

古代スリランカの貯水施設に関する基礎的研究 ～コラサーガラ貯水池の樋門構造について～

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 東京都八王子市櫛田町 1220-2)

E-mail:s_suzuki@tokyo-ct.ac.jp

前5世紀頃から13世紀にかけてスリランカで発展した貯水灌漑システムは、他に類例を見ないほど高度に発展したものである。近年、スリランカ政府主導の下、島内に1万個以上存在する小規模ため池の修復プロジェクトが進められ、農業生産性の向上が図られている。これらの貯水池の多くは、古代の貯水灌漑システムに関連するものであるが、その修復と活用の過程において大きな問題が生じている。

本稿では、古代の貯水灌漑システムに付随する樋門の機能について、コラサーガラ貯水池の樋門構造に注目し、他の遺構との比較考察を行う。

Key Words: Sorouwa, Bisokotuwa, Irrigation system, SfM/MVS, Sri Lanka

1. はじめに

スリランカは全島が熱帯性モンスーン気候で、地域的に3つに分類される。島の北半分から南東部にかけての東海岸地域は概ねドライゾーンと呼ばれる乾燥地域で、国土の4分の3を占めおり、年間平均降水量は1,900mm以下、あるいは乾季の降水量が500mm以下の地域である。島の中央高地を含む南西地域は降雨の多い湿潤地域で、年平均降水量は3,000～7,500mm、これらの乾燥地域と湿潤地域との地域は半乾燥地域であり、年間降水量は2,000～3,000mmとなっている。なお、北部のドライゾーンに対し、湿潤地域と半乾燥地域は併せて、ウェットゾーンと呼ばれている¹⁾。

古代において高度な貯水灌漑システムが構築されたのは主にこのドライゾーンであり、ヤラ期(5～9月の乾燥地域における乾期)の耕作は、ウェワ(Wewa)と呼ばれる貯水池の貯水量に、マハ期(10月～3月の乾燥地域における雨期)の耕作は降水量にそれぞれ依存する農業が行われていた。ドライゾーンにおいて灌漑農業を可能とした貯水灌漑システムは13世紀頃を境に衰退し、それ以降、人口のほとんどがウェットゾーンに集中するようになる。

現在、スリランカ政府によって、Dahasak Maha Wevプログラム(2010-2020年)が実施され、1万個以上存在する小規模ため池について、住民参加型の修復作業が進行中である。急速に推し進められている修復プロジェクト

によって、灌漑可能域が拡大しつつあるその一方で、例えば2011年2月4日にアヌラダプラ地区で発生した貯水池決壊のような災害も複数発生している²⁾。この事例は、決壊箇所が現代の水門付近であったのに対し、古代の水門付近はほとんど無傷であったことなどから、結果的に古代の灌漑技術が再注目されるきっかけとなった。

古代の貯水施設が放棄されてから数百年後の現在において、それらの活用を図る際には、考古学的・土木史学的研究に基づく古代の貯水施設に関する知見を踏まえた上での修復と活用を進めていく必要があると言えるだろう。

2. 研究の目的

前5世紀頃から12世紀にかけてスリランカで発展した高度な貯水灌漑システムは、近年では、貯水池の水の浄化作用や多様な生物の住処としての機能などが注目され、持続可能な灌漑として再評価されつつある³⁾。その中でも、ソロウワ(Sorouwa)という石組みの樋門は、巨大な貯水池を決壊の恐れなく造営することを可能とした大変重要なものである。しかしながら、その重要性に比して、ソロウワに関する考古学的調査・研究はこれまでほとんどなされておらず、近年、調査が行われたパンダ(Panda)貯水池⁴⁾やブフ(Bhu)貯水池⁵⁾であっても、報告されている考古学的な資料は、簡単な平面図等に限

られている。また、劣化が進んでいる遺構が多く、盗掘や貯水池の修繕工事によって半壊、全壊してしまったものも少なくない。そのため、これらの遺構の考古学的な基礎資料の収集とその機能の解明、そして遺構の保護策の提案は、喫緊の課題といえる。

