

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：2022 年度 前期

提出日： 2023 年 3 月 28 日

共同利用研究の種類： 国際共同研究・一般共同研究・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モンゴル半乾燥地の土壌の変動

共同研究員氏名： 田村 憲司

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

分担者氏名： Teni Geer (テニゲル)

分担者所属・職名： 筑波大学大学院生命地球科学研究群農学学位プログラム・D1

分担者氏名： 小林 耕野

分担者所属・職名： 筑波大学大学院生命地球科学研究群農学学位プログラム・D1

研究報告・ワークショップ実施報告：

**【研究目的】**

東日本の日本海側の山地は冬季季節風と対馬海流の影響で、世界で有数の多量の積雪が

見られる。多量の積雪は日本の冬季季節風が暖流である対馬海流から大量の水蒸気を運び、日本海側の山地にぶつかることによってもたらされる (Sasai et al., 2019)。そのため、東日本の多雪山地では最大積雪深が 3 m を超える地域も広く存在する (図 1)。また、東日本の日本海側には亜高山帯に針葉樹林が欠如・部分的にしか分布していない多雪山地が存在し、代わりにハイマツ、落葉低木、ササ草原、雪田草原など、日本の高山帯でよく見られる植物が分布している。これらの地域は、景観が高山帯に似ていることから、偽高山帯と呼ばれることもある (Sugita, 1992)。このような針葉樹林の欠如は多量の積雪が要因の一つであると考えられており、東日本の山地の特徴的な景観を構成している。また、偽高山帯に分布する植物は、高山帯と同様に、氷河期からの遺存種や固有種が多く含まれている。そのため、日本において、偽高山帯は日本における生物多様性の観点において重要な地域である。しかし、偽高山帯において、生態系に基盤である土壌の生成プロセスを明らかにした研究はほとんどない (Daimaru et al., 2002; Kariya, 2005)。

風成の堆積物は山岳域の土壌の発達に大きく寄与しており、近年の研究において着目されている (Küfmann, 2003, 2008; Munroe et al., 2015; Tsai et al., 2021)。日本における風成の堆積物の主な発生源は火山灰を除けば、モンゴルおよび中国内モンゴ半乾燥地から飛来する広域風成塵である (Inoue et al., 1987; Mizota & Matsuhisa, 1985)。広域風成塵は結晶性粘土鉱物を含み、主に短距離秩序鉱物であるアロフェンやイモゴライトや、Al・Fe-有機物複合体が生成される火山灰を母材とする土壌に影響を与える (Nakao et al., 2021; Takahashi & Dahlgren, 2016)。また、広域風成塵の堆積は土壌の累積的な発達の証拠として用いることができる。日本の土壌における広域風成塵の混入は、シルトサイズの石英の酸素同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) で評価されている (Eguchi et al., 2012; Inoue & Naruse, 1990; Mizota & Matsuhisa, 1985; Nakao et al., 2019, 2021)。日本の火山岩に由来する石英の  $\delta^{18}\text{O}$  値は 5~11‰ であり (Matsuhisa et al., 1973)、中国の砂漠に由来する <16  $\mu\text{m}$  石英の  $\delta^{18}\text{O}$  値は 15 - 18‰ を示す (Yan et al., 2014) ことが報告されている。この違いを利用して、シルト画分に含まれる石英の  $\delta^{18}\text{O}$  値を測定することで、火山放出物を母材とする土壌に広域風成塵の混入の有無を検出することができる (Mizota et al., 1990; Nakao et al., 2021)。また、広域風成塵は雪の凝結核として土壌に堆積するため、多雪地帯の日本の偽高山帯の土壌は広域風成塵の影響を大きく受けていると予想される。そのため、東日本の偽高山帯の土壌から分離されたシルトサイズの石英の  $\delta^{18}\text{O}$  値を評価することで、粘土鉱物組成との関連に加え、累積的な土壌生成過程を明らかにできると考えられる。

本研究では東日本の多雪山地の典型的な特徴を持つ鳥海山の偽高山帯土壌を用いて、微地形に沿って採取された土壌試料から分離された、シルトサイズの石英の酸素の安定同位体比を測定した。そして、各土壌層位におけるモンゴルおよび中国内モンゴ半乾燥地から飛来する広域風成塵に由来する鉱物の混入を評価し、粘土鉱物組成との関連と、累積的な土壌生成過程について明らかにすることを目的に行った。

