

畿内の遺構配置にみる古代の土木技術（その4） — 都市計画基本線の検証（Ⅱ） —

（株）建設技術研究所 正会員 須股 孝信

The Ancient Civil Engineering on Ruins Arrangement in Kinai Area (Part 4)
—Verification of Trunk Survey Lines for Urban Planning(Ⅱ)—

by Takanobu Sumata

要 旨

（その1）～（その3）¹⁾では、古代の畿内に東西・南北の直交座標軸と都市計画基本線（仮称）が置かれたことを提唱し、基本線存在の検証と使用尺度の考察により、地図作成を意図する18里方格網設定の計画測線として存在したことを述べた。

本稿では基本線設置の検証として、古代中国の数学書『九章算術』、測量学書『海島算経』の設問例と、方格法による科学的地図作成の祖・裴秀による「地図作成の6つの原則」の両者から、3世紀の中国の測量技術が『九章算術』『海島算経』に基づいていること、4世紀の畿内に置かれた基本線は中国の測量技術と同じであることを明らかにした。また7～8世紀造営の畿内の都城には地理・地形重視と基本線の要点重視の両者があり、前者の寿命は長く、後者は短命で遷都を余儀なくされていることを明らかにし基本線存在の傍証を示した。（測量・度量衡・都市計画）

1. まえがき

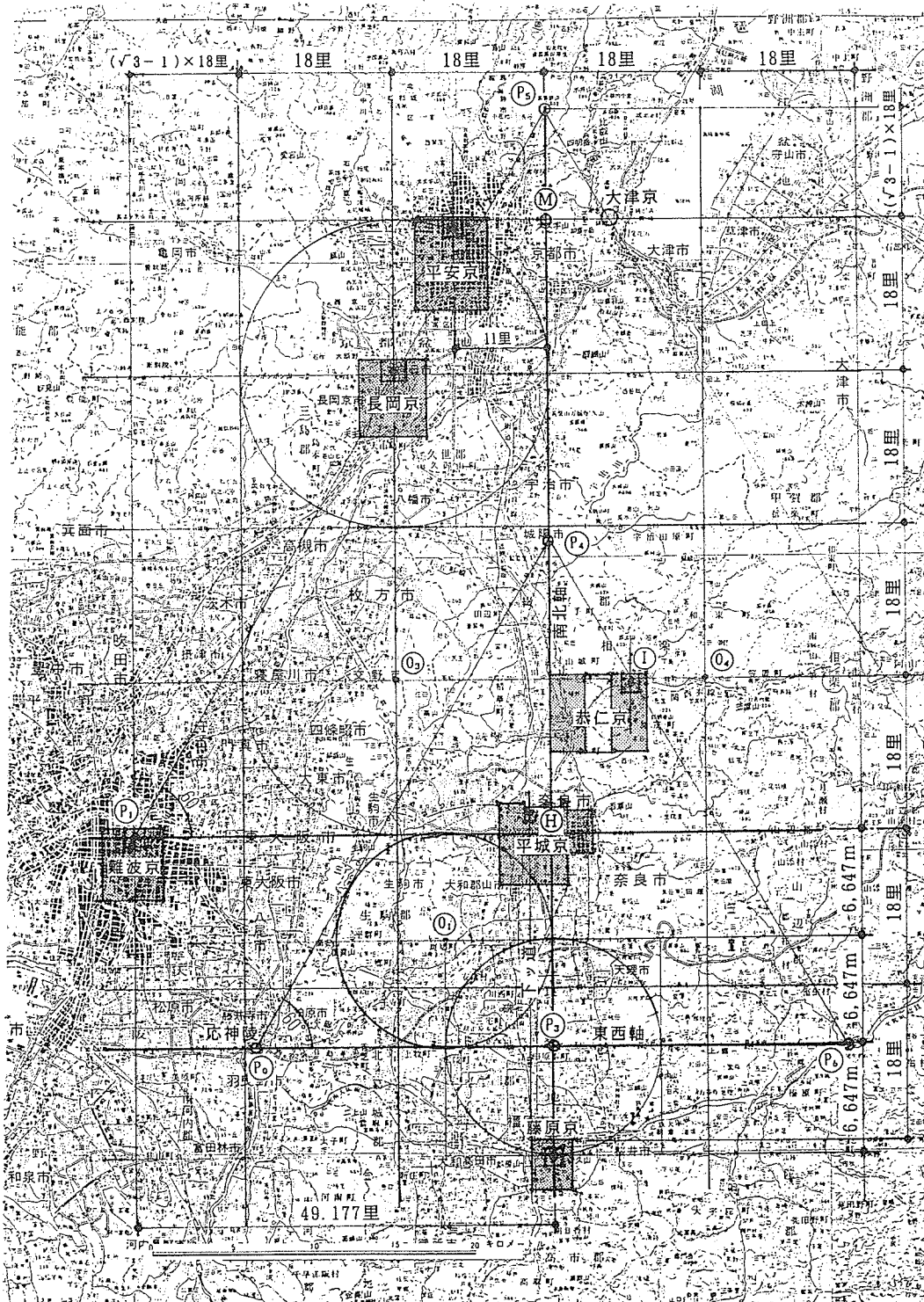
前稿（その3）では図・1の基本線と方格網が古代の畿内に計画されたことを述べた。古代中国の数学・測量学書『九章算術』『海島算経』の設問によれば、中国の古代地図作成の技術は直角三角形を用いる数学・測量術によったことが明らかである。

