

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—

平泉智子・河口順子・只木良也

要 旨

本研究では、名古屋市近郊の二次林のうち、アカマツ林、コナラ林、コジイ林においてリター量の季節変化とリターの養分含有率を調べ、1年間にリターによって林地に与えられる養分量(養分還元量)を推定し、その優占樹種・構成樹種による違いを調べた。1年間のリター量は、アカマツ林では9.6、コナラ林では1年目に6.5、2年目に7.2、コジイ林では7.9 $t\ ha^{-1}\ year^{-1}$ であった。コナラの落葉中の窒素・リン・カリウム・マグネシウムの含有率は、落葉期に最も低くなり、カルシウムの含有率は落葉期に高くなった。常緑樹の落葉中の窒素含有率は、4月から5月に低く冬期にやや高くなり、カリウム含有率は、コジイ以外は春に低く秋から春までは高かった。リン含有率は晩夏と早春の年2回のピークを示した。アカマツの落葉中の窒素・リン・カリウム含有率の季節変化はコナラのそれに似ていた。コナラ林ではリターによるリンの還元量は少なかったが、虫糞による還元量は他の2林分の2~3倍であった。コジイ林はカリウムと窒素の還元量が多く、アカマツ林ではリンとカルシウムの還元量が多かった。また既往の資料に交えて、落葉による窒素還元量と、その窒素利用効率(落葉中の窒素量で落葉量を除したもの)の関係を調べたところ、アカマツ林、常緑広葉樹林、落葉広葉樹林、下層常緑広葉樹の4つのグループに大きく分けることができた。

キーワード：二次林，リターフォール，養分還元量，窒素利用効率

I. はじめに

自己施肥機能は、森林生態系の物質循環の最も基礎的な作用の一つである。そしてそれを解明することは、森林の生態を解明する上での重要な鍵となるため、針葉樹林・コナラ二次林・照葉樹林など、各森林タイプ別のリター量や養分還元量について、数多くの報告がなされている¹⁾²⁾³⁾¹⁾。

本研究では、名古屋市近郊の二次林のうち、優占樹種・構成樹種の異なる林分において、リター量の季節変化と1年間のリター量を調べた。さらに、リターの養分含有率を測定し、森林がリターによって林地に与える養分量を求めた。以上のことを報告するとともに、森林の樹種の違いによる、養分利用方法の差異について考察を加えたいと思う。

名古屋大学農学部森林生態生理学研究室

Laboratory of Forest Ecology and Physiology, School of Agricultural Sciences, Nagoya University, Nagoya 464-01, Japan.

(受理：1996年12月3日)

II. 調査地の概要

調査は名古屋市内の3つの林分にプロットを設定して行った。プロットの位置を図-1に示す。また、林分概況については表-1に示す。

コナラ (*Quercus serrata*) 林とアカマツ (*Pinus densiflora*) 林のプロットについては、名古屋大学構内の二次林内に設定した。名古屋大学付近は東山丘陵と呼ばれ、第4紀八事層といわれる礫質・貧栄養の洪積台地上に、約400haの二次林が存在する。そこでは現在、アカマツは盛期を過ぎ、コナラ・アベマキなどの落葉広葉樹が上層を占め、その下にアラカン・シイ類などの照葉樹が勢力を増しつつある。コナラ林における毎木調査によると、コナラ・ソヨゴ・アラカン・ヒサカキの4樹種が、林分全体の胸高断面積合計の78%、樹冠投影面積合計の85%を占めている⁷⁾。コナラ林のプロットでは、現在もリター量を継続して調査中で、一部データも発表済みである⁹⁾。

コジイ (*Castanopsis cuspidata*) 林のプロットについては、名古屋大学から約12km北東の、名古屋市守山区の東谷山山頂付近に位置するコジイ林内に設定した。東谷山は、美濃帯

表-1. 林分概況 (1994年9月現在)

調査林分	林齢 (年生)	斜面方向	平均傾斜 (度)	立木密度 (本 ha ⁻¹)	胸高断面積合計 (m ² ha ⁻¹)	上層	優占樹種 中層	下層
アカマツ林	≥50	0°	0	12667	42.0	アカマツ	ソヨゴ	ヒサカキ
コナラ林	≥50	N58W	23	9893	34.2	コナラ	ソヨゴ	ヒサカキ
コジイ林	≥65	S50E	24	6800	56.2	コジイ	—	サカキ

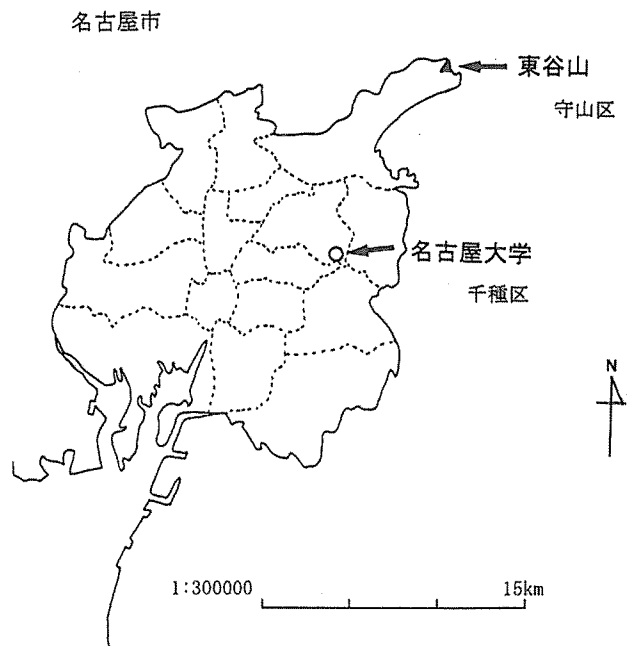


図-1. 調査地

の砂岩・頁岩起源のホルンフェルス化帯に存在する標高 195 m の山である。

調査林分の林冠はいずれも十分に閉鎖している。名古屋市周辺の潜在自然植生はカナメモチーコジイ群集である²⁰⁾が、名古屋大学構内のプロットには現在コジイは生育していない。測定期間中の平均気温と降水量の推移を表-2 に示す。これらの値は、名古屋大学から 6 km 離れた名古屋地方気象台(北緯 35°10′, 東経 136°58′, 標高 51 m)の資料による。なお 1993 年の夏は記録的な長雨・冷夏, 7~8 月の日照量は平年値の 3 分の 2 以下であり, また, 1994 年の夏は少雨・猛暑で 7~8 月の降水量は平年値の 3 分の 1 以下, 8 月上旬の平均気温は平年値より 4.1℃ 高かった。また 1994 年 9 月 29 日から 9 月 30 日にかけて, 最大瞬間風速 36.7 m/s の大型の台風 26 号が通過した。

