

地球規模課題対応国際科学技術協力(SATREPS)
分野・領域「環境・エネルギー」

課題・案件名「ナイル流域における食糧・燃料の
持続的生産」
(相手国:エジプト)

終了報告書

期間 平成20年 4月～平成26年 3月

代表者氏名:佐藤政良
(筑波大学名誉教授(生命環境系))

§ 1 プロジェクト実施の概要

ほとんど雨が降らないエジプトは、水源をナイル川にほぼ全面的に依存している。水資源開発にとって最終段階と位置づけられるアスワンハイダム(AHD)は 1971 年に完成したが、その建設によって、年 1 回エジプトの耕地を洗うとともに肥沃な土壌を供給することによってエジプト農業の生産性と持続性を保障してきた洪水は完全に抑止され(1964 年以後)、すでに 50 年が経過した。その間、AHD によってできたナセル湖の管理においては、必要な水量だけを放流するシステムが採られてきたにも関わらず、1988 年、危機的な水不足状態になり、人口増大と新規農地開発による水需要の増大によって、すでにエジプトの水需給が逼迫状態になっていることが露呈した。しかし、人口増大に対応する必要から、さらなる沙漠開発(農地の拡大)が計画されている。そしてそのための水は、ナイルデルタを中心とする既存の灌漑農地から節水によって絞り出さなければならない。この大きな政策の実現は、デルタ農業において、そのような節水と水の生み出しが可能であるのかどうかにかかっている。本プロジェクトの目的は、AHD 建設後 50 年経ったデルタ農業の現状を把握するとともに、現在の水資源環境の下でのエジプトの持続的発展に向けて、ナイルデルタにおける節水の実現可能性と、効率的かつ持続的な灌漑・農業の将来像を検討、提言することである。

本プロジェクトは、4 グループ体制で進められた。すなわち、水・塩収支(G1)、水管理(G2)、土壌の肥沃性(G3)、そして食料・燃料作物生産(G4)である。研究の中心的な実施場所と内容は、1)デルタ北部の Kafr El Sheikh 県 Kafr El Sheikh 市にある国立農業研究センター Sakha 圃場および Sharqiyah 県にある国立水資源研究センター水管理研究所 Zankalon 圃場における灌漑と栽培に関する圃場試験、2)Kafr El Sheikh 県 Biyala 市の水田地帯にある二つの農業用水路(伝統的および近代化された支線用水路)および非水田地帯である Monofiya 県の用水地区における農業用水管理に関する実態分析、3)Ismailia 県内の農家圃場における燃料作物栽培試験である。1)では、デルタ土壌において、主要な作物にいくつかの代表的灌漑方法を組み合わせた場合に生じる蒸発散量、土壌水分、塩類集積、そして作物の反応の相互関係を解析する。2)では、実際の農民の水管理行動と水路における水配分を分析する。3)では、灌漑用水節水法導入後の作物栽培法と高塩濃度の農業排水を使用した燃料作物生産の可能性を検討することとした。

エジプト側の対応機関は、カイロ大学農学部、水資源灌漑省水資源研究センター、農業農地開拓省農業研究センターの 3 つである。研究期間中、2011 年にエジプト革命が起き、その後も 2013 年に軍による政権奪取など、社会的混乱が続いたことから、2 回にわたって研究の中断を余儀なくされ、結果としては少なからぬ影響を受けたが、研究期間を 1 年延長するなどの対応をし、当初想定した目標をほぼ達成することができた。

1. 用水の管理

用水の様々なレベルにおける管理の現状分析によって、ナイルデルタにおける灌漑排水システムの特徴を明らかにした。その一つは、広大なデルタの全域にわたる用水路と排水路の完全分離である。このため、用水路中の水は、幹線、支線を問わずそれらの上流部では、ほとんどデルタの北部にいたるまで、カイロにおける良好な水質が保持される。しかし、上下流間の水配分の不均衡は激しく、水路の下流部では、用水の確保に難渋し、用水が不足すると排水路の水を取水することになるので、量、質両面で下流部の水条件は悪い。デルタにおける塩類集積問題は、洪水によるリーチングの停止や化学肥料の投入によって起こるとされるが、デルタ全体で均一に発生するのではなく、排水利用をせざるを得ない用水路下流部に集中して起きている。デルタに要請される節水は、反復利用の強化を対策の中心の一つとして行うことが不可欠であるから、反復利用の強化がこの不均衡を助長、強化することになれば、この国家政策は、水条件が悪化する農民らの強い反対を受けて実現できなくなる危険性がある。それを回避するため、デルタ農民全体、沙漠開発の受益者を含む国民全体が節水に伴うデルタへのネガティブインパクトを共有するという考えに基づき、採るべき具体的政策を提示した。

2. 圃場の節水栽培

渦相関法に基づく ET タワーでの観測に基づき、主要作物の主要灌漑法による栽培試験を行い、各作物の消費量を明らかにするとともに、灌漑法の評価を行った。その結果、ドリップ灌漑と細溝灌漑が有力な方法として特定された。慣行の畝間灌漑を基準としたそれぞれの水生産性は、それぞれ 171%、251%、面積節水率は 22%と 32%になった。灌漑間断日数の延長、マルチなどは導入すべき明らかな効果を確認できなかった。デルタにおけるドリップ灌漑は、実施には設備建設費用などの課題があるが、細溝灌漑は、容易に導入できるものとして評価される。これらの効果は、重粘土土壌における排水不良問題に原因があり、作物の光合成における反応としても確認できた。ただし、細溝灌漑については、その効果が明確な作物とそうでない作物があり、それらには根の発達に違いがあることから、効果の発現機構について、更なる確認の研究を進める必要があるとされた。

また、防風林による蒸発散抑制効果について現地気象観測等を基にシミュレーションを行い、樹種カジュアリーナで、夏期の正味蒸発散量をおよそ 4%程度抑制できることを示した。しかし、メイズのような背の高い作物については、かえって蒸発散量を増大させる事から、対象作物として背の低い作物に限定する必要があることが分かった。

3. 土壌の塩類集積

土壌における塩類の集積は、灌漑に用いる用水の水質と大きく関係を持っている。用水の水質は、排水路の水をどれだけミックスするか、直接再利用するかで決まる。その結果として、デルタの上流部であってもスポット的に問題土壌が存在する。しかし、もう一つの要因として、同じ用水の水質であっても、暗渠排水の効果、土壌の砂含量や貝殻(カルシウム)の含量によって低下する結果も認められたことから、土壌の塩類集積対策として、水質改善のほか技術の組み合わせによる方法の可能性が示された。

また、水田水稲作については、夏期の土壌塩類の上昇を抑制する効果があることが確認され、集積した塩類の除去には有効であることから、除塩の目的で水稲栽培を位置付けることが有効である。ただし、水田自体は、水を十分に供給している限り 5 mm/d 程度の ET を生じさせるので、デルタ全体としての塩類集積制御手法としては更なる検討を要する。

4. 新インタークロッピング

従来、エジプトで行われて来た畝によって異なる作物を作付するインタークロッピングとは異なり、主作物の間の、土壌面蒸発が起こる土壌を副作物で覆い、蒸発を蒸散に転化させ、単位面積当たり作物収量を上昇させようとするもので、経営面積が限られているデルタの小農にとって有意義である。それは作物の栄養組成にも影響を及ぼす。試験圃場での栽培試験によって収量増加効果と飼料価値の増大が確認できたが、ケースの数などについてはまだ十分と言えない。

5. 燃料作物の栽培

デルタの東に位置するイスマイリアでの試験では、ジャトロファが冬期に葉を落とし、活動を休止することなどから、排水を使用した燃料の栽培としては、夏作のヒマワリ、冬作の菜種が適切であるという結果を得た。

§ 2. プロジェクト構想(および構想計画に対する達成状況)

(1) 当初のプロジェクト構想

当初目標としたところは次の通りである。

世界の食糧・バイオ燃料の増産が求められる中で、それを支えてきた水資源開発に限界が近づいている。今後の持続的発展のためには、灌漑部門における節水を通じた水利用効率の向上が必要である。エジプト・ナイル川はその典型である。アスワンハイダムで開発された水資源は、人口増大によってすでに使い尽くされ、さらに増え続ける人口と食糧生

産を支えるため、特にナイルデルタにおいて、伝統的灌漑法の改善による節水が緊急の課題になっている。本研究は、アスワンハイダムによって洪水を排除するようになった後のエジプト農業の持続性を評価するとともに、農民参加型用水管理、水消費の節減、塩類集積の防止を組み込んだ、デルタ地域と・周辺沙漠を含めた効率的で持続可能な食糧・バイオ燃料生産システムの構築を提言する。また、本研究のナイルデルタにおける成功は、他の乾燥地や半乾燥地における大河水の管理、塩分管理のモデルとなる。

また、これらを達成するため、5つの研究グループを構成することにした。いくつかの目標、方針は次の通りであった。

1) ナイルデルタ中流から地中海沿岸域に至る下流部の灌漑区域を流域的視点で取り扱う。具体的な研究対象としては、デルタ中央部から地中海にかけて広がる **Bahr Tira Canal** 流域をデルタの典型的区域として研究対象とする。ナイル河谷およびデルタ上流部では灌漑における反復利用は大きな役割を持っていないので直接の研究対象から外す。

2) デルタ地域に加え、そこから生み出される排水を利用した燃料作物生産の可能性も検討するため、周辺の沙漠地域(Ismalia 地区)にも実験圃場を設置し、栽培実験を行う。

3) デルタの末端圃場レベルでは、ナイル川—幹線用水路—支線用水路—配水路—メスカ—（個人ポンプ）—マルワ—圃場、という用水路システムの中で、伝統的に行われてきた用水配分のローテーションシステムに対して、エジプト政府が灌漑改善事業を実施し、連続灌漑システムを導入しているため、新旧システムの地区を取り上げて比較を行う。

4) 研究事項は、次の5項目において、日本とエジプトの研究チームを構成する。

1. 水・塩収支グループ

ナイルデルタ内の圃場レベルの水管理に応じた地区レベルおよび流域レベルの水と塩の収支の実測もしくはデータ収集および解析を行う。特に期間前半は慣行農業における蒸発散量の測定とデルタ内での水消費における蒸発量と蒸散量の分離評価に特に注力する。それらの結果に基づき、効率的かつ持続的な水の配分および塩分管理法の提言を行う。また、デルタにおける消費水量の実体をなす蒸発散量について、その抑制の手法を提示する。

2. 水管理グループ

アスワンハイダムから放水された水は灌漑省により支線用水路に配分される。支線用水路内では農民自身によりメスカや農地に配分され、ここでは上下流農家の用水確保の優劣位性により用水配分の不均等が生じる。これが作物選択や土壌への塩類集積、その他の農作業に影響を及ぼす。将来、ナイルデルタへの水の配分が減らされた場合にこの不均等が悪化し、農民の国家政策に対する批判と抵抗を誘起する可能性が高い。この問題意識に基づき、本グループでは以下の研究に取り組む。

- ・物理的と制度的の両面から水配分の現状を把握する。
- ・デルタにおける将来の節水の導入に必要な参加型行動計画を灌漑設備、水配分原則、政府と水利組合の役割分担を含め検討し、提言を行う。

3. 土壌の肥沃性グループ

Bahr Tira の灌漑区域内および食料・エネルギー両グループの研究圃場において、土壌分類を行うとともに、土壌資源（とくに、地下水位までの塩類濃度の断面分布と”Soil Quality”）の現状を明らかにする。さらに、将来的な灌漑用水の配分減少が、現状の土壌資源に及ぼす影響を予測し、水・塩収支・食料生産両グループの研究結果を考慮しながら、持続的食料生産に資する土壌資源管理方法を提言する。

4. 食料生産グループ

ナイルデルタにおける作付体系と土地利用の実態を明らかにする。**Bahr Tira** 流域の研究対象圃場において、作物別に灌漑水量の調査を行い、主要作物について節水栽培の効果を検証する。また、圃場の立地条件や灌漑水量と土壌の塩類濃度との関係を調べるとともに、耐塩性の高い作物や主要作物の耐塩性システムを塩類濃度の高い圃場へ導入する可能性を検討する。さらに、作物副生産物の飼料利用の可能性や牧草の効率的利用法について検討する。以上の研究を総合することにより、今後予測される水資源の制約の中で効率的な食料生産を持続し得る作付体系、畜産システムと土壌・水管理技術を提案する。

5. バイオエネルギーグループ

灌漑システムの近代化をはじめとする農業の近代化の中で、役畜から機械化への変化もみられ、デルタ内の農業部門のエネルギー収支が以前は域内完結で安定的であったものが、化石燃料依存の割合が高くなりつつある。昨今の化石燃料、穀物価格の変動にエジプトは影響を受けやすく、安定的な食料生産のための化石燃料への依存度を低下させることが望ましい。一方、地表灌漑とりわけ水田稲作では多量の排水が不可避であり、年間 140 億 t もの排水が地中海に排出されている。この排水は様々な有害化学物質により汚染されていることが問題視されており、食用作物への使用は控えるべきであると考えられる。そこで、本グループでは、デルタ内既存農地ならびにデルタ外荒廃地における排水を利用した燃料作物栽培の可能性を明らかにするとともに、対象地域の役畜使用も含めたエネルギー収支を明らかにする。

(2) 新たに追加・修正など変更したプロジェクト構想

- 1) ET 観測は、当初、主要作物の一部を選択し、従来の一般的な灌漑手法との組み合わせと、防風林での観測を予定していたが、カウンターパートが節水栽培を目的に開発した水田の細溝灌漑に対する検証を依頼されたことから、その畑作物への適用を考えるに至り、それが極めて良好な結果をもたらした。また、防風林の ET 抑制効果の検証に関しては、防風林あり・なしの検証が 1 台のタワーでは難しいこと、本来的には防風林を途中で伐採することが必要であるが困難であること、ET の値が空間的に変化している場所での ET タワーによる測定は、本来想定している測定環境ではないこと等を考慮し、現地では気象観測を行い、ET の推定そのものはシミュレーションに依ることとした。
- 2) 中央デルタ全体の水収支のモデル化は、当該デルタにおける用水流入と排水流出正確な観測がその前提であるが、2011 年に起こったエジプト革命以後、社会的混乱のなかで遠隔地に設置した水位計の多くが盗難被害に遭うことになり、流量の把握が極めて困難になった。その結果、観測は、従来から観測を継続していた Drain No.4 を活かす形で Garbiya 幹線排水路流域を対象を縮小した。それでも、長期間の観測を得ることが出来なかったため、塩・水収支モデルによるデルタ全体の解析が不可能になった。その影響で、その結果を利用することとしていた G2 の、排水再利用の地域を特定した具体的な検証、提案ができなくなった。
- 3) G2 では、プロジェクトを進めて行く中で、水質問題の重要性がより強く認識されるようになり、水質汚濁機構のシステムティックな調査を追加した。その結果として、水の量と質を総合的に検討すると、現在の「末端における水管理」の改善手法というレベルでは処理しきれない問題が認識され、より上位の水資源管理計画に対して、基本的政策の変更を含む提言をすることになった。
- 4) G4 では、プロジェクトを進めて行く中で、水田の栽培と灌漑の方法についての重要性が認識され、タワーにおける観測圃場とは別に追加的に水稻栽培試験を行った。また、ET の抑制を議論する中で、蒸発を蒸散に切り替えるという視点からの間作(インタークロッピング)がエジプト側カウンターパートから提案され、プロジェクト後半からそれに対する取り組みを行った。
- 5) 当初は、グループ 5 つの体制でスタートしたが、第 5 グループ(バイオエネルギー)については、エジプト側 CP の人事異動等により、適切な人材を確保することが困難になったことから、グループを解消し、一部を G2 に(再生可能エネルギー)、一部を G4 に(燃料作物の栽培)に入れてプロジェクトを進めることにした。また、当初、バイオ燃料自体の能力性質分析等をすることを意図していたが、エジプト側からの提案により、広く他の再生可能エネルギー利用の検討をすることにした。
- 6) 燃料作物栽培の Ismailia における点滴灌漑栽培では、現地圃場における地下水位が予想より高く、消費水量の制御および蒸散量の推定が困難であることが分かった。そこで、2011 年 6 月に暗渠排水を敷設したものの、依然高地下水位が高く、供給水量の側からの検討が困難と判断されたため、検討の主な対象を作物の蒸散量の実測と収量の関係に絞った。
- 7) ザンカロンの WMRI 圃場では、面積的な事情から、隣接する農家圃場の協力が不可欠であった

が、借地契約の交渉が長引くなどにより、夏作に予定していたワタの適期播種が困難になるなど、栽培作目の変更を必要とする事態が生じることとなった。その他、また、サツハ試験圃場はトウモロコシの点滴灌漑を予定していたところ、点滴施設の設置完成が播種時期に間に合わず、新たな灌漑方法に対する試験を導入する等の対応が必要になった。

(3) 活動実施スケジュール (実績)

項目	H20年度 (6ヶ月)	H21年 度	H22年 度	H23年 度	H24年 度	H25年度	H26年度 延長期間
1. 水塩収支グループ ・ 作物の蒸発散量 ・ 防風林の評価 ・ 広域水塩収支観測とモデル化 ・ 相互関係の解明			←	←	←	←	→
2. 用水管理グループ ・ 水配分の実態とその影響 ・ 農民の行動分析 ・ 配分水量減少の影響予測 ・ 揚水ポンプ等の燃料効率の把握 ・ 対策提示		←	←	←	←	←	→
3. 土壌の肥沃性グループ ・ 現状把握 ・ 地下水位制御による除塩 ・ 汚染物質の挙動予測と蓄積防止 ・ 水稻の除塩効果の評価 ・ 排水再利用による土壌汚染	←	←	←	←	←	←	→
4. 食料生産グループ ・ 作付体系の解明と提案 ・ 節水灌漑の検証 ・ 塩類集積農地における作目 ・ 効率的飼養システム ・ 排水を利用した燃料作物栽培		←	←	←	←	←	→

§3 プロジェクト実施体制・投入実績

3.1. 実施体制

(1)グループ1: 水・塩収支グループ

【日本側】

グループ リーダー	氏名	所属	役職 (身分)	研究参加期間				備考
				開始		終了		
				年	月	年	月	
○	藤巻晴行	鳥取大学	准教授	2008	10	2015	3	
	杉田倫明	筑波大学	教授	2008	10	2015	3	
	佐藤政良	筑波大学	教授	2008	10	2015	3	
	北村義信	鳥取大学	教授	2008	10	2015	3	
	谷口智之	筑波大学	助教	2009	4	2015	3	
	袁 新	筑波大学	研究員	2009	4	2015	3	
	星野亜季	筑波大学	研究員	2010	4	2011	6	
	吉田修一郎	東京大学	准教授	2012	12	2015	3	
	菊池夏樹	筑波大学	学生(M2)	2009	4	2010	3	
	金塚千晶	筑波大学	学生(U4)	2009	4	2010	3	
	福田敬広	筑波大学	学生(M2)	2009	4	2012	3	
	入柿ゆいま	筑波大学	学生(U4)	2009	7	2011	3	
	松野晃大	筑波大学	学生(D3)	2009	7	2015	3	
	清水達輝	筑波大学	学生(M2)	2009	7	2013	3	
	土平功志	筑波大学	学生(M2)	2010	7	2011	3	
	藤平 啓	筑波大学	学生(M2)	2011	4	2014	3	
	岡野晃子	鳥取大学	学生(M2)	2012	4	2013	3	
	辻 一成	筑波大学	学生(M2)	2012	5	2014	3	
	竹内夏希	筑波大学	学生(M1)	2013	4	2015	3	

【相手国側】

グループ リーダー	氏名	所属	役職 (身分)	研究参加期間				備考
				開始		終了		
				年	月	年	月	
○	Dr. Rushdi El-Kilani	カイロ大学農 学部	准教授	2009	6	2015	3	
	Dr. Yaser M Mahrous	水資源研究セ ンター	研究員	2010	3	2012	5	
	Dr. Ehab Ahmed El Sayed	水資源研究セ ンター	研究員	2010	3	2012	5	
	Dr. Ahmed Mohammed	水資源研究セ ンター	研究員	2010	11	2015	3	
	Dr. Yousri A Abraham	水資源研究セ ンター	研究員	2009	6	2015	3	
	En g.Mahamoud Adullah	水資源研究セ ンター	研究員	2009	6	2015	3	
	Dr. Ashraf El Sayed	水資源研究セ ンター	排水研究所 副所長	2010	3	2011	3	
	Dr. Tarek Mostafa	カイロ大学	准教授	2009	4	2010	3	
	Dr. Akram El-Ganzouri	水資源研究セ ンター	研究員	2010	6	2010	3	
	Dr. Magdy Abdel Nabi	水資源研究セ ンター	研究員	2010	3	2011	6	
	Mahmoud Adullah	農業研究セン ター	研究員	2010	11	2015	3	
	Eng. Yousef Mahfouz Hassanin	水資源研究セ ンター	研究員	2012	5	2014	10	
	Eng. Habash	水資源研究セ ンター	研究員	2014	8	2015	3	

(2) 研究項目：

- ・作物の蒸発散量
- ・防風林の評価
- ・広域水収支観測とモデル化
- ・相互関係の解明

(1) グループ2: 用水管理グループ

【日本側】

グループ リーダー	氏名	所属	役職 (身分)	研究参加期間				備考
				開始		終了		
				年	月	年	月	
○	佐藤政良	鳥取大学	教授	2008	10	2015	3	

	石井 敦	三重大学	准教授	2008	10	2015	3	
	谷口智之	筑波大学	助教	2009	4	2015	3	
	松下秀介	筑波大学	准教授	2008	10	2015	3	
	瀧川具弘	筑波大学	教授	2008	10	2012	12	
	野口良造	筑波大学	准教授	2010	1	2015	3	
	袁 新	筑波大学	研究員	2009	4	2015	3	
	谷村健太郎	筑波大学	学生 (M2)	2009	4	2012	3	
	福田明広	筑波大学	学生 (M2)	2010	4	2012	3	
	塚原元太	筑波大学	学生 (M2)	2012	4	2014	3	
	高橋昂平	筑波大学	学生 (M2)	2012	12	2014	3	

【相手側】

グループ リーダー	氏名	所属	役職 (身分)	研究参加期間				備考
				開始		終了		
				年	月	年	月	
○	Dr. Talaat El Gamal	水資源研究センター	水管理研究所研究員	2010	3	2015	3	
	Dr. Mohamed Meleha	水資源研究センター	研究員	2009	6	2015	3	
	Dr. Gamal Fawzy	水資源研究センター	研究員	2010	3	2015	3	
	Dr. Waleed Abou El Hassan	水資源研究センター	研究員	2010	6	2015	3	
	Dr. Mohamed Nawar	カイロ大学	教授	2010	3	2015	3	
	Dr. Abdrabbo Abdel-Azim A. Shehata Aboukheira (WMRI)	水資源研究センター	研究員	2012	9	2015	3	
	Dr. Ahmed Abd El Fatah	水資源研究センター	研究員	2010	3	2011	11	

(2) 研究項目:

- ・水配分の実態とその影響
- ・農民の行動分析

- ・配分水量減少の影響予測
- ・揚水ポンプ等の燃料効率の把握

(1)グループ3: 土壌の肥沃性グループ

【日本側】

グループ リーダー	氏名	所属	役職 (身分)	研究参加期間				備考
				開始		終了		
				年	月	年	月	
○	東 照雄	筑波大学	教授	2008	10	2015	3	
	井上光弘	鳥取大学	教授	2008	10	2012	12	
	北村義信	鳥取大学	教授	2008	10	2015	3	
	藤巻晴行	鳥取大学	准教授	2008	10	2015	3	
	瀧川具弘	筑波大学	教授	2008	10	2012	12	
	星野亜季	筑波大学	研究員	2010	4	2011	6	
	久保田亜希	筑波大学	研究員	2012	2	2015	3	
	折居拓磨	筑波大学	学生(M2)	2009	10	2012	3	
	八下田佳恵	筑波大学	学生(M2)	2010	4	2013	3	
	小林諒	筑波大学	学生(U4)	2012	3	2013	3	
	小川温子	鳥取大学	学生(U4)	2013	4	2014	3	
	柴田雅史	鳥取大学	学生(U4)	2013	4	2015	3	

【相手国側】

グループ リーダー	氏名	所属	役職 (身分)	研究参加期間				備考
				開始		終了		
				年	月	年	月	
○	Dr. Bassiouni A. Zayed	農業研究セ ンター	研究員	2009	6	2015	3	
	Dr. Sayed Saad Naeem	農業研究セ ンター	研究員	2009	6	2015	3	
	Dr. El-Sharkawi G M Haytham	農業研究セ ンター	研究員	2009	6	2015	3	
	Dr. Waleed Abou El Hassan	農業研究セ ンター	研究員	2009	6	2015	3	
	Dr. Rushdi El-Kilani	カイロ大学 農学部	准教授	2009	6	2015	3	
	Dr. Howida Bayome El-habat	農業研究セ ンター	研究員	2009	6	2015	3	

	Dr. Ismail Saad Hassan El-Reface	農業研究センター	研究員	2009	6	2015	3	
	Dr. Mohamed Akmal Omara	水資源研究センター	研究員	2009	6	2015	3	

(2)研究項目:

- ・現状把握
- ・地下水位抑制による助塩
- ・汚染物質の挙動予測と蓄積防止
- ・水稻の除塩効果の評価
- ・排水再利用による土壌汚染

(1)グループ4: 食糧生産グループ

【日本側】

グループ リーダー	氏名	所属	役職 (身分)	研究参加期間				備考
				開始		終了		
				年	月	年	月	
○	丸山幸夫	筑波大学	教授	2008	10	2015	3	
	松下秀介	筑波大学	准教授	2008	10	2015	3	
	志水勝好	筑波大学	講師	2008	10	2015	3	
	石川尚人	筑波大学	助教	2008	10	2015	3	
	藤巻晴行	鳥取大学	准教授	2008	10	2015	3	
	井上光弘	鳥取大学	教授	2008	10	2012	12	
	瀧川具弘	筑波大学	教授	2008	10	2012	12	
	久保田亜希	筑波大学	研究員	2012	2	2015	3	
	森田あす美	筑波大学	学生(M2)	2009	7	2012	3	
	鈴木美穂	筑波大学	学生(M2)	2010	10	2013	3	
	篠遠 善哉	筑波大学	学生(M2)	2011	4	2014	3	
	桑鶴哲啓	筑波大学	学生(M2)	2010	7	2012	3	
	糸井 裕佳	筑波大学	学生(U3)	2010	7	2011	3	
	柴山美智子	筑波大学	学生(M2)	2010	4	2012	3	
	清水愛美	筑波大学	学生(U4)	2012	4	2013	3	
	樋口桃子	筑波大学	学生(M2)	2012	10	2013	3	
	佐藤文香	筑波大学	学生(U4)	2013	4	2015	3	
	宮崎裕貴	筑波大学	学生(U4)	2014	4	2015	3	
	佐々木めぐみ	筑波大学	学生(U4)	2014	4	2015	3	

	福永健太郎	筑波大学	学生(U4)	2014	4	2015	3	
--	-------	------	--------	------	---	------	---	--

