

恒星観測のトレミー疑惑と春海疑惑
～古星図・星表成立年の統計推定法の応用～

Suspicious Stellar Observations

by Ptolemy and Shibukawa Harumi

**～ Statistical Dating Estimation of Old Star Maps
and Catalogs ~**

中村 士

Tsuko Nakamura*

Abstract

In our statistical estimation attempt of observation dates for the star map depicted inside the Kitora tumulus located at Nara, Japan, we developed a special technique to make full use of all the measured positions of the 28 *xiiu* constellations. It was estimated, at the 90% confidence level, that these 28 *xiiu* stars were observed in [123BC, 39BC] (or approximately 80BC±40). Our same technique applied to the Shi-shi's Star Catalog, the oldest star catalog of China, showed that the observation epoch of this catalog was in good agreement with the one for the Kitora star map, strongly suggesting that the data of the latter were based on the Shi-shi's Star Catalog. Using the same method, we also made dating analyses of the star catalog in the Almagest by Ptolemy and stellar observations conducted by Harumi Shibukawa. Our estimated results obviously disagreed with the observation times mentioned in their books, therefore making us cast doubt on the authenticity of the alleged observations by the two astronomers.

Received December 3, 2015. Revised May 7, 2016.

2010 Mathematics Subject Classification(s): 01, 62, 85

Key Words: old star map, precession, dating analysis, statistical estimation

* 大東文化大学東洋研究所 Institute of Oriental Studies, Daito-Bunka University, Tokumaru 2-19-10, Itabashi, Tokyo 175-0083

e-mail: tsukonk@yahoo.co.jp

§ 1. はじめに

奈良県明日香村のキトラ古墳は、考古学の立場からは7世紀末から8世紀初頭の築造とされる。1998年の調査で、内部の天井に描かれた円形の星図が発見された。中国蘇州の石刻された「淳祐天文図」（13世紀中頃の制作）や、朝鮮の「天象列次分野之図」（14世紀末）に星図の形態がよく似ていたため大きな注目を集めた。2004年頃から奈良文化財研究所によってキトラ古墳壁画の修復・移設保管が行われ、星図も精密なデジタル画像が制作された¹。2014年に筆者はこのデジタル画像の星々の位置を再測定し、それらが観測された年代を統計学的に推定する機会を得た²。このとき開発した推定法を用いて、他の古星図・星表の年代推定も行なった³。本稿では、その年代推定法の概要と、それをいくつかの史料について適用した結果を述べる。特に、「アルマゲスト」中のトレミー星表、および渋川春海による恒星観測に対して行った解析の結果を少し詳しく紹介する。本論文の推定法は、二十八宿データを含む古星図・星表の解析に統一的に応用できるのが特徴である。

§ 2. 星の観測年代の推定法

2.1 推定法の原理と古代中国の星座体系

星空は地球の自転のために天の北極を中心に1日に1回転するように見えるが、星同士の相互位置関係は長年月にわたってほとんど変化しない。恒星の天球上の位置は、地球上の位置と同様な、緯度・経度で表わす（赤経・赤緯と呼ぶ）。自転軸の向きは、現在では北極星の方向をほぼ指しているが、地球に働く月と太陽の重力作用によって、コマの首ふり運動に似た歳差運動をする（周期約26,000年）。

その結果、星々の赤経・赤緯の値もゆっくり変化してゆくため、測定された星図の星の位置と歳差理論で計算した位置とを比較し、両者がもっとも近くなる年代を知ることにより、それら星々が観測された年代を決定できる。ただし、星の位置には、観測の時の誤差や星図を描いた際の誤差が必ず含まれるので、個々の星の位置比較で求めた年代は一般に信用できない。10～20個以上の星の測定データを全体として統計学的に処理して、最小二乗法などで観測年代を推定する必要がある。

300個近くもある古代中国星座のうち、「二十八宿」と呼ばれた28個の星座はもっとも起源が古く、紀元前5世紀頃の戦国時代にはすでに成立していたと

¹ 文化庁、東京国立博物館、奈良文化財研究所、朝日新聞社(2014年)、『特別展 キトラ古墳壁画』図録。

² 中村士(2015)「キトラ古墳星図および関連史料の成立年の数理的再検討」、『科学史研究』、第54巻(275号)、192-214。

³ 中村士(2015)「東アジア古星図・星表の成立年の数理的推定」、『東洋研究』、第197号、1-30。

される。当初は、国家と皇帝の運命を占う占星術のために考案されたい。28 宿の星座はおおよそ天の赤道に沿うように分布しており、後には月・太陽、惑星の位置を知る目印の役目もしたから、各宿の中に 1 個ずつある基準の星（距星という）の緯度・経度は、古代中国の天文観測装置、「渾天儀」を用いて早くから測定されていた。石申という天文学者が観測したと伝えられる 28 宿の距星の緯度・経度（「石氏星経」と通称される記事に含まれている）が、現存する記録では一番古い。