この数学・測量学書は古代の朝鮮半島、日本に多大の影響を与えたことが確かであり、4世紀頃の日本において巨大古墳・池溝等築造の大土木事業を成し得たのも、それらの数学・測量技術の日本への輸入（或いは、それらの素養ある技術者集団の渡来）を示すものであろう。これらの大土木事業を可能にした当時の国家権力から考えれば、4世紀の日本においても、中国と同様、国の施策として地図作成を目的にした測量が実施されたと考えるのが至当である。

2. 『九章算術』『海島算経』の成立と普及²⁾

中国科学の中で古くから高度な発達を遂げた分野は数学、天文学と医学である。『九章算術』は先秦以来の数学的知識を集大成した算学書で、紀元前100年から後100年の200年間に幾人もの算学者の補修編纂を経て成立した。その名が示すように九つの巻からなり、246の問を収録、それぞれに答えと計算法が示されている。成立時の書と現本とは若干異なる。現本は3世紀半ば劉徽によって巻末に1巻が加えられ、さらに全巻の問には註と図が挿入された。測量学書『海島算経』は巻末に加えられた1巻である。

九章算術の名は2世紀には定着し、唐六典によっても、劉徽註をテキストとする算学制度があって社会に普及し、この制度は中国に止まらず、朝鮮半島・日本にも多大の影響を与えた。『三国史記』によれば新羅（前57～後935）は唐に倣い算学教育を行ったという。日本においても『令義解』（834）巻三・学令に九章、海島を習え、の記述が見られる。



図・1 尺29.4cmによる18里方格と7～8世紀造営の都城位置

3. 『九章算術』『海島算経』の例題にみる三角形の幾何学

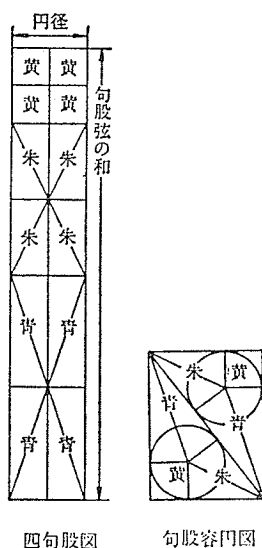
『九章算術』巻第九「句股」の冒頭に劉徽は次の註を記している。「これによって高、深、広、遠を修める」。この巻は24の間から成り他の巻と同様ほぼ全間が実用的問題である。また『海島算経』は9つの間から成り、中でも間・1はもっとも易しく、かつ基本的な問題を載せている。以下、問いの数例を示そう。

例・1 (問 16)

