

回回曆の緯度立成について

矢野道雄

1 はじめに

明代の初め、洪武15年(1382)に翻訳されたイスラム系天文学書「回回曆」を最初に学術的に論じたのは藪内[1964]である。藪内博士は「回回曆」の中心理論をプトレマイオスの天文学書『アルmagest』に基づいて明らかにした。これとほぼ同一の内容は藪内[1969/1990]にも収められている。その後陳[1993]のような論文も現れたが、その内容は藪内博士の研究を踏襲するに留まっている。藪内[1969/1990]は最近 van Dalen[1997]によっていくつかの修正とともに英訳された。

これらの研究により「回回曆」の基本となっている理論はほぼ明らかになったが、それがどのようなイスラム天文学書に基づいているかはまだ明らかではない。アラビア語で *Zij* とよばれる文献群は天文表を主体とし、これを用いるためのアルゴリズムを教えることを主たる目的とするが、その特徴は「回回曆」にいつそう顕著に見られ、表(立成とよばれる)がどのようにして作成されたかはほとんど述べられていない。したがって、まず立成とその使い方から理論を推定し、さらに立成のために用いられた天文定数を推定し、これらの二つの推定に基づいてあらためて計算して得られた表が実際の立成と一致するかどうかを確認する作業が必要である。これによって逆に定数を再確認し、さまざまなイスラム天文学書の定数と比較することが可能になるのである。

本論文は「回回曆」の緯度立成の構造について論ずるものであり、研究の第一段階に属するものである。これをさらにアラビア語文献と比較するという第二段階の研究は現在 Dr. Benno van Dalen が行っている。

資料

「回回曆」の資料としては現在次の3種類が利用できる。

- (1) 『明史曆志』¹⁾：もちろんこれは清朝になってから編纂されたものである。編纂時に付け加えられたと思われる注があるが、必ずしも正しいとはいえないものがある。
- (2) 『七政推歩』²⁾：貝琳によって A. D. 1477年に著されたものである。
- (3) 『七政算』³⁾：朝鮮の世宗(1419-1450)の時代に編纂されたもので、『世宗実録』の一部をなす。

これらの版には編纂の方針そのものにかなり相違があるが、本論文では『明史曆志』を用い

る。

2 惑星の緯度

惑星の緯度の問題は地球中心説に立脚するかぎりきわめてやっかいな問題である。したがってプトレマイオスは『アルマゲスト』において、緯度の影響を無視して経度の問題をすべて論じ終わった後、最後の巻(第13巻)ではじめて惑星の緯度を論じている。プトレマイオス体系を受容したイスラムの天文学者たちにとっても『アルマゲスト』第13巻を理解するのは容易ではなかったと思われる⁴⁾。

中国でも惑星の緯度については「回回暦」以前はほとんど問題にされなかった。したがって、中国の天文学者たちも「回回暦」のすぐれた点は緯度の問題を扱ったことにあるとみなしている。『明史暦志』の「回回暦」でも、冒頭で

十五年秋、太祖謂西域推測天象最精，其五星緯度又中國所無。

と言っている。同様のことを、「回回暦」とほぼ同時に中国語訳された『明訳天文書』⁵⁾も次のように述べている。

爾來西域陰陽家，推測天象，至爲精密有驗。其緯度之法，又中國書之所未備。

3 立成より5惑星の緯度を求める方法

「回回暦」の3つの版はともに惑星の緯度の理論については全く述べず、立成の用い方と立成を与えるのみである。立成は『アルマゲスト』とはかなり異なった構造になっている。

以下に『明史暦志』の緯度に関する部分を原文に則して説明していこう。原文は最後に付録1としてあげた。

まず「五星緯度」の表題に続いて注釈があり、緯度を求めるために必要な次の4つの要素は、経度計算に関してすでに述べた方法に依るとしている。

1. 最高總行度 — 最高總度と最高行度。惑星の離心円の遠地点が暦元時点から当該時点までの間に運動した総量が最高總度であり、これを暦元の遠地点黄経に加えると、当該時点の遠地点黄経、すなわち最高行度(λ_A)になる。
2. 中心行度 — 平均惑星黄経($\bar{\lambda}$)。内惑星の場合は太陽の平均黄経と同じ。外惑星の場合は、太陽の平均黄経から自行度を引いたもの。
3. 自行度 — 周転円上の遠地点からの周転円での惑星の離角($\bar{\alpha}$)。
4. 小輪心度 — 周転円の中心(すなわち平均惑星)の、離心円の遠地点からの離角($\bar{\gamma} = \bar{\lambda} - \lambda_A$)。

