

カンボジアにおける灌漑導入が稲作の栽培と生産性に与える影響 ——ポーサット州における隣接する地区の比較に基づく検討——

高 堂 泰 輔^{***}, 本 間 香 貴^{****}, 小 林 知[†],
矢 倉 研二^{††}, ホー・サナラ^{†††}, キム・ソベン^{†††}

Effects of Irrigation Facilities Development on Cultivation Management and Productivity of Rice in Cambodia: Implications Based on Comparison of Adjacent Irrigated and Nonirrigated Areas in Pursat

KODO Taisuke^{***}, HOMMA Koki^{****}, KOBAYASHI Satoru[†],
YAGURA Kenjiro^{††}, HOR Sanara^{†††}, and KIM Soben^{†††}

Abstract

Rice production in Cambodia has achieved rapid growth over the last 20 years. One of the major reasons for this is the development of irrigation facilities. This study conducted field investigations on rice production in the Krouch Saeuch irrigation area from the rainy season of 2013 to the dry season of 2015, and evaluated the effect of irrigation development on rice cultivation management and productivity in order to discuss future perspectives in rice production in Cambodia. Compared with the adjacent nonirrigated area, the irrigated area showed conspicuous expansion of aromatic cultivars in the rainy season and early-maturing high-yielding cultivars in the dry season within a few years after irrigation was provided. The expansion was focused on rice selling, suggesting that the focus of cultivation changed from self-sufficiency to commercial. The main planting method also changed from transplanting to broadcasting. Earlier planting became more common, and the use of fertilizers and agrochemicals was more prevalent in the irrigated than in the nonirrigated area. However, these changes did not necessarily lead to

* 京都大学大学院農学研究科：Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kitashirakawa-Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan

** 黄桜株式会社：Kizakura Co., Ltd., 53 Kajiwara-cho, Shimomisu, Yoko-Ooji, Fushimi-ku, Kyoto 612-8242, Japan

*** 東北大学大学院農学研究科：Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University, 468-1 Aramaki Aza-Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8572, Japan

Corresponding author's e-mail: koki.homma.d6@tohoku.ac.jp

† 京都大学東南アジア地域研究研究所：Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University

†† 阪南大学経済学部：Faculty of Economics, Hannan University, 5-4-33 Amamihigashi, Matsubara, Osaka 580-8502, Japan

††† Royal University of Agriculture, P.O. Box 2696, Dongkor District, Phnom Penh, Cambodia
DOI: 10.20495/tak.59.1_101

increased productivity. Instances of improper management, such as ineffective application of fertilizer, were sometimes observed.

One of the major production constraints is lodging due to excessive growth of aromatic rice. The development of cultivation management is primarily recommended to eliminate this constraint. The development of irrigation canals changes the economic activities of farmers in addition to cultivation management. Accordingly, comprehensive assessment is necessary when new irrigation canals are planned.

Keywords: self-sufficient rice farming, commercial rice farming, rice cultivar, productivity, dry season rice

キーワード：自給的稲作, 商業的稲作, 水稻品種, 生産性, 乾季作

I はじめに

東南アジアでは季節風であるモンスーンによってもたらされる雨季の豊富な降水量を背景に、稲作が農業の中心を担ってきた。しかしながら気候や土壌といった環境要因に加え、栽培法や肥料の使用量、機械化の程度といった社会経済的な要因により、生産性には大きな差異が生じている。東南アジア諸国¹⁾の2009年から2018年の水稻の平均単収は、平均が 4.1 t ha^{-1} 、標準偏差が 0.88 t ha^{-1} であり、変動係数で22%の差異がある [FAO 2020] (図1)。1961年から1970年は平均が 1.6 t ha^{-1} 、標準偏差が 0.41 t ha^{-1} であり、変動係数が25%であったことから、2009年から2018年の値は変動係数ではやや減少しているものの標準偏差は増加しており、生産性の差異が縮まっているとは言い難い。生産性の増加が停滞傾向にある国々においてはその改善が課題として掲げられるのは言うまでもないことであるが、生産性の増加が堅調である国においてもその増加は肥料などの多投入に依存している場合が多く、生産持続性や環境負荷の観点から栽培管理を見直す必要に迫られている [Homma *et al.* 2013; 堀江 2015: 44–72; Maclean *et al.* 2013: 15–28]。生産増加要因を解析し個々の要因の生産性に対する影響評価を行うことは、将来の発展可能性を検討し持続的な生産を行っていくうえで重要である。

カンボジアの水稻生産は1999年の生産量404万t、単収 1.9 t ha^{-1} から、2018年の生産量1,065万t、単収 3.6 t ha^{-1} まで増加し、この20年間の単収の増加率 $0.08 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ は東南アジアで最大である [FAO 2020]。これには1970年代から1990年代半ばまで内戦により生産性が停滞していたことが背景にあり、2018年の単収も東南アジア10カ国中7位であるため、今後の増加も期待できる。しかしながらベトナムとインドネシアの 5 t ha^{-1} を超える単収とはまだ開きがあるものの、既にタイの単収 (3.1 t ha^{-1}) を超え、マレーシアやフィリピンの単収レベル (約 4.0 t ha^{-1}) に迫りつつある。したがって統計データに基づき判断する限り、カンボジアの水稻

1) 東南アジアの定義はFAOSTAT [FAO2020] に従った。図1に示す10カ国である。平均や標準偏差の計算には、変動の大きいブルネイ・ダルサラームと東ティモールを除外した。

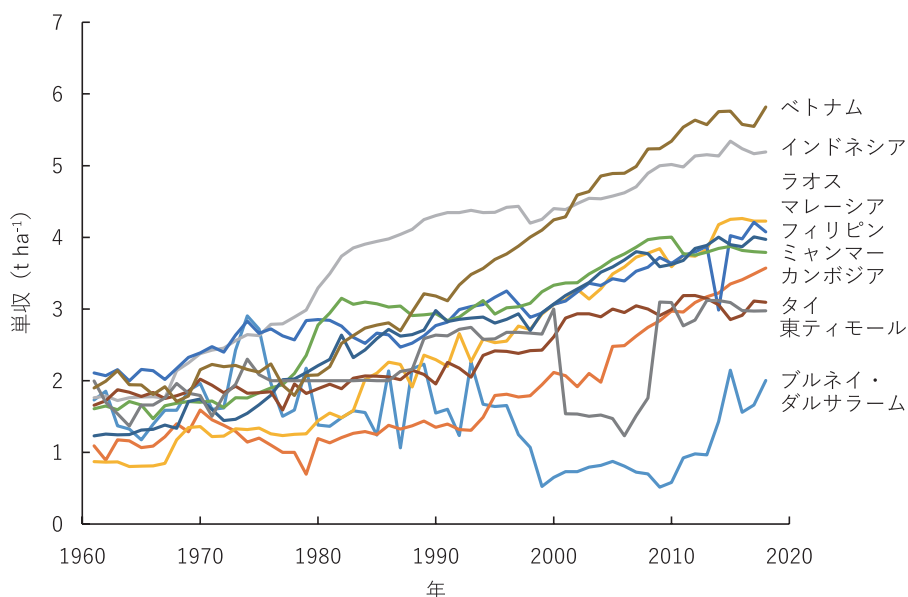


図1 東南アジア諸国の水稲単収の変化

出所：FAO [2020]。

生産はこのままベトナムやインドネシアなどの多投入型稲作を目指すのかどうかの岐路にあると考えられる。

こうしたカンボジアの単収および生産量の増加は、灌漑施設の整備により未利用であった水資源の活用によって生じてきたことが一因と指摘されている [矢倉 2021]。一般的にも緑の革命に代表される高収量性品種の導入と化学肥料などの農業資材の多投入による生産性の向上は灌漑田を中心に生じており、灌漑設備がなく栽培を主に雨水に頼る天水田においてはそうした生産性の改善がなかなか進まないことが認識されている [堀江 2015: 52-61]。実際にカンボジアよりも先に稲作の生産性向上が始まった隣国のタイでは、土壌や気象条件の違いも一因ではあるものの、灌漑田が卓越する中部タイでは単収が 4.0 t ha^{-1} なのに対し、天水田が卓越する東北タイでは単収が 2.1 t ha^{-1} と大きな差が生じている [OAE 2015]。灌漑田では干ばつなどのストレスを回避できること以上に、農家がスケジュールを組んで、播種や肥料散布などの栽培管理が行える影響が大きいと考えられている。

