

北関東低山地の森林におけるリターフォールによる養分供給量

金子真司・稲垣昌宏 (森林総研)・平井敬三 (森林総研東北)・野口享太郎 (森林総研四国)

要旨：茨城県中部の42年生スギ人工林(間伐区, 対照区)および落葉広葉樹林(広葉樹区)において2006年4月から2007年4月までの1年間リターフォールを採取してC, N, P, Ca, Mg, Kを測定し, リター中の養分濃度および養分還元量を明らかにした。スギ林リターの養分濃度は間伐や採取時期の影響は明瞭に認められなかった。広葉樹葉リターではN, Pが春から秋にかけて濃度が低下し, Ca, Mg, Kは夏または秋に濃度のピークがみられた。スギ2区(間伐区, 対照区)は広葉樹区に比べてN, P濃度が相対的に高く, Ca, Mg, K濃度は相対的に低いことが明らかになった。スギ針葉リターでCa濃度が高いのはスギの樹種特性によるものであり, 広葉樹区でN, Pが少ない理由は広葉樹林が養分の少ない斜面上部に位置しているためと考えられた。

キーワード：リターフォール, 養分還元量, 落葉広葉樹林, スギ人工林, 間伐

I. はじめに

森林は再生可能な資源であるが, 森林からの収穫物の持ち出しはそれに含まれる養分も同時に持ち出すことになる。持続的に森林を利用していくためには森林における養分の現存量や内部循環量を把握しておく必要がある。

茨城県中部にある桂試験地では, これまで窒素を中心に現存量やその循環量の調査を精力的に行ってきたが, この試験地において窒素以外の成分の内部循環量については調査されてこなかった。そこで本研究ではリターフォールとして林地に供給される主要養分量を調査した。

II. 試験地および方法

茨城県東茨城郡城里町(旧桂村)にある森林総合研究所桂試験地(茨城森林管理署32林班ほ小班)で行った。本試験地は那珂川支流である皇都川の支流の最上流部に位

置し(北緯36度30分, 東経140度18分), 試験地流域の標高は210~230mである。試験地に最も近いアメダス観測地点の小瀬(北緯36度36.4分, 東経140度19.5分, 標高95m)の年降水量は1407mm, 年平均気温は12.7°Cである(1991年~2000年)(2)。試験地流域の斜面下部から中部には40年生スギ林(2004年時点)が, 斜面上部には広葉樹二次林が分布している。この試験地のスギ林では2003年に材積率25%の切り捨て間伐を行っている(9)。広葉樹林はコナラ(*Quercus serrata*), ヤマザクラ(*Cerasus jamasakura*), アカシデ(*Carpinus laxiflora*)が優占する。土壌は褐色森林土で, 尾根から斜面下部へと弱乾性から弱湿性の土壌が分布している(2, 11)。この試験地のスギ林3か所(スギ間伐区), 広葉樹林3か所(広葉樹区), およびこの試験地に隣接する42年生スギ林(2006年時点)(スギ対照区)に, それぞれ3つのリタートラップ(0.5 m²)した。スギ対照区,

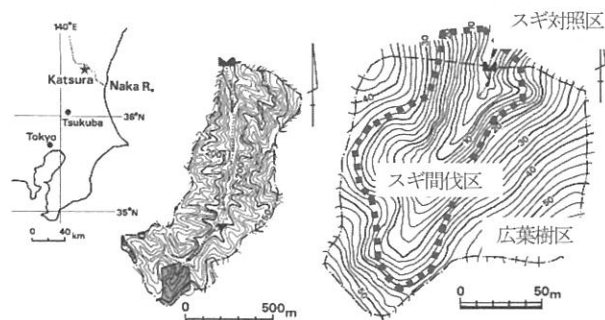


図1. 試験地の概要

Shinji KANEKO and Masahiro INAGAKI (For. and Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305-8687), Keizo HIRAI (Tohoku Research Center, For. and Forest Prod. Res. Inst.), Kyotaro NOGUCHI (Shikoku Research Center, For. and Forest Prod. Res. Inst.) Nutrient supplies in litter fall at a lower mountain in the northern Kanto region.

