

新しい高密度位置星表—PPM 星表と ACRS 星表—

宮 本 昌 典*

1. 背景

この小記事で、最近公表され、かつての SAO 星表や AGK3 星表と同様に天文観測に際して広く利用されるはずの新しい高密度位置星表、PPM 星表と ACRS 星表、について簡単に紹介したい。1966年に人工衛星の軌道決定用(ペーカー・ナンカメラ観測の節約用)として急遽用意された SAO 星表 (Smithsonian Astrophysical Observatory Star Catalog, 1966) は、広範な天文観測用の恒星位置・固有運動の主要データ源として長年親しまれ利用されてきた。北天域に限れば、1976年以來は、写真位置星表 AGK3 (Dritter Katalog der Astronomischen Gesellschaft, Heckman, *et al.*, 1976) がより高精度の位置星表として活用されてきた。

しかし、1990年の時点では、AGK3 星表の与える位置の平均誤差は $\pm 0.45''$ 、SAO 星表のそれは更に $\pm 1''$ にも達し、これらの星表が与える位置情報の価値は著しく低下してしまった。これらの誤差は平均的な値であるから、無視できない数の星々の位置が、これらの値の2倍、3倍の誤差を含んでいることを覚悟しなくてはならない。これらの星表を現代的な高精度位置星表で早急に置き換えなければ、益々微視的になった観測天文学に混乱すらもたらしかねない。

ここで、位置星表と天文座標系との関係を簡単に説明しつつ、旧来の星表の更新の意義をまとめておきたい。

1) 天文座標系の精度の向上

SAO 星表とか AGK3 星表とかの位置星表は、ある瞬時、例えば B1950.0年の瞬時における春分点と赤道に準拠した星々の位置と固有運動を提供していて、これらの星々の位置と固有運動が任意の瞬時の天文座標系の座標格子点(天球上の三角点)の位置を与える。つまり、位置星表はそれぞれ天文座標系を定義していることになる。FK4 や FK5 と呼ばれる基本星表の 1535 星は天球上の一等三角点網を構成し基本座標系と称する天文座標系を定義している。

従って、星表が与える固有運動に誤差があれば、定義された天文座標系の座標格子(三角点網)は、実際には年と共にその誤差に応じて歪んでしまう。つまり、位置星表が与える天文座標系の信頼性は、星表の観測元期における位置精度に加えて固有運動精度によって決まるこ

とになる。

さて、SAO 星表と AGK3 星表とが与える固有運動は、観測元期を異にする本質的には二回だけの独立位置観測の比較から導かれた形式的なものである。SAO 星表や AGK3 星表の与える固有運動の信頼性は低く、例えば、恒星運動の解析に活用されることは殆んどない。固有運動の決定誤差が非常に大きいために、この二つの星表が与える星々の位置(座標格子点)の精度は年と共に急激に低下していて、前述のように、これらの星表は天文座標系としては学術的意味を殆んど失ってしまった。

2) 基本座標系 FK5 の高密度拡張

前述の基本座標系を定義する基本星表の星数密度は 5° 四方当り一星程度でしかないから、実用上は、更に二等、三等、……三角点網が必要となる。

SAO 星表も AGK3 星表も位置と固有運動を古い FK4 基本座標系が近似する無回転(慣性)座標系に準拠して与えているから、新しい高精度の FK5 基本座標系に準拠した高密度の Net Work が天球上に必要となっている。

3) 本格的な固有運動決定

前述のように、位置星表に掲載の固有運動の精度が長期間にわたるその星表の信頼性を決めるから、固有運動の精度は星表編集に当って最大関心事である。一方、銀河系のより奥深くの恒星の空間運動を調べるに当って、固有運動の精度は大きな意味をもつ。前述の形式的な固有運動を学術的に意味のある本格的な固有運動で置き換えることが望まれていた。

SAO 星表や AGK3 星表が編集されてから、大量の星々の現代的な位置観測の蓄積がある。さらに、計算機によるデータ処理の迅速化によって、過去において活用されることがなかった古い大量の位置観測データも利用できるようになった。観測元期が異なる二回以上の位置観測データを利用することによって(独立データの redundancy)、また位置変化を比較すべき期間が長くなったことによって、固有運動の決定精度を大幅に向上させることができるようになった。

