

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17880

研究課題名（和文）草本の幾何学的特性による飛砂抑制評価システムの開発

研究課題名（英文）Develop a new wind erosion assessment system based on geometric characteristics of plants

研究代表者

劉 佳啓 (Liu, Jiaqi)

鳥取大学・乾燥地研究センター・特命助教

研究者番号：80823898

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000 円

研究成果の概要（和文）：モンゴル半乾燥草原において特許出願中の無指向飛砂量計測装置を用いて飛砂観測を行った。検証結果を踏まえて、任意過酷な環境条件下で容易なメンテナンスを保證するとともに、ノイズが発生せず飛砂粒子数を高精度に測定できる「可搬式小型飛砂風向計測装置」を開発した。この観測システムにより、飛砂の運動メカニズムを詳細に解明することが可能になる。

黄砂の発生源に生育する草本を想定したモデルを対象に、小型境界層風洞及び圧電飛砂計を用い、草本の形状や被覆率が飛砂の防砂効果を評価した。本研究結果は、飛砂や黄砂の抑制に有用な草本を選抜するための科学的根拠を提示する一つのブレークスルーになることを示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「小型飛砂風向計測装置およびそれを用いた飛砂風向計測システム」を開発することで野外長期観測における飛砂の発生方位と各方位別の飛砂量が同時に測定でき、設置・メンテナンスをしやすい、小型・軽量化を実現できる。また、砂漠化の要因となる植生と土壌の劣化の監視に特化した砂漠化計測システムの一部としての利用ができる。

草本の形状・遮蔽率・柔軟性の違いによる飛砂の抑制効果の評価結果により、飛砂やダストの発生源において有用な草本の選択が可能になり、将来的には、空気力学的に有用な草本を用いた飛砂の発生源対策や家畜の嗜好性も考慮した総合的な土地利用対策（持続可能性も含めて）に対する提言も期待できる。

研究成果の概要（英文）：Wind-blown sand was measured in the Mongolian semi-arid grassland by the omnidirectional wind erosion detection device, which is now on patent pending. The availability of the new device was verified through the field observation. A portable compact wind erosion detection device, which can also measure wind-blown sand flux and wind direction simultaneously, was then developed. The new device guarantees easy maintenance as well as high accuracy of counting the number of sand particles without generating noise. The developed observation systems provide possibilities for elucidating the detailed mechanism of wind-blown sand.

The effects of plant shape and coverage on sand trapping were evaluated by using models as common plants in the dust source regions in a compact wind tunnel equipped with a turbulence generator and a piezoelectric blown-sand meter. The results provide a scientific basis for the selection of effective plant species for the control of blowing sand and dust.

研究分野：環境物理学

キーワード：風食 飛砂 流体力学 土壌侵食 風洞実験

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化の進行に伴い、北東アジア(中国、モンゴル)では2000年以降、干ばつが多発するようになり、気候変動に対して脆弱な草原地帯は土地劣化(=砂漠化)の影響を絶えず受けている。この地域の主要な生業は牧畜業であるが、気候変動に過放牧という人為的影響が加わることで砂漠化は急激に進行することが危惧される。さらに、砂漠化は飛砂や黄砂の発生要因であり、近年、中国だけでなく近隣の日本においても黄砂による健康被害が明らかになってきた。現地における持続的な土地管理と黄砂による被害の抑制という両面において、「緑地化(=砂漠化防止)」は国境を越えた喫緊の課題となっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、現地観測で障害となってきた要因を克服すべく、申請者らが開発してきた境界層風洞を用いて、草本の飛砂に対する物理的效果を定量的に解明することである。2000年以降、黄砂による被害が多発していることにより、植物の持つ飛砂抑制効果が注目されてきた。研究の主体は、植物の風に対する壁面積や被覆率という2次元的效果に関するものがほとんどであるが、定性的な範疇に留まり、定量的な解明には程遠いのが現実である。

3. 研究の方法

本研究では、現地観測の制約を受けない風洞実験によって、草本の特性を模した模型の形状・遮蔽率・柔軟性の違いが飛砂粒子の運動プロセスに与える物理的な影響を明らかにするのが目的である。目的を遂行するため、空気と砂粒子が混合した流体を測定する独自の観測システムを開発する。

