標定アルゴリズム説明書

1．標記の共通事項

1. 行列、ベクトルは大文字、スカラーは小文字で表す（例外：放射計の番号を示す I)。
2. ベクトル、行列の成分の表示には、カギ括弧$[\ ]$を用いる。関数の引数は、丸括弧$(\ )$を用いる。式の評価順序は、中括弧$\{\ \}$を用いる。
3. 行列 M の転置は，M^{T} で表す。
4. 地上点の番号は、i で表す。地上点の数は n で表す。
5. F（前方視)、N（直下視)、B（後方視）で放射計を指定する。I は、これらのうちのいずれかを指す。
6. CCD 座標は，放射計の光軸を基準とした 3 次元座標（＋Z：光軸地球方向、＋Y：ライン方向、＋X：直下視では衛星進行方向)。
7. ピクセル、ライン → CCD 座標 → 衛星座標 → 地上座標（ECR）の順に座標変換する。
8. 値 x の観測値は，$x^{(\mathrm{b})}$とする。
9. 残差は V、v で表す。何に対する残差かは、適宜判断する。

2．与件

$X_{\mathrm{G}i}{}^{(\mathrm{b})}$　地上点 i の地上座標（ECR）の観測値（基準点成果）

p_{Ii}、l_{Ii}　地上点 i の放射計 I の像点のピクセル番号、ライン番号の観測値（実数値）

c_I　放射計 I の画面距離の地上計測値

$\begin{bmatrix} \mathrm{u}_I(p_I) \\ \mathrm{v}_I(p_I) \\ c_I \end{bmatrix}$　放射計 I のピクセル番号 p_I から CCD 座標への変換式（$\mathrm{u}_I(\ )$、$\mathrm{v}_I(\ )$が既知の関数）

$\mathrm{t}_I(l)$　放射計 I のライン番号 l を観測した時刻（$\mathrm{t}_I(\ )$が既知の関数）

R_I　放射計 I の指向の地上計測値（CCD 座標系のベクトルを衛星座標系のベクトルに変換する回転行列）

$\mathrm{R}_{\mathrm{S}I}{}^{(\mathrm{b})}(t)$　時刻 t の衛星の姿勢（衛星座標系のベクトルを ECR のベクトルに変換する回転行列）の観測値（$\mathrm{R}_{\mathrm{S}I}{}^{(\mathrm{b})}(\ )$が既知の関数）

$\mathrm{O}(t)$　時刻 t の ECR における衛星座標系の原点（衛星の質量中心）の位置の観測値（$\mathrm{O}^{(\mathrm{b})}(\ )$が既知の関数）

O_I　衛星座標系における放射計 I の投影中心の位置の地上計測値

$$\mathrm{R}\left(\begin{bmatrix}\omega\\ \varphi\\ \kappa\end{bmatrix}\right)=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & \cos\omega & -\sin\omega\\ 0 & \sin\omega & \cos\omega\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\cos\varphi & 0 & \sin\varphi\\ 0 & 1 & 0\\ -\sin\varphi & 0 & \cos\varphi\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\cos\kappa & -\sin\kappa & 0\\ \sin\kappa & \cos\kappa & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}$$

回転角から回転行列への変換式

3．仮定

・簡単のため、ピクセル番号，ライン番号ではなく、CCD 座標に誤差があると仮定する。

・地上点の地上座標の観測値 $X_{\mathrm{G}i}{}^{(\mathrm{b})}$、CCD 座標の XY 成分の観測値 $\mathrm{u}_I(p_{Ii})$、$\mathrm{v}_I(p_{Ii})$ の誤差を仮定する。
・CCD 座標、放射計 I の指向 R_I、衛星の姿勢 $\mathrm{R}_{\mathrm{S}I}{}^{(b)}(t)$、衛星の位置 $\mathrm{O}^{(\mathrm{b})}(t)$ には、系統的な誤差があると仮定する。
・上記以外の誤差は仮定しない。
・衛星の姿勢の誤差、放射計の指向の誤差と、衛星の位置の誤差のクロスタームは、無視する。

