

山陰の高地での In-Situ Ge 測定

生田美抄夫・山根 宏

In-Situ Ge Measurements in Highlands of Sanin

Misao IKUTA, Hiroshi YAMANE

キーワード：大山、三瓶山、In-Situ Ge、HASL、ICRU、Cs-137

1. はじめに

島根県は、文部科学省の委託調査として、県のはほぼ中央に位置する三瓶山において、土壌及び農産物の放射性核種濃度を測定している。

人工放射性核種である Cs-137 の濃度は、全国的に見ると土壌濃度で10番目、大根（根部）濃度では全国平均の17倍で最高濃度である。¹⁾

また、島根県内での松葉中の人工放射性核種濃度の調査では三瓶山で採取した試料の Cs-137 濃度は県内他地点より一桁高い。²⁾

三瓶山土壌中 Cs-137 の高濃度は標高、気流、気候、土壌の性質によること等が考えられるが、山陰の高地での Cs-137 濃度の特徴を把握しておくことは、今後、外国での原子力発電所の事故や核実験の影響を調査する上でも、役立つ情報となることが考えられるため、今回、島根県の三瓶山と鳥取県の大山で Ge 半導体検出器による In-Situ 測定（In-Situ Ge 測定）と表層土

壌の放射性核種分析を行ない、若干の検討を加えたので報告する。

2. 調査方法

2. 1 測定

①調査期間

2007年7月27日から31日

②調査場所

島根県 三瓶山（標高1126m） 10地点

鳥取県 大山（標高1729m） 8地点（図1参照）

③使用機器

携帯型 Ge 波高分析装置

