

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 21 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580351

研究課題名(和文) 東南アジアにおける米多期作化に向けた末端灌漑システムの評価

研究課題名(英文) Evaluation of on-farm irrigation systems for multiple rice cropping in Southeast Asia

研究代表者

後藤 章 (GOTO, Akira)

宇都宮大学・農学部・教授

研究者番号：80162139

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：米多期作化が進行しているタイ・チャオプラヤデルタ地域の灌漑システムを対象に現地調査を実施し、末端灌漑システムの水利用実態、圃場水収支、末端灌漑効率を把握した。その結果、乾季稲作において、用水供給が必ずしも十分と言えないながら、きわめて高い末端灌漑効率を実現することによって二期作・三期作が可能となっている状況が示された。また、高い末端灌漑効率をもたらす要因として、圃場水路整備による水アクセスの向上とモバイル・ポンプの活用が挙げられた。さらに、多期作に適した優良米品種の開発・普及が農民の多期作への意欲を刺激した点も重要であると考えられた。

研究成果の概要(英文)：Field investigations were conducted to clarify water balance and on-farm irrigation efficiency of irrigation systems in the Chaophraya delta, Thailand, where multiple rice cropping is commonly practiced. The results indicated that double or triple rice cropping was materialized through achieving very high on-farm efficiency despite limited water supply in the dry season. It was also indicated that improved water access by increase in density of farm ditches and utilization of mobile pumps were the main factors for the high on-farm efficiency. This result proved that the concept of on-farm irrigation efficiency proposed by this study be useful for evaluation of irrigation systems. Further, it was considered important that development and extension of new high quality rice varieties provoked farmers' incentive for multiple cropping. Thus, the factors for realizing multiple rice cropping were clarified and the direction of improvement of on-farm irrigation systems was also suggested.

研究分野：灌漑排水工学，水文学

キーワード：灌漑排水 多期作 タイ 灌漑効率

## 1. 研究開始当初の背景

灌漑システムにおける灌漑効率の向上は古くて新しい問題である。実際、過去何十年、世界各地の発展途上国で進められた大規模な灌漑プロジェクトにおいて、ダムや取水施設、幹線水路が整備されて十分な水が確保されたはずであるにもかかわらず、計画通りの水量が配分されず水不足をきたしている事例、結果として計画受益地内に灌漑の恩恵が行きわたらない事例が多数報告されている。近年、食料・資源・エネルギーをめぐる争奪が激化する一方で、新規の大規模灌漑開発の余地は縮小する状況下であり、地球規模あるいは地域レベルでの食料確保にとって、既存の灌漑地区の効率を向上させることが急務となっている。そのためには、灌漑システムの現況性能の精緻な評価に基づいて、問題点を正確に把握し、その改善策を検討することが必要である。

灌漑システムが期待どおりの効果を発揮できていないことの原因として、多くの場合、3次4次の末端圃場水路の整備が不十分であること、末端水利施設の維持管理が低水準であること、および水配分・取水ルールが不十分であることなどの末端水管理問題が指摘されている。つまり、末端レベルにおいて公平で効率的な灌漑水管理が実現していないことが、一部(上流)地区での水の過剰取水と他地区での水不足を引き起こし、結果として灌漑システム全体の灌漑効率を低下させていると考えられる。したがって、灌漑システムの性能評価には末端水管理に着目することが重要である。

以上のような視点から、申請者はこれまでに東南アジア各地において、灌漑システムに関する調査研究を続けてきたが、これまでの知見に基づき、研究課題を「米の多期作化に向けた末端レベル灌漑システムの評価」に絞り込んで研究を進めることとした。

## 2. 研究の目的

経済開発の進行する東南アジア諸国において、米の多期作化が農業所得の向上に果たす役割は大きい。一般に乾季の卓越した熱帯モンスーン気候下における米の多期作化は、限りある灌漑用水供給量をいかに効率よく利用するかにかかっている。本研究では、近年多期作化が急速に進展したタイ中央平原における灌漑システムの実態調査から、高度な灌漑効率実現の要因を解明する。とくに、末端レベルでの灌漑効率の改善に着目して分析を進める。また、今後米多期作化に向けた灌漑システム整備の進展が予想される他地域を念頭に、灌漑システムのあり方について検討する。

