

ICタグによる個体識別技術を用いた落葉動態観測

OBSERVATION OF LEAF-LITTER DYNAMICS BY USING INDIVIDUAL IDENTIFICATION TECHNIQUE OF IC TAG

船田 晋¹・吉村 千洋²・石平 博³・竹内 邦良⁴

Susumu FUNADA, Chihiro YOSHIMURA, Hiroshi ISHIDAIRA and Kuniyoshi TAKEUCHI

¹学生会員 工修 山梨大学大学院 医学工学総合教育部 (〒400-8511 山梨県甲府市武田四丁目3-11)

²正会員 工博 岐阜大学助手 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)

³正会員 工博 山梨大学大学院助教授 医学工学総合研究部 (〒400-8511 山梨県甲府市武田四丁目3-11)

⁴正会員 工博 山梨大学大学院教授 医学工学総合研究部 (〒400-8511 山梨県甲府市武田四丁目3-11)

Technology of IC tag and Radio Frequency IDentification (RFID) is now common in society, which is often called ubiquitous society. This paper reported an application of such technology for observation of leaf-litter dynamics in temperate forest. The small size IC tags were attached to the living leaves to be tracked by using RFID from their abscission to transport into the stream. As a result, it was found that influence of attaching IC tag to leaves is negligible if the IC tags are extreme small. Even the leaves which were decomposed and broken up were able to be identified. Moreover, the comparison of observed leaf-litter tracking data and meteorological data allowed us to explain the mobility of leaf-litter on the forest floor. The result indicated the possibility of application of RFID technology on the identification of individual leaf and its dynamics observation which had traditionally been necessary to take much time and expensive labor. These measurement and observation technology may contribute for understandings of material transport from forest to stream.

Key Words : *decomposition rate, forest ecosystem, leaf-litter mobility, traceability, ubiquitous*

1. はじめに

ネットワーク端末としての機能を持たない物体同士が無線技術によって繋がり、様々な情報がやりとりされる社会(ユビキタス社会)が構築されつつある。その中核をなす無線通信技術がRFID(Radio Frequency IDentification)であり、近年、この技術は盛んに利用されるようになってきた^{1),2),3),4)}。ICチップを埋め込んだ小型のタグを物体に装着し、ICタグ読取装置を用いて個体を識別し、専用ソフトウェアで個体の管理をするというものである。建設分野においては、資材の管理⁵⁾、構造分野での使用⁶⁾や、高密度センサーネットワーク社会基盤の構築が提案され⁷⁾、通信システムを用いた防災、減災への利用も想定されている^{8),9)}。

ICタグによる個体識別技術はシステム中の個体の管理に優れている。最新のICタグは小型化(数cm)および軽量化(10mg程度)されており、RFIDを用いた物体の認識が可能である。よって、経済活動だけでなく自然環境中の物体や生物の動態を把握するためにも活用でき

る¹⁰⁾。現在までに自然環境における応用事例は少ないが、自然環境における物体の動態観測、つまり生態学や環境工学において、ICタグは革新的技術となる可能性があると考えられる。

本研究ではICタグの適用事例として、溪流を含む森林において落葉動態の観測に適用した結果を報告する。森林や河川内における落葉の動態については、現在までにリタートラップを用いた多くの研究が報告されている。例えば、森林では、落葉量の変化、落葉の分解速度、風による落葉落下の散布パターンの評価¹¹⁾、林床上の落葉の移動¹²⁾、河川では、河川内の落葉の滞留様式¹³⁾の研究などがある。しかし、リタートラップでは落葉の移動が制限されるため、どのような形状の落葉がどのような過程を経てどのように溪流に供給されているのかは解明できず、森林-河川間の落葉の動態についてはよく分かっていない¹³⁾。落葉の動態は周囲の環境の影響を受け易く、個葉はそれぞれに多様な動きをするためである。よって、個葉ベースで行う落葉の追跡は、溪流への有機物供給過程の解明に対して有効な手段だと考えられる。つまり、落葉の追跡により、溪流に流入する落葉個体の重量、形

