

## 東京電力福島第一原発事故による放射能汚染森林における

## 空間線量率の1年間の変化

金子真司・高橋正通・赤間亮夫・池田重人・佐野哲也・三浦 覚・大貫靖浩・平井敬三・志知幸治・阪田匡司・梶本卓也・田中 浩・齊藤 哲・高野 勉・(森林総研)・小野賢二(森林総研東北)

**要旨:** 東京電力福島第一原子力発電所事故による森林の放射能汚染に関して、事故後の汚染状況の変化を把握することを目的に、昨年度調査した福島県内の3箇所の試験地において2012年8月から9月にかけて空間線量率の調査を行った。その結果、川内、大玉、只見試験地のスギ3林分の空間線量率(平均値)は地上高1m(ADR\_1m)が前年比93~104%, 地上高10cm(ADR\_10cm)が前年比97~101%であり、大玉試験地のアカマツ林および落葉広葉樹・アカマツ混交林ではADR\_1mとADR\_10cmが、それぞれ前年比90~91%, 97~101%であった。セシウム( $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ )の物理的壊変から予想される放射能の減衰(前年比79%)に対して観測された空間線量率の減少は小さかった。この理由は、葉や枝などに付着した放射性セシウムが林床に移動し、森林内の分布が変化したためと推察された。調査区内の空間線量率の空間変動のパターンは昨年と同様であったことから、林床における水平方向の放射性セシウムの移動はあまり生じていないことが示唆された。

**キーワード:** 放射能汚染, 空間線量率, 放射性セシウム, 森林, 空間線量率変化

**Abstract:** In order to clarify the change of radioactive contamination of forests caused by the accident at Tokyo Electric Power Company's Fukushima Daiichi Nuclear Power plant, we measured air dose rate from August through September 2012 in the three experimental sites in Fukushima prefecture, which were set up last year. The reduction of air dose rate was small to that expected by decay of radioactive cesium in all experimental sites, especially Sugi (*Cryptomeria japonica*) forests. We considered that considerable amount of cesium transferred from canopy to forest floor by rain and litter fall so that high air dose rate was kept on the forest floor. The spatial distribution of air dose rate was similar to that of the previous year for air dose rate. It suggests that the extent of the lateral migration of radioactive cesium was small on forest floor.

**Key words:** radioactive contamination, air dose rate, radioactive cesium, forest, change of air dose rate

## I はじめに

2011年3月に起きた東京電力福島第一原発事故では、大量の放射性物質が大気中に放出され、その結果、広域の森林が放射性物質によって汚染された(1)。この森林の放射能汚染の実態を明らかにするために、森林総合研究所では2011年の8月から9月にかけて、福島県内3カ所計5林分において林分調査用の試験プロットを設け、空間線量率の測定をするとともに、樹木および土壌の各部位の放射性セシウムによる汚染状況の調査を行った。その結果、森林内の放射性セシウムの汚染の程度は空間線量率に比例することが明らかになった。また放射性セシウムの森林内の垂直分布パターンは森林タイプによ

て異なり、スギ林では葉や枝に森林全体の約半分の放射性セシウムが存在し、残りが堆積有機物や土壌に分布していたのに対して、アカマツ林や落葉広葉樹・アカマツ混交林では放射性セシウムの多くは堆積有機物と土壌に分布していた。

森林内での放射性セシウムの部位別分布パターンは、葉や枝に付着したセシウムが降雨によって洗い流されたり、落葉・落枝によって林床へと移動したりするために、時間の経過とともに変化していくと予想される(2)。この森林の放射性セシウムの分布状況の変化を明らかにするために、昨年調査した福島県の3カ所の森林において昨年と同じ内容の調査を行った。ここでは2011年と2012

Shinji KANEKO, Masamichi TAKAHASHI, Akio AKAMA, Shigeto IKEDA, Tetsuya SANO, Satoru MIURA, Yasuhiro OHNOKI, Keizo HIRAI, Koji SHICHI, Tadashi SAKATA, Takuya KAJIMOTO, Hiroshi TANAKA, Satoshi SAITO, Tsutomu TAKANO(For. and Forest Prod. Res. Inst., Tsukuba, Ibaraki 305-8687) and Kenji ONO(Tohoku Research Center, For. and Forest Prod. Res. Inst., Morioka, Iwate 020-0123), The change of air dose rate in the forest contaminated with radioactive materials by the accident at Tokyo Electric Power Company's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant.

