

アカマツ林の落葉の季節変動と林分間にみられる同調性

齋藤 秀樹

Seasonal leaf-fall trends in Japanese red pine stands and their synchronization among stands

HIDEKI SAITO

要旨：落葉資料に欠けるアカマツ壮齡林（40, 60, 75及び85年生）で調査を行なって落葉型、林分間での落葉の同調性、気温と落葉期の関連などを考察した。主な結果は次の通りである。

（1）落葉盛期は秋であった。秋の落葉期に二つのピークをもつ林分があった。春5月にも小ピークがみられた。（2）地域内の林分では、林齢とは無関係に、落葉の季節変動は同調していた。近接の林分ほど高い同調性を示した。（3）秋の落葉盛期は暖かさの指数が低い年ほど早期にあらわれた。地域間（82～130℃・month）でも同じ傾向がみられた。（4）既往の資料を含めて落葉型を考察すると、日本のアカマツ林は秋型である。例外として、個体の占有面積がある限界値（0.7 m²/tree, 15,000/ha）より小さい林分では、春の小ピークが肥大し、生育期に盛期をもつことがある。これはアカマツの分枝、葉の着き方、個葉の長さなど形態上の特徴にもとづく、狭小な空間への適応の低さに起因すると考えた。これは密度効果であり、大島・渡辺が指摘するマツの過去の性質の発現でもある。（5）春（生育期）の落葉が顕著な林分の年間落葉量は、秋だけの盛期の林分に比べて多い。

I はじめに

アカマツ林の落葉調査の資料は、他の樹種に比べて多いけれども¹⁾、林齢、調査地などに偏りがあって十分な情報とはいえない。林齢は30年生以下が大半をしめ、えびの高原の60～80年生の林分（P3）²⁾が唯一の例外である。調査地も関東以北に集中しており³⁾⁻⁸⁾近畿地方は少ない⁹⁾¹⁰⁾。また、測定継続年数も大半の資料が1年間であり、残りは2年⁷⁾と3年⁸⁾¹¹⁾である。

これら資料の偏向のなかでも調査林分が若齡であることは、森林の物質生産を研究するうえで支障となる。閉鎖直後の若い林分では葉の現存量が一時的に極大になることはよく知られている。この現象が示唆するように、若齡林では物質生産からみた動態は不安定で、しかも経年変化は速い。

以上の情報の空白をうめるため、京都府京北町にあり、林齢が40～80年生の壯齡4林分について、落葉の季節変動および年間落葉量を2～4年間調査した。同じ日に複数の林分で落葉の採集を行なうと、その量が

京都府立大学農学部造林学研究室

Laboratory of Silviculture, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Kyoto 606, Japan.

平成2年8月7日受理

林分間ではほぼ等しいという同調が認められる。しかし落葉ピークの出現は、同一林分であっても年度により遅速が明らかであった。本報告ではこれらの2点について、既報の資料を加えて検討する。

既往の研究からみた落葉の季節変動型については、IVでまとめて述べるが、大島・渡辺¹²⁾によるマツ属の進化に関する壮大な研究がある。本報告では、彼らの仮説を基にして、落葉が集中する季節を考察した。

なお、アカマツ林の落葉量資料のなかに、大政・森¹⁵⁾による52林分がある。この平均落葉量は2.5(0.4~5.6)t/ha・yrで、他のアカマツ林の値¹⁾とほぼ一致する。しかし、個々の資料をみると、現在の森林の物質生産の研究結果から異常値と思われる値がいくつかみられる。アカマツ以外の樹種でも同様である。これは測定にトラップまたはこれに類する器具を使用しなかったからと推定される。そこで今回は、彼らの資料のうち豊橋林分だけを、落葉季節の考察の際に用いた。

京都府立大学造林学研究室の専攻生(当時)の三嶋陽治、野川 覚、関口 一の各位は調査に協力してくれた。落葉の未発表資料を提供された岡山大学千葉喬

三教授、ならびにJIBP沖田試験地の調査に携わられた佐藤班の各位に、深く感謝する。

II 調査したアカマツ林

落葉の調査をしたアカマツ林は京都府北桑田郡京北町の鳥谷および鳥谷に所在する。調査区分の立地をTable 1に、地図形をFig. 1に示す。鳥谷の調査地では約40年生林分のR4と約75年生のR7を、鳥居の調査地には約60年生のT6と約85年生のT8を設定した。林分R4とR7は300m離れている。また、二つの調査地は2kmの距離にある。

今回調査した4林分の立地条件には共通点が多い。Fig. 1の地形図からわかるように、両調査地は山の南側斜面に位置し、またこの斜面は東西にのびる帯状の低地が続いている。鳥谷調査地のR4は斜面中腹の傾斜地に、R7は山すその緩斜地に成立している。この2林分の地形的な特徴は鳥居調査地の2林分でもみられ、T8は斜面中~上部の傾斜地に、山すその緩斜地はT6と類似する。さらに詳しい地形は、R4は凹型、T8は尾根状の凸型斜面にある。

