

図・本館

苗畑に成育するヒノキ苗の成長および
物質生産

名古屋大学図書	
和	1030322

名古屋大学農学部造林学研究室

小川一治

1988年

目次

頁

第1章	序論	
1-1.	研究の意義	1
1-2.	これまでの研究	
1-2-1.	解析法	1
1-2-2.	研究例	1
1-3.	研究の目的と方法	
1-3-1.	研究の目的	2
1-3-2.	研究の方針	3
第2章	実験地と実験材料	
2-1.	実験地の概要	4
2-2.	実験材料と育成条件	
2-2-1.	苗齢および器官の定義	4
2-2-2.	当年生苗	5
2-2-3.	1年生苗	5
2-2-4.	2年生苗	5
2-2-5.	成育密度	6
表		7
図		10
第3章	苗高成長および直径成長	
3-1.	はじめに	14
3-2.	材料と方法	
3-2-1.	調査方法	14
3-2-2.	解析方法	14
3-3.	結果	
3-3-1.	平均苗高および平均幹直径の成長曲線	15
3-3-2.	平均苗高および平均幹直径の成長率の季節変化	16
3-3-3.	苗高および幹直径の頻度分布	16
3-4.	考察	
3-4-1.	平均苗高および平均幹直径の成長率の季節変化	17
3-4-2.	平均苗高と平均幹直径との相対成長関係	18
図		19
第4章	重量成長および葉面積成長	
4-1.	はじめに	28
4-2.	材料と方法	
4-2-1.	種子重の測定	28
4-2-2.	苗木の重量および葉面積の測定	28
4-2-3.	個体重および個体葉面積の算出	29
4-2-4.	現存量および葉面積指数の算出	31
4-3.	結果	
4-3-1.	葉の形態	32
4-3-2.	平均個体重および現存量の成長曲線	32
4-3-3.	平均個体葉面積、平均個体葉重および葉面積指数の成長曲線	33
4-3-4.	器官の乾重比の季節変化	33

4-3-5.	個体重および個体葉面積の頻度分布	34
4-4.	考察	
4-4-1.	葉面積成長と葉重成長との関係	36
4-4-2.	地上部の重量成長と地下部の重量成長との関係	37
表		39
図		45
第5章	イギリス系の成長解析	
5-1.	はじめに	66
5-2.	材料と方法	
5-2-1.	材料	66
5-2-2.	解析方法	66
5-3.	結果	
5-3-1.	成長率の季節変化	68
5-3-2.	純同化率の季節変化	68
5-3-3.	葉面積比の季節変化	69
5-3-4.	比面積の季節変化	69
5-4.	考察	
5-4-1.	成長率と純同化率および成長率と葉面積比との関係	70
5-4-2.	葉の光合成能率と葉の形態	70
表		72
図		73
第6章	呼吸消費	
6-1.	はじめに	80
6-2.	材料と方法	
6-2-1.	測定材料	80
6-2-2.	測定方法	80
6-3.	結果	
6-3-1.	個体呼吸速度と個体サイズとの関係	84
6-3-2.	呼吸商の季節変化	85
6-3-3.	平均個体呼吸速度および林分呼吸速度の季節変化	85
6-3-4.	比呼吸速度の季節変化	86
6-4.	考察	
6-4-1.	測定方法の吟味	86
6-4-2.	個体呼吸速度のサイズ依存性	87
6-4-3.	比呼吸速度の温度依存性	88
表		89
図		90
第7章	一次生産	
7-1.	はじめに	101
7-2.	材料と方法	
7-2-1.	材料	101
7-2-2.	方法	101
7-3.	結果	
7-3-1.	現存量の増加速度の季節変化	103
7-3-2.	枯死速度の季節変化	104
7-3-3.	純生産速度の季節変化	104

7-3-4.	林分呼吸速度の季節変化	104
7-3-5.	総生産速度の季節変化	104
7-3-6.	比総生産速度の季節変化	105
7-4.	考察	
7-4-1.	比総生産速度の温度依存性	106
7-4-2.	総生産の分配率の季節変化	106
7-4-3.	年総生産量とその配分	106
表		108
図		112
第8章 総合考察		
8-1.	ヒノキ林との比較	
8-1-1.	年総生産量の配分比	121
8-1-2.	年呼吸量/現存量比	121
8-1-3.	葉の生産能率	122
8-2.	今後の研究課題	122
表		125
図		127
要約とまとめ		130
謝辞		135
引用文献 (欧文)		136
引用文献 (邦文)		143
記号表		145

第 1 章 序 論

1-1. 研究の意義

幼齡期における森林のモデルとしての樹木苗個体群の研究は、森林の天然更新などを含む森林生態系の動態を解明する上で必要不可欠な基礎的研究の一つと言える。

樹木苗個体群は成熟した森林に比して、取り扱いが容易で豊富な情報も得やすく、成林では困難あるいは不可能と思われるような実験、観察もここでは可能となる。

このため、著者は苗畑に成育する樹木苗個体群を本研究の対象として取り上げ、幼齡期における樹木群に関する基礎的情報を得ることに努めた。

また、これは言うまでもないが、本研究で得られた情報、知識は苗木の生産、管理といった造林学的見地からも必須なものとなる。

1-2. これまでの研究

1-2-1. 解析法

植物の基本的特徴の一つに成長という現象がある。植物成長の定量的解析は林学はもちろんのこと農学の分野においても重要な研究課題である（篠崎・穂積, 1960）。

植物成長の定量的解析法は、大別して2つの方法に代表される（篠崎・穂積, 1960）。

一つは、デンマークの Boysen Jensen を先駆者とする学派である。この学派は、樹木を対象として、植物の生理的特質である光合成と呼吸に注目して、植物の成長を物質生産の見地から解析した（cf. Boysen Jensen, 1932; Möller et al., 1954）。

もう一つは、V. H. Blackman, Gregory, Watson, G. E. Blackman らを中心とするイギリス系の成長解析派である。この学派は、草本を対象として、植物体の乾重および葉面積の測定結果のみにもとづいて植物成長の解析を試み、成長率、純同化率、葉面積比といった独特の概念を生み出した（cf. Watson, 1952; Evans, 1972; Hunt, 1978）。

1-2-2. 研究例

IBP (International Biological Program: 国際生物学事業計画) の発足

を機として、1960年代以降、森林に関する生産生態学的研究が精力的に行われ、その研究成果が急速に蓄積し、現在に至っている（門司，1976；吉良，1976；依田，1971）。

しかしながら、これらの研究はもっぱら成林を対象として進められてきた。そのため苗木といった幼齢期における樹木群の生産生態学的研究例は極めて少ない。

Negisi (1966) は、わが国における代表的造林樹種であるアカマツ (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)、スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) およびヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc.) の1年生苗木について光合成・呼吸・物質収支の面から樹種間の生理生態学的特性の違いを明らかにすることを試みた。Negisi は鉢植え苗木について、光・温度・水分といった環境条件と光合成量との関係を樹種間で比較した。そして、苗木の条件下での光合成量の季節変化を調べ、各環境因子が光合成に及ぼす影響を調べた。さらに、呼吸量を測定し、呼吸によって消費される光合成産物の量を推定し、苗木に成育する苗木について物質経済の面から考察した。

この測定結果にもとづいて、Negisi (1977) は先に述べたイギリス系の成長解析法により乾重成長の解析を樹種間において試みた。ただし、ここでは葉面積の代わりに葉乾重が使用された。スギはアカマツ、ヒノキに比べて高い成長率を示したが、その原因として、アカマツにおいては純同化率および葉重比が、ヒノキにおいては純同化率がスギに比べて小さいことが明らかにされた。

このように Negisi (1966, 1977) により苗木に関する樹種間の物質生産および成長の違いはかなり明らかにされた。しかし、現在のところ、苗木を材料とした物質生産および成長パターンの苗木による相違に関する研究は手つかずのままである。

1-3. 研究の目的と方針

1-3-1. 研究の目的

苗木に関する研究は前節 (1-2-2) で述べた状況下にある。したがって、著者は初期成長段階にある苗木の成長および物質生産と苗木との関係を明らかにすることを目的とし、播種後3年までの成育途中にある苗木について研究を行った。樹種として最も商業的価値の高いヒノキを選択した。

ただし、本研究においては苗木の施業方針のもとで育成された苗木を対象とした。したがって、厳密な意味で苗木間の比較は難しいと思われるが、少なくとも苗木の成長および物質生産の苗木差を知る手掛かりにはなると考えてい

る。

1-3-2. 研究の方針

植物の集団、すなわち個体群あるいは群落を構成する植物個体のサイズは、その植物の生活史の中でたえず変化し、その現象が成長として認識される (Hunt, 1978)。

林学ならびに森林生態学の分野において、樹高、幹直径は樹木のサイズを示す量的因子の中で最も基本的なものである。そのため、まず第一に苗高および幹直径を研究対象に取り上げ、伸長および肥大成長を追跡した (第3章)。

伸長、肥大成長は結果として重量の成長をもたらす。言うまでもなく成長の源は光合成による光合成産物にあり、その担い手は葉である。したがって、植物の成長は葉の生理的機能と葉の量によって大きく支配されていると見なすことができる。

そこで、次に重量成長ならびに葉面積成長を追跡した (第4章)。この結果をもとに、重量成長を葉の生理的機能と葉の量の両者からとらえたイギリス系の成長解析法を用いて重量成長の解析をした (第5章)。

しかしながら、成長は光合成による収入と主として呼吸による消費の差として決定される。この意味において、呼吸測定は成長解析の良い補助手段となる (佐伯, 1965)。Ninomiya and Hozumi (1981, 1983a, b) により成林において単木の呼吸量と単木サイズとの関係が定式化された。この単木呼吸量の単木サイズ依存性を考慮して苗木の呼吸消費について検討した (第6章)。

そして、積み上げ法 (Kira et al., 1967; Newbould, 1967; Ogawa, 1977) により総生産量の算出を行い、物質生産について考えた (第7章)。

最後に、森林の発達過程における初期段階の特徴を明らかにするために、本研究結果と既報のヒノキ林の結果を比較・検討した (第8章)。

第2章 実験地と実験材料

2-1. 実験地の概要

実験地は岐阜県美濃加茂市の岐阜営林署緑ヶ丘種苗事業所内の苗畑である。苗畑は濃美平野の北東部の木曾川と飛騨川の合流点に位置し（図 2-1）、平坦な河岸段丘上にある。苗畑の総面積および標高は 19 ha および 84 m である（岐阜営林署緑ヶ丘種苗事業所，1981）。

主としてヒノキ苗が生産されているこの苗畑には、播種後3年までのヒノキ苗が成育している。毎年3月に種子のまきつけが行われ、翌年の3月下旬～4月初旬にかけて床替えが実施される。その後は床替えは行われない。そして、床替え後2年目の10月に苗木は掘り取られ、山出しされる。本苗畑におけるまきつけ床および床替え床の幅は1mである。また、床替えにより苗木はほぼ等間隔で6列に機械植えされる。

実験期間を含む1981年1月～1986年3月までの期間における気候ダイアグラム（Walter, 1984）を図 2-2 に示す。この図は苗畑の資料にもとづいて作成した。1981年～1985年までの5年間における年平均気温、暖かさの指数、寒さの指数、年降水量は、それぞれ 14.1 °C, 116.1 °C month, -7.1 °C month, 1785 mm となった（表 2-1）。

2-2. 実験材料と育成条件

2-2-1. 苗齢および器官の定義

実験材料として播種後3年までの成育途中にあるヒノキ（*Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc）苗を用いたが、ここで苗齢を以下のように定義する。

当年生苗：播種直後より1年間までの時間経過の途中にある苗
1年生苗：播種後1年から2年までの時間経過の途中にある苗
2年生苗：播種後2年から3年までの時間経過の途中にある苗

また、苗木の各構成器官の定義は以下のとおりである。

根：地下部分

幹：苗条の中央部分

枝：幹以外の苗条の茶褐色部分

葉：幹、枝以外の苗条部分

枝の形成は1年生苗において6月下旬～7月下旬の期間から始まった。

2-2-2. 当年生苗

当年生苗についての実験期間は1984年4月29日～1985年3月14日までである。実験は4月に1回、5月～10月までは月2回、11月～3月までは月1回の割合で計18回行った。

播種日は1984年3月29日で、1982年に小坂営林署内で採取された種子が使用された。まきつけ床の乾燥防止のため、4月28日～9月3日まで日おおいが地上高60 cmの高さで取り付けられた。また、9月12日に土壌深度7～8 cmの深さで根切りが実施された。

コガネムシ（ドウガネブイブイ *Anomala cuprea* Hope；ヒメコガネ *Anomala rufocuprea* Motschulsky（小沢，1988））の幼虫である根切虫の防除のため、播種前にまきつけ床には殺虫剤が散布され、また、6月15日および7月20日にスプリンクラーにより殺虫剤が散布された。8月8日にはスプリンクラーにより灌水のみが実施された。

2-2-3. 1年生苗

1年生苗についての実験期間は1985年4月25日～1986年3月28日までで、毎月1回の割合で計12回実験を行った。この1年生苗は先に述べた当年生苗を床替えしたものである。

根切虫防除のため、床替え前に床替え床に殺虫剤が散布され、また、7月30日および8月22日にスプリンクラーにより殺虫剤が散布された。

2-2-4. 2年生苗

2年生苗についての実験期間は1981年10月28日～1982年10月18日までで、毎月1回の割合で計13回実験を行った。ただし、この2年生苗は実験開始時から1982年3月までの期間において1年生苗であるが、便宜上2年生苗とよぶことにする。

2年生苗については、根切虫防除のための殺虫剤の散布および灌水は実施されなかった。これは、根系の十分発達した2年生苗は根切虫による虫害に対して抵抗性あり、この虫害に対して抵抗力のない苗木は山出し苗の条件をそなえてないと本苗畑では判断しているからである。

また、本苗畑における山出し苗の規格は、苗高が35 cm以上、根元直径

が 6 mm 以上とされている。

2-2-5. 成育密度

当年生苗の成育密度の測定は 0.5 m × 1 m のサブプロットを 2ヶ所設定し、発芽開始後の 4月下旬から行った。

1年生および2年生苗の成育密度の測定は、それぞれ 1 m × 2 m のサブプロットを設定して行った。

図 2-3 に密度の季節変化を示す。

当年生苗において、発芽は 6月中旬までに終了し、その後、密度は 1328 ~1382 本 m^{-2} の範囲にあった。

1年生苗においては、密度は測定開始時の 4月下旬には 60 本 m^{-2} であった。しかし、7月下旬~8月下旬の期間に密度は急激に減少し、1 m^{-2} 当たり 7.5 本の苗木が枯死した。9月下旬以降、密度は 51.5 本 m^{-2} で一定であった。7月下旬~8月下旬の期間に多数の苗木が枯死した原因については、第3章 (3-4-1) で述べる。

2年生苗においては、密度は測定期間中一定で 62 本 m^{-2} であった。

当年生、1年生、2年生苗のそれぞれについて、表 2-2 に測定日を、表 2-3 に測定項目を、図 2-4 に実験地における苗木の成育状況を示す。また、本論文の巻末に、本論文で使用する記号およびその単位をまとめて記す。

表 2-1. 苗畑の年降水量, 年平均気温, 暖かさの指数および寒さの指数 (苗畑資料より)

年	年降水量 [mm]	年平均気温 [℃ month]	暖かさの指数 [℃ month]	寒さの指数 [℃ month]
1981	1699	12.9	105.4	-10.3
1982	1921	14.7	121.1	-4.4
1983	1782	14.9	122.7	-4.3
1984	1174	14.5	120.8	-7.1
1985	2192	14.9	123.7	-4.6
平均±1S. D.	1785±344	14.1±1.0	116.1±9.4	-7.1±3.2

表 2-2. 測定日

当年生苗		1年生苗		2年生苗	
	年/月/日		年/月/日		年/月/日
1	84/ 4/27	1	85/ 4/25	1	81/10/28
2	5/ 8	2	5/29	2	11/26
3	30	3	6/26	3	12/25
4	6/15	4	7/30	4	82/ 1/27
5	27	5	8/29	5	2/24
6	7/13	6	9/27	6	3/26
7	23	7	10/31	7	4/30
8	8/ 2	8	11/27	8	5/27
9	21	9	12/26	9	6/24
10	9/ 6	10	86/ 1/30	10	7/20
11	20	11	2/26	11	8/30
12	10/11	12	3/28	12	9/27
13	26			13	10/18
14	11/29				
15	12/21				
16	85/ 1/24				
17	2/22				
18	3/14				

表 2-3. 測定項目の一覧

	当年生苗	1年生苗	2年生苗	関連する章
測定開始日(年/月/日)	84/4/27	85/4/25	81/10/28	
測定終了日	85/3/14	86/3/28	82/10/18	
測定項目				
密度	○	○	○	2, 4, 5, 6
苗高	○	○	○	3, 4
幹直径				
生枝下高幹直径	—	○	○	3, 4
苗高の1/10の高さ での幹直径	—	○	○	3, 4
乾重	○	○	○	4, 5, 6, 7, 8
葉面積	○	○	○	4, 5, 6, 7, 8
呼吸	○	○*	○*	6, 7, 8
呼吸商	○	○*	—	6
枯死量	○	○	○	7, 8

○：実施。

—：実施せず。

*：地上部と地下部について、それぞれ測定を実施した。

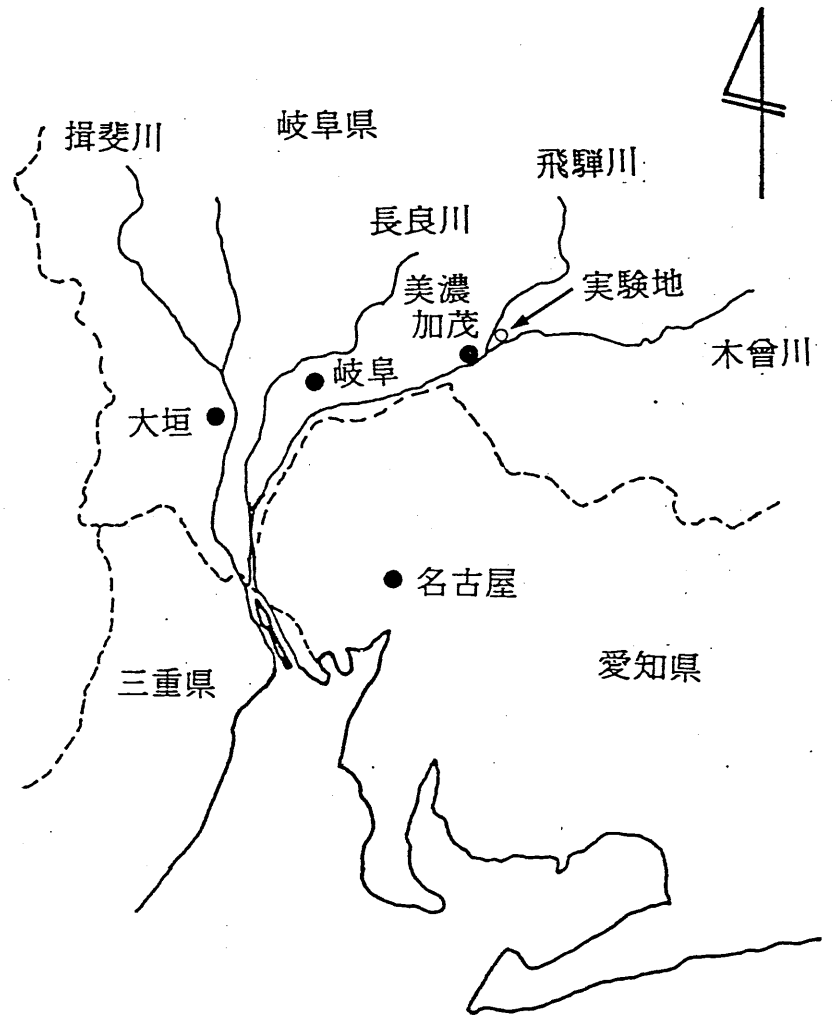


図 2-1. 実験地の位置 (岐阜営林署緑ヶ丘種苗事業所; 岐阜県美濃加茂市)

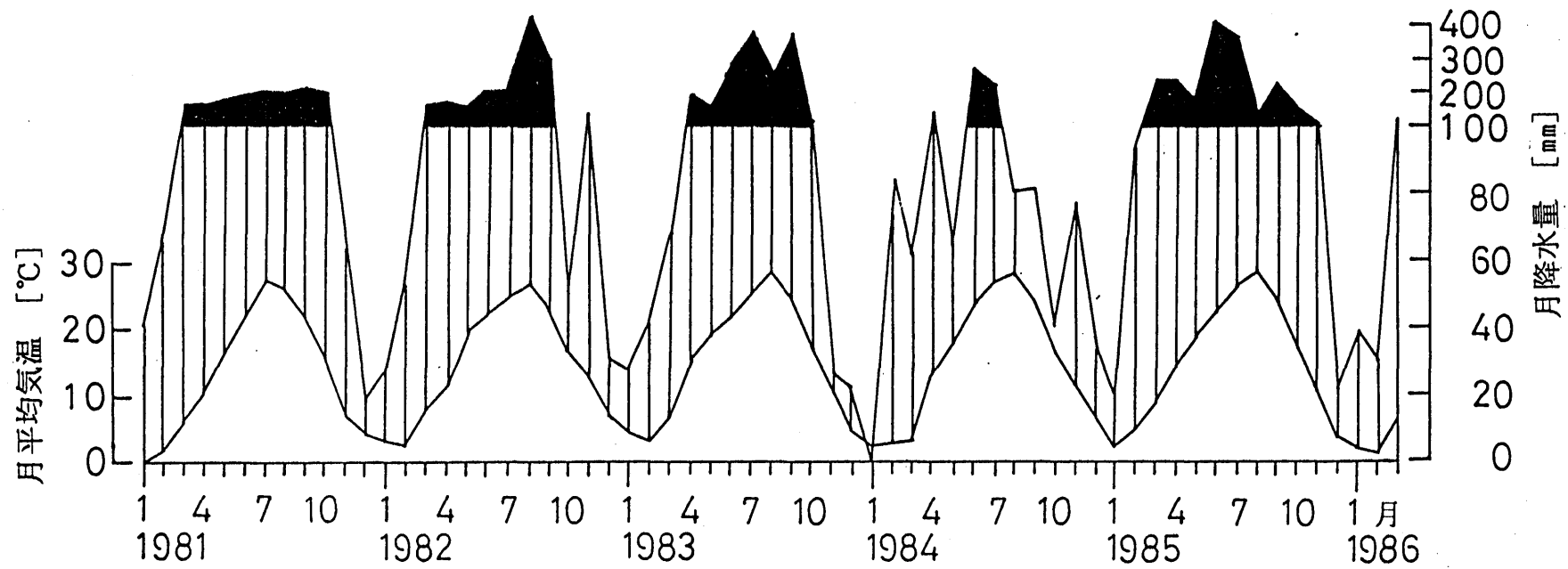


図 2-2. 苗畑の気候ダイアグラム (Walter, 1984)
 苗畑資料より描く。実験期間は 1981年10月～1982年10月および
 1984年4月～1986年3月までである。

■: 月降水量 100 mm 以上。

▨: 相対的な湿潤期。

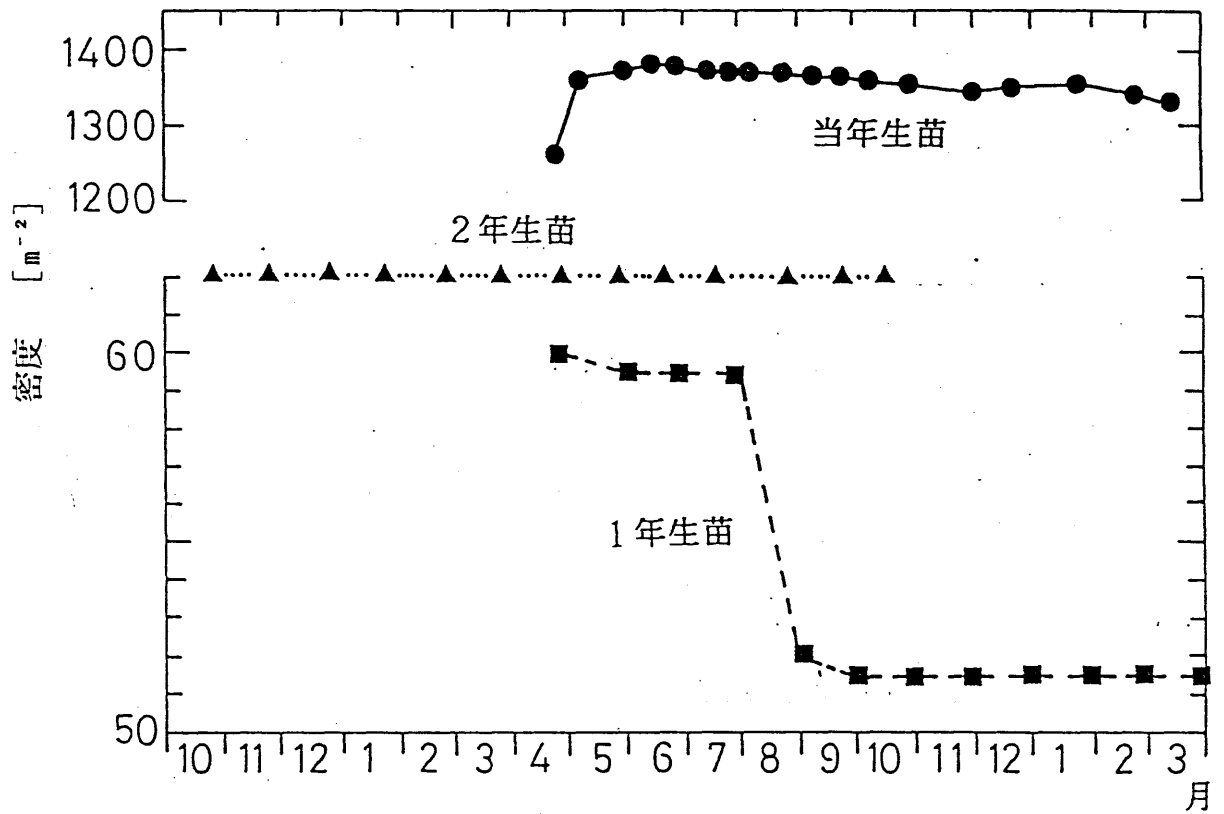


図 2-3. 密度の季節変化

- : 当年生苗。
- ▲ : 1年生苗。
- : 2年生苗。

(A)



(B)



(C)



図 2-4. 実験地におけるヒノキ苗の成育状況

(A) 当年生苗 (1984年10月11日) (B) 1年生苗 (1985年11月27日)

(C) 2年生苗 (1982年7月20日)

第3章 苗高成長および直径成長

3-1. はじめに

苗高および幹直径は苗木のサイズを示す基本的な量的形質である。

本章では、苗高、幹直径のそれぞれについて、その季節変化を調べ、伸長成長と肥大成長の相互関係について検討する。また、苗高、幹直径の頻度分布および変動係数の季節変化から、苗高、幹直径のバラツキについても検討する。

3-2. 材料と方法

3-2-1. 調査方法

【当年生苗】

表 2-2 (第2章、2-2-5) に示された測定日ごとに採取した 100 個体について苗高 H の測定を行った。ただし、当年生苗では直径の測定は行わなかった。

【1年生苗】

1 m × 2 m のサブプロットを設定し、そのサブプロット内の苗木について苗高 H および生枝下高幹直径 D_B と地際から苗高の 1/10 の高さにおける幹直径 $D_{0.1}$ の測定を行った。測定試料数は、周辺効果を考慮して周辺の苗木を除いた 69~80 本であった。

【2年生苗】

1 m × 2 m のサブプロットを設定し、そのサブプロット内の苗木について苗高 H および生枝下高幹直径 D_B と地際から苗高の 1/10 の高さにおける幹直径 $D_{0.1}$ の測定を行った。測定試料数は、周辺効果を考慮して周辺の苗木を除いた 80 本であった。

3-2-2. 解析方法

苗木のサイズを示す量的形質 x のある時間間隔 Δt における成長率 (Relative Growth Rate) $RGR(x)$ は次のように定義される。

$$RGR(x) = \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} = \frac{d \ln x}{dt}$$

$$\doteq \frac{\Delta \ln x}{\Delta t} = \frac{\ln x_2 - \ln x_1}{t_2 - t_1},$$

$$\Delta t = t_2 - t_1. \quad (3-1)$$

上式において、 t_1 , t_2 ($t_2 > t_1$) は時刻を、 x_1 , x_2 は時刻 t_1 , t_2 における苗木のサイズを示す。

上式から明らかなように、成長率は x の単位量当たりの成長速度を示し、生育段階の違った成長速度の比較可能な量である。毎木調査の結果から、苗高および幹直径の成長率を算出し、苗高および幹直径の成長について解析する。

