

**「DIAS 解析環境」利用共同研究（無償）課題
これまでの成果報告**

提出日： 2024 年 1 月 31 日

課題番号	DIAS22-A002
研究課題名	衛星観測データと数値シミュレーションの統合による干ばつ監視・予測基盤の高度化
フリガナ 申請代表者氏名	サワダ ヨウヘイ 澤田 洋平
申請代表者の 所属機関名	東京大学大学院工学系研究科 附属総合研究機構戦略研究部門
研究実施期間	2023 年 4 月 1 日～ 2024 年 3 月 31 日

※「研究実施期間」は当該年度（年度末まで）を記入してください。

1. 研究の意義・目的

人為起源気候変動により、気象災害の激甚化が危惧されている。降水量の急激な減少や高温によってもたらされる干ばつ災害は現時点においても最も経済的なインパクトの大きい自然災害の一つであり、干ばつ災害の高精度なモニタリングと予測の高度化は人類全体に大きな便益をもたらす。

干ばつ災害は降水量減少が土壌水分、河川水、地下水減へと波及すると共に、農業を始めとする様々なセクターに多様な時間スケールで負の影響をもたらす複雑な災害である。干ばつ災害の全体像をとらえた適切なモニタリングと予測を実現するためには多様な衛星観測データ、現地観測データ、そして数値シミュレーションを統合する必要がある。干ばつに対する社会の脆弱性は地域によって大きく異なるため、干ばつの社会インパクトを適切に見積もるためには自然科学的なデータのみならず、過去の災害被害の実態や地域ごとのインフラ整備状況などの社会科学的なデータも有効に利活用する必要がある。

本共同研究では衛星観測マイクロ波輝度温度を生態水文モデルにデータ同化することで陸域の水-植生系を高い精度でモニタリングすることが可能な陸域-植生動態結合データ同化システム(Coupled Land and Vegetation Data Assimilation System: CLVDAS)を基軸として、準リアルタイム干ばつ監視・予測システムの開発・実装・応用を行う。学際的で大量のデータを扱うことができる DIAS の特徴を生かし、シミュレーションと多様な衛星観測の統合を進めるとともに、モニタリング・予測結果を社会データと統合することで、干ばつ災害抑止につながる多様な知見を得ることを目指す(項目 1: 準リアルタイムな干ばつモニタリング・予測システムの構築)。加えて、過去に起きた干ばつのケーススタディを行ったり、地域の干ばつをより高解像度に解析したりするための開発を行う。また、社会統計データを統合することで、地域ごとの干ばつに対する脆弱性評価を行う。このよ

うな成果を項目 1 にフィードバックすることでシステムの利便性の向上に寄与する(項目 2: 干ばつモニタリング・予測システムの地域への応用)。

なお、本共同研究は、文部科学省の補助金事業「地球環境データ統合・解析プラットフォーム事業」(第 4 期 DIAS 事業)の「共同研究(無償)課題」として実施されるものである。

2. 研究成果

本年度は、項目 1 の準リアルタイムな干ばつモニタリング・予測システムの構築(システム開発)への準備と項目 2 の干ばつモニタリング・予測システムの地域への応用の一環として、深刻な干ばつに苦しむマラウイ共和国とインド共和国を対象に、CLVDAS による推定値に基づく干ばつ指標が、干ばつ社会統計データとどの程度整合するかを検証した。なお本年度は、干ばつ指標として植生水分量の推定値、干ばつ社会統計データとして主要穀物収量統計データを用い、干ばつ解析において良く適用される正規化指数 Z スコアにより整合性を検証した。以下、2.1 節では項目 1 における研究開発の進捗を、2.2 節、2.3 節では項目 2 において今年度実施した地域研究を述べる。

2.1. 全球版 CLVDAS における干ばつ指標の開発

準リアルタイムな干ばつモニタリング・予測システムにおいて、地域ごとの干ばつの危険度を迅速かつ正確に伝達するための干ばつ指標の開発を行った。CLVDAS は陸域の水-植生系の幅広い物理量を観測データを考慮しつつ求めることができるが、これらを統合して単一の指標として干ばつを表現することは必ずしも容易でない。本研究では複数の物理量から複数の干ばつ指標を生成し、それを主成分分析で求めた重みで平均して単一の指標として表現できる Combined Drought Index (CDI)を CLVDAS に適用するために開発した(図-1)。