具体的な検討課題を以下に列記する。

タイ中央平原における末端灌漑システム・水利用の実態把握  
一筆圃場および地区レベルでの灌漑水収支および灌漑効率の算定

多期作化実現の要因、末端レベルでの灌漑効率向上の要因の解明

高灌漑効率を実現する末端灌漑システム整備の方向性の検討

## 3. 研究の方法

タイ中央平原 Chaophraya デルタ地域の稲作灌漑システムを対象に、末端灌漑水利に関する実態調査を実施する。灌漑システム全体の灌漑効率を水路系の送配水効率と末端灌漑効率の積と表示し、現地データから各効率を算定する。水路系送配水効率は用水路の流量(取水量・分水量)データに基づき算定する。末端灌漑効率は末端圃場の水利用実態調査と水収支計算から算定する。

タイにおける3地区の事例分析から、多期作化実現の要因、末端灌漑効率向上の要因を解明する。その結果に基づき、多期作化を実現するための末端灌漑システムの整備の指針をとりまとめる。

なお、当初計画ではカンボジア及びベトナムでの調査も予定していたが、詳細な調査には至らず、概要調査にとどまった。したがって、本報告ではタイにおける調査結果について述べることにする。

## 4. 研究成果

### (1) はじめに

東南アジア諸国において、主穀かつ主要輸出品である米の増産を図るうえで、灌漑による多期作化がきわめて重要である。しかしながら、卓越した乾季を有する東南アジア大陸部においては、乾季の用水供給可能量は決して十分ではなく、限られた用水供給のもとでの乾季作の拡大は容易ではない。

対象とするタイ中央平原 Chaophraya デルタ地域においては、1960年代に大規模な灌漑開発が実施され、乾季稲作の拡大が図られた。当初計画では水源不足から乾季作面積は全灌漑地区の半分(作付強度 1.5)と想定されていた。施設整備完了後 1990年代半ばまで、乾季作面積は当初計画に届かなかった(文献)が、2000年前後から急速に拡大し、当初計画を大きく上回る(作付強度 2.0以上)状況が見られる。こうした計画を上回る多期作の実現はどのようにして可能となったのか? 水供給量が計画どおりだとすると、水の使い方の問題、つまり灌漑効率が想定以上であることに求められる。では、そのような高い灌漑効率はどうやって実現しているのだろうか? この問いに対する答、すなわち多期作の実現要因の解明は、今後他地域において多期作化を図るうえで、有用な知見を提供すると考えられる。

### (2) 調査対象地区および調査項目

調査対象地区

次の3灌漑プロジェクト地区において現地調査を実施した。

[a] Borommathat 灌漑区 (Chainat 県)

[b] Khok Katiam 灌漑区 (Lopburi 県)

[c] Uthong 灌漑区 (Suphanburi 県)

#### 調査項目

各調査地区において、以下の項目について現地調査を実施した。

- (i) 灌漑システム基礎データ収集：水路・受益圃場配置，元入れ取水量，圃場整備履歴など
- (ii) 農民アンケート：圃場取水の実態・水源構成，米の品種・収量
- (iii) 圃場用水量・水収支の観測 (Uthong 地区を除く 2 地区で実施)

#### (3) 乾季稲作における圃場水収支及び末端灌漑効率

##### 末端灌漑効率の定義

ここでは、灌漑システム評価ツールとして、末端灌漑効率  $IE_{\text{onf}}$  を次のように定義する (文献 )。

$$IE_{\text{onf}} = RQ / IT_{\text{onf}}$$

$IE_{\text{onf}}$ : 末端灌漑効率,  $IT_{\text{onf}}$ : 末端分水量 (幹線・支線水路から圃場用水路への取水量),  $RQ$ : 圃場用水量 (減水深×面積)

また、灌漑システム全体の灌漑効率  $IE_t$  は次のように、送水効率  $IE_c$  と末端灌漑効率 (平均) の積として表される。

$$IE_t = RQ / IT_t$$

$$IE_c = \Sigma IT_{\text{onf}} / IT_t$$

$$IE_t = IE_c \times IE_{\text{onf}}$$

$$= (\Sigma IT_{\text{onf}} / IT_t) \times (\Sigma RQ / \Sigma IT_{\text{onf}})$$

$IE_t$ : システム灌漑効率,  $IE_c$ : 送水効率,  $IT_t$ : 元入れ取水量

##### 圃場用水量の観測結果と元入れ取水量

Borommathat 灌漑区 2L Canal 受益地区と Khok Katiam 灌漑区 18R Canal 受益地区において、それぞれ圃場用水量調査を行った。その結果、調査圃場における期間中の減水深は、Borommathat で 4.36 mm/day, Khok Katiam で 6.17 mm/day であった。