- ・ Ge 半導体検出器：P型高純度 Ge 相対効率97%、エネルギー分解能2.3keV L=92mm、D=80mm

携帯型 NaI(Tl) 波高分析装置

- ・ NaI(Tl) 検出器：3インチ球形、エネルギー分解能7%、低カリウムガラス

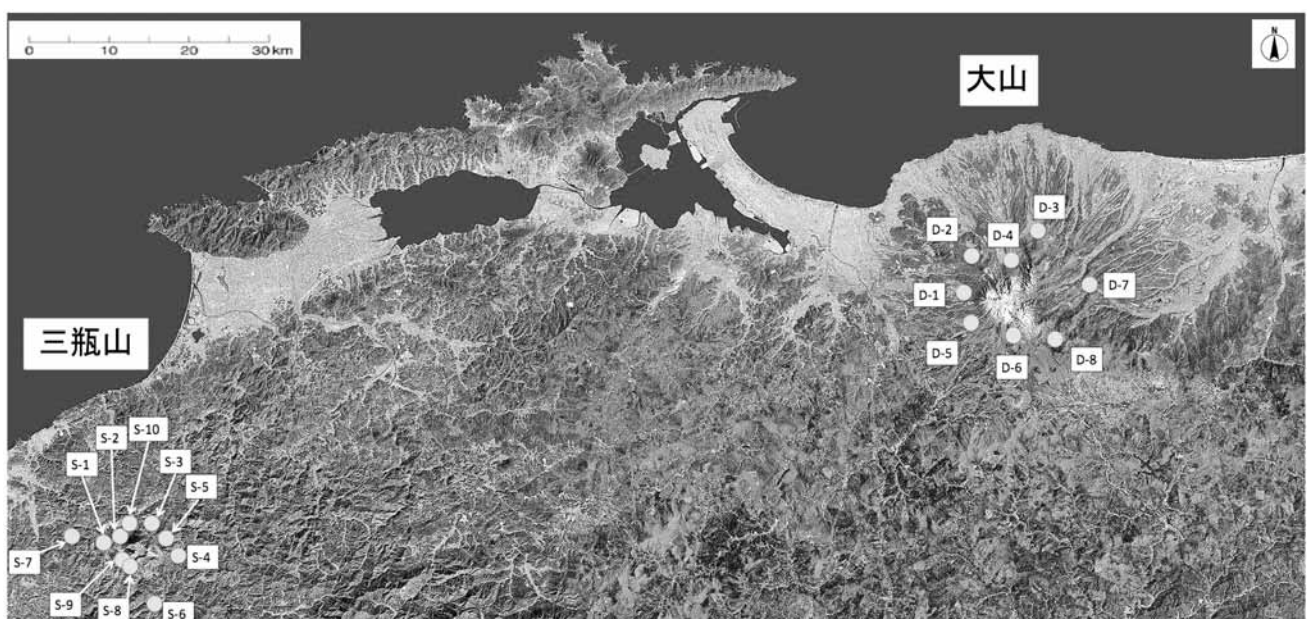


図1 調査地点（白枠の数字は調査地点番号）



写真 三瓶山でのIn-Situ Ge測定

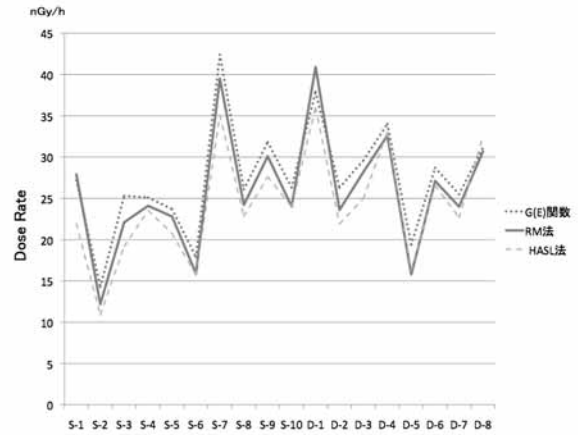


図2 各地点の線量率

④設置条件

Ge半導体検出器、NaI検出器

野外Ge架台 (CANBERRAポータブルカート) に設置

Ge : 地上より1 mの位置で下向き

NaI : 地上より1 mの位置で横向き

⑤測定条件

Ge半導体検出器

30keV~2000keV (4096ch)、1200~1800秒 (real time)

NaI検出器

50keV~3000keV (512ch)、600秒 (real time)

Ge検出器及びNaI検出器をカートに組み込み、さらにMCA及びデータ処理装置も同カートに固定した。スロープ付き車両で運搬し、到着後10分以内にはゲイン調整、測定開始することが可能であった。

測定開始後のGe及びNaIのスペクトルの監視は無線LANにより車内に設置したPCから行った。

また、一部地点を除き表層土壌 (0~5 cm) を採取し、 γ 線スペクトロメトリーを行なった。

表1 In-Situ測定結果 (線量率)

