

## 論文 (Original article)

# 北関東の山地斜面における希な樹種を用いた落葉移動距離の解明

阿部俊夫<sup>1)\*</sup>、坂本知己<sup>2)</sup>、壁谷直記<sup>3)</sup>、萩野裕章<sup>3)</sup>、  
延廣竜彦<sup>4)</sup>、野口宏典<sup>2)</sup>、田中 浩<sup>5)</sup>

### 要旨

溪流への落葉供給源の範囲を明らかにするため、北関東の山地斜面において希な樹種(樹高15 mと18 mのクリ)をトレーサーとして落葉移動距離を調べるとともに、以前に作成した落葉散布モデルの検証をおこなった。また、落葉移動のデータは福島原発事故により汚染された森林からの放射性物質の流出防止を考えるうえでも重要といえる。溪流の両岸斜面上に各3本の調査ラインを設けて調査したところ、落下時の葉の散布範囲は、おおよそ左岸側では根元から30 mまで、右岸側では15~20 mまでであった。その後、冬期間の林床上での移動によって、左岸側では落葉分布のピークが5~10 m斜面下方へシフトしたが、林床植生による阻害のため、分布範囲が落下時より広がることはなかった。一方、右岸側では風が極めて弱く、明瞭な分布パターンの変化はおこらなかった。これらの結果から、落葉供給源の範囲には林床での移動より落下時の移動が強く影響すること、また、落葉移動にともなう放射性物質の流出防止に林床植生が有効であることが明らかとなった。落葉散布モデルの検証に関しては、調査個体近くの風データでパラメータ補正することにより落葉散布パターンの推定精度は若干改善した。しかし、多方位の推定に必要な各方位の落葉総数は落葉数を実測しないと分からなかった。今後は、より正確で面的予測の可能なモデルの開発が必要と考えられる。

キーワード：落葉リター、移動距離、風、林床植生、小川群落保護林

### 1. はじめに

落葉などの有機物は、付着藻類とともに河川にすむ水生動物にとって重要なエサ資源であり(Cummins et al. 1973, Hicks 1997, 阿部・布川 2005)、川底にできる落葉の集積は底生動物の微生物場所としても機能している(加賀谷 1990, Kobayashi and Kagaya 2004)。特に、山地溪流では森林からの落葉・落枝が有機物供給の大部分を占めており、付着藻類の1次生産は少ない(Fisher and Likens 1973, Kochi et al. 2004, 阿部ら 2006a)。生態学的観点から溪流への落葉供給源を保全しようとする場合、供給源の範囲が川岸からどこまでかが問題となるが、これは落葉の移動距離によって決定されるものである。森林における落葉移動は、樹冠から落下する際の移動と落下後の林床での再移動の2プロセスに分けられ、両プロセスとも溪流へのリター供給量はよく調べられているものの(例えば Fisher and Likens 1973, 安田ら 1989, 岸ら 1999, Kochi et al. 2004)、具体的な移動距離について明らかにした研究事例は多くない。

一方で、落葉の移動には、放射性物質の拡散という負の側面もある。現在、東京電力福島第一原子力発電所の事故により放出された大量の放射性物質が東日本の森林地帯に降下し深刻な問題となっており(大久保

ら 2012, 金子・坪山 2012)、林床のリター層では放射性セシウム濃度が高いことが知られている(金子・坪山 2012, 金子ら 2012)。落葉リターの移動にともなう放射性セシウム流出について検討するうえでも、森林における落葉移動の実態解明は重要と考えられる。

著者らは、以前の研究において、山地にある希な樹種を利用して落下時の落葉散布を追跡し(阿部ら 2006b)、林床での移動については落葉模型を用いた野外実験により最大傾斜方向の平均移動距離を明らかにした(阿部ら 2009)。しかし、個々の落葉の総移動距離は落下時の移動と林床での移動との合計であり、特に林床での落葉移動が活発と予想される場所では、樹冠から散布された実際の落葉が林床上でどう分布を変化させるかについて調べる必要がある。そこで、本研究では、希な樹種を用いて落葉散布および林床での再移動を2斜面の各3方向について調査し、2つの移動プロセスを合わせた落葉移動距離の解明を試みた。また、以前の研究で物理モデルによる落葉散布推定法を考案したが(阿部ら 2006b)、検証データが斜面の最大傾斜方向のみと不十分であったため、本研究で得た落葉散布データを用いてモデルの再検証をおこなった。

原稿受付：平成 25 年 6 月 25 日 原稿受理：平成 26 年 2 月 4 日

1) 森林総合研究所東北支所

2) 森林総合研究所気象環境研究領域

3) 森林総合研究所九州支所

4) 森林総合研究所北海道支所

5) 森林総合研究所企画部

\* 森林総合研究所東北支所 〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷 92-25

## 2. 研究方法

### 2.1 調査地の概要

小川群落保護林は、茨城県北端の阿武隈高地に位置するコナラ (*Quercus serrata*) やイヌブナ (*Fagus japonica*) を主体とした落葉広葉樹の自然林であり (Suzuki 2002)、東京電力福島第一原子力発電所から 67 km 南西に位置する。気候は冷温帯に属し、夏期は温暖で雨が多いが、冬期は寒冷で降水量が少なく林内にも強い風が吹く (阿部ら 2008)。冬期でも林床が雪に覆われることは少ない。この保護林のなかには、森林動態研究のために設けられた 6 ha の大面積長期生態観察用試験地 (森林総合研究所 2013) があり、中央を小溪流が流れている (Fig. 1)。林冠層を構成する高木のなかで個体数が少ない樹種はクリ (*Castanea crenata*) であったが、クリは葉の形が特殊 (複葉や裂葉など) ではなく、葉の大きさも落葉広葉樹としては中庸である。そこで、本研究では左岸側斜面および右岸側斜面に生育するクリを 1 個体ずつ選び調査対象とした (Fig. 2)。これらは阿部ら (2006b) の調査個体と同一であり、樹高と胸高直径はそれぞれ左岸側が 15 m、約 0.5 m、右岸側が 18 m、約 0.3 m であった。樹高は右岸側個体の方が高いが、樹冠は左岸側個体の方が大きく、平面に投影した樹冠の大きさは、左岸側では傾斜方向 6 m × 等高線方向 6 m、右岸側では傾斜方向 3.5 m × 等高線方向 4.5 m であった。なお、両個体とも樹冠が斜面下方に偏っており、根元から見た樹冠中央の位置は左岸側では 3 m 下方、右岸側では 1.7 m 下方にあった。斜面の傾斜は、左岸側が約 20°、右岸側が約 30° であり、林床にはところどころに高さ 1 m 以下のササ群落 (*Sasamorpha borealis*, *Sasa nipponica* など) が存在した。

### 2.2 落葉分布状況の調査

左岸側斜面、右岸側斜面それぞれについて、調査対象のクリから 3 方向に落葉調査ラインを設けた (Fig. 2)。調査ラインは、斜面の最大傾斜方向とその両側に 22.5° (16 方位の 1 方位分) ずらした方向であり、左岸側は上流より順に L1、L2、L3、右岸側は上流より R1、R2、R3 と呼称する。ラインの長さは水平距離で左岸側 40 m、右岸側 20 m である。右岸側のラインが短いのは、調査個体より下の斜面が短く、距離 20 m でほぼ溪流へ到達するためである。

