

海洋測地基準点観測（石垣島，1997年）
SATELLITE LASER RANGING OBSERVATIONS
AT THE MARINE GEODETIC CONTROL POINT (ISIGAKI SIMA) IN 1997

Summary - We present a relative velocity vector of Isigaki Sima to Simosato based on the SLR analyses for the campaign observation periods in 1988 and 1997. 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カ所ずつ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、1997年に実施した「あじさい」(Sasaki, 1987)等による石垣島 (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石垣島の相対的な変化量、石垣島の平均海面の楕円体高及び石垣島内の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. 海洋測地基準点観測

2.1. 概要

2.1.1. 作業経過

1997年7月中旬から11月初旬にかけて、下里及び石垣島において「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1997年5月下旬に、下里において比較観測を実施した。

2.1.2. 主な作業

(1) レーザー測距観測

本土基準点と「あじさい」等同時観測による石垣島観測点の位置を決定。

(2) 島内GPS測量

石垣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。

(3) GPS水準測量

石垣島レーザー観測点と石垣験潮所（気象庁）間でGPSによる水準測量を実施。

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)。

SATELLITE LASER RANGING OBSERVATIONS
AT THE MARINE GEODETIC CONTROL POINT (ISIGAKI SIMA) IN 1997

2.2. 観測

2.2.1. 観測地点

(1) 海洋測地基準点「石垣島」

沖縄県石垣市登野城 1820 番地 石垣市水道部浄水場内 (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

第一班：松本邦雄，住谷 雪，渡邊博明 (航法測地課).

高梨泰宏 (下里水路観測所).

第二班：小山 薫，鈴木充広，池田信広 (航法測地課).

栗原恵美 (下里水路観測所).

第三班：寺井孝二，澤田剛一，福良博子 (航法測地課).

小林伸乃介 (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

1997年7月19日から1997年11月9日(うち設営7月19日~23日,撤収11月5日~9日).

2.2.4. 観測数

石垣島において得られたデータは, 本号別稿 (Koyama et al., 1998) に報告されている.

2.2.5. レーザー測距観測

(1) 海洋測地基準点

石垣市浄水場構内に機器を設置した. あらゆる方位について, 高度20度以上の視界を確保できた. あじさい, ラジオス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, ラジオス等の測地衛星のレーザー測距観測を実施した.

2.2.6. 島内 GPS 測量

可搬式レーザー測距装置の不動点を基準として, 島内の三角点等においてGPS同時観測を行った.

2.2.7. 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不動点脇補助点間, 石垣験潮所近傍の仮BMと同験潮所間で直接水準測量を水準儀を用いて行った.

(2) GPS水準測量

可搬式レーザー測距装置の不動点と石垣験潮所近傍の仮BM及び, 基準点標石「石垣島」でGPS同時観測を行った.

SATELLITE LASER RANGING OBSERVATIONS
AT THE MARINE GEODETIC CONTROL POINT (ISIGAKI SIMA) IN 1997

3. 解析成果

3.1. レーザー測距観測による海洋測地成果

解析に用いたデータは、「あじさい」が33パスと「ラジオスI」が22パスであり、「ラジオスII」については、データ数が少なかったため使用しなかった。

石垣島と下里水路観測所において観測された「あじさい」及び「ラジオスI」のグローバルデータを、両観測点の座標を未知数として、NASAのソフトウェアGEODYN-II/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、レーザー不動点の座標を推定した。また、石垣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、ラジオスI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 GEODYN-II/SOLVE により、1997年及び1988年における固定式レーザー不動点の世界測地系推定座標値は、

$$\begin{aligned} X_{S1997} &= -3822388.3592 \text{ m} \\ Y_{S1997} &= 3699363.5930 \text{ m} \\ Z_{S1997} &= 3507573.1920 \text{ m} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} X_{S1988} &= -3822388.3961 \text{ m} \\ Y_{S1988} &= 3699363.4793 \text{ m} \\ Z_{S1988} &= 3507573.2678 \text{ m} \end{aligned} \quad (1)'$$

