

(別添)

森林の除染実証試験（下草・落葉の除去）結果について

1. 背景と目的

東京電力福島第一原子力発電所の事故により、発電所周辺の大半を占める森林地域に大量の放射性物質が降下しました。その中で特に生活圏に位置する森林では、森林内の放射性物質が追加被ばくの線源となるおそれがあります。

森林内の放射性物質の分布に関するこれまでの調査により、森林に降下した放射性物質の多くが葉や落葉に分布していることがわかりました。

このような背景から、枝葉や落葉の除去が森林除染の有効な方法と考えられますが、効果を裏付ける実証的なデータを積み重ねることが必要です。

そこで、独立行政法人森林総合研究所は福島県林業研究センターと共同で、郡山市郊外にある同センター多田野試験林（図 1）の針葉樹林（スギ・ヒノキ、昭和 39 年植栽；写真 1）と落葉広葉樹林（コナラ等、昭和 27 年更新；写真 2）において、下草と落葉の除去による空間線量率の変化を調べました。



図 1 調査地点

調査地は福島第一原発から西に約 70km のところにあります。

(東経 140° 14′、北緯 37° 23′、標高 390m)



写真1（左） 調査地（針葉樹林）

写真2（上） 調査地（落葉広葉樹林）

2. 試験方法

森林の除染は、居住地や農地等生活圏に接している森林の縁から行いますが、そのような場所では放射性物質の影響が相互に及ぶため、森林除染の効果を正確に捉えにくくなります。そこで、この調査では、針葉樹林および落葉広葉樹林で覆われた斜面の中腹にそれぞれ正方形の調査区（ $20\text{m} \times 20\text{m}$ 、ただし長さは斜距離）を設け、その中心から外側に向かって段階的に範囲を拡げながら下草と落葉（落葉や落枝からなる堆積有機物層）の除去を行いました（図2）（写真3,4）。これらの除去の各段階で、調査区の中心地点の空間線量率を測定しました（写真5）。また、除去前、調査区の一部（ $12\text{m} \times 12\text{m}$ ）、そして調査区全体（ $20\text{m} \times 20\text{m}$ ）を除去した後で、調査区内の空間線量率（高さ 1m ）の分布を 2m 間隔で調べました。さらに、除去した下草と落葉をそれぞれ袋に詰めて重さを測定し、除去物の発生量を測定しました。

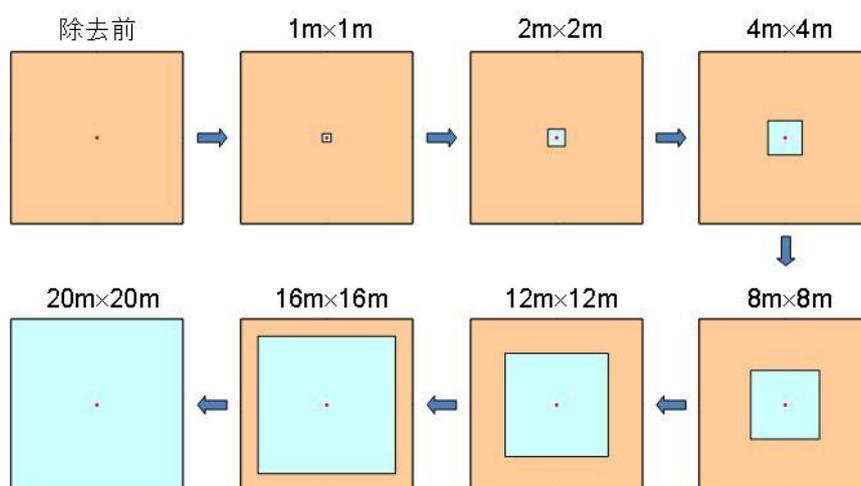


図2 調査方法（イメージ）

森林で覆われた斜面の中腹に $20\text{m} \times 20\text{m}$ （斜距離）の調査区を設け、その中心から外側に向かって落葉の除去範囲（図中青色の部分）を段階的に拡大しながら空間線量率の変化を調べました。



写真3 除去の様子



写真4 除去前(右)と除去後(左)の状況
(落葉広葉樹林)



