

海洋測地基準点観測（父島，1996年）

Satellite Laser Ranging Observations at the Marine Geodetic Control Point (Titi Sima) in 1996

Summary - We present a relative velocity vector of Titi Sima to Simosato based on the SLR analyses for the campaign observation periods in 1988 and 1996. We give an absolute height of mean sea level above the WGS-84 ellipsoid.

Key words : satellite laser ranging - Ajisai - GPS - marine geodetic controls

1. はじめに

水路部では、領海等我が国の管轄海域の確定と、海洋における測位精度の向上を目的として、1980年から海洋測地網の整備を推進してきた（Kubo, 1988）。日本周辺に設置した海洋測地基準点（水路部が構築した海洋測地網の基準点の総称を指す）のうち、主要な島等に設置された一次基準点は、本土基準点（下里水路観測所）と結合され、海洋測地網の骨格を形成する役割を担っており、1988年から一次基準点観測が行われている。

これら海洋測地基準点の海洋測地成果（辰野・藤田, 1994）は、水路部観測報告衛星測地編第8号（藤田, 1995）及び同第9号（寺井他, 1996）に一括してまとめられている。択捉島を除き、その観測が一巡したので、1996年より異なるプレート上に位置し、かつ日本外縁部にある父島、石垣島、南鳥島、稚内の海洋測地基準点について、年1カ所づつ4年周期で測地衛星によるレーザー測距観測を行い、精密な位置を求めるとともに、我が国周辺のプレート運動を把握することとしている。また、海洋測地基準点と最寄りの験潮所を結合し地球重心に基づく海水面の絶対高を決定する。

本報告では、1996年に実施した「あじさい」（Sasaki, 1987）等による父島（Fig. 1）における海洋測地基準点観測とその位置の成果（海洋測地成果）、1988年のレーザー測距観測との比較から下里に対する父島の相対的な変化量、父島の平均海面の楕円体高及び父島内のGPS測量について報告する。観測方法については、同第4号（福島他, 1991）を参照されたい。

2. 父島の海洋測地基準点観測

2.1. 概要

2.1.1. 作業経過

1996年9月中旬から12月初旬にかけて、下里及び父島において「あじさい」等の同時観測を実施した。なお、この同時観測前の1996年5月中旬に、下里において比較観測を実施した。

2.1.2. 主な作業

- (1) 「あじさい」等同時観測による位置決定
父島を決定。
- (2) 地上測量
父島で実施。
- (3) GPS水準測量
父島レーザー観測点と至近の験潮所とでGPSによる水準測量を実施。
- (4) 島内GPS測量
父島レーザー観測点から至近の補助点と島内の三角点等でGPSによる測量を実施。

2.1.3. 使用装置等

- (1) 海洋測地基準点
可搬式レーザー測距装置（Sasaki, 1988）。

(2) 本土基準点

固定式レーザー測距装置 (Sasaki et al., 1983).

2.1.4. 観測データ

父島と下里の同時観測において得られたレーザー測距データは、本号別稿 (Terai et al., 1998) に報告されている。

2.2. 観測

2.2.1 観測地点

(1) 海洋測地基準点「父島」

東京都小笠原村父島夜明山N T T無線中継所構内 (Fig. 2, 3) .

(2) 本土基準点

和歌山県東牟婁郡那智勝浦町下里第五管区海上保安本部下里水路観測所。

2.2.2. 観測班

(1) 海洋測地基準点

前半：寺井孝二，富山新一，福良博子 (航法測地課)

成田誉孝 (下里水路観測所)

後半：松本邦雄，住谷雪，渡邊博明 (航法測地課)

小新紀子 (下里水路観測所) .

(2) 本土基準点

第五管区海上保安本部下里水路観測所職員。

2.2.3. 作業期間

1996年9月20日から1996年12月7日

(うち設営9月20日～25日，撤収12月3日～7日) .

