

特別講演

下里水路観測所における人工衛星レーザ測距の現状

CURRENT STATUS OF THE SATELLITE LASER RANGING
AT THE SIMOSATO HYDROGRAPHIC OBSERVATORY

佐々木 稔

SASAKI, MINORU

海上保安庁 下里水路観測所

Simosato Hydrographic Observatory, Maritime Safety Agency

1. 装置概要

下里水路観測所(和歌山県那智勝浦町)では、昨年3月より人工衛星レーザ測距装置(Fig.1,2)を用いて測距観測を実施している。主な仕様をTable 1に示す。レーザ部(Fig.3)については、Nd:YAGのcwの6.6 nsec間隔のモードロックパルス列から、約6 nJのエネルギーをもつ1つのパルスをPockels cellで取り出してRegenerative Amp 1段、Single pass Amp 3段の増幅後、Second Harmonic Generatorでグリーンに変換しており、最大出力は190 mJ/pulseとなっている。Streak tube cameraで測定したパルス幅は、100~300 psecであった。装置の稼動状態は現在、概ね良好である。

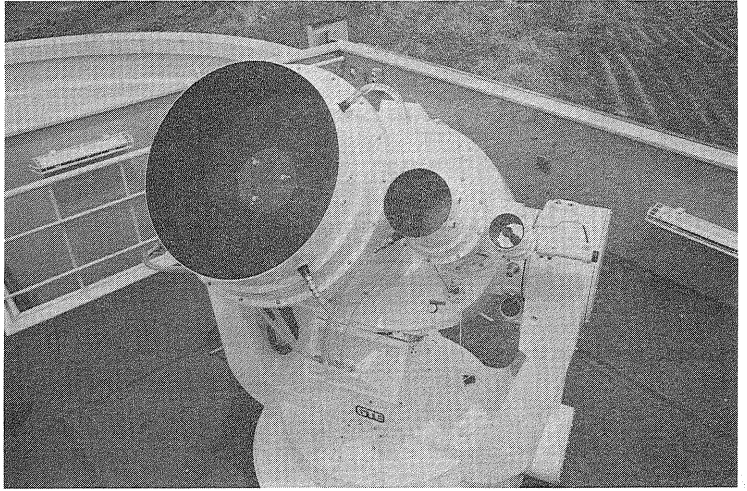


Figure 1 Mount of the laser ranging system.

2. 観測

観測は、Lageos(米)、Starlette(仏)、Beacon-C(米)の3衛星を対象としており、米・Smithsonian天文台からの軌道要素に基づいて追尾している。本年9月上旬までの測得パス数をTable 2に示す。観測の成否は天候条件に大きく左右され、冬期に測得率が高いが、今年の夏は天候に恵まれて多くの成果が得られた。いわゆる晴れの天気でも、大気透明度の良い"青い空"の場合には測距効率は良いが、散乱、吸収効果の大きい"白い空"の時には、効率は低下する。また、これは予報精度にも依存しており、世界各地の観測が多いと、容易に衛星にレーザ光を当てることができる。昼夜の区別は本質的にはないが、予報位置付近の衛星をマニュアルコントロールで捜す操作を行なう時に、昼間は、CRT上に表示される測距値にノイズが多く含まれ、衛星を見つけにくいことがある。送信ビームのしぼりは、Lageos 0.1~0.2 mrad, Starlette 0.3~0.7 mrad, BE-C 0.4~1.0 mradの範囲で、高度や天候条件に応じて変えている。昼間の視野角は、0.3 mradとしている。なお、架台の歪みおよびエンコーダー軸の取付誤差は、恒星を追尾し