カンボジアの稲作は、灌漑田稲作と天水田稲作に加え、浸水域で行われる深水稻・浮稲、畑地で行われる陸稲に主に分類される。天水田稲作は早生、中生、晩生の稲栽培に分けられる他、雨季の早生稲と補助的灌漑による乾季稲の二期作など様々な形態が存在する [Makara *et al.* 2001]。このうち乾季に行われる灌漑田稲作の特徴的な栽培形態として、減水期稲作があげら

れる。減水期稲作は浸水域において乾季の減水とともに栽培を開始する形態であり、雨季の間に貯留した水を利用するために、通常は大規模な堰の設置などの水管理を伴う。1981 年の稲栽培面積の 7% は乾季作であるが、その大部分は減水期稲作であると推定されている [ibid.]。また、古くはアンコール王朝の発展は灌漑による三期作が基盤となったと論じられるほど [石澤・生田 1998: 183–187]、灌漑技術はカンボジアの稲作の特徴の一つとなっている。

カンボジアの現代に続く灌漑設備は、1970 年代に波尔・ポト政権によってその多くが建造された歴史があり（灌漑設備 841 件中の 69%, [Perera 2006]）、灌漑水路の距離は推定 14,000 km に及ぶ [JICA 2010]。しかしながら、これらの灌漑設備は計画、設計、建造に不備を含んでおり有効活用されていなかった [ibid.; Perera 2006; Thun 2008]。そこでカンボジア政府がこれらの灌漑設備に着目し修復を進めた結果、雨季作の灌漑率が 1998 年から 2002 年では 7% であったのに対し [Yu and Fan 2010]、2008 年では 25% まで回復したと報告されている [JICA 2010]。

しかしながらこうした灌漑施設の導入は、他の国においては無秩序な水利用に伴う新たな問題の提起や [成岡ほか 2012]、二期作三期作の進展により病虫害の被害を拡大するという事例が報告されている [Vungsilabutr 2002]。また、集約化に伴う生産持続性の減少なども報告されている [秋吉・増子 2006]。久馬 [1997] は持続的に生産を続けるためには、集約化により生産性の向上を求めるだけでなく、肥料や農薬などを適切に利用し健全な大気、水、土壌を維持することが重要であると主張している。以上のことよりカンボジアにおける今後の生産性の向上や持続的な発展性を考え、さらには東南アジアの農業開発が進展しつつある国において灌漑の導入を検討する上では、実際に生産現場で灌漑に伴いどのような変化が生じているか明らかにすることが重要である。本稿ではポーサット州において近年導入された Krouch Saeuch 灌漑地区を対象として行った現地調査に基づき、灌漑に伴う栽培方法の変化と生産性への影響を明らかにし、カンボジアの水稻生産における今後の課題について考察を行う。

II 材料および方法

II-1 調査地概要および調査時期

調査を行った Krouch Saeuch 灌漑地区 (12°36'N, 103°47'E)、およびそこに隣接する灌漑地区外は、ポーサット州バカーン郡を走る国道 5 号線沿いに位置する (図 2)。Krouch Saeuch 灌漑水路は波尔・ポト時代に建設された水路が、2010 年に修復されたものである [ADB 2014]。カンボジアでは例年 11 月から 4 月が乾季、5 月から 10 月が雨季となり、筆者らが調査を実施した 2013 年には、灌漑地区内では雨季作および乾季作、灌漑地区外では雨季作のみが行われていた。調査は、当該地域でみられる雨季作および乾季作の双方を対象に行った。雨季作については生育期から収穫期まで調査を行った。2013 年は 8 月から 11 月に灌漑地区内の 23 圃場と灌漑地区

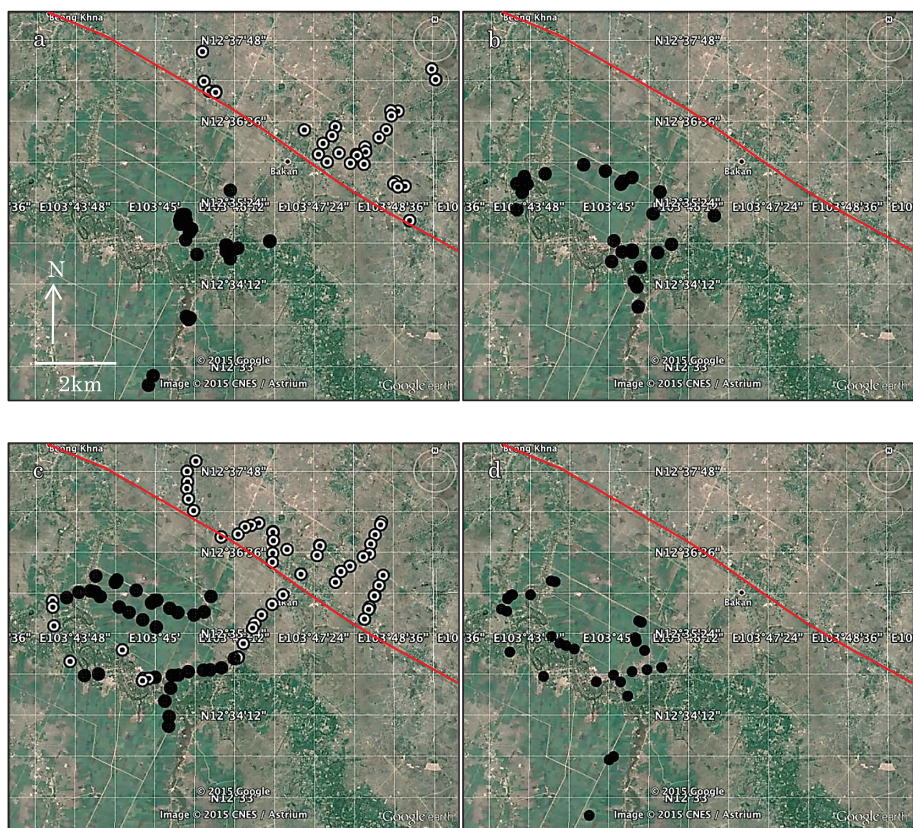


図2 灌漑地区内外における調査地点（黒印：灌漑地区内，白印：灌漑地区外）。図中の赤線は国道5号線を示す。a) 2013年雨季作，b) 2014年乾季作，c) 2014年雨季作，d) 2015年乾季作。

外の30圃場を調査し，2014年は6月から11月に灌漑地区内の38圃場と灌漑地区外の51圃場を調査した。乾季作については1月から2月に収穫期の調査を行い，2014年は灌漑地区内の25圃場，2015年は灌漑地区内の31圃場を調査した。2014年の乾季作とは2013年の雨季作後に作付けしたものを示し，2015年の乾季作は同じく2014年に作付けしたものを示す。なお，以上のそれぞれの調査時期においては，1農家あたり1圃場に限定して調査対象を選定した（調査対象圃場数と調査対象農家数は同数である）。

II-2 調査項目

水田における水稻の生育調査と収穫期の刈り取り調査に加え，農家への聞き取り調査を行った。聞き取り調査は調査対象水田を耕作する農家の栽培管理法を明らかにすることを目的とした。聞き取りの具体的な内容は，栽培品種，作期，施肥，農薬散布，生産量制限要因等について

