

グリーンアジア レポートシリーズ

No.2

アジアにおける強靱な低炭素型稲生産システムに 向けた間断かんがいの導入の促進

進捗、課題、および可能性

**Yuji Enriquez, Katherine Nelson, Bjoern Ole Sander,
Bas Bouman, Valerien Pede, Mamoru Watanabe**



グリーンアジア

グリーンアジアレポートシリーズ No. 2

アジアにおける強靱な低炭素型稲生産システムに 向けた間断かんがいの導入の促進

進捗、課題、および可能性

**Yuji Enriquez¹, Katherine Nelson¹, Bjoern Ole Sander¹, Bas Bouman¹,
Valerien Pede¹, Mamoru Watanabe²**

1 国際稲研究所

2 国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター

2023年11月



グリーンアジア

©国立研究開発法人国際農林水産業研究センター（国際農研（JIRCAS））、国際稲研究所（IRRI）、2023

このレポートは、農林水産省「みどりの食料システム基盤農業技術のアジアモンスーン地域応用促進事業」の下で「グリーンアジア」プロジェクトとして実施された研究に基づき、国際農研と国際稲研究所のスタッフが作成したものです。本報告で述べられている考えや意見は著者のものであり、必ずしも国際農研や国際稲研究所のものではありません。本報告中の表記や資料の提示は、それぞれの国や地域の法的地位や発展段階、あるいは境界線に対する国際農研や国際稲研究所の意見や支持、承認を示すものではありません。

本報告は、読者の理解の一助として、英語で執筆された次の報告を和訳したものです。詳細な情報や微妙なニュアンスについては、原文を参照してください。

Enriquez, Y., Nelson, K., Sander, B.O., Bouman, B., Pede, V., & Watanabe, M. (2023)
Accelerating intermittent irrigation for low-carbon and resilient rice production systems in Asia.
Green Asia Report Series, No. 2. Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS) and International Rice Research Institute (IRRI).

権利と許可



本報告の利用条件は、クリエイティブ・コモンズ 表示 4.0 国際（CC BY 4.0）

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> に準拠します。利用者は下記を含むクリエイティブ・コモンズライセンスの条件にて、本報告を複製・配布・翻案することができます。

表示 – 出典とライセンスを明記してください。Enriquez, Y., Nelson, K., Sander, B.O., Bouman, B., Pede, V., and Watanabe, M. (2023)、アジアにおける強靱な低炭素型稲生産システムに向けた間断かんがいの導入の促進、グリーンアジア レポートシリーズ、No. 2. 国立研究開発法人国際農林水産業研究センター、License: CC BY 4.0.
<https://www.jircas.go.jp/ja/publication/gars-j/2>

第三者のコンテンツ – 国際農研及び国際稲研究所は必ずしも本報告のコンテンツの各要素に対する所有権を保有してはいないため、本報告の内容の内、第三者が所有する個々の要素又は部分を使用しても第三者の権利を侵害することにはならないと保証するものではありません。もしそうした侵害に対して申立てが起きた場合、全責任を負うのは使用者となります。本報告の要素の再利用を希望する場合、そうした再利用に対する許可取得の必要性の有無の判断、及び著作権者からの許可取得は、再利用者の責任において行うものとします。要素の例としては図表や画像が挙げられますが、これに限定されるものではありません。

目次

略語・頭字語.....	iv
要旨.....	vi
1: 序論.....	1
2: 間断かんがいの背景と歴史	3
2.1: 1 回のみ of 落水・1 回のみ of エアレーション	5
2.1.1: 中干し (MSD)	5
2.2: 複数回 of 落水・複数回 of エアレーション	7
2.2.1: AWD	7
2.2.2: MiDi	9
3: 間断かんがいの普及状況、普及のための課題、およびその教訓	11
3.1: アジアにおける AWD の普及の進捗	11
3.2: 普及に向けた政策と研究	15
3.3: 課題と教訓	19
4: アジアにおける間断かんがいの規模拡大を促進するためのエントリーポイント	21
5: 結論.....	25
著者の貢献について.....	26
謝辞.....	26
参考文献.....	26

略語・頭字語

AWD – Alternate Wetting and Drying (2～10 日のサイクルで行う定期的な水田の落水による乾燥と再湛水の特徴とする間断かんがい)

CCAC – Climate & Clean Air Coalition (気候と大気浄化の国際パートナーシップ)

CDM – Clean Development Mechanism (クリーン開発メカニズム)

CER – Certified Emissions Reductions (認証排出削減量)

CH₄ – Methane (メタン)

CORIGAP – Closing Rice Yield Gaps in Asia (アジアにおけるコメの収量格差の解消)

CO₂ – Carbon Dioxide (二酸化炭素)

DA – Department of Agriculture (フィリピン国・農業省)

DSR – Direct Seeded Rice (直播稲)

GHG – Greenhouse Gas (温室効果ガス)

GRiSP – CGIAR Research Program on Global Rice Science Partnerships
(世界稲科学パートナーシップの CGIAR 研究プログラム)

IoT – Internet-of-Things (モノのインターネット)

IPCC – International Panel for Climate Change
(気候変動に関する政府間パネル)

IRRC – Irrigated Rice Research Consortium (かんがい稲研究コンソーシアム)

IRRI – International Rice Research Institute (国際稲研究所)

JIRCAS – Japan International Research Center for Agricultural Sciences
(国際農林水産業研究センター)

MD – Multiple Drainage (複数落水)

MiDi – Midseason Drainage followed by Intermittent Irrigation (中干しをある程度の期間にわたり行い、その後短い間隔で落水と湛水を繰り返すことを特徴とする間断かんがい)

MRV – Measurement, Reporting and Verification (測定、報告及び検証)

MSD – Mid-season Drainage (中干し)

N – Nitrogen (窒素)

NAMA – Nationally Appropriate Mitigation Action
(途上国における適切な緩和行動)

NARES – National Agricultural Research and Extension Systems
(国家農業研究普及システム)

NDC – Nationally Determined Contributions (自国が決定する貢献)

NIA – National Irrigation Administration (フィリピン国・国家かんがい庁)
N₂O – Nitrous Oxide (亜酸化窒素)
PhilRice – Philippine Rice Research Institute (フィリピン稲研究所)
SDC – Swiss Agency for Development and Cooperation (スイス開発協力機構)
SOC – Soil Organic Content (土壌有機物含有量)
SRI – System of Rice Intensification (集約的稲作システム)
SRP – Sustainable Rice Platform (持続可能な稲作プラットフォーム)
UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change
(国連気候変動枠組条約)

要旨

コメは大多数の世界人口の食料安全保障にとって欠かせないだけでなく、水不足の調整においても重要な役割を担っており、気候変動による影響を緩和する大きな可能性を秘めている。それにもかかわらず、持続可能な稲作システムの実現は、一方で異常気象への脆弱性、もう一方で温室効果ガスを多く排出する慣行農法によって阻まれている。間断かんがいの技術は (i) 中干しなどの 1 回みの落水・1 回のみ土壌内部まで空気が入り込む状態をつくること (エアレーション)、(ii) AWD、MiDi、およびその他の AWD のような複数回の落水・複数回のエアレーション、を特徴とし、農家のかんがい需要やメタン排出量を削減する低コストの技術革新である。例えば AWD の導入により水の使用量は最大 30%削減でき、水不足の状況における農家の適応能力を向上させ、さらに常時湛水による稲作と比較して水田由来のメタン排出量を平均 45%削減と大幅に削減できる。アジアやサブサハラアフリカでは、2000 年代初頭から、こうした技術普及のための多大な取り組みが継続的に行われてきた。間断かんがいは、中央政府や地方政府の政策やプログラムの中で目に見える足跡を残してきたが、技術的、経済的、社会的なさまざまな要因のために、かんがい稲作農家によって慣行的技術として採用されるケースへの進展は、今のところ限られている。それでも、水管理に応じた価格調整を行う統合的アプローチの追求、AWD の導入に関するモニタリング、報告、検証に活用するリモートセンシング、および炭素クレジット制度など、進展を後押しするための端緒 (エントリーポイント) となるものは存在する。これらは間断かんがいの導入を拡大させるための障壁を克服するのに役立つだけでなく、稲作システムをより収益性の高い、気候変動に強い低炭素なものに変えることができる。

1: 序論

世界の食料安全保障はコメに依存している。コメは人類の約半数を養い、最貧困層にとって主なカロリー源であり、タンパク質源となっているだけでなく、約 30 億人の生計の源でもある (Chauhan et al. 2017; GRiSP 2013)。コメ生産は途上国にとって経済的に最も重要な農業活動の一つであることは言うまでもない (GRiSP 2013)。このコメのほとんどは、温室効果ガス (GHG) 排出量が急増し、天然資源が限られているアジアで消費されている。気候変動がもたらす台風や干ばつの悪化に伴い、稲作システムはますます大幅な収穫減に見舞われ、生態系とそれによるサービスの提供は脅かされている (IPCC 2021)。

コメが食料安全保障において重要であることは明らかであるにもかかわらず、湛水によって行う稲作では水使用量と GHG 排出量がかなり多い。かんがい稲作だけでも世界のかんがい用水の 40% を使用し、かんがい農地全体の 30% を占めている (Dawe 2005; Enriquez et al. 2021)。世界の農業はすべての CO₂ 以外の GHG 排出量の 56% の原因となっており、そのうち 10% は稲作で発生する CH₄ に起因している (同書)。この数字は、東南アジアの大部分ではさらに高く、稲作が農業による総 GHG 排出量の平均 43% を占めている (図 1)。

