

# キトラ古墳天文図の観測年代と観測地の推定

相馬 充

(2015年5月15日受付; 2015年10月7日受理)

## Estimating the Year and Place of Observations for the Celestial Map in the Kitora Tumulus

Mitsuru SÔMA

### Abstract

Kitora Tumulus, located in Asuka, Nara Prefecture in Western Japan, is a small circular tomb with a diameter of about 14 meters. It is thought to have been built in the period between the end of the 7<sup>th</sup> century and the beginning of the 8<sup>th</sup> century. A celestial map was found on the ceiling of the stone chamber in the tumulus. On the celestial map at least 350 stars are drawn and they are categorized into 74 constellations or more. The celestial equator and 2 other concentric circles representing the areas of the circumpolar stars and non-circumpolar stars are shown on the map. Although the stars were not accurately located on the map in general, it was found highly probable from the analyses in this paper that the positions of 5 stars near the celestial equator and 6 stars near one of the concentric circles were correctly drawn with respect to the circles and from them the observation year and the latitude of the observation place of the original drawing of the map were obtained as AD 300 ± 90 and 33°9 ± 0°7, respectively. The latitude is very close to those of the old Chinese capitals Chang'an and Luoyang.

### 要旨

奈良県明日香村にあるキトラ古墳には、その石室天井に精緻な天文図がある。そこには天の赤道、周極星の範囲を示す内規と外規や黄道とともに350以上の星が描かれ、それらの星々は朱線によって74以上の星座に配されている。星の位置は必ずしも正しいとはいえないが、描かれている星々のうち、赤緯が正しく描かれたと見なせる11星を使って、その天文図の元になった観測が行われた年と観測地緯度を推定した。結果は、観測年(西暦): 300年 ± 90年, 観測地緯度: 33°9 ± 0°7である。観測地としては、以前の研究で候補とされた朝鮮半島ではなく、中国の長安(今の西安, 北緯34°3)や洛陽(北緯34°6)が考えられる。

## 1 はじめに

キトラ古墳は奈良県高市郡明日香村の国営飛鳥歴史公園内にある古墳で、極彩色の壁画で有名な高松塚古墳の約1 km南に位置する。この古墳は7世紀末から8世紀初めに築造されたと考えられており、石室内部の壁面には青龍・朱雀・白虎・玄武の四神と獣頭人身の十二支が描かれ、天井には東アジア最古に属する現存例といわれる精緻な天文図がある。壁画が確認されたのは、北壁の玄武が1983年、東壁の青龍と西壁の白虎

と天井の天文図が1998年、南壁の朱雀と東西南北4壁の下部にある十二支が2001年であった。ただし、側壁の下部は損傷が激しく、十二支のうち確認されているのは東壁の寅・卯、南壁の午、西壁の戌、北壁の亥・子・丑の7体である。キトラ古墳は2000年に国の特別史跡に指定された。

キトラ古墳築造当時は日本では天文図を描けるほどの天文観測は行われていなかったと考えられている。そのため、その天文図には元になる原図があり、それは中国か朝鮮半島で作られて日本にもたらされたもの

だと推定されている。その原図は中国や韓国を含め確認されていないが、キトラ古墳の天文図を調べることで、原図がいつごろ、どこで行われた観測を元にして作成されたのかが分かれば、天文図の情報がどのように日本にもたらされたかを探るための重要な情報になる。

石室壁画の保存状態は極めて悪いので、その対策のため、2004年から2010年にかけて壁画の取り外し作業が行われた。それに先立ち、石室内部の東西南北4壁と天井と床面の計6面は2004年に高精細デジタルカメラによりフォトマップ撮影が行われた[1]。その画像によって壁画取り外し前の状況を正確に知ることができる。今回、文化庁と奈良文化財研究所の協力により、天井の天文図のフォトマップ画像を入手することができた。この画像によって天文図の各星の位置関係等を詳しく知ることができる。

本論文では、天文図に描かれている星と天の赤道などの位置関係から、その図の元になった観測が行われた年代と観測地緯度を推定する。

## 2 キトラ古墳天文図に関する従来の研究とその問題点

キトラ古墳石室内部の天井に描かれている天文図は、図1に示すように、天の北極を中心とする正距方位図法に従ったと思われる方式で描かれている。その図には350個以上の星が配され、それらを朱線で結んで74以上の星座が示されている。天の川は描かれていない。星は明るさ等によらず同じ大きさの金箔で表され、直径は約6mmである。ただし、3つの星だけ直径約9mmある。星座はおおむね古代中国の星座に従っていると見られるが、星座の数は古代中国のものよりずっと少ない。また、例えば、北極五星に当たると見られるものが5星ではなく6星あり、これらの星の並びの曲がる向きも北極五星とは逆で、必ずしも古代中国の星座に対応しているとは限らないようである。星や星座の他に、内規・天の赤道・外規・黄道が朱線の円で描かれており、直径は順におおよそ16.8cm, 40.3cm, 60.6cm, 40.5cmで、先の3つが同心円、黄道は中心が天井に向かって北西方向にずらして描かれている。内規は1年中地平線下に没しない北天の星（周極星）の範囲を示す線、外規は南天の観測限界の範囲を示す線である。なお、中国や韓国の古代星図には二十八宿の赤経の境界に当たる赤経線が書かれているが、キトラ古墳天文図には赤経の線はない。

以上の説明は2014年の特別展「キトラ古墳壁画」[2]にはほぼ従ったが、描かれている星や星座の数は奈良文化財研究所からの最新の報告によるものに改めるとと

もに、老人星（カノープス）についても変更を行った。同書では老人星は直径が約9mmある大きい星に数えられているが、同書に示されている老人星の位置（参宿と軍市の間で外規の近く）には実際には金箔が確認できず、その後の調査で老人星は図1に示されているものの可能性が高いと判断されたためである。ただし、新しく老人星と判断された星の金箔は、その付近の汚れのため一部が確認されているだけで確実なことは不明だが、その直径は大きいものとは判断されていない。そのため、直径の大きな星の数はこれまで4つとされていたが、上の説明では3つとした。