【相手国側】

グループ リーダー	氏名	所属	役職 (身分)	研究参加期間				備考
				開始		終了		
				年	月	年	月	
○	Dr. Korany Abd Al Gawwad	カイロ大学	教授	2010	1	2015	3	
	Dr. Samir Abo Hegazy	カイロ大学	准教授	2009	6	2015	3	
	Dr. H.Sayed Ahmed	カイロ大学	准教授	2009	6	2015	3	
	Dr. Said Shehata	農業研究セ ンター	研究員	2009	6	2015	3	
	Dr. Alaa El-Din Hassan Mohamed	農業研究セ ンター	研究員	2009	6	2015	3	
	Dr. Mohamoud Ibrahim Abo Yousef	農業研究セ ンター	研究員			2015	3	
	Dr. Sherif Mather	農業研究セ ンター	研究員	2012	12	2015	3	
	Dr. Helmy Mohamed Youssef	カイロ大学	准教授	2009	6	2015	3	
	Dr. Azza El Bendari	カイロ大学	准教授	2013	2	2015	3	
	Dr. Abudallah Abd El Naby	農業研究セ ンター	研究員	2009	6	2015	3	
	Dr. Ahmed M. Hussein	農業研究セ ンター	研究員	2009	6	2015	3	
	Dr. Safaa Ghorrab	農業研究セ ンター	研究員	2009	6	2015	3	
	Dr. Hamidino Ahmed	農業研究セ ンター	研究員	2009	6	2015	3	
	Dr. Rafea El-Zanaty	カイロ大学	教授	2010	1	2013	2	
	Dr. Said Shehata	農業研究セ ンター	研究員	2009	6	2013	2	
	Dr. Amr Farouk	農業研究セ ンター	研究員	2009	6	2011	11	
	Dr. Abbas El Shenawy	農業研究セ ンター	研究員	2010	6	2011	11	

(2) 研究項目:

- ・作付体系の解明と提案
- ・節水灌漑の検証
- ・塩類集積農地における作目
- ・排水を利用した燃料作物栽培

(1)グループ5(旧):バイオエネルギーグループ

【日本側】

グループ リーダー	氏名	所属	役職 (身分)	研究参加期間				備考
				開始		終了		
				年	月	年	月	
○	瀧川具弘	筑波大学	教授	2008	10	2014	3	
	志水勝好	筑波大学	講師	2008	10	2014	3	
	野口良造	筑波大学	准教授	2010	1	2014	3	
	藤巻晴行	鳥取大学	准教授	2008	10	2014	3	

【相手国側】

グループ リーダー	氏名	所属	役職 (身分)	研究参加期間				備考
				開始		終了		
				年	月	年	月	
○	Dr. Moahmed Hanafy	カイロ大学	教授	2010	1	2014	3	
	Dr. Sami M. Younis	カイロ大学	教授	2010	5	2014	3	
	Dr. Safaa Ghorrab	農業研究センター	研究員	2009	6	2014	3	
	Dr. Abdel Rahman Ghallab	カイロ大学	准教授	2010	1	2014	3	

§4 プロジェクト実施内容及び成果

4.0 プロジェクト全体

(1) グループを統合した全体の成果

本プロジェクトで目指したのは、人口増加を含めたエジプトの水資源状況を前提にして、今後、デルタにおける灌漑と農業を、どのように、より効率的で持続性のあるものにしていくかであり、そのために、基本的アイデア、方向性をもちながら現状を正しく分析することであった。当然、エジプト側の組織、研究者もそれなりのエネルギーを投入して取り組んできている訳であるが、この複雑で総合的な課題に対して、知識、技術、視点、方法論等の点において、日本の研究者が研究の蓄積で貢献できることも多い。もちろん、現地についての知識はエジプト側に豊富に蓄積されているので、両者が共同で研究を行い、相互の知識、技術を交換したことの意義は大きかった。

最終的には、「どうするか」という社会的実装が目標であり、我々もそれを目指したが、いくつかの点でそこまで到達し、いくつかの点で、今後の研究の方向性を提言することに留まることになった。ただし、本プロジェクトによって生じた人的つながり、両国の相互関心は今後の研究、協力の展開にとって大きな財産であると思われる。

社会実装に結びつく結果は次の4点である。

成果1: 作物消費量の連続観測

渦相関法による ET タワーの導入、利用によって、ナイルデルタにおける主要作物と現時点で考えられる主要な灌漑方法の組み合わせについて ET の連続観測が実施され、詳細な観測値が得られた。これまでもライシメーターなどにより、消費水量の測定が行われてきたが、日内変化、蒸発と蒸散の分離等を含め、一定の面積を持った実圃場からの蒸発散量を測定できたのは、エジプトにとって初めてのことであり、極めて重要な情報を提供することになった。特に、①作物の生育段階に応じた ET の変化を捉え、作付け直後から植物が繁茂するまでの蒸発散量(特に蒸発量)が重粘土というナイルデルタの特性による独特の節水的性格を持つこと、②伝統的灌漑方法の下で、年間の蒸発散量は 1,000 mm 程度に留まること、③夏作、冬作の作期間の休耕期の ET ロスが意外に大きいことの発見によって、今後の節水的農地利用の方法に様々なアイデアを提供することになったことは重要である。また、④試行した灌漑・栽培方法に対する ET の観測ができたことで、栽培技術を節水の側面から正確に評価することが可能になった。その中には、水田耕作における蒸発散量の確認がある。一般に水田は、畑作物と比較して大きな消費水量を持つことは一般に認識されているが、その量を知らない事によって、過大な恐怖感を以て水田が扱われてきた。今回、他のグループにおける水田の量的評価を含め、水田の用水を量的に評価できたことは、今後の水利用、管理計画の策定にとって重要な基礎になる。

成果2: 防風林の効果の算定

水文モデルの入力データ、パラメータを防風林導入を想定して様々に変化させ、蒸発散の変化を調べた。その結果、夏作期間でメイズの 1/3 の高さ、1/2 の葉面積指数をもつ作物を畝をつくらぬ地面で栽培し、風速を防風林風上側の 10% まで弱め、気温が 5°C、湿度が 50% 上昇した場合に、最も大きな蒸発散量の抑制が期待できることが分かった。Al Krakat 地区でカジュアリーナ防風林(空隙率 44%) が風上に存在する圃場を対象に、風下側の風速、気温、湿度などを実測したところナイルデルタで一般的なカジュアリーナの 1 列防風林では、50% の風速減少が見込めることがわかった。この防風林(高さ 14m) をそのまま 200 x 200 m の圃場に用いると、地面蒸発 0%、蒸散+8%、蒸発散量+5% となってしまう。一方、メイズより小型の作物で、同じ防風林を用いると地面蒸発 0%、蒸散-11%、蒸発散量-3% となり、ある程度の節水が期待できることが分かった。さらに、風速の弱い領域が多くなるように、圃場の風下方向の大きさを 100 m、50 m まで小さくしていくと蒸発散量は-7%、-10% 程度となる。一方、防風林の生長は木材生産としての効果を持つので、その整備を提言することが出来る。

成果3：節水灌漑法の節水効果と生育および収量の評価

成果1に記述したETの観測と合わせ、作物栽培の立場からの検討を行い、特に収穫量との関係を把握することによって、灌漑法の総合的な評価を行った。その結果、ナイルデルタに適した節水栽培技術は点滴灌漑と細溝灌漑であることが分かった。点滴灌漑は、夏作のメイズにおいて、節水率32%、収量増加率55%、水生産効率として151%（収量をベースにした節水率は、54%に達した。冬作のテンサイに対しても、砂糖収量で33%の増収を実現した。一方細溝灌漑は、メイズに対して、節水率25%、収量増加率27%を記録した。総合的節水率は41%である。点滴灌漑は、装置の建設、灌漑ポンプの運転、点滴チューブ等、さまざまな装置の保守管理が必要で、持続性の確保のために集積塩類の除去にもある程度の水が必要であるなどの検討課題が残っているが、将来水資源がさらに貴重になった時の技術的選択肢の一つとしては、十分に意味をなすものと評価された。一方、細溝灌漑については、トラクターによる畦立てを必要とするだけで、特別な追加投資を必要としない技術であり、直ぐにでも活用できるので、極めて有力な技術である。これは、いうナイルデルタの土壌の重粘土という特性が背景にあり、灌漑による一時的な排水不良を処理する技術として位置づけられる。このことは、作物の光合成の連続観測からも確認できた。これまで、経験的に試行されてきたものの背景の検証ができたことは、技術の確立、普及、新灌漑方法の創出など、将来にとって大きな貢献になる。なお、節水的灌漑法は、伝統灌漑法である畝間灌漑と比べ、蒸発散量が低下する分、塩類集積について抑制的であり、節水的であることによって除塩効果が低下することから、その程度および総合的效果、対処法は今後の課題である。

成果4：デルタにおける水管理の現状分析と政策提言

水管理の現状分析は、水田地帯と非水田地帯で行われ、それぞれの中で上流部と下流部の地区が比較されるとともに、水田地帯においては、伝統的灌漑システムと灌漑改良（近代化）型システムの比較も行われた。その結果、デルタ水管理の特徴として、徹底した用排水分離主義という水路体系の下で、水不足、排水再利用が下流部農民に集中しやすい仕組みになっていること、従ってデルタへの水供給量を単純に減少させた場合には、その悪影響は、下流部農民の不利な状況を強化し、上流部との不平等を拡大させること、また用排水の水質分析から、デルタへの配分水量の減少によって、排水の水質悪化が加速するため、上記の不平等はさらに強化されることが結論づけられた。また、配水量の減少によって、現在進められている反復利用事業の根幹が変わる可能性を示唆している。拡大する不平等は、実現すべき砂漠地域の農地開発を不可能にする危険性を持つことから、デルタにおけるネガティブな影響を、デルタ農民の全体で少しずつ負担するという基本原則を政策の中心に据える必要があり、そのためには、①幹線用水路上流部からの反復利用、②水利組合の設立、③沙漠開発利益の一部をデルタ地域へ移転すること（デルタの水管理に対する技術的、財政的支援に使用する）などが不可欠であるとして、政府に対する提言を行う。エジプト国における縦割り行政、研究行政からは出てこない総合的視点による対策の提言である。

以上の成果の組み合わせにより、圃場における消費水量の抑制と流域レベルにおける最大限の反復利用が実現する。

その他、今後のデルタ地域における土、水、農業研究に対する提言は、次の事項がある。

1) 重粘土土壌における乾燥亀裂の発達と構造、その灌漑水、土壌中の水の移動に対する影響の研究。エジプトではまったく検討されておらず、SWERI(土壌水研究所)が関心を持っている。均一土壌として扱うことが出来ないデルタ重粘土土壌独特の振る舞いを理解することで、今後さまざまな節水対策技術が生まれ、あるいはその技術を判断する知識になる。

2) 水田耕作による土壌塩分リーチング効果の検証。本プロジェクトにおける結果は、さまざまな形でその効果を示唆しているが、現時点で、十分な理解レベルに達していない。その結果によって、現在水田作が禁止されている地域でも、除塩を目的にした水田を認めることが有利であるかどうか

判断する。それに基づき、水管理計画としての具体的な実施方法の検討に進む。これには、農民による既得権的行動の抑制など、具体化には水管理上多くの課題が存在するが、実現しなくてはならない種類の事柄である。

3) 土壌の塩分濃度抑制のための土壌化学的検討。灌漑用水の水質と独立して、塩類集積抑制に効果がありそうなデルタ土壌におけるいくつかの仮説が用意されている。

4) デルタ土壌における灌漑方法(特にドリップ灌漑と細溝灌漑)と塩類集積の空間分布、さらには根群の分布。

5) 作物の耐塩性、耐乾性の作物種の評価。評価の確定により、その品種を普及させることが出来る。

6) インタークロッピングの収量増大効果と飼料価値の検証。栽培環境による飼料価値の変化、上昇が確認されれば、飼料配合の体系の確立と相まって、小規模農家の収入安定にとって大きな貢献になる。

7) 燃料作物の異なる環境条件下における栽培試験、より濃縮された下水・排水においあるいは将来想定される排水の利用地においての試験。油の収量としての評価。

8) 再生可能エネルギーの揚水ポンプへの適用技術とその可能性の検討。

(2) 今後期待される効果

上記4項目については、政府に対する提案書として提出した。このうち、水政策についての部分は基本政策に関わることであり、今後、政府内での省庁間の調整等の検討が行われることになるものと思われる。また、節水灌漑に関する部分については、農業研究センターによる確認試験が行われる。

4.1 水・塩収支グループ(筑波大学、鳥取大学、東京大学)

4.1.1 慣行栽培および節水栽培条件下における作物の消費水量の測定

気象学的蒸発散量観測システムに必要な4haの農地を3ヶ所(Sakhaに2面、Zankalonに1面)借り上げ、主要作物についてi)灌漑間隔の増加、ii)藁マルチ、iii)点滴灌漑、iv)細溝灌漑の4つの異なる灌漑条件で蒸発散量を測定した。その上で慣行栽培と比較することで灌漑方法の違いによる節水効果を検証した。Sakha圃場での慣行灌漑地区での年間蒸発散量は1,000mm程度とかなり少ないことが観測された。その構造は、作物の生育初期の灌水以後、急速に蒸発散量が低下することによる。不飽和透水係数の小さいナイル重粘土の特性によるものと考えられる。また、得られた結果を $Kc=ET/ET_0$ の形にまとめた。ETが実際の蒸発散量、 ET_0 がFAOの定義する短い草地の蒸発散量を想定した基準蒸発散量である。Kcは作物係数と呼ばれる。Kcの大小を見ることで、同一気象条件下での作物ごと、灌漑方法の違いによる蒸発散量の多寡を議論できる。2013年春作までの結果をまとめると、maizeについては、慣行灌漑で $Kc=0.84$ なのに対し、点滴灌漑で0.45、細溝灌漑で0.57と節水効果が確認できる。一方、長期間断灌漑やマルチの効果はほぼ見られなかった。節水量としてみると夏作期間全体で慣行灌漑の $ET=363$ mmが点滴灌漑で144mm(40%)や細溝灌漑で86mm(24%)節水されたことになる。生育中盤の地面蒸発の寄与率は全蒸発量の6割程度であった。圃場スケールでの実測値に基づくこのような比較は本プロジェクトではじめて行われたものである。一方で、同一の灌漑方法の下で異なる作物を栽培した場合の違いについては、慣行灌漑でmaizeの $Kc=0.84$ に対して、riceで1.30(以上夏作)、sugarbeet 0.75, berseem 0.98, wheat 1.07, fatabeen 0.92(以上冬作)の値が得られた。従来の研究でも指摘されていたように、riceの水消費量が多いが、その割合が正確な数字として出されたことの意義が大きい。なお、夏作、冬作の間に非耕作期間が挟まれる。この間の蒸発量が冬作から夏作の間に66mm、夏作から冬作の間に74mmあり、これは年蒸発散量(概略1000mm)の14%に相当する。この期間も耕作を行う体制を採用することで無駄な水消費を減らせる可能性がある。

4.1.2 防風林が地域の蒸発散量に与える影響の測定

防風林の蒸発散に対する効果を検討するために、農地の蒸発散過程を表現するキャノピー層、土層の2層からなる物理モデルを作成した。Sakha 実験圃場等で得られた様々な土壌、植生情報をパラメータとして用いることで、まず防風林が無い状態でメイズで測定された蒸発散量の再現を行い、モデル検証が行われた。その上で、防風林が設置された場合の蒸発量の変化を予測した。具体的にはモデルに入力される風速、気温、湿度などの気象要素を防風林設置後に予測される値の範囲で変化させてモデルを運用した。また、異なる作物が栽培された場合、畝間灌漑に比べて地面が滑らかな点滴灌漑に変えた場合を想定して、作物の高さやそれと付随して変化する火キャノピー層の粗度長、地面の粗度長などのパラメータを変化させたモデル計算も行った。その結果、一般的には、風速が弱くなるほど蒸発散の増減が大きい事、風速が減少するだけだと蒸発量が増える場合もありうる事、などが分かった。全体として、メイズより小さい作物を畝をつくらぬ地面で栽培し、防風林で風速を風上側の10%まで弱め、気温が5°C、湿度が50%上昇した場合に、最も大きな蒸発散量の抑制(地面蒸発-26%, 蒸散-39%, 蒸発散44%)が期待できることが分かった。実際の防風林による風速や気象要素の変化率を調べるため、Al Krakat 地区でカジュアリーナ防風林(空隙率44%)が風上に存在する圃場を対象に、風下側の風速、気温、湿度、放射量分布を測定した。風速については、防風林からの距離の関数として風速の相対分布を求める式が得られた。気温と湿度については、一定距離区間ごとの変化率を平均値として求めた。風速の減少率は防風林近傍30-40 m程度の範囲で最大値50%程度であった。従って上記の大きな風速減少率を期待するには、空隙率を下げられるように数列で防風林を構成するなどが望ましいことが分かった。

一方、実際に、防風林を設置する場合に防風林の蒸散が加算される効果を調べるために、樹液流センサーなどを用いて Kanatel 地区の Tomita Farm において、対象樹種(カジュアリーナ)を使用して樹液流量測定と気象要素の観測を、夏作期間を対象に実施した。得られたデータから、カジュアリーナの群落抵抗を気象要素から推定するための Jarvis 型モデルの係数を定めることで防風林からの蒸散量を測定しモデル化した。

以上の結果を Sakha 実験圃場でメイズを栽培し、Al Krakat 地区のカジュアリーナ防風林を設置した場合を想定してモデル計算を行ったところ、蒸発量の抑制割合は、地面蒸発0%, 蒸散+8%, 蒸発散量+5%となった。一方、メイズより小型の作物で、同じ防風林を用いると地面蒸発0%, 蒸散-11%, 蒸発散量-3%となり、ある程度の節水が期待できることが分かった。さらに、風速の弱い領域が多くなるように、圃場の風下方向の大きさを100 m, 50 m まで小さくしていくと蒸発散量は-7%, -10%程度となる。

4.1.3 流域レベル(中央デルタ)での水と塩の収支の解明

本課題では、ナイルデルタへの用水配分量を削減した際に生じる水量・水質への影響を評価するため、水・塩収支モデルを構築することを最終目的とし、モデルに必要なデータセットの整備、ならびに、既存モデルの改良を実施した。必要なデータセットは、流量・水質データ、土地利用データ、栽培時期(植え付け日、刈り取り日)データ、気象データ、水路網データである。このうち、気象データは別テーマで得られた気象データを利用可能であるため、それ以外のデータセットの整備を実施した。なお、当初計画では、ナイルデルタ全域に開発モデルを適用し、さらに、いくつかの将来シナリオを設定して、その将来予測を行う計画であった。しかし、後述のように、水・塩収支の観測を計画通りに実施できなかったため、本プロジェクト期間では、モデルデータセットの構築と、そのデータをモデルに実装するまでに留まった。

流量・水質データについては、最終的なモデル適用流域である中央デルタ全域(約9,000km²)、モデル構築のための対象流域である小規模流域(第4幹線排水路流域、約180km²)を対象に、水位・EC計による水・塩収支の連続観測を実施した。しかし、2011年に観測体制が完了した直後に発生したエジプト国内での混乱を受け、特に中央デルタ沿岸域に設置した機器がことごとく破壊・盗難される事態となり、観測体制の維持が困難となった。そこで、中央デルタに関しては連続流量の把握は断念し、超音波ドップラー流速計(ADCP)による月に一度の集中流量観測に切り替えた。また、モデル適用流域の代替流域として、2013年からガルビーヤ幹線排水路流域(約600km²)で

も観測を実施した。以下、流量・水質観測結果から得られた結果を述べる。

中央デルタから域外に流出する主要幹線排水路9地点の集中流量観測の結果、各地点の流量には変動があるものの、中央デルタ全体での流出量は約 $150\text{m}^3/\text{s}$ 程度であることが確認された。仮にこの水量が1年間を通じて流出していると仮定すると、年間50億 m^3 の水がナイルデルタから域外に流出していると概算される。エジプト研究機関からの報告によると、ナイル川から中央デルタへの流入水量は年間約100億 m^3 であるので、供給された水量の約半分が域外に流出していることになる。また、降水量は年間約10億 m^3 (中央デルタの平均降水量をデルタ中心に位置するタンタの年間降水量100mmで概算)と考え、流入水量と流出水量の差(年間約60億 m^3)が蒸発散による消費であり、その水量は年間約650mm(日蒸発散量1.8mm相当)と推定される。この結果は、別テーマで得られた蒸発散量観測の結果と比較すると若干過少傾向ではあるが、灌漑農地以外からの蒸発散量が少ないことを勘案すると妥当な結果であると考えられる。これまでナイルデルタからの流出量についてはその水量が膨大であるため正確な把握が困難であったが、本観測によって概算値ではあるが、その量を定量的に把握できたことは大きな成果である。本観測で用いたADCPはカウンターパート機関である排水研究所(DRI)と水管理研究所(MWRI)にそれぞれ移管される。本機材の使用方法については、本邦トレーニングならびに現地観測を通じて技術移転を行っているため、各機関で本観測を継続することによって、ナイルデルタからの域外への流出量、すなわち、水量面で再利用可能な水量を把握することが期待される。

一方、モデル構築のための小規模流域に関しては、プロジェクト期間の一部期間ではあるが、水位・ECの連続記録を得ることができた。水量に関しては、おおよそ流入量の増減に応じて流出量も変化する、すなわち、流域内での消費水量は比較的安定していることが確認された。第四幹線排水路流域、ならびに、ガルビー

ヤ幹線排水路流域で実施した集中流量観測の水収支によると、灌漑期間中の流域内での平均消費水量(流入量と流出量の差、蒸発散量に相当)は2~3mm/dであり、別テーマで実施した圃場蒸発散量観測の結果を裏付ける結果が得られた。また、夏作の刈取時期にあたる8月下旬には消費水量がマイナスになる状況も確認された。これは、刈り取り前の水田湛水の放流を示していると考えられ、本流域の水収支を正確に評価・予測するには水田作付時期にともなう水管理の影響を評価する必要があることが確認された。

水質については、灌漑期間を通じて比較的大きな変動がないことが確認された。第4幹線排水路受益地の流入水(灌漑用水)と流出水(排水)のECは、それぞれ0.4~0.5 dS/m, 0.8~1.5 dS/m(平均1.2 dS/m)であり、特に流入水の水質は極めて安定していた(Fig.1 上図)。一方、ガルビーヤ幹線排水路受益地では、流入水は0.3~0.5 dS/m, 流出水は1.4~1.5 dS/m(平均1.2 dS/m)であり、流入水に関しては流域の違いによる差は見られなかった(Fig.1 下図)。両流域とも同一の幹線用水路を水源とする支線用水路から取水しているため、これは当然の結果である。一方、排水については、後者で値が高く、変動幅が小さい。ECが高い点については、流域内に比較的大きな都市があり、そこからの排水が影響している可能性が高いと考えられるが、本研究ではそれ

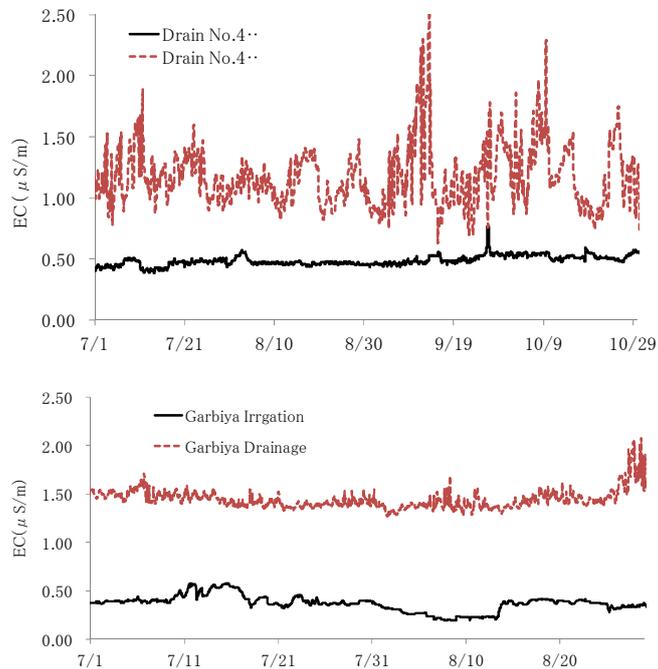


Fig. 1 小規模流域におけるECの変動(2014年)

を明らかにすることはできなかった。水質の変動幅が小さい点については、流域規模の差が原因と考えられる。両流域面積には約 3 倍の差があるため、流域規模が広大なガルビーヤ排水路では、各農地から流出した排水の水質変動が流下・合流の過程でならされたと考えられる。将来の排水再利用の観点から考えると、本結果は再利用する排水地点の集水面積に応じて水質の安定性が異なることを意味している。つまり、ある程度まとまった流域からの排水を再利用する場合には、水質は比較的安定するので、再利用する排水の水質評価は、個別の流域である一定の負荷量を与え、その結果が灌漑用水としての基準値を満たすかどうかで評価できると考えられる。一方、細かい反復利用を繰り返す(反復利用の回数を増加させる)場合には、それぞれの集水面積が小さくなるので、再利用する排水の水質の変動が大きくなる。その場合、個別農地の水管理が水質に及ぼす影響が相対的に大きくなるため、より詳細な実態把握を行った上で排水再利用の可能性を評価する必要が生じる。現在、エジプト水資源灌漑省では、ナイルデルタ全域の多地点で月 1 回の水質観測を実施している。現状の観測体制では、ガルビーヤ幹線排水路の排水であれば、その期別変動を評価できるが、第 4 幹線排水路の集水面積では、期別の水質変化よりも短期的な水質変動の影響が大きく、排水再利用を評価するための情報としては不十分である。将来、ナイルデルタへの供給水量を削減し、流域内での反復利用回数を増加させる必要が生じた場合、各排水再利用地点の集水面積は小さくなるため、そのような地点では観測頻度を増やす、もしくは、連続観測可能な自記水質計を設置するなどの対応が必要になる可能性が高い。

土地利用データ、栽培時期データについては、現地踏査と定点カメラで得た情報をもとに、リモートセンシング解析を行い、ナイルデルタ全域の土地利用分布、ならびに、夏作の植え付け日と刈り取り日の推定結果を得た。土地利用は、水田、その他の農地、果樹、裸地、都市、水域に分類し、モデル入力値としてのデータセットを整備することができた。特に、水田に関しては、本地区では間断灌漑が実施されているため、水田であっても非灌漑日には非湛水の場合があり、逆に畑地であっても灌漑日であれば湛水が発生する場合がある。そのため、一般的な水田判別手法である湛水の有無による水田判別を適用できない。そこで、本研究では、水田と他作物との栽培時期、ならびに、水稻特有の刈り取り前の穂の色から水田を判別する新たな手法を構築した(Fig.2)。本手法は、エジプト以外の国や地域にも適用可能であるため、特に水資源が不足しているために間断灌漑を実施している地域への適用が期待できる。また、エジプト農業研究センター(ARC)では、これまで膨大な人員と時間を要する現地踏査によって土地利用分布を把握しており、リモートセンシング解析による土地利用解析は実施されてこなかった。上記の解析手法については、ARC の土・水環境研究所(SWERI)のリモートセンシング部門長への技術移転を行っているため、今後はこれまでに得られている膨大な現地情報を活用し、本手法による土地利用解析の精緻化が望まれる。

