

カラマツ, シラベ, ヒノキ, ダケカンバ植栽林の
落葉枝量と土壤特性*

山 田 孝 雄**

筑波大学環境科学研究科 〒 305 茨城県つくば市天王台 1-1-1

Litter Fall and Soil Properties of Four Stands of
Larix leptolepis, *Abies veichii*, *Chamaecyparis obtusa*
and *Betula ermanii* in Sugadaira, Central Japan

Takao YAMADA

Master's Program of Environmental Sciences, University of
Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

Synopsis

Litter fall and soil properties were investigated in the four artificial stands of *Larix leptolepis*, *Abies veichii*, *Chamaecyparis obtusa* and *Betula ermanii* in Sugadaira, Central Japan.

Annual solar radiation on the ground surface of these stands was 2.2% in *Chamaecyparis obtusa*, 2.3% in *Abies veichii*, 18.3% in *Larix leptolepis*, and 35.4% in *Betula ermanii* to total solar radiation. Mean annual soil temperature was higher in deciduous forests than that of evergreen conifer forests. The soil organic matter of A₀ layer were 49.5t · ha⁻¹ in *Chamaecyparis obtusa*, 62.6t · ha⁻¹ in *Abies veichii*, 57.0t · ha⁻¹ in *Betula ermanii* and 93.3t · ha⁻¹ in *Larix leptolepis*. The carbon and nitrogen contents of A horizon (0-5cm) were 14.66% and 0.76% in *Chamaecyparis obtusa*, 10.74% and 0.51% in *Abies veichii*, 13.85% and 0.74% in *Betula ermanii*, 15.84% and 0.88% in *Larix leptolepis*. The litter fall per year of these stands was 4.9t · ha⁻¹ in *Abies veichii*, 6.2t · ha⁻¹ in *Chamaecyparis obtusa*, 7.2t · ha⁻¹ in *Larix leptolepis* and 7.4t · ha⁻¹ in *Betula ermanii*. The weight of dead branches, which share a large parts of litter varied from stand to stand, though the weight of leaf litter was rather constant among the stands. The soil respiration per year of these stands was 27.9t · ha⁻¹ in *Chamaecyparis obtusa*, 37.3t · ha⁻¹ in *Abies veichii*, 33.8t ·

*筑波大学菅平高原実験センター研究業績129号

(1989年12月18日受理)

**現住所: 新潟県新潟市五十嵐一の町6370 新潟清心女子高等学校

ha⁻¹ in *Larix leptolepis* and 49.1t · ha⁻¹ in *Betula ermanii*.

Key words: Forest, litter fall, soil organic matter, soil respiration, decomposition.

Bull. Sugadaira Montane Res. Cen. No. 10, 77-95 pp. (1989)

はじめに

本研究は、土壤母材、気候条件が同一の近接した場所に、異なった樹種を植栽した場合、それぞれの土壤がどのような影響を受けるのかを明らかにすることを目的とする。特に、植生の相違が直接影響を与えると思われる落葉枝の供給、蓄積、分解に焦点をあて、土壤有機物の供給と分解という観点から調査を行った(OVINGTON, 1962)。

土壤と森林植生との関係については、すでに多くの研究がある。わが国の森林についても、森林植生と土壤の対応関係を、個別的な野外調査の結果から現象として記載した例は多い(宮川・前田:1961, 渡辺・石垣:1962, 林ら:1979など)。しかし、植栽した森林が土壤にどのような影響を与えるのかを実験的に研究した例はまだ少ない(春田・朝日:1978)。

調査地は長野県菅平にある筑波大学菅平高原実験センター樹木園内のカラマツ(落葉針葉樹)、ヒノキ(常緑針葉樹)、シラベ(常緑針葉樹)、ダケカンバ(落葉広葉樹)の4植栽林とした。

調査地の概況

調査地を設置した筑波大学菅平高原実験センターは、長野県小県郡真田町菅平にあり、北緯36°30′, 東経138°27′, 標高1,300 mに位置する。

菅平地方は、地形的にみると根子岳(2,207 m)、四阿山(2,333 m)の南西斜面に広がる高原状の地域と、西部の大松山の山塊及びその間の盆地状の地域とから成り立っている。菅平の土壤は木曾御岳、白山の火山灰に起源をもつといわれる黒ボク土である。

同センターの記録によれば、過去10年間(1972-1981年)の年平均気温は6.7°C, 平均年降水量は1,121 mmである。暖かさの指数, 寒さの指数(吉良:1949)はそれぞれ59.5°C・月, -37.8°C・月となり、冷温帯に属している。

調査地である同センター樹木園は、戦前、畑地として耕作された後放棄された場所で、1955年、樹木園としての造成が開始されている。今回の調査に使用した各林分は、1959-1964年に植栽さ

Table 1. Mean age of trees, tree density and mean diameter at breast height (DBH) in studied stands.

Stands	Age (yr)	Density (No. · ha ⁻¹)	Mean height (m)	Mean DBH (cm)
<i>Abies veichii</i>	25	1479	11.0	21.7
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	21	1736	6.0	13.7
<i>Larix leptolepis</i>	21	1554	15.5	21.3
<i>Betula ermanii</i>	21	2355	10.5	18.8

れ、その後林内に人為を加えることなく現在に至っている。

樹木園内のシラベ、ヒノキ、カラマツ、ダケカンバの各林分に、1982年10月、調査区を設定した。調査区の面積は、シラベ林13m×13m、ヒノキ林12m×12m、カラマツ林50m×50m、ダケカンバ林9m×9mである。この調査区内の樹齢、立木密度、樹高、胸高直径の調査は、1983年9月に行った (Table 1)。

調 査 方 法

1. 日射量、地温及び凍結深

林内の日射量の測定には、サンステーションシステムを用いた。各林床の中央部で、地上1mの高さにサンステーションを設置し、毎月の積算日射量を測定した。また、林外の日射量は同センターの屋上にサンステーションを設置して測定した。

林内の地温の測定には、最高・最低温度計を用いた。各林床の中央部におけるA₀層とA層の間に最高・最低温度計を設置し、毎月の最高・最低地温を測定した。また、各月の地温の中央値を月平均地温とし、その平均値を月平均地温とした。

各林床の凍結深は、1983年3月に、後述するA層上部土壌のサンプリングと並行して測定した。

2. 林床植生の現存量測定

林木からの落葉落枝とともに、地表への有機物供給源となる林床植生の現存量調査を、1983年9月に行った。ここでは、1m×1mの方形ワクを各林床に2個ずつ設置し、そのワク内に生えている植物をすべて刈り取るという、刈り取り法を用いた。刈り取った植物試料は種を同定した後、80°C、24時間熱風乾燥器で乾燥させ、24時間デシケーター保存して秤量した。

