

博士論文

連珠ため池システムにおける
上流優先ため池整備による効率的な水資源配分と
農業者による水資源配分の受容度

岡 直子

目次

図一覧	iv
表一覧	vi
第1章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的	2
1.3 問いと仮説	2
1.4 先行研究	2
1.5 研究手法	4
第2章 研究対象地のため池	5
2.1 研究対象地の選定	5
2.2 アヌラーダプラ県の気候と農業	8
2.3 連珠ため池システムの特徴	10
2.4 ため池の利用と管理	14
2.4.1 村落におけるため池	14
2.4.2 ため池の受益地	14
2.4.3 農業者組織	15
2.4.4 ため池の水管理と維持管理	15
2.5 ため池に関する行政と政策	15
2.6 まとめ	17
第3章 ため池の水利用上の課題	18
3.1 不安定な降雨と灌漑面積	18
3.1.1 不安定な降雨	18
3.1.2 不安定な灌漑面積	20
3.1.3 気候変動の影響	20
3.2 システム内で偏る水利条件	21
3.3 不十分なため池の維持管理	22
3.3.1 ため池の堤頂と洪水位の標高差	22
3.3.2 洪水によるため池被災状況と被災要因	23
3.3.3 ため池整備上の課題と対策	24
3.4 システム全体の管理体制の欠如	25
3.5 まとめ	25

第4章	水収支モデルによるため池貯水量の推計	26
4.1	推計の対象とする連珠ため池システムの概要	26
4.2	連珠ため池システム水収支モデルの構築	27
4.2.1	CASCADE モデル	27
4.2.2	CASCADE II モデル	30
4.2.3	CASCADE と CASCADE II の誤差の比較	40
4.2.4	CASCADE II のパラメータと水収支	41
4.2.5	CASCADE II へのタンクモデル利用	45
4.2.6	水収支モデルに関する考察	51
4.3	まとめ	52
第5章	上流優先ため池整備の効果	53
5.1	CASCADE II を活用したシミュレーションプログラム	53
5.1.1	シミュレーションプログラムの構成	53
5.1.2	シミュレーション結果の信頼性	55
5.1.3	シミュレーションに利用する降雨パターン	57
5.2	ため池の浚渫が灌漑面積に与える影響	60
5.2.1	シミュレーションの内容	60
5.2.2	浚渫による灌漑面積の変化	60
5.2.3	ため池形状の変更が水収支計算に与える影響	62
5.3	上流ため池の漏水防止	63
5.3.1	シミュレーションの内容	63
5.3.2	シミュレーションの結果	63
5.4	気候変動が灌漑面積に与える影響	64
5.5	まとめ	65
第6章	上流優先ため池整備に対するため池利用者の受容度	66
6.1	調査内容	66
6.2	調査結果	68
6.2.1	上流ため池の水利用が下流ため池に与える影響への認識 (調査 A)	68
6.2.2	上流ため池整備に対する受容度 (調査 B)	69
6.2.3	上流ため池の漏水防止に対する受容度の変化 (調査 C)	71
6.2.4	ため池間配水と上流ため池漏水防止に対する受容度の変化 (調査 D)	73
6.3	まとめ	75

第7章	ため池の水資源利用効率向上における制約	77
7.1	概要	77
7.2	機能しなくなった渇水時の土地と水の再配分	77
7.2.1	ベトマによる土地と水の再配分	77
7.2.2	ベトマの実施状況に関する調査	78
7.3	導入されない水田畑作	81
7.3.1	水田畑作	81
7.3.2	水田畑作導入にかかるカンナ会議の観察	82
7.4	水田畑作適地の賃貸導入の試行	83
7.4.1	賃貸と前払い導入の提案	83
7.4.2	リョクトウ栽培の経緯	83
7.4.3	水田畑作の課題と対策	85
7.5	まとめ	85
第8章	結論	87
8.1	研究成果	87
8.2	残された課題	88
引用文献		89
謝辞		93
付属資料		94
付属資料1	カンナ会議報告書様式	94
付属資料2	ティラップネ連珠ため池システムのため池水位と貯水量	97
付属資料3	ため池農家調査調査票	102
付属資料4	第一回目ワークショップ資料	108
付属資料5	第一回目ワークショップ調査票	109
付属資料6	個別聞き取り調査調査票	110
付属資料7	第二回目ワークショップ資料	112
付属資料8	第二回目ワークショップ調査票	114
付属資料9	リョクトウ栽培研修における普及員による説明内容	115

図一覧

図 2-1	研究対象地.....	7
図 2-2	ティラッパネ連珠ため池システム.....	7
図 2-3	スリランカの気候区分.....	8
図 2-4	アヌラーダプラ県月別平均降雨量、計器蒸発量、最高気温、最低気温.....	10
図 2-5	連珠ため池システム模式図.....	10
図 2-6	アヌラーダプラ県連珠ため池システムのため池諸元の分布.....	12
図 2-7	アヌラーダプラ県連珠ため池システムのため池の受益面積と諸元の関係.....	13
図 2-8	農業支援センター（ASC）構成図.....	16
図 3-1	アヌラーダプラ県における年間降雨量の分布.....	18
図 3-2	アヌラーダプラ県における雨期作期降雨量の分布.....	18
図 3-3	アヌラーダプラ県における乾期作期降雨量の分布.....	19
図 3-4	ため池への要素別流入量（1991年11月16日～1992年3月31日）.....	21
図 3-5	洪水時降水量及び平均月別降水量.....	23
図 3-6	クダプリヤンクラマ池の越流箇所.....	25
図 4-1	ティラッパネ連珠ため池システム位置図.....	26
図 4-2	連珠ため池システムの水収支.....	28
図 4-3	CASCADE モデルの水収支の要素図.....	28
図 4-4	水位による貯水量の近似曲線と近似式（ベンダランクラマ池）.....	31
図 4-5	貯水量による水位の近似曲線と近似式（ベンダランクラマ池）.....	31
図 4-6	貯水量による水位の近似折れ線（ベンダランクラマ池）.....	31
図 4-7	ベンダランクラマ池、ブランクラマ池水位観測等位置図.....	33
図 4-8	ミーガッセガマ池水位等観測位置図.....	34
図 4-9	アリストーナ池水位等観測位置図.....	35
図 4-10	同定時のため池貯水量の実測値と計算値の比較.....	38
図 4-11	検証時のため池貯水量の実測値と計算値の比較.....	39
図 4-12	ベンダランクラマ池流入・流出別計算結果.....	43
図 4-13	ブランクラマ池の流入・流出別計算結果.....	44
図 4-14	ミーガッセガマ池の流入・流出別計算結果.....	44
図 4-15	アリストーナ池の流入・流出別計算結果.....	45
図 4-16	ミーガッセガマ池の貯水量と漏水量の関係.....	45
図 4-17	タンクモデル.....	46
図 4-18	タンクモデル（浸透あり）適用の同定時の貯水量計算値と実測値.....	48
図 4-19	タンクモデル（浸透あり）適用の検証時の貯水量計算値と実測値.....	48
図 4-20	タンクモデル（浸透なし）適用の同定時の貯水量計算値と実測値.....	49

図 4-21	タンクモデル（浸透なし）適用の検証時の貯水量計算値と実測値	49
図 4-22	タンクモデル（浸透あり）適用の同定時の貯留高と流出高	50
図 4-23	タンクモデル（浸透なし）適用の同定時の貯留高と流出高	50
図 5-1	シミュレーションプログラムの構成.....	53
図 5-2	灌漑面積と降雨量から算出するため池貯水量と実測値の比較.....	55
図 5-3	対象ため池と気象観測所の位置関係.....	58
図 5-4	（A）標準年降雨パターン	59
図 5-5	浚渫前後のため池横断模式図	60
図 5-6	漏水率の変化による灌漑面積の変化.....	64
図 6-1	上流ため池の出来事がため池貯水量に与える影響	68
図 6-2	上流ため池整備にかかる同意度	70
図 6-3	漏水率の変化による灌漑面積の変化（再掲）	72
図 6-4	シナリオ対象ため池位置図	73
図 6-5	シナリオ・立場別の回答分布	74
図 7-1	ベトマ概要（左：雨期作、中：乾期作、右：ベトマによる乾期作）	78

表一覧

表 2-1	州別のため池の数.....	5
表 2-2	ため池受益面積の分布.....	6
表 2-3	連珠システム内外のため池分布.....	6
表 2-4	北中央州産業別GDP比率 (%).....	8
表 2-5	スリランカ乾燥地域の季節の特徴.....	9
表 2-6	連珠ため池システムを形成するため池の諸元平均値.....	11
表 2-7	アヌラダプラ県のため池諸元と受益面積との相関係数.....	12
表 2-8	水田分類と慣行水利権の関係.....	14
表 3-1	想定播種日と想定生育期間降水量.....	19
表 3-2	ティラップネ連珠ため池システムにおけるイネの灌漑面積 (ha).....	20
表 3-3	水田面積当たり流入量 (1991年11月16日～1992年3月31日).....	21
表 3-4	ティラップネ連珠ため池システムの堤頂と洪水位との標高差.....	22
表 3-5	洪水被害状況と被災要因.....	24
表 3-6	被災要因と対策.....	24
表 4-1	ティラップネ連珠ため池システムのため池諸元.....	27
表 4-2	ため池流域面積と受益面積.....	27
表 4-3	連珠ため池システムの水収支要素の分類と記号.....	29
表 4-4	CASCADE で設定された係数等の値.....	30
表 4-5	水位等観測概要.....	33
表 4-6	同定・検証期間中の灌漑面積 (m ²).....	36
表 4-7	観測期間中の取水量 (m ³).....	36
表 4-8	観測期間中の降雨量 (mm) と計器蒸発量.....	36
表 4-9	CASCADE と CASCADE II の同定した係数.....	37
表 4-10	同定時の計算誤差 (%).....	38
表 4-11	検証期間の計算誤差 (%).....	39
表 4-12	比較対象期間.....	40
表 4-13	CASCADE II と CASCADE の計算誤差 (%).....	41
表 4-14	感度分析の結果.....	42
表 4-15	CASCADE II による流出量と流域水収支による流出.....	43
表 4-16	タンクモデルのパラメータ (浸透あり).....	47
表 4-17	タンクモデルのパラメータ (浸透なし).....	47
表 5-1	耕作期別の稲作暦と灌漑利用の関係.....	54
表 5-2	日灌漑用水量の計算要素.....	54

表 5-3	稲の生育期毎のパン係数.....	54
表 5-4	耕作期別 有効雨量係数、灌漑効率.....	55
表 5-5	灌漑面積と取水量の実績値と計算値.....	56
表 5-6	利用した気象データ.....	58
表 5-7	気候変動予測変動値.....	59
表 5-8	降雨パターンの概要.....	59
表 5-9	降雨パターン別の雨期作期における洪水流出状況及び灌漑面積率.....	61
表 5-10	(A) 標準年における浚渫による灌漑面積率 (%) の変化.....	61
表 5-11	(B) 中間豊水年における浚渫による灌漑面積率 (%) の変化.....	61
表 5-12	(C) 最大豊水年における浚渫による灌漑面積率 (%) の変化.....	62
表 5-13	ため池形状の変更による流出要素別年間量の変化.....	62
表 5-14	漏水率の変化による灌漑面積率の変化.....	64
表 5-15	(A) 標準年と (E) 気候変動下の灌漑面積率 (%)	64
表 6-1	調査 A : 調査票調査の概要.....	67
表 6-2	調査 B : ワークショップと組み合わせた調査票調査の概要 (一回目)	67
表 6-3	調査 C : 個別聞き取り調査の概要.....	67
表 6-4	調査 D : ワークショップと組み合わせた調査票調査の概要 (二回目)	68
表 6-5	ワークショップ開催ため池の灌漑地面積、所有者数、FO 名称.....	68
表 6-6	ワークショップグループ別の同意度.....	70
表 6-7	上流ため池の漏水防止工事に関する調査結果.....	72
表 6-8	回答者別の工事への参加日数 (事前、事後)	72
表 6-9	シナリオ 1 : 上流から下流に配水する.....	74
表 6-10	シナリオ 2 : 漏水防止工事をする.....	74
表 6-11	シナリオ・立場別の同意度.....	75
表 7-1	調査票調査の概要 (再掲)	79
表 7-2	ベトマの実施状況.....	79
表 7-3	ベトマを適用しない理由 (選択式回答)	80
表 7-4	ベトマを適用しない理由のうち、ベトマへの認識に関するもの (記述式回答)	80
表 7-5	ベトマを適用しない理由のうち、ため池の状態に関するもの (記述式回答)	80
表 7-6	2013 年穀物生産量・輸出量・国内供給量.....	82
表 7-7	リョクトウ栽培の経緯.....	84
表 7-8	リョクトウ収穫状況.....	85

第1章 序論

1.1 研究の背景

多くの発展途上国においては、経済発展や人口増加に伴い水への需要が増加しており、限られた水資源の効率的な利用は重要な課題となっている。農業用水の分野では、急速に増加する食料需要にこたえるために灌漑開発が不可欠であるが、他用途との競合がある場合や持続的な利用が困難な場合には、新規の水資源開発のみならず、既存の水資源を効率的に利用し、農業生産を支えていく技術の開発が必要となっている。途上国における灌漑農業は、1950年代から1970年代にかけて多数建設されたダムに依存する地区がある一方で、伝統的な小規模灌漑システムを利用するものも存在する。1950年時点で存在した灌漑施設の多くは、それぞれの地域における伝統的な仕方、それなりの合理性を持って管理されてきた（佐藤ら、2007）。しかし小規模な灌漑システムは、集水の規模や利用と管理の範囲が小さいことから安定性が低く、近年の人口増加や気候変動予測に対応するには、水資源を効率的に行うための技術改善や、利用と管理の範囲を広げ、安定的な水利用を可能とすることが必要であると考えられる。これらの技術改善がなされた場合、小規模灌漑システムに依存する農地は個々では小さく政府支援が届きにくいといった弱点があるものの、利用者が蓄積された知見に立脚して管理していることから持続性があり、全体としては大きな効果が期待できる。

独立した灌漑施設であれば、規模の大小にかかわらず、灌漑技術上の課題は類似していると考えられるが、水の流れに沿ってため池が築かれている連珠ため池システムの場合、上流の水利用が下流の水利用に影響を与えており、水利条件が下流優位になっている点に特徴があり、水利条件の平準化により水資源利用が効率化する可能性がある。しかし、水利条件の平準化を図るために必要となる、連珠ため池システム内の水収支については不明な点が多く、水利条件の平準化にどのような方策が適しているのかは明らかではない。

スリランカは長い歴史を持つ灌漑立国であるが、その主要作物であるコメの作付け面積のうち、大規模灌漑の受益地が46%、小規模灌漑の受益地が27%、天水が27%を占め（Department of Census and Statistics, 2016）、小規模灌漑の約6割がため池である（Survey Department of Sri Lanka, 2007）。これらのため池は村落ため池とも呼ばれ、農業者の共同体により水利用が管理されており（Somarathna and Kono, 2005）、その多くが水系に沿って上流から下流へと連なる連珠ため池システムを形成している。

スリランカでは多くの途上国と同様、近年の人口増加による耕地拡大により水資源がひっ迫してきており、さらに今後の気候変動による主要耕作期における降雨の減少が予測されていることから、水資源のより効率的な利用が求められている。また、スリランカでは湿潤地域から乾燥地域への導水事業が2018年現在進行中であり、導水先である連珠ため池システムにおける効率的かつ公平な水配分が求められている（独立行政法人国際協力機構、2015）。連珠ため池システムは、十分な集水域を持つものが少なく（Panabokke et al., 2002）、多くの水が還元水として再利用されている（板倉、1994；Matsumo et al., 2003）ことから、システム内で下流に位置するため池ほど容量が大きく、湛水期間が長い場合が多い。このため、ため池の水利用を効率化するためには、単体ため池だけではなく、システム全体の水収支を踏まえる必要があるが、システムの水収支については、不明な点が多い。

さらに、連珠ため池システムの水収支上の特徴と既存の水利用システムを踏まえたうえで、連珠ため池システムの水資源を効率的に利用するための方策が存在するのか、また、その方策は水利用の主体である農業者にとって受容可能なものなのかについて、明らかではない。

このため本研究では、スリランカ乾燥地域の連珠ため池システムにおける、水資源の効率的な配分方法の提

案と、提案内容の農業者による受容度の評価を試みる。

1.2 研究の目的

本研究の目的は、連珠ため池システム全体の水収支を踏まえた、水利用者に受容されうる水資源の効率的な配分方法を提案することである。

1.3 問いと仮説

本研究の目的を達成するための問いと仮説は、以下のとおりである。

[問い1] 連珠ため池システムにおいて、水資源を効率的に配分するためには、どのような方法があるか。

[仮説1] 連珠ため池システムにおいて、上流ため池を優先して、浚渫または漏水防止の整備を行うことにより、連珠ため池システム全体の水利用の効率が向上する。

[問い2] 上流優先のため池整備は、地元農業者に受容されるか。

[仮説2] 上流優先のため池整備の効果を具体的に示すことにより、地元農業者の上流優先のため池整備に対する受容度を高めることができる。

1.4 先行研究

途上国における灌漑管理に関する研究の多くは、効果の発現や持続性の面で問題があるとされた、近年開発された大規模灌漑システムを対象に行われている。

玉城ら（1984）は、途上国の灌漑開発上の問題を日本の経験と比較し、農民の主体的、組織的参加を軽視ないし無視しているところに大きな問題点があると推測したが、そのような問題を解決すべく、政府により発案、建設、管理されてきた灌漑施設の管理を利用者に移管する灌漑管理移管（Irrigation Management Transfer : IMT）や、利用者が灌漑施設を適切に管理するために、利用者が灌漑施設の計画、設計、施工、建設段階にも携わるとする参加型灌漑管理（Participatory irrigation management : PIM）は多くの国で取り組みがなされ、それらを対象に事例研究や原理の追及が行われてきた（野沢、2003；佐藤ら、2007；農林水産省農村振興局整備部設計科、2007；平岩、2008；平岩、2010；Fujimoto et al.、2012）。佐藤ら（2007）は、灌漑事業における国家目標と農業者の目標の違いを踏まえ、政府としての目標をどのようにしたら実現できるのか、目標実現を図るための水配分の目標はなにか、農業者に付する水利用の条件はなにかといった PIM の原理と実現方策を示している。また、利用者の参加のうち灌漑施設の持続性に直結すると考えられる「維持管理への参加」については、鬼丸（2012、2013）に詳しい。

灌漑管理を担う組織に着目した研究も行われており、Ostrom（1992）は、灌漑管理組織を含む共有資源管理組織の設計に必要な設計原理を挙げ（組織の明確な範囲、便益と負担の連動、運営規則修正への参加、監視、段階的な制裁、紛争解決能力、組織化の権利の保証、多層化組織体制）、これらを全て備えていなければ、共有資源管理組織は、不当に資源を獲得する（フリーライダー）を排除することができず、組織の衰退、機能停止を招く、と述べた。さらに、花谷・佐藤（2011）は、資源管理組織の持続性確保のためには、個人の合理的な判断により資源管理のための協利に便益が見出されるのみならず、当該資源管理のために協利することが社会的に慣習化＝制度化される必要があること、また、伝統的に利用されてきた自然資源と異なり、水利施設を含む人工的資源の管理制度は外部から持ち込まれることが多い状況下で、管理組織や運営のルールが、土地

制度のような他の社会的制度と非整合的で、社会に受容されなければ、長続きしないことを述べた。

小規模な場合が多い伝統的な灌漑システムに関する研究も、地理学、社会学、農業土木の分野で行われている。水谷（2001）は、灌漑システムの規模の区分について世界共通の定義は存在しない中で、「国家管理が行われるような規模の灌漑システムを大規模」、「伝統的に農民管理がおこなわれている規模の灌漑システムを小規模」として、物理的な規模だけでなく管理の特徴にも着目した分類を行った。インドネシア・バリ島の伝統的な灌漑組織であるスバックが、人間と自然が調和し環境を保全するうえで果たしてきた機能と役割について考察した永野（2012）や、スバックにおける水利用の公平性が農業水利の近代化が成功する要因であるとした水谷（1992）、紀元前数世紀までさかのぼるとされる古代シンハラ王朝から現代までの灌漑農業の史的考察を行い貯水システムによる過剰開発等について論じた中村（1988）、フィリピンの水利組織についての研究（野沢、2003）がある。伝統的灌漑システムの多くは政府の管理・関与の度合いが低いなかで長期・歴史的に管理されてきたことから、それなりの合理性をもって管理されてきた（佐藤ら、2007）とされ、農民による運営の継続性・自立性に着目し、得られた知見を近代的な灌漑システムの管理に活用しようとする研究が多い。

しかし、大規模な灌漑開発の実施が落ちてきた現在、世界の人口増加に対応する食料安全保障のためには、伝統的な小規模灌漑システムの効率改善も課題であると考えられるが、小規模灌漑システム自体の効率性を向上するための研究は少ない。

スリランカの乾燥地域には、数多くの小規模ため池があり、それらは村落ため池とも呼ばれ農民による管理がなされてきた。スリランカの乾燥地域は「the original hydraulic civilisation of the world」であるとされ（Shah、2013）、スリランカ国民の誇りであると見受けられる。連珠ため池システム全体を対象とした研究（Sakthivadivel et al., 1996 ; Panabokke et al., 2002）、生態系に着目した研究（Geekiyana and Pushpakumara, 2013）、地下水についての研究（De Silva, 2002）など、多くがなされている。

その中で、連珠ため池システムの水文学的な研究は、板倉（1994）；Itakura（1995）；Jayatilaka et al.（2001）；Jayatilaka et al.（2003）により、行われてきた。板倉（1994）；Itakura（1995）は、ため池貯水量、降雨量、放流量等の観測から、ため池における浸透ロス率や下流ため池への還元水率などを算定し、水収支モデルを開発した。Jayatilaka et al.（2001）は、流出計算における連続無降雨期間後に生じる“遅れ”の算定、貯水表面積の対数関数としての浸透量の算出といった特徴のある連珠ため池システムの水収支モデルCASCADEを開発した。CASCADEモデルは、ため池の水量が日単位で計算され農業者の水管理と整合性が高いことから、農業者の水管理上の意思決定に役立つツールとなる可能性がある。しかし CASCADE モデルは、全体としては良好に貯水量を計算できるが、上流側に位置するため池の貯水量計算の精度が比較的低いこと、独立した検証がなされていないことが課題となっている。また、水管理に活用するには、モデルの計算精度が明らかである必要があるが、示されていない。

Matsuno et al.（2003）による、連珠ため池システムの水収支において重要な位置を占める還元水についての研究では、マハベリシステムの用水が通過するヤン河水系の連結する三ため池を対象に、一年間の降雨量、蒸発量、ため池水位、水路流量を観測し、その結果からため池漏水量、水路通水ロス、圃場における降下浸透量、還元水量を算出している。その結果、ため池漏水量が非常に大きく、その大部分が還元水として圃場及び下流ため池に流入していることが、示されている。また、スリランカのため池の水収支を扱った類似の研究に Li and Gowing（2005）があるが、灌漑地区内の大規模の単体ため池が対象であり、小規模ため池の大部分を占める連珠ため池システムの水収支とは異なった内容となっている。

これらの水文学的な研究成果を水資源配分の効率化につなげることを意図した研究は、板倉（1994）による

水収支モデルを用いた「堤体のかさ上げ」及び「池の統廃合」が連珠ため池システム全体の水収支に与える影響の検討と、維持管理コストを勘案するとため池を統廃合検討すべき余地があることを示したものの以外にはない。

一方で Jinapala et al. (1996) は、連珠ため池システムでの参加型水資源開発計画立案の取り組みについて、従来なかった連珠システム単位で水資源開発を行うための手法を提案している。この手法では、単独村レベル、複数村レベル、連珠レベルと段階を踏んで農業者とのワークショップを重ねるものであり、これにより、元々自らが利用しているため池のことしか考えていなかった農業者が、連珠全体の水利用量を最大化するための提案を行うようになったと述べられている。農業者の提案内容は、「ため池の増設」「連珠外への分水」「連珠外からの分水」「連珠内での分水」「沢水の取水」であり、その提案により灌漑面積を増加させることができると述べられている。しかし、提案により増加する灌漑面積については、数値は述べられているものの水文学的な根拠は示されていない。

以上から、伝統的な小規模灌漑システムであるスリランカの連珠ため池システムにおいて、水管理に活用しうる水収支モデルを開発するとともに、水利用効率を向上させる対策を水収支モデルにより評価すること、また、対策に対する水利用者の受容度を評価することを目的とする本研究は、スリランカの連珠ため池システムの水利用効率化に資するものであり、その他の灌漑システムの管理に知見を与えるものである。

1.5 研究手法

まず、文献調査、現地農業関係者への聞き取り調査等により、スリランカ乾燥地域におけるため池の水利用の概要と課題を整理する。

次に[仮説1]を証明するために、ティラップネ連珠ため池システムを対象に水収支モデルを開発する。既存の研究成果をもとに構築したモデルを、現在の状況を測量、観測等により把握したうえで、同定、検証を行い、信頼性を確認する。信頼性を確認した水収支モデルを用い、想定する降雨条件の下で可能な灌漑面積を求めるシミュレーションプログラムを開発し、現状の水利用を行う場合と、上流側優先のため池整備として「上流ため池の浚渫」「上流ため池の漏水防止」を行う場合との灌漑可能面積を算出し、上流優先ため池整備の効果を検証する。

最後に[仮説2]を証明するために、ため池の水を利用している農業者が参加するワークショップを行い、上流側優先のため池整備の農業者による受容度を評価する。同時に、農業者への聞き取り調査、水利用に関する観察を行い、水配分に対する受容度を評価する。

第2章 研究対象地のため池

2.1 研究対象地の選定

スリランカには数多くのため池が存在するが、そのうち受益面積が80ヘクタール未満のため池が小規模ため池に分類され、農業者が直接管理することとされている。本研究はこの小規模灌漑に分類されるため池を対象とし、以降、これらを単にため池と表記する。

スリランカ国内でため池は乾燥地域に偏在しているが、中でも、北西部州で最も多く、ついで北中央州で数多く築かれている。分布密度では北西部州が著しく高い（表 2-1）。北西部州クルネガラ県と北中央州アヌラーダプラ県におけるため池受益面積の分布を見ると、クルネガラ県では受益面積が6ha未満のより小規模なため池が大半であることがわかる（表 2-2）。一方で、両県のため池の連珠システム内外の分布を見ると、アヌラーダプラ県のため池の85%が連珠ため池システムを形成しているのに対し、クルネガラ県のため池は27%が連珠ため池システムを形成しているにとどまる（表 2-3）。このため、本研究の対象地はアヌラーダプラ県とする。

また、連珠ため池システムの水収支にかかる既存研究は、アヌラーダプラ県ティラップパネ郡のティラップパネ連珠ため池システムを対象としているものが多い。このため、水収支モデル構築の対象は、ティラップパネ連珠ため池に属する4つのため池とする。研究対象地、ティラップパネ連珠ため池システムの位置関係は、図 2-1、図 2-2のとおり。

表 2-1 州別のため池の数

州名	面積 (k m ²)	運用中のため池数	放棄されたため池数	ため池総数	運用中のため池分布密度 (基/k m ²)
北部州	3,709	608	816	1,424	1.6
北中央州	10,365	2,095	1,922	4,017	2.0
北西部州	7,760	4,200	2,273	6,473	5.4
南部州	*2,849	653	757	1,410	2.3
ウバ州	*2,901	16	543	559	0.1
東部州	*3,885	48	1,442	1,490	0.1
計	31,469	7,620	7,753	15,373	2.4

*州内の乾燥地域に含まれる範囲のみ計上

出典：Panabokke et al. (2002)

表 2-2 ため池受益面積の分布

県名	単位	ため池受益面積 (ha)						合計
		<6	6-10	10-20	20-30	30-40	>40	
北中央州	基	420	520	826	289	177	241	2,473
アヌラーダプラ県	(%)	17	21	33	12	7	10	100
北西部州	基	2,873	667	654	153	50	45	4,442
クルネガラ県	(%)	64	15	15	3	1	2	100

出典：Panabokke et al. (2002)

表 2-3 連珠システム内外のため池分布

県名	単位	連珠システム内	連珠システム外	不明	総数
北中央州	基	880	142	10	1,032
アヌラーダプラ県	%	85%	14%	1%	100%
北西部州	基	349	583	361	1,293
クルネガラ県	%	27%	45%	28%	100%

出典：Water Management Division, Department of Agrarian Services (2000)

集計対象としたため池データの条件は、以下のとおり。

- ため池名称、受益面積、堤頂長、堤高、常時満水位、耕作者数、満水面積、流域面積に欠損やゼロがない
- 運用中
- 受益面積 80ha 未満
- 耕作者数 300 人未満
- 堤高 10m 未満、かつ、常時満水位が堤高より小さい
- 総流域面積 10,000ha 未満、かつ、純流域面積が総流域面積より小さい

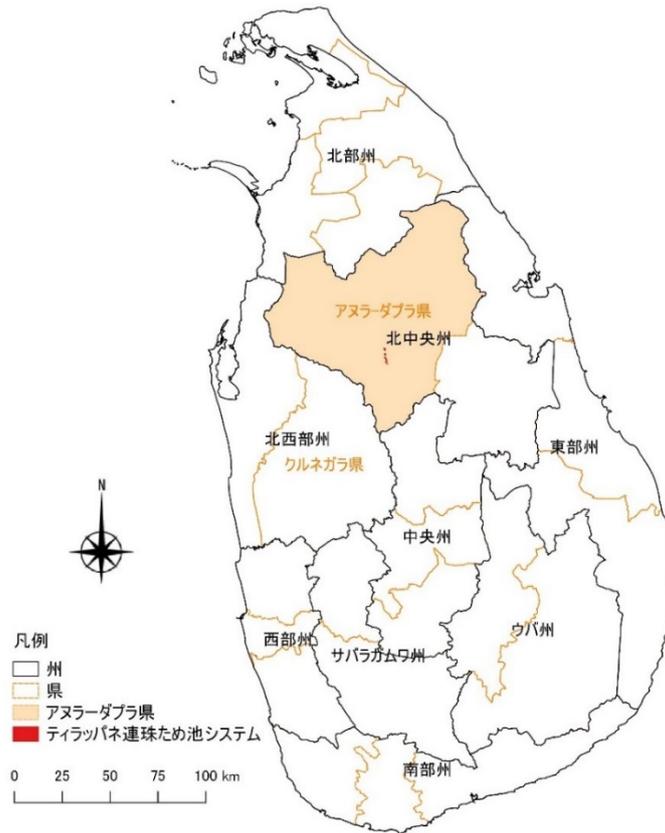


図 2-1 研究対象地

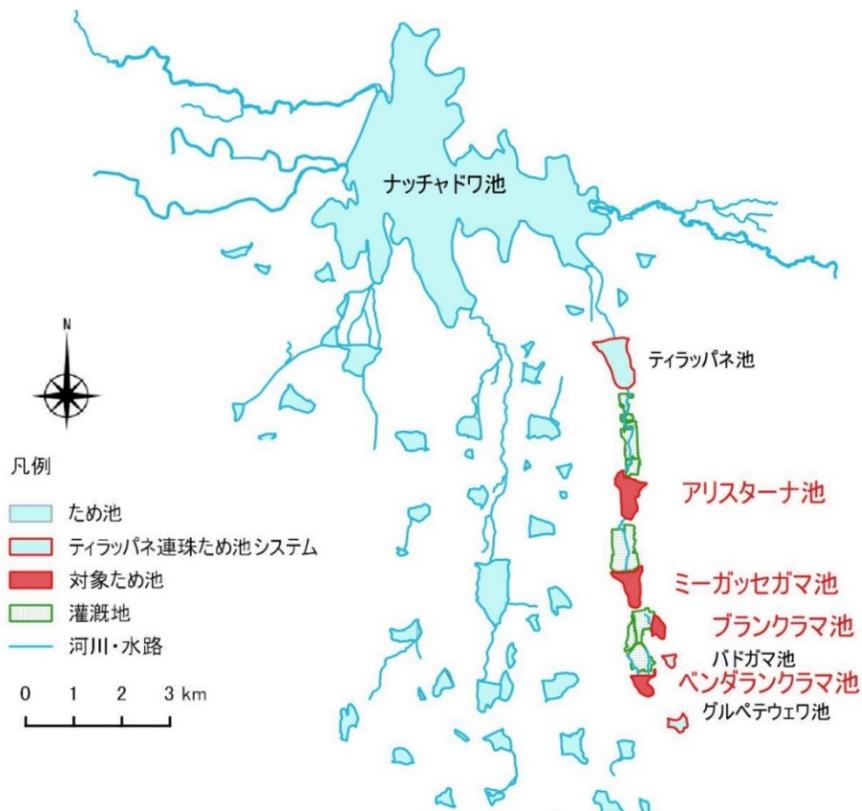


図 2-2 ティラップネ連珠ため池システム

2.2 アヌラーダプラ県の気候と農業

アヌラーダプラ県は、面積7,179km²、人口約86万人（2012年）であり、面積では国内最大、かつ、人口密度では23県中6番目に低い県である。北中央州のもう一つの県はポロンナルワ県であるが、面積は3,293km²であり、アヌラーダプラ県の半分以下である。北中央州の産業別GDP比（年次不明）とスリランカ全国の産業別GDP比（2015年）は表2-4のとおりで、北中央州は農業が盛んな州である。

表 2-4 北中央州産業別GDP比率 (%)

産業	北中央州	全国
農業	30.24	8.81
工業	21.42	29.45
サービス業	48.34	61.74

出典：North Central Provincial Council（2016）、National Accounts Division, Department of Census and Statistics（2017）より作成

アヌラーダプラ県は、乾燥地域に位置している。スリランカの乾燥地域は、年間平均降雨量が1,750mm以下で5月から9月に乾期がある地域と定義されている（Survey Department of Sri Lanka、2007）。その他の気候区分として、年間平均降雨量が2,500mm以上ある湿潤地域、年間平均降雨量が1,750mmから2,500mmの間にあり乾期が短くはっきりしない中間地域がある（Survey Department of Sri Lanka、2007）。

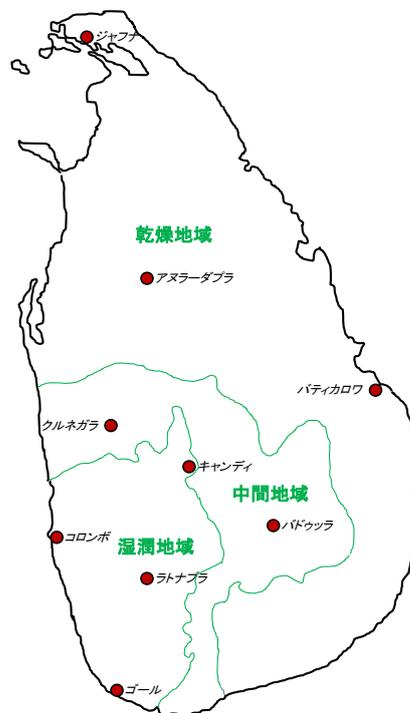


図 2-3 スリランカの気候区分

出典：Survey Department Sri Lanka（2007）より作成

これらの降雨量の違いは、モンスーンと地形条件によりもたらされている。モンスーンに応じた四つの季節と、それぞれの季節の降雨状況は、表 2-5、図 2-4 のとおりである。

乾燥地域に位置するアヌラーダプラ県においては、5月から9月を中心に、降雨量が非常に少ない乾期となる。アヌラーダプラ県における主要作物である米は、モンスーンに合わせて年2回耕作可能である。SIMとNEMによる降雨を利用する雨期作と、FIMの降雨を利用する乾期作である(図2-4)。雨期作は、天水及びため池からの補給水により耕作が行われ、乾期作は、ため池からの補給水の割合が高くなる。本研究では、10月から3月を雨期作期、4月から9月を乾期作期としている。米の他、メイズ、大豆、水田や家屋の周囲での野菜栽培、ヘーナと呼ばれる焼き畑での栽培が行われている。

表 2-5 スリランカ乾燥地域の季節の特徴

季節	月	特徴
FIM 第1インターモンスーン季	3月、4月	国全体が湿った空気に覆われ、上昇気流の動きが活発であることから、朝は晴れているが時間を追うごとに雲が発達し、午後2時過ぎには雷雨となることが多い。
SWM 南西モンスーン季	5月～9月	インド洋を越えてくる南西モンスーンが、南西部に豊富な降雨をもたらす一方で、スリランカ中央部の標高2500m前後の山岳地帯により南西モンスーンが遮られることから、アヌラーダプラ県をはじめとする乾燥地域では、降雨が少なく乾燥した風の吹く乾期となる。
SIM 第2インターモンスーン季	10月、11月	FIMとほぼ同様の気候であるが、ベンガル湾で発達する低気圧の影響があり、全国的に強風と降雨がある。
NEM 北東モンスーン季	12月～2月	太平洋とベンガル湾を通過する北東風が雨雲を発達させ、北部、北中部、東部州に降雨をもたらす。

出典：Survey Department Sri Lanka (2007)

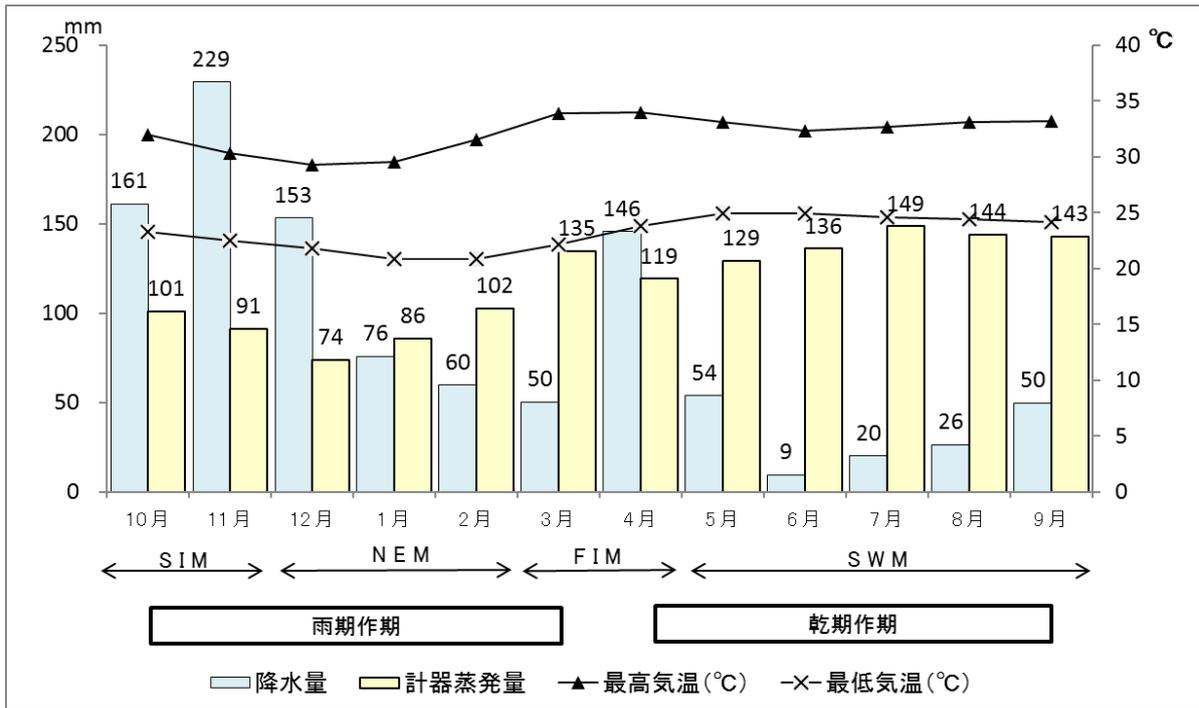


図 2-4 アヌラーダプラ県月別平均降雨量、計器蒸発量、最高気温、最低気温

出典：Department of Meteorology (アヌラーダプラ県ナッチャドゥウ气象観測所 1982 年 10 月-2011 年 9 月日別降水量、1976 年 1 月-2013 年 12 月日別最高・最低気温、マハイラッパパラマ气象観測所 1981 年 10 月-2011 年 9 月日別計器蒸発量)

