

渇水に関する研究

a) 干ばつ監視・季節予測システムの開発と農業への影響評価

(1) 北東ブラジル

北東ブラジルにおいて植生動態－陸面結合データ同化システム(CLVDAS)に基づく DIAS 干ばつ監視・予測システムを開発しました(図 1)。また農業が盛んな Ceará 州における出力である葉面積指数(LAI)からカシューナッツ・フェジジョン豆の収量を推定する手法を 2003 年から 2013 年までの期間を対象に開発し、深刻な干ばつが発生した 2014 年から 2017 年までの期間において、カシューナッツ・フェジジョン豆の収量を推定しました。その結果、推定収量の農業統計データとの良好な整合(RMSE0.06 t・bias0.03 t 以下)を確認しました。

また水・エネルギー収支分布型水循環モデル(WEB-DHM)と植生動態モデルの結合モデルである WEB-DHM-Veg を併用することで、CLVDAS からの LAI 出力を高解像度化し、Ceará 州で農業が盛んな Banabuiú 川流域 16 地区において、その高解像度 LAI からフェジジョン豆の収量を推定する手法を開発し(図 2)、深刻な干ばつが発生した 2014 年から 2017 年までの期間において、フェジジョン豆の収量を推定しました。その結果、16 地区の過半数において推定収量の農業統計データとの良好な整合(相対誤差 12%以下)を確認することができました(図 3)。

また 2014 年から 2017 年までの平均値に着目すると Banabuiú 川流域の東側地区の相対誤差が大きく、それが灌漑域に対応していることが分かりました。そこで 2014 年・2015 年に実際にどの程度の灌漑水量が供給されたかを試算しました。その結果、2014 年に約 4.5mm/sec、2015 年に約 3.5mm/sec の灌漑水が供給されたであろうことを把握することができました。

さらに DIAS 干ばつ監視・予測システムからの 2018 年 LAI のハインドキャスト予測を用いて 2018 年のフェジジョン豆収量を予測し、モニタリングと同レベルの予測精度を確認することができました(図 4)。このように干ばつ監視・予測システムによる植生動態水文学の監視・予測だけでは無く、その出力を用いた農業への影響評価と営農支援の可能性を確認することができました。

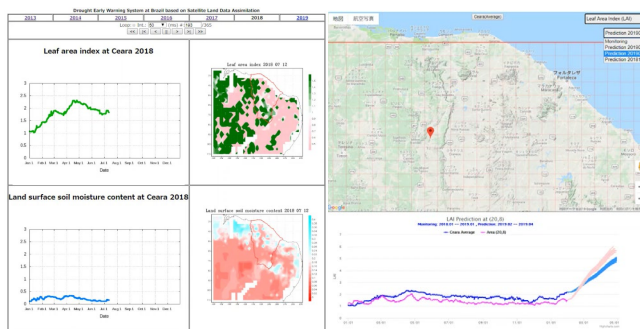


図 1 北東ブラジル DIAS 干ばつ監視・予測システム

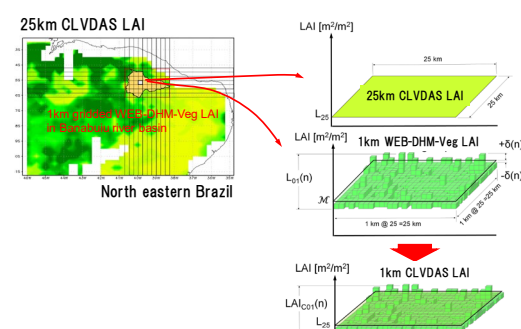


図 2 CLVDAS LAI の高解像度化手法

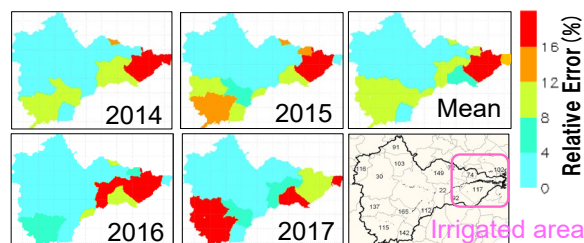


図 3 Ceará 州 Banabuiú 川流域 16 地区におけるフェジジョン豆の推定収量と統計収量との相対誤差(%)