本稿では、コラサガラ貯水池の樋門について、他の樋門との比較を通じ、その築造年代と特徴について考察を試みる。

3. 古代スリランカの樋門（ソロウワ）

(1) ソロウワの基本構造

ソロウワ (Sorouwa) と呼ばれる貯水池の樋門は、貯水池から堤防を穿って、地下水路を埋設し、下流に水を流すように造られた暗渠式排水（取水）施設である。この樋門は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 (図-1)。

築造される立地によってその名称は異なり、上流部に築造されたものをゴダ・ソロウワ、下流部に築造されたものをマダ・ソロウワとそれぞれ呼称する。多くの中・大規模の貯水池では、ゴダ・ソロウワが堤防の両端に配置されており、満水時に稲作以外の耕作地への水を供給するために機能していたと考えられている⁹⁾。マダ・ソロウワは必要に応じてほぼ全ての水が排水可能となるよう、基本的には下流側の堤防の中央に1つ配置されるが、貯水池の容量、堤防の長さによっては、パヴァトクラム (Pavatkulam) 貯水池のように複数のソロウワが築造される事例も報告されている⁹⁾。

その起源については諸説あり、H.パーカー (Parker) は、使用された煉瓦の規格から前4世紀または前3世紀頃としたのに対し⁹⁾、R.A.L.H. グナワルダナ (Gunawardana) は文献資料から前1世紀～2世紀頃と推測している⁷⁾。いずれの場合であっても注目に値するのは、紀元前後の段階で既にこのような高度な技術を有していたということである。

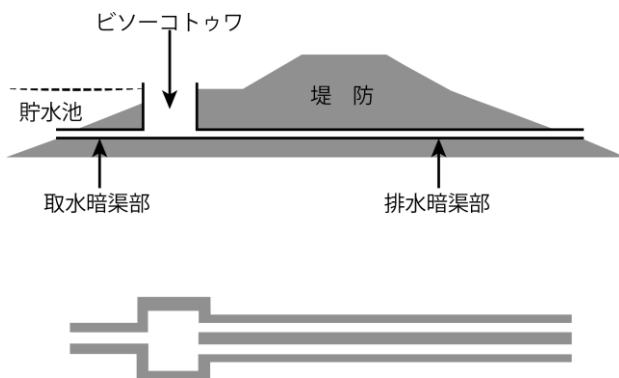


図-1 樋門構造

(2) ビソーコトゥワの機能

ビソーコトゥワの機能について、これまで複数の研究者によって検討がなされており、それらを大別すると水量調整機能説、沈泥除去機能説、流動水圧の減圧機能説の3つに分類することができる。

水量調整説は、パーカーによって提唱されたものである。この説は、ミンネリヤ (Minneriya) 貯水池のビソーコトゥワの底部で確認された四角いソケット状の柱穴やカティヤワ (Katiyawa) 貯水池のビソーコトゥワで確認された対をなす側壁の溝から、水量を調整するためにビソーコトゥワ内部に垂直にスライドする木製のゲートが存在していたと主張するものである⁹⁾。また、グナワルダナはマヒンダ (Mahinda) 4世 (西暦 956-972年) の治世の碑文から、少なくとも10世紀のビソーコトゥワには水量を調整するための何らかの調整弁が存在していた可能性が高いことを明らかにしている⁷⁾。W.P.アミラ (Amila) はその著書の中で、パーカーが想定したビソーコトゥワ内部のゲートの予想図 (図-2) を提示している⁹⁾。この予想図は、ソケット状の柱穴を必要とするものではないことから、おそらく先述したカティヤワ (Katiyawa) 貯水池のビソーコトゥワで確認された対をなす側壁の溝跡に基づいて作成されたものであると考えられる。しかしながら、図で描かれている開閉装置そのものの存在を裏付けるような痕跡は、これまで確認されていないことから、あくまで想像の域を出ないものであることには留意したい。

沈泥除去機能説は、L.リーシング (Liesching) がサンギリ・カナダラ (Sangili Kanadara) 貯水池のソロウワの排水暗渠部がビソーコトゥワの底部よりも約9cm高い位置に開口しているという事実に基づき提唱されたものである⁹⁾。しかしながら、現時点で他の類例は確認されておらず、沈泥除去を一元的にビソーコトゥワの機能として捉えることは困難であろう。