ここで紹介する PPM 星表と ACRS 星表は、これら三つの条件を満すべくそれぞれ独立に編集された最初の星表である。

2. いろいろな位置星表の内容と精度

表1と表2に FK5 基本星表、SAO 星表、AGK3 星表をはじめいろいろな位置星表の内容と1990年と50年後

* 国立天文台 Masanori Miyamoto: New High Density Reference Star Catalogues, PPM and ACRS

の 2040 年における位置精度を掲げる。但し、これらの星表の与える位置の誤差はいわば内部精度であって、これらの誤差の中には、それぞれの星表が定義する座標系の真の誤差や系統誤差は含まれていない(厳密な意味で、真の無回転(慣性)座標系をわれわれは知らないのだから)。

ここで、1983 年以来最高精度の天文基準座標系を与えている基本星表 FK5 (Vth Fundamental Catalog) について簡単に説明しておきたい。いうまでもなく、基本星表の星々の位置と固有運動がいわゆる基本座標系の座標格子とバックグラウンドの無回転(慣性)座標系に準拠した座標格子の動きを定義している。FK5 は、表 1 のように FK5 Basic と FK5 Extension から構成される。FK5

Basic は、1535 星を含む FK4 星表の改訂版であって FK5 の基本部分をなす。この基本部分の拡張星表である FK5 Extension は、更に、明るい星々への拡張部分(Bright Extension) 980 星と暗い星々への拡張部分(Faint Extension) 2125 星とから構成される。Bright Extension 星は FK4 Suppl. 星表から選ばれ、Faint Extension 星は子午環観測による約 4 万星の IRS 星(International Reference Stars=AGK3RN (約 2 万星)+SRS (約 2 万星)) から選ばれている。FK5 Basic はハイデルベルクの天文計算研究所(ARI)により編集され、FK5 Extension はこの天文計算研究所と米国海軍天文台(USNO)とで共同編集された。

これらの表から、FK4 から FK5 への改良には著しい

表 1. 基本星表 FK5 の内容と平均誤差

星表	星数 (等級)	平均観測元期		平均誤差			
				位置		一世紀当りの固有運動	
		α	δ	α	δ	μ_α	μ_δ
Basic FK5	1535 ($\overline{m_v}$: 5.5)	1955	1944	0 ^s .001	0 ^s .02	0 ^s .005	0 ^s .07
Bright Extension	980 (m_v : 5-7)	1956	1949	0 ^s .002	0 ^s .04	0 ^s .010	0 ^s .18
Faint Extension	2125 (m_v : 6.5-9.5)	1942	1939	0 ^s .004	0 ^s .07	0 ^s .019	0 ^s .30
FK4	1535 ($\overline{m_v}$: 5.5)	1917	1915	0 ^s .002	0 ^s .04	0 ^s .011	0 ^s .17

表 2. いろいろな位置星表の精度

星表	星数	1°四方当りの星数	T ₀ における	固有運動の誤差	平均観測元期 T ₀	1990 年の	2040 年の
			位置誤差			位置誤差	位置誤差
			(^{''})	(^{''} /century)			(^{''})
FK5 Basic	1535	0.037	0.019	0.07	1949	0.03	0.07
FK4	1535	0.037	0.04	0.16	1916	0.12	0.20
PPM(High Precision Subset)	31841	1.5	0.070	0.25	1950	0.12	0.24
PPM(Northern Sky)	181731	8.7	0.093	0.43	1931	0.27	0.48
PPM(Southern Sky)	144787	6.9	0.14	0.55	1950	0.26	0.51
ACRS (Part 1+Part 2)	320211	7.8	0.088	0.46	1950	0.20	0.42
SAO	258942	6.2	0.17	1.5	1925	0.99	1.7
AGK3RN(Northern Sky)	20194	0.96	0.085	0.48	1944	0.24	0.42
SRS(Southern Sky)	19126	0.98	0.088	0.44	1969	0.13	0.28
N30	5268	0.12	0.068	0.51	1916	0.38	0.64
GC(m < 5)	1482	0.035	0.06	0.4	1900	0.36	0.56
GC(m > 5)	31860	0.76	0.16	1.2	1900	1.10	1.7
AGK3(Northern Sky)	181581	8.7	0.13	0.9	1943	0.44	0.88
SSSC(Southern Sky)	23682	0.57	0.1	0.7	1960	0.23	0.57
2CP50(Southern Sky)	7180	0.34	0.2	0.5	1921	0.40	0.63
CPC2(Southern Sky)	22731	1.1	0.1	0.7	1959	0.24	0.57
CPC(Southern Sky)	86923	4.2	0.15	1.4	1935	0.78	1.5
HIPPARCOS	120000	2.9	0.002	0.2	1990	0.002	0.08