3. 土 壌

i) 土壌断面及び土壌有機物の垂直分布

各林分において、深さ60cmの試孔を各1個掘り、土壌断面を観察した。また、A層以下10cmごとに、深さ50cmまでの土壌を採土管によってサンプリングした。この土壌は風乾後、2mmの篩でふるい、そののち灼熱損量を測定した。

ii) A₀層の有機物蓄積量及びA₀層中の根量

A₀層の中でL層とF層を分別することが困難であったため、この2層の有機物をまとめてLF層とし、それ以外をH層とした。各林床で20cm×20cmのA₀層を毎月1林分あたり5個の割合でサンプリングした。なお、冬期は1ヶ月おきに各林分1個をサンプリングした。LF層とH層は、80°C、24時間熱風乾燥器で乾燥させ、その後24時間デシケーターに保存し、それぞれのサンプルに含まれている根を取り除いた上で秤量した。また、同時にこの根量も秤量した。

iii) A層上部の炭素・窒素含有率、土壌含水率及びpH

各林床でA₀層を取り除いてA層を露出させ、0—5cmの土壌を採土管(100cc)によって採取した。サンプリングは、1983年1月、5月、8月、10月の4回行い、毎回各林分で5個ずつのサンプルを採取した(ただし、シラベ林とヒノキ林の1月分は1個だけ)。この土壌は風乾後、C—Nコーダー(柳本、MT—500)で炭素・窒素含有率を測定した。

1983年7月から11月までの期間中、上述のサンプリング方法により、各林分のA層上部土壌の含水率を測定した。

A₀層を取り除いたA層上部(深さ0—5, 5—10 cm)の土壤を、採土管2個を連続貫入させて採取した。この土壤のpH(KCl)を、ガラス電極法(三田村理研工業製精密デジタルpH・mVメータ・コードNo.10—18)によって測定した。この測定は、1982年10月に行った。

4. 落葉枝供給速度、葉分解速度及び土壤呼吸速度

i) 落葉枝供給速度の測定

地表への落葉枝の供給量をリタートラップ法で測定した。リタートラップは円形フレームに寒冷紗をとりつけた、じょうご形のもので、直径50 cmであった。これを1982年10月、1林分あたり5個、地上1 mの高さに規則的に設置した。大形落枝(直径およそ1 cm以上)は、1林分あたり2個ずつ、別に設置した方形ワク(1 m×1 m)の中から採取した。落葉枝の回収は、1982年11月から1983年10月までほぼ1ヶ月毎(毎月8日頃)に行い、葉・枝・樹皮・球果・その他に分別して、80°C、24時間熱風乾燥器で乾燥した後、24時間デシケーターに保存し、そののち重量を測定した。ここで「その他」としたのは、鱗片、昆虫の糞・死体などのことである。

ii) 葉分解速度及び土壤呼吸速度の測定

林床におけるリターの分解程度を知るため、葉分解速度と土壤呼吸速度を測定した。

1982年11月、各林分のリタートラップにたまったシラベ、ヒノキ、カラマツ落葉を集め、風乾重3.0 gの落葉を寒冷紗で作ったリターバッグ(20 cm×30 cm)に入れ、1983年4月10日に各林床で設置した。試料の量の都合から、シラベ、ヒノキは20袋ずつ、カラマツは5袋作成したが、ダケカンバは作成できなかった。リターバッグの回収は、1983年6月から10月まで毎月行い、1回につき4袋ずつ回収した(カラマツは10月に5袋すべてを回収)。回収したリターバッグは乾燥したのち、内部の葉をとりだし、その重量を測定した。

土壤呼吸速度の測定には、桐田(1971 a)のスポンジ法を用いた。測定容器は直径12.6 cm、高さ23 cmの金属円筒で、KOH溶液の濃度は1 N、測定時間は24時間であった。容器は1林分あたり5個ずつ設置し、A₀層を含む全土壤呼吸速度を測定した。測定期間は1983年6月から10月で、毎月月上旬に測定を行った。

結 果

1. 林内の微気象

i) 日 射 量

Table 2に示すように、林床に到達した年間積算日射量は、ダケカンバ林で最も多く、次いでカラマツ林、シラベ林、ヒノキ林の順となった。これを、林外で測定した値を100とした相対値で比較すると、シラベ林、ヒノキ林で2%、カラマツ林で18%、ダケカンバ林では35%となり、最も日射量の多いダケカンバ林でさえ、林外の半分以下の日射エネルギーしか受けていないことがわかった。また、この値は落葉広葉樹林、落葉針葉樹林、常緑針葉樹林の順に少なくなっており、特に常緑樹林の林床では、わずかな日射エネルギーしか受けていないことが明らかになった。

月別積算日射量をFig. 1に示した。パターンとしては、年間を通してほとんど変化を示さない常緑樹林型と、春先に増加して夏の初めに減少する落葉樹林型に分けることができた。前者では、シラベ林、ヒノキ林ともに日射量が毎月1~5 KWH・m⁻²という低い値で変動しているが、後者ではカラマツ林の日射量が4月から5月にかけて減少するのに対して、ダケカンバ林のそれは5月から6月にかけて減少するという違いがみられた。

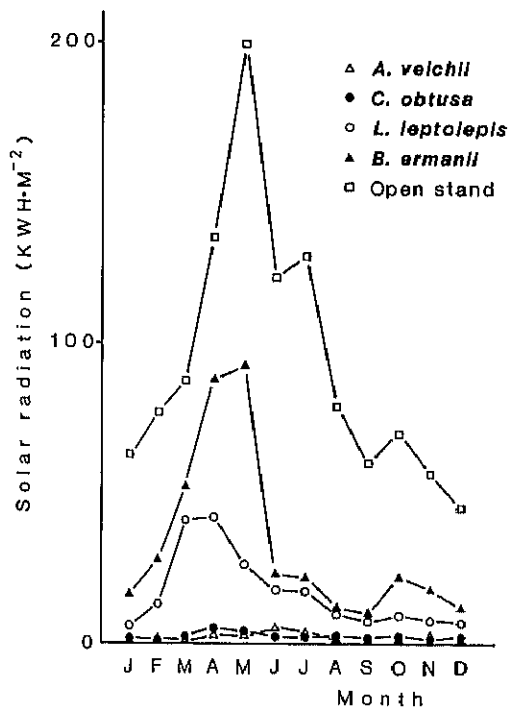


Fig. 1. Seasonal change of solar radiation in the stands.

ii) 地温

Table 2 に示すように、各林分の年平均地温は 6.6°C から 11.2°C の範囲にあり、ダケカンバ林で最も高く、次いでカラマツ林、ヒノキ林、シラベ林の順となることがわかる。

Fig. 2 に、月平均地温と月最高・最低地温の季節変化を示した。月平均地温の最高値は、シラベ林、ヒノキ林、カラマツ林では 8 月にあらわれ、ほぼ 20°C 前後であった。一方、ダケカンバ林では 4 月に最高値 (20°C) に達し、それが 8 月まで続いた。月平均地温の最低値は、どの林分でも 1 月または 2 月にあらわれ、-5°C から -1.6°C までの値を示した。シラベ林、ヒノキ林の月平均地温はそれぞれ 3 月、4 月まで 0°C 以下であったのに対し、カラマツ林、ダケカンバ林では 3 月以降、

Table 2. Mean annual soil temperature, annual solar radiation in studied stands.

