

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2013～2016

課題番号：25304037

研究課題名 (和文) 東アジア黄砂発生監視システムの開発

研究課題名 (英文) Development of Asian dust monitoring system in East Asia

研究代表者

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

交付決定額 (研究期間全体)：(直接経費) 12,200,000 円

研究成果の概要 (和文)：積雪の被覆、凍土、地表面の湿潤度、植生の被覆を考慮した東アジア黄砂発生ハザードマップを構築し、セミリアルタイムで更新、インターネット表示できるシステムをパブリック公開した。システムは、衛星データを毎日ダウンロードし、各種演算、データ公開、データアーカイブを行うことが出来、誰でも閲覧可能とした。

「東アジア黄砂発生監視システム」を構築、公開した。本システムは、全球データ自動ダウンロード・アーカイブサブシステムおよび準リアルタイム衛星データ自動ダウンロード処理サブシステムで作成された衛星画像の検索・表示・解析・ダウンロードなどを行うためのシステムである。

研究成果の概要 (英文)：To find and monitor dust source regions, a semi-real-time dust erodibility map was developed based on MODIS satellite data that focuses particularly on the threshold wind speed in a target area of northeast Asia including China and Mongolia (35°-50°N, 75°-120°E). The mapping system incorporates satellite data on snow cover, areas of frozen soil, surface soil water content, and vegetation cover.

Satellite Image Retrieval and Visualizing Sub-System (SIRVS) is software designed to search, visualize, analyze and download the high-level products produced by the Global Satellite Data, and opened to the public. Products are threshold wind speed, vegetation cover, NDVI, cloud mask, snow mask, reflectivity of 7 bands, SbAI, and soil frozen mask.

研究分野：気象学

キーワード：黄砂 ダスト 乾燥地 北東アジア 熱収支 水収支 衛星 乾燥度指標

1. 研究開始当初の背景

2000年以降、東アジアでは黄砂の発生が頻発しており、黄砂が日本に飛来、降下する回数も増加している。これまで、日本における黄砂被害は視程障害、埃害、遮光害、洗濯物の汚染など比較的軽微なものが報告されてきたが、研究が進むにつれて、人間・動植物への悪影響や種々の環境変化が取りざたされてきた。一方、黄砂発生源では家畜被害、農作物被害、人間の健康影響に対する被害は甚大であり、日本・中国・モンゴル・韓国間の政府レベルで影響評価、対策という両面から黄砂問題に対して取り組んでいる。科学の面からは、黄砂の高精度・最先端の科学的解明とその的確な防止・対策が強く望まれている。アジア開発銀行や地球環境ファシリティーによる国際共同研究プロジェクトの報告書によると、「黄砂の発生、発達過程そのものを改変し、黄砂の発生自体を抑制することを目的とする発生源対策」が最も重要視されており、申請者はこれまでモンゴル、中国における発生源での現場観測から、ダストの舞い上がりや地表面状態の関係について観測事実を蓄積してきた。これまでの研究成果を踏まえ、本研究では詳細な点観測・モニタリングと衛星による面的なモニタリングを包括した「東アジア黄砂発生監視システムの開発」を行い、黄砂発生の実況およびハザード注意報の発信に資することを目標とする。

2. 研究の目的

日本における黄砂(ダスト)の飛来回数は2000年以降増大しており、モンゴル南部や中国東北部で急速に広がりつつある過放牧や農地転換による土地の劣化等が黄砂発生の原因であることが明らかになってきた。申請者はこれまでモンゴル、中国における発生源での現場観測から、ダストの舞い上がりや地表面状態の関係について観測事実を蓄積してきた。本研究では発生現地での詳細な観測を継続し、通信による観測実況と衛星による面的モニタリングを組み合わせた「東アジア黄砂発生監視システムの開発」を行う。黄砂発生の実況およびハザード注意報の発信が可能になるレベルの完成を目標とし、インターネット回線を通じてシステムによる情報を広く世界に発信する。

3. 研究の方法

研究対象地を黄砂の主要な発生源である東経 80° ~ 130° 、北緯 35° ~ 50° の範囲の東アジア地域に設定し、以下の実況とモニタリングに主眼を置いた4点で構成される監視システムを構築し、結果をインターネットを通じて広く公表する。