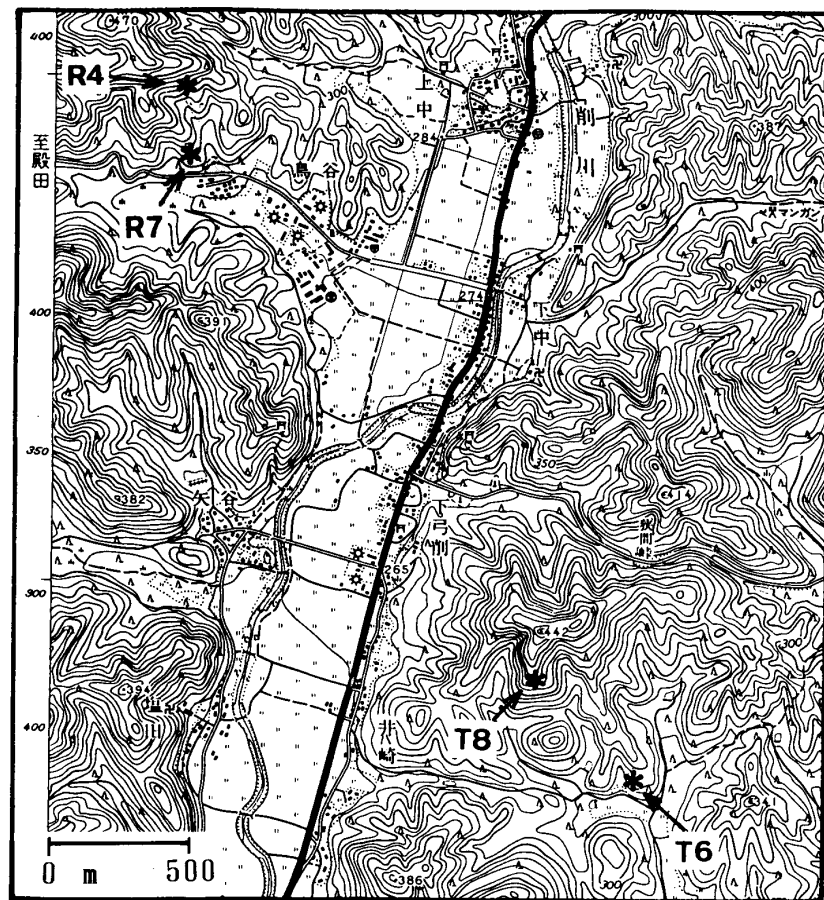


Fig. 1. Topographical map, showing the location of study stands of R4, R7, T6 and T8 at Keihoku-cho, Kyoto Prefecture (35° 12'N, 135° 38'E)

各調査林分に調査区 (20×20m~50×50m) を設けてアカマツの毎木調査を行なった。その結果をTable 2に示す。上層木はすべてアカマツであり、閉鎖していた。

また広葉樹の下層が存在した。胸高断面積合計は32~37m²/haで、林分較差は小さい。地位はT 6がⅡで最も良く、R 4とR 7がⅢ、T 8が低くてⅣである¹³⁾。人手はほとんど加わっていないとみたが、T 8はマツタケ山である。

本調査地の気象環境を、ここから5 km 南方の周山観測所 (標高240m) における平年値からみると年平均気温13.1℃、平均年降水量1,875 mmである¹⁴⁾。この月別平年値からWIを計算すると104.8℃・month、CIは-7.0℃・monthになる。

Ⅲ 落葉の調査方法

使用したリタートラップは50×50cmの木わくに、化学繊維製の布ゴースの袋をとりつけたものである。袋の深さは40cmである。受け口 (木わく) は水平にして、地上約70cmの高さに設置した。

林分内でのトラップの配置、使用した個数、および測定期間は次のようである。

R 4 : 調査区内に5 mの等間隔で20個を設置した。測定期間は1979年4月6日~1983年7月28日の4年3か月。

R 7 : 5 m間隔で正方形に配置した4個のトラップのグループを4か所設けた。測定期間は1981年3月27日~1983年4月6日の2か年間。測定期間の後半にはトラップ12個を追加したり、一部のトラップで測定を中止したりした (詳しくは齋藤ほか¹⁴⁾を参照)。

Table 1. Site description of Japanese red pine (*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.) stands studied at Keihoku-cho, Kyoto Prefecture

Site	Toritani		Torii	
	R 4	R 7	T 6	T 8
Stand age (ca.) [yr]	40	75	60	85
Elevation [m]	370	320	300	350-400
Aspect	SE	S	SW	SW
Slope angle [degrees]	28	16	18	27
Topography	Mid-slope	Foot	Foot	Mid-slope, ridge type

Site and topography, see Fig. 1.

Table 2. Tree density and dimensions of Japanese red pine in study stands of R 4, R 7, T 6 and T 8

Stand	R 4	R 7	T 6	T 8
Stand age (ca.) [yr]	40	75	60	85
Plot [m×m] (Area of plot [m ²])	20×20 (353.2)	50×50 (2,403)	25×25 (1,189)	30×35 (935.6)
Tree density [1/ha]	1,550	529	581	784
Mean DBH [cm] (Range of DBH [cm])	16.5 (9-34)	27.0 (14-51)	25.6 (10-42)	24.6 (15-39)
Basal area [m ² /ha]	37.2	32.8	31.5	37.4
Mean tree height* [m] (Range of height [m])	15.5 (7-21)	19.0 (11-27)	22.4 (21-24)	13.8 (12-15)

*, dominant trees.

T6とT8：傾斜方向に8m，水平方向には10mの等間隔で，各林分に10個を設置した。測定期間は1982年4月2日～1984年3月27日の2か年。

トラップに入ったリターフォールは原則として1か月に1回の間隔で，トラップごとに採集した。しかし，マツタケ収穫期と積雪期には2～3か月分をまとめて行なった。採集したリターフォールから，実験室でアカマツの葉を選別し，85～90℃で24～48時間乾燥してから，室温で，感量0.01gでその乾重を測定した。

IV アカマツ林の落葉季節（既往の研究から）

アカマツ林の落葉盛期についての資料を整理すると，例外はあるが生育期の終わった秋季にみられる^{4)～11)15)}。このアカマツの性質は，第四紀以後の気候の寒冷化にともなって獲得したものといわれる¹²⁾。

京都大学上賀茂試験地に植栽した年1回の新条伸長型を示すマツ類34種の落葉（枯死）季節を調査した大島・渡辺¹²⁾によると，低緯度地方のマツ類に多くみられる生育期間内の落葉は古い種の型で，この落葉型から様々な型が形成された。すなわち，氷期に南下したマツ類のうち，耐寒性を獲得した種は，再び高緯度地方にまで分布を広げた。そのさい，中・低緯度地方に分布するマツ類は春と秋の2回の落葉型を，さらに高緯度地方に進出したマツ類は秋に一斉に落葉する型を分化させたという。アカマツにみられる春の落葉は，マツの古い性質の再現であると述べている。この春の小ピークを示すアカマツ林は多い⁴⁾⁵⁾⁷⁾⁹⁾¹⁵⁾。

秋の落葉型に属さないアカマツ林がいくつか報告されている。その典型は浅川苗畑の7年生林分³⁾である（樹高が1.3m程度と低いから厳密には「林分」とは呼べない。本報告では，原著に従うが，「低木林」と同程度の意味に使う）。落葉量は生育期の進行に並行して増加し，夏にピークとなる型である。この浅川林分には，多数のアカマツ林で報告されている春の落葉ピークはみあたらない。一方，秋にも小ピークが認められることから，夏のピークは春のピークの変形であると

