

(27) インカ遺跡ピサクにおける給排水システム

Water supply and Drainage system in Pisac, the Remains of Inca

楠田哲也^{*}, 市川 新^{**}, 原田秀樹^{***}, 迫田章義[†], 近藤隆二郎[‡],

Peter Kaulicke[§], Mjulinho Zapata Rodriguez^{§§}

Tetsuya Kusuda, Arata ICHIKAWA, Hideki HARADA, Akiyoshi SAKODA,

Ryujiro KONDO, Peter Kaulicke, Mjulinho Zapata Rodriguez

ABSTRACT; Field research on hydraulic works, in 2000 at Pisac, one of the ancient Inca Remains, defined some of the characteristics. There are four kinds of hydraulic works, that is, channels for ritual, waterworks, drainage, and irrigation in the Inca civilization. The site had at least five canals for water works, more than two canals for irrigation, more than three drainage channels for agriculture, and no channels for ritual. Drainage for domestic wastewater is not found. No technical contrivance for health risk on waterworks existed at the site, so that social discipline with taboo might work for the risk. Their design skill was not excellent on hydraulic works, but high in construction technology. The structure of an irrigation channel indicates that water right may exist. The concept of sacred water was similar to other old civilizations.

Key words: Inca, Pisac, hydraulic works, waterworks, drainage, irrigation, water right

1. はじめに

過去の遺跡は持続した社会としての技術や社会を制御するシステム技術についてのノウハウを有していたはずである。特に給水に関して衛生学的安全性の確保にはかなりの神経を注いでいたはずである。工学的見地からこのような古代遺跡の都市基盤施設の状況を調査・分析することは、その社会の理解だけでなく、現在の社会においても有用な考え方を提供する可能性がある。

このような観点から本研究はインカ (Inca) 文明のなかで機能がそろっている都市としてピサク (Pisac) を対象に、給排水施設の設計・維持管理思想を工学的に明らかにし、生活の安定性・衛生学的安全性の確保手段、灌漑用水の取得と水に関わる信仰について検討することを目的とする。本研究は1999年6月と8月の予備調査、2000年7、8月にクスコ文化庁 (El Instituto Nacional de Cultura Cuzco) の許可を得て実施した現地測量・調査結果を取りまとめたものである。

2. ピサク

1) ピサクの概要

ピサクはクスコの北東にあるインカ帝国時代の都市遺跡で、西経 $71^{\circ} 50'$ 南緯 $13^{\circ} 24'$ 、ウルバンバ (Urbanba) 川とヴィルカノタ (Vilcanota) 川右岸のサグラダ (Sagrada) 山の標高 3400m の山麓端部に位置する (図-1、写真-1、2 参照)。この都市は1440年代にパチャクティ (Pachacuti) により建設された^{1, 2, 3, 4)}といわれている。ただ、インカ文明は文字を有していなかったため、伝承によらざるを得ず不明確な点が多い。また、当時の首都であるクスコとの関係性におけるこの都市の意味付けも未だ確定していない。

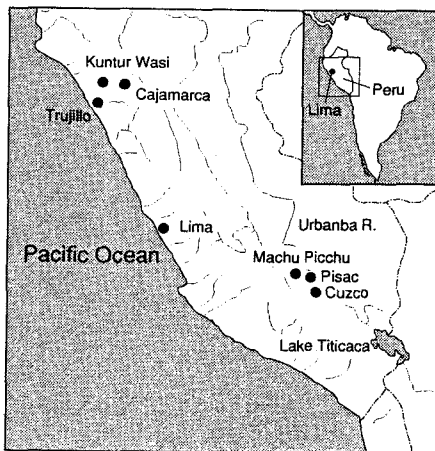


図-1 ピサクの位置

^{*}九州大学大学院工学研究院 (Kyushu University, Graduate School)

^{**}京都大学大学院工学研究科 (Dept. of Environmental Engineering, Kyoto University)

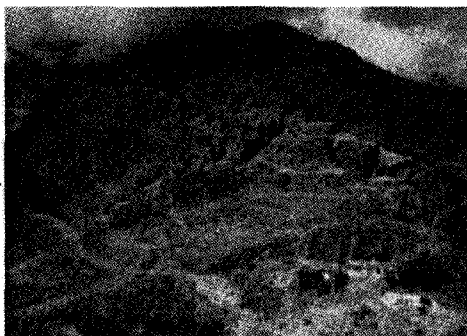
^{***}長岡科学技術大学工学部 (Nagaoka University of Technology)

[†]東京大学生産技術研究所 (Institute of Industrial Science, The University of Tokyo)

