

主としてリモートセンシングから見た古代遺跡の土木技術的検討*

Civil Engineering Examination of Ancient Heritages with the Main Use of Remote Sensing Technique

後藤恵之輔**、全 炳徳***、前川 芳秀※

By Keinosuke GOTOH, Byungdug JUN and Yoshihide MAEKAWA

近年、世界各地で歴史学、民族学的にも貴重な考古学遺跡が、調査・発掘方法、保存技術などで脚光を浴びている。そこで本論では、古代遺跡の技術を土木的観点から把握し、衛星リモートセンシング技術が遺跡探査方法のひとつとして活かさないか、いくつかの検討を試みたものである。対象とした遺跡は、福岡県太宰府市にある水城、大阪府堺市にある百舌鳥古墳群（仁徳天皇陵）と、藤井寺・羽曳野両市にまたがる古市菅田古墳群（応神天皇陵）である。検討方法としては、対象遺跡の特徴を把握後、人工衛星リモートセンシングを中心として文献調査、現地調査並びに風水の考え方などを導入した。これらの手法により得られた結果から、衛星リモートセンシング技術の遺跡探査への適用について考察したものである。

1. はじめに

遺跡は、古代の文明が繁栄と滅亡を繰り返してきた証拠であり、その地方に伝わる伝説や神話と同様に、過去に起きた真実を語る有形の遺産である。しかし、先人たちが築き残した遺産は、自然や我々人類の発展のために、その大半を失ってしまった。このような現状の中で、まだまだ多くの遺跡が、世界各地の地中や水中、ジャングルの中といった、現代人の生活場所とかけ離れたところに眠っていると考えられる。その中には、盗掘を免れ、これまでの歴史の定説を覆すような、大発見となる遺跡もあるかも知れない。このような人跡未踏の場所を調査・発掘することは、容易ではなく困難を伴うものである。最近では、広範囲・複数波長域で観測可能なリモートセンシング技術を取り入れて遺跡探査が行われるなど、リモートセンシング技術への期待は高まるばかりである。しかし、範囲をある程度絞らず闇雲に衛星データの解析を行っても、経費、労力の無駄使いである。このため、まず現存する遺跡の特徴を文献、現地調査などから掴み、次いでリモートセンシング技術を用いて遺跡を確認した。また、立地場所・条件などの付加要素の検討に、地相判断術である風水の考え方を取り入れ、周辺遺跡の分布などについても検討を試みた。

*keyword : 古代遺跡、リモートセンシング、風水思想

**正会員 工博 長崎大学教授 工学部社会開発工学科
(〒852-8521 長崎市文教町 1-14)

***正会員 博士(工学) 長崎大学講師 工学部社会開発工学科

※学生会員 長崎大学大学院工学研究科社会開発工学専攻

2. 水城の調査検討

(1) 時代背景

中国の史書に見られる「白江の戦い」で完勝を得た日本軍は、百済復興を目指して朝鮮半島に進出していた。しかし、663（天智二）年7月、「白村江海戦」で新羅と唐の連合軍に大敗を喫し、筑紫君・薩夜麻は唐側の捕虜となった。破れた日本軍は、百済の遺臣を伴って逃げ帰ってきた。もはや百済の復興どころではなく、日本が新羅と唐の脅威にさらされ、早急に我が国の防衛体制を整える必要に迫られた¹⁾。当時、太宰府は九州全域の政治、経済、軍事の各方面を統括し、中国や朝鮮半島からの使節の接遇を重要な職務とする機関であったために、日本の玄関ともいえる太宰府の守りを固める必要があった。日本書紀によれば、敗戦を喫した翌年すなわち664（天智三）年には、対馬、壱岐、筑紫国に防人を設置するとともに筑紫に「水城」を築造した。さらに、665（天智四）年には筑紫に大野城と基肄城を、また長門（現在の山口県）にも長門城を築かせた。このほか、現在どこにあったのかははっきりしていないが稲積城（三野城）があり、外回りの防衛を固めるために、対馬に金田城、熊本に鞠智城があり、これらにより太宰府の二重三重の防衛体制の形をとっていた²⁾。また最近では、久留米市教育委員会の調査によって、久留米市内の三号線沿いに水城に類似するような遺構（上津土塁）が発掘された。ただこれが太宰府に関連する施設かどうかはわからないが、その可能性は非常に高いと見られている³⁾。

これらの北部九州を中心に築造された防衛施設は、おのおのが個別に築造されたものではなく、一定の企画性の上に築造されている。なぜなら現在、都府楼と呼んでいる地域には、かつての太宰府の中心部があり、ここを中心として北に大野城、南に基肄城がある。さらに西北の平野部には水城があり、これら施設の間には自然の山並みが連なり天然の要塞をなしている⁴⁾。

(2) 位置

福岡県太宰府市の西部、大字水城から吉松にかけての地域に、その遺構（土塁）を留めている。この水城が築かれた場所は、博多湾岸の福岡平野から筑紫野へと連なる平野が最も狭められ、くびれ状になっている所である。このほかに、西側には小水城と呼ばれるものが何箇所か設けられ、前述したように、北側には大野城、南側には基肄城が配置されており、これら大野城、水城、基肄城の間はくびれ状になって、自然の山並みにより天然の要塞となっている。太宰府と水城周辺図を図-1に、また、水城全景についてフランスの人工衛星であるSPOT/HRV(XS)データによるフォールスカラー画像を画像-1(原画像はカラー)に示す。

