

リターの分解についてIV

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
巻/号	5810
掲載ページ	p. 353-359
発行年月	1976年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



論 文

リターの分解について (IV)
土壌呼吸量中の根の呼吸量の推定*

河原輝彦**

河原輝彦: リターの分解について (IV) 土壌呼吸量中の根の呼吸量の推定 日林誌 58: 353~359, 1976 土壌呼吸量中に含まれるおよその根の呼吸量をつぎの2実験によって推定した。(1) アカマツ林, コナラ林, ヒノキ・カラマツ2段林の3高木林では,すでに土壌有機物が動的平衡状態にあるとして, 土壌呼吸量からリターフォール量をさし引いた量を根の呼吸量とした。土壌呼吸量は有機物換算で474~806 g/m²・年で, リターフォール量は3年間の平均値で354~543 g/m²・年となり, その差から根の呼吸量は134~160 g/m²・年となった。(2) 苗畑に作られた5年生スギ林と15年生アカマツ林の模型林分では, 一定面積の周囲の根を切断し根の呼吸を止めたところと自然状態での土壌呼吸量との差から根の呼吸量を推定した。根の呼吸量はスギ林で90 g/m²・年, アカマツ林で123 g/m²・年(有機物換算)となり, 土壌呼吸量の40%と20%を占めた。

KAWAHARA, Teruhiko: Decomposition of litter on forest floor (IV) Estimation of root respiration amount in CO₂ evolution from forest floor J. Jap. For. Soc. 58: 353~359, 1976 Root respiration amount in CO₂ evolution from forest floor was approximately estimated as follows. In *Pinus densiflora*, *Quercus serrata* and mixed (*Chamaecyparis obtusa* and *Larix leptolepis*) forests, CO₂ evolution from forest floor was 474~806 g/m²・yr. Assuming that soil organic matter was in dynamic equilibrium in these forests, root respiration may equal the difference between CO₂ evolution and fallen litter, 134~160 g/m²・yr in organic matter. From the differences of CO₂ evolution from soil in untreated plots and of those in root-cut plots of small stands (*Pinus densiflora* and *Cryptomeria japonica*), root respiration was estimated at 90 g/m²・yr and 123 g/m²・yr in *C. japonica* and *P. densiflora*, respectively.

はじめに

落葉落枝などリターフォールとして林床に加えられた有機物は, 雨水で溶脱されたり, また, 土壌動物や土壌微生物の働きによって分解され, 消失する。これらの有機物の分解速度および分解消失の過程を知る方法のひとつとして, 土壌表面からのCO₂発生量を測定する方法がある。この方法で得た値を土壌呼吸量としてあらわしているが, この値には有機物の分解によるCO₂のほか根の呼吸によるCO₂も含まれている。したがって, 林床に加えられた有機物の分解速度や分解消失の過程を知るには, 土壌呼吸量中の根の呼吸量の占める割合をあらかじめ知る必要がある。これまでも土壌呼吸量の測定は数多くなされている(2, 3, 6, 7, 9~11)が, 土壌呼吸量を根の呼吸量と有機物の分解によるCO₂量とに分割してとり扱った報告は少ない(3, 4, 7)。これは根の呼吸

量の測定が葉や幹の呼吸量測定にくらべて困難であるためであろう。

本報告では, 土壌呼吸量中の根の呼吸量の占める割合を知る目的でつぎのような実験をおこなった。しかし, ここで得た結果から林床にある有機物の分解速度や分解消失の過程を論議することはまだ不十分であるので, ここでは測定例の報告としてまとめた。

