

極位置の算定における問題点

—緯度および時刻観測データによる両解析結果の不一致について—

岡崎 清 市*

1. はじめに

極運動における瞬間極の位置は、各天文台の緯度と時刻の両観測データを、同時に用いて算出することができる。また緯度および時刻観測データを、別々に使用して求めても、同じ結果が得られる筈である。

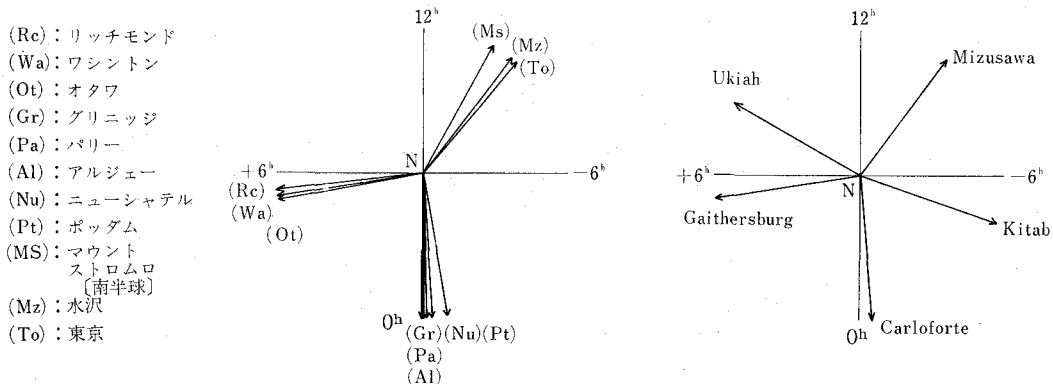
しかし最近、国際報時局 (BIH) の中央局長ギノーラの報告によると、緯度と時刻の観測データを別々に使用して、極運動を求めた場合、両者の年周成分に著しい食違いが現われると指摘している (IAU, シンポジウム No. 32, 4-1, 1968)。また別に、筆者ら (東京天文台、名阪満津子嬢の協力による) が最近6年間の観測データについて、特に写真天頂筒 (PZT) およびアストロラーブなど、高精能の観測器械のみによるデータから解析した場合も、ギノーラの解析結果と、ほぼ同じような系統的差異を確認することができた。そこで、ここでは筆者らによる解析結果を報告すると同時に、瞬間極の座標決定について、不一致の起こる原因、あるいはその可能性など、観測データを中心に考察してゆきたい。

なお、極運動研究全般については、すでに同誌に国際極運動観測事業 (IPMS) の中央局長弓滋氏が明解な文章によって、懇切に解説されている (天文月報, 1969年8月号)。まずこれを参照していただきたい。

2. 観測データ

極運動の解析のためには、きわめて高精度の観測データを必要とする。このため、従来はもっぱら国際緯度観測事業 (ILS) として、北緯 $39^{\circ}08'$ の等緯度線上に選ばれた数カ所の観測所による、緯度観測データのみ依存してきた。近年、PZT およびアストロラーブなど高精能の観測器械によれば、緯度と時刻の両観測を同時に、同じ精度で行なうことができるようになった。これに加えて、水晶時計、原子時計などによる優れた保時関係施設も、総合的に開発され、その観測精度は一段と向上してきた。

しかし、ここに観測データとして一つの問題がある。ILS の天文台は1899年の創設時以来、各天文台とも全く同型の眼視天頂儀により、同じ星を、同じ方法で観測してきている。この場合には、数学的取扱いによって、星位置表の誤差が消去できるという利点がある。PZT およびアストロラーブの器械精度は、眼視天頂儀よりもたしかに優れているが、世界各地に点在する地点に設置されていて、それぞれ異なった星を独立に観測している。そのため、観測データに含まれている星位置表の誤差を、簡単に除くことはできない。このことは、将来も問題点として繰り返されることと思う。



(a) PZT, アストロラーブ観測の天文台

(b) ILS天文台 (眼視天頂儀)

第1図 各天文台の位置

* 東京天文台
Seiichi Okazaki: On a Problem
in the Calculation of the Coordinates of Instantaneous Pole

