

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29日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21710031

研究課題名（和文） 広域の風食評価のための、地表面状態とダスト発生臨界風速の関係解明

研究課題名（英文） Clarification on the relationships between soil and land surface conditions and threshold wind speeds for aeolian dust generation aimed at the evaluation of wide-area wind erosion

研究代表者

黒崎 泰典（KUROSAKI YASUNORI）

鳥取大学・乾燥地研究センター・助教

研究者番号：40420202

研究成果の概要（和文）：2000年以降の頻繁に発生する東アジアのダストの原因を調べた。本課題では土壌粒子が舞い上がり始める風速（ダスト発生臨界風速）を気象台データから統計的に見積もる方法を考案し、臨界風速を土壌・地表面状態の指標とした。ダスト発生頻度、強風発生頻度、臨界風速の解析から、主にモンゴル、内モンゴル東部、中国東北地方における砂漠化（臨界風速の減少）が2000年以降の黄砂多発の主な原因であったことを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We investigated the cause of frequent dust events in East Asia since 2000. We developed a methodology to statistically estimate a threshold wind speed for dust generation using meteorological observatory data, and we employed this threshold speed as an index of soil and land surface conditions. We clarified that a major cause of increased dust events is a desertification (i.e., a decrease of threshold speed) in Mongolia, eastern Inner Mongolian and the northeastern China from an analysis of dust generation frequency, strong wind frequency, and threshold speed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：風食、砂漠化、ダスト、黄砂、気候変動、気象災害、土地利用

1. 研究開始当初の背景

ダスト（黄砂）は侵食能（風食を引き起こす風の能力）と受食性（風食に対する土壌・地表面の侵食のされやすさ。あるいは、風食に対する土壌・地表面状態の脆弱性）の組み合わせ

で発生したりしなかったりする。言い換えると、ダスト発生とは強風によって土壌粒子が舞い上がる現象であるが、この強風のしきい値であるダスト発生臨界風速（土壌粒子が舞い上がり始める風速）は土壌粒子の粒径分布、

土壌水分、積雪、凍土、塩類集積、植生分布、植生種などの土壌・地表面状態によって大きく変化する。臨界風速はこの無数の要素で構成される土壌・地表面状態を反映した受食性指数（風食に対する土壌・地表面状態の脆弱度合い）と捉えることができる。

(1) これまでの研究に欠けていたもの

2000年以降、東アジアではダストが頻繁に発生するようになり、日本でも黄砂飛来頻度が急増した。近年のダスト多発の原因として中国・モンゴルにおける砂漠化が指摘されることがしばしばであるが、Kurosaki and Mikami (2003)などは2000～2002年のダスト多発は気候変動に伴う強風多発が主な原因であると指摘している。両者の主張はどちらも正しいかもしれないが、前者は風についての考察が不足しており、後者は地表面状態についての考察が不足していた。

ダスト発生の変化(たとえばダスト多発)の原因を明らかにするためには、風の状態の変化(たとえば強風多発)と土壌・地表面状態の変化(たとえば砂漠化)とダスト発生の三者の関係を調べなければならない。これまで風速と土壌・地表面の一部の要素(降水量、植生量など)とダスト発生の関係を調べた論文は存在したが、臨界風速などで土壌・地表面状態を包括的に捉えた研究は存在しなかった。

(2) 砂漠化(風食)評価

本研究のテーマである風食(ダスト発生)は砂漠化の一形態である。これまで、World Atlas of Desertification (UNEP 1997)やLepers et al. (2005)などで砂漠化地図は示されてきたが、これらは専門家の意見を元にしており主観性を有し、期間もはっきりしておらず(Millennium Ecosystem Assessment 2005)、砂漠化の度合いも物理量で評価されていないところに課題が残っていた。

