

## 島根大学三瓶演習林におけるスギ人工林のリターフォール量の長期年変動

金子信博・片桐成夫・山下 博・北岡直樹・富永明良

### A longterm observation of litterfall of Japanese Red Cedar in Sanbe Experimental Forest of Shimane University

Nobuhiro KANEKO, Shigeo KATAGIRI, Hiroshi YAMASHITA, Naoki KITAOKA  
and Akira TOMINAGA

**Abstract** We observed the amount of litterfall in Japanese red cedar (*Cryptomeria japonica*) plantation in western Japan for totally seven years. The effect of pruning and thinning on the amount of litterfall was also observed. Annual litterfall was 2.9 to 6.6 ton ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> and, 60 to 70 % of that was leaf litter. The studied stand of twenty two year-old had 29.3 ton ha<sup>-1</sup> of living foliage and 29.3 ton ha<sup>-1</sup> of dead foliage attached on the trunk, and it was 10-fold and 2-fold of annual litterfall, respectively. After pruning, irrespective to the stand density, the amount of litterfall increased steadily, and after three years the stand shed nearly 70% litterfall of that in the original forest.

Key word: litterfall, Japanese Red Cedar, pruning, thinning, long term ecological study

## 1. はじめに

間伐と枝打ちは現代のスギおよびヒノキ人工林における重要な管理技術である。間伐は集約的林業においては材質の向上にかかせないものであり、樹木の成長や林分の構造を集団レベルでコントロールしている(只木, 1969)。枝打ちは無節材生産のために行われ、同時に単木レベルで成長をコントロールすることにより林分構造にも影響を与える(藤森, 1984)。現在、人工林の管理においてこれらの施業がその後の林分の成長にどのような影響を及ぼすのか、のみならず環境にどのようなインパクトを与えるのかについて明らかにすることが、森林を管理する立場にもとめられている。そのなかで、リターフォール量の長期変動に関する研究は少ない(斎藤, 1981)。樹木の葉は一次生産の担い手であり、リターフォール量は森林の生産力の測定にとって重要な項目である。さらに林地で分解されることによってリターに含まれる養分が森林植生に再利用されるので、物質循環速度の推定にもかかせない。

スギの針葉は枝に着生しているので、正確な葉量を測

定するのが困難である。Katsuno & Hozumi(1987,1988)は、単独の針葉の重量を測定し、針葉が付着している枝の直径との関係から葉重や葉面積を推定した。スギの針葉は枯死後も枝から離れず、リターフォールは長さ30cmから1m前後の枝の単位で落下してくることが多い。したがって、リターフォール中に占める葉の割合を知ることも生葉と同様に難しい。正確にはこれらは枝葉リター(foliage litter)と呼ぶ必要がある。これまで、スギの葉リターの測定のために、便宜的に葉の着いている枝の直径で分ける方法が取られてきている。たとえば勝野ら(1984)、Miyaura & Hozumi(1989)は、枝の太さ5mm以下の枝葉を葉リターとみなした。枝の太さは樹冠内の位置により異なる可能性がある。すなわち先端部の陽樹冠では樹冠下部の陰樹冠よりも太い枝が形成されるので、枝の太さという基準では葉リターの量の把握が困難である。本研究では枝の先端から2成長期分の部分を枝葉リターのうちの「葉リター」とみなし枝葉1と呼ぶこととする。それ以降の部分は葉がついていても「枝リター」とみなし枝葉2と表現する。また、採集時に枝から脱落した針葉の葉片、あるいは枯死後長い間樹冠にとどまって分解作用を受けている葉を分解葉

として特に区別して測定をした。

スギの落葉はこのように枯死後も樹冠でとどまり、その後落下すると考えられるので、正確なリターフォール量の推定には長期にわたる観測が必要である。枝打ちは、樹冠の枯死した枝葉を完全に除去するし、間伐により樹冠の受ける光の量が変化するので、枝葉が枯死する速度が変化するかもしれない。本研究では、林分の成長とリターフォールの動態を長期継続調査し、間伐と枝打ちが森林のリターフォール量にどのような影響を与えるかを明らかにすることを目的とした。なお、1982年度の測定値については金子・山下(1987)に、1988年度の測定値については片桐ら(1990)に報告した。