2.3 連珠ため池システムの特徴

アヌラーダプラ県のため池は、2.1 で述べたようにそれらの多くが連珠ため池システムを形成している。

連珠ため池システムは、水系に沿って連なるため池群で、一つのため池のすぐ下流に水田、その下流には次のため池と水田が位置する形で、複数のため池が連なっている (図 2-5)。下流に位置するため池ほど貯水量が大きく、乾期の遅くまで水を貯水している傾向がある。

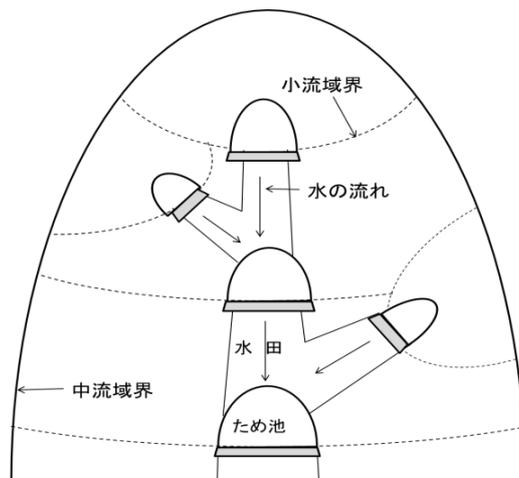


図 2-5 連珠ため池システム模式図

出典：岡ら、(2013)

ため池を含む小規模灌漑施設のデータベース（Water Management Division, Department of Agrarian Services、2000）には、ため池については堤頂長、堤高、堤体の状態、過去 10 年間の補修の有無、流域面積、満水面積等が記載されている。このデータベースには欠損値が多く、また堤高 30m などの外れ値も含まれている。このため、以下の条件を満たすデータのみを抽出し、分析した。

- ため池名称、受益面積、堤頂長、堤高、常時満水位、耕作者数、満水面積、流域面積に欠損やゼロがない
- 運用中
- 受益面積 80ha 未満
- 耕作者数 300 人未満
- 堤高 10m 未満、かつ、常時満水位が堤高より小さい
- 総流域面積 10,000ha 未満、かつ、純流域面積が総流域面積より小さい

アヌラーダプラ県と全国の連珠ため池を形成するため池の諸元平均値は表 2-6、また、アヌラーダプラ県内のため池諸元の分布は、図 2-6 のとおりである。これらによると、アヌラーダプラ県の連珠ため池システムに属するため池の平均値は、全国平均値とほぼ等しい。また、アヌラーダプラ県のため池の受益地分布は小さい方に偏っており、ため池の形状は、浅く、広い。これらのため池諸元のうち、ため池の水利条件を最も直接的に表す受益面積と、その他ため池諸元との相関は、表 2-7 のとおりである。受益面積に応じて決まると考えられる耕作者数との相関は認められるものの、その他の諸元については受益面積との相関は低い。受益面積は、流域の大きさやため池形状に応じて一律に決まるのではなく、流域の流出に係る条件により個別に決まると考えられる。また、連珠の内外を比較すると、常時満水位と受益面積の相関について、連珠内ため池の方が小さいことから、連珠内のため池においては、一時期に大量に流入する流域からの流入よりも、継続的に流入する上流ため池からの還元水により依存している可能性がある。なお、これらの諸元、常時満水位と堤頂長の積、満水時湛水面積と常時満水位の積の対数と、受益面積の対数とを散布図にしたところ（図 2-7）、相関は多少強まったものの、大きな違いはなかった。

表 2-6 連珠ため池システムを形成するため池の諸元平均値

諸元項目	アヌラーダプラ県 N=880	全国 N=1418
受益面積 (ha)	22	20
耕作者世帯数	38	37
常時満水位 (m)	2.3	2.2
堤頂長 (m)	630	545
堤高 (m)	3.3	3.3
満水面積 (ha)	18	15
純流域面積 (km ²)	1.7	1.4

出典：Water Management Division, Department of Agrarian Services（2000）より作成

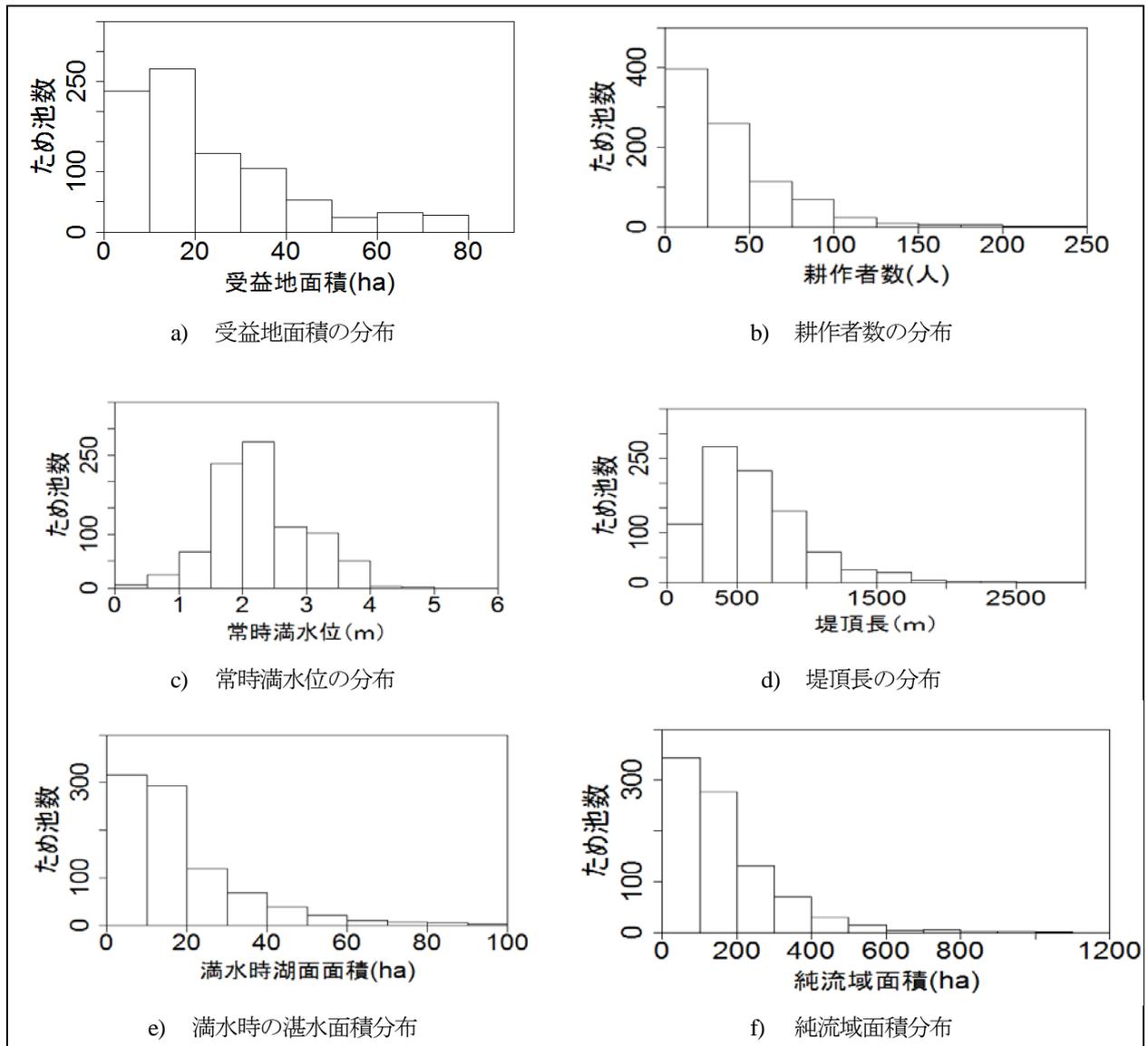


図 2-6 アヌラーダプラ県連珠ため池システムのため池諸元分布

出典：Water Management Division, Department of Agrarian Services (2000) より作成

表 2-7 アヌラーダプラ県のため池諸元と受益面積との相関係数

	全体* (1,032 箇所)	連珠内のため池 (880 箇所)	連珠外のため池 (142 箇所)
耕作者数	0.66	0.66	0.60
常時満水位	0.49	0.48	0.65
堤頂長	0.50	0.49	0.48
満水時湛水面積	0.48	0.47	0.50
純流域面積	0.44	0.44	0.40

*全体のため池数には、連珠の内外が不明なため池が含まれる。

出典：Water Management Division, Department of Agrarian Services (2000) より作成

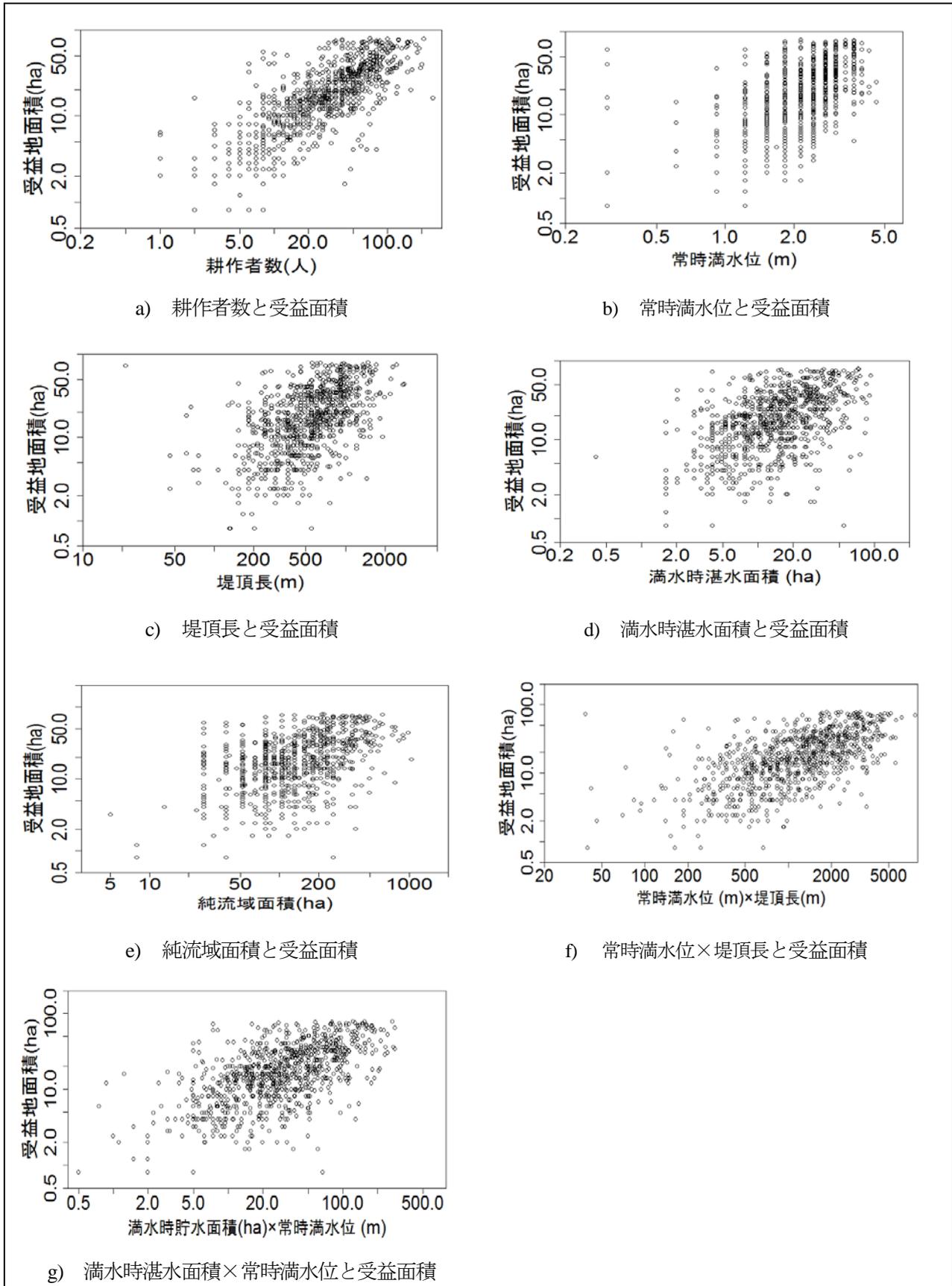


図 2-7 アスマラダブラ県連珠ため池システムのため池の受益面積と諸元の関係

出典：Water Management Division, Department of Agrarian Services (2000) より作成

2.4 ため池の利用と管理

2.4.1 村落におけるため池

村落におけるため池は、農村の重要な生活基盤であり、灌漑のみならず、日常の洗濯、沐浴に利用されている。なおここでの村落は、行政区の単位とは異なっている。

歴史的には、アヌラーダプラ県は貯水池灌漑による農業の発展を基盤とする古代シンハラ王朝の中心地であり、紀元前に建設された大規模なため池や仏教遺跡がある。石碑に歴史が記されているこれらの建造部のほかに、小規模な村落単位の貯水池や水路が、在地の農民の共同労働により建設されたとされている。しかし、アヌラーダプラ王朝が衰退する十三世紀を画期として放棄され、灌漑農業は崩壊し人口は南西部へ移住していった。(中村、1988)。しかし小規模なため池では、村民による伝統的な維持管理がつづけられ、ため池ごとに集落が存続してきた(中村、1988 ; Shah et al., 2013) とされる。

2.4.2 ため池の受益地

ため池の受益地である水田には、いくつかの分類がある。中村(1988)によれば、ため池の水を利用する水田は、1840年の公有地侵害条令(Crown Lands Encroachment Ordinance)にもとづいて私有地と認定されたプラナウエラ(Puranawela : PW : 古い水田の意)、PWの両側や下流部に新たに開発され植民地政府から公有地の売却をうけたアッカラウエラ(Accarawela : AW : 1acの水田の意)、1935年の土地開発条例(Land Development Ordinance)以降にAWの外延部に開田され継続的な公有地の利用が許可されるバドゥ・イダマ(Badu idama : BI)の三種類に分類される。この分類と慣行水利権の関係は、表2-8のとおりである。ただし聞き取りによると、最近開田された水田でもアッカラウエラと呼んでおり、AWとBIは必ずしも区別されていないようである。また、これらの呼称は南部湿潤地域では使用されておらず、乾燥地域のため池独特のものである¹。

表 2-8 水田分類と慣行水利権の関係

水田分類	慣行水利権の有無	配水優先順序
プラナウエラ : PW	有	1
アッカラウエラ : AW	無	2
バドゥ・イダマ : BI	無	3

出典 : 中村 (1988)

私有地とされる水田であっても、数年に一度の割合で耕作権が回って来るタットゥマールとよばれる制度も多く適用されており、所有権より持ち分権に近い内容である(中村、1988)。また、農業用水の具体的な配水順序は、全耕作者が参加するカンナ会議において決定されるが、配水順序が経済力に基づく発言力により変化している例、つまりPWよりAWへの優先配水の事例が報告されており(中村、1988 ; Panabokke et al.,

¹ 農村開発局 (Department of Agrarian Development) 聞き取りによる。スリランカでは、省庁が頻繁に組織改変される一方で、局の独立性・継続性が高い。このため、局がどこの省庁に所属しているかは実務的に問題にならず、局職員が省名を名乗ることもほとんどない。このため、本論文では局の名称のみを記述する。

2002)、水利権の慣行は変わりつつある。

2.4.3 農業者組織

農業者組織 (Farmers Organization : FO) は、農村開発法 (Parliament of the democratic socialist republic of Sri Lanka, 2000) に規定される法人格を持つ団体であり、ため池の水管理、維持管理、灌漑施設の管理等を行うとされている。FO の認可、登録は、農村開発局 (Department of Agrarian Development) が行っている。農村開発局は、アヌラーダプラ県内の各郡 1 カ所程度に設立された農業支援センター (Agrarian Service Center : ASC) を設け、地元採用の国家公務員である農業調査生産補助員 (Agriculture Research and Production Assistant : ARPA) を FO との窓口とし、FO を指導、監督している。アヌラーダプラ県ティラップネ郡を例にとると、20 人の ARPA が、87 カ所のため池・40 の FO を担当している (2011 年現在)。法律上、17 歳以上のスリランカ国民で、FO の管轄地域内に居住、又は、管轄地内で 2 年以上の農業活動をしている者が加入適格者である。

FO は、日常の灌漑施設の維持管理、会費の徴収、行政への各種事業の申請などを行っている。FO はため池の農業用水利用のみならず、漁業、ハスの販売、ため池底土の販売等、ため池全体の権利・管理主体となっている。FO によっては、貯めた資金を会員に融資しているなど、経済的自立の度合いが高いと考えられる。ため池の更新事業の実施にあたっては、FO からの申請に基づき、行政が事業費支出と技術指導を行い、FO が直接施工を担うことがある。

2.4.4 ため池の水管理と維持管理

ため池の農業用水の利用方針は、各耕作期の始まる前に FO が開催するカンナ (耕作期) 会議で決定される。カンナ会議には農地の耕作者が参加するものとされ、灌漑する水田の範囲、耕作期の開始日、配水開始日・終了日等が決定される。(付属資料 1、Panabokke et al. (2002))。灌漑範囲はため池の貯水量に応じて決定され、この決定された灌漑範囲に従い、農業者の中から選ばれる水管理人が配水を行う。カンナ会議で水利用について合意されなかった場合は、灌漑は行われない。ため池の堤体の草刈り、水路の清掃計画も、カンナ会議での決定事項となっており、日程、方法、参加しなかった場合の罰金等が、議事として記載されるようになっている (付属資料 1)。しかし、草刈りの実施状況もため池により異なり、FO の運営力が様々であることが推察される。

多くのため池は、乾湿の繰り返しや野生の象による踏みつけなどにより堤体の沈下、変形が生じており、漏水も多く観察される。洪水吐水路については、樹木に覆われている事例や、平地を流下するためはっきりした水路になっていない事例がある (岡ら、2000)。堤体の補修や取水施設周辺からの漏水防止など、FO 単独では財政的または技術的に実施困難な整備が必要になると、FO から政府機関に整備の申請を行い、財源が手当てされれば補修が行われる。ため池補修にあたっては、農業者組織に整備事業が委託される直接施工という仕組みがあり、直接施工の場合は一般管理費分が農業者組織の収入となる。

2.5 ため池に関する行政と政策

スリランカでは地方分権が進められており、中央政府に所属する省・局と、州に所属する省・局が並存している。ため池と農業に関する組織としては、中央及び州政府の農業局、灌漑局、中央政府の農村開発局とその出先機関がある。受益面積が 80 ヘクタール以下のため池は「小規模灌漑 (minor irrigation)」に分類されてお

り、農業者と農村開発局が管理することとなっている¹。より大規模なため池は、中央政府や州の灌漑局の管轄となっている。

農村開発局の出先機関として、アヌラーダプラ県には県事務所と、さらにおおむね各郡に一つの割合で農業支援センター（Agrarian Service Center：ASC）がある。ASCは農業・農村に関するワンストップ行政が期待できる機能を持ったセンターであり（独立行政法人国際農林水産業研究センター、2011）、農村開発局所属の開発官（Development Officer：DO）のもと、その他中央政府の農業関係普及員、州政府の農業関係普及員、地元採用の国家公務員である ARPA が勤務している。カンナ会議には ARPA がオブザーバーとして出席し、灌漑面積の確認、それらに基づく肥料補助等の業務を行っている。

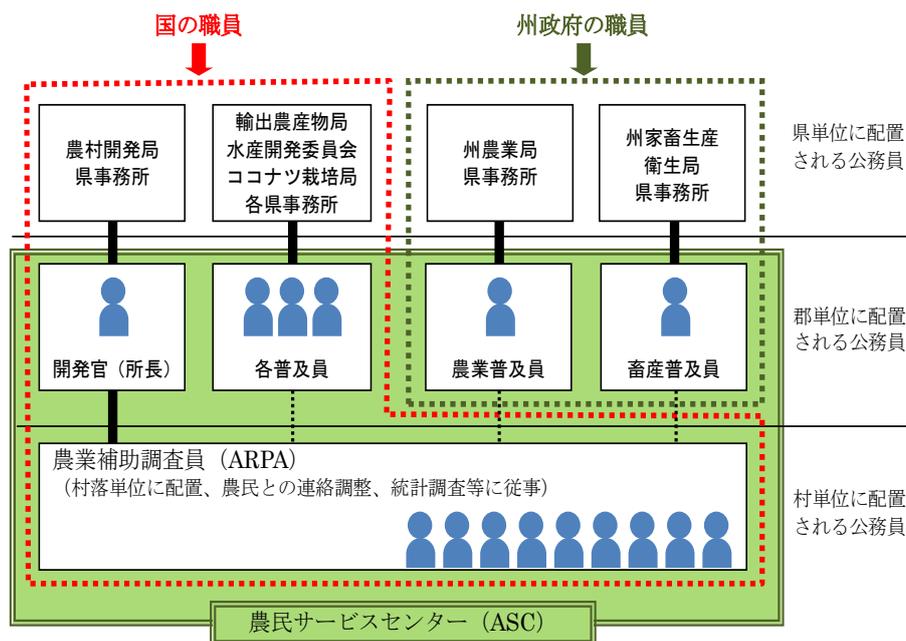


図 2-8 農業支援センター（ASC）構成図

出典：独立行政法人国際農林水産業研究センター（2011）

スリランカでは米の自給率が100%を超えていることから、政府は作物の多様化を進めている。ため池の受益地における作物多様化方策は、従来米の二期作であったものを、乾期には畑作物を栽培する二毛作に変更することである（Jayawardane and Weerasena, 2001）。農業省の“Accelerated other Field Crop Production Programme”（Ministry of Agriculture, 2014）に見られるように、年三回の作付けを推進している例もある。作物多様化により、現在輸入に頼っている作物を国内産に転換するとともに、ため池の節水を図ろうとしている。稲作に対する補助金削減の動きもある。畑作物生産量は増えているが、政府目標には達していない（Asian Development Bank Technical Assistance Consultant, 2014）。

乾燥地の農業に大きな影響を及ぼすと考えられる事業として、スリランカ政府がアジア開発銀行の融資を受けて実施中の、「北中央州水路事業（North Central Province Canal Project：NCPCP）」がある。この事業では、

¹ 農村開発局総局長より聞き取り。

2018年1月に完成したモラガハカンダダムの水を、北中部州及び北部州へ導水するための幹線水路を建設する計画となっており、これにより、135の連珠ため池システム、50の中規模灌漑地区の合計33,000haが灌漑される（Asian Development Bank Technical Assistance Consultant、2014）。NCPCPにより導水される水は連珠ため池システムごとに配水され、システム内の水配分作業は農業者により行われる計画である¹。計画されている導水量では、対象地域全てで乾期作を実施することが困難であることから、効率的かつ公平な水配分が不可欠となっている（独立行政法人国際協力機構、2015）。

2.6 まとめ

研究対象地であるアヌラーダプラ県は一年のうち数ヶ月が乾期となる気候条件下にあり、主食である米を生産するためにため池が利用されている。ため池の多くが、水系に沿って連なる連珠ため池システムを形成している。ため池の水管理や、堤体や水路の清掃等は、農業者組織（FO）が開催するカンナ会議における話し合いにより決定、実施される。農業者では実施困難なため池整備は政府が実施する。スリランカでは米の自給が達成されたことから、政府は作物多様化を進めており、ため池受益地においては、乾期に米以外の畑作物栽培が推奨されている。しかし、現在実施中のNCPCPの導水をみこんでも、すべての受益地で乾期作に必要な水が得られる見込みではないことから、効率的かつ公平な水配分が求められている。

¹ 独立行政法人国際協力機構 「スリランカ国北中部乾燥地域における連珠ため池灌漑開発計画プロジェクト」より聞き取り。

第3章 ため池の水利用上の課題

3.1 不安定な降雨と灌漑面積

3.1.1 不安定な降雨

アヌラーダプラ県における降雨の特徴の一つは、変動が大きいことである。年間降雨量の分布は図 3-1 のとおり、平均値は 1,270 mm、変動係数は 0.28 である。日本で数多くのため池が分布する香川県高松市の 1942 年から 2016 における年間降雨量（気象庁）の平均値が 1,153 mm、変動係数が 0.20 であることから、アヌラーダプラ県の年間降雨量は高松市と大きく変わらないが、変動係数は高松市の 1.4 倍である。

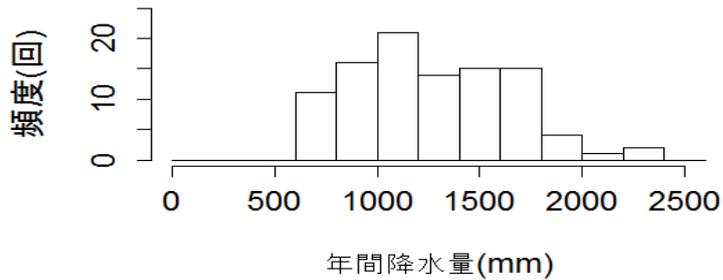


図 3-1 アヌラーダプラ県における年間降雨量の分布

出典：Department of Meteorology（ナッチャドゥワ気象観測所 1982 年 10 月-2010 年 9 月日別降水量）

同じくナッチャドゥワ観測所における 1905 年 10 月から 2011 年 9 月までの雨期作期及び乾期作期の降雨量の分布は、図 3-2、図 3-3 のとおりである。両作期とも降雨量の分布幅が広く、主要な耕作期である雨期作期であっても非常に降雨量の少ない年もあり、降雨量は不安定である。

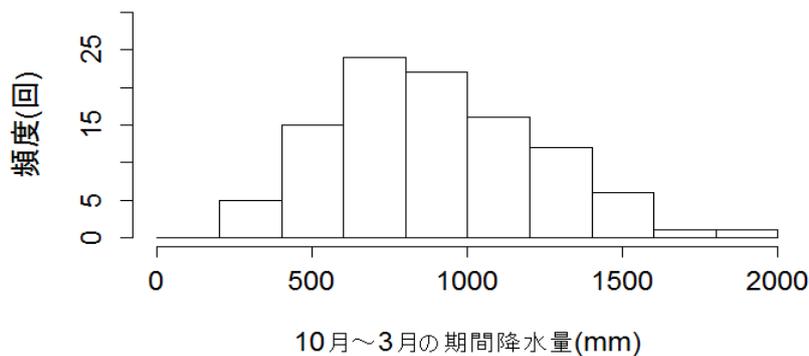


図 3-2 アヌラーダプラ県における雨期作期降雨量の分布

出典：Department of Meteorology（ナッチャドゥワ気象観測所 1982 年 10 月-2010 年 9 月日別降水量）

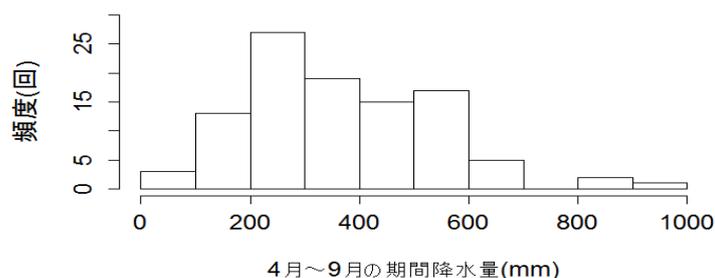


図 3-3 アヌラーダプラ県における乾期作期降雨量の分布

出典：Department of Meteorology、アヌラーダプラ県ナッチャドゥワ気象観測所 1982年10月-2010年9月日別降水量

稲作においては、播種前の耕起、均平等の準備作業に一定の降雨もしくは灌漑水が必要である。この水量は面積あたり 125mm とされている（北村、1984）。雨期作の準備作業は通常、降雨に依存していることから、50日以上の無降雨期間の後に積算降雨量が 125mm を越えた日付を想定播種日、想定播種日から稲の生育期間とされる 90 日間の降雨量を想定生育期間降雨量として整理すると、表 3-1 のようになる。播種に適した降雨条件が満たされる日付が年によって大きく異なることがわかる。また、水稻の生育期間中の必要用水量は 948mm から 1232mm とされている（Department of Agriculture）が、想定生育期間内に降雨量はその値に達したのは一度のみで、ため池への依存度が高いことが、ここからもわかる。

表 3-1 想定播種日と想定生育期間降雨量

50 日以上連続無降雨期間 (日数)	連続無降雨の後の降雨開始日	想定播種日 (積算降水量 125mm 到達日)	想定生育期間降雨量 (mm)
2001 年 6 月 4 日～7 月 25 日 (52 日)	7 月 26 日	10 月 24 日	236mm
2002 年 4 月 28 日～8 月 25 日 (120 日)	8 月 26 日	10 月 2 日	572mm
2003 年 5 月 15 日～7 月 10 日 (57 日)	7 月 11 日	10 月 1 日	259mm
2004 年 5 月 27 日～9 月 22 日 (119 日)	9 月 23 日	10 月 1 日	729mm
2005 年 5 月 6 日～7 月 15 日 (71 日)	7 月 16 日	11 月 10 日	223mm
2006 年 5 月 10 日～9 月 5 日 (119 日)	9 月 6 日	10 月 24 日	390mm
2007 年 4 月 30 日～6 月 22 日 (54 日)	6 月 23 日	8 月 25 日	726mm
2008 年 4 月 26 日～8 月 23 日 (120 日)	8 月 24 日	10 月 18 日	602mm
2009 年 8 月 23 日～10 月 11 日 (50 日)	10 月 12 日	11 月 8 日	1,146mm
2010 年 5 月 19 日～9 月 10 日 (115 日)	9 月 11 日	9 月 29 日	590mm
2011 年 5 月 17 日～10 月 14 日 (151 日)	10 月 15 日	10 月 22 日	448mm

出典：Department of Meteorology、アヌラーダプラ県ナッチャドゥワ気象観測所データより作成

3.1.2 不安定な灌漑面積

ため池を利用して、灌漑面積は不安定である。既存研究で示された、ティラッパネ連珠ため池システムに属する4つのため池における1988年乾期作期から1997年乾期作期までの灌漑面積の推移（Jayatilaka et al., 2001 ; Shinogi, 2004）によると、灌漑面積は年によって大きく変動し、全く作付けされない年も頻繁に見られる（表 3-2）。この灌漑面積の変動と期間降雨量の変動は、必ずしも一致しない。期間内での降雨時期が不安定であることが影響していると考えられる。

表 3-2 ティラッパネ連珠ため池システムにおけるイネの灌漑面積 (ha)

耕作期		ベンダラン クラマ池	ブランクラ マ池	ミーガッセ ガマ池	アリスト ナ池	合計	期間降雨量 (mm)
受益面積		18.2	17.1	32.5	32.4	100.2	
1988	乾期作期	0.0	0.0	6.1	0.0	6.1	440.5
1988-1989	雨期作期	10.1	8.1	28.3	18.2	64.7	212.8
1989	乾期作期	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	223.2
1989-1990	雨期作期	8.1	6.1	28.3	16.2	58.7	481.8
1990	乾期作期	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	286.1
1990-1991	雨期作期	6.1	6.1	28.3	14.2	54.7	768.8
1991	乾期作期	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	365.0
1991-1992	雨期作期	12.1	8.1	28.3	16.2	64.7	614.1
1992	乾期作期	0.0	0.0	2.6	2.0	4.6	361.0
1992-1993	雨期作期	19.0	10.1	28.3	24.3	81.7	709.8
1993	乾期作期	0.0	0.0	0.0	6.1	6.1	144.3
1993-1994	雨期作期	19.0	14.6	28.3	20.2	82.1	1479.2
1994	乾期作期	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	306.5
1994-1995	雨期作期	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	700.1
1995	乾期作期	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	280.9
1995-1996	雨期作期	0.8	0.0	0.0	0.0	0.8	364.2
1996	乾期作期	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	370.4
1996-1997	雨期作期	10.0	3.2	6.1	0.0	19.3	537.0
平均	乾期作期	0.0	0.0	1.0	0.9	1.9	308.7
	雨期作期	9.5	6.3	19.5	12.1	47.4	652.0

出典：Jayatilaka et al. (2001)、Department of Meteorology (ナッチャドワ気象観測所データ) より作成

3.1.3 気候変動の影響

IPCC 第4次報告書に対する第二作業部会の報告（白井、長谷川訳、2007）によると、南アジアにおける将来トレンドは、夏季の降雨量増加、冬季の降雨量減少、極端な気候現象の頻度と強度の変化、降雨量変動性の増加と熱帯性低気圧強度の10-20%増加と想定されており、将来的に、穀物収量の4-10-30%減少の可能性

が指摘されている。スリランカにおける影響としては、気温が高くなることが概ねの共通認識となっているが、年間降雨量の変化については量・地域とも予測はばらついている (Eriyagama et al., 2010)。De Silva (2007) は、2050年に予測される耕作期別の降雨量予測、蒸発散量予測から、雨期作期の水田灌漑必要量が13~23%増加すると予測している。

3.2 システム内で偏る水利条件

連珠ため池システムを対象にした研究で、ため池からの漏水・降下浸透量が多いこと、また、上流ため池からの還元水が多いことが指摘されている (Matsuno et al., 2003)。Itakura (1995) による、1991年11月16日から1992年3月31日までの雨期作期における水収支計算の結果による、ティラッパネ連珠ため池システムの一連のため池の流入量及び流出要素ごとの比率は、図3-2、図3-3のとおり。上流ため池からの還元水が流入に占める割合が高く、また、下流に位置するため池ほどその割合が高くなる。

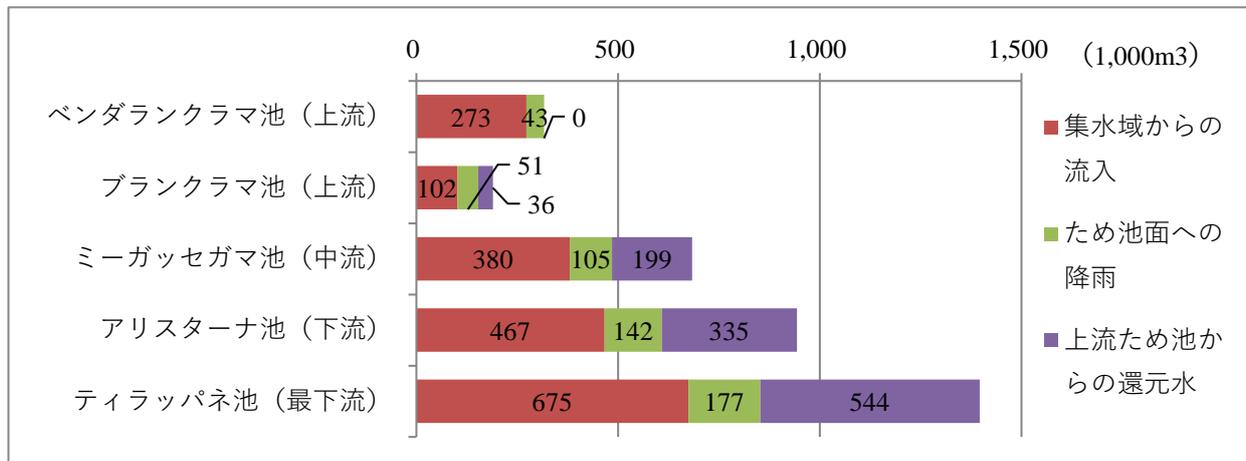


図 3-4 ため池への要素別流入量 (1991年11月16日~1992年3月31日)

出典：Itakura (1995) より作図

これらの流入量の水田面積当たりの量を表3-3に示す。下流に行くほど水田面積当たりの流入量が増えていることから、下流ほど水利条件がよいといえる。

表 3-3 水田面積当たり流入量 (1991年11月16日~1992年3月31日)

ため池	流入量/受益面積 (mm)
ベンダランクラマ池 (上流)	1,738
ブランクラマ池 (上流)	1,115
ミーガッセガマ池 (中流)	2,103
アリストーナ池 (下流)	2,413
ティラッパネ池 (最下流)	4,047

出典：Itakura (1995) より作成

これらの特徴から、連珠ため池システムの水資源の利用について分析する際は、一つのため池を対象とするのではなく、連珠を対象とする必要がある。また、現状では連珠ため池システム内の水配分は平準ではなく、水利用の効率化の余地があると考えられる。

3.3 不十分なため池の維持管理¹

3.3.1 ため池の堤頂と洪水位の標高差

農村開発局の技術指針では、洪水流量はディケンズの公式²、完全越流型の洪水吐の越流幅はフランスの公式³で求めるとされている (Department of Agrarian Services, 1987)。また、堤頂と洪水位との標高差である余裕高は、標準で2フィートとされている。

既存文献に流域面積、洪水吐越流幅の記載があるティラッパネ郡ティラッパネ連珠ため池システムの4つのため池について、これらの公式を用いて越流水深を求め、洪水位＝常時満水位＋越流水深としたうえで、堤頂と洪水位との標高差を求めた (表 3-4)。

表 3-4 ティラッパネ連珠ため池システムの堤頂と洪水位との標高差

ため池	流域面積 (mi ²)	洪水流量 (ft ³ /sec)	洪水吐越流幅 (ft)	越流水深 (ft)	堤頂－洪水位 (ft)
ベンダランクラマ池	0.93	609	98	1.5	0.5
ブランクラマ池	0.44	346	98	1.0	3.0
ミーガッセガマ池	2.65	1,270	180	1 f 7	1.3
アリストーナ池	3.90	2,730	98	4.1	-2.1

出典：岡ら (2013)、Jayatilaka et al. (2001)、Water Management Division, Department of Agrarian Services (2000)

計測時期が異なると考えられるデータにより計算しているため、結果は誤差を含んでいる可能性があり、かつ、少数のため池に対する試算であるが、標準余裕高が確保されていないため池が存在することが推測される。また、上記の技術指針の他に、実際の補修工事では「堤頂高と常時満水位の標高差を4フィート以上にする」ことが目安として適用されているが、越流水深が異なることから、必要以上の補修や不足した補修がおこなわれている可能性がある。なお、アリストーナ池の計算結果は、堤頂高より洪水位が高くなっているが、アリストーナ池は、2010-2011年の洪水において洪水吐水路と取水施設付近が崩壊しており、他の池と比べて危険性の高い状況であったと考えられる。

¹ 本節は、岡ら (2013) に加筆したものである。

² ディケンズの公式：洪水流量 (ft³/sec) = 645 × 流域面積 (mi²) 0.75

³ フランスの公式：流量 (ft³/sec) = 3.33 × 洪水吐延長 (ft) × 越流水深 1.5 (ft)

3.3.2 洪水によるため池被災状況と被災要因

2010年11月から2011年2月にかけて、スリランカの北部、東部を中心に大規模な洪水が発生し、全国で120万人以上が影響を受けた（Somarathna and Kurugala, 2011）。この期間のナッチャドゥワ気象観測所における月別降水量と、平均月別降水量を、図3-5に示す。雨期の耕作のために、ため池に水を貯めていたところ、2011年1月からの例年にならぬ降雨があり、ため池の貯水容量を越え洪水の発生につながったと考えられる。農村開発局によると、この洪水によりアヌラーダプラ県内では80カ所のため池が全損、300カ所以上が一部損壊となった。