なお, 本調査実験をすすめるうえで, ご協力とご指導をいただいた林業試験場只木良也室長, 竹内郁雄, 佐藤明の両氏に感謝いたします。

実験 I コナラ, アカマツ天然更新林とヒノキ・カラマツ2段林の根呼吸量の推定

1. 調査林分

調査林分として, 埼玉県赤沼の林業試験場赤沼試験地内のコナラ天然更新林とアカマツ天然更新林, および,

* 本報告の一部は第86回日本林学会大会で講演した。

** 農林省林業試験場 Gov. For. Expt. Sta., Meguro, Tokyo 153

山梨県塩山市落合の東京都水源林内にあるカラマツ (55 年生)・ヒノキ (50 年生) 2 段林を選んだ。これらの各調査林分の概況はつぎのとおりである。

コナラ林とアカマツ林: 両林分とも傾斜のほとんどない標高約 80 m の丘陵地帯にある。これらの林分の土壌は表層が関東ロームでおおわれ、土壌型はB₀~B_D(d) の埴質壤土であった。コナラ林は約 20 年前に伐採されたあと萌芽更新した林で、平均樹高約 7.4 m、平均胸高直径 5.6 cm であった。アカマツ林は林齢約 30 年で平均樹高 13.9 m、平均胸高直径 13.8 cm であった。秋の落葉直後の A₀ 層量はコナラ林で 706 g/m²、アカマツ林で 832 g/m² であった。下層植生の主なものとしてイヌツゲ、オトコヨウヅメ、ヒサカキ、ヤマツツジ、クササグが、アカマツ林ではコナラ、ウルシ、ヒサカキがあげられる。この地域の平均年降雨量は 1,309 mm、年平均気温は 14.3°C である。

ヒノキ・カラマツ 2 段林: この林分は標高約 1,300 m、傾斜角 5~10 度の南斜面である。土壌の母材は花崗閃緑岩と火山灰で、土壌型は B_{1c}、土性は砂質壤土であった。秋の落葉直後の A₀ 層量は 3,715 g/m² であった。下層植生はモミジガサが多少あったにすぎない。この地域の年平均降雨量は 1,745 mm、年平均気温は 7.4°C である。

2. 調査方法

1) 土壌呼吸量の測定

土壌呼吸量を測定する方法を図-1 に示す。土壌表面にカン (直径 20 cm、高さ 18 cm) をかぶせ、その中へ 1 N KOH 10 cc (夏には 20 cc) を入れたシャーレを置き、24 時間放置し、土壌から放出される CO₂ を吸収させた。回収した KOH 溶液を 0.2 N HCl で滴定し、CO₂ 発生量を求めた。測定位置はカンの中に林床植物がはいらないところを選び、各林分に 10 個のカンを配置し、測定期間中は同一の場所に固定した。測定はコナラ林とアカマツ林の場合、1972 年 4, 6, 8, 10 月および 1973 年 2 月に、ヒノキ・カラマツ 2 段林の場合、1974

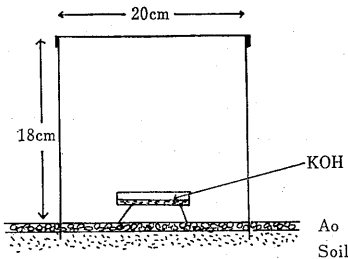


図-1. 土壌呼吸量の測定方法
Method for measuring CO₂ evolution from forest floor

年 5, 6, 8 および 12 月におこなった。なお、各林分とも最高最低温度計を林床に設置し、土壌呼吸測定時の最高最低気温を測定した。

2) リターフォール量の測定

コナラ林では 10 m×10 m のプロット内に 34 cm×45 cm のリタートラップを 12 個、また、アカマツ林には 15 m×15 m のプロット内に 50 cm×50 cm のリタートラップ 18 個をそれぞれ 1972 年 4 月に設置した。ヒノキ・カラマツ林には 10 m×15 m のプロット内に 50 cm×50 cm のリタートラップ 14 個を 1972 年 8 月に設置した。

これらトラップ内の落葉落枝などの回収は、コナラ林とアカマツ林では毎月 1 回おこない、1972 年 4 月から 1975 年 4 月まで続けた。また、ヒノキ・カラマツ林では 5, 7 または 8, 12 月の年 3 回の回収を 1972 年 8 月から 1975 年 8 月まで続けた。

