

課題名	1E-1101 アジア農村地域における伝統的生物生産方式を生かした気候・生態系変動に対するレジリエンス強化戦略の構築
課題代表者名	武内 和彦（国立大学法人東京大学 国際高等研究所サステナビリティ学連携研究機構(IR3S) 機構長）
研究実施期間	平成23～25年度
累計予算額	132,770千円（うち25年度40,852千円） 予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 気候・生態系変動、伝統的技術・知識、近代的技術・知識、レジリエンス、モザイクシステム、ホームガーデン・システム、介入オプション

## 研究体制

- (1)生物生産システムの気候・生態系変動への適応に関する研究(東京大学)
- (2)伝統的知識・技術を生かしたレジリエンス強化策に関する研究(国際連合大学)
- (3)生物多様性保全と調和した生物生産システムに関する研究(総合地球環境学研究所)

## 研究協力機関

ベトナム国家大学ハノイ校(ベトナム)、ガジャマダ大学(インドネシア)、ペラデニア大学(スリランカ)

## 研究概要

### 1. はじめに(研究背景等)

地球温暖化対策と生物多様性保全対策の相互関係を科学的に明確にし、両立するシステムづくりの方法論やそのための政策の確立を目指した研究が求められている。近年、国際的な気候変動対策では、「緩和策(mitigation)」だけでなく、「適応策(adaptation)」に関する議論が活発となっているが、これらはあくまでも気候変動対策のスコープのなかでの議論が中心であり、生物多様性保全対策との連携・協働は進んでいない。そのため、適応策の検討にあたっては、単に気候変動だけでなく、「気候・生態系変動」に対する適応を検討することで、気候変動対策と生態系変動対策の両立・融合を図る政策オプションを探る必要がある。また今日、国際的動向として、途上国の社会や生態系の脆弱性を低減してレジリエンス(回復力)を強化する、脆弱性対応型適応や生態系対応型適応のアプローチに対する要請が急速に高まっている。

農業(生物生産)分野は、気候・生態系変動の影響を受ける分野の中でも、とりわけ気温や水資源の変化を直接受けるだけでなく、生産基盤である生態系や生物多様性の変化を介した間接的な影響を受けやすい分野である。そのため、生物生産分野における気候・生態系変動に対するレジリエンス強化策を確立する必要がある。

また、東南アジアから南アジアにかけての地域では人口増加が著しく、将来的な経済成長や都市化と同時に、食料需要の大幅な増加が見込まれる。したがって、アジア農村地域での生物生産機能の向上と気候・生態系変動に対するレジリエンス強化は、食料安全保障を確保し、持続的な成長戦略を実現するうえでも不可欠である。

### 2. 研究開発目的

本研究は、ベトナム、インドネシア、スリランカの農村地域を主な対象に、アジア農村社会における気候・生態系変動やその他の社会・経済的脆弱性に対するレジリエンスを定量的に評価し、地域の生物多様性や伝統的な知識・技術を生かし、これに近代的な知識・技術を組み合わせたシステムをモザイクシステムと呼称し、農村地域のレジリエンスを総合的に強化する対策オプションを提示することで、農業生産の量及び品質双方を向上させる生物生産体系の確立と農村社会の持続可能な成長戦略を構築することを目的とする。

本研究は、「(1)生物生産システムの気候・生態系変動への適応に関する研究」、「(2)伝統的知識・技術を生かしたレジリエンス強化策に関する研究」、「(3)生物多様性保全と調和した生物生産システムに関する研究」からなる(図1)。また、本研究が研究対象としている、ベトナム、インドネシア、スリランカそれぞれについて、ベトナム国家大学ハノイ校(ベトナム)、ガジャマダ大学(インドネシア)、ペラデニア大学(スリランカ)との共同研究体制が構築されている。これにより、現地の実態に即した研究成果を得るとともに、本研究の研究成果が対象地域

に還元されることが期待される。

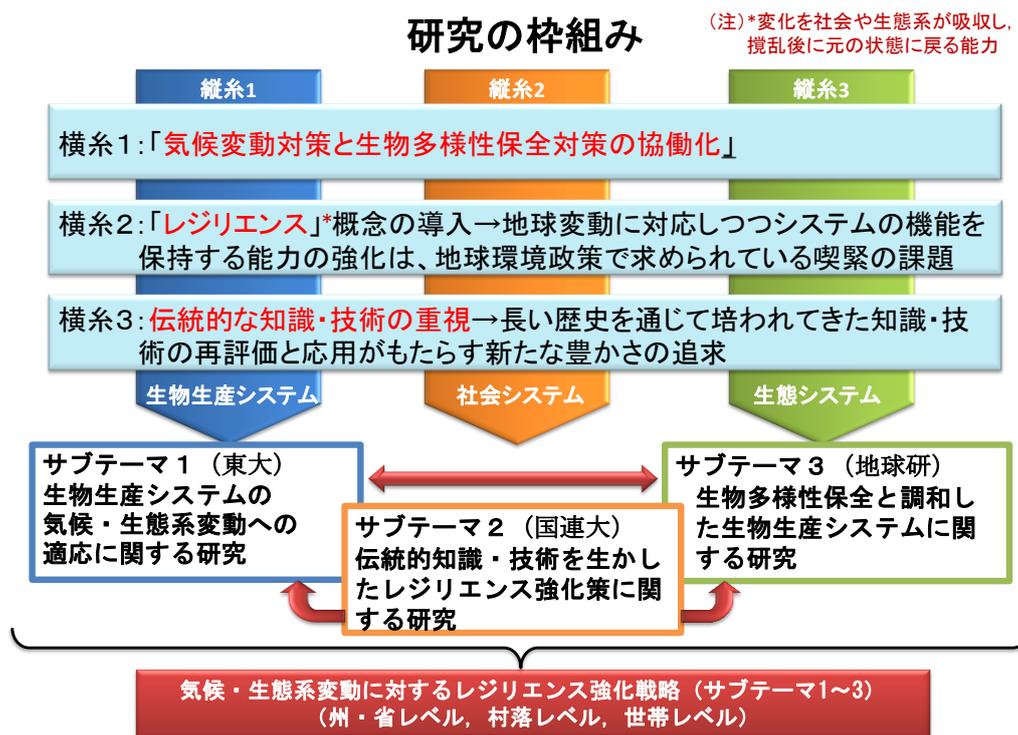


図1 本研究の枠組み

### 3. 研究開発の方法

#### (1) 生物生産システムの気候・生態系変動への適応に関する研究

本サブテーマは、気候変動が農業生産に与える影響および気候変動の農業生産体系に与える影響の二つに関して分析を行った。

気候変動のアジア農村地域における農業生産に与える影響に関しては、a.気候変動の稲作生産への影響、b.農業生産性の推計とそれへの気候変動への影響、について分析を行った。a.については、主に、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)による第4次評価報告書(AR4)の人為的な温室効果ガス排出シナリオ(SRES)のうちA2、B2シナリオに基づき対象国それぞれについて将来の気候変動予測を統計的ダウンスケーリング手法を用いて推計した。この予測結果に基づき、アジア地域の主要穀物の一つである米、すなわち稲作生産への影響を推計した。b.については、農業生産性の変化を総要素生産性(TFP)を推計し、分析した。

気候変動の農業生産体系に与える影響に関しては、実際の気象が農業生産体系、特にイネの品種選択に与える影響について把握をするため、ベトナム、南シナ海沿岸部の紅河流域Nahm Dinh省に位置するXuan Thuy国立公園周辺のコミュン(最少の行政単位)を調査対象地として選定した。具体的には、Giao Thien、Giao Xuan、Giao Huong、Giao Thanh、Giao Longの5つのコミュンが選定された。実際の気象が農業生産体系やイネの品種選択に与える影響等を考慮するため雨量計設置するとともに、過去12年間(2000-12年間)の自然災害等の発生状況と稲作を中心とする農業生産およびホームガーデン内の池での養殖生産量の変動やその要因について把握することを目的に現地調査を行った。

#### (2) 伝統的知識・技術を生かしたレジリエンス強化策に関する研究

本サブテーマでは、対象3ヶ国に共通するホームガーデン・システムと灌漑システムを対象とし、レジリエンス強化策のオプションを検討した。

ホームガーデンについては、まずホームガーデンからの生態系サービスの多様性が一般および特定レジリエンス能力(本研究におけるレジリエンス概念については、(3)を参照)を高めるという仮説を設定したうえで、現地研究者と共に開発した調査票による個別世帯訪問による聞き取り調査、村民などに対する半構造的インタビューによる情報収集を行った。研究対象国のホームガーデン・システムに関して、特にホームガーデンから得られる多様な生態系サービスの実態、現状での変化要因とその対応オプションに焦点を当ててデータ収集、解析を進めた。

灌漑の研究においては、まず新旧含む灌漑システムを扱う各現地水資源管理関係機関(灌漑局、マハウエリ

開発局、および中央工学コンサルタント局(CECB)を中心に議論を行い、それを基に水分配手順および運用上の観点に関する理解、現在の水分配実施法の向上方法を明らかにするための、近代的な灌漑システムの研究候補地を選定した。さらに、統合的な水資源管理システム(モザイクシステム)としての可能性のある伝統的な灌漑システムの抽出・選定を関係当局と協議によって進めた。これら現地各機関との議論の結果、スリランカでは三地区(①Kilinochchi, ②Mahaweli H, ③Deduru Oya)を選定し、現地調査、モデリングを基礎とし、水文モデル、経済分析、社会評価、リモートセンシング、地下水モデルなど学際的な枠組みで研究を行った。

### (3) 生物多様性保全と調和した生物生産システムに関する研究

本サブテーマでは、生物多様性保全と調和した生物生産システムに関してインドネシア、グヌン・キドゥル地域を主な事例に調査を行うとともに、レジリエンスの定量的な比較のための基準と指標を作り、定量的評価を実施した。

インドネシア、グヌン・キドゥル県はジョグジャカルタ特別州に属し、石灰岩台地で水が抜けやすいこと、乾季が長いことから、慢性的な水不足を経験してきた地域であり、気候変動の影響に対するレジリエンスの高い地域であり、調査地として選定した。グヌン・キドゥルのK村において、ホームガーデンやテガラ(混作地)、チーク樹林などを中心に調査、伝統的な生物生産システムに関する調査・分析を行った。また同地域にある主にスルタンの所有する土地で大規模に行われている産業植林HTI (Hutan Tanaman Industry)でのKayu Putih (Melaleuca leucadendron)、Sengon(Albizia chinensis)などの単一樹種造林地を対象に近代的な生物生産システムについて調査を行った。さらに介入オプション(介入オプションについては、以下で述べる)の有効性を明らかにするために、同地域において、世界的に導入されている森林認証評議会(Forest Stewardship Council)による小規模林を対象とする森林管理認証(グループ認証)を取得したD社に加盟しているチーク林組合を対象として、その認証導入による地域住民への波及効果について調査を行った。

アジア農村地域におけるレジリエンスの定量的な評価手法の開発のために、まずレジリエンスの概念整理を行い、最終的にレジリエンスを評価し、その強化戦略を構築する上で有効であるとして研究を進めることにした。すなわち本研究では、a)特定レジリエンス、b)一般レジリエンス、c)変容可能性、d)介入オプションの4つに着目する。そして3年間の研究機関中に蓄積したベトナム、インドネシア、スリランカの各サブテーマによる調査結果をもとに、アジア農村のレジリエンスを評価するための適切な基準・指標を抽出し、レジリエンスの定量的評価にむけた方法を検討した。これらに基づき、地域社会への影響を、気候や自然災害による変動・生態系変動、社会・経済変動の三つに分類し、それぞれ評価のための指標を作成し、それらを統合化しレジリエンス評価を行った。

## 4. 結果及び考察

### (1) 生物生産システムの気候・生態系変動への適応に関する研究

対象国それぞれについて、IPCC・AR4のSRES中でもA2、B2に基づいて行った気候変動予測と、その稲作生産への影響に関する分析結果から、3ヶ国ともコメ生産量の減少が両シナリオにおいて予測された。着目すべきこととして、スリランカのケースでは、伝統的な晩成品種のほうが気候変動影響による収量減少の程度が小さいことが示唆された。しかしながら伝統的な品種の場合、気候変動による影響は少ないものの、ハイブリッドや改良品種等のいわゆる近代品種に比して生産性が低いことが一般的に指摘される。これに対してハイブリッドライスのほうが通常の品種より生産性が高いことが指摘されているが、本研究対象国、特にベトナムにおける実際のハイブリッドライスの作付面積割合は小さい。要因としては、価格が通常品種より高く、さらにその性質上、毎年購入する必要があるなど生産コストが相対的に高くなること、当地で問題となっている気候変動や塩類遡上等に対応が難しいこと、すなわち生産変動が大きいことが予測されることなどがあげられる。これら伝統的品種の特性と近代品種の特性を組み合わせた場合に、気候変動影響に対してどの程度対応可能かを試験的に推計すると、伝統的品種を活用することを基本に、さらに近代的品種と組み合わせることで、気候変動に対するレジリエンスを高めることが可能であることが明らかとなった。

農業TFPを推計し、それへの気候の影響を明らかにするためにベトナムを対象に年間降水量、年間平均気温、との関係を推計すると、年間降水量については、ある一定の降水量までは農業TFPに対して正の影響を与えるが、それを超過すると負の影響を与えることが明らかとなった。次にベトナムにおける地域ごとの農業TFPを推計すると農業TFPが高い、いわゆる先進地域とそれ以外の地域に分けられ、前者に後者がキャッチ・アップしていくことでベトナム全体として農業TFPが上昇していくことが明らかとなった。また、一方でMekong Delta、Central Highlandsのような先進地域であっても効率性を向上させることによりTFPを上昇させることは可能であることが明らかとなった一方で、過度な効率性の追求は、気候・生態系変動に対し脆弱となることが予想される。

気候変動の農業生産体系、特にイネの品種選択に与える影響を把握するため、まず、紅河河口域のXuan Thuy国立公園周辺のコミュン、Giao Thien内の紅河堤防を基準に異なる距離にある9圃場を選択し、塩害の影響を調査した。2012年現在では、紅河デルタでの塩害は常態化しているわけではないものの、降水量が減少

する11月から5月の間に海水が河口から数10キロ上流まで侵入し(塩水遡上)、海岸に近い取水口が閉鎖されたり、取水口開放時間が短縮されたりする変化がみられた。本研究からコミュニケーションごとで作付する品種の選択が異なることが明らかとなった。また、近代品種から旧来の作付品種に戻す動きなども見られる。これは作付を行った結果、当該地に適合しない、あるいは塩害に対して弱いといった知見が得られ、それを反映した品種選択が行われていることを示唆する。また、必ずしも近代品種が採用され続けるわけではなく、農業特有の環境への適応可能性が、品種の選択に大きく作用していることが指摘できる。

またイネの収量調査と水田圃場での塩分測定の結果、顕著な塩害は見られなかったものの、圃場の場所による品種の選択が行われていた。河川の堤防近辺のように、塩害のリスクが高い圃場では、Nep Caoの作付けや、休耕が見られた。また、ハイブリッド米は施肥量を多く投入すると収量が高いものの、食味が悪く、近年開発された優良インブレッド品種の普及により、導入割合が季節とコミュニケーションにより変化してきている。

次に、より詳細な現地調査を行ったGiao Longコミュニケーションについて述べる。質問紙を使った調査から、特に2005年と2012年に大型の暴風雨が発生しており、強風による稲の倒伏や洪水により、同年の米収量が大幅に低下したことがわかった。また同品種の米でも、沿岸近くの低地での収穫量は海岸から離れた水田のそれに比べて少なく、また乾期よりも雨期の収穫量が最大で50%程度も減少することがわかった。このことから、対象地域の米の生産低迷は一般的な原因である水不足や水を田に入れるための灌漑設備の不備ではなく、水分過多によるものであり、特に低地の米の不作は排水不足によるものである可能性が高い。農業者の多くは、生活排水や高濃度の農薬・化学肥料を含んだ農業排水が滞留していることを「水質が汚染されている」と考えており、これは水田に隣接する川と海とを隔てる水門の開放頻度を高くし、排水が促されれば解消されると主張している。しかし、排水不良は海面上昇や海岸付近の地盤沈下または土壌浸食によるもので、単純に水門を開放しただけでは海水の流入が増加するだけである。対象地域では、長雨や大雨で水田や淡水養殖池が冠水しやすく、類似した排水問題を抱えるデルタ地帯において気候変動に対するレジリエンスを向上させるには、農地への盛土または、単純な開閉式水門に代替する強力な排水施設の設置が必要であると考えられる。

## (2) 伝統的知識・技術を生かしたレジリエンス強化策に関する研究

これまで生態学や経済学など個別の観点から研究されてきたホームガーデン・システムについて、各国の研究者とともに、より学際的に捉え文献レビューを行い、対象3カ国の比較研究を行うことで、各国のホームガーデン・システムの時空間スケール、構造や機能の特徴、そこから人々が享受している生態系サービスの種類、質と量、近年における同システムの変化動向とその要因を明らかにした。ホームガーデンは気候変動や国際市場価格の変化などショックに対しての一般レジリエンスを高める役割を果たしている。特に、スリランカではホームガーデンが国際的な認証制度を活用して、そこで生産したスパイスなどの産品を高付加価値で国際市場に販売するという新たなビジネスモデルが小規模ではあるが集落単位で進められつつあることが明らかとなった。また、このビジネスモデルでは、プランテーション化のような大規模化・集約化ではなく、あくまでも既存のホームガーデンを活用した小規模農家の経営改善が図られており、結果として伝統的なホームガーデンが地域において空間モザイク状に維持され、それによって地域ランドスケープ全体の生物多様性が保全されていることが明らかとなった。

一方、Deduru Oyaはスリランカで6番目に大きい集水域であるが、現在約60%の水が利用されないまま海に排水されている。現在灌漑局がおこなっているDeduru Oyaプロジェクトでは、そのような水を有効活用し、特に乾燥地などの水不足の解消のためにダム建設などのインフラ整備を政府が行っている。Deduru Oyaプロジェクトでは、伝統的な灌漑と近代的な灌漑を組み合わせた以下の3つのシステムが計画されている。すなわち(a)ダムや新たに敷かれた水路などを含む近代的灌漑システムを実施している地区、(b)近代的灌漑と伝統的システムが別々に共存している地区、さらに(c)ダムなど近代的システムによって伝統的なシステムを強化(後者に対して給水するなど)、である。これに基づき伝統的タンクシステムと新貯水池(近代的システム)のモザイクシステムの有効性を検討したスリランカのデドウルオヤ地域の水管理に関する分析を実施すると、(ア)伝統的なシステムのみでは既存および新しい稲作生産への灌漑需要には応えることができない、(イ)新貯水池は通常年ではすべての需要に応えることができるが、渇水年(5年に1度の頻度)においては不十分、(ウ)新貯水池と伝統的タンクの組み合わせはこれを向上させるが、もし水分配がそれぞれに行われた場合、水需要には応えることができない、ということが明らかとなった。しかしながら特に渇水年9月の共同管理を実施し、伝統的タンクから優先的に利用し、新貯水池と相互補完的に運用する事で総水需要量に対応できることが示唆される。実際のオペレーションの評価を行うには、小規模伝統タンクへの流量を推定することが不可欠である。過去のデータの取得が不可能であったため、貯水池への流量予測モデルを開発しこれを実施した。この情報をもとにWEAPモデルで水需要に対する供給度を算出した結果、新貯水池が完成すれば、渇水年においても75%程の水需要には応えることが分かった。特に渇水年の9月では、伝統貯水タンクと新貯水池を足しても需要量には応えられないという結果になった。しかしながら、これらに対して伝統的タンクと新貯水池を統合的に管理した場合はそれらの需要に100%供給できるという結果となった。

以上にに基づき2014年2月に、東京およびコロンボ(スリランカ)にて最終ワークショップを開催し、本研究成果の統合のあり方と環境政策へ貢献のあり方について討議した。これらに基づき、スリランカ灌漑局とMoU(覚書)を締結し、モニタリングを含む今後の継続した水管理手法の開発や研究、また研究成果の政策への活用などに関して同意をえた。また北部キリノチ地域での政策へ地下水に関する研究の活用に関しても地方政府と連携して行うことになった。

### (3) 生物多様性保全と調和した生物生産システムに関する研究

調査村の位置するグヌン・キドゥルは、長年渇水に悩まされてきた地域である。また石灰岩台地からなるために水がたまりにくい。ただし、住民にとっては、降水量の少なさよりも乾季の長さの方が、農業を行う上で影響が大きい。一方で、雨期には降水量が多く、短期的な豪雨もショックをもたらしている。また、毎年の乾季や気象現象の他に自然災害として、地震をあげる住民もいた。最近では2006年のジャワ中部地震の影響も受けた世帯もあり、三軒の家が倒壊したという。自然災害の他に、社会制度の変化も村人に大きな影響をもたらしている。過去にはスカルノ体制からスハルト体制への移行期にグヌン・キドゥル地域に多かったといわれる共産党員が迫害を受けたという。その後のスハルト体制の崩壊、アジア通貨危機や近年の地方分権化による村人への影響も大きい。

村に多くみられるチーク林は、村人にとってレジリエンスをもたらす重要な資源である。チークの生育は、石灰岩土壌や乾季のある気候に適しており、チーク園(Kebun Jati)、屋敷林(Pekarangan)、畑、田の畦など、さまざまな場所に植えられている。また、民有林(Hutan Rakyat)におけるチークなどの生態資源が生業の中心を担い、住民のセイフティーネットになっているとともに、民有林の植生が生物多様性保全にも寄与し、この地域の社会生態レジリエンスを高める役割を果たしていることが明らかとなった。

近年、Kayu Putih(Melaleuca leucadendron)の大規模造林が拡大している。調査村では、2000年頃から産業造林HTI(Hutan Tanaman Industry)が始まっている。村周辺のスルタンに帰属する土地において、古くはチーク林だったところに、林業公社がチーク伐採後にKayu Putihを植林している。Kayu Putihは葉や枝からエッセンシャルオイルを採取するため、低木で管理されている。そのため土壌流出や境外への持ち出しが懸念されている。

本研究では、介入オプションの一例として森林認証制度に注目して調査・分析を行った。住民にとって森林認証に加盟する大きなメリットとしては、認証材のプレミアムがあげられる。非認証材と比べて15~35%高い。また材販路の拡大、伐採後のチーク苗の提供などのサービスを受けることができる。さらに現在インドネシア政府が合法木材認証を実施するようになり、その認証取得の支援も受けることができることも住民にとっては利点である。

森林認証制度では、保護価値の高い森林(High Conservation Value Forest)の保全という基準を守る必要があることから、同地域の生態調査を行い、生物多様性の高いエリアを明らかにし、稀少・絶滅危惧種などのリストを作成し、モニタリングのシステムを構築している。水源林や慣習林、洞窟などの保全を支援し、住民にとって重要な文化的なサイトの保護も同時に行っている。個々の住民グループでは難しい、環境モニタリング、生物多様性調査などをNGO等と協働で行い、環境調査を行い、希少種や絶滅危惧種の保全に一役買っている。

以上、森林認証制度という介入オプションを検討したが、認証材の需要が安定しないことや、農薬や肥料利用の規制が厳しいこと、事務作業が煩雑である等の課題もあるが、うまく機能すれば、チークの安定した生産が続くことで生物多様性の保全、そして住民の収入向上にもつながり、地域のレジリエンスの強化にもつながる有効な介入オプションとして考えられる。

これまでの研究成果のとりまとめとして、研究対象国であるベトナム、インドネシア、スリランカ各国について、調

査結果を整理・統合し、それぞれについてレジリエンスの定量的評価を試みた。三カ国共通の変動要因として、気候/自然災害、生態系変動、社会経済的変動の三つがあることが本研究を通じて明らかとなっている。また、本研究から明らかとなったこととして、特に社会経済的変動に対応して農業生産を含むいわゆる伝統的システムが近代的システムへ変貌する、あるいは近代的システムが新たに導入されるなどが生じているが、先の三つの変動に対してはそれら伝統的システムと近代的システム双方のよいところを活かすべく組合せ、さらにそれらをより一層強固なものとするための何らかの介入、すなわちモザイクシステムの構築を行うことで、よりレジリエントなシステムとすることが可能であることが指摘できる。各研究対象国・地域における研究成果に基づきそれぞれの指標について三段階での評価を行い、それらを総計した。この評価基準に基づき、各国について評価を行ったものが表1である。研究対象国・地域、それぞれに伝統的システムと近代的システムを有しているが、それらを組み合わせ、本研究の研究成果に基づく介入オプションを実施し、伝統的技術・知識と近代的技術・知識を組み合わせたモザイクシステムを構築することにより、より高いレジリエンスを達成することができる可能性があることが指摘できる。すなわちモザイクシステムを実現することで、よりレジリエントな社会を実現することが可能となることが期待される。

表1 調査対象国におけるレジリエンス評価

調査地区	気候・生態系/社会経済変動	システム	ショックに対する対応	レジリエンス評価(現状)	介入オプション	レジリエンス評価(介入オプション後)	
<b>ホームガーデン</b> ベトナム インドネシア スリランカ	<ul style="list-style-type: none"> <li>洪水/長乾季/降雨パターン変動/病虫害/塩水遡上</li> <li>国際市場対応/市場経済浸透</li> </ul>	VAC/プカランガン/キャンディアン・ホームガーデン	<ul style="list-style-type: none"> <li>換金作物、商業的家畜生産</li> <li>食料自給</li> </ul>	気候・自然災害:8 生態系:7 社会経済:2	<ul style="list-style-type: none"> <li>認証制度利用</li> <li>共同体形成</li> <li>複合生産による物質循環強化</li> <li>セーフティネット機能強化</li> </ul>	気候・自然災害:8 生態系:8 社会経済:7	23
<b>ベトナム</b> スウアン トウイ	<ul style="list-style-type: none"> <li>暴風雨・洪水</li> <li>病虫害</li> <li>塩水遡上</li> <li>国際市場対応</li> <li>市場経済浸透</li> </ul>	VAC	<ul style="list-style-type: none"> <li>商業的家畜生産</li> </ul>	気候・自然災害:8 生態系:5 社会経済:6	<ul style="list-style-type: none"> <li>認証制度利用</li> <li>VACと稲作との組み合わせによる経営安定化</li> <li>伝統・近代的品種の組み合わせ</li> <li>品質改善</li> </ul>	気候・自然災害:8 生態系:5 社会経済:8	21
		稲作	<ul style="list-style-type: none"> <li>灌漑取水口の上流移動</li> <li>品種選択</li> </ul>	気候・自然:4 生態系:3 社会経済:4			
<b>インドネシア</b> グヌンキドゥル	<ul style="list-style-type: none"> <li>長乾季</li> <li>小雨・降雨パターン変動</li> <li>洪水</li> <li>国際市場対応</li> <li>市場経済浸透</li> </ul>	社会林業/プカランガン	<ul style="list-style-type: none"> <li>生業多様化</li> <li>生物多様性</li> </ul>	気候・自然災害:8 生態系:5 社会経済:7	<ul style="list-style-type: none"> <li>森林認証制度利用</li> <li>資源管理システム構築</li> <li>産業植林のアグロフォレストリー化</li> </ul>	気候・自然災害:9 生態系:5 社会経済:8	22
		産業植林	<ul style="list-style-type: none"> <li>高付加価値木材販売</li> </ul>	気候・自然災害:3 生態系:2 社会経済:6			
<b>スリランカ</b> キリノチ デドゥルオヤ マハウエリ H	<ul style="list-style-type: none"> <li>乾燥・少雨化</li> <li>内戦による灌漑インフラの破壊</li> <li>国際市場対応</li> <li>市場経済浸透</li> </ul>	伝統的貯水タンク	<ul style="list-style-type: none"> <li>古代灌漑システム修復/利用</li> <li>多機能性</li> </ul>	気候・自然災害:5 生態系:9 社会経済:6	<ul style="list-style-type: none"> <li>新旧灌漑システムの統合</li> <li>共同体形成</li> <li>干ばつを避けるための適正資源管理システム</li> </ul>	気候・自然災害:9 生態系:9 社会経済:8	26
		新灌漑システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>効率的利用</li> <li>協働管理</li> </ul>	気候・自然災害:5 生態系:3 社会経済:5			

## 5. 本研究により得られた主な成果

### (1) 科学的意義

- ・ 従来の理論研究を踏まえた上で、概念のみでなく、具体的にレジリエンスを評価・分析するフレームワークを構築し、現地調査・分析を行い事例に即して具体的な強化戦略を構築した
- ・ 緑の革命の成功体験に基づく品種改良での対応とは異なる、気候変動に対してより対応可能な伝統品種を基本的に活用し、さらに近代品種を組み合わせることで気候・生態系変動適応戦略の構築可能性を現地調査および統計分析より明らかとした
- ・ 気候・生態系変動あるいは社会経済変動に対して、ホームガーデン・システムが一般レジリエンスの高いシステムであることを明らかにした。他方、ホームガーデン・システムは、固有の自然的・社会経済的変動に対応し、その特徴を強化することで、よりレジリエントなシステムへと変容していることを明らかにした
- ・ ベトナムにおけるVACシステムと稲作、インドネシアにおけるプカランガンと産業植林、およびスリランカの伝統的タンクと新貯水池にみるように、伝統的システムと近代的システムを統合したモザイクシステムにより、従来の技術開発による対応とは異なる生態系サービスに依拠したレジリエンス強化策が構築できることを明らかにした

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

- ・ 気候変動適応対策と生物多様性対策の両立・シナジーについて(環境政策に活用できる新たな知見・技術・提言1)  
地球温暖化対策と生物多様性保全対策の相互関係を科学的に明確にし、両立するシステムづくりの方法論やそのための政策の確立を目指した研究が求められている。しかしながら、両者が密接に関連することは明らかであるにも関わらず、それぞれが独立して扱われており、地球温暖化対策と生物多様性保全対策の連携・協働は進んでいない。「気候・生態系変動」に対する適応を検討することで、気候変動適応対策と生物多様性対策の両立を図る政策オプションを探る必要がある。
- ・ アジア農村地域における伝統的生物生産方式を生かした気候・生態系変動に対するレジリエンス強化戦略について(環境政策に活用できる新たな知見・技術・提言2)  
開発途上国における気候・生態系変動に対する脆弱性が認識され、それに対する適応策の確立が求められている。これに対して近年、レジリエンスが着目されるものの、気候・生態系変動に対する適応研究に応用することで、従来の適応策が具体的にどう変わりうるかを示す、具体的な研究は世界的にもほとんどなされていない。本研究からアジア農村地域において、伝統的生物生産方式、近代的生物生産方式の双方に対する、あるいは両者を統合する介入オプションを通じてレジリエンスを強化する可能性を明らかとなった。
- ・ 気候・生態系変動のレジリエンス強化戦略とグリーン・エコノミーの両立について(環境政策に活用できる新たな知見・技術・提言3)  
「国連持続可能な開発会議(リオ+20)」では、「持続可能な開発及び貧困撲滅の文脈におけるグリーン経済」が主要テーマの一つとされ、「国連ミレニアム開発目標」の後継、補完としての「持続可能な開発目標」でも取り上げられている。こうした概念を踏まえて、概念を具現化する具体的な提案が望まれる。本研究では、「気候変動および生態系変動に対するレジリエンス強化」、「関連するステークホルダーの参画による新しい自然資源の共同管理の仕組みであるニュー・コモンズ」、「生産される農産物に対する付加価値を付与することによる新しいビジネスモデル」によるグリーン経済の構築を提案した。
- ・ 伝統的知識・技術と近代的知識・技術の組み合わせによるモザイクシステムの構築について(環境政策に活用できる新たな知見・技術・提言4)  
伝統的知識・技術と近代的知識・技術を組み合わせることで、双方のメリットを生かし、デメリットを最小化したモザイクシステムが構築される。これにより気候・生態系変動に対してレジリエントとなるだけでなく、市場経済

への対応も考慮された農業生産に限らない、コミュニティあるいは社会としてレジリエントなシステムを提案することが可能となる。

- ・ 伝統的灌漑システムと近代的灌漑システムの統合の提案と社会実装環境政策に活用できる新たな知見・技術・提言5)

本研究が提案したモザイクシステムは、提案のみにとどまらず、伝統的灌漑システムと近代的灌漑システムの統合によるモザイク灌漑システムが、実際に、スリランカにて社会実装された。各貯水池における詳細な河川流量の分析、さらに伝統的タンクと新貯水池を組み合わせて運用する全体システムに関するモデルを構築し、時に、共同管理オプションについても研究し、方法論およびガイドランを作成した。これらに基づき、スリランカ灌漑局と覚書を締結し、本研究成果を活用することに合意された。

## 6. 研究成果の主な発表状況(別添.作成要領参照)

### (1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) Dharmarathna, W.R.S.S., Weerakoon, S. B. and Herath, S. (2012) Application of decision support system for agrotechnology transfer (DSSAT) model to optimize irrigated paddy cultivation under changing hydro-climate, *Transactions of IESL*, 1, 207-211.
- 2) Sanjeewa, S., Herath, S. and Weerakoon, S.B. (2012). Changing the planting date as a climate change adaptation strategy for rice production in Sri Lanka. *Sustainability Science* (Accepted).
- 3) 鴨下 顕彦 (2011). 「イネ (*Oryza sativa* L.) の耐乾性改良研究の現状」日本作物学会紀事、80、1-12.
- 4) Nguyen, T.B.Y., Kamoshita, A., Araki, Y. and Ouk, M. (2013) Water availability, management practices and grain yield for deepwater rice in Northwest Cambodia, *Field Crops Research*, Vol. 152, 44-56.
- 5) Mohri H, Lahoti S., Saito O., Mahalingam A., Gunatilleke N., Irham, Thang Hoang V., Hitinayake G., Takeuchi K. and Herath S. (2013) Assessment of ecosystem services in homegarden systems in Indonesia, Sri Lanka, and Vietnam. *Ecosystem Services* 5, 124-136.
- 6) Kume, T., Naito, D. and Abe, K. (2013) Building Social-Ecological Resilience of Coastal Agricultural Fields to Natural Disasters”, *International Research Journal of Humanities and Environmental Issues* (Accepted)
- 7) Avtar R, Herath S, Saito O, Gera W, Singh G, Mishra B, and Takeuchi K (2013) Application of remote sensing techniques toward the role of traditional water bodies with respect to vegetation conditions, *Environ Dev Sustain*, 1-17.
- 8) Dharmarathna, W.R.S.S., Herath, S. and Weerakoon, S. B. (2014), Changing the planting date as a climate change adaptation strategy for rice production In Kurunegala district, Sri Lanka, *Sustainability Science*, Springer, ISSN 1862-4065, Vol. 9, No. 1, 103-111.
- 9) Wong P. and Herath S. (2014): Equity in bulk water allocation: the case of the Mahaweli Ganga Development Project in Sri Lanka, *International Journal of Water Resources Development*, DOI: 10.1080/07900627.2014.882196
- 10) 内藤大輔 「地域住民の生変容からみる商業伐採と森林認証制度」、*東南アジア研究* (印刷中)

<査読付論文に準ずる成果発表> (対象:社会・政策研究の分野)

- 1) Kume, T. et al. (Eds.), Springer Japan, Tokyo (in editing/ book proposal accepted)(2011). “Building Resilience to Tsunami in Coastal Asia: Lessons from the Indian Ocean Tsunami.”
- 2) 内藤大輔: 「科学的林業と地域住民による林業」市川昌広、祖田亮次、内藤大輔編『ボルネオの<里>の環境学』人文書院(2013)
- 3) Saito, O. and Ichikawa, K. (2014, forthcoming) Socio-ecological systems in paddy-dominated landscapes in Asian Monsoon. In Miyashita, N., Nishikawa, U. et al. (ed.) *Social-Ecological Restoration*, Springer.