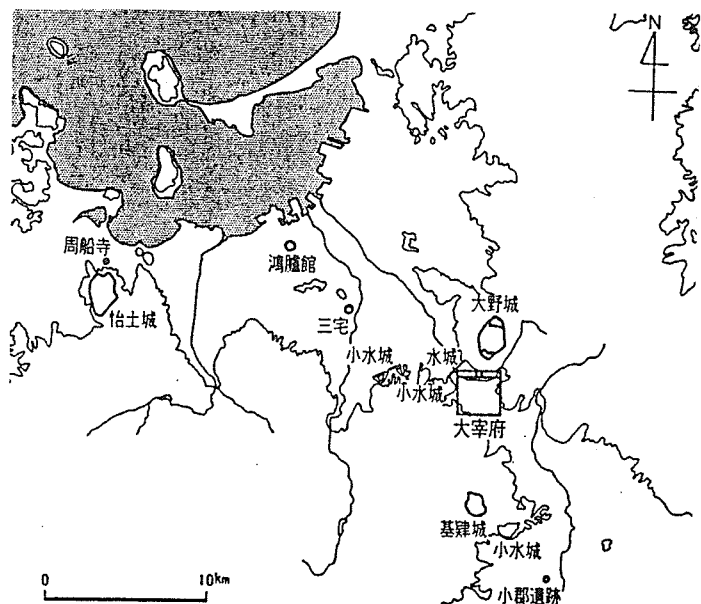
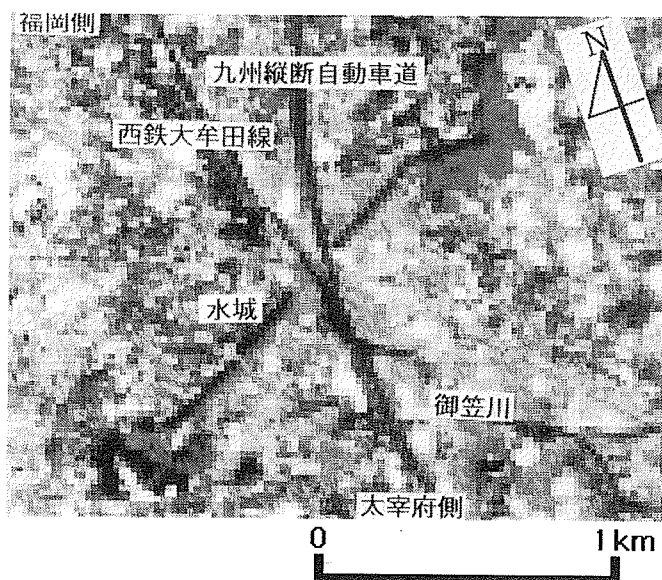


図-1 太宰府と水城周辺（太宰府市編集委員会、「太宰府市考古資料編」（1992年）より）



画像-1 水城全景のSPOT/HRV(XS)データによるフォールスカラー画像(1986.10.20 観測)

(3) 水城の構造

a) 土塁

水城は、全長約 1.2 km、基底部幅約 80m、高さ約 13m ですべて人工の盛土である。築堤方法は、版築の工法をとっている。二段築成であるために、横断面の形状は凸字形を呈しており、上成土塁は外側（博多側）が約 70 度の急傾斜で、内側（太宰府側）が緩くなっている。土塁の天端は平坦ではなく、東西両端から中央に向かって緩やかに傾斜しており、標高の最も高いところは土塁の西端付近で標高 39.7m、最も低いところは土塁中央部を貫通する御笠川付近であり、標高 32.4m である³⁾。現在の水城の様子を写真-1 に示す。

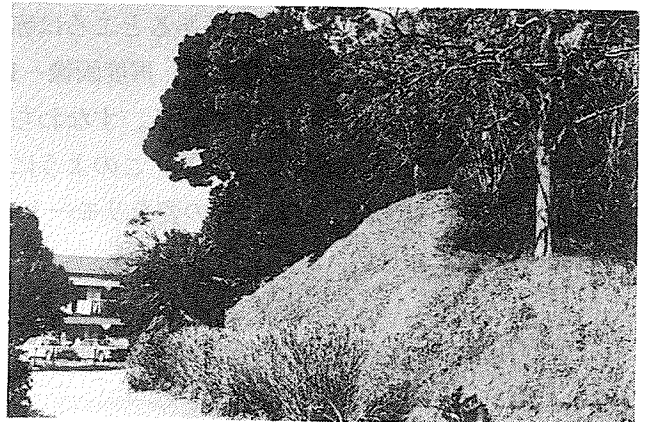


写真-1 水城断面（撮影：後藤恵之輔，1998.2.11）

b) 堀

日本書紀に「水を貯えしむ」と記されている。これについては様々な解釈がなされてきた。湿地造成説や土塁中央部を貫流する御笠川を土塁によって塞ぎ止め、太宰府側に貯水し、敵の襲来時に土塁を切り落として、敵軍を博多湾に押し流すものではなかったのかとする大堤説など、長年にわたり論議されてきた。その後 1972 年の発掘調査によれば、土塁の外側に、幅約 7m、深さ 2m 程度の堀が確認され、さらに 1975 年に行われた本格的な発掘調査によって、ようやく終止符が打たれた。調査結果によれば、土塁の外側（博多側）に幅約 60m、深さ 4m の大規模な堀が確認されたのである。なお、この数値は、試堀溝によって得た値であるため正確を期しがたい。また、土塁が東西端から中央に向かって傾斜しており、差が 7m 余りあることから、全面の堀がただの堀であったとは考え難く、水城の防衛施設としての機能と構造の輪郭が明らかになった⁴⁾。すなわち「水城が人工の盛土であって、版築工法によって築成されたもので、まず、幅 75m に近い広い壇（テラス）を築き、その上にさらに基底 15m、高さ約 7m の堤が設けられていることが判明した。」と報告されている¹⁾。断面形状をイラストレーションしたものを図-2 に示す。