状、動態（位置）などが計測可能となる。将来的には、異なる樹種の落葉の動的・質的变化を気象現象と共に捉える。これにより落葉量を、山地における水・物質循環解明のための分布型流域モデルへの入力要素（有機物、栄養塩）として扱うことができる。

そこで、本論文ではICタグが落葉動態へ与える影響を調べると同時に、林床上の落葉の動態について理解することを目的とし、その結果を踏まえて、環境科学におけるICタグの将来性について議論した。

2. 方法

本観測は山梨県北杜市瑞牆山にある試験流域を対象として、異なるICタグを用いた2つの条件で観測を行った（表-1）。観測Aの目的は、およそ1年間にわたる落葉の移動の実態を調査することである。また観測Bの目的は、ICタグが落葉の重量変化や面積変化に及ぼす影響を調べ、さらに無線通信を使った観測の可能性を調査することである。

試験流域は瑞牆山山麓の標高約1500mに位置し、ミズナラやシラカンバなどの落葉広葉樹が優占している。付近には川幅が約50cmの蛇行している小川があり、林床の勾配は約7°～11°程度である。ここに雨量計と風向風速計を設置し、降雨量、風向・風速データ（10分値）を収集した。

対象とした樹木は、コナラ属ミズナラ (*Quercus crispula* Blume) である。その選定理由は、ミズナラは観測サイト内に多く分布していること、葉面積がICタグよりも大きく、貼付作業に支障をきたさない十分な幅と長さ（8cm～15cm）があること、及び、日本の落葉広葉樹を代表する樹種であることである。

(1) 1年間の落葉動態観測（観測A）

落葉の落下から林床上の移動を個葉レベルで追跡することとした。ICタグ（スマートIDテック社製）は、大型タグ（外寸66.0×26.0mm、重量約200mg、葉との重量比約50%）、小型タグ（同34.0×17.0mm、100mg、約25%）の2種類を使用した。双方とも方形で防水加工されている。通信周波数13.56MHz、メモリは1024bit、読取り発信距離は最大約8cm、書込み発信距離は最大約7cmの性能を持つ。なお、予備実験からこのタグの貼付により、落葉の移動が若干小さくなる事が分かっている¹⁰⁾。

2本の対象樹木（ミズナラ1、2）を選定した。ミズナラ1、2はそれぞれ樹高が7.5m、8.5m、溪流までの距離は約4m、約10mであった。これらの木の高度別（約2.3m、3.5m、4.0m、5.0m、7.0m）に、番号を記した大小ICタグ各々25枚を葉の葉脈付近に5枚ずつ接着剤で貼付した。

落葉の追跡観測は、樹木の落葉が開始した2005年10月

表-1 観測概要

	観測A	観測B
期間	2005/10/13～ 2006/09/15	2006/6/28～ 2006/9/8
ICタグ	大型タグ(200mg), 小型タグ(100mg)	ミューチップ(11mg)
個葉の認識法	主に目視	無線通信
観測項目	個葉の位置	個葉の重量, 投影面積, 位置

13日から2006年2月10日までの期間に8回と約7ヶ月後の9月15日に、下の順序で行った。①観測ごとに落葉後の個葉を目視によって識別し、その位置における基準点からの距離、方位をトータルステーションにより測量した。②取得した位置データから、個葉の絶対座標を得た。①については、当初、ハンディ型のリーダ（読取装置）による通信機能を使って対象葉の探知、識別を行っていた。また林床現場において、ノートブック型PC、あるいは携帯情報端末（PDA）と連動させることにより、データ（日付や識別番号、測量した位置座標等）の取得やICタグへの書込みが可能であることを確認した。しかし、リーダを地表面上数cmに接近させねばならず、非常に時間のかかる作業となったことから、目視による識別に変更した。なお、対象の葉が付近の溪流に入り溪流中を輸送された場合に、全てのICタグを回収するため、対象木地点から約50m下流に網状のICタグ回収堰を設けた。