天の北極を中心とする正距方位図法では黄道は円にはならないが、キトラ古墳の天文図では黄道が天の赤道とほぼ同じ半径の円で描かれている。そのため、本来は黄道と天の赤道との2つの交点（春分点と秋分点）は天の北極に対して正反対の位置にあるのだが、キトラ古墳天文図では、2つの交点が正反対の位置になっていない。この点は中国蘇州の『淳祐石刻天文図』や朝鮮の『天象列次分野之図』などと同じであるが、宮島[3,4,5]が既に指摘しているように、キトラ古墳天文図の黄道の位置にはもっと大きな間違いがある。地球の赤道面の歳差運動によって天の赤道と星との位置関係は年とともにずれていくが、黄道と星の位置関係はほとんど変わらないはずである。しかし、キトラ古墳天文図の黄道は星の位置に対して完全に異なる場所に描かれている。図の中心を通過して石室天井の南北に引いた線に対して対称に移動すればだいたい正しい黄道の位置になるので、黄道を天文図に書き写す際に中心の位置のずらし方を間違えたものと推測される。なお、宮島[5]は石材に壁画や天文図を描いてから石室に組み上げた可能性に言及しているが、石材と漆喰等の状況から、現在では、石室に組み上げてから、石室の中で壁画や天文図が描かれたと推定されている。ただし、南壁は別で、これは閉塞壁と呼ばれ、この石材はすべての納入物が納められてから最後に石室を閉じた石材なので、南壁の壁画は室外で描かれたと考えられる。

宮島は1998年に古墳南側の盗掘口から挿入した超小型カメラで撮影した画像から大まかな解析を行った[3,4,5]。その結果、キトラ古墳天文図の内規と天の赤道の半径の比から原図の観測地の緯度として北緯 $38^{\circ}4'$ を得、平壤の緯度（ $39^{\circ}0'$ ）に近いが、日本の飛鳥（ $34^{\circ}5'$ ）や中国の長安（ $34^{\circ}2'$ ）・洛陽（ $34^{\circ}6'$ ）などは該当しないと述べている。ただし宮島は後に2004年撮影の写真から、緯度の推定値を $37^{\circ}\sim 38^{\circ}$ に修正している[6]。観測年代については、赤経の平均自乗誤差が最小になる年として紀元前65年を得[3,4,5]、また、「作図の際の座標原点（天の北極）」が円の中心に最も近づく年代として紀元後400年代後半という年代を求め

たとしている[3]。しかし、これらの解析には問題点が多い。まず、キトラ古墳の天文図は図の中心（天の北極）から各星の位置までの距離が去極度（天の北極からの角距離、すなわち赤緯の余角）に正しく比例して描かれたとは限らない点がある。これは、天の赤道や内規・外規の半径を正確に測って描いたのではなく、目分量で描いた可能性があるということである。実際、比例関係を仮定すれば、外規と天の赤道の半径比からも緯度が推定できるが、それから得られる緯度は約43°になり、内規と天の赤道の半径比から得られたものとは大きく異なる。つまり、内規や天の赤道に比べると外規がやや小さすぎるのである。これについて宮島[3,4,5]は、外規の一部が東西の傾斜部にかかるため、外規をやや小さめに描かざるを得なかったであろう、と述べているが、これだけで内規の半径は正確に描か

れたと推定することは不可能である（この点に関しては宮島自身も2004年撮影の写真の解析結果を述べる際に「内規や赤道の直径にどの程度の正確さが期待できるか不明である」と前置きしている[6]）。観測年代の推定でも、キトラ古墳天文図では赤経の原点である春分点の位置など赤経の基準になるものがはっきりしない（既に述べたように、そもそも春分点と秋分点が正反対の位置にないし、それらの位置も実際からはかけ離れている）ため、キトラ古墳天文図から各星の赤経そのものの値を求めることは不可能で、星々の赤経差を求めるしかないはずである。そうだとすると赤経より去極度（または赤緯）のほうが決定しやすいことになる（しかも、一般に年による赤経差の変化より赤緯そのものの変化のほうが大きい）から、なぜ去極度を用いずに赤経だけから観測年代を推定したのか、はな



図1：キトラ古墳天文図のトレース図（奈良文化財研究所提供；古墳天井に向かって上が北，右が西；星宿等の名称も同研究所推定によるもので、「カ」は推定が不確かなものであることを表している）。

はだ疑問である。さらに、もう1つの方法の「座標原点が円の中心に最も近づく年代」というのも意味が不明で、キトラ古墳天文図のどの星が現在でいうどの星に対応すると解釈したのか、そしてその位置をどのように解析したのかは、次に示すように全く不明である。

図2は宮島が推定する西暦400年代後半の天の赤道以北の星空を再現したものである。図1とは異なり、一番外側の円は天の赤道にしてある。年は西暦475年とし、The Bright Star Catalogue [7]を元に歳差と恒星の固有運動を考慮し、6.5等より明るい恒星の位置を天の北極を中心とする正距方位図法で描いた。黄道は正しい位置に示した。内規としては宮島がいう緯度38°に対応する内規に相当する赤緯52°の赤緯線を示した。古代中国の星座の同定は大崎の著書[8]の中の「中国の星座・星名の同定一覧表」に掲載されている土橋・伊

世同の同定に基づくものによった。図1のキトラ古墳の天文図と比較すれば明らかなように、「北極」と見なされているものは、本来5星のはずがキトラ古墳天文図では6星あり、星の並び方も全く異なる。星の並びの屈曲方向からすると、天文図の並びは現在のこぐま座という解釈も成り立ちうる。つまり、天の北極付近の星々の位置から年代を推定する場合、星の同定の仕方では求められる年代が大きく異なってしまうのである。宮島[3,4,5]の星座同定図では、ここで述べた「北極」の付近は詳しく同定されておらず、「北斗」などを用いて解析したようにも思えるが、彼の同定図で北斗と内規の位置関係を見ると、北斗の柄の端の星が図1に見るものより内規にかなり近く描かれているなどしているため、星の位置の誤差が大きいと見られるのである。また、彼の同定図における文昌と内規との位置関係に