国際連合が設定した気候変動目標に取り組むためには、投資が不十分な世界各地の農村部や発展途上地域の農業セクターで重点的に活動を行う必要がある (UNFCCC 2017)。CH₄ は短寿命気候汚染物質であるが、CO₂ の 28 倍の地球温暖化効果 (地球温暖化係数 (GWP)¹ は CO₂ の 28 倍) を有し、これまでの地球温暖化の原因となった温室効果ガス総量のうち半分近くの原因となっている。しかし、CH₄ 削減策に関する出資額は 2019/2020 年の気候変動に係る総出資額の 2% にも満たない (CPI 2022)。エネルギー、農業、廃棄物からの CH₄ 排出量を急速に削減することで、決定的な行動を起こすべきこの 10 年間における我々の取り組みにおいて短期的な利益を達成できる。また CH₄ 排出量削減は、温暖化を 1.5°C に抑える目標を達成する上で、唯一、かつ最も効果的な戦略であるとも考えられている。稲作は、間違いなく短期的に CH₄ を最も削減できる可能性のある、最も費用対効果の高い戦略である。

¹ GWP は異なるガスによる地球温暖化効果を地球の大気に対して比較することを可能にする測定単位であり、CO₂ の GWP 値を 1 とする (www.epa.gov)。

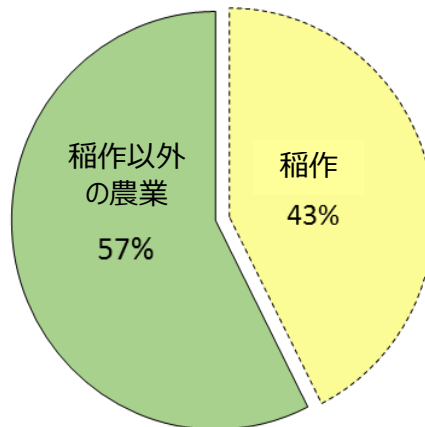


図 1. 東南アジアにおける農業による GHG 排出量

出典: UNFCCC NCS² *シンガポール、ブルネイ、東ティモールおよびマレーシアを除く。

排出量の削減が急務であるため、各国やその他の関係者は、2030 年に CH₄ 排出量を 30%削減することを約束する「グローバル・メタン・pledge」³ に署名しており、これらの約束は、各国の「自国が決定する貢献（NDC）」に盛り込まれている。気候変動枠組条約（UNFCCC）に対する最近の国別報告書でも、稲作における緩和策と適応策の必要性が強調されており、非附属書 I 締約国は農業や水管理を最優先事項として報告している（UNFCCC 2019）。

本レポートでは、CH₄ 排出削減手段としての間断かんがい技術の概要と導入方法、そして同技術がアジアにおける生産的で持続可能な食料システムの実現にどのように寄与しているかについて紹介する。また、この技術を農家に普及させるための取組みの進捗状況、課題、教訓、および機会についても述べる。

² http://di.unfccc.int/ghg_profile_non_annex1 および主要農業国の最新の NatCom データ

³ <https://www.globalmethanepledge.org/>

2: 間断かんがいの背景と歴史

水管理は、稲作を気候リスクに適応させ、稲作由来の GHG 排出量を削減する上で、極めて重要な役割を担っている。というのも、低地でのかんがい稲作が干ばつの影響を受けやすく、かんがい地での稲作は歴史的に連続的な湛水を伴うため、これが嫌気的条件下の湛水土壤中で繁殖するメタン生成細菌によって CH₄ が放出されるきっかけとなるからである。したがって、湛水の間隔を短くし湛水状態を減らすことでかんがい用水の使用量を減らし、古細菌による CH₄ の生産と排出を大幅に抑制することができる。

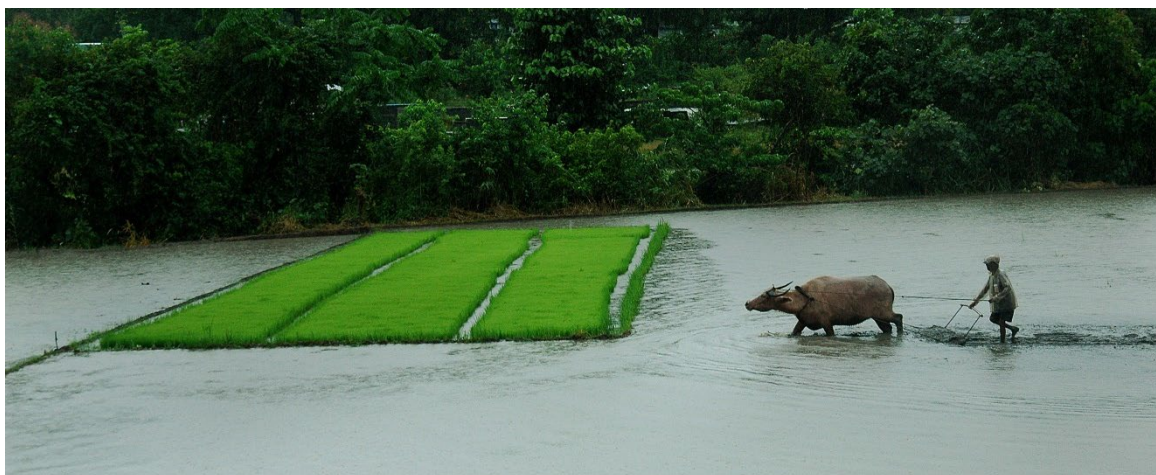


図 2. 湛水した水田における圃場の準備

図 3 に、かんがい技術によって必要とされる水量の違いを整理した。図に示すように、アジアの稲作かんがいにおける主流かつ伝統的な慣行である常時湛水は最も多くのかんがい用水を必要とする。この慣行では、移植直後、または（機械または手作業による）直播した稲種子が発芽した後、圃場を水で浸し、3 cm の水位を維持する。その後、水位を 5～10 cm まで徐々に上げ、収穫の 7～10 日前に落水するまで湛水状態を続ける。農家の間では、これが稲にとって必要かつ十分な生育環境であると広く考えられている。常時湛水の反対側は、好気稲作で、小麦のような畑作物と同様に圃場に水を張らずに稲作を行う方法である。エアロビック・ライスは、特別に開発された好気稲作の品種（“aerobic rice” varieties）を、水はけがよく、湛水しない、そして飽和していない土壌で栽培する稲作システムである。好気稲作は、根が定着するために直播する必要がある（Bouman et al. 2007）。

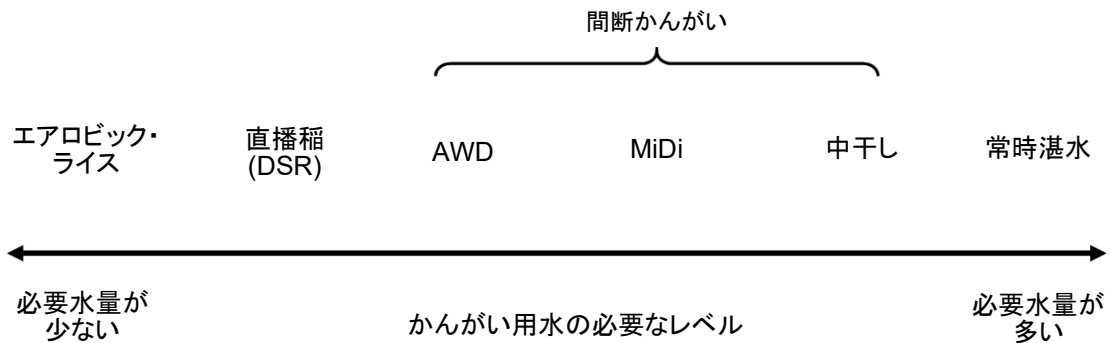


図 3. かんがい技術ごとの必要水量の違い

乾田直播は、苗床で苗を育て、湛水した圃場に移植するという従来の方法に取って代わる作物定着法である。準備段階では代掻きを行い、湛水していない、そして飽和していない圃場に直接播種する。乾田直播では移植に必要な水使用量や人件費を節約でき、さらに機械により作業を行うことも可能である。乾田直播は、湛水した飽和状態の圃場に種を播き、稲作期間中に間断かんがいと落水を行う「湿田直播」と区別することが重要である。乾田直播した場合、圃場に硬盤層が形成されていないため湛水は不可能である。後者（乾田直播）は非湛水システムであり、全く異なる水管理方法が必要であるが、前者（湿田直播）は（定期的な落水を除けば）伝統的な常時湛水方式とほぼ同様の水管理が可能である。

間断かんがい⁴はこの範囲の中間に位置する。間断かんがいは、湛水期間の後に落水期間が続き、その後また圃場を湛水させる。根が水を利用できるよう土壤中に十分な水分を確保しておくことが重要である。間断かんがいには、同様の原則に従った複数の方法がある（表 1）。1 回のみ落水（single drainage）・1 回のみ土壌内部（土壌孔隙）に空気が入り込む状態をつくること（以下「エアレーション」という）（single aeration）では、中干し（midseason drainage: MSD）の場合と同じように、栄養生長期中に 1 回だけ落水を行う。複数落水（multiple drainage: MD）・複数回のエアレーション（multiple aeration）では、栄養生長期中に複数回にわたり落水を行う。MiDi では、中干しをある程度の期間にわたり行い、その後短い間隔で落水と湛水を繰り返す。safe AWD は、移植 2 週間後（開花期を除く）から継続的な落水と再湛水を行うことを特徴とし、土壌含水量をモニタリングし、土壌表面下より 15 cm を超える前に再湛水することで収量減を回避する。開花前後の 1 週間は、湛水状態を維持する。