中国の緯度（去極度）は現代の星の赤緯と基本的に同じだが（去極度＝90 度－赤緯）、経度は隣り合う距星の赤経差（宿度という）を与えているだけで、経度を測る基準点を示さないため、歳差の理論で計算した経度と直接比較できない。しかし、28 個の距星の宿度を合計すれば必ず 360 度になるという制約条件を利用し、28 宿の緯度と経度データ全体を使って適切に統計的に処理すれば、それらが観測されたもっとも確からしい年代を推定できる。近代統計学では、「測定されたある量の真の値は、例えば信頼度 90% では、これこれの範囲にある」という言い方をする（「区間推定」という）。同じ条件で、測定を例えば 100 回行ったとすると、90 回は測定値がその範囲におさまる、という意味である。本論文の推定値は全てこの意味で使っている。

2.2 キトラ星図および関連史料の年代推定

直接の測定データは個々の二十八宿距星の宿度、赤緯であるが、精度の高い（推定区間の幅がより小さくなるという意味）推定法を模索して試行錯誤をした結果、各距星を経度の原点として最小二乗法で求めた各推定年（例えば、表 1 の最後の欄）の全体に対して、近年広く使用されるブートストラップ法⁴を用いる方法がもっとも優れた結果を与えることが分かった。よって、以下では、特に断らない限り、この解析法を使用する（簡単のため、以後「二十八宿 BS 法」と略称する⁵）。なお、ここで使った解析法が、質のよいデータに対しては、10～20 年以内の精度で正しい結果を与えることは、あらかじめ観測年と誤差の分布を与えた模擬観測データを使用する「モデル解析」と言われる方法で確認してある⁶。

二十八宿 BS 法で求めたキトラ星図の二十八宿距星の観測年代は、信頼度 90% の場合、[BC123, BC39] 年（紀元前 123 年～紀元前 39 年の範囲、ほぼ、紀元前 80 年±40 年）だった。この観測年代は、キトラ古墳の築造の約 800 年前である。歴史の常識から判断して、このような大昔に我が国で二十八宿の位置観測ができたとは到底考えられないから、中国からもたらされた星図を元にキトラ星図が描かれた可能性がきわめて高い。しかし、そのような星図の原図はもちろん中国にも残っていない。そこで、上に述べた「石氏星経」の二十八宿データを

⁴ 例えば、吉原健一(2009)『ブートストラップ法を用いたデータ解析』、培風館。

⁵ 解析手順と中間結果の詳細は、脚注 3 の論文の 3.6 節を参照。

⁶ 脚注 3 の論文の 3.7 節を参照。

使い、キトラの場合と同じ方法で統計的に解析してみた⁷。得られた「石氏星経」の観測年代は、同じ信頼度で、[BC65, BC43]年となった。重要なのは、この範囲がキトラの範囲に完全に含まれていることである。これは、キトラ星図も「石氏星経」も共通の観測データから作られたことを示している。

しかし、「石氏星経」より古い観測は知られていないから、キトラ星図の原図は、「石氏星経」の観測値に基づいていたとみなすのが自然であろう。また、厳密な統計学的手法を用いて、キトラ星図の観測年代が「石氏星経」のものにほぼ一致したということは、キトラ星図は“科学的な内容を含む”現存最古の星図であることも示している。ついでに、朝鮮で制作された「天象列次分野之図」の二十八宿距星についても同じ手法で解析を試みた。推定観測年代として、[BC78, BC54]年が得られた。この区間は、キトラ星図および「石氏星経」の推定区間と重なっているから、よって、「天象列次分野之図」も「石氏星経」のデータを元に描かれた可能性が高いと結論できる。