また、Koyama and Kira (1956) の方法を参考にして、苗高および幹直径の頻度分布を作成した。各苗齢とも、階級数は 10 とし、頻度は全試料に対する相対値として算出した。作成された頻度分布は、 χ_0^2 - 検定により、正規分布への適合度が検定された。

3-3. 結果

3-3-1. 平均苗高および平均幹直径の成長曲線

図 3-1 に各苗齢の苗木の平均苗高 H の成長曲線を片対数グラフに示す。

図において直線の傾きは苗高の成長率を示すが、1年生および2年生苗における直線の傾きと比較して、当年生苗における直線の傾きは顕著に大きかった。

また、2年生苗の成長曲線から、苗高成長は4月下旬に始まることが明らかとなった。一方、苗高成長の終了時期は、各苗齢とも10月下旬であった。

図 3-2 に1年生および2年生苗の平均幹直径（平均生枝下高幹直径 \bar{D}_B および苗高の1/10の高さでの平均幹直径 $\bar{D}_{0.1}$ ）の成長曲線を片対数グラフに示す。

2年生苗の成長曲線から、直径成長は3月下旬に始まり、苗高成長の開始時期よりも1ヶ月ほど早いことが明らかとなった。一方、直径成長の終了時期は、1年生および2年生苗とも苗高成長のそれと同様に10月下旬であった。

また、冬期（12月下旬～2月下旬）における有意な直径減少 ($P < 0.01$) が認められた。

3-3-2. 平均苗高および平均幹直径の成長率の季節変化

図 3-3 は平均苗高 H の成長率の季節変化を示す。当年生苗では、平均苗高の成長率は 4月～8月にかけて増加し、その後減少する傾向にあった。一方、1年生および2年生苗では、平均苗高の成長率は 4月下旬以降漸減する傾向にあった。

図 3-4 に示すように、1年生および2年生苗とも平均幹直径（平均生枝下高幹直径 \bar{D}_B および苗高の1/10の高さでの平均幹直径 $\bar{D}_{0.1}$ ）の成長率の明白な季節変化は認められなかったが、2年生苗では 3月下旬～4月下旬の成長開始期間において、最大値ないし最大値に近い値を示した。また、5月下旬～7月下旬までの期間において、1年生苗で平均幹直径の成長率の顕著な低下がみられた。この現象については次節で考察する。

3-3-3. 苗高および幹直径の頻度分布

【苗高】

図 3-5 は各苗齢における苗高 H の頻度分布を示す。苗高の頻度分布は、各苗齢とも全期間にわたって正規型分布を示す傾向にあった。

図 3-6 は苗高 H の変動係数の季節変化を示す。

H の変動係数は、当年生苗で 15～35 %、1年生苗で 17～25 %、2年生苗で 21～25 % の範囲にあった。

当年生苗では、5月初旬～10月下旬にかけて H の変動係数は季節とともに増加する傾向にあった。

1年生苗では、4月下旬～10月下旬にかけて H の変動係数は季節とともに減少する傾向にあった。

2年生苗では、4月下旬～10月下旬にかけて H の変動係数は季節とともに増加する傾向にあった。

したがって、当年生および2年生苗では苗高の個体差は苗高の増加とともに大きくなる傾向にあると、一方、1年生苗では苗高の個体差は苗高の増加とともに小さくなる傾向にあると言える。

【幹直径】

図 3-7(A) は1年生および2年生苗における生枝下高幹直径 D_B の頻度分布を示す。

D_B の頻度分布は、各苗齢の苗木とも全期間にわたって正規型分布を示す傾向にあった。

同様の結果が苗高の1/10の高さでの平均幹直径 $D_{0.1}$ の頻度分布におい

てみられた (図 3-7(B))。

図 3-8(A) は 1 年生および 2 年生苗における生枝下高幹直径 D_B の変動係数の季節変化を示す。

D_B の変動係数は、1 年生苗で 15~22 %、2 年生苗で 17~24 % の範囲にあった。

1 年生苗では 4 月下旬~10 月下旬、2 年生苗では 5 月下旬~10 月下旬にかけて、 D_B の変動係数は季節とともに増加する傾向にあった。

類似した結果が、苗高の 1/10 の高さでの平均幹直径 $D_{0.1}$ の変動係数の季節変化においてもみられた (図 3-8(B))。 $D_{0.1}$ の変動係数の変化域は、1 年生苗では 15~19 %、2 年生苗では 16~22 % であった。

したがって、1 年生および 2 年生苗では幹直径の個体差は幹直径の増加とともに多少大きくなる傾向にあると言える。

3-4. 考察

3-4-1. 平均苗高および平均幹直径の成長率の季節変化

根切虫による根部の食害は苗木に対して致命的な障害を与え、その食害がはなはだしいときには苗木が枯死する場合もある (宮崎, 1957; 陣内, 1965)。この根切虫は春季冬眠からさめ、温度の上昇とともに活動し始める (宮崎, 1957)。

図 3-4 で示したように、1 年生苗の平均幹直径の成長率が 5 月下旬~7 月下旬にかけて急激に減少し、その後平均幹直径の成長率は増加した。根切虫防除のための殺虫剤の散布時期 (7 月 30 日および 8 月 23 日) を考慮すれば、5 月下旬~7 月下旬における平均幹直径の成長率の低下は根切虫により成長が阻害されたためと考えられる。

また、1 年生苗において、7 月下旬~8 月下旬にかけて多数の苗木 (7.5 本 m^{-2}) が枯死したが、この枯死は根切虫により回復不可能な障害を被ったためと推測される。

しかしながら、5 月下旬~7 月下旬の期間において平均苗高の成長率には急激な低下は認められなかった。根部の損傷は根の吸水量の低下をもたらすと考えられるが、土壌含水量は伸長成長より肥大成長に顕著な影響を及ぼすことが報告されている (Kozlowski, 1958; Strothmann, 1967; Becker et al., 1987)。

2 年生苗においては、平均直径の成長率の変化に 1 年生苗でみられた傾向は認められなかった。これは 2 年生苗の根系はかなり発達し、根切虫による病害に対してかなりの抵抗性があるためと思われる。

3-4-2. 平均苗高と平均幹直径の相対成長関係

図 3-9(A) に 1 年生および 2 年生苗における経時的に得られた平均苗高 \bar{H} と平均生枝下高幹直径 \bar{D}_B との関係を両対数グラフ上に示す。対象とした期間は 4 月～10 月までである。両者の間には、次のような相対成長関係

$$\bar{H} = g \bar{D}_B^h \quad [\text{cm}, \text{cm}] \quad (3-2)$$

が成立した。ここで、 g , h は苗齢によって決まる係数である。

(3-2) 式の両辺を時間 t について微分すれば、

$$\frac{1}{\bar{H}} \frac{d\bar{H}}{dt} = h \frac{1}{\bar{D}_B} \frac{d\bar{D}_B}{dt} \quad (3-3)$$

が得られる。すなわち、平均苗高 \bar{H} の成長率は平均生枝下高幹直径 \bar{D}_B の成長率に比例し、相対成長指数 h の値 (<1 , $=1$, >1) によって両者の成長率の大小関係が判断できる。たとえば、両者の成長率がともに正の場合、 h が 1 より大きいと、 \bar{H} の成長率は \bar{D}_B の成長率より大となり、また、 h が 1 より小さいと \bar{D}_B の成長率は \bar{H} の成長率より大となることがわかる。

指数 h の値は、1 年生苗では 4 月～10 月の期間において 0.90 と、2 年生苗では 4 月～8 月の期間において 2.65 と計算された。したがって、1 年生苗では 4 月～10 月の期間において \bar{H} と \bar{D}_B の成長率は等しい傾向にあった。一方、2 年生苗では 4 月～8 月の期間において \bar{H} の成長率は \bar{D}_B の成長率の 3 倍近い値となる傾向にあった。ただし、2 年生苗では 8 月～10 月の期間において指数 h の値は 0.64 と計算され、 \bar{H} の成長率は \bar{D}_B の成長率の 1/2 倍ほどの値となる傾向にあった。

類似した結果が、経時的に観測された平均苗高 \bar{H} と苗高の 1/10 の高さでの平均幹直径 $\bar{D}_{0.1}$ との相対成長関係 (図 3-9(B)) から得られた。