それに対して、それぞれの水路の元入れ取水量は通常年平均で、Borommathat 4.78 mm/day, Khok Katiam 7.13 mm/day であった。これから水路全体での灌漑効率を計算すると Borommathat で 91%, Khok Katiam で 87% となり、きわめて高い灌漑効率であることがわかる。これを送水効率と末端灌漑効率に分けて考える。用水路が長大な土水路であることから、かなりの送水ロスが見込まれる。送水効率を最大限 90% と想定した場合、両地区とも、末端灌漑効率は 100% 前後の値となる。つまり、末端圃場でのロスはほとんど発生していないこと、排水の反復利用によ

り、末端効率が 100% を超える状況も起こっていることが示された。

このように、乾季の限られた用水供給のもとで、きわめて高い末端灌漑効率の実現が乾季作を可能にしている実態が明らかとなった。

#### (4) 高い末端灌漑効率の要因

場合によっては 100% を超えるような高い末端灌漑効率を支える要因として、水アクセスの向上とモバイルポンプの利用が指摘された。アンケート調査では、すべての農家がモバイルポンプを所有し利用していた。また、取水先は圃場用水路だけでなく、当該圃場に近しい排水路の水も積極的に反復利用している実態が示された。モバイルポンプの重要性については、永代ら (文献 ) や Fujiki ら (文献 ) も指摘しているところであるが、今回の調査でも同様のことが確認された。

こうした要因は圃場における現象であり、それが末端灌漑効率に直結している。本研究では、システム全体の灌漑効率から末端灌漑効率を分離して考える取り扱いによって、圃場での要因と灌漑効率の関係が明確に分析されることになる。その意味において、本研究における末端灌漑効率の概念は、この種の分析において有効であることが確認される。

Borommathat 地区では、圃場整備が実施されており、すべての長方形区画圃場に接して用水路が走っている。乾季作時には、幹線水路の水位が低下し、圃場水路への流入もポンプに頼っている。圃場水路から各圃場への取水にも必要に応じてポンプが使われ、近隣の排水路に水があるときには、排水路からも取水される。

Khok Katiam 地区では、2000 ~ 2001 年に JICA の援助によって圃場水路の改良が実施され、圃場区画はそのままに、各圃場に用水供給がなされるよう小水路が配置された。用水取水・ポンプ利用の状況は Borommathat 地区と同様である。

Uthong 地区では、従来用水路・排水路に隣接しない圃場が多かったが、農民が独自に小溝を設置して、水アクセス改善を試みている。これによって、水路密度は小溝なしの場合の 68 m/ha から 104 m/ha に向上した。用水取水・ポンプ利用の状況は Borommathat 地区とほぼ同様である。

以上のように、ポンプを用いた排水路からの取水 (反復利用) もさかんに行われており、ポンプ利用を前提にすれば、用排の別にかかわらず水路を高密度に配置することが重要であると考えられる。

#### (5) 新しい優良米品種の役割

他の東南アジア諸国では、1970 年代半ばから IRRI で開発された高収量品種がさかんに導入され普及してきたのに対し、タイでは品質の問題から、在来種の栽培が主流であった。在来種は収量が低いだけでなく、雨季作

向けの感光性品種が主体であるため、乾季作の拡大には、新たな品種の開発・導入が必要であった。

こうした背景から、タイの農業研究所では高品質・高収量で非感光性の米品種の開発に取り組み、1990年代以降、優良新品種を世に出してその普及に努めてきた。その代表品種が Suphanburi 1, Hom Patum, Ko Kho 41 などである。とくに 2000 年に開発された Hom Patum は急速に普及し、この地域の主要品種となっている。

Chaophraya デルタ地域は従来から商業米・輸出米の生産基地であったが、1980 年代末以降の急速な経済成長とともに交通網の整備や市場情報の流通が進むことにより、農民の米増産への意欲が強まってきたと思われる。その状況で乾季作にも適する優良新品種が登場したことにより、農民がこぞって米多期作に向かったものと考えられる。

#### (6) 末端灌漑システムの整備方向

モバイルポンプの活用を前提とした場合、圃場の水路は必ずしも従来の整備方式である用排分離型である必要はない。用排の別にかかわらず、圃場水路の密度を上げることが重要である。高い末端灌漑効率を実現するためには、むしろ排水路の活用によって、排水の反復利用を促進することが有利になると考えられる。また、用水路・排水路、あるいは用排兼用水路とも、貯留能力を高めることが無駄水をなくすることに役立つと考えられる。