測定地点	北緯	東経	標高 m	NaI (Tl) 検出器 nGy/h					Ge半導体検出器 nGy/h				
				G(E)関数	RM法				HASL法				
					U	Th	K	Total	U	Th	K	Cs-137	Total
S-1	35-08-47	132-35-59	420	27.2	8.4	11.3	8.2	27.9	4.9	7.5	9.1	0.43	21.9
S-2	35-09-10	132-36-51	660	14.3	4.1	3.7	4.4	12.2	2.6	3.4	4.8	0.09	10.9
S-3	35-09-08	132-37-53	591	25.3	8.4	7.4	6.3	22.1	3.1	7.2	7.5	1.40	19.2
S-4	35-07-44	132-38-37	561	25.1	7.0	8.4	8.7	24.1	4.3	9.7	9.3	0.23	23.5
S-5	35-08-39	132-38-23	562	23.7	7.4	7.0	8.4	22.8	3.7	6.9	9.9	0.25	20.8
S-6	35-05-57	132-36-07	264	17.9	4.2	6.4	5.3	15.9	2.9	6.3	6.0	0.51	15.7
S-7	35-08-41	132-33-23	161	42.4	14.1	11.6	13.8	39.5	8.4	11.2	15.4	0.11	35.1
S-8	35-07-37	132-36-15	456	26.1	7.8	8.0	8.4	24.2	4.3	8.9	9.0	0.63	22.8
S-9	35-07-48	132-36-06	463	31.8	9.5	8.9	11.7	30.1	4.9	9.9	12.7	0.13	27.6
S-10	35-09-20	132-36-54	594	26.3	7.1	8.4	8.5	24.0	4.5	8.4	10.1	0.97	24.0
D-1	35-23-21	133-29-50	512	37.9	12.6	17.5	10.8	40.9	6.2	16.1	13.6	0.09	36.0
D-2	35-24-41	133-30-44	516	26.3	6.6	6.9	10.1	23.6	4.0	6.7	10.6	0.61	21.9
D-3	35-25-01	133-33-55	671	29.6	8.9	11.9	7.4	28.2	5.3	11.4	8.1	0.18	25.0
D-4	35-24-03	133-32-41	775	34.0	8.6	11.6	12.4	32.6	6.1	12.4	14.5	0.07	33.1
D-5	35-22-06	133-30-10	595	19.4	5.2	5.5	5.1	15.8	3.2	5.7	6.0	1.40	16.3
D-6	35-21-20	133-32-13	963	28.7	8.4	7.5	11.2	27.1	4.6	9.0	12.7	0.29	26.6
D-7	35-23-02	133-37-07	530	25.5	6.7	7.5	9.8	24.0	4.3	7.6	10.5	0.27	22.7
D-8	35-20-46	133-35-16	939	31.2	9.3	10.8	10.6	30.7	7.8	11.8	12.9	0.05	32.6

2. 2 解析

Ge半導体検出器測定ファイル解析プログラム In-Situ測定プログラム (CANBERRA) HASL方式により行い、ウラン系列、トリウム系列核種については放射平衡仮定での各スペクトルの線量率を個々に求め、算術平均により系列ごとの線量率を評価した。K-40は1461keV、Cs-137は662keVの γ 線よりその量を評価した。

なお、地表は平坦な無限平面、自然放射性核種 (U, Th系列核種、K-40) は深度に対し一様分布 ($\alpha = 0$) とし、人工核種及びBe-7は簡略化のため表面分布と仮定した。また土壌密度は $\rho = 1.6\text{g/cm}^3$ と仮定した。

NaI(Tl)検出器測定ファイル解析プログラム 空間線量測定プログラム (CANBERRA) 50keV~3000keVの γ 線についてG(E)関数法およびレスポンスマトリックス法 (RM法) により評価した。

3. 調査結果及び考察

表1に分析結果、図2にG(E)関数法、RM法、HASL法によるトータル線量率を示した。

トータル線量率はG(E)関数法>RM法>HASL法となる傾向がみられたが、様々な仮定条件を考えると、ほぼ一致していると思われる。

系列ごとの線量率では、ウラン系列ではRM法が高く、K-40ではHASL法が高い傾向があった。これは今回の測定だけでなく、これまでの測定も同様傾向であり、この測定システム自体の問題である。

一方、採取した土壌の γ 線スペクトロメトリーから求めたウラン系列、トリウム系列、K-40濃度より、ICRU Report 53³⁾の換算係数を用いて、地上1mでの線量率を求め、In-Situ測定と比較した。(図3)

換算係数はウラン系列： $4.62 \times 10^{-1} (\text{nGy/h}) / (\text{Bq/kg})$

トリウム系列： $6.04 \times 10^{-1} (\text{nGy/h}) / (\text{Bq/kg})$

K-40： $4.17 \times 10^{-2} (\text{nGy/h}) / (\text{Bq/kg})$

である。

前述したように、ウラン系列ではRM法が高く、土壌中ウラン系列核種濃度から求めた線量率とも大きく乖離しているが、HASL法では、ほぼ合致している。トリウム系では土壌中トリウム濃度からの線量率、RM法及びHASL法の3方法は一致している。