以上、今回得られた推定年代は、年代の数値だけを見れば、従来からの予想を再確認しただけと映るかもしれない——「石氏星経」に関して京都大学の新城新蔵が行なった初期の研究と藪内清の研究、および宮島一彦氏によるキトラ星図の予備的な年代は、いずれも紀元前1世紀の中頃と述べており、今回の結果に近い⁸。しかし、彼らの結果と今回の結果の意味合いはまったく異なる。前者は、得られた年代の誤差範囲とその信頼度については何も示せない、ある種の予想に過ぎず、近代の統計学という観点からの推定とは言い難いのである。

なお、キトラ星図が古墳内に描かれた経緯と時代的背景の検討も重要であるが、紙幅の制約から、詳細は脚注3の論文を参照していただくとして本稿では割愛した。

§3. 二十八宿 BS 法の他史料への適用例

第2節では、質の良いデータの場合、二十八宿 BS 法は10～20年以内の精度まで推定年代を絞り込めることを見た。とすれば、二十八宿 BS 法は、他の古星図・星表の観測年の確認や、年代が未知の古星図・星表の年代決定にも役立つに違いない。この観点から現在、種々の歴史的星図・星表に二十八宿 BS 法の適用を試みている⁹。本節では、歴史上著名な2つの観測データを主に取り上げ、それらの解析結果を紹介する。

3.1 「アルマゲスト」星表

AD2世紀のアレキサンドリアで活躍した天文学者トレミー（プトレマイオス、AD90頃－168頃）は、『アルマゲスト』と通称される天文書 (*Mathematike Syntaxis*)

⁷ 任継愈主編(1993)『中国科学技術典籍通彙』天文巻第5巻、「開元占経」、河南教育出版社、所載のデータを使用した。

⁸ 脚注3の論文の3.8節、および4.3～4.5節を参照のこと。

⁹ 脚注4の論文はそうした試みの一つである。

を AD145 年頃に著わして、地球中心説に基づく古代ギリシアの天文学を集大成したことで知られる。『アルマゲスト』の第 7-8 巻は、現行の西洋星座の祖先であるギリシアの星座体系を扱っていて、48 星座 1028 個の恒星表を載せている¹⁰。二十八宿 BS 法の主な研究対象は中国系の星図・星表であるが、本法をこのトレミーの星表に適用しても何ら不都合はない。特に、トレミーの時代は「石氏星経」の年代に近いから、トレミー星表の解析は東西の代表的星表の成立年を比較するという点からも興味深い。

注意すべきは、中国では星の位置を表わすのに赤道座標系を用いたのに対して、古代ギリシアでは伝統的に黄道に準拠した座標、黄経・黄緯で表わしていたことである。よって、解析のためには赤経・赤緯の値に変換する必要があったが、既にそのような変換表が出版されている¹¹。「石氏星経」の星を、バイエル星図の星番号を仲介にしてトレミー星表と比べた結果、18 番昴宿を除く 27 個の距星が共通であることが分かった。よって、以下ではこれら 27 個の星について解析した。トレミー星表では角度は 10 分まで与えている。

トレミーより約 250 年前、アレキサンドリア領ロードス島出身のヒッパルコス (BC190 頃-BC120 頃) は、ロードス島で約 40 年間も天体観測を実施し、日月食に関する月の詳しい運動の解明、新星の発見、多数の恒星の精密な位置観測とそれに基づく歳差現象の発見などを成し遂げた。ギリシア最大の天文学者と讃えられる。トレミーは『アルマゲスト』の中で、ヒッパルコスによる BC128 年の組織的恒星観測に言及してはいるものの、『アルマゲスト』の星表は、トレミーがアレキサンドリアで AD138-9 年に自分自身で観測した結果だと声明している。

ところが、このトレミーの主張には、17 世紀初頭のティコ・ブラーエや、1810 年代のフランスの天文学者ドランプルに始まって、現在に至るまで、疑いを抱く人々が少なくなかった。その疑いとは、トレミーは実際に自分で観測したのではなく、ヒッパルコスの観測値にヒッパルコスが発見した歳差の変化率を使って、計算でトレミーの時代に引き直し、あたかも自分の観測のように装っているだけだというものである¹²。ただし、慎重な天文学者の間では、偉大なギリシア天文学者の名声を傷つけることに躊躇するためか、この疑いを信じない者もいまだ多い。

このことを念頭に置いて、筆者もトレミー星表の解析を行なってみた。まず、宿度の解析では、90%の信頼度に対して、AD13 年±約 200 年（誤差幅はシミュレーションの結果）となったから、宿度はどの星図・星表の場合も年代推定に関して非常に“感度の悪い”観測量であることが分かる。これに対して、赤経・赤緯の両方を使って二十八宿 BS 法で解析してみたら、[AD63, AD84]年（また

¹⁰ プトレマイオス著、藪内清訳(1958)『アルマゲスト』下巻、第 7-8 巻、恒星社。これはフランス語訳からの重訳である。

¹¹ Grasshoff, G.(1990) *The History of Ptolemy's Star Catalogue*, Appendix B, Springer-Verlag. .