## 【試料及び方法】

土壌調査は鳥海山の西部、標高約 1,580 m に位置する河原宿で行った (N 39°06'09.65" E 140°00'12.82")。鳥海山は標高 2,236 m であり、調査地の地質は安山岩である。土壌断面調査地点は、微地形によって変化する植物群落ごとに設定された。各調査地の植生は、斜面上部 (K1) はハイマツ・ササ群落 (*Pinus pumila* · *Sasa kurilensis*)、斜面中部 (K2) はササ群落 (*Sasa kurilensis*)、斜面下部は雪田草原 (主に Poaceae) である。K1 と K3 の距離の差は約 40 m、標高の差は約 10 m である。土壌断面調査を行った後、土壌試料を K1 : Ha2 層-Bg2 層、K2 : Ha2 層-ABg 層、K3 : Ha1 層-ABg 層から採取した。試料は風乾後、2 mm に篩別された。

シルト (2-20  $\mu\text{m}$ ) 画分は土壌試料から  $\text{H}_2\text{O}_2$  によって有機物を除去した後、沈降法によって採取された。石英の分離方法は Sridhar et al. (1975) の方法で行った。分離したシルト画分を  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7$  とともにマッフル炉で強熱した。冷却後、3N HCl で洗浄した。その後、残渣を 30%  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  中に静置し、0.1N HF と  $\text{H}_2\text{O}$  で洗浄し、乾燥させた。石英の単離は X 線回折装置 (D8 ADVANCE/ TS, Bruker) によって確認を行った。石英の  $\delta^{18}\text{O}$  値の測定は岡山大学惑星物質研究所内で、Tanaka and Nakamura (2013) に従って行った。石英中の  $\text{O}_2$  は、二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )レーザー-五フッ化臭素( $\text{BrF}_5$ )フッ素化システムにおいて、酸化剤として  $\text{BrF}_5$  を用いて  $\text{CO}_2$  レーザーによって抽出され、液体窒素の温度で精製された後、液体窒素温度で  $13\text{\AA}$  のモレキュラーシーブでトラップした。 $\text{O}_2$  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) を使用して測定した。試料の  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  は、VSMOW2 (ウィーン標準平均海水) に対する一般的に使用される  $\delta$  表記として  $\delta^{18}\text{O}$  として表記され、以下のように計算された：

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

## 【結果・考察】

斜面の中部のササ草原と斜面下部の雪田草原のシルト画分の  $\delta^{18}\text{O}$  値は 14.6–15.7‰ (図 2) を示し、ユーラシアの砂漠土壌の石英の  $\delta^{18}\text{O}$  値に近い値であり (Yan et al., 2014)、有機質層位だけでなく、無機質層位においても広域風成塵の影響を強く受けていることが明らかになった。斜面中部の K2 は比較的斜度が急であるものの、ササによる侵食を保護する作用によって、広域風成塵が堆積できることが明らかとなった。一方で、斜面上部のハイマツ・ササ群落の  $\delta^{18}\text{O}$  値は 12.5–15.4‰ (図 2) を示し、下層ほど低い値を示した。これらは、下層の B 層では広域風成塵の混入があるものの、一般的に石英の  $\delta^{18}\text{O}$  値が 11‰ より低い値を示す現地性の火山岩 (Matsuhisa et al., 1973) の影響をより強く受けていることを示していると考えられた。また、すべての地点において、粘土画分の結晶性粘土鉱物の組成は表層ほど、雲母のピークが強く、下層ではより雲母から風化によって生成される

バーミキュライトのピークが強いことから、広域風成塵による累積的な堆積が支持された。以上のことから、鳥海山の偽高山帯に発達する土壌は有機質層位、無機質層位に関わらず累積的な土壌作用を受けていることが明らかになった。また、その影響の程度は斜面の位置によって異なっていることが示唆された。

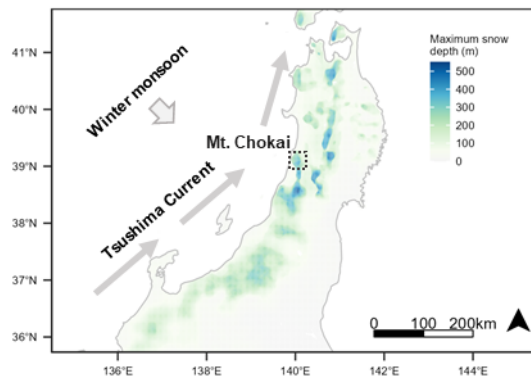


図1 東日本の最大積雪深と鳥海山の位置。基盤地図は Natural earth (<https://www.naturalearthdata.com>) を改変。

東日本における最大積雪深の分布は国土数値情報データベースの平均値メッシュデータ (<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G02.html>) より引用。