ものがあることがわかる。そして、SAO 星表や AGK3 星表に比べて、後述の PPM 星表や ACRS 星表の位置・固有運動の精度は著しく向上した（固有運動は確実に 3 倍も改良された）。PPM 星表も ACRS 星表も全天約 32 万星（密度約 $8 \text{ 星}/1^\circ \times 1^\circ$ ）を含む。

図 1 (=表紙)は、いろいろな星表が与える位置の信頼性が年と共にどのように失われてゆくかを示す（勿論、内部誤差）。興味深いのは、FK5 Basic の精度が 2015 年頃を境に、数年後に公表されるはずの HIPPARCOS 星表（1989 年 8 月 ESA が打上げた位置天文衛星 HIPPARCOS による観測星表、12 等級まで全天約 12 万星を含む）の精度を凌駕することである。HIPPARCOS 星表の観測元期における精度が $\pm 2 \text{ mas}$ （ミリ秒角）であっても、固有運動決定精度が FK5 Basic のその 3 倍も悪いことによる。やはり、HIPPARCOS の主たる役割は、大量の星々の年周視差を正確に決めることであって、3 年程度の短期間の位置観測から固有運動まで正確に決めようとすることに無理があるようである。

従って、次世代位置天文衛星が打ち上げられない限り、ハイデルベルクの天文計算研究所が編集し続けている FK 基本星表シリーズの優秀性はさらに顕著となるはずである。なぜなら、三鷹の光電子午環をはじめ世界の光電子午環による大量の星々の高精度位置観測星表が組み込まれた基本星表“FK6”が、遅くとも 10 年後には出版されるであろうから、“FK6”は現用の FK5 よりさらに高精度となるはずである。事実、後述の PPM 星表の星々のうち HPS と称する高精度部分集合星の固有運動決定精度は、光電子午環の顕著な寄与をはっきりと予測している。

3. PPM 星表

PPM 星表 (Catalogue of Positions and Proper Motions)はハイデルベルクの天文計算研究所の S. Röser と U. Bastian によって編集され、北天域の暫定版が 1988 年のボルチモアでの IAU 総会の折りに初めて紹介された。星表には、FK4 B195.0 と FK5 J2000.0 の位置が掲載されている。PPM 星表の編集に利用された観測星表と観測星数を表 3 に示す。PPM 星表と SAO 星表の精度の比較を表 4 に掲げる。

PPM 星表の位置と固有運動の決定に際して、北天域では、一星あたり平均 6 回の異なる観測元期における位置観測が使われ、南天域では一星あたり平均 3.6 回の異なる観測元期における位置観測が利用された (SAO 星表と AGK3 星表の場合には、前述のように、平均 2 回だけの独立な位置情報が使われた)。PPM-North の主要観測星表は AGK3 星表、PPM-South のそれは FOKAT-Yu 星表 (後述) である。

PPM-North の大きな特徴は、Carte du Ciel (CdC) あるいは Astrographic Catalogue (AC) と称する古い写真位置星表を活用していることである。位置観測精度が多少悪くとも、観測期間の長さを稼ぐことによって精度のよい固有運動が得られる。CdC 観測は、当時のパリ天文台長 Admiral Mouchez が 1887 年に提唱して始まった国際写真位置観測キャンペーンであり、実に 20 以上の天文台が参加して 1920 年頃にはほぼ全天撮影が終了している。CdC については、CdC 観測開始 100 年を記念して開催された IAU Symp. No. 133 “Mapping the Sky” や “Astronomy of Star Positions” (Eichhorn, 1974)

表 3. PPM 星表の基となった観測星表

PPM-north		PPM-south (暫定版)	
観測星表	位置観測数	観測星表	位置観測数
Astrographic Catalogue (CdC)	466,278	FOKAT	144,787
AGK3	181,581	“AGK1”	
AGK2	181,581	south American Extension	122,936
AGK1	141,146	CPC	60,221
Yale Zone Catalogues	80,574	Cape Astrographic Zone	
Gyllenberg, 1926	11,489	and Cape Faint Stars	25,363
Prager, 1923	8,602	Yale zone catalogues	124,611
CMC 1,2,3,4	25,656	Melbourne Gen. Cat. 3 to 5	7,712
AGK3R	20,581	Perth Cat. of Astrogr. Ref. St.	8,913
		Sydney SSC	21,631
Total	1,117,497	Total	516,174