## 2. 調査地と方法

### 2-1. 調査地

#### 調査地 A

長期にわたる林分の成長とリターフォール量測定を島根県中部の島根大学生物資源科学部附属三瓶演習林 23 林班ぬ小班の、1964年に植栽されたスギ人工林で調査を行った。調査地の標高約 400 m、北西向きの斜面(傾斜 20°)で土壌は適潤性黒色土偏乾亜型(B<sub>1b</sub>(d))である。

植栽時の密度については正確な記録がないので不明であるが、立木の間隔から約 3,000 本 ha<sup>-1</sup> の密度で植栽されたものと考えられる。その後、時期は不明であるが、約 3.9 m の高さまで枯れ枝打ちが行われた後は、特に保育作業は行われておらず、間伐は一切行われていない。したがって、3.9 m より上部の幹には樹冠の下まで枯れた枝葉が多量に付着していた。

1982年にぬ小班内の 10 m × 10 m の方形区 19 個で、毎木調査を行った。その後 1986 年より 1993 年まで毎年、年一回胸高直径の毎木調査を行い、あわせて樹高・枝下高の測定を 6 回行った。

1992 年 11 月に小班の西半分を間伐し、同時に残存木の枝打ちを行った。枝打ちは約 9 m の高さを目標として行った。枝打ち時の生枝下高は 7.8 m であったので、さらに 1.6 m 上部まで生枝を枝打ちしたことになる。

#### 調査地 B

枝打ち後のリターフォール量の回復速度について、島根大学生物資源科学部附属三瓶演習林 9 林班わ小班のスギ人工林(1973 年植栽)で調査した。調査地の標高は約 440 m、北東向きの斜面(傾斜 27°)で土壌は適潤性

褐色森林土偏乾亜型(B<sub>0</sub>(d))である。本林分も植栽時の密度についての記録はないが、3000 本 ha<sup>-1</sup> を目処とした植栽が行われたと考えられる。

1985 年 11 月に枝打ちを行い、林冠下部の枯れ枝をすべて除去した。

### 2-2. リタートラップ

1986 年 3 月 28 日に調査地 A と調査地 B に 1 m それぞれ 1 m × 1 m のリタートラップを 10 個設置し、スギリターフォールを毎月回収した。ただし、本調査地では降雪のため冬季にはリタートラップを維持できないので、11 月末にトラップを地表面におろし、翌年 3 月にトラップ上に落ちたリターをまとめて測定した。したがって、各年の 3 月もしくは 4 月の測定値は、前年の 11 月もしくは 12 月以降にトラップに落下したリター量の合計を示す。

測定期間は調査地 A では 1986 年 3 月 28 日から 1990 年 11 月 29 日までと、1992 年 10 月 30 日から 1995 年 4 月 11 日までである。調査地 1 の間伐区では 1992 年 12 月 29 日から 1993 年 4 月 11 日までである。調査地 B では、1986 年 3 月 28 日から 1990 年 11 月 29 日まで測定した。

1993 年 3 月 26 日に調査地 A の間伐区にもリタートラップを設置し、毎月 1 回、リターを回収した。

回収したリターは通風乾燥器で 60°C、72 時間乾燥し、風乾重を枝葉 1 (1, 2 年生枝葉)、枝葉 2 (3 年生以上の枝葉)、分解葉(落下以前に樹冠で分解を受けた枝葉)、針葉葉片、球果、雄果、種子、その他に分けて測定した。

### 2-3. 枝葉現存量の推定

立木の生枝葉量および、枯枝葉量を推定するために、調査地 A より 8 本の標本木を伐採し、生重量を測定後、一部を研究室に持ち帰り含水率を求めて、乾燥重量を求めた。胸高直径と樹高より、直線回帰式を求めた。

