

連年施肥を受けたトドマツ・エゾマツ・アカエゾマツ壮齢林における 間伐前後のリター供給量

森林総合研究所関西支所 伊藤江利子・森林総合研究所北海道支所 橋本徹・森林総合研究所 相澤州平・長倉淳子

はじめに

森林総合研究所北海道支所羊ヶ丘実験林の土壤環境長期モニタリング試験林では、連年施肥が林木の成長と土壌の変化に及ぼす影響を追跡するため、1973 年に植栽したトドマツ、エゾマツ、アカエゾマツ人工林に1978 年より施肥を継続している^(1,8)。当試験地において、施肥による成長促進効果は初期成長にのみ認められ、その後の成長差拡大にはつながらず^(2,8,9)、間伐後の成長にも施肥による促進効果は認められなかった^(2,3)。

一方で、40年生時の林床有機物堆積量を連年施肥区と無施肥区と比較すると、トドマツとエゾマツでは施肥区で有意に大きい傾向が認められた^(3,4)。林床有機物堆積量の差は落葉の分解速度の差に起因するとの作業仮説に基づき、前報⁽⁴⁾ではリターバッグ法による落葉分解試験を行った。しかし最長4年間の分解試験では、分解速度は施肥区で大きい傾向が認められ、林分間の林床有機物堆積量の差を分解速度で説明する作業仮説は棄却された。

枝葉の現存量は施肥の有無で差がなくとも、個体内の枝葉の生産速度や維持期間に施肥が影響を及ぼして、リターフォール量（以下、LFと略）が施肥の有無で異なる可能性、さらには間伐前後のLFの変化においても施肥の有無による違いが生じる可能性がある。そこで本研究では2012–2016年に調査したLFを報告し、連年施肥を受けた北方針葉樹壮齢林のLFに関する基礎的な知見を提供するとともに、LFに対する施肥および全層間伐の影響を検証する。なお本研究は科研費24580232、26450218、21K05678による成果である。

調査地と調査方法

森林総合研究所北海道支所（札幌市豊平区）構内の土壌環境長期モニタリング試験林（N 42.991, E 141.393）で調査を行った。当試験林では1973年にトドマツ、エゾマツ、アカエゾマツが1.6 m間隔の方形植え（3906本 ha⁻¹）で植栽され、1978年に施肥を開始した。本研究では各樹種について現在まで年1回春（5月下旬から6月上旬）の施肥を継続している施肥区とそれに隣接する無施肥区を調査対象とした。LFを計測（後述）した2012–2016年の毎年の施肥量（N,P,K）はトドマツで130, 28, 54 kg ha⁻¹ y⁻¹、エゾマツ・アカエゾマツで141, 31, 58 kg ha⁻¹ y⁻¹である。施肥区の窒素流入量は林木の吸収量の1.5–2.0倍と推定されている⁽³⁾。その他の試験地および施肥の詳細は既報^(1,2,4,6,7)の通りである。

全層間伐を2014年2月に行った。1伐2残の列状間伐を基本としたが、全層間伐かつ立木配置の均等性に配慮

表－1 全層間伐前後の林況 ⁽³⁾						
間伐 前後	トドマツ		エゾマツ		アカエゾマツ	
	施肥	無施肥	施肥	無施肥	施肥	無施肥
間伐率 (%)	40	46	40	36	38	36
立木密度 (本 ha ⁻¹)	前 2170 後 1302	2344 1259	2279 1367	2539 1628	2539 1563	2344 1497
平均樹高 (m)	前 18.4 後 18.4	17.4 17.7	15.7 15.8	15.8 15.9	17.4 17.8	15.7 16.3
平均胸高直 径 (cm)	前 21.3 後 21.9	19.2 20.9	18.2 18.5	17.2 17.7	18.6 19.9	16.4 17.1
胸高断面 積合計 (m ² ha ⁻¹)	前 81.0 後 51.2	72.2 45.1	60.5 37.6	60.7 40.9	71.3 49.6	52.1 35.0
地上部現存 量 (Mg ha ⁻¹)	前 324 後 206	296 186	251 157	255 173	349 251	250 178

して間伐木を選定した。極端な劣勢木と立枯木は伐採した。間伐木は林外に持ち出した。間伐に先駆けて行った伐倒調査（2013年10月実施）の試料木は間伐木に含めた。間伐前後の林況を表－1に示す。間伐前後の地上部現存量は毎木調査により胸高直径を測定し、伐倒調査で求めた相対成長式⁽²⁾を用いて各個体の地上部バイオマス量を推定し試験区ごとの地上部現存量を求めた⁽³⁾。この伐倒調査の試料木の諸量を付表－1に、幹・枝・葉・枯枝に対する相対成長式を付表－2に示す。ただし幹の相対成長式は既報である⁽²⁾。また樹種ごとの試料木のD²Hと葉量の関係を付図－1に示す。2013年伐倒調査の試料木を用いて作成した葉量アロメトリ式は1998年および2003年伐倒調査の試料木に比して葉量を小さく推定する傾向が認められ、その傾向は特にトドマツとアカエゾマツの施肥区で顕著であった（付図－1）。この傾向は2013年伐倒下層木の葉量が小さいことに起因し、林分の過密化が葉量減少をもたらした可能性が示唆される。