ての情報を中心とした。また仲買業者へのコメの販売価格について 2014 年の雨季作時に聞き取り調査を行った。

生育期の調査では、草丈や葉面積などを計測し、土壌分析を行った。既報で報告しているため、本稿では割愛する [Hirooka *et al.* 2016; Kodo *et al.* 2014]。2014 年の雨季作時には圃場の湛水状態を把握するため、圃場における water score (WS) の生育期間中の推移を調査した。WS は Kamoshita ら [Kamoshita *et al.* 2010] の方法に基づき算出した。すなわち圃場内 3 地点の湛水状態の測定を行い、地表面が完全に乾燥している状態を -1.0、水飽和状態を 0、湛水している場合は湛水深 x(cm)/10 で指数化した。2014 年雨季作の対象圃場のうち、灌漑地区内から 20 圃場、灌漑地区外から 34 圃場を選択して行った。

収量調査は圃場内 1 地点から 1 m² 内のイネ地上部の収穫を行い、風乾後に収量および収量構成要素を調べた。2013 年雨季作、2014、2015 年乾季作の対象圃場全て、2014 年雨季作の対象圃場のうち、灌漑地区内 25 圃場、灌漑地区外から 40 圃場について行った。収穫期における雑草害の調査については圃場内 1 地点の 1 m² 内に含まれる雑草を採集し、風乾後に重量の測定を行った。雑草量調査は 2014 年雨季作の対象圃場のうち、灌漑地区内から 25 圃場、灌漑地区外から 40 圃場、2015 年乾季作の全ての対象圃場について行った。収穫期において作物調査基準 [日本作物学会九州支部会 2013] に基づき、収穫期の圃場のイネの様子から倒伏程度を 0 から 5 の 6 段階で評価した。倒伏程度調査は 2014 年雨季作の対象圃場について灌漑地区内から 25 圃場、灌漑地区外から 40 圃場を選択して行った。

III 結 果

III-1 灌漑地区内外における栽培管理の差異

2013 年雨季作において調査対象とした圃場を所有する農家の栽培管理の概要を表 1 に示す。灌漑地区内の農家は地区外に比べて直播を行う農家が多かった。施肥量や農薬散布も灌漑地区

表 1 2013 年雨季作における灌漑地区内外の調査対象圃場を管理する農家の栽培管理と圃場面積

地区	農家数	栽培方法 (%) ¹⁾		圃場面積 ²⁾ (ha)	施肥量 ³⁾ (kg ha ⁻¹)	農薬使用農家 (%) ⁴⁾	年間作付 回数 ⁵⁾
		直播	移植				
内	23	83	17	2.73 ± 2.40	251 ± 75	100	2.04 ± 0.64
外	30	27	73	2.22 ± 1.73	169 ± 82	60	1.00 ± 0.00

注：¹⁾ 調査対象圃場の栽培方法。

²⁾ 農家が管理する圃場面積。平均値 ± 標準偏差。

³⁾ 雨季作に用いた合計量/栽培面積。

⁴⁾ 雨季作に農薬を用いていた農家割合。

⁵⁾ 農家当たりの年間作付け回数。平均値 ± 標準偏差。

内の農家で多かった。栽培時の問題として、灌漑地区内では灌漑地区外と比較すると干ばつ害、雑草害、虫害をあげる農家は少なく、倒伏害は同程度、洪水害をあげる農家が多かった（図3）。

雨季作において灌漑地区外では13品種が栽培されていたが、灌漑地区内では5品種と少なかった（図4）。灌漑地区内外で共通して多くの農家で栽培されている品種はSomalyであった。

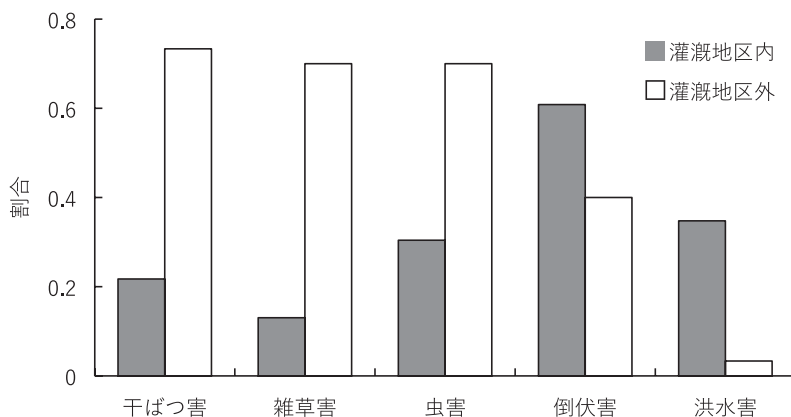


図3 雨季作における生産阻害要因。2013年雨季作時に灌漑地区内外の農家に対して、これまでの経験をもとに複数回答可で調査を行った。値は対象とする要因が生産阻害と考えている農家の割合を示す。

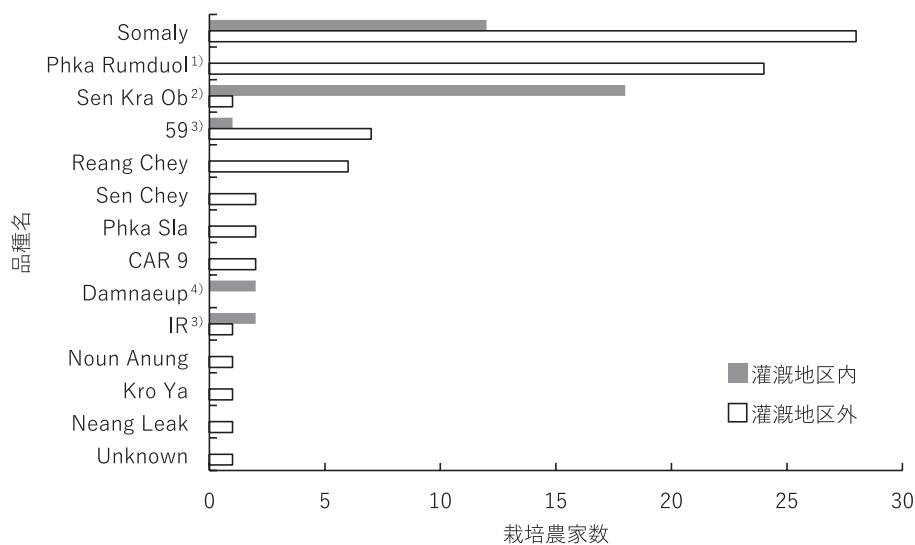


図4 2013年雨季作における灌漑地区内外の栽培品種

- 注：¹⁾ Phkar Rumduol と表記される場合もある。
²⁾ Sen Kro Ob や Saen Kra' Oup と表記される場合もある。
³⁾ 59 と IR はともに IR59 を示している可能性がある。
⁴⁾ Danberb と表記される場合もある。

灌漑地区内では Sen Kra Ob が多かったが、灌漑地区外では Somaly に次いで Phka Rumduol が多かった。以上の 3 品種は香り米品種であり、コメの販売価格が高かった（図 5）。最も栽培されていた Somaly について栽培時期を比較すると、灌漑地区内では約 1 カ月栽培開始が早く、約 10 日収穫が早かった（図 6）。灌漑地区内の乾季作では 2014 年は Sen Kra Ob の栽培が多かったが、2015 年は IR の栽培が増加した（表 4 参照）。

