

飛鳥時代の水落天文台遺跡から観測された天球

著者	木庭 元晴
雑誌名	関西大学文学論集
巻	67
号	1
ページ	29-63
発行年	2017-07-10
その他のタイトル	Restoration of the celestial sphere from Asuka-Mizuochi astronomical observatory antiquity during the Asuka Period.
URL	http://hdl.handle.net/10112/11471

飛鳥時代の水落天文台遺跡から観測された天球¹⁾

木 庭 元 晴

はじめに

飛鳥時代の都市計画で最も重要視されてきた天の北極軸が天香具山山頂を正しく通ることについては、木庭（2016a, 2016b, 2017）は GIS 幾何学を利用して示してきた。西暦596年に竣工した飛鳥寺五重塔の立地についても東に外れてはいるが、この天香具山山頂を通過する天の北極軸と間接的にはあるが正しく対応している（木庭, 2016a）。飛鳥寺に隣接する水落遺跡から銅管などを使った配水施設が発掘されて、この施設が、『日本書紀』斉明六（西暦660）年夏五月の条の「皇太子初造漏剋使民知時」と結びつくとして、飛鳥水落遺跡は漏刻台を主とする施設とされた。

木庭（2017：p. 1）では、「漏刻の構造は極めて簡易なもので、時報用の太鼓を設置するにしても、筆者には、図1のような強固な基壇が到底必要とは思えない。漏刻の時刻設定には天の北極を中心とする天球の観察が必要で『周髀算経』に記述されている天体観測とその記録のためのいわば水平の土俵設置の施設と考えられる。天球観測には甘檜丘が障碍になるという通説があることを知り（関西大学米田文孝氏の教示）、この水落遺跡からの天球観測環境を復元」するとしている。本報告は、この木庭（2017）の課題を実現したものである。

後述するように、奈文研による水落遺跡の図面からその基壇中央座標値を求めて、木庭（2016b）が報告した天香具山山頂の座標値と比較すると、南北軸の東西方向のズレはわずか6 cmであった。すなわち、水落遺跡基壇中央は正しく天香具山山頂を通る天の北極軸に載っていることがわかった。単に漏刻を

設置するのにこのような場が必要であろうか。水落遺跡を天文台遺跡と見なすのが自然であろう。当時の天文台に漏刻は必需品である。天球の周転運動の南中時刻を計測することで、観測値の利用は大いに広がるし、大陸では遅くとも漢代に定着した技術なのである。

次に、水落遺跡が天球観測に適したものかどうかを調べた。水落遺跡の立地する飛鳥の谷に立つと、甘檉丘が壁のようにみえて、その観測の障碍になったのではないかと考えてしまう。それゆえ、GrassGISのスカイラインの抽出機能を使って、水落遺跡からの周囲360度の視界を明らかにする必要がある。当時の観測対象は日月五星だけでない。天球の周回を知るのに、天の北極周辺の北斗七星だけでなく、黄道及び天の赤道に位置する二十八宿が観察されねばならなかった。日月五星は黄道沿いに運行するので、黄道の視界位置を確認すれば済むが、問題は二十八宿である。歳差運動と章動が組み込まれた天文シミュレーションソフトを使って西暦660年の天球を復元し、水落遺跡が天文台として十分に機能することを、ここで明らかにしている。

この過程でキトラ古墳天文図の精度を調べ、これがこれまでの研究で言われてきた大陸起源ではなく、飛鳥起源の高い蓋然性をも示すことができた。

I. 基壇中央の位置と海拔高度

1. 礎石建物 SB200の礎石上面高度

水落遺跡の方形基壇上には礎石建物 SB200がある（木下，1995：遺構実測図 Plan2）。それは「東西4間，南北4間の正方形の平面で，中央の一本を除いてすべてに柱がたつ総柱様建物で」，「貼石遺構で外装された方形基壇の中央に位置している。各々の柱位置には基壇検出面下約80cmに礎石が据えられている」（木下ほか，1995：p. 33）。つまり，基壇にはおよそ東西と南北の両方向に1間間隔で24本の礎石が設置されていてその中心には台石が設置されている。木下ほか（1995：p. 159 別表1 SB200礎石上面の海拔高）には，それぞれの上面高度が記されている。最高値と最低値の平均値は100.027で，中心部の台石と漆塗木箱に近接する東西南北4本それぞれHRLNを付した礎石（図1）の上

飛鳥時代の水落天文台遺跡から観測された天球（木庭）

面海拔高度（m）は、99.978, 99.995, 99.977, 99.985で、その平均は99.984なので、海拔100mを基壇中央の礎石上面想定高度とする。

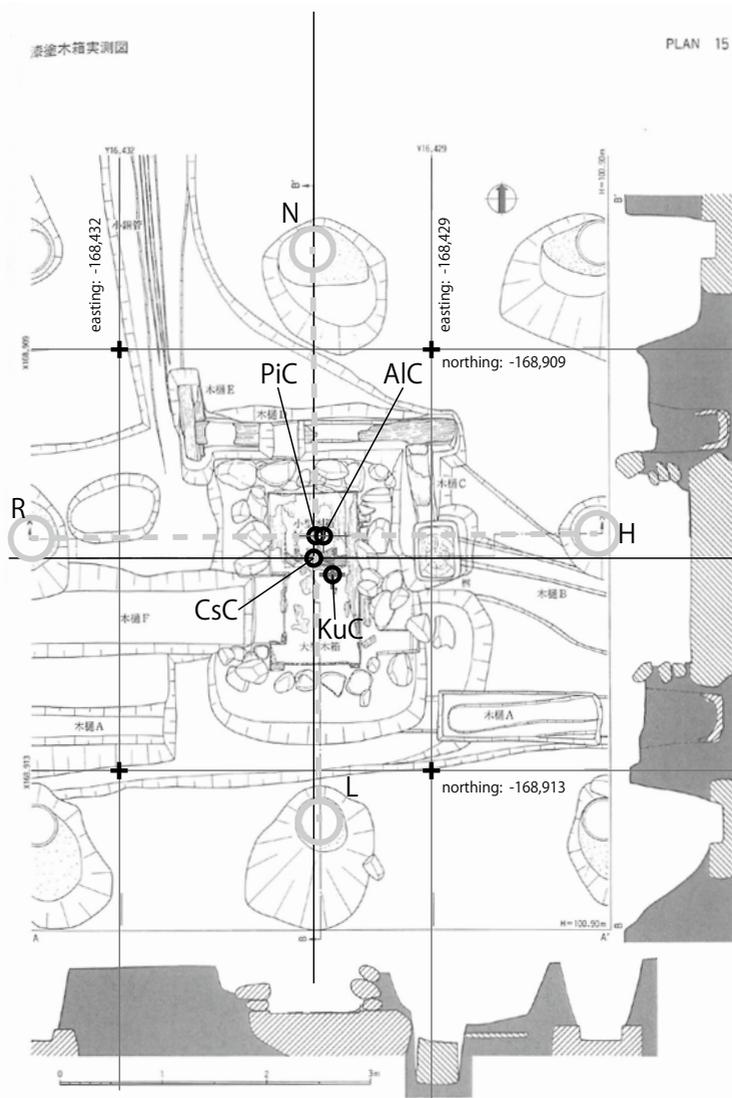


図1 漆塗木箱実測図とその上にプロットした4基準点
基壇中央に関わる3心PIC, KuC, AICの解説は表1の注記に示している。

2. 基壇中央の位置の再評価

木下ほか（1995）の漆塗木箱実測図（Plan 15）には、旧測地系平面直角座標系 VI の（easting, northing）について2本ずつの座標軸位置が短線分でマークされており、それに従って、この実測図を基図とする図1には4本の座標軸を描いている。この4本の座標軸が作る矩形領域に礎石建物 SB200の中心域が含まれる。この矩形の頂点を利用して、イラストレータ上の画像と旧測地系平面直角座標系 VI の座標値を表1にまとめている。前者は、イラストレータ表示内で直線ツールをクリックした上でシフトキーを押しながら移動すると、画像座標値が見ることができる。なお、(x, y) 座標軸は、左上に原点を持ち、（右方向、下方向）に向かっている。そのようにして、4頂点の画像と旧測地系平面直角座標系の対応座標値を得た。

ここでは基壇の中心候補として4心を挙げる。「柱心交差心」とは、基壇中央周辺の東西南北4本の柱心を通るほぼ東西と南北の線分の交点から図学的に求めた交点である。「CS6交差心」は、考古学的な測量の慣習から求められたものであり、平面直角座標系の座標軸の平行移動操作をして、いわば基壇中央が求められている。「黒崎の漏刻台心」は、黒崎（2011：表2）が奈文研1981-1982調査に基づいて示したものである。木下ほか（1995）の報告は奈文研の飛鳥水落遺跡の歴代の報告の総括的なものであり、データソースは共通している。ここで「想定方格域心」と言っているのは、木下ほか（1995）の水落遺跡全域のPlan2遺構実測図をもとに、基壇上の敷石や柱心から求めた基壇正方形の対角線の交点にあたる（木庭、2017：図3）。この水落遺跡全域のPlan2遺構実測図は名称通り実測図ではあるが、小縮尺で表示されており、図学的精度は必ずしも高くなく、これを使って得られた基壇中央を代表する座標値には、「柱心交差心」に比べると限界がある。とはいえ、「想定方格域心」は全柱心などの広範な構造物を使って得たものであり、この点では優位性がある。

「柱心交差心」と「CS6交差心」の旧CS6座標値は、ベクトル方向を考慮の上、画像と旧測地系間の比例式で求めることができる。両心の差は、（easting, northing）=（0.0065, 0.0566）mに過ぎず、測量と図化作業の誤差内とも言える。

表1 水落遺跡基壇中央4心の座標値

位置名称	画像 (cm)		旧CS6 (m)		新CS6 (m)	
	x	y	easting	northing	easting	northing
左上頂点	44.89	83.37	-16432.00	-168909.00		
右上頂点	120.31	83.37	-16429.00	-168909.00		
左下頂点	44.89	184.78	-16432.00	-168913.00		
右下頂点	120.31	184.78	-16429.00	-168913.00		
柱心交差心 PiC	92.34	127.94	-16430.78	-168910.26	-16692.43	-168563.62
CS6交差心 CsC	91.85	133.68	-16430.78	-168910.32	-16692.43	-168563.68
PiC - CsC	0.49	-5.74	0.00	0.06		
黒崎の漏刻台心 KuC	96.38	137.65	-16429.95	-168911.14	-16691.60	-168564.50
想定方格域心 AIC	94.20	128.32	-16430.04	-168910.77	-16691.69	-168564.13
AIC - PiC	1.86	0.38	0.74	-0.51		