写真5 除去後の空間線量率の測定



写真6 除去した落葉等の仮置場所

3. 結果

下草と落葉の除去により、調査区中心における高さ1mの空間線量率は、針葉樹林では除去前の毎時0.77マイクロシーベルトから毎時0.57マイクロシーベルトまで約7割に、落葉広葉樹林では除去前の毎時1.22マイクロシーベルトから毎時0.77マイクロシーベルトまで約6割に低減しました(図3)。針葉樹と落葉広葉樹のどちらの森林も、除去範囲が拡大するにつれて線量率が低下する割合が小さくなり、12m×12m以上除去しても線量率はほとんど変化しませんでした。一方、除去に伴い発生する落葉等の量は面積に比例して増加しました。

調査区内の空間線量率の分布には局所的な高低が見られましたが、全体として除去範囲の拡大とともに線量率が低下した範囲も広がることがわかりました(図4)。平均すると12m×12m除去時では、針葉樹林で除去前の毎時0.80マイクロシーベルトから毎時0.76マイクロシーベルトまで約9割に、落葉広葉樹

林では除去前の毎時1.16マイクロシーベルトから毎時1.01マイクロシーベルトまで約9割に、20m×20m除去時では、針葉樹林で除去前の毎時0.80マイクロシーベルトから毎時0.67マイクロシーベルトまで約8割に、落葉広葉樹林で除去前の毎時1.16マイクロシーベルトから毎時0.83マイクロシーベルトまで約7割に、それぞれ低減しました（表1）。

除去に伴い発生した下草と落葉の累計の重量は、針葉樹林では約1,112kg、落葉広葉樹林では1,270kgとなりました（表2）。ただし、これは除去直後に測定した重さ（湿重量）の合計です。