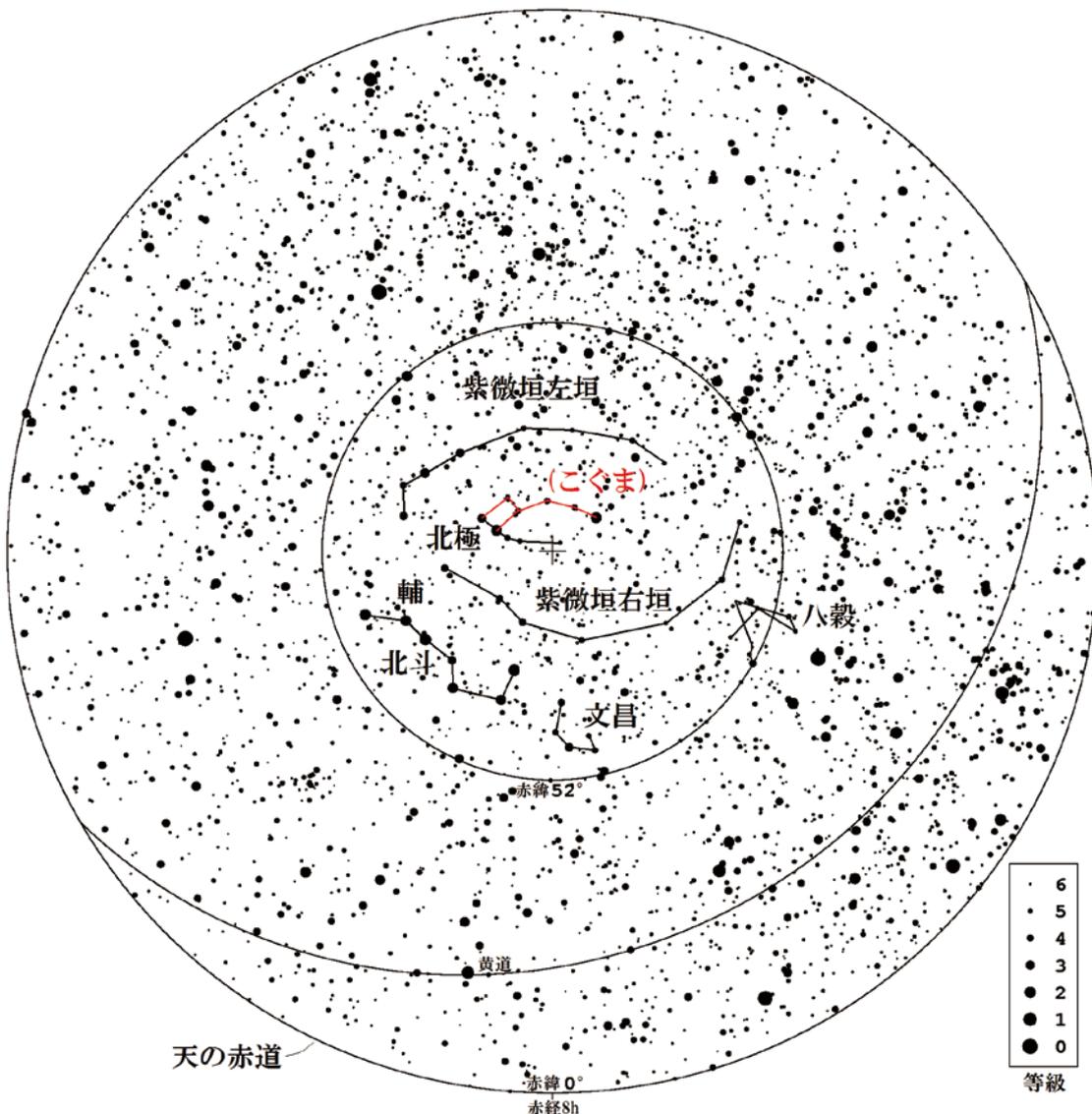


図2：西暦400年代後半における天の赤道以北の星の位置。

については図1と大きな差がなく、文昌の外側の2星が内規に接するように描かれているが、図2では文昌が緯度38°に対する内規から離れている点も注目すべきであろう。

キトラ古墳天文図の元になった観測の年代と場所については、これまで宮島以外に解析は行われていない。

### 3 観測年代の推定

キトラ古墳天文図には各星座の星と天の赤道の位置が示されている。各星と天の赤道との位置関係は地球の歳差運動のため年とともに変化するから、キトラ古墳天文図の星と天の赤道の位置関係がある程度正確に描かれていれば、その図の元になった観測が行われた年代が推定できるはずである。

キトラ古墳天文図を見ると、昴宿（すばる星団）や觜宿（オリオン座λ星付近の3星）など、一見して大きさが実際よりかなり誇張して描かれているものがあり、さらに、はくちょう座の翼の部分に当たる天津の向きが実際とはかなり異なるなどしていることから、多くの星は描くべき位置を目分量で決めて描いたと考えられる。ただし、天の赤道や内規などが書かれていることから、基準になるいくつかの星はそれらの線を頼りにして描き、残りの星を目分量で描いていったと考えるのが妥当であろう。

古代中国では天の赤道近くの28の星座を星宿といい、28の星宿を合わせて二十八宿といった。各星宿の星の中でも距星と呼ばれる星宿の代表星が定められており、星の位置は距星を基準に示される。観測値に基づいて星図に記入されるのは距星で、他の星は目分量で星図に描いたとされる [3,4,5,9]。そこで、二十八宿の距星のキトラ古墳天文図上での赤経と赤緯を測定し、理論値と比較して、差が最小になる年代を特定することを試みる。その際、天文図上で赤経そのものは測定できないので、赤経の測定値  $O$  と理論値  $C$  の差  $O-C$  の合計が各年について0になるという条件を加えて赤経の測定値を定めることにした。また、赤緯の測定値は天の赤道からの距離を天の赤道の半径を90°として角度に換算した。既に述べたように、キトラ古墳天文図中心からの距離が星の去極度に正確に比例するとは限らないので、この方法によって求められた赤緯には誤差がありうるが、第1近似としては充分の精度を有し、この誤差はこの論文の最終結果にはほとんど影響しない。

二十八宿のうち、牛宿、女宿、虚宿の付近はキトラ古墳天文図の剥落が著しく、それらの距星の位置が特定できない。また、危宿の距星 ( $\alpha$  Aqr) のキトラ古墳天文図上の位置は他の星の並びと隣の星から延びる朱

線の向きからおおよその位置が推定できるものの、正確な位置の同定は不可能なことから、最終結果では採用していない。ただし、下に示す図3の暫定的な解析では、他の星の誤差も大きいことから、その星の推定位置を用いて解析を行った。奈良文化財研究所の行った距星の同定は図4に示されている。このうち、翼宿と張宿は星宿の形からは図のように同定される（翼宿には南北の横の並びの星々も含まれる）が、星宿の位置としては逆転しているので、両宿の距星の位置は逆に対応させて解析する。また、「星」宿（「星」という名前の星宿で、一般名詞の星宿と区別するため「星」宿と記述しておく）の距星  $\alpha$  Hya は図4では同定不確定として示されているが、その星宿内の南北の星の数から距星としてはその1つ南の星である可能性が高いと思われるので、本論文では、その南のほうの星を「星」宿の距星と見なす。さらに、胃宿の距星も胃宿の3個の星の並びから図4に示されているものの1つ西側の星と思われるので、本論文ではそのように改訂した。この距星の同定については、大崎 [8] の書物の pp.348-351 に掲載されている星図とも比較されたい。

距星25個の位置から赤経・赤緯・角距離それぞれの  $O-C$  を計算し、標準偏差を年毎に求めてグラフにしたのが図3である（横軸の年は西暦年で、0年は紀元前1年、-500年は紀元前501年である）。これによると、赤緯の標準偏差が6°を超えるなど、誤差がかなり大きい。

