

風神山における空間放射線量測定結果（第1報）

北 脩・二平 堇*・吉成 亜純**

I：はじめに

2011年3月11日の東日本大震災とそれに伴い発生した津波によって、東京電力福島第一原子力発電所では重大な原子力事故が発生した。

この事故により、環境中に大量の放射性物質が放出され、福島県を中心に我国の広い範囲が汚染された。事故で放出された各種放射性物質のうち、 ^{131}I は半減期が8日と短いこともあり、比較的短時間のうちにその放射エネルギーは著しく減衰した。

一方、放出された放射性物質の中で大きな割合を占める ^{134}Cs 、 ^{137}Cs は、その半減期が、それぞれ2年、30年であり、両者、特に ^{137}Cs は、今後とも長期間環境中に存在し続け、さまざまな影響を与える可能性があることから、その存在量や挙動及び動態について注視していく必要がある。

本研究では、 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs などの放射性物質の存在が地形や植生などの環境因子によってどのような影響を受けるのかを空間放射線量を調べることで明らかにした。

なお、本稿では汚染の原因者となった福島第一原子力発電所事故についてもその概要を、また、放射性物質の移動に大きな影響を与えた当時の風向についても言及した。

II：調査年月日・調査地域・調査方法

1：調査年月日

2013年5月24日～2013年12月13日

2：調査地域

調査地域としたのは阿武隈山地の南端に位置する風神山である。風神山は福島県東部から茨城県北部に南北に延びる阿武隈山地の南端部の中でも最も海側の東端にあり、海からの影響を受け易い地形上の特徴を持っている。なお、風神山は茨城県日立市と常陸太田市の境にあり、その標高は241.9mである。

風神山の北側は、茨城県北部ではその海拔高度が200～800m以下と比較的なだらかな山地が連なり福島県東部の山塊とともに阿武隈山地を形成している。一方、風神山東側はその山麓から太平洋まで約2kmの間を海拔高度20m～30m前後の平坦地が占め、平たん部の南北を貫通するように国道6号線、国道245号線、JR常磐線が走り、その他は住宅や工場・事業所などが高密度で立地している。

