

### E 3

## 低雑音CCDカメラによる静止衛星の高精度追跡 Precise Tracking of Geostationary Satellites using Low-Noise CCD Camera

有本 好徳\*, 廣本 宣久\*, 青木 哲郎\*\*, 板部 敏和\*, 有賀 規\*  
(Yoshinori Arimoto\*, Norihisa Hiromoto\*, Tetsuo Aoki\*\*,  
Toshikazu Itabe\*, Tadashi Aruga\*)

\*郵政省通信総合研究所、 \*\*東京大学理学部

(\*Communications Research Laboratory, \*\*University of Tokyo.)

SYNOPSIS: Preliminary results of precise optical tracking of geostationary satellites are presented. Sensitivity and tracking accuracy of our CCD imaging system using a 1.5 meter diameter telescope and a liquid nitrogen cooled visible CCD camera are measured by observing dark galaxies, stars and satellites. Limiting magnitude was estimated to be about 17 at 10 seconds integration time and seeing size caused by air turbulences of 3 to 5 arc sec. It turned out to be quite easy to track geostationary satellites using the CCD imaging system, whenever the sky is clear at night.

#### 1. はじめに

当所に宇宙光通信地上センターが設置されてから1年余りが経過したが、関係者の努力の結果、1.5m望遠鏡を用いた試験観測が可能となった。そこで、最初の試みとして静止衛星を高精度に追尾する実験を行った。幸い、この間にCRL（鹿島）と宇宙開発事業団（NASDA）との間でCS-2a/bを用いた2衛星追尾実験が行われていたので、電波による追尾実験と同時期に、衛星の光学像を撮影することができた。望遠鏡を用いた静止衛星の追跡実験は、過去に岡山188cm望遠鏡を用いた観測例があるが、低雑音CCDを用いることにより、天候条件が良ければいつでも、簡単な手順で高精度な静止衛星の追跡が可能であることがわかった。

ここでは、CCD撮像システムの性能と予備的なデータ処理結果を示す。

#### 2. CCDカメラの性能

実験に用いた可視CCDカメラの主要諸元を表1に示す。液体窒素による冷却と読みだし速度をおさえることにより超高感度を得ており、1.5m望遠鏡に取り付けて、半月の出ている夜間に10秒間の積分を行って評価した結果、背景雑音は80フォトン程度が得られている。

観測データから評価したCS-2aの見かけの明るさ、ならびに1.5m望遠鏡の可視CCDを用いた時の限界等級を表2にあわせて示す。現在、光学系を追加して視野角を4倍にすることを予定しており、この改良によりCSの1/10程度の20cm程度の大きさの物体まで検出することができるようになる。

表1. CCDカメラの主要諸元

素子数	578×385
視野角 <sup>(1)</sup>	64.7秒×97.2秒(0.018°×0.027°) 0.168秒/Pixel
変換ゲイン	0.98 Electrons/ADcount
量子効率	0.5 (波長0.75μm)
雑音 <sup>(2)</sup>	41 ADcount(rms)
製造メーカー	英国 Astromed Ltd.

<sup>(1)</sup> 1.5m望遠鏡のナスマス焦点に設置した場合。

<sup>(2)</sup> 10秒積分を行った場合の夜間の背景雑音。

表2. 静止衛星の明るさと1.5m望遠鏡の限界等級

CS-2a 観測データ	観測番号903	13.8等 (5秒積分)
	908	14.1等 (5秒積分)
	909	14.1等 (5秒積分)
限界等級 <sup>(1)</sup>	現状	15.0等 (1秒積分) 16.8等 (10秒積分)
	新光学系 <sup>(2)</sup>	17.5等 (1秒積分)
		19.5等 (10秒積分)

<sup>(1)</sup> S/N=1.0、大気のゆらぎを5秒角と仮定。

<sup>(2)</sup> 視野角を4倍に拡大した場合。

### 3. 衛星追跡実験

天候の良い2月に2日間CS-2aの追尾実験を行った。望遠鏡の指向制御システムには自動的に恒星を用いて追尾誤差補正(star calibration)を行う機能があり、取得した画像の位置から1ピクセル以内の精度で衛星の方向を計算することができる。当初CS-2bについても追跡を実施し、2衛星の相対間隔を測定する予定であったが、望遠鏡制御計算機の不良により、実験はCS-2aの撮像のみとなった。

2月3日の実験データについて、撮影されたCS-2aの位置の時間変化と軌道予測値との比較を図1に示す。0.001°以下で両者は一致している。斜めの四角形でCCDカメラの視野角を示した。代表的な画像を図2に示す。この場合、積分時間5秒でS/N比は10以上得られた。垂直方向の断面図を図3に示す。この図から大気によるゆらぎのサイズは20ピクセル程度で、角度にして3~5秒(0.001°)程度であり、追跡の精度はこのゆらぎによって決まっていることがわかった。