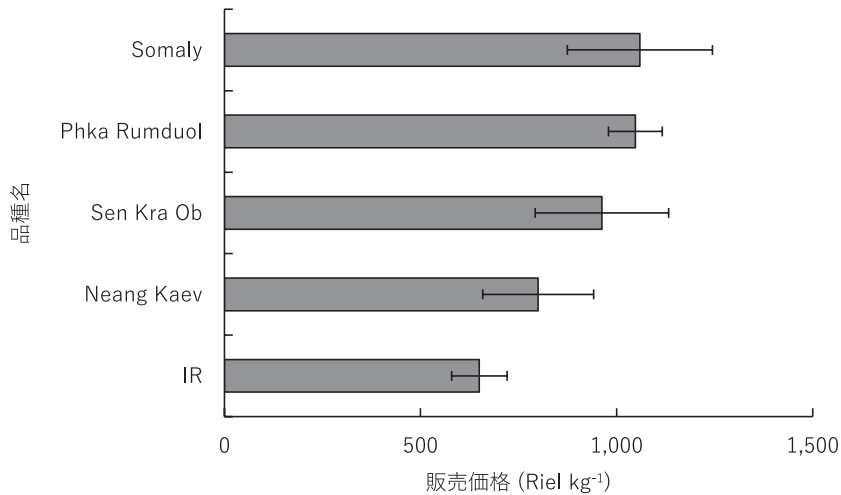


図 5 2014 年雨季作における仲買業者へのコメの販売価格。誤差線は標準偏差を示す。

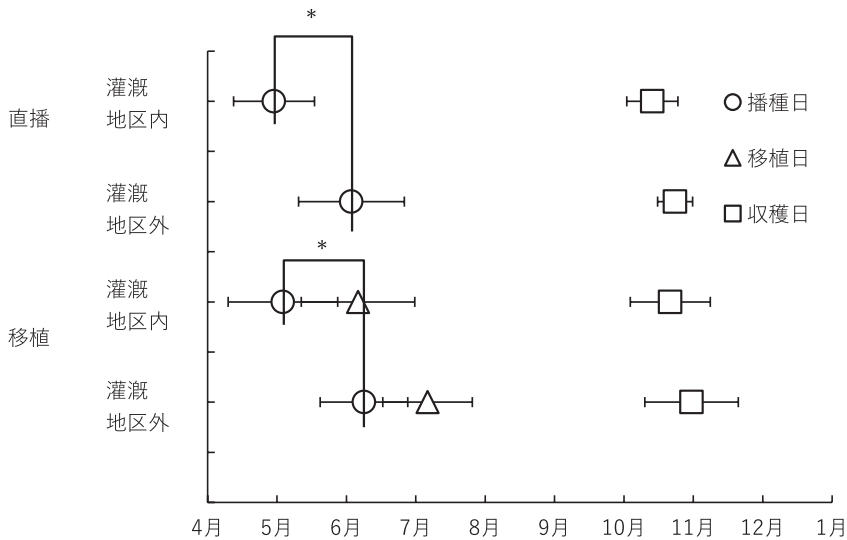


図 6 2013 年雨季作における灌漑地区内外の Somaly の栽培管理暦。誤差線は標準偏差を示す。* は 5% 水準で有意な差であることを示す。

III-2 灌漑地区内外における生産性の差異

2014年雨季作における水稻生育期間中のWSの推移を図7に示した。8月9月の灌漑地区外においてWSが低下している時期においても、灌漑地区内のWSは高く維持されていた。

2013年の雨季作の収量は、有意差がないものの灌漑地区外で高い傾向にあった（表2）。一

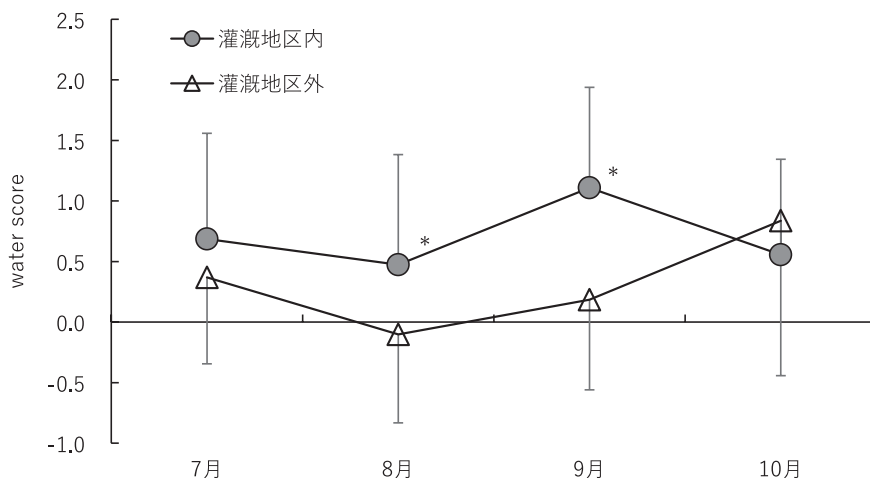


図7 2014年雨季作における灌漑地区内外のwater scoreの推移。誤差線は標準偏差を示し、灌漑地区内では正方向のみ、灌漑地区外では負方向のみ示した。*は5%水準で有意であることを示す。

表2 灌漑地区内外における雨季作の収量および関連項目

年次	地区	品種	n	粗粍収量 (g m ⁻²)	全乾物重 (g m ⁻²)	収穫指数	雑草重量 (g m ⁻²)	平均 WS	倒伏程度	登熟歩合
2013	内	Somaly	10	232 ± 44	804 ± 300	0.32 ± 0.09	—	—	—	—
		Sen Kra Ob	12	288 ± 51	736 ± 123	0.39 ± 0.04	—	—	—	—
		その他	1	163	467	0.35	—	—	—	—
		平均	23	256 ± 57	755 ± 225	0.36 ± 0.08	—	—	—	—
	外	Somaly	24	281 ± 60	785 ± 151	0.36 ± 0.06	—	—	—	—
		Phka Rumduol	6	246 ± 67	917 ± 395	0.29 ± 0.08	—	—	—	—
		その他	1	461	1,024	0.45	—	—	—	—
2014	内	平均	31	280 ± 69	818 ± 218	0.35 ± 0.07	—	—	—	—
	外	Somaly	22	330 ± 85	1,069 ± 294	0.32 ± 0.07	6.1 ± 14.8	0.6 ± 0.7	2.6 ± 1.8	66 ± 11
		その他	3	282 ± 162	1,464 ± 838	0.20 ± 0.03	12.7 ± 22.0	0.2 ± 0.1	4.0 ± 0.0	61 ± 30
		平均	25	324 ± 94	1,117 ± 389	0.30 ± 0.07	6.9 ± 15.0	0.6 ± 0.6	2.7 ± 1.7	66 ± 13
	内	Somaly	29	270 ± 116	955 ± 661	0.29 ± 0.08	16.0 ± 27.5	0.5 ± 0.5	1.4 ± 0.7	68 ± 17
		Phka Rumduol	8	256 ± 108	1,103 ± 462	0.23 ± 0.06	36.5 ± 73.3	0.0 ± 0.4	0.4 ± 0.8	64 ± 19
		その他	3	165 ± 63	797 ± 100	0.21 ± 0.09	42.0 ± 66.0	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.5	50 ± 19
		平均	40	257 ± 105	969 ± 378	0.27 ± 0.09	22.5 ± 44.3	0.3 ± 0.6	1.1 ± 1.5	65 ± 13
	外	Somaly	22	330 ± 85	1,069 ± 294	0.32 ± 0.07	6.1 ± 14.8	0.6 ± 0.7	2.6 ± 1.8	66 ± 11
		その他	3	282 ± 162	1,464 ± 838	0.20 ± 0.03	12.7 ± 22.0	0.2 ± 0.1	4.0 ± 0.0	61 ± 30
		平均	25	324 ± 94	1,117 ± 389	0.30 ± 0.07	6.9 ± 15.0	0.6 ± 0.6	2.7 ± 1.7	66 ± 13