風神山の南側には関東平野が広がり、山麓からほぼ2km程のところにはその源を福島県、栃木県、茨城県の県境に持つ1級河川の久慈川がほぼ西から東に向かい流下している。

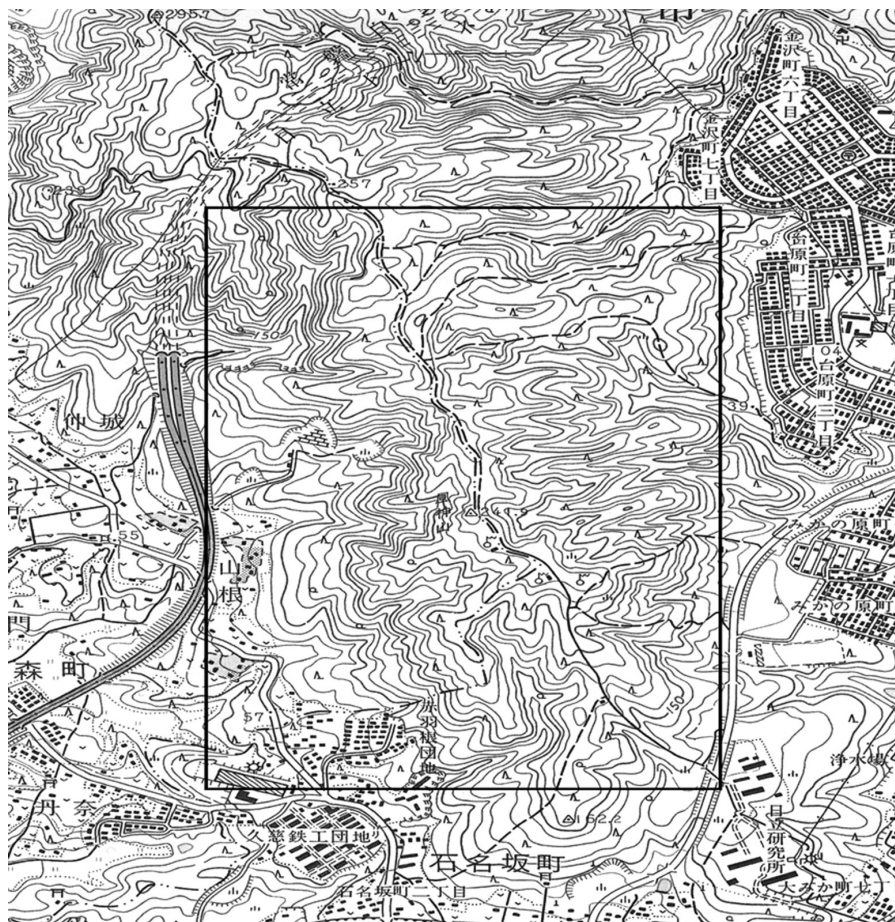
*二平 堇：医療法人 愛聖会 横須賀園科医院

**吉成 亜純：株式会社 パソナ

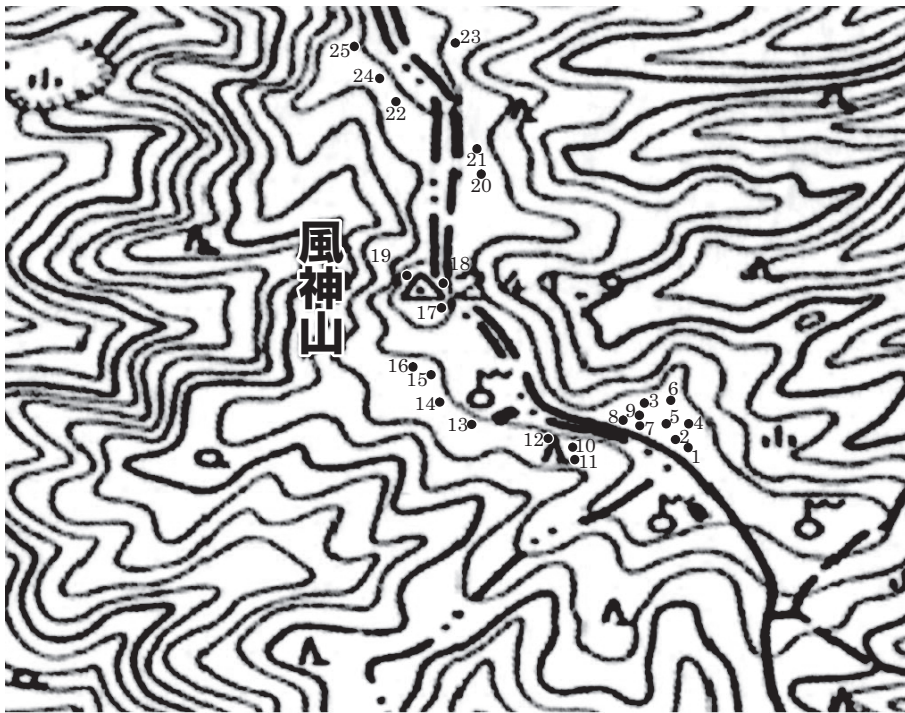
そこにおける土地利用状況をみると、山麓から久慈川に至る平たん部は田や畑などの農耕地として利用され、そこに人家や事業所が点在している。

また、風神山西側は阿武隈山地の南端部の丘陵地が連続して続いている。

なお、風神山の東西は、山麓東側には国道6号線が、山麓西側には常磐高速道路が走り風神山はいわば幹線道路に挟まれた形をとっている。次に、調査地域の地形を観るために、1/50000の地形図のうち調査地域を含むものを図—1に、また測定地点を図—2に示した。



図—1：風神山を含む地形



図一 2：測定地点

図一 2 は図一 1 の風神山山頂部分を拡大し、1～25として測定地点を示したものである。

ここで、1～9は広場での、10～12は登山道分岐点での、13～16は山頂までの西斜面での、17～19は山頂での、20～21は東斜面小広場での、22～25は小広場からやや下った西面及び東面での各測定地点である。

3：調査方法

環境中に放出された放射性物質のうち、最も問題となるのは ^{137}Cs 、 ^{134}Cs である。ウランの核分裂で生じる ^{137}Cs は β 線を放出して ^{137}Ba となるが、その過程で大部分が $^{137\text{m}}\text{Ba}$ を経由し、この $^{137\text{m}}\text{Ba}$ から γ 線が放出される。また、 ^{134}Cs からも γ 線が放出される。