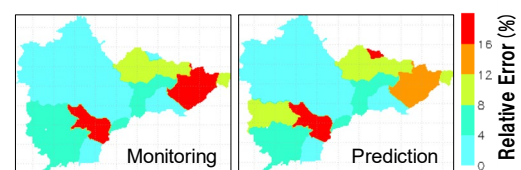


図 4 Ceará 州 Banabuiú 川流域 16 地区におけるフェジジョン豆の 2018 年ハインドキャスト予測収量と統計収量との相対誤差(%):(左)モニタリング、(右)ハインドキャスト予測

(2) ガーナ共和国

ガーナ共和国において CLVDAS に基づく DIAS 干ばつ監視・予測システムを開発しました(図 5)。また農業が盛んな Brong-Ahafo 州 13 地区における出力である植生水分量からコーンの収量を推定する手法を開発しました。図 6 に Brong-Ahafo 州 13 地区毎に推定されたコーン収量を示します。ASUNAFO・ASUTIFI 地区(青枠)と NKORANZA・KINTAMPO 地区(オレンジ枠)では、湿潤年・乾燥年の別に関わらず植生水分量が大きいののでコーン収量も多いです。それに対して WENCHI・TECHIMAN 地区(ピンク枠)では、湿潤年の場合、植生水分量が大きいののでコーン収量も多くなりますが、乾燥年の場合、干ばつの影響により植生水分量が小さいのでコーン収量は少なくなります。これらの結果から、根圏層土壌水分量の空間分布によって植生水分量が各地区で異なり、その植生水分量に応じてコーン収量も各地区で異なることを理解することができました。

また 2004 年から 2022 年までの期間を対象に、植生水分量のモニタリング出力からコーン収量を推定したところ、農業統計データとの良好な整合(RMSE 2.1 t/ha)が確認されました。さらに 2018 年の植生水分量のハインドキャスト予測から 2018 年のコーン収量を予測したところ、農業統計データとの誤差が僅か 0.2(t/ha)であることが確認されました。このように地区スケールの農業統計データを入手することにより、各地区における干ばつ評価と農作物収量の推定・予測が可能であることを理解することができました。

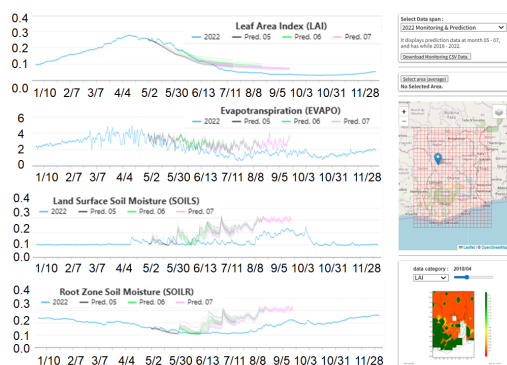


図 5 ガーナ DIAS 干ばつ監視・予測システム

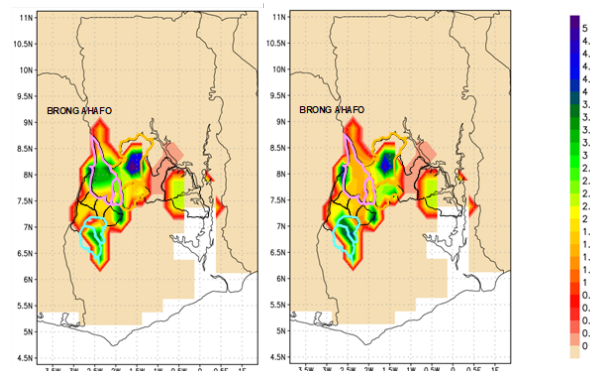


図 6 Brong-Ahafo 州における推定コーン収量の空間分布: 左図は湿潤年、右図は乾燥年、青枠は ASUNAFO /ASUTIFI 地区、橙枠は NKORANZA/KINTAMPO、ピンク枠は WENCHI/TECHIMAN 地区