(2) 夏期の落葉動態観測（観測B）

ICタグは、ミューチップ高出力リーダ評価キット（日立製作所製）に付属のミューチップ（外寸70mm×3mm、重量約11mg、葉との重量比約2.5%）を使用した。このミューチップは、読み取り専用で、メモリは128bit、リーダとICタグとの発信距離は約50cm、通信周波数は2.45GHzである。

観測Aを行った地点から30m離れた林床上において、落葉したミズナラの枯葉100枚（平均重量409mg±167mg）をランダムに収集した。そのうち50枚の葉脈付近にICタグを貼付し、残りの50枚はICタグを貼付しないものとした。さらに、それぞれにT01～T50、N01～N50という連番のマークを黒色とシルバー色の油性マジックで記した。これらの葉をなるべく植生の少ない林床の半径50cmの円内に置いた。

2006年6月28日から同年9月6日までの期間に、8回の観測を行った。観測ごとに落葉の重量測定を行い、測定後、再び元の円内に置いた。重量の計測には、携帯用の電子重量はかり（SATRUE社製）を使用した。また、小箱にデジタルカメラを固定して全てのサンプル葉を接写し、研究室でPCに取り込んだ画像を個葉の識別に使用した。さらに、この画像を2値化した後、専用ソフトウェアで投影面積の算出を行った。

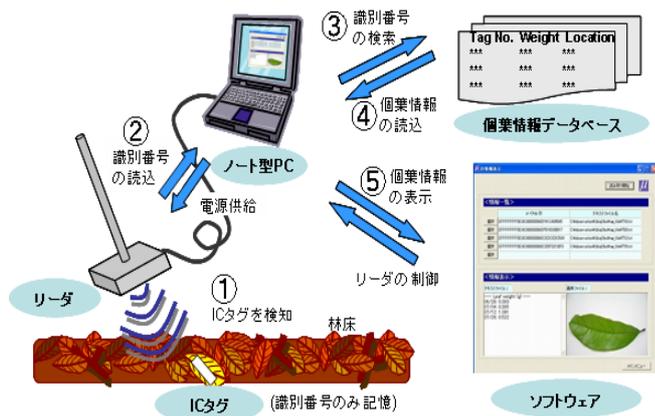


図-1 観測BにおけるICタグの識別方法。丸数字はICタグの検知から個葉情報の表示までのデータの流れを示す。

ICタグを貼付した葉の識別・追跡は、以下のように行った。ICタグリーダーを取手の付いたボックスに格納し、地表面上をゆっくりと動かした。リーダー-ICタグ間はRS-232C通信を使用し、リーダーはICタグを検知するとICタグ内のメモリから識別番号を読み取り、検知音を出力する。PC上のソフトウェアでは、読み込み間隔時間などを制御して、識別番号からそのICタグについて記憶しておいた属性情報データベース(位置、重量、投影面積、葉の形状など)を読み込んで表示する(図-1)。これにより、必要に応じてICタグの貼付された落葉の過去の情報を閲覧することができる。

落葉には物理的な破碎、生物による分解作用などが働く。その重量は徐々に減少し、次第にマーキングが読み取れなくなる。そこで落葉の識別のパターンを、(A)タグ無の葉のマークを目視にて識別、(B)タグ有の葉を目視にて識別、(C)ICタグ無の落葉はマークを写真による識別(写真判定法)、(D)ICタグ有の落葉を読取り装置にかざして識別(ICタグ法)、の4種に分類し、毎回の観測における落葉の識別率を求めた。なお、(C)の写真判定は、PCに取り込んだ画像と過去の画像を比較して、葉の形やマークの位置などから判別するものである。

3. 結果

(1) 観測A

観測期間において、全く動かない落葉もあれば、数10cm~23m移動した葉もあった。観測期間中の落葉の平均移動距離(原点である樹木の根元位置から各個葉までの距離の平均)と最大風速、降水量との関係を図-2に示す。日数が進むにつれて平均移動距離が増加したが、ばらつきも増え、落葉が次第に中心位置から拡散していた(2005年11月21日に $3.24 \pm 1.51\text{m}$ 、2006年2月10日に $3.60 \pm 1.81\text{m}$ 、9月15日に $7.69 \pm 5.47\text{m}$)。