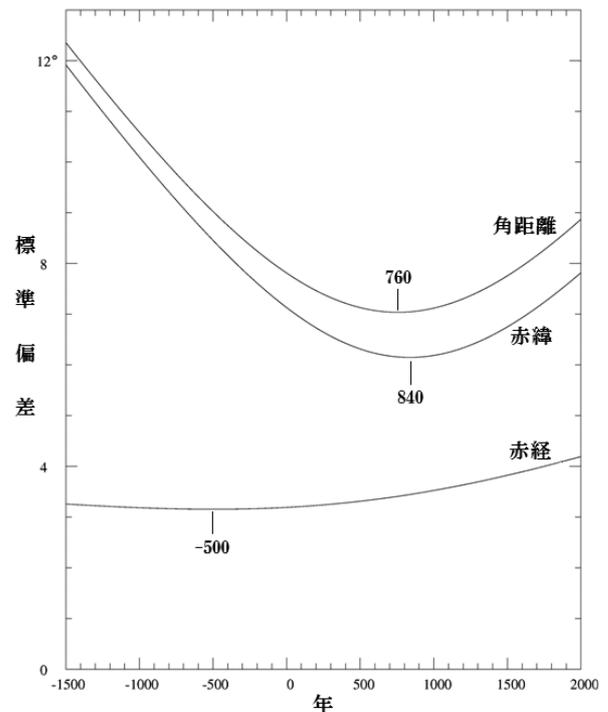


図3：距星位置誤差の標準偏差（二十八宿の距星の位置測定が可能な25星すべてを使って求めた標準偏差の年毎の変化を示す；標準偏差が最小になる西暦年を表中に数字で示した）。

これは天の赤道との位置関係などを正確にしようとして描かれたわけではない星が多いことを意味し、そのようなデータからは信頼できる結果が得られそうにないことを物語っている。また、赤経については、赤経の差のみが測定できることから、誤差の標準偏差の年毎の変化が小さく、赤経は観測年代決定に不向きであることが分かる。一方、赤経には描く際の基準の線がないため、どの星の赤経が正しくなるように描かれたかの判断がしにくいのに対して、赤緯のほうは天の赤道など基準になる線があり、星の位置をある程度正確に描こうとした場合、赤緯のほうが正確に描けるということが考えられる。そこで、次に、各距星の赤緯の

誤差を調べて、赤緯を正確に描こうとした星はどれかを調べてみることにする。

各距星について年毎の赤緯の誤差を求めてグラフにしたものを図5-7に示す。図5は天の赤道から南北にそれぞれ10°以内にある星について示したのだが、3.5等星の $\lambda$  Oriは誤差が大きすぎて図の範囲外になるため、グラフには描かれていない。図6と図7は同様に、それぞれ赤緯が+10°以北と-10°以南の星について示した。ここで星の分類に使用した赤緯は西暦700年のものを用いた。