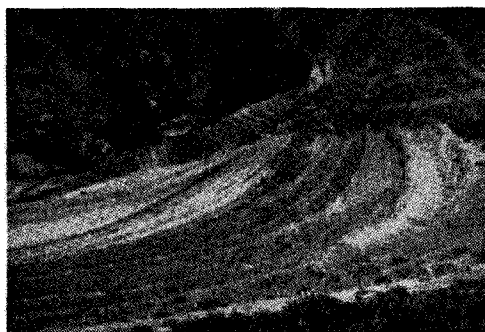
[‡]滋賀県立大学環境学部 (Dept. of Environment, Siga Prefectural University)

[§]Pontificia Universidad Catolica Peru

^{§§}Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cuzco



写真—1 カラカサの遠景

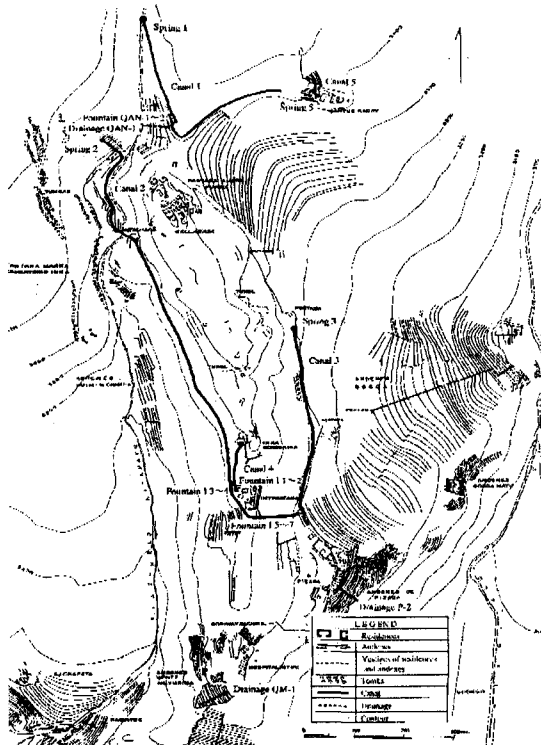


写真—2 カラカサ直下の段段畑

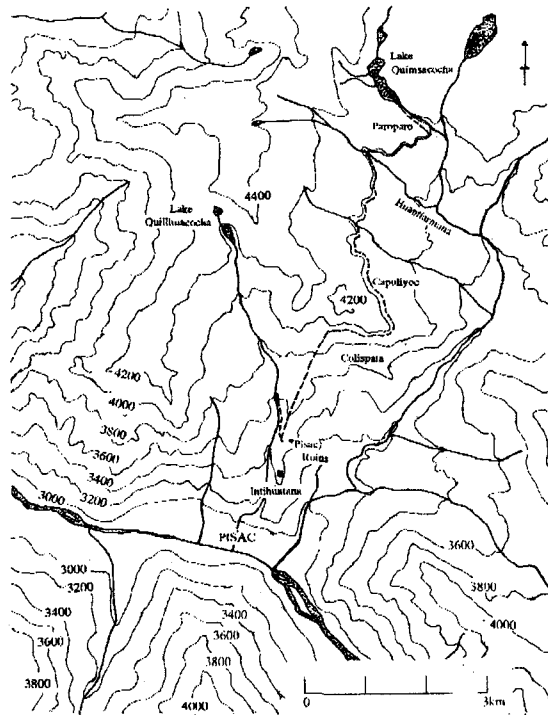
この都市は図—2のようになっており、都市は中央の丘（カラカサ（Qalla Q'asa）、インカコンコリナ（Inka Qonqorina）、インティワタナ（Intihuatana）の付近）が行政区（聖域）で、約長さ1km、幅500mで、標高3300-3500mにある。インティワタナ(写真—3参照)には神殿、円形の塔状の建物、聖なる広場などがあり、宗教的な色彩が強く打ち出されている。この東側、南側、南西側に農用地、さらに行政区と東側の農用地（Pisaca）の間に住居地がある。農業地の面積が圧倒的に多い。農用地はこの図の上部(北側)の丘の上やヴィルカノタ川の両岸にも広がっている。垂直統御⁴⁾で知られているように、高度による気候の違いを利用しジャガイモ、とうもろこしなど



写真—3 インティワタナ全景



図—2 ピサクの地図



図—3 灌漑水路の路線図

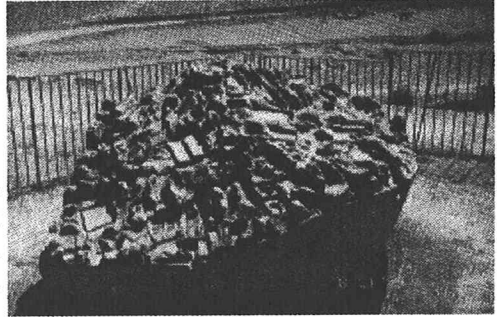
多様な植物を栽培していたといわれている。マチュピチュと同様の土地利用構造⁵⁾になっており、この都市はかなり進んだ計画コンセプトにもとづき建設されたことは明らかで、都市計画手法が社会制度として定着していたことを示している。