注記：

旧測地系から新測地系の変換は、国土地理院Web版TKY2JGD ver.1.3.80

<http://vidb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/tky2jgd/main.html> を利用した。

柱心交差心(図1のPiC, pillars' cross)とは基壇中央周辺の東西南北4本の柱心を通るほぼ東西と南北の線分の交点から図学的に求めた交点である。

計算式： $(\text{easting}, \text{northing}) = (-16432 + 92.34 / (120.31 - 44.89), -168909 - 127.94 / (184.78 - 83.37)) = (-16430.7756563246, -168910.261611281) = (-16430.78, -168910.26)$

CS6交差心(図1のCsC, CS6's cross)は、考古学の測量慣習からもとめられたものである。平面直角座標系の座標軸の平行移動操作をして、いわば基壇中央が求められている。遺跡は天の北極軸を使って建造されたものであるが、建設当時の方位認識は柱心の配置に現れているのであって、このCS6交差心は、この建設当時に配慮された中心とは考えられない。

計算式： $(\text{easting}, \text{northing}) = (-16432 + 91.85 / (120.31 - 44.89), -168909 - 133.68 / (184.78 - 83.37)) = (-16430.782153275, -168910.318213194) = (-16430.78, -168910.32)$

黒崎の漏刻台心(図1のKuC, Kurosaki's cross)：黒崎(2011: p.56)の表2には、奈文研1981-1982調査とされており、新測地系値である。これを旧測地系値に変換し、下記の計算式で画像座標値を決めた。

$x = 120.31 - (-16429.9519 - (-16429)) / ((-16432) - (-16429)) * (120.31 - 44.89) = 96.38$

$y = 83.37 + (-168911.1410 - (-168909)) / ((-168913) - (-168909)) * (184.78 - 83.37) = 137.65$

想定方格域心(図1のAIC, all structures' cross)とは、木下ほか(1995)の水落遺跡全域のPlan2遺構実測図をもとに、基壇上の敷石や柱心から求めた基壇正方形の対角線の交点にあたる(木庭, 2017: 図3)。この座標値も黒崎の漏刻台心と同様に求められる。新測地系を旧測地系に変換し、下記の計算式で画像座標値を求めた。

$x = 120.31 - (-16430.0385 - (-16429)) / ((-16432) - (-16429)) * (120.31 - 44.89) = 94.20$

$y = 83.37 + (-168910.7730 - (-168909)) / ((-168913) - (-168909)) * (184.78 - 83.37) = 128.32$

さて、木下ほか(1995)の報告書はCS6座標系を使ってはいるが、旧測地系なので、図1には、国土地理院Web版TKY2JGD ver.1.3.80²⁾を利用して、新測地系に変換した結果も示している。このサイトによれば、真北方向角は、+0°06'10.38"である。「黒崎の漏刻台心」は新測地系で示されており、他点との比較のために、旧測地系に変換して更に画像の座標値を比例式で求めている。

「想定方格域心」の新測地系座標値は、Plan2遺構実測図をもとに、GrassGISの新測地系CS6のロケーションに筆者が取り込んだ水落遺跡分布図の基壇中心

にあり、

```
r.what -f input=UnebiyamaDEM5bCS6@Asuka east_north
=-16691.686515372825,-168564.13196701164
```

となった。これを旧測地系に変換して、「柱心交差心」と比較すると、画像上では $(x, y) = (1.86, 0.38)$ cm、旧測地系では $(easting, northing) = (0.74, -0.51)$ mとなっており、極めて僅差となっている。

後述するように、基壇上の建物内には天文台の機能を果たす土俵が設置されていたと筆者は考えている。『周髀算経』に示されている天文観測環境の実現のためである。漏刻の設置点は天香具山山頂から伸びる天の北極軸（以下、天の北極軸と表現）に載る必要性は全く無いが、図1の木箱の配置位置からすると、できるだけそれに載せる意図はあった。基壇心は天の北極軸上に載る。当然ではあるが、礎石建物 SB200建設の出発点は、基壇心を天の北極軸に載せることであった。もちろんこの東西位置だけでなく南北位置も重要ではあったろうが、現在そのランドマークを探し得ていない。基壇は基壇心から放射状に設計されていた筈である。この観点からすると、「柱心交差心」は基壇設置プロセスの結果から推定したものであって、「柱心交差心」がより基壇心を反映したものであると考えることができる。もちろん、図1のPiCは漆塗木箱の南北軸に一致している。

以上のことから、天の北極軸を中心とする天球の観測点を、 $(easting, northing) = (-16692.43, -168563.62)$ とする。木庭がDEMから求めたおよその天香具山山頂 $easting$ 値は、 -16692.49 ゆえ、「柱心交差心」の東西方向のズレは6cmと極めて小さく、完全一致と考えて良い。

II. 水落遺跡からのスカイラインの復元

1. r.horizon コマンド処理

GrassGISのr.horizonコマンド（GrassGISのヘルプ参照³⁾）でsingle point modeを使うと一地点から全周のスカイラインを求めることができる。この処理結果は、macのコマンドモードの場合にはx window systemに表示される。

この処理実行前に、次のコマンドで処理対象領域の設定が必要となる。

```
g.region rast=elevation -p
```

この g.region (GrassGIS のヘルプ参照⁴⁾) で使用する DEM (Digital Elevation Model) をこの例では elevation としている。本報告のスカイライン抽出の目的からすると、10mDEM で十二分の筈で、後述の処理によって、奈良盆地全域をカバーするものを利用した。-p フラグによって、x window system で、rast=elevation で指定した DEM の領域を見る事ができ、その上で、下記のように r.horizon を実行することになる。

```
r.horizon elevin=elevation direction=東からの反時計回りの角度(度) step=増分(度) 0はdirectionで指定した方向角に限定する bufferzone=距離(m) coord=easting 座標値(m), northing 座標値(m) maxdistance=距離(m) -d
```

DEM を GIS 上で表示すると、観測点からのスカイライン位置はおおよそ予想できる。観測点周辺を予め計算対象から外せば計算負荷は小さくなるので、bufferzone 設定は不可欠のものではある。maxdistance も想定しうるものではあるが、特定しない場合、使用する DEM の領域に限定される。結果を得るのが PC の DRAM メモリー不足で難しい場合、方向角範囲をいくつかに分けて、r.horizon を実行するのもいいかと思われる。direction = 東からの反時計回りの角度(度) step = 増分(度)、で、direction=90 step=5 とすると北から反時計回りに 5 度間隔、つまり、72 方位のスカイラインを求めることができる。-d フラグを付けるとデフォルトのラジアンに代わりに度で表示される⁵⁾。

2. 使用する DEM から想定されるパラメータ

図2a には、国土地理院の基盤地図情報のダウンロードサイト⁶⁾ から 10m メッシュ 2 次メッシュ DEM 2 万 5 千分の I 地形図図廓 15 枚分をダウンロードして GrassGIS に取り込み、r.patch でまとめた⁷⁾ NaraBasin10mDEM_Jan2017@Asuka を表示している。

g.region rast=NaraBasin10mDEM_Jan2017@Asuka -p

を実行の上, r.horizon 実行に進む。

bufferzone については, 図 2c の最寄りの山地域である甘檜丘の南北方向の山稜に掛から無いので, bufferzone=100とする。coord は, 「柱心交差心」なので, coordinates=-16692.43,-168563.62。maxdistance については, 図 2a 北縁部では奈良盆地(大和)から山背に抜ける木津川河谷が見え, さらにより北方向にも障害物は無く maxdistance を特定する必要はない。座北 grid north からの回転角度の範囲と間隔であるが, 座北を中心に配置するように設定したので, direction=-90とする。

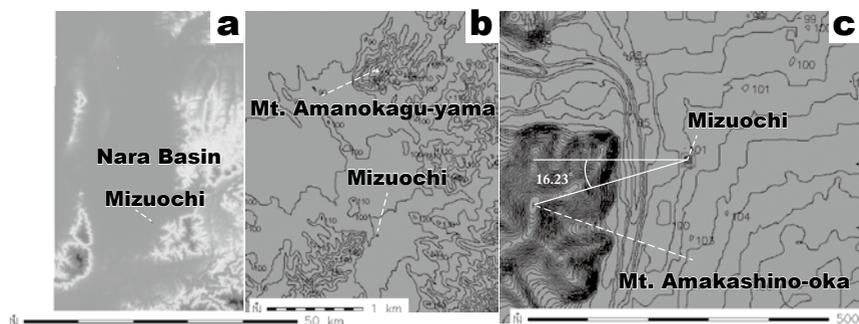


図 2 水落遺跡の位置

a. 奈良盆地での位置 b. 天香具山との位置関係 c. 甘檜丘との位置関係

3. r.horizon の計算結果

x window で g.region と r.horizon を実行した。いずれも瞬時に計算される。

入力 : GRASS 6.4.4 (Plane6_JGD2000) : ~ >g.region

rast=NaraBasin10mDEM_Jan2017@Asuka -p

出力 (一部省略) :

north:	-129362.55350731	south:	-184891.66976064		
west:	-34505.02587185	east:	3.35149119		
nsres:	4.99992043	ewres:	4.9997649		
rows:	11106	cols:	6902	cells:	76653612

入力：GRASS 6.4.4 (Plane6_JGD2000)：～>r.horizon

elevin=NaraBasin10mDEM_Jan2017@Asuka direction=-90 horizonstep=5
bufferzone=100 coord=-16692.43,-168563.62 -d

出力（一部省略）：(270.000000, 3.763144) から (360.000000, 6.498482) (5.000000, 6.498482) を経て, (265.000000, 3.899715) まで72点の結果が出力される。(360.000000, 6.498482) の360度（つまり0度）は, 平面直角座標系の northing 軸から時計回りに90度の方向角をなす easting 軸にあたっている。言い換えると, 座北対応点は easting 軸から反時計回り90度の方向角をなし, (90.000000, 0.352976) にあたっている。