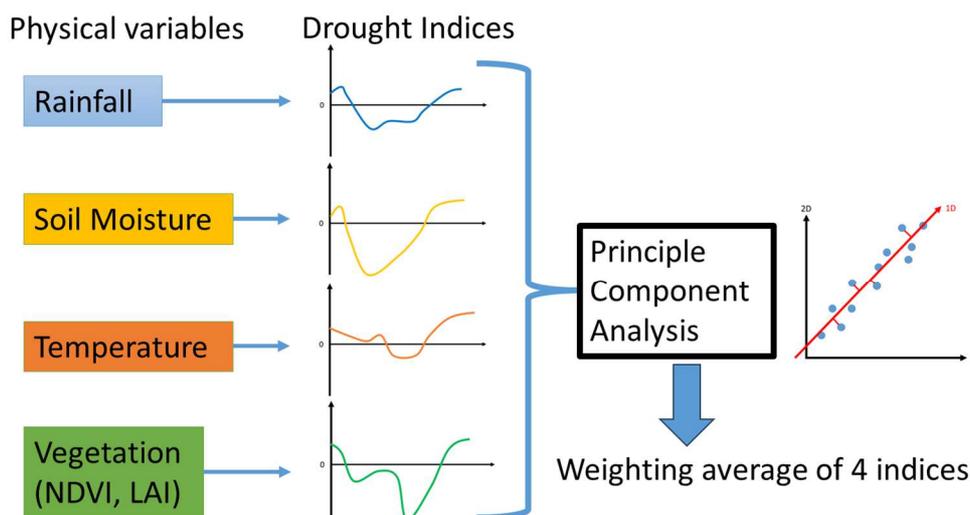


図-1. Combined Drought Index (CDI)のイメージ図。複数の干ばつ指標を主成分分析を通じて一つにまとめ上げる。

このような CDI の有効性を確認するために CDI で表現される干ばつ地域と、全球災害

データベース(Geocoded DISasters database: GDIS)を比較した。まずテストとして本年度は幅広く利用されている陸域再解析データ ERA5-Land、降水データ CHIRPS、および可視・近赤外衛星観測 MODIS のデータを組み合わせて CDI を生成し、有効性を確認した。図-2 に示すように、データベースに登録されている 2000 年-2019 年までの干ばつ事例のほとんどを CDI が包含できることが分かった。一般的に用いられている Standardized Precipitation Index (SPI)などよりも多くの干ばつ事例を包含しており、CDI が多様な形の干ばつを表現できることが確認できた。CDI では確認できないのに GDIS では干ばつとされているような事例のほぼすべてが内戦やそれに伴う移民流入などの人為的な要因で発生していることも別の解析から確認することができた。今後は CLVDAS から算出された CDI を用いることで、準リアルタイム干ばつモニタリング・予測システムの実装を目指す。

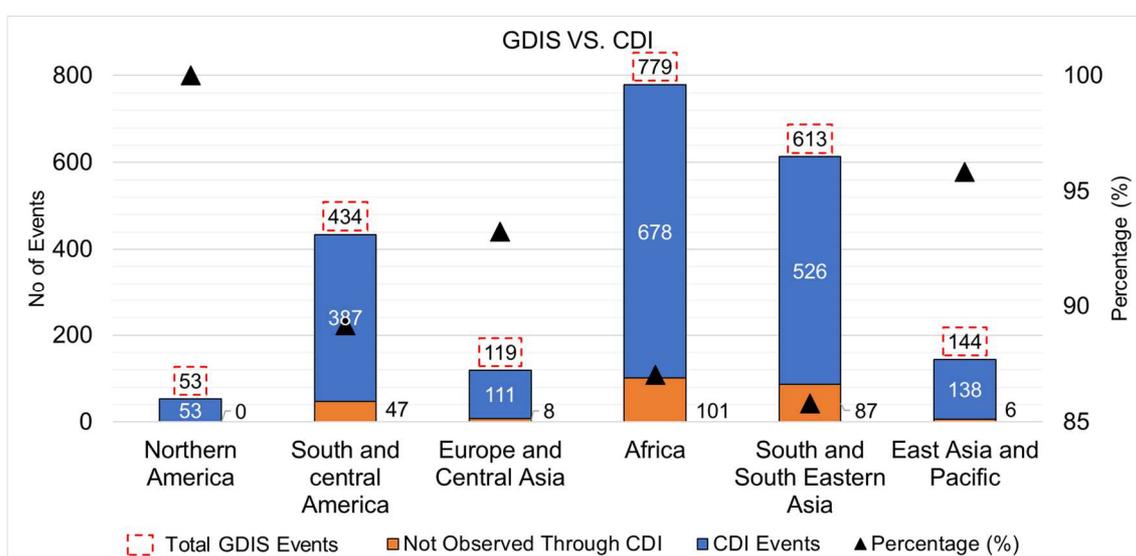


図-2. 2000 年から 2019 年までに全球で起こった GDIS に登録されている干ばつ災害のうち、どれだけが CDI で検知できたかをまとめた結果。青い棒が CDI で検知できたもの。オレンジの棒が検知できなかったものを指す。黒三角は全体の干ばつ災害の総数に対する CDI で検知できた干ばつの割合を示す。

2.2. マラウイ共和国における干ばつ解析

マラウイ共和国は、サハラ以南のアフリカにおいて最も人口密度の高い国の一つであるが、人口の約 85% が天水農業に従事しているため、繰り返し発生する洪水と干ばつなどの水災害はマラウイ共和国に壊滅的な被害を与えた。そこでマラウイ共和国に CLVDAS を適用して農業的干ばつ評価(穀物収量の推定・再予測)の有効性を検討した。最初にマラウイ共和国に対する CLVDAS ドメインを設定した(図-2)。