表-2. 気象状況

月	月平均気温(℃)				月降水量(mm month ⁻¹)				
	1993	1994	1995	平年値	1993	1994	1995	平年値	
1	5.9	4.7	4.0	3.7	61.5	25.0	53.0	42.3	
2	5.9	4.0	5.3	4.3	109.5	77.5	31.0	63.8	
3	8.0	7.4	8.9	7.6	62.0	53.0	123.0	110.2	
4	13.3	15.4	13.5	13.8	78.0	81.0	202.5	150.5	
5	18.0	19.8	18.3	18.4	96.5	88.5	200.0	157.1	
6	21.6	22.9	21.5	22.0	305.5	114.0	99.5	217.9	
7	23.6	28.9	26.5	25.8	301.0	70.5	368.5	212.5	
8	25.2	29.3	30.1	27.1	164.0	43.0	51.0	145.1	
9	22.2	24.9	23.0	23.1	292.5	376.5	105.0	211.0	
10	16.8	19.8	18.7	17.0	86.0	72.0	98.0	114.1	
11	13.0	13.3	10.1	11.5	114.5	34.5	58.0	70.5	
12	6.9	7.7	5.2	6.2	55.5	25.5	3.5	40.0	
年平均	15.0	15.9	15.4	15.0	年降水量	1726.5	1061.0	1393.0	1535.0
					(mm year ⁻¹)				

- ・名古屋地方気象台における観測値(愛知県気象月報1993, 1994, 1995)による
- ・過去30年間の平均値を平年値という

III. 調査および分析方法

1. リターの採取

試料とするリターは、コナラ林では、0.5 mm メッシュのプラスチックネット製の、開口部面積 1 m² の円形リタートラップを 20 m×30 m のプロット内に 10 個設置して採取した。リターの採取は、1993 年 4 月 17 日から 6 月 16 日まではほぼ 1 カ月おき, 7 月 15 日以降はほぼ半月おきに行った。本論文では、1993 年 4 月 17 日から 1994 年 3 月 31 日までを 1993 年度, 1994 年 4 月 15 日から 1995 年 5 月 16 日までを 1994 年度のデータとし 2 年分の結果を報告する。アカマツ林では、0.5 mm メッシュのプラスチックネット製の、一辺 0.5 m の方形リタートラップ(開口部面積 0.25 m²)を 15 m×10 m のプロット内に 12 個設置し、1994 年 7 月 1 日から 1 年間ほぼ半月毎にリターを採取した。コジイ林には、アカマツ林と同じ方形リタートラップを 15 m×15 m のプロット内に 16 個設置し、1994 年 6 月 30 日から 1 年間ほぼ半月毎にリターを採取した。ただし、1994 年の 12 月下旬と 1 月下旬はリター量が少なかった

ため回収は見送り、次の回収日に合わせて回収した。

回収したリターは85℃で24時間乾燥した後、葉・枝・花・果実については樹種ごとに選別し、残りは樹皮・芽鱗片・虫・虫糞の4つに分類して選別した。果実の中には殻斗、果柄を含む。選別後、再度85℃で24時間乾燥させ、12時間以上デシケーターに保存したのち、秤量してリター乾重量とした。ここで、リターに付随した月日はそのリターの捕捉期間の起日を表示することにする。しかしリターの回収期間が一定でないため、1回の回収で得たリター乾重量を、前回の回収日からの日数(そのリターの捕捉期間)で除して、1日当たり、1m²当たりの平均リター量(g m⁻¹ day⁻¹)に換算した。これをリターの日落下量とする。さらに、各回収日毎のリター量の1年分を積算し、1年当たり、1ha当たりのリター量(kg ha⁻¹ year⁻¹)に換算し、これをリターの年落下量とする。また、このうち1日当たり1m²当たりの葉リターの量を日落葉量、枝リターの量を日落枝量とし、1年当たり1ha当たりの葉リターの量を年落葉量、枝リターの量を年落枝量とする。ただし、樹皮については枝に付着したまま落下するものと、樹皮のみで落下するものとの区別が難しいので、樹皮も枝リターの一部と考え、落枝量に含めた。

2. 養分の分析

養分の分析は、炭素・窒素・カルシウム・マグネシウム・カリウム・リンについて行い、リター乾重量当たりの含有率として算出した。窒素含有率はC-Nコーダーで測定した。無機塩類の測定には、加圧式P-25分解容器(三愛科学社製)を用いて灰化し、試料溶液を作成した。カリウムについては炎光分析法で、カルシウム・マグネシウムについては原子吸光法で測定を行った。リンは硫酸モリブデン法による比色法により測定した。

分析したのはコナラ林ではコナラ・ソヨゴ・ヒサカキ・アラカシの4樹種の落葉と、アカマツ林ではアカマツの落葉、コジイ林ではコジイの落葉である。これらについては回収日毎に養分含有率を測定し、その季節変化を調べた。さらにコナラ・アカマツ・コジイの枝と雄花、虫糞、動物遺体についても分析を行った。また、枝に付着する樹皮ははがさないで枝と一緒に粉碎し分析した。虫糞・動物遺体については、プロット毎に1年間の落下分をまとめた中から、同重量ずつ取り出して混合し、分析に供した。大量のリターから少量の試料を均質に抽出するためには、4分法を利用した。

3. 養分還元量の算出

本論文では、リターによって林地へ与えられる養分の量を、養分還元量と定義する。落葉による養分還元量は、養分含有率を測定した樹種については、各回収日毎の養分含有率にその回収日の落葉量を乗じて求めた。ただし、アカマツ林・コジイ林のヒサカキ・アラカシ・ソヨゴについては、3プロットで日落葉量のピークを比較したところ、多くは同じ回収日にピークを持っており、半月以上ずれることがなかったため、養分含有率の季節変化も同じであると仮定し、コナラ林で測定した同樹種の養分含有率を使用して推定した。また、養分含有率を測定していない樹種については、測定した樹種の養分含有率の回収日毎の平均値を、落葉量に乗じて推定した。コナラ・コジイ・アカマツの雄花以外の花と、種子については、3樹種の雄花の養分含有率の平均値を利用して推定した。コナラ・コジイ・アカマツ以外の枝・木部・樹皮については、3樹種の落枝の養分含有率の平均値を利用して推定した。托葉

については、コナラ・コジイ・アカマツの落葉と落枝の養分含有率の平均値を利用し、その他のリターについては、フン・動物遺体・落葉の養分含有率の平均値を適用して推定した。また、1回の回収で得た養分還元量を、前回の回収日からの日数（そのリターの捕捉期間）で除して、1日当たり、1ha当たりの養分還元量 ($\text{kg ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$) に換算し、日養分還元量とした。1年間の養分還元量については、各回収日毎の養分還元量の1年分を積算して、1年当たり、1ha当たりの養分還元量 ($\text{kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) に換算し、これを年養分還元量とした。

IV. 結果と考察

1. リターの日落下量の季節変化

リターの日落下量の推移を図-2に示す。

どの林分でも、1994年度の9月後半は、台風26号の影響で日落下量が多くなった。アカマツ林では12月から1月にかけてピークがあった。コナラ林では、1993年度は11月から12月にかけて、1994年度は12月にピークがあった。コジイ林では、5月から6月にかけてピークがあった。