## 3. 結 果

各調査地の林分概況を表-1 に示す。調査地 B は A よりも若い林分であったが、1986 年の調査時の林分のサイズはほぼ同じであった。

### 3-1. リターフォールの季節変化

図 1 に調査地 A コントロール区のリターフォール量

表1 林分の概況

調査地 A

測定年	コントロール区				間伐区				
	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	生枝下高 (m)	枯枝下高 (m)	立木密度 (ha <sup>-1</sup> )	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	生枝下高 (m)	立木密度 (ha <sup>-1</sup> )
1986	14.0	11.0	5.8	4.1	2780				
1987	16.0		5.5	3.9	2700				
1988	16.6		6.7	4.1	2538				
1989	17.2		6.8	3.8	2488				
1990	17.4				2450				
1991	17.7				2450				
1992	18.3	12.8	7.7	3.9	2425	17.8	12.6	7.8	2411
1993	18.4	13.2	7.7	3.9	2425	19.0	13.3	9.4	1311

調査地 B (1986年11月28日測定)

胸高直径 (cm)	樹高 (m)	生枝下高 (m)	立木密度 (ha <sup>-1</sup> )
16.0	12.0	5.9	2175

の季節変化を示す。リターフォールは3月の回収時にもっとも多く、ついで10月や11月、あるいは4月に多い傾向を示した。3月のリターフォール量が年間のリターフォール量に占める割合は1986年度が72.6%、1987年度が50.9%、1988年度が64.6%、1993年度が43.1%、1994年度が52.0%と大きな部分を占めていた。

図2に間伐・枝打ち区のリターフォール量の季節変化を示す。間伐・枝打ち直後のリター量は少なく、1年目に季節がすすむにつれてリター量が増大していた。

図3に調査地Bの枝打ち後のリターフォール量の季節変化を示す。季節変化の傾向は調査地Aと同様で、調査地Aのコントロール区、間伐+枝打ちを行った間伐区、枝打ちを行った調査地Bのいずれでも3月回収時にもっとも落下量が多くなっていた。

### 3-2. リター量の年変動

各調査地の年間リターフォール量を表-2に示す。調査地Aのコントロール区でもっとも多かったのは1995年度の670.8 gm<sup>-2</sup>で、もっとも少なかったのは1987年

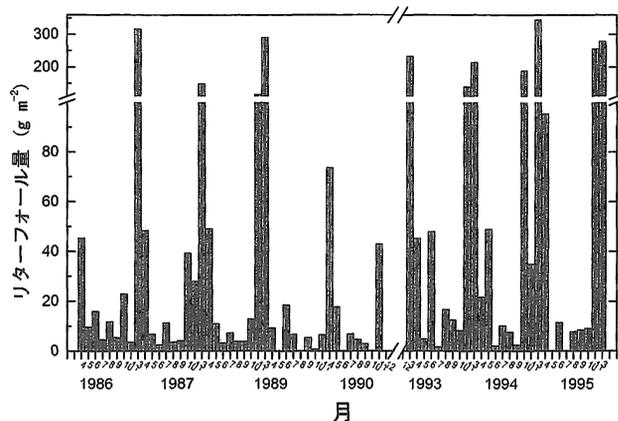


図1 調査地Aのコントロール区における計7年間のスギリターフォール量の季節変化。

度の294.7 gm<sup>-2</sup>であった。

間伐区では間伐・枝打ちの翌年はコントロール区の17%しか落下しなかったが、翌年は20.8%、3年目には48.9%まで落下量が回復していた。調査地Bでは1年目38.6%、2年目には65.8%、3年目には75.3%まで回復