LFは2012年9月下旬から2016年5月中旬まで調査した。各区6箇所に直径80cmのリタートラップ（以下トラップ）を設置して月1回収した。冬季（12–5月）は地表にプラスチック製のかごを設置して雪解け後に回収した。回収物は全量および植栽種の葉、小枝（直径5cm未満）、植栽種の繁殖器官に分別して乾重を測定した。大枝（直径5cm以上）は各区1箇所に4m×6mの地表枠を設置して回収した。全体LFは葉・小枝・大枝・繁殖器官の各LFを合計したものである。各トラップで回収したLFに地表枠内で回収した大枝量を単位面積当たりの値に換算して加えて求めた。大枝の回収期間がトラップと一致しない場合には回収量を期間で日割りにして按分した。間伐影響期間（2013/11–2014/9）のLFは参考値として全量のみを報告する。これは間伐時に伐倒・搬出作業でトラップの破壊・転倒が生じたことによる過小評価や、間伐で折れて林冠に架かった大枝由来のリターが時間経

Eriko ITO (Kansai Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), Kyoto 612-0855), Toru HASHIMOTO (Hokkaido Research Center, FFPRI, Sapporo 062-8516), Shuhei AIZAWA, Junko NAGAKURA (FFPRI, Tsukuba 305-8687)

Litterfall before and after thinning of in consecutive fertilized mature *Abies* and *Picea* stands

過とともに林床に落下する誤差を含むためである。

全体 LF（間伐影響期間を除く）に対する器官別（葉・小枝・繁殖器官・大枝）LF の割合を算出し、この部位別割合における樹種・施肥による違いを一般線形モデル (GLM) による分散分析および Tukey の HSD 検定で解析した。次に、全体 LF および葉 LF が樹種および施肥によって異なるか、GLM による分散分析で解析した。目的変数となる LF は間伐前(2012/9/25–2013/11/18)の合計量を用い、間伐前の胸高断面面積合計で LF を除して林分バイオマスの違いを補正した(単位胸高断面面積あたり LF)。説明変数は施肥、樹種、施肥と樹種の交互作用とした。

トドマツとエゾマツで認められた施肥区と無施肥区の間の堆積有機物量の違いは林木からの LF に起因するとの作業仮説を検討するため、まず間伐前(2012/9/25–2013/11/18)の全体 LF および葉 LF が林分ごとに異なるか、施肥、樹種、施肥と樹種の交互作用を説明変数とする GLM で解析した。次に間伐前の LF で堆積有機物量の違いを説明できるかどうか GLM を用いて検証した。目的変数を堆積有機物量(2012/9/12 採取)、説明変数を間伐前(2012/9/25–2013/11/18)の葉・小枝の LF、施肥、樹種、各説明変数の交互作用とした。堆積有機物量データは前報⁽⁴⁾で報告した値を用いた。堆積有機物量は 2012 年 9 月のトラップ設置時に各トラップ設置地点で試料を回収したため、堆積有機物量と LF は一対一で対応するとした。

秋冬期の葉 LF を間伐前後で比較した。間伐前(2012/9/25–2013/5/10)、間伐 1 年後(2014/9/16–2015/4/15)、間伐 2 年後(2015/9/18–2016/5/14)の 3 期間の葉 LF および単位胸高断面面積あたりの葉 LF を用いた。林分ごとに一般化線形混合モデル(GLMM)を用いて葉 LF が期間で異なるか検証した。トラップを変量効果に指定した。

統計解析は JMP ver.10.0 (SAS Inst., Cary, NC)を用いた。

結果と考察

1) LF の季節・器官・林分ごとの傾向

LF の時系列変化を器官別・林分別に図-1 および付表-3 に示す。LF は秋(9 月中旬–11 月中旬)および冬(11 月中旬–5 月中旬)に大半が落下した。枝 LF は冬に多く、積雪の影響と考えられる。葉 LF は秋冬ともに多く、秋と冬の割合は年および樹種により異なった(付表-3)。2014-2015 年の落葉は冬の落葉割合が樹種を問わず少なく(秋冬落葉量の 20-32%が冬に落葉)、逆に 2015-2016 年では冬の落葉割合が大きかった(同 63%)。2012-2013 年では樹種ごとに傾向が異なり、トドマツ・エゾマツでは冬の落葉割合が 20-28%と小さいが、アカエゾマツでは 49%に達していた。間伐直前の 2013 年秋(2012/9/10–11/18)は前年の 2012 年秋(2012/9/25–11/28)に比較して落葉量が少なく、トドマツ・エゾマツで前年の 3 割、アカエゾマツで 6 割の落葉量であった。これは落葉量の年々変動ないしは落葉時期の遅れに由来する可能性がある。間伐影響期間の LF には間伐作業で折れた着葉した大枝も認められ、LF は間伐前後の 3–6 倍に達した(参考値)。間伐後の葉 LF については後述する。繁殖器官 LF はトドマツで 2014 年に、エゾマツとアカエゾマツで 2015 年に大きい傾向が認められ(図-1)、葉 LF の時系列変

化とは異なる傾向を示した。LF の年々変動に施肥処理間での差異は認められなかった。

間伐影響期間を除外した全期間の LF の器官別割合では葉・繁殖器官・大枝の割合に樹種による違いが認められた(表-2)。葉 LF の割合はアカエゾマツ>エゾマツ>トドマツとなった。施肥による違いはトドマツ大枝 LF において認められ、無施肥区で大枝の割合が大きかった。

