

自然放射能からみた東アジアにおける レスと風成塵起源土壌の特徴

古川 雅英¹・赤田 尚史²・卓 維海³・郭 秋菊⁴
 檜崎 幸範⁵・床次 眞司³

Characteristics on Natural Radioactivity of Loess and Eolian Dust Origin Soils in East Asia

Masahide FURUKAWA¹, Naofumi AKATA², Weihai ZHUO³, Qiuju GUO⁴,
 Noriyuki NARAZAKI⁵ and Shinji TOKONAMI³

Received 26 July 2005

Accepted 4 October 2005

Abstract — In order to investigate the characteristics on natural radioactivity of loess, desert sand and eolian dust origin soil distributed in East Asia, analyses for ²³⁸U, ²³²Th and ⁴⁰K concentrations by ICP-MS and ICP-AES, and for major chemical composition, SiO₂, Al₂O₃, K₂O, etc., by XRF have been performed on 48 samples collected from the wide area of China and three prefectures of Japan. The results for loess samples indicated that the concentrations of natural radioactive elements and major chemical composition are almost homogeneous over Chinese Loess Plateau. Also the results suggested that the basic material of the red soils developed on Quaternary limestone in Okinawa prefecture, southwestern part of Japan, is not weathering residual from the base rock, but the eolian dust from the high background radiation area in the southeastern part of China. These observations could give important keys to understand the origin place of the eolian dust in East Asia during the Quaternary.

Key Words : Natural Radioactivity, Loess, Eolian Dust, Eolian Dust Origin Soil, East Asia, China, Japan.

¹ 琉球大学理学部物質地球科学科地学系
 (〒 903-0213 中頭郡西原町千原1)

¹ Department of Physics and Earth Sciences, Faculty of Sciences,
 University of the Ryukyus
 1 Senbaru, Nishihara 903-0213

² 環境科学技術研究所環境動態研究部
 (〒 039-3212 上北郡六ヶ所村尾駮字家ノ前 1-7)

² Department of Radioecology, Institute for the Environmental Sciences
 1-7 Ienomae, Obuchi, Rokkasho-mura 039-3212

³ 放射線医学総合研究所ラドン研究グループ
 (〒 263-8555 千葉市稲毛区穴川 4-9-1)

³ Radon Research Group, National Institute of Radiological Sciences
 4-9-1 Anagawa, Inage-ku 263-8555

⁴ 北京大学物理学院工業物理学科
 (中華人民共和国北京市 100871)

⁴ Department of Technical Physics, School of Physics, Peking University
 Beijing 100871, China

⁵ 福岡県保健環境研究所
 (〒 818-0135 太宰府市向佐野 39)

⁵ Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences
 39 Mukaizano, Dazaifu 818-0135

1. はじめに

東アジアの春の風物詩である黄砂現象（風成塵の発生と飛来）は、自然起源大気エアロゾルの存在を端的に示すものであり、アジア大陸において発生した風成塵とその成層堆積したレスは、第四紀の古環境復元に有効な指標物質であると考えられる¹⁾。このため、酸素同位体比測定²⁾、熱ルミネッセンス測定³⁾、ESR分析^{4,5)}など、風成塵やレスの主要構成物である微細石英粒子を他起源のものと分離同定するとともに、微細石英粒子のおおよその年代や起源地、および起源地における環境変化を推定するための手法が開発されてきた。また筆者らは、これらの手法とは別に、空間γ線量率の地理的分布や風成塵を母材とした土壌の自然放射能（天然放射性核種濃度）などの環境放射線・放

射能データに基づき、風成塵堆積による放射線環境の変動や風成塵の起源地を推定するための手法について検討を進めてきた⁶⁻⁸⁾。

本稿では、これまでに中国および日本国内において採取したレスや、風成塵起源土壌（風成塵が主要母材である土壌）を対象として行った自然放射能分析、ならびに主要化学組成分析の結果を解析する。特に、中国黄土高原のレスと沖縄県の島々に分布する風成塵起源土壌についてそれぞれの特徴を示すとともに、これらの起源地について若干の考察を加える。

2. 試料および分析

2.1 試料

土壌やレス等の試料採取地の位置と試料番号を **Fig. 1** に示す。また、試料採取地名、試料番号、試料の種類を **Table 1** にまとめて示す。

中国においては、1993年から2003年にかけて、風成塵の主要な起源地であると考えられる新疆ウイグル自治区のタクラマカン砂漠 (TD-1, TD-2)、ゴビ砂漠南縁に連なる寧夏回族自治区の沙湖砂漠 (SD-1)、黄土高原 (SX-1~SX-6, GS-1~GS-8) をはじめ、中国東部を中心とした13市・省・自治区の計27地点で各1試料を得た。また、これらのほかに、チベット自治区のラサ近郊 (LT-1) については土壌試料を採取していないが、土壌中核種濃度の推定が可能なγ線スペクトルデータを現地測定（後述）によって得ていることから、本稿ではその解析結果による核種濃度を使用することとした。

