

生態水文学研究所赤津研究林白坂小流域内長期生態系プロット におけるリタートラップ調査手順 (2004～2011年度および2013年度)

Methods of litter survey in the long term ecological research plot in the small experimental watersheds in Shirasaka, Akazu Research Forest, Ecohydrology Research Institute (FY2004～2011 and FY2013)

東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所

Ecohydrology Research Institute, The University of Tokyo Forests, Graduate school of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

1. はじめに

東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所（以下、生態水文学研究所）では、ハゲ山から森林が再生する過程で森林の洪水緩和機能や水資源貯留・水量調節機能がどのように変化していくかを知るため、試験流域を設け、流域から流出する河川の水量を長期間、精密に測定し、解明することに重点を置いて研究を行っている（東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所，2012）。この目的を達成するためには、試験流域から流出する水量を測定しつつ、試験流域の森林生態系がどのように長期的に変化していくかを同時並行で測定する必要がある。

赤津研究林に設けられた試験流域の一つである白坂試験流域においては、本谷（流域面積88.5ha）において1929年より気象・水文観測が開始され、続いて本谷流域内に北谷（1.1861ha）、南谷（1.4194ha）からなる小流域が設けられ、1949年から流量観測を開始し、現在に至っている。小流域の流量データの一部は愛知演習林（1981）によって公開されている。

小流域の植生調査は、1950年（宮下，未公開資料）、1954年（片岡ら，未公開資料）、1976年（芝野，2000）に行われたが、いずれも一時的なコドラートやベルトトランセクトによる調査であった。小流域の全域をカバーする2.67haが永久試験地（長期生態系プロット）として整備されたのは1998年であった（芝野，2000）。

リタートラップによるリターの回収は、永久試験地2.67haのうち1haが、2004年度より環境省のモニタリングサイト1000（重要生態系監視地域モニタリング推進事業）のコアサイト（サイト名は愛知赤津）に指定されたことにより開始された。畑ら（2014）は2012年度のリタートラップ

の調査手順を報告したが、2004～2011年度および2013年度については報告していなかった。本稿はこれらを報告することを目的とする。

本稿の作成作業は蔵治光一郎所長が主導し、鎌田幸子特任専門職員、井上 淳技術専門職員、松井理生技術専門職員、渡部 賢技術職員、今村直広特任研究員（2014年11月より森林総合研究所）、畑 憲治農学共同研究員の協力のもとに行った。

2. サイト代表者と担当者

表-1に2006～2013年度の環境省のモニタリングサイト1000におけるサイト代表者と担当者を示す。2006～2009年度のサイト代表者は2004年度から代表者を務めていた。

表-1. 2006～2013年度におけるサイト代表者と調査者

年度	サイト代表者	調査者
2006	芝野博文	原孝秀・築瀬憲次・塚本威彦
2007	芝野博文	原孝秀・築瀬憲次・塚本威彦
2008	芝野博文	原孝秀・築瀬憲次・塚本威彦・鎌田幸子
2009	芝野博文	原孝秀・築瀬憲次・塚本威彦・鎌田幸子
2010	蔵治光一郎	原孝秀・築瀬憲次・塚本威彦・鎌田幸子・水野信代・澤田晴雄
2011	蔵治光一郎	原孝秀・築瀬憲次・塚本威彦・鎌田幸子・水野信代・澤田晴雄
2012	蔵治光一郎	原孝秀・築瀬憲次・塚本威彦・鎌田幸子・水野信代・澤田晴雄
2013	蔵治光一郎	原孝秀・築瀬憲次・鎌田幸子・水野信代・市橋恵美 ・渡部賢・荒木田きよみ・渡辺平和・波多野八重子

3. 2004～2011年度のリタートラップ調査手順

2011年度以前の手順について、2014年10月時点で判明している情報を記載する。

2004年度は25個のリタートラップを2004年9月6日に設置し、10月6日から2005年3月7日まで、計5回リターを回収した。試行期間と位置付けられ、5回のうち3回は絶乾重量のみを秤量し、残りの2回は風乾・絶乾重量を両方とも秤量した。最後の回収後もトラップは継続して設置され、以後、通年設置された。