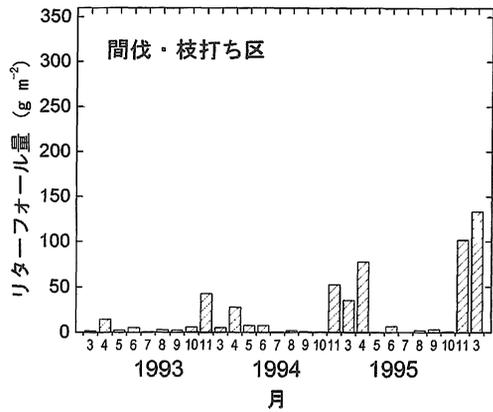


図2 調査地 A の間伐・枝打ち区における施業後のスギリターフォール量の季節変化。

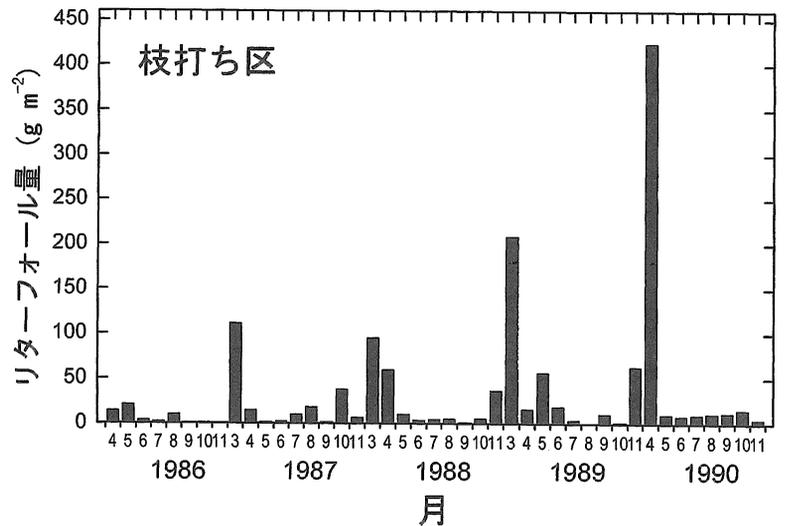


図3 調査地 B における枝打ち後のスギリターフォール量の季節変化。

していた。

### 3-3. リターの組成

図4に調査地 A のコントロール区のリター組成の構成比を示す。葉リター（枝葉1, 枯死葉, 葉片の合計）の割合は、1986年度71.6%, 1987年度63.0%, 1988年度73.1%, 1993年度67.7%と極めて安定していた。月別のリターフォールの組成を図5に示す。枝葉と枯死葉, 葉片がリターフォールの大半を占めるが, その他の構成要素はリター量の少ない6月から9月に占める割合が高くなるがあった。

1993年の調査地 A におけるコントロール区と間伐・枝打ち区の間伐後のリターフォールの構成比の季節変化を図6に示す。コントロール区では1, 2年生の枝葉1が約半分を占めていたが, 特に季節変化は示さなかった。

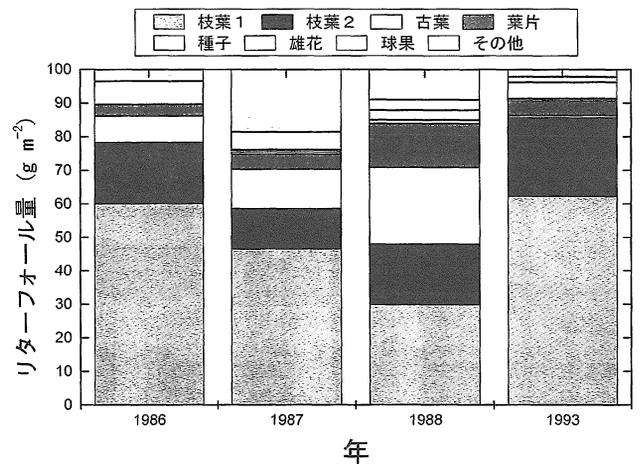


図4 調査地 A におけるリターフォールの年間の構成比の変化。

表2 各調査地における年間リターフォール量 (単位  $g\ m^{-2}$ )。空欄は測定データなし。

測定年	調査地 A		調査地 B
	コントロール区	間伐区	
1986	438.0		169.2
1987	294.7		194.0
1988	452.1		340.3
1989	398.2		
1993	490.8	83.4	
1994	664.7	138.0	
1995	670.8	327.7	