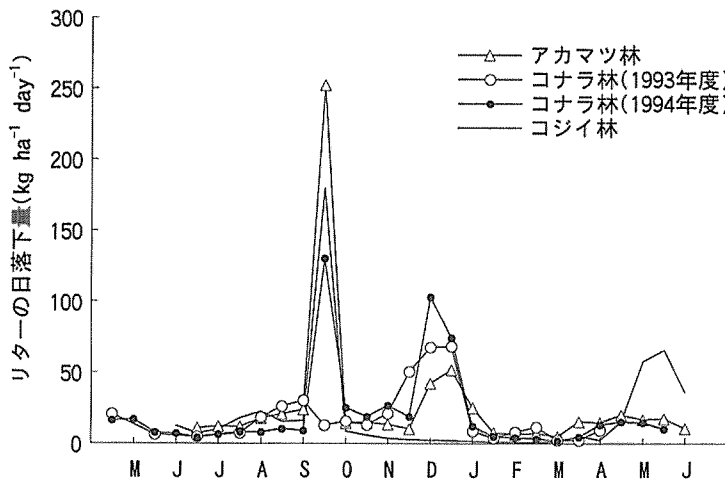


図-2. リターの日落下量の季節変化

1.1. 日落葉量

林分全体の日落葉量について見ると、アカマツ林では、8月から9月にかけてやや小さなピークと、12月から1月にかけての年2回のピークがあった。またプロットの外に生育するコナラの落葉で、11月から12月の日落葉量が多くなった。コナラ林では1993年度、1994年度ともに12月から1月にかけて、日落葉量が多くなった。コジイ林では、5月から6月にかけて日落葉量のピークがあり、コジイ・サカキなどの常緑樹による落葉が大きく影響していると考えられる。

アカマツ・コナラ・コジイ・ソヨゴ・ヒサカキの日落葉量の季節変化と、その落葉中の窒素・リン・カリウムの含有率の季節変化との対応を図-3に示す。このうち優占樹種の日落葉量について見ると、コナラは12月に、コジイは5月から6月にかけてピークがあった。また

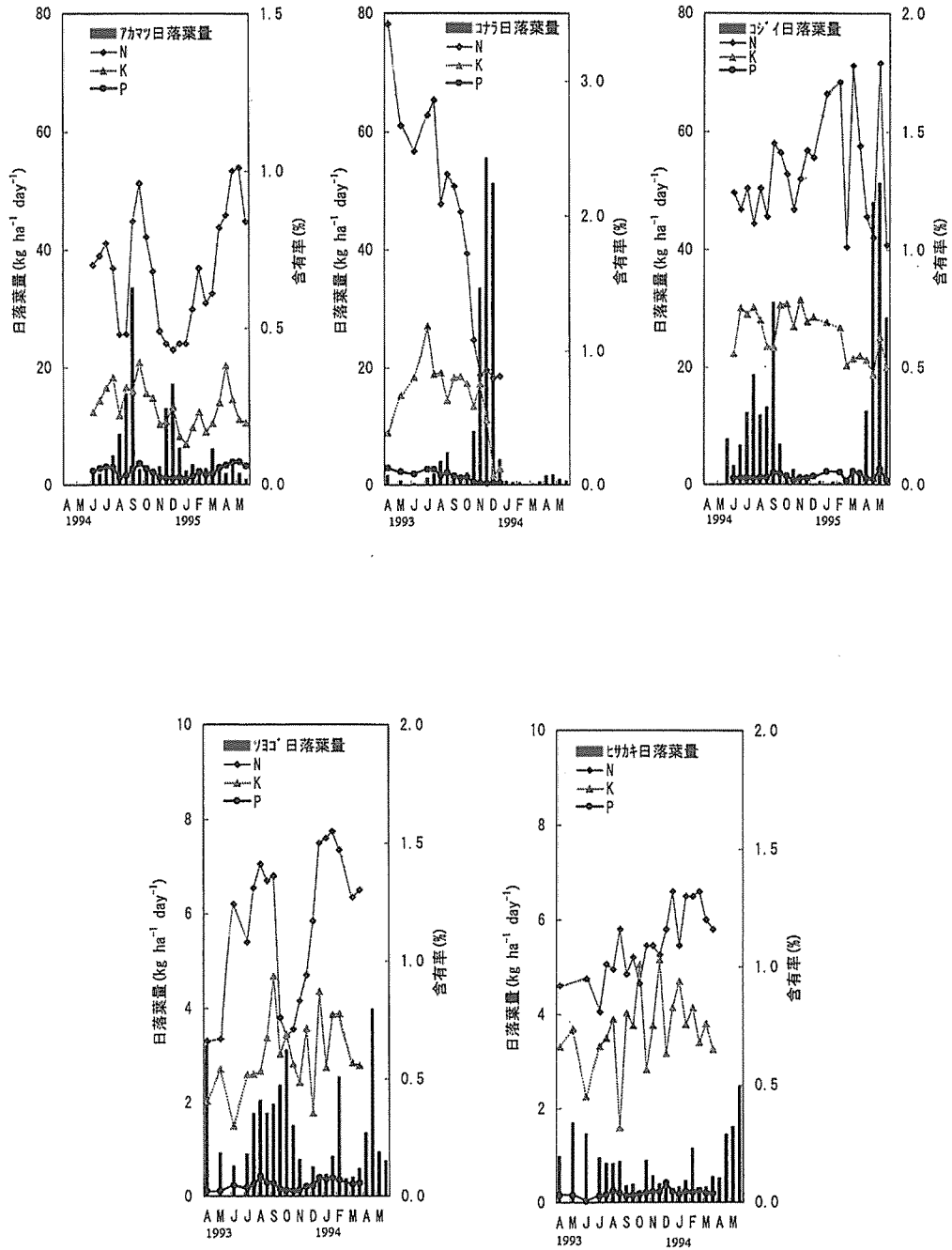


図-3. 日落葉量と落葉中の窒素・リン・カリウム含有率の季節変化

コジイでは8月にも小ピークがあった。アカマツでは8月後半から9月前半にかけて、12月の、年2回のピークがあった。アカマツは、幼齢林では夏にも落葉量が多く年2回の落葉ピークを持つが、30年生以上の壮齢林では秋に一斉落葉すると言われている²²⁾²⁴⁾。本林分は50年生以上と考えられるが、夏にも秋と同程度の日落葉量が認められた。これは本林分が、斜面頂部の他の林分に比べて乾燥しやすい環境にあることから、1994年夏の異常乾燥によって水分不足に陥り、一時的に落葉量が増加したと考えられる。また1994年度のコナラ林でも7月から9月に落葉量が増加しており、これも夏期の乾燥の影響ではないかと考えられる。

1.2. 日落枝量

日落枝量の季節変化については図-4に示す。落枝量は台風が大きく影響された。コナラ林では、コナラの開葉期である4月と落葉期である11月にコナラの落枝が増えた。アカマツ林では、アカマツの樹皮がコンスタントに落下するため、年間を通じて一定の日落枝量があった。コジイ林では、台風26号直後の回収日の値を除くと非常に少なく、他の林分の半分以下であった。このことから、コジイ林の枝の落下は、アカマツ林・コナラ林より台風などの物理的な影響を受けやすいと考えられる。