求自行定度と求小輪心定度

惑星の緯度は、周転円の中心の離心円上での位置と、周転円上での惑星の位置の二つの要素によって決定される。『アルマゲスト』ではそれぞれを引数として表を二度用いて緯度を得るのに対して、「回回曆」では二重引数をもつ表を作成して一度だけ表を用いればよいように工夫している。

そのうえ奇妙なことに、引数を与える際に、周天度を360度とする通常の「度」ではなく、単位を変え、自行度の場合は周天度を120度とし、小輪心度の場合は周天度を60度とするような変則的な「度」を用いている。そしてそのように単位を変えた自行度と小輪心度をそれぞれ、「自行定度」「小輪心定度」と呼んでいる。これらと同じ術語が、経度を論ずる文脈では、それぞれ中心差の補正を終えた自行度と小輪心度(すなわち true anomaly と true centrum)の意味で用いられているから、術語としては不適当であると言わざるを得ない。とくに後で述べるように、「回回曆」では中心差補正を行う前の自行度と小輪心度(すなわち mean anomaly と mean centrum)を緯度表の引数とするところが『アルマゲスト』との大きな違いなので、この術語の不備は混乱を招く。

「求自行定度」と「求小輪心定度」の二つの段落はこのような単位の変換を述べているだけであり、天文学的な意味はない。このような変更はイスラムの天文表には見られない⁶⁾。

自行度が「宮度分」の単位で $\bar{\alpha} = y_1^{\circ} y_2^{\circ} y_3'$ のように与えられている場合、単位の変換によって自行定度(y)は次のようになる。

$$y = \frac{1}{3} \bar{\alpha} = \frac{y_1^{\circ}}{3} \frac{y_2^{\circ}}{3} \frac{y_3'}{3} = 10 y_1^{\circ} 20 y_2' 20 y_3''.$$

もちろん「分」以下は60進法であるから、「分」「秒」の位が60を超えれば上の位に上げなければならない。

同様に小輪心度が $\bar{\gamma} = x_1^{\circ} x_2^{\circ} x_3'$ であるとき、小輪心定度(x)は

$$x = \frac{1}{6} \bar{\gamma} = \frac{x_1^{\circ}}{6} \frac{x_2^{\circ}}{6} \frac{x_3'}{6} = 5 x_1^{\circ} 10 x_2' 10 x_3''$$

となる。

付録2に例として土星の緯度立成をあげたが、そこでは理解しやすいように、自行度と小輪心度も引数として併記した。

求緯度

この段落は表の用い方の中心部分である。小輪心定度(x)と自行定度(y)を引数として当該の惑星の緯度立成に入るのであるが、引数が立成に表れていない場合、縦横両方向の補間が必要になる。立成では小輪心定度が右から左へ、自行定度が上から下へと配列されているので、そのとおり図式化すると図1のようになる。ここで注意したいのは、土星の場合、小輪心定度が0度からではなく、50度、すなわち小輪心度に戻すと300度から始まっているというこ