いま「句」は8歩、「股」は15歩である。この中にはいる円の直径はいくらか。答：6歩。

<計算法> 8歩の「句」、15歩の「股」から「弦」を求め、三つの数を加え会わし「法」とする。「句」を「股」に掛け、2倍し「実」とする。「実」を「法」で割り、直径の歩数を得る。(注：1歩は6尺)

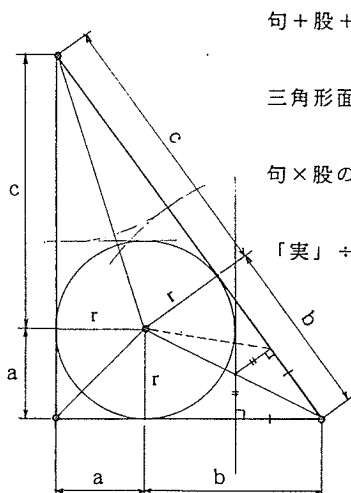
また劉徽の註には、内接円の径について次のように記している。①「股」「弦」の差を「句」から引けば円径、②「句」「弦」の差を「股」から引けば円径、③「弦」を「句」「股」の和より引けば余りは円径、④「句」「弦」の差を「股」「弦」の差に掛け2倍し、開平方すれば円径である。



四句股図

図・2

「九章算術」より転載



図・3

$$\begin{aligned} \text{句} + \text{股} + \text{弦} &= (a + b) + (a + c) + (b + c) \\ &= 2(a + b + c) = \text{「法」} \\ \text{三角形面積} &= 2(ar/2 + br/2 + cr/2) \\ &= r(a + b + c) \\ \text{句} \times \text{股の} 2 \text{倍} &= 4 \times \text{三角形面積} \\ &= 4r(a + b + c) = \text{「実」} \\ \text{「実」} \div \text{「法」} &= 4r(a + b + c) / 2(a + b + c) \\ &= 2r = \text{円の直径} \end{aligned}$$

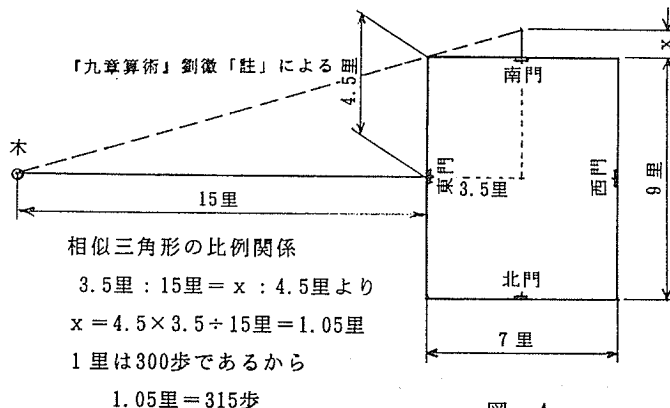
劉徽による図・2の挿入がなければ一瞬ためらう。計算法では始めに弦の長さを求め、とし、句股弦の理すなわちピタゴラス定理が使用され後は図式解法だけを示しているが、数式を得るために不可欠な図・2を挿入したものと考えられる。また①～④の説明も図・3に示した直角三角形と内接円の幾何学的関係を教示したものであろう。

(2). 例・2 (問 18)