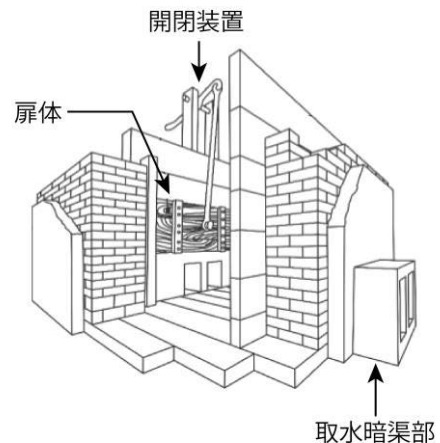


図-2 ビソーコトゥワのゲート想像図 (Amila 2016⁹⁾一部改変)

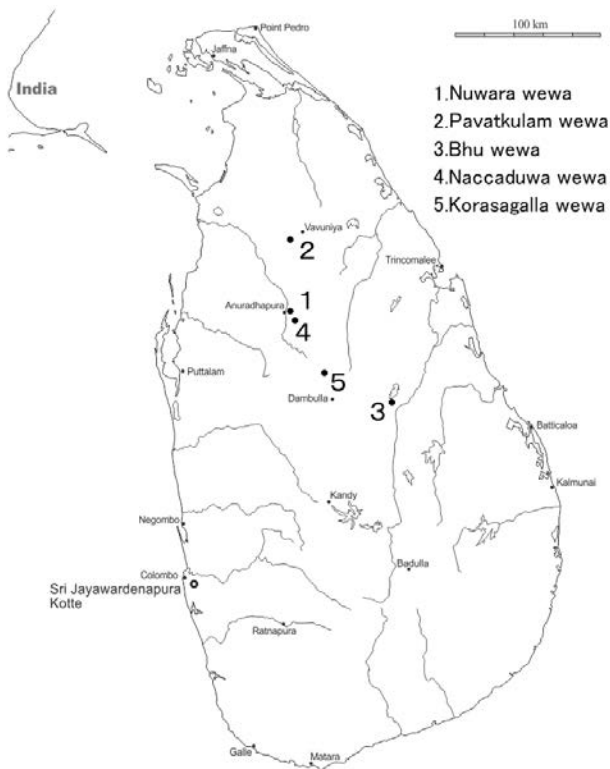


図-3 本稿で扱うソロウワを有する貯水池



図-4 コラスガラ貯水池のビソーコトゥワ (撮影：筆者)

流動水圧の減圧機能説は D.G.A.ペレラ (Perera) がビソーコトゥワと水力発電のサージタンク (過剰な流入量を一時的に蓄えることで流量を緩和して増減を平準化することを目的に備えられる貯槽) との類似性から提唱したものである¹⁰⁾。A.Y.タルシカン (Tharshikan) らはブ貯水池のビソーコトゥワの構造について、数値流体力学的な分析を行い、その減圧効果を証明している¹¹⁾。この説は、何らかの内部構造が付属していたとする従来の水量調整機能説に対し、現存する遺構そのものの機能に着目した新説である。

これら3つの説は必ずしも互いに矛盾するものではないことから、ビソーコトゥワの機能を一元的に解釈するためではなく、むしろ構造、築造年代、周辺環境の異なるそれぞれの遺構の機能を多元的に解釈するために用いられるべきであろう。