1.3. その他のリターの日落下量

花の日落下量は、いずれの林分も3月から6月にかけてピークがあった。最高値は、コジ

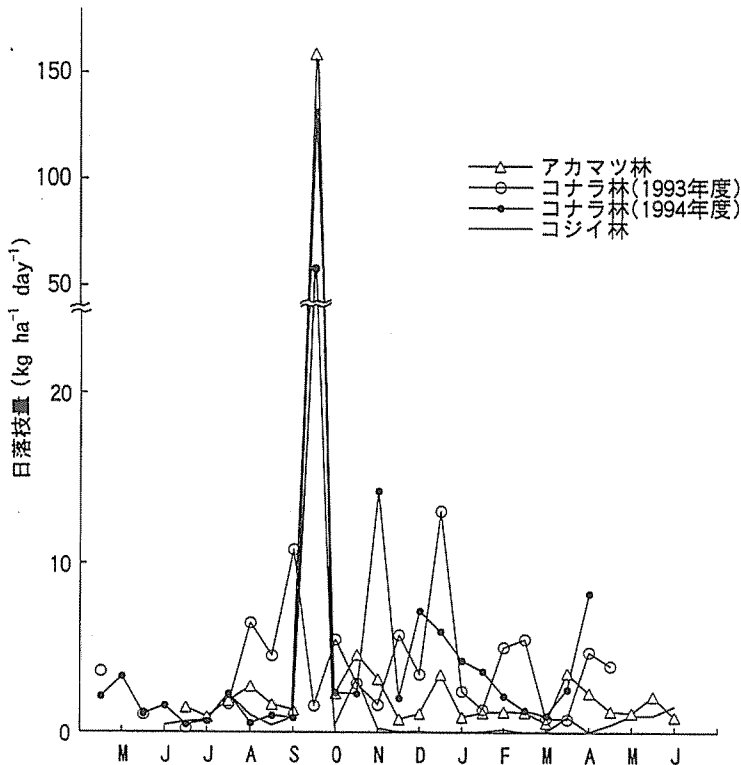


図-4. 日落枝量の季節変化

イ木の6月上旬の $6.7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ であった。1994年の果実の日落下量は、いずれの林分も、台風の襲来した9月下旬に最高値を示した。また1993年のコナラ林では、1994年に比べて早い時期から果実の落下が始っていて、その日落下量は、8月下旬に最高値を示した。コジイ林では、7月から11月にかけて、果実の落下が見られたが、はっきりした季節変化は示さなかった。虫糞の落下は、コナラ林では4月と、7月から9月にかけて多くなった。このうち1993年度のコナラ林では、特に7月から8月にかけて落下量が増えた。これは1993年の8月は、コナラ林にホタルガ (*Pidurus glaucopsis atratus* Bufler) の幼生が大発生しており、そのために虫糞の落下が増えたと考えられる。コジイ林では5月に、アカマツ林では8月から9月にかけて、虫糞の落下が多くなった。またいずれの林分でも、10月から3月下旬までは虫糞の落下は少なかった。1994年のコナラ林とアカマツ林では、7月から9月にかけて虫糞の落下の様子がよく似ており、これはプロット間の距離が近いこと、食葉性昆虫の発生が同調したためではないかと考えられる。

2. リターの年落下量

1994年は、台風26号の影響を大きく受けて、9月後半にリターの落下量が非常に多く、このうち45~74%は枝であった。リターの年落下量について表-3に示す。

リターの年落下量は、アカマツ林で最も多く $9.6 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、1993年度コナラ林で $6.5 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、1994年度コナラ林で $7.9 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、コジイ林で $7.2 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ となった。国内で過去に測定されたデータ²⁾³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾²³⁾²⁵⁾³¹⁾と比較すると、1994年度の台風が大きく影響し、いずれの林分でも過去のデータに比べて多かった。しかし台風直後の値を除くと、コジ

表-3. リターの年落下量

リター	(kg d.w. ha ⁻¹ year ⁻¹)			
	アカマツ林	コナラ林 (1993年度)	コナラ林 (1994年度)	コジイ林
葉	5057	4112	4550	4503
アカマツ	2157	129	151	—
コナラ	1075	2684	3087	67
コジイ	—	—	—	3928
ソヨゴ	614	471	563	39
ヒサカキ	440	275	212	27
アラカシ	259	45	31	5
その他	513	511	507	437
枝	1962	1233	1772	2212
樹皮	1066	87	200	20
花	339	158	119	149
果実・種子	814	454	931	18
托葉	149	130	88	173
動物遺体	36	37	39	17
虫ふん	117	301	193	95
その他	56	1	6	60
合計	9596	6513	7900	7246

イ林でやや過少となるが、平均的な値と言える。

2.1. 年落葉量

年落葉量は、アカマツ林で最も多く $5.1 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、コジイ林では $4.5 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ であった。コナラ林の年落葉量は、1993年度に 4.1 、1994年度に $4.6 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ で、1994年度の方が多かった。これは台風の影響だけではなく、雨の多かった1993年と、酷暑で日照量の多かった1994年との気象条件の差の影響も大きいと考えられる。コナラ林の2年間の値を平均すると $4.3 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ となった。今回測定した林分の年落葉量は、過去のデータに比べて、平均的な値よりやや大きくなった。この理由として、照葉樹林帯の二次林では階層構造が発達し、下層に常緑樹が生育するが、本林分でも下層の常緑樹種が発達しており、この下層樹の落葉量が上層木のそれに付加された分だけ、落葉量が大きくなったと考えられる。

コナラ林では、年落葉量のうち、1993年度は65.2%、1994年度は67.8%をコナラの落葉が占めていた。またコナラの年落葉量のうち、1993年度は59.8%が、1994年度は65.5%が、12月中に落葉した。コジイ林では、年落葉量のうち87.2%がコジイの落葉であった。アカマツ林では、年落葉量の42.6%がアカマツの落葉であった。それぞれの優占樹種だけの落葉量は、既調査³⁾¹¹⁾¹⁹⁾²³⁾²⁵⁾の各森林の落葉量の範囲に入っている。このことから、このコナラ林では、下層樹種の発達によって林分の落葉量が多いと考えられる。年落葉量は、リターの年落下量のうちの52~60%を占めていた。

2.2. 年落枝量

1994年度のコナラ林の年落枝量のうち、58.3%がコナラの落枝であった。また1993年度のコナラ林の年落枝量は、1994年度の67.3%に過ぎなかった。年落枝量は、アカマツ林で最も多く $3.0 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ であったが、その79.2%がアカマツの落枝（樹皮だけでも35.2%）であった。アカマツは樹皮の落下量が他の樹種に比べて多いといえる。コジイ林では、年落下量のうち86.5%以上がコジイの落枝であった。また、1994年度のコナラ林では47.7%が、アカマツ林では83.1%が、コジイ林では89.7%が台風の襲来した9月後半に落下していた。コナラ林の割合が低いのは、コナラの枝が、開葉期に花とともに、落葉期に葉とともに多く落下するためで、コナラはアカマツやコジイに比べて枯死枝が樹上に残りにくいと考えられる。

過去の枝の年落下量のデータ³⁾¹⁶⁾¹⁹⁾²⁷⁾と比較すると、1993年度のコナラ林は平均的な値だが、1994年度はどの林分もやや大きな値となり、これは台風の影響と考えられる。

2.3. その他のリターの年落下量

コナラ林では、1993年度は花の年落下量の50.3%、果実の年落下量の78.5%がコナラによるものであった。1994年度は、コナラは果実の落下量が1993年の2倍以上、果実全体の落下量も1993年より多かったが、ヒサカキ・ソヨゴの果実については、1993年の方が2倍以上多かった。アカマツ林では、台風の襲来した9月下旬の果実の落下量が、年落下量の半分以上をしめた。このとき、アカマツの果実とともにコナラの未熟果が多く落下し、コナラ林でも同様であった。コジイ林では、コジイの花の落下量が、林分全体の花の年落下量のうち97.8%以上を占めていた。しかし、過去のデータ⁵⁾¹⁰⁾²⁶⁾と比較すると、コジイは花も果実も落下量が少なく、凶作であったと考えられる。また、虫糞、動物遺体の年落下量はコジイ林で最も少