#### (7) カンボジアとベトナムにおける概要調査の結果、および今後の研究展開

##### カンボジア概要調査

カンボジア・メコンデルタにおいて乾季作展開に関する実態調査を実施した。対象地区は次の 3 地区で、いずれもかつて (2007~2008 年ころ) 調査した (文献) 経緯があり、その後の変化について調べた。

- (i) Kandal Stung 灌漑地区 (Kandal 州): JICA プロジェクトのモデルサイトで、デルタ周縁部の非氾濫域に位置し、従来の雨季一作から大部分で二期作が実現し、一部で三期作も見られる。灌漑用水路に加え、圃場水路整備も進められたことが有効に働いていると観察された。
- (ii) Tomney 地区 (Takeo 州): デルタ氾濫域に位置し、洪水氾濫のあとの減水期稲作地帯である。減水期稲作のあと、氾濫開始前の早期雨季作の導入による二期作が想定されるが、実現していない。ここも JICA プロジェクトのモデルサイトのひとつで、水源溜池からの圃場水路整備が進められたが、深い氾濫・長い氾濫期間による作期確保の困難性、および水源の水不足が二期作実現の阻害要因となっていた。
- (iii) Batheay 地区 (Konpon Cham 州): デ

ルタ氾濫域の辺縁部に位置し、比較的氾濫の浅い地区である。土堤で囲まれた March 7 Reservoir と呼ばれる方形の土地の一部で、Reservoir の名前から、二期作 (減水期稲 + 早期雨季作) が行われている。早期雨季作の水源として、Reservoir 内にさらに溜池を掘り込んでいる。

##### ベトナム概要調査

ベトナム・メコンデルタでは、1980 年代後半のドイモイ政策以来、急速に多期作化が進行した。深い氾濫に見舞われる地域においても、洪水開始遅延の半堤防を築くことで作期を確保するとともに、末端圃場水路整備を進めることにより、二期作を実現している (文献)。現在は、さらに三期作を可能とする半堤防の完全堤防化・輪中化が進められている。今回の研究では、時間的都合でこうした地域の実態調査に至らなかった。現地調査は、並行して進めている地下水モデルの研究の対象地であるデルタ沿岸部 Soc Tran 省と Cantho 市周辺の視察にとどまった。

##### 今後の研究展開 - その 1

東南アジアで今後多期作による米増産の潜在力を有する国のひとつがカンボジアである。カンボジアにおける稲作は、氾濫域と非氾濫域とで大きく異なっている。非氾濫域では、大部分の水田が天水田であって、雨季一作の状態にある。現在多くの灌漑開発プロジェクトがこうした地域で進められているが、やはり乾季の水源は乏しいのが実状であり、乾季作拡大のためには灌漑効率をできる限り高めることが必要となる。その際、今回の Chaophraya デルタでの分析結果が有効な知見となる。一方、広大なデルタ氾濫域においては、減水期稲作のあとの早期雨季作の導入による二期作が期待される。これには灌漑水源の確保と作期の確保が課題であり、土堤による溜池の増設とベトナム・メコンデルタと同様の氾濫開始遅延のための半堤防の築造が課題解決策となる (文献)。またその場合も、高い灌漑効率の実現のため今回の研究成果が有用な知見となる。今後、Tomney 地区のような深い氾濫域において、早期雨季作を導入するための実践的な研究の展開が必要である。

##### 今後の研究展開 - その 2

今回の Chaophraya デルタにおける現地調査において、米の植付け方法に関する興味深い事実が観察された。すなわち、この地域では従来バラマキ直播が主流であったが、この数年、田植え機 (委託・請負) による移植栽培が急速に普及している。いうまでもなく、田植え機の利用は高コストであり、日本では低コスト化のため、直播栽培 (条播機) が推奨される状況にあるのに対し、Chaophraya デルタにおけるこの動きは大変興味深いものと考えられた。そこで、本研究の課題と並行して、田植え機導入の得失について調査することとした。この成果を学会発表、に

とりまとめた。さらにその延長として、現在、北タイや東北タイも対象地域に加え、タイにおける米植付け方法の変化動向について調査を進めている。経済開発の進行に伴って、タイの農業・農村は大きな変化の波に襲われている。稲作先進地域の Chophraya デルタ地域では、収量増加・品質向上による農業収入増加を見込んだ田植え機導入の動きが見られるのに対し、従来手植えが主流であった北タイや東北タイにおいては、労働力不足や労賃上昇から手植えが存続困難となり、それ以外の様々な方法が試みられている。全体として、農業の集約化と粗放化の両方向が混在しているのが現状であり、今後のタイ稲作農業の展開を見定めるうえで、この植付け方法の変化動向を把握することが大きな意味をもつと考えている。