年の空間線量率の測定結果にもとづいて、森林内の放射性セシウム分布の変化について考察する。

## II 試験地および方法

空間線量率の調査は、昨年と同様に川内試験地（双葉郡川内村：スギ林）、大玉試験地（福島県安達郡大玉村：スギ林、アカマツ林、落葉広葉樹・アカマツ混交林）、只見試験地（南会津郡只見町：スギ林）の固定プロットにおいて行った（3）（表-1）。各固定プロットは、短辺が20~30m、長辺が70~90mの長方形をしており、内部は10m×10m格子で細分されている。空間線量率は、プロット内の10mの格子点において、地上高1mと10cmでエネルギー補償型サーベイメーター（日立アロカメディカル TCS-172B）を用いて測定した。測定値は開始から1分以上経過してサーベイメーターの表示が安定するのを待ってから記録した。

表-1 各調査地の林分状況  
Table 1 General description of study plots

| 調査地 | 樹種<br>(調査対象木) | 林齢(年) | 森林タイプ            | 平均傾斜<br>(°) |
|-----|---------------|-------|------------------|-------------|
| 川内  | スギ            | 43    | 人工林              | 13          |
| 大玉  | スギ            | 42    | 人工林              | 16          |
| 大玉  | アカマツ          | 43    | 人工林              | 12          |
| 大玉  | コナラ           | 43    | 天然生林<br>(落葉広葉樹林) | 8           |
| 只見  | スギ            | 41    | 人工林              | 29          |

## III 結果

### 1. 空間線量率の変化

2012年の平均空間線量率は、1m高(ADR\_1m)、10cm高(ADR\_10cm)ともに2011年に比べて全般的にやや減少していた(表-2)。川内スギが最も高く、只見スギで低く、大玉の3プロットはその中間と、プロット間の大小

関係に変化はなかった。大玉アカマツおよび大玉コナラはADR\_1mが前年比90~91%、ADR\_10cmが前年比91~92%とこの1年間に空間線量率がやや減少していた。それに対して、川内スギ、大玉スギ、只見スギは、ADR\_1mが前年比93~104%、ADR\_10cmが97~101%と1年間の変化は小さかった。2011年と2012年の空間線量率(ADR\_1m、ADR\_10cm)にはすべてのプロットにおいて直線関係がみられた(図-1)。2011年と2012年の関係については、図中に示した回帰式の傾きから、川内スギや只見スギでは空間線量率の変化は小さいが、大玉アカマツと大玉コナラでは空間線量率は前年比91%に減少していると推察された。

### 2. 空間線量率の空間変動

2011年と2012年の空間線量率には直線関係が存在し、空間線量率の空間変動パターンに大きな変化は見られなかった。2011年の調査で空間線量率の空間変動が大きかった川内スギと空間変動の小さかった大玉スギの結果は次のとおりであった。川内スギのプロットは、中央に谷川が流れ平坦な谷底部を挟んで両側に急斜面が広がっていた。ここでは2011年の調査において斜面付近で空間線量率が高く、谷底部で低かった(図-2)。2012年の調査では前年に比べて、谷川付近では空間線量率の低下がやや大きく、斜面付近の変化は小さかった。地点間で空間線量率の変化の程度が異なったが、空間変動パターンに大きな変化をもたらすことはなかった。一方、平坦な地形面に位置している大玉スギ林では、ライン4のADR\_1mは前年に比べてやや低かったが、全般的には2011年と同様に空間変動は小さく、空間変動パターンにも大きな変動は見られなかった(図-3)。