¹² もっとも攻撃的な論者の一人は、R.R. Newton (1977), *The Crime of Claudius Ptolemy*, Johns Hopkins Press である。

は AD74±約 10 年、90%信頼度) が得られた。この信頼区間を、比較のためキトラ星図と「石氏星経」の結果も含めて、図 1 に示した。トレミーの観測 (AD139 年) とヒッパルコスによる BC128 年の観測も細い縦棒で表示してある。

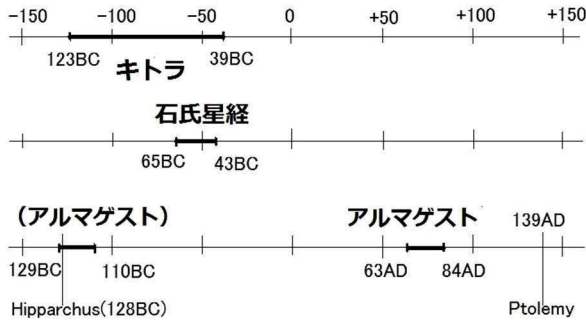


図 1. キトラ星図、「石氏星経」および「アルマゲスト」の推定年比較。横軸は西暦年。太い横棒が推定区間。「アルマゲスト」については本文を参照

トレミーはヒッパルコスが発見した歳差の変化率を 1 度/100 年と述べている (正しくは約 1 度/72 年)。トレミーとヒッパルコスの観測における時間差は、図 1 から $139 + 128 = 267$ 年である。試みに、1 度/100 年という誤ったトレミーの変化率を用いて、本研究で求めた [AD63, AD84] 年を過去に引き戻してみよう。 $267 \times 72 / 100 = 193$ 年分だけ戻せばよい。つまり、図 1 で「(アルマゲスト)」と括弧付きで示した区間、 [BC129, BC110] 年に相当することになる。ところが図 1 で見ると、この区間はヒッパルコスによる観測年 BC128 年とまさに重なっている。このことはすなわち、少なくとも二十八宿距星に関する限り、トレミーが間違った歳差の変化率を用いて、ヒッパルコス星表の数値を自分の時代に計算で引き移したという従来からの疑いを支持している。従来の疑惑は、例えば、トレミー星表で度以下の端数の測定値が異常な分布を示すといった証拠から疑いが深まったのであるが、本論文では、二十八宿 BS 法によってトレミー星表の観測年を厳密に推定した結果、同じ疑いに達したのだから、二十八宿 BS 法はトレミー疑惑を従来とは独立に証明したと言ってもよいだろう。

3.2 渋川春海の二十八宿観測データ

次に、我が国最古の恒星観測データ、すなわち、貞享の改暦を成し遂げて、日本人として初めて科学としての天文学を実践した渋川春海の観測に対して、二十八宿 BS 法を適用してみる。

春海は貞享元年 (1684) の改暦以前から、星図にも強い関心を抱いていた。彼は、2.2 節で述べた「天象列次分野之図」の拓本を参考にして、寛文 10 年 (1670) に『天象列次之図』をまず刊行し、ついで、『天文分野之図』を延宝 5 年 (1677) に出版した。渡辺敏夫¹³は、『天象列次之図』と『天文分野之図』とは共に「天象列次分野之図」と内容がほとんど同じであること、二十八宿の宿度は郭守敬による『授時曆』の観測値を使い、去極度の値は「宋史」から取ったと述べており、これら春海の二星図には独自の研究成果は見当たらないとして高い評価

¹³ 渡辺敏夫(1987)『近世日本天文学史 (下)』、第 12 章、日本星図史、恒星社厚生閣。

Suspicious Stellar Observations by Ptolemy and Shibukawa Harumi
 ~ Statistical Dating Estimation of Old Star Maps and Catalogues ~

