

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2013～2017

課題番号：25220201

研究課題名(和文) 乾燥地災害学の体系化

研究課題名(英文) Integrating dryland disaster science

研究代表者

篠田 雅人 (Shinoda, Masato)

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：30211957

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 172,800,000円

研究成果の概要(和文)：極端気象の多発時代において、社会の脆弱性ゆえに気象災害が甚大な乾燥地の人々に對して、日本の乾燥地科学の英知を結集した国際貢献が必要である。こうした背景から、われわれの学融合グループは「乾燥地災害学の体系化」に取り組み、災害に対する能動的対応の提言をした。

ユーラシア乾燥地に特有な4種類の自然災害は、砂塵嵐、干ばつ、砂漠化、ソドとよばれる寒雪害である。これらの頭文字をとって4D災害とよぶ。干ばつは自然災害のなかでも最も人的な被害が大きい災害である。4D災害を干ばつとそれから派生するものの災害群ととらえ、ひとつのリスク評価の枠組みのなかでとらえるというのが本研究のねらいである。

研究成果の概要(英文)：The nature-society system in drylands is among the most vulnerable to projected increasing frequency of various extreme weathers. Especially, drylands in middle-high latitudes have a severe environment coupled with an arid and cold climate and the livelihood has been jeopardized repeatedly by natural disasters that occur in such a climate. The disasters are characterized by so-called 4D (i.e., drought, dzud, dust storm, and desertification) that occur interactively. However, previous approaches towards elucidating disaster mechanisms and implementing the management have not fully been integrated, as they only dealt with each disaster separately. Given this background, the present project aimed (1) to relate the 4D disasters in dry Eurasia to each other in terms of causal mechanisms (especially, drought memory) and the time scales of their occurrence and (2) to develop comprehensive proactive countermeasures and make a policy recommendation for mitigating multi-disaster impacts.

研究分野：気候学

キーワード：自然災害 干ばつ 砂漠化 黄砂 乾燥地

1. 研究開始当初の背景

(1) 乾燥地災害研究の緊急性

世界の乾燥地は陸地の約4割を占め、そこに世界人口の3分の1の人々が暮らしている。その多くは途上国の貧困層であり、自然-社会システムは脆弱ゆえに突発的な自然災害による被害は甚大となる。今後、乾燥地では気候の温暖化・乾燥化ばかりでなく、極端気象の増加が予測されているため、その能動的対応が緊急の課題となっている。

(2) 災害研究の統合・再編

図1は、ユーラシア乾燥地に特有な4種類の自然災害を示している。それらは、日本に飛来する黄砂の発生を引き起こす砂塵嵐、干ばつ、砂漠化、ゾドとよばれる寒雪害である(これらの頭文字をとって4D災害とよぶ)。これらの災害研究はこれまで個別のプロジェクトによってなされ、災害現場では対応も個別であった。申請者らの研究の蓄積から、4D災害のリスクは共通して「外的インパクトに対する乾燥地自然-社会システムの脆弱性の問題」としてとらえられ、体系的に理解できる見通しがたったため、個別災害研究の統合・再編が可能となった。

(3) 気候メモリによる災害発生機構の統合理解

気候メモリとは「異常気象の影響が地表状態・生態系・人間活動に及び保持されること」である。これまでの研究で、少雨が原因で発生する気候メモリ(干ばつメモリ)によって、4D災害発生機構の統合理解が可能となった(図2)。すなわち、4D災害を干ばつとそれから派生するものの災害群ととらえられる。