４．写真測量の基本式

補正項がない場合の写真測量の基本式は、以下のとおりである

$$X_{\mathrm{G}i} = k\mathrm{R}_{\mathrm{S}I}{}^{(\mathrm{b})}(\mathrm{t}_I(l_{Ii}))R_I X_{Ii} + \mathrm{O}^{(\mathrm{b})}(\mathrm{t}_I(l_{Ii})) + \mathrm{R}_{\mathrm{S}I}{}^{(\mathrm{b})}(\mathrm{t}_I(l_{Ii}))O_I \qquad (I = \mathrm{F,N,B},\ i = 1\cdots n)$$

（地上座標＝k 衛星の姿勢・放射計の指向・CCD 座標＋衛星の質量中心＋投影中心のオフセット）

ここで、上記の仮定に基づく補正項を入れると、写真測量の基本式は、以下のとおりである。

$$\begin{aligned} X_{\mathrm{G}i} = {} & k\mathrm{R}(\mathrm{A_S}(H_\mathrm{S}, \mathrm{t}_I(l_i)))\mathrm{R}_{\mathrm{S}I}(\mathrm{t}_I(l_{Ii}))\mathrm{R}(A_{\mathrm{R}I})R_I\{X_{Ii} + \mathrm{A_X}(H_{\mathrm{X}I}, p_{Ii})\} \\ & + \mathrm{O}^{(\mathrm{b})}(\mathrm{t}_I(l_{Ii})) + \mathrm{A_O}(H_\mathrm{O}, t) + \mathrm{R}_{\mathrm{S}I}{}^{(\mathrm{b})}(\mathrm{t}_I(l_{Ii}))O_I \end{aligned} \qquad (I = \mathrm{F,N,B},\ i = 1\cdots n)$$

$$\text{ここで、} X_{Ii} = \begin{bmatrix} x_{Ii} \\ y_{Ii} \\ c_I \end{bmatrix}\text{、} X_{Ii}{}^{(b)} = \begin{bmatrix} x_{Ii}{}^{(b)} \\ y_{Ii}{}^{(b)} \\ c_I{}^{(b)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathrm{u}_I(p_{Ii}) \\ \mathrm{v}_I(p_{Ii}) \\ c_I \end{bmatrix} \qquad (I = \mathrm{F,N,B},\ i = 1\cdots n)$$

（補正項）

$\mathrm{A_S}(H_\mathrm{S}, t)$	時刻 t における衛星の姿勢 $\mathrm{R}_{\mathrm{S}I}{}^{(\mathrm{b})}(t)$ の補正量（関数形が既知の補正モデル）。
H_S	上記補正モデルパラメータ。
$A_{\mathrm{R}I}$	放射計 I の指向 R_I の補正量。（$I = \mathrm{F,N,B}$）
$\mathrm{A_O}(H_\mathrm{O}, t)$	時刻 t の衛星座標系の原点の位置 $\mathrm{O}^{(\mathrm{b})}(t)$ の補正値（関数形が既知の補正モデル）。
H_O	上記補正モデルのパラメータ。
$\mathrm{A_X}(H_{\mathrm{X}I}, p_I)$	放射計 I のピクセル番号 p_I の位置における CCD 座標の補正量（関数形が既知の補正モデル）
$H_{\mathrm{X}I}$	上記補正モデルのパラメータ（$I = \mathrm{F,N,B}$）