これから分かることは、図5に示されているように、西暦400年ごろに赤道近くの9星のうち2等台までの明

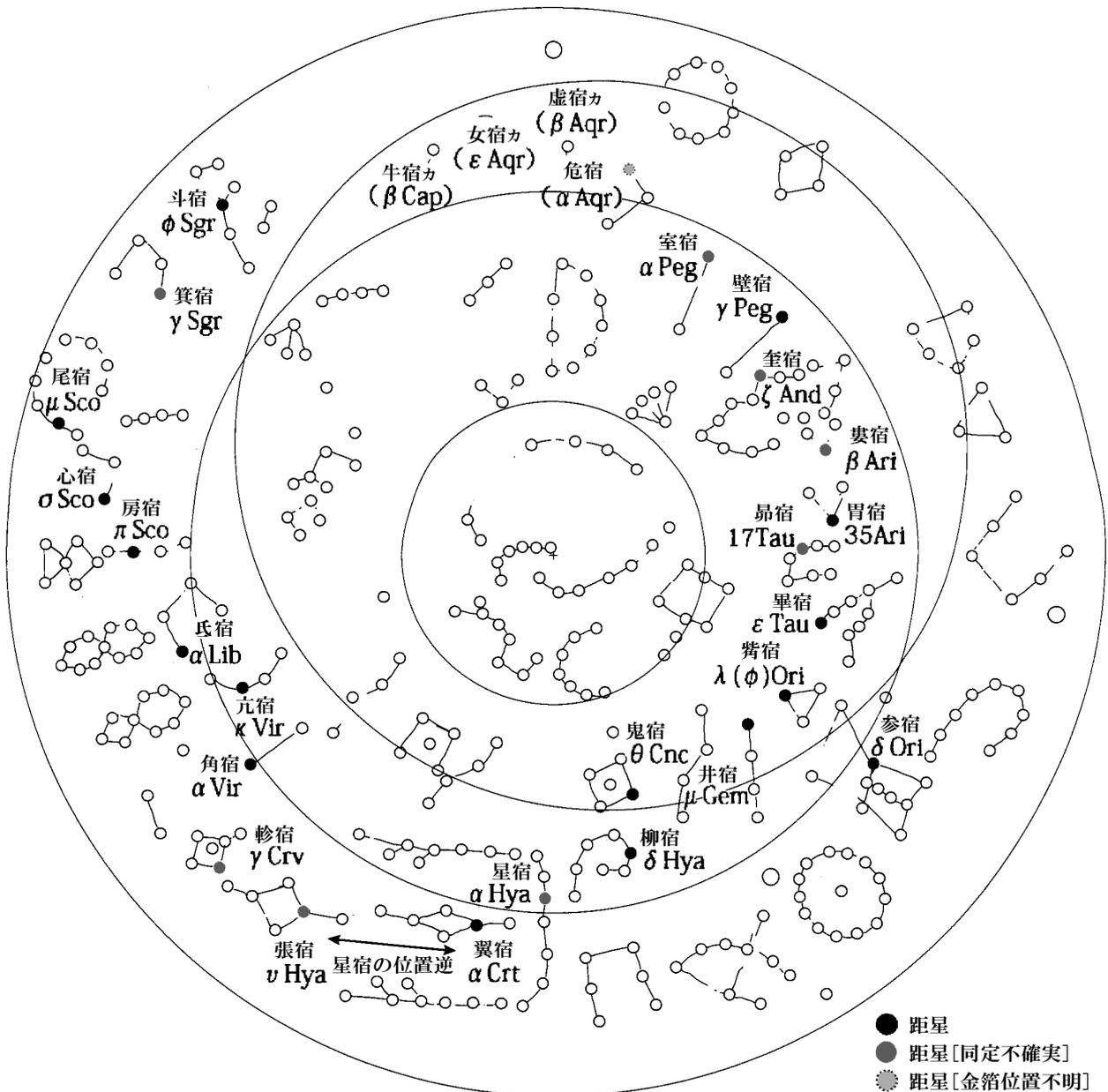


図4：二十八宿距星位置図（奈良文化財研究所提供）。

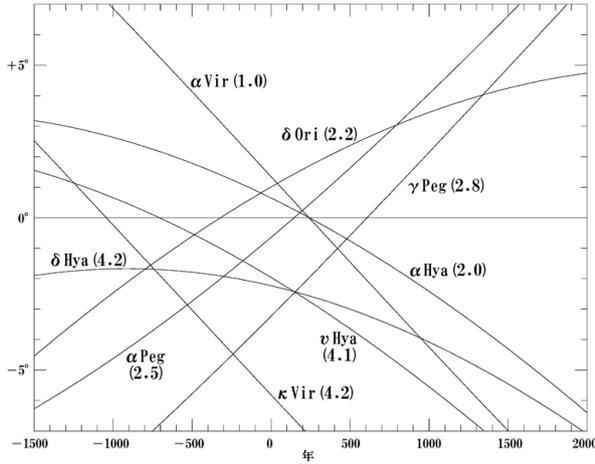


図5：天の赤道近くの距星の赤緯の理論値との差（括弧内の数字は等級を表す； $\lambda$  Ori (3.5)は範囲外のため書かれていない）。

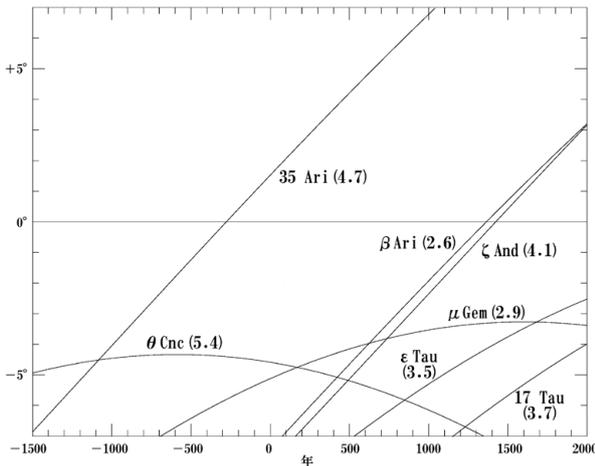


図6：赤緯+10°以北の距星の赤緯の理論値との差（括弧内の数字は等級を表す）。

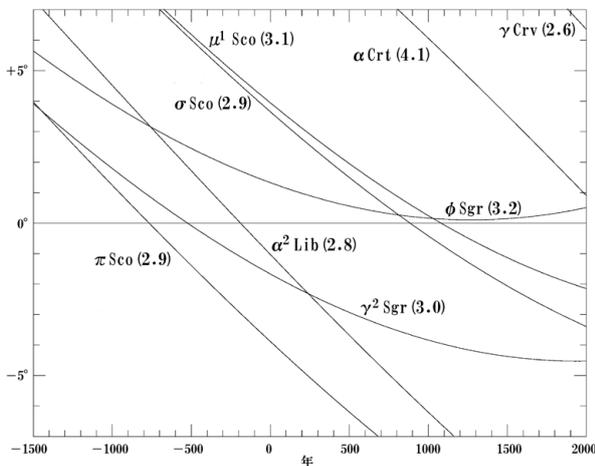


図7：赤緯-10°以南の距星の赤緯の理論値との差（括弧内の数字は等級を表す）。

るい5星 $\alpha$  Vir,  $\alpha$  Peg,  $\gamma$  Peg,  $\delta$  Ori,  $\alpha$  Hyaの誤差が2°以内になることである。9星のうち5星もの星の誤差がこれほど小さくなるというのは偶然とは考えにくい。実際、図6と図7に示す天の赤道から離れている星では、これほどの割合で誤差が小さくなる年はない。以上のことから、天の赤道に近い距星の中でも明るい5星は夜空でも目立っていたため、その5星の位置を天の赤道に対して正確に描こうとしたと考えられる。

一方、天の赤道近くの明るい星でも二十八宿の距星以外では赤緯+6°付近にあったはずのアルタイル $\alpha$  Aql (0.8等、河鼓の真ん中の星)が赤緯+20°付近に描かれるなど、位置が不正確である。また、距星以外では、例えば $\theta$  Peg (3.5等)の誤差が小さいが、この星の位置を正確に描こうとした理由が考えにくいので、これは偶然に誤差が小さくなったものと考えべきで、解を求めるのに使用するのは不適切である。

そこで上に示した天の赤道に近い2等台までの明るい距星5星について、それらの位置は天の赤道を基準に描いたものと考え、キトラ図に示されている赤緯を観測値として観測年代を未知数とする観測方程式を立てた。西暦400年からの年数を $x$ とする観測方程式（係数の単位は角度の度）は

$$\alpha \text{ Vir: } -2.42 - 0.00561x = -1.52$$

$$\alpha \text{ Peg: } +7.08 + 0.00466x = +5.92$$

$$\gamma \text{ Peg: } +6.36 + 0.00536x = +7.48$$

$$\delta \text{ Ori: } -2.92 + 0.00256x = -5.04$$

$$\alpha \text{ Hya: } -2.72 - 0.00297x = -2.26$$

となった。右辺の数値がキトラ図に描かれている各星の赤緯である。最小二乗法によりこの観測方程式を解くと観測年代として

$$\text{西暦}384\text{年} \pm 139\text{年}$$

が得られた。

#### 4 観測地緯度の推定

観測地の緯度は内規の赤緯が何度になるかを知ることと求められる。前節で観測年代が一応求められたので、その年代の星空を再現し、内規の星の位置関係から内規の赤緯を定めることにする。

内規のすぐ近くに描かれている文昌の星については同定が問題なく行われる。大崎[8]が示している同定とも一致している。しかし、八穀については中国蘇州の『淳祐石刻天文図』や朝鮮の『天象列次分野之図』などで星座の形がかなり異なり（両図の差異については、例えば守屋の報告[10]中の写真28, 29を参照）、大崎も図8に示すように複数の同定結果を示しているが、いずれもキトラ古墳天文図の星座の形とは対応しな

い。そこで、まず文昌と内規の位置関係から内規のおよその赤緯を求めてみる。図8には宮島がいう緯度38°に対応する内規に当たる赤緯52°の赤緯線も示してあるが、図2で既に指摘したように、緯度38°ではキトラ古墳天文図の内規の位置が合わない。そこで、緯度を変えてみると、図9に示すように、内規の赤緯はほぼ+56°になることが分かる。そこで、この赤緯線をも参考にしてキトラ古墳天文図にある八穀の位置に合う星を調べてみると、図9に示すように見出された。