2) 給排水に関わる施設の概要

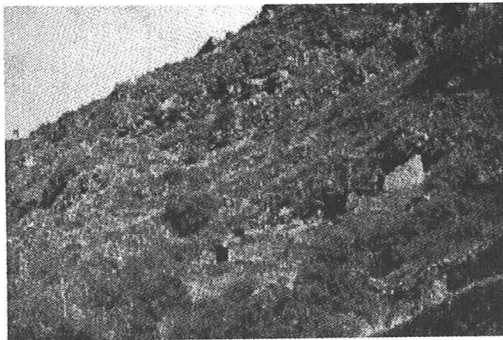
インカ文明の水や液体に関わる施設には、動物の血液や酒などを少量流せるようにした儀式用の掘り込まれた小さな溝、清めや飲料に供せられたと思われる給水施設、灌漑用水路、雨水の排除溝がある。

儀式用のサイワイテ (Sayhuite)(写真－4 参照)の宇宙をちりばめた彫刻石やクスコ近郊のケンコー (Kenqo) における同様に刻み込まれた岩石はこの儀式用の掘り込まれた小さな溝に当たるが、ピサクには現存しない。ただ巨石を一部削り取り、それを石壁で取り囲み、祭壇風にしつらえたものはインティワタナに1個存在する。

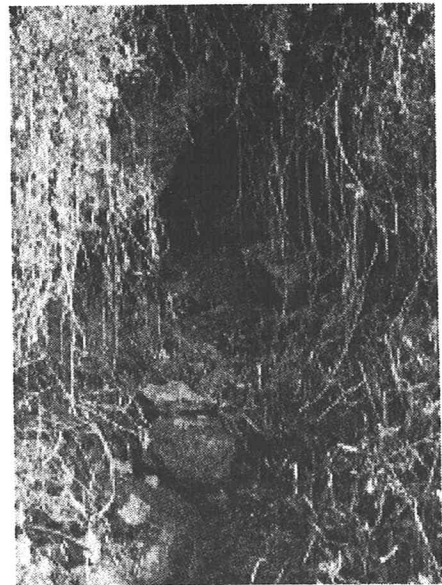
給水施設は水源、給水路、水場 (puquio,fuente) からなっている。給水路は図－2 に示すように少なくとも5系統現存しており、それぞれ水源を有している。Canal 1は高度3420mのキタマユ (Kitamayu) 川の渓流部に石積みの取水堰を設け、後述する4連 (QAN-1) と2連 (QAN-2) の水