しかし、多数の天文台の観測を用いて処理すれば、星位置表の誤差は平均値として小さくなり、結果におよぼす影響も無視できるようになる。このような観点から、1962年、従来の ILS は IPMS と改められ、緯度観測と時刻観測の各天文台を包括する組織に拡大された。現在瞬間極の座標決定において、IPMS はまだ時刻観測データを実際使用していない。BIH は世界各天文台の緯度と時刻の両観測データに、それぞれ重みを加えて、総合的に使用している。BIH で算出された極座標は、世界各天文台の時刻観測結果を、世界時 UT1 に変換し、早急に統合整理するため利用されている。

3. 極運動計算式

極運動の影響による、*i*-天文台の緯度変化 $\Delta\varphi_i$ および経度変化 $\Delta\lambda_i$ は次のように表わされる。

$$\Delta\varphi_i = x \cos \lambda_i + y \sin \lambda_i \quad \dots\dots(1)$$

$$\Delta\lambda_i = 1000/15 (x \sin \lambda_i - y \cos \lambda_i) \tan \varphi_i \quad (2)$$

ただし (1) 式は角度の秒を、(2) 式は時間の 1/1000 秒 (ミリ秒) を単位とする。x, y は慣用国際原点 (CIO) に準拠した極運動の瞬間極の位置であり、 λ_i および φ_i は *i*-天文台の採用経度 (西経を + で表わす) および採用緯度である。(飯島重孝: 天文月報, 1969年5月号参照)

緯度観測データ $(\varphi_{obs})_i$ には極運動に無関係な項 *z* の

含まれることを考慮に入れて、(1) 式を次のように書く、

$$x \cos \lambda_i + y \sin \lambda_i + z = (\varphi_{obs})_i - \varphi_i \equiv \Delta\varphi_i \quad \dots(3)$$

また(2)式については、世界時 UT0 および UT1 について、 $UT0_i + \Delta\lambda_i = UT1$, および

$$(UT0_i - AT') - (UT1 - AT') = -\Delta\lambda_i \text{ の関係を用いて、}$$

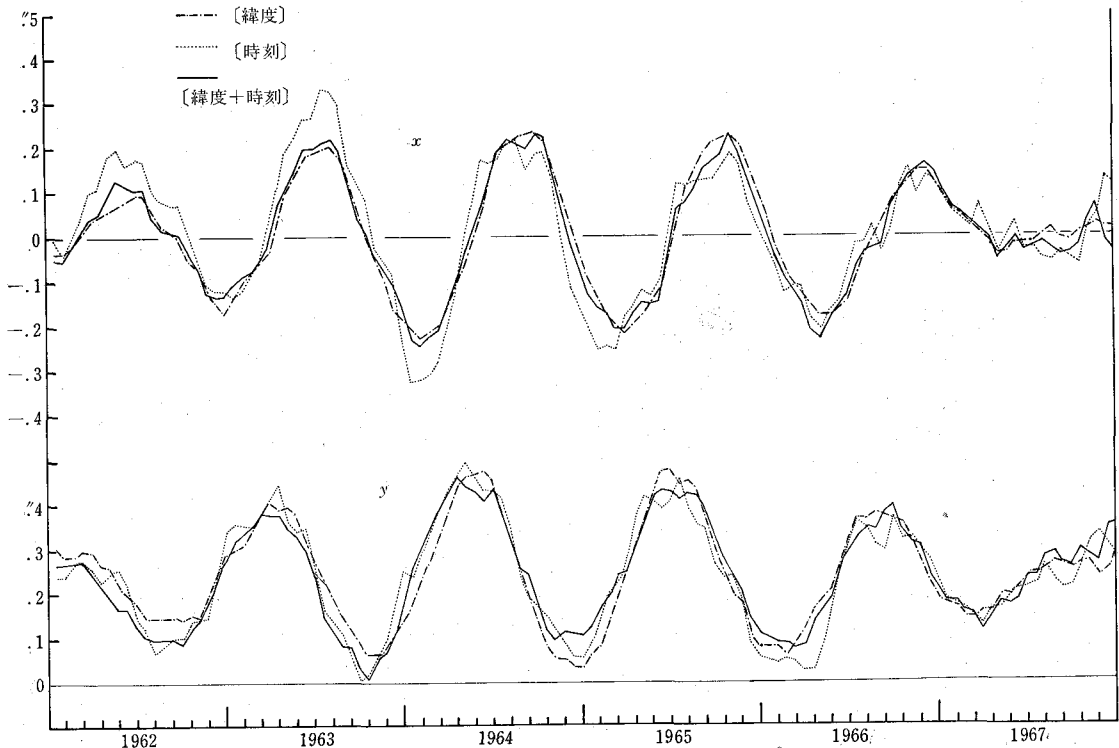
$$-x \sin \lambda_i \tan \varphi_i + y \cos \lambda_i \tan \varphi_i + t$$