2.2.4. 観測数

レーザー測距観測

	衛星	パス数	リターン数
海洋測地基準点	あじさい	35	12,207
	ラジオス	12	1,050
	ラジオス	26	5,851
	TOPEX	9	6,329
	スターレット	2	732
	ステラ	2	177
本土基準点	あじさい	112	110,838
	ラジオス	31	32,428
	ラジオス	41	69,513
	TOPEX	22	19,285
	スターレット	22	12,322
	ステラ	16	5,980

2.2.5. レーザー測距観測

(1) 海洋測地基準点

東京都小笠原村父島夜明山N T T無線中継所構内に機器を設置した。あらゆる方向に樹木が生育し、特に北側及び南側は高度30度前後の高い木々で、西から北西にかけてはN T Tの局舎により高

度 25 度まで視界が遮られ良好な視界は得られなかった。

あじさい, ラジ奥斯等の測地衛星のレーザー測距観測を実施した。

(2) 本土基準点

あじさい, ラジ奥斯等の測地衛星のレーザー測距観測を実施した。

2.2.6. 地上測量

基準点標石「父島」, NTT局舎屋上補助点, 可搬式レーザー測距装置の不動点及び地上標的の地上測量をトータルステーションを用いて行った。測量原点は, 三等三角点「夜明山」とし, 三等三角点「大村西町」を方位の基準標とした (Fig. 4)。

2.2.7. 直接水準測量及びGPS水準測量

(1) 直接水準測量

可搬式レーザー測距装置の不動点と基準点標石「父島」間, 同不動点とNTT無線中継所局舎屋上補助点間, 同標石「父島」と近傍の東京都2級水準点 No. 35 (旭山) 間及び父島駿潮所近傍の三角点「大村西町」と父島駿潮所球分体間の直接水準測量をオートレベルを用いて行った。

(2) GPS水準測量

可搬式レーザー測距装置の不動点と父島駿潮所近傍の三角点「大村西町」でGPS同時観測を行った。

2.2.8 島内GPS測量

NTT無線中継所局舎屋上補助点を基準として, 島内の三角点等においてGPS同時観測を行った。

2.3. 解析成果

2.3.1. レーザー測距観測による海洋測地成果

得られたデータは, あじさいが35パス, ラジ奥斯 が12パス, ラジ奥斯 が26パスである。1988年の観測時には, 下里と父島において観測された「あじさい」の同時連続データを用い, 下里座標を固定してSPORT法により解析したが, 本観測の目的の1つであるプレート運動の把握ということから, 今回の解析は, 父島同様に世界における下里の動きを知るため両観測点の座標を未知数として, あじさい, ラジ奥斯, ラジ奥斯 のグローバルデータをNASAのソフトウェアGEODYN-SOLVEを用いて行った。ここで, GSFC (station ID:7105) の経緯度及びハワイ (7210) の緯度をITRF93(Boucher et al., 1994)に固定し, 下里及び父島の座標を推定した。父島における前回の観測データ (1988年) についても, 同様にあじさい, ラジ奥斯 のグローバルデータを用いて再解析を行った。

解析の結果, 1996年における下里レーザー不動点の世界測地系推定座標値は, 以下のとおりである。

$$\begin{aligned} X_S &= -3822388.379\text{m} \\ Y_S &= 3699363.586\text{m} \\ Z_S &= 3507573.144\text{m} \end{aligned}$$

また, 1996年における父島レーザー不動点の世界測地系推定座標値は,

$$\begin{aligned} X_T &= -4491068.257\text{m} \\ Y_T &= 3481531.208\text{m} \\ Z_T &= 2887394.378\text{m} \end{aligned}$$

と求まった。

また、基準点標石「父島」の世界測地系座標は、地上測量成果 (Table 2) から父島レーザー不動点と同標石の座標差を補正して

$$\begin{aligned} X_H &= -4491061.038\text{m} \\ Y_H &= 3481517.975\text{m} \quad \dots\dots\dots \\ Z_H &= 2887417.405\text{m} \end{aligned}$$