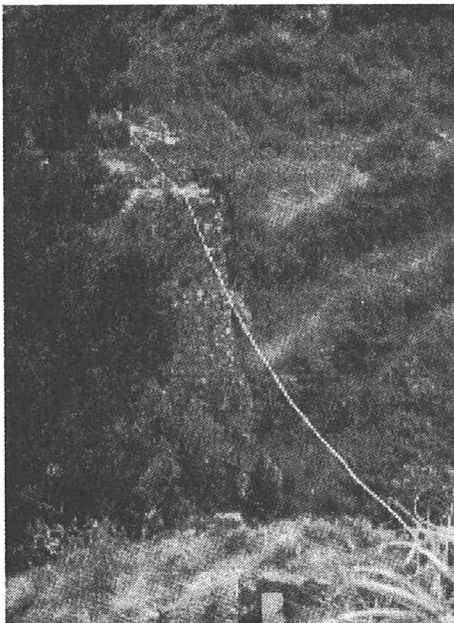
写真－4 サイファイテの彫刻巨石



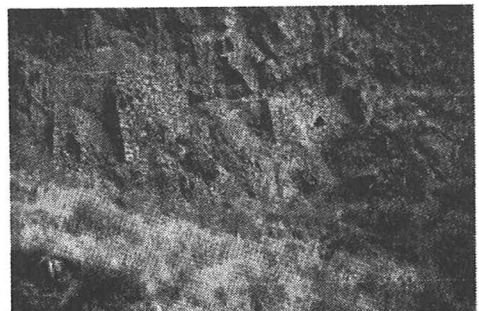
写真－5 墳墓群



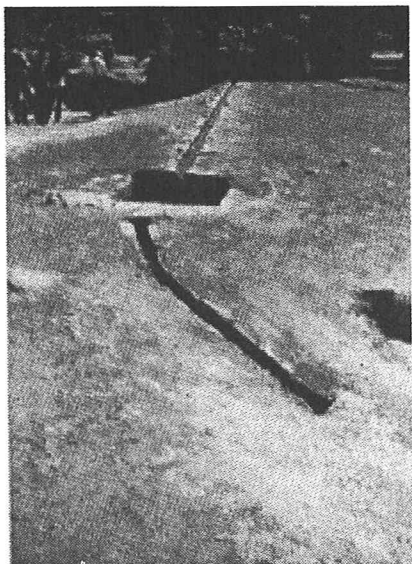
写真－6 タンタナマルカの湧水源



写真－7 水路橋



写真－8 水路橋に続く水路



写真—9 インティワタナの小さな池



写真—11 カンタスラコイの水場



写真—10 カンタスラコイの建物群

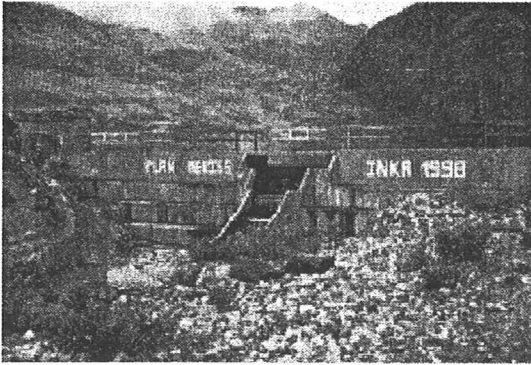


写真—12 ケンテムユリナ (Gente Muyurina) の排水路

場をへて農用地に流れるものである。Canal 2は同じく高度3420mの前述の小溪流の右岸の絶壁のタナナマルカ (Tantana Marka) 横穴墓群 (写真—5、6参照) の直下に端を発し、後述する石造の水路橋 (写真—7、8参照) を経てインティワタナの小さな池 (写真—9参照) を経て、急斜面の3つの水場を下って農用地に流れるものである。現在の湧水量は毎分3Lと少ない。なお、この水路橋は高さ20m、上部間隔20.7mである。Canal 3は高度3300mの等高線に沿って行政区と段段畑の境界を流れるもので現在は涸れている。Canal 4はインカコンコリナに端を発し、インティワタナのカスケード型の2つの水場をへてCanal 2に合流するもので、現在これも涸れている。Canal 5はカンタスラコイ (Qantus Raqay) の建物群 (写真—10参照) の左端の山腹に端を発し (写真—11参照)、建物群内を流れ水場を経て農用地に流れる比較的短いもので、現在これも涸れている。

水場にて使用後の水はCanal 1—5いずれも農地の一部にもたらされている。量的に見て灌漑に十分な量ではないが有効利用されている。農用地の排水路は水場からの排水路より規模も大きく、中央を突っ切るように流れ下っている。現存するものを2ヶ所確認したが崩壊した状況から見てもう少しありそうである (写真—12参照)。

灌漑水路は図—3に示すようにPisacから20kmほど離れたキンサコチャ (Quinsacocha) 湖 (写真—13参照) からのものとCanal 1の水源の上流部に堰を設け取水しているものとが確認できた。キンサコチャからの水路は、この湖から8km程度ドイツ政府により現位置で更新されている (写真—14参照)。残りの区間は半ば崩壊しているが18kmほど残っている (写真—15参照)。その幅40cm、深さ40cmである。残りのピサクまで2kmは農耕地として開墾され痕跡も見かけられない。また、写真—16のように途中の溪谷



写真—1 3 キンサコチャ湖のダム



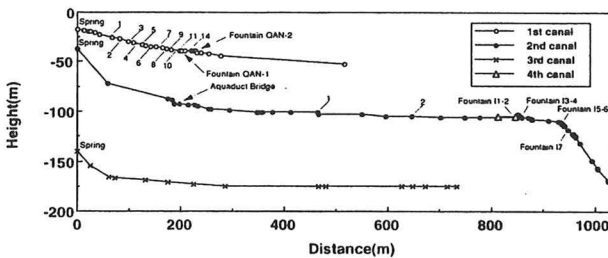
写真—1 5 キンサコチャ湖からの水路跡



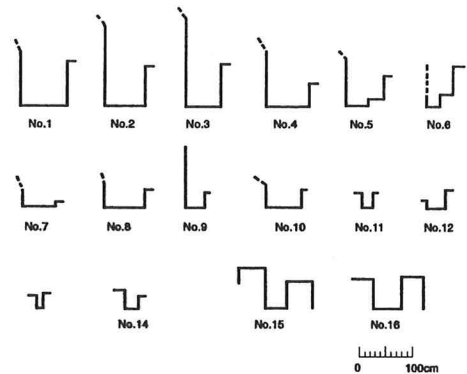
写真—1 4 キンサコチャ湖からの
更新水路の末端部



写真—1 6 灌漑水路のオーバーパス



図—4 ビサクの水路の高低差



Distance between cross sections

1-(1590)-2-(1745)-3-(1030)-4-(880)-5-(1410)-6-(1630)-7-(1635)-8-(510)-9-(838)-10-(1150)-11
-11 Left edge of the quartet-fountain-(510)-12-(209)-13 Right edge of the quartet-fountain
14 Left edge of the double-fountain drainage-(845)-16 The double-fountain drainage
No.-(unit:cm)-