調査ラインに沿って、落下時の落葉散布を調べるためのリタートラップ (開口部 0.5 m<sup>2</sup> の円形) と、林床での落葉分布を調べるための林床コドラート (面積 0.5 m<sup>2</sup> の方形) を設置した (Photo 1)。リタートラップは根元から距離 20 m までは 5 m 間隔で、距離 20 m 以上は 10 m 間隔で設置し、林床コドラートもリタートラップに隣接するように設置した。リタートラップでの調査は 2005 年 10 月 21 日に開始し、樹冠の葉がほぼ無くなった同年 11 月 24 日に終了した。トラップの

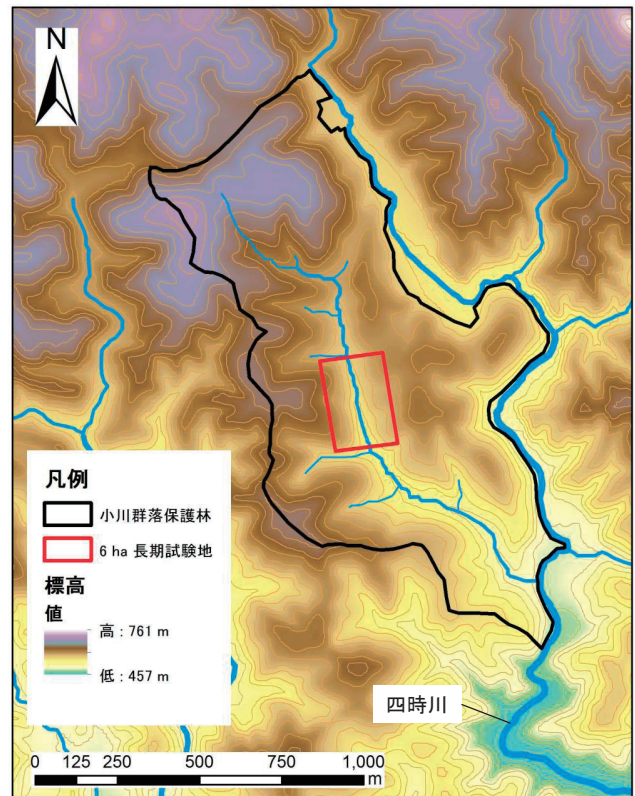


Fig. 1. 小川群落保護林の地形と長期試験地の位置  
等高線は 10 m 間隔である。

中味は約 1 週間おきに回収し、研究室でクリ落葉の枚数を調べた。林床コドラートでの調査は 2005 年 11 月 25 日に開始し、翌春、樹木の葉が展開する直前の 4 月 24 日に終了した。葉の展開後は林内の風が弱まり (阿部ら 2008)、林床の落葉移動が不活発となることが知られている (阿部ら 2006a)。林床コドラートについては、原則として約 1 ヶ月おきに現地にてクリ落葉の枚数を調べ、調査終了後は落葉をコドラート内に戻した。

### 2.3 林内での風の観測

落葉移動を引き起こす主要な営力として林内で風の観測をおこなった。林冠層の下部に届く高さ 13 m のメインタワーを地形の緩やかな谷底部に設置し (Fig. 2 の A)、4 高度 (13 m、8.6 m、4.3 m、1 m) の風速および高さ 13 m の風向を計測した。このうち、高さ 1 m の風速については林床での落葉移動に関係する (阿部ら 2009) と考え計測したものである。さらに、以前の研究 (阿部ら 2006b) では斜面により風の吹き方が異なる可能性も示唆されたが、斜面上で林冠層に届くような高いタワーを設置するのは難しいため、高さ 4.3 m のサブタワーを調査対象木の近くに設置し (Fig. 2 の B、C)、2 高度 (4.3 m、1 m) の風速および高さ 4.3 m の風向を計測した。いずれのタワーでも、風向、風速は 5 秒ごとの瞬時値を記録した。風向の測定は各タワーの最

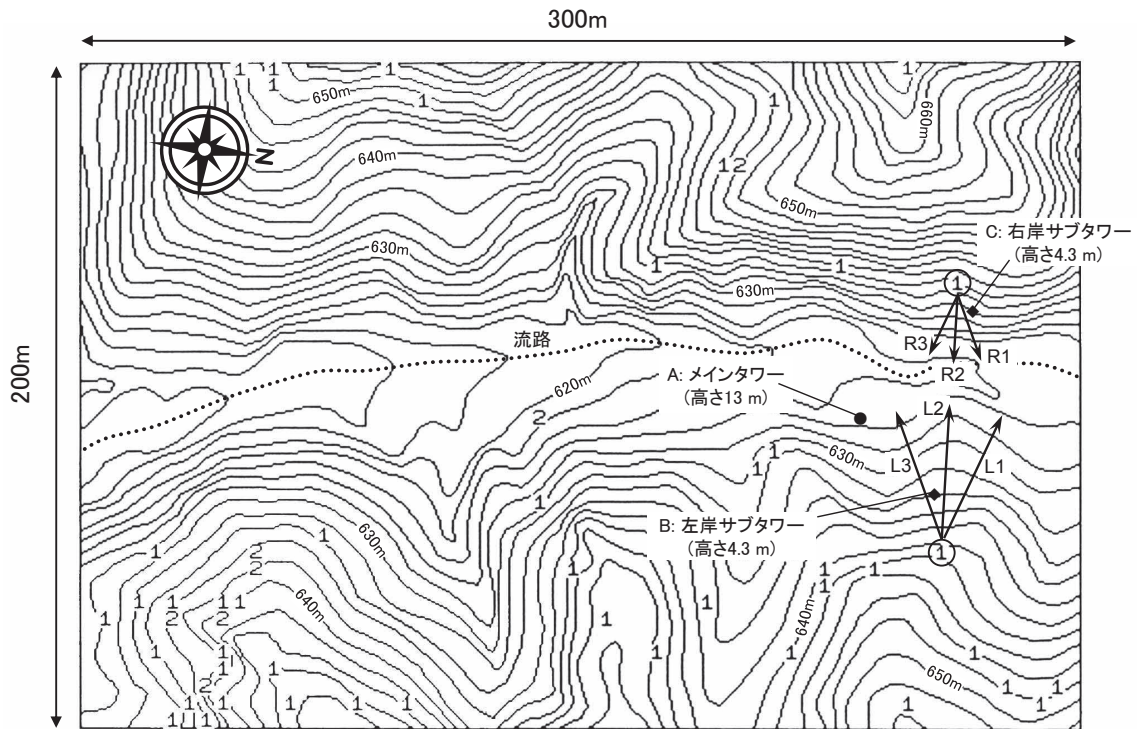


Fig. 2. 長期試験地内に設けた落葉調査ライン (矢印) と風向・風速計の位置 (A ~ C) 数字は 5 m メッシュ内のクリ本数を示す (調査対象木は丸で囲った)。



Photo 1. 右岸斜面に設置したリタートラップと林床コドラート (ピンクの枠)

上部のみであるが、ほかの高度でも同じと仮定した。メインタワー A での観測の詳細については、阿部ら (2008) を参照されたい。サブタワー B、C についても、高さ以外の構造や観測機器は同様である。