(4) 乾燥地社会の脆弱性評価

4D災害の機構解明には、それを被る遊牧・農耕社会の脆弱性評価に関わる分野を強化し、大規模プロジェクトを立ち上げる機運が高まった。

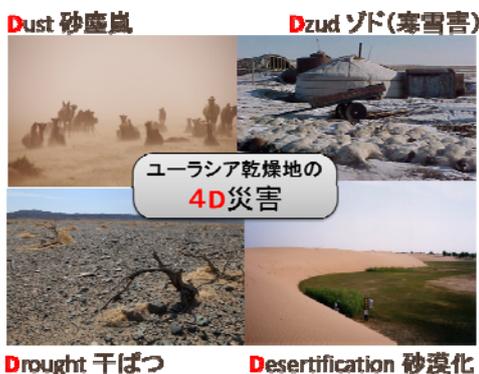


図1 ユーラシア乾燥地に特有な4種類の自然災害。

2. 研究の目的

本研究は、ユーラシア乾燥地の4D災害について、(1) 外的インパクトをそれが作用する時間スケールから短期(異常気象としての

砂塵嵐、ゾド)、中期(干ばつ)、長期(砂漠化)に分類し、地表面過程(気候メモリ、土地劣化など)を通して中・長期インパクトが短期インパクトのバックグラウンドになってゆくメカニズムを解析し(図2中央)、(2) 短期災害を、気象災害のリスク=異常気象の規模 x 農牧システムの脆弱性(自然環境・社会経済・保健医学要因)という枠組みでとらえ、それが中・長期災害の発生と関連する農牧システムの脆弱性にフィードバックしてゆく現象(図2)を解明することを目的とする。

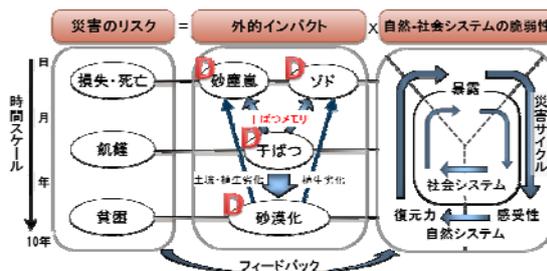


図2 乾燥地(4D)災害の相関図(Shinoda 2017に加筆)。外的インパクトの種類・強度・時間スケールに応じて災害リスクの種類も異なる。災害リスクはその後の脆弱性にフィードバックする。脆弱性を構成する暴露、感受性、回復力は災害のサイクル(右回り)に応じて重要度が異なる。

3. 研究の方法

気象・衛星データの解析により、砂塵嵐、ゾド、干ばつといった異常気象の規模(ハザード)を定量化する。また、地表面動態の集中観測・衛星観測により、異常気象が原因で発生する気候メモリの持続性のメカニズムを解明することで、生態系の脆弱性をよく表現する指標群を考案する。さらに、被災地の農牧民を対象とした聴き取り調査、社会経済データの解析により、異常気象に遭遇したときの農牧業の状況、それへの対応、保健医学・獣医学調査により、異常気象による人畜の健康影響を調べ、農牧社会の脆弱性をよく表現する指標群を考案する。これらの指標群を用いて、気象災害のリスク=異常気象の規模 x 農牧システムの脆弱性という定式化を各災害で行い、実際の被害状況の地域性をよく表現し、将来的にはリスク評価に利用できる統合的モデルを構築する。

4. 研究成果

(1) 災害インベントリ作成

世界の家畜頭数・災害データベースを組み合わせて、過去の自然災害による被害を順位づけし、ユーラシア乾燥地ではゾドが家畜死に対して最も大きい影響(4、6位)をもつことがわかった。

(2) 干ばつ・ゾドメモリの発見

本研究の方向づけのため、モンゴルにおけるゾド、砂塵嵐、気候の将来予測に關す

る3つの総括報告書を作成した。今世紀最大級の2009/2010年ゾドの状況について詳細な解析を行った結果、夏の牧草不足と冬の厳しい天候がモンゴル中部・西部で家畜や乳児の大量死をもたらしたことを示した (Shinoda 2017; 添付論文1)。このなかで、干ばつやゾドのメモリ効果がダスト発生 (Nandintsetseg et al. 2015)、社会経済活動や人間の健康にまで及ぶことを指摘し (図3)、乾燥地のハザード→災害までの一連のメカニズムを解明したさきがけ研究となった。

