

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12212

研究課題名（和文）山脈に挟まれた谷でダストストームが頻発する条件の推定

研究課題名（英文）Estimating conditions of dust-storm outbreaks in the interior of valleys between mountain ranges

研究代表者

松島 大（Matsushima, Dai）

千葉工業大学・創造工学部・教授

研究者番号：50250668

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：モンゴル国・湖沼谷で地上気象・水文観測を行った結果、(1)冬季の土壤凍結期はダスト濃度が概ね低く経過してダストストームが生じず、(2)土壤凍結期以外では土壤水分が増えるとダスト発生の抑制を示すデータが得られた。湖沼谷を東西に吹き抜けダストストームを引き起こすような地峡風は、高層気象データの解析により多くの場合低気圧通過に伴う冷気の移流によることが示唆された。衛星データ等を用いた土壤水分や地上植生の解析結果とダストストーム発生日の対応から、月別のダストストーム発生日数が月平均風速との弱い正の相関、地上植生(NDVI)との弱い負の相関、土壤水分と有意な相関が無いことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

モンゴル国・湖沼谷は同国内で最もダストストームが発生する頻度が高いと目されている地域の一つであるが、本研究の結果により、ダストストーム発生という観点からは有意な砂漠化の傾向を見出さなかった。近年、モンゴルでは気候変動や家畜頭数が急増していることを背景として砂漠化が進みつつあるかどうかという議論が盛んであり、現状では砂漠化に進行する手前の分岐点にあるという認識を多くの専門家が共有している。本研究の結果は、乾燥地を対象とした中・長期的な環境変動の研究に貢献するとともに、対象地域における砂漠化への対応を立案する一助となることが期待される。

研究成果の概要（英文）：Results of the meteorological and hydrological observations are as follows: (1) dust storms seldom occurred during soil-frozen terms in winter, and (2) dust storms were suppressed as soil moisture was increased during soil not being frozen. It is suggested that the strait wind blowing in the east-west direction along the valley, which can make dust storms, is caused by the cold air advection accompanied by a low-pressure passing. It is shown that the monthly amount of days of dust storm occurrences has a weak positive correlation with monthly mean wind speed, a weak negative correlation with the above-ground vegetation (NDVI), and is not significant with soil moisture.

研究分野：水文学

キーワード：ダストストーム 熱慣性 土壤水分 地上植生 地峡風 半乾燥草原

1. 研究開始当初の背景

モンゴル国は国土全体が半乾燥地域と乾燥地域に属し、干ばつによる自然災害が 5~10 年に 1 度生じている。このため、植生が乏しい地域を中心に砂塵嵐がたびたび発生していて、住民や家畜に健康被害を及ぼすことがある。一方、日本に飛来する黄砂が以前の中国よりモンゴル国由来である頻度が高まっているとの指摘がある。

ダストストームは地域の干ばつ条件と密接に関係していて⁴⁾、モンゴルでは干ばつは春季と夏季の極端な少雨によって引き起こされる。最近の研究では 2015 年までの 20 年間で生じた干ばつの頻度は、1995 年までの 20 年間に比べて有意に高かったことが示されている⁵⁾。ダストストームは度重なる干ばつによって土地の砂漠化が進むほどその発生が増加すると考えられており、モンゴルの草原は砂漠化の分岐点に直面しているとする議論も行われている⁶⁾。

ダストストームは土地の劣化と強風の頻発によってその発生が増加する。近年ではモンゴル全土の土地条件の分布をまとめた研究がある⁷⁾。ところで、湖沼谷はモンゴル国で最もダストストームが頻発する地域の一つとみなされているが⁸⁾、谷に堆積した土砂によってダストストームが発生しやすいと考えられることから、最近 50 年間の湖沼谷の南北両側にある山脈から流下した堆積物と気候との関係に注目している研究がある⁹⁾。一方、湖沼の水体が縮小することによってその沿岸の堆積物が乾燥し、ダストストームを誘発しやすくなることが知られていて¹⁰⁾、実際、湖沼谷における湖沼の面積が縮小している¹¹⁾。

