

子午環観測と固有運動

安 田 春 雄*

1. はじめに

天文学では星自身の物理的諸性質を調べるだけではなく、星が相互におよぼしあう関係やその運動の様子を知ることが必要で、両者相まって宇宙の自然法則を導き出すことができ、それらの星によって構成される太陽系、銀河系および宇宙の姿を知ることができる。さらに私たちは地球上に住み、地球上から星をながめている以上、天体としての地球の様子を知ることが必要である。したがって地球も含めた天体の運動の様子を知ることが重要である。

視線速度と固有運動を測れば天体の運動は知ることができる。後者は前者に比べて多数の非常に暗い星まで測れる。固有運動は天球上での天体の位置を測り、その時間変化の割合から求めるもので、天体の位置と運動を表示する基準になる座標系を定義することが不可欠である。この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、できるだけこれに近い座標系を観測から確立する必要がある。原理的には運動の法則が正確に知られた天体が数個あれば十分で、このようなものとしては太陽系がある。太陽系によってあたえられる座標系はもちろんニュートン力学の法則に基盤をおく座標系である。しかし実際上役に立つ座標系は地球上のいかなる場所からでも、いついかなる時でもその座標系を示す天体を私たちが観測できるものでなくては無意味である。実際上は全天に一樣に分布している明るい星と太陽系天体の組合せで座標系を具体的に表示する方法にたよるざるをえない。明るい星は座標系を具体的に表示するに必要な基準点—地図上の一—等三角点に相当する一—を必要な数だけ与え、太陽系天体は力学的方法で座標系の基準面や基準点—測地原点に相当する一—を確立する方法を与える。この理由のため太陽系天体は常に星と一緒に同じ方法で観測することが絶対必要な条件で、その後で太陽系天体の観測位置と運動の法則から計算された推算位置との差を解析して、力学理論によって必要とされる座標系と一致するように、星の観測位置を調整する。

天体の真の固有運動を知るためには、このような座標系を確立することが必要であり、このような座標系を確

立しうるのは子午環のみである。太陽系や銀河系の成り立ちをしらべる重要な手段である固有運動は、子午環の観測結果に厳密に結びつけられた固有運動—絶対固有運動—でなくてはならない。

子午環による座標系の確立やこれまでの天体位置決定の様子、およびそれらに関する諸問題点については、天文月報(1968年7月号)に詳細に記載されているので、ここでは現在の子午環やそれによって決まる固有運動の諸問題について述べる。