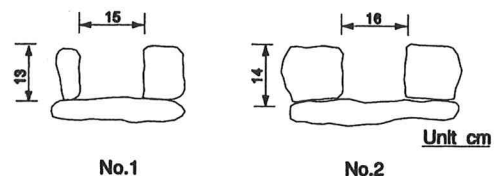
図—5 水路の断面図

を石橋で越えるような仕掛けも作られている。

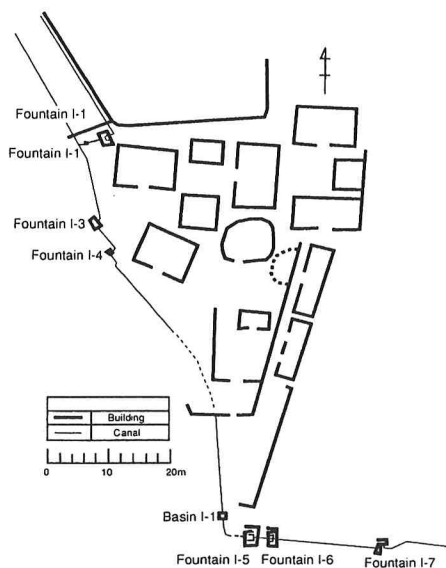
なお、水路の構造材はすべて石材で、土や木材を用いたものは見かけられない。

3. 測量・計測結果

測量が可能であった4系統の水路長さに沿った高低差は図—4のようになった。さらに Canal 1、2の断面計測の結果の一部を図—5、6に示す。これらの図中の番



図—6 水路の断面図 Canal 2



図一七 インティワナの平面図と水場・池の配置

では1.2%程度とほとんど一様で、しかも断面も規格化されたように一定である。Canal 2は水場 (I-3, 4)を通過後図一七と写真一九に示す池を有している。この池は沈殿池の機能を有しているが、儀式などに使われた可能性を否定できない。

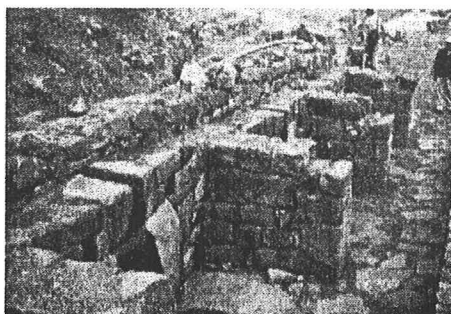
Canal 3の勾配は、道路に沿っていることもあり緩やかになっている。Canal 4は山腹に沿って Canal 2と平行に走っているの、両者の勾配はほぼ等しい。

Canal 1、2の測量結果と水路標識から算定した灌漑水路の水理学的特性は表-1のようになる。なお、水路の流下能力の算定には、Manning 式を用い、粗度係数を石の表面の粗さから0.02とした⁶⁾。

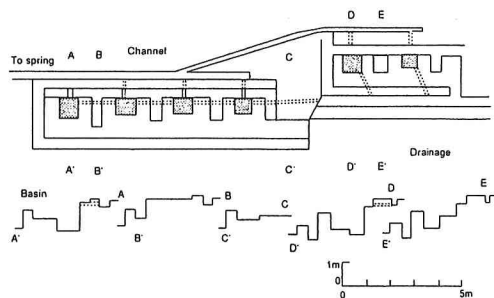
$$Q = 1 / n \cdot A R^{2/3} I^{1/2} \quad (1)$$

ここに、Q：流量 (m³/s)、n：Manningの粗度係数 (= 0.02)、A：水路断面積 (m²)、R：径深 (m)、I：エネルギー勾配である。

次に儀礼とも関係していると考えられる水場の構造について述べる。Canal1の水場の平面図を図一八に示す。図に示すように、この水場は4連 (QAN-1) と2連 (QAN-2) の2種で構成されている。4連のものの全体を写真一七に、水の出口を写真一八に示す。4連のいずれも同様である。2連のものは写真一九のように直径4cmの丸い穴があるだけで、マチュピチュのものと同じ構造⁵⁾である。



