

# 天体の正中・出没図および木星の衛星の運動図

山口正義 : 航法測地課

Diagram of Risings, Settings and Transits Times of Heaven's Bodys and  
Configurations of Jupiter's Galilean Satellites

Masayoshi Yamaguchi : Geodesy and Geophysics Division

## 1. まえがき

航海者、測量技術者等が天体を観測して自己の位置を求める場合、特に航海者の場合は、薄明時間中に惑星が天球上のどの辺に在るのかを知っていなければならないし、惑星を区別できなければならない。また測量技術者が北天が曇っていて北極星が見つけれない場合、顕著に明るい惑星か又は、惑星をガイド星として、ある恒星を同定するために何惑星が地平線上に見えるかを知る必要がある。太陽系天体がある地点でいつ正中・出没するかを図から読みとることができれば便利であり、すでに天文観測者にとっては座右のものとなって、各種の工夫された図が作られている。

木星の衛星の運動図に関しては、JPL(ジェット推進研究所)から送られて来た最も信頼のおける衛星の数値積分の結果を用いて、木星に相対的な視位置を計算して食現象暦を作った。これがあればガリレオ衛星と呼ばれる四大衛星が木星のまわりをめぐる運動図は簡単な計算で描くことができる。かつて航海者は、船の位置の経度を求めるためにガリレオ衛星の観測をしたことがあるが、原理は月距法と同一で、それによって時刻を知った。今でも木星系の精密な構造、木星の質量、力学的形状、各衛星の軌道要素を知る必要がある。天体位置表の木星の位置は、実は木星系の重心の位置のことで、衛星の運動によって微量ではあるが木星の重心の位置はたえず動いている。衛星の精密な観測を行うためには、その観測計画の基礎資料の一つとして衛星の運動図が必要である。今回任意地点における年間の天体の正中・出没図を描くソフトと、ある任意地点で木星が地平線上にある期間における衛星の運動図を描くソフトを作成した。

## 2. 正中時及び出没時の計算

ある天体のある日の出没時を世界時UTで表わすと

$$UT = \frac{1}{K} \left\{ \alpha - \Theta_0 - \lambda \mp \cos^{-1}(\sin a \sec \varphi \sec \delta - \tan \varphi \tan \delta) \right\} \dots\dots\dots(1)$$

となる。ここに複号の-は出時、+は没時で、 $K = 1.0027379$ 、 $\Theta_0$ はUT 0<sup>h</sup>のグリニジ恒星時、 $\varphi$ 、 $\lambda$ は地点の緯度、経度、 $\alpha$ 、 $\delta$ は天体のUTにおける赤経、赤緯、 $a$ は出没条件計算高度で天体によって第1表のようになっている。月の場合、月までの距離によって多少の変動はあるが、出没図では影響がないので平均値をのせてある。

出没時を求めるとは(1)式を成り立たせるUT、 $\alpha$ 、 $\delta$ を見つけることである。一般には逐次近似法で求めるのであるが、出没図程度では出没時前後の赤経、赤緯の動きは直線的に動いているとして次式によって求めた。

第1表 天体の計算高度

天体	a
太陽	-54'2
航海薄明	-12°
天文薄明	-18°
月	+7'5
惑星	-34'5

$$UT = \frac{\alpha_0 - \textcircled{0}_0 - \lambda + H(\delta_0)}{K - [\dot{\alpha} \pm \{H(\delta_0 + \dot{\delta}) - H(\delta_0)\}]} \dots\dots\dots(2)$$

ここで  $\alpha_0, \delta_0, \textcircled{0}_0, H(\delta_0)$  は  $UT_0^h$  の値で、 $\dot{\alpha}, \dot{\delta}$  は  $UT_0^h$  の  $\alpha, \delta$  の毎時変化であり、

$$H(\delta) = \cos^{-1}(\sin a \sec \varphi \sec \delta - \tan \varphi \tan \delta)$$