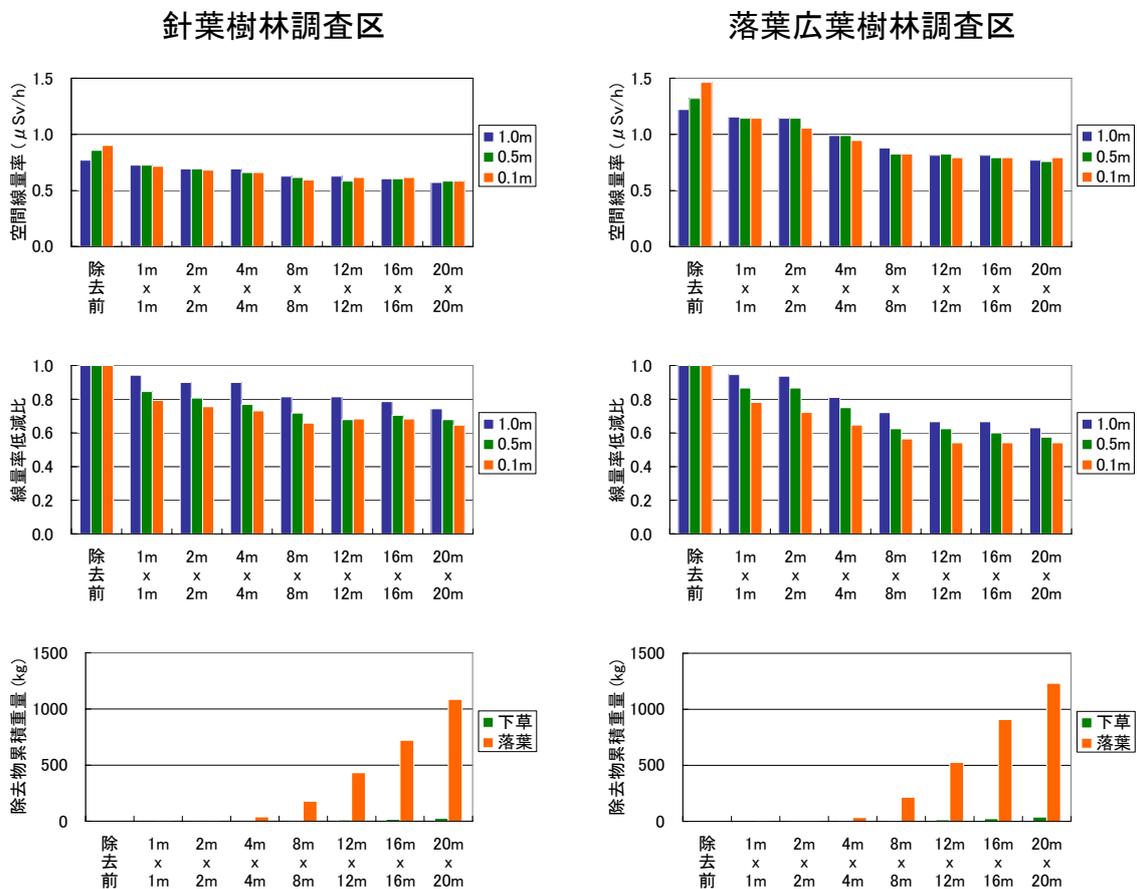


図3 除去範囲の拡大に伴う空間線量率（上段）、線量率低減比（中段）及び除去物累積重量（下段）の変化

針葉樹林調査区（左）に比べ、落葉広葉樹林調査区（右）の方が除去前の空間線量率が高く、下草と落葉除去に伴う除染効果が大きい結果になりました。

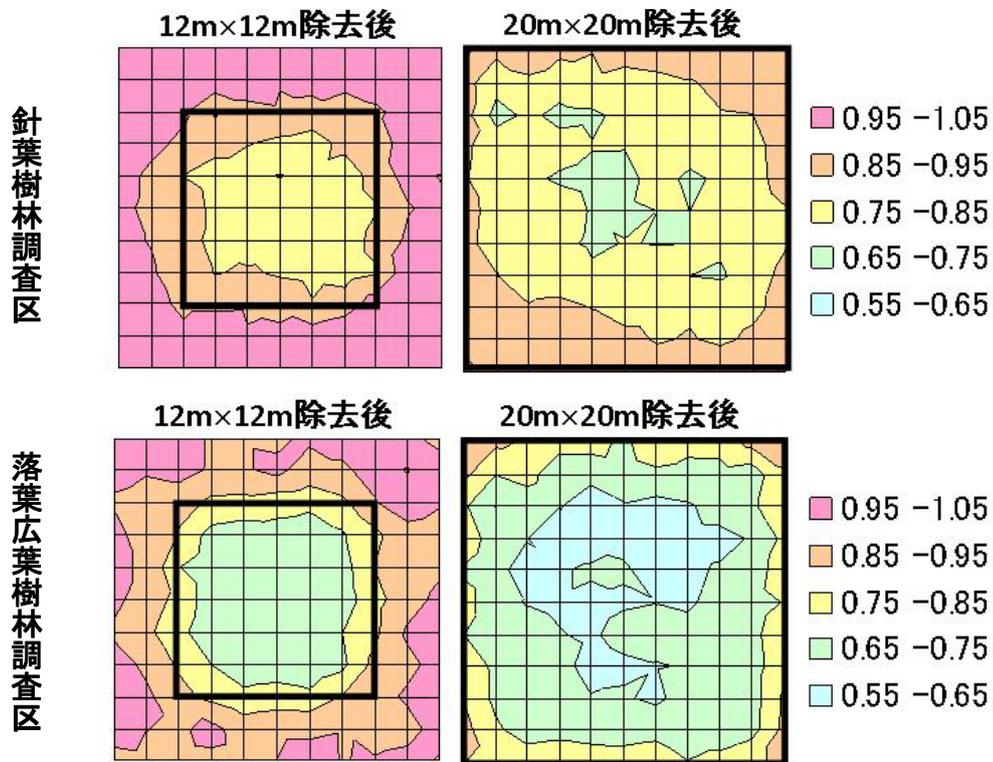


図4 針葉樹林調査区（上）と落葉広葉樹林調査区（下）における下草・落葉除去による空間線量率（高さ1m）の低下割合の分布（除去前の空間線量率に対する比）

除去範囲（黒い太線）の拡大に伴い、空間線量率が低下した場所が広がっています。

表1 調査区全体の空間線量率と線量率低減比の平均値*1

		除去前	12m×12m	20m×20m
針葉樹林 調査区	空間線量率 (μ Sv/h)	0.80	0.76	0.67
	線量率低減比	—	0.94	0.83
落葉広葉樹林 調査区	空間線量率 (μ Sv/h)	1.16	1.01	0.83
	線量率低減比	—	0.87	0.72

