

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2013～2015

課題番号：25300004

研究課題名(和文) 密林に覆われた古代水利都市アンコール遺跡群の実像解明・保全・修復研究

研究課題名(英文) Real image elucidation of the advanced hydraulic city structure of the Royal City of Angkor Thom and vicinity covered by tropical jungle

研究代表者

原口 強 (HARAGUCHI, TSUYOSHI)

大阪市立大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：70372852

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は密林に覆われた古代都市アンコール帝国の実像解明を目的としている。2012年に取得されたLiDAR地形データから作成した高分解能赤色立体図は密林下の地形と遺構を鮮明に描き出し、王都アンコール・トム周辺地域を含む往時の都市構造を解読することが可能となった。LiDAR地形データをベースに王都内の現況水路網の配水・排水検証と降雨に対する挙動を数値計算した結果、自然勾配を生かした水路網と溜池群などの水利都市構造が、雨季と乾季に二分されるこの地域の気象環境条件を克服し、多数の人口を維持するために機能していたことが推定された。

研究成果の概要(英文)：LiDAR data was performed at the Angkor Archaeological Park in Cambodia in April 2012. Using these data a high-resolution red relief image map (RRIM) was created of areas inside and outside the moated royal capital of Angkor Thom. The land around Angkor Thom is extensively covered by tropical jungle. The RRIM provides a new visualization method of localizing, minute topographical changes in regions with large undulations over a wide area. The RRIM expanded the investigation and revealed the existence of many ponds outside the royal capital indicating that a residential community had flourished outside the moat-surrounded capital city. This study will be elucidate the functional aspects of the water channel network and ponds that utilized the gentle gradient of the natural land to overcome the climatic induced environmental changes that are characterized by an extreme divide between the rainy and dry seasons.

研究分野：地質工学

キーワード：古代水利都市 アンコール・トム 赤色立体図 LiDAR

1. 研究開始当初の背景

(1) 水利都市アンコール研究の現状

カンボジア・アンコール遺跡群全域の都市構造については、1979年にB.P.Groslierにより提示された「水利都市アンコール」を嚆矢として、アンコール遺跡群に張り巡らされた水路網、大小様々な貯水池、大型複合寺院と一体化した環濠などの水管理施設に注目が集まった。カンボジア国内が安定化した1990年代から複数の研究者が都市の水利構造研究を開始し、C.Pottierによる遺跡群南部の大規模な発掘調査を伴う研究、シドニー大学による水利構造の要所を考古学的手法によって調査する研究などの蓄積によって、部分的な都市構造が全体の中で繋ぎ合わされつつある。

(2) Lidar 地形データ取得

2012年4月に日本をはじめ、フランス、オーストラリア、アメリカ、ハンガリー、カンボジアによるアンコール遺跡群の調査隊が共同で遺跡群全域300km²を網羅するLidar測量を行った。この測量でこれまで深い樹林の下に隠され、ほとんど実査に踏み入れられることのなかった広大な地区において、約1mメッシュ、10cm精度の数値地形データが得られた。

(3) 赤色立体図の予察的解析

取得されたLidar地形データを用いた赤色立体図による一部地域の予察的解析を行った結果、熱帯雨林の深い森の下から未発見の無数の古代都市の遺構群を明瞭に映し出すことに成功した。

2. 研究の目的

(1) 水利都市構造の実像解明

Lidar地形データをもとに詳細赤色立体図を作成し、遺跡群の中心に位置する王都アンコール・トムから遺跡群全域にかけて埋蔵遺構調査、遺物・堆積物年代調査等を行うこと

で、古代アンコール帝国の都市構造の実像解明を進め、アンコール遺跡群全域を網羅する水路・貯水池・寺院環濠等の水管理施設の復元的研究を目的とする。

(2) 遺跡群の保全・修復のための提案

当遺跡群は頻繁に水害を被っており、詳細現地地形データによる洪水シミュレーション等をもとに、遺跡群の保全・修復のための提案を行う。

3. 研究の方法

(1) 既往研究の収集とデータのGIS化

王都アンコール・トムに関する未公開資料を含む既往研究の収集と、GIS化作業を行う。微細地形をイメージングするため、赤色立体画像の最適化を図る。

(2) 詳細赤色立体図作成と現地確認調査

赤色立体画像をナビゲーションマップとして現地踏査を行い、遺物の表探調査、地上への露出遺構、埋設遺構を示す起伏状態等の記録を行う。アンコール・トムの環濠周縁部での調査が皆無であることから、それらの地域での実査に注力する。