- (1) 模型の風に対する抗力特性と堆積・侵食量を計測するための観測システムの開発
- (2) 飛砂粒子の流速・流量・粒径を同時に測定できる観測システムの開発
- (3) 模型の形状・遮蔽率・柔軟性の違いによる飛砂の抑制効果の定量的解明

4. 研究成果

(1) 黄砂の発生源に生育する草本を想定した模型(円柱・円錐・逆円錐)を対象に、小型境界層風洞及び圧電飛砂計を用い、草本の形状や被覆率が飛砂の堆積量、粗度長、フラックスに与える影響を調べた。円錐と逆円錐では、被覆率の増加に伴って粗度長が増加し、堆積量の増加傾向と一致した。円柱では被覆率の増加に伴い粗度長は増加したが、ある程度の被覆率になると減少に転じ、ある閾値に収束した。また、飛砂量の観測結果から、円柱は群落上部において飛砂を強く抑制し、捕捉を促進することが分かった。逆円錐では、群落内部において飛砂を捕捉する効果が円錐同様にあり、群落上部では円柱の場合よりも捕捉する効果が高いことが分かった。本研究結果は、飛砂や黄砂の抑制に有用な草本を選抜するための科学的根拠を提示する一つのブレークスルーになることを示唆している。

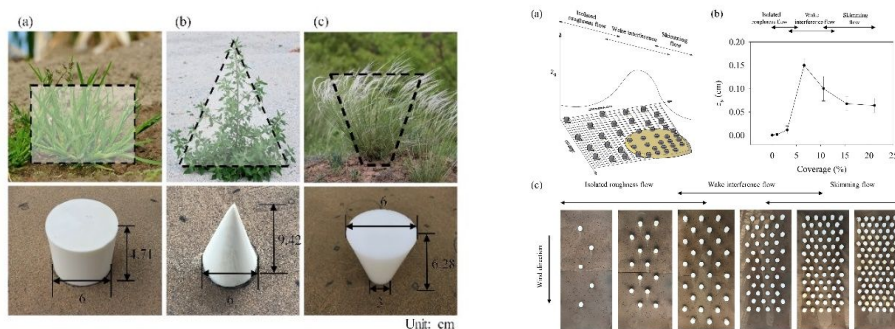


図1 草本を模した模型と流線のパターンと粗度長との関係

(2) 草本の形状と抵抗の関係は、草本の上部と下部の気流の違いに顕著に表れる。これまでの研究結果では、風食防止には逆円錐台形状の植物が適していることが分かった。そこで、逆円錐台形状の植物の遮蔽率が風食抑制効果に与える影響(を定量化するため)を把握するため、大きさの異なる逆円錐形のアルミ板を使用して葉や茎を模した模型を設計した。各アルミ板がベース面に密着できるように、ベース面の溝構造を工夫することで流体力学的相似則を満たすことが実現できた。アルミ板の枚数を変えて、厚さ5mmの円形の台座に均等に挿入することで、8%から50%まで8つの遮蔽率を得ることが可能になった。

(3) 草本の飛砂に対する物理的效果を定量的に測定するため、「小型飛砂風向計測装置およびそれを用いた飛砂風向計測システムを開発した。本機材の特徴では、高精度の超音波センサーに搭載された圧電飛砂計のケースの設計を工夫することにより、任意過酷な環境条件下で容易なメ

メンテナンスを保証するとともに、ノイズが発生せずに飛砂粒子数を高精度に測定できる。また、ポテンショメータとスリッピングの連動装置を整備することで、外部から可搬式小型飛砂風向計測装置に電力供給を実現するとともに、風向の同時計測が可能になる。さらに、電源制御システムおよびブレーキ機構の設置することで、臨界風速以下に可搬式小型飛砂風向計測装置の稼働を停止させ、消費電力と観測機器の消費を抑え、乾電池を使用することだけで長期現場観測を実現できる。このような設計で野外観測設置する場所の自由度が広がり、柔軟に対応可能になる小型・軽量化の測定システムの実現が可能になった。