は与えていない。

貞享改暦の後、春海は貞享年間の渾天儀による恒星観測を用いて、『貞享星座』

No.	宿名	距星	赤道宿度 中国度	(deg)	去極度 中国度	(deg)	推定年 西暦
1	角	α Vir	12.00	11.83	101.00	99.5	1278
2	九	κ Vir	9.30	9.17	100.00	98.6	1353
3	氐	α Lib	16.30	16.07	106.50	105.0	1283
4	房	π Sco	5.70	5.62	117.00	115.3	1325
5	心	σ Sco	6.50	6.41	116.50	114.8	1339
6	尾	μ Sco	19.00	18.73	130.00	128.1	1417
7	箕	γ Sgr	10.40	10.25	122.50	120.7	1214
8	南斗	ϕ Sgr	25.00	24.64	119.50	117.8	1214
9	牽牛	β Cap	7.30	7.20	108.00	106.4	961
10	須女	ε Aqr	11.30	11.14	102.50	101.0	1103
11	虚	β Aqr	8.95	8.82	98.50	97.1	1156
12	危	α Aqr	15.50	15.28	93.50	92.2	1451
13	室	ϕ Peg	17.20	16.95	78.00	76.9	1439
14	東壁	γ Peg	8.50	8.38	77.50	76.4	1363
15	奎	ζ And	16.70	16.46	70.00	69.0	1286
16	婁	β Ari	11.80	11.63	72.50	71.5	1293
17	胃	δ Ari	15.50	15.28	65.50	64.6	1314
18	昂	17Tau	11.30	11.14	68.00	67.0	1363
19	畢	ε Tau	17.30	17.05	72.00	71.0	1377
20	觜	λ Ori	0.20	0.20	82.00	80.8	1322
21	參	δ Ori	11.00	10.84	92.50	91.2	1120
22	東井	μ Gem	33.50	33.02	68.00	67.0	1355
23	輿鬼	θ Cnc	2.00	1.97	72.50	71.5	1475
24	柳	δ Hya	13.30	13.11	87.00	85.7	1327
25	星	α Hya	6.30	6.21	99.00	97.6	1298
26	張	ν Hya	17.30	17.05	105.00	103.5	1270
27	翼	α Crt	18.80	18.53	108.00	106.4	1173
28	軫	γ Crv	17.30	17.05	106.50	105.0	1235
					平均		1289
					標準偏差		114

1 巻を著わしたことを土佐の谷秦山は『壬癸録』の中で伝えているが¹⁴、この著作は失われて現存しない。天文方就任に伴って春海は江戸に移り、元禄2年(1689)から下賜された本所天文台に住んだ。その地で、新たに製作した2尺4寸の小渾天儀を用いて恒星位置の再観測を実施した。この成果をまとめたものが、元禄12年(1699)に息子渋川昔尹(ひさただ)の名で出版された星図、『天文成象』図である。この星図の元になった二十八宿距星の観測値は、赤道宿度が『天文瓊統』の巻7に、去極度は同じ『天文瓊統』の巻14に収録されている¹⁵。以下

下では、それらのデータを元に春海の観測年代の検証を試みる。

表1に、春海が測定したと『天文瓊統』の中で述べた数値を再録した。『天文瓊統』中の去極度の多くは「度切り」で書かれ、例えば72度半と記載されたものは表1では72.5度とした。赤道宿度の方は、郭守敬による『授時曆』の時の観測に形式を合わせたためか、度の100分法で示されている。

去極度と宿度は本来独立な観測量だから、まず別々に解析してみる。AD900年~1900年の期間で100年または50年毎に歳差理論に基づいた各距星の去極度と宿度の理論値を計算し、他の史料の場合と同様に、最小二乗法の意味で28個の距星全体の観測値に最も近くなる年代を求めた。去極度の解析と、乱数ノイズを加えた擬似データによるシミュレーションを組合わせた結果、90%の信頼度に対して、去極度の推定年は[1590, 1730]年(または、およそ1660±70年)となった。この推定区間は、春海が渾天儀で観測を実施した貞享から元禄の期間と重なるから、表1の去極度は確かに春海自身による観測と認めてよいだろう。