(3) 臨界風速による広域の風食評価

臨界風速は受食性指数と捉えることができるため、長期にわたる広域多地点での臨界風速モニタリングは広域の風食評価に繋がる。臨界風速はSENSIT (Stout 2004)やSPC (Mikami et al. 2005)などのハイテク測器を用いた精細な観測が行われてきたが、こういった手法の長期間・広域の観測はマンパワー、資金面の問題から現実的ではない。

(4) 数値モデルにおける発生過程の重要性

ダストは発生域付近では気象災害であり、日本などの風下地域では呼吸器疾患などをもたらす大気汚染である。また、地球-大気間の放射収支バランスを変化させることで気候変動にも大きく影響していると考えられている。こういった背景から数値モデルによるダスト予報やダスト分布の再現などが行われているが、精度に課題が残っている。特に発生過程の精度に問題があり(Uno et al.

2006; Carmichael et al. 2008)、ダスト発生過程のキーパラメータである臨界風速の実測値を得ることと土壌・地表面状態と臨界風速との関係解明が重要であると考えられている。

2. 研究の目的

こうした背景の元で本研究は次の4つを課題とした。

課題1: 臨界風速を年代別に見積もることで広域の風食評価を行う。

課題2: 風速と臨界風速の解析から、気候変動に伴う風の変化と土壌・地表面状態の変化のダスト発生への影響の貢献度を調べる。

課題3: 土壌・地表面状態と臨界風速の関係を明らかにする。

課題4: ダスト数値モデルに入力する臨界風速のデータセットを作成する。

3. 研究の方法

(1) 広域の臨界風速の見積もり

気象台は世界各国広域に分布している。多くの気象台では3時間毎あるいは6時間毎に世界同時に気象観測を行っている。観測項目の中には風速、現在天気などがあり、現在天気からダスト発生がいつ発生したかを知ることができる。しかしながら、ダスト発生に関係する土壌・地表面状態についての観測は行われていない。そこで、本研究では、風速と現在天気データから臨界風速の頻度分布を得る手法を考案し(図1)、広域の風食評価を行った(Kurosaki et al. 2011a Geophysical Research Letter)。

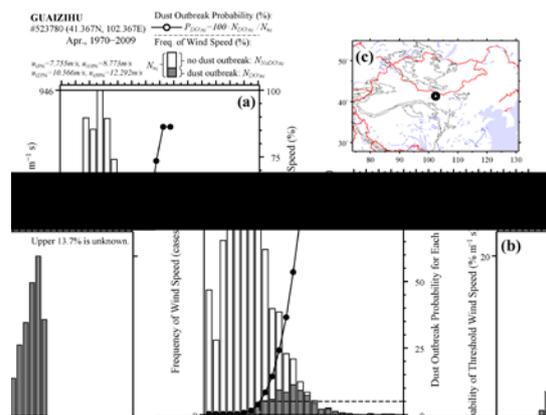


図1 気象台 GUAIZHU における (a) 風速の頻度分布(棒グラフ: ハッチ部分がダスト発生時、非ハッチ部分はダスト非発生時)と風速毎のダスト発生頻度(折れ線グラフ)。 (b) 臨界風速の頻度分布。

(2) 規格化ダスト発生頻度

臨界風速の頻度分布を得るためには、データ数を確保するためおよそ10年分のデー

タが必要となるため、月ごとの土壌・地表面状態のモニタリングを行うことが出来ない。そこで、Kurosaki et al. (2011b SOLA)では、月ごとのダスト発生頻度と強風発生頻度の比を規格化ダスト発生頻度(=ダスト発生頻度/強風発生頻度)とし、これを受食性指数とした。

4. 研究成果

(1) 東アジアの広域風食評価とダスト多発化の原因

気象台データを用いて、1990年代(1990-1999)と2000年代(2000-2009)の東アジアにおける4月のダスト発生頻度、強風発生頻度、臨界風速の5パーセンタイルを見積もり、ダスト発生頻度の変化に対する風の変化と土壌・地表面状態の変化のそれぞれの貢献を評価した。強風は、各気象台の1970-2009年の4月の臨界風速5パーセンタイル以上の風と定義した。主な結果は以下のとおりである(図2):①モンゴル、内モンゴル東部、中国東北地方の多くの気象台において、ダスト発生頻度が増加した。特に、モンゴルにおける増加が著しく大きかった。これらの地域のダスト多発化の原因は土壌・地表面状態の変化(臨界風速の減少)にあり、砂漠化がダスト多発の主要因と言える。②中国のゴビ砂漠から黄土高原西部にかけて、ダスト発生頻度が増加している地点が存在し、その原因は強風多発化であったことが分かった。