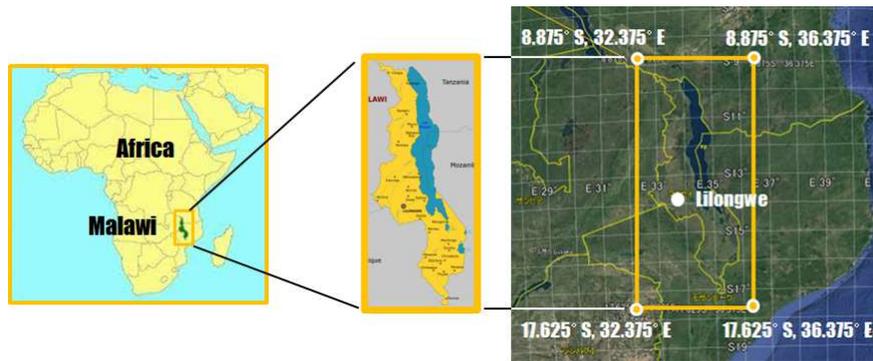


図-2 マラウイ共和国に対する CLVDAS ドメイン

次に気象フォーシングデータとして JRA55(降水量・気圧・気温・風速・比湿・短波放射量・長波放射量)とデータ同化のための衛星マイクロ波輝度温度データとして AMSR-E・AMSR2 の 6GHz・10GHz 輝度温度(垂直・水平偏波)を CLVDAS に入力して、植生動態水文量(表層土壌水分量・根茎層土壌水分量・蒸発散量・葉面積指数など)の空間分布を求めた(図-3)。

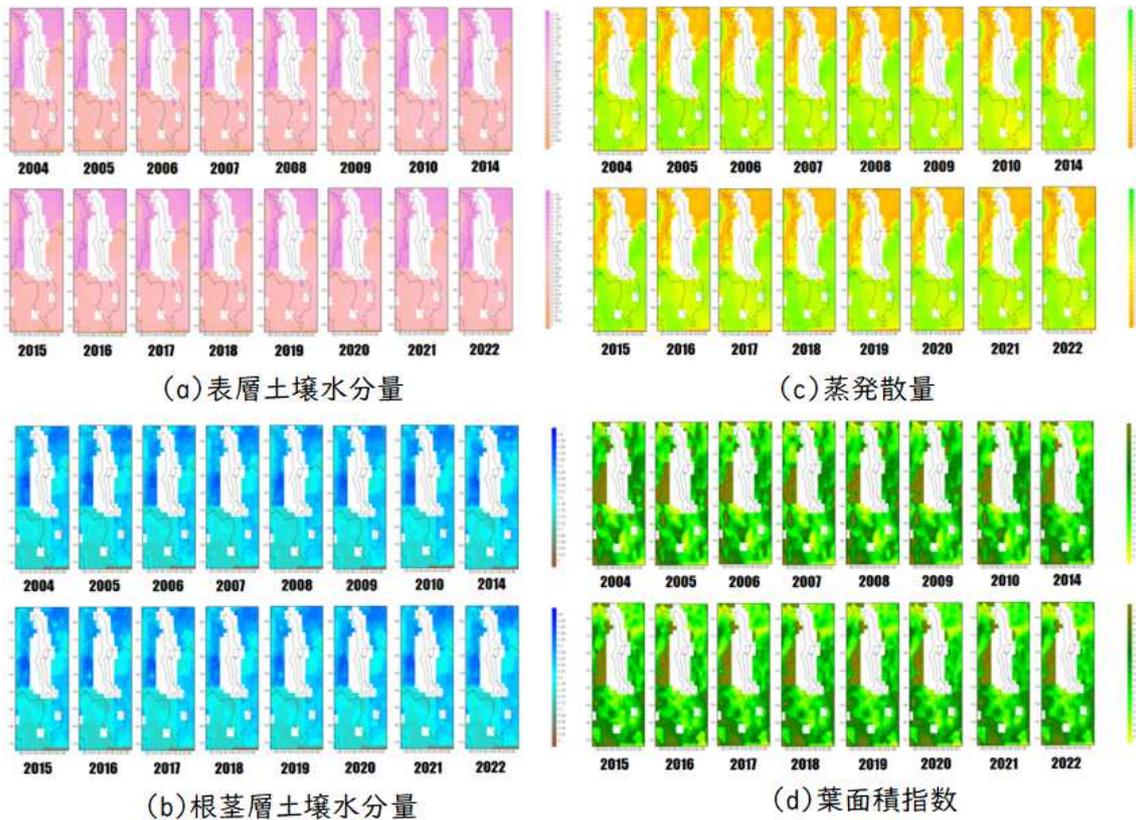


図-3 植生動態水文量(表層土壌水分量・根茎層土壌水分量・蒸発散量・葉面積指数)の空間分布(8月平均)

マラウイ共和国では、サトウキビ・トウモロコシ・キャッサバ・ジャガイモなどが栽培されているが、本研究では、なかでも主要な穀物であるトウモロコシを主要穀物に選定した。さらに Gumma et al. (2019)による農作物マップよりトウモロコシの生産エリアを特定し

