

FK 4 と 基 本 座 標 系

進 士

晃*

1. 基本星表

天文学において最も基礎的な量は、天球上における天体の位置であり、この位置を表わす座標系として、通常自転する地球から見て最も便利な赤経・赤緯が用いられる。そしてこの座標系は、具体的には基本星と呼ばれる星の位置によって定義される。いわゆる基本星表には、ある特定の時期すなわち元期（たとえば 1950.0 とか 2000.0）における基本星の位置と、その時間に対する変化量が掲げられている。これから任意の時に對する基本星の赤経・赤緯が計算できて、これがすべての天体の位置を表わす基準となる。

現在、基本星表として天文学で公式に採用されているのは、ハイデルベルグの天文計算研究所 Astronomisches Rechen-Institut の Kopff およびその後を継いだ Fricke (1963) によって調製された Fourth Fundamental Catalog (略称 FK 4) で、1535 個の基本星を収めている。これは Auwers (1879) による Fundamental-Katalog für die Zone-Beobachtungen am Nördlichen Himmel (FC), Peters (1907) による Neuer Fundamental Katalog des Berliner Astronomischen Jahrbuchs (NFK), Kopff (1937/1938) による Dritter Fundamental Katalog des Berliner Astronomischen Jahrbuchs (FK 3) の伝統を受け継いだものである。

このほか Boss (1936-1937) による Albany General Catalogue (略称 GC) および Morgan (1952) による Catalog of 5268 Standard Stars, Based on the Normal System N30 (略称 N30) も基本星表と呼ばれることがある。GC は 33342 個の星を収め、ことに 7 等より明るい星はすべて含まれている。この星表には、明るさによる位置観測の誤差 (magnitude equation) や緯度変化による誤差等の欠陥があり、恒星運動の解析に用いることは危険である。また N30 は FK4 に比べて 5~8 等の星が多く、精度の高い近代の絶対観測だけを使ったことに特色があるが、固有運動の計算に便法を用いており、厳密には基本星表とは言い難い。

また、基本星の数が少ないのを補うために Kopff (1954) は、おもに 6~7 等の 1897 個の星の位置と固有運動を GC または N30 から FK3 のシステムに直して Supplement Katalog des FK3 (略称 FK3 Supp) として出版

し、これを FK4 システムに改めたのが Astronomisches Rechen-Institut (1963) の Preliminary Supplement to the Fourth Fundamental Catalog (略称 FK4 Sup) である。これは FK4 システムに従っているが、FK4 システムを定義するものではない。

2. 基本座標系

恒星の位置の変化を、その原因から考えて見ると、(1) 恒星自身の運動、(2) 観測するわれわれの運動、(3) 恒星の位置を測る座標系の運動の 3 種が組み合わさったものである。(1) の恒星自身の運動には、各恒星それぞれの持つ勝手な運動つまり特有運動、運動星団・アソシエーションあるいは星流のような集団的な運動、さらに銀河回転による運動がある。(2) のわれわれ自身の運動としては、太陽系の空間における運動つまり太陽運動と銀河回転による運動がある。また (3) の座標系の運動とは歳差のことであり、これには地球自転軸の空間運動による日月歳差と惑星の摂動による惑星歳差がある。これらの要因の合成の結果として恒星の見かけの位置が変わり、これから歳差による変化を除いた量を、その恒星の固有運動という。厳密には、このほか (2) に属する変化として、地球の公転による年周視差、光速度が有限であることによる光行差があるが、これらは固有運動には含めない。

以上の関係を式で表わすならば、赤経 α 、赤緯 δ の星について、それらの変化量 $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\delta$ は

$$\Delta\alpha = m + n \sin \alpha \tan \delta + \mu_\alpha \quad (1)$$

$$\Delta\delta = n \cos \alpha + \mu_\delta \quad (2)$$

となる。 m は赤経における一般歳差、 n は赤緯における一般歳差と呼ばれ、黄道傾斜を θ とすれば、

$$m = p_1 \cos \theta - \lambda \quad (3)$$

$$n = p_1 \sin \theta \quad (4)$$

を表わされる。 p_1 は日月歳差、 λ は惑星歳差であり、これらを歳差定数と呼ぶことがあるが、Newcomb が歳差定数と名づけたのは、 $P = p_1 \sec \theta$ で表わされる量で、太陽・地球・月の質量および地球・月の軌道要素の関数である。

(1), (2) の μ_α, μ_δ がそれぞれ赤経・赤緯における固有運動であり、いずれも

$$\mu = -(\text{太陽運動}) + (\text{特有運動}) + (\text{集団運動}) + (\text{銀河回転}) \quad (5)$$

