

基本座標系の問題点

青 木 信 仰*

1. 基本星表

基本座標系は基本星表（現在ではFK4）によって表わされていると考えられる。基本座標系は理想的な座標系の具体的表示である。ここで理想的とは相対論的補正をほどとしたニュートン力学が成立つ空間と考えられる。

具体的にはある理想的な座標系で測った各々の星の位置（この場合地球からみた方向だけが問題で距離は別にあつかうから天球上の位置を表わす）を与えることになる。各星が相互に動かず、それ等が理想的空間になっていけば、ある瞬間に出来るだけ精密に位置を測定しておけば、あとはいつまでもよいことになる。実際の測定は一度では不十分というのならば、何度も測定してその平均値をもって各星の位置とすればよい。しかし各星は相互に動いているのでそのようなわけにはゆかない。したがってある時期での位置をきめ、さらに理想的な座標系でみた時の各星の位置の変化もきめなければならない。これを固有運動という。理想的な座標系がどこかに具体的に存在するわけではないので、このようにしてきめた位置と固有運動をきめることにより、逆に各星が、そのような座標をもつ座標系を定義していると考えられる。

2. 歳差・章動

星の位置観測は赤道座標で行なう。それ故基本座標系に対して地軸の向きがどのように運動しているかがわからなければ観測と基本座標系の結びつきはわからない。地軸の運動は歳差と章動で表わされると考えられている。後者は周期的運動なので、別にあつかう。歳差は地球が扁平でそれに月や太陽の引力が作用して起こる。地軸（赤道の極）は黄道の極（厳密には不動ではないのでその瞬間的位置）のまわりをほぼ一定の速度でまわる。その量は地球の力学的扁平率がわかれば、他は月や太陽の軌道要素から知られる。残念なことに現在の所必要な精度まで他の方法では力学的扁平率は知られていないので、逆に歳差現象からこの量を経験的に決めている。つまり赤道座標系で観測した位置の変化のある部分（量的には100年あたり0.3程度）はそれぞれの星の固有運動に帰すべきか、それとも地軸の運動によって見かけ上変化しているのか区別はつけられないのである。この分離

の問題が基本座標系の定義の問題に関連してくる。

上のことからわかるように赤道座標系の運動が正確でないためにおこる見かけの変動はバラバラではなく、系統的である。それ故恒星の運動が全くランダムであれば分離出来るはずである。しかしこのことは厳密には成立たない。恒星系はそれ自身である種の系統運動をしているし、銀河系の回転にともなってすべての星は系統的に回転している。

3. 銀河回転の成分

ニューカムが70年前基本星表を作り、太陽系内の惑星運動、地球の自転運動（歳差・章動を含めて）を決めた時は、まだ銀河系の回転は知られていなかった。そこで彼は歳差運動の大きさを決めるために、前節で述べたように星のシステムは全体としてランダムであると仮定した。このようにして天文常数系を確立した。いろいろの観測精度が向上した結果逆に彼の根本仮定があやしくなってきた。系統的運動が知られてきたのである。

まずいわゆる太陽運動がある。これは回転運動ではないので別にする。歳差運動によるみかけの統計運動は黄道の極のまわりの回転運動である。一方銀河回転の軸は黄道の極と約70°傾いている。したがって星の運動は銀河回転以外には系統的な回転運動はなく、すべてランダムであると仮定すると、歳差と銀河回転とは分離出来ると考えられる。この場合星が全天に一樣に分布しているというような実際上の仮定は必要であり、これ等の仮定が成立つ程度で分離が可能であることは言うまでもない。

4. 春分点の運動

上の分離を行なう場合考えなければならないのが春分点の問題である。赤道座標系は赤道と黄道の交点を基準にして赤経を測っている。黄道は太陽（これは地球の公転運動の反映であるが）の運動を恒星をバックにして観測している。太陽の赤緯をはかり、丁度それが0になった時、恒星との赤経差をはかり、それをその恒星の赤経とするのである。この観測はもちろん昼間行なうが、恒星同志の比較は夜間行なうため、その間に系統的な差が含まれているらしいのである。

そのためかどうかは断言出来ないが、このようにしてきめた赤経をもとにして恒星の赤経方向の固有運動は、歳差と銀河回転の成分を除いても全体として平均して0にはならない。その量は100年あたり $-1^{\circ}2' \sim -1^{\circ}3'$ 程

