

令和 5 年度人工衛星情報を活用した
国際的な水稻作柄把握及び分析手法検討委託事業

報告書

承認	点検	作成担当
古田	樋口	小田川

令和 6 年 3 月

一般財団法人リモート・センシング技術センター

目 次

1	事業の目的	1
2	作業計画	1
3	人工衛星から得られる情報を用いた水稻の作柄把握手法の検討	3
3. 1	年間計画の作成	3
3. 2	検討委員会の設置	3
3. 3	先行事例の調査	5
3. 4	人工衛星から得られる情報等を用いた水稻の作柄等の把握手法検討	6
3. 5	水稻作柄把握手法実用に向けた提言の取りまとめ	33
3. 6	我が国食料安全保障施策への情報提供に関する提言の取りまとめ	34
3. 7	関係資料一式	35
4	打合せ会議の開催及び出席	36
5	事業成果報告会の開催	37

1. 事業の目的

日本が主食とするコメは今やアジアだけでなく、食味の良さや調理性の容易さ、健康志向等から欧米やアフリカ諸国でも需要が増加しているが、その生産量のおよそ9割はアジア地域で生産されている。コメの生産量は他の作物と同様に気象要因に大きく左右され、これまでも干ばつや洪水等の自然災害の発生を契機としたコメ市場価格の急激な高騰に伴い、コメを主食とするアジアや需要量の多くを輸入に頼るアフリカの途上国では食料不安を経験しているところである。また、日本においても1993年の記録的な冷夏の影響で収穫量が平年を大きく下回った結果、いわゆる平成の米騒動が発生し、タイ国からコメの緊急輸入措置を取ったこともある。今後、さらに途上国の経済発展や人口増による需要増の進展するなか、気候変動、農地の減少、水不足等による供給減が発生すれば、コメの国際的な需要はひっ迫することが懸念される。

このため、本事業では、コメを主食とする国々の食料安全保障のリスク低減のため、我が国と密接な関係にあり世界のコメの主産地であるアセアン地域において、近年、飛躍的に技術革新が進む人工衛星情報を活用し、水稻の定量的な作柄把握を高い信頼性で継続的に実施可能とする手法の検討を目的とする。

2. 作業計画

作業の実施に当たっては、契約締結後10日（行政機関の休日を含まない。）以内に、実施スケジュールと実施体制表について記載した作業計画書を提出し、農林水産省統計部統計企画管理官（以下「担当部署」という。）の承認を得た。実施スケジュールを図2.1に、実施体制を表2.1に示す。実施体制表には、本事業の実施を統括する業務責任者および業務担当者を明記した。

業務責任者は、業務担当者を統括し、業務の適切な実施を管理するとともに、受注者との連絡・調整を行った。

業務担当者は、業務の進行に必要な各業務を担当した。

業務内容	令和5年							令和6年		
	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1. 作業計画	■									
2. 水稻作柄把握手法検討										
2. 1 年間計画の作成	■									
2. 2 検討委員会の設置		■		9/19●		11/21●		1/31●		●3/5
2. 3 先行事例の調査		■	■	■						
2. 4 水稻作柄等把握手法検討			■	■	■	■	■	■	■	
現地調査							■12/5~9			
2. 5 実用化提言取りまとめ							■	■	■	
2. 6 食料安全保障施策提言取りまとめ							■	■	■	
2. 7 成果品提出										●3/8
3. 打合せ会議の開催及び出席	6/27●	7/31●	8/24●		●10/5	●11/6		1/18●	2/28●	
4. 事業成果報告会										●

契約日：令和5年6月22日

納期：令和6年3月8日

図 2.1 実施スケジュール

表 2.1 実施体制

	氏名	所属	役職	担当業務
管理責任者	坂口 英志	ソリューション事業 第 2 部	部長	管理
業務責任者	奥村 俊夫	ソリューション事業 第 2 部調査普及課	参事	業務統括
業務担当者	小田川 信哉	研究開発部 環境解析課	主任研究員	水稻作柄把握手法 開発・調査等
	山本 純平	研究開発部 環境解析課	研究員	水稻作柄把握手法 開発・調査等
	吉田 大智	研究開発部 環境解析課	研究員	水稻作柄把握手法 開発・調査等
	源 知之	研究開発部 環境解析課	職員	水稻作柄把握手法 開発・調査等
	山之口 勤	研究開発部 環境解析課	主幹研究員	水稻作柄把握手法 開発・調査等
	齊藤 葉子	ソリューション事業 第 2 部調査普及課	参事	検討会運営等
	高橋 典之	ソリューション事業 第 2 部調査普及課	主査	検討会運営等
	市橋 優花子	ソリューション事業 第 2 部調査普及課	主事	検討会運営等

3. 人工衛星から得られる情報を用いた水稻の作柄把握手法の検討

3. 1 年間計画の作成

人工衛星情報を活用した国際的な水稻作柄把握及び分析手法検討に係る年間計画を図 2.1 の通り作成した。

3. 2 検討委員会の設置

本事業を計画的かつ効果的に実施するため、学識経験者から構成される検討委員会（以下「委員会」という。）を設置し、必要な指導・助言及び成果の評価を得た。

学識経験者は、人工衛星からの気象や画像情報による作柄把握及びコメの主産地域であるアジア地域の水稻作に知見を有する筑波市の国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構の研究者 3 名を選定した。検討委員の一覧を表 3.2.1 に示す。

委員会の開催は、第 1 回が契約締結後 2 月以内、その後令和 6 年 2 月を目安に合計 4 回開催とした。開催場所は、原則農林水産省内会議室とした。なお、委員の都合により対面での委員会の開催が困難な場合は、リモート会議での代替、併用等による開催とした。委員会終了後は、2 日以内（行政機関の休日を除く）に議事概要を作成し、各委員へ提出し承認を受けた。検討会は、農林水産省内会議室で 4 回開催し、開催時期、内容等については担当部署と相談の上、決定した。開催した検討会の一覧を表 3.2.2 に示す。

委員会で示された助言等については、事業の実施に反映した。

表 3.2.1 検討委員一覧

役職	氏名	所属	役職	専門分野
委員長	長谷川利拡	（国研）農研機構 農業環境研究部門	グループ長	■水稻の作柄予測 ■世界の作物生産と収量予測など
委 員	石塚 直樹	（国研）農研機構 農業環境研究部門	上級研究員	■衛星情報を用いた農業情報抽出 手法の開発 ■水稻の作柄予測 など
委 員	櫻井 玄	（国研）農研機構 農業環境研究部門	研究員	■全球作物収量予測モデルの開発 ■観測データ同化 など

表 3.2.2 検討会一覧

回	開催日時	内容
1	2023 年 9 月 19 日	■ 事業概要の説明 ■ 先行事例の調査結果の報告 ■ 水稻作柄把握手法の検討 ■ JASMAI の初期解析結果の報告 ■ 対象国、パイロット地域の検討
2	2023 年 11 月 21 日	■ 現地調査内容の検討
3	2024 年 1 月 31 日	■ 現地調査結果の報告 ■ プロトタイプ、予測値の検討
4	2024 年 3 月 5 日	■ 水稻作柄把握手法実用化に向けた検討 ■ 食料安全保障施策への情報提供に関する検討

3. 3 先行事例の調査

委員会の学職経験者や有識者の協力を得て、国内外の研究機関や国際機関による人工衛星情報を活用した作物の作柄把握の先行事例を調査し、委員会に報告した。調査対象雑誌は以下の通りである。

- 写真測量とリモートセンシング(日本写真測量学会)
- 日本リモートセンシング学会誌(日本リモートセンシング学会)
- システム農学(システム農学会)
- Remote Sensing (MDPI)
- Remote Sensing of Environment (ScienceDirect)
- International Journal of Remote Sensing (Taylor & Francis Group)

調査の結果、人工衛星情報を活用し、収量や、草丈やバイオマス等、収量と関係する可能性がある水稻の物理量を求める研究があった。用いられている人工衛星情報は、静止気象衛星、中分解能光学衛星、高分解能衛星、SAR であり、解析手法は、プロセスモデル、線形モデル、非線形モデル、機械学習や AI、準ニュートン法等であった。最近の傾向として非線形モデルが多く、次にプロセスモデル、線形モデルの順であった。ただし、用いられている解析手法と衛星との間に明確な関係は認められなかった。

先行事例から水稻作柄把握手法として、現地情報と人工衛星情報を組み合わせた線形モデル、非線形モデル、既存のプロセスモデルの適用が想定される。既存のプロセスモデルとして作柄把握手法のために適用できる可能性があるものとして、ORYZA v3 が考えられる。ORYZA v3 はフィリピンの国際稲研究所 (International Rice Research Institute, IRRI) とオランダの Wageningen 大学により、開発された水稻生育モデルである。このプロセスモデルは、IRRI の Web ページから無償でダウンロードすることが可能である。モデルに入力する気象データは日単位であり、放射照度、最低気温、最高気温、水蒸気圧、平均風速、降水量の 6 つの物理量が必要である。ORYZA v3 は、一般的に圃場レベルのスケールに対して適用するモデルであるため、アセアン諸国に対する広域なスケールへの適用性評価と適用すべき衛星データの検討が必要となる。また、入力する作物データとして栽培方法、生育環境、品種特有の成長パラメータ等、様々あるので地域特性に合わせた最適なパラメータを検討する必要がある。先行事例の調査結果は委員会で報告を行った。

3. 4 人工衛星から得られる情報等を用いた水稻作柄把握手法検討

(1) 対象国・解析対象

本事業の対象国は、検討委員会の助言および担当部署との協議の結果、タイ王国（以下、「タイ」もしくは「タイ国」という。）とし、解析対象はタイ全県とした。また、タイにおける統計値作成の状況を把握するため、タイの首都バンコクの北に位置する Chai Nat 県において現地調査を実施した。

タイの面積は約 51 万平方キロメートル（日本の約 1.3 倍）、全 77 県からなり、大きく北部（17 県）、東北部（20 県）、中部（26 県）、南部（14 県）に分けることができる（図 3.4.1 参照）。

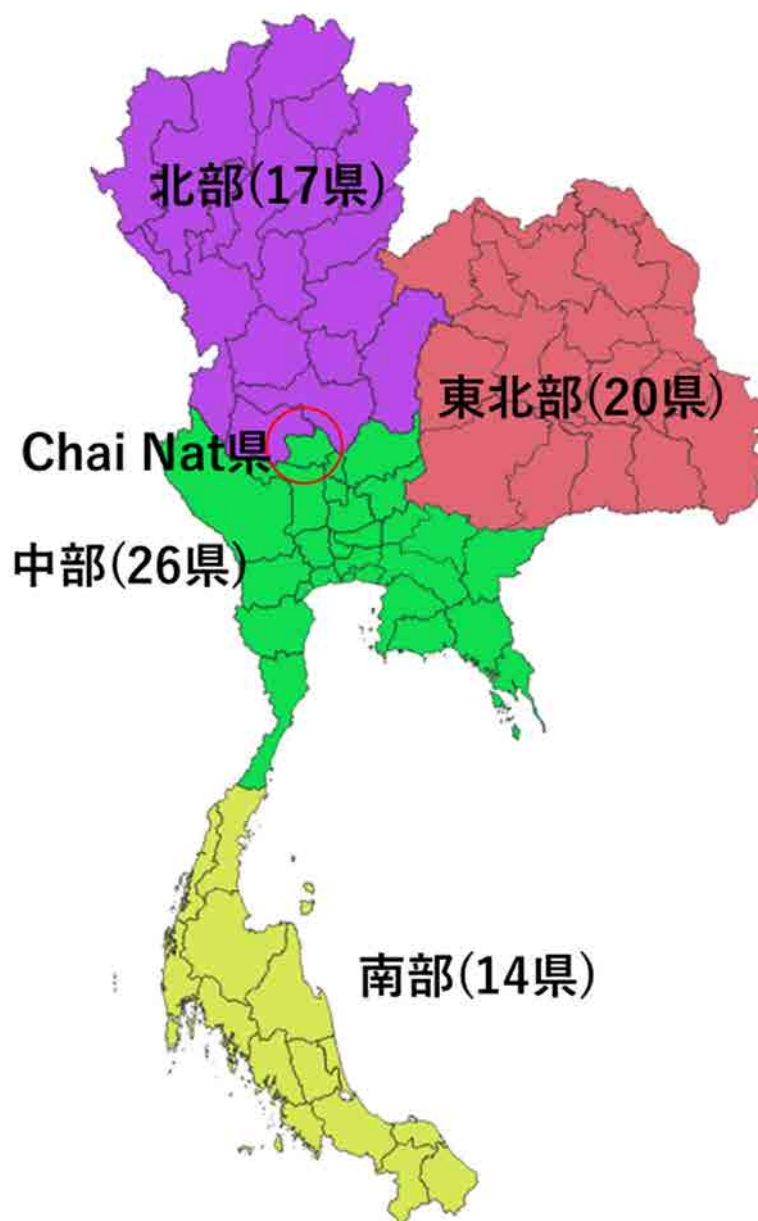


図 3.4.1 タイの県境および地方区分

(2) 人工衛星からの情報としての気象情報

水稻の作柄把握にあたっては気象情報が重要であり、本事業では人工衛星からの気象情報として、農林水産省政策課食料安全保障室で運用している農業気象衛星モニタリングシステム (JASMAI) のデータを利用することが前提とされていた。JASMAI の気象データは、2003 年 1 月から現在まで利用可能であり、東南アジア地域において、各種データは県毎に提供されている。本事業においては、2003 年から 2022 年までの県別データを収集した。

JASMAI データの内、水稻収量と直接関係すると考えられるデータは、地表面温度 (LST)、雨量 (PRC)、日射量 (SWR) および植生指数 (NDVI) であると想定したが、参考として土壤水分 (SMC) も収集した。各データは半月ごと (1 日~15 日および 16 日~月末) に整理されており、地表面温度は半月の積算値、それ以外は半月の平均値からなる。各データは半月ごとに、日付 (半月ごと)、物理量、平年値、有効データ数、データ欠損画素割合が記載されている。JASMAI の地表面温度、日射量および植生指数は、2022 年 8 月以前は MODIS データを、2022 年 9 月以降は GCOM-C/SGLI (欠測した場合は MODIS) データを使用して求められている。JASMAI の雨量は、GSMaP を使用している。JASMAI の経年変化の例を図 3.4.2 に示す。

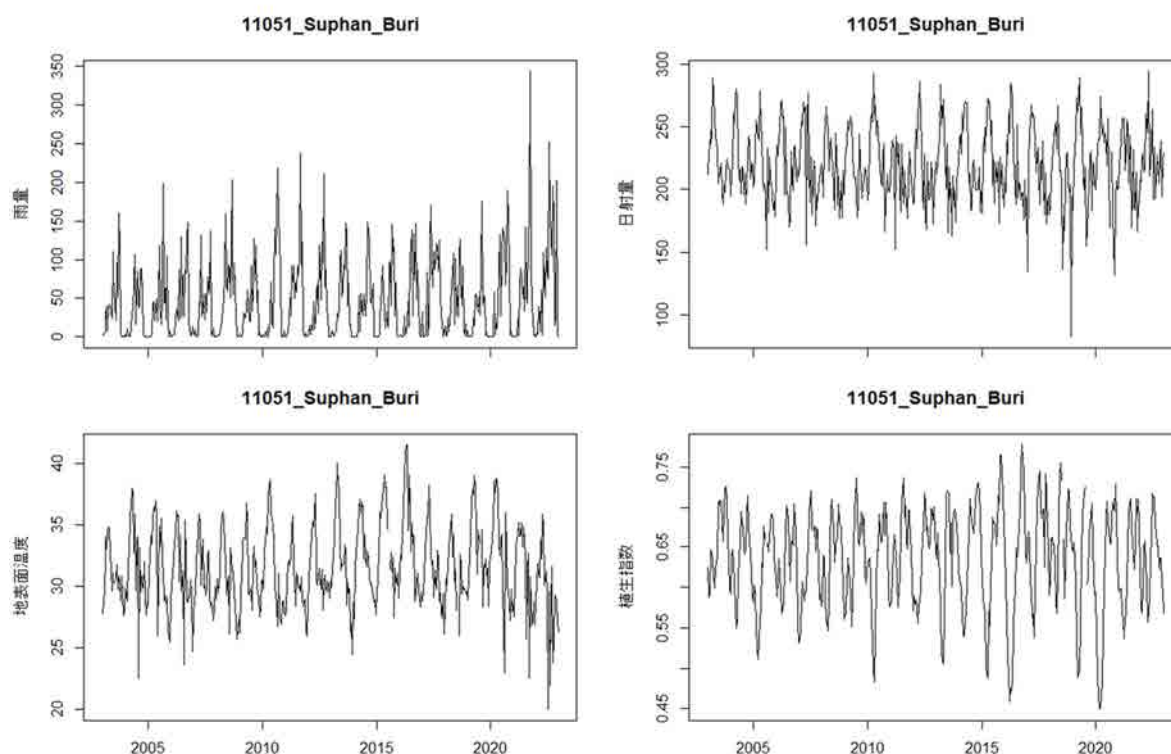


図 3.4.2 JASMAI データの例 (Suphan Buri 県)

