令和3年度地球観測技術等調査研究委託事業 「衛星データ・アンサンブル気象季節予報・作物 モデルを融合した全球作物生育監視・収量予報 システムの構築」

委託業務成果報告書

令和4年5月

国立大学法人茨城大学

本報告書は、文部科学省の地球観測技術等調査 研究委託事業による委託業務として、国立大学法 人茨城大学が実施した令和3年度「衛生データ・ アンサンブル気象季節予報・作物モデルを融合し た全球作物生育監視・収量予報システムの構築」 の成果を取りまとめたものです。

目次

1.	委託	業務の目的	. 2
	1.1.	委託業務の目標	. 2
	1.2.	構築するシステムの概要	2
	1.3.	本年度業務実施計画	. 4
	1.4.	業務実施体制	. 4
	1.5.	本年度業務内容	. 4
2.	実施	内容	. 6
	2.1.	収量予報サブシステム開発	6
	2.2.	生育監視サブシステム開発	13
	2.4.	WEB システムの開発	36
3.	まと	ළු	43
弓	用文献.		44
資	释		.46

1. 委託業務の目的

1.1. 委託業務の目標

気候の年々変動や異常気象の増大による農作物不作が主要因となって、世界の栄養不足人口は 2014年以降増大してきている。このような気候に関連したリスクに対して食糧安全保障を確保 するには、事前にそのリスクを把握し、適切な計画や政策を立て、迅速に対応行動を取ることが 重要である。本課題では、食糧安全保障に関わる気候リスクを軽減・回避するための科学的な情 報を提供する「全球作物生育監視・収量予報システム」を構築することを目的とする。このシス テムは衛星から得られる準リアルタイムデータと作物生育をシミュレートする作物モデルを組み 合わせ、全世界の現在の生育状態を正確に推計・監視する「生育監視サブシステム」と、多数の 気象季節予報(アンサンブル気象季節予報)を用いて、収穫の3ヶ月前・2ヶ月前・1ヶ月前に作 物収量を予報する「収量予報サブシステム」から構成される。開発したシステムはインターネッ トを通じて公開し、農業・食料関係の国際機関やNGO/NPO、日本を含む各国の政府機関等で利 用されることを目標としている。

1.2. 構築するシステムの概要

本委託業務で開発するシステムの概要を図 1.2-1 に示す。構築するシステムは、3 つの技術シ ーズ(①衛星データ・②アンサンブル気象季節予報・③作物モデル)を融合させた2つのサブシ ステム((i)生育監視サブシステム・(ii)収量予報サブシステム)から構成される。生育監視サブシス テムでは、作物モデルで推計される生育状態を準リアルタイムで得られる衛星データを用いて補 正することにより現在の作物の生育状態を高精度に推計する。専門的にはこのような補正をデー タ同化と呼んでいる。収量予報サブシステムでは、生育監視サブシステムで推計された作物の正 確な生育状態を初期値にして、アンサンブル気象季節予報と作物モデルを用いて収穫の3ヶ月前 から収量予報を行う。本システムで利用する衛星データは JAXA プロダクトの GCOM-C の葉面 積指数(以後、LAIと呼ぶ)とする。計画当初は GCOM-C の正規化植生指数(以後、NDVIと呼ぶ) および GCOM-W の土壌水分量を利用する予定であったが、LAI については、作物モデルの出力 変数であり GCOM-C の LAI を用いて直接同化が可能なことからこのデータを用いることにし た。また土壌水分量については、2019年度の試行により作物モデルが精度良く推計しており同 化による収量精度向上がほとんど見込めないことから同化に用いないこととした。アンサンブル 季節気象予報は 2020 年より配信が始まった気象庁の 6 ヶ月アンサンブル数値予報モデル GPV を 用いる。計画当初は APEC 気候センターから提供されるデータを使用する予定であったが、6ヶ 月アンサンブル数値予報モデル GPV の時間解像度が日データであることなどを含めて総合的に 検討し、気象庁のデータを用いることにした。作物モデルは主管実施機関である茨城大学で開発 されている MATCRO とする。



図 1.2-1 構築する全球作物生育監視・収量予報システム

1.3. 本年度業務実施計画



図 1.3-1 システム構築の年次計画

1.4. 業務実施体制

業務項目	実 施 場 所	担 当 責 任 者
①収量予報サブシステム開発	茨城県稲敷郡阿見町中央3-21-1	茨城大学農学部准教授
	茨城大学農学部	増冨 祐司
②生育監視サブシステム開発	茨城県つくば市観音台3-1-3	農業・食品産業技術総合研
	農業・食品産業技術総合研究機	究機構上級研究員
	構環境変動研究センター	飯泉 仁之直
③Webシステムの開発	茨城県稲敷郡阿見町中央3-21-1	茨城大学農学部准教授
	茨城大学農学部	増冨 祐司

1.5. 本年度業務内容

① 収量予報サブシステム開発

前年度にモデルパラメーターを国別に最適化した作物モデルおよび衛星データ同化モデルを用 いて、収量予報サブシステムを完成させる。具体的には、気象業務支援センター等が提供する気 温と降水量などのアンサンブル気象季節予報データを取得し、収穫の3ヶ月前・2ヶ月前・1ヶ 月前に収量を計算・予報するシステムを開発する。収量計算の初期値としては生育監視サブシス テムで推計されるデータを用いる予定である。次に開発したシステムによる収量予報精度を評価 する。水稲生産量上位20カ国程度の一定期間のデータを対象にLeave-One-Out 手法をはじめと する交差手法などにより行う。

② 生育監視サブシステム開発

前年度にモデルパラメーターを国別に最適化した作物モデルおよび衛星データ同化モデルを用 いて、生育監視サブシステムを完成させる。具体的には、気象業務支援センター等の気象データ (気温や降水量など)・JAXA等の衛星データ(LAI)を取得し、最新の衛星データを作物モデ ルへ同化させつつ、作物の生育状態を推計するシステムを開発する。

③ Web システムの開発

前年度に検討した仕様に基づき「全球作物生育監視・収量予報システム」をWebシステムとして開発し、インターネット上で限定公開する。

2. 実施内容

2.1. 収量予報サブシステム開発

2.1.1. 業務実施概要

前年度にモデルパラメーターを国別に最適化した作物モデルおよび衛星データ同化モデルを用 いて、収量予報サブシステムを完成させた。具体的には、気象業務支援センター等が提供する気 温と降水量などのアンサンブル気象季節予報データを取得し、収穫の3ヶ月前・2ヶ月前・1ヶ 月前に収量を計算・予報するシステムを開発した。収量計算の初期値としては生育監視サブシス テムで推計されるデータを用いた。次に開発したシステムによる収量予報精度を評価した。水稲 生産量上位20カ国程度の一定期間のデータを対象にLeave-One-Out 手法をはじめとする交差手 法などにより行った。

2.1.2. システム概要

基本的には前年度までに開発してきた手法を用いて収量予報システムを構築するが、1部改良 等もおこなっている。以下では全体のシステムについて改良点も含めて概説する。

まず収量予報システムでは、収量予報開始時点まで再解析気候データJRA55を用い、それ以 後は6ヶ月アンサンブル数値予報モデル GPVを用いて、収量予報を行う。ここで6ヶ月アンサ ンブル数値予報モデル GPVとは気象業務支援センターから配布されている気象予報データで、6 ヶ月先までの全球の日単位の気温や降水量のデータが含まれている。ただし、JRA55及び6ヶ月 アンサンブル数値予報モデル GPVにはバイアスエラーがあるため、バイアスエラーを除去しつ つ、これら二つのデータをスムーズに接合したデータを作成し、収量予報に用いている。このバ イアス補正接合データ作成の詳細については 2.3 節に記述する。現時点では収量予報は月1回行 う仕様となっている。なお6ヶ月アンサンブル数値予報モデル GPVは、2022年4月に新形式に 変更が行われ、旧形式の配信は廃止された。このため、新形式に対応するシステムへの対応は現 在実施中である。

本システムでは、収量予報開始時点まで、GCOM-Cの観測LAIを用いて、作物モデルによる 推計LAIを修正する同化システムを採用する。前年度まではMODISのNDVIのデータを補正し て利用していたが、GCOM-Cからは作物モデルの直接出力のLAIが提供されるため、今年度か らはこのGCOM-CのLAIを直接用いることにした。データ同化の詳細手法については、2.2節 に記述する。

本システムにおいて収量推計を行う作物モデルは MATCRO(Masutomi et al. 2016a,b)である。た だし MATCRO を含む全ての作物モデルの収量推計にバイアスエラーがあるため、高精度な収量 推計を行うためにはこれを消去する必要がある。本システムではこのバイアスエラーを消去する ために、過去の推計収量と観測収量の差を推計収量に加える単純な手法を採用した。具体的には 以下の式で表される。