回収したリターは乾燥後、トラップごとに葉、枝、樹皮、球果、花、動物排出物などに分け、それぞれの重量測定をおこなった。

3. 結果と考察

1) 土壌呼吸量

アカマツ林とコナラ林の土壌呼吸量の測定結果を図-2 に示す。

各月の土壌呼吸量はコナラ林よりもアカマツ林のほうが多少多く、その両者の比率はおよそ 1.15 であった。また、その季節的な変化は両林分ともほぼ同じ傾向を示

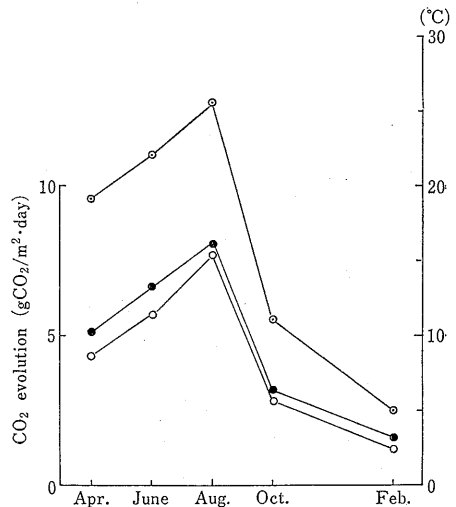


図-2. 土壌からの CO₂ 発生量の季節変化
Seasonal variation of CO₂ evolution from forest floor
○ Air temperature, ● Pinus, ○ Quercus

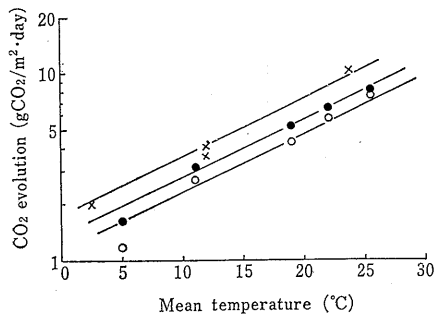


図-3. 土壌呼吸量と平均気温との関係
Relationship between CO₂ evolution from forest floor and mean temperature
× *Larix & Chamaecyparis*, ● *Pinus*, ○ *Quercus*

し、夏にもっとも多く (7~8 g CO₂/m²・日)、冬にもっとも少なかった (1~2 g CO₂/m²・日)。こうした土壌呼吸量の季節変化は図-2 にみられるように気温 (最高気温と最低気温との平均値) の季節変化と同じようなパターンを示し、気温の高い季節ほど土壌からの CO₂ 発生量が多くなっている。

そこで、気温と土壌呼吸量との関係をアカマツ林、コナラ林、ヒノキ・カラマツ林について片対数グラフ上で整理した (図-3)。各林分とも多少のバラツキがみられたが、勾配 2 の直線で近似した。直線の勾配を 2 としたのは温度が 10°C 上昇すると土壌呼吸量が約 2 倍になるといういわゆる Q₁₀=2 の関係が存在するといわれていることによる。ここで 3 林分の回帰直線式を求めると、

コナラ林 $\log CO_2 = 0.061 + 0.0301 T$

アカマツ林 $\log CO_2 = 0.146 + 0.0301 T$

ヒノキ・カラマツ林

$\log CO_2 = 0.362 + 0.0301 T$

となった。ここで T は最高気温と最低気温の平均気温である。各林分をくらべてみると、気温が同じであっても

土壌呼吸量に差があるように思われる。

1 年間の土壌からの CO₂ 発生量を上の関係式と各月の平均気温から推定した。コナラ林で 1.5 kg CO₂/m²・年、アカマツ林で 1.73 kg CO₂/m²・年、また、ヒノキ・カラマツ林で 1.01 kg CO₂/m²・年の値を得た。有機物の炭素含有率を 58% である (1) として、上の CO₂ 量を有機物量に換算すると、それぞれ 703 g, 806 g, 474 g/m²・年となった。

