高精度 DTM を用いた古代スリランカの マーラゴムワ貯水池の規模推定

鈴木 慎也1

¹正会員 東京工業高等専門学校 一般教育科 (〒193-0997 東京都八王子市椚田町 1220-2) E-mail:s suzuki@tokyo-ct.ac.jp

スリランカ中部のワスゴムワ国立公園内のマーラゴムワ貯水池から2つの暗渠式排水施設が発見された. これらの遺構を地図上にプロットしたところ,表記されている貯水池の外側に位置していたことから,マ ーラゴムワ貯水池は想定されているよりも大規模であると推測される.本稿では,高精度 DTM を用いて貯 水池およびその周辺の微地形を明らかにすることで,その規模について検証を試みた.その結果,マーラ ゴムワ貯水池の最大有効貯水容量は約 507 万㎡と,古代スリランカの貯水池群の中でも比較的規模の大き なものであったことが明らかとなった.

Key Words: Digital Terrain Model, GIS, Irrigation system, Tank, Sorouwa

1. 研究の背景と目的

スリランカは全島が熱帯性モンスーン気候に属し,年 間降水量によって乾燥地域・湿潤地域・中間地域の3つ に大別されている ^D. このうち乾燥地域では,年間降水 量の約7割が雨季(10月~3月)に集中ており,天水だ けでは乾季(4月~9月)の耕作が困難であったことか ら,前5世頃から貯水池や水路が築造されてきた(図-1). これらを基盤とした貯水灌漑システムは,上流からの排水を 下流で用水として反復利用することを可能とした画期的なも のであり,巨大貯水池の築造を可能としたソロウワ

(Sorouwa)と呼ばれる暗渠式排水施設と、数珠繋がりの 貯水池ネットワークに特徴が見られる.

しかし、この貯水灌漑システムは、13世紀以降、急速に衰退・放棄され、北部を中心とした乾燥地域は再び密林に飲み込まれてしまう。先行研究では、その崩壊原因として、異民族の侵攻、マラリヤの蔓延、過開発³などが挙げられてきたが、依然として明確な解を得ることはできていない、貯水灌漑システム崩壊の原因を明らかにするためには、放棄された時点の状況を探ることが肝要だが、現存する貯水池の多くは近代以降の灌漑政策により、修復・改修の手が入っているため、当時の状況を解明することは困難となっている。このような中で、イギリス統治時代以降、ほとんど人の手が入っていない自然保護区や国立公園内の貯水池を対象とした調査・研究を行うことは、放棄された当時の状況を知りうる唯一の手段であると言える。

本稿では、ワスゴムワ国立公園内のマーラゴムワ貯水 池について、現地調査で得られた知見と数値地形モデル (Digital Terrain Model,以下DTM)を用いて作成した微 地形図から、その規模と貯水池が放棄された当時の状況 を明らかにすることを目的とする.



図-1 長期平均年間降水量(1961-90年)と貯水池分布密度 ※白点はマーラゴムワ貯水池の所在を示す

2. 分析対象遺跡と使用データ・ソフトウェア

(1) 分析対象遺跡

ワスゴムワ国立公園は1938年に自然保護区に指定さ れて以来、域内における諸活動が厳しく制限されていた ことから、近代以降に行われてきた修復事業を免れてい る地域である.本稿で分析対象としたマーラゴムワ貯水 池は、2009年、20010年にNPO法人南アジア遺跡探検調 **査会がワスゴムワ国立公園内で行った遺跡探査によって** 調査されたものである³⁾. 本調査によってソロウワと呼 ばれる暗渠式排水施設が, 土堰堤の北端と南端と考えられ る地点でそれぞれ確認された(図-2)、これらの遺構は、イギリ ス統治時代に作成された1インチ1マイル地図上において も記載がないことから、2009年の遺跡探査によって初めてそ の存在が確認された未調査の遺構である.2つの遺構は、石 材に残る矢穴の形状及び建材に巨石を用いている点が、ポ ロンナルワ期(11~13世紀)のものと類似している.このことか ら、マーラゴムワ貯水池から北北西約8kmに位置するスリラ ンカ最大の貯水池であるパラクラマ・サムドラ貯水池とほぼ同 時期に機能していたと推察される.しかしながら、当時の調査 はソロウワ及びその周辺の調査に留まっており、貯水池 の全容解明には至っていない. そこで本研究では、高精 度DTMを用いて貯水池およびその周辺の地形を明らかに することで、その規模と放棄時点の状況の解明を試み た.

(2) 使用データ・ソフトウェア

使用データは、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の陸域観 測技術衛星「だいち」(ALOS: Advanced Land Observing Satellite)の衛星画像を用いて作成された 2.5mメッシ ュの高精度 DTM である.数値表層モデル(DSM: Digital Surface Model)が、建物や樹木等の高さを含んだ三次元 データであるのに対し、DTM は建物や樹木等の高さを含 まない地表面の標高からなる三次元データである(図-3). そのため、地表面が密林で覆われている貯水池及びその 周辺の微地形図を作成する上で必須となっている.微地 形図の作成・規模の計測にはオープンソースソフトウェ アの QGIS (Ver. 3.10)を使用した.