の形となる。

任意の時刻における基本星の赤経・赤緯は、基本星表

* 水路部

A.M. Sinzi: FK4 and Fundamental Reference System

によって計算できるから、単に天体の位置の基準としてはこれを使えば良いわけである。しかし、太陽・月・惑星等の観測位置を天体力学理論による計算位置と比較するため、あるいは、太陽運動・銀河回転等、恒星系や銀河系の構造を研究するためには、基準となる座標系は空間に固定したものでなければならない。

ここで、回転系においては、外力の働かない限り、その角運動量の総和つまり回転軸の方向は不変であることを考えると、このような回転系として銀河系および太陽系がある。銀河系に対して他の銀河系からの力は十分に小さいと考えられる。太陽系に対しては銀河系は当然、一種の歳差現象を及ぼすが、幸いに銀河系の中心の黄緯は -5° に過ぎず、また惑星の軌道面はほとんど黄道面と一致しているので、この歳差効果はきわめて小さい (van Woerkom, 1943)。この銀河不変面と太陽系不変面によって、ひとつの固定した基準が得られる。一方、赤経・赤緯は黄道面と赤道面で規定され、これと上の固定基準系とを結びつけるのが歳差である。

3. 歳差の決定法

星表を編集するときには、歳差について特定の数値を採用し、これから計算した固有運動を掲げている。現在 FK4, GC, N30 はいずれも 1896 年のバリ会議の協定によって Newcomb の一般歳差の値 $p=5025''.64/100$ 年を用いている。この数値は、日月歳差 $p_1=5037''.08/100$ 年、惑星歳差 $\lambda=12''.47/100$ 年との間に

$$p = p_1 - \lambda \cos \theta$$

の関係がある。

それで、 p_1, λ に誤差があれば、当然 μ_a, μ_δ の値も違ってくる。ここで厳密には、星表の原点である春分点の位置は、太陽の観測で決定されるべき位置とは一致しないで、その誤差 de は恒星の位置に対して、惑星歳差と同じ影響を与える。 p_1, λ の誤差 $\Delta p_1, \Delta \lambda$ および de による μ の誤差を $\Delta \mu$ として、これを (5) の右辺に追加し、さらに集団運動を特有運動に含めて考えれば、

$$\mu = \Delta \mu (\Delta p_1, \Delta \lambda + de) - (\text{太陽運動}) + (\text{銀河回転}) + (\text{特有運動}) \quad (6)$$

となる。充分多数の星について、特有運動の和は統計的に 0 となると仮定すれば、(6) から最小二乗法によって $\Delta p_1, \Delta \lambda + de$, 太陽運動の方向、銀河回転定数 $A \cdot B$ が計算できる。この場合、 μ の小さい星つまり平均して遠い星を使う方が明らかに有利である。

ここで問題となるのは集団運動の取り扱いである。星流やアソシエーションに属する星、あるいは高速度星等を対象に加えるかどうかで、結果はいくらでも変わる。太陽運動のような運動学的量を求めるには、すべての星を含めることも考えられるが、銀河回転定数あるいは

第 1 表 星表固有運動システムによる距離の違い (Fricke, 1965)

FK4	GC	N30
pc	pc	pc
100	95	105
500	395	658
1000	654	1923

特有運動の分布は力学的な説明とも矛盾しないことが要求され、単純にすべての星を含めることは許されない。集団運動と特有運動は現象的には分離することは難しく、やはり力学的な配慮が必要である。さらに(6)をそのまま最小二乗法で解く場合には、誤差が一樣に配分されるために、もっと良く定まるべき数値の精度が落ちる恐れがある。その意味では、定めやすい量から順に求めて行く方法が良いこともある。とくに太陽運動を求めるには、星の距離が必要であり、実際には平均長年視差を用いるがこれは太陽運動の反映であるから一種の矛盾に陥る。また各星表における固有運動システムの違いは、第 1 表に示すように平均長年視差を大きく変える。

視線速度からは、太陽運動の速度と方向が得られる。この場合も恒星の距離が必要であるが、これは銀河回転の影響を補正するためであるから、それほど高い精度を要しない。あるいは逆に、銀河回転定数 A と太陽運動を求めても良い。得られる値は星表システムと全く無関係であり、これらの値を(6)に代入して歳差補正值 $\Delta p_1, \Delta \lambda + de$ を求める方法はきわめて有力である。この場合は特有運動の視線速度部分と固有運動との性質が共通でなければならない。

