

# 位置天文学の現状と将来

## 位置天文学連絡会将来計画小委員会

位置天文学とよばれる天文学の分野においては、宇宙を構成する天体の位置と動きを究めることによって、宇宙そのものを支配する時間および空間の法則性の本質を明らかにすることを目的としている。

したがって、位置天文学は天文学の各分野の中で最も根底に位置するものであり、天文学の他の分野に対してはもちろん、自然科学全般に対しても基礎的なデータを提供するという重要な任務をもつものである。

そもそも天文学においては、天体を観測することによって得られた情報がすべての研究の基礎となっている。理論天文学とよばれる分野でさえも、いかにすれば観測される天体現象が普遍的に矛盾なく説明できるかを解明するという目的をもつもので、観測がその基盤となっていることは明らかである。まして天体の位置と動きを追究する科学である位置天文学の分野の研究において、観測が占めるウェイトは非常に大きい。

しかも位置天文学の研究対象となる天体現象には息の長いものが多く、これを解明するためには一貫した方式、安定したシステムを用いて長期にわたる地味な観測を継続することが必要である。また、これらの観測のすべてには高い精度が要求され、かつ多岐にわたる補正因子を考慮しなければならないという特性から、観測は一般に地球上に適当に配置された観測点において、国際協力のもとに連続して実施されることが望ましい。

以上述べてきたような位置天文学の本質に基いて、その地理的特性、および先人が遺した研究、観測の実績をもつわが国の位置天文学界に対して、世界の天文学界から寄せられている期待は甚だ大きいものがある。

最近の理論および観測技術の著しい進展に伴ない、速やかな解決を迫られている問題が山積し、かつ要求される精度が極めて高くなっている今日、単なる海外学界の趨勢の模倣ではなく、各研究者の理解と自覚に基く独創的研究をもって日本の位置天文学の発展のために努力を積み重ねることがぜひとも必要である。

このような観点から、位置天文学連絡会の中に設けられた将来計画小委員会においては、さきに位置天文学系列図および位置天文学機器系列図を作成公表したが、このたびこれらの基礎理念に基いて慎重に審議を重ねた結果、わが国において次の各研究項目を強力に推進することが、位置天文学の進展のためにぜひとも必要であるとの結論に達した。

### 1. 天文定数の検討

天文定数は次項に述べる基準座標系において、天体の位置と運動を数値的に表現するための必要かつ充分な基本定数の一群であって、これらはその数値相互間の理論的關係を満足し、またこれによって推算された天体の位置は、観測と充分に見合う精度をもっていなければならない。そのためにはまず新しい観測データまたは新しい解析法によって一層精度の高い数値を求め、つぎにこれらを理論的諸關係に適用して定数系として内部に矛盾のないように検討しなければならない。

1) 定数値の改良: 1964年に天文定数系が採用されたとき、一般歳差・章動定数・惑星の質量系については改訂が保留されており、これらの数値の決定が最も急がれている。

すなわち、一般歳差の値の決定には、現在、銀河系外星雲による方法が最も有望とされ、アメリカおよびソ連邦でその観測が進められているが、一方これに対応してこれまで最も一般的に採られてきた恒星の固有運動による方法の高精度化を図る必要があり、このためには星表間の系統差の解析が最も重要であり、併せて太陽系天体による力学的決定も進めなければならない。

章動に関する諸数値については、地球内部構造に関する適切なモデルの設定が最も急を要する問題であり、併せて地球潮汐との対応による表示方法の検討が必要である。

惑星の質量については最近アメリカにおいて人工惑星の観測によって高い精度の数値が得られており、わが国においてもこれらの観測データに基いて独自の研究を進めることが望ましい。