また、1997年及び1988年における可搬式レーザー不動点の世界測地系推定座標値は、

$$\begin{aligned} X_{T1997} &= -3265797.9998 \text{ m} \\ Y_{T1997} &= 4809974.1322 \text{ m} \\ Z_{T1997} &= 2614255.2129 \text{ m} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} X_{T1988} &= -3265753.8824 \text{ m} \\ Y_{T1988} &= 4810000.8317 \text{ m} \\ Z_{T1988} &= 2614265.6049 \text{ m} \end{aligned} \quad (2)'$$

と求まった。

GPS 測量により、1997年の可搬式レーザー不動点と石垣島標石の座標差は、

$$\begin{aligned} X_{1997} &= -2952.8814 \text{ m} \\ Y_{1997} &= -2734.7020 \text{ m} \\ Z_{1997} &= 1374.4401 \text{ m} \end{aligned} \quad (3)$$

光学測量により、1988年の可搬式レーザー不動点と石垣島標石の座標差は、

$$\begin{aligned} X_{1988} &= -2996.5793 \text{ m} \\ Y_{1988} &= -2761.3683 \text{ m} \\ Z_{1988} &= 1364.6542 \text{ m} \end{aligned} \quad (3)'$$

と求まり、石垣島標石の1997年の世界測地系座標(2)+(3)は、

$$\begin{aligned} X_{H1997} &= -3268750.8812 \text{ m} \\ Y_{H1997} &= 4807239.4302 \text{ m} \end{aligned} \quad (4)$$

**SATELLITE LASER RANGING OBSERVATIONS
AT THE MARINE GEODETIC CONTROL POINT (ISIGAKI SIMA) IN 1997**

$$Z_{HI1997} = 2615629.6530 \text{ m}$$

同様に，1988 年は (2)' + (3)'

$$\begin{aligned} X_{HI1988} &= -3268750.4617 \text{ m} \\ Y_{HI1988} &= 4807239.4634 \text{ m} \\ Z_{HI1988} &= 2615630.2591 \text{ m} \end{aligned} \quad (4)'$$

と求まった．ここで1997年における固定式レーザー不動点と石垣島標石の基線ベクトル (4) - (1) 及び基線長は，

$$\begin{aligned} X_{1997} &= 553637.4780 \text{ m} \\ Y_{1997} &= 1107875.8372 \text{ m} \\ Z_{1997} &= -891943.5390 \text{ m} \end{aligned} \quad (5)$$

$$Baseline_{1997} = 1526259.0227 \text{ m} \quad (6)$$

同様に，1988 年は (4)' - (1)'

$$\begin{aligned} X_{1988} &= 553637.9344 \text{ m} \\ Y_{1988} &= 1107875.9841 \text{ m} \\ Z_{1988} &= -891943.0087 \text{ m} \end{aligned} \quad (5)'$$

$$Baseline_{1988} = 1526258.9850 \text{ m} \quad (6)'$$

と求まった．

地心座標から世界測地系の変換は，準拋楕円体の諸元 ($a = 6378137\text{m}$, $1/f = 298.257223563$) を用いて，緯度，経度，楕円体高 H に算出した．

固定式レーザー不動点の海洋測地成果 (辰野・藤田，1994; 世界測地系) は，

$$\begin{aligned} X_S &= -3822388.2720 \text{ m} \\ Y_S &= 3699363.5820 \text{ m} \\ Z_S &= 3507573.1870 \text{ m} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} &= 33^\circ 34' 39.6996'' \\ &= 135^\circ 56' 13.3367'' \\ H &= 101.6162 \text{ m} \end{aligned}$$

であるから，1997年の可搬式レーザー不動点の海洋測地成果は，(7) + (2) - (1) で，

$$\begin{aligned} X_{T1997} &= -3265797.9126 \text{ m} \\ Y_{T1997} &= 4809974.1212 \text{ m} \\ Z_{T1997} &= 2614255.2079 \text{ m} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} &= 24^\circ 21' 20.3936'' \\ &= 124^\circ 10' 30.2944'' \\ H &= 81.9282 \text{ m} \end{aligned}$$