NaraBasin10mDEM_Jan2017@Asuka で r.what -f を使って観測点の海拔高度を求めると, 101.3933となり, およそ101.4mとする。前述のように, この付近の真北方向角は +0°06'10.38" なので, northing 座標軸から+つまり時計回り 0°06'10.38" = 0.1029° が子午線方向に一致する。それゆえ, 上記出力の方向角に一律に0.1029° を + する必要がある。つまり, 例えば座北対応点は方位角に変換すると, (90.000000+0.1029, 0.352976) となる。

4. 得られたスカイラインの検討

図3には, 10mメッシュ DEM および5mメッシュ DEM を利用した基壇中央からの全周スカイライン分布を示している。別途, 幾つかの断面図を作成すると, 10mDEM で作成したものは極めて精度は低く, 5mDEM を使って作成したものは個々の断面図と一致する。

この原因は, r.horizon のアルゴリズム⁸⁾ と国土地理院の DEM の作成法によるものと考えられる。r.horizon では, r.sun⁹⁾ の陰影効果を求めるアルゴリズムが利用されている。水落遺跡から視準するのであるが, 水平から始めて高角度へと徐々に増加して, 近距離から遠距離に進むに従って, 対象領域内について, より高い高度の地点を採用してゆく。国土地理院の DEM10mメッシュと5mメッシュは, 前者が2万5千分の1の地形図上で縦横0.4mm幅のメッシュを想定して高度を得たもので地表高度が平均化されている。5mメッシュ

の方はレーザー測量によるもので地表の凹凸がほぼ正しく表されている。

図3の両メッシュ間の違いを見ると、天香具山山頂より西の甘樫丘などを含む180度域についてはあまり大きなズレはないが、東の御破裂山などを含む180度域については、10mメッシュのスカイライン高度は5mメッシュが示す実際の地表高度と対応が悪い。天香山の山頂も10mメッシュには現れていない。

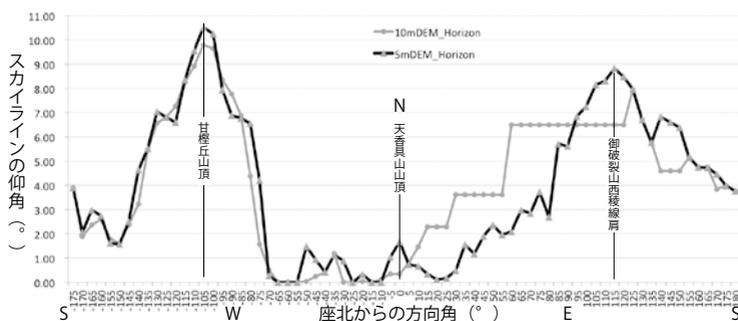


図3 水落遺跡基壇中央からの方向角を横軸とするスカイライン仰角の分布

横軸：座北からの方向角（座北から右手は時計回りで左手は反時計回り）。

縦軸：スカイラインの仰角（°）。

図4で見ると、北天のうち天香具山などのスカイライン高度は1度を超える方向も多少はあるが、視界は開放されている。西南西方向や東南東方向では10度前後に達する場合が見られる。この情報を踏まえて、次の天球の視界を求めてゆくことになる。

水落遺跡に立って甘樫丘方面を見るとかなり圧迫感がある。図4を理解するべく、この方面についての断面図を示してみよう。つまり、図2cに示した水落遺跡の西方から南へ16.23°の方向の断面である。図5aでは水落遺跡から甘樫丘の頂上までの断面を示す。水落遺跡からの方向線は、距離180m付近で山体に接しつつ、頂上に達している。この仰角は図5aに示したように、ほぼ10.0°を示す。図4の断面方向は座北から5°間隔なので多少の差があるが傾向は一致する。図5bに示すように甘樫丘は水落遺跡からの金剛山地の視界を遮蔽している。

飛鳥時代の水落天文台遺跡から観測された天球（木庭）

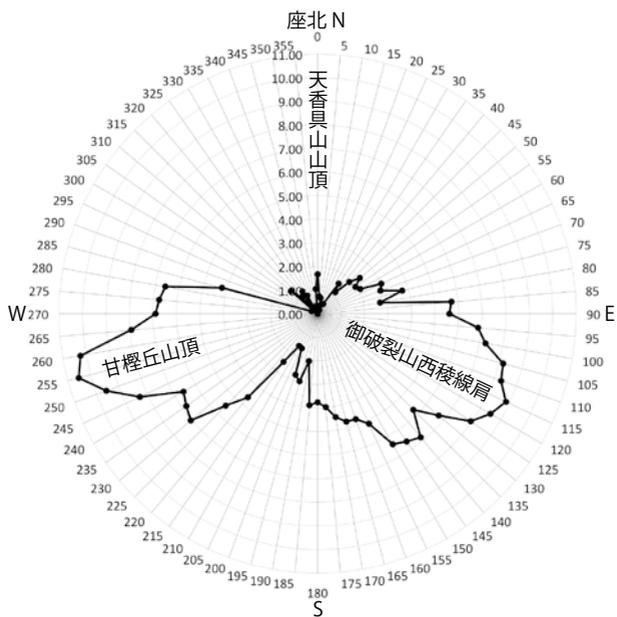


図4 水落遺跡基壇中央からの5mメッシュDEMによる配置図

図3の5mメッシュを使ったスカイラインの分布を座北からの時計回りの方向角で表している。

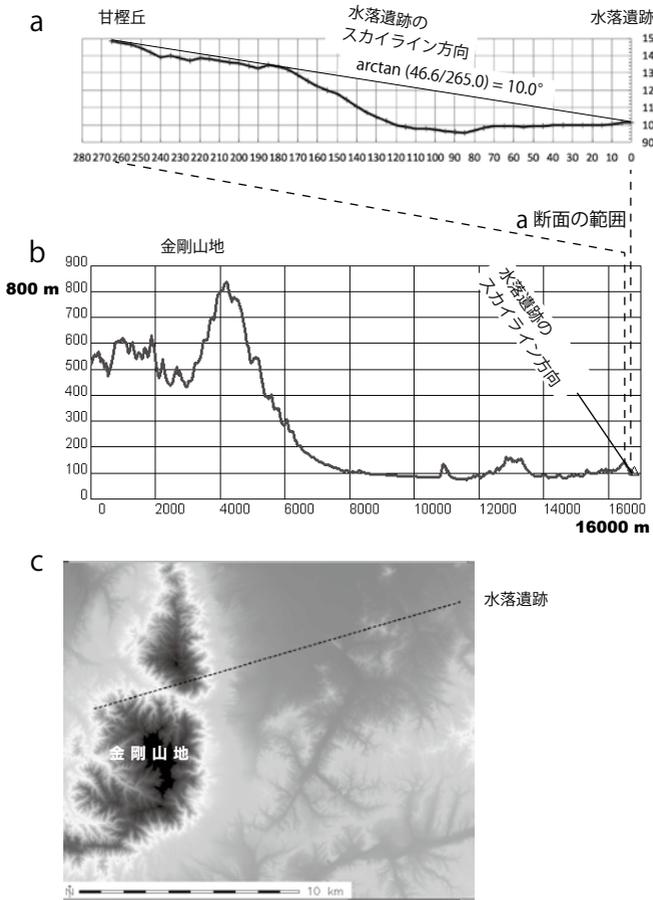


図5 甘樫丘方面のスカイライン方向線の確認

- 水落遺跡から甘樫丘までの断面と仰角
比高/距離 = 46.6/265.0であって、このarctangentを取ると、 10.0° 。
- 水落遺跡から甘樫丘を通過して金剛山地までの断面
水落遺跡から甘樫丘に達した段階でこれより西方では交差しうる高度の地形は見られない。
- 断面bの経路

Ⅲ. 水落遺跡から観察可能な天球

1. 暦数を求めるために必要な天体とその運行

木庭（2016a: pp. 2-3）は、飛鳥時代推古期の天の北極信仰の確立や暦数の獲得を示している。蘇我馬子や厩戸皇子などによる大陸文化を積極的に取り入れ自らのものとする機運のなか、推古十（602）年十月に来朝した百濟僧観勒の指導のもとで書生らが元嘉暦を学び、暦作成と解釈のための天体観測が実施されて後に、推古十二（604）年正月朔日から元嘉暦が自らの暦として運用されるようになった。長保四（1002）年頃成立した『政事要略』に引用されている孔安國伝『尚書正義』堯典¹⁰には（木庭，2016a: pp. 3-4），

〔天の赤道は、二十八星座からなる（月の）宿に分かれるが、各宿の目印の星は中星（距星）とされている。「『日月所會』謂日月交會於十二次也』とあるので、辰は、^{じゅうにじ}十二次¹¹をさす。太陽は毎月十二次を一次ずつ移動し、それぞれの次で日月は月1回会合する（新月に対応し、完全一致の場合は皆既日食）。「曆象其分節」に対する特別の説明は無いが、天の赤道上の二十八宿の星座、そしてその上の月の運行、十二次の月と太陽の運行を観察して、二十四節気などの季節の移り変わりを得て暦を作成する〕となる（木庭訳、一部変更修正）。

暦数を求めるためには、日月のそれぞれの軌道である黄道と白道の観測が必要である。日月の位置は天球上に固定している恒星がなす天の赤道上の二十八宿の星座が眺望されなければならない。後漢時代には天球モデルは蓋天説から渾天説（張衡）になっている。まずは天の北極を求めて後に、暦に従って、日月さらには五惑星の軌道上の位置を決定する。暦を作る上で最も重視されたのは冬至の日のものである。僧観勒来朝後、遅くとも暦開始前年の冬至の日に北極^{せんきしゆう}璿璣四游を実施しているはずであった。なお、天の北極を捉え、天球の運行を知る上で北斗七星は指針となっており、当然ながらこれによって、日月の運行と、天の赤道付近にある二十八宿の星座の位置を把握することができたのである。

2. 黄道, 白道, 五惑星, 天の赤道上の二十八宿

2.1 二十八宿と五惑星の黄道との角距離

古代中国の暦は天の北極と赤道を基準とする赤道座標で組み立てられている。元嘉暦には、赤道の歳差¹²⁾は組み込まれていないが¹³⁾、もちろん観測当時の天球を復元する際には歳差も考慮されていなければならない。赤道面と黄道面は春分点と秋分点をつなぐ軸で交わっており、二十八宿については、およそ二至二分の四日間で、地球上一点点からの天球の眺望を知ることができる。