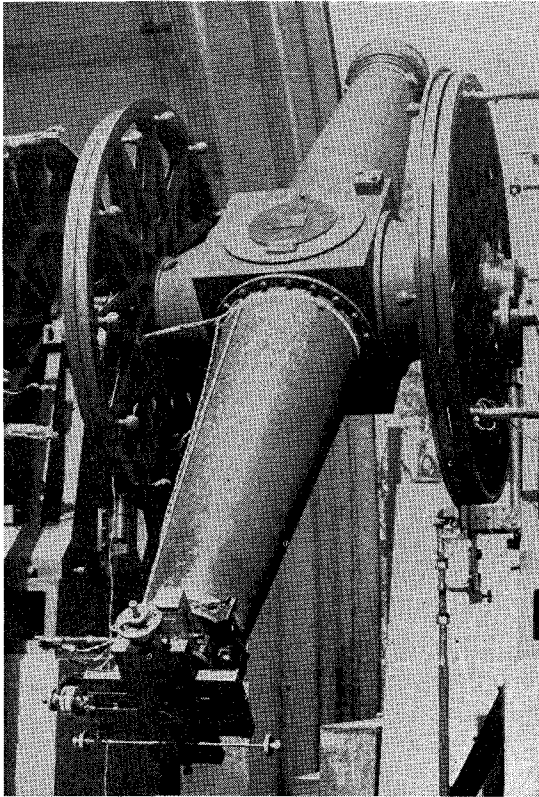
2. 子午環の直面する問題

子午環が現在の形態をとり始めたのは19世紀末頃で、その後の工業技術の進歩とともに観測や記録の方法は異常な進歩をとげたとはいえ、現在の形態からくる制約を受けて、基本星表に掲載されている星でその位置は平均すると約 $0''.05$ の不確かさを持っている。それらの星の固有運動(以下すべて100年間の動きで示す)の不確かさは赤経方向で $\pm 0''.24$ 赤緯方向で $\pm 0''.18$ 、したがって全固有運動で $0''.3$ を越えることはない。さらに不確かさの起る要因を注意深く検討し取り除くと、 $0''.1$ ぐらいの精度で決定されていると評価してよい。このように正確にその位置と運動がわかっている星は別として、10等台ぐらいまでの暗い星については、現在では全天について $\pm 0''.6$ から $\pm 0''.8$ の平均誤差できめられているし、あるいはきめられようとしている。さらに暗い星は絶対固有運動のしられているこれらの星に相対的にきめられるから、長焦点の望遠鏡でとられた 1° 平方の視野を考えると、このような星は9箇かそれ以下の数しか含まれないので、 $\pm 0''.3$ かそれより悪い統計的な誤差をもってしかきまらない。いま $0''.6$ ぐらいの誤差を持つとすると、これは太陽から50パーセクぐらいの位置で 1 km/sec の誤差を持つこととなるので、固有運動の精度がどの程度要求されるか推測できる。例えば琴座RR型星から距離の尺度をきめる場合、全天で約300箇のそのような星があれば、 $0''.6$ の精度で十分であるが、これだけの数がない時は少なくとも $0''.4\sim 0''.5$ の精度が必要である。また比較的速くにある散開星団に属する星をそのまわりの一般の星から分離して、散開星団の進化や構成を議論する研究では約 $0''.15$ の精度を必要とする。

現在子午環でえられている天体位置、とりもなおさず固有運動決定の精度をさらに飛躍させたいという考えを

* 東京天文台

H. Yasuda: Transit Circle Observation for Determining Proper Motions



第1図 東京の子午環 (8 吋)

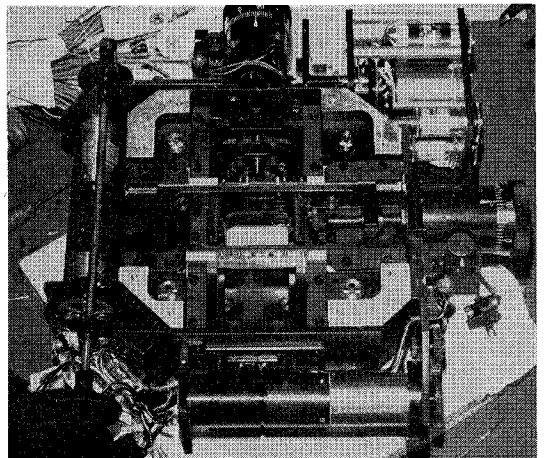
大きく頑丈な作りであることが古い型の子午環の特徴である。

子午線天文の関係者が持つのは当然であり、特に系統誤差を完全に除くことは、全天について一様な固有運動を知るために特に重要である。しかし現在の子午環がとっている構造は非常に簡素であり、その構成が複雑になればなる程、予見不可能で観測結果から完全に除かれない誤差を増大する。過去いろいろの形の望遠鏡が考えられてきたが、現在の子午環に優るものはなく、これにとって代わることはできなかった。したがって子午環の形態をとりながらも精度を上げようとする試みが二つ行なわれている。