K-40でもHASL法がRM法より若干高いものの、良く合っていると云える。また、グラフ中に土壌中放射性核種からの線量率がIn-Situ測定からの線量率に比べ非常に高い大山D-4ポイントがあるが、採取土壌濃度がそのポイントの代表値から大きくかけ離れる場合があり、注意が必要である。

次に、HASL法での土壌中核種濃度計算を検討す

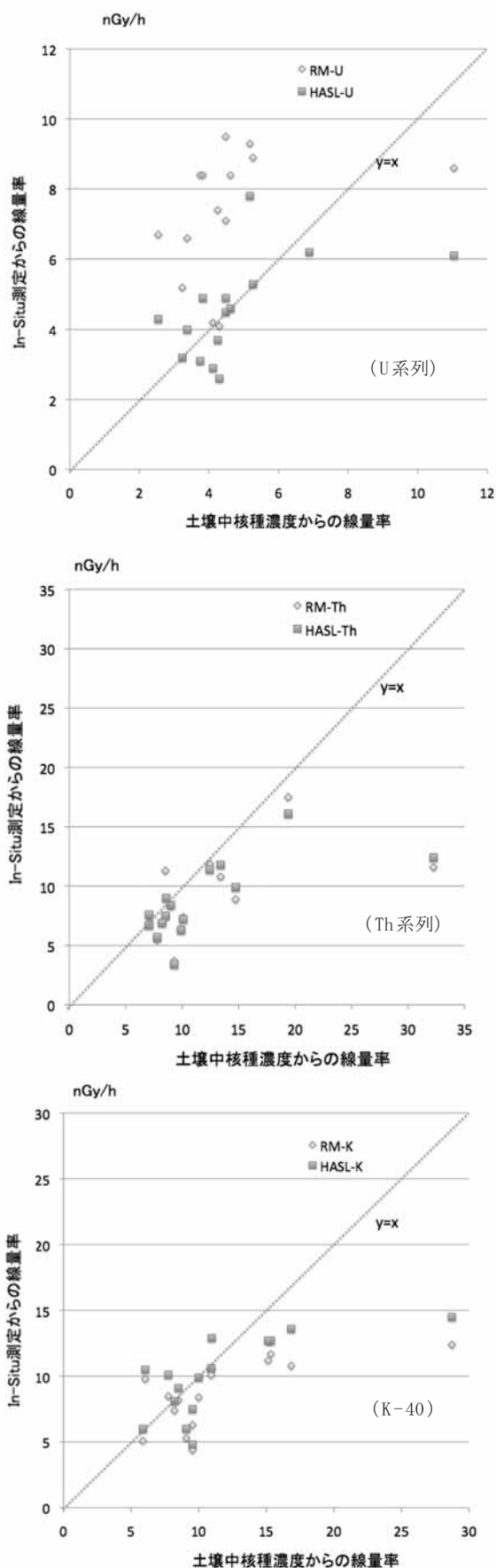


図3 土壌中の放射性核種濃度からの線量率と In-Situ測定での線量率

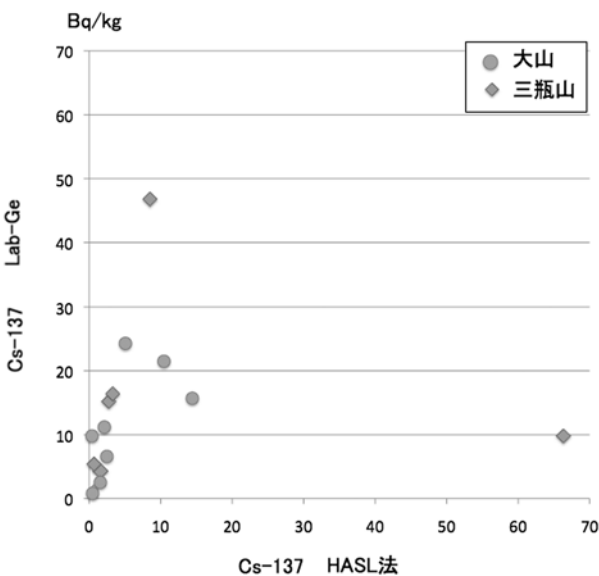
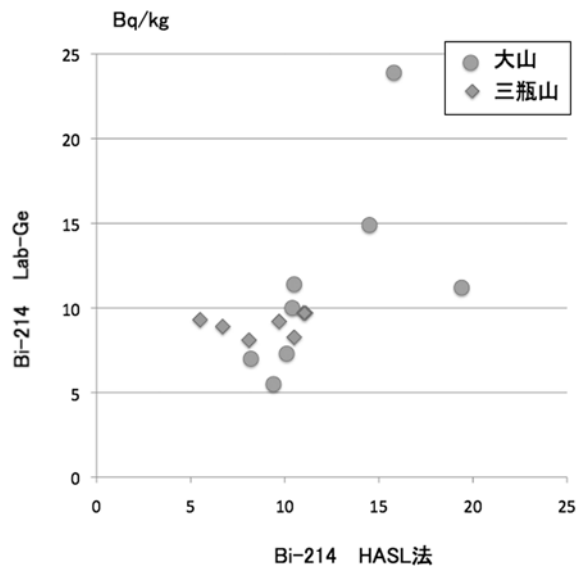
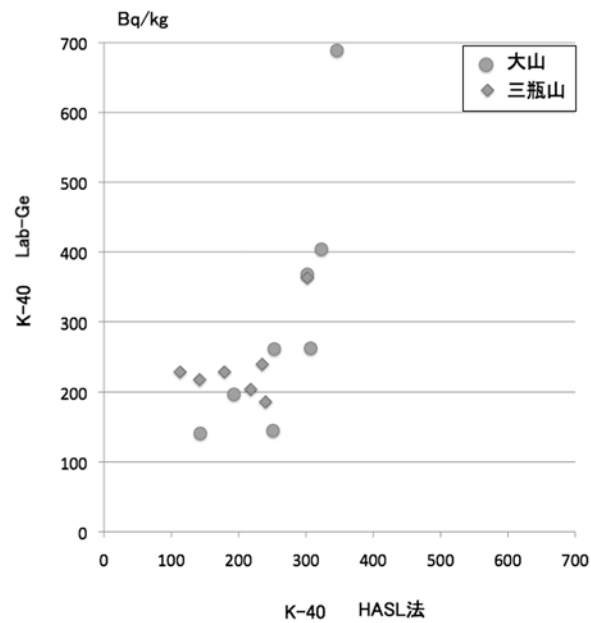


図4 HASL法と実験室でのGe測定との比較

る。図4にHASL法による代表的な放射性核種と採取土壌の放射性核種の関係を示した。

線量率での解析にもあったように、自然放射性核種は一部地点を除き合っていると見える。また、三瓶山と大山による違いも無いことから、自然放射性核種はHASL法での仮定のように、ほぼ一様分布になっていると考えられる。

一方、唯一検出された人工放射性核種であるCs-137については三瓶山の一点を除き、採取土壌のCs濃度がHASL法での5倍程度となった。これはHASL法において人工放射性核種の分布を表面分布と仮定して計算したためであり、Cs-137は実際には土壌中深部まで浸透していると思われる。S-1、S-2地点では10cmまで土壌採取したが、5~10cm層もCs-137の濃度は高く、上記を裏付けていた。

In-Situ Ge測定ではBe-7も検出されるが、これもCs-137同様降下沈着する放射性核種であるため、両者の相関を見た。(図5)