月の公転軌道面は地球の公転軌道面である黄道面に近く約 5.1° ほどの傾きを持ち、月齢の算出には両公転面は同一平面と考えてもよいとされる¹⁴⁾。五惑星の軌道傾斜角、つまり黄道面となす角度¹⁵⁾はそれぞれ、水星 7.0° 、金星 3.4° 、火星 1.8° 、木星 1.3° 、土星 2.5° である。地球の赤道傾斜角は、 23.44° であるから、赤道面からの太陽高度は $+23.44^\circ \sim -23.44^\circ$ の間を昇降する。それゆえ、二十八宿は天の赤道または黄道に沿う星座群が歴史的に培われてきた結果といえる。

図6には、2000年1月1日午前0時の天球を示している。太い白線で描いた環は、赤緯の同心円の中央に位置する天の赤道を示す。中心から多少はずれたほぼ環をなす白い破線は黄道である。恒星で構成される二十八宿の各星座は天の赤道または黄道付近に位置している。この天球図で固定点と考えられるのは、太陽以外の恒星であり、これらと天の赤道との位置関係はこの図で求めることができる。この段階では歳差運動を考慮していない。

この図6で天の赤道から最も南に外れているのは尾宿で、その南縁はほぼ赤緯 -43° にある。他方、最も北に外れているのは奎宿で、その北縁はほぼ $+42^\circ$ にある。いずれもその位置を白丸で囲んでいる。

五惑星は黄道との角距離について多少変動するが、おおよそ黄道に沿って分布しており、この二十八宿の赤緯 $-43^\circ \sim +42^\circ$ の範囲に含まれる。

飛鳥時代の水落天文台遺跡から観測された天球（木庭）

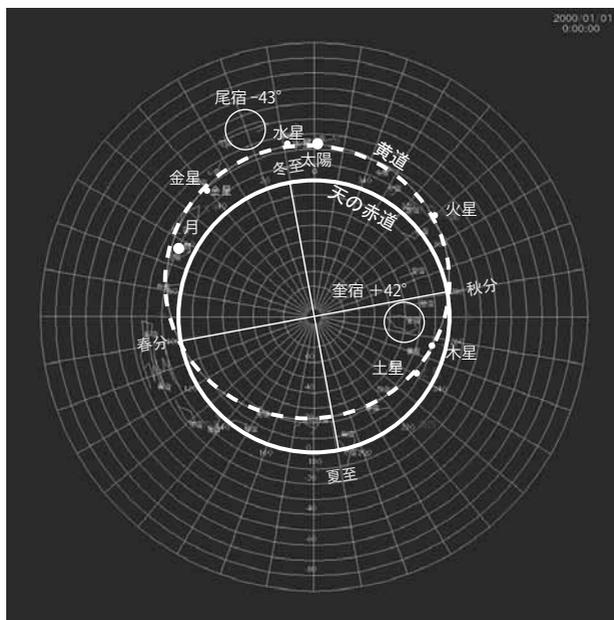


図6 現天球図に投影された二十八宿¹⁶⁾

経緯線網の中心は天の北極。この図では天の赤道を太い実線の環で、破線は太陽の軌道つまり黄道を示す。

2.2 赤道座標系と観測点の視界

2.2.1 水落遺跡基壇中央の経緯度

赤道座標系での水落遺跡の観測点からの視界を得るのに、まずは、柱心交差心の平面直角座標値から、経緯度値を得る必要がある。国土地理院の計算サイト¹⁷⁾で変換した結果を次に示す。

easting (m)	northing (m)	地理経度 (°) E λ	地理緯度 (°) N φ
-16692.43	-168563.62	135° 49' 05.76815"	34° 28' 49.32832"

地理経緯度と天文経緯度は鉛直線偏差と自転軸の変動で厳密にいえば異なるが最大数秒以内¹⁸⁾なのでここでは、地理緯度 ϕ = 天文緯度 ϕ^* 、地理経度 λ = 天文経度 λ^* とする。

2.2.2 西暦と和暦の二至二分

水落遺跡での天文台設置年を『日本書紀』齊明6年夏5月の条に従って、西暦660年とする。この年の二至二分に当たる日をまずは求める。表2に示したように、まずはユリウス暦660年の二至二分の日を得て、それを和暦に変換した。西暦は1582年10月4日まではユリウス暦で示されるので、660年もユリウス暦である。和暦とは言っても当時使われていたのは、中国由来の元嘉暦である。その和暦では十一月朔日が一律に冬至日とされる。冬至日の黄経誤差を木庭(2016a: 図2)に示すが、ほぼ11日のズレを示している。表2に示す天文学的な冬至日は11月11日となっており、ほぼ一致する。

表2 二至二分などでの二十八宿観測可能時間

	春分 (黄経 0°)	夏至 (黄経 90°)	秋分 (黄経 180°)
ユリウス暦660年	3月17日22:04:13	6月19日13:21:12	9月20日11:44:42
齊明六年	二月朔日	五月六日	八月十一日
観測時間	17日18:56-18日5:10 (10h14m)	19日23:05-20日3:48 (4h43m)	20日0:13-4:40 (4h27m)
観測可能宿	16~28, 1~15 (全28宿)	1~15, 16~19 (19宿)	10~23, 24~27 (18宿)
	冬至 (黄経 270°)	冬至最寄り朔日	
ユリウス暦660年	12月18日11:42:09	12月8日	
齊明六年	十一月十一日	十一月朔日	
観測時間	18日2:50-5:50 (3h00m)	8日17:50-9日6:10 (12h20m)	
観測可能宿	18~28, 1~6 (17宿)	9~28, 1~6 (26宿)	

注記:

1. ユリウス暦の二至二分は、<http://m.jieqi.911cha.com/660.html> で得た。
2. 元嘉暦齊明年号への換算は、次のカシオ計算サイトで実施した。
<http://keisan.casio.jp/exec/system/1240128137>
1582年10月4日まではユリウス暦。

2.2.3 水落遺跡からの二十八宿などの観測視界

およそ北緯34度29分に位置する水落遺跡からの天球の視界はどのようなものであったのか。山深い地からでは、大切な星座が周辺の山々の影になっていたのではないかと、天文台の役目を果たすことができなかつたのではないかと、などと考える。そして、幾何学的に次のように調べてみると、問題がないことがわかつたのである。

図7に幾何学的なシミュレーションの結果をまとめている。前述のように、

飛鳥時代の水落天文台遺跡から観測された天球（木庭）

地理緯度 ϕ = 天文緯度 ϕ^* と考えており、この図の ϕ は $34^\circ 28' 49.32''$ としている。この場所の地形を無視した視界を水落遺跡の緯度位置に接する半円内に示している。天の北極軸は、地球上のどこから見てもその視準軸は平行である。天の北極軸は天球の回転軸にあたる。地球と観測視界がなす半円の接する水落遺跡の緯度位置から赤道に平行な線分を引くと、天の赤道となる。

この半円上には天球の赤緯（ δ で示す）座標を想定することができる。図7で水平方向が赤緯 0° で、これより北方向では 90° までのプラス値、南方向では $\phi - 90 = -55.52^\circ$ のマイナス値を取る。半円上には、北から天頂、夏至点、春(秋)分点、冬至点を示す。

観測点からすると地平線下に絶対沈まない星である周極星と出没星との境界は、 $90 - \phi = +55.52^\circ$ となる。周極星は赤経を知る上で便利で、最も利用されてきたのは言うまでもなく、北斗七星である。これを構成する七つ星の赤緯位置¹⁹⁾を図7に示している。 α 、 δ 、 β 、 ϵ の4星が周極星に当たっており、いわば通年で観察することができる。

前述のように最も注目すべきは二十八宿であるが、奎宿北縁が $\delta = +42^\circ$ 、尾宿南縁が $\delta = -43^\circ$ におよそ当たっていて、この範囲はおよそ天頂付近から南の空に二十八宿を捉えることができることになる。

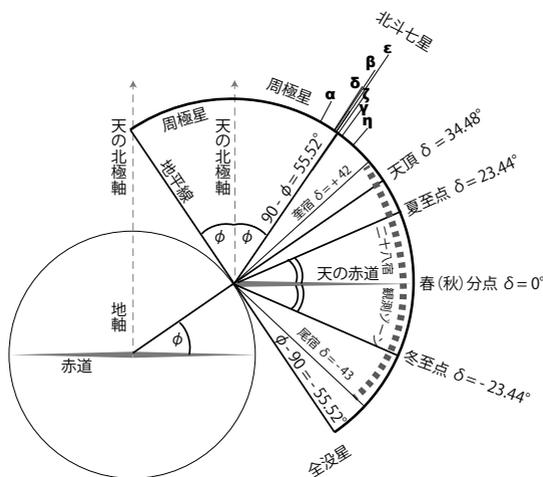


図7 水落遺跡からの天球上の視界

2.2.4 二十八宿とスカイラインの関係

前述のように、二十八宿について、天の赤道から北の空については観察視野に十分な余裕があるが、その南の空については、尾宿南縁の赤緯 -43° と南の地平線の -55.52° とは、両者の差 12.52° に限られる。図4を見ると、水落遺跡からはほぼ西南西方向の甘樫丘でも 11° を切っており、結局、二十八宿に関しては全方位で観察が可能であることが理解できるのである。

IV. 齊明六年の二十八宿の観測環境

1. 二十八宿とその距星の定義の持続性

周知のごとく、地球の自転軸（地軸）は公転面（黄道面）の垂直方向から 23.44 度傾いて、その向きは変わらず公転している。地球の自転と公転の方向は公転面の地球の北極側から見ると、いずれも反時計回りに回転しているので、地球の公転により移動した分だけ、太陽が南中するには、前日に比べて 360 度よりも余計に自転しなければならない。ケプラーの第二法則により、近日点付近では公転速度は増して太陽が南中するのに時間がかかり、遠日点付近では逆の現象が生じる。さらに、地軸が傾いていることで、赤道方向についてみると、二分時には太陽の南中のための余分の自転量は少なく、二至時には多くなる。この両者の合成の結果が太陽の南中時に対応する²⁰⁾。他方、地球の自転軸は $25,800$ 年の周期で黄道極軸の周りを時計回りに、すりこぎ運動、つまり歳差運動をしている。そして黄道面自体も歳差運動をしている。これらのために、太陽系から離れた恒星の南中高度や南中時刻もこの周期で変化しているのである²¹⁾。

