研究論文

コケ分析により得られた放射能拡散状況

大原 莊司*・向井 厚志*・藤原 昇*

要 旨

宮城県石巻市から福島県飯舘村を中心に33点のコケを採取しCs-137残留放射能の分析を行い、福島第一原発事故に伴うCs-137の放射能拡散状況を把握することを目的とした研究を行った。地形条件と拡散放射能の残留状況との関係も結果的に明らかになることも目指した。コケの高い放射能吸着性とカーペット状に地表を覆う特性に注目し、単位面積当たりのCs-137残留放射エネルギーを求めた。コケは土壌に比べて種類による放射能吸着性の差が小さいと考えられ、汚染マップを求めるにはコケの分析が適していると判断した。測定には、主としてNaI(Tl)シンチレーション検出器を用いた。文部科学省報告の積算線量推定マップと傾向はよく一致して風向き、標高などの条件で飯舘村がホットスポットとなっていることがコケの分析でも明らかになった。また、同じコケサンプルを用いCs-134とCs-137のガンマ線ピークを分離できるCdZnTe半導体検出器による測定でCs-134/Cs-137のガンマ線強度比の地域差を求めたが顕著な差は認められなかった。

キーワード：放射能拡散、コケの放射能、CdZnTe 検出器、飯舘村

1. はじめに

2011年東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故の発生から3年余りが経過した。2011年3月12日以降ほぼ10日間にわたり複数原子炉から放射性物質が漏洩した。その総量は、Cs-137で10 PBqと推定されている¹⁾。著者らは「ふくしま再生の会²⁾」と協力して、2013年6月以降、福島県北西部に位置する飯舘村を中心に拡散放射能の測定を行ってきた。飯舘村では、いまだ大半が居住制限区域に指定され、北部の一部区域が避難指示解除準備区域とされているのみである。測定対象とする拡散放射能のうち、半減期が30年と長くそれだけに深刻な影響を及ぼすCs-137に注目してきた。セシウムは、沸点が671℃と低く、炉心溶融による発熱によって容易に気化する。気化したCs-137はすみやかに水蒸気等と結合して、地震動あるいはメルトダウンによる熱勾配などによって生じた格納容器の破損部分から漏出したと考えられる。この漏出した放

射性物質を含むガスは、3月15日夕刻頃に東北地方南東部の上空500m付近の南西の風に乗って飯舘村周辺に至り、雨とともに降下したものと推定されている³⁾。

今回の原子力発電所事故に伴う山林、農地、住宅地への放射能拡散状況および拡散後の流水や植生による放射能移行状況については、様々な研究機関で調査・研究が進められてきた^{4, 5)}。その研究結果を受けて、飯舘村でも放射能を除染するため、農地の表層土5cmを除去する工事が2013年半ばから進められている。しかし、この除染作業によって速やかに年間1 mSvの被曝に該当する0.23 μ Sv/hに改善されているとはいえ、さらに詳細な汚染状況の把握が必要とされる。

原発事故に伴う放射能拡散の様相については、1986年のチェルノブイリ原子力発電所事故以来、土壌から植物への放射性物質の移行と吸着、葉からの吸収や突然変異などに関する様々な知見が得られている^{6, 7)}。

著者らは、福島県飯舘村およびその周辺地域で採取したサンプルを中心に土壌や植物に含まれる放射性

2014年11月10日受付、2015年2月6日受理

* 奈良学園大学 OHARA Soji, MUKAI Atsushi, FUJIWARA Noboru

Cs-137の分析を行ってきた⁸⁾。まず、2013年6月および10月の2回にわたって、飯館村を中心とした地域で土壌や植物のサンプリングを行い、放射能拡散状況の調査を実施した。その結果、(1)土壌においては、砂地よりは赤土、赤土よりは有機質の豊富な黒ボク土にセシウムが吸着し易いこと、(2)いずれの土壌においても、表層の深さ2～5 cmまでに深さ方向全体の80%以上の放射能が吸着しており、深部へのしみ込みは顕著に見られないこと、(3)乾燥後粉碎した状態の植物の放射性Cs-137の濃度を求めた後、乾燥前の重量当りに換算した濃度と土壌に含まれる放射性Cs-137の濃度比から植物への移行率を求めたところ、ミズオオバコ (*Otteria alismoides* (L.) Persoon) が0.72と特別大きく、クマザサ (*Sasa albo-marginata* Makino et Shibata) 等11種の植物では0.3以下と小さいこと、(4)コケの放射能吸着率は、採取したどの種類のコケでも極めて高く、200 kBq/kg(d/w)に至るケースがあるなど、周辺土壌の10倍以上の濃度でセシウムが沈着していること、などが明らかにされた⁸⁾。また、(5)土壌で20 kBq/kg以上の高濃度汚染地域でもせせらぎの水にはセシウムは検出されなかった。このことから、セシウムがイオンとして水に溶けて溶脱する割合は少なく、浮遊土に吸着して水の流れとともに移動するという既存の報告⁴⁾もあらためて検証できた。