三瓶山ではCs-137とBe-7に多少相関性があるようにも見えるが、明確なものではない。また、大山においては、関連性がない。

しかし、Be-7は常時降下しており、土壌の保持率が同じであれば、その地点での降下の絶対量を反映していると思われる。一方、Cs-137は現在の降下量は微量であり、土壌のイオン保持能力の高低を反映していると思われるため、両者の比較はあまり意味を持たないかもしれない。しかし、Be-7濃度が高い地点は、将来、外国の原子力発電所の事故時及び核実験などの時の良いモニタリング地点になる可能性を秘めている

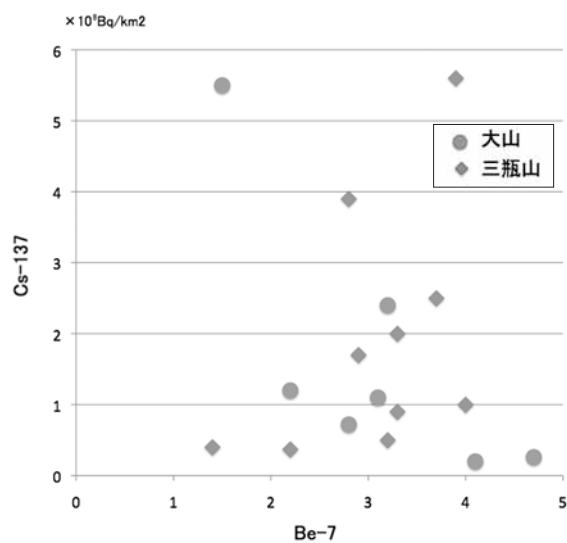


図5 Be-7とCs-137の面密度

ものと考えられる。

次に、三瓶山と大山で標高や尾根の方位がフォールアウトに及ぼす影響を考察するため、Be-7面密度、Cs-137線量率（ともにHASL法からのもの）を地図上にプロットした。（図6、図7）

Be-7は三瓶山では北西側を除く地点で、大山では北西と南東側で高濃度となっていた。山陰では北西風が卓越するため、三瓶山の結果ではBe-7は山地の裏側にフォールアウトしやすいとも言えるが、大山では北西側も高い。

Cs-137は三瓶山では北と南側、大山では西側が高濃度である。しかし、この結果はHASL法での表面分布の仮定に基づいており、土中の全Cs-137量（インベントリー）を反映してはいないが、後の調査の参考となるため記した。

そこで現状のCs-137放射能濃度を反映していると思われる土壤採取でのCs-137濃度を図8に示した。

（2004年9月の土壤採取結果も含めた）

Cs-137の高濃度地点の多くは、三瓶山、大山ともに東側に存在するが、これらの地点は、森林内の腐葉土が多い地点あるいは黒ボク土壌の地点であり、尾根の方位との関係は少ないと思われる。また日本の他の山のCs-137濃度と比較しても特別高濃度ではなかった。（表2）

表2 日本の山のCs-137濃度（島根県測定）

		Bq/kg風乾土		
調査年月日	調査場所		Cs-137	
2004/9/28	利尻山	山頂	1720m	5
	利尻山	北側	1400m	53
	利尻山	西側	1400m	5
	利尻山	北側	800m	48
2004/10/30	立山	山頂	3000m	186
	立山	一の越	2800m	11
	立山	室堂	2400m	48
	立山	美女平	1900m	5
2004/12/9	草津白根山		2160m	7
2004/12/10	富士山	4合目	2010m	1

4. まとめ

今回、三瓶山での高濃度Cs-137の解明のため、三瓶山と大山の調査を行ったが、以前より言われている腐葉土、黒ボク土の影響の可能性以外の明確な原因は確認できなかった。

土壤についても土壤のイオン交換能測定などのさらに発展した研究も必要である。

しかし、山地は平地に比べフォールアウト核種を強力に保持できることは明らかであり、環境放射能モニタリングにおいては、鋭敏なセンサーとしての役割を果たすと考えられ、最適ポイントの探求は今後も継続していかなければならない。