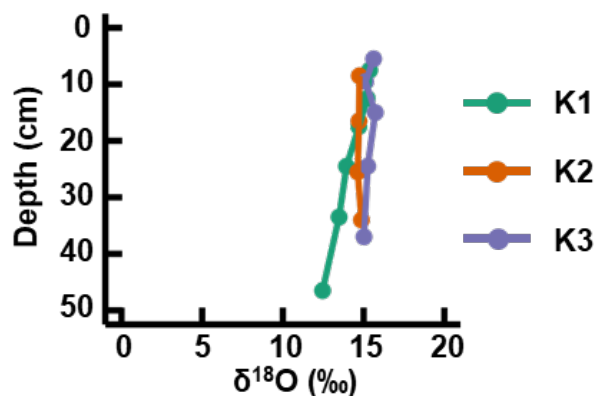


図2 シルト画分の石英の $\delta^{18}\text{O}$ 値

【引用文献】

- Daimaru, H., Yoshikazu, O., Shigeto, I., Toru, O., & Kajimoto, T. (2002). Paleoclimatic implication of buried peat layers in a subalpine snowpatch grassland on Mt. Zarumori, northern Japan. *Catena*, 48, 53–65.
- Eguchi, T., Tanaka, R., Maejima, Y., & Tamura, K. (2012). The influence of aeolian dust in non-allophanic Andosols on Yakushima Island. *Soil Science and Plant Nutrition*, 58(2), 191–199.
- Inoue, K., & Naruse, T. (1990). Asian long-range eolian dust deposited on soils and paleosols along the Japan Sea coast. *Quaternary Research*, 29(3), 209–222.
- Inoue, K., Naruse, T., & Naruse, T. (1987). Physical, chemical, and mineralogical characteristics of modern eolian dust in Japan and rate of dust deposition. *Soil Science and Plant Nutrition*, 33(3), 327–345.
- Kariya, Y. (2005). Holocene landscape evolution of a nivation hollow on Gassan volcano, northern Japan. *Catena*, 62(1), 57–76.
- Küfmann, C. (2003). Soil types and eolian dust in high-mountainous karst of the Northern Calcareous Alps (Zugspitzplatt, Wetterstein Mountains, Germany). *Catena*, 53(3), 211–227.
- Küfmann, C. (2008). Are cambisols in alpine karst autochthonous or eolian in origin? *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 40(3), 506–518.
- Matsuhisa, Y., Matsubaya, O., & Sakai, H. (1973). Oxygen isotope variations in magmatic differentiation processes of the volcanic rocks in Japan. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 39(4), 277–288.
- Mizota, C., Kusakabe, M., & Noto, M. (1990). Oxygen isotope composition of quartz in soils developed on late Quaternary volcanic ashes in Japan. *Geoderma*, 46(4), 319–327.
- Mizota, C., & Matsuhisa, Y. (1985). Eolian additions to soils and sediments of Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 31(3), 369–382.
- Munroe, J. S., Attwood, E. C., O’Keefe, S. S., & Quackenbush, P. J. M. (2015). Eolian deposition in the alpine zone of the Uinta Mountains, Utah, USA. *Catena*, 124, 119–129.
- Nakao, A., Tomita, M., Wagai, R., Tanaka, R., Yanai, J., & Kosaki, T. (2019). Asian dust increases

radiocesium retention ability of serpentine soils in Japan. *Journal of Environmental Radioactivity*, 204(March), 86–94.

- Nakao, A., Uno, S., Yanai, J., Kubotera, H., Tanaka, R., Root, R. A., & Kosaki, T. (2021). Distance-dependence from volcano for Asian dust inclusions in Andosols : A key to control soil ability to retain radiocesium. *Geoderma*, 385(July 2020), 114889.
- Sasai, T., Kawase, H., Kanno, Y., Yamaguchi, J., Sugimoto, S., Yamazaki, T., Sasaki, H., Fujita, M., & Iwasaki, T. (2019). Future Projection of Extreme Heavy Snowfall Events With a 5-km Large Ensemble Regional Climate Simulation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(24), 13975–13990.
- Sridhar, K., Jackson, M. L., & Ctayton, R. N. (1975). Quartz oxygen isotopic stability in relation to isolation from sediments and diversity of source. *Soil Science Society of America Journal*, 39, 1209–1213.
- Sugita, H. (1992). Ecological geography of the range of the *Abies mariesii* forest in northeast Honshu, Japan, with special reference to the physiographic conditions. *Ecological Research*, 7(2), 119–132.
- Takahashi, T., & Dahlgren, R. A. (2016). Nature , properties and function of aluminum – humus complexes in volcanic soils. *Geoderma*, 263, 110–121.
- Tanaka, R., & Nakamura, E. (2013). Determination of  $^{17}\text{O}$ -excess of terrestrial silicate/oxide minerals with respect to Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW). *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 27(2), 285–297.
- Tsai, H., Chen, J., Huang, W., Huang, S., & Hseu, Z. (2021). Aeolian additions of podzolic soils on the high-altitude mountains in central Taiwan-sediment origin and pedological implications. *Geoderma*, 383(1), 114726.
- Yan, Y., Sun, Y., Chen, H., & Ma, L. (2014). Oxygen isotope signatures of quartz from major Asian dust sources: IMPLICATIONS for changes in the provenance of Chinese loess. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 139, 399–410.