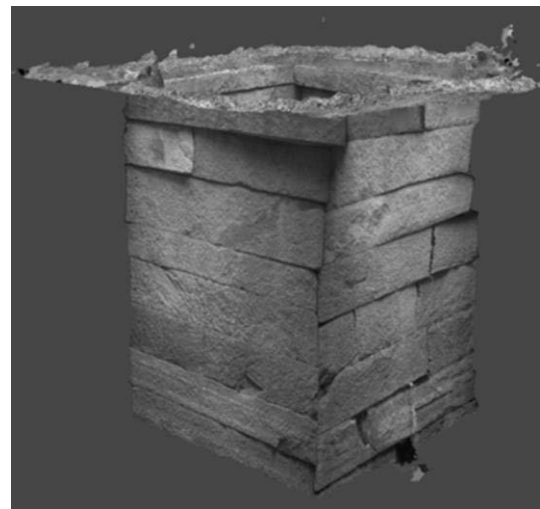


図-5 コラスガラ貯水池のビソーコトゥワ 三次元モデル

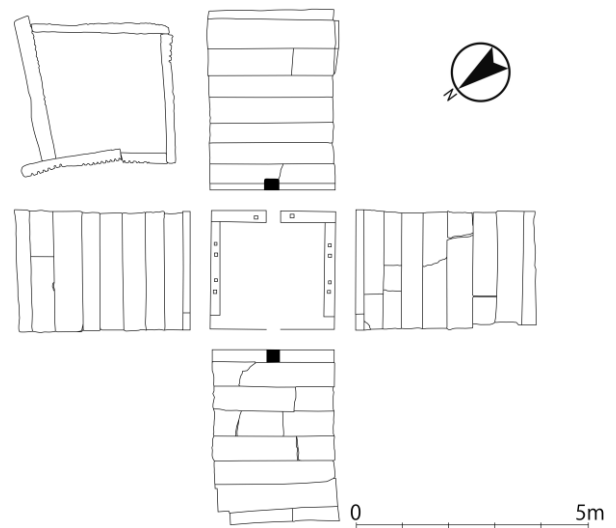


図-6 コラスガラ貯水池のビソーコトゥワ 展開図

4.分析

(1) コラスガラ貯水池のソロウワ

コラスガラ貯水池は、北中部州アヌラダプラ県に位置し、近年、放棄されるまで 2.5 km²の水田を潤していた中規模の貯水池である (図-3)。このコラスガラ貯水池のソロウワは、西側の堤防に位置している。取水口はビソーコトゥワから約 3m 離れた堤防の内側斜面において確認されたが、排水口は確認できなかった。しかしながら、現存する堤防の幅から推測すると、おそらく全長 15~20m 規模のソロウワであったと考えられる。本遺構はこれまで詳細な調査が行われておらず、平面図などの考古学的な基礎資料も存在していなかった。筆者は2019年8月17日~19日にこの遺構について現地調査を実施し、SfM/MVS (Structure from Motion / Multi-View Stereo) を用いた三次元計測を行うとともに、三次元モデルと平面図を作成した (図-4, 5, 6)。

