

「DIAS 解析環境」利用共同研究（無償）課題成果報告書

提出日： 2025 年 4 月 30 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 社会基盤学専攻
研究実施期間	2024 年 4 月 1 日～ 2025 年 3 月 31 日

※「研究実施期間」は、年度報告書の場合は当該年度、最終報告書の場合は開始時～終了時を記入してください。

1. 研究概要

CLVDAS に基づく干ばつモニタリング・予測システム要素技術の一部または全体を用いることで、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。

2. 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)を基軸として干ばつ監視・予測システムの開発を行う。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。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。

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。

3. 研究成果

熱帯収束帯(ITCZ)・亜熱帯高圧帯における干ばつと大気境界層との関連性(熱帯収束帯やハドレー循環の南北シフト)を分析した研究事例は多く存在するが、その多くが全球平均に基づくものであった。そこで本年度は、これまで CLVDAS を用いて地域的干ばつ解析を行った熱帯収束帯(ITCZ)・亜熱帯高圧帯に位置する西アフリカ・マラウイ・ヨルダン・インド・グアテマラ・北東ブラジルを対象に地域的干ばつと大気境界層との関連性を分析した(図-1)。

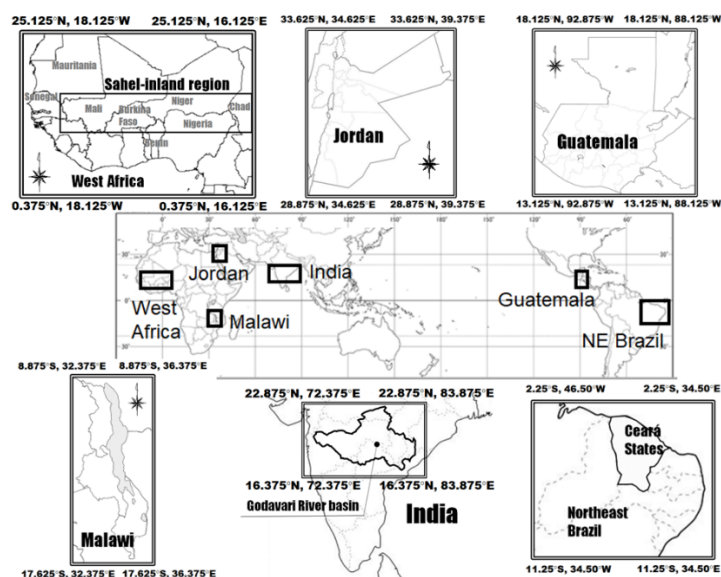


図-1 熱帯収束帯(ITCZ)・亜熱帯高圧帯に位置する検討対象地域(西アフリカ・マラウイ・ヨルダン・インド・グアテマラ・北東ブラジル)

3.1. CLVDAS による植生動態水文量の算定

各地域を対象に 2004 年から 2017 年にかけて、CLVDAS により土壌水分量(表層・根茎層)・蒸発散量・葉面積指数(LAI)・植生水分量の空間分布を求めた。図-2 に各地域における根茎層土壌水分量と葉面積指数(LAI)の空間分布を示す。さらに各地域の領域平均値を求めた。図-3 に 2014 年・2016 年の西アフリカ・北東ブラジルにおける降水量→根茎層土壌水分量→植生水分量の月変動を示すが、降水量(上段)→根茎層土壌水分量(中段)→植生水分量(下段)の植生動態と水循環によるピークのタイムラグや降雨パターンによる植生の動的成長の違いが、CLVDAS により正確に評価されていることが分かる。