SATELLITE LASER RANGING OBSERVATIONS
AT THE MARINE GEODETIC CONTROL POINT (ISIGAKI SIMA) IN 1997

同様に, 1988年は, (7) + (2) '- (1)'

$$\begin{aligned}
 X_{T1988} &= -3265753.7583 \text{ m} \\
 Y_{T988} &= 4810000.9344 \text{ m} \\
 Z_{T988} &= 2614265.5241 \text{ m} \\
 &= 24^\circ 21' 20.7342'' \\
 &= 124^\circ 10' 28.4640'' \\
 H &= 83.7966 \text{ m}
 \end{aligned} \tag{8}'$$

と求まった. また, 1997年観測による石垣島標石の海洋測地成果(世界測地系)は, (7) + (5) で,

$$\begin{aligned}
 X_{H1997} &= -3268750.7940 \text{ m} \\
 Y_{H1997} &= 4807239.4192 \text{ m} \\
 Z_{H1997} &= 2615629.6480 \text{ m} \\
 &= 24^\circ 22' 09.1635'' \\
 &= 124^\circ 12' 51.4808'' \\
 H &= 100.1158 \text{ m}
 \end{aligned} \tag{9}$$

同様に, 1988年観測は, (7) + (5)' で,

$$\begin{aligned}
 X_{H1988} &= -3268750.3376 \text{ m} \\
 Y_{H1988} &= 4807239.5661 \text{ m} \\
 Z_{H1988} &= 2615630.1783 \text{ m} \\
 &= 24^\circ 22' 09.1810'' \\
 &= 124^\circ 12' 51.4644'' \\
 H &= 100.2115 \text{ m}
 \end{aligned} \tag{9}'$$

と求まった.

上記の地心直交座標(9)及び(9)'を下記の原点シフト量により日本測地系に変換すると,

$$\begin{aligned}
 U &= 146.23 \text{ m} \\
 V &= -507.57 \text{ m} \\
 W &= -681.86 \text{ m}
 \end{aligned}$$

1997年の石垣島標石の海洋測地成果(日本測地系)は,

$$\begin{aligned}
 &= 24^\circ 21' 54.0856'' \\
 &= 124^\circ 12' 57.3172'' \\
 H &= 90.1121 \text{ m (楕円体高)}
 \end{aligned} \tag{10}$$

同様に 1988年は,

$$\begin{aligned}
 &= 24^\circ 21' 54.1031'' \\
 &= 124^\circ 12' 57.3009'' \\
 H &= 90.2077 \text{ m (楕円体高)}
 \end{aligned} \tag{10}'$$

*SATELLITE LASER RANGING OBSERVATIONS
AT THE MARINE GEODETIC CONTROL POINT (ISIGAKI SIMA) IN 1997*

と求めた。ただし、(9)、(9)'、(10)及び(10)'は共に下里及び石垣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、海洋測地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る。Table 1 に石垣島の成果を示す。

3.2. GPS 測量

1997年の可搬式レーザー不動点の海洋測地成果(世界測地系)(8)を基準として、解析ソフトGPSurvey Ver.2.2により、精密暦を使用して網平均計算を用いて座標を算出した(Table 2)。

また、この座標を日本測地系に変換し、国土地理院三角点成果との比較を行った(Table 3)。

3.3. レーザー測距観測による石垣島の相対運動

1988年及び1997年のレーザー測距観測による、固定式レーザー不動点と浄水場三角点の基線ベクトル及び基線長をそれぞれ求めた。2回の観測結果の差から、約9年間の基線ベクトル直交成分及び基線長の変化量は、

$$\begin{aligned} dX &= -0.3777 \text{ m} \\ dY &= -0.1650 \text{ m} \\ dZ &= -0.4214 \text{ m} \\ dBase &= -0.0111 \text{ m} \end{aligned}$$

ここで下里座標を固定して石垣島の速度ベクトルを計算すると

$$\begin{aligned} V_h &= 64 \text{ mm/y} \\ Azimuth &= 136^\circ \end{aligned}$$

と求めた。

同様に標石は、

$$\begin{aligned} dX &= -0.4564 \text{ m} \\ dY &= -0.1469 \text{ m} \\ dZ &= -0.5304 \text{ m} \\ dBase &= 0.0377 \text{ m} \\ V_h &= 78 \text{ mm/y} \\ Azimuth &= 139^\circ \end{aligned}$$