注：平均値 ± 標準偏差。n：対象圃場数。

方2014年の雨季作の収量は、灌漑地区内が有意に高かった。灌漑地区内外で共通して栽培されている Somaly を比較すると、2013年は直播で収量が低かった（表3）。一方2014年には栽培法による違いは小さかった。2014年の収量に関して統計解析を行うと、倒伏の影響が大きかった（データ省略）。全乾物重と精籾収量の関係において、全乾物重が多く倒伏程度が激しい圃場では収量が低下する傾向がみられた（図8）。

乾季作の収量は2014年と比較し、2015年に大きく増加した（表4）。Sen Kra Obに代わり、IRの作付けが増加した影響が大きかった。

表3 灌漑地区内外の Somaly 栽培圃場における栽培方法と収量

年次	地区	栽培方法	n	粗籾収量 (g m ⁻²)	全乾物重 (g m ⁻²)
2013	内	直播	7	213 ± 32	730 ± 307
		移植	3	276 ± 37	977 ± 244
	外	直播	6	247 ± 55	716 ± 114
		移植	18	292 ± 58	808 ± 157
2014	内	直播	19	328 ± 83	1,076 ± 294
		移植	3	343 ± 117	1,029 ± 359
	外	直播	12	274 ± 121	925 ± 469
		移植	17	266 ± 94	977 ± 305

注：平均値±標準偏差。n：対象圃場数。

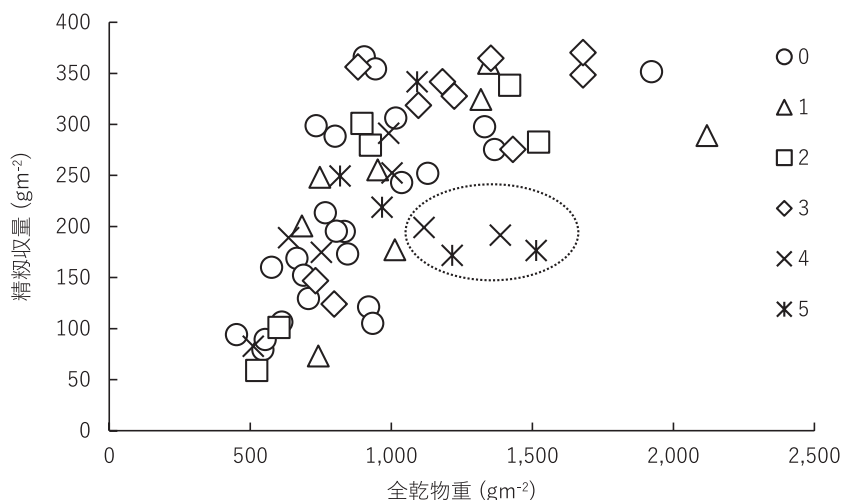


図8 2014年の雨季作における全乾物重と精籾収量の関係における倒伏程度の影響。凡例の0から5は倒伏程度を示し、0は倒伏無、5は完全倒伏を示し、基部と穂首節を結ぶ直線と水平面との角度に基づき指標化される〔日本作物学会九州支部会2013〕。図中の点線楕円内は倒伏により収量が低下したと思われる地点を示す。

表 4 灌漑地区内における乾季作の収量

年次	品種	n	粗粒収量 (g m ⁻²)	全乾物重 (g m ⁻²)	収獲指数
2014	Somaly	2	342 ± 43	906 ± 88	0.38 ± 0.01
	Sen Kra Ob	20	241 ± 81	745 ± 184	0.32 ± 0.06
	IR	1	429	1,331	0.32
	その他	2	298 ± 89	820 ± 223	0.37 ± 0.03
	平均	25	261 ± 88	787 ± 215	0.33 ± 0.06
2015	Somaly	4	251 ± 95	667 ± 215	0.37 ± 0.04
	Sen Kra Ob	4	329 ± 124	767 ± 282	0.43 ± 0.02
	IR	15	419 ± 89	879 ± 179	0.48 ± 0.05
	その他	8	325 ± 58	1,050 ± 426	0.34 ± 0.10
	平均	31	362 ± 103	881 ± 292	0.42 ± 0.09

注：平均値 ± 標準偏差。n：対象圃場数。

VI 考 察

VI-1 農家の品種選択戦略

調査からは、隣接した地区にも関わらず、灌漑地区内外で稲の品種数に大きな差異が生じていたことがわかった（図 4）。栽培を降雨に頼る天水田では、かつてはタイ東北部でも観察されていたように、水環境に応じて様々な品種を植えるのが通例であると考えられる [Miyagawa and Kuroda 1988]。しかし当然ながら灌漑水路の導入が進むと、干ばつのリスクが減り降雨を待たずに播種することも可能であることから、水環境による品種選択の制限が相対的に小さくなる。灌漑地区内ではその変化を受けて、主に販売価格に応じた品種選択が生じたと考えられる。しかしながら単に販売価格だけでは灌漑地区内では Phka Rumduol が栽培されていないというような品種選択が説明できないため、以下では主要な品種の特性を考慮しながら品種選択について考察を行う。

灌漑地区内外では Somaly という品種が共通して栽培されていた。Somaly は在来品種であり、その来歴がはっきりとしない。Somaly 早生型や Somaly 深水型と呼ばれる変異型もあり、在来の香り米品種につけられている名称と考えられる。本研究ではそのような変異型はその他の品種に分類し、単に Somaly と呼ばれていたものを品種 Somaly として扱った。遺伝的に同一品種であることが確認されているわけではないため、それについては今後の研究の進展を待ちたい。特性としてはタイにおける Hom Mali [Miyagawa 1996; Vanavichit *et al.* 2018] に似た特性であり、香り米である特徴に加え、比較的多様な栽培環境での栽培適性を有すると考えられ、灌漑地区内だけでなく、灌漑地区外での栽培も多かった。

Somaly に対し Phka Rumduol はカンボジアの国立農業研究機関である Cambodian Agricultural Research and Development Institute (CARDI) により選抜された香り米である [CARDI 2013]。農家での聞き取りにおいては Somaly よりも若干香りが落ちるものの、耐乾性に強いと認識されていた。実際に調査結果においても栽培されているのは灌漑地区外のみであり、また灌漑地区外でも Somaly が作付けされている圃場の WS が 0.5 ± 0.7 に対し、Phka Rumduol は 0.0 ± 0.4 と、水掛かりの悪い水田で作付けされていたことがわかる。

Sen Kra Ob も在来品種である。農家や流通業者からの人気が高いため、CARDI においても純系選抜が行われている [CARDI 2016]。最大の特徴は極早生であることで、本研究の調査データに基づくと、2014 年の雨季作において Somaly が播種から収穫まで 165 ± 18 日であるのに対し、Sen Kra Ob は 117 ± 36 日であった。この形質は雨季作に引き続き乾季作を行う場合に有利であり、実際に灌漑地区内での作付けが多数を占めた (図 4)。

本研究で IR と称した品種は、現地で単に IR と呼ばれており、聞き取り調査によるとベトナムからもたらされた品種である。もともとは International Rice Research Institute (IRRI) が開発した品種に由来し、さらにベトナムで改良された品種と考えられる。IR は栽培期間が短いにもかかわらず (2014 年乾季作では 89 ± 18 日、2014 年雨季作では 93 日)、収量性が高いのが特徴である。ただし聞き取り調査ならびに著者らの観察に基づくと、高い収量性を発揮するためには多施肥が必要である。