#### 2.4 林床植生および斜面傾斜の調査

林床での落葉移動では、営力となる風以外にも林床植生と斜面傾斜の影響が明らかになっており、林床植生が少なく、傾斜の急な箇所ほど落葉は移動しやすい (阿部ら 2005, 2009)。そこで、落葉調査ラインに沿って、コドラート間の林床植生の被度と斜面傾斜を調べた。林床植生については、隣接するコドラートの間を

1 m ごとに区切って被度を求め (幅は 1 m とした)、それらの平均値を計算した。植生被度の計測の際は、測量ポールを目印として地面に置き、目視にて被度を 5 % 単位で評価した。斜面傾斜については、超音波樹高測定器 (Haglof 社 Vertex III) を用いて各ラインの縦断測量をおこない、コドラート間の平均傾斜を算出した。

#### 2.5 モデルによる落葉散布パターンの推定

落下時の落葉移動について、以前に作成したモデル (阿部ら 2006b) を用いて 6 ラインの落葉散布パターンを推定し、観測された散布パターンとの比較をおこなった。このモデルは、Greene and Johnson (1989) の風散布種子の散布モデルを改良したものであり、元のモデルでは落下高が一定の平地を想定しているが、本モデルは落下高が距離によって変化する斜面にも適用可能である。本モデルは風速が対数正規分布することを利用しており、落葉移動距離の変動は風速変動によって決定される。無風時については計算しないため、樹冠近傍の推定値が過小になる問題はあるが、落葉がどれくらい遠くまで散布されるかといった検討は可能である (阿部ら 2006b)。本モデルの式は以下の通りである。

$$\frac{dQ}{dx} = \frac{Q(H-xH')}{Hx\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left\{-\left[\frac{\ln(xF/Hu_g)}{\sqrt{2}\sigma}\right]^2\right\}$$

ここで、 $Q$ : 落葉の総数;  $x$ : 樹冠中央からの水平距離 (m);  $H$ : 樹冠中央から地面までの高さ (m);  $H'$ :  $H$  の

$x$  による微分  $dH/dx$ ;  $F$ : 落葉の落下速度 (m/s);  $u_g$ : 風速  $u$  (m/s) の幾何平均;  $\sigma$ :  $\ln(u)$  の標準偏差である。計算では、根元ではなく樹冠の中心を基準とすることに留意されたい。上式で計算される  $dQ/dx$  は、本来、供給源を中心とした半径  $x$  の円周上に落下する落葉数であるが、著者らは特定の方位に限定して計算をおこなうため (16 方位の 1 方位分に相当する  $22.5^\circ$  の角度範囲)、単位面積あたりの落葉枚数は  $dQ/dx$  を円弧長 ( $2\pi x/16$ ) で除した値となる。

風速分布のパラメータ  $u_g$  と  $\sigma$  は、リタートラップの回収期間ごとに各調査ラインの方向へ吹く風 (ラインを中心とした  $22.5^\circ$  の角度範囲の風) を抽出し、林床に近い高さ 1 m を除く 3 つの風速計のデータをまとめて算出した。原則としてメインタワー A の風データを用いたが、斜面により風の吹き方が異なる可能性もあるため、サブタワー B、C の風速で補正したパラメータでもモデル計算をおこなった。パラメータの補正值は、 $u_g$  と  $\sigma$  のそれぞれについて、メインタワー A の 3 高度をまとめて算出したパラメータと高さ 4.3 m の風速のみから算出した値との回帰式を作成しておき、この式にサブタワー B、C の高さ 4.3 m の風速から算出された値を代入して求めた。

落下高  $H$  は、傾斜地の場合、距離  $x$  の関数と考えられ、阿部ら (2006b) は  $H$  を  $x$  の多項式で近似したが、本研究では距離  $x$  1 m ごとの  $H$  を地形測量データから求めておき計算に用いた。葉の落下速度  $F$  と落葉総数  $Q$  の決定方法については、阿部ら (2006b) とほぼ同様である。すなわち、落下速度  $F$  は、無風の屋内 (高さ 7 m) で計測した乾燥状態と湿潤状態の落下速度を降雨のない時間、あった時間で重み付けし平均的な落下速度を算出した。計測に用いたクリ落葉は、左岸側、右岸側で別々にリタートラップのなかから無作為に抽出し (左岸側 220 枚、右岸側 127 枚)、降雨の有無は約 1.5 km 下流で計測した雨量データ (阿部ら 2011) から時間単位で判断した。落葉総数  $Q$  は、根元から 10 m 以上の範囲についてトラップの観測データから算出された落葉総数とモデルで計算される値が一致するように決定した。根元から 1 m と 5 m のトラップはほぼ樹冠下にあり、無風時の落葉が多数落下すると予想されるため、 $Q$  の決定において計算範囲から除外している。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 落葉期における落葉散布と風

樹冠から落下する際のクリ落葉散布は、ほとんどが根元から 5 m 付近にピークを持ち、距離が離れると急速に減少した (Fig. 3)。クリ落葉の入った最遠方のトラップは左岸側ではライン L3 の 30 m 地点、右岸側はライン R1 の 20 m 地点であったが、落葉期全体で 1 トラップに 1~2 枚 ( $1\text{m}^2$  あたり 2~4 枚) と極めて少なく、大まかにみれば左岸側は距離 30 m、右岸側は 15~20

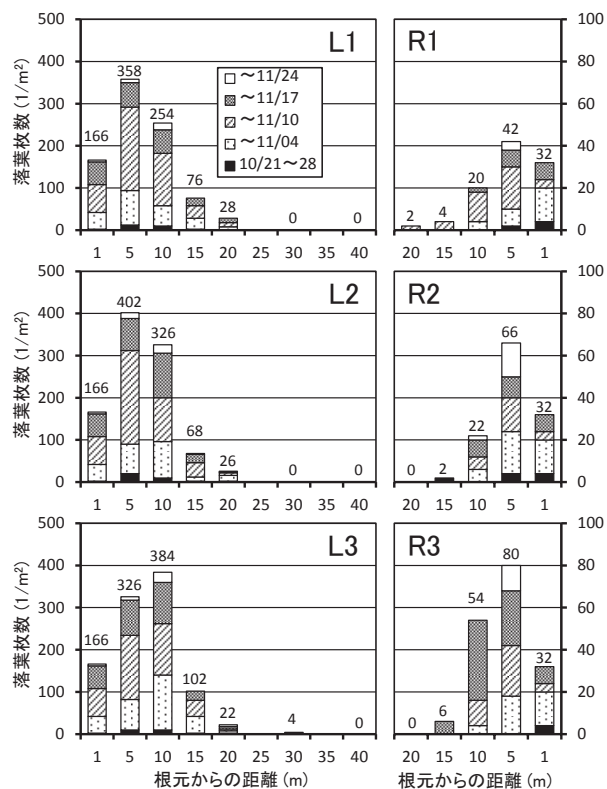


Fig. 3. 落葉期におけるクリ落葉の散布状況  
図中の数字は落葉の総数を表す。

m でほぼ落葉散布がなくなった。この結果は、2 年前におこなった阿部ら (2006b) の調査と同様であり、同一斜面ではラインによる散布範囲の大きな違いは認められなかった。落葉散布範囲に関する既存の研究では、Stone (1977) が樹高 15 m のサトウカエデで 30 m 以内、Ferrari and Sugita (1996) は樹種により 7.9~29.3 m 以内といった報告をしており、著者らの結果もこれらに近い。また、落葉散布のピークは 5 m ないし 10 m であったが、この付近は樹冠直下や樹冠の縁に近い場所である。樹冠近傍には無風時や弱風時に発生した落葉が集中して落下するが、根元の近くは幹や大枝が落葉の障害となるため、根元ではなく樹冠の縁付近が落葉数のピークになったものと考えられた。

