電子計算機による恒星の精密視位置計算

古　川　麒　一　郎*

1. 計算方法の検討

恒星の視位置計算のために天体暦にはベッセル日々常数 A, B, C, D が計算されていて，これらを用いて視赤経 α_A と視赤緯 δ_A は

$$\alpha_A=\alpha_Y+\mu\cdot\tau+A\cdot a+B\cdot b+C\cdot c+D\cdot d+E,$$
$$\delta_A=\delta_Y+\mu'\cdot\tau+A\cdot a'+B\cdot b'+C\cdot c'+D\cdot d'$$

で求められる．ここで α_Y と δ_Y は星表にある数値から計算された年初又は年の中央に対する平均位置で，μ と μ' はそれぞれ赤経と赤緯における 1 年間の固有運動，τ は年初または年の中央から視位置を求める時刻までの年の小数，$a, a', b, b'\cdots$ 等は α_Y, δ_Y と黄道傾斜角から計算される恒星常数である．視位置を $0''.1$ の精度で計算したい場合はこれで充分であるが，$0''.01$ の精度を要求するとこのままでは少し危い場合が出て来る．この原因は主として恒星常数の計算に α_Y, δ_Y を使っているためにおこり，2 次項を加えて修正する方法が多くの研究者により発表されて来た．近年観測や理論の精密化にともなって視位置を $0''.001$ の精度で計算しておくことがのぞましく，日本の天文学界で統一した精密な計算法を研究し，採用しようという相談がまとまった．その 1 つの案として，1965 年から始まった水沢のアストロラーブの観測整約に用いられている方法をここで紹介する．

星表に与えられた平均位置から，観測時刻に対する視位置を導くために必要な計算を大きく分類すると

i） 座標の変化

ii） 座標系の廻転

の 2 つになる．これらの計算はどちらを先に実行してもかまわないが，座標の変化を計算する時にはどの座標系に従っているかということが正しく取扱われていなければ誤差の原因になる．ベッセルの日々常数や恒星常数はこの点があまり厳密でないので 2 次項の補正が必要になる．ベッセルの方法で $0''.001$ の精度の 2 次項を調べあげるのは大変な労力を要し，その結果複雑な式となり電子計算機で計算するにしてもあまり上手な利用法といえない．このようなことから，パリ天文台のアストロラーブの整約[1] やワシントン海軍天文台での南天の星表用の整約計算[2] に直交座標を用いた方法が採用されている．しかしこれらの方法でも前に述べた座標系の関係にやや甘い点があったり，単にベッセル流の考え方を直交座標でおきかえたものであったりして完全なものとは思われない．

水沢のアストロラーブで採用した方法[3] は座標の変化を星表と同じ座標系のままで正しく計算した．このためには天体暦に計算されているものがそのまま利用出来ないので，すべて基礎になる式や数値から直接に計算し，$0''.001$ の精度を保つように注意してある．そして後で述べる直交座標の日々常数を考案して，手計算にもある程度役に立つような工夫をした．

2. 座標の変化

直交座標の座標軸は X 軸を春分点の方向にとり Y 軸を赤道面上で赤経 6^h の方向に，Z 軸を北極方向にとった。従って赤経 α と赤緯 δ との間には

$$X=\cos\delta\cdot\cos\alpha,$$
$$Y=\cos\delta\cdot\sin\alpha,$$
$$Z=\sin\delta$$

の関係があり，これら X, Y, Z を代表して以下に $\boldsymbol{R}$ で示すことにする．そして特に断わらない限り，観測時刻は 1950.0 年からの 100 太陽年を単位にとった T で表わすことにする．

i） 年周光行差

地球の公転運動の速度成分を $\dot{\boldsymbol{r}}_\oplus$ とし，光速度を c とすると年周光行差の影響を受けた座標 $\boldsymbol{R}_a$ ともとの座標 $\boldsymbol{R}$ との間には次の関係がある．