Stands	Annual mean soil temp. (°C)	Solar radiation (KWH · m ⁻² · yr ⁻¹)	Relative value (%)
<i>Abies veichii</i>	6.6	26.41	2.3
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	7.6	25.16	2.2
<i>Larix leptolepis</i>	9.7	205.76	18.3
<i>Betula ermanii</i>	11.2	398.87	35.4
Open stand	—	1126.91	100.0

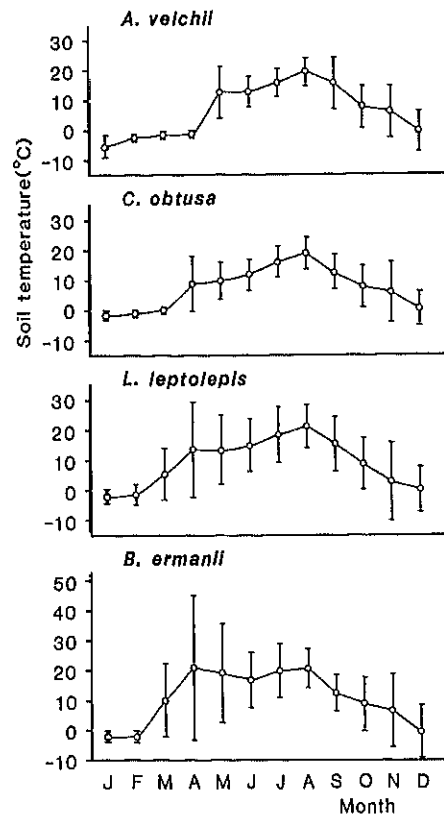


Fig. 2. Seasonal change of monthly mean temperature at A horizon of soil of the stand.

急速に地温が上昇した。また、常緑樹林は落葉樹林よりも最高—最低の幅が概して小さかった。

iii) 凍結深

1983年3月に測定した土壌の凍結深を Fig. 3 に示す。常緑樹林であるシラベ林、ヒノキ林では、地表面からそれぞれに12—13、12—14 cm と、 A_0 層のみでなく A 層の一部まで凍結していた。これに対して、落葉樹林であるカラマツ林、ダケカンバ林ではそれぞれ4—5、2—3 cm と、凍結していたのはごく表面の A_0 層のみで、A 層は凍結していなかった。

以上みてきた各林内の微気象から、次のことが考えられる。

植栽後約20年を経過し、ほぼ成林状態に達したとみなせる各林分の微気象は、まず各林分が落葉樹林であるか常緑樹林であるかによって、日射量が異なる。同じ落葉樹林でも、開葉期がダケカンバよりもおよそ1ヶ月早いカラマツの林分では、その分だけ日射量の低下が早くなった。ここでは、樹型の問題も関与しているものと思われる。すなわち、ダケカンバでは地上8m付近で大きく枝分れしているが、カラマツでは地上およそ2mまで枝が分れていることも考慮しなければならぬだろう。常緑樹林では樹冠が閉じたままなので、その林床では年間を通して、わずかな日射エネルギーを受けるに過ぎない。

地温、凍結深においては、雪の多寡も影響していると思われる。というのは、落葉してしまっ

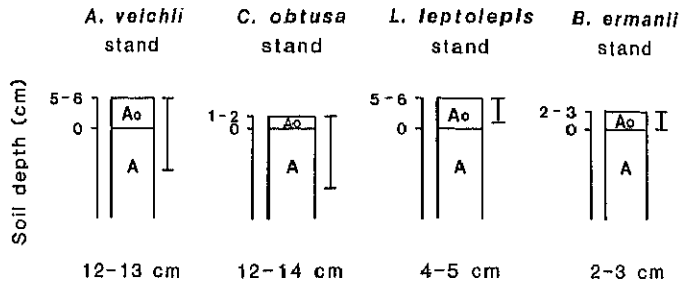


Fig. 3. The depth of soil freezing layer of the studied stands in March 1983.

ているカラマツ林，ダケカンバ林の林床には，樹冠が閉じたままである常緑樹林の林床にくらべて，多くの積雪があった。この雪のせいで，特に落葉樹林の林床では雪の保温作用が働き，地温の低下が妨げられ，その結果としてA₀層のみが凍結している可能性もある。

2. 林床植生の現存量

林床植生の現存量が最大になっていると考えられる1983年9月に，地上部の現存量測定を行った結果，カラマツ林では乾重にして124.2 g・m⁻² (1.2 t・ha⁻¹)，ダケカンバ林では143.0 g・m⁻² (1.4 t・ha⁻¹)の値が得られた。前者の林床では，タチツボスミレ，イネ科・カヤツリグサ科の草本が優勢であり，後者の林床では，ヨモギ，イネ科・カヤツリグサ科の草本が優勢であった。

なお，シラベ林，ヒノキ林では林床植生の存在が認められなかった。これは，シラベ林とヒノキ林の林床が年間を通して，ほとんど日射を受けないため，林床植生が入りこめなかったものと考えられる。

3. 土 壤

i) 土壌断面及び土壌有機物の垂直分布

土壌断面の層位の模式図及び土色をFig. 4に示した。厚く，黒いA層の形態から，火山灰由来の黒ボク土とみなすことができる。A₀層はカラマツ林，ダケカンバ林でそれぞれ厚さ8 cmで

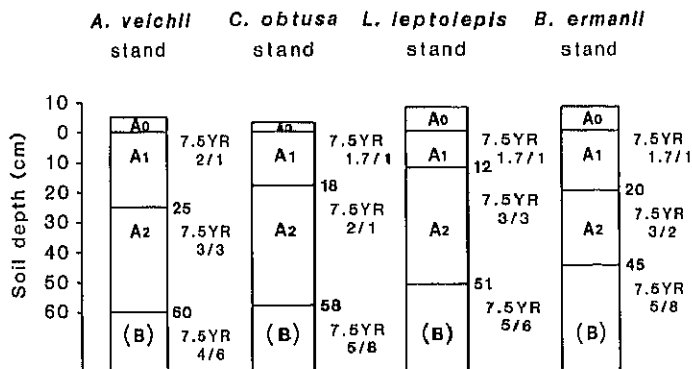


Fig. 4. The soil profile of the stands.

あったが、シラベ林とヒノキ林ではうすく、特にヒノキ林では約3 cmしか存在していなかった。A₁, A₂ 層を含めたA層は、各林分で45–60 cmの厚さを示すが、シラベ林–ヒノキ林よりもカラマツ林–ダケカンバ林の方が、ややうすくなっていた。真下(1973)の試案によってA₁, A₂, (B)層の土色から判断すると、ヒノキ林の炭素含有率が他の3林分よりもやや高いように思われる。

深さ50 cmまでの土壌有機物の垂直分布を灼熱損量(%)で示したのがFig. 5である。4林分とも深さ0–5 cmの灼熱損量は、およそ30–32%の間にあった。どの林分でもその量は深さとともに減少していくが、ダケカンバ林では特にその傾向が著しく、35–40 cmの深さで11.5%にまで減少した。同じ深さでは、シラベ林18.7%, ヒノキ林20.7%, カラマツ林16.8%であった。

ii) A₀ 層の有機物蓄積量及びA₀ 層中の根量

A₀ (L+F+H) 層の有機物蓄積量の季節変化を、標準誤差とともにFig. 6に示す。図中、点を打った部分はLF層、それより下がH層のそれぞれ有機物蓄積量を示す。また、破線は年平均A₀ 層蓄積量を示す。

A₀ 層, LF層, H層の各蓄積量は、それぞれ値の変動が大きいため、季節変化のパターンを明らかにすることはできないが、破線で示したA₀ 層の有機物蓄積量の平均値をくらべてみると、シラベ林62.6 t·ha⁻¹, ヒノキ林49.5 t·ha⁻¹, カラマツ林93.3 t·ha⁻¹, ダケカンバ林57.0 t·ha⁻¹となりカラマツ林で特に多かった。