*1 調査区内 121 点の平均値

表 2 発生した下草と落葉の累積重量

	針葉樹林		落葉広葉樹林	
	下草	落葉	下草	落葉
湿重 kg	26	1086	38	1232
t/ha ^{*2}	0.8	33.7	1.1	35.3

^{*2}針葉樹林の平均傾斜 36 度、落葉広葉樹林の平均傾斜 29 度として平面あたりの重量を計算

4. 考察

放射性物質の除去によって空間線量率がどのように下がるか、モデルでシミュレートしたところ、低下する程度は除去範囲の拡大とともに次第に緩やかになることが示されました（補足資料）。モデルでは計算が容易なように除去範囲は円形としましたが、森林内では立木などがあって円形に除去するのは実行上難しいので、今回の調査では除去範囲を正方形としました。結果はモデルと同様に、調査区の中心地点の空間線量率の低下は除去範囲の拡大とともに次第に緩やかになりました。ただし、図 3 と図 4 からわかるように、調査区の中心地点の空間線量率の低下は次第に緩やかになるものの、空間線量率が低下する範囲は拡大しました。

落葉広葉樹林調査区の方が針葉樹林調査区よりも除去前の空間線量率が高く、下草と落葉の除去に伴う除染効果が大きかったのは、放射性物質が大量に降下した時期に葉が落ちていたので、下草や落葉に付着している放射性物質の割合が大きかったためと考えられます。

また、下草と落葉の除去によって空間線量率が低下する程度は、上空の枝葉に付着している放射性物質の影響や除去後の地表面に残る放射性物質の割合によって変わることが、モデルシミュレーションによりわかりました（補足資料）。

一方で、除去に伴い発生する落葉等の量は除去面積に比例して増加します。また、森林の保全や放射性物質の再拡散防止の観点から、降雨等により除去後に露出した表土が流出しないようにすることも重要です。除去にあたってはこれらのことを考慮に入れる必要があります。

本調査で得られるような実証データによる検証を経たモデルによる除染効果の予測は、森林の効果的・効率的な除染に役立つと考えられます。

(補足資料)

落葉層の除去範囲と空間線量率の変化の関係

落葉層の除去が空間線量率に及ぼす影響を評価するため、単純な条件を仮定して試算を行いました。その結果、落葉の除去後に地表に残る放射性物質や上空の枝葉に付着している放射性物質の影響があると、除去の範囲を拡げた時の効果が相対的に小さくなることが示されました。

1 試算の基本的な考え方

放射性物質が一様に分布している平面の中心で高さ 1 m の空間線量率を計算し、次に測定点を中心とする一定半径の円内の放射性物質を取り除いた時の空間線量率を計算します (図 5)。円の半径を変えることにより、除去の範囲を広げた時の空間線量率の変化を計算することができます。

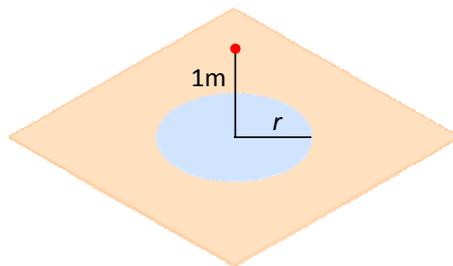


図 5 空間線量率の変化に対する除去率の影響

放射性物質が一様に分布している平面において、中心から半径 r の円内の放射性物質を取り除いた時の高さ 1 m の空間線量率を計算しました。

2 試算結果 (その 1) 放射性物質の一部が地表に残る場合

実際の森林で落葉層を除去する場合、落葉の取りこぼしや、落葉の下の土壌に付着している放射性物質の影響があるため、地表の放射性物質を完全に除去できない可能性があります。そこで、地表から除去される放射性物質の割合を 1 割～10 割の範囲で変えて計算を行いました。その結果、除去される放射性物質の割合が小さくなると、除去の範囲を拡げた時の空間線量率の下がり方が小さくなることが示されました (図 6)。