(3) 水利・洪水シミュレーション

古代都市の配水・排水機能を確認するために、取得された微地形データを用いた水利構造の解明を行う。

さらに遺跡内で近年頻発している水害への対策策定のために、降雨に対する定量的なシミュレーションを実施する。これにより、過去の水利構造を適切なかたちで活かした排水・貯水システムの提案ができる可能性があり、広義での遺跡群のユニークな保全に繋がる提案となることが期待される。

4. 研究成果

(1) 高分解能赤色立体図の作成・解読

王都アンコール・トムは、かなりの部分が密林に覆われている(図1)。作成した詳細赤色立体図(図2)から夥しい数の溜池や水路、土塁等の痕跡(図3)が判読された。



図1 密林に覆われた王都周辺

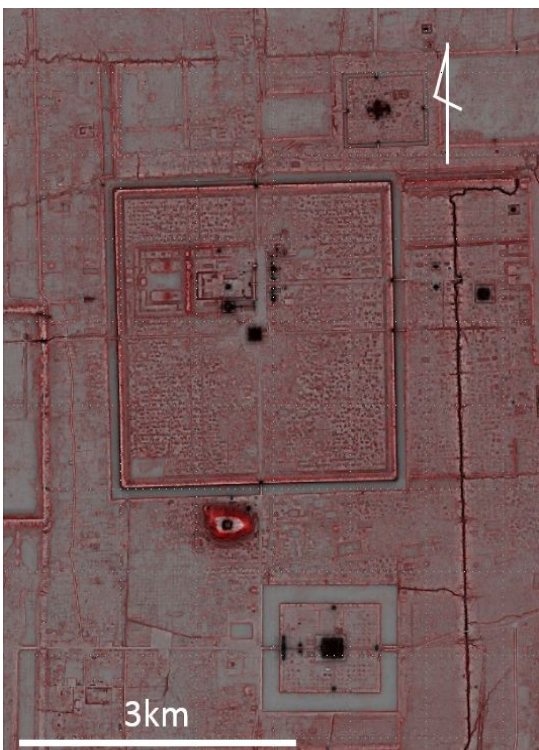


図2 王都周辺の詳細赤色立体図

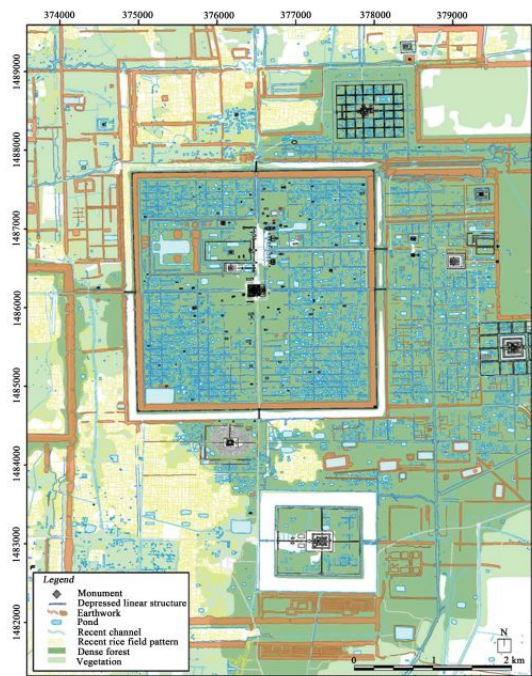


図3 判読された王都の都市構造

王都内部では溜池は高密度に分布し(図4), このうち溜池が密集する王都南東の隣接する3つの小区画に着目すると, 55の溜池が掘り込まれ, その面積は対応する敷地の約3割を占める. 溜池は東西に連続するように配置されることが多く, おそらく後世に溜池が追加して掘削されたために, 複数の溜池が重複して東西に長細い形状となったと推察される.

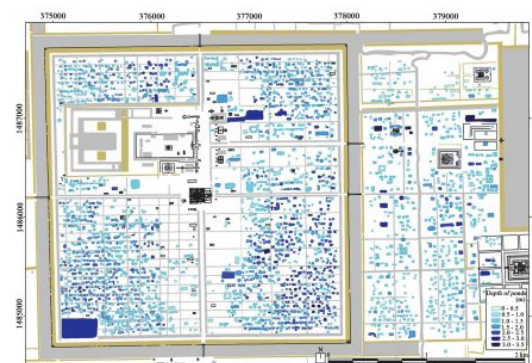


図4 王都内外の判読された溜池の分布
さらに, 王都内に残された水路と溜池は, 西側と東側においては明瞭な痕跡として残されているが, 中央の幅約500m~800mのエリア

は溜池の形状が不確かで明瞭な輪郭をとどめていない(図5)。これはアンコール王朝が衰退しアンコール・トムが放棄されて以降、当初の水利構造が機能しなくなり、雨季の表流水が網状流となって溜池や水路を破壊したことによるものと推察される。