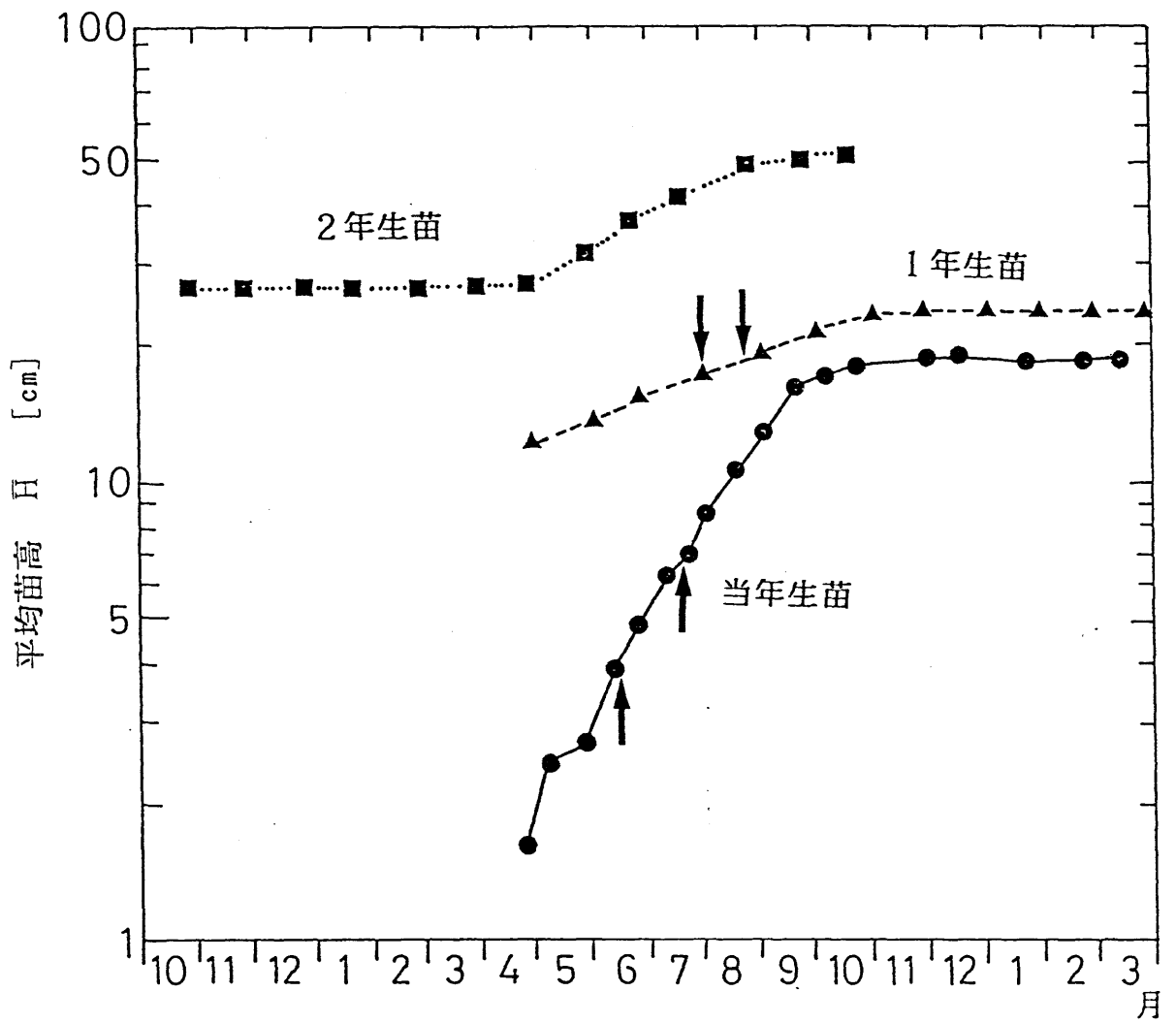


図 3-1. 平均苗高 H の成長曲線

● : 当年生苗。

▲ : 1年生苗。

■ : 2年生苗。

矢印は、当年生および1年生苗において根切虫防除のために殺虫剤が散布された時期を示す。ただし、2年生苗においては殺虫剤の散布は実施されなかった。

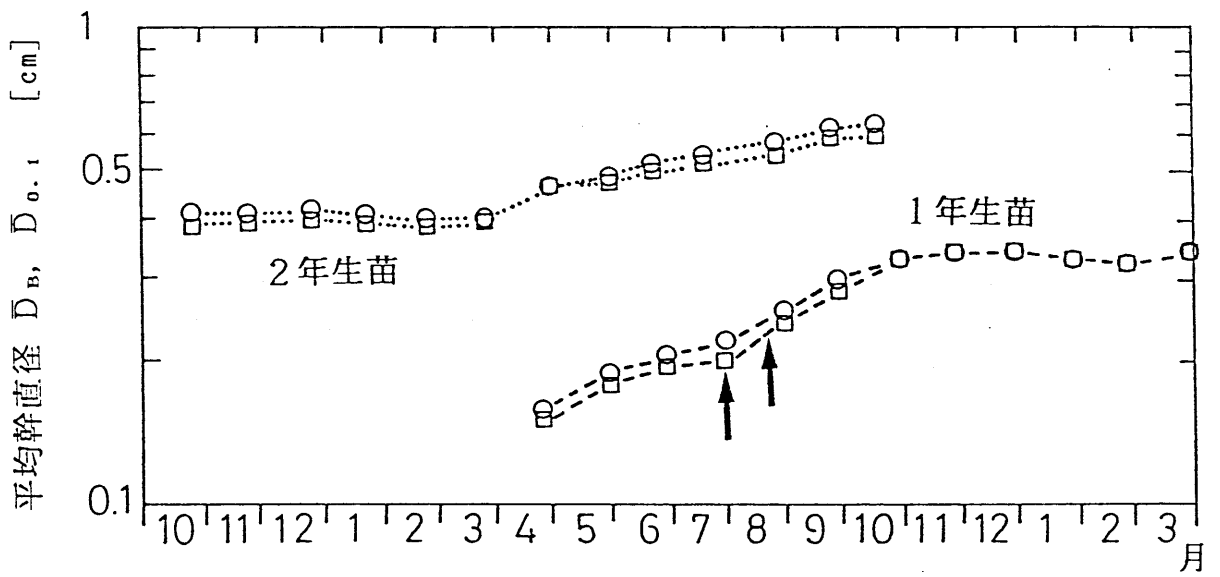


図 3-2. 平均幹直径 \bar{D}_B , $\bar{D}_{0.1}$ の成長曲線

○ : 平均生枝下高幹直径 \bar{D}_B 。

□ : 苗高の 1/10 の高さの平均幹直径 $\bar{D}_{0.1}$ 。

--- : 1年生苗。

..... : 2年生苗。

矢印は1年生苗において根切虫防除のために殺虫剤が散布された時期を示す。ただし、2年生苗においては殺虫剤の散布は実施されなかった。

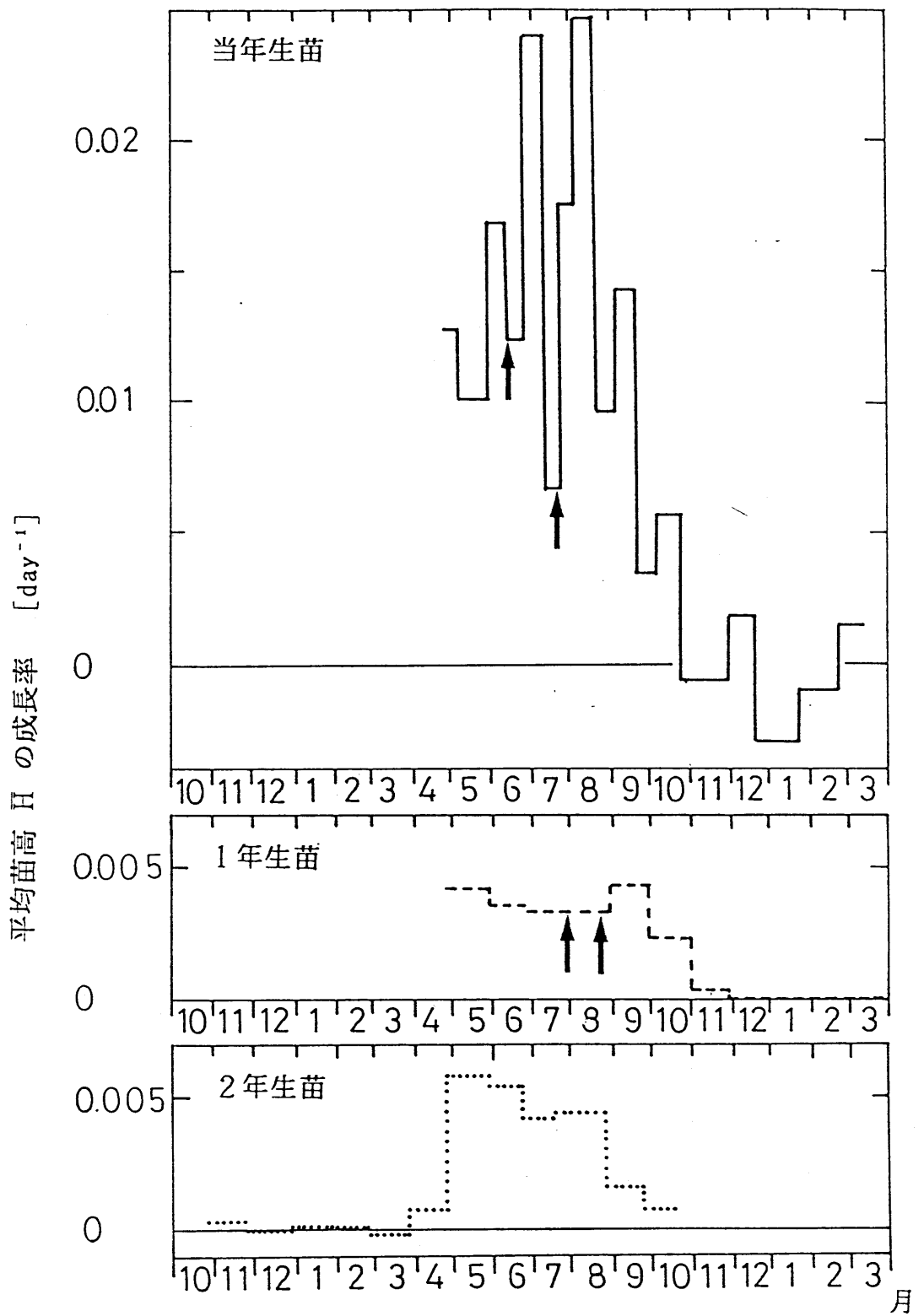


図 3-3. 平均苗高 H の成長率の季節変化

—: 当年生苗。

---: 1年生苗。

.....: 2年生苗。

矢印は、当年生および1年生苗において根切虫防除のために殺虫剤が散布された時期を示す。ただし、2年生苗においては殺虫剤の散布は実施されなかった。

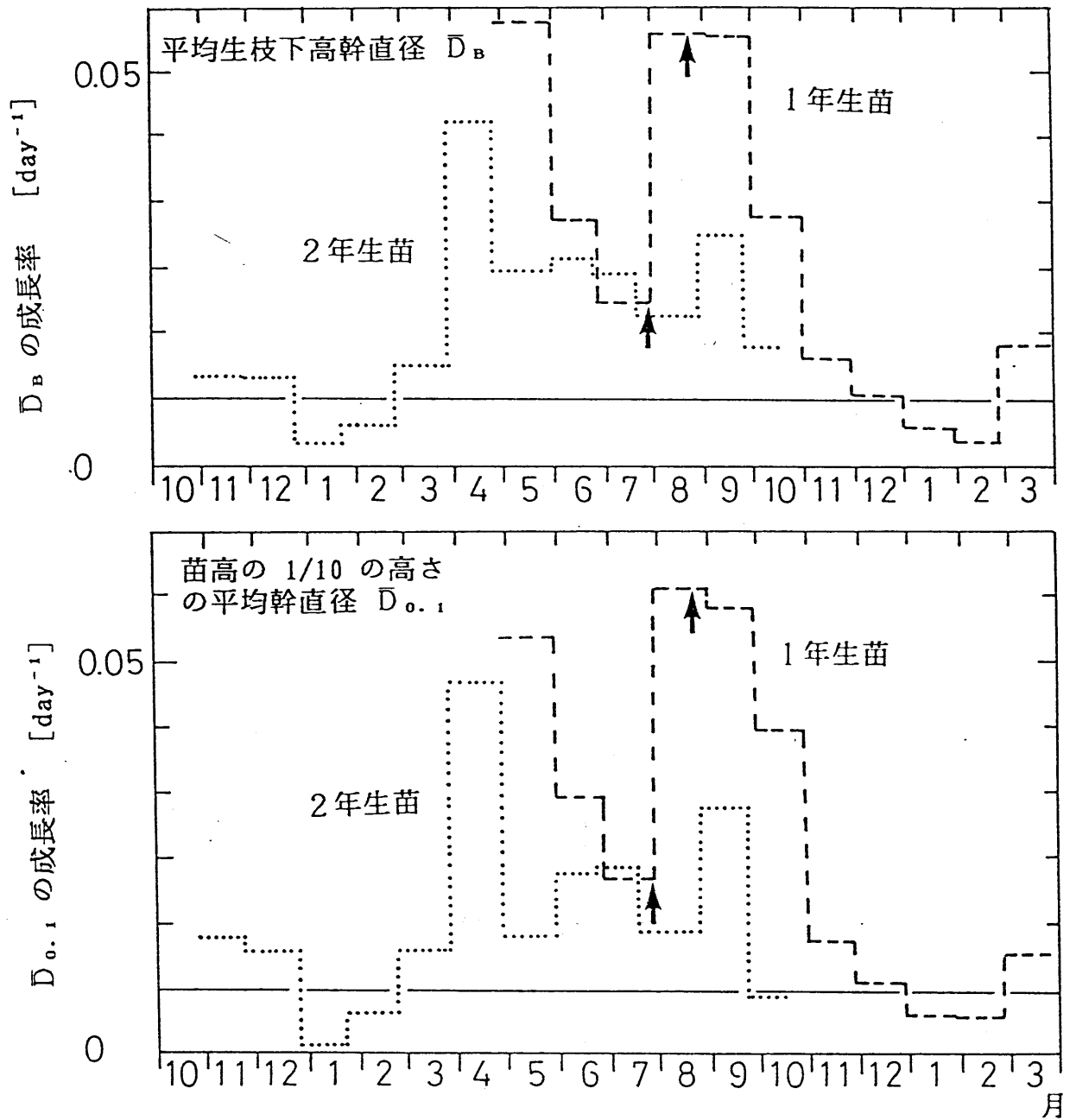


図 3-4. 平均幹直径 \bar{D}_B , $\bar{D}_{0.1}$ の成長率の季節変化

---: 1年生苗。

.....: 2年生苗。

矢印は1年生苗において根切虫防除のために殺虫剤が散布された時期を示す。ただし、2年生苗においては殺虫剤の散布は実施されなかった。

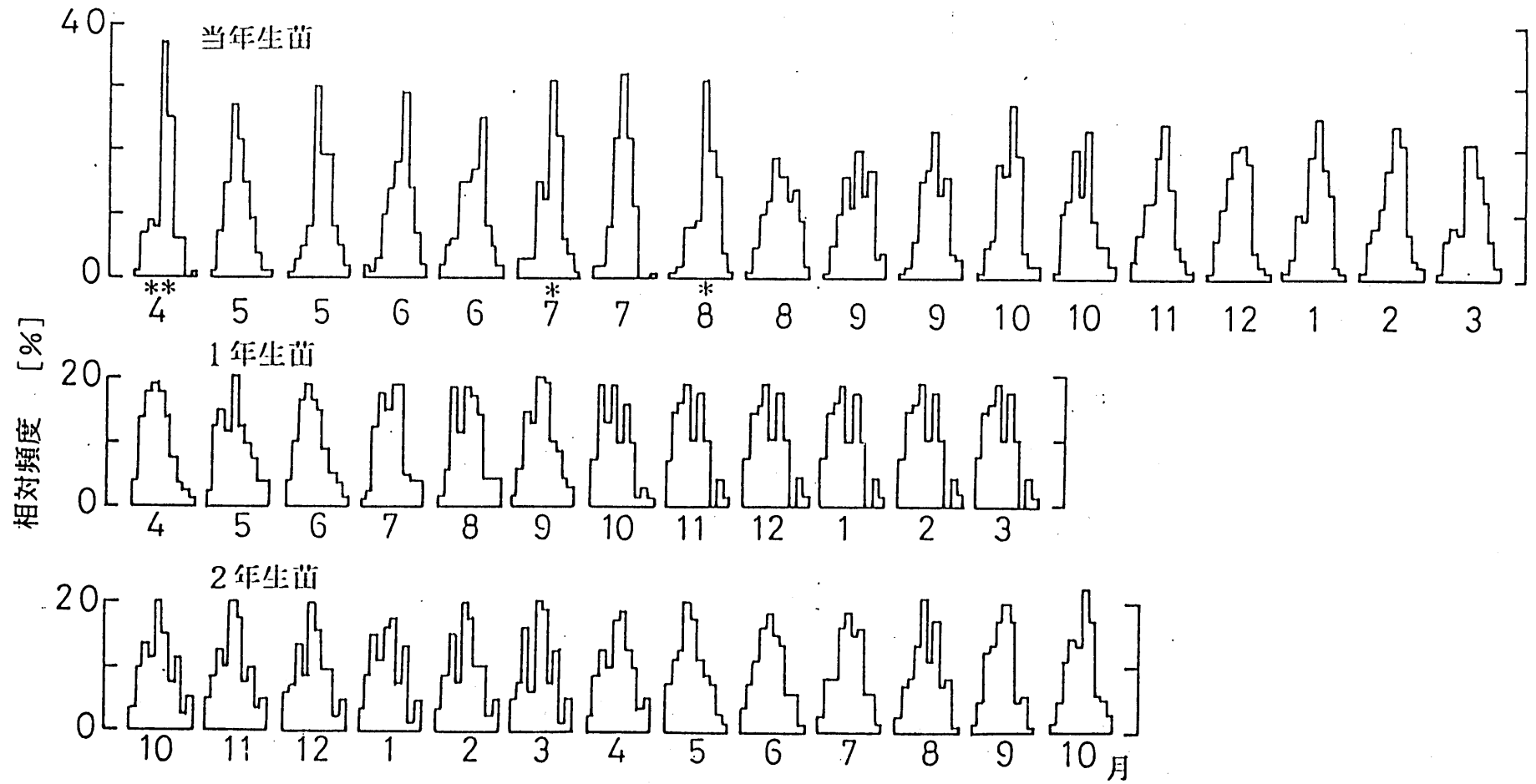


図 3-5. 苗高 H の頻度分布

*、** は、頻度分布にそれぞれ有意水準 5%、1% で正規分布から有意な差が認められたことを示す。

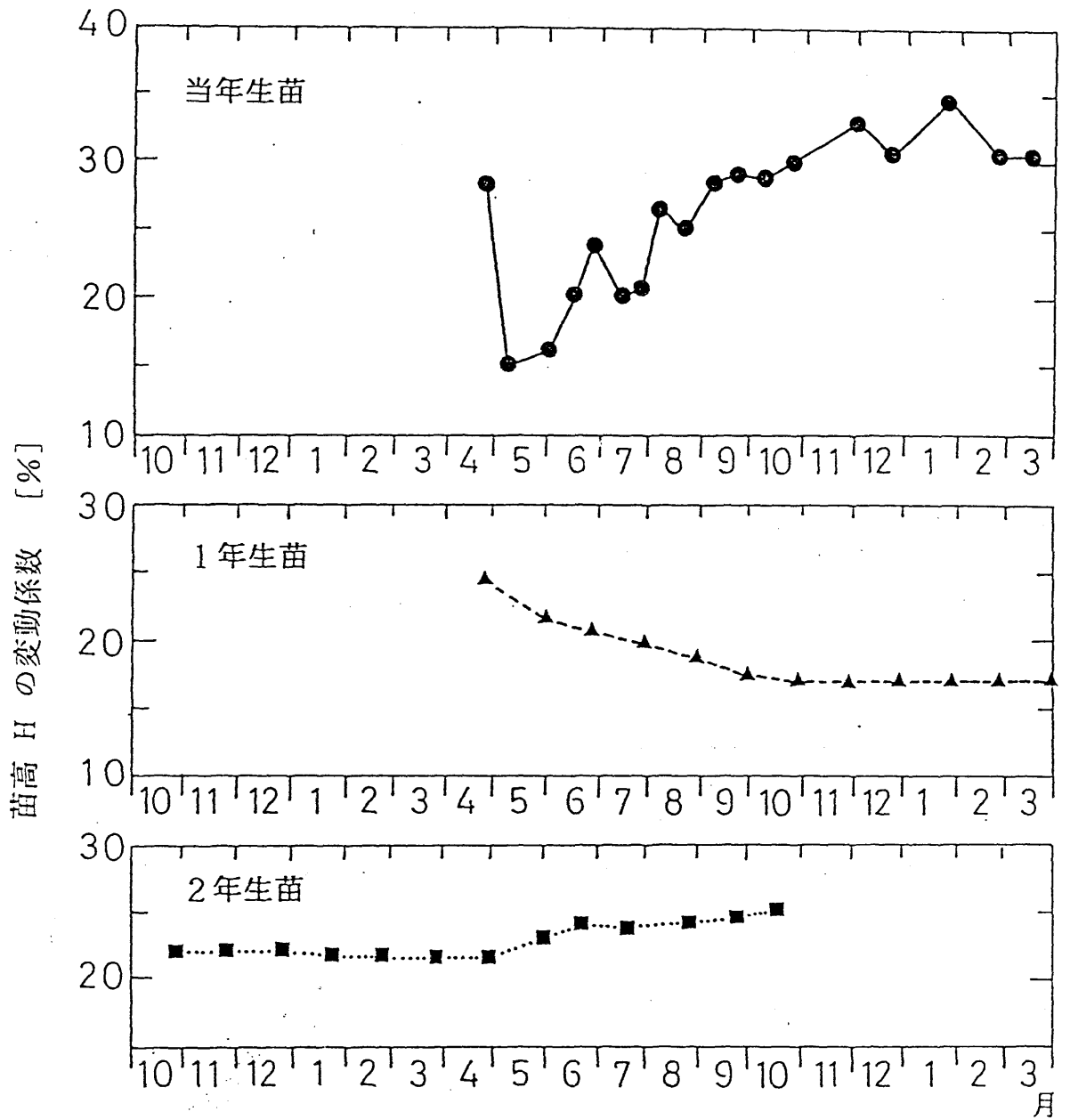


図 3-6. 苗高 H の変動係数の季節変化

- : 当年生苗。
- ▲ : 1年生苗。
- : 2年生苗。

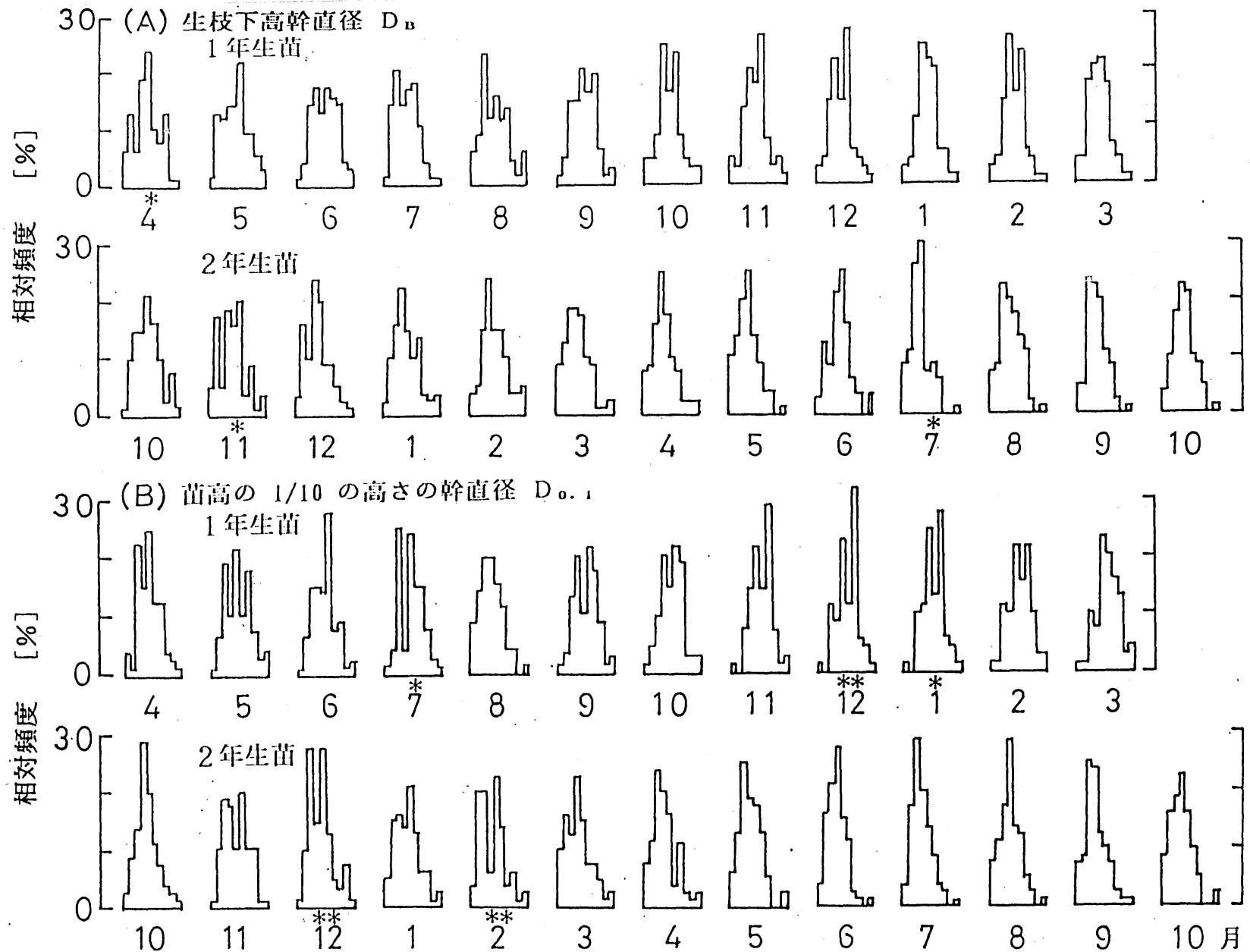


図 3-7. 幹直径 D_B , $D_{0.1}$ の頻度分布 (A) D_B の頻度分布 (B) $D_{0.1}$ の頻度分布
 *、** は、頻度分布にそれぞれ有意水準 5%、1% で正規分布から有意な差が認められたことを示す。

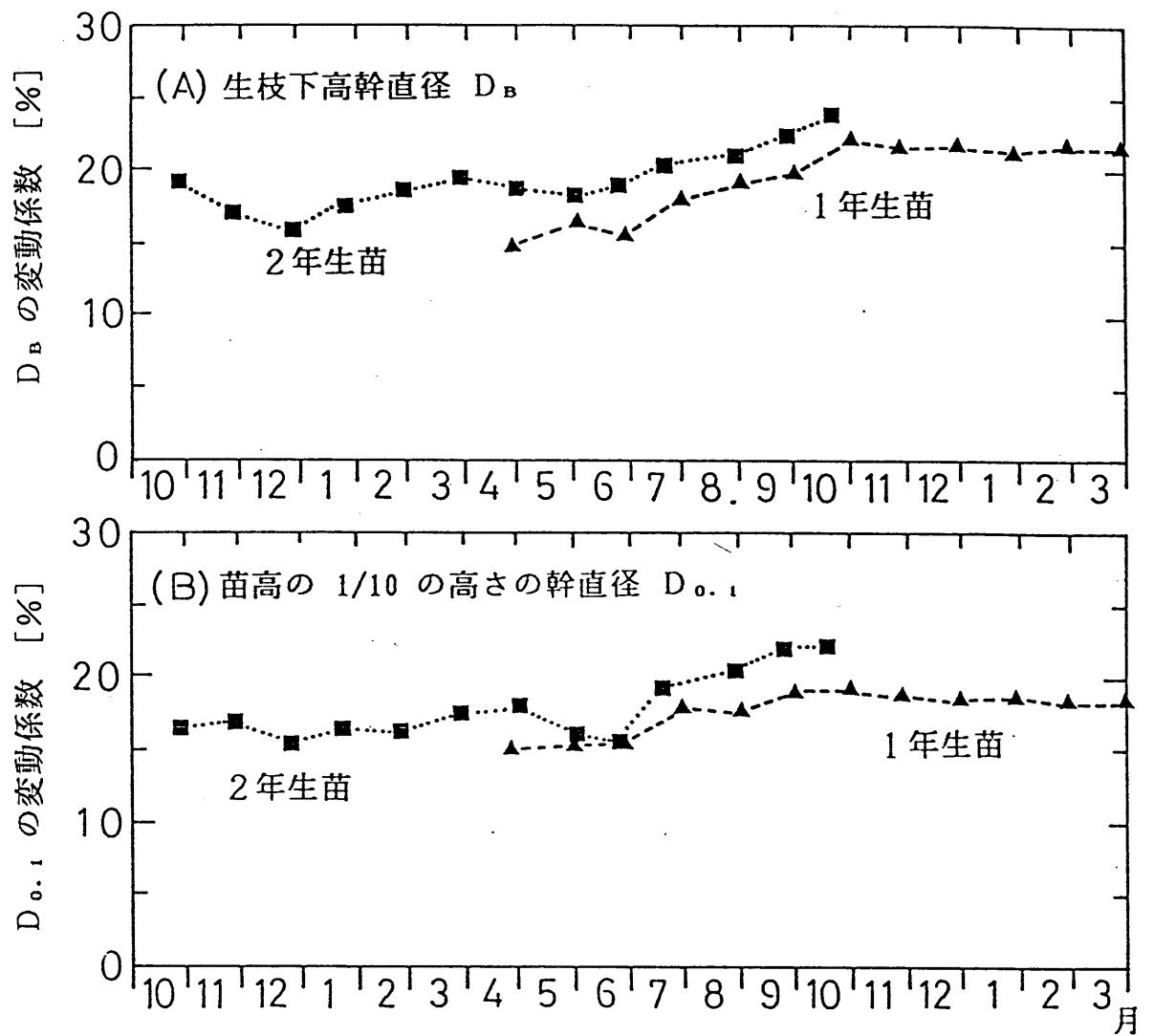


図 3-8. 幹直径 D_B , $D_{0.1}$ の変動係数の季節変化

(A) D_B の変動係数

(B) $D_{0.1}$ の変動係数

▲ : 1年生苗。

■ : 2年生苗。

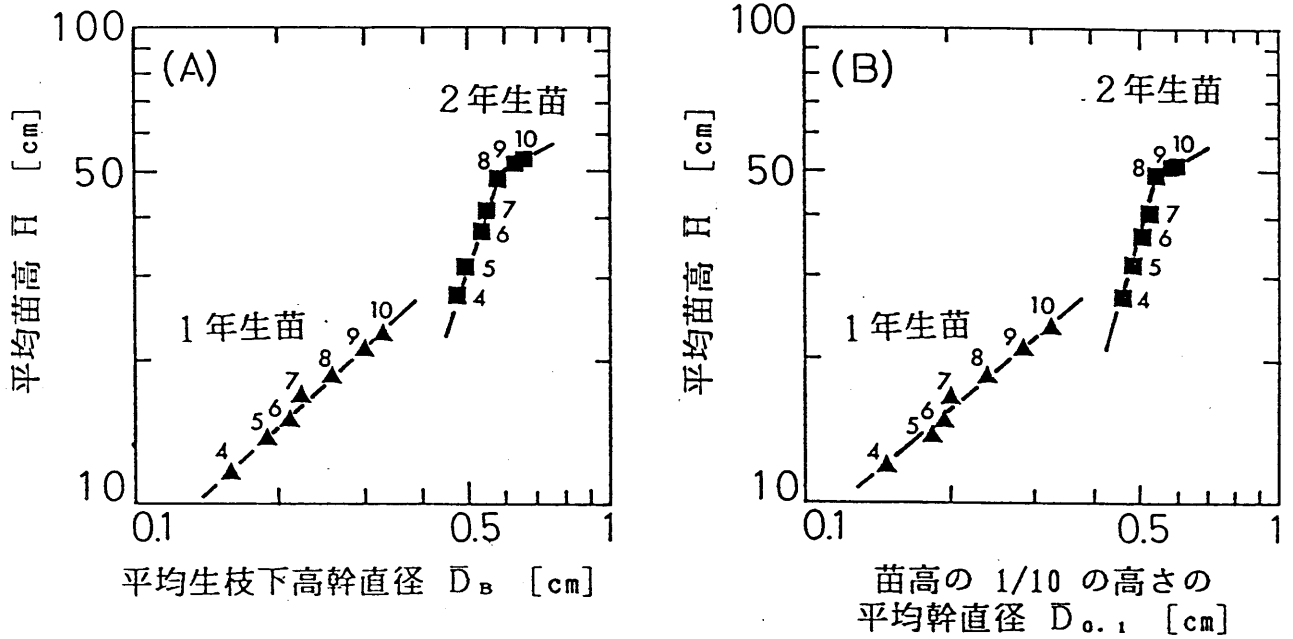


図 3-9. 平均苗高と平均幹直径との相対成長関係

(A) 平均苗高 H — 平均生枝下高幹直径 \bar{D}_B

▲ : 1年生苗。直線は $H = 62.69 \bar{D}_B^{0.90}$ (決定係数 $c^2 = 0.98$; c は相関係数) を示す。

■ : 2年生苗。直線は 4月~8月の期間では $H = 201.69 \bar{D}_B^{2.65}$ ($c^2 = 0.97$) を、8月~10月の期間では $H = 69.09 \bar{D}_B^{0.64}$ ($c^2 = 1.00$) を示す。

図中の数字は月を示す。

(B) 平均苗高 H — 苗高の 1/10 の高さの平均幹直径 $\bar{D}_{0.1}$

▲ : 1年生苗。直線は $H = 60.78 \bar{D}_{0.1}^{0.84}$ ($c^2 = 0.97$) を示す。

■ : 2年生苗。直線は 4月~8月の期間では $H = 410.27 \bar{D}_B^{3.49}$ ($c^2 = 0.93$) を、8月~10月の期間では $H = 71.81 \bar{D}_B^{0.62}$ ($c^2 = 0.91$) を示す。

図中の数字は月を示す。

第 4 章 重量成長および葉面積成長

4-1. はじめに

前章で述べた苗高成長および直径成長は、その結果として重量成長をもたらす。

植物の成長は、言うまでもなく光合成作用を営む葉が生産した光合成産物を源とする。したがって、葉面積といった葉の量は植物の成長を支配する重要な要因の一つと言える。

本章では、個体重、個体葉面積の季節変化を調べ、重量成長、葉面積成長についてその成長パターンを検討する。また、個体重、幹直径の頻度分布および変動係数の季節変化から、個体重、幹直径のパラッキについても検討する。

4-2. 材料と方法

4-2-1. 種子重の測定

厳密にヒノキ苗の初期重を推定するため、種子の重量測定を行った。ヒノキの種子は、図 4-1 に示すように、翼、種皮、胚乳、胚とから構成されている（鈴木・小林, 1981）。

発芽に直接関係する胚乳と胚の乾重は、種子全体の乾重（翼+種皮+胚乳+胚）と（翼+種皮）の乾重の差し引きから推定した。研究室にある成育箱内で種子を発芽させ、翼と種皮を採取した。種子全体の乾重測定に用いた試料数は 200 個、また、翼と種皮の乾重測定に用いた試料数は 231 個であった。

4-2-2. 苗木の重量および葉面積の測定

【当年生苗】

表 2-2（第 2 章、2-2-5）に示した測定日ごとに、100 本の苗木を採取した。採取した 100 本の苗木は、葉、根、幹の各器官に分離した。採取した 100 本の苗木のうち 30 本の苗木について葉面積計（AAC-100, 林電工）により葉面積 u を測定した。

葉面積測定後、分離された各器官は 85 °C で 24 時間乾燥し、それぞれの乾重（葉 w_L , 根 w_R , 幹 w_S ）を測定した。

【1年生苗】

表 2-2（第 2 章、2-2-5）に示した測定日ごとに、25 本の苗木を採取した。

採取した 25 本の苗木について、苗高 H 、生枝下高幹直径 D_B 、苗高の $1/10$ の高さでの幹直径 $D_{0.1}$ を測定した。

採取した 25 本の苗木は、葉、根、幹枝の各器官に分離し、葉面積計 (AAC-100, 林電工) により葉面積 u を測定した。

葉面積測定後、分離された各器官は $85\text{ }^\circ\text{C}$ で 24 時間乾燥し、各器官の乾重 (葉 w_L , 根 w_R , 幹枝 w_{SB}) を測定した。

【2年生苗】

表 2-2 (第 2 章、2-2-5) に示した測定日ごとに、25 本の苗木を採取した。採取した 25 本の苗木について、苗高 H 、生枝下高幹直径 D_B 、苗高の $1/10$ の高さでの幹直径 $D_{0.1}$ を測定した。

採取した 25 本の苗木は、葉、根、幹枝の各器官に分離し、10~25 本の苗木について葉面積計 (AAM-5, 林電工) により葉面積 u を測定した。

葉面積測定後、分離された各器官は $85\text{ }^\circ\text{C}$ で 24 時間乾燥し、各器官の乾重 (葉 w_L , 根 w_R , 幹枝 w_{SB}) を測定した。

4-2-3. 個体重および個体葉面積の算出

個体重および個体葉面積の算出方法の概略を図 4-2 に示す。以下に、個体重および個体葉面積の算出方法を苗齢ごとに述べる。

(1) 個体重

【当年生苗】

採取した全試料 100 本の苗木を対象とし、その苗木の個体重は、本章 (4-2-2) で述べた苗木の乾重の実測値に基づいた。

【1年生苗および2年生苗】

サブプロット内の苗木を対象とし、その苗木の個体重は次のように算出した。

採取した 25 本の苗木について、以下に示すように各器官ごとに相対成長関係を決定した (図 4-3(A, B))。

①個体葉乾重 w_L と生枝下高幹直径 D_B

$$w_L = g_L D_B^{h_L} \quad [\text{g (dry wt) seedling}^{-1}, \text{ cm}] \quad (4-1)$$

②個体幹枝乾重 W_{SB} と苗高の 1/10 の高さの幹直径の 2 乗と苗高との積
 $D^{2_{0.1}} H$

$$W_{SB} = g_{SB} (D^{2_{0.1}} H)^{h_{SB}}. \quad [g \text{ (dry wt) seedling}^{-1}, \text{ cm}^3] \quad (4-2)$$

③個体根乾重 W_R と苗高の 1/10 の高さでの幹直径の 2 乗と苗高との積
 $D^{2_{0.1}} H$

$$W_R = g_R (D^{2_{0.1}} H)^{h_R}. \quad [g \text{ (dry wt) seedling}^{-1}, \text{ cm}^3] \quad (4-3)$$

ここで、 g_L 、 h_L 、 g_{SB} 、 h_{SB} 、 g_R 、 h_R は、各苗齡、各成育時期ごとに決まる係数である（表 4-1(A, B)）。

この相対成長関係とサブプロット内の苗木の毎木調査の結果から、相対成長法（穂積，1963；依田，1971；Ogawa and Kira, 1977）により、サブプロット内の苗木の乾重を器官別に推定した。

(2) 個体葉面積

【当年生苗】

採取した全試料 100 本の苗木を対象とし、その苗木の個体葉面積は次のように算出した。

採取した全試料 100 本のうち 30 本の苗木について決定した個体葉面積 u と個体葉乾重 W_L との相対成長関係

$$u = g_1 W_L^{h_1}. \quad [dm^2 \text{ seedling}^{-1}, g \text{ (dry wt) seedling}^{-1}] \quad (4-4)$$

を決定した（図 4-4）。ここで、 g_1 、 h_1 は各成育時期ごとにきまる係数である（表 4-2）。

この相対成長関係から採取した全試料 100 本の苗木の葉面積を推定した。

【1年生および2年生苗】

サブプロット内の苗木を対象とし、その苗木の個体葉面積は次のように算出した。

1年生苗では採取した全試料 25 本の苗木について、2年生苗では採取し

た全試料 25 本のうち 10~25 本の苗木について、個体葉面積 u と生枝下高幹直径 D_B の相対成長関係

$$u = g_2 D_B^{h_2} \quad [\text{dm}^2 \text{ seedling}^{-1}, \text{ cm}] \quad (4-5)$$

を決定した(図 4-5)。ここで、 g_2 、 h_2 は、各苗齡、各成育時期ごとに決まる係数である(表 4-3)。

この相対成長式とサブプロット内の苗木の毎木調査の結果からサブプロット内の苗木の葉面積を推定した。

4-2-4. 現存量および葉面積指数の算出

現存量および葉面積指数の算出方法の概略を図 4-2 に示す。以下に、現存量および葉面積指数の算出方法を苗齡ごとに述べる。

(1) 現存量

【当年生苗】

採取した 100 本の苗木の乾重の平均値と第 2 章(2-2-5)で述べたサブプロット内の苗木の密度から現存量を算出した。

播種日における初期現存量は、平均種子乾重(胚+胚乳)と 6 月中旬の密度とから算出した。

【1年生苗および2年生苗】

サブプロット内の苗木の乾重の平均値と第 2 章(2-2-5)で述べたサブプロット内の苗木の密度から現存量を算出した。

(2) 葉面積指数

【当年生苗】

採取した全試料 100 本の葉面積の平均値とサブプロット内の苗木の密度から、葉面積指数を算出した。

【1年生および2年生苗】

サブプロット内の苗木の葉面積の平均値とサブプロット内の苗木の密度から、葉面積指数を算出した。

4-3. 結果

4-3-1. 葉の形態

図 4-6 に示すように、当年生苗は成長とともに異なる葉の形態を示した。発芽時の 2 (まれに 3) 枚の子葉に続いて 15枚程度の初生葉が展開した。続いて本葉の展開が始まった。

初生葉は 5月初旬に初めて観察された。また、本葉は 6月中旬に初めて観察され、この時期に子葉・初生葉の乾重成長は終了した。

図 4-7 に示すように、葉 (子葉+初生葉+本葉) に占める本葉の乾重の割合は 8月下旬には 90 % に達した。後述するように (第 7 章、7-3-2)、子葉および初生葉はそのほとんどが当年の秋に枯死した。したがって、1年生および 2年生苗の葉は普通葉のみから成り立っているとみなせる。

4-3-2. 平均個体重および現存量の成長曲線

【個体重】

一つの種子全体の平均乾重 (± 1 S. D.) は 3.12 ± 0.92 mg、翼と種皮の平均乾重は 2.43 ± 0.61 mg となった。したがって、1種子当たりの胚乳と胚の平均乾重は 0.69 mg と推定された。

図 4-8 は個体の各器官の平均乾重の総和である平均個体全重 \bar{w} の成長曲線を片対数グラフ上に示したものである。

当年生苗では、 \bar{w} は 3月下旬~12月下旬の期間に単調な増加を示した。1年生苗では、 \bar{w} は 4月下旬~12月下旬の期間に単調な増加を示した。2年生苗では、 \bar{w} は 10月下旬~12月下旬および 4月下旬~10月下旬の期間に単調な増加を示した。

\bar{w} の成長曲線は各苗齢とも異なる傾きをもつ何本かの線分で近似された。線分の傾きは \bar{w} の成長率を示すが、各苗齢とも、線分の傾きは成育時期によって異なり、概して春から秋へと季節が進むにつれて直線の傾きは小さくなる傾向にあった。

成長にともなう \bar{w} の増加の割合を 4月下旬の \bar{w} を 1 として基準に調べてみると、図 4-9 に示すようになった。当年生苗では実験終了時の 3月下旬の \bar{w} は 529倍、1年生苗では実験終了時の 3月下旬の \bar{w} は 7倍、2年生苗では実験終了時の 10月下旬の \bar{w} は 3倍となった。

【現存量】

図 4-10 は片対数グラフ上での各器官の現存量の総和である全現存量 y

の成長曲線を示す。

当年生苗の全現存量は、8月以降の期間において1年生苗の全現存量を上回った。これは、当年生苗が高密度下にあるためである。

当年生苗における播種日および終了時の全現存量は、1.0 および 884.0 g (dry wt) m^{-2} と推定された。1年生苗における実験開始時および終了時の全現存量は 42.3 および 264.5 g (dry wt) m^{-2} 、また、2年生苗における実験開始時および終了時の全現存量は 327.1 および 1402.0 g (dry wt) m^{-2} と推定された。

4-3-3. 平均個体葉面積、平均個体葉重および葉面積指数の成長曲線 【平均個体葉面積および平均個体葉重】

図 4-11 に平均個体葉面積 \bar{u} の成長曲線が、平均個体葉乾重 w_L の成長曲線とともに示してある。

各苗齢とも、 \bar{u} および w_L の成長曲線は、それぞれ異なる傾きをもつ何本かの線分で近似された。この線分の傾きは \bar{u} および w_L の成長率を示す。

\bar{u} の線分の傾きは w_L の線分の傾きより、早い時期、すなわち、当年生苗では 10月下旬～12月下旬、1年生苗では 9月下旬～12月下旬、2年生苗では 10月下旬～12月下旬の期間に 0 に近づく傾向にあった。したがって、 \bar{u} の成長は w_L の成長より早い時期に停止すると考えられる。

【葉面積指数】

図 4-12 は片対数グラフ上での葉面積指数の成長曲線を示す。

実験開始時および終了時の葉面積指数は、当年生苗では 0.018 および 3.73 $m^2 m^{-2}$ 、1年生苗では 0.14 および 0.84 $m^2 m^{-2}$ 、2年生苗では 1.58 および 5.16 $m^2 m^{-2}$ であった。

Tadaki (1977) の要約によれば、ヒノキ林の葉面積指数は 5～7 $ha ha^{-1}$ であった。したがって、2年生苗の葉面積指数の値 5.16 $m^2 m^{-2}$ はヒノキ林の葉面積指数に匹敵した。

4-3-4. 器官の乾重比の季節変化

各器官の量的割合を明らかにするために、図 4-13 に個体の平均全乾重 w に対する各器官の平均乾重の比（葉 w_L/w ，根 w_R/w ，幹 w_S/w ，幹枝 w_{SB}/w ）の季節変化を示す。

【当年生および1年生苗】

顕著な乾重増加がみられた 4月下旬～12月下旬の期間において、葉の乾重比は、当年生苗では二頂型の、1年生苗では一頂型の変化を示した。葉の展開過程を考慮すれば、当年生苗における葉の乾重比の最初の増加は子葉・初生葉の展開に、次の増加は本葉の展開に起因した。また、1年生苗における葉の乾重比の増加は本葉の展開に起因した。

各器官の乾重比の季節変化を比較してみると、当年生および1年生苗とも葉と根の乾重比は全期間を通じて互いに逆に変化する傾向にあった。つまり、葉の乾重比が増加する期間においては根の乾重比は減少し、また、葉の乾重比が減少する期間においては根の乾重比は増加した。

一方、当年生苗の幹の乾重比は 4月下旬～8月初旬までは葉の乾重比と逆に、言い換えれば、根の乾重比と同じように変化した。8月初旬以降は幹の乾重比はほぼ一定であった。同様に、1年生苗の幹枝の乾重比も 6月下旬以降はほぼ一定であった。

【2年生苗】

顕著な乾重増加がみられた 4月下旬～10月下旬の期間において、2年生苗の葉の乾重比は 4月下旬～5月下旬にかけてわずかに増加し、その後減少する傾向にあった。

各器官の乾重比の季節変化を比較してみると、10月下旬～8月下旬の期間において、2年生苗の葉と根の乾重比は、当年生および2年生苗と同様に、互いに逆に変化した。

一方、幹枝の乾重比は、10月下旬～7月下旬にかけて、ほぼ一定値を維持し、その後は、葉の乾重比の変化とは逆に、幹枝の乾重比は増加した。

4-3-5. 個体重および個体葉面積の頻度分布

Koyama and Kira (1956) の方法を参考にして、個体重および個体葉面積の頻度分布を作成した。各苗齢とも、階級数は 10 とし、頻度は全試料に対する相対値として算出した。作成された頻度分布は、 χ_0^2 - 検定により、正規分布への適合度が検定された。

【個体重】

図 4-14 は個体全乾重 w の頻度分布を示す。

種子では、その乾重（胚+胚乳+種皮+翼）の頻度分布は正規型分布を示した。

当年生苗では、4月～10月初旬までは w の頻度分布は正規型分布を示す傾向にあった。しかし、10月下旬以降は、分布のモードは左側にずれ、しだいにL型分布に近づく傾向にあった。