$$\boldsymbol{R}_a=\boldsymbol{R}+\dot{\boldsymbol{r}}_\oplus/c. \qquad (1)$$

地球の公転運動が太陽との 2 体問題であるとすると $\dot{\boldsymbol{r}}_\oplus/c$ は

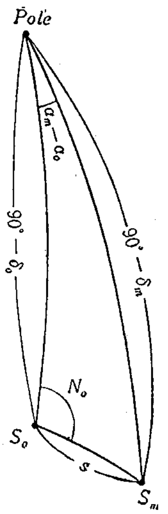
$$\dot{x}_\oplus/c=k\cdot\sin\odot-k\cdot e\cdot\sin\tilde{\omega},$$
$$\dot{y}_\oplus/c=-k\cdot\cos\odot\cdot\cos\varepsilon+k\cdot e\cdot\cos\tilde{\omega}\cdot\cos\varepsilon,$$
$$\dot{z}_\oplus/c=-k\cdot\cos\odot\cdot\sin\varepsilon+k\cdot e\cdot\cos\tilde{\omega}\cdot\sin\varepsilon. \qquad (2)$$

ここで k は光行差常数，$\odot$は太陽の真黄経，ε は黄道傾斜角，e と $\tilde{\omega}$ は地球軌道の離心率と近日点黄経である。上の 3 つの式でそれぞれの第 2 項を地球の離心率項或いは *E-term* と呼んでいるが，この項の視位置への影響は $0''.3$ 程度で，その変化は歳差を引いて考えると 70 年間で $0''.001$ 位である．このように変化の少ない量であるため 1959 年以前の視位置計算にはこの項が省略されて，ベッセルの日々常数は

$$C=-k\cdot\cos\odot\cdot\cos\varepsilon,$$
$$D=-k\cdot\sin\odot \qquad (3)$$

* 緯度観測所

K. Hurukawa: On the Accurate Calculation of Apparent Places of Fixed Stars using the Electronic Computer.



第 1 図

とされていた．従って今までに作られた星表の値は正しい平均位置でなく，

$$\Delta X_0=k\cdot e\cdot\sin\tilde{\boldsymbol{\omega}}$$
$$\Delta Y_0=-k\cdot e\cdot\cos\tilde{\boldsymbol{\omega}}\cdot\cos\varepsilon,$$
$$\Delta Z_0=-k\cdot e\cdot\cos\tilde{\boldsymbol{\omega}}\cdot\sin\varepsilon \qquad (4)$$

のような補正が必要になる．1960 年以降の計算では地球の速度成分を求める場合に太陽系の重心に対する本当の運動から導くことになった．地球の座標を $\boldsymbol{r}_\oplus$，太陽の座標を $\boldsymbol{r}_\odot$，太陽系重心の座標を $\boldsymbol{r}_s$ とすると

$$\boldsymbol{r}_{\odot}=-\boldsymbol{r}_\odot-\boldsymbol{r}_s \qquad (5)$$

で，これを数値微分して新しい天文常数系の光速度から光行差の補正は

$$\Delta\boldsymbol{R}_a=0.0057755997\cdot\dot{\boldsymbol{r}}_\oplus \qquad (6)$$

となる．

ii） 年周視差

太陽系重心から恒星までの距離を $d_\odot$，地球から恒星までの距離を $d_\oplus$ とすると

$$d_\oplus\cdot\boldsymbol{R}_p=d_\odot\boldsymbol{R}-\boldsymbol{r}_\oplus, \qquad (7)$$