いま東西7里、南北9里の邑があり、各面の中央が門である。また東門から15里の所に木がある。

問う。南門から何歩の所で木が見えるか。答：315歩。

<計算法> 東門から東南隅までの歩数を南門から東南隅までの歩数に掛け「実」とする。木と東門の距離の歩数を「法」とする。「実」を「法」で割る。

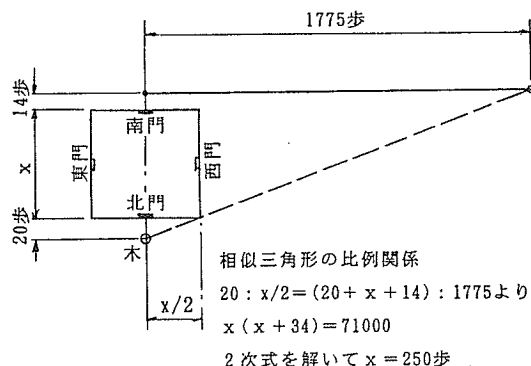


図・4

この問題は二つの相似三角形を用い、既知の2辺の距離の比から他の辺の距離を求めるものである。答えの南門からの歩数は1.05里、この地点から木までの距離は19.3里と求められるから、約20里先の木が見えることの例証である。(劉徽は註の中で次のように記している「王莽の銅斛は今尺で深さが九寸五分五厘、円径が一尺三寸六分八厘七毛である」³⁾と。王莽の銅斛の深さは23.0886cmであるから⁴⁾、劉徽が註を記した260年代の1尺は24.2cmであったことが分かる。1里は300歩、1歩は6尺であるから、20里は約8.7kmである。)

(3). 例・3 (問 20)

いま1辺の長さが分からない方邑があり、各方の中央が門である。また北門から20歩のところに木があり、南門から14歩の所で右折し西に1775歩行くと木が見える。問う。方邑の1辺はいくらか。答：250歩。
 <計算法> 北門からの歩数を西行の歩数に掛け、2倍して「実」とする。北門からの歩数を南門からの歩数に加え、「従法」とし、開平方すれば、方邑の1辺を得る。



図・5
『九章算術』劉徽「註」による

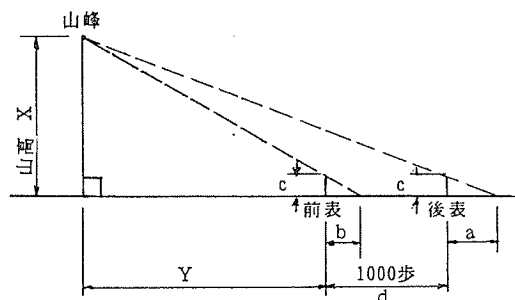
この問題も(問 18)と同じく相似三角形の比を用いる応用であるが、2次方程式を解かなければ答えは得られない。

(4). 例・4 (海島算経 問 1)

いま海島を望む。高さ3丈の2個の表(目印の測量棒)を、前後1000歩隔て、前表と後表と海島の三者が一直線になるように立てる。ここで前表から123歩退いて、目を地につけ海島の峰を望むと前表の末に重なる。また後表から127歩退いて、目を地につけ海島の峰を望むと、後表の末に重なる。問う。島の高さおよび前表からの距離は、それぞれいくらか。

答：島高=4里55歩 距離=102里150歩

<計算法> 表の高さを表の隔たりに掛け「実」とする。表から退いた歩数の差を「法」とし、「実」を割る。得た値に表の高さを加えると、島の高さである。前表と島の遠近を求めるには、前表から退いた歩数を表の隔たりに掛け、「実」とする。表から退いた歩数の差を「法」とし、「実」を割ると、島と表の距離の里数である。



相似三角形の比例関係

$$(x - c) : y : d = c : b : (a - b) \text{ より}$$

$$x = cd/(a - b) + c$$

$$y = bd/(a - b)$$

1丈は10尺、1歩は6尺、1里は300歩。よって

$$x = 5000/4 + 5 = 1250 \text{ 歩} + 5 \text{ 歩} = 1255 \text{ 歩} = 4 \text{ 里} 55 \text{ 歩}$$

$$y = 123000/4 = 30750 \text{ 歩} = 102 \text{ 里} 150 \text{ 歩}$$

図・6.

4. 考察

『九章算術』の設問の殆どが実用的な問いで構成されているが、「勾股」の問・16は「直角三角形内接円の径を求める」という変わった問いである。実用性に乏しいと思われるこの種の問題が何故採用されたか。問・17以降の設問内容と巻第九「勾股」の目的からみれば、問・16の主意は決められた大きさの方邑・方格

を設定する場合の測量手段に、どのような直角三角形を設ければよいかを知ることになったと考えられる。この直角三角形の利用は問・17以降にも共通して見られ、長距離間の測定・位置設定等測量の常套手段であったことが分かる。

また「勾股」の章に見られる総ての問、計算法は三角形の角度には触れていない。しかし現実には直角三角形を測量に利用するには、地形的な制約がない限り単純な辺の比を持つ 45° 角の三角形、 30° 、 60° 角の三角形など、測量や数値計算に都合のよい直角三角形を使用した筈である。図・7は方格設定に適した直角三角形の例を示した。