プロット内の空間線量率のばらつきの変化を見るため

表-2 2011年および2012年の空間線量率と変化割合

Table 2 Air dose rate of each plot in 2011 and 2012, and the change rate during two years

| 調査プロット | N  | 2011                     |             | 2012        |             | 2012/2011 |      |
|--------|----|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------|
|        |    | 1m                       | 10cm        | 1m          | 10cm        | 1m        | 10cm |
| 川内スギ   | 26 | 3.11 (0.42) <sup>a</sup> | 3.48 (0.64) | 3.01 (0.54) | 3.44 (0.86) | 97%       | 99%  |
| 大玉アカマツ | 36 | 0.33 (0.02)              | 0.38 (0.03) | 0.30 (0.02) | 0.35 (0.02) | 90%       | 92%  |
| 大玉コナラ  | 37 | 0.33 (0.02)              | 0.38 (0.03) | 0.30 (0.02) | 0.35 (0.02) | 91%       | 91%  |
| 大玉スギ   | 37 | 0.31 (0.02)              | 0.35 (0.03) | 0.28 (0.01) | 0.34 (0.03) | 93%       | 97%  |
| 只見スギ   | 32 | 0.12 (0.02)              | 0.13 (0.03) | 0.12 (0.03) | 0.13 (0.04) | 104%      | 101% |

<sup>a</sup> 平均値(標準偏差)  $\mu$  Sv/h

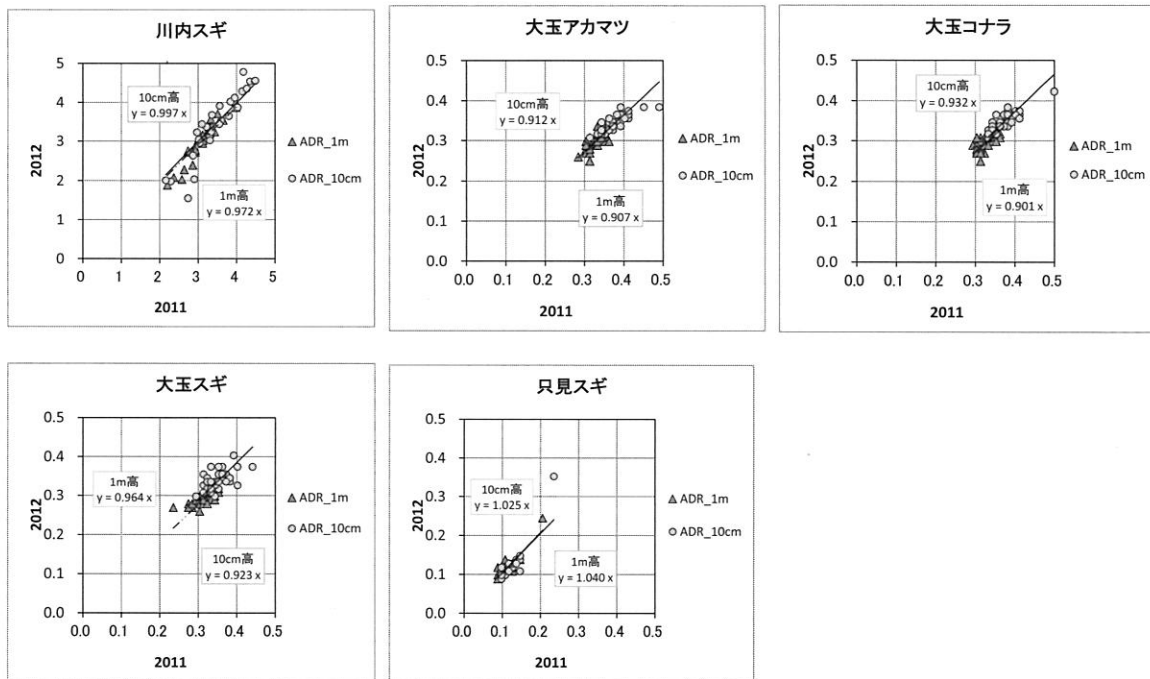


図-1 各調査プロットの調査地点における空間線量率(ADR\_1m、ADR\_10cm)の2011年と2012年の比較

Fig.1 The comparison of air dose rate measured at 10cm and 1m height in each plot between 2011 and 2012