の関係があり，$d_\oplus\fallingdotseq d_\odot$ として恒星の視差 π を用いると視差の補正は

$$\Delta\boldsymbol{R}_p=-\boldsymbol{r}_\oplus\cdot\sin\pi \qquad (8)$$

で表わせる．

iii） 固有運動

1950.0 年の赤経，赤緯がそれぞれ α_0, δ_0 である恒星が固有運動のため T の時期に α_m, δ_m であったとする．この場合歳差を考えないで，固定した標準春分点すなわち 1950.0 年の平均春分点に準拠し座標系を動かさない．これら２つの点：1950.0 年に対して S_0 と，T に対して S_m と赤道の北極とで第１図に示す天文三角形が出来る．N_0 は 1950.0 年において天球上での固有運動の方向で北から東廻わりにはかる．s は固有運動によって変わった S_m と S_0 の角距離である．この三角形から

$$\cos\delta_m\cdot\sin(\alpha_m-\alpha_0)=\sin N_0\cdot\sin s,$$
$$\cos\delta_m\cdot\cos(\alpha_m-\alpha_0)=\cos\delta_0\cdot\cos s-\sin\delta_0\cdot\cos N_0\cdot\sin s,$$
$$\sin\delta_m=\sin\delta_0\cdot\cos s+\cos\delta_0\cdot\cos N_0\cdot\sin s \qquad (9)$$

が得られる．星表に与えられた赤経の固有運動は時間の秒で，赤緯の固有運動は角度の秒で示されているのでこれらをラジアンにしたものを μ_α, μ_δ として全固有運動 μ_0 は

$$\mu_0{}^2=(\mu_\alpha\cdot\cos\delta_0)^2+\mu_\delta{}^2 \qquad (10)$$

であり，これを使って

$$\sin N_0=\mu_\alpha\cdot\cos\delta_0/\mu_0,$$
$$\cos N_0=\mu_\delta/\mu_0 \qquad (11)$$

となる．(4) の補正をした 1950.0 年の座標を $\boldsymbol{R}_0$，固有運動の直交座標への成分を $\boldsymbol{v}_0$ とすると T の時期に対する座標 $\boldsymbol{R}_m$ は (9) と (10) から

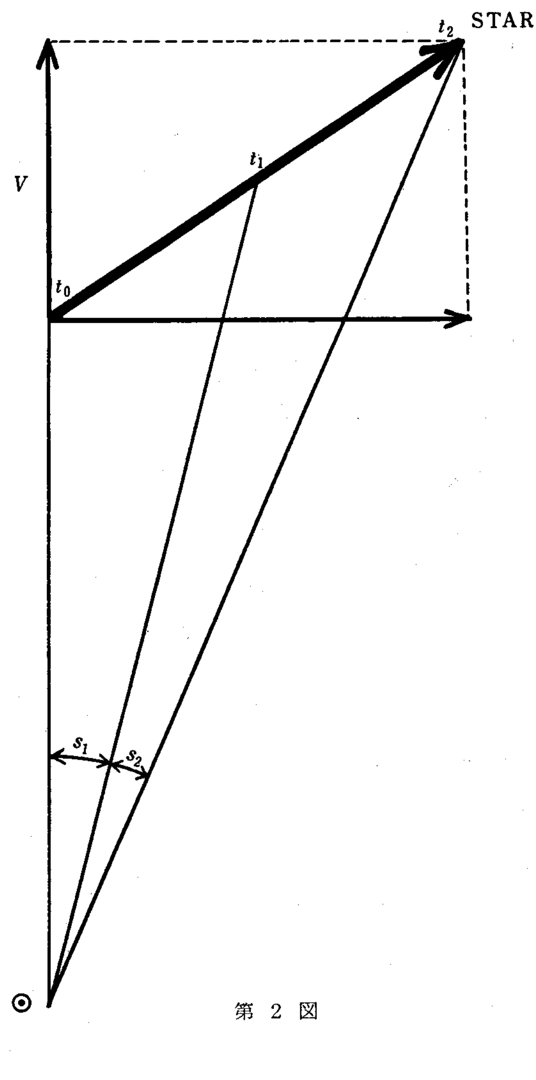
$$\boldsymbol{R}_m=R_0\cdot\cos s+\boldsymbol{v}_0\cdot\sin s/\mu_0, \qquad (12)$$

ここで $\boldsymbol{v}_0$ はそれぞれ

$$u_0=-\mu_\delta\cdot\cos\alpha_0\cdot Z_0-\mu_\alpha\cdot Y_0,$$
$$v_0=-\mu_\delta\cdot\sin\alpha_0\cdot Z_0+\mu_\alpha\cdot X_0,$$
$$w_0=-\mu_\delta\cdot\cos\delta_0 \qquad (13)$$

