

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月28日現在

機関番号：15101
 研究種目：基盤研究（A）（海外学術調査）
 研究期間：2008～2012
 課題番号：20255001
 研究課題名（和文） 干ばつメモリの動態

研究課題名（英文） Dynamics of drought memory

研究代表者

篠田 雅人（SHINODA MASATO）
 鳥取大学・乾燥地研究センター・教授
 研究者番号：30211957

研究成果の概要（和文）：世界の陸地の約4割を占める乾燥地では、今後、干ばつが増加し、すでに困難に直面しているその水資源、農業生産、生態系が悪影響をこうむる可能性が高い。本研究では、ユーラシア草原において干ばつという外的強制力を受けて、乾燥状態が「土壌水分→植生→動物」と進んでゆく干ばつメモリの動態を解明し、干ばつという攪乱に対する生態系の感受性・復元力という視点からその持続性を評価した。

研究成果の概要（英文）：Recently, there has been a worldwide trend for intensified drought. Furthermore, in general, projections of climate models have suggested that the frequency and intensity of extreme weathers including droughts will likely increase in the future. Given this background, the present study investigated a series of mechanism of how meteorological drought (below-normal precipitation) affects soil moisture, vegetation and animals and made an assessment of vulnerability of the steppe vegetation in terms of sensitivity and resilience to drought.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2009年度	12,100,000	3,630,000	15,730,000
2010年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2011年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
2012年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
交付決定額	34,600,000	10,380,000	44,980,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：地理学

キーワード：干ばつ、気候変動、草原生態系、乾燥地、ユーラシア

1. 研究開始当初の背景

(1) 乾燥地生態系の持続性評価：2005年に発表されたミレニアム生態系評価によると、世界の乾燥地は全陸地面積の約4割を占め、そこに世界人口の3分の1にあたる人々が暮らしているが、人間の福利の面で最も大きな

困難に直面している。さらに、今年出版されたIPCC第4次報告書によると、今後、干ばつが増加し、その困難がさらに深刻化する可能性が高い。世界各国政府が2015年までに達成を約束しているミレニアム開発目標の実現のためには、科学者側から環境の持続性

の評価が危急の課題となっている。この課題について、篠田は干ばつという攪乱に対する生態系の感受性・復元力を調べるという新手法を開発しつつある(篠田 2007)。

(2) 干ばつに対する生態-気候システムの応答解明: 従来、乾燥地で干ばつ(少降水)が生じたときの地表面の応答について、モデル研究では、「干ばつ→土壌水分の減少→蒸発の減少→降水の減少」(干ばつの加速)というプロセスが進むという考えが通説であった。一方、気候と植生・土壌水分の関係を詳細にみる生態気候学の立場からは、「干ばつ→土壌水分の減少→バイオマスの減少→蒸発散の減少」という連鎖が考えられるが(Iijima et al. 2007)、そのときイネ科草本が栄養成長から繁殖成長へ早めに切り替え乾燥回避することで(感受性が小さい)、干ばつの影響を緩和する現象が示された(Shinoda et al. 2007)。その後偶発的な降水があれば、「土壌水分の増加→バイオマスの増加→蒸発散の増加→降水の増加」(干ばつの抑制)というプロセスが進む可能性を指摘できる。実際、モンゴルで行った干ばつ実験の翌年に、地上部バイオマスがその数倍もある地下部が基礎となり回復してゆく(復元力が大きい)現象が解明されつつあり(Shinoda et al. 2010)、今後、この回復の長期的な動向が注目される。これと同様に、本研究では、新たにカザフスタンで行う除雪による融雪水干ばつ実験の後の変化を長期観測するものである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、Shinoda et al. (2004, 2006)が提示している干ばつメモリの波及プロセスの仮説を、内陸乾燥アジアの草原地域(カザフスタンとモンゴル)において、観測的・実験的に検証することである。特に、干ばつの負の影響を弱めるような生態系の乾燥回避・耐性や干ばつからの復元力が発見されるかが焦点となる。

近年、内陸乾燥アジアを含む北半球規模で強い干ばつが広域化しているが、春中心の降水があるカザフスタンと夏降水のモンゴルにおいて、この気候条件の違いが干ばつに対する草原生態系の応答にどう影響するかという、比較地球科学的視点から干ばつメモリの動態を究明する。具体的な目的は以下の2点である。