最終観測日(9月15日)におけるICタグの付いた落葉

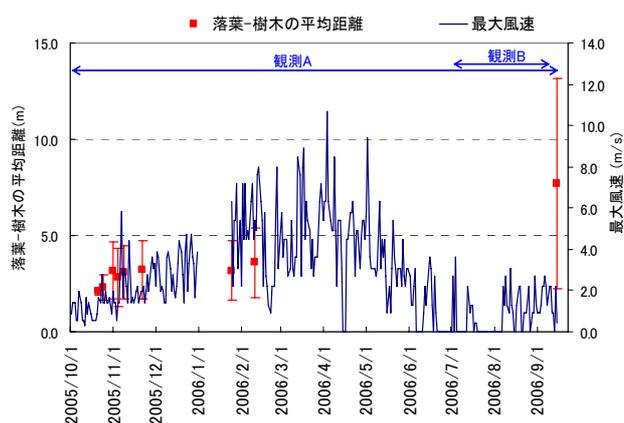


図-2 落葉の平均移動距離と最大風速の関係。誤差バーは標準偏差を示す。(2006/1の風速に一部欠測あり)

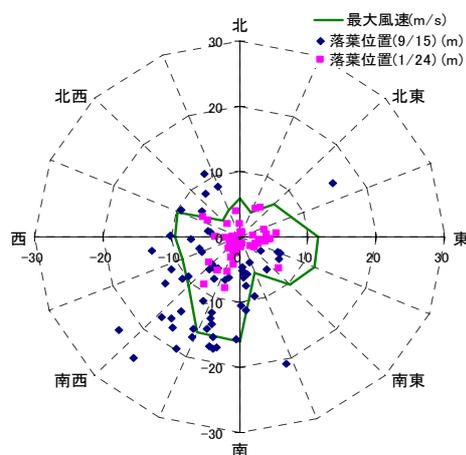


図-3 落葉の位置(1/24, 9/15)と期間内の最大風速の分布。中心は樹木に着葉していた位置を示す。

の回収率は70%であった。この時、流路から数cm離れた岸辺で5枚の対象葉が発見された。これらはすべてミズナラ1の葉であった。また、対象樹木から約30m下流の水中で発見された落葉1枚はミズナラ2の葉であった。さらに、観測日以外の観察から、3枚の落葉が小川の中で発見されたが、9月15日には行方不明となっていた。

林床上で発見された落葉の位置(1月24日と9月15日)と、観測期間内の方角別の最大風速分布を比較した(図-3)。最大風速分布は、観測期間内の最大風速値(10分値)に対応した風向(16方位)ごとに平均の最大風速値を算出し重み付けをしたものである。期間内の平均風速の主風は、最大風速と同様の北東の風だった。9月15日における落葉の位置は、観測期間内の最大風速の方角別の分布によく一致しており、落葉の移動方向に風況が大きく影響していることが分かった。

(2) 観測B

落葉の識別率の変化を調べたところ、9月6日における識別率は、Aは22%、Bは18%、Cは66%、Dは96%となった(図-4)。8月26日には悪天候により林内が暗く、十分な解像度の写真撮影ができなかったことから、Cの写真

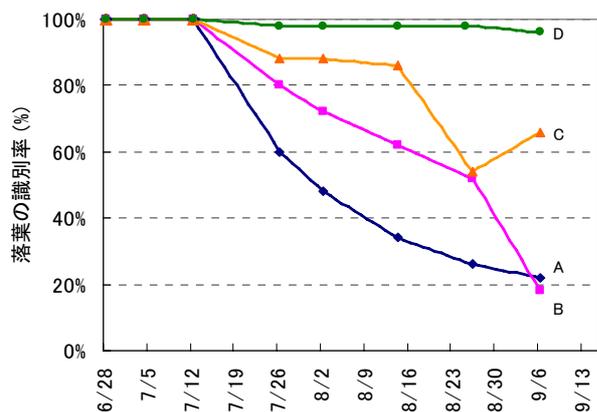


図-4 各識別方法による個葉の識別率の変化。(A) ICタグ無の葉のマークを目視、(B) ICタグ有の葉のマークを目視、(C) ICタグ無の葉を写真判定、(D) ICタグ法。