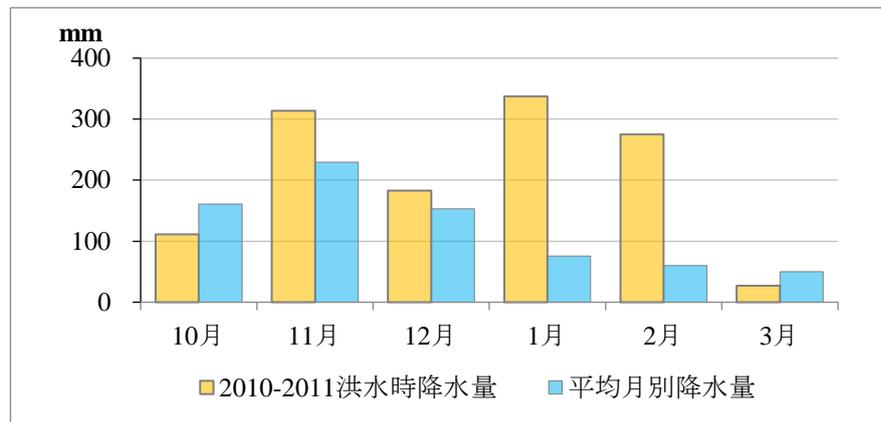


図 3-5 洪水時降水量及び平均月別降水量

出典：Department of Meteorology（アヌラーダプラ県ナッチャドゥワ気象観測所 1982年10月－2011年9月日別降水量）

2011年10月にアヌラーダプラ県内の被災ため池5カ所（プドゥクラマ池、クダプリヤンクラマ池、ウラッチクラマ池、ナワッククラマ池、クムブクゴレイワ池）において、農業調査生産補助員（ARPA）、FOの役員から聞き取った洪水の被害状況と被災要因は、表3-5のとおりである。被災要因は、1) 洪水吐の排水能力不足、2) 堤体高の不足、3) 堤体からの漏水、4) 堤体の維持管理不足と整理することができる。なお、「上流ため池の洪水吐改修により、流入が激しくなった」ことは、下流ため池関係者の意見であり、実態については把握していないため、ここでは整理の対象外とした。

表 3-5 洪水被害状況と被災要因

	洪水被害状況と被災要因	該当するため池				
		A	B	C	D	E
被害状況	堤体の一部を掘削し、追加の洪水吐とした。	○	○			○
	堤体が越流により破壊された。		○	○	○	
	洪水吐直下の水路堤体が破壊された。					○
被災要因	洪水吐水路が埋まっていた。		○			○
	堤体上で越流していた。		○			○
	上流ため池の洪水吐改修により、流入が激しくなった。	○				
	堤体からの漏水があった。		○			
	堤体に樹木が侵入していた。				○	

A:プドゥクラマ池、B:クダプリヤンクラマ池、C:ウラッチクラマ池、D:ナワックラマ池、E:クムブクゴレイワ池
 出典：岡ら（2013）

3.3.3 ため池整備上の課題と対策

ため池の洪水被害の軽減を図るため、1) 洪水吐の排水能力不足、2) 堤高の不足の被災要因に対応した対策として、表 3-6 の内容が考えられる。対策 I は、洪水吐流路の維持管理を行うことにより洪水の排水能力を高めるものであるが、平地に築かれた連珠ため池の洪水吐流路について、維持管理によりどの程度機能向上が図れるか、また、洪水の排水機能向上は下流ため池への流入増になることから、下流ため池への影響がどの程度であるか、検討が必要である。さらに、小規模の連珠ため池の下流に位置する大規模貯水池についても、洪水調整機能があるものは少ないとされ、上流の連珠ため池地帯に洪水が滞留しているために危険水位に至っていない可能性がある。このため、大規模貯水池への影響も検討が必要である。

対策 II は、補修時の適切な堤高確保である。加えて、補修対象でないため池も含めて洪水吐の形式、越流幅等のデータを収集することにより、危険性の高いため池を選択し、補修の優先順位をつけることも、対策として提案する。現在、洪水吐のデータは収集されていないが、ASC に所属する ARPA が、頻繁に農業者と会って耕作面積等のデータを収集していることから、そのネットワークにより洪水吐のデータを収集し、既存のデータベースを更新、充実できる体制であると考えられる。

表 3-6 被災要因と対策

被災要因	対策
1) 洪水吐の排水能力不足	I 下流への影響の検討とその結果を踏まえた洪水吐水路の維持管理向上
2) 堤高の不足	II 補修時の適切な堤高確保と、洪水吐データの収集による補修の優先順位づけ

出典：岡ら（2013）



図 3-6 クダプリアンクラマ池の越流箇所

3.4 システム全体の管理体制の欠如

連珠ため池システム内のため池を対象とした整備事業により、上流・下流に隣接するため池に不利益が生じる場合があることから、事業実施にあたってシステム全体の農業者を代表する組織により、事業の是非について検討する体制が望ましいが、現状ではそのような組織・体制はない。このため、整備事業の実施にあたり、他のため池利用者の疑心暗鬼を引き起こす例がある。また、3.2 で述べたシステム内の水利条件の偏りを緩和するには、連珠ため池システムの水利用が一体的に管理されている必要があるが、そのような組織・体制はない。むしろ、洪水防止のため通水断面を確保する必要がある洪水吐放水路の維持管理責任があいまいであるなど、システム内全体で安全確保に取り組む意識も希薄であるといえる。

なおNCPC事業の受益地においては、将来的にはNCPC幹線水路の水が連珠ため池システムごとに配水され、農業者がシステム内の配水作業を行うことから、システム全体の管理体制構築が計画されており¹。そのような場合には、行政主導で連珠ため池システム全体の管理体制が構築される可能性がある。

3.5 まとめ

対象地域のため池では、利用者の話し合いに基づく水管理が実現している。しかし、不安定な降雨が今後さらに不安定化すること、主要作期である雨期作期の降雨が減少する予測があること、連珠ため池システム内で水利条件が偏っていること、維持管理が不十分であること、システム内の水利条件の偏りを是正し水資源利用の効率化を図る手段の一つと考えられる連珠全体の水管理がなされていないこと、などの課題がある。

¹ 独立行政法人国際協力機構 「スリランカ国北中部乾燥地域における連珠ため池灌漑開発計画プロジェクト」より聞き取り。

第4章 水収支モデルによるため池貯水量の推計¹

4.1 推計の対象とする連珠ため池システムの概要

水収支モデル構築の対象は、既存の水収支モデルが構築されているアヌラーダプラ県ティラッパネ郡に位置する、ティラッパネ連珠ため池システム内の4つのため池とする。ティラッパネ連珠ため池システムは、アヌラーダプラから約20km南に位置するティラッパネ郡内の、アヌラーダプラからキャンディ方面に向かう国道9号沿いに位置している。既存研究では、このティラッパネ連珠ため池システムは6つのため池を含むとされており、6つのうち4つのため池を対象に水収支モデル CASCADE が構築されている (Jayatilaka et al., 2003; Jayatilaka et al., 2001)。なお、スリランカでは、「連珠ため池システム」の範囲、属するため池がどれかについての決まりはないが、通例として、連なるため池群の最下流に位置するため池の名前を、連珠ため池システムの名称としている。

ティラッパネ連珠ため池システムは、ため池群のうち最下流のため池がティラッパネ (Thirappane) 池であり、ティラッパネ池の下流には、大規模ため池に分類されるナッチャドワ (Nachchaduwa) 池が位置している。ティラッパネ池の上流には、アリストーナ (Alistana) 池、ミーガッセガマ (Meegassegama) 池、ブランクラマ (Bulankulama) 池、バドガマ (Badugama) 池、ベンダランクラマ (Vendarankulama) 池、グルペテウエワ (Gulpethewewa) 池が位置している (図 4-1)。

水収支計算に必要となるため池諸元は、2014年乾期に農村開発局県事務所に委託したため池測量、測量局より購入した地図情報、村落灌漑データブック、既存文献等から、表 4-1 のとおりである。また、流域面積と、ため池利用者とともに Google Earth 画像を判読することで算定したため池受益面積は、表 4-2 のとおりである。

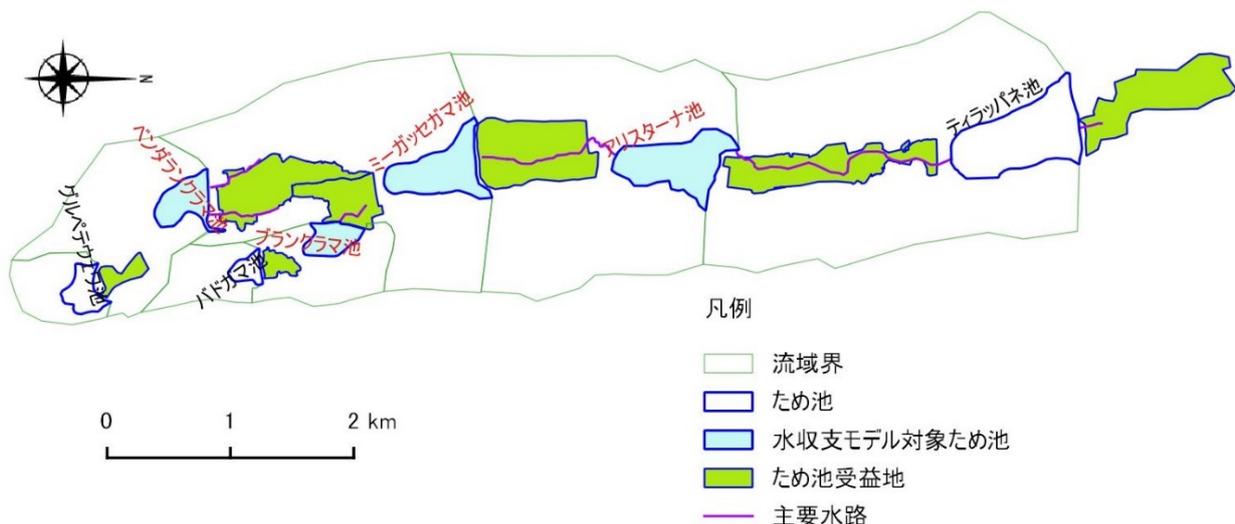


図 4-1 ティラッパネ連珠ため池システム位置図

出典：Survey Department of Sri Lanka (2004)、Jarvis et al. (2008) より作成

¹ 本章は、岡ら (農業農村工学会論文集に投稿中) に加筆・修正したものである。

表 4-1 ティラップネ連珠ため池システムのため池諸元

	流域面積* (ha)	有効貯水容量 (m ³)	満水時湛水面積 (m ²)	満水位 (m)	洪水吐越流幅 (m)
グルペテウエワ池	36 (a)	不明	94,000(a)	21(d)	不明
ベンダランクラマ池	126 (a)	214,216(b)	164,109(b)	3.42(b)	右岸 20(e)
					左岸 15(e)
バドガマ池	32 (a)	18,669(b)	19,762(b)	2.17(b)	18(e)
ブランクラマ池	63 (a)	106,447(b)	98,549(b)	2.29(b)	19(e)
ミーガッセガマ池	317 (a)	371,174(b)	303,228(b)	3.07(b)	22(e)
アリストーナ池	368 (a)	796,292(b)	526,129(b)	3.55(b)	30(e)
ティラップネ池	459 (a)	790,000(c)	600,000(c)	3.0(d)	右岸 54(e)
					左岸 17(e)

*流域面積には、流域内にある別のため池の流域面積を含まない。

出典：(a) Survey Department of Sri Lanka (2004)、Jarvis et al. (2008) より算出、(b) 農村開発局による測量結果 (2014) より算出 (付属資料 2) (c) Itakura (1995)、(d) Water Management Division, Department of Agrarian Development (2000)、(e) 著者による測量 (2012)

表 4-2 ため池流域面積と受益面積

	ベンダランクラマ池	バドガマ池	ブランクラマ池	ミーガッセガマ池	アリストーナ池
流域面積 (m ²)	1,260,000	320,000	630,000	3,170,000	3,680,000
受益面積 (m ²)	255,806	66,054	235,986	407,471	373,901

*バドガマ池の値は 2012 年の改修工事以降の面積

4.2 連珠ため池システム水収支モデルの構築

4.2.1 CASCADE モデル

ティラップネ連珠ため池システムを対象とした一連の研究 (Jayatilaka et al., 2001 ; Jayatilaka et al., 2003 ; Shinogi, 2004) で、ティラップネ連珠ため池システム内の 4 ため池を対象とした CASCADE モデルが構築されている。連珠ため池システムの水収支は、図 4-2 に示すように、流域、ため池、受益地のそれぞれに流入と流出があり、その差が貯留量となることで水収支が成立する。CASCADE モデルは、そのうちため池の水収支に着目しており、図 4-3 に示すように、流域と受益地の水収支は直接的には扱われていない。また、ティラップネ連珠ため池システムに属するバドガマ池、グルペテウエワの両池は、規模が小さいことからないものとして扱われている。CASCADE モデルの水収支式は、表 4-3 に示す記号を用いて、(1) 式で表されている。また、(1) 式のうち ΔQ は貯水量の増加であり、「灌漑用水の取水」以外の要素の算出式は、式 (2) ~ (8) で示されている。

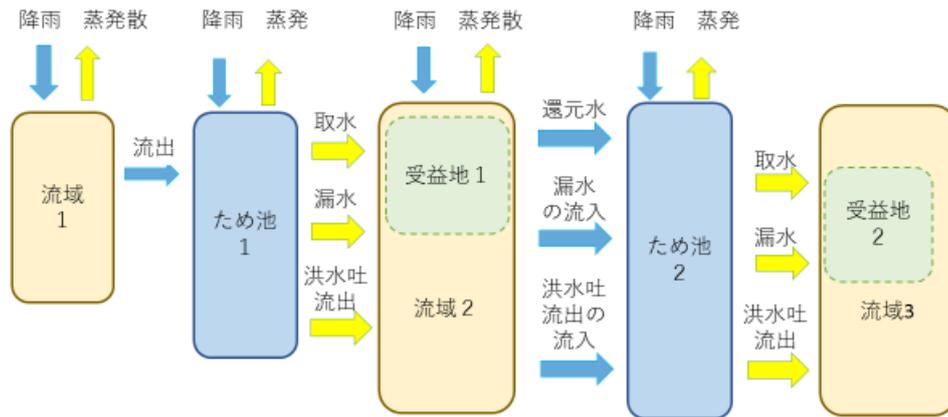


図 4-2 連珠ため池システムの水収支

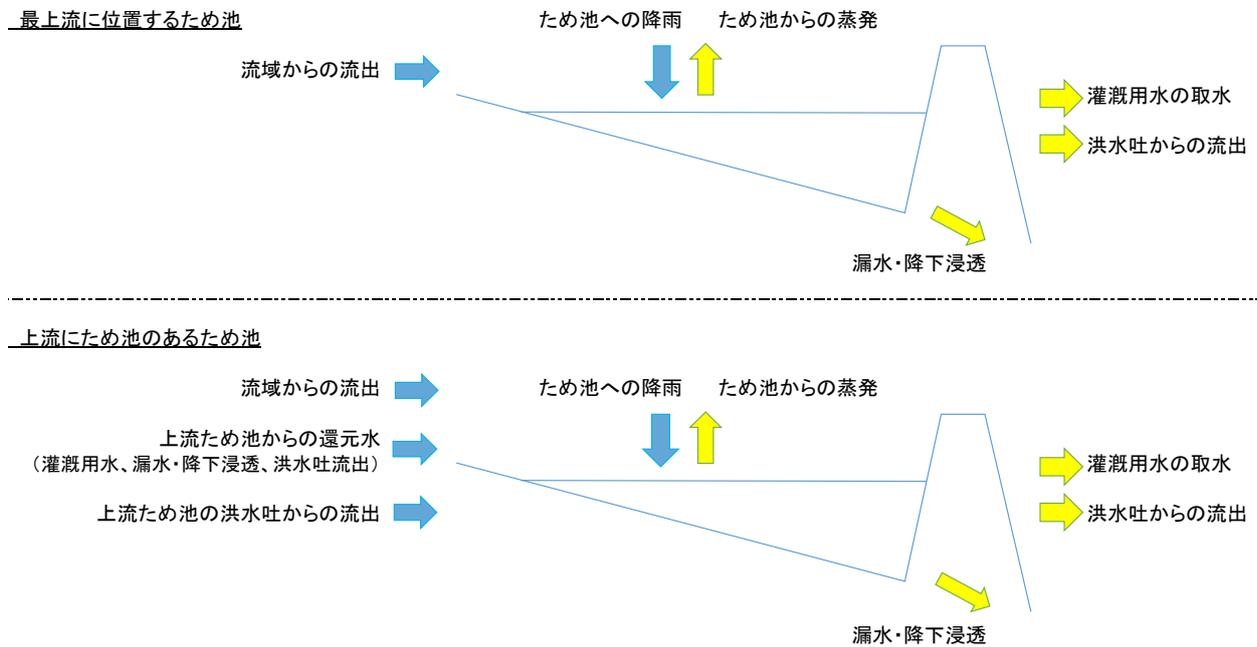


図 4-3 CASCADE モデルの水収支の要素図

$$\begin{aligned}
 & \text{ROF} + \text{RAINTK} + \text{RETFLW} + \text{SPLIN} \\
 & = \text{EVLOSS} + \text{WTQ} + \text{SPLOUT} + \text{SPLOSS} + \angle Q \dots \dots \dots (1)
 \end{aligned}$$

表 4-3 連珠ため池システムの水収支要素の分類と記号

項目	要素	記号
ため池への流入	流域からの流出	ROF
	ため池への降雨	RAINTK
	上流ため池からの還元水	RETFLW
	上流ため池の洪水吐からの流出	SPLIN
ため池からの流出	ため池からの蒸発	EVLOSS
	灌漑用水の取水	WTQ
	洪水吐からの流出	SPLOUT
	漏水・降下浸透（以下、漏水とする）	SPLOSS

$$ROF = rcf \times (RAIN \div 1000) \times CAREA \div API \dots\dots\dots (2)$$

rcf : 流出係数

RAIN : 日降雨量 (mm)

CAREA : 流域面積 (m²)

API : 先行降雨指数

降雨前の連続する無降雨日数を *n* とすると、

n=0 のとき、API=1

$1 \leq n \leq 11$ のとき、 $API = 1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/(n+1)$

$n \geq 12$ のとき、 $API = 1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/(11+1)$

ただし、長期間の干ばつ後に流出が遅れる現象を計算するため、「50 日以上は無降雨かつため池の干上がり」の後には、一定量の積算降雨があるまでは ROF=0 とする。この積算降雨量の値を *delay* (遅れ値) とする。

$$RAINTK = TKAREA \times RAIN / 1000 \dots\dots\dots (3)$$

TKAREA : ため池湛水面積 (m²)

$$RETFLW = \sum_{k=m}^n fret \times (WTQ_k + SPLOSS_k) \dots\dots\dots (4)$$

fret : 灌漑水および漏水に係る反復利用係数

k : 上流に隣接するため池番号

m : 上流に隣接する一つ目のため池番号

n : 上流に隣接する最後のため池番号

ただし、灌漑用水の還元水が発生するのは、水管理が粗放になる雨期昨期のみとする。

$$SPLIN = \sum_{k=m}^n fretspil \times SPLOUT_k \dots\dots\dots (5)$$

fretspill : 洪水吐流出量に係る反復利用係数

k : 上流に隣接するため池番号

m : 上流に隣接する一つ目のため池番号

n : 上流に隣接する最後のため池番号

$$EVLOSS = TKAREA \times Evapo \times fevap \dots \dots \dots (6)$$

Evapo : 蒸発計蒸発量

fevap : 蒸発量係数

$$SPLOUT = 86400 \times 1.7 \times WCRL \times (h - SPLV)^{1.5} \dots \dots \dots (7)$$

WCRL : 洪水吐越流幅

SPLV : 満水位

h : ため池水位

ただし、満水量以上の水量が (7) の水量より小さければ、満水位以上の水量を洪水吐きからの越流水とする。

$$SPLOSS = [a \ln(h) + b] \times TKVOL / 100 \dots \dots \dots (8)$$

a, *b* : 無降雨時の水収支からため池毎に決定された係数

TKVOL : ため池貯水量

既存研究では、1997年7月22日から1999年4月18日までの21か月の観測データを用いて同定され、パラメータが以下のように設定されている。

表 4-4 CASCADE で設定された係数等の値

係数	設定された値
<i>rcf</i> : 流出係数	0.132 から 0.31
<i>delay</i> : 遅れ値	80 から 290
<i>fret</i> : 灌漑水および漏水に係る反復利用係数	0.10
<i>fretspill</i> : 洪水流出量に係る反復利用係数	0.5
<i>fevap</i> : 蒸発量係数	0.8

出典 : Jayatilaka et al. (2003)、Jayatilaka et al. (2001)

4.2.2 CASCADE II モデル

(1) CASCADE からの変更点

CASCADE モデルの計算結果をより現実的なものとするために、CASCADE モデルに含まれる計算式を一部変更し、CASCADE II モデルとした。変更点は以下のとおり。

1) 水位-容積曲線の変更

CASCADE では水位と貯水量の換算に三次の近似式が用いられている (Jayatilaka et al., 2003, 2001)。三次

の近似式による水位と貯水量は一對一の対応とならず、特に水位ゼロ付近と、洪水吐放流量を水位から算出し貯水量に換算する必要がある満水位付近で、誤差を生じる原因となる(図 4-4、図 4-5)。このため、各点を直線につなぐ近似折れ線で水位と貯水量を換算するようにした(図 4-6)。

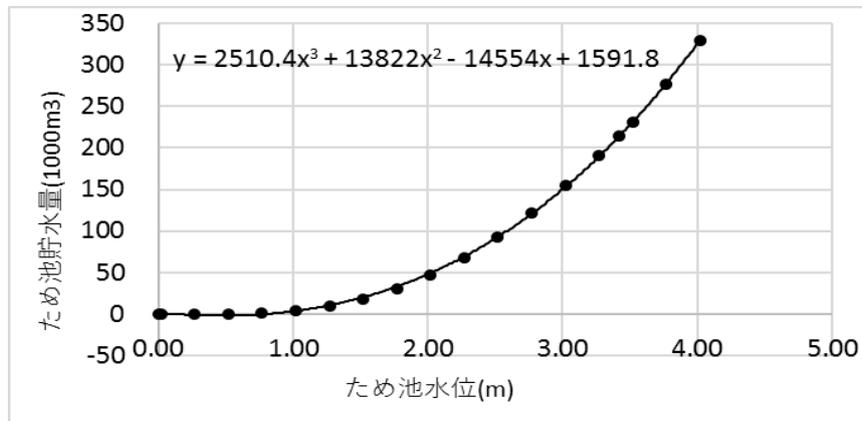


図 4-4 水位による貯水量の近似曲線と近似式 (ベンダランク라마池)

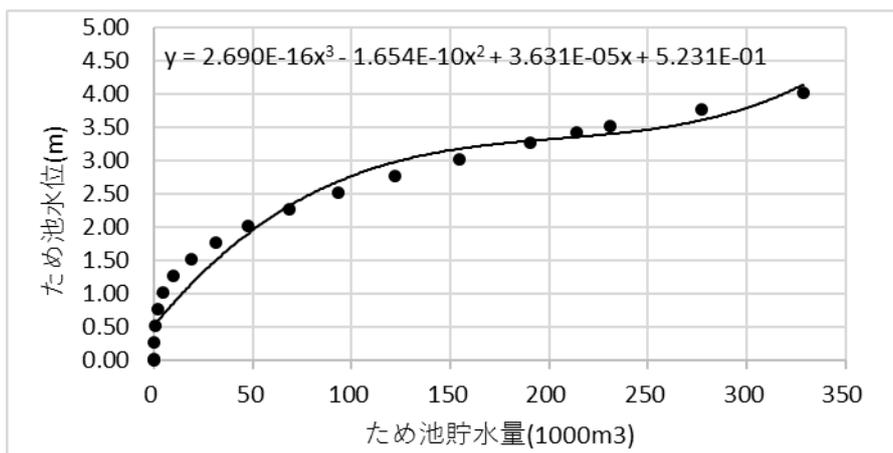


図 4-5 貯水量による水位の近似曲線と近似式 (ベンダランク라마池)

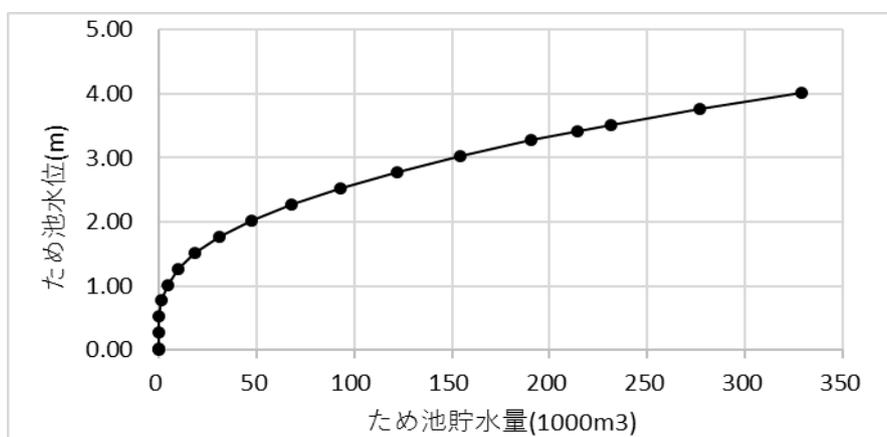


図 4-6 貯水量による水位の近似折れ線 (ベンダランク라마池)

2) 洪水流出量計算における係数の適用

対象ため池を含む多くの小規模ため池において、洪水流出路がはっきりした水路である例は少なく、多くは樹林の中に自然放流されている。排水能力が低いことから、洪水時にため池水位が上がり堤体の破損につながることもある（岡ら、2013）。これらの状況を反映させるため、(7) 式に洪水流出係数 (f_{spill}) をかけた (9) 式により洪水流出量を計算した。

$$SPLOUT = f_{spill} \times 86400 \times 1.7 \times WCRL \times [(TKH - SPLV)]^{1.5} \dots \dots \dots (9)$$

3) 漏水量計算における近似式の利用

既存モデルでは、無降雨時のため池水位変化に基づき求められた、ため池毎に異なるため池水位と漏水量の関係式が用いられているが、明示されていない。本研究では、Jayatilaka et al. (2003) が別途示す 4 ため池共通の近似式に、ため池ごとに異なる漏水係数 (f_{spg}) をかけて用いた。

$$SPLOSS = f_{spg} \times [(-4.3625 \times \ln(\text{水位} \div \text{満水位}) + 0.4292) \times TKVOL / 100] \dots \dots \dots (10)$$

4) 還元水計算の個別化

既存モデルでは、上流ため池からの灌漑水と漏水及び洪水流出からの反復利用係数はすべてのため池において同一であったが、これらはため池別の土壌条件や水管理を行う者の技術に依存すると考えられるため、ため池別に設定できるようにした。

以上 1) から 4) の変更を加えたモデルを **CASCADE II** とし、この計算プログラムをマイクロソフトエクセル 2016 と VBA7.1 により作成・計算した。

(2) 同定と検証に利用したデータ

モデルの同定、検証を行うため、2013 年 4 月から 2015 年 3 月までの 2 年間、ため池を利用している農業者に依頼して、ため池水位、取水量、降雨量、蒸発量を観測した。観測対象は、**CASCADE** モデルの対象であった 4 つのため池（ベンダランクラマ池、ブランクラマ池、ミーガッセガマ池、アリストーナ池）とした。観測概要は表 4-5、観測位置は図 4-7 のとおりである。観測中の 2014 年 11 月 30 日に、ブランクラマ池ではため池貯水量が大幅に減少した。これは、地元農業者によると、洪水吐に積んであった土のうがくずれ貯水が流出したためである。このため、ため池水位の観測結果から減少した貯水量を計算し、当日の洪水吐からの流出量とした。また、2014 年 9 月 1 日から 9 月 29 日までのミーガッセガマ池及び 9 月 2 日から 10 月 31 日のアリストーナ池の水位観測値は、観測資材の破損により欠損している。なお観測期間中、遅れ値適用の条件である「50 日以上は無降雨かつため池が干上がっている状態」は観測されなかった。

表 4-5 水位等観測概要

観測項目	場所	方法	頻度
ため池水位	各ため池最低取水位	水位標目視	毎日午前8時
取水量	各用水路	RBC フリューム*	毎日配水開始時と終了時
降雨量	各ため池近傍	雨量柵	毎日午前8時
蒸発量	ミーガッセガマ池近傍	A型蒸発計	毎日午前8時

*農村開発局推奨の量水器

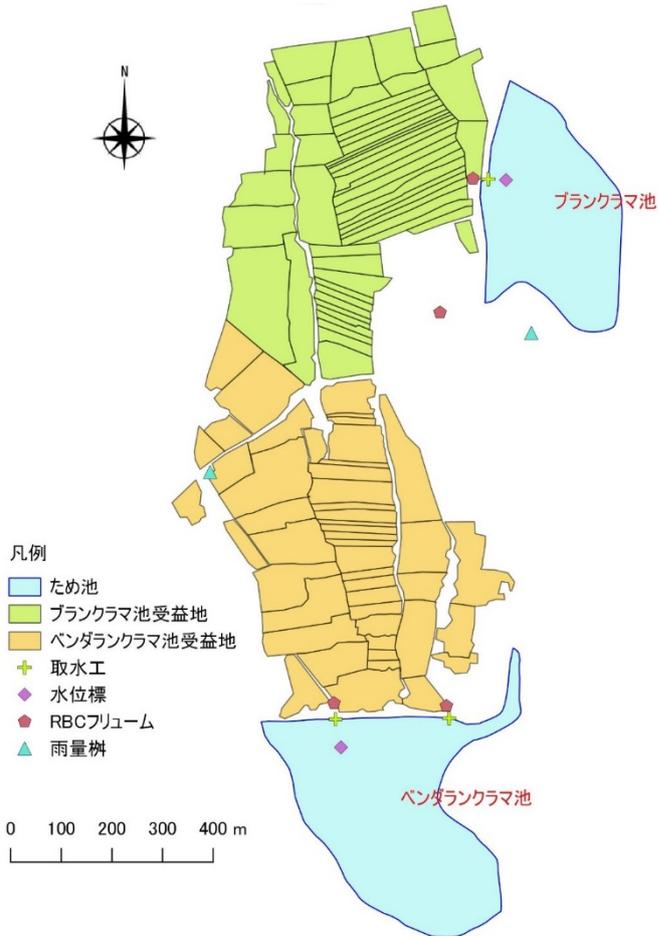


図 4-7 ベンダランクラマ池、ブランクラマ池水位観測等位置図

出典：Survey Department of Sri Lanka (2004) より作成、受益地圃場形状は Google Earth より判読



図 4-8 ミーガッセガマ池水位等観測位置図

出典：Survey Department of Sri Lanka (2004) より作成、受益地圃場形状は Google Earth より判読

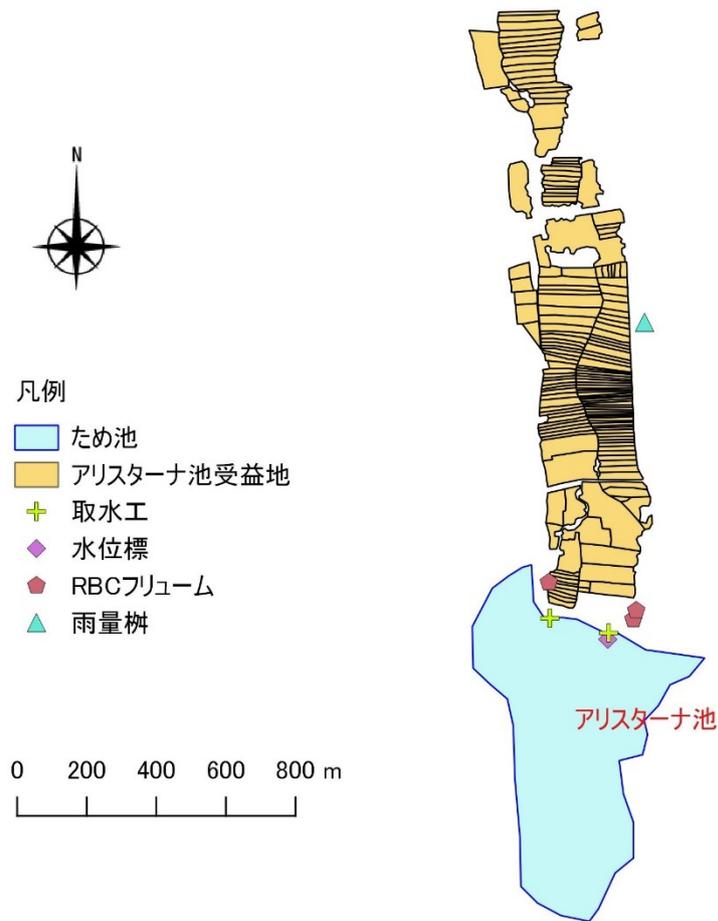


図 4-9 アリスターナ池水位等観測位置図

出典：Survey Department of Sri Lanka (2004) より作成、受益地圃場形状は Google Earth より判読

観測期間中の、対象ため池の受益地のうち灌漑された面積を表 4-6、取水量の観測結果を表 4-7、降雨量と蒸発量の観測結果を表 4-8 に示す。各耕作期の灌漑面積は、聞き取りにより把握した。ただし、農業者が回答する受益面積と、Google Earth の判読結果より算定した受益面積が異なっていたため、これらの比率を用いて、聞き取り調査の結果を換算した。なお、検証期間中にアリスターナ池の灌漑面積がゼロなのは、ため池工事があり、作付けしなかったことによる。

表 4-6 同定・検証期間中の灌漑面積 (㎡)

	2013年4月から 2014年3月まで (検証期間)		2014年4月から 2015年3月まで (同定期間)	
	乾期作期	雨期作期	乾期作期	雨期作期
ベンダランクラマ池	225,711	45,142	0	255,806
ブランクラマ池	200,075	2,565	0	235,986
ミーガッセガマ池	388,980	129,650	0	407,471
アリスターナ池	0	373,901	140,213	358,322

出典：筆者による聞き取り調査

表 4-7 観測期間中の取水量 (㎡)

	2013年4月 ～2013年9月	2013年10月～ 2014年3月	2014年4月 ～2014年9月	2014年10月～ 2015年3月
ベンダランクラマ池	50,043	8,232	0	16,024
ブランクラマ池	13,176	0	0	1,123
ミーガッセガマ池	131,538	33,055	0	123,715
アリスターナ池	21,582	148,629	49,140	85,240

表 4-8 観測期間中の降雨量 (mm) と計器蒸発量

		2013年4月 ～2013年9月	2013年10月～ 2014年3月	2014年4月 ～2014年9月	2014年10月～ 2015年3月
降 雨 量	ベンダランクラマ池	218.6	616.2	450.1	1394.1
	ブランクラマ池	222.4	610.8	457.6	1540.0
	ミーガッセガマ池	211.3	602.0	600.8	1555.4
	アリスターナ池	255.3	554.0	588.7	1644.0
	4池平均	226.9	595.75	524.3	1533.38
計器蒸発量		685.8	580.3	799.7	550.1

(3) CASCADE II の同定

2年間分の観測データのうち、後半にあたる2014年4月から2015年3月までのデータを用いて、CASCADE IIを同定した。これは後半のため池水位が、満水位以上を含むためである。同定は以下の手順を複数回繰り返す。全体の誤差が少なくなるようにした。蒸発量係数は、CASCADEモデルと同じ0.8とし、遅れ値の適用には該当しなかった。同定した係数を表4-9、ため池貯水量計算値と実測値の比較を図4-10に示す。

1. 降雨時の貯水量増加にあわせた rcf の調整
2. 無降雨時の貯水量減少にあわせた $fspg$ の調整

3. 洪水流出時の貯水量増加にあわせた $fsplout$ の調整
4. $fret$ の調整
5. $fretspill$ の調整

表 4-9 CASCADE と CASCADE II の同定した係数

CASCADE モデル	バンダランクラ マ (VE) 池		ブランクラマ (BU) 池		ミーガッセガマ池		アリスターナ池	
	I	II	I	II	I	II	I	II
流出係数 rcf	0.21	0.15	0.30	0.12	0.132	0.17	0.31	0.28
漏水係数 $fspg$	不使用	1.1	不使用	0.6	不使用	0.8	不使用	0.6
洪水流出係数 $fspill$	不使用	1.00	不使用	非該当	不使用	0.06	不使用	0.09
灌漑水・漏水反復利 用係数 $fret$	非該当	非該当	非該当	非該当	0.1	VE 池から 0.3	0.1	0.1
						BU 池から 0.2		
洪水流出反復利用係 数 $fretspill$	非該当	非該当	非該当	非該当	0.5	VE 池から 1.0	0.5	1.0
						BU 池から 0.2		
蒸発量係数 $fevap^{**}$	0.8							
遅れ値 $delay$	80.0	非該当	290.0	非該当	240.0	非該当	260.0	非該当

* CASCADE モデルの I は、既存モデルを示す。

** 湖面からの蒸発量を求める蒸発量係数は 0.8 に固定されており同定の対象ではないが参考に記載。

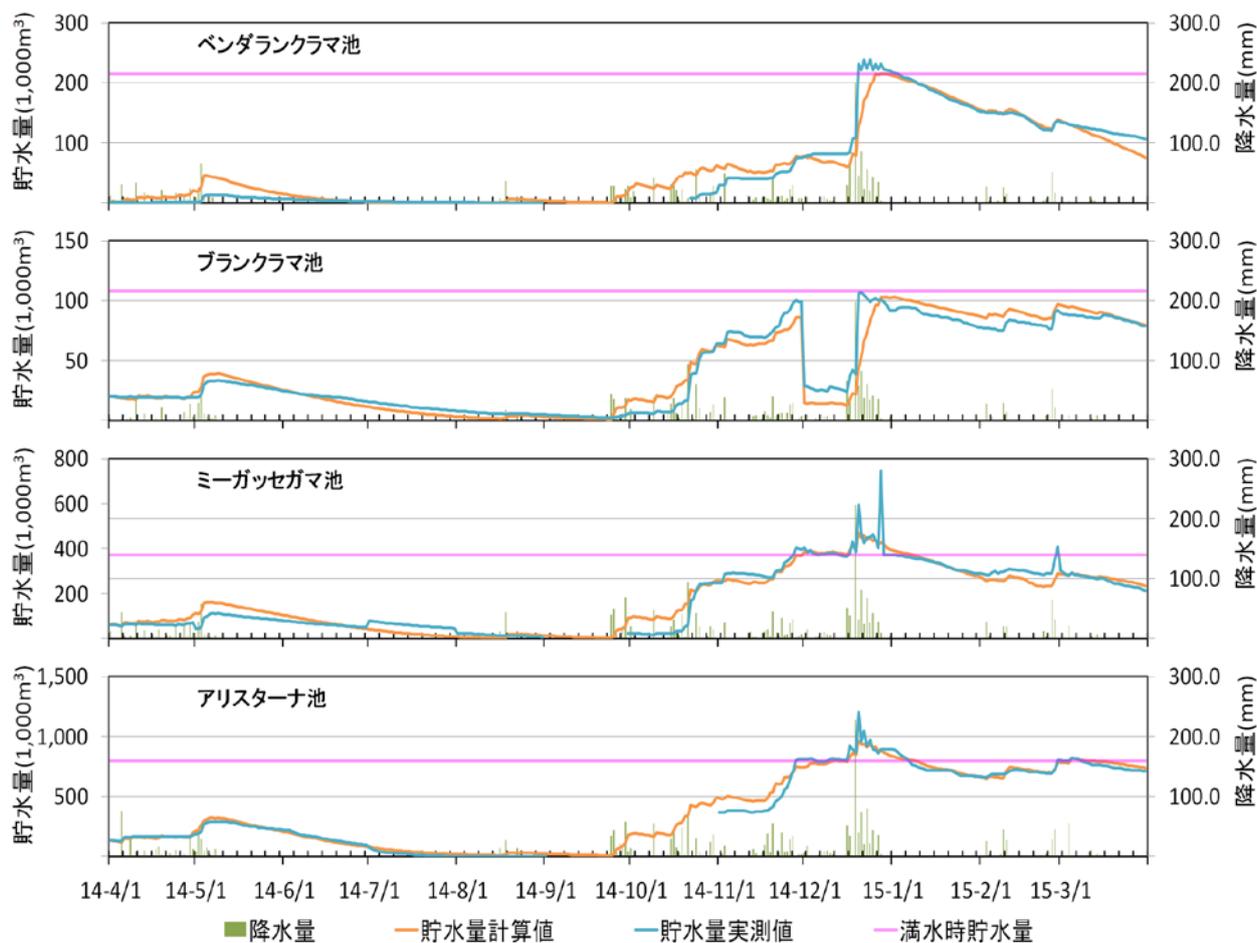


図 4-10 同定時のため池貯水量の実測値と計算値の比較

貯水量の計算誤差を、式 (11) によりため池の満水時貯水量に対する日別誤差（計算値と観測値）の期間平均値として算出した。当該期間の各ため池の貯水量計算誤差は、表 4-10 のとおり。

$$\frac{1}{n} \times \sum_{d=1}^n (|VCd - VOd| / MTKV \times 100) \dots\dots\dots (11)$$