2) 定数系としての検定: 天文定数は相互に複雑な理論的關係を有する。これを矛盾のない一つの体系とするには、まずこれら諸定数間の關係を明確に表現することが必要であり、その定性的な表現の例として「天文定数体系系図」があり、これをさらに定量的に關連を示すことが必要である。そのような把握の下に前項で述べたような新しい観測や方法による新しい数値に基いた新定数系が設定される。さらに根本的な検討として、必要にして十分な定数群について、定義定数と一次定数を選定して誘導定数を導くことが必要である。

この場合、一次定数としては従来の方法とは全く異なる

り、新しい観測技術によって得られる高い精度の CGS 系を採用することが考えられる。すなわち距離の単位としては天文単位の代りにレーザ観測による光差を用い、質量系には人工惑星の観測から得られた太陽・月・惑星の質量を用い、時刻系には積算原子時を用いる。この場合、相対論の影響も厳密に検討しなければならない。

## 2. 天文座標系の確立

位置天文学は天体の位置と動きに関する科学であるから、空間での天体の位置を記述するための基本座標系と、ある現象が起った時刻を定義する時系の確立は位置天文学の根幹をなすものである。

1) 基本座標系の確立: 天体の動きはある時間間隔において測られた位置の時間変化の割合から求められるので、その位置と運動を表示する基準となる座標系を決定することが重要である。このような座標系は理想的には慣性座標系でなくてはならないが、その決定には実際上いろいろの困難があるので、できるだけこれと一致する座標系を観測から確立する必要がある。このために原理的には運動のよく知られた天体が数個あればよいが、実際には太陽系天体の運動理論と一致するよう基本座標系を決める。これと同時に、一方では天球上の動きが無視される星雲の一団から独立に基本座標系を確立していくことも必要である。

実際の観測では、天体の位置を測定するのに最も簡単に都合のよい赤道座標系を採用しているので、その慣性座標系に対する動き、いわゆる歳差章動を決定しなくてはならない。

また基本座標系に基いて測定される恒星の位置変化からその運動を知り、それらの星が構成する重力の場の力学状態を知る手がかりを得ることは、宇宙の構造やそこで起る自然法則の理論体系を実証あるいは変革する資料を得るためにも重要である。

このようにして太陽系天体(太陽・月・惑星・小惑星)の観測から、これら天体運動理論の改良、できるだけ暗い恒星まで含めた多数の恒星の非常に精度の高い固有運動の決定、地球軌道の決定、歳差定数の決定、時系の確立、諸天文定数の妥当性の検討、これに基く天体位置表の改良等は基本座標系の確立の上にならなければならない。

日本における基本座標系確立のための観測・研究の重要性は、北半球で最も低緯度にあるというその地理的条件に負っている。すなわち北半球と南半球の観測で確立される座標系の結びつけや、太陽系天体の完全な観測が可能である。

以上のことは子午環の絶対観測によって可能であるが、さらにアストログラフ、大望遠鏡による固有運動・

視線速度・視差の観測を組合せることも望ましい。

基本座標系の確立が位置天文学の根幹をなすことは位置天文学系列図を見れば一目瞭然である。

2) 時間座標系: 天体力学的時系としての暦表時(ET)と、量子力学的積算時系としての原子時(AT)とが並立し、両者は全く独立の基盤に立っている。前者は天体暦の時間引数を与え、後者は国際単位系の中の秒単位を規定している。

暦表時は本来、ニューカムの太陽表と観測から決まる太陽の平均黄経とによって定義されているが、現実には新しい月の暦と月の観測位置とから決められている。この新しい月の暦の中のいわゆる潮汐項には多くの疑点を残しその再検討が迫られている。この解明のためには、

- (a) 太陽、月の運動、特に永年加速データの再検討
- (b) 現在月の位置観測の主流をなす子午線観測、掩蔽観測の高精度化とそれら観測の強化、マルコピッツ・カメラの再検討
- (c) レーザなど新技術による月の運動の高精度観測機械の開発・導入
- (d) 暦表時と原子時の相互比較の励行