以上の結果は、放牧地帯と耕作地帯(モンゴル、内モンゴル、中国東北地方)では土壌・地表面状態の変化(砂漠化)が黄砂多発化の原因であったのに対して、砂漠地帯(ゴビ砂漠、黄土高原西部)では風速の変化が原因であったと言い換えることができる。これらの結果は American Geophysical Union (AGU) の学会誌 Geophys. Res. Lett. に掲載され(Kurosaki et al. 2011a)、AGU Research Spotlight に選ばれた。

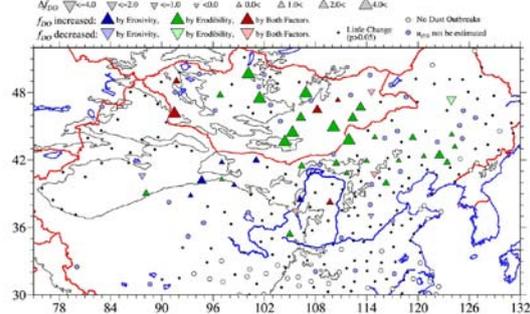


図2 ダスト発生頻度の増減(▲は増加、▼は減少)。ダスト増減の原因が風の変化である地点は青色、土壌・地表面状態の変化である地点は緑色、両要素が原因である地点は赤色のシンボルで示されている。

(2) 枯れ草の臨界風速への影響

フィールド観測よりモンゴル草原域では春の枯れ草がダスト発生に大きな影響を及ぼしているという報告がある(Kimura and Shinoda 2010)。春の枯れ草は、前年夏の降水によって成長した植生の残渣である。春の枯れ草の広域分布を直接測定する方法が無い場合、夏季降水量(6-8月の気象台降水量)が減少し、夏季植生量(年最大NDVI)が減少した領域は翌年春の枯れ草が減少し、臨界風速が減少すると仮定した(枯れ草仮説)。夏季降水量と年最大NDVIの解析を行った結果、1990年代から2000年代にかけて夏季降水量が減少し、夏季植生量が減少し、4月の臨界風速が減少した領域は、モンゴル草原域のマンダゴビ周辺の一部領域に限られることが分かった(Kurosaki et al. 2011a)。この結果は、その他の地域については、枯れ草仮説だけでは臨界風速の減少を説明できないことを示唆している。

(3) マンダゴビにおける夏季土壌・地表面状態の翌年春のダスト発生への影響

モンゴル草原域南部に位置するマンダゴビ気象台の1970-2009年4月の強風発生頻度、ダスト発生頻度、正規化ダスト発生頻度(受食性指数)を調べた(図3)。1970-2000年頃まで、ダスト発生頻度は減少傾向にあった。しかし、2000年以降、それ以前と比べて極めて高頻度にダストが発生している年が見られる。規格化ダスト発生頻度は1995年以降増加傾向であり、土壌・地表面状態がダストの発生しやすい状態に変化してきていることを示唆している。

