

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 30 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2012

課題番号：21401001

研究課題名（和文） 環境同位体，浸透能測定とリモートセンシングによる北東アジアにおける土地荒廃の評価

研究課題名（英文） Assessment of devastated land in Northeast Asia by remote sensing environmental isotopes, measurement and infiltration capacity

研究代表者 恩田 裕一 (ONDA YUICHI)

筑波大学・生命環境系・教授

研究者番号：00221862

研究成果の概要（和文）：

北東アジア地域における土地の荒廃について、現地調査およびリモートセンシングによって調査を行った。土地荒廃の理由としては、伐採、リターの採取、プランテーション、過放牧と様々な土地改変が行われており、それによる表面被覆の低下による土壌の浸透能の低下が激しい土壌侵食を引き起こし、土地荒廃の直接的な引き金になっていると考えられる。一方で、中国においては、植林の進展につれて、浸透能の増加、および土壌侵食量の減少も報告されている。本研究においては、現地と協力した詳細な現地調査および、リモートセンシングによって、表面被覆が回復すると浸透能が増加し、土壌侵食量が減少したことがあきらかとなった。また、リモートセンシングによって、NDVI の解析により東アジア全体における荒廃度の変化について、MAP を作成することができた。

研究成果の概要（英文）：

We have conducted research on devastated land in Northeast Asia based on field observations and remote sensing. Land has been changed in various ways including deforestation, litter sampling, plantation, and overgrazing, which caused decrease in infiltration capacity of soil due to reduced land surface coverage. This, in turn, caused severe soil erosion and is considered to be the direct cause of land devastation. In contrast, in China, an increase in infiltration capacity and a decrease in soil erosion by promoting afforestation have been reported. This research based on detailed field observations and remote sensing clarified that the infiltration capacity increased and the amount of soil erosion decreased with the recovery of the land surface coverage. Moreover, we were able to draw a MAP on changes in devastation in the East Asia by analyzing NDVI with remote sensing.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合 計
平成 21 年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
平成 22 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
平成 23 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
平成 24 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
総 計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：地理学

科研費の分科・細目：地理学

キーワード：土地荒廃，洪水，浸透能，リモートセンシング

1. 研究開始当初の背景

北東アジア地域において、近年土地の荒廃が進行している。その原因として、伐採、リターの採取、プランテーション、過放牧と様々な土地改変が行われており、それによる土壌の浸透能の低下が激しい土壌侵食を引き起こし、土地荒廃の直接的な引き金になっていると考えられる。一方で、中国においては、植林の進展につれて、浸透能および土壌侵食量が減少してきたと考えられるが、緑化および。しかしながら、北東アジア地域における地表面改変の実態とそれに伴う浸透能の低下については、現地データに基づく詳細な検討がなされていないのが実態である。

浸透能測定には、現地の自然降雨の雨滴衝撃を再現した振動ノズル式降雨実験装置（による浸透能測定が有効であり（Loch, 1999）、他の浸透能測定法を用いると誤った結果を得る可能性が高いことが指摘されている。最近、我々の研究室で、ポータブルな新しい振動ノズル式降雨実験装置が開発され、それを用いて浸透能を測定することによって、土地荒廃状況の直接指標を設けることが可能となると期待される。

一方、北東アジアの土地荒廃状況を把握するために、リモートセンシング手法が広く用いられており、研究分担者の松下によって、日本、中国における土地荒廃とリモートセンシング手法の調査が行われてきている。しかしながら、リモートセンシング手法と現地における浸透能や土壌侵食量といった荒廃を直接示す指標に値との関連については、まだほとんど手がつけられていないのが現状である。

2. 研究目的

前述したような、東アジアにおける土地荒廃機構の解明のために、近年過放牧が顕在化してきたモンゴル、長期間にわたって過放牧が行われてきた中国四川省地域、および大陸の森林地域である韓国において、現地浸透能試験やプロット試験を用いた土壌侵食量の推定を行いたい。

現地調査は、カウンターパートである、モンゴル気象水文研究所（IMH）と、韓国の地

質資源研究院（KIGAM）、中国科学院成都山地災害・環境研究所との綿密な共同研究によって行う。研究内容は、下記とおりである。それは、1)降雨実験装置およびプロット試験によるを用いた土壌荒廃状況別の浸透能測定、および 2)現地調査から得られた土地荒廃指標に基づいてリモートセンシングから土地荒廃度を評価する方法を確立する。