である．

恒星は等速度で空間を直線運動していると考えて，その運動を第２図のように太陽と恒星を結ぶ視線方向とそれに直角な方向の２つの成分に分ける．この図で V が視線方向の速度で等速運動であるが，これに直角な方向の等速運動は天球への投影としてみられるので同じ時間間



第 2 図

隔の t_0 t_1 と t_1 t_2 に対しては s_1 と s_2 の角が対応していて等速運動とは見えない．即ち太陽に近ずく恒星の固有運動は次第に速くなるようにみえ，遠ざかる恒星については次第に遅くなるようにみえる．これを**透視効果**と呼んでいる．恒星の視差を π（単位は $''$），視線速度を V (km/sec) とすると全固有運動の 100 年に対する変化 $\delta_{\mu 0}$ は

$$\delta_{\mu 0}=-\frac{2\cdot\sin 1''[100\,\text{太陽年の秒数}]}{[\text{km で表わした 1 天文単位}]}\pi\cdot V\cdot\mu_0$$
$$=-0.0002045352\cdot\pi\cdot V\cdot\mu_0 \qquad (14)$$

であって，ある時期Tにおける 100 年間の固有運動 μ_T は

$$\mu_T=\mu_0+\delta_{\mu 0}\cdot T \qquad (15)$$

となる．(12) の中の s は (15) を積分したもので

$$s=\mu_0 T+\frac{1}{2}{}_0\mu\delta\cdot T^2. \qquad (16)$$

これを入れて (12) は

$$\boldsymbol{R}_m=\boldsymbol{R}_0\left(1-\frac{1}{2}\cdot f_c\cdot\mu_0{}^2T^2\right)+\boldsymbol{v}_0\cdot f_s\cdot T, \qquad (17)$$

ここで

$$f_c=1+\frac{\delta_{\mu 0}}{\mu_0}T,$$
$$f_s=1+\frac{1}{2}\frac{\delta_{\mu 0}}{\mu_0}T-\frac{1}{6}\mu_0{}^2T^2 \qquad (18)$$

であるが，透視効果を考えない場合には f_c, f_s をそれぞれ 1 とおけばよい．

これまでに求めたものを綜合して，1950.0 年の標準春分点のままで座標の変化分だけを考えると

$$\boldsymbol{R}_c=\boldsymbol{R}_0\left(1-\frac{1}{2}\cdot f_c\cdot\mu_0{}^2\cdot T^2\right)+\boldsymbol{v}_0\cdot f_s\cdot T+\varDelta\boldsymbol{R}_a+\varDelta\boldsymbol{R}_p \qquad (19)$$

となる．但し光行差や視差の補正に使用した太陽や太陽系の重心の座標も 1950.0 年のものでなければならない．

3) 座標系の廻転

(19) で得られた $\boldsymbol{R}_c$ を歳差と章動による座標系の廻転を行なえば最終の視位置が求められる．ここで説明の便宜上軌道計算の方面でよく利用されているクラコビアンと名付けられた座標系の廻転法[3] を簡単に紹介しておく．

i) クラコビアン

もとの座標を $\boldsymbol{A}$ とし，座標系の廻転を行なった後の新しい座標を $\boldsymbol{B}$ とする．

この廻転が X 軸を中心として角度 θ だけ変わった場合は

$$\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{p}(\theta). \qquad (20)$$

またY軸が中心の廻転の場合は

$$\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{q}(\theta). \qquad (21)$$

そしてZ軸が廻転軸になった場合は

$$\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{r}(\theta) \qquad (22)$$