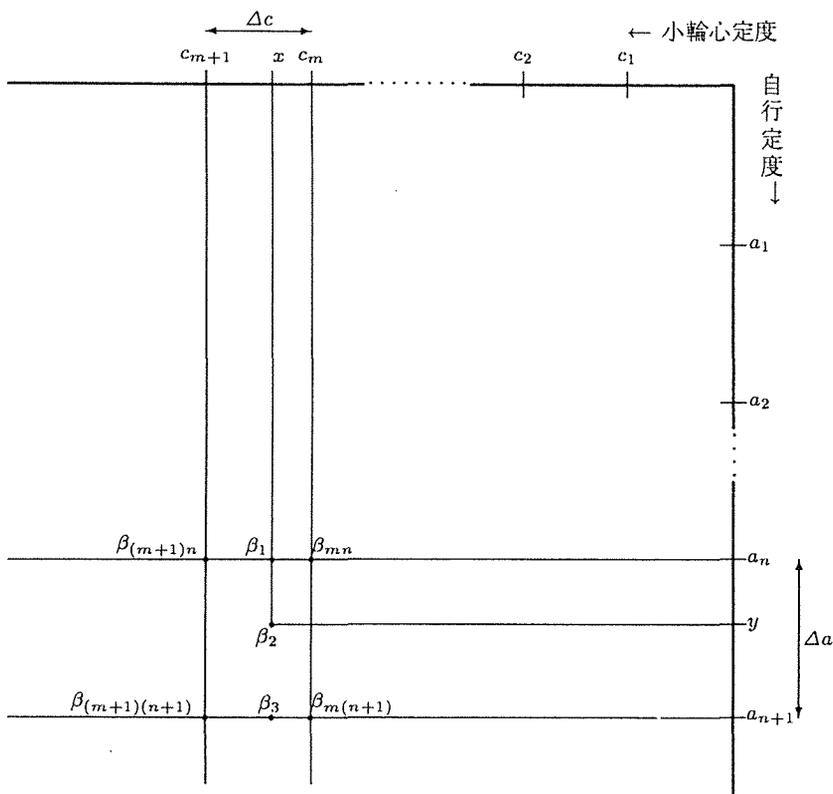


図1 「回回暦緯度立成」の二重引数と補間の構造

とである。これは緯度の計算の起点は離心円面が黄道面から最も北へ外れる「北限」にあり、土星の場合は、これが遠地点から60度引いたところ、すなわち遠地点からの離角が300度のところにあることを意味している⁷⁾。『アルマゲスト』では、遠地点から310度のところに北限があるとされている。

まず小輪心定度 (x) に関しては、横方向の一次補間を次のようにして行う。立成中の x のすぐ右側にある引数 (c_m) を下へたどり、 y のすぐ上にある引数 (a_n) を左へたどり、両者が出会ったところにある表値 (β_{mn}) をとる。

次に β_{mn} とその左の欄にある $\beta_{(m+1)n}$ の差をとる (ここで注釈が述べるように、もし両者の間に黄道があれば、すなわち緯度が南北に分かれておれば、両者の和をとらなければならない)。さらに x と c_m との差をとり、二つの差を掛け合わせて、引数の差 (Δc) で割る。 Δc は土星と木星の場合は単位を変えられた「3度」、すなわち通常の18度であり、火星と金星と水星の場合は単位を変えられた「2度」、すなわち通常の12度である。

この手続きによって横方向の補間値 β_h を次のようにして得たことになる。

$$\beta_h = \frac{|\beta_{mm} - \beta_{(m+1)n}|(x - c_m)}{\Delta c}.$$

これを β_{mn} に加えるか引くかして暫定的な緯度 (β_1) を得る。

$$\beta_1 = \beta_{mn} \pm \beta_h.$$

このプラス・マイナスは注釈の言うように、 $\beta_{mn} > \beta_{(m+1)n}$ ならばマイナス、 $\beta_{mn} < \beta_{(m+1)n}$ ならばプラスである。もし両者の間に黄道があれば $\beta_{mn} < \beta_{(m+1)n}$ であってもマイナスである。

こうして得た β_1 を別々に書きとめておく。

次に自行定度に関しても同じように、表の縦方向の一次補間をおこなう。

$$\beta_v = \frac{(y - a_n)|\beta_{mn} - \beta_{m(n+1)}|}{\Delta a}.$$

最後に β_1 に縦方向の補間値を加減して両方向の補間を終えた緯度とする。

$$\beta_2 \approx \beta_1 \pm \beta_v.$$

ここで Δa は、土星と木星の場合「10度」、火星の場合「4度」、金星と水星の場合「3度」である。

近似法による誤差

テキストに述べられているのは以上のとおりであるが、この方法が厳密ではなく近似的であることは明らかである。なぜなら横方向の補間を済ませた後の縦方向の補間は正確には β_{mn} と $\beta_{m(n+1)}$ の間ではなく、図のように β_1 と β_3 の間で行わねばならないからである。ここで β_3 は次のようにして求めることができるが、「回回曆」では煩雑を避けたものと思われる。