である。

また、下里レーザー不動点と基準点標石「父島」間の基線ベクトル (-) 及び基線長は、以下のとおりである。

$$\begin{aligned} X_{1996} &= -668672.659\text{m} \\ Y_{1996} &= -217845.611\text{m} \quad \dots\dots\dots \\ Z_{1996} &= -620155.739\text{m} \\ \\ D_{1996} &= 937642.243\text{m} \quad \dots\dots\dots \end{aligned}$$

また、前回 1988 年のレーザー測距観測データの再解析により、下里レーザー不動点と基準点標石「父島」の基線ベクトル及び基線長は、

$$\begin{aligned} X_{1988} &= -668672.927\text{m} \\ Y_{1988} &= -217845.765\text{m} \quad \dots\dots\dots \\ Z_{1988} &= -620155.809\text{m} \\ \\ D_{1988} &= 937642.516\text{m} \quad \dots\dots\dots \end{aligned}$$

と求まった。

ここで、基準点標石「父島」の海洋測地成果は、下里レーザー 10 年成果 (辰野・藤田, 1994) を原点座標として相対的に求められた、各海洋測地基準点の座標値である。

下里レーザー 10 年成果である下里レーザー不動点座標は、

$$\begin{aligned} X_S &= -3822388.272\text{m} \\ Y_S &= 3699363.582\text{m} \quad \dots\dots\dots \\ Z_S &= 3507573.187\text{m} \end{aligned}$$

であるから、下里レーザー不動点と基準点標石「父島」の基線ベクトル 及び に を加えた値が 1996 年及び 1988 年の基準点標石「父島」の海洋測地成果である。

従って、1996 年観測による基準点標石「父島」の海洋測地成果 (世界測地系) は、

$$\begin{aligned} X_H &= -4491060.931\text{m} \\ Y_H &= 3481517.971\text{m} \quad \dots\dots\dots \\ Z_H &= 2887417.448\text{m} \end{aligned}$$

同様に, 1988年観測による基準点標石「父島」の海洋測地成果(世界測地系)は,

$$\begin{aligned} X_H &= -4491061.199\text{m} \\ Y_H &= 3481517.817\text{m} \quad \dots\dots\dots \\ Z_H &= 2887417.378\text{m} \end{aligned}$$

と求めた。

上記の地心直交座標(,)を原点シフト量(水路部観測報告衛星測地編第7号, p. 106)により, 日本測地系に変換し, さらに経緯度と楕円体高で表すと, 1996年観測による, 基準点標石「父島」の海洋測地成果(日本測地系)は,

$$\begin{aligned} \lambda_H &= 27^\circ 05' 16."1783 \\ \phi_H &= 142^\circ 13' 11."7120 \quad \dots\dots\dots \\ H &= 296.858\text{m} \end{aligned}$$

同様に, 1988年観測による, 基準点標石「父島」の海洋測地成果(日本測地系)は,

$$\begin{aligned} \lambda_H &= 27^\circ 05' 16."1745 \\ \phi_H &= 142^\circ 13' 11."7224 \quad \dots\dots\dots \\ H &= 296.931\text{m} \end{aligned}$$

と決定された。

ただし, ここで λ 及び ϕ は共に下里及び父島観測点の座標を未知数としてグローバル解析した結果を, 下里レーザー10年成果である原点座標に平行移動したときの下里原点座標からの相対座標であり, 前回1988年観測時の海洋測地成果(藤田, 1995)はSPORT法による解析結果であることに注意する必要がある。

2.3.2. レーザー測距観測による父島の相対運動

前項で, 1988年及び1996年のレーザー測距観測による下里レーザー不動点と基準点標石「父島」の基線ベクトル及び基線長をそれぞれ求めた。

従って, 2回の観測結果の差から約8年間の下里レーザー不動点と基準点標石「父島」の直交座標成分及び基線長の変化量が求められる。すなわち, dX , dY , dZ 及び d_{Base} からその変化量は,

$$\begin{aligned} dX &= -0.268\text{ m} \\ dY &= -0.154\text{ m} \quad \dots\dots\dots \\ dZ &= -0.070\text{ m} \\ d_{Base} &= -0.273\text{ m} \quad \dots\dots\dots \end{aligned}$$