(図-4)、植生動態水文量の空間平均値を求めた(図-5)。

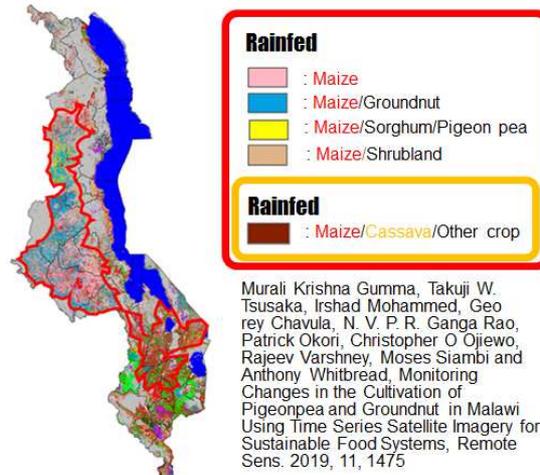


図-4 Gumma et al. (2019)による農作物マップよりトウモロコシの生産エリアの特定

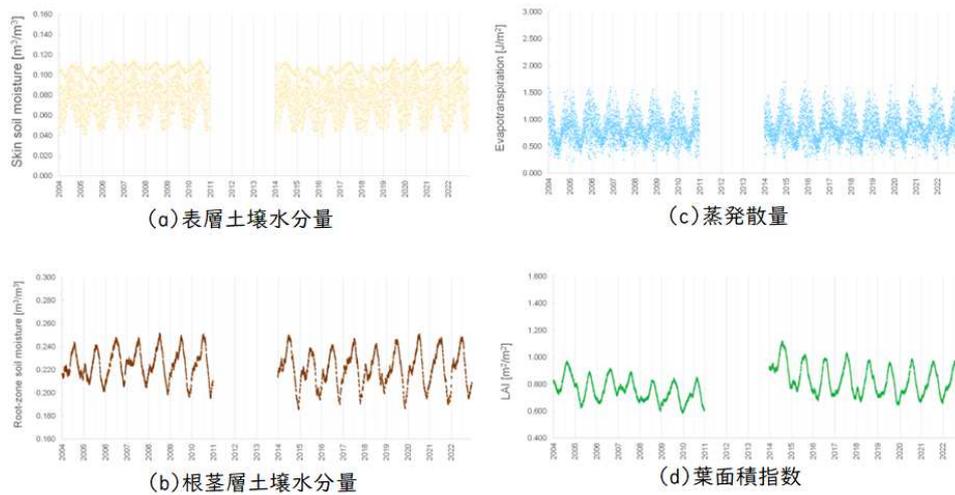


図-5 トウモロコシ生産エリアにおける植生動態水文量(表層土壌水分量・根茎層土壌水分量・蒸発散量・葉面積指数)の空間平均値

一般的に根茎層から多くの水を吸収した穀物は、植生水分量が高くなり光合成との相乗効果により、大きく成長する。その結果として多くの収量を得ることができる。ゆえに穀物の植生水分量は、穀物収量の推定において重要となる。植生動態モデル EcoHydro-SiB は、穀物の葉と根の炭素プール動態を評価して、特に葉の炭素プール動態から葉面積指数を求める。さらに様々な植生タイプに対して実施した地上マイクロ波放射計を用いた観測実験を通じて導いた植生パラメータ(図-6)より CLVDAS は、葉面積指数から植生水分量を算定した(図-7)。

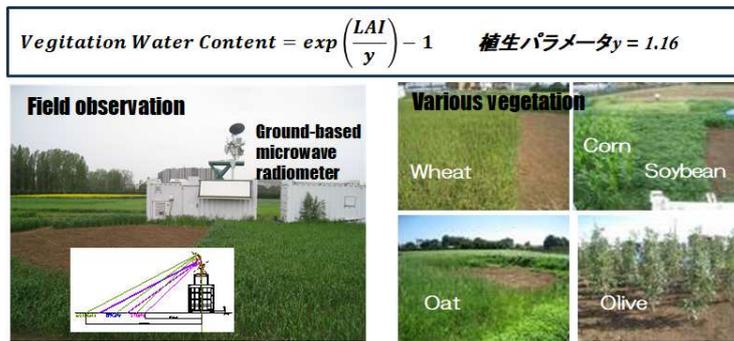


図-6 様々な植生タイプを対象とした地上マイクロ波放射計を用いた観測実験に基づいた植生パラメータの導出

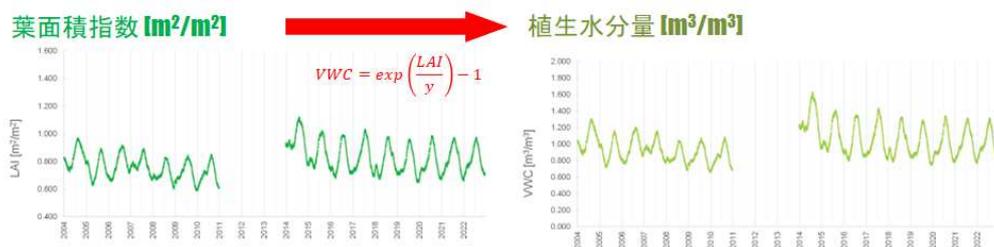


図-7 CLVDAS における LAI からの植生水分量の算定

マラウイ共和国のトウモロコシは、11月中旬から12月にかけて播種され、5月中旬から8月にかけて収穫される。ゆえにトウモロコシの成長・結実にとって最も重要な時期を4月中旬から5月中旬までの期間に設定した(図-8)。