2005年度は、7月18日に最初の回収を行った。7月18日回収のリターは、前回の回収から4ヶ月以上が経過していたことに加え、回収から秤量まで5ヶ月弱、風乾されている間にも分解が進行したものと推測され、モニタリング1000のマニュアルに定められたカテゴリー（葉、枝、種子、

種子以外の繁殖器官（花やその付随器官）、その他（樹皮やこけ、昆虫の糞、分別不可能な微小な粉末など）の5区分）（SUZUKI *et al.*, 2012）に分類できない状態の試料が多量に存在した。環境省・生物多様性センターによりデータを公開した際には、これらの試料の重量を「その他（樹皮やこけ、昆虫の糞、分別不可能な微小な粉末など）」の区分に加え、葉・繁殖器官などの破砕物を含む旨を備考に記載して公開した（SUZUKI *et al.*, 2012）。

2005年8月からは、毎月1回の回収が行われるようになったが、8月24日と9月29日に回収したリターは、回収から秤量までそれぞれ4ヶ月弱と2ヶ月強の間、風乾されていたため、7月18日回収のリターと同様の扱いをした。すべてのリターは分別後、絶乾して秤量しており、風乾重量は測定していなかった。

2006～2011年度の6年間は、畑ら（2014）に記載された2012年度の手順と同じ手順によって調査が行われた。すなわち、それぞれのサンプルについて風乾重量を測定し、含水率から計算した水分重量を差し引くことによって絶乾重量を求めた。2006～2012年度の7年間、換算に用いた風乾リターの含水率を表-2に示す。各含水率は、2012年度（畑ら, 2014）と同様、12番トラップのリターについて風乾重量と絶乾重量の両方を秤量し、対象期間分を合計した値から以下の式により計算した。

$$\text{含水率} = (\text{風乾重量} - \text{絶乾重量}) / \text{風乾重量}$$

2006～2009年度の4年間は、2008年1月から2009年3月までの15ヶ月分のデータから求めた含水率を用いていたが、2010年度からは年度ごとに含水率を計算した。

表-2. 2006～2013年度における風乾重量から絶乾重量を求める際にもちいた含水率（%）

年度	繁殖器官	葉	枝	その他
2006	11.2	6.9	8.1	9.1
2007	11.2	6.9	8.1	9.1
2008	11.2	6.9	8.1	9.1
2009	11.2	6.9	8.1	9.1
2010	9.1	7.0	8.1	10.1
2011	2.6	1.2	0.7	0.9
2012	13.0	7.3	8.3	8.6
2013	絶乾重量のみ測定			

2012年度の値は畑ら（2014）より引用

4. 2013年度のリタートラップ調査手順

回収した25個のトラップのリターは紙袋に入れ、口を開いて棚に並べ、室温で1ヶ月以上放置して風乾させた後、電子天秤（UX6200H，島津製作所）で総風乾重量を0.01gまで秤量した。各月の風乾日数（紙袋に入れてから風乾重量を秤量するまでの日数）は作業の都合上月によって大きく異なり、最短で33日、最長で145日であった。2013年6月のリターは、2013年4～10月に回収したリターの中で最も長い92日間の風乾期間があった。

紙袋に入った風乾・秤量済みリターを白い紙の上に広げ、リターをモニタリング1000のマニュアルに定められた5つのカテゴリー（前述）に分別した。

種子以外のリターは、事前に重量を測定したチャック付のビニール袋に入れ、さらに試験地名・日付・トラップ番号・分類カテゴリー名を記載したラベルを入れ、ビニール袋の口を開けて乾燥機（送風定温恒温器DKM600，ヤマト科学株式会社）に入れ、60℃，72時間乾燥し、ラベルを取り出し、ビニール袋ごと電子天秤（UX6200H，島津製作所）で絶乾重量を0.01gまで秤量し、ラベルを戻してチャックを閉じて保管した。