本実験には快晴の夜間という条件が必要であるが、電波を用いた通常の衛星追跡データと併せて処理することにより、追跡システムの較正を行うことができる。さらに、CCDと同時に設置されている冷却型赤外線カメラを用いることにより、昼間でも静止衛星を追跡できる可能性がある。

この技術は日本における実用/実験用静止衛星の追跡システムの較正に用いることができ、将来、

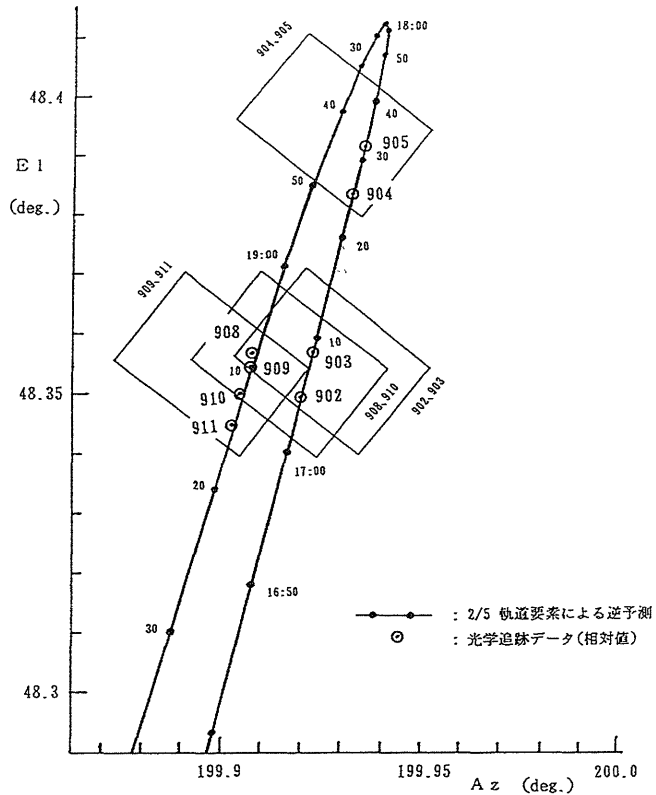


図1. CS-2aの軌跡(1989.2.2)

静止軌道が混雑してきた場合の軌道の有効利用に寄与できるものと考えている。

最後に、CCDカメラの調整の際に大変お世話になった日本鉱業の皆様、衛星の軌道要素を頂いたNASDAの関係者の皆様に感謝致します。

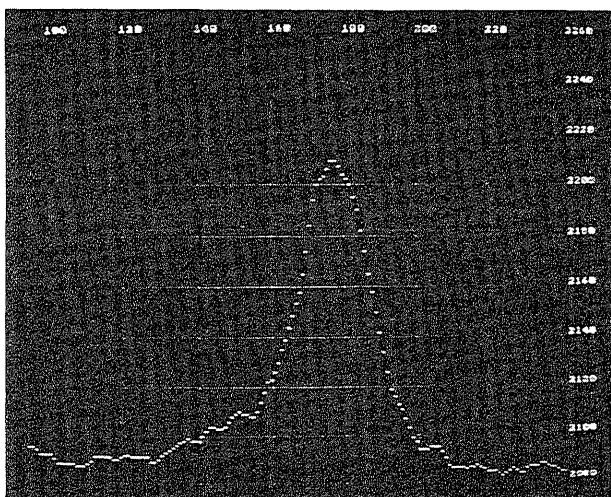


図3. CS-2a像の垂直断面

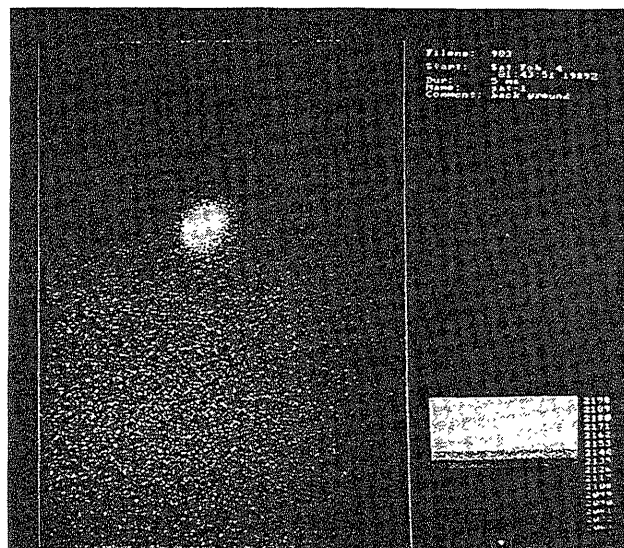


図2. CS-2aの取得画像(ファイル:912, 2/3 10:53UT)