藪内（1949：p. 4）によれば、「中国の古典である尚書堯典には鳥・火・虚・昴という星座の南中によって春夏秋冬を正したと見えているが、この南中を観測することは、中国に限られた方法ではないまでも、中国に於いて特に多く使用されたものと言える」としたように、中国では日月五星だけでなく恒星についても南中を重視している。南中の観測には天の北極軸、言い換えると南北の子午線を知らなければならないが、その上で、二十八宿を観測することになる。

さらに藪内（1949：p. 5）によれば、「観測されるのが一個の星ではなく、星座の南中が対象となっている場合には、星座自身がある広がりを持っているから、その星座の中から更に標準となるべき距星を選んでおかなければならない。しかし、古代の記録に見えた南中記事は、これらの点について明確に記録していない」とある。二十八宿が精緻な測量の上に確定され、運用されたものではないが、長い間、季節を知り農耕などの時期を知る目安であり、それゆえにこそ、伝統が引き継がれてきたものであろう。

能田（1943）は、『礼記月令天文攷』と題する論文で、「（中国最古の歴史書とされる）堯典の天象は、月令の（に示された）天象より新らしきものにあらず、平均を以って言えば西紀前二〇〇〇年頃の天象なるべきことを推定」（p. 412,（ ）内は追加）などという。能田は文献学的に研究した結果、「故に月令に見えたる建星及び宿星は、之を全く今日建星・弧矢と称する所の星宿として取り扱いて、敢えて不可無かる可し」とした。

小川清彦は「支那星座管見」（1934、二編に分割されて掲載）と「続支那星座管見」（1935、二編に分割されて掲載）で、中国の伝統的な星や星座の同定をしている。このシリーズの最後の報告の結びで、「従来支那星座の星と泰西星座の星との照合は、『欽定儀象考成』（ドイツ人宣教師ケーグラー、中国名戴進賢著、1752年）及び『星辰考原』²²⁾（ドイツ人中国学者および自然科学者シュレーゲル著、1875年）の2大著述によって、ほぼ大成の域に達したと信じられていた」（（ ）内については小川の著作から抽出）のだが、これらの業績に対して「かなりの疑問」を持ち、「これまで度外視されていた春海の見解が決して無視すべからざるものであること、また『南宋天文図』が従来の予想以上に信憑すべき価値あるものなることを明らかにした」としている。二十八宿については、「ことさら除外したのは、その同定に疑問がないか、あるいはあっても決し難いものであるからである」としている。

能田（1943）は、清代の道光年間（19世紀中期にあたる）になった『欽定儀象考成続編』の星図歩天歌から二十八宿の距星を抽出している。そして、能田によって、IAU 星座分類バイエル符号が付された。二十八宿は西方から東方

へと順序づけられているので、慣例に従って、ナンバーを付加している。その結果を表3にまとめた。これについては、次の節に示したキトラ古墳天井壁画の概説ののちに解説する。

表3 二十八宿とその距星

No.	二十八宿	距星IAUバイエル符号	視等級	星図歩天歌抜粋	No.	二十八宿	距星IAUバイエル符号	視等級	星図歩天歌抜粋
	東方七宿					西方七宿			
1	角 かく	おとめ座 α Vir Spica	0.97	角宿微斜距在南	15	奎 けい	アンドロメダ座 ζ And	4.08	南西三顆中為距
2	亢 こう	おとめ座 κ Vir	4.18	距在中南象似弧	16	婁 ろう	おひつじ座 β Ari	2.65	三星婁宿距為中
3	氐 てい	てんびん座 α Lib	5.15	正西為距亢東看	17	胃 い	おひつじ座35 Ari	4.64	以西為距著晶暈
4	房 ぼう	さそり座 π Sco	2.89	距亦中南直參	18	昂 ぼう	おうし座Pleiades 星団 η Tau	2.87	距亦當西向下尋
5	心 しん	さそり座 σ Sco	2.88	中座雖明距在西	19	畢 ひつ	おうし座 ϵ Tau	3.53	距當東北八星岐
6	尾 び	さそり座 μ 1 Sco	3.04	九星勾折距西中	20	觜 し	オリオン座 λ Ori	3.66	距是北星三聚簇
7	箕 き	いて座 γ 2 Sgr	2.99	距為西北本常經	21	參 しん	オリオン座 δ Ori Alnitak	1.79	距在中東自古標
	北方七宿					南方七宿			
8	斗 と	いて座 ϕ Sgr	3.17	正界魁衡是距星	22	井 せい	ふたご座 μ Gem	2.87	鏡星附距一珠含
9	牛 きゅう	やぎ座 β 1 Cap	3.08	正中為距斗東求	23	鬼 き	かに座 θ Cnc	5.34	西南為距四方形
10	女 じょ	みずがめ座 ϵ Aqr	3.77	距在西南應誌認	24	柳 りゅう	うみへび座 δ Hya	4.15	距是西星名柳宿
11	虛 きょ	みずがめ座 β Aqr	2.89	虛宿為名距在南	25	星 せい	うみへび座 α Hya Alphard	1.97	星宿為名距正中
12	危 き	みずがめ座 α Aqr	2.94	折中東企距南星	26	張 ちよう	うみへび座 ν 1 Hya	4.12	方際西星應作距
13	室 しつ	ペガスス座 α Peg Markab	2.48	距亦南星室宿名	27	翼 よく	コップ座 α Crt	4.07	中如張六距依同
14	壁 へき	ペガスス座 γ Peg	2.84	以南為距數依同	28	軫 しん	からす座 γ Crv Gienah	2.58	西北一星詳認距

2. キトラ古墳石室天井の天文図

表3のNo.は、天空上の二十八宿を西から東に数えられたものである。7世紀末～8世紀初めに成立したとされる図8キトラ古墳石室天井の天文図を例示する。図8は、子午線の南側に正対して、天空を見上げて見える天球を示している。観測地は北半球中緯度にあるから、図7に示した天球の視界から理解できるように子午線の北側つまり天頂の北側を観察するには180度、体軸を回転する必要があるが、天体の南中に重きを置くので、子午線の南側に正対する天球図が描かれたものと言えるのである。この図上の天球は、それゆえ地上から観察できる天球を捉えるには、この図を反時計回りさせなければならない。換言すれば天球の日周運動を実現するには、この図を固定して、例えば図8の春分点に置いた天の北極軸を時計回りに回転することになる。天体の南中をこの図で実現するには、天の北極軸を天の赤道の中心である天の北極（図中に太い黒十字で示す）から時計周りに回転すればよい。

二十八宿の認識を容易にすべく、図中では太い数字を付加したが、これは表3のNo.に対応している。一般に、距星はそれぞれの星宿の西端に置くとされる。このキトラ古墳天文図はデフォルメされていることもあって、図8では必ずしもそうはなっていない。後に示す西暦660年のシミュレーション天球図(図10, 11)であっても、距星すべてが西端には位置していないが、これは定義後の歳差運動の結果と考えられる。

No. 1の角宿は図中の左下にある。これから、天の北極軸を時計回りに回転すると、No. 2亢宿, No. 3氐宿, と連なってゆく。時計回りの方向が東方向にあたる。各宿の西端にその距星があり、東隣の宿の距星までの赤経差を赤道広度または赤道宿度と言う。距星の天の赤道への射影がその赤経にあたり、両距星の赤経の差を赤道宿度というのである。言い換えると、天の北極軸を二つの距星上に載せて得られた天の赤道の二つの交点の角距離が赤道宿度といえる。能田(1943: pp. 455-458)によれば、「支那歴代の正史中、二十八宿の赤道廣度を始めて記載せるは、前漢書律歷志(後漢章帝のAD80年頃に班固などによって作成)にして、前節に引用せる漢志の二十八宿の相距離数は、即ち其の赤道廣度の当たれるものなる事、言を俟たずして明かなり。一方、淮南子天文訓(前漢武帝の頃に成立)にも、二十八宿の赤道廣度を(中略)記載し、周天は三百六十五度四分度の一となせり。(中略)然らば、漢よりして下、歴代の相距離数、従って距星の採り方に何等の変化無かりしや否や」云々とあって、距星間の角距離が過去記録されてきたことも理解できる。

天の赤道と黄道は年に二回交差する。その交点を、春分点、秋分点という。図8ではそれぞれ記号、 Υ と Ω で示している。春分点 Υ は図8ではNo. 15奎宿とNo. 16婁宿の両距星の間に在る。太陽はこの春分点から北半球に移動する。つまり、この図8では太陽も時計周りに回転している。秋分点 Ω はNo. 1角宿の距星(おとめ座 α Vir Spica)付近に位置している。

春分(秋分)点は、黄道上を毎年約 $50''$ ほどの速さで東から西へと移動している。これを歳差運動という。東から西への方向に移動することを、前進 precede すると表現し、歳差運動を precession という²³⁾。図8では春分点 Υ は

反時計回りに回転する。これを利用して、相馬（2016）は、このキトラ古墳の天文図の観測年は西暦300年±90年、観測地緯度は $33.9^{\circ} \pm 0.7^{\circ}$ とした。観測地緯度からすると、観測地を飛鳥とすることも可能ではあるが、観測年からすると飛鳥とすることはできず、中国の長安や洛陽としている。相馬は、天文図の限界のなかで、できるだけ精緻に分析し観測年300年±90年としたのではあるが、天文図表現の限界ゆえに、この結果はかなり流動的であり、計算結果の信頼性は高くない。

図8では、たとえばNo. 26 張宿とNo. 27 翼宿の位置が逆転して描かれているとされる。図10には、No. 26 張宿とNo. 27 翼宿の星座線が示されているが、赤緯線に平行な菱形と東西に伸びる尾の接続などはかなり類似している。距星の位置は図8と図10と比べると類似しているようである。能田によれば、二十八宿の観測は距星を求めて宿の他の星は目測で描かれたと言うのであるから、測量段階での誤りはないと考えた方が妥当であろう。

後に示す西暦660年の図11の右図に示された春分点さらには二十八宿などの位置は、概観するとキトラ古墳の天文図のそれとほとんど違いが見られない。木庭（2016a）に示したように、推古期には僧観勒の指導で日本での天球観測が開始された可能性が高く、キトラ古墳の天文図の原図は飛鳥で作成されたと考えるのが自然ではある。次々節でより深く論じたいと思う。