である。(2)式の分子は  $0^h < UT < 24^h$  になるように  $24^h$  の倍数を加減する。

正中時は、(2)式の  $H(\delta)$  を省いた

$$UT = \frac{\alpha_0 - \textcircled{0}_0 - \lambda}{K - \dot{\alpha}} \dots\dots\dots(3)$$

によって得られる。 $0^h < UT < 24^h$  となるように  $24^h$  の倍数を加減するのは出沒時と同様である。

### 3. 正中・出沒図の構成

横軸上に日付を、縦軸上に時刻をそれぞれ目盛り、各日付軸上に各天体の正中、出沒時等の点を取り、同一天体の同一現象の各点を直線又は破線で結んだ。破線の場合、その各線分の端点は日付軸上(図では10日毎の日付軸しか描いてないが毎日の日付軸を描いたら必ずその軸上にあるという意味)にある。また点と点とを結ぶことは、他の天体の現象時刻と区別するためのものであるが、後述のように他経度における時刻を求める場合にも使われる。

### 4. 正中・出沒図の使い方(第1図参照)

正中・出沒図は下方欄外の緯度、経度の地点での正中、出沒時を読み取ることができるだけでなく他にも利用することができる。一例として緯度  $35^\circ$ 、経度  $135^\circ$  の正中・出沒図を考える。これから読み取れる時刻は経度  $135^\circ$  の地方平時と考えることができ、緯度  $35^\circ$ 、経度  $\lambda$  の時刻は経度  $\lambda$  の地方平時で

$$\text{当日の時刻} - (\text{当日の時刻} - \text{前日の時刻}) \times \frac{\lambda - 135^\circ}{360^\circ} \dots\dots\dots(4)$$

である。経度  $\lambda$  の地方で使われている標準時の基準経度を  $L$  とすると、標準時に直すには更に  $L - \lambda$  を加えなければならない。

(4)式は経度  $135^\circ$  の図に対して成り立つが、他の経度の図の場合には、 $135^\circ$  の個所に、この経度の値を入れなければならない。

経度が一定で緯度の異なる場合には1枚の図では求めることはできない。例えば緯度  $30^\circ$ 、経度  $135^\circ$  に対する図(これをA図とする)、緯度  $40^\circ$ 、経度  $135^\circ$  に対する図(これをB図とする)があるとすると、

緯度  $30^\circ$  と緯度  $40^\circ$  との間にある緯度  $\varphi$  の時刻は

$$A \text{ 図の読取時刻} + \frac{\varphi - 30^\circ}{40^\circ - 30^\circ} (B \text{ 図の読取時刻} - A \text{ 図の読取時刻}) \dots\dots\dots(5)$$