落葉期の風向は、基本的に北~北東の風が多かった (Fig. 4)。斜め追い風となる左岸側のライン L3 では、6 ライン中で唯一落葉散布のピークが距離 10 m にあり、わずかだが距離 30 m まで落葉が散布されるなど風向の影響があったと考えられた (Fig. 3)。一方、右岸側では風速 1 m/s 以上の風の頻度が少なく、ラインに対して横風または斜め向かい風であった。右岸側の落葉散布範囲が左岸側に比べて狭かったのは、このためと考えられた。右岸側では、下流側のラインほど落葉数が多くなる傾向もみられたが (Fig. 3)、上流側からの横風によって落葉が下流側へ運ばれたためではないかと思われた。

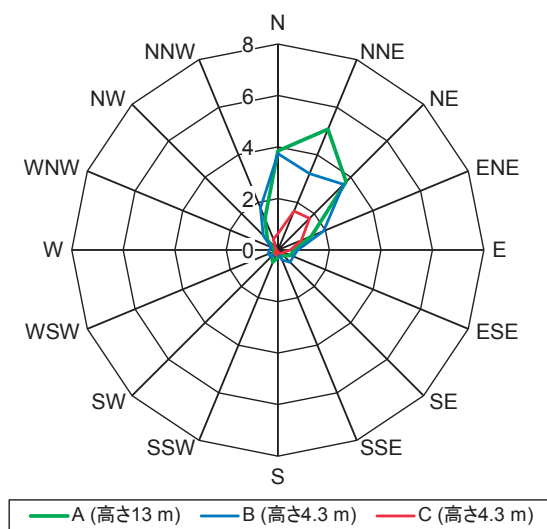


Fig. 4. 落葉期における風配図  
10月21日～11月24日における風速1 m/s以上の%頻度を示した(全データ数は587520)。

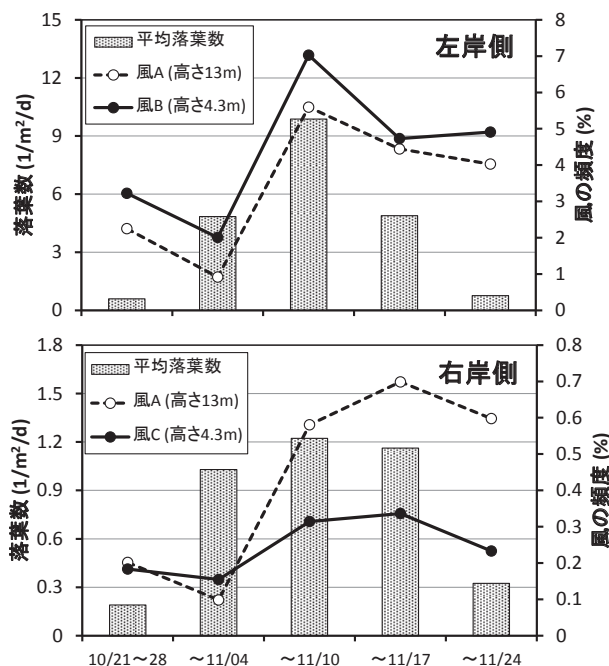


Fig. 5. 平均落葉数および風の頻度の季節変化  
風の頻度は全データ数に対するL1～L3またはR1～R3方向の風速1 m/s以上の割合である。

調査時の観察によると、強い風が吹いたときに葉が落下することがある一方で、落葉最盛期には無風時であっても葉は落下していた。樹冠近傍の落葉数が極めて多い (Fig. 3) ことから無風時における落葉発生は希でないと考えられる。調査期間中の平均落葉数をみると落葉期中頃をピークとする1山型の変化を示したが、風の頻度の変化に一定の傾向は認められず (Fig. 5)、3つのタワーのいずれでも風の頻度と落葉数の間には有意な相関は認められなかった ( $r = 0.28 \sim 0.56$ ,  $p = 0.33 \sim 0.65$ )。これらのことから、1日のような比較的短い期間内では風が落葉発生を促進している可能性はあるが、落葉期全体としてみれば、落葉の発生には風よりもフェノロジーの効果の方が大きいといえる。

### 3.2 冬期の林床での落葉分布と風向、林床植生、斜面傾斜

林床上の落葉分布は、落葉期末 (11月25日) では落下時の散布パターンと類似しており、分布のピークは距離5～10 mにあったが、その後、左岸側ではピークが徐々に斜面下方へ移動していく様子が観測された (Fig. 6)。翌春 (4月24日) には、左岸側における落葉分布のピークは距離15 m付近へと移動していた。調査ラインごとにピークの高さは異なるものの、いずれもピークの移動距離は5～10 mであり、距離20 m以遠の分布にはほとんど変化が認められなかった。落葉模型を使った野外実験でも、隣接する斜面では最大で13.1 mの平均移動距離が観測されていることから (阿

部ら 2009)、ピークの移動距離はおおむね妥当な値と考えられる。一方、右岸側に関しては、ピークの移動をとまなうような落葉分布の変化はほとんどなく、ラインR1で落葉数の増加が認められたのみであった (Fig. 6)。

このように、左岸側 (特にラインL3) では落葉分布ピークの移動が明瞭なのに対して、右岸側で分布パターンの変化が不明瞭となったのは、風の吹き方の影響が大きかったと考えられた。林床上の落葉は、地表面の凹凸や他の落葉による被覆などで風を受けにくく、強風時でなければ移動しにくいと考えられるため (船田ら 2007)、林床付近における風速3 m/s以上の風について風向分布を調べてみたところ (Fig. 7)、右岸側のサブタワーCでは3 m/s以上の風はほとんどないことが分かった。風向分布は、風速4 m/s以上および5 m/s以上の風についてもほぼ同じであった。右岸側で落葉移動が不活発という結果は阿部ら (2009) でも得られていたが、その原因は落葉移動の引き金となるような風がほとんど吹かないためといえる。一方、左岸側のサブタワーBの風は落葉期と似ており、北～北北東の風が多かった。北北東の風の場合、ラインL3では斜め追い風となるため、斜面下方への落葉移動が促進されると考えられる。ラインL1とL2ではほぼ横風となるが、強風が移動のきっかけとなり、重力の作用で落葉が下方へ (おそらくは斜め下方へ) 移動することもあると思われる。