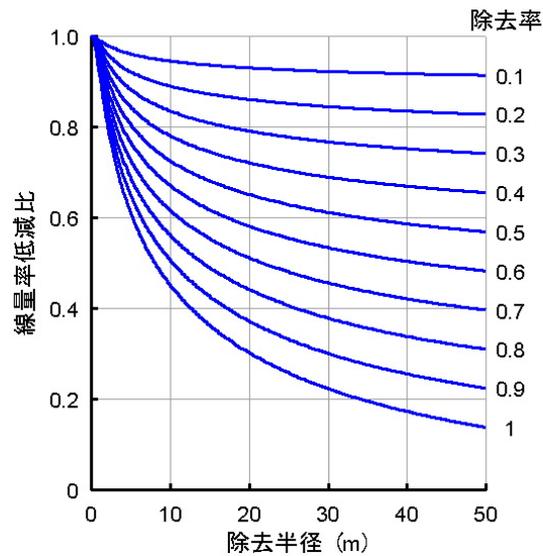


図6 空間線量率の変化に対する除去率の影響

図3の水色で示した範囲における放射性物質の除去率を変えて計算を行いました。放射性物質が完全に除去された時（除去率=1）に比べ、除去率が小さくなるにつれて同じ範囲を除去した時の空間線量率の下がり方が小さくなりました。

3 試算結果（その2） 林冠にも放射性物質が付着している場合

これまでの現地調査によって、スギなどの常緑樹では地表の落葉層と同じくらいの割合の放射性物質が林冠にも付着していることが知られてきました。

このような状況では、森林内や森林の近くの空間線量率は林冠にある放射性物質の影響も受けます。そこで、放射性物質が地上から一定の高さにも面的に分布している状況を想定し（図7）、放射性物質のすべてが地表にある場合（10：0）から9割が上側にある場合（1：9）まで、上下の比率を変えて計算を行いました。その結果、上側の放射性物質の比率が大きくなると、除去の範囲を拡げてもの空間線量率の下がり方が小さいことが示されました（図8）。

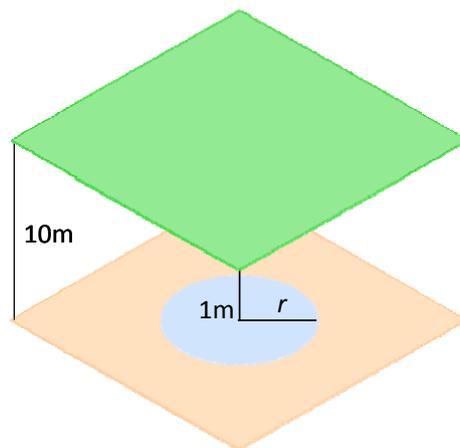


図7 放射性物質の付着した平面が上下にある場合の落葉除去のイメージ

林冠にも放射性物質が付着している状況を単純化して、上空の一定の高さにも放射性物質が一様に分布していると仮定しました。

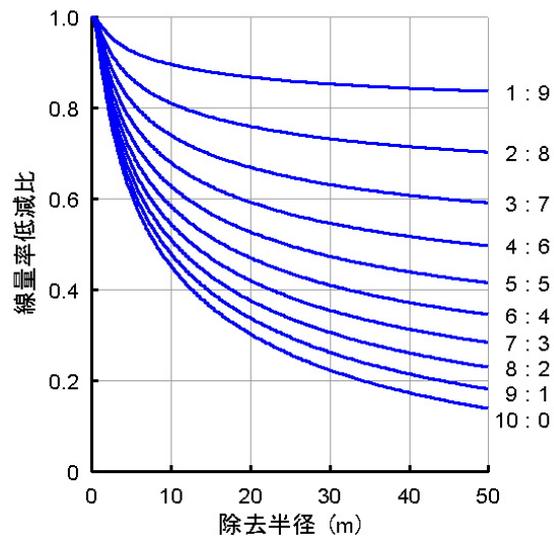


図8 空間線量率の変化に対する上下の放射性物質の比率の影響

上下の放射性の比率を、すべて地表にある場合（10：0）から9割が上側にある場合（1：9）まで変えて計算を行いました。

なお、実際の森林の林冠は様々な高さにある枝葉の集まりで、そこに付着した放射性物質も厚みのある層として分布していますが、ここでは計算を容易にするために条件を単純化しています。