ダストストームを特徴づける重要な変数は臨界風速と PM₁₀ 濃度及びフラックスである。ゴビ砂漠におけるこれらの変数の値がまとめられ¹²⁾、臨界風速が土壌水分に応じて変化することが本研究の代表者と協力者によって示されている¹³⁾。しかし、近年の気候変動に伴うこれらの変数の変動についてはまだ明らかにされていない。

2. 研究の目的

本研究ではモンゴル国・湖沼谷における土地条件と強風条件に明らかにすることを目的とする。具体的には土地条件としてダストストームの臨界風速を強風条件として湖沼谷を吹く地塊風の性質について明らかにすることを目的とした。

そこで、本研究ではモンゴル国内で砂塵嵐の発生頻度が高いと目されている同国中部の湖沼谷及びその周辺地域を対象として、実際に強風が吹いた場合、地上風と上空の総観場の間にどのような関係があるか把握することを目的とし、これを既存のデータを用いて明らかにする。

3. 研究の方法

対象地域と対象期間：

湖沼谷はモンゴル国中部の北緯 44~46°、東経 98~105° に位置し、北側をハンガイ山地、南側をゴビアルタイ山地に挟まれていて、谷筋は概ね東西方向で、谷の幅と長さは約 100 km と約 500 km、谷底と山脈の標高差は 2000 m 程度である。この地域の年平均気温は 2~6°C、年降水量は 50~150 mm である (図 1)。谷における植生は専ら草本でその量は乏しいが、大雨によって一時的に植生が増加することがある。研究の対象とする期間は 2000~2020 年とした。

地上観測

地上観測は湖沼谷内のバローンバヤンウラーン (Baruunbayan-Ulaan, 北緯 45.18°, 東経 101.41°) とバーツァガン (Baatsagaan, 北緯 45.56°, 東経 99.43°) において行われた (図 1)。両地点で PM₁₀ 濃度、気温、湿度、風向・風速、降水量、気圧、土壌水分量、土壌熱慣性を観測した。観測は 2022 年 8 月に開始し、継続している。

衛星データと気象データ

衛星リモートセンシングによるデータとして地表面温度と正規化植生指数 (NDVI) を用いた。地表面温度については宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が運用する GCOM-C 衛星に搭載された SGLI センサーによるデータ (2018 年以降) と米国航空宇宙局 (NASA) が運用する Terra 及び Aqua 衛星に搭載された MODIS センサーによるデータを用いた (2017 年以前)。正規化植生指数 (NDVI) については MODIS センサー

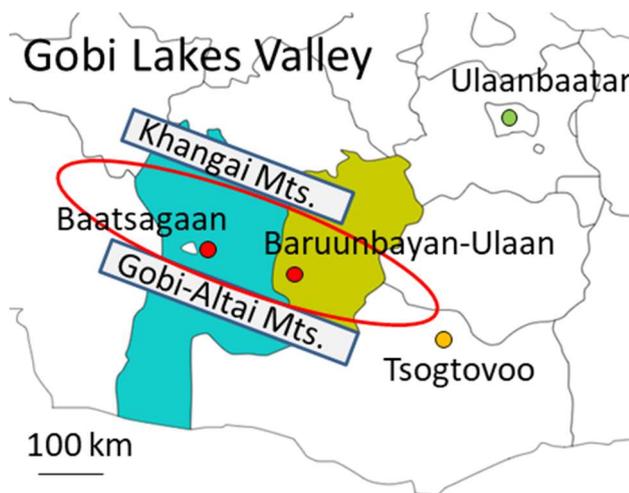


図 1 湖沼谷の概略図と地上観測点 (赤丸)。

によるデータを用いた。

また、地表面熱収支モデルに用いる地上における日射量を計算するために気象庁の静止気象衛星「ひまわり」によるデータを用いた。

ダストストームの発生の確認、及び次項に示す熱慣性値推定のために、モンゴル国で定常的に実施されている地上気象観測データを用いた。現在天気コードが 09, 30~35 のいずれかの場合にダストストームの発生と判断した。

土壌水分空間分布の推定

熱慣性とは体積熱容量と熱伝導率の積の平方根として定義される熱特性を示す物理量である。土壌の熱慣性は土壌水分量と正の相関を示すことが示されていて、土壌水分量の代理変数として用いることができる。この性質を利用して、衛星データと気象データを地表面熱収支モデルに用いて熱慣性値を、湖沼谷及びその周辺の 8 地点において推定した。熱慣性の推定値は砂壌質の土壌であることを仮定して土壌水分量に変換した。具体的な計算法は研究代表者による先行研究に依った¹³⁾¹⁴⁾。