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Corn 				トウモロコシの成長・結実にとって最も重要な時期		収穫						播種

FAOSTAT[<https://cropcalendar.apps.fao.org/#/home?id=MW&crops=0027,0065,0073,0076,0087,0113,0117,0119,0202,0247,0262,0272,0283,0303,0318,0325,0327,0335,0341,0356,0373,0374>]

図-8 マラウイ共和国におけるトウモロコシの成長・結実にとって最も重要な時期(4月中旬~5月中旬)

次にトウモロコシの成長・結実にとって最も重要な時期における植生水分量の時間平均を求めた(図-9)。また図-10はFAOSTATに基づくトウモロコシの収量である。

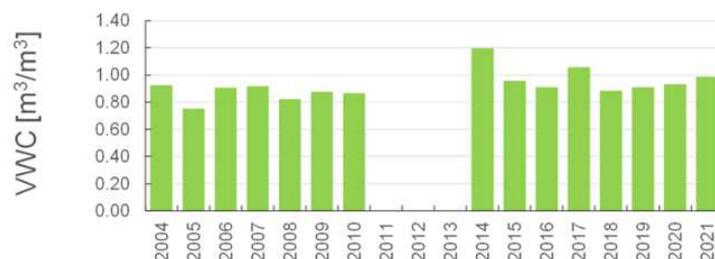


図-9 トウモロコシの成長・結実にとって最も重要な時期における植生水分量の時間平均

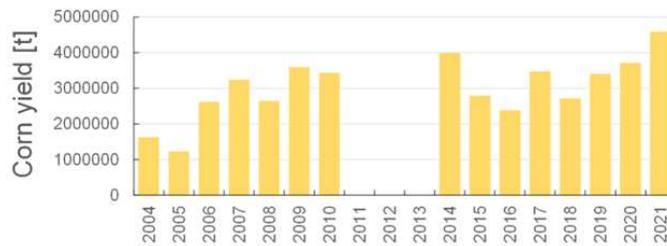


図-10 FAOSTAT に基づくトウモロコシの収量

両者の単位は異なるため、干ばつ解析における正規化指標として、一般的に用いられる Z スコアに変換して両者を比較した。その結果、RMSE 0.9 となり、両者に整合性のあることが確認された(図-11)。

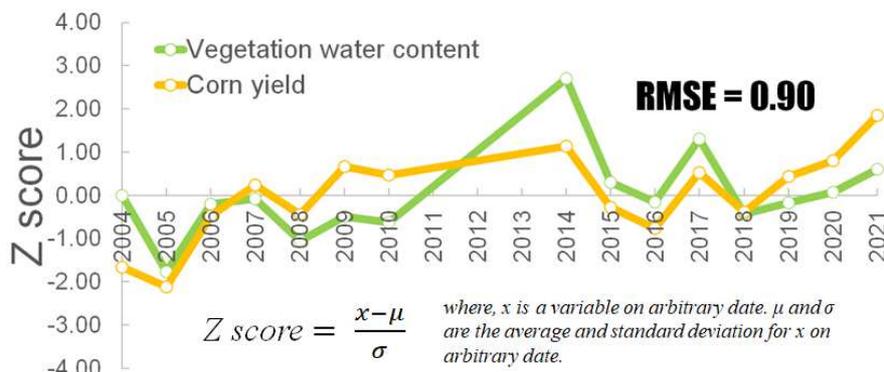


図-11 植生水分量とトウモロコシ収量の Z スコアの比較

これまで AMSR2 の観測期間が短かったために、なかなか実施できなかったが、穀物収量の再予測を試みた。具体的には、2004 年から 2010 年までの AMSR-E 観測期間において植生水分量とトウモロコシ収量との関係式を導き(図-12)、2014 年から 2021 年までの AMSR2 の観測期間において、トウモロコシ収量の再予測を行った。その結果、再予測の精度は、RMSE で 0.74 を示し、穀物収量の再予測の有効性が示された(図-13)。