４．補正項の形式

$$H_\mathrm{S} = \begin{bmatrix} h_{\mathrm{S}\omega0} & h_{\mathrm{S}\omega1} & h_{\mathrm{S}\omega2} & h_{\mathrm{S}\omega3} & h_{\mathrm{S}\varphi0} & h_{\mathrm{S}\varphi1} & h_{\mathrm{S}\varphi2} & h_{\mathrm{S}\varphi3} & h_{\mathrm{S}\kappa0} & h_{\mathrm{S}\kappa1} & h_{\mathrm{S}\kappa2} & h_{\mathrm{S}\kappa3} \end{bmatrix}^\mathrm{T}$$

$$\mathrm{A_S}(H_\mathrm{S}, t) = \begin{bmatrix} h_{\mathrm{S}\omega0} + h_{\mathrm{S}\omega1}t + h_{\mathrm{S}\omega2}t^2 + h_{\mathrm{S}\omega3}t^3 \\ h_{\mathrm{S}\varphi0} + h_{\mathrm{S}\varphi1}t + h_{\mathrm{S}\varphi2}t^2 + h_{\mathrm{S}\varphi3}t^3 \\ h_{\mathrm{S}\kappa0} + h_{\mathrm{S}\kappa1}t + h_{\mathrm{S}\kappa2}t^2 + h_{\mathrm{S}\kappa3}t^3 \end{bmatrix} \qquad \text{（時間の 3 次式）}$$

$$A_{\mathrm{R}I} = \begin{bmatrix} h_{\mathrm{R}\omega I} & h_{\mathrm{R}\varphi I} & h_{\mathrm{R}\kappa I} \end{bmatrix}^\mathrm{T} \qquad \text{（定数項）}$$

$$H_\mathrm{O} = \begin{bmatrix} h_{\mathrm{x}0} & h_{\mathrm{x}1} & h_{\mathrm{y}0} & h_{\mathrm{y}1} & h_{\mathrm{z}0} & h_{\mathrm{z}1} \end{bmatrix}^\mathrm{T} \qquad \mathrm{A_O}(H_\mathrm{O}, t) = \begin{bmatrix} h_{\mathrm{x}0} + h_{\mathrm{x}1}t \\ h_{\mathrm{y}0} + h_{\mathrm{y}1}t \\ h_{\mathrm{z}0} + h_{\mathrm{z}1}t \end{bmatrix} \qquad \text{（時間の 1 次式）}$$

$H_{\mathrm{X}I} = \left[h_{\mathrm{u}I} \quad h_{\mathrm{v}I} \quad h_{\mathrm{c}I} \right]^{\mathrm{T}}$

$$\mathrm{A_X}\left(H_{\mathrm{X}I}, p_I\right) = \mathrm{A_X}\left(H_{\mathrm{X}I}\right) = \begin{bmatrix} h_{\mathrm{u}I} \\ h_{\mathrm{v}I} \\ h_{\mathrm{c}I} \end{bmatrix}$$

（定数項；主点位置のずれ＋焦点距離の補正）

5．パラメータ k の消去

写真測量の基本式から、パラメータ k を消去する。

$$k\left\{X_{Ii} + \mathrm{A_X}\left(H_{\mathrm{X}I}, p_{Ii}\right)\right\} = B$$

$$B = \left\{R_I\right\}^{\mathrm{T}} \left\{\mathrm{R}\left(A_{\mathrm{R}I}\right)\right\}^{\mathrm{T}} \left\{\mathrm{R}_{\mathrm{S}I}\left(\mathrm{t}_I\left(l_{Ii}\right)\right)\right\}^{\mathrm{T}} \left\{\mathrm{R}\left(\mathrm{A_S}\left(H_\mathrm{S}, \mathrm{t}_I\left(l_i\right)\right)\right)\right\}^{\mathrm{T}} \left\{X_{\mathrm{G}i} - \mathrm{O}^{(\mathrm{b})}\left(\mathrm{t}_I\left(l_{Ii}\right)\right) - \mathrm{A_O}\left(H_\mathrm{O}, t\right) - \mathrm{R}_{\mathrm{S}I}{}^{(\mathrm{b})}\left(\mathrm{t}_I\left(l_{Ii}\right)\right) O_I\right\}$$

（$I = \mathrm{F,N,B}$,　$i = 1 \cdots n$）

成分毎には、

$$k\begin{bmatrix} x_{Ii} + h_{\mathrm{u}I} \\ y_{Ii} + h_{\mathrm{v}I} \\ c_I + h_{\mathrm{c}I} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = B$$