間伐前の単位胸高断面面積あたりの全体および葉 LF に対し、樹種および樹種と施肥の交互作用に有意な効果が認められた(表-3)。樹種ではアカエゾマツ>エゾマツ>トドマツとなる傾向が認められ、特に葉 LF では各樹種間に有意差が認められた(数値は省略)。この傾向は全体 LF の器官別割合において葉 LF の割合がアカエゾマツ、エゾマツ、トドマツの順に大きかったことと整合する。樹種×施肥の各区分における最小二乗平均値はアカエゾマツでは施肥区より無施肥区で大きく、エゾマツ・トドマツではその逆の傾向だったが、いずれの樹種においても施肥・無施肥間に有意な差は認められなかった。

表-2 全期間リターフォールにおける各器官の割合

	トドマツ		エゾマツ		アカエゾマツ	
	施肥	無施肥	施肥	無施肥	施肥	無施肥
葉	70.4 ±3.5 ^c	69.2 ±4.4 ^c	73.0 ±4.3 ^b	75.1 ±4.0 ^b	77.8 ±3.2 ^a	82.8 ±3.3 ^a
小枝	12.2 ±4.1	10.7 ±5.5	16.1 ±3.6	15.7 ±5.3	13.4 ±4.6	11.8 ±3.0
繁殖器官	5.2 ±0.9 ^a	5.7 ±0.9 ^a	3.6 ±2.6 ^{ab}	3.6 ±3.3 ^{ab}	4.3 ±2.6 ^b	2.1 ±1.5 ^b
大枝	12.2 ±1.2 ^b	14.4 ±2.0 ^a	7.3 ±0.8 ^c	5.6 ±1.0 ^{cd}	4.5 ±0.7 ^{de}	3.3 ±0.6 ^e

平均値±SD (%); 同一項目で同じ文字を共有しない林分は有意に異なる。

表-3 間伐前の単位胸高断面面積あたりリターフォール量に対する分散分析の結果(上: 全体 LF, 下: 葉 LF)

要因	自由度	平方和	F 値	p 値
樹種	2	1.33 E-2 (1.37 E-2)	20.16 (37.54)	<.0001 (<.0001)
施肥	1	4.60 E-4 (5.64 E-6)	1.39 (0.03)	0.2475 (0.8615)
樹種×施肥	2	2.70 E-3 (1.70 E-3)	4.08 (4.67)	0.0271 (0.0171)

2) 間伐前の堆積有機物量と LF の関連

全体および葉 LF で認められた樹種・施肥別の傾向は堆積有機物量の傾向⁽⁴⁾と合致しなかった(表-4)。LF (特に葉 LF) はアカエゾマツで大きく、トドマツで小さいが、堆積有機物量の樹種別傾向は LF の傾向とは逆にトドマツで大きく、アカエゾマツで小さかった⁽⁴⁾。また施肥と樹種の交互作用に関しても異なる傾向が認められた。堆積有機物量では施肥と樹種の交互作用が明瞭に認められ

表-4 間伐前のリターフォール量と堆積有機物量

	トドマツ		エゾマツ		アカエゾマツ	
	施肥	無施肥	施肥	無施肥	施肥	無施肥
全体 LF	9.1 ±0.8 ^{ab}	7.1 ±0.8 ^c	9.2 ±1.7 ^{ab}	7.9 ±0.8 ^{bc}	10.1 ±1.5 ^a	8.3 ±1.0 ^{abc}
葉 LF	6.1 ±0.3 ^{bc}	5.2 ±0.5 ^c	6.5 ±1.3 ^{bc}	5.7 ±0.3 ^{bc}	8.0 ±1.0 ^a	6.8 ±1.0 ^{ab}
堆積有機物量 ⁽⁴⁾	48.8 ±9.3 ^a	19.7 ±3.3 ^c	31.6 ±7.9 ^b	17.4 ±6.3 ^c	18.5 ±4.2 ^c	16.3 ±3.4 ^c

平均値±SD; 同一項目で同じ文字を共有しない林分は有意に異なる。

トドマツおよびエゾマツの施肥区の値は無施肥区の 2.5 倍および 1.8 倍と顕著に異なる一方で、アカエゾマツでは有意差がなかった⁽⁴⁾。一方で、LF では施肥と樹種の交互作用は全体として認められたが、各樹種の施肥・無施肥間の間で差が認められたのはトドマツの全体 LF のみであり、その差も施肥区は無施肥区の 1.3 倍に留まった。

堆積有機物量の説明変数として、樹種、施肥、樹種と施肥の交互作用は有意であったが、LF および LF と樹種や施肥との交互作用に有意な効果は認められなかった（表－5）。この結果は、林分内の各トラップ位置における堆積有機物量と間伐前の各種 LF の関係が不明瞭なこと（付図－2）からも直観的に理解できる。

トドマツとエゾマツの施肥区で堆積有機物量が顕著に大きい理由はリターフォール供給量では説明できないことが本研究によって示された。落葉分解速度（最長 4 年間）は施肥区でむしろやや大きい傾向が認められている⁽⁴⁾。施肥区（特にトドマツ）で顕著に蓄積した堆積有機物は、初期分解（4 年）以降の難分解性リターが長期間残留したものと推察される。連年施肥の結果として林床の微生物相が易分解性有機物を嗜好し、難分解性有機物を忌避するものへと移行した可能性がある。人為的な高窒素負荷が北方針葉樹林の炭素循環を改変する可能性について今後の検証が必要である。

表－5 堆積有機物量に対する分散分析の結果

要因	自由度	平方和	F 値	p 値
樹種	2	663.73	9.17	0.0011
施肥	1	859.51	23.74	<.0001
樹種×施肥	2	461.04	6.37	0.0061
LF	1	103.16	2.85	0.1044
樹種×LF	2	78.44	1.08	0.3545
施肥×LF	1	95.08	2.63	0.1182
樹種×施肥×LF	2	106.87	1.48	0.2486