表 4. PPM 星表の内容と精度

星表 サブセット	星数	観測回数	平均観測元期		1990 年の平均誤差		固有運動の平均誤差 (一世紀当り)	
			α	δ	α	δ	α	δ
PPM-north, all stars	181731	6.2	1931.5	1930.7	0.27	0.27	0.43	0.42
PPM-north, HPS stars	31841	7.8	1950.3	1948.0	0.12	0.12	0.24	0.25
PPM-north, FK5 stars	1365	—	1954.2	1945.2	0.04	0.05	0.08	0.10
AGK3	181581	2.0	1945	1945	0.45	0.45	0.95	0.95
SAOC-north	133000	2.0	1930	1930	0.9	0.9	1.5	1.5
PPM-south, all stars	144787	3.6	1949.6	1949.9	0.26	0.26	0.55	0.55
SAOC-south	126000	2.0	1930.0	1930.0	1.2	1.2	1.5	1.5

を参照されたい。

PPM-North においても一つ注目すべき点は、AGK 3R 星表 (AGK3 星の写真位置を FK4 座標系で記述するための子午観測星表) や CMC 星表 (Carlsberg Meridian Catalogs, La Palma 島におけるイギリス・デンマーク・スペイン共同事業による光電子子午環観測星表) など、現代の高精度位置観測が実施された星々に対しては、固有運動決定精度は平均より 2 倍もよくなることである。このことは、現代の高精度子午環観測の寄与が、固有運動決定において、いかに著しいかをはっきり示している。PPM-North 星約 18 万星のうち AGK3R 星や CMC 星約 3 万星だけの高精度サブセットは HPS (High Precision Subset) の記号で区別されている。

PPM-South の大きな特徴は、AGK3 星表を南天へ拡張して全天写真位置星表 (FOKAT, 全天約 38 万星を含む) を完成させようと連が編集した南天写真位置星表 FOKAT-Yu を活用していることである。もちろん、南天には北天の AGK2 に対応した写真位置星表 CPC1 があるが、CPC1 が与える位置との比較から南天星の固有運動を決定するための写真位置星表 CPC2 (北天の AGK3 に対応した星表) はハンブルグ天文台で編集中であって未だ公表されていない。FOKAT-Yu 星の位置を FK4 が定義する座標系で記述するための準拠星は、子午環観測による約 2 万の SRS 星 (Southern Reference Stars) である。FOKAT-Yu 星の観測は、USSR Main Astronomical Observatory のポピリア遠征によって行われ、平均観測元期は 1984 年である。視野 $4^\circ \times 4^\circ$ 、口径 23 cm、焦点距離 226 cm の可搬型アストログラフが用いられた (詳しくは、Bystov *et al.*: 1989, *Astron. Zh.* **66**, 425 参照)。

4. ACRS 星表

ACRS 星表 (Astrographic Catalog Reference Stars) は、米海軍天文台の T. E. Corbin と S. E. Urban によって編集され、1990 年のヴァージニア・ビーチでの IAU コロキウム No. 127 の折にその星表の輪郭だけが紹介された。

ACRS 星表の編集の基となった観測位置星表は、AGK2 星表、AGK3 星表、Yale 帯域星表、1st Cape Photographic Catalog (CPC1)、Sydney Southern Star Catalog (SSSC)、Sydney 帯域星表、2nd Cape Photographic Catalog (CPC2)、USNO 黄道帯星表、Perth 83 星表、Carlsberg Meridian Catalog (CMC)、IRS 星表 (前出)、その他 124 の子午環観測星表等である。

ACRS 星表が含む総星数は 320211 星で、平均観測元期は 1949.9 年である。観測元期における赤経・赤緯の平均誤差は ± 0.088 で、赤経・赤緯の固有運動の誤差は ± 0.46 /世紀である。星表には、FK4 B195.0 と FK5 J2000.0 の位置が掲載されている。