3. 研究方法

中国においては、近年の植林の進展につれて、浸透能回復および土壌侵食量の減少してきたと考えられるが、緑化による浸透能上昇・土壌侵食現象に関する広域的なデータは少ない。

浸透能測定には、現地の自然降雨の雨滴衝撃を再現した振動ノズル式降雨実験装置（による浸透能測定が有効であり（Loch, 1999）、他の浸透能測定法を用いると誤った結果を得る可能性が高いことが指摘されている。最近、我々の研究室で、ポータブルな新しい振動ノズル式降雨実験装置が開発され、それを用いて浸透能を測定することによって、土地荒廃状況の直接指標を設けることが可能となると期待される。これまで我々の研究グループにおいては、モンゴルの 10 地点において、振動ノズル型浸透能測定を行い、表層部の植生被覆と高い相関を得ている。しかしながら他の地域において、植生被覆と浸透能との間の関係は、まだ明らかになっていない。また、近年宮田ほか(2009)によって、プロット計測データを用いて浸透能の推定が可能であることが明らかになった。したがって、この指標を用いて、径流試験場のデータを解析すれば、中国で多く研究されている流出調査斜面(径流試験場)のデータの一般化に貢献し、かつ植生被覆状態と浸透能、植生被覆状態と土壌侵食量の関連について、明確な関連が得られる可能性がある。その関係が得られればリモートセンシングからの植生指標等を使って、浸透能マップや土壌侵食マップを作ることが可能になる。

4. 研究の結果

(1)現地調査結果

中国科学院地理研究所と共同で、中国各地における流出調査斜面(径流試験場)のデータを解析し、植生被覆と浸透能との関連について調査した。その際、現地において土壌サンプルを採取し、土壌の物理特性(透水係数等)との関連及び、被覆条件等浸透能との関連について調査を行い、浸透能力と被覆・土壌の透水性の関係について解析を行った。流出調査斜面(径流試験場)において自記記録されていない場合は、その一部に水位センサーを筑波大により設置し、流出量の自記記録を行った。これらのデータを解析し、表面の被覆と、浸透能力の評価を行った。

これらのデータを活用することにより、これらの表面被覆と NDVI との関連より、広域の浸透能変化マップを作成し、中国における造林による水土保持効果について定量化を行うことが可能となった。

研究対象地域は、中国の河北省保定市易県(Yi Xian)および四川省綿陽市塩亭県(Yan Ting Xian)の2地点で、2012年7月から10月まで観測をおこなった。観測期間と雨季はだいたい同じ期間で、観測期間中の降雨量はそれぞれ286.2mm、642mmであった。

表面流の回収は、プロットの下端で表面流が回収できるような形状になっている。そして、集水されたものが、プロットの外に設置してあるタンクへ導水される。導水されたものは、降雨期間中は排水されずに貯留される。そのため、水位計が減少する傾向を示した際は、減少をしないといった補正を加えた。流出量の算出方法は、プロットの下端に流出部を設け、水位を測定し流量に換算した。

1.水位データの補正をする。

2.補正済み水位データから、各時間間隔における水位変化量を求める。

3.水位変化量にタンクおよび枠の断面積を乗じ、単位時間あたりの流出量を得る。

4.流出量をプロット面積で除すると、流出高が得られる。

各イベントのハイドログラフにおいて、各々に対応しているであろうピーク雨量および流出量から浸透能の算出をおこなった。浸透能の計算は、以下の式を用いて最大浸透能(以後、FIRmax とする)による評価をおこなった。

ここで、 i は降雨強度(mm/h)、 f は浸透強度(mm/h)、 FIR_{max} は降雨強度を十分大きくした場合の安定浸透強度(mm/h)である。

FIR_{max} の算出にあたり、ピークを選択したものとイベント期間の平均降雨強度および浸透強度を用いたもので値は異なる。ただし、両手法ともに表面被覆率画像化すると浸透能が増加する関係が得られた。

(2)リモートセンシングによる荒廃度の評価

北東アジアの土地荒廃状況を把握するために、広範囲かつ定期的にデータの収集ができるリモートセンシング手法が有効と考えられる。そこで、リモートセンシング手法と現地における浸透能や土壌侵食量といった荒廃を直接示す指標の値との関連を付けることによって、北東アジアにおける土地荒廃の評価を行う。