- n: 計算日数
- d: 日順
- VCd: d 日目のため池貯水量推計値
- VOd: d 日目のため池貯水量実測値
- MTKV: 満水時貯水量

表 4-10 同定時の計算誤差 (%)

ベンダランクラマ池	ブランクラマ池	ミーガッセガマ池	アリスターナ池
4.7	5.5	7.0	3.4

(4) CASCADE II の検証

2013年4月から2014年3月までの観測データを用いて、同定したパラメータによる水収支計算を検証した。検証期間の貯水量計算誤差は表 4-11、計算値と観測値の比較は図 4-11 に示す。計算誤差は、アリスターナ池以外は同定期間よりも拡大しておらず、また、アリスターナ池の誤差拡大も1%とわずかであり、貯水量の変化を良好に再現できた。

この結果から CASCADE II について、信頼係数 95% の誤差の信頼区間は、2.7% から 9.8% である。

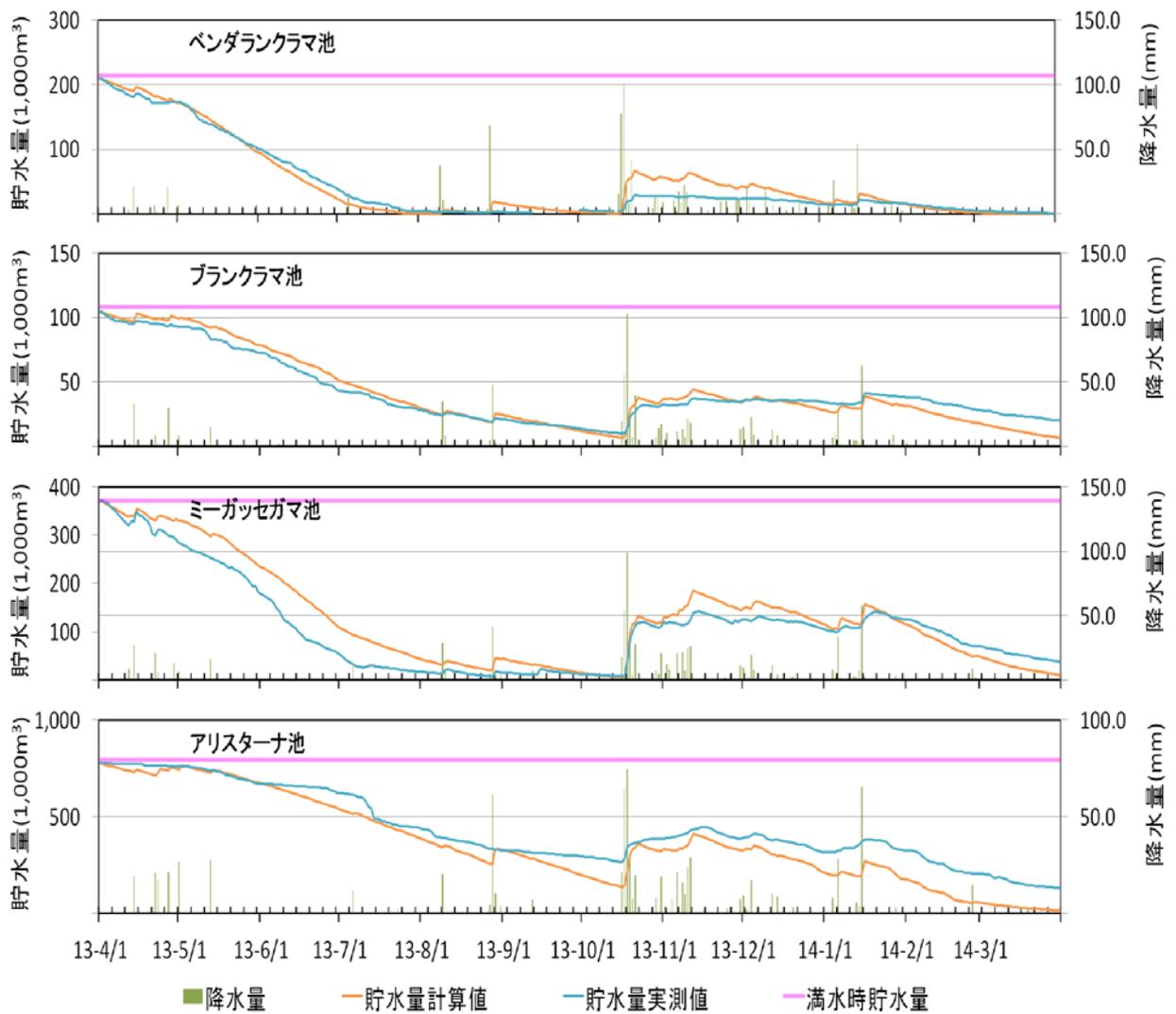


図 4-11 検証時のため池貯水量の実測値と計算値の比較

表 4-11 検証期間の計算誤差 (%)

ベンダランクラマ池	ブランクラマ池	ミーガッセガマ池	アリスターナ池
4.2	4.7	7.3	8.9

4.2.3 CASCADEとCASCADE IIの誤差の比較

CASCADE モデルは連珠ため池の水量を日単位で推計することを目的に開発され、全体的には実測値と推計値が合致することが、1) 論文 (Jayatilaka et al., 2003) と 2) IWMI ワーキングレポート (Jayatilaka et al., 2001) により報告されている。しかし、計算結果は水位の実測値と推計値が図示されているものの、それらの整合については数値で示されていない。このため、CASCADE モデルの精度について、図面判読による数値化を行った。さらに CASCADE の計算式を一部修正した CASCADE II モデルの精度を比較した。

CASCADE/CASCADE II モデルは水収支モデルであり、計算は水量を基本として行われていること、また、モデル構築の目的が利用可能水量の把握であることから、精度も水量を基本とし、満水時貯水量に対する割合 ((11) 式) で示すことが望ましいと考えられる。

しかし、CASCADE モデルについては満水時貯水量が示されておらず、(11) 式による計算ができない。このため水位を基準とした (12) 式によることとし、さらに、CASCADE モデルの計算結果は数値で示されていないことから、2) IWMI ワーキングレポート (Jayatilaka et al., 2001) に示された計算結果の図を QGIS に読み込み、ため池水位実測値と推計値に囲まれる範囲の面積及び、満水位線とゼロ水位線に囲まれる範囲の面積を計測し、その比率を誤差とした。判読にあたっては、太さを持つ実測水位線と水計水位線の内側を範囲として選択し、誤差が過大にならないようにした。比較対象とした期間は表 4-12、CASCADE II と CASCADE の計算誤差 (%) は表 4-13 のとおりである。

$$\frac{1}{n} \times \sum_{d=1}^n (|HCd - HOd| / MTKH \times 100) \dots \dots \dots (12)$$

- n: 計算日数
- d: 日順
- HCd: d 日目のため池水位推計値
- HOd: d 日目のため池水位実測値
- MTKH: 満水位

表 4-12 比較対象期間

モデル	ベンダランクラマ池	ブランクラマ池	ミーガッセガマ池	アリストーナ池
CASCADE	97年7月22日～98年6月25日及び98年12月下旬～99年4月18日	97年7月22日～98年2月中旬及び98年8月下旬～99年4月18日	97年7月22日～99年4月18日	97年7月22日～99年4月18日
CASCADE II	14年4月1日～15年3月31日 (同定)			
	13年4月1日～14年3月31日 (検証)			

*CASCADE モデルでは、計算期間中にベンダランクラマ池とブランクラマ池において工事を理由とする非貯水期間があるが、その際の放水が計算に含まれていない。このため、非貯水期間は比較対象期間に含めていない。

表 4-13 CASCADE II と CASCADE の計算誤差 (%)

モデル		ベンダランクラマ池	ブランクラマ池	ミーガッセガマ池	アリスターナ池	平均
CASCADE II (水量誤差)	同定	4.7	5.5	7.0	3.4	5.2
	検証	4.2	4.7	7.3	8.9	6.3
CASCADE (水位誤差)		9.4	11.7	3.8	4.7	7.4

その結果、対象とした4ため池のうち3ため池で CASCADE II モデルの誤差が小さかったが、ミーガッセガマ池では誤差が CASCADE モデルの倍近くであった。両モデルの誤差について t 検定を行うと $p=0.33$ となり、CASCADE II の誤差が有意に小さいとはいえなかった。検定方法は以下のとおり。

母集団：さまざまな降雨条件、ため池諸元が異なる連珠ため池システムのため池に対する CASCADE の同定計算における計算誤差の集団。

標本：CASCADE の計算誤差4個と CASCADE II 同定時の計算誤差4個。

計算条件：CASCADE I と CASCADE II では、降雨条件、ため池諸元の値が異なることから、対応のない2群とする。両側、等分散を前提としない。

4.2.4 CASCADE II のパラメータと水収支

(1) CASCADE II の感度分析

CASCADE II のパラメータについて、どのパラメータが結果にどの程度の影響を与えているのかを確認した。同定後の CASCADE II モデルで、分析対象のパラメータ以外を固定したうえで、分析対象のパラメータを一定の幅で変更させた場合の誤差の最大値と最小値の差を求めた。パラメータの変更範囲はパラメータが動くと考えられる範囲、変更刻みは変更範囲の0.05%程度とした。同定期間のデータを用いて計算した結果は表 4-14 のとおり。この結果から、流出係数と漏水係数が計算結果に与える影響は大きく、重要なパラメータであるといえる。洪水流出係数については、一年間の計算期間内の発生が数日にとどまることから、洪水時のため池に水位上昇をよく現しており重要なパラメータであるが、全体の誤差に与える影響は小さかった。個別化した反復利用係数のうち、灌漑水・漏水反復利用係数が結果に与える影響は、大きくはないものの個別化する意義があると思われた。同じく個別化した洪水流出反復利用係数は、結果に与える影響がほとんどなく、共通の係数でも問題はなかったといえる。

表 4-14 感度分析の結果

分析対象パラメータ	パラメータの変更範囲	パラメータの変更刻み	誤差の最大値と最小値の差 (%)				
			ベンダラン クラマ池	ブランクラ マ池	ミーガッセ Gamma池	アリストア ナ池	平均
流出係数 <i>rcf</i>	0.10—0.30	0.01	11.9	15.5	10.8	11.3	12.4
漏水係数 <i>fspg</i>	0.50—2.00	0.75	15.6	22.9	19.3	24.5	16.6
洪水流出係数 <i>fspill</i>	0.01—1.00	0.05	1.2	—	0.9	0.5	0.9
灌漑水・漏水反復 利用係数 <i>fret</i>	0.01—0.5	0.025	—	—	2.4	3.3	2.9
洪水流出反復利 用係数 <i>fretspill</i>	0.01—1.00	0.05	—	—	0.1	0.1	0.1

(2) 流域と受益地の水収支

CASCADE II では、流域の水収支は直接扱われていない。CASCADE、CASCADE II モデルの流出量計算は、降雨量と流域面積の積に流出係数をかけた、単純なものとなっている。このため、流域からの蒸発散が計器蒸発量に等しいと仮定して、流域の水収支から求めた年間流出量と CASCADE II で求めた年間流出量の比（流出量比）を求めた（表 4-15）。その結果、CASCADE II で求めた流出量は、水収支から求めた流出量と比較して 34%～62%と小さかった。この理由として、1) 流出量と漏水量を同時に過小に同定した、2) 流域からの地下浸透が大きいことが考えられる。1) については、流出量比が特に小さいブランクラマ池、ミーガッセGamma池において、前半の無降雨期間に、貯水量計算値の減少が貯水量実測値より大きいことから可能性がある。2) については、ティラップネ連珠ため池の下流には大規模ため池であるナッチャドワ池（有効貯水容量 55 百万 m³）があり、そこに流出している可能性が考えられる。

各ため池の同定時の流入・流出別の計算結果（図 4-12～図 4-15）には、長期の無降雨期間の後に、ため池貯水量の計算値が実測値よりも早く増加する現象がみられる。無降雨期間に流域の貯留量が減少する、中・短期的な流域の水収支が計算に反映されていないことが原因と考えられる。無降雨期間の後に流出が遅れる現象は、CASCADE では遅れ値のパラメータで計算するとされていたが、CASCADE II の同定・検証期間においては、遅れ値の発生条件の一つである「ため池が空であること」が満たされなかったことから、遅れ値は適用されていない。しかし、ため池に水が残っていても、CASCADE II の同定期間にみられたように相当の低水位であれば、流域の貯留量も減少しており、流出が遅れる条件下にあると考えられる。このため、遅れ値の発生条件の再検討が必要と考えられる。その他、流出量計算の見直しとして、API の上限値の再検討や、タンクモデルの適用も考えられる。

受益地の水収支については、灌漑水・漏水反復利用率が 0.1 から 0.3（表 4-9）であり、従来、対象地域の反復利用率とされていた 0.2 と大きく変わらないものの、日本における反復利用率と比較すると低い。この地域の反復利用率自体が低いことは、受益地面積に対する実際の灌漑面積が少ない場合が多く排水路での損失が大きいことが考えられる。さらに CASCADE II の灌漑水・漏水反復利用率の同定において、年間を通じて発生し、乾期の乾燥した受益地を通じて下流のため池に供給される漏水についても合算して扱っていることが、よ

り小さい反復利用率の同定につながっている可能性がある。

各ため池の漏水量の推移をみると（図 4-12～図 4-15）、各ため池とも漏水量が多く、かつ漏水量がため池貯水量の多少にあまり影響を受けていない。ここで、CASCADE II に用いられている漏水量算出式 (10) により、ミーガッセガマ池を例に貯水量と漏水量の関係をグラフにすると、図 4-16 のとおりとなる。貯水量が一定値を越えると貯水量増加に伴い漏水量が減少しており、適切ではない。より適切な漏水量の算定式の開発が必要と考えられる。

表 4-15 CASCADE II による流出量と流域水収支による流出

	a: 集水面積 (m ²)	b: 降水量 (mm)	c: 計器蒸発量 (mm)	d: CASCADE II による流出量 (m ³)	e: (b-c)×a/1000 (m ³)	f: d/e×100 (%)
ベンダランクラマ池	1,500,000	1,844	1,345	354,203	748,500	47
ブランクラマ池	870,000	1,998	1,345	191,075	568,110	34
ミーガッセガマ池	2,900,000	2,156	1,345	880,746	2,352,480	37
アリスターナ池	3,200,000	2,233	1,345	1,773,348	2,841,600	62

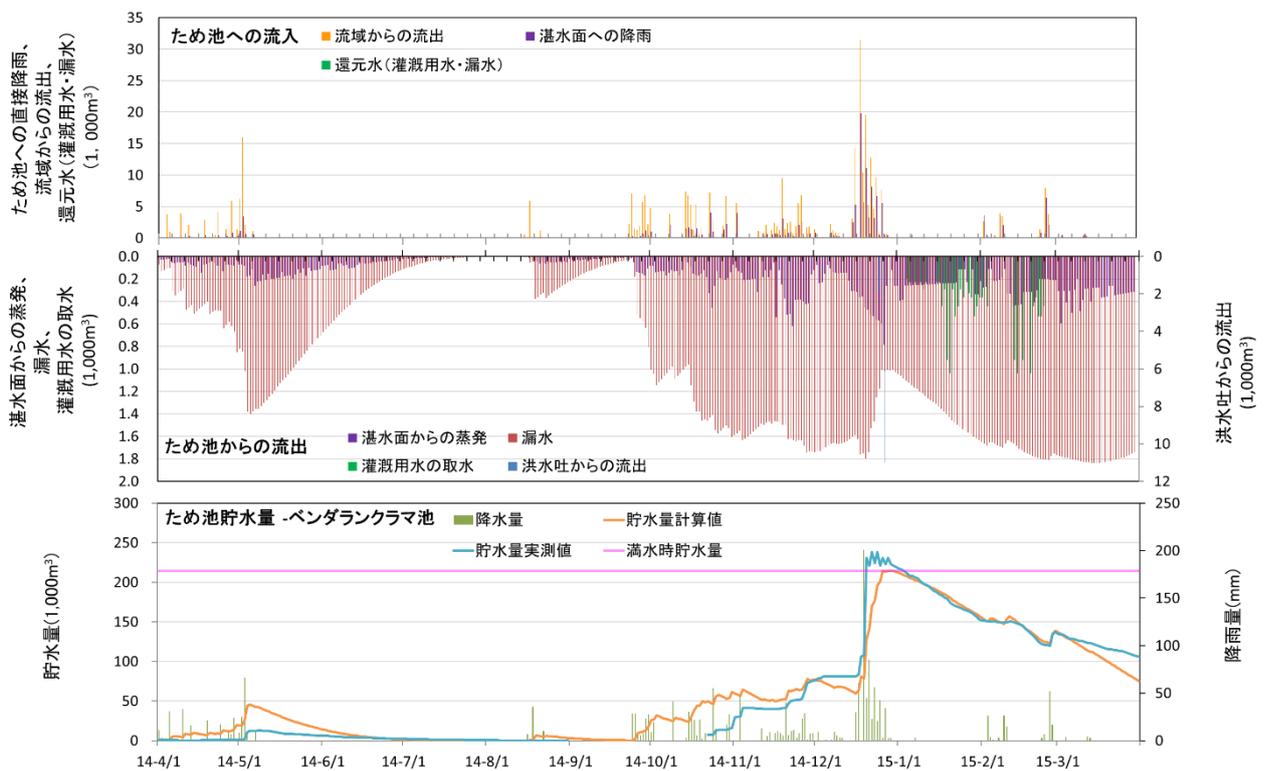


図 4-12 ベンダランクラマ池流入・流出別計算結果

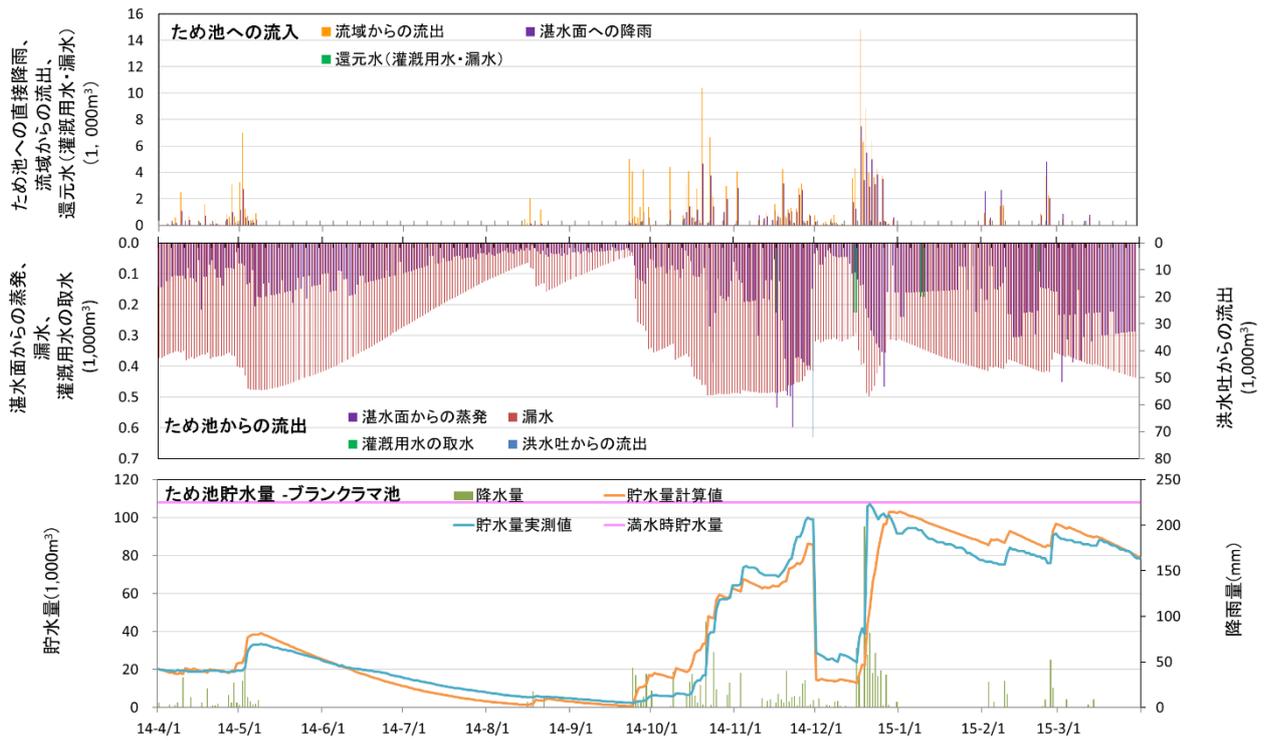


図 4-13 ブランクラマ池の流入・流出別計算結果

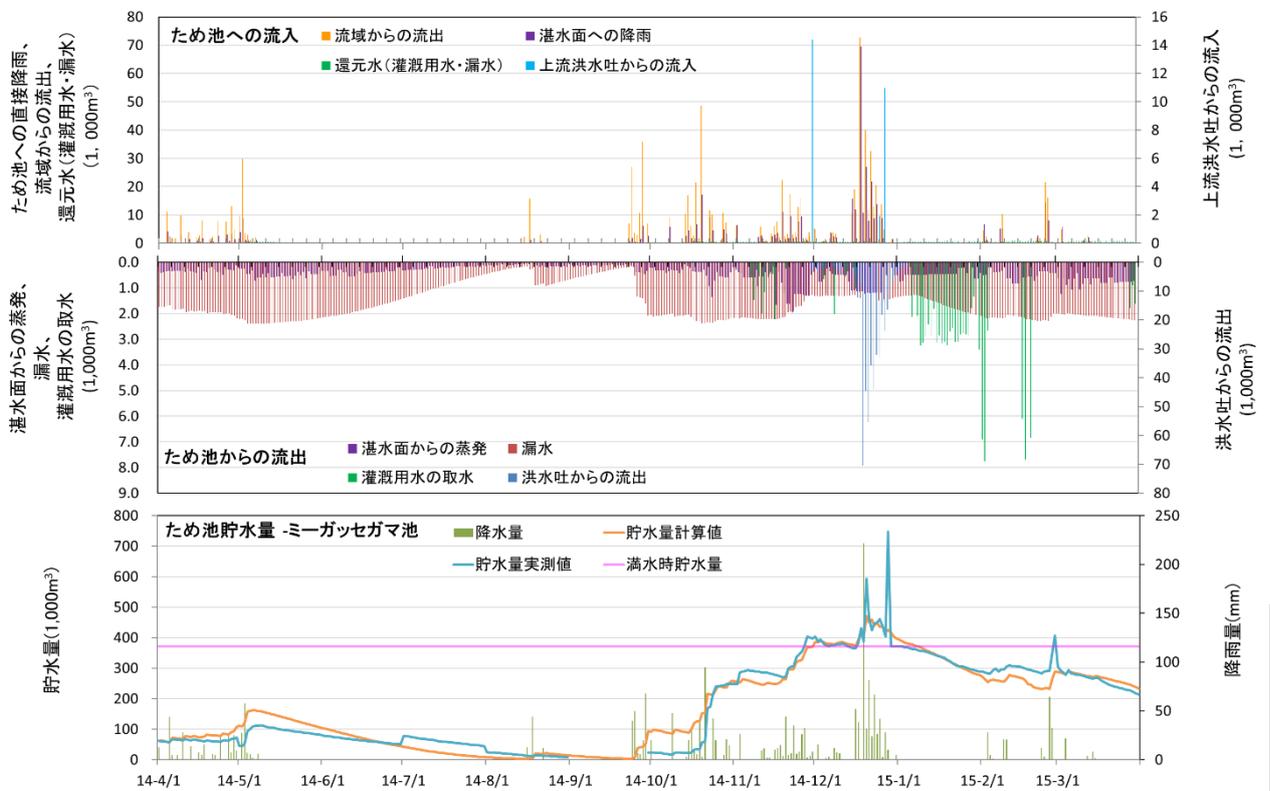


図 4-14 ミーガッセガマ池の流入・流出別計算結果

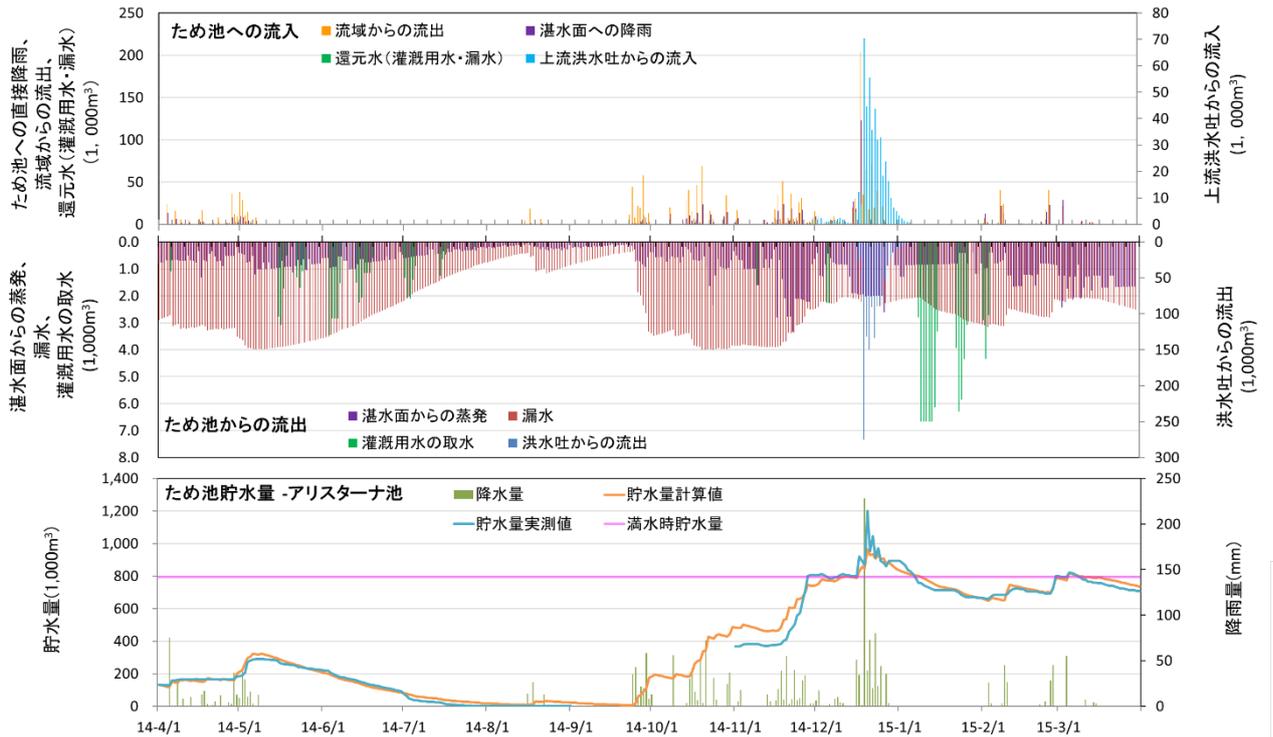


図 4-15 アリスターナ池の流入・流出別計算結果

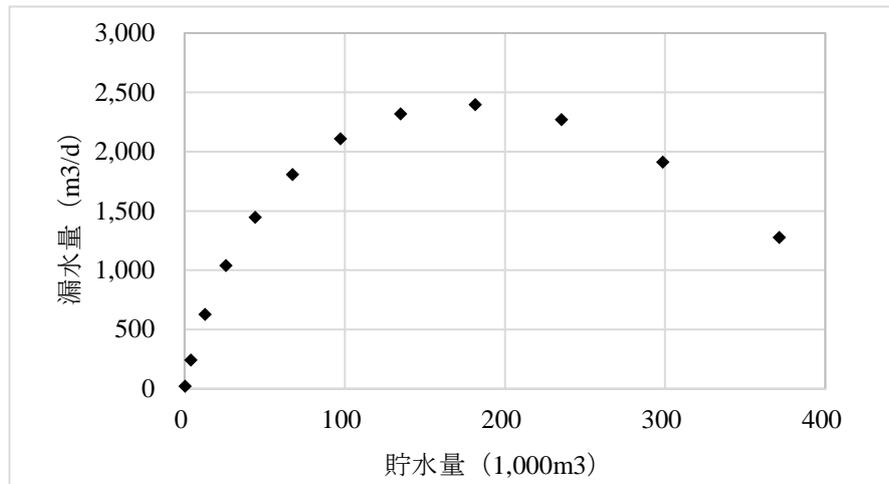


図 4-16 ミーガッセガマ池の貯水量と漏水量の関係

4.2.5 CASCADE II へのタンクモデル利用

(1) タンクモデル

CASCADE、CASCADE II モデルの流出量計算を、流域の貯留量を考慮するタンクモデル（菅原、1972）による流出量計算に変更することにより精度が向上する可能性があると考えられたことから、適用を試みた。タンクは一段とし、以下の関係式から貯留高及び時間当たり流出高を求め、日当たりの積算流出量を CASCADE II に入力した。

$$X_t = \begin{cases} 0 & (t=1) \dots\dots\dots (13) \\ X_{t-1} - y_{t-1} + r_{t-1} - e_{t-1} & (t > 1) \dots\dots\dots (14) \end{cases}$$

$$y_t = \begin{cases} \alpha(X_t - h) & (X > h) \dots\dots\dots (15) \\ 0 & (X \leq h) \dots\dots\dots (16) \end{cases}$$

$$z_t = \begin{cases} \beta X_t & (X > 0) \dots\dots\dots (17) \\ 0 & (X \leq 0) \dots\dots\dots (18) \end{cases}$$

$$e_t = \begin{cases} e_t & (X \geq ETL) \dots\dots\dots (19) \\ 0 & (X < ETL) \dots\dots\dots (20) \end{cases}$$

ここで、 t : 時間ステップ、 X_t : 貯留高 (mm)、 y_t : 流出高 (mm/h)、 z_t : 浸透高 (mm/h)、 r_t : 降雨量 (mm/h)、 e_t : 蒸発散量 (mm/h)、 α : 流出孔係数 (mm/h)、 β : 浸透孔係数 (mm/h)、 h : 流出孔高 (mm)、 ETL : 蒸発散が生じる最低貯留高 (mm) である。

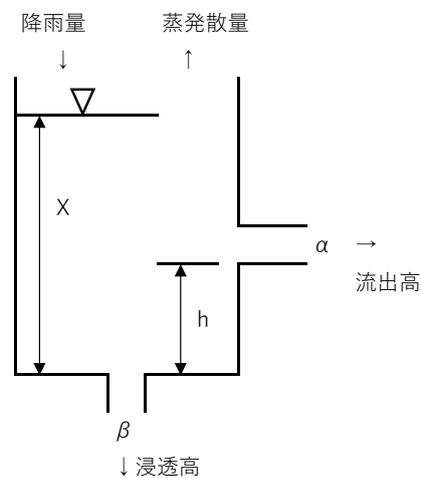


図 4-17 タンクモデル

(2) 利用したデータ

タンクモデルによる計算は、時間単位で行うこととしたため、降雨量は、ため池近傍で観測した日別降水量を 24 等分した値を当該日の時間あたり降雨量とした。

蒸発散量は、調査対象地域と同じく雨季と乾季があり雨の少ない、東北タイ (年間降水量 1500mm 程度) のモンスーン林の年間蒸発散量が 1300mm 程度 (柳, 1996) であることから、調査対象地 (年間降水量 1200mm

程度)の樹林地の年間蒸発散量も同程度と推察し、また、観測期間中の計器蒸発量の観測値が、年間 1349.75mm および 1266.14mm であることから、流域(樹林地)の蒸発散量は計器蒸発量に等しいとした。タンクモデルに入力する時間当たり蒸発散量は、日別計器蒸発散量を 24 等分した値とした。

降水量、計器蒸発量、取水量、ため池水位は、CASCADE II と同じ、2014 年 4 月からの一年間の観測値をタンクモデルの同定に用い、2013 年 4 月からの一年間の観測値を検証に用いた。タンクモデルにより時間当たり流出高をもとめ、日あたりで合計した流出高と流域面積(ため池湛水面積を除く)の積を日別流出量として CASCADE II に入力した。流出量計算に用いられているもの以外のパラメータについては CASCADE II の同定結果と同一とした。

(3) 計算結果

$\beta > 0$ (浸透あり)の場合と $\beta = 0$ (浸透なし)の場合との二通りにおいて、流域からの流出量をタンクモデルで算出した場合のため池貯水量の計算値が実測値に近くなるよう、 α 、 β 、 h 、ETL を同定した(表 4-16、表 4-17)。さらに、同定したパラメータと、2013 年 4 月からの一年間の観測値を用いて、モデルを検証した。ため池貯水量の計算値と実測値の推移は図 4-18~図 4-21、タンクの貯留高と流出高は図 4-22、図 4-23 のとおり。

これらから、タンクモデルを適用すると、特に CASCADE II で課題であった、無降雨期間の後の流出の遅れが、よりよく計算されるといえる。ただし、検証を行うと、誤差は大きい。浸透の有無を比較すると、浸透ありのタンクモデルについては流出高を過大に、浸透なしのタンクモデルは流出高を過小に算出する傾向があるといえる。タンクの貯留高を見ると、浸透なしのモデル(図 4-23)のほうが浸透ありのモデル(図 4-22)よりも、流域の雨期と乾期の土壌水分量の変化をより端的に表している。一段のタンクモデルより、CASCADE II の流出係数を用いた流出計算のほうが、少ないパラメータで精度よくため池貯水量を計算できると考えられる。菅原(1978)は、4 段 4 列のタンクモデルが乾燥地や半乾燥地には適していると述べており、4 段 4 列のタンクモデルの適用により流出の遅れと全体的な計算精度向上が両立する可能性がある。

表 4-16 タンクモデルのパラメータ (浸透あり)

	ベンダランクラマ池	ブランクラマ池	ミーガッセガマ池	アリストーナ池
α (mm/h)	0.10	0.30	0.10	0.60
β (mm/h)	0.01	0.02	0.05	0.05
h (mm)	35.00	35.00	15.00	15.00
ETL (mm)	-15	0	0	-30

表 4-17 タンクモデルのパラメータ (浸透なし)

	ベンダランクラマ池	ブランクラマ池	ミーガッセガマ池	アリストーナ池
α (mm/h)	0.10	0.50	0.50	0.50
h (mm)	350.00	350.00	360.00	330.00
ETL (mm)	0	0	0	-100