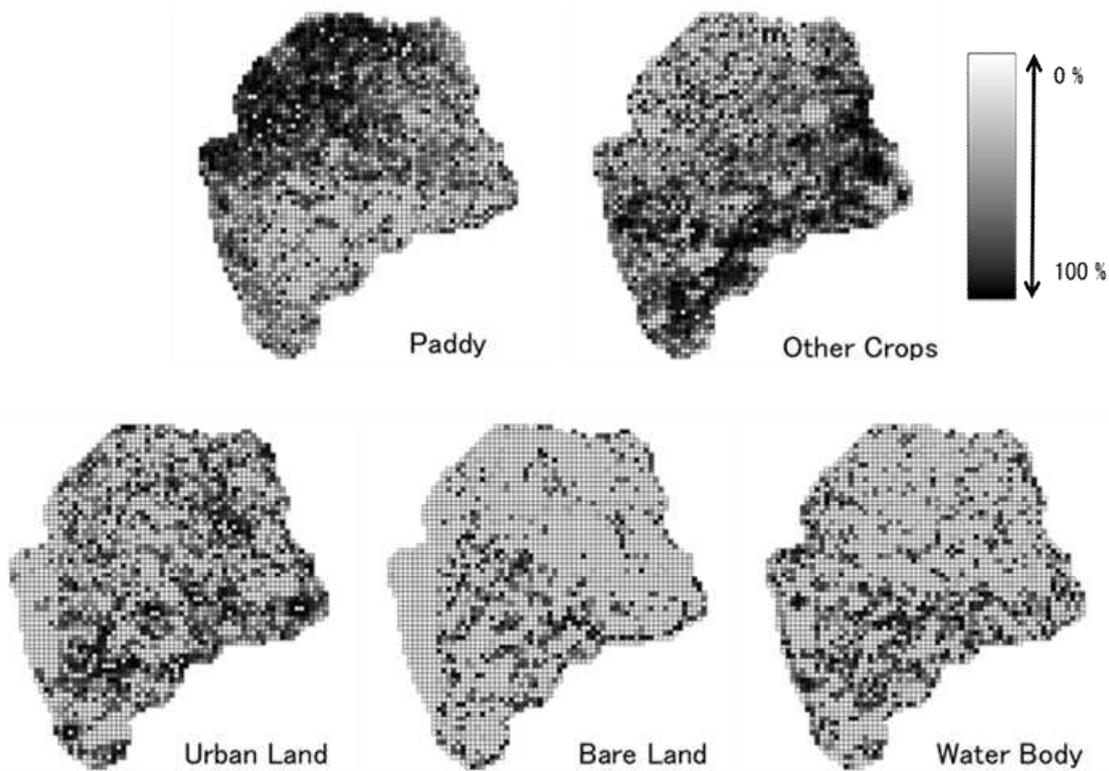


Fig. 2 リモートセンシング解析から推定された各セルの土地利用別面積率
(第4幹線排水路集水域)

一方、栽培時期の推定については、定点カメラによって栽培状況を連続把握し、その栽培状況とリモートセンシング解析から算出した NDVI(植生指数)を比較することにより、夏作の植え付け日と刈り取り日を決定する手法を構築した。リモートセンシング解析は、2009～2012年の4年間で行った(Fig.3:第4幹線排水路集水域の結果の一例)。その結果、ナイルデルタ全域で見た場合、地点によって栽培時期には2ヶ月以上の開きがあり、特にデルタ最上流域と最下流域で植え付け日、刈り取り日ともに早い傾向にあることが明らかになった。また、デルタ全域で見た場合の栽培時期の傾向は安定しているものの、各地点の植え付け日は年によって1ヶ月程度変動することも確認さ

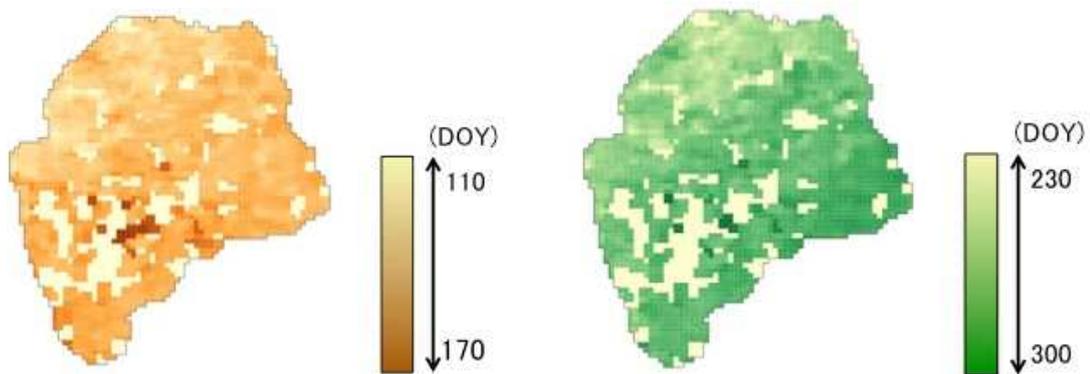


Fig. 3 リモートセンシング解析から推定された各セルにおける夏作の
植え付け日(左)と刈り取り日(右)(第4幹線排水路集水域)

れた。水・塩収支観測の結果で述べたとおり、流量や水質は農地での水管理の影響を強く受けるため、本手法は正確な水・塩収支予測を実現するための大きな成果であると考えている。なお、冬作については、雲の影響により解析に使用できる衛星データがほとんど得られなかった。現地での

聞き取り調査により、夏作と冬作の間の空白期間は 1～2 ヶ月であることが確認されているので、そこから冬作の栽培時期を決定したが、その精度検証については課題として残った。

最後に、水路網データについては、水路網データから流向を自動決定する手法を構築した。一般的な水循環モデルでは、標高データ (DEM) から算出される勾配をもとに流向を自動判別させる。しかし、ナイルデルタは勾配が極めて緩やかであるため、上記の方法を適用することができない。特に、ナイルデルタでは用水と排水が完全に分離されており、排水再利用をモデル上で評価するためには、現実の水路網をもとに、用水と排水をモデル上で分離する必要がある。本研究では、SWERI から水路網 GIS データの提供を受け、それをもとに用・排水路それぞれに対して流向を自動決定し、用水と排水を分離して流下させる構造を提案した。

以上のデータセットを用いて、第 4 幹線排水路集水域にモデルを適用した結果の一例を示す。Fig.4 は冬作の植え付け期におけるすべての農地の植え付け面積率である。左から右に向かって植え付けが進行している様子が再現されている。また、Fig.5 は Fig.4 の作付進行の影響を考慮して推定された各セルからの日蒸発散量である。水田を多く含むセルからの蒸発散が卓越している様子 (DOY180) や、水稻の刈り取りの進行にともなって蒸発散が減少していく様子が再現できている。ただし、安定した連続流量データが得られず、キャリブレーションを十分に行っていないため、モデルの推定値は別グループの実測値や水収支の推定値よりも大きくなった。これは、農地への灌漑水量を過剰に設定してしまっていることが原因と考えられる。この点については、本集水域への流入水量を正確に観測し、それを入力データとして与えることで解決できると考えられる。

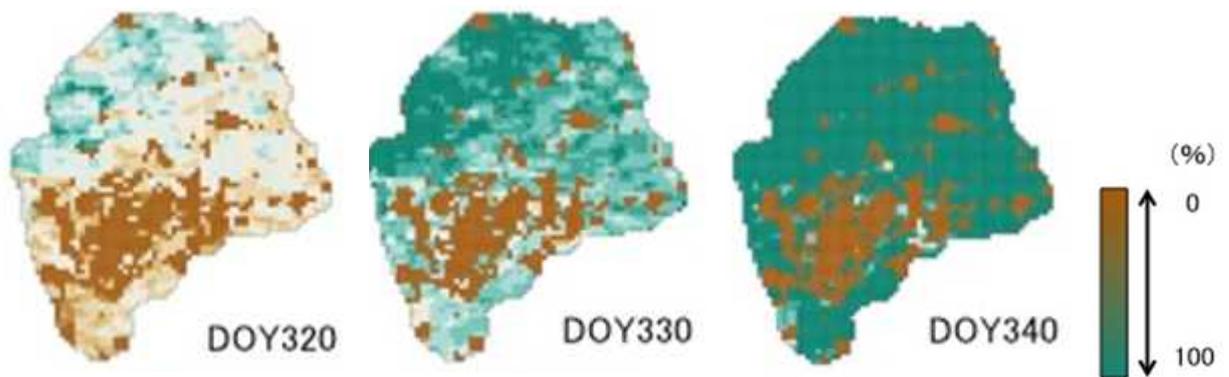


Fig. 4 モデルによって推定された冬作植え付け期における作付面積率の変化 (第 4 幹線排水路集水域)

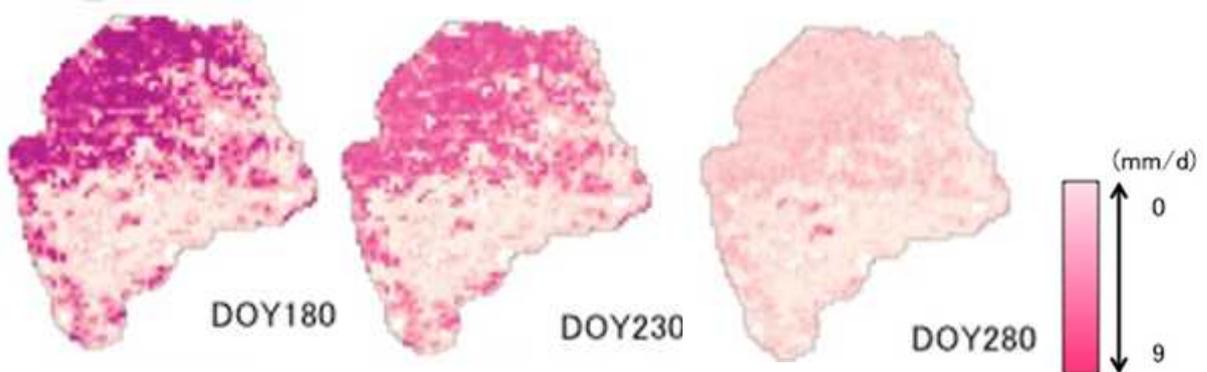


Fig. 5 モデルによって推定された各セルの日実蒸発散量 (第 4 幹線排水路集水域)

4. 1. 4 水、土壌、作物の相互関係の総合的な整理

(a) 亀裂消長の実測と推定法の実証

Sakha 圃場の中央において、灌漑水の流下方向(同一の畝)に 3 点を選び、土層の鉛直方向の伸縮を直接計測する沈下計を 0, 20, 40, 60, 80cm の深さに設置した。沈下計とは、計測対象とする土層に水平方向にアンカーを広げて固定し、アンカー部分から直立する棒を地表面上まで伸ばして、その先端の高さを定期的にレベルで測定するものである。また、沈下計の設置点のうち 2 点では、深さ 5, 10, 30, 50, 70cm の土層の水ポテンシャルを連続観測した。これらの観測を冬作のテンサイ作期から夏作の水稲収穫後まで行った。テンサイ作期では、間断灌漑による水ポテンシャルの変動は深さ 30 cm までにとどまり、それより深部では乾燥の進行は見られなかった。灌漑を停止した後は著しく乾燥が進み、表層では -4MPa、深さ 70cm でも -0.2MPa まで水ポテンシャルは低下した。土層の鉛直方向の収縮は、灌漑期間中はほとんど検出されなかったが、灌漑停止後には表層で 12%、60~80cm 層で 1%であった。これを土層の体積変化に換算すると、それぞれ 36%、3%の収縮となる。一方、同圃場で採取した不かく乱土壌試料を用いて、水ポテンシャルと体積収縮量（圧縮指数）の関係を別途求め、圃場での収縮量を推定したところ、観測結果との一致がみられた。以上から、土壌の収縮特性と水ポテンシャル値の鉛直分布が得られれば、圃場での土層の伸縮量の実測を経ずに、表層の亀裂の量や亀裂の到達深度の変化を実用上十分な精度で推定できることが確認された。

(b) 亀裂が灌漑効率に及ぼす影響についての定性的検証

圃場の乾燥が進んだ 2014 年 11 月中旬に暗渠近傍および暗渠中間の亀裂に石膏を流し込み、亀裂の到達深度を確認した。大きな亀裂は作土部にとどまり、細い亀裂の到達深度は暗渠直上で 60 cm、暗渠中間では 50 cm であった。小麦作の後に 1m まで亀裂が達していたとの報告が過去にあるが、暗渠の埋設深さは 1.6m 程度と深いため、亀裂と暗渠が直接連続する可能性のある期間は極めて限られており、灌漑水の損失に対する亀裂の影響は小さいと考えられた。一方、灌漑時には、下層の水ポテンシャルの上昇が先行する傾向がみられたことから、灌漑水が亀裂を通して速やかに圃場の末端に到達し、下層から土壌に水を供給していることが示唆された。以上から、水の供給プロセスに限ってみれば、亀裂は水利用効率においてプラスに機能していると結論付けた。

(c) 亀裂が土壌面蒸発に及ぼす影響

亀裂をスポンジにより塞いだライシメータと塞がないライシメータからの蒸発量を比較したところ、それほど大きな違いは見られなかった。従って、通常の地表灌漑間断日数における蒸発散量の数値予測において、亀裂からの蒸発量は無視してもそれほど大きな誤差にはならないと思われる。

(d) 亀裂が塩分移動に及ぼす影響

Sakha 圃場における小麦の生育終盤における根群域下部の土壌水の EC は 4~6 dS/m 程度であった。テンサイおよび水稲のそれはいずれも 4 dS/m 程度で、湛水条件下にあったにもかかわらず、土壌塩分貯留量はほとんど減少していなかった。また、飽和透水係数は 1.4 cm/d 程度とかなり小さいため、均質土壌を仮定すると理論的には大きな地下水面勾配が予想されるものの、実際には地下水位は吸水渠からの距離に拘わらずほとんど同期していた。EC は 1.7 dS/m 程度で、土壌水の EC の半分以下であった。また、マンホールからの流出水の EC は灌漑中に 0.7 dS/m 程度まで減少していた。以上の結果は、土壌水分移動のかなりの割合が粗間隙とりわけ亀裂を通じて行われていることを示している。仮に粗間隙経由の浸透水は微細間隙中の溶質を受け取らず、灌漑水の塩濃度のまま地下水に到達したと仮定すると、およそ半分の灌漑水が粗間隙経由で流れているものと推定される。これが水稲栽培条件下でも土壌塩分がそれほど減少しない理由の一つと考えられる。灌漑およびリーチングをより効率的に行うため、粗間隙を通じた選択流を防ぐことのできるスプリンクラー灌漑や点滴灌漑の効果も検討する意義がある。

4-1 (2) 研究成果の今後期待される効果

1) (4.1.1 慣行栽培および節水栽培条件下における作物の消費水量の測定)

異なる灌漑方式を適用して、実験的に蒸発散量を計測しており、確実に観測記録を収集し、灌漑と蒸発散量の関係についてデルタに特徴的な事象を把握している。エジプトでは初めての試みであり、特にエジプト人 CP が提唱する細溝灌漑に関する計測は初めてである。測定システムを今後のエジプトでの調査研究に生かすための技術移転がソフト、ハード両面で行われ、関係する 3 機関を代表する 3 名に対する日本での研修、機材引き渡し時のメンテナンス作業と 15 名ほどの参加による技術研修の実施によりエジプト機関側による自主的な運用が始まったところである。今後の計画としては、カイロ大では本システムを利用した教育・研究がすでに計画されている。また、WMRI では本システムを International Center for Agriculture Research in Dry Areas (ICARDA) と共に活用する方向の検討が始まったところである。

灌漑方法、作物の選択により節水効果があることが数字で示されたことから、社会実装に向けた議論を行う基礎資料が調ったことになる。今後本プロジェクトで扱わなかった、各灌漑方法の経済面での実現性、有用性と照らし合わせることで、実際の政策として採用する方向性を決められる可能性が高い。

2) (4.1.2 防風林が地域の蒸発散量に与える影響の測定)

防風林の蒸発散量抑制のために必要な要素が示されたが、モデルでの試算に留まっているので、実際の観測による検証を行った上で、その整備に向けた検討がなされることが期待される。

3) (4.1.3 流域レベル(中央デルタ)での水と塩の収支の解明)

本課題では、ナイルデルタで水・塩収支を評価するために必要なデータセットの構築手法を提案した。また、整備した各データセットの結果から、将来の水量・水質を評価する上で検討すべき課題を示すことはできた。しかし、流量・水質の連続観測データが十分には得られなかったため、本課題の最終目標であった開発モデルを用いた将来予測までは実現することができなかった。モデルの基本構造は既に整備できているため、今後は流量・水質データの整備が必要である。

また、現状、エジプト政府によるナイルデルタ内の流量・水質観測は、月 1 回程度の集中観測であるが、本結果から反復利用が増大した場合には、現状の観測体制では情報が不十分であることが示された。用水削減による水質への影響を評価するためには、観測体制の改善が求められる。特に、本プロジェクトで ADCP の技術移転を実施したことにより、これまで観測が困難であった大規模水路の流量を高い精度で観測することが可能となったため、各流域レベルでの利用可能水量を定量的に評価する上で重要であろう。

また、土地利用については、前述のとおり、これまでエジプトでは膨大な現地踏査によって土地利用を把握してきた。本研究でリモートセンシング解析による土地利用ならびに栽培時期の判別手法を提案できたことにより、土地利用把握に関する大幅な労力・予算の削減と、より頻度の高いデータの整備の実現が期待される。

4) (4.1.4 水、土壌、作物の相互関係の総合的な整理)

① 本課題では、ナイルデルタで水・塩収支を評価するために必要なデータセットの構築手法を提案した。また、整備した各データセットの結果から、将来の水量・水質を評価する上で検討すべき課題を示すことはできた。しかし、流量・水質の連続観測データが十分には得られなかったため、本課題の最終目標であった開発モデルを用いた将来予測までは実現することができなかった。モデルの基本構造は既に整備できているため、今後は流量・水質データの整備が必要である。

② また、現状、エジプト政府によるナイルデルタ内の流量・水質観測は、月 1 回程度の集中観測であるが、本結果から反復利用が増大した場合には、現状の観測体制では情報が不十分であることが示された。用水削減による水質への影響を評価するためには、観測体制の改善が求められる。特に、本プロジェクトで ADCP の技術移転を実施したことにより、これまで観測が困難であった大規模水路の流量を高い精度で観測することが可能となったため、各流域レベ

ルでの利用可能水量を定量的に評価する上で重要であろう。

- ③ また、土地利用については、前述のとおり、これまでエジプトでは膨大な現地踏査によって土地利用を把握してきた。本研究でリモートセンシング解析による土地利用ならびに栽培時期の判別手法を提案できたことにより、土地利用把握に関する大幅な労力・予算の削減と、より頻度の高いデータの整備の実現が期待される。

ナイルデルタでは、水収支や塩の移動に対する亀裂の影響に関心がもたれてきたが、これを定量的に扱うための前提として、上記の収縮量の推定手法は有効である。沈下計による圃場スケールでの土壌の収縮挙動の計測については、その設置や計測を通じてエジプト側への技術移転を果たした。一方で、土壌の収縮特性の測定・解析については、プロジェクト終了間際の日本側での測定となったため、今後の人的交流のなかでエジプト側との手法の共有を進め、現場への適用が図られるようにしていく予定である。

4.2 用水管理グループ(筑波大学)

(1) 研究実施内容及び成果

4.2.1 水管理の現状分析と将来への改善の提言

ナイルデルタにおける節水の実現という課題に対し、その実現の方策を水管理の面から検討するため、①水管理の現状を正しく分析する、②特別の対策なしに節水（デルタへの配水量の削減）が行われた時どのような状況が発現するか、③そのような状態を回避し、政策を実現するためにどのような対策を行わなければならないか、という3段階の検討を行った。

1) ナイルデルタ灌漑排水の特徴

ナイルデルタの水利用を特徴付ける灌漑排水システムは、広大なデルタの全域にわたる用水路と排水路の完全分離である(Fig.1)。用水に関しては、ナイル川-基幹用水路-幹線用水路-支線用水路-メスカ-マルワの6段階で水が耕地に届けられる。その間に、メスカからマルワへの分水には、ほとんどすべて農家個人所有のディーゼルエンジンポンプが使われる。用水の配分は、支線用水路への供給までを国の灌漑管理事務所が行っており、幹線用水路のレベルで大きな規模の番水システムを採用していることから、デルタ全域の水配分が安定的かつ比較的公平に行われている。しかし、支線用水路以下の水路については、組織化されていない農家の取水行動によって、内部の水配分が規定されているので、番水制度の下で、上下流を中心とする諸条件が取水条件の善し悪しに大きな違いを与える。なお、1990年代から水管理改善事業(Irrigation Improvement Project, IIP)が行われ、その場合には、メスカの個人ポンプを集め、メスカの頭に共同ポンプを設置する。

排水に関しては、圃場レベルでは暗渠排水が、主要な役割を演じており、それが支線排水路に流入する。暗渠排水は、日本と異なり、個人農家の圃場をまたいで数キロメートルにわたり、個人圃場ではなく地域の地下水排除を担当している。支線排水路には、圃場からの表面排水も流入するが、開渠排水路は日本と違って地下排水を受け持たないため、深さは30cm程度である。個別圃場の排水を受ける末端排水路と暗渠排水地区に相当する地区排水路の2つのレベルが確認できる。支線排水路は幹線排水路に流入し、これが地中海まで達するので、圃場レベルから、4段階で構成されている。

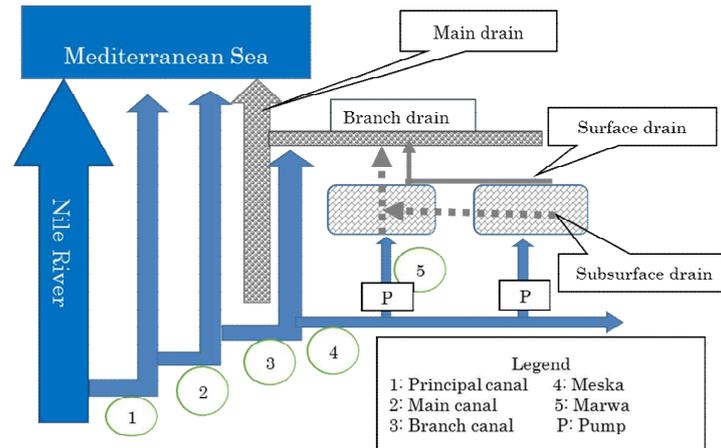


Fig. 1 Schematic layout of typical irrigation and drainage canals in the Delta

2) 本研究での現地観測分析の方法

水管理に関わる主要な要因を、①水田地帯と非水田地帯、②用水の上流部と下流部、③伝統的システムとIIPシステムの3項目とし、これらをカバーするように現地観測を配置した。すなわち、①については、水田地帯の用水としてKafr El Sheikh県のAbshan支線用水路(伝統的システム)地区とBahr E Nour支線用水路(IIP)地区を、非水田地帯の用水として、Monofiya県のEl Ninaiya支線用水路地区を設定した。それぞれについて、上流部と下流部の水管理状況を把握できるように観測機器を設置した。

上下流部における水利用の特徴的な差は水量の他に水質において生じる。この分析のため、Abshan地区で、灌漑用水が圃場に適用され、暗渠排水を通じて支線排水路に戻り、それが再利用された後にさらに支線排水路に戻るというプロセスで、水質がどのように変化するかを把握するように、年間を通した水質分析(ほぼ月に1回)を行った。

3) 水田地帯の農民水管理行動、水配分分析結果

Abshan地区では、上流部のメスカとしてArfaa地区を、下流部のメスカとしてHassan Selman地区を、Bahr El Nour地区では上流部のDewake地区、下流部のMatabik地区を詳細検討地区として取り上げた。

用水を多量に使用する水田作付けは、行政的には北部10県にだけ認められており、この政策は比較的良好に守られてきたが、2011年の革命を境に、その統制が崩れ、デルタ南部の地域でも栽培されるようになったことが観察された。水田農家は可能な限り多量の用水を、継続的に取水しようとするが、カフルシェイク県では、夏期の4日通水、6日断水、冬期の4日通水、8日断水という番水制が継続して、水の利用可能性、規制は大枠において保たれている。

水田地帯全体としては、用水量不足から、幹線用水、支線用水路、メスカの末端、さらに、排水路に接する圃場では個人のレベルで、すなわち、あらゆるレベルで反復利用がなされるようになっている。ところが逆に排水を再利用するようになると、排水路における流量の安定から、水質は悪くなくても量的には十分になる。正規の排水利用ポンプは、ローテーション上の配水日しか運転されないが、非正規の排水再利用では、何時でも取水できるという状況が生まれている。

a) 支線用水路における水配分

番水における4日間の通水が始まると、各メスカが一斉に取水を開始するため、下流部メスカへの水の到着が遅れる。取水ポンプは多く日中に運転されるので、支線用水路の水位は、日中に下がり夜間に上昇するパターンを繰り返しながら、下流部の水位が上昇する。その結果、用水需要のピーク時期については、IIPの最下流部で、初めの1日が水利用不可

能な状態になる。Fig. 2 は支線用水路の取り入れ口、上、中、下流 4 箇所での水位の変化を示している。その一方で、夜間には余水の発生が観測され、その時間数は月によっては 70 時間、ボリュームで 5 万トンに達した。一方、Abshan 地区では、支線水路の下流部が、隣接して流れる Gharbiya 幹線排水路と繋がれており、水不足自体は生じない。

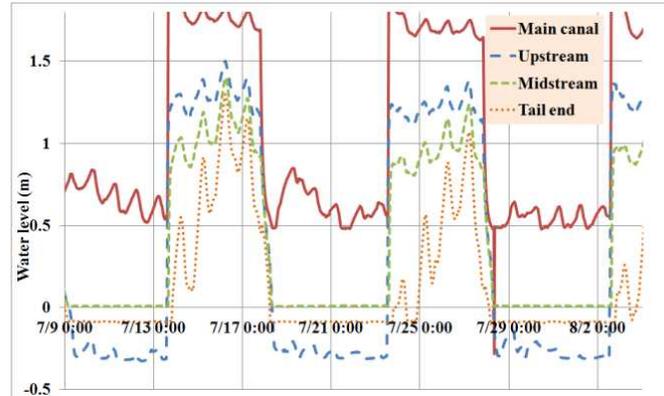


Fig. 2 Water level change in Bahr El Nour canal (summer)

b) 農民の取水行動

二つの対象支線用水路 Bahr El Nour 地区ならびに Abshan 地区で、個別農家および共同ポンプにおける用水取水量実態把握では、夏の平均で水田でも 10mm/d 程度の抑制された取水量が認められる (Abshan) のに対し、排水利用によって常時取水可能な農家では 30mm/d 程度に達する大量の取水を行う農家 (Hassan Selman) が存在することがあきらかになった。同じ水田地区で水が十分に取れるものの IIP 地区では 10 mm/d 程度に抑制が効いている。