図-3 DSM と DTM



図-2 マーラゴムワ貯水池 左:ソロウワ No.1遺跡(南東壁),右:ソロウワ No.2遺跡(南壁)⁴

3. 分析結果

(1) マーラゴムワ貯水池の特徴

貯水池及び周辺の微地形を明らかにするために, DTM から lm 間隔の等高線図と朝日航洋株式会社が提供 している無償公開版の QGIS プラグイン「IN-YOU-ZU Maker」を用いて陰陽図を作成した(図-4). 陰陽図と は、地形の凹凸を陰と陽に分けて立体感を強調した微地 形表現図であり、平面図上において立体的な表現を可能 としたものである ⁵. 作成したこれらの微地形図と Google map で公開されている衛星写真を重ねることで、 岩丘と土堰堤のおおよその境目を探った、分析の結果、 マーラゴムワ貯水池は、南北に縦状に連なる岩丘群の狭 間に幅約 120m,長さ約 400mの土堰堤を築造し,涸れ 川のナワガハ川(Nawagaha・Ela)を堰き止めるように して築造されていたことが明らかとなった. また, 微地 形図からマーラゴムワ貯水池は、2つのソロウワ付近か ら決壊したことが明らかとなった. 北側、のソロウワ周 辺の水深は、南側よりも浅いことから、まず、北側土堰 堤が決壊、その後、南側土堰堤の大規模決壊によって、 完全に貯水機能を喪失したものと推察される.



図4 貯水池及び周辺の陰陽図(白点:暗渠式排水施設) ※この陰陽図は朝日航洋株式会社のQGISプラグイン 「陰陽図メーカー」を用いて作成したものである.

(2) マーラゴムワ貯水池の規模

次に、マーラゴムワ貯水池の規模について分析を行っ た.貯水池の満水時の水位を求める際に、その手掛かり となったのが、2 つのソロウワが確認された標高値であ る.ソロウワは、土堰堤築造の際に暗渠を埋設し、下 流に水を流すために造られた排水(取水)施設であり、 取水暗渠部と排水暗渠部、そして立坑部のビソーコトゥ ワ(Bisokotuwa)で構成される.このうちビソーコトゥ ワは貯水池満水時においても開口部が水面よりも高い位 置にある状態で機能していたと考えられるため、満水時 の水位はビソーコトゥワが確認された標高よりも低位で あったと推察される.このことから、マーラゴムワ貯水 池の満水時の水位を予想し、その水位から貯水池の推定 湛水面積と有効貯水容量の算出を試みた(図-5).

まず,面積や体積を算出するために,DTM を地理座 標系から陸域のデータに合わせて UTM (Universal Transverse Mercator) 座標系の WGS 84/UTM zone 44N へ変換を 行った.次に,満水時の予想水位と同位値の等高線をト レースすることでポリゴンを作成し,湛水面積及び周囲 長を求めるた.有効貯水容量は,作成したポリゴンを用 いてラスターデータを抽出し,満水時の水位を基準面と して設定した上で,貯水池の湖底から基準面までの充填 量を算出した.

以上の分析によって算出されたマーラゴムワ貯水池の 規模は湛水面積 1.39 km, 最大水深 8m, 周囲長約 15.7km, 有効貯水容量約 507 万㎡(※現在の貯水池の湖底を堆砂 容量が充填されたものと仮定して算出)であることが明 らかとなった.



図-5 貯水池の推定湛水面積(※白点:暗渠式排水施設)



※断面図 c-c'は断面図 b-b'中の土堰堤について縦横縮尺を同一としたものである.

(3) マーラゴムワ貯水池の構造について

図-5中の a-a', b-b'それぞれの断面図及び、縦横尺度 を同一とした土堰堤の断面図 c-c'を作成したものが図-6 である. これらの断面図を観察すると貯水池内でも特 に土堰堤付近の水深が深くなっていること、標高 66m 前後に大きなギャップが存在していることなどが分か る. 上流側の水深が浅くなっている標高 66m以上の傾 斜地 (b-b'の 100~600m の範囲)は、水生・湿生植物が 繁茂するタウラ (Thaula)と呼ばれる人工湿地であると 考えられる⁹. また,貯水池内部の標高 66m以下の低地 (b-b'の 600~1400mの範囲)は、上流側となる土堰堤築 造の際に必要となった大量の土砂を採取したことによ って,周囲よりも窪んだと考えられる. これによって, 貯水池容量の拡大と土堰堤築造に使用する土砂の運搬 コストを抑えることに成功したのだろう.

4. おわりに

本研究により,現地調査で得られた知見と高精度 DTM を用いることで,放棄された貯水池の規模の解明が可 能であることが明らかとなった.今後は他の貯水池に ついても、同様の手法で放棄された時点での規模を算 出するとともに,現代との比較によって,その受益面 積を推定することで,密林地帯の当時の開発状況を明 らかにしていきたい. 謝辞:本稿を著するにあたり,資料発表の許可をいた だいた NPO 法人南アジア遺跡探検調査会理事長の岡村 隆氏,ならびに調査に携わった隊員の方々に深く感謝 いたします.

なお、本研究は公益財団法人三島海雲記念財団第 57 回学術研究奨励金による研究の成果の一部である.

- Punyawardena, B.V.R.: Agro-Ecology (Map and Accompanying Text). National Atlas of Sri Lanka, second ed. Survey Department, Colombo, Sri Lanka, 2007.
- 中村尚司:スリランカ水利研究序説 灌漑農業の史的考察,論創社, 1988.
- 3) NPO 法人南アジア遺跡探検調査会(編):スリランカ・ワ スゴムワ国立公園周辺の密林遺跡 2009 年・2010 年調査 報告,能登印刷株式会社,2012.
- 4) 前揭3), p.31, 35.
- 5) 秋山幸秀・世古口竜一:微地形表現に優れた陰陽図, 地 図 45(1), pp. 37-46, 2007.
- Mahatantila, Kushani, Rohana Chandrajith, H. A. H. Jayasena, and K. B. Ranawana.: Spatial and Temporal Changes of Hydrogeochemistry in Ancient Tank Cascade Systems in Sri Lanka: Evidence for a Constructed Wetland, *Water and Environment Journal* 22 (1),pp. 17– 24,2008.

(2021. 4. 19 受付)