### (2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) Takeuchi, K. 12th Delhi Sustainable Development Summit Protecting the Global Commons: 20 Years Post Rio, New Delhi, India, 2012. “Biodiversity, Ecosystem and a Nature-Harmonious Society.”

- 2) Takeuchi, K. Planet Under Pressure, London, U.K, 2012 “Assessment of Biodiversity and Ecosystem Service Changes: Reflections on JSSA and IPBES.”
- 3) Takeuchi, K. Rio+20 Side Event by Japanese Government, Rio de Janeiro, Brazil, 2012. “Developing a Green Economy: the Role of Socio-Ecological Production Landscapes.”
- 4) Matsuda, H., Nakajima, T. and Riffin, A. The Australian Agricultural and Resource Economics Society (AARES) 2012 Annual Conference, Fremantle, Australia, 2012. “Agricultural Research and Development Activities in Indonesian Public Sector.”
- 5) Takeuchi, K. IPBES-1, Bonn, Germany, 2013 “A Framework for Integrating Local and Indigenous Knowledge (LINK) in Scientific Assessments in IPBES, Indigenous and Local Knowledge in IPBES – Building Synergies with Science”
- 6) Saito, O., Landreth N., Kawasaki J., Mohri H., Hitinayake, G., and Gunatilleke, N. 2013 Ecosystem Services of Kandyan Homegarden Systems and Rural Livelihood under Climate and Ecosystem Changes in Sri Lanka, Proceedings of 41st Annual Meeting of Environmental Systems Research 2013, pp.357-364
- 7) Kawsaki, J., Saito, O., Landreth, N., Mohri, H., Hitinayake, G., Gunatileke, N., Fernando, S. and Herath, S. 2013 Kandyan Homegarden Systems and Rural Livelihood Under Climate and Ecosystem Changes, Conference on Sri Lanka Japan Collaborative Research – 2013 (SLJCR-2013) “Kandyan Homegarden Systems and Rural Livelihood Under Climate and Ecosystem Changes”
- 8) Avtar, R and Herath, S. Use of remote sensing techniques to study role of traditional water bodies with respect to vegetation conditions and groundwater recharge, Conference on Sri Lanka Japan Collaborative Research – 2013 (SLJCR-2013) “Use of remote sensing techniques to study role of traditional water bodies with respect to vegetation conditions and groundwater recharge”
- 9) Herath, S., Mohri, H., Wong, P., Binaya, M., Sampath D.S., Weerakoon S.B and Atapattu, S. 2013 Traditional and modern agriculture mosaic system for improving resilience to climate change, Conference on Sri Lanka Japan Collaborative Research – 2013 (SLJCR-2013)
- 10) Dharmarathna, W.R.S.S.,Weerakoon, S.B. and Herath, S. Climate Change Impacts on Rice Production in Kurunegala District and Selected Adaptation Measures, Conference on Sri Lanka Japan Collaborative Research – 2013 (SLJCR-2013)
- 11) Kume, K., Naito, D. and ABE, K. International Research Conference on Safety, Hazardous and Disaster Management (IRCSHDM), Thailand, 2013 “Building Social-Ecological Resilience of Coastal Agricultural Fields to Natural Disasters”
- 12) Naito, D. International Workshop on Forestry and Local People: Toward A Joint Use and Management of Tropical Rain Forest, Indonesia, Universitas Tanjungpura Pontianak, Indonesia, 2013 “Forest Certification and Local Communities”
- 13) Mohan, G. and Matsuda, H. International workshop on Strategy to Enhance Resilience to Climate and Ecosystem Changes Utilizing Traditional Bio-Production Systems in Rural Asia held at Vietnam National University, Vietnam, 2013 “Regional Level Total Factor Productivity Growth and Its Determinants in Vietnam Agriculture.”
- 14) Mohan, G. and Matsuda, H The Fourth International Conservation Agriculture Conference in Southeast Asia on producing more while enhancing ecosystem services, The University of Battambang, Battambang, Cambodia, 2013 “Effects of Conservation Agriculture Practices on Rice Yield in Kurunegala District in Sri Lanka.”
- 15) Naito D. International Workshop on Forestry and Local People: Toward A Joint Use and Management of Tropical Rain Forest, Indonesia, Universitas Tanjungpura Pontianak, Indonesia, 2013 “Forest Certification and Local Communities,”
- 16) 小山浩実・松田浩敬・Bich, Y. T.・Dinh, V. T. H.・黒倉 寿・鴨下顕彦 日本熱帯農業学会, 2014 「ベトナムの子どもの農業観に関する予備的な研究ーゲームによる公共性と授業による態度変容の解析ー」
- 17) 小山浩実・鴨下顕彦・松田浩敬・黒倉 寿・Bich, Y. T.・Dinh, V. T. H.・Roat, M. 日本熱帯農業学会, 2014 「ベトナムとカンボジアの子どもの農業イメージの比較」

## 7. 研究者略歴

課題代表者: 武内 和彦

東京大学理学部地理学科卒業、農学博士、現在、東京大学 国際高等研究所サステナビリティ学  
連携研究機構 機構長、教授

研究分担者

1) 黒倉 壽

東京大学農学部水産学科卒業、現在、東京大学大学院農学生命科学研究科 教授

2) 鴨下 顕彦

東京大学農学部農業生物学科卒業、現在、東京大学アジア生物資源環境研究センター 准教授

3) スリカーンタ・ヘーラト

現在、国際連合大学サステナビリティと平和研究所 学術審議官

4) 齊藤 修

早稲田大学政治経済学部政治学科卒業、現在、国際連合大学サステナビリティと平和研究所 学術  
研究官

5) 阿部 健一

京都大学農学部農林生物学科卒業、現在、総合地球環境学研究所研究推進戦略センター 教授

6) 内藤 大輔

京都大学大学院アジア・アフリカ地域研究研究科卒業、現在、総合地球環境学研究所 特任助教

## 1E-1101 アジア農村地域における伝統的生物生産方式を生かした気候・生態系変動に対するレジリエンス強化戦略の構築

### (1) 生物生産システムの気候・生態系変動への適応に関する研究

国立大学法人 東京大学

サステナビリティ学連携研究機構 (IR3S) 武内 和彦

サステナビリティ学連携研究機構 (IR3S) 福士 謙介

サステナビリティ学連携研究機構 (IR3S) 只見 康信

大学院農学生命科学研究科 黒倉 壽

大学院農学生命科学研究科 鴨下 顕彦

平成23(開始年度)～25年度累計予算額：65,850千円

(うち、平成25年度予算額：20,261千円)

予算額は、間接経費を含む。

#### [要旨]

本研究は、ベトナム、インドネシア、スリランカの農村地域を主な対象に、アジア農村社会における気候・生態系変動やその他の社会・経済的脆弱性に対するレジリエンス（回復能力）を定量的に評価し、地域の生物多様性や伝統的な知識・技術を生かして農村地域のレジリエンスを総合的に強化する対策オプションを提示することで、農業生産の量及び品質双方を向上させる生物生産体系の確立と農村社会の持続可能な成長戦略を構築することを目的とした。本研究を通じて、緑の革命の成功体験に基づく品種改良での対応とは異なる、気候変動に対してより対応可能な伝統品種を基本的に活用し、さらに近代品種を組み合わせることで気候・生態系変動適応戦略の構築可能性を現地調査および統計分析より明らかとした。また、これまでに報告がほとんどなかったベトナム紅河デルタでの塩水遡上の問題、および、気象データの経年分析を初めて行った。塩水遡上による塩害や、台風などによる気象災害の影響を多く受ける時期や圃場の場所を特定した。また、紅河デルタにおいても気温の上昇の経年変化の傾向を定量的に示した。さらにベトナム・ナムディン州における国立公園の制定に伴う、緩衝地帯コミュニティについて、その生物生産に関する特徴を、緩衝地帯の外側の通常のコミュニティのそれと比較を初めて行った。その結果、経営の多角化、水産、収入、外部からの支援プロジェクトに関して、緩衝地帯コミュニティの特色を明らかにした。また気候変動に起因する極端現象と実際の農業生産量とリンクさせることで、気候変動の地域特異的な影響を分析することが可能となった。

#### [キーワード]

気候・生態系変動、塩類遡上、伝統的技術・知識、近代的技術・知識、紅河デルタ

#### 1. はじめに

本研究は、ベトナム、インドネシア、スリランカの農村地域を主な対象に、アジア農村社会に

おける気候・生態系変動やその他の社会・経済的脆弱性に対するレジリエンス（回復能力）を定量的に評価し、地域の生物多様性や伝統的な知識・技術を生かして農村地域のレジリエンスを総合的に強化する対策オプションを提示することで、農業生産の量及び品質双方を向上させる生物生産体系の確立と農村社会の持続可能な成長戦略を構築することを目的とする。

近年、国際的な気候変動対策では、「緩和策 (mitigation)」だけでなく、「適応策 (adaptation)」に関する議論が活発となっているが、これらはいくまでも気候変動対策のスキームのなかでの議論が中心であり、生物多様性保全対策との連携・協働は進んでいない。例えば、生物多様性条約第10回締約国会議の決議（生物多様性と気候変動）でも、各国に対し生態系の管理実施に当たっては、生物多様性条約と気候変動枠組み条約等の目的にあった整合的な取り組みを求めている。そのため、適応策の検討にあたっては、単に気候変動だけでなく、「気候・生態系変動」に対する適応を検討することで、気候変動対策と生態系変動対策の両立・融合を図る政策オプションを探る必要がある。

一方、レジリエンス（回復能力）とは、何らかの攪乱に対して、システムがそれを吸収し、機能や構造を維持する能力を示す概念であり、1973年にC. S. Hollingが生態学の概念として提唱した。その後、生態経済学のグループが社会生態レジリエンスとして展開した。定常的な状態のもとで工学的な最適化や効率化を追求するこれまでの資源管理アプローチに対し、レジリエンスの視点からは、常に動的に変化する状況のなかで社会生態システムの機能をいかに維持するか、そのためのオプションと変化に応じた自己再編が重視される。この概念を気候・生態系変動に対する適応研究に応用することで、従来の適応策が具体的にどう変わりうるかについての実証的な研究は世界的にもなされていない。また今日、国際的動向として、途上国の社会や生態系の脆弱性を低減してレジリエンスを強化する、脆弱性対応型適応や生態系対応型適応のアプローチに対する要請が急速に高まっている。

農業（生物生産）分野は、気候・生態系変動の影響を受ける分野の中でも、とりわけ気温や水資源の変化を直接受けるだけでなく、生産基盤である生態系や生物多様性の変化を介した間接的な影響を受けやすい分野である。そのため、生物生産分野における気候・生態系変動に対するレジリエンス強化策を確立する必要がある。

また、東南アジアから南アジアにかけての地域では人口増加が著しく、将来的な経済成長や都市化と同時に、食料需要の大幅な増加が見込まれる。したがって、アジア農村地域での生物生産機能の向上と気候・生態系変動に対するレジリエンス強化は、食料安全保障を確保し、持続的な成長戦略を実現するうえでも不可欠である。

## 2. 研究開発目的

以上のような本研究の目的とその背景の下、サブテーマ1「生物生産システムの気候・生態系変動への適応に関する研究」は、アジア農村地域を対象として商業的大規模農業生産を中心とした農業生産体系に対する気候・生態系変動及び社会・経済システムの定量的な影響・脆弱性評価をマルチスケールで行い、そのうえで気候・生態系変動及び社会・経済変動に対するレジリエンスの高い農業生産体系と経営体系のオプションを提示することを目的としている。

### 3. 研究開発方法

上記の目的を達成するため、特に本サブテーマでは、より詳細な分析を行うことを目的にベトナムに着目し、「(1) 気候変動が農業生産に与える影響」および「(2) 気候変動の農業生産体系に与える影響」の二つに関して分析を行った。

#### (1) 気候変動が農業生産に与える影響

気候変動のアジア農村地域における農業生産に与える影響に関しては、a. 気候変動の稲作生産への影響、b. 農業生産性の推計とそれへの気候変動への影響、について分析を行った。

まず、a. 気候変動の稲作生産への影響、については、主に、気候変動に関する政府間パネル (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change) による第4次評価報告書 (AR4: Fourth Assessment Report) の人為的な温室効果ガス排出シナリオ (SRES: Special Report on Emission Scenarios) に基づき対象国それぞれについて将来の気候変動予測を統計的ダウンスケーリング手法を用いて推計した。用いたシナリオは、多元化社会シナリオとよばれるA2シナリオと地域共存型社会シナリオをよばれるB2シナリオである。A2シナリオでは、政治・経済のブロック化 (貿易・人・技術の移動制限) と環境への関心が相対的に低下 (CO2排出量増大継続・3.4°C (2.0~5.4°C) の上昇 (2100年まで)) が想定され、B2シナリオでは、地域的な問題解決や世界の公平性重視、経済成長はやや低め、環境問題等は各地域で解決 (CO2排出量増大継続・2.8°C (1.4~3.8°C) の上昇 (2100年まで)) が想定されている。この予測結果に基づき、アジア地域の主要穀物の一つである米、すなわち稲作生産への影響を推計した。

b. 農業生産性の推計とそれへの気候変動への影響、については、農業生産性の変化を総要素生産性 (TFP: Total Factor Productivity) を推計し、分析した。特にベトナムについては、フィールド調査に基づく詳細な分析を行っていることから、それとの連携を考慮し、地域別の推計を実施した。

TFP、総要素生産性は、全要素生産性とも呼称され、労働や資本、土地、経常財といった全ての生産要素と産出量との比率、すなわちある一定の生産要素のもとでどれだけ多くの生産物を産出できるかを表す。本研究では、TFPの変化をマルムクイスト生産性指数 (Malmquist Productivity Index) により求めた。これを農業TFPと呼称する。

まず、マルムクイスト生産性指数を求めるにあたり投入距離関数 (Input Distance Function) を定義する必要がある。投入距離関数は、技術水準を所与とした場合、観測されたインプットとアウトプットの組み合わせに関して、アウトプットを減少させることなく縮小可能なインプットの倍率の逆数と定義される。t期の技術水準の下での投入距離関数 $d_t$ は、インプットベクトルを $x_t$ 、アウトプットベクトルを $y_t$ とすることで以下のように示すことができる。

$$d_t(x_t, y_t) = \max\{\lambda: (x_t/\lambda, y_t) \in P_t\} \quad (1)$$

ここで、 $\lambda$  ( $(x_t/\lambda, y_t) \in P_t$ ) はが実現可能な最大値、 $P_t$ は、t期の生産可能性集合を表す。投入距離関数は、インプットの過不足がなく効率的な生産が達成されている場合 $\lambda=1$ 、インプットが過剰である場合 $\lambda > 1$ 、インプットが不足している場合 $\lambda < 1$ となる。

(1) の投入距離関数を用い、t期の生産フロンティア上でt+1期のインプットとアウトプット

の組み合わせを評価したもの、 $t+1$ 期の生産フロンティア上で $t$ 期のインプットとアウトプットの組み合わせを、 $t+1$ 期のインプットをアウトプットの組み合わせを評価したものをそれぞれ表すと以下のようなになる。

$$d_t(x_{t+1}, y_{t+1}) = \max\{\lambda: (x_{t+1}/\lambda, y_{t+1}) \in P_t\} \quad (2)$$

$$d_{t+1}(x_t, y_t) = \max\{\lambda: (x_t/\lambda, y_t) \in P_{t+1}\} \quad (3)$$

$$d_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}) = \max\{\lambda: (x_{t+1}/\lambda, y_{t+1}) \in P_{t+1}\} \quad (4)$$

以上を用いることで、Caves, Christensen and Diewert (1982; Caves, D. W., Christensen, L. R. and Diewert, W. E. (1982), "The Economic Theory Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity," *Econometrica*, Vol. 50(6), pp. 1393-1414.) により定義されたマルムクイスト指数 $M$ では、 $t$ 期、 $t+1$ 期の生産性の変化はそれぞれ以下で表される。

$$M_t(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) = \frac{d_t(x_t, y_t)}{d_t(x_{t+1}, y_{t+1})} \quad (5)$$

$$M_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) = \frac{d_{t+1}(x_t, y_t)}{d_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \quad (6)$$

(5) (6) 式はそれぞれ、 $t$ 期、 $t+1$ 期を基準とする1時点の生産性の変化を示すものであり、2期間の生産性を比較する際に、両式の幾何平均をとったものがマルムクイスト生産性指数となる。すなわち以下であらわされる。

$$M_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) = \left[ \frac{d_t(x_t, y_t)}{d_t(x_{t+1}, y_{t+1})} \times \frac{d_{t+1}(x_t, y_t)}{d_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

さらに、(1) から (4) 式で定義された投入距離関数の逆数を $D_i(x_i, y_i)$  とすると (7) 式は以下のようなになる。

$$\begin{aligned} M_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) &= \left[ \frac{d_t(x_t, y_t)}{d_t(x_{t+1}, y_{t+1})} \times \frac{d_{t+1}(x_t, y_t)}{d_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{D_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_t(x_t, y_t)} \left[ \frac{D_t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \times \frac{D_t(x_t, y_t)}{D_{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (8)$$

(8) 式右辺中、第一項 (括弧の外側) は「効率性変化 (Efficiency Change)」を、第2、3項 (括弧の内側) は「技術変化 (Technical Change)」を表す。

本研究では、以上で定義されるマルムクイスト生産性指数を用いて農業TFPを推計し分析した。

この農業TFPに対する、降水量、気温の影響に関して分析を行った。分析は、農業TFPを被説明変数、降水量、気温等を説明変数とした回帰分析により行うとともに、気候変動が農業生産性にどのようなインパクトを与えるかシミュレーションすることを目的にVAR (Vector Auto

Regression) に基づくインパルス応答関数 (IRFs: Impulse Response Functions) の推計を行った。

また以上の分析を行うにあたり、FAOSTATを中心とした農業生産に関するデータ、および気象、土壌の肥沃度等に関する世界レベルでの国別データ収集を行うとともに、対象各国に関する同様のデータを収集し、分析の基本となるデータベースの構築を行った。

## (2) 気候変動の農業生産体系に与える影響

実際の気象が農業生産体系、特にイネの品種選択に与える影響について把握をするため、ベトナム、南シナ海沿岸部の紅河流域Nahm Dinh省に位置するXuan Thuy国立公園周辺のコミュン(最少の行政単位)を調査対象地として選定した。具体的には、Giao Thien、Giao Xuan、Giao Huong、Giao Thanh、Giao Longの5つのコミュンが選定された。実際の気象が農業生産体系やイネの品種選択に与える影響等を考慮するため雨量計設置するとともに、過去13年間(2000-12年間)の自然災害等の発生状況と稲作を中心とする農業生産およびホームガーデン内の池での養殖生産量の変動やその要因について把握することを目的に現地調査を行った。

## 4. 結果及び考察

### (1) 気候変動が農業生産に与える影響

#### 1) 気候変動予測と稲作生産への影響

対象国それぞれについて、IPCC・AR4のSRES中でもA2、B2に基づいて行った対象国それぞれの気候変動予測と、その稲作生産への影響に関する分析について述べる。

まずベトナムについてはNational Centre for Environmental Prediction (NCEP)からのデータと統計的ダウンスケーリング(Statistical Down-Scaling Model (SDSM))により気温と降水量の将来予測(2100年まで)を行った(図(1)-1~3)。過去30年分のデータの再現性も良好であった。推計の結果、両シナリオとも乾季(8-9月)の最低気温が低下する一方、雨季および乾季のはじめ(それぞれ5月、10-11月)には上昇していくことが示された。降水量については、2020年で現在に比較して、A2シナリオで6%、B2シナリオで4%の上昇がみられ、2080年ではそれぞれ13%、11%の増加が生じると予測される。これらの予測を基に、米生産の変化を推計すると、雨季の米生産量は10.1%(2020年)から13.8%(2080年)の減少が、乾季については、11.9%(2020年)から19.7%(2080年)の減少が予測される。

インドネシアについては、雨季の降雨量の増大と乾季の干ばつリスクが高まることが予測され、この結果、米生産量は減少すると考えられる。このため両季とも米生産を行う作付体系ではなく、乾季には野菜作を行うなどの対応が効果的である可能性がある。また、乾季の干ばつリスクの高まりとともに、イネの病害虫の発生リスクが高まることも予想され、この点からもレジリエンスの高い作付体系を構築する必要があるだろう。

スリランカについては、全球気候モデル(GCM: Global Climate Model)のデータと統計的ダウンスケーリングにより気温と降水量の将来予測(2100年まで)を行った。過去のデータとの整合性も良好であった。気温に関しては、A2シナリオの場合、0.049°C/年、B2シナリオの場合、0.031°C/年の最高気温の上昇が予測される。降水量に関しては、変動がみられるが、全体の傾向としてA2シナリオで若干増加するものの、B2シナリオではほぼ変化がない。これらの予測を基に、米生産

への影響を品種別に推計した（表(1)-1）。全ての品種に関して収量の減少が見られるが、特にA2シナリオの場合の減少が大きい。

ここで着目すべきこととして、スリランカのケースでは、伝統的な晩成品種のほうが気候変動影響による収量減少の程度が小さいことが示唆される。しかしながら伝統的な品種の場合、気候変動による影響は少ないものの、ハイブリッドや改良品種等のいわゆる近代品種に比して生産性が低いことが一般的に指摘される。表(1)-2は、現地調査に基づく、ベトナムにおける品種間の品種間の差異を示したものである。表からわかるように、ハイブリッドライスのほうが通常の品種より生産性が高いことがわかる。しかし、それにもかかわらずハイブリッドライスの作付面積割合は小さい。要因としては、価格が通常品種より高く、さらにその性質上、毎年購入する必要があるなど生産コストが相対的に高くなること、当地で問題となっている気候変動や塩類遡上等に対応が難しいこと、すなわち生産変動が大きいことが予測されることなどがあげられる。

これら伝統的品種の特性と近代品種の特性を組み合わせた場合に、気候変動影響に対してどの程度対応可能かを試験的に計算したのが図(1)-4である。図から明らかなように、伝統的品種を活用することを基本に、さらに近代的品種と組み合わせることで、気候変動に対するレジリエンスを高めることが可能であることが推定される。

#### b) 農業総要素生産性の推計と気候変動の影響

図(1)-5は、FAOSTATを中心とした農業、あるいは気象に関する世界レベルの国別データにより構築したデータベースを利用し、本研究の対象国に関してマルムクイスト生産性指数を用いた推計した農業TFPの推移を示したものである。第Ⅰ期（1961-80）の緑の革命による近代農業生産技術の普及を経て、第Ⅱ期（1981-2000）に農業生産に関する技術進歩がみられた。第Ⅲ期（2001-）に至り、それがひと段落し農業生産技術の進歩も停滞していることが明らかとなった。

次に図(1)-6は、農業TFPを技術的効率性の変化（TEC: Technical Efficiency Change）、技術変化（TC: Technical Change）とに要因分解し、さらに期間ごとの傾向をみるために、1981-90年、1991-2000年、2000-09年の三期にわけてそれぞれの平均成長率を示したものである。全体的な傾向として、ベトナム、インドネシアに関してはTFP、TEC、TCともに同様の傾向を示している一方、スリランカについては異なる。これは経済発展段階や気候条件の違いに起因すると考えられる。スリランカがベトナム、インドネシアに追随している。ベトナム、インドネシアに関しては、1981-90年についてTFP、TEC、TCとも負の成長となっている。これに対してスリランカはTCの平均成長率が負であるものの、TFCが正でありTFP全体として正となっている。特徴的なのは2000-09年のベトナムとインドネシアのTCである。当該期間はTFPの成長率が停滞しており、これはTCの平均成長率が負であることに起因する。

表(1)-3、表(1)-4は、TFPに対する気候の影響を明らかにするためにベトナムを対象に以下の計測式を計測した結果を示したものである。

$$TFP = c + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_1^2 + \gamma_1 x_2 + \gamma_2 x_2^2$$

ここで、 $x_1$ は年間降水量、 $x_2$ は年間平均気温、 $\beta_i$  ( $i=1, 2$ ) はパラメータ、 $c$ は定数項を示す。推計については、1981-2009年の全期間と、1981-2000年、1990-2009年の2期間に分けた場合とで行った。計測結果に示されているように、全期間について年間降水量が、その2乗項を含め有意となっている。2乗項が負で有意であることから、年間降水量のTFPに与える影響については上に凸の

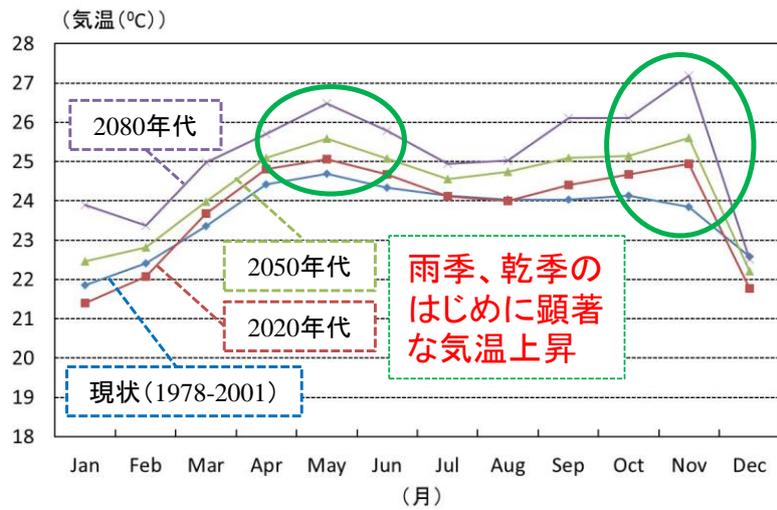
関係にあることが指摘できる。すなわちある一定の降水量まではTFPに対して正の影響を与えるが、それを超過すると負の影響を与えることがわかる。これを2期間に分けた場合をみると、1981-2000年間は年間降水量、年間平均気温ともに非有意である。これに対して1990-2009年間については、年間降水量について全期間について計測を行った場合と同様の結果を示している。すなわち先の近年におけるベトナムのTFPの停滞に関しては、気候、なかでも降水量が影響していることが指摘できる。

次に、年間降水量、年間平均気温のTFPに与える影響をシミュレーションすることを目的に以下のVARによるインパルス応答関数を推計した。

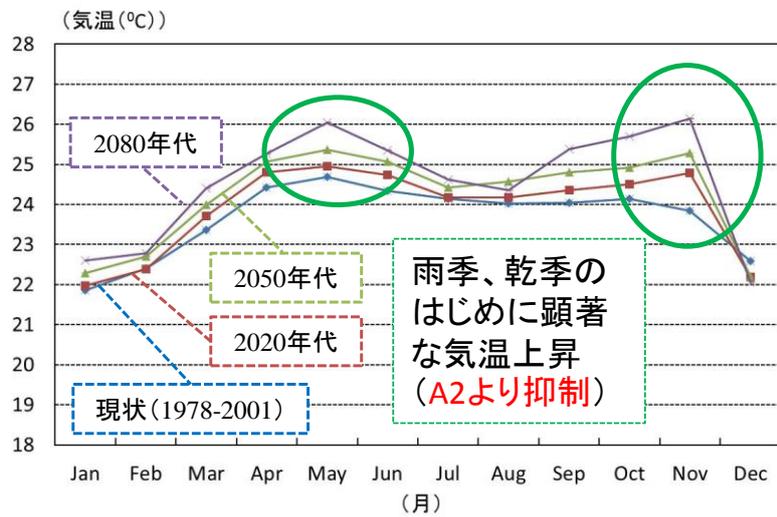
$$\begin{pmatrix} \text{TFP}_t \\ \text{Precipitation}_t \\ \text{Temperature}_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{10} \\ c_{20} \\ c_{30} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{15} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{51} & \dots & a_{55} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{TFP}_{t-1} \\ \text{Precipitation}_{t-1} \\ \text{Temperature}_{t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \\ e_{3t} \end{pmatrix}$$

図(1)-7は、シミュレーション結果を示したものである。縦軸は、年間降水量、年間平均気温にそれぞれ1単位のショックを与えた場合に、TFPがどの程度変化するかを示し、横軸はその変化が元に戻るまでに要する期間を示している。図から明らかなように、ベトナムに関しては、ショックがあった後、元の水準に比較的順調に収束していくのに対し、インドネシア、スリランカに関しては、相対的に大きく変動し、収束に要する期間も相対的に長くなっている。これらは、農業構造や気候に大きく依存していることが推察されることから、今後、対象国ごとの農業構造等について詳細に検討していくことが課題である。

次に、図(1)-8~11は、それぞれ、1985から2007年間のベトナムにおける地域ごとの農業に関するTFPの平均変化・効率性の平均変化・平均技術変化、1985-1995年間・1996-2007年間・1985-2007年間のTFPの変化、同期間の効率性変化、および同期間の技術変化を示したものである。地域区分は、それぞれMekong Delta、Central Highlands、Red River Delta、Central Coast、North Midlands、South Eastに加えベトナム全土である。

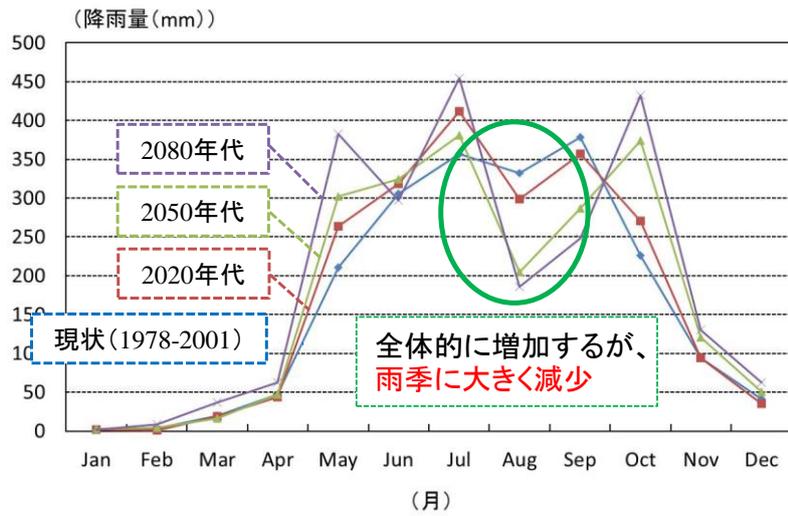


(a) 最低気温の推移 (A2)

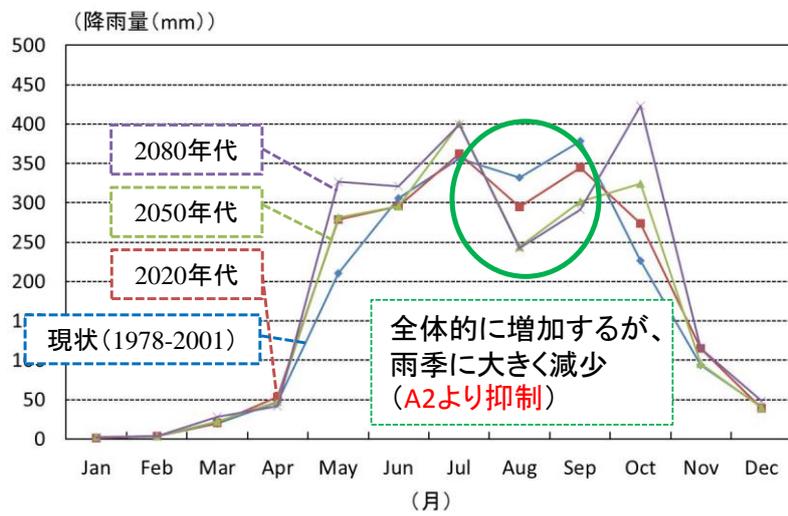


(b) 最低気温の推移 (B2)

図(1)-1 ベトナムにおける気候変動影響予測 (気温)

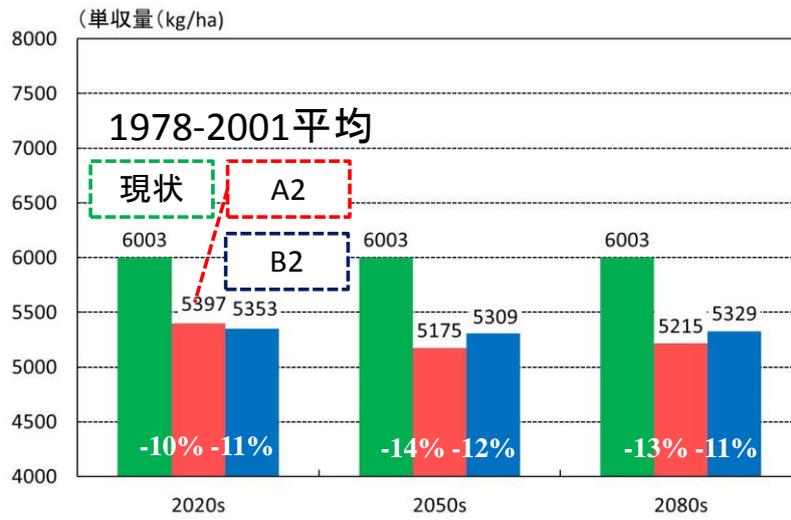


(a) 降雨量の推移 (A2)

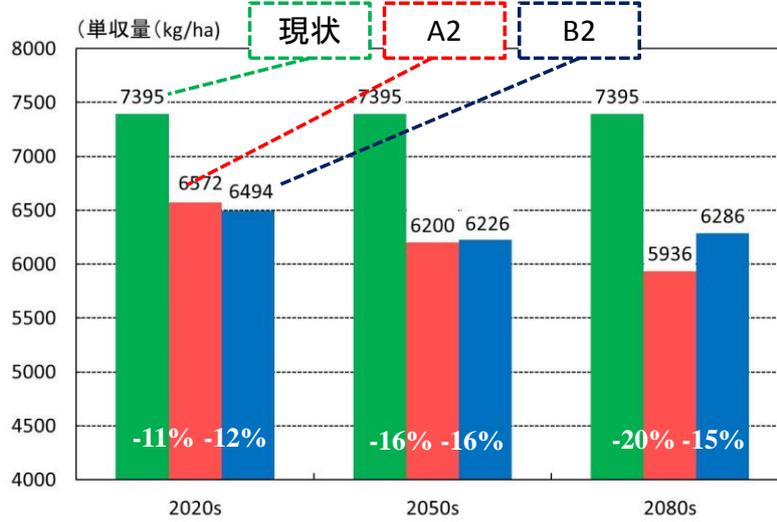


(b) 降雨量の推移 (B2)