と求まるが、石垣島標石は、不動点との距離が約4kmと遠いため、浄水場三角点の変化量を石垣島の速度として算出した。

3.4. 海面絶対高

可搬式レーザー不動点におけるレーザー測距観測成果、可搬式レーザー不動点と石垣駿潮所近傍仮BMでのGPS観測成果、同仮BMと同駿潮所間の水準測量成果及び駿潮記録から平均海水面の世界測地系楕円体高を求める。

(1)石垣島でのレーザー測距観測による可搬式レーザー不動点の海洋測地成果(世界測地系)は、(8)から

$$\begin{aligned} &= 24^\circ 21' 20.3936'' \\ &= 124^\circ 10' 30.2944'' \\ H &= 81.9282 \text{ m} \end{aligned}$$

と求めた。これを基準としてGPS水準測量により、仮BMの海洋測地成果(世界測地系)は、

**SATELLITE LASER RANGING OBSERVATIONS
AT THE MARINE GEODETIC CONTROL POINT (ISIGAKI SIMA) IN 1997**

$$\begin{aligned} X_{BM} &= -3264659.7324 \text{ m} \\ Y_{BM} &= 4811717.9901 \text{ m} \\ Z_{BM} &= 2612350.0212 \text{ m} \\ &= 24^\circ 20' 13.2101'' \\ &= 124^\circ 09' 22.1430'' \\ H &= 28.759 \text{ m} \end{aligned}$$

と求まった。

(2) 平均海面の世界測地系準拠楕円体高は、仮 BM に対する石垣験潮所間の直接水準測量から、

$$\begin{aligned} \text{仮 BM} & 0.000 \text{ m} \\ \text{球分体} & 0.996 \text{ m} \end{aligned}$$

石垣常設験潮所基準測定成果表（平成 3 年 10 月調製）及び第十一管区海上保安本部調製による潮汐月平均値（石垣）より、

$$\begin{aligned} \text{球分体} & 5.004 \text{ m (0 of G 上)} \\ \text{平均水面} & 1.815 \text{ m (0 of G 上, 1993 ~ 1997 年の 5 力年平均)} \end{aligned}$$

であるので、楕円体高は

$$\begin{aligned} H_k : \text{球分体} & = 0.996 + 28.759 = 29.755 \text{ m} \\ H_m : \text{平均水面} & = 29.755 - 5.004 + 1.815 = 26.566 \text{ m} \end{aligned}$$

と求まった(Fig. 4)。

本報告は、加藤 剛，福良博子，瀬尾徳常が作成した。

参 考 文 献

- 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., 1988 : *Data Report of Hydrogr. Obs., Series of Satellite Geodesy*, **1**, p. 59.
- Koyama, K., 1998 : *Data Report of Htdrogr. Obs., Series of Sattellite Geodesy*, **12**, p. 1.
- 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.
- 辰野忠夫，藤田雅之，1994 : 同，**7**，p. 102.
- 藤田雅之，1995 : 同，**8**，p. 83.
- 寺井孝二，藤田雅之，1996 : 同，**9**，p. 98.

**SATELLITE LASER RANGING OBSERVATIONS
AT THE MARINE GEODETIC CONTROL POINT (ISIGAKI SIMA) IN 1997**

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

	Coordination		Comments
海洋測地成果	レーザー不動点	$X_T = -3265797.913$ m $Y_T = 4809974.121$ m $Z_T = 2614255.208$ m	WGS
	標石	$H = 24^\circ 22' 9.164$ $H = 124^\circ 12' 51.481$ 楕円体高 = 100.12 m	
		$H = 24^\circ 21' 54.086$ $H = 124^\circ 12' 57.317$ 楕円体高 = 90.11 m	TD
	三角点成果への補正量(平均値)	= +4.674 = +7.255 ジオイド高 = 16.61 m	
平均海面等の楕円体高	平均海面高	Hm = 26.57 m	1993年から1997年までの験潮記録の平均による
	験潮所球分体高	Hk = 29.76 m	