考えられる。つまりアカマツがもつ過去の性質である春秋2回型の落葉が¹²⁾，若い浅川林分で顕著に発現したと解釈できる。この浅川林分には立木密度の異なる3調査区を設けており，立木密度の低い調査区ほど落葉盛期が季節的に遅れる傾向がある³⁾。この傾向は，浅川林分の落葉型が一時的なものであることの傍証と考えられる。

既往の資料には先の夏ピークの落葉型が秋型へと移行する過程にあると考えられる中間型がある。それは目黒苗畑の15年生林分（樹高5.7m）⁸⁾である。落葉盛期は9～11月頃であるから，これはまぎれもなく秋型に分類される。しかし，目黒林分のWI（120℃・month）から考えると，落葉が9月に盛期となるのは季節的にはやすぎる（VI参照）。この林分では7～8月の生育期の落葉が著しく多く，一方，春の小ピークが欠如している。

栃木県益子の13～21年生の9林分（樹高8.5mの1林分をのぞくと3.2～6.5m）³⁾も中間型であろう。落葉の採集間隔が多少長いというに不定期なので確定できないが，落葉盛期の出現が時期的にはよいし，また生育期の落葉も多い。2月と3月の測定が欠けているけれども，春のピークの頻出する5月にはこのピークは存在していない。

以上の理由からわが国に分布するアカマツ林の落葉型は，基本は秋型である。しかし，ある特異な生育環境の林分では古い落葉の性質があらわれることがある。この誘因はVIIで検討するように，若齢時にみられる本数密度効果だと考えられる。

V 落葉の季節変動

1. 季節変動

落葉の日落下速度，すなわち1日当たりの落葉量（ $g/m^2 \cdot day$ ）の季節的変動をFig. 2(1)～(4)に示す。

今回調査した壮齢アカマツ林の落葉盛期は，4林分ともに秋季であった。これは，IVで述べたアカマツ林

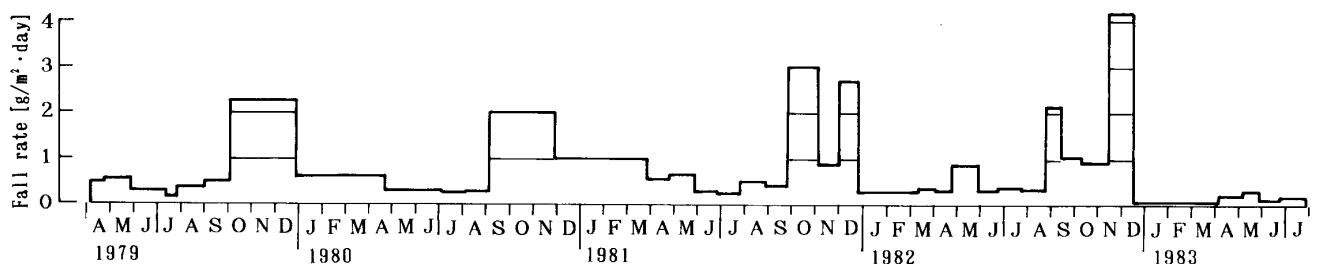


Fig. 2 (1) Seasonal fluctuations of leaf-fall rates of Japanese red pine in Stand R4 from April 1979 to July 1983

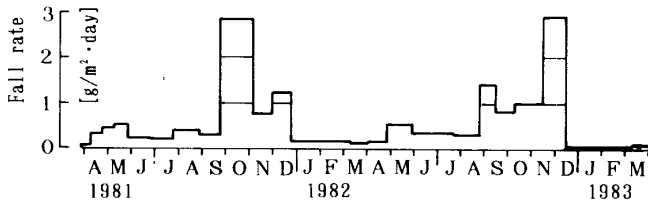


Fig. 2. (continued) (2) Stand R 7 from April 1981 to March 1983

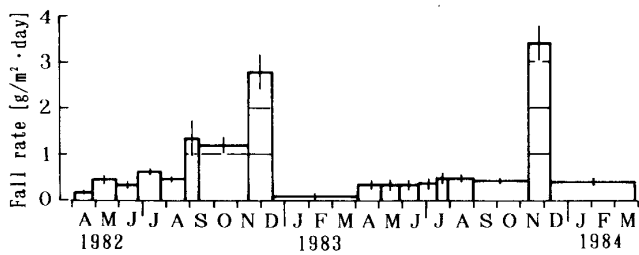


Fig. 2. (continued) (3) Stand T 6 from April 1982 to March 1984

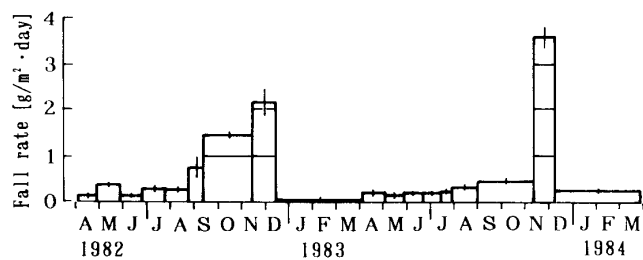


Fig. 2. (continued) (4) Stand T 8 from April 1982 to March 1984

の落葉型が秋型であることを支持している。

しかし、R 4 と R 7 の秋季落葉の変動を詳しくみると二つのピークが認められる。晩夏から初秋の9月～10月頃に一つと、もう一つは初冬の11月中旬～12月頃である。R 4 の1979年と1980年の秋には、採集間隔が長いので、この傾向はあらわれていない。T 6 と T 8 では秋の採集間隔が2か月としたので、この二つのピークの存在は明確ではなく、とくにT 8 では初冬の1ピークだけとみなしてよい。

既報のアカマツ林については、秋の落葉ピークが一つの型と二つの型にわかれる。前者の型を示す林分は愛知県豊橋の10年生林分¹⁵⁾、埼玉県赤沼の12年生林

分⁵⁾、岩手県好摩の15年生林分⁴⁾と28年生林分⁶⁾、京都府越畑の約20年生林分¹⁰⁾、岩手県沖田試験地の20年生 (P₂とP₃) と28年生林分 (P₃₀)⁷⁾、京都市上賀茂の林分 (林齢は30年生前後と推定)⁹⁾などがある。後者の2ピーク型には愛媛県菊間の林分 (幹直径から、林齢は30年生前後と推定)¹¹⁾、赤沼30年生林分⁸⁾などがあげられ、調査林分数では1ピーク型に比較して少ない。また、赤沼30年生林分⁸⁾の3年間の調査では、1972年と1974年は2ピークであるけれども1973年は明らかに1ピークで、この林分には二つの型が混在している。したがって、これは林分に固有の性質ではなさそうである。今回調査の4林分をふくめて2ピーク型の林分は暖温帯に多い。