写真一七 4連水場の全体



図一八 Canal1の水場の平面図

号は断面位置を示すもので、図一四中の番号の地点を意味している。

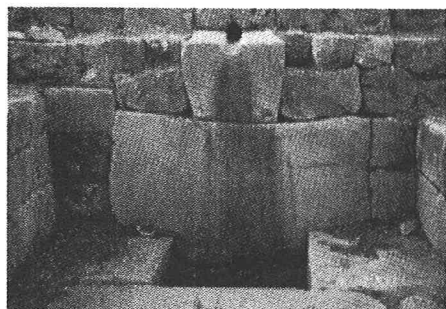
Canal 1の勾配は取水堰から100m地点までが12.5%、100mから180mまでが9.0%、180mから最初の水場 (QAN-1) までは2.5%であった。この水路の最小断面のところはNo.11で4連水場直前の位置である。Canal 2の勾配は、水源から水路橋までは12.5%、水路橋から水場 (I-3) ま

表一 水路の水理特性

canal	width cm	depth cm	area cm ²	hydraulic radius cm	slope	velocity cm/sec	flow rate L/sec
Canal 1	9	30	270	3.9	0.025	19.6	5.3
Canal 2	15	13	195	4.8	0.012	15.4	3.0
Irrigation canal	40	40	1600	13.3	0.005	15.9	36.9

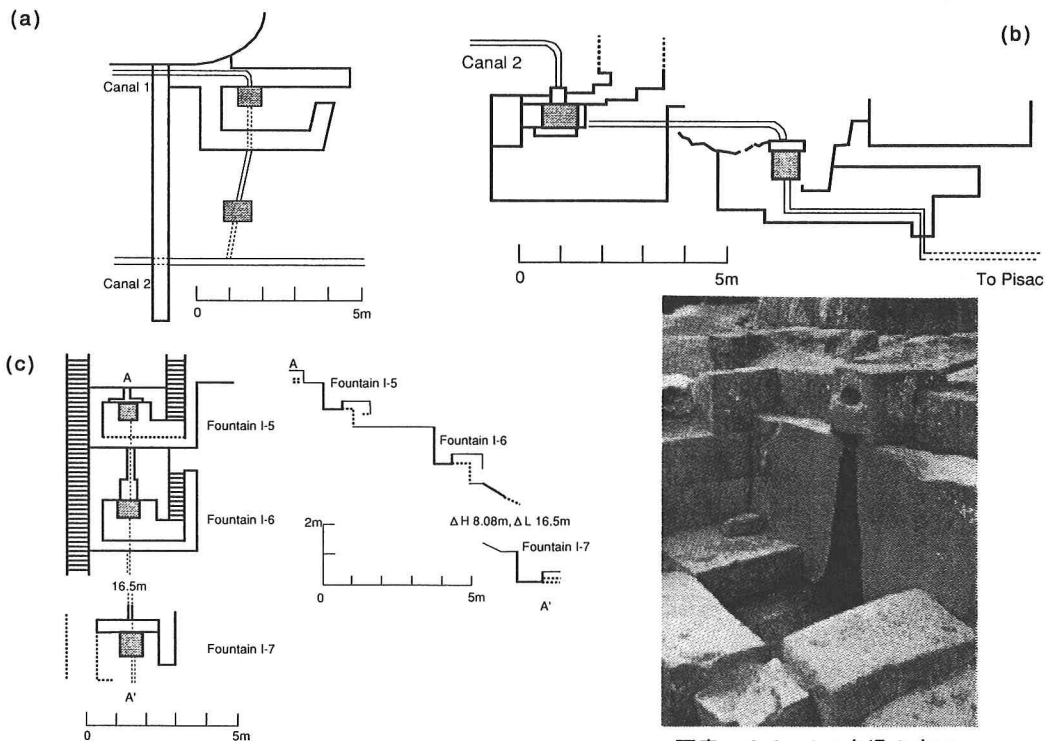


写真一八 4連水場の水の出口

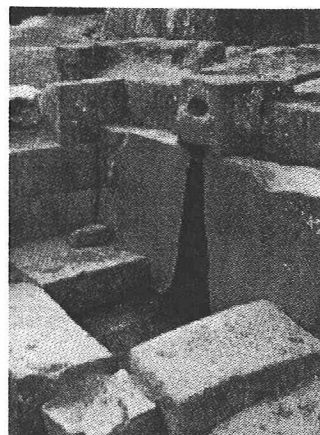


写真—19 2連水場の水の出口

4連水場の水口は2連のものに比べ大きく水口の両側や水場の壁面にニッチェがある。Canal 4とCanal 2の水場の平面図を、図—9 a,b,cに示す。写真—20のCanal 4の水場(I-3)の水口にはCanal 2に見られない丸い動物の頭のような飾りがつき、口に相当するところから水が出るようになっていて、ランクの高い儀礼に利用されていたと思われる。Canal 2には水場が計5ヶ所残存しており、I-7から見た様子は写真—21のようである。残存状態と地形勾配から見ると水場