高層気象データ

谷における風の特徴を調べるために上空の風向・風速、気温などの気象データとして気象庁全球客観解析データ (GSM) を用いた。GSM は地球全体を緯度・経度とも 0.5° 間隔、鉛直方向は地表面と指定気圧面に分割された格子点ごとに、各種気象データが格納されたものである。

地衡風と移流の計算法

湖沼谷内の 3 地点における地衡風 (等圧線の走向) 及び各地点の上空における温度移流を計算した。対象期間は 2008~2018 年において砂塵嵐の発生頻度が高い 3~5 月とし、地上風が最も強くなりやすい 14 時(モンゴル時間)のデータを用いた。また、強風が吹く場合に注目するために、地上で観測された風速が 10 m/s 以上の場合を対象とした。

4. 研究成果

PM₁₀濃度と土壌水分の関係

図 2 はバローンバヤンウラーンで観測された PM₁₀ 濃度の日平均値を熱慣性観測値を土壌水分量に変換した値と比較したものである。土壌水分量が 10%を下回っていると PM₁₀濃度が 0.1 mg m⁻³ より高い場合があるのに対し、土壌水分量が 10%を上回っていると PM₁₀濃度が 0.05 mg m⁻³ より低くなっている。PM₁₀濃度を用いて臨界風速を判定する際に 0.05 mg m⁻³ 程度の値が基準として用いられることが多い。したがって、バローンバヤンウラーンでは土壌水分量 10%以上の場合にダストストームがほぼ抑制されていることが示唆される。

臨界風速と土壌水分の関係

図 3 は 2018~2020 年の 1~5 月に湖沼谷とその周辺において砂塵嵐が発生した場合の地上風速と土壌水分量を示している。図中の実線は研究代表者による先行研究¹³⁾によって推定された湖沼谷より東に位置するツォグトオボーにおける臨界風速と土壌水分量の関係を示している。図に見られるように 8 地点の臨界風速はツォグトオボーにおける臨界風速とほぼ同等と見られる。湖沼谷より南に位置するダランザドガド(DZ, 北緯 43.58°, 東経 104.42°)において実線より下に位置する、つまり臨界風速が小さいサンプルがいくつか見られるため、この部分は別に検討を要するかもしれない。DZ ではゴビ砂漠の中で臨界風速が小さいという報告がある¹²⁾。また実線から大きく離れたサンプルについては熱慣性値の推定誤差が大きかったか、風速が小さ過ぎた場合だった。風速が小さいのにダストストームが観測されたのは現在天気コード 09 の場合で、これは観測点から離れているものの視認できるダストストームを観測した場合と考えられる。