これまでに報告されている 1 年間の土壌からの CO₂ 発生量をまとめ、本実験結果と比較すると (表-1)、ここで得られた値は千葉ら (2), KUCERA ら (7), WANNER (10), WITKAMP ら (11) の値に近かったが、そのほかの値よりもかなり小さく、桐田 (6) の値にくらべると 1/2 ~ 1/3 であった。このように測定者によって違いが生じた原因のひとつとして、土壌呼吸の測定方法の違いが考えられる。測定は大きく分けて 2 つの方法 (密閉アルカリ吸収法と URAS による空気流通法) でおこなわれている。一般に前者よりも後者の方法で求めた値のほうが大きくなり、KUCERA ら (7) によればアルカリ吸収法では流気法の約 60% の値しか得られず、とくに夏期に大きかったという。

2) リターフォール量

それぞれの林分におけるリターフォール量の季節変化を図-4 に、1 年間の合計量を表-2 に示す。

いままでにわが国で測定された 1 年間のリターフォール量は、林分によって異なり、300~700 g/m²・年の範囲にある (5)。今回の調査ではヒノキ・カラマツ林の 2 年目の 306 g/m²・年がもっとも少なく、アカマツ林の 1 年目の 746 g/m²・年がもっとも多く、その差はおよそ 2 倍であった。また、同一林分でも測定年によって違いがあり、アカマツ林では 1 年目の 746 g/m²・年に対して 2 年目では 522 g/m²・年であった。

表-1. 1 年間の土壌呼吸量
Annual total CO₂ evolution amounts

調査林分 Forest type	測定方法 Method	土壌呼吸量 CO ₂ (kg/m ² ・yr)	
<i>Pinus</i> forest (Saitama, Japan)	KOH	1.7	Author
<i>Quercus</i> forest (Saitama, Japan)	KOH	1.5	
<i>Larix</i> and <i>Chamaecyparis</i> forest (Yamanashi, Japan)	KOH	1.1	
Pine forests et. (Kyoto, Japan)	KOH	1.0~1.4	CHIBA (1967)
Mixed mesophytic forests (Tennessee, USA)	Air-flow	3.8	EDWARDS (1973)
Evergreen forests (Nara, Japan)	KOH	3.4~4.6	KIRITA (1971)
Tallgrass prairie (Missouri, USA)	Air-flow	1.7	KUCERA (1971)
Oak, marginal fern, cedar swamp (Minnesota, USA)	Air-flow	2.6~2.9	REINERS (1968)
Tropical rain forest (Indonesia)	KOH	1.9	WANNER (1970)
Pine forest (Tennessee, USA)	KOH	1.1	WITKAMP (1966)

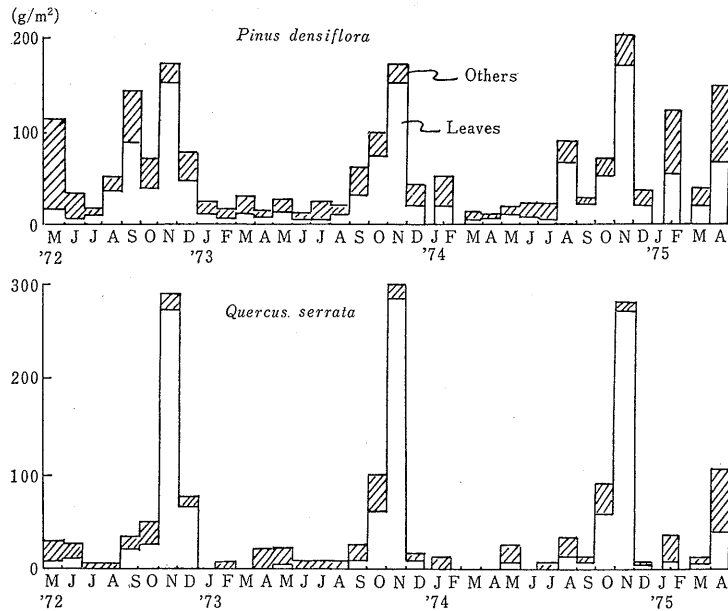


図-4. リターフォール量の季節変化
Seasonal variation of litter fall

表-2. 1年間のリターフォール量
Annual litter fall (g/m²)