内規に近い星でその他のものを調べると、図1で織女 ( $\alpha$  Lyr, ベガ) としているものは、図9に見るよう

に実際には内規からかなり離れており、織女の星座としての形の向きも大きさも全く異なっていることが判明した。そして、その付近では天楮が図9に示すように、キトラ古墳天文図の内規に近い星座に対応する可能性があることが分かる。また、これら以外では、内規に近い星で同定が可能な星は見当たらない。そこで、内規に近い文昌の2星 (東から25  $\theta$  UMaと15 f UMa)、八穀の4星 (東から15 Lyn, 2 UZ Lyn, 31 TU Cam, 10  $\beta$  Cam)、天楮の1星 (23  $\beta$  Dra) の7星のキトラ古墳天文図上の内規からの距離から内規の赤緯を求めてみる。

内規からの距離 (内側へ+) は次に示すとおりである。

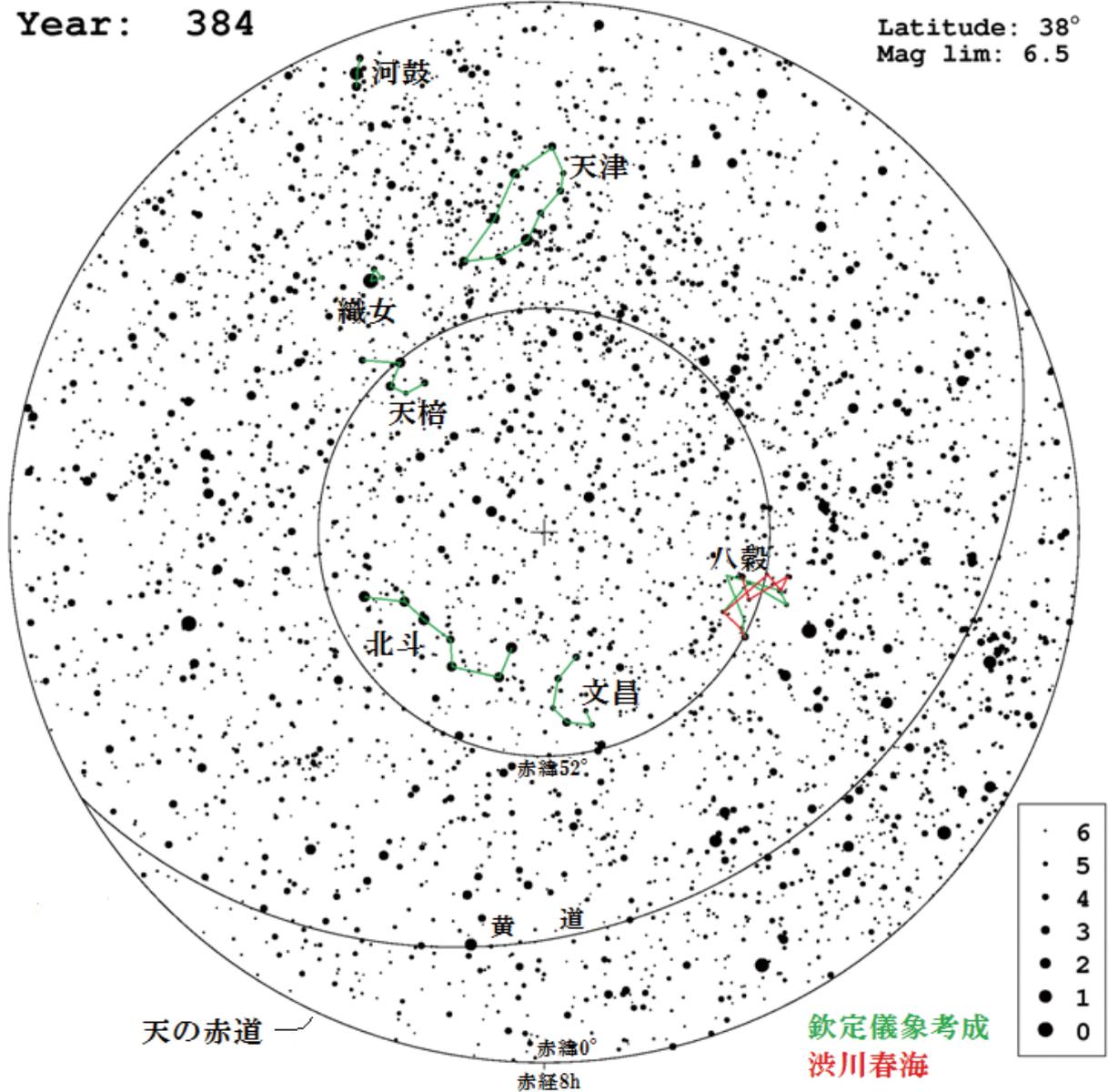


図8：大崎による文昌と八穀の星々 (八穀は『欽定儀象考成』所載の星表を同定した土橋八千太と伊世同のものと、渋川春海の『天文瓊統』をもとに渡辺敏夫が行ったものが示されており、星や結び方が異なる。後の議論に出る天津、織女、天楮、河鼓も示してある)。

| 星名              | 距離<br>。 | 赤緯<br>。 | 内規<br>。 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 25 $\theta$ UMa | +1.23   | 57.54   | 56.31   |
| 15 f UMa        | +0.76   | 56.36   | 55.60   |
| 15 Lyn          | +0.44   | 57.96   | 57.52   |
| 2 UZ Lyn        | +0.85   | 57.04   | 56.19   |
| 31 TU Cam       | +1.08   | 57.01   | 55.93   |
| 10 $\beta$ Cam  | -0.21   | 55.83   | 56.04   |
| 23 $\beta$ Dra  | -1.82   | 54.15   | 55.97   |

を求めると、星の同定に疑いのない文昌の2星からは  
 $56^{\circ}0 \pm 0^{\circ}.4$ ,  
 それに八穀の4星を加えた計6星からは  
 $56^{\circ}.3 \pm 0^{\circ}.3$ ,  
 さらに天楸の1星を加えた計7星からは  
 $56^{\circ}.2 \pm 0^{\circ}.2$   
 となった。

ここで、赤緯は西暦384年の赤緯、内規の欄に書いたのは各星について赤緯から距離を減じてから求められる内規の赤緯である。この中の複数の星から内規の赤緯

改めてキトラ古墳天文図の織女付近の星の並びを見ると、天津（現在のはくちょう座の翼の部分に当たる）は形の向きが実際と比べてかなり傾いており、織女を天津に相対的に描いたとすると、上で天楸と考えたものが実は織女であって、内規との位置関係が天楸とし