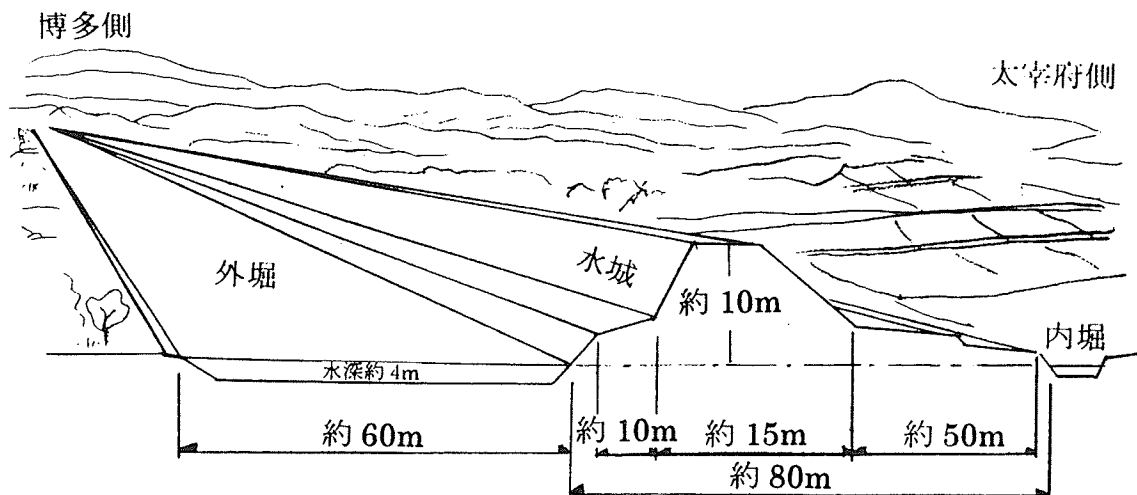


図-2 断面形状のイラストレーション

（「特別史跡“水城”（みずき）の築堤技術」の原図に修正・加筆）

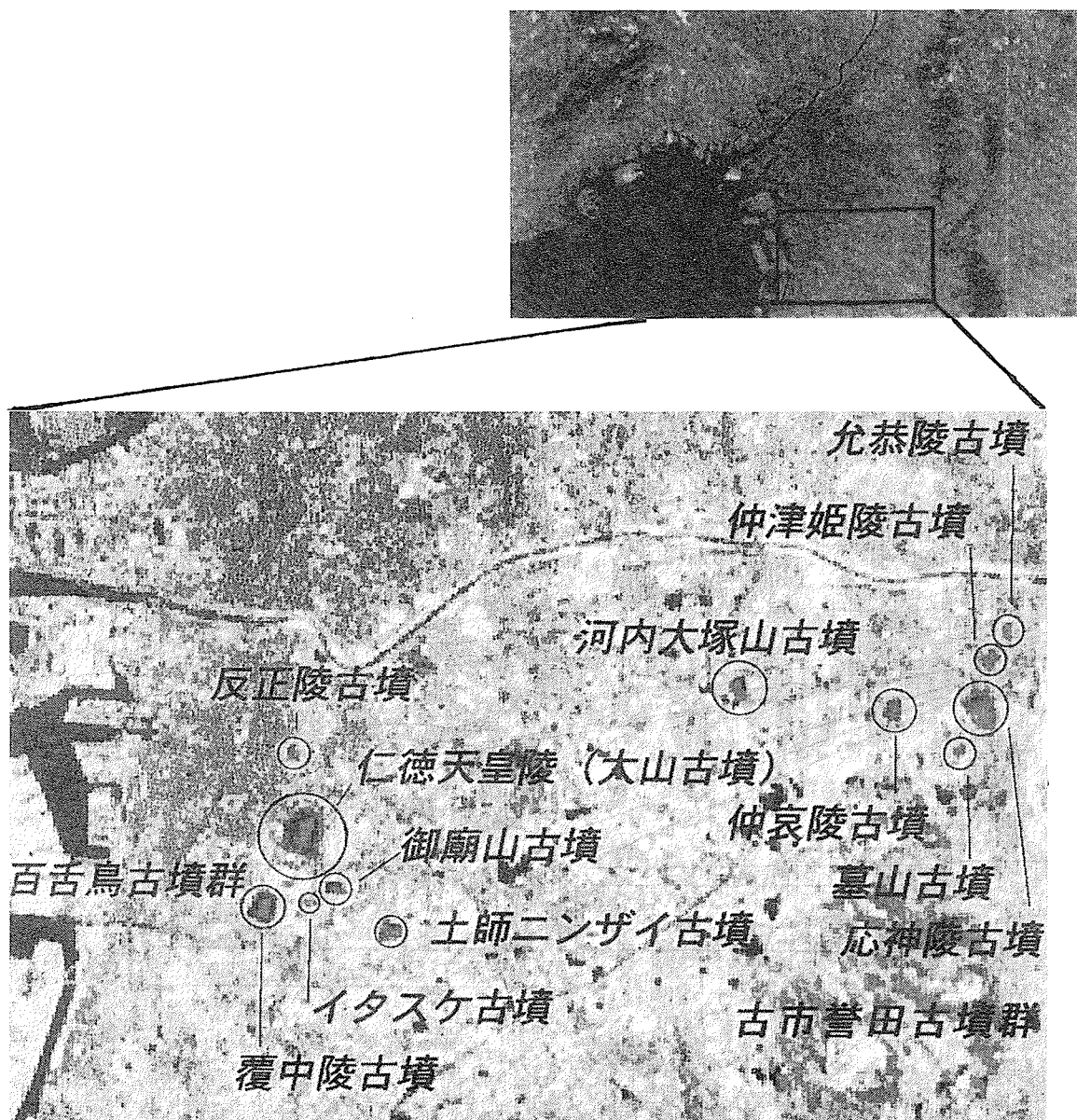
(4) 宇宙から見る水城

画像-1 に示したように、衛星高度 830 km の高さからどうして水城がはっきりと確認できるのだろうか。その答えは、写真-1 にある。この写真で見たように、現在水城の土塁上はうっそうとした木立に覆われている。フォールスカラー画像の特徴は、植生があるところは赤く反応するようにし、植物の活性度が高い場所はより鮮やかな赤色を示す。このことに注意して、再度画像-1 を見てみれば、中央に直線の赤い線があり、その左側に黒い線が走っている所が水城を表している。すなわち、赤い線が水城（土塁上の植生）であり、黒い線は水城及び土塁上を覆っている木立の影である。このように、古代の遺跡が地上に明確に存在しており、その形がはっきりと現れているならば、容易にその姿をリモートセンシングによって捉えることができる。

3. 百舌鳥古墳群と古市営田古墳群の調査検討

(1) 位置

両古墳群の位置と主な古墳の名称および分布を画像-2 に示す(原画像はカラー)。分布に用いた画像は、日本の人工衛星 MOS/MESSR のフォールスカラー画像上である。



画像-2 大阪府の主な古墳の分布を示す MOS/MESSR フォールスカラー画像 (1991.12.16.観測)