$$\beta_3 = \beta_{m(n+1)} \pm \beta'_h.$$

ただし

$$\beta'_h = \frac{|\beta_{m(n+1)} - \beta_{(m+1)(n+1)}|(x - c_m)}{\Delta c}.$$

もしこうしておけば、縦方向のより正確な補間値 (β'_v) は β_1 と β_3 の間で次の式で得られることになる。

$$\beta'_v = \frac{(y - a_n)|\beta_1 - \beta_3|}{\Delta a}.$$

こうすれば両方向のより正確な補間を終えた緯度は

$$\beta_2 = \beta_1 \pm \beta'_v$$

となる。

この近似的な補間による最大の誤差がどれほどになるかは、 $x - c_m \approx \Delta c$, $y - a_n \approx \Delta a$ の場合を考えてみれば明らかになる。この場合、

$$\beta'_v = \beta_{(m+1)(n+1)} - \beta_{(m+1)n}$$

の代りに

$$\beta_v = \beta_{m(n+1)} - \beta_{mn}$$

を用いたことによる誤差は

$$|\beta_{(m+1)(n+1)} - \beta_{(m+1)n}| - |\beta_{m(n+1)} - \beta_{mn}|.$$

立成にある数値によって、実際に生じうる誤差を調べてみると、土星の場合はせいぜい数分であるが、大きな周転円をもつ火星や金星の場合は30分近くなる場合がある。

細行分

「細行分」という術語は経度に関しても用いられている。いっばんに、これは単純な一次補間法である。ある惑星のある日の緯度 β_n と、ある日数 (d) 離れた日の緯度 (β_{n+d}) が知られているとき、その間の任意の日の緯度を求めるためにまず、一日あたりの変化(日差)を

$$\Delta\beta = \frac{|\beta_n - \beta_{n+d}|}{d}$$

によって求めておき、これを日数に応じて逐次加えたり引いたりするだけである。

4 『アルマゲスト』の緯度表との相違

『アルマゲスト』の緯度表は、周転円の中心が離心円の北限と南限にある場合を基準とし、それぞれの場合の周転円上の惑星の位置(true anomaly)による緯度の変化を与えている。また true centrum に応じて周転円の中心が北限または南限から次第に外れていくことによる緯度の変化を補間係数で与えている。したがって表は180度を軸として対称になっている。いっぽう「回回暦」では平均の anomaly と平均の centrum を引数とするので対称性がくずれている。

また表に見られる極値によって離心円面の黄道面に対する傾斜角と、周転円面の離心円面に対する傾斜角を計算によって求めると、『アルマゲスト』の値とはかなり異なっている。「回回暦」は観測によって新たな定数を見出して表を作成したか、あるいは新たな定数によって作られた表をコピーしたかのいずれかである。

また『アルマゲスト』では true centrum を引数として補間係数表に入るが、「回回暦」は補間係数を用いて計算した結果に相当する緯度を「小輪心定度」の関数として与えていることにな

る。

このように(1)定数の変更,(2)二重引数の採用,(3)引数として mean centrum と mean anomaly を用いるという三つの特徴をすべて備えたような緯度表は「回回曆」以前のイスラム天文学には見られない。van Dalen の調査によると、定数を変更した最初のテキストは Marāgha の天文台で1280年に著された al-Maghribī の zij である。また1366年にチベットの太守のために著された *Sanjufīni Zij* の定数は「回回曆」にきわめて近い⁸⁾。「回回曆」の原形の成立を明らかにするためには、これらの *Zij* との関係を精密に調査する必要がある⁹⁾。

謝辞

本研究は日本学術振興会外国人特別研究員として1995-97年に招いた Dr. Benno van Dalen との共同研究 'Islamic Influence in Astronomical Tables from the Yuan and Ming Dynasties' の一部をなすものである。本論文は1996年8月韓国ソウル市で行われた第8回東アジア科学史国際会議で口頭発表した 'Tables of Planetary Latitude in the Huihui li — Part I' に基づいているが、Dr. van Dalen の助言によりいくつかの点を改めた。ここに記して感謝する。