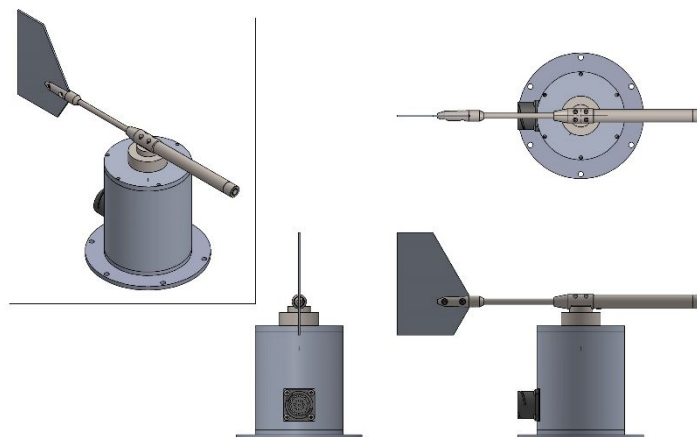


図2 小型飛砂風向計測装置およびそれを用いた飛砂風向計測システムの概略図

(4)「飛砂粒子の流速・流量・粒径を同時に測定できる観測システムの開発」に関しては、飛砂粒子の粒径および流速が、センサーに与える影響を検出するため、信号の出力方法をデジタル信号からアナログ信号に変更した。新しい信号増幅器とデータ収集に関するコントロールシステムを整備し、各粒径の砂粒子が圧電振動子に衝突する風洞実験を行い、判別出力部の設置に必要な基礎データを収集した。

(5) 新たに設計した飛砂計の性能を検証するため、既存の飛砂計測装置と同時に鳥取砂丘に設置した。検証した結果では降雨や雪からのノイズを最低限に抑えることができる。また、最新の飛砂計測機器と UAV による写真測量、実地測量を併用し、鳥取砂丘の堆砂・静砂垣の飛砂防止効果を定量的に評価した。結果では風速が 17m/s 以下では飛砂を 80%以上減少させること(17m/s 以上だとその効果が落ちてくる)、堆砂垣による堆砂量は静砂垣のそれより 2-4 倍の量であり、堆砂垣による堆砂が増加するに伴い、飛砂防止の効果が薄れてくること、などを明らかにした。現状、垣の高さは 1m、遮蔽率は 50%ですが、垣の設計改良やこれらの観測手法を組み合わせること、砂丘のみならず乾燥地の飛砂防止対策に発展させることが期待できる。

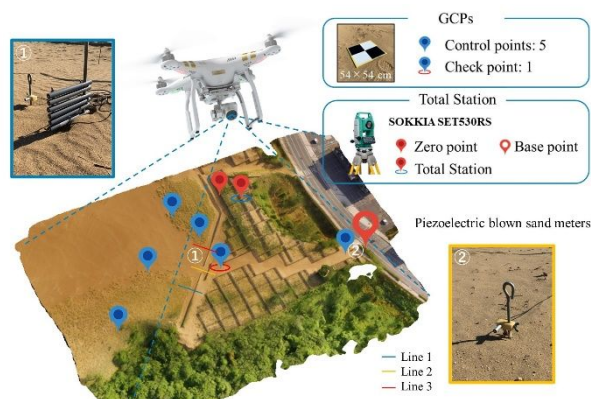


図3 最新の飛砂計測機器の設置する様子および対空標識の設置する場所

(6) 2023 年春季にモンゴル半乾燥草原 KhuId において、特許出願中の無指向飛砂量計測装置(特願 P2020-014)を用いて飛砂観測を行った。飛砂計により同時観測された風向と飛砂量データを取得し、風向風速計により測定された風向風速データとの比較から、飛砂計の乾燥地現場観測での実用性と適用性を検証した。また、各風向における飛砂発生の臨界風速を算出することが可能になった。モンゴル現地の実証実験を踏まえて、無指向飛砂量計測装置の改造を行い、無線のデータ転送および無線の電力供給などの機能を追加した。

(7) 植物の飛砂抑制の物理的効果を評価するため、形状・遮蔽率・柔軟性といった単一の特性の定量化データを抽出可能な LiDAR システムを開発した。従来の ToF 式の LiDAR は、光速で移動するレーザーの反射時間を計測してのスキャン原理のために、近距離のスキャン対象の高精