日本国内では、文献情報^{4, 5, 9-13)}と現地観察に基づいて、風成塵が主要母材であると考えられる土壌や砂質堆積物を選定し、1995年から2004年にかけて、3県の計20地点で試料を得た。日本海に面した青森県の屏風山砂丘^{4, 5)}では、風成塵を多量に含むと考えられる古砂丘堆積物 (BM-1, BM-2) を採取した。福岡県の平尾台^{9, 10)}では、カルスト台地を形成する石灰岩上に生成された風成塵起源と考えられる赤土 (HD-1~HD-4) を採取した。また沖縄県¹¹⁻¹³⁾では、宮古島 (MY-1~MY-7)、北大東島 (KD-1~KD-3) および南大東島 (MD-1~MD-4) において、いずれも隆起サンゴ礁から成る石灰岩上に生成された風成塵起源と考えられる赤土を採取した。なお、この赤土を沖縄では「島尻マージ」と称することから、以下、本稿においてもこの名称を用いる。また、宮古島の試料 MY-5~MY-7 および北・南大東島の試料については分析結果を別に報告しており^{6, 8)}、以下ではこれらを引用する。

中国か日本かを問わず、試料は地表面付近 (0~20 cm 深) から採取したものである。ただし、黄土高原については、おもに更新世以降に堆積した¹⁴⁾ 比高数十 m に達するレス露頭 (切通) の表面が風成塵の発生源である可能性を考慮し、その中腹からも試料を採

取した。

2.2 自然放射能分析

天然放射性核種である ²³⁸U, ²³²Th および ⁴⁰K について、下記の手法により分析を行った。

誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) により ²³⁸U と ²³²Th の濃度を求めた。⁴⁰K 濃度については、誘導結合プラズマ発光分光分析計 (ICP-AES) により得られた全 K 濃度から ⁴⁰K の存在比を用いて算出した。分析に際しては、粉碎・均一化した乾燥試料約 0.1 g をマイクロウェーブ分解装置によって混酸 (HNO₃ + HF + HClO₄) を用いて酸分解し、溶液試料を調整した。

一部の試料については、Ge 半導体検出器を用いたγ線スペクトル測定により、核種の同定と濃度の定量を行った。その際、試料は粉碎・乾燥した後に 30~50 g 程度を秤量して密閉容器に封入し、測定に供した。

中国チベット自治区のラサ近郊 (TL-1) における核種濃度は、3"φ × 3"NaI (TI) シンチレーションスペクトロサーベイメータによる現地測定で得たγ線スペクトルデータから算出した。ここで算出の手順は、Minato¹⁵⁾ に基づく。

2.3 化学組成分析

一部の試料を対象として、SiO₂ をはじめとする10主成分について分析を行った。核種分析にも供した乾燥試料 1.8 g と融剤 3.6 g によりガラス円盤試料を作成し、波長分散型蛍光 X 線分析装置 (XRF) により各主成分の重量%を得た。その際、定量に必要な検量線は、地質調査所 (現在、産業技術総合研究所) が提供している標準岩石試料 (JB-1a, JB-2, JB-3, JA-1, JA-2, JA-3, JR-1, JR-2, JR-3, JG-1a, JG-2, JG-3, JGb-1, JGb-2, JH-1, JF-1, JF-2) により作成した。

3. 結 果

3.1 ²³⁸U, ²³²Th および ⁴⁰K 濃度

Table 1 に全試料の核種濃度分析結果を示す。なお、

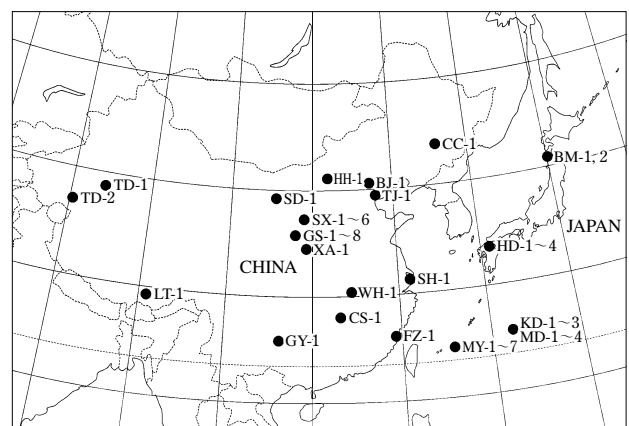


Fig. 1 Location of loess, sand and soil samples in China and Japan. Place names for each sample are given in Table 1.