これらの値を内田(1959)による北海道の針葉樹林、丸山ら(1977)による苗場山のブナ林、中根(1978)による大台ヶ原のブナ–ウラジロモミ林について報告された例と比較すると、内田、丸山らの値に近い値であった。すなわち、内田は30–90 t·ha⁻¹, 丸山らは標高1,200 m及び1,500 mでおよそ81 t·ha⁻¹と報告している。これに対して、中根は標高1,500 mでおよそ16 t·ha⁻¹と報告している。また、中根(1980 b)は熱帯多雨林で4.5 t·ha⁻¹とも報告しているが、この値は本結果の中で最低を示すヒノキ林の約10分の1という値であった。

A₀ 層中の根量の季節変化を、標準誤差とともにFig. 7に示す。

これもA₀ 層の有機物蓄積量と同様、値の変動が大きいが、8月の平均値でくらべてみると、ど

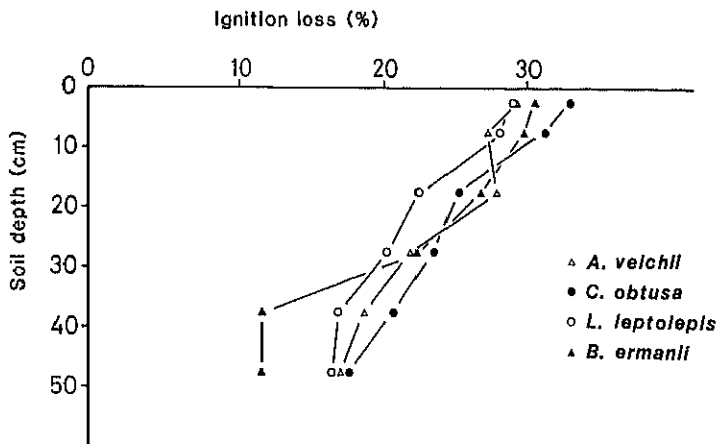


Fig. 5. The ignition loss of soils in the stands.

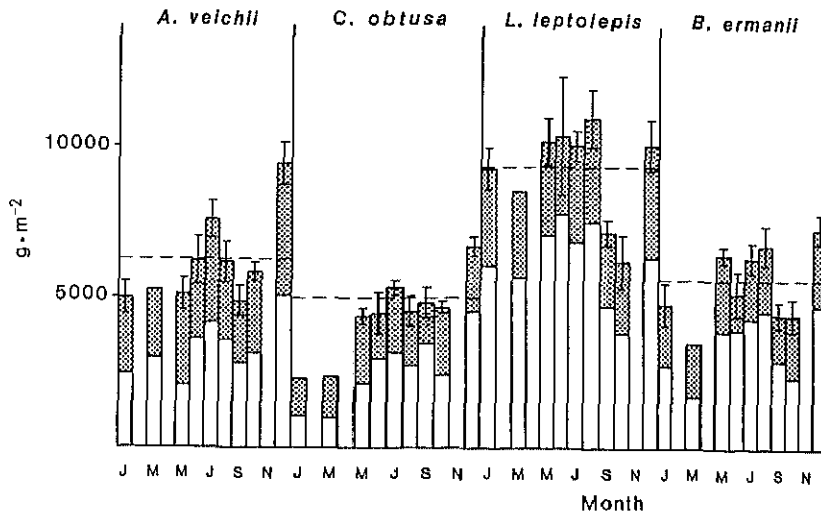


Fig. 6. Seasonal change of soil organic matter $g \cdot m^{-2}$ in the stands.

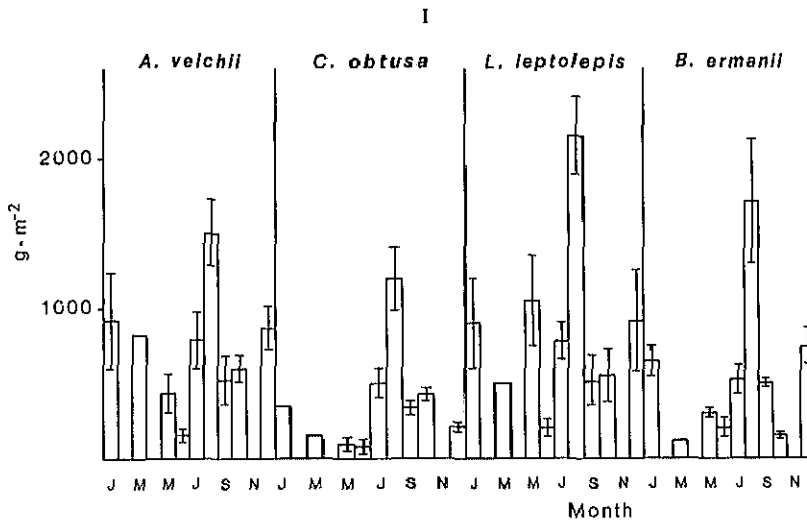


Fig. 7. Seasonal change of root mass ($g \cdot m^{-2}$) in the A_0 horizon of soil in the stands.

の林分でも $1 m^2$ あたり乾重で約 $1-2 kg$ の根が存在することがわかる。また、傾向としては4林分ともに8月に最大値を示した。

iii) A層上部の炭素・窒素含有率、土壤含水率及びpH

Fig. 8に炭素含有率, Fig. 9に窒素含有率, Fig. 10にC/N比のそれぞれ季節変化を、標準誤差とともに示した。シラベ林、ヒノキ林の1月分のデータは1サンプルの値であるため、標準誤差

はついていない。この結果をみると、各林分内の炭素及び窒素含有率はほぼ一定であり、カラマツ林が最高値、シラベ林が最低値、ヒノキ林とダケカンバ林は、前述2林分の中間的な値を示した。

1983年7月から11月までの土壌含水率の月変化をFig. 11に示し、それぞれの値と標準誤差をTable 3に示した。月変化では、4林分とも同じ傾向を示したが、8月に明らかな土壌含水率の低下がみられた。

各林分の深さ0—5、5—10 cmにおける土壌pHの値を、標準誤差とともにTable 4に示した。4林分のpHは、4.52から4.89の間にあり、ほぼ同様の値を示したが、カラマツ林だけが他の3林分よりもわずかに中性へ傾いており、有意な差が認められた ($P < 0.05$)。しかし、各林分内でpHの範囲(最高値—最低値)をくらべてみると、シラベ林、ヒノキ林、カラマツ林、ダケカンバ林で0.22、0.16、0.19、0.22となり、各林分とも差があるとは言い難い。

Table 3. Soil water content in percent with standard error at the surface layer of 10cm deep of studied stands. Measurement was carried out in the period from July to November 1977.