期 Period	コナラ葉 Quercus leaves		その他の葉 Other leaves		合計 Total
	コナラ葉 Quercus leaves	その他の葉 Other leaves	その他 Others	合計 Total	
コナラ林 Quercus forest	May, 1972~Apr., 1973	407.5	18.5	132.9	558.9
	May, 1973~Apr., 1974	324.2	62.4	119.5	506.1
	May, 1974~Apr., 1975	394.7	35.1	133.7	563.5
	Average	375.5	38.7	128.7	542.9
アカマツ林 Pinus forest	May, 1972~Apr., 1973	401.9	59.8	284.4	746.1
	May, 1973~Apr., 1974	306.1	56.2	159.9	522.2
	May, 1974~Apr., 1975	389.9	68.6	242.6	701.1
	Average	366.0	61.5	229.0	656.5
カラマツ・ヒノキ林 Larix and C. obtusa forest	Sep., 1972~Aug., 1973	208.2	84.5	97.4	390.6
	Sep., 1973~Aug., 1974	176.5	71.3	58.2	306.0
	Sep., 1974~Aug., 1975	216.3	61.7	88.5	366.5
	Average	200.3	72.5	81.4	354.2

3) 根の呼吸量の推定

1年間の土壌呼吸量から求めた分解量(有機物量に換算)と1年間のリターフォール量とを比較した。ただし、リターフォール量は3年間の平均値を用いた。リターフォール量に対する分解量の比をとってみると、コナラ林で1.3、アカマツ林で1.2、ヒノキ・カラマツ林で1.3となり、各林分ともリターフォールとしての供給量よりも分解量のほうが大きかった。調査林分の土壌有機

物量が動的平衡状態に達している(供給量と分解量が等しい)と仮定すれば、分解量として求めた土壌呼吸量中に植物の根の呼吸量が含まれていることになる。したがって、土壌呼吸量から求めた分解量とリターフォールの供給量の差を根の呼吸量によるものであるとすると、根の呼吸量は有機物換算でコナラ林 160 g/m²・年、アカマツ林 149 g/m²・年、ヒノキ・カラマツ林 134 g/m²・年となり、全土壌呼吸量中の根の呼吸量の割合はそれぞれの

林分で 23%, 18%, 25% を占めていることになる。しかし、有機物の供給源として根の枯死量や動物の死体などが含まれていないことや、土壌呼吸量中に土壌微生物や土壌動物も含まれていることなど、根の呼吸量を調べるうえで問題点も多く、今後検討していく必要がある。なお、これまでに報告されている分解量とリターフォール量との比率をみると、千葉ら(2)と WITKAMP ら(11)は 1.4~1.6, 桐田(6)は 2.5~4.0, また、REINERS ら(9)は 3.0~3.5 という値を報告しており、本実験結果よりも大きな値が多い。これは前にもふれたように測定方法により土壌呼吸量が大きく違うためであろう。また、HABER ら(3, 4, 7)は土壌呼吸量中に占められる根の呼吸量の割合をおよそ 1/3 と推定しているが、本実験結果でのこの値は彼らの値よりも小さかった。

実験 II 苗畑小型林分の根の呼吸量の推定

実験 I では、土壌呼吸量中の根の呼吸量の占める割合を [土壌呼吸量-リターフォール量=根の呼吸量] の関係から推定した。ここでは、根の呼吸量を直接推定する方法として、切断によって根の呼吸を止める方法(根切断法)を考えた。この根切断法を野外の林分に応用し、実験 I で求めた方法と対比して調べた。