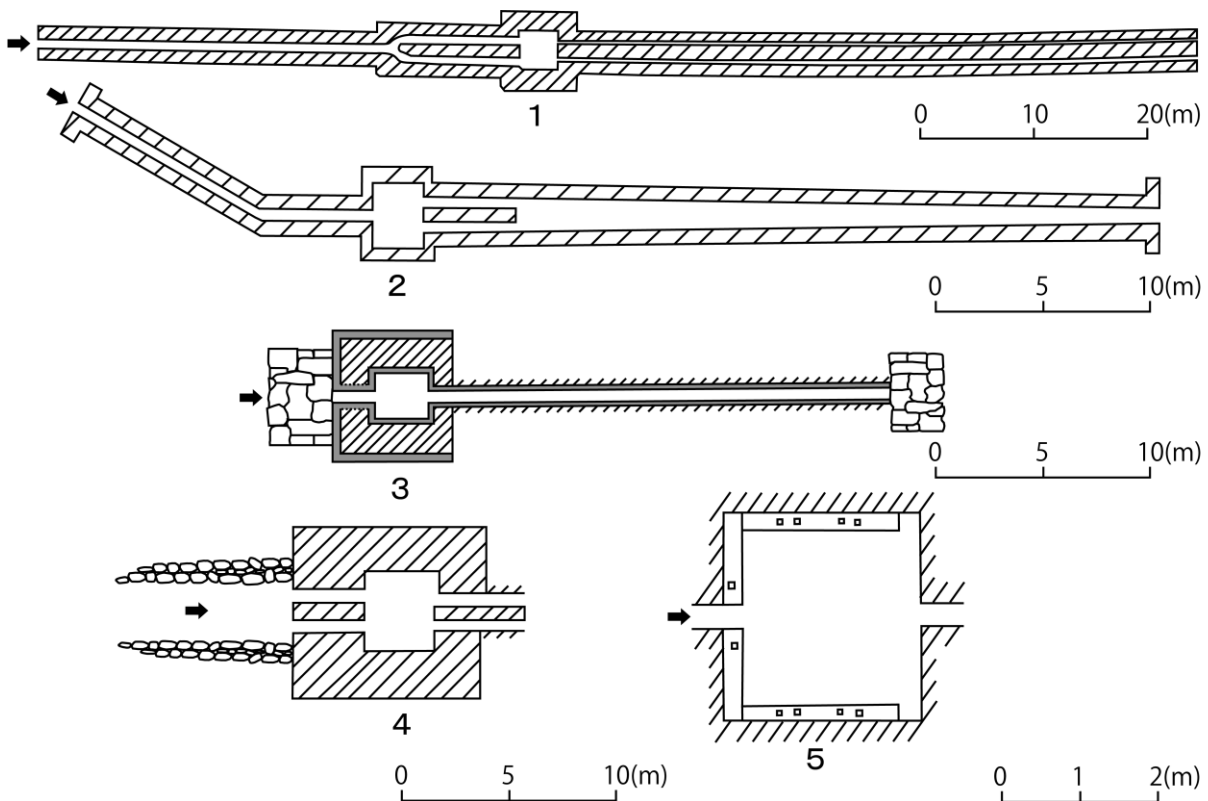


図-7 各貯水池のソロウ (1. ヌワラ:Parker 1909, fig. 122 より作成; 2. パヴァットクラム:Parker 1909, fig. 137 より作成; 3. ブフ:Bohinganuwa 2010, fig. 5 より作成; 4. ナチャドゥワ:Parker 1909, fig. 144 より作成; 5. コラサガラ:筆者作成)

SfM (Structure from Motion) は複数視点からの画像を元に、画像の撮影位置と撮影物の三次元的な関係と形状を復元する方法であり、MVS (Multi-View Stereo) は得られたカメラ位置などのパラメーターから高密度の点群を生成する方法である。近年、SfM/MVS はその優れたコストパフォーマンスと簡便さから考古学分野において、三次元計測の主流になりつつある。なお、三次元モデルの作成には Agisoft 社 Metashape (Standard) を、展開図の作成にはオープンソースの CloudCompare をそれぞれ用いた。

(2) ビソーコトゥワの規格とその特徴

開口部の内壁が $2.6\text{m} \times 2.54\text{m}$ 、底部が $2.79\text{m} \times 2.6\text{m}$ とほぼ正方形で、深さは 3.9m 。取水暗渠部とビソーコトゥワの接合部は幅 31cm 、高さ 34cm 、排水暗渠部との接合部は幅 30cm 、高さ 34cm とほぼ同じ大きさであった。底部には排水暗渠部との接合面を除いた三方の側壁に、深さ $4\sim 6\text{cm}$ 、 $6\sim 7\text{cm}$ 四方のソケット状の柱穴を伴う張り出し部が確認された。取水暗渠部との接合面の張り出し部は、幅 25cm 、高さ 20cm 、2つの柱穴が取水暗渠部を跨ぐようにして対になっている。残る2つの側壁の張り出し部は、幅 $20\sim 23\text{cm}$ 、高さ 20cm で、排水暗渠部との接合面とはそれぞれ 30cm ほど離れている。それぞれに柱穴が4つ確認されており、両側の柱穴の間隔もほぼ同じであることから、対になっていると考えられる。

(3) 比較対象の遺構について

今回、比較対象として取り上げるのは、先行研究で平面図が作成されている、ヌワラ (Nuwara) 貯水池、パヴァットクラム貯水池、ブフ貯水池、ナチャドゥワ (Naccaduwa) の4つの遺構である (図-3, 7)。