- (1) 張掖, Bayan-Unjuul の高精度ステーションでの詳細な実況
- (2) SYNOP 報による現在天気と風速の実況
- (3) 衛星データを用いたプロダクトによるモニタリング手法の開発

(4) 翌年の黄砂発生時期の臨界風速を予測するためのプロダクトによるモニタリング手法の開発

4. 研究成果

(1) 地表面観測衛星によって得られる地表面の放射温度と気象要素から算定される空気力学的地表面温度を用いて得られる地表面湿潤度指標(MTVDI; Kimura, 2007)の適用性を黄砂の発生源である中国・張掖の現場観測値で検証した。MTVDIは、黄砂発生に深く関わる地表面の土壤水分をよく再現しており、衛星マイクロ波放射計によるAMSR-Eプロダクトと比較しても良好な再現性が確認された。また、鳥取砂丘における飛砂の観測結果より、MTVDIは飛砂の臨界風速を適切に評価していることが示された。

(2) モンゴルのステップ草原において、枯草が飛砂を捕捉する効果を実証するための観測を行った。草類、灌木類ともに、植生の風に対する前面面積が大きくなるに伴って、飛砂を捕捉する効果が指数的に増加することが明らかになった。

(3) 中国の黄砂発生源の1つである河西回廊(張掖)の草原荒地において、熱・水収支の観測、解析を行った。その結果、i)観測期間の総蒸発散量は総降水量とほぼ一致すること、ii)群落は浅い層の土壤水分を使って蒸散しており、地表面下の浅い部分に根を水平に張って、効率的に少ない雨を利用していること、iii)群落の水分効率(飽差や土壤水分に影響されていること、が示唆され、生理的に見ても群落は、乾燥条件下では蒸散を抑制し、降雨後の水分条件が良いときに蒸散を活発に行うことが理解できた。

(4) 地表面観測衛星によって得られる昼夜地表面温度と反射率を用いた乾燥度指標(SbAI)を開発した。SbAIは全球の湿潤度、乾燥度の分布を的確に表現していた。また、SbAIがある値以上になると、黄砂は発生しにくくなると仮定し、北東アジア地域におけるSbAIの閾値以上の占有率と日本で観測される黄砂発生回数(ADE)との比較を行った結果、占有率の増加とともにADEは優位に増加することが認められた。

(5) 植生、積雪を考慮した北東アジア黄砂発生臨界風速のアルゴリズムを開発し(1日ごとに更新。16日コンポジット画像も作成)、web公開システムを構築した。

(6) 地表面観測衛星によって得られる昼夜地表面温度差と反射率を用いたSatellite based Aridity Index (SbAI)を開発し、乾燥地研究で著名な国際誌(Journal of Arid Environments)に掲載された。SbAIは全球レベルの地表面の乾燥度を毎日モニタリング

することが可能であり、全球の乾燥地の分布を的確に表現していた。また、SbAIがある閾値以上になると、東アジアにおける黄砂が発生しやすくなることを明らかにした。SbAIを鳥取大学乾燥地研究センターのオリジナルプロダクトとして、既存の「黄砂発生監視システム」にマウントし、プロダクトを公開した。また、SbAIによる全球干ばつ地図をwebで公開した。

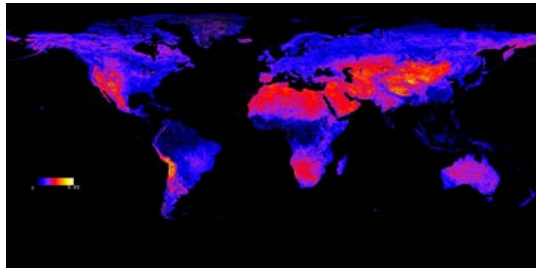


図1 SbAIによる全球の乾燥度分布

(7) 植生種の違いによる柔軟性や遮蔽率が飛砂を抑制する効果を風洞実験によって検証した。固有振動周期を持たない（風に対して柔軟性のない）植生の方が飛砂を多く捕捉し、なおかつ、少ない遮蔽率でその効果が出やすいことを明らかにした。本結果は、効果的な飛砂防止工法の開発または黄砂発生抑止開発へ寄与できる可能性が示唆された。

(8) モンゴルの黄砂発生源であるツォグトボーにおいて、2年間にわたる黄砂の発生と地表面状況との関係について解析を行い、ダスト研究で著名な Aeolian Research に掲載された。黄砂の発生は、地表面の乾湿状態、クラストの形成、土壌の凍結が要因となっていることが考えられ、特にクラストの崩壊の過程を物理的に明らかにすることが、その年の黄砂の発生予測に重要であることを指摘した。