* 東京天文台

S. Aoki: What is the Fundamental Coordinate System?

度もある。これはもし春分点の測定が間違っていないとすると、赤道の極のまわり、これだけの恒星の系統的な回転があることになる。銀河回転の成分は $0.2/100$ 年程度であるからその数倍という結果になるのである。

5. フリッケの結果

以上の分離の話は実は銀河回転が発見されて以来、種々の材料で、オールト、モルガン等によって決められてきた。というか銀河回転はこのような過程を経て確立されてきたと言える。

最近フリッケはマッコミックとケープの固有運動の材料から FK3, N30, FK4 等の基本星表に対する補正および、銀河回転のオールト常数を求めた。ニューカム の歳差に対する補正は (以下すべて 100 年あたり)

$$1.08 \pm 0.12 \leq \Delta p_1 \leq 1.38 \pm 0.08$$

オールト常数

$$P = -0.16 \pm 0.03 \quad (B = -7.6 \pm 1.4 \text{ km sec}^{-1} \text{ kpc}^{-1})$$

$$Q = 0.33 \pm 0.04 \quad (A = 15.5 \pm 1.9 \text{ km sec}^{-1} \text{ kpc}^{-1})$$

マッコミック (北天) とケープ (南天) の固有運動の材料を用いたのは星が全天にうまく一様に分布し、しかも星の運動が全体としてランダムになっているように

と多くの星 (約 3 万) を用いたのであった。けれどもそれらの固有運動を基本星表のシステムに準拠するという問題が残っていた。ことに南天の場合問題多い。そこで一層のこと FK4 星で 100 pc 以上の距離にあるもので同様なことをやったらと思ひ、その結果を発表している。今度は星一つ一つの素性はよくわかっているが、一方数が少ない (512 個)、一様性の問題が残ることは止むを得ない。結果は、

$$\Delta p_1 = 1.10 \pm 0.10$$

$$\Delta \lambda + \Delta e = 1.20 \pm 0.11$$

$$\text{FK4: } A = 14.2 \pm 1.9 \quad (\text{km sec}^{-1} \text{ kpc}^{-1})$$

$$B = -11.8 \pm 1.9 \quad (\text{ " " " "})$$

(Δe とは春分点運動で、符号は赤経方向の固有運動の平均が負の時に正になるようにしてある。 $\Delta \lambda$ は惑星歳差で、黄道の運動の誤差から来る。惑星の質量に対する補正がわかれば理論的に求められる量であるが、今問題にしている量にくらべると 1 桁小さい。)

結果的に言うとフリッケの二つの結果はそれほど優劣はないようである。けれどもその意味は非常に違う。最初の方はシステム間の系統的関係が弱いという欠点があり、後者には数が少ないため、それが恒星系の真の代表

好評発売中

1971 年版 天文年鑑

1971年の天文の出来事が一目でわかる天文年鑑

71年夏には久しぶりの火星大接近が観測できるので、今年とはとくに火星の予報記事に力を入れてあります。グラビアにはピク・デュ・ミディ天文台(フランス)から送られた土星の新リング発見の写真や、オーストラリアで撮影された国産衛星「おすすみ」の写真のをせました。

天文年鑑編集委員会編

●B6判/122ページ/定価260円



天文用語事典

近刊予告

●B6判/250ページ

予定価550円/天文ガイド編

天文用語を、天体器械・写真、太陽・地球・月・こよみ・人工衛星・彗星、太陽系、恒星・銀河系の4項目に分類し、約500語を簡明に解説したハンドブックです。天文年鑑、天体観測ハンドブックとともに、アマチュア天文家は、ぜひ1冊そなえて下さい。

誠文堂新光社 東京・神田錦町1の5 振替東京6294

であるかという疑問が残る。しかし数の少ない割にはかなりの結果を得ているといべきであり、これは系統的に不明なものを多く集めても決してよいシステムは生れないということの意味しているのかも知れない。