秋の落葉盛期にみられる二つのピークの間隔は、本調査林分のR 4 やR 7 および赤沼30年生林分⁸⁾にみられるように、1～2か月の間隔をおいてあらわれていることから、葉の枯死時期の違いに原因があると推測される。

これについて、大畠・渡辺¹²⁾のアカマツ葉の枯死時期の調査例がよいヒントを与えてくれる。彼らは、1年生葉は9月頃から枯死が始まり、11月頃に著しい枯死ピークのあること、これに先立つ7～9月にかけて2年生葉 (前年に枯死しなかった1年生葉の残り) の枯死のあることを報告している。このことから、前記の秋季落葉の2ピークのうちで晩夏～初秋のピークは2年生葉の枯死が、初冬のそれは1年生葉の枯死によるものと推定される。

さらに、Fig. 2の落葉の季節変動をみると、4月後半～5月の春季に多くの落葉が認められる。これについてはIVで述べたが、VIIで再び検討する。

落葉量の少ない時期に注目すると、大半の時期では0.2g/m²・day以上の落葉がみられる (Fig. 2)。一方、アカマツと同じく秋に落葉するスギ林 (齋藤：未発表)、ヒノキ林¹⁶⁾では、夏にはほとんど落葉が認められなくなる。アカマツの落葉は短枝とともに落ちるので、下枝や下層木の樹冠にかかりやすく、これが後日に風で落下すると想像される。しかし、枝にかかった落葉をあらかじめ落としてから測定した調査でも年中落葉がある³⁾。このような落葉の季節変動は、アカマツの葉の枯死が多少とも年中認められること¹²⁾を反映していると考えられる。

2. 林分間の同調性

以上のような日落下速度での落葉の大小の比較は、年間落葉量に違いのある林分間や年度間では都合が悪い。そこで、4月～翌年3月までの年間落葉量に対する1採集期間の量の割合について比較することにする。この量割合の場合は、採集期間の長短が季節変動の型に影響し、期間が長いと割合が大きくなる傾向がある。

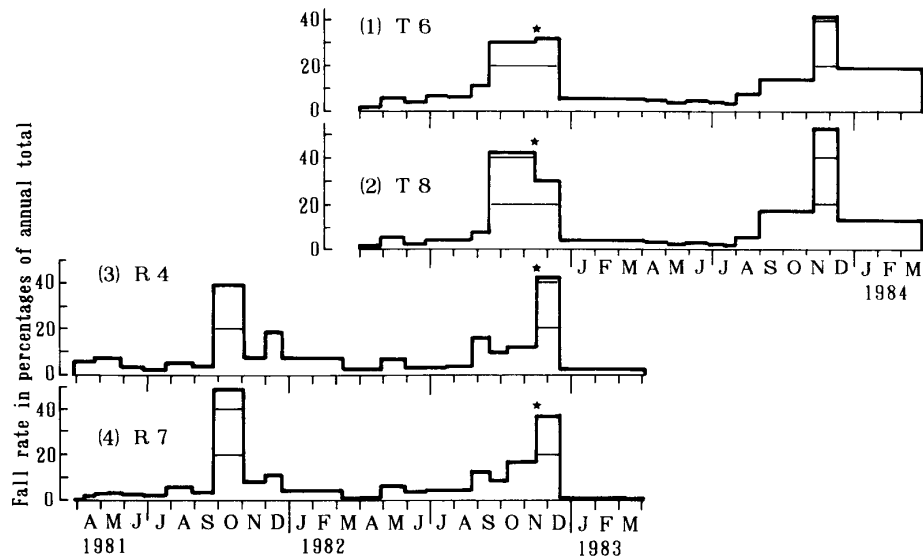


Fig. 3. Seasonal trends of relative leaf-fall rates of Japanese red pine in Stands R4, R7, T6 and T8, from April 1981 to March 1984

Fig. 3は今回の調査のうちで、同一年度に2林分以上を調査した1981年4月～1984年3月の期間について、落葉量割合の推移を示したものである。Fig. 3

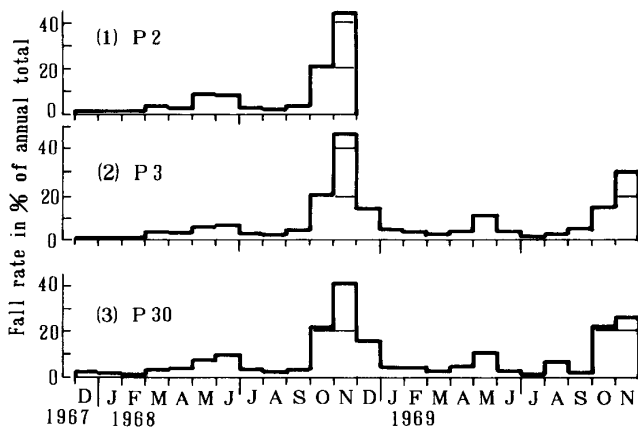


Fig. 4. Seasonal trends of relative leaf-fall rates of Japanese red pine in JIBP-PT-F Okita Research Area, Iwate Prefecture (drawn from Table 7 by Satoo's Team⁷⁾)
P₂ and P₃, about 20 years old, and in Compartment 60 and Sub-compartment "ko" managed by Ichinoseki District Forest Office, Aomori National Forest Bureau¹⁷⁾.
P₃₀, 28 years old, and in Compartment 60 and Sub-compartment "ro"¹⁷⁾