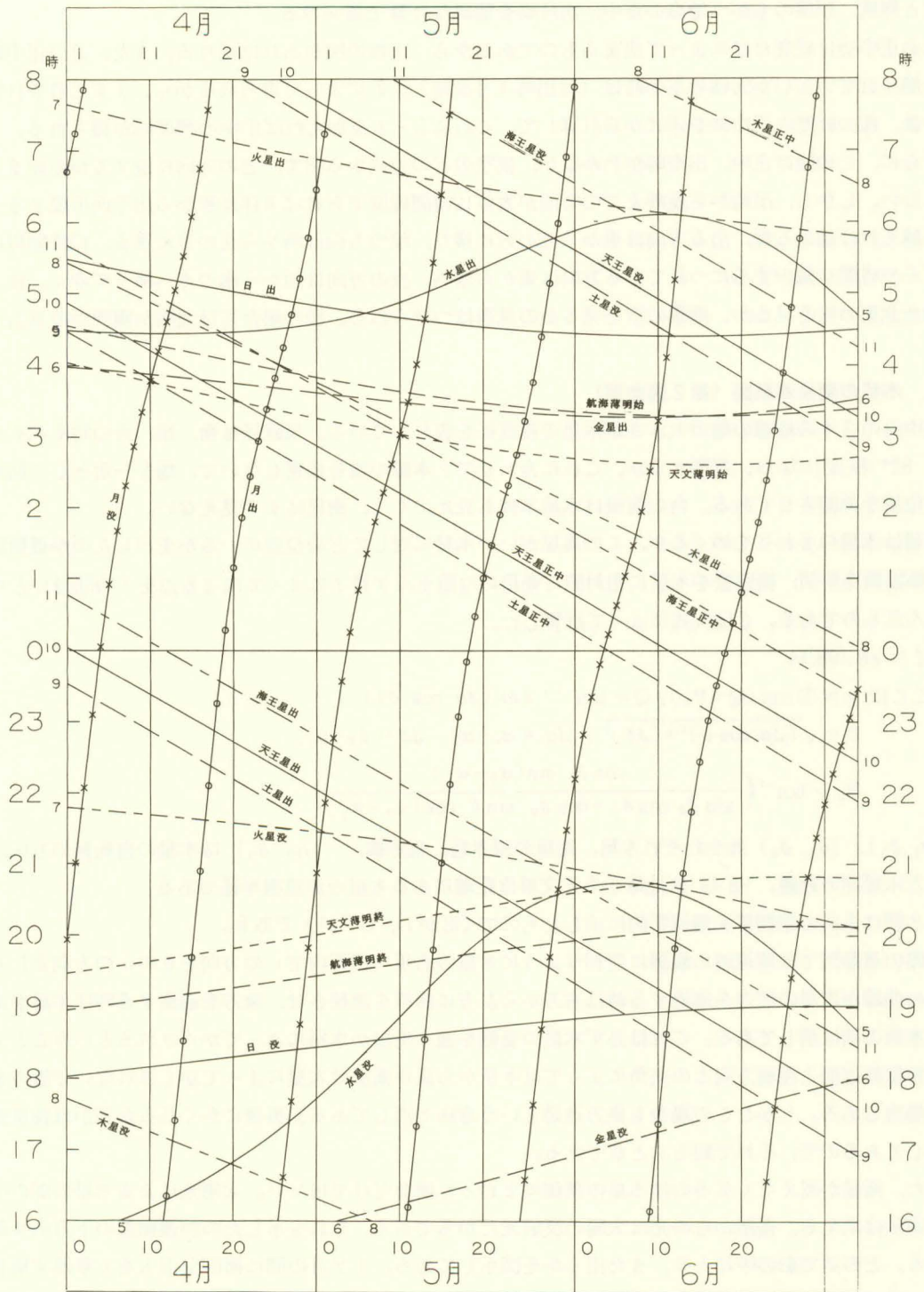
である。得た時刻は  $135^\circ$  の地方平時である。

緯度  $\varphi_1$ 、緯度  $\varphi_2$  ( $\varphi_1 < \varphi_2$ ) の図が与えられていれば、(5)式の  $30^\circ$  を  $\varphi_1$ 、 $40^\circ$  を  $\varphi_2$  として一般化でき、 $\varphi_1 < \varphi < \varphi_2$  の  $\varphi$  の時刻が得られる。

月出沒時の場合は(4)、(5)式の両方とも必要である。月以外は(5)式は必要であるが、(4)式の第2項は無視でき、図から読み取った時刻は経度  $\lambda$  の地方平時とみなしてよく、標準時に直すなら  $L - \lambda$  を加える。

# 1987年 太陽・月・惑星の正中・出没図

日本時



東京 北緯 35度 39分 東経 139度 45分  $\Delta T = 56.0$ 秒

第1図

経度を定め、緯度の異なる何枚かの正中・出没図を用意しておけば、図の下方欄外に記した緯度、経度の地点と緯度、経度のちがう地点の正中、出没時を簡単な計算で得られる。

なお正中時は経度だけによって決まるものであるから、1枚の図があれば足りる。また、月の正中時の曲線は描かれていないが大体の正中時は(月出時+月没時)/2によって得られるから、まずこれを計算して、その後、他の経度の正中時を(4)式から計算して、これに $L-\lambda$ を加えれば正中の標準時が得られる。