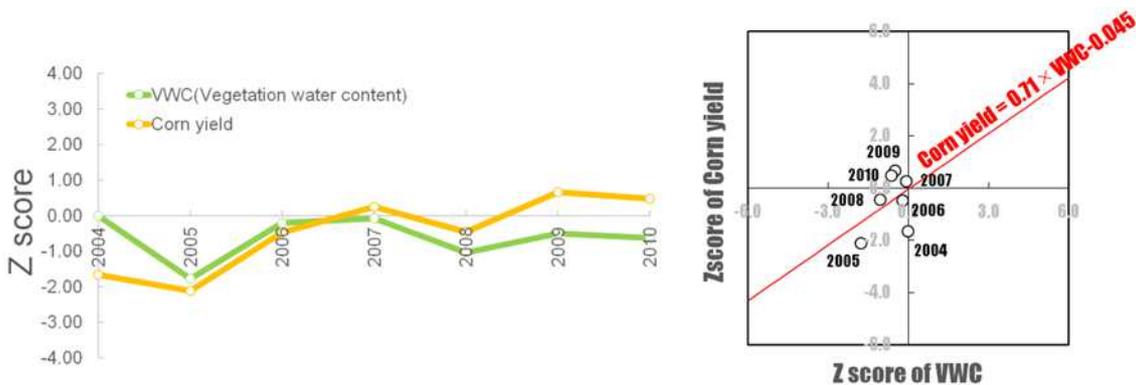


図-12 AMSR-E 観測期間(2004-10 年)における植生水分量とトウモロコシ収量との関係式の導出

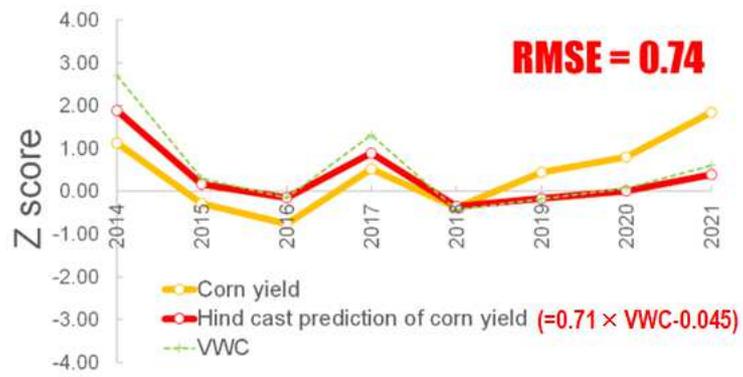


図-13 AMSR2 観測期間(2014-21年)におけるトムロコシ収量の再予測

2.3.インド共和国(Godaveri 川流域)における干ばつ解析

インド共和国では、2009年2月から10月にかけて異常高温が繰り返され、また2015年には、5月の熱波により2300人以上が死亡した。そこでマラウイ共和国と同様、インド共和国、特に Godaveri 川流域を網羅するドメインを設定した(図-14)。

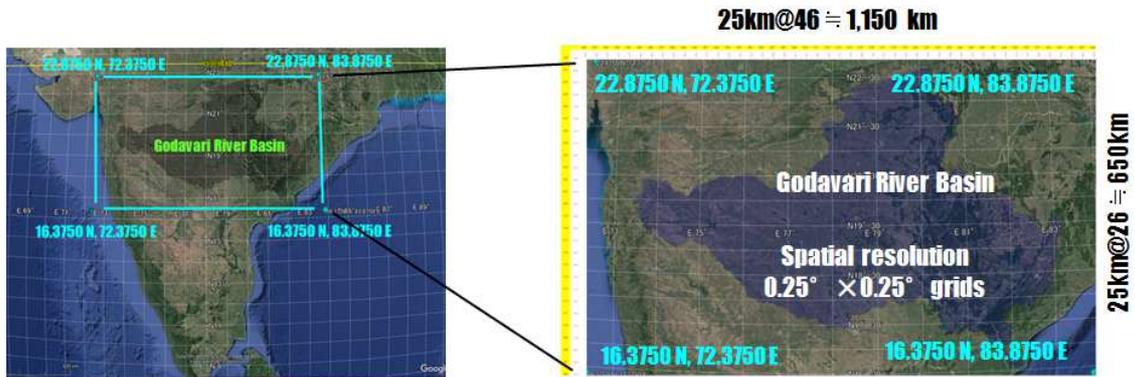


図-14 インド共和国 Godaveri 川流域に対する CLVDAS ドメイン

次に気象フォーシングデータとして JRA55(気圧・気温・風速・比湿・短波放射量・長波放射量)とデータ同化のための衛星マイクロ波輝度温度データとして AMSR-E・AMSR2の6GHz・10GHz 輝度温度(垂直・水平偏波)を CLVDAS に入力して、植生動態水文量(表層土壌水分量・根茎層土壌水分量・蒸発散量・葉面積指数など)の空間分布を求めた(図-15)。なお JRA55 降水量については、Godaveri 川流域の雨量計による現地観測グリッドデータを共同研究者より入手することができたため、Godaveri 川流域の範囲の JRA55 降水量は現地グリッドデータに置き換えた。