度点群データの生成は困難であった。また、従来のマイクロミラー回転式のLiDARは、ビームの角度解像度を上げる事は困難であり、植物の幹や細かい葉のスキャンは困難であった。本研究で開発する観測機材では、近距離で精密な植物ポイントクラウドモデルの生成に特化したソリューションとなる。本機材は光位相式の面発光(VECSEL) LiDARを採用し、上記の二つの課題を解決した。開発したLiDARシステムを用いて、鳥取砂丘と鳥取大学乾燥地研究センターの圃場で実証実験を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Liu Jiaqi, Wu Jing, Kimura Reiji	4. 巻 15
2. 論文標題 Evaluating the Sand-Trapping Efficiency of Sand Fences Using a Combination of Wind-Blown Sand Measurements and UAV Photogrammetry at Tottori Sand Dunes, Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1098 ~ 1098
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs15041098	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 Kinugasa Toshihiko, Sagayama Toko, Gantsetseg Batdelger, Liu Jiaqi, Kimura Reiji	4. 巻 202
2. 論文標題 Effect of simulated grazing on sediment trapping by single plants: A wind-tunnel experiment with two grassland species in Mongolia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CATENA	6. 最初と最後の頁 105262 ~ 105262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.catena.2021.105262	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 Wu Jing, Kurosaki Yasunori, Gantsetseg Batdelger, Ishizuka Masahide, Sekiyama Tsuyoshi Thomas, Buyantogtokh Batjargal, Liu Jiaqi	4. 巻 102
2. 論文標題 Estimation of dry vegetation cover and mass from MODIS data: Verification by roughness length and sand saltation threshold	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation	6. 最初と最後の頁 102417 ~ 102417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jag.2021.102417	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 Liu Jiaqi, Kimura Reiji, Wu Jing	4. 巻 9
2. 論文標題 Aerodynamic Characteristics Over Fine-Grained Gravel Surfaces in a Wind Tunnel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Earth Science	6. 最初と最後の頁 112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/feart.2021.758910	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 -

1. 著者名 Liu Jiaqi、Kimura Reiji、Wu Jing、Kawai Takayuki	4. 巻 69
2. 論文標題 Use of UAV Photogrammetry for Monitoring Topographic Changes in the Tottori Sand Dunes, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sand Dune Research	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) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 劉佳啓
2. 発表標題 日本砂丘学会奨励賞、飛砂の物理過程を再現できる小型風洞の開発と砂丘の飛砂現象の評価法に関する研究
3. 学会等名 日本砂丘学会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Jiaqi Liu ¹ , Jing Wu, Reiji Kimura
2. 発表標題 Effects of Sand Fences on Sand Movement at Tottori Sand Dunes, Japan
3. 学会等名 International Conference on Aeolian Research (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Liu Jiaqi, Kimura Reiji, Wu Jing
2. 発表標題 Effectiveness of sand fences on preventing wind-blown sand at Tottori Sand Dune
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Liu Jiaqi、Kimura Reiji、Wu Jing
2. 発表標題 Structure characteristics of airflow and blown sand flux over fine-grained gravel surfaces in wind tunnel
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Wu Jing、Kurosaki Yasunori、Batdelger Gantsetseg、Buyantogtoh Batjargal、Masahide Ishizuka、Sekiyama Thomas、Liu Jiaqi
2. 発表標題 Estimation of non-photosynthetic vegetation amount in the northern Gobi Desert using MODIS satellite
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Liu Jiaqi、Kimura Reiji、Wu Jing
2. 発表標題 Monitoring topography changes at the Tottori Sand Dune using UAV, SfM and GIS techniques
3. 学会等名 日本写真測量学会令和3年度秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Liu Jiaqi、Kimura Reiji、Wu Jing
2. 発表標題 UAV application for topographic changes detection at Tottori sand dunes
3. 学会等名 中国・四国の農業気象
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Liu Jiaqi、Kimura Reiji
2. 発表標題 Inhibiting effects of plant shapes and coverage on wind erosion examined by wind tunnel experiments
3. 学会等名 American Geophysical Union (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Wu Jing、Kurosaki Yasunori、Batdelger Gantsetseg、Buyantogtoh Batjargal、Masahide Ishizuka、Sekiyama Thomas、Liu Jiaqi
2. 発表標題 Improved estimations of dry vegetation cover and mass using MODIS data at a dust hotspot in the Gobi Desert
3. 学会等名 American Geophysical Union (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 小型飛砂風向計測装置及びそれを用いた飛砂風向計測システム	発明者 劉佳啓、木村玲二、 村松隆司、笠田洋文	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-184512	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------