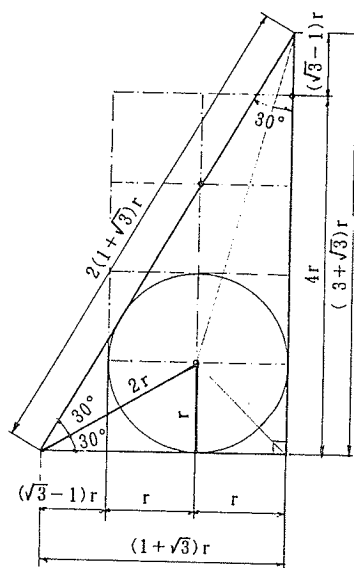
中国における地図・地理学に関する歴史は古く、三代（夏・商・周）にはこのための特別な役人がいた。しかし、方格法を用いる地図作成の技術は後のことで、『九章算術』『海島算経』の成立とはほぼ同時期である。方格法の創始者は張衡といわれ、それを継承したのが裴秀(224～271)といわれている。

『晋書、卷三十五、裴秀伝』⁵⁾によれば、地図を作るには守るべき6つの原則があるとし、下記事項を挙げている。

- ①：目盛りのある区分（分率）＝地図の縮尺決定。
 - ②：方格（準望）＝2次元方格メッシュと方位設定。
 - ③：直角三角形の辺を歩測（道里）＝測定困難な辺の長さを知るための距離測定。
 - ④：高低の測定。
 - ⑤：直角・鋭角の測定。
 - ⑥：曲線・直線の測定。
- ④～⑥は地域の特性に応じて使用。

・裴秀はこれらの方法によって『禹貢地域図』と題する18枚から成る地図を作り、皇帝に献じたが機密文書局に保管された。

裴秀の挙げる上記6つの原則のうち②～④は『九章算術』『海島算経』設問の実地応用であり、方格法による地図作成の測量技術はこれら数学・測量学書の成立により発展したことが明らかである。

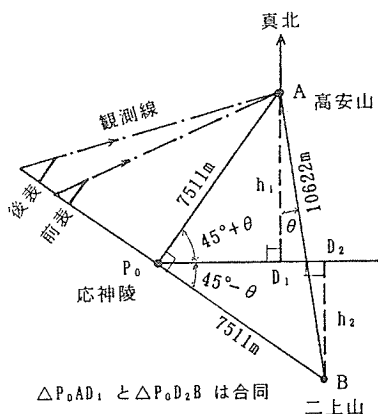


図・7

5. 基本線の設定法と考察

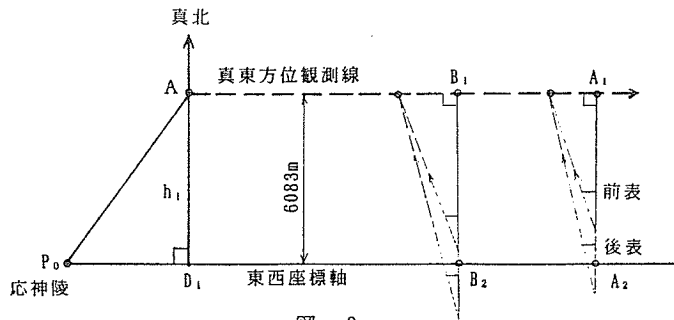
(1). 東西座標軸の設定

東西座標軸は応神天皇陵を起点として設定された。応神天皇陵は高安山と二上山山頂間を弦とする2等辺直角三角形の直角点で定められた。各辺の長さは直角点から2辺の何れか1つを延長し、延長線上に前表と



図・8.1

後表を直角に置き、海島算経問・1を応用して2等辺の辺長を、ピタゴラス定理より図・8の h_1 、 h_2 求められる。座標軸設定は(その1)で述べたが1つの方法として高安山山頂を通る真東方位線を定め、 h_1 の距離を隔てた平行線を設定するのがもっとも単純である。