LF: 葉・小枝リターフォール量

3) 間伐後のリターフォール量に対する施肥の効果

間伐前後で葉 LF は大きく変動した（図－2 上）。すべての樹種で葉 LF は間伐 1 年後に減少し、間伐 2 年後に増加した。大半の林分で間伐 2 年後>間伐前>間伐 1 年後の順で有意差が認められた。ただしトドマツ施肥区では間伐前の方が間伐 2 年後より大きく、アカエゾマツ無施肥区では間伐前と間伐 1 年後の間に有意差がなかった。

単位胸高断面積あたりの葉 LF で比較した場合には、間伐前後の変化傾向は樹種や施肥の有無に関わらず同様のものとなり、間伐に対する葉 LF の反応には施肥の有無による違いは認められなかった（図－2 下）。トドマツ施肥区を除くすべての林分で、単位胸高断面積あたりの葉 LF は間伐前と間伐 1 年後の間で有意差がなかった。

トドマツ施肥区では間伐 1 年後の単位胸高断面積あたりの葉 LF が間伐前より有意に小さかった。23 年生トドマツ間伐後の落葉量を調べた既往研究⁽⁹⁾でもトドマツ間伐直後に単位胸高断面積あたりの林分落葉量が減少することが示され、葉の枯死量が減少し林分着葉量が増加したものと考察している。同様の傾向が認められたトドマツ施肥区では間伐後に葉寿命を延長して葉を維持する傾

向にあったことを示唆している。ただし本研究ではトドマツの無施肥区およびエゾマツ・アカエゾマツにはそのような傾向は認められず、留意が必要である。

単位胸高断面積あたりの葉 LF は間伐 2 年後に顕著に増加し、間伐前の値の 1.3–2.4 倍の数値を示した（図－2 下）。既往研究⁽⁹⁾では単位胸高断面積あたりの葉 LF が無間伐区と同程度に回復したのは間伐 4 年後であった。本研究で認められた間伐 2 年後の葉 LF の顕著な増加傾向は樹種・施肥を問わず認められた。試験地は過密な壮齡林分であり、間伐前の樹木には劣悪な光条件下で古い旧年葉が樹冠に蓄積していたと推察される。間伐により光環境が改善されて光合成生産が増加した結果、間伐 2 年後には樹木が大量の旧年葉を更新できた可能性がある。

まとめ

LF の季節変動や器官別割合に施肥による違いは認められなかった。また、樹種間で認められた LF の違いは堆積有機物の傾向とは合致せず、林床の堆積有機物量がトドマツとエゾマツの施肥区で顕著に大きい理由は未解明である。施肥により難分解性有機物が残留するようになった可能性がある。間伐前後で LF は大きく変化し、間伐 2 年後に葉 LF が顕著に増加した。一方、間伐前後の変化傾向において施肥による違いは認められなかった。

引用文献

- (1) 相澤州平・伊藤江利子・橋本 徹・阪田匡司・酒井寿夫・田中永晴・高橋正通・松浦陽次郎・真田 勝（2012）トドマツ、エゾマツ、アカエゾマツおよびウダイカンバ人工林の 37 年間の成長経過と施肥の影響。北森研 **60** : 93-99.
- (2) 相澤州平・伊藤江利子・橋本 徹・酒井佳美・鳥山淳平・大澤晃・藤井創一朗（2015）羊ヶ丘実験林における 40 年生トドマツ、エゾマツ、アカエゾマツ人工林の地上部バイオマス量と施肥の影響。北森研 **63** : 67-68.
- (3) 相澤州平・伊藤江利子（2016）間伐と長期間の施肥がトドマツ、エゾマツ、アカエゾマツ人工林の成長とリター量に与えた影響。日本森林学会大会発表データベース **127** : P2-232.
- (4) 伊藤江利子・橋本 徹・相澤州平・長倉淳子（2022）連年施肥を受けたトドマツ・エゾマツ・アカエゾマツ壮齡林における間伐前後のリター分解速度。北森研 **70** : 37-42.
- (5) 水井憲雄・菊沢喜八郎・浅井達弘・清和研二（1987）トドマツ人工林の間伐試験(1) 間伐後 4 年間の生長量と葉量の回復。北海道林業試験場研究報告 **25** : 18-27.
- (6) 長倉淳子・古澤仁美・相澤州平・伊藤江利子・橋本 徹（2019）施肥開始から 18 年間のトドマツ針葉とウダイカンバ落葉の養分濃度変化。関東森林研究 **70**: 73-76.
- (7) 長倉淳子・古澤仁美・伊藤江利子・橋本 徹・梅村光俊（2021）連年施肥 40 年目のウダイカンバ林とトドマツ林の土壌養分状態。関東森林研究 **72**: 201-204.
- (8) 真田 勝・大友玲子・真田悦子（1995）トドマツ肥培林の成長と当年葉の養分濃度－施肥 17 年間の養分濃度の変動－。日林論 **106** : 223-224.
- (9) 田中永晴・酒井佳美・酒井寿夫・石塚成宏・松浦陽次郎・高橋正通・小野賢二（2004）25 年間連年施肥がエゾマツ

マツおよびアカゾマツの地上部バイオマス量に及ぼした影響。

日林学術講 115 : 514.