ヌワラ貯水池では上流側と下流側にそれぞれ1つずつソロウが確認されており、図-7.1 はそのうちの上流側のものである。パーカーはソロウの煉瓦の規格からその築造年代を前1世紀頃と推定している⁹⁾。全長 102m 、ビソーコトゥワは煉瓦造りとなっており、底部が $2.54\text{m} \times 2.4\text{m}$ とほぼ正方形で、深さは 6.7m である。取水・排水暗渠部が2つずつビソーコトゥワに接続しており、取水暗渠部とビソーコトゥワ接合部は幅 61cm 、高さ 91cm 、排水暗渠部との接合部は、幅 36cm 、高さ 50cm であり、排水暗渠部が取水暗渠部の約半分と極端に小さくなっている。

パヴァットクラム貯水池では上流側と下流側にそれぞれ2つずつソロウが確認されており、図-7.2 はそのうち最も低位置のものである。パーカーはソロウの煉瓦の規格からその築造年代を前2世紀～前1世紀頃と推定している⁹⁾。全長 50.7m 、ビソーコトゥワは外壁と内壁は石造り、内部は煉瓦造りとなっており、底部が $3.4\text{m} \times 2.69\text{m}$ と長方形で、深さは 4.27m である。取水暗渠部とビソーコトゥワ接合部は幅

76 cm, 高さ 106 cm, 2つの排水暗渠部との接合部は、いずれも幅 61 cm, 高さ 61 cmであり、排水暗渠部は排水口に近づくにつれて徐々に大きくなり、最終的に幅 61 cm, 高さ 107 cmとなる。

ブフ貯水池はパラクラマバーフ (Parākramabāhu) 1世 (西暦1153-1186年) の治世に大幅に拡張されたパラクラマサムドラ (Parakrama Samudra) の一部で、ソロウワが1つ確認されている。ブフ貯水池のソロウワは、スリランカで科学的に発掘された唯一の事例であったが、残念ながら発掘を指揮していたマーサ (Martha) 博士の急死により、資料が散逸してしまっている。図-7.3は発掘調査に参加していた B.H.M.W.ボーヒンガムワ (Bohingamuwa) によって作成された概略図であるため、その基本構造を理解する上では有用であるものの、実際の大きさとは必ずしも一致していない点には注意が必要である⁵⁾。そこで2019年に筆者が現地を訪れた際に、計測した数値を参考までに挙げる (底部が 1.44m×1.4m とほぼ正方形で、深さは 2.77。取水暗渠部とビソーコトゥワ接合部は幅 41 cm, 高さ 48 cm, 排水暗渠部との接合部は、幅 40 cm, 高さ 49 cmであった。)

ナチャドゥワ貯水池ではソロウワが1つ確認されている (図-7.4)。パーカーはソロウワの煉瓦の規格からその築造年代を3世紀頃と推定している⁶⁾。排水暗渠部の排水口が確認されていないため、全体の規模は不明。ビソーコトゥワは内壁の一部と外壁は石造り、内部および内壁の一部は煉瓦造りとなっており、底部が 3.81m×3.3m と長方形で、深さは 4.88mである。取水・排水暗渠部が2つずつビソーコトゥワに接続しており、取水暗渠部とビソーコトゥワ接合部は幅 60 cm, 高さ 39 cm, 排水暗渠部との接合部は、幅 55.8 cm, 高さ 45.7 cmである。

(4) 分析結果

今回比較対象とした4つソロウワはその築造年代が新しいほど、取水暗渠部は短く、ビソーコトゥワと取水・排水暗渠部の接合部は小さくなっていることが明らかとなった。この構造上の変化が、新たな機能の付与、性能の向上もしくは劣化、付属する貯水池の規模によるものかについては、今後、検討していく必要があるものの、コラサガラ貯水池のソロウワはその構造から紀元後、特に3世紀から12世紀に築造されたと推測される。これは、ビソーコトゥワの開口部に用いられている石材の矢穴の形状が10世紀以降のポロンナルワ期のものと類似している点とも矛盾しないものである。