3. 二十八宿の距星の同定

表3の星図歩天歌抜粋欄には、二十八宿距星の所在が七字で示されているが、能田（1943：pp. 469-470）では、「昴参両宿の距星を除く外は、恰も符節を合するが如くに一致せるを見る。（中略）星図歩天歌に於いては、昴宿の距星は明らかに、17 Tau なれど、今は、先に述べたる理由に依り、明史に従いて、 η Tau (Pleiades 星団のこと、注記)を以って昴宿の距星と見做すべし」とする。これに引き続いて、「又、参宿の距星は、三ツ星(オリオン座の三ツ星のこと、注記)の中央星 ϵ Ori の東側に在る ζ Ori にして、明志に見えたるものは、参宿の三星の最西星、即ち中央星の西側に在る δ Ori なり。固より参宿の西方に

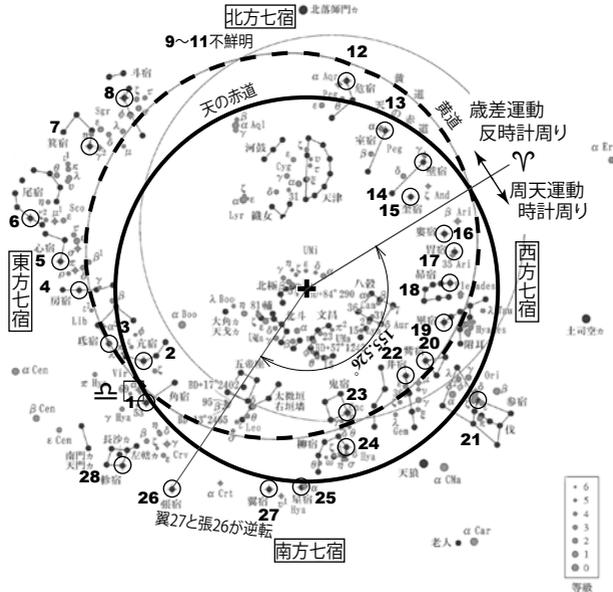


図8 キトラ古墳天井壁画の天文図

相馬(2016:図10)を元にして、本報告では幾つかの点について強調、削除、追加した。「西暦300年の星の位置」(黒色)と「キトラ古墳天文図」(赤色)の表示の前者を薄く、後者では、Adobe Photoshopを使って、イメージ/色調補正/色の置き換え、で、赤色を黒色に変換した。二十八宿の名称を明確にするべく、通常の配列である東方青龍の角宿から南方朱雀の軫宿までを1~28とし、追加した。北方玄武の9牛, 10女, 11星の3宿はキトラ古墳天文図では不明瞭でこの図には表記されていない。復元された西暦300年の天の赤道を実線の環で、黄道を太い破線の環で強調している。細い破線の環は、もともと描かれていたもので相馬は黄道と思しきものとしている。

位せる δ Ori を以って参宿の距星と為すこそ天文学上合理的なるものにして、此の距星 δ Ori にして始めて明史に見えたる如く、参宿が觜宿と交代して、参前み觜後るるの状を呈し得べし。而も此の δ Ori にして始めて歴代測る所の觜参各宿の星宿度を満たし得べし。故に参宿の距星としては、古来 δ Ori を採用し来れるものなること全く疑いを容れざるもの如し」とする。

能田(1943:第四表)では、No. 15 奎宿の距星対応バイエル符号として、アンドロメダ座 ζ And と η And が併記されている。能田(1943: pp. 471-475)には、No. 15 奎宿の距星として、 ζ And が適切であることを示している。その判断過程の一部を次に引用すると、「今、其の結果を掲ぐれば、第四表の如

きものにして、奎宿の距星は、明かに ζ Andを採用すべきものなることを知る可く、観測と計算の差の二度ばかりの者僅に一、一度ばかりの者漸く四、その他は殆ど全く計算に合致せるを見る」としている。能田（1943：第四表）では、観測値としては「漢書律歴志に見えたる赤道廣度」、計算値としては漢書律歴志の観測値が武帝元封七年（西紀前一〇四年）に得られたものとしての計算結果が使われている。その差を見ると、奎宿の距星を η Andか ζ Andとした場合、観測値マイナス計算値はそれぞれ+2.25と-0.03となる。つまり、奎宿の距星は ζ Andと結論される。

ここで使用している能田（1943）の著作は既発表論文の再掲であるにも拘らず、距星をまとめた能田（1943：p. 474）第五表には、少なくとも3カ所にケアレスミスがある。そのうち、最も問題なのは、各宿距星欄のNo. 2 亢宿で、バイエル符号が乙女座 χ Virとなっている。能田（1943）第二～四表には κ Virと示されており、特段、変更理由は本文中にも見当たらない。西暦660年でも、 χ VirはNo. 1角宿の西方、秋分点を超えて、No. 28 軫宿の赤経幅に位置しており極めて不適切であるので、表3では第二～四表に在る κ Virを踏襲している。当時、表組みは出版社によるものであって、カッパ κ とカイ χ の取り違いによって生じたミスであろう。

以上、二十八宿の距星についての能田の同定過程の主要部分を見てきた。信頼できる歴史資料を踏まえ、歳差運動を含めたシミュレーションを地道に計算した結果得られた観測年を使って、二十八宿の距星の同定がなされたと言える。前述の相馬（2016）で採用されている距星はすべて能田に基づく表3のものと一致している。筆者の知る限り、距星の同定の出典を明示した研究は、能用以外、見つからない。

4. キトラ古墳天文図の張宿と翼宿の逆転に関わって

前々節ではNo. 26 張宿とNo. 27 翼宿の距星の位置関係がほぼ正しいのものと概観したが、能田（1943）の手法でキトラ古墳天文図のこの部分について、精度を確認したい。二十八宿を構成する各宿は当然、赤経に幅がある。これを

赤道広度という。宿の赤道広度はこのほぼ西端にある距星と東隣の距星との赤経差で求める。表4にはNo. 26 張宿とNo. 27 翼宿の赤道広度のキトラ古墳天文図の精度を知るべく、作成したものである。比較するためのスタンダードとしたのは、Stellariumによる斉明六年の冬至日にあたる日（表2）の夜明け前の星図（図10主図）である。この日を選んでいるのは、本報告の主旨に従っていることと、数百年の差では赤道広度に大きな違いが出ないからである。

能田（1943）に出ている観測値のうち、漢武帝元封七年（104年 BC）の観測結果とスタンダードを、まずは表4で比較している。その結果は、この表の右手の「赤道広度比104BC/AD660」の欄に示す。No. 25星、No. 26 張宿、No. 27 翼宿の広度比はほぼ1になっており、武帝時代の観測精度はかなり高いことが理解できる。

相馬（2016）が示したキトラ古墳天文図で想定春分点と天の北極を使って赤経値を求めた。No. 26 張宿とNo. 27 翼宿の逆転という相馬らの認識はそのまま図8に示している。しかしながら、前々節で述べたように、距星の配列には逆転は見られないので表4では逆転されたと見做していない。図8には図の右上の想定春分点から時計周りにNo. 26 張宿の距星まで時角を計測したように見えるが、これはNo. 27 翼宿の距星の時角を計測している様子を示している。

その計測結果から得られた赤道広度を、表4の右手の「キトラ古墳天文図赤道広度」欄に示している。そして、この欄の隣「赤道広度比 キトラ/AD660」の欄に、キトラの計測値をスタンダード値で割った値を示している。ズレは40%近いものとなっているのである。星宿と張宿の広度比が一致していることは興味深いのであるが、いずれにしろ、漢武帝元封七年（104年 BC）の観測精度との差は歴然としている。

相馬（2016：p. 12）の結論のおわりに、「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（観測年 300 ± 90 年）と一致しているのは意味があることではないかと思う」としたことは当たらない。キトラ古墳天文図のような粗雑な観測では到底、精緻な元嘉暦を作成するための基礎資料になり得

ない。木庭（2016a）で示したように推古期にすでに天球の観測は当時の飛鳥で始まっており、この粗雑な観測図は推古紀の後の技術の伝承というより、むしろ技術者の劣化を示していると言えるかもしれない。

表4 キトラ古墳天文図の4宿（星張翼軫）の距星による赤道広度

No.	二十八宿	距星IAUバイエル符号	視等級	齊明六年（水落遺跡）		漢武帝元封七年		赤道広度比 104BC/AD660	キトラ古墳天文図	
				時角(経度幅) [°]	視赤緯	赤道広度(°)	赤道広度(°)		赤道広度比	赤道広度比
25	星 せい	うみへび座α Hya Alphard	1.97	3h25m50.54s	-3° 30' 34.3"					
				51.46		6.40	6.90	1.08		123
26	張 ちよう	うみへび座ι1 Hya	4.12	3h00m13.92s	-9° 07' 22.7"					
				45.06		17.01	17.74	1.04		24
27	翼 よく	コップ座α Cr1	4.07	1h52m11.26s	-11° 29' 21.0"					
				28.05		18.25	17.74	0.97		12
28	軫 しん	からす座γ Crv Gienah	2.58	0h39m12.36s	-10° 06' 24.2"					
				9.80						168

注記：

齊明六年（水落遺跡）の時角と赤緯は、Stellariumによるシミュレーションで求めた。図9のユリウス暦660年12月18日5時50分のものである。時角とは、水落遺跡での地方恒星時と天体の赤経との差。時角、視赤緯は章動による平均化が実施されていないので観測環境の復元に適している。赤道広度は、求めたい星宿の距星の時角から東隣の星宿の距星の時角を差し引いて得られた値である。ここでは、ユリウス暦660年12月18日5時50分の子午線を基準に、それぞれの宿の距星が南中するのに要する時間で設定しているので、度数に換算して両者の差の絶対値を示している。時角の下端は、その度数への変換した結果である。もちろん、軫宿の広度は次の角宿の時角を与えていないので示していない。

「漢武帝元封七年赤道広度」（104年 BC）の元資料は漢書律歴志で、能田（1943: pp. 471-472, 第四表）作成の数表を参照。

漢書律歴志の赤道広度比は、「漢武帝元封七年」÷「齊明六年」としている。

キトラ古墳の赤経と赤緯の計算は可能ではあるが、赤経に限定する。仮に図8のΥを春分点として東周り（時計周り）に赤経を計測した。それがキトラ古墳天文図の赤経計測値である。その差から、25 星宿、26 張宿、27 翼宿の赤道広度を得た。