(1) 先端的観測技術と従来の生態学調査法を組み合わせた大気-土壌-植生-動物システムの長期観測による、経年的な干ばつメモリの観測的・実験的解明。

(2) 干ばつに対する生態-気候システムの感受性・復元力解析による、乾燥地生態系の持続性評価。

3. 研究の方法

2008年度より順次渦相関法による熱・水・炭素収支観測システムを導入し、試験観測を鳥取大学・乾燥地研究センター内で実施した後、モンゴル・カザフスタンの観測地に設置、近年の干ばつの影響を2012年度まで観測する。これと同時に、カザフスタンにおいて、2009年度以降に除雪をする人工干ばつ実験、モンゴルにおいては、2005年度の干ばつ実験の後の変化を観測する。干ばつ後の経過として、草原生態系が干ばつを加速または抑制する方向に反応するかどうか、また、動物は移動によって干ばつの影響がある草原を回避するかが観測の焦点となる。

4. 研究成果

研究成果の概要(和文): 気候変動に関する政府間パネル第4次報告書によると、世界の陸地の約4割を占める乾燥地では、今後、干ばつが増加し、すでに困難に直面しているその水資源、農業生産、生態系が悪影響をこうむる可能性が高い。本研究では、ユーラシア草原において干ばつという外的強制力を受けて、乾燥状態が「土壌水分→植生→動物」と進んでゆく干ばつメモリの動態を解明し、干ばつという攪乱に対する生態系の感受性・復元力という視点からその持続性を評価することを目的とした。主要な成果は以下5点である。

(1) モンゴル草原に位置するバヤンオンジュルにおいて、2005年夏に行った降雨遮断屋根を取り付けた人工干ばつ実験後の変化を長期にわたって継続観測した。干ばつ実験直後(2005年8月)には、地上部バイオマス、土壌水分などに顕著な減少が認められたが、地下部バイオマスにはみられなかった。2006年8月には、地上部バイオマスの急速な回復がみられたが、耐乾性が小さいイネ科草本の回復は、干ばつ実験以前(2004年)のレベルにまで降水量が回復した2008-2010年の3年目にみられた(2009年は欠測)。

(2) 室内実験により、水ストレス下で *Artemisia adamsii* の揮発物質が *Stipa krylovii* の生育を促進させることで、その土壌水分を消費させ、最終的に生長力を低下させることが分かった。この結果、一度干ばつ・過放牧で *A. adamsii* がはびこると、*S. krylovii* が回復しにくいことが示唆された。

(3) モンゴル草原の植生条件と野生動物モウコガゼルの行動圏面積の解析から、降水量が少ない地域では生育期の植物量は小さいにもかかわらず、植物量の季節変化や空間的不均一性も小さいため、モウコガゼルの年間行動圏面積が小さいことが示唆された。

(4) カザフスタン草原では、春に積雪除去と秋に降水遮断の野外実験を実施した。地温と土壌水分は、積雪除去区で高温、乾燥の偏

差（メモリー）を示し、120cm 深程度までその影響が及んでいる様子が明らかとなった。また降雪の酸素・水素の安定同位体比測定によって、秋から冬にかけて同位体比の大きな季節変化を示すことが明らかとなり、水資源の起源解析に利用できる可能性が示唆された。

(5) 重要な成果として、ユーラシア乾燥地の特徴である冬季の寒冷気候下では秋の干ばつメモリが翌春まで残ることを発見した (Shinoda and Nandintsetseg 2011)。これにより、春に発生するゾド・ダストの早期警戒が可能となり、干ばつ、ゾド、砂塵嵐、砂漠化の4種類の災害の発生機構を統合的に理解する手がかりがえられた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 47 件)