(9) 積雪の被覆、凍土、地表面の湿潤度、植生の被覆を考慮した東アジア黄砂発生ハザードマップを構築し、セミリアルタイムで更新、インターネット表示できるシステムをパブリック公開した。システムは、衛星データを毎日ダウンロードし、各種演算、データ公開、データアーカイブを行うことが出来、誰でも閲覧可能とした。

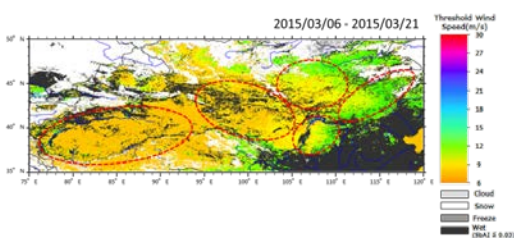


図2 東アジア黄砂ハザードマップ

(10) 「東アジア黄砂発生監視システム」(高

次処理データベース検索表示・公開サブシステム)を構築、公開した(現時点では鳥取大学関係者のみ)。本システムは、全球データ自動ダウンロード・アーカイブサブシステムおよび準リアルタイム衛星データ自動ダウンロード処理サブシステムで作成された衛星画像の検索・表示・解析・ダウンロードなどを行うためのシステムである。対象は東アジアだけではなく、全球にまで広がったことに特色がある。プロダクトは、臨界風速、植被率、NDVI、雲マスク、雪マスク、7バンド地表面反射率、SbAI、凍土マスクである。

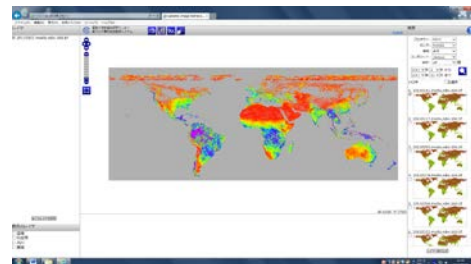


図3 東アジア黄砂発生監視システム

(11) 飛砂や黄砂発生のメカニズム解明のための簡易風洞を設計、作成した。本風洞の特色は、スパイヤーとラフネスブロックを併用し、小型風洞で困難であった境界層を生成できることにある(境界層は3.6mの整流距離で38cmの厚さ)。さらに、鉛直方向の風速分布を調整し、境界層を生成するだけでなく、水平方向の風速分布を均等に調整することも可能である。本研究は、論文として公表されただけでなく、日本農業気象学会2016年全国大会において、ベストポスター賞として評価された。

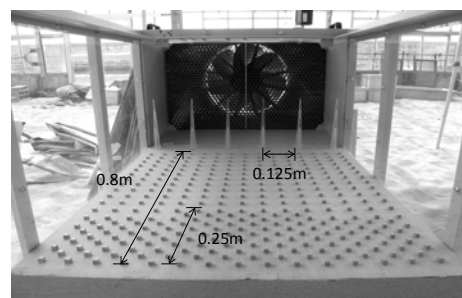


図4 飛砂のメカニズム解明のための簡易風洞の開発

(12) 「ダストが発生しやすい土地」を荒廃地と仮定した乾燥地のモニタリング方法を提示し、中国とモンゴルを対象に検証および適用可能性を行った。本手法によって抽出された「ダストが発生しやすい土地面積」と日本における黄砂現象の回数と比較を行うことで本手法の検証を行うとともに、本手法で抽出された中国やモンゴルにおける荒廃地が干ばつの現象等と非常に良く対応することが明らかになった。

(13) 全球を対象とした「ダスト発生に基づいた乾燥地監視システム」を構築、パブリック公開した。本システムは、全球データ自動ダウンロード・アーカイブサブシステムおよび準リアルタイム衛星データ自動ダウンロード処理サブシステムで作成された衛星画像を処理することによって、植生及び地表面湿潤度の両面からダストの発生しやすい地域を bi-monthly で大陸毎に特定・アップデートし (アジア、ヨーロッパ、北・南アメリカ、アフリカ、オセアニア)、全球レベルで乾燥地の分布を監視、結果をパブリックに公表するものである。このシステムによって、乾燥地の荒廃の進行度合いを細かい解像度、頻度でモニタリングすることが可能になった。