⁴ 間断かんがい（Intermittent irrigation）：稲作期間中に水田を少なくとも 1 回、3 日間以上にわたり落水し土壌に空気が混入する期間を設ける。(a) 1 回のみエアレーション：稲作期間中のいずれかの生育期において 1 回土壌に空気を混入させること（終期の落水を除く）、(b) 複数回のエアレーション：稲作期間中に複数回にわたり土壌に空気を混入させる期間を設けること（終期の落水を除く）。([CDM Methodology AMS-iii.AU v4.0](#))

さらに、持続可能な稲作プラットフォーム（SRP）、System of Rice Intensification（集約的稲作システム—SRI 農法）、「One Must Do, Five Reductions」（1M5R⁵）農法などの稲作パッケージはすべて、上記の間断かんがい方式のいずれかを組み込んでおり、推奨されている稲作期間中の落水を通じた水使用量の削減を図っている。

2.1: 1 回のみ落水・1 回のみエアレーション

2.1.1: 中干し（MSD）

1 回のみ落水（または 1 回のみエアレーション）は、栄養生育中に少なくとも 1 回は最低 3 日間、水田を落水させる。一方、中干しでは稲が目に見える水分ストレスを示すまで水田土壌へのエアレーションを続ける（Upreti et al. 2012）。圃場での実施に関しては、中干しの方が全体的な維持管理が少なく済み、収量減少のリスクも少ないため、複数回にわたり落水する方法よりも実用的な代替方法と考えられる（Carrijo et al. 2017）。

⁵ 1M5R とは、ベトナムの農業農村開発省が推奨する稲作方法の指針のひとつで、認証種子を使用すること、播種する種子の量、施用する農薬の量、施用する肥料の量、かんがい用水量および収穫後のロスを減らすことである。

表 1. 間断かんがい技術の比較

	1 回のみ落水・ 1 回のみエアレーション ^a	Safe AWD ^b	MiDi ^c
アプローチの概要	栄養生長中に最低 3 日間 続く、1 回の落水を行う。	開花前後の 1 週間を除き、稲作シーズン を通じて落水と湛水を交互に行う。塩ビ管 を使用し、圃場を再湛水させる前に、地 表面下の水位を測定し、“安全な”閾値 水深地表面下 15cm 以下を維持する。	日数に依存するかんがいの方法。かんがいのタイミング と期間は生育段階によって決まる。分けつ後期と幼穂 形成期の間に 1~2 週間落水した後に間断かんがい を行う。
おおよその導入年	不明	2000 年代初頭	7 世紀の中国
報告されているメリット	<ul style="list-style-type: none"> GHG 排出量を 29%削減^a 収量の低下なし 	<ul style="list-style-type: none"> 水使用量を 30%削減 GHG 排出量を 45%削減^a 収量の低下なし 	<ul style="list-style-type: none"> 非生産的な分けつの抑制^c 倒伏の回避、天候耐性の向上 土壌の締固めによる水田の作業性の改善 収量の増加^{c 6}
導入されている地域	東南アジア	東南アジア（フィリピン、タイ、ベトナム、バ ングラデッシュ）	東アジア

出典: (a) IPCC (2019); (b) Sander et al. (2017); Richards & Sander (2014), Enriquez et al. (2021); (c) Minamikawa et al. (2019), Gou et al. (2017).

⁶ ただし、MiDi による収量増加の証拠は中国でしか確認されていない。MiDi と AWD に関する結果の確認と検証については、東南アジア諸国におけるさらなる研究と再現が必要である。

2.2: 複数回の落水・複数回のエアレーション

2.2.1: AWD

AWD は、1990 年代にフィリピンの国際稲研究所 (IRRI) の科学者たちによって構想・開発され、2000 年代から農家の圃場で試験的に導入された。この AWD は、間断かんがいの論理を踏襲しながらも、塩ビ管で作られたパイプという安価な道具を使うことで、地表面下の水位を簡単にモニタリングできるようにするという指針が設けられている。これにより、農家はかんがいを確実にコントロールできるようになり、水位が収量に影響を及ぼす閾値に達する前にかんがいを決めることで稲の収量の減少を回避できる (Bouman et al. 2007; Palis et al. 2004)。

AWD は、根と土壌生物相に最適な量の水と酸素を供給するために 2~10 日のサイクルで行う定期的な水田の落水による乾燥と再湛水として定義される (図 4)。最良の結果を得るために、湛水深をモニタリングし (ドリルで穴を開けた長さ 30 cm のプラスチック製パイプまたは竹筒を水位計として使用できる)、地表面下の水位が -15 cm に達する前に 3~5 cm の深さまで湛水し直す。この方法は収量を減少させないため、safe AWD (安全な AWD) と呼ばれている。収量に悪影響を与えるような過剰な乾燥や湛水が水田のどの部分でも生じないようにするためには、水田を適切に均平化する必要がある。

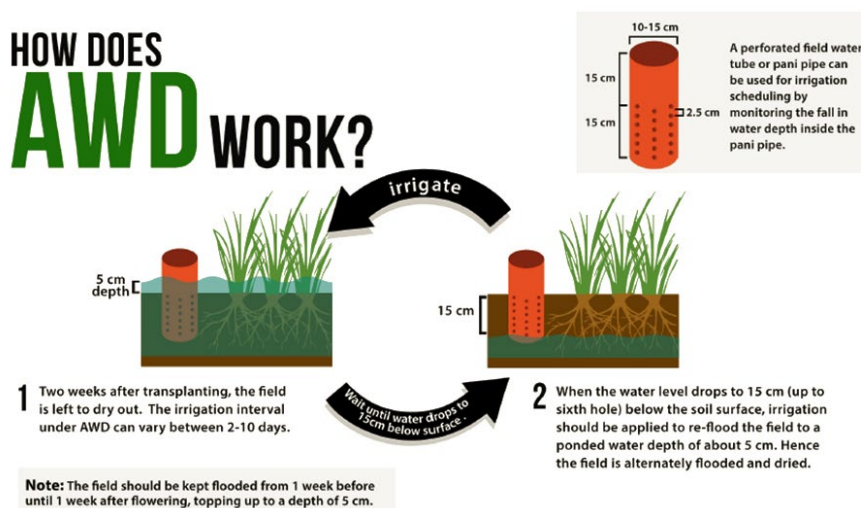


図4. AWDの仕組み

出典: IRRI (2019)

AWD がもたらす便益については幅広く研究が進められている。60 本を超える査読付き論文で、AWD の導入により収量を落とすことなく CH₄ 排出量を平均 45%、水使用量を平均 30%削減できる証拠が示されている (Carrijo et al. 2017; IPCC 2019)。実際、56 件の研究成果を対象としたメタ解析からは、AWD がアジア各地で行われた研究全体で水使用量を 25.7%削減し⁷、それによって水生産性 (単位水使用量あたりの稲収量) を高めていることが明らかになっている (同書)。

AWD によって水使用量を 30%削減することができ、それがポンプの利用にかかるコストを下げ、同時に水不足の状況における農家の適応可能性を高め、水資源の公平な分配を確保することができる。東南アジアの多くの地域で干ばつが増加すると予測されているため、かんがいシステム全体で AWD を導入することで、稲作における効率的な水利用により集水域レベルで余剰を生み出すことが期待できる。他方、場合によっては、AWD は雑草を増加させる可能性が指摘され、特に作業する者が女性に偏っており、彼女たちがそのような労働需要の増加によって悪影響を受けるのであれば、この方法を推奨する際に慎重な検討をする必要がある (Lampayan et al. 2015)。根の生長と土壌養分の供給が改善されるため、AWD によって収量増加が見られる場合もある⁸が、多くの AWD の研究では収量にはほとんど影響がないことから、そのような増収は例外的なものであると考えられる (Enriquez et al. 2021; Bouman et al. 2007)。

AWD の適用により、平均 45%の CH₄ 排出削減の証拠が示されている (Sander et al. 2017; IPCC 2019)。CH₄ は、地球を温暖化する能力が CO₂ の 28 倍あり、常時湛水による稲作から排出される主な GHG である。AWD を用いた土壌の通気サイクルの増加は、CH₄ の産生を防止し、土壌孔隙に蓄積された CH₄ を酸化して放出を防ぐ。AWD を稲わらの除去で補完すれば、稲作による総削減ポテンシャルが最大 80%増加する可能性がある (Allen & Sander 2019)。土壌乾燥に伴う N₂O の増加の可能性を低減するために、窒素 (N) を投入するタイミングを改善することが推奨される。この改善を行わない場合、AWD による削減ポテンシャルが N₂O の増加により 15%相殺されることが研究で示唆されている (Sander et al. 2020)。AWD が収量、人の健康、および環境にもたらすその他の利点については、Allen and Sander (2019) が詳しく述べている。

落水を反復する複数落水 (MD) は、メコンデルタに位置しているベトナムのアンザン省で試験が進められている最近のアプローチである (Uno et al. 2021)。複数落水は、AWD を調整した方法で、農家の判断に基づき、例えば、落水時の水位の閾値や、N 肥料の追肥および排水不良時の落水のタイミングを圃場ごとに柔軟に調整することができる (同書)。2 年間にわたる圃場実験からは、複数落水を適用することで、常時湛水と比較して N₂O 排出量には有意差が見られないものの、CH₄ 排出量を 35%