Stands	Soil depth (cm)	Jul.	Aug.	Month Sep.	Oct.	Nov.
<i>Abies veichii</i>	0—5	47.9	45.4	49.2	48.9	46.3
		±0.8	±1.2	±0.2	±0.8	±0.4
	5—10	46.3	45.0	48.1	47.3	46.1
		±0.1	±1.1	±0.4	±0.7	±0.3
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	0—5	47.1	45.1	47.9	48.0	46.4
		±0.7	±0.3	±0.5	±0.6	±0.4
	5—10	49.4	47.1	50.3	50.0	48.8
		±0.7	±0.6	±0.5	±1.0	±0.5
<i>Larix leptolepis</i>	0—5	49.2	45.2	53.0	51.4	51.2
		±0.5	±0.8	±0.7	±1.4	±0.7
	5—10	49.4	43.3	50.9	49.0	49.1
		±0.9	±0.8	±1.0	±1.1	±1.3
<i>Betula ermanii</i>	0—5	48.8	44.7	47.1	48.3	47.9
		±0.5	±0.7	±1.3	±0.2	±0.4
	5—10	50.8	47.4	50.9	51.6	52.5
		±0.9	±0.9	±0.7	±1.4	±1.0

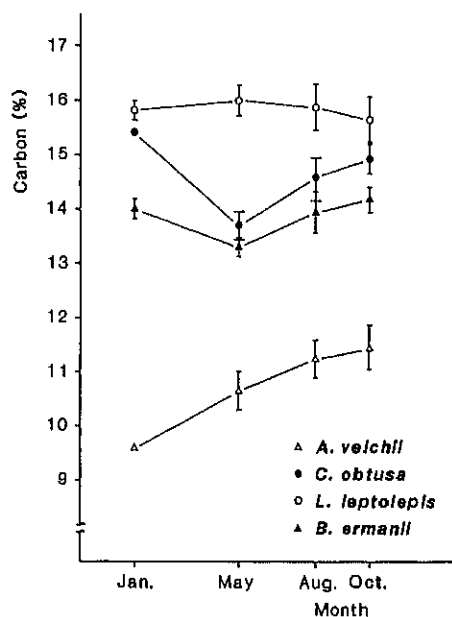


Fig. 8. Seasonal change of soil carbon contents (% in dry weight base) in the surface layer of 5cm deep of the stands.

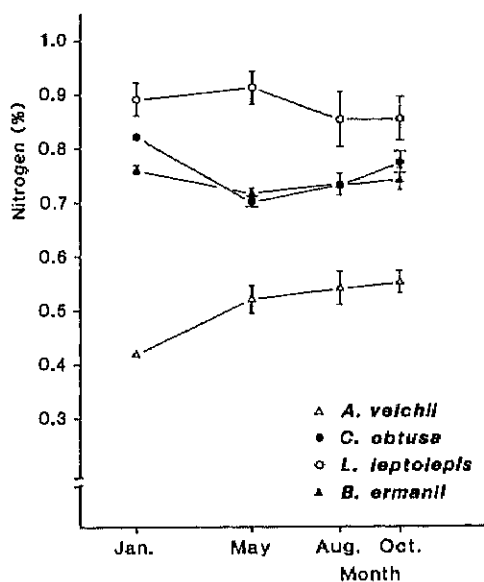


Fig. 9. Seasonal change of soil nitrogen contents (% in dry weight base) in the surface layer of 5cm deep of the stands.

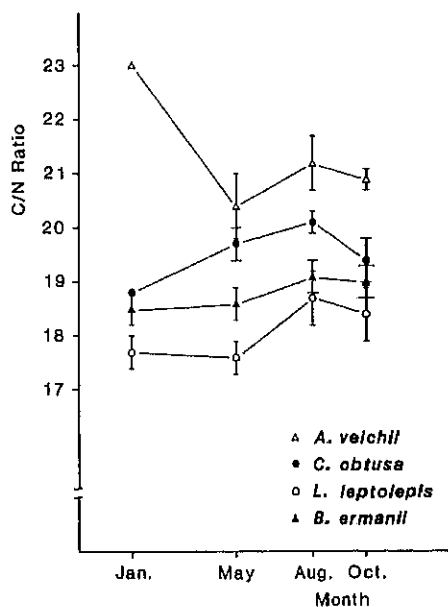


Fig. 10. Seasonal change of carbon/nitrogen ratio of soils in 5cm deep of the stands.

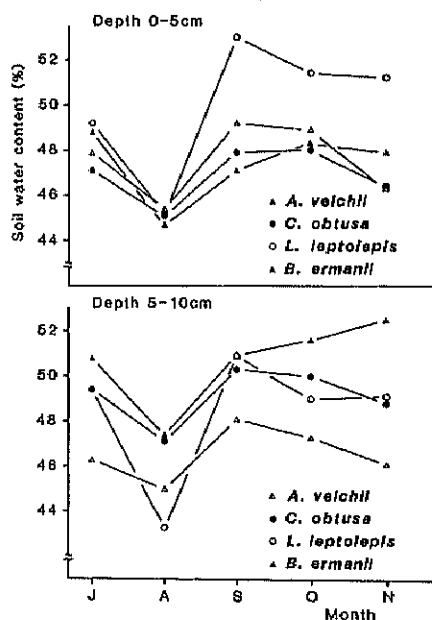


Fig. 11. Seasonal changes of soil water contents in A horizon (0cm-10cm) of studied stands.

Table 4. Mean pH value with standard error at A-horizon of soil of studied stands (Oct. 1982).

Stands	pH	
	0—5 cm	5—10cm
<i>Abies veichii</i>	4.56±0.05	4.56±0.03
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	4.52±0.04	4.59±0.04
<i>Larix leptolepis</i>	4.89±0.04	4.87±0.02
<i>Betula ermanii</i>	4.64±0.04	4.60±0.03

4. 落葉枝供給速度、葉分解速度及び土壤呼吸速度

i) 落葉枝供給速度

各林分の年間総落下量とその内訳を Table 5 に示した。年間総落下量は、シラベ林 $491.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ($4.9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$)、ヒノキ林 $617.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ($6.2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$)、カラマツ林 $716.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ($7.2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$)、ダケカンバ林 $744.9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ($7.4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) であった。常緑樹林にくらべ、落葉樹林の方が多いことがわかる。シラベ林の年間総落下量が他の3林分より少ないのは、落枝量が非常に少なかったためである(落葉量は、4林分中で最も多い)。落下量を器官別にみると、シラベ林では葉が多く枝が少ないのに対して、ヒノキ林、カラマツ林では葉が少なく枝が多い。一方、ダケカンバ林は葉と枝の量がほぼ等しく、ダケカンバ以外の葉、樹皮なども多い。このように、各林分で落下物の内容が異なっていた。年間落葉量は、シラベ林 $3.1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、ヒノキ林 $2.6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、カラマツ林 $2.3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、ダケカンバ林 $2.7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ となった。これらの値を大政・森(1937)、只木・香川(1968)、四手井ら(1974)が報告した値と比較すると、ほぼ似た値を示している。すなわち、年間落葉量について大政・森は、ヒノキ林で $0.3\text{--}3.5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、カラマツ林で $2.3\text{--}3.9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ と報告し、只木・香川はヒノキ林で $3.4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ と報告している。また、四手井らは常緑針葉樹林で $3.4 \pm 2.5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、落葉針葉樹林で $2.7 \pm 0.6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、落葉広葉樹林で $3.2 \pm 2.0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ と報告している。

落下量の月変化を Fig. 12 に示した。合計量は4林分とも秋季集中型のパターンを示した。ヒノキ林とカラマツ林では、1月から4月にかけても合計量が少なくないが、それは主に枝の落下による。また、ダケカンバ林では5月及び8月にも、小さなピークがあらわれた。これは後ほども述べるが、この2ヶ月に落枝が集中しているためである。

Table 5. Mean weight of litter with standard error fallen into the stands of *Abies veichii*, *Chamaecyparis obtusa*, *Larix leptolepis* and *Betula ermanii*.