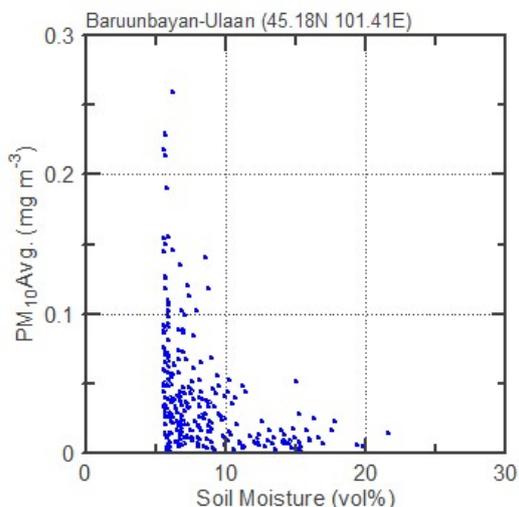


図 2 バローンバヤンウラーンで観測された PM₁₀濃度と土壌水分の日平均値。

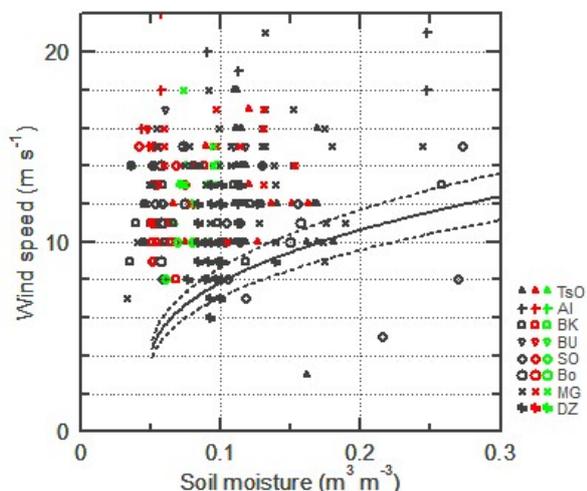


図 3 ダストストーム発生時の地上風速と土壌水分。実線が臨界風速を示す。

湖沼谷の地峽風の特徴

850 hPa 面 (高度約 1500 m) と 700 hPa 面 (高度約 3000 m) での地衡風速と地上風速観測値との関係は、概ね地上風速が地衡風速と同程度から 3 分の 2 程度の大きさであるが、地衡風速より大きい場合もあった (図省略)。風向については、地衡風向がアルタイ (北緯 46.40° , 東経 96.25°) では西から北にほぼ限られているものの地上で観測された風向はほとんど西寄りであり、地峽風の特徴が見られた (図 4)。他地点でもほぼ同様の傾向が見られた。

図 5 にバヤンウンドゥル (北緯 44.80° , 東経 98.63°) における地上で観測された風向と温度移流の関係を示す。図のように風向が西から北寄りの場合に寒気移流となっていることが示され、低気圧の西側に延びる寒冷前線による冷気の移流は強風が吹く場合に卓越していることが示唆された。この傾向は他の 2 地点でも同様だった。

20 年間の傾向

図 6 は 2000~2020 年の各年における 5~9 月の月ごとのダストストーム発生日数を対応する月の NDVI の月平均値と比較したものである。全体として弱いながら NDVI が低くなるほどダストストーム発生日数が増える傾向がみられる。NDVI は土壌水分量が多いほど高くなる傾向が見られていることから (図省略)、土壌水分量が少ないほどダストストーム発生日数が増える傾向にある。図 7 は月平均風速と月ごとのダストストーム発生日数を比較したものであるが、弱いながら風速が大きいほどダストストーム発生日数が増える傾向が見られる。これら 2 つの図はそれぞれ土地条件と強風条件に対するダストストーム発生頻度の傾向を示している。対象とした 20 年間でこれらの傾向が有意な変化を示しているデータは見られなかった。つまり、砂漠化の傾向があることは確認しなかった。もし、砂漠化の傾向があれば降水量が多く土壌水分量が多い時期であっても植生が乏しいためにダスト発生日数が増えることが考えられるが、今回の解析においてはそれを有意に示す結果を得なかった。