(3) 現地データ

水稻収量に関するデータは、担当部署がタイ農業協同組合省農業経済局（以下、「OAE」という。）から貸与された、県別公表値と坪刈調査データを使用した。

a. 県別公表値

県別公表値は、農家リストから調査対象農家を抽出し、聞き取りの方法で把握された標本調査の結果であり、県を代表する値である。データセットは、調査年、県別コード、県名、作付面積（rai）¹、収穫面積（rai）、収穫量（トン）、作付面積 1rai 当たり収量（kg/rai、以下、単収（作付面積基準）とする。）、および収穫面積 1rai 当たり収量（kg/rai、以下、単収（収穫面積基準）とする。）から構成される。各データは、県毎に年 1 個のデータからなる。単収（作付面積基準）と単収（収穫面積基準）は、収穫量をそれぞれ作付面積および収穫面積で除した値である。各データの例を図 3.4.3 に示す。なお、貸与されたデータには 1980 年代からのデータが含まれていたが、JASMAI との整合性を鑑み、本事業では 2003 年以降のデータを使用した。

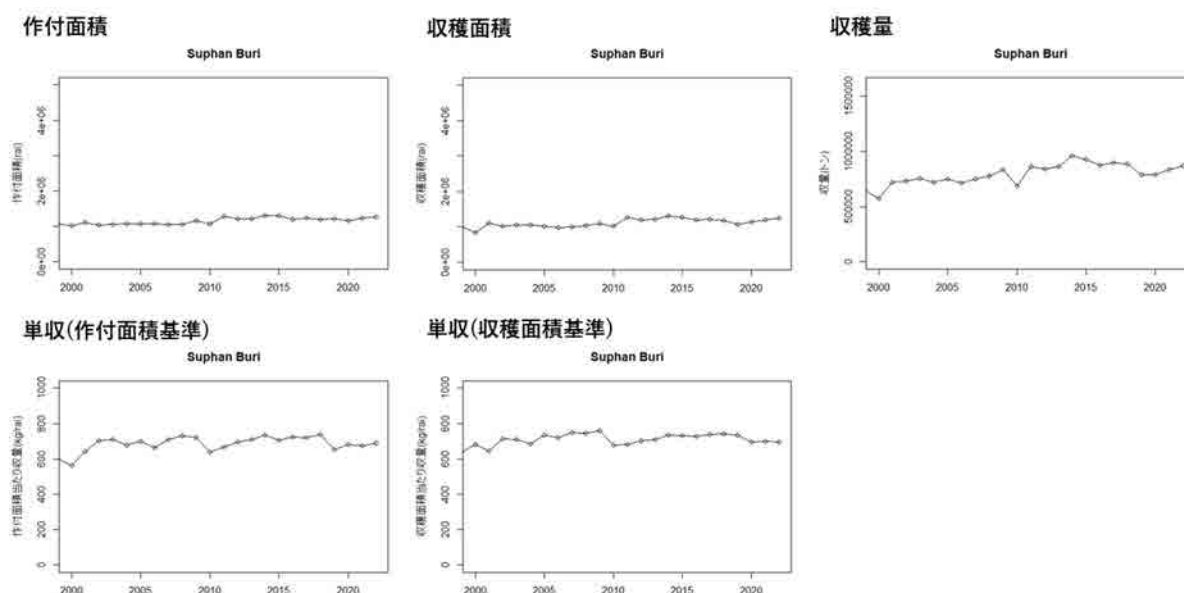


図 3.4.3 県別単収の経年変化の例（Suphan Buri 県、雨期）

¹ rai はタイの面積の単位。1 rai = 0.16 ヘクタール。

タイでは水稻の作付後、何らかの理由で収穫が見込めない場合、作付面積と収穫面積に差異が生じる。例えば洪水による減収が生じた場合、作付面積 1rai 当たり収量では減収が表れるが、収穫面積 1rai 当たり収量では減収が現れないことがある。事例として、2011 年に主にタイ中部に被害をもたらした洪水による減収の影響があった Pathum Thani 県の状況を図 3.4.4 に示す。

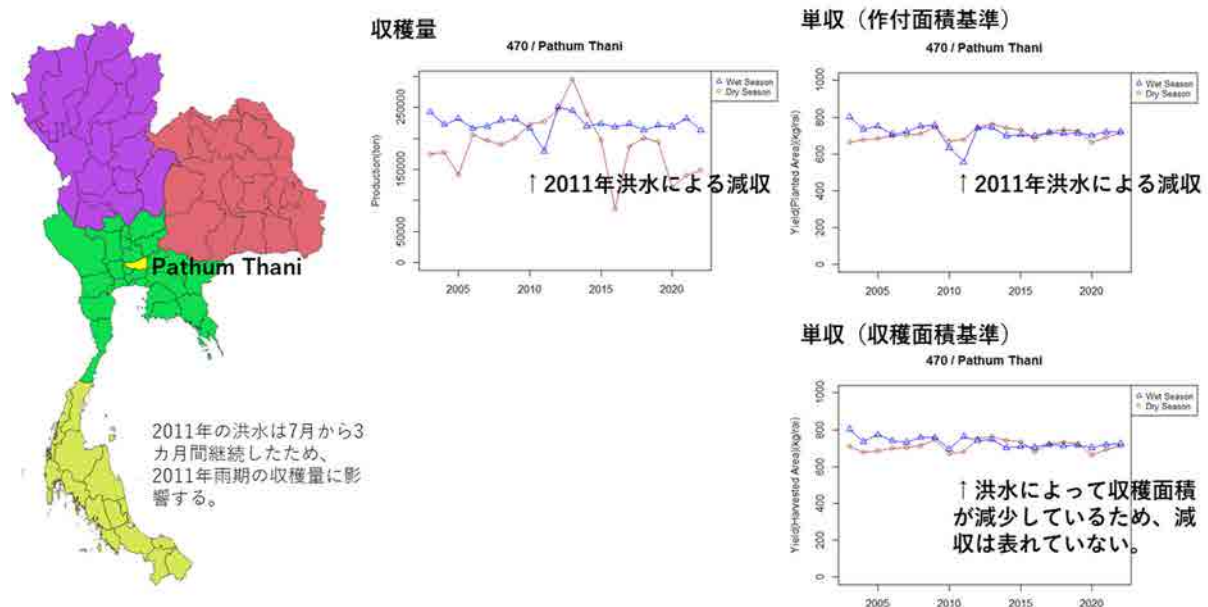


図 3.4.4 減収等に対する単収（作付面積基準）と単収（収穫面積基準）の違いの例

b. 坪刈調査データ

坪刈調査データは、OAE の現地調査員が実際に圃場に赴いて坪刈調査した結果である。坪刈りは、選定された圃場において、1 m²の 2 か所刈りで実施される。OAE の坪刈調査の野帳を、添付資料 1 に示す。

データセットは、調査年、作期（雨期・乾期）、緯度、経度、県名、郡名、水稻種類、作付月、収穫月、田植方法、作付面積、坪刈地点 1 の 1 rai 当たり収量（以下、「坪刈単収」という。）、坪刈地点 2 の坪刈単収、平均単収、調整済み単収の 15 項目から構成される。

作期については、雨期の作付期は 5～8 月、収穫月は主に 11～1 月であり、乾期の作付期は 11～1 月、収穫期は 3～5 月であった。

緯度・経度は、OAE では圃場ごとの位置情報を保有しているものの、個人情報保護の観点から提供が認められなかったため、貸与された緯度・経度は、坪刈圃場の位置ではなく坪刈圃場が属する郡の代表地点である。

水稻の種類は、もち米 (Sticky rice)、うるち米 (Non sticky rice) および不明 (No information) からなる。

田植方法は、湿田直播 (Wet Broadcasting)、乾田直播 (Dry Broadcasting)、移植 (Transplanting)、湿田ドラム式直播 (Wet Drum Seeding)、その他 (Other) 及び不明 (No Information) からなる。

作付面積は、坪刈調査圃場の畦畔含み面積である。

調整済み単収は、実単収となるよう平均単収を調整した値である。これは、次項（4）で明らかにしたとおり、収穫ロス率、水分含量調整（15 %）及び畦畔含み面積換算率²をかけた単収である。本事業では、この調整済み単収を坪刈データの解析対象とした。

貸与された坪刈調査データにおける調査実施年は 2008～2022 年であるが、2014 年と 2019 年は実施されていない。そのため、解析対象年は 12 年分となる。調査期間中に坪刈調査の対象となった県は全 77 県中 62 県であるが、年ごとに坪刈りの実施県は異なるため、各県における坪刈調査の実施件数は不均一である。坪刈調査の対象圃場は雨期の方が多く、乾期に調査されなくても雨期には実施される場合がある。坪刈調査は、同じ県内においても年ごとに異なった郡で実施されることが多い。図 3.4.5 に各年における坪刈圃場の位置を郡の代表点として示す。また、坪刈調査データには郡名が記載されているので、郡単位でまとめることができる。図 3.4.6 に郡ごとの坪刈データの時系列変化の事例を示す。

これらから、坪刈調査の対象圃場は統計調査的にランダムに配分されておらず、郡内においてもばらつきが大きく、郡間の時系列変化についても関係性が認められないことが読み取れる。

² 坪刈調査によって得られる単収は本地基準であるが、タイの作物統計における作付面積及び収穫面積は畦畔含みの面積であるため、公表値と比較する際には畦畔含み基準に換算する必要がある。

Khon Kaen(雨期)

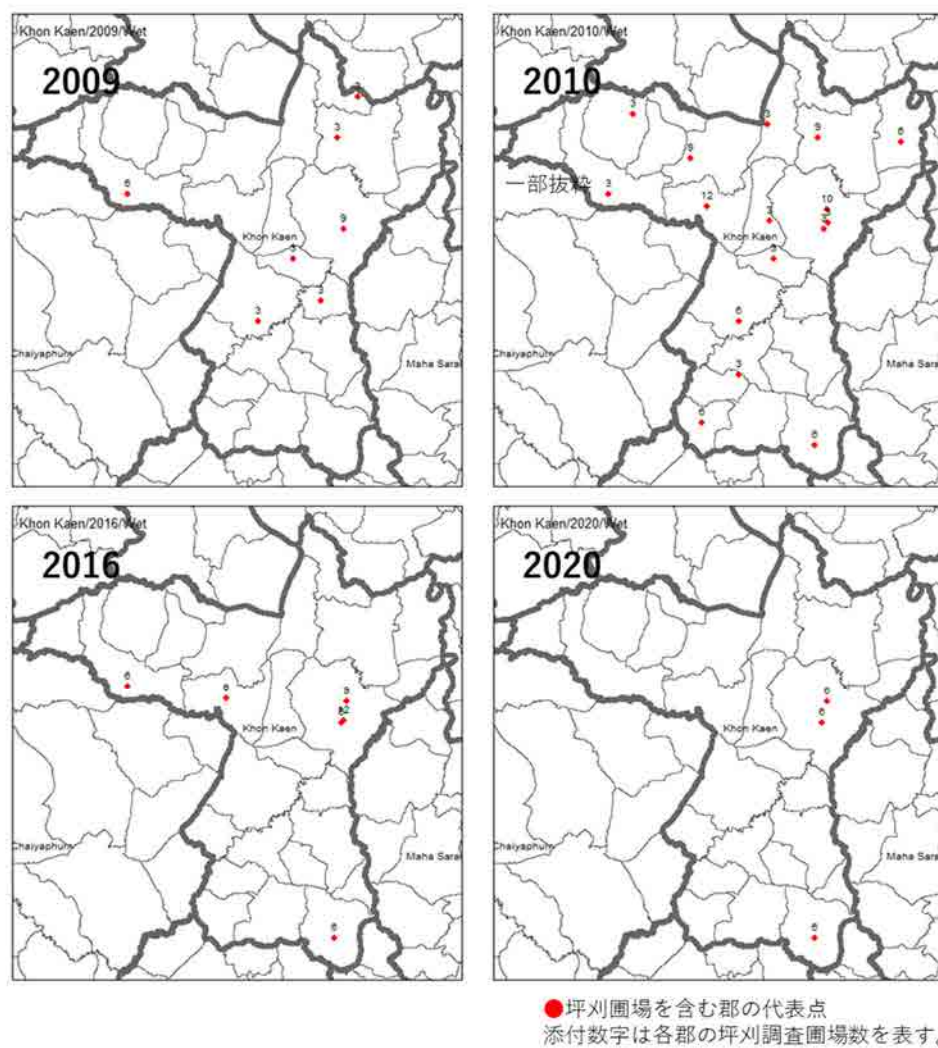


図 3.4.5 毎年異なる坪刈圃場の位置（郡）の例（Khon Kaen 県）

Khon Kaen(Wet)

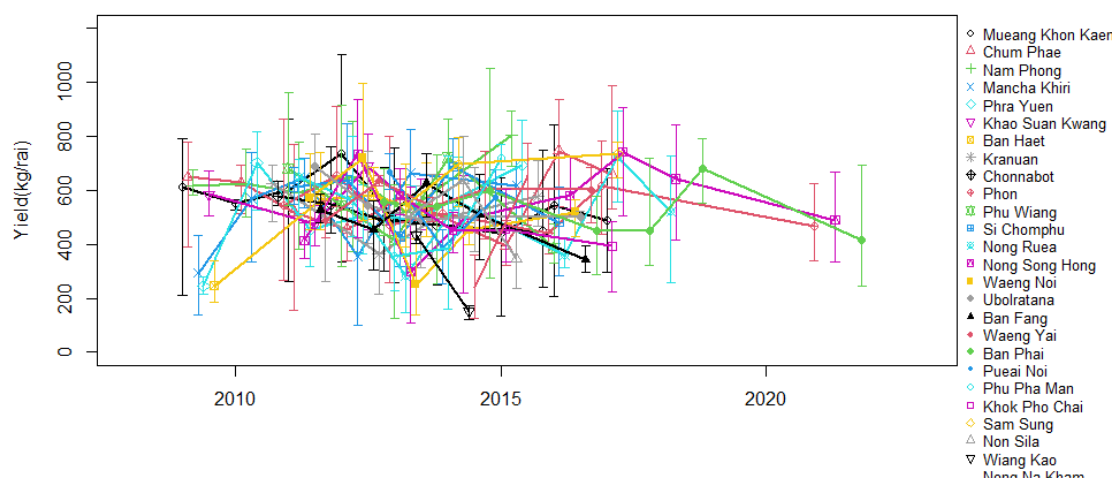


図 3.4.6 郡ごとの坪刈単収の経年変化（Khon Kaen 県、雨期作）

c. 県別単収（公表値）と坪刈単収の関係性

OAE によれば、県別単収（公表値）は農家からの聞き取り調査に基づき推計されており、実測調査によって得られた坪刈単収は、公表値作成のための参考値と位置付けられているとのことである。坪刈調査は、前項（3）b のとおり統計調査的には適切な標本配分がなされていないため、県を代表するデータとみなすことはできない。ただ、両者を時系列に並べた事例（図 3.4.7 参照）からは、差異の大きい県（例：Lampang 県）がある一方で、県別単収と坪刈単収（県内のすべてのデータの平均値）が近似している県（例：Suphan Buri 県）もあることが見てとれる。

このため、本事業の目的として、多様な予測手法を検討することが望ましいことや、坪刈単収を活用可能な県があると想定されることから、目的変数とする単収は、県別単収、坪刈単収（県集計値）及び坪刈単収（圃場ごと）の 3 通りを考察することとした。