Stands	Litter weight ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$)			
	Leaves	Branches	Others	Total
<i>Abies veichii</i>	306.9±37.0	83.7±0.8	101.0±20.6	491.6±56.2
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	261.6±38.0	302.8± 7.3	52.6±13.8	617.1±54.6
<i>Larix leptolepis</i>	230.4± 5.2	470.2± 8.0	15.5± 1.9	716.1± 9.7
<i>Betula ermanii</i>	274.4±14.0	274.9±12.9	195.6±27.6	744.9± 9.0

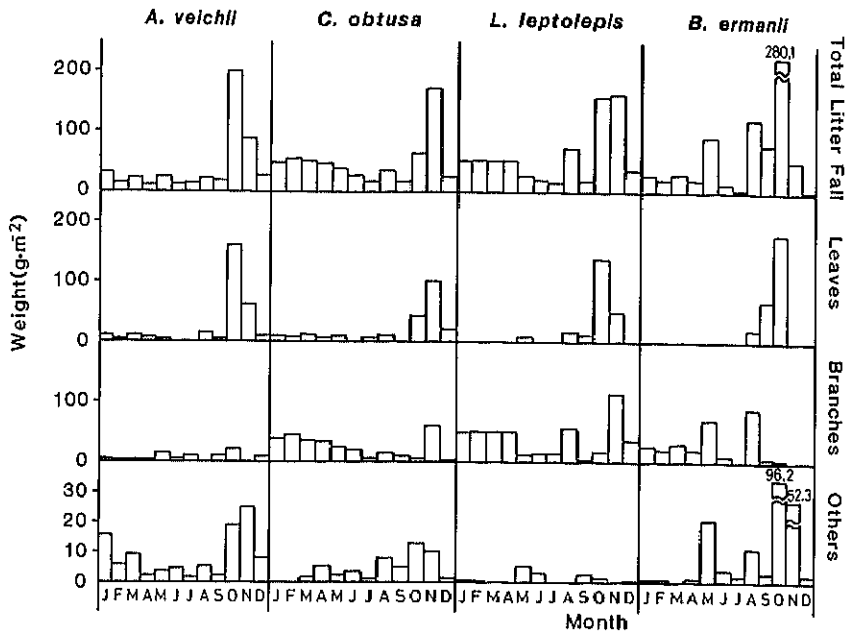


Fig. 12. Monthly change of the litter fall in the stands.

各器官別の落下量の月変化をみると、次のようになる。

葉の落下量は、すべての林分で10月もしくは11月にピークが集中している。カラマツ林、ダケカンバ林は、この2ヶ月間で年間落葉量の80%、90%を占め、シラベ林、ヒノキ林はそれぞれ75%、60%を占めた。

落枝量はシラベ林で非常に少なく、落下物のほとんどを葉が占めていた。ヒノキ林は、1月から8月頃まで少しずつ枝を落とし、11月に多量の枝を落とす。また、カラマツ林、ダケカンバ林も同様に、1月から4—5月までに枝を落とすが、8月にも落枝が起こっている。8月の落枝は、ともに台風5号の影響と思われる。ヒノキ林では、8月の台風の影響がみられない。

鱗片、樹皮、球果、動物の糞などのような「その他」の量に含まれる物質の落下は、シラベ林では10、11月に多い。これは鱗片の落下によるものである。ダケカンバ林で5、10月に多いのは、5月には花序、10月には他の落葉広葉樹の葉が入りこんだせいである。また、カラマツ林では、この量が他の3林分とくらべて極めて少ない。

ii) 葉分解速度及び土壌呼吸速度

リターバッグ法によって、シラベ、ヒノキ、カラマツの葉分解率を調べた結果がFig. 13である。常緑樹であるシラベ、ヒノキの葉の分解率にはほとんど差がなく、リターバッグ設置後176日目には、それぞれ約70%に減少していた。これに対してカラマツ葉は、分解していく過程は不明だが、176日後において約57%に減少していた。

各林分の土壌呼吸速度が、最高もしくはそれに次ぐ値となっている1983年8月の値を、標準誤差とともにTable 6に示し、6月から10月までの月変化をFig. 14に示した。8月の土壌呼吸速度は、シラベ林が $875 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$ 、ダケカンバ林が $840 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$ と高い値を示

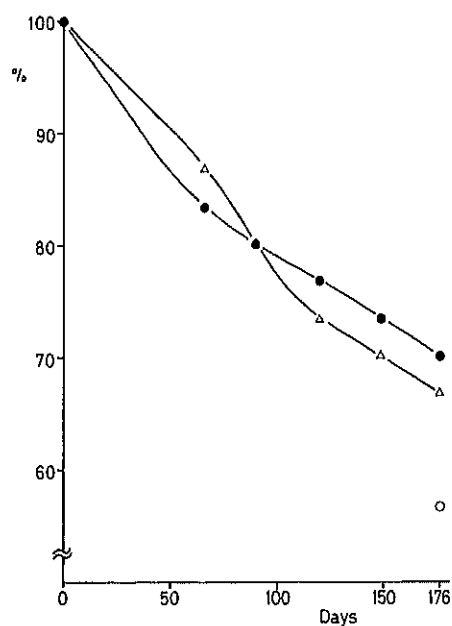


Fig. 13. Decrease in weight (%) of the leaf litters of *Abies veichii*, *Chamaecyparis obtusa* and *Larix leptolepis* using litter bag method.

Table 6. Mean soil respiration rate with standard error in the studied stands in August 1983.

Soil respiration rate ($\text{mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$)	
<i>Abies veichii</i>	875.1 ± 37.0
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	500.7 ± 12.0
<i>Larix leptolepis</i>	640.7 ± 44.3
<i>Betula ermanii</i>	839.6 ± 43.1

した。ヒノキ林は $500 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$ と最も低い値を示し、カラマツ林はその中間的な値であった。月変化の方ではシラベ林が8月に、ヒノキ林が7月に、カラマツ林とダケカンパ林が9月にそれぞれ最高値を示した。

考 察

林内の微気象、すなわち林内日射量、地温及び土壤凍結深を4林分について比較してみると、常緑樹林（シラベ林—ヒノキ林）と落葉樹林（カラマツ林—ダケカンパ林）では、明瞭な違いの

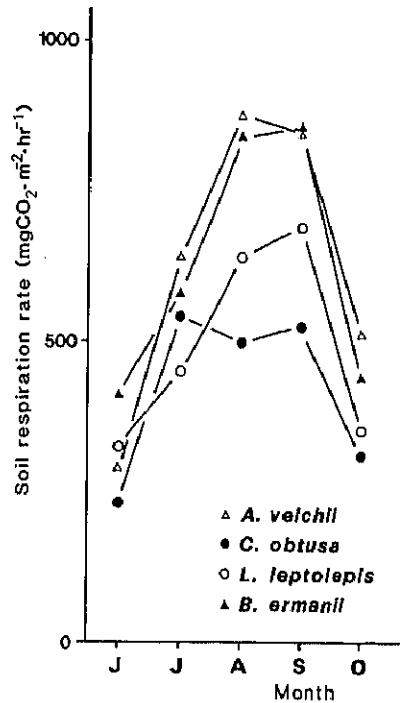


Fig. 14. Monthly change of soil respiration rate of studied stands from June to October 1983.