(2) 古墳時代

日本の歴史の流れに、縄文時代、弥生時代に続いて古墳時代という時期がある。歴史的な観点で見れば、縄文時代と弥生時代の区分は、農耕によりもたらされた文化、経済、社会の変化であり、古墳時代に続く飛鳥・奈良時代は、律令の制定による中央集権国家の成立である⁵⁾。これらのことから「古墳」がもたらした影響は多大であることが分かり、また、この時代に造られた古墳は、一定の企画性があり、全国規模で造られるようになった。古墳は、3世紀から7世紀にかけての象徴であり、特に、4世紀後半から5世紀は巨大古墳の時代とも呼ばれているように、墳丘長が200メートルを超えるものが多く造られた。その中でも、今回取り上げた近畿には多くの古墳が点在し、その多くが大阪府に集中している。全国では大小合わせて約二十万基の古墳が存在すると言われていた中で、大阪湾に接する堺市には国内最大の大きさを誇る仁徳天皇陵を始め、覆中陵、反正陵が百舌鳥古墳群の中にある。また、藤井寺市と羽曳野市にまたがる古市・菅田古墳群には、土量容積が日本最大と言われている応神天皇陵などがある。これら古墳時代中期に造られた古墳は、自然の地形を利用した前期古墳とは違い、人間が平坦な土地に人工的に築き上げた大きな墳丘であることから、技術的にも大きく飛躍したと考えられる。そこで、仁徳天皇陵と応神天皇陵を中心に、両古墳群を様々な角度から検証していく。

(3) 規模

仁徳天皇陵の規模は、墳丘全長475m、後円部直径245m、後円部高約30m、前方部幅300m、前方部高27mとなっている。これに対して、応神天皇陵は、墳丘全長415m、後円部高約36mとなっており、仁徳天皇陵と比べると少し小さい。しかし一部には、昔の宮内省帝室林野局が測量した図を検証して墳丘の裾部を見直し、仁徳天皇陵の墳丘長を486m、応神天皇陵の墳丘長を425mとする研究者もいる⁶⁾。1955年に京都大学考古学研究室の梅原末治博士が発表した論文によれば、仁徳天皇陵の表面積は10万4130㎡、総容量140万5866m³であり、約140万m³というのは、10トン積みダンプカーで約25万台に相当する量である。応神天皇陵は表面積11万1850㎡、総容量143万3960m³となっている⁷⁾。したがって、墳丘の容積は、応神天皇陵の方が仁徳天皇陵より約2万8000m³ほど多いことになり、総容積では日本最大の前方後円墳になる。

(4) 構造

仁徳天皇陵は、礫層を主体とした段丘の上に造られている。墳丘傾斜面には、やや大型の葦石が敷き詰められていたと考えられる。京都大学工学部の高橋逸夫教授によれば、葦石の厚さを25cmと仮定したとき石の量は2万6033m³になるという。また大林組の計算では、葦石の数を1㎡あたり74個平均とすれば536万5000個、重量にして1万4000トンに達するという報告もある⁸⁾。この葦石は、斜面を覆って墳丘の強度を増すばかりではなく、盛土部の風化を防ぐなどの役割も果たした。では、これら多くの石をどこから運んで来たのだろうか。葦石は京都大学理学部の松下進教授によって、その大半が和泉砂岩と判定されている。つまり、地元で大量に採取できる石材であり、近くを流れる大津川、石津川、石川などの河川から採取したと考えられる。また、一部に花崗岩が使われているが、これは、明治時代に墳丘が修復されたときに持ち込まれたもののようである。

先程、土量容積について説明をしたが、ではどこからどのようにして盛土に使われた土は、運ばれてきたのだろうか。当時は、現在のように機械力に頼ることはまずありえず、当然、人力によって運んでいた。これらの土を濠の掘削時に出土した土で補ったとすれば、濠の水深は10mにも達してしまう。しかし、現実には仁徳天皇陵を取り巻く濠の水

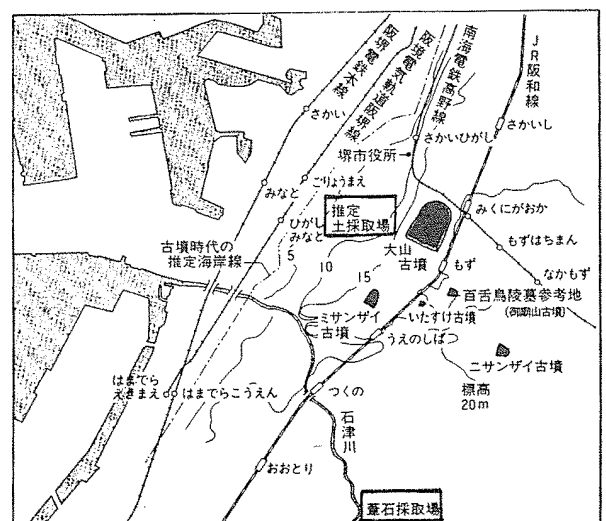


図-3 土採取場所⁵⁾

深は4～5m程しかなく、第一濠、第二濠あわせても土の容量は73万8000m³程である。このため、濠を掘った土だけではまかないきれず、どこからか運んできたと考えられる。仁徳天皇陵の西側、墳丘中心から200mほどの一帯が40～50haにわたって等高線が、不自然にくぼんでいるところがある。ここから不足分の土を採取したと推測される⁸⁾。土を採取していたと思われる場所を図-3に示す。

(5) 立地条件

a) 地盤

現在、仁徳天皇陵は、人工的に造られた境港の少し内側に位置しているが、5000～4000年前は大阪湾がもっと東側に入り込んでおり、今の大阪市北部から東部にかけて河内湾を形成していた。3000～2000年前になると、河内湾は河内潟に変化していった。1800～1600年前の弥生時代後期から古墳時代前期にかけて河内潟は河内湖となり、流れ込む河川が流入する土砂により埋め立てられ、水はけの悪い低湿地となった⁹⁾。図-4に5世紀の河内湖を示す。このような大阪平野の成り立ちにより、この辺り一帯は地下水位が高く、季節によっては地上から1m掘り下げただけでも水が湧くという。しかも、仁徳天皇陵を取り巻く周濠は深さが4～6mもあり、掘削すると水が溜まって作業ができなくなってしまう。このため、地盤改良を行う必要があり、地下水を排出するための溝を切る作業を行った。現在でも古墳の第三濠の西側に、樋の谷と呼ばれる深さ5mほどの谷があり、この小さな谷を拡張して排水路に造り直したと考えられている⁸⁾。