$$= 15/1000(UT0_i - AT') \equiv \Delta\tau_i \quad \dots\dots(4)$$

ここに *t* 項は $15/1000(UT1 - AT')$ の形で表わされる極運動に無関係な共通項であり、AT' は原子時系の変形された時量系とする。なお *t* および $\Delta\tau_i$ の単位は角度の秒に換算してある。

(3) 式について x, y, z; (4) 式について x, y, t をそれぞれ未知数とし、各瞬間時点ごとに最小自乗法によって、逐次解いてゆけば、極運動座標が算出できる。この極座標の計算値を、それぞれ (x_φ, y_φ) および (x_τ, y_τ) と書く。また別に (3), (4) 式を同時に用いても、もちろん (x, y) を計算することができるが、この場合には、*z* と *t* を分離するのはむずかしい。

なお、ここに示した *z* は一般に星位置表の誤差、観測器械の誤差などによる共通成分、言葉を換えれば、これらの誤差の平均値として求められるもので、天文台の数を限りなく増してゆけば無視できるようになる。しかし *t* はこの種の誤差のほか、原子時系と世界時 UT1 との差、すなわち原子時系に対する地球自転速度の遅れを



第2図 極運動座標の計算結果の比較

表わす。したがって量的にも経度変化 $\Delta\lambda_i$ などより、はるかに大きな値を示すものである。この t 項の計算処理も今後の課題の一つに加えられるであろう。

4. 観測データと天文台の位置

極運動の解析において、(3) 式の観測値 $\Delta\varphi_i$ および (4) 式の $\Delta\tau_i$ はそれぞれ経度 λ の関数であり、また両式はおおの3つの未知数を含んでいる。したがって、ある時点において3つ以上の観測地点のデータが得られれば、一応数学的に解くことができる。観測誤差などの混入を考えれば、もちろん等緯度上に等間隔の観測所が多数あることがのぞましい。

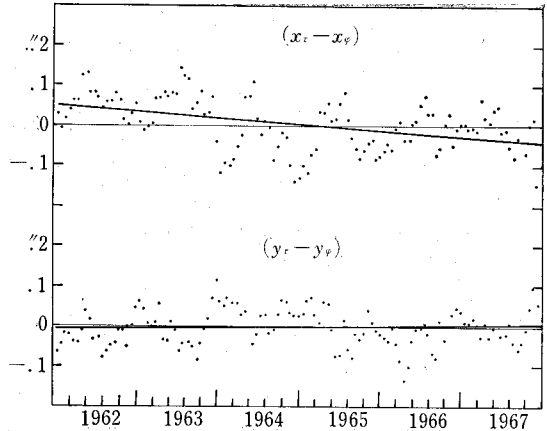
第1図に ILS の5天文台の位置と、筆者らが用いた天文台の位置を、比較のため並べて示す。ILS の天文台はほとんど等間隔に分布しているが、筆者らによるものは、数は多くても経度について3方向に集まってしまう。PZT, アストロラープによる観測で、しかも1962年から1967年の6年間、継続して観測のなされているものと条件を与えれば、11天文台となり、このように3方向に分布する。異なった星を独立に観測する天文台の場合は、平均によって星位置表の誤差を小さくするため、同じ方向にいくつかの天文台があった方がよい。

もっと良い天文台の位置の分布については、1967年の国際天文学連合 (IAU) 第19 (地球回転) 委員会において、すでに勧告されている (弓滋: 天文月報, 1968年1月号)。これによると、従来の ILS 天文台に PZT の増設、南緯 34° 線上の数カ所に PZT の設置、なお南半球におけるアストロラープ観測網の配置など、まことにすばらしいプランである。

5. 極運動座標の計算結果の比較

第1図(a) に挙げた11天文台の緯度観測と時刻観測のそれぞれのデータについて、(3) および (4) 式を適用し、また両式を多少変形して観測データを同時に用い、それぞれ瞬間極の位置を計算する。この3通りの計算結果を第2図に、比較のため重ねて載せる。実線は両式を同時に用いて求めた極運動座標; 破線は(3)式による (x_φ, y_φ) ; 点線は(4)式による (x_τ, y_τ) である。