あることがわかった。すなわち、林内日射量の年間積算値 ($\text{KWH} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$) は、常緑樹林ではシラベ林 26.41, ヒノキ林 25.16 であったのに対して、落葉樹林ではカラマツ林 205.76, ダケカンバ林 398.87 となり、明らかに異なっていた。地温については、月平均値が 0°C 以上の積算値 ($^\circ\text{C} \cdot \text{月}$) で比較すると、常緑樹林ではシラベ林 89.8, ヒノキ林 93.6 となるのに対して、落葉樹林ではカラマツ林 119.8, ダケカンバ林 137.7 となり、ここでも違いがみられた。さらに、土壌凍結深ではシラベ林, ヒノキ林で 12–13, 12–14 cm, カラマツ林, ダケカンバ林で 4–5, 2–3 cm を示し、常緑樹林では A 層中まで凍結していたのに対して、落葉樹林では A₀ 層内だけが凍結していた。このうち、落葉樹林について、落葉針葉樹林 (カラマツ林) と落葉広葉樹林 (ダケカンバ林) では、後者の方が林内日射量, 地温ともに大きい。しかし、一般的にこのような傾向があるかどうかは、現段階ではデータの数が少なく、まだ結論はだせない。いずれにせよ、同一の気候条件にあり、しかも近接した場所にある森林でも、そこに生育する樹種が異なれば独特の微気象が成立することを意味している。

この微気象, 特に林内日射量の違いは林床植生の成立に関与している。1 年間で $25\text{--}26 \text{ KWH} \cdot \text{m}^{-2}$ 程度 (外光の約 2%) の日射量しか透入しないシラベ林, ヒノキ林で林床植生が認められないことから、これは明らかである。

4 林分について、地表への有機物の供給という点から比較すると、年間落葉枝量はシラベ林 4.9, ヒノキ林 6.2, カラマツ林 7.2, ダケカンバ林 7.4 ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) となり、落葉樹林の方が常緑樹林よ

り大きい値を示した。4 林分の落葉枝を葉、枝、その他の3部分に分けた時、その年間落葉枝量の多少は、枝とその他の量の多少によって異なる。すなわち、落葉量だけを比較すると、4 林分では大きな差はない。これに対して、落枝量ではシラベ林が $83.7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ と最も少なく、最大値を示すカラマツ林は $470.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ であった。また、ヒノキ林、ダケカンバ林はこれらの中間的な値を示し、各林分で大きく異なっていた。落枝量と同様、その他の量にも違いがあった。すなわち、最小値を示すカラマツ林では $15.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ であったのに対して、最大値を示すダケカンバ林では $195.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ と約13倍の値を示し、シラベ林、ヒノキ林でも $101.0, 52.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ と異なっていた。

さらに、林床植生の有無という違いがある。林内日射量が極端に少ない常緑樹林では林床植生は認められなかったが、豊富な日射量が透入する落葉樹林には林床植生が認められた。林床植生の現存量が最大になる9月の値を、1年間で林床植生から地表へ供給される有機物のすべてと考えると、シラベ林、ヒノキ林でこの値がゼロを示したのに対して、カラマツ林では $1.2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、ダケカンバ林では $1.4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ を示した。この値と年間落葉枝量との和、すなわち各林分において地表へ供給される有機物の総量 ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$) は、シラベ林4.9、ヒノキ林6.2、カラマツ林8.4、ダケカンバ林8.8となり、落葉樹林の値が常緑樹林のそれよりも、明らかに大きい値を示した (Table 7)。

次に、OLSON (1963) の式を用いて、 A_0 層の分解率を求めた。

M_0 を単位面積あたりの物質質量すなわち A_0 層の有機物蓄積量、 L を収入速度すなわち年間の有機物供給量、 k を支出の速度すなわち A_0 層の分解率、 t を時間すなわち植栽してからの年数とすれば、

$$M_0 = (L/k) (1 - e^{-kt})$$

ここで、 M_0 には年平均 A_0 蓄積量を用いた。また、 t にはシラベ林25、シラベ林以外の3林分には20を便宜的に用いた。

L として、年間落葉枝量と林床植生からの有機物量すなわち $L = Lt + Lh$ を用いると、分解率を示す k 値 (yr^{-1}) は、シラベ林0.060、ヒノキ林0.110、カラマツ林0.065、ダケカンバ林0.145となった (Table 7)。つまり、 A_0 層の分解率は、ダケカンバ林 > ヒノキ林 > カラマツ林、シラベ林の順であった。これらの値は、中根 (1978) の大台ヶ原ブナウラジロモミ林のデータを用いて

Table 7. Annual litter fall ($Lt: \text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$), maximum phytomass of herb layer ($Lh: \text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), root mass in A_0 horizon of soil in August ($Lr: \text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), soil organic contents in A_0 horizon ($M_0: \text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) and decomposition rate of the soil organic matter ($k: \text{yr}^{-1}$). $L: Lt + Lh$, $L': L + Lr$, k' : see text.

Stands	Lt	Lh	Lr	L	L'	M_0	k	k'
<i>Abies veichii</i>	4.9	—	15.0	4.9	19.9	62.6	0.060	0.32
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	6.2	—	12.0	6.2	18.2	49.5	0.110	0.37
<i>Larix leptolepis</i>	7.2	1.2	21.4	8.4	29.8	93.3	0.065	0.32
<i>Betula ermanii</i>	7.4	1.4	17.0	8.8	25.8	57.0	0.145	0.45

Lt : 年間落葉枝量 ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$), Lh : 林床植生の最大現存量 ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), Lr : 8月において A_0 層中に含まれる根量 ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), L : 地表への総落下量 ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), L' : $L + Lr$, M_0 : A_0 層における年平均有機物蓄積量 ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), k : A_0 層の分解率 (yr^{-1}), k' : A_0 層の分解率 (yr^{-1})

計算した値 ($k=0.280 \text{ yr}^{-1}$) より、かなり小さいといえる。

また、8月における A_0 層中の根 (L_r) がすべて枯死すると仮定し、年間有機物供給量 (L) にこの値を加えた値すなわち $L'=L_t+L_h+L_r$ とすると、 k' 値 (yr^{-1}) はシラベ林 0.32, ヒノキ林 0.37, カラマツ林 0.32, ダケカンバ林 0.45 となった (Table 7)。

この k' 値 (yr^{-1}) を、リターバッグによる実験結果と比較すると、リターバッグの方ではおよそ半年間でシラベ葉とヒノキ葉の 30—33%が、カラマツ葉の 43%が減少しており、 k' 値をほぼ支持する値であった。しかし、この結果ではカラマツ葉の分解率が、シラベ葉とヒノキ葉のそれよりも大きくなっており、 A_0 層の分解率を示す k' 値の傾向 (ダケカンバ林 > ヒノキ林 > シラベ林, カラマツ林) とは逆転していた。これはリターバッグのメッシュサイズが大きすぎたため、カラマツ葉が調査期間中に脱落した結果ではないかと考えられる。また、 A_0 層中に存在しているのは葉だけではないため、リターバッグの結果をそのまま A_0 層の分解率と結びつけるには無理がある。さらに、今回のリターバッグは、春から秋にかけての約半年間設置しただけなので、半年目以降の分解率は不明である。この点については今後の検討課題としたい。