(3) 南スーダン共和国

南スーダン共和国において CLVDAS に基づく干ばつ監視システムを開発し、2004 年から 2023 年までの長期シミュレーションを行ないました。また、その出力である植生水分量からコーン・ソルガムの収量を求める手法を開発しました。その結果、上ナイル州・ピボル州・東エクアトリア州と中央エクアトリア州の一部では、土壌水分が常に豊富であるため、干ばつ年であってもコーン・ソルガムの収量が高く (図 7a)、灌漑による効力が小さい (図 7b) ことが分かりました。他の地域では、土壌水分が常に低いために、干ばつにより収量が少なく (図 7a)、灌漑の効力は大きくなる (図 7b) ことが分かりました。2021 年、推定収量は高かったですが (図 8b,c)、洪水浸

水域（図 8a）と重なる収穫域の推定収量をゼロとした結果、2021 年の推定収量は FAO 統計収量に近づきました（図 8b,c）。このように収穫エリア・位置情報を入手することにより、各農地における農業的干ばつを評価できること、そして干ばつによる農業被害を評価する際は、洪水氾濫も含めてシームレスに評価すべきであることを深く理解しました。

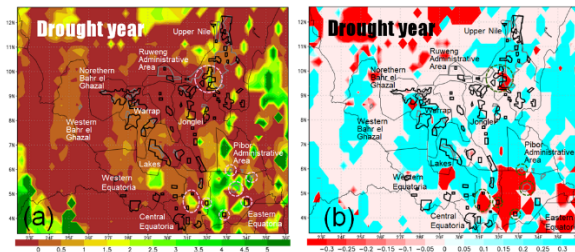


図 7 (a)推定収量($\times 10^9$ t)・
(b)灌漑の効力: コーン(灰色)・ソルガム(黒色)

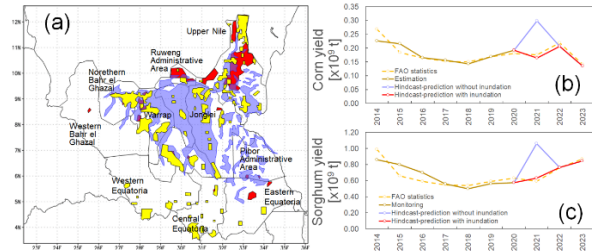


図 8 (a)コーン(赤色)・ソルガム(黄色)・2021 年洪水浸水域(青色), (b)(c)コーン・ソルガム収量の推定結果, (茶実線)FAO 統計収量・(黄破線)2014-20 年推定収量・(青実線)2018 年浸水を考慮しない場合の 2021-23 年推定収量・(赤実線)2018 年浸水を考慮した場合の 2021-23 年推定収量

b) CLVDAS に基づく熱帯収束帯・亜熱帯高圧帯域における農業的干ばつ評価

2004 年から 2017 年までの期間において熱帯収束帯(ITCZ)・亜熱帯高圧帯域に位置する 6 地域(西アフリカ・ヨルダン・マラウイ・インド・グアテマラ・北東ブラジル)を対象に CLVDAS に基づき農業的干ばつ傾向を評価しました(図 9)。その結果、CLVDAS により推定された植生水分量とコーン収量統計値の正規化指数(Z スコア)が良好に整合し、また 2004 年から 2017 年までの期間中、干ばつが、後半に発生するタイプ A、前半に発生するタイプ B、不規則に発生するタイプ C に分類されることが分かりました(図 10)。

さらに大気境界層を調査した結果、A タイプでは、湿潤年と干ばつ年の違いによって変化する ITCZ における上昇気流の範囲が、地表面の乾燥状態に影響することが分かりました。B タイプでは、ハドレー循環による下降気流の強さが、地表面の乾燥状態に影響することが分かりました。C タイプでは、ITCZ における上昇気流の範囲の変化(A タイプ)とハドレー循環による下降気流の強弱(B タイプ)が相互に作用するために干ばつ年が不規則に発生することが分かりました(図 11)。

さらに干ばつ傾向と大気大循環現象・外的要因との関連性について調査しました。その結果、北東ブラジル・グアテマラ・西アフリカ・インドにおいては、大規模な El Niño 現象に関連して干ばつが発生し、またマラウイにおいては、負のインド洋ダイポールモード (Indian Ocean Dipole mode, IOD)現象に関連して干ばつが発生したことを理解しました(図 12a)。さらに西アフリカ・ヨルダンにおいて、外的要因である蝗害により農作物が被害を受けたことを理解することができました(図 12b,c,d)。

