

レーザビーコンによるETS-III衛星の高精度姿勢決定

Accurate Attitude Determination of ETS-III

by Ground-Based Laser Beacon

荒木 賢一, 有賀 規, 林 理三雄

K.Araki, T.Aruga, R.Hayashi

郵政省 電波研究所

Radio Research Labs., Ministry of Posts & Telecoms.

1. はじめに

1983年3月、ETS-III搭載ビジコンカメラによって、電波研究所レーザ光送信点の鮮明なスポット像が、3月5日は5秒毎に4個、17日は同様に6個検出された。その時の衛星の位置は光学観測によって正確にわがっているので、さらに撮像面上におけるスポット像の位置を知ることによって衛星の姿勢を決めることができる。

ここでは、地上レーザビーコンを利用する姿勢決定の方法および結果について述べる。

2. 高精度姿勢決定法

図1に示すように、地球中心の直交座標系を (X, Y, Z) (X は春分点方向)とし、地上の観測点を1、衛星の位置を2とする。さらに、衛星の位置2を原点とし衛星の軌道に準拠する座標系を (X_0, Y_0, Z_0) とする。 X_0 は軌道面に垂直、 Y_0, Z_0 は軌道面に平行で、 Z_0 は点2での天頂方向、 Y_0 は衛星の進行と反対の方向を正にとるものとする。 λ, α はそれぞれ赤経、赤緯である。

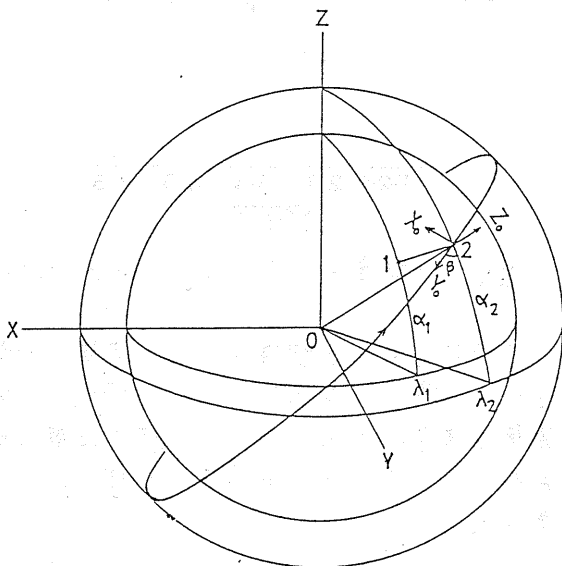


図1. 観測点1と衛星の位置2の幾何学的関係。

衛星の姿勢は、衛星固定の座標系 (x, y, z) の規準座標系 (X_0, Y_0, Z_0) に対する角度関係即ち3個の回転角によって表される。ピッチ： θ 、ロール： ϕ 、ヨー： ψ として、それぞれ x, y, z 軸のまわりの回転を表すものと定義する。 z 軸を撮像装置の光軸にとり、撮像面の二次元座標 \bar{x}, \bar{y} を $\bar{x} = xl/lz, \bar{y} = yl/lz$ (l :焦点距離)で定義する。このとき、レーザビーコンのスポット像の座標は、 θ, ϕ, ψ および規準系におけるスポット像の座標 \bar{x}_0, \bar{y}_0 の関数として表される。 \bar{x}_0, \bar{y}_0 は衛星の位置に関係し、これらは光学観測データから正確に知り得る量である。3個の未知パラメータ θ, ϕ, ψ は、2個以上のスポット像を用いることによって一意的に決められる。

3. ETS-III衛星の姿勢決定

画像データからスポット像の座標を求めるとき、AD変換されたデータにおいてスポット波形のピークの位置と同時にレーザーマークの位置も求める。撮像面上におけるレーザーマークの座標は正確にわがっているので、これをもとにしてスポット像の撮像面上の座標を求めることができる。これによって画像歪の大きな原因である走査歪は補正されている。このようにして得られたスポット像の座標値の精度は、電波研の解析装置では画素間隔を ΔL とすれば \bar{x} 方向で $1/10 \Delta L$ 、 \bar{y} 方向で $1/5 \Delta L$ であり、姿勢角に関してはヨー角は 0.1° 、ロール・ピッチ角は 0.01° 以内の精度で求められることになる。図2にスポット像の波形の例を示す。図3には撮像面上におけるスポット像の軌跡を示している。

検出された点に対し最小自乗法を適用して、ETS-IIIの姿勢は表1のように求められる。3月5日は、基本的にバックワード姿勢(− \bar{y} 方向が進行方向)である。姿勢の特徴としては、

1) ヨー角のずれが大きいこと。

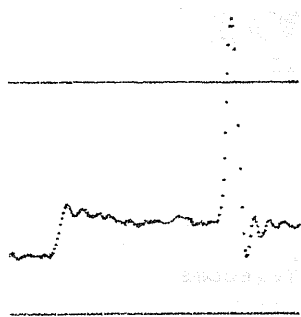


図2. 画像信号上のスポット波形
(図3.3/17のスポット3)