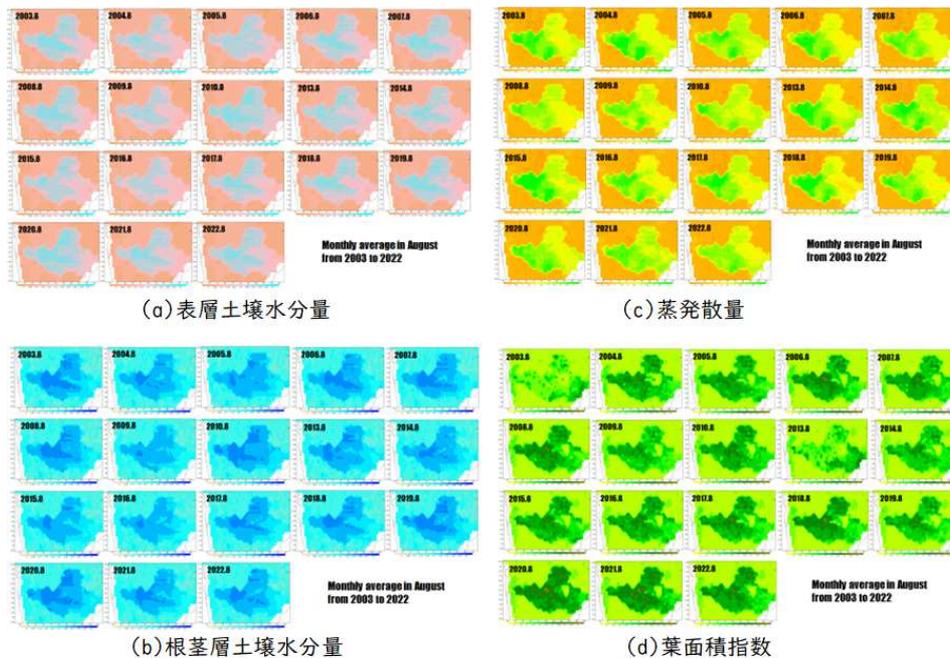


図-15 植生動態水文量(表層土壌水分量・根茎層土壌水分量・蒸発散量・葉面積指数)の空間分布(8月平均)

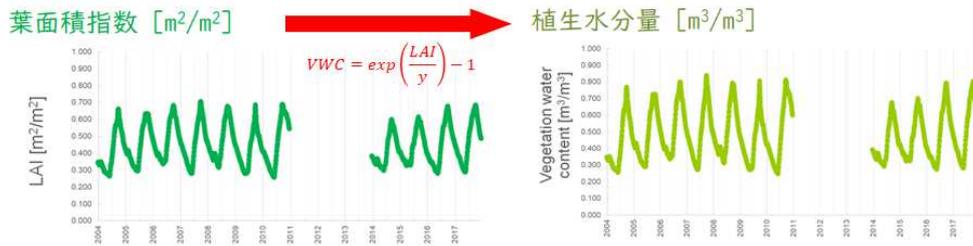


図-18 CLVDAS における LAI からの植生水分量の算定

インド共和国のダイズは、6月中旬から7月中旬にかけて播種され、10月中旬から11月にかけて収穫される。ゆえにダイズの成長・結実にとって最も重要な時期を9月中旬から10月中旬までの期間に設定した(図-19)。

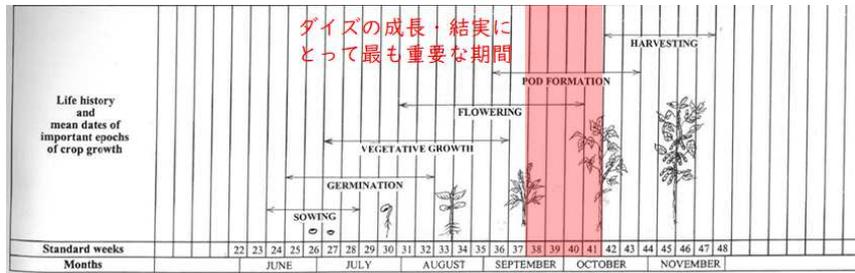


図-19 インド共和国におけるダイズの成長・結実にとって最も重要な時期(9月中旬～10月中旬)

次にダイズの成長・結実にとって最も重要な時期における植生水分量の時間平均を求めた(図-20)。また図-21はICRISATに基づくダイズの収量である。

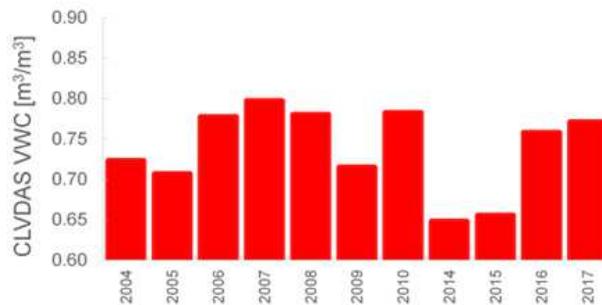


図-20 ダイズの成長・結実にとって最も重要な時期における植生水分量の時間平均

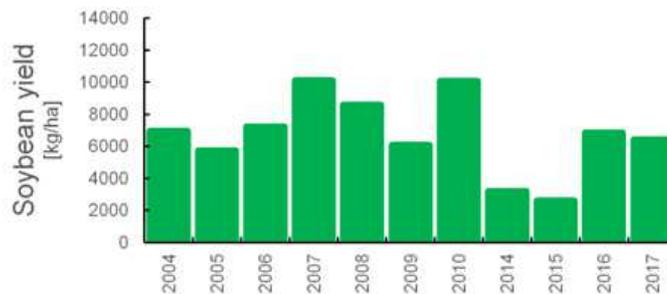


図-21 ICRISAT に基づくダイズの収量

マラウイ共和国と同様、両者の単位は異なるため、干ばつ解析における正規化指標として、一般的に用いられるZスコアに変換して両者を比較した。その結果、RMSE 0.39・相関係数 0.92 となり、両者に整合性のあることが確認された(図-22)。