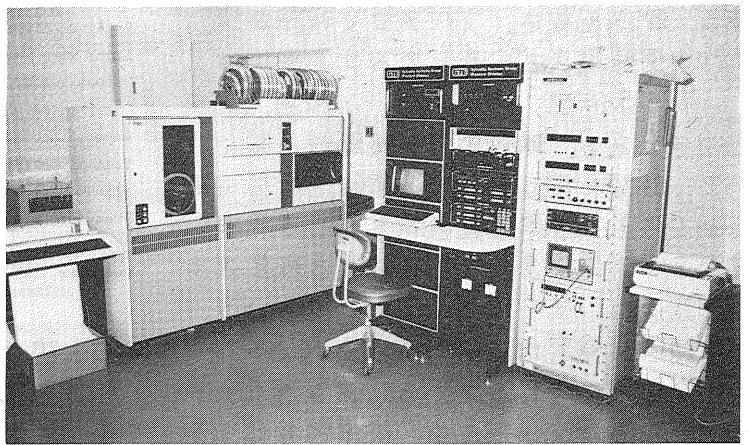


Figure 2 Control subsystem.

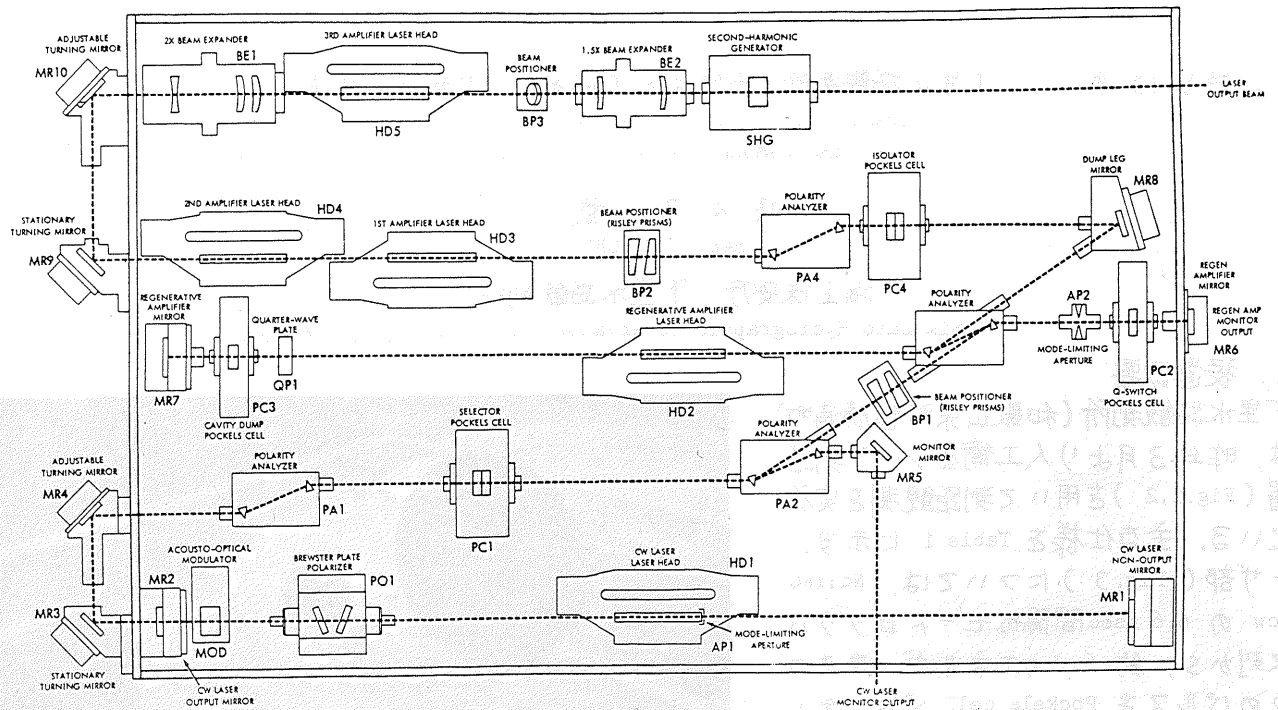


Figure 3 Optical block diagram of laser transmitter

てこの量を測定し、プログラムで衛星の予報方向に補正値を加えている。

衛星からの測得リターン数と1回の測距当りの平均の精度は、Table 3 のとおりである。測得回数は、1パス当り数回から、1800 回程度まで分布しており、平均は、Lageos 204 回、Starlette 174 回、BE-C 312 回である。測距値と予報距離の差について、時間に関する多項式近似を行なって求めた残差の標準偏差を精度として表わしてある。標準偏差の3倍を超える残差をもつ測距値は、ノイズとして除去している。