1年生および2年生苗では、それぞれ、全実験期間を通じて、分布のモードはほぼ中央に位置し、分布は正規型分布を示す傾向にあった。

図 4-15 は w の変動係数の季節変化を示す。

種子では、その乾重（胚+胚乳+種皮+翼）の変動係数は 29 % であった。

w の変動係数の変化域は、当年生苗で 26～77 %、1年生苗で 36～50 %、2年生苗で 31～54 % となり、当年生苗の変化域は、1年生・2年生苗のそれと比較して顕著に大きかった。

当年生苗では 4月下旬～11月下旬、1年生苗では 4月下旬～12月下旬、2年生苗では 4月下旬～10月下旬にかけて、 w の変動係数は季節とともに増加する傾向にあった。

したがって、各苗齢とも個体全重の個体差は個体全重の増加とともに大きくなる傾向にあると言える。

【個体葉面積】

図 4-16 は個体葉面積 u の頻度分布を示す。

当年生苗では、4月～10月初旬までは u の頻度分布は正規型分布を示す傾向にあった。しかし、10月下旬以降は、分布のモードは左側にずれ、しだいにL型分布に近づく傾向にあった。

1年生および2年生苗では、それぞれ、全実験期間を通じて、分布のモードはほぼ中央に位置し、分布は正規型分布を示す傾向にあった。

図 4-17 は u の変動係数の季節変化を示す。

u の変動係数の変化域は、当年生苗で 26～69 %、1年生苗で 39～54 %、2年生苗で 33～56 % となり、当年生苗の変化域は、1年生・2年生苗のそれと比較して顕著に大きかった。

当年生苗では 4月下旬～11月下旬、1年生苗では 4月下旬～12月下旬、2年生苗では 4月下旬～10月下旬にかけて、 u の変動係数は季節とともに増加する傾向にあった。

したがって、各苗齢とも個体葉面積の個体差は個体葉面積の増加とともに大きくなる傾向にあると言える。

4-4. 考察

4-4-1. 葉面積成長と葉重成長との関係

図 4-18(A) に、4月～10月までの成長期における平均個体葉面積 \bar{u} と平均個体葉乾重 \bar{w}_L との相対成長関係を両対数グラフに示す。

両者の相対成長関係は異なる傾きをもつ複数の線分で近似された。この線分の傾きは下式で示される平均個体葉面積 \bar{u} と平均個体葉乾重 \bar{w}_L の成長率 ($d\bar{u}/\bar{u}dt$, $d\bar{w}_L/\bar{w}_Ldt$) の大小関係を示す。

$$\frac{1}{\bar{u}} \frac{d\bar{u}}{dt} = q_1 \frac{1}{\bar{w}_L} \frac{d\bar{w}_L}{dt} \quad (4-6)$$

上式において、 q_1 は相対成長指数を示す。この q_1 の値 (<1 , $=1$, >1) により葉面積および葉重の成長率の大小関係が判断される (第3章、3-4-2 参照)。

表 4-4 に、4月～10月の期間における相対成長指数 q_1 の季節変化を示す。

当年生苗では、 q_1 の値は1より大きくなることはなく、 q_1 の値は季節とともに次第に1からはずれていく傾向にあった。このことは、葉面積の成長率が葉重の成長率よりも高くなることはなく、両者の成長率の差は季節とともに次第に大きくなることを示す。

1年生苗では、 q_1 の値は季節とともに、 $q_1 > 1 \rightarrow q_1 < 1$ となった。すなわち、4月下旬～7月下旬の期間では、葉面積の成長率の方が葉重の成長率よりも高くなり、葉面積成長の方が優先した。そして、7月下旬～10月下旬の期間では、葉重の成長率の方が葉面積の成長率よりも高くなり、葉重成長の方が優先した。

2年生苗では、1年生苗でみられた傾向と類似した。 q_1 の値は季節とともに、 $q_1 > 1 \rightarrow q_1 \approx 1$ となった。すなわち、4月下旬～7月下旬の期間では、葉面積の成長率の方が葉重の成長率よりも高くなり、葉面積成長の方が優先した。そして、7月下旬～10月下旬の期間では、葉面積の成長率と葉重の成長率はほぼ等しくなった。

ここで、当年生苗において、本葉のみについてみると (図 4-18(B))、当年生苗の本葉の平均個体葉面積 \bar{u}_F と本葉の平均個体葉乾重 \bar{w}_{LF} との間には、下式で示される相対成長関係が成立した。

$$\frac{1}{\bar{u}_F} \frac{d\bar{u}_F}{dt} = q_2 \frac{1}{\bar{w}_{LF}} \frac{d\bar{w}_{LF}}{dt} \quad (4-7)$$

ここで、 q_2 は相対成長指数を示す。

4月～10月の期間において、 q_2 は季節とともに $q_2 > 1 \rightarrow q_2 < 1$ となった(表 4-4)。この q_2 の変化は、葉が本葉のみからなる1年生および2年生苗で見られた q_1 の変化と類似した。

従って、4月～10月までの成長期における本葉に関する個体葉面積と個体葉乾重との相対成長関係は苗齢には無関係に同じであると考えられる。実際、葉が本葉からなるカラマツ (*Larix leptolepis* Gordon) 人工林における単葉に関しても、本研究結果と類似した結果が倉地ほか(1983)によって報告されている。

4-4-2. 地上部の重量成長と地下部の重量成長との関係

図 4-19 は個体の平均地下部乾重 \bar{w}_R に対する個体の平均地上部乾重 \bar{w}_T の比で定義される T/R 比の季節変化を示す。

T/R 比は、当年生苗において 3.2～8.9、1年生苗において 2.4～4.9、2年生苗において 2.3～3.9 の範囲にあった。1年生苗における T/R 比の変化域は Negisi (1977) による1年生ヒノキ苗の結果と類似した。2年生苗における11月以降の T/R 比の値についてはわからないが、2年生苗の T/R 比は 3～4 というヒノキ成木の T/R 比 (Karizumi, 1977) に近いものと考えられる。

当年生苗の T/R 比は、4月下旬～6月下旬、6月下旬～12月下旬、12月下旬～3月中旬のそれぞれの期間で増減した。1年生苗の T/R 比は、4月下旬～12月下旬、12月下旬～3月下旬の期間でそれぞれ増減した。2年生苗の T/R 比には明白な季節変化は認められなかった。

地上部と地下部の成長パターンを明らかにするために、図 4-20 に平均地上部乾重 \bar{w}_T と平均地下部乾重 \bar{w}_R との相対成長関係を両対数グラフに示す。

当年生および1年生苗において、両者の相対成長関係は異なる傾きをもつ複数の線分で近似された。この線分の傾きは下式で示される地上部重と地下部重の成長率 ($d\bar{w}_T/\bar{w}_T dt$, $d\bar{w}_R/\bar{w}_R dt$) の大小関係を示す。

$$\frac{1}{\bar{w}_T} \frac{d\bar{w}_T}{dt} = k \frac{1}{\bar{w}_R} \frac{d\bar{w}_R}{dt} \quad (4-8)$$

上式において k は相対成長指数を示す。この k の値 (<1 , $=1$, >1) により地上部および地下部の成長率の大小関係が判断される (第3章、3-4-2 参照)。

表 4-5 に、顕著な重量増加が認められた 4月~12月の期間における k の季節変化を示す。ただし、2年生苗については 4月~10月の期間を対象とした。

当年生および1年生苗において、 k は特徴ある季節変化を示した。

当年生苗の k の値は、4月~12月にかけて、 $k > 1 \rightarrow k \approx 1 \rightarrow k < 1 \rightarrow k > 1 \rightarrow k \approx 1 \rightarrow k < 1$ となった。

1年生苗の k の値は、4月~12月にかけて、 $k > 1 \rightarrow k < 1$ となった。

2年生苗では、4月~10月の期間において、 $k < 1$ となる1本の直線で近似された。

当年生および2年生苗でみられた k の変化は、ある期間で地上部の成長率が高いと、それに続く期間においては地下部の成長率の方が高くなることを示し、地上部と地下部の成長率の大小関係に交互性が認められた。このような地上部と地下部の周期的な成長はいくつかの樹種において報告されている (Cannell, 1985)。

当年生および1年生苗において、苗齢ごとに全期間を通じて1本の直線で近似した場合 (図中破線)、データの軌跡はその回帰直線の回りを周期的に変動した (Drew, 1982)。回帰直線の傾き k の値は 95% の信頼範囲で、当年生苗では 0.98 ± 0.07 、1年生苗では 0.76 ± 0.14 と計算された。この k の値は当年生苗においては1から有意な差は認められなかったが、1年生苗では有意水準 5% で有意な差が認められた。

したがって、当年生苗では、地上部と地下部はそれぞれ成長率の大小を変化させながら、全体としては各々の成長率が等しくなるように成長していると言える。一方、1年生苗では、地上部と地下部はそれぞれ成長率の大小を変化させながら、全体としては地下部の方が成長率が高くなるように成長していると言える。

表 4-1(A). 1年生苗における (4-1) 式の係数 g_L , h_L , (4-2) 式の係数 g_{SB} , h_{SB} および (4-3) 式の係数 g_R , h_R

年/月/日	(4-1) 式			(4-2) 式			(4-3) 式		
	g_L	h_L	c^2	g_{SB}	h_{SB}	c^2	g_R	h_R	c^2
85/ 4/25	170.83	3.27	0.78	0.31	0.75	0.94	0.36	0.67	0.77
5/29	43.64	2.57	0.78	0.27	0.77	0.91	0.37	0.55	0.68
6/26	92.57	2.88	0.92	0.24	0.74	0.97	0.42	0.64	0.90
7/30	88.13	2.91	0.93	0.25	0.77	0.97	0.40	0.96	0.89
8/29	46.56	2.42	0.91	0.26	0.81	0.98	0.40	0.75	0.86
9/27	45.46	2.48	0.80	0.25	0.78	0.96	0.37	0.83	0.84
10/31	29.65	2.25	0.89	0.27	0.87	0.95	0.55	0.76	0.82
11/31	39.89	2.46	0.89	0.27	0.94	0.94	0.69	0.78	0.86
12/26	42.66	2.47	0.90	0.29	0.96	0.98	0.66	0.91	0.84
86/ 1/30	35.52	2.32	0.90	0.29	0.95	0.98	0.64	0.88	0.90
2/26	34.08	2.27	0.84	0.27	1.00	0.90	0.50	0.95	0.76
3/28	40.38	2.41	0.92	0.26	0.95	0.97	0.59	0.86	0.89

[Dimension]: $[g_L] = [g \text{ (dry wt) seedling}^{-1} \text{ cm}^{-h_L}]$, $[g_{SB}] = [g \text{ (dry wt) seedling}^{-1} \text{ cm}^{-3h_{SB}}]$, $[g_R] = [g \text{ (dry wt) seedling}^{-1} \text{ cm}^{-3h_R}]$, $[h_L] = [h_{SB}] = [h_R] = [\text{Dimensionless}]$.

c^2 : 決定係数 (ただし, c は相関係数) .

$$(4-1) \text{ 式: } W_L = g_L D_B^{h_L}$$

$$(4-2) \text{ 式: } W_{SB} = g_{SB} (D_{0.1}^2 H)^{h_{SB}}$$

$$(4-3) \text{ 式: } W_R = g_R (D_{0.1}^2 H)^{h_R}$$

表 4-1(B). 2年生苗における (4-1) 式の係数 g_L , h_L , (4-2) 式の係数 g_{SB} , h_{SB} および (4-3) 式の係数 g_R , h_R

年/月/日	(4-1) 式			(4-2) 式			(4-3) 式		
	g_L	h_L	c^2	g_{SB}	h_{SB}	c^2	g_R	h_R	c^2
81/10/28	23.67	2.26	0.56	0.17	1.03	0.95	0.54	0.57	0.68
11/26	32.81	2.45	0.79	0.23	0.95	0.92	0.53	0.93	0.85
12/25	25.93	2.07	0.90	0.26	0.91	0.95	0.62	0.79	0.86
82/ 1/27	21.39	1.91	0.85	0.24	0.90	0.97	0.61	0.64	0.85
2/24	45.07	2.56	0.91	0.22	0.99	0.94	0.54	0.82	0.81
3/26	26.45	1.96	0.82	0.21	1.03	0.98	0.57	0.75	0.86
4/30	16.70	1.48	0.71	0.26	0.88	0.90	0.58	0.68	0.75
5/27	33.48	2.52	0.90	0.20	0.91	0.98	0.39	0.79	0.88
6/24	26.21	2.09	0.66	0.17	1.00	0.95	0.56	0.69	0.72
7/20	26.75	2.04	0.89	0.28	0.82	0.76	0.58	0.73	0.88
8/30	34.01	2.32	0.89	0.20	0.97	0.99	0.71	0.62	0.84
9/27	29.99	2.25	0.94	0.20	1.01	0.98	0.54	0.74	0.92
10/18	30.71	2.32	0.92	0.34	0.95	0.97	0.71	0.68	0.81

[Dimension]: $[g_L] = [g \text{ (dry wt) seedling}^{-1} \text{ cm}^{-h_L}]$, $[g_{SB}] = [g \text{ (dry wt) seedling}^{-1} \text{ cm}^{-3h_{SB}}]$, $[g_R] = [g \text{ (dry wt) seedling}^{-1} \text{ cm}^{-3h_R}]$, $[h_L] = [h_{SB}] = [h_R] = [\text{Dimensionless}]$.

c^2 : 決定係数 (ただし, c は相関係数).

$$(4-1) \text{ 式: } W_L = g_L D_B^{h_L}.$$

$$(4-2) \text{ 式: } W_{SB} = g_{SB} (D_{0.1}^2 H)^{h_{SB}}.$$

$$(4-3) \text{ 式: } W_R = g_R (D_{0.1}^2 H)^{h_R}.$$

表 4-2. 当年生苗における (4-4) 式, $u = g_1 w_L^{h_1}$,
の係数 g_1, h_1

年/月/日	g_1	h_1	c^2
84/ 4/27	24.34	1.30	0.79
5/ 8	0.44	0.73	0.85
30	1.03	0.87	0.97
6/15	0.73	0.84	0.95
27	1.17	0.92	0.97
7/13	1.20	0.92	0.97
23	1.30	0.94	0.97
8/ 2	1.20	0.91	0.99
21	1.29	0.95	0.99
9/ 6	1.05	0.90	0.98
20	0.99	0.85	0.99
10/11	0.88	0.83	0.99
26	0.81	0.80	0.98
11/29	0.82	0.84	0.99
12/21	0.70	0.83	0.99
85/ 1/24	0.63	0.79	0.99
2/22	0.62	0.80	0.99
3/14	0.63	0.83	0.99

[Dimension]: $[g_1] = [\text{dm}^2 \text{ seedling}^{h_1-1} \text{ g (dry wt)}^{-h_1}]$,
 $[h_1] = [\text{Dimensionless}]$.

c^2 : 決定係数 (ただし, c は相関係数) .

表 4-3. 1年生および2年生苗における(4-5)式, $u = g_2 D_B^{h_2}$, の係数 g_2, h_2

1年生苗				2年生苗			
年/月/日	g_2	h_2	c^2	年/月/日	g_2	h_2	c^2
85/ 4/25	61.47	3.07	0.78	81/10/28	15.35	2.05	0.47
5/29	19.02	2.38	0.72	11/26	20.70	2.49	0.78
6/26	44.35	2.64	0.86	12/25	16.22	2.10	0.88
7/30	59.22	2.79	0.93	82/ 1/27	14.20	1.95	0.85
8/29	33.81	2.40	0.88	2/24	28.41	2.53	0.92
9/27	28.50	2.38	0.77	3/26	16.61	1.97	0.85
10/31	20.96	2.32	0.88	4/30	9.00	1.55	0.73
11/27	21.72	2.41	0.87	5/27	19.09	2.60	0.90
12/26	22.43	2.47	0.89	6/24	17.26	2.13	0.73
86/ 1/30	17.73	2.26	0.89	7/20	19.30	2.03	0.91
2/26	18.86	2.30	0.83	8/30	26.23	2.47	0.88
3/28	21.63	2.42	0.92	9/27	22.85	2.36	0.92
				10/18	21.92	2.32	0.92

[Dimension]: $[g_2] = [\text{dm}^2 \text{ seedling}^{-1} \text{ cm}^{-h_2}]$, $[h_2] = [\text{Dimensionless}]$.

c^2 : 決定係数 (ただし, c は相関係数) .

表 4-4. (4-6), (4-7) 式の相対成長指数 q_1 , q_2 の苗齢ごとの季節変化

(4-6) 式		(4-7) 式	
期間	q_1	期間	q_2
当年生苗		当年生苗	
4/27 - 5/8, 1984	1.00	6/15 - 8/2, 1984	1.07
5/8 - 6/27	0.78	8/2 - 10/26	0.78
6/27 - 10/26	0.85		
1年生苗			
4/25 - 7/30, 1985	1.40		
7/30 - 10/31	0.80		
2年生苗			
4/30 - 7/20, 1982	1.88		
7/20 - 10/18	0.98		

$$(4-6) \text{ 式: } \frac{1}{\bar{u}} \frac{d\bar{u}}{dt} = q_1 \frac{1}{\bar{w}_L} \frac{d\bar{w}_L}{dt} .$$

$$(4-7) \text{ 式: } \frac{1}{\bar{u}_F} \frac{d\bar{u}_F}{dt} = q_2 \frac{1}{\bar{w}_{LF}} \frac{d\bar{w}_{LF}}{dt} .$$

表 4-5. (4-8) 式の相対成長指数 k の苗齢ごとの季節変化

期間	k
当年生苗	
4/27 - 5/ 8, 1984	6.84
5/ 8 - 5/30	1.12
5/30 - 6/27	0.71
6/27 - 7/ 2	1.89
7/ 2 - 9/20	0.95
9/20 - 12/21	0.46
1年生苗	
4/25 - 8/29, 1985	1.27
8/29 - 12/26	0.40
2年生苗	
4/30 - 10/18, 1982	0.87

$$(4-8) \text{ 式: } \frac{1}{\bar{w}_T} \frac{d\bar{w}_T}{dt} = k \frac{1}{\bar{w}_R} \frac{d\bar{w}_R}{dt}$$

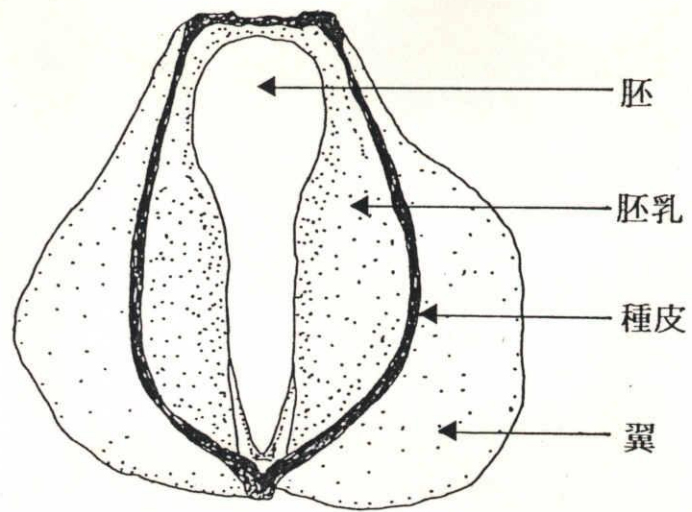
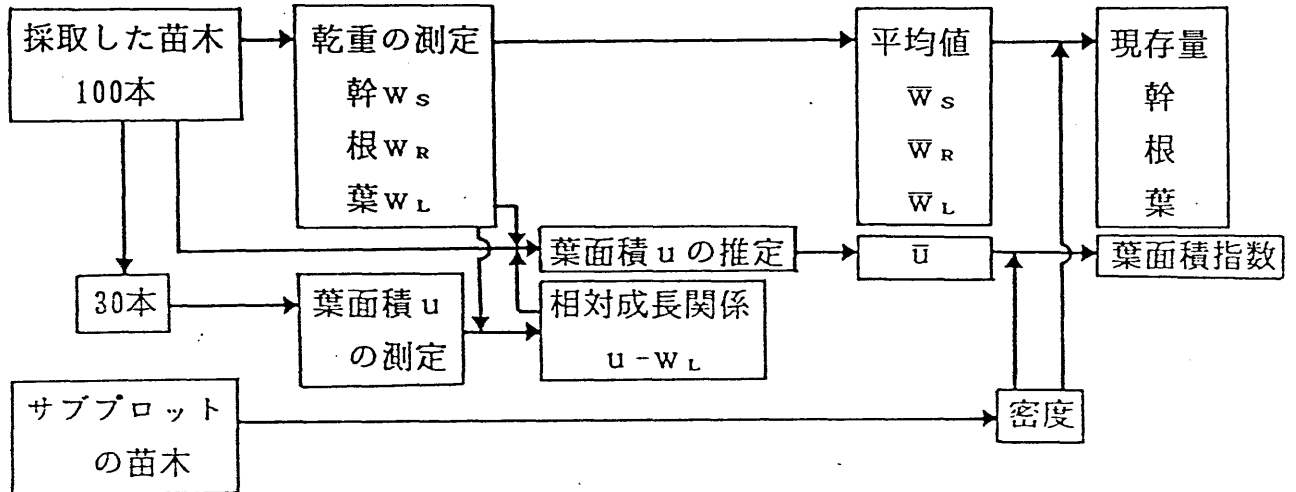