以上のことより雨季作においては、灌漑地区外では水掛かりの良い水田では Somaly の人気が高く、悪い水田では Phka Rumduol の人気が高かった。一方灌漑地区内では乾季作を考慮して Sen Kra Ob の人気が高く、次いで Somaly の人気が高かった。Somaly は品質の面から選択されることが多く、実際に仲買業者への販売価格も高い傾向にあった (図 5)。乾季作において 2014 年は Sen Kra Ob の人気が高かったものの、2015 年は IR が多数を占めるようになった。いずれも早生品種の人気が高いのは、乾季作の灌漑はポンプでの汲み上げ方式が主流なため、ポンプに使用する燃料代を考慮すると栽培期間が短く、したがって灌漑回数が少ない方の収益性が高いためと考えられる。また、水資源が十分ではなく乾季作に十分な水供給が保障されているわけではないことも重要な要因と考えられた。さらに Sen Kra Ob から IR に移行したのは、そうしたポンプのコストを考えると、販売単価が比較的高い Sen Kra Ob よりも栽培期間が短く収量性の高い IR の方の収益性が高いためであると考えられる。IR はベトナムへの輸出用として買い付けが行われており、買い付けを行う仲買人は農家としても確実な取引先と認識されていた。こうした乾季におけるベトナム系品種の拡大はこの地区だけでなく他地区でも見られ、仲買業者が農家と買取り契約を結んで種子と肥料や農薬を貸与する取引が一般的に行われているようであった [阿部ほか 2016]。

VI-2 灌漑の有無と生産性の違い

雨季作のみに着目すると2014年は灌漑地区内の収量が有意に高かったものの、2013年は灌漑地区内外で有意な差はなく、肥料や農薬の投入にも関わらず、灌漑地区内外で生産性に差が生じているとはいいがたかった（表2）。2013年と2014年の差は降水量および日射量の差に起因していると考えられる。2014年の雨季（5月から10月）の降水量は960 mmで2013年の1,177 mm比べて少なく、その分日射量が高かったと考えられる [Liu and Scott 2001]。したがって2014年は高い日射量によりバイオマス生産が多かったものの、灌漑地区外では灌漑が行えないために水が不足し（図7）、収穫指数が平均で0.27と低く収量も低かったと思われる（表2）。一方、2013年は日射量不足により全体的に乾物生産量が不足し、さらにそうした乾物生産量不足は直播圃場で顕著だったため（表3）、直播圃場率の高い灌漑地区内において乾物生産量不足の影響が大きかったと考えられる（表2）。直播圃場は最適な管理下では移植圃場と同等の生産量を上げることが示されているものの [Fukai *et al.* 1998]、様々な要因で生産性が低下することが指摘されており、特に不均一で不十分な苗立ちが一番の問題とされている [Kumar and Ladha 2011]。本稿の調査対象圃場において Hirooka ら [Hirooka *et al.* 2016] はイネの葉面積展開速度を調査し、直播圃場よりも移植圃場において生育が勝っていることを報告している。また、Ikeda ら [Ikeda *et al.* 2008] はカンボジアにおいて栽培実験を行い、雑草による水稻の乾物生産の抑制が、移植圃場よりも直播圃場において顕著であったことを報告している。このように生産的には移植よりも不安定である直播ではあるが、労働力の減少と賃金の上昇を背景に割合が増えつつある [矢倉 2021]。このような直播栽培における生産性を取り巻く状況を考慮すると、直播栽培管理技術の改善と普及が必要であると考えられる。

生産阻害要因については、農家からの指摘にもある通り（図3）、倒伏の影響が大きい圃場が観察された（図8）。図8では全乾物重が $1,000 \text{ g m}^{-2}$ を超えるあたりで、精籾収量が頭打ちとなっている。さらに、倒伏程度の激しい圃場では期待される収量から大きな減少が生じていることも推察された。倒伏の原因としては、生育過多と考えられる。しかし、全乾物重が多くても倒伏が軽微な圃場があることから、植物体の窒素状態や水深が関係していると考えられる [Anandan *et al.* 2015; 武市 2020]。ただし倒伏がなくても収量が頭打ちになっていることから、雨季作に使われているような品種においては、収量が頭打ちになる前の全乾物重が $1,000 \text{ g m}^{-2}$ を目標にして施肥量を調整するのが妥当と思われる。調査地では1 mを超える深水により節間が伸長し収穫期に倒伏している圃場も観察された。灌漑水路が設置されても排水路が未整備であるため、洪水対策も含めて今後の課題と考えられる。

灌漑地区内では乾季作を行っている農家が多く、三期作を行っている農家も見られた。一般に適切な灌漑を行えば、日射量が高く、高湿度に起因する病害なども発生しにくいことから、雨季よりも乾季の方が水稻の生産性が高い [堀江 2015: 31-39]。しかしながら雨季と乾季で共

通する品種で比較する限り、そのような生産性の差異は明瞭ではなかった（表4）。IRもその他の品種よりも高収量性を示してはいるものの、ベトナムの収量レベル（平均 5.6 t ha^{-1} [FAO 2020]）よりも低かった。雨季作と比べると全乾物重が低めであり、2015年のSomaly栽培圃場では灌漑水不足により明瞭な水ストレスが生じていた。灌漑水路に水があっても水田に入れるには燃料を使ったポンプを使用する必要があり、そのコストが制限要因になっていると推察された。

VI-3 灌漑導入と商業的稲作の進展

灌漑地区外でも販売単価の高い特定の品種の栽培が増えていたものの、農家への聞き取り調査では「自家消費用の好みの問題からSomaly以外の品種を植えている」との回答もあり、自家消費用に栽培を行い余剰米を売るという自給的稲作の性質が未だに残っていると考えられた。一方で灌漑地区内では雨季作において特定品種への集中がより顕著に生じており、販売用を中心に構成する商業的稲作が進んでいると考えられる。特に乾季作においては、状況的には自家消費以外のコメを生産していると考えられ、販売を意識した品種選択がより顕著に生じていた。灌漑地区内ではこうした品種選択とともに、施肥量の増加や農薬使用割合の増加も顕著に生じており、農業資材の多投入の方向に移行していた（表1）。コメの販売により現金収入があることやマイクロクレジットの浸透により、資金を投入した稲作栽培への移行が生じていると考えられる。灌漑導入前のデータがないことから詳細はわからないものの、灌漑地区内外で地形や土壌、地区外へのアクセスに大きな差はないことから（データ省略）、資金を投入し販売目的の品種を植える商業的稲作に関する取り組みの灌漑地区内外の差異は、灌漑水路修復（2010年）後の数年内で生じたと考えられる。

灌漑地区内では地区外に比べて約1カ月早く作付けが始まっていた（図6）。Somalyなどの品種は感光性を持つため、収穫時期は10日程度しか早まらないものの、少しでも早く価格が高いうちに売するためと考えられる。一般的に東南アジアで雨季の通常作期に栽培される在来品種には、収穫後のコメの品質劣化を避けるために雨季が終わり乾季に入ってから収穫するような感光性をもった品種が選択されている。したがってこうした栽培の早期化は品質劣化を起こしかねない。調査地では実際にそうした例も見られたものの、多くの場合仲買人と調整を行い収穫日を調整していた。すなわち従来は刈り取り後に圃場で、もしくは脱穀後に庭先で天日干ししていたが、乾燥の間に雨が降り品質劣化するリスクを避けるために、収穫後すぐに脱穀し売り渡せるように日程調整が行われていた。仲買人への聞き取りによると、精米業者は香り米の場合収穫後3日以内のコメしか買い取りを行わないため、品質劣化を起こす前に取引を行うように気を付けていると話していた。以上のような作期の早期化は、明らかに灌漑による栽培初期の水の安定供給によって成り立っており、灌漑の普及が生じさせた有利な変化の一つと考えられる。特に直播栽培においては本田での栽培開始が移植よりも約1カ月早く、植物体が小