これらの値は、同一の極運動座標に対する計算値であるが、 (x_φ, y_φ) と (x_τ, y_τ) との差を示すと、第3図のように経年的傾向と周期項が現われているように思われる。この差の経年的傾向が1次式によって表わされると仮定すれば、第3図の差の x および y 成分は年あたり $-0^{\circ}0158 (\pm .0031)$ および $+0^{\circ}0004 (\pm .0024)$ となつて、差の x 成分にだけ著しい傾斜が表われる。全期間がわずかに6年間であるため、この差の x 成分を直ちに永年変化と断定するのは早計であるが、無視することので



第3図 差にあらわれた経年的傾向と周期成分

きぬ値である。

差の周期項については、極運動の年周成分とチャンドラー成分の合成したものの差と考えられる。しかしこのほかの周期成分の混入することも考え、この差を時系列として、系列相関係数によるコログラムで推測してみると、ほとんど年周成分のみ現われ、チャンドラー周期も、また半年周期も見出せない。

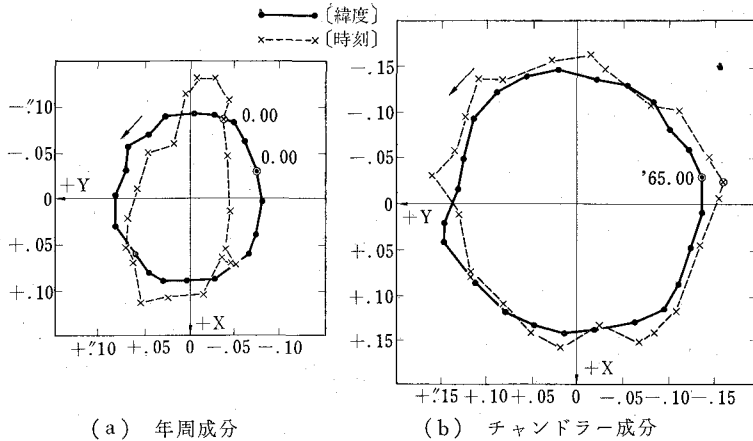
6. 年周成分とチャンドラー成分

第2図における、 (x_φ, y_φ) および (x_τ, y_τ) について、それぞれ年周成分とチャンドラー成分を分離してみる。いま、チャンドラー周期を1.2年と仮定すれば、データの全期間が6年間で、1年と1.2年との最小公倍数となる。それで年周成分は6周期、チャンドラー成分は5周期の重ね合わせによって、簡単に分離できる。

第4図(a) には年周成分の平均値を、第4図(b) にはチャンドラー成分の平均値をそれぞれ図示する。両図において、実線は (x_φ, y_φ) であり、点線は (x_τ, y_τ) である。実線と点線による両者の重ね合わせの比較から、年周成分については、一見して著しい形の相違がわかる。(a) 図の (x_φ, y_φ) はほぼ円形の運動を示すが、 (x_τ, y_τ) は X 軸方向に長軸をもつ細長い楕円形の運動になる。

BIH のギノーらは、この年周成分について第5図のようにもっと著しい形の違いを発表している。時刻観測から求めたものは、まるで胡瓜の形である。しかし、よくみると、筆者らの結果とずいぶん似ているようにも思える。これによるデータは PZT, アストロラープのほか子午儀観測も加え、20天文台以上にもおよんでいるが、緯度と時刻の天文台の数は同じではない。期間は1964.00 から 1966.45 までの2.5年間の平均である。

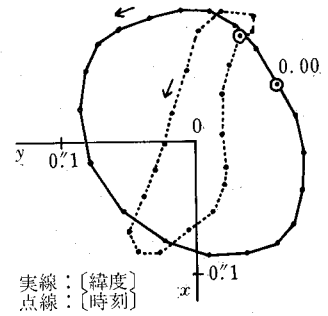
第4図(b) のチャンドラー成分については、両者ともほとんど円形で大差はないが、点線による (x_τ, y_τ) の方が、やや一様に大きく見える。これは見かけ上のもので、