また、林床の落葉移動は、ササなどの林床植生が少

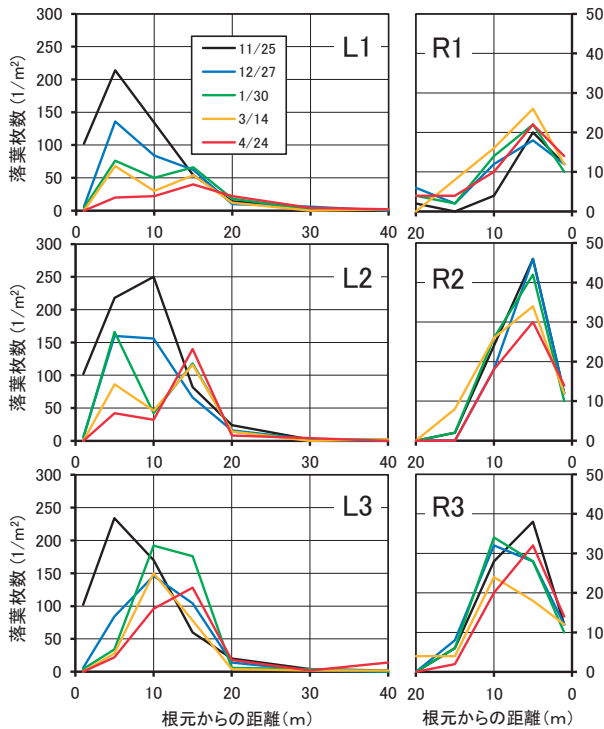


Fig. 6. 冬期における林床でのクリ落葉分布状況の変化

なく、傾斜が急な箇所ほど活発となること明らかにしている (阿部ら 2005, 2009)。調査ラインの傾斜は、左岸側が  $20^\circ$  前後、右岸側が  $30^\circ$  前後と右岸側の方が急であるが、右岸側では斜面上部 (距離 1 ~ 10 m) に林床植生の被度が 15 % 以上とやや高い箇所があった (Fig. 8)。阿部ら (2009) によると、林床植生の被度 20 % 以上ではほとんど落葉移動はおこらず、被度 15 % 前後でも他の条件によっては落葉移動がおきにくい。右岸側では落下時の落葉散布が多い斜面上部において林床植生が比較的多かったことが、前述した風の弱さと合わせて、右岸側斜面の落葉移動を妨げていると考えられた。左岸側でも距離 15 ~ 20 m 付近に林床植生の被度が 15 % 以上となる箇所があり (Fig. 8)、これらの植生が 20 m 以遠への落葉移動を妨げていたものと考えられた。

なお、ライン R1 における冬期の落葉数増加 (Fig. 6) については、R1 の上方または風上に散布された落葉の移入が疑われた。しかし、右岸側では風が極めて弱いうえ、R1 上で分布ピークのシフトも認められないことから、斜面上部からまとまった量の落葉移入があったとは考えにくく、また R1 の近くには他のクリ個体も存在しない。R1 近傍の林床で小規模な落葉移動はあったかもしれないが、ライン全体で落葉数が増加傾向となる原因までは分からなかった。

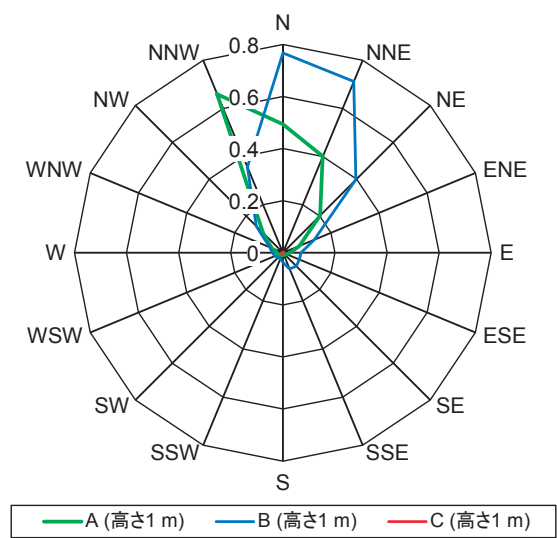


Fig. 7. 冬期における林床付近の風配図

11月25日~4月24日における風速 3 m/s 以上の % 頻度を示した (全データ数は 2592000)。

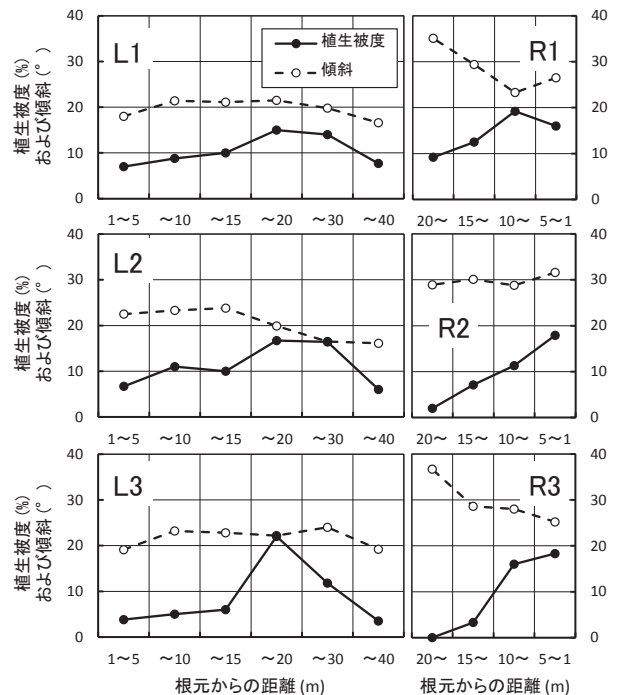


Fig. 8. 調査ラインの林床植生被度と斜面傾斜

### 3.3 放射性物質の流出に対する影響

通常、溪流への落葉供給は水生生物のエサ資源として好ましいものであるが、福島原発事故による放射性汚染が問題となっている地域では、森林からの放射性物質の流出を防ぐためにも落葉の移動はできるだけ抑制すべきと考えられる。林床での落葉移動は、上述のように林床植生の影響を強く受けるため、林床植生を用いて移動を抑制することが可能と考えられる。たとえば、斜面脚部や溪岸などにササや低木を20%以上の被度で造成すれば、斜面上方より林床を經由して溪流へ供給される落葉を止めることができるはずである。林床植生の造成が困難な場合には、ネットなど落葉を捕捉する人工物の設置も有効と思われる。一方、樹冠から溪流へ直接落下する落葉に関しては、移動を抑制する効果的な手段はない。本研究の結果では落下時の落葉散布範囲は根元から15~30mまでであり、溪岸から数10m以内にある高木を伐採するという方法も考えられるが、溪流生態系への悪影響など他に問題が生じる危険が高く、計画にあたっては慎重に検討すべきである。

現在のところ、福島県の落葉広葉樹林(コナラ林)では放射性セシウムの大部分は土壌層やリター層に存在し、生葉のセシウム濃度は低いため(林野庁2013)、新たに落葉した葉が大きな問題になることはない。ただし、チェルノブイリ原発事故により汚染されたウクライナの森林では放射性物質が森林内で循環していることが知られており(Zibitsevら2012)、我が国でも注意が必要である。土壌からナラ類の葉への放射性セシウムの移行係数は、定常状態において $1.2 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ であり(IAEA2010)、福島県の森林における放射性セシウム蓄積量は2012年で川内村 $1000 \text{ kBq m}^{-2}$ 、大玉村 $100 \text{ kBq m}^{-2}$ 前後と報告されている(林野庁2013)。仮に、蓄積量が変わらないままセシウム循環が定常状態に達したとすれば、将来、コナラ葉のセシウム濃度は川内村付近で $12.0 \text{ kBq kg}^{-1}$ 、大玉村付近では $1.2 \text{ kBq kg}^{-1}$ になると試算される。2012年の濃度は大玉村で $0.167 \text{ kBq kg}^{-1}$ であるので、約7倍の濃度上昇となる。