一方粘土質や有機質の少ない砂地の場合には、たかだか20 m程度しか離れていないごく近傍の有機質の多い土壌と比べて、一桁程度放射能が低い事例も見られた。この場合は、多くの放射性セシウムが砂地に保持されずに、浮遊土に吸着し雨水とともに流出したと考えられる。

コケ類や地衣類が放射能をよく吸着し、そのためにこれを主食とするトナカイの被ばくが顕著となることはチェルノブイリ原子力発電所事故で放射能の拡散を蒙った諸国についての報告でよく知られている^{9, 10)}。Marović et al. (2008) はコケやキノコの放射能吸着について報告しており、土壌からの移行よりは、降下した放射性物質の直接吸着の割合が圧倒的に高いことが示されている¹¹⁾。彼らがこの結論を得たのは、放射性物質降下直後からの定期的な測定で、キノコでは吸着量が徐々に増加してから減少しているが、コケの場合には、降下直後が最も吸着量が高く、あとは徐々に減るだけであったという事実に基づいている。

コケの種類による放射能吸着率の違いの検討は必要

であるが、土壌の種類による放射能吸着率の違いより小さな範囲にとどまると考えられる。除染などによって表面土壌が除去される処置が進んでいることからコケによる早期分析が重要である。

飛散放射性物質のうち、Cs-137に対するCs-134の割合は、燃料棒の使用期間が長いほど大きくなることが知られている¹²⁾。広範囲にわたってコケを採取し、残留放射能を測定・分析することによって、広域での放射能拡散状況を把握するとともに、あわせてCs-134/Cs-137比の地域差とその要因を究明することが本論の目的である。

2. 広域にわたるコケの採取とサンプリング

福島県から宮城県にわたる太平洋側を2014年3月に車で移動しながら、放射性物質降下の妨げのない開放的な場所で生育しているコケを選び10 cm角以上の広さでカーペット状に密集して生育しているものを採取した。サンプリング時にその場で測定されたGPSロガーの記録データより採取地点の経度、緯度、高度を求めた。

写真1に2014年3月19日に福島県伊達市布川の谷合の倒木上で採取したコバノエゾシノブゴケ (*Thuidium recognitum* var. *delicatum* (Hedw.) Warnst.) を示す。なお、トヤマシノブゴケ (*Thuidium Kanedae* Sak.) やヒメシノブゴケ (*Thuidium Cymbifolium* (Dozy & Molke) Dozy & Molke)¹³⁾ との詳細な区別はしていない。コバノエゾシノブゴケの場合、採取に際し土壌との分離性がよく、他の密集型のコケと同様、写真1のように地被状況の再現が容易であるから、コケが覆っていた地被面積を比較的正確に算出することができる。

写真1 福島県伊達市布川 (D1) で採取したコバノエゾシノブゴケ

サイズは17.0 cm×23.5 cm

宮城県石巻市から仙台市、名取市、角田市、丸森町、福島県伊達市、福島市、飯舘村、南相馬市、相馬市へと移動し、地理条件の変化を考慮しながら適宜コケの採取を行った。宮城県内については、採取地点ができるだけ偏らないように配慮して選んだ。また福島県内の飯舘村周辺については、山間部なので福島第一原発方向から見た地形的特徴を考慮して採取地点を選んだ。なお、表1および図2には、福島県および宮城県でのコケ採取に加えて、別途採取した北海道旭川市内、北海道トマム山、青森県八戸市内、千葉県我孫子市内、神奈川県横浜市内、愛知県名古屋市、奈良県室生口大野のコケの分析結果についても記載した。