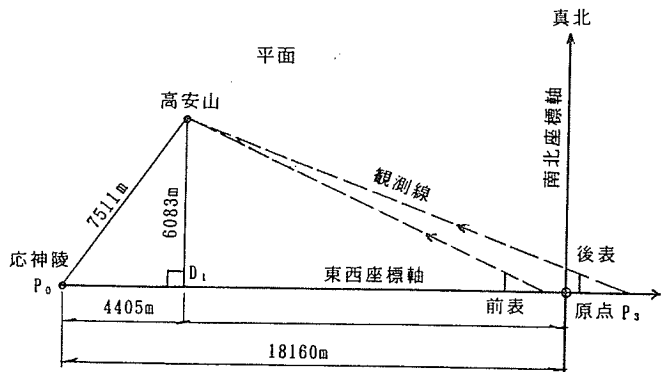


図・8.2

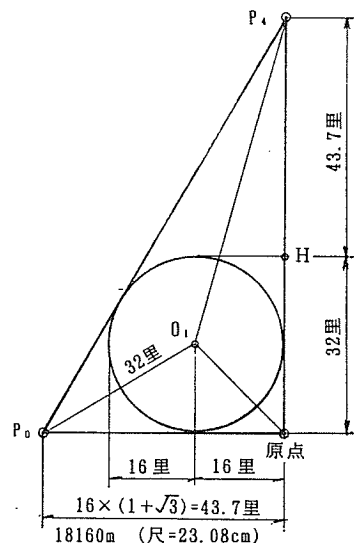
(2). 座標軸原点の設定

南北軸設定の好位置は遙か北方の山（如意岳大文字山(TP466m)）から大和南端までを見通せる南北線上である。この位置は応神天皇陵から約18.2Kmの距離にある。

記憶し易い里数の方格設定と単純な直角三角形（ $1 : \sqrt{3} : 2$ ）使用の両者から、銅斛尺の32里方格設定を目標に、三角形の勾の長さを16里 $\times(1+\sqrt{3})=43.7$ 里として座標軸原点を定めたと予想される。設定の方法は海島算経の間・1を応用し、原点付近の東西軸上に前表と後表を軸線に直角に置き、高安山山頂を見通し、 D_1 点からの距離を求め、所定の距離に原点を特定する。



図・9.1

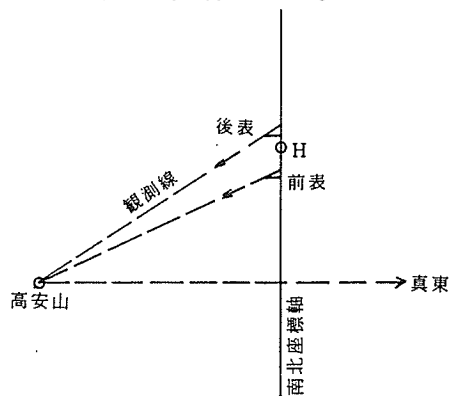


図・9.2

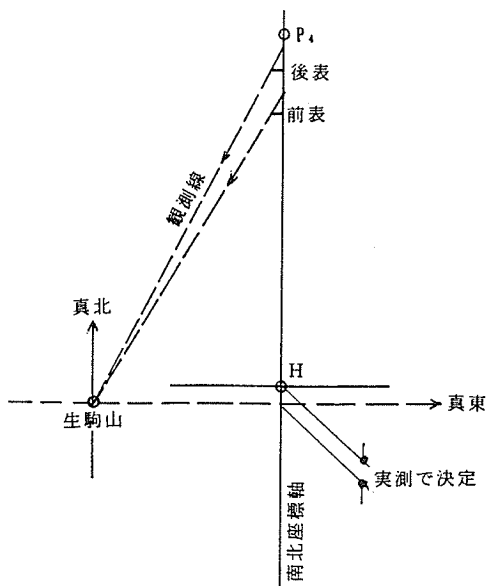
(3). 南北軸上の点H, 点P4の設定

高安山山頂と南北軸、東西軸の距離は既に求められている。また南北軸は原点 P_3 から真北を観測して（または東西軸を 90° 振って）設定される。点Hの設定は、H付近の南北軸上に前表と後表を軸線に直角に置いて高安山山頂を見通し、原点 P_3 から所定の距離をとって決定される。