⁷ このメタ解析には稲の収量や水利用量を減少させた過激または危険な AWD 処理も含まれている点に留意していただきたい。

⁸ 例えば、成長不良のひこばえの制御や根の力強い成長 (Guo et al. 2017); 樹冠構造、水源活動、吸収力の強化および植生組織から穀粒への貯留 C の再固定化の強化 (Yang & Zhang 2010) を参照。

削減でき、収量が22%増加したという結果が得られている（Uno et al. 2021）。これまでに、このアプローチはアンザン省の限られた農家圃場でのみ導入されている。

2.2.2: MiDi

歴史的な文献によると、MiDi はアジアで農家実践した最初の間断かんがいの一種である（Minamikawa et al. 2019）。MiDi は、7世紀にはすでに中国の農学書である「齊民要術」に記録されており、土壌の通気性が稲の収量増加に有効であることが示唆されている。

MiDi は6～8世紀に出版されたインドの農学書「*Krisparasara*」にも記載されており、その後の日本では、17世紀に「清良記」で18世紀に「農稼業事」で紹介されている（図5）。近代に入ると、MiDi は中国と日本の農業普及システムによって広く知られるようになり、推進されるようになった。

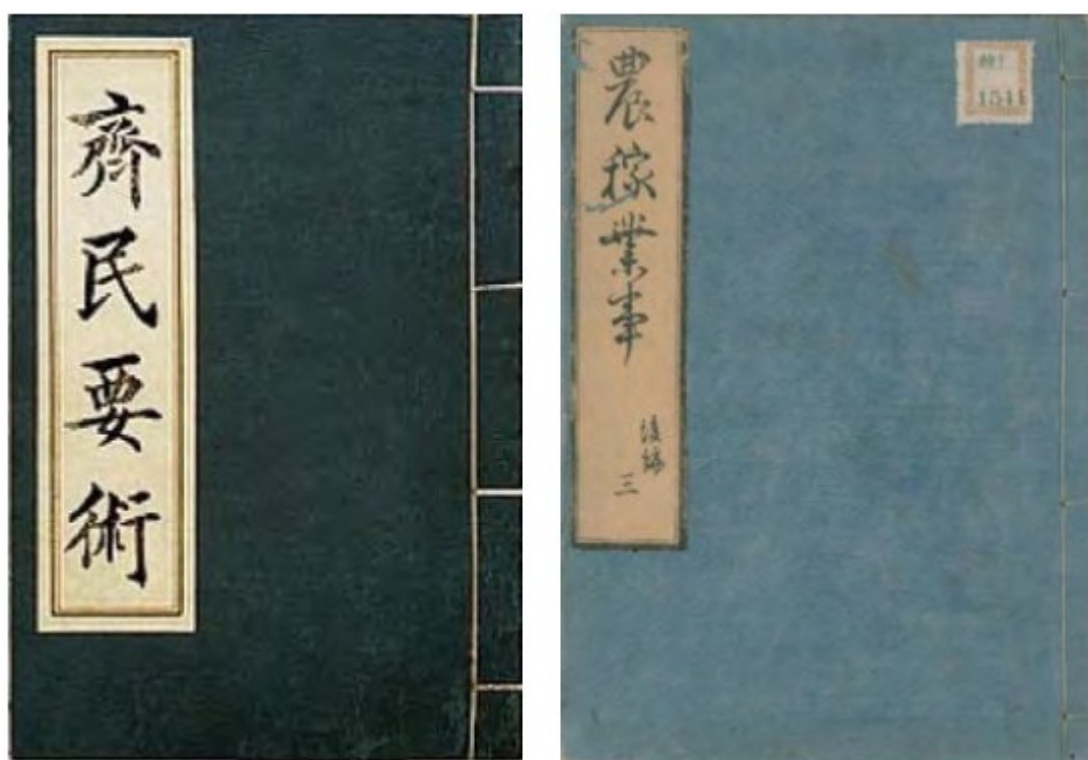


図 5. 7 世紀の中国の農学書（齊民要術、左）と 18 世紀の日本の農学書（農稼業事、右）の表紙

出典: Minamikawa et al. (2019, p. 26)

MiDi では、分けつ後期と幼穂形成期の間で 1～2 週間程度にわたり落水する。その後は、3 日間の落水と 3 日間の再湛水を繰り返し行う間断かんがいを取穫前の最終落水まで繰り返す（ただし、開花期の前後 1 週間は湛水状態を保つ）。Minamikawa（2019, p. 23）によると、MiDi は稲作において以下のような利点をもたらす。

- 土壌中の窒素の無機化が抑えられるので、非生産的な分けつが抑制される
- 硫化水素や有機酸の産生が抑制され、根の伸長が促されるので、倒伏や天候の影響を受けにくくなる
- 土壌の締固めが改善されるので、農家が圃場で作業しやすくする
- 常時湛水よりも稲の収量が増加する（Gou et al. 2017 による中国で実施された研究のメタ解析に基づく）

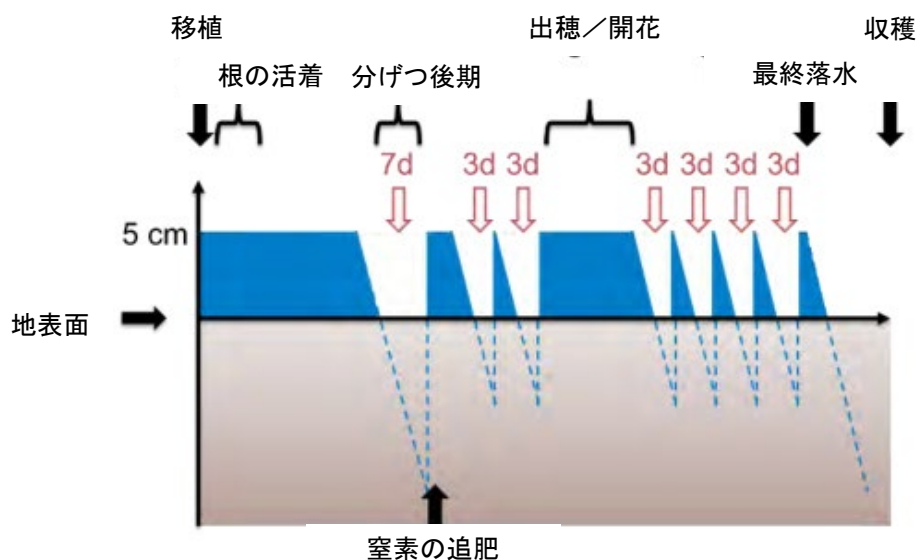


図 6. MiDi による水管理

出典：Minamikawa et al. (2019, p. 24)

3: 間断かんがいの普及状況、普及のための課題、およびその教訓

3.1: アジアにおける AWD の普及の進捗

2000 年代初頭以来、IRRI は各国の国家農業研究普及システム（NARES）のパートナーとともに、AWD の試験的導入、適応、複製、および農家による導入のための環境整備に取り組んできた。かんがい稲研究コンソーシアム（IRRC）は、スイス開発協力機構（SDC）からの資金援助の下で 1997 年から 2012 年にかけて 4 つのフェーズにわたり実施され、アジア数カ国のかんがい低地を対象に、AWD を含む最適な天然資源管理方法の普及と導入を促進させるためのプラットフォームの提供を目指してきた（Rejesus et al. 2014）。IRRC は、バングラデッシュ、中国、インド、インドネシア、ラオス、ミャンマー、フィリピン、タイ、ベトナムのアジア 9 カ国で AWD 技術を普及させた。IRRC は、その完了までにアジアの農家 100 万人に技術を提供したと言われている（Rejesus et al. 2013）。2012 年以降、アジアにおけるコメの収量格差の解消（CORIGAP）など IRRI のいくつかのプロジェクトや、その他の国際開発機関や開発銀行が、アジアやサブサハラアフリカで気候スマートイノベーションとして AWD を取り上げている。

成功のストーリー

フィリピン AWDは、エルニーニョ現象により生じた水不足の影響で2000年代に導入された。簡易な推定によれば、AWDはフィリピン全体のかんがい面積のうち、わずか5%でしか実践されていない。ほとんどのかんがいシステムは重力式であり、農家はシーズンごとに決まっている単位面積当たり単価に基づいてかんがい費用を支払っており、AWDを導入する経済的なインセンティブはほとんどない。費用対効果は高いものの、重力かんがい方式は水利用が非効率的、または供給が不安定な場合もある。一方、農家が個人用のポンプを使用できる余裕があり、その恩恵を受けられる場合、AWDの導入率は高い。IRRIによる最近の適合性評価では、かんがい稲作面積の60%がAWDに適しており、農業セクターからの年間GHG排出量の約15%を削減できることが示された (Sander et al. 2017)。



フィリピン政府は、ますます不足する水資源に対応するため、国内すべてのかんがいシステムにおいてAWDを普及させようと試みている。フィリピンの農業省 (DA) は、「フィリピンのかんがい稲作システムにおける節水技術導入のためのガイドライン」に関する行政命令を2009年に発表した。これらの技術は、厳密な意味でのAWDに限定されるものではなく、他のアプローチや「コントロールされたかんがい」のような他の用語も用いている。政府による施策は主にかんがいインフラの改良と古いかんがいスキームの改修に重点がおかれてきた。加えて、新品種 (ハイブリッドおよび交配種)、高品質の種子、統合

