

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H05780

研究課題名(和文) アジアの脆弱な稲生態系の地域内不均一性と品種選択に関する研究

研究課題名(英文) Study on regional heterogeneity and varietal selection in fragile rice ecosystems in Asia

研究代表者

鴨下 顕彦 (Kamoshita, Akihiko)

東京大学・アジア生物資源環境研究センター・准教授

研究者番号：10323487

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：地球温暖化による塩水遡上の稲作への影響を評価するために、ベトナム北部の紅河デルタの本流と分流の河口周縁を比較した。水田と水産養殖池が堤防によってゾーン化されていない分流河口では、稲生産が大幅に低下し、本流河口の堤防近傍の水田でもやや減収した。早生の良質品種は、ハイブリッドに比べて、塩分に対する減収率が大きかった。南インドのため池水田では、近年干ばつ被害が連続しており、補完的な井戸灌漑の利用が進んだ。ため池末端水田や市場性の高い晩生品種は干ばつにより減収した。カンボジアでは2011年の大洪水以降、氾濫原での乾季作化と品種の画一化が進み、灌漑水田での機械化や、全般的な省力化が進んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

灌漑が十分に整備されておらず、干ばつや洪水の被害が頻発する水田や、海面上昇による塩水遡上を被る沿岸部の水田など、生産基盤の脆弱な熱帯アジアの水田に着目して、気象リスクと域内不均一性を明らかにし、持続可能な稲作を設計するための知見を得た。条件の悪い環境での生産の改良のための総合的な提案をした。近年米の輸出を急増させてきた3国(インド、ベトナム、カンボジア)であるが、個々の生産現場の状況の違いも描いた。アジア以外の生産基盤の脆弱な地域、例えば、アフリカでの稲作の改良を考える際にも、応用することも可能である。

研究成果の概要(英文)：To assess effects of salinity intrusion triggered by global warming, paddy fields near the estuaries of Red River, Vietnam was studied. Rice production was greatly reduced nearby branch estuary where paddy and aquacultural ponds were not zoned by dykes, whereas yield of paddy close to the dykes in the mainstream estuary was just slightly reduced. Short-duration quality varieties reduced yield in response to salinity compared with hybrid varieties. In the tank irrigated rice in South India (i.e., non-system tank without connecting rivers), drought occurred frequently during 2010-2019, which lead more farmers to dug bore-wells for supplementary irrigation. The tail fields and long duration quality varieties popular in markets tended to yield lower due to drought. In Cambodia, dry season rice cropping with fewer varieties in the flood plain of Tonle Sap spread after the big flood damages in 2011. Mechanization in irrigated paddy and overall labor-saving cultivation became more popular.

研究分野：作物生態学

キーワード：農業生態学 農業経済学 環境調和型農林水産 気候変動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

世界の米の消費は拡大し生産量や収量の増加だけでなく、貿易量も急増しており、2010年と2014年の国際稲会議(IRC2010, IRC2014)(<http://ricecongress.com/2014/>)に見られるように、米・稲への学術的また社会的関心は一層高まってきている。とりわけ、気候変化・変動や農業ビジネスモデルの世界の稲作に及ぼす影響が注目されており、それらを念頭に置いた生産と流通を含む包括的な米の基準作りも国連環境計画と国際稲研究所により進められている(<http://www.sustainable-rice.org/>)。しかし、熱帯アジアには、灌漑が十分に整備されておらず干ばつや洪水の被害が頻発する天水田や、海面上昇による塩水遡上を被るデルタ水田など、生産基盤の脆弱な水田がまだ多く残されている。こうした水田は気象リスクに曝されており、その評価と対策は重要な課題であるが、実態調査による、営農、栽培、作物機能、環境パラメータなどに関する客観的な情報が不足している。本研究課題においては、そのようなリスクの高い環境にあるアジアの水田で、これまで調査が十分ではなかった地域を複数選んで対象とした。

国際的な米の需要量の増加を受けて、カンボジア、ベトナム、インドからの米の輸出が増えてきた。そのため、大規模稲作農家や企業的水田経営だけでなく、以前は自給を主として余剰があれば地元の市場に販売する程度だった小規模稲作農家も、輸出市場を意識した稲作を行うようになってきた。このことは、小規模農家の品種選択や生産資材の投入、気象リスクへの対処法にも影響を及ぼしていると予想される。例えば、市場性の高い品種が気象リスクに対して脆弱である場合、市場志向の農家は今までに増してリスクを負うことになる。このような観点から、アジアの稲作を調査した例は乏しい。