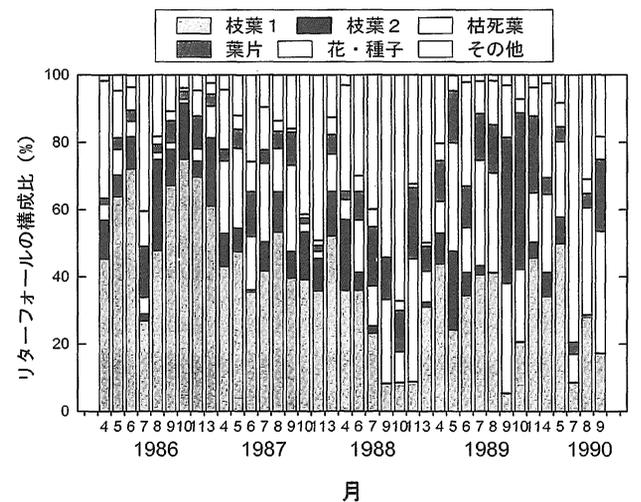


図5 調査地 A におけるリターフォールの構成比の季節変化

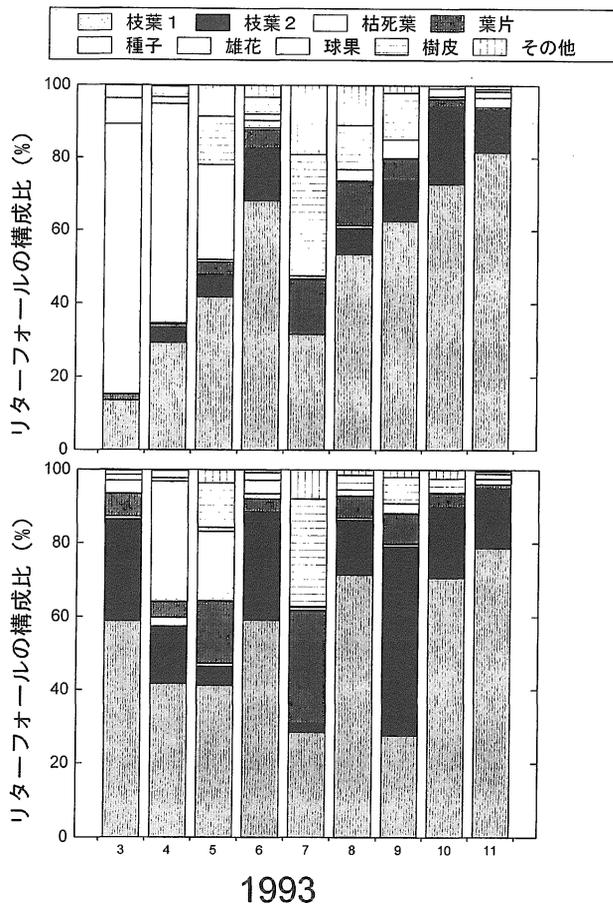


図6 調査地 A における間伐・枝打ち区（上）とコントロール区（下）の1993年のリターフォールの構成比の比較。

一方、間伐区では3月に枝葉1が占める割合は約15%と少なかったが、秋にかけて連続して増加しており、11月には80%を越していた。両調査区とも7月にやや枝葉1が少なくなっていたのは台風による強風で葉片と樹皮の占める割合が高かったためである。分解葉はコントロール区では4月にやや多く落ちていたが、間伐区ではほとんど測定されなかった。

### 3-4. 枝葉量の測定と林分枝葉量の推定

相対成長関係を想定して、次の式にあてはめたとこ、よい適合が見られた。

$$\log W_i = -3.0072 + 1.1995 \times \log D^2 H \quad r^2 = 0.9823$$

$$\log W_d = -1.7776 + 0.6972 \times \log D^2 H \quad r^2 = 0.8345$$

ここで、 $W_i$ は単木の生枝葉量、 $W_d$ は枯枝葉量、 $D$ は胸高直径、 $H$ は樹高である。

毎木調査の結果を用いて、調査地 A のコントロール区での枝葉1は生枝葉量が  $29.3 \text{ ton ha}^{-1}$ 、枯枝葉量は  $5.5 \text{ ton ha}^{-1}$  となった。

## 4. 考 察

### 4-1. スギ枝葉の枯れる時期とリターフォールの発生

本調査地ではスギ枝葉の枯死が9月から11月にかけて盛んであることが観察されたが、この時期の落下量は少なく、落下は12月から3月にかけてがいずれの年ももっとも大方で、枝葉は枯死後すぐに落下するのではなく樹冠に付着したまま冬となり、降雪とともに地表に落下するといえる。スギの葉の枯死の季節について、安藤らは(1970)は葉の枯死は新葉の増加にともない平行的に起こり、落葉は枯死とは時期的にずれるとしている。また、宮本ら(1972)は、初夏から葉枯れが始まり、夏の終わりから秋にかけて、枯死のピークが生じることを観察している。勝野ら(1984)らは4月に落下量のピークを観察している。スギのように枯死した枝葉が樹上に着生している種では、台風の襲来はリターの落下を引き起こすと考えられる。しかし、1993年7月の台風では枝葉1に比べて葉片と樹皮の割合が多かったが、落下量は多くならなかった。新たに枯死が生じる秋以降の気象条件のほうが、落下量に大きく影響するのかもしれない。したがって、本調査地は冬の降雪がリターフォールの季節性に大きく作用していた。