①方法

植生データについては、TERRA 衛星に搭載した MODIS センサーが観測した反射率から算出した正規化植生指数 (Normalized Difference Vegetation Index、NDVI) を使用した (MCD43C4 プロダクト、空間分解能 5600m)。NDVI は地形の影響を受けにくく、広域の植生評価に優れた指標として使われている。NDVI の計算式は以下となる：

$$NDVI = (R_{nir} - R_{red}) / (R_{nir} + R_{red})$$

ここで、 R_{nir} は近赤外バンド (841 – 876 nm) の反射率であり、 R_{red} は赤バンド (620 – 670 nm) の反射率である。一般的に、土壌の NDVI は 0.1 前後、森林は 0.65 以上となる。

2001 年から 2010 年まで 10 年間の NDVI の平均値を計算した。

②結果

年間降雨量

降雨量のデータは Climatic Research Unit (CRU) time-series dataset (ver. TS3.2、http://badc.nerc.ac.uk/view/badc.nerc.ac.uk__ATOM__dataent_1256223773328276) から入手した。2001 年から 2010 年までの月降雨量からそれぞれ年の年間降雨量を計算した (空間分解能は 0.5 度)。それぞれ年の年間降雨量と 10 年間の降雨量の平均値との差を求めた。

NDVI の年変化率と各年の NDVI の変化や、降雨量の年変化率と各年の降雨量の変化と

年の相関を求めた。

以上の解析に基づいて、以下の分類ルールを作成した：

- i 植生の増加があり：NDVI 年変化率 $>=0.0025$ /yr、相関係数 $>=0.5$
- ii 植生の増加傾向があり：NDVI 年変化率 $>=0.0025$ /yr、相関係数 $0.3 \sim 0.5$
- iii 植生の減少があり：NDVI 年変化率 $<=-0.0025$ /yr、相関係数 $<=-0.5$
- iv 植生の減少傾向があり：NDVI 年変化率 $<=-0.0025$ /yr、相関係数 $-0.5 \sim -0.3$
- v 降雨の増加があり：降雨年変化率 $>=10$ mm/yr、相関係数 $>=0.5$
- vi 降雨の増加傾向があり：降雨年変化率 $>=10$ mm/yr、相関係数 $0.3 \sim 0.5$
- vii 降雨の減少があり：降雨年変化率 $<=-10$ mm/yr、相関係数 $<=-0.5$
- viii 降雨の減少傾向があり：降雨年変化率 $<=-10$ mm/yr、相関係数 $-0.5 \sim -0.3$

以上によって、

- i 明らかに降雨の増加があり、かつ、明らかに NDVI の減少がある場所は、強い土地荒廃の傾向がある。
- ii 降雨の増加または降雨の増加傾向があり、かつ、NDVI の減少傾向がある場所は、土地荒廃の傾向がある。

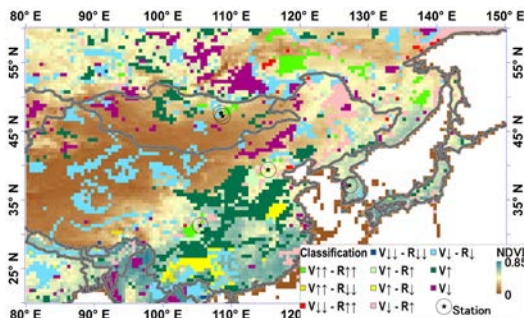


図 1 植生変化要因分類

強い土地荒廃の傾向がある (V↓-R↑)

土地荒廃の傾向がある (V↓-R)

弱い土地荒廃の傾向がある (V↓-R↑)

iii NDVI の減少と降雨関係が弱い (相関係数 $-0.3 \sim 0.3$) 場所は、弱い土地荒廃の傾向がある、と判断した。結果から、以下のことが読み取れた。

i モンゴル地域において、土地の荒廃と植生の回復が見られた。

ii 中国の東北部と東南部における土地荒廃の傾向が見られた。

iii 中国の“退耕還林”政策は中部と南部において、明らかな効果が見られた。

iv 中国の西部において、砂漠化が進んでいることが見られた。

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 28 件)

①Kim, J.K., Onda, Y., Yang, D.Y., Kim, M.S., Oh, K.C. (2013) Temporal variations of reservoir sediment sources in a small mountainous catchment in Korea. Earth Surface Processes and Landforms, 査読有, (accepted)