（$I = \mathrm{F,N,B}$,　$i = 1 \cdots n$）

なお、b_1、b_2、b_3 は、パラメータ $X_{\mathrm{G}i}$ 、H_S 、$A_{\mathrm{R}I}$ 、H_O の関数であり、I、i にも依存する。

$$x_{Ii} = \left\{c_I + h_{\mathrm{c}I}\right\}\frac{b_1}{b_3} - h_{\mathrm{u}I}$$

（$I = \mathrm{F,N,B}$,　$i = 1 \cdots n$）

$$y_{Ii} = \left\{c_I + h_{\mathrm{c}I}\right\}\frac{b_2}{b_3} - h_{\mathrm{v}I}$$

（$I = \mathrm{F,N,B}$,　$i = 1 \cdots n$）

6．観測方程式

$$X_{\mathrm{G}i} = X_{\mathrm{G}i}{}^{(\mathrm{b})} + V$$

（$I = \mathrm{F,N,B}$,　$i = 1 \cdots n$）

$$\left\{c_I + h_{\mathrm{c}I}\right\}\frac{b_1}{b_3} - h_{\mathrm{u}I} = \mathrm{u}_I\left(p_{Ii}\right) + v$$

（$x_{Ii}{}^{(\mathrm{b})} = \mathrm{u}_I\left(p_{Ii}\right)$）　（$I = \mathrm{F,N,B}$,　$i = 1 \cdots n$）

$$\left\{c_I + h_{\mathrm{c}I}\right\}\frac{b_2}{b_3} - h_{\mathrm{v}I} = \mathrm{v}_I\left(p_{Ii}\right) + v$$

（$y_{Ii}{}^{(\mathrm{b})} = \mathrm{v}_I\left(p_{Ii}\right)$）　（$I = \mathrm{F,N,B}$,　$i = 1 \cdots n$）

$$\mathrm{A_S}\left(H_\mathrm{S}, t\right) = V$$

（$\mathrm{A_S}\left(H_\mathrm{S}, t\right)^{(\mathrm{b})} = 0$）　（全ての時刻）

$$A_{\mathrm{R}I} = V$$

（$A_{\mathrm{R}I}{}^{(\mathrm{b})} = 0$）　（$I = \mathrm{F,N,B}$）

$$\mathrm{A_O}\left(H_\mathrm{O}, t\right) = V$$

（$\mathrm{A_O}\left(H_\mathrm{O}, t\right)^{(\mathrm{b})} = 0$）　（全ての時刻）

$$h_{\mathrm{u}I} = v$$

（$h_{\mathrm{u}I}{}^{(\mathrm{b})} = 0$）　（$I = \mathrm{F,N,B}$）

$$h_{\mathrm{v}I} = v$$

（$h_{\mathrm{v}I}{}^{(\mathrm{b})} = 0$）　（$I = \mathrm{F,N,B}$）

$h_{cI} = v$ （$h_{cI}^{(b)} = 0$） （$I =$ F,N,B）

なお、パスポイントでは、地上点の観測方程式の重みを 0 とし、基準点と同一の形式を用いる。また、観測方程式の微係数は、数値微分で求める。

７．位置と姿勢の観測方程式（地上点のみを用いる方法）

伝統的な方法では、全ての時刻に適用されるべき位置と姿勢の観測方程式を、地上観測点が存在する時刻のみに適用する。観測方程式は、成分ごとに

$h_{x0} + h_{x1} t = 0$ （地上を観測した全ての時刻 t）

$h_{y0} + h_{y1} t = 0$ （地上を観測した全ての時刻 t）

$h_{z0} + h_{z1} t = 0$ （地上を観測した全ての時刻 t）

$h_{S\omega 0} + h_{S\omega 1} t + h_{S\omega 2} t^2 + h_{S\omega 3} t^3 = 0$ （地上を観測した全ての時刻 t）