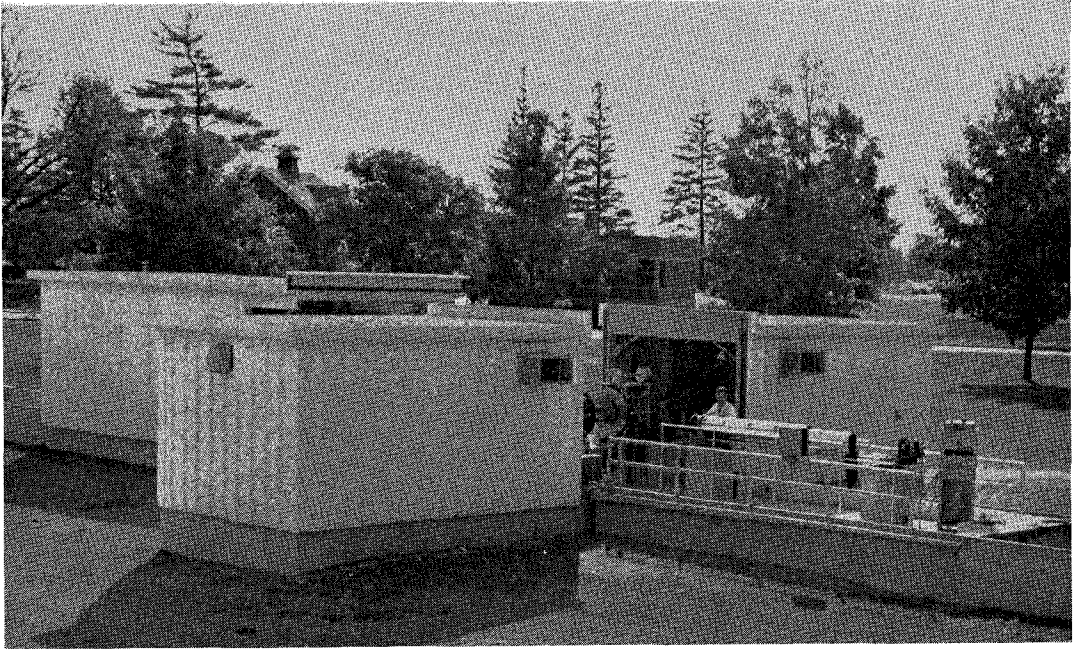
一つは十数年前に考えられた“水平子午環”である。天文座標系として現在の力学座標系を採用している限り、子午環観測の基本は原理的には太陽の赤緯観測であり、太陽の赤緯を観測すると赤道面と春分点が決まり、その春分点に準拠した赤経がきまる。このことは赤緯に誤差があると赤経にも重要な影響を持つことを意味する。特にその量が実験的に明らかにされないものとして、対物レンズと接眼部を結ぶ筒の撓みは誤差の重要な原因となる。これは筒を天球上のいろいろの方向に向けるため、その量が変化するためであるので、筒を常に水平に保てばこれを避けられる。光を筒の光軸の方向に導くために

対物レンズの前に平面鏡をおき、星の方向によって平面鏡を回轉し、その回轉角から赤緯を決定する。しかし鏡を回轉軸のまわりに回轉するため、その回轉にかかわらず回轉軸と鏡の関係が不変であるよう維持されることが必要で、鏡の数ミクロンの移動も結果に重要な影響を持ち、現在の子午環よりさまざまな面倒な誤差を持つと考えられる。

第二の案は、従来の屈折望遠鏡の形式を廃し、変形カセグレン形式の反射望遠鏡にしようということである。反射望遠鏡の方式にすれば、光学系の長さは屈折望遠鏡の半分ですみ、長さ 70 cm ぐらゐまで短縮できる。さらに外界の温度変化が -20° から $+40^{\circ}$ の広範囲にわたる子午環観測の条件の下でもその精度を損じないような材料を考慮すれば、温度変化の影響や筒の撓みは無視できる程度にできる。また反射鏡の大きさを大きくすることによって、望遠鏡の安定性を失なうことなく、これまでの子午環では困難であった暗い星まで子午環で直接観測でき、また北極星を日中でも観測できて天球上に極の位置を常に決定でき天文座標系決定の精度を大幅に向上させるとともに、恒星天文学の研究に十分必要な数の絶対固有運動を子午環観測で直接決定できる。しかしこの場合も望遠鏡を回轉軸のまわりに回轉するから、“観測中に光軸をいかに不変に保つか”あるいは“その変化量をいかにして知るか”という、反射鏡を支持する機構の工学的な問題が依然として残る。この問題点を解決されれば、前の水平子午環ではその平面反射鏡にかなり斜めに入射するための面倒さがあるだけに、後者の形の方がすぐれており、子午環はこのような方向に進むことによって大幅にその精度と能率を向上させるのではないかと考えられる。