である。ここで, 下里座標を固定して父島の水平方向の移動速度 V_h とその方向 Azimuth を計算すると

$$\begin{aligned} V_h &= 35\text{mm} / \text{y} \quad \dots\dots\dots \\ \text{Azimuth} &= 292^\circ \end{aligned}$$

と求めた。

2.3.3. 海面絶対高

父島レーザー不動点におけるレーザー測距観測成果，レーザー不動点と験潮所付近の三角点でのGPS同時観測成果，同三角点と験潮所間の水準測量成果及び験潮記録から平均海水面の世界測地系準拠楕円体高を求める。

まず，父島でのレーザー測距観測によるレーザー不動点の海洋測地成果(世界測地系)は + - より

$$\begin{aligned} X_T &= -4491068.150\text{m} \\ Y_T &= 3481531.204\text{m} \\ Z_T &= 2887394.421\text{m} \end{aligned}$$

と求まった。これを世界測地系準拠楕円体の諸元($a = 6378137\text{ m}$ 及び $1/f = 298.257223563$)を用いて緯度，経度，楕円体高 H_T に直すと

$$\begin{aligned} &= 27^\circ 05' 30."469 \\ &= 142^\circ 13' 00."183 \\ H_T &= 262.83\text{m} \end{aligned}$$

と求まる。次に父島レーザー不動点と験潮所近傍の三角点「大村西町」のGPS同時観測より同三角点の緯度，経度，楕円体高 H_M は以下のとおり求まった。

$$\begin{aligned} &= 27^\circ 05' 36."040 \\ &= 142^\circ 11' 40."687 \\ H_M &= 51.50\text{m} \end{aligned}$$

また，三角点「大村西町」と父島験潮所球分体間の直接水準測量から同三角点に対する験潮所球分体の比高 h_{M-K} は

$$h_{M-K} = 0.846\text{m}$$

平成9年潮位表(気象庁発行)によると，1991年から1995年の5年間の平均から求めた同験潮所球分体に対する平均海面の比高 h_{K-m} は

$$h_{K-m} = -2.283\text{ m}$$

である。従って，三角点「大村西町」に対する平均海面の比高 h_{M-m} は

$$h_{M-m} = h_{M-K} + h_{K-m} = -1.437\text{m}$$

と求まった。

ここで，三角点「大村西町」と父島験潮所との水平距離は約6.8mと近いので，両点でのジオイド高の変化量を無視できると仮定して，上記の方法で求めた両点の高低差は，楕円体高差と等しいと考える。従って，平均海面の楕円体高 H_m は，三角点「大村西町」の楕円体高に両点の高低差を加えて

$$H_m = H_M + h_{M-m} = 50.06\text{m}$$

と求まった。

2.3.4. GPS測量

基準点標石「父島」上では観測条件が悪く、GPS観測ができなかったため、父島レーザー不動点
に最も近いNTT無線中継所局舎屋上に設置した金属標補助点を原点として、島内の三角点等とGPS
同時観測を行い、同補助点から各観測点への基線ベクトル及び基線長を求めた。

なお、原点とした同補助点の座標は、父島レーザー不動点とのGPS同時観測により求め、下里レー
ザー10年成果に基づいた海洋測地成果である。

すなわち、同補助点の地心直交座標(世界測地系)は、

$$\begin{aligned} X &= -4491067.743\text{m} \\ Y &= 3481540.598\text{m} \\ Z &= 2887391.514\text{m} \end{aligned}$$

である。

また、GPS観測点は、三角点「夜明山」、三角点「大村西町」、三角点「中央山」、東京都1級
水準点No.12(中山峠)、同2級水準点No.1(長崎岬)及び同2級水準点No.35(旭山)である。
(Fig. 5)。

以下、Table 1 にレーザー不動点及び基準点標石の海洋測地成果と平均海面の楕円体高を、Table 2
に地上測量成果を、Table 3 にGPS測量成果を示す。