図5 王都内の水路・溜池構造の不明瞭部

(2) 王都内の配水機能

現状の詳細地形を用いて外環濠に水位を与え北東端より王都内に水を流入させた数値計算の結果、一部の水路は機能を失っているものの、最終的には南西端のベントム池に向かう流れが再現された(図6)。

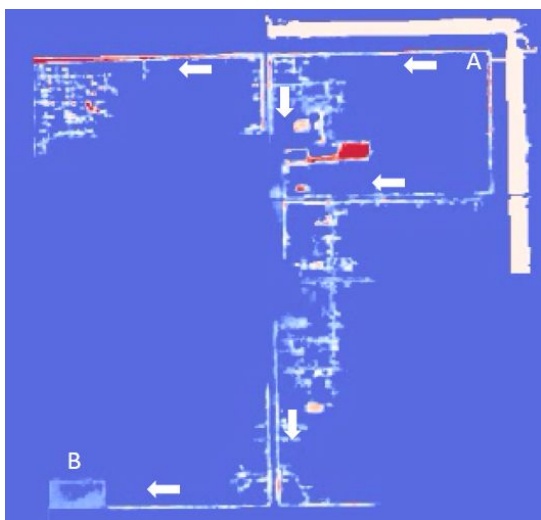


図6 王都内の水路網に沿う配水経路

このように一部の水路が破壊された現況の

地形においても、北東端から水を流入させた場合の配水システムが認められることから、往時の極めて優れた配水路網を窺い知ることができる。

(3) 雨季の王都内の排水機能

Siem Reap の1997年～2001年の平均降雨量および平均降雨日数データを参考に、時間50mmの降雨を設定し、地下浸透を考慮せ無視して現況地形での数値計算を行った。その結果、溜池や水路に水が集まり、その後水路に沿って南西端のベントム池まで流下する排水路網(図7)が現れた。

このことから、往時の排水システムが想定できる。すなわち、溜池に降雨が一時的貯留することで王都内の洪水氾濫を抑止していたこと、雨量が増え溜池から溢流した場合でも雨水は水路網を伝わって南西へと排水するシステムが機能していたこと、が予想される。

現況の溜池の多くは土砂で埋積されて浅くなっているため、現在頻発している洪水被害を緩和する視点と遺跡の修復の観点からも、過去の溜池を復活させ、その活用を図ることが提案される。

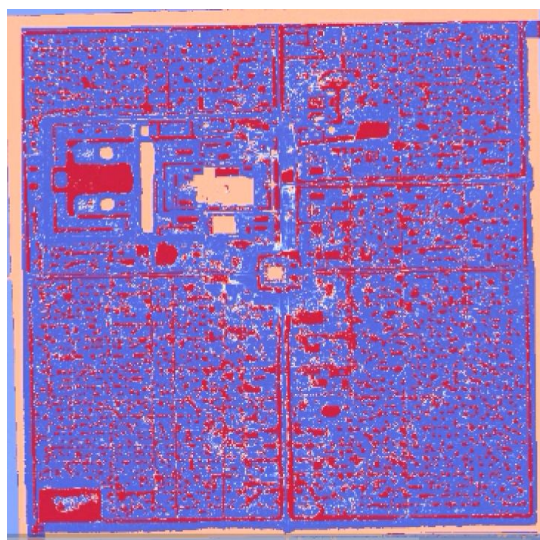


図7 王都内の降雨に伴う浸水解析

(4) 飲料水の確保

生活用水は溜池で賄えるとして、問題は飲み水である。王都周辺では最近では深井戸が増えたが、基本は浅井戸で、浅層の自由地下水を活用している。溜池の水も数 m 離れて地中を通過し濾過して井戸にしみ出した水は、飲料水として利用できると思う。

乾季に最も重要なことは、井戸の水位を確保することである。水位が低下することは井戸の枯渇を意味する。このためには地下水位を高く保つ必要がある。王都内の地層構成は、砂層と粘土層が繰り返すことがこれまでのボーリング調査から解っている。さらに、表層部 3～4m は砂層の場合が多いことがこれまでの発掘調査から確認されている。このため、透水性の高い砂層が表層部に存在する。

雨季が終わり乾季になると、次第に地下水位が低下してくる。この時に環濠から水路網を通じて水の流入を行えば、大小様々な水路網を伝って一部は溜池へと流れ込む。水路網の底面はラテライトか、素掘りである。極めてゆるい地形勾配のため、水は水路で滞留し、表層部は主に透水性の高い砂層であるので地下浸透するはずである。溜池に流れ込んだ水と水路底から地下に浸透した水が自由地下水面を押し上げ、周囲の井戸の水位を保ち、枯渇を免れることになる。