カンボジアは1991年に内戦を終結以来、米の増産、収量増加、さらに輸出拡大を推進してきた。灌漑の普及率が非常に低く、天水田が多いが、灌漑プロジェクトが推進されている地域もあれば、氾濫原の深水稲作地域もある。多様な稲作生態系が、カンボジアの復興後の経済発展とともに、どのように変化してきたのか、比較農業生態学的知見は乏しい。伝統的な生産様式の残存や、作期や品種の多様性、市場化の進展など、差異が予想される。

南インドの少雨地帯での稲作の実態に関して、特に河川に連結しない非システムタンクでの水利用についての最近の報告はない。大河川のないこの地域で、どのくらいの頻度で干ばつ被害があるのか、また、ため池水田生態系内での不均一性と、ため池や井戸水の利用など農家の適応についても明らかにできれば、脆弱な地域での資源の有効利用に貢献しうる。

北ベトナムの紅河デルタは、ベトナム有数の水田地帯であるが、地球温暖化に伴う海水面の上昇と塩水遡上の影響が懸念されている。しかし、南部のメコンデルタほど研究が進んでおらず、塩害などの実態が曖昧で、持続可能な稲作の可能性に関する科学的な展望が欠けている。

2. 研究の目的

生産基盤が弱く、環境ストレスのリスクが高いアジアの脆弱な稲生態系の実態を明らかにし、気候変動に対する持続可能な稲作を構想することを目的とした。米の輸出を近年増加させてきた3か国、カンボジア、インド、ベトナムの中で、生産基盤は弱いながらも、農業生態系として特色のある地域を選択し、地域と国の事例研究の集積として、気候変動に伴う生産リスクに対する稲作の姿を描こうとした。実態解明のために、生産性の低さや、脆弱性の指標となる、収量などの生産パラメータも用いたが、対象地域の稲生態系内の水・土壌・塩分・水分条件の不均一性と、農家の適応にも着目して、それらを評価した。農業生態系は、自然生態系より均質化されているが、気候変動による環境ストレスの起こり方は、場所による差異があり、本研究では、「不均一性」(heterogeneity)という言葉を用いた。

3. 研究の方法

カンボジアは、バットアン州、コンポンチュナン州、タケオ州から、4つの調査地域を選んだ(灌漑稲生態系1、深水稲生態系1、天水田生態系2)。調査地には2-3村が含まれるが、これらは2009年に稲作・多面的機能の調査を行った村落である(科研費20405019)。インドは、南インドのタミルナドゥ州の南部のマドゥライ近郊について、特にビルドゥナガル県の少雨地域の2村などを選定した(河川に連結していないため池稲生態系)。ベトナムは、紅河デルタの沿岸部、ナムディン州の、主流河川の流れるギアトウイ県と、分流河川の流れるニアフン県の中の数コミュニティを選定した(デルタ稲生態系)。

カンボジアは、2018-19年に現地の稲作経営質問調査を150軒の農家に対して行い、2009年の調査情報や、その他これまでの研究成果を統合して解析した。また、2011年の東南アジア大洪水の被害に関して、水深調査と統計資料とを統合して解析をし、洪水被害後の稲作の作期の転換についても調査した。インドは、2016-19年に現地圃場・村落調査を行い、質問調査のほか、水収支の測定と、これまで2012-2015年のサンプル調査や植物体や土壌分析も併用した。また過去30年の降水量のデータの解析も行った。ベトナムは、主流の2つと分流の1つのコミュニティで、2015年から2017年までの6期(春稲+夏稲x3年間)の環境(土壌、水深、塩濃度)、栽培(品種、肥料)、収量や窒素吸収量を解析した。また、分流の河口付近の塩水遡上の影響が強い2つのコミュニティで、稲作と水産に関する経営選択調査を300軒余りの農家と500個程度の水田と養殖池とについて行った。

3か国とも、現地の大学・研究所の共同研究者の協力により行ったほか、日本の大学生や大学院生、現地の大学院生や若手の参画を得ながら行った。また、地域・国レベルでの情報も収集し、