Ge 半導体検出器による一部の試料測定については、現時点では ^{238}U と ^{232}Th のみの定量に止まっていることから、 ^{40}K 濃度を記載していない。

全体として、平尾台の赤土および島尻マージの ^{238}U 濃度と ^{232}Th 濃度は、中国で得た試料よりも高い。もっとも高い核種濃度を呈したのは宮古島の島尻マージ試料（特に MY-1, MY-4 ~ MY-7）であり、 ^{238}U 濃度の最大は 220 Bq/kg (MY-6), ^{232}Th 濃度のそれは 112 Bq/kg (MY-1) となった。宮古島の島尻マージに次いで高い濃度を呈したのは中国福建省の福州で得た土壌であり、1 試料 (FZ-1) のみであるが、 ^{238}U 濃度は 101 Bq/kg, ^{232}Th 濃度は 127 Bq/kg であった。これらのほかに、北大東島 (KD-1 ~ KD-3) と南大東島 (MD-1 ~ MD-4) の島尻マージ試料が比較的高い核種濃度を有している。また、現地測定データの解析結果に基づくが、チベット自治区ラサ近郊の土壌 (LT-1) も比較的高い核種濃度を有しており、特に ^{40}K 濃度は全試料中でもっとも高い 985 Bq/kg であると推定された。

一方、低い濃度を呈したのは屏風山砂丘 (BM-1, BM-2) や沙湖砂漠 (SD-1) の砂試料であり、 ^{238}U 濃度と ^{232}Th 濃度は、いずれも 15 Bq/kg 未満となった。

3.2 $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ 比

Table 1 に $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ 比の値を示す。また、Fig. 2 に ^{238}U 濃度と ^{232}Th 濃度との関係を示す。

Fig. 2 中の原点を通る直線は、中国で得た試料のみに基づくものであり、試料の核種濃度の大小や採取地域によらず、 $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ 比がおおむね 0.7 に保たれていることを示している。日本で得た試料の多くも同様の傾

向を有するが、宮古島や南大東島の一部の島尻マージ試料は ^{232}Th に較べて ^{238}U 濃度に富むことから、ほかの試料とは比が大きく異なっている。このため、 $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ 比の算術平均値±標準偏差（範囲）は、中国の試料については 0.67 ± 0.14 (0.46 ~ 1.24) であるが、日本の試料については 1.16 ± 0.79 (0.59 ~ 3.69) と大きくなっている。

3.3 主要化学組成

主要 10 成分の分析結果を Table 2 に示す。

中国の試料についてはレスと砂漠砂に限られるが、例えば主成分である SiO_2 の濃度がいずれも 60 % 以上であり、これに次ぐ成分の Al_2O_3 が沙湖砂漠の砂試料 (SD-1) を除いて 11 % ~ 13 % の範囲であるなど、比較的均一な化学組成を有していると考えられる。

一方、日本で得た試料については、 SiO_2 の濃度範囲が約 42 % ~ 80 % であり、 Al_2O_3 についても 11 % ~ 33 % の範囲であるなど、同一地域・島で得た試料であっても各組成の濃度は変化に富んでいる。

3.4 モル比

SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O によるモル比を Table 2 に示す。また、土壌風化（脱ケイ酸作用）の度合いの指標として、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ と $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ のモル比の関係を Fig. 3 に示す。

中国で得た試料の $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ と $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ のモル比は、沙湖砂漠の砂試料 (SD-1) を除いて比較的狭い領域にあるが、日本で得た試料は広い領域に分布している。また、北大東島の島尻マージ試料 KD-3 は中国の試料に近い領域にあるが、そのほかの日本の試料は中

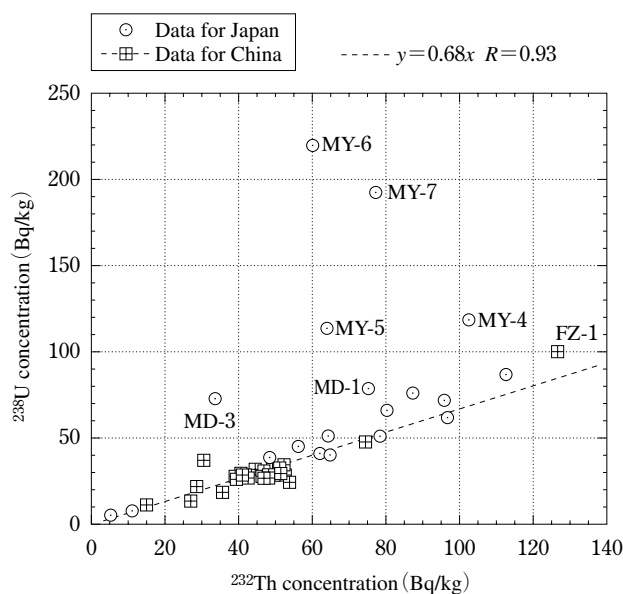


Fig. 2 Relationship between ^{238}U and ^{232}Th concentrations of loess, sand and soil samples collected from China and Japan. $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ ratios of the samples are listed in Table 1.