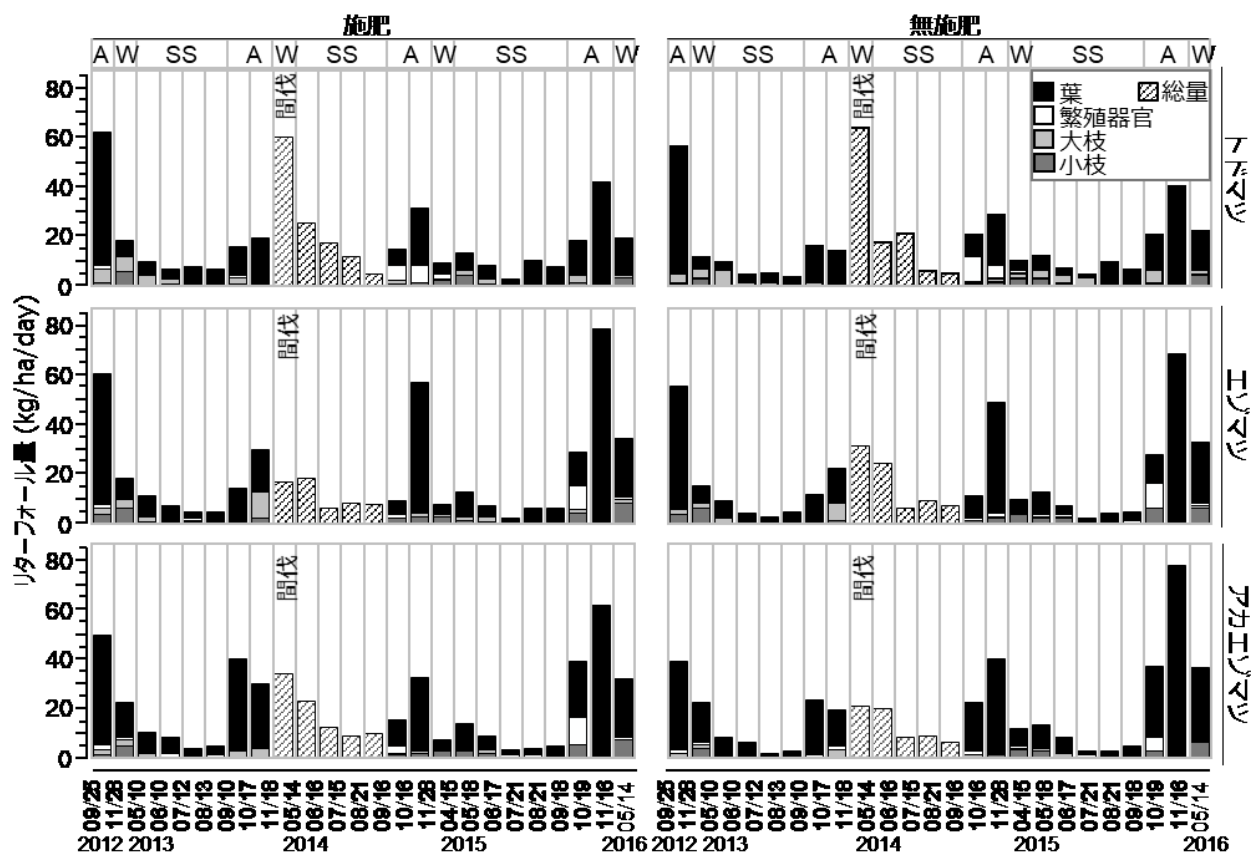


図-1 リターフォール量の時系列変化

1日あたりの各部位のリターフォール量を示す。棒グラフ上部の英大文字は季節(A, 秋; W, 冬; SS, 春夏)を、下部の左右の日付はリターアップ回収期間の期首と期末を示す。間伐を実施した2013-2014冬と直後の2014春夏は間伐影響期間として総量のみを示す。