本報告の前半にまとめ、分かりやすいように、日本などとの比較も示した。

4. 研究成果

(1) アジアの米生産・輸出の動向

世界の米の総生産額は、2002年の103,552(百万米ドル)から2011年の332,021(百万米ドル)まで急増し、以降300,000(百万米ドル)のレベルである(FAOSTAT)。対象研究国のインド、ベトナム、カンボジアでは、その規模は異なるが、どの3か国も米の総生産額を2000年代から増加させてきた(ベトナムは1990年代から)(図1)。インドは、中国に次いで総生産額70,176(百万米ドル、2016年)ベトナムはその2割程度(12,324百万米ドル)、カンボジアはさらにその2割程度(2,665百万米ドル)である。ベトナムの米生産額は、日本とほぼ同じまで増えた。

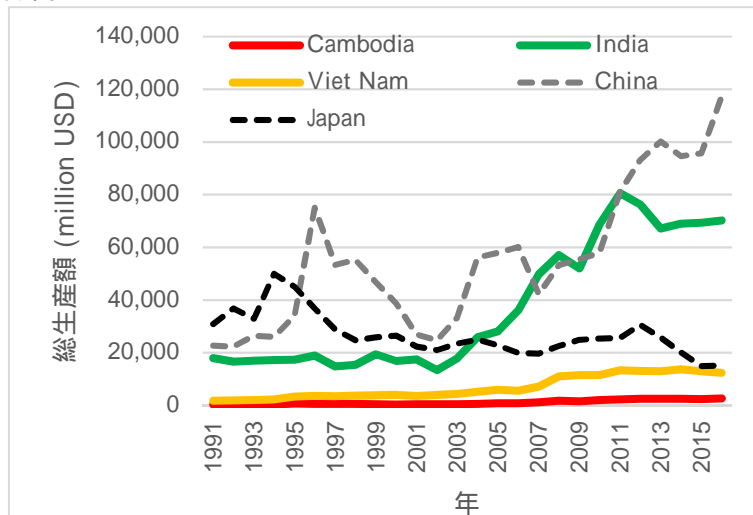


図1 対象研究国(インド、カンボジア、ベトナム)の米総生産額の推移 (1991-2016、FAOSTAT)。比較のため日本と中国も示す。

米の輸出量は、ベトナムとインドは1990年代から増加し、2015-2017年の平均値で、それぞれ世界3位と1位の輸出国になった(図2)。2010年代にインドで急増した。カンボジアでも2000年代後半から増加した。FAOSTATでは539,127トン(2017年)だが、国境を越えてタイやベトナムに流れている、公式統計には表れていないカンボジア産米がある。

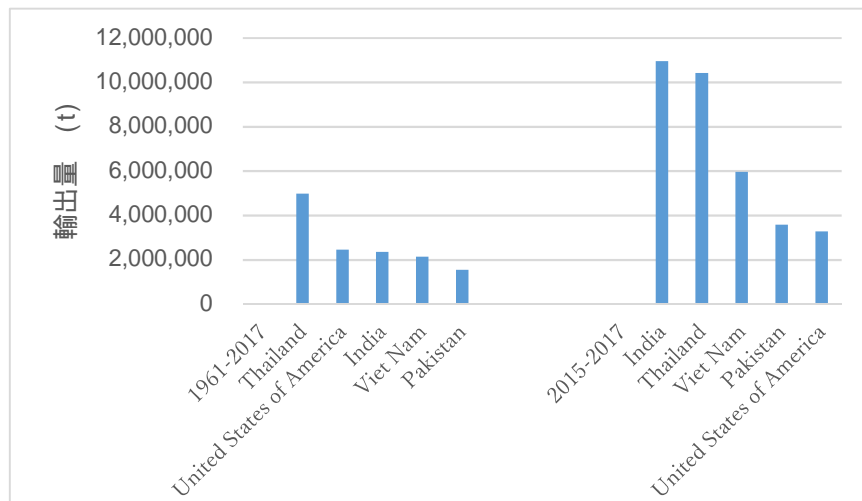


図2 米の輸出上位5か国(1961-2017(左)、2015-2017(右))(FAOSTAT)。

(2) 生産資材の動向 窒素肥料と農薬

窒素肥料の農業利用は、中国が3千万トン、インドは1500万トン以上、アメリカは1千万トン以上である(2017年)(図3)。ベトナムでも2002年から増加したが、これらの国と比べると、国土は狭いので、1,548,799トンにとどまる。ただし、デルタ水田の事例調査においては、年間窒素成分で400kg/haにも及ぶ高い肥料の投入が明らかになり、施肥方法の改善は課題である。カンボジアやミャンマーでも、窒素肥料は漸増しているが、それぞれ5万トン、20万トンと、桁が1つ少ない。ちなみに日本の窒素肥料使用量はピークの1979年(777,000トン)から、2017年では半減し