歳差の決定には、このほか銀河系外星雲による方法と太陽系天体の運動による方法があるが、ここでは略する。

4. 観測データ

前節の方法によって歳差に関する諸数値を決定するのに必要な量は、個々の恒星について空間位置つまり赤経・赤緯・距離(または視差)および空間運動つまり固有運動と視線速度である。それらのうち基本星表の位置および固有運動システムの性質については、本号の別項で安田氏等による説明があるので、ここでは触れない。

1) 視差 距離の決定では三角視差が唯一の直接的な方法である。その有効範囲は 50pc 程度であるが、その他の間接的な視差決定法の検定ということに大きな役割がある。

三角視差のデータは Jenkins (1952, 1963) によるカタログにまとめられており、星の数は約 6000 個である。このカタログは Allegheny のシステムということになっているが、各天文台間の系統差の補正に問題があり、全

体として数値がやや過小といわれている。

歳差や銀河回転を固有運動によって解析するには、なるべく速い星が有利であるから、三角視差は直接には使えないことが多く、分光視差や測光視差に頼ることとなる。すなわち視差 π または距離 r は次式で表わされる。

$$\log \pi = -\log r = -0.2(m - A - M + 5) \quad (7)$$

ここに m は見かけの等級、 M は絶対等級、 A は星間吸収による減光量であり、UBV 測光系では $B-V$ の色超過を E_{B-V} として、通常 $A_V = 3E_{B-V}$ が採用されている。絶対等級 M_V は、MK システムによるスペクトル型・光度階級から、たとえば Blaauw (1963) の表によってわかる。色超過を受けていない ($B-V$) もスペクトル型と光度階級から得られ、これと $B-V$ の観測値から E_{B-V} を得る。また $B-V$ や $R-I$ 等の特定の範囲については、これらと絶対等級との関係が経験的に知られている。

MK システムによるスペクトル型・光度階級のデータを集めたものとして Jaschek 等 (1964) がある。同じ星でも 2 種以上の MK 分類が与えられている星も多く、ことに光度階級は絶対等級に大きく影響する。UBV システムの 3 色光電測光値は Blanco 等 (1968) によるカタログに収められている。星の数は約 17,000 個である。

FK4 や N30 の星は、G~K 型の巨星と B~A 型の主系列星が大部分を占める。Gliese (1969) の近距離星カタログに掲げてある 20 pc 以内の星について、三角視差による M_V と MK 分類による M_V との差のばらつきは、G8~K5III に対して $\pm 1^m.1$ (第 1 図)、A0~A9V に対して $\pm 0^m.4$ である。すると MK 分類による M_V から求めた視差には、(7) の関係から G8~K5III に対して $\pm 0.35\pi$ 、A0~A9V に対して $\pm 0.15\pi$ の誤差があることになる。したがって分光視差を直接に恒星運動の解析に用いるのは無理であり、分光視差によって分類した各群について平均長年視差を求める方法を探るということになる。ここに分光視差・測光視差の精度を向上させるための観測およびデータの解析が急がれる。

2) 視線速度 データとして第一に挙げられるのは Wilson (1953) のカタログであり、約 15000 個の星を収め、Lick のシステムに従っている。このカタログには視線速度データの精度を品質 a, b, c, d, e で表わしている。これは使用機器、観測回数等により定められ、確率誤差の最大は、 a で ± 0.5 , b で ± 1.2 , c で ± 2.5 , d で ± 5 km/sec である。現在、世界の諸天文台で行なわれている視線速度の観測は、たとえばスペクトル型、みかけの等級、星団のメンバー、特異星等、特定の対象に限ることが多く、掃天的な観測は行なわれていない。

これらの観測データを取り扱うとき問題となるのは、システムの統一と誤差の評価である。IAU (Petrie, 1955)

では 58 個の星の視線速度を標準として定めている。観測報告には、たいがい、この標準星による検定、観測者や分光器による系統差が与えてある。しかし個々のデータの精度の標示方法はまちまちである。たとえば吸収線の数や乾板の数を示し、あるいは単に確率誤差しか示していないこともある。これらを Wilson の a, b, c, d, e に一意的に対応させることはできない。同一の星について 2 箇所以上の天文台のデータがあるときの、平均の採り方、精度の評定はきわめて困難である。