さらに、この図は正中、出没時がわかるが、夜空のどの方向から出て、どの方向に没するかを知ることができない。しかし、出時から没までの時間が大体12時間程度であれば天体は東から出て西に没する。12時間を越えれば越える程、出る方向は東から北の方に移り、没の方向は西から北の方に移る。12時間以内であればその時間が減少するにつれて出る方向は東から南へ、没の方向は西から南の方へ移ってゆく。従って出の場合北東の空を見るか、南東の空を見るかの見当はつけられる。没の場合には北西か南西かの見当がつく。

### 5. 木星の衛星運動図(第2図参照)

図中央の2本の縦線の幅の大きさが木星の視直径を表わしている。視直径は衝、矩、合の時それぞれ $47''$ 、 $39''$ 、 $32''$ 程度になり、変動するが、これに合わせて2本線の幅を調整しないで、幅を一定として衛星の相対的位置を伸縮させてある。合の前後は木星本体も見えにくく、衛星はまず見えない。

衛星は木星のまわりをめぐるが、この衛星がいつ木星に対してどの位置にいるかを示したのが運動図である。縦座標を時間、横座標を木星に相対的な衛星の位置を示す量 $\xi$ によって決まる点を1時間毎にとり、線で結んだものである。 $\xi$ は次式によって計算した。

$$\xi = xR/98.44$$

$$\text{ここに } x = D \cos(Q+P_n), Q = \tan^{-1}(\Delta\delta/(\Delta\alpha \cos \delta))$$

$$D = \sqrt{(\Delta\alpha \cos \delta)^2 + (\Delta\delta)^2}, \Delta\alpha = \alpha_s - \alpha_j, \Delta\delta = \delta_s - \delta_j,$$

$$P_n = \tan^{-1}\left(\frac{\cos \delta_0 \sin(\alpha_0 - \alpha_j)}{\sin \delta_0 \cos \delta_j - \cos \delta_0 \sin \delta_j \cos(\alpha_0 - \alpha_j)}\right)$$

$(\alpha_j, \delta_j)$ 、 $(\alpha_s, \delta_s)$ はそれぞれ木星、衛星の視赤経、視赤緯、 $(\alpha_0, \delta_0)$ は木星の自転軸の方向、 $R$ は地球と木星間の距離、 $98.44$ は地球から天文単位距離にある木星の赤道視半径である。