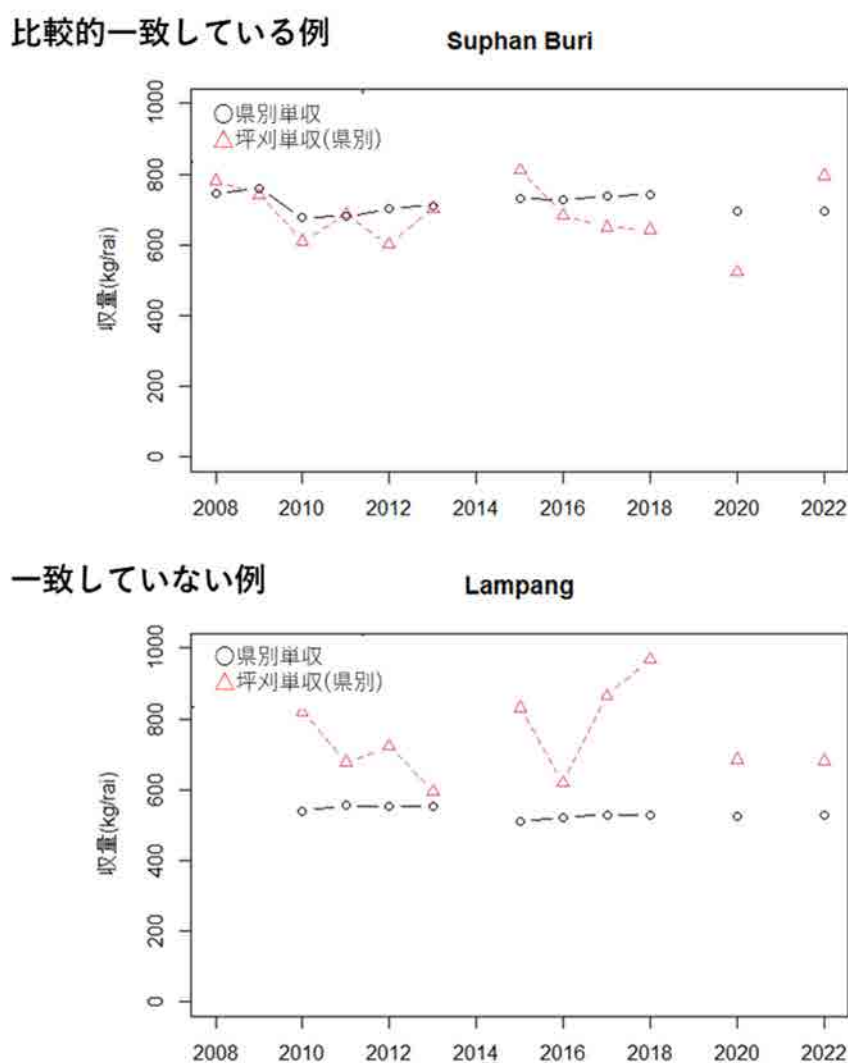


図 3.4.7 県別単収と坪刈単収（県別）の比較の例（Suphan Buri 県と Lampang 県、雨期作）

(4) 現地調査

現地の様子を詳細に把握したうえで水稻作柄推定プロトタイプモデルを構築するため、12月5～9日（移動日含む）に現地調査を実施した。この現地調査により、前項(3)bに記載したOAEからの入手データの内容を確認することができた。

12月6日は、OAE会議室において、農林水産省担当者（web参加）、OAE、AFSIS事務局及び当財団が参加した共同研究会議を開催した。農林水産省担当者から本事業の概要の紹介後、当財団から本事業の技術的な検討方針の説明、本年度事業の実施現状と今後の予定を説明し、OAEから県別公表値の作成方法と坪刈調査の手法を聴取し、質疑応答を行った。

12月7日は、雨期作の天水田、乾期作の灌漑水田における坪刈調査の実態を把握するため Chai Nat 県で現地視察を実施した。OAE 現地調査員に実際に坪刈りの実演を実施してもらい、坪刈データの取得方法を確認した。現地の様子を図 3.4.8 に示す。また、現地にある ALC（Development of Agricultural Learning Center）にも聞き取り調査を実施し、ALC から持続可能で環境に配慮した農業の取り組みについて説明してもらい、当財団からは本プロジェクトの実施概要と今後の展望について説明した。



図 3.4.8 坪刈調査の実演の様子

12月8日には再び OAE、AFSIS 事務局および当財団による総括および質疑応答を行った。

以上の現地調査を通じて、タイにおける水稻の県別単収の把握方法について、以下の事項を確認した。

タイの作物統計調査は、全国の農家を母集団とするリストフレームから、県を設計単位とし、村、農家を抽出する確率比例抽出法による聞き取り調査の結果を主に利用している。本調査は、まず、タイ全国の農地の生産性を総合的に評価し、圃場ごとに3クラス（S1、S2、S3）に分類したうえで、村の中の圃場で最も多いクラスを村のクラスと定義する。各県における村の選択は、S1～S3 ごとの圃場面積ウェイトで確率比例抽出する。村の抽出後に行われる農家の選択は、村にある農家を一定数単純無作為抽出によって選択する。このリストフレーム調査では、雨期作で約1,200～1,300 村、乾期作では約 800 村が抽出される。各村では最大 6 農家が抽出される。OAE の現地調査員は抽出された農家に対し聞き取りの手法で調査を実施する。

一方、坪刈調査は、1995 年から実施された JICA プロジェクトにより導入された手法を踏襲し、聞き取り調査とは別系統の調査として、確率比例抽出法により村から農家を抽出し、調査圃場を単純無作為抽出するとの説明を OAE から受けた。しかしながら、現在は調査の実施効率を重視した有意的な調査対象圃場の選定がなされていると考えられる（前項（3）c 参照）。

坪刈調査の対象作物は、コメを含む 5 品目（コメ、トウモロコシ、キャッサバ、大豆、パイナップル）であるが、対象品目は県単位で年ごとに 2 品目を決定することから、コメの坪刈調査のデータは年ごと、県ごとに調査対象数が異なることとなる。

調整済み単収は、平均単収に収穫ロス率、水分含量調整（15%）及び畦畔含み面積換算率をかけた単収である。収穫ロス率や畦畔含み面積換算率は、経年的に大きな変動は無いため、県毎に同じ値を利用している。調査員が実際に坪刈調査を行うときは、協力農家に実施日の 1 カ月前から連絡を取り、生育状況を確認し、坪刈調査は農家が収穫する約 1 週間前に実施している。

公表値の作成にあたっては、農家からの聞き取り調査の結果をベースに、実測を伴う坪刈調査の結果や各種情報の収集を参考に OAE 内での検討会によって決定される。

(5) 水稲作柄予測手法のプロトタイプ作成

水稲作柄予測手法の検討にあたっては、目的変数を県別単収、坪刈単収（県別）及び坪刈単収（個別）に（前項（3）c 参照）、説明変数を JASMAI からの気象データとする回帰分析の手法でプロトタイプを構築することとし、非線形モデルとして一般化加法モデル（GAM）を採用した。既存の知見では、収量と気象要因は、必ずしも線形的な関係ではなく、非線形的にあらわされることが知られている。一方、事前に線形性と非線形性のどちらが適しているかは分からない。そこで、線形だけでなく非線形も同時に表すことができる GAM を採用することとした。GAM は、農林水産省統計部が国内の水稲単収予測への適用が検討しているなど、実現可能性が高いと想定される手法である。

なお、GAM ではデータ数が少数の場合、非線形モデルを構築できないため、当該県のモデルを構築する際には、その周辺の県のデータも活用することによって、データ数を確保した。本年度事業では、採用する周辺の県は、当該県からの距離に近い順に 10 県とした。また、周辺県のデータをモデルに組み込むときは、距離が近いほど重みが付くように、重み付けをしたモデルとした。

説明変数となる気象データについては、検討委員からの助言と、担当部署との協議の結果、単収の収量構成要素に影響する気象項目として、気温（地表面温度）と日照（日射量）を選択した。水稲の生育は栄養生長期と生殖生長期に区分できるが、これらの気象項目が単収に影響を与える時期と期間は異なる。このため、出穂期を便宜的に両期間の境界点として気象データの採用範囲を設定することとし、出穂前は作付時期の多様性から 2 カ月前まで、出穂後は 1 カ月後までとした。ただし、県によっては出穂前のどの時期が最も収量に影響するか明確ではないことから、出穂 2 カ月前のデータセットと出穂 1 カ月前のデータセットを別々の説明変数としてモデルを構築した。なお、出穂 1 か月前及び 1 か月後のデータセットは収量に確実に影響すると想定し、必ずモデルに含めることとした。そのため、2 カ月前の地表面温度と日射量を含めるモデルと含めないモデルを構築し、その精度を比較することにより、最終的に最も精度の良い説明変数の組み合わせを採用した。また、雨期作では、増収要因として作付期から出穂最盛期までの積算降水量が知られていることから、この物理量もモデルに組み込んだ。乾期については灌漑水田が主であると仮定し、推定モデルには積算降水量は組み込んでいない。

また、雨期作の減収要因として、栄養生長期における洪水と干ばつを想定し、雨期初期（4～7 月、まだ雨量がそれほど多くない）の最大雨量を説明変数に加えた。最大雨量が大きければ、干ばつの影響は少ないが、洪水の影響は多く、小さければ、干ばつの影響が多く、洪水の影響は少ないと想定した（なお、8 月から 11 月は通年雨量が多いため、減収要因の検討から除外した）。

なお、県別単収の現地データを見ると、一定の割合で増加傾向が認められる県もあることから、年と単収の相関係数が 0.8 以上の場合、年トレンドを説明変数に加えた。なお、GAM においては、説明変数ごとに、線形的に解析するか、非線形的に解析するかを設定できるが、説明変数としての年トレンドは、線形的な解析とした。

本モデルでは出穂最盛期の情報が重要な鍵となるが、OAE から入手した情報には出穂最盛期に関するデータは無く、それに関連する情報としては坪刈調査における作付期と収穫期のみである。このため、本事業においては、雨期作は日長感応性の高い品種（日長が短い季節に出穂する品種）が主であり県内の出穂期は比較的揃うと想定した上で、雨期の県別の出穂期は坪刈データ（年毎に数十から百数十地点、ただし坪刈調査が実施されていない県もある）に記載された収穫期（月単位の記載）の最頻値から日積算温度 900 度になる月と仮定した。なお、雨期の収穫期が記載された期間は 2009 年から 2011 年の 3 年間のみであり、収穫期の最頻値は最大 3 年間しか得られなかったことからほぼ同じとなった。但し、年ごとに異なる場合はその年の最頻値を採用した。欠測年については、全データの最頻値で補完した。JASMAI データは半月単位のデータであるが、収穫期は月単位の記載なので、出穂期は月単位の推定とした。県単位の坪刈データが全く無い場合は、坪刈データがある周辺 5 県の最頻値を採用した。雨期において推定した出穂期の模式図を図 3.4.9 に示す。

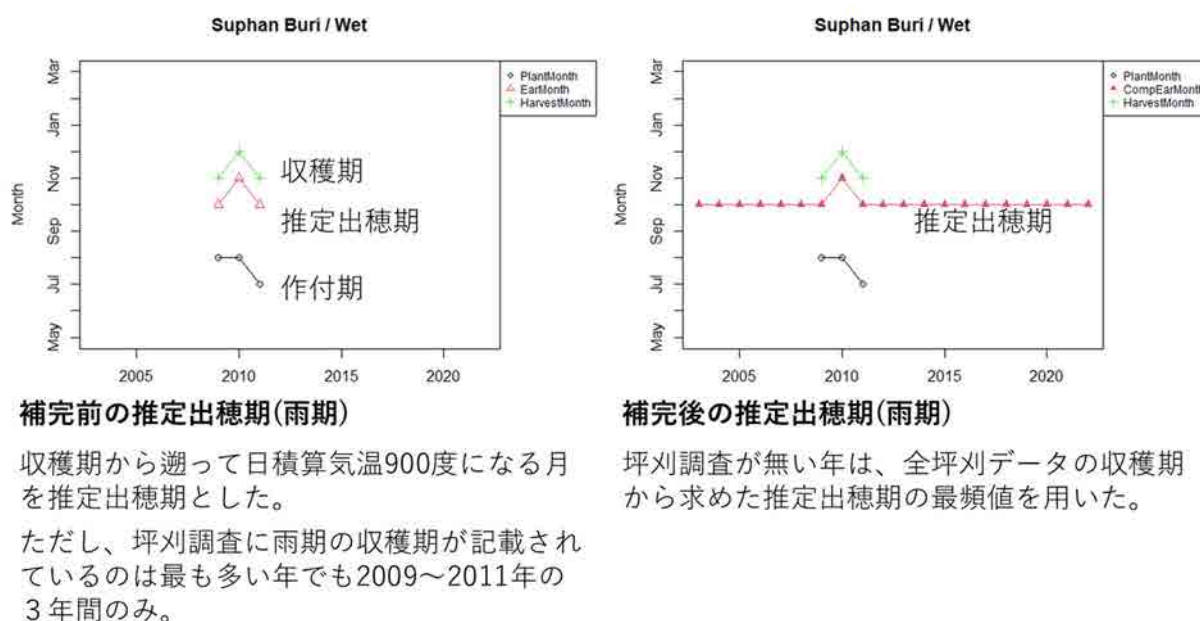
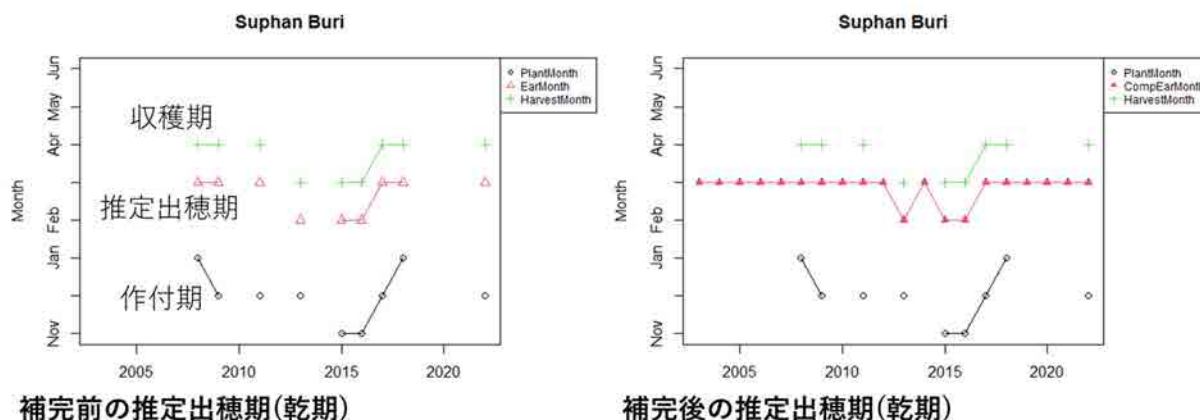


図 3.4.9 雨期の作付期・収穫期と推定出穂期

乾期作では日長感応性の低い品種（作付からの積算気温で出穂する品種）が主であると想定し、出穂期は県内の坪刈データ（年毎に数十から百数十地点、ただし坪刈調査が実施されていない県もある）に記載された収穫期（月単位の記載）の最頻値から 1 か月前とした。これは、雨期作と同様に日積算気温で推定すると出穂期と収穫期の間隔が 1 か月未満になる県が多数あり、現実的な登熟期間が取れなくなるため、収穫期の 1 か月前を乾期の出穂期としたものである。なお、この結果は坪刈データに記載された移植期から収穫期までの長さ、移植期からの積算気温による検討の結果、調整した結果である。乾期において推定した出穂期の模式図を図 3.4.10 に示す。



補完前の推定出穂期(乾期)

収穫期から1か月前を推定出穂期とした。

補完後の推定出穂期(乾期)

坪刈調査が無い年は、全坪刈データの収穫期から求めた推定出穂期の最頻値を用いた。

図 3.4.10 乾期の作付期・収穫期と推定出穂期

なお、今後、プロトタイプモデルの精緻化を図るためには、出穂最盛期を特定するため現地の情報を収集し適切な積算気温を設定するか、圃場レベルの目視確認等の積算気温を用いない別の手法を更に検討する必要がある。

収穫期の最頻値は解析期間の 20 年間でほぼ同じであるが、年ごとに異なる場合もあったことから、その場合はその年の最頻値を採用した。ただし、坪刈データは欠測が多いため、収穫期の最頻値が欠測している場合は、欠測年は全データの最頻値で補完した。なお、JASMAI データは半月単位のデータであるが、収穫期は月単位の記載なので、出穂期は月単位の推定とした。県に坪刈データが無い場合は、坪刈データがある周辺 5 県の最頻値を採用した。

目的変数となる単収については、将来的に衛星データのみによる水稻収穫量把握を念頭に置き、面積把握の活動を進めている JAXA の INAHOR との整合性のとれた単収データを設定する必要がある。INAHOR から推定される水稻面積は、作付面積（収穫面積ではない）とみなされることから、単収は「作付面積 1rai 当たり収量、単収（作付面積基準）」のみとすることも考えられたが、「収穫面積 1rai 当たり収量、単収（収穫面積基準）」の生産計画立案等における重要性を考慮し、県別単収は単収（作付面積基準）と単収（収穫面積基準）の両方を活用した。また、坪刈単収(県別)は、県内にある坪刈圃場の単収の平均値とした。