でR4とR7を比較すると季節変動は同じである。T6とT8の場合は、1982年の9月後半～11月前半と11月後半～12月前半の時期における二つの量割合の大小関係が厳密には両林分は逆転している。しかし、二つの値がきわめてちかいを考慮すると、季節変動がまったく異なるとはいえない。つづいて鳥谷と鳥居の調査地間で落葉量割合の推移を比較すると、同一調査地の林分間でみられるほど秋季の落葉は同調していない。9月後半～11月前半の期間に、鳥谷調査地のR4とR7では2回の採集を行なったので、この期間を鳥居調査地のT6とT8と同様に1回の採集としてまとめると、R4での割合は21%、R7は26%であった。これらの割合は次の採集期間である11月後半～12月前半の値の1/2 (R4) と2/3 (R7) に相当している。すなわち、鳥谷調査地の方が鳥居調査地より落葉の集中する時期が遅いといえそうである。岩手県のアカマツ沖田試験地において、JIBPの佐藤班が3林分を同時に2年間にわたって落葉量調査を行なっている⁷⁾。この資料から各月の量割合の推移について (Fig. 4)、3林分を同一年度間で比較すると同調性があり、ことにP₂とP₃とが著しい。これは本調査結果と一致する。なお、約20年生林分のプロットP₂とP₃は同一小班にあり、P₃₀は約28年生で、P₂やP₃とは小班が異なる¹⁷⁾。

千葉⁹⁾が調べた上賀茂のアカマツ3林分の落葉も同調している。立木密度の異なる好摩林分⁴⁾の5調査区でもこの同調性は高い。

以上をまとめると、地域内のアカマツ林の落葉量の季節的推移には林分間に同調性があること、林分間の

距離に近いほどこの同調性が高いと結論できる。

スギでは単木の葉の枯死時期が、クローンではよく同調し、実生では個体間で変動するという¹⁰⁾。これから、アカマツの落葉は近接の林分間ほど同調性が高いのは遺伝的な要素によると考えられる。

VI 秋季落葉の遅速

1. 年度差

近くに所在するアカマツ林分間では落葉の季節変動に同調が認められたが、Fig. 3 からわかるように、この季節変動は年度によって時期的な遅速がある。R 4 と R 7 を例にとれば、1981年の秋季には10月を中心に最も量割合が大きい、1982年には11月後半～12月前半の時期が最も大きい。

秋型の落葉をするヒノキ葉の枯死開始は、秋から冬への気温の低下によっておこる¹⁰⁾。本調査地付近の8～11月の旬平均気温の推移をみると、年度間の気温の高低関係は季節によって変わる。今回は葉の枯死時期の観察を行っていないこと、アカマツ葉の枯死は何か月にもわたり続くことから¹²⁾、各年の暖かさの指数WIの変動と落葉盛期の違いの関係を検討する。

Fig. 5 は、Fig. 3 に示した各採集期間の落葉量

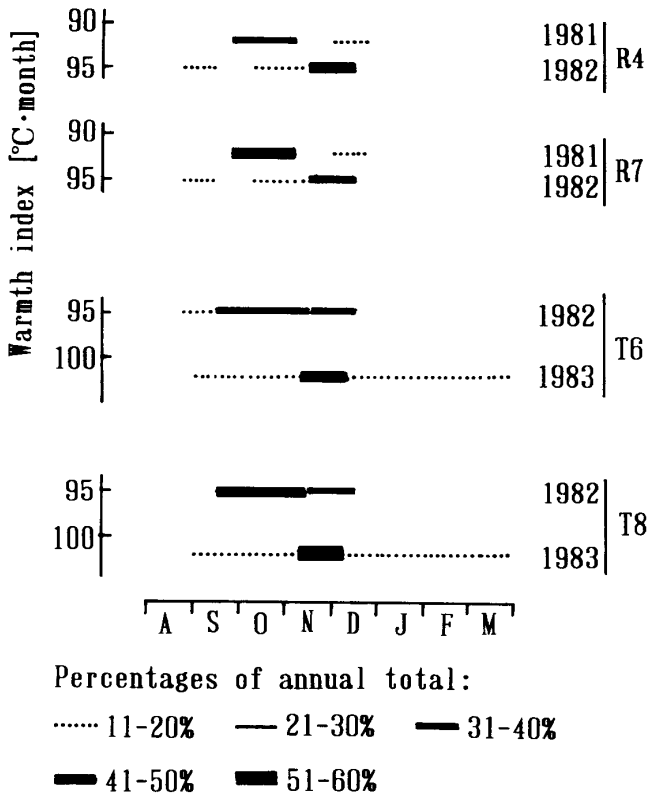


Fig. 5. Changes in seasonal concentration of leaf-fall rates in relation to Warmth Index (WI) in each year. WI, from Miyama Climatological Station.

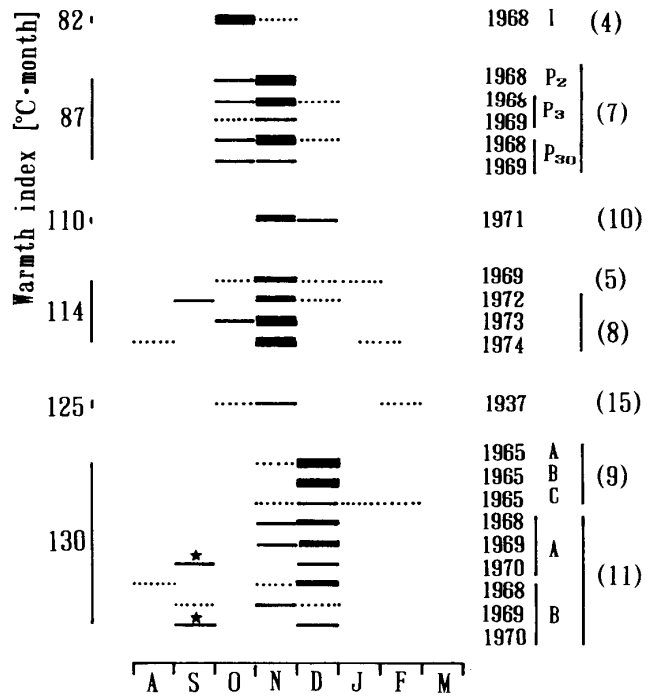


Fig. 6. Changes in seasonal concentration of leaf-fall rates in relation to Warmth Index (WI) For the concentration, see Fig. 5. WI, from Japan Meteorological Agency (1982). *, attacked by typhoon. Figures in parentheses represent reference No.