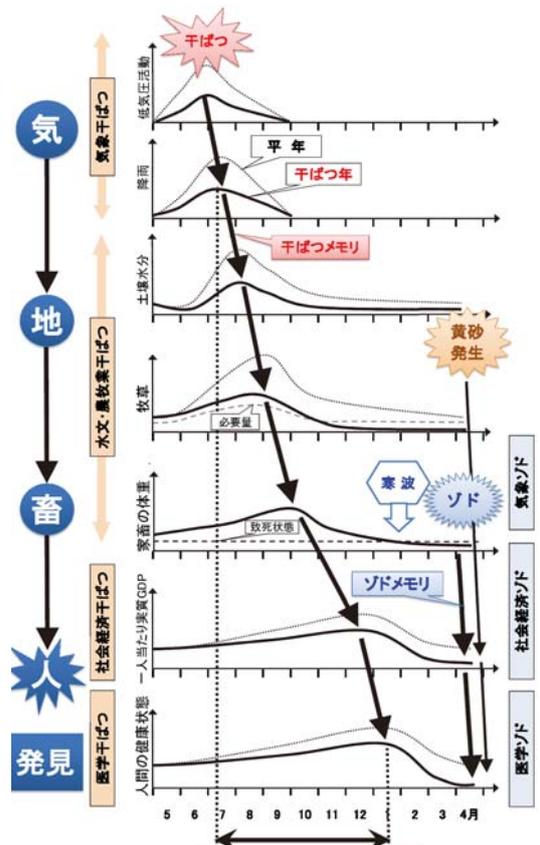


図3 干ばつとゾドが時差をもって社会経済活動や人間の健康に影響を及ぼす過程 (Shinoda 2017 に加筆)。横軸が5月～4月、上から、低気圧活動、降雨、土壌水分、牧草、家畜の体重、実質GDP、人間の健康の季節変化。細線は平年、太線は干ばつ年を示し、この差が平年からのずれであり、降雨から下へと波及する (気候メモリ効果)。

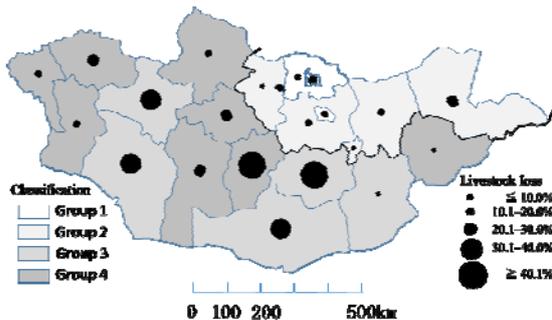


図4 2010年ゾドによる家畜死亡割合 (黒丸) と遊牧社会の脆弱性 (色が濃いグレーほどゾドに対する備えなどが不十分で脆弱) (Du et al. 2017)。脆弱なほど被害が大きい。

### (3) ゾドが乳児死に影響

本研究で作成したモンゴル国の社会経済・保健医学データベースを用いて、2000年代以降のゾドに対する社会脆弱性を評価した。その結果、冬の備えに関する顕著な地域性 (北東対南西地域) とその経年変化を発見した (図4)。家畜死は乳製品不足を通して乳児死を起こした可能性を示した (Otani et al. 2016)。現地調査の結果、牧養力が小さく冬が厳しかったため家畜死亡数が多かったウブルハンガイ県のみならず、全体的に冬への備えがよくないにもかかわらず、被害の小さかった郡の遊牧民は、季節移動を活発に行い、冬への備えも整っていたことがわかった。

### (4) ゾドリスクマップ利用

モンゴル政府からの要請により、海外共同研究者 (気象水文環境情報・研究所) がゾドリスクマップ (図5) を作成し、議会の危機管理特別委員会、食料・農業常任委員会やドナー団体が参加するUNDPの会合で解説した。この地図は、危機管理庁などによるゾドへの多様な備え (総額1~2千万ドル) に利用された。3月現在、大きな家畜被害は出ていない。本研究の成果が、実社会で活用され始めたことは画期的である。