以上より構築した、県別単収及び坪刈単収（県別）のプロトタイプモデルの概要を図 3.4.11 に示す。

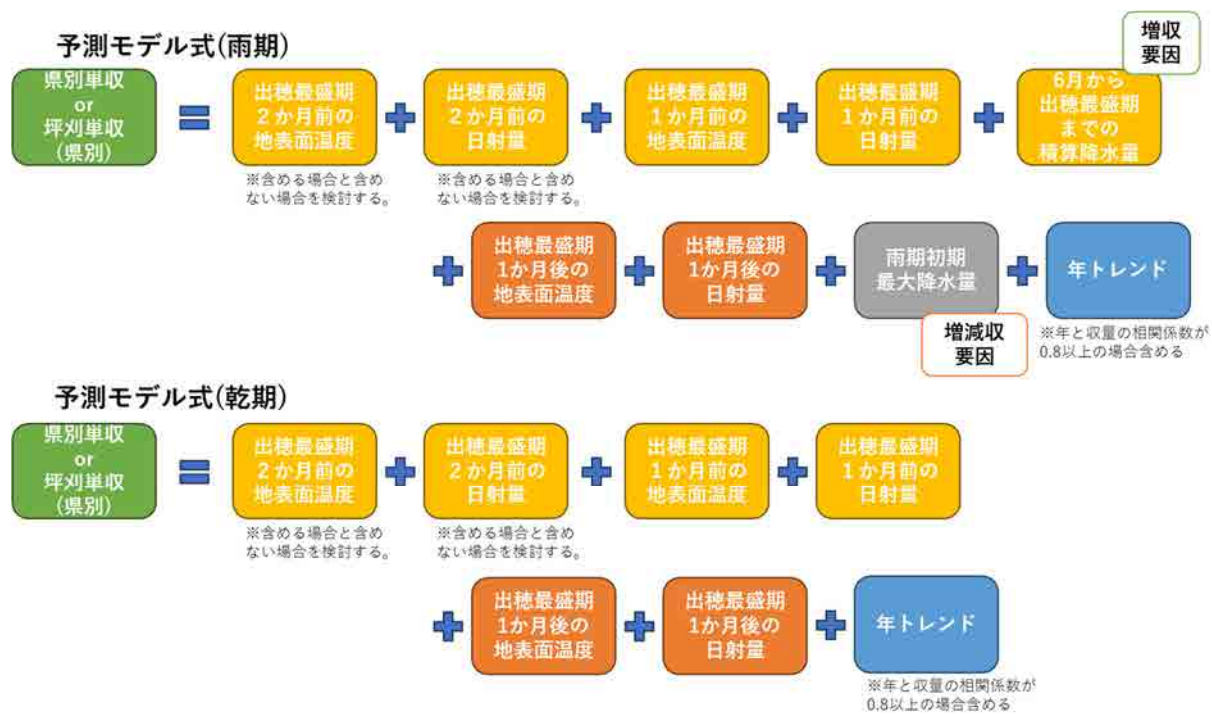


図 3.4.11 県別単収および坪刈単収（県別）のプロトタイプモデル

次に、坪刈単収（個別）に対するプロトタイプモデルを、県別単収等に準じて構築した。坪刈単収（個別）における留意点は次のとおりである。県内には多くの坪刈データがあるため、GAMによるモデルは県別単収のモデルと同様に県ごとに構築した。目的変数は、坪刈圃場ごとの単収とした。説明変数の選定根拠となる出穂期は、乾期、雨期とも収穫月と積算気温から、県別単収モデルと同じ手法で推定した。本来であれば、坪刈データの中にある、県毎や郡毎、水稻種類や作付状況などによって、水稻は異なる特徴を持っていると想定すべきであり、モデル構築時には固定効果として、それらの情報を取り入れるべきであるが、本事業では、説明変数の固定効果として、「県名」と「水稻種類」（もち米、うるち米及び不明）を設定した。坪刈データの中には「郡名」や「作付方法」などあるものの、場合分けするとモデル構築のためのデータ数が十分に確保できなかったため本事業ではモデルに含めなかった。このことから、坪刈単収（個別）のプロトタイプモデルでは、作付月や収穫月が同じ坪刈圃場が大半を占めるため、モデル構築に用いるデータの大半の JASMAI データは同じとなり、目的変数や県名・品種のみが異なるデータとなる。

以上より構築した、坪刈単収（個別）のプロトタイプモデルの概要を図 3.4.12 に示す。

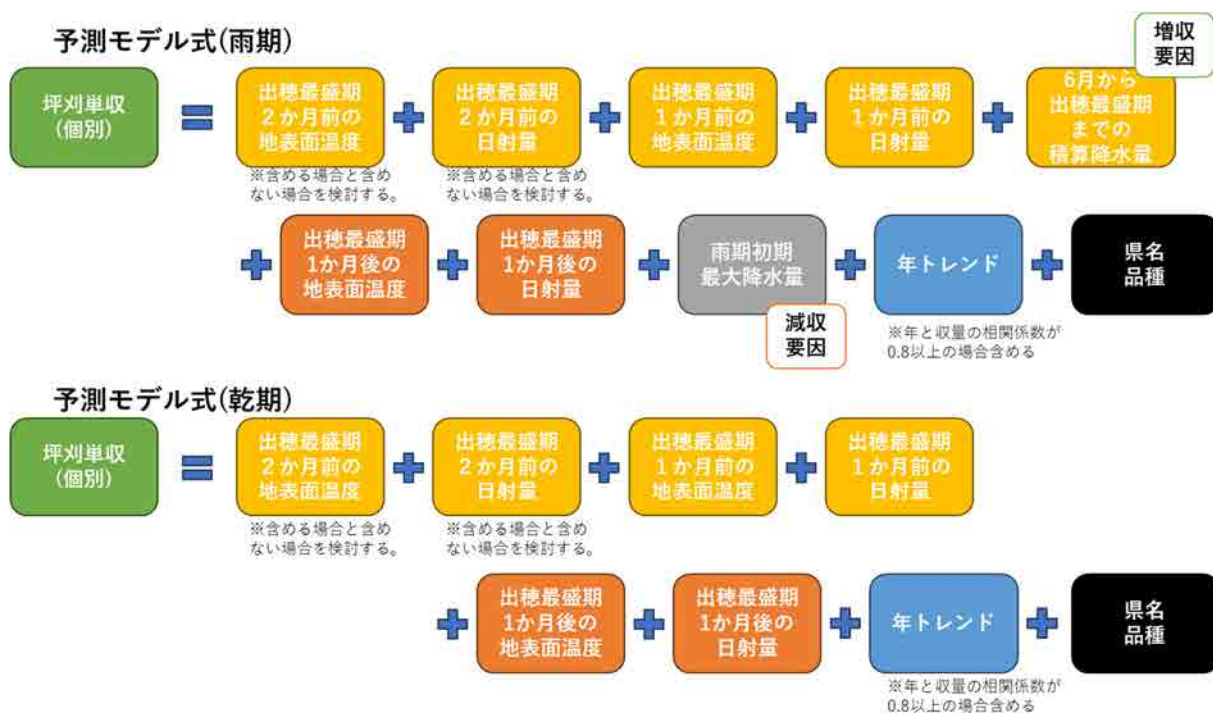


図 3.4.12 坪刈単収（個別）のプロトタイプモデル

(6) プロトタイプモデルの精度検証

県別単収および坪刈単収（県別）・坪刈単収（個別）におけるプロトタイプの精度検証を実施した。県別単収のプロトタイプモデルの精度検証では、最新年検証及び最新年予測を実施した。坪刈単収は欠測が多いことから、最新年検証のみを実施した。

a. 県別単収予測値の最新年検証

県別単収の最新年検証では 2003～2022 年の 20 年間のデータの内、最新年の 2022 年のデータをテスト（検証）データとして抜き出し、2002～2021 年のデータでモデルを構築した。構築したモデルを 2022 年の JASMAI データに適用することで 2022 年の県別単収予測値を算出し、2022 年の県別単収公表値との誤差を評価した。検証データの期間を直近 1 年間にすることにより、直近 5 年検証（(8)において後述）よりも実運用に近い誤差を評価することが期待できる。なお、前述の様に、2 カ月前の地表面温度と日射量を用いたり用いなかったりするモデルがあるが、最終的には最も精度の高い組み合わせを県ごとに採用した。誤差は、県別単収予測値と県別単収公表値の大小も表されるよう、 $(\text{県別単収予測値} - \text{県別単収公表値}) \div \text{県別単収公表値}$ から求めた。

最新年検証を図 3.4.13 に示す。その結果、雨期作、乾期作共に、ほとんどの県において誤差 10% 以内の予測精度となった。特に約 40 県は、誤差 5% 以内の精度で 2022 年の県別単収を予測できた。このことから、プロトタイプモデルによって、これまでと同様の気象条件であれば、ほとんどの県において誤差 10% 以内で予測できることが期待できる。

また、参考として、全国計の誤差を集計した。方法として、最初に作付面積基準及び収穫面積基準の県別単収予測値に、それぞれ公表値の作付面積と収穫面積をかけ、作付面積基準及び収穫面積基準の県別収穫量予測値を算出し、それらを合計し、全国計の作付面積基準及び収穫面積基準の収穫量予測値を算出した。それらの全国予測値と全国の収穫量公表値から、作付面積基準及び収穫面積基準の全国計の誤差を算出した。その結果、雨期における収穫量（作付面積基準）と収穫量（収穫面積基準）の 2022 年検証の全国計の誤差は、それぞれ-3.8%及び-0.1%、乾期における収穫量（作付面積基準）と収穫量（収穫面積基準）の 2022 年検証の全国計の誤差は、それぞれ 2.0%及び 1.9%となった。

なお、図中に示した誤差や全国計など、その根拠となる予測値等を添付資料 2 に示す。

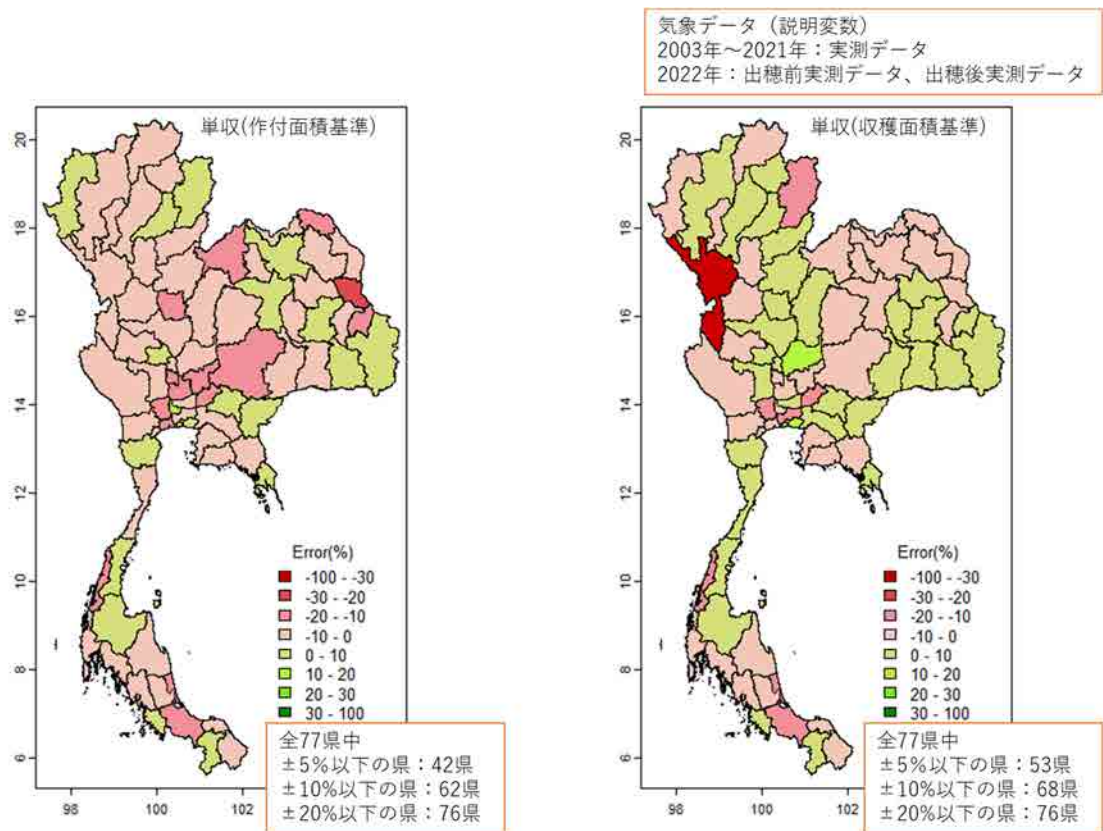


図 3.4.13(1) 最新年検証による県別単収の誤差の分布（雨期）

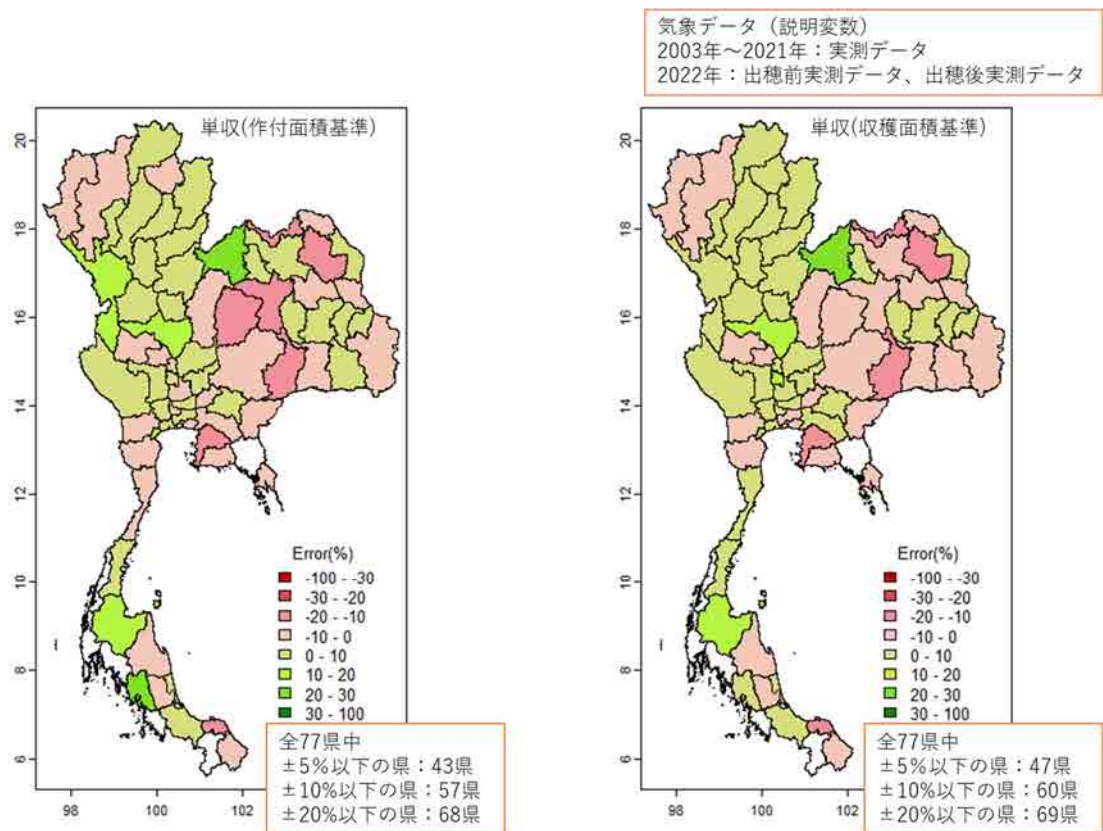


図 3.4.13(2) 最新年検証による県別単収の誤差の分布（乾期）

b. 県別単収の最新年予測

県別単収の最新年予測では、前述の最新年検証と同様、2003～2021 年のデータをトレーニングデータとしてモデルを構築し、2022 年の JASMAI データをテストデータとしてモデルに適用し、2022 年の予測値を算出し、2022 年の実測値との誤差を評価した。ただし、最新年検証では 2022 年の JASMAI は全て実測値を用いたのに対し、最新年予測では予測時期の可能性を評価するため、出穂日に収量を予測することを想定し、出穂日以前は実測値であるが、出穂後のデータは JASMAI に記載された平年値とした。このことにより、収穫期よりも早い時期に予測した時点において、予測日以降の気象が平年並みに推移した時に期待できる県別単収が予測できる。なお、前述の様に、2 カ月前の地表面温度と日射量を用いたり用いなかったりするモデルがあるが、最終的には最も精度の高い組み合わせを県ごとに採用した。誤差は（県別単収予測値－県別単収公表値）÷県別単収公表値から求めた。

最新年予測の結果を図 3.4.14 に示す。その結果、雨期作、乾期作共に、ほとんどの県において誤差 10%以内の予測精度となった。特に約 40 県は、誤差 5%以内の精度で 2022 年の県別単収を予測できた。このことから、プロトタイプモデルによって、収穫期の 1 カ月前の出穂期ごろに、ほとんどの県において誤差 10%以内で、単収が予測できると考えられる。

また、参考として、前述（6）a の最新年検証と同様の方法で全国計の誤差を集計した。その結果、雨期における収穫量（作付面積基準）と収穫量（収穫面積基準）の 2022 年予測の全国計の誤差は、それぞれ-1.0 %及び-0.5 %、乾期における収穫量（作付面積基準）と収穫量（収穫面積基準）の 2022 年予測の全国計の誤差は、それぞれ 0.2 %及び-0.04 %となった。