図(1)-2 ベトナムにおける気候変動影響予測 (降雨量)



(a) 雨季のコメ生産量予測



(b) 雨季のコメ生産量予測

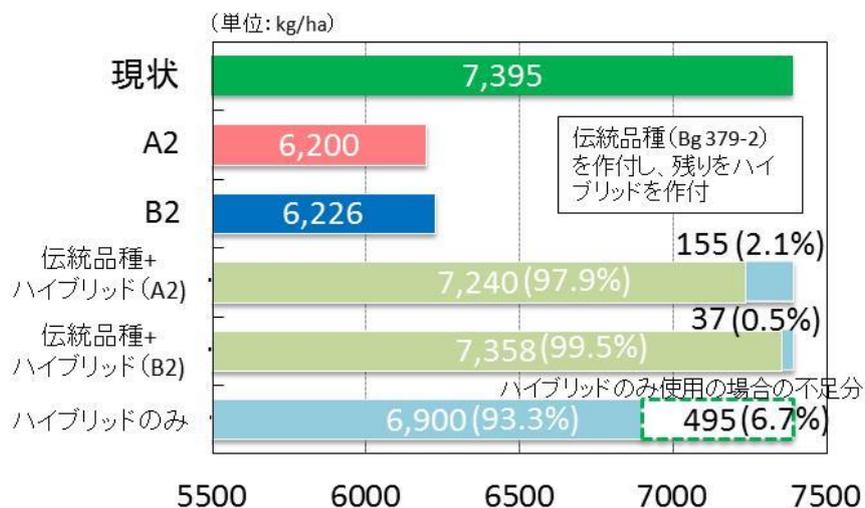
図(1)-3 ベトナムにおける気候変動のコメ生産への影響予測

表(1)-1 スリランカにおける気候変動のコメ生産への影響

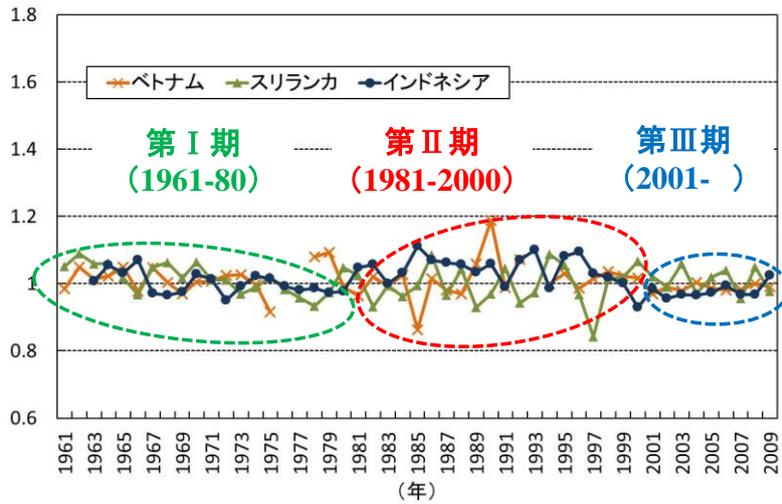
スリランカにおける米品種別の収量変動予測 (2011-20平均変化率(%))				
排出シナリオ	米品種			
	早生品種		晩生品種	
	Bg 250 (2.5ヶ月)	At 307 (3ヶ月)	Bg 357 (3.5ヶ月)	Bg 379-2 (4ヶ月)
A2	-13.6	-10.3	-6.0	-2.1
B2	-6.2	-5.1	-1.8	-0.5

表(1)-2 ベトナムにおける米品種間の収量の差異

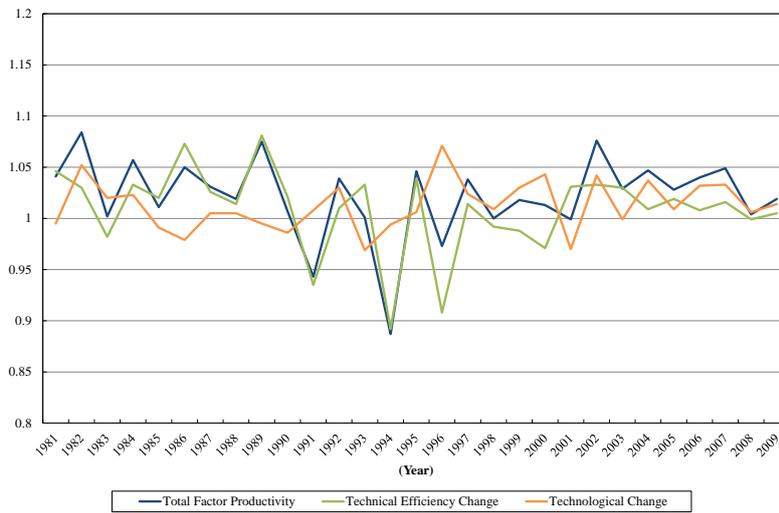
ベトナムにおける米品種間の収量の差異(2010)		
	米品種	
	通常品種 (インブリード)	ハイブリッド ライス
収量 (t/ha)	5.2	6.9
作付面積 (%)	92	8



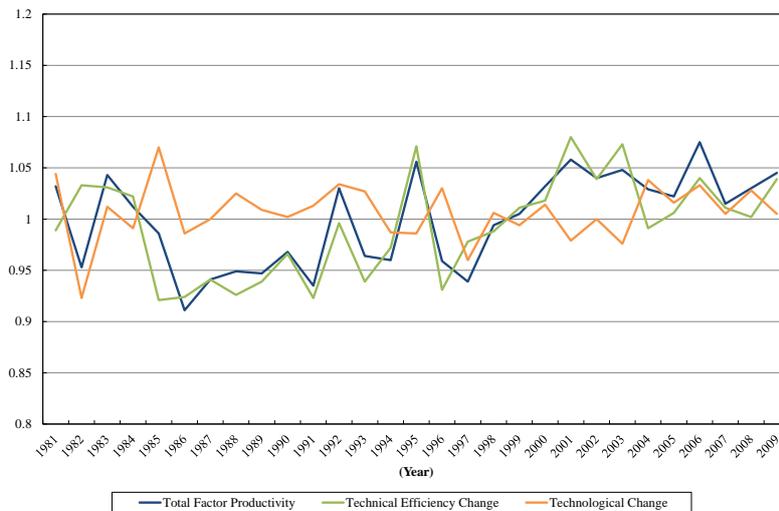
図(1)-4 伝統品種とハイブリッド品種の組み合わせによる生産減の補完 (2050年・乾季の場合)



図(1)-5 農業TFPの推移



(a) ベトナム



(b) インドネシア

図(1)-6 対象国における農業TFPの推移



(c) スリランカ

図(1)-6 対象国における農業TFPの推移

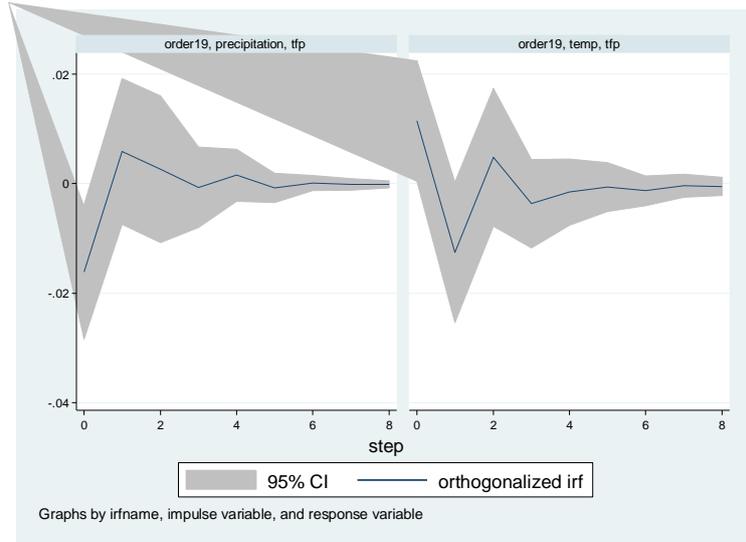
表(1)-3 農業TFPの要因分解

		1981-90	1991-00	2000-09
Vietnam	Total Factor Productivity	-0.3683	0.0594	0.0656
	Technical Efficiency Change	-0.2684	-0.5009	0.3831
	Technological Change	-0.1009	0.5636	-0.3128
Indonesia	Total Factor Productivity	-0.7088	0.6423	0.1392
	Technical Efficiency Change	-0.2611	0.5257	0.2271
	Technological Change	-0.4552	0.1191	-0.0990
SriLanka	Total Factor Productivity	1.2943	-0.8614	-0.2902
	Technical Efficiency Change	1.6841	-1.2802	-0.4577
	Technological Change	-0.3798	0.4321	0.1625

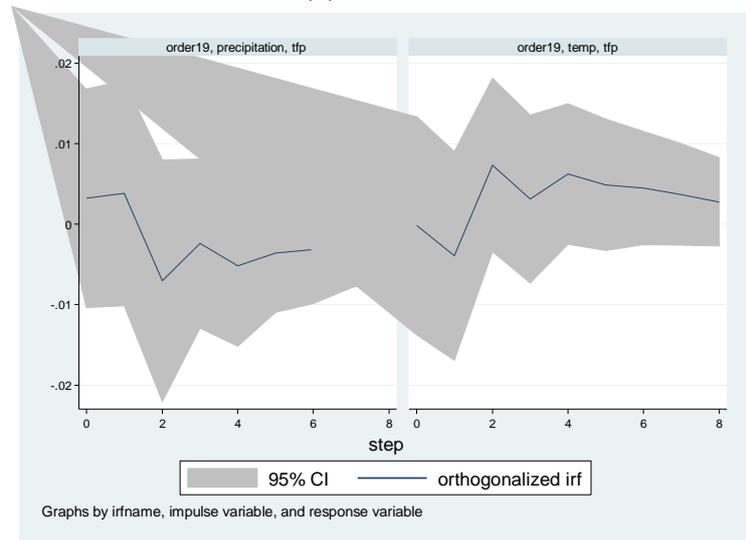
表(1)-4 農業TFPに与える気候の影響

	1981-2009	1981-2000	1990-2009
Constant	-101.197 (-0.845)	-42.717 (-0.243)	20.001 ( 0.081)
Precipitation	0.005 ** ( 2.207)	0.005 ( 1.333)	0.007 ** ( 0.003)
Precipitation <sup>2</sup>	-0.000 ** (-2.317)	-0.000 (-1.417)	-0.000 ** (-2.941)
Temp	8.309 ( 0.824)	3.378 ( 0.227)	-1.968 (-0.095)
Temp <sup>2</sup>	-0.175 (-0.825)	-0.071 (-0.227)	0.040 ( 0.093)

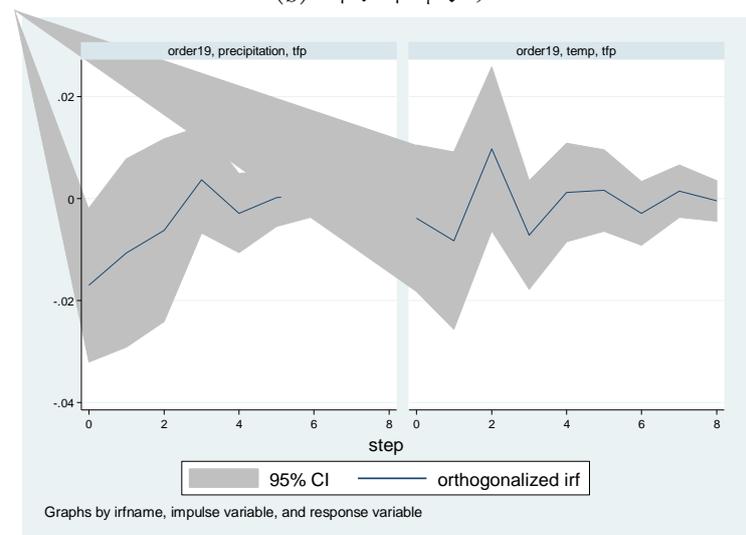
Note: t-value is shown in parentheses. \*\* means parameter is significantly different from "0" in 5%.



(a) ベトナム



(b) インドネシア



(c) スリランカ

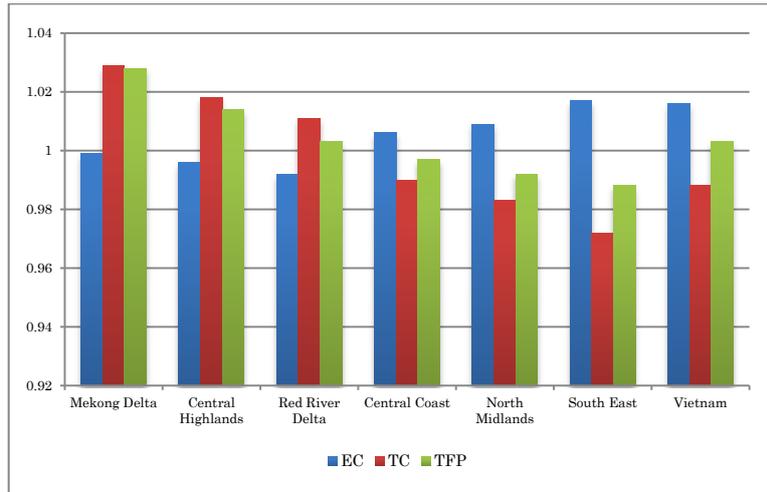
図(1)-7 対象国における農業TFPの推移

まず図(1)-8の1985から2007年間のベトナムにおける地域ごとの農業に関するTFPの平均変化・効率性の平均変化・平均技術変化から明らかなることとして、技術変化が大きい地域ほどTFPが大きいたことが指摘できる。全地域の中で最もTFPが大きいMekong Deltaは、技術変化も最も大きい。Central Coast、North Midlands、South Eastは、TFPの値が1を下回っており、1985年から2007年間の平均で農業生産性が落ちている。Mekong Deltaは、ベトナムでも有数の稲作地帯である。近年、ベトナムは世界有数の米の生産地かつ輸出国でありその背後には同地域における米生産性の上昇が寄与し、結果として同地域の農業に関するTFPの上昇が、ベトナム全体と最も大きなものとなっていることが指摘できる。

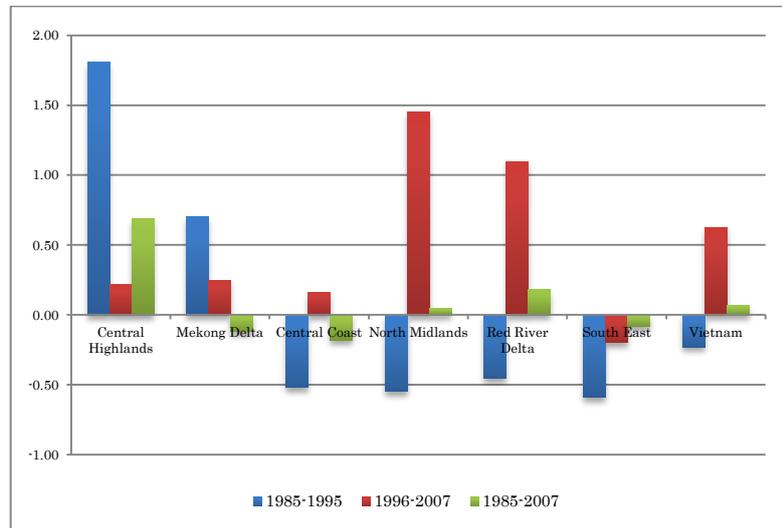
次に、図(1)-9で、それぞれの地域のTFPの伸びを1985-1995年間、1996-2007年間、および1985-2007年間でみると、Mekong DeltaのTFPの成長率は全期間を通じてそれほど大きくはなく、1985年以前から相対的にTFPが高く、それを維持していることがうかがえる。しかしながら1985-1995年間にCentral Highlandsとともに、TFPの成長率が高く他の地域に先んじてTFPの上昇がみられる、いわば先導的な役割を担っていたと考えられる。また、同時期Central Highlandsは、高いTFPの成長を示しており農業先進地であるMekong Deltaにキャッチ・アップしていったことがわかる。その後は、Red River Delta、North Midlandsが、1996-2007年間に大きなTFPの成長を見せ、Mekong Delta、Central Highlandsにキャッチ・アップしている。

これらのTFPの成長要因を効率性変化(図(1)-10)と技術変化(図(1)-11)で確認すると、ほとんどの地域・期間で効率性変化はTFPの成長に寄与しておらず、技術変化がその源泉であることが明らかである。先に述べたように、TFPの成長率の地域間格差は、期間ごとでTFPの成長率に地域差があること、すなわちMekong Delta、Central Highlandsの先進地域に他の地域がキャッチ・アップしている。これと技術変化の動きは整合的である。

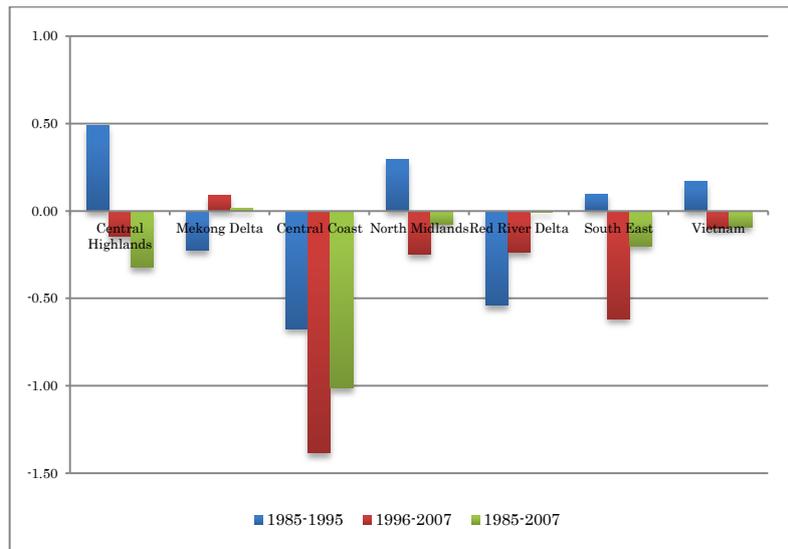
以上より、今後、Mekong Delta、Central Highlandsの先進地域に他地域がキャッチ・アップしていくことでベトナム全体として農業に関するTFPが上昇していくことが予想される。また、一方でMekong Delta、Central Highlandsの先進地域であっても効率性を向上させることによりTFPを上昇させることは可能である。しかしながら過度な効率性の追求は、気候・生態系変動に対し脆弱となることが予想される。本研究ではこれまで、ベトナムについて、National Centre for Environmental Prediction (NCEP)からのデータと統計的ダウンスケーリング(Statistical Down-Scaling Model (SDSM))により気温と降水量の将来予測(2100年まで)を行っている。結果として、いわゆるIPCC第四次報告書のA2シナリオ、B2シナリオに基づいて推計した結果、両シナリオとも乾季(8-9月)の最低気温が低下する一方、雨季および乾季のはじめ(それぞれ5月、10-11月)には上昇していくことが示された。降水量については、2020年で現在に比較して、A2シナリオで6%、B2シナリオで4%の上昇がみられ、2080年ではそれぞれ13%、11%の増加が生じると予測される。これらの予測を基に、米生産の変化を推計すると、雨季の米生産量は10.1%(2020年)から13.8%(2080年)の減少が、乾季については、11.9%(2020年)から19.7%(2080年)の減少が予測される。これらに対して、効率性の上昇のみでは対応が難しく、公的な試験研究に基づく技術変化が一つの対応策として考えられる。しかしながらこれらのいわば近代的な技術だけでは、技術開発にタイムラグが生じることや、対処療法的になることが予想され、必ずしも対応できるとはかぎらないことから、いわゆる伝統的なVACシステムを活用するなどして対応していくことが効果的であると考えられる。



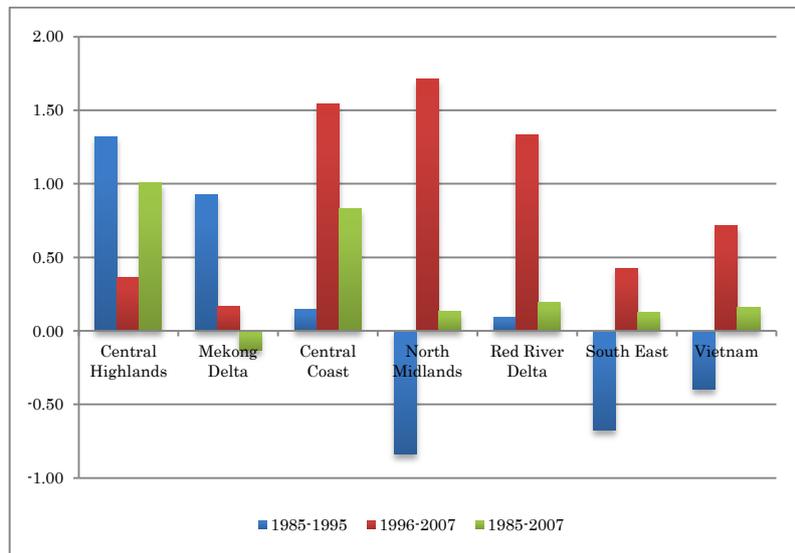
図(1)-8 ベトナムにおける地域ごとの農業TFPの平均変化・効率性の平均変化・平均技術変化（1985-2007年）



図(1)-9 ベトナムにおける地域ごとの農業TFPの変化（1985-2007年）



図(1)-10 ベトナムにおける地域ごとの農業TFPの効率性平均変化（1985-2007年）



図(1)-11 ベトナムにおける地域ごとの農業TFPの平均技術変化（1985-2007年）

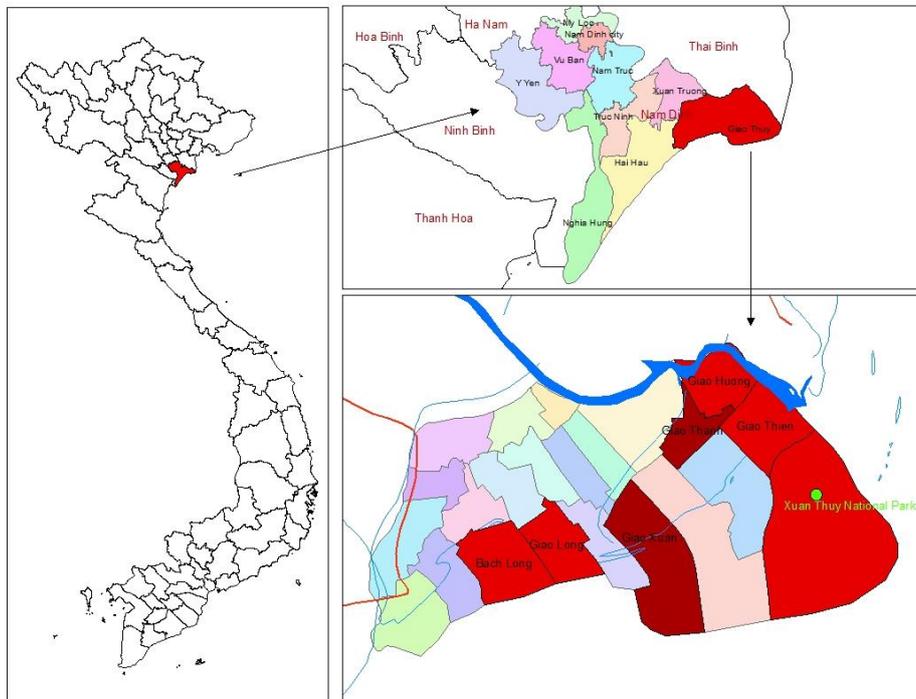
## (2) 気候変動の農業生産体系に与える影響

気候変動の農業生産体系、特にイネの品種選択に与える影響を把握するため、まず、紅河河口域のXuan Thuy国立公園周辺のコミューン、Giao Thien内の紅河堤防を基準に異なる距離にある9圃場を選択し、塩害の影響を調査した(図(1)-12)。同地域は塩害の稲作への影響が度々指摘されていたが、夏季はそれほどでもないとされている。しかしながら同一の品種であっても堤防の近傍のほうが夏稲の単収が低く、塩害の影響が出ていることが確認される(表(1)-5)。

次に、表(1)-6はGiao Thien、Giao Xuan、Giao Huong、Giao Long、Giao Thanhのそれぞれのコミューンについて品種ごとの作付農家割合の推移を示したものである。Tap Giao、BC15は近代品種(高収量品種)でありNepは旧来から作付している品種である。明らかになったこととして、コミューンごとに作付する品種の選択が異なることである。また、近代品種であるTap Giaoから旧来の作付品種であるNepに作付品種を戻す動きなども見られる。これは作付を行った結果、当該地に適合しない、あるいは塩害に対して弱いといった知見が得られ、それを反映した品種選択が行われていることを示唆する。また、必ずしも近代品種が採用され続けるわけではなく、農業特有の環境への適応可能性が、品種の選択に大きく作用していることが指摘できよう。

農家自身は、自らの知見およびコミュニティ内の他の農家からの情報により経済条件や環境条件を考慮し、最適な、いわばレジリエンスの高い作付品種を選択している。しかしながら表(1)-6で示したように、コミューン間で品種選択の内容に差が生じており、これがどういったことに基づくのか、技術普及の態様が異なる可能性や、あるいはどの選択が最適であるかを明らかにすることで適切な品種選択の在り方を提示できると考えられる。

次に、Nam Dinh市で記録されている1960年から2010年までの気象データを解析すると、平均の



図(1)-12 Nam Dinh provinceのGiao Thuy districtの5つの調査コミューン

註: Giao ThienとGiao Xuanが国立公園の緩衝地帯のコミューンであるのに対し、Giao Huong、Giao Thanh、Giao Longコミューンは緩衝地帯外側に位置している。

最高気温と、平均の最低気温とも、それぞれ10年間で約0.3℃、0.1℃ずつ上昇してきたことが明らかになった。特に冬(2月)の気温の経年的上昇の傾向はより大きく、同期間中に、10年間当たり最高気温は0.6℃、最低気温は0.5℃上昇した。図(1)-13では最高気温の変化のみを示した。

2012年現在では、紅河デルタでの塩害は常態化しているわけではないものの、降水量が減少する11月から5月の間に海水が河口から数10キロ上流まで侵入し(塩水遡上)、海岸に近い取水口が閉鎖されたり、取水口開放時間が短縮されたりする変化がみられた(図(1)-14、15、16)。

聞き取り調査の結果、気象・水文災害に対する適応策として、以下が挙げられた。

- ・ 中流のダムや中国での水利用との交渉
- ・ 堤防の強化
- ・ 堤防内側小河川(緩衝地帯)
- ・ 夏稲堤防外側にもち米(Nep Cao)・・・春は無作付けまたはエビなどの養殖
- ・ 低位の劣悪地域ではハイブリッドの利用(Giao Xuan)
- ・ 低位の劣悪地域では稲作から畑地、水禽への転換

またイネの収量調査と水田圃場での塩分測定の結果、顕著な塩害は見られなかったものの、圃場の場所による品種の選択が行われていた。河川の堤防近辺のように、塩害のリスクが高い圃場では、Nep Caoの作付けや、休耕が見られた。また、ハイブリッド米は施肥量を多く投入すると収量が高いものの、食味が悪く、近年開発された優良インブレット品種の普及により、導入割合が

表(1)-5 品種ごとの塩害の影響

圃場	夏季・単収 (t/ha(2011))	品種
堤防近傍・家近傍A	5.6±2.1	BC15
堤防近傍A	4.3±0.1	Nep Cao
堤防遠方A	6.6±0.6	BC15
堤防近傍B	4.2±0.3	Nep Cao
堤防遠方B	6.6±0.6	BC15
堤防遠方B	5.1±0.2	Bac Thom
堤防近傍C	-	イグサ
堤防近傍C	5.7±0.5	BC15

表(1)-6 コミューンごとの稲品種の変化例

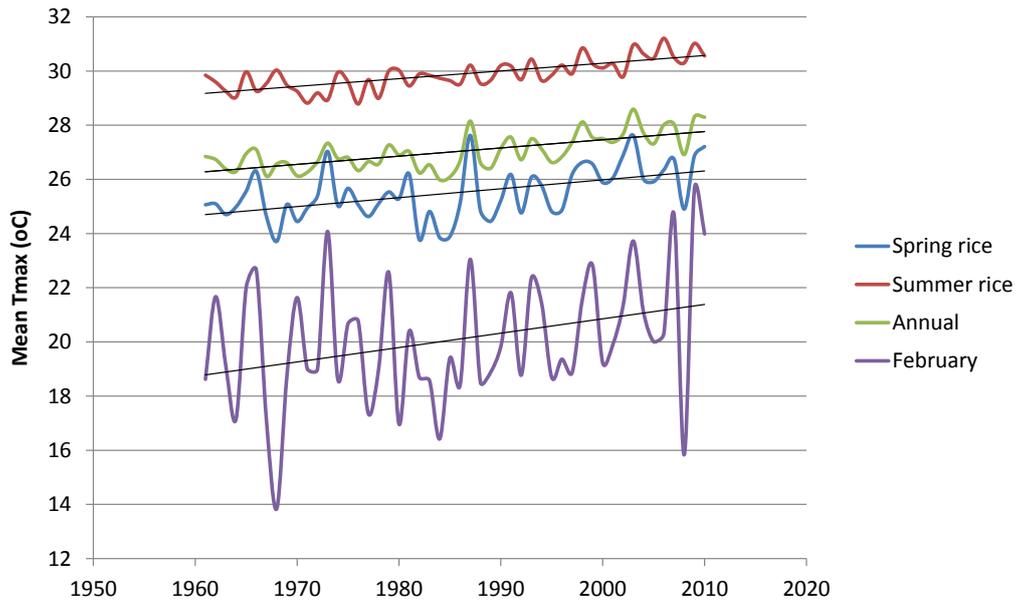
春イネ

Commune	Tap Giao (2005→2011)	Nep Cao (2005→2011)	BC15 (2011)
Giao Thien	0.85→0.50	0.10→0.13	0.53

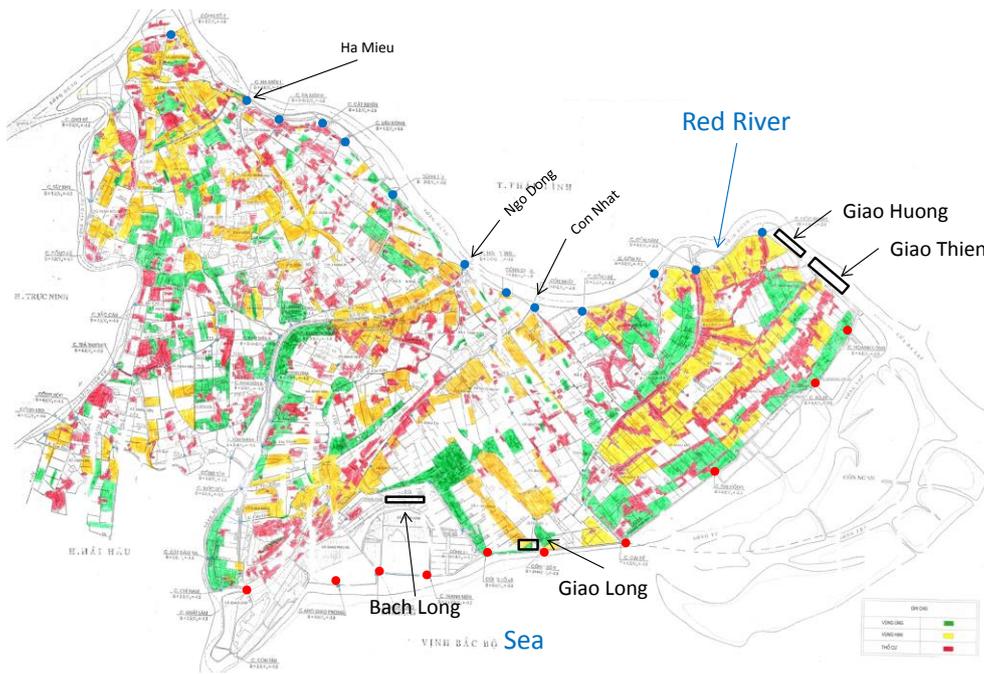
Giao Xuan	0.77→0.74	0.21→0.41	0.15
Giao Huong	0.78→0.68	0.20→0.20	0.28
Giao Long	0.85→0.88	0.37→0.37	0.05
Giao Thanh	0.83→0.45	0.33→0.25	0.40

夏イネ

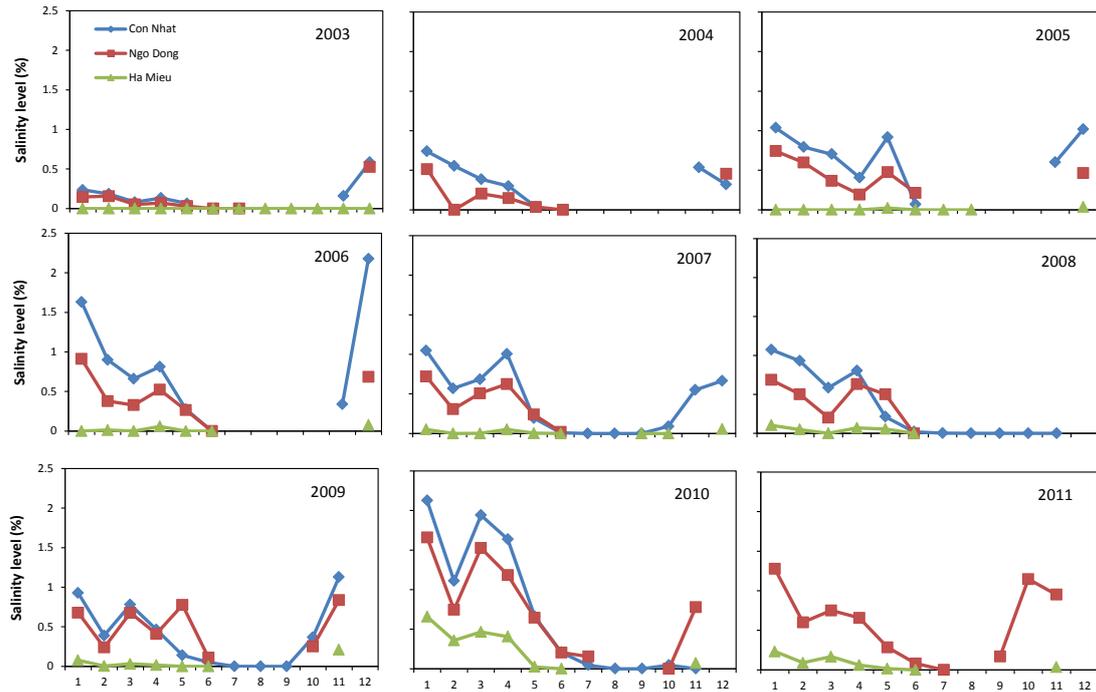
Giao Thien	0.90→0.35	0.05→0.20	0.60
Giao Xuan	0.74→0.38	0.15→0.54	0.38
Giao Huong	0.58→0.45	0.15→0.28	0.38
Giao Long	0.78→0.80	0.37→0.37	0.05
Giao Thanh	0.78→0.28	0.35→0.28	0.58