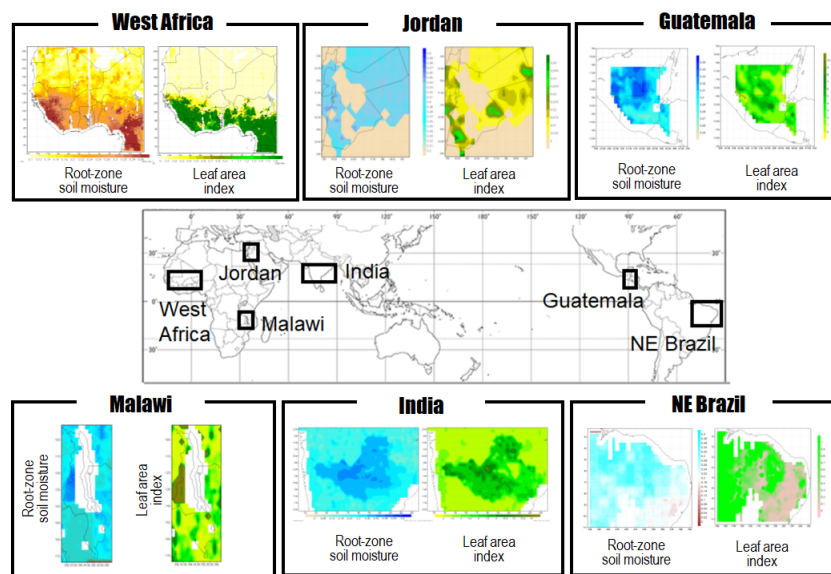


図-2 各地域における根茎層土壌水分量と葉面積指数(LAI)の空間分布

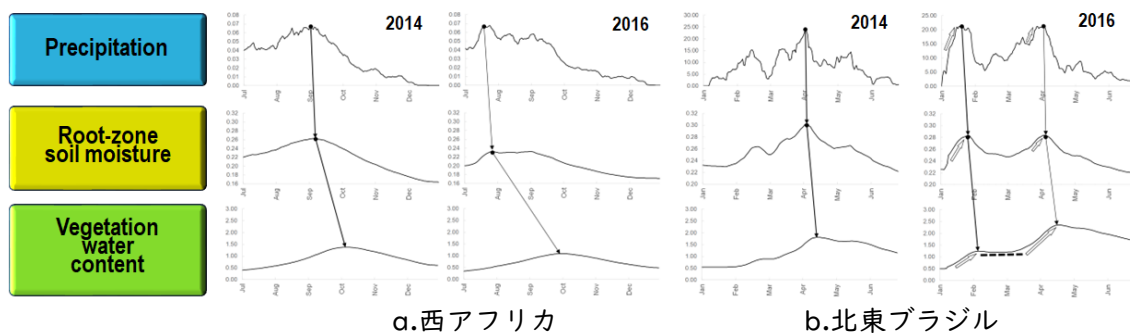


図-3 2014 年・2016 年の西アフリカ・北東ブラジルにおける降水量→根茎層土壌水分量→植生水分量の月変動

3.2. 農業的干ばつ評価

本研究では、CLVDAS の出力である植生水分量と共に、作物の収穫量を干ばつ指標として使用し、農業的干ばつを評価した。農業統計データより対象とする地域における主要農作物を選定し、その収量と作付エリアを理解した。その後、主要農作物の作付エリアを特定することにより、日単位の CLVDAS 植生水分量の作付エリアにおける空間平均値を求めた。さらに主要農作物の穀物カレンダーから最盛期から収穫初期までの期間に相当する「結実に重要な期間」を特定した。表-1 に 6 地域における主要農作物、結実に重要な期間、農作物・作付エリア・作物カレンダー・収量の根拠資料を示す。また図-4 に 6 地域における収量の年々変動、図-5 に 6 地域における CLVDAS からの植生水分量の年々変動を示す。これらに基づいて干ばつ評価における干ばつ指数として広く用いられる Z スコアを計算した(式-1)。

表-1 6 地域における主要農作物、結実に重要な期間、農作物・作付エリア・作物カレンダー・収量の根拠

	主要農作物	結実に重要な期間	主要農作物・作付エリア・作物カレンダー・収量の根拠資料
West Africa	パールミレット	9月	U. S. Department of Agriculture (USDA)
Malawi	コーン	4月中旬-5月中旬	Food and Agriculture Organization of the United Nations STAT (FAOSTAT)
Northeast Brazil	コーン	4月	U. S. Department of Agriculture (USDA)
Jordan	トマト	8月	Food and Agriculture Organization of the United Nations STAT (FAOSTAT)
India	ダイズ	9月中旬-10月中旬	Crop statistical data of International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT)
Guatemala	コーヒー豆	9月	U. S. Department of Agriculture (USDA) and the United States Agency for International Development (USAID) and US Government Feed the Future project "Integrating Gender and Nutrition within Extension and Advisory Services" (INGENAES)