なお、図中に示した誤差や全国計など、その根拠となる予測値等を添付資料 2 に示す。また、その他の手法検討については後述するが、実用化を考える際に本手法が最も有望と考えられることから、県別の組み合わせの結果を添付資料 3 に示す。

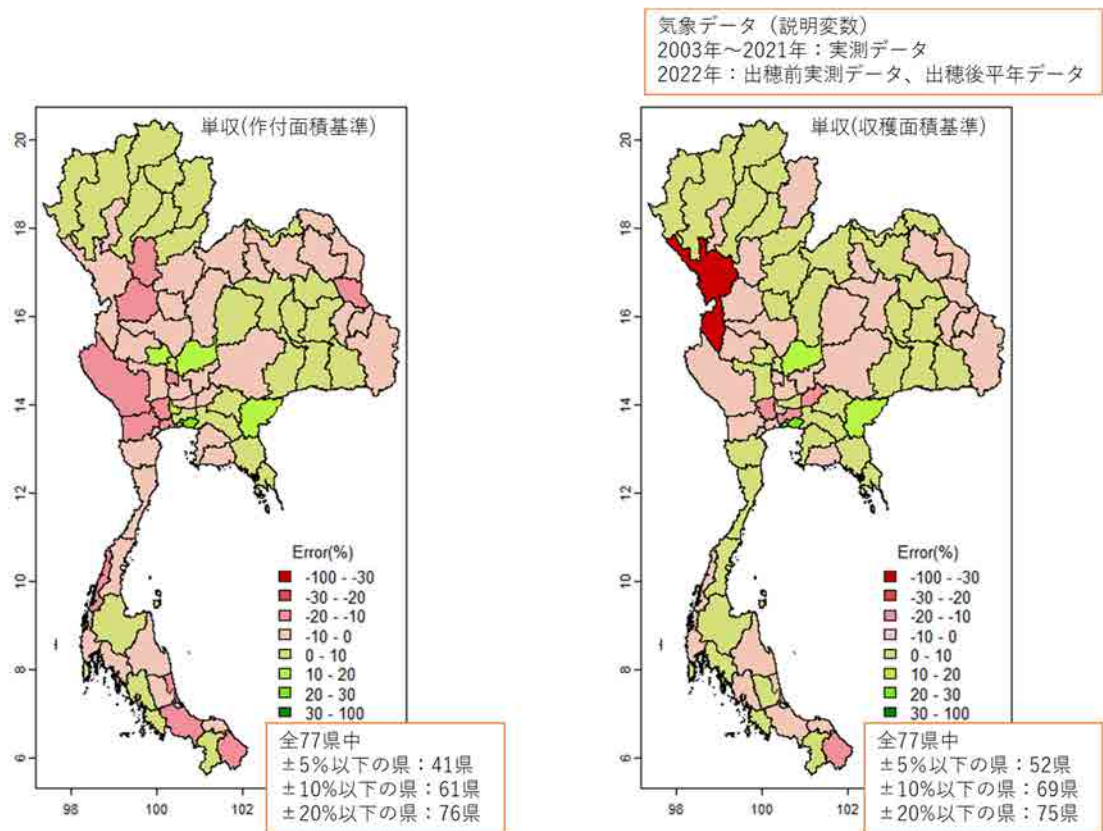


図 3.4.14(1) 予測日を出穂期とした県別単収の予測精度（雨期）

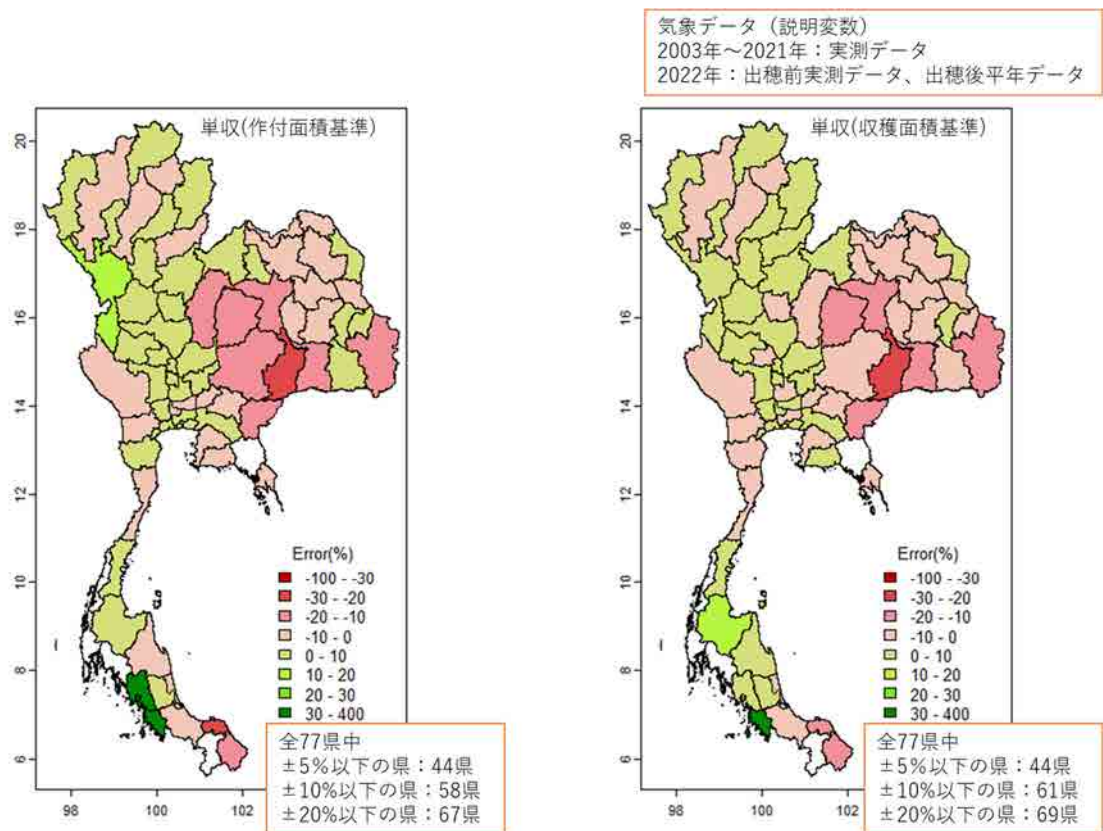


図 3.4.14(2) 予測日を出穂期とした県別単収の予測精度（乾期）

さらに、上記で得られた単収の予測誤差を、全解析期間である 2003～2022 年の単収の変動と比較した。これは、例えば、ある県の当該年の予測誤差が 10%であっても過年次の単収の変動が 20%であれば比較的良い精度で予測できたことになるが、当該年の誤差が 10%のところ過年次の変動が 5%である場合は、高い精度で予測できたとは言えないことになるなど、単に当該年の予測誤差だけで精度を評価できないためである。

この比較に際して、単収の予測誤差を 2003～2022 年の単収の変動係数³（CV: Coefficient of Variation）で割った指標を用いた（ここでは Error/CV とする。図 3.4.15）。その結果、図 3.4.14 と図 3.4.15 を比較すると、ほとんどの県では傾向は変わらないものの、図 3.4.15 で示したバンコク周辺の県のように、誤差は大きい Error/CV は小さくなる県もあれば、Nan 県のように Error/CV が非常に大きくなる県もあるなど、これまでの変動に対して当該年の誤差を評価する必要がある県があることが分かった。今後、複数の指標を組み合わせ、誤差の評価をすることが望ましいと考えられる。

なお、図中に示した県別の Error/CV を添付資料 2 に示す。

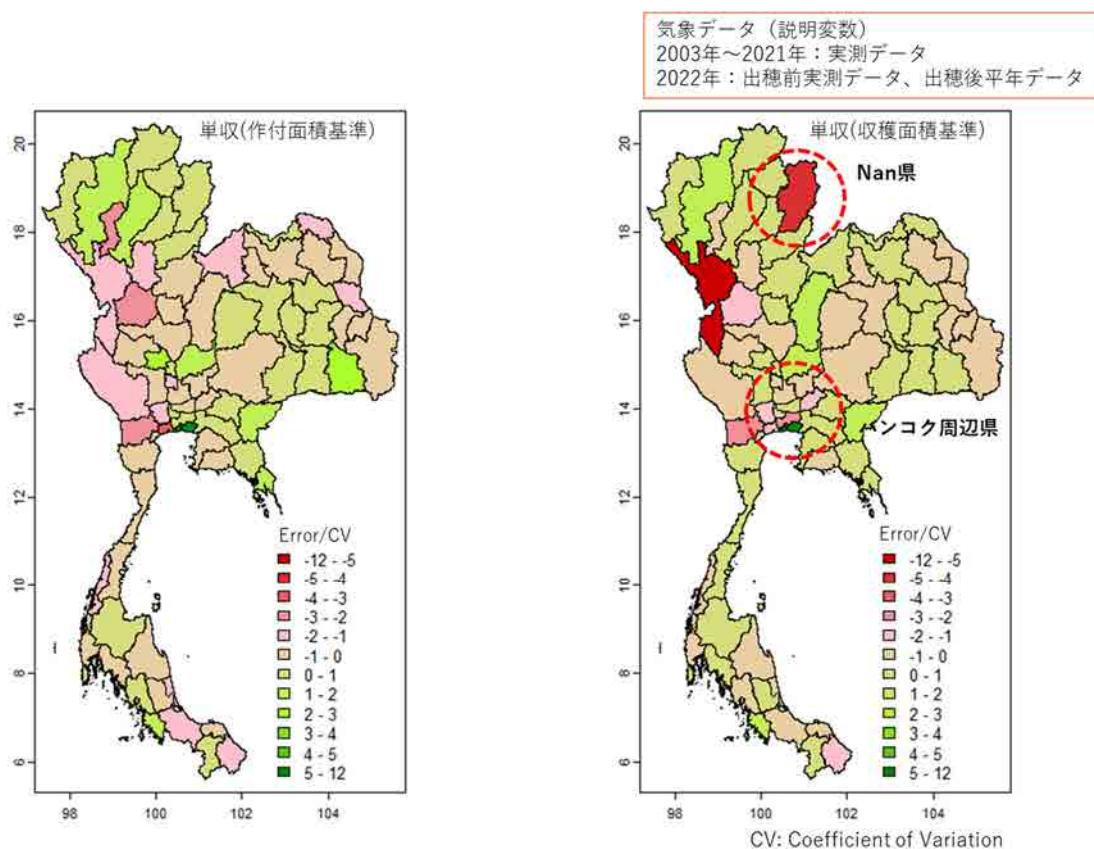


図 3.4.15(1) 実単収の変動を基準に予測日を出穂期とした場合の県別単収の予測精度（雨期）

³ 変動係数は、過去の単収の標準偏差を平均値で割った値であり、データのばらつき具合を相対的に表す指標である。

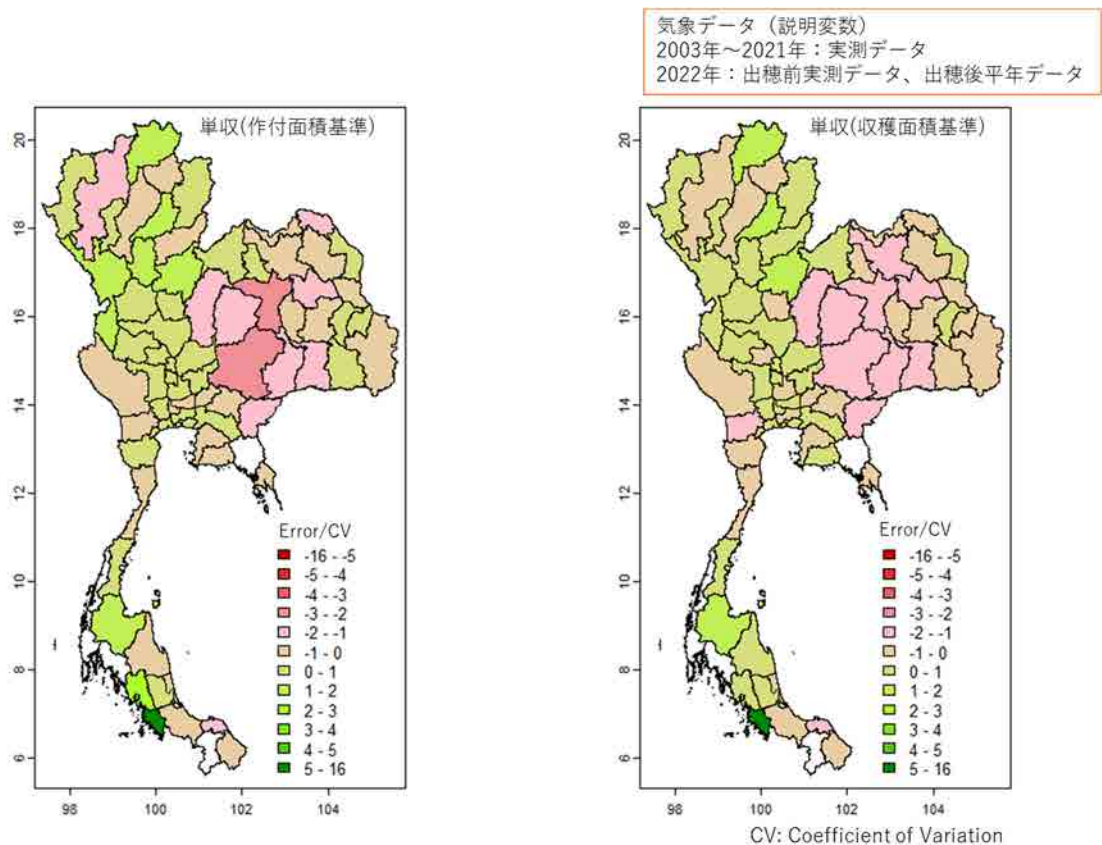


図 3.4.15(2) 実単収の変動を基準に予測日を出穂期とした県別単収の予測精度（乾期）

c. 坪刈単収（県別）の最新年検証

坪刈単収（県別）におけるモデルの精度を検証した。検証方法は前述とほぼ同じであるが、坪刈単収は県ごとに欠測の状況が異なることから、データセットの最新年以外をトレーニングデータとし、そのトレーニングデータでモデルを構築したのち、そのモデルに最新年の JASMAI の気象データを適用することによって最新年の予測単収を求め、実際のデータと比較することにより、プロトタイプの精度を評価した。なお、欠測の状況が、当該年とその周辺 10 県において、各々異なることから、最新年のデータは全て実測データとした。これは、当該県の最新年が 2020 年までであったとしても、隣の県の最新年が 2021 年であったり 2018 年であったりすれば、異なる期間の平年値を用いることになるからである。

その結果、雨期作では 14 県、乾期作では 17 県において、20%の精度で坪刈単収（県別）を評価することができた。（図 3.4.16 参照）。坪刈単収（県別）の予測モデルは、公表値の基礎となる県別単収の予測モデルに比べ精度が劣っている。これは、前項（3）b のとおり坪刈圃場が統計調査的に適切な配置がなされておらず、標本配分に偏りが生じていることが考えられる。