図—9 Canal 2の水場の平面図



写真—20 I-3水場の水口

は階段状に存在したと思われるでもないが、それを示す構造材はまったく現存しない。

4. 考察

1) 水路築造技術

石材を組合せた構造や山腹の岩石をそのまま削る手法とその出来映えは、他の構造物同様極めて高度の技術を駆使したもので、現代には見られないものである。なお、剃刀の刃も入らないといわれる石材の接触面のつなぎ合わせ技術は水路においては見られない。また、水路の築造には漏水防止技術が欠かせない。モヘンジョダロにおいては天然アスファルトを使用していたが、インカでは見出されず、代わりに粘土を使用していたと思われる。



写真—21 Canal 2のI-7からみた水場群

また水路はすべて開水路の自然流下式であり、サイフォンの原理を利用したものはない。サイフォンの原理を知らなかったのか、水密性の高い接続技術を会得していなかったかは不明であるが、彼らの石材加工技術からして前者が原因と思われる。また、水路橋はプレートガーダ式であり、溪谷に橋をかけるという建設の困難さから見てアーチの技術を知らなかったと思われる。

2) 測量技術

インカの社会は専門家をもっていなかったといわれている⁴⁾。そのため、灌漑水路の建設は農閑期の農夫の作業に頼らざるを得ない社会構造にあった。農閑期に一斉に作業するには、事前に測量を済ましておかなければならない。つまり、自然流下式で開水路を建設するには、路線を事前に決定し、水位勾配をエネルギー損失を考慮して決定しなければならない。灌漑水路の勾配のなだらかさから見て位置を決める測量技術は極めて優れていたと思われる。しかしながら、後述するように流量計算ができていないので、水平になるように基準線を取り、その後勾配を少しつけたと思われる。

3) 水量計算技術

測量結果からも分かるように、インカの水路では上流から下流にかけて流下能力が低下していることは珍しくない。これは分水あるいは漏水を考慮したとも考えられるが、最小断面通過後再び断面が拡大していることもある。このようなことから、水量計算技術が発達していなかったと考えられる。相対的に見て、流量計算技術は構築技術や測量技術よりも数等低い。

4) 水の利用

表-1の値は定常状態におけるその断面での最大流下能力を示したもので、常にこのような値の水量が流れていたわけではない。季節変動、年変動のある水資源供給のほぼ最小量により人口が規定される。水源の湧水量等から考えると最小値はこれらの値のおおよそ1/5が妥当であろう。とすると、Canal 1と2を合わせて1.5L/s程度となる。これを現在の最貧国の使用水量30L/dと当時の使用水量が等しいとすると、水の供給量から見た生存可能人口は4300人程度となる。マチュピチュの1000人より規模が大きいことが解る⁵⁾。真の生活可能人口については、食糧供給による人口制約などを含めて決定する必要がある。

Canal 2や4のように段階的に連なった水場では、上の水場で水を汲むときそれ以下への給水はその間止まるので水利用にタイムシェアリングの発想があったと思われる。洗い物をする際には下流側に行くほど水質が低下する。始めのもののほど儀礼においては重要であったと思われるので、下方の水場は単なる飲用であったと思われる。さらに、開水路であることから輸送途中で落葉や雨天時の濁水の流れ込みが想定され、たとえ人為的な汚染を宗教的な禁忌により避けることができたとしても、また仮に清掃が頻繁に行なわれていたとしても、雨天時は無論のこと、普段においても取水地点での清浄な飲料に適用程度の水質を常時維持できなかったと考えられる。ただ、病原菌による感染症は厳しい戒律により回避することはできたであろう。火を用いていたので、煮沸消毒を知っていたかもしれない。

農業生産のためにマチュピチュとは異なり⁵⁾ 灌漑水路を有していたので、およそ600mm/yの現在の降水量と当時が同じとしても、農業用水に余り困らなかったと思われる。少なくともヴィルカノタ川の河岸における農用地では水を十二分に利用できたはずである。