$Y_sim(yr,cnt) = Y_dsim(yr,cnt) + (Y_obs(yrs,cnt) - Y_sim(yrs,cnt))$

ここで Y_sim(yr,cnt)は年 yr, 国 cnt におけるバイアス補正済みの推計収量、Y_dsim(yr,cnt)は年 yr, 国 cnt におけるバイアス補正なしの推計収量、Y_obs(yrs,cnt)は過去のある期間の年(yrs), 国 cnt における観測収量の平均値、Y_sim(yrs,cnt)は過去のある期間の年(yrs), 国 cnt における推計収 量の平均値である。Y_obs(yrs,cnt) – Y_sim(yrs,cnt)は国別に決まる値である。前年度業務ではバイ アスエラー消去のために、複数のモデルパラメーターの国別最適化を実施したが、この最適化に は膨大な時間がかかり(1ヶ月程度)、モデルの定期的な改良・アップデートに対応できないた め、最終的には、上式で表されるシンプルかつ時間がかからない最適化手法を本システムでは用 いることにした。

2.1.3. 収量予報システム精度検証手法

2019年の各国の収量について、上記の収量予報システムを用いて収量予報を行い、その精度 を検証する。2019年を選んだのは、FAOによる観測収量が2020年の収量までしか現時点では得 られないこと、GCOM-CのLAIが2018年以降しか得られないことから選択した。

予報精度を厳密に検証するためには、予報年のデータを抜いて収量推計を行い、観測収量と比較するといった交差手法等を用いる必要がある。このため今回の精度検証では 2019 年のデータを利用せずに 2019 年の収量を推計し、観測収量と比較をおこなった。つまり Leave-one-out 手法を 2019 年にのみ適用して精度検証を行った。具体的には、LAIの同化に用いた過去年は 2018, 2020, 2021 年の 3 年とし、収量推計バイアス補正に用いた過去年は 2016, 2017, 2018, 2020 年の 4 年とした。

収量予報精度検証の気候データには6ヶ月アンサンブル数値予報モデル GPV(旧形式)の再予報 データを用いる。この再予報データには月2回の予報データがあり、それぞれ5アンサンブルメ ンバーを含んでいる。精度検証にはこのうち、月初めの5アンサンブルの予報データを用いてお こなった。

2.1.4. 結果

表 2.1-1 に 5 つのアンサンブル予報の平均予報収量と観測収量の誤差率を、予報開始月別に示 す。これによると例えば、日本を見ると、田植えの時期である 5 月(収穫(10 月)の 5 ヶ月前)に予 報をおこなった場合、誤差率が 5.7%で、8 月には 7.2%になるが、収穫 1 ヶ月前の 9 月には 2.9% となり、精度良く収量を予報できていることがわかる。収穫月の直前の月において収量予報精度 が高くなるのは、1 期作で収穫月が国の中でそれほど変わらない韓国のような国でも見られる。 一方、国の中でも収穫月がバラバラであったり、2 期作をしている熱帯の国などでは、一般に収 量予報精度を国別に評価するのは難しいが、インドネシアでは乾季の収穫月である 6 月から 9 月 にかけて、収量予報精度が高くなることがわかる。一方、例えば、マダガスカルやパキスタンは どの予報開始月の誤差率は高く、予報精度が低い。これは、この二つの国の観測収量が2018年 以降大きく低下したためである。この観測収量の低下の原因は不明であるが、このような国では 予報精度は一貫して低くなる。

	JAN	FEB	MAR	APF	R MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DE	С
Bangladesh		20.1	12.9	11.5	8.6	12.3	13.4	13.0	15.8	12.7	14.7	15.0	14.0
Brazil		15.2	14.2	12.1	10.7	9.8	10.7	8.9	10.1	8.8	7.8	7.8	7.8
Cambodia		-27.7	-20.6	3.5	10.7	8.0	8.8	10.6	-0.7	10.4	5.3	5.6	-2.1
China		11.9	9.7	8.2	9.1	8.2	8.7	6.6	3.4	0.5	-2.1	-3.3	-3.3
Egypt		6.8	2.0	1.7	6.8	0.3	5.2	-0.2	4.8	4.1	3.4	3.4	3.4
India		18.7	11.4	3.0	2.4	6.1	2.7	10.9	14.3	13.2	10.8	13.3	12.9
Indonesia		7.6	7.7	6.6	6.8	7.1	7.9	7.9	6.7	6.0	5.8	5.7	5.7
Japan		6.9	6.5	5.9	7.7	5.7	5.9	6.4	7.2	2.9	0.2	0.1	0.1
Laos		1.4	-1.2	-6.2	-5.6	-7.9	-7.9	-8.0	-8.5	-9.1	-9.7	-10.3	-10.3
Madagascar		43.7	41.7	43.4	45.1	43.6	45.1	43.8	44.1	44.1	43.0	44.1	44.7
Myanmar		0.3	0.3	-1.1	-1.4	-0.5	-1.0	-1.7	-1.4	-2.6	-3.0	-3.9	-4.0
Nepal		-3.8	-6.7	-7.8	-4.2	-4.9	-2.5	-4.1	-5.8	-5.5	-7.3	-7.1	-7.1
Nigeria		-3.9	-6.7	-15.6	-11.8	-5.8	-6.2	1.4	-1.9	-0.5	0.2	-3.6	-3.2
Pakistan		-29.4	-44.3	-46.1	-36.2	-24.0	-38.0	20.1	44.3	44.1	44.3	46.3	46.3
Philippines		3.2	2.4	1.8	0.6	-0.7	-0.3	-0.3	-0.6	-1.2	-2.0	-2.5	-2.5
South Korea		30.8	25.0	24.5	28.1	23.6	19.4	19.8	22.2	17.5	9.8	9.6	9.6
Sri Lanka		-16.9	-15.4	-19.9	-17.8	-18.2	-19.8	-21.9	-22.8	-24.6	-24.6	-24.6	-24.6
Thailand		17.3	7.9	-1.5	10.1	5.7	2.2	0.8	-1.0	-1.7	-3.9	-6.4	-6.4
United States		-2.6	2.8	4.0	8.9	4.5	5.6	0.7	6.2	4.4	-1.6	-1.6	-1.6
Vietnam		9.5	10.2	8.2	12.7	13.6	10.2	8.4	8.0	7.9	7.0	6.4	6.3

表 2.1-1 予報開始月別の誤差

次に図 2.1-1 に各予報開始月の5つの収量予報アンサンブルをプロットし、観測収量と比較す る。これによると例えば、日本では田植えの5月の時点では、収量予報のバラツキが大きく、収 穫に近づくにつれて、バラツキが小さくなることがわかる。このバラツキが収穫に向かって減少 する傾向は、熱帯の国も含めて、どの国でも比較的見られる傾向であり、収量予報の不確実性が 低減していくことを示している。







図 2.1-1 予報開始月別の収量予報値

プロットは各予報開始月における 2019 年の収量予報値を示している(各月 5 アンサンブルメン バ)。一番右のプロットと、点線は 2019 年の観測収量を表している。

2.2. 生育監視サブシステム開発

2.2.1. 概要

前年度にモデルパラメーターを国別に最適化した作物モデルおよび衛星データ同化モデルを用 いて、生育監視サブシステムを完成させた。具体的には、気象業務支援センター等の気象データ (気温や降水量など)・JAXA等の衛星データ(LAI)を取得し、最新の衛星データを作物モデ ルへ同化させつつ、作物の生育状態を推計するシステムを開発した。なお、開発したシステムの うち、気象業務支援センター等の気象データを処理し、生育監視と収量予報を一体的に行うため に必要な気象入力データを作成する部分が再解析・予報接合気象外力データ生成サブシステムで ある。

2.2.2. データの取得

衛星データを同化させつつ、気象予報データを利用して収量予報を行うには以下、データを準 リアルタイムで入手する必要がある

- ① 気象予報データ:6ヶ月アンサンブル数値予報モデル GPV
- ② 気象再解析データ: JRA-55
- ③ 衛星データ: GCOM-C

本項ではそれぞれのデータの入手法について記述する

① 6ヶ月アンサンブル数値予報モデル GPV

6ヶ月アンサンブル数値予報モデル GPV は一般財団法人気象業務支援センター(図 2.2-1)から データが提供されている。準リアルタイムでデータ提供を受ける場合、FTP を通じて、受信サー バーの設定・登録後、データ提供を受けることが可能となる(ただし有料)。これにより定期的 にデータを受信サーバーまで FTP を通じて届けてくれる。なお6ヶ月アンサンブル数値予報モ デル GPV は 2022 年 2 月 10 日より、旧形式の5 日ごとのデータ配信から毎日データ配信が行わ れる新形式に変更された。新形式についてはすでにリアルタイムでのデータ取得をしているが、 システムへの対応を現在実施中である。