スギ間伐区、広葉樹区の 2004 年における胸高断面積合計 ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) は、60.1, 38.3, 32.8 である。本研究では 2006 年 4 月から 2007 年 3 月までに月一度の間隔で回収したリターを対象とした。リターは採取後、70°C で 48 時間乾燥した後、スギ間伐区・対照区については針葉、枝、種子、雄花に区分し、それぞれの重量を測定した。広葉樹区については広葉樹葉、枝、マツ枝葉、毬果、種・実、虫糞、樹皮、区分して重量を測定した。スギ間伐区・対照区の区分ごとに、前半 (2006 年 4 月～2006 年 9 月) と後半 (2006 年 10 月～2007 年 3 月) で試料を混合して化学分析に供した。広葉樹林区は広葉樹葉リターについては採取毎に、その他は年間の試料を混合して分析に供した。C と N 濃度は NC アナライザー (住化分析センター NC22F) で分析した。P, Ca, Mg, K は湿式灰化後に ICP 発光分析装置 (パーキンエルマー Optima 4300DV) で測定した。

III. 結果

1. リター中の養分濃度 スギ林 2 区のリターでは、C を除く各元素は部位毎に濃度が大きく異なるが、対照区と間伐区による濃度の違いは各元素、各部位ともほとんどなく、年度の前半と後半で採取した試料間にも各元素、各部位で大きな濃度の差は見られなかった (表-1)。針葉リターは他の部位に比べて Ca 濃度が高い特徴が認められ、Ca 濃度を除くと針葉リターと毬果リターの元素濃度は類似していた。枝は Ca が種子リター、雄花リターより濃度が高い以外は、他の部位に比べて元素濃度が低かった。雄花リターは N, P, K 濃度が高い特徴があり、その他の部位では N, P, Ca, K 濃度が高かった。

広葉樹林で採取したリターでも、部位による濃度差は大きく、広葉樹葉リターでは各元素の濃度が高く、枝ではいずれの元素も濃度が低かった (表-2) 広葉樹葉リターは他の部位に比べて全般に元素濃度が高く、スギ葉リターに比べると (表-1), N, Mg, K 濃度は高く、P, Ca 濃度は低かった。枝リターは Ca 濃度が最も高く、スギ 2 区の枝リターに比べて N, P, Ca, Mg 濃度が高かった。虫糞リターやその他の部位では N, P の濃度が高かった。

2. 広葉樹区の広葉樹葉リターの養分濃度の季節変化 C 濃度は年間を通じてほとんど変化がなかった (図-2)。N, P は夏季 (採取期間: 4 月 14 日～7 月 15 日) に濃度が最も高まり、リターフォール量がピークとなる晩秋 (採取期間: 11 月 10 日～12 月 14 日) に濃度が最も低下した。Ca と Mg は春から夏にかけて濃度が上昇し、夏季 (採取期間: 7 月 15 日～9 月 28 日) でピークに達し、冬季 (採取

期間: 1 月 31 日～2 月 27 日) に濃度が最も低下した。K は春と秋の 2 回の高濃度のピークが見られた。

3. 養分還元量 リターフォールによる C 還元量は、スギ対照区 > 広葉樹区 > スギ間伐区の順であり、N 還元量ではスギ対照区 > 広葉樹区 = スギ間伐区であった (表-3)。P と Ca の還元量はスギ対照区 > スギ間伐区 > 広葉樹区であり、Mg と K では広葉樹区 > スギ対照区 > スギ間伐区であった。その結果、C に対する他の元素の比率を比べると、広葉樹区はスギ 2 区に比べて C/N, C/Mg, C/K は低く、すなわち N, Mg, K は相対的に還元量が大きかった。それに対して、C/P, C/Ca は広葉樹区で高く、P と Ca は広葉樹区の還元量は相対的に少なかった。