農民の取水行動は、マルワ (あるいはメスカ) の通水能力に規定されており、受益面積に対するマルワの「相対的な取水能力」(マルワ通水能力/受益面積) が指標として重要であることを明らかにした。伝統的マルワの通水能力は、個人ポンプ 1 台の取水能力に相当している。この「相対的な取水能力」が低い水路では、通水日の 4 日間、連続でポンプを運転しており、農家間の平等取水時間配分を行うため、夜中にもポンプ運転時間や取水バルブ割り当て時間の切り替えを実施するという状況にある。一方、多くのマルワ、メスカでは日中だけのポンプ運転で済ませることができている。水配分と農民水管理行動は、「上下流関係」と「相対的な取水能力」の二つの基礎原理があり、共同取水という社会的・制度的関係がさらに全体としての農民行動を規制しているものとしておよそ理解できる。

c) 水田需要水量

水田水位の連続観測から、実際の農家の水田における減水深は、Arfaa での観測結果、及び近傍水田での観測結果から、8-9 mm/d 程度が標準的な値であることが推定された。Sakha における ET 観測から、水田の ET は 6 mm/d 程度であることが分かったので、地下浸透および畦畔浸透は 2-3 mm/d 程度あることが推定された。ただし、番水制度に制約されている Arfaa では灌漑期間中、水田湛水を確保できた日数がおおよそ 60%であったから、非湛水期間はほぼ 6 mm/d 程度の減水深になる(土壌の乾燥状況による)。一方、常に取水が可能な水田では、常時湛水が確保されるとともに、湛水深を大きく確保する傾向にあり、湛水深が大きいときには、不十分な管理状態の畦畔から排水路に無効放流される量が増える。このように、水田における水需要量は、基本の量はあるものの、水の利用可能性によって大きく変化する。ポンプの燃料代は、取水への抑制要因になっていない。

4) 非水田地域の農民水管理行動、水配分分析結果

中央デルタの西端、ロゼッタ川に接する地域を流れる El Ninaiya 支線用水路の中流部に位置する。この支線水路は、支配面積が 22,000ha もあり、幹線用水路クラスである。そこから直接取水する

マルワ(地区1)とその対岸近傍で取水するメスカ(El Hensa)の上流部地区(地区2)、下流部地区(地区3)を対象とした。

a) 水の利用可能性

この支線用水路が上中下流3つに区分した番水を行っており、本地区は支線用水路の中央部にあることから、下流への送水中も高い水位を確保することができる上、上流部の番水日でも水深にして40cm程度の水を確保できることから、地区1では取水に関わる時間制約を感じていない。メスカへの入り口にゲートがないので、支線水路の水位が高まるとメスカに水が流入する。地区2, 3の水位を観測し、上流では支線用水路の水位に対応した水位が確保できるものの、下流部では水位の上昇が遅れるのが通常で、期間中まったく上がらない場合もあった。

このメスカにおける上下流の対立は強い。通常は、農民が共同で水路の浚渫を農業事務所に申請し、その費用を関係者に税の一部として賦課するが、その共同申請ができない状態で、結果として、水路の土砂堆積、機能低下が進行して、末端にさらに水が届かなくなっている。そのため、下流部では、地区内に3箇所の地下水くみ上げポンプが設置されており、農民は必要な場合、使用料を払ってこれを灌漑に使う。

マルワにも変化が起こっている。伝統的なマルワは、複数の農家の共同管理であったが、目前のメスカに水があるうちに確実に水を確保するために、マルワを解体し、それぞれの農家が個々にポンプをメスカに繋げるようになった。この結果、マルワの通水能力で規制されてきた取水能力が休息に拡大し、上下流の用水配分の不均衡をさらに強化する方向に動いてしまった。

b) 用水使用量

3地区における用水使用量を比較すると、取水条件に大きな差があるにもかかわらず、最終的に灌漑水量には差が見られなかった。Fig. 3は、3地区におけるメイズに対する灌漑回数と1日平均灌漑水量を比較したものである。

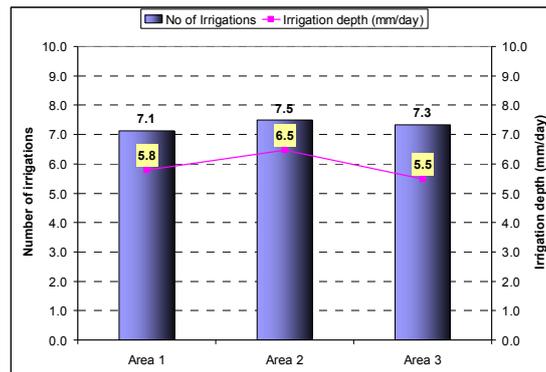


Fig. 3 Number and amount of irrigation for maize in 3 Areas of different water availability

これは、利用可能な水が十分であっても、畑作の場合は必要以上に水を掛けないし、取水条件が悪い地区は、地下水を確保する等して、必要な灌漑水量は確保するということを意味している。3地区の灌水作業の時間帯を調査した結果では、自由に行動できる地区1では、午前と午後の2回ピークがあるのに対して、下流部地区は、夜間に上昇した水位を利用して、早朝から午前にかけてピークを迎えるものの、午後は灌漑ができていない。逆に夜中の灌漑の割合が増加している。

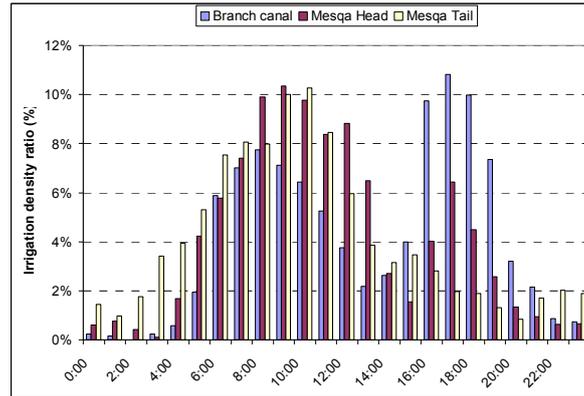


Fig. 4 Irrigation operation hour distribution at Areas 1,2 and 3: at branch canal, Head of mesqa and tail end of Mesqa (summer 2012)

5) 用水配分を巡る上下流農家の対立と調整

用水路における水配分実態調査、観測等から、支線用水路、メスカにおいて、上流部と下流部での水利用可能性に大きな開きが生じていることを明らかにした。用水路下流部の農家が被る不平等は、1) 取水可能日の短縮、2) 水量の減少、3) 夜間取水、4) 地下水の購入、5) 汚水の利用という5項目におよぶ。

それらの対立関係を調整する農家の水利に関する共同意識(平等の精神)は、伝統的なマルワシステムでは、マルワを共同利用する農家数戸の間に成立しており、IIPではメスカレベルに上げることが出来ている。しかし、支線用水路レベルにおいては、対応する水管理組織が存在するにもかかわらず、水量配分の調整はできていない。インセンティブの欠如による。

6) 用排水過程における水質変化

将来における排水反復利用戦略の基礎として、灌漑排水過程でどのように水質が悪化するのかを把握するため、水質調査を実施した。2013年7月から2014年8月まで、ほぼ毎月1回、1年間の予定で行った。水質項目は一般的な項目すべてをカバーする。

Table 1 水質調査観測地点

対象	上流部	下流部	備考
灌漑用水	1	4	下流部用水は、必要に応じて排水を汲み入れる
暗渠排水	2	5	80ha 程度の面積
支線排水路	3	6	Agricultural and housing drains are mixed. 全体で 4,000 ha の面積を持ち、農村地帯流域のすべての排水が入る。
幹線排水路	—	7	600 km ² の集水面積ですべての排水が入る。

水質分析の結果、幹線排水路では全般的に、有機物汚染(BOD, COD)および大腸菌についての項目が基準値を大きく上回るひどい状態であることが分かったが、重金属については基準を超えることはなかった。塩分濃度について結果を示したものが Fig. 5 である。図中横軸の各まともりは、順に地点 No.1 から No.7 に対応する。

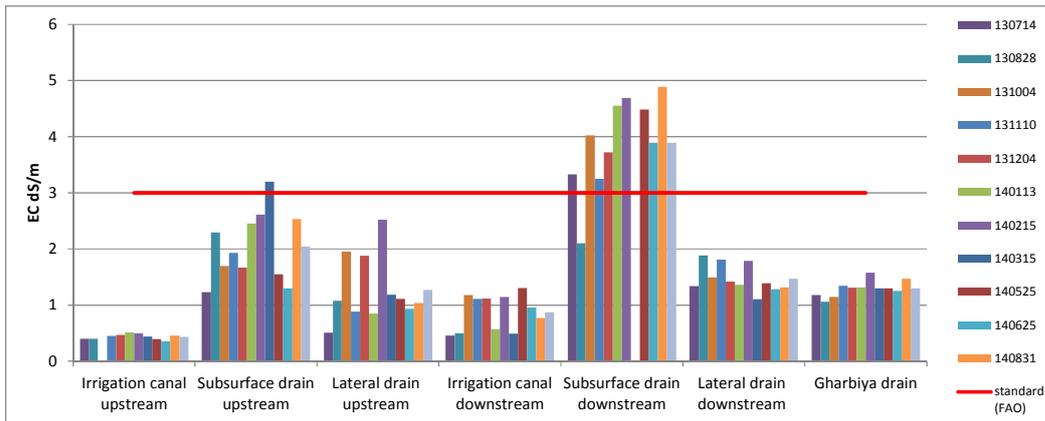


Fig. 5 電気伝導度の測定結果

支線用水路下流 (No.4) の水質を、二つの水源である上流部灌漑用水 (No.1) および幹線排水路 (No.7) の水質と比較したものが Fig. 6 である。支線水路上流部の取水量が多く、水量が不足すれば幹線排水路から補給がなされるので、その状況に応じて、水質は、上流の灌漑用水と幹線排水路の間の値で振れることになる。

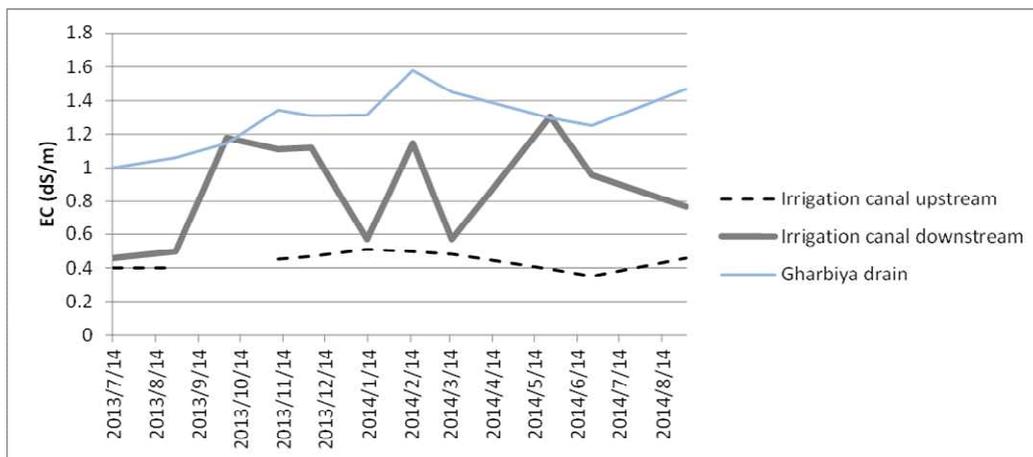


Fig. 6 下流部用水における水質の変動

結果を整理すれば次のようになる。

i) 支線用水路の上流部では、良好な水質を確保することができている。ナイル川のカイロ地点の水質(0.3-0.4 dS/m)に近い値である。これは、デルタ全域における用排水の完全分離の成果である。ダミエッタ派川を経由してではあるがカイロから 100 km 以上も流下してきた下流部地域においても、良好な水質を確保できているのは驚異的である。

ii) 灌漑用水と幹線排水路の水質は極めて安定している。

iii) 灌漑用水から暗渠排水の EC への倍率は 4 程度で上下流とも同じ値を取り、原点を通る直線上にプロットされた。これは、異なる塩分濃度の灌漑用水が蒸発散によって濃縮されることが暗渠排水の塩分濃度にとって規定的であることを示している。水の動態の量的観測が継続的に信頼できる期間行えなかったため、水量の側からの詳細な確認はできない。

iv) 下流部の用水は、用水の原水と幹線排水路の EC の間を振れており、必要な時に排水を利用している状況が反映されている。

v) 以上を総括すれば、排水路の塩類汚染は 2 段階の過程として理解される。すなわち、用水

の上流部地域からの暗渠排水による汚染(第1段階)、そして用水路下流部の、排水を混合した水利用地区からの高塩分濃度暗渠排水による汚染(第2段階)である。

7) 灌漑用水 EC と土壌 EC の関係(水田地帯)

土壌の塩類集積は、土性や地下水位など様々な要因に影響を受けるが、条件が比較的揃った狭い範囲では、灌漑用水の水質が影響を及ぼす姿が見える可能性がある。そこで、灌漑用水の水質調査を1年間行った4地点で、その水質と土壌の塩分濃度との関係を確認した。Abshan 上流部(No.1)では、Arfaa メスカの内部で、純粋に灌漑用水だけで灌漑しているマルワと、排水(No.3)を混ぜて灌漑しているマルワが存在するので、その2つのマルワを別々に扱い、下流部用水地区(No.4)と、Gharboya 幹線排水路(No.7)から直接用水を利用している地区の4地点を取り上げた。それぞれの地区の11回分の平均値を1年間の平均水質と見なし、冬作と夏作の後に土壌のECを1:5法で測定した。その結果が、Fig.7である。

これから次のことが導き出される。

- ① 土壌のECは、灌漑用水のECと直線的な関係を持っており、その回帰直線はほぼ原点を通る。
- ② 夏作の後の土壌のECは、冬作の後の値より高まっており、土壌のECが季節的变化を持っていることを示す。これは、Sakhaの試験圃場における観測結果とも符合する。
- ③ 1:5法のEC値と土壌飽和法のEC値の変換倍率として、エジプトで広く使用されている6.25を使用するなら、Highly salineと判断される8-16 dS/mの値に相当する1:5法の値は1.28-2.56 dS/mである。本地区の下流部地域は危険な状態にある。この結果は、デルタにおける土壌の塩類集積が、平均的ではなく、地域的に、まだら模様に行進していることの理由が、用水管理の問題に起因する上下流の水質問題であることを示している。
- ④ 塩類集積の問題を回避するためには、灌漑用水として1.0 dS/m程度がおおよそその限界値ということになるので、下流部の水質をこれ以上悪化させれば、土壌塩類集積問題の状況がさらに悪化する。土壌塩類集積問題の改善に、水管理の改善が重要な手段になる。

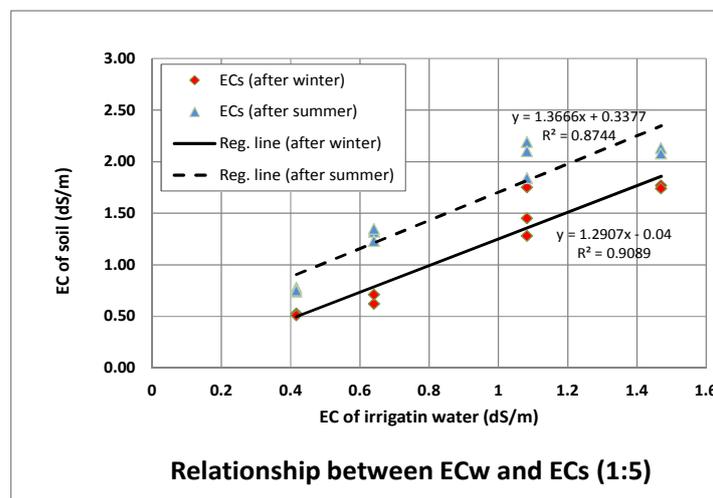


Fig. 7 灌漑用水のECと土壌のECの関係

8) デルタへの配水を減少させた時の影響

上の水量・水質分析結果は、用排水分離が基本で、必要に応じて排水の再利用を行うという用排水利用の姿を示している。それは、用排水分離の長所でもあり短所でもある。すなわち、現在、水不足と反復利用の問題点は、用水路の下流部に集中しており、今後、もし、対策なしに配水量を

減少させた時には、ネガティブな影響はすべて下流部に集中する。

デルタにおける配水量減少の影響の出方の特徴は、

- 1) 上流部の農家は全く影響を受けない。
- 2) 排水混合利用の範囲と割合が増大する

3) デルタ下流部の排水直接利用地区では、塩分、菌汚染(大量の大腸菌群)、重金属濃縮によって営農が不可能になり、健康被害も予想される。

このことによって、将来、デルタでの節水と沙漠地帯への転流が進行した場合、その悪影響を直接的、集中的に受ける下流部農民から当該政策に公然とした反対の声が上がる可能性がある。それはこの政策そのものの実現を危険にさらす可能性がある。

9) 節水の量的可能性

2006年から2010年間のデルタへの平均水供給量と流出量は下の通りであった(DRI年次報告)。灌漑用水のECを0.4 dS/mとし、自然流下で地区外流出するGhargia幹線排水路のECをデルタ全体のECと見なせば、塩の収支は

- ・ 水供給量：430億トン
- ・ 地中海（北部海岸湖沼）への排水：157億トン
- ・ 排水の平均EC（推定）：1.9 dS/m（Gharbia drainの値で代表）

となり、排出される塩は用水から供給される塩より12.6 dS/m×BCMだけ多いことになる。これは、水から供給される量の73%に達する。これは、灌漑用水の供給とは別の独立した負荷であるからFixed loadと見なし整理すればFig.8になる。

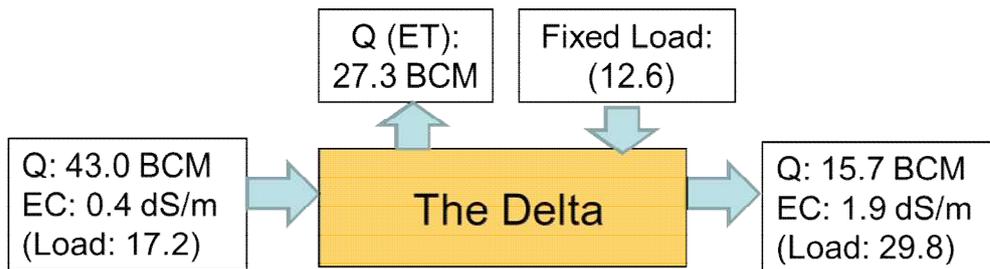


Fig. 8 ナイルデルタの水・塩の年間収支

今、このモデルにおける供給水量を次第に減少させて行き、その減少分を反復利用の強化で補ったとすると、Fixed loadが変化しないとすれば、供給水量に応じて地中海への排水の水質が変化する。この関係はFig. 9に示される。仮に、排水のECの目標値として0.4 dS/m(エジプトにおける排水の混合再利用に関する運用上のEC上限値)を採用すれば、およそ現在の供給量を20%まで減少させる事ができる。また、仮に、G1 および G4 の研究結果とその提言によりデルタ内の蒸発散量を20%節減できたとするなら、およそ35%まで水を節水することができる事がわかる。

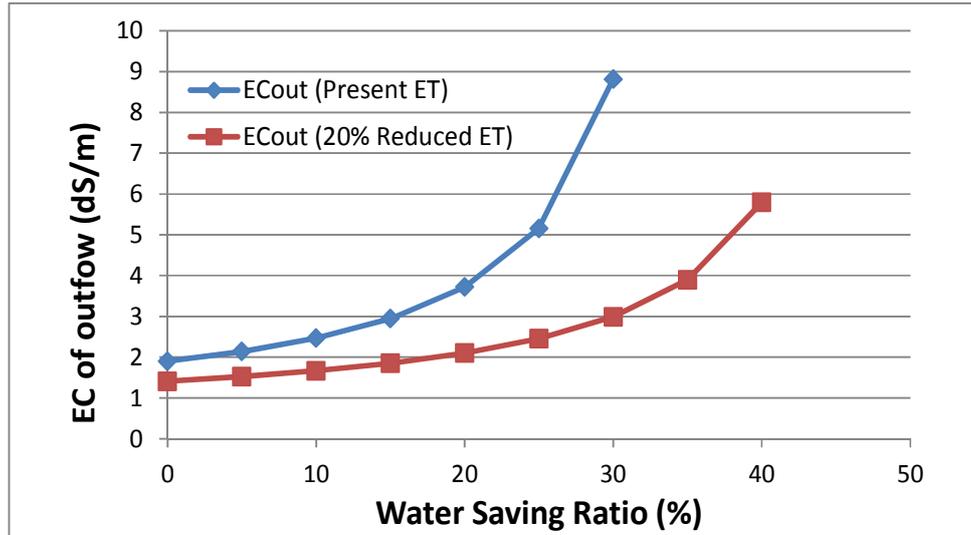


Fig. 9 デルタへの水供給量の削減率と末端排水の EC の関係

10) 政策提言

まず、デルタへの配水量減少には、マイナスの影響が出ることを認識し、それをデルタ全体として受け入れ対処するという基本政策を持つ必要がある。さもなければ、政策の推進は不可能である。

具体的対策としては、幹線用水路上流部から、反復利用のための排水汲み入れを行うことが提案される。これには、多少の土木事業が必要である。地形的にはなかなか実現しづらい条件があるからである。また、これまで、排水を汲み入れた幹線用水路の下流部は上水道の水源にしないという保健省政策がある。これについては具体的な見直しが必要で、汲み入れる排水路の流域について、集中的な下水処理事業を優先的に行う必要がある。

次に、メスカレバルの管理について、政府の関与を行うことである。水不足によって、益々農民間の協調が困難になる環境にある。少ない水を我田引水するのではなく、関係者で共同的に利用、平等配分する水利組合の設立が不可欠である。従来、基本政策として、政府と農民の管理区分を明確に持っていたが、それは尊重しつつ、水利組合の運営を良好にするための技術的、財政的、政策的援助を行うことである。

さらに、デルタにおける損失と、沙漠開発における開発利益の社会的不均衡を調整し、開発利益の一部の回収を行う政策を取り入れ、それを、デルタ地域の水管理改善の原資とすることである。これだけでは十分でないなら、他の財源も動員し、上記提案のデルタの水管理改善を成し遂げなくてはならない。

4.2.2 営農と灌漑用水利用の現状把握と今後の課題

今後の灌漑用水利用を分析するため、現在の農民や農民水利組織の灌漑用水利用や営農についての現状を把握した。ナイルデルタの大半を占める伝統的な灌漑システム地区としてアブシャン用水路地区、JICA の支援プロジェクトによって近代化された灌漑水利システム地区としてバハルヌール用水路地区を調査対象とし、調査票に基づいた農民対面聞き取り調査を行った。調査票の設計はグループ4の松下、エジプトカイロ大学の Nawal とともにに行い、現地調査は Nawal とその研究室のスタッフ・学生らが行った。

1) 調査の概要

・調査対象

アブシャン、バハルヌール各支線用水路の上流・中流・下流のメスカから 31 のメスカを抽出し、それぞれの用水路から農民 200 名ずつ(合計 400 名)に対してアンケート調査を行った。その際、各メ

スカ内でも、マルワ上流・中流・下流それぞれの圃場の耕作者を抽出するようにした。

- ・調査時期

2010年

- ・営農と用水利用に関する主な調査項目

家族構成、農業従事者、保有・利用機械

耕作地の位置(メスカ内の上中下の位置)

所有面積、借地面積

作物ごとの作付面積(夏 2009、2010、冬 2009、2010)

作物ごとの灌漑用水利用(回数×時間、夏・冬)

保有・利用ポンプ台数

ポンプ揚水可能量

用水利用

夜水利用の有無、回数

通水日は自由に用水が使えるか

水不足状況

水利組織(メスカ、マルワ)の共同作業の有無、水利利用のルールの有無

2) 結果

2)-1 営農の概要

- ・経営規模:

各農家の平均農地所有面積は、調査対象としたメスカ内では、アブシヤン地区で 50kirat (1kirat = 175 m²なので、約 0.9ha)、バハルヌール地区は 67kirat (約 1.2ha)で、いずれも零細経営である。メスカ外の所有地を加えても、アブシヤン地区で 60kirat (約 1ha)、バハルヌール地区で 91kirat (約 1.5ha)である。また、家族構成は、核家族もしくは両親を含めた家族構成となっているのがほとんどで、構成員数は、5～6名程度の家族が多い。就農者は男性の専従者1名の世帯が過半数を占めている。

- ・作付け作物

夏作は、アブシヤンで80%程度、バハルヌールでは90%以上の農地でコメが作付けされている。特に、バハルヌールでは、コメ以外はほとんど大規模な農地利用がなされていない状況である。IIP事業によって用水が潤沢に得られるようになり、すべての農地を稲作に使えるようになったことが考えられる。アブシヤンで、上流部のメスカでコメ作付けの割合が高いのも同様の理由からが考えられる。(施設園芸を別として)水が確保できれば、ナイルデルタの農民はコメを作りたい、ということが考えられる。

バハルヌールでは上流下流のメスカ間に大きな隔たりはみられない。IIP事業によって上流下流とも潤沢に用水が得られるようになったためと考えられる。

冬作は、アブシヤン、バハルヌールとも、小麦が40%程度、テンサイが30%程度である。「その他」の率が高いが、ここには未利用地の他、ベルシーム等の栽培や放牧地等を含むことが考えられる。特にアブシヤンでは、下流メスカほど「その他」の率が高く、理由として冬期の取水可能量が少ないことが考えられる。バハルヌールでも同様に「その他」が20～30%あることから、メスカへの引水施設(ポンプ)の規模の問題ではなく、ナイル川からの冬期送水量の少なさによるものと考えられる。

なお、作物の内、コメは50%、小麦でも約40%が自家消費用である。

- ・農業所得:

各農家の平均経営規模は1ha前後と零細で、また、所得の半分以上を農業(栽培した作物の販売)から得ている農家が大半を占める(それ以外の収入源としては、日雇い労働、畜産等が目立つ)。

前記のように、主要な作物は米・小麦であり、特に米の収益性が高い。引水可能な灌漑用水量が減少した場合、特に下流部のメスカ・マルワで水稻栽培が困難になることが考えられ、その場合、農家所得への影響は大きいものと考えられる。また、自家消費分のコメ・小麦も生産できなくなるお

それもあり、農民の生活への影響は大きい。

・農業の機械化:

アンケート結果から、農作業にトラック、トラクター、コンバインを使用している農家が 90% 近くを占めていて(所有している農家はほとんどない。機械を「賃借」するか、機械を保有する会社や個人に作業委託している)、家畜による耕作作業から機械耕が進行している。また、牛、水牛、ロバを保有している農家が両地区とも過半数あるものの、ロバについては保有ゼロの農家が半数程度を占めていて、農作物の搬送やサキア等の動力としての家畜利用は減少してきていることがわかる。

かつてはほぼすべての農家が耕作・動力・搬送用に家畜を保有していたため、冬期はベルシーム等の牧草を栽培することが必須で、現在も冬期にベルシーム等の栽培や放牧地としての利用が行われているが、今後、農家によってはこうした作物を作付けしなくなる可能性もある。これが、相対的に用水を多く必要とする作物に変わる場合、下流のメスカやマルワで用水不足が問題となる可能性もある。

・農作業と雇用労働力

また、耕起、播種・定植、施肥・除草、収穫といった作業については、50% 以上を雇用労働力でまかなっている農家が大半を占める。家族のみで行う農家は、いずれの作業とも 20~30% 程度である。灌漑用水の取水可能量の変化によって作付け作物が変化した場合、こうした雇用されている農業労働者の生活にも影響を与えることが予想されるが、例えば水稻から施設園芸に変化した場合、雇用労働力への依存はむしろ高くなることも考えられ、雇用労働力の需要は用水だけで決まるわけではなく、予測は困難である。