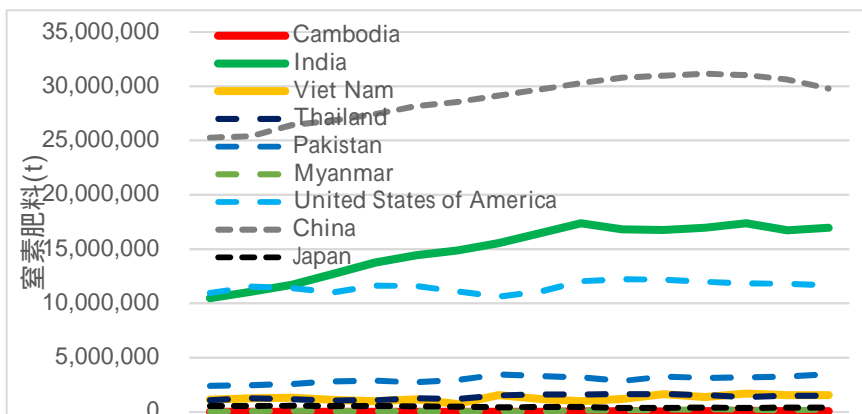


図3 窒素肥料の農業利用量の推移(2002-2017 FAOSTAT) 研究対象国の他、米の輸出国(タイ、ミャンマー、パキスタン、アメリカ)、日本、中国と比較した

(380,300 トン)、省インプット化と利用効率の向上が進んだ。そのノウハウは国際的な意義も持つが、インドや中国のような大人口国の場合、食料安定供給の観点からも、肥料の利用の問題を検討する必要がある。

農薬使用量は、中国で急増し(1990年 775,408 トン→2017年 1,773,634 トン)、2位のアメリカ(407,779 トン)を大きく引き離しているが、インド、ベトナムでは、それぞれ5万トン、2万トンのレベルにとどまっております(図4)、窒素肥料のように増加はしていません。インドの農薬使用量は、日本と同じ程度である。

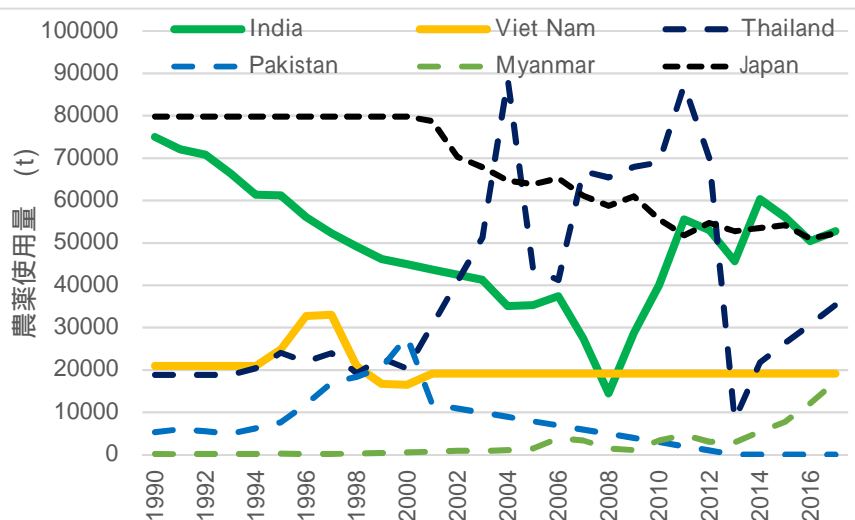


図4 農薬使用量の推移(2002-2017 FAOSTAT)。研究対象国、タイ、ミャンマー、パキスタン、日本を含むが、カンボジアはデータなし

(3) 環境負荷

稲作による温室効果ガス(メタン)の発生量は、インドが中国に次いで2位、ベトナムは6位、カンボジアは10位である(図5左)。農業全体からの排出量(図5右)に占める比率は、中国やインドの場合、1/6程度である。