的で持続可能な作物管理技術の使用など、他の収量増加戦略も推進された。例えば、2010年に制定された有機農業法（Organic Agriculture Act）は、農家への稲種子の配布を含む生産支援サービスを提供している。また、政府は、農家のための財政支援を強化することを目指し、例えば、浅い管井戸や地表水のためのポンプの設置を対象とするソフトローン（発展途上国にとって負担が大きくなり過ぎない緩やかな貸し付け条件のローン）を提供した（Sander et al. 2017）。さらに2016年、国家かんがい庁（NIA）は、全国のかんがいシステム（通常はかんがいのための農家組合と共同で維持管理されている）すべてにAWDを導入する政策を実施した。これらの取り組みは、生産、普及と広報、および研究開発を対象とする国家稲作プログラム（National Rice Program）のような商品志向型のプログラムによって支えられている。大きな気候変動対策ではないが、これらのプログラムは、気候変動対策を地方レベルの農業政策に反映させたものである。

過去10年間、アジアの主要な稲作国では間断かんがい（特にAWD）の普及のための支援が盛んに行われてきた。公表されている研究によると、農家による間断かんがい導入率はこれらのアジア諸国の間でかなり幅がある（表2）。

表 2. アジア諸国における間断かんがい技術の導入率

国	導入率 (導入された間断かんがい技術)	参考文献
バングラデッシュ	ラジシャヒおよびロンプール管区 – 29% (AWD)	Kürschner et al. (2010)
中国	40% (AWD)	Li & Barker (2004)
日本	87% (MiDi)	Minamikawa et al. (2019)
インド	北部 – 31% (AWD) 東部 – 6% (AWD) 南部 – 13% (AWD) 北西部 – >80% (AWD)	Palanisami et al. (2020); Richards & Sander (2014)
フィリピン	5% (AWD)	Enriquez et al. (2021)
ベトナム	アンザン省およびカントー市 – 35% (AWD) アンザン省 – 52% (AWD)	Connor et al. (2021) Yamaguchi et al. (2019)

ただし、公表されている間断かんがい技術の導入率推定に関する研究は、AWD を構成する基準の定義、サンプリング、方法、地理的範囲、研究結果の発表時期が大きく異なるため、比較することが非常に難しい点に注意することが重要である。気候に適した水管理手法の拡大については一定の進展が見られるものの（インド北西部地域やベトナムなど）、東南アジアの発展途上国で AWD やその他の間断かんがい技術の普及を加速させ農家と気候の双方に利益をもたらすためには、まだ多くの作業が必要であることがデータから窺える。

IRRI は、フィリピンやタイの中央平原など、東南アジアの多くのコメ生産地域で AWD の適性マッピングを実施した。表 3 と表 4 では、フィリピンの稲作面積のうち 60%、ならびにタイ中央平野に位置する 6 つの県におけるすべての水田が気候的に AWD に適しており、両国に多大な緩和のポテンシャルがあることを示している（それぞれ 7.42⁹ MtCO₂eq/年および 1.61 MtCO₂eq/年、1Mt = 1 トン）。分析では導入を促す気候的要因に着目し、十分なかんがいインフラがあるかどうかとは無関係に行われている点に注意することが重要である。これは、さらに AWD の導入が可能で緩和できる機会があることを示していると同時に、アジアにおける AWD の利用拡大のためには、まだ実態とポテンシャルとの間にギャップがあり、ギャップを埋める作業が必要であることを浮き彫りにしている。

⁹ メタンの GWP を 28 と仮定する。

表 3. フィリピンにおける AWD の気候適合性の概要

研究の対象 範囲	平均稲作面積 (100 万 ha)	適合性のある稲作面積の割合 (中程度・高度な適合性)			潜在的な GHG 排出量 (MtCO ₂ eq yr ⁻¹)
		乾季	雨季	最大	
国内の総稲 作面積	4.503	96.7	34	60	7.42

出典: Sander et al. (2017)

表 4. タイ中央平野における AWD の気候適合性の概要

研究の対象 範囲	平均稲作面積 (100 万 ha)	適合性のある稲作面積の割合 (中程度・高度な適合性)			潜在的な GHG 排出量 (MtCO ₂ eq yr ⁻¹)
		乾季	雨季	最大	
6 県 ¹⁰	1.047	99	100	100	1.61

出典: Prangbang et al. (2020)

3.2: 普及に向けた政策と研究

AWD の普及と持続的な適用を確保するためには、節水と気候変動緩和を奨励する政策枠組みが必要である。アジアの開発途上国では、AWD の普及と農家への適用を支援する政策が様々な形で実施されている。主な例を以下に示す。

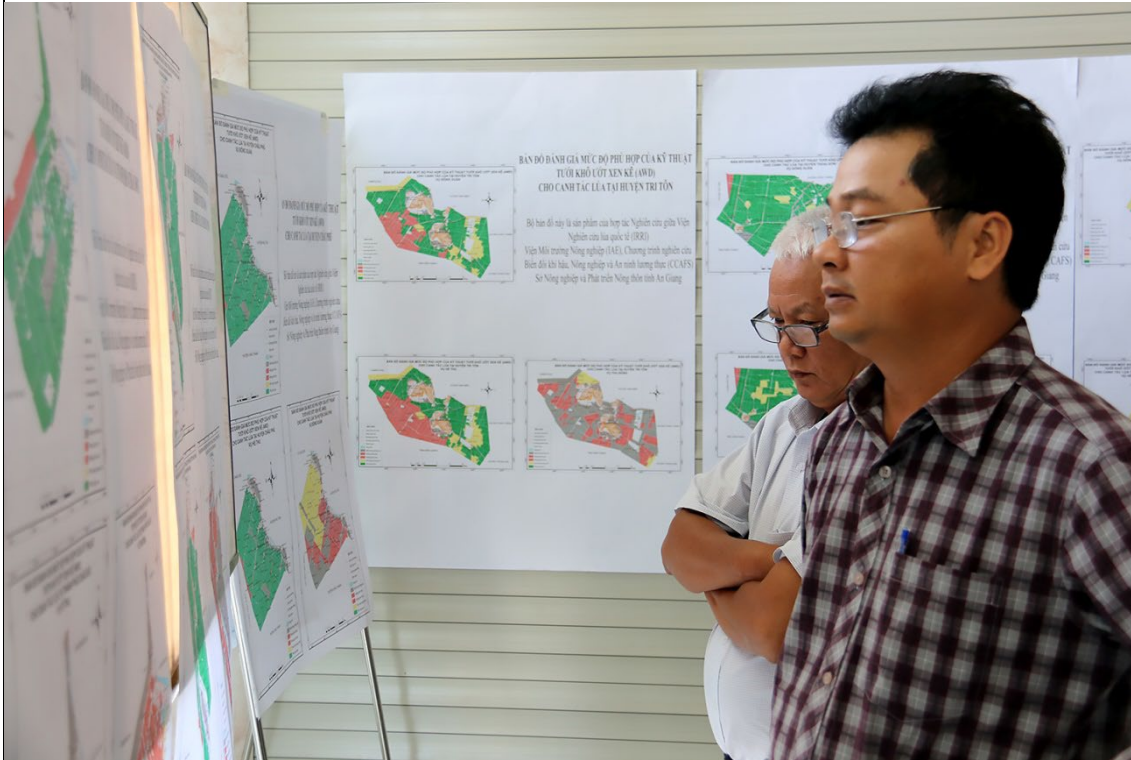
- フィリピンでは、農業省 (DA) がかんがい稲作システムにおける AWD 導入に関するガイドラインを発行し、国家かんがい庁 (NIA) も全国のすべてのかんがいシステムで AWD を推進するためのかんがい政策戦略を策定している (Enriquez et al. 2021)。
- タイ政府は、NAMA ファシリティ資金提供を受け、コメ生産における AWD と他の 3 つの緩和策を 10 万人の農家に普及させ、5 年間で 1.67 MtCO₂eq の GHG 排出を回避することを目標とするタイにおけるコメの適切な緩和行動 (NAMAs) を策定した (Thai RICE NAMA, 2022)。
- ベトナム政府は AWD の普及をいくつかの政策枠組みに採用している。例えば、2013 年の国家主

¹⁰ 6 県とは、アーントーン県、アユタヤ県、チャイナート県、パトゥムターニー県、シンブリー県、およびスパンブリー県。

席令（532-QD-TT-CLT）による AWD を組み込んだ 1M5R（One must do, five reductions）の認証； NDC の 2022 年の更新に AWD を盛り込んで、稲作からの排出量削減の目標を掲げたこと；そして、100 万 ha の水田を高品質で低炭素なコメ生産システムに転換するための 100 万 ha 戦略の策定（継続中）などが挙げられる。

- バングラデッシュ政府は、国家適応計画 2023-2050 に AWD を優先的な取り組みとして盛り込んだ。

ベトナム 2013年に作成された国連のファクトシートによれば、ベトナム政府は、2030年までに国内GHG排出量のほぼ73%を占めると予測される農業セクターを中心に、GHG排出量を削減するための実質的なコミットをした。



近年、ベトナム政府は稲作におけるGHG排出量削減を図るための政策を打ち出している。例えば、グリーン成長戦略や、AWDを主要な技術として2020年までに農業によるGHG排出量を20%削減し生産量を20%向上させる20/20/20計画などである。ベトナムは、2030年までにCH₄排出量を30%削減することを誓う「グローバル・メタン・プレッジ（Global Methane Pledge）」に署名したが、そのほとんどはコメ生産からのものである。

さらにベトナム政府は、各省が節水技術のトレーニングの費用に対して低金利で融資を受けられるよう、様々な地方政策を開始している。ベトナムでは、AWDは農家に高い利益をもたらす1M5Rのような作物管理を推奨した「パッケージ」に含まれることが多い。また、持続的な稲作プラットフォーム（SRP）の標準的な技術にもAWDが含まれており、メコンデルタの契約農業会社によって拡大されつつある。このような気候緩和策の成功を評価することが主要な課題となっている。