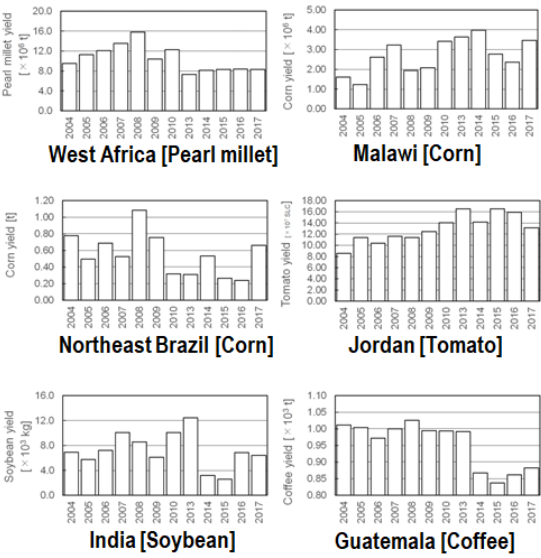


図-4 6 地域における収量の年々変動

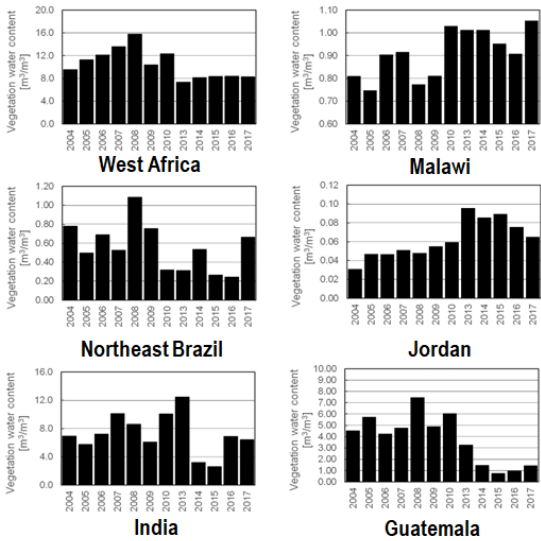


図-5 6 地域における CLVDAS からの植生水分量の年々変動

$$Z\text{-score} = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (\text{式-1})$$

ここに x ・ μ ・ σ は、変数・平均値・標準偏差

次に、2004 年から 2017 年までの期間、主要農作物の収量と作付エリアと結実に重要な期間における植生水分量の時・空間平均に基づき農業的干ばつの年々変動を評価した(図-6)。その結果、農業的干ばつの年々変動は、3 タイプの変動パターンを持つことが分かった。タイプ A では、2004 年から 2017 年までの期間の後半に農業的干ばつが発生する。タイプ B では、2004 年から 2017 年までの期間の前半に農業的干ばつが発生する。タイプ C は、不規則に農業的干ばつが発生する。

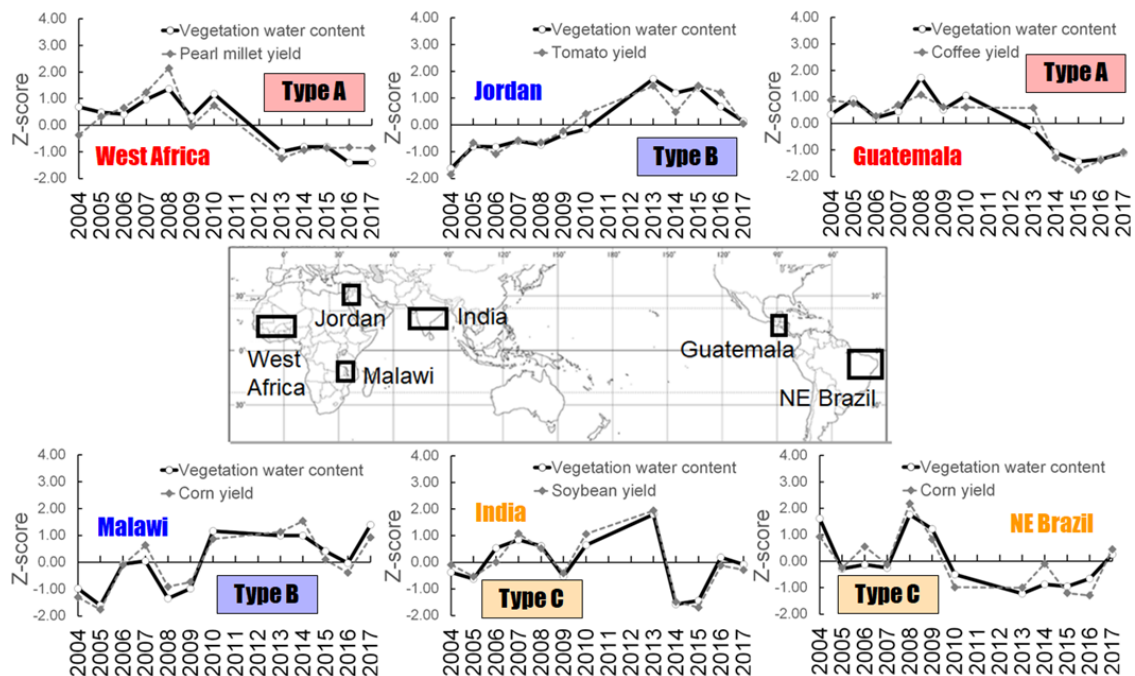


図-6 農業的干ばつの年々変動の評価

3.3. 農業的干ばつと大気境界層との関連性の理解

DIAS CMIP5 データ解析ツール(https://diasjp.net/app_list/cmip5/)を用いて、タイプ A・B・C における地域的な農業的干ばつと大気境界層との関連性と農業的干ばつが発生し易い理由を調査した。

