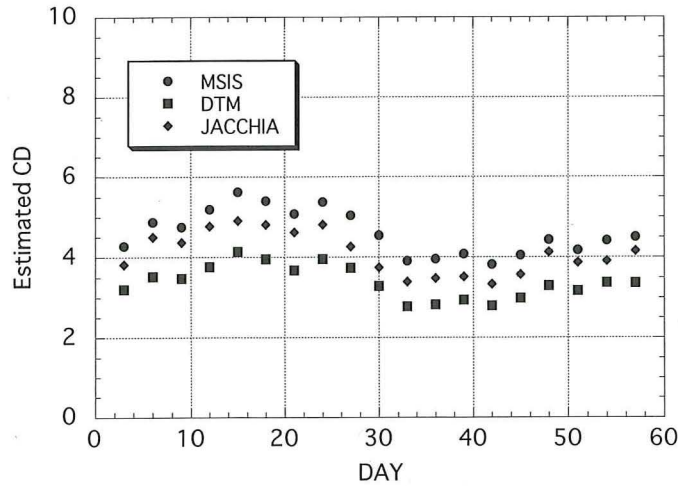


Fig. 6 Temporal variation of estimated drag coefficients for the different atmospheric density models, MSIS86, DTM and JACCHIA71 in the Tyosi analysis.

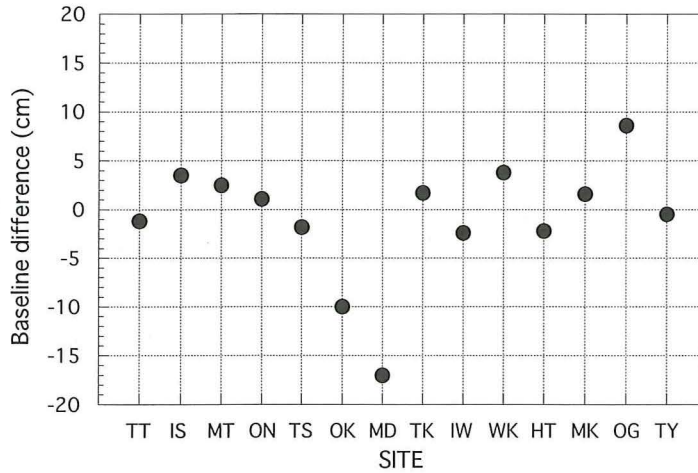


Fig. 7 Differences of the baseline lengths between the current results and the marine geodetic results of JHD.

トル各成分, 基線長共, それぞれの推定値の間に有意な差は認められない。

Fig. 6に, 銚子についてそれぞれのモデルを用いた場合に推定された大気抵抗係数を示す。この図から, 各モデルについて推定された抵抗係数の間には, 系統的な差があることがわかる。衛星にはたらく大気抵抗力の定式は, 密度と抵抗係数双方に比例する形になっているため, このことは, 異なるモデル間の密度差が, 抵抗係数の推定値にほとんど吸収されてしまっていることを意味する。したがって, 抵抗係数を適度に推定することにより, これら3種の大気モデルの選択にほとん

ど依存しない非常に安定な解が得られる。

4.4 海洋測地成果との比較

水路部では, 一次基準点データの解析結果として, 海洋測地成果 (eg. 藤田, 1995) を導出している。海洋測地成果は, 原則としてあじさいデータにSPORT法 (Sasaki et al., 1989) と呼ばれる局所解析法を適用することによって求めている。SPORT法とは, 下里と一次基準点2局の同時パスデータのみを用い, 下里の座標値を固定して, 短アーク解析により解く方法である。

Fig. 7に海洋測地成果と本解析結果との基線長差を示す。図からわかるように, 隠岐, 南大東島,

男鹿の3点で差が特に大きく、その他の点では、3-4 cm以内で一致している。

はじめにも述べたように、SPORT 法は、解析できるデータが少ないことや、衛星軌道の観測局に対する幾何学的配置等にも影響を受けやすいことなどから、本解析による基準解の方がより精度が高いと考えられる。したがって、Fig. 7の結果の解釈として、海洋測地成果による下里・一次基準点間の基線長の標準的な精度は3-4 cm程度であり、差の大きい3点は、何らかの理由で、SPORT 法の結果に大きな誤差が生じたと考えるのが妥当である。例えば、最も差の大きい南大東島では、SPORT 法により解析されたデータが全点で最も少ないため、結果の信頼性は相対的に低い。このことは、上記解釈を暗に支持している。