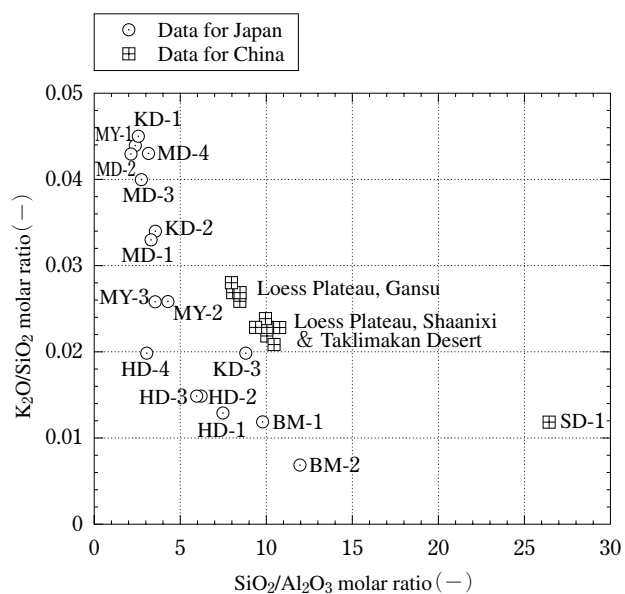


Fig. 3 Relationship between $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ and $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ molar ratios of loess, sand and soil samples collected from China and Japan listed in Table 2.

国試料とは異なった分布を呈しており、互いに領域が重ならない。

脱ケイ酸塩作用がもっとも進んだ試料としては、北大東島のKD-1、南大東島のMD-2～MD-4、宮古島のMY-1が挙げられる。逆に、相対的に風化程度が低いと考えられる試料は、沙湖砂漠のSD-1や屏風山砂丘のBM-2である。

4. レスの特徴と起源地

中国黄土高原で得たレス（計14試料）の ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 濃度の算術平均値±標準偏差は、それぞれ $29.2 \pm 1.6 \text{ Bq/kg}$ 、 $44.7 \pm 3.6 \text{ Bq/kg}$ 、 $508 \pm 33 \text{ Bq/kg}$ であり、黄土高原が広域にわたって比較的均一な核種濃度を有することを示している（Table 1, Fig. 2）。

また、化学組成分析の結果も、分析を行った13試料

Table 1 ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K concentrations and $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ ratio of loess, sand and soil samples collected from China and Japan