に2011年と2012年の変動係数を比較した。川内スギと只見スギは2011年の調査で空間線量率の変動係数がADR\_1m、ADR\_10cmとも大きかった。2012年の空間線量率の変動係数は、前年に比べて増大していた(図-4)。それに対して、大玉の3プロットは2011年の空間線量率の変動係数が小さく、多少の増減はみられるものの2012年も低かった。

IV 考察

2011年3月15日に等量の<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csが森林に降下し、すべてが森林に残っていたと仮定すると、2011年9月1日には物理的減衰から、<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csは当初のそれぞれ86%、99%に、2012年9月1日には61%、97%に低下するはずである。また<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの空間線量率に与える寄与率をそれぞれ0.73と0.27されている(4)。これらを基に計算すると、2012年9月1日の放射性セシウムの量は2011年9月1日の79%に低下することになる。各調査プロットの空間線量率は2011年を100とすると、ADR\_1mが90~104、ADR\_10cmが91~101であった。すなわち空間線量率の低下の程度は放射性セシウムの物理的減衰に比べて小さかった。スギ3プロット(川内、大玉、只見)はADR\_1mとADR\_10cmが、昨年比それぞ

れ93~104%、97~101%であり、只見では前年に比べてやや増加していた。空間線量率の低下の程度が放射性セシウムの物理的減衰よりも低かった理由は、林冠の葉や枝に付着した放射性セシウムが林床に移動したことが考えられる。昨年スギ林では森林全体の約半分が葉や枝に存在していた(5)。この放射性セシウムが雨による溶脱やリターフォールによって地表に移動したと考えると、放射性セシウムの多くは堆積有機物層や土壌に移動することになる。放射性セシウムは土壌中の粘土鉱物に固定されるので、土壌に移動したとしても大半は表層付近にとどまると推定される。空間線量率は地上高1mあるいは地上高10cmで測定するため、放射性セシウムの地表への集中によって森林全体の放射性セシウムの低下に比べて、空間線量率の低下の割合が小さかったと考えられる。大玉アカマツや大玉コナラでは昨年の調査において葉や枝の放射性セシウムの分布割合はスギより小さかったことに加え、マツの葉はスギに比べて寿命が短いことや落葉広葉樹では冬季にすべての葉が落葉することにより、葉や枝の放射性セシウムの地表への移動程度がスギより大きかったと推察される。このため、大玉アカマツや大玉コナラの空間線量率の低下の割合はスギよりも小さかったと考えられる。

空間線量率の空間変動のパターンは全体的には昨年から大きな変化はみられなかった。このことは地表での放射性セシウムが移動が小さかったことを示唆する。しかしながら、川内スギの試験地では谷川付近の空間線量率の低下がやや大きかった(図-2)。谷川周囲の土壌は増水時に攪乱を受けることから、土砂の浸食や堆積などによって放射性セシウムが状況が変化し、空間線量率が低下したものと推察される。今回調査した森林は、只見スギが傾斜29度とやや急峻であり、川内スギにも急傾斜地が存在したが、それ以外は傾斜16度以下と緩傾斜地であった。このため放射性セシウムが地表での移動が起これにくかったと考えられる。わが国の森林は一般に急傾斜地に植栽されていることが多いので、斜面における放射性セシウムの移動について注意していく必要があるだろう。