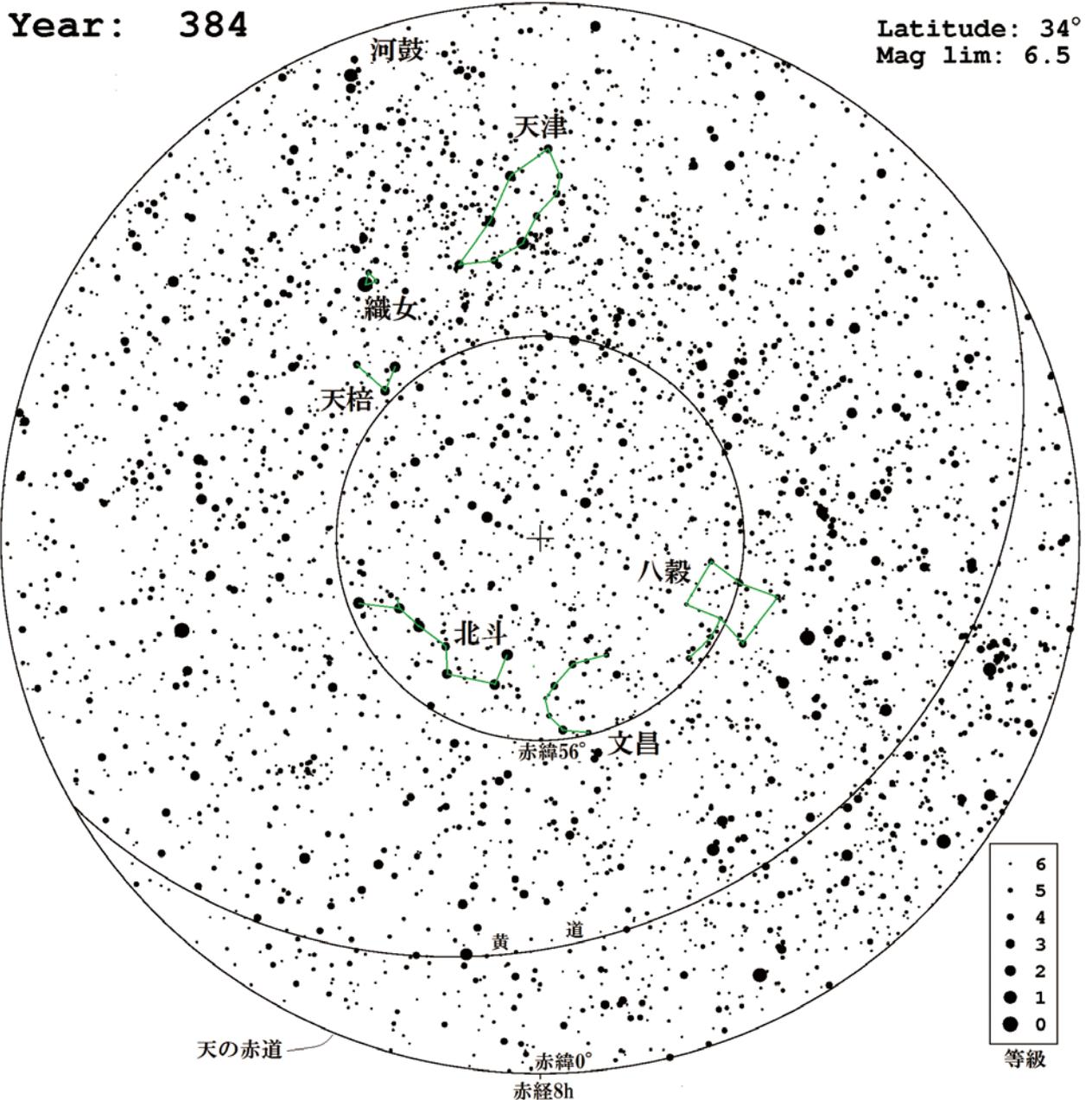


図9：キトラ古墳天文図に合う文昌と八穀の星々（図8に同じく、天津、織女、天楸、河鼓も示してある）。

て合ったのは偶然だったという可能性も大きいと思えてくる。そうすると、内規の赤緯を決めるのにその星を使うのは不適切だということになる。

地平線の星は大気差で約0°6'浮き上がって見えるが、地平線付近は山などの地形がじゃまをすることやその付近の星は大気の影響で減光するなどで見えにくいことが大気差を打ち消す方向に作用するので、観測地の緯度としては誤差に大気差の大きさ程度の±0°6'を考慮し、天楮の星については、上で述べたとおり同定がかなり不確かなので、それを省いたものを採用することにして、

$$90^\circ - 56^\circ 3' = 33^\circ 7' \pm 0^\circ 7'$$

を観測地の緯度についてのこの節での推定値とする。

図9を見ると、北斗の柄の先の星η UMaが内規に近いところにあったはずだが、キトラ古墳天文図では内規から比較的離れたところに描かれている。これは、天津などが実際とは異なる向きに描かれたのと同様、北斗を描く際に内規との位置関係を考えずに北斗の形だけを真似て描いたためと解釈できる。

## 5 天の赤道と内規の近くの星を総合した解析

第3節と第4節で赤緯が正確に描かれたと考えられる星が天の赤道近くで5星、内規近くで6星の計11星あることが判明した。第3節では観測年代の推定に天の赤道近くの星のみを使ったのであるが、内規の近くの星をも使えば、観測年代と観測地の緯度を同時に求めることが可能であり、このほうが、求められる観測年代の精度も上がる。ここでは、その解析を行う。

天の赤道近くの5星のキトラ古墳天文図上の赤緯は第3節に、内規近くの6星のキトラ古墳天文図上の内規からの距離は第4節に示してある。それらの数値を用いて観測方程式を立て、観測年と内規の赤緯を求めたところ、

$$\text{観測年} : 301 \text{年} \pm 87 \text{年}, \text{内規赤緯} : 56^\circ 1' \pm 0^\circ 4'$$

となった。最終的には、観測年は誤差の大きさから10年の単位に丸め、観測地緯度の誤差を求める際には第4節に述べたように大気差を考慮して

$$\text{観測年} : 300 \text{年} \pm 90 \text{年}, \text{観測地緯度} : 33^\circ 9' \pm 0^\circ 7'$$

をこの解析の結論とする。

## 6 その他の主な星の位置の比較

図10には、キトラ古墳天文図にある主な星について、正距方位図法により、天文図上の位置と計算による西暦300年の位置を示した。キトラ古墳天文図の位置は

赤色で、計算による位置は黒色で示してある。内規と外規は前節の解析で得られた北緯33°9'に対するもので、キトラ古墳天文図上の星の位置は、天の赤道と内規と外規が正しい位置に合うように、天の北極と内規の間、内規と天の赤道の間、天の赤道と外規の間のおおの領域について、各星の図中心からの距離を1次式で変換して描いてある。赤色の円はキトラ古墳天文図に描かれている黄道と思われるものを示しているが、便宜的に円で示しており、ここで述べた中心からの距離の1次式による変換を行っていないので、他の星との相対位置は必ずしも正しくない。おおよその位置の参考のために表示したものである。黒色の線で示した黄道は正しい位置に描いてある。赤字で示した星座名は図1に示してあるもので、奈良文化財研究所の同定によるものである。赤色の星の大きさは天文図のものにほぼ合わせてあり、「天狼」「土司空カ」「北落師門カ」と書いてある3個のみ他より大きい。計算により位置を示した黒色の星は、図の右下に示したように、等級に応じてその大きさを変えていて、明るい星ほど大きい。各星宿の距星（図3とは必ずしも一致しておらず、本論文が採用した距星である）は十字の線を入れて示してある。