表1. 渋川春海による二十八宿の観測データ(元禄年間)。最後の欄「推定年」

¹⁴ 谷干城(1910)『秦山集』、「壬癸録」(一)、和装本。

¹⁵ 浅見恵・安田健(編)(2000)『日本科学技術古典籍資料』、天文学篇【1】、『貞享暦』、科学書院。同じく2001年、天文学篇【4】、『天文瓊統』。

は本文参照のこと

次に、表1の赤道宿度のシミュレーションによる解析を行なった。90%の信頼度に対する推定年は[1250, 1350]年（または、 1299 ± 50 年）が得られた。また、この結果の確認のため、赤道宿度のデータだけを用いる二十八宿BS法で解析したところ（表1の最後の欄）、90%の信頼度に対して、[1254, 1325]年（または、 1290 ± 35 年）という推定年が求まった。これら二つの推定年は、先に計算した赤緯の推定年とは350年以上も隔たっていて、宿度の観測年代と去極度の観測年代とは、統計学的に明らかに異なると結論せざるを得ない。

そこで、宿度データによる推定年、 1299 ± 50 年に近い恒星の観測事例を中国の場合に探してみると、授時暦の修暦（1280年）において儀器の製作と天文観測に主要な役割を演じた、元の郭守敬による観測が候補に上がる。郭守敬は1276年から大規模な恒星の位置観測を行ない、過去に測定されたことのない1000個余りの星をも新たに測定した¹⁶。この時の二十八宿距星の赤道宿度の値が、『元史』律暦志の授時暦議の章に、「至元所測」として載っている¹⁷。これらの数値を、春海が『貞享暦』および『天文瓊統』の中で、「元郭守敬所測」として引用したものと比較すると、完全に一致している。

一方、春海が『貞享暦』の中で「今所測」と記した赤道宿度の値を二十八宿BS法で解析したところ、上に述べたように、実質的に郭守敬の観測年1276年と重なる観測年代が得られた。また、『天文瓊統』では「貞享年中、銅儀を以て測」と書かれた数値は、『貞享暦』のものと同じだった。これらの事実は何を意味するのだろうか。『天文瓊統』は元禄11年（1698）の著作で、春海が実際に恒星観測を行なった時代からだいぶ日がたっていたから、自己の観測と郭守敬の数値とを取り違えたという可能性は考えられるかもしれない。しかし、『貞享暦』にも全く同じ数値が掲載されていた。現に観測を行なっていた貞享年間に、しかも恒星データの中で最も重要な二十八宿距星に関して、自分の観測値と他人（郭守敬）の数値とを、正式な献上書『貞享暦』の中で書き間違えるなどということがあり得るだろうか。

この点をもう少し明らかにするために、春海の二十八宿距星の宿度と郭守敬による数値とを表2で比べてみよう。度は中国度（全周365.25度）で1度=100分である。両者の差を見ると、差がゼロの距星が9個、差が+0.10度と-0.1度のものがそれぞれ6個、それ以外が7個であり、その分布には一見して分かるような傾向は見られない。しかし、28個の宿度がどれも春海が真に観測した数値だったとしたら、統計解析においては貞享～元禄年間にある程度近い年代が必ず得られるはずである。推定年の平均誤差が多少大きくなるかもしれないが、上で得た1290年～1299年などという飛び離れた年代が求まるとは到底考えられない。

¹⁶ 杜石然他編著、川原秀城他訳(1997年)『中国科学技術史(上)』、第7章第8節、東京大学出版会。

¹⁷ 『歴代天文律暦等志彙編』(第9冊、1976年)、元史暦志(一)、原巻52、授時暦議(上)、周天列宿度の項、中華書局。

Suspicious Stellar Observations by Ptolemy and Shibukawa Harumi
 ~ Statistical Dating Estimation of Old Star Maps and Catalogues ~

No.	宿名	距星	貞享暦	授時暦	差(deg)
			宿度	宿度	
1	角	α Vir	12.00	12.10	-0.1
2	亢	κ Vir	9.30	9.20	0.1
3	氏	α Lib	16.30	16.30	0
4	房	π Sco	5.70	5.60	0.1
5	心	σ Sco	6.50	6.50	0
6	尾	μ Sco	19.00	19.10	-0.1
7	箕	γ Sgr	10.40	10.40	0
8	南斗	ϕ Sgr	25.00	25.20	-0.2
9	牽牛	β Cap	7.30	7.20	0.1
10	須女	ε Aqr	11.30	11.35	-0.05
11	虚	β Aqr	8.95	8.95	0
12	危	α Aqr	15.50	15.40	0.1
13	室	α Peg	17.20	17.10	0.1
14	東壁	γ Peg	8.50	8.60	-0.1
15	奎	ξ And	16.70	16.60	0.1
16	婁	β Ari	11.80	11.80	0
17	胃	35 Ari	15.50	15.60	-0.1
18	昂	17 Tau	11.30	11.30	0
19	畢	ε Tau	17.30	17.40	-0.1
20	觜	λ Ori	0.20	0.05	0.15
21	參	δ Ori	11.00	11.10	-0.1
22	東井	μ Gem	33.50	33.30	0.2
23	輿	θ Cnc	2.00	2.20	-0.2
24	柳	δ Hya	13.30	13.30	0
25	星	α Hya	6.30	6.30	0
26	張	ν Hya	17.30	17.25	0.05
27	翼	α Crb	18.80	18.75	0.05
28	軫	γ Crv	17.30	17.30	0