(a) 年周成分

(b) チャンドラー成分

第4図 極運動の周期成分



実線：〔緯度〕
点線：〔時刻〕

第5図 BIH, ギノーラの解析による極運動年周成分

天文台の組合せを変えて計算する場合は、この図と逆な状態も現われる。

7. 天文台の組合せを変えた場合

11天文台のうち、二・三、天文台の組合せを変えて考察してみる。各方向における数を均等にして、3天文台ずつ割りあてた9天文台、また全体の分布の均等性を考慮に入れ、各天文台の $\sin \lambda_i$ および $\cos \lambda_i$ の総和がそれぞれ最小になるように選んだ7天文台の場合を採りあげる。

第1表は、それぞれデータ別に算出した極運動座標について、表の下に添えた数式により、年周とチャンドラー

一項を同時に、最小自乗法で求めた結果である。この表における各係数の比較からも、データ別による解析結果の大きさを掴むことができる。ここで特に指摘しておきたいのは、年周項の係数、しかもB項における差〔時刻〕-〔緯度〕が0.07にもおよぶことである。年周項の振幅は、これまでの結果からみても、0.10程度の変化であるから、この差の示す値は異常といわざるを得ない。チャンドラー項については、いずれの比較によっても、あまり大きな差は見出せない。

そこで、9天文台、7天文台の場合は年周成分だけを採りあげ、これに11天文台も比較のため添えれば、結果は表紙下段の図のようになる。(a)は緯度観測によるも

第1表 極運動の年周成分とチャンドラー成分

		年 周 項				チャンドラー項			
		x		y		x		y	
		A	B	A	B	C	D	C	D
緯 度	11天文台	-0.091	-0.030	+0.024	-0.077	-0.139	-0.022	+0.026	-0.142
	9天文台	-0.078	-0.023	+0.014	-0.081	-0.140	-0.025	+0.027	-0.140
	7天文台	-0.087	-0.010	+0.047	-0.094	-0.146	-0.024	+0.028	-0.132
	平均	-0.085	-0.021	+0.028	-0.084	-0.142	-0.024	+0.026	-0.138
時 刻	11天文台	-0.083	-0.080	+0.033	-0.051	-0.159	-0.012	+0.018	-0.141
	9天文台	-0.079	-0.090	+0.037	-0.061	-0.138	-0.028	+0.040	-0.157
	7天文台	-0.088	-0.089	+0.017	-0.055	-0.138	-0.028	+0.044	-0.156
	平均	-0.083	-0.086	+0.029	-0.056	-0.145	-0.023	+0.034	-0.151
〔時刻〕-〔緯度〕		+0.002	-0.065	+0.001	+0.028	-0.003	+0.001	+0.008	-0.013
(I L S)		-0.079	-0.059	+0.053	-0.052	-0.146	-0.012	+0.019	-0.145
(B I H)		-0.095	-0.053	+0.049	-0.072	-0.147	-0.023	+0.028	-0.141

注) 各係数の誤差は 〔緯度〕: $\pm 0.002 \sim 0.004$ 〔時刻〕: $\pm 0.004 \sim 0.007$
 $(x \text{ あるいは } y \text{ 座標}) = K + A \sin 2\pi j + B \cos 2\pi j + C \sin 2\pi j/1.2 + D \cos 2\pi j/1.2$
 ただし、j は 1965.0 から数えた年数である。

の、(b) は時刻観測によるもの、また 11, 9, 7 の各天文台について、実線、破線、点線によってそれぞれ表示している。(a), (b) 両図における著しい形の違い、また第 5 図のギノーらの結果を参照して、次のことがいえるかもしれない。“緯度および時刻観測から求めた極運動の年周成分は、天文台の分布状態、あるいは天文台の数に関係なく、両者はかなり大きな差異を示す”。このことは、星の位置や観測器械などの誤差によって起こるものではないといえるかもしれない。