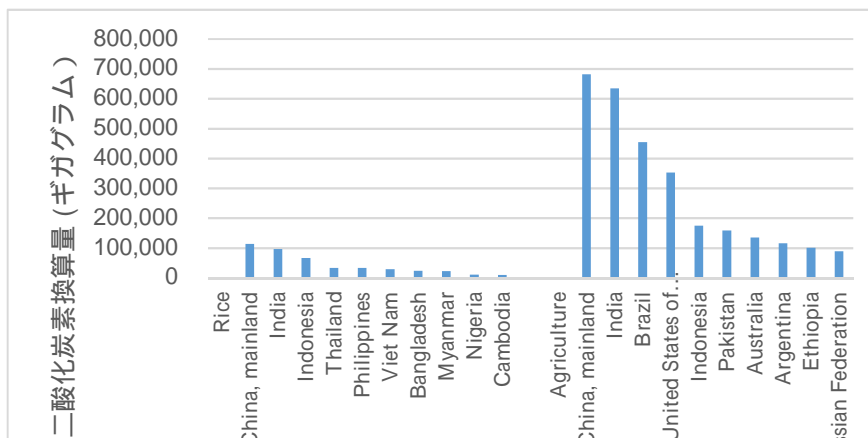


図5 水田から(左)及び農業全体から(右)の温室効果ガス発生量(二酸化炭素換算量)の上位10か国(2015-2017平均値)

(4) カンボジア洪水田の転換

日本でも近年、豪雨による水害が頻発しているが、気候変動に伴う洪水リスクの増加は、カンボジアでも懸念されている(表1)。ただし、洪水被害は、地域特異性があり、調査地域の1つ、バタンバン州のサンカエ県の深水稲生態系

では、2011年に1万ヘクタール(域内水田の3割)に及ぶ被害があった。同県内にある、本研究調査地域でも、通常の水稲品種だけでなく、3m程度まで伸長できる浮稲品種も含めて、すべて水没し、収穫皆無となった。これ以降、灌漑事業が導入され、雨季の増水期を避けて、乾季を中心にした作付けへと大転換が進んだ。ただし、鼠害や水不足などの問題が続き、安定した新しい二期作生産体制が確立するまで、5年以上はかかっている。深水稲生態系での、浮稲を含む雨季一期作から、残り水を利用した乾季作(減水期稲)と、増水前の早期雨季作を組み合わせた、二期作化が進み、非感光性の早生多収で市場性のある品種に、画一化されてきた(サンクラオブなど)。灌漑稲生態系、天水稲生態系でも、2009年と比べて、それぞれ独自の変化が見られた(作期の多様化、機械化、省力化など)。

表1 カンボジア、バタンバン州、サンカエ県での稲作と洪水被害(2006 - 2011年)

年	カンボジア			バタンバン州			サンカエ県			トンレサップ湖 最大水深 (m)
	作付面積 (10 ³ ha)	被害面積		作付面積 (10 ³ ha)	被害面積		作付面積 (10 ³ ha)	被害面積		
		(10 ³ ha)	(%)		(10 ³ ha)	(%)		(10 ³ ha)	(10 ³ ha)	
2006	2,212	18	0.8	244	0.2	0.1	30.5	0.1	0.3	8.21 (18 Oct)
2007	2,241	31	1.4	240	0.4	0.2	30.7	0.0	0.0	7.76 (24 Oct)
2008	2,255	1	0.1	245	0.5	0.2	31.3	0.0	0.0	7.54 (7 Oct)
2009	2,334	41	1.8	262	4.0	1.5	30.8	1.1	3.6	8.14 (12 Oct)
2010	2,391	17	0.7	269	0.3	0.1	31.8	0.0	0.0	6.63 (27 Oct)
2011	2,497	267	10.7	286	35.0	12.2	33.0	10.1	30.6	9.45 (21 Oct)