本報告は、寺井孝二、福良博子、渡邊博明が作成した。

参 考 文 献

- 福島登志夫, 内山丈夫, 西村英樹, 仙石新, 1991:水路部観測報告衛星測地編, 4, p. 60.
藤田雅之, 1995:同, 8, p. 83.
Boucher et al., 1994:Boucher, C., Z. Altamimi, and L.Duhem, *Results and Analysis of the ITRF93, IERS
TECHNICAL NOTE, 18.*
Kubo, Y., 1988:*J. Geophys. Res.*, 1, p. 1.
Sasaki, M., 1987:*Data Report of Hydrogr. Obs., Series of Astronomy and Geodesy*, 21, p. 90.
Sasaki, M., Ganeko, Y., Harada, Y., 1983:*Report of Hydrogr. Res.*, 17, p. 49.
Sasaki, M., 1990:*ibid.*, 26, p. 99.
Sasaki, M., 1988:*Data Report of Hydrogr. Obs., Series of Satellite Geodesy*, 1, p. 59.
仙石新, 内山丈夫, 西村英樹, 1992:水路部観測報告衛星測地編, 5, p. 43.
鈴木晃, 藤田雅之, 1995:同, 8, p. 34.
辰野忠夫, 藤田雅之, 1994:同, 7, p. 102.
Terai, K., Watanabe, H., Daimon, H., 1997:*Data Report of Hydrogr. Obs., Series of Satellite Geodesy*,
11, p. 1.

Satellite Laser Ranging Observations at the Marine Geodetic Control Point (Titi Sima) in 1996

Table 1. Summary of Results in Titi Sima : Marine Geodetic Results

	Coordination		Comments
海洋測地成果	レーザー不動点	X _T = - 4491068.150m Y _T = 3481531.204m Z _T = 2887394.421m	WGS
	標石	H = 27° 05' 31."339 H = 142° 13' 00."402 楕円体高 = 261.02m	
		H = 27° 05' 16."178 H = 142° 13' 11."712 楕円体高 = 296.86m	TD
	三角点成果への補正量	= - 0."055 = - 0."007 ジオイド高 = 85.82m	補正量は平成5年地理院成果に基づく値
平均海面等の楕円体高	平均海面高	H _m = 50.06m	1991年から1995年までの験潮記録の平均による
	験潮所球分体高	H _k = 52.35m	

Table 2. The Ground Survey results at Titi Sima in Tokyo datum

Station	φ	λ	h	Note
三角点「夜明山」F1 Triang. P. Yoakeyama	° ' " 27 05 02.996	° ' " 142 13 13.874	m 307.58	GSI result
三角点「大村西町」F2 Triang. P. Omuranisimati	27 05 20.935	142 11 51.996	1.67	<i>ibid.</i>
補助点「NTT局舎」P Aux. P. NTT kyokusya	27 05 15.198	142 13 11.221	216.40	
基準点標石「父島」H Control P. Stone Marker	27 05 16.2332	142 13 11.7187	211.037	
レーザー測距装置 T SLR System	27 05 15.3628	142 13 11.4996	212.847	
H - T	+ 0.8704	+ 0.2191	- 1.810	Relative

h : the height above the(local) mean sea level

Table 3. The GPS Survey results at Titi Sima:

The baseline vectors between the auxiliary point NTT kyokusya and the GPS measured point;

GPS measured point	X	Y	Z	baseline
	m	m	m	m
三角点「夜明山」 Triang. P. Yoakeyama	- 244.092	96.744	- 292.818	393.297
三角点「大村西町」 Triang. P. Omuranisimati	1552.102	1558.075	59.305	2200.031
三角点「中央山」 Triang. P. Tyuoyama	- 931.771	463.455	- 1769.124	2052.508
東京都 1 級水準点 No.12 (中山峠)	12.292	2706.735	- 3424.554	4365.104
東京都 2 級水準点 No.1 (長崎岬)	633.371	31.780	819.877	1036.517
東京都 2 級水準点 No.35 (旭山)	165.209	- 121.206	374.484	426.876