表2. 『貞享暦』と『授時暦』における宿度値の比較

春海の赤道宿度が、本当に春海の観測なのかどうかを疑わしめる別な結果がある。図2である。図の縦軸と横軸は、28宿の各距星を経度の原点として推定した観測年(表1の最後の欄)と28宿データ全体から求めた推定年(AD1290年)との差を表わしている。つまり、各距星から求めた推定年の、正しい推定年からのバラツキである。このバラツキは、星の観測誤差や描画の時の誤差を反映しているから、別々の時代の星表・星図同士では互いに相関のない独立な振舞

いをするはずである。

このことを確かめるために、図2(a)では、郭守敬の二十八宿観測と「石氏星経」データのバラツキにおける相関図を描いた。図中央の0年を中心に正負ほぼランダムに点がばらついていて、元代の観測と漢代の観測では当然ながら相関は認められない。

一方、図2(b)は、郭守敬と渋川春海のデータ解析の結果に対して、図2(a)と同様な相関関係を調べた図である。左下から原点を通り右上に向かうかなり明瞭な正の相関が見てとれる(相関係数は $R^2=0.883$)。郭守敬と春海によるデータが真に独立な観測だったとしたら、通常このようなはっきりした相関は起こりえない。

これらの奇妙な結果を説明するためには、筆者は次のように解釈せざるを得ない。それは、春海が何らかの理由で、郭守敬による各距星の宿度値に0.1度前後の数値を適当に加減し、自分の観測のように見せかけた可能性が高いということである。そうして作られた観測値は、表2で見るように、表面的には誰の目にも郭守敬とは別な観測のように映る。

しかし、本論文で用いたような統計解析法を適用すれば、かなりの数の宿度の数値に細工をしても、そのようなデータと元になったデータとは同じ年代の観測であることを見破れるのである——その訳は、恣意的に加減した数値は、統計解析においてはノイズとしてしか働かないからである。言い換えれば、元の二十八宿データ全体の基本特性を恣意的に変更するのは容易ではないことを意味する。このことは、統計学的方法が、従来行なわれてきたような、個々の