図 2.2-1 気象業務支援センターの HP(http://www.jmbsc.or.jp/jp/index.html)

② JRA-55

JRA-55 は元々JRA-55 が運営しているホームページからデータ提供がされていたが、現在はホ ームページからの提供は中止され、複数の機関からデータ提供をおこなっている。JRA-55 のデ ータ提供機関の一つである DIAS(図 2.2-2)からは準リアルタイム(3 日遅れ)でデータ配信をおこな っており、スクリプトを用いたデータ提供も可能となっている。これは将来的には自動ダウンロ ードも可能であると考えられたため、本システムでは基本的にこの DIAS からダウンロードした JRA-55(図 2.2-3)を利用している。自動ダウンロードについては、データダウンロードスクリプト に明確なパターンがないため、現状では難しい状況となっているが、今後 DIAS 管理者らと相談 し、進めていきたい。なお DIAS からのデータダウンロードにはユーザー登録が必要である。

					日本語 English
レビス かいまた データ 統合・解析:	システム	ホーム DIASとは	データ・アプリケーション	適用分野 活動紹介	ト お知らせ
	ータセット検索 ##ジンテムでは、DIASに登録されている - にや時じ、されまたたがでクンロー	и Каст-релура, Бирейјат,	Centagen		
T T T		細はこちら エ日計 の立い	and neth	床 京、 台 界。	
適用分野					
気象・気候	<u>м</u>		都市	1 防災	
	生物多様性		建康	エネルギー	
ハイライト					
FE922				DASコミュニティフォーラム 2022 ・自然資本ビッグデータ 金融・防災・ヘルスケ	が切り開く アの未来 —
2022.4.21 GW期間中のサポートデスク 休止いたします	2022.3.6 7窓口対応を 「絶景 運用開	予測-ZEKKEI EXPLOR 始。NHKで紹介されま	BR」試験 【特設 した。 フォー	サイト公開】DIASコミ ラム2022を開催します	ュニティ (3/9)

図 2.2-2 DIAS の HP(https://diasjp.net/)

ディレクトリ指定	キーワード指定								
/jra55/Hist/Daily/anl_land125/202205									
h.									
jra55	単語一致 ~								
Hist Daily									
ani_land125	単語はスペース区切りで複数を指定出来	ます。							
0 202205	使業モートによる違いは以下の通りで9	· 해전							
ファイル快楽									
ー /									
テイレフトリカムと手取ったりがらなこともテイレフトの支金ンフリオムこともつ場合があ モーフード指定ビアイレクト36、ファンイム&の一部の構成ができます(部分一致の選択を推測)。 ディレクトリ指定とキーワード指定を同時にすることも可能です。									
以下のリストの金ファイルをダウンロードするための一括ダウンロードスクリプトが利用できます。 スクリプトを利用した場合、 デーク提供者によるアーク利用規約 および DiaSクービス利用規約 に同意したものとみなします。 当ダウンロードスクリプトのウクンロード (スクリプトがのない) ・ マブルクイボックスへのチェックの有個に関わらず、金ページの金ファイルが対象となります。									
1 / 1ページ, 26 / 26 レコード, 開始レコード 1 , 終了レコード 26									
タイトル		ファイルサイズ	作成日時						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050100		186,102	2022-05-03 21:02:19						
□ jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050106		186,102	2022-05-03 21:02:19						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050112		186,102	2022-05-03 21:02:19						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050118		186,102	2022-05-03 21:02:19						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050200		186,102	2022-05-04 21:02:10						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050206		186,102	2022-05-04 21:02:11						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050212		186,102	2022-05-04 21:02:11						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050218		186,102	2022-05-04 21:02:11						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050300		186,102	2022-05-05 21:02:10						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050306		186,102	2022-05-05 21:02:10						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050312		186,102	2022-05-05 21:02:10						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050318		186,102	2022-05-05 21:02:10						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050400		186,102	2022-05-06 21:02:13						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050406		186,102	2022-05-06 21:02:13						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050412		186,102	2022-05-06 21:02:13						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050418		186,102	2022-05-06 21:02:13						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050500		186,102	2022-05-07 21:02:11						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050506		186,102	2022-05-07 21:02:11						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050512		186,102	2022-05-07 21:02:11						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050518		186,102	2022-05-07 21:02:11						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050600		186,102	2022-05-08 21:02:11						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050606		186,102	2022-05-08 21:02:11						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050612		186,102	2022-05-08 21:02:11						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.2022050618		186,102	2022-05-08 21:02:11						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.ctl		607	2022-05-08 21:03:17						
jra55 > Hist > Daily > anl_land125 > 202205 > anl_land125.idx		4,105	2022-05-08 21:03:17						
一括ダウンロード									
選択ファイル	・ 0個 0パイト								
ダウンロード 全チェック 金取消									

図 2.2-3 JRA55 のダウンロードページ(DIAS 内)

③ GCOM-C

GCOM-Cのデータは G-Portal(図 2.2-4)から取得することが可能である。G-Portal からは GCOM-C について 3 つのプロダクトレベルのデータが提供されているが、本システムでは全 球・タイルで提供され、時空間処理を施したレベル 3 を用いる。またレベル 3 には時間解像度が 1日、8日、1月のデータがあるが、本システムではデータの同化頻度(1月)やデータ欠損の少な さを考慮し、時間解像度 1 月のデータを用いる。G-Portal におけるデータ提供は準リアルタイム (1日遅れ)で実施されている。本システムで利用する LAI データの例を図 2.2-5 に示す。

G-Portal からは FTP を通じたスクリプトによるデータダウンロードが可能となっている。現在 のところデータダウンロードは手動でおこなっているが、ダウンロードスクリプトにパターンが 見られることから自動化することが可能である。今後進める予定である。



図 2-2.4 G-Portal の HP(https://gportal.jaxa.jp/gpr/)



図 2-2-5 GCOM-C の LAI データの例

2.2.3. データ同化

GCOM-CによるLAIを用いて、作物モデルで計算されるLAIを修正する同化を行うが、一般 に衛星データによるLAIもバイアスエラーを含んでいるため、これをそのまま用いることはで きない。そこで本システムでは、衛星データによるLAIの年々変動のみを用いて、作物モデル のLAIを修正することによる同化手法を用いた。具体的には、以下の式で表される。

LAI assim(yr,mon,gr)=LAI sim(yrs,mon,gr)*LAI obs(yr,mon-1,gr)/LAI obs(yrs,mon-1,gr)

ここで、LAI_assim(yr,mon,gr)は年 yr,月 mon, グリッド gr における同化済みの LAI, LAI_sim(yrs,mon,gr)は過去のある期間の年(yrs),月 mon, グリッド gr におけるモデル推計 LAI, LAI_obs(yr,mon-1,gr)は年 yr,月 mon-1,グリッド gr における観測 LAI, LAI_obs(yrs,mon-1,gr)は過 去のある期間の年(yrs),月 mon-1,グリッド gr における観測 LAI である。衛星データの観測 LAI は、前月の平均値が次の月の初めに得られる。このため同化は前月の観測 LAI が得られる月初 めに月 1 回行う。したがって、LAI_assim、LAI_sim の月 mon は月 mon の月初めを表しており、 LAI_obs の月 mon-1 は月 mon の前月を表していることに注意が必要である。また観測 LAI は空 間解像度 2.5 分で得られるが、作物モデルの空間解像度 30 分にアップスケールして同化してい る。