3) 灌漑用水の利用と管理

・主要作物の収穫量

コメ、小麦、テンサイが作付け作物のほとんどを占めるが、いずれも BN 地区の方で反収が高くなっている。特にコメは、AS 地区で平均 6ton/ha であるのに対し、BN 地区では平均 10ton/ha に及ぶ。IIP によって灌漑用水の取水可能量が大きくなったことがその要因の一つとして考えられる。

・ポンプの使用数、水源等(アブジャン地区のみ)

65% 以上の農家がポンプを 1 台のみ保有しているとしている。アブジャン地区では 111 戸の農家がポンプを個人で所有しているが、その一方で、59 戸の農家が個人所有はせずに共有と回答しており、相続等で農地が配分された際、従前の農業(灌漑)をそのまま継続し、兄弟のうちの誰かが兄弟を代表している場合があるなどの実態がうかがわれる。

また、ポンプの水源は、支線水路が 65% と多いものの、排水路から取水しているポンプも 2 割以上を占めており、用水の反復利用が必須になっている状況がうかがえる。

・各メスカの用水管理(アブジャン地区のみ)

メスカ内のポンプ使用(取水)について、何らかのルールがあると回答しているメスカが 7 割以上となっている。また、メスカ内に配水を差配する役員等がいるメスカはないものの、用水利用で問題が生じたときのリーダー役がいるメスカが半数以上を占める。

また、メスカの維持管理作業については、いずれの地区も定期的な維持管理作業を行っていて、全員がそれに参加すると回答している。また、維持管理の負担については、7 割のメスカが労務提供のみで、金銭を徴収しているメスカは 2 地区のみである。メスカが土水路等の primitive な施設で、ゲートもなく、個人所有のポンプで各人が用水をくみ上げる形態なので、メスカの共用水利施設の補修や維持に金銭を要せず、そのため労務提供のみで持続的な施設の維持管理をなしえている、とも考えられる。

・作物ごとの灌漑時間

コメの灌漑時間が突出して高く、他の作物の 5 倍程度。コメ以外の作物間では大きな違いはない。

バハルヌールで IIP 後の灌漑時間が削減されているのは、ポンプの規模が大きくなったため、また、マルワの一部パイプ化によって送水ロスが削減されたためで、面積当たりの取水量はむしろ増えている可能性が高い。傍証として、バハルヌールの IIP 事業では、夏期は毎日減水深 20mm/日程度を取水するものとして施設容量を計画・施工していた。

ポンプ灌漑のため、電気料金やディーゼル等の燃料費がかかるため、灌漑時間を減らすことも期待されるが、そのような結果にはなっていない。ポンプでくみ上げる高さが低く、燃料・電気代はそれほど高くなく、一方、コメの売り上げは高いため、農民はコメの収穫を第一に考え、節水は二の次ということなのであろう。

・用水不足状況と農家の上げる「問題点」と対策

① 用水不足が生じる場所:

アブシヤン地区のメスカ間では、下流メスカで必ずしも「用水不足」の回答率は高くなってはいない。これは、アブシヤン水路では、下流部で幹線排水路からポンプで用水補給しているケースもあるためである。一方、メスカ内の上下流では、下流部の圃場で用水不足や排水利用、取水不自由(頻度・程度が高い)とする回答が目立つ。これは、マルワの施設容量が不十分で、多数の農民が1つのマルワから取水するため、下流部で引水が困難になっている、という現地調査の結果と一致する。

このような傾向は、IIP 事業を行ったバハルヌール地区等は別として、従来の支線水路・メスカ・マルワの間では、同様に生じるものと思われる。全体として、支線水路の下流の方が不利ではあるのだが、それよりは毛細血管のような末端水路(マルワ)の下流部で、用水不足が生じているものと考えられる。

②問題と対策

「問題である」との回答率が高かったのは主に以下の5項である。

- ・不規則な灌漑ローテーション: どのメスカでも比較的回答率が高い。これには、下流メスカ・圃場で、送水日に十分な用水が届いていないという意味で回答している農家も含まれるものと考えられる。
- ・取水制限(必要量)以上に取水する人がいる: 下流の圃場での回答率が高い。メスカ下流で用水の引水が困難になっていることを反映している。
- ・農業用水と排水の混合: メスカ内の下流圃場で、これを問題とする回答が目立つ。下流メスカでの幹線排水路からアブシヤン水路への混合というより、集落近傍の農業排水の再利用を余儀なくされていることを好ましく思っていない可能性がある。

3) 供給される用水量の削減によって予想される問題点

① 予想される問題

農民の多くは零細な専業農家で、コメと小麦を主たる作物としている。灌漑用水が削減された場合、コメ・小麦の作付け面の農業生産の減少は、農家の生活にとって深刻な問題となる。

コメの用水量は他の作物と比べて突出して多い。一般にポンプ灌漑では燃料費節約のために農民が自発的に節水することもあるが、本地区は揚水する水位差が小さいこともあって燃料費は相対的に安いと、農民が自発的に稲作面積を減らす動機付けにはなっていない。コメは農民にとってもっとも有利な作物であり、用水があれば農民はコメを作る。

現在、用水不足は下流メスカや、また、上流・中流メスカでも下流のマルワで生じている。今後の取水量削減によって、そうした地域(だけ)が大きな影響を受ける恐れがある。

② 公平取水のための方策

取水可能量が削減された場合、下流メスカ・マルワまで用水を公平に届けるための方策として、番水の強化と反復利用の強化が考えられる。後者については、別項で扱っている。

・アブシヤン水路の場合、水路は1本で(樹枝状には分かれておらず)、そこに多数のメスカが附帯している。そのため、アブシヤン水路の内部でさらに番水を行う場合、枝分かれする水路ごとに番水ブロックを組むことはできず、メスカ単位で通水日・断水日を決める必要がある。しかし、多くのメスカではメスカ入口にはゲート等はまったくなく、メスカの取水量は個々の農民のポンプの稼働によって変動する。下流のメスカに公平に用水を送水するためには、多数あるメスカ内のポンプの稼働状況を監視して盗水を防ぐ必要があるが、これは困難である。いくつかのメスカを統合して統合地点にゲートをつけて、アブシヤン水路からの引水地点(監視ポイント)を減らすことが望ましい。そ

のためには、アブシヤン水路全体で水利組織をつくり、統合したメスカ間でも下部組織を作って、番水ルールを定めて守るといった体制づくりが必要になる。また、すでに既得権となっている上流メスカの自由な取水を制限するためのメリットを確保する必要がある。

なお、現地のスタッフによると、過去、アブシヤン水路内部を上流・中流・下流に分けて番水を行っていたこともあったとのことで、実際、アブシヤン水路内に下流への送水を止める水門もあるが、現在は壊れており、現在はそうした番水は行われていない。

・現状通り、送水日には同時にすべてのメスカに送水することにした場合、下流のメスカ・マルワにまで用水を届けるためには、(送水日の間隔は延ばしてもよいが、)送水日には現在以上の流量を流す必要がある。送水日の流量を削減したら、下流までは用水は届かない(バハルヌールでは IIP 事業によって送水日には十分な用水が供給され、送水日の下流での用水不足問題は軽減されている)。その場合、そうした流量を流せるようにアブシヤン水路の送水断面を拡張する(またはライニング等)ことが必要になる。

4.2.3 灌漑排水への再生可能エネルギー利用の可能性

デルタ内の灌漑用ポンプのエネルギー消費量に注目し、再生可能エネルギー利用による灌漑用ポンプのエネルギーの代替可能性を検討した。2013年4月に行ったエジプトのアラファ、バハルヌール地区での個別ポンプと共同ポンプの使用状況、吐出量、揚程高の調査結果から、現在主流である個別ポンプ方式を基準に、灌漑時のポンプのナイルデルタの総エネルギー消費量を求めた。また、カウンターパートのエジプト側からの情報を含めて、エネルギー消費量を代替するために必要な太陽光発電および風力発電の設置に必要な面積を求めた。灌漑用ポンプ全体のエネルギー消費量(消費電力量)を推測した結果、16～20億 MJ(4.5～5.5億 kWh)となり、太陽光発電で代替した場合は365～515 ha、風力発電で代替した場合は3,900～4,780 ha(195～239基)の面積が必要であると推測された。エジプト国土の95%は砂漠地帯であり、そのほとんどが未活用であることから、設置に関しては十分可能な面積である。しかしながら、実施については、太陽光発電施設の設置費用と管理費用、また、現在のディーゼルエンジンを電動モーターに置き換えるための費用が大きな課題となる。

(2) 研究成果の今後期待される効果

1) (4.2.1 水管理の現状分析と将来への改善の提言)

政策提言書を水資源研究所長および水資源灌漑省計画局長に説明し、高い評価を得た。特に、計画局は2018年から始まる次期国家水資源計画の策定の主管局であり、局長から、その策定に反映させたいとの意向が示されたことから、本プロジェクトによる提言の今後の適切な取り扱いが期待される。

2) (4.2.2 営農と灌漑用水利用の現状把握と今後の課題)

本調査分析自体は、現状理解の前提になる情報であり、これ自体として積極的なインパクトを持つものではないが、今後の種々の行政的活動の基礎になり得る。

3) (4.2.3 灌漑排水への再生可能エネルギー利用の可能性)

このテーマが、水資源研究所の求めに応じて追加設定されたものであることから、WMRIにおける、政策提言に向けた今後の研究の基礎になる。また、WMRIのカウンターパートとの研究継続を行うことで合意している。

4.3 土壌の肥沃性 (筑波大学、鳥取大学)

(1) 研究実施内容及び成果

4.3.1 デルタ土壌における塩類集積と肥沃度の現状と灌漑方法・灌漑水質・地下水位との関連を明らかにする

ナイルデルタの土壌型は、その土壌母材の堆積過程および乾燥気候下での土壌生成過程を反映して、極めて粘土含量が高い土壌から砂質の土壌まで、その地理的分布に特徴があるが、とくに粘土質土壌（その多くは、Vertisols）では、常に土壌塩類化の可能性が生じる。アスワンハイダム（AHD）建設前には、毎年のナイル川の氾濫により、土壌中の水溶性の土壌塩類が大量の河川水により洗脱され、乾燥気候下でも、土壌深刻な塩類化を抑制していたものと考えられる。しかし、AHD 建設以後、ナイル川の氾濫がなくなり、灌漑用水路が整備され農業生産が飛躍的に増加した反面、現在では、土壌塩類濃度の上昇が懸念されている。最近の研究によれば（例えば、NARSS, Egypt, 2008）、ナイルデルタの地中海に近い地帯の土壌ほど、その塩類濃度が概して高くなる傾向があるものの、土壌塩類濃度が 4 dS/m より低い地帯においても、4 dS/m 以上の中程度の塩類集積を示す場所が点的なことが認められている。この要因として、主に人間活動による影響があると考えられる（例えば、灌漑用水の不足による排水の利用などを含む灌漑水質、節水灌漑などの灌漑方法、地下水位、作付け体系および化学肥料の施用など）。

本研究でも、排水（あるいは排水と灌漑用水を混合した灌漑水）を灌漑水として使用した場合、電気伝導度（EC）によって示される灌漑水の塩類濃度は、通常の灌漑用水（EC 値として、通常、約 0.8 dS/m 以下）より当然ではあるが高くなり、このような灌漑水の灌漑に伴い土壌塩類濃度が明らかに高くなり、とくにナトリウム含量が増加した。従って、現状でもとくにデルタ下流部（灌漑用水路の末端部）において、灌漑用水の不足から、排水あるいは灌漑用水と混合した灌漑水を灌漑水として使用することは可能な限り避ける必要があり、土壌塩類濃度のモニタリングが必要と考えられる。また、灌漑方法については、点滴灌漑における間断日数が長くなるほど（慣行の 2 週間から 3 週間に延長）、トウモロコシ栽培下の作土の土壌塩類濃度が明らかに高くなった（本研究では、0.63 dS/m から 1.81dS/m に上昇した）。このことは、ナイルデルタにおける畑作期間における水資源不足に対する対策から推奨される節水灌漑・節水栽培を行う上での留意点であり、水田稲作と畑作との組み合わせによる栽培体系なども考慮する必要があると考えられる。なお、上記の畑作における灌漑間断期間の延長が土壌塩類濃度に及ぼす影響は、水田稲作の作土でも認められた（約 1.2dS/m から 1.9 dS/m に増加）。また、灌漑を長期にわたり行わない栽培放棄の圃場の土壌では、深刻な土壌塩類濃度の上昇が生じ、土壌表面に塩殻（salt crust）が生成することも明らかとなった。

本研究では、ナイルデルタに分布する塩類土壌の基本的な物理化学的側面についても明らかにした。つまり、不作為に採取した土壌試料（大部分は、作土 20cm）の交換性ナトリウム量とカルシウム量の比（Na/Ca Ratio）は、飽和透水係数との間に極めて高い負の相関を示し、土壌の Na/Ca 比を可能な限り低く抑制することが、土壌の透水係数を上昇させ、その結果、土壌からの排水に伴う水溶性塩類の洗脱を促進することが強く示唆された。また、カフルシェイク県サッハの ARC（Agricultural Research Center）試験圃場 4 地点ならびに Abshan と Bahr El Nour の 2 地点で採取された 6 つの土壌断面の層位別土壌試料（合計 31 点）では、土壌の ESP（交換性ナトリウム量のイオン交換用容量に対する割合）が、交換性ナトリウム量との間に明らかに高い正の相関関係を示すことが認められ、両者の上昇に灌漑水の水質と灌漑の間断日数が大きく影響することも改めて指摘された。さらに、土壌の砂含量は、土壌の塩類濃度を減少させることが明らかとなった。この現象は、ナイルデルタの北部・中部・南部の 3 地域から選定された主要な 3 つの灌漑用水路の上流・中流・下流域に位置する 27 圃場から採取された作土の土壌試料 27 点、ナイルデルタの南東部と南部から中部にかけて無作為に民間の圃場から採取された採取された作土の土壌試料 28 点、その他、上記の研究に供試した 6 箇所土壌断面から採取された土壌試料 31 点について解析し得られた結果である。砂含量が高い供試土壌試料の中には、当該圃場で使用されている灌漑水水質が極めて高い EC 値（おそらく排水そのもの、あるいは灌漑用水との混合水）を示すにも関わらず、土壌 EC や Na/Ca 比が低く抑制されていた。また、貝殻を含む土壌試料においては、灌漑水の EC 値が、用水と排水との混合により高いにも関わらず、土壌

EC や Na/Ca 比が比較的低い値となっていたが、従来行われてきた塩類土壌の改良材として使用される石膏 (CaSO₄) の施用効果とも符合する。

最後に、点滴灌漑を行ったサッカ圃場において、2010 年 9 月および 2013 年 10 月（トウモロコシの収穫の直前）における土壌の塩分分布を測定した結果、表層 3cm の土壌に、深さ 80cm までの総塩分量の、36%および 22%が集積していた。この表層に集積した塩分が冬の少量の降雨の後に根群域に降下侵入し作物に塩ストレスを与えることが懸念されるが、本研究の TDR の計測値から見ると、土壌溶液 EC の顕著な上昇は確認されなかった。

4. 3. 2 暗渠排水の現行の設計指針と管理の問題点を明らかにし、塩類集積を防ぐための地下水水位制御のあり方を提示する

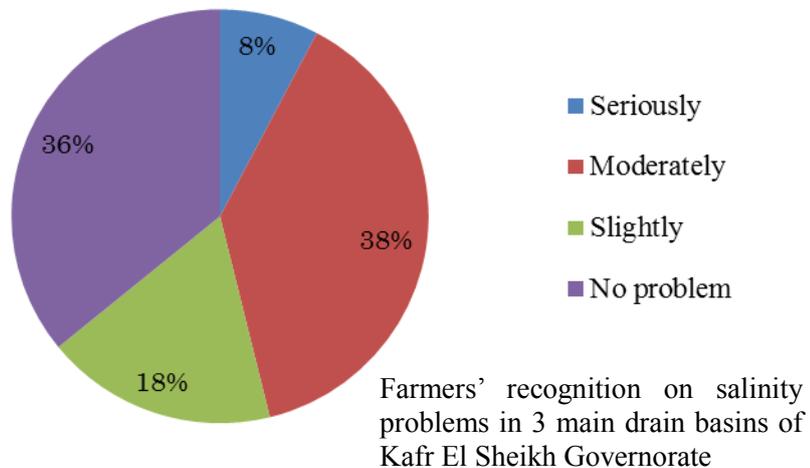
1) 暗渠排水設計指針の確認

ナイルデルタ地域においては、暗渠排水の敷設が国の施策として 1960 年代初頭から積極的に進められ、現在までにナイルバレーを含む対象面積約 270 万 ha への敷設が完了している。暗渠排水の設計に関する指針は 1960 年代初頭に制定されており、その後実施期間内に幾つかの見直し、改正が行われている。主な改正点は以下の通りである。①設計地下水水位（支線暗渠と支線暗渠の間の中間点の水位）は当初 1.0m と設定していたが、0.8m としても作物生産に支障がないことが確認され 1990 年に改正された。②支線暗渠の敷設間隔についても見直しがなされた。当初、間隔は Hooghoudt の定常理論により決定するとしながらも、最大間隔 60m、最小間隔 30m という上限、下限が設定されていた。1986 年にこの基準の上限を廃止して Hooghoudt の定常理論によることとした。ただし、下限については経済的な観点から最小間隔 20m と設定された。③暗渠排水システムのレイアウトの仕方についても見直しがなされた。従来型は支線暗渠と集水渠からなるものであるが、このシステムの下で畑作物と水稻を同時に栽培した場合、両者の排水係数が大幅に異なるため、地下水水位制御が極めて困難になる。この問題を解決するため、支線暗渠と集水渠の間にサブ集水渠とマンホールを加えた改良型が 1989 年頃に考案された。この場合、1つのサブ集水渠の支配区域が同一作物を栽培するユニットとなる。サブ集水渠はマンホールを経て集水渠に合流するが、このマンホールで排水量を制御し、所定の排水係数と地下水水位が設定可能となる。④支線暗渠は当初セメント管が広く用いられていたが、徐々にコルゲート有孔 PVC 管に変換された。また、疎水材には当初粒径調整した砂利が使われ、その効果は満足できるものであったが、高コストであるため、有孔 PVC 管にあらかじめ合成繊維を巻きつけたものに移行し、2000 年には合成繊維の疎水材のみが使用されるようになった。

2) 暗渠排水施設に対する農民の意識調査

Kafr El Sheikh 県に存在する El Gharbia 排水路 (El Hamoul 地域)、No. 7 排水路 (Kafr El Sheikh 地域)、No. 8 排水路 (Sedi Salem 地域) の各流域に農地を持つ農家をそれぞれ 13 戸ずつ計 39 戸選び、あらかじめ用意した 13 項目の質問を行った。その概要を以下に示す。①農地の塩類集積問題については、何らかの問題を抱えている農家は全体で 64%と高い。排水路流域別にみた場合、El Gharbia 排水路流域が 77%、No.8 排水路流域が 62%、と高く、一番低い No.7 排水路流域でも 54%と過半数を超えている。②農地の排水状況については、全体の 39%が排水がよい、56%が普通と回答しており、排水が悪いと回答したのはわずかに 5%であった。③農地の地下水水位については、全体で高いと答えたのはわずかに 5%であり、適当が 39%、低いのが 56%を占め、高地下水水位に悩む農地は少なかった。地下水水位（地表面からの水深）は最深で 300cm、最浅で 90cm であった。④暗渠排水が整備されてからの経過年数は 14～30 年の範囲であった。⑤設置直後の暗渠排水の効果については、全体の 45%が大きい、32%が少しとそれぞれ評価しており、77%が効果を認めている。変わらなかったが 16%、少し悪くなったが 3%であった。排水路別では、No.8 排水路の評価が特に高く、77%が大きな効果があったと評価している。El Gharbia 排水路では、大きな効果は 15%にとどまり、多少の効果が 69%と顕著ではないが効果そのものはあったと

84%が評価している。No. 7 排水路では、大きな効果が 42%、多少の効果が 25%と 2/3 以上が効果を認めている。⑥暗渠排水設置後の修理・修復の有無については、全体で 49%が有と答えており、約半分の農家で修理・修復が行われている。しかも、このうちのほとんど（84%）が 2 回以上の修理・修復を経験している。⑦現在の暗渠排水施設の効果を設置直後に比較してどう評価しているかという設問に関しては、効果が上がっている（49%）と変わらない（15%）で 64%を占め、機能が多少低下している（31%）、その他（5%）が 36%となっている。⑧現在暗渠排水施設のかかえている問題の有無については、64%が有と答えており、無と答えた 33%を大きく凌いでいる。また問題の発生時期は 2~10 年前と答えており、老朽化に伴う破損等が考えられる。⑨暗渠排水の敷設費用に対する農家負担制度については、支払いが困難と答えた農家は 5%で、残りの 95%が支払い額は適当で、支払いは困難ではないと答えている。月々の支払額は、60 LE/feddan/年（支払期間 15 年：El Gharbia 排水路）、36~76 LE/feddan/年（支払期間 15~20 年：No. 7 排水路）、20~30 LE/feddan/年：No.8 排水路）との回答であった。⑩現在の暗渠排水施設の改良の必要性に関しては、緊急に必要（10%）、必要（26%）と合わせて 36%が必要性を訴えているのに対し、21%が不要と答えている。また、33%が判断できないと答えていることから、排水専門家の農家に対する技術的な助言が必要と考えられる。⑪水稻を作付する場合の暗渠排水施設の不都合の有無に関しては、26%が不都合であると答え、72%は不都合がないと回答している。⑫もぐら暗渠の適用に関しては、適用しているのは 26%で、46%は適用したことがない、26%は知らなかったと回答している。El Gharbia 排水路流域での適用が多く（5/13）、次いで No. 7 排水路流域（4/13）で、No.8 排水路流域では少なかった（1/13）。モグラ暗渠の適用者は全員がその効果を評価している。また敷設頻度は 2 年に 1 回が多いようである。⑬暗渠排水に関する意見、コメントについては、一連の事業を高く評価する一方で、施設の監視と維持管理の充実の必要性を指摘する意見が多く見られた。



3) 暗渠排水の管理において懸念される問題点

①Kafr El Sheikh 県において、暗渠排水の管理に関して最も深刻な問題は、幹線排水路の水位が極端に高いことである。このことは暗渠排水システムの本来の機能の発揮を困難にしている。指針では本来維持すべき幹線排水路の水位は支配地域の地表面より 2.5m 以上低いこととなっているが、はるかにその水位より高くなっている。このことは農民も認識しており、直面している最大の問題と位置づけている。幹線用水路の水位管理も含めた幹線排水路水位の適正な管理が強く求められる。

②各暗渠排水システムにおいて、作付けパターン・作付けローテーションの設定に一貫性がない。このことが支配区域の排水制御・地下水位制御を困難にし、栽培作物の適正な生育を阻害している。改良型のレイアウトが適用された地域においても、作付けに一貫性

がなく、その機能が発揮されていない。各サブ集水渠の支配区域（ユニット）ごとに栽培作物を選定し、計画的に作付けを行う必要がある。政府が水稻の作付け割合を全作付面積の50%と規定しているにも関わらず、75%の農地で水稻作付けが行われている実態も、もしかすると意図的ではなく、改良型暗渠排水システムの機能が発揮できないため、やむを得ず水稻作を選択している可能性も否定できない。この問題の解決のためにも、サブ集水渠の支配区域ごとに栽培作物を適正に選定し、計画的に作付けすることが重要である。

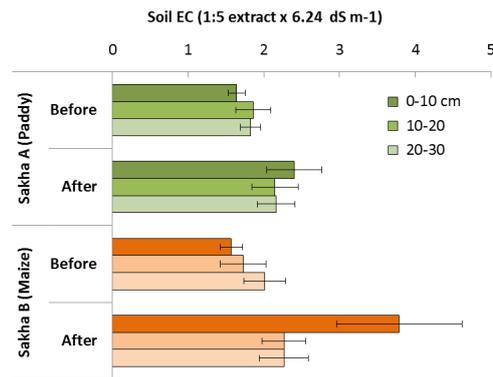
4. 3. 3 土壌中の塩分や汚染物質の挙動を測定・予測し、それらの蓄積を防ぐ方法を示す

- 1) 各 ET 観測圃場に TDR 土壌水分塩分測定システムを設置し、40 点ずつ 2 次的に土壌水分および EC を観測した。地表灌漑においては、灌漑直前には相当な乾燥ストレスがかかっている場合が多いことが土壌水分の観測結果からは示唆された。塩類集積の進行は観測されなかった。
- 2) トウモロコシ、小麦、ベルシーム、ソラマメ、テンサイの成熟期の根群分布を得た。いずれも深さ 50cm 程度までで、概ね深さに比例して減少した。その際、採土も行ったが、顕著な塩類集積はみられなかった。
- 3) 排水灌漑を行っている燃料作物圃場において、土壌水分塩分センサーを埋設し、観測を行った。さらに、土壌を採取して、土壌水分溶質移動特性を測定した。ヒマ、ジャトロファ、ホホバ、ナタネの 2 次的な根群分布を測定した。
- 4) デルタ東縁部の点滴灌漑農地において、表面剥離法による除塩効果を測定した。作業効率と除塩効率の向上には、土壌面上に多量の塩析出がみられる箇所に優先的に表面剥離法を適用すべきであると考えられる。
- 5) ザンカロン圃場および室内実験において、黒色木綿布による除塩効果を測定した。除塩率はいずれも 9%程度で、条件が良ければ本方法は有望であると考えられる。除塩率を向上させるためには、夏など蒸発量が多い時期や天気が続く時期に行い、また、高い畝を対象に行い、なるべく捕集布を長期間敷設できる条件で実施することが望ましい。
- 6) ザンカロン土壌と黒色木綿布の土壌水分特性および塩分移動特性の測定を行い、黒色木綿布による除塩カラム実験について数値解析との結果の比較を行った。除塩率の数値解については実測値と良く一致したが、表層の体積含水率に関しては若干のずれがみられた。また、現地実験の除塩率はカラム実験と比較して低い値となった。
- 7) ベルシーム、トウモロコシ、ソラマメについて、ポット実験により、蒸散速度の数値解析に必要な乾燥ストレスおよび塩ストレス応答関数の測定を行った。
- 8) サッハ圃場において、テンサイの収穫間際に異なる暗渠からの距離において塩分分布を測定した。その結果、暗渠からの距離の影響はほとんど見られず、50m の暗渠間隔でも効果的に塩分を除去できていることが示唆された。

4. 3. 4 水田稲作の除塩効果を明らかにする

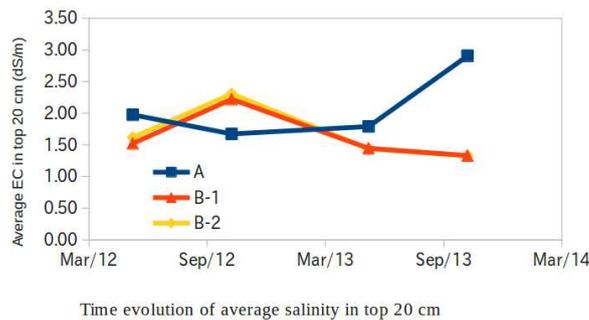
1) サッハ圃場での水田とトウモロコシ圃場の比較

2012 年カフルシェイク県サッハ圃場において、トウモロコシ栽培後に比較して水田稲作が表土 EC(0-20 cm)の上昇を抑える効果が認められた (Fig.1)。しかし、作付け前より EC 値が下がるということにはなかった。また、4.3.1 で示したように灌水間隔（灌水量）により水田の除塩効果にも差があるため、除塩効果を上げるためには適切な水管理が必要となる。