しかし、表紙の図の (a) あるいは (b) ごとに重ねて示した年周成分の差は、さきに述べた星位置表の誤差などの影響と考えられる。

8. 観測データにおよぼす影響

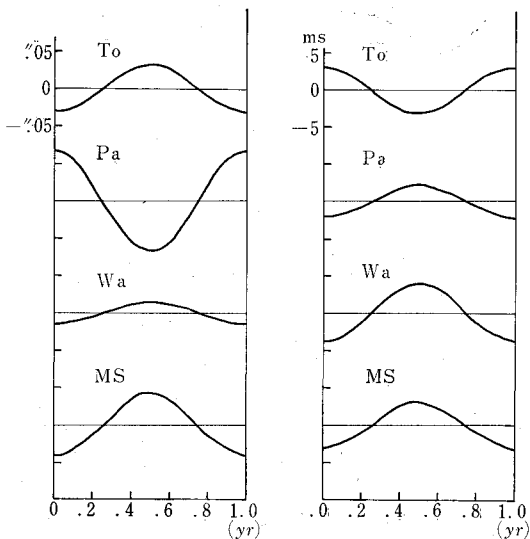
(x_ϕ, y_ϕ) および (x_τ, y_τ) にはただ一つの真の値 (x, y) がある。したがって両計算値の差は、それぞれの誤差の差によって書くことができる。また、第 1 表に掲げた観測データによる係数の平均値は近似的に次のように表わされる。

$$x_\tau - x_\phi = (x_\tau \text{ の誤差}) - (x_\phi \text{ の誤差}) = -0.065 \cos 2\pi j$$

$$y_\tau - y_\phi = (y_\tau \text{ の誤差}) - (y_\phi \text{ の誤差}) = +0.028 \cos 2\pi j$$

ここに j は 1965.00 から数えた年数 (この場合は年次から数えた分数でもよい) である。

そこで、いずれか一方の誤差を零と仮定して、残りの誤差による緯度変化および経度変化を計算してみると [(1) 式および (2) 式を参照]、第 6 図の (a) および (b) のようになる。各方向にそれぞれ 1 天文台ずつ、例に挙げ、南半球のマウント・ストロムロを添える。(a) は (x_ϕ, y_ϕ) の誤差だけによる緯度変化、(b) は (x_τ, y_τ)



(a) 緯度変化 (b) 経度変化
第 6 図 極座標の差が観測データにおよぼす影響

第 2 表 $(x_\tau - x_\phi)$ の経年項による影響

		緯度変化	経度変化
東	京	+0.011/yr	+0.5ms/yr
バ	リ	+0.015	+0.04
ワ	シ	+0.003	-0.8
マ	ウ	-0.013	-0.4

の誤差だけによる経度変化である。いま、各天文台について、第 6 図の (a) か、あるいは (b) のいずれか一方の系統的变化が一樣に認められれば、表紙下段の左右に掲げた極運動の年周成分は一致する。第 6 図に例示した各変化量は、いずれも、それほど大きな値ではなく、各天文台固有の局地差には一般にこの程度の誤差が含まれている。しかし、すべてのデータが、それぞれの方向に、図に示すような系統的变化をしているとは、よほど偶然な場合でない限り普通には考えられない。また第 6 図に示した量は、その方向についての平均値であると考えた場合でも、各天文台に見積もる誤差は、いささか大き過ぎるように思われる。

なお、第 3 図の極座標の差による経年の傾向が、 x 成分だけに、年あたり 0.015 として与えられた場合、これによって影響を受ける各天文台の緯度および経度の経年の変化量は第 2 表のようになる。

9. むすび

以上述べてきたように、緯度および時刻観測データから、それぞれ別々に算出した極運動の座標は、年周成分に 0.07 にもおよぶ差異が現われる。年周項の振幅は一般に 0.10 程度の量であるから、この差はあまりにも大き過ぎる。BIH のギノー氏らの解析結果も参照し、総合的に推測すれば、この系統的差異の原因は、星の位置や観測器械の誤差などの影響ではないように思われる。水沢の緯度観測所長奥田豊三氏は、すでに緯度変化における局地的な α 項の 19 年周変化について、地球のポテンシャル面の変化によるものと推論されている (天文月報, 1968 年 3 月号)。同氏はこの極座標の差異の問題に、氏の持論を展開され、説明されている。

もしこの現象が、地球物理学的にも十分に説明でき得るものであるならば、今まで使用されてきた極運動計算式は再検討されねばなるまい。しかし現在は、なお観測データについて不備な点もある。IPMS の充実強化による新しい観測網の設置、また人工衛星利用による全く新しい観測も着々と実現され、すでに観測データも得られている。これらのデータの総合により、極運動座標の決定は、ますます精度を高めてゆくと同時に、また新たな問題点を提示するであろう。