図(1)-13 Nam Dinh市の平均最高気温 (Tmax) の1960年から2010年までの経年変化  
 註： 春稲栽培期間 (1-6月)、夏稲栽培期間 (7-11月)、年平均、2月について示した。

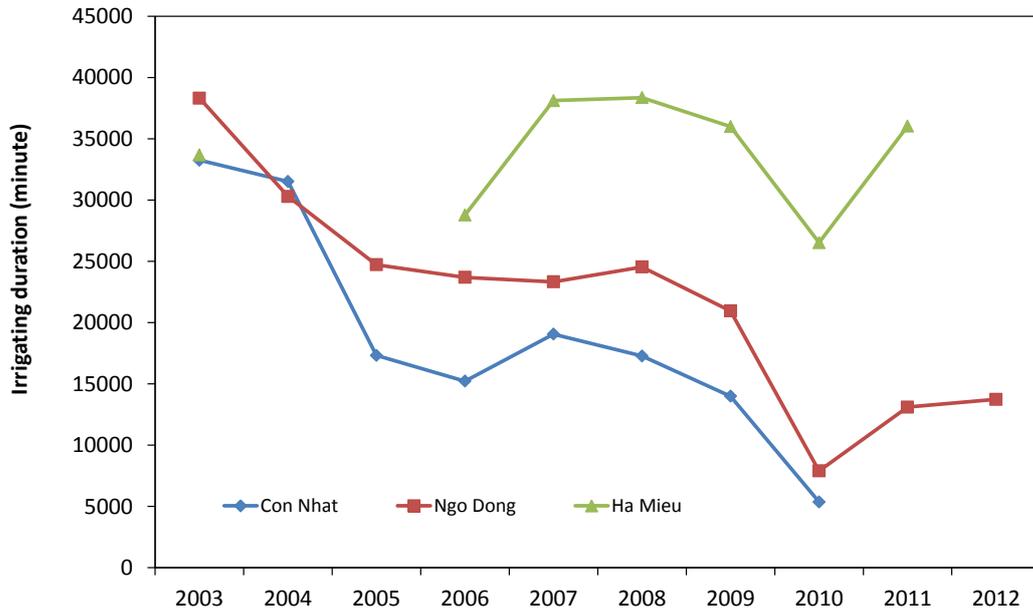


図(1)-14 紅河河口付近の水門の位置



図(1)-15 紅河河口の3つの水門での塩分濃度の季節変化

註： 2003年から2011年までの9年分の結果を示した。



図(1)-16 紅河河口の3つの水門の灌漑時間数(分)の2003年から2012年までの変化

季節とコミューンにより変化してきている。

Xuan Thuy国立公園の制定に伴い、国立公園周辺の5つのコミューン(Giao Thien、Giao An、Giao Hai、Giao Xuan、Giao Lac)は、緩衝地帯と指定されている。国立公園の自然や生物多様性(マングローブ、鳥類など)が損なわれることなく良好な状態にあるように、緩衝地帯が制定されているが、緩衝地帯では農業や水産業などの生産活動に制限は設けられていない。緩衝地帯の外側には、通常のコミューンがある。ここでは、緩衝地帯にあるコミューンから、紅河本流沿いにあるGiao Thienコミューンと、紅河本流から離れたGiao Xuanコミューンの2つを選び(両方とも海岸に面している)、同時にこれら2つのコミューンと隣接しながらも緩衝地帯の外側にある3つのコミューン(Giao Huong、Giao Thanh、Giao Long)を選び、それらの特徴を比較した。これら5つのコミューンの概要は表(1)-7に示した。いずれのコミューンも1000ha前後の面積に2000世帯前後があり、764~1218人/km<sup>2</sup>という高い人口密度であった。一次産業に従事する世帯が大半を占めており、緩衝地帯コミューン(72%、85%)よりも、外側コミューン(90~93%)でより高い比率であった。また、緩衝地帯コミューンでは、水産業に従事する比率がより高かった。一人当たり月平均収入は、1,025~1,383VNDであったが、緩衝地帯コミューンでやや高い傾向があった。どのコミューンも稲作を中心にしながら、野菜、畜産を含む小規模複合経営であり、コミューンにより、有用作物(景観樹木、薬用作物)や果樹、水産も行われている。畜産はどのコミューンも8割が鶏、5割が豚の比重が高く、Giao XuanやGiao Longの海岸沿いの低地部や紅河本流沿いのGiao Huongではアヒルも見られる。

全般的な特徴として、Giao HuongとGiao Thanhの外側コミューンでは稲作が最も盛んで、概して緩衝地帯コミューンでは、有用樹木、果樹などの比率がより高く、農業生産の多角化が進んでいることが指摘できる。先述のように、緩衝地帯コミューンでは、海岸沿いの干潟を利用した水産がより多く見られる(Giao Thien、Giao Xuan)。さらに緩衝地帯ではベトナム政府、国際非政府組織による多くの環境開発プロジェクトが行われており、それによる裨益があると考えられる(表(1)-8)。

水稻作における農薬散布量の春稲と夏稲の2006年と2011年の調査結果では、5つのコミューンとも、作期あたりに3回から4回の散布を行っており、病虫害の問題が顕在化しており、集約的な化学的防除が行われていることが分かる。農薬散布回数は、2011年の方が2006年より増えている傾向があり、また、緩衝地帯のコミューンで少ないという傾向はみられない。2011年の夏稲では、稲作がとりわけ比重が高いGiao HuongやGiao Thanhでの散布回数が有意に高くなっている(表(1)-9)。水稻作における施肥量は、窒素施肥量がきわめて高く、生産性重視のハイインプットの農法が主流であることが分かる(表(1)-10)。ここでも緩衝地帯のコミューンで施肥量が少ない、ということはない。ただし、Giao Thien、Giao Xuan、Giao Longの海岸付近のコミューンでは、リン酸肥料の投入量が、Giao Huong、Giao Thanhに比べて低い。

次に、より詳細な現地調査を行ったGiao Longコミューンについて述べる。質問紙を使った調査から、特に2005年と2012年に大型の暴風雨が発生しており、強風による稲の倒伏や洪水により、同年の米収量が大幅に低下したことがわかった。また同品種の米でも、沿岸近くの低地での収穫量は海岸から離れた水田のそれに比べて少なく、また乾期よりも雨期の収穫量が最大で50%程度も減少することがわかった。このことから、対象地域の米の生産低迷は一般的な原因である水不足や水を田に入れるための灌漑設備の不備ではなく、水分過多によるものであり、特に低地の米の

表(1)-7 調査した国立公園緩衝地帯コミュニティと緩衝地帯外コミュニティの概要

	緩衝地帯コミュニティ		緩衝地帯外コミュニティ		
	Giao Thien	Giao Xuan	Giao Huong	Giao Long	Giao Thanh
面積 (ha)	1180.5	757.7	958.2	762.9	631.3
世帯数	2,500	2,747	2,030	2,643	1,781
人口(人)	9,486	9,232	7,320	7,672	6,085
行政区数	15	9	14	22	10
人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	804	1,218	764	1,006	964
月収入 (VND/人)	1,283	1,383	1,108	1,250	1,025
農業従事者 (%)	70	41.5	83.8	85	89.4
水産業従事者 (%)	15	30.2	5.8	8.2	1.8

表(1)-8 調査コミュニティ (Giao Thuy district, Nam Dinh province) で行われた政府および非政府組織によるプロジェクト (2008-2012年)

プロジェクト名	予算	目的	期間	場所
Xuan Thuy国立公園の持続可能な資源管理に関するキャパシティビルディング	450,000 USD (Wetlands Alliance Program, Asian Coastal Resources Institute Foundation (CORIN), Swedish International Development Cooperation Agency (SIDA))	コア地帯からの水牛の駆逐 (Con Lu Island) 新しい生計手段開発 (キノコ、養蜂) およびトレードマーク (Xuan Thuy 国立公園キノコ) の確立 マングローブ、渡り鳥、水産資源に関するデータベース構築 Giao Anコミュニティでの生活廃棄物処理管理	2008-2012 2013-2017 (第2期)	XT国立公園と5つの緩衝地帯コミュニティ
福祉プロジェクト	50 Million VND (ベトナム政府)	環境教育センター、文化村、学校建設	2005-2010	5つの緩衝地帯コミュニティ
建設プロジェクト	10 billion VND (ベトナム政府)	インフラ整備 (科学研究教育、エコツーリズム、コミュニティ開発)	2004-2012	XT国立公園と5つの緩衝地帯コミュニティ
海岸住民の持続可能な生計と天然資源管理	800,000 USD (Centre for Marine life Conservation and Community Development, Volunteers For Peace Vietnam)	エコツーリズムとカキ養殖のモデル	2004-2012 (2015年まで第3期)	Giao Xuan
国際ボランティアの供給	60,000 USD (Solidarites Jeuneses Vietnam)	天然資源管理のキャパシティビルディング	2008-2015	XT国立公園と5つの緩衝地帯コミュニティ
湿地天然資源の管理・保存と持続可能な開発	20,000 USD (International Union for Conservation of Nature (IUCN) Mangrove for Future (MFF))	コア地帯の持続可能な水産資源開発のための女性支援	2012	Giao Thien, Giao An, Giao Lac
コミュニティによる管理	50,000 USD (Vietnam Conservation Fund)	地域住民による湿地利用権利の供与試験	2012-2013	Giao An, Giao Xuan, Giao Lac
カキ管理 (Con Lu and Con Ngan Island)	100,000 (UNDP/GEF Global Environmental Fund)	持続可能なカキ開発の確立	2012-2013	Giao Lac, Giao Xuan, Giao Hai

表(1)-9 Giao Thuy地域の調査5コミューンでの稲作のための農薬使用回数(回/作期)

作期	年	Giao Thien (n=40)	Giao Xuan (n=39)	Giao Huong (n=40)	Giao Long (n=40)	Giao Thanh (n=40)	p-value*
春稲	2006	2.8±0.9	3.3±1.4	2.5±0.9	2.6±1.0	2.7±0.7	0.009
	2011	4.0 ±1.1	4.3±1.6	4.0±1.5	3.9±1.6	4.3±1.4	0.623
夏稲	2006	2.8±0.9	3.4±1.0	2.7±1.2	2.6±1.0	2.9±1.1	0.020
	2011	3.7±1.1	3.3±1.1	<b>4.1±1.5</b>	3.3±1.4	3.9±1.3	0.035

\* the significantly differences between communes when  $p$ -value < 0.05

表(1)-10 Giao Thuy地域の調査5コミューンでの稲作のための施肥量 (kg/ha/作期, 2011年)

作期	肥料	Giao Thien (n=40)	Giao Xuan (n=39)	Giao Huong (n=40)	Giao Long (n=40)	Giao Thanh (n=40)	p-value*
春稲2011	尿素	493±175	<b>596±243</b>	427±204	524±246	327±105	0.000
	リン酸肥料	174±240	157±240	371±269	100±196	<b>376±247</b>	0.000
	カリウム肥料	21±132	0±0	196±1256	434±1386	183±926	0.263
	NPK複合肥料	72±234	30±85	69±131	18±57	60±90	0.007
	堆肥	0±0	0±0	114±347	0±0	19±116	0.249
夏稲2011	尿素	470±195	<b>495±230</b>	408±168	494±270	316±91	0.000
	リン酸肥料	238±316	135±214	344±290	117±217	<b>411±248</b>	0.000
	カリウム肥料	28±47	31±79	67±116	7±34	<b>69±96</b>	0.002
	NPK複合肥料	0±0	18±111	<b>133±361</b>	5±35	41±149	0.007
	堆肥	0±0	71±445	189±1256	339±1272	174±930	0.547

\* the significantly differences between communes when  $p$ -value < 0.05

不作は排水不足によるものである可能性が高い。農業者の多くは、生活排水や高濃度の農薬・化学肥料を含んだ農業排水が滞留していることを「水質が汚染されている」と考えており、これは水田に隣接する川と海とを隔てる水門の開放頻度を高くし、排水が促されれば解消されると主張している。しかし、排水不良は海面上昇や海岸付近の地盤沈下または土壌浸食によるもので、単純に水門を開放しただけでは海水の流入が増加するだけである。対象地域では、長雨や大雨で水田や淡水養殖池が冠水しやすく、類似した排水問題を抱えるデルタ地帯において気候変動に対するレジリエンスを向上させるには、農地への盛土または、単純な開閉式水門に代替する強力な排水施設の設置が必要であると考えられる。

2012年の淡水魚養殖は、ホームガーデン内に養殖池をもつおよそ54%の世帯は生産量が「減少した」または「大幅に減少した」と回答しており、水質汚染と海水混入を原因と考えている。これに対しては、塩分耐性の高い魚種に種苗を変更するなどの対策が見られた。ただし、一番回答の多かった対策方法は「何もしない」というものであり、平均的に土地の低い地域ではホームガーデンも洪水の影響を受けやすい。

ホームガーデンでは自家消費用の野菜が主に作られており、ホームガーデン・システムでの生物生産は、質・量ともに暴風雨で減少した米生産の代替となるほどのものではなく、災害後の政府の補償（米の配給）も、役人と親しいか否かで給付の有無・多少が異なることが聞き取り調査により判明した。このような農業の不安定・不確実性により、「農業離れ」ともとれる職業選択の傾向がみられる。収入調査から、稲作と畜産または果樹栽培のみを行う家庭より、稲作と兼業して農業以外の職業を持つ家庭の方が、世帯内の大人一人当たりの平均収入が高いことがわかった。農業以外の職業とは、日雇い、自営業（店舗経営、洋服等の仲買い、タクシー）、商店・役場での勤務、織物生産などである。こういった副業を通して投資金がまとまれば、エビや貝類の大型養殖を始める世帯もあり、これが成功した世帯は非常に裕福である。また、世帯内では農業のみでも、退役軍人手当や、都市部や海外にいる子供からの定期的な送金がある世帯は総収入が高かった。このように、災害に脆弱なのは農業依存度が高く、外部とのつながりが薄い世帯であり、今後の展開としては小規模農業の縮小と農業（生物生産）の大規模化が考えられる。しかし、一方で零細農民にとって稲作とホームガーデンでの自家消費食料の生産は無視できない重要な保険のようなものであり、『Livestock』とは、非常時に食料にも現金にもなるまさに生きた財産である。対象地域は排水問題こそあるものの、現代的な給排水別離型の灌漑設備が整ってきており、Agri-Coopと呼ばれる農業普及員の活動も盛んで、農家の生産に対する質・量的向上への関心も非常に高い。今後はこのような伝統的な生産方法を生かしつつ、盛土または排水施設を整備し、またこれでも間に合わない洪水被害に対しては政府や組合などによる保証を充実させることで、レジリエンスが強化されると考える。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

- ・ 緑の革命の成功体験に基づく品種改良での対応とは異なる、気候変動に対してより対応可能な伝統品種を基本的に活用し、さらに近代品種を組み合わせることで気候・生態系変動適応戦略の構築可能性を現地調査および統計分析より明らかとした。

- ・ どのような歴史的経緯、および情報の流入により現在の農業経営体系が構築されたかを明らかにすることにより、よりレジリエンスの高い農業経営体系の提示を行うことが可能となるだけでなく、どういったアプローチをコミュニティに対して取るべきかを考慮する方法論を構築することに対して貢献が期待される。これにより、実際に施策を行うにあたって、より効果的なアプローチが可能となる。
- ・ これまでに報告がほとんどなかったベトナム紅河デルタでの塩水遡上の問題、および、気象データの経年分析を初めて行った。塩水遡上による塩害や、台風などによる気象災害の影響を多く受ける時期や圃場の場所を特定した。また、紅河デルタにおいても気温の上昇（1960年から2010年までの期間、最高気温は10年当たり0.3℃）の経年変化の傾向を定量的に示した。
- ・ ベトナム・ナムディン州における国立公園の制定に伴う、緩衝地帯コミュニティについて、その生物生産に関する特徴を、緩衝地帯の外側の通常のコミュニティのそれと比較を初めて行った。その結果、経営の多角化、水産、収入、外部からの支援プロジェクトに関して、緩衝地帯コミュニティの特色を明らかにした。また気候変動に起因する極端現象と実際の農業生産量とリンクさせることで、気候変動の地域特異的な影響を分析することが可能となった。

## （2）環境政策への貢献

### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

### <行政が活用することが見込まれる成果>

- ・ 開発途上国における気候・生態系変動に対する脆弱性が認識され、それに対する適応策の確立が求められている。これに対して近年、「レジリエンス (Resilience)」が注目されるものの、気候・生態系変動に対する適応研究に応用することで、従来の適応策が具体的にどう変わりうるか、実証的な研究は世界的にもほとんどなされていない。本研究からアジア農村地域において、伝統的生物生産方式、近代的生物生産方式の双方に対する、あるいは両者を統合する介入オプションを通じてレジリエンスを強化する可能性が明らかとなった。

## 6. 国際共同研究等の状況

### 1) 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書(AR5)・WGⅡにおける貢献

本研究課題の代表者である武内和彦教授が、Reading Editorを務める、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書(AR5)のうち第2作業部会(WGⅡ)の報告『気候変動2014 - 影響・適応・脆弱性』に本研究の研究成果が貢献した。

### 2) International Conference on Sustainability Science in Asia (ICSS-Asia) 2012 における貢献

ICSS-Asiaは東京大学サステナビリティ学連携研究機構が中心となり主催するもので、サステナビリティ学の構築に関して国際的なネットワーク形成を行うこと目標にしている。サステナビリティ学に関する各国の国際的なネットワークの経験や知見の交流、そして、教育、実際の社会実装の方法などの課題が議論される。

2012年度は、2013年2月8日-8に亘ってオーストラリア国立大学(オーストラリア)にて開催され、本研究として「Enhancing Resilience for Establishing Nature Harmonious Society」のセッションを運営した。

### 3) International Conference on Sustainability Science in Asia (ICSS-Asia) 2011 における貢献

2) 同様、ICSS-Asiaに関して、2011年度は、2012年1月11日-13日に亘ってベトナム国家大学ハノイ校(ベトナム)にて開催され、本研究として「Rebuilding the Relationship between People and Nature」のセッションを運営した。2) および3) より特にアジアにおけるサステナビリティ学の貢献に関する国際的な貢献を行った。

## 7. 研究成果の発表状況 ※【別添】H25研究等報告書作成要領 参照

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) 鴨下顕彦、日本作物学会紀事、80、1-12(2011). 「イネ(Oryza sativa L.)の耐乾性改良研究の現状」

#### <査読付論文に準ずる成果発表> (対象：社会・政策研究の分野)

- 1) 鴨下顕彦：カンボジアの水田雑草—多様性・管理・利用— 植調誌(2013) (印刷中)

#### <その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない。

### (2) 口頭発表(学会等)

- 1) H. Matsuda, T. Nakajima and A. Riffin, The Australian Agricultural and Resource Economics Society (AARES) 2012 Annual Conference, Fremantle, Australia, 2012. “Agricultural Research and Development Activities in Indonesian Public Sector.”

- 2) 小山浩実・松田浩敬・Bich, Y. T.・Dinh, V. T. H.・黒倉 寿・鴨下顕彦：日本熱帯農業学会，ベトナムの子どもの農業観に関する予備的な研究－ゲームによる公共性と授業による態度変容の解析－
- 3) 小山浩実・鴨下顕彦・松田浩敬・黒倉 寿・Bich, Y. T.・Dinh, V. T. H.・Roat, M.：日本熱帯農業学会，ベトナムとカンボジアの子どもの農業イメージの比較
- 4) Mohan, G. and Matsuda, H.: International workshop on Strategy to Enhance Resilience to Climate and Ecosystem Changes Utilizing Traditional Bio-Production Systems in Rural Asia, Vietnam, 2013, “Regional Level Total Factor Productivity Growth and Its Determinants in Vietnam Agriculture”
- 5) Mohan, G. and Matsuda, H.: The Fourth International Conservation Agriculture Conference in Southeast Asia on producing more while enhancing ecosystem services, Cambodia, 2013, “Effects of Conservation Agriculture Practices on Rice Yield in Kurunegala District in Sri Lanka.”

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

### (4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

- 1) 第1回 CECAR Asia プロジェクトキックオフ・ベトナムワークショップ（2011年6月30日-7月1日、ベトナム・ハノイ）
- 2) 第1回 CECAR Asia プロジェクトキックオフ・インドネシアワークショップ（2012年1月6日-8日、インドネシア・ジョグジャカルタ）
- 3) 「国際ワークショップ レジリエント・アジア 持続可能な未来のための伝統と近代システムの融合」国際連合大学エリザベス・ローズ国際会議場、東京、日本、2014年2月14日

### (5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 日経ビジネス（2011年11月7日、自然共生社会とグリーンエコノミー 生態系を維持し成長できる社会に 農林水産業を中核に多彩な産業を結集、26-27頁）
- 2) Japan SPOTLIGHT（2013年1-2月号、“Acknowledge Coordinator Seeking Harmony between Nature & Society”）

### (6) その他

特に記載すべき事項はない。

## 8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

## (2) 伝統的知識・技術を生かしたレジリエンス強化策に関する研究

国際連合大学

サステナビリティ高等研究所 (UNU-IAS) 梁 洛輝  
サステナビリティ高等研究所 (UNU-IAS) 齊藤 修  
サステナビリティ高等研究所 (UNU-IAS) 毛利 英之

平成23(開始年度)～25年度累計予算額：42,945千円

(うち、平成25年度予算額：13,214千円)

予算額は、間接経費を含む。

### [要旨]

本サブテーマは、アジア農村地域の長い歴史のなかで培われてきた伝統的な知識・技術を分析評価したうえで適応策に応用することで、気候・生態変動に対する地域のレジリエンス（変化を社会や生態系が吸収し、攪乱後に元の状態に戻る能力）を強化するための方策を明らかにすることを目的とする。サブテーマ（1）とサブテーマ（3）の分析結果に基づき、伝統的な生物生産方式を生かした効果的なレジリエンス強化戦略を検討した。そのための研究ワークショップを国内と研究対象国（スリランカ）で開催し、新たな適応策の国際枠組みにも考慮したうえで統合的な農村地域開発ガイドラインを策定した。スリランカ北部キリノチでは地表水が乏しく、また旱魃が大きな問題となっているが、これまで地下水の活用・開発が十分にされてこなかった。今後人口増加が見込まれる同地域において水資源の確保が最重要課題であり、本研究の地下水などの研究結果に関して実際に、地方政府および灌漑局と活用することへの同意を得ており、今後の当該地域の環境政策への貢献が見込まれる。また地域の伝統的な知識・技術を最大限活用し近代的なシステムと融合することを重視し、それを通じて地域行政や住民の能力形成やエンパワメントを促すことで、地域住民の問題解決能力の向上を図っていることが明らかとなり、これによって気候変動枠組条約における農村部での適応策・緩和策の提示や生物多様性条約における「生物多様性の保全と持続可能な利用」への貢献が期待される。

### [キーワード]

ホームガーデン・システム、伝統的知識、レジリエンス、スリランカ、生物生産方式

### 1. はじめに

アジアには多種多様の伝統的農業ランドスケープが存在しており、これまで1000年以上を通じて様々な災害や社会的変容に耐えてきた。これら伝統的システムがもつ「サステナビリティ」は統合的資源管理、物質循環の維持、社会や生態系の様々なサービスを基とした高いレジリエンスをもつ。しかしながら、それら伝統的システムの生産量は高いとはいえ、現代の生活スタイルを維持するには非常に困難である。一方、近代的な農業システムは、今日の人口と経済成長の高い要求に応えるための生産性の高い効率的となっている。しかし、これらのシステムは、高

度に最適化され、既存の気候や生態系の状態の変化に対して不全のリスクを生み出している。システム全体のレジリエンスを高め、それと同時に生産性も向上させることが可能な、伝統と近代の2種のシステムの利用と管理方法を統合するための枠組みを開発することは可能であろうか。これが本研究が研究対象とする、ベトナム、インドネシア、スリランカ、3カ国におけるそれぞれが持つ伝統と近代的な農業システムの比較研究を通じて対処しようとする研究課題である。スリランカでは社会的レジリエンスを強化し、コミュニティの持続可能な開発を推進するために、古代灌漑システムとキャンディホームガーデンを選定した。インドネシアは、伝統的ホームガーデンであるペカランガンと林業と焼き畑式農法の組み合わせであるケブントルンに焦点をあてた。ベトナムでは作物栽培、養殖漁業、畜産を組み合わせたVAC(Vuon=庭、Ao=池、Chuong=家畜小屋)システムを対象とした。これら伝統知識と技術をまとめることにより、どのように近代の科学的方法が対象国の農村開発を補助できるか提示できるかが期待される。伝統と近代的システムからなるモザイクシステムはそのシステム全体のレジリエンスを向上させると共に、生産量などの増加による農家の生計を向上させることが見込まれる。

## 2. 研究開発目的

本サブテーマは、アジアの農業に対する気候・生態系変動と、社会経済の影響・脆弱性を、計量・統計モデルや農村調査等を通じて定量的・定性的に評価し、商業的大規模生産方式と伝統的生産方式の双方のメリットを有機的に活用することで、社会のレジリエンス（回復力）を強化する戦略の案を提示し、アジア農村地域の持続可能な発展に寄与することを目的としている。

## 3. 研究開発方法

対象3ヶ国に共通する灌漑システムとホームガーデン・システムを対象とし、レジリエンス強化策のオプションを検討した。特にスリランカの研究対象地域においては、伝統的なシステムと近代的なシステムを組み合わせたモザイクシステムを提案するとともに、その定量的かつ定性的な評価を行った。

本研究では、対象3ヶ国に共通するホームガーデン・システムと灌漑システムを対象とした（表(2)-1、図(2)-1）。そのうえで、対象3ヶ国において、それぞれの現地協力機関の研究者と共同で研究ワークショップ及び現地調査を行い、現地の基礎情報と既往研究結果の収集だけでなく、伝統的知識・技術の事例情報収集を行った。また、2011年11月に行ったスリランカでの国際ワークショップでは、伝統的ホームガーデン・システム、古代の貯水灌漑システムや境界を越えた近代的灌漑システムのあり方について現地専門家と意見交換を行った。さらに、文献レビュー研究に加え、現地研究者と共に開発した調査票による聞き取り調査、村民へのヒアリング等により、現地で共有されている伝統知について情報収集を行うとともに、近代的生物生産システムへの適用可能性を焦点に分析を行った。

これらを踏まえ、生物生産システムの種類、技術開発、ガバナンスシステムや技術革新、文化や歴史、および生態系サービスを含めた3ヶ国における様々なレジリエントなシステムの要件を明らかにするため、レジリエンス評価の方法論の包括的な文献レビューを行い、評価指標の体系を整理した。

### (1) ホームガーデン・システムに関する研究

ホームガーデンについては、まずホームガーデンからの生態系サービスの多様性が一般および特定レジリエンス能力を高めるという仮説を設定したうえで、現地研究者と共に開発した調査票による個別世帯訪問による聞き取り調査、村民などに対する半構造的インタビューによる情報収集を行った。

表(2)-1 対象国における伝統的生物生産方式と主な農業セクターの関係

	伝統的生物生産方式の例	稲作	養畜	養殖	茶栽培・珈琲栽培	水資源管理
ベトナム	VACシステム Vuo (ガーデン, 果樹園) + Ao (養殖池) + Chuong (家畜小屋)を組み合わせたシステム	○	○	○	○	○
インドネシア	Pekarangan: 熱帯ホームガーデン (屋敷林) kebun-talun : 植林と組み合わせた切替畑	○	○	○	○	○
スリランカ	Wewa灌漑システム: 貯水池 (タンク) と水路のネットワークからなる伝統的な灌漑システム Kandy Homegarden: キャンディ地域に多くみられる熱帯ホームガーデン	○	○		○	○

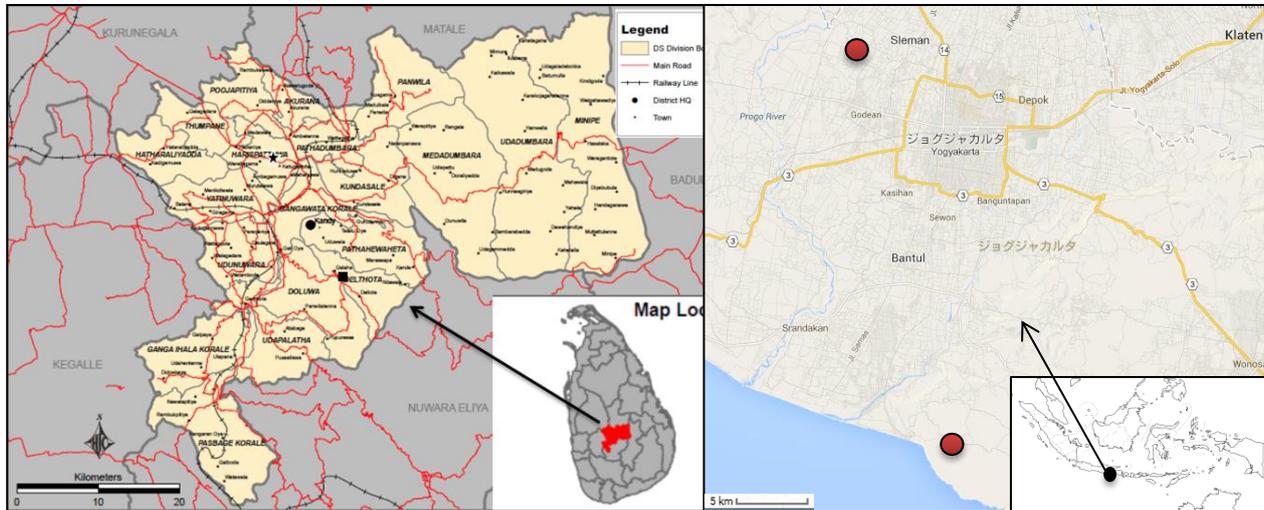


VAC

Kebun Talun

Kandy Homegarden

図(2)-1 3カ国におけるホームガーデン・システム

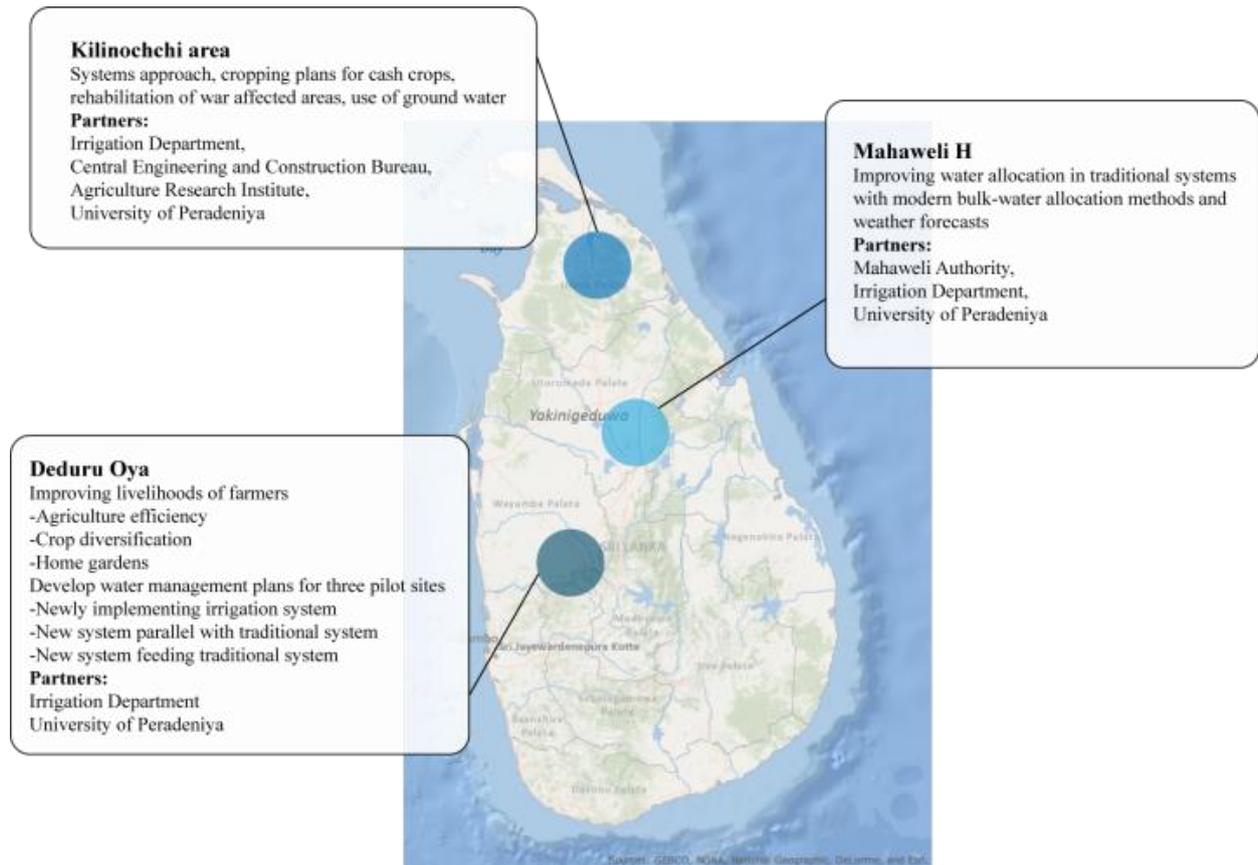


図(2)-2 スリランカ (キャンディ、左) とインドネシア (ジョグジャカルタ、右) の調査対象集落

研究対象国のホームガーデン・システムに関して、特にホームガーデンから得られる多様な生態系サービスの実態、現状での変化要因とその対応オプションに焦点を当ててデータ収集、解析を進めた。さらにデータ収集したスリランカのホームガーデンのサンプルデータの解析を進めた。同時に、インドネシアのジョグジャカルタ周辺の農村地域（2集落）のホームガーデンを対象として、調査票を用いた現地聞き取り調査を行い、その結果を解析した（図(2)-2）。