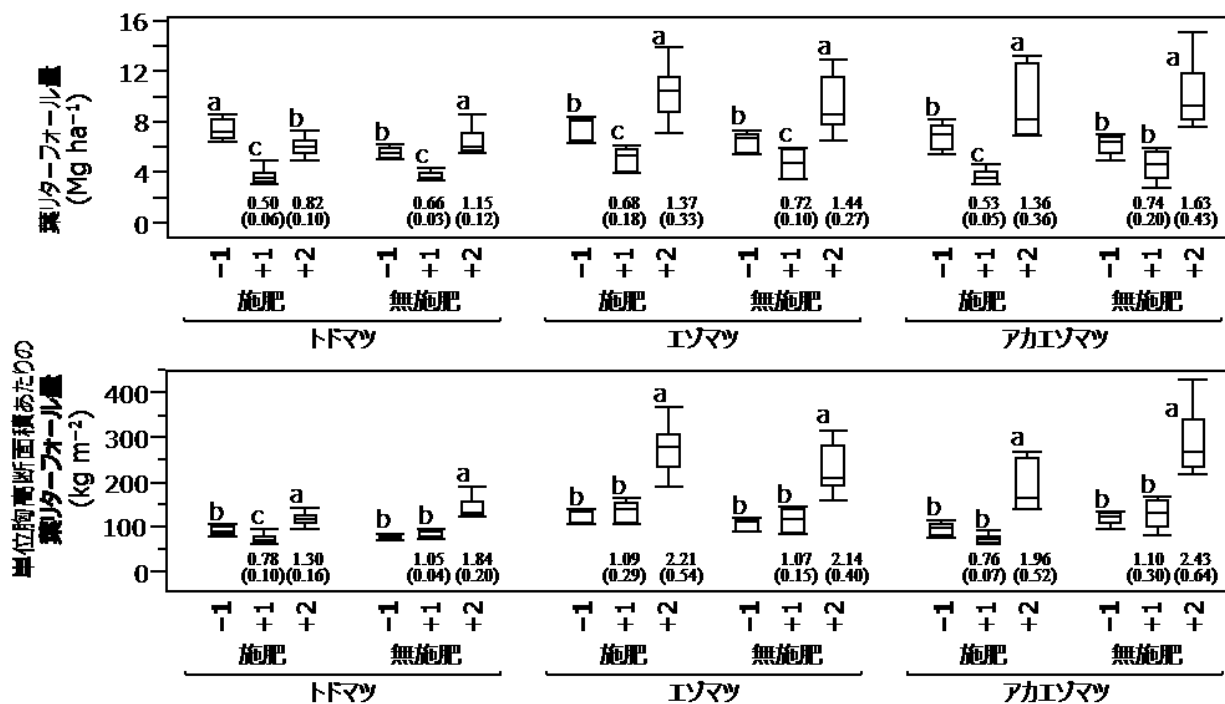


図-2 間伐前後の葉リターフォール量

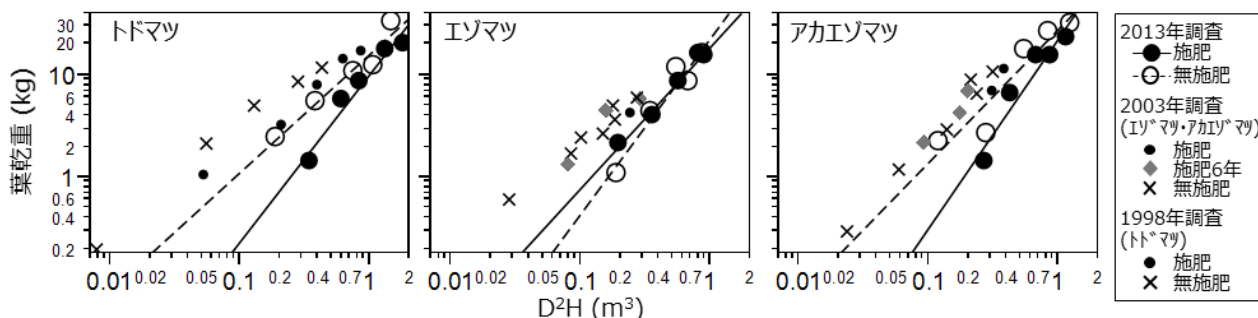
秋冬期の葉リターフォール量(上)と単位胸高断面積あたりの葉リターフォール量(下)を間伐1年前(-1, 2012/9/25-2013/5/10), 間伐1年後(+1, 2014/9/16-2015/4/15), 間伐2年後(+2, 2015/9/18-2016/5/14) に分けて示す。箱ひげ図の箱の中央線は中央値、両端は25%と75%の分位点を示す。ひげの両端は最大・最小値を示す。同一林分内で同じ文字を共有しない測定時期はTukeyのHSD検定で差があることを示す。間伐1年後および間伐2年後のグラフ下の数値は間伐前の値に対する比の林分平均値(SD)を示す。

付表-1 2013年に伐倒したトドマツ、エゾマツ、アカエゾマツの試料木の諸量⁽²⁾

樹種	処理	試験区 No.	個体 No.	胸高 直径 (cm)	樹高 (m)	枝下高 (m)	枝下 直径 (cm)	幹乾重 (kg)	枝乾重 (kg)	葉乾重 (kg)	枯枝 乾重 (kg)
トドマツ	無施肥	8	89	27.2	19.7	9.8	20.7	188.0	43.4	33.3	13.7
		8	161	23.5	18.9	14.6	12.3	153.4	13.3	12.6	7.4
		8	97	20.4	18.2	11.8	12.5	105.7	11.0	10.6	5.4
		8	108	14.9	16.9	12.3	8.2	61.7	5.0	5.5	3.0
		8	146	11.0	15.6	11.9	6.3	31.6	2.0	2.4	1.6
	施肥	9	94	29.6	20.2	12.7	19.8	204.4	27.9	20.6	6.2
		9	123	25.5	20.5	13.3	16.2	190.3	19.1	18.0	6.9
		9	80	21.4	18.2	13.6	12.0	123.3	12.3	8.6	8.8
		9	114	18.1	18.3	14.3	9.4	85.4	5.3	5.8	3.0
		9	160	14.2	17.0	14.2	5.0	47.2	0.7	1.4	1.8
エゾマツ	施肥	14	28	22.8	17.0	10.5	15.1	133.3	20.7	15.2	12.6
		14	68	21.2	17.8	10.3	15.4	126.8	17.6	16.0	8.9
		14	42	18.6	16.4	11.6	10.8	92.0	10.2	8.6	9.9
		14	66	15.3	15.1	11.1	8.4	55.4	3.8	4.0	9.2
		14	57	11.8	14.0	11.2	5.7	28.2	2.3	2.1	3.0
	無施肥	15	29	22.6	17.0	10.6	15.7	139.4	21.8	16.5	16.9
		15	58	19.9	16.9	10.5	12.4	96.7	11.2	8.8	7.3
		15	69	18.0	16.6	9.4	14.1	88.3	19.3	11.8	12.1
		15	74	15.1	15.0	9.6	9.6	49.5	4.4	4.4	4.8
		15	44	11.6	14.0	10.6	5.4	26.7	1.2	1.1	3.2
アカエゾマツ	施肥	18	86	24.9	18.0	11.7	13.9	166.7	22.0	23.5	10.8
		18	8	24.7	18.6	8.2	19.6	135.8	18.9	15.2	35.8
		18	17	18.9	18.7	10.6	13.9	118.2	17.0	15.6	11.0
		18	55	15.9	16.9	10.8	9.9	65.2	6.9	6.7	9.0
		18	63	13.2	15.5	11.2	6.2	34.5	1.4	1.4	6.9
	無施肥	19	20	24.8	19.7	8.6	20.4	197.6	41.7	31.9	32.3
		19	82	20.9	19.2	9.8	16.6	128.4	23.4	27.2	28.8
		19	47	17.6	17.5	9.5	13.6	90.5	15.4	18.1	11.1
		19	74	13.7	14.6	10.8	7.2	41.9	2.8	2.7	8.1
		19	57	9.6	12.7	8.9	6.0	20.2	1.5	2.2	3.2