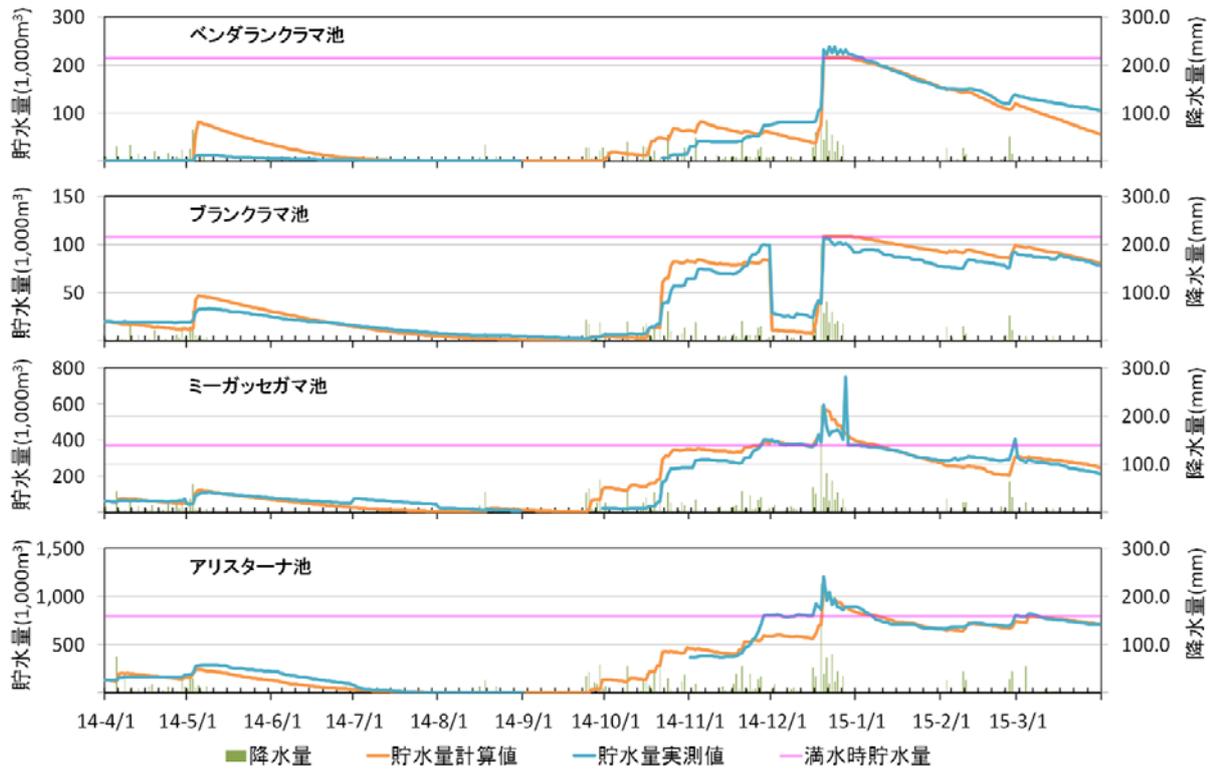


図 4-18 タンクモデル（浸透あり）適用の同定時の貯水量計算値と実測値

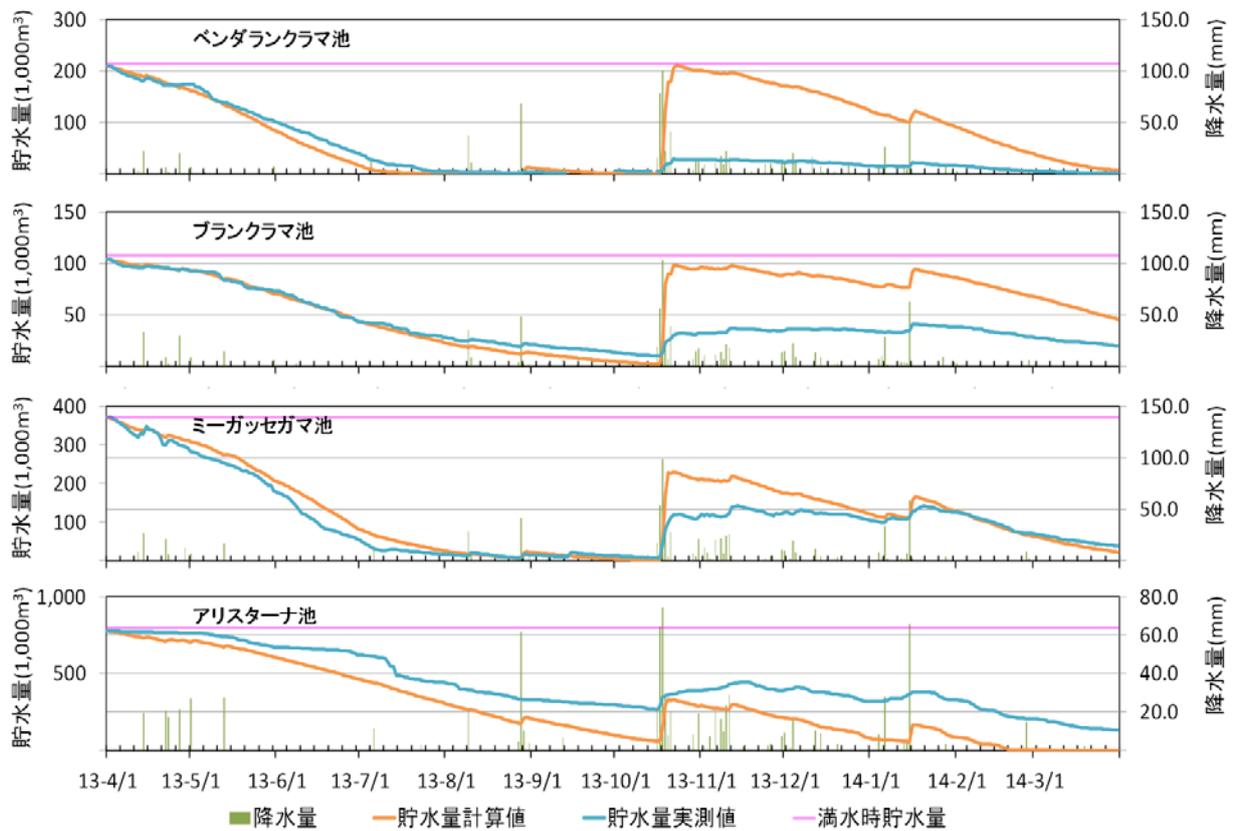


図 4-19 タンクモデル（浸透あり）適用の検証時の貯水量計算値と実測値

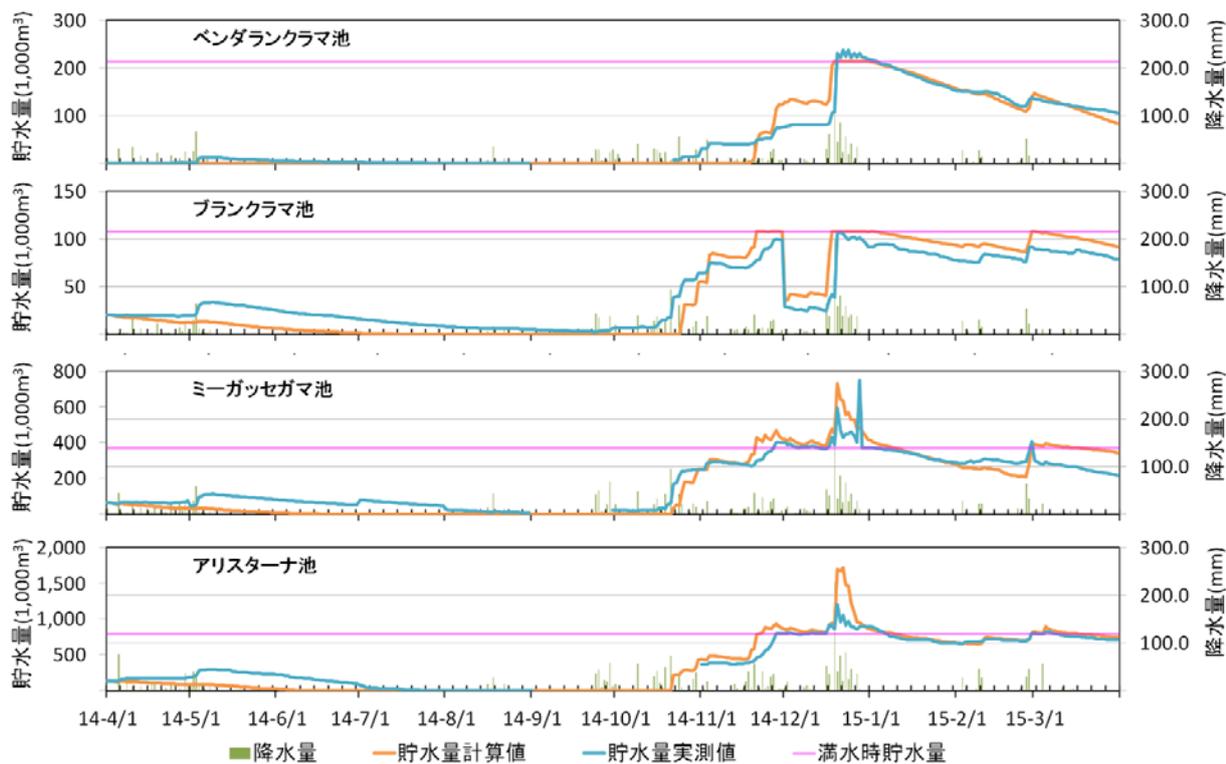


図 4-20 タンクモデル（浸透なし）適用の同定時の貯水量計算値と実測値

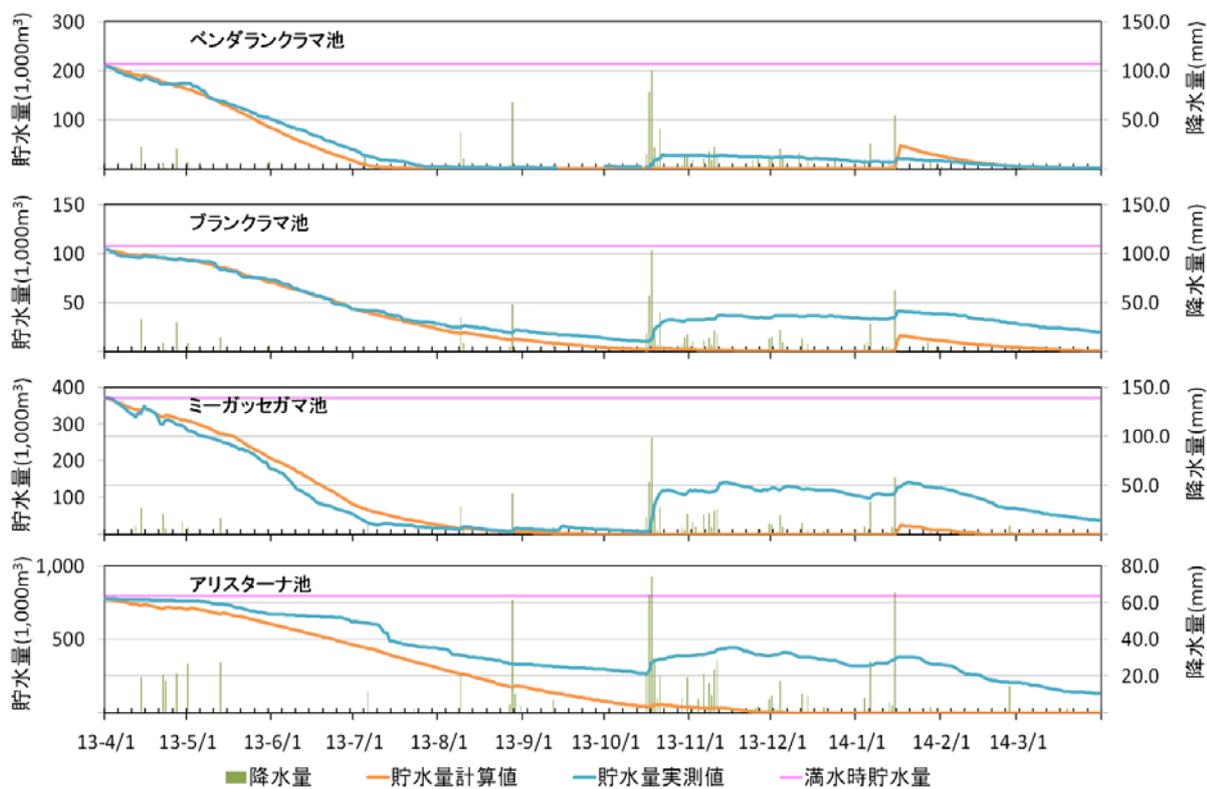


図 4-21 タンクモデル（浸透なし）適用の検証時の貯水量計算値と実測値

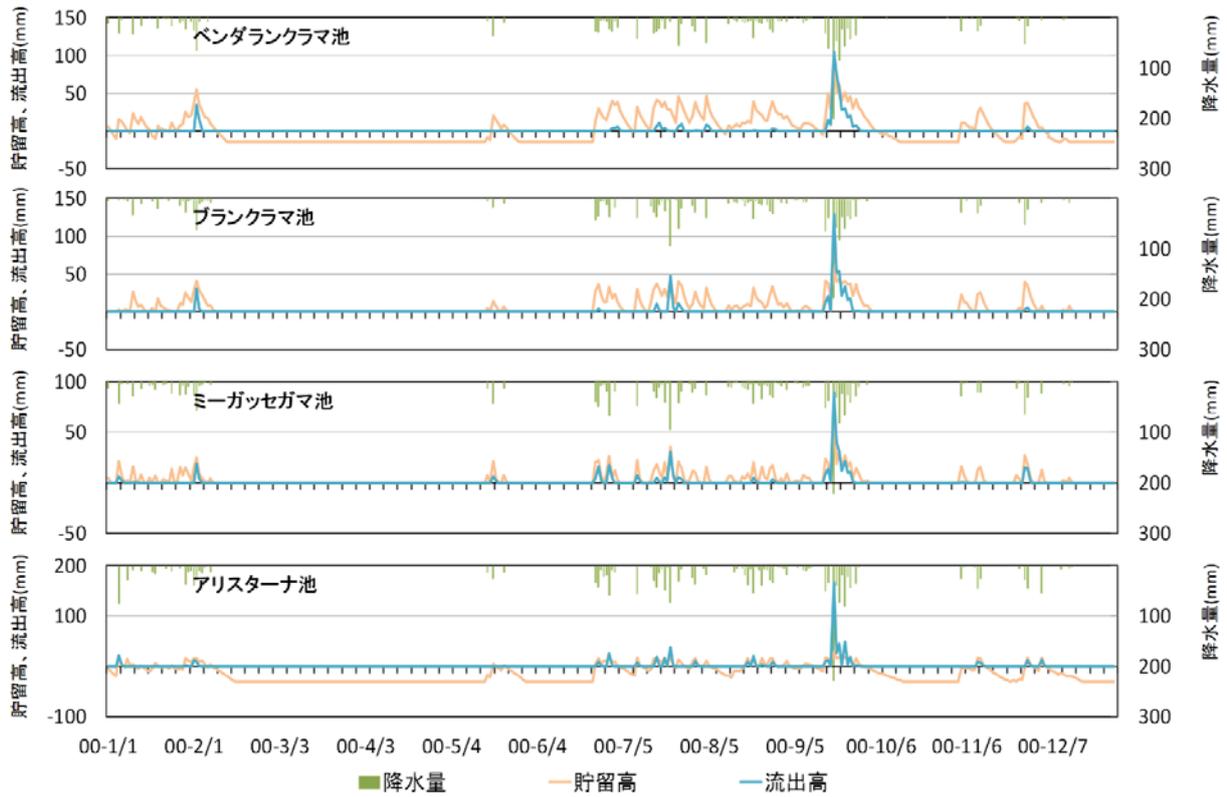


図 4-22 タンクモデル (浸透あり) 適用の同定時の貯留高と流出高

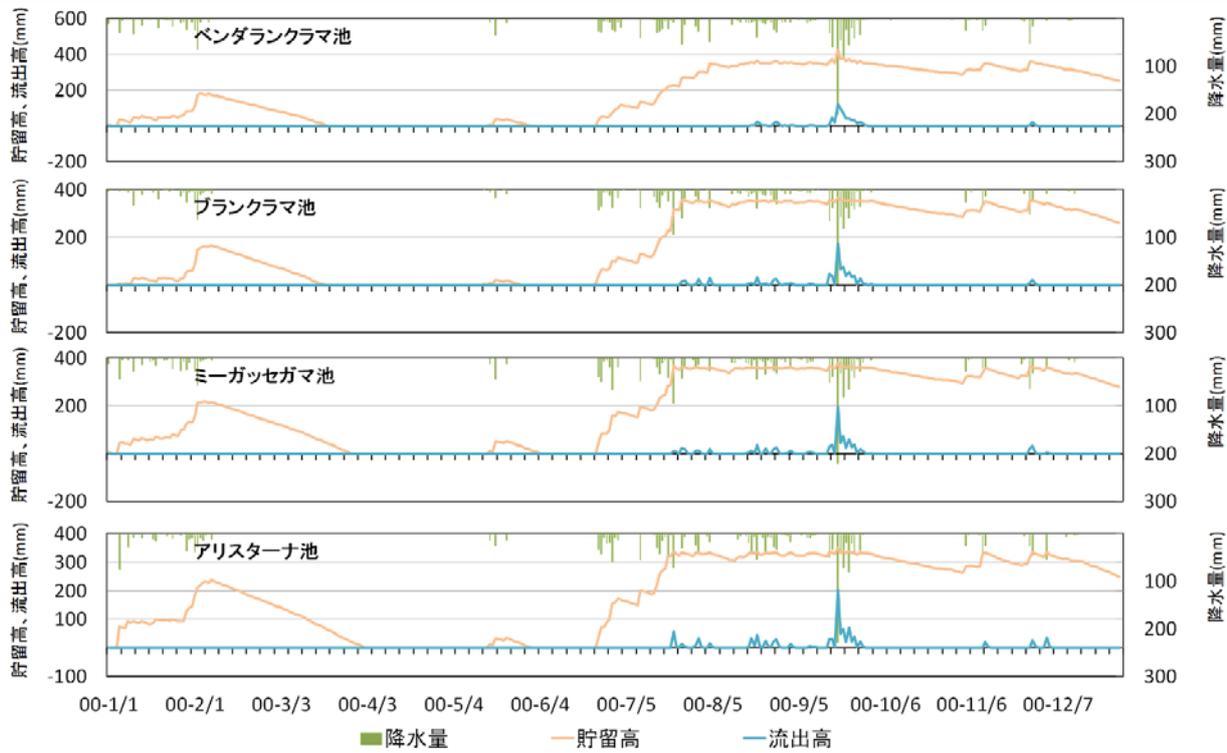


図 4-23 タンクモデル (浸透なし) 適用の同定時の貯留高と流出高

4.2.6 水収支モデルに関する考察

CASCADE II においては、CASCADE で課題とされた上流側のため池の計算誤差が大きい現象は、同定、検証のいずれの期間においても生じていない。むしろ、下流のミーガッセガマ池、アリストーナ池の計算誤差のほうが大きかった。このことから、CASCADE、CASCADE II モデルの誤差は、連珠システム内の位置による理由ではなく、計算方法そのものに起因していると考えられる。

CASCADE II の同定時の誤差と、同定時と異なるデータセットを用いた検証時の誤差の差は、1.1%の増加にとどまり、時間的な汎用性はあると考えられる。また、検証で得られた誤差の分布から、信頼係数 95%で誤差の信頼区間は2.7%から9.8%である。

CASCADE II と CASCADE の誤差を比較すると、CASCADE II では全体的に誤差が縮小している。しかし、その違いに有意差はない（両側、対応のない t 検定、 $p=0.33$ ）。

既存の CASCADE モデルからの変更点のうち、(2) 洪水流出係数の適用により、洪水時の貯水量算出の整合性が上がっている、また、同定された洪水吐流出係数に 0.1 以下の値が含まれていることは、洪水吐の機能が設計上期待される排水能力と比較し、著しく低いことを示している。(1) ため池の水位-容積曲線の変更および(4) 還元水量の個別化が、計算結果の向上につながったと考えられる。また、(3) 漏水量計算における漏水係数の適用は、計算上の問題はなかったと考えられるものの、計算結果に与える感度が流出係数の感度と非常に近いことから、Jayatilaka et al. (2003) が指摘するように、流域からの流出量と漏水量とが相互補完的に間違っ同定される危険性が明らかになった。同定の際は、無降雨期間の貯水減少の形に注意する必要がある。また、漏水量係数をかける前の、式 (11) 自体の見直しも重要と考えられる。

雨期の始まりの降雨に対する貯水量変化については、一部のため池で、計算値が実測値よりも早く増加する現象がみられた。この現象は、同定期間ではベンダランクラマ池、ブランクラマ池、ミーガッセガマ池の3池（アリストーナ池は当該時期の実測値が存在しないため現象の有無は不明）、検証期間ではベンダランクラマ池で認められた。この現象は、長期の無降雨期間の後に見られることから、遅れ値の適用により調整できる可能性がある。遅れ値は「ため池が空であること」が発生条件の一つとされているが、ため池に水が残っていても相当の低水位であれば、流出が遅れる条件にあると考えられる。このため、遅れ値の発生条件の再検討が必要と考えられる。そのほか流出量計算の見直しとして、API の上限値の再検討や、流域からの流出量計算へのタンクモデルの適用も考えられる。

流域の貯留量を考慮するタンクモデルについて、一段のタンクモデルによる流出量計算の適用を試みた結果、CASCADE II を上回る精度は得られなかったが、無降雨の後の流出の遅れをよりよく計算できた。乾燥地や半乾燥地に適している4段4列のタンクモデル（菅原、1978）の適用により流出の遅れと全体的な計算精度向上が両立する可能性がある。

CASCADE II のパラメータについて検討すると、ベンダランクラマ池、ブランクラマ池、アリストーナ池の流出係数が、既存モデルと比較しそれぞれ0.06、0.18、0.03小さくなり、ミーガッセガマ池の流出係数は0.038大きくなった。これらは、16年の間に起きた灌漑面積増加などの流域の変化に起因する可能性がある。特に、流出係数が比較的大きな変化を示したブランクラマ池では、上流に位置するバドガマ池の貯水量が工事により増加しており、その影響が考えられる。洪水流出反復利用係数は既存モデルより大きくなっているが、これは洪水流出係数の適用により日あたり洪水量が小さく計算されるようになった、計算手法の変更に起因し、かつ、感度分析結果が示すように、計算結果に与える影響は小さい。

洪水流出時の貯水量の推移を見ると、観測値では一時的な急増水が認められるが、計算値には現れていな

い。CASCADE II モデルが日単位で計算することによる限界であり、ため池の決壊防止などの防災の検討には、より詳細なモデルが必要と考えられる。

4.3 まとめ

CASCADE モデルを改良した CASCADE II モデルを、二つのデータセットを用いて同定・検証を行い、計算精度を求めた。その結果、CASCADE II の同定時の誤差と、同定時と異なるデータセットを用いた検証時の誤差の差は、1.1%の増加にとどまり、時間的な汎用性はあると考えられた。また、検証で得られた誤差の分布から、信頼係数 95%で誤差の信頼区間は 2.7%から 9.8%であった。また、CASCADE II で新たに導入した洪水流出係数の適用により、洪水吐の機能が設計上期待される排水能力と比較し、著しく低いことを示した。一方 CASCADE II では、無降雨の後に見られる流出の時間的な遅れをうまく計算できなかった。この現象への対応として、遅れ値の発生条件や API の上限値の再検討、流出量計算への 4 段 4 列のタンクモデルの適用などが考えられる。

CASCADE II モデルは、実灌漑水量が入力値に含まれていることから、想定する降雨に対する灌漑面積の検討などの利水計画には使えない。この水収支モデルと灌漑時の灌漑面積-取水量モデルを組み合わせ、想定する降雨に対する灌漑可能面積の算出を行うシミュレーションモデルの開発が、連珠ため池システムの水収支を踏まえた水利用計画の検討には必要である。

第5章 上流優先ため池整備の効果

5.1 CASCADE II を活用したシミュレーションプログラム

5.1.1 シミュレーションプログラムの構成

CASCADE II は、既存研究にならい、実測した日灌漑用水量を用いてため池水位を計算する仕様になっている。しかし、水資源利用の有効性を評価するためには、想定する各種条件のもと、灌漑面積がどの程度になるか推計できるモデルである必要がある。このため、CASCADE II と、灌漑面積から取水量を算出する「灌漑面積 - 取水量モデル」を利用し、想定する降雨条件のもとで灌漑期間中にため池貯水量がゼロを下回らない最大灌漑面積を算出する、シミュレーションプログラムを構築した。シミュレーションは雨期作が始まる 10 月 1 日開始とし、標準年降雨パターンでは 7、8、9 月にほとんど降雨がないことから、10 月 1 日のため池水位を 0m とした。また、受益地に対する灌漑面積率は 100% から 1% 刻みで減少させ、ため池貯水量ゼロを下回らない灌漑面積率を算出した。

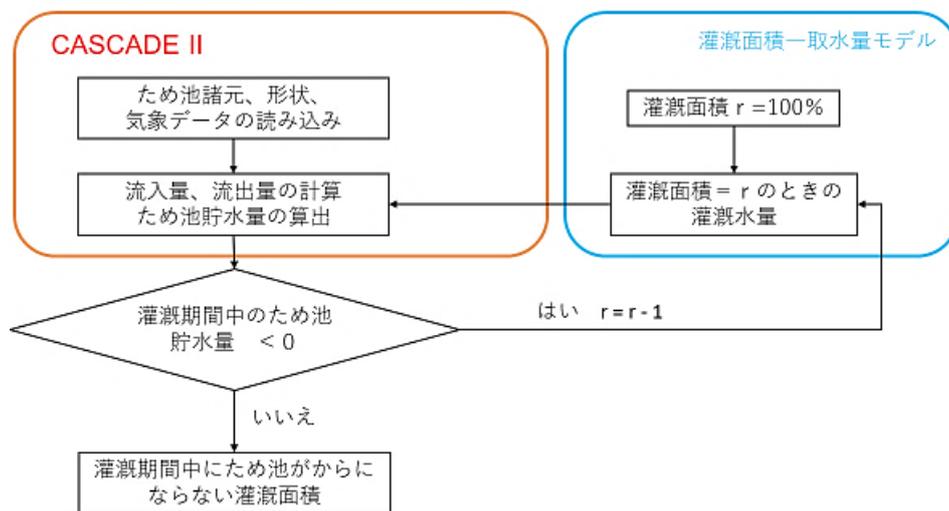


図 5-1 シミュレーションプログラムの構成

この中で用いられている灌漑面積 - 取水量モデルは、既存文献 (Shinogi, 2004 ; 北村, 1984) に述べられた、単位面積当たりの日灌漑水量を求める式を利用した。これによると、単位面積当たりの日灌漑水量は、対象地域の平均的な稲作暦及び灌漑利用の関係 (表 5-1)、稲の生育期別の蒸発散係数 (表 5-3)、有効雨量係数、灌漑効率 (表 5-4) から、求められる。表 5-1 のうち、乾期作期の準備作業に係る灌漑用水量は日当り 8.33mm とされ、播種から落水までの日灌漑用水量は、式 (21)、式 (22) により示されている。式中の記号は、表 5-2 に示す計算要素である。

表 5-1 耕作期別の稲作暦と灌漑利用の関係

	雨期作期	乾期作期
準備作業	10月1日～10月31日 (灌漑利用なし)	4月16日～4月30日 (灌漑利用)
播種～落水	11月1日～1月29日 (灌漑利用)	5月1日～7月29日 (灌漑利用)
登熟	1月30日～2月13日 (灌漑利用なし)	7月30日～8月13日 (灌漑利用なし)

出典：Shinogi (2004)、北村 (1984)

$$WIS = PCA \times WR / (IEF \times 1000) \dots\dots\dots (21)$$

$$WR = EP \times Cf1 - RAIN \times Cf2 \dots\dots\dots (22)$$

表 5-2 日灌漑用水量の計算要素

WIS	日灌漑用水量 (m ³)
PCA	灌漑面積 (m ²)
WR	単位面積あたり純用水量 (mm)
IEF	灌漑効率
EP	計器蒸発量 (mm)
RAIN	日雨量 (mm)
Cf1	パン係数
Cf2	有効雨量係数

出典：Shinogi (2004)、北村 (1984)

表 5-2 の計算要素のうち Cf1、Cf2、IEF は、表 5-3、表 5-4 のとおり示されている。

表 5-3 稲の生育期毎のパン係数

	播種日からの日数	雨期作期	乾期作期
Cf1 パン係数	1-21	0.8	0.9
	22-31	0.9	0.9
	32-41	1.1	1.0
	42-50	1.2	1.2
	51-90	1.4	1.2

出典：Shinogi (2004)、北村 (1984)

表 5-4 耕作期別 有効雨量係数、灌漑効率

	雨期作期	乾期作期
Cf2 有効雨量計数	0.65	0.8
IEF 灌漑効率	0.6	0.6

出典：Shinogi (2004)、北村 (1984)

5.1.2 シミュレーション結果の信頼性

シミュレーションの信頼性を評価するために、シミュレーション結果である推計値と実績値を比較した。対象期間は、2013年4月から2015年3月まで、シミュレーションには当該期間のミーガッセガマ池近傍の降雨量・蒸発量を利用した。

観測結果から得られたため池貯水量実績値と、シミュレーション結果のため池貯水量推計値は図 5-2 のとおりである。ため池工事による作付け中止があったアリスターナ池の前半は誤差が大きいが、その他については実績値と推計値が整合しており、特別な条件がなければシミュレーションプログラムでため池貯水量変化は再現できるといえる。なお、貯水量の推計値は2014年3月31日～4月1日間で不連続である。

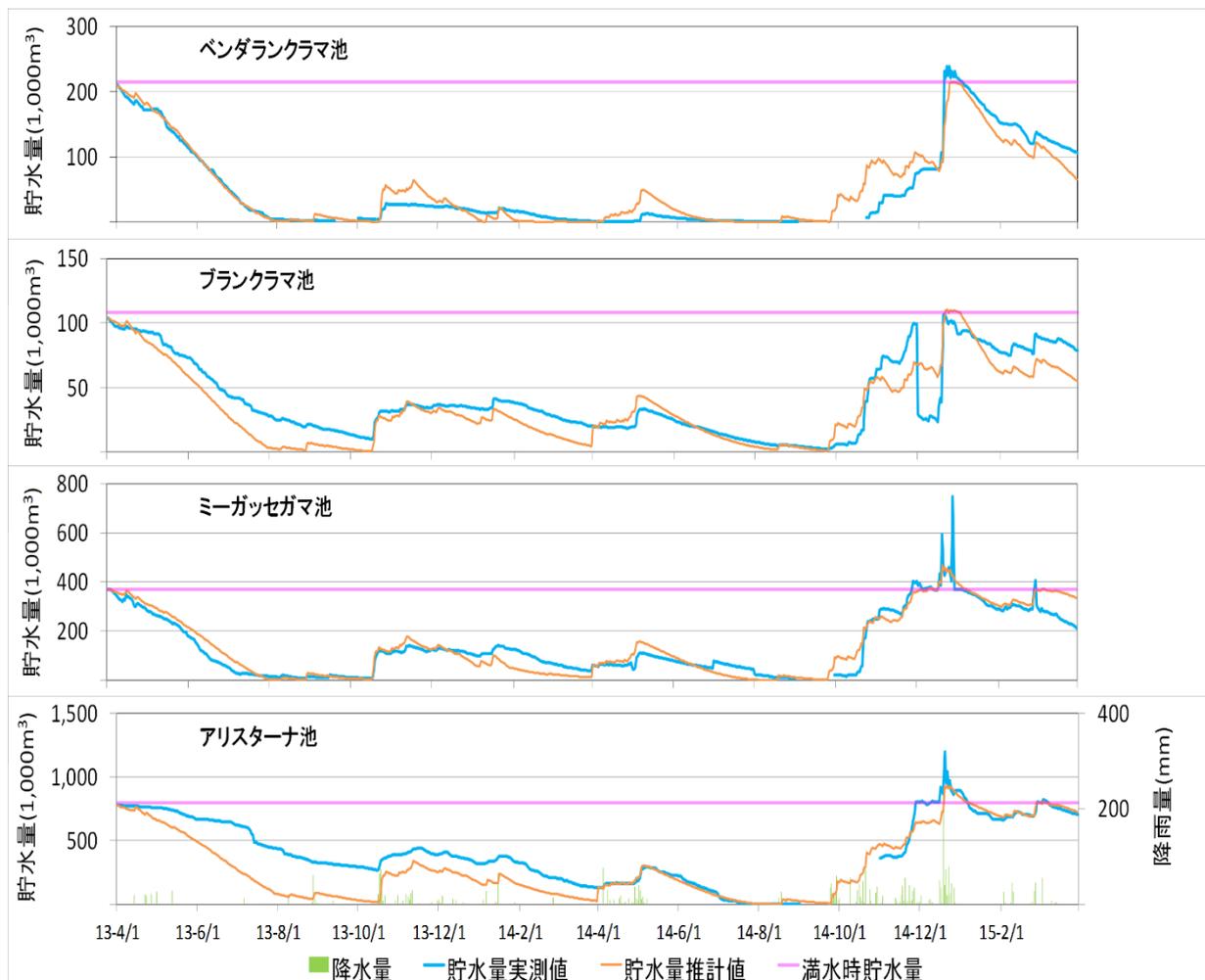


図 5-2 灌漑面積と降雨量から算出するため池貯水量と実績値の比較

聞き取り及び観測結果から得られた灌漑面積・取水量の実績値と、シミュレーションにより得られた灌漑面積・取水量の推計値の比較は、表 5-5 のとおりである。なお、灌漑面積実績値は、農業者が認識している全灌漑面積と Google Earth 画像で灌漑面積として示す範囲の面積が異なることから、これらの比率を用いて聞き取り結果の面積を換算した。

表 5-5 灌漑面積と取水量の実績値と計算値

			第一期間 2013年4月 ～2013年9月	第二期間 2013年10月 ～2014年3月	第三期間 2014年4月 ～2014年9月	第四期間 2014年10月 ～2015年3月
ベンダ ランク ラマ池	面積 (㎡)	実績	225,711	45,142	0	255,806
		計算	51,161	153,484	0	255,806
	取水量 (㎥)	実績	50,043	8,232	0	16,024
		計算	39,127	43,230	0	64,076
ブラン ク ラマ池	面積 (㎡)	実績	200,075	2,565	0	235,986
		計算	58,997	106,194	0	235,986
	取水量 (㎥)	実績	13,176	0	0	1,123
		計算	45,120	29,911	0	59,111
ミーガ ッセガ マ池	面積 (㎡)	実績	388,950	129,650	0	407,471
		計算	224,109	407,471	20,374	407,471
	取水量 (㎥)	実績	131,538	33,055	0	123,715
		計算	171,395	114,769	17,806	102,066
アリス ターナ 池	面積 (㎡)	実績	0	373,901	140,213	358,322
		計算	373,901	373,901	93,475	373,901
	取水量 (㎥)	実績	21,582	148,629	49,140	85,240
		計算	285,953	105,314	81,697	93,657
期間降雨量と灌漑状況			226.9mm アリスターナ池 は工事のため作 付け中止	595.8mm 15年ぶりの少雨	524.3mm 干ばつ。アリス ターナ池は大部 分で収穫に至ら ない見込み。ベ ンダランクラマ 池、ミーガッセ ガマ池では一部 で畑作。	1533.4mm

出典：灌漑面積実績値は、筆者による聞き取り調査と Google Earth 判読による

灌漑面積・取水量の実績値と計算値には、以下の想定外の結果が含まれている。

- 1) 第一期間で、アリストーナ池以外は実績面積が大きく、計算面積が小さい。
- 2) 第一期間で、アリストーナ池は実績面積ゼロに対して計算面積は全受益面積と等しい。
- 3) 第二期間では、アリストーナ池を除き、灌漑実績面積が小さく、計算面積が大きい。
- 4) 第二期間のブランクラマ池で、灌漑実績面積が記録されている一方で、観測取水量がゼロである。
- 5) 第三期間のアリストーナ池で、灌漑面積は実績値が計算値より大きい、取水量は実績値が計算値より小さい。
- 6) 第四期間のベンダランクラマ池、ブランクラマ池の観測取水量が、計算取水量と比較し著しく小さい。

これらの原因として、

- 1) 第一期間の開始時に、全てのため池がほぼ満水であったことによると考えられる。ただし、その後の降雨は非常に少なく、結果的には、作付けしたが収穫に至らなかった、または不作であった可能性がある。
- 2) アリストーナ池で用水路の改修工事があったことから、作付けしなかったことによる。
- 3) 耕作期間の開始時に、ため池の水位が非常に低く、かつ、まとまった降雨の開始が10月中旬と遅かったことが影響していると考えられる。カンナ会議を開催しなかったベンダランクラマ池、11月に入ってから耕作範囲を決めたミーガッセガマ池、降雨を想定してカンナ会議を開催していたアリストーナ池など、ため池別の状況に応じた作付け面積が決定されたものと考えられる。ミーガッセガマ、アリストーナでは、回数を減らして灌漑しており、シミュレーションの結果は過大であると考えられる。シミュレーションプログラムは、雨期作開始前の降雨を利用する耕起作業に必要な降雨量の有無については灌漑面積の判定に反映させないことが影響した可能性もある。
- 4) 観測技術が不十分、または、取水施設外からの取水が考えられる。
- 5) 耕作途中で栽培を放棄し、取水量が小さくなったと考えられる。
- 6) 観測技術が不十分であった可能性がある。しかし CASCADE II の計算誤差の原因にはなっていないことから、流域からの流出率が、過大に計算された可能性がある。

以上から、シミュレーションプログラムにより算出される灌漑面積は、現実を予測できるものではないが、増減の傾向、つまり水資源利用の有効性の指標としての信頼性はあると考えられる。また、耕作途中の灌漑面積の変更や、降雨開始時期の変動による影響の評価には不適切であり、時期的には標準的である降雨の雨量が増減する場合の評価に適している。より詳細にシミュレーションプログラムの信頼性を評価するには、耕作期途中の灌漑面積の変更や、降雨に応じた作付けの開始等を組み込んだ計算を行う必要がある。

5.1.3 シミュレーションに利用する降雨パターン

シミュレーションに利用する日降雨量・蒸発量パターン（以降、降雨パターン）として、(A) 標準年、(B) 中間豊水年、(C) 最大豊水年 (D) 雨期昨期平均年、(E) 気候変動下におけるものを作成した。利用したデータは、ティラップネ連珠ため池システムの近傍にある二つの気象観測所における観測値である。

表 5-6 利用した気象データ

気象観測所	観測値と観測期間
ナッチャドワ	日別降雨量 1905.9.1 - 2012.2.29
マハイラッパパラマ	日別降雨量 1976.1.1 - 2012.3.31 日別計器蒸発量 1981.1.1 - 2011.11.30

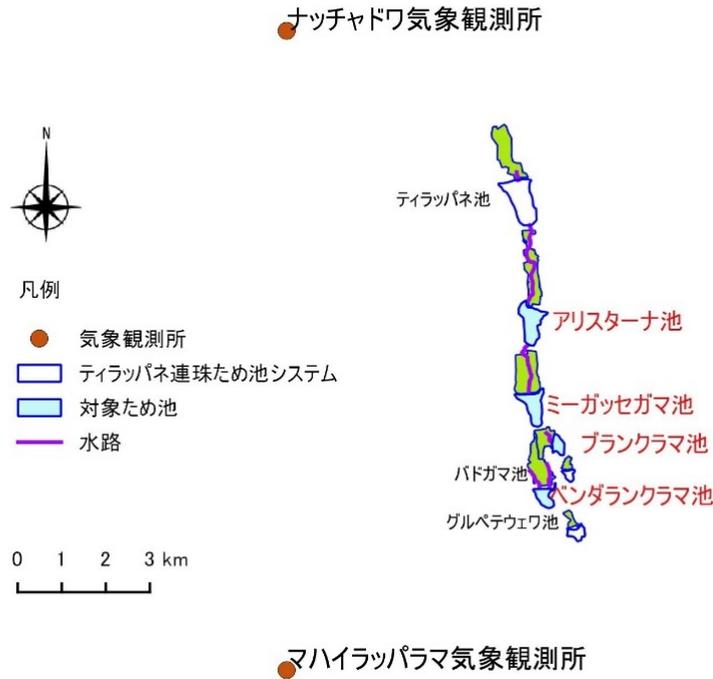


図 5-3 対象ため池と気象観測所の位置関係

ナッチャドワ気象観測所で観測された日別降雨量データのうち、気候変動前とされる 1990 年以前に観測され、かつ、年間 30 日以上欠損のある 1974 年、1977 年、1979 年、1980 年を除いた、1956 年 10 月から 1990 年 3 月までの計 30 年から、年間降雨量の平均値を算出したところ、1176.2mm であった。

CASCADE II の計算には日別降雨量と日別計器蒸発量が必要であることから、両者がそろっているマハイラッパパラマ気象観測所の観測データのうち、1176.2mm に近い年間降雨量を示す 1990 年 10 月から 1991 年 9 月の日別降雨量・日別計器蒸発量を、(A) 標準年降雨パターンとした。なお、降雨量の欠損値は 0.0mm、計器蒸発量の欠損値は前後の値の平均値で代替した。(A) 標準年降雨パターンを、図 5-4 に示す。

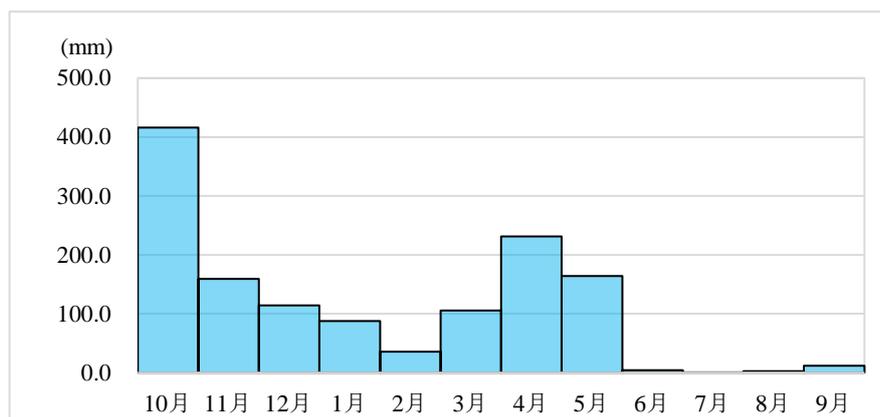


図 5-4 (A) 標準年降雨パターン

(C) 最大豊水年は、日別降雨量と日別計器蒸発量がそろっている中で、最大降雨量を記録した 1993 年 10 月からの一年間を、(B) 中間豊水年は、標準年と (C) 最大豊水年の中間値に近い降雨量を示す 2000 年 10 月からの一年間を、それぞれ選択した。(D) 雨期作期平均年は、雨期作期の平均値に最も近い値を示す年とした。また、(E) 気候変動下降雨パターンは、上記の (A) 標準年降雨パターンに、De Silva (2006, 2007) が示した A2 シナリオ下における予測変動値 (表 5-7) をかけあわせることにより作成した。作成した降雨パターンの概要は、表 5-8 のとおり。

表 5-7 気候変動予測変動値

	A2 シナリオ
12月から2月（雨期作期）の降雨量	-17%
5月から9月（乾期作期）の降雨量	—
蒸発散量	+2%

出典：De Silva et al. (2007)

表 5-8 降雨パターンの概要

降雨パターン	年間降雨量 (mm)	雨期作期降雨量 (mm)	乾期作期降雨量 (mm)	年間計器蒸発量 (mm)	備考
(A) 標準年	1192.4	855.7	336.7	1429.78	1990.10.1-1991.9.30
(B) 中間豊水年	1429.7	1073.8	355.9	1240.78	2006.10.1-2007.9.30
(C) 最大豊水年	2076.1	1704.7	371.4	1506.33	1993.10.1-1994.9.30
(D) 雨期作期平均年	1097.8	789.5	308.3	1518.19	1992.10.1-1993.9.30
(E) 気候変動下	1053.0	716.3	336.7	1458.50	—