- ① Shinoda, M., B. Nandintsetseg, U. G. Nachinshonhor, and H. Komiyama: Hotspots of recent drought in Asian steppes. *Regional Environmental Change*, in press. DOI: 10.1007/s10113-013-0464-0.
- ② Ito, T. Y., M. Tsuge, B. Lhagvasuren, B. Buuveibaatar, B. Chimeddorj, S. Takatsuki, A. Tsunekawa, and M. Shinoda: Effects of interannual variations in environmental conditions on seasonal range selection by Mongolian gazelles. *Journal of Arid Environments*, Vol. 91, 61-68, April 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jariden.v.2012.12.008>.
- ③ Nandintsetseg, B. and M. Shinoda: Assessment of drought severity and frequency, and impacts on pasture productivity in the Mongolian steppe. *Natural Hazards*, Vol. 66, No. 2, 995-1008, March 2013. DOI 10.1007/s11069-012-0527-4.
- ④ Ito, T. Y., B. Lhagvasuren, A. Tsunekawa, M. Shinoda, S. Takatsuki, B. Buuveibaatar, and B. Chimeddorj: Fragmentation of the Habitat of Wild Ungulates by Anthropogenic Barriers in Mongolia. *PLoS ONE*, Vol. 8, No. 2: e56995, 20 February 2013. doi:10.1371/journal.pone.0056995.
- ⑤ Tachiiri, K. and M. Shinoda: Impact of future climate change on summer droughts and snow disasters in Mongolia. *Science Online Letters on the Atmosphere*, Vol. 8, 124-128, 10 November 2012. doi:10.2151/sola.2012-031.
- ⑥ Bat-Oyun, T., M. Shinoda, and M. Tsubo: Effect of water stress on radiation use efficiency in a Mongolian grassland. *Journal of Plant Interactions*, Vol. 7, No. 3, September 2012, 214-224. DOI:10.1080/17429145.2011.564736.
- ⑦ Matsushima, D., R. Kimura, and M. Shinoda: Soil moisture estimation using thermal inertia: Potential, practical feasibility, and sensitivity to data conditions. *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 13, No. 2, 638-648, April 2012. doi: 10.1175/JHM-D-10-05024.1.
- ⑧ Tsubo, M., E. Nishihara, T. Nakamatsu, Y. Cheng, and M. Shinoda: Plant volatiles inhibit restoration of plant species communities in dry grassland. *Basic and Applied Ecology*, Vol. 13, No. 1, 76-84, February 2012. doi:10.1016/j.baae.2011.11.005.
- ⑨ Tachiiri, K. and M. Shinoda: Quantitative risk assessment for future meteorological disasters: Reduced livestock mortality in Mongolia. *Climatic Change*, 113, 867-882, 2012, doi:10.1007/s10584-011-0365-5.
- ⑩ Shinoda, M. and B. Nandintsetseg: Soil moisture and vegetation memories in a cold, arid climate. *Global and Planetary Change*, Vol. 79, Nos. 1-2, 110-117, October-November 2011. doi:10.1016/j.gloplacha.2011.08.005
- ⑪ Kimura, R. and M. Shinoda: Estimation of surface soil water content from surface temperatures during dust outbreak seasons of northeast Asia. *Environmental Earth Sciences*, July 2011. DOI:10.1007/s12665-011-1167-9.
- ⑫ Cheng, Y., M. Tsubo, T. Ito, E. Nishihara, and M. Shinoda: Impact of rainfall variability on plant diversity in grazing land: a case study from Mongolia. *Journal of Arid Environments*, Vol. 75, No. 5, 471-476, May 2011. doi:10.1016/j.jaridenv.2010.12.019.
- ⑬ Mohamed, A. A., R. Kimura, M. Shinoda, and M. Moriyama: Diurnal surface temperature difference index derived from ground-based meteorological measurements for assessment of

- moisture availability. *Journal of Arid Environments*, Vol. 75, No. 2, 156-163, February 2011. doi:10.1016/j.jaridenv.2010.09.013.
- ⑭ Nakano, T. and M. Shinoda: Response of ecosystem respiration to soil water and plant biomass in a semi-arid grassland. *Soil Science and Plant Nutrition*, Vol. 56, No. 5, 773-781, October 2010. doi: 10.1111/j.1747-0765.2010.00502.x.
- ⑮ Nandintsetseg, B. and M. Shinoda: Seasonal change of soil moisture in Mongolia: Its climatology and modeling. *International Journal of Climatology*, 30 March 2010. DOI:10.1002/joc.2134.
- ⑯ Nandintsetseg, B., M. Shinoda, R. Kimura, and Y. Ibaraki: Relationship between soil moisture and vegetation activity in the Mongolian steppe. *Science Online Letters on the Atmosphere*, Vol. 6, 29-32, 11 March 2010. doi:10.2151/sola.2010-008.
- ⑰ Shinoda, M., G. U. Nachinshonhor, and M. Nemoto: Impact of drought on vegetation dynamics of the Mongolian steppe: A field experiment. *Journal of Arid Environments*, Vol. 74, No. 1, 63-69, January 2010. doi:10.1016/j.jaridenv.2009.07.004.
- ⑱ Tachiiri, K., M. Shinoda, B. Klinkenberg, and Y. Morinaga: Assessing Mongolian snow disaster risk using livestock and satellite data. *Journal of Arid Environments*, Vol. 72, No. 12, 2251-2263, December 2008. doi:10.1016/j.jaridenv.2008.06.015.
- ⑲ Nakano, T., M. Nemoto, and M. Shinoda: Environmental controls on photosynthetic production and ecosystem respiration in semi-arid grasslands of Mongolia. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 148, No. 10, 1456-1466, September 2008. doi:10.1016/j.agrformet.2008.04.011
- ⑳ Iijima, Y., T. Kawaragi, T. Ito, K. Akshalov, A. Tsunekawa, and M. Shinoda: Response of plant growth to surface water balance during a summer dry period in the Kazakhstan steppe. *Hydrological Processes*, Vol. 22, No. 16, 2974-2981, July 2008. DOI: 10.1002/hyp.6870.