$h_{S\varphi 0} + h_{S\varphi 1} t + h_{S\varphi 2} t^2 + h_{S\varphi 3} t^3 = 0$ （地上を観測した全ての時刻 t）

$h_{S\kappa 0} + h_{S\kappa 1} t + h_{S\kappa 2} t^2 + h_{S\kappa 3} t^3 = 0$ （地上を観測した全ての時刻 t）

となる。各観測を独立と仮定すると、正規方程式は加法的に作成でき（部分的な観測に対する正規方程式を加算したものが、全観測に対する正規方程式となる）、

$$\sum_{\text{地上を観測した全ての時刻}t} \begin{bmatrix} 1 & t \\ t & t^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{Sx0} \\ h_{Sx0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\sum_{\text{地上を観測した全ての時刻}t} \begin{bmatrix} 1 & t \\ t & t^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{Sy0} \\ h_{Sy0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\sum_{\text{地上を観測した全ての時刻}t} \begin{bmatrix} 1 & t \\ t & t^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{Sz0} \\ h_{Sz0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\sum_{\text{地上を観測した全ての時刻}t} \begin{bmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 \\ t & t^2 & t^3 & t^4 \\ t^2 & t^3 & t^4 & t^5 \\ t^3 & t^4 & t^5 & t^6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{S\omega 0} \\ h_{S\omega 1} \\ h_{S\omega 2} \\ h_{S\omega 3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\sum_{\text{地上を観測した全ての時刻}t} \begin{bmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 \\ t & t^2 & t^3 & t^4 \\ t^2 & t^3 & t^4 & t^5 \\ t^3 & t^4 & t^5 & t^6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{S\varphi 0} \\ h_{S\varphi 1} \\ h_{S\varphi 2} \\ h_{S\varphi 3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\sum_{\text{地上を観測した全ての時刻}t} \begin{bmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 \\ t & t^2 & t^3 & t^4 \\ t^2 & t^3 & t^4 & t^5 \\ t^3 & t^4 & t^5 & t^6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{S\kappa 0} \\ h_{S\kappa 1} \\ h_{S\kappa 2} \\ h_{S\kappa 3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

となる。

８．位置と姿勢の観測方程式（時間積分を用いる方法）

全て時刻に関する位置と姿勢の観測方程式は、具体的には

$$v = h_{x0} + h_{x1}t = \begin{bmatrix} 1 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{x0} \\ h_{x1} \end{bmatrix} \qquad \text{（全ての時刻）}$$

$$v = h_{y0} + h_{y1}t = \begin{bmatrix} 1 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{y0} \\ h_{y1} \end{bmatrix} \qquad \text{（全ての時刻）}$$

$$v = h_{z0} + h_{z1}t = \begin{bmatrix} 1 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{z0} \\ h_{z1} \end{bmatrix} \qquad \text{（全ての時刻）}$$

$$v = h_{S\omega 0} + h_{S\omega 1}t + h_{S\omega 2}t^2 + h_{S\omega 3}t^3 = \begin{bmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{S\omega 0} \\ h_{S\omega 1} \\ h_{S\omega 2} \\ h_{S\omega 3} \end{bmatrix} \qquad \text{（全ての時刻）}$$

$$v = h_{S\varphi 0} + h_{S\varphi 1}t + h_{S\varphi 2}t^2 + h_{S\varphi 3}t^3 = \begin{bmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{S\varphi 0} \\ h_{S\varphi 1} \\ h_{S\varphi 2} \\ h_{S\varphi 3} \end{bmatrix} \qquad \text{（全ての時刻）}$$

$$v = h_{S\kappa 0} + h_{S\kappa 1}t + h_{S\kappa 2}t^2 + h_{s\kappa 3}t^3 = \begin{bmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{S\kappa 0} \\ h_{S\kappa 1} \\ h_{S\kappa 2} \\ h_{S\kappa 3} \end{bmatrix} \qquad \text{（全ての時刻）}$$