なかった。

3. リターによる養分還元

3.1. 落葉の養分含有率の季節変化

(1) 窒素

アカマツ落葉中の窒素含有率は、8月と、11月から12月にかけて低く、5月に最高値を示した。コナラでは、4月に最高値を示した後減少し、12月に最低値を示したが、他の樹種に比べて1年間の窒素含有率の季節変化が大きかった。アラカシ・コジイの窒素含有率は、4月から5月に最低値を示した後、増加して3月に最高値を示した。ヒサカキでは大きな季節変化を示さなかった。ソヨゴの窒素含有率は、落葉量の多い4月から6月と、9月から10月にかけて低かった。樹木は、落葉前に葉内の窒素やカリウムなどを樹体内に回収（転流）する²⁶⁾。コナラは秋に一斉落葉する落葉広葉樹なので、落葉期前に急激に転流が起こり、含有率の季節変化が常緑樹に比べて大きく現れる。しかし、常緑樹の中でもソヨゴのように春と秋の年2回落葉期を持つもの¹⁰⁾³²⁾では、落葉期前の窒素含有率の低下が他の常緑広葉樹よりも顕著に現れた。1年間の平均の窒素含有率はコナラで最も高く1.88%、アカマツで最も低く0.68%で、約3倍の違いがあった。

(2) カルシウム

カルシウム含有率の季節変化について図-5に示す。落葉中のカルシウム含有率はアカマツとコジイではほとんど季節変化を示さなかった。アラカシとヒサカキでは春から秋にかけてほぼ一定の値をとり、冬は低い値をとったが、ソヨゴでは4月と、8月から12月にかけての年2回のピークを示した。コナラとソヨゴでは、落葉量の多い時期にカルシウム含有率も高くなり、さらにこの2樹種とアカマツは、窒素含有率の低いときにカルシウム含有率も高くなる傾向がみられた。1年間の平均のカルシウム含有率は、ヒサカキで最も高く1.08%、コジイで最も低く0.44%であった。

(3) マグネシウム

マグネシウム含有率の季節変化について図-6に示す。落葉中のマグネシウム含有率は、アカマツとコジイでは目立った季節変化を示さなかったが、コナラでは4月に最高値を示し、11月から12月にかけて急減した。ソヨゴでは10月まで徐々に増加した後減少し、4月上旬に最低値を示した。ヒサカキでは8月下旬から10月にかけて高く、10月以降は低下した。ヒサカキとコナラはよく似た季節変化をし、アカマツ以外の樹種は冬に低い値をとった。針葉樹は、落葉期にマグネシウム含有率が高くなり、カルシウム含有率と似た季節変化をするとされている¹²⁾が、今回のアカマツの測定ではそのような傾向は見られなかった。1年間の平均のマグネシウム含有率は、ヒサカキで最も高く0.24%、アカマツで最も低く0.10%であった。

(4) カリウム

アカマツ落葉中のリン含有率は、9月下旬と4月にやや高くなり、窒素含有率とよく似た季節変化をしたが、他の樹種に比べて低い値であった。アカマツの針葉は下層樹の枝などに引っかかりやすい形をしているため、リタートラップに落下するまでの間に、水に溶脱されやすいカリウムが、雨で溶出したのではないかと推察される。コジイでは、落葉期である5月から6月にかけて低い値をとり、7月から8月にかけてと、10月から12月にかけて高い値

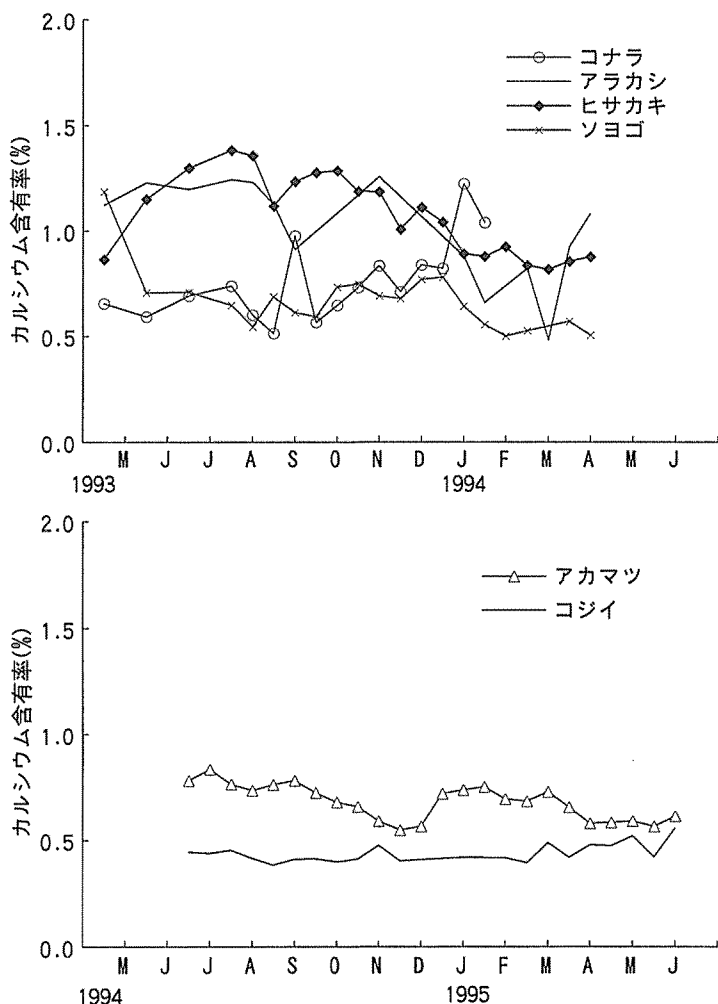


図-5. 落葉中のカルシウムの含有率の季節変化

をとったが、他の樹種ほど大きな季節変化は示さなかった。コナラでは7月に最高値を示し、11月から12月にかけて急減した。ヒサカキ・ソヨゴでは、4月から6月にかけては低く、その後はやや高い含有率で増減した。アラカシでは、コナラと逆に春から徐々に増加して冬は高い値であった。またアラカシ・ヒサカキ・ソヨゴは、3月以降に含有率が低下した。カリウムは、窒素・リンなどとともに落葉前に樹体内に回収される元素²⁶⁾だが、コナラでは、窒素・リンよりも1カ月遅れて含有率の減少が始まった。しかしアカマツでは、それは同時に始まっているように見えた。

(5) リン

落葉中のリン含有率は、アカマツでは窒素やカリウムの場合とよく似た季節変化をした。コジイでは、9月から10月にかけてと、1月下旬から3月にかけての年2回のピークを示した。コナラでは4月下旬に高く、11月上旬に最低値をとった。アラカシ・ヒサカキ・ソヨゴでは、6月から9月にかけてと、12月から3月にかけての年2回のピークを示し、そのピーク

