

岡山大学 惑星物質研究所 共同利用・共同研究 成果報告書

受入年度：2021 年度 前期

提出日：2022 年 5 月 30 日

共同利用の種類：国際共同利用・一般共同利用・設備共同利用・ワークショップ

課題名：モンゴルおよび中国内蒙古半乾燥地の土壌の変動

共同研究員氏名：Teni Geer (特尼 格尔)

所属・職名：筑波大学大学院生命地球科学研究群環境科学学位プログラム・大学院生

分担者氏名：田村 憲司

分担者所属・職名：筑波大学生命環境系・教授

分担者氏名：田中 亮吏

分担者所属・職名：岡山大学惑星物質研究所・教授

研究報告：

研究目的

モンゴル国や中国内蒙古自治区からの風成塵は春先の強風によって巻き上げられ、東アジアのモンスーン全体に広がっていく。それはついに日本や太平洋までに広がっていく可能性があり、それは日本の土壤中にも蓄積されてきた。東アジアにおける風成堆積物の生産、輸送、堆積プロセスは、さまざまな地質学のおよび気候的環境で集中的に調査されてきた。それで、さまざまな風成堆積物は、世界規模での黄砂と気候の相互作用の変遷を理解するための大きな可能性を持っている。本研究では、中国内蒙古自治区とモンゴル国の7つ地点の土壤試料から分離された石英の酸素同位体組成を測定した。東アジアと日本の土壤中の石英中の酸素同位体組成を比較することにより、日本の土壤への東アジアの風成塵の寄与を決定することを本研究の目的とした。

試料及び方法

本研究では、日本への黄砂は中国北部と東アジア大陸のモンゴル由来であると推定されるため、調査対象として中国内蒙古自治区とモンゴル国の乾燥および半乾燥地域を選択した。調査地点として、気候条件、土地利用条件等を考慮して、バヤン・ウンジュル、フスタイ国立公園、フルンボイル、ハルハゴル、ブルガン、タガン・ドゥク、ズーンブレンの7か所を選定した。土壤試料は土壤層位ごとに選んだ。コンタミやその他の変化を避けるためにすべての土壤試料は密封され、暗所で保管された。

土壤試料中の有機物、鉄酸化物、および層状ケイ酸塩は、 H_2O_2 および HCl によって除去した。各土壤試料は、沈降法と湿式篩別法を使用して、 $<2\mu m$ 、 $2-10\mu m$ 、 $10-20\mu m$ 、 $20-100\mu m$ 、 $100-212\mu m$ 、 $212-500\mu m$ 、 $500-2000\mu m$ の7つのサイズ画分に分画した。

分析方法は、Sharp(1990)が採用したものと類似の方法によった。土壤試料中の石英は、溶融した $Na_2S_2O_7$ と H_2SiF_6 によって精製した。200 mg の土壤試料を粉末 $Na_2S_2O_7$ と混合して、シリカ製のるつぼに入れ、マッフル炉にて $500^\circ C$ で5分間加熱した。 $Na_2S_2O_7$ と反応した粒子は、層状のアモルファスケイ酸塩と残っている長石を除去する可能性があった。冷却後、 $Na_2S_2O_7$ を $3MHCl$ で溶解した。 H_2SiF_6 は、石英以外の残りのケイ酸塩を除去するために使用された。 H_2SiF_6 を石英試料に加え、2~3日間置いて、余分なケイ酸塩を除去した。次に、 $0.1MHF$ で洗浄し、乾燥後、重量を測定した。

偏光顕微鏡とX線回折装置(XRD)を使用して、ケイ酸塩と長石の層が完全に除去され、残りの粒子は純粋な石英であることを確認した。石英試料中の不純物が完全に除去された後に、次のステップに進んだ。不純物が見られた場合には、試料を H_2SiF_6 によって再処理

し、同様の手順を行った。

酸素同位体測定については、岡山大学惑星物質研究所共同利用施設を利用して、酸素同位体含有量実験を行った。安定同位体質量分析計(SIRA12; Micromass、UK)に接続された二酸化炭素(CO₂)レーザー-五フッ化臭素(BrF₅)フッ素化システムを使用して行った。技術的な詳細は Kusakabe et al. (2004)によった。

石英サンプルからの O₂ は、酸化剤として BrF₅ を使用した CO₂ レーザーを使用して抽出された。抽出された O₂ は抽出ラインで精製され、液体窒素の温度で 13Å のモレキュラーシーブでトラップされた。抽出された O₂ ガスの同位体比は、デュアルインレットモードのガスソース質量分析計 (MAT253、Thermo Fisher Scientific) を使用して決定された。作動参照ガスは VSMOW2 および SLAP2 によって校正され、すべてのデータは、VSMOW2/SLAP2 スケールを使用して表された。試料の ¹⁸O/¹⁶O は、VSMOW2 (ウィーン標準平均海水) に対する一般的な δ 表記として δ¹⁸O として表され、測定値は、内部石英標準 NBS28 に対して δ¹⁸O = 9.6‰ (1σ = 0.10‰) として正規化された。N = 9) (Tanaka and Nakamura 2013、Sharp 1990、Kusakabe et al. 2004)。δ¹⁸O は以下に依存して計算された：

$$\delta^{18}O = \frac{\left(\frac{{}^{18}O}{{}^{16}O} \right)_{sample}}{\left(\frac{{}^{18}O}{{}^{16}O} \right)_{VSMOW2}} - 1$$