2.3. 気象データのデータ接合とバイアス補正手法

本システムでは、作物モデルの入力気象データとして、2種類のデータを使用する。一つは現 在までの実績気象データにあたる再解析値であり、もう一つは将来予測データにあたる予報値で ある。再解析値は播種から現時点までの生育状況の監視に用いられる。生育が進み、収量形成が 既に始まっている場合には、収量状況の把握にも再解析値は用いられる。一方、予報値は現時点 から収穫までの生育と収量の予測に用いられる。再解析値を用いる場合と予報値を用いる場合の いずれでも、作物モデルにより推定された生育や収量が平年よりも顕著な変動を示した場合に は、早期の警戒や対応を生産者や市場関係者、食料機関などに促すための基礎情報となる。 作物モデルに入力する気象データは、少なくとも、播種から収穫までの期間について、必要な複 数の気象変数(気温と降水量、日射量、湿度、風速など)が欠けずに揃っている必要がある。北 半球中緯度であれば、イネを含む夏作物は12月までに収穫されるため、暦上の1年間(12月ま で)のデータがあれば、全生育期間をカバーできる。しかしながら、南半球や熱帯低緯度地域で は生育期間が12月をまたぐため、全生育期間をカバーするためには暦上2年間のデータが必要 になる。もし、生育期間内のある日の気象変数の値が欠けている場合には、作物モデルによる生 育・収量シミュレーションがその時点で停止してしまう。このため、そうした場合には、シミュ レーション開始前に何らかの方法で欠けている変数の値を穴埋めしておく必要がある。さらに、 生育監視と収量予報を一体的に行うためには再解析値と予報値を連続した一つの時系列データと して作物モデルに与える必要がある。しかしながら、再解析値と予報値は異なるデータセットと して気象機関からそれぞれ提供されており、時間や空間の解像度、利用できる気象変数の種類や データが利用できる期間の長さなどが大きく異なる。

こうした煩雑さから、再解析値と予報値を接合した気象外力データセットは、特定の地点に対 して研究目的で作成された例は多くあるものの、広域を対象として継続的に接合気象データセッ トが作成されている例はほとんどない。その数少ない例は、日本の陸地を対象に農研機構が作成 している農業気象メッシュデータシステム(大野ら、2016)である。この農業気象メッシュデー タは、前日までの地上気象観測値と26日先までの予報値、翌年末までの気候値を接合したもの であり、ほぼ毎日更新されている(農研機構、2020)。

本研究では、イネを含む作物一般の生育監視・予報に適用可能な、再解析値と予報値を接合し た全球気象外力データセットを開発した。本接合データは、時間分解能が日別、空間解像度が 0.5°であり、全球でのイネの生育・収量シミュレーションが可能な作物モデル(MATCRO-Rice や CYGMA)を駆動させるために必要な10種類の気象変数が利用可能である(表 2.3-1)。な お、MATCRO-Rice はこれまで時間分解能が3時間の気象データを入力値として使用していた が、今回、茨城大により日別値を入力データとして駆動できるように改良された。本接合気象デ ータはほぼ10日間隔で作成され、その都度、直近までの再解析値と最大 241日先の予報値、翌 年末までの気候値を組み合わせることにより暦上2年間の気象データを生成する。接合データを 生成する度に2年間の気象データを生成することにより、播種前の栽培計画に情報提供できる。 さらに、生育期間が12月をまたぐ(暦上2年に渡る)南半球や熱帯低緯度地域を含む、全球の 農業監視・収量予報に使用できる。

表 2.3-1 本接合気象データセットで利用可能な 10 種類の気象変数。〇印はそれぞれの作物モデル(MATCRO-Rice と CYGMA)が入力値として使用する気象変数を示す。変数名はベースラインとなる S14FD 気象外力データセットのものに合わせた。S14FD データセットについては本文を参照のこと。

変数名	説明	単位	MATCRO-Rice	CYGMA
tave2m	日平均 2m 気温	°C	0	0
tmax2m	日最高 2m 気温	°C	0	0
tmin2m	日最低 2m 気温	°C	0	0
precsfc	日降水量	mm d ⁻¹	0	0
dswrfsfc	日平均下向き短波放射量	W m ⁻²	\bigcirc	\bigcirc
dlwrfsfc	日平均下向き長波放射量	$W m^{-2}$	0	

rh2m	日平均 2m 相対湿度	%		0
spfh2m	日平均 2m 比湿	kg kg ⁻¹		
wind10m	日平均 10m 風速	m s ⁻¹	0	\bigcirc
pressfc	日平均地上気圧	hPa	0	

2.3.1. データ及び手法

本接合データセットの作成における作業フローの概要を図 2.3-1 に示す。接合データでは、再 解析値と予報値を接合する際に気象外力値を使用する。気象外力値は、再解析値を地上観測値の 全球グリッドデータで補正したデータである。再解析値は大気上層のデータについては観測値相 当の信頼性があると考えられているが、再解析値の地表面データ(特に降水量)には、地上観測 値に比べて、系統誤差(バイアス)があることが知られている(例えば、Berg et al., 2010)。こ のため、作物モデルを駆動するうえでは気象外力値が最も信頼性の高い入力気象データと一般に 考えられていることから、本研究では、再解析値と予報値を接合するにあたり、気象外力値をベ ースラインとして使用した。使用した気象外力値と再解析値、予報値、接合手法については以下 に述べる。



図 2.3-1 今回、作成した接合気象データの作成フローの概略

①気象外力値

本研究で使用した気象外力値は S14FD データセット(lizumi et al., 2017)から得た。S14FD は 空間解像度が 0.5°であり、日別値が利用可能であるため、作成する接合データの空間解像度・ 時間分解能と一致する。より重要なことには、既存の主要な気象外力データセットである PFD (米国プリンストン大学などが作成; Sheffield et al., 2006)や WFDEI(英国ハドレーセンターな どが作成; Weedon et al., 2011)と比較して、S14FD は極端気温・降水量指標の値が地上観測値に より近く、より信頼性が高い気象外力値が得られると期待できる。こうした理由から今回、 S14FD を使用した。なお、S14FD を PFD や WFDEI など他の気象外力データセットに差し替え て接合データを作成することは可能である。

S14FD の気象外力値を用いて日別に長期平均値(気候値)を計算した。このとき、計算には対象日の前後5日間(計11日間)の30年間(1981-2010年)からなる330サンプルを用いた。 閏日(2月29日)のみサンプル数が303と他の日に比べてやや少ないが、気候値に対する影響 は小さいため、そのままとした。

②再解析值

再解析値については本研究では気象庁の JRA-55 データセット(Kobayashi et al., 2015)を使用した。本研究で使用した再解析値と、その元となる JRA-55 の気象変数との対応関係は表 2.3-2 に示した。

JRA-55のデータは空間内挿および時間集計した後、必要がある場合には変数推定、単位変換 を行った。変数推定とは、JRA-55など気候モデル出力から利用可能な変数を合成して気候モデ ル出力にはない変数(あるいは出力されていない変数)を推定する作業である(飯泉ら、 2010)。JRA-55で使用されている変数名とS14FD気象外力データセットの変数名が異なる場合 にはベースラインとなるS14FDの変数名に合わせた。

本接合データセットに含まれる 10 種類の変数は、JRA-55 のうち、2 次元物理量瞬間値(出力 区分名:fcst_surf)あるいは2 次元物理量平均値(fcst_phy2m)から全て得ることができた。た だし、これらの出力区分は時間分解能が3時間、空間解像度が0.5625°であるため、距離逆数加 重平均法により0.5°に空間内挿し、その後、日別値に時間集計した。対象とする変数のうち、こ れらの出力区分に該当するものについては、空間解像度の齟齬が小さいため、高度補正は行わな かった。2m 高度の気温については3時間値8サンプル(24時間に相当)から日平均、最高、最 低気温を算出し、さらにケルビン(K)から摂氏(°C)に単位変換した。JRA-55では10m 高度 での風速は東西成分と南北成分に分かれているため、これらを合成してスカラ風速を計算した。 ベースラインとなる S14FD で使用されている単位に揃えるため、JRA-55 の地表面気圧の単位は パスカル(Pa)からヘクトパスカル(hPa)に変換した。なお、JRA-55 では降水量の3時間値の 単位は日あたりミリメートル(mm d⁻¹)で出力されているため、3時間値を8 で除して3時間積 算降水量に変換したうえで8サンプルを積算し、日積算降水量とした。上記のように処理した再 解析値は、後述するバイアス補正後に接合データの作成に用いた。

上記に加えて、予報値の変数推定に使用するために、JRA-55 の2 次元物理量瞬間値から気温 日較差(dtr)と、大気のほぼ全層に相当する 90hPa から 1100 hPa における全雲量(tcdc)、等圧 面解析値(anl_p125)から 850hPa の相対湿度と風速の東西・南北成分を得た。10m 風速と同様 に、850hPa 風速についても東西成分と南北成分からスカラ風速を計算した。anl_p125の空間解 像度は 1.25°、時間分解能は6時間値であるため、fcst_surfと fcst_phy2m の場合と同様に、0.5°・ 日別になるように空間内挿と時間集計を行った。