などが必要である。

また原子時はセシウムの原子振動を基として人工的な積算過程を経て作られる。世界に散在するセシウム発振器は相互に  $10^{-12}$  の桁の器差を有する現状であるが、これらの結果を集約して最も均質な国際原子時を作り上げてゆかねばならない。このためには

- (a) セシウム原子時計の特性研究(内部雑音、外部磁場の影響、周波数再現性の検討など)
- (b) セシウム原子時計の絶対数の増加
- (c) 遠距離を隔てた時計の精密比較(VLF, ロランC, 運搬時計, オメガ, 人工衛星利用など)の精度向上と新技術の開発
- (d) 国際原子時合成のための統計論的方法の確立
- (e) 一般相対論の影響の研究、固有時の具体的な取扱の検討、などが急務である。

## 3. 地球

1) 地球の形状とその時間的推移. 地球の形状は一定不変ではなく絶えず変動している。これを詳しく調べるために人工衛星によるジオイドの変動の調査と、重力の方向と大きさの変動をなるべく多数の地点で同時に、かつ連続的に測定することが必要である。ことに重力の絶対測定は地球物理学の分野というばかりでなく、位置天文学にとってもぜひ推進すべきものである。この目的のために  $0.01 \text{ mgal}$  までの測定精度をもつ国際度量衡局佐久間氏の開発の測定機を日本に設置することが望ましい。

2) 地球自転速度の究明: 地球自転速度には周期成分として年周, 半年周, および 26 ヶ月周が実証され, 不規則成分として大規模な 10~20 年スケールのもので, 小規模な 1~2 ヶ月スケールのものが知られている. いずれも定性的には説明づけられてはいるが, 定量的解釈は不完全である. 殊に大規模スケールの不規則変動は地球内部構造によると考えられてはいるものの, その機構については全く判っていない. また 18.6 年周項の実証も待たれるところである.

3) 地球の極運動の究明: 極運動はチャンドラー成分, 年周成分を主な成分としているが, これら周期成分の励起, 減衰機構の究明は永年変化の問題とともに基本的に極めて重要な研究項目である. この問題の解明のために, 地球-太陽空間に対する太陽活動の影響についての研究, 地球内部構造理論の開発, 地震と極運動の関係の研究等を推進することが特に要望される.

4) 地球の極運動および自転運動の観測の強化: 天体観測はすべて自転している地球上の観測地点からなされるし, 地球の回転運動を調べる観測自体さえも地球表面に置かれた観測所において行なわれている. ところがこれらは大陸移動, 地殻変動, 地球潮汐などの影響によって常に移動しているものである. したがって観測地点移動の影響を補正するために, 極運動や自転運動の観測に際しては特にこれに関連する地球物理学的現象の観測を併せて行なうことが強く要求される.

#### 4. 太陽系

1) 月の形, 大きさ, 重力場の決定: わが国においても月面に置かれた逆反射器を利用した月レーザー観測を積極的に実施し, これによって得られた結果を利用して月に関する基本量を決定することが必要である. またこれは月のみに限ったことではないが, 従来はすべて剛体力学で扱っていた天体の運動理論を elastic に置きかえることは位置天文学全体に大きな変革をもたらすことになるであろう.

2) 人工衛星の運動理論: 人工衛星測地網の確立や一般相対論の検証に利用するために, 地球の重力場, 大気抵抗, 太陽と月の影響を考慮に入れた精度の高い運動理論を確立する必要がある. 同時に国際協力の下に観測網を強化し, 例えばレーザー測距儀に見られるように観測装置の改良開発を図らなければならない.

3) 太陽系天体の運動理論: 殊に二体問題からの外れが大きい木星・土星の外側衛星や太陽系の外側惑星の運動理論は天体力学の興味ある問題である. これらの運動理論を確立すること, および少ない観測データの集積を補うために, 計算機によるシミュレーションを利用して運動を追跡することは非常に有効であると思われる.