と書くことにする．これらの廻転角θはいづれも反時計廻わりに測ったものである．$\boldsymbol{p}(\theta)$，$\boldsymbol{q}(\theta)$，$\boldsymbol{r}(\theta)$ を廻転クラコビアンと呼び，それぞれ

$$\boldsymbol{p}(\theta)=\left\{\begin{matrix}1 & 0 & 0\\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta\\ 0 & \sin\theta & \cos\theta\end{matrix}\right\}, \qquad (23)$$

$$\boldsymbol{q}(\theta)=\left\{\begin{matrix}\cos\theta & 0 & \sin\theta\\ 0 & 1 & 0\\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta\end{matrix}\right\}, \qquad (24)$$

$$\boldsymbol{r}(\theta)=\left\{\begin{matrix}\cos\theta & -\sin\theta & 0\\ \sin\theta & \cos\theta & 0\\ 0 & 0 & 1\end{matrix}\right\} \qquad (25)$$

で，行列の表示法に似ているが行と列が入れ代わって方向余弦と同じ配列になっている．また 3 次のクラコビアンは

$$\{a_{ij}\}=\left\{\begin{matrix}a_{11} & a_{21} & a_{31}\\ a_{12} & a_{22} & a_{32}\\ a_{13} & a_{23} & a_{33}\end{matrix}\right\} \qquad (26)$$

で i は列の番号，j は行の番号を示している．そして a_{ij} が 2 つのクラコビアン b_{ij} と c_{ij} の積であったとすると

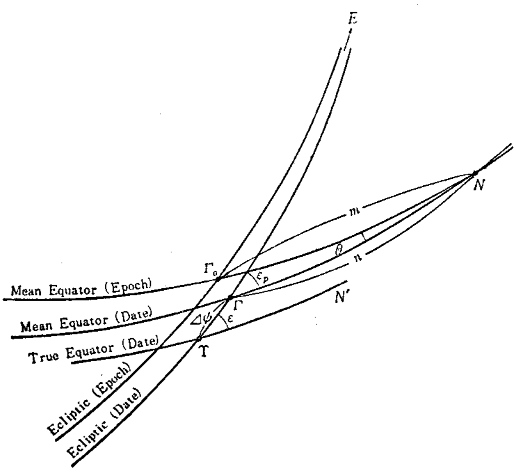
$$\left\{\begin{matrix}a_{11} & a_{21} & a_{31}\\ a_{12} & a_{22} & a_{32}\\ a_{13} & a_{23} & a_{33}\end{matrix}\right\}=\left\{\begin{matrix}b_{11} & b_{21} & b_{31}\\ b_{12} & b_{22} & b_{32}\\ b_{13} & b_{23} & b_{33}\end{matrix}\right\}\left\{\begin{matrix}c_{11} & c_{21} & c_{31}\\ c_{12} & c_{22} & c_{32}\\ c_{13} & c_{23} & c_{33}\end{matrix}\right\} \qquad (27)$$

乗算の規則は（列×列）で

$$a_{ij}=\sum_{k=1}^{3}b_{ik}\cdot c_{jk} \qquad (28)$$

である．このような方式であると行列の計算で行なわれた乗算の結合則は成立たないで，いくつものクラコビアンの積は左から右へと順に乗算しなければならない．しかし，説明は省略するがクラコビアン特有の結合則があって

$$\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{q}(\theta_1)\cdot\boldsymbol{p}(\theta_2)\cdots\boldsymbol{r}(\theta_{n-1})\cdot\boldsymbol{p}(\theta_n) \qquad (29)$$



第 3 図

のような場合には

$$\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}\cdot[\boldsymbol{p}(\theta_n)\cdot\boldsymbol{r}(-\theta_{n-1})\cdots\boldsymbol{p}(-\theta_2)\cdot\boldsymbol{q}(-\theta_1)]. \tag{30}$$

或いは

$$\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{q}(\theta_1)\cdot[\boldsymbol{r}(\theta_{n-1})\cdots\boldsymbol{p}(-\theta_2)]\cdot\boldsymbol{p}(\theta_n) \tag{31}$$

とすることも出来る.