北天域では、ACRS 星表と PPM 星表は共に AGK3 星表を主要観測星表としているが、ACRS 星表は PPM 星表とは異なって CdC (AC) 星表を過去の位置観測星表として活用していない。ACRS 星表の大きな特徴は、南天域において、ハンブルグ天文台で編集が完了したばかりの (公表はされていない) ケープの写真位置星表 CPC2 を主要観測星表としていることである。

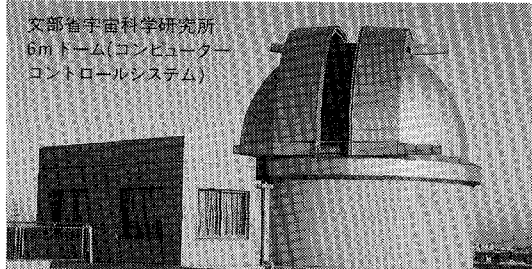
以上、新しい位置星表を位置天文学の観点から紹介したが、恒星の固有運動を正確に決定することは、高精度

の天文座標系を構築するに当って重要であるばかりでなく、銀河系の力学の展開にとっても非常に重要なことである。ここで紹介した PPM 星表や ACRS 星表、さらには、HIPPARCOS 星表が提供する大量の恒星の固有運動データを駆使することによって、銀河系の構造や初期収縮に関する積極的な事実がどれだけ見出されるかこれからが楽しみである。なお、解説付 PPM 星表は磁気テープの形式で公表されており、国立天文台天文学データ解析計算センターを通して利用できるようになっている。また、PPM 星表の印刷版は、ハイデルベルクの ARI より1991年4月に出版された。

追記：本稿投稿後の情報によれば、ACRS 星表は 1991年4月 NSSDC およびストラスブルクの天文学データセンターに登録され、その磁気テープを筆者は入手している。実際には、ACRS 星表は約25万星の高精度部分 (Part 1) と約7万星の低精度部分 (Part 2) から構成されている。本稿図1 (=表紙) と表2の ACRS 星表の誤差評価は Part 1 に基づいていることに注意されたい。

ASTRO Observatory Domes

天文台の建設は青少年の未来の心をはぐくみます



文部省宇宙科学研究所
6mドーム(コンピュータ制御システム)

◆主な天体観測ドーム納入先◆

文部省宇宙科学研究所 / 東京大学教養学部 / 宮崎大学教育学部 / 東京学芸大学 / 埼玉大学 / 福島大学 / 川崎市青少年科学館 / 杉並区立科学教育センター / 駿台学園一心荘(北軽井沢) / 防衛大学校 / 東海大学宇宙情報センター(熊本) / 日原文台(島根) / 尾鷲市立天文科学館(三重) / 葛飾区郷土と天文の博物館等の他全国に数多くの実績があります。

アストロ光学工業株式会社

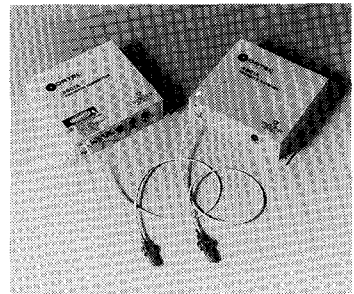
〒170 東京都豊島区池袋本町2-38-15 ☎03(3985)1321

NEW LIGHTWAVE

マイクロ波アナログ光伝送の決め手

ORTEL

米国オーテル社製高性能・高品質マイクロ波アナログ光伝送用送受信機をご紹介します。電波天文学・粒子加速器プロジェクトでのタイミング供給や、アナログ方式によるデータリンク、そして移動通信中継やレーダー中継分野における活躍が期待されております。



	Transmitter	Receiver
特長	<ul style="list-style-type: none"> ・アナログ伝送 ・低雑音/低歪み ・50Ω SMAコネクタ ・使用温度範囲(-40°C~70°C) ・InGaAsPレーザダイオード (1300nm) 	<ul style="list-style-type: none"> ・広帯域アナログ受信 ・50Ω SMAコネクタ ・シングルモード光ファイバ ・InGaAsPフォトダイオード (1300nm)
仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・3GHz/6GHz/10GHz/12GHz ・広帯域信号用 (CATV) 	<ul style="list-style-type: none"> ・3GHz/6GHz/10GHz/12GHz ・広帯域信号用 (CATV)

総輸入代理店



住友セメント株式会社

光・電子事業推進部 TEL(03)3296-9854

〒101 東京都千代田区神田美土代町1番地 FAX(03)3295-5953