2) サッハ圃場での水田とトウモロコシ圃場の比較

同じサッハ圃場の北側の区画において、2012年と2013年で区画を入れ替えて水稲作とトウモロコシ作を行った。区画Aでは2012年夏に水稲を栽培し、翌年にはトウモロコシを栽培した。その結果、表層20cmの平均の飽和抽出液ECが、水稲作の場合には減少するのに対し、トウモロコシ作の場合には上昇した。したがって、水稲作には顕著ではないにしても、ある程度の除塩効果があることが確認された。



(2) 研究成果の今後期待される効果

1) (4.3.1 デルタ土壌における塩類集積と肥沃度の現状と灌漑方法・灌漑水質・地下水位との関連を明らかにする

本研究で得られた成果は、ナイルデルタの土壌管理、とくに塩類集積による土壌塩類化を抑制し、将来にわたり制御するためには、①排水あるいは排水と灌漑用水との混合水を灌漑水として使用することを制限するような国家的指針の策定と普及、②節水灌漑・節水栽培を行う場合の土壌塩類のモニタリングの必要性、③近隣の砂漠地帯からのカルシウムを比較的多く含む砂資材の粘質土壌への混和や適切な石膏資材の施用などによるナイルデルタ土壌の土壌改良・土壌管理の有効性が示されており、今後の政策策定の基本情報として利用されることが期待される。

2) (4.3.2 暗渠排水の現行の設計指針と管理の問題点を明らかにし、塩類集積を防ぐための地下水位制御のあり方を提示する

1960年代初頭以降ナイルデルタ、バレーで進められてきた暗渠排水敷設事業は農家から高い評価を得ていることがアンケート調査から確認できた。しかしながら、設置後すでに30年を経過しているものもあり、今後ますます暗渠排水インフラの修復・修理の重要性が

増している。加えて暗渠排水システムから幹線排水路へ至る排水の水理的連続性を確保するための広域水管理の再構築が、幹線用水路系の管理も含めて、喫緊の課題との政府の認識が進むことに貢献する。また、暗渠排水システムの機能を活用して適正な排水制御・地下水制御を確保するためには、農民同士で各作期に先立ち綿密な作付け計画を立てることが前提となるので、WUA あるいは新たな農民組合での運営方針の適正化に貢献する。

3) (4.3.3 土壌中の塩分や汚染物質の挙動を測定・予測し、それらの蓄積を防ぐ方法を示す)

TDR による水分塩分の観測結果は、2 次元的数値解析モデルの精度検証に活用できる。有効水分が約 0.2、根群深が約 40cm であるとのデータをもとに、ストレスを与えない間断日数の上限が各作物について算定できる。土壌水分特性および塩分移動特性、主要作物の根群分布やストレス応答関数は、様々な灌漑管理、栽培管理条件下での蒸発散量や塩類集積、収量の数値予測を可能ならしめ、提案された作付け体系や農業排水を利用した場合の塩類集積の長期予測などに活用できる。

4) (4.3.4 水田稲作の除塩効果を明らかにする)

連続湛水を行った場合、水稻作の用水量はトウモロコシの 2 倍以上あり、総蒸発散量もトウモロコシの慣行栽培より 5 割程度高く、点滴灌漑も適用できないため、現行の栽培面積をある程度抑制することはやむを得ないが、畑作を数年継続した後にリーチングを兼ねて水稻作を行う輪作体系を通じて一定割合の水稻作を維持することが推奨される。本研究の成果はその根拠の一つとなり得よう。

4-4 食料および燃料作物生産グループ(筑波大学)

(1) 研究実施内容及び成果

1) 農業生産、農業経営および農家行動の分析

ナイルデルタにおける灌漑水利用設備が整備された地域（カフルシェイク県のバハルヌール地区、以下、エリア 1：67 メスカ）と灌漑水利用設備が整備されていない地域（同県のアブシャン地区、以下、エリア 2：16 メスカ）における農家行動の比較分析を目的として、それぞれの地域の上流・中流・下流域から均等に抽出されたメスカにおいて、無作為に抽出された 200 戸の農家に対する経営調査を行った（調査期間：2012 年 8 月～10 月）。

分析の結果、両地域の農家の社会経済的属性（家族構成員数、就業状況および経験年数、教育水準、識字率、保有および利用農地面積、年間家計可処分所得とその内訳、所得源泉 他）、過去 3 カ年 6 シーズンにおける作物選択、リスクに対する態度等の情報について、規模別・地域別の比較の観点から整理した。

これらの作業については、データ収集とそのデータベースとしての整備（データの精査に関する作業）についてのエジプト国側と日本側の認識に違いから、かつ、調査票がアラビア語で構成されていたことなどから、分析以前の問題として、データの確定作業に重大な課題が残った。

また、農家行動を規定する基本要因としての宗教的な背景事情により、被調査農家にとって、リスクに対する態度を計測する際の仮想ゲームへの参加が必ずしも容易でなく、構築した調査内容とその結果の一部について、分析結果の議論が困難となる部分が存在した。

具体的な比較分析の結果は、以下のとおりである。

まず、両地域の農家の社会経済的属性について、地域間において世帯主の年齢（エリア 1 < エリア 2）、家族人数（エリア 1 < エリア 2）、年間作付面積（エリア 1 > エリア 2）について有意な差が存在することが明らかとなった。他方、両地域における年間家計可処分所得の 1 戸当たり平均値については、優位な差が存在しないことが明らかとなった。

また、過去3カ年6シーズンにおける作物選択については、両地域共に、75%以上の農家が固定的な作物選択パターン（エリア1＝86.5%、エリア2＝77.5%）を示しており、豊富な農業用水供給を背景としたリスク回避的な農家行動の存在が推察された。特に、夏作にコメを選択し、冬作に小麦、あるいは、てんさいを選択する行動（作物選択パターン）が半数以上を占めており、当該地区の稲作地帯としての特徴が確認できた。

2) 節水灌漑法の節水効果と生育および収量の評価

サッハの農業研究センターおよびザンカロンの水管理研究所の4 ha 圃場3枚を使用し、2010～2014年の夏作にトウモロコシ、イネおよびワタ、冬作にコムギ、テンサイ、ソラマメおよびエジプシャンクローバーを4種類の節水栽培法（点滴灌漑、細溝灌漑、長期間断灌漑、麦わらマルチ）で合計9時期に栽培し、灌漑水量、蒸発散量、作物の生育および収量を測定し、水利用効率を慣行の畝間・表面灌漑と比較した。また、サッハの農業研究センター小区画圃場においてイネの生育および収量に及ぼす灌漑間隔の影響、ザンカロンおよびアルカラダの水管理研究所の小区画圃場においてトウモロコシ、コムギ、ソラマメの生育、光合成速度および収量に及ぼす長期間断灌漑と細溝灌漑の影響をそれぞれ検討した。得られた成果は以下のとおりである。

- ① 点滴灌漑：2013年夏作トウモロコシでは、点滴灌漑は慣行の畝間灌漑と比較して蒸発散量が32%削減されたにもかかわらず、収量は55%増加し、水利用効率は151%向上した。また、2013/2014年冬作テンサイでは、点滴灌漑は慣行灌漑より収量が15%多く、収穫物の糖含量も16%高かったため、糖収量が33%多かった。以上のことから、点滴灌漑は収量および品質の向上が期待できる有効な節水栽培技術と判断された。
- ② 細溝灌漑：細溝灌漑はイネを細溝の内部に2条植えとし、畝間を広く取って土壌表面からの蒸発を抑制する栽培法である（図1）。この灌漑法を畑作物に適用することを考え、2011年夏作トウモロコシを細溝の溝底に2条播種して栽培した結果、蒸発散量は慣行の畝間灌漑より14%削減できたが、灌漑後の湿害のため子実収量は16%減少し、水利用効率を高めることはできなかった。しかし、2013年夏作トウモロコシを溝の近傍の肩部に播種する改良細溝灌漑で栽培した場合には、慣行灌漑より蒸発散量が22%削減でき、収量は14%減少したが、水利用効率は10%向上した。また、2013年のザンカロン小区画圃場の夏作トウモロコシの試験では、細溝灌漑は慣行灌漑より灌漑水量を25%削減でき、収量が27%増加し、水利用効率は71%向上した。ただし、灌漑間隔を延長した場合には慣行灌漑より収量の減少程度が大きく、水利用効率の向上効果は認められなかった（図2）。以上のことから、トウモロコシの細溝灌漑では、溝の外部に播種することによって湿害を回避する改良細溝灌漑を用いれば、節水効果と収量の維持向上が期待できると判断された。

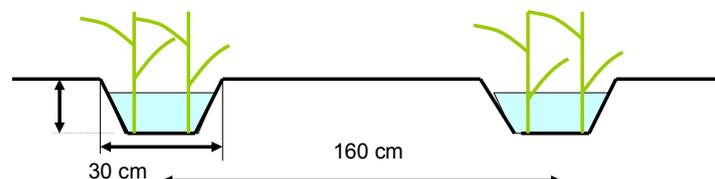


図1 イネの細溝灌漑の模式図

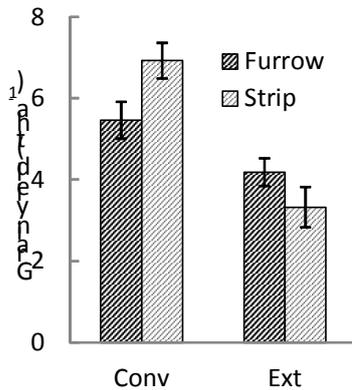


図2 トウモロコシの子実収量に及ぼす
畝間灌漑と細溝灌漑の影響
Furrow: 畝間灌漑、Strip: 細溝灌漑
Conv: 灌漑14日間隔、Ext: 灌漑21日間隔

- ③ 長期間断灌漑: 2011/2012年および2012/2013年の冬作コムギで慣行の28日の灌漑間隔を42日まで延長した場合、長期間断灌漑の蒸発散量は慣行灌漑よりそれぞれ3%および1%増加し、子実収量はそれぞれ8%減少および18%増加、水利用効率はそれぞれ11%低下および17%増加であった。2012年夏作トウモロコシで慣行の14日の灌漑間隔を21日に延長した場合、蒸発散量は慣行灌漑より13%低減できたが、子実収量も14%減少し、水利用効率は向上できなかった。また、2012、2013年のアルカラダ小区画圃場の夏作トウモロコシ試験では、慣行の14日の灌漑間隔を21日に延長した場合、灌漑水量を8~11%削減でき、登熟初期の光合成速度と乾物重は低く止まったが、子実収量に有意な差異はなかった。一方、2013年のザンカロン小区画圃場の試験では、灌漑間隔の延長により子実収量が約20%減少した。アルカラダ圃場とザンカロン圃場の土壌の粘土含量はそれぞれ65、43%であり、アルカラダ圃場のように粘土含量の高い圃場では1週間程度の灌漑間隔の延長が可能と結論される。さらに、2013年の夏作イネの小区画圃場試験で湛水継続の4日の灌漑間隔を7日または12日に延長した場合、7日および12日の灌漑間隔の延長は灌漑水量をそれぞれ50%および68%低減し、収量もそれぞれ20%および65%減少したが、水利用効率はそれぞれ58%および12%向上した。以上のことから、冬作物では灌漑間隔の延長による灌漑水量、蒸発散量の節減効果は認められなかった。また、夏作物では灌漑間隔の延長による灌漑水量の低減は認められたが、土壌水分欠乏による生育および収量の減少が著しく、長期間断灌漑は有効な節水栽培技術とは考えられなかった。ただし、イネでは水利用効率の向上効果が認められ、生育時期別の灌漑間隔の調節などにより、節水と収量の維持向上が両立する節水栽培技術の開発の可能性があると判断する。
- ④ 麦わらマルチ: 2011年夏作トウモロコシの播種後に麦わらマルチを行った場合、マルチ栽培は慣行の畝間灌漑より蒸発散量がむしろ15%増加し、収穫期の地上部乾物重が13%増加したが、水利用効率を向上することはできなかった。灌漑により麦わらが蒸発の盛んな畝間を覆うことができなかったためと考えられ、慣行の畝間灌漑で節水効果の高いマルチ栽培は困難と判断した。
- 以上のことから、ナイルデルタに適した節水栽培技術は点滴灌漑と細溝灌漑と結論される。

なお、エジプト側の作物栽培を専門とする研究者 Dr. Sayed Safina、Dr. Yosri Atta および Dr. Sherif Maher を日本に招き、プロジェクトの担当研究課題に関連した作物の光合成測定、生化学分析などの研究手法の研修を行った。また、作物栽培を専門とする研究

指導者の Dr. Korany Abdel-Gawad、Dr. Saad Sheble および Dr. Khaled Aboshady を日本での視察研修に参加してもらい、日本の作物研究について理解を深めるとともに作物栽培の技術移転を行った。

3) 作物の塩分濃度に対する反応と耐塩性の品種間差異の解析

(ア) エジプトコムギ品種の種子発芽時および生育時の耐塩性比較に関する実験を実施した。発芽試験としてコムギ(*Triticum aestivum* L. エジプト品種の Bangswif 5、Bangswif 1、Sakha 93、Sids 1、Sahag 3、Giza 168、および日本品種の農林 61 号)を用いた。実験は人工気象器(FLI-301N、EYELA 社)を用いて温度条件を一定に光条件は暗条件に保った。

実験条件として以下の実験を行った。

実験 1 温度：5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C

溶液：蒸留水 品種：農林 61 号

実験 2 温度：25°C

NaCl・KCl・Na₂SO₄濃度：

(0 mM, 100 mM, 200 mM, 300 mM, 400 mM)

品種：7 品種

実験 3 温度 25 度

PEG-600 濃度：

(0 mM, 100 mM, 200 mM, 300 mM, 400 mM)

品種：4 品種(Sakha93, Sahag3, Giza168, 農林 61 号)

各実験は 100 粒 3 反復ずつ行い、発芽数を 1 日 1 回記録した。10 日経過後の発芽数を発芽率とした。発芽勢は以下の方法で計算した。 $N_1/D_1 + N_2/D_2 + \dots + N_{10}/D_{10}$ (N_x は x 日目の発芽数、 D_x は x 日目)

発芽率及び発芽勢は 25°Cにおいてともに最大となった。どの溶質においても濃度が発芽率および発芽勢は 7 品種とも 0 mMにおいて最大となり、濃度の増加とは逆に両項目とも減少した。減少した値は品種によって異なっていたが、どの濃度においても Giza 168 は高い発芽率と最大の発芽勢を示した。また、溶質によって同濃度においても両項目とも異なる値を示し、特に PEG-60 における発芽率は他の溶質に比べて低くなった。

以上より、発芽時においては品種によって塩ストレス及び Na⁺と Cl⁻による影響には差異があること、浸透ストレスはイオンストレスよりも発芽時に影響を及ぼすこと、Giza168 が 7 品種中で最も耐塩性に優れていることが明らかになった。

生育時の耐塩性の比較として 4 品種(Sakha 93, Sids 1, Giza 168, 農林 61 号)の塩水処理栽培 (3000、6000、10、000ppmNaCl) を行い、耐塩性を比較した。Sakha 93 および Sids 1 は塩水処理条件下でも対照区に比較し高く推移し、収穫時の乾物重はエジプト品種の塩水処理の減少率に比較し農林 61 号が大きかった。すべての品種が塩水処理により出穂日が早まり、一穂重についてはエジプト品種は 6000ppm 程度まで変化は見られなかった。以上より、Sids 1 が高い耐塩性を示す傾向にあり、Sakha 93, Giza 168 についても高い耐塩性を示した。

(イ) 塩濃度の高い灌漑水を使う水田における耐塩性イネの比較のための発芽時の耐塩性程度、高 EC (電気伝導度) 水田における耐塩性イネの収量、光合成能力を比較した。

発芽に及ぼす塩濃度の影響を調べるため、供試材料として、イネ (*Oriza sativa* L., エジプト品種の Sakha104, Giza178, EHR1, および日本品種のコシヒカリ) の種子を用い発芽試験を行った。発芽試験は人工気象器 (コイトロン KG50HLA、小糸製作所) を用いて行い、温度は 25°Cとして 14 日間または 28 日間毎日発芽数を記録した。塩水処理濃度として 0.35, 0.7, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0% NaCl 区を設けた。種子 100 粒/1 シャーレで各処理区 3 反復ずつ行った。シャーレは直径約 9cm のプラスチックシャーレを用い、濾紙を敷いて各処理液 10mL を加えた。その結果、0.35%および 0.7% NaCl 処理では

Sakha104、Giza178 に比べコシヒカリはやや発芽が遅れたものの、14 日後ではほぼ同じくらいの発芽率を示した。1.5%NaCl 処理区では EHR1 が最も高い推移を示した。2.5%および 3.0%NaCl 処理区では発芽はほとんど見られなかった。

塩性環境がイネの生育に及ぼす影響を調べるため、イネ (*O. sativa* L., cv. Sakha102, Sakha104, Sakha105, Sakha106, Giza177, Giza178, EHR1, EHR2) を用い、ARC の Damietta 水田圃場で栽培した。同圃場では移植前の土壌 EC が約 6.5 (約 0.35%NaCl) および 11.8mS/cm (約 0.7%NaCl) の水田があり、それぞれにおいて栽培を行って耐塩性を比較した。一株 3~5 本、株間 15cm 条間 20cm で移植した。基肥として $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (15.5%) を 238kg/ha、 K_2O (48%) を基肥として 57kg/ha、移植後 30 日目に K_2O を同量施用し、移植後 15、35、55 日目に尿素を 142kg/ha 施用した。そして 9 月 10 日に収穫した。同水田にて光合成速度を携帯型光合成蒸散測定装置 (LI-6400、Li-Cor) によって測定した。加えて筑波大学農林技術センターのプラスチックハウスにてイネ (*O. sativa* L., cv. コシヒカリ) 栽培を行った。育苗培土を充填した 30cm×60cm×3cm の育苗箱に乾燥糶換算で 160g を播種した。葉齢が 3~4 の苗を培養土 (茨城くみあい培土) 1.9kg を充填した 1/5000 a ワグネルポットに 1 ポット当たり 2 本移植した NaCl 濃度により 0 (対照区)、0.35%、0.7%NaCl の 3 処理区を各区 3 反復設け、塩水処理を開始した。塩水処理は、水道水に NaCl を加えて各処理区の濃度に応じたものを週に 1 回交換し湛水条件とした。塩水処理は収穫まで行った。光合成速度は光合成蒸散測定装置 (LI-6400、Li-Cor) を用い測定した。そして収穫し、収量を調査した。その結果、塩水処理開始後の光合成速度を比較すると、中程度の EC では Giza が高く、次いで Sakha、EHR でコシヒカリは最も低い傾向にあった。高 EC 水田では EHR1 が最も高かった。高 EC 水田での SPAD 値の比較では差は見られなかったが中程度の EC では Giza が高い傾向を示した。高 EC 水田のイネの光-光合成曲線ではエジプト 3 品種の曲線がコシヒカリより高く推移した。一穂粒数はコシヒカリがかなり多かったが登熟歩合が塩の影響により著しく低く、千粒重も最も低かった。中高 EC 環境下では EHR1 が最も収量が高かった。

以上からエジプト 3 品種とコシヒカリの耐塩性の差異は発芽時よりも収穫時に顕著に現れたことから植物体の耐塩性、特に生殖生長期の耐塩性に差異が顕著なものと推察した。

- (ウ) トウモロコシについてエジプト品種 (TWC321, TWC324, SC10) を塩水処理 (2000, 4000, 6000 ppmNaCl) 栽培し、耐塩性程度を比較した。栽培は筑波大学農林技術センターガラスハウス室内で行い、1/2000a ワグネルポットに川砂を充填し用いた。塩水処理はホーグラント液に NaCl を加え、行った。その結果、草丈は 2000 ppm 処理区で最も高く、絹糸抽出期は日本の品種に比べ遅かった。収量、飼料成分については分析中である。

4) 飼料価に及ぼす節水灌漑および間作の影響

① トウモロコシの茎葉の飼料価値に及ぼす節水灌漑の影響

エジプトのナイルデルタ地域における異なる灌漑方法 (畝間灌漑および点滴灌漑) が、トウモロコシ (*Zea mays* L., 品種: Cross 10) の飼料価値に及ぼす影響について調べた。Sakha 圃場において、2010 年 6 月から 9 月にかけてトウモロコシの灌漑栽培実験を行なった。ナイルデルタ地域において伝統的に行われてきた畝間灌漑区 (S 区) および点滴灌漑区 (D 区) (各区約 4 ha) において、トウモロコシ (品種: Cross 10) を、S 区においては 6 月 20 日から 25 日にかけて、また、D 区においては 6 月 26 日から 7 月上旬にかけて播種した。栽植密度は S 区が 70 cm × 25 cm、D 区が 90 cm × 20 cm であり、1 箇所 2 粒播種し、間引いて 1 株 1 本とした。播種前に、尿素 300 kg/ha、過リン酸石灰 500 kg/ha および硫酸カリ 125 kg/ha を施肥した。窒素施肥処理として、追肥に尿素 140 kg/ha および 210 kg/ha を施肥した区をそれぞれ、N1 区および N2 区とした。1 処理区当たりの面積はそれぞれ 12.25 m²であった。本実験で用いた圃場において、栽培期間中における降雨は見られなかったため、灌漑水のみによる栽培を行なった。S 区において、栽培期間中に、2 週間に 1 回程度の頻度で、合計 5 回の灌水を行った。D 区における点滴灌漑は、平均滴下速度を 1 時間当たり 2リ

ットルとし、42-53日に1回の頻度で灌水を行なった。この栽培期間中における圃場の平均気温は26°Cであり、最高気温および最低気温は、それぞれ33°Cおよび20°Cであった。収穫は播種後およそ100日に行い、収穫時に、各処理区における個体数、草高および乾物重を測定した。また、全ての処理区のトウモロコシの茎葉を収穫時に採取し、飼料価値を調査した。

本実験の結果から、異なる灌漑システムおよび窒素施肥により、トウモロコシの茎葉の収量が影響を受けることが明らかとなった。窒素施肥はトウモロコシの単位面積あたりの収量を増加させるものの、点滴灌漑では、灌水量を大幅に制限した場合、植物の窒素吸収が妨げられることで生育が抑制され、窒素施肥の効果が得られにくいと考えられた。飼料成分については、特にCP含有率に対する影響が顕著に見られ、点滴灌漑の方が低い値を示した。

また、aNDFom消失率について、点滴灌漑の方が低い値を示す傾向にあったものの、本実験で得られた結果は、灌漑システムの違いに依らず、aNDFom消失率が一貫して低い値を示すというものであった。もし、ナイルデルタ地域において、飼料作物の消化性が低いことが慢性的な現象であれば、ナイルデルタ地域における反芻家畜の生産性低下の要因となりうる。しかし、本実験においては、どの要因が繊維の消化性の低下を引き起こしたかは明らかではない。従って、ナイルデルタ地域の飼料作物栽培において、どの要因が繊維の消化性に影響しているかを詳細に調べる必要があるものと考えられた。

②エジプトおよび関東における栽培環境がトウモロコシ茎葉の飼料成分に及ぼす影響

①の結果から、トウモロコシCP含有率は灌水量による影響を受ける可能性、および、ナイルデルタ地域において栽培したトウモロコシ茎葉を飼料とする場合には、繊維の消化性が低下する可能性が示された。そこで、ナイルデルタ地域および茨城県つくば市の圃場を用いてトウモロコシ栽培を行い、これらの現象がナイルデルタ地域の環境そのものの影響かどうかを確認した。更に、気象データ、飼料成分および消失率の比較を行うことで、飼料価値に影響を及ぼす環境要因について検討するとともに、ナイルデルタ地域で栽培したトウモロコシ茎葉部における飼料成分および消化性の傾向を調べた。

Sakha (以下S圃場)および日本のつくば市(農林技術センター飼料作物用圃場、筑波大学; 以下T圃場)において2011年に栽培を行なった。エジプトで食用品種として用いられているThree Ways Cross 324 (以下TWC324)および日本の飼料用トウモロコシの品種であるスノーデント118(雪印種苗、札幌; 以下SD118)を用いた。S圃場では6月17日、T圃場では6月15日に播種を行なった。栽植密度は、75 cm × 25 cmとした。S圃場における夏作では、栽培期間中に降雨が一切見られないため、灌水は全て畝間灌漑によって行った。一方、T圃場においては、灌水は降雨のみにより行った。S圃場において、播種前に、尿素120 kg/ha、過リン酸石灰350 kg/haおよび硫酸カリ120 kg/haを施肥した。更に、追肥として、1回目および2回目の灌水時に、各240 kg/haの尿素を施肥した。一方、T圃場においては、播種前に、化成肥料(N: P₂O₅: K₂O = 15: 15: 15; くみあい尿素入硫加磷安555号、くみあい肥料株式会社)を900 kg/haとして施肥した。収穫は、S圃場において9月15日、T圃場においては9月12日に行なった。収穫には、SD118の穂の断面のミルクラインを指標に用い、ミルクラインがおよそ2分の1に達した時点で、両品種ともに収穫を行なった。収穫の際、草高を測定し、更に植物体を茎葉部および雌穂に分け、それぞれの地上部乾物重を調べた。S圃場における地上部乾物重については、2011年に栽培した際の生体重に、2012年に同圃場および同条件で栽培した際の乾物率を乗じて求めた。

本実験では、圃場および品種の違いが、トウモロコシ茎葉部の収量、飼料成分および消失率に及ぼす影響について調べることで、ナイルデルタ地域における飼料価値の傾向を明らかにした。圃場条件によって、トウモロコシ品種により、地上部乾物重が異なることが明らかとなり、S圃場においては、栽培品種によっては地上部乾物重および可消化aNDFom収量が低下する可能性が示された。また、茎葉部におけるCA含有率、CP含有率および繊維成分含有率について、圃場間の違いが大きく、S圃場においては、CA含有率およびCP含有

率で有意に高い値が得られた。このことから、ナイルデルタ地域においては、CA 含有率および CP 含有率が高くなる傾向にあると考えられる。S 圃場における CP 含有率の大幅な増加は、A、B1 および B2 画分の増加によるものであり、特に、B1 および B2 画分の相対的な増加による影響が大きいと考えられた。また、繊維成分含有率は、全ての項目で、T 圃場において有意に高い値が得られ、それに伴い、消失率は S 圃場の方が高い値を示した。このことから、ナイルデルタ地域における栽培であっても、消失率は必ずしも低下するわけではなく、気温の影響については明らかではないものの、収穫時期による影響が考えられた。

③異なる気温および土壌水分条件がトウモロコシ茎葉部の飼料成分および *in situ* ルーメン内消失率に及ぼす影響

①および②の結果より、ナイルデルタ地域において栽培したトウモロコシ茎葉部においては、灌水条件により、CA 含有率、CP 含有率およびタンパク質画分が影響を受けることが考えられた。また、消失率については、これらの研究において相反する結果が得られ、ナイルデルタ地域で栽培したトウモロコシ茎葉部において、必ずしも消化性が低下するわけではなく、収穫時期による影響が大きいことが考えられた。しかし、気温が飼料価値に及ぼす影響については明らかにすることができなかった。