今回、比較対象とした4つの遺構を含め、これまでに平面図が報告されている遺構の中には、コラサガラ貯水池のビソーコトゥワと同様の特徴を有するものを確認す

ることはできなかった。しかしながら、平面図が報告されていないため、詳細な比較検討は困難ではあるが、ビソーコトゥワの底部にソケット状の柱穴が確認されている3世紀のミンネリヤ貯水池、取水暗渠部の両側に側壁まで伸びる張り出し部が確認されている前2世紀のカティヤワ貯水池、それぞれにみられる底部構造の特徴を、コラサガラ貯水池のビソーコトゥワは併せ持っていることが明らかとなった。つまり、コラサガラ貯水池のビソーコトゥワは前2世紀と3世紀の遺構にそれぞれ見られた特徴を有することから、ソロウワ、ビソーコトゥワ築造に関する技術が長期間に渡り継承されていたことが改めて確認された。

しかし、コラサガラ貯水池のビソーコトゥワに見られる特徴的な内部構造が、その機能にどのような影響を与えたのか、また、どのような構造物が内部に存在していたのかについては、依然として不明のままである。これらを明らかにするためには、数値流体力学などの他分野との連携が必要不可欠となるだろう。

5. おわりにー展望と課題ー

今後は、平面図などの基礎資料が存在していないソロウワの調査を進めることで、資料の拡充を図っていきたい。また、それらの資料を基に、流体シミュレーションを用いて遺構の構造差が流水の挙動にどのような影響を与えたか検討することで、それぞれの機能と性能差について明らかにしていきたい。また、貯水池の集水域や降雨量など水文学的な観点も取り入れながら、ビソーコトゥワの構造の違いが、築造年代、周辺環境、貯水池の規模によるものか多角的に比較検討していく。

謝辞：本研究は公益財団法人三島海雲記念財団による第57回学術研究奨励金 (人文科学部門) 「GISを用いた古代スリランカの水利施設築造の地理的条件の解明」の助成を受けて実施された調査研究の成果の一部である。

- 1) *Survey Department Sri Lanka: The National Atlas of Sri Lanka*, 2007.
- 2) Perera, M.P.: The Destruction of an Ancient Tank Irrigation Vestige: A Case Study on the Breach of the Historical Kivulekada Tank of Sri Lanka, *International Journal of Arts and Commerce* (Vol.2-No.9), South Shields, United Kingdom, 2013.
- 3) Perera, M.P.: *Irrigation Heritage of Sri Lanka*, Center for Environmental Justice, Colombo, 2010.
- 4) Bohingamuwa, B.H.M.W.: The Ancient Panda Wewa: An archaeological investigation. *Ancient Ceylon*, 18, 2005, pp. 82-105.
- 5) Bohingamuwa, B.H.M.W.: Sluice Technology in Ancient

- Sri Lankan reservoirs: The Bisokotuwa Sluice. *Siririmal lakdusinghe felication volume*, 2010, pp.173-189.
- 6) Parker, H.: *Ancient Ceylon*, New Delhi, Asian Educational Services, 1909, pp.347-412.
 - 7) Gunawardana, R.A.L.H.: Hydraulic engineering in ancient Sri Lanka: the cistern sluices, In Indrapala, Prematilleke and van Lohuizen-de Leeuw (Eds.), *Sen-erat Paranavitana commemoration volume*. Studies in South Asian Culture. Vol. VII, Leiden: E.J.Beill, 1978, pp.61-74.
 - 8) Amila, W.P.: වෑ කම් පෙළහර Published in 954 - ශ්‍රී ලංකාව , ඉන්දියාව ඇතුළු දකුණු ආසියානු කලාපීය ඉතිහාසය, 2016, pp.25-28.
 - 9) Liesching, L.: Report on the Nuwarakalaviya District for the year 1869, Ceylon Administration Reports, Colombo, 1870.
 - 10) Perera, D.G.A.: Bisokotuwas in architecture and irrigation works of Sri Lanka. ICTAD (Institute for Construction and Development) Journal 2(1), 1990, pp.43-52.
 - 11) Tharshikan, A.Y., Fernando, S.G.L.M., & Vithana, H.P.V.: Flow Behaviour within Bisokotuwa Using Physical Model and CFD Model, *5th International Symposium on Advances in Civil and Environmental Engineering Practises for Sustainable Development (ACEPS-2017)*, 2017, pp.303-309.

(2020. 4. 20 受付)