表 2.3-2 本接合データの作成に使用した再解析値とその元となる JRA-55 データセットの気象 変数との対応関係

JRA-55	本接合データで				
(時間分解能・空	使用した再解析値				
	(日別、0.5°)				
出力区分	変数名	単位	説明	変数名	単位
2 次元物理量瞬	tmp2m	К	2m 気温	tave2m	°C
間値				tmax2m	°C
(fcst_surf)				tmin2m	°C
3 時間、0.5625°				dtr	°C
	rh2m	%	2m 相対湿度	rh2m	%
	spfh2m	kg kg ⁻¹	2m 比湿	spfh2m	kg kg ⁻¹
	ugrd10m	m s ⁻¹	10m 風速東西成分	wind10m	m s ⁻¹
	vgrd10m	m s ⁻¹	10m 風速南北成分		
	tede	%	90-1100 hPa 全雲量	tcdc	%
2 次元物理量平	tpratsfc	mm d ⁻¹	総降水量	precsfc	mm d ⁻¹
均值	dswrfsfc	W m ⁻²	下向き短波放射フラッ	dswrfsfc	W m ⁻²
(fcst_phy2m)			クス		
3 時間、0.5625°	dlwrfsfc	W m ⁻²	下向き長波放射フラッ	dlwrfsfc	W m ⁻²
			クス		
	pressfc	Ра	地表面気圧	pressfc	hPa
等圧面解析值	rhp850	%	850hPa 相対湿度	rhp850	%
(anl_p125)	ugrdp850	m s ⁻¹	850hPa 風速東西成分	windp850	m s ⁻¹
6時間、1.25°	vgrdp850	m s ⁻¹	850hPa 風速南北成分		

④ 予報値

本研究では予報値には気象庁の JMA-CPS2 データセット(Takaya et al., 2018)を使用した。本 研究で使用した予報値と、その元となる JMA-CPS2 の気象変数との対応関係は表 2.3-3 に示した。

JMA-CPS2のデータは空間内挿した後、高度補正と変数推定、単位変換を行った。JMA-CPS2 で使用されている変数名は、ほとんどの場合、S14FD気象外力データセットの変数名と大きく異 なるため、ベースラインとなるS14FDの変数名と整合するように変更した。本接合データセッ トに含まれる10種類の変数は、JMA-CPS2の地上データあるいは850hPaデータから得たが、対 象とする変数のうち地上の湿度(rh2mとspfh2m)と放射量(dswrfsfcとdlwrfsfc)については JMA-CPS2からデータが直接的に得られなかったため、後述するように、経験的な関係式を用い て推定した。

JMA-CPS2の空間解像度は2.5°であるため、ベースラインであるS14FDの空間解像度0.5°との 齟齬が大きい。したがって、これら2つの空間解像度間でグリッドセルの平均標高の差も大き く、JMA-CPS2のデータに対する高度補正が必要となる。そこで、JMA-CPS2の日別データの値 を2.5°から0.5°に距離逆数加重平均法により空間内挿した後、高度補正を行った。このとき、空 間解像度2.5°の標高データはJMA-CPS2データセットにおいては提供されていないため、S14FD データセットで使用されている0.5°解像度の標高データから2.5°解像度の平均標高を計算した。 対象とする変数のうち、日平均気温(tave2m)については、標高が1km上昇するごとに気温が 6.5°C低下するとの気温減率を仮定して、JMA-CPS2の2m気温(h2_Ptt)の値を補正した。次い で、再解析値から得られた気温日較差の日別気候値を仮定して、高度補正後のJMA-CPS2の日平 均気温から日最高気温と日最低気温を推定した。

$$T_{\max t,i} = T_{t,i} + \frac{\overline{DTR_i}}{2} (1)$$
$$T_{\min t,i} = T_{t,i} - \frac{\overline{DTR_i}}{2} (2)$$

ここで、下添え文字の $t \ge i$ は年と暦日(1月1日は1、2月1日は32を表す)を指す。 T_{max} は日最高 2m 気温(°C)、 T_{min} は日最低 2m 気温(°C)、Tは単位変換した予報値の日平均気温(°C)、 \overline{DTR} は再解析値に基づいて計算した気温日較差の気候値(°C)である。

JMA-CPS2の海面校正気圧は、上記の高度補正後の気温を用いて、以下の測高公式により地上 気圧に変換した。

$$P_{\rm s} = P_0 \left(\frac{T_0 - \gamma z}{T_0}\right)^{g/\gamma R_{\rm a}} (3)$$

ここで、 P_s は地上気圧(Pa)、 P_0 は海面更正気圧(Pa)、zは標高(m)、 T_0 は標高 0m での 日平均気温(°C)、gは重力加速度(9.81 m s⁻²)、 γ は気温減率(-6.5 K km⁻¹)、 R_a は乾燥空 気の気体定数(287 J kg⁻¹ K⁻¹)である。ベースラインである S14FD の単位に合わせるため、 JMA-CPS2の地上気圧を計算した後、単位を Pa から hPa に変換した。JMA-CPS2の降水量については高度補正を行わなかった。

JMA-CPS2 では地上の比湿が出力されていない。それに加えて、相対湿度は地上の値は利用で きず、850hPa の値を使わざるを得ない。そこで、まず、850hPa の水蒸気圧を同気圧面の気温 (p850_Ptt) と相対湿度(p850_Prh)から計算した。850hPa の水蒸気圧が地上の水蒸気圧と同じ と仮定し、高度補正した 2m 気温に基づいて 2m 高度での相対湿度を推定した。2m 高度での比湿 は、2m 気温と地上気圧(いずれも高度補正後の値)、上述の水蒸気圧から計算した。

さらに、JMA-CPS2 では放射量および雲量が出力されていない。そこで、変数推定により、 850hPa の相対湿度を全雲量に変換し、さらに放射量に変換した。全雲量は 850hPa の相対湿度に より、ある程度、代表できることが知られている(Smagorinsky, 1960;大野・伊佐, 1984)。こ のため、再解析値を用いて 850hPa 相対湿度から全雲量を説明する以下の経験式を 0.5°グリッド セル別、日別に作成した。

$\ln(C) = a_0 + a_0 \ln(RH)$ (4)

ここで、Cは全雲量(%)、RHは850hPaの相対湿度(%)、a₀とa₁は回帰係数である。回帰 係数の推定には、対象日の前後5日間(計11日間)の30年間(1981-2010年)からなる330 サンプルを用いた。閏日(2月29日)はサンプル数が他よりもやや少ないが、そのままとし た。また、再解析値を用いて、全雲量から下向き短波放射量と下向き長波放射量のそれぞれを説 明する以下の経験式を作成した。

> $\ln(SW) = b_0 + b_0 \ln(C)$ (5) $\ln(LW) = c_0 + c_0 \ln(C)$ (6)

ここで、*SW*は下向き短波放射量(W m⁻²)、*LW*は下向き長波放射量(W m⁻²)、 $b_0 \ge b_1$ 、 c_0 、 c_1 は回帰係数である。回帰係数の推定に用いたサンプル数は、850hPa 相対湿度から全雲量を 説明する場合と同様である。上記の式(4)、(5)、(6)を用いることにより、JMA-CPS2の 850hPa 相対湿度から放射量(dswrfsfc \ge dlwrfsfc)を推定した。

JMA-CPS2 では 10m 風速のデータが出力されておらず、850hPa 風速のデータを使わざるを得ない。しかしながら、標準大気を仮定すると 850hPa はおよそ上空 1500m に相当するため、風速の高度補正にあたり対数測は適用できない。そこで、野田ら(2006)を参考にして、以下の経験式を用いて、850hPa 風速を 10m 風速に変換した。

$U_{10m} = d_0 + d_0 U_{p850}$ (7)

ここで、*U*_{10m}は 10m 風速(m s⁻¹)、*U*_{p850}は 850hPa 風速(m s⁻¹)、*d*₀と *d*₁は回帰係数であ る。*U*_{10m}と *U*_{p850}のいずれもスカラ風速を使用した。JMA-CPS2 の 850hPa 風速は、まず、東西成 分と南北成分を合成してスカラ風速に変換し、次いで、式(7)を用いて 10m 風速を推定した。 JMA-CPS2 では年間 24 初期日ごと(月あたり約 2 回)に 240 日先まで(初期日を含めて 241 日 間)の予報データが得られる。また、JMA-CPS2 ではアンサンブル予測が行われており、再予報 期間(1981–2020 年)については 5 メンバー、現業予報期間(2021 年以降)については 17 メン バーが利用可能である。上記の処理は初期日ごと、メンバーごとに行った。処理された予報値は 後述するバイアス補正後に接合データの作成に用いた。