点 P_4 の設定は生駒山山頂(TP642m)で東西南北の方位を決定すれば、点Hを用い海島算経間・1の応用によって山頂の座標値が定まり、さらに海島算経の間・1を応用して P_4 が特定される。



図・10.1



図・10.2

(4). 点P1と南北軸上の点Mの設定

三角形 P_1HP_3 は尺29.4cmの18里を半径とする円を内接する $1 : \sqrt{3} : 2$ 直角三角形で計画されたと予

に川を控え、正面の朱雀の方角に汙地（湿地帯）を控え、右側の白虎の方角に道を控え、後方の玄武の方角に山を控えた地相を言う。

季節風を避け、船運・陸上交通の便、表流水・伏流水等利水の便、農耕の便、河川氾濫時の影響等からみて四神相応の地相に不足はない。しかし国の中核としての都は、広大な平地と経済活動・軍事的防備の条件を備える必要があり、畿内広しといえども適地は少ない。

(2). 都城位置からみた地理・地形重視型と基本線重視型

広大な平地を有し四神相応の条件をほぼ満たす地を1/20万分図から探すと、畿内には平安京、平城京の場所しかない。図・1によれば、この2つの都城の大内裏位置は基本線上ではなく、他の都城はいずれも基本線上である。とくに恭仁京は山地に左京・右京を隔てて計画し執拗なまでに基本線に固執している。表・1は各都城の存続期間と選地に際し配慮されたと思われる位置の条件を示した。

表より、基本線を重視したと思われる京師はいずれも存続期間は短い。

表・1 7～8世紀造営の都城と位置選定の観点比較

都城名	存 続 年					位置からみた選定の観点				特 徴 ・ そ の 他
	650	700	750	800	850	四神相応	基本線上	軍事防備	経済立地	
難波京						×	○	×	○	海上・陸上の接点として要衝の地
大津京						×	○	○	×	白村江の敗戦による唐軍来襲に備えた遷都
藤原京						×	○	△	○→×	大和川河床上昇による舟運の衰退→廃都
平城京						○	×	△	○	東西方向の交通に若干難あり
恭仁京						×	○	△	×	長所が見当たらない
長岡京						×	○	△	△	土地狭小、西側山の出水氾濫の可能性あり ⁽¹⁾
平安京						○	×	○	○	土地広大、気候上若干難点あるが他に欠点なし

⁽¹⁾ 長岡京廃都の理由は憤死した早良親王の怨霊説が有力

7. まとめ

- 1). 3世紀の中国で成立した『九章算術』『海島算経』設問の数例、ならびに『晉書・裴秀伝』による「地図作成の6つの原則」を紹介し、古代中国の方格法による地図作成の測量技術はそれらのテキストを基にしていることを明らかにした。
- 2). 図・1に示した古代の畿内に見られる直角三角形からなる基本線の設置は、古代中国の測量技術と同じ手法であることを明らかにした。
- 3). 7～8世紀造営の畿内の都城には地理・地形重視と基本線重視の2系統があり、前者の都は寿命が長く後者は短命で廃都していることを示した。
- 4). 図・1に示す直角三角形のうち、応神陵位置を60°角とする三角形は銅斛尺を、難波宮を60°角とする三角形は銅斛尺の1.27倍尺29.4cmを距離測定の単位にしている。何故、中国の正統な尺単位を用いたのか課題の一つである。

註および参考文献

- 1) 須股孝信「畿内の遺構配置にみる古代の土木技術（その1～その3）」・土木学会日本土木史研究委員会『土木史研究 第10号』～『同第12号』土木学会・1990～1992
- 2) 藪内 清編『科学の名著2・中国天文学・数学集』朝日出版社・1980・P48～P57
- 3) 前出 2) P169
- 4) 呉 承洛『中国文化史叢書・中国度量衡史』商務印書館・1975・P62
- 5) ジョゼフ・ニーダム『中国の科学と文明・第6巻 地の科学』思索社・1991・P49～P57

P57