種子は植物種ごとに分別して数を記録した後、健全種子，不健全種子に分別した。種子のサイズが小さく分別が困難な植物種（アセビ，クロソヨゴ，サカキ，ヒサカキ，ヤシャブシ，リョウブ）は分別を行わなかった。種子数が20以下の植物種（アカガシ，アカシデ，アカマツ，アズキナシ，ウリカエデ，エビヅル，カスミザクラ，コシアブラ，シキミ，タカノツメ，タムシバ，マツバサ，マルバアオダモ，マルバノキ，ミズキ，ムベ，ヤブツバキ，ヤマザクラ）はすべての種子を切開して分別したが，20を超える植物種（アオハダ，コナラ，コハウチワカエデ，ソヨゴ，ヒノキ）は無作為に20個の種子を選んで切開して分別し，健全・不健全それぞれの数を記録した。健全・不健全に分別した種子，および20を超える植物種で，切開した20個以外の種子は，それぞれチャック付のビニール袋に入れ，さらに試験地名・日付・トラップ番号・器官名・健全不健全の別（無作為に選んだ20個のみ）・個数を記載したラベルを入れ，ビニール袋の口を開けて乾燥機に入れた。60℃，72時間乾燥して絶乾した後，種子を取り出し，電子天秤（A&D，HR-150AZ）で絶乾重量を0.0001gまで秤量した。秤量後，種子をビニール袋に戻し，チャックを閉じて保管した。

種子数が20を超える植物種の場合，以下の式によって健全・不健全種子それぞれの個数と重量を推定した。個数は少数点以下1桁を四捨五入して整数で求め，重量はグラム単位で小数点以下5桁目を四捨五入して4桁まで求めた。

健全（不健全）種子数 = 種子総数 × 20個のうち健全（不健全）な種子の数 / 20

健全（不健全）種子の総重量 = 種子総重量 × 20個のうち健全（不健全）な種子の重量 / 20個の重量

5. 2012年度と2013年度のリタートラップ調査手順の比較

2012年度の調査手順について記載している畑ら（2014）は、この調査手順の問題点として、①微細な繁殖器官の分別に目開き1mmの篩を使ったため、繁殖器官以外が混入する可能性、②一部の種子の重量の推定式において、健全種子と不健全種子の重量を等しいと仮定したこと、③絶乾重量を風乾重量から推定する式を、サンプルの保存場所の温度、湿度や風乾時間が異なる12ヶ月分のリターをまとめた数値によって決めたこと、④ビニール袋に入れた状態で秤量しているために空のビニール袋の秤量に手間がかかったこと、などを挙げた。本稿で記載した2013年度の調査手順は、これらの問題点を解決するために2012年度の調査手順を大幅に変更して実行したものであり、①と④の一部を除いて問題点はほぼ解決された。①の目開き1mmの篩を使うことについては、これを代替する方法がないため、2013年度も2012年度以前と同じ篩を使用した。④については、種子のみビニール袋から出して秤量する方式に変更したため、ビニール袋を秤量する手間は省けたが、秤量のために出し入れする手間が新たに生じた。種子以外は2012年度以前と同様にビニール袋に入れた状態で秤量していたため、空のビニール袋も秤量した。

6. データに基づく2013年度の方法の検討

畑ら（2014）が列挙した2012年度の調査手順の問題点は、リタートラップの調査に投入できる人数、時間数に限りがある中で、やむを得ず科学的な厳密性を一部犠牲にせざるを得なかったことにより生じた問題点でもあった。過去に回収したすべてのリターは生態水文学研究所に保管されており、科学的に厳密なデータを必要とする研究者は、再分別や絶乾重量の再測定などを行うことによって必要なデータを得ることができる。2013年度の調査手順は、人数、時間の制約を考慮せずに、科学的な厳密性の追求を優先させた手順であった。以下では科学的厳密性および時間について、手順の変更によってどのような改善あるいは改悪がみられたのかについて、2013年度に得られたデータに基づき検討する。

1) 科学的厳密性

畑ら（2014）は、「今後は、試験的に絶乾による秤量を実施し、作業時間、結果の精度などを従来の方法と比較し、より効率的かつ実用的なデータの取り方について検討する必要があるかもしれない」と記載した。しかし2013年度の調査手順は、分別前には風乾重量を秤量しているものの、分別後の風乾重量を秤量していなかった。そのため、2012年度の調査手順に従った計算ができないため、2012年度の方法との厳密な比較は不可能であった。そこで以下のような検討を行った。