5.2 ため池の浚渫が灌漑面積に与える影響

5.2.1 シミュレーションの内容

「ため池を大きくしてほしい」という要望は、ため池利用者から頻繁に聞くものである。「大きくする」とは、堆積土を浚渫する、または満水位を高くすることによって実現する。満水位を高くすることは、上流側への影響が生じることから公に採用されることは少ないと思われるが、浚渫については、スリランカ政府によるため池改修事業の一環で行われることがある。しかし、浚渫事業が、連珠ため池システムの水収支に与える影響、またはため池水利に与える影響は明らかではない。このため、全部の池を対象に、浚渫を想定したシミュレーションを行った。浚渫を想定したため池形状として図 5-5 に示すように、現状の皿形の形状を、ため池の最低水位から一定範囲の高さが円筒状になる杯形のため池形状に変更し、シミュレーションに用いた。また、この時の浚渫高／満水位を浚渫率 (%) とした。

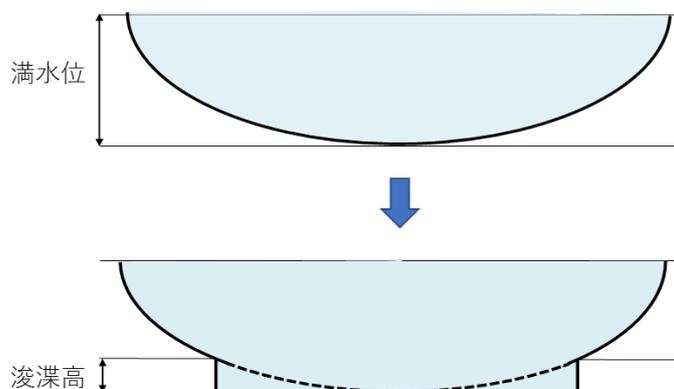


図 5-5 浚渫前後のため池横断模式図

5.2.2 浚渫による灌漑面積の変化

雨期作期に浚渫の効果として灌漑面積が増加するのは、「雨期作期中に洪水流出が発生する」かつ「洪水流出時に雨期作の灌漑面積増加の余地がある（灌漑面積率が 100%でない）」場合である。このような状況が発生するのかどうか確認するために、まず、(A) 標準年、(B) 中間豊水年、(C) 最大豊水年における灌漑可能面積のシミュレーションを行い、洪水放流の有無と灌漑面積率の関係を調べた。その結果は表 5-9 のとおりで、雨期作期において洪水流出が発生する状況では灌漑面積率は 100%となることから、浚渫による雨期作期における灌漑面積増加の効果は発生しないと考えられる。

表 5-9 降雨パターン別の雨期作期における洪水流出状況及び灌漑面積率

		ベンダランクラマ池	ブランクラマ池	ミーガッセガマ池	アリストーナ池
(A) 標準年	洪水流出	なし	なし	なし	なし
	灌漑面積率 (%)	71	60	100	100
(B) 中間豊水年	洪水流出	なし	なし	あり	なし
	灌漑面積率 (%)	100	100	100	100
(C) 最大豊水年	洪水流出	なし	あり	あり	あり
	灌漑面積率 (%)	100	100	100	100

次に、豊水時の雨期作期に洪水をため池に貯留することにより、乾期作期の灌漑面積増加の効果があるかどうか把握することを目的に、(A) 標準年、(B) 中間豊水年、(C) 最大豊水年の浚渫前後の灌漑面積を計算した。

表 5-10 (A) 標準年における浚渫による灌漑面積率 (%) の変化

		ベンダランクラマ池	ブランクラマ池	ミーガッセガマ池	アリストーナ池
雨期	浚渫位/満水位 (%)				
	0	71	60	100	100
	25	63	58	100	100
乾期	50	63	58	100	100
	0	1	1	10	32
	25	0	0	7	26
	50	0	0	7	26

表 5-11 (B) 中間豊水年における浚渫による灌漑面積率 (%) の変化

		ベンダランクラマ池	ブランクラマ池	ミーガッセガマ池	アリストーナ池
雨期	浚渫位/満水位 (%)				
	0	100	100	100	100
	25	100	100	100	100
乾期	50	0	82	100	100
	0	0	0	25	50
	25	0	0	16	35
	50	0	0	0	1

表 5-12 (C) 最大豊水年における浚渫による灌漑面積率 (%) の変化

	浚渫位/満水位 (%)	ベンダランクラマ池	ブランクラマ池	ミーガッセガマ池	アリストーナ池
雨期	0	100	100	100	100
	25	100	100	100	100
	50	100	100	100	100
乾期	0	4	13	37	96
	25	2	13	38	97
	50	0	12	27	92

計算により、ため池の底を杯形に浚渫することは、雨期に洪水が生じている (B) 中間豊水年・(C) 最大豊水年であっても乾期の灌漑面積の増加にはつながらず、雨期作期・乾期作期ともに灌漑面積を減少させる傾向があるという結果が得られた。

5.2.3 ため池形状の変更が水収支計算に与える影響

上記の灌漑面積の減少が何により生じるのかを確認するために、流域からの流出量、ため池への直接降雨量を固定し、漏水及び洪水流出の反復率を0%とし、さらに灌漑面積を一定にした場合に、蒸発量と漏水量がため池形状に応じてどのように変化するかを計算した。適用した降雨パターンは、(B) 中間豊水年のものである。結果は以下のとおり。

表 5-13 ため池形状の変更による流出要素別年間量の変化

	浚渫位/満水位 (%)	蒸発量 (1000 m ³)			漏水量 (1000 m ³)		
		年間	雨期	乾期	年間	雨期	乾期
ベンダランクラマ池	0%	52	36	16	371	265	105
	25%	46	34	12	378	272	106
	50%	30	18	12	404	305	99
ブランクラマ池	0%	42	25	17	132	74	58
	25%	41	24	16	135	76	59
	50%	33	20	13	145	93	52
ミーガッセガマ池	0%	143	91	52	565	324	241
	25%	137	90	47	588	337	251
	50%	85	64	21	695	486	209
アリストーナ池	0%	325	168	157	1,131	540	592
	25%	295	161	134	1,175	586	589
	50%	167	112	56	1,343	886	457

この結果より、同一の流入量・灌漑水量という条件下で、ため池形状を杯形に変更することにより「蒸発量の減少」と「漏水量の増加」が生じ、漏水量の増加が大きいことから、全体としては流出量が増加することがわかった。蒸発量の減少は、同一水量に対し湛水面積が減少することにより、また、漏水量の増加は、同一水量に対する貯水高の低下により生じていると考えられる。ただし、4.2.4(2)で述べたように漏水量の計算式自体の見直しが必要と考えられ、さらに、観測結果から求められた漏水量の計算式がため池の形を変えた場合にも適用が可能かどうかは不明である。

以上から、CASCADE II による計算では、ため池の浚渫によりため池の利用可能量が増加するとはいえない。また、ため池形状が水収支に与える影響を明らかにするためには、より適切な漏水計算式の開発と、ため池形状変更時の適用妥当性の検証が必要である。

5.3 上流ため池の漏水防止

5.3.1 シミュレーションの内容

長期にわたり利用されているため池では、ため池底部からの漏水は少なく、ほとんどの漏水は堤体の老朽化により生じるとすると、堤体の改修により漏水は防止できると考えられる。ここでは漏水が改善する、つまり、漏水係数が低下した場合に、連珠ため池システム内の水収支がどのように変化するかシミュレーションで確認する。利用する降雨パターンは、改善効果を確認しやすい (D) 雨期作期平均年のものとし、次の漏水係数の組み合わせで計算を行った。

- 現状の漏水係数
- ベンダランクラマ池の漏水係数を変更
- ブランクラマ池の漏水係数を変更
- ベンダランクラマ池、ブランクラマ池の漏水係数を変更
- ベンダランクラマ池、ミーガッセガマ池の漏水係数を変更

5.3.2 シミュレーションの結果

シミュレーションの結果の灌漑面積率の変化は、表 5-14 のとおりである。この結果から、上流ため池の漏水防止を行った場合、当該ため池の灌漑面積率は増加し、かつ、下流に位置するため池への負の影響は少ないことから、全体として水資源の配分が効率化したといえる。また、この結果のうち、「現状」と「ベン、ブラの漏水係数を変更」の雨期作期の灌漑面積率の変化について、4 つのため池の受益面積の比率を縦軸にとって灌漑面積の変化を図示したものを、図 5-6 に示す。

表 5-14 漏水率の変化による灌漑面積率の変化

漏水係数 (ベン-ブラ-ミイ-アリ)		雨期作期の灌漑面積率				乾期作期の灌漑面積率			
		ベン	ブラ	ミイ	アリ	ベン	ブラ	ミイ	アリ
現状	1.1-0.6-0.8-0.6	27	29	94	100	0	0	4	13
ベンの漏水係数 を変更	0.9-0.6-0.8-0.6	40	29	94	100	1	0	4	13
	0.6-0.6-0.8-0.6	66	29	96	100	5	0	4	13
ブラの漏水係数 を変更	1.1-0.4-0.8-0.6	27	42	94	100	0	2	4	13
ベン、ブラの漏 水係数を変更	0.9-0.4-0.8-0.6	40	42	95	100	1	2	4	13
	0.6-0.1-0.8-0.6	66	65	97	100	5	8	3	13
ベン、ミイの漏 水係数を変更	0.6-0.6-0.6-0.6	66	29	100	100	5	0	8	13

*ベン：ベンダランクラマ池、ブラ：ブランクラマ池、ミイ：ミーガッセガマ池、アリ：アリストーナ池

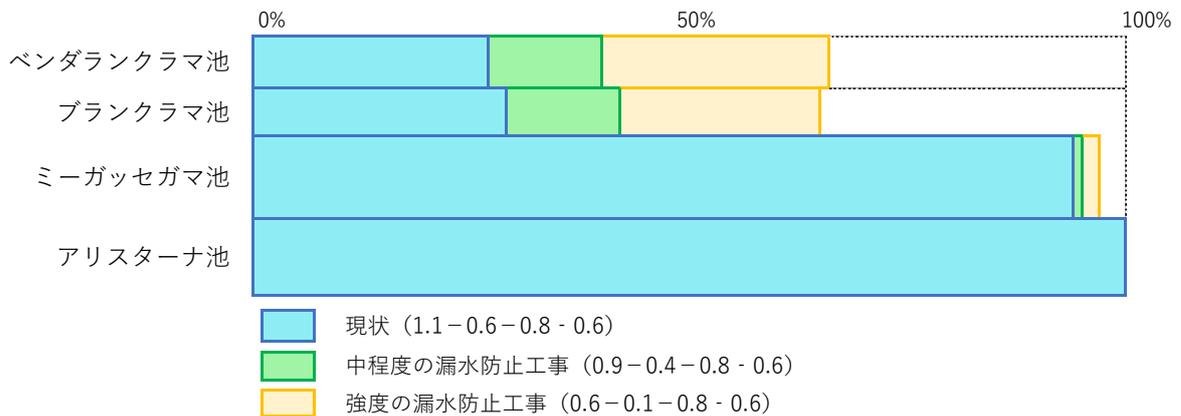


図 5-6 漏水率の変化による灌漑面積の変化

5.4 気候変動が灌漑面積に与える影響

スリランカの乾燥地域で発生が予測されている気候変動に伴う渇水に対して、連珠ため池システム内のため池水位と灌漑面積がどのような影響を受けるか評価するために、(A) 標準年降雨パターンと (E) 気候変動下降雨パターンを利用してシミュレーションを行った。その結果を表 5-15 に示す。

表 5-15 (A) 標準年と (E) 気候変動下の灌漑面積率 (%)

		ベンダランクラマ池	ブランクラマ池	ミーガッセガマ池	アリストーナ池
雨期	(A) 標準年	71	60	100	100
	(E) 気候変動下	50	41	100	100
乾期	(A) 標準年	1	1	10	32
	(E) 気候変動下	1	1	10	27

この結果から、気候変動により雨期作期に降雨が減少し蒸発量が増加する場合、連珠内の上流側に位置するより小規模なため池ため池の受ける影響がより大きいことがわかった。また、乾期作期の灌漑面積も、蒸発量の増加に伴い、減少する。

5.5 まとめ

CASCADE II と灌漑面積 - 取水量モデルから構築したシミュレーションプログラムを用いて、上流優先ため池整備について、以下のことがわかった。

- シミュレーションプログラムの計算結果として示される灌漑面積は、現実を再現するものではないが、水資源利用の有効性の指標となる。
- 耕作途中の灌漑面積の変更や、降雨開始時期の変動による影響の評価には不適切であり、時期的には標準的である降雨の雨量が増減する場合の評価に適している。
- CASCADE II による計算では、ため池の浚渫によりため池の利用可能量が増加するとはいえない。
- 上流ため池の漏水防止は、下流ため池に与える負の影響が少なく、連珠全体で見た場合に効率的な水資源の配分になるといえる。
- 気候変動により雨期作期に降雨が減少し蒸発量が増加する場合、連珠内の上流側に位置するより小規模なため池ため池の受ける影響がより大きい。

第6章 上流優先ため池整備に対するため池利用者の受容度

6.1 調査内容

水収支モデルを活用したシミュレーションにより、上流ため池の漏水防止は、下流ため池に与える負の影響が少なく、連珠全体で見た場合に効率的な水資源の配分になることがわかった。しかし、この知見に基づき上流側を優先に漏水防止を行うことが、他のため池の農業者にとってどのように受け止められるのかは不明である。

現状では、ため池の補修工事の手続き上、同一連珠内に位置するため池利用者の同意は必要とされていない。しかし、他のため池の既得権である水利に悪影響を与える事業は、実施される可能性が低く、また、NCPC 事業で計画されているように、システム全体の管理体制が実現した場合、同一システム内の利用者の事業に対する合意が、ため池の補修工事の実施およびその後の円滑な水配分に重要になると考えられる。

このため、シミュレーションで水資源配分上の効果が見られた漏水防止方策を中心に、同一連珠内の水利利用者の受容度を把握するとともに、シミュレーション結果の提示により受容度がどのように変化するか明らかにするために、調査を行った。調査内容は、以下のとおりである。

調査 A：上流ため池における水利用が下流ため池の貯水量に与える影響をどのように認識しているか把握するために、ティラップパネ郡の農業者組織役員を対象に、調査票調査を行った。調査票は付属資料 3 として添付。

調査 B：シミュレーション結果を提示しない場合の上流優先ため池整備への農業者への受容度を把握するために、ティラップパネ連珠ため池システムの農業者を対象に、ワークショップ開催と組み合わせた調査票調査を行った。ワークショップ説明資料、調査票は付属資料 4、5 として添付。

調査 C：上流ため池での漏水防止工事への受容度が、シミュレーション結果の提示により変化するか明らかにするために、ミーガッセガマ池の農業者 10 名を対象に、調査票に基づく個別の聞き取り調査を行った。質問項目には、調査 A で調査項目からもれていた、上流ため池の漏水防止工事が下流ため池に与える影響についての質問も加えた。調査票は付属資料 6 として添付。

調査 D：上流ため池での漏水防止工事および下流ため池への配水に対する受容度が、シミュレーション結果の提示により変化するか明らかにするために、ティラップパネ連珠ため池システムの農業者を対象に、ワークショップ開催と組み合わせた調査票調査を行った。ワークショップ説明資料、調査票は付属資料 7、8 として添付。

各調査の概要は、表 6-1～表 6-3 のとおり、調査対象としたため池と FO の関係は、表 6-5 のとおりである。

表 6-1 調査 A : 調査票調査の概要

調査期間	2012年6月18日～7月31日
調査対象	アスラーダプラ県ティラップネ農村サービスセンター管内にある、140カ所の小規模ため池を管理する FO の役員
主な質問内容	乾期作期の作付け内容 渇水時におけるため池の水利用 連珠ため池システム内の水資源に対する農業者の認識
調査実施者	農村サービスセンター 農業調査生産補助員 (ARPA)
回収した調査票の数	87

表 6-2 調査 B : ワークショップと組み合わせた調査票調査の概要 (一回目)

内容	気候変動の影響、最近の降雨量、水田面積当り流入量の偏り、上流ため池整備について等。意見交換の後、調査票への記入を依頼。		
参集範囲	ARPA、FO 役員、水管理人、希望者		
開催単位	バドガマ池 ベンダランクラマ池 ブランクラマ池	アリストーナ池	ミーガッセガマ池
開催日時	2014年3月21日 9:25-11:30	3月25日 9:15-11:20	3月27日 9:30-11:40
開催場所	ブランクラマ池 水管理人自宅	FO 事務局長自宅	ミーガッセガマ池近傍集会所
参加者数	16人 ARPA:1、FO 役員:4、水管理人:2、農業者:9	31人 ARPA:1、FO 役員:3、水管理人:1、農業者:26	16人 ARPA:1、FO 役員1、農業者14

表 6-3 調査 C : 個別聞き取り調査の概要

内容	上流ため池の水利条件、上流ため池の漏水防止工事への協力について等。
対象者	ミーガッセガマ池の利用者 10 名
調査日	2017年9月23、24日
調査場所	対象者自宅

表 6-4 調査D：ワークショップと組み合わせた調査票調査の概要（二回目）

内容	水収支モデルの検証結果、シミュレーションプログラムの開発、ため池の漏水防止による水配分について等。意見交換の後、調査票への記入を依頼。		
参加範囲	農村開発センター農業調査生産補助員(ARPA)、FO(FO)役員、水管理人、希望者		
開催単位	バドガマ池 ベンダラン池 ブランクラマ池	ミーガッセガマ池	アリストーナ池
開催日時	2016年3月3日 9:30-11:30	2016年3月4日 9:30-11:00	2016年3月4日 16:00-17:30
開催場所	Vendarankulama 集会所	FO 会員自宅	FO 事務局長自宅
参加者数	19人	6人	22人

表 6-5 ワークショップ開催ため池の灌漑地面積、所有者数、FO名称

	ベンダランクラマ池	バドガマ池	ブランクラマ池	ミーガッセガマ池	アリストーナ池
受益面積 (㎡)	255,806	66,054	235,986	407,471	373,901
受益地所有者数	38	6	28	66	52
FO 名称	Vendarankulama		Pubudu Farmers Organization. Bulankulama	Meegassegama Parakum	Allisthana Samagi

6.2 調査結果

6.2.1 上流ため池の水利用が下流ため池に与える影響への認識(調査 A)

上流ため池における水利用が下流ため池の貯水量に与える影響について、農業者がどのように認識しているかを把握するための調査項目として、上流ため池で浚渫等の出来事があった場合に、下流ため池の貯水量がどのように変化するかを、「減る」「変わらない」「増える」「その他」の四つの選択肢から選んでもらった。結果は図 6-1 のとおり。

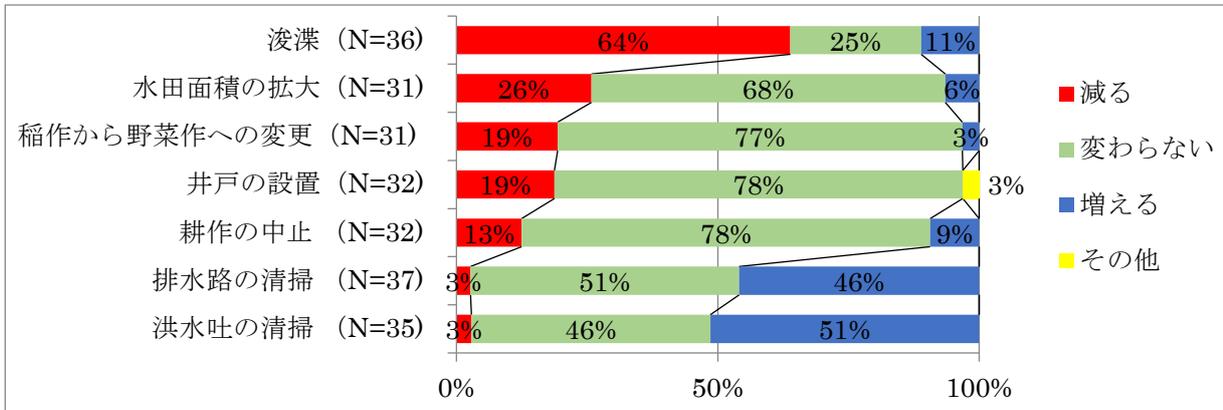


図 6-1 上流ため池の出来事がため池貯水量に与える影響

半数前後の回答者が同じ認識を示したのは、「浚渫」「洪水吐の清掃」「排水路の清掃」のみで、全体的に「変わらない」という回答が多い。連珠ため池システム内の上下流ため池の水収支関係について、大多数の農業者が具体的に認識していないと考えられる。

また、上流ため池の貯水量を増やす「浚渫」や、上流ため池での水利用量を増やす「水田面積の拡大」は、下流ため池の貯水量減少につながると考えられたが、これらの出来事により「下流ため池の貯水量が減る」という回答とともに、「増える」という回答も少数得られた。また、「稲作か野菜作への変更」や「耕作の中止」など、上流ため池の取水量が減る出来事に対しても「下流ため池の貯水量が減る」との回答が一定程度ある。これらの回答傾向からは、連珠ため池システム内では灌漑による還元水が多く発生しており、上流ため池での灌漑により下流ため池の水量が増えるとの認識が存在していると考えられる。また、上下流ため池の水収支関係は、ため池ごとに異なる条件に影響されており、下流ため池の貯水量に与える影響の正負がわかれていると考えられる。

6.2.2 上流ため池整備に対する受容度(調査B)

シミュレーションの結果を提示しない場合の上流優先ため池整備への受容度を把握するために、ティラップパネ連珠ため池システムの農業者を対象に、ワークショップ開催と組み合わせた調査票調査を行った。ワークショップでは、現在の連珠ため池システム内の水利条件が下流ほど有利であること、上流側のため池の浚渫もしくはかさ上げにより貯水量を大きくし水利条件を平準化することにより全体の水利用効率が改善する可能性があることを説明した。ただし、具体的な整備内容、変化すると考えられる貯水量等の数値は示していない。ワークショップ終了時に、連珠ため池システム内の整備事業に対する考えを、「とても同意的／好意的」「同意的／好意的」「否定的」「とても否定的」等の四段階の選択肢から選んで回答してもらった。なお、質問に含まれる「Kuluwewa/Olawewa」とは、沈砂や家畜用水のために利用される比較的小さなため池で、灌漑には用いられないもの（Sri Lank Heritages）である。

質問ごとの回答分布は図 6-2 のとおり。また、回答された選択肢に、同意度／好意度が高い順に2点、1点、-1点、-2点の点をつけ、質問ごとに集計し回答者数で割った値を受容度として算出したものを、ワークショップグループ別に整理した結果は、表 6-6 のとおり。

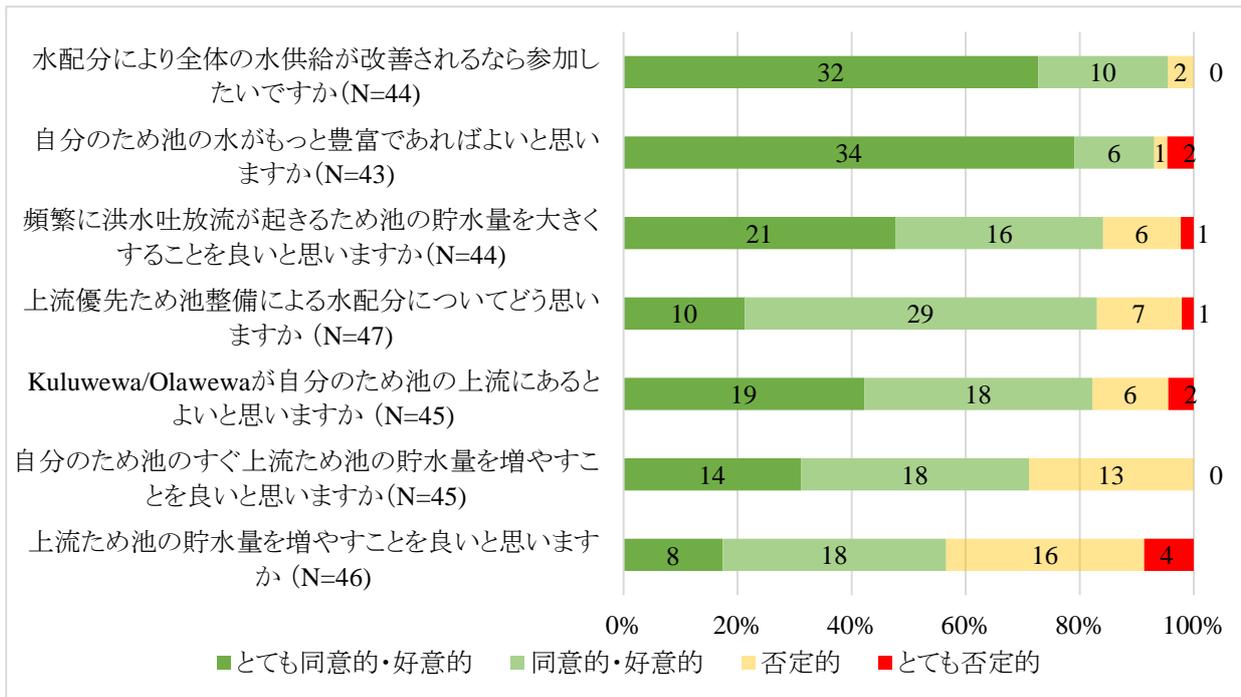


図 6-2 上流ため池整備にかかる同意度

表 6-6 ワークショップグループ別の同意度

	全体	バドガマ池、ベンダ ランクラマ池、ブラ ンクラマ池 (上流)	ミーガッセ ガマ池 (中 流)	アリスト ーナ池 (下 流)
水配分により全体の水供給が改善されるなら参加したいですか (N=44)	1.6	1.8	1.4	1.7
自分のため池の水がもっと豊富であればよいと思いますか (N=43)	1.6	0.9	1.9	1.8
頻繁に洪水吐放流が起きるため池の貯水量を大きくすることを良いと思いますか (N=44)	1.1	0.9	1.6	1.0
Kuluwewa/Olawewa*が自分のため池の上流にあるとよいと思いますか (N=45)	1.0	1.2	0.5	1.3
上流優先ため池整備による水配分についてどう思いますか (N=47)	0.9	0.5	0.8	1.1
自分のため池のすぐ上流ため池の貯水量を増やすことを良いと思いますか (N=45)	0.7	0.5	1.3	0.5
上流ため池の貯水量を増やすことを良いと思いますか (N=46)	0.2	0.5	0.5	-0.1

現状では、ため池整備事業の手続き上、同一連珠内に位置するため池利用者の合意は必要とされていない。

しかし、農業者の水利用については話し合いにより合意が形成されていることから、ため池整備についても連珠ため池システム内での合意が形成されたうえで事業が実施されることが、社会的にも、事業の透明性確保の面からも、妥当と考えられる。

どの程度の同意が得られれば合意が形成されたといえるのかについては、決まりはない。日本の土地改良事業であれば、法律上は対象地区内の耕作者三分の二以上の同意が必要とされており、農林水産省は同意率90%以上を目標にするように行政指導をしている（丹治ら、2014）。また、住民主導のまちづくりのための地区計画策定に対する都市計画提案制度では、対象地区の地権者、面積の三分の二以上の同意があることが、提案の条件となっている。実務としては、地区計画制定に向けた合意形成について、「反対している人が一割以上いる」などといった場合には合意形成が図られているとはいえない」（横浜市まちのルールづくり相談センター）といったガイドラインもある。これらから、図 6-2 が示す以下の結果からは、上流ため池整備については、合意に向けた話し合いはできるが、事業を開始できるほどの同意は得られていない、と整理することができる。

- 水供給改善に対する同意度は90%以上と高い。
- 洪水放流の多いため池の貯水容量を大きくすること、上流優先ため池整備による水配分、ため池上流に沈砂用の小池があることに対する同意度は80%以上である。
- 上流のため池の貯水量を大きくすることに対する同意度は60%未満、ただし、すぐ上流のため池の貯水量が大きくなることに対する同意度は60%以上である。なお、直上流ため池の灌漑水が増加すれば、自分のため池も潤うという認識が影響していると考えられる。

90%以上の合意がない理由、つまり対立点を探るために、ため池の位置関係が異なるグループ別に同意度を集計した（表 6-6）。その結果、ため池の位置関係に起因すると考えられる対立点として、以下が考えられた。

- 上流ため池の貯水容量を増やすことに対して、下流ため池利用者が反対している
- 上流ため池整備による水配分に対して、上流ため池利用者が反対している

これらは、下流ため池に水が来なくなることで、水配分により利用可能水量が減少することに対する懸念が、反映しているものと考えられる。しかし、位置関係に関係なくグループ別の同意度が異なる項目も多くあり、それらの対立の背景は不明である。

6.2.3 上流ため池の漏水防止に対する受容度の変化(調査C)

上流ため池での漏水防止工事への受容度が、シミュレーション結果の提示により変化するか明らかにするために、ミーガッセガマ池の農業者10名を対象に、調査票に基づく個別の聞き取り調査を行った。質問内容は、上流ため池の漏水防止が下流に与える影響、上流ため池の漏水防止工事に対する好意度、上流ため池の漏水防止工事（一ヶ月）への労力提供日数で、好意度と労力提供日数については、シミュレーションの結果を見る前（事前）と見た後（事後）で、同じ質問を繰り返した。提示したシミュレーション結果は図 6-3、調査結果は表 6-7 のとおりである。また、回答者別の工事への参加日数（事前、事後）は、表 6-8 のとおり。

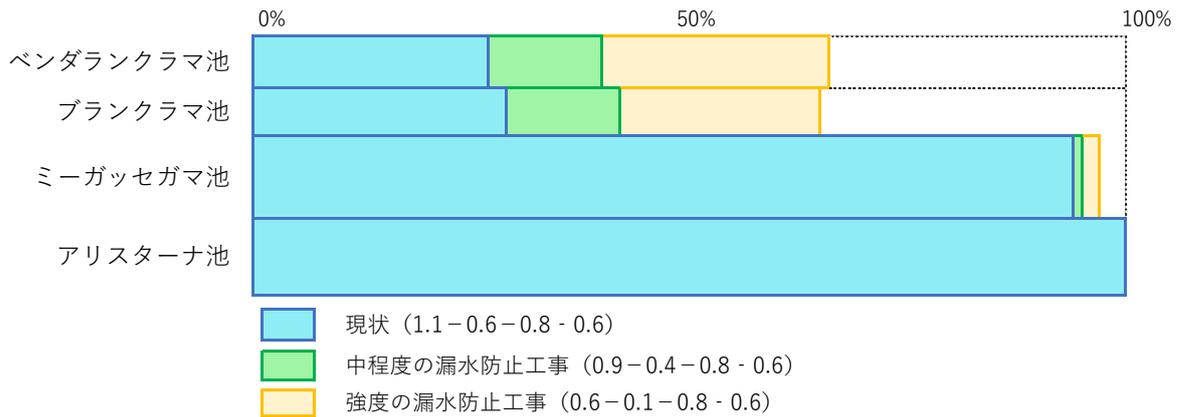


図 6-3 漏水率の変化による灌漑面積の変化 (再掲)

表 6-7 上流ため池の漏水防止工事に関する調査結果

	質問	回答内容と回答者数
シミュレーション結果を見る前	上流ため池で漏水防止をすると下流ため池のため池貯水量はどうか	変わらない7人、増える1人、減る1人、上流の水管理が下手なら増える1人
	上流ため池で漏水防止のための堤体改修工事を行うことは良いか	良い9人、良くない1人
	上流ため池の一ヶ月の漏水防止工事に何日参加するか	0日2人、1~3日5人、5日1人、7日1人、10日1人
シミュレーション結果を見た前	上流ため池で漏水防止のための堤体改修工事を行うのは良いか	良い9人、良くない1人
	上流ため池の一ヶ月の漏水防止工事に何日参加するか	1~3日6人、4~5日1人、8日~10日3人

表 6-8 回答者別の工事への参加日数 (事前、事後)

回答者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
事前 (日数)	0	1	1.5	3	10	2.5	5	0	1.5	7
事後 (日数)	1	9	2.5	3	10	2.5	4.5	1.5	2	8

この参加日数の変化についてウィルコクソンの符号つき順位和検定 (両側、5%水準) を行うと、水収支モデルを見た後は参加日数が増えるという結果になった。

ただし、この調査で対象とした「上流ため池の漏水防止工事」は、表 6-7 の回答結果が示すように、そもそも 10 人中 9 人が「良いもの」として認識していた。「良くない」と回答した 1 名のみが、自分のため池に水が来なくなることを「良くない」理由としてあげた。このため、上流ため池の漏水防止事業の実施については大きな対立はなく、当初から受容されていた可能性と、対象者が 10 名と少なかったため反対者が調査対象に含

まれていなかった可能性が考えられる。したがって、シミュレーション結果の提示により受容度は向上したが、その向上が対立を乗り越え合意の形成に寄与するものであるかは、考察できなかった。

6.2.4 ため池間配水と上流ため池漏水防止に対する受容度の変化(調査D)

上流ため池での漏水防止工事および下流ため池への配水に対する受容度が、シミュレーション結果の提示により変化するか明らかにするために、ティラップパネ連珠ため池システムの農業者を対象に、ワークショップ開催と組み合わせた調査票調査を行った。ワークショップでは、水収支モデルの検証結果及びシミュレーションプログラムの開発について説明した後、気候変動により雨期の渇水が起きた想定の中で、バドガマ池とブランクラマ池(図6-4)を対象とした、シミュレーションに基づく具体的な整備内容のシナリオ二つを提示し、「バドガマ池の利用者」及び「ブランクラマ池の利用者」の二つの立場に立った場合のそれぞれの同意度を調査した。提示したシナリオは以下のとおり。

シナリオ1:バドガマ池からブランクラマ池へ13日間配水する。増加した灌漑面積からの収穫は、両ため池で分配する。

シナリオ2:バドガマ池の漏水防止工事を行ったうえで、バドガマ池からブランクラマ池へ13日間配水する。漏水防止工事には両ため池の関係者が参加し、増加した灌漑面積からの収穫は、両ため池で分配する

ただし、このワークショップで利用したシミュレーションプログラムは開発途中のものであり、5章で示したものと結果が異なる。また、十分にデータのそろわなかったバドガマ池の水収支計算にかかるパラメータは、ブランクラマ池のものを流用した。

ワークショップで提示した、それぞれのシナリオにおける灌漑面積は、表6-9、表6-10のとおり。

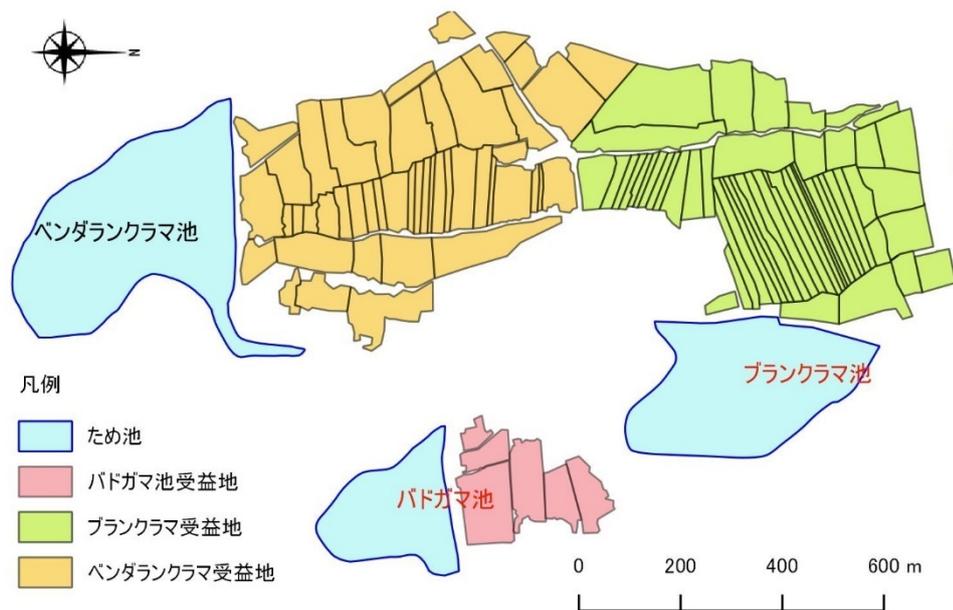


図6-4 シナリオ対象ため池位置図

出典: Survey Department of Sri Lanka (2004) より作成、受益地圃場形状は Google Earth より判読

表 6-9 シナリオ1：上流から下流に配水する

	灌漑面積率	灌漑面積
気候変動による雨期の渇水	バドガマ池：60% ブランク라마池：55%	169,425 m ² (42ac)
バドガマ池からブランク라마池へ一部配水	バドガマ池：50% ブランク라마池：65%	186,410 m ² (46ac)

表 6-10 シナリオ2：漏水防止工事をする

	灌漑面積率	灌漑面積
気候変動による雨期の渇水	バドガマ池：60% ブランク라마池：55%	169,425 m ² (42ac)
バドガマ池の漏水防止工事	バドガマ池：85% ブランク라마池：55%	185,938 m ² (46ac)
バドガマ池からブランク라마池へ一部配水	バドガマ池：70% ブランク라마池：65%	199,629 m ² (49ac)

調査票調査では、バドガマ池、ブランク라마池それぞれの農業者の立場に立った場合の事業参加への意向を、「ぜひしたい」「してもよい」「あまりしたくない」「全くしたくない」の4段階で選択してもらった。それぞれの選択肢に、2点、1点、-1点、-2点の点をつけ、設問ごとに集計、回答者数で割った値を事業への同意度として算出した。シナリオ・想定する立場別の回答分布は図 6-5、想定する立場別の同意度は表 6-11 のとおり。

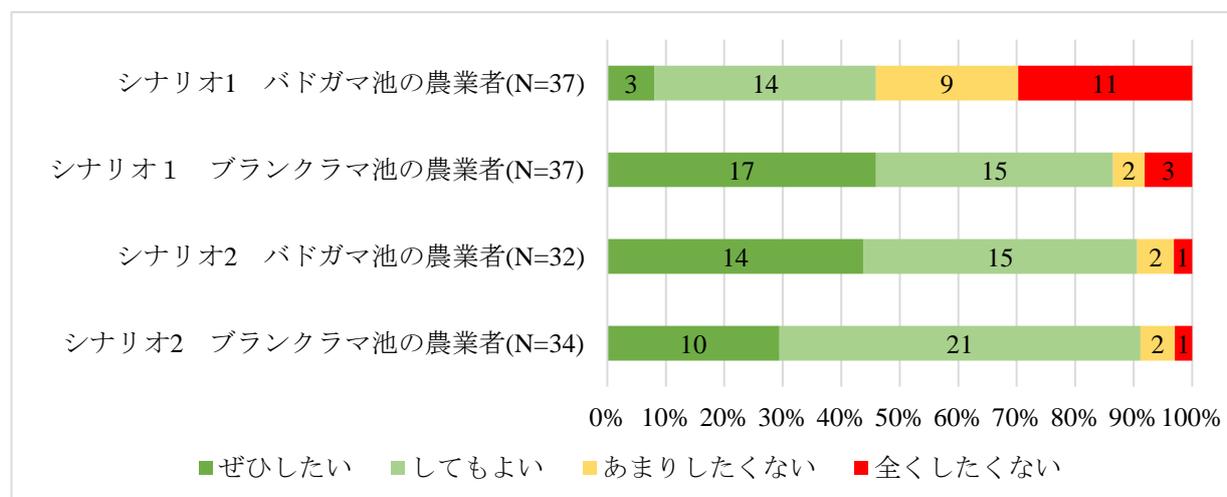


図 6-5 シナリオ・立場別の回答分布

表 6-11 シナリオ・立場別の同意度

シナリオ	想定する立場	同意度
シナリオ1	バドガマ池の農業者	-0.3
	ブランクラマ池の農業者	1.1
	平均	0.4
シナリオ2	バドガマ池の農業者	1.2
	ブランクラマ池の農業者	1.1
	平均	1.2

これらの結果から、以下のことが示唆される。

- シナリオ1では、想定する立場によって参加意欲度が大きくことなる。
- シナリオ1で想定する「水」と「収穫物」の交換は、水を与える立場からは受け入れがたい。
- シナリオ2で想定する「貯水容量の向上」を伴う「水」と「収穫物」の交換は、想定する立場にかかわらず受け入れやすい。