### 3.4 落葉散布モデルの検証

落下時のクリ落葉散布を以前に作成したモデル(阿部ら2006b)によって推定し、リタートラップによる観測結果と比較した(Fig.9)。モデル計算に用いたパラメータはTable1の通りである。本研究では無風時の落葉がほとんどないと予想される距離10m以遠について落葉総数が観測結果と一致するように $Q$ の値を調整したが、左岸側のモデル推定に関しては落葉数が距離10~20mで急減し、30m付近ではほぼ0枚になるといった特徴は再現された。詳細にみれば、ラインL2の15m地点のように過大推定となっている箇所もあるも

の、他の樹木が障害となってトラップの落葉数が少なかった可能性も考慮すれば、モデルによる推定結果は観測結果と比較的よく合っていると考えられる。一方、右岸側に関しては、ラインR2、R3で実際よりも遠方まで落葉が散布されるという推定結果となった。

阿部ら(2006b)でも右岸側でのモデル推定には同様の問題があったが、その原因の一つは前述したように斜面による風の吹き方の違い(Fig.4)と考えられる。そこで、斜面上のサブタワーB、Cのデータで風速パラメータ $u_g$ 、 $\sigma$ を補正してモデル計算をおこなったところ(Fig.9のモデルb)、右岸側の各ラインではやや改善が認められ、距離10m以遠の2乗平均平方根誤差RMSEは5.7~19.5枚/ $\text{m}^2$ から3.9~10.2枚/ $\text{m}^2$ へ減少した。左岸側については、メインタワーAとサブタワーBの風の吹き方が似ていたため(Fig.4)、モデルbでも大きな変化はなかった(Fig.9)。RMSEが18.7~72.8枚/ $\text{m}^2$ からモデルbで31.3~77.3枚/ $\text{m}^2$ へわずかに大きくなったが、これにはモデルbの風速パラメータが斜面上で樹冠層までの風速を測定して求めた値ではなく推定値であることが関係していると思われる。原則的には、調査個体に近い斜面上で観測された風データをモデル計算に用いた方が好ましいと考えられる。なお、モデルbであってもRMSEは十分に小さな値とは言いがたいため、特定の距離における落葉数を正確に予測したいような場合には、本モデルの適用は慎重に検討する必要がある。ただし、10m以遠の

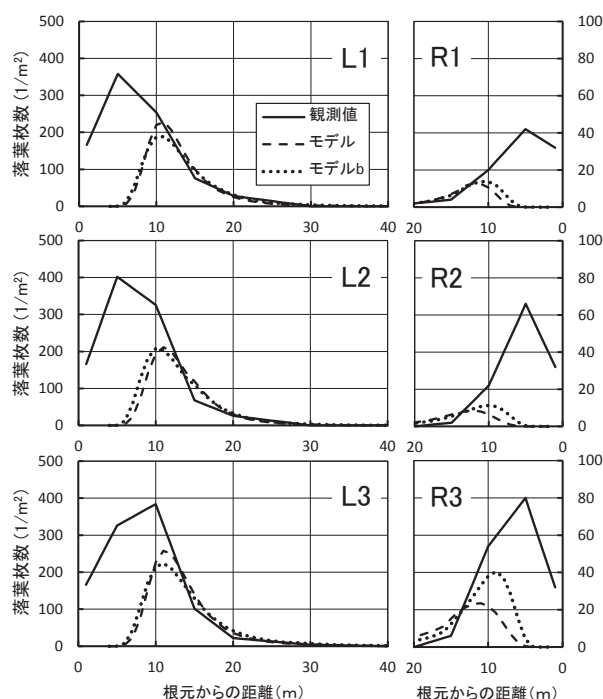


Fig.9. 落葉散布モデルによるクリ落葉の散布状況の推定  
モデルbでは、サブタワーのデータから推定した風速パラメータを使用した。結果は落葉期全体(10月21日~11月24日)のものである。

Table 1. 落葉散布モデルのパラメータ

ライン	期間	Q (枚)	u <sub>g</sub> (m/s)	σ	F (m/s)	モデル b		
						Q (枚)	u <sub>g</sub> (m/s)	σ
L1	10/21 ~ 10/28	169	1.17	0.26	2.03	167	1.24	0.30
	10/28 ~ 11/04	1711	1.15	0.22	1.99	1705	1.27	0.30
	11/04 ~ 11/10	2723	1.40	0.33	2.03	2777	1.43	0.36
	11/10 ~ 11/17	1708	1.34	0.31	2.07	1738	1.36	0.34
	11/17 ~ 11/24	174	1.36	0.34	1.97	181	1.37	0.38
L2	10/21 ~ 10/28	274	1.21	0.24	2.03	280	1.30	0.31
	10/28 ~ 11/04	2007	1.16	0.24	1.99	2129	1.17	0.30
	11/04 ~ 11/10	2304	1.37	0.31	2.03	2404	1.36	0.35
	11/10 ~ 11/17	1783	1.35	0.32	2.07	1843	1.34	0.35
	11/17 ~ 11/24	384	1.44	0.35	1.97	396	1.38	0.37
L3	10/21 ~ 10/28	271	1.27	0.26	2.03	272	1.37	0.30
	10/28 ~ 11/04	2736	1.15	0.22	1.99	2888	1.16	0.28
	11/04 ~ 11/10	2706	1.35	0.30	2.03	2723	1.45	0.32
	11/10 ~ 11/17	2014	1.43	0.35	2.07	2079	1.48	0.38
	11/17 ~ 11/24	744	1.51	0.36	1.97	759	1.53	0.38
R1	10/21 ~ 10/28	0	1.07	0.20	2.19	0	1.09	0.26
	10/28 ~ 11/04	63	1.20	0.25	2.17	62	1.09	0.26
	11/04 ~ 11/10	380	1.15	0.22	2.20	434	1.14	0.28
	11/10 ~ 11/17	28	1.13	0.21	2.23	32	1.06	0.27
	11/17 ~ 11/24	0	1.24	0.29	2.15	0	1.08	0.29
R2	10/21 ~ 10/28	57	1.10	0.18	2.19	72	1.13	0.28
	10/28 ~ 11/04	83	1.14	0.22	2.17	91	1.03	0.28
	11/04 ~ 11/10	96	1.20	0.27	2.20	104	1.09	0.34
	11/10 ~ 11/17	126	1.19	0.28	2.23	134	1.03	0.32
	11/17 ~ 11/24	41	1.33	0.32	2.15	35	1.09	0.33
R3	10/21 ~ 10/28	0	1.08	0.18	2.19	0	0.99	0.32
	10/28 ~ 11/04	55	1.12	0.21	2.17	65	1.01	0.28
	11/04 ~ 11/10	232	1.28	0.31	2.20	213	1.03	0.31
	11/10 ~ 11/17	1038	1.30	0.33	2.23	973	1.04	0.34
	11/17 ~ 11/24	0	1.41	0.35	2.15	0	1.07	0.34