5) 水と信仰

インカにおける聖石、給水、灌漑に信仰の原点を見ることができる。インカにおいて水を清めに用いた証拠は無いとする説⁶⁾もあるが、聖石に刻まれた溝に液体を流す行為は機能性を求めるものではなく、儀礼と取らえる方が無理はない。給水路の水も、儀礼と飲用の双方に利用されていたこと、水場が両側に壁面を有しそこにかがむことにより瞑想も可能であることから単に飲用だけではないと思われる。QAN-1の水場に座った状況は、図-10のようであり、心を静めるには十分であった。また、すでに述べたように、水場の水口の構造が手のこんでいる順に、動物の頭のような飾りをつけたもの、矩形溝状の掘り込みを要したもの、単に丸い穴をうがったものと3種あり、行政区に近いものほど手が込んでいることから、水を創造主ヴィラコチャ神と太陽神に次ぐ信仰の対象としていたという説⁶⁾が正しいように思える。

ただ、墳墓の近くに水源を取っていること、Canal 1の上流に農業用水の取水口があることを考えると、

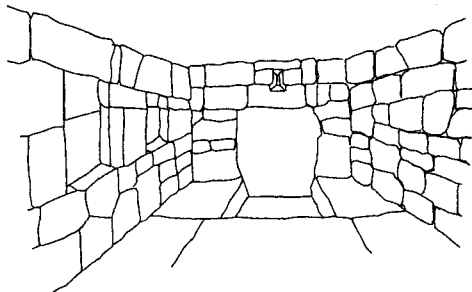


図-10 Canal 2の4連水場の鳥瞰図

水そのものが神聖であったのではなく、取水源や水自体に何らかの儀礼を施すことにより神聖化されたと考えることができる。

6) 水に関わる行政形態

灌漑水路のオーバースは王権のもとでも途中の農用地への灌漑用水、つまり渓流水を遮らずそのまま流れるようにしていたことを示している。この事実は灌漑水路途中の農地にはその土地に付随した水利権が別途存在していたことを意味している。したがって、当時水利権の概念があったことをうかがわせる。極めて高度な社会システムを有していたといえる。

7) 汚水排水路と汚水処理

ピサクには、他の遺跡同様都市汚水の排水路はまったく見出されない。また、トイレの跡も見うけられない。現在の住民は用足しに川辺に出かけるのを常としているので、当時もそうであった可能性が高い。そのこと自体下流に住居がなければ問題は無いが、冬季の夜間における利便性を考えると、土壌浸透によっていた可能性がある。

5. 結論

遺跡の機能の調査は、文字にて記載されたものはスペインに征服された後のクロニスタによるものしかないため、推定の域を出ないことが多い。このような条件下でピサクにおける調査から結論づけられたことは以下の通りである。

1) 石材を利用した構築技術は極めて高度である。しかし、サイフォンやアーチの技術を有していなかった。

2) 水平を出す測量技術のレベルは極めて高い。

3) 水量計算技術には長けていない。必要流量を流す最小断面の決定がなされていず、構築労働力を節約できていない。

4) 給水路による水供給可能量から見たピサクの最大人口は4300人である。

5) 給水路は水の利用における衛生学的安全性を機能として有していない。安全性の確保には社会的禁忌によっていた可能性が高い。

6) 水は創造主ヴィラコチャ神と太陽神に次ぐ信仰の対象であった可能性が高い。また水は儀礼により神聖化されるものであったと思われる。

7) インカの遺跡にはトイレが見出されない。このことは衛生学的安全性に関わる知識に乏しかった可能性がある。

最後に、インカ遺跡の崩壊は目を見張るものがあるので、大縮尺の地図の製作をはじめとして早急な調査と保存策を講じる必要がある。未発掘の都市の調査を含め、ブレインカやインカの技術と発想を今後続けて解明にあたる予定である。

謝辞

本研究は日産科学財団の援助（1999-2000年）によった。関係各位に深遠なる謝意を表する。

参考文献

- 1) Rowe J.H.: Machu Picchu a la luz de documentos de siglo XVI, Historica, Vol.14, No.1, pp.139-154, 1990
- 2) MacLean M.: Sacred land, sacred water: Inca landscape planning in the Cuzco area, PhD dissertation, University of California, Berkeley, California, USA, 1986
- 3) Reinhard J.: Machu Picchu: the sacred center, Nuevas Imágenes, S.A., Lima, Peru, 1991
- 4) 関雄二:「アンデスの考古学」、同成社、295p.、1997
- 5) 楠田哲也、近藤隆二郎、原田秀樹、迫田章義、澤田浩介、P.P.Kaulicke, and M.R.Zapata: マチュピチュにおける給排水システムの衛生的・宗教的思想、土木史研究、Vol.21、pp.365-371、2001
- 6) 土木学会編:水理公式集、平成11年版、p.89、1999
- 7) 中村隆志、楠田哲也、市川新、松井三郎、盛岡通:古代遺跡モヘンジョダロにおける給排水システムの再考、土木史研究、Vol.15、pp.87-96、1995
- 8) Hyslop, John: Inca settlement planning, Univ. of Texas Pr., 132p., 1990