今回、新たに整備したポータブルカートでIn-Situ Ge測定を行なったが、三脚での測定に比べ各段に簡便で迅速であった。車両に積み込み、測定までが短時間で可能であるため、島根原子力発電所の緊急時のみでなく、他県の応援測定も可能である。

文 献

- 1) 環境放射線データベース（日本の環境放射能と放射線） <http://search.kankyo-hoshano.go.jp/servlet/search.top>
- 2) 江角周一、寺井邦雄、山本春海：島根県における松葉の人工放射性核種濃度の推移，島根県衛生公害研究所報，36 p29-37（1992）
- 3) 「Gamma-Ray Spectrometry in the Environment」 International Commission on Radiation Units and Measurements: ICRU Report53（1994）

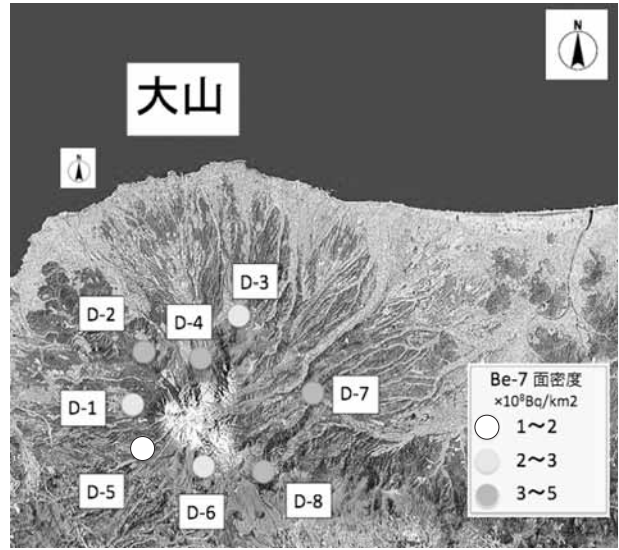
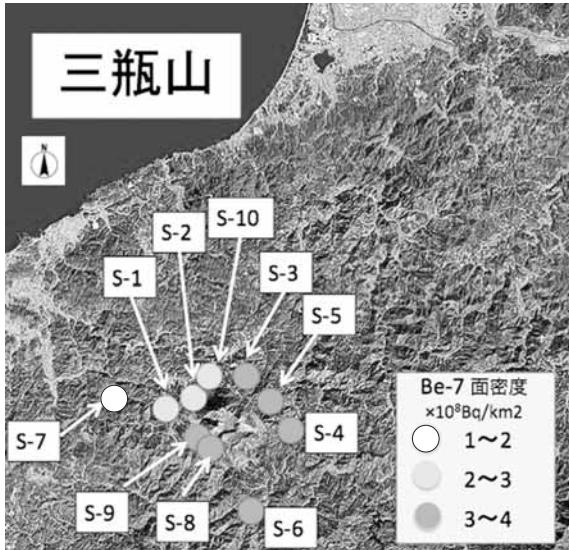


図6 三瓶山と大山のBe-7面密度 (In-Situ Ge測定)