従って、本調査では γ 線を測定することとし、測定装置としてALOKA製 γ 線測定装置(TCS-171)を用いた。調査では25の測定地点を設け、地上約1 mの空間放射線量を測定した。測定地点は図一 2 示したが、方角、地形による空間放射線量の違いを見るために東側斜面、南側斜面、西側斜面、風神山山頂付近の複数地点を選定した。

調査では植生の違いによる空間放射線量についても検討した。風神山の植生を見ると、常緑針葉樹からなる人工林と常緑広葉樹、落葉広葉樹からなる自然林が混在している。

従って、調査では広葉樹と針葉樹それぞれの樹木下で地表1 m近くの空間放射線量を測定しその結果を考察した。

Ⅲ：福島第一原子力発電所と事故の概要

今回の調査の発端になったのは福島第一原子力発電所での大量の放射性物質の放出を伴った大規模事故である。そこで、調査結果を検討する前に、福島第一原子力発電所の概要及び事故の概要について簡単に述べておく。

福島第一原子力発電所は、福島県双葉郡大熊町と双葉町にまたがって立地し、6基の原子炉を有する発電所である。ここで、6基の原子炉の炉型は全て沸騰水型である。

なお、6基の原子炉のうち地震時に運転中であったのは1～3号機であり、4～6号機は点検中であった。以下に、1～6号機の概要を表1として示した。

次に、事故の内容について、現在までに公表されている資料をもとにその概要を整理する。

当時、運転中であった1～3号機では、地震発生直後に制御棒が挿入され臨界の停止が図られている。ただし、原子炉圧力容器内では ^{235}U の核分裂によって生じた各種放射性核種の崩壊が起こっており、それによって生じる崩壊熱によって非常に高い温度環境が継続して存在していた。通常であればこれらの崩壊熱を除去するために原子炉圧力容器内に冷却水を循環させる。しかし、地震・津波によって外部電源等が失われた結果、原子炉圧力容器内を冷却するシステムが停止し、原子炉圧力容器内は非常に高い温度環境に置かれた。このために原子炉圧力容器内の水が時間経過とともに減じ、燃料集合体が露出するとともに、原子炉圧力容器に高温・高圧の水蒸気が充満した。ここで、燃料集合体の露出が燃料集合体の破損を生み、その結果がメルトダウンにつながった。また、化学反応によって生じた水素が原子炉格納容器や原子炉建屋内にたまり水素爆発が生じた。

この水素爆発によっても大量の放射性物質が環境中に放出された。

表1：福島第一原子力発電所1～6号機の概要

	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機
炉型	沸騰水型	沸騰水型	沸騰水型	沸騰水型	沸騰水型	沸騰水型
電気出力 (万Kw)	46.0	78.4	78.4	78.4	78.4	110.0
熱出力 (万Kw)	138.0	238.1	238.1	238.1	238.1	329.3
運転開始	1971. 3. 26	1974. 7. 18	1976. 3. 27	1978. 10. 12	1978. 4. 18	1979. 10. 24

表2：1～3号機における水素爆発、ベント操作及び圧力容器破損の日・時刻

	水素爆発	ベント	その他
1号機	12日13：00頃	12日12：00頃	
2号機			* 14日18：00頃、圧力容器破損
3号機	14日11：01頃	13日11：00頃、12：00頃、 14日11：30頃、13：00頃	

さらに、原子炉压力容器内の圧力を下げるための操作としてベントが実施されたが、この操作によっても大量の放射性物質が環境中に放出された。

水素爆発、ベント及び容器破損を起こしたのは1～3号機であり、環境中に放出された放射性物質の大部分は1～3号機から放出されたことになる。表—2には、1～3号機の水素爆発、ベント、压力容器破損が発生した時刻を示した。

Ⅳ：事故後の日立地方の風向

環境中に放出された放射性物質は、主に風によって運ばれることから、水素爆発及びベント時の、主に風向が放射性物質の移動域を決定する重要な要素になる。本研究では日立市域の風神山を調査対象としたこともあり、風向のデータとして日立市立気象観測所の観測データを利用して検討した。

福島第一原子力発電所からの放射性物質の環境中への放出は先にも述べたように、水素爆発やベントが行われた12日～14日であり、このときの風向が重要である。しかし、日立市立気象観測所のデータは停電のために12日、13日が欠測になっている。従って、ここでは14日以降25日までのデータを利用して検討する。

