

# 持続型都市社会構築のための古代遺跡に見る衛生学的安全性と 施設効率性

## Sanitation and Utility Efficiency Analyses of Old Civilization Remains for Urban Region with Sustainability

○楠田哲也<sup>1</sup>, 市川 新<sup>2</sup>, 原田秀樹<sup>3</sup>, 迫田章義<sup>4</sup>, 近藤隆二郎<sup>5</sup>,  
Peter Kaulicke<sup>6</sup>, Mjulinho Zapata Rodriguez<sup>6S</sup>

○Tetsuya Kusuda, Arata ICHIKAWA, Hideki HARADA, Akiyoshi SAKODA,  
Ryujiro KONDO, Peter Kaulicke<sup>6</sup>, Mjulinho Zapata Rodriguez<sup>6S</sup>

<sup>1</sup>九州大学大学院工学研究院, <sup>2</sup>京都大学大学院工学研究科, <sup>3</sup>長岡科学技術大学工学部,  
<sup>4</sup>東京大学生産技術研究所, <sup>5</sup>滋賀県立大学環境学部, Pontificia Universidad Católica Peru<sup>6</sup>,  
Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cuzco<sup>6S</sup>

<sup>1</sup>Kyushu University, <sup>2</sup>Kyoto University, <sup>3</sup>Nagaoka University of Technology,

<sup>4</sup>University of Tokyo, <sup>5</sup>Siga Prefectural University

Field research with surveying on hydraulic works in 1999 and 2000 at some ancient Inca sites such as Machu Picchu and Pisac defined some of their characteristics. Four kinds of hydraulic works, ie, channels for ritual, waterworks, drainage, and irrigation exist in the sites.

Machu Picchu had two springs and one channel for water works and presumably some for irrigation. Pisac had at least five channels for water works, more than two channels for irrigation, and more than three drainage channels for farming. None of them had drainage for domestic waste water. Some towns had curved rocks with narrow and short channels for ritual.

No technical contrivance for health risk on waterworks was found at the towns, so that social discipline with taboo might work for the risk. Their design level was not excellent on hydraulic works, but high in construction technology.

### 1. はじめに

有限な地球環境に過剰な負荷をかけずに持続性のあるようにライフスタイルや都市基盤施設を変えていくことが求められている。この持続性があったと見なせる過去の姿は古代遺跡に見ることができる。そこには技術だけでなく社会を制御するシステム技術も含め、持続性についてのノウハウを有していた可能性がある。工学的見地からこのような古代遺跡の都市基盤施設についてその仕掛けを分析することは、究極の持続型社会なるものの姿に、新しい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マチュピチュ (Machu Picchu) とピサク (Pisac)

を主対象に、給排水施設の設計・維持管理思想を工学的に明らかにし、生活環境の安定性・衛生学的安全性の確保手段について検討することを目的とする。なお、現地調査にはクスコ文化庁 (El Instituto Nacional de Cultura Cuzco) の許可を得てなされたものである。

### 2. 研究経過

測量に先立ち、第1回現地調査を1999.5.27-6.04に行った。この調査は現地の治安、交通の便、飲料水の供給、資料の確認等の現地の状況の確認、現地研究者との直接の打合せを目的としたもので研究代表者のみが向いたものである。第2回調査は、1999.8.15-8.24の期間、研究分担者を交え現地の遺跡の状況を把握し測

量対象地区と測量方法を決定し、かつ都市基盤施設のコンセプトや意味付けを試みることを、および現地研究者や天野博物館関係者との議論を目的とした。第3回調査は、2000.7.25-8.15の期間、研究分担者とともに前年度選定した遺跡を対象に測量すること、陸軍の発行する地図を入手すること、および現地研究者との取りまとめの議論をすることを目的とした。測量にはトータルシステムを利用し、日本からその機材を