6.3 まとめ

対象地域のため池の水は、受益地所有者の共有財産とみなされている。また、ため池の水は、農業者の生産活動の最も重要な要素のひとつであり、水利条件の改変を伴う上流優先ため池整備事業については、関係者の高い合意が必要と考えられる。

日本の土地改良事業や土地計画策定における合意形成では、適格者の9割以上の同意が必要との行政指導やガイドラインがあることを参考に、関係者の9割以上の同意があれば上流優先ため池整備の事業化が可能になるという仮定をおいて、考察を行った。

まず、連珠ため池システム内の上下流ため池の水収支関係について、大多数の農業者が具体的に認識していないと考えられた。しかし、上流ため池整備について具体的な内容・数値を示さずに同意度を調査したところ、上流のため池の貯水量を大きくすることに対する同意度は60%未満と低く、ため池の位置関係が異なるグループ別の対立点として、「上流ため池の貯水容量を増やすことに対して、下流ため池利用者が反対している」と「上流ため池整備による水配分に対して、上流ため池利用者が反対している」の二点があると考えられた。

次に、上流ため池での漏水防止工事に対する下流ため池利用者による受容度を、工事への参加日数を指標として評価した。その結果、シミュレーション結果の提示前と提示後では、提示後の受容度は有意に高いことが示された。しかしこの調査は、対象者が10名と少なく、調査対象者はシミュレーション結果の提示前から「上流ため池での漏水工事」について「良いもの」として認識していた。このため、漏水防止事業の実施については大きな対立はなく、当初から受容されていた可能性と、対象者が10名と少なかったため反対者が調査対象に含まれていなかった可能性が考えられる。したがって、シミュレーション結果の提示により受容度は向上したが、その向上が対立を乗り越え合意形成に寄与するものであるかは、考察できなかった。

また、ため池間の水配分に伴う負担と利益の分配に関する質問への回答からは、「水」と「収穫物」の交換は水を与える立場からは受け入れがたいこと、一方で、「貯水容量の向上」を伴う場合は「水」と「収穫物」

の交換は立場にかかわらず受け入れやすいことが示された。

第7章 ため池の水資源利用効率向上における制約¹

7.1 概要

前章まで、連珠ため池システム内の上流優先整備による利用可能な水資源量の増加と農業者の受容度について考察した。しかし、利用可能な水資源量が増加した場合に、それがため池において水利用の効率化につながるのかは明らかではない。このため本章では、渇水時の水と土地の配分に関する調査票調査、農業者の水利用に係る合意形成過程の観察、水田畑作導入における貸貸導入の試行を通じ、ため池における効率的な水資源利用について、乾期の水田畑作を中心に考察した。

7.2 機能しなくなった渇水時の土地と水の再配分

7.2.1 ベトマによる土地と水の再配分

調査対象地には、ベトマと呼ばれる渇水に適応するための手法がある。ベトマとは、水不足の際にため池受益地の一部を、受益地の所有者間で一時的に再配分することであり、1861～4年の行政文書に記録が残る（Leach1961）古い手法である。水不足の際にはため池の水で灌漑できる土地は限定されるが、その灌漑可能な土地を関係者の間で一時的に再配分することにより、間接的に水を配分しているといえる（図 7-1）。ベトマは、乾期にすべての農民が平等に耕作する機会を確保するもの（平岩、2009）であり、農業者の発言によると「ベトマは優良な灌漑地を所有していない社会的弱者を救済するもの」である。このことからベトマは、UNESCO の“Management of Social Transformations Programme”で、伝統的知識を利用した貧困削減の優良事例として紹介されている（UNESCO）。また、効率的な水利用の観点からも優れたシステムであり、近年、大・中規模の灌漑システムへも導入されている（平岩、2009）。ベトマは、スリランカにおける灌漑用水利用者による水管理の秀逸さを示すものとして、しばしば話題に取り上げられ、また、政府が定めたカンナ会議の報告様式（付属資料 1）には、ベトマによる作付けの有無を記載するようになってきている。行政の立場からは、ベトマの継続的な実施が期待されていると考えられる。

しかし、Somarathna and Kono（2005）がアヌラーダプラ県の 60 の村で行った調査結果によると、2000 年時点で約 53% の村で現在ベトマは行われておらず、農業用井戸の普及、灌漑ポンプの普及、人口増加、農地の拡大と、ベトマの実施との間に負の相関があることが示されている。Somarathna and Kono（2005）は、農業用井戸と灌漑ポンプを所有する農業者は個別の水へのアクセスがあることからベトマを無視する傾向があること、人口増加による農地の細分化でベトマによる農地サイズが小さすぎることで、農地拡大により雨期作の灌漑用水量が増加し乾期作向けの水量が減少し栽培リスクが高まることから、水があってもベトマが採用されないと考察したうえで、ベトマの放棄がため池水利用及びため池周辺の地下水の持続性に脅威をあたえているとしている。しかし、ベトマの適用が減り、農業用井戸と灌漑ポンプが普及したことにより、具体的にため池水利用の持続性にどのような影響が生じているのかは議論されていない。

¹ 本章のうち 7.2、7.3 は、Oka et al.（2015）を翻訳、加筆したものである。

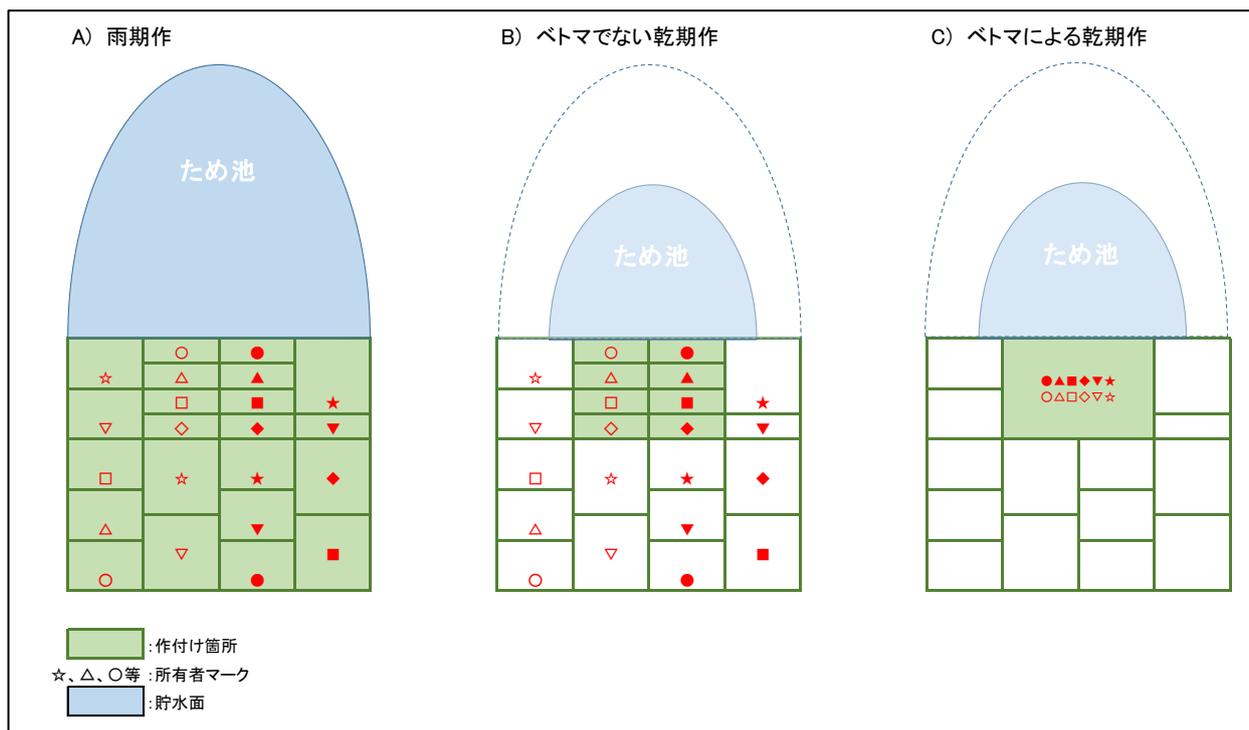


図 7-1 ベトマ概要 (左：雨期作、中：乾期作、右：ベトマによる乾期作)

7.2.2 ベトマの実施状況に関する調査

ベトマの存在は、利己的な水利用のみならず、共同体の利益に配慮した水利社会の存在を意味しており、ベトマの継続や衰退の背景を探ることは、本研究の対象である連珠全体の利益を目指した水配分成立の可否に示唆を与えると考えられる。このため、2000年時点とのベトマ実施状況の変化と、ベトマ採用・非採用の要因を把握するために、アヌラーダプラ県ティラップネ農村サービスセンター管内にある140カ所の小規模ため池を対象とした質問票を用いた調査を行った。調査概要は表7-1のとおりで、農村サービスセンターの農業調査生産補助員（ARPA）が調査票に基づきため池を管理しているFOの役員に対して質問をし、ARPAが回答を記録する方法で調査を行った。その結果、87のため池から調査票を回収し、回答代表者の数は44名であった。

表 7-1 調査票調査の概要 (再掲)

調査期間	2012年6月18日～7月31日
調査方法	調査票を用いた調査
調査対象	アヌラーダプラ県ティラップパネ農村サービスセンター管内にある140カ所の小規模ため池
主な質問内容	乾期作期の作付け内容 渇水時におけるため池の水利用 連珠ため池システム内の水資源に対する農業者の認識
調査実施者	農村サービスセンター 農業調査生産補助員
回答者	ため池を管理しているFOの役員
回収した調査票の数	87

質問1では、ベトマの実施状況について、3つの選択肢から回答を選択してもらった。結果は表7-2のとおりである。

表 7-2 ベトマの実施状況

選択肢	回答数
1-a、過去5年間(2008年から2012年)にベトマを適用した	1
1-b、過去ベトマの適用があったが、現在は適用していない	37*
1-c、ベトマの適用をしたことはない	73*

N=79、*32人のため池管理者が、b、c両方を選択した

これによると、ほとんどのため池でベトマは適用されていない。ベトマの適用率は1%にしか過ぎず、既存研究による他地区の調査で示された、「1990年から2001年間に34%、1995年から2001年間に25%の村でベトマが適用された(Kono and Somarathna, 2003)」、「32村中、3分の1に相当する11村においてベトマが適用された(平岩, 2009)」といったデータと比較すると著しく少ない。Kono and Somarathna (2003)、耕野(2005)が述べたように、ベトマの適用は減り続けている。

質問2は、質問1の回答に応じて設問を変えた。質問1で「1-a」を選択した者には、ベトマの詳細な実施方法を質問したが、調査票調査では回答を得られなかった。別途行われた現場調査及び聞き取り調査から、ベトマはトウガラシ栽培で適用されたとの情報が得られた。

質問1で「1-b」を選択した者には、ベトマをしなくなった理由を選択誌から選択するよう、依頼した。また、「1-c」を選択した者には、ベトマを適用しない理由を記述するよう依頼した。これは、既存文献や聞き取り調査から、「ベトマの実施」が過去には広範囲に行われていたが現在は衰退したと認識しており、「ベトマを適用しなくなった理由」を詳細に分類しようとしたためである。しかし結果としては、多くの回答者が両方の質問に回答した。このため、両方の回答を、現在ベトマをしていないため池に関する回答として、整理した。表7-3は選択式回答の回答割合、表7-4と表7-5は記述式回答の集計である。記述式回答のうち表7-4は、ベトマへの認識に関する記述内容を、回答者数で集計した。同じく表7-5は、ため池の状態に関する記述内容

を、ため池数で集計した。

表 7-3 ベトマを適用しない理由（選択式回答）

選択肢	割合（数）
1) 乾期にため池に水がたまらなくなった	48% (21)
2) 水が不十分な場合は、灌漑地すべての耕作をとりやめる	41% (18)
3) ベトマでの耕作よりも有利な仕事がある	36% (16)
4) 農地がなくて困っている人を助ける意志がない	30% (13)
5) 人口が増えた	27% (12)
6) 一人当たりの農地面積が減った	25% (11)
7) 協働の気持ちが薄れた	25% (11)
8) 農業以外の仕事で忙しくなった	18% (8)
9) 井戸で灌漑ができるようになった	14% (6)
10) 水が少なくても栽培できる	2% (1)
11) マハベリの水がきている	0% (0)

*回答のあったため池数 44、複数回答あり

表 7-4 ベトマを適用しない理由のうち、ベトマへの認識に関するもの（記述式回答）

理由	割合（数）
1) 農業者はベトマを好まず適用する意志がない	54% (22)
2) 広い面積を所有する農業者はベトマを好まず適用する意思がない	17% (7)
3) 農業者は土地を持たない人を助け共生する意志がない	7% (3)
4) 水田を分割するとトラブルになる	5% (2)
5) ベトマへの認識について何らかを記述	73% (30)

*回答者数 41、複数回答あり

表 7-5 ベトマを適用しない理由のうち、ため池の状態に関するもの（記述式回答）

理由	割合（数）
1) 水が十分でない	22% (17)
2) 水が十分ありベトマを適用する必要がある	7% (5)
3) 過去に失敗した	5% (4)
4) 水が少ないときはプラナウエラのみ灌漑する	4% (3)
5) 個人所有のため池または、利用者の数が少ない	4% (3)
6) ベトマでは圃場が小さくなりすぎる	3% (2)
7) 乾期には塩害が生じる	1% (1)
8) ため池の状態について何らかを記述	47% (35)

*回答のあったため池数 74、複数回答はなかった

表 7-3 によると、約半分のため池で「水がたまらなくなった」ことをベトマ中止の理由としてあげている。つまり、ため池の貯水量が少なすぎてベトマを適用しても一人当たりの耕作面積が小さすぎるため作付けしない状況であり、これは、既存研究（Kono and Somarathna, 2003）の報告と合致する。しかし、表 7-4 によると、54%の回答者が「ベトマを好まない」としており、その中には、「とても嫌っている」とした回答も含まれる。また、その回答割合は表 7-5 で水不足を挙げた 22%より高い。これらから、利用者のベトマへの認識が、水不足といったため池の状態よりも、ベトマの適用に与える影響が大きいと考えられる。回答者のうち 73%がベトマへの認識について何らかを記述したのに対し、回答のあったため池のうち、ため池の状態につい

て何らかの記述があったのは 47%であったことも、ベトマへの認識がその適用に与えるの影響が大きいことを示唆している。なお、表 7-4 で、17%の回答者が土地所有面積の広い者がベトマを好まないと記述していることから、ベトマへの認識は、土地所有面積に影響されている可能性がある。さらにその背景には、表 7-3 の「ベトマでの耕作よりも有利な仕事がある (36%)」に示されたように農業者の兼業化が進み、ベトマで耕作する必要性が薄れていることが、「農地がなくて困っている人を助ける意思がない」、「協働の気持ちが薄れた」という現状につながっていると考えられる。

以上のように、水不足の際のため池の水配分手法の一つである、農地を一時的に再配分し、灌漑農地を持たない社会的弱者に生計手段を与えるベトマ手法は適用されなくなっており、その要因は「ベトマでの耕作よりも有利な仕事がある」という社会の変化を背景とした「ベトマを好まない」という利用者の認識が主なものであると考えられる。

7.3 導入されない水田畑作

7.3.1 水田畑作

スリランカでは米の自給率が 100%を超えていることから、政府は稲作に対する補助金削減と、作物の多様化を進めている。"Food Production National Programme 2016-2018" (Presidential Task Force on National Food Production) では、コメの自給を維持しつつ、未利用地や乾期の水田においてその他作物の生産面積を増やすことがうたわれておあり、対象作物としてコメ、トウモロコシ、ラッカセイ、リョクトウ、タマネギ、トウガラシ、ジャガイモ等が挙げられている。乾燥地域のため池受益地においても作物多様化方策は、従来米の二期作であったものを、乾期には畑作物を栽培する二毛作に変更することである (Jayawardane and Weerasena, 2001)。農業省の"Accelerated other Field Crop Production Programme" (Ministry of Agriculture, 2014) は、穀物類の自給率向上、乾期の生産性向上を目標としており、アヌラーダプラ県ではトウガラシ、ラッカセイ、ケツルアズキ、トウモロコシ、ゴマ、ダイズ、シコクビエ、リョクトウ、タマネギが推奨作物となっている。同プログラムでは、年三回の作付けも推進している。畑作物生産量は増えているが政府目標には達しておらず、タマネギ、豆類など、消費の多くを輸入に頼っている作物がある (表 7-6)。しかしアヌラーダプラ県では、一部の先進的な取り組みを除き、従来のコメ二期作もしくはコメ単作を行っているため池がほとんどである。

表 7-6 2013 年穀物生産量・輸出量・国内供給量

	国内生産量 (t)	輸入量 (t)	国内供給量 (t)
タマネギ	125,230	184,260	309,355
豆類	11,250	11,385	22,305
豆類	NA	30,760	30,367
トウモロコシ	209,040	28,629	236,924
ダイズ	13,445	1,148	14,101
穀物 (コメ以外)	NA	386	69
ラッカセイ	27,490	2,287	4,519
ラッカセイ	19,243	1,601	3,163
ゴマ	14,240	75	7,808

出典：FAOSTAT

7.3.2 水田畑作導入にかかるカンナ会議の観察

2014年3月に、ティラップネ農村サービスセンター管内のアリスターナ池において開催されたカンナ会議を観察した。このカンナ会議では、雨期の稲作の後、三番目の作期にあたる3月から4月に行うリョクトウ栽培が議題であった。リョクトウ栽培はため池受益地のうち一部の栽培適地でしか栽培できないことから、事前に農業普及員から話を受けたFOの役員が、適地所有者の中から参加希望者を取りまとめていた。一方で、リョクトウ栽培に必要なため池の水利用について、ため池受益者全員の合意が必要なことから、カンナ会議の開催となった。

カンナ会議には、通常同席するARPAに加え普及員が同席し、スリランカ政府がリョクトウ種子購入を補助すること、リョクトウは短期間かつ2回の灌水で栽培できること等を説明し、参加者へリョクトウ栽培への合意を促した。しかし、ため池受益地の一部でしかないリョクトウ栽培適地の所有者がため池の水を使うことについて、対立が生じた。リョクトウ適地を持たない農業者は、ベトマの適用による、無償での適地の配分を主張した。ベトマが適用されれば、彼らは適地を利用しリョクトウを栽培することができるからである。一方、適地の所有者は、ベトマで土地を利用したものが耕作後の整地作業をしなかった、または耕作後に謝礼がなかったという経験を持ち出し、ベトマの適用に反対した。同席していた普及員とARPAは全体の利益のために協力することを説き、小額の謝礼の支払いを条件に適地を分配することの提案までしたが、適地の非所有者はベトマによる無償での土地配分に固執し、適地所有者はベトマに同意しなかった。このため、ため池の水を使ったリョクトウ栽培は見送りとなった。

適地の所有者は圃場整地等の責務が分担されることなく土地を共有することを望まず、適地の非所有者はそのような責務を分担する意思を持たず他者がため池の水から利を得ることも望まなかったといえる。この観察から、ベトマが実施されない理由として、7.2で述べた「ベトマでの耕作よりも有利な仕事がある」という社会の変化に加え、「ベトマでは土地利用にかかる責務を公平に分担できない」ことを追加することができる。納得性の高い適地配分の仕組みがないことが、水田畑作にため池の水を利用する上での制約の一つになっていると考えられる。

7.4 水田畑作適地の賃貸導入の試行

7.4.1 賃貸と前払い導入の提案

乾燥地の小規模ため池の受益地において水田畑作が広がらないのは、畑作への水利用について、ため池の水利用を共有する利用者（ため池利用者）間の合意が得られないこと、さらには、合意が形成されないのは、水田畑作の適地が限定されている中、ため池利用者間で適地及び土地利用に関する責務を配分する適切な手法がないことが原因であると考えられた。アリスターナ池では、カンナ会議に同席した農業普及員や会議の主催者である FO の役員は、土地の貸し借りについては個人の問題であるとの認識で、積極的には土地配分に踏み込んで水利用を前進させようとの意識はないと見られた。このため、土地の賃貸と賃借量の前払いを前提とし、希望者が参加できる水田畑作の取り組みを、アリスターナ池の隣に位置するミーガッセガマ池の農業者に提案した。提案にあたっては、北中部州農業局から種子の手配、技術指導の協力を得た。

7.4.2 リョクトウ栽培の経緯

リョクトウ適地の賃貸、前払いの導入について事前の FO 役員等との意見交換を行ったのち、ため池利用者全員を対象としたリョクトウ栽培研修と説明会を開催し、リョクトウ適地の賃貸と前払い導入を提案した。提案に対し、一度は参加者から賛同を得たものの、具体的な適地配分を議論する段階において一人の適地所有者から「適地は無償提供する」と提案があり、その後は議論が進まず賃料の導入は見送りとなった。

その後、農業局の支援のもと農業者内の話し合いにより、栽培希望者がグループ（当初は女性生産組合、後に農業生産協会）を設立しリョクトウ種子代を管理すること、リョクトウ栽培参加者は収穫後、提供を受けた種子代相当分をグループに返済すること、適地非所有者は栽培後の整地を条件に無料で適地を借りられること、などが決められた。また、リョクトウ栽培前のカンナ会議で、ため池の水をリョクトウへ配水することも決められた。

リョクトウ栽培開始時には、降雨が豊富であったことからリョクトウはやめて稲作を行う者が増加し、最終的には適地所有者 6 人が自らの農地でリョクトウ栽培を行った。ため池の水は配水されず、配水責任者である水管理人は、リョクトウ栽培参加者以外からの嫉妬があったこと、リョクトウ圃場の用水路が清掃されていなかったこと、予想より早く始まった稲への配水が優先されると判断したことを、理由として挙げた。

全作付面積 6 ac のうち 3 ac は湛水によりリョクトウは枯死したが、収穫にいたった部分では、当初見込みの 350-600 kg/ac を超える 700-900 kg/ac の収穫が得られた。収穫物の販売については、栽培参加者から販売先がみつからずリョクトウの一部が腐ったとの話があった。収穫物の販売後グループ会計へ種子代を返済する約束であったが、湛水による減収・全減があったことから、種子代の減免が行われ、また、返済までは時間を要したが、最終的には返済が行われ、基金の額は約 4,000Rs. 増加した。

湛水しなかった圃場で高収量が得られたことからリョクトウ栽培への興味は高まっていると見られたが、その後は天候不順もあり、2016 年、2017 年とも、リョクトウ栽培は実施されなかった。しかし、グループ会計が存続していることから、リョクトウ栽培以外の用途が検討されていた（2017 年 9 月現在）。

リョクトウ栽培の経緯は表 7-7、リョクトウの収穫状況は表 7-8 のとおり。

表 7-7 リョクトウ栽培の経緯

年月	出来事
2014年5月	ミーガッセガマ池のFO役員を中心に、リョクトウ栽培導入に関する意見交換。賃貸と前払いを条件とした水田畑作導入取組みを提案、合意を得る。
2014年8月	ミーガッセガマ池の農業者40名、ARPAと会合を開催し、リョクトウの栽培研修（付属資料9）と意見交換を行った。一人の適地保有者より無償で土地を貸す意向が示されたことから、賃貸に関する検討が中止になった。次期雨期作後のリョクトウ栽培に向けて前向きに準備すること、雨期作後のため池貯水量から水管理人が栽培可能面積を提示すること、栽培可能面積の範囲内で希望者が0.25acずつリョクトウを栽培できるようにすることで、参加者は同意した。
2014年後半頃	リョクトウ生産者の団体として、女性生産組合が設立された。女性組織となったのは、農業局の意向。参加希望者が40名から61名へと増加し村の全世帯が関係するようになったことと、男性は農閑期に出稼ぎに出ることから、マイクロファイナンスの事例を参考にずっと地元にいる女性を主体とした組織にした、後に生産者組織に変更。
2015年2月	<p>農業者による検討会が開催された。検討会には、農業生産協会の女性会員だけでなく農業者組織の主だった役員等の男性も参加した。出席者は女性18名、男性18名の計36名に、農業普及員、普及員の上司、ARPA、JIRCAS研究者2名、通訳1名である。</p> <p>検討会では、男性側から協会の運営に直接参加できないことに対する不満や不安が出された。とくにFO（男性主体）の役割の重要性、つまり、所有者からどの程度土地を貸してもらうか、ため池の水をどう使うか、作付面積をいくりにするかなどの重大事項の決定はFOの業務で、他の組織には許されていないことが議論され、最終的には、農業者組織が全面的に協力し、重大事項は農業者組織の総会で決定することが決まった。</p> <p>農業普及員からは、種子をただもらうのではなく、収穫後にその費用を返却して次の栽培時の種子購入に充てるリボルビング・ファンドの導入が提案された。この仕組みは前回の集會時に提案されていたが、今回、利率を12%と決めることが提案され了承された。1/4エーカー栽培すると種子は約4kg必要となる。種子の値段を300Rs./kgとすると1/4エーカーでは1,200Rs.借りたことになり、それに利息を付けて協会に返す。返却期間は1収穫期=6か月以内で、利率は月2%とする。6か月後に返せば利率は12%となる。</p>
2015年4月	リョクトウの栽培が開始された。栽培前には会員のうち30名がリョクトウ栽培参加を希望しており、そのうち適地非所有者である10名は、栽培後の整地を条件に無料で0.25エーカー(ac)ずつ借地する予定であった。しかし、降雨量が例年になく豊富であり稲栽培が優先されたため、最終的には適地所有者である6人が6acの農地でリョクトウ栽培を行うこととなった。
2015年6月	収穫。

表 7-8 リョクトウ収穫状況

栽培参加者	収穫状況
1	約5割の面積で収穫
2	約5割の面積で収穫
3	全面積収穫
4	全面積収穫
5	部分的に収穫
6	全滅

7.4.3 水田畑作の課題と対策

畑作物栽培に適地の賃貸と前払いを導入しようと試みたが、ミーガッセガマ池では導入されなかった。一方で、7.3のアリスターナ池で問題となった、栽培後の圃場の整地が借地の条件となり責務の一部は明確化され、また、ため池の水利用についても合意は形成された。賃貸や前払いが導入されない背景としては、土地利用を金銭でやり取りすることに対する忌避感情があると考えられることから、適地配分の仕組みとしては、まず、金銭を介さない責務の明確化から取り組むべきと思われる。

また、試行の過程では、根強い稲作志向、ため池受益地の適地不足と排水不良、栽培に不慣れである、不安定な天候によるリスクが高い、販路がない、といった課題も現れた。水田畑作が広く行われるようになるためには、これらの課題についても、軽減もしくは解決される必要がある。

7.5 まとめ

利用可能な水資源量が増加した場合に、それがため池において水利用の効率化につながるのかは明らかではない。このため、渇水時の水と土地の配分に関する調査票調査、農業者の水利用に係る合意形成過程の観察、水田畑作導入における賃貸導入の試行を通じ、ため池における効率的な水資源利用について、水田畑作を中心に考察した。

水不足の際のため池の水配分手法の一つである、農地を一時的に再配分し、灌漑農地を持たない社会的弱者に生計手段を与えるベトマ手法は適用されなくなっており、その要因は「ベトマでの耕作よりも有利な仕事がある」という社会の変化に加え、「ベトマでは土地利用にかかる責務を公平に分担できない」ことを追加することができる。また、ベトマが変わる、納得性の高い適地配分の仕組みがないことが、水田畑作にため池の水を利用する上での制約の一つになっていると考えられる。

ベトマが変わる納得性の高い適地配分の仕組みとして、賃貸と前払いを導入しようと試みたが、ミーガッセガマ池では導入されなかった。しかし、アリスターナ池で問題となった、栽培後の圃場の整地が借地の条件となり責務の一部は明確化され、また、ため池の水利用についても合意形成までは行われた。両池は隣接しており常日頃から競争意識がある。この競争意識のため、ミーガッセガマ池ではアリスターナ池より積極的に取り組もうとした可能性もある。賃貸や前払いが導入されない背景としては、土地利用を金銭でやり取りすることに対する忌避感情があると考えられることから、適地配分の仕組みとしては、まず、金銭を介さない責務の明確化から取り組むべきと思われる。

また、試行の過程では、根強い稲作志向、ため池受益地の適地不足と排水不良、栽培に不慣れである、不

安定な天候によるリスクが高い、販路がない、といった課題も観察された。水田畑作が広く行われるようになるためには、これらの課題の一層の解明と対策の検討が必要と考えられる。

第8章 結論

8.1 研究成果

スリランカ乾燥地域に位置するアヌラーダプラ県の小規模ため池では、利用者の話し合いに基づく水管理が実現している。しかし、不安定な降雨が今後さらに不安定化すること、主要作期である雨期作期の降雨が減少する予測があること、連珠ため池システム内で水利条件が偏っていること、維持管理が不十分であること、システム内の水利条件の偏りを是正し水資源利用の効率化を図る手段の一つと考えられる連珠全体の水管理がなされていないこと、などの課題がある。そのような中、湿潤地域から乾燥地域へ導水する北中央州水路事業が進行中で、導水先となる連珠ため池システム内の効率的かつ公平な水配分が求められている。

本研究ではまず、連珠ため池システムのため池貯水量を推計する水収支モデルとして、既存のモデルを一部改良した CASCADE II を構築し、二つのデータセットを用いて同定・検証を行い、計算精度を求めた。その結果、CASCADE II の同定時の誤差と、同定時と異なるデータセットを用いた検証時の誤差の差は、1.1%の増加にとどまり、時間的な汎用性はあると考えられた。また、検証で得られた誤差の分布から、信頼係数 95%で誤差の信頼区間は 2.7%から 9.8%であった。また、CASCADE II で新たに導入した洪水流出係数の適用により、洪水吐の機能が設計上期待される排水能力と比較し、著しく低いことを示した。

次に、水利条件の偏りを平準化する方策になると考えられる上流優先のため池整備の効果を検討するために、CASCADE II と既存の灌漑面積 - 取水量モデルを組み合わせ、想定する降雨に対する灌漑可能面積の算出を行うシミュレーションプログラムを開発した。上流優先ため池整備を中心としたシミュレーションの結果から、以下の事項がわかった。

1. CASCADE II による計算では、ため池の浚渫によりため池の利用可能量が増加するとはいえない。
2. 上流ため池の漏水防止は、下流ため池に与える負の影響が少なく、連珠全体で見た場合に効率的な水資源の配分になるといえる。

これらの知見に基づく水配分について、ため池利用者の受容度を把握するとともに、シミュレーション結果の提示により受容度がどのように変化するか調査した。その結果、現状では上流ため池の整備として上流ため池の貯水容量を大きくすることへの同意度は 60%未満と低く、「上流ため池の貯水容量を増やすことに対して下流ため池利用者が反対している」と「上流ため池整備による水配分に対して上流ため池利用者が反対している」という対立点が見られた。シミュレーション結果の提示前と提示後で、上流ため池での漏水防止工事に対する下流ため池利用者による受容度を、工事への参加日数を指標として評価した。その結果、シミュレーション結果を提示すると、受容度が有意に高くなることが示された。しかしこの調査は対象者が 10 名と少なく、調査対象者はシミュレーション結果の提示前から「上流ため池での漏水工事」について「良いもの」として認識していた。このため、漏水防止事業の実施については大きな対立はなく、当初から受容されていた可能性と、対象者が 10 名と少なかったため反対者が調査対象に含まれていなかった可能性が考えられる。

以上から、問いに対する答えは、以下のとおりである。

[問い 1] 連珠ため池システムにおいて、水資源を効率的に配分するためには、どのような方法があるか。

[答え 1] 連珠ため池システムにおける水資源の分布が、上流から下流に流下する還元水の影響で下流ため池有利となっている中、漏水防止は上流ため池のみに行っても、下流ため池に負の影響を与えることはなく、連珠ため池システム全体としてみれば、効率的な水資源配分につながる。一方、浚渫を行うことは、灌漑面積

の増加につながるとはいえない。

[問い2]水利計算上の効率的な水資源配分は、地元農業者に受容可能か。

[答え2]現状では、連珠ため池システム全体の水資源を配分するという考えは、地元農業者の間に見られな
い。しかし、連珠ため池システム全体の水資源配分による貯水量や灌漑面積の変化を、シミュレーションによ
り具体的に示すことにより、上流側優先のため池整備に対する受容度を高めることができる。

8.2 残された課題

連珠ため池システムの水収支モデル及び灌漑面積のシミュレーションに関しては、以下の残された課題が
ある。

- 流出量計算における遅れ値の適用条件の検討やタンクモデルの適用による精度向上
- 漏水量算定式のより適切な近似式の開発
- 他の連珠ため池システムへ汎用可能なモデルの開発

また、上流ため池整備への受容度は、シミュレーション結果を提示することにより高くなったが、もともと
の対立がどの程度であるか、また、向上した受容度が対立の存在を乗り越えて合意形成に寄与するものであ
るかは明らかでなく、課題として残っている。

さらに、現実に連珠ため池システム内での水配分が平準化され、利用可能な水資源が増加した場合に、それ
が、個別ため池における有効な水利用につながるのかは明らかではない。このため、乾期のため池における効
率的な水資源利用となる水田畑作について調査を行い、考察した。その結果、水田畑作導入において、納得性
の高い水田畑作適地配分および責務分担の仕組みがないことが阻害要因であると考えられた。このため、責務
分担の仕組みとして、賃貸および前払いによる水田畑作の適地配分を農業者に提案し、導入を試みた。その経
緯の観察から、適地配分の仕組みとしては、金銭を介さない責務の明確化から取り組むべきであると思われた。
また、根強い稲作志向、ため池受益地の適地不足と排水不良、栽培に不慣れである、不安定な天候によるリス
クが高い、販路がない、といった課題も観察された。水田畑作が広く行われるようになるためには、これらの
課題の一層の解明と対策の検討が必要と考えられる。

引用文献

- Asian Development Bank Technical Assistance Consultant (2014) : *Sri Lanka: Water Resources Development Investment Program*, Technical Assistance Consultant's Report.
- Department of Agrarian Services (1987) : *Technical notes for the guidance of the technical officers*.
- Department of Agriculture, Government of Sri Lanka (accessed Feb. 7, 2018) : Rice cultivation <https://www.doa.gov.lk/rrdi/index.php?option=com_sppagebuilder&view=page&id=42&lang=en>.
- Department of Census and Statistics (2016) : *Paddy statistics 2015/2016 Maha season*.
- Department of Meteorology : ナッチャドゥワ気象観測所1982年10月-2010年9月日別降水量、1976年1月-2013年12月日別最高・最低気温、マハイラツパラマ気象観測所1981年10月-2011年9月日別計器蒸発量
- De Silva, C. S. (2002) : Sustainable groundwater resource management in the Thirappane tank cascade system, *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*. 30(3-4), 97-108.
- De Silva, C. S., Weatherhead, E. K., Knox, J. W., and Rodriguez-Diaz, J. A. (2007) : Predicting the impacts of climate change—A case study of paddy irrigation water requirements in Sri Lanka, *Agricultural Water Management*, 93 (1-2) , 19-29.
- Eriyagama, N., Smakhtin, V., Chandrapala, L., and Fernando, K. (2010) : Impacts of climate change on water resources and agriculture in Sri Lanka: a review and preliminary vulnerability mapping, IWMI Research Report 135, International Water Management Institute.
- Itakura, J. (1995) : Water balance model for planning rehabilitation of a tank cascade irrigation system in Sri Lanka, Working Paper 37, International Irrigation Management Institute.
- FAO (accessed 5 Feb. 2018) : FAOSTAT <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>.
- Geekiyana, N. and Pushpakumara, D.K.N.G. (2013) : Ecology of ancient Tank Cascade Systems in island Sri Lanka, *Journal of Marine and Island Cultures*, 2, 93-101.
- Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, and E. Guevara (2008) (accessed 2016.7.14) : Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT) <<http://srtm.csi.cgiar.org>>.
- Jayatilaka, C. J., Sakthivadivel, R., Shinogi, Y., Makin, I. W. and Witharana, P. (2001) : Predicting water availability in irrigation tank cascade systems: the cascade water balance model, Research Report 48, International Water Management Institute.
- Jayatilaka, C. J., Sakthivadivel, R., Shinogi, Y., Makin, I. W. and Witharana, P. (2003) : A simple water balance modelling approach for determining water availability in an irrigation tank cascade system, *Journal of Hydrology*, 273, 81-102.
- Jayawardane, S. S. B. D. G. and Weerasena, L. A. (2001) : Crop diversification in Sri Lanka, *Crop diversification in the Asia-Pacific region*, (M. K. Papademetriou and F. J. Dent, eds.) , FAO, Bangkok, Thailand, 112-129.
- Jinapala, K., Brewew, D. J. and Sakthivadivel, R. (1996) : Multi-level participatory planning for water resources development in Sri Lanka, Gatekeeper series 62.
- Kono, H. and Somarathna, H. M. (2003) : Theoretical analysis of transforming of Bethma custom in Sri Lankan traditional village, 帯広畜産大学学術研究報告, 人文社会科学論集, 11 (2) , 32-36.
- Leach, E. R. (1961) : *Pul Eliya-A Village in Ceylon*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- Li, Q. and Gowing, J. (2005) : A daily water balance modelling approach for simulating performance of tank-based irrigation systems, *Water Resources Management*, 19, 211–231.
- Matsuno, Y., Tasumi, M., van der Hoek, W., Sakthivadivel, R. and Otsuki, K. (2003) : Analysis of return flows in a tank cascade system in Sri Lanka, *Paddy and Water Environment*, 1 (4) , 173–181.
- Ministry of Agriculture (2014) (accessed Jul. 8, 2015) : Accelerated other field crop production programme <<http://www.agrimin.gov.lk/web/index.php/en/project/12-project/67-accelerated-other-field-crop-production>>.
- North Central Provincial Council (2016) (accessed Oct. 31, 2016) : Basic statistical view <<http://www.nc.gov.lk/en/about-us/statistics.html>>.
- Oka, N., Higashimaki, T., Witharana, D. D. P. and WAKEYO, M. B. (2015) : Constrains and consensus on water use and land allocation in minor scheme tanks in the dry zone of Sri Lanka, *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 15 (4) , 185–190.
- Ostrom, E. (1992) : *Crafting institutions for self-governing irrigation systems*, the Center for Self-Governance, San Francisco.
- Panabokke, C. R., Sakthivadivel, R. and Weerasinghe, A. D. (2002) : *Evolution, present status and issues concerning small tank systems in Sri Lanka* (Randolph Barker; M.U.A. Tennakoon; J. Alwis, ed.) , International Water Management Institute.
- Parliament of the Democratic Socialist Republic of Sri Lanka (2000) : Agrarian development act, No.46 of 2000, 1–50.
- Presidential Task Force on National Food Production (accessed Feb 5, 2018) : Food Production National Programme 2016-2018.
- Sakthivadivel, R., Fernando, N., Panabokke, C. R. and Wijayarathna, C.M. (1996) : Nature of Small Tank Cascade Systems and a Framework for Rehabilitation of Tanks within Them, IIMI Country Paper, Sri Lanka No.13, International Irrigation Management Institute.
- Shah, T., Samad, M., Ariyaratne, R. and Jinapala, K (2013) : Ancient Small-Tank Irrigation in Sri Lanka - Continuity and Change, *Economic & Political Weekly* 48, 58-65.
- Shinogi, Y. (2004) : *Optimal Water Management under Tank Cascade System of Sri Lanka*, JIRCAS Working Report 38.
- Somarathna, H.M. and Kono, H. (2005) : Indigenous institutions for irrigation water management and sustainable agriculture: A case study from Sri Lanka, *Journal of Agricultural Development Studies* 15 (3) , 69–76.
- Somarathna, R. and Kurugala, P. (2011) : Floods hit over 1.2million, the Daily News.
- Sri Lanka Heritages (accessed Jun. 1, 2016) : Ecosystem based indigenous water management <<http://www.srilankaheritages.com/ecosystem.html>>.
- Survey Department of Sri Lanka (2004) : Digital data of topographic information 1:10,000 ,1:50,000
- Survey Department of Sri Lanka (2007) : *The National Atlas of Sri Lanka*.
- UNESCO (accessed Sep. 15, 2015) : The bethma practice: promoting the temporary redistribution of lands during drought periods <<http://www.unesco.org/most/bpik21.htm>>.
- Water Management Division, Department of Agrarian Services (2000) : *Data book for village irrigation schemes of Sri Lanka*.
- 荒川潤 (2010) : 政策評価と社会的合意形成、季刊 政策・経営研究、2010 (4)、7-18
- 板倉純 (1994) : スリランカ・連珠溜池灌漑システムの水収支モデル、農業農村工学会誌、62 (12)、1129–