キトラ古墳天文図の赤道広度比は、「キトラ古墳天文図からの計測値」÷「齊明六年」としている。

5. Stellarium の利用

Stellarium は、天文シミュレーションソフトのうち、OpenGL 使用の GPL フリーウェアで、科学的再現性の優れたものの一つである²⁴⁾。使用されているパラメータから推して過去については、十数万年間までのシミュレーションが可能と考えられる。PC 利用可能で専門性の高いフリーウェアは国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクトで開発された Mitaka²⁵⁾ であるが本報告の目的からすると Stellarium の方がより有効であった。

Stellarium の使用プロセスを次に箇条書きする。実際に操作される方以外、



図9 心射図法表示の張宿と翼宿とその隣接宿の配置

この図は後述のStellariumで作成した。660年12月18日5時50分のものである。図10の中央の図と同日同時刻のもの（ハンメル図法）であるが、これは心射図法で表示している。そのため、天の赤道、黄道、子午線、赤経線群は直線で表される。25 張宿と26 翼宿は比較的子午線に近く、観測時の距離感にはほぼ対応している。

読む必要性はない。

1. ポインターを左に押し当てて、左メニューを出して最上部の位置入力パネルを出す（または、fn キー + f6 キー）。水落遺跡の経緯度と海拔高度（ここでは101mとする）を入力して、既定値とする。
2. 上記と同様にして、上から2番目の、日付/時刻パネルを出す（または、fn キー + f5 キー）。表2のリストのように、ユリウス暦の年月日、そして時刻を入れる。ただ、放置すれば時刻が秒単位で進んで行くので、下メニューの、右端近くの、標準の時間の進みにする、という右矢印キーをクリックして、縦イコールキー表示にする。つまり、これで時間の進行は停止する。
3. 上記と同様にして、上から3番目の、空と表示の設定パネルを出す（または、fn キー + f4 キー）。
4. 空と表示の設定パネル > 空サブパネル： 既定値については特にはここでは触れないが、大気はON。これによって、太陽光によって星が見えるかど

うかの判断がほぼ可能になる。本報告の目的を達成するにはこの機能をオンにする必要がある。Solar System objects は ON, 惑星マーカー表示は邪魔なので OFF, scale moon (既定値 4.0) を ON にして, 10.0 にすると, 満ち欠けがはっきり見える。

5. 空と表示の設定パネル > DSO サブパネル: Deep-sky objects²⁶⁾ については本報告の目的には不要。

6. 空と表示の設定パネル > 表示方法パネル (天球):

Equatorial (of date) のみ ON。J2000 は OFF。Celestial Poles (of date) のみ ON。左のカラー枠で, red を選ぶと, 天の赤道が赤く染まる。Equinoxes (of date) 春分点と秋分点のみ ON。Solstices (of date) 夏至と冬至のみ ON。Ecliptic poles (of date) 黄道のみ ON, カラー枠で yellow を選ぶと黄道が黄色く染まる。地平線, 子午線, Celestial poles (of date) 天の北極と南極はいずれも ON。Equator (of date) も ON, カラー枠で茶色を選ぶ。他の色は目立たないか, 目立ちすぎる。Zenith and Nadir 天頂と天底も ON。方位 ON にすると東西南北の字が天球図の右上左下に表示される。

7. 空と表示の設定パネル > 表示方法パネル (投影法):

ハンメル図法 最大視野360度²⁷⁾。これ以外の投影法で最大視野角360度を実現するものはない。

8. 空と表示の設定パネル > 背景:

Ocean にすると地平線 (水平線) が表示されて最大視野角360度が実現する。地表を表示には ON。OFF だと視野角を超えて天球が表示されてしまい, この報告の目的には対応しない。霧を表示は OFF。ON にすると天球の周辺が白っぽくなってしまって星や星座が見にくくなる。

9. 空と表示の設定パネル > 星の文化:

中国由来など28種類ほどの星座群を表示することができる。星座線の太さをこのメニューのオプションで指定することができる。既定値は2である。本研究に関わる中国の星座などの説明の一部を幾つか次に抜粋する。星座などは香港宇宙博物館の星図に基づいて, Karrie Berglund, Digitalis Education

Solutions, Inc. が取材したものである。二十八宿について特に言及されていない。

10. ポインターを左に押し当てて、左メニューを出して上から5番目の設定画面パネルを出す（または、fn キー + f2 キー）。ここでは、環境設定 > ナビゲーション、で、キーボード操作、マウス操作の両方を有効にするに ON。

11. ポインターを左に押し当てて、左メニューを出して上から7番目のヘルプパネルを出して（または、fn キー + f1 キー）、ヘルプサブパネルを出す。ここには、表示に関わる多様なキー操作法が記されている。

幾つかの操作例を挙げる。全天で視点を移動するには、矢印キーとマウス左ボタンでドラッグ。ズームイン／アウトは、Page Up/Page Down（Mac の場合は fn キー + 上矢印キー／下矢印キー）。天球の画像全体を左または右に回転させるのは（Windows の場合、control キー +）左右矢印キーで、Windows の場合、control キー +）上または下に回転させるには上下矢印キーで。shift キーとともに矢印キーを使うことで徐々の作業が可能となる。表示時刻を1時間または減少させるには、Cmd キー（Windows の場合は control キー） + +/- キーを使う。なお、ホイール付きマウス使用が Windows だけでなく Mac にも勧められてはいる。

6. 漏刻台設置年の二至二分日と朔日

日本書紀の記述から、水落遺跡に関わる漏刻台設置年とされるユリウス暦660年、元嘉暦斉明6年の二十八宿の観測環境を Stellarium を使って調べることになる。星の観察が可能な夜の長さや天球の位置関係で言えば、二至二分の際の観察環境を復元することになる。表2にそのユリウス暦と元嘉暦の日付を示している。Stellarium を上記のように設定して観察すると太陽光だけではなく、月光による一種薄明化のために星の観察が難しくなることもわかる。二十八宿を構成する星官のそれぞれの中心の星である距星であっても、表3に示すように、視等級4と5のものがあり、月の薄明では見ることが困難となる。なお、条件が良ければ5等星でも裸眼での認識は可能ではある。

そのように考えて表2には二至二分時の観測可能な時間幅と宿を示した。春分時はたまたま朔日にあたっており、全宿を観察することができる。最も日の短い冬至であっても11日月であり、月の入りは午前2時50分、日の出前の薄明化5時50分であり、星の観測可能時間は3時間に限られ、観測可能宿数は17になってしまう。それで冬至に最も近い朔日にあたる12月8日を調べると、観測可能時間は春分の10時間14分12時間20分より2時間ちかく長いのであるが、天球の回転の巡り合わせで残念ながら、7箕宿と8斗宿は観測できないのである。

なお、図10には冬至に観察可能な二十八宿を示し、図11には冬至に最も近い朔日の二十八宿を示している。二十八宿は、月が恒星天に対して地球の周囲を1周するのに要する27日8時間にほぼ対応するが、二十八宿の距星は、図11に見えるように、20觜宿と21參宿、23鬼宿と24柳宿のように赤経が近いなど、等間隔ではない。そして、多くの文献で二十八宿を天の赤道に乗せようとしてはいるが、黄道も併せると二十八宿距星の設置位置をほぼ理解できる。

本報告で求めたかったのは、ユリウス暦660年当時の水落遺跡からの二十八宿の観測可能性であった。もちろん、当時の観測は二至二分時だけではない。太陽光、月光だけではなく、天候の問題もあるが、通年で考えると二十八宿の観察は極めて容易であったことがわかる。赤緯は天の北極から容易に求めることができるが、二十八宿が簡易の赤経把握に使われ得たことは確かなことである。

おわりに

飛鳥水落遺跡の基壇中央が、天香具山山頂を通る天の北極軸上に精緻に設置されたことは、揺るぎの無い事実である。天香具山から水落遺跡まで2 km 余りあるが、東西誤差6 cmの実現はこの基準からすると、現在、実施されている地形測量などと比べて遙かに高度な測量が実現されていたことがわかる。国土地理院が規定する公共測量のうち、地形測量または平面測量では、平面位置の図上誤差は2 mm以内である。例えば500分の1地形図であれば地上誤差100 cm以内と規定されている²⁸⁾。現在の測量会社²⁹⁾では、1/500以上の地形測量で

飛鳥時代の水落天文台遺跡から観測された天球（木庭）

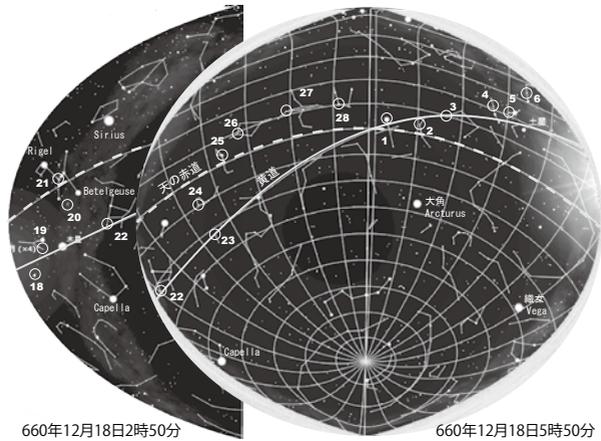


図10 冬至日に観察可能な二十八宿

Stellarium ver.0.11.0で表示し、そのスクリーンショットをAdobe Photoshopで次のように処理した。

1. イメージ/色調補正/レベル補正パネルで、入力レベルの白のゲージを80に設定。2. イメージ/色調補正/色の置き換えパネルで、許容量80に設定して、黒、を白に。明度のみを+100または色パネルをクリックして、白に。
3. 矩形を選んで切り抜き。4. 午前2時50分のは、半球だけでいいので、それだけを切り抜いて、マジック消しゴムツールなどで、半球に接する白地部分を透明にする。他は、背景消しゴムツールや編集/消去、で消す。