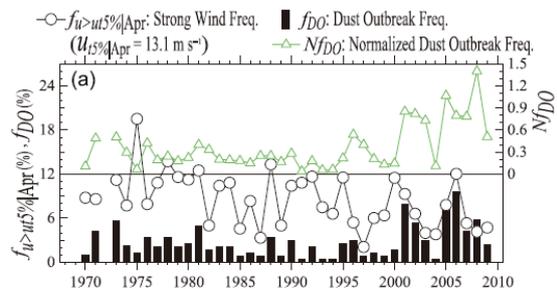


図3 マンダゴビにおける、1970-2009年4月のダスト発生頻度(棒グラフ)、強風発生頻度(折れ線グラフ・黒)、正規化ダスト発生頻度(折れ線グラフ・緑)。

夏季降水量(6-8月の積算値)(図4a)、夏季土壌水分量(6-8月の平均値)(図4b)、夏季地上部バイオマス(8月)(図なし)と翌年4月の規格化ダスト発生頻度の関係を調べた結果、それぞれのしきい値(100 mm, 13 mm, $2.2 \times 10^{-2} \text{ kg m}^{-2}$)を超えた場合、4月の規格化ダスト発生頻度はいつも小さい(強風が頻繁に発生してもダストがあまり発生しない)ことが

分かった。これは、夏の降水が多く、土壌水分が多いため夏季植生量が多い場合、翌年春は枯れ草が多いと期待でき、その結果、受食性が低くなった(風食を受けにくい土壌・地表面状態になった)と考えられる。すなわち、枯れ草仮説が成立していることを示唆している。一方、夏季降水量、土壌水分量、地上部バイオマスがこれらのしきい値より小さい場合、規格化ダスト発生頻度は様々な値をとる。この結果は、枯れ草が少ないと考えられる春は、枯れ草以外の土壌・地表面要素が

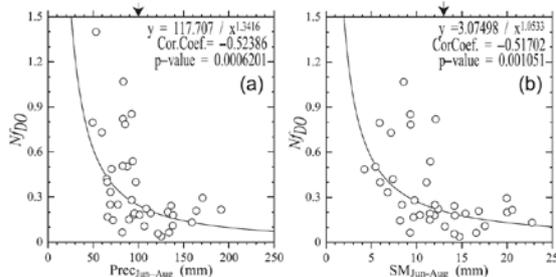


図4 (a)夏季降水量(6-8月)、(b)土壌水分量(6-8月)(ともに横軸)と翌年春の規格化ダスト発生頻度(縦軸)。

受食性を決定していることを示唆している。

(4) 今後の課題

以上の通り、「2. 研究の目的」に記した課題1, 2については、ほぼ達成することが出来た。しかしながら、課題3, 4については達成できていない内容が含まれる。

上記の枯れ草仮説の検証(夏季降水量、夏季植生量と臨界風速の関係)は課題3に含まれるが、その他の土壌・地表面要素(土壌の粒径分布、積雪、土壌凍結、植生種、塩類集積など)と受食性の関係は明らかにしていない。土壌・地表面には無数の要素が存在し、さらに場所・時代によって臨界風速に影響する要素は変化する。このことは、一足飛びには土壌・地表面状態と臨界風速の関係を明らかできないことを意味している。今後、臨界風速、規格化ダスト発生頻度といった本課題で提案した受食性指数の整理を進め、これらを砂漠化の視点で土壌・地表面の調査を行っている研究者に公開することで、様々な土壌・地表面要素と受食性の関係解明を進めてもらうことを検討している。

課題4のダスト数値モデル入力のための臨界風速データセット作成は、①気象台データから得られた臨界風速水平分布をメッシュ状に変換する方法と②課題3で様々な土壌・地表面要素と臨界風速の関係を明らかにし、衛星リモートセンシングで得られる土壌・地表面データから作成する方法を検討していた。しかしながら、方法①については、気象台データの分布が数値モデルの水平分解能と比べて不足していることと、気象台の

立地環境がモデルメッシュスケールの空間を代表していないことから現実的ではない。方法②についても、課題3について十分な結果を得るためには相当な労力と時間を要すると考えられることから現実的ではない。

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2件)

- ① Kurosaki, Y., M. Shinoda, M. Mikami, and B. Nandintsetseg, Effects of soil and land surface conditions in summer on dust outbreaks in the following spring in a Mongolian grassland, SOLA, 査読有り, 7, 2011, 69-72, DOI:10.2151/sola.2011-018.
- ② Kurosaki, Y., M. Shinoda, and M. Mikami, What caused a recent increase in dust outbreaks over East Asia?, Geophysical Research Letters, 査読有り, 38, 2011, 頁無し, DOI:10.1029/2011GL047494