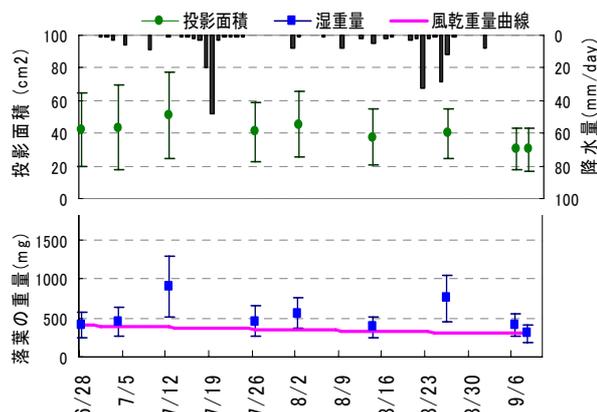


図-5 落葉個体の重量と投影面積の変化。誤差バーは、標準偏差を示す。

表-2 ICタグの影響に関する分散分析の結果。有意水準5%の検定による。

分析項目	変動要因	自由度	P値	F値	検定結果
重量変化	ICタグの有無	1	0.681	0.168	採択
	時間	7	0.993	0.151	採択
投影面積変化	ICタグの有無	1	0.067	3.362	採択
	時間	7	<0.001	4.452	棄却

判定法では識別率が55%まで減少した。画像解析を以ってしても9月6日には66%の識別率しかなく、粉碎・分解の進んだ落葉は識別できなかった。一方、ICタグを利用した識別では、ICタグが剥がれてしまった識別不能(2枚)を除けば、すべての落葉を個葉として容易に識別することができた(図-6)。また9月6日には全ての葉が半径50cmの円内に留まっており、落葉はあまり移動しなかった。

重量の変化、投影面積の変化に対して、それぞれに分散分析(繰返しのある二元配置)を行い、有意水準5%で検定を行った。双方ともに変動要因を、ICタグの有無と観測回数(時間変動)とした。この結果、ICタグの有無については、重量変化、投影面積変化には影響しないことが分かった(表-2)。ところが、時間の影響は重量変化には見られなかったが、投影面積の変化には影響を与えていることが分かった。

次に、毎回の観測におけるICタグを貼付した個葉の重量と投影面積を計測した結果を図-5に示した。初回と9回目の重量計測値は、風通しのよい研究室内で3日間乾燥させた風乾重量である。初期乾燥重量を w_0 とした時に時間 t (日)における乾燥重量を指数減少反応($w_t = w_0 e^{-kt}$)と仮定すると、分解速度係数 $k=0.0044$ となり、初回と9回目の重量を結ぶ風乾重量曲線が得られた。また、サイト内で行っている気象観測から得られた降水量と比較したところ、観測前の3日間以内に降水イベントがあると落葉の重量と投影面積が増加していることが分かった。なお、この期間内の平均風速は1m/s以下の日が多く、最大風速も0~3.6m/sであり、林内特有の低風速であった(図-2)。

4. 考察

(1) 個葉識別技術とRFID技術の有用性

目視により落葉を識別する場合、大変な労力と時間を必要とする。しかし、観測Bの結果(図-5)から、RFID技術を利用することにより、簡易な識別作業となることが示された。ICタグの落葉への影響評価(表-2)から、分解がかなり進んだ場合にも識別は可能であるものの、投影面積の変化に対して影響を与える可能性があると考えられた。ICタグ自体が落葉の投影面積と見なさしてしまうためである。よって、分解が進まない葉脈付近に貼り付けることにより、落葉の投影面積に与える影響がより低減できると考えられる。