表-1. スギ林の対照区と間伐区のリター還元量 ($\text{Mg ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$) と部位別養分濃度 (%)

元素	プロット	採取時期	回収日	針葉	枝	毬果	雄花	その他
有機物 還元量	対照	上旬	14-Apr-06	1.26	0.11	0.16	0.04	0.50
	対照	下旬	24-Oct-06	2.72	0.07	0.26	0.02	0.41
	間伐	上旬	14-Apr-06	0.89	0.06	0.08	0.03	0.35
	間伐	下旬	24-Oct-06	2.21	0.18	0.18	0.03	0.29
C	対照	上旬	14-Apr-06	48.7	45.5	50.1	54.2	47.8
	対照	下旬	24-Oct-06	49.2	45.9	50.9	45.7	45.9
	間伐	上旬	14-Apr-06	49.9	47.6	50.0	53.6	47.7
	間伐	下旬	24-Oct-06	49.2	46.5	49.8	52.4	47.0
N	対照	上旬	14-Apr-06	0.78	0.20	0.82	0.97	1.90
	対照	下旬	24-Oct-06	0.68	0.33	0.75	0.86	1.35
	間伐	上旬	14-Apr-06	0.80	0.27	0.82	1.12	1.75
	間伐	下旬	24-Oct-06	0.66	0.18	0.70	0.98	1.25
P	対照	上旬	14-Apr-06	0.03	0.00	0.03	0.05	0.09
	対照	下旬	24-Oct-06	0.03	0.01	0.02	0.05	0.05
	間伐	上旬	14-Apr-06	0.03	0.01	0.03	0.05	0.09
	間伐	下旬	24-Oct-06	0.03	0.01	0.02	0.05	0.04
Ca	対照	上旬	14-Apr-06	1.63	0.53	0.34	0.30	1.46
	対照	下旬	24-Oct-06	1.81	0.95	0.32	0.31	1.45
	間伐	上旬	14-Apr-06	1.60	0.49	0.38	0.32	1.19
	間伐	下旬	24-Oct-06	1.82	0.56	0.33	0.30	1.17
Mg	対照	上旬	14-Apr-06	0.10	0.02	0.09	0.07	0.14
	対照	下旬	24-Oct-06	0.12	0.03	0.10	0.08	0.15
	間伐	上旬	14-Apr-06	0.11	0.02	0.09	0.06	0.13
	間伐	下旬	24-Oct-06	0.12	0.03	0.10	0.08	0.12
K	対照	上旬	14-Apr-06	0.12	0.02	0.09	0.19	0.25
	対照	下旬	24-Oct-06	0.12	0.04	0.09	0.29	0.30
	間伐	上旬	14-Apr-06	0.11	0.02	0.19	0.13	0.11
	間伐	下旬	24-Oct-06	0.12	0.02	0.11	0.27	0.21

IV. 考察

1. 広葉樹葉リターの元素濃度の季節変化 樹木は落葉前に葉から養分を回収し、樹体内に養分を蓄えて翌年の葉の展開に利用する (8, 13)。このため落葉期に養分濃度の低下が観測される (7)。片桐ら (6) は島根県の落葉広葉樹林で広葉樹葉リターの N, P が 4 月から 12 月にかけて養分濃度が低下すること、K も 5～7 月に高く 12 月までに濃度低下の傾向を示すと報告している。平泉ら (3) もコナラ林において同様の報告している。今回の観測でも広葉樹区の広葉樹葉リターで N, P は同様の傾向を示したが、K では秋と春に濃度上昇のピークがあった。葉中の K は雨による溶脱を受けやすい (12) ので、N, P と異なる季節変動パターンを示した可能性がある。Ca は春から夏にかけて濃度上昇を示すが、その