AWD による気候緩和策に関する研究も、普及に向けた取り組みを強化する上で重要である。IRRI やその国内パートナー以外にも、様々な国際的な開発機関や民間セクター（例えば国連開発計画¹¹ やバイエル¹² など）が、アジアやサブサハラアフリカで低炭素型の稲作を定着させる取り組みを通じて AWD の普及に務めている。AWD が認証排出削減（CER）クレジットを生み出す可能性も認められており、発展途上国や農家は、排出量のオフセットを望む買い手に販売することができる。これは、農家にとって新たな収入源となり、AWD 導入のインセンティブとなる。これは、AMS-III.AU と呼ばれる「稲作における調整水管理手法によるメタン排出削減量」を測定する方法論を開発するために行われた研究によって可能になったもので、UNFCCC によってクリーン開発メカニズム（CDM）の方法論として承認されている。しかし、間断かんがいにおける炭素クレジットプロジェクトの制度的取り決めや経済性については、さらなる研究が必要である。

さらに IRRI は、水田の水位のリアルタイム監視を自動化し、SMS やインターネットを通じて農家やかんがい管理者にかんがいに関する助言を提供する「AutoMon^{PH}」と呼ばれるインターネットへの接続（IoT）を活用した意思決定支援ツールを開発することで、AWD をさらに改善した（図 7）¹³。AutoMon^{PH} は AWD の導入を容易にし、かんがいシステムレベルで効率的かつ持続可能な水資源管理を可能にする。この技術はまだ初期段階にあり、ポンプ式から重力式まで、集団的な水管理が必要なさまざまなかんがいシステムで検証が行われている（Enriquez et al. 2021）。



図 7. AutoMon^{PH} の SMS メッセージと IoT センサー

¹¹ <https://www.undp.org/ghana/press-releases/ghana-authorizes-transfer-mitigation-outcomes-switzerland>

¹² <https://www.bayer.in/en/thisisbayer/sustainable-rice-project>

¹³

<https://www.irri.org/automonph#:~:text=AutoMonPH%20is%20an%20Internet,real%2Dtime%20monitoring%20and%20reporting>

3.3: 課題と教訓

農家への AWD の導入が拡大してきた 20 年間で、アジアにおける間断かんがいの現場や国ごとの課題や成功要因について多くの知見が得られている。AWD を拡大するための主要な課題に意図的に取り組み、その学びを最適化して移転することは、稲作生産システムの低炭素かつ強靱な方向への移行を加速させるために極めて重要である。

AWD の導入に立ちだかる課題は、農家が安価な塩ビ管を購入できるかどうかという程度の問題よりも遥かに大きい。それらは、経済的なインセンティブ、制度的な強制力、利用者による意図しないアクセスの排除の可能性、規模の不一致、かんがいインフラの水準などといった要因の組み合わせなのである (Enriquez et al. 2021)。AWD の普及にまつわる分野横断的な課題や教訓のうち、主なものを以下に示す。

- **インフラと強制力**

AWD の導入は、かんがい組合が流量や取水ルールを確実に管理し、不正な取水を防ぐために不正を行おうとする人々を排除できるインフラが整備されている場合に効果的であることが明らかになっている (Enriquez et al. 2021; Bouman et al. 2007)。フィリピンでは、AWD は重力式よりもポンプ式のかんがい集水域の方が比較的早く普及した。これは、農家がかんがい用水を確実に利用でき、使用する燃料代の支払いが必然的に発生するため、より効率的に汲み上げることによる経済的インセンティブが生じるためである (Palis et al. 2004)。ベトナムのアンザン省では、完全な堤防システムが整備されていることにより、AWD の導入は 52%に達した (Yamaguchi et al. 2019)。その一方で、大規模な重力式かんがいシステムにおける AWD の導入は困難であった。特に、かんがいインフラの質が低下しているフィリピンでは、このようなシステムの下で利用者を排除し、コンプライアンス・メカニズムを強制し、水使用量に応じた価格を設定することは非常に困難である (Enriquez et al. 2021)。

- **経済的インセンティブとリスク回避性**

AWD は知識集約型の技術革新であり、水田の水位を安全に管理できて収量に影響しないにもかかわらず、水田の水位が地表面下に下がり土壌にひび割れが生じると、農家は AWD を試す意欲を無くしてしまうこともある。これは、農家がリスク回避をまず優先し、湛水状態にしていればコメの収量が増え、地表面下に水位が下がれば収量が落ちるという考えを持っているためである (Palis et al. 2004)。このような農家の認識が障壁となり、AWD が農家に収量や所得の向上といった経済的インセンティブをもたらさないことも多い (Bouman et al. 2007)。フィリピンでは、ポンプを使ったかんがいが成功しているが、これは農家がかんがいに使用する燃料の代

金を支払っているためであり、AWD を使用することで農家はコスト削減の恩恵を受けることができる (Enriquez et al. 2021; Palis et al. 2004) 。

- **病害虫、土壌有機成分 (SOC) 、および雑草管理のトレードオフ**

AWD は、非水生雑草、いもち病、白葉枯病、根こぶ線虫の発生を抑制することができるものの、その一方で、関連する好気性作物の輪作間で病原菌が生き残り、移動することを助長する条件を提供する可能性があり、総合的病害虫管理に関するさらなる知識が必要となる場合がある (Allen & Sander 2019) 。湛水した土壌を好気性の土壌へと転換させることで SOC 量が減少し、炭素貯蔵機能も抑制される (同書) 。こうした問題は、具体的で的を絞った作物管理対策を通じて対処できるが、このトレードオフを回避するために、知識集約的な圃場管理の必要性が高まる可能性がある。

- **統合型水ガバナンス**

多くの開発途上国では、かんがいを含む水資源や水管理に係る機関は連携・調整されておらず、能力も低い。こうした機関は、上流や河川流域の生態系を管理する森林関連機関や水資源委員会から、農業などの他のセクターと水を奪い合う水道事業体までさまざまである。土地、水、森林生態系を管理する統合生態系アプローチの不備は、かんがいシステム、特に大規模なかんがいシステムの技術的・環境的制約につながる可能性がある。例えば、森林の劣化や乱伐は土壌の流出を増加させ、ダムや水路では過度の沈泥が生じ、大量のかんがい用水を供給するかんがい水路の能力を低下させる可能性がある (Clemente et al. 2020) 。執行能力の弱さは、不法な水へアクセスおよびアクセスゲートの施錠、不法な入植者とポンプによる揚水／ゴミの投棄、水路の不十分な維持管理を蔓延させる。農家は周囲の人々がこのような現状を有利に利用していたり、ガバナンスや管理に係る問題について何も改善されなかったりするのを見て、やる気を無くすかもしれない。このことは、AWD を導入しようとする農家間の協力を阻害する可能性があり、最終的には間断かんがいの集団的導入の妨げとなる (Enriquez et al. 2021) 。行動学的研究によれば、社会的規範と社会的不承認による強制メカニズムを強化することで、かんがいスキーム内での協力関係を改善できることが示されている (Tsusaka et al. 2013) 。

4: アジアにおける間断かんがいの規模拡大を促進するためのエントリーポイント

かんがいスキームの適切な設計、かんがいガバナンス（健全なかんがい用水の供給やかんがい施設の管理などを行う体制の構築や透明性・公平性のある管理組織の運営）、ならびに農家、普及員、かんがい当局、地方政府間の適切な調整は、便益をもたらすとともに AWD の大規模な導入を可能にする。また、炭素クレジットなどの追加的なインセンティブは、こうした大規模な導入を支援することができる。以下に、AWD やその他の間断かんがい技術の導入支援にあたり成功を収めた実績のある施策を紹介する¹⁴。

a. AWD 導入のための気候適合性分析のアジア全域への拡大と、導入を測定する方法の革新

AWD 導入のための地域全体の適合性を評価し、AWD の現在の導入率を定義することで、AWD による気候変動緩和の機会や AWD の導入拡大のためのベースラインと可能性が得られる。これは、間断かんがいの地域的状況を把握するための基礎となる重要なステップである。現在までのところ、この適合性分析の結果を公表しているのはフィリピンとタイのみである。第 3 章第 1 節で述べているとおり、現地でのデータ収集にかかる費用を含め、AWD の導入に関する研究の方法論と範囲に一貫性がないため、導入率を比較可能な形で頻繁に推定することは困難である。リモートセンシングを利用することで、AWD の導入状況をより安価に測定し、かつ国間で比較できるようになる可能性は大きい。これを Lovelle（2019）が最初に試みており、欧州宇宙機関の Sentinel-1a および 1b のレーダーデータを現場で取得した水分の読取値と照合している。この分野での進展は AWD を活用した炭素クレジット制度にも有利に働き、CER のモニタリング、報告、及び検証（MRV）にかかる取引費用を大幅に安くできる可能性がある。また、それにより、農家にとって炭素クレジットプロジェクトの収益性と実行性が向上する可能性がある。

b. 効果的な価格調整の採用

フィリピンで、NIA、IRRI、および PhilRice が AWD を大規模に導入した結果、農家が AWD を採用するインセンティブはかんがい方式によって異なることが分かった。重力式のかんがい方式や面積に応じたかんがい用水の定額制を採用している地域では、今のところ AWD の導入により得られる経済的利益がないことから導入が進んでいない。これらのシステムを使っている農家は、燃料式のかんがいポンプを使っている農家と比べると、AWD を導入して水田を完全に落水させるインセンティブが低い。これは、かんがいポンプ方式のシステムを使っている農家はかんがい用水の汲み上げに使用した燃料の量に応じて支払っているため、かんがい期間の短縮またはかんがい頻度の減少によってポンプ運転にかかる費用を節約できるためである。従量制の支払い方式は、公共財としての貢献度がやや高い