## （2）灌漑システムに関する研究

灌漑の研究においては、まず新旧含む灌漑システムを扱う各現地水資源管理関係機関（灌漑局、マハウエリ開発局、および中央工学コンサルタント局（CECB））を中心に議論を行い、それを基に水分配手順および運用上の観点に関する理解、現在の水分配実施法の向上方法を明らかにするための、近代的な灌漑システムの研究候補地を選定した。さらに、統合的な水資源管理システム（モザイクシステム）としての可能性のある伝統的な灌漑システムの抽出・選定を関係当局と協議によって進めた。これら現地各機関との議論の結果、スリランカでは三地区（①Kilinochchi, ②Mahaweli H, ③Deduru Oya）を選定し（図(2)-3）、現地調査、モデリングを基礎とし、水文モデル、経済分析、社会評価、リモートセンシング、地下水モデルなど学際的な枠組みで研究を行った。2012年度にはアメリカ大気研究センター（NCAR）が開発したWRF気象予測モデルを使用し、研究対象地における4日間ごとの毎時降水量予測するための自動降水量予測システムを開発した。また、水分配実施法の向上を目的とした近代的灌漑システム地における降雨量予測の有用性を評価するために、高解像度の雨量計を設置した。スリランカ水分配システムの最適化のための計算モデルの開発に着手した。最終年度では、これらの結果を集約し、日本国内（東京）及びスリランカにて国際ワークショップを開催し、プロジェクト外の研究者、行政関係者、さらに研究対象国の研究者まで、多様な関係者と情報共有し、また今後の展開について議論した。



図(2)-3 : スリランカの灌漑研究対象地域

## 1) 北部Kilinochchi地区

2009年まで内紛が続いていたスリランカ北部キリノチにおいて、農業と農家の生計に関する調査を行った。本対象地域では、長期に渡る紛争からの復興に加え、渇水が大きな問題としてあげられている。こういった地域における現在のニーズを考慮しつつ長期的な計画策定に貢献するための質問表を開発、また聞き取り調査を実施した。現地調査に基づく分析によると、作物の多様性やホームガーデンに対する地下水涵養の潜在性がみられた。この分析には衛星画像データ (AVNIR-2及びLANDSAT) を利用した植生指数によって、地下水と植生状態の関係が明らかになった。利用した指数は以下の通りである。

$$SDVI \text{ (Soil-adjusted vegetation index)} = (NIR - Red) / (NIR + Red + 0.5) * 1.5$$

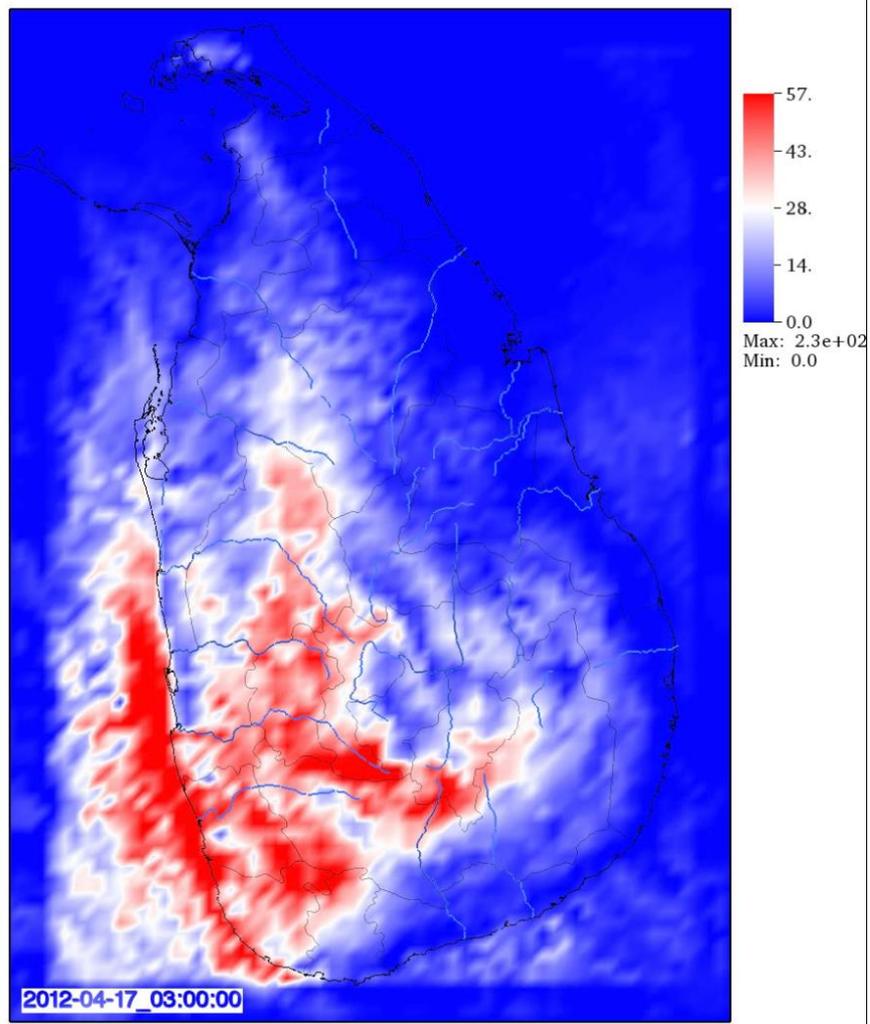
$$EVI \text{ (Enhanced Vegetation Index)} - 2 = 2.5 * (NIR - Red) / ((1 + NIR) + (2.4 * Red))$$

$$Tasseled\ Cap\ transformation\ Analysis\ (TCA) = Brightness, Greenness, Wetness$$

地下水涵養量の算出には、水解析モデル (MODFLOW) を利用し、持続可能な開発の潜在性を見込んだキリノチ流域の導水力学的および応力についてのより詳細 (1km グリッド解像度) なシミュレーションを行った。さらに推定涵養量の可変浸潤速度の効果を組み込んで、流域の水文地質枠組みに焦点を合わせた空間的涵養量を分析した。それに加え、作物の多様化を通じた収入向上を目的とした経済分析 (Error correction model) をスリランカ全域、過去八年間の市場データを基に行った。通常の経済分析では貨幣部門だけで行うところを、本研究では農業部門も考慮しシミュレーションを実施した。

## 2) Mahaweli H 地区

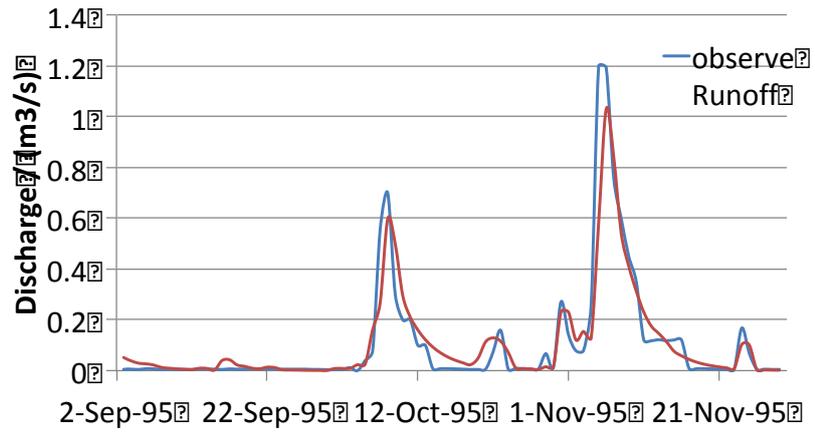
Mahaweli H 地域では、現状の水分配実施法について中央および地方政府職員、農業組合、農家などに対する聞き取り調査を行ったほか、高解像度の雨量計を設置して近代的灌漑システム地における降水量予測の有効性を評価し、それらにもとづいて水分配実施法の改善方策を検討した。降水量予測では、アメリカ大気研究センター (NCAR) が開発した WRF 気象予測モデルを使用し、研究対象地における4日間の毎時降水量予測するための自動降水量予測システムを開発した (図 (2)-4)。



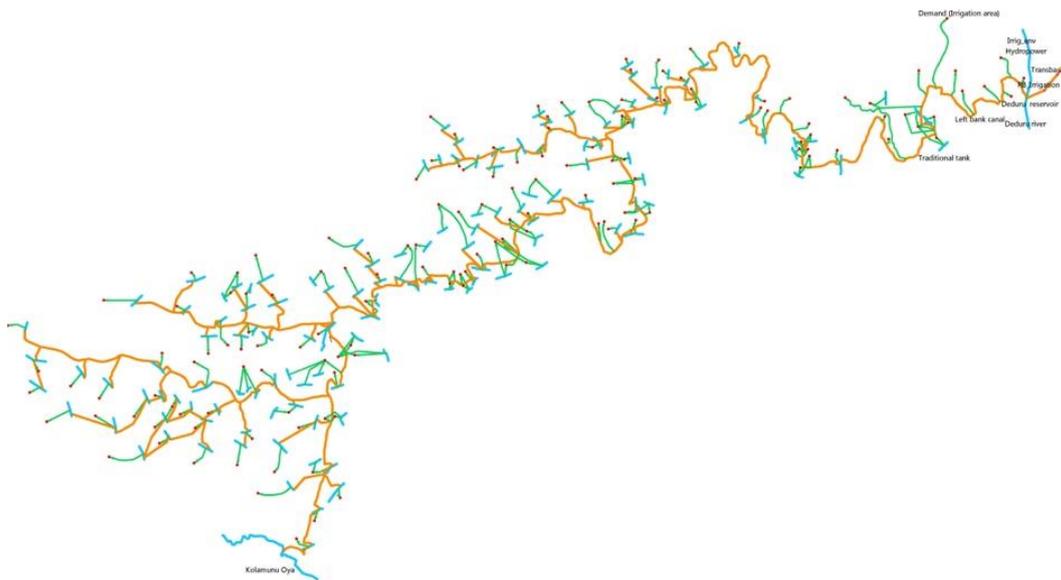
図(2)-4 : スリランカの降雨予報

### 3) Deduru Oya 地区

スリランカ国内 6 番目の水域をもつ Deduru Oya では、現在近代的な新貯水池を建設中で、2014 年に完成予定となっている。さらに、この近代的な新貯水池と流域に存在する約 300 の伝統的タンクシステムを統合的に管理する試みが政府主導で行われている。デドゥルオヤ新貯水池の左岸にある 134 個の伝統的タンクの正確な位置情報を現地調査に基づいて特定し、各伝統的タンクへの流入量を算出するモデル (HEC-HMS) を開発した (図(2)-5)。さらにデドゥルオヤ河川から貯水池への流入量を計算するための河川流出モデル (HEC-HMS モデルと SimHydr モデル) を構築、シミュレーションを行った。それらの各貯水池への流入量を考慮した上で、「水資源評価と計画」(WEAP) モデル (図(2)-6) を用い、デドゥルオヤ流域のモザイクシステムにおける水分配を考慮した水需要に対する供給率のシミュレーションを実施した。



図(2)-5 : シミュレーションモデルの構築と貯水池への流入量シミュレーション



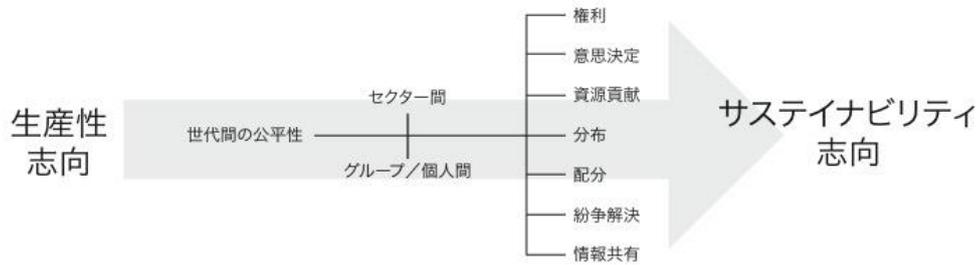
図(2)-6 : 伝統的タンクと新貯水池の組合せに関するシミュレーションモデル (WEAP)

また、このモザイクシステムを円滑に運営するためにはデドゥルオヤ流域全体での統合的水管理が必要である。そこで、現地聞き取り調査および文献レビューに基づき、各伝統的タンクや新貯水池、越境送水に対する水の所有権を議論するための公平性を基礎とした枠組みを開発した(図(2)-7)。

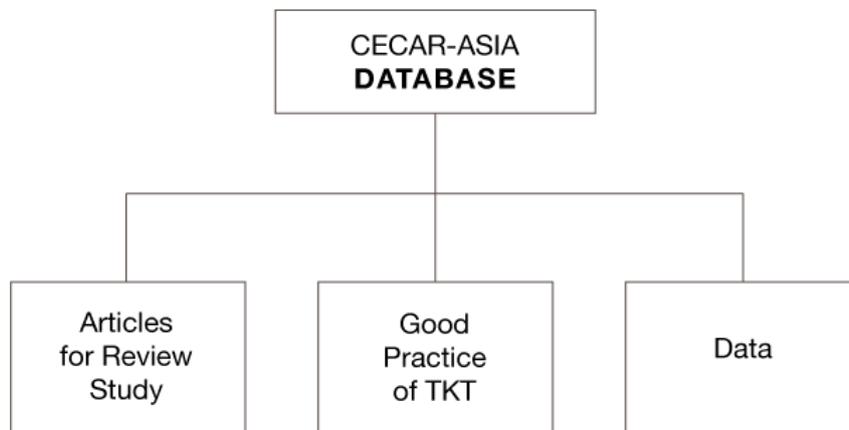
本研究スタート時には、日本国内に対象三ヶ国の研究者を招へいし、気候変動への適応に関する国際会議(5th UN-CECAR: University Network for Climate and Ecosystems Change Adaptation Research, 2011年11月)、およびレジリエンスに関する国際ワークショップ(Building Resilience with Common Capital, 2012年1月)を開催することを通して、レジリエンス概念を災害管理や環境管理に応用する方法や具体例について多角的に議論した。さらに2012年5月22日からタイにて第6回UN-CECAR国際会議を、同月28日からスリランカで第2回Building Resilience with Common Capital国際ワークショップを開催した。これらを通して共同研究内容の深化と現地研究協力機関とのさらなる研究体制強化が図られた。

一方、文献調査と現地調査で収集した情報をWebベースのデータベースを用いてデータベース化し、研究グループ内で蓄積・共有できるようにした。プラットフォームはDrupal CMS(Content Management System)を採用しており、利用者に分かり易い構造になっている。データベースは基本的に文献、非公式的な情報(Informal information)を含む伝統知識の優良事例、そしてデータの3つのカテゴリーに分けられている(図(2)-8)。さらにサーチエンジンやウェブマッピングアプリケーションなどをメタデータ用データベースに追加するなど開発を行った。

また最終的な研究成果発表のため、2014年2月に最終ワークショップを東京及びスリランカのコロomboで開催し、本研究の成果をプロジェクト内外の研究者、省庁関係、実務者と共有を図るとともに、研究成果の社会還元のあるあり方について具体的な討議を行った。



図(2)-7: 公平性を基礎とした枠組



図(2)-8: 伝統知識に関するデータベースの構造

#### 4. 結果及び考察

近代的システムはしばしば長期の安定的な状況を前提として設計されており、特に極端気象などの大規模な変動の影響に対するレジリエンス能力に欠けている。さらに長期的にわたる一元的な管理には限界があり、効率性を保つためには利用者であるコミュニティ（集落）の参加が必要不可欠になる。すなわち、近代的システムがもつ効率性と伝統的システムが有するレジリエンスと多様性の組合せがコメ生産などにとっても有効なオプションとなりうる。

##### (1) ホームガーデン・システムの生態系サービスと変化要因、対応オプション

これまで生態学や経済学など個別の観点から研究されてきたホームガーデン・システムについて、各国の研究者とともに、より学際的に捉え文献レビューを行い、対象3カ国の比較研究を行うことで、各国のホームガーデン・システムの時空間スケール、構造や機能の特徴、そこから人々が享受している生態系サービスの種類、質と量、近年における同システムの変化動向とその要因を明らかにすることができた。この成果は学術論文として国際学術誌（Ecosystem Services）で発表した。

対象3ヶ国のホームガーデン・システムを対象とした文献レビュー研究及び現地ワークショップ

での専門家からの情報収集の結果、供給サービスについて整理したのが表(2)-2である。ココナツ、バナナ、ジャックフルーツ、キャッサバなどについては三ヶ国共通でしばしば栽培されている。ベトナムとインドネシアでは養殖池がホームガーデン・システムの構成要素になっており、養殖池が家庭及び集落にとって重要な収入源になっているだけでなく、農村システム内の物質循環と生物多様性にとって重要な役割を果たしていることを把握した。養殖池がホームガーデン・システムの構成要素となっていないスリランカでは、ホームガーデン・システムにおいてナツメグやペッパーなど多様なスパイス植物が栽培されており、貴重な現金収入源になっていることがわかった。その他、調整サービス、文化的サービス、基盤サービスを含めて、三ヶ国のホームガーデン・システムからもたらされる各生態系サービスの特徴を明らかにした。さらに、対象三ヶ国のホームガーデン・システムでは、主に農業生産活動の近代化・商業化、都市化、人口増加が共通の変化要因であり、その一方でホームガーデン・システムは気候変動の影響には比較的強い生物生産システムであることが示唆された。ベトナムのVACシステムはインドネシアとスリランカに比べるとより商業的に営まれており、一部ではホームガーデン・システムでの栽培品種のモノカルチャー化が進められているが、VACシステムにはそのビジネスモデルと生態系管理システムに多くのバリエーションがあることも明らかにした。

表(2)-2 ホームガーデン・システムより得られる供給サービス (Mohri, et al. 2013)

<i>Provisioning services</i>		<i>Javanese homegardens</i>	<i>Kandyan homegardens</i>	<i>VAC system</i>
<i>Food</i>	<i>Crops</i>	<i>Major food crops</i>	Rice, maize, coconuts, taro, sweet potato, cassava, yam, ganyong, spinach, wing bean, eggplant, leafy vegetables, etc.	Rice, corn, sweet potato, citrus, black bean, cassava, yam, banana, coconut, jackfruit, banana, luffa, orange pomelo, longan, kumquat, spinach
		<i>Major cash crops</i>	Coconut, banana, orange, mango, jackfruit, papaya, guava, coffee, clove, etc.	Bamboo, pineapple, jackfruit, guava, papaya, banana, lime, orange, pomelo, lychee, pear chilies, kangkon (in the fishpond), etc <sup>8</sup>
	<i>Livestock</i>		Chickens, cows, goats and sheep <sup>7</sup>	Buffalo, cow, pig, chicken, duck <sup>10</sup>
	<i>Aquaculture</i>		Fishpond as a part of system	Carps, robu, mrigal, mud carp, tilapia (Limited number of case), soft shell turtle, frogs, snakehead fish, and catfish <sup>8</sup>
	<i>Wild plant and animal food products</i>		Weed species used for herbal medicine, roofing, vegetables, and fodder <sup>7</sup>	Guava, vegetables, longan, lychee, chilies, cassava, bamboo <sup>9</sup>
<i>Fiber</i>	<i>Timber</i>		Important source of building material e.g., Sandoricum koetjape, crescentia cujete, jack fruit	Supplies 48% of the total sawlog demand of the country <sup>3</sup>
	<i>Fuel wood</i>		Supplies 40-80% of the rural fuel wood <sup>6</sup> e.g., Laban, bamboo, muntingia calabura	Supplies 38% of the total biomass fuel demand of the country <sup>3</sup>
	<i>Genetic resources</i>		Provides habitat for small wild animals such as birds, reptiles, and amphibians	Provides habitat for a wide range of species, from soil micro life to insects, including pollinators, and from crops, trees to mammals, birds, and other wildlife <sup>4</sup>
	<i>Natural medicines</i>		Extracts from medicinal plant provides treatment against various diseases and is consumed as a way of healthy life style	Most herbs and trees are used medicinally <sup>1</sup> e.g., Turmeric, ginger, vanilla, areca palm, clove, nutmeg, etc.
	<i>Nutrition</i>		Supplies 18% calories and 14% proteins <sup>2</sup> , and provides vegetable proteins, carbohydrates, vitamins, and minerals	NA

研究対象国のカウンターパート機関の研究者と共同でホームガーデンについての世帯調査票の開発と同調査票を用いた現地調査を行い、スリランカのキャンディ地域のGodamunna集落とKalugammana集落で計65件、インドネシアのジョクジャカルタ近郊のJati集落とSomokaton集落から計54件の調査票を回収した。調査の結果、同研究対象地で生育している優占樹種、薬用植物、スパイス等の品種などホームガーデンから得られる多様な生態系サービスと各生態系サービスへの依存度を明らかにした。また、現地調査では、気候変動に対して脆弱な種とレジリエンスの比較的高い種についても回答を得ることができた。表(2)-3はレジリエンス評価の観点からスリランカとインドネシアのホームガーデンの特徴を整理したものである。ホームガーデンは気候変動や国際市場価格の変化などショックに対しての一般レジリエンスを高める役割を果たしている。特に、スリランカではホームガーデンが国際的な認証制度を活用して、そこで生産したスパイスなどの産品を高付加価値を付けて国際市場に販売するという新たなビジネスモデルが小規模ではあるが集落単位で進められつつあることがわかった。また、このビジネスモデルでは、プランテーション化のような大規模化・集約化ではなく、あくまでも既存のホームガーデンを活用した小規模農家の経営改善が図られており、結果として伝統的なホームガーデンが地域において空間モザイク状に維持され、それによって地域ランドスケープ全体の生物多様性が保全されていることが明らかとなった。

スリランカのキャンディ地域のフィールド調査の結果、対象集落のGodammunaでは、もう一方のKulugammunaと比較して、ホームガーデンからの作物を含めた収入源が多様であること、そしてより都市化が進みつつあるKulugammunaでは農業以外の所得の占める割合が大きい傾向があることがわかった(表(2)-4)。なお、ホームガーデンからの産物としては、Godammunaではコショウ、Kulugammunaではナツメグが優占する。

次に、対象2集落において食生活に関してどのくらい自家生産(自給)でまかなっているかを把握した(図(2)-9)。その結果、Godammunaではより多くの品目がホームガーデンからの産物等によって自給されているのに対し、都市化の影響を受け、農業以外の所得の比率が高いKulugammunaでは、自給されている品目数が少なく、かつ自給率も全体的に低いことが明らかになった。また、インドネシアでの調査結果でも同様の傾向が確認された。

一方、ホームガーデンに対する変化要因について、スリランカ(キャンディ地域)では、水資源不足、野生動物(サルやイノシシ)による食害、都市開発と土地の分断化、収入源や生活様式の変化が主な要因であることがわかった。

気候変動との関係で水資源不足への対応を調査した結果、スリランカのホームガーデンでは、干ばつに強い種(作物)としてコショウ、ジャック、ココナツなどを意図的・選択的に使っていることがわかった。ただし、近年の干ばつは過去のものより強いため、耐性があるとされる種でも枯死するなどの事例も指摘された。また、伝統知を用いた対応策としては、雨季における水の涵養とホームガーデンの土壌流出抑制のため、伝統的な排水路(溝)整備という回答が最も多かった。

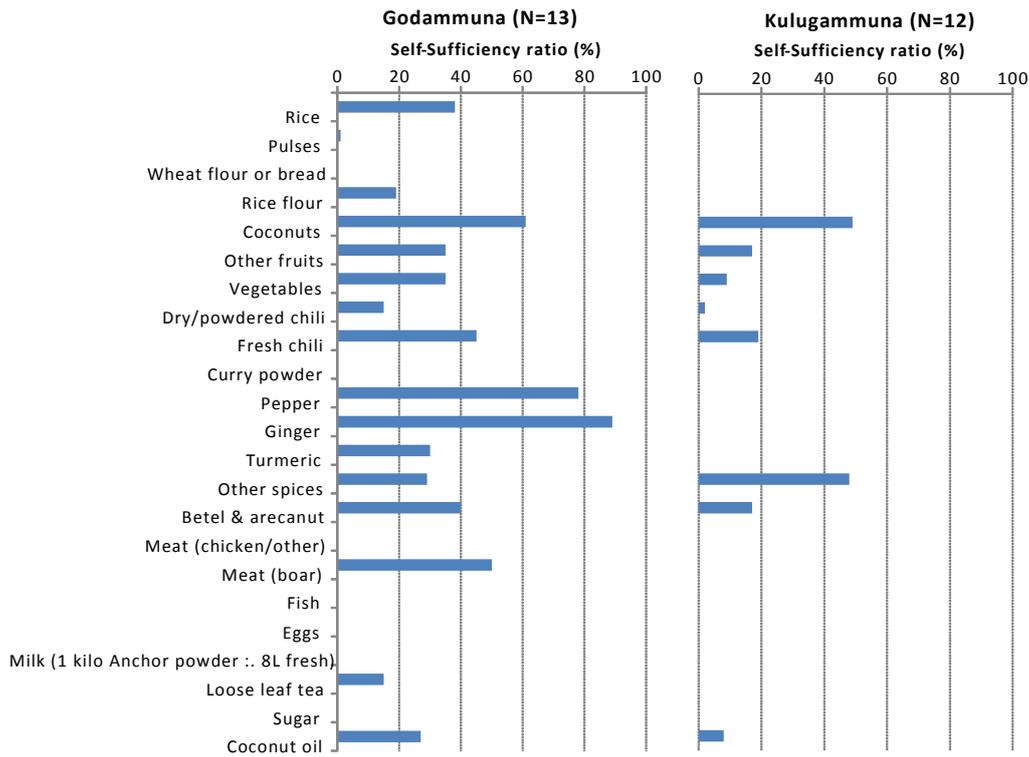
以上のような現地調査結果を踏まえ、ホームガーデン・システムのレジリエンス強化のため図(2)-10のような世帯レベルから国際レベルまでの複数レベルでのレジリエンス強化オプション体系を提示した。

表(2)-3 スリランカとインドネシアにおけるホームガーデンの  
レジリエンス評価結果の概要

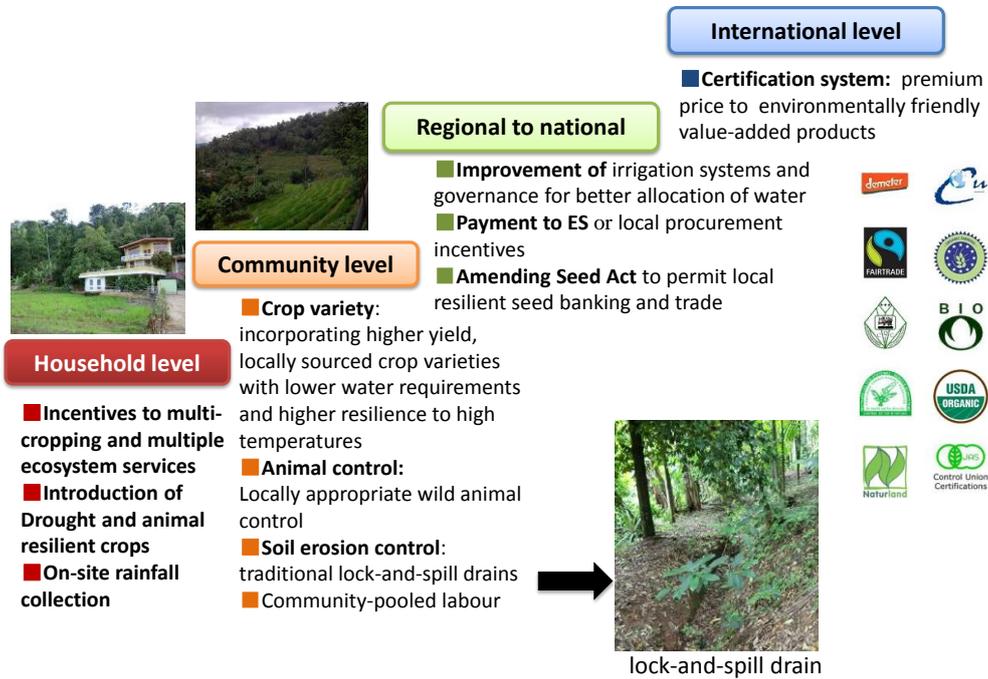
調査地区	特定レジリエンス		一般レジリエ ンス	変容可能性 (社会システ ム)	介入オプション
	自然的・社会 経済的変動	ショックに対 する対応			
スリランカ キャンディ	乾燥・少雨化 国際農産物価 格の変動 野生動物に よる農作物被 害	作付け作物の 転換（多種ス ライス栽培）	都市近郊立地 を利用した高 付加価値型	協働管理 社会ネットワ ーク強化	認証制度 ゾーニング 直接支払 観光振興 世界農業遺産 (GIAHS) 農業技術支援
インドネシア キドゥル	乾燥化、降雨 パターン変動 アジア通貨 危機	乾期畑の捨て 植え化 雨水集水等 食料自給	経済危機に対 応できる危機 管理型	農民組織選別 強化 出稼ぎ	農業・灌漑 技術支援 大学の支援 REDD+

表(2)-4 スリランカの調査対象2集落の家計収入源 (No. of HH: the number of households)

Income Sources	Godammuna (N=40)							Kulugammuna (N=25)						
	No. of HH	% of HH	Contribution to total income					No. of HH	% of HH	Contribution to total income				
			<= 20%	21- 40%	41- 60%	61 -80%	81- 100%			<= 20%	21- 40%	41- 60%	61- 80%	81- 100 %
<b>Farm income:</b>														
Rice & maize	24	60	8	5	3	7	1	1	4	1				
Fruits	10	25	9	1				1	4	1				
Spices	24	60	20	2	2			17	68	10	3	1		3
Tea	2	5		1			1							
Livestock	4	10	3		1									
<b>Off-farm income:</b>														
Government or private employment	30	75	6	4	7	3	10	23	92	1		2	3	15
Forest products and wild vegetables	1	2.5	1					1	4	1				
Children's support	2	5			1		1							



図(2)-9 スリランカの対象2集落における食の自給率



図(2)-10 ホームガーデン・システムのレジリエンス強化オプション体系

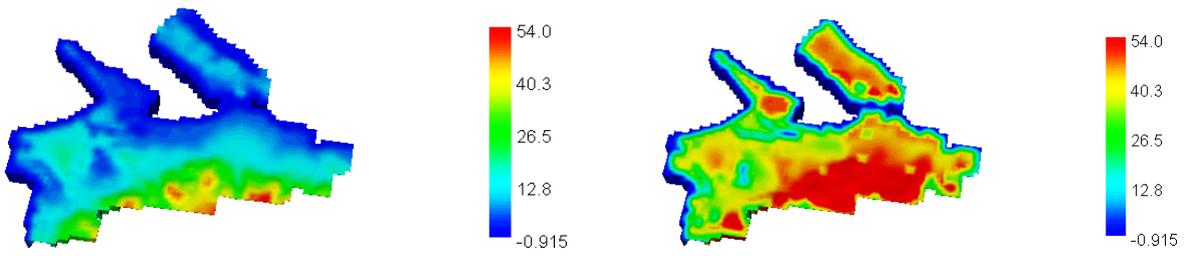
## (2) 灌漑システムに関する研究

近代的システムはしばしば長期の安定的な状況を前提として設計されており、特に極端現象などの大規模な変動の影響に対するレジリエンス能力に欠けている。さらに長期的にわたる一元的な管理には限界があり、効率性を保つためには利用者であるコミュニティ（集落）の参加が必要不可欠になる。すなわち、近代的システムがもつ効率性と伝統的システムが有するレジリエンスと多様性の組合せがコメ生産などにとっても有効なオプションとなりうる。

### 1) 地下水利用との組み合わせ (Kilinochchi地区)

Kilinochchi 地域においては、2009 年まで行われていた内戦による小中規模の貯水池の破壊、人口増加に伴う水需要の増加、また常に水不足が深刻であるという背景から、現在行われていない地下水の利用の推進が考慮されるべきであり、それが気候・生態系変動だけでなく経済変動に対するレジリエンスの強化となる。そのため、MODFLOW とリモートセンシング技術を活用して研究対象地域の涵養域の解析、また水収支の計算を行い、地下水利用の可能地域を明らかにした。

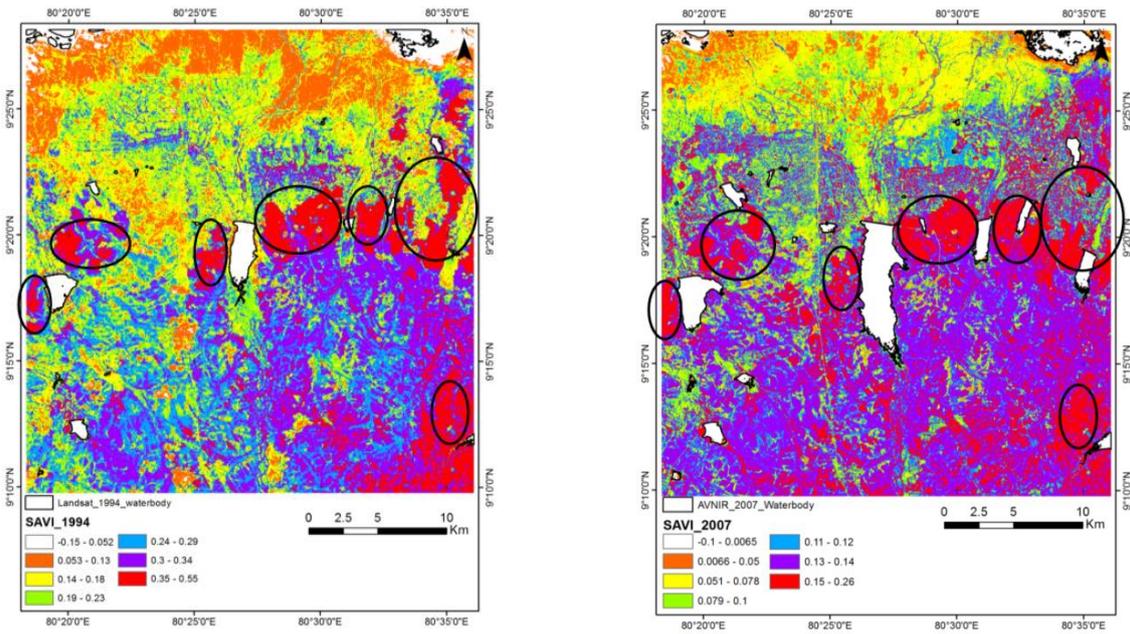
農作物については作物の多様化が農家の収入向上も含めたレジリエンス能力の向上につながると考えられる。実際スリランカでは作物の多様化を行っている農家が非常に大きく収入を増やしていることが報告されている。スリランカ北部では水資源管理が常に課題であるが、これまで地下水利用に関してはこれまで十分に開発がされてこなかった。本研究では、地下帯水層の涵養量を推定する評価モデル (MODFLOW) を構築し、研究対象地域における地下水涵養量を明らかにし、地下水の潜在性を確認した (図(2)-11)。また、地下水の活用は、最も効率的かつ安価に農家に水を供給できることが分かった。今後は、現地の井戸や水流計などのデータと統合することで、持続可能な資源管理と戦略計画のためのモデル性能と信用度の向上が期待される。また、リモートセンシングを使った SAVI、EVI および TCA の分析結果によると、貯水池から離れているところのものとは比べると明らかに貯水池付近の植生が高くなっていることが分かった (図(2)-12, 13, 14)。