第2図 東京の子午環の新しい接眼部
観測データを自動的にパンチできるような記録機構が備へられている。第1図の望遠鏡の接眼部に比べてかなり小型になっている。



第3図 水平子午環

カナダのオッターワ天文台にある水平子午環。東西の建物の間（中央）に平面鏡がその右に望遠鏡が見られる。

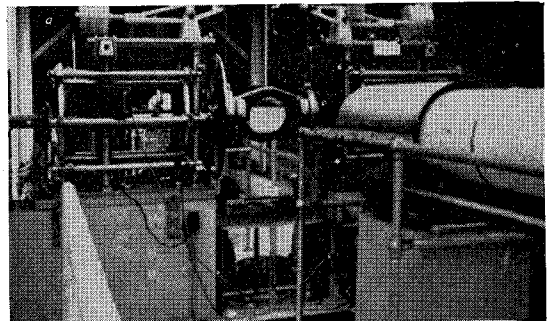
子午環の次の問題点は星を追跡する機構である。これは観測の自動化に関連しているいろいろの方法が考案されつつある。ブルゴバやハンブルグの子午環では、グレーティングと光電管の組み合わせによって二つの座標を決定する方法が試みられている。しかし前に述べたような子午環観測の使命から、天球上のすべての星について同じ密度で観測し、太陽系天体も含めて同じような追跡方法をとることが重要であるから、この方法は相対観測には能率的であるが、座標系や絶対固有運動を観測する見地からは望ましくない。ワシントン天文台で考えられている方法は、焦点面を通過した後の星の光を赤経と赤緯の追跡ミラーを使って、常に一定の場所にあるスリット内に入るようにし、追跡ミラーの動きを自動的に読みとって、赤経と赤緯を知る方法である。これも非常に複雑な機構を必要とし安定性を保つことが非常に困難である。ワシントンからの私信によれば、余りにも高価のためにこの計画は断念したそうである。考え方としては非常にすぐれており、もしこの計画が成功していれば、観測者を望遠鏡のすぐ近くから駆逐でき、PZTのようにリモートコントロールで観測者の影響のない結果をえられる利点は大きい。さらに太陽・月・惑星のような大きさを持つ天体の観測も自動化でき、人間の眼による観測よりも1等級以上暗い星まで観測できる。

さらに子午環には望遠鏡の回転角測定の問題がある。この回転角を測るために子午環は目盛環を備えている。目盛環の目盛は目盛を刻む工作上的の制約を受け

て $1''\sim 2''$ の系統誤差はさげられない。したがって目盛の誤差を実験的に測定して補正する。また現在では目盛を写真にとりそれを光電管を利用した測定器で自動的に測定する方法を東京を初め大部分の子午環で行なっている。しかしこれはかなりの時間を要し、照明の変化で目盛線の相対位置が変わり観測の誤差の一因ともなる。したがって最近のエレクトロニクスの発達を利用すれば、 ± 0.05 以下の精度で測定できないかの問題がある。

3. 微光星の固有運動

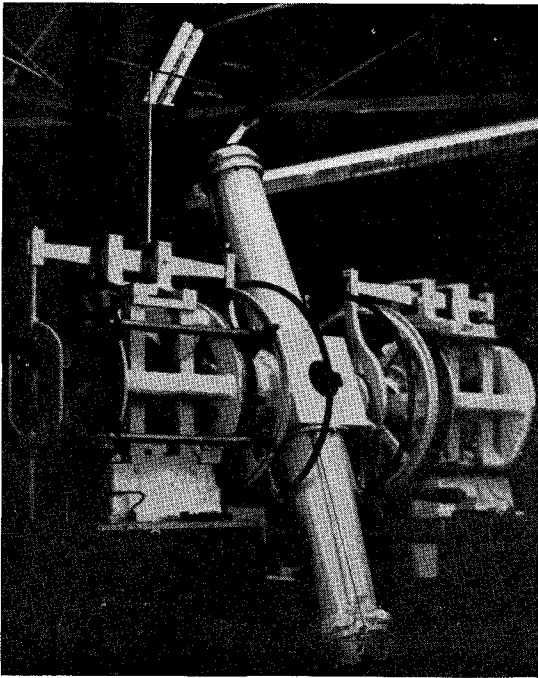
最後に精度に関する本質的な問題ではないが観測を暗い星までひろげ、その結果をいかに早くまとめるかの問題がある。前にのべたように暗い星についても絶対固有