図 4-1. ヒノキの種子の断面（上：原図；鈴木・小林，1981）および外観（下）

【当年生苗】



【1年生および2年生苗】

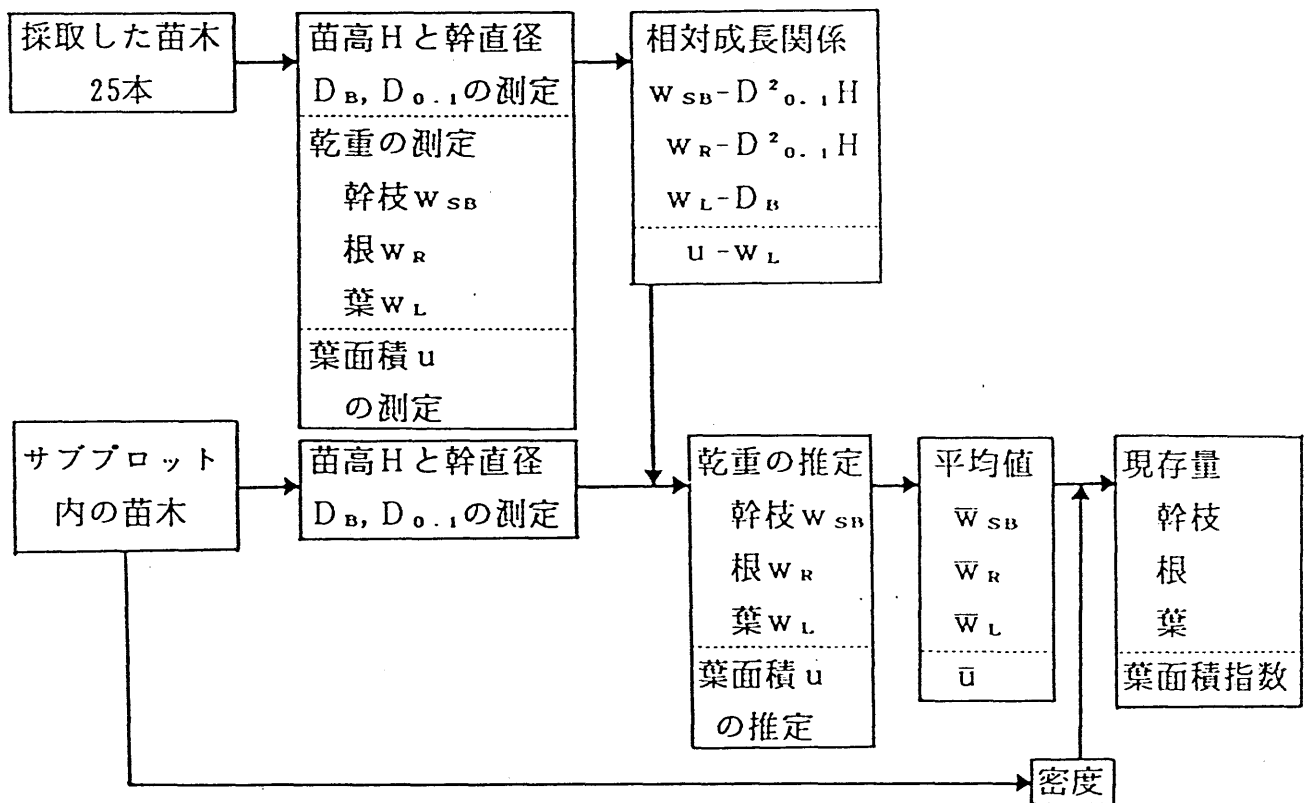


図 4-2. 個体重、個体葉面積、現存量、葉面積指数の推定方法の概略図

D_B : 生枝下高幹直径。

$D_{0.1}$: 苗高の 1/10 の高さでの幹直径。

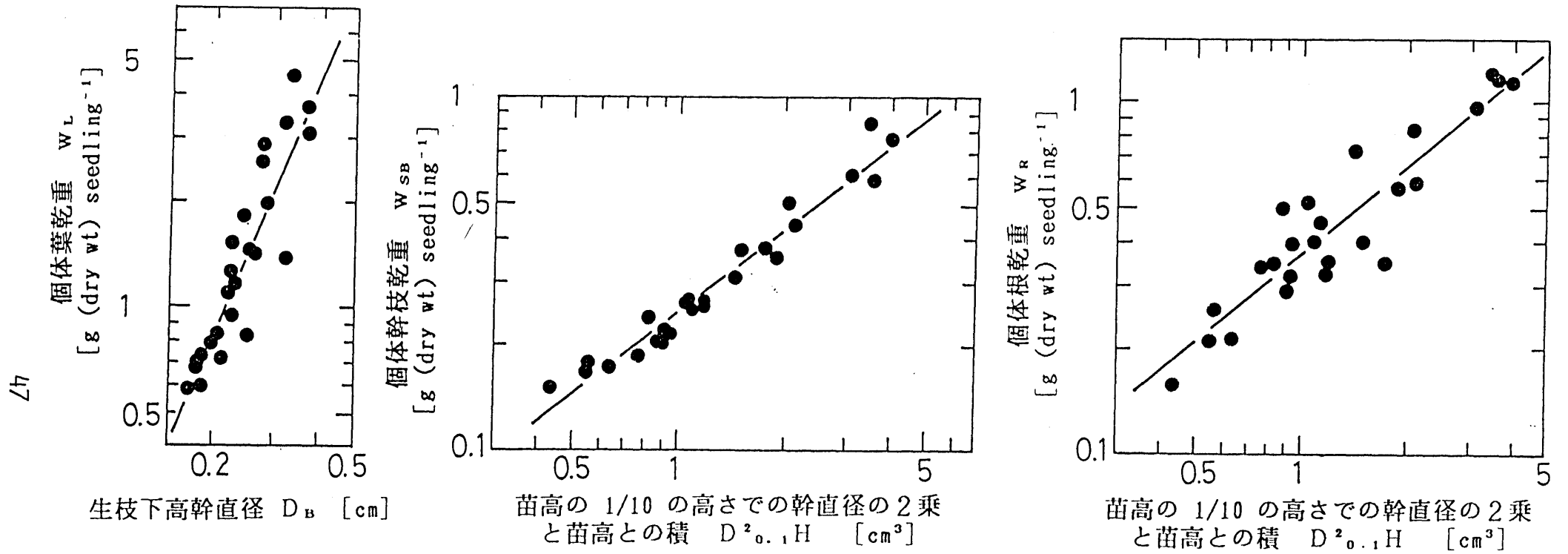


図 4-3(A). 1年生苗 (1985年9月27日) における相対成長関係

(左) 個体葉乾重 W_L - 生枝下高幹直径 D_B
直線は (4-1) 式を示す。

(中) 個体幹枝乾重 W_{SB} - 苗高の 1/10 の高さでの幹直径の
2乗と苗高との積 $D^2_{0.1}H$
直線は (4-2) 式を示す。

(右) 個体根乾重 W_R - $D^2_{0.1}H$
直線は (4-3) 式を示す。

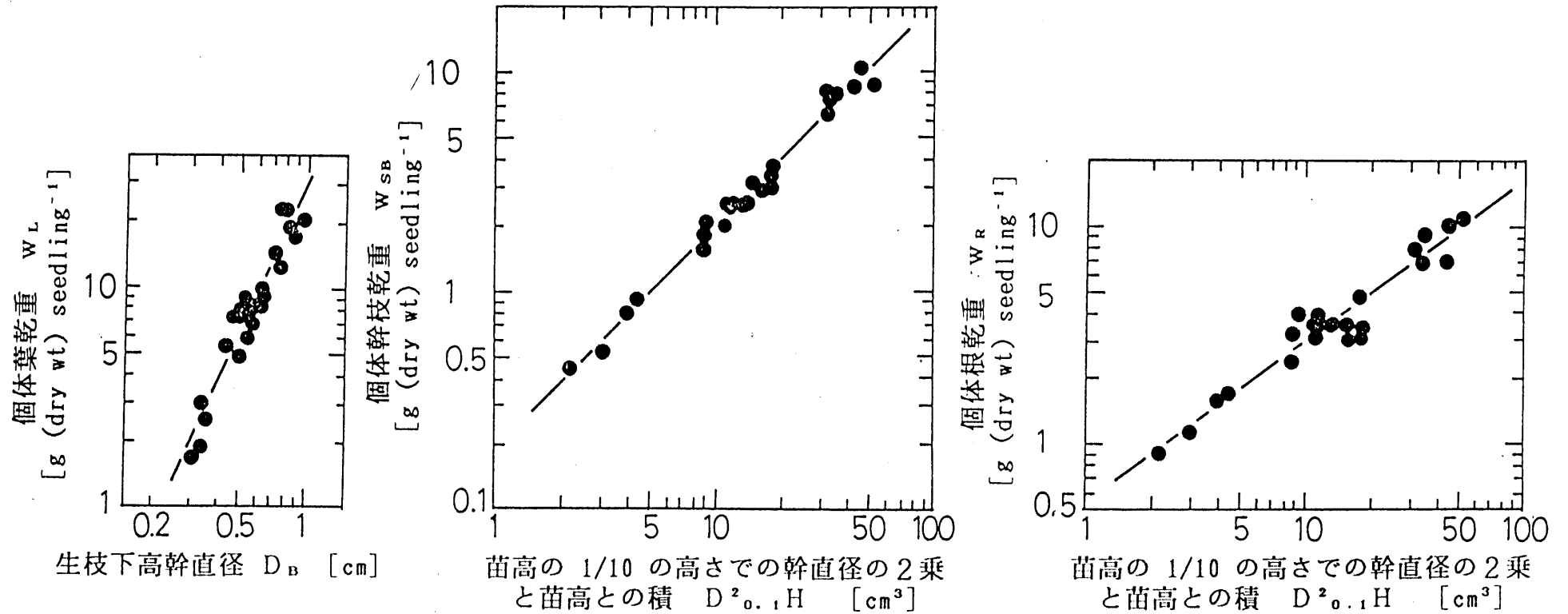


図 4-3(B). 2年生苗 (1982年9月27日) における相対成長関係

(左) 個体葉乾重 W_L - 生枝下高幹直径 D_B

直線は (4-1) 式を示す。

(中) 個体幹枝乾重 W_{SB} - 苗高の 1/10 の高さでの幹直径の
2乗と苗高との積 $D^2 \cdot 0.1 \cdot H$

直線は (4-2) 式を示す。

(右) 個体根乾重 W_R - $D^2 \cdot 0.1 \cdot H$

直線は (4-3) 式を示す。

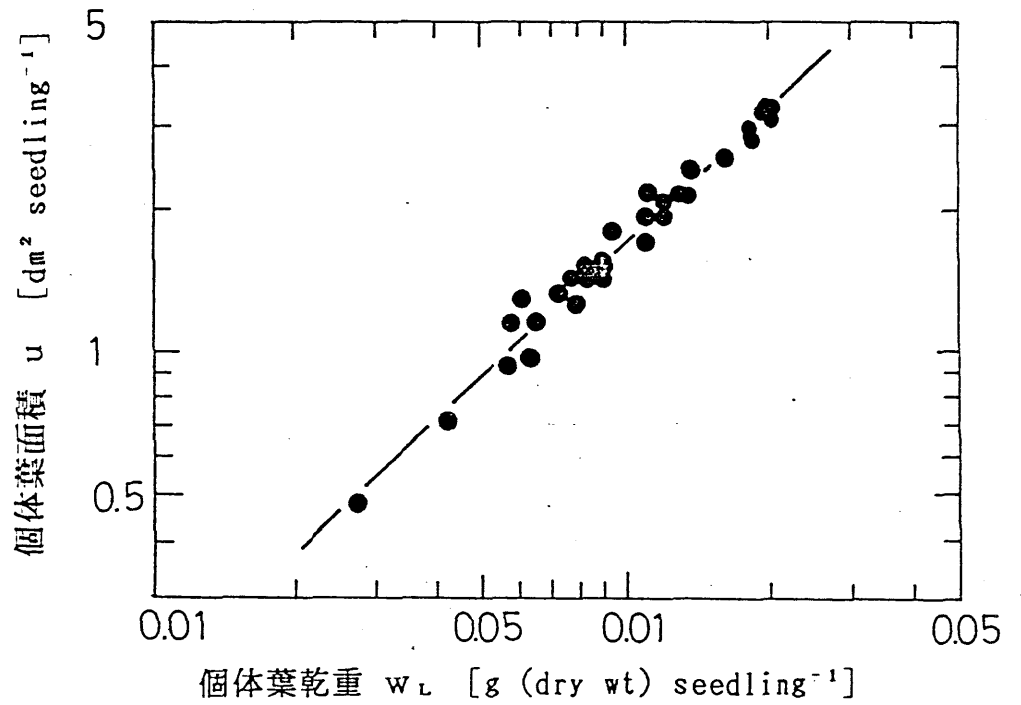


図 4-4. 当年生苗（1984年6月27日）における個体葉面積 u と個体葉乾重 w_L との相対成長関係
直線は（4-4）式を示す。

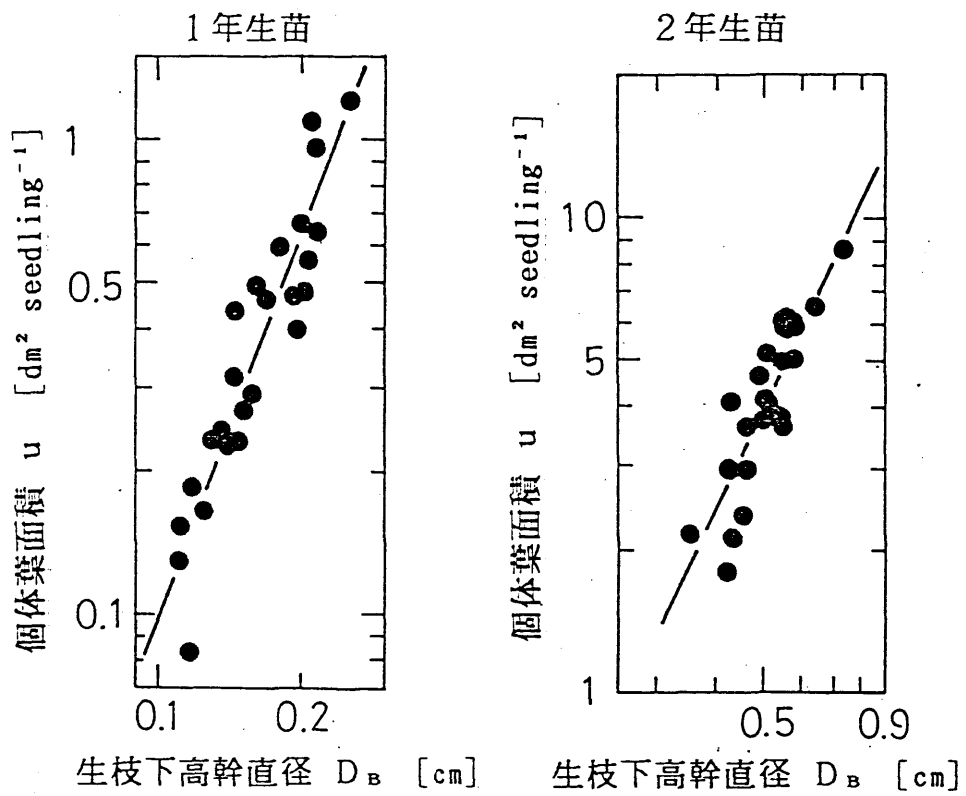


図 4-5. 個体葉面積 u と生枝下高幹直径 D_B との相対成長関係
 1年生苗は 1985年6月26日、2年生苗は 1982年6月24日の結果を示す。直線は (4-5) 式を示す。

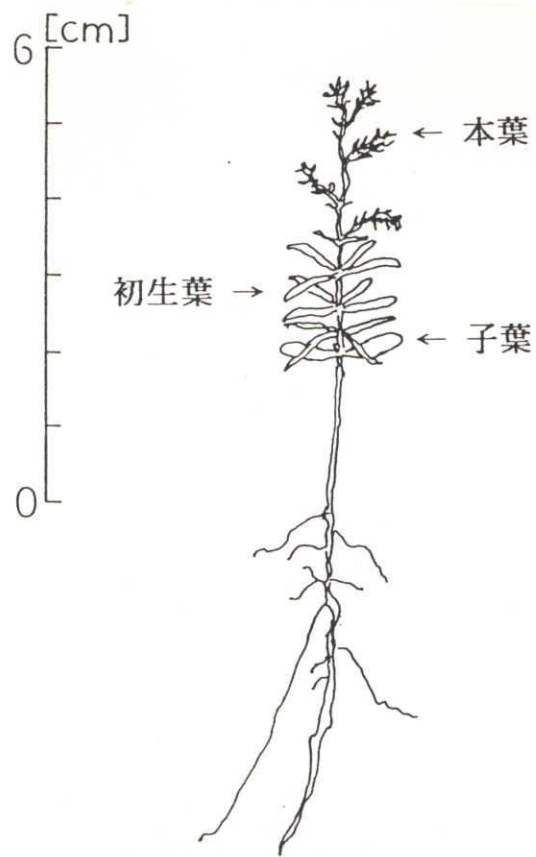


図 4-6. 当年生苗における葉の形態

1984年6月27日の例。当年生苗の葉は子葉 → 初生葉 → 本葉の順で展開した。初生葉は 5月下旬に、本葉は 6月中旬に初めて観察された。播種日は 1984年3月29日であった。

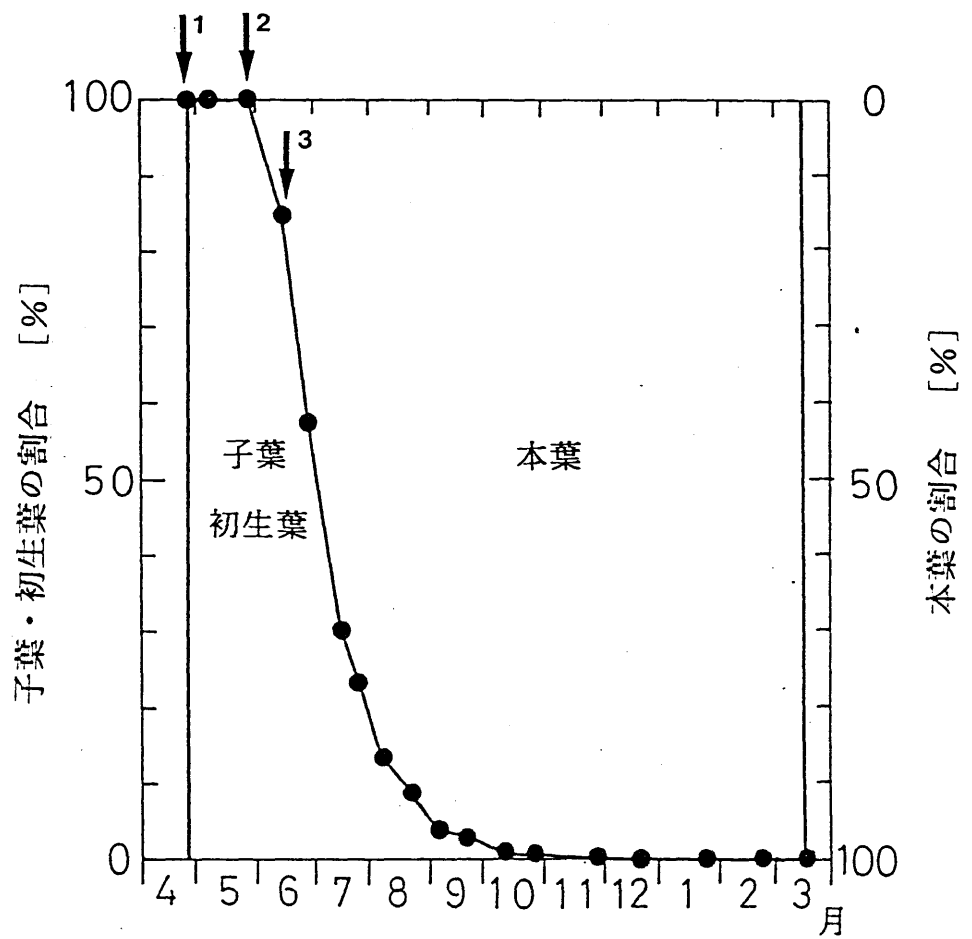


図 4-7. 当年生苗における葉（子葉+初生葉+本葉）に占める子葉・初生葉と本葉の乾重の割合
 矢印 1, 2, 3 は、それぞれ子葉、初生葉、本葉が初めて観察された時期を示す。

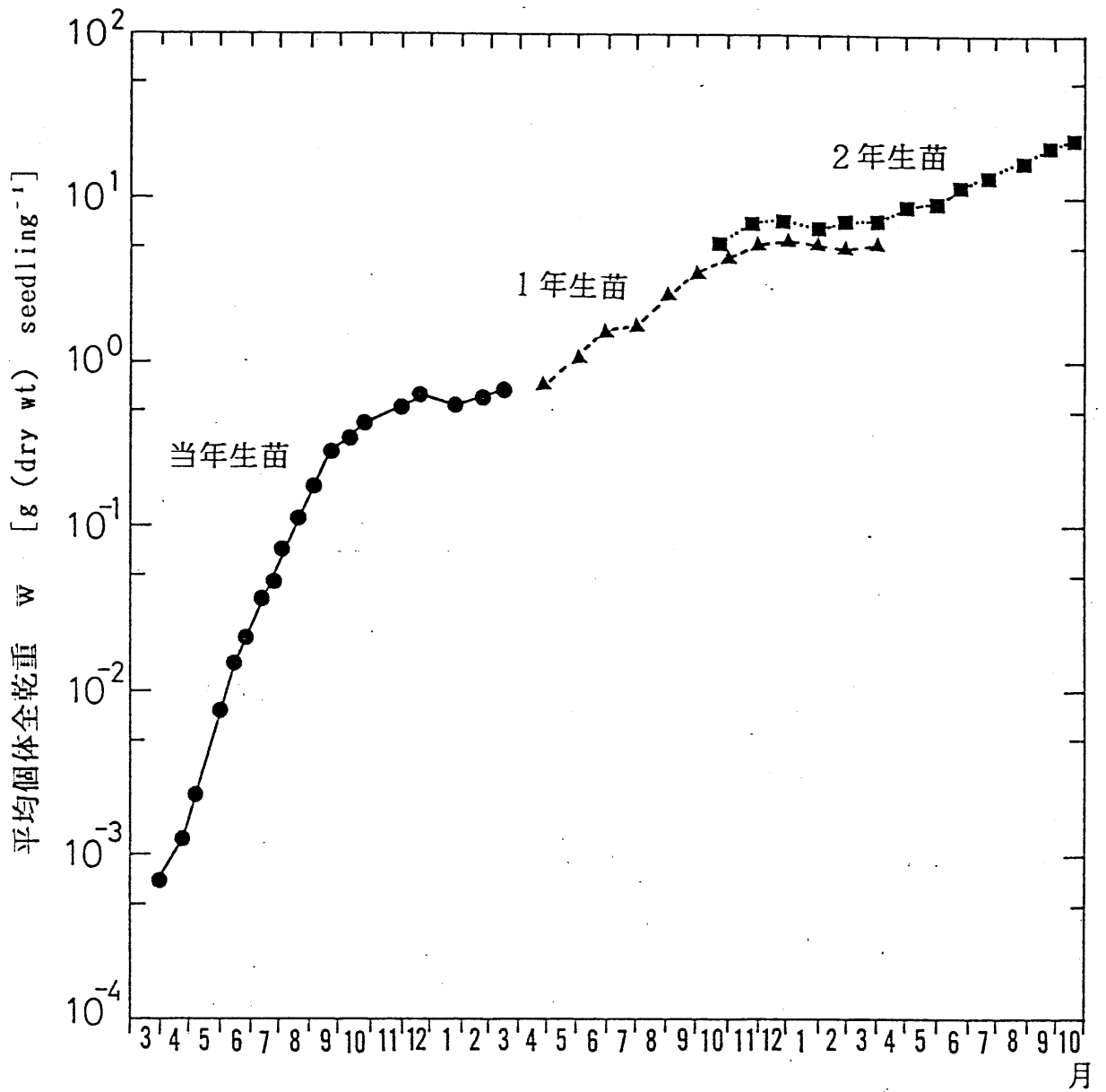


図 4-8. 平均個体全乾重 \bar{w} の成長曲線

- : 当年生苗。
- ▲ : 1年生苗。
- : 2年生苗。

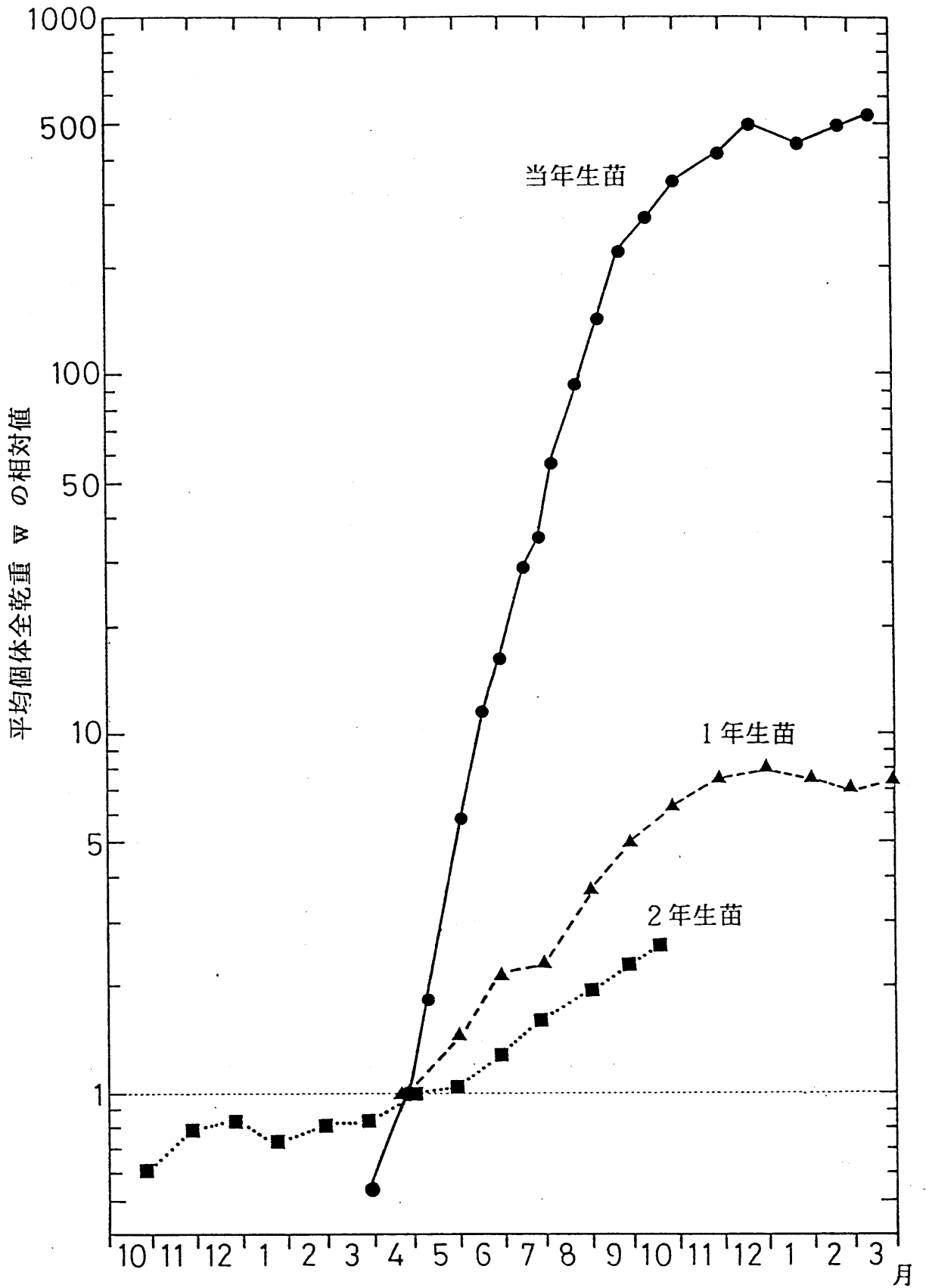


図 4-9. 平均個体全乾重 w の相対値の成長曲線

各季節の w は4月下旬の w の相対値として示されている。

● : 当年生苗。

▲ : 1年生苗。

■ : 2年生苗。

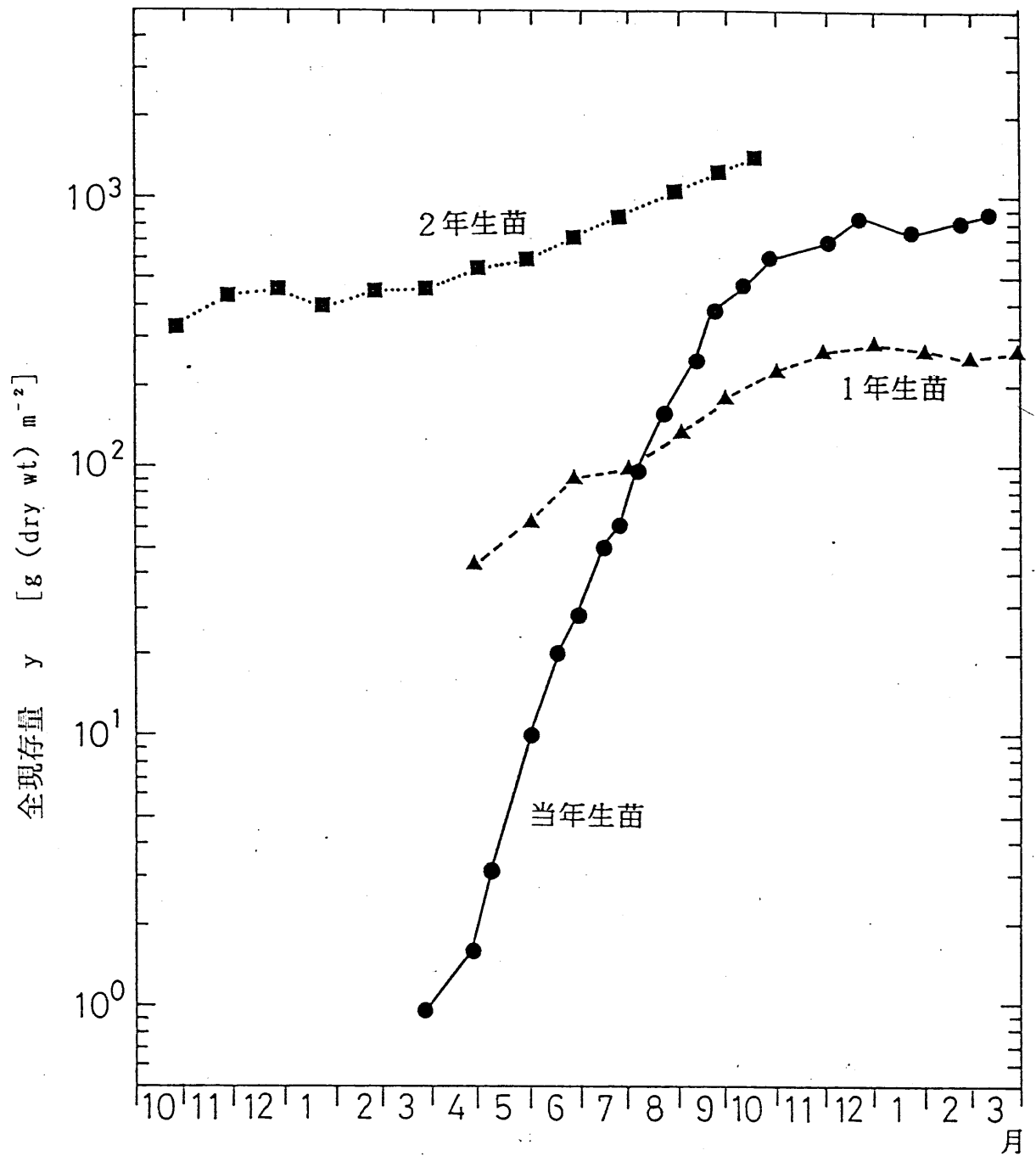


図 4-10. 全現存量 y の成長曲線

- : 当年生苗。
- ▲ : 1年生苗。
- : 2年生苗。

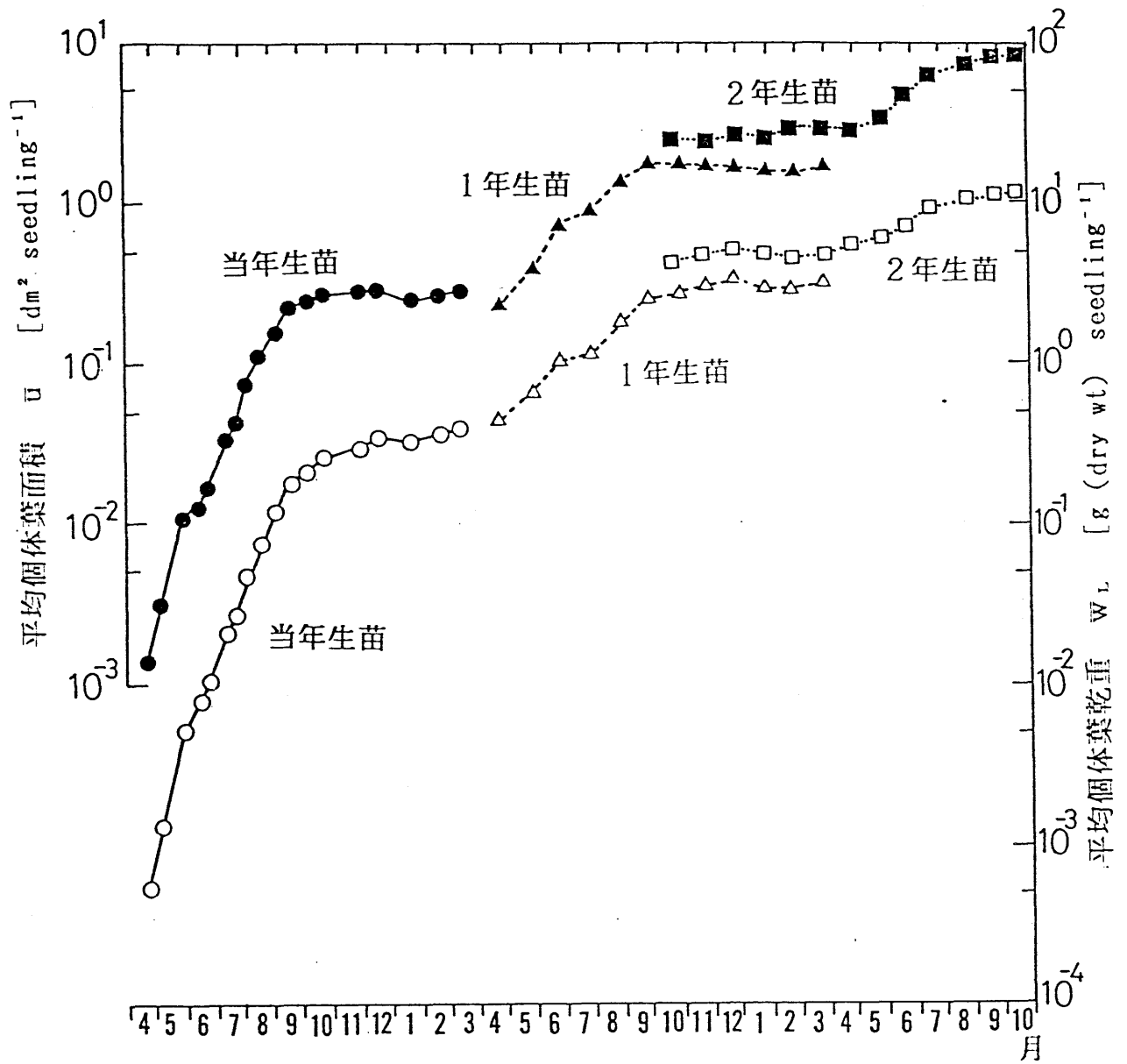


図 4-11. 平均個体葉面積 \bar{u} および平均個体葉乾重 \bar{w}_L の成長曲線

- : 当年生苗の \bar{u} 。 ○ : 当年生苗の \bar{w}_L 。
- ▲ : 1年生苗の \bar{u} 。 △ : 1年生苗の \bar{w}_L 。
- : 2年生苗の \bar{u} 。 □ : 2年生苗の \bar{w}_L 。