繰り返しになるが、2012年度以前は、各トラップの風乾重量から絶乾重量を計算するために、

12番トラップから求めた含水率を使っていた。そこで、まず、2013年度の毎月の含水率をすべてのトラップについて求め、25個のトラップの平均値と12番のトラップで季節変化を比較した。含水率は、風乾重量は分別前に測定した値を、絶乾重量は分別後にカテゴリーごとに測定した値の合計値を用いて計算した。その結果が、図-1である。2013年6月を除き、含水率は夏に高く冬に低い季節変化が認められ、最大月（7月）と最小月（2月）の差は約3倍であった。2013年6月のリターの含水率は2013年4～10月に回収したリターの中で最も低かったが、その理由の一つとして、この間のリターの中で風乾期間が最も長かったことが影響した可能性がある。平均値とトラップ12番の変動はおおむね同調していたが、2014年1月のリターでは両者の差が大きく、平均値と12番トラップとの差は標準偏差の2.02倍であった。

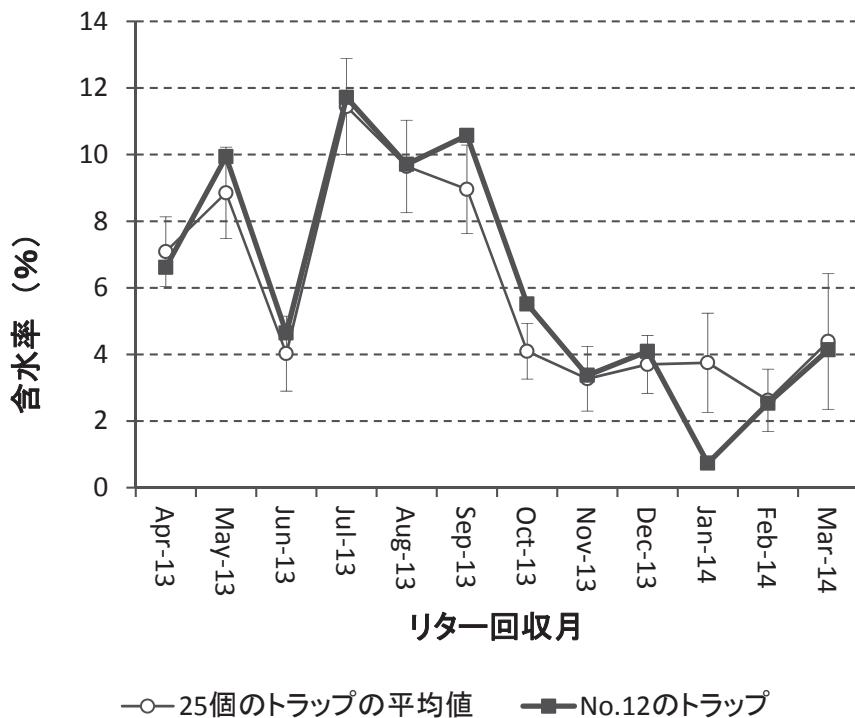


図-1. 2013年度における毎月の風乾試料の含水率の変動。25個のトラップの平均値に付したエラーバーは標準偏差。なお各月のリターの採取は2013年4月26日、5月28日、7月2日、7月30日、8月30日、10月1日、11月1日、11月29日、12月27日、2014年1月28日、2月28日、4月1日に行った。

次に、2013年度の通年の含水率を各トラップについて計算した(図-2)。変動係数は36%であった。トラップ12番の含水率は25個のトラップの中でもっとも平均値に近く、両者の差は標準偏差の0.06倍であった。しかし、種子の数は毎年大きく変動し、トラップ間の変異も一定ではないため、2013年度にトラップ12番の含水率ももっとも平均値に近い値であったからといって、ほかの年度も同様であることを保証するものではない。