付表-2 連年施肥を受けたトドマツ・エゾマツ・アカエゾマツ壮齢林のアロメトリ式⁽⁴⁾

乾重(kg)=a×(D ² H) ^b		トドマツ		エゾマツ		アカエゾマツ	
D: 胸高直径(m)	H: 樹高(m)	施肥区	無施肥区	施肥区	無施肥区	施肥区	無施肥区
幹 ⁽²⁾	a	137.47	137.47	159.01	159.01	156.47	156.47
	b	0.8874	0.8874	1.0519	1.0519	0.9966	0.9966
枝	a	11.23	18.07	23.54	33.34	24.83	30.53
	b	2.1610	1.3445	1.5001	1.8894	1.9046	1.4912
葉	a	10.27	16.10	19.16	23.39	23.17	28.49
	b	1.6394	1.1571	1.3874	1.7220	1.8573	1.3066
枯枝	a	6.34	6.34	14.92	14.92	21.63	21.63
	b	0.8725	0.8725	0.8870	0.8870	0.8700	0.8700

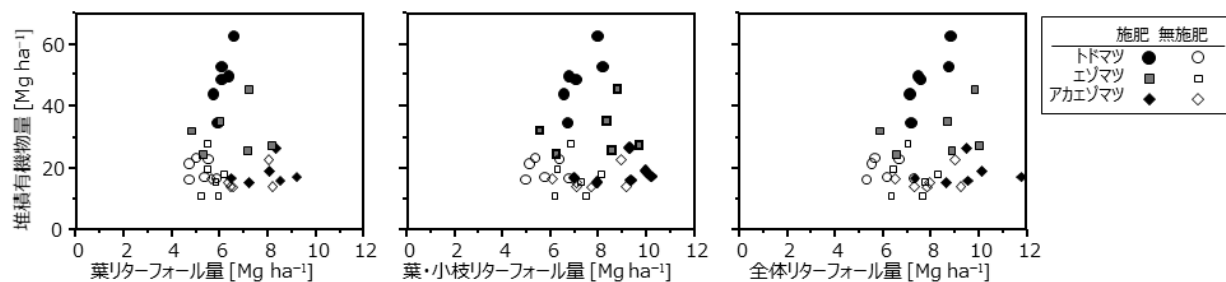
付図-1 伐倒調査試料木におけるD²Hと葉乾重の関係

2013年の伐倒調査試料木に加え、1998年および2003年伐倒調査試料木のうち葉乾重データが存在するものをプロットした。図の直線は2013年伐倒調査データから作成した樹種・処理別のアロメトリ直線（付表-2）である。D: 胸高直径(m), H: 樹高(m)

付表-3 年・季節別の林床への有機物供給量 (平均値±SD, Mg ha⁻¹)