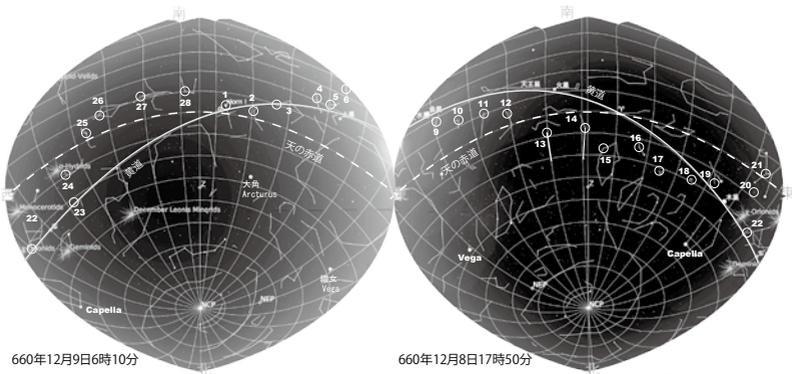


図11 冬至日に最も近い朔日の二十八宿

図中のNCP (North Celestial Pole) は天の北極点、NEP (North Ecliptic Pole) は北黄極。

Stellarium ver.0.15.2ja (<http://www.stellarium.org/ja/>) で表示して、そのスクリーンショットをAdobe Photoshopで次のように処理した。

1. マジック消しゴムツールで、天球以外の周辺を削除。2. イメージ/色調補正/レベル補正白を150に。3. マジック消しゴムツールで、天球以外の周辺を削除。4. 長方形選択ツールで、端の部分の消し残しを選んで、編集/消去。

は平板とトータルステーションが使用され、水平位置の図上誤差（標準偏差）は0.5mm以内とされている。縮尺1/500、誤差（標準偏差）0.5mmを例にとると、地上換算すると誤差（標準偏差）25cmとなる。ズレ6cmが如何に信じがたい値か想像できるであろう。

漏刻台がこういった途方も無い測量努力を要求しないのはもちろんであり、強固な基礎が漏刻台設置のためには無いことももちろんである。漏刻が天文観測に不可欠なことも間違いない。天文台を設置するにはまずは天の北極軸の設定であり、次に日月五星さらには二十八宿の通年の視界の確認である。その上で、強固な土俵の設置となるが、発掘結果では配水施設が地下に埋設されており、強固な花崗岩からなる柱石群が埋設されているので、これらを基礎として天文台のための土俵がより高い位置に築かれたものと想像されるのである。

図12には現在の水落遺跡から北方向の天香具山（左の写真）、西方向の甘樫丘（右の写真）を示している。柱のラベル名は木下ほか（1995: p. 32）に基づいている。水落遺跡基壇が天の北極軸上におよそ載ることは、容易に理解できるが、その信じがたい一致は過去、指摘されてこなかった。甘樫丘



図12 水落遺跡基壇中央から北方の天香具山と西方の甘樫丘を望む

2017年6月25日筆者撮影

飛鳥時代の水落天文台遺跡から観測された天球（木庭）

は水落遺跡に立つと、いわば壁のようで、圧迫感もある。とはいえ、本報告に示したスカイラインと天球の復元によって、水落遺跡に天文台が立地し得ることがあきらかとなった。さらにはこの天文台の南北軸上の立地が甘檜丘と密接に関係しているのも明らかなことである。

天香具山山頂を通る天の北極軸の水落遺跡への延長のための測量方法などの詳細は、すでに口頭発表（木庭，2016c）したが、天文台のための土俵設置の上での天球観測の方法を含めて次報で公表する予定である。

文献

- 小川清彦，1933a. 支那星座管見（一）. 天文月報，Vol. 26, No. 6, pp. 105-108.
- 小川清彦，1933b. 支那星座管見（二）. 天文月報，Vol. 26, No. 7, pp. 123-128.
- 小川清彦，1934a. 続支那星座管見（一）. 天文月報，Vol. 27, No. 8, pp. 141-147.
- 小川清彦，1934b. 続支那星座管見（二）. 天文月報，Vol. 27, No. 9, pp. 168-172.
- 木下正史，川越俊一，西口壽夫，上原真人，狩野久，橋本義則，今泉隆雄，馬淵久夫，平尾良光，泉谷明人，木村幹，植村知正，沢田正昭，肥塚隆保，村上隆，光谷拓実，1995. 飛鳥・藤原宮発掘調査報告 IV 一 飛鳥水落遺跡の調査一. 奈良国立文化財研究所学報，第55冊.
- 木庭元晴，2016a. 飛鳥時代推古期の北辰と曆数獲得. 関西大学博物館紀要，No. 22, pp. 1-20.
- 木庭元晴，2016b. 飛鳥京の寺院等遺跡から得られた天香具山軸. 2016年人文地理学会大会（京都大学，Nov. 11-13, 2016），研究発表要旨，pp.94-95.
- 木庭元晴，2016c. 句股定理による地図作成法の復元：大和三山を例として. 日本地理学会2016年春季学術大会（早稲田大学，東京）.
- 木庭元晴，2017. 古代飛鳥寺域と水落遺跡の飛鳥川争奪前後の占地. 関西大学博物館紀要，No. 23, pp. 1-17.
- 相馬充，2016. キトラ古墳天文図の観測年代と観測地の推定. 国立天文台報，Vol. 18, pp. 1-12.
- 能田忠亮，1943. 礼記月令天文攷. 東洋天文学史論叢（恒星社），pp. 407-610，初出：東方文化学院京都研究所研究報告，第12冊（1938）.
- 藪内清，1949. 中国の天文学. 恒星社厚生閣.

注

- 1) Restoration of the celestial sphere from Asuka-Mizuochi astronomical observatory antiquity during the Asuka Period.

- 2) <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/ky2jgd/main.html>
- 3) <https://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.horizon.html>
- 4) <https://grass.osgeo.org/grass64/manuals/g.region.html>
- 5) 上記の r.horizon コマンドでは、求める方向角について、direction = float と horizonstep = float のみを示しているが、これでは全周が計算される。角度の範囲の限定は Grass 7 (<https://grass.osgeo.org/grass70/manuals/r.horizon.html>) では可能で、start=float Default: 0.0, end=float Default: 360.0で指定できる。
- 6) <http://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>
- 7) http://motochan.sakura.ne.jp/public_html/GISContents/66.htm で、10. さらに奈良盆地と吉野川の DEM 追加と更新 Jan. 4, 2017, を選択。
- 8) source:grass/branches/releasebranch_7_0/raster/r.horizon/r.horizon.html
https://trac.osgeo.org/grass/browser/grass/branches/releasebranch_7_0/raster/r.horizon/r.horizon.html
- 9) <https://grass.osgeo.org/grass73/manuals/r.sun.html>
- 10) ブリタニカ国際大百科事典 小項目事典によれば、梅蹟が公安國伝『古文尚書』を得たと称してこれを東晋の元帝（四世紀初期）に献上したもので、この一部は、明の梅鶯『尚書考』や清の閻若璩『尚書古文疏証』によって偽作であることが証明されたとされる。とはいえ、この虞書堯典部分には問題ない。
- 11) バビロニア天文学起源の黄道十二宮に対応しているが、十二次は赤道沿いにほぼ12等分割、黄道十二宮は黄道沿いにほぼ十二分割。
- 12) 自転軸は短期的には恒星座標上を動かないと考えてよいが、公転面に対して約23.44°の傾きを維持しつつ、公転面に対して約26,000年周期で自転軸とは逆向きに回転している。これを赤道の歳差^{さいさ}という。
- 13) 元嘉曆に続く大明曆では赤道の歳差^{さいさ}は組み込まれていた。儀鳳曆には組み込まれていない。
- 14) 国立天文台 Wiki の月の公転運動 <http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/wiki/B7EEA4CEB8F8C5BEB1BFC6B02FBEBAB8F2C5C0CAFDB8FE.html>
- 15) 理科年表第87刷, 2014年 天文編惑星表。
- 16) 国立天文台 Wiki の二十八宿
<http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/wiki/C6F3BDBDC8ACBDC9.html>
- 17) <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/xy2blf.html> 真北方向角は、+0° 06′ 10.38″, 縮尺係数は、0.99990343であった。
- 18) 日本測地学会（田部井隆雄, 里村幹夫, 福田洋一）, 2-1. 地球の形をどのように記載するか <http://www.geod.jpn.org/web-text/part2/2-1/>
- 19) 理科年表 第87冊, p. 110. UMA
- 20) 国立天文台 > 曆計算室 > 曆 Wiki > 日の出入りと南中 <http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/wiki/C6FCA4CEBDD0C6FEA4EA4C8C6EEC3E62FC6EEC3E6BBFB9E9FA4CFCAD1>

飛鳥時代の水落天文台遺跡から観測された天球（木庭）

B2BDA4B9A4EB.html

- 21) 歳差・章動と地球の向き, と NASA のアニメーション
http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/topics/html/topics2009_1.html
<https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=541>
国立天文台>暦計算室>トピックス>歳差・章動と地球の向き
http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/topics/html/topics2009_1.html
- 22) Gustaaf Schlegel, 1875. Uranographie Chinoise. Ou Preuves directes que L Astronomie primitive est originaire de la Chine, et Qu elle a ete Empruntee par les Angiens Peuples Occidentaux a la Sphere Chinoise.
- 23) 国立天文台>暦計算室>トピックス>歳差・章動と地球の向き http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/topics/html/topics2009_1.html
- 24) Fabien Chéreau を中心に2000年以來, 多様な人材のもとで開発されてきた。Mac, Windows, Ubuntu など多様な OS に対応しており, 例えば日本語などの表示も可能となっている。恒星だけでなく, 惑星の軌道や, 日蝕月蝕, 月齢なども再現されるようになった。 <http://www.stellarium.org/ja/>
- 25) Mitaka は、加藤 恒彦氏 (大阪大学 / 元 4 D2U project) が開発。Copyright (c) 2007 加藤 恒彦, 4D2U Project <http://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/>。これをベースに汎用性を高めたものは Mitaka Plus。いずれも Windows 版限定。
<http://orihalcon.jp/mitakaplus/index.html#overview>
- 26) Deep-sky objects are astronomical objects other than individual stars and Solar System objects (such as Sun, Moon, planets, comets, etc.).
- 27) Stellarium User Guide, v.0.15.0-1 English, p. 40
<http://numeric.altevista.org/A-PROGRAMMI/Stellarium-user-guide-0.15.0-1-English.pdf>
Hammer-Aitoff The Hammer projection is an equal-area map projection, described by ERNST HAMMER in 1892 and directly inspired by the Aitoff projection. The maximum field of view in this mode is 360_.
- 28) 国土地理院 2017公共測量の手引き p.3
<http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/tebiki/tebiki.pdf>
- 29) 例えば, 埼玉設計測量会社
<http://saisoku.co.jp/page024.html>