数値を表などで対比させて比較・議論する方法に比べて、いかに強力な解析法であるかを如実に示しているとも言えよう。

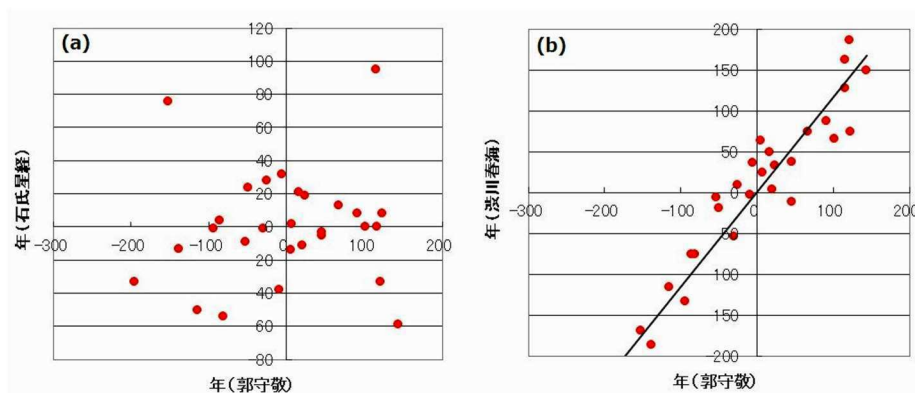


図2. 推定年同士の相関図。(a)は郭守敬の各距星の観測値から求めた推定年(横軸)と石氏星経データによる推定年(縦

軸)の相関関係を描いている。同様に、(b)は郭守敬と渋川春海のデータから求めた推定年の相関を調べた結果である。斜めの直線は回帰直線

詳細は脚注3の論文に譲るが、上に述べた点以外にも、春海の宿度データには不自然な面を指摘できる。春海が貞享・元禄の観測で使用した直径2尺4寸の渾天儀は、精緻な物からは程遠く、むしろ粗末な作りだったことを、谷秦山の「壬癸録」(二)や、春海の孫弟子にあたる戸板保佑が著した『仙台実測史』は指摘している¹⁸。そのような小渾天儀の目盛では0.1度はわずか0.6mmの長さには過ぎないから、春海が記した0.1度の精度の測定が実現できたとは非常に考えにくい。また、我々の解析では、春海の赤緯観測の平均誤差が約1度であったのに対して、経度データの平均誤差は約0.2度だったが、この後者の誤差は余りにも小さすぎる気がするのである。

他方、既に述べたように、春海による赤緯値は確かに貞享～元禄年間の観測であることを示しているのだから、春海は同じ2尺4寸の渾天儀で宿度の観測もおそらく試みたに違いない。しかし、何らかの理由で宿度の測定値が得られなかったか、得られても満足すべき結果ではなかったために、郭守敬のデータを操作して自己の観測のように装うことになったのではないかと想像する。本論文で得られた結果によって、春海の偉大さが揺らぐとは筆者も毛頭思わないが、近世日本天文学の創始者としての春海に対する尊敬の念がいささか減じたことは否めない。

3.3 郭守敬の観測データ解析

以上、3.2節の解析結果から明らかになった、春海の宿度観測データに対する疑惑問題をさらに検討するには、授時曆改曆のための郭守敬による恒星観測がどの程度精密なものだったかを知る必要があるだろう。

この点を確認するため、本論文の解析法を郭守敬の二十八宿データにも適用

¹⁸ 脚注14の渡辺敏夫による著書中の引用。

してみた。ちなみに、郭守敬の観測装置は中国の伝統的な直径 8 尺の渾天儀で、1 度の 10 分の 1 以下まで精巧に読み取れるように製作されたと考えられる¹⁹。ここでは、郭守敬による『元史』律曆志記載の距星宿度データを用いて²⁰、二十八宿 BS 法で解析した。90%の信頼度に対して、観測の推定区間は[1252, 1308]年（または、1280±28年）となった。また、この期間の平均誤差は 0.21 度だった（この解析では、宿度データだけを使用したけど、宿度と去極度を一緒に使用する位置のずれに対して二十八宿 BS 法を適用したなら、さらに精密な推定区間が得られると期待される）。さすが、正史に残る郭守敬の高い評価を裏付ける素晴らしい観測だったことが知れる。

§4. まとめ

- ・キトラ星図の観測年代推定のために開発した、「二十八宿 BS 法」の概要を紹介した。
- ・キトラ星図の星々の観測年代の推定区間（90%信頼度）は、同じ方法で解析した「石氏星経」の推定区間に完全に含まれることから、キトラ星図の原図データは、「石氏星経」系統の星表から取られた可能性がきわめて高いことが分かった。同じ結論は、朝鮮の「天象列次分野之図」についてもあてはまる。
- ・「アルマゲスト」星表の二十八宿距星データを二十八宿 BS 法で解析した結果は、この星表はトレミーが実際に観測したのではなく、トレミーが、ヒッパルコスが求めた誤った歳差の変化率を使用して、約 270 年前のヒッパルコスによる観測データを、トレミーの時代に計算で引移したのだとする、従来の疑惑を支持している。
- ・渋川春海による二十八宿観測のうち、赤緯データの解析では、貞享～元禄年間の観測であることが確認された。一方、宿度データについては、郭守敬による 1276～80 年の観測値に手を加えて、自分の観測のように見せかけたとする疑惑が生じた。この疑惑は、解析方法を変えてもぬぐえなかった。今後、さらに検討を要する課題であろう。
- ・他方、郭守敬による二十八宿のデータは、確かに授時暦の修暦時の観測値であり、誤差も小さな優れた観測だったことが示された。
- ・以上の結果から、「二十八宿 BS 法」は、複数の古星図・星表の観測年代を統一的基準で比較したりする目的に適していると結論できる。

¹⁹ 脚注 17 参照。

²⁰ 脚注 18 参照。