Table 2. The GPS Survey results in Isigaki Sima: Marine Geodetic Results

Station	X	Y	Z
	m	m	m
レーザー不動点 T	-3265797.9126	4809974.1212	2614255.2079
標石 H1	-3268750.7940	4807239.4192	2615629.6480
浄水場補助点 F1	-3265723.7723	4809994.2643	2614341.4604
不動点脇補助点 F2	-3265800.1732	4809970.0503	2614254.9565
浄水場三角点 A1	-3265721.2708	4809994.2796	2614344.7812
川花三角点 A2	-3263625.7474	4811596.7407	2613889.1684
スーナ三角点 A3	-3266102.6019	4808702.5656	2616181.8895
大浜三角点 A4	-3267690.3029	4809181.5918	2613305.2533
大川山三角点 A5	-3264506.5145	4810117.9501	2616017.9386
仮 BM	-3264659.7324	4811717.9901	2612350.0212

**SATELLITE LASER RANGING OBSERVATIONS
AT THE MARINE GEODETIC CONTROL POINT (ISIGAKI SIMA) IN 1997**

Table 3. The GPS Survey results at Isigaki Sima in Tokyo Datum: Marine Geodetic Results

Station			<i>H</i>	
	°	°	m	
浄水場三角点 A1	24 21 08.318	124 10 33.467	84.84	= 04.673 = 07.254 <i>Hg</i> = 16.65 m
川花三角点 A2	24 20 52.829	124 09 00.018	32.95	= 04.677 = 07.250 <i>Hg</i> = 16.65 m
スーナ三角点 A3	24 22 14.171	124 11 10.411	64.34	= 04.678 = 07.261 <i>Hg</i> = 16.58 m
大浜三角点 A4	24 20 31.717	124 11 47.458	51.77	= 04.668 = 07.254 <i>Hg</i> = 16.61 m
大川山三角点 A5	24 22 05.636	124 09 55.340	246.64	= 04.675 = 07.254 <i>Hg</i> = 16.55 m

H: the height above the reference ellipsoid of the Tokyo Datum

Hg: geoidal height referred to the reference ellipsoid of the Tokyo Datum

**SATELLITE LASER RANGING OBSERVATIONS
AT THE MARINE GEODETIC CONTROL POINT (ISIGAKI SIMA) IN 1997**



Figure 1. Satellite laser ranging (SLR) observation reported in this issue.