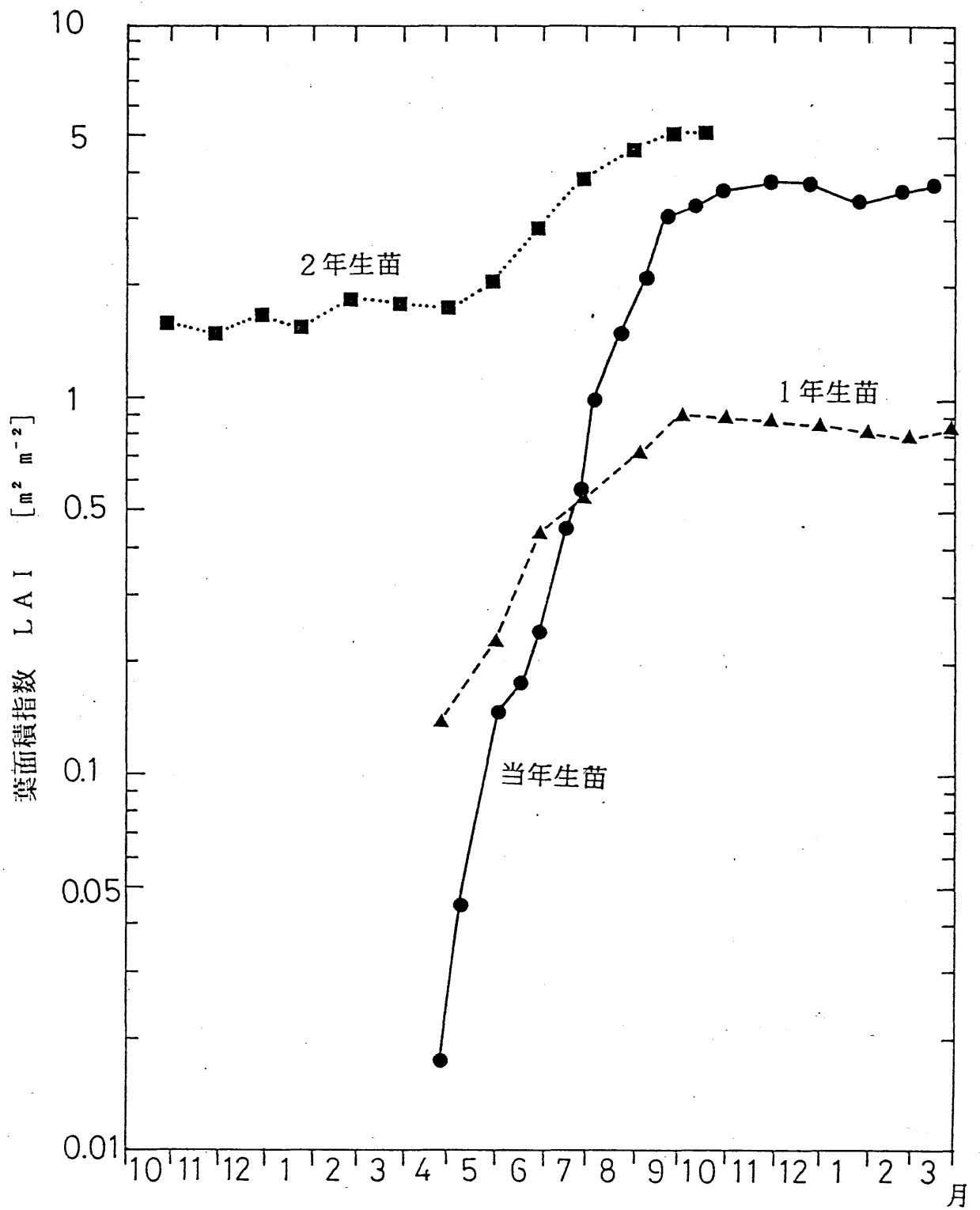


図 4-12. 葉面積指数 LAI の成長曲線

- : 当年生苗。
- ▲ : 1年生苗。
- : 2年生苗。

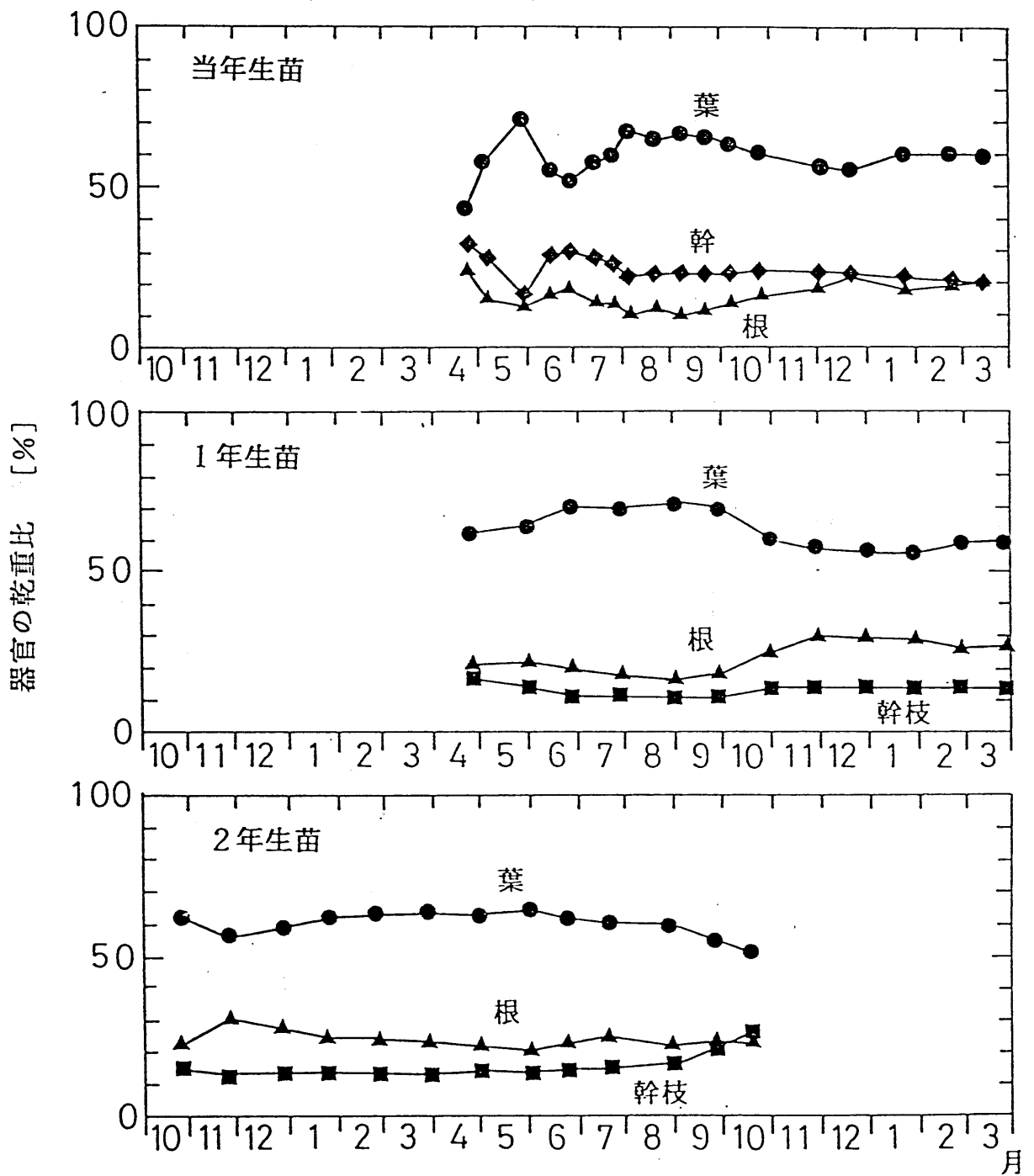


図 4-13. 器官の乾重比の季節変化

- : 葉 \bar{w}_L/\bar{w} 。
- ◆ : 幹 \bar{w}_S/\bar{w} 。
- : 幹枝 \bar{w}_{SB}/\bar{w} 。
- ▲ : 根 \bar{w}_R/\bar{w} 。