[学会発表] (計 32 件)

- ① 篠田雅人: 趣旨説明. 日本地理学会 2012 年秋季大会シンポジウム「ゾドと遊牧知—乾燥地災害学の体系化に向けて—」神戸, 2012 年 10 月 6-9 日.
- ② Shinoda, M. and B. Nandintsetseg: An overview of Japanese research activities on dust emission and climate change. Sino-German Science Center Symposium "Dust and Climate Change: Past, Present and Future". Cologne, Germany, 21-22 September 2011.
- ③ Shinoda, M.: Introductory Speech: Drought dynamics over an arid, cold region. International Workshop on Drought Dynamics in An Arid, Cold Region, Tottori, Japan, 2 August 2011.
- ④ Shinoda, M.: Overview of ALRC-IMH joint studies on the 3D disasters in Mongolia: Dzug, drought, and dust. Joint Seminar between IMH and Tottori University for the 45th Anniversary of IMH. Ulaanbataar, Mongolia, 1 July 2011.
- ⑤ Shinoda, M.: Proactive Approach in a Changing Climate: Detection of a Threshold. International Symposium on the Collapse and Restoration of the Mongolian Ecosystem Network in the Context of Global Environmental and Social Changes. Kyoto, Japan, 23-24 January 2010.*

[図書] (計 17 件)

- ① Shinoda, M.: Land: Proactive Management of Drought and Its Derived Disasters. In R. Shaw and T. Phong eds.: *Environment Disaster Linkages. Community, Environment and Disaster Risk Management*, Vol. 9, Emerald Publishers, Bingley UK, 61-78, January 2012. ISBN978-085-724-865-7
- ② Nakano, T. and M. Shinoda: Modeling of the interannual variation in ecosystem respiration of a semiarid grassland, In E. B. Ozkaraova Gungor ed.: *Principles, Application and Assessment in Soil Science*, InTech Open Access Publisher, Rijeka Croatia, 167-178, December 2011. ISBN978-953-307-740-6
- ③ 篠田雅人・門村浩・山下博樹編著: 『乾燥地の資源とその利用・保全』乾燥地科学シリーズ第 4 巻, 古今書院, 東京, 227p, 2010 年 6 月 30 日. ISBN978-4-7722-3108-4
- ④ 篠田雅人: 『砂漠と気候 改訂版』成山堂

書店, 東京, 169p, 2009 年 4 月 8 日.
ISBN4-425-55132-3

- ⑤ 篠田雅人編著:『乾燥地の自然』乾燥地
科学シリーズ第 2 巻, 古今書院, 東京,
213p, 2009 年 3 月 31 日 .
ISBN978-4-7722-3106-0

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.alrc.tottori-u.ac.jp/japanes
e/organization/shinoda.pdf](http://www.alrc.tottori-u.ac.jp/japanese/organization/shinoda.pdf)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

篠田 雅人 (SHINODA MASATO)

鳥取大学・乾燥地研究センター・教授

研究者番号: 30211957

(2) 研究分担者

木村 玲二 (KIMURA REIJI)

鳥取大学・乾燥地研究センター・准教授

研究者番号: 80315457

坪 充 (TSUBO MITSURU)

鳥取大学・乾燥地研究センター・准教授

研究者番号: 30432602

伊藤 健彦 (ITO TAKEHIKO)

鳥取大学・乾燥地研究センター・助教

研究者番号: 50403374

(3) 連携研究者

田村 憲司 (TAMURA KENJI)

筑波大学・生命環境科学研究科・教授

研究者番号: 70211373

中野 智子 (NAKANO TOMOKO)

中央大学・経済学部・教授

研究者番号: 70295468

飯島 慈裕 (IIJIMA YOSHIHIRO)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境

変動領域・主任研究員

研究者番号: 80392934