採取したコケのサンプルは、表1に示すようにカマサワゴケ8サンプル、ホソバオキナゴケ13サンプル、エゾスナゴケ8サンプル、コバノエゾシノブゴケ3サンプルおよびスギゴケ1サンプルの全体で33サンプルである。それぞれ、地被面積を測定した後、室内乾燥し、簡易攪拌してからPP容器に挿入して重量を測定した。その際、コケの放射能吸着特性を利用したBq/m²単位での放射能拡散状況の把握が目的なので、コケの仮根の周辺土壌の完全な除去は行っていない。サンプルは10 mm角以内に裁断しビニール袋内で攪拌した。粉碎機による粉碎は行っていない。5回の繰り返し簡易攪拌のサンプリングでの測定強度の変動幅は、平均値に対し±5%以内であった。今回の目的は、広域にわたる放射性物質(Cs-137)の相対的拡散状況の把握を迅速に行うことにあるので、上記のサンプリング再現性など放射能濃度測定での±20%以内の誤差要因については許容できることとした。試料容器として直径6 cm、深さ9 cmの化学薬品用PP容器を用いた。容器にはラベルを貼り、測定後もそのまま保管している。

3. 放射能濃度測定方法

放射線測定器としては、NaI(Tl)シンチレーション検出器(厚さ2.0インチ直径2.0インチ INTECH 社製 818/2)を用いた。試料と測定器プローブを含むスペースは5 cm厚さの鉛ブロックでおおわれており、周辺環境からの放射線のノイズを避けている。前述の化学薬品用PP容器に装着したコケ試料を試料室に入れ、放射能濃度により3,000秒から30,000秒間の測定時間で試料中Cs-137からの662 keV ガンマ線の放射線積算強度測定を行った。標準試料としてIAEA372、100 gを用いた。試料容器はすべて同じ仕様のものを用い、試

表1 コケのCs-137残留放射能分析値

サン プル	地 名	採取地点			放射能 [kBq/m ²]
		東 経 [°]	北 緯 [°]	標 高 [m]	
A1	石巻市	141.300	38.424	58	4.0
A2	東広瀬	140.623	37.788	103	14.6
A3	福島市	140.479	37.731	123	74.7
A4	前釜	141.006	37.726	-4	3.1
A5	相馬市	140.958	37.753	31	3.8
A6	原町大原	140.906	37.660	44	199.3
A7	我孫子市	140.130	35.842	3	15.5
A8	横浜市	139.641	35.444	12	8.2
B1	荒浜	140.985	38.219	12	0.6
B2	仙台市	140.880	38.267	113	20.2
B3	岩沼市	140.874	38.126	18	39.8
B4	角田市	140.806	38.037	23	2.5
B5	杉ノ入	140.707	37.936	41	10.2
B6	砂田	140.617	37.836	62	7.0
B7	川俣	140.594	37.663	208	82.3
B8	大沢	140.507	37.706	174	24.4
B9	飯舘芦原	140.780	37.684	465	206.4
B10	八木沢峠	140.842	37.688	233	33.5
B11	原町北泉	141.012	37.652	13	13.0
B12	飯舘曲田	140.771	37.660	438	679.2
B13	名古屋市	136.982	35.102	50	-
C1	松島市	141.066	38.372	0	3.1
C2	丸森民家	140.772	37.927	36	32.8
C3	丸森駅	140.762	37.930	41	13.7
C4	月舘	140.605	37.746	119	8.7
C5	白石	140.702	37.689	453	253.2
C6	あいの沢	140.711	37.701	551	405.0
C7	八戸市	141.488	40.500	18	0.1
C8	旭川市	142.483	43.768	213	-
D1	布川	140.642	37.728	257	38.2
D2	飯野	140.549	37.686	276	24.9
D3	室生口	136.016	34.563	247	-
E1	トマム山	142.598	43.077	1,100	-

採取地点を表す記号の英字はコケの種類を表す。A：カマサワゴケ、B：ホソバオキナゴケ、C：エゾスナゴケ、D：コバノエゾシノブゴケ、E：スギゴケ。採取地点の座標は、コケ採取と同時にGPSで測定した値を示す。ただし、A6、A7、A8、B12、B13、C7、C8、D3およびE1の座標はGoogle Earth上で読み取った値である。