栽培環境と飼料価値については、様々な環境要因が影響を及ぼすとして、既に論じられているが、作物の飼料価値に影響を及ぼす要因のうち、収穫時期の遅れや高温環境は、飼料作物の繊維の消化性の低下を引き起こすとされる。水と飼料作物の消化性については、灌水量の増加によって消化率が低下するとの報告がある。しかし、気温と水の 2 要因による交互作用が、飼料の消化性に及ぼす影響についての報告は少ない。従って、ナイルデルタ地域のように、夏季の高温環境下で、灌漑のみに頼った栽培が行われるような栽培環境における飼料作物品質の傾向を明らかにするためには、気温および水の交互作用にも着目して調べる必要があると考えられる。そこで、次に、1) および 2) の実験結果について考察を深めるため、気温および土壌水分ならびにこれらの交互作用がトウモロコシ茎葉部の飼料価値に及ぼす影響を詳細に調べた。

トウモロコシ(品種: スノーデント 118、雪印種苗)を、常温処理(28°C 14 時間、19°C 10 時間)および高温処理(35°C 14 時間、27°C 10 時間)下で、異なる土壌水分条件(pF1.5: 湿潤処理、pF2.5: 中間処理および pF2.7: 乾燥処理、n = 3、3 および 4)にて栽培を行い、以上の 2 × 3 処理による 6 区を設けた。常温処理は日本の寒冷地を想定し、また、高温処理はエジプトの夏季の気温を想定し温度を設定した。光強度は 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であった。2011 年 6 月 30 日に、6 リットル容量のポットに培養土(土太郎、スミリン農産工業株式会社)を充填し、各ポット 3 粒播種した。苗の初期生育が安定するまで、自然環境下(平均気温 26°C)において栽培し、毎日 1 回十分に灌水を行った。7 月 27 日に、各ポット 1 個体に間引きを行った。7 月 28 日より人工気象機内にて処理を開始した。同日に、現物量で 2.0 g の施肥(N 15 %、P₂O₅ 15 %、K₂O 15 %)を行った。温度は、昼夜入れ替わる際、およそ 30 分かけて徐々に変化するように設定した。土壌水分は pF メーター(DIK-8343、大起理化学工業株式会社、埼玉)を用い、毎日 9:00–10:00 および 17:00–18:00 に pF 値を測定した。この際、pF の測定値が設定値を超えていた場合、十分に灌水を行った(小林・長友 1984)。13 枚目の葉が展開し始めた頃を目安に収穫を行った。これは、植物の生育が旺盛であったために天井に達してしまい、実験の継続が困難となったためであった。収穫時に草高を測定し、その後、乾燥させ(60°C、48 時間)、地上部乾物重を測定した。各処理区について、一般成分および繊維成分を分析した。各測定方法は第 2 章に準じた。また、タンパク質画分、*in situ* 乾物消失率および aNDFom 消失率の測定を行った。S 圃場における灌水量は、藤巻(未発表データ)より引用した。また、S 圃場における蒸発散量データは、福田(2012)および Sugita et al. (2012)より、気象データは杉田(2012)より引用した。T 圃場の降水量および気象データは、気象庁つくば気象観測所データベース(2012)より引用した。

本実験の結果から、異なる気温および土壌水分条件で栽培したトウモロコシ茎葉部において、収量、飼料成分および *in situ* 消失率が異なることが明らかとなった。高温におい

て水不足が併発した場合、収量および可消化 aNDFom 収量が著しく低下することが明らかとなった。CA 含有率は、高温処理における土壌水分の低下により増加し、飼料価値の低下を招く可能性が考えられた。また、CP 含有率は温度および土壌水分条件により影響を受けやすく、特に、高温における水不足では、消化性の高いタンパク質画分が増加する可能性が考えられた。また、*in situ* aNDFom 消失率は、収量や生育期間に依らず、高温条件により低下することが考えられ、これは、高温条件における消化性の低い繊維成分、特に、セルロースを主成分とする ADFom-ADL 含有率の増加によるものと考えられた。さらに、aNDFom 消失率について、気温と土壌水分の交互作用がある可能性が考えられるが、本実験では明確な結果が得られなかったことから、今後更なる研究が必要であると考えられた。

5) 農業排水を利用した燃料作物の栽培法の開発

① 国内ポット実験による耐乾性、耐塩性の評価

高い耐乾性、耐塩性を有し、荒地でもバイオ燃料生産が期待されるとされたジャトロファであるが、その耐乾性、耐塩性については十分な科学的評価がなされてきたとは言い難かった。2010 年度、筑波大学農林技術センター内で行ったポット栽培実験の測定値をもとに吸水モデル中の耐乾性、耐塩性を示すパラメータを逆解析した。その結果、耐塩性については大豆と同等の比較的高い耐塩性を有するものの、耐乾性についてはトウモロコシや小麦のような主要畑作物に比べやや低い、という結果が得られた。したがって、本プロジェクトが試みる、やや塩類化した農業排水を利用した灌漑による生産には適していると思われるが、十分な生産が得られない可能性も高く、あくまでもいくつかの燃料作物の候補の一つとして扱うべきであると判断される。

また、ヨーロッパでバイオ燃料作物としても広く栽培されており、イスマイリア圃場でも灌漑水量あたり最大の収量が得られているナタネの水分及び塩分ストレス応答特性を本邦におけるポット実験で測定した。その結果、ジャトロファよりも耐乾性は劣るものの、耐塩性は高いことが明らかとなった。したがって、ジャトロファよりもさらに農業排水を利用した灌漑による生産に適していると思われる。

② Ismailia 圃場における排水利用栽培実験

2.5ha の民間圃場を借り上げ、ジャトロファ、ヒマ、ホホバ、ヒマワリ、ナタネを農業排水の点滴灌漑により栽培し、灌漑水量あたりの乾物生産量もしくは油生産量を評価するとともに、土壌への塩分や重金属の蓄積状況を調べた。その結果、ヒマの灌漑水量あたりの乾物生産量はジャトロファの倍程度で、ホホバの 10 倍程度であった。しかし、ヒマは 3 年目以降深刻な虫害を受けた。ジャトロファは、本試験地の環境では 1 月から 5 月末まで葉を落とし、成長が止まることが分かった。ナタネの灌漑水量あたりの油生産量は最も高く、ヒマワリのそれはヒマと同程度であった。したがって、夏にヒマワリ、冬にナタネという一年生燃料作物の二毛作が推奨される。

初期塩分に比べ、塩類集積はそれほど進行せず、カドミウムの蓄積もみられなかった。

1 株（ナタネの場合 2 ないし 4 株）につきエミッタ 1 個の比較的安価な点滴灌漑システムで農業排水でも良好な灌漑水量あたりの油生産量を確保できることが明らかとなった。

(2) 研究成果の今後期待される効果

1) 農業生産、農業経営および農家行動の分析

ナイルデルタにおける灌漑水利用設備が整備された地域（カフルシェイク県のバハルヌール地区、以下、エリア 1：67 メスカ）と灌漑水利用設備が整備されていない地域（同県のアブシャン地区、以下、エリア 2：16 メスカ）における農家行動の比較分析を通じて、灌漑水利施設の経営経済的効果が明らかとなり、今後の施設導入に関するインセンティブ、システム構築に関する知見が提供可能となった

ただし、水稲作に関するレギュレーションなど、ナイルデルタ内には地域別に様々な制

約条件が存在することも事実である。よって、本分析のようなサーベイをデルタ内の他の地域においても蓄積し、それらの基本構造に関する基礎的知見を整備することも、将来の重要な課題であると考えられる。

2) 節水灌漑法の節水効果と生育および収量の評価

これまでの研究結果から、ナイルデルタに適した節水栽培技術は点滴灌漑と細溝灌漑と結論された。点滴灌漑は節水効果が明確で収量および品質の向上効果も認められ、点滴装置の維持管理が円滑に行われれば有効な節水栽培技術となり得ると考えられる。ただし、点滴装置の敷設には高額の初期投資が必要であり、本技術がトウモロコシやテンサイなどの主要作物の大規模栽培技術として農家に導入できるかどうか検討を要する。本技術は農業経営上の検討を経て導入場面を定め、中長期的に導入することになる。

細溝灌漑は、点滴灌漑と比較すると節水効果は相対的に小さいが、迅速容易に農家に導入できる利点がある。灌漑水の節水には灌漑間隔の延長と灌漑面積の縮小が考えられるが、これまでの研究の結果から、灌漑間隔の延長より灌漑面積の縮小の方が節水効果および生育・収量の維持効果の双方が大きいことが判明した。したがって、細溝灌漑ばかりでなく、交互畝間灌漑など圃場の一部を灌漑する技術も有効な節水栽培技術となる可能性が高い。細溝灌漑については、今後、細溝の形状や配置、他作物への適用などを検討することが必要と考えられる。また、細溝灌漑による生育促進、収量向上効果の生理機構の解析研究は本技術の普及を促進する上で必要不可欠である。

一方、点滴灌漑や細溝灌漑を適用できない作物の節水栽培技術の検討が必要である。イネについては、生育に応じた灌漑間隔の調節により節水と生育・収量の維持向上が両立する節水栽培技術の開発が期待される。コムギ、エジブシヤンクローバーなどの冬作物についても同様な検討が必要であろう。

3) 作物の塩分濃度に対する反応と耐塩性の品種間差異の解析

コムギ、トウモロコシについては種子を本研究に供与した ARC が本研究成果を基に耐塩性育種の方向の決定および遺伝子操作のための母本の選定材料として利用することである。イネに関する研究成果は RRTC が耐塩性強化のための栽培法の開発、育種母本としての参考データとして利用する。またそれぞれの作物の耐塩性機構を生理的、形態的に解明する共同研究を ARC、RRTC およびカイロ大学と今後更に進めていく予定である。

4) 農業排水を利用した燃料作物の栽培法の開発

ポット実験による耐乾性、耐塩性の評価結果や現地栽培実験による灌水量あたりの油生産量の比較結果は、生産適地の選定、灌漑システム導入の判断、育種活動、企業や政策決定者の投資判断に一定の影響を与えるものと期待される。

§ 5 成果発表等

(1) 原著論文発表 (国内(和文)誌 1 件、国際(欧文)誌 9 件)

- 1) Abou El-Hassan W.H., Mostafa, M.M., Fujimaki, H. and Inoue, M.: Irrigation improvement assessment from the water quality and human health perspective in the Nile delta. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7: 815-822, 2009
- 2) Fujimaki, H. and Kikuchi, N.: Drought and Salinity Tolerances of Young *Jatropha*, *International Agrophysics*, *International Agrophysics*, 24: 121-127 (2011)
- 3) Yageta, Yoshie, Teruo Higashi, Zayed Bassiouni A., Naeem EL Sayed Saad, Masayoshi Satoh: Effects of previous rice cultivation on salt accumulation of surface soils in the middle Nile Delta, Egypt. *Journal of Developments in Sustainable Agriculture*. 8: 119-126, 2013.
- 4) Yanagawa, A. and Fujimaki, H.: Tolerance of canola to drought and salinity stresses in terms of root water uptake model parameters, *J. Hydrol. Hydromech.*, 61(1), 73-80, 2013

- 5) Suzuki, M., A. Mohamed, K. Abdel-Gawad, S. Safina, M.A. El-Fadel, A. Hussien, O. Enishi, S. Maruyama, A. Tajima, Ishikawa, N.: The Effects of Water-saving Irrigation on Nutritive Value of Maize (*Zea mays* L.) in Nile Delta, Egypt. *Journal of Arid Land Studies*. 22(4): 481-485, 2013
- 6) 志水勝好・森田あす美・Sayed Ahmed SAFINA (2013) 硬実種子の前処理, 温度がタイ産ナンヨウアブラギリ (*Jatropha curcas* L.) 種子発芽に及ぼす影響と種子形態の特徴. *熱帯農業研究* 6:75-80.
- 7) A. Khater, Y. Kitamura, K. Shimizu, W. Abou El Hassan, and H. Fujimaki : Quantitative analysis of reusing agricultural water to compensate for water supply deficiencies in the Nile Delta irrigation network. *Paddy and Water Environment* (IF=1.025), DOI 10.1007/s10333-014-0454-y. 2014 (Published online: 30 July 2014).
- 8) A. Khater, Y. Kitamura, K. Shimizu, H. Somura and W. Abou El Hassan : Improving water quality in the Nile Delta irrigation network by regulating reuse of agricultural drainage water. *Journal of Food, Agriculture and Environment* (IF=0.44), Vol.12 (3&4): 329-337, 2014 (www.world-food.net 2014).
- 9) Katsuyoshi SHIMIZU, Korany Abdel-GAWAD, Sayed Ahmed SAFINA, Sachio MARUYAMA, Sherif M. A. BASSIOUNI, Hassan M. A. EL.BAKI and Naoto ISHIKAWA: Response of photosynthesis in sugar beet cultivated with the conventional surface irrigation and the drip irrigation in the Nile Delta, Egypt. *Tropical Agricultural Development* 58: 75-77, 2014.
- 10) Kubota, A., Safina, S.A., Sheble, S.M., Mohamed, S.E., Ishikawa, N., Shimizu, K., Abdel-Gawad, K., and Maruyama, S.: Evaluation of intercropping system of maize and leguminous crops in the Nile Delta of Egypt. *Tropical Agriculture and Development*. 59: 14-19.

(2) 研修コースや開発されたマニュアル等

① 研修コース概要

特になし。

② 開発したテキスト・マニュアル類

「ADCP の操作手順について」: 分散し、かつ大部のマニュアルから重要かつ必要な具体的情報を整理したペーパーを作成し、エジプト側に配布、トレーニングに使用した。(2011年3月31日)

フラックスステーションの使用、管理、維持に必要な知識、情報をまとめ、提供した。今後、プロジェクト終了後の新たな使用者に対して有効な情報になる。

・フラックスステーション(全体)

Flux_System_Instruction_Manual

Training Session 教材

・フラックスステーション(個々のトラブル対応マニュアル)

Site_visit_ToDoList.doc

How_to_collect_data_from_Loggers_PC200W

How_to_collect_data_from_Loggers_LoggerNet

HowtoReplaceFan(TRH)

HowtoFixTRH_SensorLineDamage

Manual to replace LI-7500

Procedure_to_check_PowerLineCablesConnector

HowtoRemoveSonicSensorHead

・Sap flow measurement system マニュアル

(3) その他の著作物(総説、書籍など)
該当なし。

(4) 国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 4 件、国際会議 4 件)

- 1) 佐藤政良、「ナイル流域における食糧・燃料の持続的生産」について、農業農村工学会海外事情講演会、東京、2009年4月9日
- 2) 佐藤政良、「エジプトの水資源の現状と課題」、講演会「『水の世紀』に日本は如何に貢献できるか」、生命環境科学研究科プロジェクト「『水の世紀』における水問題解決手法に関する知見の統合」つくば市、2010年3月26日
- 3) 佐藤政良、「ナイル流域における食糧・燃料の持続的生産」について、筑波大学北アフリカ研究センター・北アフリカ・地中海事務所特別セミナー:アフリカとの科学技術協力と大学の役割、茨城、2011年3月1日
- 4) Masayoshi Satoh, “Sustainable Systems for Food and Bio-energy Production with Water-saving Irrigation in the Egyptian Nile Basin”, IMA-MCJP-JST Joint Seminar, 29 March 2012, Paris
- 5) Sugita M., Fukuda T., Matsuno A., and Rushdi M. M. El-Kilani: Evapotranspiration, transpiration and soil evaporation in three crop fields in Nile Delta with different irrigation methods. Symposium on Water Management and Agricultural Production in Egypt-The Present and the Future-, Marriot Hotel, 16-17 July 2012
- 6) TANIGUCHI, T., FUJIHARA, K., WALEED, H., EHAB, E. S., YUAN, X., SATOH, M., “Development of the Water and Salt Balance Model for the Prediction of Water Circulation in the Nile Delta”, Symposium Water management and Agricultural Production in Egypt -Present and Future-, July 16-17, 2012, Cairo, Egypt.
- 7) FUJIHARA, Kei, Tomoyuki TANIGUCHI, Kenlo N. NASAHARA, Masayoshi SATOH, “Paddy Field Mapping for a Rotationally Irrigated Agricultural Area”, Area”, The 4th Egyptian Japanese Joint Symposiums on “Remote Sensing and Its Application; From Archaeology To Social Sciences”, September 12-13, 2012, Cairo, Egypt.
- 8) 杉田倫明、「研究を通じた国際協力で求められる水文科学の役割と方法論」、日本水文科学会公開シンポジウム「海外学術研究および国際貢献における水文科学の役割」基調講演、広島大学、2014年10月5日

② 口頭発表 (国内会議 36 件、国際会議 18 件)

- 1) H. Fujimaki and N. Kikuchi: Drought and Salinity Tolerances of Young Jatropha, Biohydrology 2009, Bratislava, Slovakia, 25th Sep 2009
- 2) M. Inoue, B.A.O. Ahmed and H. Fujimaki: Effective Use of Sub-Irrigation Water in Sandy Soil using Barrier of Gravel and Porous-Alpha Layers, Annual Meeting of Soil Science Society of America, Pittsburgh, USA, 4th Nov 2009
- 3) 福田敬広、杉田倫明: ナイルデルタの農地における蒸発散量評価のための Deardorff モデルの適用、日本地球惑星科学連合 2010 年大会、幕張、2010 年 5 月 26 日
- 4) Aly, A. M., Kitamura, Y. and Shimizu, K.: Performance assessment of water management in the old land of Egyptian Delta”. Environmental Science and Technology 2010 (I), George A. Sorial and Jihua Hong (Eds.), Science Press, July 12-16, 2010 in Houston, Texas, USA, pp 43-50, July, 2010.
- 5) 佐藤政良、藤巻晴行、井上光弘、北村義信、石井敦、谷口智之、袁新: エジプトの水

資源状況とナイルデルタにおける灌漑管理改善、平成 22 年度農業農村工学会講演会、神戸、2010 年 8 月 31 日

- 6) Aly, A. M., Kitamura, Y. and Shimizu, K.: Evaluation of water delivery performance in tertiary canal -a case study of Irrigation Improvement Project in Egypt-, 平成 22 年度農業農村工学会講演会、神戸、2010 年 8 月 31 日
- 7) 折居拓磨、東 照雄、井上光弘、Zayed Bassiouni, A.Naeem EL.S.B、田村憲司、佐藤政良:エジプトナイルデルタの Vertisols における粘土含量の断面分布、日本土壤肥料学会 2010 年度北海道大会講演要旨集(p.102)、北海道、2010 年 9 月 7 日
- 8) 福田敬広、杉田倫明:ナイルデルタの農地における蒸発散量の評価および蒸散 と地表面蒸発への分離、日本水文学会 2010 年度学術大会、つくば、2010 年 10 月 2 日
- 9) 森田あす美、志水勝好、Sayed Ahmed Safina:塩水処理栽培がナンヨウアブラギリの生育および光合成速度に及ぼす影響、日本熱帯農業学会第 108 回講演会、沖縄、2010 年 10 月 10 日
- 10) Fujimaki Haruyuki, Takahisa Amano, Chiaki Kanatsuka and Mitsuhiro Inoue:Prediction and Control of Salt Accumulation in the Upper Root Zone Under Sub-Surface Drip Irrigation: 2010 ASA, CSSA, and SSSA Annual Meetings, Long Beach, CA, USA, October 2010
- 11) Aly, A. M., Kitamura, Y. and Shimizu, K.: Performance assessment of water management in irrigation districts in Arid region (case study: irrigation improvement in Egypt), 第 65 回度農業農村工学会中国四国支部講演会、山口、2010 年 10 月 27 日
- 12) Aly, A. M., Kitamura, Y. and Shimizu, K.: Performance assessment of farmers' management for tertiary level irrigation in arid region - a case study of irrigation improvement in Egypt, Tenth International Conference on Development of Drylands: Meeting the Challenge of Sustainable Development in Drylands under Changing. Climate - Moving from Global to Local e, Cairo, Egypt, 12-15 December 2010
- 13) 松野 晃大・杉田倫明:安定同位体とチャンバー法によるナイルデルタ農地蒸発散の成分分離、日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 幕張, 2011/5/22
- 14) 福田敬広・杉田倫明:ナイルデルタの異なる灌漑条件下の農地における蒸発散量と蒸発抑制対策効果, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 幕張, 2011/5/22
- 15) 入柿 ゆいま・杉田 倫明:ナイルデルタ周辺の大気水収支と雲分布, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 幕張, 2011/5/22
- 16) 清水 達輝・杉田 倫明:節水農業のための防風林の効果はあるのか:ナイルデルタの場合, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 幕張, 2011/5/22
- 17) 藤巻晴行, 星野亜季:ヒマワリの蒸散量に及ぼす乾燥ストレスおよび塩ストレスの影響, 日本砂丘学会第 57 回大会、宮崎、2011 年 7 月 24 日
- 18) 八下田佳恵、東照雄、Zayed Bassiouni A., Naeem EL Sayed Saad, 佐藤政良、「エジプト・ナイルデルタ中部における土壌塩類集積に及ぼす稲作経歴の影響」日本土壤肥料学会年次大会、2011 年 8 月 8～10 日、茨城県つくば市
- 19) 谷口智之:分布型流出モデルにおける灌漑水量の推定方法の問題点, 水文水資源学会発表会, 2011 年 8 月 30 日-9 月 1 日, 京都.
- 20) Talaat El Gamal, Waleed Abou El Hassan , Masayoshi Satoh, Tomoyuki Taniguchi: Water management improvement in the Nile Delta under decreasing water resources availability, CIGR2011 Tokyo, Japan, 18-23 September 2011
- 21) 加藤智大, 石井敦, 佐藤章夫: 水田灌漑における重層的水利組織による番水操作の実態, 平成 23 年度農業土木学会大会講演会講演要旨, pp. , (2011.9)
- 22) 谷村建太郎, 谷口智之, 佐藤政良:エジプト国ナイルデルタの伝統的灌漑システムにおける水管理, 平成 23 年度農業土木学会大会講演会講演要旨, pp.470-471, (2011.9)
- 23) 福田明広, ワリード ハッサン, モハメド メレハ, 谷口智之, 佐藤政良:エジプトナイル

- デルタの近代化灌漑地区における水配分 —バハルヌールを対象として—, 平成 23 年度農業土木学会大会講演会講演要旨, pp.478-479, (2011.9)
- 24) 加藤智大, 石井敦: 大規模水田灌漑地区における重層の水利組織による番水, 2011 年農業農村工学会京都支部研究発表会
- 25) Fujimaki H., A. Hoshino and M. Hanafy: Drought and Salinity Tolerances of Canola, 2011 Annual meeting of ASA, CSA, and SSSA, San Antonio, 19th Oct 2011
- 26) Masayoshi Satoh, Tomoyuki Taniguchi and Atsushi Ishii: Irrigation Management for Sustainable Food Production in Decreasing Water Availability of the Nile Delta, Egypt, TJASSST 2011, Hammamet, Tunisia, 13th Nov 2011
- 27) Miho Suzuki, Alaa Mohamed, Ahmed Hussien, Osamu Enishi, Atsushi Tajima and Naoto Ishikawa: The effects of drip irrigation on feed value of maize (*Zea Mays* L.) in Nile Delta. In "Appropriate Use of Biodiversity in Agricultural ESD", 2011 International Symposium on Agricultural Education for Sustainable Development, University of Tsukuba, Japan, p132, 7-11 November 2011
- 28) 森田あす美、志水勝好: 土壌水分ストレスおよび塩水処理栽培がナンヨウアブラギリ (*Jatropha curcas* L.) の生育に及ぼす影響. 熱帯農業学会第 111 回講演会, 東京, 2012 年 3 月 31 日
- 29) Miho Suzuki, Alaa Mohamed, Magdy Abou El-Fadel, Ahmed Hussien, Osamu Enishi, Takashi Katagiri, Sachio Maruyama, Atsushi Tajima and Naoto Ishikawa: Influence of temperature and soil moisture condition on nutritive value in maize (*Zea mays* L.). The 4th Japan-China-Korea Grassland Conference, Aichi, Japan, 31 March 2012
- 30) 清水 達輝・杉田 倫明・Rushdi M.M. El-Kikani: エジプトナイルデルタにおけるカジュアリナの樹液流の季節変化とその防風林としての蒸発散抑制効果の推定, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張, 2012/5/21
- 31) 福田 敬広・杉田 倫明・Rushdi M. M. El-Kilani: ナイルデルタの異なる灌漑条件下の農地における渦相関法による蒸発散量評価, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張, 2012/5/21
- 32) 松野 晃大・杉田 倫明・Rushdi. M.M. El-Kilani: 異なる灌漑条件下のとうもろこし畑における蒸発散成分分離, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張, 2012/5/21
- 33) 藤平啓, 谷口智之, 奈佐原顕郎, 佐藤政良: 衛星リモートセンシングによるナイルデルタの水田判別, 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会, 2012 年 9 月 18 日～20 日, 北海道.
- 34) Yoshie Yageta, Teruo Higashi, Zayed Bassiouni A., Naeem EL Sayed Saad, Masayoshi Satoh, 「Effects of previous rice cultivation on salt accumulation of surface soils in the middle Nile Delta, Egypt」 Soil Science Society of America Annual Meeting, San Antonio, 16-19 Oct. 2011.
- 35) Suzuki, M., A. Mohamed, M. A. El-Fadel, A. Hussein, O. Enishi T. Katagiri, S. Maruyama A. Tajima and N. Ishikawa (2012) Influence of temperature and soil moisture condition on nutritive value in maize (*Zea mays* L.). JSGS Proceeding of the 4th Japan-China-Korea Grassland Conference. The 4th JCK Grassland Conference Organizing Committee. pp 160-161.
- 36) 八下田佳恵, Zayed Bassiouni A., Hassan Waleed, 藤巻晴行、東照雄、佐藤政良, 「エジプト・ナイルデルタの重粘土壌における籾殻の作土へのすき込みによる水・塩類移動の変化」日本土壌肥料学会年次大会、2012 年 9 月 4-8 日、鳥取県鳥取市
- 37) 東照雄、発表者八下田佳恵、「乾燥地における灌漑農業による土壌環境評価～エジプト・ナイルデルタの重粘土壌における、籾殻の作土へのすき込みによる、水・塩類移動の変化～」、鳥取大学乾燥地研究センター 平成 24 年度共同研究発表会、2012 年 12

月 1-2 日、鳥取県鳥取市

- 38) Haruyuki Fujimaki and Sayed El-Sayed: Drought and Salinity Tolerances of Castor Oil Plant, 2012 ASA, CSSA, and SSSA Annual Meetings, Cincinnati, OH, USA, October 2012
- 39) 久保田亜希・篠遠善哉・Waleed H. Abu El-Hassan・丸山幸夫: エジプトナイルデルタにおける灌漑間隔が土壤水分とトウモロコシの光合成速度に及ぼす影響. 日本作物学会第 235 回講演会, 東京, 2013 年 3 月 29 日
- 40) Nawar, M., A. ElBendary and S. Matsushita: Impact of Improved Management of Irrigation Systems on the Farmers' Livelihood in Egypt, Rural sociological Society 76th Annual Meeting, Sheraton New York, USA, 6-9 August, 2013
- 41) 塚原元太, 谷口智之: 小型温度センサーによるポンプ稼働の判定, 平成 25 年度農業農村工学会大会講演会, 2013 年 9 月 3 日~5 日, 東京
- 42) 藤巻晴行・岡野晃子: 木綿布を用いた土壌表層塩分除去, 平成 25 年度農業農村工学会大会講演会, 2013 年 9 月 2 日~5 日, 東京
- 43) 志水勝好・Sherif M. A. Bassiouni・Bassiouni A. Zayed: 塩性環境下でのエジプトイネ耐塩性品種の発芽率および収量の比較. 日本熱帯農業学会第 114 回講演会、網走, 2013 年 9 月 14-15 日.
- 44) Satoh, M., Atsushi Ishii and Xin Yuan: Background Policy and Methods for Participatory Irrigation Management of Japan, 1-6, First World Irrigation Forum, Mardin, Turkey, September, 2013
- 45) 篠遠義哉・久保田亜季・近藤始彦・丸山幸夫: 堆肥施用によるトウモロコシの土壤水分ストレス軽減効果の解析 - 光合成、クロロフィル蛍光特性および炭素同位体分別 - . 日本作物学会第 237 回講演会, 千葉, 2014 年 3 月 29 日
- 46) 佐藤政良, 袁新, 谷口智之, Waleed Hassan, Talaat Gamal, Nahla Zaki, エジプト・ナイルデルタの灌漑における節水の必要性と実現方策, 平成 26 年度農業土木学会大会講演会講演要旨 新潟 2014 年 8 月 28 日
- 47) 竹内夏希, 谷口智之: エジプト国ナイルデルタへの水循環モデル適用に向けてのデータセットの整備, 平成 26 年度農業農村工学会大会講演会, 2014 年 8 月 26 日~28 日, 新潟.
- 48) Sato, A., Kubota, A. and Maruyama, S.: Effect of extended irrigation regimes on water productivity of lowland rice in the Nile Delta of Egypt. The 7th Korea- China-Japan Graduate Student Forum, Beijing, P. R. China, 27 Sep 2014.
- 49) Talaat El-Gamal, Masayoshi Satoh and Nahla Zaki: The coordination between farmers in the Nile delta under different improvement & water availability conditions, 22nd International Congress on Irrigation and Drainage, Gwangju Metropolitan City, Republic of Korea (Sept., 2014)
- 50) Masayoshi Satoh, Nahla Zaki, Talaat El Gamal and Yuan Xin: Necessity for Government Intervention for Successful Cooperation of Farmers for Rational Water Use in Japan And Egypt, 22nd International Congress on Irrigation and Drainage, Gwangju Metropolitan City, Republic of Korea (Sept., 2014)
- 51) 久保田亜希・篠遠善哉・Y. I. Atta・A.M.A. El-Fattah・丸山幸夫: エジプトナイルデルタのトウモロコシ圃場の土壤水分と収量に及ぼす細溝灌漑の影響. 日本作物学会関東支部講演会, つくば市, 2014 年 12 月 5 日.
- 52) 佐々木めぐみ・宮崎裕貴・志水勝好・Korany Abdel-GAWAD・Sayed Ahmed SAFINA エジプトにおけるトウモロコシ - ダイズ間作がその生育, 光合成および収量に及ぼす影響. 日本熱帯農業学会、筑波大、2015 年 3 月 14 日.
- 53) 久保田亜希・佐藤文香・Yosri I. Atta・Ahmed M. Abd El-Fattah・丸山幸夫: エジプトナイルデルタにおいて細溝灌漑がコムギとソラマメの根の生育と収量に及ぼす影響. 日本熱帯農業学会第 117 回講演会, つくば市, 2015 年 3 月 14 日.