測距値の検定は、レーザ光を $10^{-5} \sim 10^{-11}$ に減光し地上標的に向け発射して実施している。ある1セット、410 回の地上測距値の分布を Fig. 4 に示す。標準偏差は 1.5 cm となり、このときの装置の内部遅延時間は 1.18 nsec と算出される。

3. 測距データの解析

得られた測距値は、その一部が telex にて速やかに Smithsonian 天文台に送られ、軌道決定と新たな予報の作成に用いられる。Lageos のデータについては、ここから Texas 大学の Center for Space Research に転送され、各国のレーザ測距値と共に地球自転速度の変動と地球上の自転軸の位置の変化(極運動)が求められ、5 日毎の値として発表されている。当観測所の測得パス

Table 1. Principal specifications of the satellite laser ranging system

Mount configuration	elevation over azimuth
Angular resolution	20 bits (1.2 arcsec)
Transmitter diameter	17 cm
Receiver diameter	60 cm
Laser wave length	532 nm
Output energy	150 mJ (normal)
Laser pulse width	200 ps
Repetition rate	4 pps
Transmitter/Receiver detector	a PMT (29% Q.E. and 140 ps rise time)
Flight time counter	20 ps resolution
Frequency standard	a Rubidium oscillator
Time comparison	multi-Loran C waves (NW Pacific Chain)
Computer	PDP 11/60 (64 kw), two disk and a MT drives

Table 2 Numbers of obtained passes

		Lageos	Starlette	BE-C	
1982	Mar	1 (0)	5 (0)	1 (0)	
	Apr	15 (4)	8 (0)	19 (0)	
	May	6 (0)	3 (1)	1 (1)	
	Jun	0 (0)	0 (0)	1 (1)	
	Jul	0 (0)	0 (0)	8 (6)	
	Aug	2 (2)	4 (0)	5 (4)	
	Sep	0 (0)	2 (0)	1 (0)	
	Oct	5 (0)	7 (3)	16 (11)	
	Nov	5 (1)	4 (0)	6 (1)	
	Dec	14 (2)	5 (4)	4 (2)	
	1983	Jan	16 (1)	9 (0)	16 (0)
		Feb	9 (0)	3 (0)	5 (3)
Mar		10 (1)	3 (1)	1 (0)	
Apr		1 (0)	4 (0)	2 (0)	
May		3 (0)	5 (3)	5 (2)	
Jun		3 (3)	8 (2)	14 (1)	
Jul		1 (1)	7 (7)	8 (7)	
Aug		11 (8)	11 (4)	37 (7)	
Sep		2 (1)	11 (4)	15 (10)	
Total		104 (24)	99 (29)	165 (56)	

数は、多い時には世界各地の観測パスの1ないし2割を占める事がある。5~20個の測距値から normal point をつくるが、これによる下里水路観測所の測距精度は、3~5cmとなっている。地球自転に関する上記諸量は、この他、恒星の光学位置観測や航行衛星の Doppler 観測、月レーザ測距からも求められるが、1980年8月から10月まで、これら各部門の共同で行なわれた

MERIT (Monitor Earth-Rotation and Intercompare the Techniques of observation analysis) の Short Campaign では、このうち極運動のパラメーターを求めるのに、この Texas 大学の人工衛星レーザによる値が 0.51 , Doppler 観測が 0.27 , 光学天文観測が 0.19 のウエイトを付与されて算出され (Feissel 1982, Tapley 1983) , 人工衛星レーザ測距の寄与が最も大きい事が示された。なお、14ヶ月にあたる MERIT の Main Campaign が本年9月から始まっている。

一方、NASAでは、Crustal Dynamics Project と呼ばれる人工衛星レーザ測距と銀河系外天体からの到来電波を用いた VLBI (Very Long Baseline Interferometry) による米国とその周辺域での広域地殻変動と大陸間のプレートの移動量の cm オーダーの精度の測定をめざした計画が実施されており、当庁水路部も、NASA と協定を結んでこれに参加し、レーザ測距データの交換を行なっている。