料の容器内の嵩は標準試料と同一として光学系をそろえ、重量補正で残留放射エネルギーを求めた。嵩密度約0.6 g/cm³のIAEA372の場合、662 keV ガンマ線の平均内部吸収率は8 %程度であり、コケは密度の低い炭化水素が主成分であるから傘密度はさらに低く吸収補正は省略した。

標準試料中のCs-137は9,409 Bq/kgである。本測定

図1 Cs-137とCs-134のガンマ線ピークと積算区間
サンプルは宮城県丸森町の民家庭（C2）で採取したコバノエゾスナゴケ、測定時間10,000秒。

では、コケに含まれる単位重量当たりの放射能を測定し、標準試料で校正してBq/kg単位で求めた。次に拡散放射能の情報を得るために、あらかじめ測定した地表面積から採取地点の拡散放射能をBq/m²単位で求めた。

なお、Cs-137放射能のガンマ線強度を求める際には、図1の破線で示したようにシミュレーションで得たバックグラウンドの放射能を差し引いた。

採取したコケの放射能を測定では、顕著なガンマ線ピークが605 keV (Cs-134)、662 keV (Cs-137) および796 keV (Cs-134) に現れる。Cs-137の662 keV ガンマ線ピーク（半価幅7.8%）は、Cs-134の605 keV ガンマ線ピークと重なるため、Cs-137放射能のガンマ線強度を求める際には、図1のように重なり部分を避けた非対称な積算区間を用いた。分解能がより高く（半価幅1.8%）、両ピークが完全に分離できるCdZnTe検出器による分析も可能であるが、検出効率がNaI(Tl)の1/20となるためNaI(Tl)による測定で統一した。

放射能拡散状況の把握には、土壌よりコケの分析が適していることを確認するため、土壌の局所的な放射

図2 福島県およびその周辺地域で採取したコケのCs-137残留放射能

右図(b)は、左図(a)の太枠内を拡大した図である。縦軸は緯度、横軸は経度を表す。図中の英数字は表1のコケの名と採取地点番号、円の面積は表1のコケ残留放射能の強さを表す。右図(b)中の等線量線は文部科学省発表の積算線量推定マップであり、等線量線上の数値の単位はmSvである。

能分布を測定した。土壤への吸着放射性物質の地質学的半減期については、十分な研究はまだなされていないと思うが、土壤がむき出しの傾斜15度の斜面に沿ってCs-137強度がどのように変化するかをCdZnTe検出器（Kromec社製GR-1）を用いその場で測定した。この検出器のプロープのサイズが25×25×60 mmと小さいことを活用して、厚さ3 cmの鉛でプロープを覆い周辺からの放射線の入射を80%避けるように工夫して直下土壤のその場測定を可能にした。飯館村あいの沢の土壤むき出しの斜面上を30 cmずつ離して全11点、各点5分間ずつ測定した。

4. 結果と考察

4.1 コケ分析による放射能分布状況

前述の手順に従って採取したコケを分析し、Cs-137ガンマ線の積算強度から得られたCs-137放射能を表1に示す。表1では、サンプル記号の英字は採取したコケの種類を示し数字は採取番号を示している。Aはカマサワゴケ(*Philonotis falcata* Mitt.)、Bはホソバオキナゴケ(*Leucobryum juniperoideum* Müll. Hal.)、Cはエゾスナゴケ(*Racomitrium japonicum* Dozy & Molk.)、Dはコバノエゾシノブゴケ(*Thuidium recognitum* var. *delicatum* (Hedw.) Warnst.)、Eはスギゴケ(*Polytrichum juniperinum* Willd. ex Hedw.)¹³⁾を表している。コケの残留放射能の大きさを円の面積に代え採取位置の座標を使って地図上に描くと図2のようになる。図2の(a)は神奈川県から青森県にわたる全体図を、(b)は福島、宮城両県にわたる拡大図である。図2に記された英字は、表1に示した各採取地点に対応する。