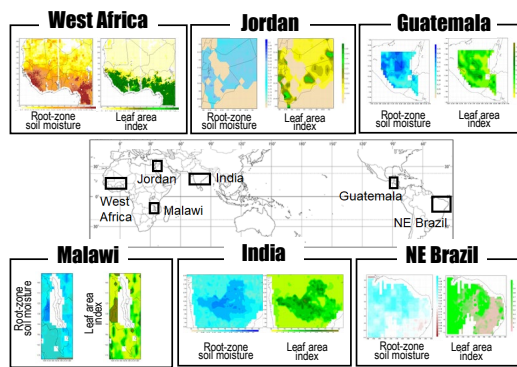


図 9 熱帯収束帯(ITCZ)・亜熱帯高圧帯域に位置する 6 地域(西アフリカ・ヨルダン・マラウイ・インド・グアテマラ・北東ブラジル)における植生動態水文学量の空間分布

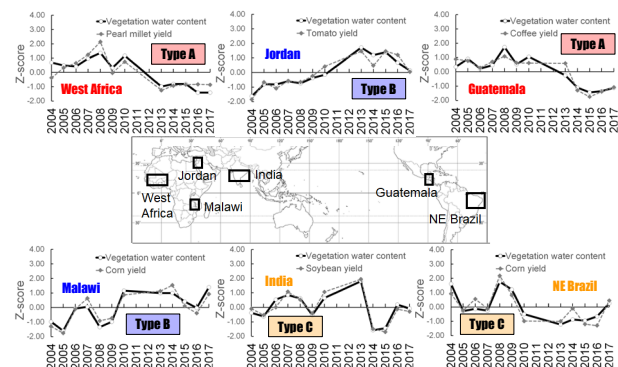


図 10 熱帯収束帯・亜熱帯高圧帯地域 6 地域における干ばつ傾向の変動: 推定植生水分量(実線)・コーン収量統計値(破線)の正規化指数(Z スコア)および干ばつ傾向の分類(タイプ A・B・C)

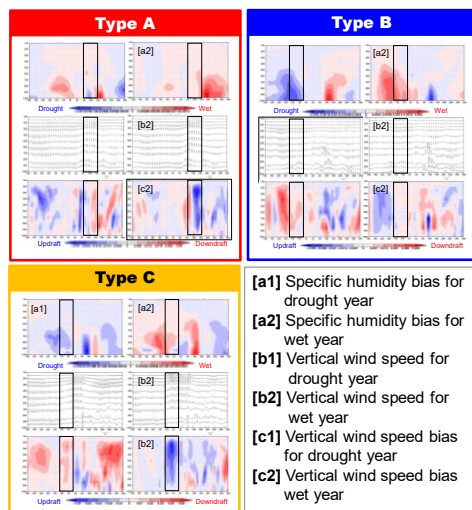


図 11 3 種の干ばつタイプ(A・B・C)

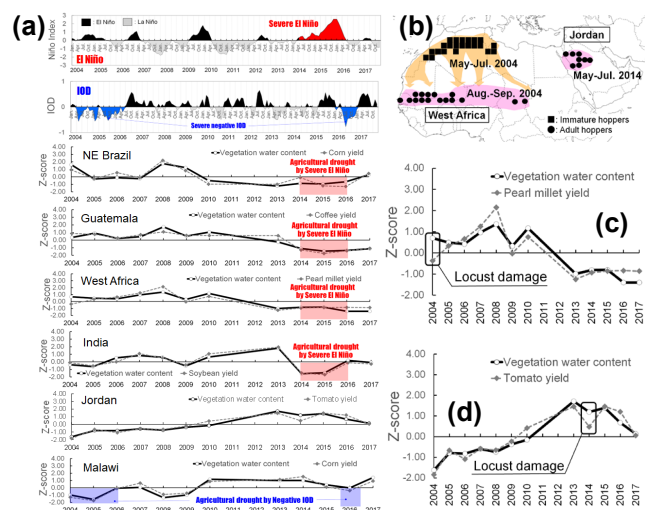


図 12 大気循環現象と農業的干ばつとの関連性(a), 外的要因である蝗害の発生情報(b), 蝗害と農作物被害との関連性(西アフリカ(c), ヨルダン(d))