図-7 はタイプ A に属するグアテマラの大気境界層の鉛直断面である。左列は干ばつ年、右列は湿潤年を示す。また上段は比湿のアノマリー、中段は鉛直風速、下段は鉛直風速のアノマリーを示す。通常、ITCZ 北緯 5-10° で上昇気流が発生するが、湿潤年の場合、この上昇気流は、グアテマラを含む N20° まで広がる。そのためにグアテマラに降雨を発生させ、地表面は湿潤になる。一方、干ばつ年の場合、この上昇気流は、ハドレー循環によりグアテマラにおいて下降気流になる。そのために上空における乾燥した空気塊が地表に

運ばれるため、グアテマラの地表面は乾燥する。このように A タイプは、ITCZ における上昇気流の南北範囲により農業的干ばつが引き起こされることが分かった。

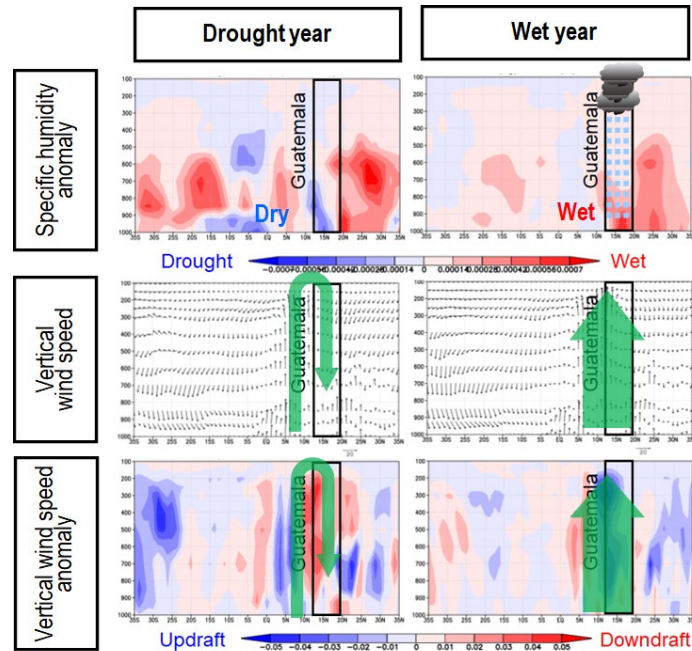


図-7 タイプ A に属するグアテマラにおける農業的干ばつと大気境界層との関連性の理解

図-8 は、タイプ B に属するマラウイのケースであるが、マラウイにはハドレー循環による下降気流が発生し、干ばつ年の場合、その下降気流が強くなる。ゆえに上空における乾燥した空気塊が地表に運ばれ、マラウイの地表面は乾燥する。対照的に、湿潤年の下降気流はとても弱いため、上空における乾燥した空気塊が移動せず、マラウイの地表面は乾燥しない。このようにタイプ B は、ハドレー循環による下降気流の強さに依存して農業的干ばつが発生することが分かった。

図-9 は、タイプ C に属する北東ブラジルのケースであるが、通常、ITCZ 北緯 $0-5^{\circ}$ で上昇気流が発生する。湿潤年の場合、この上昇気流は、北東ブラジルを含む $N12^{\circ}$ まで広がり、北東ブラジルに降雨を発生させ、地表面は湿潤になる。一方、干ばつ年の場合、この上昇気流は、ハドレー循環により北東ブラジルにおいて下降気流になる。そのために上空における乾燥した空気塊が地表に運ばれるため北東ブラジルの地表面は乾燥する。このようにタイプ C は、タイプ A と B 両方の大気状態に依存し農業的干ばつが発生することが分かった。

これまで世界的な干ばつ地域に CLVDAS を適用し、農業的干ばつのモニタリングを主に行ってきた。今後は、モニタリングをこれまで通り実施しつつ、特に予測に軸を置き、営農支援など社会への貢献に向けた研究を進めたいと考えている。