表1のコケ採取地点の内、C5、C6およびB9、B12の各地点は飯館村に属する。福島第一原子力発電所から北西約40 kmに位置する飯館村周辺が放射能汚染のホットスポットになっていることは、図2からも明瞭に読み取ることができる。飯館村は平均標高約500 mの阿武隈高地にあり、その北側および西側に山々が壁のように連なっていることも、放射能を含んだ南東の風を直接受ける原因となった。

図2中の芦原(B9)と曲田(B12)は飯館村内に位置し相互にたかだか3 kmしか離れていないが、B12にはB9の約3倍の放射能拡散がみられる。B12には、福島第一原子力発電所側から見て背後に山があり、前方の南東側は比較的開けていて南東の風が通りぬける

谷筋が続いている。一方、B9には前方の南東側にも山があり発電所からの南東の風が妨げられる地形となっている。このような局所的な地形効果によって、放射能拡散状況における両者の違いが生じた可能性が考えられる。ただし、サンプリング数が少なく確定的なことは言えないため、今後コケ採取の空間的密度を高めた測定を実施し、局所的な地形効果についてはさらに調査を進めていく必要がある。

図2には、空間線量の積算線量値が等線量線で示されている。これは、2011年6月2日に文部科学省より発表された積算線量推定マップから得たものである。等線量線上の数値は年間積算線量推定値で単位はmSvである。今回のコケの分析による放射能拡散分布結果と傾向は一致している。しかし、チェルノブイリ事故でも経験されたことであるが、福島第一原発から100 km以上離れていながらも仙台市青葉区(B2)では局所的に大きな残留放射能が観測された。局所的には航空機からの測定で求められた空間線量の等線量線では表示しきれない状況があることを示している。

福島市内(A3)で採取したコケも高い放射能を示した。こうした福島市街地から離れた同じ市内での高い放射能は、標高の高さが影響し放射性物質を含んだ降雨を受けやすかったものと思われる。荒浜(B1)のホソバオキナゴケの放射能は0.6 kBq/m²と顕著に低い。これは津波によって浸水していたために、放射性物質を含む風雨の直撃を仙台市青葉区(B2)ほど受けなかったためと考えられる。なお、愛知県名古屋市(B13)のホソバオキナゴケおよび奈良県室生口大野(D3)のコバノエゾシノブゴケの分析も同様に行ったが、200,000秒間の測定でもCs-137は検出されなかった。同様に北海道トマム山(E1)のスギゴケ、旭川市内(C8)のエゾスナゴケでも同300,000秒間の測定でCs-137は検出されなかった。福島第一原子力発電所の南方に位置する我孫子(A7)および横浜(A8)では、10 kBq/m²前後の放射能が検出された。2011年3月22日には同原子力発電所から放射性物質の漏えいがあったとされ、同日の気象状況は気象庁の気象データによると福島県南部から神奈川県にかけた広い地域で北北東の風と10 mm以上の降雨があったことがわかる。これによって、我孫子(A7)および横浜(A8)への放射能拡散が生じたものと推察される。

コケの種類による放射能の吸着特性の違いについては、十分な考慮をしなかったが、飯館村あいの沢のエ

ズスナゴケの放射エネルギーが405 kBq/m²で10 m離れたコバノエゾシノブゴケの放射エネルギーが483 kBq/m²と差は16.1%であったことから本論の目的では、許容できる範囲である。また、Marović et al.(2008)の報告では、コケのCs-137に対する生態学的半減期は978日である。Marović et al. (2008)はコケの生態学的半減期の要因に雨水による溶脱があるかどうかやコケの種類による半減期の違いについては言及しておらず今後の課題である。また、コケの種類による放射能吸着量の違いの厳密な把握や、仮根、葉身などコケの部位による吸着量の違いなど興味深い研究対象であるが今後の課題とした。

4.2 土壌分析と比較したコケ分析の利点

放射能の拡散状況を把握するのに土壌を用いるメリットは、サンプルを入手しやすいということであるが、放射能吸着率の土質による差が大きいこと⁸⁾、同じ土質の地点でも雨水などにより、浮遊土とともに放射性物質が移動することが十分考えられ局所的変動が大きくなると考えられる。

土壌むき出しの斜面の表面直下の土壌の放射能のその場測定をCdZnTe検出器で行ったが、その強度変化を示すと図3のようになる。斜面の1 mの隔たりで、倍程度の強度差があり、雨水の流れとともに、浮遊土に吸着した放射性物質が斜面に沿って移行していることは明らかである。斜面と平行な方向の2列目の測定で、計数値が一度上がってから下がっているのは、土

図3 なだらかな斜面でのCs-137ガンマ線強度分布
斜面の傾斜は15度程度で、図の下側が斜面の下側である。図中の数値の単位はcounts/5min.