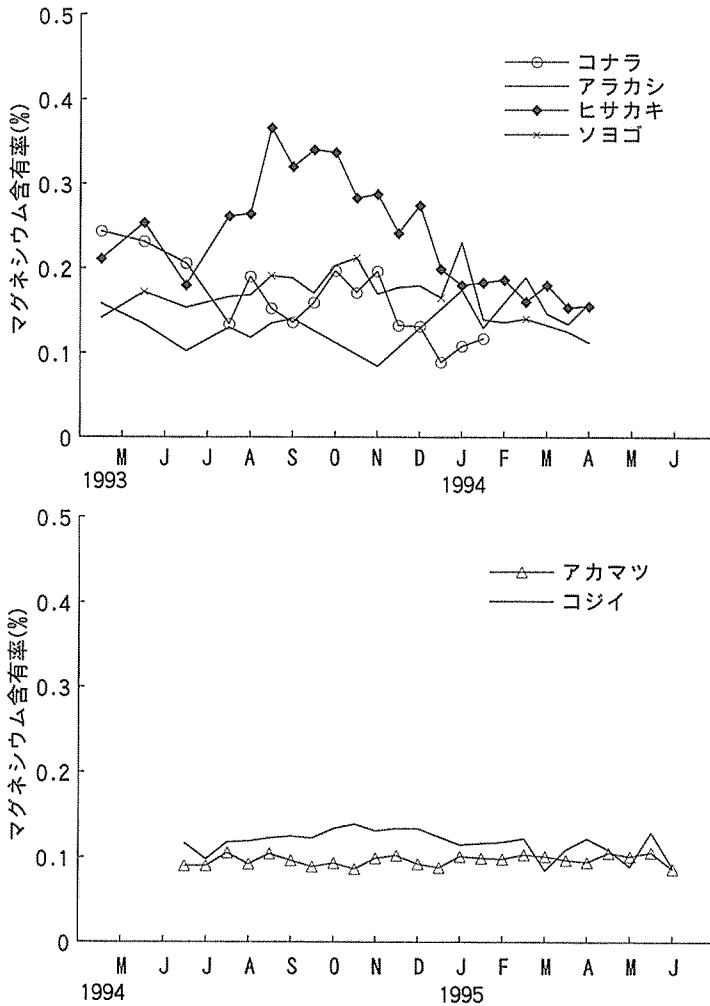


図-6. 落葉中のマグネシウム含有率の季節変化

クはヒサカキ，ソヨゴ，アラカシの順に現れた。1994年の春に名古屋大学構内で行った葉の展開開始時期・展開期間の調査結果¹⁰⁾によると，4月16日にヒサカキから開葉が始まり，ヒサカキ，ソヨゴ，アラカシの順に開葉することが観察されており，リン含有率の季節変化と新葉の展開には何らかの関係があると推察される。また落葉中のリンの含有率の季節変化は，窒素・カリウムの含有率のそれとよく似るとされる²⁶⁾。今回の調査では，コナラ・ソヨゴ・アカマツでは窒素・カリウム含有率とよく似ていたが，それ以外の樹種では必ずしも似た変化ではなかった。

多くの落葉樹では，落葉直前に葉内の窒素・リン・カリウムが回収されるとされている¹³⁾が，今回は落葉樹だけでなく常緑樹のソヨゴで，そしてソヨゴほど明瞭ではないがヒサカキでも，落葉量の増加する前に窒素・リン・カリウム含有率の低下する傾向が見られた。つまり，これらの樹種の落葉中の窒素・リン・カリウム含有率の季節変化は，その樹種の落葉の時期に影響されると考えられる。

3.2. 落葉以外のリターの養分含有率

落葉以外のリターの養分含有率については表-4 に示す。

枝の窒素含有率は、コジイでやや高く、他の2樹種で同程度であった。カルシウム含有率は、アカマツで高くコジイで低かったが、マグネシウム含有率はアカマツで低かった。カリウム含有率は、コナラで高く、他の2樹種で同程度であったが、リン含有率はコナラで低く、他の2樹種はその約2倍であった。

表-4. 枝・雄花・動物遺体・虫ふんの養分含有率（リターの乾重当たり）

	(%)								
	枝			雄花			虫ふん	遺体	
	アカマツ	コナラ	コジイ	アカマツ	コナラ	コジイ			
炭素	54.0	53.8	53.9	55.0	50.4	53.4	51.7	51.7	
窒素	0.42	0.45	0.71	1.06	2.46	2.35	2.08	8.30	
カルシウム	0.80	0.55	0.34	0.30	0.72	0.30	0.70	0.39	
マグネシウム	0.04	0.07	0.07	0.06	0.24	0.20	0.16	0.19	
カリウム	0.14	0.19	0.15	0.13	0.21	0.26	0.46	0.68	
リン	0.02	0.01	0.02	0.10	0.10	0.13	0.15	0.67	

花の窒素含有率は、アカマツで低く、他の2樹種はその2倍以上であった。カルシウム含有率は、アカマツとコジイで低く、コナラではその2倍以上であった。マグネシウム含有率は、アカマツで低く、他の2樹種はその3~4倍であった。カリウム含有率は、アカマツで低く、コジイはその約2倍であった。リン含有率はコジイでやや高かった。

フンと動物遺体については、窒素含有率が目立って高く、動物遺体では8.30%であった。花や果実に比べて、窒素・カリウム・リンで高い含有率を示した。

3.3. 落葉による日養分還元量の季節変化

落葉による日養分還元量は、台風と落葉量の季節変化に大きく影響された。1994年度は台風26号の襲来した9月下旬と、コナラ林・アカマツ林では10月から12月にかけて、コジイ林では5月から6月にかけて、還元量が多くなった。しかし窒素・リンは、落葉期の含有率が低いために落葉量の増加分が相殺されて、特にコナラのリン還元量でその影響が顕著であった。アカマツは、同程度の落葉量でも、秋に比べて夏の養分還元量の方が多かったが、これはIV.1.1.で述べたように、乾燥により夏の落葉量が増加したとすれば、養分の回収が十分でない、より生葉に近い葉が落葉したためと考えられる。

3.4. 年養分還元量の比較

年養分還元量については表-5 に示す。

(1) 窒素

落葉による年窒素還元量は、1993年度のコナラ林で最も少なく $42.9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、コジイ林で最も多く $59.4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、3プロットで平均すると $49.6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ であった。リター全体で見ると、1994年度のコナラ林で $94.1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ と最も多く、このうち果実による還元量が、コジイ林のその50倍以上の値であった。コジイ林では、落葉と落枝

表-5. 年養分還元量

	(kg d.w. ha ⁻¹ year ⁻¹)							
	葉	枝	花	果実	虫ふん	動物遺体	その他	合計
アカマツ林								
炭素	2730.7	1633.6	186.7	448.2	60.6	18.7	109.2	5187.8
窒素	45.0	12.7	3.6	8.6	2.4	3.0	3.3	78.6
カルシウム	41.4	24.1	1.0	2.4	0.8	0.1	1.3	71.2
マグネシウム	6.7	1.3	0.2	0.5	0.2	0.1	0.2	9.2
カリウム	19.7	4.2	0.4	1.1	0.5	0.2	0.8	27.0
リン	1.7	0.6	0.3	0.8	0.2	0.2	0.2	4.2
コナラ林(1993年度)								
炭素	2166.5	713.8	79.5	229.1	155.8	19.1	70.5	3434.3
窒素	42.9	5.9	3.9	11.2	6.3	3.1	1.0	74.2
カルシウム	34.0	7.3	1.1	3.3	2.1	0.1	0.8	48.8
マグネシウム	5.9	1.0	0.4	1.1	0.5	0.1	0.1	9.0
カリウム	19.9	2.6	0.3	1.0	1.4	0.3	0.4	25.8
リン	1.1	0.1	0.2	0.5	0.5	0.2	0.0	2.6
コナラ林(1994年度)								
炭素	2394.2	1061.1	60.1	469.0	100.0	20.3	50.7	4155.4
窒素	51.3	8.8	2.9	22.9	4.0	3.3	0.9	94.1
カルシウム	36.5	10.9	0.9	6.7	1.4	0.2	0.6	57.0
マグネシウム	6.5	1.5	0.3	2.2	0.3	0.1	0.1	10.9
カリウム	22.0	3.8	0.3	2.0	0.9	0.3	0.3	29.5
リン	1.4	0.2	0.1	1.0	0.3	0.3	0.0	3.2
コジイ林								
炭素	2395.7	1203.1	79.4	9.8	48.9	8.9	124.2	3870.1
窒素	59.4	15.8	3.5	0.4	2.0	1.4	3.6	86.1
カルシウム	22.6	7.7	0.5	0.1	0.7	0.1	1.4	32.9
マグネシウム	5.4	1.5	0.3	0.0	0.2	0.0	0.2	7.7
カリウム	27.0	3.3	0.4	0.0	0.4	0.1	0.8	32.2
リン	1.7	0.3	0.2	0.0	0.1	0.1	0.2	2.7