ii） 歳差と章動

1950.0 年の平均春分点と，ある時刻 T の平均春分点や真春分点の関係を図示すると第3図のようになる．この図で Γ_0 は 1950.0 年の平均春分点，Γ は T の時の平均春分点，E は歳差による黄道廻転の節点，N は同じく歳差による平均赤道の廻転の節点；Γ_0N は 1950.0 年の平均赤道，ΓNは T の時の平均赤道 Γ_0E は 1950.0 年の黄道，ΓE は T の時の黄道である．歳差だけで変化した T の時の赤道系直交座標は

1. Z 軸を廻転軸にして，X軸を Γ_0 からNに移す；
2. 新しいX軸を廻転軸にして，X-Y 平面を角 $\Gamma_0N\Gamma$ 傾ける；
3. そのZ軸を廻転軸にして，X軸をNから Γ に移す.

このような座標系の廻転をクラコビアンを使って示すと

$$\boldsymbol{R}_t=\boldsymbol{R}_c\cdot\boldsymbol{r}(m)\cdot\boldsymbol{p}(\theta)\cdot\boldsymbol{r}(-n). \tag{32}$$

ここで m, n をニューカムの使った歳差常数の記号に従うと

$$m=90°-\zeta_0,\quad n=90°+z$$

となり，現在天体暦に採用されている常数値は

$$\zeta_0=2304''.948\cdot T+0''.302\cdot T^2+0''.0179\cdot T^3,$$
$$\theta=2004''.255\cdot T-0''.426\cdot T^2-0''.0416\cdot T^3,$$
$$z=\zeta_0\qquad\qquad +0''.791\cdot T^2+0''.0013\cdot T^3$$

である.

次に章動の計算のために赤道系直交座標を黄道系のものに変換する：

4. X軸を廻転軸にして，X-Y 平面を角 $N\Gamma E$ 即ち歳差のみの平均黄道傾斜角 ε_p だけ傾ける；
5. 黄道系の Z' 軸を廻転軸にして，X' 軸を Γ から γ に移す；
6. X' 軸を廻転軸にして，X'-Y' 平面を真黄道傾斜角 ε をだけもどして黄道系直交座標を赤道系に変換する．（右段へつづく）

これらを再びクラコビアンを使って示すと

$$\boldsymbol{R}_A=\boldsymbol{R}_t\cdot\boldsymbol{p}(\varepsilon_p)\cdot\boldsymbol{r}(-\Delta\psi)\cdot\boldsymbol{p}(-\varepsilon) \tag{33}$$

ここで

$$\varepsilon_p=23°27'08''.26-46''.845\cdot T_0$$
$$-0''.0059\cdot T_0^2+0''.00181\cdot T_0^3,$$

$\Delta\psi$ は黄経の章動で $\Delta\varepsilon$ を黄道傾斜角の章動とすると $\varepsilon=\varepsilon_p+\Delta\varepsilon$ である．但し T_0 は 1900 Jan. 0.5 ET より 36525 日を単位に測ったものとする．観測の整約計算の時に恒星の視位置が直交座標のままで使えるなら (33) で求めたものをそのまま利用すればよいが，従来通り球面座標の視赤経 α_A と視赤緯 δ_A が必要なら

$$\rho\cdot\cos\delta_A\cdot\cos\alpha_A=X_A,$$
$$\rho\cdot\cos\delta_A\cdot\sin\alpha_A=Y_A,$$
$$\rho\cdot\sin\delta_A\qquad\quad=Z_A \tag{34}$$

の関係で求められる．ここでρは1に近い数で1からの差は座標の変化によって生じたものである.

iii） 直交座標の日々常数

1950.0 年に対する星表の値からの直交座標に光行差の *E-term* を補正した$\boldsymbol{R}_0$ から出発して，視位置 $\boldsymbol{R}_A$ を求めるには

$$\boldsymbol{R}_F=\boldsymbol{R}_0\left(1-\frac{1}{2}\cdot f_c\cdot\mu_0^2\cdot T^2\right)+\boldsymbol{v}_0\cdot f_s\cdot T+\Delta\boldsymbol{R}_p \tag{35}$$