第4図 水平子午環の平面反射鏡部

中央に反射鏡とその回転角を測る目盛環部がある。このあたりは現在の子午環とそう変わらない。右は水平におかれた望遠鏡

運動を知らなくてはならない。しかしこのような絶対固有運動のわかっている星の数は限られており、大多数の暗い星は写真観測から相対固有運動を決定した後、統計的に絶対固有運動に変換することが必要である。この操作の時のいろいろの誤差が入り込んでくるので、相対固有運動がどのようによく決定されていようと、絶対固有運動に変換する時、絶対固有運動が知られている星の数にその変換の精度は左右される。したがって子午環で観測可能な暗い星まで、その観測をできるだけひろげることが大切である。また写真観測も固有運動の決定に有害ないろいろの系統誤差を持つ。例えば星の明るさに左右される誤差とか、色による誤差を含む。そこで直接興味ある対象の固有運動を子午環観測から直接求める研究も多い。子午環観測も益々暗い星へ、また特殊の物理的意義を持つ天体へと拡張されていくすう勢にある。このためかなりの観測密度を必要とするので、最近の高速電子計算機とデーター処理機構を最大限に活用することが望まれている。このため観測と同時にデーターをデーター処理機構や計算機に直結して整約の迅速化をはかるとともに、逆にそれらで観測をコントロールすることまで考えられている。観測星表の出版もこれまでは観測プログラム完了後数年を要したのに反し、今では数ヶ月の内に



第5図 ワシントン7呎子午環

子午環としてはかなり新しい望遠鏡で1967年エール・コロンビヤ南天観測所(アルゼンチン)に移動し南天の観測に参加している。現在ブルコボとハンブルグの子午環がそれぞれチリとオーストラリアに南天観測のため遠征している。

出版されるようになった。

最近子午環による特殊天体の固有運動の研究も盛んである。例えば早期型星やセフェイド等非常に若い星の固有運動の決定。これは非常に若い天体の円軌道からのずれをたしかめる手段ともなる。散開星団に属する星の固有運動の研究のため、オリオンやおうし座の星の観測も行なわれている。散開星団は銀河系の円板種族の一員で、個々の距離も高い精度で知られているので、太陽から比較的遠い位置の様子を知り、銀河系内の力学的様子を知るに役立つ。運動星団は天空上かなり広い範囲にまたがっているので絶対固有運動を知ることが必要であり、アソジェーションの膨脹運動の再検討などに重要である。そのほか銀河面に垂直な運動成分をいろいろの種類の星群についても知ることは銀河構造の研究に重要なことはいままでもないが、逆に基本座標系内の系統誤差を知る手がかりをあたえる。数億年位の年令を持つ星は、その正確な固有運動を知ればその起源を知る可能性もあたえてくれる。さらに固有運動の統計的研究から距離の尺度を知るとともに空間吸収の研究の手段をもあたえてくれる。

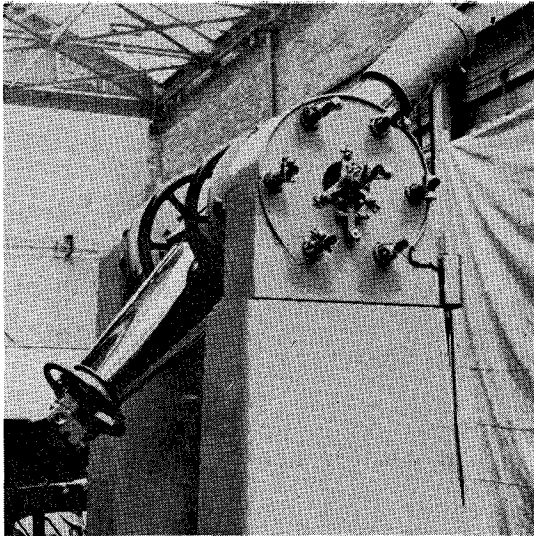
固有運動は高速度星の発見、共通な運動を持つ星群の発見、光度函数の決定、特にその微光部分の研究、HR図を未知の領域までひろげる手段の提供、微光星の運動学的特性の研究、星群の進化の問題を明らかにするなどの重要な基礎データーをあたえてくれる。非常に遠距離にある微光星の固有運動は長焦点の望遠鏡による ± 0.1 程度の精度の観測を必要とする。

これまでの天文学のいろいろの分野で、固有運動は十分な精度で決っていないという逃げ道にたより、不確定な理論を基礎にして議論している傾向があるが、固有運動は非常に重要な基礎材料をあたえてくれるというその特質を忘れてはならない。

4. 銀河系外星雲の利用

最後に、銀河系外星雲を基準にして固有運動を決定する試みについてのべる。銀河系外星雲(以下星雲とよぶ)はその視線速度以上の速度は切線方向の空間速度として持てないと仮定して、星雲のスペクトル線の赤方偏位から評価された視線速度からみると、その固有運動は100年について 0.01 をこえることはない。実際にはこれよりかなり小さいと考えてよいから、数百年にわたって星雲の切線方向の移動は無視できる。したがって原理的には星雲が十分な数だけ利用できれば、非常に微小な運動をしている星の固有運動を測るに適当な座標系をあたえる。このように決められた座標系は前に述べた力学座標系に対して静止座標系とよばれる。