一方、山側の古市・菅田古墳群では応神天皇陵以外の古墳は、非常に地盤の安定した段丘の上に築かれている。応神天皇陵は、東側半分は段丘を利用しているが、西側半分は氾濫原という両極端の位置に造られている¹⁰⁾。このことから、古市・菅田古墳群で応神天皇陵は、他の古墳より造られた年代が遅かったのではないかと推測できる。なぜなら、条件の良い安定した場所は、先に他の古墳が

築造されていたために、このような、それほど条件のよくない段丘と氾濫原をまたぐ形になったのではないだろうか。しかしその逆、つまり、あえて古市・菅田古墳群がある中で条件の悪い場所を選んだとも考えられる。応神天皇陵や仁徳天皇陵にしてもその巨大さから、当時の埋葬者の持っていた権力がうかがえ、当然、権力があるから最高の場所を選んだはずだ、とは必ずしも言い切れないのではないだろう。最高の権力者であったがゆえに、あえて条件の悪い場所を選んだとも推測できる。地盤が不安定だから人が住まなくてもいいというのではなく、何としても人がその土地に住み、村を拓き、人が集まる必要があった土地だからこそ、他の地域には見られない土木技術の進歩があり、当然、人間の動員力、組織化も早く、大きな国ができる条件がそろったのである。だからこそ、より条件の悪い土地を開拓することで、さらに技術革新を進めると同時に、当時の技術力の高さを証明するために応神・仁徳天皇陵は条件の悪い場所に造られたのではないか。また、この墳墓を村のシンボルとして、墳墓を中心に人口を増やし都市を形成していったとも考えられるのではないだろうか。

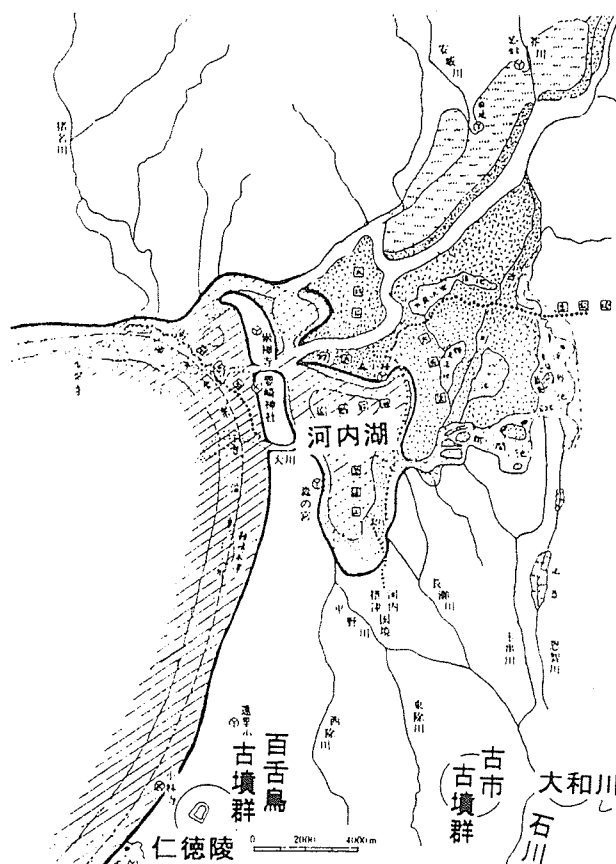


図-4 5世紀の河内湖

(梶山・市原,「続大阪平野発達史」を加筆・修正)

b) 物資・人員の輸送

仁徳天皇陵は、当時の海岸線から内陸側にわずかに 1600m の距離にあり、各地から集める資材を港から運搬するには困難はなかった。また、境港から大和川と石川の合流付近にあった大集落へ向かって、大津道（今日の長尾街道）がまっすぐに走っており、それに平行して丹比道（今日の竹内街道）が走っている。百舌鳥古墳群は丹比道が境港に向かって北に曲がる所にあり、また、古市菅田古墳群は二つの街道に挟まれるように広がっていたために、明らかにこの道の輸送力に依存していたと考えられる⁹⁾。

次に、古墳の表面を覆う葺石の輸送ルートについてまとめれば、例えば、百舌鳥古墳群の北側を流れる大和川と南側を流れる石津川から集めたとして、仁徳天皇陵までの距離は 5.9km である。3 世紀後半の初期の大型前方後円墳では、大勢の人間を一行に並べ、手渡しで葺石を運んだと伝えられているが、この規模では、とてもそんなことはやってられない。当時の技術力の高さから推定して、大和川や石津川から運搬用の水路もしくは支川を開削し、いかだや船のようなものに石を積み込んで運んだのではないかと思われる。いずれにせよ、これだけの大土木事業であるため、資材運搬用の陸路や水路が地形を利用して造られたと考えられるのではないだろうか。その裏付けとして、古市菅田古墳群の中央には、古市の大溝と呼ばれる巨大な運河があり、弥生時代以来、近畿地方には人口が集中してくると水上交通のため溝を掘るという伝統があるようである¹⁰⁾。

c) 場所の選定

文献¹¹⁾には「百舌鳥古墳群の多くは境港を見下ろす場所にあり、ここに葬られた人間が、この地における王権の巨大さを印象づけるためにも、海上から近づいてくる必要があった。仁徳天皇陵が当時の海岸線に平行した長軸を持つのはそのためである。」と記されている。又、「海路・陸路から大きく見えるように方向軸を決めた¹²⁾。」とある。

仁徳天皇陵の方向軸について書かれてあることは、ほとんどこのようなシンボリックな役割や政治・経済効果をアピールするものとして、政治の場所は大和であり、墓地は古市や百舌鳥に築いたという考え方が多いが、本当にそれだけであったのだろうか。そこで、当時の思想や文化を考慮して新たに推測してみた。古代日本においては、中国大陸や朝鮮半島から伝わって来る文化・芸術、技術等は非常に重要な資産であり、その影響力が多大なものであったことは、今日の生活の中にも感じられる。と同時に、日本独自の思想、文化も当然あったのだから、それらが融合して、来世観や宗教・思想の変化、社会体制の変化などの影響によるところが大きかったと思われる。このため、中国の前漢の時代の思想と地相判断術（風水）を用いてみれば、次のような非常に興味深い結果を得た。