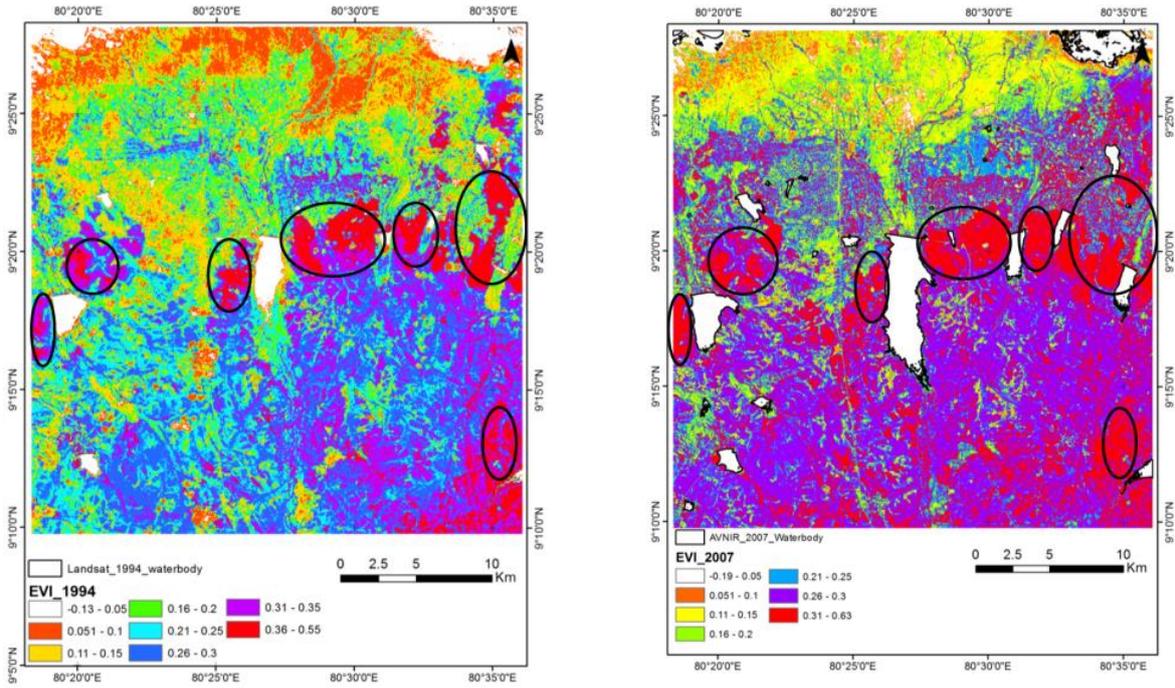
Head contours at the beginning of the simulation (Stress period 1, Time step 1)

Head contours at the end of the simulation period (Stress Period 12, time step 365)

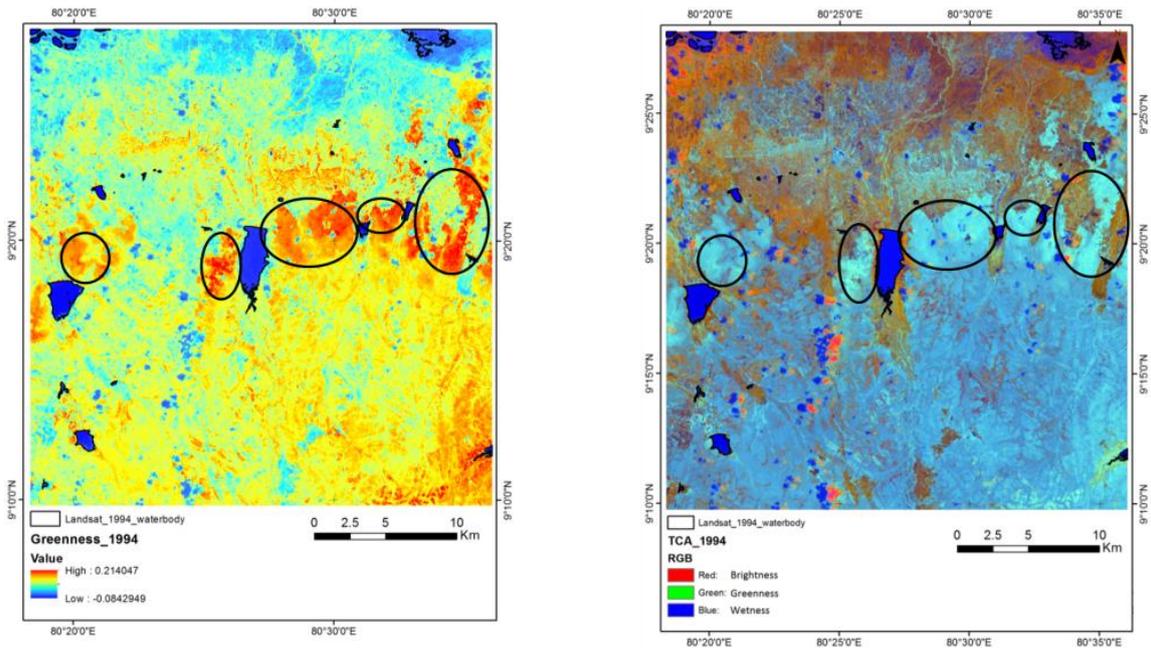
図(2)-11 地下水涵養量の算出のための地下水シミュレーション



図(2)-12 SDVI (Soil-adjusted vegetation index)

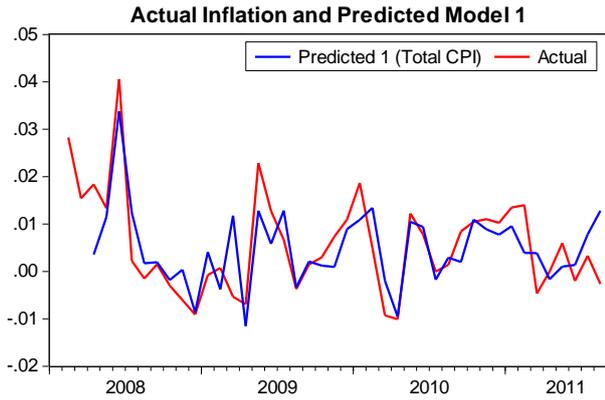


☒(2)-13 EVI (Enhanced Vegetation Index)

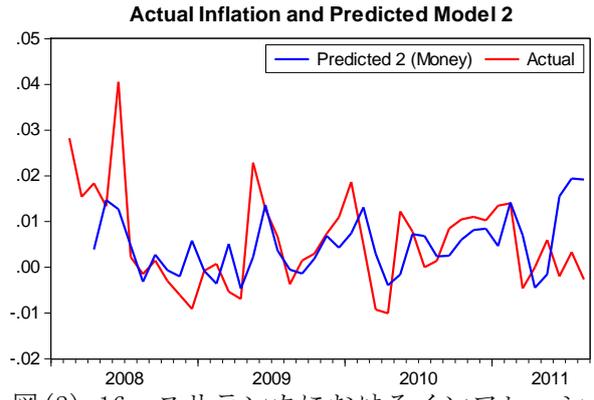


☒(2)-14 Landsat TM based Tasseled Cap Transformation

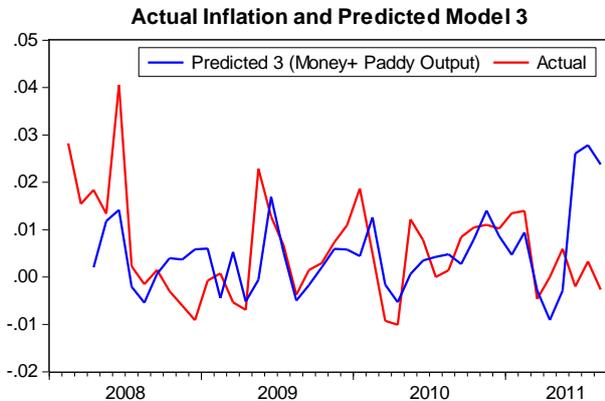
さらに、経済分析（誤差修正モデル）を通して、農家が受けうる利益について分析した。スリランカのインフレーションは常にコメ価格の増加よりさらに上をいっていることが分かった。さらに本研究で使用した経済分析は農業生産高に対する非常に高いインフレーションの偏りがみられた。生産物群内での価格の高い相関関係と、季節によって価格に大きな幅があることを明らかにした（図(2)-15～20）。



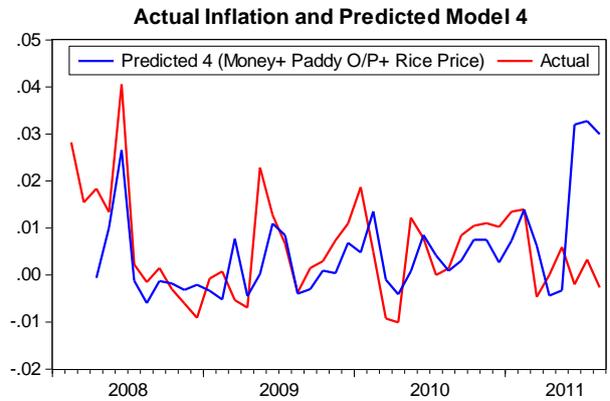
図(2)-15 スリランカにおけるインフレーションモデル (総CPI)



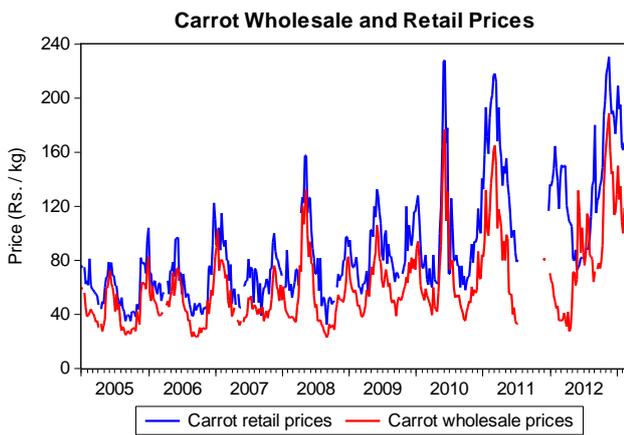
図(2)-16 スリランカにおけるインフレーションモデル (Money)



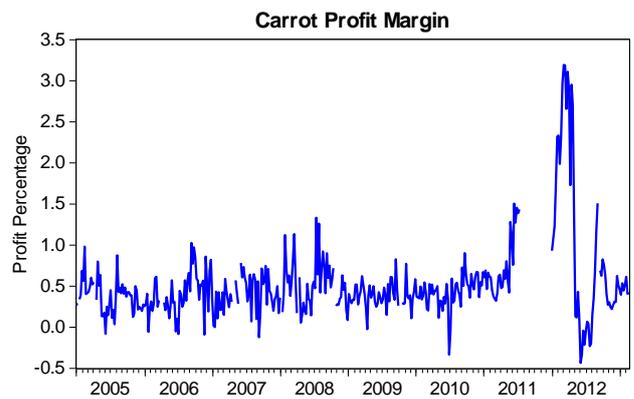
図(2)-17 スリランカにおけるインフレーションモデル (Moneyとコメ生産)



図(2)-18 スリランカにおけるインフレーションモデル (Money+コメ生産+コメ価格)



図(2)-19 ニンジンの卸価格と小売価格



図(2)-20 ニンジンの利幅

そのほか、キリノチ地域では現地調査の結果、長期に渡る紛争が理由で時にホームガーデンでのノウハウなどが失われていることが分かり、特に乾燥期における適切な品種の栽培が行われていないことが明らかになった。これらの状況に対し、地下水の有効活用、作物の多様化、また①のホームガーデンの研究が現地の開発計画に組込まれることが期待される。

## 2) 気象予測の活用と伝統的水分配システム (Mahaweli H 地区)

第2の研究地域であるMahaweli H地区では、実時間予測を使用した、水稻農業システムに対する水分配の改善に焦点をあてた。この地区では、マハウェリ開発局が管理するマクロスケールシステムと、作付計画と耕作者レベルへの水分配の責任がある現地農業組合に対するバルク水分配モデルの実施を基に、灌漑システムの成功例としてとして参加型の水管理プログラムがあることがわかった。しかしながら、現在農業組合による節水の努力は、得てして水利権が認められていないことから報われていない。気象予測導入することで、さらなる節水や、次の季節で使うことができるように水を溜めておくことが可能になることが期待できる。現在の水配分管理の改善のための気象予測を試験的に実施しており、今後は観測データに基づくモデルの補正を行い、この研究成果を現地関係機関と議論を行いながら現行の水分配実施法へ組み入れる予定となっている。

## 3) :伝統的タンクシステムと近代的システムのモザイクシステムの有効性検証 (Deduru Oya 地区)

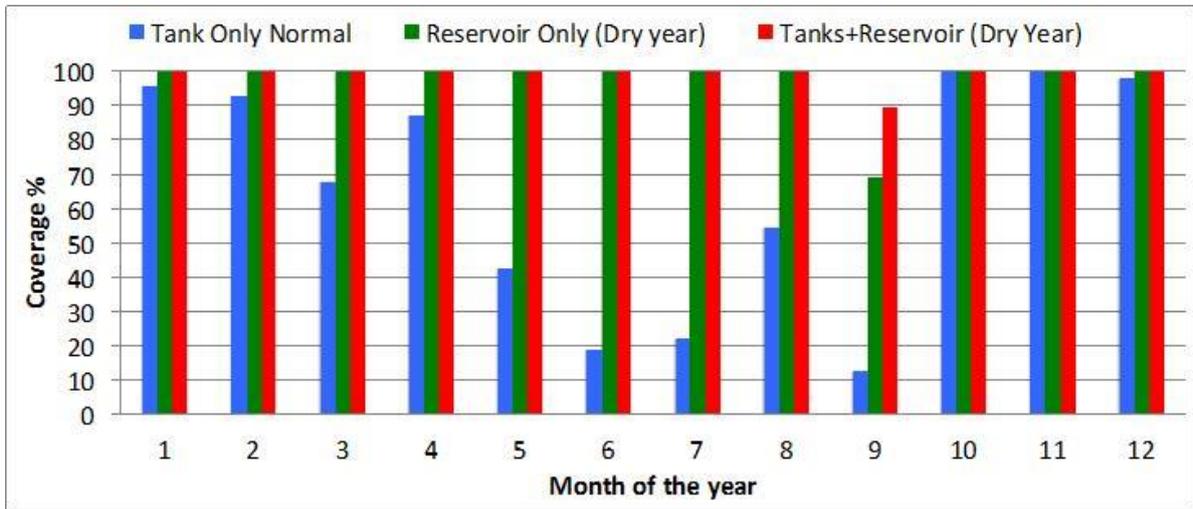
Deduru Oyaはスリランカで6番目に大きい集水域であるが、現在約60%の水が利用されないまま海に排水されている。現在灌漑局がおこなっているDeduru Oyaプロジェクトでは、そのような水を有効活用し、特に乾燥地などの水不足の解消のためにダム建設などのインフラ整備を政府が行っている。Deduru Oyaプロジェクトでは、伝統的な灌漑と近代的な灌漑を組み合わせた以下の三つのシステムが計画されている。(a)ダムや新たに敷かれた水路などを含む近代的灌漑システムを実施している地区、(b)近代的灌漑と伝統的システムが別々に共存している地区、さらに(c)ダムなど近代的システムによって伝統的なシステムを強化(後者に対して給水するなど)。

伝統的タンクシステムと新貯水池(近代的システム)のモザイクシステムの有効性を検討したスリランカのデドゥルオヤ地域の水管理に関する分析結果は、以下の通りである。

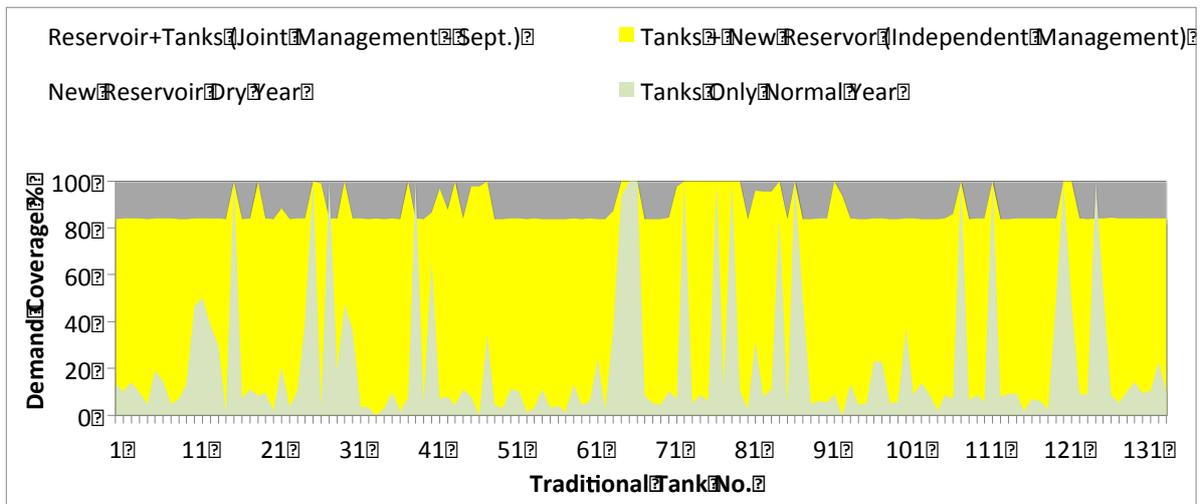
- 伝統的なシステムのみでは既存および新しい稲作生産への灌漑需要には応えることができない。
- 新貯水池(近代的)は通常年ではすべての需要に応えることができるが、渇水年(5年に1度の頻度)においては不十分である。
- 新貯水池と伝統的タンクの組み合わせはこれを向上させるが、もし水分配がそれぞれ行われた場合、水需要には応えられない。

特に渇水年9月の共同管理において、伝統的タンクから優先的に利用し、新貯水池と相互補完的に運用する事で総水需要量に対応できることが明らかになった。小規模伝統タンクへの流量の推定することが、実際のオペレーションの評価にとって重要になってくる。過去のデータの取得が不可能であったため、貯水池への流量予測モデルを開発しこれを実施した。この情報をもとにWEAPモデルで水需要に対する供給度を算出した結果、新貯水池が完成すれば、渇水年においても75%程の水需要には応えることができることが分かった。特に渇水年の9月では、伝統貯水タンクと新

貯水池を足しても需要量には応えられないという結果になった（図(2)-21）。しかしながら、これらに対して伝統的タンクと新貯水池を統合的に管理した場合はそれらの需要に100%供給できるという結果となった（図(2)-22）。



図(2)-21 水域における年間の水需要に対する供給度



図(2)-22 9月の水域各伝統的タンクの水需要に対する供給度

**4)：水資源の共同管理に向けた公平性概念に基づくガイドライン**

前項で示した通り、小規模伝統的タンクの渇水年における役割が非常に重要である。しかしながら、このようなモザイク式の管理を実現可能にさせるためには統合的な共同管理手法が必要となる。前述の伝統的水管理であるバルク水分配手法をベースに、個々に管理を行うのではなく、包括的に行うことで、水域全体の水供給バランスを向上させ、渇水年でも対応することができる。公平性概念を組み込んだ農業組合設立及び水管理手法およびガイドラインは以下の通りである（表(2)-6、表(2)-7）。

表(2)-6 農業組合設立に対するガイドライン

1. リスク管理にたして、包括的なキャパシティ構築を組込む
2. 明確かつ測定可能な水利権の付与
3. 意思決定や適切な権利分配の透明性
4. 作物、水資源、生計の多様化
5. 水の生態学的な機能に配慮した設計と運用
6. アカウンタビリティ（説明責任）
7. 適正なインセンティブと施工構造
8. 現地の物理的条件にあった施設
9. 統合的水資源管理アプローチ
10. 政府機関と水利用者間での相互における信頼と関係

表(2)-7 水資源の共同管理に関するガイドライン

公平性の側面	マハウェリH	デドウルオヤ流域
権利 (1, 2)	明確且つ測定可能な水利権は農家の人々自身らの収穫に対する計画を行うのに対してエンパワメントになる。しかしながら水利権は多くの場合実際の利用可能な水量ではなく、予測される雨量を基礎としているので、リスク管理を組込む事が必要。	上流からの水に頼るアニカットシステムでは、水利権が保証されないため、収穫に失敗する事が多々ある。しかしながら、タンクシステムにおいては水権利が保証されている。
意思決定 (3)	意思決定における透明性が重要。これが原因で2012年のYala季に起きた旱魃の時に、農家と政府関係者の間で対立が起こった。	農業組合が会員を守るのに十分なパワーをもっていない。
資源への貢献 (2)	いくつかの農業組合などは経済的な問題からフィールドレベルの構造物の維持が十分でない。	いくつかの農業組合などは経済的な問題からフィールドレベルの構造物の維持が十分でない。
分配 (8)	事前に決められたスケジュールでの、耕作範囲と作物種を基本として測った（上流および下流の利用者に平等に分配されるように）。	異なった物理環境への適応：上流から下流へのタンクシステム；下流から上流へのアニカットシステム。
分布 (6, 7)	Jalalalaka(水管理者)による政治的な臆戻や十分でない運営力（アカウンタビリティの問題）。役人が臨機応変に対応し、必要に応じて水をリイシューする（柔軟性）。	高い社会的な親族関係は強いインセンティブをもつが、弱い施行につながる。主に雇用されたjalalalaka(水管理者)による監視と運営が強いアカウンタビリティをもつ。
競合の解消 (10)	フィールドレベルの職員や農家のリーダーが諸問題や競合の解決することが求められる。すなわち、政府機関と水利用者間での相互における信頼と関係の構築が必要。	フィールドレベルの職員や農家のリーダーが諸問題や競合の解決することが求められる。すなわち、政府機関と水利用者間での相互における信頼と関係の構築が必要。
情報共有 (2, 4, 9)	品種の多様化、様々な分野でのキャパシティ開発、さらに統合的なアプローチによる農業、土地、水問題等の管理のための体系的なトレーニングや啓発活動。	体系的なトレーニングや水に対する量的感覚に欠けるため、技術的なキャパシティ構築が必要。
世代間 (2, 5, 9)	耕作範囲の最大化は外部からの水資源に頼ることになり、リスクにつながる。機能面においても、湿地帯に分布されてきた水や地下水涵養など、水資源が持つ生態的な機能に対して取り組む事が必要。人口増加は土地浸食を悪化させる。	多くの世代にわたり、随時適応すると共にシステムを機能させてきた。ローカルな物理的状态への適応。

\* ( ) 内の数字は上記の指針に対応

### (3) 研究成果の統合のための研究ワークショップ

日本国内に対象3ヶ国の研究者を招へいし、気候変動への適応に関する国際会議(5th UN-CECAR: University Network for Climate and Ecosystems Change Adaptation Research, 2011年11月)、およびレジリエンスに関する国際ワークショップ(Building Resilience with Common Capital, 2012年1月)を開催することを通して、レジリエンス概念を災害管理や環境管理に応用する方法や具体例について多角的に議論した。さらに2012年5月22日からタイで開催した第6回UN-CECAR国際会議、同月28日からスリランカで第2回Building Resilience with Common Capital国際ワークショップを開催し、さらなる議論を行った。これらを通して共同研究内容の深化と現地研究協力機関とのさらなる研究体制強化が図られた。

また2014年2月に東京とコロンボ(スリランカ)にて最終ワークショップを開催し、本研究成果の統合のあり方と環境政策へ貢献のあり方について討議した。その結果、スリランカ灌漑局とMoU(覚書)を締結し、モニタリングを含む今後の継続した水管理手法の開発や研究、また研究成果の政策への活用などに関して同意をえた。また北部キリノチ地域での政策へ地下水に関する研究の活用に関しても地方政府と連携して行うことになった。

### (4) 伝統知識データベース構築とアウトリーチ

最後に、伝統的 생물生産システムに関して収集したデータや情報のメタデータ・データベースを構築することで、効率的かつ効果的な情報収集とその集積・共有が可能になった。データベース内には、現在までに文献が103件内包されている他、フォーラムやコメント欄などを介して各国の研究者と議論などができるようになっている(図(2)-23)。

また、ローカル・レベルでの伝統的知識・技術はしばしば科学的なピアレビュー・プロセスでは対象外とされているが、本サブテーマでは伝統的知識・技術のドキュメンテーション(文書化・映像化)を進め、その一部は、ドキュメンタリー映像としてスリランカ公営放送にて2回にわたり放映された(図(2)-24)。さらに、ドキュメンテーションした情報コンテンツを同データベースに組み込むとともに、それらを農家の啓発や能力開発に役立てていくことでレジリエンス強化策につなげていくことが期待される。

The image shows a composite of three screenshots from the GCS Resources website. The top-left screenshot displays a document information page for 'Kandyan homegardens: A promising land management system in Sri Lanka', including submission details and a navigation menu. The top-right screenshot shows a document list with entries like 'Invasive Agroforestry Trees: Problems and Solutions' and 'Toward an understanding of tropical home gardens'. The bottom-right screenshot is a 'Create Article' form with fields for title, name, author, year of publication, and abstract.

文献情報ページ

文献リスト

追加ページ

図(2)-23 文献データベース実際のサンプル



図(2)-24 スリランカにおける伝統的知識・技術に関するドキュメンタリー映像のサンプル

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

- ・ 気候変動および生態系変動にレジリエントなシステムを設計する上での伝統と近代システムのモザイクシステムの具体的かつ実践的な応用例とその効果の定量的かつ定性的に評価をおこなった。これらは特にホームガーデン・システムと伝統的タンクが数多く残るスリランカ国内での他地域への汎用性が非常に高いほか、モザイクシステムの定量的な評価としては過去に例のない科学的な知見を提供できた。
- ・ サステナビリティ学アプローチの包括的な視点から気候変動枠組み条約の適応策と生物多様性条約の生物資源の持続的利用（条約の第二の目的）の相互関係を科学的に検証し、伝統的ホームガーデン・システムと灌漑システムの双方について、気候変動と生態系変動を含む変動要因との関係、潜在的なレジリエンス因子、レジリエンス強化政策までの一連のつながりを検討するための総合的な分析枠組み（プロトタイプ）を明らかにした。
- ・ 長期の将来シナリオごとに物理的予測を行い、そこから必要な対策の導出を図るトップダウン型の適応研究とは異なり、本研究では、たとえば、スリランカでは近代的な灌漑システム（ダムや直線的水路）と伝統的な灌漑システム（小中規模の貯水池と水路のカスケードシステム）の統合政策を提案するなど、地域に根ざす伝統知識・技術の気候変動による影響や適応策への応用可能性を明示的に扱うことで従来研究とは異なるレジリエンス強化策を提案することが可能である。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

- ・ デドゥルオヤ地域で検討されているモザイクシステム構築に関する評価結果は、将来的な同地域の水管理に実質的に貢献するものである。この研究成果と今後の継続的な研究やモニタリングを含む連携をスリランカ灌漑局と覚書を結んだこともあり、将来的な環境政策への実装がさらに進むと期待される（図(2)-25）。



図(2)-25 灌漑局長との MoU 締結式(2014年2月)

- ・ スリランカ北部キリノチでは地表水が乏しく、また旱魃が大きな問題となっているが、これまで地下水の活用・開発が十分にされてこなかった。今後人口増加が見込まれる同地域において水資源の確保が最重要課題であり、本研究の地下水などの研究結果が今後の水管理を含む地域の復興に組み込まれる可能性がある。これらに関して実際に、地方政府および灌漑局と活用することへの同意を得ており、今後の当該地域の環境政策への貢献が見込まれる。
- ・ 第5回アフリカ開発会議(TICAD V: 2013)の Official Side Eventにて「Resilience in Traditional Agriculture」と題して、本研究の研究成果を報告した。
- ・ 本研究は、生物生産と生物多様性との調和、そのため新たな生態系管理システムやビジネスモデルの提案、さらに伝統的知識・技術の積極的な活用によるレジリエンス強化などに関する研究成果・政策提案をすることで、国際的に構築が進められている生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム(IPBES: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services)による科学的評価に関する議論に大きな役割を果たしている。
- ・ 伝統的なホームガーデンから得られる多様な生態系サービスとそのレジリエンスに関する研究成果は、2013年1月にドイツのボンで開催されたIPBES(生物多様性と生態系サービスに関する政策・科学政府間プラットフォーム)総会のサイドイベントにて報告され、伝統的な生物生産方式を生かした新たな生態多様性の保全モデルを提案していただくことの重要性が国際環境政策検討の場で共有された。

## 6. 国際共同研究等の状況

### (1) 生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム(IPBES: Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services)による科学的評価(アセスメント)への貢献

生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム(IPBES)は、生物多様性と生態系サービスに関する動向を科学的に評価し、科学と政策のつながりを強化する政府間のプラットフォームとして、2008年以降、国連環境計画(UNEP)の主催による3回のマルチ・

ステークホルダー会合及び今回を含む2回のIPBESのあり方と制度的取り決めに関する政府間会合が行われ、設立に向けた検討が進められてきた。科学的評価、能力開発、知見生成、政策立案支援の4つの機能を柱とし、気候変動分野で同様の活動を進めるIPCCの例から、生物多様性版のIPCCと呼ばれる。本研究の参画研究機関である国際連合大学は、4つの機能のうち科学的評価（アセスメント）に関して、2011年7月と2012年2月の2回にわたりIPBESアセスメントに関する国際科学ワークショップを環境省等と共催し、その成果はIPBES総会第一セッション（2011年10月ナイロビ）と第二セッション（2012年4月パナマ）で正式に扱われるインフォメーション・ドキュメント（UNEP/IPBES.MI/1/INF/12及びUNEP/IPBES.MI/2/INF/10）として提出された。また、これらの成果を国際的に情報発信し、IPBES総会にフィードバックするため、総会第1、2セッション期間中にIPBESアセスメントに関するサイドイベントを開催し、アセスメントの諸論点について議論し、科学者と政策決定者との対話を深めた。本研究プロジェクトで得られたアジア地域の伝統知、地域の多様性、レジリエンス強化等の視点については、IPBES総会に提出された成果文書に組み込まれたほか、総会での2回にわたるサイドイベント開催を通じてIPBESアセスメントについて日本（環境省）が国際的に主導的な役割を演ずるうえで多大な貢献を果たした。

## (2) International Conference on Sustainability Science in Asia (ICSS-Asia) 2012における貢献

ICSS-Asiaは東京大学サステイナビリティ学連携研究機構が中心となり主催するもので、サステイナビリティ学の構築に関して国際的なネットワーク形成を行うこと目標にしている。サステイナビリティ学に関する各国の国際的なネットワークの経験や知見の交流、そして、教育、実際の社会実装の方法などの課題が議論される。2012年度は、1月11日-13日に亘って開催され、本研究として「Enhancing Resilience for Establishing Nature Harmonious Society」のセッションを運営した。これにより特にアジアにおけるサステイナビリティ学の貢献に関する国際的な貢献を行った。

## (3) 国連持続可能な開発会議（Rio+20）に対する貢献

国連持続可能な開発会議（Rio+20）は、ブラジル政府が、1992年の地球サミットから20周年を迎える機会に、同会議のフォローアップ会合を行うことを提案したことを受け、2009年の第64回国連総会で開催が決定されたものである。同会議において企画されている日本政府主催による「グリーン経済とSATOYAMAイニシアティブ」にて本研究課題代表者が、「Developing a Green Economy: the Role of Socio-Ecological Production Landscapes」のタイトルにて本研究の研究成果に関する報告を行うことが決定している。本報告により同会議における議論に貢献することができる。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Wong P. and Herath S. (2014): Equity in bulk water allocation: the case of the Mahaweli Ganga

Development Project in Sri Lanka, International Journal of Water Resources Development, DOI: 10.1080/07900627.2014.882196

- 2) Mohri H, Lahoti S., Saito O., Mahalingam A., Gunatilleke N., Irham, Thang Hoang V., Hitinayake G., Takeuchi K., Herath S. (2013) Assessment of ecosystem services in homegarden systems in Indonesia, Sri Lanka, and Vietnam. *Ecosystem Services* 5, e124–e136.
- 3) Avtar R, Herath S, Saito O, Gera W, Singh G, Mishra B, and Takeuchi K (2013) Application of remote sensing techniques toward the role of traditional water bodies with respect to vegetation conditions, *Environ Dev Sustain*, e1-e17.
- 4) W.R.S.S. Dharmarathna, S.B. Weerakoon and S. Herath (2012) Application of decision support system for agrotechnology transfer (DSSAT) model to optimize irrigated paddy cultivation under changing hydro-climate, *Transactions of IESL*, 1, 207-211
- 5) Dharmarathna, W.R.S.S., Herath, S. and Weerakoon, S.B. (2012), Changing the planting date as a climate change adaptation strategy for rice production In Kurunegala district, Sri Lanka, *Sustainability Science*, Springer, ISSN 1862-4065, Vol. 9, Number 1, 103-111.