1. 調査林分

林業試験場の目黒苗畑に作られた 15 年生アカマツ林(3本/m²)と 5 年生スギ林(6本/m²)を使用した。両林分とも高密度に植栽されているためすでに閉鎖状態にあり、アカマツ林で平均樹高は 5.7 m, 平均胸高直径は

5.0 cm であり、スギ林では平均樹高は 3.1 m, 平均地際直径は 3.0 cm であった。なお、アカマツ林の A₀ 層有機物量は 522 g/m² であったが、スギ林での A₀ 層有機物はほとんどなかった。土壌は関東ロームを母材とする黒褐色の埴質壤土である。平均年降雨量は 1,600 mm, 年平均気温は 14.0°C である。

2. 調査方法

土壌呼吸量: コントロール区(自然状態)と根切断区とを設け、実験 I と同じ方法で土壌呼吸量を調べた。根切断区では立木を含まない一定面積の周囲の根を土壌を攪乱しないように筈掘り用シャベルを使って深さ 30~40 cm のところまで 1974 年 5 月に切断した。根切断区の大きさはアカマツ林でおよそ 1 m × 1 m, スギ林でおよそ 0.5 m × 1 m でそれぞれ 2 か所設けた。なお、根の切断は土壌呼吸量の測定を開始した 1 日後におこなった。土壌呼吸の測定点数はコントロール区、根切断区とも 5 点とし、1974 年 12 月まで続けた。

リターフォール量: アカマツ林は 5 m × 5 m のプロット内に 34 cm × 45 cm のトラップを 5 個設置し、1973 年 6 月から 1974 年 5 月までの 1 年間 1 か月ごとに回収測定した。なお、スギ林については測定をおこなっていない。

3. 結果と考察

1) 根切断による土壌呼吸量の変化

コントロール区と根切断区の土壌呼吸量を図-5 に示す。

アカマツ, スギ両林分とも根切断後 1 日目で土壌呼吸

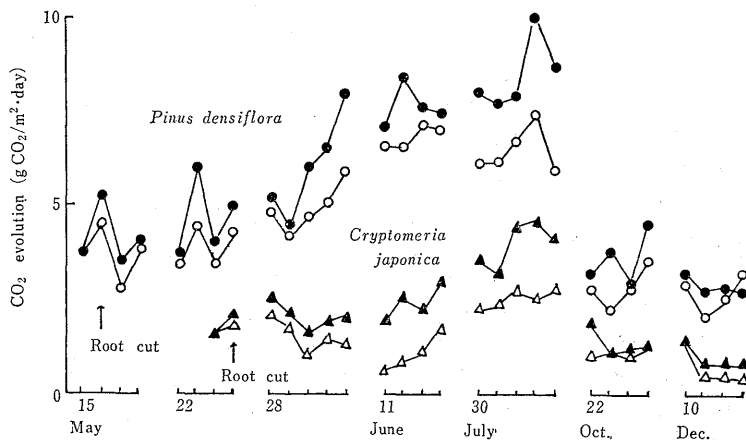


図-5. 苗畑アカマツ林とスギ林の土壌呼吸量
各値は 5 測点の平均値

CO₂ evolution from soil in nursery stands
Each value is mean of five measuring points.

● Control ○ Root cut

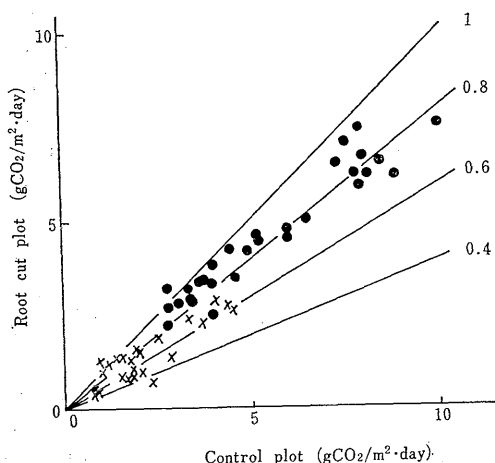


図-6. 苗畑林分のコントロール区と根切断区との土壤呼吸量の関係

図中の数字はコントロール区と根切断区との比

Relationship between CO₂ evolutions in control plot and in root cut plot of nursery stands

Numerals in the figure are ratio of root cut plot to control plot.