¹⁴ MD と MiDi は、農家の圃場での採用経験がほとんど、あるいはまったくないため、ここでは、AWD の採用経験に基づいて論じている。これらの端緒（エントリーポイント）は、一般的に他の間断かんがいにも適用できる。

ため、水消費量を削減するインセンティブとなる。ただし、電力に高い補助金が出されている場合は、汲み上げ量を減らすインセンティブが働かなくなる。また、民間のポンプ所有者は、支払い方法に関する交渉（面積に応じた定額制から実際の使用量に基づく変動制への変更など）に消極的な場合がある。

c. かんがいシステムの管理

定額制の場合、かんがい当局は AWD の手法に従って実需に合わせた水供給を行う上で重要な役割を果たす。例えば、フィリピン中部のボホール島では、2006 年にかんがい用水を各農家に 3 日間にわたり供給し、その後 10～12 日間はまったく供給しないという水配分が行われた。下流の水利用者が上流の利用者よりも先に水を供給してもらうことができるという、かんがい用水の送水先を上流・下流と交互に変えるローテーション方式を導入したのである。その結果、下流地域がより安定した水供給を受けられるようになり、AWD の実施面積が拡大した。作付面積が 40%増加し、最大 160%になった地域もあった。

d. 複数のステークホルダー間の協力関係の確保

Lampayan ら（2015）は、複数のステークホルダーが参加するグループを通じて AWD を推進することが重要であることを示唆した。これはフィリピンで特に有効であり、バングラデッシュでもある程度有効であった。ベトナムでは、国家政策の一環としての AWD に対する中央政府と地方政府の強力な支援が重要であった。AWD の推進やそのトレーニングを手助けする地方政府、民間セクター、非政府組織（NGO）などのパートナーとの連携も重要であり、同時に、トレーニングや支援メカニズムを促進するために組織化された農業者組合も重要である。

e. かんがいサービス対象地域内のさまざまな規模の考慮

- (i) 利害の調整。プログラムは、それぞれの利益団体の利害を考慮に入れる必要がある。特に下流の農家は上流の農家よりも AWD による恩恵をより多く享受できる可能性がある。利害の対立は課題であり、(a) 既得権益を持つグループに関連する会議に参加してもらい、自分たちのニーズを説明してもらい、(b) 地元の政治家と提携を結ぶ、(c) 貧困緩和プログラム（条件付き現金給付プログラムなど）との関連性を強調する、(d) 末端利用者が直面する課題に関する認識を広く一般に広める、などの方法で対処することができる。
- (ii) 「真の節水」の評価。この概念では、水管理を高い視座から捉える。上流の圃場で「失われた」かんがい用水は、下流の利用者に利益をもたらす可能性がある。逆に、効率性を高め、上流で「失われる」かんがい用水量を減らせば、下流の利用者に供給される水量が減ってしまう恐れがある。そのため、かんがいシステムの計画、改良、および管理

は、AWD の圃場レベルでの AWD の導入だけに留まらず、流域／かんがいサービスが提供されている対象地域におけるさまざまな規模を考慮する必要がある。

- (iii) 最終的な損失に対する補償。これは、大規模なかんがいスキームからかんがい用水を取水しているという、農家が管理できる範疇を超えている状況に関連する。そのため、AWD の導入を支援するためにはかんがい用水の供給者とその利用者の双方による関与が求められる。

f. トレーニング、「地元のチャンピオン」の導入、および共同所有権の確保

農家の認識やトレーニングの不足が、行動変容の障壁となる可能性がある。農家は、AWD を誤って実践することで収量の低下を招いてしまうことを心配しているかもしれない。AWD を普及させるためには、ステークホルダーは、適切なトレーニング、トレーニング教材、説得力のあるコミュニケーション戦略、実証圃場、および国内での確立されたパイロットサイトを提供する機会と課題の両方について十分な情報を得る必要がある。AWD の導入は、目に見える事例を示す「地元のチャンピオン」によって促進されることが多い。技術の導入には、農家だけでなくかんがいシステムの管理者や経営者の協力も必要である。例えば、気候と大気浄化の国際パートナーシップ（CCAC）による水稲プロジェクトは、複数の政府機関や NGO で構成されるバングラデッシュ・フォーカルエリア・フォーラムを立ち上げ、技術的なインプットを提供するとともに、AWD+の実践に関するトレーナーのトレーニングを実施してきた。このネットワークは CCAC の適合性マップで特定された地域で運営されており、ネットワークによるサービスは 5 万人の農家に届く可能性がある。また、デジタルの普及・情報サービスも同等に有用である。例えば、IRRI は携帯電話ベースのアプリケーション「Rice Crop Manager」を開発し、季節や場所に応じた施肥のための提言を提供している。効率的な施肥は、収量を増やし、かつ経費を節約しながら、N₂O 排出量を削減することができる。さらに、IRRI はオンライン版の GHG 計算ツール（[SECTOR](https://sector.irri.org/practices)）¹⁵ を開発し、炭素認定のための MRV に利用または適応することができる。

g. インフラの改修と新設

確実に効率的な用排水を可能にするかんがいシステムや排水路の改修や新設が必要である。圃場が平らであることにより均一な水管理を促進できるため、圃場の均平化も重要である。したがって、政府の支援によりレーザーレベラー（レーザーを用いた均平装置）を利用できるようになれば、水効率の向上と AWD の導入が可能になる。

h. AWD と収量を増加させる他の新技術との組み合わせ

AWD 導入のインセンティブを高めるために、収量を増加させ、環境への好影響を高めることができる他の持続可能な管理手法と組み合わせることが推奨される。AWD は作物管理の不可欠な一部と

¹⁵ <https://sector.irri.org/practices>

して推進されるべきであり、これには、土地の準備や病害虫管理の推奨も含まれる。良い例として、フィリピンで PhilRice が展開している「PalayCheck」、ベトナム南部の 1M5R パッケージ、同じくベトナムの SRP への標準化が挙げられる。

i. 資金調達メカニズムの導入

適切な技術移転、ロジスティクス（物流を高度化し需要と供給との適正化を図ること）、実施のための資金、および AWD を確実に導入するための能力開発・トレーニングのための資金が、地方政府、中央政府、民間セクター、および国際ドナーから必要とされている。NAMAs や CDM にとって代わる将来の市場メカニズムが、大規模な導入に向けた支援を提供できる可能性がある¹⁶。検証コストが高いため、炭素クレジットによって農家にインセンティブを与えることは論理的に難しいかもしれないが、炭素クレジットを大規模なかんがいシステムへの投資に利用することで、農家がこうした改善による恩恵を受けられるようになる可能性がある。国連気候変動枠組条約（UNFCCC）の締約国会議では（CDM に代わる）新たな炭素市場メカニズムが議論されており、新たなメカニズムが決定されれば、その導入に伴い、間断かんがいの導入がどのように変化するかを検証する必要がある。

¹⁶ CDM は UNFCCC において段階的に廃止することが合意されている。

5: 結論

間断かんがいは、アジアにおける気候変動の緩和策および適応策において、重要な歴史的背景をもち、かつ重要な役割を担っている。低炭素型のかんがい技術の実践は、食料安全保障や農家への裨益のためだけでなく、気候変動の影響を緩和するためにも極めて重要である。AWD のような間断かんがい技術は、現状では限られた範囲でしか実践されておらず課題が無いわけではないが、農家に目に見える利益をもたらし、プラスの影響を与えてきた。世界的な推進力、開発のための研究、および経済の融合がますます進み、間断かんがいをアジアにおける稲生産システムが低炭素化と気候変動などに対する強靱化に向かうための必要な、そしてポジティブな転換点とするための明確で実行可能な道筋が、これまで以上に整いつつあることは疑いの余地がない。このゴールに到達するためには、戦略的な技術革新、優れたガバナンス、そしてそれを可能にする政策環境の整備が必要である。

著者の貢献について

Yuji Enriquez, Valerien Pedé、渡辺守 が本レポート内容に関するアイデアを着想し、文献レビュー、データ編集を行いました。また、Yuji Enriquez、Valerien Pedé、Katherine Nelson、Bjoern Ole Sander、Bas Bouman、渡辺守 が原稿を執筆し推敲しました。

謝辞

本レポートは、農林水産省「みどりの食料システム基盤農業技術のアジアモンスーン地域応用促進事業」の下で、「グリーンアジア」プロジェクトとして実施された研究に基づくものです。著者は本レポートの執筆にあたり、とくに技術的資料、インプット、ガイダンスを提供いただいた以下の方々に謝意を表明します。

- JIRCAS の南川和則博士
南川博士には、原稿のレビューとコメントも提供いただきました。
- CGIAR 信託基金、特に CGIAR のアジア・メガデルタ・イニシアチブ