結果及び考察

表 1 に土壌の粒径別分布を示した。7 つの地点すべてで、土壌重量のピーク値は 20～100 μm および 212～500 μm の粒径範囲に集中していた。

Table 1. Mass distribution of soil in each particle fraction and each site (g/g)

	-2	2-10	10-20	20-100	100-212	212-500	500-2000
BU-G-4	0.556	0.475	0.342	0.881	2.124	3.494	0.901
HNP-AF1	0.529	0.651	0.456	0.897	2.122	2.754	1.245
I-1	1.231	0.807	0.554	1.526	1.319	1.762	0.844
HAL	0.444	0.440	0.367	2.627	1.594	2.351	0.375
BG	1.345	0.786	0.451	2.519	1.569	0.819	0.622
TGD	1.012	0.456	0.244	0.694	1.168	4.117	0.892
ZB2	0.790	0.907	0.859	4.700	0.194	0.013	0.000

石英を抽出した後、各粒子サイズおよび各地点の土壌中の石英の割合を得た。表 2 に各画分の石英粒子の比率を示した。地点 Bulgan に加えて、粒子サイズの増加に伴い、石

英含有量が増加した。これは、微粒子が薄い粘土鉱物と混ざり合い、層状ケイ酸塩に包まれやすいためであると考えられた。これにより、細かい土壌粒子に含まれる石英の割合は少なくなるが、粗粒質画分においてはその傾向は見られなかった。

Table 2. Proportion of quartz in each particle fraction and each site (g/kg)

	-2	2-10	10-20	20-100	100-212	212-500	500-2000
BU-G-4	105	200	320	420	400	470	570
HNP-AF1	65	260	330	450	470	590	725
I-1	80	185	280	340	405	440	515
HAL	105	300	415	565	570	590	780
BG	85	320	475	480	400	305	265
TGD	60	285	365	455	465	570	750
ZB2	50	195	280	350	394		

岡山大学惑星物質研究所で測定された酸素同位体比の測定結果により、表3に、各粒子サイズと各地点の土壌中の石英の $\delta^{18}\text{O}$ 値を示した。

$\delta^{18}\text{O}$ は粒子サイズの増加とともに減少した。主な理由は、各地点で、堆積岩から土壌が発達し、風化が進みやすく、土壌が微細になるためであると思われる。低温からの堆積岩中の石英であり、 $\delta^{18}\text{O}$ が低い。一方、火成岩の土壌は主に花崗岩から供給され、花崗岩に由来する石英サイズの値は比較的大きい。また、より高い $\delta^{18}\text{O}$ を含む。

この傾向は、日本の土壌の研究にも反映されている。日本の土壌は、特に微粒子において、局所的な火成岩よりも高い酸素同位体を持っている (Eguchi et al. 2012)。これは、日本の土壌が高い $\delta^{18}\text{O}$ 値の堆積岩に由来する風成塵に影響を受けたことを示唆しており、このことから日本の土壌の $\delta^{18}\text{O}$ 値が増加したと考えられた。以上のことから、風成塵は、東アジア大陸の乾燥・半乾燥地域から日本に移動したことが示唆された。今後、データを積み重ね、さらに検証していく必要があるものと思われる。

Table 3. Oxygen isotope content in each particle size of each sites (‰)

	-2	2-10	10-20	20-100	100-212	212-500	500-2000
BU-G-4	12.35	13.37	12.29	11.34	10.33	9.61	8.94
HNP-AF1	14.02	14.94	13.64	12.33	13.50	13.71	12.34
I-1	14.38	13.07	10.85	9.97	8.86	7.99	7.62
HAL	14.26	13.81	11.51	9.69	9.71	9.90	9.00
BG	12.76	13.89	12.02	10.91	12.25	13.57	17.78
TGD	12.14	12.64	11.56	9.99	9.42	8.97	8.93
ZB2	13.13	13.69	13.12	12.04	10.69	N.A.	N.A.

引用文献

Eguch, T, Tanaka, R, Maejima, Y, Tamura, K, The influence of aeolian dust in non-allophanic Andosols on Yakushima Island. *Soil Science and Plant Nutrition*, 58:191-199 (2012)

Kusakabe, M, Maruyama, S, Nakamura, T, Yada, T, CO₂ laser-BrF₅ fluorination technique for analysis of oxygen three Isotopes of rocks and minerals. *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.*, 52: 205–212 (2004)

Sharp, Z D, A laser-based microanalytical method for the in site determination of oxygen isotope ratios of silicates and oxides. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54: 1353 (1990)

Tanaka, R, Nakamura, E, Determination of ¹⁷O-excess of terrestrial silicate/oxide minerals with respect to Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW). *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 23: 285-297 (2013)