(14) 劉・木村 (2016) が提示した簡易な小型風洞を基に、乱流調整装置 (台形スパイヤーとラフネスブロック) を用いて、比較的厚い境界層の生成、自然界に近い粗度長、水平方向の均一な風速分布、風速の安定した観測場を同時に満たす方法・手順を提案した。将来的には、本実験で提案した簡易風洞の調整方法を利用し、飛砂実験に必要な諸条件を満たすことによって、飛砂発生メカニズムの解明や飛砂の抑止方法の開発に資する研究を行うことが期待される。本研究は、論文として公表されただけでなく、日本農業気象学会 2016 年中国四国支部大会において、優秀発表賞として評価された。

(15) モンゴルの黄砂発生源であるゴビ砂漠において熱収支の観測・解析を行った (2014 年 5 月~10 月)。期間平均の正味放射量、顕熱フラックス、潜熱フラックスは 85W/m^2 、 58W/m^2 、 11W/m^2 であった。渦相関法による総蒸発散量は 68mm であり、期間中の総降水量や総土壌水分減少量とほぼ一致した。また、地表面を覆うレキに凝結する水滴がゴビ砂漠の空気中の水蒸気量に影響している可能性を示唆した。

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 15 件)

- ① 劉佳啓・木村玲二: 小型簡易風洞の境界層形成に関する研究. 日本砂丘学会誌, 63, 113-119 (2017 年 2 月). (査読有)
- ② 木村玲二・阿不來堤阿不力堤甫: 2012~2014 年までの鳥取砂丘の風向・風速の特徴. 日本砂丘学会誌, 63(2), 49-56 (2016 年 12 月). (査読有)
- ③ Abulaiti, A., Kimura, R. and Kodama, Y.: Effect of flexible and rigid roughness elements on aeolian sand transport. Arid Land Research and Management, 31, 111-124 (Dec. 2016). (査読有)
- ④ Munkhtsetseg, E., Shinoda, M., Gillies, J.A., Kimura, R., King, J. and Nikolich, G.: Relationships between soil moisture and dust emissions in a bare sandy soil of Mongolia. Particuology, 28, 131-137 (Oct. 2016). (査読有)
- ⑤ Kimura, R., Abulaiti, A., Mano, M. and Matsushima, D.: Surface heat flux analysis in Gobi Desert steppe, Mongolia – An observation study. SOLA, 12, 175-180 (July 2016). (査読有)
- ⑥ Tasumi, M., Kimura, R., Allen, R.G., Moriyama, M. and Trezza, R.: Development of the GCOM-C global ETindex estimation algorithm. Journal of Agricultural Meteorology, 72, 85-94. (June 2016). (査読有)
- ⑦ Kimura, R.: Satellite-based mapping of dust erodibility in northeast Asia. Natural Hazards, doi:10.1007/s11069-016-2393-y (May 2016). (査読有)
- ⑧ Kimura, R., Moriyama, M. and Bandou, S.: Relationship between land surface temperature and rice quality in Tottori prefecture, Japan. International Journal of Remote Sensing, 36, 5690-5706 (Nov. 2015). (査読有)
- ⑨ Abulaiti, A., Kimura, R., Shinoda, M., Kurosaki, Y., Mikami, M., Ishizuka, M., Yamada, Y., Nishihara, E. and Gantsetseg, B.: An observational study of saltation and dust emission in a hotspot of Mongolia. Aeolian Research, 15, 169-176 (Dec. 2014). (査読有)
- ⑩ Mohamed, A.A. and Kimura, R.: Applying the moisture availability index (NTDI) over vegetated land in central Asia: Mongolian steppe. Journal of Water Resource and Protection, 6, 1335-1343 (Oct. 2014). (査読有)
- ⑪ Kimura, R. and Moriyama, M.: Application of a satellite-based aridity index in dust source regions of northeast Asia. Journal of Arid Environments, 109, 31-38 (Oct. 2014). (査読有)
- ⑫ Jugder, D., Shinoda, M., Kimura, R., Batbolod, A. and Amarjargal, D.: Quantitative analysis on windblown dust concentrations of PM10 (PM2.5) during dust events in Mongolia. Aeolian Research,

14, 3-13 (Sep. 2014). (査読有)