②Tesfaye, T., Onda, Y., Kato, H., Wakiyama, Y., Mizugaki, S., Hiramatsu, S. (2012) The relationship of soil organic carbon to ^{210}Pb and ^{137}Cs during surface soil erosion in a hillslope forested environment., Geoderma, 査読有, 192, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706112003254>

③Cooper, J. R., Wainwright, J., Parsons, A.J., Onda, Y., Fukuwara, T., Obana, E., Kitchener, B., Long, E.J., Hargrave, G.H. (2012) A New Approach for Simulating the Redistribution of Soil Particles by Water Erosion: a Marker-in-Cell Model, J. Geophys. Res., 査読有, 117, F04027

④Gmati, S., Tase, N., Tsujimura, M., and Tosaki, Y., (2012) Aquifers interaction in the southwestern foot of Mt. Fuji, Japan, examined through hydrogeochemistry and statistical analysis, Hydrological Research Letters, 査読有, Vol.5, 58-63

⑤Z. Sun, Q. Wang, B. Matsushima, T. Fukushima, Z. Ouyang & M. Watanabe, (2012) Evaluation of the VI-Ts Method for Estimating Land Surface Moisture Index and Air Temperature using ASTER and MODIS Data in the North China Plain, International Journal of Remote Sensing, 査読有, 32, 7257-7278

⑥J. Zhu, J. Chen, B. Matsusita, W. Yang & T. Fukushima, (2012) Atmospheric correction of ENVISAT/MERIS data over Case II waters: the use of black pixel assumption in oxygen and water vapor absorption bands, International Journal of Remote Sensing, 査読有, 33, 3713-3732

⑦Nanko, K., Onda, Y., Ito A., Motiwaki, H., (2012) Spatial variability of throughfall under a single tree: experimental study of rainfall amount, raindrop, and kinetic energy, Agricultural and Forest Meteorology, 査読有, 151, 1173-1182

⑧Hiraoka, M. Onda, Y., (2012) Factors affecting

the infiltration capacity in bamboo groves., Journal of Forest Research, 12 Oct. 2011, 査読有, pp.1-10

⑨真下和彦・横田宏行・岡山和生・横朗・平岡透・磯部裕介・恩田裕一・末次忠司: 航空レーザー測量データを用いた地形解析による内水浸水想定区域設定手法の開発、地形、査読有 2012

⑩Z.Sun, Q.Wang, B.Matsushita T.Fukushima, Z.Ouyang, M.Watanabe: "Evaluation of the VI-Ts Method for Estimating Land Surface Moisture Index and Air Temperature using ASTER and MODIS Data in the North China Plain" International Journal of Remote Sensing 査読有, (2011)

⑪ F.Yang, B.Matsushita, T Fukushima: "A pre-screened and normalized multiple endmember spectral mixture analysis for mapping imperious surface area in Lake Kasumigaura Basin, Japan" ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 査読有, 65. 479-490 (2010)

⑫浅井和由・辻村真貴: "トレーサーを用いた若い地下水の年代推定法-火山地域の湧水へのCFCs年代推定法の適用-" 日本水文科学会誌、査読有, 39. 67-78 (2010)

⑬Kato, H., Onda, Y., Tanaka, Y.: "Using ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb_{ex} measurements to estimate soil redistribution rates on semi-arid grassland in Mongolia." Geomorphology 査読有, 114. 508-519 (2010)

⑭Matsushita, B., Xu, M., Onda, Y., Otsuki, Y., Toyota, M.: "Detecting Forest Degradation in Kochi, Japan : Ground-based Measurement is versus Satellite (Terra/ASTER) Remote Sensing." Hydrological Processes 24(5). 査読有, 588-595 (2010)

⑮Subehi, L., Fukushima, T., Onda, Y., Mizugaki, S., Gomi, T., Kosugi, K., Hiru, S., Kitahara, H., Kuraji, K., Terajima, T.: "Analysis of stream water temperature changes during rainfall events in forested watersheds." Limnology 11. 査読有, 115-124 (2010)

⑯Iwagami, S., Tsujimura, M., Onda, Y., Shimada, J., Tanaka, T.: "Role of bedrock groundwater in rainfall runoff process in a small headwater catchment underlain by volcanic rock" Hydrological Process 24(19). 査読有, 2771-2783 (2010)