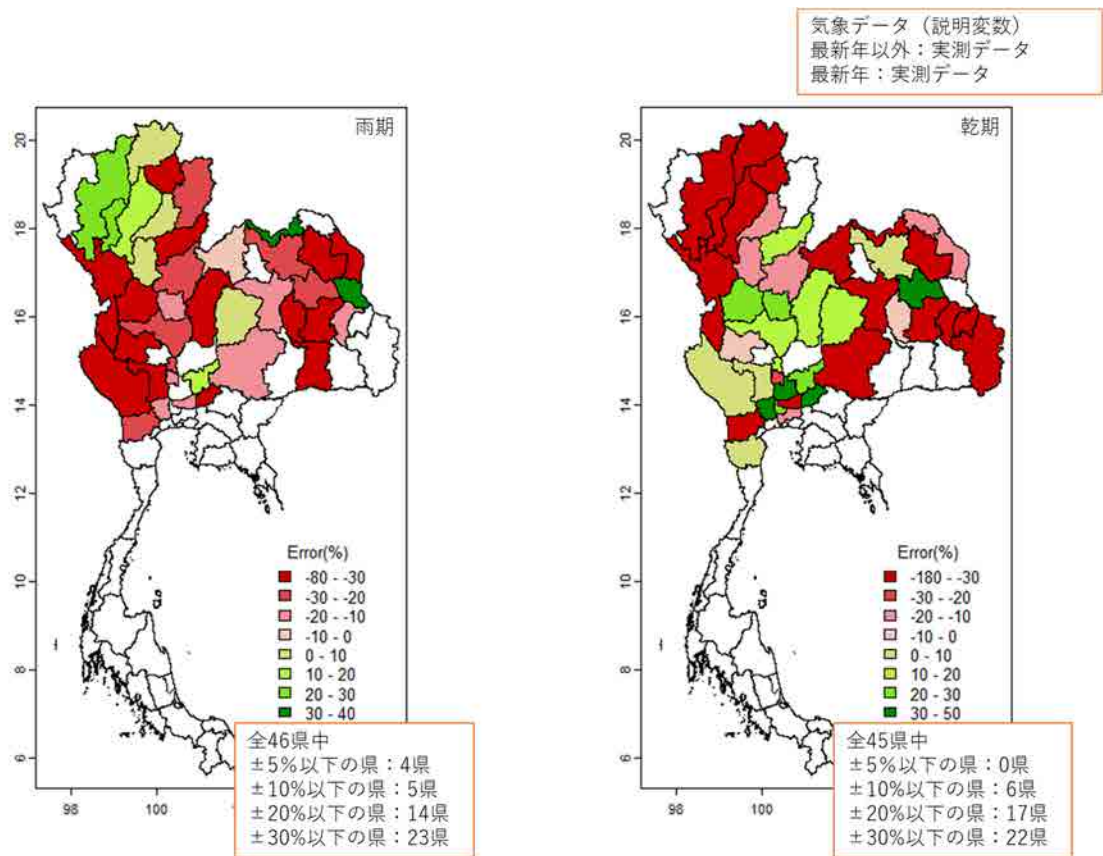


図 3.4.16 坪刈単収（県別）の予測精度

なお、図中に示した誤差や全国計など、その根拠となる予測値等を添付資料2に示す。

e. 坪刈単収（個別）の最新年検証

最後に、坪刈単収（個別）におけるプロトタイプの精度を評価した。基本的なモデルの構築方法は前述と同じであるが、県内には多数の坪刈データが含まれているので、当該県のデータのみでモデルを構築した。その結果、現地の圃場ごとの坪刈単収は非常に多様である一方、得られた推定単収はいくつかの数値が得られるのみであった（図 3.4.17 参照）。このことから、現時点のデータセットでは、坪刈単収（個別）を目的変数とした有効なモデル構築には至らなかった。

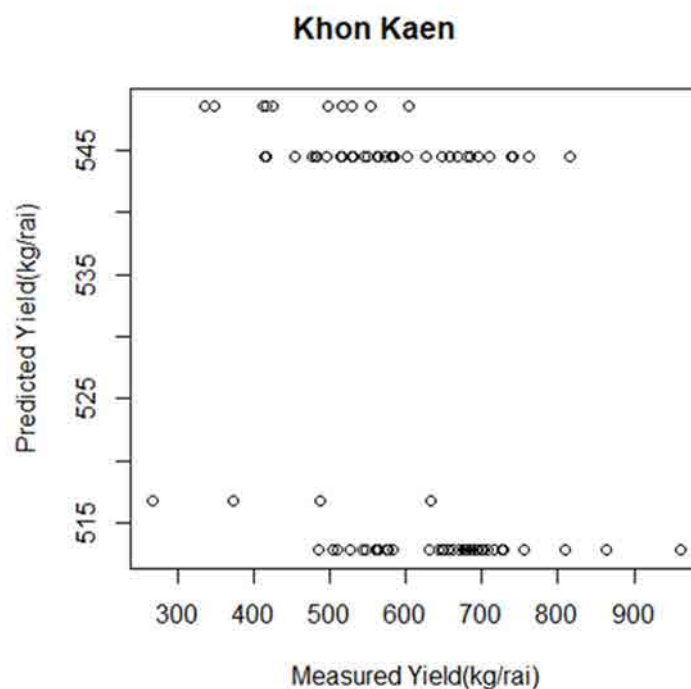


図 3.4.17 坪刈単収（個別）の予測結果（Khon Kaen 県）

(7) GAM 説明変数の非線形性の検討方向

GAM によるモデル構築は、単収と JASMAI による気象データの関係を線形だけでなく、非線形でも表せられるため、過年次のデータの範囲内で相関関係が顕著なモデルの構築が可能となるが、単収と気象データの関係性の解釈が困難になり、当該年のデータを追加して予測すると高い精度を保てないことがある。このため、解釈性の向上を図ることが重要になるが、精度はむしろ低くなることもある。

本事業では、以下に示すフローに則り、可能な限り精度を維持しつつ、解釈性を上げられるかを検討した。その結果の例を図 3.4.18 に示す。デフォルトの設定では、かなり推定された関係が波打つような形をしているが、パラメータ探索することによって、出穂後の地表面温度が上がるほど、単収は減る傾向にあることが、明確に解釈できるようになった。但し、パラメータ探索により、解釈性は上がったものの、精度は僅かに下がっている。前項の結果は特に平滑化をした後のデータではないが、将来的には、求められる精度が定まり、その精度の許容範囲内で解釈性を上げるなどの対応が考えられる(例えば、本事業における予測精度が 15%以内であれば、図で示したパラメータ探索は実施すべきとなる。一方、予測精度が 10%以内でなければならないのであれば、精度を犠牲にするパラメータ探索はすべきではない、ということとなる)。

- ① デフォルトで GAM のモデルを構築する。トレーニングデータは 2003～2021 年、テストデータは 2022 年とした。
- ② 説明変数の組合せを一つ選択する。
- ③ パラメータの一つである平滑化パラメータ sp を、②で選択した説明変数に対し、10、1、0.1、0.01 と変化させ、その都度、説明変数を可視化する。
- ④ 上記パラメータにおけるテストデータの予実の精度を求める。
- ⑤ 説明変数と平滑化パラメータを変えつつ、②～④を繰り返す。

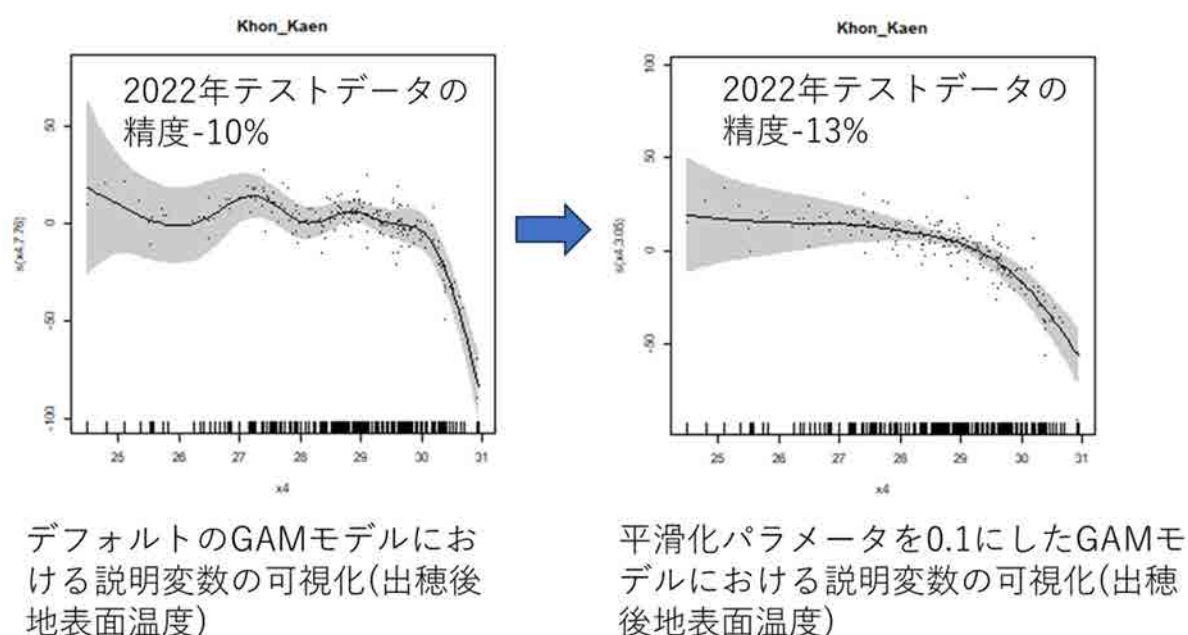


図 3.4.18 GAM の平滑化パラメータ探索結果

（８）直近５年のデータを用いた検証

前項 3.4（６）の予測値に対する検証は、県別単収においては、最新年である 2023 年をテストデータとして除き（すなわち推定モデルの構築には関係していない）、2003～2022 年をトレーニングデータとし、これらのデータから予測モデルを構築したうえでテストデータに当てはめ、テストデータの予測値とテストデータの実測値を比較することによって、推定モデルの精度を評価した。しかし、この方法では 1 年分のデータしかテストしていないことから、様々な気象条件の変化に対する汎用性、つまり構築したモデルが予測すべき最新年において気象条件等がこれまでと異なる傾向になった場合にどの程度誤差が大きくなる可能性があるかは評価しきれていない。

このため、限られた解析年数ではあるが直近 5 年間（2018～2022 年）のデータをテストデータとし、それ以前の 2003～2017 年のデータをトレーニングデータとして構築したモデルとテストデータに当てはめ、直近 5 年間の県別単収予測値と県別単収公表値を比較した。ここでは、5 年間の誤差の絶対値を平均した平均絶対誤差率（MAPE）を求めた（図 3.4.19）。また、2022 年誤差の絶対値と 2018～2022 年平均絶対誤差率の相関を求めた（図 3.4.20）。

その結果、2022 年の誤差（1 年分）と、2018～2022 年の誤差（5 年分）の間には、雨期には相関がみられず、乾期には弱い相関がある可能性がある。誤差を検討する期間が長いほど誤差は大きくなる傾向にあるものの、検討期間を 5 年間としても、1 年分の誤差と比較して極端に大きくなることは無かった。