4) 彗星および小惑星の成因: 彗星, 小惑星に及ぼす木星の摂動の影響, すなわち彗星の捕獲, 小惑星の族や空隙の問題の解明は, 太陽系に属するこれら小天体の成因, ひいては太陽系の起源を明らかにする手がかりを与えることになるであろう.

#### 5. 恒星系

恒星系に関する研究は, これを構成する天体(恒星, 星間雲)の位置・運動をはじめ, これらの物理的特性, 進化など, 天文学の広汎な範囲にまたがるものであるが, 中でも恒星系に対する位置・運動の研究は, 単に恒星系の力学的性状を究明するに不可欠であるだけでなく, 位置天文学の究極の目標の一つである基本座標系の確立のためにも重要な意義を有する. したがって位置天文学との関連における恒星系の研究項目として次のものが考えられる.

##### 1) 基本的観測データの整備:

- (a) 三角, 力学, 分光視差系の相互検定→分光視差系の確立
- (b) 視線速度測定法の開発によるデータの集積
- (c) 明るい星と微光星との固有運動系の検定

##### 2) 近距離天体の空間分布と運動:

- (a) 太陽運動の検討
- (b) 局部運動の検出, 特に渦状腕などの局部的質量分布が恒星の系統的運動に及ぼす影響の研究
- (c) 星団所属星の同定による系統的運動の検出
- (d) 銀河回転の諸元の検討

##### 3) 星団, 銀河系の力学的特性:

- (a) 銀河系, 特に早期型の三次元構造の観測および矛盾のない銀河力学モデルの確立
- (b) 銀河回転の観測
- (c) 衝突の力学, 弛緩問題の研究
- (d) 多体問題の数値的シミュレーションによる研究

以上列記した各研究項目に共通した問題点として, 研究者が特に考慮を払わなければならない事項に次のようなものがある.

1) 研究のシステム化の問題: 近代科学の特徴の一つとして問題の多様化がある. 単に位置天文学の範囲内だけで研究すれば足りるような問題はむしろ少なく, 天文学の他の分野, あるいは地球物理学, 海洋学, 測地学などとの境界領域にわたって問題が展開されていることが多い. 従って各方面の研究者が課題ごとと一つの組織の下に集まって研究を分担し, 頻繁に討論の機会をもちながら目標に近づく研究形態をとることが望ましい.

2) 新しく開発される技術の利用: 例えばレーザー光に見るごとく, 近年における電子工業, 情報科学などの著しい発展に伴って, 位置天文学の研究ならびに観測

に役立つ幾多の新しい技術が開発されている。これらを積極的に取り入れて活用する体制が常にとられていることが必要である。

3) 電子計算機の天文学への応用: 電子計算機を利用して天文学の計算を行なわせることは、既に多くの実績をもってその有効性が実証されている。これをさらに観測およびその整約の自動化の方面に応用すれば、その能率を向上させ精度を高めることを役立つであろう。また実際に観測を行なう代りに天体の運動のシミュレーション計算を行なわせれば、非常に長期にわたる運動の様子を外部からの影響を任意に設定しながら実現することができ、非常に有効であろうと思われる。

4) データ・センターの設立: 冒頭にも述べたように、位置天文学は長年にわたる膨大な観測データを取扱い、また恒星系の分野ではその対象とする天体も極めて多数であって、電子計算機の利用によってはじめて十分な解析が可能となった。これらの観測データの集積、プログラムの作成には多大の労力、時間を要するものであり、研究者が各自で作成することは極めて非能率的であるから、磁気テープ等に収められた観測データ、プログラム等の情報を研究者間の相互に絶えず有効に流通するようなデータ・センターの設立を考えることが望ましい。

また将来は極度に自動化・高速化された処理が行なわれると予想されるので、研究者がそれぞれに自動化・高速化を進めて後日の混乱を招かないよう現時点において

データ、プログラム等のコード化等について一元的なシステムを策定しておくことが必要と思われる。

5) 観測機械の新設: 老朽化した観測機械、整約機械に代えて、新しい構想のもとに開発された新鋭機を最も条件のよい土地に設置することに努め、常に最良の条件の下に必要な観測データが得られるよう努力することが必要である。