中国の前漢の時代では、天子は墓を造ろうと思えば、そこを陵邑に指定して、天子が活着している間にどんどん人口を集中していき、にぎやかな都市を造る。天子が死ねば、その大都市の真ん中に埋葬される。だから、天子の墓をつくるのが契機となり、いくつもの大都市が造られるというわけである¹³⁾。今日のお墓は、静寂な死の世界を象徴するためや様々な問題などから、都心にお寺などがない限り、郊外や田舎のような人の少ないところに造られているが、当時は神聖なものとして、また、都市の守り神的な存在として堂々と都心に造られている。墳墓が大きく立派であればあるほど、その都市の文化、技術力、経済力が高いということの証明であり、人々が集まったのかもしれない。このことから、当時と現在のお墓に対する考え方の違いが伺え、また、墳墓を中心として、日本でも大都市が形成された可能性が出てきた。

次に、風水を用いて検証してみる。古代日本、特に 602 年以前という時代は、仏教や道教、密教や儒教、陰陽道などは、日本には伝わってきていないとされており（しかし、538 年もしくは 552 年に仏教が百済から伝わったとする説もある¹⁴⁾）、日本古来の神道の時代とされている。あるいは、その地域ごとや村ごとに独自に死者を埋葬する方法があったのかもしれない。602 年以前というのは東西軸の時代であり、602 年以後は南北軸の時代である。では、当時使われていた東西軸とはどのようなものであったのだろうか。簡単に言えば、東が常世、西が黄泉である。東は太陽が昇る方角であり、西は太陽が沈む方角である。昔の人々にとって太陽は生の象徴

であったために、太陽が沈み暗闇がはびこるということは、大変な恐怖であると同時に死を意味していた。逆に、太陽が昇るということは、活動の始まりであり生を意味していた。

仁徳天皇陵の方向軸は、築造推定年代が古墳時代中期ということから、仏教や儒教などの新しい思想は入ってきていないので、東西軸である。この考え方をを用いて、仁徳天皇陵を見てみれば非常に面白い結果を得た。仁徳天皇陵の傾きは、24 方位という艮（ごん）という方角（北東：37.6～52.5 度）を示している。この方位は、表鬼門という名称で知られているが、本来の風水の概念には鬼門は存在しない。（しかし、京都の一部には存在する。）また、別名を天枢星、またの名を天市恒という。この方角の持つ意味は、艮龍が入り“子”の座山を取ると帝王の気風を帯びた人物が出る¹⁴⁾という意味を持っており、埋葬者以降も優秀な子孫が生まれるようにという、子孫繁栄の思いが込められていることが分かる。そして、この方角をお墓に用い得るのは皇族だけであることから、仁徳天皇の墓ではないかと推測できる。さらに、太陽は生の象徴だと前述したが、季節による日の出の方角からも、この北東という方角のもつ意味の深さが伺える。それは、春分の日の方角は東であり、夏至の日の出は北東、冬至の日の出は南東である。夏至の日の出の方角というのは、一年で最もエネルギーが強いとされており、これにあやかる考え方が原風水の中にはあったようだ¹⁵⁾。図-5 に三六〇度-二十四方位換算表を、図-6 に日本国土地理院発行の堺市の二万五千分の一地図を示す。

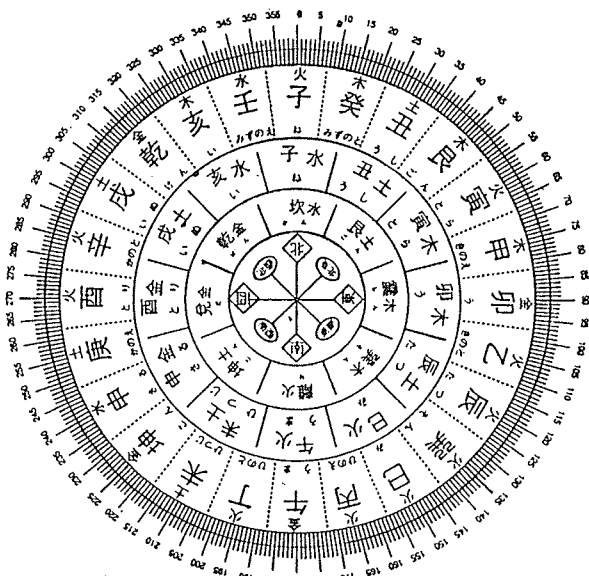


図-5 三六〇度-二十四方位換算表
(金寄靖水氏より提供)

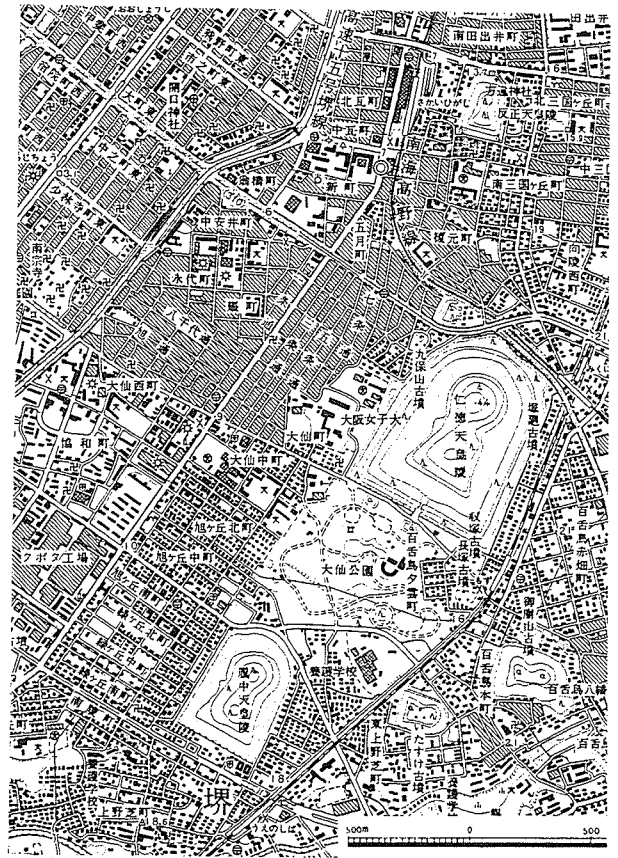


図-6 百舌鳥古墳群（日本国土地理院発行、
二万五千分の一地図、堺市より）

d) 総括

もう少し視野を広くして、風水思想を百舌鳥と古市菅田古墳群に当てはめてみれば、大阪府と奈良県の境に生駒・金剛山地がある。これを基準にして東西を分けていたようで、奈良県側が常世(現世)、大阪府側が黄泉(あの世)とされている。この考え方をすれば、奈良に政治、経済の中心があつて都市ができ、お墓はわざと大阪平野に、政事的デモンストレーションも兼ねて造ったということになる。このため、大阪府に古墳が集中しているとも考えられる。しかし、これまで地盤条件、交通面、思想などから探ってきたように、当時の思想や土木