による還元量が全体の87%を占めたが、動物遺体や虫糞などによる還元量は他の林分の4~6割であった。

(2) カルシウム

落葉による年カルシウム還元量は、コジイ林で最も少なく、最も多いアカマツ林はその約2倍の還元量があった。リター全体でもコジイ林で最も少なく、アカマツ林は他のプロットとの2~3倍の還元量があって最も多かった。これは、アカマツの落枝のカルシウム含有率がコナラ・コジイに比べて高く、落枝によるカルシウムの還元量が多かったからである。またカルシウムは、落葉と落枝による還元量の割合が高く、どの林分も80%以上が落葉・落枝によるものであった。

(3) マグネシウム

落葉による年マグネシウム還元量は、コジイ林で最も少なく、アカマツ林で最も多かった。リター全体で見ると、コジイ林で最も少なく1994年度のコナラ林で最も多かった。

(4) カリウム

年カリウム還元量は、落葉によるものもリター全体によるものも、コジイ林で最も多く、1993年のコナラ林で少なかった。他の元素に比べ、落葉による還元量の割合が75%以上と高かった。

(5) リン

年リン還元量は、落葉によるものもリター全体によるものも、アカマツ林で最も多く、1993年度コナラ林で最も少なかった。しかしコナラ林では虫糞による還元量が多く、それが他のプロットの2~3倍あった。またリンは他の元素に比べ、落葉による還元量の割合が低く、アカマツ林・コナラ林では60%近くは落葉以外のリターによるものであった。

4. 落葉による養分の還元とその利用

構成樹種の異なる森林の、落葉による養分還元の動態について比較するために、窒素についてその養分利用効率⁶⁾²⁹⁾を考えてみた。ここで窒素の利用効率とは、落葉量を落葉による窒素還元量で除したものであり、これは落葉中の窒素濃度の逆数となる。落葉中の窒素濃度が低いということは、リターとして損失する窒素量が少ないということで、窒素の利用効率が高いと言える。グラフの横軸に落葉による窒素還元量、縦軸に窒素利用効率をとり、本実験で得られたデータ(図中に矢印で示す)と過去国内で測定されたデータ³⁾⁸⁾¹¹⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁹⁾³¹⁾をプロットし、これを図-7に示す。アカマツとコナラ、または上層樹と下層常緑樹、として分けられるものについてはそれぞれに分けて計算した。本実験で測定したソヨゴ・ヒサカキなども、下層常緑広葉樹としてプロットしてある。この結果、大きく4グループに分けることができた。

1つめはアカマツのグループである。図-7から、窒素還元量は少ないが窒素利用効率は他の樹種に比べて高いことがわかる。アカマツのような土壌の発達していない土地に進入する先駆種は、一般に窒素・リンに対する要求度が少ないといわれている⁵⁾。それに加えて、アカマツは落葉として樹体から損失する窒素量をも少なくすることで、窒素を効率よく利用していると考えられる。さらに若齢アカマツ林⁴⁾¹⁷⁾では、落葉量が多いため窒素還元量が多く、窒素利用効率も他のアカマツ林(壮齢林以上)に比べて高かった。2つめはタブ・コジイなどの常緑広葉樹のグループである。窒素還元量は多いが窒素利用効率は低い。一般に、遷移の進行に伴い土壌の有機物層が発達する³⁰⁾ため、樹体内の窒素量に対して土壌中の窒素量の多い林分であると考えられる。3つめは落葉広葉樹林のグループである。ここには、ブナ林・コナラ林・ミズナラ林の他に、今回測定したコナラ二次林と同じくアカマツが混交する林分も含まれる。このグループは1つめと2つめのグループの中間型と言える。窒素還元量は中庸で窒素利用効率もあまり高くない。やや窒素還元量の多い部分が見られるが、これは上層の落葉広葉樹と下層木を分離できなかった林分であり、このことから下層植生が豊富な落葉樹林は、コジイ林・タブ林に匹敵する窒素還元量があると考えられる。4つめのグループは下層常緑広葉樹のグループである。これらは2つめのグループとほぼ同じ窒素利用効率を持つが、落葉量が少ないため窒素の還元量は少ない。下層の常緑低木は、特に土壌の発達の悪い所には浅根性の樹種が多く¹⁸⁾林床下に浅く広く根を張っている。これらのことから、森林の下層に生育する常緑低木は、自らの窒素利用効率を上げなくても、上層木の還元した窒素を生育に利用しているのではないかと考えられる。

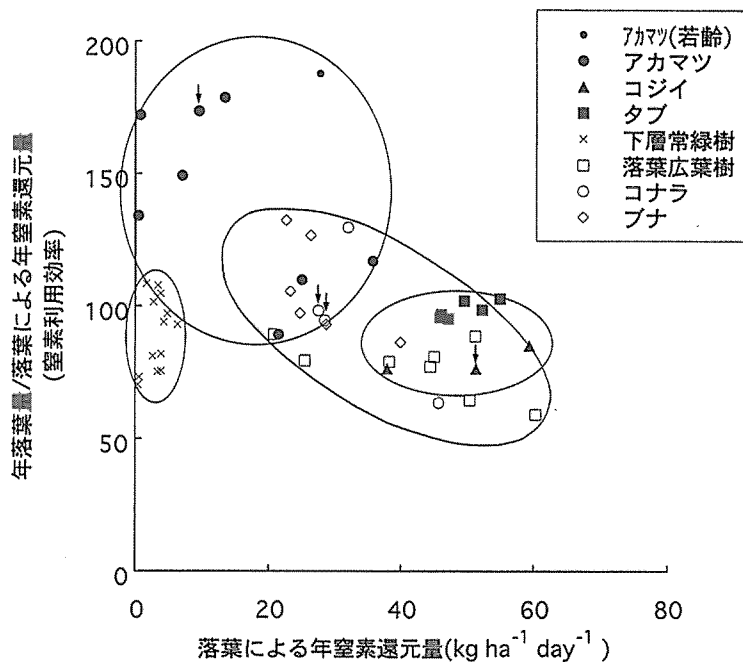


図-7. 落葉による年窒素還元量と窒素利用効率
矢印は本実験で得られたデータを示す

以上のことから、林分の構成樹種が異なれば、その林分の窒素利用の様態も異なるということが推察される。

V. 結 び

森林のリターフォールについては古くから数多くの研究があり、リター量と緯度¹⁾、乾湿度指数²⁸⁾、温量指数¹⁰⁾ などとの関係が議論されている。今回の調査結果から、樹種の変化に伴って、林分の樹木による窒素の利用の仕方も変化するということが推察される。さらに、窒素などの養分元素の森林への収入及び集積の様態が変化すれば、林地の植物の生育状態も変化すると考えられる。森林の物質循環系の中では、植物とその周囲の環境条件は、相互に、そして複雑に影響しあっている。物質循環の相互作用を解明するためには、樹種特性や土壌との関連等、さらなるデータの蓄積やそれらの総合的・多面的な解析が必要であるだろう。