これらのことから、本事業において検討した推定モデルの構築方法は、ある程度の年数に対しても汎用性のある手法であると考えられる。

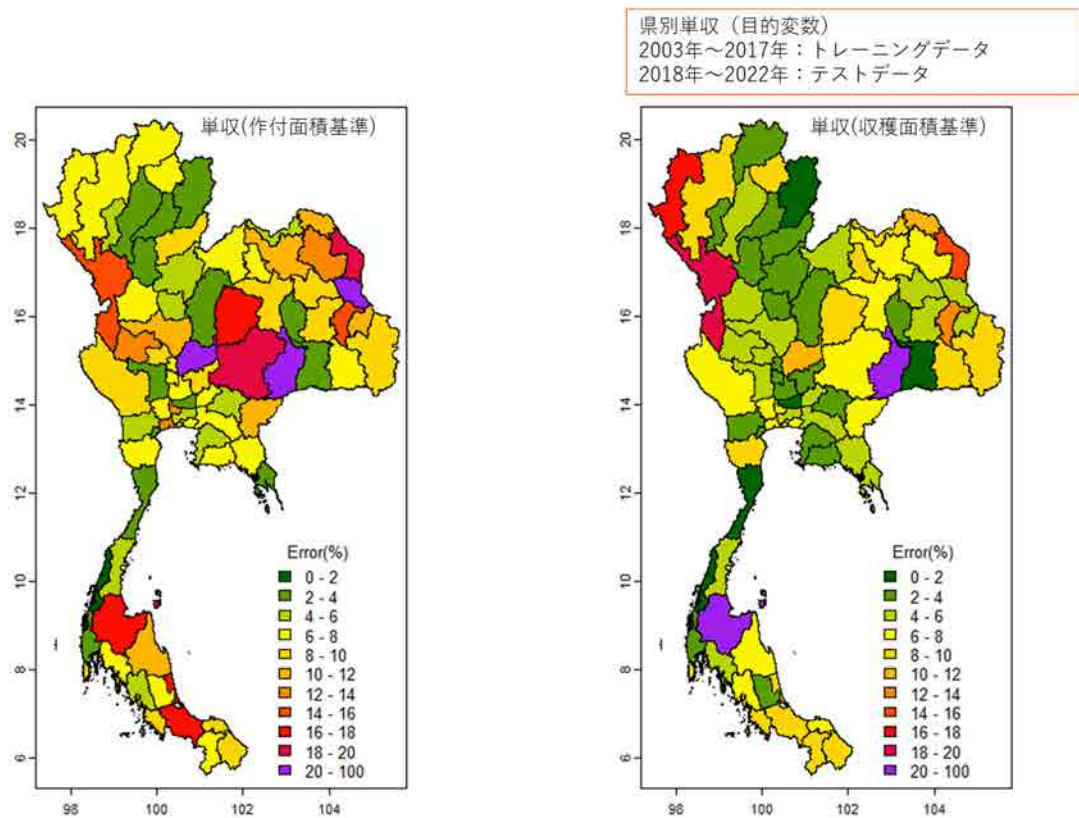


図 3.4.19(1) 直近 5 年間をテストデータとした県別単収の誤差（雨期）

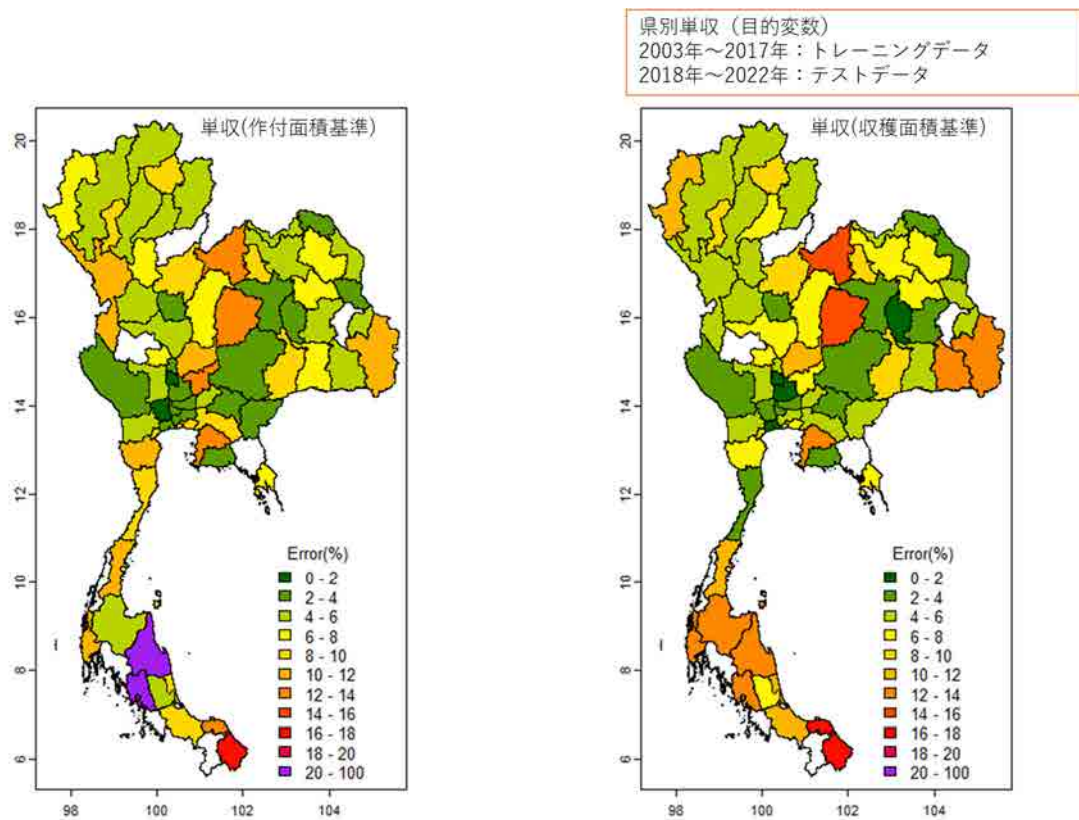


図 3.4.19(2) 直近 5 年間をテストデータとした県別単収の誤差（乾期）

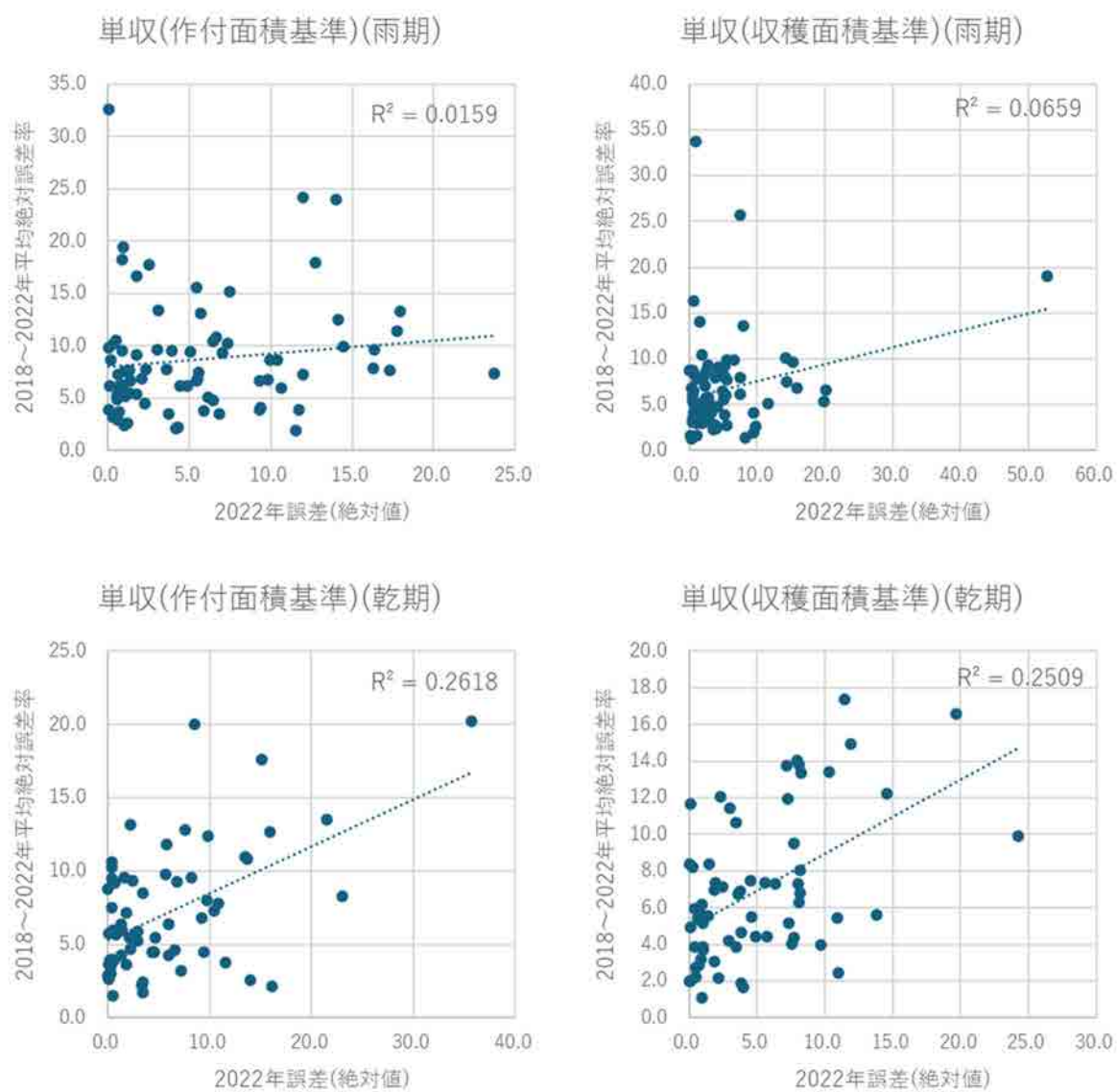


図 3.4.20 2022 年誤差(絶対値)と直近 5 年誤差の比較

(9) プロトタイプのとまとめ

本事業において構築した水稻作柄予測プロトタイプモデルの概要は以下のとおりである。

- ① 県別単収および坪刈単収（県別・個別）に対して、収量構成要素を根拠とし JASMAI から抽出した気象データを説明変数に GAM を適用することによって、県別単収と坪刈単収（県別）において、モデルを構築することができた。坪刈単収（個別）においては、有効なモデルの構築には至らなかった。
- ② 収量構成要素を根拠とした気象データの説明変数の選択に必要となる出穂期を、坪刈データに記載された収穫期から予測した。雨期では積算気温によって出穂期を求めたものの、乾期で積算気温を用いると非現実的な出穂期となったため、乾期の出穂期は収穫期の 1 か月前と仮定した。今後、現地の知見を収集し、適切な出穂期の推定方法を検討する必要がある。
- ③ 予測した出穂期を基に、収量構成要素と関連する気象データからモデルを構築した結果、2021 年までの過年次のデータから 2022 年を予測した場合、例えば、県別の作付面積当たり単収では、 $\pm 10\%$ 以内に雨期では全 77 県中 61 県、乾期では 58 県が入り、 $\pm 20\%$ 以内に雨期では全 77 県中 76 県、乾期では 67 県が入るなど（図 3.4.14 参照）、使用可能なデータは限定的であったにも関わらず、良好なモデルを構築することができた。
- ④ 単収の予測モデルを実際に活用する際には、収穫期以前に高い精度で予測することが必要であることから、③のモデルにおいて出穂期を予測日とし、出穂期以前の気象データは実測値、出穂期以後は平年値を用いた（予測日以降は気象が平年並みに推移すると想定）予測を実施した。この結果、例えば、県別の単収（作付面積基準）では、 $\pm 10\%$ 以内に約 8 割、 $\pm 20\%$ 以内にはほぼ全ての県が入っており、本事業において構築したプロトタイプモデルは、収穫 1 か月前におおよそ 10% 以内の誤差で早期予測が可能なモデルであると考えられる。
- ⑤ 今回十分な精度が得られなかった県（例えば図 3.4.14(1)で示した誤差がマイナス 30% 以上あった北部の Tak 県や、図 3.4.14(2)で示した誤差がマイナス 20% 以上あった東北部の Surin 県とその周辺県など）があるが、その原因として、説明変数となる収量構成要素を考慮した気象要素の項目やその設定期間に改善の余地があることも考えられるため、今後、それらの設定を再検討することによって精度が向上する可能性がある。

3. 5 水稲作柄把握手法実用に向けた提言の取りまとめ

3. 4 の水稲の作柄把握手法の検討を踏まえ、プロトタイプモデルの改善や更なる精度向上に必要な追加情報、検討対象国であるタイ対象国以外の国での適用等について、具体的な提言を委員会から助言を得て、以下に取りまとめた。

- タイにおいて、県別単収を目的変数とし、収量構成要素を根拠とする JASMAI の気象データを説明変数となる非線形回帰モデルを検討し、出穂期にあたる収穫 1 か月前に県単位でおよそ 10%以内の誤差で予測が可能なプロトタイプモデルを構築することができた。
- 本プロトタイプモデルの更なる精度の向上のためには、説明変数となる気象データの採用期間やパラメータの調整を検討すべきである。
- 本プロトタイプモデルは、出穂期の前後で異なる気象要素や異なる設定期間を設定していることから、地域や県単位のモデル構築範囲における代表的な出穂期の把握もしくは推定が必要である。タイでは坪刈データに作付期と収穫期の記載があったことから出穂期を推定することができたが、実用化の際には現地調査等で出穂期を把握することが望ましい。
- 他のアセアン諸国においては坪刈データがないことを想定すべきであり、アセアン全域に本事業の成果を展開する場合、出穂期の情報、もしくは出穂期を推定する根拠となる作付期や収穫期の情報をどのように把握するか検討する必要がある。

3. 6 我が国食料安全保障施策への情報提供に関する提言の取りまとめ

我が国は、東南アジア諸国連合（アセアン）地域とは、従来の EPA、FTA、TPP に加え令和 4 年 1 月に地域的な包括的経済連携（RCEP）協定が、同年 2 月に日・アセアン包括的経済連携協定第一改正議定書が発効し、今後、我が国と同地域間の貿易量の大幅な増加が見込まれている。これに伴い、我が国企業による農林水産業への投資や輸出入量が増加するなど、食料安全保障分野における結びつきもこれまで以上に深くなることが予想される。また、アセアン地域においては、食料増産、農業インフラ整備のため、毎年多額の農業開発投資が行われており、今後、農林水産分野は更に大きな市場となると目されている。

こうした中、農林水産省ではアセアン地域の農業統計・食料安全保障情報のハブとなる機関であるアセアン食料安全保障情報システム（AFSIS）を支援してきた。AFSIS では通常事業として各国から報告される情報を集約し、定期的なレポート（農作物需給情報、早期警戒情報、コメレポート）の発刊、農業統計データベースの運用を行えるようになった。一方、今後はこうした情報の更なる信頼性向上とともに、政府、農業関連民間企業及び農業生産者が施策立案、スマート農業やマイクロファイナンス等の各種関連事業の意思決定や進捗確認に活用可能な、よりきめ細やかなデータや分析結果の提供が求められており、アセアン域内の農業関連データの整備を継続する必要がある。

特に、全ての農業統計の基礎となる生産量統計のうち、アセアン地域の主要作物であるコメの作付面積、単収、収穫量の動向は、アセアン各国に社会経済的な大きなインパクトを与える。このことから、本事業では生育段階からのコメの単収把握に取り組んだものであり、初年度の検討として時間的制約があったものの、一定の成果を上げることができた。

前述のとおり、アセアン地域は我が国にとって密接な関係にあり、今後、農業投資の増大も想定されることを踏まえ、本事業の成果が今後、我が国の食料安全保障施策への情報提供に寄与するために必要な提言を行う。

- ① 現在、我が国では、「持続可能な輸入食料・輸入原材料への切替え」（「みどりの食料システム戦略」中間とりまとめ、令和 3 年 3 月）や「農林水産物・食品の輸出額を 2030 年に 5 兆円とする」（食料・農業・農村基本計画、令和 2 年 3 月閣議決定）が進められているが、これらを達成するためには我が国と社会経済的に結びつきの強いアセアン地域の食料安全保障に係る統計情報の強化が望ましい。緊急時も含め、常時、情報収集可能な体制を構築するとともに、モデルを使用した解析などの分析能力を向上させることが肝要である。
- ② アセアン各国においてコメは、社会経済的に重要な作物であり、その生産動向は地域全体の食料安全保障の確保に大きなインパクトを与えることから、生育段階からの生産動向を把握し、各国との情報共有が期待される。
- ③ 本事業では、タイを対象国として予測手法のプロトタイプを作成し、一定の範囲で予測できる可能性を示したが、更なるブラッシュアップによる信頼性の向上や他の国への適用など、実用化に向けた検討を引き続き実施すべきである。これらの検討にあたっては、農林水産省

殿が長年支援してきた AFSIS がアセアン地域の農業統計、食料安全保障情報のハブとしての機能を果たしていることから、AFSIS の枠組みで実施することが妥当である。

- ④ 本事業ではアセアン諸国における早期の水稲単収予測を目指しているところ、現在 JAXA は同地域において INAHOR 事業による水稲作付面積及び将来的に氾濫面積の把握が検討されており、これらが実現できれば作付面積と氾濫面積の差分で収穫面積の推計も可能となる。このことを踏まえれば、アセアン地域の水稲の生産関連情報を衛星データで一元的に把握し、食料安全保障の確保に情報面から寄与するため、両事業は連携し発展的に展開すべきである。

3. 7 関係資料一式

上記のプロトタイプモデルの構築の際に収集・作成した各種データやモデル構築資料、試算結果、提言等については成果品として関係資料一式を電子記憶媒体により、担当部署に提出した。

4. 打ち合わせ会議等の開催及び出席

本事業の進捗を報告・確認をするために、当財団は1ヶ月に1回程度、必要資料を作成のうえ、農林水産省内会議室において担当部署と打合せ会議を行い、事業の成果や課題を示すとともに、提言を受けた。

なお、担当部署の判断により、打合せ会議については、農林水産省内会議室での開催ではなく、Web 会議形式での開催とした場合もあった。

打ち合わせ会議終了後に議事概要を作成し、打合せ会議終了後2日以内（行政機関の休日を除く）に担当部署へ提出し、承認を受けた。報告会の開催一覧を表4.1に示す。

表 4.1 報告会一覧

回	開催日	内容
1	2023 年 6 月 27 日	作業計画書について
2	2023 年 7 月 31 日	- 検討委員の設置 - 先行事例の調査
3	2023 年 8 月 24 日	- 先行事例調査 - JASMAI データ整理状況 - 第 1 回検討会について
4	2023 年 10 月 5 日	- 第 1 回検討会の検討事項の整理 - AFSIS データ整理
5	2023 年 11 月 6 日	- OAE 提供資料（県別単収・坪刈単収）の整理 - 現地視察について - 第 2 回検討会について
6	2024 年 1 月 18 日	- 現地視察報告 - 水稻作柄予測手法のプロトタイプ、予測結果（県別単収・坪刈単収）報告
7	2024 年 2 月 28 日	- 第 3 回検討会の検討事項の整理 - 水稻作柄予測手法のプロトタイプ、予測結果（県別単収・坪刈単収）報告 - 先行事例の調査（プロセスモデル）結果報告 - 水稻作柄予測手法実用化に向けた提言の取りまとめ - 我が国食料安全保障施策への譲歩提供に関する提言の取りまとめ

5. 事業成果報告会の開催

タイ OAE や農林水産省統計部職員等を対象とした本事業の成果報告会（以下「事業成果報告会」という。）を開催し、手法の評価、課題等の整理、実用化に向けた提言内容等について報告した。報告会で使用する資料一式は、報告会開催の1週間前までに電子記憶媒体により担当部署に提出した。

添付資料1 OAE の坪刈調査の野帳 (1/2)

2. Questionnaires (Crop cutting survey form)

Crop Cutting Survey Form (Major rice)

(Crop year , 2004/5)

Name of Volunteer		Name of the head of village	
Address		Address	
Tel		Tel	

1 Identity (1)

Crop year	ROAE	Province	District	Sub-District	Village	Name of Farm household

2 Identity (2)

3 Interview Items (Date)

Farmer's Address		Total area of rice in the major rice season (rai)	Number of plangs in the major rice season (fields)	Number of plangs in harvesting time	Sample plang No	Area of sample plang (rai)	Number of bing in harvesting time
TEL					()		

3 Interview Items (Continue)

Sample bings NO	Area of sample bing (rai)	Irrigated or rain fed	well pump	Planting Method	Variety	Glutinous or nonglutinous	Planting time (DD:MM:YY)	Harvesting time (DD:MM:YY)	Growing condition
(1) () (2) ()	(1) rai (2) rai	1 Irrigated 2 Rainfed	1 Yes 2 No	1 Seeds Broadcasting 2 Plants broadcasting 3		1 Glutinous 2 Nonglutinous			5,4,3,2,1

5 very good, 4 good, 3 normal, 2 bad, 1 very bad

3 Interview Items (Continue)

Seeding Quantity per rai (kg)	Use of organic fertilizer	Use of chemical fertilizer	Use of pesticide	Cultivating machine	Harvesting machine	Technical assistance from	Estimated yield per rai in this year (kg)	Yield per rai in last year (kg)	Moisture in last year (%)
	1 Yes 2 No	1 Yes 2 No	1 Yes 2 No	1 Yes 2 No	1 Yes 2 No				

4-1Yield Measuring Survey

In case of broadcasting method (Survey date)

	Spot 1			Spot 2		
	Weight with bowl	Weight of bowl	Net Weight	Weight with bowl	Weight of bowl	Net Weight
	(a) kg	(b) kg	(c)=(a)-(b) kg	(d) kg	(e) kg	(f)=(d)-(e) kg
Weight of raw rice			(1)			(7)
Weight of clean rice			(2)			(8)
Yield per rai (3) = (2) × 1600 kg			(3)	Yield per rai (9) = (8) × 1600 kg		(9)
Moisture content (%)			(4)	Moisture content (%)		(10)
Revised yield to 15% moisture content (5) = {100-(4)}/(85) × (3)			(5)	(8) Revised yield to 15% moisture content. (11)={100-(10)}/(85) × (9)		(11)

Remarks: Moisture content is measured by ROAE staff

添付資料 1 OAE の坪刈調査の野帳 (2/2)

4-2 Yield Measuring Survey

In case of transplanting method			(Survey date)		
			Spot 1		
			5-row spaces	5-column spaces	Area per plant
			(a) m	(b) m	(c) plants
Planting density	(1) = (a) * (b)	(3) = (d) * (e)			(1)
Number of plants per rai	(2) = 1600 / (1)	(4) = 1600 / (3)			(2)

	Weight with bowl	Weight of bowl	Net Weight	Weight with bowl	Weight of bowl	Net Weight
	(g) kg	(h) kg	(i) = (g) - (h) kg	(j) kg	(k) kg	(l) = (j) - (k) kg
Weight of raw rice			(5)			(11)
Weight of clean rice			(6)			(12)
Yield per plant (7) = (6) / 10			(7)			(13)
Yield per rai (8) = (2) * (7) kg			(8)	Yield per rai (14) = (4) * (13) kg		(14)
Moisture content (%)			(9)	Moisture content (%)		(15)
Revised yield to 15% moisture content (10) = {100 - (9)} / 85 * (8)			(10)	(8) Revised yield to 15% moisture content. (11) = {100 - (15)} / 85 * (14)		(16)

5 Sketch of Plangs and Bings

5-1 The places of sample farmer's plangs in the sample village	5-2 The shape of sample plang, bings and the places of spots
--	--

- OAE is responsible for producing statistics on agricultural production.
Therefore, OAE is studying the method of yield survey to estimate yields accurately.
- OAE would like to request for sample farmers' cooperation of this crop cutting survey.
- Your farm has been selected at random.
- This experimental survey is conducted by volunteers who are assigned to this survey.
- The purpose and method of this survey are as follows:
"The purpose of the survey is an experimental survey to estimate the yield of rice in this province applying the crop cutting method. We survey the weight of 2m² rice plants at two spots (1m² per spot) in your rice field which is selected at random. Five sample farmers have been selected at random in this sample village. In addition, the rice is taken to back to survey the weigh of the rice after drying.
The result of survey is used for only this purpose. The result is never used for other purposes, for example tax, estimate of your income, etc".
- Please help enumerator to cut and measure in your field survey.
- OAE pays honorarium to you. If you receive it, please make your signature below.