[学会発表] (計 1件)

- ① 黒崎泰典、気象台データ、衛星画像、現地調査で見たモンゴルのダスト発生、日本沙漠学会・風送ダスト研究会「風送ダストに関する最近の話題と今後の展望」、2013年1月17日、九州大学応用力学研究所(春日市)。
- ② 黒崎泰典、東アジアにおける黄砂増加と砂漠化、日本地理学会 2012年秋学術大会・シンポジウム「ゾドと遊牧地 —乾燥地災害学の体系化に向けて—」、2012年10月7日、神戸大学(神戸市)。
- ③ Kurosaki, Y., Changes in Erodibility for Wind Erosion over East Asia for the Recent Two Decades (from 1990s to 2000s), IMHE Annual Conference “Climate Change: Ecosystem for High Mountain Regions”, 2012年8月7日, Khovd Theater (モンゴルホブト市)。
- ④ 黒崎泰典、近年の東アジアにおける風送ダスト多発化の原因 - 気象台データを用いた解析、日本地球惑星科学連合 2012年大会、2012年5月25日、幕張メッセ国際会議場(千葉市)。
- ⑤ Kurosaki, Y., An evaluation of aeolian erodibility over East Asia for the recent two decades, American Geophysical Union, 2011 Fall Meeting, 2011年12月8日, The Moscone Center (米国サンフランシスコ市)。
- ⑥ 黒崎泰典、モンゴルの測候所観測におけるダスト判別基準、日本気象学会 2011年度秋学術大会、2011年11月18日、名古屋大学(名古屋市)。
- ⑦ Kurosaki, Y., Climatology and modeling of yellow sand, Modelling Training Workshop, 2011年1月25日、アジア大気汚染研究セン

- ター（新潟市）。
- ⑧ 黒崎泰典、ダスト(黄砂)発生臨界風速によるダスト発生原因の解明、日本農業気象学会中国・四国支部大会、2010年12月17日、白兔会館（鳥取市）。
 - ⑨ 黒崎泰典、ダスト(黄砂)発生の原因－風と土壌・地表面状態の影響評価、日本気象学会2010年度秋季大会、2010年10月27日、京都テルサ（京都市）。
 - ⑩ 黒崎泰典、マンダゴビにおける風送ダストの発生要因、日本気象学会2010年度春季大会、2010年5月24日、国立オリンピック記念青少年総合センター（東京都）。
 - ⑪ 黒崎泰典、マンダゴビにおける枯れ草のダスト発生への影響、モンゴルにおける水文気象研究会、2009年11月28日、事務機ビル（福岡市）。
 - ⑫ 黒崎泰典、マンダゴビにおける風送ダスト発生の長期変動とその要因、日本気象学会2009年度秋季大会、2009年11月27日、アクロス福岡（福岡市）。
 - ⑬ 黒崎泰典、ダスト発生頻度、ダスト発生臨界風速の変化から見た大気・地表面の環境変動、金沢大学・第3回環日本海域環境シンポジウム、2009年10月28日、石川四高記念文化交流館（金沢市）。
 - ⑭ 黒崎泰典、地上気象データ、衛星画像で見た黄砂、日本学術会議農学委員会風送大気物質問題分科会・日本沙漠学会（夏季シンポジウム）、2009年6月8日、東京大学理学部4号館1220号室（東京都）。
 - ⑮ 黒崎泰典、モンゴルにおける黄砂発生臨界風速-synoptic dataを用いた解析、日本気象学会2009年度春季大会、2009年5月28日、つくば国際会議場（つくば市）。

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒崎 泰典 (KUROSAKI YASUNORI)
鳥取大学・乾燥地研究センター・助教
研究者番号：40420202

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

無し