Locality	Sample ID	Material	Concentration (Bq/kg)			$^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ ratio	Method
			^{238}U	^{232}Th	^{40}K		
CHINA							
Loess Plateau, Shaanxi	SX-1	Loess	30.0	40.6	480	0.74	ICP-MS, -AES
	SX-2	Loess	28.3	38.8	512	0.73	ICP-MS, -AES
	SX-3	Loess	32.1	44.2	476	0.73	ICP-MS, -AES
	SX-4	Loess	28.6	41.7	458	0.69	ICP-MS, -AES
	SX-5	Loess	26.7	39.2	443	0.68	ICP-MS, -AES
	SX-6	Loess	28.3	41.0	485	0.69	ICP-MS, -AES
Loess Plateau, Gansu	GS-1	Loess	27.7	46.7	502	0.59	ICP-MS, -AES
	GS-2	Loess	28.5	46.2	518	0.62	ICP-MS, -AES
	GS-3	Loess	29.5	47.9	537	0.62	ICP-MS, -AES
	GS-4	Loess	29.5	46.9	528	0.63	ICP-MS, -AES
	GS-5	Loess	31.4	46.7	540	0.67	ICP-MS, -AES
	GS-6	Loess	29.0	48.4	515	0.60	ICP-MS, -AES
	GS-7	Loess	29.3	49.5	554	0.59	ICP-MS, -AES
	GS-8	Loess	27.6	47.9	543	0.58	ICP-MS, -AES
Taklimakan Desert, Xinjiang Uygur	TD-1	Sand	22.2	28.4	447	0.78	ICP-MS, -AES
	TD-2	Sand	27.1	42.3	550	0.64	ICP-MS, -AES
Shahu Desert, Ningxia Huizu	SD-1	Sand	11.5	15.0	361	0.77	ICP-MS, -AES
Xi'an, Shaanxi	XA-1	Soil	24.7	53.7	-	0.46	Ge
Huhehaote, Nei Mongol	HH-1	Sand	19.4	35.6	-	0.54	Ge
Beijing	BJ-1	Soil	13.9	26.8	-	0.51	Ge
Tianjin	TJ-1	Soil	35.1	52.0	-	0.68	Ge
Changchun, Jilin	CC-1	Soil	27.8	46.6	-	0.60	Ge
Shanghai	SH-1	Soil	33.4	50.8	-	0.66	Ge
Fuzhou, Fujian	FZ-1	Soil	101	127	-	0.80	Ge
Wuhan, Hubei	WH-1	Soil	29.5	40.8	-	0.72	Ge
Changsha, Hunan	CS-1	Soil	30.0	51.2	-	0.59	Ge
Guiyang, Guizhou	GY-1	Soil	37.6	30.3	-	1.24	Ge
Lhasa, Tibet	LT-1	Soil	48.2	74.2	985	0.65	NaI (TI) ***
JAPAN							
Byobuyama sand dune, Aomori	BM-1	Sand	8.6	11.1	293	0.77	ICP-MS, -AES
	BM-2	Sand	5.8	5.1	203	1.13	ICP-MS, -AES
Hiraodai karst, Fukuoka	HD-1	Soil	30.8	52.4	246	0.59	ICP-MS, -AES
	HD-2	Soil	45.7	56.0	306	0.82	ICP-MS, -AES
	HD-3	Soil	39.5	48.4	284	0.82	ICP-MS, -AES
	HD-4	Soil	40.5	64.8	295	0.63	ICP-MS, -AES
Miyako-jima, Okinawa	MY-1	Soil	87.5	112	737	0.78	ICP-MS, -AES
	MY-2	Soil	51.5	78.3	557	0.66	ICP-MS, -AES
	MY-3	Soil	72.7	95.8	531	0.76	ICP-MS, -AES
	MY-4	Soil	119	102	390	1.16	Ge
	MY-5*	Soil	114	63.9	367	1.78	Ge
	MY-6*	Soil	220	59.8	411	3.69	Ge
	MY-7*	Soil	192	77.0	552	2.50	Ge
Kitadaito-jima, Okinawa	KD-1**	Soil	66.8	80.1	528	0.83	ICP-MS, -AES
	KD-2**	Soil	62.6	96.6	518	0.65	ICP-MS, -AES
	KD-3**	Soil	76.1	87.2	448	0.87	ICP-MS, -AES
Minamidaito-jima, Okinawa	MD-1**	Soil	78.6	75.0	545	1.05	ICP-MS, -AES
	MD-2**	Soil	51.5	64.0	582	0.80	ICP-MS, -AES
	MD-3**	Soil	72.9	33.3	619	2.19	ICP-MS, -AES
	MD-4**	Soil	41.7	62.0	684	0.67	ICP-MS, -AES

* Furukawa and Tokonami (2001)⁶⁾

** Furukawa *et al.* (2005)⁸⁾

*** *in situ* measurement

の主要成分である SiO₂, Al₂O₃, および K₂O 濃度の算術平均値±標準偏差がそれぞれ 64.3 ± 2.4 %, 12.3 ± 0.8 %, 2.5 ± 0.2 % であることなど、核種濃度と同様に均質であることを示している (Table 2, Fig. 3)。

これらのことから、黄土高原にレス層を形成した風成塵は、長期間にわたって同一の起源地から供給された可能性が示唆される。また、レスの均質性は、レスの起源地同定に際してのみならず、黄土高原を起源地とした風成塵の同定においても有効な情報であると考えられる。なお、分析に供した試料の堆積年代に関しては、本研究ではそれを特定するデータを得ていないが、更新世以降¹⁴⁾で、特に汎地球的な乾燥化が生じた氷期¹⁾に発生した風成塵が多量に含まれていると推定される。

中国黄土高原で得たレス試料の²³⁸U濃度と²³²Th濃度は、タクラマカン砂漠、沙湖砂漠、および内蒙古自治区フフホトの砂試料よりも全般に濃度が高い (Table 1)。また、化学組成もレス試料と砂漠砂試料とは一致しない (Table 2)。

分析試料数が少ないことや、試料採取地が中国に限られているとともに地域的偏りがあること、これら

に加えて各試料の風化程度・過程の差異なども考慮する必要がある、今回得た結果のみでは黄土高原を形成した風成塵の主要供給地を特定することは困難である。ただし、黄土高原からみて偏西風の風上にあるタクラマカン砂漠からは、核種濃度がレスに比較的類似した試料 (TD-2) も得られており (Table 1)、タクラマカン砂漠がレス供給地の一つである可能性も示唆される。