さいうちは根張りも不十分で干ばつに弱いことから、灌漑による栽培初期の水の安定供給が重要である。このことも灌漑地区内で直播栽培率が高いことの要因であると思われる。

一般的に言えば、必ずしも灌漑が商業的稲作の導入を促進するわけではない。ただし灌漑により、作付けや肥料および農薬の使用が圃場の水状態に左右されることなく計画的に行うことができ、栽培の集約化が可能になる。そのため、販売を目的とした稲生産に移行しやすい状況をつくりだすと考えられる。さらに調査対象地では乾季作をほぼ販売目的で行うことができたため、商業的稲作への変化を加速させたと考えられる。カンボジアで雨季終わってから乾季にかけて従来行われてきた減水期稲作と異なり、灌漑水路導入による乾季作は、ポンプによる灌漑のため、ある程度の投資が必要となる。さらに IR 系の高収量品種はもちろん Sen Kra Ob のような在来系の早生品種でも、短い期間で灌漑の投資に見合う生産量をあげるためには施肥をせざるをえない。また、多施肥栽培では病虫害防除もほぼ必須となる。以上のことより乾季に栽培を行うためにはそれに見合った投資を伴う必要があり、さらに乾季作では販売目的とした栽培が可能であったことから、まず乾季作で商業的稲作が始まり、それが雨季作にも進展したと考えられる。

V 結論および今後の課題

調査対象地では灌漑導入に伴い、雨季においては高値で販売できる香り米の栽培、乾季においては早生の高収量性品種の栽培が卓越し、施肥や農薬投入を伴う商業的稲作の進展が見られた。こうした変化は他国においてもみられるものの [Ikegami 2001; Noda *et al.* 2015]、調査対象地ではわずか数年で栽培法の変化が生じたところが特徴的な点である。これはカンボジアという国全体の 2000 年代に入って以降の急激な経済発展に伴う変化が [小林 2011]、灌漑に起因する栽培の集約化とそれによる商業的稲作の進展と合致したことが一因と考えられる。さらにもう一つ大きな要因として、タイとベトナムに挟まれ、両国からの買い付け需要が大きいことがあげられる [石川 2008]。耕作農家および仲買人を対象とした聞き取り調査では、特にベトナムからの需要は大きく、調査対象地以外の各地でもベトナム向けのコメの買い付けの話を頻繁に耳にした。農家にとっては、たとえ安値であっても、ベトナム向けの場合はコメの品種や品質にかかわらず必ず買い取ってもらえるのが魅力的なようであった。今回の調査で得たデータからは、灌漑導入に伴う乾季作には、ベトナム式の高収量性品種を肥料と農薬の多投入で栽培する方式が最も効率的であると考えられた。したがって、今後もその取引の拡大が予測される。

栽培においては以上のような変化が生じたものの、生産性については乾季作が純増するほかは、大きな改善が見られなかった。現地調査では、直播による生産性の減少や不適切な施肥と判断される例もあった。カンボジア国内では農薬の不適切な使用も報告されていることから

[風戸・本間 2015], 新しい技術に対応しきれていない側面があると考えられる。また、雨季における在来品種を中心とした稲作と、乾季における高収量品種を中心とした稲作は、本来栽培方式が大きく異なるべきものと考えられる。すなわち理想とすべき生育や草型が大きく異なるため、それぞれ別々の栽培管理技術が必要である。将来的には高収量性の香り米の開発が望まれるものの、タイでの品種開発やその後の市場評価を見る限り、未だ難しそうである。

灌漑により二期作が可能となり、調査圃場でも 1 軒の農家が三期作も行い始めた。現在までのところ灌漑地区内全域で三期作を行えるほど水資源は潤沢ではないが、将来的に灌漑水路や灌漑方式が整備され、効率的な水の利用を行い、作付け回数を増加させる余地は大きいと考えられる。こうした作付け回数の増加は年生産量の大幅な増加をもたらす一方で、病虫害の生存場所を常に提供することになり、アウトブレイクの危険性を増すことが指摘されている [Castilla *et al.* 2020]。実際にタイではチャオプラヤ川流域の灌漑網の整備により、無秩序な水稻栽培が行われた結果、およそ 10 年周期でトビイロウンカのアウトブレイクが生じるようになったことが報告されている [Vungsilabutr 2002]。現在は灌漑水を調節し、二期作期間と休閑期間を設定することにより、病虫害をコントロールしている。一方インドネシアでも同様の事態が生じており、コントロールするために大量の農薬が投入されている [Triwidodo 2020]。カンボジアでもこのまま無秩序な作期の増加が進むと同様の事態になると考えられ、今後の注意深い観察が必要であると思われる。特に一部では有機栽培による高級米の生産が始まっているため [Kennvidy 2011], そうした方向性を維持するためには栽培時期の制限も必要である。

灌漑水路の整備は国全体としてはコメの生産量を増やし輸出量を増やすため、良い方針と考えられる。しかしながら、ただ単に従来の稲作の延長で生産量が増えるわけではないことに注意が必要である。例えば乾季作での IR の栽培は、国が進める高級米（香り米）生産振興とは方向を異にしている。乾季作で香り米品種の作付けを伸ばすためには、灌漑などのコストに見合った価格の保証か新品種の開発が必須であると考えられる。また、生産量と同時に資材投入が増えていることも指摘される。一部の農家に対しては農薬や肥料は掛け売りで販売され、コメの販売で清算されており、投入資材を借りないとコメ生産も行えない状態となっている。こうした状態は農家の自立性を損ない、出稼ぎ労働の増加も引き起こすと考えられる。農村振興のためにはそうした農家の生計の変化も踏まえた計画が必要で、その計画の中に灌漑水路の整備も位置付けられるべきものと考えられる。

謝 辞

本研究は科学研究費補助金基盤研究（15H05144, 19H00559）、文部科学省グリーンイノベーション創出事業（GRENE）ならびに京都大学東南アジア地域研究研究所共同利用・共同研究拠点「東南アジア研究の国際共同研究拠点」（2019-20 年度）からの補助を受けた。調査にあたって対象農家や Royal University of Agriculture, Cambodia, 京都大学大学院農学研究科の学生の協力を受けた。ここに謝意を記す。