表—3は、2011年3月14日～25日の日立市の風向のデータである。

風向のデータから、14日は主に西と西南西からの風であり、15日以降は主に北東からの風である。14日に比べ15日以降は北からの風が卓越しているため、放射能の飛来の影響を受けたのは15日以降であり、15日に最も大きな影響を受けた可能性が高い。

このことは、茨城県環境放射能監視センターのデータからも裏付けられている。事故後

表—3：2011年3月14日～25日の日立地方の風向

日/時	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
14	西	西	北北西	北	西北西	西	東	西南西	西南西	西南西	西南西
15	北東	北東	北東	北東	北東	北東	北北東	北東	北東	東北東	北東
16	北東	北東	北北東	北東	北北東	北北東	北北東	北東	北東	東南東	南東
17	北北西	北北西	西	北北西	西北西	北西	北北東	西南西	西	西	北西
18	北北東	北東	北西	北西	北北西	北	北北東	北北東	北	西北西	南西
19	南西	南西	西南西	西南西	西南西	南西	西南西	西	南西	南西	南西
20	北	北	北	北西	西北西	北西	西	北北西	北東	北東	北東
21	北東	北東	北東	北東	北東	東北東	北東	北東	北東	北東	北東
22	北北東	北	北	北東	北北東	北	北	北北東	北東	北北東	北北東
23	北	北東	北東	北北東	北北東	北東	北東	北東	北東	北	東北東
24	北東	東北東	東	西	西北西	北北西	西北西	北北東	北東	南東	南東
25	北西	北西	北北西	北北西	北西	北西	北西	北東	北東	東北東	東南東

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
南西	南	西南西	西南西	西南西	南西	西南西	西南西	西南西	北東	西	北北東	北東
北東	東北東	東北東	北東	北東	北北東	北東	北東	北北東	北北東	北北東	北北東	北北東
南	北北西	北西	北西	北西	北	北北西	北北東	北西	北	北北東	北	西北西
北西	西北西	西北西	西北西	北西	北西	北西	北	北北西	北	西北西	西北西	西北西
西南西	南	南南東	南東	南東	南	南南西	西北西	西北西	西	西	南西	西南西
南西	西南西	西北西	西	東北東	東北東	西北西	北西	西北西	北西	北北西	北北西	北西
北東	北東	北東	北東	北北東	北北東	北北東	北東	北西	北北西	東北東	東	東
北東	北東	北東	北東	北東	北東	北東	北東	北北東	北北東	北北東	北北東	北北東
北東	北東	北東	北東	北東	北東	北東	北北東	北北東	北	北北西	北北西	北北西
北東	北東	東北東	北東	北東	北東	北北東	北北東	北北東	北東	北	西北西	北
南東	南南東	南南西	南南東	南	南南東	西	西北西	北西	北西	北北西	西北西	北北西
東南東	南東	南東	東南東	東	北東	北北東	北	北北東	北	北北東	北東	北東

*出典：日立市気象観測所資料

の日立市の放射線量を監視センターのデータから見ると事故後の空間放射線量測定値の最大値は15日であり、その値は約 $4 \mu\text{Sv/h}$ であった。一方、14日の測定値は低い。この結果は、風向のデータから分かるように14日の風向が主に西-西南西であり、そのために放射性物質の飛来量が少なかったために考えられる。15日に最大値を示したのは風向が北向きに変わりその方向からの風が卓越していたためと考えられる。

V：調査結果と考察

今回の調査研究の目的は、地形や植生及び植物部位と空間放射線量の関係を明らかにすることである。

空間放射線量の測定は、2013年5月4日から同年12月13日まで、15回にわたり25地点で実施した。25地点の内訳は（ア）：登山道入り口駐車場に隣接した南面及び東面が開けた広場で、凹地3か所、枯れ木堆積物1か所、落葉広葉樹3か所、常緑広葉樹1か所、構造物としてコンクリート製テーブル1か所の計9か所、（イ）：広場から約50mの南斜面の登山道分岐点付近で、落葉広葉樹1か所、枯れ木堆積物1か所、構造物としてコンクリート製ベンチ1か所の計3か所、（ウ）：分岐点から山頂までの西斜面で、倒木1か所、枯れ木堆積物3か所の計4か所、（エ）：山頂で落葉広葉樹2か所、常緑針葉樹1か所の計3か所、（オ）：山頂からやや下った東斜面小広場で、枯れ木堆積物1か所、構造物としてコンクリート製テーブル1か所の計2か所、（カ）：東斜面小広場からやや下った西面及び東面で枯れ木堆積物3か所、常緑針葉樹1か所の計4か所である。