表 2.3-3 本接合データの作成に使用した予報値とその元となる JMA-CPS2 データセットの気象 変数との対応関係

JMA-CPS2		本接合データで						
(日別、2.5	°)	使用した予	使用した予報値					
出力区分	変数名	単位	説明	変数名	単位			
地上	h2_Ptt	K	2m 気温	tave2m	°C			
				tmax2m	°C			
				tmin2m	°C			
	surf_Prr	mm d ⁻¹	日降水量	precsfc	mm d ⁻¹			
	surf_Ppp	Pa	海面較正気圧	pressfc	hPa			
850hPa	p850_Ptt	К	850hPa 気温	rh2m	%			
	p850_Prh	%	850hPa 相対湿度	spfh2m	kg kg ⁻¹			
				dswrfsfc	W m ⁻²			
				dlwrfsfc	W m ⁻²			
	p850_Pwu	m s ⁻¹	850hPa 風速東西成分	wind10m	m s ⁻¹			
	p850_Pwv	m s ⁻¹	850hPa 風速南北成分					

2.3.2. バイアス補正

再解析値と予報値のいずれも気候モデル出力であり、それぞれにバイアスがあることは知られ ている。しかしながら、バイアスの大きさなどの特徴は両者で異なると考えられる。そこで、再 解析値と予報値をそれぞれバイアス補正したうえで共通のベースラインの上で両者を接合する。

バイアス補正には多数の手法があるが、デルタ手法(Hay et al., 2000; Wilby et al., 2004)が最 も簡易である。デルタ手法は気象変数のデータを1日分ごとに補正できる点が特徴である。日別 値の補正に際しては、累積分布関数に基づくバイアス補正手法はデルタ手法よりも高精度だが、 1日分のデータを補正処理する場合でも過去数十年間の日別値を読み込む必要があり、デルタ手 法に比べて計算負荷が大きい。接合データの作成は、例えば、10日ごとに行われるため、その 都度、バイアス補正処理が必要となる。バイアス補正に係る計算負荷を低く抑えるために、本研 究ではデルタ手法を採用した。 デルタ手法の適用方法は気象変数により異なるが、再解析値と予報値では同じである。具体的には、気温(tave2m、tmax2m、tmin2m)と気圧(pressfc)については、以下のように、加法的に補正した。

$$x_{t,i}' = (x_{t,i} - \bar{x}_i) + \bar{y}_i \ (8)$$

ここで、下添え文字の *t* と *i* は年と暦日を指す。*x* は再解析値、*x*は再解析値の気候値、*y*は気象外力値の気候値である。予報値を補正する場合は、*x* は予報値、*x*は予報値の気候値に置き換えるが、再解析値を補正する場合と同様に*y*は気象外力値の気候値である。

一方、降水量(precsfc)と湿度(rh2m、spfh2m)、放射量(dswrfsfc、dlwrfsfc)については以下のように乗法的に補正した。

$$x_{t,i}' = \frac{x_{t,i}}{\bar{x}_i} \times \bar{y}_i \quad (9)$$

降水量と湿度、放射量については補正後の値が負値を取った場合には値をゼロに置き換えた。 相対湿度の場合には補正後の値が100を超えた場合には100に置き換えた。降水量については、 上記の補正後に、さらに降水日数を補正するためにさらに以下の処理を行った。

$$x_{t,i}^{\prime\prime} = \begin{cases} x_{t,i}^{\prime} & \text{if } x_{t,i}^{\prime} \ge x_{\min i} \\ 0 & \text{if } x_{t,i}^{\prime} < x_{\min i} \end{cases} (10)$$

ここで、*x*min は気象外力データセットの日降水量の最低値(mm d⁻¹)である。降水量の日別気 候値は無降水日がほとんどなく、弱い雨が多いという特徴がある。したがって、日別降水量デー タにデルタ手法を単純に適用した場合、補正後の日降水量データの降水日数(日降水量≥1 mm) が実績値よりも大幅に多くなるという問題がある。S14FDの降水量データは全球グリッド観測値 データセット CRU-TS3.22 (Harris et al., 2014)の月降水日数に近づくように、弱い降水量のデー タ値を無降水量(日降水量がゼロ)に置き換える補正されている。上記の補正処理はそれと整合 的にするために行った。

2.3.3. 再解析値と予報値、気候値の接合

再解析値と予報値について以上の補正処理を行った後、再解析値と予報値、気候値を接合して 2年間分の日別時系列を作成した。2年間は接合データ作成年(t)の1月1日から翌年(t+1)の 12月31日までである。t年の1月1日から接合データ作成年月日の直近までは再解析値を用い た。再解析値の後は、接合データ作成日より前の直近の初期値から始まる予測値を用いた。予測 値が利用可能な期間は、初期日を含めて、241日間である。再予報期間(2020年まで)について は年間24回の初期値日があるため、平均すると、月二回(15日間隔)の予報値が利用できる。 こうした事情から、接合データ作成日により、利用する予報値は接合データ作成日の1日前から 15日前まで変動する。予報値の最後の日以降からt+1年の12月31日までは気候値が用いられ た。予報値はアンサンブルメンバーごとにあるため、接合データもメンバーごとに作成した。な お、予報値はメンバーにより異なるが、再解析値と気候値は同じ値である。 作成した接合データの例を図 2.3-2 に示す。2010 年 1 月 5 日に作成された接合データ(接合デ ータの期間は 2010 年 1 月 1 日から 2011 年 12 月 31 日)では、2010 年 1 月 5 日までが再解析値 であり、1 月 6 日から 2010 年 9 月初旬までが予報値(日々変動がある複数の線)、その後、気 候値(滑らかな一本の線)となっている。2010 年 3 月 6 日に作成された接合データでは 2010 年 3 月 6 日までが再解析値(日々変動がある一本の線)であり、2010 年 11 月半ばまでは予報値、 それ以降は気候値となる。2010 年 6 月 4 日時点および 2010 年 9 月 2 日時点で作成された接合デ ータに見られるように、その後、再解析値が使用された期間が次第に延びていき、それに伴って 予報値が用いられた期間が時間的に後に移動していく。

上記の例では、接合データを使用することにより、2010年1月5日時点で、2010年9月頃に 収穫を迎える北半球では、イネを含む、ほとんどの夏作物について播種前予測に基づく栽培計画 の検討が可能になる。同様に、2010年9月2日の時点で、2011年5月頃に収穫を迎える南半球 の夏作物の播種前予測に基づく栽培計画の検討が可能になる。2010年9月2日の時点で作成さ れた接合データは北半球の冬作物(冬コムギなど)の播種前予測にもある程度使用可能である が、冬作物の多くは春化過程を含むため播種から収穫までの期間が夏作物よりも長い傾向があ り、生育後期(例えば収穫時期)の気象条件については気候値を仮定せざるを得ないという限界 がある。



図 2.3-2 作成した接合データの例。秋田県大潟村付近(北緯 40°、東経 140°)における 2010 年 1月1日から 2011 年 12月31日までの2年間の日平均気温を示す。接合データの作成日はいず れも 2010 年で、1月5日(左上)、3月6日(右上)、6月4日(左下)、9月2日(右下)の 4ケース。

2.3.4. 加法的補正と乗法的補正との比較

接合データ作成のためにバイアス補正を行う際、加法的補正と乗法的補正のいずれを用いるか は、上述のように気象変数により異なり得る。気温には加法的補正を適用する場合が圧倒的に多 く、降水量には乗法的補正を適用する場合が多いものの、それ以外の変数については、どの変数 にどちらのタイプの補正を適用するかは必ずしも自明ではない。

降水量を例にとると、加法的補正を適用した場合、再解析値の変動の大きさが予報値のそれよ りも明らかに大きい(図 2.3-3;6月4日までが再解析値)。降水量の場合と同様に、予報値の変 動の大きさが再解析値のそれよりも小さい傾向が、加法的補正を適用した場合の下向き短波放射 量(図 2.3-4)と下向き長波放射量(図 2.3-5)についても見られた。逆に、地上気圧については 再解析値の変動の方が予報値の変動よりもやや小さい傾向が見られた(図 2.3-6)。一方、相対 湿度や比湿、風速、日最高気温、日最低気温については、再解析値の変動と予報値の変動の大き さに目立った差は見られなかった(図 2.3-7、図 2.3-8、図 2.3-9,図 2.3-10、図 2.3-11)。バイア ス補正後には、上記のような再解析値と予報値のそれぞれの変動の大きさの違いが解消され、一 つの日別時系列として自然に接合されることが望ましい。

上記を踏まえて、それぞれの変数について、加法的補正を適用した結果と乗法的補正を適用した結果とを比較した。日最高気温については補正タイプの違いによる補正値の違いは小さいものの、日最低気温については乗法的補正を適用すると明らかな問題が生じる場合があることが明らかになった。日最低気温の補正後の再解析値が2月に600℃を超える非現実的な値になっている