質の違いによるものと考えている。この事実から、残留放射性物質の分布状況の変動を土壌を用いて測定するに際しては、雨水の流れ方向を考慮しなければならないだろう。コケの場合、雨水に持ち去られる要因は土壌より少ないと考えられ、この点でも局所的変動のより少ないコケ分析による方法に利点があると考えられる。

4.3 放射線強度比Cs-134/Cs-137の地域差

図4は、あいの沢(C6)のエゾスナゴケに含まれる放射能をCdZnTe検出器で検出した例を示す。表1中の7ヵ所(A1, A3, A7, B3, C2, C6, D2)で採取したコケから得られたCs-134の796 keVガンマ線とCs-137の662 keVガンマ線の強度比を表2に示す。なお、Cs-134の605 keVガンマ線付近には、自然放射能が重なる場合があるため採用しなかった。全測定を10日以内で実施したため、半減期2.07年のCs-134の放射能の自然減衰の影響は無視できる。表2のように、飯館村以東の太平洋側でガンマ線強度比がやや大きく、飯館村以西の福島市周辺でガンマ線強度比がやや小さい傾向はみられる。しかし、Cs-134/Cs-137ガンマ線強度比は 0.296 ± 0.006 の範囲に収まり、その差異は数%以下にすぎない。ここで、Cs-134/Cs-137は相対強度比であるから、測定の統計誤差を考慮すると、強度比の精度は $\pm 3\%$ となり表2の結果は測定精度内で一致していることになる。

Marović et al. (2008)も同様の強度比を求めているが、採取地域により10%以上の違いを観測している。今回の結果については、次に示す3つの可能性が考えられる。

(1)異なる原子炉由来の放射能は数十km以遠へと拡散す

図4 あいの沢(C6)エゾスナゴケの放射能測定結果
662 keVのCs-137ガンマ線ピークと605 keVのCs-134ガンマ線ピークがはっきり分離している。

表2 各地採取コケの Cs-134/Cs-137強度比

サンプル	Cs-134/Cs-137	Cs-134	Cs-137
A1	0.2972	3190	10735
A3	0.2940	3453	11743
A7	0.3019	3415	11310
B3	0.2991	4581	15316
C2	0.2974	3002	10093
C6	0.3015	7405	24564
D2	0.2910	3384	11630

Cs-137については662 keV, Cs-134については796 keV のガンマ線強度 (counts) を採用した。

る過程で攪拌され、大気中で均一化された。

- (2) 遠方へ拡散したのは、単一の原子炉からの漏えい放射性物質のみであった。
- (3) 漏えい事故の起こった複数の原子炉の稼働履歴がたまたま類似していた。

第一の可能性の正否は、福島第一原発により近い場所のコケを、今後同様に分析することによって明らかになると考えられる。

5. ま と め

福島第一原子力発電所事故に伴う放射性セシウムの拡散状況の把握において、コケの放射能分析の有効性を提案する。エゾスナゴケやコバノエゾシノブゴケなどのカーペット状に地表を覆うコケは、室内乾燥の生育状態でもセシウム放射能が、周辺の粘土質や黒ボク質の土壌よりも10倍程度大きく観測される。コケには、セシウムを効果的に吸着する特質があると考えられるが、それが通水細胞などの構造に由来するのか興味あるところである。コケや地衣類などの放射能吸着特性を利用した放射能拡散状況把握については、チェルノブイリ事故後すでに報告があり¹⁴⁾、福島原発事故に対してもその適応性を確かめることは一定の意義を持っている。コケのこの特徴と、コケが地被性で採取後も地表を覆う生育面積を算出することが容易であることに着目し、単位面積当たりの拡散放射能を評価する際にコケの放射能測定が有効であることが確認された。局所的な地域を対象を絞って、山や谷川などわずかな周辺地形の違いが放射能拡散に与える影響をさらに詳細に調べる手段としてコケの分析が活用できると考える。