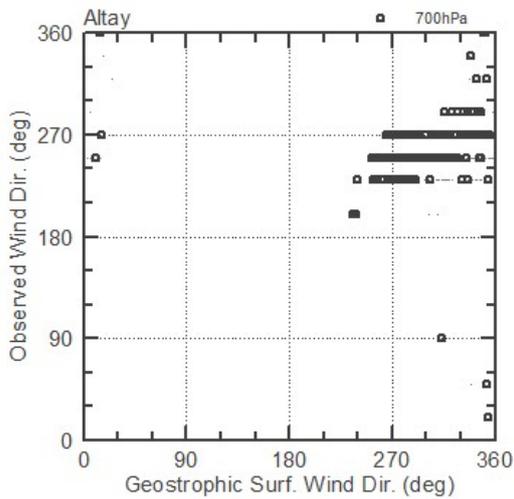


図 4 地上地衡風向に対する地上で観測された風向 (ツォグトオボー)。

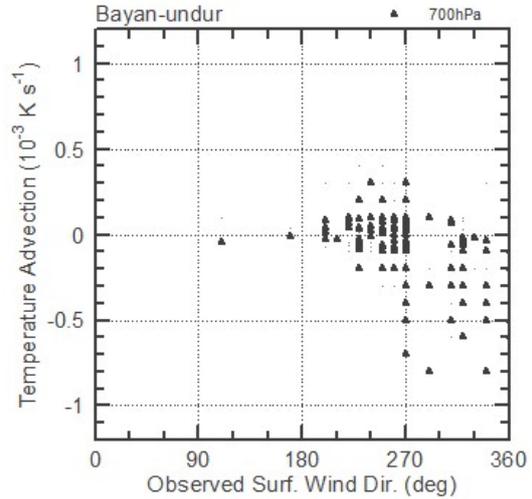


図 5 地上で観測された風向に対する温度移流 (バヤンウンドゥル)。

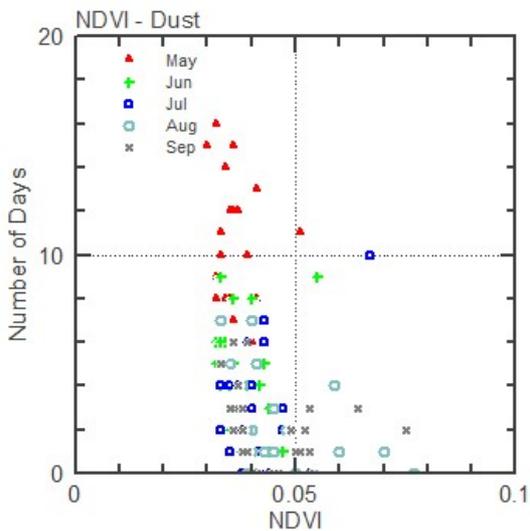


図 6 月平均 NDVI と月積算ダストストーム発生日数 (2000~2020 年)。

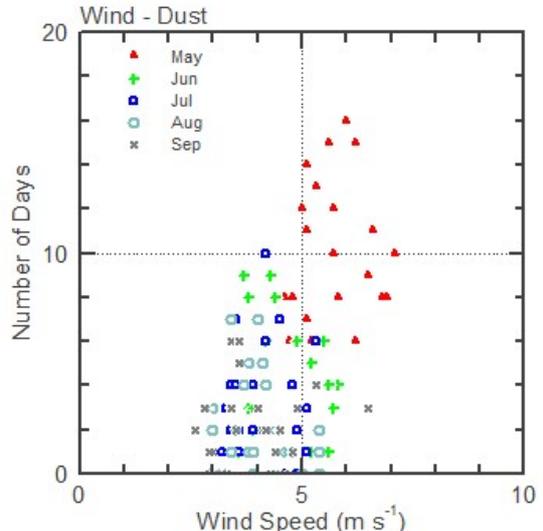


図 7 月平均風速と月積算ダストストーム発生日数 (2000~2020 年)。

<まとめ>

モンゴル国で最もダストストーム発生が頻繁な湖沼谷とその周辺において、土地条件と強風条件の双方からダストストーム発生頻度の傾向を本研究で実施した地上観測データ、及び各種の地上気象や衛星リモートセンシングデータを用いた解析を行った。その結果、土壌水分量が大い場合にダストストーム発生が抑制されていること、ダストストーム発生の臨界風速は先行研究の結果と一致すること、湖沼谷を吹く強風は地峡風の性質を示すとともに冷気の移流を伴っていること、さらに2000年から20年間に砂漠化の有意な傾向がないことが示された。

<引用文献>

本報告書には次の1)~3)からの本文と図の引用が含まれる：

- 1) Matsushima, D., Ganzorig, U., and Batkhishig, O. 2023: Preliminary Results of Estimating Erodibility and Erosivity over the Lake Valley, Mongolia. O. Batdelger et al. (eds.), *Proceedings of the Fourth International Conference on Environmental Science and Technology (EST2023)*, Advances in Engineering Research 224, https://doi.org/10.2991/978-94-6463-278-1_22
- 2) 松島 大 2022: モンゴル国湖沼谷及び周辺地域における強風と総観場との関係. 千葉工業大学附属研究所プロジェクト研究年報 2022, 23-24.
- 3) Matsushima, D., Ganzorig, U., and Batkhishig, O. 2024: An observational study on dust and surface soil properties in the Gobi Lakes Valley, Mongolia. *International Symposium on Agricultural Meteorology 2024*, 230.