**SATELLITE LASER RANGING OBSERVATIONS
AT THE MARINE GEODETIC CONTROL POINT (ISIGAKI SIMA) IN 1997**

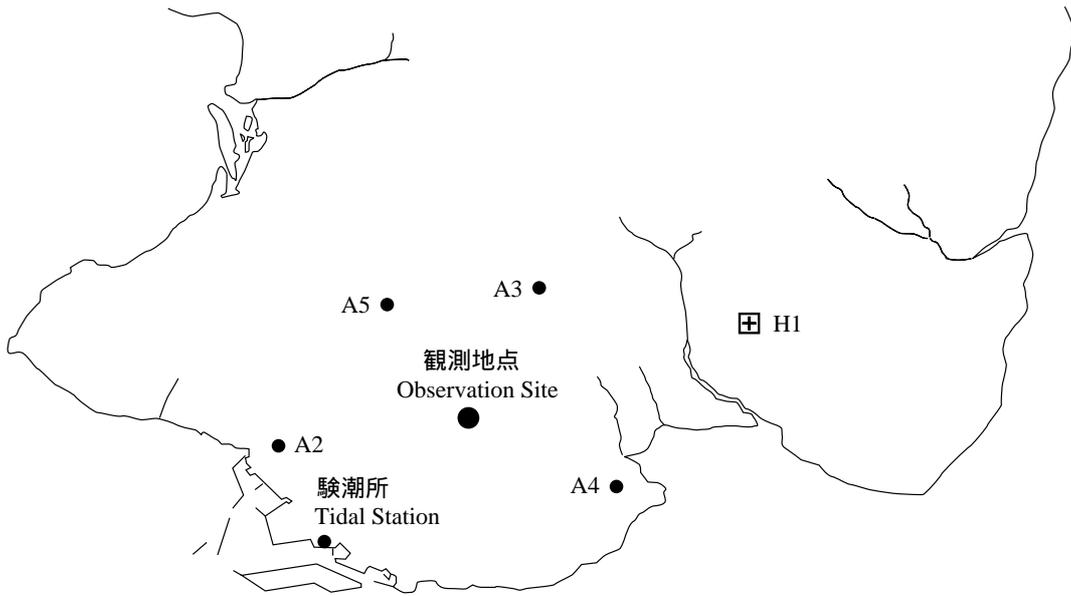


Figure 2. Isigaki Sima.