目下の急務として、子午環、PZT、月レーザー装置、人工衛星レーザー測距儀、極運動解析用人工衛星ドブラー観測装置、超長基線干渉計を新設、あるいは開発することが要望される。殊に位置天文学の根幹をなす基本座標系の確立のために、格段と性能の向上した子午環を新設することの必要性は全委員の認めるところであった。

これら各点に留意し、常に好適な環境の下に研究、観測が実施できるよう十分な人材と資力を投入することは、日本の位置天文学が世界の列強の中に伍して一流の成果を挙げるために、現在最も必要なことであろうと考える。

位置天文学連絡会は経緯度研究会、SAM、力学研究会、レーザー天文学グループ、測地天文学グループ等に属するメンバーが集まって、位置天文学全体に関する事柄について相談、連絡するために1969年12月に発足した。この会の任務の一つである位置天文学の将来計画を作成するために小委員会が設けられ、現在までに10回の会合を開いて検討した結果、位置天文学の当面している問題点およびその解決策としてこのような「位置天文学の現状」と将来をまとめ、本年1月に開かれた天文学研究連絡委員会に資料として提出した。今後は定期的にその内容を改訂して常に目標を明確にするとともに、その実現を期して努力するつもりである。(竹内端夫)

## 最新の子午環建設への期待

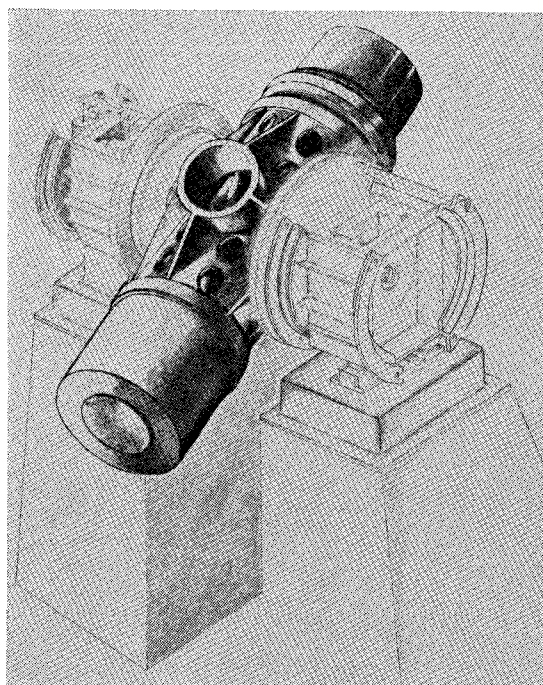
安 田 春 雄\*

「位置天文学の現状と将来」(天文月報・本号掲載)にも指摘されているように、格段と性能の向上した新しい子午環を新設することは、位置天文学は勿論天文学の諸分野の研究に、緊急に必要とされている。そこで近年目覚ましい進歩を遂げている電子工学などの工業技術を取り入れて、旧来の子午環では解決困難な諸問題を克服することが要望される。

ワシントン海軍天文台のため、アメリカのファラード光学学会社が開発した全く新しい様式の自動子午環(Automatic Transit Circle)を具体例にとって、旧来の子午環の欠かん克服に必要とされる諸点について述べる。

(1) 望遠鏡の安定性の確保: 子午環は天体位置決定の基本的要素を持つ唯一の装置であるといわれるのは、任意の高度に向けられた望遠鏡の光軸は、地球の自転によってある一定の赤緯圏にそって天球上を移動する、すなわち天体の赤緯を独立に決定できるためである。

子午環の観測は昼夜行なわれるので、外界の環境の大



\* 東京天文台

Haruo Yasaua: Expectation to Modern Transit Circle