なお、各測定地での測定点以外の空間放射線量は広場で $0.41\sim 0.48 \mu\text{Sv/h}$ 、登山道分岐点で $0.38\sim 0.42 \mu\text{Sv/h}$ 、山頂までの西面で $0.21\sim 0.30 \mu\text{Sv/h}$ 、山頂で $0.45\sim 0.48 \mu\text{Sv/h}$ 、東面小広場で $0.46\sim 0.52 \mu\text{Sv/h}$ 、そこからやや下った東面及び西面で $0.34\sim 0.42 \mu\text{Sv/h}$ であった。

測定結果は、1、凹地、2、倒木及び枯れ木堆積物、3、落葉広葉樹、常緑広葉樹、常緑針葉樹、4、構造物に整理し、表-4、5、6、7として以下に示した。

ここで測定点Noは図-2の測定地点Noに対応したものである。

全測定点の中で空間放射線量の最大値は凹地で測定された $1.25 \mu\text{Sv/h}$ であり最小値は分岐点から山頂までの西面の枯れ木堆積物で測定された $0.23 \mu\text{Sv/h}$ であった。次に各測定地点での測定結果を項目に分け検討する。

表-4 凹地での空間放射線量

測定点 No	測定対象	測定 回数	最大値 $\mu\text{Sv/h}$	最小値 $\mu\text{Sv/h}$	平均値 $\mu\text{Sv/h}$	開放面及び 斜面方向	備 考
1	凹地-1	14	1.25	1.12	1.19	東及び南	広場
2	凹地-2	14	0.85	0.71	0.79	同上	同上
3	凹地-3	14	0.43	0.32	0.36	同上	同上

表—5 倒木及び枯れ木堆積物での空間放射線量

測定点 No	測定対象	測定回数	最大値 $\mu\text{Sv/h}$	最小値 $\mu\text{Sv/h}$	平均値 $\mu\text{Sv/h}$	開放面及び斜面方向	備考
16	倒木	2	0.67	0.58	0.63	西	山頂までの西面
9	枯れ木堆積物—1	15	1.02	0.94	0.99	東及び南	広場
10	同上—2	13	0.60	0.50	0.56	南	登山道分岐点
13	同上—3	14	0.57	0.23	0.30	西	山頂までの西面
14	同上—4	14	0.85	0.48	0.59	西	同上
15	同上—5	12	0.62	0.49	0.57	西	同上
20	同上—6	15	0.98	0.76	0.86	東	小広場
22	同上—7	15	0.73	0.50	0.64	西	小広場からやや上った西面
24	同上—8	14	0.38	0.50	0.47	西	同上
25	同上—9	13	0.44	0.35	0.39	西	同上

表—6 常緑広葉樹、落葉広葉樹及び常緑針葉樹下での空間放射線量

測定点 No	測定対象	測定回数	最大値 $\mu\text{Sv/h}$	最小値 $\mu\text{Sv/h}$	平均値 $\mu\text{Sv/h}$	開放面及び斜面方向	備考
5	落葉広葉樹—1	13	0.65	0.47	0.56	南及び東	広場
6	同上—2	14	0.48	0.38	0.45	同上	同上
7	同上—3	15	0.79	0.65	0.74	同上	同上
8	常緑広葉樹	15	1.00	0.92	0.95	同上	同上
11	落葉広葉樹	15	0.62	0.43	0.57	南	登山道分岐点
17	落葉広葉樹—1	15	0.66	0.49	0.58	東・南・西	山頂
18	同上—2	15	0.69	0.52	0.60	同上	同上
19	常緑針葉樹	15	0.60	0.46	0.55	同上	同上
23	常緑針葉樹	15	0.69	0.52	0.60	東	小広場からやや上った東面