(図 2.3-11 右)。これは、式(9)において、再解析値の気候値(\bar{x})がゼロに近かったため、 $x_{t,i}/\bar{x}_i$ の値が非常に大きくなったためである。この結果から、単位に $^{\circ}$ を用いた日平均・最高・ 最低気温については、再解析値と予報値のいずれかを問わず気候値がゼロに近い値を取る地域で は乗法的補正の適用が不適切になることが分かった。したがって、気温については加法的補正が 適切である。

降水量については、図 2.3-12 に示された気象外力値(S14FD)の 2010-2011 年のデータ値を見 ると、最大でも 65 mm d⁻¹である。再解析値や予報値と比較した場合、気象外力値の信頼性が最 も高いことを考慮すると、加法的補正を行った再解析値(図 2.3-3 左)は降水量を過大評価して おり、乗法的補正の方(図 2.3-3 右)が気象外力値に近いことと示唆された。

相対湿度については加法的補正を適用した場合には気象外力値と概ね整合的であるが、乗法的 補正を適用した場合には補正値の変動が過度に大きくなった(図 2.3-7、図 2.3-12)。乗法的補 正を適用した場合には補正後の相対湿度が100%となる日数と40%を下回る日数が、いずれも、 加法的補正を適用した場合に比べて明らかに多かった。

気象外力値と比較したが、補正タイプの違いが明確でなかった変数は下向き短波・長波放射 量、比湿、地上気圧、風速であった。そこで、2010-2011年の接合データをS14FDとは独立し た気象外力データWFDE5(Cucchi et al., 2020)と比較した。その結果、比湿と下向き短波・長波 放射量、地上気圧については加法的補正の方が乗法的補正よりもWFDE5に対する平均平方二乗 誤差(RMSE)が小さいことが示された(例えば、比湿については図 2.3-13)。一方で、風速に ついては乗法的補正の方が加法的補正よりも僅かにRMSEが小さかった(図 2.3-14)。なお、比 湿については、相対湿度と異なる補正タイプを適用することには両者の間に存在する物理的な関 係を考慮すると違和感がある。比湿と気温を先に補正し、その後に相対湿度を計算した方が変数 間の物理的な整合性が担保できる。しかし、今回の予報値では、出力された相対湿度から仮定に 基づいて比湿を計算したため、比湿に基づいて相対湿度を再計算することはできない。また、今 回の例では見つからなかったが、地上気圧と風速は乗法的補正では非現実的な値となる可能性が 残る。同様の可能性は下向き短波・長波放射量についても僅かながらある。これらの結果から、 接合データの作成においては、日平均・最高・最低気温、相対湿度、比湿、地上気圧、下向き短 波・長波放射量には加法的補正を適用し、降水量と風速には乗法的補正を適用した。



図 2.3-3 日降水量の接合データを例とする加法的補正(左)と乗法的補正(右)の比較。秋田 県大潟村付近(北緯 40°、東経 140°)における 2010 年 1 月 1 日から 2011 年 12 月 31 日までの 2 年間のデータを示す。接合データの作成日はいずれも 2010 年 6 月 4 日。左右の図で縦軸のスケ ールが異なることに注意。



図 2.3-4 図 2.3-3 と同様だが、日平均下向き短波放射量の場合。左右の図で縦軸のスケールが異なることに注意。



図 2.3-5 図 2.3-3 と同様だが、日平均下向き長波放射量の場合。



図 2.3-6 図 2.3-3 と同様だが、日平均地上気圧の場合。



図 2.3-7 図 2.3-3 と同様だが、日平均 2m 相対湿度の場合。左右の図で縦軸のスケールが異なる ことに注意。



に注意。



図 2.3-9 図 2.3-3 と同様だが、日平均 10m 風速の場合。左右の図で縦軸のスケールが異なることに注意。



図 2.3-10 図 2.3-3 と同様だが、日最高 2m 気温の場合。左右の図で縦軸のスケールが異なることに注意。



図 2.3-11 図 2.3-3 と同様だが、日最低 2m 気温の場合。左右の図で縦軸のスケールが異なることに注意。



図 2.3-12 S14FD 気象外力データ。接合データと比較するために、秋田県大潟村付近(北緯 40°、東経 140°)における 2010 年 1 月 1 日から 2011 年 12 月 31 日までの 2 年間のデータを示 す。



図 2.3-13 接合データの比湿における加法的補正と乗法的補正との比較。陸域グリッドセルのそ れぞれについて 2010 年 1 月 1 日から 2011 年 12 月 31 日までの 2 年間のデータから平均平方二乗 誤差(RMSE)をWFDE5 気象外力データに対して計算し、地理区分と季節ごとに集計した。丸 印は RMSE の中央値、縦棒は RMSE の 95%区間を表す。地理区分は北半球中・高緯度(N. Mid-High)、低緯度(Low)、南半球中・高緯度(S. Mid-High)。季節区分は 3~5 月 (MAM)、6~8 月(JJA)、9~11 月(SON)、12~2 月(DJF)。



図 2.3-14 図 2.3-13 と同様だが、風速の場合。

2.4. Web システムの開発

2.4.1. 業務概要

年度に検討した仕様に基づき「全球作物生育監視・収量予報システム」をWebシステムとして開発し、インターネット上で限定公開した。以下、システムの概要を記す。

2.4.2. 全球作物生育監視・収量予報システム

「全球作物生育監視・収量予報システム」のフロントページを図 2.4-1 に示す。フロントページ中央には二つの入り口があり、左から Yield Projection (収量予報)、右から Growth Monitoring(生育監視)に入ることができる。



図 2.4-1 全球作物生育監視・収量予報システムのフロントページ

まず作物生育監視システムから見ていく。フロントページから Growth Monitoring(生育監視)を クリックすると図 2.4-2 のような全球の地図が表示される。地図上には色の違ったグリッドが示 されているが、色の違いによって各変数の値が平年値に対してどの範囲(~2 σ ; 2 σ ~ σ ; σ ~0.4 σ ; 0.4 σ ~-0.4 σ ; -0.4 σ ~ σ ; σ ~2 σ ; 2 σ ~)にあるかを7段階で示している。色と範囲の対応について は画面右上に Legend として示されている。



図 2.4-2 作物生育監視のフロントページ(平均気温; 2020年1月; 全世界)

生育監視システムで表示できる変数リストを表 2.4-1 に示す。デフォルトでは平均気温が示さ れている。どの変数が示されているかは、画面左上に青色で示されている。画面左上で他の変数 をクリックすることで、地図に表示したい変数を簡単に変えることができる。図 2.4-3 及び図 2.4-4 に降水量とLAI(衛星データ)の表示例を示す。また生育監視システムでは、画面左上で表示 したい時期を月別に選択することができる。これにより過去から現在まで、ユーザーが確認した い月の気候やLAI、土壌水分量を確認できる。

気候データ	衛星データ	作物モデルデータ
平均気温	LAI	LAI
最高気温	土壤水分量	土壤水分量(第1層)
最低気温		土壤木分量(第2層)
降水量		土壤水分量(第3層)
日射量		バイオマス(地上部)
		バイオマス(葉)
		バイオマス(実)
		冷害被害指標
		高温被害指標
		乾燥ストレス指標
		発育指標

表 2.4-1 生育監視システムで表示可能な変数リスト



図 2.4-3 作物生育監視システム-降水量(2020年1月;全世界)



図 2.4-4 作物生育監視システム-LAI(衛星データ; 2020 年 1 月; 全世界)

地図はドラッグスクロールすることで、表示したい場所を変更することが可能である。またマウスやタッチパネルを使って地図を拡大したり縮小したりすることも可能である。図 2.4-5 に 東・東南アジア地域にフォーカスした LAI を示す。



図 2.4-5 作物生育監視システム-LAI(衛星データ; 2020 年 1 月; 東・東南アジア地域)

また地図をクリックすることで、その場所における過去から現在までの時系列データを平年値 とともに表示することができる。図 2.4-6 に LAI(衛星データ)について東京付近をクリックし、 表示した時系列データの例を示す。時系列データはオレンジが平年地で、青が実測値である。こ の例では、4 月から9 月まで LAI が平年より小さかったことがわかる。



図 2.4-6 作物生育監視システム-LAI(衛星データ; 2020 年 1 月; 東・東南アジア地域)