割合の推移を、縦軸に各年のWIをとって林分ごとに図示したものである。ただし、量割合は階級10%刻みとし、秋の落葉期を中心にえがいてある。このFig. 5 から明らかなように、WIが低い年の方が高い年に比較して落葉盛期が早期にあらわれることは明白である。

2. 地域差

落葉の量割合の推移を秋を中心にFig. 6 に示す。

落葉調査が行なわれたアカマツ林の所在は広い範囲にあり、岩手県好摩⁴⁾から鹿児島県えびね高原²⁾に至る。しかし、既往の資料には落葉の採集を著しく不定期に行なったもの²⁾³⁾、通年にわたっていないもの³⁾⁶⁾で、検討に耐えられない資料がある。したがって、WIの範囲では82～130°C・monthにあった(WIは、調査地に最も近い気象観測地点の平年値を用いて求めた)。このほかに、秋に落葉盛期をもたない浅川林分³⁾、目黒林分⁸⁾および益子の9林分³⁾は除外した(IV参照)。

Fig. 6 では落葉の資料は林分ごと年ごとに図示し

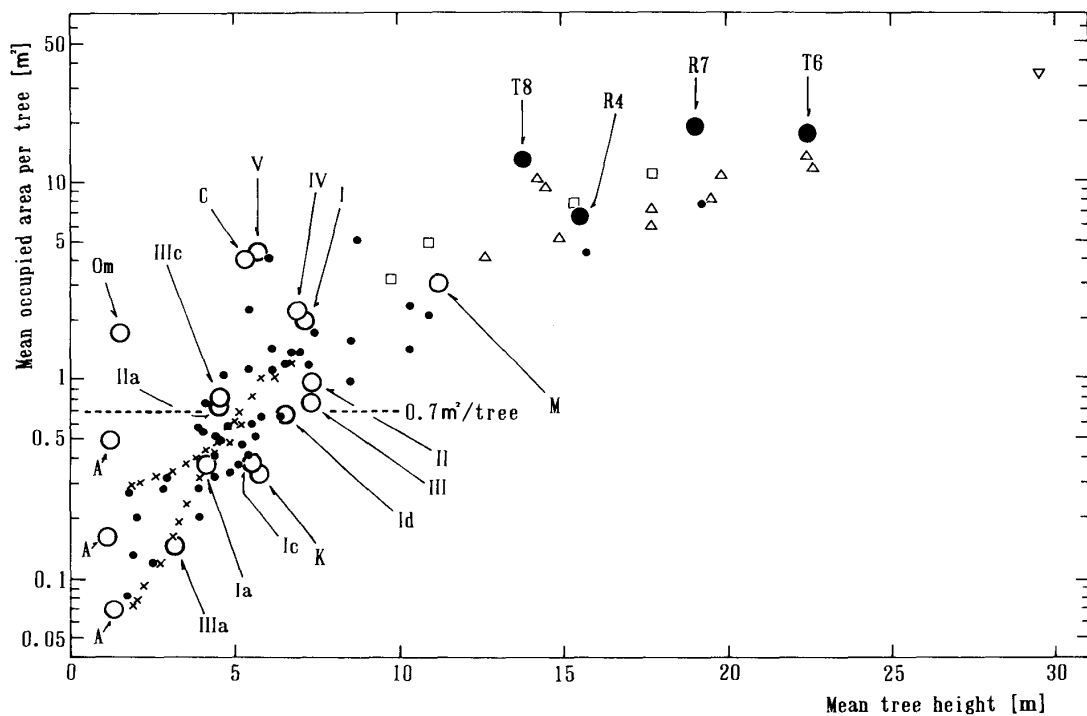


Fig. 7. Relation between mean ground area occupied by a tree ($1/\text{tree density}$) and mean tree height in Japanese red pine stands

●, This study. ○, Stands with leaf-fall records (A, Ia, Ic, Id, Ila, IIIa, and IIIc, HACHIYA et al.³; I to V, SATO and KATO⁴; C, CHIBA and ISHII⁵; M, MURAI⁶; K, KAWAHARA⁸)
□, SHIDEI et al.¹⁹ △, MORI et al.²⁰ ▽, SATO et al.²¹ ×, TADAKI et al.²² ·, HACHIYA et al.²³

たが、WIは平年値でまとめている。台風襲われたデータを除外すると、秋の落葉の最盛期はWIの低い地域の林分ほど早期（10月）にみられ、暖かい地域の林分ほど遅く、 $130^{\circ}\text{C}\cdot\text{month}$ の地域では12月におこっている。これは大島・渡辺¹²の指摘と一致する。

以上のようにアカマツ林の落葉ピークの季節的な遅速は、気温（WI）に影響されることが明らかになった。

Ⅶ 生育期間の落葉について

1. 立木本数との関係

V. 1で指摘したように、生育を開始する4月後半～5月の時期に小さな落葉のピークが認められる。この傾向はR4とR7では明瞭にあらわれ、T6とT8では1982年にみられるが1983年にはほとんどあらわれない（Fig. 2と3）。この小ピークの量割合は、T6とT8の1983年を除外すると、年間量の6～10%にあたる。

既報のアカマツ林については、春にピークがほとんど認められない林分（菊間約30年生林分¹¹、越畑約20年生林分¹⁰、上賀茂約30年生林分のA⁹）、本調査と同程度のピークをもつ林分（豊橋10年生林分¹⁵、赤沼

12年生林分⁵、沖田20年生と28年生林分⁷、上賀茂約30年生林分のBとC⁹、赤沼30年生林分⁸）、16%前後と本調査林分より顕著な林分（好摩15年生林分⁴）、の三つに分けられる。

これらの林分には、豊橋林分（樹高1.5m）と赤沼12年生林分（樹高5.3m）のように若い林分もふくまれている。しかし、両林分の立木密度は高くない（それぞれ6,000/haと2,500/ha）。

このグループとは反対に、IVで述べた春の落葉ピークが肥大した浅川林分³、移行期の目黒林分⁸と益子の9林分³がある。いずれも若齢で樹高も低く、しかも高立木密度をもっている。

以上から後者のグループが前者グループと違うのは、高立木密度である。

また、春の落葉を解析するのに参考になるのは枯死する葉齢についての資料である。浅川林分での調査によると、秋に当年生葉が枯死して小ピークを示し、（枯れずに残った葉は）翌年の夏に1年生葉の枯死としてあらわれている³。秋型では大島・渡辺の調査¹²から、開葉して2年目の秋に1年生葉が大量に枯死し、（残った葉が）翌年の春と晩夏～初秋に2年生葉の枯死が認められる。両結果から、何年目の葉が枯れるか

Table 3 Annual leaf-fall rates of Japanese red pine stands (t/ha·yr)

Stands	R 4	R 7	T 6	T 8
1979	2.953 ± 0.344	—	—	—
1980	3.674 ± 0.744	—	—	—
1981	3.002 ± 0.421	2.376	—	—
1982	2.877 ± 0.470	2.324	2.586 ± 0.401	2.101 ± 0.233
1983	—	—	2.300 ± 0.217	1.911 ± 0.164
Mean	3.127	2.350	2.443	2.006

Figures represent mean values with standard deviation.