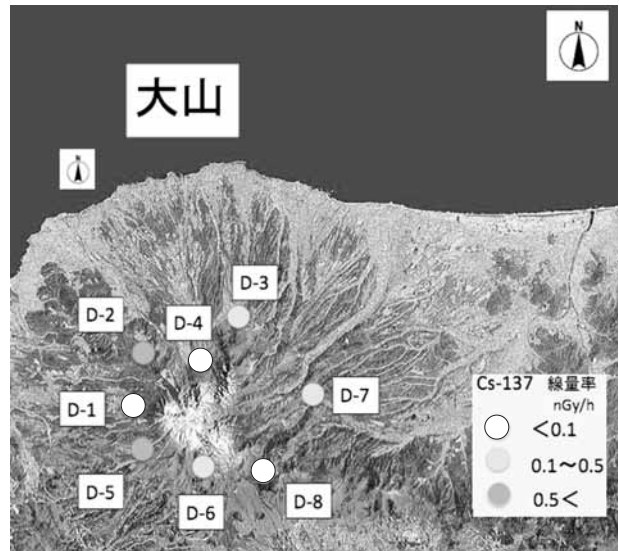
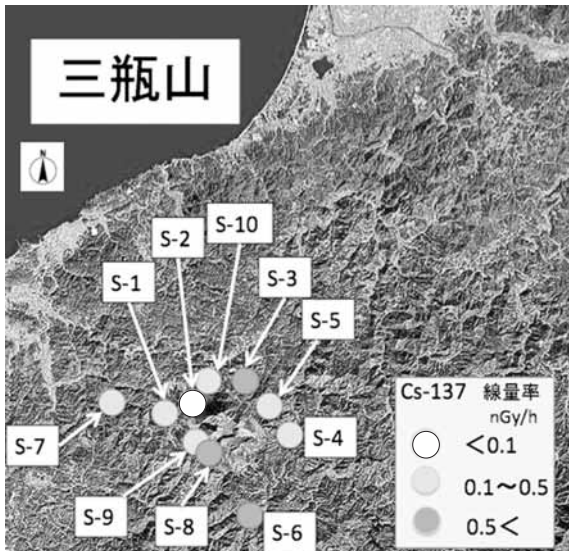


図7 三瓶山と大山のCs-137線量率 (In-Situ Ge測定)

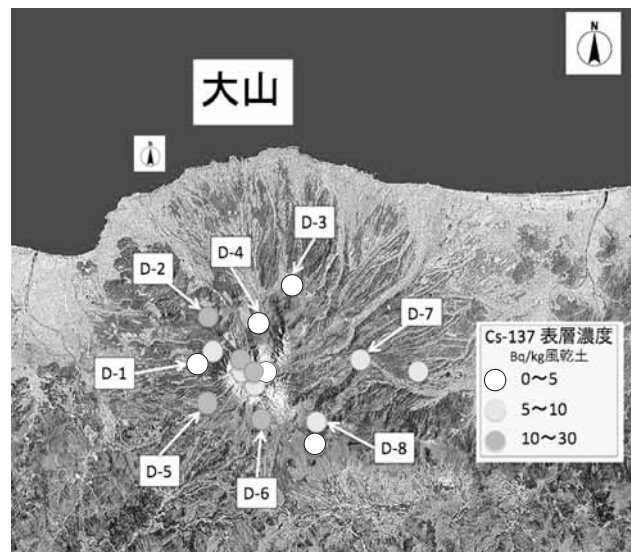
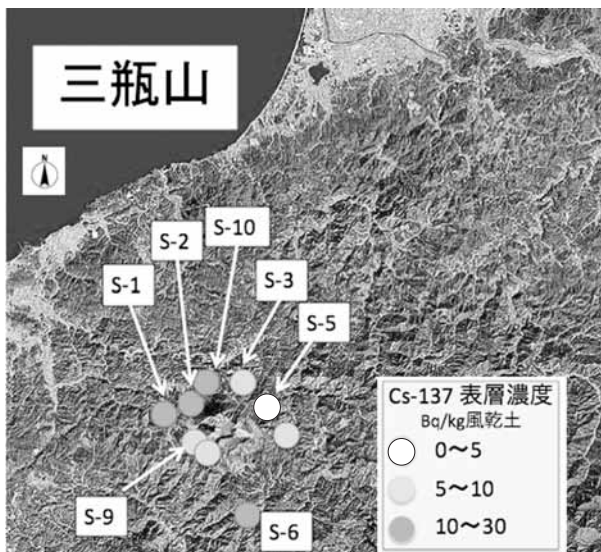


図8 三瓶山と大山のCs-137表層土壤中濃度 (実験室Ge測定)