- 54) 久保田亜希・福永健太郎・Yosri I. Atta・Ahmed M. Abd El-Fattah・丸山幸夫: エジプトナイルデルタのトウモロコシの光合成速度、収量、水利用効率に及ぼす細溝灌漑の影響。日本作物学会第 239 回講演会, 藤沢市, 2015 年 3 月 28 日.

③ ポスター発表 (国内会議 7 件、国際会議 10 件)

- 1) 折居拓磨、東照雄、田村憲司、佐藤政良: エジプトナイルデルタにおける水資源利用状況と土壌諸性質の関係、日本土壌肥料学会 2009 年度京都大会、京都、2009 年 9 月 16 日
- 2) 佐藤政良、東照雄、折居琢磨: 土壌環境評価による灌漑農業における乾燥地、鳥取大学乾燥地研究センター共同研究発表要旨、鳥取、2010 年 12 月 4 日
- 3) Orii, T., T. Higashi: Distribution of clay and permeability in the soil profile at the Nile delta, Egypt, International Symposium on Agricultural Education for Sustainable Development (Ag-ESD Symposium 2010), University of Tsukuba, 8 Nov. 2010
- 4) Takuma Orii: The distribution of clay and permeability in the soil profile at Nile delta, Egypt, The 6th International Student Conference at Ibaraki University, Ibaraki University, Ibaraki, Dec 13 2010
- 5) Kei Fujihira, Tomoyuki Taniguchi, Kenlo N. Nasahara, Masayoshi Satoh: "Paddy field mapping for a rotationally irrigated agricultural area", 2012 International Symposium on Agricultural Education for Sustainable Development (Ag-ESD Symposium 2012), November 1, 2012, Tsukuba.
- 6) 藤平啓, 谷口智之, 奈佐原顕郎, 佐藤政良: 衛星リモートセンシングによるナイルデルタの水田判別, 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会, 2012 年 9 月 18 日~20 日, 北海道.
- 7) 篠遠善哉・久保田亜希・近藤始彦・丸山幸夫: 土壌水分ストレス下におけるトウモロコシの生育および収量に及ぼす堆肥施用の影響。日本作物学会第 235 回講演会, 東京, 2013 年 3 月 29 日
- 8) Tomoyuki Taniguchi, Kei Fujihira, Kenlo N. Nasahara, Masayoshi Satoh: Paddy Field Mapping for a Rotationally Irrigation Agricultural Area in the Nile Delta, The 1st Workshop for ALOS-2, September 19-20, 2013, Tsukuba.
- 9) Ayaka Sato, Sachio Maruyama: Effect of irrigation methods on growth, dry matter production and water use efficiency of rice. 2013 International Symposium on Agricultural Education for Sustainable Development (Ag-ESD Symposium 2013), University of Tsukuba, November 28, 2013,
- 10) Kohei TAKAHASHI, Ryozi NOGUCHI, Abdrabbo ABDEL-AZIM, Tofael AHAMED, Masayoshi SATOH: Feasibility of Renewable Energy Utilization in Irrigation for the Nile Delta, Ag-ESD Symposium, Proceeding, p.108, Poster Presentation, University of Tsukuba, Japan, 2013/11/25-11/29.
- 11) Zayed, B., Shimizu, K., Bassiouni, S., Maruyama, S., and Satoh, M.: Nominating salt tolerant rice varieties for saline soils and recycling water use in Egypt. The 4th International Rice Congress, Bangkok, Thailand, 31 Nov 2014.
- 12) Miyazaki, Y., Asaoka, H., Sasaki, M., and Shimizu, K.: Comparison of Egyptian salt-tolerant cultivars and analysis of the physiological mechanism. 2014 International Symposium on Agricultural Education for Sustainable Development, Tsukuba, 20 Nov 2014.
- 13) Sasaki, M., Miyazaki, Y., and Shimizu, K.: Effects of intercropping of maize

and soybean on growth, photosynthesis and yield in Egypt. 2014 International Symposium on Agricultural Education for Sustainable Development, Tsukuba, 20 Nov 2014.

- 14) Natsuki TAKEUCHI and Tomoyuki TANIGUCHI, “ Situation of Water Balance in Agricultural Areas in the Nile Delta” , 2014 International Symposium on Agricultural Education for Sustainable Development (Ag-ESD Symposium 2014), 13 Nov. 2014, Tsukuba. p. 89
- 15) 佐々木めぐみ・宮崎裕貴・志水勝好・Korany Abdel-Gawad・Sayed A. Safina: エジプトにおけるトウモロコシ・ダイズ間作がその生育、光合成および収量に及ぼす影響. 日本熱帯農業学会第 117 回講演会, つくば市, 2015 年 3 月 14 日.
- 16) 佐藤文香・久保田亜希・Saad M. Shebl・丸山幸夫: エジプト・ナイルデルタにおける水稲の生育, 収量および水利用効率に及ぼす灌漑間隔の影響. 日本作物学会第 239 回講演会, 藤沢市, 2015 年 3 月 27 日.
- 17) 福永健太郎・久保田亜希・Yosri I. Atta・Ahmed M. Abd El-Fattah・丸山幸夫: エジプトナイルデルタのトウモロコシの生育および収量に及ぼす細溝灌漑と灌漑間隔の影響. 日本作物学会第 239 回講演会, 藤沢市, 2015 年 3 月 27 日.

(5)知財出願

- ①国内出願 (0 件)
- ②海外出願 (0 件)
- ③その他の知的財産権
該当なし。

(6)受賞・報道等

① 受賞

- 1) Ayaka Sato: Best Poster Award for an Undergraduate Student. 2013 International Symposium on Agricultural Education for Sustainable Development, Tsukuba, 28 Nov 2013.
- 2) 北村義信:「乾燥地における最適な水利用による食料生産・環境保全に関する一連の研究」, 日本沙漠学会賞(学術論文賞), 2014 年 5 月 31 日
- 3) Ayaka Sato: China-Japan-Korea Graduate Student Forum “The First Prize”. The 7th Korea- China-Japan Graduate Student Forum, Beijing, P. R. China, 27 Sep 2014.
- 4) Yuki Miyazaki: Best Poster Award for an Undergraduate Student. 2014 International Symposium on Agricultural Education for Sustainable Development, Tsukuba, 21 Nov 2014.

② マスコミ(新聞・TV等)報道

- 1) NHK ラジオ、ラジオ深夜便(2010 年 11 月 19 日)にて本プロジェクトが紹介された。
- 2) 新聞 Al Diplomasy, 2015 年 3 月 1 日الرئيسية / سياسى / JAPANESE RESEARCH OF SCIENCE AND TECHNOLOGY TO TACKLE FUTURE WATER SHORTAGE IN EGYPT, <http://aldiplomasy.com/?p=12608>
- 3) 新聞 Akhbar El Yom (アラビア語), Sunday 1st March. 2015: Cooperation with Japan to face future shortage in irrigation water in Egypt, <http://akhbaryom.com/news/newdetails/383132/0/0.html#.VPQZGND8Jok>,

- 4) 新聞 Al Masry Al Younm (アラビア語), Tuesday, 3rd March. 2015: Japan conducts research to find solutions for the problems of irrigation water shortage in Egypt, <http://www.almasryalyoum.com/news/details/668539>

③ その他

(7)成果展開事例

①実用化に向けての展開

特になし。

②社会実装(研究成果の社会還元)への展開活動

2014年9月に実施した政策担当者を含むラウンドテーブルディスカッションにおいて、外部参加者から、内容が高く評価されるので、政府に対して政策提言書をまとめ、提出するべきとの意見を受けた。

それに基づき、プロジェクトでは、“Recommendation to the Government of Egypt: For Efficient and Sustainable Agriculture and Better Water Management in the Nile Delta”(全13ページ)を作成、水資源灌漑省計画局、水資源研究センター、農業研究センターに対して提出、説明を行った。その結果、全体として内容についての高い評価を受け、水資源灌漑省計画局長は、現在用意している2018年以後の水資源計画書の中に反映させたいとの意向の表明があったほか、農業研究センター長は、提案された圃場における節水技術の効果確認と技術体系確立に向けた検討を進めたいとの意向表明があった。

また、在エジプト日本大使に対して説明を行い、大使からは、この提言の推進に向けサポートしたいとの返事を受けた。すでに科学技術大臣との面会を済ませたとの報告を受けている。

本プロジェクトの成果の一部、節水・増収技術、畜産技術については、JICAが実施している他のプロジェクト(小規模農家の市場志向型農業改善プロジェクト(ISMAP))に導入が検討され、またこれまで、水管理改善に関しては持続的水管理移管プロジェクト(SWMT)と、排水利用については排水再利用プロジェクト(2013年度終了)と連携しながら実施してきており、研究結果の一部をセミナーで発表するなど、成果の共有を図って来た。

§6 プロジェクト期間中の主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

① ワークショップ、シンポジウムなど

年月日	名称	開催場所	出席人数(エジプト側出席数)	概要
2009.8.30	Kick-off Seminar	World Trade Center	30 (24)	研究目標、各グループの研究計画の概要の確認と意見交換
2009/10/26	Kick-off meeting	Nile Hilton Hotel (エジプト)	75 (60)	プロジェクトの紹介ならびに各参加機関の長による挨拶
2009/12/10	Kick-off meeting	筑波大学	70 (4)	プロジェクトの紹介ならびに記念講演、パネルディスカッション

2009/3/7～9	Joint meeting	カイロ大学農学部	64(43)	グループ毎の来年度活動詳細計画の決定、全体合同会議
2010/10/15	ミニシンポジウム バイオディーゼル勉強会	筑波大学		バイオディーゼルエンジンの応用に関する勉強会
2011/1/13	ナイルデルタにおける作物栽培勉強会	筑波大学		ナイルデルタにおける作物栽培と研究・技術協力に関する勉強会
2011.05.24	Joint meeting about experiment farm operation	カイロ大学農学部		圃場作業の打ち合わせ
2011.06.16	研究発表会 2011	筑波大学	25	進捗状況の報告と意見交換
2011.07.19	シンポジウム 2011 (1)	カイロ大学農学部	48 (28)	研究結果報告
2012.02.09	日本国内総合討論会	筑波大学	20 (0)	進捗状況の報告と意見交換
2012.03.12	シンポジウム 2011 (2)	カイロ大学農学部	27 (19)	進捗状況の報告と意見交換
2012.07.16-17	シンポジウム 2012	カイロ Marriott Hotel	60 (50)	研究結果報告、討論
2012.10.25	研修員による講演会	筑波大学	15 (2)	エジプト稲作の現状と栽培技術
2012.10.29	日本国内研修発表会	筑波大学	9 (2)	エジプト研修員による研修発表
2013.03.18	シンポジウム in Japan 2012-2(公開)	筑波大学	70(6)	
2014.02.28	セミナー	筑波大学	10(1)	エジプトにおけるリモセン技術の利用について
2014.03.26	WAT 学生メンバーによる成果検討会	筑波大学	10	研究結果報告・意見交換
2014/9/3	Round Table Discussion (公開)	SWERI, ARC	51(40)	研究結果報告・意見交換
2014/9/4	Round Table Discussion (公開)	NWRC at Qanater	44(35)	研究結果報告・意見交換
2015/3/2	シンポジウム in Egypt	Safir Hotel, Cairo	49(34)	最終報告および意見交換
2015/3/15	シンポジウム in Japan	筑波大学春日講堂	102(8)	最終報告および意見交換
2015/3/16	農業農村工学会セミナー	農業農村工学会	45(3)	エジプトにおける灌漑排水の課題

2015/3/16	作物研究所セミナー	作物研究所	20(2)	エジプトにおける作物栽培の課題
-----------	-----------	-------	-------	-----------------

② 合同調整委員会開催記録

年月日	出席者 全体人数 (エジプト側人数)	議題	概要
2009.10.26		プロジェクト内容の決定	
2010.5.18		研究計画の打ち合わせ	
2010.11.9		研究計画の打ち合わせ	
2011.6.2		研究計画の打ち合わせ	
2011.12.7		進捗状況の報告と意見交換	
2012.7. 2		進捗状況の報告と意見交換	
2012.11.22		進捗状況の報告と意見交換	
2013.2.18	10 (6)	進捗状況の報告と意見交換	
2013.6.6	11 (5)	プロジェクト運営	
2013.12. 4	16 (10)	プロジェクト運営	
2014.7.1	18 (12)	プロジェクト運営	
2015.1.29	18 (12)	最終評価	

§ 7 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など

(1) 共同研究全体

- プロジェクト全体の現状と課題、相手国側研究機関の状況と問題点、プロジェクト関連分野の現状と課題。

本研究の目標が、極めて総合的であり、多くの分野の参画がなくては実現できない性格のものであることから、本プロジェクトは、日本側においてもエジプト側においても多分野、多数の研究者の参加を要請することになった。その結果、使用する概念、用語も異なり、同じものを見ていながら別の視点で見ていることに本プロジェクトのメンバーは気付かされた。また、普段の研究活動ではみないものを多く見る事になった。それは一方で、自分の専門性の枠組み、視点をもう一度客観化し、見直す良い機会になったのではないかと思う。エジプトと日本という異なる国という面では、方法、研究態度の基本的違いを多く経験したことはもちろんである。

課題は、それと裏腹で、最終的な目標を「社会実装」というところにおいているものの、それへの貢献の仕方、イメージは各分野で異なるので、発想法(事象に対する態度)の分野間のコミュニケーションは常に大きな課題であった。

エジプトの組織的問題については、セクショナリズムにつきる。あらゆるレベル、小組織単位でこの原理が働き、決定権、器材の支配を他の組織に回さない、取られない、従って相談しない、しかし一方で、他の組織には常に状況を問い合わせるという状況は、特に多くの機関が関わった本プロジェクトでは極めて大きな問題であった。

スタート時点、CPの選抜の段階で、専門性の低い研究者を自分の組織から入れようとする動きが強く、CVの提出を求めて確認、拒否することがしばしばであった。

また、日本研修とシンポジウム、第3国での国際会議発表などへの参加を、プロジェクト活動の必要性としてではなく、権利と捉え、回数のアンバランスについての不満が上がったことは残念であったが、人選のクライテリアを明確にすることで、処理することとした。ただ、このようなことがCPのやる気の喪失に繋がりにかねないことには気を付け、説明に努めるべきである。

- ・ 各種課題を踏まえ、研究プロジェクトの妥当性・有効性・効率性・自立発展性・インパクトを高めるために実際に行った工夫。

研究プロジェクトの場合、プロジェクトの妥当性、有効性は、主として研究成果の良否に掛かっている。従って、これらのためにやったことは、研究成果を出すための活動に注力したこと以外、特にない。効率性については、エジプト側研究者のほとんどが日本と日本の研究を知らず、当初は自分達が一番であるという自負を強く持っていたので、なかなか効率的なプロジェクト運営ができなかった。そこで、お互いの長所短所を理解するように、直接的な議論をすることに努めた。また結局は、早期にエジプト人を日本での研修により、技術的な研修はもちろん日本の農業、研究の状況を肌で知ってもらったことが大きく貢献した。なお、本プロジェクトでは、エジプト側参加者のほとんど全員が日本研修に参加した。自立発展性については、日本の研究手法、研究態度を伝えるべくコミュニケーションを図ろうとした。そして一部の研究者には、自分で直接データを取得することの重要性が伝わったように思う。しかし基本的には、制度的な壁によって、日本の方法論は、別の形で研究アシスタントとして雇った若い研究者に、より強く伝わった。研究アシスタントは、現地での試験の実行、データ取得、整理などを担当するために雇い、現地 CP の監督指導の下で活動を行い、日本人研究者が現地を訪問した時には、測定法のノウハウ、新しい測定の目的方法などを指示された。データを取得し、整理し、両国 CP にデータを送る作業を行ったため、日本人研究者と最も頻りに連絡を取り合ったのはアシスタントである。常時 5 人程度が雇われていたが、その業務の中で、研究に興味をもち、これまで 2 人がエジプトの研究機関に入り、1 人が日本に留学した。あと 2 人も日本への留学(修士課程から博士課程への進学)を希望している。インパクトを高めるための工夫は、エジプト CP の所属する研究所の所長等、上司にことある毎に研究の状況を報告し、周辺分野の情報の収集に努めたことである。

- ・ プロジェクトの自立発展性向上のために、今後相手国(研究機関・研究者)が取り組む必要のある事項。

すでに、本プロジェクト出取組んできた課題の中のいくつかについては、CP がその意義を理解、継続研究を望んでいる。組織としても希望を表明しているところがあるので、これらの研究を継続できるよう、支援をしてもらう必要がある。と同時に、日本側が個人研究者として以外、どういう支援が出来るのかが問われる。

(2) 水・塩収支グループ/G1

- ・ 相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用。
- ・ ET 観測については 3 基のタワーが 3 つの組織にそれぞれ 1 基配置され、それぞれの組織から、担当者が出て来ていたことで、日本側担当者との共同研究に比較的良い環境条件であった。ただし、異なる組織担当者間の連携は十分とは言えなかった。§ 4 で報告したように、プロジェクト終了後のタワーの活用についてもそれぞれが計画を立てている。ただし、最新機器の場合その測定の背景になっている理論などについて十分な予備・基礎知識を備えている人を十分な数求める事が出来ないという問題がある。
- ・ 類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等。最新機器を導入する場合、そのトレーニングについて十分な支援が望まれる。

(3) 水管理グループ/G2

- ・ 主な CP 組織は、水資源研究センターの水管理研究所(WMRI)であった。当初は、研究費の配分がなくては研究のやりようがないと、極めて非協力的な態度であったが、粘り強く日本の制度を説明し、研究成果の共有という点で一致点を見いだした。その後は極めて協力的であったが、運営上は、本部と現地事務所のセクショナリズムが表面化し、供与した器材を便利な形で保管してもらうことができなかった。この点については、不便を凌ぐ以外対応ができなかった。しかし、研究所の所長と CP の一人(グループリーダー)が研究者として日本の制

度を理解し、協力的であったので、運営に大きな支障はなかった。

- ・ 研究のスタートの際、なるべく早い段階で、研究費、機材費、研究・論文発表の共著者の方針などについて話し合い、確認、合意する必要がある。

(4) 土壌の肥沃性グループ/G3

- ・ 農業研究センターの RRTC(水田研究トレーニングセンター)に所属するグループリーダーが研究に対して非常に積極的であったために、つまらないトラブルは比較的少なかった。

(5) 食料および燃料作物生産グループ/ G4

- ・ 農業研究センター Sakha 支所と WMRI がカウンターパート機関であった。どちらも協力的で大きな問題はなかった。Sakha 支所では、CP が圃場管理の責任者である場合には圃場管理に問題がなかったが、それを外れた時には、灌漑用水の水源が不安定であったこともあって、水の配分に他の研究圃場とのコンフリクトが生じ、適期の灌漑が保証されないことがあった。
- ・ なるべく所長等のクラスと連絡を取るようにしたが、施設の管理は独立してやられることもあり、基盤条件が整っていない国では、なかなかうまく行かない場合がある。実験計画を作成する際に、水などの条件が十分か、どうなっているかを確認する必要がある。

§8 結び

研究の目標から見た場合、活動の達成度は、最終的にかなり高いものになったと思う。限りある水資源を最大限に活かし、農業の持続性も保つという目標に対し、そのために必要な政策目標のあり方、その実現のための技術的方策が、エジプト人だけではできなかった実験、観測をベースに実証的に、文理融合的に提示できたからである。課題の幹の部分については、十分な成果が得られたと評価している。枝葉においては、十分な詰めができなかった部分もあるが、それは今後共同研究あるいはエジプト側の単独研究として、継続的に実施していくことが出来ると考える。

中でも重要な点は、これまで経験的に実施してきた研究なり政策なりに、科学技術の側面から根拠を与えることによって、一つ一つの活動、研究、政策判断が、科学的根拠を以て実施されるという枠組みを提示することができたことであると考え。本プロジェクトの基本成果がエジプトにおいて活かされるかどうかは、エジプト政府の今後の受け入れ方による。課題の総合性にも関わりますが、特にエジプトの行政、研究機関(あるいは政府組織一般)が、自分の守備範囲を死守しようとするセクト主義を乗り越えて、科学的事実をベースに議論を進め、国としてのより高い政策目標実現に向けて、場合によっては、既存の枠組みを修正する必要があることなど、共通認識を形成してもらいたいと考える。

プロジェクトの運営の側面では、プロジェクトが、分野、年代において多様なメンバーから構成されていた(しかもすべて、講座単位の下関係がないメンバー達であった)ので、すべては自発的活動として行われた。その意味で全体のスケジュール調整など困難な面があったことは否めない。しかし、多くの問題は、代表者が各分野からなる数人のコアメンバーと相談しながら方針を決定して処理する方式でうまく行ったのではないかと考えている。研究内容について頻繁に全体会議を開くことは困難であることから、得られた結果の評価についてもコアメンバーでの検討が重要な意味を持った。

通常のそれぞれの分野の研究活動では、自分の分野の守備範囲を限定し、ここまでやれば後は他の人がやるものと考えてるのが普通である。ところが、総合的なプロジェクトとしては、全員がそのような守備範囲を守ると、カバーできない範囲が生じる。特に、論文数が重要な意味を持つ世代には、なかなか自分の守備範囲から出にくい一般的傾向が見られたと思う。

研究費については、特に大きな問題は感じなかったが、JICA の通常の技術協力プロジェクトでの支出方針と研究活動に対する支出には多少の違いがあつてしかるべきであるように感じた。特に、研究上、欠測が許されないことから、測定機器の盗難や不調に対する備えを十分しておくべきであるが、それについて理解を得るのは簡単ではなかったように思う。

本プロジェクトは、若手研究者の育成、特に国際人材の育成には大きく貢献したと考える。エジプト人については前述したが、日本側でも、本プロジェクトを経験した2人の研究員が、1人は大学教員として、他の1人は日本学術振興会特別研究員として活躍している。学生、院生も、多くの人々が、研究職の道に進み、あるいは海外協力の現場に職を求めた。特に学生、院生は、プロジェクトに参加するなかで、世界が抱えている課題について明確な問題意識を持ち、座学以外に、海外の困難な条件の中で生の現実について考えることの意味と難しさを肌で感じた。生の観測、測定記録を作り出す現場に付き合わせることでトレーニングを受け、成長した。学生がいろいろなところで英語での発表を行い、賞も取っているのは、彼らにとって励みになる。彼らの成長の機会を提供したのはプロジェクトであると考えている。

§9 PDM の変遷 (該当する場合)

該当なし。

以上。

JST成果目標シート

研究課題名	ナイル流域における食糧・燃料の持続的生産
研究代表者名 (所属機関)	佐藤政良 名誉教授 (筑波大学生命環境系)
研究期間	H20採択(平成21年4月1日～平成27年3月31日)
相手国名/主要研究機関	エジプト・アラブ共和国/カイロ大学

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> エジプトの水管理、農業に関する貢献で、日本のプレゼンスが向上 日本のコンサルタント会社、建設会社の活動機会の増大 JICAの他の水プロジェクトとのシナジー効果
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> 水管理技術、水政策(文理融合技術)の世界トップレベルへの発展
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> FAO用水基準改善への貢献
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> ポスドク研究者の現地長期滞在による国際人材の育成(2名) 学生による国際学会での発表(11件)、論文発表(2件)、関連分野企業への就職(3件)
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> 農業、水関係の研究ネットワークの構築(日本・エジプト間で初)
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> 灌漑方法と消費水量について掲載 デルタで推奨すべき節水栽培とその根拠について掲載 デルタ圃場における灌漑方法と用水の移動機構について掲載 水管理改善政策について政府に提言

SATREPS

上位目標

ナイルデルタ地域から周辺砂漠への水資源の移転が社会的に可能になり、限られた水資源量の下で最大限効率的で持続可能な農業生産システムが構築される。

エジプト政府が、本研究の考え方、方法論に基づいて、調査研究を進め、本研究成果の重要性を確認、水、農業政策に導入することにより、農民の能力開発が行われ、水不足に伴う社会的混乱が回避される。

プロジェクト目標

農業生産とそれに伴うマクロ・ミクロな水動態および塩類動態を解明し、持続的に20%以上の節水を実現する用排水管理・作付体系の方法を提言する。