- 岡直子、東楨健、幸田和久、藤井秀人 (2013) : スリランカの老朽化した小規模ため池整備上の課題と対策、農業農村工学会誌、81 (8)、643-646
- 岡直子、山路永司、Witharana D.D.Prabath : 連珠ため池システムの貯水量推計モデルの検証と誤差の算出、農業農村工学会論文集へ投稿中
- 鬼丸竜治 (2012) : 参加型水管理における農民の維持管理労力負担意欲、農村工学研究所報告、51、259-306
- 鬼丸竜治 (2013) : 水路の維持管理における労力負担行動の継続性評価指標、農業農村工学会論文集、284、89-90
- 気象庁 (参照2017年9月) : 過去の気象データ検索、入手先<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/annually_s.php?prec_no=72&block_no=47891&year=&month=&day=&view=>
- 北村義信 (1984) : スリランカ・ドライゾーンにおける水田用水量に関する研究、農林水産省熱帯農業研究センター
- 耕野拓一 (2005) : 伝統的灌漑管理制度と持続的農業、開発学研究、15 (3)、69-76
- 佐藤政良、河野賢、ウンウィチットタッサニー、石井敦 (2007) : 農民参加型水管理の原理と実現方策、農業農村工学会誌、75 (7)、615-620
- 白井知子、長谷川安代 (2007) (参照2016年11月16日) : 気候変動2007 影響、適応と脆弱性 日本語版、気候変動に関する政府間 パネルの第4次評価報告書に対する第2作業部会の報告、入手先<<http://www.cger.nies.go.jp/ja/library/ipcc-ar4-wg2/>>
- 菅原正巳 (1972) : 流出解析法、共立出版株式会社
- 菅原正巳 (1978) : 続・流出解析法、共立出版株式会社
- 玉城哲、旗手勲、今村奈良臣 (編) (1984) : 水利の社会構造、京大学出版会
- 独立行政法人国際協力機構 (2015) (参照2016.10.1) : スリランカ北中部乾燥地域における連珠型ため池灌漑事前評価表、入手先<[http://gwwweb.jica.go.jp/km/ProjDoc066.nsf/VIEWJCSearchX/6D05222BFE80FA594925804C000FDD32/\\$FILE/スリランカ北中部乾燥地域における連珠型ため池灌漑事前評価表.pdf](http://gwwweb.jica.go.jp/km/ProjDoc066.nsf/VIEWJCSearchX/6D05222BFE80FA594925804C000FDD32/$FILE/スリランカ北中部乾燥地域における連珠型ため池灌漑事前評価表.pdf)>
- 独立行政法人国際農林水産業研究センター (2011) : 自然災害により低下した農業・農村の機能を再構築するための手法開発報告書
- 永野由紀子 (2012) : インドネシア・バリ島の水利組織 (スバック) における人間と自然の共生システム — タバナン県ジャティルイ村の事例 —、専修人間科学論集社会学篇、81-98
- 中村尚司 (1988) : スリランカ水利研究序説、論創社
- 丹治肇、櫻井一宏、中村中、桐博英、中矢哲郎 (2014) : 農地政策の転換における土地改良法の問題点—土地改良区の事業における代表性の分析—、土木学会論文集、70 (4)、283-288
- 農林水産省農村振興局整備部設計科海外土地改良技術室 (2007) : アジアモンスーン地域における農民参加型末端整備・水管理指針
- 野沢勝美 (2003) : 伝統的水利組織と参加型灌漑管理 - フィリピンのイコロス・ノルテ州における事例 -、国際関係紀要、12 (3)、7-42
- 花谷厚、佐藤峰 (2011) : アフリカの持続的水利用と管理に向けた社会科学からのアプローチ、Policy Brief 6、JICA研究所
- 平岩昌彦 (2008) : スリランカの政府と農民による共同灌漑管理の現状と課題、水土の知、76 (4)、341-346

- 平岩昌彦 (2009) : スリランカフルルウェワ灌漑地区におけるベトマに関する分析、*水土の知*、77 (6)、477-481
- 平岩昌彦 (2010) : スリランカの大規模灌漑地区における農民組織の運営状況の分析、*水土の知*、78 (4)、315-319
- 藤本直也、小出淳司、ワケヨメコネン、岡直子 (2012) : 海外水田整備における土地・水管理の重要性、*水土の知*、80 (12)、1005-1008
- 水谷正一 (1992) : インドネシア・バリ島のスバックにみる伝統的技術の再評価と近代化への適応、*水利の風土性と近代化*
- 水谷正一 (2001) : 大規模灌漑システムの参加型管理、*農業土木学会誌*、69 (8)
- 柳哲雄 (1996) : 東南アジアの水循環. 重点領域研究総合的地域研究成果報告書シリーズ、総合的地域研究の手法確立、世界と地域の共存のパラダイムを求めて、23、3-12
- 横浜市まちのルールづくり相談センター (2014) : 住民合意形成ガイドライン (第2版)

謝辞

本論文の執筆にあたり、山路永司先生に長きにわたるご指導をいただいた。多くの教えを受けたのみならず、常に叱咤激励と温かいお心遣いをいただいたことは、私の人生の宝であると感じている。心より感謝を申し上げます。

また、審査会委員をお引き受け下さった中山幹康先生、鈴木綾先生、塩沢昌先生、本田利器先生には、審査にとどまらず、それぞれに、研究を行ううえでの貴重なご指導をいただいた。深く感謝を申し上げます。

本研究は、国立研究開発法人国際農林水産業研究センターの業務の一環で行われたものである。業務成果を博士論文として取りまとめるよう励まして下さった職場の皆様、特に、多くの時間をスリランカで一緒に過ごした東槇健様に、また、現地調査の全てにおいて、スリランカの皆様とのコミュニケーションを助けて下さった Z. Ali. M. Mowlana 様に、心よりの感謝を申し上げます。

付属資料

付属資料1 カンナ会議報告書様式

(原文シンハラ語)

2000/46 番農村開発法 86 (1) に基づき開催した所有者または耕作者 (tenant farmer) 会議で決定した事項の報告	
01.	200...年 時期：ヤラ/マハ
02.	県名：
03.	ASC 名：
04.	ARPA 名：
05.	i. ため池/ダム/水系/大字とその他[の名称]： ii. 番地：
06.	水供給方法：小規模かんがい/天水/.....
07.	開催場所： 月日：
08.	域内の全農家数：
09.	域内の全作付面積：
10.	会議に参加した農家数：
11.	このカンナにベトマを使って作付けしますか？ Yes/NO
12.	決定した作付面積：
13.	耕作開始時期：.....日から 耕作終了時期：.....日まで
14.	作付けする米：.....日齢[時期] <input type="text" value="か月"/>
15.	耕起：.....日から.....日まで
16.	牛/トラクターを域内から外へ出す期限日：
17.	i 直播：.....日から.....日まで ii 移植：.....日から.....日まで
18.	他の作物類 日齢[時期] i 耕起：.....日から.....日まで ii 移植：.....日から.....日まで
19.	耕作計画の決定者： 提案者： 支持者[Second]：
20.	耕作計画に基づく仕事の最終日：
21.	フェンスの作成 i フェンスを作るか： Yes/No ii つくるなら..... 日までに終了する iii フェンスの形 棒をロープで結ぶ針金フェンス/.....にしなければならない
22.	堤体を清掃する回数 i 第1回..... 日まで ii 第2回..... 日まで

23. 水路を清掃する回数
- i 第1回..... 日まで
 - ii 第2回..... 日まで
 - iii 第3回..... 日まで

24. 灌漑の運営管理

	構成	運営管理内容	期間（ 日までに）
1.			
2.			
3.			
4.			

25. 監視小屋の完成日：
26. 収穫終了日：
27. 域内に牛/トラクターを入れる日または足ふみを開始する日：
28. 通水
- i 苗床のために水を流す/流さない
 - ii 耕起の為に水を流す/流さない
 - iii 間断通水/連続通水
 - iv 第1回目の通水日
 - v 最後の通水日

- ・通水は下流から上流まで行う
- ・水田に入れる水が無駄にならないようにする
- ・雨水を有効に使う
- ・わらは燃やさずに有機肥料にする

29. 決定事項を守らない人への罰金

決定事項のうち

- i 堤体の清掃等を守らない人に罰金.....ルピー
- ii フェンスを作らないひとに罰金.....ルピー
- iii 監視小屋を作らない人に罰金.....ルピー
- iv 監視小屋で警備しないひとに罰金.....ルピー
- v
- vi

30. 慣習上の決定事項

	期間	決定事項
1.		
2.		
3.		

31. その他の決定事項

1.

2.

こちらで決定したことを実施するための代表者 (yaya nyoujitha) になる.....氏に権限を与える

上記の決定事項または法律を守らない全員、所有者及び耕作者は、規約 (internal law) によって対処される

上記の 11 番から 31 番までの決まりを守らないといけないと.....氏が提案し、.....氏が支持したことを全員で投票により決定する。

.....

(決定権を持つ役員)

日付 :

場所 :

氏名 :

役職 :

参加者名簿

会議の司会者

名前 :

役職 :

決定権を持つ役員

名前 :

役職 :

参加した行政官

氏名	役職	サイン
1.		
2.		
3.		
4.		

参加した農家

No.	氏名	所有者/ 耕作者	域内全体の面積			各カンナの作付面積			サイン
			エーカー	ルード	パーチ	エーカー	ルード	パーチ	

付属資料2 ティラツパネ連珠ため池システムのため池水位と貯水量

ベンダランクラマ池

水位	標高 (m)	最低取水位 からの高さ (m)	水面面積 (m ²)	増加貯水量 (m ³)	積算貯水量 (m ³)
最低取水位	128.73	0.00	0	0	0
	128.75	0.02	100	1	1
	129.00	0.27	274	47	48
	129.25	0.52	2,674	369	416
	129.50	0.77	7,602	1,285	1,701
	129.75	1.02	15,492	2,887	4,588
	130.00	1.27	27,554	5,381	9,968
	130.25	1.52	41,926	8,685	18,653
	130.50	1.77	57,601	12,441	31,094
	130.75	2.02	74,293	16,487	47,581
	131.00	2.27	91,764	20,757	68,338
	131.25	2.52	107,592	24,920	93,258
	131.50	2.77	122,731	28,790	122,048
	131.75	3.02	136,582	32,414	154,462
	132.00	3.27	151,864	36,056	190,518
常時満水位	132.15	3.42	164,109	23,698	214,216
	132.25	3.52	172,273	16,819	231,035
	132.50	3.77	194,689	45,870	276,905
	132.75	4.02	221,508	52,025	328,930

バドガマ池

水位	標高 (m)	最低取水位 からの高さ (m)	水面面積 (m ²)	増加貯水量 (m ³)	積算貯水量 (m ³)
最低取水位	128.95	0.00	0	0	0
	129.00	0.05	613	15	15
	129.25	0.30	2,036	331	346
	129.50	0.55	3,336	672	1,018
	129.75	0.80	4,946	1,035	2,053
	130.00	1.05	7,263	1,526	3,579
	130.25	1.30	9,847	2,139	5,718
	130.50	1.55	12,817	2,833	8,551
	130.75	1.80	15,704	3,565	12,116
	131.00	2.05	18,397	4,263	16,379
常時満水位	131.12	2.17	19,762	2,290	18,669
	131.25	2.30	21,241	2,665	21,334
	131.50	2.55	24,425	5,708	27,042
	131.75	2.80	28,524	6,619	33,661
	132.00	3.05	33,986	7,814	41,475

ブランクラマ池

水位	標高 (m)	最低取水位 からの高さ (m)	水面面積 (m ²)	増加貯水量 (m ³)	積算貯水量 (m ³)
	124.50	-0.53	0	0	0
	124.75	-0.28	2,194	274	274
	125.00	-0.03	6,098	1,036	1,310
最低取水位	125.03	0.00	6,572	190	1,500
	125.25	0.22	10,052	1,829	3,329
	125.50	0.47	15,200	3,156	6,485
	125.75	0.72	25,162	5,045	11,530
	126.00	0.97	34,348	7,439	18,969
	126.25	1.22	45,153	9,938	28,907
	126.50	1.47	57,161	12,789	41,696
	126.75	1.72	71,440	16,075	57,771
	127.00	1.97	87,358	19,850	77,621
	127.25	2.22	99,729	23,386	101,007
常時満水位	127.32	2.29	98,549	6,940	107,947
	127.50	2.47	111,100	18,868	126,815
	127.75	2.72	122,743	29,230	156,045
	128.00	2.97	135,458	32,275	188,320

ミーガッセガマ池

水位	標高 (m)	最低取水 位からの高 さ (m)	水面面積 (m ²)	増加貯水 量 (m ³)	積算貯水 量 (m ³)
最低取水 位	120.18	0.00	0	0	0
	120.50	0.32	1,495	239	239
	120.75	0.57	27,586	3,635	3,874
	121.00	0.82	42,659	8,781	12,655
	121.25	1.07	62,905	13,196	25,851
	121.50	1.32	81,912	18,102	43,953
	121.75	1.57	104,824	23,342	67,295
	122.00	1.82	134,099	29,865	97,160
	122.25	2.07	167,622	37,715	134,875
	122.50	2.32	204,268	46,486	181,361
	122.75	2.57	227,251	53,940	235,301
	123.00	2.82	278,255	63,188	298,489
常時満水 位	123.25	3.07	303,228	72,685	371,174
	123.50	3.32	330,699	79,241	450,415
	123.75	3.57	360,942	86,455	536,870
	124.00	3.82	390,545	93,936	630,806
	124.25	4.07	427,857	102,300	733,106
	124.50	4.32	476,379	113,029	846,135

アリスターナ池

水位	標高 (m)	最低取水 位からの高 さ(m)	水面面積 (m ²)	増加貯水 量(m ³)	積算貯水 量(m ³)
最低取水 位	114.38	0.00	0	0	0
	115.00	0.62	30,211	9,365	9,365
	115.25	0.87	67,145	12,170	21,535
	115.50	1.12	110,883	22,254	43,789
	115.75	1.37	146,633	32,190	75,979
	116.00	1.62	184,884	41,440	117,419
	116.25	1.87	221,841	50,841	168,260
	116.50	2.12	258,143	59,998	228,258
	116.75	2.37	299,871	69,752	298,010
	117.00	2.62	355,107	81,872	379,882
	117.25	2.87	404,734	94,980	474,862
	117.50	3.12	463,470	108,525	583,387
	117.75	3.37	500,557	120,503	703,890
常時満水 位	117.93	3.55	526,129	92,402	796,292
	118.00	3.62	536,073	37,177	833,469
	118.25	3.87	560,190	137,033	970,502
	118.50	4.12	581,564	142,719	1,113,221
	118.75	4.37	597,769	147,417	1,260,638
	119.00	4.62	615,316	151,636	1,412,274

付属資料3 ため池農家調査調査票

(原文シンハラ語)

溜め池の名前

FO の名前と設立年 : Yr of estb. ()

回答者の名前と役職

G.N 名

担当ARPA名 _____

1. 耕作者の数

総計	
土地を所有している人数	
土地を所有していない人数	
FO に所属している人数	

2. ため池による灌漑面積 (ac) とその増加

プラナ ウエラ	アッカラウ エラ	計	過去 10 年で		
			増えた	減った	かわらない

3. 農業用井戸と灌漑用ポンプ

受益地内の農業用井戸の数	
受益地内の灌漑用ポンプの数	

4. ヤラ期の耕作について

(1) 本ヤラ期の耕作面積

面積 (ac)					
稲	メイズ	チリ	カウピー	大豆	ブラック グラム

面積 (ac)					
ゴマ	フィンガ ーミレット	トマト	その他 1	その他 2	その他 3

(2) 本ヤラ期の耕作人数

総計	
土地所有者数	

非土地所有者数	
FO 会員数	

(3) 農地の分配方法

	Yes	No
ベトマによる		
ベトマではないが、貯水量に応じて可能な範囲で作付 けた		
その他記述して下さい	(Please specify)	

(4) 本ヤラ期のカンナ会議について

開催日 Yr 2012 年 ○ 月 ○ 日

参加者数

参加者の内訳

水田所有者		所有権のない耕作者	
耕作者	非耕作者	所有者に委託された者	所有者に委託されていない者
persons	persons	persons	persons

5.ベトマについて

(1) ベトマの実施

1 から 3 のうち一つを選択し、対応する質問に移動してください。

(答 1) 過去 5 年以内にベトマを実施した	Move to (2)
(答.2) 昔ベトマを実施していたが、現在はしていない	Move to (3)
(答.3) ベトマを実施したことはない	Move to (4)

(2) 答 1 を選択した場合

a. ベトマを実施する耕作期

	Yes / No
マハ期	
ヤラ期	
両方	

b. ベトマの頻度

過去 5 年にベトマを実施した回数は? _____ 回

c. 最近ベトマを実施した年と作付期は?

_____ 年 マハ/ヤラ期

d. ベトマに参加した農業者の数は？

_____人

e. その際の耕作面積は？

_____ acres

f. ベトマの実施方法（農地の配分方法）を選択して下さい

	Yes / No
所有面積に比例して配分する Prorating according to the share of the individual	
所有面積の大きい農業者はより多く減らし、土地がないか少ない農業者に配分する	
その他記述してください	

g. ベトマの実施方法（水の配分方法）を選択し、詳細を記入してください

数日に一回、作付け圃場に水を流す日に1回
作付け圃場をいくつかに分割し、数日かけて上流から下流（または下流から上流）の順に水を流す	分割数と周期分割日
その他記述してください	

(3) 答 2 を選択した場合

a. ベトマを実施していたのはいつまでですか

b. ベトマを実施しない理由はなんですか（複数回答可）

	Yes / No
マハベリの水が得られるから	
ヤラ期にため池に以前のように水が溜まらないから	
農業用井戸とポンプで灌漑できるから	
消費水量の少ない作物を栽培するから	
水が少ない時には全体の耕作をあきらめるから	
人口が増えたから	
一人当たりの農地が減ったから	
農業以外の活動が増え、時間がないから	
ベトマで耕作する以外の雇用機会が十分あるから	
農地がなくて困っている人を助ける気持ちがないから	
共同作業が煩わしくなってきたから	
その他、記述してください	

(4) 答.3 を選択した場合

ベトマを実施しない理由はなんですか

--

6.マハ期の降雨量が半分になったら、農業者はどうしますか？

	Yes / No
ベトマを実施する	
ベトマではないが、貯水量に応じて可能な範囲で作付けする	
その他、記述してください	

7.上流側／下流ため池

(1) 上流側のため池との関係

上流側のため池の名前	上流ため池の水は、どのように流入しますか？
E.g.) ○○Tank	<ul style="list-style-type: none">• E.g) Through drainage canal• Through spill way• Unidentified
1.	
2.	
3.	
4.	

(2) 下流側のため池との関係

下流側のため池の名前	溜め池の水は、どのように下流ため池に流入しますか？
E.g.) ○○stream、○○tank	<ul style="list-style-type: none">• E.g.) Through drainage canal• Through spill way• Unidentified
1.	
2.	
3.	
4.	

(3) 洪水吐の延長 (ft) は？

_____ feet

(4) 下流ため池につながる洪水吐水路の清掃の責任者は誰ですか？

--

(5) 以下の事項が上流ため池で実施された際の、下流ため池への影響は何ですか？

	Water decreases.	Nothing will happen	Water increases	Other
浚渫				
排水路の清掃				
洪水吐水路の清掃				
耕作中止				
稲作から野菜への変更				
井戸の設置				
水田の拡大				

(6) 上流側/下流ため池において、次の事項が実施されればわかりますか？

	上流ため池	下流ため池
植林事業		
水利用の計画		
輪番灌漑		
耕作中止		
堤体工事等		

8. 昨年の洪水被害について

(1) 2011年2月の洪水について、該当するものを選択して下さい

<input type="checkbox"/>	溜め池堤体の上を水が越えた
<input type="checkbox"/>	溜め池堤体の上を超えた水により、堤体が壊れた
<input type="checkbox"/>	溜め池堤体から漏水した

	溜め池堤体からの漏水により、堤体が壊れた
	溜め池堤体を開削し、水を放出した
	半分以上の水田がため池から溢れた水につかった
	ほとんど全部の水田がため池から溢れた水につかった

9.気候変動について

	聞いたことがない
	影響があると聞いたことがある
	影響を心配している
	気候変動に備えている（具体的には・・・・・・・・）
	全く心配していない No worries at all.

付属資料4 第一回目ワークショップ資料

(説明はシンハラ語で行った)

気候変動の影響

- 図1 いろいろな気候変動予測

```

graph TD
    MAP[Mean Annual Precipitation] --> HMAP[Higher Mean Annual Precipitation]
    MAP --> LMAP[Lower Mean Annual Precipitation]
    HMAP --> HSWM[Higher Southwest Monsoon Precipitation]
    HMAP --> HNM[Higher Northeast Monsoon Precipitation]
    LMAP --> LSM[Lower Southwest Monsoon Precipitation]
    LMAP --> LNM[Lower Northeast Monsoon Precipitation]
    
```

Eryajama, N.; Smakirtin, V.; Chandapala, L.; Ferrandi, K. 2010. Impacts of climate change on water resources and agriculture in Sri Lanka: a review and preliminary vulnerability mapping. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 51p. (IWI Research Report 135). doi:10.3910/2010.

- 表1 農業用水に与える影響の例

	Scenario A2	Scenario B2
mean annual temperature	+1.6°C	+1.2°C
mean annual precipitation	+14%	+5%
Northeast monsoon rainfall (Dec-Feb)	-34%	-26%
Southwest Monsoon rainfall (May-Sep)	+38%	+16%
paddy irrigation water requirement in Maha season (Dec-Feb) in Dry Zone	+23%	+13%

De Silva, C. S.; Weatherhead, E. K.; Knox, J. W.; Rodriguez-Iturr, J.A. 2007. Predicting the impact of climate change - a case study of paddy irrigation water requirements in Sri Lanka. Agricultural Water Management 93(2007): 9-29 (J) (注)

最近の降水量の分析 (雨期)

- 表2 最近の雨期作期の降雨状況 (ナッチャドゥワ観測所)

雨期作期 (10月-3月)	降水量 (mm)	1906から1990年であれば、何年に一度の洪水か
1990-1991	768.8	4
1991-1992	614.1	7
1992-1993	709.8	5
1993-1994	1479.2	1
1994-1995	700.1	5
1995-1996	364.2	34
1996-1997	537.0	11
1997-1998	783.2	3
1998-1999	553.1	10
1999-2000	674.6	5
2000-2001	601.0	8
2001-2002	380.0	30
2002-2003	759.0	4
2003-2004	371.5	32
2004-2005	830.0	3
2005-2006	470.6	16
2006-2007	622.0	7
2007-2008	1456.9	1
2008-2009	693.7	5
2009-2010	1489.0	1
2010-2011	1247.0	1

ナッチャドゥワ観測所における1906年10月から1974年9月及び1982年10月1日から1990年9月の76年分の耕作期別降水量データから確率を算出。

最近の降水量の分析 (乾期)

- 表3 最近の乾期作期の降雨状況 (ナッチャドゥワ観測所)

乾期作期 (4月-9月)	降水量 (mm)	1906から1990年であれば、何年に一度の洪水か
1991	365.0	2
1992	361.0	2
1993	144.3	14
1994	306.5	3
1995	280.9	4
1996	370.4	2
1997	273.3	4
1998	550.0	1
1999	124.4	17
2000	241.5	5
2001	372.0	2
2002	210.0	7
2003	256.0	5
2004	416.0	2
2005	159.3	12
2006	97.0	24
2007	318.0	3
2008	175.6	10
2009	44.1	50
2010	934.9	1
2011	270.0	4

ナッチャドゥワ観測所における1906年10月から1974年9月及び1982年10月1日から1990年9月の76年分の耕作期別降水量データから確率を算出。

ため池流入量の分析

- 表4 ため池への流入量 (1991年11月16日から1992年3月31日)

	Inflow from catchment area (m ³)	Rainfall on tank (m ³)	Return flow from upstream tanks and paddy (m ³)	Total inflow (m ³)
1. Vandalankulama	273,026	43,425	0	316,451
3. Bulankulama	102,160	50,849	36,464	189,473
4. Meegassagama	380,122	104,842	198,670	683,634
5. Alistana	466,761	141,583	335,100	943,444
6. Thirappane	674,998	177,340	543,934	1,396,272

- 表5 水田面積当たり流入量 (1991年11月16日から1992年3月31日)

	Total inflow (m ³)	Paddy area (ac)	Inflow/paddy area (mm)	Inflow/paddy area (ft)
1. Vandalankulama	316,451	45	1739	5.7
3. Bulankulama	189,473	42	1108	3.6
4. Meegassagama	683,634	80	2103	6.9
5. Alistana	943,444	97	2413	7.9
6. Thirappane	1,396,272	85	4047	13.3

Data source: ITWURR, Jun; Abernethy, Charles L., (1991) Water management in a tank cascade irrigation system in Sri Lanka, IW.

付属資料5 第一回目ワークショップ調査票

(シンハラ語で説明)

1. 所属はどこですか。 (a. FO、b. ASC)
2. ため池間の水配分についてどう思いますか。
(a. とても良い、b. 良い、c. 良くない、d. とても良くない)
3. 自分の利用しているため池の水がもっと豊富であればよいと思いますか。
(a. とても思う、b. 思う、c. あまり思わない、d. まったく思わない)
4. 上流のため池の貯水量を増やすことを良いと思いますか
(a. とても良い、b. 良い、c. 良くない、d. とても良くない)
5. 洪水吐放流の回数が多いため池があれば、そのため池の貯水量を大きくして良いと思いますか。
(a. とても良い、b. 良い、c. 良くない、d. とても良くない)
6. 貯水量が大きくなるのが、自分利用しているため池の上流でも良いと思いますか
(a. とても良い、b. 良い、c. 良くない、d. とても良くない)
7. Kuluwewa/Olawewa を知っていますか
(a. ある場所を知っている、b. 場所は知らないがきいたことがある、c. 全く知らなかった)
8. Kuluwewa/Olawewa が自分のため池の上流にあるとよいと思いますか
(a. とても思う、b. 思う、c. あまり思わない、d. まったく思わない)
9. もし、水配分により全体の水供給が改善されるなら、参加したいですか
(a. とてもしたい、b. したい、c. あまりしたくない、d. 全くしたくない)
10. 其他のご意見がありましたら、書いて下さい。

付属資料6 個別聞き取り調査調査票

(調査はシンハラ語で行った)

インタビューの目的は、ため池の整備と水配分についての、農業者の認識を知ること。

研究のためのインタビューで事業に結びつくものではないが、スリランカ政府のため池整備事業を効果的に行うことに役立てるものとしたい。

結果は匿名。正直に思ったことを回答して欲しい。

Q1. ミーガッセガマ、ブランクラマ、ベンダランクラマの三つのため池の中で、最も水利用の条件が悪いのはどこのため池ですか？

ミーガッセガマ/ブランクラマ/ベンダランクラマ

Q2. 上流側のため池で漏水防止のための堤体改修工事を行うと、ミーガッセガマ池の水量はどうなりますか？

減る/かわらない/増える/わからない

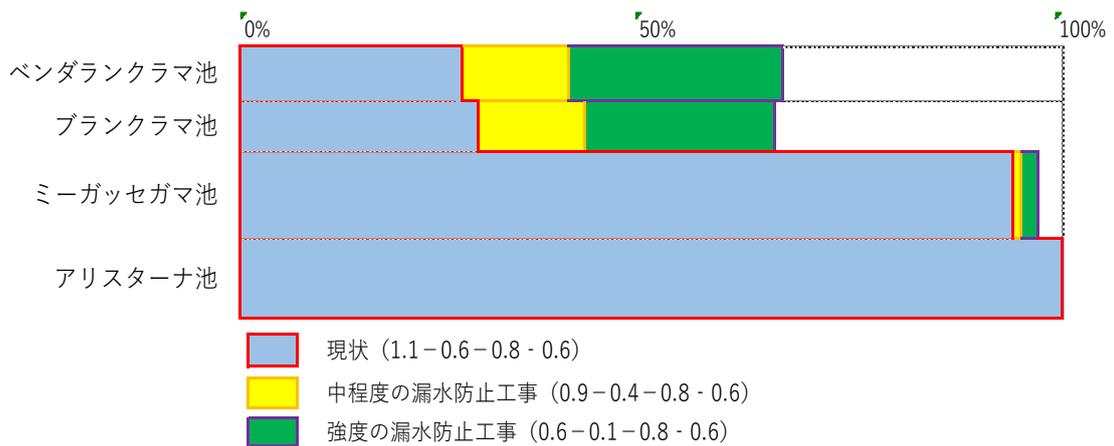
Q3. 上流側のため池で漏水防止のための堤体改修工事を行うことは、良いですか、悪いですか？

とても良い/よい/悪い/とても悪い

Q4. その事業への労力提供をもとめられたらどうしますか？

よろこんで参加する/参加する/参加しない/絶対参加しない

Q5. 一ヶ月の工事であれば、何日参加しますか？



上に示す水収支モデルの計算結果を踏まえると

Q6. 上流側のため池で漏水防止のための堤体改修工事を行うことは、良いですか、悪いですか？

とても良い／よい／悪い／とても悪い

Q7. その事業への労力提供をもとめられたらどうしますか？

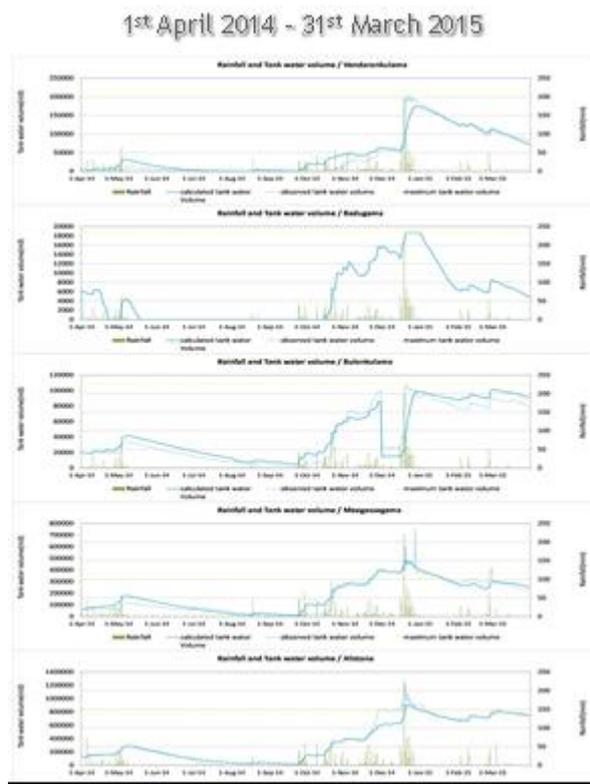
よろこんで参加する／参加する／参加しない／絶対に参加しない

Q8. 一ヶ月の工事であれば、何日参加しますか？

Q9. その事業への労力提供する場合の条件はありますか？

付属資料7 第二回目ワークショップ資料

(説明はシンハラ語で行った)



2006 Maha & Yala Irrigation efficiency 0.6

	Venderankulama	Badugama	Ekanulama	Meegasegama	Alitana
total beneficiary area(m ²)	255,806	66,054	235,986	407,471	373,901
Maha/rate of cultivation area (%)	90	100	100	100	100
cultivation area(m ²)	230,225	66,054	235,986	407,471	373,901
Yala/rate of cultivation area (%)	0	0	0	50	40
cultivation area(m ²)	0	0	0	203,736	149,560

Average rainfall 1st October 1990 - 30th Sep 1991

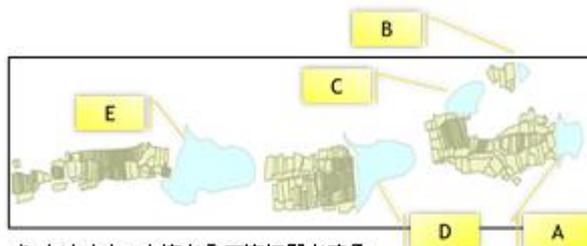
	Venderankulama	Badugama	Ekanulama	Meegasegama	Alitana
total beneficiary area(m ²)	255,806	66,054	235,986	407,471	373,901
Maha/rate of cultivation area (%)	55	90	80	100	100
cultivation area(m ²)	140,693	59,449	188,789	407,471	373,901
Yala/rate of cultivation area (%)	0	0	5	10	30
cultivation area(m ²)	0	0	11,799	40,747	112,170

2006 Maha & Yala Irrigation efficiency 0.7

	Venderankulama	Badugama	Ekanulama	Meegasegama	Alitana
total beneficiary area(m ²)	255,806	66,054	235,986	407,471	373,901
Maha/rate of cultivation area (%)	100	100	100	100	100
cultivation area(m ²)	255,806	66,054	235,986	407,471	373,901
Yala/rate of cultivation area (%)	0	0	5	60	50
cultivation area(m ²)	0	0	11,799	244,483	186,951

Climate change -17% in Maha

	Venderankulama	Badugama	Ekanulama	Meegasegama	Alitana
total beneficiary area(m ²)	255,806	66,054	235,986	407,471	373,901
Maha/rate of cultivation area (%)	50	60	55	100	100
cultivation area(m ²)	127,903	39,632	129,792	407,471	373,901
Yala/rate of cultivation area (%)	0	0	5	10	30
cultivation area(m ²)	0	0	11,799	40,747	112,170



シナリオ1：上流から下流に配水する

	Irrigation rate	Total area
気候変動による雨期の増水	B : 60% C : 55%	169,425m ² (42ac)
BからCへ一部配水	B : 50% C : 65%	186,410m ² (46ac)

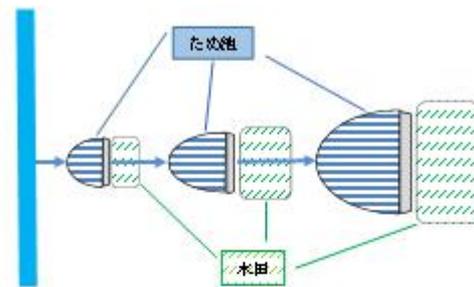
条件：Bは配水に責任を持つ。増えた面積はBとCで分ける

シナリオ2：漏水防止工事をする

	Irrigation rate	Total area
気候変動による雨期の増水	B : 60% C : 55%	169,425m ² (42ac)
B池の漏水防止工事	B : 85% C : 55%	185,938m ² (46ac)
BからCへ一部配水	B : 70% C : 65%	199,629m ² (49ac)

条件：工事實はBとCで負担する。Bは配水に責任を持つ。

シナリオ3：上流のたぬ池（A、B）に幹線水路から導水される。



	A	B	C
現状の作付率	40%	80%	90%
Plan I	50%	90%	100%
Plan II	85%	85%	90%

条件：上流側のたぬ池は、決まった水量を downstream のたぬ池に配水する責任がある。

付属資料8 第二回目ワークショップ調査票

(シンハラ語で説明)

1.	どこのため池の水を使って耕作していますか。 ()
2.	シナリオ1について、あなたがB池の利用者であった場合、BからCへの水配分に参加したいですか。 (a. すごくしたい、 b. してもよい、 c. あまりしたくない、 d. 全くしたくない) その理由 ()
3.	シナリオ1について、あなたがC池の利用者であったらばあい、BからCへの水配分に参加したいですか。 (a. すごくしたい、 b. してもよい、 c. あまりしたくない、 d. 全くしたくない) その理由 ()
4.	シナリオ2について、あなたがB池の利用者であった場合、BからCへの水配分に参加したいですか。 (a. すごくしたい、 b. してもよい、 c. あまりしたくない、 d. 全くしたくない) その理由 ()
5.	シナリオ2について、あなたがC池の利用者であったらばあい、漏水工事とBからCへの水配分に参加したいですか。 (a. すごくしたい、 b. してもよい、 c. あまりしたくない、 d. 全くしたくない) その理由 ()
6.	シナリオ3について、プランIとプランIIと、どちらがよいと思いますか？ (a. Plan I b. Plan II c. わからない) その理由 ()
7.	その他のご意見がありましたら、書いて下さい。

付属資料9 リョクトウ栽培研修における普及員による説明内容

栽培適地は、排水性の良い砂地で、粘性土が多い場所では排水路があると良いこと、また、通常プラナウエラのように水分が多い場所は適さないことが説明された。

リョクトウ栽培の利点として、売値が良いこと（農家販売価格Rs150～200/kg）、多量の水を必要としないこと（例年どおり4月に降雨があれば、ため池からの灌水は1回か2回で済む。降雨が全くなければ6回の灌水）、稲の肥料が生成されることが説明された。

次に栽培方法として、前作の稲を手刈りし、稲株を残したまま播種する方法と、コンバインで収穫して、土地を耕起してから播種する方法の二とおりが説明された。なお、稲株（イパネリ）を残したまま播種する方法は、イパネリ栽培とよばれる。詳細は表1のとおりである。

表1 リョクトウ栽培方法

	稲株を残して播種する方法 (イパネリ栽培)	耕起して播種する方法
準備	特になし	2回灌漑する
除草材	雑草が生えにくいので、除草剤は必要ない。	耕起する前に散布する。
播種のタイミング	刈り取りの前に散布する。収穫作業で踏まれるのに伴い、種が土中に入り、6時間で発芽する。	除草剤散布後、耕起してから播種し、その後再度耕起して土をかぶせる
種子の必要量	10 kg/ac	15 kg/ac
殺虫剤	病気・害虫発生の可能性は低いですが、殺虫剤が必要になることもある。	同左
収量	350～400 kg/ac	600 kg/ac
収穫時期	播種後、60日から65日で収穫が始まる。3回に分けて収穫できる。	同左

さらに、イパネリ栽培の収支見込みについて、参加者が研修の一環で試算したところ、稲と比べて収益性が高いことが示された（表2、3）。本地区の場合、稲を手刈りで収穫している農業者は少数で、大多数がコンバインで収穫しているが、稲作経費で示された耕起経費2回分をイパネリ栽培の支出に計上しても、稲作より収益性が高い。

表2 イパネリ栽培の収支見込み

エーカー当たり支出 (Rs/ac)		エーカー当たり収入 (Rs/ac)	
項目	額 (Rs)	項目	額 (Rs)
種子 (Rs350/kg×10 kg)	3,500	販売 (Rs150/kg×350 kg)	52,500
除草材	2,800		
収穫作業等労賃 (Rs600×12 人日)	7,200		
計	13,500	計	52,500
エーカーあたり収益			39,000

*肥料なし、ポンプ利用なし、

表3 稲作の収支見込み

エーカー当たり支出 (Rs/ac)		エーカー当たり収入 (Rs/ac)	
項目	額 (Rs)	項目	額 (Rs)
畔づくり	4,000	80bushel/ac×20 kg /bushel=1600kg/ac Rs30/kg×1600 kg/ac= Rs48000/ac	48,000
耕起	8,000		
均平	4,000		
播種	5,000		
種子 Rs1,100/kg×3kg	3,300		
除草剤 (2回分)	3,000		
肥料	1,050		
労賃	2,000		
コンバイン (脱粒まで)	10,000		
コンバイン運搬費	1,000		
計	41,350		
エーカーあたり収益			6,650

*水管理費、警備費は含まない