とおいて

$$\boldsymbol{R}_A=(\boldsymbol{R}_F+\Delta\boldsymbol{R}_a)\cdot\boldsymbol{r}(m)\cdot\boldsymbol{p}(\theta)\cdot\boldsymbol{r}(-n)$$
$$\cdot\boldsymbol{p}(\varepsilon_p)\cdot\boldsymbol{r}(-\Delta\psi)\cdot\boldsymbol{p}(-\varepsilon) \tag{36}$$

で計算出来る．ここでクラコビアンの結合則を利用すると (36) は

$$\boldsymbol{D}=\boldsymbol{p}(-\varepsilon)\cdot\boldsymbol{r}(\Delta\psi)\cdot\boldsymbol{p}(-\varepsilon_p)\cdot\boldsymbol{r}(n)\cdot\boldsymbol{p}(-\theta)\cdot\boldsymbol{r}(-m), \tag{37}$$

とおいて

$$\boldsymbol{R}_A=(\boldsymbol{R}_F+\Delta\boldsymbol{R}_a)\cdot\boldsymbol{D}. \tag{38}$$

さらに (37) を歳差だけの項 $\boldsymbol{P}$ と章動による項 $\boldsymbol{N}$ に分けて

$$\boldsymbol{D}=\boldsymbol{N}\cdot\boldsymbol{P}\equiv[\boldsymbol{p}(-\varepsilon)\cdot\boldsymbol{r}(\Delta\psi)]$$
$$\cdot[\boldsymbol{r}(-m)\cdot\boldsymbol{p}(\theta)\cdot\boldsymbol{r}(-n)\cdot\boldsymbol{p}(\varepsilon_p)], \tag{39}$$

とすることが出来る．このようにすると歳差 $\boldsymbol{P}$ はクラコビアンを1つづつ計算しなくても，前に掲げた常数から次のような展開式で簡単に求められる.

$$P_{11}=\ 1.00000\ 00000\qquad\qquad -0.00029\ 69570T^2-0.00000\ 01311T^3+0.00000\ 00146T^4$$
$$P_{21}=\qquad -0.02234\ 94065T-0.00000\ 67631T^2+0.00000\ 22083T^3+0.00000\ 00015T^4$$
$$P_{31}=\qquad -0.00971\ 69024T+0.00000\ 20653T^2+0.00000\ 09613T^3+0.00000\ 00004T^4$$
$$P_{12}=\qquad +0.02437\ 03441T+0.00000\ 53780T^2-0.00000\ 24080T^3-0.00000\ 00016T^4$$
$$P_{22}=+0.91743\ 69524+0.00009\ 03719T-0.00027\ 23488T^2-0.00000\ 01386T^3+0.00000\ 00134T^4$$
$$P_{32}=+0.39788\ 11862-0.00020\ 83802T-0.00011\ 84266T^2-0.00000\ 00100T^3+0.00000\ 00058T^4$$
$$P_{13}=\qquad +0.00002\ 22370T+0.00000\ 09496T^2-0.00000\ 00017T^3$$
$$P_{23}=-0.39788\ 11862+0.00020\ 83802T-0.00000\ 02241T^2-0.00000\ 00017T^3$$
$$P_{33}=+0.91743\ 69524+0.00009\ 03720T-0.00000\ 01256T^2-0.00000\ 00007T^3$$

アストロラーブの観測では1夜に約 90 星を平均3分間隔で観測しているので，整約計算で（35）と（36）或いは（35）と（38）と（39）を1星毎に計算するのは電子計算機を利用するにしてもあまり能率がよいと思えない．$\boldsymbol{\Delta R_a}$ と $\boldsymbol{D}$ は恒星と全く関係がなく時刻さえ指定されれば決まる量なので，これらを適当な時間間隔であらかじめ計算しておけばベッセルの日々常数と同じような取扱いが出来ることになる．水沢のアストロラーブでは毎日の 0^h UT に対して $\boldsymbol{\Delta R_a}$ と $\boldsymbol{D}$ と共に固有運動の計算のための T と，視差の計算のための $\boldsymbol{r}_\oplus$，等を計算しておいて**直交座標の日々常数**と名付けている．これを磁気テープに記憶させておいて観測のあった時刻に対して補間計算によってとり出し，**直交座標の恒星常数**と名付けた時刻に無関係で星表の値だけから決まる $\boldsymbol{R}_0$ や $\boldsymbol{v}_0$ と組合わせて（35）と（38）の計算だけで簡単に視位置を求めている．