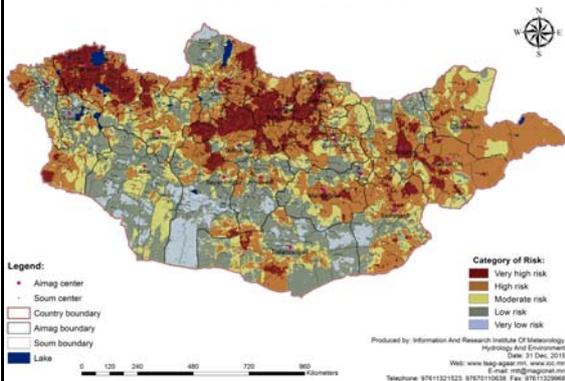


図5 2015年12月1日におけるゾドリスクマップ。バイオマス、家畜数データ、気象データ、長期予報データ、衛星データなど、多変量を多基準意思決定解析によりリスク評価を行った。

### (5) 黄砂ハザードマップ公開

2014年2月20日より鳥取大学乾燥地研究センターのホームページで黄砂ハザードマップ画像の表示・自動更新を始めた。この地図は、積雪、凍土、表層土壌水分、植被率の影響を考慮して、すべて衛星データのみを用いて計算している (Kimura et al. 2014)。この方法により黄砂の発生しやすさを広域的にリアルタイムでモニターできる。

### (6) 砂漠化評価手法の開発

干ばつという擾乱に対して植生が不可逆的に後退するものを砂漠化評価の基準とし

て、気象・植生指標データを用いて計算される植生脆弱性ベクトルという世界で類をみない砂漠化評価手法を開発した (Shinoda et al. 2014)。

### (7) 研究進捗評価以降の進展

2016年度までの研究進捗評価ではA評価を得たが、これ以降の研究の進展について以下に述べる。ここでは、研究進捗評価で指摘された今後の課題について、②、④で取り組み、加えて、当初予期していない研究の発展については、⑤～⑦で述べる。

#### ① 研究成果の普及活動

モンゴル緊急事態管理庁でゾド災害時に援助物資の配給先を決定するために、ゾドリスクマップが利用されている (図6)。ゾドリスクマップに関する会議 Knowledge Exchange Conference 2017: Pastoralism, Governance and Dzud Risk in Mongolia を官・民の機関と共催し、ゾド情報の内容・利用方法について解説し、さらなる改善について議論した。



図6 モンゴル緊急事態管理庁でゾド災害時に援助物資の配給先を決定するために、ゾドリスクマップが利用されている (職員がさし示している)。

#### ② 災害発生機構の統合理解

(4) では「干ばつ→ゾド」、(5) では「干ばつ→砂塵嵐」、(6) では「干ばつ→砂漠化」という、干ばつハザードから派生する3つのハザードとの関係性を考慮して、それぞれのハザードマップの作成方法を確立した。これらと社会脆弱性マップ (図4) とを組み合わせ、上記のリスクの定式化 (図2) から、4D災害統合リスク評価を行い、当初の目的を達成した。例えば、Nandintsetseg et al. (Scientific Reports投稿中) は、さまざまな気候ハザード情報と牧民社会の脆弱性 (家畜状態、牧民の災害対処能力) を総合して、家畜死亡率を評価するモデル (ポワソン多重回帰モデル) を構築した (図7)。このモデルは、将来のゾドリスク評価に適用可能で、実用性は高いものと考えられる。

上記のリスク評価は経験的モデルによるものであったが、「干ばつ→ゾド」の機構について、家畜体重モデルによって再現可能であることがわかり (Tachiiri et al. 2017;