### 4-2. 林分の成長・間伐とリターフォール量との関係

斎藤はスギの葉リターの測定値をまとめ、65年生以上の3林分の平均が  $4.05 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  (標準偏差  $0.93 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )、15年生以下の5林分の平均が  $3.19 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  ( $1.64 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )であったとしている。本研究でのコントロール区の5観測年の平均は  $2.81 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  となり、他の研究例よりも低い値を示した。枝葉のうち葉に含める部分と枝とする部分の区分方法がこれらの値に大きく影響する。したがって、当面、わけ方がことなる林分の比較にはスギのリターの総量で比較するほうが妥当かもしれない。

調査地 A の林冠には  $29.3 \text{ ton ha}^{-1}$  の生枝葉と  $5.5 \text{ ton ha}^{-1}$  の枯死した枝葉(いずれも枝葉1)が着生しており、それぞれ年間の枝葉リターの約10倍と2倍であり、現存量が一定と考えて回転率を計算すると、それぞれ  $0.096 \text{ yr}^{-1}$  と  $0.51 \text{ yr}^{-1}$  であった。勝野ら(1984)は21年生のスギ人工林での葉リター(枝直径5mm以下)が  $4.79 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、枝リターが  $1.22 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  であり、立木に枯葉が  $2.6 \text{ ton ha}^{-1}$ 、枯枝が  $4.8 \text{ ton ha}^{-1}$  ずつそれぞれ付着していたので、回転率をそれぞれ1.9

yr<sup>-1</sup>と0.25 yr<sup>-1</sup>であるとしており、枝葉現存量、リター量はいずれも本研究の調査林分のほうが高く、回転率は遅くなっていた。

今回の間伐・枝打ちは通常の施業体系から考えると時期が遅れており、しかも枝打ちが一度になされているなど、不自然な点が多い。しかし、施業によるリターの動態の変化を知るためには施業前の状態が明らかであり、かつコントロールを隣接した林分に設置できた点で好都合であった。通常の施業ではデータの収集が困難であり、コントロールも設定しにくい。

間伐と枝打ちによって樹上の枝葉がどれぐらい動いたかを考える。間伐・枝打ち前の調査地 A における間伐区林分の枝葉1の量は、生枝葉が25.9 ton ha<sup>-1</sup>、枯枝葉が5.4 ton ha<sup>-1</sup>であった。間伐区ではまず間伐により約半数の立木が収穫され、伐採されなかった立木からも枝打ちにより枯枝葉はすべて切り落とされ、生枝葉も約半分が林地に落とされたものと推定される。したがって、リタートラップでは測定していないが、間伐・枝打ちの際に合計で17.8 ton・ha<sup>-1</sup>の生枝葉と5.4 ton・ha<sup>-1</sup>の枯枝葉が間伐区の林床に供給されたといえる。間伐や枝打ちは施業の目的によって強度が異なるため、林地への供給量の比較は難しいが、相場ら(1983)は枝打ちにより6~11 ton・ha<sup>-1</sup>の枝葉が林地に供給され、45%が枝であったとしている。