(5) まとめ

Lidar地形データから作成した高分解能赤色立体図の解読と現地調査により、アンコール・トムの内部に多数の溜池分布が視認でき、王都外の多数の溜池遺構の存在から王都外の居住地区の広がりも判明した。

さらに、数値計算から緩やかな自然勾配を生かした水路網と溜池群などの水利都市構造が明らかとなった。すなわち、雨季には速やかな排水のため、乾季には地下水位の維持のためにと、雨季と乾季で水路網や溜池は全く

異なる機能を果たしていたと考えられる。これも極めて緩い地形勾配と水路や溜池群があって初めて機能し成立するものである。これらの地形勾配と水路システムは、この地域の気象環境条件を克服し、王都での多数の人口を維持するために機能的に作用していることが明らかとなった。

一方で、王都内でのし尿処理は衛生上の大きな課題である。王都周辺に居住する現在の住家での調査によれば、トイレの整備率は極めて悪く、往時も同様であった可能性が高く、今後解明すべき課題の一つである。

<引用文献>

Evans, D., et al., 2013. Uncovering archaeological landscapes at Angkor using LiDAR. Proc Natl Acad Sci USA 110(31), 12595-12600

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

.Shimoda Ichita, Haraguchi Tsuyoshi, Chiba Tatsuro, Shimoda Mariko, The Advanced Hydraulic City Structure of the Royal City of Angkor Thom and Vicinity Revealed through a High-resolution Red Relief Image Map, Archaeological Discovery, Vol.4, No. 1, pp. 22-36, 2016.1 (査読有)

下田 一太, 菅澤由希, 米延仁志, 田畑幸嗣, クメール古代都市イーシャナブラの王都区における活性期, 東南アジア考古学 (35) 1-14 2015.12 (査読有)

下田 一太, サンボー・プレイ・クック遺跡群にみる初期クメール建築の多様性, 日本建築学会計画系論文集, 718, pp. 2923-2933, 2015.12 (査読有)

下田一太, クメール建築の砂岩採石技法に関する考察, 日本建築学会計画系論文集, 705, pp. 2543-2551, 2014.11. (査読有)

Uchida Etsuo, Tsuda Kojiro, Shimoda Ichita,

Construction sequence of the Koh Ker monuments in Cambodia deduced from the chemical composition and magnetic susceptibility of its laterites, Heritage Science, vol. 2, pp.10- 21, 2014.4 (査読有)

E. Uchida, I. Shimoda, M. Shimoda, Consideration of the Construction Period of the Khmer Temples along the East Royal Road to Preah Khan of Kompong Svay and the Provenance of Sandstone Blocks Based on Their Magnetic the Provenance of Sandstone Blocks Based on Their Magnetic Susceptibility. Archaeological Discovery 2013, 1, p.37 – 48 (査読有)

【学会発表】(計4件)

下田 一太, チュン・メイホン, 米延仁志, 原口 強, 古代クメール都市サンボー・ブレイ・クック遺跡群の都城築造年代, 東日本文化財科学学会第31回大会、奈良教育大学(奈良市、奈良県) 2014.7.5.

菅澤由希、下田 一太, チュン・メイホン, 原口 強, 古代クメール都市サンボー・ブレイ・クック遺跡群の環濠地区内における文化層の検出状況, 日本文化財科学学会第31回大会, 奈良教育大学(奈良市、奈良県) 2014.7.5.

Shimoda Ichita, Heritage Preservation of World Monuments and Archaeological Sites: Two case studies from Angkor and Borobudur, ICOMOS Singapore AGM 2014, Public Lecture at the National Museum of Singapore, シンガポール共和国, 2014.7.12

Shimoda Ichita, Chronological Study on the Brick Structure of the Temple Complex in Sambor Prei Kuk, Workshop on the Sambor Prei Kuk Monument - Research and Conservation Works

for Nominating to the UNESCO World Heritage Site, プノンペン、カンボジア, 2014.8.19

6.研究組織

(1)研究代表者

原口強(HARAGUCHI, Tsuyoshi)

大阪市立大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号:70372852

(2)研究分担者

下田一太(SHIMODA, Ichita)

筑波大学・芸術系・助教

研究者番号:40386719

杉山洋(SUGIYAMA, Hiroshi)

国立奈良文化財研究所・企画調整部・部長

研究者番号:50150066

登坂博行(TOSAKA, Hiroyuki)

東京大学・工学系研究科・教授

研究者番号:20234567

内田悦生(UCHIDA, Etsuo)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号:40185020

山本信夫(YAMAMOTO, Nobuo)

早稲田大学・理工学術院・准教授

研究者番号:30449342

中川武(NAKAGAWA, Takeshi)

早稲田大学・理工学術院・名誉教授

研究者番号:30063770