5. 島尻マージの特徴と起源地

沖縄県下にある琉球列島の宮古島、同様に大東諸島の北大東島と南大東島から採取した島尻マージは、前述のように核種濃度が高い (Table 1)。また、²³⁸U濃度が比較的高いことに起因して、²³⁸U/²³²Th比は中国を含む他地域の試料とは大きく異なるものがある (Table 1, Fig. 2)。さらに、脱ケイ酸作用の指標である SiO₂/Al₂O₃ と K₂O/SiO₂ のモル比の関係からは、島尻マージが他地域の試料に比べて風化が進んでいることを示唆している (Table 2, Fig. 3)。これは、島尻マージが湿潤な亜熱帯気候下にあることが一因である可能性がある。

島尻マージの主要母材については、従来は堆積基盤

Table 2 Major chemical composition of loess, sand and soil samples collected from China and Japan

Locality	Sample ID	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO (%)	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ *	K ₂ O/SiO ₂ *
CHINA														
Loess Plateau, Shaanxi	SX-1	67.59	0.61	11.47	3.93	0.08	2.32	7.66	1.92	2.42	0.16	98.16	10.01	0.023
	SX-2	67.16	0.60	11.54	3.99	0.08	2.34	7.59	1.91	2.54	0.14	97.89	9.99	0.024
	SX-3	66.41	0.62	11.42	3.91	0.08	2.32	7.18	1.92	2.30	0.11	96.27	9.98	0.022
	SX-4	63.94	0.64	11.63	4.13	0.08	2.35	9.47	1.83	2.26	0.10	96.43	9.34	0.023
	SX-5	67.16	0.58	10.99	3.67	0.07	2.11	7.75	1.89	2.19	0.09	96.50	10.39	0.021
	SX-6	63.20	0.63	11.51	4.08	0.08	2.38	8.46	1.86	2.32	0.11	94.64	9.33	0.023
Loess Plateau, Gansu	GS-1	61.06	0.68	12.90	4.88	0.09	2.47	9.09	1.74	2.61	0.14	95.67	8.05	0.027
	GS-2	61.54	0.69	13.06	4.94	0.10	2.54	9.09	1.73	2.59	0.12	96.40	8.01	0.027
	GS-4	63.43	0.72	13.08	4.93	0.10	2.38	8.05	1.73	2.69	0.17	97.27	8.24	0.027
	GS-5	60.24	0.69	12.97	4.95	0.10	2.49	9.82	1.65	2.69	0.14	95.74	7.90	0.028
	GS-6	63.77	0.71	12.82	4.77	0.09	2.31	8.01	1.75	2.56	0.13	96.91	8.45	0.026
	GS-7	65.95	0.73	13.31	4.94	0.10	2.23	5.33	1.78	2.73	0.14	97.23	8.42	0.026
	GS-8	63.91	0.70	12.88	4.78	0.09	2.20	6.47	1.74	2.65	0.14	95.57	8.44	0.027
	Taklimakan Desert, Xinjiang Uygur	TD-2	74.39	0.37	11.80	2.61	0.06	1.41	3.80	2.61	2.62	0.07	99.75	10.72
Shahu Desert, Ningxia Huizu	SD-1	87.03	0.13	5.60	1.04	0.02	0.42	0.89	1.08	1.67	0.01	97.88	26.41	0.012
JAPAN														
Byobuyama sand dune, Aomori	BM-1	61.03	3.88	10.67	13.18	0.27	3.45	3.15	2.66	1.13	0.08	99.50	9.73	0.012
	BM-2	79.55	0.17	11.35	1.73	0.04	0.75	2.78	2.81	0.83	0.01	100.02	11.91	0.007
Hiraodai karst, Fukuoka	HD-1	68.64	1.27	15.79	6.29	0.24	1.16	3.69	0.61	1.44	0.13	99.25	7.39	0.013
	HD-2	67.85	1.61	18.66	8.21	0.14	0.78	0.35	0.15	1.61	0.06	99.43	6.18	0.015
	HD-3	66.04	1.40	18.96	8.18	0.17	1.19	0.81	0.53	1.56	0.10	98.93	5.92	0.015
	HD-4	51.35	1.33	29.16	12.22	0.15	1.19	0.56	0.14	1.64	0.12	97.85	2.99	0.020
Miyako-jima, Okinawa	MY-1	44.27	1.59	32.19	15.35	0.11	1.42	0.41	0.30	3.05	0.95	99.65	2.34	0.044
	MY-2	57.40	1.28	23.06	9.55	0.12	1.59	3.72	0.71	2.32	0.36	100.10	4.23	0.026
	MY-3	53.92	1.45	26.05	11.81	0.18	1.40	1.51	0.39	2.21	0.75	99.67	3.52	0.026
Kitadaito-jima, Okinawa	KD-1**	42.35	1.70	28.79	12.96	0.13	1.03	2.12	0.25	3.00	5.78	98.12	2.50	0.045
	KD-2**	52.92	1.85	25.42	11.46	0.43	1.17	0.57	0.38	2.83	1.19	98.22	3.54	0.034
	KD-3**	72.51	2.42	14.03	6.40	0.54	0.72	0.19	0.75	2.33	0.33	100.22	8.79	0.020
Minamidaito-jima, Okinawa	MD-1**	51.05	1.66	26.74	12.29	0.37	1.23	1.37	0.33	2.62	0.77	98.43	3.25	0.033
	MD-2**	41.74	0.95	33.46	15.68	0.15	1.86	0.58	0.32	2.82	0.76	98.30	2.12	0.043
	MD-3**	46.74	1.92	29.76	13.26	0.14	0.99	0.63	0.28	2.95	1.66	98.33	2.67	0.040
	MD-4**	47.93	1.02	26.66	11.20	0.22	2.26	1.50	0.59	3.21	3.14	97.73	3.06	0.043