持参した。現地研究者の一人としてケチュア語を話せ、かつ長らくマチュピチュやピサクの発掘に従事した経験を有するクスコ大学考古学教室の Zapata 教授に協力を得ていたため、測量対象地区の住民との協議や援助、および文化庁の許可も支障無く得ることができ、調査を予定通り終えることができた。調査地点と期間を表-1に取りまとめた。

表-1 調査対象遺跡と調査期間

調査回	日程	調査遺跡(太字 測量した遺跡)
1	1999.5.27-6.04	サクサイワマン(Sacsayhuaman),ケンコ(Kenquo), マチュピチュ(machupichu)
2	1999.8.15-8.24	マチュピチュ(machupichu),サクサイワマン(Sacsayhuaman),ケンコ(Kenquo), タンボ・マチャイ(TamboMachay),サイウイテ(Sayhuite), ピサク(Pisac), etc
3	2000.7.25-8.15	マチュピチュ(machupichu),ピサク(Pisac),タンボ・マチャイ(TamboMachay), オリヤンタイタンボ(Ollyantaytambo), etc.

### 3. 研究成果

#### 3.1 都市構造

マチュピチュはペルー (Peru) のクスコ (Cuzco) 南東にあるインカ帝国時代の都市遺跡で、西経 72° 32' 南緯 13° 09', 標高 2460m のところにある都市である。この都市の機能的意味付けは未だ確定していない。マチュピチュはマチュピチュ峰(Monte Machu Picchu)とウアイナビチュウ峰(Monte Huayna Picchu)に挟まれ、ウルバンバ(Urubamba)川峡谷から 450m の高さの左岸側にあり、インカ帝国の王パチャクティ (Pachacuti) により建設されたといわれている。この都市は、中央部の広場を挟んで、大きく行政区(聖域)、住居地、農業地に分けられ、ほぼ面積的に3分割(各 200ha)されている。行政区には神殿、半円形の塔、聖なる広場、牢獄などがあり、宗教的な色彩が強く打ち出されている。

ピサク(Pisac)はクスコの北東にある同様の都市で、西経 71° 50' 南緯 13° 24', ウルバンバ川とヴィルカノタ(Vilcanota)川右岸のサグラダ(Sagrada)山の標高 3450m の山麓の端部に位置する。この都市もパチャクティにより建設されたといわれている。都市は中央の丘が行政区(聖域)で、南側に農業地、さらに下方に住居地があり、農業地の面積が圧倒的に多い。行政区には神殿、円形の塔状の建物、聖なる広場などがあり、同様に宗教的な色彩が強く打ち出されている。いずれも、1400-1500 年代に建設され使用されていた。両者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土地利用構造から明らかで、社会制度として成熟していたことを示している。

#### 3.2 都市用水供給システム

##### 1) マチュピチュ

マチュピチュの水供給システムは、山腹の小溪流における取水源、開水路(canal)、街区の水場(puquio, fuente, fountain)からなっている。水源から第1の水場まで実測距離で 740m である。高低差は図-1のようになっている。

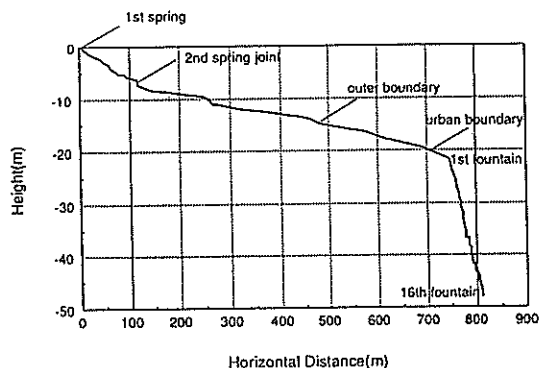


図-1 マチュピチュの水路の高低差

第1取水施設はマチュピチュ峰の北側斜面の中腹、標高 2,458m のところであり、山腹に石積みを施し湧水を集めるようになっている。山腹側の石壁は長さ 14.6m、高さ 1.4m である。貯水部は深さから見て沈殿池の機能を少し有していたと思われる。現在の湧水量は毎分 2L と少ない。第2取水源はやや下流の山腹のより高い

