

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-1

# 気候変動に対する乾燥地の 知られざる感受性を解明

## 本研究のポイント

- ・ 年間降水量・気温・乾燥度とその変動性が乾燥地生産性を駆動することを非線形時系列解析により解明し、世界に先駆けて、気候変動に対する乾燥地の感受性を広域的に可視化した。
- ・ これまで、乾燥地生産性は降水量によって主に駆動されると認識されてきたが、気温とその変動性も降水量と同程度かそれ以上に重要な駆動因である。
- ・ 気候変動に対する乾燥地の感受性は、気候要因の時間遅れの効果、場所ごとに異なる植生の水分および温度ストレスへの耐性に左右される。
- ・ 生態系の複雑な動態を考慮することで、生物圏から気候システムへのフィードバックの正確な予測につながる。

## 【研究概要】

横浜国立大学の佐々木雄大教授は、鳥取大学の衣笠利彦准教授、モンゴル気象水文環境研究所の Gantsetseg Batdelger 博士、米国ニューメキシコ大学の Scott Collins 教授らとの国際共同研究で、気候変動に対する乾燥地の知られざる感受性の可視化に成功しました。モンゴル国全土に広く分布する 48 の草原サイトにおける 40 年間の植物生産量および気候データを解析した結果です。陸域において、広域のかつ長期的に野外で観測された時系列データは世界的に少なく、さらにそのような時系列データの複雑性ゆえに、気候変動に対する乾燥地の応答の理解には限界がありました。今回は、長期時系列データと非線形時系列解析手法を組み合わせることで、乾燥度の高いモンゴル南部地域では年間の降水量が増加しても生産量は必ずしも増加せず、またモンゴル全域を通して年間の乾燥度が改善されても生産量は必ずしも増加しない、といった感受性を発見しました。生産量は、降水量や乾燥度の変動性の増加に対して、より湿潤な北部地域で負に、より乾燥した地域で正に反応することもわかりました。成果は、気候変動に対する乾燥地の応答の正確な予測に貢献するとともに、乾燥地の牧畜業や農業を気候変動下でいかに持続的にやっていくかを検討する上で重要な科学的根拠となります。

本研究成果は、国際科学雑誌「Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)」に掲載されました（2023年8月21日米国東部時間午後3時付）。

## <発表論文>

タイトル：Dryland sensitivity to climate change and variability using nonlinear dynamics

著者：Takehiro Sasaki, Scott L. Collins, Jennifer A. Rudgers, Gantsetseg Batdelger, Erdenetssetseg Baasandai, and Toshihiko Kinugasa

雑誌：Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)

DOI：10.1073/pnas.2305050120

掲載日（オンライン版）：2023年8月21日米国東部時間午後3時

### 【研究成果】

乾燥地は、世界の陸域の4割以上の面積を占め、気温上昇および降水量変化によって引き起こされる全球的な乾燥化によって、その面積割合は将来的に増加すると予測されています。また、近年の気候変動によって、干ばつや熱波など極端な気候イベントの頻度が増加しています。そのため、地球環境にとって基盤的な生態系機能である乾燥地の植物一次生産が、年々の気候条件（降水量、気温、乾燥度）およびその年間変動性にどのように駆動されているかを明らかにすることは喫緊の課題となっています。しかし、とりわけ陸域では、広域かつ長期的な野外観測時系列データの不足により、生態系の複雑な時間動態を考慮した解析が行われておらず、気候変動に対する乾燥地の感受性の理解に限界がありました。

本研究では、モンゴル国全土に広く分布する48の草原サイトにおける植物生産量および気候（降水量、気温、乾燥度）の40年間（1978年から2017年）の時系列データに対して、非線形力学に基づく時系列解析（注1）を行い、乾燥地の植物生産性が気候変動によってどのように駆動されるかを検証しました。その結果、年間降水量・年間平均気温・夏季平均気温・年間乾燥度とその変動性（数年スケールでの変動）が乾燥地生産性を駆動していることが明らかになりました。これまでの研究で、降水量が少ない乾燥地では、植物生産性は降水量に大きく左右されると認識されてきましたが、年間および夏季の平均気温とその変動性も降水量と同程度かそれ以上に生産性への影響が大きかったことがわかりました。このことは、将来的に見込まれる、さらなる気温上昇による乾燥地生産性への影響とそのメカニズムの理解の重要性を強調しています。

さらに、年間の気候条件とその変動性を変化させた場合、生産量にどのような影響が表れるかをシミュレーションしました。乾燥度の高いモンゴル南部地域では年間降水量が増加しても生産量は必ずしも増加しないこと、モンゴル全域を通して、年間の乾燥度が改善されても生産量は必ずしも増加しないことがわかりました（図1）。これは従来、乾燥地では、年間降水量が増加すれば、増加した量に概ね比例して生産量が増加するという知見とは異なります。降水量が少ない年（少雨年）の影響は、当年だけでなく、少雨年の翌年や翌々年にも表れること（干ばつのレガシーとよぶ）があります（図3）。この時間遅れの効果が頻繁に表れるために、降水量と生産量は単純な比例関係にはなく、むしろ、降水量の増加や乾燥度の低下に対する生産量の感受性が負になると考えられます。また、気候条件の変動性に対する乾燥地生産性の感受性の可視化も同様に行い（図2）、場所ごとに異なる植生の水分および温度ストレスへの耐性に感受性が左右されることがわかりました。以上の結果は、全