後の変動パターンは観測地や観測年によって異なり、Mgも同様の傾向が報告されている(3, 6)。本研究でもCa, Mg濃度が春から夏にかけて上昇したことから、この傾向は一般的なものといえるであろう。

2. スギ林と広葉樹林の養分還元量 片桐ら(6)が島根県の落葉広葉樹林5プロットで5年間にわたり調べたN還元量は40~89kg $ha^{-1}yr^{-1}$ であり、斜面下部から上部にかけて還元量が低下することを明らかにしている。またPに関しては還元量が1.7~4.3kg $ha^{-1}yr^{-1}$ でNと同様に斜面上部ほど低下すると報告している。本試験の広葉樹区のNとP還元量はそれぞれ47.3と1.40kg $ha^{-1}yr^{-1}$ であった。本試験地のN, Pの還元量は小さかった。広葉樹区は試験地流域の斜面上部に位置していることから、土壌が貧栄養なことがN, Pの還元量が少ない理由になっていると考えられる。

市川ら(4)は関東北部の山地の斜面上・中・下で互いに隣接するスギ人工林とヒノキ人工林のリターフォールを調べ、スギ落葉中のCa濃度が斜面位置に関わらず、ヒノキ落葉の1.3~1.4倍であることを報告している。本試験地でもスギ落葉のCa濃度が高く、スギ林2区のCa還元量は広葉樹区に比べて高かった。スギ林土壌ではCaの蓄積量が多いことが明らかにされている(10)。リターからのCa供給量が大ききことによってスギ林独自の土壌が形成されているといえるだろう。

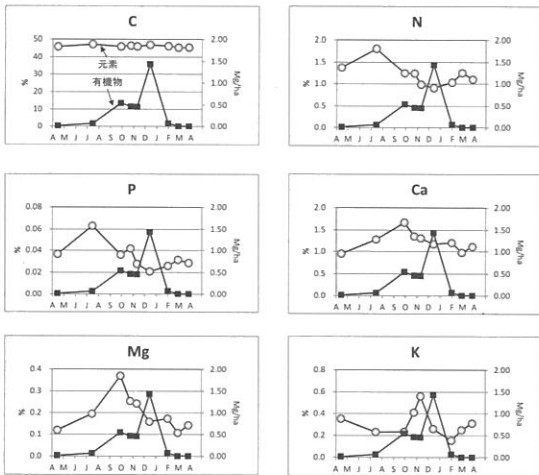


図-2. 広葉樹区の広葉樹葉リターの有機物還元量と元素濃度の季節変化

なお本試験のスギ林の対照区と間伐区による濃度の差は各元素、各部位ともほとんどなく、年度の前半と後半で採取した試料間にも各元素、各部位で大きな濃度の差は見られなかった(表-1)。ヒノキでは間伐区の生葉中の窒素濃度が無間伐区に比べて高かったことも報告されている。森林の物質循環におよぼす間伐の影響については研究例が少なく、今後さらに研究が必要であろう。

謝辞

本研究の一部は農林水産技術会議の環境研究および森林総合研究所交付金プロジェクト「森林・農地・水域を通ずる自然循環機能の高度な利用技術の開発」(課題番号:200003)および文部科学省科学研究費「スギ林「切り捨て間伐」が森林生態系の窒素動態に及ぼす影響の解明」(番号18580156)により行われた。

引用文献

(1) HAN, Q., ARAKI, M. and CHIBA, Y. (2006) Acclimation to irradiance of leaf photosynthesis and associated nitrogen reallocation in photosynthetic apparatus in the year following thinning of a young stand of *Chamaecyparis obtusa*. *Photosynthetica*. 44:523-529.

(2) 平井敬三・野口享太郎・溝口岳男・金子真司・高橋正通(2007) 森林土壌の現地窒素無機化における下層土および季節別の寄与. *森林立地* 49: 51-59.