⑰Parsons, A.J., Wainwright, J., Furukawa, T., Onda, Y.: "Using sediment travel distance to estimate medium-term erosion rates : a 16-year record." Earth Surface Processes and Landforms 35. 査読有, 1694-1700 (2010)

⑱Wakiyama, Y., Onda, Y., Mizugaki, S., Asai, H., Hiramatsu, S.: "Soil erosion rates on forested mountain hillslopes estimated using ¹³⁷Cs and

²¹⁰Pb_{ox} Geoderma" j.geoderma.2010.06.012 査読有, 159. 39-52 (2010)

⑲Kato, H., Onda, Y., Tanaka, Y.: "Using ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb_{ex} measurements to estimate soil redistribution rates on semi-arid grassland in Mongolia" Geomorphology 114. 査読有, 508-519 (2010)

⑳Fukuyama, T., Onda, Y., Gomi, T., Yamamoto, K., Kondo, N., Miyata, S., Kosugi, K., Mizugaki, S., Tsubonuma, N.: "Quantifying the impact of forest management practice on the runoff of the surface-derived suspended sediment using fallout radionuclides" Hydrological Processes 24(5). 査読有, 596-607 (2010)

㉑ Onda, Y., Fukuyama, T., Takenaka, C., Hamajima, Y.: "Use of fallout radionuclides for investigating soil erosion rates and sediment fingerprinting in forested environments" Low-level Measurement on Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences 59-67. 査読有, 237 (2010)

㉒Kato, H., Onda, Y., Tanaka, Y.: "Using ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb_{ex} measurements to estimate soil redistribution rates on semi-arid grassland in Mongolia" Geomorphology 114. 査読有, 508-519 (2010)

㉓Fukuyama, T., Onda, Y., Gomi, T., Yamamoto, K., Kondo, N., Miyata, S., Kosugi, K., Mizugaki, S., Tsubonuma, N.: "Quantifying the impact of forest management practice on the runoff of the surface-derived suspended sediment using fallout radionuclides" Hydrological Processes 24(5). 査読有, 596-607 (2010)

㉔B.Matsushita, W.Yang, J.Chen, T.Fukushima: "Possibility of improving three-band model for different phytoplankton species in Case II water : evidences from three experiments" J.Remote Sensing, Soc.Japan 29. 査読有, 653-664 (2009)

㉕Kato, H., Onda, Y., Tanaka, Y., Asano, M.: "Field measurement of infiltration rate using an oscillating nozzle rainfall simulator in the cold, semiarid grassland of Mongolia" Catena 76. 査読有, 137-181 (2009)

〔学会発表〕(計 21 件)

①川口晋平、辻村真貴、恩田裕一、加藤弘亮、山中勤: 山地減流域の降雨流出過程における土壌層および基盤岩中の地中水流動プロセス日本地中惑星科学連合同大会、2011/5/27、幕張メッセ

② Onda, Y.: "The Role of the Bedrock Permeability on Soil Water Movement, Landslides and Landform in Steep Mountainous Areas in Japan" Central Geological Survey, MOEA. (2011/03/10). Taipei, Taiwan

③Onda, Y.: "Field and modeling studies on the effect of forest devastation on flooding and

sediment yield" Taiwan Forestry Research Institute. (2011/03/10). Taipei, Taiwan

④ Onda, Y.: "Groundwater flow path, landslide types, and timing of landslide" National Taiwan Normal University. (2011/03/09). Taipei, Taiwan

⑤ F.Yang, B.Matsushita, T.Fukushima: "Estimation of imperious surface area in Japan" 日本写真測量学会. (2010/10/14-2010/10/15). サン・リフレ函館

⑥ 野口裕介, 恩田裕一, Zhang Xinbao, 脇山義史, Wang Tao: "中国四川省農村域における放射性降下物を用いた耕作地の造林に伴う土壌侵食履歴の評価" 日本地形学連合 2010 年秋大会. (2010/10/13-2010/10/14). 立正大学熊谷キャンパス

⑦ 辻村真貴, 他: "愛媛県西条平野・周桑平野におけるフロン類(CFCs)による地下水流動系の解明" 日本水文科学会. (2010/10/02). 筑波大学

⑧ Nanko, K., Onda, Y., Ito, A., Suwa, S., Moriwaki, H., Fukuzono T.: "Inference of water behavior in a tree canopy based on the dense measurements of throughfall rate and throughfall raindrops" 2010 Western Pacific Geophysics Meeting. (2010/06/22-2010/06/25). Taiwan