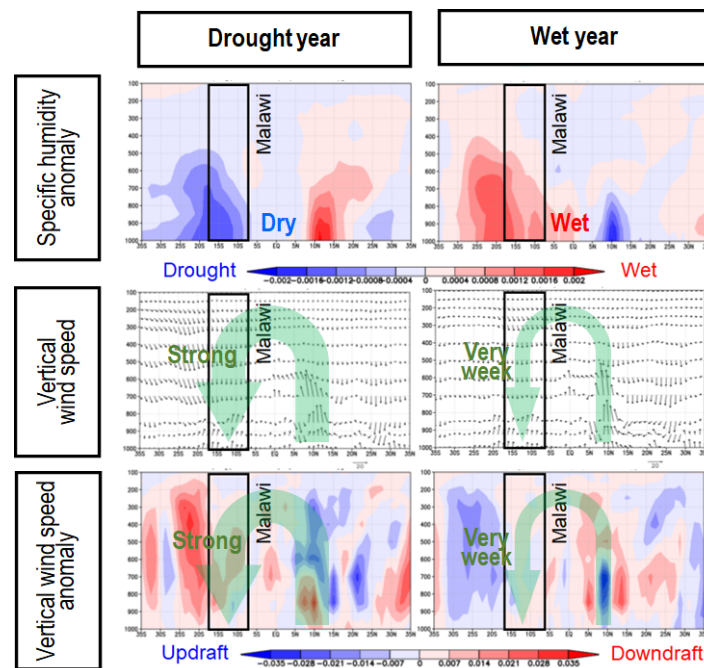


図-8 タイプ B に属するマラウイにおける農業的干ばつと大気境界層との関連性の理解

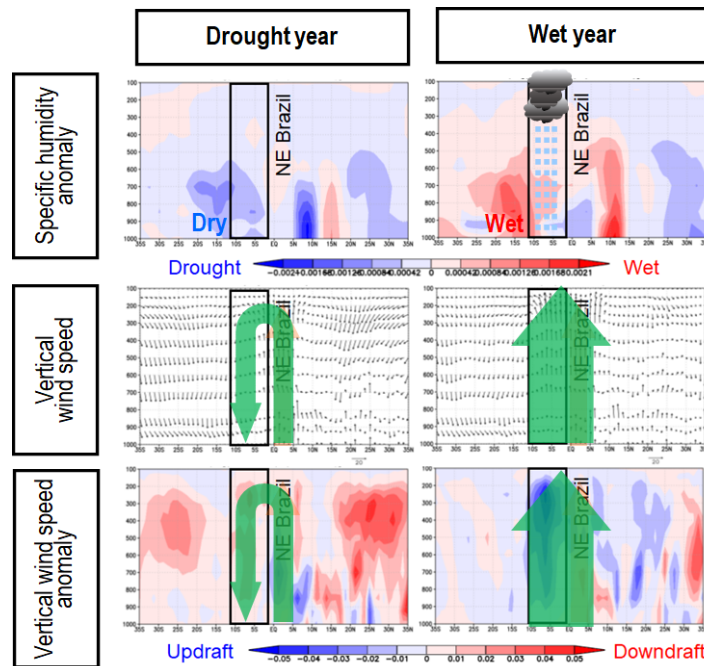


図-9 タイプ C に属する北東ブラジルにおける農業的干ばつと大気境界層との関連性の理解

3.4. CLVDAS の準リアルタイム化と干ばつモニタリング・予測システムの有効な配信方法に関する基礎研究

上記のような地域研究に加えて、CLVDAS を用いて全球レベルでおおむねリアルタイムに干ばつのモニタリングと予測を行うシステム構築を進めている。積雪域を除いた CLVDAS の計算結果としては、JAXA において既にプロダクト化されており、誰でもダウンロード可能となっている[1]。このようなプロダクトを準リアルタイムに出力し可視化したものを DIAS で配信できないか、検討を行っている。今年度までに定期的なデータ取得及び CLVDAS 本体のランはおおむね自動化することができた。

また、結果の配信にあたっては CLVDAS の出力全てを単に可視化するよりは、計算格子ごとに単一のスカラー量で干ばつのリスクを表示することができると望ましい。この目的のために、Combined Drought Index (CDI)を開発している。CDIは降水量・気温・土壌水分・植生水分量といった干ばつに深いかかわりのある物理量を集約し一つの干ばつ指標に落とし込む技術で、既存の全球データを用いて、単一の指標よりもより現実の干ばつ災害を検知する能力が高いことを示すことができた[2]。今後はこの CDI を自動で計算し可視化することを通じて、DIASでの準リアルタイム干ばつリスク配信の実現を目指す。

[1] <https://doi.org/10.57746/eo.01j27yxxx93xzhgxcz9vt2z15> を参照

[2] <https://hess.copernicus.org/preprints/hess-2024-245/> からプレプリントが閲覧可能