表1. ETS-IIIの姿勢

Average attitude during observation (degree)			
Date	pitch	roll	yaw
1983, Mar. 5	0.231	-1.770	182.865
1983, Mar. 17	0.262	-1.972	7.835

2)ピッチ,ロール角がそれぞれ約 0.3° , 1.8° と共
にほぼ一定にずれている即ち衛星の前右方
向に傾きながら前進(3月5日は後進)してい
ること。

があげられる。このように観測期間内の平均的
な姿勢を求めることができた。また、隣接点
により順次姿勢を求めていけば姿勢の微小変化
を求めることもできる。その結果を図4に示し
た。ヨー,ピッチ角は一定割合で変化しており、
特にヨー角の変化率が大きいのがわかる。そこ
で、姿勢角を時間の1次関数と仮定し新たに最
小自乗法からその係数を求めて、次の実験式を
得た。

$$\text{3月5日} \begin{cases} \psi = 182.795 - 0.089(t-t_0)/\Delta t & (\text{deg}) \\ \phi = -1.761 & (\text{deg}) \\ \theta = 0.223 + 0.012(t-t_0)/\Delta t & (\text{deg}) \end{cases}$$

$$\text{3月17日} \begin{cases} \psi = 7.381 + 0.116(t-t_0)/\Delta t & (\text{deg}) \\ \phi = -1.973 & (\text{deg}) \\ \theta = 0.167 + 0.030(t-t_0)/\Delta t & (\text{deg}) \end{cases}$$

ここで、 t_0 はスポット1の時刻、 Δt は各スポット間
の時間間隔である。得られた実験データからロ
ール角の変化は小さいと予想できるが、種々検
討の結果その変化率を求めるには、スポット像の
座標について現在の10倍以上の精度が必要であ
ることがわかった。カメラの分解能からくる制
限によりそれは現在できない。

以上、ETS-IIIの姿勢を高精度に求めることが

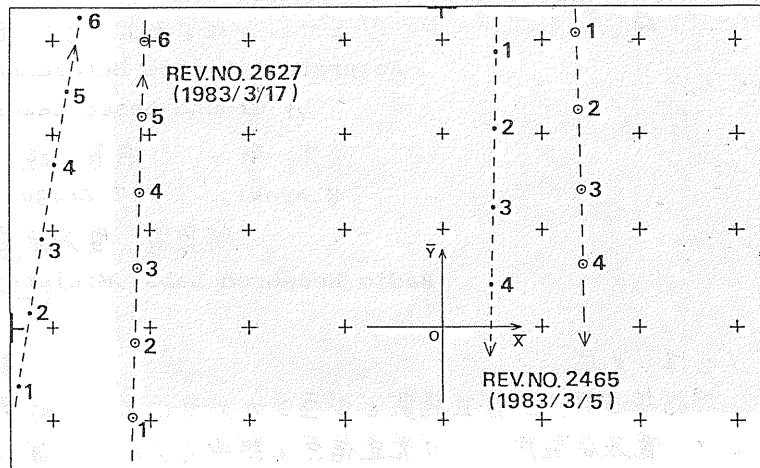


図3. 撮像面上のスポット像の軌跡。○は規準姿勢
のときのスポット像を表す。

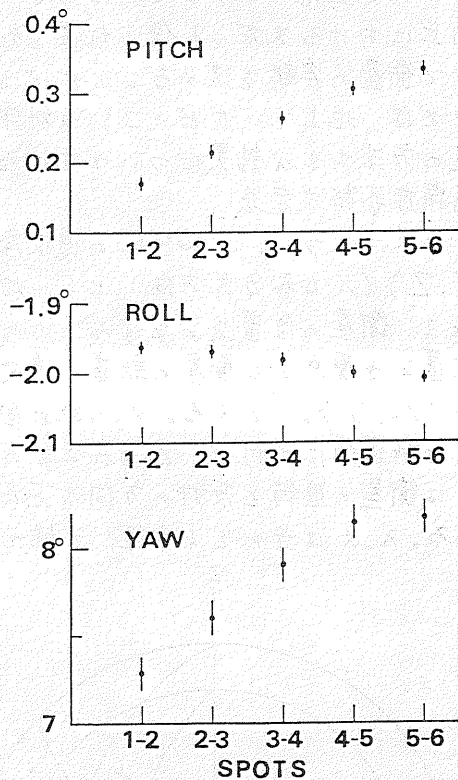


図4. 姿勢角の変化(3月17日, REV.NO. 2627)

でき、時間的な変化も把握できた。姿勢の時間
変化をさらに詳しく求めるには、一時刻に一意
的に姿勢を決定できるシステム、例えば既に提
案のあるレーザ光の偏光面情報を利用する方法、
が必要である。