- ⑬ 木村玲二・阿不来堤阿不力堤甫・多炭雅博・王維真：中国河西回廊の草原荒廢地における蒸発散量. 沙漠研究, 23, 93-99 (2014年3月). (査読有)
- ⑭ Kimura, R.: Field studies of frontal area index in rangeland of Mongolia. *Journal of Environmental Science and Engineering*, A2(6), 359-363 (Jun. 2013). (査読有)
- ⑮ Kimura, R., Moriyama M., Abulaiti, A.: Application of index based on the land surface temperature to estimate the threshold wind speed for saltation activity. *Journal of Environmental Science and Engineering*, B2(4), 238-247 (Apr. 2013). (査読有)

[学会発表] (計 32 件)

- ① 劉佳啓・木村玲二 (2017年3月28日): 小型風洞による自然界に近い粗度長を持つ境界層の形成方法. 日本農業気象学会 2017年全国大会, 十和田.
- ② Kimura, R. (Mar 28, 2017): Validation and application of the monitoring method for degraded land area based on a dust erodibility in eastern Asia. *International Symposium on Agricultural Meteorology 2017*, Towada, Japan.
- ③ 劉佳啓・木村玲二 (2016年12月2日): 小型風洞において自然界に近い粗度長を伴う境界層を生成する手法の開発. 日本農業気象学会中国四国支部大会、高知.
- ④ Matsushima, D., Kimura, R., Kurosaki, Y. and Shinoda, M. (Mar 15, 2016): Spatial distribution and interannual of subsurface soil moisture conditions over a steppe in Mongolia. *International Symposium on Agricultural Meteorology 2016*, Okayama, Japan.
- ⑤ Kimura, R. (Mar 15, 2016): Satellite-inferred dust hot spots in northeast Asia. *International Symposium on Agricultural Meteorology 2016*, Okayama, Japan.
- ⑥ 劉佳啓・木村玲二 (2016年3月15日): 飛砂実験のための簡易風洞の特性. 日本農業気象学会 2016年全国大会, 岡山.
- ⑦ 劉佳啓・木村玲二 (2015年12月4日): 飛砂実験のための簡易風洞の設計. 日本農業気象学会中国四国支部、善通寺.
- ⑧ Kimura, R. (Sep. 18, 2015): Monitoring system for dust hazard in northeast Asia. *International Symposium on preparedness for dust hazard*, Tottori, Japan.
- ⑨ 森山雅雄・木村玲二 (2015年3月3日): 黄砂発生地予測のための衛星からの過剰乾燥地把握. 第23回生研フォーラム「宇宙からの地球環境・災害のモニタリングとリスク評価」、東京.
- ⑩ Abulaiti, A., Kimura, R. and Kodama, Y. (Mar. 13, 2015): Relationship between rigid and flexible roughness elements and sand transport. *International Symposium on Dzud, Ulaanbaatar, Mongolia*.
- ⑪ Matsushima, D. and Kimura, R. (Mar. 18, 2015): An approach to estimate spatial distribution of surface heat fluxes using satellite data and a heat budget model over a desert steppe. *International Symposium on Agricultural Meteorology 2015*, Tsukuba, Japan.
- ⑫ Kimura, R., Moriyama, M. and Bandou, S. (Mar. 18, 2015): Relationship between land surface temperature and rice quality in Tottori prefecture, Japan. *International Symposium on Agricultural Meteorology 2015*, Tsukuba, Japan.
- ⑬ Matsushima, D. and Kimura, R. (Dec. 15-19, 2014): Estimating spatial distribution of surface soil moisture conditions using a downscale technique with thermal inertia retrieved from AMSR2 soil moisture products. 2014 AGU Fall Meeting, San Francisco, U.S.A.
- ⑭ Kurosaki, Y., Jugder, D., Shinoda, M., Kimura, R., Mikami, M., Nishihara, E., Ishizuka, M., Yamada, Y., Gantsetseg, B. and Abulaiti, A. (Oct. 24, 2014): Dust Observation in Tsogt - Ovoo, Mongolia. *International Symposium on Multi-Hazard Approach in Mongolia*, Nagoya, Japan.
- ⑮ Abulaiti, A. and Kimura, R. (Oct. 24, 2014): Effect of rigid and flexible roughness elements on sand transport. *International Symposium on Multi-Hazard Approach in Mongolia*, Nagoya, Japan.
- ⑯ 篠田雅人・黒崎泰典・伊藤健彦・木村玲二・立入郁 (2014年9月21日): 2009/2010年ゾドはなぜ起きたか(1): 拡張干ばつ・ゾドメモリ仮説. 日本地理学会秋季学術大会 2014、富山.