この方式は計算式が単純で電子計算機に適しており，その上計算精度が高いので水沢ではアストロラーブだけでなく，今年から眼視天頂儀による国際共同緯度観測の整約や浮遊天頂儀による緯度観測整約にも採用された．なお日々常数は磁気テープだけでなく，1日分を3枚の IBM カードにしてあるので要求があればいつでも提供できる．

参考文献

1) H-M Dufour et A. Fontaine: Formules pratiques pour le calcul électronique des coordonnées des Étoiles, Bull. Astr, **23**, 117, 1959.
2) F. P. Scott and J. A. Hughes: Computation of Apparent Places for the Southern Reference Star Program. A. J., **69**, 368, 1964.
3) 古川麒一郎：直交座標を用いた恒星の視位置計算（I），（II），（III），緯度観測所彙報，No. **3**, 1963, No. **4**, 1964, No. **5**, 1965.
4) 長谷川一郎：Cracovian 入門（1），（2），（3），（4），（5），（6）天界，No. **467-472**, 1964.

太陽系のスケールについて

須川　力*

1. まえがき

太陽系のスケールを表わす基本的な単位として，天文単位が用いられている．この単位は，もともと地球と太陽との間の平均距離を表わすものとして定義されたが，現在では厳密に言えば，それとは独立して定義されている．ケプラーの第3法則は次の式によって表わされる：

$$n^2a^3=\kappa^2(1+M),$$

ここに n は1暦表日についての惑星の平均運動（ラヂアンで表わす），a は摂動を受けないとしての惑星と太陽の間の平均距離，Mは太陽の質量を単位にとった惑星の質量，κ はガウスの重力定数である．ガウスの重力定数を絶対不変な定数として，0.017,202,098,950 という値を採用し，質量の単位に太陽の質量をとり，時間の単位に暦表日をとって，長さの単位としての天文単位が定義されている．従って地球と太陽との間の平均距離は 1.000,000,2 天文単位（a. u.）となる．

この天文単位を出来るだけ精確に決定することは，太陽系における惑星，小惑星，彗星等の天体の位置およびそれらの運動を取扱う位置天文学・天体力学にとって最も基本的な問題の1つである．現在この単位を決定する主な3つの方法は

i）レーダーによる惑星間の距離測定より導くこと
ii）太陽視差の幾何学的決定
iii）小惑星におよぼす地球および月の引力作用から推定する力学的推定

である．最近 1964 年8月末西ドイツのハンブルグで開催された IAU 総会において，新しい基本的な天文常数として

$$1\ \mathrm{a.\,u.}=149{,}600{,}000\ km$$

という値が採用された．しかし，この新採用値は決定的なものではなくて，まだ論議すべき問題点を多く含んでいるように思われる．ここではクレメンス[1]の最近の批判を紹介して，太陽系のスケールの基本単位の決定についての問題点を考てみたい．

2. レーダー法

1959 年以来レーダー・パルスの系列が地球上の数ケ所から発射され，金星で反射されたエコーが地球上で再び受け取られた．パルスの全伝播時間が，測定された．これよりシンプルな太陽系のスケールを決める原理はほかに考えられないほどであるが，この方法による決定にも次のような仮定がおかれている．

a）地球の中心から金星の中心までの，天文単位で表わした距離が測定の際に知られていること
b）地球と金星の有効直径が知られていること

* 緯度観測所
C. Sugawa: On the Scale of the Solar System.