球を対象とした陸域生態系の将来予測モデルの検証に貢献すると考えられます。今後、生物圏から気候システムへのフィードバックを正確に予測するには、長期観測データの利用と生態系の複雑な動態を考慮した解析がますます必要とされます。

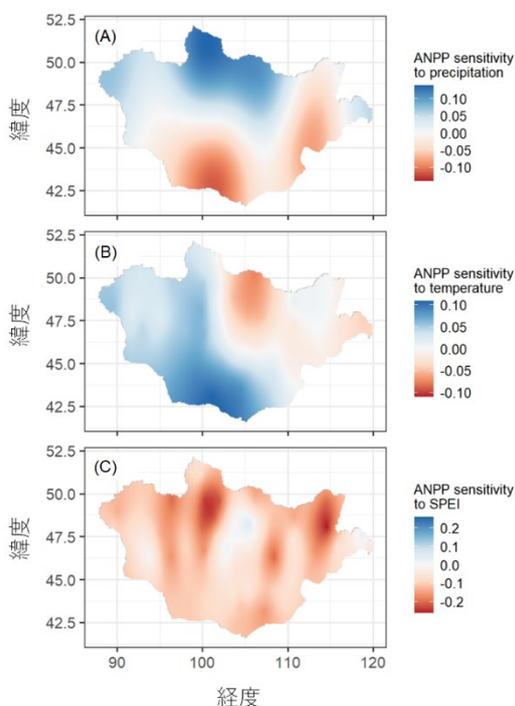


図 1. 年間の気候条件の変化に対する乾燥地の生産性 (ANPP) の感受性. 正に応答する場合は青、負の場合は赤で示されている. (A) 年降水量の増加に対する感受性. (B) 年平均気温の増加に対する感受性. (C) 年乾燥度の低下に対する感受性.

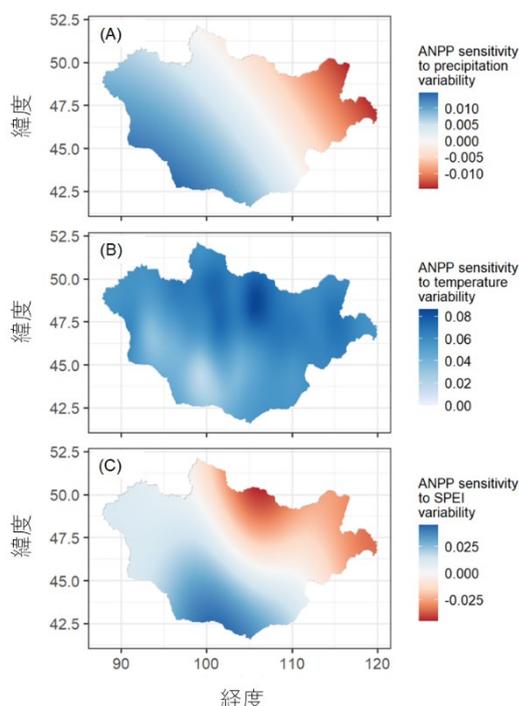


図 2. 年間の気候条件の変動性の変化に対する乾燥地の生産性 (ANPP) の感受性. 正に応答する場合は青、負の場合は赤で示されている. (A) 年降水量の変動性の増加に対する感受性. (B) 年平均気温の変動性の増加に対する感受性. (C) 年乾燥度の変動性の増加に対する感受性.



図 3. 気候要因の時間遅れの効果 (例). 2007 年は極端な少雨 (干ばつ) により、植物生産量が大きく減少している. 2008 年の降水量は、2006 年よりも多かったが、2007 年の干ばつの影響により、生産量が 2006 年に比べて少ないのがわかる. 同一の場所・時期に、同一の方角で撮影した現地の草原の写真.

## 【今後の展開】

乾燥地は、現在すでに 20 億を超える人々の生活を支えており、インドやアフリカ諸国など、将来的に人口の著しい増加が見込まれる地域を多く含み、地球上の主要な人間生活の場として重要な地域です。気候変動に対する乾燥地の感受性の理解は、これらの地域における牧畜業や農業を気候変動下でどのように持続的に行っていくかを考える重要な科学的根拠となります。とりわけ、世界の食肉・天然繊維需要の拡大に伴い、乾燥地とそこでの人間社会が抱える負担は今後さらに増すことが懸念されます。今後は、気候変動だけでなく土地利用も含め、それらが生態系に長期的にどのような影響を及ぼし、将来的に生態系はどのように変化していくのかについて、長期観測や最新のデータ解析手法を用いて、研究を進めて行く必要があると考えています。

\*本研究は、日本学術振興会科学研究費（19KK0393）、鳥取大学乾燥地研究センター共同研究プログラム（30F2002、02F2002）、米国 NSF・LTER（DEB#1655499）および NSF・LTREB プログラム（DEB-1856383）などの支援を得て、実施されました。

## 【用語の説明】

注 1：非線形力学に基づく時系列解析

二つの変数の間に、通常の回帰分析のように式を仮定せずにデータを解析できる手法で、複雑な動態を示す長期的な時系列データから、変数間の因果関係の検出や変数の挙動の予測が可能となります。

本件に関するお問い合わせ先：

横浜国立大学大学院環境情報研究院 教授 佐々木雄大

電話：045-339-3596

E-mail：sasaki-takehiro-kw(at)ynu.ac.jp