Wilson のカタログの改版が現在、テキサスの Evans によって進められている。

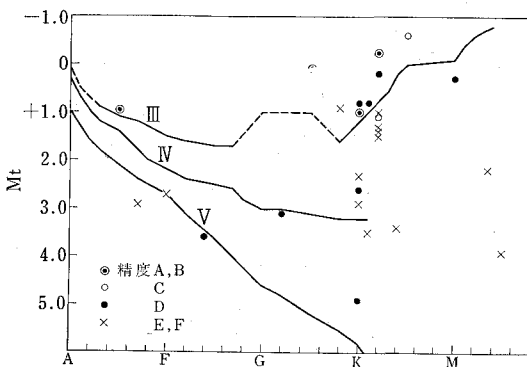
5. FK4 の星

基本星 1535 個のうち 90% は肉眼星である。現在、MK 分類は 80%, UBV 測光値は 75% の星についてデータがあり、視線速度が a, b, c の星は 90% に達する。三角視差は約 65% で、50 pc 以内の星は約 500 個あり、恐らく 1000 個は 100 pc 以内にあると思われる。

第 2 表に示すように約 400 個は連星または多重星系のメンバーであり、運動学が力学か、その目的によって取り扱いが変わる。またおおぐま座星流、カシオペア・おうし星群、さそり・ケンタウルス-アソシエーションの星の多いことは、先に述べた集団運動の問題の対象である。種族 II の星は 100~150 個あるが、これは解析から除外される。

6. FK4 システムの運動

基本星はその大部分が 100 pc 以内にあり、遠距離の星が少ないので、これらの星を直接に歳差や銀河回転の解析に用いることは有利ではない。それで他の星表の多数の星の固有運動を FK4 のシステムに改めて用いることが多い。Fricke (1967) は McCormick および Cape の固有運動カタログの値を FK3, FK4, GC, N30 のシ



第 1 図 Gliese (1969) の三角視差による絶対等級 (破線は Blaauw, 1963 による分光絶対等級)

システムに改めて歳差補正值, 銀河回転定数等を求めた. McCormick のデータは赤緯が -30° 以北の約 16000 個, Cape のデータは赤緯が $-40^\circ \sim -52^\circ$ の約 2000 個の星を収め, その見かけの写真等級はいずれも 11.2 等である. またハンプブルグの Dieckvoss (1968) は AGK3 の星 163811 個について, FK4 システムによる固有運動から, 同様に歳差補正值, 銀河回転定数を計算した.

さらに Fricke (1967b) は, FK4 と FK4 Sup の 100 pc 以遠の星 512 個について同様の計算を行なったが, この場合はとくに, 星の分布が距離に対して一様でないことについて, 丁寧な取り扱いが施されている. 赤経の固有運動, 赤緯の固有運動それぞれについて解き,

あるいは重率をいろいろに採って計算した総合的な結論として, Newcomb の値に対する補正值には $\Delta p_1 = +1''.10/100$ 年, $\Delta l + \Delta e = +1''.20/100$ 年が最も確からしいとしている. McCormick-Cape による値, AGK3 による値は, これと矛盾しない.

筆者は, 星流・星群・星団のメンバーおよび種族 II の星を除いた 946 個の基本星について, MK 分類あるいは距離・銀経等で分類した群に対して, 視線速度から, 太陽運動を求めた. 946 個全体としては, $v_\odot = 23 \pm 0.3$ km/sec, $l_\odot = 56^\circ \pm 1^\circ$, $b_\odot = +16^\circ \pm 1^\circ$ となる. これは基本星系の太陽運動と考えるべき量である.

第 2 表 FK4 を構成する星

1. 変光星		3. 星群・星団等のメンバー	
	?		
食変光星	18+2	おおくま座星流	46
おおいぬ座 β 型	13+1	カシオペア・おうし星群	19
ケフェイド	7+1	ヒヤデス	10
半規則	6	ブレアデス	3
新星状	1	I C 2391	1
ウォルフライエ	1	I C 2602	1
その他	29+29	アソシエーション	
		さそり・ケンタウルス	34
2. 多重星	?	オリオン I	6
V	121+2	ペルセウス I	4
S	201+3	その他	19
SV	22	Eggen の Stellar Group	
E	9+1	シリウス	23
ES	8	ヒヤデス	20
T	2	ウォルフ 630	10
TV	1	ヘルクレス座 ζ	7
TS	1	はくちょう座 61	4
QV	1	インディアン座 ϵ	2
MV	1	ケフェウス座 η	1
その他	16		
V: 実視連星	S: 分光連星	4. 種族 II	?
E: 食連星	T: 三重星	高速度星	70+2
Q: 四重星	M: 多重星	弱金属線+高速度星	8+1
		その他	6+44

? 印の下の数字は不確かなもの