添付論文2)、将来的には、このプロセスモデルによるリスク評価が可能となる。このモデルは経験的モデルの適用範囲を超えて、中国・内モンゴルやカザフスタンなどに適用することが期待される。

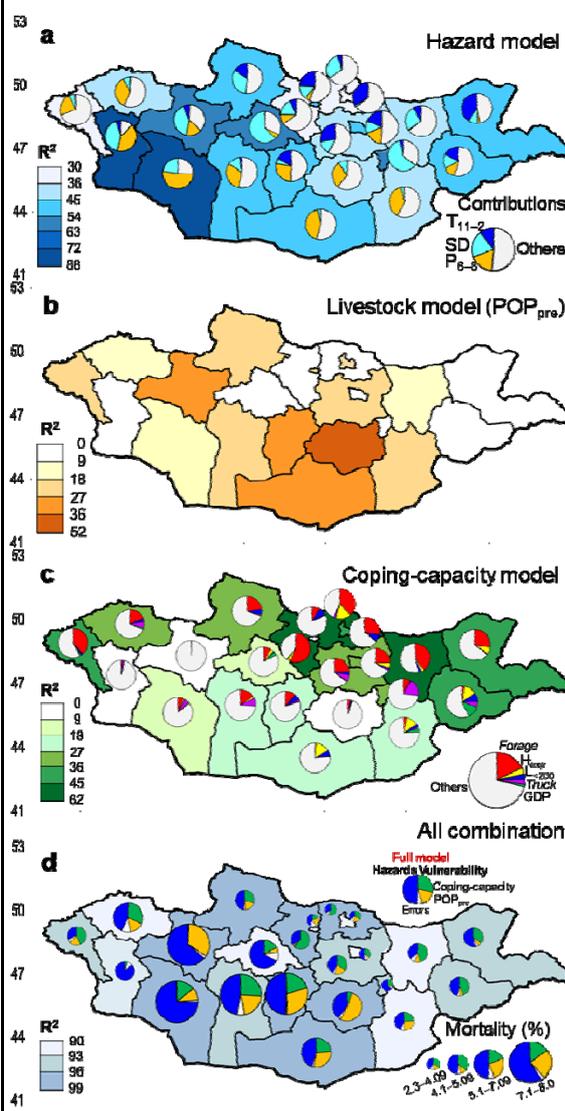


図7 マルチハザード (a: 夏の干ばつと冬の低温・雪)、牧民社会の脆弱性 (b: 前年家畜数、c: 災害対処能力) の2000-2014年寒候季の家畜死亡率に対する貢献度 (%), a-cの組み合わせ (d) (Nandintsetseg et al. 投稿中)。ポワソン多重回帰モデルによる評価。背景の色はそれぞれのモデルによる累積分散。

#### ③ ハザードと脆弱性は災害に同程度寄与

②で述べたリスク評価により、「ゾドが天災か人災か」という基本的かつ重要な疑問に定量的に答えることができるようになった (図7)。すなわち、2000年以降のゾドに関して、ハザード (天災) が48.9%、社会脆弱性 (人災) が45.2%の割合で家畜死に影響していることが定量的に初めて解明された。ここで、図2によれば、災害リスクに対して、ハザードと脆弱性の両者が同程度に寄与していることが示され、こ

の成果は世界的にみても画期的である。

#### ④ モンゴルにおける成果の他のユーラシア乾燥地への展開

研究進捗評価で今後の課題として取り組むことが期待された課題「モンゴルにおける成果の他のユーラシア乾燥地への展開」については、②で開発した方法論を他地域に応用した。例えば、モンゴル国で開発した気候ハザードや災害リスクの評価手法をユーラシア乾燥地に位置する中国・内モンゴル、カザフスタンに展開する試みを始めた。具体的には、内モンゴル師範大学・モンゴル高原災害主要研究所と共同で、ダスト・野火ハザードの早期警戒システム構築につながる基礎研究を行い、その成果を発表する予定である (Yongmei et al. Aeolian Research投稿中)。また、アルファラビ・カザフスタン国立大学とは、「当該国の気候ハザードの早期警戒システム構築」に関する国際共同研究プロジェクトを立ち上げた。また、将来の気候変動と砂漠化の関係については、中国・蘭州大学「乾燥地の気候変動」主要研究所と共同研究を立ち上げ、すでに共著論文を発表している (Haung et al. 2017)。