林床上の落葉は、風などにより粉碎、あるいは移動し、また生物的作用により分解が進む。さらに林床植生が繁茂したり、落葉同士が重なったりするので、以前に注目していた落葉を特定することは非常に難しい。また、小川に滞留する落葉は、土砂とともに堆積を始めたり、岩や石の裏に隠れていたりするので、発見することも困難である。こうした問題から、個葉の研究ではしばしばリターバック法が用いられる。リターバック法は、網状の袋に落葉を詰め林床あるいは溪流中に放置し、その状態の変化を計測する方法であるが、限られた自然状態になるので、様々な問題が指摘されている^{14), 15), 16)}。また、物体の移動を調べるためには、まずは移動する物体自体の変化や特性を調べる必要がある。この場合、試料を実験室に持ち帰り分析をするが、基本的に標本抽出であり、毎回異なる試料を使うことが多い。こうした従来の実験手法に対し、本研究では小さなICタグを個葉



図-6 マークとICタグを付けた葉の分解の様子(左から, 7/4, 7/26, 8/14, 9/6)

に貼付し(図-6), RFID技術を利用して追跡することで, より正確な落葉の動態計測が可能となる。

一般に自然環境中におけるICタグの使用には防水加工が必要である。また, UHF帯や2.45GHzの電波を使用するときは, ICタグ周辺の水分によって電波が吸収されるために, 発信距離が短くなる。13.56MHzの電波の使用ならば水分条件にも耐えられるものの, 発信距離が数cmという短さが問題であった。しかしながら近年の技術開発により, 20cmほどの発信距離を持つ機器も出てきている。これは, 水環境中においてもICタグ技術が利用可能であることを示し, 今後, 水工学分野における利用も広まると予想される。さらに, 小河川中における物体の動態を検出する研究, 例えば, 防災に関連した倒流木や土砂の動態, 水生動物の生息環境に関する研究, などにも応用できると考えられる。

特にICタグ製造において日本の技術水準は高く, 小型なものが多く品種も揃っており, また様々なニーズに対応できる可能性が高い。ICタグを含むRFID技術は, 日々急速に発展しており, さらなるタグの小型化やRFID技術のシステムとしての高機能化, 多機能化が進んでおり, 自然環境中の動態観測にも利用が可能となってきている。ただし, RFIDの方式や周波数に留意¹⁷⁾したり, 発信距離の制約や生態系への影響¹⁰⁾も考慮して, 観測の実施前に十分に慎重な計画を立てることが必要である。ユビキタス技術の可能性は, あらゆる学術分野を含め, 諸分野に広がると期待されていることから, 今後, こうした技術動向に注目することが重要である。

(2) 落葉の移動

落葉は, 一枚一枚の形状, 重量が異なり, また置かれている状況(地表面や落葉の角度)も異なることから, 動き方にも自然とばらつきが生じると考えられる。個々の落葉が動く原因は, 風圧によって落葉と地表面(あるいは土壌, 植生面)との間の摩擦力が, 最大静止摩擦力を超えることにある。簡単な運動方程式で表すと, この条件は以下のように表すことができる。

$$\mu \cdot mg \cdot \cos\theta \leq P \cdot A \cdot \sin\alpha \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \quad (2)$$

ここで, μ は静止摩擦係数, m は一枚の葉重量(g), g は重力加速度(g/m^2), θ は林床の勾配($7 \sim 11^\circ$), P は風圧(N/m^2), A は葉の落葉の投影面積(m^2), v は風速(m/s),

α は葉と地表面のなす角度, である。 $A \cdot \sin\alpha$ は落葉の受風面積である。(2)は, 一般的な風速と風圧の関係式であり, ρ は空気の密度($\approx 1.225 kg/m^3$)である。また静止摩擦係数は, 約40cm四方のケースに土を入れその上にサンプルの落葉を乗せ種々の条件を変更し, 徐々にケースを傾けて落葉が動き出すところの傾斜角を測定して求めた結果, $\mu = 1.24 \pm 0.15$ となった。式(1)は, 例えば平坦な林床に落ちた重さ0.5g, 受風面積 $60cm^2$, 地表面と 15° の傾きを持った広葉が動き出すためには, 風速が $8.5m/s$ 以上なければならないことを示している。