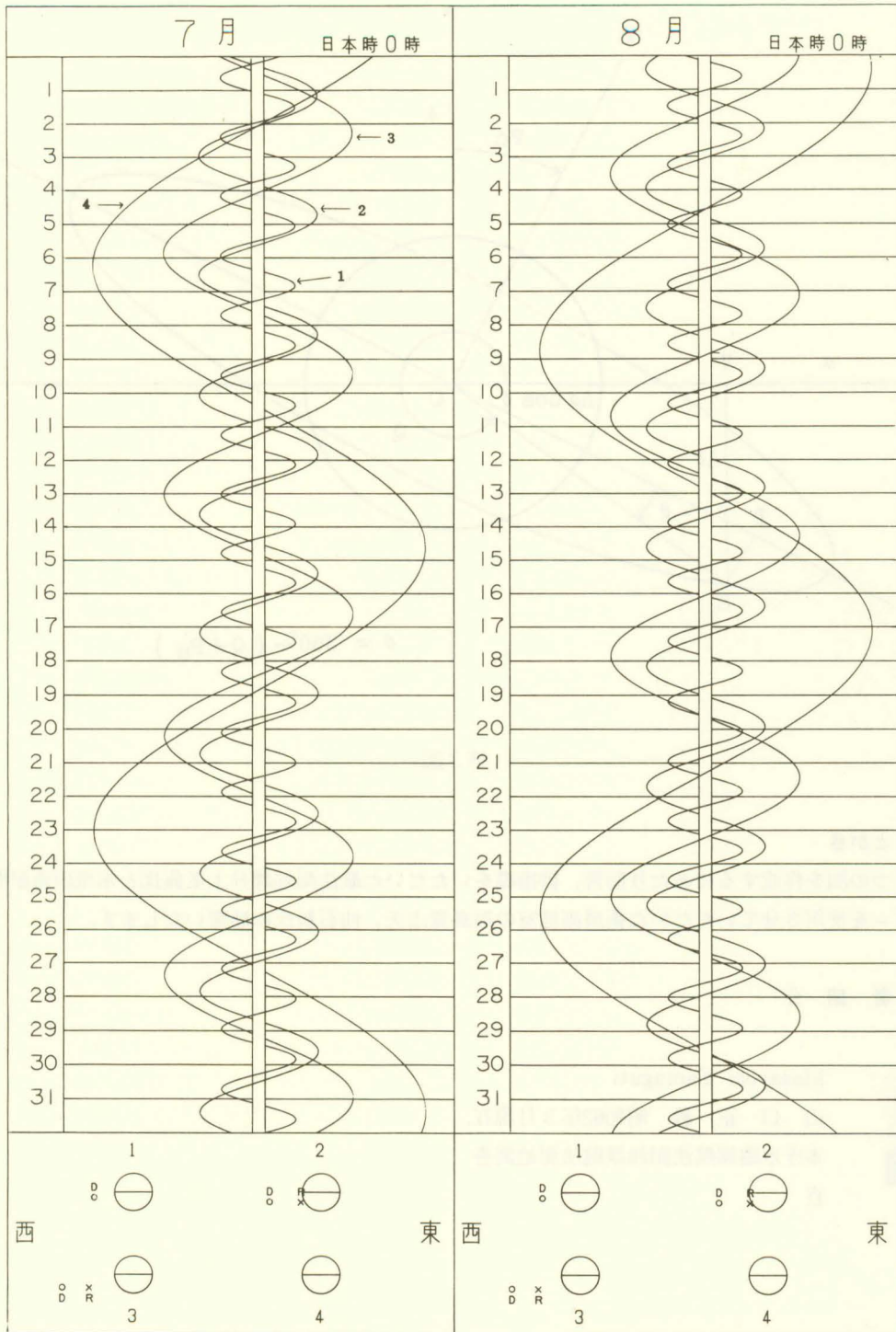
第3図は上式の諸関係を幾何学的に示したものでOSがD、OTが $x$ である。

実際の運動図では望遠鏡の観測に便利のように木星の右手(視野内で)の方向を $\xi$ の正の方向としている。

$\xi$ の曲線が木星の前方を通過する時は右方から左方に曲線を連続させ、後方を通過する時は木星をあらわす2本線の間は消してある。これは必ず木星の裏側を通り衛星が木星によってかくされるということではない。衛星軌道面と視線方向との交角によっては木星から遠い衛星は木星によってかくされないで後方を通過する場合もある。しかしこの場合も後方通過という意味で消してある。裏側にかくれるか否かは衛星食暦を計算してあるので、それで知ることができる。

また、衛星が見えなくなるのは木星の裏側にまわった場合だけではない。太陽光による木星の影の中に入ると衛星は消える。衛星からの光は太陽の反射光だからである。それを示したのが運動図の下方の4個の図である。どの辺で影の中に入り、また出るかを図示してある。1ヶ月の間に何回も出入をくり返す場合には中旬の様子を描いた。影の中に入らずにめぐる場合もあるのは木星の裏側にかくされないのと同じ理由による。Dは影の中に入るときの、Rは影から出るときの位置である。

# 1987年木星の衛星の運動図



1…イオ    2…ユーロパ    3…ガニメデ    4…カリスト

第2図