各観測を独立と仮定すると、正規方程式は加法的に作成でき（部分的な観測に対する正規方程式を加算したものが、全観測に対する正規方程式となる）、上記観測方程式に対する正規方程式（部分）は、

$$\begin{bmatrix} 1 & t \\ t & t^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{x0} \\ h_{x1} \end{bmatrix} = 0 \qquad \text{（全ての時刻）}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & t \\ t & t^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{y0} \\ h_{y1} \end{bmatrix} = 0 \qquad \text{（全ての時刻）}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & t \\ t & t^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{z0} \\ h_{z1} \end{bmatrix} = 0 \qquad \text{（全ての時刻）}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 \\ t & t^2 & t^3 & t^4 \\ t^2 & t^3 & t^4 & t^5 \\ t^3 & t^4 & t^5 & t^6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{S\omega 0} \\ h_{S\omega 1} \\ h_{S\omega 2} \\ h_{S\omega 3} \end{bmatrix} = 0 \qquad \text{（全ての時刻）}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 \\ t & t^2 & t^3 & t^4 \\ t^2 & t^3 & t^4 & t^5 \\ t^3 & t^4 & t^5 & t^6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{\mathrm{S}\varphi 0} \\ h_{\mathrm{S}\varphi 1} \\ h_{\mathrm{S}\varphi 2} \\ h_{\mathrm{S}\varphi 3} \end{bmatrix} = 0 \quad \text{（全ての時刻）}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 \\ t & t^2 & t^3 & t^4 \\ t^2 & t^3 & t^4 & t^5 \\ t^3 & t^4 & t^5 & t^6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{\mathrm{S}\kappa 0} \\ h_{\mathrm{S}\kappa 1} \\ h_{\mathrm{S}\kappa 2} \\ h_{\mathrm{S}\kappa 3} \end{bmatrix} = 0 \quad \text{（全ての時刻）}$$

全ての時刻、あるいはラインの和をとる代わりに積分すると、

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 \\ s_2 & s_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{\mathrm{x}0} \\ h_{\mathrm{x}1} \end{bmatrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 \\ s_2 & s_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{\mathrm{y}0} \\ h_{\mathrm{y}1} \end{bmatrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 \\ s_2 & s_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{\mathrm{z}0} \\ h_{\mathrm{z}1} \end{bmatrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & s_3 & s_4 & s_5 \\ s_3 & s_4 & s_5 & s_6 \\ s_4 & s_5 & s_6 & s_7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{\mathrm{S}\omega 0} \\ h_{\mathrm{S}\omega 1} \\ h_{\mathrm{S}\omega 2} \\ h_{\mathrm{S}\omega 3} \end{bmatrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & s_3 & s_4 & s_5 \\ s_3 & s_4 & s_5 & s_6 \\ s_4 & s_5 & s_6 & s_7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{\mathrm{S}\varphi 0} \\ h_{\mathrm{S}\varphi 1} \\ h_{\mathrm{S}\varphi 2} \\ h_{\mathrm{S}\varphi 3} \end{bmatrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & s_3 & s_4 & s_5 \\ s_3 & s_4 & s_5 & s_6 \\ s_4 & s_5 & s_6 & s_7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{\mathrm{S}\kappa 0} \\ h_{\mathrm{S}\kappa 1} \\ h_{\mathrm{S}\kappa 2} \\ h_{\mathrm{S}\kappa 3} \end{bmatrix} = 0$$

$$s_j = \int_{t_{\mathrm{S}}}^{t_{\mathrm{E}}} t^{j-1} dt = \frac{{t_{\mathrm{E}}}^j - {t_{\mathrm{S}}}^j}{j}$$

t_{S}　観測開始時刻

t_{E}　観測終了時刻

これらの観測方程式の重みは、以下のようにする。ただし、「観測が独立と考えられる時間」については、経験によらざるを得ない。

単独の位置の観測の重み／位置の観測が独立と考えられる時間