* molar ratio

** Furukawa *et al.* (2005)⁸⁾

である隆起サンゴ礁起源石灰岩の風化残積物であると考えられてきた。しかし筆者らは、島尻マージの核種濃度、アジアにおける空間 γ 線線量率の地理的分布^{16, 17)}や中国における自然放射能の地理的分布¹⁸⁾、およびそのほかの地質情報なども加えて考察し、島尻マージを構成する主要母材が、長江以南の中国南東部に広がる高自然放射線地域^{17, 19)}を起源地とする風成塵である可能性が高いことを指摘した^{6, 8)}。

本研究において上記の高自然放射線地域とその周辺から得た試料は、SH-1 (上海), FZ-1 (福建省福州), WH-1 (湖北省武漢), CS-1 (湖南省長沙), および GY-1 (貴州省貴陽) の5試料である (Fig. 1)。これらと島尻マージ試料とを比較した結果、地理的に琉球列島南西部にもっとも近い福州の土壌 (FZ-1) が島尻マージにおおむね匹敵する核種濃度を有しており (Table 1), 起源地の一つである可能性が指摘される。しかし、ほかの4試料の核種濃度は島尻マージよりも低く、また高自然放射線地域における²³⁸U濃度の平均値50~60 Bq/kg¹⁸⁾よりも20~30 Bq/kg低い値を呈している。

これらは、核種濃度が風成塵の起源地同定に際して、よい指標になる場合があることを示唆するとともに、現時点では起源地を限定する上で核種濃度データが不足していることを示している。前述した²³⁸U/²³²Th比に認められる差異の要因解明も含め、データの蓄積と解析が今後必要である。

6. お わ り に

東アジアにおける風成塵の主要起源地となりうる地域を含めた中国各地のレスなどを採取するとともに、中国からの風成塵の堆積地である日本において、風成塵が主要母材であると考えられる土壌などを採取し、自然放射能 (天然放射性核種濃度) および主要化学組成の分析を行った。また、これらの結果に基づき、中国黄土高原のレスならびに沖縄県の赤土 (島尻マージ) の特徴や、主要母材であると考えられる風成塵の起源地について検討し、以下の知見を得た。

- 1) 中国黄土高原を構成するレスの自然放射能および主要化学組成は、広域にわたって均質である。
- 2) このようなレスの性状は、レスを形成した風成塵の起源地同定のみならず、黄土高原において発生した風成塵の同定に際しても有用な情報である。
- 3) 日本国内で採取した風成塵起源と考えられる試料の核種濃度は、中国で得た試料よりも全般に高い。
- 4) 特に沖縄県の島々に分布する島尻マージは、ほかの国内試料に比較して核種濃度が高い。
- 5) その要因は、島尻マージの主要母材が中国南東部の高自然放射線地域を起源地とした風成塵であるためと推定されるが、現時点ではデータが不足し

ており、本研究においてこれを支持しうるのは、福建省福州で得た1試料の分析結果にとどまる。

- 6) 中国で得た試料の²³⁸U/²³²Th比はおおむね0.7であり、日本国内の試料の多くもこれに近似した値であるが、一部の島尻マージ試料は大きな差異を呈しており、この要因解明は起源地同定とともに今後の大きな課題である。

従来、土壌などの放射能分析は、人工核種による汚染の程度を把握するためなど、多くは放射線防護・安全研究の観点から行われてきた。しかし、本稿で述べたように、自然放射能データには、風成塵の起源地推定など、多分野への応用が可能な情報が含まれていると考えられる。今後は、試料数を増やすのみならず、粒度別に、あるいは鉱物分離を行って分析を行うなど、ほかの手法も含めて多角的な分析を行うことにより、自然起源エアロゾルを通じた地球環境等の理解により有用な情報が得られるものと考えられる。