また、水路部および下里水路観測所では、これらのデータを用いて衛星の軌道、観測局の位置および地球物理的パラメーターを推定するために、軌道解析プログラムを作成している。これは、数値積分を用い、運動方程式をある基準軌道のまわりで展開し、線型化して最小2乗法を適用したもので、軌道生成のために Table 4 に示した力学モデルを採用した詳細なものとなっている。1982年4月8日 3^h3^m (UTC) から15日 17^h49^m までの Table 5 に示した7局の、Lageos の24パス分、756個の測距値から衛星の位置、速度と下里水路観測所の位置を予備的に求めた。上述の力学モデルの他に、極運動、地球自転の位置は、BIH (Bureau International de l'Heure) の値、

下里以外の観測点の位置は、Texas 大学の LPM81.12 システムを基準とした。求めた軌道と下里の位置に基づく各測距値の残差は、Fig. 5 に示すとおりである。RMS は 55 cm で、LPM 81.12 システムは internal には、50 cm 以内の位置精度といわれており、下里の位置は、このシステムで少なくとも 2m 程度には求まっていると推定し得る。求めた架台の高度、方位軸の交点の位置は、次のとおり。

緯度 33° 34' 39.697

経度 135 56 13.156

ジオイド高 100.7 m .

ただし、地球長半径 6378137 m ,

Table 3 Numbers of return signals and mean accuracies

	8 March, 1982 — 10 Sept. 1983	
Lageos	21,233	10.8 ^{cm}
Starlette	17,238	15.1
BE-C	51,421	13.3

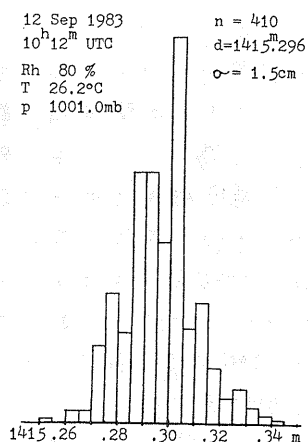


Fig.4 Histogram of a range calibration.

Table 4 The adopted system of dynamical models

Astronomical constants	IAU1976 System(1976)
Precession	LIESKE, J.H. et al.(1977)
Nutation	WAHR, J.M.(1979)
Pole position	CIO
Definition of UT	AOKI, S et al.(1981)
Geopotential	GEM L2 (1983)
Earth model	1066A(GILBERT, F. and A.M.DZIEWONSKI, 1975)
Solid earth tide and its site displacement	SHEN, P.Y. and L.MANSINHA(1976), SASAO, T. et al.(1977) and WAHR, J.M.(1979)
Ocean tide and its loading site displacement	SCHWIDERSKI, E.W.(1978)
Tidal variation in UT1	GOAD, C.C.(1980), SASAO, T.(1982)
Air drag	YODER et al.(1981)
Radiation pressure	exponential atmosphere
Satellite constants	MERIT Standards(1981)
Luni-, Solar- and Planetary position	ibid.
	Japanese Ephemeris(1980)

扁平率 $1/298.257$ で、ある地点について、日本測地系から LPM 81.12 システムへの地心直交座標の補正值は、

$$\Delta U = -142.5^m$$

$$\Delta V = +510.4$$

$$\Delta W = +681.3$$

と求まる。LPM 81.12 システム以外に、経度の基準として BIH システムなどがあり、例えばこれとの関係は、数 m 以内とされており、今後、さらにより多くの測距値を用い、各種座標系とのより詳細な関係を求めてゆく予定である。なお、LPM 81.12 のような、地球重心を原点とする世界測地座標系に基づいて記述される日本列島の位置は、上記の補正量に基づいて計算されるもので、日本測地系で記述された現行の地図や海図上の位置を修正する場合には、日本列島を

平行に移動させるのではなく、場所により異った補正を行なうことになる。例えばこの場合、東京の測地原点については、方位 321° の方向に 468 m 、札幌で 311° の方向に 411 m 、下里で 325° 、 462 m 、鹿児島で 330° 、 448 m などである。