Date:
"I received 200 baht from OAE". Signature _____

添付資料 2 県別単収及び坪刈単収の実測値と予測値及び誤差（雨期）

[illegible]

注：

1. 予測収量は、県別に「公表値の作付面積×予測値の単収(作付面積基準)」及び、「公表値の収穫面積×予測値の単収(収穫面積基準)」により求めた。
2. 全国平均は、「作付面積基準の予測収量の全国計と公表値の収量」及び「収穫面積基準の予測収量の全国計と公表値の収穫量」から求めた。
3. 全国単収は、「作付面積基準の予測収量と公表値の作付面積」及び「収穫面積基準の予測収量と公表値の収穫面積」から求めた。
4. 坪別収収(予測)値の予測値は、県別に異なる最年における全坪別収量の平均値である。

添付資料２ 県別単収及び坪刈単収の実測値と予測値及び誤差（乾期）

県名	2022年公表値										最新年(2022年)検証(国3.4.13(2)参照)										最新年(2022年)検証(国3.4.14(2)及び国3.4.15(2)参照)										坪刈単収(直別)			
	2022年公表値										最新年(2022年)検証(国3.4.13(2)参照)										最新年(2022年)検証(国3.4.14(2)及び国3.4.15(2)参照)										最新年検証(国3.4.16参照)			
	作付面積 (ha)	収穫面積 (ha)	収穫量 (t)	単収(作付 面積基準) (kg/ha)	単収(収穫 面積基準) (kg/ha)	単収(作付 面積基準) (kg/ha)	単収(収穫 面積基準) (kg/ha)	誤差 (%)	予測値(収穫量換算) (t)	予測値(収穫面積換算) (kg/ha)	単収(作付 面積基準) (kg/ha)	単収(収穫 面積基準) (kg/ha)	誤差 (%)	Error/CV (%)	単収(作付 面積基準) (kg/ha)	単収(収穫 面積基準) (kg/ha)	誤差 (%)	予測値(収穫量換算) (t)	予測値(収穫面積換算) (kg/ha)	誤差 (%)	最新年 単収 (kg/ha)	最新年 単収 (kg/ha)	誤差											
Annat Chaoen	2,511	2,511	1,219	485	485	486	490	0.2	0.9	1,221	1,229	495	482	2.2	-0.6	0.2	-0.1	1,244	1,210	-2.8	2018	359	-41	-11.4										
Ang Thong	154,186	154,160	99,868	648	648	648	713	11.0	10.2	109,883	110,097	670	673	3.4	3.9	0.5	0.5	103,335	103,765	2023	657	471	-28.3											
Bangkok	73,642	73,539	48,128	654	654	654	654	0.1	-0.1	48,194	48,064	654	654	0.1	-0.1	0.0	0.0	48,192	48,062	2022	483	401	-17.0											
Buang Kan	14,692	14,582	7,220	512	512	476	488	-7.0	-5.5	6,997	7,112	494	505	-3.5	-2.2	-1.5	-1.0	7,261	7,380	2018	493	490	-18.8											
Buri Ram	43,669	43,423	22,614	518	521	455	455	-12.2	-13.0	19,872	19,686	399	395	-23.1	-24.2	-1.7	-1.8	17,405	17,144															
Chachoengsao	319,304	316,798	214,637	672	678	670	667	-0.3	1.3	233,981	217,570	695	709	3.4	4.6	0.4	0.6	221,961	224,659															
Chai Nat	387,415	387,096	243,526	663	663	653	661	-1.4	-0.3	240,069	242,612	672	697	1.3	-0.9	0.1	-0.1	246,892	241,112															
Chayaphum	82,273	82,019	51,299	624	625	561	574	-10.1	-8.2	46,171	47,077	525	550	-15.9	-11.9	-1.5	-1.1	43,176	45,151	2023	900	1069	18.7											
Chanthaburi																																		
Chiang Mai	85,683	85,466	58,390	681	683	648	656	-4.9	-4.0	55,510	56,045	692	697	-4.3	-3.8	-1.1	-1.0	55,827	56,153	2023	960	87	-84.4											
Chiang Rai	335,389	334,463	213,049	635	637	684	692	7.7	8.7	229,344	231,511	677	685	6.6	7.6	1.7	2.0	226,927	229,146	2023	655	440	-32.9											
Chon Buri	33,904	33,674	22,307	658	662	598	592	-13.1	-15.1	19,295	18,916	608	607	-7.8	-8.1	-0.5	-0.5	20,622	20,456															
Chumphon	495	499	228	457	457	529	543	8.3	9.3	241	249	499	512	0.4	3.0	0.0	0.3	229	235															
Kalasin	275,846	274,887	179,656	651	654	623	632	-4.3	-3.4	171,829	173,654	591	601	-9.2	-8.0	-1.3	-1.2	183,071	185,321	2023	1082	1431	32.2											
Kamphaeng Phet	387,923	387,700	241,027	621	622	638	633	2.7	1.7	247,340	245,300	626	627	0.8	0.9	0.1	0.1	242,912	243,263	2023	721	867	20.1											
Kanchanaburi	179,580	179,139	131,152	730	732	741	735	1.5	0.4	133,105	131,631	728	726	-0.2	-0.8	-0.1	-0.5	130,785	130,015	2023	775	839	8.3											
Khon Kaen	138,629	138,243	79,351	576	578	518	560	-10.1	-3.1	71,783	77,451	483	514	-16.1	-11.0	-2.2	-1.5	66,991	71,102	2022	677	393	-42.0											
Korat																																		
Lampang	24,203	24,140	12,527	518	519	537	530	3.6	2.2	12,996	12,799	511	512	-1.4	-1.4	-0.2	-0.2	12,360	12,360	2023	681	268	-60.6											
Lamphun	7,361	7,356	5,152	700	700	719	718	2.7	2.6	5,292	5,281	700	702	0.0	0.2	0.0	0.0	5,153	5,149	2023	608	-140	-123.0											
Loei	703	703	278	395	395	494	480	25.1	21.4	347	337	434	426	9.8	8.0	0.9	0.7	305	300	2010	315	-226	-171.7											
Lop Buri	204,872	204,402	129,828	634	635	684	692	7.9	8.9	140,131	141,387	671	681	5.8	7.3	0.6	0.8	137,401	139,219															
Ma Hong Son	107	107	60	561	561	546	543	-2.7	-3.3	58	58	563	561	0.3	0.1	0.0	0.0	60	60															
Maha Sarakham	178,601	178,204	107,293	601	602	601	602	0.1	0.0	107,411	107,398	601	602	0.0	0.0	0.0	0.0	107,298	107,262	2023	929	849	-8.5											
Mukdahan	1,193	1,193	640	536	536	515	515	-3.8	-3.9	615	614	498	495	-7.2	-7.7	-0.9	-0.8	594	590															
Nakhon Nayok	153,453	152,805	100,217	653	656	647	647	-0.9	-1.4	99,254	98,847	636	619	-2.6	-5.7	-0.4	-0.9	97,576	94,513	2023	842	1227	45.3											
Nakhon Pathom	235,142	234,775	181,153	770	772	785	783	1.9	1.4	184,577	183,713	774	773	0.5	0.1	0.3	0.1	181,907	181,430	2023	1326	1888	42.4											
Nakhon Phanom	70,823	70,376	36,385	514	517	522	523	1.6	1.1	36,983	36,783	514	519	0.0	0.5	0.0	0.0	36,418	36,568	2023	573	495	-13.6											
Nakhon Ratchasima	270,428	269,407	172,565	638	641	609	619	-4.6	-3.5	164,646	166,677	565	579	-11.5	-9.7	-2.2	-1.9	152,689	155,540	2023	604	381	-36.9											
Nakhon Sawan	525,456	521,296	346,383	659	664	733	734	11.2	10.5	394,900	382,499	690	694	4.7	4.5	0.8	0.8	382,370	381,811	2023	685	807	17.9											
Nakhon Si Thammarat	9,179	9,179	2,416	262	262	436	428	-4.5	-4.0	2,296	2,318	426	477	-8.5	23.5	-0.7	0.7	2,208	2,469															
Nan	12,578	12,543	7,175	570	572	576	576	1.0	0.6	7,240	7,221	573	574	0.5	0.4	0.1	0.1	7,207	7,202															
Narathiwat	580	580	298	514	514	475	483	-7.5	-6.1	276	280	437	455	-15.1	-11.4	-0.9	-0.7	253	264															
Nong Bua Lam Phu	24,800	24,519	12,451	502	508	504	511	0.3	0.5	12,491	12,521	504	508	0.3	0.0	0.0	0.0	12,492	12,493															
Nong Khai	89,712	88,999	46,557	519	524	457	469	-12.0	-10.4	40,979	47,336	496	509	-4.5	-2.9	-0.6	-0.4	44,460	45,228	2023	604	296	-51.0											
Nonthaburi	77,993	77,982	56,382	723	723	722	723	-0.2	1.3	56,295	57,169	721	736	-0.3	1.8	-0.1	0.4	56,225	57,389	2023	606	720	17.0											
Pathum Thani	208,857	208,724	148,989	713	714	721	721	1.2	2.2	150,682	152,308	712	721	-0.2	1.0	0.0	0.2	148,655	150,554	2023	649	109	-75.8											
Pathum Thani	208,857	208,724	148,989	713	714	721	721	1.2	2.2	150,682	152,308	712	721	-0.2	1.0	0.0	0.2	148,655	150,554	2023	649	109	-75.8											
Phang Nga																																		
Phatthalung	27,487	27,443	14,314	521	522	535	535	-1.1	-1.3	14,383	14,137	536	532	3.0	2.0	0.5	0.3	14,731	14,606															
Phayao	42,994	42,966	26,745	622	622	619	625	-0.5	0.2	26,804	26,713	613	613	-1.6	-1.5	-0.3	-0.2	26,320	26,325	2023	669	379	-43.3											
Petchaburi	36,876	36,876	21,425	581	581	588	569	-4.0	-2.8	20,572	20,824	520	534	-10.4	-8.1	-1.5	-1.2	19,189	19,990	2016	616	720	17.0											
Petchaburi	154,252	154,109	110,986	720	720	695	694	-3.5	-3.7	107,216	106,882	723	707	0.4	-1.8	0.1	-0.3	111,522	108,950	2023	939	1013	7.9											
Pichit	470,893	469,754	307,387	653	654	660	654	1.1	0.6	308,962	295,551	665	647	1.8	-1.0	0.4	-0.2	312,972	304,032	2023	690	875	26.7											
Phitsanulok	459,224	458,096	278,364	611	612	617	617	0.3	0.3	265,528	263,393	619	623	0.7	1.2	0.3	0.3	300,054	299,714	2023	874	604	-31.3											
Phuket	648,396	647,718	461,714	712	713	711	720	-1.0	0.0	460,626	466,286	712	708	0.0	-0.9	0.0	-0.3	461,744	467,499	2023	997	1422	42.7											
Phuket	648,396	647,718	461,714	712	713	711	720	-1.0	0.0	460,626	466,286	712	708	0.0	-0.9	0.0	-0.3	461,744	467,499	2023	997	1422	42.7											
Phu	13,848	13,761	7,453	539	541	619	625	14.7	7.7	19,727	19,666	614	618	6.0	6.3	1.2	1.2	19,541	19,620	2023	963	488	-13.3											
Phrae																																		
Prachin Buri	125,718	124,479	77,814	619	625	620	627	0.1	0.3	77,932	78,012	617	622	-0.7	-0.4	-0.1	-0.1	77,543	77,402															
Prachuap Khiri Khan	10,206	9,775	5,857	574	529	560	-2.4	0.2	5,716	5,869	570	597	-0.7	-0.4	-0.1	0.0	5,817	5,841																
Rangsit						</																												

添付資料3 県別単収の最新年予測における説明変数の組み合わせ一覧

県名	雨期		乾期		県名	雨期		乾期	
	単収 (作付面積基準)	単収 (収穫面積基準)	単収 (作付面積基準)	単収 (収穫面積基準)		単収 (作付面積基準)	単収 (収穫面積基準)	単収 (作付面積基準)	単収 (収穫面積基準)
Amnat Charoen	None	None	LST-SWR	LST-SWR	Phang Nga	LST	SWR	—	—
Ang Thong	SWR	SWR	LST	LST	Phatthalung	LST	LST	LST	LST
Bangkok	None	SWR	LST-SWR	SWR	Phayao	LST-SWR	LST	SWR	SWR
Bueng Kan	LST	LST	None	None	Phetchabun	LST	LST	SWR	SWR
Buri Ram	LST-SWR	None	None	None	Phetchaburi	None	None	LST-SWR	LST-SWR
Chachoengsao	SWR	SWR	SWR	SWR	Phichit	None	None	None	SWR
Chai Nat	LST	None	LST-SWR	SWR	Phitsanulok	LST-SWR	None	SWR	SWR
Chaiyaphum	SWR	None	SWR	SWR	Phra Nakhon Si Ayutthaya	SWR	LST	SWR	SWR
Chanthaburi	LST-SWR	LST-SWR	—	—	Phrae	LST	SWR	None	None
Chiang Mai	LST	LST	SWR	SWR	Phuket	SWR	SWR	—	—
Chiang Rai	LST	LST	None	None	Prachin Buri	None	LST-SWR	None	None
Chon Buri	LST	None	LST	SWR	Prachuap Khiri Khan	SWR	None	SWR	LST
Chumphon	LST	LST	SWR	SWR	Ranong	None	LST-SWR	—	—
Kalasin	SWR	LST	LST-SWR	LST-SWR	Ratchaburi	None	SWR	LST-SWR	LST-SWR
Kamphaeng Phet	SWR	None	SWR	None	Rayong	LST	LST	LST	None
Kanchanaburi	None	None	SWR	SWR	Roi Et	LST	LST	None	LST
Khon Kaen	LST	LST	SWR	LST-SWR	Sa Kaeo	LST	None	None	None
Krabi	LST	SWR	—	—	Sakon Nakhon	LST	LST-SWR	None	None
Lampang	SWR	LST	LST-SWR	LST-SWR	Samut Prakan	LST-SWR	SWR	None	None
Lamphun	LST-SWR	LST-SWR	SWR	SWR	Samut Sakhon	LST-SWR	LST-SWR	LST	LST-SWR
Loei	SWR	None	None	LST-SWR	Samut Songkhram	SWR	SWR	LST-SWR	SWR
Lop Buri	None	LST	SWR	SWR	Saraburi	LST-SWR	LST-SWR	SWR	SWR
Mae Hong Son	LST	LST	SWR	SWR	Satun	LST	None	None	None
Maha Sarakham	LST	LST	LST	None	Si Sa Ket	None	SWR	None	None
Mukdahan	SWR	LST-SWR	LST	LST-SWR	Sing Buri	LST-SWR	LST	SWR	SWR
Nakhon Nayok	None	LST	LST-SWR	LST	Songkhla	SWR	None	None	LST-SWR
Nakhon Pathom	None	LST	None	SWR	Sukhothai	LST	LST-SWR	LST-SWR	LST-SWR
Nakhon Phanom	LST	LST	SWR	LST	Suphan Buri	SWR	LST-SWR	LST	None
Nakhon Ratchasima	LST	LST	LST	None	Surat Thani	LST-SWR	LST-SWR	LST	LST
Nakhon Sawan	LST-SWR	LST-SWR	SWR	SWR	Surin	None	LST-SWR	None	None
Nakhon Si Thammarat	None	SWR	None	LST-SWR	Tak	LST-SWR	LST-SWR	SWR	SWR
Nan	LST-SWR	None	None	None	Trang	LST	LST	SWR	SWR
Narathiwat	LST-SWR	None	LST-SWR	LST-SWR	Trat	LST-SWR	None	LST	LST
Nong Bua Lamphu	SWR	SWR	LST	None	Ubon Ratchathani	None	SWR	None	LST
Nong Khai	SWR	None	None	None	Udon Thani	LST	LST-SWR	LST-SWR	LST
Nonthaburi	None	LST-SWR	LST	None	Uthai Thani	SWR	None	LST-SWR	None
Pathum Thani	SWR	LST	LST	SWR	Uttaradit	LST-SWR	None	SWR	SWR
Pattani	LST-SWR	None	SWR	LST-SWR	Yala	LST-SWR	None	—	—
					Yasothon	None	None	LST-SWR	SWR

注：

1. 本文22ページ参照
2. None：2カ月前の地表面温度と日射量を両方使わない予測式
LST：2カ月前の地表面温度のみを使う予測式
SWR：2カ月前の日射量のみを使う予測式
LST-SWR：2カ月前の地表面温度と日射量を両方使う予測式