Period of survey: 1979: April 6, 1979–April 23, 1980; 1980: April 23, 1980–April 23, 1981; 1981: April 23, 1981 (for Stand R 7, March 27) –April 2, 1982; 1982: April 2, 1982 –April 6, 1983; 1983: April 6, 1983–March 27, 1984.

は立木密度に関係がありそうである。

以上をまとめると、立木密度が極端に高い、若いアカマツ林分を考えた場合、密度効果として葉の寿命の短縮がおこり、春の落葉が顕著にあらわれると考えられる。これを次に説明する。

立木密度 ρ が高いほど、その逆数で示される個体の平均占有面積 $1/\rho$ は狭くなる。極端に高密度で生育するアカマツでも、密度効果により輪生分枝、分枝数、シュート上の葉の着き方は変わらない。個葉の長さ、葉密度（単位シュート当たりの葉枚数）、1シュートの葉枚数、シュートの伸長量などは短く（少なく）なる可能性がある。しかし、これらは前年の生育期間に形成される芽に依存して決まるものである。以上の形態上の特徴から、アカマツは他の樹種に比べて狭小空間での生育に適応しにくいのではないかと考えられる。さらに、アカマツのような陽性の樹種は一斉林型をとるのでなおさらである。林分の上方向への成長によって下層葉群が陽光不足となり、その結果生育期に落葉盛期を示すのであろう。

以上の仮定と既報の資料はどのような関係にあるのかをみるために示したのがFig. 7である。この図はアカマツ林分の平均樹高と個体の平均占有面積 $1/\rho$ の関係をあらわす。資料は本調査林分のほかにも落葉調査を行なった林分で両要因の明らかなもの^{3)・6)・8)・15)}、落葉調査を行っていないが主要なアカマツ林分^{19)・23)}である。このFig. 7で、落葉盛期が秋に出現する最低の占有面積は $0.7\text{ m}^2/\text{tree}$ 程度、立木密度では $15,000/\text{ha}$ と考えた。春のピークの変形した落葉型をもつ浅川林分³⁾と目黒林分⁸⁾はこの境界値より小

いし、益子の9林分もすべて占有面積が $0.8\text{ m}^2/\text{tree}$ より小さい³⁾。一方、秋型の10年生の豊橋林分は占有面積 $1.7\text{ m}^2/\text{tree}$ と大きかった¹⁵⁾。同様に、好摩15年生林分⁴⁾も境界値より大きい。この好摩林分の立木密度の異なる5調査区では、密度の高い、すなわち $1/\rho$ の小さい調査区ほど春季のピークが大きい傾向が認められる⁴⁾。

両要因が記載されていないためFig. 7にかけない資料をみると、秋型の菊間林分（択伐前）¹¹⁾の占有面積は $25\text{ m}^2/\text{tree}$ 前後、沖田林分^{7)・17)}は $1.4\text{ m}^2/\text{tree}$ 、赤沼30年生林分⁸⁾も平均樹高が 13.9 m なので占有面積は $3\text{ m}^2/\text{tree}$ をこえるであろう。以上のように個体の占有面積の狭小さが葉の寿命の短縮を引き起こして落葉盛期を決定すると考えた。これは密度効果である。

2. 年間落葉量の違い

本調査林分の年間落葉量を年ごとにTable 3にまとめた。この年度は、4月から翌年3月までとして、ここには秋季の落葉盛期を一つふくんでいる。年間落葉量は $1.9\sim 3.7\text{ t/ha}\cdot\text{yr}$ の範囲にあり、林分ごとの平均は 2.0 (T 8) ~ 3.1 (R 4) $\text{ t/ha}\cdot\text{yr}$ で、若い林分の方が高い傾向があった。また、年次変動も小さい。

既報の資料では、春の落葉盛期が肥大したタイプの林分ほど年間落葉量は多い傾向があり (Fig. 8)、林分平均値 (±標準偏差) は $5.30\pm 1.34\text{ t/ha}\cdot\text{yr}$ (資料数13) になる。一方、今回の調査を含めた秋型の林分では平均 $2.96\pm 0.96\text{ t/ha}\cdot\text{yr}$ (同42) で、前者タイプの値とに有意差がある ($P<0.05$)。秋型の豊橋10年生林分は、Iで述べた理由から、この平均値に含めていないが $3.4\text{ t/ha}\cdot\text{yr}$ ¹⁵⁾ である。秋型のな

かには好摩15年生林分の4.1~5.1 t/ha・yr⁹⁾, 越畑約20年生林分の5.2 t/ha・yr¹⁰⁾と多いものがあるが, これらの林分は5月または7~9月の落葉量が比較的多いのが特徴である。

以上から, 年間落葉量と落葉の季節型(春型と秋型)との間に関係のあることがわかった。

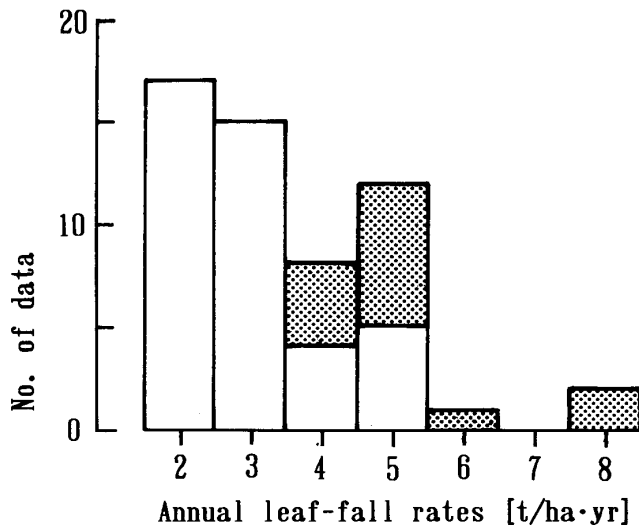


Fig. 8. Annual leaf-fall rates of Japanese red pine stands

Open areas represent stands with the autumn peak after growing season (mean ± S. D.: 2.96 ± 0.96 t/ha・yr for 42 data of reference Nos. 2, 4-11 and this study).