表—7 構造物（コンクリート製テーブル、ベンチ）での空間放射線量

No	測定対象	測定回数	最大値 $\mu\text{Sv/h}$	最小値 $\mu\text{Sv/h}$	平均値 $\mu\text{Sv/h}$	開放面及び斜面方向	備考
4	テーブル	15	0.85	0.68	0.78	南及び東	広場
12	ベンチ	14	0.58	0.48	0.55	南	登山道分岐点
21	テーブル	14	0.59	0.46	0.53	東	小広場

(1) 開放面・斜面方向と空間放射線量

環境中に放出された放射性物質は、主に風によって移動・運搬されることから、山地など陸上部では、測定地点の開放面・斜面方向が空間放射線量に大きな影響を与えるものと考えられる。従って、今回の調査では、開方面・斜面方向を異にする複数の地点を選択し測定地点とした。

測定結果から開放面・斜面方向と空間放射線量の関係を見ると広場における凹地や東面小広場での枯れ木堆積物における測定値から明らかなように、主に東面及び南面に開放面と斜面方向を有する測定地点で高い空間放射線量地を測定した。開方面・斜面方向による

このような違いを生み出したのは、主に2011年3月15日の風向きによると考えられる。

(2) 1年間で受ける放射線量の推定値

測定値の最大値は凹地1で測定された $1.25 \mu\text{Sv/h}$ であった。この値を基に、1年間で受ける放射線量を、自然放射線量（国内平均 $0.05 \mu\text{Sv/h}$ ）を除いて推計すると 10.5mSv になる。

(3) 地表面の形状と空間放射線量

空間放射線量は地表面の形状、特に地表面の凹凸に影響を受けると考えられる。そこで、東及び南面の方角に開放面を持つ比較的平坦な広場で、複数の凹地を選び、測定地点1～3として、そこでの空間放射線量を測定し検討した。

表—4から分かるように凹地1では、 $1.25 \mu\text{Sv/h}$ と全測定点の中で一番高い空間放射線量値を示した。また凹地2の測定値も凹地以外の測定点に比較し高い測定値を示した。このことから、くぼみには放射性物質がたまりやすい、すなわち、地表面に於ける地面の凹凸は、放射性物質の移動・蓄積に影響する最も大きな因子の一つであると考えられた。

ただし、凹地1は、南北約1.8m、東西約0.8mの形状をとり、その空間線量は凹地の南側から北側にかけて数値が高くなるが、凹地1に隣接する凹地2では凹地1とその形状はほとんど同じであるにもかかわらず北側に比べ南側の方が値が高い。これは、くぼみの深さや形、さらにくぼみの周辺の地表面の凹凸などの微環境が放射性物質の移動に影響を与えることを示すものであり、放射性物質による汚染を考える上で留意すべきことのひとつと考えられる。

なお、凹地3の測定値が低いのは凹地3が2013年6月以降に作られた新しいものであること、さらに凹地3が広場の奥の西側の斜面上部に位置することなどが影響したものと考えられる。

(4) 倒木及び枯れ木堆積場所での空間放射線量

大気中を降下した放射性物質は地表だけではなく植物の地上部、特に葉の部分に付着・蓄積することが知られている。一方、樹木本体の幹の部分についての報告は少ない。今回の調査では、従来、注目されることが少なかった樹木本体の幹の部分の空間放射線量を倒木の幹を対象に調査した。また、枯れ木の堆積場所での空間放射線量も同時に調査した。倒木での調査は西側斜面で行ったがその測定値は $0.58\sim 0.67 \mu\text{Sv/h}$ とその周辺の測定値 $0.21\sim 0.30 \mu\text{Sv/h}$ に比較し高い値を示した。また、枯れ木の堆積場所での空間放射線量も、その周辺の空間放射線量よりすべての地点で高い。これは、放射性物質が葉面ばかりではなく幹の部分にも付着している可能性を示すものと考えられる。

このことは、枯れ木堆積場所による測定値の違いからも確認できる。東面での枯れ木堆積場所での測定値と南面と西面の枯れ木堆積場所での測定値を比較すると東面での堆積物での測定値が南面・西面に比較して高く、このことから放射性物質が幹の部分に付着することがわかる。

(5) 植生の違いによる空間放射線量

放射性物質は植物の葉部に付着することが知られている。ところで、木本植物は広葉樹と針葉樹に分類され、それぞれ葉の形状を異にする。このことは放射性物質の付着にも影響を与える可能性がある。本研究では広葉樹として常緑広葉樹、落葉広葉樹を、また針葉