#### (8) まとめ

Chaophraya デルタ地域では、必ずしも十分とは言えない用水供給のもと、当初計画を超えた多期作が実現している。これを可能としているのは、高い灌漑効率であり、とくに末端レベルでの灌漑効率がきわめて高いことが大きく貢献していることが明らかとなった。

高い末端灌漑効率を支えているのは、圃場水路整備による水アクセスの向上とモバイルポンプの利用であると考えられた。これらによって圃場周辺に存在する水を徹底的に活用している状況が観察された。

以上より、末端灌漑効率の概念、すなわち、灌漑効率を送水効率と末端灌漑効率の積で表示する考えが、灌漑システム分析において有効であることが確認された。

多期作の実現には農家の生産意欲も重要な要素であり、この点において、売れる米としての優良米品種の導入も大きな役割を有していたことが示された。

モバイルポンプの活用を前提とした場合、圃場の水路は必ずしも従来の整備方式である用排分離型である必要はない。むしろ、用排兼用の圃場水路を密に配置するとともに、水路の貯留能力を増強することによって、排水の反復利用を促進することが有利になると考えられた。

#### <引用文献>

後藤章：タイ国灌漑水利の近代化と課題。「水利の風土性と近代化（志村博康編）」所収，p.220-232，東京大学出版会，1992  
齋藤未歩：東南アジアデルタ域における米多期作化に向けた待った灌漑整備に関する研究。東京農工大学博士論文，2011  
永代成日出，藤城公久，佐藤政良：東南アジアにおける参加型水管理の現状と課題。農業土木学会誌，67(3)，p.43-49，1999  
Fujiki T., Sato M. et al : Water management practice in Upper Chao

Phraya delta, Thailand. 農業土木学会論文集，No.216, pp.707-713, 2001

齋藤未歩，後藤章，水谷正一，Khem Sothea : カンボジア・メコンデルタにおける米二期作地拡大に向けたタムノップ（土堤）の活用。農業農村工学会論文集，No.266, p.1-10，2010

後藤章，水谷正一，角道弘文：ベトナム領メコンデルタにおける農業の新展開。農業土木学会誌，65(4)，p.35-41，1997

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 8 件)

Akira GOTO : Directions of Agriculture in the Process of Economic Growth - From Review of Japan's Agricultural Policies. TSAE Conf. Chiangmai, Thailand, 2012.4

長谷川理恵・後藤章・水谷正一：チャオプラヤデルタの灌漑システムにおける乾季稲作の灌漑効率について。農業農村工学会大会講演会札幌)，要旨集 308-309，2013.9

長谷川理恵・後藤章・水谷正一・Sudsaisin K. : チャオプラヤデルタ灌漑システム内の 2 地区における乾季稲作の灌漑効率。農業農村工学会大会講演会（東京），2013.9

木下冨・後藤章・松井正実・Sudsaisin K. : タイ王国チャオプラヤデルタにおける田植え機普及の動向について。農業農村工学会大会講演会（東京），2013.9

Nguyen D.G. Nam, Akira Goto : Ground-water modeling for analyzing impacts of rapidly growing groundwater exploitation in Cantho City, Vietnam. 水文・水環境研究部会シンポジウム(金沢)。2013.11

長谷川理恵・後藤章・Sudsaisin K.: ChaoPhraya デルタ灌漑システムにおける米多期作実現の要因解明 - 品種改良の成果 -。農業農村工学会大会講演会(新潟)，講演要旨集 468-469，2014.9

後藤章・高橋奈見・松井正実・木下冨・長谷川理恵：タイ国チャオプラヤデルタにおける田植え機普及の経済分析。農業農村工学会大会講演会(新潟)，講演要旨集 470-471，2014.9

Nguyen D.G. Nam, Akira Goto : Development of iMOD groundwater model for the coastal area of Soc Tran Province, Mekong Delta, Vietnam. 農業農村工学会大会講演会(新潟)，講演要旨集 624-625，2014.9

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

後藤 章（GOTO Akira）

宇都宮大学農学部

研究者番号：8 0 1 6 2 1 3 9

##### (2) 研究分担者

（ ）

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

（ ）

研究者番号：