また、宇宙開発事業団では、海上保安庁水路部と建設省国土地理院の要望を受けて、1986年2月に、測地機能を持った衛星を、新たに開発する H-1 ロケットにより打上げる予定で、開発、製作中である。この衛星は、直径 2.15 m の球型で、質量 700 kg のガラス繊維強化プラスチックでできており、その全表面に、

約 300 個の太陽光反射鏡と、 120 組のレーザ反射用プリズムが取り付けられる。軌道は、高度 1500 km 、傾斜角 50° の略円となる予定で、写真観測による方向観測と、レーザ測距観測が行なわれる。当庁では、移動型レーザ測距装置等を整備して、さらに精度の高い測地測量を行ない、我が国周辺の海洋域の島嶼等に、海洋測地網の基準となる海洋測地基準点を設置する予定である。

Table 5 Station coordinates by LPM81.12 and numbers of Lageos data used (8 Apr 1982 — 15 Apr 1983)

ID	Station name/state	Lat. Lon. Ht	No. of data	
			passes	ranges
1	Simosato/Japan	(unknown)	5	111
2	Yaragadee/Australia	$29^\circ 2' 47.4692\text{ S}$ $115^\circ 20' 48.0579\text{ E}$ 244.960 m	4	160
3	Greenbelt/Maryland	$39^\circ 1' 14.1748\text{ N}$ $283^\circ 10' 20.1161\text{ E}$ 21.985 m	2	80
4	Platteville/Colorado	$40^\circ 10' 58.0085\text{ N}$ $255^\circ 16' 26.2849\text{ E}$ 1504.807 m	5	199
5	Mt. Haleakala/Hawaii	$20^\circ 42' 25.9795\text{ N}$ $203^\circ 44' 38.5366\text{ E}$ 3068.264 m	2	56
6	Kootwijk/Netherlands	$52^\circ 10' 42.2302\text{ N}$ $5^\circ 48' 35.0936\text{ E}$ 92.935 m	3	67
7	Wetzell/West Germany	$49^\circ 8' 41.7703\text{ N}$ $12^\circ 52' 40.9405\text{ E}$ 660.988 m	3	83
	(Total)		24	756

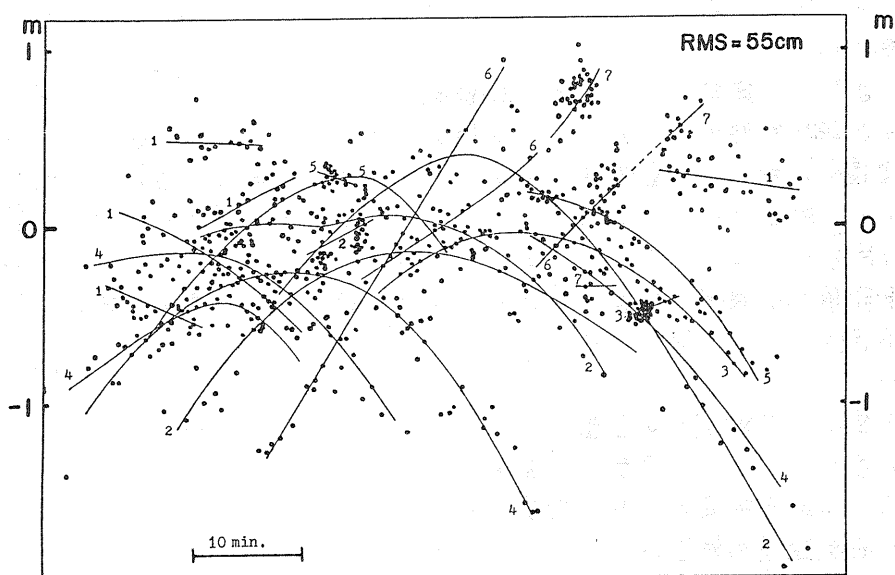


Figure 5 Residuals to the orbit determined by the processor. Solid lines are trajectories of the observed passes with station ID.