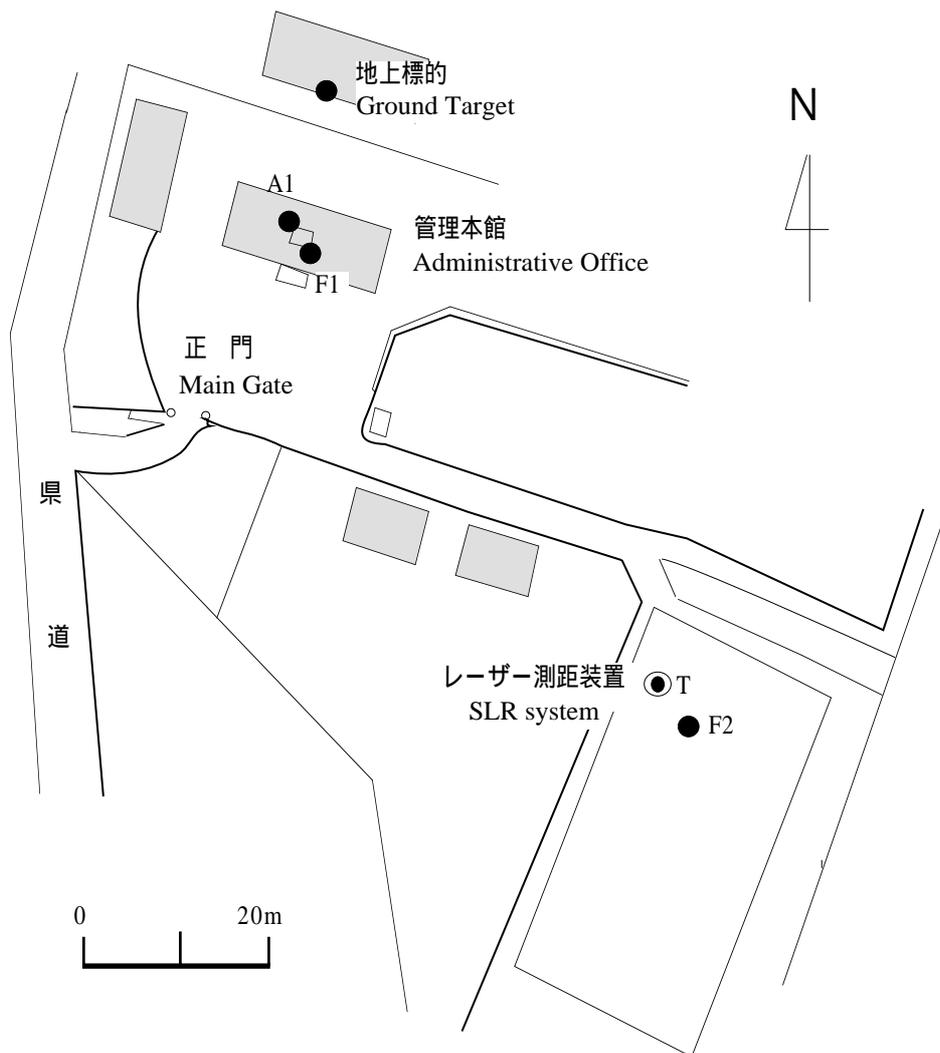
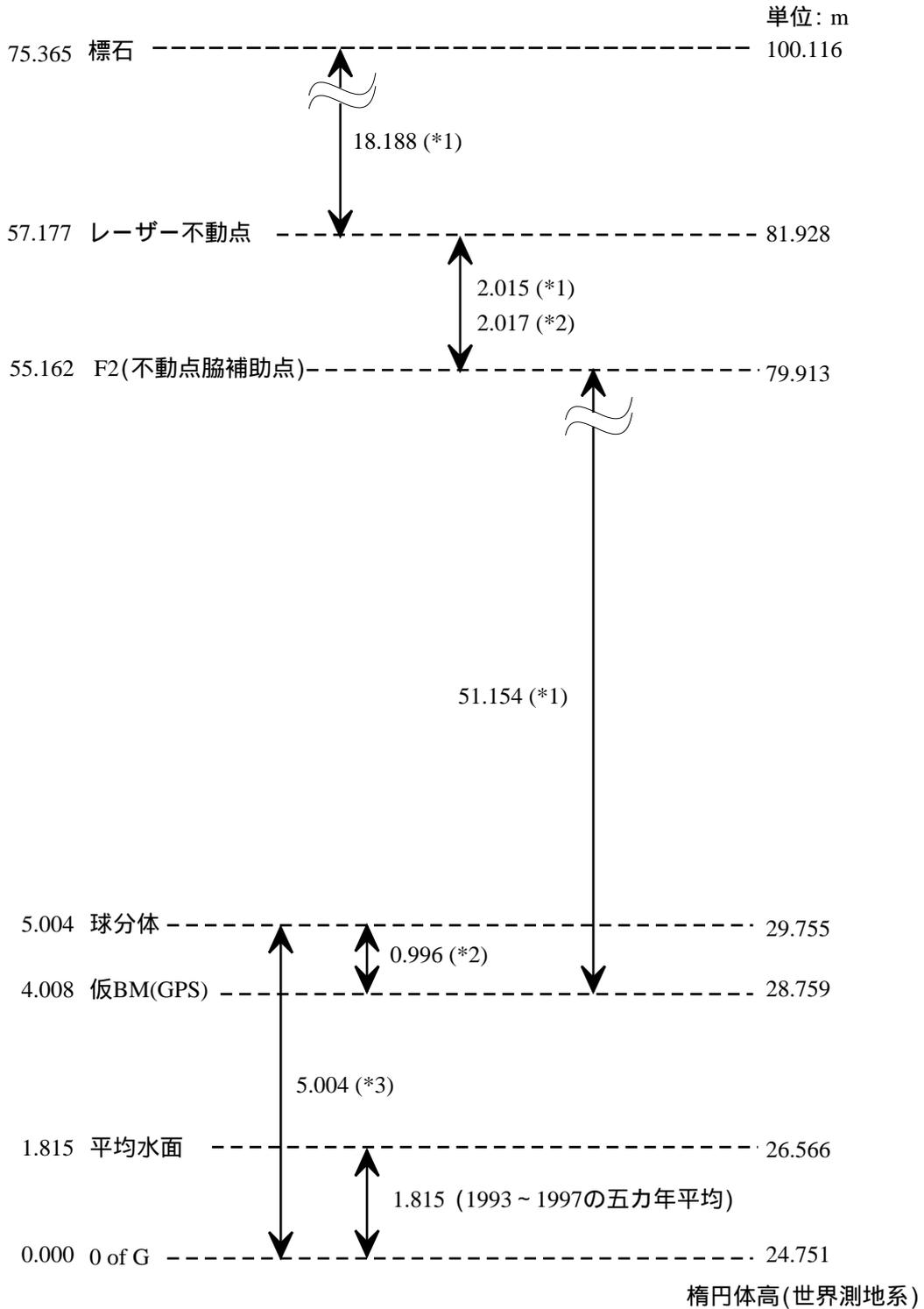


Figure 3. Observation site.

**SATELLITE LASER RANGING OBSERVATIONS
AT THE MARINE GEODETIC CONTROL POINT (ISIGAKI SIMA) IN 1997**



- *1 GPS水準測量による
- *2 直接水準測量による
- *3 基準測定成果表による

Figure 4. Related height of ellipsoid of the WGS-84 and mean sea level.