本報告書中で引用されている上記以外の文献は以下のとおりである：

- 4) United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) 2022. Sand and dust storms compendium: information and guidance on assessing and addressing the risks. *Bonn*, 345 p.
- 5) Nandintsetseg, B., Boldgiv, B., Chang J., Ciaisi, P., Davaayam, E., Batbold, A., Bat-Oyun, Ts. & Stenseth, N.C. 2021. Risk and vulnerability of Mongolian grasslands under climate change. *Environmental Research Letters* 16: 034035.
- 6) Khishigbayar, J., Fernández-Giménez, M.E., Angerer, Jay P., Reid, R.S., Chantsalkham, J., Baasandorj, Ya, & Zumberelmaa, D. 2015. Mongolian rangelands at a tipping point? Biomass and cover are stable but composition shifts and richness declines after 20 years of grazing and increasing temperatures. *Journal of Arid Environments* 115: 100-112.
- 7) Jugder, D., Gantsetseg, B., Davaanyam, E. & Shinoda, M. 2018. Developing a soil erodibility map across Mongolia. *Natural Hazards* 92: S71-S94.
- 8) Mandakh, N., Tsogtbaatar, J., Dash, D. & Khudulmur, S. 2016. Spatial assessment of soil wind erosion using WEQ approach in Mongolia. *Journal of Geographical Science* 26(4): 473-483.
- 9) Uyangaa, U., Hasebe, N., Davaasuren, D., Fukushi, K., Tanaka, Y., Gankhurel, B., Katsuta, N., Ochiai, S., Miyata, Y. G Gerelmaa, T. 2022. Characteristics of lake sediment from southwestern Mongolia and comparison with meteorological data. *Geosciences* 12: 7.
- 10) Zucca, C., Middleton, N., Kang, U. & Liniger, H. 2021. Shrinking water bodies as hotspots of sand and dust storms: The role of land degradation and sustainable soil and water management. *Catena* 207: 105669.
- 11) Gankhurel, B., Fukushi, K., Davaasuren, D., Imai, E., Kitajima, T., Gerelmaa, T., Sekine, Y., Takahashi, Y. & Hasebe, N. 2021. Trace Elements Contamination in Water of Alkaline-Hyposaline Lake from Valley of the Gobi Lakes, Mongolia: Field Evidence of Elevated Level of As and U accumulated by evaporation. *AGU Fall Meeting 2021, New Orleans, LA, H25B-1070*.
- 12) Jugder, D., Shinoda, M., Kimura, R., Batbold, A. & Amarjargal, D. 2014. Quantitative analysis on windblown dust concentrations of PM₁₀ (PM_{2.5}) during dust events in Mongolia. *Aeolian Research* 14: 3-13.
- 13) Matsushima, D., Kimura, R., Kurosaki, Y., Ganzorig, U. & Shinoda, M. 2020. A method for estimating the threshold wind speed for dust emissions as a function of soil moisture. *Boundary-Layer Meteorology* 175: 237-257.
- 14) Matsushima, D., Asanuma, J. & Kaihotsu, I. 2018. Thermal inertia approach using a heat budget model to estimate the spatial distribution of surface soil moisture over a semiarid grassland in Central Mongolia. *Journal of Hydrometeorology* 19: 245-265.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Matsushima, D., Ganzorig, U., and Batkhishig, O.	4. 巻 -
2. 論文標題 Preliminary Results of Estimating Erodibility and Erosivity over the Lake Valley, Mongolia	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the Fourth International Conference on Environmental Science and Technology (EST2023)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2991/978-94-6463-278-1_22	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 松島 大	4. 巻 -
2. 論文標題 モンゴル国湖沼谷及び周辺地域における強風と総観場との関係	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 千葉工業大学附属研究所プロジェクト研究年報2022	6. 最初と最後の頁 23-24
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Dai Matsushima, Ulgiichimeg Ganzorig, and Ochirbat Batkhishig
2. 発表標題 Dust storm occurrences from a channel in Central Mongolia: Toward understanding land surface and topographically induced wind conditions
3. 学会等名 International Symposium on Agricultural Meteorology 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Dai Matsushima, Ulgiichimeg Ganzorig, and Ochirbat Batkhishig
2. 発表標題 An observational study on dust and surface soil properties in the Gobi Lakes Valley, Mongolia
3. 学会等名 International Symposium on Agricultural Meteorology 2024（国際学会）
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	ガンゾリゲ (Ganzorig Ulgiichimeg)	モンゴル科学アカデミー地理生態学研究所・土壌科学研究部・部長	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------