謝 辞

本研究を行うにあたり、名古屋大学農学部森林生態生理学研究室の皆様には、研究へのご意見、ご協力を頂きました。心から感謝いたします。また調査を行うにあたり、東谷山尾張戸神社の氏子の方々には、社寺林の使用を快諾し便宜を図っていただきました。心から感謝いたします。

引用文献

- 1) Bray, J. R. and Gorham, E. (1964) Litter production in forests of the world. *Adv. Ecol. Res.* 2 : 101-157.
- 2) 古野東州・齋藤秀樹 (1964) コナラ林におけるリターフォール量の季節変化および食植生昆虫による被食量. *京大演報* 53 : 52-64.
- 3) 橋詰隼人 (1991) 鳥取大学蒜山演習林の落葉広葉樹林におけるリターフォールについて. *広葉樹研究* 6 : 1-15.
- 4) 蜂屋欣二・藤森隆郎・棚秋一延・安藤 貴 (1966) アカマツ幼齢林の葉量及び落葉量の季節変化. *林試研報* 191 : 101-113.
- 5) 岩城英夫 (1973) 群落の機能と生産. *植物生態学講座* 3. pp. 241-275. 朝倉書店, 東京.
- 6) 岩坪五郎 (1989) 物質の動きと環境要因. *森林生態学*. pp. 124-148. 朝倉書店, 東京.
- 7) 平野綾子 (1993) 名大東山構内における二次林の林分構造. *名大農卒論*.
- 8) 片桐成夫・石井 弘・三宅 登 (1980) 三瓶演習林内の落葉広葉樹林における物質循環に関する研究 (VIII) リターフォールによる養分還元量について. *島根大農研報* 14 : 60-68.
- 9) 河口順子・平泉智子・只木良也 (1995) 名古屋大学二次林の生態 II. リターフォール量の季節変化. *43 回日林中支論* : 33-34.
- 10) 河口順子 (1995) 名古屋大学構内二次林における二次林の構造と機能 リターフォール量の季節変化. *名大農修論*.
- 11) 河原輝彦 (1971) Litter Fall による養分還元量について (II) 有機物量および養分還元量. *日林誌* 53 : 231-238.
- 12) 河原輝彦・堤 利夫 (1971) Litter fall による養分還元量について (I) 養分還元量の季節変化. *京大演報* 42 : 96-102.
- 13) 河田 弘 (1989) *森林土壌学概論*. 399 pp. 博友社, 東京.
- 14) 河田 弘・丸山明雄・衣笠忠司 (1967) アカマツの針葉の養分組成と成長および土壌条件との関係. *林試研報* 199 : 67-97.
- 15) 河田 弘・丸山幸平 (1986) ブナ天然林の結実がリターフォール量およびその養分量に及ぼす影響. *日生態会誌* 36 : 3-10.
- 16) 小村 精・安藤 満 (1970) コジイ林の落葉量 照葉樹林の生物生産に関する研究 (細川隆英編). *JIBP-PT-水俣特別研究地域*, pp. 50-55.
- 17) 小村 精・宮田逸夫・細川隆英 (1967) アカマツ林・ツガ林の落葉枝量. *森林の一次生産測定法の研究班中間報告* (吉良龍夫編). *JIBP-PT-F*, pp. 65-68.
- 18) 甲山隆司 (1995) 暗い森の中で生き延びる. *朝日百科 植物の世界* 59 : 140-143.
- 19) 丸山幸平・今 弘 (1994) ブナ林の生態学的研究(40) —ブナ天然林とコナラ二次林のリターフォール量の季節変化—. *新大演研報* 27 : 13-33.
- 20) 宮脇 昭 (1985) *日本の植生誌* 6, 中部. 605 pp. 至文堂, 東京.
- 21) 西村尚之・山本進一・千葉喬三 (1992) 都市近郊コナラ林におけるリターフォール量. *日林論* 103 : 391-392.
- 22) 大島誠一・渡辺政俊 (1988) マツ属における落葉季節と落葉型の変遷 I. 年一回伸長型のマツ類における季節的落葉型式とこれらの獲得. *京大演報* 60 : 53-66.

- 23) 齋藤秀樹 (1981) 森林におけるリターフォール研究資料. 京都府大演報 25 : 78-89.
- 24) 齋藤秀樹 (1990) アカマツ林の落葉の季節変化と林分間に見られる同調性. 京都府大学術報告農学 42 : 47-57.
- 25) 齋藤秀樹・上家 祐・竹岡政治 (1991) 壮齢アカマツ林の現存量, 枯死量, リター量およびリターフォール量. 京都府大演報 35 : 41-47.
- 26) 佐藤大七郎・堤 利夫 (1973) 樹木—形態と機能—. 309 pp. 文永堂, 東京.
- 27) 只木良也・香川照雄 (1968) 森林の生産構造に関する研究 (XIII) コジイほか2, 3の常緑樹林における落葉枝量の季節変化. 日林誌 50 : 7-13.
- 28) 堤 利夫 (1987) 陸上植物群落の物質生産 I b—森林の物質循環—. 生態学講座 5-b. 60 pp. 共立出版, 東京.
- 29) 堤 利夫 (1987) ミネラルの循環. 森林の物質循環. pp. 72-88. 東京大学出版会, 東京.
- 30) 堤 利夫 (1989) 森林生態学. 166 pp. 朝倉書店, 東京.
- 31) 上田晋之助・堤 利夫 (1980) タブを主とする天然生照葉樹林のリターフォールによる養分の還元について. 京大演報 52 : 32-43.
- 32) 依田恭二 (1971) 森林の生態学. 331 pp. 築地書館, 東京.

The return of nutrients with litter-fall in some secondary forests in Nagoya

Satoko HIRAIZUMI, Junko KAWAGUCHI and Yoshiya TADAKI

The seasonal changes of litter-fall and nutrients returned by litter-fall in *Pinus densiflora*, *Quercus serrata*, and *Castanopsis cuspidata* stands were studied. Seasonal change in litter-fall in the *Pinus* stand had two peaks in summer and autumn, in *Quercus*, it peaked from November to December, and in *Castanopsis*, it peaked from May to June. Annual amounts of litter-fall in the *Pinus*, *Quercus* (first and second years), and *Castanopsis* were 9.6, 6.5, 7.2, and 7.9 t ha⁻¹ year⁻¹, which resulted in the amount of nitrogen contained in litter-fall being 78.6, 74.2, 94.1, and 86.1 kg ha⁻¹ year⁻¹, respectively. There were larger amounts of potassium and nitrogen in litter-fall in the *Castanopsis* stand, and of phosphorus and calcium in *Pinus* than in the other stands. Secondary forest stands in Japan have been classified into four groups based on the relation between the amount of nitrogen returned by annual leaf-litter and nitrogen use efficiency (nitrogen concentration in leaf-litter).

Keywords : secondary forests, litter-fall, amount of nitrogen returned, nitrogen use efficiency