参考文献

- Allen, J. M., & Sander, B. O. (2019). The Diverse Benefits of Alternate Wetting and Drying (AWD). <https://hdl.handle.net/10568/101399> (accessed February 18, 2022).
- Bouman, B. A. M., Lampayan, R. M., & Tuong, T. P. (2007). *Water Management in Irrigated Rice: Coping with Water Scarcity*. Manila: International Rice Research Institute.
- Carrizo, D., Lundy, M., & Linquist, B. (2017). Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: a meta-analysis. *Field Crops Res.* 203, 173–180. doi: 10.1016/j.fcr.2016.12.002.
- CCAFS (2020). About Vietnam. <https://ccafs.cgiar.org/regions/southeast-asia/vietnam>.
- Chauhan, B.S., Jabran, K., & Mahajan, G. (2017). *Rice production worldwide*. Springer: Cham, Switzerland. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-47516-5>
- Clemente, R. S., Fajardo, A. L., Ballaran, V. G. J., & Ureta, J. L. (2020). “National irrigation systems,” in *Revitalizing Philippine Irrigation: A Systems and Governance Assessment for the 21st Century*, ed R. M. Briones (Makati: Philippine Institute for Development Studies). Available online at: https://pidswebs.pids.gov.ph/CDN/PUBLICATIONS/pidsbk2021-irrigation_book.pdf.
- Connor, M., Tuan, L.A., DeGuia, A.H. and Wehmeyer, H. (2021). Sustainable rice production in the Mekong River Delta: Factors influencing farmers’ adoption of the integrated technology package “One Must Do, Five Reductions”(1M5R). *Outlook on Agriculture*, 50(1), pp.90-104.
- CPI (2022). The Landscape of Methane Abatement Finance [Paul Rosane, Baysa Naran, Angela Ortega Pastor, Jake Connolly, Dharshan Wignarajah]. Climate Policy Initiative. <https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2022/07/Landscape-of-Methane-Abatement-Finance.pdf>
- Dawe, D. (2005). Increasing Water Productivity in Rice-Based Systems in Asia – Past Trends, Current Problems, and Future Prospects, *Plant Production Science*, 8:3, 221-230, DOI: 10.1626/ppls.8.221
- Enriquez, Y., Yadav, S., Evangelista, G.K., Villanueva, D., Burac, M.A. & Pedé, V. (2021) Disentangling Challenges to Scaling Alternate Wetting and Drying Technology for Rice Cultivation: Distilling Lessons From 20 Years of Experience in the Philippines. *Front. Sustain. Food Syst.* 5:675818. doi: 10.3389/fsufs.2021.675818
- Gou, J., Song, Z., Zhu, Y., Wei W., Li S., & Yu, Y. (2017). The characteristics of yield-scaled methane emission from paddy field in recent 35-year in China: a meta-analysis. *J Clean Prod.* 161:1044-1050. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.073>
- GRiSP (Global Rice Science Partnership). (2013). *Rice almanac*, 4th edition. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 283 p.
- IPCC (2019). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P.

- Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)).
<https://doi.org/10.1017/9781009157988.011>
- IPCC (2021): Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [MassonDelmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- IPCC (1996). Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch4ref5.pdf>
- IPCC (2019). Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 5: Cropland. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/corrigenda11.html>
- IRRI (2019). Some examples of climate-smart agriculture, practices, technologies and services. CGIAR CCAFS.
- IRRI (2020). Saving Water with Alternate Wetting Drying (AWD), Rice Knowledge Bank. Accessed 24 December 2020 from www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/water-management/saving-water-alternate-wetting-drying-awd
- Kurschner, E., Henschel, C., Hildebrandt, T., Julich, E., Leineweber, M., & Paul, C. (2010). *Water saving in rice production: Dissemination, adoption and short term impacts of alternate wetting and drying in Bangladesh*. Berlin, Germany: Humboldt University.
- Lampayan, R. M., Rejesus, R. M., Singleton, G. R., & Bouman, B. A. M. (2015). Adoption and economics of alternate wetting and drying water management for irrigated lowland rice. *Field Crops Res.* 170, 95–108. doi: 10.1016/j.fcr.2014.10.013
- Li, Y., & Barker, R. Increasing water productivity for paddy irrigation in China. *Paddy Water Environ.* 2, 187–193 (2004). <https://doi.org/10.1007/s10333-004-0064-1>
- Lovell, R.J. (2019). Identifying Alternative Wetting and Drying (AWD) Adoption in the Vietnamese Mekong River Delta: A Change Detection Approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(7), 312. <https://www.mdpi.com/2220-9964/8/7/312/pdf>
- Minamikawa, K., Yamaguchi, T., & Tokida, T. (2019). Dissemination of water management in Rice Paddies in Asia. In Y. Shirato & A. Hasebe (Eds.) *Climate Smart Agriculture for the Small-Scale Farmers in the Asian and Pacific Region* (pp. 19-36). https://www.naro.go.jp/english/laboratory/niaes/files/fftc-marco_book2019_019.pdf
- Palanisami, K., Kakumanu, K.R., Nagothu, U.S., & Ranganathan, C. (2020). Climate Change and Future Rice Production in India: A Cross Country Study of K Palanisami, Krishna Reddy Kakumanu, Udaya Sekhar Nagothu, C. R. Ranganathan.
- Palis, F. G., Bouman, B. A. M., Hossain, M., Lampayan, R. M., Lactaen, A., Norte, T., et al. (2004). Farmer adoption of controlled irrigation in rice: a case study in Canarem, Victoria, Tarlac. *Philipp. J. Crop Sci.* 29, 3–12. (accessed March 15, 2019).
- Prangbang, P., Yagi, K., Aunario, J.K.S., Sander, B.O., Wassmann, R., Jäkel, T., Buddaboon, C., Chidthaisong, A & Towprayoon, S. (2020). Climate-Based Suitability Assessment for Methane Mitigation by Water Saving Technology in Paddy Fields of the Central Plain of Thailand. *Front. Sustain. Food Syst.* 4:575823. doi: 10.3389/fsufs.2020.575823
- Rejesus, R. M., Martin, A. M., & Gypmantasiri, P. (2014). Enhancing the impact of natural resource management research: lessons from a meta-impact assessment of the Irrigated Rice Research Consortium. *Global Food Secur.* 3, 41–48. doi: 10.1016/j.gfs.2013.11.001
- Rejesus, R.M., Martin, A.M., & Gypmantasiri, P. (2013). Meta-impact assessment of the Irrigated Rice Research Consortium. Special IRRI Report. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 174 p http://books.irri.org/9789712202971_content.pdf
- Richards, M., & Sander, B.O. (2014). Info Note: Alternate wetting and drying in irrigated rice: Implementation guidance for policy makers and investors. CGIAR CCAFS: http://www.agritech.tnau.ac.in/agriculture/pdf/csa_pdf/Alternate_wetting_and_drying_in_irrigated_rice_InfoNote.pdf
- Sander, B. O., Wassmann, R., Palao, L. K., & Nelson, A. (2017). Climate-based suitability assessment for alternate wetting and drying water management in the Philippines: a novel approach for mapping methane mitigation potential in rice production. *Carbon Manage.* 8, 331–342. doi: 10.1080/17583004.2017.1362945
- Sander, B.O., Schneider, P., Romasanta, R., Samoy-Pascual, K., Sibayan, E.B., Asis, C.A., & Wassmann, R. (2020). Potential of Alternate Wetting and Drying Irrigation Practices for the Mitigation of GHG Emissions from Rice Fields: Two Cases in Central Luzon (Philippines). *Agriculture* 10, no. 8: 350. <https://doi.org/10.3390/agriculture10080350>
- Thai Rice NAMA (Nationally (2022). Thai Rice NAMA Fact Sheet. <https://www.asean-agrifood.org/factsheet-thai-rice-nama/>

- Tsusaka, T. W., Kajisa, K., Pede, V.O. & Aoyagi, K. (2013). Neighbourhood effects and social behaviour: the case of irrigated and rainfed farmeres in Bohol, the Philippines. MPRA Paper No. 50162. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/50162/>
- UNFCCC (2017). Climate Action Investment Needs to Move Faster to Farming. <https://unfccc.int/news/climate-action-investment-needs-to-move-faster-to-farming>
- UNFCCC (2019). Technology Needs Assessment - Fom needs to implementation: Stories from the Technology Needs Assessment. <http://unfccc.int/ttclear/tna/outcomes.html>
- UNFCCC (2021). Clean Development Mechanism: AMS-III.AU.: Methane emission reduction by adjusted water management practice in rice cultivation. <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/D14KAKRJEW4OTHEA4YJICOHM26M6BM>
- Uno, K., Ishido, K., Xuan, L.N., Huu, C.N., & Minamikawa, K. (2021). Multiple drainage can deliver higher rice yield and lower methande emission in paddy fields in An Giang Province, Vietnam.
- Upreti, D.C., Dhar, S., Hongmin, D., Kimball, B.A., Garg, A., & Upadhyay, J. (2012). Technologies for climate change mitigation: Agriculture sector. UNEP Risø Centre on Energy, Climate and Sustainable Development Department of Management Engineering Technical University of Denmark (DTU). <https://tech-action.unepccc.org/wp-content/uploads/sites/2/2019/04/tna-technologies-for-climate-change-mitigation-agriculture-for-upload.pdf>
- Yamaguchi, T., Tuan, L. M., Minamikawa, K., & Yokoyama, S. (2019). Assessment of the relationship between adoption of a knowledge-intensive water-saving technique and irrigation conditions in the Mekong Delta of Vietnam. *Agric. Water Manage.* 212, 162–171. doi: 10.1016/j.agwat.2018.08.041
- Yang, J. & Zhang, J. (2010). Crop management techniques to enhance harvest index in rice. *J Exp Bot.* 61:3177–3189



国立研究開発法人
国際農林水産業研究センター

〒305-8686 茨城県つくば市大わし1-1
Tel. 029-838-6313 Fax. 029-838-6316

<https://www.jircas.go.jp/ja/greenasia/report>