樹として常緑針葉樹を測定対象として植生の違いが空間放射線量に及ぼす影響について調査した。

表一六の測定値を見ると、山頂では広葉樹で高いところで $0.69 \mu\text{Sv/h}$ 、針葉樹で $0.60 \mu\text{Sv/h}$ であり、平均値はそれぞれ $0.58 \sim 0.60 \mu\text{Sv/h}$ 、 $0.55 \mu\text{Sv/h}$ である。このことから、広葉樹と針葉樹では広葉樹の方が相対的に放射性物質を付着・蓄積し易いといえる。その理由の一つとして考えられるのは、葉がセシウムを吸収しやすい性質を有するため、葉の表面積が広い広葉樹の方が高い値が測定されたと考えられる。

次に広葉樹の中でも常緑広葉樹と落葉広葉樹での空間放射線量を環境条件が同じである広場での測定結果からみると、常緑広葉樹では最も高い値が $1.00 \mu\text{Sv/h}$ 、落葉広葉樹では $0.79 \mu\text{Sv/h}$ であり、ここから常緑広葉樹の方が落葉広葉樹よりも放射性物質を付着・蓄積し易いといえる。これは常緑広葉樹が1～3年の間に葉を落とす性質を有するために放射性物質の蓄積が多いことによると考えられる。

Ⅵ：まとめ

本研究は、風神山を調査対象とし、放射性物質による汚染が地形や植生によってどのような影響を受けるかを、複数の測定地点での空間放射線量を測定することで明らかにしたものである。この調査で明らかになったことを整理すると以下ようになる。

- (1) 25地点で地上1 mの空間放射線量を測定した結果、その値は $0.23 \sim 1.25 \mu\text{Sv/h}$ であった。
- (2) 測定結果の最大値は $1.25 \mu\text{Sv/h}$ であり、1年間で受ける放射線量を、自然放射線量等を除いて推計すると 10.5mSv であった。
- (3) 風神山全体の傾向として、東面測定点が他の測定点に比較して高い空間線量値を示した。
- (4) 空間放射線量は凹地で著しく高い値が測定された。
- (5) 放射性物質は、葉の部分だけではなく幹の部分にも安定的に付着・蓄積していることが明らかになった。
- (6) 広葉樹と針葉樹で比較すると広葉樹の方が高い線量が測定される傾向が見られた。
- (7) 落葉広葉樹と常緑広葉樹を比較すると常緑広葉樹の方が明らかに高い線量が測定された。

Ⅶ：引用・参考文献及び参考資料

- (1) 地形図・日立南部、常陸太田：1/50000 国土地理院
- (2) 日立気象観測所観測報告 日立気象観測所 2011年3月
- (3) 講演会資料 吉田定昭 日本原子力研究開発機構核燃料サイクル工学研究所 (2012年6月7日)
- (4) 国会事故調 報告書 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会 徳間書店 (2012)
- (5) 福島原発事故 独立検証委員会 調査・検証報告書 福島原発事故独立検証委員会 ディスカヴァー・トゥエンティワン (2012)
- (6) 東日本大震災後の放射性物質汚染対策 齋藤勝裕監修 NTS (2012)

Measurement results of radiation doses in the air in Mt. Fujin

Osamu Kita, Sumire Nihira, Asumi Yoshinari

The purpose of this study was to investigate the effects of topography and tree on radioactive contamination by measuring radiation doses in the air in the area of Mt.Fujin.

The results were summarized as follows:

- (1) : Measurement results of radiation doses in the air at 25 points were in the range of 0.23~1.25 μ Sv/h.
- (2) : The highest value among the measurement results was 1.25 μ Sv/h, and an estimate of the radiation dose received in one year, excluding the naturally occurring radiation dose, etc., produces a tentative calculation of 10.5 mSv.
- (3) : As a trend within the Mt.Fujin area as a whole, it was observed that measured values were higher for the east points than for other points.
- (4) : Measured values were remarkably higher for the concave spaces.
- (5) : Measurements taken at the broad-leaved trees and at the needle-leaved trees indicated a tendency for the measured values at the broad-leaved trees to be slightly higher.
- (6) : Measurements taken at the deciduous broad-leaved trees and at the evergreen broad-leaved trees indicated the measured values at the evergreen broad leaved trees to be remarkably higher.