注

- 1) 『歴代天文律曆等志彙編』第十冊, 北京, 1976, pp.3755-3879。
- 2) 『欽定四庫全書』子部六。
- 3) 筆者が用いたのは学習院大学東洋文化研究所より復刻されたものである。
- 4) この問題をイスラム世界ではじめてまともに扱った最初の人物の一人はクーシュヤール・イブン・ラッバーン(A. D. 1000頃)である。かれの緯度理論については稿をあらためて発表する予定である。
- 5) この書のアラビア語原典と英訳は最近 Yano [1997] として出版された, その付録において『明訳天文書』とクーシュヤールのアラビア語原典との関係を明らかにした。
- 6) 藪内 [1969/1990 : 227] はこれを「改良」とみなしているが, そうでなく, 混乱をもたらしただけであることは明らかである。
- 7) ただし, 「小輪心定度50度」は概数であると思われるので, 厳密に言えばこの離角がちょうど300度と想定されていたとは言えない。
- 8) この問題に関する van Dalen の論文は第8回東アジア科学史国際会議の Proceedings に掲載される予定である。
- 9) なお筆者は「回回曆」の水星の第一加減差立成が *Sanjufīni Zij* とほぼ同一であり, 後者の原型が *al-Birūnī* の『マスワード宝典』にあることを最近発見した。

参考文献

- Dalen, B. van (1997) Yabuuti (1997) 参照。
Pedersen, O. (1974) *A Survey of the Almagest*, Odense University Press.

- Toomer, G. J. (1984) *Ptolemy's Almagest*. London.
- Yabuuti, Kiyosi (1987) The Influence of Islamic Astronomy in China. In : D. King and G.A. Saliba (eds) *From Deferent to Equant : A Volume of Studies in the History of Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of E. S. Kennedy. Annals of the New York Academy of Science* 500, 547-559.
- Yabuuti, Kiyosi (1997) Islamic Astronomy in China during the Yuan and Ming Dynasties. Translated and partially revised by Benno van Dalen, *Historia Scientiarum* 7(1), 11-43.
- Yano, Michio (1997) *Kūshyār Ibn Labbān's Introduction to Astrology. Studia Culturae Islamicae* 62. Institute for the Study of Languages and Cultures of Asia and Africa, Tokyo.
- 陳 久金(1993) 回曆日月位置的計算及運動的幾何模型『陳久金集』黑龍江教育出版社。
- 藪内 清(1964) 回回曆解『東方學報』京都第三十六冊, 611-632。
- 藪内 清(1969/1990)『中国の天文曆法』平凡社 1969, 第二版 1990, 215-234。
- 藪内 清(訳)(1982)『アルマゲスト』恒星社厚生閣。

付録1 原文(『明史曆志七』原卷三十七「回回曆法一」)

五星緯度 求最高總行度, 中心行度, 自行度, 小輪心度, 並依五星經度術求之。

求自行定度 置自行宮度分, 其宮以一十乘之爲度。如一宮, 以二十乘之得十度, 此用約法折算, 以造緯度立成。其度以二十乘之爲分, 滿六十約之爲度。其分亦以二十乘之爲秒, 滿六十約之爲分。併之即得。

求小輪心定度 置小輪心宮度分, 其宮以五乘之爲度。如一宮以五乘之, 得五度。其度以一十乘之爲分, 滿六十約之爲度。其分亦以一十乘之爲秒, 滿六十約之爲分。併之即得。

求緯度 以小輪心定度及自行定度, 入本星緯度立成內兩取, 一縱一橫。得數與後行相減。若遇交黃道者, 與後行相併。又以小輪心定度, 與立成上小輪心定度相減, 上橫行。兩減餘相乘, 以立成上小輪心度累加數除之。如土星上橫行小輪心度每隔三度, 火星每隔二度之類。滿六十收之爲分, 用加減兩取數, 多於後行減, 少加。若遇交黃道者, 即後行數多亦減。寄左。復以自行定度與立成上自行定度相減, 首直行。又以兩取數, 與下行相減, 若遇交黃道者, 與下行併。兩減餘相乘, 以立成上自行度累加數除之, 如土星直行, 自行度每隔十度, 火星每隔四度之類。收之爲分。與前寄左數相加減, 如兩取數多於下行者減, 少加。若遇交黃道者, 所得分多於寄左數, 置所得分內, 減寄左數, 餘爲交過黃道南北分也。即得黃道南北緯定分。