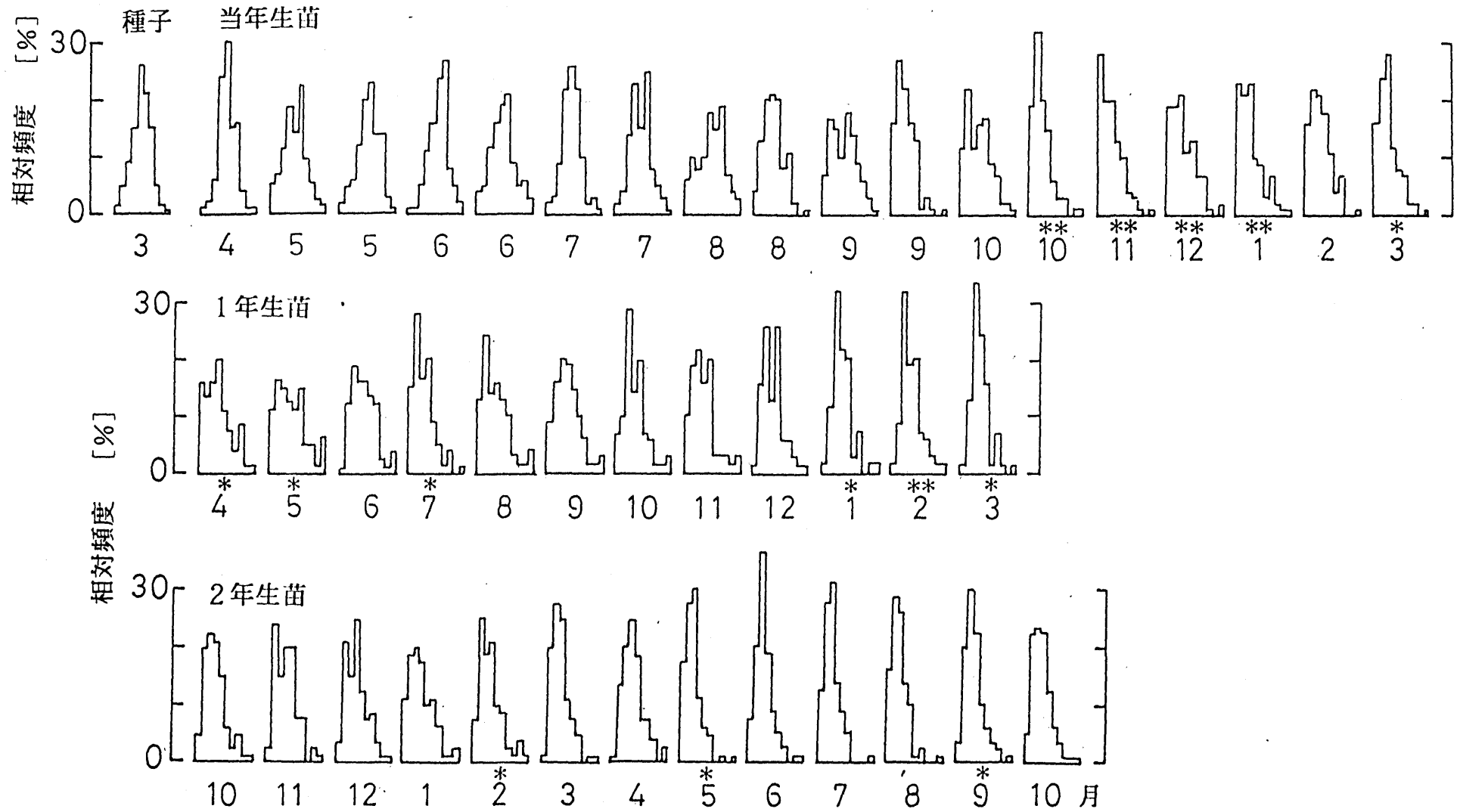


図 4-14. 個体全乾重 w の頻度分布

*、** は、頻度分布にそれぞれ有意水準 5%、1% で正規分布から有意な差が認められたことを示す。

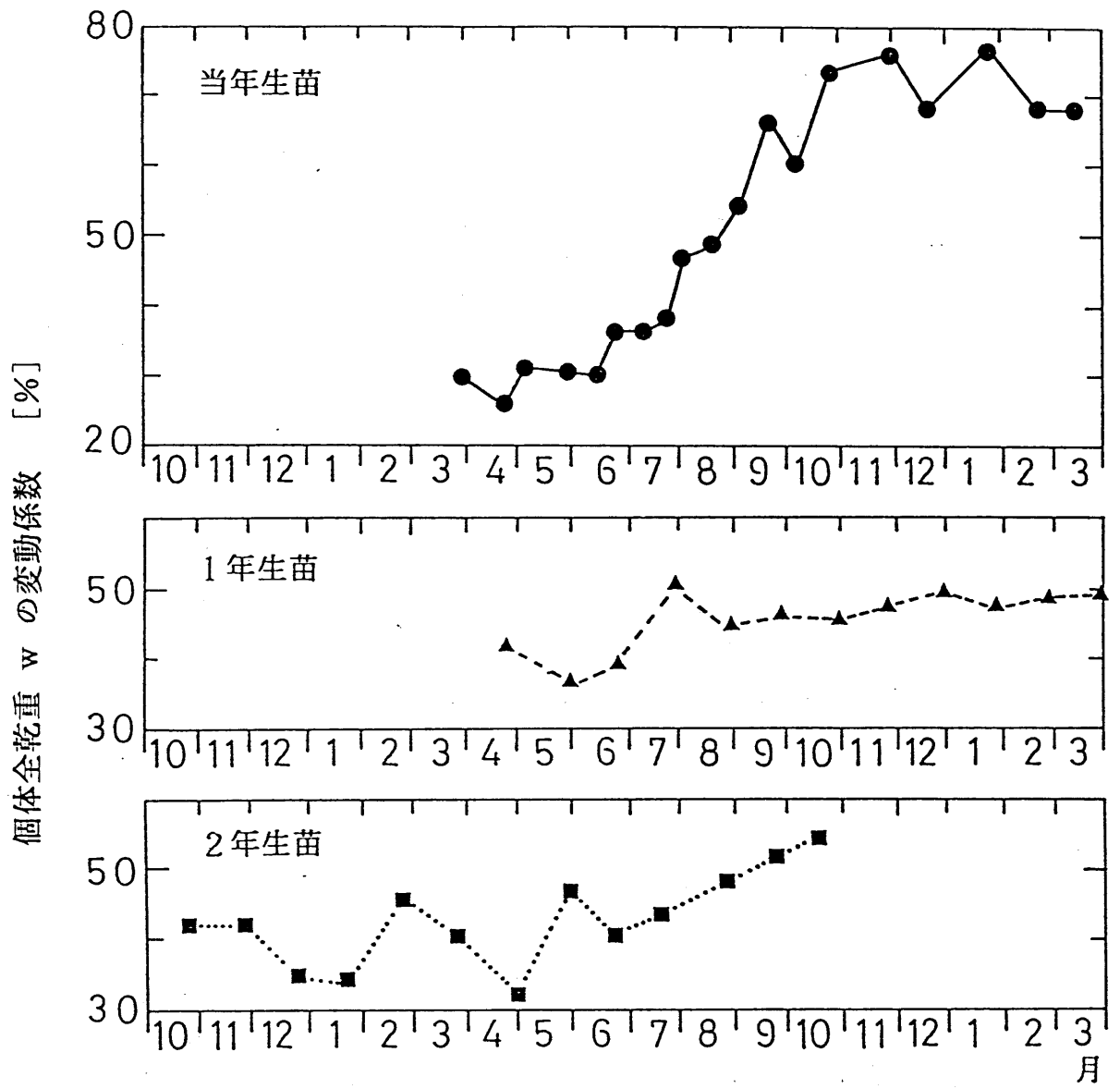


図 4-15. 個体全乾重 w の変動係数の季節変化

- : 当年生苗。
- ▲ : 1年生苗。
- : 2年生苗。

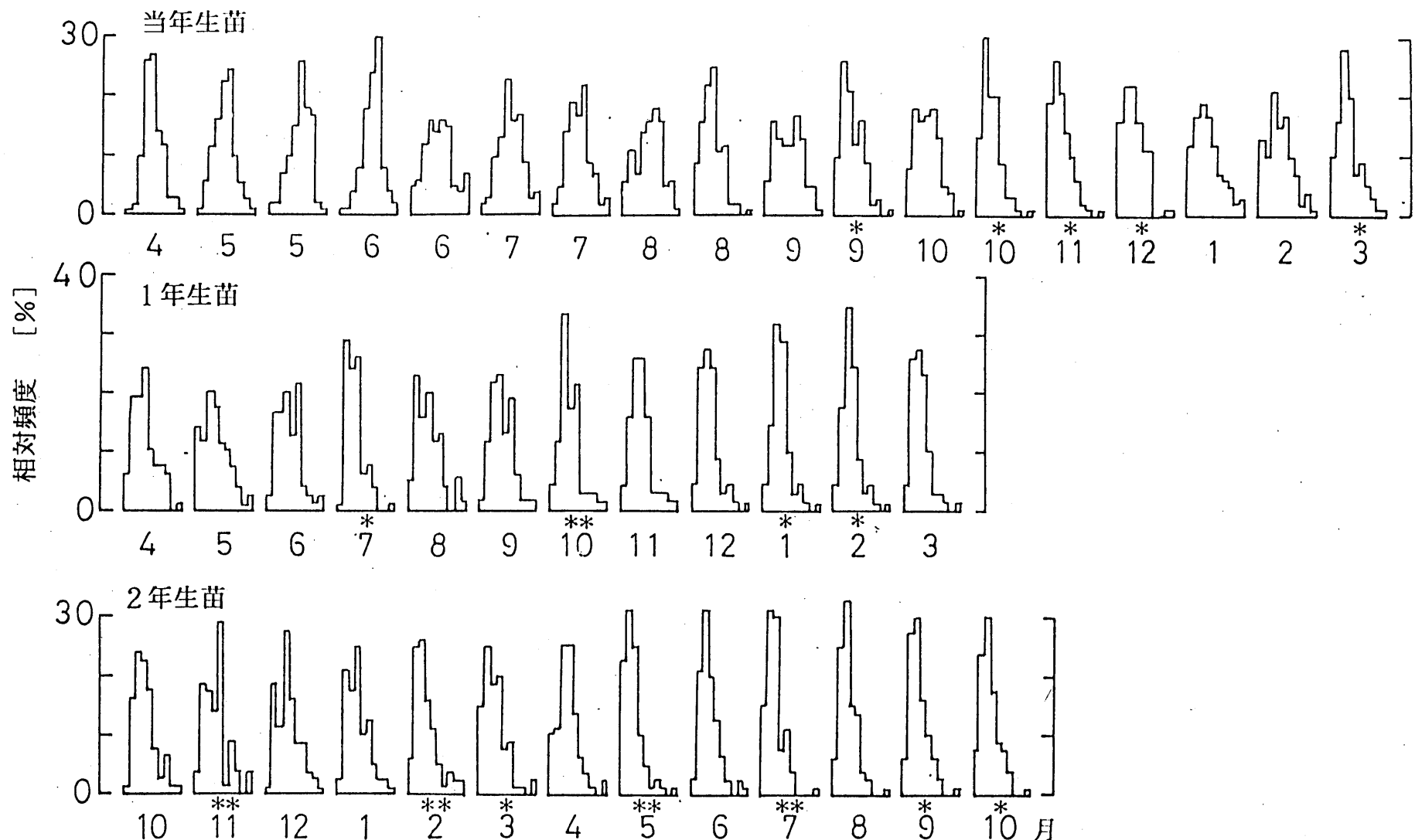


図 4-16. 個体葉面積 u の頻度分布
 *, ** は、頻度分布にそれぞれ有意水準 5%、1% で正規分布から有意な差が認められたことを示す。

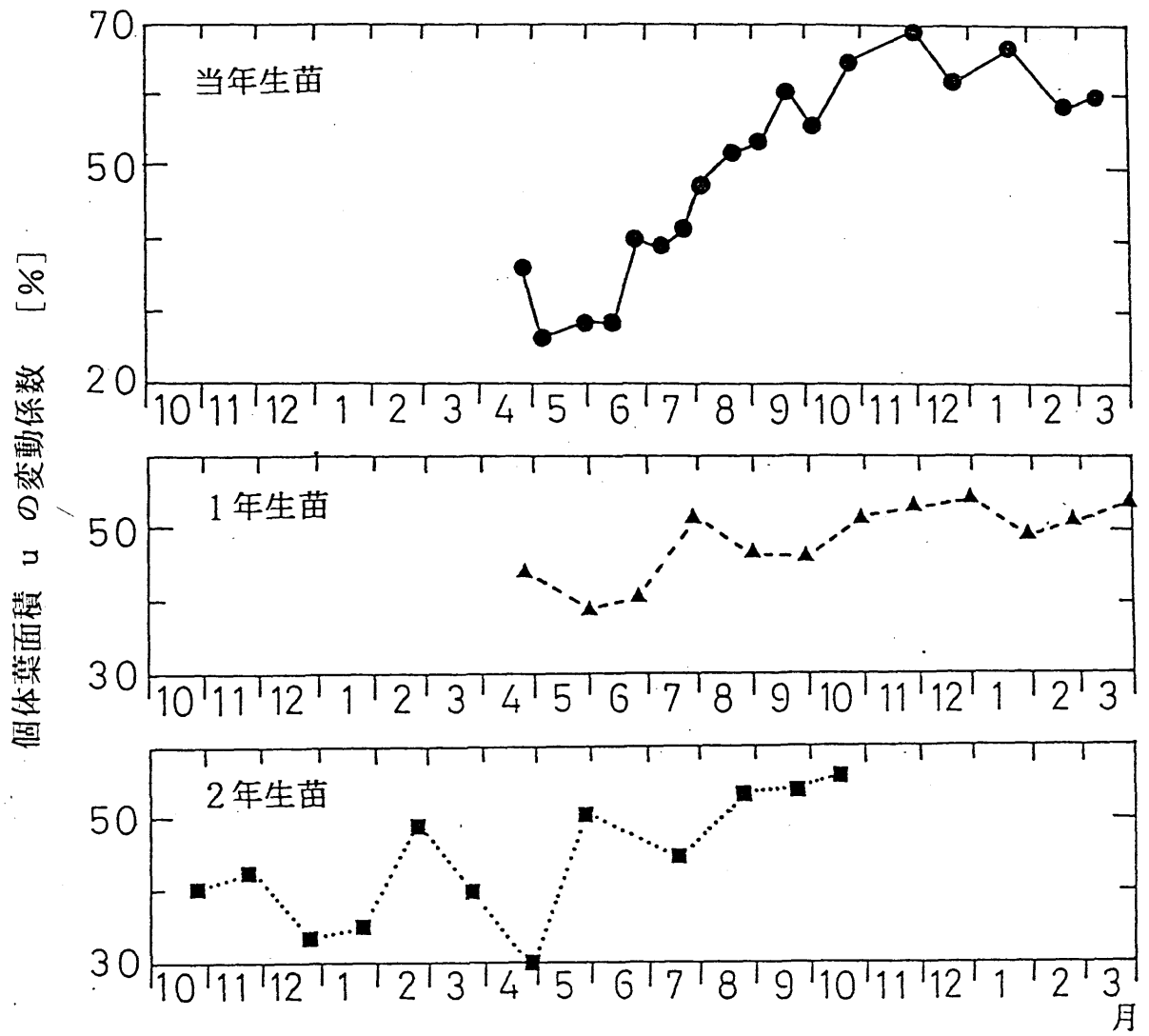


図 4-17. 個体葉面積 u の変動係数の季節変化

● : 当年生苗。

▲ : 1年生苗。

■ : 2年生苗。

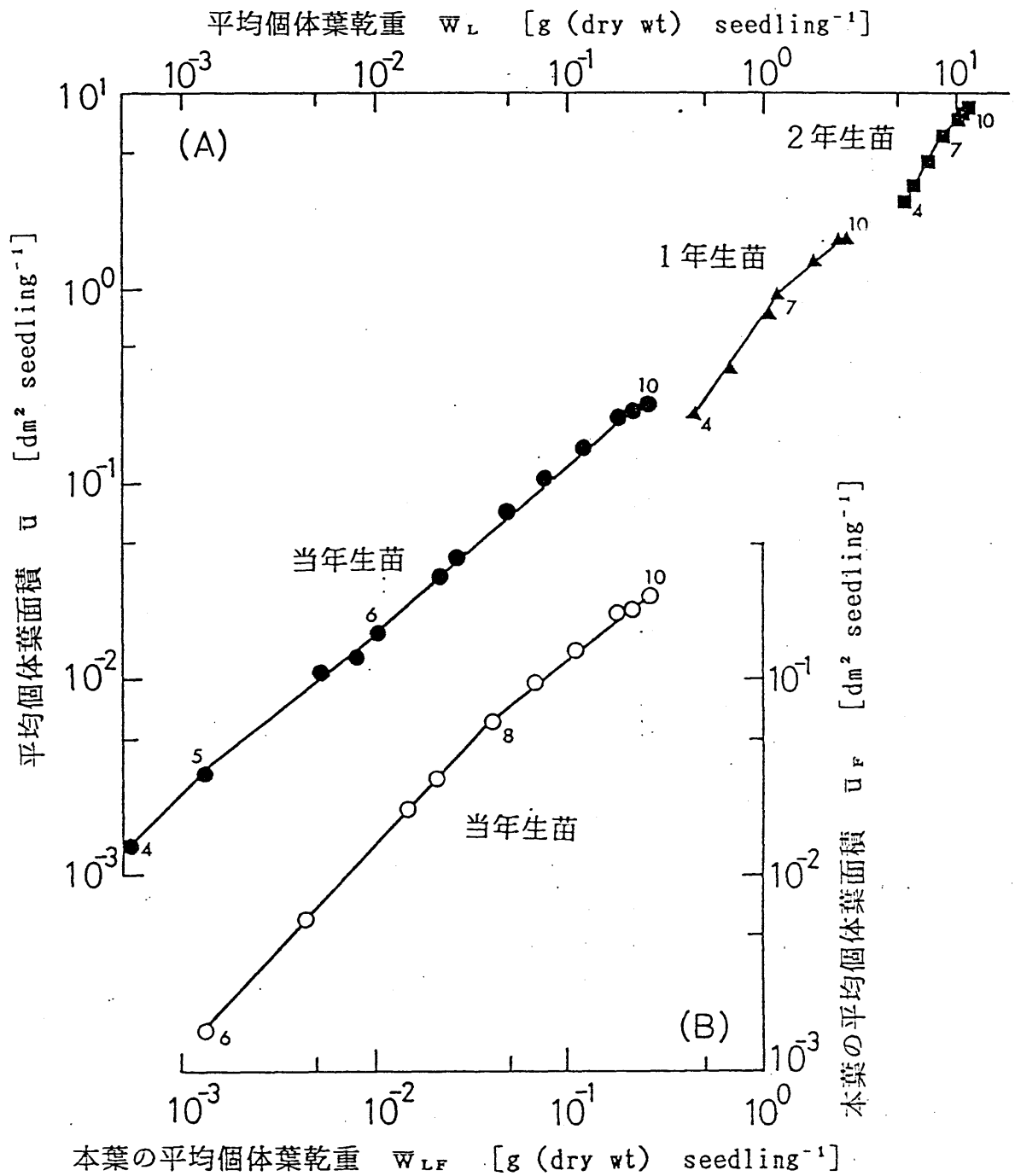


図 4-18. 葉面積と葉乾重との相対成長関係

(A) 平均個体葉面積 \bar{u} - 平均個体葉乾重 \bar{w}_L

● : 当年生苗。

▲ : 1年生苗。

■ : 2年生苗。

図中の数字は月を示す。

(B) 当年生苗における本葉の平均個体葉面積 \bar{u}_F - 平均個体葉乾重 \bar{w}_{LF}

○ : 当年生苗。

図中の数字は月を示す。

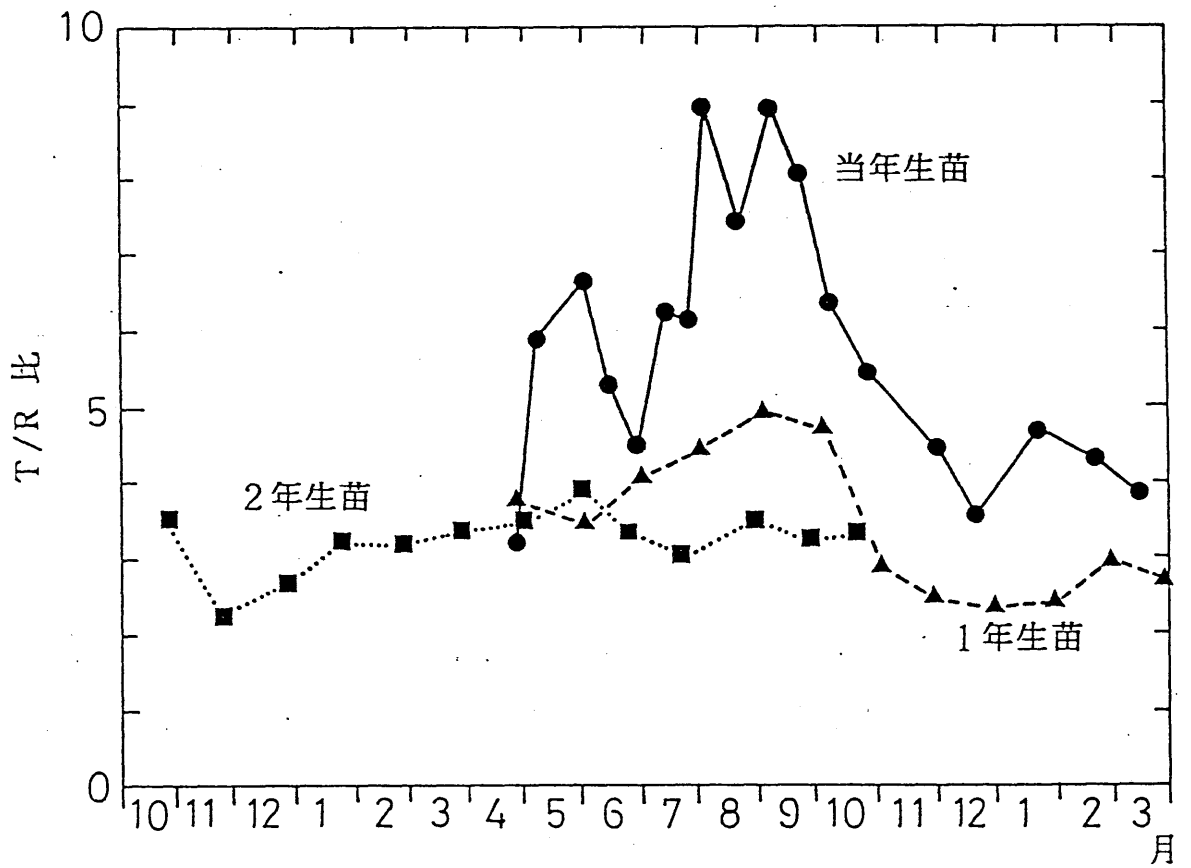


図 4-19. T/R比の季節変化

- : 当年生苗。
- ▲ : 1年生苗。
- : 2年生苗。

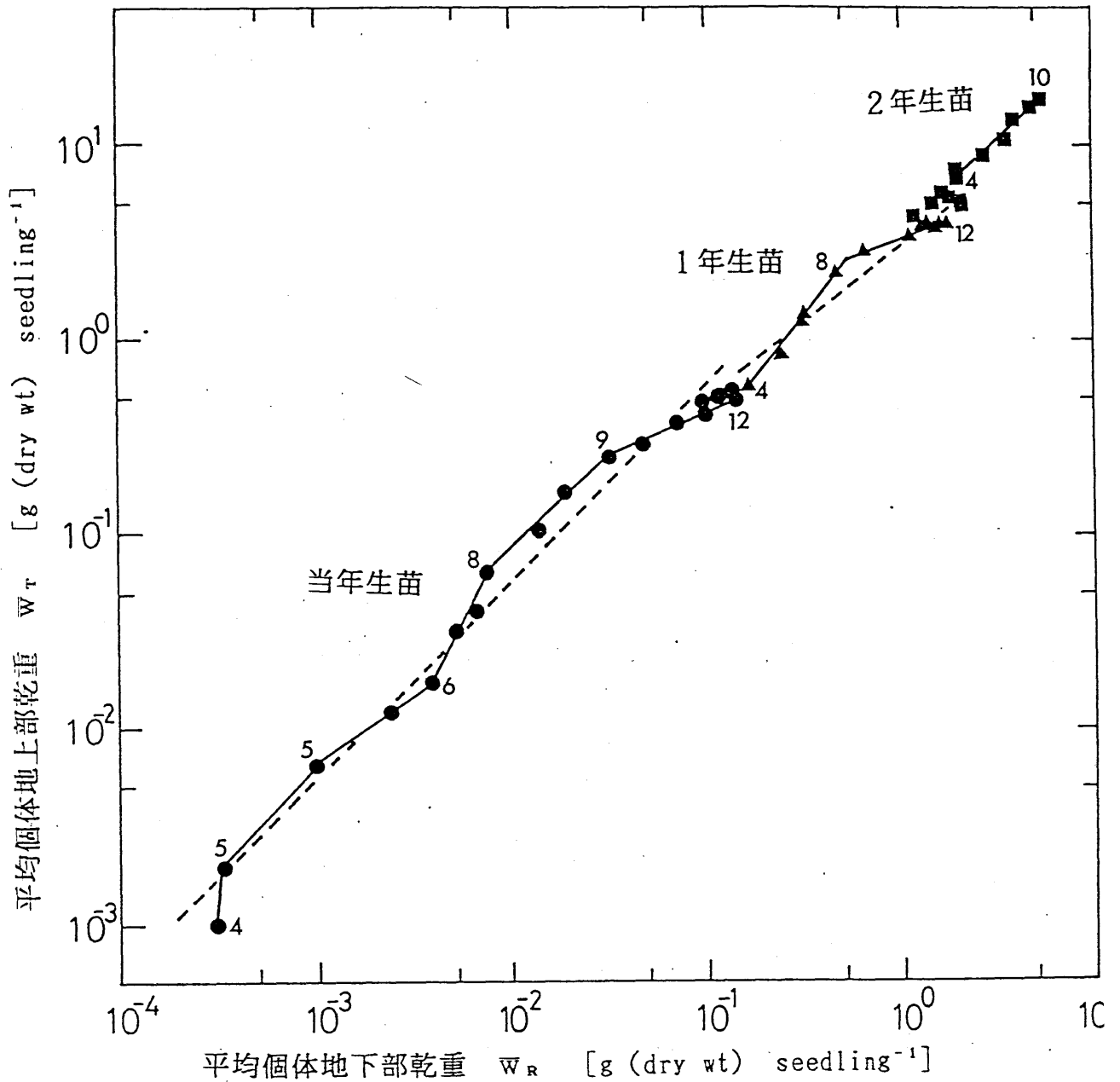


図 4-20. 個体の平均地上部乾重 w_T と個体の平均地下部乾重 w_R との相対成長関係

図中の数字は月を示す。

● : 当年生苗。破線は $w_T = 5.06 w_R^{0.98}$ (決定係数 $c^2 = 0.98$; c は相関係数) を示す。

▲ : 1年生苗。破線は $w_T = 2.99 w_R^{0.76}$ ($c^2 = 0.93$) を示す。

■ : 2年生苗。

第5章 イギリス系の成長解析

5-1. はじめに

植物の成長は、葉に代表される光合成系による光合成作用によってもたらされている。したがって、葉の光合成能率と葉の量は植物の成長を支配する重要な要因とみなすことができる。

そのような考えを基盤とするイギリス系の成長解析法 (cf. Watson, 1952; Evans, 1972; Hunt, 1978) を用いて、苗木の重量成長について解析する。

5-2. 材料と方法

5-2-1. 材料

【当年生苗】

毎回採取した 100本の苗木を解析の対象とした。

【1年生および2年生苗】

サブプロット内の苗木を解析の対象とした。対象とした苗木の本数は、1年生苗では 69~80 本、2年生苗では 80 本であった。

各苗齢における苗木の乾重、葉面積の測定および推定については、第4章 (4-2-2、4-2-3) で述べた通りである。

5-2-2. 解析方法

平均個体全乾重を \bar{w} 、平均個体葉面積を \bar{u} とすると、 \bar{w} の成長率 RGR は、2つの項に分解することができる。すなわち、

$$\begin{aligned} \text{RGR} &= \frac{1}{\bar{w}} \frac{d\bar{w}}{dt} = \frac{1}{\bar{u}} \frac{d\bar{w}}{dt} \cdot \frac{\bar{u}}{\bar{w}} \\ &= \text{NAR} \cdot \text{LAR} . \end{aligned} \quad (5-1)$$

NAR は純同化率 (Net Assimilation Rate) とよばれ、物質生産の担い手は葉であるという見地から、成長の速さを単位葉面積当たりで表し、光合成能率の一つの測度とみなすことができる。また、LAR は葉面積比 (Leaf Area

Ratio) とよばれ、平均個体全乾重に対する平均個体葉面積の割合を示すもので、光合成により物質生産を営む系（光合成系）と呼吸により物質を消費する系（光合成系+非光合成系）との量的割合を示すものである。

(5-1) 式において、ある期間 Δt ($= t_2 - t_1$, $t_2 > t_1$) における NAR および LAR の計算は、それぞれ、

$$\begin{aligned} \text{NAR} &= \frac{1}{\bar{u}} \frac{d\bar{w}}{dt} = \frac{d \ln \bar{u}}{d \bar{u}} \frac{d\bar{w}}{dt} \\ &\doteq \frac{\Delta \ln \bar{u}}{\Delta \bar{u}} \frac{\Delta \bar{w}}{\Delta t} \\ &= \frac{\ln \bar{u}_2 - \ln \bar{u}_1}{\bar{u}_2 - \bar{u}_1} \frac{\bar{w}_2 - \bar{w}_1}{t_2 - t_1}, \quad (5-2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LAR} &= \frac{\bar{u}}{\bar{w}} = \frac{d \ln \bar{w}}{d \bar{w}} \frac{d \bar{u}}{d \ln \bar{u}} \\ &\doteq \frac{\Delta \ln \bar{w}}{\Delta \bar{w}} \frac{\Delta \bar{u}}{\Delta \ln \bar{u}} \\ &= \frac{\ln \bar{w}_2 - \ln \bar{w}_1}{\bar{w}_2 - \bar{w}_1} \frac{\bar{u}_2 - \bar{u}_1}{\ln \bar{u}_2 - \ln \bar{u}_1} \quad (5-3) \end{aligned}$$

によった。ここで、 \bar{w}_1 、 \bar{w}_2 および \bar{u}_1 、 \bar{u}_2 は、それぞれ、時刻 t_1 、 t_2 における平均個体全乾重および平均個体葉面積を示す。

平均個体全乾重 \bar{w} の成長率 RGR の計算は、第3章 (3-2-2) で述べた (3-1) 式の定義に基づき、下式のように求めた。

$$\begin{aligned} \text{RGR} &= \frac{1}{\bar{w}} \frac{d\bar{w}}{dt} = \frac{d \ln \bar{w}}{dt} \\ &\doteq \frac{\Delta \ln \bar{w}}{\Delta t} \end{aligned}$$

$$= \frac{\ln \bar{w}_2 - \ln \bar{w}_1}{t_2 - t_1} \quad (5-4)$$

ここで、 \bar{w}_1 、 \bar{w}_2 は、それぞれ、時刻 t_1 、 t_2 における平均個体全乾重を示す。

5-3. 結果

5-3-1. 成長率の季節変化

図 5-1 に平均個体全乾重 \bar{w} の成長率 RGR の季節変化を示す。

当年生苗の RGR は、4月下旬～9月下旬の期間において1年生および2年生苗の RGR よりかなり高い値を示した。

当年生苗における RGR は、播種日～4月下旬にかけて低い値を示した。その後、RGR は急激に増加し、5月初旬～5月下旬の期間に最大値 0.054 day^{-1} を示し、その後減少する傾向にあった。よい条件でそだった1年生草本植物の初期の RGR の最大値は $0.1 \sim 0.2 \text{ day}^{-1}$ 程度である（穂積・篠崎，1960）が、当年生苗における RGR の最大値は1年生草本植物のそれをかなり下回った。

1年生苗における RGR は、4月下旬以降増加し、7月下旬～8月下旬の期間に最大値 0.015 day^{-1} を示し、その後減少した。ただし、6月下旬～7月下旬の期間に RGR は急激な低下を示した。

2年生苗における RGR は、4月下旬～10月下旬の期間において一頂型の季節変化を示した。RGR は、5月下旬～7月下旬の期間にピークに達し 0.008 day^{-1} の値をもち、その後減少する傾向にあった。

1年生および2年生苗における RGR の変化は、基本的には一頂型と考えられる。Negisi (1977) は1年生ヒノキ苗において、また Kanazawa (1981) は1年生クヌギ (*Quercus acutissima* Carruth.) 苗および2年生ブナ (*Fagus crenata* Bl.) 苗において、一頂型の季節変化を報告している。

しかしながら、本研究における1年生苗の RGR は6月下旬～7月下旬の期間において急激な低下を示した。この RGR の低下は、同期間において平均幹直径 (\bar{D}_B , $\bar{D}_{0.1}$) の成長率が、根切虫の食害のために、かなり低下したこと（第3章、3-3-2）によるものと考えられる。

5-3-2. 純同化率の季節変化

図 5-2 に純同化率 NAR の季節変化を示す。各苗齢の苗木とも NAR はかなり変動したが、おおざっぱにいうと、NAR は、春期から冬期にかけて、季節

とともに減少する傾向にあった。

4月以降の期間における NAR の最大値は、当年生苗においては $0.046 \text{ g (dry wt) dm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ (7月下旬～8月初旬)、1年生苗においては $0.032 \text{ g (dry wt) dm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ (4月下旬～6月下旬)、2年生苗においては $0.020 \text{ g (dry wt) dm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ (5月下旬～6月下旬) となった。

たいていの草本植物は、普通の生育条件下において $0.029\sim 0.057 \text{ g (dry wt) dm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ くらいの値をもつ (穂積・篠崎, 1960)。この値と比較すると、当年生苗の一部の季節を除き、各苗齢とも NAR の値は小さい結果となった。

5-3-3. 葉面積比の季節変化

図 5-3 に葉面積比 LAR の季節変化を示す。

当年生苗において、LAR は 6月中旬を境とする二頂型の変化を示し、その値は1年生苗における LAR を全期間を通じて上回った。最初のピークは 5月初旬～5月下旬の期間でみられ、LAR の値は $1.48 \text{ dm}^2 \text{ g (dry wt)}^{-1}$ となった。また、次のピークは 7月下旬～8月初旬の期間でみられ、LAR の値は $1.00 \text{ dm}^2 \text{ g (dry wt)}^{-1}$ となった。

第4章 (4-3-1) で述べたように、当年生苗では葉は子葉 → 初生葉 → 本葉の順で展開した。子葉・初生葉の成長は 5月下旬に終了し、5月下旬～6月中旬までの期間中に本葉の展開が始まった。したがって、最初のピーク時には子葉・初生葉によって葉は構成され、また、次のピーク時には主として本葉によって葉は構成されていた。

葉が本葉のみからなる1年生および2年生苗においては、4月下旬以降 LAR は一頂型の変化を示し、7月下旬～8月下旬の期間において最大値に達した。最大値は、1年生苗では $0.55 \text{ dm}^2 \text{ g (dry wt)}^{-1}$ 、2年生苗では $0.44 \text{ dm}^2 \text{ g (dry wt)}^{-1}$ となった。

このように、当年生苗における LAR の季節変化は葉の展開過程によって特徴づけられ、当年生苗と1年生・2年生苗とでは、LAR の季節変化に違いが認められた。Kanazawa (1981) は1年生クヌギ苗の LAR において一頂型の季節変化を報告している。

5-3-4. 比面積の季節変化

図 5-4 は平均個体葉面積/平均個体葉乾重比 \bar{u}/\bar{w}_L で定義される比面積の季節変化を示す。

比面積は、当年生苗では $0.71\sim 2.55 \text{ dm}^2 \text{ g (dry wt)}^{-1}$ 、1年生苗では

0.52~0.80 dm² g (dry wt)⁻¹、2年生苗では 0.51~0.77 dm² g (dry wt)⁻¹ の範囲にあった。

図からも明らかなように、当年生苗と1年生・2年生苗の比面積の変化は異なった。当年生苗の比面積は季節とともに減少したが、1年生苗においては一頂型の変化を示した。また、2年生苗において4月下旬以降一頂型の変化を示す傾向にあった。

1年生および2年生苗の葉は本葉のみから構成されているとみなせるが、その本葉の比面積は一頂型の変化を有していると言える。実際、当年生苗の本葉の比面積の変化(図中細い実線)は一頂型であった。葉が本葉からなるカラマツの成木の比面積においても一頂型の変化が報告されている(倉地ほか, 1983)。

5-4. 考察

5-4-1. 成長率と純同化率および成長率と葉面積比との関係

ここでは、経時的に得られた成長率、純同化率、葉面積比の相互関係について吟味する。

図 5-5 に成長率 RGR と純同化率 NAR との関係および成長率 RGR と葉面積比 LAR との関係を示す。

当年生苗(図 5-5(A))では、RGR-NAR 関係および RGR-LAR 関係の両者にそれぞれ有意水準 1% で有意な正の相関が認められた。

1年生苗(図 5-5(B))では、RGR-NAR 関係には有意水準 1% で、RGR-LAR 関係には有意水準 5% で、それぞれ有意な正の相関が認められた。しかし、1年生苗における RGR と LAR の正の相関の有意性は当年生苗におけるそれと比較して弱くなった。

2年生苗(図 5-5(C))では、RGR-NAR 関係には有意水準 1% で有意な正の相関が認められた。一方、RGR-LAR 関係には有意な正の相関は認められなかった。

したがって、RGR-NAR 関係においては、各苗齢とも有意な正の相関を示した。一方、RGR-LAR 関係においては、苗齢とともに正の相関は弱くなっていった。特に、1年生および2年生苗では、LAR はほぼ一定となるので、その結果、RGR は NAR と有意に相関したと考えられる。

5-4-2. 葉の光合成能率と葉の形態

当年生苗の比面積は、葉が子葉と初生葉とからなる5月初旬に最大値

2.55 dm² g (dry wt)⁻¹ を示した (図 5-4)。この値は、ウダイカンバ (*Betula maximowicziana* Regel)、シラカンバ (*Betula platyphylla* var. *japonica* Hara) といった落葉広葉樹の成木でみられた比面積の最大値とほぼ等しかった (Koike and Sakagami, 1985)。

根岸 (1986) はヒノキを含む針葉樹 6 種において、主として子葉をつけた当年生苗の光合成能力は本葉からなる 1 年生苗に比べて、極めて高いことを報告している。その他にもいくつかの樹種において、子葉および初生葉の光合成能力は本葉のそれと比較してかなり高いことが認められている (Bormann, 1956; Bourdeau and Mergen, 1959; Wright, 1970; Sorensen and Ferrell, 1973)。

しかしながら、これらの報告は葉重ベースで算出された光合成速度のみに関したものである。本研究において、子葉・初生葉の比面積が大きかったことを考えれば、光合成速度を葉面積ベースで算出した場合、同じことが言えるかどうか疑問である。

その点を明らかにするため、当年生苗の葉が子葉と初生葉とからなる 4 月下旬～5 月下旬の期間において純同化率を葉重ベース (NAR*) と葉面積ベース (NAR) で算出し、当年生苗と 1 年生苗との間で比較した。葉重ベースの純同化率 NAR* と光合成能力との間には正の傾きの直線関係が認められているので (Negisi, 1977)、葉重ベースの純同化率 NAR* の大小は光合成能力の大小とみなすことができる。

表 5-1 に示すように、当年生苗の NAR* は 1 年生苗の NAR* より 5 倍ほど大きかった。この倍数は、比面積の倍数とほぼ等しかった。実際、NAR は当年生苗の方が 1 年生苗より若干大きかったが、その差はそれほど顕著でなかった。

したがって、光合成能力を葉重ベースで算出した場合、子葉・初生葉の光合成能力が本葉のそれより顕著に高いのは、子葉・初生葉の比面積が大きいことにかかなり依存していると考えられる。

表 5-1. 当年生苗と1年生苗における純同化率の比較

	期間	純同化率		比面積
		葉重ベース (NAR*)	葉面積ベース (NAR)	
		[day ⁻¹]	[g (dry wt) dm ⁻² day ⁻¹]	[dm ² g (dry wt) ⁻¹]
当年生苗*	4/27~5/30, 1984	0.090	0.038	2.37
1年生苗**	4/25~5/29, 1985	0.018	0.034	0.53