#### ⑤ 黄砂ハザードマップを全世界に展開

当初予期していない研究の発展としては、(5)で開発した黄砂ハザードマップの作成手法 (Kimura et al. 2014) を全世界の乾燥地に適用し、風食による砂漠化 (土地劣化) の世界地図を世界で初めて示した (Kimura et al. 2018)。

#### ⑥ モンゴルの黄砂発生による日本への健康影響

2番目の当初予期していない研究の発展としては、「日本へ越境する大気汚染物質と黄砂による健康影響予測」について新しい成果が得られた (Onishi et al. 2018; 添付論文3)。すなわち、米子における呼吸器、のど、発熱の自覚症状スコアと硫酸エアロゾルの飛来予測値との間に有意な相関関係が得られた。このように、エアロゾル飛来予測モデルを用いて、エアロゾルによる健康リスクが予測できることを示し、大陸の乾燥地と日本を結ぶ研究への新展開がみられた。

#### ⑦ 乾燥地健康学への展開

乾燥地の気候ハザードに対する牧民-家畜-土地 (人畜地) 系の動態を追跡調査によって明らかにし、その恒常性を維持するための健康・土地管理方法を提案する試みを開始した (Otani et al. 2017, Shinoda 2017; 招待講演)。これに関連して、2017年6月のイギリス・オックスフォード学際砂漠会議においては、乾燥地健康学に関する

特別セッションを企画・開催し、この研究の重要性に関して乾燥地科学コミュニティに注意を喚起した。同8月には、国際疫学会において乾燥地健康学の特別セッションを企画・開催し、疫学コミュニティにこの研究の重要性を喚起した。これらは、本研究で得られた災害学に関する知見を健康学にまで展開させる新しい研究の発展に位置づけられる。

<引用文献>以下の5と同じ

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 115 件)

- ① Kimura, R.: Global distribution of degraded land area based on dust erodibility determined from satellite data. International Journal of Remote Sensing, 2018. doi:10.1080/01431161.2018.1444295. 査読あり
- ② Onishi, K., T. T. Sekiyama, M. Nojima, Y. Kurosaki, Y. Fujitani, S., T. Maki, M. Shinoda, Y. Kurozawa, and Z. Yamagata: Prediction of health effects of cross-border atmospheric pollutants using an aerosol forecast model. Environment International, 2018. doi:10.1016/j.envint.2018.04.035. 査読あり
- ③ Du, C., M. Shinoda, K. Tachiiri, B. Nandintsetseg, H. Komiyama, and S. Matsushita: Mongolian herders' vulnerability to dzud: A study of record livestock mortality levels during the severe 2009/2010 winter. Natural Hazards, 2017. doi: 10.1007/s11069-017-2893-4. 査読あり
- ④ Huang, J., M. Shinoda et al. (21人中7番目): Dryland climate change: Recent progress and challenges. Reviews of Geophysics, 55, 719-778, 2017. doi:10.1002/2016RG000550. 査読あり
- ⑤ Tachiiri, K., H. Komiyama, Y. Morinaga, and M. Shinoda: Application of a livestock weight model to the 2009-2010 winter disaster in Mongolia. Rangeland Journal, 39, 263-277, 2017. doi:10.1071/RJ16113. 査読あり
- ⑥ Otani, S., K. Onishi, Y. Kurozawa, Y. Kurosaki, T. Batoyun, M. Shinoda, and H. Mu: Assessment of the effects of severe winter disasters (dzud) on public health in Mongolia on the basis of loss of livestock. Disaster Medicine and Public Health Preparedness, 10, 549-552, 2016. doi:10.1017/dmp.2016.5. 査読あり