枝葉が枯れる速度は樹冠サイズが一定で立木密度も一定とすると、樹高成長につれてほぼ一定の量が枯死すると考えられる。調査地 A の間伐により本数は43.6%に減少した。また、枝打ちにより間伐区では樹冠下部の枯枝葉がすべて除去され、生枝下高は約1.6 m上昇して9.4 mとなった。樹冠の占有面積はコントロール区で87%であったのに対して、間伐区では52%に低下していた。調査地 B では林分が閉鎖状態で枝打ちを行ったので、樹冠の成長に伴い樹冠下部では枯死する枝葉が発生したものと考えられる。一方、調査地 A の間伐区では間伐と同時に枝打ちを行ったため、樹冠下部にも陽光が当たりやすくなっていた。それにも関わらずリターフォールはゼロとなるわけではなく、回復速度は遅いものの施業の翌年から発生していた。立木密度が43.6%になったことを考慮するとリターの発生量は調査地 B とあまり変わらない。このことは、強度の枝打ちを行った場合でもリターフォールによる林地への落葉の供給は数年以内に回復する可能性を示唆している。密度の影響が明確でない理由としては、樹冠内部の枝葉が自己被陰により枯死していて、隣接木の影響を受けていない可能性が考え

られる。

本調査は、途中測定の中断があったため真の長期調査とはいえないが、森林のように成熟に時間がかかり、寿命が長い生物集団の動態を把握するためには、長期観測を行い、気候変動の影響を加味していく必要がある。大学演習林はこのような長期調査を企画し、継続するためには最適な場所であるといえよう。

## 謝 辞

現地調査にあたって島根大学生物資源科学部附属三瓶演習林の川上誠一主任、寺田和雄技官の協力を得た。島根大学農学部専攻生であった、杉本章氏、竹中浩一氏、福井修二氏、西村英知氏、松田智子氏、稲垣均氏、加藤憲道氏、原勇治氏、および島根大学大学院農学研究科の大学院生であった嶋一徹氏、島内稔氏、小島靖氏、安藤義範氏、そして近藤(角南)桂子氏にはリタートラップの設置、回収、リターの分別に多大の協力をしていただいた。記して感謝する。

## 引用文献

- 安藤貴・竹内郁雄・宮本知子、スギ幼令林の現存量とリター量の季節変動ならびに養分吸収量と還元量。昭和44年度JIPB-PT-F 中間報告。(四手井綱英編), 35-41, 1970.
- 藤森隆郎、枝打ち—基礎と応用—。日本林業技術協会, pp.180, 1984.
- 金子信博・山下博、スギリターフォール量の測定。日本林学会関西支部第38回大会講演集, 73-76, 1987.
- 片桐成夫・金子信博・小島靖、手入れ不足のスギ人工林の物質循環—地上部および土壌の養分集積量と養分還元量—。島根大学農学部研究報告, 24: 21-27, 1990.
- 勝野真澄・萩原秋男・穂積和夫、スギ人工林のリターフォール。第95回日本林学会大会発表論文集, 363-364, 1984.
- Katsuno, M., and K. Hozumi, Needle area measurement by the cut method and estimation of specific leaf area in *Cryptomeria japonica*. Ecol. Res., 2: 203-213, 1987.
- Katsuno, M., and K. Hozumi, Relationship between specific leaf area of a *Cryptomeria japonica* foliage shoot segment and its diameter. Ecol.

Res., **3**: 279-289, 1988.

宮本知子・安藤貴・谷本丈夫・竹内寛興，スギの葉の枯れる時期. 第83回日本林学会大会講演集，260-262, 1972.

Miyaura, T., and K. Hozumi, Measurement of litterfall in a Sugi (*Cryptomeria japonica*) plantation by the cloth-trap method. J. Jap. For. Soc., **71**(2): 69-73, 1989.

斎藤秀樹，森林におけるリターフォール研究資料. 京都府立大学農学部附属演習林報告，**25**: 78-89, 1981.

只木良也，林分密度管理の基礎と応用. 日本林業技術協会，pp.126, 1969.

## 和文抄録

島根県中部のスギ (*Cryptomeria japonica*) 人工林でリターフォール量を合計7年間観測し，さらに枝打ちと間伐によるリターフォール量の変化と回復過程を観測した. 年間リターフォール量は2.9～6.6 ton ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>であり，約6割から7割が葉リターと推定された. 樹上には29.3 ton ha<sup>-1</sup>の生枝葉と29.3 ton ha<sup>-1</sup>の枯死した枝葉が着生しており，その量はそれぞれ年間の枝葉リターの約10倍と2倍であった. 枝打ち後，林分密度に関係なくリターフォール量は回復をし，3年目には元の林分の7割程度の量が落下した.