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) Herath, S., Mohri, H., Teh, S. H., Diwa, J. P. and Takeuchi, K. (2014) University Network for Climate and Ecosystems Change Adaptation Research, *Environmental Research Quarterly*, NO. 173, Pp. 36- 44.
- 2) Saito, O. and Ichikawa, K. (2014, forthcoming) Socio-ecological systems in paddy-dominated landscapes in Asian Monsoon. In Miyashita, N., Nishikawa, U. et al. (ed.) *Social-Ecological Restoration*, Springer.
- 3) Herath, S., Teh, S. H., and Mohri, H. (eds.)(2012) Proceedings of UN-CECAR International Conference “Disaster Risk Management and Sustainability”, CECAR series No. 10, UNU-ISP.
- 4) Herath, S., Mohri, H., Mahalingam, A., Nakahara, M. and Saito, O. (2012) Towards Resilient Agriculture Production: *Building A Mosaic of Ancient and Modern*, CECAR Series 11, UNU-ISP

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 齊藤修: 第 59 回日本生態学会大津大会, 自由集会「IPBES と生態系サービス評価の国際動向」, W24, 2012 年 3 月 19 日.“IPBES のアセスメントの最新動向と社会・生態システム研究の挑戦”
- 2) Kawasaki, J., Saito, O., Landreth, N., Mohri, H., Hitinayake, G., Gunatilleke, N., Fernando, S. and Herath, S. (2013) Kandyan Homegarden Systems and Rural Livelihood Under Climate and Ecosystem Changes, Conference on Sri Lanka Japan Collaborative Research – 2013 (SLJCR-2013)
- 3) Saito, O., Landreth N., Kawasaki J., Mohri H., Hitinayake, G., and Gunatilleke, N. (2013)

- Ecosystem Services of Kandyan Homegarden Systems and Rural Livelihood under Climate and Ecosystem Changes in Sri Lanka, Proceedings of 41<sup>st</sup> Annual Meeting of Environmental Systems Research 2013, pp.357-364
- 4) Avtar, R and Herath, S. (2013) Use of remote sensing techniques to study role of traditional water bodies with respect to vegetation conditions and groundwater recharge, Conference on Sri Lanka Japan Collaborative Research – 2013 (SLJCR-2013)
  - 5) Herath, S., Mohri, H., Wong, P., Binaya, M., Sampath D.S., Weerakoon S.B and Atapattu, S. (2013) Traditional and modern agriculture mosaic system for improving resilience to climate change, Conference on Sri Lanka Japan Collaborative Research – 2013 (SLJCR-2013)
  - 6) Dharmarathna, W.R.S.S., Weerakoon, S.B. and Herath, S. (2013) Climate Change Impacts on Rice Production in Kurunegala District and Selected Adaptation Measures, Conference on Sri Lanka Japan Collaborative Research – 2013 (SLJCR-2013)
  - 7) 齊藤修: 第 59 回日本生態学会大津大会, 自由集会「IPBES と生態系サービス評価の国際動向」, W24, 2012 年 3 月 19 日.“IPBES のアセスメントの最新動向と社会・生態システム研究の挑戦”

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

### (4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) Workshop on Strategy to enhance resilience to climate and ecosystem changes utilizing traditional bio-production systems in rural Asia (2014 年 2 月 26 日、ガラダリホテル、コロンボ・スリランカ、参加者約 50 名)
- 2) 第一回 CECAR Asia プロジェクトキックオフ・スリランカワークショップ（2011 年 9 月 17 日—20 日、スリランカ・キャンディ）
- 3) UN-CECAR 国際会議及びワークショップ（2011 年 11 月 15—17 日、東京・国際連合大学、参加者約 150 名）
- 4) Building Resilience with Common Capital 国際ワークショップ（2012 年 1 月 25—27 日、東京・国際連合大学、招聘専門家約 30 名）

### (5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 環境省報道発表資料（2011 年 9 月 12 日、「IPBES に関する国際科学ワークショップ」成果文書の提出について（お知らせ）、<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14197>）
- 2) The Jakarta Post (2012 年 1 月 26 日, Subejo and Supriyanto, “Adapting to climate change: Learning from the grassroots.”<http://www.thejakartapost.com/news/2012/01/26/adapting-climate-change-learning-grassroots.html>.)
- 3) Derana TV, National TV of Sri Lanka（2012 年 1 月 27 日、Simple Traveller: A forest reserve called homegarden）
- 4) 環境省報道発表資料（2012 年 3 月 29 日、「IPBES における評価に関する第 2 回国際科学ワ

ークシヨップ」の結果及び成果文書の提出について（お知らせ）、  
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=15044>

- 5) Derana TV, National TV of Sri Lanka (2012年4月6日、Simple Traveller: Our homegarden)
- 6) 環境省報道発表資料 (2012年4月23日、「生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム (IPBES) のあり方と制度的取り決め決定についての総会」第2回会合の結果について（お知らせ）、<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=15147>)
- 7) IISD (International Institute for Sustainable Development) (2011年9月 (掲載日不明)、IPBES Workshop Proposes Scope and Nature of IPBES Assessments、<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=15147>)
- 8) IISD (International Institute for Sustainable Development)、(掲載日不明、Second Independent Scientific Workshop on Assessments in IPBES、
- 9) <http://biodiversity-1.iisd.org/events/second-independent-scientific-workshop-on-assessments-in-ipbes/#more-115613>)

#### (6) その他

- 1) UNEP/IPBES.MI/1/INF/12: Report of an international science workshop on assessments for an intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services, held in Tokyo from 25 to 29 July 2011 (環境省との共催によるワークショップ。詳細は「7.国際共同研究等の状況」参照)
- 2) UNEP/IPBES.MI/2/INF/10: Report of the scientific workshop on assessments for an intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services, held in Tokyo from 27 to 29 February 2012 (環境省との共催によるワークショップ。詳細は「7.国際共同研究等の状況」参照)

#### 8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

### (3) 生物多様性保全と調和した生物生産システムに関する研究

大学共同利用機関法人人間文化研究機構総合地球環境学研究所 (RHIN)

阿部 健一

内藤 大輔

平成23(開始年度)～25年度累計予算額：23,975千円

(うち、平成25年度予算額：7,377千円)

予算額は、間接経費を含む。

#### [要旨]

本サブテーマは、商業的大規模農業生産方式と伝統的な農業生産方式がそれぞれ生態系サービスにどのような影響を与えているかを調査し、分析評価したうえで、気候・生態変動に対する生物多様性保全や生態レジリエンス向上を促す生態系管理のあり方を明らかにすることを目的とする。特にインドネシア、グヌン・キドゥル地域を主な対象に、生業の多様化や機械化による農家の現金獲得戦略の変容等の聞き取り調査を行った。また、研究対象国であるベトナム、インドネシア、スリランカ各国について、レジリエンスの定量的評価を試みた。三カ国共通の変動要因として、気候/自然災害、生態系変動、社会経済的変動の三つがあることが明らかとなり、それに対するレジリエンス強化戦略のオプションとして認証制度が有効であるとともに、その導入により、個々の世帯レベルでは実行の難しい生物多様性保全のための施策がコミュニティに取り込まれる可能性があること明らかとなり、今後の環境政策を考えるうえで一つの指針を示した。またベトナムにおける VAC システムと稲作、インドネシアにおけるプカランガンと産業植林、およびスリランカの伝統的タンクと新貯水池にみるように、伝統的システムと近代的システムを統合したモザイクシステムにより、従来技術開発による対応とは異なる生態系サービスに依拠したレジリエンス強化策が構築できることを明らかにした。

#### [キーワード]

特定レジリエンス、一般レジリエンス、変容可能性、介入オプション、モザイクシステム

#### 1. はじめに

レジリエンスとは、何らかの攪乱に対して、システムがそれを吸収し、機能や構造を維持する能力を示す概念であり、1973年にC. S. Hollingが生態学の概念として提唱した。その後、生態経済学のグループが、定常的な状態のもとで工学的な最適化や効率化を迫及するこれまでの資源管理アプローチに対し、常に動的に変化する状況のなかで社会生態システムの機能をいかに維持するかが重要であるとし、社会生態レジリエンス概念を展開した。さらにWalker and Salt等は、レジリエンスの要素として、対象とするレジリエンスの明確化のSpecific Resilience、様々な予測不能な攪乱要素に対して柔軟に対応する能力であるGeneral Resilience、政策や極端な環境変動によってレジームシフトを余儀なくされた場合に社会生態システムが変容するための能力の担保であるTransformabilityの3つを挙げている。これまで本研究が対象とするアジア農村部は、長い歴

史を有する伝統的 생물生産方式を、変容する社会に柔軟に対応させてきた。すなわちその伝統的 생물生産方式はそれ自体レジリエントなシステムである。しかしながら、近年、気候変動やそれに関連した生態系変動、さらには急速なグローバリゼーションの進展にさらされるなど、より急激かつ急速な変動への対応が迫られ、レジームシフトというべき新たな生物生産体系の構築が急務となっている。

またレジリエンス概念とは別個に取り扱われることが多いサステナビリティ概念に関して、両者を組み合わせることで、より柔軟なサステイナブルな社会像を描くことができると考えられる。これまで気候変動あるいはそれに伴う生態系変動に関して、緩和策や適応策の重要性やその導入戦略について、サステナビリティの枠組みの中で述べられてきた。しかしながら、将来予測には不確実性が伴うことから、それらの戦略の有効性にも疑問が生じる。これに対して、様々な変化に対する柔軟な対応あるいは回復力を主眼とするレジリエンス概念を導入することで、新たなサステナビリティ概念の確立が可能となるであろう。それは、これまで相対的に重視されてきた新たな技術開発や科学的知見の融合のみによってではなく、これまで様々な変容に対応してきた伝統知を用いることで、達成することが可能となる。

## 2. 研究開発目的

以上を踏まえ、本サブテーマは、商業的大規模農業生産方式と伝統的な農業生産方式がそれぞれ生態系サービスにどのような影響を与えているかを調査し、分析評価したうえで、気候・生態変動に対する生物多様性保全や生態レジリエンス向上を促す生態系管理のあり方を明らかにすることを目的とする。特にインドネシア、グヌン・キドゥル地域を主な対象に、生業の多様化や機械化による農家の現金獲得戦略の変容等の聞き取り調査を行った。

## 3. 研究開発方法

本サブテーマでは、1) 生物多様性保全と調和した生物生産システムに関する調査をインドネシア、グヌン・キドゥル地域において詳細調査を行い、2) レジリエンスの定量的な比較のための基準と指標を作り、定量評価に向けた手法を考案した。

(1) 伝統的な生物生産システムと近代的な生産システムを比較し、生物多様性保全に調和した生物生産システムに関する研究をインドネシア、グヌン・キドゥル地域において実施した。インドネシア、グヌン・キドゥル県はジョグジャカルタ特別州に属し、ジョグジャカルタから車で南東へ一時間ほどのところに位置する。石灰岩台地で水が抜けやすいこと、乾季が長いことから、慢性的な水不足を経験してきた地域であり、気候変動の影響に対するレジリエンスの高い地域であり、調査地として選定した。

グヌン・キドゥルのK村において、伝統的な生物生産システムについては、ホームガーデンやテガラ（混作地）、チーク樹林などを中心に調査、分析を行った。近代的な生物生産システムについては、同地域にある主にスルタンの所有する土地で大規模に行われている産業植林HTI

(Hutan Tanaman Industry) でのKayu Putih (Melaleuca leucadendron)、Sengon (Albizia chinensis) などの単一樹種造林地を対象として調査を行った。また介入オプションの有効性を明らかにするために、同地域において、世界的に導入されている森林認証評議会 (Forest Stewardship

Council) による小規模林を対象とする森林管理認証（グループ認証）を取得したD社に加盟しているチーク林組合を対象として、その認証導入による地域住民への波及効果について調査を行った。

(2) アジア農村地域におけるレジリエンスの定量的な評価手法の開発のために、まずレジリエンスの概念整理を行い、最終的にレジリエンスを評価し、その強化戦略を構築する上で有効であるとして研究を進めることにした。それは、a) 特定レジリエンス、b) 一般レジリエンス、c) 変容可能性、d) 介入オプションの4点である。そして3年間の研究で集積してきたベトナム、インドネシア、スリランカの調査結果をもとに、アジア農村のレジリエンスを評価するために適切な基準・指標を抽出している。レジリエンス評価のための基準と指標を作成し、レジリエンスの定量的評価にむけて方法を検討した。地域社会への影響を、気候や自然災害による変動・生態系変動、社会・経済変動の三つに分類し、それぞれ評価のための指標を作成し、それらを統合化しレジリエンス評価を行った。

#### 4. 結果及び考察

アジア農村地域におけるレジリエンス強化を考える上で重要となる生物多様性保全と調和した生物生産システムに関する研究を実施した。まずレジリエンスの概念整理を行い、次の4つの概念について検討することが最終的にレジリエンスを評価し、その強化戦略を構築する上で有効であるとして研究を進めることにした。それは、a) 特定レジリエンス、b) 一般レジリエンス、c) 変容可能性、d) 介入オプションの4点である。

これら4つの概念についての具体的な検討内容は次の通りである。

##### a) 特定レジリエンス

気候変動や生態系変化に対して、営農管理（水・肥料・農薬等）、土地利用変化などと併せて、地域の社会生態システムのレジリエンスを強化する方策について検討する。

##### b) 一般レジリエンス

プカランガンなどの伝統的な生物生産システムが、過去の洪水や干ばつ等の自然災害に対して、生態系や生物生産をどのようにサポートしてきたのかを明確にする。

c) 変容可能性 生業の多様化や機械化が農家を変容させ、政策変化（ex. 地方分権）、工業化、グローバル化等の社会変化に対して、いかにして柔軟に農家家計を変容させてきたのかを明らかにする。

d) 介入オプション レジリエンスを強化するための外部からの政策ツールである。森林認証制度やマイクロクレジットなど、どのようなものが適切かを検討する。

#### (1) レジリエンスの評価

ベトナム、スリランカ、インドネシアという異なる生態・文化背景を持つ地域のレジリエンスを評価するための理論的枠組みを整理した。そこで、レジリエンスに関する既存研究をもとに、

まずレジエンスを定義し、特定レジリエンス、一般的なレジリエンス、変容可能性、介入オプションと分けて分析した。この枠組みに、調査地域における文献レビューや各サブテーマのこれまでの研究成果を引用し、下記の表を作成した。

## (2) インドネシア、グヌン・キドゥルでの事例研究

伝統的な生物生産システムのレジリエンスを検討するために、表(3) -1をもとに調査村であつめたフィールドデータで検証した。具体的な調査項目については、世帯の家族構成、親族関係の聞き取り調査、生業の変遷と現状についての調査、過去50年の森林・土地利用について、聞き取りおよび過去の航空写真、衛星画像政府機関に残る資料によって調査、気象データの収集と気象イベントに対する住民の対応について聞き取り、身近な動植物の変遷についての調査などを実施した。

調査村は、インドネシア、ジョグジャカルタ特別州グヌン・キドゥル県に属し、ジョグジャカルタ市内から車で40kmほど南東に向かったところに位置する。調査村には286世帯あり、おもにジャワ人が暮らす村である。調査村では、まずキーインフォーマントに集まってもらい、ワークショップを開催したのちに、ランダムに15世帯を抽出し、世帯主への詳細な聞き取り調査を行った。またレジエンス強化のための介入オプションとして、森林認証制度を取り上げ、それらが実際にどのように機能しているかの調査を行った。

### 1) 何に対するレジリエンスなのか

調査村において、住民にとってどのような事象が彼らの生活にショックを与えうるものとして捉えられているのかについての聞き取りをおこなった。グヌン・キドゥルでの聞き取りのなかで、ショックとしてもっとも多かったものとしては、まず長期の乾季である。グヌン・キドゥルでは、年間降水量自体は約1,500mmと周辺地域と比べてそう低くもないのだが、4月下旬ころから10月ころまでは長期の乾季が続くため、長年渇水に悩まされてきた地域である。また石灰岩台地からなるために水がたまりにくいことも影響している。ただし、住民にとっては、降水量の少なさよりも乾季の長さの方が、農業を行う上で影響が大きいとのことであった。

一方で、雨期には降水量が多く、この短期的な豪雨もショックをもたらしていた。ときに洪水を引き起こし、村の南部に流れるオヨ川 (*Sungai Oyo*) が増水し、2007年には10軒が床上浸水となり、農産物の被害も受けていた。毎年の乾季や気象減少の他に自然災害として、地震をあげる住民もいた。最近では2006年のジャワ中部地震の影響も受けた世帯もあり、三軒の家が倒壊したという。

自然災害の他に、社会制度の変化も村人に大きな影響をもたらしていた。過去にはスカルノ体制からスハルト体制への移行期にグヌン・キドゥル地域に多かったといわれる共産党員が迫害を受けたという。その後のスハルト崩壊、アジア通貨危機や近年の地方分権による村人への影響も大きい。そして世帯レベルで言えば、突然の病気や、結婚・離婚、子供の進学なども急な出費を

表(3)-1 本研究におけるレジリエンス概念

“何の” レジリエンスか	特定レジリエンス		一般 レジリエンス	変容可能性 (社会システム)	介入オプション
	“何に対する” レジリエンスか	ショックに対す る対応			
ベトナム スウアントウイ 農村	台風/海面上昇 (気候変動)に よる塩性化、 大規模商業水 田の導入 (生態系変動)	堤防強化、 耐塩性品種の 導入、 エビ養殖	VAC、 生業の多様 化(漁業、養 蜂、キノコ)	工業団地で の労働、 連担化、 合作社	マングローブ 植林、VAC強化 支援、観光、 認証制度、 ダムからの河 川土砂の供給 を増やす。
スリランカ キャンディ 農村	乾燥、少雨 (気候変動) 獣害 (生態系変動)	古代灌漑シス テムの利用、 作付け作物の 転換(スパイ ス栽培)	キャンディアン ホームガーデン、 生業の多様 化(茶、コー ヒー、畜産)	社会ネット ワーク強化、 協働資源管 理	自然遺産、 認証制度、 土地利用・開 発・保護規制、 生態系サービス 支払制度、 観光
インドネシア キドウル 農村	乾燥、降雨パ ターン変動 (気候変動) プランテーション (生態系変動)	乾期畑を捨て 植えにした二 期作、 深井戸設置	プカランガン (クブantaln)、 生業の多様 化(畜産、 炭焼き)	農民組織選 別強化、 出稼ぎ	水道敷設、 認証制度、 REDD(+) 観光、マイク ロ・クレジット

Folke et al., 2010; Gunderson and Holling, 2001; Resilience Alliance, 2007, 2010; Scheffer, 2009; Walker et al., 2004; Walker and Salt, 2006をもとに作成

要するショックとして捉えられていた。

## 2) ショックに対する対応

毎年訪れる長期の乾季に対しては、村人も長年培った対応策を持っていた。特に予測のできない乾季に柔軟に対応できる農法を導入していた。川に近く、灌漑のしやすい田では水稲耕作をおこない、川から遠く、水が抜けやすい田では、陸稲耕作をおこなっていた。灌漑にはポンプで川から田まで水を直接入れているという。1期目に水稲、陸稲を植え、2期目からは陸稲耕作と畑作を行う。陸稲とキャッサバの混作を行うのは、仮に米がとれなかったときの予防だという。畑作ではキャッサバ、ダイズ、トウモロコシなどを植えていた。通常3期目は畑作のみ行われるが、降水量が少ないときは結果的に捨て植えとなることも多い。実入りの悪いトウモロコシなどは、家畜用の資料にまわしているとのことであった。毎年米は次の年の米の収穫が確実になるまで保管しておくため、つねに前年の米を食べるようにしているとのことだった。

雨期中の豪雨に対しては、大量に降る雨を効果的に排水できるよう畑の周囲にはしっかりとした排水路が整備されていた。また2013年には洪水対策として村に隣接して流れるオヨ川の堤防補強工事が行われていた。

乾季には20年ほど前までは夜明け前に水源まで2時間もかけて水をくみにいくことが女性の仕事であったというが、現在では深井戸や給水なども行われており、調査村では2012年に簡易水道の導入がPPP (Public Private Partnership)によって行われ、水の利用という面で大幅に改善された。ただし、飲料水の塩分濃度をはかったところ、少し高めであり、継続的な調査が必要である。

## 3) 一般レジリエンス

### a) チーク林を中心とした伝統的な生物生産システム

村に多くみられるチーク林は、村人にとってレジリエンスをもたらす重要な資源となっていた。チークの生育は、石灰岩土壌や乾季のある気候に適しており、古くは16世紀のオランダ植民地時代のころから植えられてきたという。チークは、村人が乾季をしのぐ生業戦略の一つでもあった。チークの材は高価であり、村人がなんらかの大きな出費を迫られたときに伐採し換金できるため、ある種の銀行のような機能を果たしていた。村での聞き取りでは、家族が病気のときや、子どもの学費、家の建設などで大金が必要なときにチークが伐採されていた。村人は代々チークを植えてきており、「チーク園 (*Kebun Jati*)」、屋敷林 (*Pekarangan*)、畑、田の畦など、さまざまな場所に植えられていた。住民によるチーク植林が積極的に行われている背景には、村人の土地の権利がある程度保障されているという大きな要因がある。土地の権利がはっきりしない状況では、伐採まで20~30年かかるチークを植えるインセンティブは生まれにくい。次世代のためにチークを植えるという行為は、住民の権利が十分に保障されているが故に可能となると考えられる。

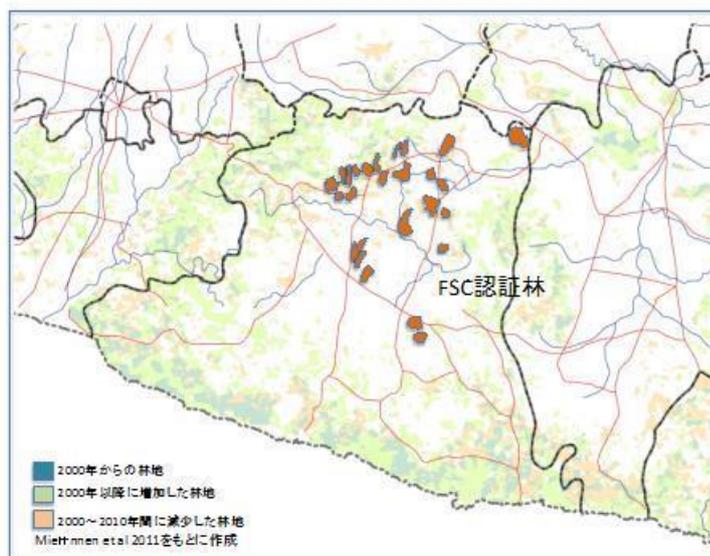


図(3)-1 民有林 (Hutan Rakyat)

インドネシアのグヌン・キドゥルでの調査から、民有林 (Hutan Rakyat) (図(3)-1) におけるチークなどの生態資源が生業の中心を担い、住民のセイフティーネットになっているとともに、同時に民有林の植生が生物多様性保全にも寄与していることから、この地域の社会生態レジリエンスを高める役割を果たしていることが明らかとなった。

さらに、2000年と2010年の衛星写真の比較からこの地域での森林被覆が増加していることが明らかになった(図(3)-2)。これは森林減少が急速に進むインドネシアでは特殊な事例である。増加しているのは主に二次林であり、チークを代表とする人の手によって植えられた森林である。このことから住民にとって森林を増やすことが生活基盤の強化に繋がっているということがうかがえる。チークは建材、家具材などとしての価値が高く、高価格で取引されている。地域住民は自分の土地にチークを植え、何か大きな出費が生じたときに伐採する (Tebang Butuh) という利用方法をとっており、貯蓄機能を果たしている。

これまでの調査からこの地域における生態系サービスのインベントリー調査を行った結果を、表(3)-2にまとめている。ブカラングンを代表する民有林は多くのサービスを提供していることが分かる。供給サービスとしては、チークの木材資源、建材として、また薪炭材利用などがあることが明らかとなった。また基盤サービスとしては生物の生息域の提供としても重要であり、多様な樹種49種が数えられ、多様な生物相、ヤマアラシやツミなどの絶滅危惧種を含むほ乳類10種、鳥類30種、両生類15種が生息していることが明らかになった。



図(3)-2 調査対象地における森林被覆

表(3)-2 生態系インベントリー調査の結果

生態系サービス インベントリー	
供給サービス	食料(タケノコ、果物、)水源林、建材、薪炭材、燃料、飼料(エレファントグラス)、 <sup>②</sup>
調整サービス	洪水制御、水源涵養、炭素固定
文化的サービス	慣習林(Hutan Adat)、自然景観の保全、洞窟(エコツーリズム)
基盤サービス	生物の生息・生育環境の提供、種子の拡散
保全サービス	遺伝的多様性、種多様性の維持、災害に対する備え(土砂崩れの予防)

## b) 大規模植林システム



図(3)-3 Kayu Putihの植林

近代的生産システムとしては、近年、Kayu Putih (Melaleuca leucadendron) の大規模造林が拡大している。もともとはオーストラリア原産の樹種だが、荒廃地の植生回復に適しているとして導入されるようになった。調査村では、2000年頃から産業造林HTI (Hutan Tanaman Industry) が始まっている。村周辺のスルタンに帰属する土地において、古くはチーク林だったところに、林業会社がチーク伐採後にKayu Putihを植林している。Kayu

Putihは葉や枝からエッセンシャルオイルを採取するため、低木で管理されている(図(3)-3)。そのため土壌流出や境外への持ち出しが懸念されている。最近では、地域住民の林間での農作物を奨励することで、住民の農業収入の増加に寄与するとともに、土壌被覆を増やし、土壌流出の軽減にもつながっている。村人は林間で、トウモロコシやピーナッツなどを作付けしており、HTIに参入できた世帯では、これまで農地として利用してきた畑地をチークを中心とした樹林地に転換していたところも多くあった。しかし、このHTIにどの住民が参入できるかどうかは政治的なプロセスであり、みなに等しく割り当てられる訳ではないので、それによる差異も生じている。Kayu Putihの他に単伐期の早生樹としては、Sengon (Albizia chinensis)やアカシアなどが導入されているが、早く伐採できるメリットがあるものの、病虫害の影響も指摘されている。

チーク林は先に指摘したように、様々な便益がある一方で伐期が長い。短期的に見れば、Sengonなどの早生樹の方が経済的な利益をあげることができるというメリットがある。ただしチークな

どが果たしていた多様な生態系サービスを果たせないという指摘もある。

### c) その他の一般レジリエンス

グヌン・キドゥルは有数な牧畜地域でもあり、これらは一般的なレジリエンスともなっている。世帯のほとんどがウシ、ヤギを飼っていた。畦に植えているエレファントグラスやトウモロコシを与え、糞尿は肥料として畑に戻す。家畜やその他、村人は小規模な出費の際には、鶏やヤギ、アカシアやサンゴンなどを売ることに対応し、さらに多額な出費に際して、牛を売ったり、チークを売ったり、借金をするなどして対応していた。

また村人は長い乾季を耐えしのぐために、出稼ぎなどの農外就労を行なうなど、生業の多様化をはかってきた。出稼ぎ先の多くはジャカルタやジョグジャカルタで、建設労働、店員、警備などの仕事についていた。加えて、家具職人、大工などの手工業や炭焼きなど、乾季のあいだに行なえる副業をもっている世帯も多くあった。村内には農民組合、チーク組合など、さまざまな住民グループが組織されており、それらが互助機能を担っていることも多く、一般的なレジリエンスにつながっているとみえる。

### (3) 介入オプション

本研究では、介入オプションの一例として森林認証制度に注目して調査を行った。調査村のチーク林は、国際的な制度である森林管理協議会(FSC)による認証を受けていた。林業省職員OBが2006年に設立したD社は、森林認証取得への取り組みを2008年から始め、2012年に認証を取得した。現在の96の小農チーク林組合が参加しており、330.5haが認証されている。認証取得に際してはTFT(Tropical Forest Trust)というファンド兼バイヤーグループから全面的に出資を受けていた。この認証の特徴としては、SLIMF (Small and Low Intensity Managed Forests)という小規模面積(1000ha以下)の森林を対象にした認証制度の適用をうけ、簡略化されたプロセスで認証手続きがおこなわれていた。

住民にとって森林認証に加盟する大きなメリットとしては、認証材のプレミアム(表(3)-3)があげられる。非認証材と比べて15~35%高い。また材販路の拡大、伐採後のチーク苗の提供などのサービスを受けることができる。また現在インドネシア政府が合法木材認証を実施するようになり、その認証取得の支援も受けることができることも住民にとっては利点となっている。また村人のキャパシティビルディングなどにも力を入れている。

D社は持続的な森林管理の導入に際して、チーク伐採の際に胸高直径45cm以上のもののみを伐採する規定を設けているのだが、先ほど述べたように村人にとってチークを伐採するときは、なんらかの金銭的需要に迫られている。そのため、その基準を守れないことも多い。そのギャップを埋めるために、D社は信用組合を作り、45cmに達していないチークを切りたいときにはお金を貸し、その後大きくなった時に伐採時に返却するというシステムを導入している。このマイクロクレジットのシステムがうまく利用されるようになれば、チークの持続的な利用にもつながり、

かつ住民の収益もあがるものとなる。認証材は通常の材に比べて3割増しの価格で売れるということだが、2012年は需要が少なく、チーク材のほとんどは地元の市場に流れていた。そのためFSC取得の努力が報われないという声も聞かれた。村人の収入増加のオプションとして期待できるものの、安定的な需要がないという問題に直面していた。

森林認証制度では、保護価値の高い森林（High Conservation Value Forest）の保全という基準を守る必要があることから、同地域の生態調査を行い、生物多様性の高いエリアを明らかにし、稀少・絶滅危惧種などのリスト（表(3)-4）を作成し、モニタリングのシステムを立てていた。水源林や慣習林、洞窟などの保全を支援し、住民にとって重要な文化的なサイトの保護も同時に行っていた。個々の住民グループでは難しい、環境モニタリング、生物多様性調査などをWWFなどNGOなどと協働で行い、環境調査を行い、希少種や絶滅危惧種の保全に一役買っている。

以上、森林認証制度という介入オプションを検討したが、認証材の需要が安定しないことや、農薬や肥料利用の規制が厳しいこと、事務作業が煩雑であり、D社へ依存せざるを得ないといった課題もあるが、うまく機能すれば、チークの安定した生産が続くことで生物多様性の保全、そして住民の収入向上にもつながり、地域のレジリエンスの強化にもつながる有効な介入オプションとして考えられる。

表(3)-3 森林認証のプレミアム

Class	Dia (Cm)	Length (m)	Quality	Price per m3 (Rp)		
				Local	Dipantara	Diff (%)
A3	30 - 39	1,00 to 1,90	T	3,000,000	3,450,000	15
A2	22 - 28	1,00 to 1,90	T	1,900,000	2,450,000	29
A1	13 - 19	1,00 to 1,90	T	1,000,000	1,350,000	35

表(3)-4 認証地域における稀少・絶滅危惧野生動物種のリスト

No.	種名	インドネシア名	CITES			IUCN		
			III	II	I	LC/DD/LR	NT/VU	En/CR/Ext
1	<i>Accipiter gularis</i>	Elang alap-alap		x				x
2	<i>Psephotus lempiji</i>	Kuwek/hantu		x				x
3	<i>Egretta garzetta</i>	Kuntul	x					x
4	<i>Anthreptes malaccensis</i>	Madu Kelapa	x					x
5	<i>Aethopyga eximia</i>	Gandul	x					x
6	<i>Alcippe pyrrhoptera</i>	Paparan	x					x
7	<i>Halcyon smyrnensis</i>	Tengkek	x					x
8	<i>Todiramphus chloris</i>	Tengkek Buto	x					x
9	<i>Holycon Pileatu</i>	Tengkek	x					x
10	<i>Aethopyga mystacalis</i>	Madu Jawa	x					x
11	<i>Hystrix javanica</i>	Landak	x					x
12	<i>Tupaia javanica</i>	Tupai		x				x

#### (4) レジリエンスの定量評価

これまでの研究成果のとりまとめとして、研究対象国であるベトナム、インドネシア、スリランカ各国について、調査結果を整理・統合し、それぞれについてレジリエンスの定量的評価を試みた。三カ国共通の変動要因として、気候/自然災害、生態系変動、社会経済的変動の三つがあることが本研究を通じて明らかとなっている。また、本研究から明らかとなったこととして、特に社会経済的変動に対応して農業生産を含むいわゆる伝統的システムが近代的システムへ変貌する、あるいは近代的システムが新たに導入されるなどが生じているが、先の三つの変動に対してはそれら伝統的システムと近代的システム双方のよいところを活かすべく組合せ、さらにそれらをより一層強固なものとするための何らかの介入を行うことで、よりレジリエントなシステムとすることが可能であることが指摘できる。本研究では、これを「モザイクシステム」と呼称する。

表(3)-5は、本研究で用いたレジリエンスの評価基準である。各研究対象国・地域における研究成果に基づきそれぞれの指標について三段

階での評価を行い、それらを総計した。

この評価基準に基づき、各国について評価を行ったものが表(3)-6である。また、その元となった各研究対象国・地域におけるレジリエンス評価の詳細を表

(3)-7-a、b、cに示した。表から明らかのように、研究対象国・地域、それぞれに伝統的システムと近代的システムを有しているが、それらを組み合わせ、本研究の研究成果に基づく介入オプションを実施することで、より高いレジリエンスを達成することができる可能性があることが指摘できる。すなわちモザイクシステムを実現することで、よりレジリエントな社会を実現することが可能となることが期待される。

表(3)-5 レジリエンス評価指標

基準	指標
気候/自然災害	異常気象や気候変動に対応する農業などの生業システムや土地利用での適応力がある
	防災システム、インフラ、社会ネットワーク、保険などがある
	危機時の情報伝達、対応策や災害対応に関する知識が伝達されている
生態系変動	モザイク的な生態系と多面的機能が確保されている
	農業生産の場での生物多様性が守られている
	生態的、文化的に重要な場所が守られている
社会経済的変動	土地や資源への自律性と、アクセスがある
	多様な現金収入、貯蓄、出稼ぎ、市場へのアクセスがある
	社会組織、世帯内、世帯間での相互扶助システム、ある

表(3)-6 研究対象国・地域に関するレジリエンスの定量的評価

調査地区	気候・生態系/社会経済変動	システム	ショックに対する対応	レジリエンス評価(現状)	介入オプション	レジリエンス評価(介入オプション後)	
ホーム ガーデン ベトナム インドネシア スリランカ	<ul style="list-style-type: none"> <li>洪水/長乾季/降雨パターン変動/病虫害/塩水遡上</li> <li>国際市場対応/市場経済浸透</li> </ul>	VAC/プカランガン/キャンディアン・ホームガーデン	<ul style="list-style-type: none"> <li>換金作物、商業的家畜生産</li> <li>食料自給</li> </ul>	気候・自然災害:8 生態系:7 社会経済:2	<ul style="list-style-type: none"> <li>認証制度利用</li> <li>共同体形成</li> <li>複合生産による物質循環強化</li> <li>セーフティネット機能強化</li> </ul>	気候・自然災害:8 生態系:8 社会経済:7	23
		VAC	<ul style="list-style-type: none"> <li>商業的家畜生産</li> </ul>	気候・自然災害:8 生態系:5 社会経済:6	<ul style="list-style-type: none"> <li>認証制度利用</li> <li>VACと稲作との組み合わせによる経営安定化</li> <li>伝統・近代的品種の組み合わせ</li> <li>品質改善</li> </ul>	気候・自然災害:8 生態系:5 社会経済:8	21
稲作	<ul style="list-style-type: none"> <li>灌漑取水口の上流移動</li> <li>品種選択</li> </ul>	気候・自然:4 生態系:3 社会経済:4					
インドネシア グヌンキドゥル	<ul style="list-style-type: none"> <li>長乾季</li> <li>小雨・降雨パターン変動</li> <li>洪水</li> <li>国際市場対応</li> <li>市場経済浸透</li> </ul>	社会林業/プカランガン	<ul style="list-style-type: none"> <li>生業多様化</li> <li>生物多様性</li> </ul>	気候・自然災害:8 生態系:5 社会経済:7	<ul style="list-style-type: none"> <li>森林認証制度利用</li> <li>資源管理システム構築</li> <li>産業植林のアグロフォレストリー化</li> </ul>	気候・自然災害:9 生態系:5 社会経済:8	22
		産業植林	<ul style="list-style-type: none"> <li>高付加価値木材販売</li> </ul>	気候・自然災害:3 生態系:2 社会経済:6			
スリランカ キリノチ デドゥルオヤ マハウエリ H	<ul style="list-style-type: none"> <li>乾燥・少雨化</li> <li>内戦による灌漑インフラの破壊</li> <li>国際市場対応</li> <li>市場経済浸透</li> </ul>	伝統的貯水タンク	<ul style="list-style-type: none"> <li>古代灌漑システム修復/利用</li> <li>多機能性</li> </ul>	気候・自然災害:5 生態系:9 社会経済:6	<ul style="list-style-type: none"> <li>新旧灌漑システムの統合</li> <li>共同体形成</li> <li>干ばつを避けるための適正資源管理システム</li> </ul>	気候・自然災害:9 生態系:9 社会経済:8	26
		新灌漑システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>効率的利用</li> <li>協働管理</li> </ul>	気候・自然災害:5 生態系:3 社会経済:5			