謝辞：本研究のために何かとご協力をいただきました。飯館村村民の方々、ふくしま再生の会の田尾陽一理事長、同会理事で専門的アドバイスもいただきサンプリングにもご協力いただいた政池明京都大学名誉教授、高エネルギー加速器研究機構の岩瀬広博士に心より感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 東京電力；“東北地方太平洋沖地震の影響による福島第一原子力発電所の事故に伴う大気および海洋への放射性物質の放出量の推定について”，東京電力，http://www.tepco.co.jp/cc/press/2012/1204619_1834.html。(参照2014-10-26)。
- 2) ふくしま再生の会；“活動報告，ふくしま再生の会”，<http://www.fukushima-saisei.jp/archives/report201301.html>。(参照2014-10-26)。
- 3) 中西友子；土壌汚染，NHK ブックス，1-224，2013。
- 4) 恩田祐一，田村憲司，辻村真貴，若原妙子，福島武彦，谷田貝亜紀代，北和之，山敷庸亮，吉田尚弘，高橋嘉夫；“放射性物質の包括的移行状況調査”，原子力規制委員会，http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/6000/5247/32/5600_20120313_2_08.pdf。(参照2014-10-26)。
- 5) 山口紀子，高田祐介，林健太郎，石川覚，倉俣正人，江口定夫，吉川省子，坂口敦，朝田景，和穎朗太，牧野知之，赤羽幾子，平館俊太郎；土壌—植物系における放射性セシウムの挙動とその変動要因，農環研報，(31)，75-129，2012。
- 6) K.Rosen, A.Eriksson, E.Haak; Transfer of radiocaesium in sensitive agricultural environment after the Chernobyl fallout in Sweden . I. County of Gavleborg, Science of the total environment, 117-133, 1996.
- 7) P.L.Nimis; Radiocaesium in plants of forest ecosystems, Studia Geobotanica, 15, 3-49, 1996.
- 8) 大原莊司，向井厚志，藤原昇；飯館村県発放射能汚染，奈良産業大学地域公共学総合研究所年報，4，125-136，2014。
- 9) 佐藤吉宗；スウェーデンにおけるチェルノブイリ事故の影響と放射能汚染対策，畜産の研究，66，(1)，117-125，2012。
- 10) 小出五郎；放射能汚染から社会を守る，予防時報，(250)，24-29，2012。
- 11) G.Marović, Z.Franić, J.Senčar, T.Bituh, O.Vugrinec; Mosses and some mushroom species as bioindicators of radiocaesium contamination and risk assessment, Coll. Antropol, 32, Suppl.2, 109-114, 2008.
- 12) 河田燕，山田崇裕；原子力事故により放出された放射性の34Cs/137Cs 放射能比について，Isotope News, (697)，16-20，2012。
- 13) 岩月善之助編；日本の野生植物・コケ，平凡社，48-180，2001。
- 14) E.Steinnes, O.Njifstad; Use of mosses and lichens for regional mapping of 37Cs fallout from the Chernobyl accident, J. Environ. Radioactivity, 21, 65-73, 1993.

The Deposition Map Obtained through Radioactivity Analysis of Mosses

OHARA Soji*, MUKAI Atsushi*, FUJIWARA Noboru*

* Naragakuen University

ABSTRACT

We studied radioactivity dispersion caused by the nuclear accident at the Fukushima nuclear plant by analyzing the radioactivity of 33 moss samples belonging to five species. We focused on the fact that the ground coverage area of the moss carpet can be evaluated after sampling the moss so that a deposition rate in Bq/m² units is obtained. The moss proves to be much more sensitive to radioactive Cs-137 than the soil. We understand the analysis of the radioactivity in the moss is useful to draw a deposition map around the Fukushima nuclear power plant. Gamma rays from the radioactive Cs are measured using an NaI(Tl) scintillation counter. The influence of meteorological and geographical features is also reviewed using a radioactivity map, so that the local high level of radioactivity in Iitate-mura can be confirmed by an analysis of the mosses. The ratio of the radiation intensities of Cs-134 and Cs-137 in the moss measured with a CdZnTe detector was obtained for several mosses in several areas, finding no significant differences in their ratios.

Key Words : The radioactivity dispersion, The radioactivity of the moss, CdZnTe detector, Iitate-mura