● *Pinus densiflora*, × *Cryptomeria japonica*

量に影響が現われ、根切断区の土壤呼吸量はコントロール区のそれよりも減少した。一般に細根の呼吸量は切断後8~10時間まで一定の値を示すが、その後漸次減少するといわれており(8)、本実験においても切断後1日目でその影響が出てきたものと思われる。6月~7月には両区間の土壤呼吸量の差は大きくなり、10月から12月には両区間の土壤呼吸量の差は小さくなった。

根切断区とコントロール区の土壤呼吸量を図-6のように整理してくらべてみると、コントロール区の土壤呼吸量の増加ともななって根切断区の土壤呼吸量も増加するが、10月から12月の数点を除けば根切断区の土壤呼吸量はコントロール区よりもつねに少なく、アカマツ林では約80%、スギ林では約60%であった。このように根切断区の土壤呼吸量がコントロール区のそれよりも少なかった理由として、根を切断したために根の呼吸が含まれていないためであると考えられる。そこで、コントロール区と根切断区との土壤呼吸量との差を根の呼吸量とすると、アカマツ林で0.24~2.7 g CO₂/g·日、スギ林で0.01~1.9 g CO₂/m²·日となる。

2) コントロール区の1年間の土壤呼吸量

図-5 にみられるように土壤呼吸量は日によって変化しているが、これは主として気温の変化と関係が深いと思われる。そこで、平均気温と土壤呼吸量との関係をコ

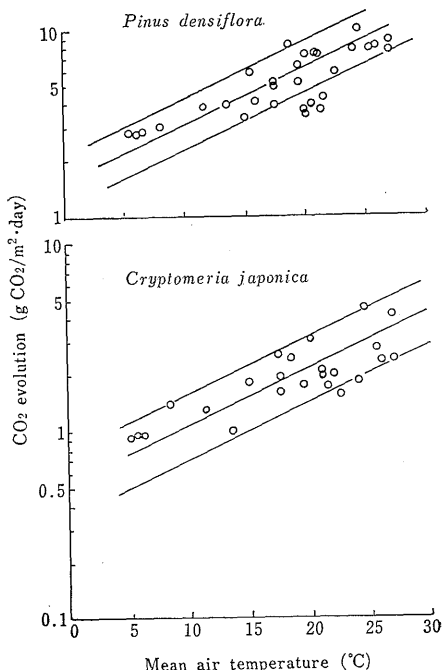


図-7. コントロール区の土壤呼吸量と平均気温との関係

Relationships between mean air temperature and CO₂ evolution from soil in control plot

ントロール区について整理した(図-7)。この関係には大きなバラツキがあるが、前述したコナラ林やアカマツ林など高木林の場合と同様の傾向を示し、およそQ₁₀=2の関係にあり、気温の上昇にともなって土壤呼吸量は指数関数的に増加した。図上の上限値と下限値の式から真中の直線式を、土壤呼吸量と平均気温との関係式として求めると、

アカマツ林 $\log CO_2 = 0.176 + 0.301 T$

スギ林 $\log CO_2 = 0.287 + 0.301 T$

となった。これらの関係式と気温の測定値を使ってコントロール区の1年間の土壤呼吸量を推定すると、アカマツ林で1.6 kg CO₂/m²·年、スギ林で0.48 kg CO₂/m²·年となり、これらを乾物量に換算すると(前出)おのおの750 g/m²·年と225 g/m²·年になった。アカマツ林の値は実験Iで求めたアカマツ林やコナラ林の値とほぼ等しかったが、A₀層有機物のほとんどなかったスギ林ではかなり小さな値になった。