- ⑰ Ishizuka, M., Gantsetseg, B., Kurosaki, Y., Nishihara, E., Yamada, Y., Kimura, R., Abulaiti, A., Jugder, D., Shinoda, M. and Mikami, M. (July 2014): Ground surface soil aggregation and its effect on dust emission in the northern Gobi desert, Mongolia. Eighth International Conference on Aeolian Research (ICAR VIII), Lanzhou, China.
- ⑱ 松島大・木村玲二・黒崎泰典 (2014年3月19日): 熱慣性を指標とする広域土壌水分条件の推定. 日本農業気象学会2014年全国大会, 札幌.
- ⑲ Tasumi, M., Kimura, R. and Moriyama, M. (Mar. 18, 2014): A simple method for evapotranspiration estimation using satellite-based surface temperature. International Symposium on Agricultural Meteorology 2014, Sapporo, Japan.
- ⑳ Abulaiti, A., Kimura, R., Shinoda, M., Mikami, M., Ishizuka, M., Yamada, Y., Kurosaki, Y. and Nishihara, E. (Mar. 18, 2014): Features of saltation and dust event in tsogt-Ovoo, Mongolia. International Symposium on Agricultural Meteorology 2014, Sapporo, Japan.
- ㉑ Kimura, R. and Moriyama, M. (Mar. 18, 2014): Application of satellite-based aridity index in dust source regions of northeast Asia: Effect of land surface aridity on Asian dust events over Japan from 2000 to 2011. International Symposium on Agricultural Meteorology 2014, Sapporo, Japan.
- ㉒ Abulaiti, A., Kimura, R., Shinoda, M., Mikami, M., Ishizuka, M., Yamada, Y., Kurosaki, Y. and Nishihara, E. (Dec. 5, 2013): Features of saltation and dust event in Tsogt-Ovoo, Mongolia. Agricultural Meteorology of Chugoku and Shikoku 2013, Matsuyama, Japan.
- ㉓ 多炭雅博・Sayed Nader Nadery・竹下伸一・木村玲二 (2013年11月): 地表面温度モニタリングによる土壌水分量推定のための基礎研究. 日本雨水資源化システム学会第21回研究発表会, 松江.
- ㉔ 阿不力提甫阿不来提・木村玲二 (May 2013): 植生の柔軟性とサルテーションによる砂の捕捉との関係. 日本沙漠学会2013年度第24回学術大会, 広島.

[図書] (計4件)

- ① 鳥取大学国際乾燥地研究教育機構監修・小玉芳敬・永松大・高田健一編: 鳥

取砂丘学 (木村玲二: 第3節)、古今書院、104pp. (2017年3月)

- ② 乾燥地研究センター監修・黒崎泰典・黒沢洋一・篠田雅人・山中典和編: 黄砂ー健康・生活環境への影響と対策 (木村玲二: 第3-1節)、丸善出版、150pp. (2016年3月)
- ③ Kimura, R.: Monitoring regional desertification. (Tsunekawa, A. et al. (eds.), Restoration and Development of the Degraded Loess Plateau, China), Springer, Japan, 175-182, 288pp. (Sep. 2013)
- ④ Kimura, R. and Takayama, N.: Climate of the Loess Plateau. (Tsunekawa, A. et al. (eds.), Restoration and Development of the Degraded Loess Plateau, China), Springer, Japan, 23-33, 288pp. (Sep. 2013)

[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

①研究室

<http://www.alrc.tottori-u.ac.jp/staff103/>

②東アジア黄砂発生ハザードマップ

<http://www.alrc.tottori-u.ac.jp/staff103/thresholdwindspeed/ja.html>

③東アジア黄砂発生監視システム

<http://10.15.196.142/ja/> (鳥大のみ)

④モンゴル・黄砂発生・気象観測システム

<http://10.15.196.137/> (鳥大のみ)

⑤全球乾燥地モニタリングマップ

<http://www.alrc.tottori-u.ac.jp/staff103/aridregions/en2.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

森山 雅雄 (MORIYAMA, Masao)

長崎大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 00240911