Acknowledgements

エアロゾル科学・技術研究討論会の第18, 19, 21回においては、本稿の内容に関連する発表に際して多くの貴重な議論を得た。中国黄土高原における試料採取では、中国放射線防護・核安全研究所 (北京市) の協力を得た。記して謝意を呈する。

References

- 1) Machida, H., Ohoba, T., Ono, A., Yamazaki, H., Kawamura, Y. and Momohara, A. eds.: "The Quaternary Sciences", p.325, Asakura-shoten, Tokyo (2003)
- 2) Rex, R. W., Syers, J. K., Jackson, M. K. and Clayton, R. N.: Eolian Origin of Quartz in Soil of Hawaiian Islands and Pacific Pelagic Sediments, *Science*, **163**, 277-279 (1969)
- 3) Ganzawa, Y., Watanabe, Y., Ban, K. and Hashimoto, T.: Discrimination of Eolian and Tephra Deposits by Natural Thermoluminescence of Quartz Grains-Application to Middle Pleistocene Terrace Deposits Overlying Tengutai Surface, Kamikita Plain-, *J. Geol. Soc. Jpn.*, **101**, 705-716 (1995)
- 4) Naruse, T.: Eolian Dust Deposition and the Monsoon Changes During the Last Glacial Age in Japan, *The Quat. Res. (Tokyo)*, **37**, 189-197 (1998)
- 5) Naruse, T., Ono, Y., Hirakawa, K., Okashita, M. and Ikeya, M.: Source Area of Eolian Dust Quartz in East Asia: A Tentative Reconstruction of Prevailing Winds in Isotope Stage 2 Using Electron Spin Resonance, *Geographical Rev. Jpn.*, **70A-1**, 15-27 (1997)
- 6) Furukawa, M. and Tokonami, S.: Distribution of Absorbed Dose Rate in Air Because of Terrestrial Gamma Radiation in Miyake-jima, Okinawa Prefecture, Japan, *Jpn. J. Health Phys.*, **36**, 195-206 (2001)
- 7) Furukawa, M., Zhuo, W. and Tokonami, S.: Atmospheric Radon and Thoron Concentrations in Miyako-jima, Okinawa prefecture, Japan, *Radioisotopes*, **53**, 141-147 (2004)
- 8) Furukawa, M., Akata, N. and Tokonami, S.: Natural Radiation Level in Daito Islands and its Geological Interpretation, *ibid.*, **54**,

- 213-224 (2005)
- 9) Naruse, T. and Inoue, K.: Loess in North Kyushu and Yonaguni Island -Implication of Eolian Dust in the Late Pleistocene-, *J. Geography*, **91**, 164-180 (1982)
 - 10) Naruse, T., Sakai, H. and Inoue, K.: Eolian Dust Origin of the Quartz in Selected Soils, Japan, *The Quat. Res. (Tokyo)*, **24**, 295-300 (1986)
 - 11) Naruse, T. and Inoue, K.: Aeolian Deposits in the Ryukyus, Series of Coral Islands in Japan, Vol.1, 248-267, Kokon-shoin, Tokyo (1990)
 - 12) Inoue, K. and Mizota, T.: Eolian Origin of 2 : 1 Clay Silicates and Fine Quartz in Ando Soils and Red-Yellow Soil Developed on Limestones and Basalts, *J. Clay Sci. Soc. Japan*, **28**, 30-38 (1988)
 - 13) Inoue, K., Satake, H., Wakamatsu, Y., Mizota, C. and Kusakabe, M.: Eolian Dust Origin of Parent Materials of the Red and Yellow Soil Group in the Nansei Syoto, Japan -Oxygen and Carbon Isotopic Ratio of Quartz, Muscovite and Calcite Isolated from Soils, Bedrocks, and Piston Cores-, *The Quat. Res. (Tokyo)*, **32**, 139-155 (1993)
 - 14) Heller, F. and Liu, T.: Magnetostratigraphic Dating of Loess Deposits in China, *Nature*, **300**, 431-433 (1982)
 - 15) Minato, S.: Analyses on the Environmental Gamma Radiation Spectrum by Response Matrix Method, *Jpn. Chemical Anal. Center Rep.*, **32**, 2-13 (1998)
 - 16) Furukawa, M.: Natural Radiation Level in Japan Islands, *J. Geography*, **102**, 868-877 (1993)
 - 17) Furukawa, M.: Distribution of Terrestrial Gamma Radiation Level in Asia, *Radioisotopes*, **45**, 711-716 (1996)
 - 18) Zhang, S., Pan, J., Li, R., Xu, C., Zhu, C., Wang, X. and Lou, R.: Levels and Distributions of Radionuclides in Soil in China, *J. Radiat. Med. Protec.*, **8** (Supple), 1-15 (1988)
 - 19) UNSCARE, Sources and Effects of Ionizing Radiation, Vol.1, United Nation, New York (2000)