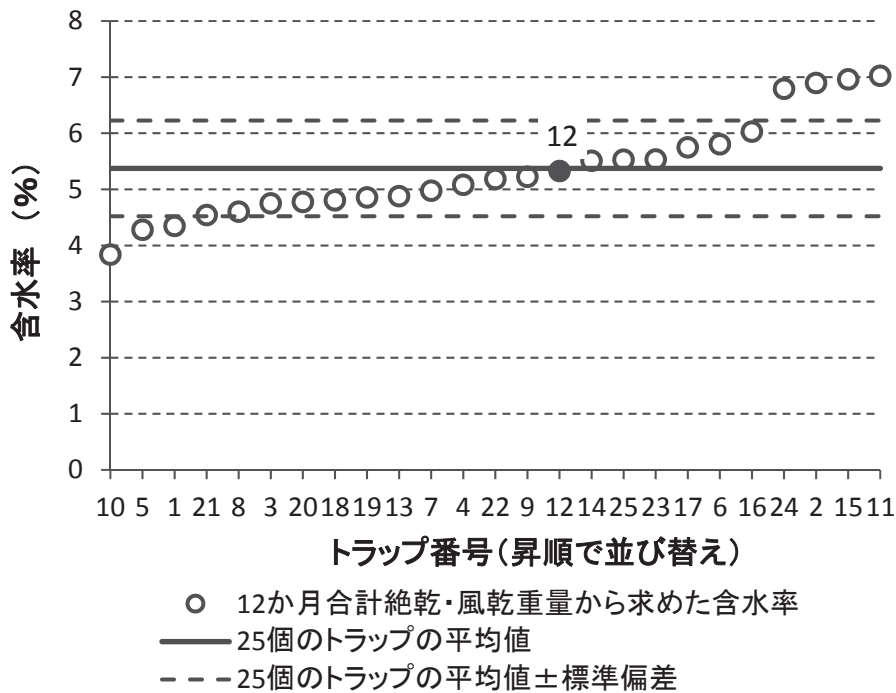


図-2. 25個のトラップごとに求めた12ヶ月分の風乾リターの含水率。トラップの順番は昇順とした。25個のトラップの平均値を直線で、平均値±標準偏差を点線で示す。●は12番のトラップの値を示す。

最後に、2012年以前と同様に12番トラップの12ヶ月分のリターから求めた風乾試料の含水率を使い、25トラップを合計した風乾重量から絶乾重量を月ごとに推定した。この絶乾重量の推定値と実際に測定した絶乾重量を比較した(図-3)。最も推定誤差が大きかったのは10月1日に回収したリターで約43[g]、最も誤差率が大きかったのは7月に回収したリターで約6.8%であった。25トラップ、12ヶ月の合計で、リターの風乾重量は8,836[kg]、12番トラップの含水率を用いた推定絶乾重量は8,365[kg]、実測した絶乾重量は8,361[kg]であった。推定値と実測値の差は4[g]、誤差率は0.1%であった。含水率に季節変動があるにもかかわらず、年間を通じて同じ換算式を用いているため、12ヶ月を合計した重量の誤差よりも月別の値の誤差の方が大きくなったものと考えられた。もし換算式に用いる含水率を季節ごとにそれぞれ求めて推定すれば、月別の値の誤差をさらに小さくすることも可能であると考えられた。