(5) インドため池水田の干ばつ・適応

南インドは、6月から始まり9月に収まる南西モンスーンと、10月ころにピークを持つ北東モンスーンの双方の影響を受ける特異的な地域である。南西モンスーンは、インド南西のケララ州には大雨をもたらすが、タミルナードゥ州の調査地域では、9-12月までの北東モンスーンが年間降水量(1985-2019年平均780mm)の6割程度を占めていて、この時期にため池を用水とした稲の一期作が行われる。2010年以降、2012年、2016-2018年など、雨量が少なく干ばつ被害に遭う頻度が多かった(図6)。2つの村落のため池水田でも、連続する干ばつに対して、用水不足を補完するために井戸を掘る農家が増え、早生品種の利用が増えた。

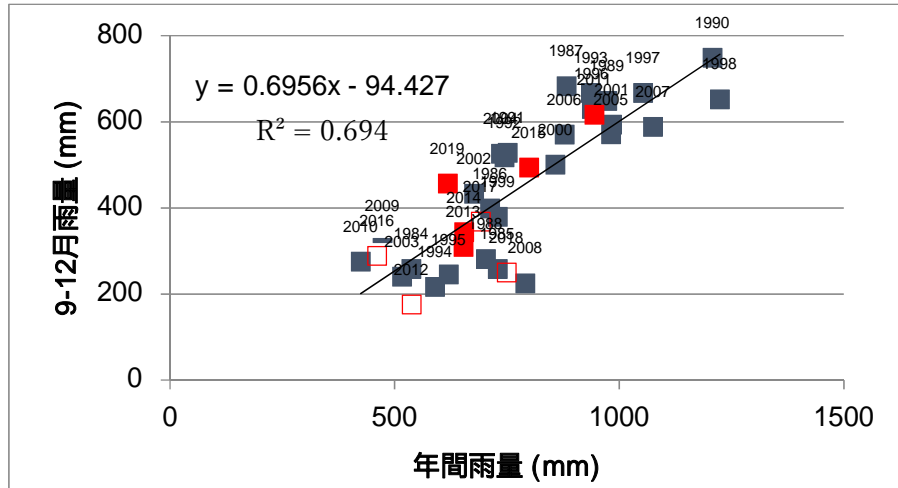


図6 タミルナードゥ州ビルドゥナガル県の1985-2019年の年間雨量と北東モンスーンによる9-12月の雨量(2010年以降を赤で示し、調査村で干ばつ被害が大きかった年を白抜きにした)

(6) ベトナム紅河デルタ水田の塩水遡上

紅河の分枝河川にあたるダイ三角江では、本流に当たるバラット三角江と比べて、塩水遡上がより進んでいて、米の収量も低く、2017年には、調査圃場で稲作は行われず他の土地利用に転換した。春稲では塩分濃度が高いと減収し、窒素施肥量が多いと増収し、両者は同じ程度強く影響を及ぼしていた。また、生育期間の短い早生のインブレット品種では塩分の増加0.1%当たり45g/m²減収したが、生育期間の長いハイブリッド品種では19g/m²の減収割合であった(図7)。塩分濃度を一定以下に管理することが今後できれば、良質の早生品種の収益が高いが、環境のコントロールができないと、単価の低いハイブリッドなどの品種で対応するか、後述するように、水産への転換を選択することにもなり得る。あるいは、耐塩性やストレス抵抗性稲品種が開発・普及すれば、収益の向上に大きく貢献できる。夏稲では、水深の増加によって減収し、生育期間の長いインブレット品種の収量は高かったが、窒素施肥量の効果は小さかった。また、堤防や塩水源に近く、経験的にリス

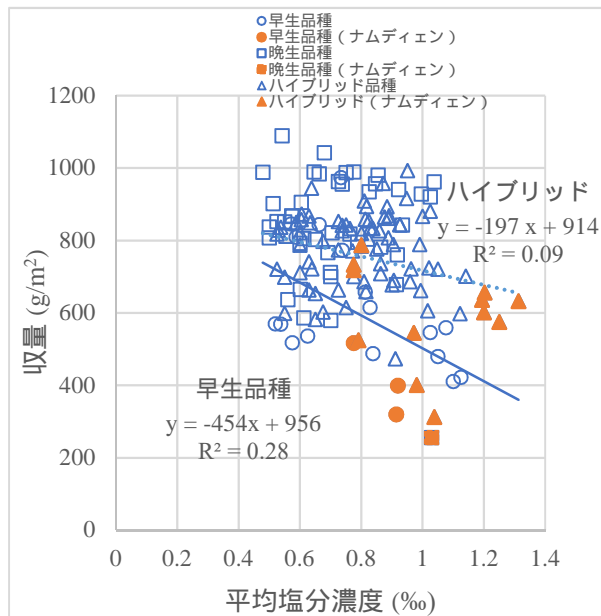


図7 紅河デルタの調査圃場での塩分濃度の春稲の収量への影響(2015-2017)。早生品種はハイブリッドよりも塩分による減収率大きい。ナムディエンは、分流の河口付近のコミュニティである。