Shaded ones represent dense or immature stands with the peak of growing season (mean ± S. D.: 5.30 ± 1.34 t/ha・yr for 13 data of reference Nos. 3 and 8).

引用文献

- 1) 齋藤秀樹 (1981): 森林におけるリターフォール研究資料. 京都府大演習林報 25: 78-89.
- 2) ANDO, M. (1970): Litter fall and decomposition in some ever-green coniferous forests. Jap. J. Ecol. 20: 170-181.
- 3) 蜂屋欣二・藤森隆郎・棚秋一延・安藤 貴(1966): アカマツ幼齡林の葉量および落葉量の季節変化. 林試研報 191: 101-113.
- 4) 佐藤昭敏・加藤亮助 (1968): アカマツ幼齡林における落葉落枝の量季節変化(予報). 20回日林東北支講: 54-57.
- 5) 千葉春美・石井幸夫 (1969): テーダーマツとアカマツ林分における落葉量と土壌について. 日林誌 51: 325-327.
- 6) 村井 宏 (1970): 森林植生による降雨のしゃ断についての研究. 林試研報 232: 25-64.
- 7) 佐藤大七郎 (1970): アカマツ林の一次生産力(季節変化・合同調査). 昭和44年度 JIBP-PT-F中間報告(佐藤編): 33-43.
- 8) 河原輝彦 (1976): リターの分解について(IV). 日林誌58: 353-359.
- 9) 千葉喬三: 未発表資料(千葉喬三・堤 利夫(1967): 森林の土壌呼吸に関する研究(I). 京都大演習林報 39: 91-99に一部記載).
- 10) 河原輝彦 (1971): Litter fall による養分還元量について(II). 日林誌 53: 231-238.
- 11) 山本 武・山畑一善 (1972): 菊間のマツ択伐経営に関する研究(11). 愛媛大演習林報 9: 1-10.
- 12) 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属における季節的落葉型式とそれらの獲得. 京都大演習林報 60: 53-66.
- 13) 関口 一・野川 覚・齋藤秀樹・竹岡政治 (1986): 壮齡アカマツ林の花粉生産量. 日林誌 68: 143-149.
- 14) 齋藤秀樹・三嶋陽治・野川 覚・竹岡政治 (1984): 75年生アカマツ林の花粉生産速度. 京都府大学報・農 36: 9-18.
- 15) 大政正隆・森 経一 (1937): 落葉に関する二, 三の研究. 林業試験報 3: 39-107.
- 16) 齋藤秀樹 (1980): 綿向山山麓にあるヒノキ林のリターフォールの季節変化. 日生態会誌 30: 377-384.
- 17) 佐藤大七郎 (1968): アカマツ林の一次生産力(合同調査). 昭和42年度 JIBP-PT-F 中間報告(佐藤編): 5-26.
- 18) 宮本知子・安藤 貴・谷本丈夫・竹内寛興 (1972): スギの葉の枯れる時期. 83回日林講: 260-262.
- 19) 四手井綱英・佐藤大七郎・浅田節夫 (1966): アカマツ林の林分葉量. 13回日生態大会講演要旨 A110.
- 20) 森 麻須夫・加藤亮介・佐藤昭敏 (1969): 東北地方におけるアカマツ林の保育に関する研究(第IV報). 林試報東北支場年報 10: 211-226.
- 21) 佐藤昭敏・加藤亮介・森 麻須夫 (1971): アカマツ老齡天然生林の生長解析. 82回日林論: 180-182.

- 22) 只木良也・竹内郁雄・河原輝彦・佐藤 明・蜂屋欣二 (1979) : アカマツ天然生除伐試験林の解析 (第3報) 試験の経過と結果. 林試研報 305 : 125-144.
- 23) 蜂屋欣二・竹内郁雄・棚秋一延 (1989) : 高密度のアカマツ林の一次生産の解析. 林試研報 354 : 39-97.

Summary

Middle-aged stands (40, 60, 75 and 85 years old) of Japanese red pine (*Pinus densiflora* BLUME), age for which leaf-fall information is lacking, were studied, and seasonal patterns of leaf-fall, their synchronization among stands and the relationship between leaf-fall season and air temperature were investigated. The results were as follows.

- 1) The peak of leaf-fall in the studied stands occurred in autumn, and in some of them, two separate peaks were seen. A minor peak in May was also recognized.
- 2) Seasonal fluctuations of leaf-fall were synchronized among stands within a local area, regardless of stand age. The nearer the stands were to each other, the more marked was the synchronization.
- 3) The autumn peak occurred earlier in years with low Warmth Index values than in years with high values. Comparison of the present data with those for many stands (WI: 82-130°C·month) previously reported revealed that the peaks occurred earlier with decreasing Warmth Index.
- 4) From data on pine leaf-fall seasons reported previously, data on pine needle fall obtained by OOHATA and WATANABE and the results of this study, Japanese red pine stands in Japan were classified into the autumn type. In several stands with a high density exceeding 15,000 trees/ha or with a ground space of less than 0.7m²/tree, expressed as the mean area occupied by a tree, the May peak expanded into the growing season and the major peak in autumn became a minor one. It was thought that expansion of the May peak resulted from poor adaptability of Japanese red pine to a small growing space, due to morphological characteristics such as branching,

arrangement of needle on shoots, and needle length. This is one of the effects of density and was previously reported as a property of *Pinus* get in the Quaternary period by OOHATA and WATANABE.

- 5) Annual leaf-fall rates (mean : 5.30 ± 1.34 t/ha·yr) in 13 dense stands showing an expanded May peak or growing season were higher than those (mean : 2.96 ± 0.96 t/ha·yr) in 42 stands showing a marked autumn peak.