

世界における天文学用レーザレーダの現状
LASER RADAR FOR ASTRONOMY

土屋 淳
ATSUSHI TSUCHIYA

東京大学 東京天文台
TOKYO ASTRONOMICAL OBSERVATORY, UNIV. OF TOKYO

1. 天文学の分野でのレーザレーダの応用は、主に、人工衛星及び月の測距である。
この面での技術開発は、基本的には完成に近づいたと言える。残されている課題は、古い形式の装置で精度の低い観測局の改修と、観測局の数そのものを増強とである。これによる高精度な密度の高い定常観測から、地球自転変化、極運動の測定、地球潮汐、大陸移動、地殻変動の検出等に役立つ。勿論、人工衛星及び月の運動理論の高精度化や一般相対論の検証にも有力である。
更にこの方法の適用によって、全世界的に 1 nano-sec 以下の精度の時刻同期や、広い範囲の高精度測量等への応用の道もひらけつつある。

レーザレーダによる人工衛星及び月の測距は、当分はパルスレーザ方式が主流となるであろう。その測距精度は、地上で使用する限り、地球大気中逆反射器の構造からくる要因のため、 1 cm 前後が一つの限界と考えられる。現在、先端的な観測局では、実際に 5 cm 以下の精度が定常的に得られているので、技術的には限界に近づいていると言える。
月以外の太陽系の他の惑星に対してレーザ測距を行なうことの可能性は、近い将来には、殆んど可能性がない。

2. 筆者が調査した範囲での世界の人工衛星及び月レーザ観測局を表1, 表2に示す。これらは主に下記の三つの国際シンポジウムと個人的な情報にもとづくもので、若干の欠落と偏りの可能性はある。

- a) IAU (INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION) SYMPOSIUM NO. 82 (1978), TIME AND THE EARTH ROTATION (SPAIN)
b) 3rd LASER WORKSHOP ON LASER RANGING INSTRUMENTATION (1978) (GREECE)
c) IAU GENERAL ASSEMBLY (1979) (CANADA)

尚、表中の記号は下記の意味である。

- | | | | |
|----------|--|------|--------|
| ALT-AZ : | 経緯儀式架台 | PW : | レーザパルス |
| RX : | 受信光学系 (口径) | PR : | パルスレート |
| TX : | 送信光学系 | OP : | 出力 |
| BLIND : | 数値又は計算機制御による自動運転 (昼夜可) | | |
| VISUAL : | 眼視による追尾 (夜間、太陽光を受けている人工衛星のみ) | | |
| クーデ式 : | (COUDE) レーザ装置を室内に固定し、鏡等で運転する望遠鏡に光を導く方式 | | |

表1. 世界の人工衛星レーザー追跡局

局名 (国)	送受信光学系	レーザー	測距能力, 精度	観測方式
SAO (Smithsonian Astrophysical Observatory) フル-フ { NATAL (ブラジル) AREQUIPA (ペルー) ORRORAL (オーストラリア) Mt. HOPKINS (米) [SAOの財政事情により一部改組 されるかもしれない]	ALT-AZ RX = 50.8 cm レーザ基架	ルビ-レーザー Q-SW と パルススライク 併用 PW = 6 ns	近距離恒星 15 ~ 30 cm 遠距離恒星 1 ~ 1.5 m (パルス波形解析)	BLIND
NASA ネットワーク { GSFC (GODDARD SPACE FLIGHT CENTER, 米) MOBILE 局 全8局 (大型トレーラに搭載)	ALT-AZ RX = 120 cm TX: ク-テ"式	YAG 第2高調波 PW = 0.2 ns OP = 0.25 J	LAGEOS (LASER GEODETIC SATELLITE) 対して 5 cm	BLIND
LAURIN KOOTWIJK (オランダ)	ALT-AZ RX = 75 cm TX: ク-テ"式	YAG 第2高調波 PW = 6 ns OP = 0.25 J	~ 20 cm	BLIND
METÄSHOVI (フィンランド)	ALT-AZ RX = 50 cm TX: ク-テ"式 赤道儀 RX = 63 cm	ルビ-レーザー PW = 4 ns OP = 1 ~ 2 J PR = 15 PPM ルビ-レーザー PW = 20 ns OP = 1 J	LAGEOS STARLETTE 対して 15 ~ 30 cm 1 m	BLIND
WETTZELL (西ドイツ)	ALT-AZ RX = 61 cm TX: ク-テ"式	YAG 第2高調波 PW = 0.2 ns OP = 0.25 J PR = 120 PPM	≤ 5 cm	BLIND
ZIMMERWALD (スイス)	ALT-AZ RX = 52.5 cm TX: ク-テ"式	ルビ-レーザー PW = 15 ~ 20 ns OP = 3 ~ 5 J	40 ~ 80 cm パルス波形解析	TV-GUIDE
DIONISOS (ギリシア) (SAO が援助)	ALT-AZ RX = 50 cm (?) TX: ク-テ"式	ルビ-レーザー PW = 25 ns OP = 4.5 J PR = 8 PPM	1 m	BLIND ↑ TV-GUIDE
SAN FERNANDO (スペイン) (CNES, 佛 と 英 国)	ALT-AZ RX = ? (40 cm 位) TX: ク-テ"式	?	1 m ~ 1.5 m	BLIND ↑ TV-GUIDE