技術の水準の高さ、また、海に面しているだけに海上交通などの利用もできたと考えられ、大阪平野には十分、都市が発達するだけの条件が揃っており、一概にこれだとは断定ができないと思われる。

しかしながら、今日の学問上では全く分野の違う学問がここまで共通したことは、非常に面白く、ある意味では恐ろしさを感じる。これは、古墳づくりというよりは土木事業と言った方がいいと思うのだが、当時の人々が持つ総合技術力、融合し合った総合知識をすべて使い、複雑に絡み合っ、ひとつの古墳を築いていることが分かる。方角を知るためには、磁石などない時代であるから天文学の知識が必要であるし、何と云っても、上空から見ることはできなかったであろう古墳が、左右対称の相似形であることから、幾何学の知識も必要であったであろう。また厳密なプランニングが行われ、図面どおりに築造する測量技術の高さなどには驚かされる。いずれにせよ、当時の日本中の最も最新で優れた知識や技術が、この地に結集していたとだけは言えよう。

(6) 宇宙から見る百舌鳥・古市誉田古墳群

画像-2 に、水城を宇宙から見た時と同じ手法を用いて、百舌鳥・古市誉田古墳群を表したが、ここではアメリカの人工衛星 LANDSAT/TM 夜間データと MOS/MESSR データにより解析を行った。解析方法は、LANDSAT/TM 夜間データは熱赤外バンドであるため、温度分布画像を作成した。また、MOS/MESSR データより植物の活性度を表す植生指標 NDVI を求め、遺跡の分布状況を把握するために用いた。以下に各手法について説明する。

a) LANDSAT/TM データのデジタルカウント値から観測輝度温度への変換式

LANDSAT/TM のバンド 6 データのデジタルカウント値からの観測輝度温度を求める方法は、NASA から公表された次式を用いる方法である^{16)~18)}。

$$R = 5.1292 \times 10^{-5} \times T^2 - 1.7651 \times 10^{-2} \times T + 1.6023 \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

R : 単位波長当たりの放射輝度 ($\text{mW}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$)

T : 観測輝度温度 ($^{\circ}\text{K}$)

式 (1) を変形すれば

$$T = \frac{1.7651 \times 10^{-2} \pm \sqrt{0.017651^2 - 4 \times 5.1292 \times 10^{-5} \times (1.6023 - R)}}{(2 \times 5.1292 \times 10^{-5})} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 R を CCT 値から求めれば次のようになる。

$$R = \frac{\{(V/255) \times (1.896 - 0.1534) + 0.1534\}}{1.239} \dots\dots\dots (3)$$

ここに V : CCT 値

b) 植生指標 NDVI

植物の状態は、植物の葉に含まれるクロロフィルの量、葉量、活性力（光合成、炭酸同化作用など）などの固有の変化があるものの、他の物体に比べてきわめて特長のある分光反射特性を示し、それによって植物の生育状態を判断できる。植物は、可視光の緑にあたる $0.55 \mu\text{m}$ 付近に反射率が 10~20% のひとつの山と、近赤外線

0.7~1.3 μm の間で反射率が50~60%という緑より高い割合で反射するからである。赤色光の0.7 μm と1.5 μm 、1.9 μm 付近に強く吸収された谷間を持つのも、特長のひとつである。一般には、クロロフィル含有量が多い葉をもつ植物ほど、可視光域の赤色波長帯の反射が低く、葉量が多く成長活力が強い植物ほど、近赤外域の波長帯の反射が強くなることが知られている^{19), 18)}。

今回、植生指標NDVIを求めた衛星データはMOS/MESSRであり、その計算式を以下に示す。なお、本来、植生指標NDVIは-1から1の間の値をとるが、解析画像を作成する際に色を付けるために、0から255の値に変換する式²⁰⁾を用いた。

$$NDVI = \left(\frac{IR - R}{IR + R} + 1 \right) \times 128 \dots\dots\dots (4)$$

ここに、IR：近赤外域のバンドのCCT値（MOS/MESSR：band4）

R：赤色光域のバンドのCCT値（MOS/MESSR：band2）

注意すべき点は、植生指標NDVIの算定を行う前に大気補正(標準化)を行っていることである。次に大気補正(標準化)の換算式を示す。

c) 大気補正

人工衛星は、太陽が放射した可視光を含む電磁波を地球の表面が反射したものを観測する。従って、地表物体からの反射光が人工衛星に達するまでに、大気による反射光の減衰が生じるので、この大気による影響を除去し、正確な値を推定することを大気補正という。

本研究では、CCT値の平均を126に、標準偏差を大きくする処理を行う標準化による大気補正を行った。その計算式を以下に示す²²⁾。

$$Z_i = \left(\frac{B_i - M_i}{sd_i} \times 30 \right) + 127 \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 Z_i ：標準化後のiバンドのCCT値