クが高そうな圃場では、通常圃場と比べて、平均収量は約15%低かった。持続可能な稲作のためには、生態系の不均一性の理解に基づき、適切なゾーンを設定し、耐塩性品種を開発・普及させ、施肥を含む管理の効率化が、重要である。また、稲作から水産養殖に転換する場合の収益が有利になるのは、平均塩分濃度が約0.5%以上であることも明らかになった。持続可能な水産養殖の推進のためには、省労働力化、魚病制御などの新しい養殖技術の採用、加工システムの導入、国際市場への販売、また、これらのための政府主導の支援策が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Nguyen YTB, Kamoshita A, Dinh VTH, Matsuda H, Kurokura H	4. 巻 15
2. 論文標題 Salinity intrusion and rice production in Red River Delta under changing climate conditions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Paddy and Water Environment	6. 最初と最後の頁 37-48
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Kamoshita A., Ikeda H., Yamagishi J., Lor B., Ouk M.	4. 巻 16
2. 論文標題 Residual effects of cultivation methods on weed seed banks and weeds in Cambodia.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Weed Biol. Manag	6. 最初と最後の頁 93-107
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Phan L, Kamoshita A	4. 巻 18
2. 論文標題 Salinity intrusion reduces grain yield in coastal paddy fields: case study in two estuaries in the Red River Delta, Vietnam	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Paddy and Water Environment	6. 最初と最後の頁 399-416
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10333-020-00790-	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Suwanmontri P, Kamoshita A, Fukai S	4. 巻 -
2. 論文標題 Recent changes in rice production in rainfed lowland and irrigated ecosystems in Thailand	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant Production Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 ファンルエン, 鴨下顕彦, 三宅太里, ゲンイエ
2. 発表標題 Preliminary assessment of spatial variation in environment and management for rice production in coastal areas of Red River Delta, Vietnam
3. 学会等名 第243回日本作物学会講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 スワンモントリーピッサヤナン, 鴨下顕彦, ジョンディーブンラット, 深井周
2. 発表標題 Preliminary analysis of characteristics of rainfed rice farmers participating to the project for adaptation to climate change in Northeast Thailand
3. 学会等名 第243回日本作物学会講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akihiko Kamoshita
2. 発表標題 Current status and techniques to cope with variable water availability and damages in world rice ecosystems.
3. 学会等名 第241回日本作物学会講演会（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kamoshita A, Deshmukh V
2. 発表標題 Agroecological characterization of drought-prone rice production in non-system tanks of South India
3. 学会等名 InterDrought VI（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Phan L, Kamoshita A
2. 発表標題 Analysis of on-farm yield variability in coastal paddy in Red River Delta, Vietnam.
3. 学会等名 熱帯農業学会第125回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Phan L, Sakurai T, Nguyen Y, Kamoshita A
2. 発表標題 Salinity impact on economic efficiency of rice and aquaculture production in Rang Dong and Nghia Binh communes, Nam Dinh, Vietnam.
3. 学会等名 熱帯農業学会第124回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Phan L, Kamoshita A
2. 発表標題 On-farm manipulation of variety, water and N management to improve rice production in coastal zone of Red River Delta.
3. 学会等名 熱帯農業学会第124回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Suwanmontri P, Kamoshita A, Jongdee B, Fukai S, Kishino H (2018)
2. 発表標題 Characterization of farmers participating to research project to cope with climate change in Northeast Thailand.
3. 学会等名 熱帯農業学会第124回講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Kamoshita A, Nguyen YTB, Dinh VTH	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 196
3. 書名 Resilient Asia: Fusion of Traditional and Modern Systems for Sustainable Future (Preliminary assessment of rice production in coastal part of Red River Delta surrounding Xuan Thuy National Park, Vietnam for improving resilience)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	櫻井 武司 (Sakurai Takeshi) (40343769)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授 (12601)	