OBSERVATOIR du CALERN (CERGA - CNES, 佛)	ALT-AZ RX = 100 cm TX : 7-デ"式	YAG 赤 2 高調設 PW = 1 ms OP = 2 J PR = 15 PPM	40,000 km 到達 パルス方式 精度は 10 cm 位	BLIND 2W TV-GUIDE
POTSDAM (東ドイツ)	架台型式不明 RX = 32 cm レーザー架	ルビ"レーザー PW = 15 ~ 25 ms OP = 1 ~ 2 J	LAGEOS 1.5 m	?
上海 (中国)	ALT-AZ レーザー架 (RX は 50 cm 位)	?	?	VISUAL
INTERCOSMOS ネットワーク (ソ連圏)				
<ul style="list-style-type: none"> BOROWIEC (ポーランド) HELWAN (エジプト) PATACAMAYA (ペリウ) CRIMEA (ソ連) ZVENIGOROD (ソ連) HARDEC KARLOV (チェコスロバキア) PRAGUE (チェコスロバキア) KAVARURE (インド) SANTIAGO du CUBA (キューバ) PENC (ハンガリ) 	<p>各種の型式の架台が 用いられている様ある が 代表的なもの は</p> <p>4 軸架台 (AFU カマと同型) RX = 32 cm レーザー架</p>	<p>レーザーも各種あるが 多くは インコスロバキア プラハ工科大学から 供給されている。</p> <p>ルビ"レーザー PW = 20 ms OP = 1 J PR = 15 ppm</p>	<p>3000 km 到達 1 m</p>	VISUAL
堂平 (日本, 東京天文台)	XY 架台 RX = 50 cm TX : 7-デ"式	ルビ"レーザー PW = 4 ms OP = 0.5 J PR = 6 PPM	30 cm	BLIND
鹿野山 (日本, 国土地理院 及び 海上保安庁水路部 茨岡)	3 軸架台 RX = 60 cm レーザー架	ルビ"レーザー PW = 4 ms	30 cm	BLIND 2W TV-GUIDE 自動追尾
CAGLIARI (イタリア) (建設中)	ALT-AZ RX = 50 cm TX : 7-デ"式	ルビ"レーザー PW = 4 ms OP = 1 J PR = 30 PPM	LAGEOS 20 cm	TV-GUIDE (BLIND)

表2 世界の月レーザー局 (過去に一時的にテストを行ったのみの局は除く)

局名 (国)	望遠鏡	レーザー	現況
Mc DONALD (米)	2.7 m 赤道儀 送受兼用	ルビ-レーザー PW = 3 ms OP = 3 J PR = 20 PPM	定常観測中 精度 20 cm
MAUI (米・ハワイ)	RX: 19 cm レンズ x 80 個 TX: シーロソフト式	YAG 赤 2 高調波	RX 調整中
CRIMEA (ソ連)	2.6 m 赤道儀 送受兼用	ルビ-レーザー PW = 2 ms OP = 2.5 J	テストに成功している。 しかし望遠鏡のマシナリが 充分でない。
OBSERVATOIR du CALERN (CERGA, 佛)	1.5 m 赤道儀 ALT-AZ 送受兼用	ルビ-レーザー PW = 3 ms OP = 4 J	近日完成予定
ORRORAL (オーストラリア)	1.5 m 赤道儀 送受兼用	ルビ-レーザー	テスト成功の報あり
堂平 (日本・東京天文台)	RX: 3.8 m ALT-AZ TX: 0.5 m XY	ルビ-レーザー PW = 20 ns OP = 8 J	調整中

3. 稍、異なるレーザーレーダの応用としては、高精度時刻同期と逆レーザー測距がある。

前者はフランスを中心にヨーロッパで準備中で、後者は NASA で開発中である。

時刻同期は人工衛星 (今は静止衛星) にコーナキューブとレーザー受信機及びパルス回帰測定器とテレメータ等を搭載し、地上の二点からのレーザー測距と、夫々の点からのレーザーパルスが衛星に到達した時間差とから両地点の時計面の差を求めたものである。CNES (フランスの宇宙開発機関) で既に衛星本体の製作に入っており、近いうちにアフリカ上空に打上げられる予定の由である。

逆レーザー測距は、人工衛星 (スペースシャトル) にレーザーレーダを積み、地上に多数のコーナキューブを置き、逆方向に測距を行なうものである。レーザーレーダのビームは、衛星自身の位置と地上のコーナキューブの位置とから計算機制御され、パルスレートの早いレーザーで短時間内に多数のコーナキューブの距離を測ってしまうものである。NASA でプロトタイプの製作は完了しており、1982 年頃を目標にサンアンドレアス地域の地震予知に応用する計画と聞いている。

これらの他にも、レーザー望遠鏡の人工衛星への自動追尾の研究や、二色レーザーによる大気屈折率補正の研究等、興味ある話題が沢山ある。