第3節において、すばる星団（Pleiades）である昴宿とオリオン座の3星λ, φ<sup>1</sup>, φ<sup>2</sup> Oriからなる觜宿が実際よりかなり大きく書かれていること、はくちょう座の翼の部分に当たる9星γ, δ, 31, α, ζ, τ, υ, ζ, ε Cygからなる天津はその向きが実際とはかなり異なることを指摘したが、そのことは図10から再確認できる。他に、ヒヤデス星団（Hyades）に対応する畢宿が拡大されていることも目につく。

キトラ古墳天文図には老人星（α Car, カノープス）と思われる星が描かれている。カノープスは赤緯が歳差であり変化しない場所にあり、各年に対するその位置を求めると次のようになる。

| 西暦年  | 赤経<br>h m | 赤緯<br>° ′ | 北限緯度<br>° ′ |
|------|-----------|-----------|-------------|
| -100 | 5 38.0    | -52 40    | 37 55       |
| 0    | 5 40.2    | -52 37    | 37 58       |
| 100  | 5 42.3    | -52 34    | 38 01       |
| 200  | 5 44.4    | -52 32    | 38 03       |
| 300  | 5 46.6    | -52 30    | 38 05       |
| 400  | 5 48.8    | -52 28    | 38 07       |
| 500  | 5 50.9    | -52 26    | 38 09       |
| 600  | 5 53.1    | -52 25    | 38 10       |
| ...  |           |           |             |
| 2000 | 6 24.0    | -52 42    | 37 53       |



$\alpha$  ( $\alpha$  Boo, アルクトゥルス), 天戈は $\lambda$  Booとされる。図10に示された位置からすると $\lambda$  Booに近い位置にあるが, 北斗との位置関係からするとアルクトゥルスの可能性も高いと思われる。

既に述べたように, キトラ古墳天文図には他の星より大きく書かれている3星がある。図10で「天狼」, 「土司空カ」, 「北落師門カ」と書かれているものである。天狼はおおいぬ座 $\alpha$  ( $\alpha$  CMa, シリウス)で, 位置からして, この対応は間違いないと思われる。土司空はくじら座 $\beta$  ( $\beta$  Cet)であるが, 図10に示されているように, その位置には大きな差があり, この対応には問題があると思われる。エリダヌス座 $\alpha$  ( $\alpha$  Eri, アケルナル)が明るく, より近いが, それでも位置の差が大きく, さらにエリダヌス座 $\alpha$ は地平線から昇って来ないので, エリダヌス座 $\alpha$ の可能性はない。この付近には他に特に明るい星はなく, この大きな星は謎である。北落師門はみなみのうお座 $\alpha$  ( $\alpha$  PsA, フォーマルハウト)だが, 図10に示したように位置に差があり, この対応は不確実である。この付近にも他に明るい星はなく, 大きく描かれている理由とともに謎のままである。

## 7 結論

キトラ古墳天文図に描かれている星々のうち, 赤緯が正しく描かれたと見せる星が11星あることを見出し, それを使って, その天文図の元になった観測が行われた年と観測地緯度として

観測年: 300年 $\pm$ 90年, 観測地緯度: 33°9 $\pm$ 0°7

を求めた。観測地としては, 以前の研究で候補とされた朝鮮半島ではなく, 中国の長安(今の西安, 北緯34°3)や洛陽(北緯34°6)が考えられる。日本の飛鳥も緯度が北緯34°5で, 緯度からは観測地の候補になりうるが, 日本における観測天文学は7世紀に始まった[11]とされているので, 4世紀当時に飛鳥で観測が行われていたとは考えられない。

観測は300年を中心とする年代に行われたという結果が得られた。この意味については歴史家に委ねたい。ただ, 6世紀頃に伝わり日本で初めて使用された暦法である元嘉暦が作られたのが西暦443年で, その暦法を作るための観測が行われたであろう年代と一致しているのは意味があることではないかと思う。

## 謝辞

本研究を行うにあたり, 文化庁の建石徹氏と奈良文化財研究所の若杉智宏氏にはキトラ古墳天文図に関するさまざまなデータを提供していただいた。また, 奈

良文化財研究所の石橋茂登氏を初め多くの方々に解析方法や結果に関する議論に参加いただき, アドバイスをいただいた。NHK制作局の眞木隆志ディレクターには文化庁や奈良文化財研究所との仲介にご協力いただいた。元国立天文台の中村士氏には星宿の距星の同定作業に協力いただき, 議論にも参加いただいた。ご協力いただいた皆様に感謝する。

## 参考文献

- [1] 奈良文化財研究所(編集):「キトラ古墳壁画フォトマップ資料」, 奈良文化財研究所史料 第86冊, 奈良文化財研究所, 2011.
- [2] 文化庁, 東京国立博物館, 奈良文化財研究所, 朝日新聞社(編集):特別展「キトラ古墳壁画」, 朝日新聞社, 2014.
- [3] 宮島一彦:「日本の古星図と東アジアの天文学」, 人文学報, **82**, 45-99, 京都大学人文科学研究所, 1999.
- [4] 宮島一彦:「キトラ古墳天文図」, キトラ古墳学術調査報告書, 明日香村教育委員会, 51-63, 1999.
- [5] 宮島一彦:「キトラ古墳天井天文図」, 天界付録(別冊), 東亜天文学会, 2000.
- [6] 宮島一彦:「キトラ天文図の星座同定と中・朝の古星図」, 「天文学史研究会」集録, 国立天文台, pp.105-113, 2006.
- [7] Hoffleit, D. & Warren, W.H.Jr.: The Bright Star Catalogue, 5th Revised Ed., Astronomical Data Center, NSSDC/ADC, 1991.
- [8] 大崎正次:中国の星座の歴史, 雄山閣, 1987.
- [9] 藪内清:「中国・朝鮮・日本・印度の星座」, 新天文学講座1『星座』, 野尻抱影編, 恒星社, 123-156, 1957.
- [10] 守屋誠司:「春川・上海留学を有意義にするためのアジア科学史探訪」, 京都教育大学教育実践研究紀要, **10**, 53-62, 2010.
- [11] 谷川清隆, 相馬充:「七世紀の日本天文学」, 国立天文台報, **11**, 31-55, 2008.