表(3)-7-a ベトナムにおけるレジリエンスの定量的評価

指標	特記事項	三段階評価 (3, 2, 1)		
		伝統的システム (VAC)	近代的システム (稲作)	モザイクシステム (介入オプション後)
異常気象や気候変動に対応する農業などの生業システムや土地利用での適応力がある	VACシステムとの組み合わせにより伝統的システムでは異常気象や気候変動に対応可能。近代的システムについては、塩類遡上への水門での対応や近代品種と伝統品種との組み合わせによる作付けなどで対応しているものの、少しずつ対応が難しくなっている。	3	2	3
防災システム、インフラ、社会ネットワーク、保険などがある	伝統的システムは社会ネットワークなどソフト面でのインフラはあるが、農業技術等に関する情報交換がほとんど行われない。近代的なシステムでは水門や灌漑設備で対応しているものの少しずつ対応が難しくなっている。	1	2	2
危機時の情報伝達、対応策や災害対応に関する知識が伝達されている	伝統的システムを中心にコミュニティ内のつながりは強い。近代的なシステムでは伝統的品種と近代品種を組み合わせた対応などの知識を持つ農家もいるが、それが伝達されてはいない。	3	1	3
モザイク的な生態系と、多面的機能が確保されている	VACシステムと稲作の組み合わせにより生態系、多面的機能の維持に貢献している。近年は、市場経済へ対応するため変容してきており、機能が弱まっている。	2	1	2
農業生産の場での生物多様性が守られている	市場経済に対応した稲作体系となってきたが、徐々に伝統的品種と組み合わせるなど生物多様性が維持されつつはある。	1	1	3
生態的、文化的に重要な場所が守られている	特に配慮がなされているようには見受けられない。	1	1	2
土地や資源への自律性と、アクセスがある	土地を含めた資源は政府により管理がなされ自立性はそれほど高くない。	1	1	2
多様な現金収入、貯蓄、出稼ぎ、市場へのアクセスがある	家畜の積極的導入などVACの市場経済への対応と、稲作の生産性向上などによる現金収入と出稼ぎ等などによる現金収入の機会がある。	2	2	3
社会組織、世帯内、世帯間での相互扶助システムがある	世帯内での相互扶助システムが強い一方、世帯間ではそれほど強くない。	2	1	3

表(3)-7-b インドネシアにおけるレジリエンスの定量的評価

基準	指標	特記事項	三段階評価 (3, 2, 1)		
			伝統的システム (ブカランガン)	近代的システム (産業植林)	モザイクシステム(介入オプション後)
気候/自然災害	異常気象や気候変動に対応する農業などの生業システムや土地利用での適応力がある	稲作と畑作の組み合わせによって、天候に応じた農法を取り入れている。稲の品種や農法を変えている。ホームガーデンには多様な商品価値を持つ植えられており、適応力がある。一方、単一植林は病虫害など影響を受けやすい。	3	1	3
	防災システム、インフラ、社会ネットワーク、保険などがある	伝統的システムは社会ネットワークなどソフト面でのインフラはあるが、水道敷設によって、乾季の水へのアクセスが容易になった。アリスンという村内で資金を援助するシステムもある。	2	1	2
	危機時の情報伝達、対応策や災害対応に関する知識が伝達されている	洪水非難のための警報システムや村内に災害対策のための住民グループがある。	3	2	3
生態系変動	モザイク的な生態系と、多面的機能が確保されている	ブカランガンに植えられている樹種は多種多様であり、多面的機能が確保されている。一方、収益性を重視する単一早生樹植林も増えてきている。	2	1	2
	農業生産の場での生物多様性が守られている	稲や作物の品種が単純化してきており、種もハイブリッド種を購入する農家が増えている。	1	1	1
	生態的、文化的に重要な場所が守られている	水源林や文化的な儀礼などに利用される慣習林などが、住民主体的に保全されている。	2	1	2
社会経済的変動	土地や資源への自律性と、アクセスがある	住民の土地所有が認められているが、小作をしている世帯もある。スルタン所有の土地において社会林業が導入され、分収がされるようになった。	2	1	3
	多様な現金収入、貯蓄、出稼ぎ、市場へのアクセスがある	乾季の出稼ぎが定常化している。また手工芸品作成も盛んでジョグジャカルタなどの市場に卸している。チークや畜産などによって貯蓄機能が重層的に行われてきた。	2	2	3
	社会組織、世帯内、世帯間での相互扶助システムがある	世帯間、村内の社会組織が多様。インフォーマルな相互扶助システムが強い。	2	1	2

表(3)-7-c スリランカにおけるレジリエンスの定量的評価

	基準	指標	特記事項	三段階評価(3, 2, 1)		
				伝統的システム(伝統的貯水タンク)	近代的システム(新灌漑システム)	モザイクシステム(介入オプション後)
気候/自然災害		異常気象や気候変動に対応する農業などの生業システムや土地利用での適応力がある	伝統的貯水タンクはこれまで様々な災害や気候などの変動に適応しながら存在してきた。近代的な灌漑システムは効率性、長期の平均的な目標に対して設計されており、極事象などの災害には脆弱。	2	1	3
		防災システム、インフラ、社会ネットワーク、保険などがある	伝統的システムは社会ネットワークなどソフト面でのインフラはあるが、近代システムのような特にハード面でのインフラや防災システムにかける。	1	2	3
		危機時の情報伝達、対応策や災害対応に関する知識が伝達されている	コミュニティ内のつながりが伝統的システムのまわりでは強い。近代的なシステムではより科学的な理由の上に災害対応システムが作られる。	2	2	3
生態系変動		モザイク的な生態系と、多面的機能が確保されている	伝統的貯水システムは農業への灌漑だけでなく、周辺の環境・生態形にも貢献。豊かな生態形サービスを提供。	3	1	3
		農業生産の場での生物多様性が守られている	伝統的システムでは、ホームガーデンなどをもつ農家が多く、より多様な品種を育てているだけでなく、自然環境との繋がりの役割ももつ。	3	1	3
		生態的、文化的に重要な場所が守られている	伝統的タンクは常にコミュニティにとっての中心的な場所。	3	1	3
社会経済変動	社会経済的変動	土地や資源への自律性と、アクセスがある	マハウエリ地域ではバルク水分配システムにより、コミュニティ(農業組合)がある程度自由に水管理をできる仕組みがある	2	2	3
		多様な現金収入、貯蓄、出稼ぎ、市場へのアクセスがある	伝統的システムではコメ生産以外にも乾燥地域ではチリなど場所特有の作物がある。	2	2	3
		社会組織、世帯内、世帯間での相互扶助システム、ある	農村ではコミュニティに複数の組織があるほか、仏教など宗教的な背景による繋がりがセーフティネットとなっている。	2	1	2

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

- ・ レジリエンス強化戦略のオプションとして認証制度が有効であるとともに、その導入により、個々の世帯レベルでは実行の難しい生物多様性保全のための施策がコミュニティに取り組みられる可能性があること明らかとなり、今後の環境政策を考えるうえで一つの指針を示した。
- ・ ベトナムにおける VAC システムと稲作、インドネシアにおけるプ克蘭ガンと産業植林、およびスリランカの伝統的タンクと新貯水池にみるように、伝統的システムと近代的システムを統合したモザイクシステムにより、従来技術開発による対応とは異なる生態系サービスに依拠したレジリエンス強化策が構築できることを明らかにした

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

- ・ 伝統的知識・技術と近代的知識・技術はを組み合わせることで、双方のメリットを生かし、デメリットを最小化したモザイクシステムが構築される。これにより気候・生態系変動に対してレジリエントとなるだけでなく、市場経済への対応も考慮された農業生産に限らない、コミュニティあるいは社会としてレジリエントなシステムを提案することが可能となる。
- ・ 気候・生態系変動あるいは社会経済変動に対して、ホームガーデン・システムが一般レジリエンスの高いシステムであることを明らかにした。他方、ホームガーデン・システムは、固有の自然的・社会経済的変動に対応し、その特徴を強化することで、よりレジリエントなシステムへと変容していることを明らかにした
- ・ 地域の伝統的な知識・技術を最大限活用し近代的なシステムと融合することを重視し、それを通じて地域行政や住民の能力形成やエンパワメントを促すことで、地域住民の問題解決能力の向上を図っている。これによって気候変動枠組条約における農村部での適応策・緩和策の提示や生物多様性条約における「生物多様性の保全と持続可能な利用」への貢献が期待される。

## 6. 国際共同研究等の状況

- ・ デリー持続可能な開発サミット (DSDS: 2013) にて「Agrobiodiversity in Traditional Agriculture for Food and Nutritional Security」と題して本研究の研究成果を報告した

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) KUME, Takashi, NAITO, Daisuke, and ABE, Ken-ichi, Building Social-Ecological Resilience of Coastal Agricultural Fields to Natural Disasters, International Journal of Advances in Management, Technology and Engineering Science, vol.2, Issue 6 (2), 69-72, 20133

- 2) 内藤大輔 2014 変容する森林景観と地域住民の暮らし、『東南アジア研究』 52 巻 1 号

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) T. KUME et al. (Eds.), Springer Japan, Tokyo (in editing/ book proposal accepted)(2011).“Building Resilience to Tsunami in Coastal Asia: Lessons from the Indian Ocean Tsunami
- 2) D. NAITO, Paper and presentation at Agrarian Studies Program, Yale University, USA (2011).“Auditing Sustainability and the Rural Community: Social Impacts of Forest Certification in East Malaysia.”
- 3) 阿部健一、文藝別冊、133-136(2011).「文明の生態史観」とは何か (梅棹忠夫 1998 年 01 月 文明の生態史観 に関する書評).
- 4) 阿部健一編 2012『生物多様性 子どもたちにどう伝えるか』昭和堂 pp.205
- 5) 阿部健一 2013 「第 4 章 地理—島と海と火山と」「第 5 章 湿潤熱帯のモンスーン—雨の振りかたに目をむける」「第 6 章 動物—進化論のもうひとつの故郷」「第 7 章 植物の楽園—多様な熱帯林」『現代インドネシアを知るための 60 章』間瀬朋子・佐伯奈津子・村井吉敬編著 明石書店 p32-55
- 6) 阿部健一 2013 年 09 月 大切なものは自ら守る—国際コモンズ学会北富士大会. SEEDer No.9 :76.
- 7) 阿部健一 2013「価値を問う—関係価値「試論」」『人間科学としての地球環境学』立本成文編著 京都通信社
- 8) 市川昌広、祖田亮次、内藤大輔編 2013 『ボルネオの<里>の環境学』人文書院
- 9) 内藤大輔 2013「科学的林業と地域住民による林業」市川昌広、祖田亮次、内藤大輔編 『ボルネオの<里>の環境学』人文書院 p92-95
- 10) 阿部健一 2013 「第 4 章 地理—島と海と火山と」「第 5 章 湿潤熱帯のモンスーン—雨の振りかたに目をむける」「第 6 章 動物—進化論のもうひとつの故郷」「第 7 章 植物の楽園—多様な熱帯林」『現代インドネシアを知るための 60 章』間瀬朋子・佐伯奈津子・村井吉敬編著 明石書店 p32-55
- 11) 阿部健一 2013「価値を問う—関係価値「試論」」『人間科学としての地球環境学』立本成文編著 京都通信社
- 12) 阿部健一 2014 年 1 月 「序にかえて」「つながることとは」『地球環境学マニュアル 1—共同研究のすすめ』総合地球環境学研究所編 朝倉書店

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 阿部健一、kotoba、5、202-205(2011). 「共感—相手の立場に立てる能力」
- 2) 阿部健一、kotoba、6、202-205(2012). 「消費」
- 3) 阿部健一、kotoba、7、202-205(2012). 「エコ・フェミニズム」
- 4) 阿部健一 2013年06月 豊かさ. kotoba 12 :216-219.
- 5) 阿部健一 2013 年 09 月 大切なものは自ら守る—国際コモンズ学会北富士大会. SEEDer No.9 :76.
- 6) 阿部健一 2013 「第4章 地理—島と海と火山と」「第 5 章 湿潤熱帯のモンスーン—雨の振

りかたに目をむける」 「第6章 動物—進化論のもうひとつの故郷」 「第7章 植物の楽園—多様な熱帯林」 『現代インドネシアを知るための60章』 間瀬朋子・佐伯奈津子・村井吉敬編著 明石書店 p32-55

- 7) 阿部健一 2013年09月 大切なものは自ら守る—国際コモンズ学会北富士大会. SEEDer No.9 :76.
- 8) 阿部健一 2013 「価値を問う—関係価値「試論」」 『人間科学としての地球環境学』 立本成文編著 京都通信社
- 9) 阿部健一 2014年1月 「序にかえて」 「つながることとは」 『地球環境学マニュアル1—共同研究のすすめ』 総合地球環境学研究所編 朝倉書店

## (2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 阿部健一、日文研・地球研合同シンポジウム『環境問題はなぜ大事か—文化から見た環境と環境から見た文化—』(2011). 「人のいる自然・人のいない自然」
- 2) 阿部健一、国際森林年：自然と文化の大交流 森と草原の地球教室 文化交流フォーラム in 京都(2011). 「森の人々から学ぶ、これからの生き方」
- 3) 阿部健一、第5回 人と自然の共生国際フォーラム「持続可能な社会を目指して、理念から行動へ、今変わる時」(2011). 「つながりという価値：震災後にあらためて考える」
- 4) 阿部健一、人間文化研究機構 第17回公開講演会・シンポジウム「遠い森林、近い森：関係性を問う」(2011). 「趣旨説明」
- 5) 阿部健一、第9回 地球研地域連携セミナー「ユーラシアへのまなざし：ソ連崩壊20年後の環境問題」(2011)「趣旨説明」
- 6) T. KUME: World Water Week, Stockholm, Sweden, 2011 “Recovery of Agricultural Fields in Tamilnadu, India and Implications to Japan.”
- 7) T. KUME, C. UMETSU and K. PALANISAMI, Second International Science and Policy Conference (Arizona, USA) (査読付き)、Arizona, USA, 2011 “How can Resilience be Understood and Quantified? -A Case Study of the 2004 Tsunami Disaster in Nagapattinam District, Tamil Nadu, India-, Resilience 2011.”
- 8) C. UMETSU, T. LEKPRICHAKUL, K. PALANISAMI, M. SHANTHASHEELA and T. KUME, Second International Science and Policy Conference (Arizona, USA) (査読付き)、Arizona, USA, 2011. “Resilience of Tsunami Affected Farm Households in Coastal Region of Tamil Nadu, India, Resilience 2011.”
- 9) D. NAITO, Association of American Geographers Annual Meeting, New York, USA, 2012. “Environmental Audit as ritual practice.”
- 10) KUME, Takashi, NAITO, Daisuke, and ABE, Ken-ichi, 2013 “Building Social-Ecological Resilience of Coastal Agricultural Fields to Natural Disasters”, International Research Conference on Safety, Hazardous and Disaster Management (IRCSHDM), Thailand
- 11) ABE Ken-ichi, 2012, “What Should We Do? An Anthropologist in Tsunami Affected Areas, Tohoku, Northeast Japan”, The 112th the American Anthropological Association (AAA) Annual

- meeting, INNO-VENT SESSION: The Role of Anthropology in Disaster Japan: Responses to the 3/11 Earthquake and the Fukushima Accident, NOVEMBER 17, 2012 the San Francisco Hilton (Union Square), USA
- 12) Naito Daisuke 2013, “Forest Certification and Local Communities,” International Workshop on Forestry and Local People: Toward A Joint Use and Management of Tropical Rain Forest, Indonesia, Universitas Tanjungpura Pontianak, Indonesia
- 13) 阿部健一 第1回 未来社会を担う人材育成のための多角連携フォーラム～ 「なぜ行動をおこさないのか: Knowledge, Learning, and Social Change」 2014年3月8日 神戸大学社会科学系アカデミア館
- 14) 内藤大輔 「インドネシア・グヌンキドゥルにおける生業戦略と森林認証制度」、国際ワークショップ「持続可能な未来のための伝統と近代システムの融合」国際連合大学エリザベス・ローズ国際会議場, 東京, 日本, 2014年2月14日
- 15) 阿部健一 公益財団法人りそなアジア・オセアニア財団セミナー、趣旨説明「森が豊かな海を育む アジアの水問題と地球環境～日本企業の役割を考える～」 2013年10月29日 ホテルエルセラーン大阪

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

### (4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) 日文研・地球研合同シンポジウム『文化・環境は誰のもの?』講演「分かちあう豊かさ：環境と文化」2012年9月14日 日文研ホール
- 2) INNO-VENT SESSION: The Role of Anthropology in Disaster Japan: Responses to the 3/11 Earthquake and the Fukushima Accident, November 17, 2012 the San Francisco Hilton (Union Square), USA
- 3) 人間文化研究機構 第20回公開講演会・シンポジウム趣旨説明『コモンズ：豊かさのために分かちあう』2013年1月25日 有楽町朝日ホール
- 4) 第1回アジア農村レジリエンス研究会「ベトナム紅河デルタの農村社会組織が作り出す農民生活の持続的発展(柳澤雅之(京大地域研))」(2011年10月18日、地球研セミナー室3、4)
- 5) 第2回アジア農村レジリエンス研究会「アジアの人々と水の関わりー民際学の視点から(中村尚司(龍谷大学名誉教授))」(2011年12月20日、地球研講演室)
- 6) 第3回アジア農村レジリエンス研究会「東南アジアに見るアブラヤシ 農園展開の諸相(加藤剛(総合地球環境学研究所客員教授))ほか」(2012年1月28日、地球研セミナー室3、4)
- 7) 第4回アジア農村レジリエンス研究会「インドネシアにおける住民の組織的行動(島上宗子(総合地球環境学研究所研究員))」(2012年6月26日、総合地球環境学研究所、京都)
- 8) 第5回アジア農村レジリエンス研究会「ジャワにおけるプカランガンと近年の森林環境の変遷について(Budiadi(ガジャマダ大学准教授))」(2012年10月23日 愛媛大学農学部、)

- 9) 第6回アジア農村レジリエンス研究会「生物多様性保全と持続的な森林利用の両立は可能か？杉村乾（森林総合研究所）」(2013年2月7日、総合地球環境学研究所、京都)
- 10) 第7回アジア農村レジリエンス研究会「インドネシア火山災害地の復興型資源利用にみる自然と社会の復元力に関する研究（嶋村鉄也（愛媛大学准教授））愛媛大学農学部、
- 11) 第8回アジア農村レジリエンス研究会「生存基盤指数とケアの概念について 西真如（京都大学学際融合教育研究推進センター特定准教授）」 京都大学
- 12) 第9回アジア農村レジリエンス研究会「資源利用のネットワークと世帯戦略の計量的把握生方史数 岡山大学准教授」 2014年2月 総合地球環境学研究所、京都、)
- 13) 第10回アジア農村レジリエンス研究会「小規模生業民のトランスフォーメーション（石本雄大（地球研研究員）） 総 2014年2月、合地球環境学研究所、京都)
- 14) 国際認証シンポジウム「国際認証を地域が使いこなすには」（2014年2月1日（土）13:00～ 2014年2月2日（日）12:30、総合地球環境学研究所 講演室 ）アジア農村レジリエンス研究会

#### （5）マスコミ等への公表・報道等

- 1) 産経新聞（2011年09月30日、朝刊(大阪版)、27面、阿部健一 森の価値高める関係距離（連載：森林とのかかわりを求めて）
- 2) 北海道新聞（2011年05月19日、夕刊、5面、阿部健一 連載：ユーラシアへのまなざし阿部健一 さらなる交流に向けた地域理解）

#### （6）その他

特に記載すべき事項はない。

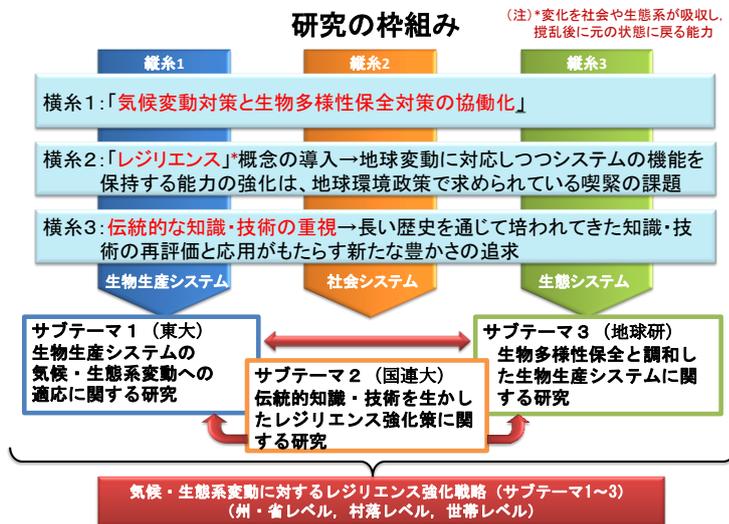
#### 8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

#### (4) 本研究の成果 –モザイクシステムの提案

ここでは、本研究を統合することで得られた研究成果について述べる。

本研究は、ベトナム、インドネシア、スリランカの農村地域を主な対象に、アジア農村社会に



図(4)-1 本研究の枠組み

における気候・生態系変動やその他の社会・経済的脆弱性に対するレジリエンスを定量的に評価し、地域の生物多様性や伝統的な知識・技術を生かし、これに近代的な知識・技術を組み合わせたシステムをモザイクシステムと呼称し、農村地域のレジリエンスを総合的に強化する対策オプションを提示することで、農業生産の量及び品質双方を向上させる生物生産体系の確立と農村社会の持続可能な成長戦略を構築することを目的とする。

本研究は、「(1) 生物生産システムの気候・生態系変動への適応に関する研究」、「(2) 伝統的知識・技術を生かしたレジリエンス強化策に関する研究」、「(3) 生物多様性保全と調和した生物生産システムに関する研究」からなる(図(4)-1)。また、本研究が研究対象としている、ベトナム、インドネシア、スリランカそれぞれについて、ベトナム国家大学ハノイ校(ベトナム)、ガジャマダ大学(インドネシア)、ペラデニア大学(スリランカ)との共同研究体制が構築されている。これにより、現地の実態に即した研究成果を得るとともに、本研究の研究成果が対象地域に還元されることが期待される。

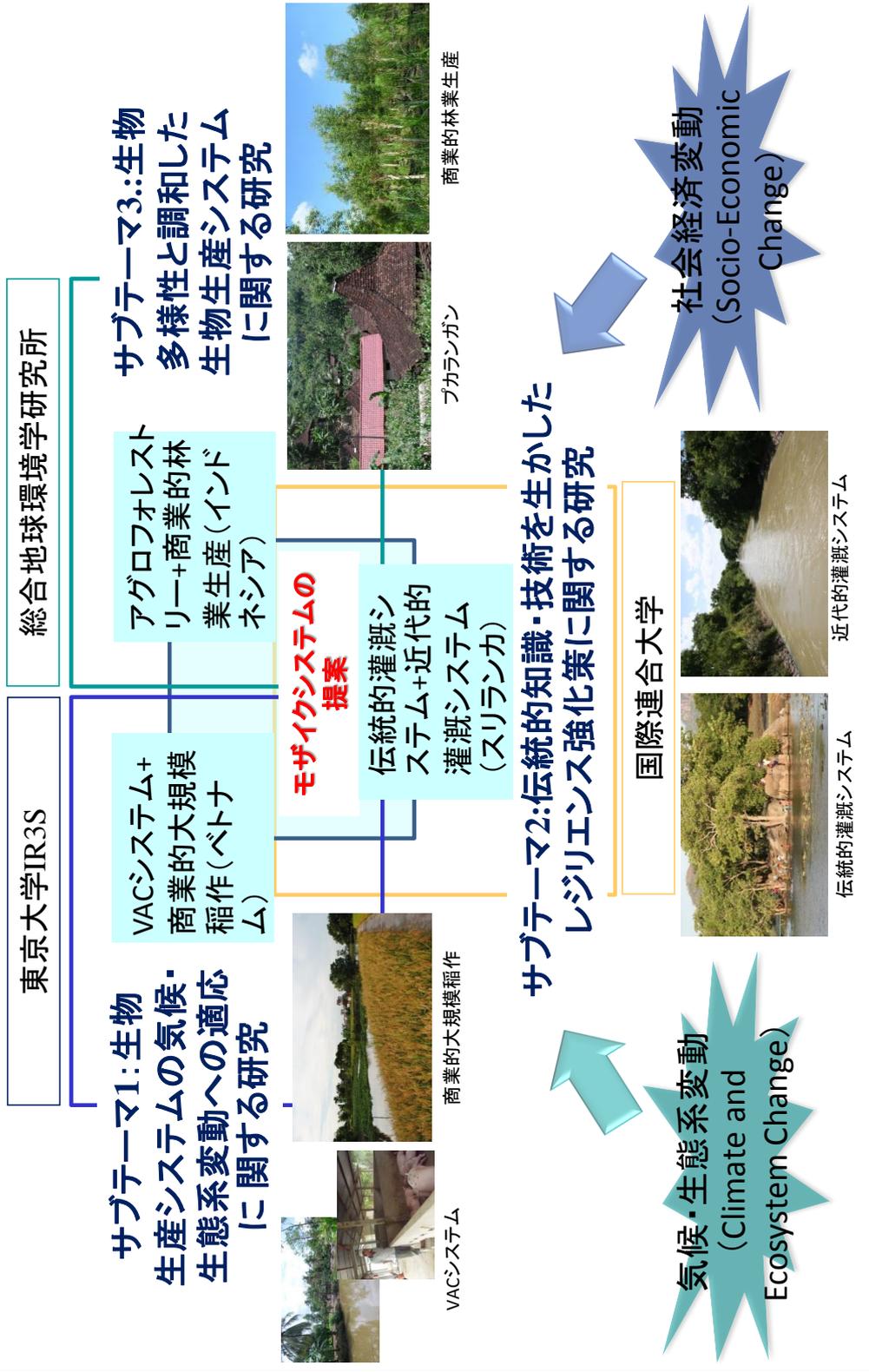
本研究の研究成果に基づく介入オプションを実施し、伝統的技術・知識と近代的技術・知識を組み合わせたモザイクシステムを構築した場合の定量的な評価については、「(3) 生物多様性保全と調和した生物生産システムに関する研究」で示した通りである。図(4)-2は、これに基づき各サブテーマの研究成果、すなわちモザイクシステムの提案を示したものである。

まず「(1) 生物生産システムの気候・生態系変動への適応に関する研究」については、近年、塩類遡上が深刻となりつつあるベトナム・紅河流域を対象に調査を行い、多収量品種(堤防から遠い非塩害圃場)から在来品種・もち米あるいはイネからイグサ(堤防に近い塩害圃場)へ作付を転換することで塩類遡上へ対応するとともに、伝統的なVACシステムをより市場経済の浸透に対応した形に変容させることで、気候・生態系変動のみでなく社会経済変動等のリスクに対応し得ることが明らかにした。さらにベトナム版GAP(農業生産工程管理)など国際市場を意識した認証システムの導入と生産物の高品質化による高付加価値化と市場対応が進展しつつあり、過度な効率性追求を抑制しつつ高収益を実現することが可能となりつつあることが明らかとなった。これらの戦略により、気候・生態系変動、および社会経済変動に対するレジリエンスを強化することが可能である。

次に「(2) 伝統的知識・技術を生かしたレジリエンス強化策に関する研究」については、先-

# 本研究の成果概要 - モザイクシステムの提案

気候・生態系変動、社会経済変動に対して、伝統的知識・技術と近代的知識・技術を組み合わせた  
**モザイクシステムによりレジリエントな社会を実現**



図(4)-2 モザイクシステムの提案

に述べたように、伝統的灌漑システムである伝統的タンクのみでは既存および新しい稲作生産への灌漑需要に対応できないこと、および近代的なシステムである新貯水池は、通常年では、全ての水需要に対応することが可能だが、5年に1度の頻度で発生する渇水年においては対応できないことが明らかとなった。そこで、各貯水池における詳細な河川流量の分析、さらに伝統的タンクと新貯水池を組み合わせて運用する全体システムに関するモデルを構築した。これにより渇水年・月の共同管理により、伝統的タンクにおける貯水を優先的に利用し、新貯水池と相互補完的に運用することで総需要に対応することが可能となった。

「(3) 生物多様性保全と調和した生物生産システムに関する研究」については、インドネシアのグヌンギドゥルを事例に、伝統的なホームガーデンであるプカランガンにより様々なショックに対応するとともに、産業植林により社会経済変動への対応を高めつつ、アグロフォレストリー、森林認証制度により生物多様性保全（過度な効率性、経済性重視を是正）も同時に行うことができることから、両者を組み合わせることでレジリエンスを強化することが可能であることが明らかとなった。

以上より、本研究を通じて、伝統的技術・知識と近代的技術・知識を組み合わせたモザイクシステムを構築することにより、よりレジリエントな社会を気候・生態系変動、社会経済変動に対して脆弱であると考えられるアジア農村部において実現することが可能であることが示された。

また、本研究全体として行政が活用することが見込まれる成果を以下に示す。これは政策決定者向けサマリーに基づく。

- ・ 気候変動適応対策と生物多様性対策の両立・シナジーについて（環境政策に活用できる新たな知見・技術・提言1）

地球温暖化対策と生物多様性保全対策の相互関係を科学的に明確にし、両立するシステムづくりの方法論やそのための政策の確立を目指した研究が求められている。しかしながら、両者が密接に関連することは明らかであるにも関わらず、それぞれが独立して扱われており、地球温暖化対策と生物多様性保全対策の連携・協働は進んでいない。「気候・生態系変動」に対する適応を検討することで、気候変動適応対策と生物多様性対策の両立を図る政策オプションを探る必要がある。

- ・ アジア農村地域における伝統的生物生産方式を生かした気候・生態系変動に対するレジリエンス強化戦略について（環境政策に活用できる新たな知見・技術・提言2）

開発途上国における気候・生態系変動に対する脆弱性が認識され、それに対する適応策の確立が求められている。これに対して近年、レジリエンスが着目されるものの、気候・生態系変動に対する適応研究に応用することで、従来の適応策が具体的にどう変わりうるかを示す、具体的な研究は世界的にもほとんどなされていない。本研究からアジア農村地域において、伝統的生物生産方式、近代的生物生産方式の双方に対する、あるいは両者を統合する介入オプションを通じてレジリエンスを強化する可能性を明らかとなった。

- ・ 気候・生態系変動のレジリエンス強化戦略とグリーン・エコノミーの両立について（環境政策に活用できる新たな知見・技術・提言3）

「国連持続可能な開発会議（リオ+20）」では、「持続可能な開発及び貧困撲滅の文脈におけるグリーン経済」が主要テーマの一つとされ、「国連ミレニアム開発目標」の後継、補完としての「持続可能な開発目標」でも取り上げられている。こうした概念を踏まえて、概念を具現化する具体的な提案が望まれる。本研究では、「気候変動および生態系変動に対するレジリエンス強化」、「関連するステークホルダーの参画による新しい自然資源の共同管理の仕組みであるニュー・コモンズ」、「生産される農産物に対する付加価値を付与することによる新しいビジネスモデル」によるグリーン経済の構築を提案した。

- ・ 伝統的知識・技術と近代的知識・技術の組み合わせによるモザイクシステムの構築について（環境政策に活用できる新たな知見・技術・提言4）

伝統的知識・技術と近代的知識・技術はを組み合わせることで、双方のメリットを生かし、デメリットを最小化したモザイクシステムが構築される。これにより気候・生態系変動に対してレジリエントとなるだけでなく、市場経済への対応も考慮された農業生産に限らない、コミュニティあるいは社会としてレジリエントなシステムを提案することが可能となる。

- ・ 伝統的灌漑システムと近代的灌漑システムの統合の提案と社会実装環境政策に活用できる新たな知見・技術・提言5）

本研究が提案したモザイクシステムは、提案のみにとどまらず、伝統的灌漑システムと近代的灌漑システムの統合によるモザイク灌漑システムが、実際に、スリランカにて社会実装された。各貯水池における詳細な河川流量の分析、さらに伝統的タンクと新貯水池を組み合わせ運用する全体システムに関するモデルを構築し、時に、共同管理オプションについても研究し、方法論およびガイドランを作成した。これらに基づき、スリランカ灌漑局と覚書を締結し、本研究成果を活用することが合意された。

## **Strategy to Enhance Resilience to Climate and Ecosystem Changes Utilizing Traditional Bio-production Systems in Rural Asia**

Principal Investigator: Kazuhiko TAKEUCHI

Institution:                Todai Institutes for Advanced Study (TODIAS),  
                                  Integrated Research System for Sustainability Science  
                                  (IR3S), The University of Tokyo  
                                  7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8654, JAPAN  
                                  Tel: +81-3-5841-1541 Fax: +81-3-5841-1549  
                                  E-mail: takeuchi@ir3s.u-tokyo.ac.jp

Cooperated by: United Nations University, Research Institute for Humanity and Nature

[Abstract]

Key Words: Climate and Ecosystem Changes, Traditional Knowledge and Technology, Modern Knowledge and Technology, Resilience, Mosaic System, Home Garden System, Intervention Option

Asia is home to a number of traditional agricultural landscapes that have withstood climate variability and varied societal changes for over thousand years. Their sustainability is due to high degree of resilience that is brought by integrated resource management, maintenance of material cycles, supporting a variety of societal and ecosystems services, etc. However, the productivity of such systems is not high and it is difficult to support the modern day lifestyles by their agricultural output alone. On the other hand modern agricultural systems are highly productive and efficient to cater to high demands of present day populations and economic growth. These systems are, however, highly optimized and run the risk of failure with changes to existing climate and ecosystems state. Is it possible to develop a framework to integrate the use and management of these two types of systems so that the total system resilience as well as productivity can be enhanced? This is the research question the project addressed through a comparative study of 3 types of traditional and modern agriculture systems in three countries; Pekarangan and Kebun talun in Indonesia, VAC system in Vietnam, and Kandy Homegarden in Sri Lanka to conduct the studies on strengthening social resilience and promote sustainable development of communities. After the compilation of traditional knowledge and technologies it showed how modern scientific methods can complement these technologies for the rural development in target countries. A mosaic system

consisting of modern and traditional systems is expected to improve overall resilience of the system and improve livelihoods to all farmers through the increases in productivity. This research composed of three sub-themes. All the sub-themes show examples of combination of traditional knowledge/technology and modern knowledge/technology which is called “Mosaic System” in this research to enhance resilience in the region. From the research of sub-theme 1, it is shown the combination of VAC system, traditional inbreeds seed and hybrid seed to respond to salt water intrusion and socio-economic change in Vietnam. Sub-theme 2 shows enhancing resilience strategy in dry season through combination of traditional irrigation system and modern irrigation system in Sri Lanka. Sub-Theme 3 discusses farmer’s response to some external shocks through combination of traditional forestry and industrial forestry in Indonesia. Finally, enhancing resilience strategies for each targeted country through intervention options to combine traditional knowledge/technology with modern knowledge/technology are proposed and evaluated qualitatively.