私たちは地球上で観測しているから、天球上で天体の



第6図 最も新しい子午環
イギリスのグラブ・パースンズ会社製の7吋子
午環。スペインのサンフェルナンド天文台やデ
ンマークのコペンハーゲン天文台の子午環はこ
の型で、現在の形式の子午環では最も新しい

位置を測る時、地球の自転軸とこれに直角な平面を基準とした座標系で測らねばならない。したがって恒星の座標を定義する慣性座標系に対して常に回転している座標系で測るから、異なった時期で星の位置を測れば、星の運動の千倍以上もある自転軸の運動を考慮しなくてはならない。この歳差運動の大きさを決めるには全天の恒星の運動はあらゆる方向を持ち、ある大きさを持つ星数はあらゆる方向について同じである、すなわちランダムであると仮定している。現在使われている歳差常数はニューカムが決定したものであるが、これはあくまで予備的なもので、彼自身小さすぎると考えたが、当時としてはこの誤差はそれほどの影響はなく、近い将来この常数の正確な決定が必要になると予言した。その後銀河系内の星は太陽運動や銀河回転をしていることが明らかにされたので、このような系統運動を除けば星の固有運動はランダムであるとの仮定に基いて歳差常数を決めている。しかし星は非常に微細な動きしかしないので、この決定は非常に困難である。これに対し銀河系外星雲は数百年の間静止しているので、星の運動決定のよい座標系をあたえる。これらの星雲に対してきめられた星の動きを、これまでに決められた絶対固有運動と比較すれば、ニューカムの歳差常数の補正量がわかり、厳密な絶対固有運動を全天の星について決定できる。

しかし星雲を使うと簡単にいってもいろいろの困難がある。星雲は星と同じ外観を持たないので、恒星状の核

を持つものを使うが、多くの星雲の核はひろがっていたり非対称形を示す。このため観測の方法によって核の位置が変わったり、その近くに輝いている斑点 (emission patch) があると波長によってその位置がずれるなどの困難があり、位置の基準点として使用するに不適當である。しかし固有運動を測る基準としては注意深く観測すればある程度は使用できる。現在このような計画はブルコボとリックで行なわれているが、最近ブルコボの結果の予備報告が出たのでこれについて簡単にのべる。

この計画では写真等級 14 等から 15 等の星雲 271 箇 (北天の 82 箇の 1° 平方の領域について) を使用した。歳差常数の補正量を求めた結果は次表の通りである。比較のためにフリッケが微光星の固有運動から求めた値も併記する。

第1表 歳差常数の補正

	ブルコボ	フリッケ
赤緯方向の歳差 dn	$+0.44 \pm 0.11$	$+0.44 \pm 0.04$
日月歳差 dp	$+1.11 \pm 0.11$	$+1.10 \pm 0.10$
春分点移動 de	$+0.41 \pm 0.04$	$+1.12 \pm 0.11$

dp の値はよく一致しているが、 de は 2 倍以上異なる。 de のこのような相違が真実であるとすれば、太陽運動や銀河回転の他に未知の系統運動があるか、これまでの考え方が完全でないかであるが、この結果は北半球の限られた領域だけの結果であり、固有運動をきめた期間も 22 年という短い期間なので、この結果はそれほど信頼できない。星雲に対して決められた 8 等から 9 等の星の太陽運動の向点は $A=302.5 \pm 4.5$, $D=+32.6 \pm 3.7$ で、銀経・銀緯に換算すると $l_{II}=67^\circ$, $b_{II}=0^\circ$ となり、これまでの値と比較しても不合理である。

このような測定には恒星状星雲あるいはそのような核を持つものが、全天に一樣にかなりの数分布していることが望ましい。QSOなどの数が増しこのような観測に利用できるようになることが望まれる。

5. おわりに

子午環観測を中心に基礎位置天文学 (Fundamental Astrometry) とよばれる領域の諸問題点を固有運動の研究を中心にのべてきた。位置天文学に直接関係する分野については、前にのべた天文月報の記事を参照していただきたい。

天文学はこのような基礎部門の研究と認識の上になつて、そのいろいろの部門の研究は進められていかねばならないことを再認識していただきたい。