6. 基本星表のもつべき性質

しかし元来基本星表はそれ自体で恒星系の代表としての性格をもつというよりも、基準になる星で、他の星をこれらの星に基準にして位置を測定するための手段であったはずである。その意味からすると、一つ一つの運動があまり特異でない限り何であつてもよいわけである。特異というのは例えば二重星であつたり、極端に近く、その固有運動が時間的に一定でないとかいう意味である。これを例えば三角測量の一等三角点と比較しながら考えてみよう。一等三角点は極端に言えば、相互に見通しさえ得られればどこにあつても差支えない。長い間相互の関係がよくわかっていけばよい。もっとも三角点が多分移動するようでは困る。これと同様に基準星も、それが特異な運動をしない限り（していてもそれがよくわかっていけば問題ないが、応々にしてわからないことが多い）かまわないと考えられる。ただ同様に長い間の観測がなければならず、他に較べて星の位置が精度よくきまっていなければならない。その辺を考えてフリッケは 100 pc 以上ならば、特異な運動はなく、また恒星系を代表し得ると思つて、それから結果を出したのだらうと思われる。本当は二つの方法での欠点をもたないように、多くの星の固有運動をしっかりと基準星にむすびつけ、しかる後に統計をやる必要があるであらう。これは AGK3 が完成した後に初めて論ぜらるべき問題である。

7. 黄道傾角の永年変化

以上のことは地球自転軸の運動の素性がよくわかっているとした時の話である。しかし奇妙なことに、ここ 30 年位前から、黄道傾角がニューカムの理論に合わないことが知られている（100 年につき -0.3 ）。初めの内は地球の軌道面の運動の理論がよくないためと思われ、ことに金星の質量に誤差が入っているためと思われていたが、最近の人工惑星のレーダー観測によると金星の質量は問題にするほどの誤差はないらしい。現在の所その原因は不明である。太陽や惑星の観測に誤差があるとも言われているが、その証拠はない。赤経方向については前に述べたように問題があるが、黄道傾角は主として太陽や惑星の赤緯の観測から求められるので、この方の精度はよいと考えられている。

ともかく、黄道傾角の永年変化がリアルであるとするとき、ニューカムの理論が根本的にくずれるわけで、地軸が実際に傾くような運動がおきなければならない。

筆者は角田忠一氏とこの問題について、地球のマンツルと核の間の結合を考えることにより、何とか必要な運動が実現しそうであることを見出した。これが本当であるとすると、地球内部構造に新しいチェック・ポイントを設けたことになり、新しい研究の始まりとなるであらうと思つている。

なおこの問題は一方において今まで赤道座標系からみちびかれた基準座標系は理想的な座標系ではないことになり、むしろ黄道を基準にしなければならないことになり、その結果恒星系に新しい未知の系統運動があることを示している。それで銀河回転が太陽近傍で 390 km/sec となり、今までの値 250 km/sec と大差がたった値になる。この 390 km/sec という値はいかにも大きすぎるようであり、銀河中心までの距離（10 kpc）を小さくするか、系統的回転運動が銀河系全体でなく、太陽近傍だけのものとしなければならないかも知れない。

そういうわけで、恒星系の系統運動を組織的に研究しなければならない時期にきているとも言えるであらう。

8. むすび

銀河系内の恒星の系統運動は不確定の要素が多く問題があるので、銀河系外の星雲を用いて基準座標系を定義しようとする試みがなされている。アメリカのヴァシレフスキーとソ連のファチヒンは独立に約 20 年位の材料を用いて予備的結果を出している。なにしろ銀河系外星雲は暗く、また大きさをもつため今までの基準星と比較することが非常にむずかしい。それに長い間の観測を行なわなければ固有運動の比較は出来ないのでもだまだ最終結論を出す段階ではない。しかし暫定的結論はフリッケの歳差常数への補正とは矛盾していない模様である。

さて 1970 年の IAU・天文常数系のコロキウムで歳差常数の変更が議題になった。現在のシステムでは星表は直接赤経・赤緯を与えるようになっているから、固有運動と歳差常数への補正との分離を直接行なう必要はない。その意味では歳差常数は何であつてもよい。けれども現在ではスペース・プローブを飛ばす時代であり、やはり力学法則が厳密に成立つ空間を国際的に統一して用いることが望ましい。現在の所新しい常数を採用して、全システムを変える見通しはあまりない。というのは歳差常数はかなり基本的なもので、やたらにかえると大きな混乱が予想されるからである。システムを変えないまでも少なくとも歳差常数の変更が直接きいてくる分野では統一的な扱い方についての意見の一致が見られることが望ましい。また同時に黄道傾角の永年変化の問題も同時解決しなければならない。地軸が実際に黄道傾角が変わるように動いているとすれば、基準座標系はその分だけ誤差を含むことになるからである。