次に、 A_0 層分解率の林分間差の解析を試みた。ここでは、 A_0 層の分解率に関与していると考えられる地温をとりあげ、分解率が地温によってのみ規定されると仮定して、各林分における A_0 層の年分解率を求めた。

中根 (1980 a) の式を用い、 k を月分解率、 k_0 を 0°C の時の月分解率とすると

$$k = k_0 \exp(\alpha T_0)$$

ここで、 k_0 には中根 (1980 a) の熱帯多雨林のデータから求めた 0.00572 を、 α には同じく中根 (1980 a) が熱帯多雨林、照葉樹林、ブナウラジロモミ林から求めた 0.146 を用いた。この結果、各林分における A_0 層の年分解率は、シラベ林 0.335, ヒノキ林 0.324, カラマツ林 0.472, ダケカンバ林 0.636 を示し、ダケカンバ林 > カラマツ林 > シラベ林, ヒノキ林の順となった。落葉樹林の方が、常緑樹林よりも高い分解率を示し、落葉樹林内ではダケカンバ林の分解率がカラマツ林のそれよりも高い値を示した。また、常緑樹林内ではほとんど差がみられなかった。この結果を、ダケカンバ林における A_0 層の分解率を 100 とする相対値に直すと、シラベ林 53, ヒノキ林 51, カラマツ林 74 となった。同様に、実測値を使って OLSON の式から得た A_0 層の分解率 (k' 値) を、ダケカンバ林を 100 とする相対値に直すと、シラベ林 71, ヒノキ林 82, カラマツ林 71 となった。すなわち、OLSON の式による分解率と分解が地温だけに規定されると仮定した上で推定した分解率を相対値でくらべると、ダケカンバ林が最も速く、シラベ林が最も遅いという点で一致したが、ヒノキ林とカラマツ林の値が逆転していた。このことから、 A_0 層の分解率は地温だけに規定されているのではなく、たとえば基質、特異的な土壤動物及び微生物フロアの影響なども考慮しなければならないことが予想される。

土壤呼吸は、土壤中で起こるすべての生物活動の結果であり、主に有機物の分解 (A_0 層及び A 層) と根の呼吸とからなっている。

本調査結果から、土壤呼吸量は季節変化を示すものと考えられるが、測定期間中において最大値をとる 8, 9 月では、シラベ林—ダケカンバ林で最も高く、ヒノキ林で最も低く、カラマツ林はこれらの中間的な値を示した。さらに、桐田 (1971 b) の式を使って、実測した 6—10 月以外の土壤呼吸量を計算し、年間の土壤呼吸量を推定した。その結果、シラベ林 3.73, ヒノキ林 2.79, カラマツ林 3.38, ダケカンバ林 4.91 ($\text{kgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$) となった。

A 層上部の土壤については、結果でも述べた通り、含水率, pH の差はほとんど認められなかつ

た。炭素・窒素含有率の点では、シラベ林が他の3林分とくらべて低い値を示し、この林分の炭素及び窒素の蓄積状態が悪いらしいことを示唆するとどまった。

この原因としては、調査林分が植栽後約20年しか経過していないことがあげられる。

以上のことから、土壌母材、地形条件、気候条件が同一である近接した場所に、異なった樹種を植栽した場合、樹種の違いによって微気象、有機物の供給、蓄積、分解には違いのあらわれることがわかった。このことは、長い年月が経過した場合、その土壌環境に変化のあらわれることを予想させるが、本調査林分のような植栽後約20年という場所では、A層の土壌環境において顕著な差異が認められなかった。

謝 辞

本研究を行うにあたり、筑波大学生物科学系岩城英夫教授、筑波大学菅平高原実験センター林一六教授に広く御指導頂いた。及川武久助教授、中村徹講師をはじめとする筑波大学大学院環境科学研究科陸域生態研究室の皆さん及び徳増征二助教授をはじめとする筑波大学菅平高原実験センターの皆さん、そして、農林水産省林業試験場土壌部第3研究室技官小林繁男氏には、貴重な御助言を頂いた。C-Nコーダーの使用に際しては、筑波大学大学院環境科学研究科の文部技官腰塚昭温氏の御協力を頂いた。また、筑波大学育林学研究室の皆さんには資料整理で多大な御助力を頂いた。以上の方々に対し、心から謝意を表したい。

引 用 文 献

- 森田泰次・朝日正美. 1978. 植生を異にする森林土壌の一般的性質と窒素形態に関する研究. 日林誌, 60: 157-162.
- 林信一・下出旭彦・伊藤定徳. 1979. 母材のちがいにともづく土壌・植生の局地変化. 日林講, 90: 175-178.
- 吉良竜夫. 1949. 日本の森林帯. 林業解説シリーズ17. 42 pp. 日本林業技術協会.
- 桐田博充. 1971 a. 野外における土壌呼吸の測定—密閉吸収法の検討. IV. スポンジを利用した密閉吸収法の開発. 日生態会誌, 21: 119-127.
- 桐田博充. 1971 b. 照葉樹林の土壌呼吸に関する研究. 日生態会誌, 21: 230-244.
- 丸山幸平・内海 規・計良秀実. 1977. 環境傾度による土壌有機物集積量と分解率のちがいにについて—ブナ林の生態学的研究(31)—. 新潟大演報, 10: 19-40.
- 真下育久. 1973. 森林土壌の土色と炭素含量. 森林立地, 14 (2): 24-28.
- 宮川 清・前田禎三. 1961. 立山スギ造林地の林床植生と土壌条件および地位との関係について. 日林講, 71: 140-142.
- 中根周歩. 1978. 大台ヶ原ブナ—ウラジロモミ林における土壌有機物のダイナミクスとその季節変動. 日生態会誌, 28: 335-346.
- . 1980 a. 森林生態系における土壌有機炭素の循環の季節変動に関するシミュレーションモデル. 日生態会誌, 30: 19-29.
- . 1980 b. 三タイプの極相林における土壌有機物の循環比較と総合的考察. 日生態会誌, 30: 155-172.

- OLSON, J. S. 1963. Energy storage and balance of producer and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44 : 322-331.
- 大政正隆・森経一. 1937. 落葉に関する二, 三の研究. 帝室林野林試研報, 3 (3) : 39-101.
- Ovington, J.D. 1962. Quantitative ecology and the woodland ecosystem concept. *Advances in Ecological Research* 1. (ed. J.B. Cragg) Academic Press London, 103-192.
- 四手井綱英・赤井龍男・斎藤秀樹・河原輝彦. 1974. ヒノキ林—その生態と更新. 371 pp. 地球社.
- 只木良也・香川照雄. 1968. 森林の生産構造に関する研究 (XIII). コジイ林ほか 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.
- 内田丈夫. 1959. 北海道における針葉樹林の堆積腐植に関する研究. 林試研報, 114 : 53-205.
- 渡辺 至・石垣迪治. 1962. 北海道渡島半島ブナ林の土壤と植生について(第1報). 日林講, 72 : 154-160.