(3) 平泉智子・河口順子・只木良也(1996) 名古屋市近郊の二次林の生態 - リター量とそれによる養分の還元について -. *名大演報* 15: 123-140.

(4) 市川貴大・高橋輝昌・浅野義人(2003) 同一斜面に隣接するスギおよびヒノキ人工林における生態系内の養分動態の比較. *日本林学会誌* 85: 222-233.

(5) INAGAKI, Y., KURAMOTO, S., TORII, A., SHINOMIYA, Y. and FUKATA, H. (2008) Effects of thinning on leaf-fall and leaf-litter nitrogen concentration in hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endlicher) plantation stands in Japan. *Forest Ecol. Manage.* 255:1859-1867.

(6) 片桐成夫・石井弘・三宅登(1980) 三瓶演習林の落葉広葉樹林における物質循環に関する研究 (VIII). *島根大農研報* 14: 60-68.

(7) 河原輝彦・堤利夫(1971) Litter Fallによる養分還元量について (I) 養分含有率の季節変化. *京大演報* 42: 96-102.

(8) LAMBERS, H., CHAPIN III S., PONS, L. (2008) *Plant Physiological Ecology*. 604pp. Springer, New York.

(9) 野口享太郎・平井敬三・高橋正通・相澤州平・伊藤優子・重永英年・長倉淳子・稲垣善之・金子真司・釣田竜也・吉永秀一郎(2010) 北関東のスギ人工林における地上部炭素・窒素動態に対する間伐の影響. *森林総研報告* 8: 205-214.

(10) 澤田智志・加藤秀正(1991) スギおよびヒノキ林

の林齢と土壤中の塩基の蓄積との関係. 土壤肥料学会誌 62 : 49-58.

(11) 釣田竜也・吉永秀一郎・阿部俊夫(2005) ポーラスプレート・テンションライシメーター法による土壤水の年移動量の推定. 土壤の物理性 101 : 51-56.

(12) 堤 利夫 (1987) 森林の物質循環. 124pp, 東京大学出版, 東京.

(13) 堤 利夫 (編) (1989) 森林生態学. 166pp, 朝倉書店, 東京.

表-2. 広葉樹区のリター還元量(Mg ha⁻¹yr⁻¹)と各部位の養分濃度(%)

元素	広葉樹葉	広葉樹枝	マツ枝葉	毬果	種・実	虫フン	樹皮	その他
有機物還元量	3.058	0.356	0.669	0.018	0.034	0.035	0.609	0.346
C	46.1	50.7	46.7	48.3	47.4	49.0	49.5	47.9
N	1.21	0.60	0.58	0.42	0.83	1.13	0.37	1.75
P	0.035	0.019	0.021	0.017	0.050	0.027	0.011	0.061
Ca	1.22	1.52	0.46	0.07	0.53	0.83	0.55	1.06
Mg	0.20	0.08	0.07	0.03	0.11	0.16	0.04	0.13
K	0.31	0.02	0.02	0.02	0.05	0.03	0.01	0.06

表-3. リターフォールによる養分還元量(単位kg ha⁻¹yr⁻¹)

元素 (元素比)		スギ対照区	スギ間伐区	広葉樹区
C	平均	2711	2111	2423
	SD	(472)	(559)	(114)
N	平均	47.71	34.60	47.31
	SD	(7.96)	(8.69)	(3.72)
P	平均	2.05	1.46	1.40
	SD	(0.35)	(0.35)	(0.05)
Ca	平均	85.88	64.48	56.04
	SD	(15.35)	(18.94)	(5.92)
Mg	平均	6.31	4.77	8.41
	SD	(1.16)	(1.38)	(0.77)
K	平均	7.89	5.09	10.32
	SD	(1.28)	(1.51)	(1.54)
C/N	平均	57	61	51
C/P	平均	1323	1438	1733
C/Ca	平均	32	33	44
C/Mg	平均	431	445	290
C/K	平均	343	418	239