次に収量予報システムを見ていく。図 2.4-7 にフロントページから Yield Projection をクリック した際に現れる画面を示す。グリッド表示やドラッグスクロール・拡大・縮小などの機能は作物 生育監視システムと同じである。違いは収量予報システムではグリッドで表示されている変数が 収量ということである。グリッドのごとの色によって、その場所の収量が平年より高いか低いか を判別することができる。また収量予報システムでは画面左上で収量予報の予報スタート月を選 択することができる。これをユーザーが選択することで、最新の予報から過去の予報までを確認 することができる。図 2.4-8 に日本を対象に 2019 年 7 月の収量予報結果を示す。これによると、 日本全体において収量が平年より低いことがわかる。



図 2.4-7 収量予報システム(2019年5月の予報;全世界)



図 2.4-8 収量予報システム(2019年7月の予報;日本)

全球作物生育監視・収量予報システムは国立環境研究所内の以下の URL を取得している。

http://monicast.nies.go.jp/

現在は限定公開として関係者のみに公開している。今後、業者によるシステムのセキュリティーチェック、関係者による動作確認等を経て、段階的に公開していく予定である。

3. まとめ

収量予報サブシステムの開発では、気象業務支援センター等が提供する気温と降水量などのア ンサンブル気象季節予報データを取得し、収穫の3ヶ月前・2ヶ月前・1ヶ月前に収量を計算・ 予報するシステムを開発し、精度評価を行った。また生育監視サブシステム開発では、気象業務 支援センター等の気象データ(気温や降水量など)・JAXA等の衛星データ(LAI)を取得し、 最新の衛星データを作物モデルへ同化させつつ、作物の生育状態を推計するシステムを開発し た。さらにWebシステムの開発では「全球作物生育監視・収量予報システム」をWebシステム として開発し、インターネット上で限定公開した。以上のように今年度予定されていた業務を達 成できた。 引用文献

- ・ 飯泉仁之直・西森基貴・石郷岡康史・横沢正幸 (2010) 統計的ダウンスケーリングによる気
 候変化シナリオ作成入門.農業気象, 66, 131–143. https://doi.org/10.2480/agrmet.66.2.5
- ・ 大野宏之・佐々木華織・大原源二・中園江 (2016) 実況値と数値予報,平年値を組み合わせ
 たメッシュ気温・降水量データの作成. 生物と気象, 16, 71–79. https://doi.org/10.2480/cib.J-16-028
- ・ 大野久雄・伊佐真好 (1984) GMS 観測に基づく総観スケール雲量と相対湿度の統計的関係.
 天気, 31, 493–495. https://www.metsoc.jp/tenki/pdf/1984/1984 08 0493.pdf
- ・ 農研機構(2020)1kmメッシュ農業気象データシステムの利用と応用.標準作業手順書
 SOP19-005K, pp. 29. https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/SOP19-005K20210831.pdf
- ・ 野田稔・長尾文明・近江行敏・宇都宮英彦 (2006) 上空風の情報を考慮した地上風の風況推定に関する検討.風工学シンポジウム論文集, 19, 31-36.
 https://doi.org/10.14887/kazekosymp.19.0.31.0
- Berg, A., Sultan, B., and de Noblet-Ducoudré, N. (2010) What are the dominant features of rainfall leading to realistic large-scale crop yield simulations in West Africa? Geophysical Research Letters, 37, L05405. https://doi.org/10.1029/2009GL041923
- Cucchi, M., Weedon, G. P., Amici, A., Bellouin, N., Lange, S., Müller Schmied, H., Hersbach, H., and Buontempo, C. (2020) WFDE5: bias-adjusted ERA5 reanalysis data for impact studies, Earth Syst. Sci. Data, 12, 2097–2120. https://doi.org/10.5194/essd-12-2097-2020
- Harris, I., Jones, P. D., Osborn, T. J. and Lister, D. H. (2014) Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—The CRU TS3.10 dataset. International Journal of Climatology, 34, 623–642, https://doi.org/10.1002/joc.3711
- Hay, L. E., Wilby, R. L. and Leavesley, G. H. (2000) A comparison of delta change and downscaled GCM scenarios for three mountainous basins in the United States. Journal of the American Water Resources Association, 36, 387–397. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2000.tb04276.x
- Iizumi T., Takikawa, H., Hirabayashi, Y., Hanasaki, N. and Nishimori, M. (2017) Contributions of different bias-correction methods and reference meteorological forcing data sets to uncertainty in projected temperature and precipitation extremes. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 122, 7800–7819. https://doi.org/10.1002/2017JD026613
- Kobayashi, S., Ota, Y., Harada, H., Ebita, A., Moriya, M., Onoda, H., Onogi, K., Kamahori, H., Kobayashi, C., Endo, H., Miyaoka, K. and Takahashi, K. (2015) The JRA-55 Reanalysis: general specifications and basic characteristics. Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II, 93, 5– 48. https://doi.org/10.2151/jmsj.2015-001

- Masutomi, Y., Ono, K., Takimoto, T., Mano, M., Maruyama, A., Miyata, A. (2016) A land surface model combined with a crop growth model for paddy rice (MATCRO-Rice Ver. 1)-Part II: Model validation, Geoscientific Model Development, 9, 4155-4167
- Masutomi, Y., Ono, K., Mano, M., Maruyama, A., Miyata, A. (2016) A land surface model combined with a crop growth model for paddy rice (MATCRO-Rice Ver. 1)-Part I: Model description, Geoscientific Model Development, 9, 4133-4154.
- NASA Earth Observatory (2016) Heat Wave Hits Thailand, India. https://earthobservatory.nasa.gov/images/87981/heat-wave-hits-thailand-india (accessed 28 February 2022)
- Sheffield, J., Goteti, G. and Wood, E. F. (2006) Development of a 50-year high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modeling. Journal of Climate, 19(13), 3088-3111. https://doi.org/10.1175/JCLI3790.1
- Smagorinsky, J. (1960) On the dynamical prediction of large-scale condensation by numerical methods. In Physics of Precipitation: Proceedings of the Cloud Physics Conference, Woods Hole, Massachusetts, June 3–5, 1959 (eds W.E. Smith and H. Weickmann). https://doi.org/10.1029/GM005p0071
- Takaya, Y., Hirahara, S., Yasuda, T., Matsueda, S., Toyoda, T., Fujii, Y., Sugimoto, H., Matsukawa, C., Ishikawa, I., Mori, H., Nagasawa, R., Kubo, Y., Adachi, N., Yamanaka, G., Kuragano, T., Shimpo, A., Maeda, S. and Ose, T. (2018) Japan Meteorological Agency/Meteorological Research Institute-Coupled Prediction System version 2 (JMA/MRI-CPS2): atmosphere–land–ocean–sea ice coupled prediction system for operational seasonal forecasting. Climate Dynamics, 50, 751–765. https://doi.org/10.1007/s00382-017-3638-5
- Weedon, G. P., Gomes, S., Viterbo, P., Shuttleworth, W. J., Blyth, E., Österle, H., Adam, J. C., Bellouin, N., Boucher, O. and Best, M. (2011) Creation of the WATCH forcing data and its use to assess global and regional reference crop evaporation over land during the twentieth century. Journal of Hydrometeorology, 12, 823–848. https://doi.org/10.1175/2011JHM1369.1
- Wilby, R. L., Charles, S. P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P. and Mearns, L. O. (2004) Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. Supporting material of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 27. https://www.ipccdata.org/guidelines/dgm no2 v1 09 2004.pdf

資料

学会等発表実績

委託業務題目「衛星データ・アンサンブル気象季節予報・作物モデルを融合した全球作物生育監 視・収量予報システムの構築」

機関名 国立大学法人茨城大学

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果(発表題	発表者氏名	発表した場所	発表した時	国内・
目、口頭・ポスター発表		(学会等名)	期	外の別
の別)				
Process-based model for	Nakaguki M.,	AGU Fall Meeting	2021年12月	国外
estimation of wheat	Kato T.,	2021		
production MATCRO-	Masutomi Y.,			
Wheat (ポスター)	Liu L.			
東南アジアのコメ生産に	飯泉仁之直,	日本農業気象学会	2022年3月	国内
対する 2016 年高温影響の	滝本貴弘, 増	2022 年全国大会		
再予測. (口頭)	富 祐司			

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

• Iizumi T., Masaki Y., Takimoto T., Masutomi Y. (2021) Aligning the harvesting year in global gridded crop model simulations with that in census reports is pivotal to national-level model performance evaluations for rice. European Journal of Agronomy, 130, 126367.

• Masutomi Y., Iizumi S., Oyoshi K., Kayaba N., Kim W., Takimoto T., Masaki Y. (2021) Systematic global evaluation of accuracy of seasonal climateforecasts for monthly precipitation of JMA/MRI-CPS2 bycomparing with a statistical system using climate indices. Geoscientific Model Development Discussions.