3) 根の呼吸量の推定

細根の呼吸量が全体の土壤呼吸量中に占める比率が平均値でアカマツ林20%、スギ林40%であるとすると、

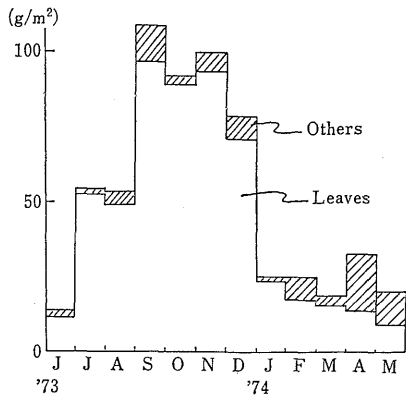


図-8. 苗畑アカマツ林のリターフォール量の季節変化
Seasonal variation of litter fall in *Pinus densiflora* stand of nursery

この比率と上で求めたコントロール区の1年間の土壌呼吸量から細根の1年間の呼吸量を推定すると、アカマツ林で $0.32 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ 、スギ林で $0.19 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ となり、これを乾物量に換算するとおのおの $150 \text{ g/m}^2 \cdot \text{年}$ と $90 \text{ g/m}^2 \cdot \text{年}$ となる。

苗畑アカマツ林でリターフォール量を測定した結果を図-8に示す。1年間の落葉量は $546 \text{ g/m}^2 \cdot \text{年}$ 、その他のものが $81 \text{ g/m}^2 \cdot \text{年}$ 、合計量で $627 \text{ g/m}^2 \cdot \text{年}$ であった。

実験Iで述べたような方法によって、コントロール区の土壌呼吸量(有機物換算)からリターフォール量をさし引くと、 $123 \text{ g/m}^2 \cdot \text{年}$ となり、コントロール区の土壌

呼吸量から根切断区のそれをさし引いて求めた根呼吸量(有機物換算 $150 \text{ g/m}^2 \cdot \text{年}$)に近い値になった。

引用文献

- (1) ANDERSON, M. S. & BYERS, H. G.: The carbon-nitrogen in relation to soil classification. *Soil. Sci.* 38: 121~138, 1934
- (2) 千葉喬三・堤 利夫: 森林の土壌呼吸に関する研究 (I) 土壌呼吸と気温との関係. *京大演報* 39: 91~99, 1967
- (3) EDWARDS, N. T. & SOLLINS, P.: Continuous measurement of carbon dioxide evolution from partitioned forest. *Ecology* 54: 406~412, 1973
- (4) HABER, W.: Ökologische Untersuchung der Bodenatmung, *Flora* 146: 107~157, 1958
- (5) KAWAHARA, T. & TSUTSUMI, T.: Studies on the circulation of carbon and nitrogen in forest ecosystems. *Bull. Kyoto Univ. For.* 44: 141~158, 1972
- (6) 桐田博充: 照葉樹林の土壌呼吸に関する研究. *日生態誌* 21: 230~244, 1971
- (7) KUCERA, C. L. & KIRHAM, D. R.: Soil respiration studies in tallgrass prairie in Missouri. *Ecology* 52: 912~915, 1971
- (8) 大島誠一・四手井綱英・辻 英夫・島山伊佐男: 樹木の呼吸測定方法の検討. *京大演報* 40: 122~130, 1968
- (9) REINERS, W. A.: Carbon dioxide evolution from the floor of three Minnesota forests. *Ecology* 49: 471~483, 1968
- (10) WANNER, H.: Soil respiration, litter fall and productivity of tropical rain forest. *J. Ecol.* 58: 543~547, 1970
- (11) WITKAMP, M.: Rates of carbon dioxide evolution from the forest floor. *Ecology* 47: 492~494, 1966

(1976年1月14日受理)