引用文献

- 阿部ちひろ；西岡広大；西澤建輝. 2016. 「カンボジアにおける籾密輸出の実態——プレイベン州を中心として」『大阪大学経済学部中川功一ゼミ論文』4: 1-22.
- ADB (Asian Development Bank). 2014. *Cambodia: Northwest Irrigation Sector Project, Completion Report*.
- 秋吉祐子；増子隆子. 2006. 「循環型社会における食糧体制のあり方事例研究——ブータン稲作：多品種・伝統的栽培方式を通して」*Macro Review* 18(1/2): 61-67.
- Anandan, A.; Pradhan, S. K.; Das, S. K.; Behera, L.; and Sangeetha, G. 2015. Differential Responses of Rice Genotypes and Physiological Mechanism under Prolonged Deepwater Flooding. *Field Crops Research* 172: 153-163.
- CARDI (Cambodian Agricultural Research and Development Institute). 2013. *Phka Rumduol Rice Variety Is the Pride of Cambodia*. Phnom Penh: CARDI.
- . 2016. *Annual Report 2016*. Phnom Penh: CARDI.
- Castilla, N. P.; Stuart, A. M.; Makara, O.; Sathya, K.; Somany, S.; Kumar, V.; and Hadi, B. A. R. 2020. Characterization of Cropping Practices, Pest Constraints, and Yield Variation in Irrigated Lowland Rice of Cambodia. *Crop Protection* 135: 104906.
- FAO (The Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2020. *FAOSTAT (FAO Statistics)*. Rome, Italy. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>, accessed November 21, 2020.
- Fukai, S.; Sittisuang, P.; and Chanphengsay, M. 1998. Increasing Production of Rainfed Lowland Rice in Drought Prone Environments: A Case Study in Thailand and Laos. *Plant Production Science* 1(1): 75-82.
- 福井清一；中尾文哉. 2014. 「カンボジアにおける稲作の国際競争力と米輸出拡大の可能性」『生物資源経済研究』19: 1-12.
- Hirooka, Y.; Homma, K.; Kodo, T.; Shiraiwa, T.; Kim, S.; Mithona, C.; Tsujimoto, K.; Tamagawa, K.; and Koike, T. 2016. Evaluation of Cultivation Environment and Management Based on LAI Measurement in Farmers' Paddy Fields in Pursat Province, Cambodia. *Field Crops Research* 199: 150-155.
- Homma, K.; Sigit, G.; Handarto; Maki, M.; Hongo, C.; Yoshida, K.; Oki, K.; Shirakawa, H.; Shiraiwa, T.; Hara, R.; Kambayashi, M.; Hirooka, Y.; and Iwamoto, H. 2013. Evaluation of the Nutritional Environment for Rice in Cianjur, Indonesia for Development of an Advanced Basin Model for Asia. *Proceedings of the 7th Asian Crop Science Conference. Improving Food, Energy and Environment with Better Crops*, Bogor, pp. 96-100.
- 堀江 武（編著）. 2015. 『アジア・アフリカの稲作——多様な生産形態と持続的発展の道』東京：農山漁村文化協会.
- Ikeda, H.; Kamoshita, A.; Yamagishi, J.; Ouk, M.; and Lor, B. 2008. Assessment of Management of Direct Seeded Rice Production under Different Water Conditions in Cambodia. *Paddy and Water Environment* 6: 91-103.
- Ikegami, K. 2001. Changes in Food Production by Irrigated Paddy Cultivation in the Kilimanjaro Region. *Memoirs of the Faculty of Agriculture of Kinki University* 34: 55-69.
- 石川晃士. 2008. 『カンボジアにおけるコメ産業の現状とその課題』Kyoto Working Papers on Area Studies No. 14, G-COE Series 12. 京都：京都大学東南アジア研究所.
- 石澤良昭；生田 滋. 1998. 『東南アジアの伝統と発展』（世界の歴史 13）東京：中央公論社.
- JICA (Japan International Cooperation Agency). 2010. *Review on Nationwide Irrigation Development in Cambodia. Volume-I: Main Report*, pp. 1-69. Tokyo: Nippon Koei Co., Ltd.
- Kamoshita, A.; Ikeda, H.; Yamagishi, J.; and Ouk, M. 2010. Ecophysiological Study on Weed Seed Banks and Weeds in Cambodian Paddy Fields with Contrasting Water Availability. *Weed Biology and Management* 10(4): 261-272.
- 風戸真理；本間香貴. 2015. 「カンボジアの農業における農薬使用の現状——水田稲作農家と消費者の聞き取り調査」『北星学園大学短期大学部北星論集』13: 47-59.
- Kennvidy, S. 2011. Organic Rice Farming Systems in Cambodia: Socio-economic Impact of Smallholder Systems in Takeo Province. *International Journal of Environmental and Rural Development* 2: 115-119.
- 小林 知（編）. 2011. 『市場経済化以後のカンボジア——経済活動の多面的な展開をめぐって』Kyoto Working Papers on Area Studies No. 115, G-COE Series 113. 京都：京都大学東南アジア研究所.
- Kodo, T.; Homma, K.; Hirooka, Y.; Yagura, K.; Kim, S.; Kobayashi, S.; Hori, M.; Hoshikawa, K.; Hyakumura, K.; Kono, Y.; and Koike, T. 2014. A Report of Educational Program in Royal University of Agriculture in Cambodia:

- Water Environment on Rice Cropping in Pursat Province. *Proceedings of the 11th International Symposium on Southeast Asian Water Environment (SEAWA 11)*, Bangkok, pp. 436–439.
- Kumar, V.; and Ladha, J. K. 2011. Direct Seeding of Rice: Recent Developments and Future Research Needs. *Advances in Agronomy* 111: 297–413.
- 久馬一剛. 1997. 『食糧生産と環境——持続的農業を考える』京都：化学同人.
- Liu, D. L.; and Scott, B. J. 2001. Estimation of Solar Radiation in Australia from Rainfall and Temperature Observations. *Agricultural and Forest Meteorology* 106(1): 41–59.
- Maclean, J.; Hardy, B.; and Hettel, G. 2013. *Rice Almanac: Source Book for One of the Most Important Economic Activities on Earth*. Los Baños: IRRI.
- Makara, O.; Sarom, M.; Nesbitt, H.; Fukui, S.; and Basnayake, J. 2001. Rice Production Systems in Cambodia. *ACIAR Proceedings* 101: 43–51.
- Miyagawa, S. 1996. Recent Expansion of Nonglutinous Rice Cultivation in Northeast Thailand: Intraregional Variation. *Southeast Asian Studies* 33(4): 547–574.
- Miyagawa, S.; and Kuroda, T. 1988. Effects of Environmental and Technical Factors on Rice Yield in Rain-fed Paddy Fields of Northeast Thailand. *Japanese Journal of Crop Science* 57(4): 773–781.
- 成岡道男；河野尚由；大須賀公郎；廣瀬千佳子；藤本直也. 2012. 「ガーナの天水低地稲作を灌漑稲作へ転換するための課題」『農業農村工学会誌』80(10): 813–818.
- 日本作物学会九州支部会（編）. 2013. 『作物調査基準』福岡：日本作物学会九州支部.
- Noda, K.; Maki, M.; Miyaoka, K.; Homma, K.; Shirakawa, H.; and Oki, K. 2015. A Decision-making Model for Rice Paddy Cropping in an Urbanizing Area of the Lao PDR. *Paddy and Water Environment* 13(4): 487–493.
- OAE (Office of Agricultural Economics). 2015. *Agricultural Statistics of Thailand, Crop Year, 2013/2014*. Bangkok.
- Perera, L. R. 2006. *Factors Affecting the Formation of FWUC in Institution Building for PIMD in Cambodia: Two Case Studies*. Working Paper 113. Colombo: International Water Management Institute. 55p.
- 武市義雄. 2020. 「節間伸長と倒伏」『イネ大事典上巻』, pp. 859–863. 東京：農文協.
- Thun, V. 2008. Irrigation Water Use in Takeo Province: Problems, Conflicts, and Solution. *Annual Development Review 2007–08*, pp. 95–120. Phnom Penh: Cambodia Development Resource Institute.
- Triwidodo, H. 2020. Brown Planthoppers Infestations and Insecticides Use Pattern in Java, Indonesia. *AGRIVITA, Journal of Agricultural Science* 42(2): 320–330.
- Vanavichit, A.; Kamolsukyeunong, W.; Siangliw, M.; Siangliw, J. L.; Traprab, S.; Ruengphayak, S.; Chaichoompu, E.; Saensuk, C.; Phuvanartnarubal, E.; Toojinda, T.; and Tragoonrun, S. 2018. Thai Hom Mali Rice: Origin and Breeding for Subsistence Rainfed Lowland Rice System. *Rice* 11(1): 20.
- Vungsilabutr, P. 2002. *Ecology of Brown Planthopper and Its Control*. Bangkok: Division of Entomology, Department of Agriculture.
- 矢倉研二郎. 2021. 「カンボジア・ポーサット州における農業の変化とそのメカニズム——未利用資源の活用と外部からの資金調達」『東南アジア研究』59(1): 61–100.
- Yu, B.; and Fan, S. 2010. Rice Production Response in Cambodia. *Agricultural Economics* 42: 437–450.

(2021 年 5 月 12 日 掲載決定)