落葉が移動し易い環境条件は式(1)より, 風速の強く, 地表面との間の摩擦が少なく, 乾燥していることである。これにより, 乾燥し, 風が強く, 林床植生も枯れている落葉後の11, 12月あるいは3, 4月には, 式(1)を成立させる条件が揃うことになり, 落葉の移動が予想される。なお, 積雪期には雪に閉じ込められるため移動は完全に停止する。これは, 観測Aの結果(図-2)からも推測される。9月15日に平均移動距離が約8mとなったが, 夏期(雨季)には落葉が移動しないと仮定すると, 落葉が樹木から最も移動したのは, 風速が1年間で最も強い3月~4月の時期と考えられる。

観測Bでは, 観測期間中, 全ての葉が移動していなかった。式(1)・(2)に各葉の毎回の重量, 葉面積と風速データを入力したところ, いずれの葉についても式(1)が成立しなかったことから, 落葉を動かす外力が作用しなかったことが確かめられた。

落葉が移動しなかった原因は, 低風速, 降雨, 林床植生の3つであると考えられる。落葉の移動には, まず第一に風圧が必要であるが, 一般的に夏緑林は展葉により林内風速が低くなる。また降雨により葉重量が増加して他の葉と絡み合い, 地表面を離れにくくしている。特に梅雨や台風シーズンでは高湿度が連日続き, なかなか乾燥しない。小川や溪流の瀬に溜まった落葉は, 流量の増大と共に一気に下流に流されるが, 林床上では地表面流を形成するような強い降雨があった場合に, 落葉が輸送され始めると考えられる。本研究のような傾斜が緩く地肌が露出していないところでは, 降雨は落葉の重量を増やし停滞を保持し続けるように働く。さらに, 林床植生も多少茂っていたことから, 落葉の移動が阻害されると考えられる。

広葉樹の落葉は乾燥して2つ折になったり, 降雨により元のように開いたりする。投影面積が一時期増加したのは, 降雨により広がったことによると考えられる。

また、前述の落葉の分解速度の指数減少反応式から、落葉の分解率(重量残存率)は $W_t/W_0=e^{-0.0044t}$ となり、1年間の分解率は20.1%となる。しかしながら、環境条件にもよるが一般に広葉樹の落葉の年間分解率は60%ほどであり^{18),19)}、観測結果と大きく異なる。これは本観測で得られた、分解速度の最も速い夏期の落葉分解係数を使用したことによると考えられる。前述の落葉移動の実態と合わせると、分解し易い時期(高温多湿期)に落葉は移動し難く、積雪期を除いた分解し難い時期(低温乾燥期)に移動し易いと推測される。

溪流への落葉供給過程の視点から見ると、観測Aの結果より、小川から約4mにある木の落葉の内、少なくとも5%が小川付近にたどり着いた。今後増水による流出が予想される。また水中で発見された葉は、林床植生に阻まれずに小川まで輸送され、流出されたものと考えられる。この葉は受風面積の大きく開いたままの状態、川方向の風の強い時期に林床上を移動したものと推測される。同一の環境条件のもとでは、ミズナラの場合、受風面積が大きい(およそ50cm²以上)か重量が軽い(およそ300mg以下)落葉が比較的移動し易いものと考えられる。

以上のように、個葉ベースの落葉の動態が次第に明らかとなってきたことから、今までにはなかった個葉の視点から森林-河川間の物質輸送を考えることができる。

5. 結論

最新のユビキタス技術の一つである、小型ICタグを複数の落葉に貼付し、それらの動態を観測した。その結果、落葉との重量比が非常に小さい超小型ICタグならば、落葉の生態、動態への影響は少なく、分解・破碎の進む落葉をほぼ葉脈しか残らない段階になっても識別することができた。また、落葉個体の動態観測と気象観測データから、夏期には低風速、降雨、林床植生により、林床上の落葉は移動し難く、11、12月や3、4月が移動し易い時期であることが分かった。以上の結果から、RFID技術が森林-河川間の複雑な物質輸送の研究に貢献することが示された。