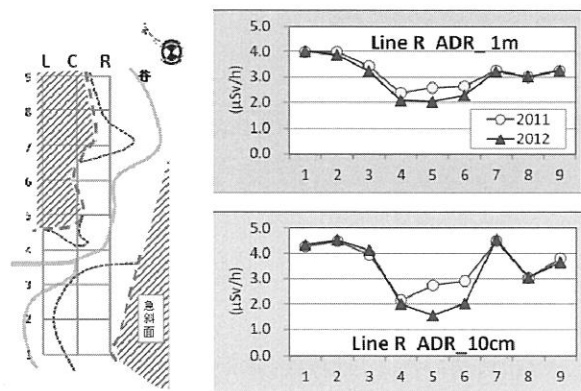


図-2 川内スギの調査プロットのラインRにおける2011年と2012年の空間線量率(ADR\_1m, ADR\_10cm)の変動

Fig.2 The variation of air dose rate (1m and 10cm) measured at line R in Kawauchi Sugi plot in 2011 and 2012

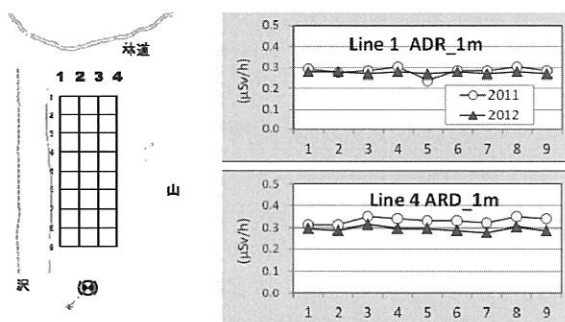


図-3 大玉スギの調査プロットのライン1とライン4における2011年と2012年の空間線量率(ADR\_1m)の変動

Fig.3 The variation of air dose rate measured at 1m of line 1 and 4 in Otama Sugi plot in 2011 and 2012

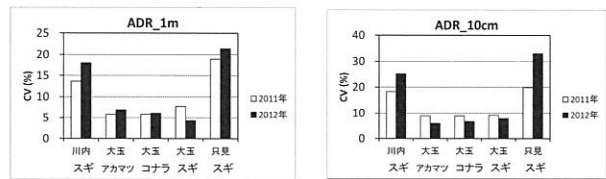


図-4 各調査プロットの空間線量率(ADR\_1m, ADR\_10cm)の変動係数の2011年と2012年の比較

Fig.4 The comparison of variation coefficient of air dose rate (1m and 10cm) in each plot between 2011 and 2012

## V 謝辞

本研究は森林総合研究所交付金プロジェクト「森林・林業・木材における放射線影響に関する基礎的研究」および林野庁「森林内における放射性物質実態把握調査事業」により行われた。現地調査では林野庁関東森林管理局福島森林管理署、磐城森林管理署、会津森林管理署南会津支署、ならびに福島県自治体の方々にも多大なるご協力をいただきましたこと深く感謝します。

## VI 引用文献

- (1) 金子真司 (2012) 森林における放射性物質の汚染状況と今後の課題 (P.23-26). 別冊化学: 検証福島第一原発事故. 化学同人, 京都
- (2) IAEA (2006) Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience, report of the Chernobyl forum expert group
- (3) 金子真司・外崎真理雄・清野嘉之・池田重人・黒田克史・田中浩・川崎達郎・齊藤哲・梶本卓也・阿部真・杉田久志・矢崎健一・太田敬之・三浦覚・志知幸治・大貫靖浩・阪田匡司・篠宮佳樹 (2012) 東京電力福島第一原子力発電所事故による森林放射能汚染の実態調査. 関東森林研究 63(1), 97-100
- (4) 原子力安全委員会(2011)「現在の空間線量率から将来の空間線量率を予測する考え方について」に関する助言. 第64回原子力安全委員会資料1-2号 [http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/ad/pdf/20110824\\_1.pdf](http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/ad/pdf/20110824_1.pdf)
- (5) 金子真司・坪山良夫(2012)森林の放射能汚染と除染. 学術の動向 17(10), 10-16