⑨ Kato, H., Onda, Y., Tanaka, Y., Asano, M.: "Field measurement of infiltration rate using an oscillating nozzle rainfall simulator in the cold semiarid grassland of Mongolia." European Geosciences Union General Assembly 2010. (2010/05/02-2010/05/07). Vienna, Austria

⑩ Onda, Y.: "Field and modeling studies on the effect of forest devastation on flooding and sediment yield" International Workshop on Application of isotope tracers to biogeochemical study of soil erosion and carbon export in mountain ecosystems. (2010/04/08-2010/04/10). Korea

⑪ 加藤弘亮・恩田裕一・田中幸哉: "Satellite and ground-based study on the spatial characteristic of grazing step terracettes in semiarid grassland of Mongolia" American Geophysical Union Fall meeting. (2009/12/14-2009/12/18) San Francisco

⑫ Onda, Y., Fukuyama, T., Takenaka, C., Hamajima, Y.: "Use of fallout radionuclides for investigating soil erosion rates and sediment fingerprinting in forested environment" International Workshop on Low-level measurement of radionuclides and its application to Earth and environmental sciences. (2009/11/06). Kanazawa

⑬ 加藤弘亮・恩田裕一・田中幸也: "衛星画像を用いたモンゴル半乾燥草原における Grazing Step Terracettes の分布特性に関する研究" 2009 年日本地形学連合秋季大会. (2009/10/03-2009/10/04). 京都教育大学, 京都

⑭ Hiraoka, M., Onda, Y., Mizugaki, S., Kato, H.,

Gomi, T.: "Effects of surface cover and soil characteristics on infiltration capacity in Japanese cypress plantation" 7th International Conference on Geomorphology. (2009/07/06-2009/07/11). Melbourne, Australia

⑮ 加藤弘亮・恩田裕一・田中幸也: "The Effects of Grazing Step Terracettes on Soil Erosion in Two Grasslands in Mongolia" The 7th International Conference of Geomorphology. (2009/07/06-2009/07/11). Melbourne, Australia

⑯ 加藤弘亮・恩田裕一・田中幸哉: "セシウム-137 を用いたモンゴル半乾燥草原における土壌侵食量の推定" 沙漠学会 2009 年度第 20 回学術大会. (2009/05/23-2009/05/24). つくば, 茨城

⑰ 恩田裕一, 笹子千穂, 加藤弘亮, Parsons, A.J., Wainwright, J., Herrick, J.E.: "ニューメキシコ州ホルナダ地域の草原と灌木地における放射性核種を用いた土壌侵食量とプロセスの推定" 砂漠学会. (2009/05/23-2009/05/24). つくば, 茨城

⑱ 恩田裕一, 笹子千穂, 加藤弘亮, Parsons, A.J., Wainwright, J., Herrick, J.E., 水垣滋: "ニューメキシコ州ホルナダ地域の草原と灌木地における放射性核種を用いた土壌侵食量とプロセスの推定" 日本地球惑星科学連合 2009 年大会. (2009/05/16-2009/05/21). 幕張, 千葉

⑲ 加藤弘亮・恩田裕一・田中幸哉: "モンゴルの二つの半乾燥草原における Grazing Step Terracettes が土壌侵食に及ぼす影響" 日本地球惑星科学連合 2009 大会. (2009/05/16-2009/05/21). 幕張, 千葉

〔図書〕(計 2 件)

① Onda Y, Mizugaki, S., Kato, H.: "Assessment of the contribution from surface erosion of forest floors to suspended sediment in mountainous forested catchments in the Tsuzura watershed, southern Japan." IAEA TECDOC In press. (2010)

② 恩田裕一: "生態系管理(自然と共生した流域圏・都市の再生)(丹保憲仁編)" リバーフロント整備センター. 129-139 (2010)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

恩田 裕一 (ONDA YUICHI)
筑波大学・生命環境系・教授
研究者番号: 00221862

(2) 研究分担者

辻村 真貴 (TSUJIMURA MAKI)
筑波大学・生命環境系・教授
研究者番号: 10273301
松下 文経 (MATSUSHITA BUNKEI)
筑波大学・生命環境系・准教授
研究者番号: 80361319