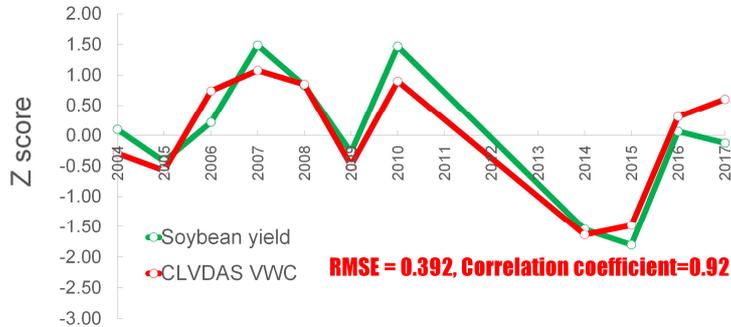


図-22 植生水分量とトウモロコシ収量のZスコアの比較

次にマラウイ共和国と同様、2004年から2010年までのAMSR-E観測期間において植生水分量とダイズ収量との関係式を導き(図-23)、2014年から2017年までのAMSR2の観測期間において、ダイズ収量の再予測を行った。その結果、再予測の精度は、RMSEで0.97が示され、穀物収量の再予測の有効性が示された(図-24)。

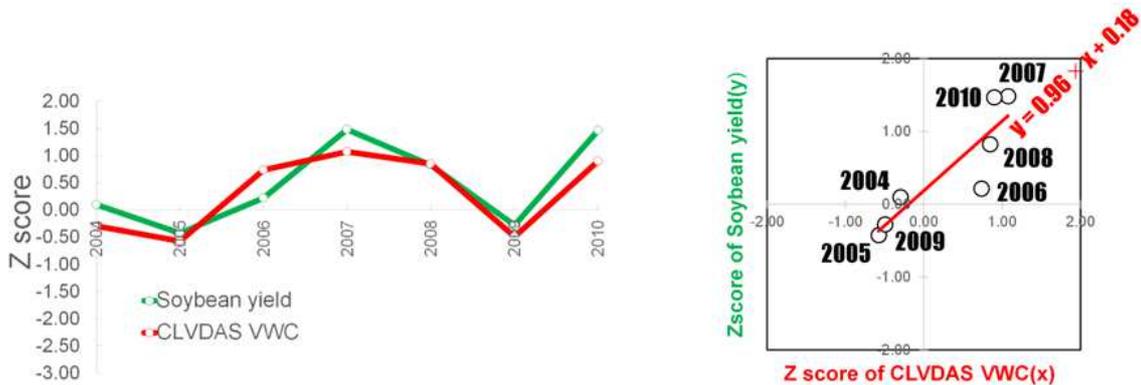


図-23 AMSR-E観測期間(2004-10年)における植生水分量とダイズ収量との関係式の導出

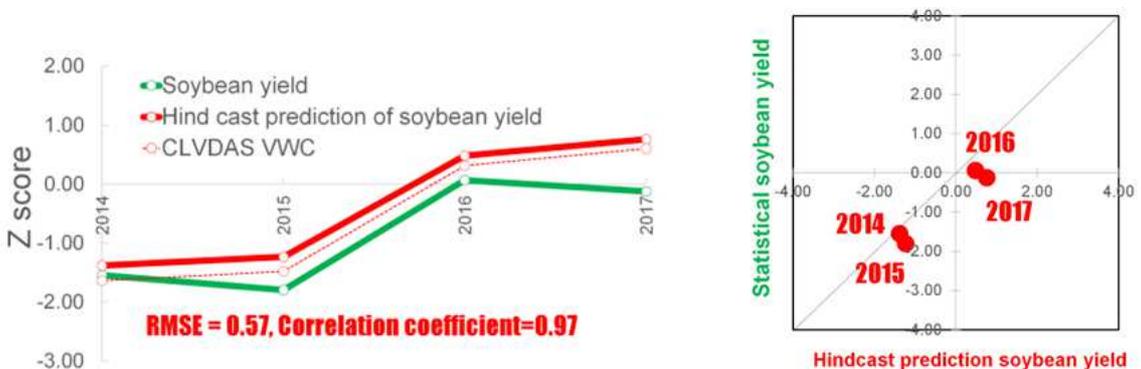


図-24 AMSR2観測期間(2014-17年)におけるダイズ収量の再予測

本年度は、マラウイ共和国・インド共和国にCLVDASを適用し、主要穀物の収量推定、ならびに再予測の有効性を確認することができた。