求緯度細行分 置其星前段緯度, 與後段緯度相減, 餘以相距日除之, 爲日差。置前段緯度, 以日差順加退減, 即逐日緯度分。按緯度前段少於後段者, 以日差順加退減。若前段多於後段者, 宜以日差順減退加。非可一例也。若前後段南北不同者, 置其星前後段緯度併之, 以相距日除之, 爲日差。置前段緯度, 以日差累減之, 至不及減者, 於日差內減之, 餘以日差累加之, 即得逐日緯度。

付録2 土星の緯度立成

		自行定度 (c)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120		
		(自行度 $\bar{\gamma}$)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360		
			度分	度分	度分	度分	度分	度分	度分	度分	度分	度分	度分	度分	度分	度分	
北	小 50	(300	2 04	2 07	2 12	2 22 ¹	2 32	2 42	2 47	2 45	2 36	2 25	2 15	2 09	2 04	北
	輪 53	小	318	2 00	2 03	2 08	2 17	2 28	2 38	2 41	2 40	2 30 ²	2 19	2 10	2 05	2 00	
	心 56	輪	336	1 45	1 48	1 52	2 01	2 10	2 19	2 22	2 21	2 12	2 02	1 54	1 50	1 45	
北	定 59	心	354	1 23	1 25	1 29	1 35	1 43	1 49	1 51	1 49	1 43	1 35	1 29	1 25	1 23	北
	度 02	度	12	0 54	0 55	0 58	1 02	1 07	1 11	1 12	1 11	1 07	1 02	0 58	0 55	0 54	
	(a) 05	α	30	0 21	0 21	0 22	0 24	0 26	0 27	0 28	0 27	0 25	0 24	0 22	0 21	0 21	
北	黄道	08)	48	0 14	0 15	0 16	0 17	0 18	0 19	0 20	0 19	0 18	0 17	0 16	0 15	北
	南	11		66	0 49 ³	0 51 ⁴	0 54	0 58	1 02	1 06	1 08	1 05	1 01	0 56	0 52	0 50	
	14		84	1 19	1 23	1 27	1 34	1 41	1 48	1 50	1 46	1 39	1 32 ⁵	1 25	1 21	1 19	
南	黄道	17		102	1 44	1 48	1 54	2 03	2 13	2 21	2 24	2 19	2 09	1 59	1 51	1 46	南
	20		120	2 00	2 05	2 12	2 23	2 34	2 44	2 47	2 41	2 30	2 18	2 09	2 03	2 00	
	23		138	2 04	2 09	2 14	2 24	2 35	2 45	2 47	2 43	2 31	2 22 ⁶	2 12	2 07	2 04	
南	黄道	26		156	1 50	1 53	1 58	2 07	2 17	2 25	2 28	2 24	2 15	2 05	1 57	1 53	南
	29		174	1 25	1 27	1 31	1 38	1 45	1 52	1 54	1 52	1 45	1 38	1 31	1 27	1 25	
	32		192	0 48	0 49	0 51	0 55	0 59	1 03	1 04	1 03	0 59	0 55	0 51	0 49	0 48	
南	黄道	35		210	0 06	0 06	0 07	0 07	0 07	0 08	0 08	0 08	0 08	0 07	0 06	0 06	南
	38		228	0 33	0 35	0 38	0 43	0 49	0 55	0 58	0 57	0 51	0 45	0 39	0 36	0 33	
	41		246	1 09	1 11	1 14	1 19	1 26	1 32	1 36	1 34	1 28	1 22	1 16	1 12	1 09	
北	黄道	44		264	1 38 ⁷	1 40	1 45	1 52	2 02	2 10	2 15 ⁸	2 13	2 05	1 56	1 47	1 42	北
	47		282	1 56	1 59	2 04	2 13	2 24	2 35	2 41	2 38	2 28	2 18	2 07	2 01	1 56	
	50		300	2 02	2 05	2 11	2 20	2 32	2 43	2 49	2 46	2 36	2 25	2 14	2 07	2 02	

異読: ¹ CQ 21 ² H 03 ³ C 94 ⁴ H 15 ⁵ CQ 31 ⁶ C 21 ⁷ H 28 ⁸ C 25

注: この表を右回りに90度回転させると図1のようになる。

なお表の異読の略号は次の通りである。C: 世宗実録七政算 H: 明史回曆 Q: 七政推歩

(京都産業大学国際言語科学研究所)