謝辞：本研究は、文部科学省 21世紀COEプログラム「アジアモンスーン域流域総合水管理研究教育」(拠点リーダー：山梨大学 竹内邦良)の援助を受けた。また株式会社ニッセイCOMの小野稔氏には、RFID技術に関する専門的な助言を頂いた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) C. M. Roberts: Radio frequency identification (RFID), Computers & Security, No. 25, pp. 18-26, 2006.
- 2) 阪 彩香, 桑原輝隆: わが国の科学技術の動向と情報科学の役割, 情報管理, Vol. 48, No. 10, pp. 657-666, 2006.

- 3) 宮武和弘: RFID(ICタグ)の本格的な普及に向けて, 調査, No. 82, pp. 1-58, 2005.
- 4) 山崎榮三郎: ユビキタス時代における新たな価値観, 情報管理, Vol. 46, No. 4, pp. 233-241, 2003.
- 5) 尾山寿史, 矢吹信喜: 軽仮設材管理を目的としたUHF帯無線ICタグの利用に関する実験的検討, 第61回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp. 553-554, 2006.
- 6) 小川彰一, 金田由久, 阿部浩幸, 原 健悟, 青木圭一: RFIDタグによるグラウト充填検知の実構造物への適応に関する検討, 第61回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp. 755-756, 2006.
- 7) 矢吹信喜: サイバーインフラストラクチャ構築による価値創造に向けて, 土木学会論文集, No. 805/VI-69, pp. 1-13, 2005.
- 8) 行田弘一: 安全・安心のためのネットワーク技術, 通信総合研究所季報, Vol. 51, Nos. 1/2, pp. 217-225, 2005.
- 9) 滝澤 修: ユビキタス通信技術の減災応用, 通信総合研究所季報, Vol. 51, Nos. 1/2, pp. 227-246, 2005.
- 10) 船田 晋, 森杉貴紀, 吉村千洋, 石平 博: RFID技術を利用した環境動態観測手法の提案: 落葉追跡システムの開発を事例として, 環境システム研究論文集, Vol. 34, pp. 591-598, 2006.
- 11) 阿部俊夫, 坂本知己, 田中 浩, 延廣竜彦, 壁谷直記, 萩野裕章: モデルによる河畔域の落葉散布パターンの評価, 応用生態工学会, Vol. 8, No. 2, pp. 147-156, 2006.
- 12) 阿部俊夫, 坂本知己, 田中 浩, 壁谷直記, 延廣竜彦, 萩野裕章: 落葉広葉樹林の林床における冬期の落葉移動性, 第56回日本林学会関東支部発表論文, pp. 247-248, 2005.
- 13) 岸 千春, 中村太士, 井上幹生: 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, 日本生態学会誌, Vol. 49, pp. 11-20, 1999.
- 14) 河原輝彦, 佐藤 明: Litterの分解について(I) Litter bag法による分解速度についての検討, 日本林学会誌, Vol. 56, No. 7, pp. 258-261, 1974.
- 15) 柳井清治, 寺沢和彦: 北海道南部沿岸山地流域における森林が河川および海域に及ぼす影響(II) 山地溪流における広葉樹9種類落葉の分解過程, 日本林学会誌, Vol. 77, No. 6, pp. 563-572, 1995.
- 16) 大園享司, 武田博清: Mu11型有機物層における落葉の細片化過程, 日本林学会誌, Vol. 80, No. 3, 196-200, 1998.
- 17) 「月刊自動認識」編集部, RFID入門テキスト, 日本工業出版株式会社, pp. 42, 2006.
- 18) T. Osono, H. Takeda: Decomposition of organic chemical components in relation to nitrogen dynamics in leaf litter of 14 tree species in a cool temperate forest, Ecological Research, Vol. 20, No.1, pp. 41-49, 2005.
- 19) 河原輝彦: 森林生態系における炭素の循環-リターフェール量とその分解速度を中心として-, 林試報, No. 334, pp. 21-52, 1985.

(2006. 9. 30受付)