Table 2. 10 m 以遠の落葉累積割合と距離との関係

ライン	% 累積落葉数	根元からの距離 (m)		
		モデル b (A)	観測値 (B)	差 (A-B)
L1	80	16.7	16.4	0.3
	90	19.8	19.7	0.1
	95	23.1	22.6	0.5
	99	30.8	26.4	4.4
	RMS			2.2
L2	80	16.6	15.5	1.1
	90	19.5	18.8	0.7
	95	22.5	21.9	0.6
	99	29.7	26.1	3.6
	RMS			1.9
L3	80	17.4	15.4	2.0
	90	20.9	18.3	2.6
	95	24.8	22.4	2.4
	99	33.0	29.8	3.2
	RMS			2.6
R1	80	15.1	14.2	0.9
	90	16.9	16.6	0.3
	95	18.2	18.0	0.2
	99	19.6	19.6	0.0
	RMS			0.5
R2	80	15.3	12.7	2.6
	90	17.0	13.7	3.3
	95	18.2	15.1	3.1
	99	19.6	17.6	2.0
	RMS			2.8
R3	80	14.3	12.8	1.5
	90	16.2	13.9	2.3
	95	17.7	15.5	2.2
	99	19.5	17.7	1.8
	RMS			2.0

RMS: 2 乗平均平方根

累積落葉数が 80 ~ 99 % に達するまでの距離を調べてみると、多くの場合、モデル b と観測値には数 m 程度の違いしかなく、差が 5 m 以上となることはなかった (Table 2)。このことから、落葉散布範囲の広さを予測することが目的であれば、本モデルは十分に有効と考えられる。

以上のように、本モデルは斜面上の風速でパラメータ補正することにより比較的良好な推定が可能といえるが、これらの推定は方位ごとに独立して計算をおこない、各方位の Q も観測された落葉総数に合致するように調整したものである。任意の森林に本モデルを適用するには、事前に Q を推定しなければならない。全方位を合わせた落葉総数は個体の樹冠サイズ (葉量) に規定されるが、どの方位へより多くの落葉が散布されるかは基本的には風向によって決定されると予想される。しかし、各方位の落葉総数とその方位へ吹く風の頻度との関係調べてみると (Fig. 10)、風の頻度と落葉総数には有意な相関は認められず (> 0.5 m/s の風:  $r = 0.18, p = 0.73$ ; > 1.0 m/s の風:  $r = 0.07, p = 0.89$ )、必ずしも各方位への風の頻度に比例して落葉総数が決まっているわけではないことが明らかとなった。この原因として、1 枚の葉が落下する短い時間のなかで風向が変化するケースや、高度による風向の違いがあるためではないかと推察される。葉の滞空時間は、葉の落

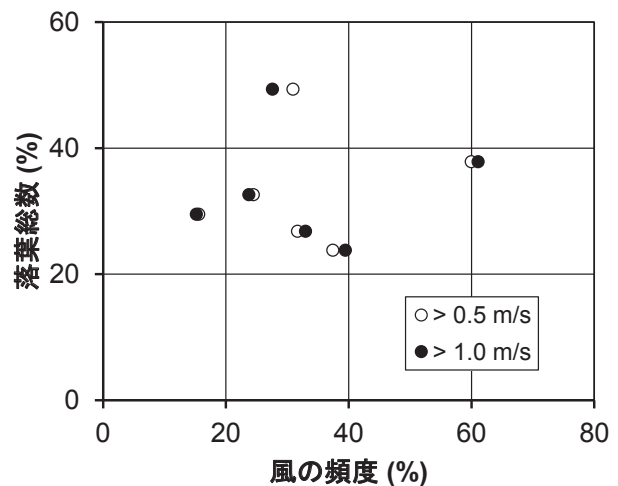


Fig. 10. 各調査ラインの落葉総数とその方位へ吹く風の頻度との関係

落葉総数は、各ラインを中心とする角度 22.5° の扇形内に散布された落葉の落葉期全体の合計であり、風の頻度はタワー B、C における高さ 4.3 m の風を示した。いずれも 3 ライン (L1 ~ L3 または R1 ~ R3) の合計を 100 とする % 値で表した。



下速度と樹高から考えて5～10 sと短いため、本研究では落下中の風向変化はないものとし、例えば、南南西への落葉散布は北北東の風のみによってもたらされると仮定している。しかし、南南西への落葉散布は、葉の落下中に風向が北から北東へ変化するような場合でも起こりうる。また、同一斜面内であれば風の吹き方は類似しているものの (Fig. 4 の A、B)、風向は各タワー最上部だけの計測であり、山地のような複雑地形の場合には、他の高度でも同様の風向とは限らない可能性もある。このように、風データから各方位への  $Q$  分配を推定するのは難しく、今後、より詳細な検討が必要と考えられる。

#### 4. まとめと残された課題

本研究では、溪流の両岸の斜面上に各3本の調査ラインを設けて、希な樹種 (クリ) の落葉移動を追跡したが、林床の移動を合わせても、落葉分布範囲が秋の落下時より広がることはなかった。林床での落葉移動には、溪流への落葉供給期間を延ばすという重要な効果があるものの、被度15～20%の林床植生でも落葉移動が抑止されるため、溪流への落葉供給源となる範囲がどこまでかという観点では樹冠から落下する際の移動の方がより重要と考えられる。ただし、このことは林床植生によって落葉移動にともなう放射性物質の流出を防止することが可能であることも意味している。

落下時の落葉散布を予測するモデルに関しては、調査対象に近い斜面上の風データを用いれば比較的良好な推定が可能と考えられた。本調査地のような山地では斜面ごとに風の吹き方が異なるため、高精度の推定には多地点での風観測が必要となってしまうが、河畔林のような平坦地形であれば、こういった問題はないと思われる。また、本モデルは、適当な  $Q$  (例えば1000や10000など) を用いれば、ある方位に対して実際の落葉散布に相似した散布パターンを推定できるが、どの方位にどれだけの落葉が散布されるかを知るためには落葉散布の実測データが必要になる。もし、風データから各方位の落葉総数が推定できれば面的な落葉散布パターンの予測も可能となるが、残念ながら、落葉総数と風の頻度には明確な対応関係は認められなかった。すなわち、本モデルは最大傾斜方向のように特定方位への落葉散布範囲を推定する場合には一定の有効性があると考えられるが、現状では面的な予測をおこなうことは困難である。地形の平坦な河畔林や河畔林では、原則的に斜面下方へ落葉移動する傾斜地に比べて、面的な予測がもっとも重要と考えられる。今後、各方位への落葉分配のメカニズムを解明するなどして面的な推定の可能なモデルを開発する必要がある。

#### 謝辞

本研究をおこなうにあたり、茨城森林管理署、磐城森林管理署の関係各位による力添えがあった。また、森林総合研究所群落動態研究室の安部哲人氏 (現九州支所)、気象研究室の安田幸生氏 (現東北支所) にはタワー設置やセンサー取り付けなどの作業を手伝っていただいた。これらの方々に感謝の意を表します。なお、本研究は科学研究費補助金 (17780133) の助成を受けておこなわれた。