- ⑦ Nandintsetseg, B., and M. Shinoda: Land surface memory effects on dust emission in a Mongolian temperate grassland. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences*, 120, 414-427, 2015. doi:10.1002/jgrg.20274. 査読あり
- ⑧ Kimura, R., and M. Moriyama: Application of a satellite-based aridity index in dust source regions of northeast Asia. *Journal of Arid Environments*, 109, 31-38, 2014. doi:10.1016/j.jaridenv.2014.05.007. 査読あり
- ⑨ Shinoda, M., B. Nandinatsetseg, U.G. Nachinshonhor, and H. Komiyama: Hotspots of recent drought in Asian steppes. *Regional Environmental Change*, 14, 103-117, 2014. doi: 10.1007/s10113-013-0464-0. 査読あり

[学会発表 (招待講演のみ)] (計 84 件)

- ① Otani, S., Y. Kurozawa, Y. Kurosaki, and M. Shinoda: Dust storms from degraded drylands of Asia: Dynamics and health impact. The 4<sup>th</sup> Interdisciplinary Oxford Desert Conference, Oxford, UK, 8-9 Jun 2017. 招待講演
- ② Shinoda, M.: Extending dryland disaster science to health science. The 4<sup>th</sup> Oxford Interdisciplinary Desert Conference, University of Oxford, Oxford, UK, 8-9 June 2017. 招待講演

[図書] (計 51 件)

- ① Shinoda, M.: Evolving a multi-hazard focused approach for arid Eurasia. In Sternberg, T. ed. *Climate Hazard Crises in Asian Societies and Environments*. Routledge, Oxon UK, 73-102, 2017.

[その他]

本研究課題ホームページ

<http://www.4d-disasters.jp/>

ゾドリスマップ (モンゴル気象水文環境情報・研究所作成)

<http://tsag-agaar.gov.mn/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

篠田 雅人 (SHINODA, Masato)  
名古屋大学・大学院環境学研究科・教授  
研究者番号: 30211957

### (2) 研究分担者

黒沢 洋一 (KUROZAWA, Yoichi)  
鳥取大学・医学部・教授  
研究者番号: 50161790

佐藤 源之 (SATO, Motoyuki)  
東北大学・東北アジア研究センター・教授

研究者番号: 40178778

島田 章則 (SHIMADA, Akinori)  
麻布大学・生命・環境学部・教授  
研究者番号: 20216055

立入 郁 (TACHIIRI, Kaoru)  
国立研究開発法人海洋研究開発機構・統合  
的気候変動予測研究分野・分野長代理  
研究者番号: 30336185

飯島 慈裕 (IIJIMA, Yoshihiro)  
三重大学・生物資源学研究科・准教授  
研究者番号: 80392934

黒崎 泰典 (KUROSAKI, Yasunori)  
鳥取大学・乾燥地研究センター・准教授  
研究者番号: 40420202

大西 一成 (ONISHI, Kazunari)  
山梨大学・大学院総合研究部・特任准教授  
研究者番号: 50596278

### (3) 連携研究者

尾崎 孝宏 (OZAKI, Takahiro)  
鹿児島大学・法文学部・教授  
研究者番号: 00315392

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

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

大谷 眞二 (OTANI, Shinji)  
鳥取大学・国際乾燥地研究教育機構・准教授  
研究者番号: 10314577

田村 憲司 (TAMURA, Kenji)  
筑波大学・大学院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

森永 由紀 (MORINAGA, Yuki)  
明治大学・商学部・教授  
研究者番号: 20200438

### (4) 研究協力者

小宮山 博 (KOMIYAMA, Hiroshi)  
松島 大 (MATSUSHIMA, Dai)  
三上 正男 (MIKAMI, Masao)  
黒田 清一郎 (KURODA, Seiichiro)  
永松 大 (NAGAMATSU, Dai)