ところにあり、第1水源から94mの地点で合流している。第2取水源は現在の主要水源で、流量は毎分90L程度と測定された。山腹に沿う取水源からの水路は開水路で自然流下式となっている。水路は石を組合せたもので、漏水防止にはピチューメンでなく粘土を用いていたようである。測量結果による水路の物理特性は表-

表-2 マチュピチュの水路の水理学的特性

区間	地 形	水源からの距離 m	水 路					
			底 幅 (cm)	上端幅 (cm)	深 さ (cm)	勾 配 (%)	最大流速 (m/s)	最大流量 (m <sup>3</sup> /s)
上流	山麓	0- 97	15	17	18	6.6	1.83	0.054
中流	山麓	97-470	13	15	15	2.5	1.06	0.022
下流	農地・市街地	470-740	10	10	12	3.0	0.94	0.011

市街地に到着後の利用施設である水場は16段あり、ほぼ同じ形式で行政区から住居地へと階段状に降下している。水場間の総標高差は26m、一水場当たり平均1.63mである。第16水場を除いてすべての水場は花崗岩により4面囲まれており1面だけ開口部を持ち通路側から入り込めるようになっている。各水場は幅3.8-5.0cm程度のU字水路や同規模の岩をえぐった管路でつながれている。第1水場は祭礼の中心といわれる太陽の館のすぐ上、住居地への入り口部にある第2水場と第4水場は一部管路で直接つながり、第3水場は第2水場から迂回し第4水場へつながっている。第3水場は太陽の館(EI Terreon)のすぐ横にある。第4水場から第5水場へは現在、階段通路の地下部を通過しており内径3.8cmの管路となっている。第5水場以降は階段に沿って下り、第16水場まで続いている。太陽の館が第3水場の横にあることから、それより上の水場がより神聖な用途に供されていたとすると、太陽の館の位置は取水源との高度差との関係で決められたことになる。しかし、太陽の館の地理的位置が地形上決定されているようなので、第1水場の方が太陽の館との関係において従属的に決められたと思われる。このことは、水路からの流量は絶対的に必要な量ではなく、従属的に決められる量といえよう。なお、水場を16段にする意味は水質上なかったはずなので、地形にしたがって水場の数が定められたと考えられる。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。水源の湧水量等から考え

2の通りである。なお、水路全長の平均勾配は3.0%で、流量の算定に際しては等流で粗度係数を0.02と仮定しマニング(Manning)式を使用した。これらの結果から分かるように、上流から下流にかけて流下能力が低下していることは分水あるいは漏水、あるいは設計上の欠陥の可能性を示している。

るとこれらの値のおおよそ1/10が妥当であろう。現在第4水場から第5水場へは内径3.8cmの石の管路となっているため最大水量は水位差にもよるが、2-3L/secと考えられる。また、上の水場で水を汲むときそれ以下への給水は止まるのでタイムシェアリングの発想があったと思われる。さらに、輸送途中は開水路であることから落葉や雨天時の濁水の流れ込みが想定され、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、普段においても山腹からの清浄な飲料に適う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。

人口は飲料水の給水量により最大が規定される。つまり、季節変動、年変動のある水資源供給のほぼ最少量により人口が規定される。上述の計算によると平均日量104m<sup>3</sup>程度であり、最小を平均の70%、一人日使用水量を現在の最貧国と等しいとして30Lとすると給水量から見た人口は2400人と推定される。なお、考古学者の推定した人口は約1000人である。

マチュピチュの街区内に見られる水路は上述のものだけであった。降雨を排水する水路、およびトイレは見つからなかった。このことは、太陽の館からの排水が第2水場、第3水場に入っている可能性が高く、水場ではカスケード利用し水利用時には水質が段階的に低下したことを意味している。