#### 引用文献

- 阿部俊夫・藤枝基久・壁谷直記・久保田多余子・野口宏典・清水 晃・坪山良夫・野口正二 (2011) 小川群落保護林における水文観測報告 (2000年8月～2007年9月). 森林総研研報, 421, 291-317.
- 阿部俊夫・布川雅典 (2005) 春期の溪流における安定同位体を用いた食物網解析. 日林誌, 87, 13-19.
- 阿部俊夫・布川雅典・藤枝基久 (2006a) 森林からの有機物供給と溪流生態系. 水利科学, 292, 1-23.
- 阿部俊夫・坂本知己・延廣竜彦・壁谷直記・萩野裕章・田中 浩 (2008) 小川群落保護林における風向・風速の観測資料 (2003年11月～2006年4月). 森林総研研報, 409, 245-266.
- 阿部俊夫・坂本知己・田中 浩・壁谷直記・延廣竜彦・萩野裕章 (2005) 落葉広葉樹林の林床における冬期の落葉移動性. 日林関東支論, 56, 247-248.
- 阿部俊夫・坂本知己・田中 浩・壁谷直記・延廣竜彦・萩野裕章 (2009) 落葉模型を用いた林床における斜面下方への落葉移動距離の推定. 日林誌, 91, 104-110.
- 阿部俊夫・坂本知己・田中 浩・延廣竜彦・壁谷直記・萩野裕章 (2006b) モデルによる河畔域の落葉散布パターンの評価. 応用生態工学, 8(2), 147-156.
- Cummins, K. W., Petersen, R. C., Howard, F. O., Wuycheck, J. C., and Holt, V. I. (1973) The utilization of leaf litter by stream detritivores. *Ecology*, 54, 336-345.
- Ferrari, J. B. and Sugita, S. (1996) A spatially explicit model of leaf litter fall in hemlock-hardwood forests. *Can. J. For. Res.*, 26, 1905-1913.
- Fisher, S. G. and Likens, G. E. (1973) Energy flow in Bear Brook, New Hampshire: an integrative approach to stream ecosystem metabolism. *Ecological Monographs*, 43, 421-439.
- 船田 晋・吉村千洋・石平 博・竹内邦良 (2007) ICタグによる個体識別技術を用いた落葉動態観測. 水工学論文集, 51, 1159-1164.
- Greene, D. F. and Johnson, E. A. (1989) A model of wind dispersal of winged or plumed seeds. *Ecology*, 70,

- 339-347.
- Hicks, B. J. (1997) Food webs in forest and pasture streams in the Waikato region, New Zealand: a study based on analyses of stable isotopes of carbon and nitrogen, and fish gut contents. *NZ. J. Mar. Freshw. Res.*, 31, 651-664.
- IAEA (2010) Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. Technical Report Series, 472, 194pp.
- 加賀谷 隆 (1990) 山地小溪流における落葉の分解過程と大型無脊椎動物のコロニゼーション. 東大農学部演習林報告, 82, 157-176.
- 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, 97-100.
- 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, 10-16.
- 岸 千春・中村太士・井上幹生 (1999) 北海道南西部の小河川幌内川における落葉の収支及び滞留様式. 日生態誌, 49, 11-20.
- Kobayashi, S. and Kagaya, T. (2004) Litter patch types determine macroinvertebrate assemblages in pools of a Japanese headwater stream. *J. North Am. Benthol. Soc.*, 23, 78-89.
- Kochi, K., Yanai, S., and Nagasaka, A. (2004) Energy input from a riparian forest into a headwater stream in Hokkaido, Japan. *Arch. Hydrobiol.*, 160, 231-246.
- 大久保達弘・金子真司・金子信博・田中 浩 (2012) 第123回日本森林学会関連研究会「福島原発事故の森林生態系への放射能汚染影響を考える」研究会の概要. 森林科学, 65, 26-27.
- 林野庁 (2013) “平成24年度森林内における放射性物質の分布状況調査結果について”, 林野庁, 11pp, <http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/kenho/pdf/130329-01.pdf>.
- 森林総合研究所 (2013) “森林動態データベース”, <http://fddb.ffpri-108.affrc.go.jp/>, (参照 2013-05-20).
- Stone, D. M. (1977) Leaf dispersal in a pole-size maple stand. *Can. J. For. Res.*, 7, 189-192.
- Suzuki, W. (2002) Forest vegetation in and around Ogawa Forest Reserve in relation to human impact. In Nakashizuka, T. and Matsumoto, Y. (eds.) “*Diversity and Interaction in a Temperate Forest Community*”. Springer, 27-41.
- 安田卓哉・市川秀夫・小倉紀雄 (1989) 裏高尾の山地溪流における有機物収支. 陸水誌, 50, 227-234.
- Zibtsev, S., Kashparov, V., Yoschenko, V. (2012) チェルノブイリ原発災害後の汚染森林での25年間の放射線影響研究の概説. 森林科学, 65, 27-30.

## Elucidation of leaf litter travel distance using a rare tree species at mountain slopes in the northern Kanto Region

Toshio ABE <sup>1)\*</sup>, Tomoki SAKAMOTO <sup>2)</sup>, Naoki KABEYA <sup>3)</sup>, Hiroaki HAGINO <sup>3)</sup>,  
Tatsuhiko NOBUHIRO <sup>4)</sup>, Hironori NOGUCHI <sup>2)</sup> and Hiroshi TANAKA <sup>5)</sup>

### Abstract

To elucidate the source area of leaf litter in a stream, we investigated the travel distance of leaf litter using an uncommon species (2 chestnut trees 15 m and 18 m high) as tracer at mountain slopes in the northern Kanto Region, and we verified the leaf dispersal model developed in our previous research. And also, leaf movement data is important to prevent radioactive leaves from flowing out of the forests contaminated by the Fukushima nuclear accident. During the leaf fall season, leaves were dispersed within about 30 m from the base of a surveyed tree along 3 survey lines on the left-side slope of the stream and within 15 - 20 m from the base along 3 lines on the right-side slope. Leaf redistribution occurred on the forest floor after the leaf fall season, and the peaks of the leaf distributions were shifted 5 - 10 m downslope during the winter period on the left-side slope; however, the range of the leaf litter dispersal did not expand in the redistribution process, because forest floor vegetation prevented the leaves from moving farther away. On the right-side slope, the wind velocity was very low and the leaf distribution did not obviously change. These results suggest that leaf dispersal during the leaf fall season is more important than leaf redistribution on a forest floor in determining the leaf source area, and that forest floor vegetation is useful for prevention of radionuclide discharge with leaf movement. Accuracy of our leaf dispersal model was improved a little using parameters corrected by wind velocity data near the monitored trees, but we could not estimate total leaf number in each direction, a parameter for the multidirectional prediction, without the litterfall data of the surveyed trees. It is necessary to develop a more accurate 2-dimensional model.

**Key words :** leaf litter, travel distance, wind, forest floor vegetation, Ogawa Forest Reserve

---

Received 25 June 2013, Accepted 4 February 2014

1) Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Department of Meteorological Environment, FFPRI

3) Kyushu Research Center, FFPRI

4) Hokkaido Research Center, FFPRI

5) Research Planning and Coordination Department, FFPRI

\* Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 92-25 Nabeyashiki, Shimo-kuriyagawa, Morioka, Iwate 020-0123, Japan;  
e-mail: toshioa@ffpri.affrc.go.jp