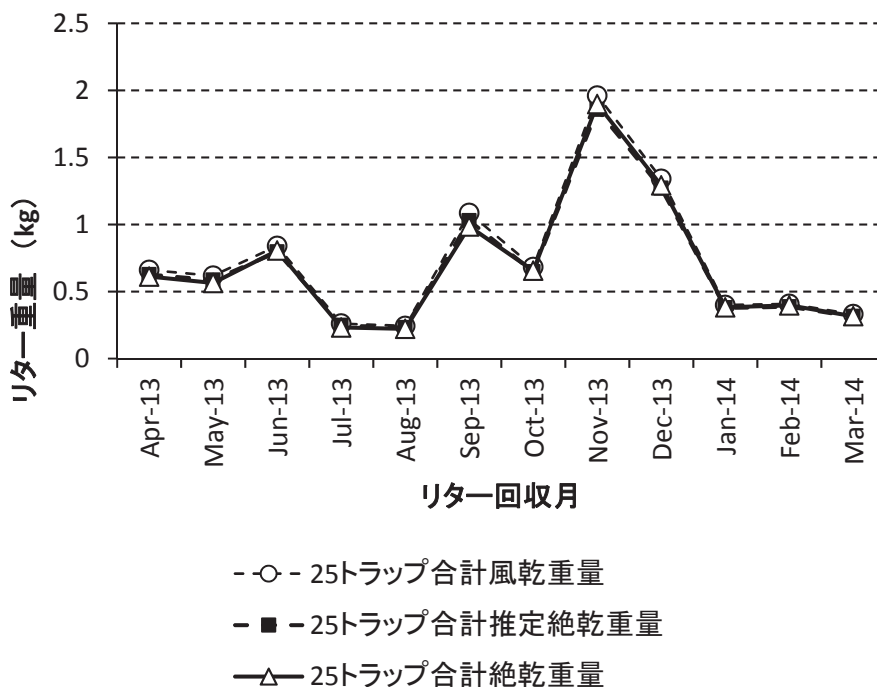


図-3. リター回収日ごとの25トラップ合計のリターの風乾重量，含水率と風乾重量から求めた推定絶乾重量，実測した絶乾重量の変動。

2) 所要時間

2013年度のリタートラップ調査にかかった時間と人数の積(野外での回収にかかる時間は除く)は1,029人・時間であり，2012年度(652人・時間)に比べて1.58倍，377人・時間増加した。仮に3人が1日6時間作業したとして，約21日間，所要日数が増えた。

2012年度と比べて，2013年度に時間数が大幅に増加した主要な要因として，種子の植物種の数や総種子数が多かったことと，手法を変更したことの2つが挙げられる。2013年度に各トラップで回収されたリターに含まれていた種子の植物種の数や年合計は927種・トラップ・月であり，2012年度の452種・トラップ・月に比べて約2倍であった。また2013年度の総種子数は76,117個であり，2012年度の11,655個に比べて約7倍であった。また手法の変更により，リターを絶乾させるのに時間がかかり，さらに種子を各月のトラップごと，植物種ごとに健全種子・不健全種子に分別してそれぞれラベリングし，絶乾，秤量，保管する作業に多大な手間を要した。種子を秤量し，保管した袋の総数は，2012年度は254袋であったが，2013年度は1,487袋と約5.9倍に増加した。種子数の年々変動は大きく(澤田ら，2013)，2013年度のような種子の豊作年には作業量が膨大になることから，2013年度の手順を今後も続けることは現実的ではないと考えられる。

謝辞

生態水文学研究所赤津研究林白坂試験流域内で長期モニタリングを目的としたリタートラップ調査が開始されてから2014年9月までの約10年間、多くの方のさまざまな形でのご尽力により、これまで継続してデータを蓄積することができた。その中にはお亡くなりになられた方、定年退職された方、異動や退職によって生態水文学研究所を離れた方も多く含まれている。生態水文学研究所として、ご尽力いただいたすべての方々に、ここに記して謝意を表す。また本原稿の草稿に対して、東京大学秩父演習林鈴木智之助教、モニタリングサイト1000森林・草原調査ネットワークセンター日高 周研究員から有益なコメントおよびご提案をいただいた。また本原稿の査読過程において東京大学秩父演習林鎌田直人教授から有益なご指摘をいただいた。ここに記して謝意を表す。なお本研究は、環境省・モニタリングサイト1000プロジェクトの一環として実施された。

引用文献

- 愛知演習林（1981）愛知演習林量水観測結果報告（III）．演習林（東大），22：84－191．
- 畑 憲治・鎌田幸子・澤田晴雄・岩井紀子（2014）モニタリングサイト1000の愛知赤津サイトにおける2012年度のリタートラップの調査手順記録．演習林（東大），56：191－195．
- 澤田晴雄・岩井紀子・鎌田直人（2014）東京大学生態水文学研究所長期生態系プロットにおける主要9樹種の種子生産量年変動．中部森林研究，61：67－70．
- 芝野博文（2000）愛知演習林白坂南北谷小流域長期生態系プロットにおける林分構造．平成10～11年度科学研究費補助金（基盤研究（B）（2））研究成果報告書（研究代表者梶 幹男），64－82．