5. まとめ

一次基準点全14点のあじさいデータのグローバル解析を行い、一次基準点座標値及び下里との基線ベクトルを求めた。また、基線ベクトルの推定結果について、異なる解析条件による比較を行い、解の安定性について議論した。

その結果、下里・一次基準点間の基線ベクトル及び基線長の推定値は、

- (1) 下里の座標値を推定することによって1 cm以内に決まるが、下里を固定すると、その固定値に依存した誤差が生ずる。
- (2) 単アーク解析と3日アーク解析の結果は、約1 cmで一致する。
- (3) 経験的加速度、大気抵抗係数の推定頻度が3日以下で、1 cm以内の安定した結果が得られる。推定頻度への依存性は経験的加速度の方が大きい。
- (4) 太陽輻射圧係数の推定頻度には、ほとんど依存しない。
- (5) 大気モデルの差には、ほとんど依存しない。これは、大気抵抗係数を推定することによって、モデル間の密度差が、その推定値に吸収されるためと考えられる。

これらの結果から、本解析によって求められた

基準解は、解析条件に対して十分に安定であると結論される。

また、本解析による下里・一次基準点間の基線長推定結果を海洋測地成果と比較すると、特に差の大きい3点を除き、3-4 cm程度の一致を示した。

謝 辞

本研究に用いた一次基準点及び下里のSLRデータ取得は、海上保安庁水路部航法測地課、第五管区海上保安本部下里水路観測所の歴代職員の方々によるものである。また、GEODYN-IIによる解析にあたっては、NASA/GSFCのDave Rowlands氏にお世話になった。ここに、深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- Barlier, F., Berger, C., Falin, J., Kockarts, G., Thuillier, G.: Atmospheric Model Based on Satellite Drag Data, *Ann. Geophys.*, **34**, 9-24, (1978).
- Boucher, C., Altamimi, Z., Duhem, L.: Results and Analysis of the ITRF93, *IERS TECHNICAL NOTE*, **18**, (1994).
- Eddy, W.F., McCarthy, J.J., Pavlis, D.E., Marshall, J.A., Luthke, S.B., Tsaoussi, L.S., Leung, G., Williams, D.A.: GEODYN-II System Operations Manual, Vol.1-5, *Contractor Report, ST Syst. Corp.*, Lanham, Md., (1990)
- 藤田雅之: 海洋測地網一次基準点座標値の再計算 (海洋測地成果), 水路部観測報告衛星測地編, **8**, 83-90, (1995).
- 福島登志夫, 内山丈夫, 西村秀樹, 仙石新, 海洋測地網一次基準点の位置決定, 水路部観測報告衛星測地編, **4**, 60-95, (1991).
- Hedin, A.E., MSIS-86 Thermospheric Model, *J. Geophys. Res.*, **92**, 4649-4662, (1987).
- Jacchia, L.G., Revised Static Models of the Thermosphere and Exosphere with

- Empirical Temperature Profiles, *Special Report* 332, Smithsonian Institution Astrophysical Observatory (SAO), Cambridge, MA, (1971).
- Nerem, R.S., Lerch, F.J., Marshall, J.A., Pavlis, E.C., Putney, B.H., Tapley, B.D., Eanes, R.J., Ries, J.C., Schutz, B.E., Shum, C.K., Watkins, M.M., Klosko, S.M., Chan, J.C., Luthcke, S.B., Patel, G.B., Pavlis, N.K., Williamson, R.G., Rapp, R.H., Biancale, R., Nouel, F. : Gravity Model Development for TOPEX/POSEIDON : Joint Gravity Models 1 and 2, *J. Geophys. Res.*, **99**, 24421-24447, (1994).
- Sasaki, M., Sengoku, A., Kubo, Y., Kanazawa, T. : Baseline Determination by a Short Arc Satellite Laser Ranging Technique., *J. Geod. Soc.*, **35**, 117-126, (1989).
- Sengoku, A. : Determination of Precise Positions of Titi Sima and Isigaki Sima by Satellite Laser Ranging., *Rep. Hydrogr. Res.*, **27**, 181-195, (1991).
- Sengoku, A. : Estimation of the positions of the first order control points from global analysis of Ajisai and LAGEOS SLR data, *this issue*.
- Sengoku, A., Cheng, M.K., Schutz, B.E. : Anisotropic Reflection Effect on Satellite, Ajisai, *Jour. Geod.*, **70**, 140-145, (1995).