マチュピチュでは農業用水の供給は天水が主で、一部が飲料水系の水路からの分水によって

いたようである。現在の年間降水量は 600mm 程度であり、ピサクなどでは見られる農業用水路は存在していないので、生産量は降水量に支配されていたと思われる。

## 2) ピサク

ピサクの水供給システムは少なくとも 5 系統あり、それぞれが水源を有している。小溪流における取水源 2 ヶ所、山腹の湧水 3 ヶ所である。

それぞれに開水路が続き、街区の水場にて放流されている。測量が可能であった 4 系統の高低差は図-2 のようになっている。山腹の湧水源は涸れてしまい流水は見られない。流水の見られる水路の測量結果による水理学的特性は表-3 のようである。なお、水量計算の仮定はマチュピチュと同じである。

表-3 ピサクの水路の水理学的特性

水路	地形	水路特性					
		底幅 (cm)	上端幅 (cm)	深さ (cm)	勾配 (%)	最大流速 (m/s)	最大流量 (m <sup>3</sup> /s)
1	山麓	9	10	30	2.5	0.19	0.0053
2	山麓	15	15	13	1.2	0.15	.0.0030
灌漑	農地・市街地	40	40	40	0.5	19.9	0.037

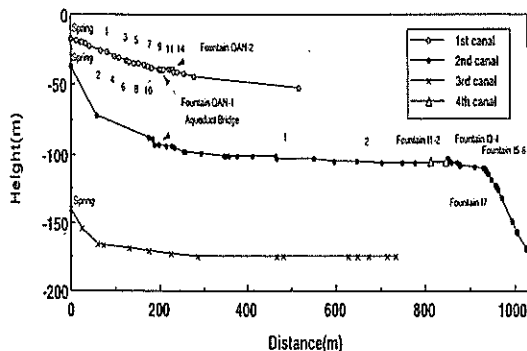


図-2 ピサクの水路の高低差

第 1 水路は水源をキタマユ(Kitanayu)川にとり、自然流下で行政区の端にある 4 連と 2 連の 2 ヶ所の水平な水場につながり、使用後は農用地に排出されている。第 2 水路はカラカサ(Qalla Q'asa)山の中腹の穴状墳墓の近くに水源を取り、峡谷をまたぐ石造水路橋を経て行政区に続いている。台地にある 2 段の水場をへて山腹に 4 段の水場がマチュピチュと同様な作りで構成されている。形式は同様であるが、水口の構造は動物の頭が付き、儀礼的な利用がなされていたことを容易に推察させるものである。輸送水量はマチュピチュより同様少ないためこの 2 つの水路だけでは人口 1000 人が限度と推定された。なお、開水路輸送のため水質の安全性はマチュピチュ同様、社会的な禁忌によらざるを得なかったと思われる。

インカにおいては水を清めに用いた証拠は無いとする説<sup>1)</sup>もあるが、儀礼と飲料水用の水

が分離されて輸送されていたことから、創造主ヴィラコチャ神と太陽神に次ぐ信仰の対象とされていたという説<sup>1)</sup>が正しい感じがする。

ピサクの灌漑用水は 20km 離れた湖キンサコチャ(Quinsacocha)から輸送されている。破壊はかなり進んでいるが、途中渓谷を石橋で越えており、王権のもとでも途中の農用地への灌漑用水を奪うことなく輸送している事実は水利権の概念があったことをうかがわせる。その意味では極めて優れた社会であったといえる。

## 4. 今後の課題と発展

研究の遂行に際しては現地の地図が必要であるが、大縮尺のものが整備されていないため、独自に準備しなければならない。本研究では現地研究者の援助に依存したが、GPS の活用など考慮する必要を感じた。さらに、遺跡の崩壊は目を見張るものがあるので、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、インカの発想を徹底的に解明したい。

## 5. 発表論文リスト

1) 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(土木学会), Vol. 21, 2001.06(発表予定)

### 引用文献

1) Hyslop, John: Inca settlement planning, Univ. of Texas Pr., 132p., 1990