		トドマツ		エゾマツ		アカエゾマツ	
		施肥区	無施肥区	施肥区	無施肥区	施肥区	無施肥区
全体	2012 秋 ¹⁾	4.0±0.3	3.6±0.2	3.9±1.0	3.5±0.3	3.2±0.3	2.5±0.4
	2012-13 冬 ²⁾	3.0±0.7	1.8±0.3	3.0±0.6	2.5±0.4	3.6±0.9	3.6±0.8
	2013 春-夏 ³⁾	1.0±0.2	0.7±0.1	0.9±0.2	0.7±0.1	0.9±0.3	0.6±0.1
	2013 秋 ⁴⁾	1.2±0.2	1.0±0.2	1.5±0.3	1.2±0.2	2.4±0.3	1.5±0.3
	2013-14 冬 (間伐) ⁵⁾	10.6±2.3	11.2±2.3	3.0±0.7*	5.5±1.1	6.1±0.6	3.7±0.6
	2014 春-夏 ⁶⁾	1.9±0.3	1.5±0.2	1.3±0.2	1.5±0.3	1.7±0.4	1.4±0.3
	2014 秋 ⁷⁾	1.8±0.2	1.9±0.3	2.7±0.4	2.4±0.4	2.0±0.3	2.4±0.7
	2014-15 冬 ⁸⁾	1.2±0.5	1.4±0.4	1.1±0.2	1.3±0.6	1.1±0.3	1.6±0.6
	2015 春-夏 ⁹⁾	1.3±0.3	1.2±0.3	1.1±0.1	0.9±0.2	1.1±0.3	1.0±0.2
	2015 秋 ¹⁰⁾	1.7±0.4	1.8±0.2	3.1±0.6	2.8±0.5	2.9±0.5	3.3±0.8
	2015-16 冬 ¹¹⁾	3.5±0.6	3.9±1.1	6.2±1.8	5.9±2.2	5.8±2.0	6.6±2.3
葉	2012 秋 ¹⁾	3.4±0.3	3.2±0.2	3.4±0.8	3.1±0.2	2.8±0.4	2.3±0.4
	2012-13 冬 ²⁾	1.0±0.1	0.7±0.1	1.4±0.1	1.1±0.1	2.2±0.4	2.7±0.6
	2013 春-夏 ³⁾	0.6±0.2	0.4±0.1	0.7±0.2	0.5±0.1	0.7±0.1	0.6±0.1
	2013 秋 ⁴⁾	1.0±0.2	0.9±0.1	1.0±0.2	0.9±0.1	2.2±0.3	1.3±0.3
	2014 秋 ⁷⁾	1.2±0.1	1.1±0.2	2.4±0.3	2.2±0.3	1.6±0.2	2.2±0.7
	2014-15 冬 ⁸⁾	0.6±0.1	0.5±0.1	0.5±0.0	0.7±0.2	0.7±0.2	1.0±0.3
	2015 春-夏 ⁹⁾	1.0±0.2	0.8±0.2	0.8±0.1	0.7±0.2	0.8±0.2	0.8±0.2
	2015 秋 ¹⁰⁾	1.6±0.3	1.5±0.2	2.6±0.6	2.3±0.4	2.4±0.4	3.1±0.6
	2015-16 冬 ¹¹⁾	2.7±0.4	2.7±0.5	4.3±1.6	4.4±1.6	4.3±1.3	5.4±1.9
小枝	2012 秋 ¹⁾	0.1±0.0	0.0±0.0	0.2±0.1	0.2±0.1	0.1±0.0	0.1±0.0
	2012-13 冬 ²⁾	1.0±0.6	0.5±0.3	1.0±0.6	1.0±0.3	0.8±0.5	0.7±0.2
	2013 春-夏 ³⁾	0.0±0.0	0.0±0.0	0.1±0.1	0.1±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
	2013 秋 ⁴⁾	0.0±0.0	0.0±0.0	0.1±0.1	0.1±0.1	0.0±0.0	0.0±0.0
	2014 秋 ⁷⁾	0.1±0.0	0.1±0.1	0.2±0.1	0.1±0.1	0.1±0.1	0.1±0.1
	2014-15 冬 ⁸⁾	0.3±0.3	0.4±0.4	0.4±0.3	0.5±0.5	0.4±0.2	0.5±0.3
	2015 春-夏 ⁹⁾	0.2±0.1	0.1±0.1	0.1±0.0	0.1±0.1	0.2±0.1	0.1±0.1
	2015 秋 ¹⁰⁾	0.1±0.1	0.0±0.0	0.2±0.1	0.2±0.1	0.2±0.1	0.1±0.0
	2015-16 冬 ¹¹⁾	0.6±0.3	0.8±0.7	1.5±0.6	1.2±0.9	1.3±0.7	1.1±0.6
大枝	2012 秋 ¹⁾	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
	2012-13 冬 ²⁾	1.0	0.7	0.5	0.4	0.4	0.2
	2013 春-夏 ³⁾	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0
	2013 秋 ⁴⁾	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.1
	2014 秋 ⁷⁾	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
	2014-15 冬 ⁸⁾	0.1	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1
	2015 春-夏 ⁹⁾	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
	2015 秋 ¹⁰⁾	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
	2015-16 冬 ¹¹⁾	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
繁殖器官	2012 秋 ¹⁾	0.1±0.0	0.1±0.0	0.1±0.1	0.0±0.1	0.1±0.2	0.1±0.1
	2012-13 冬 ²⁾	0.1±0.0	0.0±0.0	0.1±0.2	0.0±0.0	0.1±0.3	0.1±0.2
	2013 春-夏 ³⁾	0.0±0.1	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.1±0.2	0.0±0.0
	2013 秋 ⁴⁾	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.1±0.1
	2014 秋 ⁷⁾	0.5±0.1	0.6±0.1	0.1±0.0	0.1±0.0	0.1±0.1	0.1±0.1
	2014-15 冬 ⁸⁾	0.2±0.1	0.2±0.1	0.1±0.1	0.0±0.0	0.0±0.0	0.1±0.1
	2015 春-夏 ⁹⁾	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.1±0.1	0.0±0.1	0.0±0.0
	2015 秋 ¹⁰⁾	0.0±0.0	0.0±0.0	0.3±0.2	0.3±0.3	0.4±0.1	0.2±0.2
	2015-16 冬 ¹¹⁾	0.0±0.0	0.1±0.1	0.1±0.2	0.2±0.3	0.1±0.2	0.0±0.0

¹⁾2012/Sep/25–Nov/28, ²⁾2012/Nov/28–2013/May/10, ³⁾2013/May/10–Sep/10, ⁴⁾2013/Sep/10–Nov/18, ⁵⁾2013/Nov/18–2014/May/14, ⁶⁾2014/May/14–Sep/16, ⁷⁾2014/Sep/16–Nov/28, ⁸⁾2014/Nov/28–2015/May/18, ⁹⁾2015/May/18–Sep/18, ¹⁰⁾2015/Sep/18–Nov/16, ¹¹⁾2015/Nov/16–2016/May/14, *リタートラップ破損のため過小推定, 2013-14 冬 および 2014 春-夏は間伐影響期間として全体量のみを示す



付図-2 間伐前のリターフォール量と堆積有機物量の関係

間伐前 (2012/9/25-2013/11/18) の葉、葉・小枝、および全体リターフォール量と堆積有機物量(2012/9/12採取)との関係を示す。