B_i ：iバンドのCCT値

M_i ：iバンドのCCT値の平均値

sd_i ：iバンドのCCT値の標準偏差

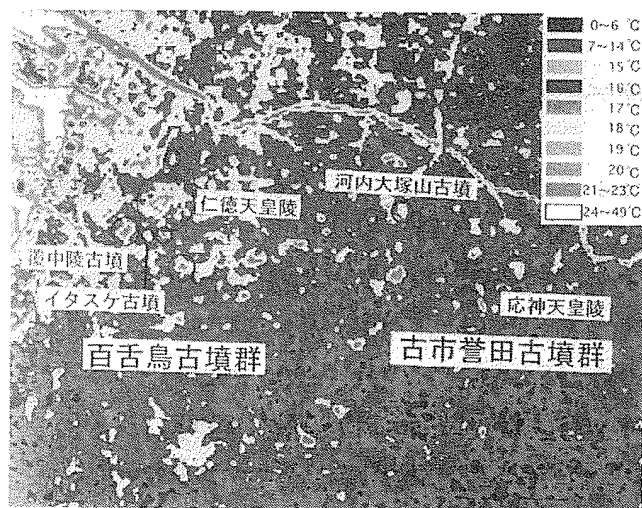
d) 解析結果

解析に用いたデータは、LANDSAT/TM 夜間データ 3 シーン、MOS/MESSR データ 2 シーンのうち、LANDSAT/TM 夜間データは1990年2月9日観測、またMOS/MESSR データは1991年12月16日観測のデータよりそれぞれ紹介する。

まず、LANDSAT/TM 夜間データによる温度分布画像を、画像-3に示す(原画像はカラー)。この画像では、百舌鳥古墳群の仁徳天皇陵、覆中陵などの古墳を非常に明確に把握することができる。観測時間が夜間ということもあり、墳丘上に植生があるために温度が低く、濠の水の温度が高く出ている。しかし、古市菅田古墳群では、土積容量では日本一と言われている応神天皇陵があるのだが、この画像上では仁徳天皇陵、覆中陵のようにはっきりと現れていない。残りのデータも同じ傾向が見られたので、このため、大阪管区气象台に当日の気象状況を聞いてみた所、堺市の観測所のデータでは、当日の天候は晴れで、最低気温が午前7時の-0.4℃、最高気温が午後4時の10.9℃となっている。そして、午後10時の温度が3.7℃となっている。この結果からは、古市菅田古墳群の温度が低い理由は探れなかった。その他の要因としては、古墳群が山すそに分布しているために霧や霜などが出ていたか、前日に雪が降り、それが残っていたとも考えられる。

したがって、もう一度、古墳の分布を把握するために、植生指標NDVIをMOS/MESSR データから求め解析

を行った。その結果を画像-4(原画像はカラー。赤色は活性度が高く、青色は活性度が低い)に示す。これによれば、両古墳群の主だった古墳を捉えることができています。また、画像上には、古墳群に見られるような反応を示す場所が多々見受けられるが、これは公園などにある植生、もしくは小さな古墳上の植生を示すのではないかと考えられる。



画像-3 温度分布画像(1992.2.9 観測)



画像-4 植生指標 NDVI(1991.12.16 観測)

4. まとめ

このように、地球の表面しか捉えられないリモートセンシング技術を用いても、十分に古代遺跡を探り得ることが分かった。今後は、リモートセンシング技術の遺跡探査への活用もおおいに期待できるが、やはり、対象とする場所により解析方法が異なるために、その場所、土地風土に合った最適な解析方法の把握が必要であろう。また、文献検索、思想、文化などの絡みもあり、総合知識が必要になる。まさに、ここには本来の土木の姿があるようである。その時代、時代の最高技術と知識を結集し、いかに自然と同居し、そのエネルギーを人間の生活の場に取り入れるか。そして、子孫を残すか。これが、人間と自然との本来のつきあいかたであると言えよう。

参 考 文 献

- 1) 土質工学会：遺跡の保存に関するシンポジウム発表論文集、土質工学会、pp. 121～126, 1995. 1.
- 2) 福岡県教育委員会：太宰府と新羅・百済の文化、pp. 15～23, 1990. 9.
- 3) 同上、pp. 167～168.
- 4) 太宰府市史考古資料編、pp. 395～407.
- 5) 田村 佑：古代史シリーズ3、陵墓治定と「記紀」の虚実を探る、謎の天皇陵と巨大古墳、(株)学習研究社、pp. 108～109, 1996. 12.
- 6) 竹内 均：Newton 別冊、古代ミステリー、(株)ニュートンプレス、pp. 188～199, 1993. 7.
- 7) 中井正弘：仁徳陵ーこの巨大な謎ー、創元社、pp. 15～20, 1992. 12.
- 8) 前出 5) pp. 118～129.
- 9) 前出 7) pp. 158～163.
- 10) 鈴木 享：別冊週刊読売二月号、特集古代王朝の謎に挑む、読売新聞社、pp. 126～127, 1976. 2.
- 11) 同上 p. 58.

- 12) 同上 p. 59.
- 13) 田村圓澄：筑紫と飛鳥、日本古代史を見る眼、六興出版、p. 134, 1990. 9.
- 14) 御堂龍児：定説、地理風水大全、図書刊行会、pp. 96～98.
- 15) 金寄靖水：風水学宇宙波気候協会日本支部支部長談.
- 16) 宇宙開発事業団 地球観測センター：地球観測データ利用ハンドブック、LANDSAT 編・改訂版、第六章資料(財)リモート・センシング技術センター、1986. 10.
- 17) 稲永麻子、竹内章司、杉村俊郎、吉村充則：NOAA/AVHRR データの観測誤差の補正、日本リモートセンシング学会誌、Vol. 10, No3, pp. 10～20, 1990.
- 18) 後藤恵之輔、全 炳徳、北島宏康：衛星リモートセンシングによる大規模ごみ処分場の維持管理の試み、長崎大学工学部研究報告、Vol.27, No.49, pp.261～264, 1997.7.
- 19) 後藤恵之輔、前間英一郎、奥村運明、藤田 究：人工衛星からみる黄河下流デルタ地帯の断流の影響について、九州大学大型計算機センター計算機科学研究報告、第 14 号、p.23, 1997.3.
- 20) 中島 巖：宇宙から地球を探る、リモートセンシングの話、同文書院、pp.110～120, 1982. 1.
- 21) 日本自然災害学会：第 15 回、日本自然災害学会学術講演会講演概要集、pp.157～158. 1996.11.
- 22) 東 敏生：2 時期のランドサット TM データを用いた松枯れ被害拡大地域の抽出、日本リモートセンシング学会誌、Vol. 10, No. 3, pp. 77～84, 1990. 9.