*: 葉は子葉と初生葉とからなる。

**: 葉は本葉からなる。

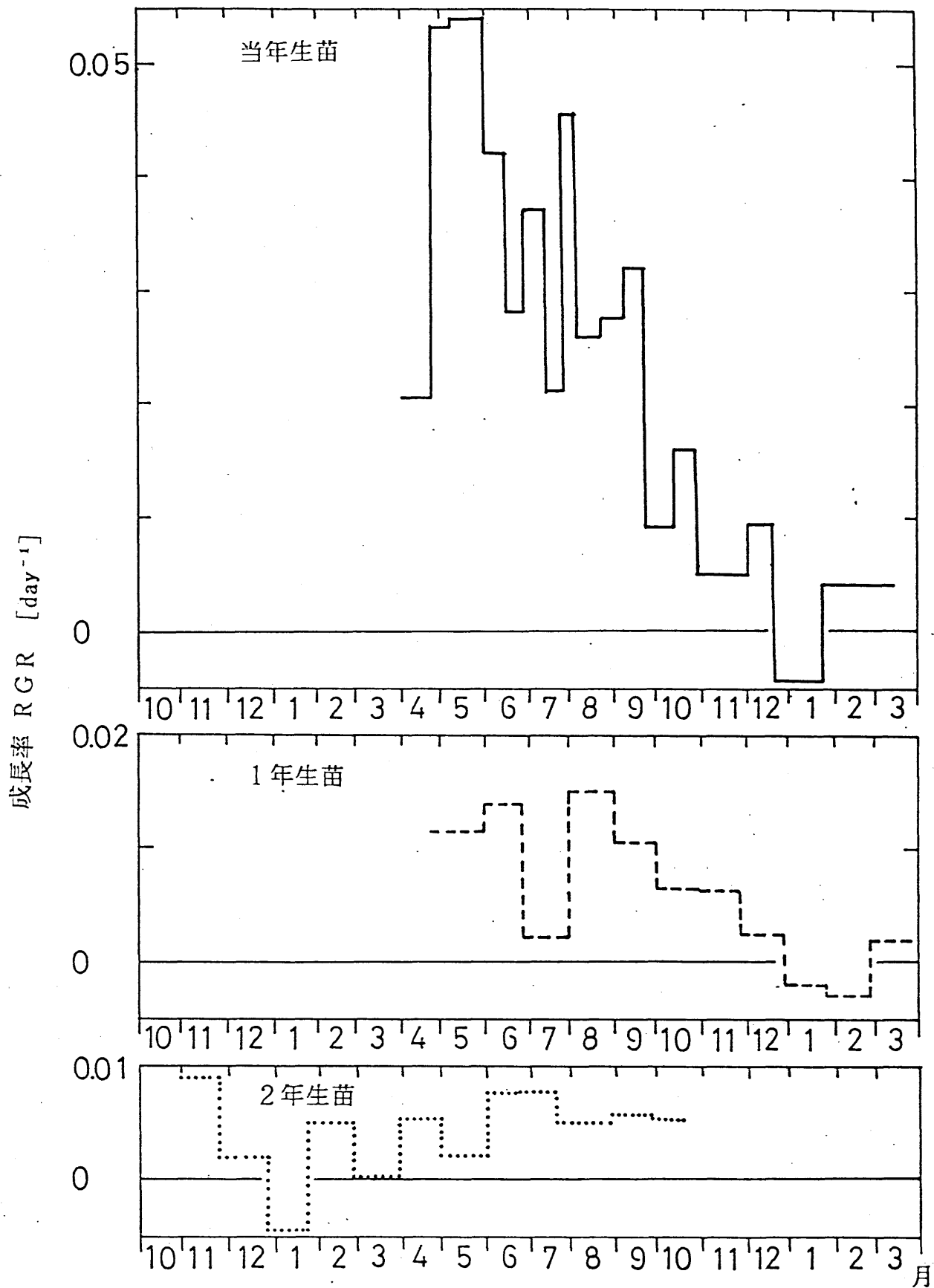


図 5-1. 平均個体全乾重 \bar{w} の成長率 RGR の季節変化
 —: 当年生苗。
 ---: 1年生苗。
: 2年生苗。

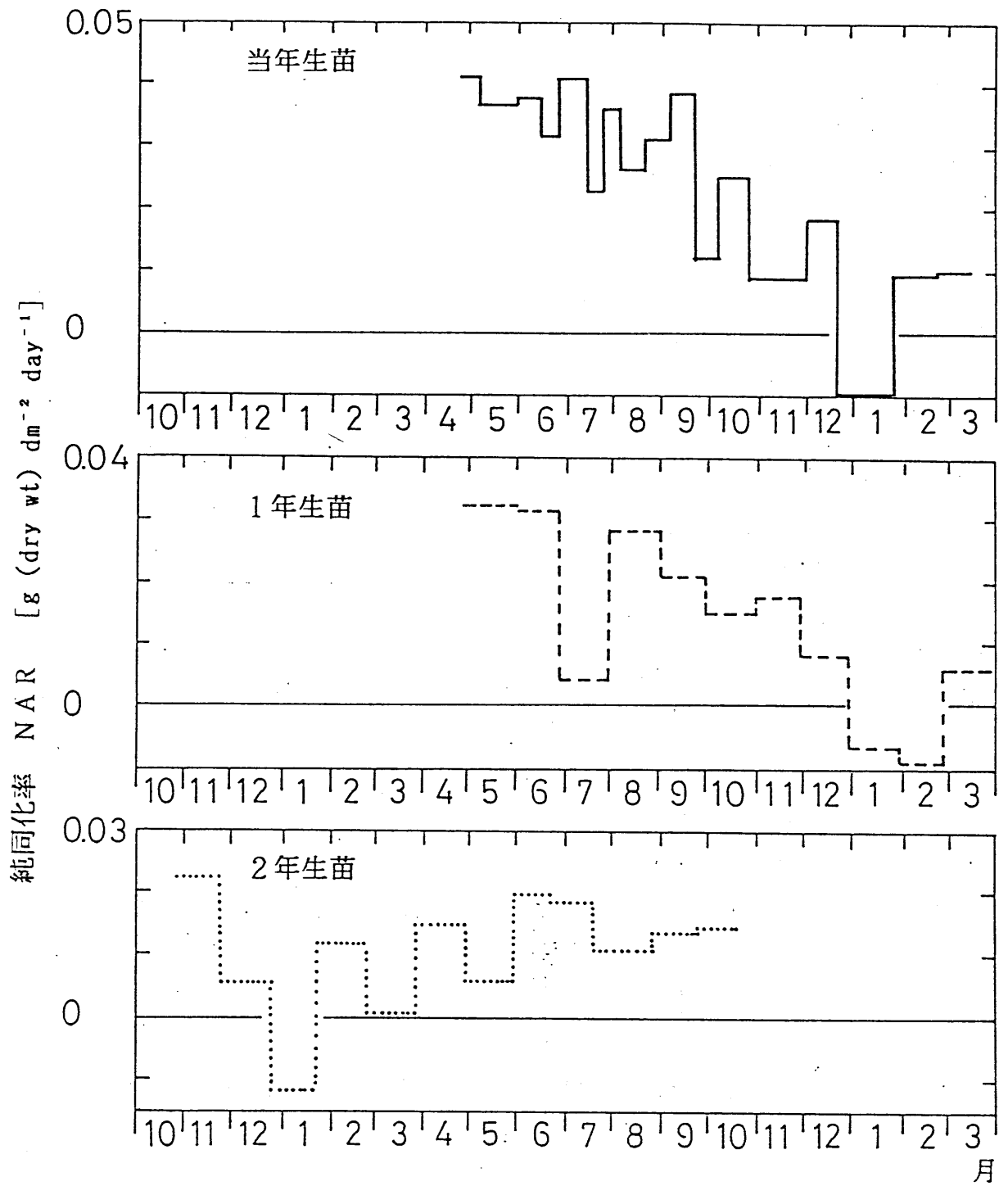


図 5-2. 純同化率 NAR の季節変化

— : 当年生苗。

--- : 1年生苗。

..... : 2年生苗。

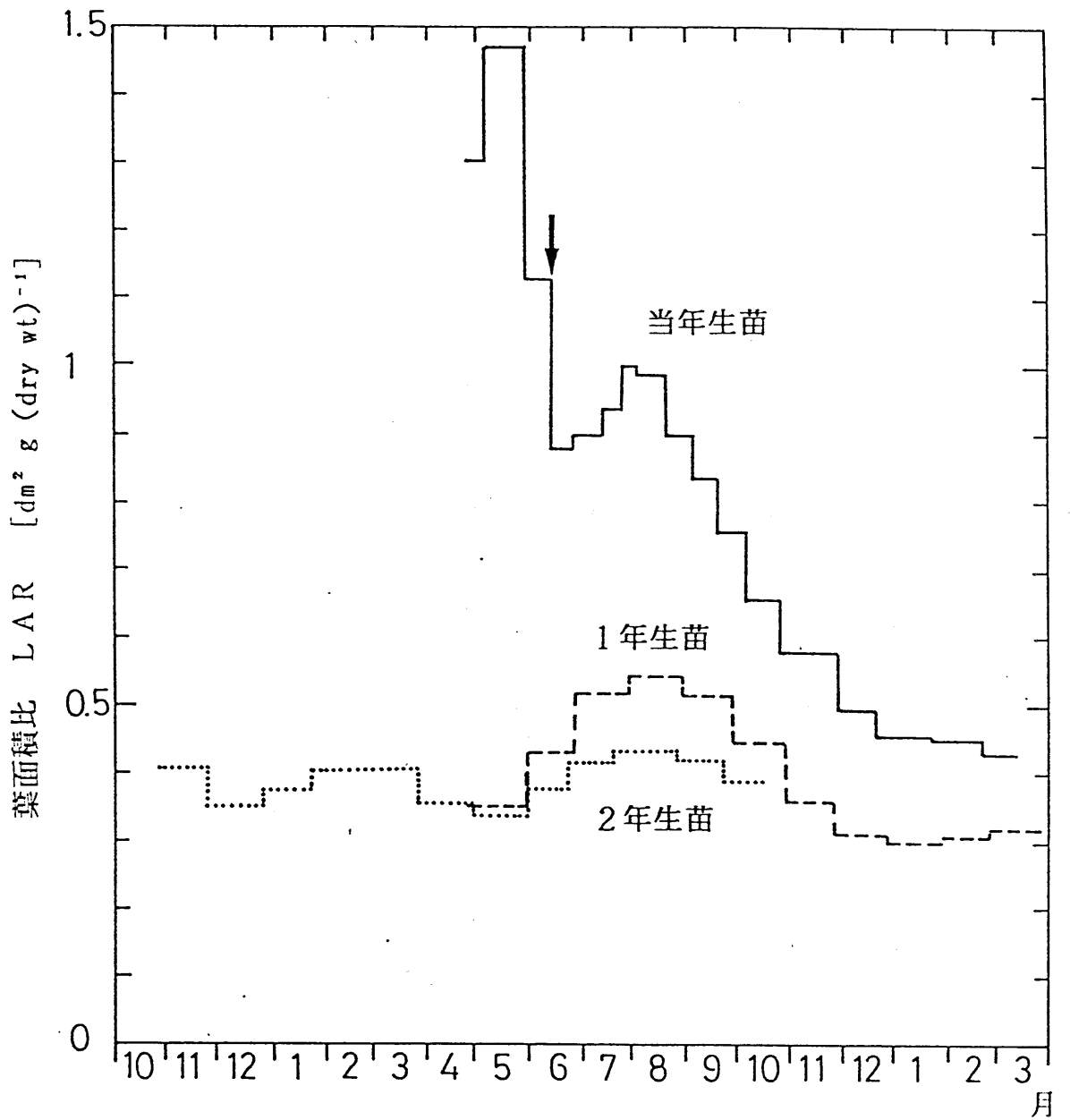


図 5-3. 葉面積比 LAR の季節変化

—: 当年生苗。

---: 1年生苗。

.....: 2年生苗。

矢印は普通葉が初めて観察された時期を示す。

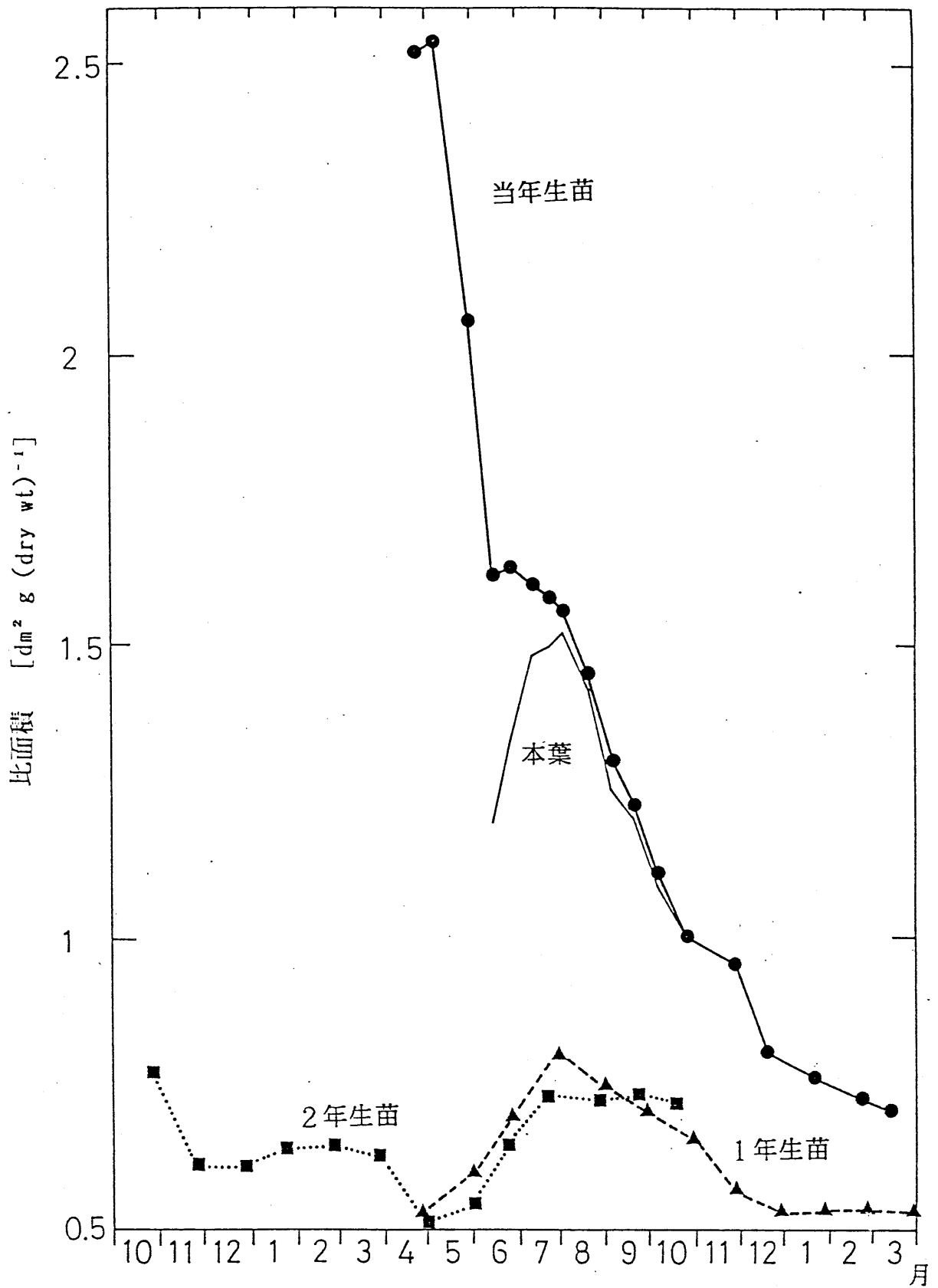


図 5-4. 比面積の季節変化

- : 当年生苗。 細い実線は本葉のみの比面積を示す。
- ▲ : 1年生苗。
- : 2年生苗。

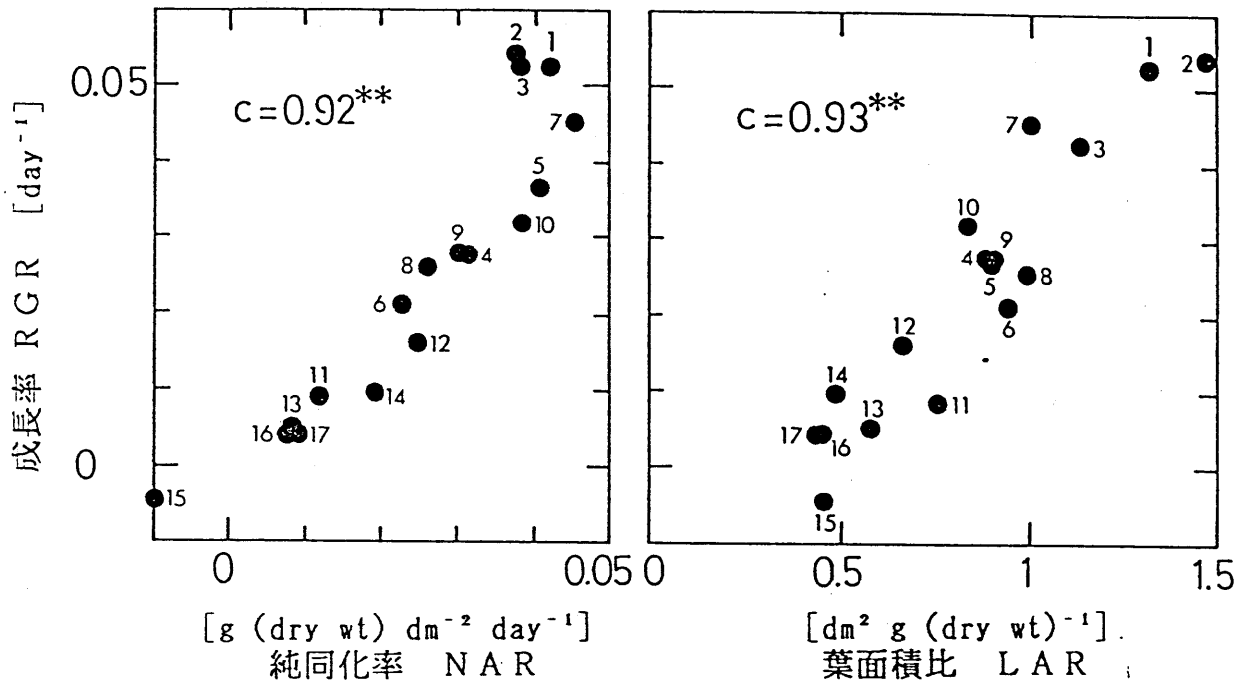


図 5-5(A). 当年生苗における成長率 RGR - 純同化率 NAR および成長率 RGR - 葉面積比 LAR 関係

c : 相関係数。

** : $P < 0.01$ 。

図中の数字は以下の期間と対応する :

- | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1, 4/27~5/8 | 2, 5/8~5/30 | 3, 5/30~6/15 |
| 4, 6/15~6/27 | 5, 6/27~7/13 | 6, 7/13~7/23 |
| 7, 7/23~8/2 | 8, 8/2~8/21 | 9, 8/21~9/6 |
| 10, 9/6~9/20 | 11, 9/20~10/11 | 12, 10/11~10/26 |
| 13, 10/26~11/29 | 14, 11/29~12/21 | 15, 12/21~1/24 |
| 16, 1/24~2/22 | 17, 2/22~3/14 | |

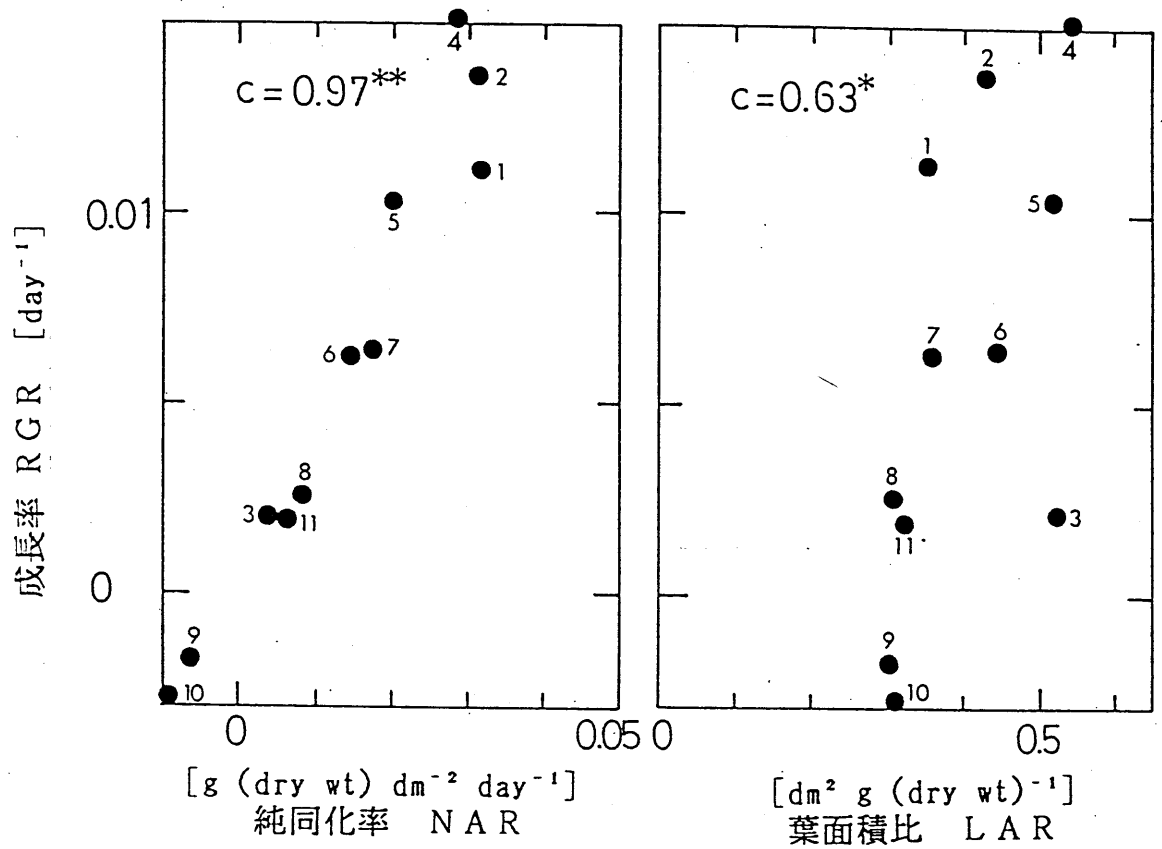


図 5-5(B). 1年生苗における成長率 RGR - 純同化率 NAR および成長率 RGR - 葉面積比 LAR 関係

c : 相関係数。

* : $P < 0.05$ 。

** : $P < 0.01$ 。

図中の数字は以下の期間と対応する :

- 1, 4/25~5/29 ; 2, 5/29~6/26 ; 3, 6/26~7/30 ;
 4, 7/30~8/29 ; 5, 8/29~9/27 ; 6, 9/27~10/31 ;
 7, 10/31~11/27 ; 8, 11/27~12/26 ; 9, 12/26~1/30 ;
 10, 1/30~2/26 ; 11, 2/26~3/28。

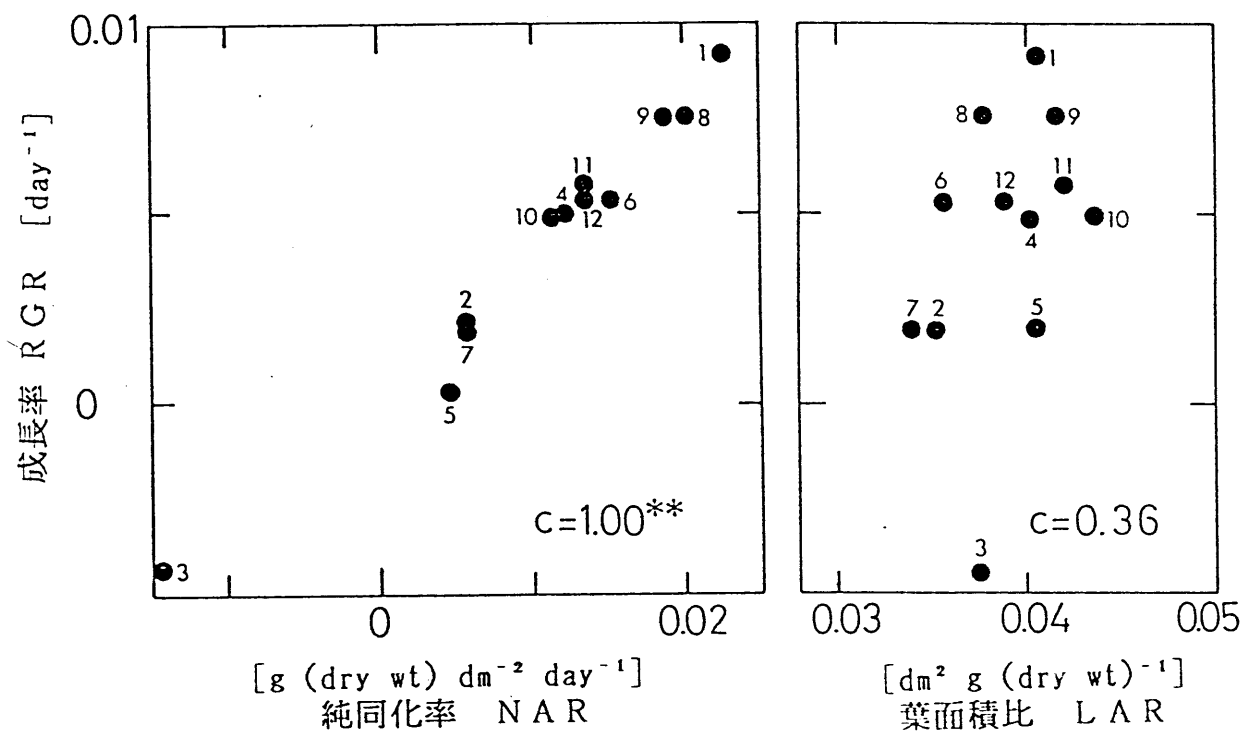


図 5-5(C). 2年生苗における成長率 RGR - 純同化率 NAR および成長率 RGR - 葉面積比 LAR 関係

c : 相関係数。

** : $P < 0.01$ 。

図中の数字は以下の期間と対応する :

- 1, 10/28~11/26; 2, 11/26~12/25; 3, 12/25~1/27;
 4, 1/27~2/24 ; 5, 2/24~3/26 ; 6, 3/26~4/30 ;
 7, 4/30~5/27 ; 8, 5/27~6/24 ; 9, 6/24~7/20 ;
 10, 7/20~8/30 ; 11, 8/30~9/27 ; 12, 9/27~10/18。

第6章 呼吸消費

6-1. はじめに

植物の呼吸は、機能的な視点から、植物体の維持に関与した呼吸である維持呼吸と、新生器官の形成に関与した呼吸である構成呼吸とに区別される (McCree, 1974; Thornley, 1970, 1976; Yokoi et al., 1978; Kimura et al., 1978)。いずれの呼吸も光合成産物を消費し、光合成産物量と呼吸消費量との差が植物の成長量として認識される。したがって、植物の成長を解析する上で、呼吸測定は有効な補助手段となる (佐伯, 1965)。

本章では、主として単木呼吸速度の単木サイズ依存性、呼吸速度の季節変化および呼吸速度と温度との関係などを調べ (小川ほか, 1982, 1985; Ogawa et al., 1985)、その結果について苗齢間で比較・検討した。

6-2. 材料と方法

6-2-1. 測定材料

第4章(4-2-2)で述べた毎回採取した苗木を用いて個体別に呼吸速度の測定を行った。ただし、この呼吸測定は、当年生苗のみ第2章で述べた測定開始時(1984年4月27日)と異なり1984年5月8日から開始した。

測定試料数は、当年生苗については10本、1年生苗については7本、2年生苗については5本であった。

6-2-2. 測定方法

【苗畑の温度測定】

地上40 cmの高さでの気温および地下5 cmの深さでの地温を測定するために、最高最低温度計を苗床に設置した。

設置した温度計の数は、地上、地下とも、それぞれ、当年生苗では5本、1年生苗では5本、2年生苗では3本であった。

直射日光を避けるため、温度計には日覆いを取り付けた。

【呼吸測定】

植物体からのCO₂放出量より呼吸速度を求める方法は試料を密閉した容器(呼吸室)に入れてはかる密閉法(静気法)と呼吸室へ空気を流しながらはかる通気法とに大別される(根岸, 1970; 古川, 1981; 二宮, 1983)。ここで

いう呼吸室は、光を完全に遮断し、室内は暗黒下にある。

本研究では、当年生および1年生苗についてはガスクロマトグラフィーを用いた密閉法により、また、2年生苗については赤外線 CO₂ 分析計を用いた通気法により呼吸速度を測定した。

当年生苗は、切断せずに全体の呼吸速度を測定した。1年生および2年生苗は、地上部と地下部に切断し、それぞれの呼吸速度を測定した。その際、切断面に白色ワセリンを塗布した。切断面をふさぐ目的は、切り口からのガス交換および水分の損失を防ぐことにある（根岸、1970）。

以下に測定機器ごとに呼吸の測定方法を述べる。

【ガスクロマトグラフィーによる呼吸の測定】

本測定は、当年生および1年生苗について実施した。

本測定に用いたガスクロマトグラフ（GC-9A, 島津製作所）に空気を注入するとデータ処理装置（C-R3A, 島津製作所）により空気の CO₂、O₂、N₂ の体積組成 [%] を分析することができる。したがって、このガス分析から試料を密閉した呼吸室内の CO₂ および O₂ 濃度の経時変化を調べれば CO₂ 放出速度、O₂ 吸収速度、呼吸商を算出することができる（Tanaka and Saito, 1984）。

測定に用いた呼吸室は円筒形のガラス管で、その大きさは内径が 0.6～3.5 cm、長さが 5～35 cm であった。

自然状態にある空気を使用する目的で、試料は名古屋大学農学部屋上で呼吸室に密閉した。密閉直後に、ガス体用シリンジ（A型、PRECISION SAMPLING）により呼吸室から 0.2 ml のガスを採取し、ガス分析を行った。また、呼吸室を暗黒下に保つため、呼吸室はアルミホイルで覆った。

アルミホイルで覆った呼吸室は、ただちに電子冷却器（CRT-1B, CTE-1B, Komatsu Solidate Corp.）により水温調節された恒温水槽内に設置した。水槽内の水温は苗畑における平均気温に設定した。1.5～4 時間が経過した後、シリンジにより再度呼吸室から 0.2 ml のガスを採取し、ガス分析を行った。ガスを採取する前にはシリンジにより呼吸室内のガスをかくはんした。

ガス分析終了後、呼吸室内の体積を測定した。試料を入れたまま呼吸室内に水を注入し、注入した水の体積を呼吸室内の体積とした。

CO₂ 放出量は次のように算出した。試料を呼吸室に密閉してから T 時間 [h] 経過した時点での CO₂ の体積増加量 ΔV_c [ml] は下式によって求めた。

$$\Delta V_c = \frac{V}{100} (C_{CT} - C_{CI}) \quad (6-1)$$

V : 呼吸室内の体積 [ml]

C_{CI} : 試料を呼吸室に密閉した直後の CO₂ 濃度 [%]

C_{CT} : 試料を呼吸室に密閉してから T 時間後の CO₂ 濃度 [%] .

また、O₂ 吸収量は次のように算出した。試料を呼吸室に密閉してから T 時間 [h] 経過した時点での O₂ の体積増加量 ΔV_o [ml] は下式によって求めた。

$$\Delta V_o = \frac{V}{100} (C_{OT} - C_{OI}) \quad (6-2)$$

V : 呼吸室内の体積 [ml]

C_{OI} : 試料を呼吸室に密閉した直後の O₂ 濃度 [%]

C_{OT} : 試料を呼吸室に密閉してから T 時間後の O₂ 濃度 [%] .

ここで、呼吸商 (Respiratory Quotient) RQ は下式で定義される。

$$\begin{aligned} RQ &= \frac{\Delta V_c}{\Delta V_o} \\ &= \frac{C_{CT} - C_{CI}}{C_{OT} - C_{OI}} \end{aligned} \quad (6-3)$$

(6-1) 式から試料密閉直後 T 時までの経過時間における平均の CO₂ 放出速度 r [mg (CO₂) sample⁻¹ h⁻¹] は下式により算出した。ただし、気圧は 1 気圧で一定であるとした。

$$r = \frac{44.0}{22.4} \frac{273.2}{273.2 + \theta} \frac{\Delta V_c}{T} \quad (6-4)$$

ここで、θ は呼吸室内温度 [°C] を示す。

【赤外線 CO₂ 分析計による呼吸の測定】

本測定は、2年生苗について実施した。

赤外線 CO₂ 分析計の測定原理は、呼吸室の入り口と出口の CO₂ 濃度を分析することにより両者の濃度差から CO₂ 放出速度を算出することにある。

測定に用いた呼吸室は、円筒形の塩化ビニールパイプで、その大きさは内径が 6.5 cm、長さが 30~45 cm であった。

呼吸室におくる外気は、一度エアータンクに貯蔵して空気中の CO₂ 濃度を安定させてから通気した。呼吸室は、電子冷却器 (TE-14, シャープ) により水温調節された恒温水槽内に設置した。さらに、呼吸室に送る空気も一度恒温水槽内に設置したガラス製蛇管内を通した後、通気した。

恒温水槽内の水温は、既に報告したアルカリ密閉吸収法による呼吸測定 (小川ほか, 1982, 1984) における呼吸室内気温とした。

通気速度は面積式流量計 (LAT 型 (設定温度 20 °C), 日本特殊計器製作所) により測定した。また、同時に流量計を通過する空気の温度を測定した。通気速度は、春期~秋期においては 0.5~2 l min⁻¹、冬期においては 0.2 l min⁻¹ であった。通気後の空気は小型冷蔵庫内に設置したガラス管を通して除湿後、過塩素酸マグネシウム Mg(Cl₂) によって乾燥し分析計 (URAS-1, Hartmann & Braun) に導いた。分析結果は記録計 (U-125M, 日本電子科学) により自記させた。呼吸速度の測定は、切断後ほぼ 1 時間で終了した。

CO₂ 放出速度 r [mg (CO₂) sample⁻¹ h⁻¹] は下式により算出した。ただし、気圧は 1 気圧で一定であるとした。

$$r = \frac{44.0}{22.4} \frac{C_{out} - C_{ent}}{10^3} \sqrt{\frac{273.2 + 20}{273.2 + \theta'}} 60 v \quad (6-5)$$

θ' : 流量計を通過する空気の温度 [°C]

C_{ent} : 呼吸室に入る外気の CO₂ 濃度 [ppm]

C_{out} : 呼吸室から出る空気の CO₂ 濃度 [ppm]

v : 通気速度 [l min⁻¹].

以下で述べる呼吸速度は CO₂ 放出速度をいう。

6-3. 結果

6-3-1. 個体呼吸速度と個体サイズとの関係

図 6-1 に示すように、当年生苗における個体全呼吸速度 r と個体全乾重 w との間には

$$r = a w^{\beta} \quad [\text{mg (CO}_2\text{) seedling}^{-1} \text{ h}^{-1}, \text{ g (dry wt) seedling}^{-1}] \quad (6-6)$$

の巾乗関係が成立した。ここで、 a 、 β は各成育時期で決まる係数である。

また、図 6-2 に示すように、1年生および2年生苗において、個体地上部呼吸速度 r_T と個体地上部乾重 w_T および個体地下部呼吸速度 r_R と個体地下部乾重 w_R との間には

$$r_T = a_T w_T^{\beta_T}, \quad (6-7)$$

$$[\text{mg (CO}_2\text{) seedling}^{-1} \text{ h}^{-1}, \text{ g (dry wt) seedling}^{-1}]$$

$$r_R = a_R w_R^{\beta_R} \quad (6-8)$$

の巾乗関係が成立した。ここで、 a_T 、 β_T 、 a_R 、 β_R は各苗齢、各成育時期で決まる係数である。

表 6-1 に (6-6) ~ (6-8) 式の係数 a 、 β 、 a_T 、 β_T 、 a_R 、 β_R の季節変化を示す。巾指数 β 、 β_T 、 β_R の明白な季節変化は認められなかった。

当年生苗において、(6-6) 式の β の値は大部分の季節において 0.9~1.2 の範囲にあった。

(6-7) 式の β_T の値は、1年生苗において 0.9~1.1、また、2年生苗において 0.8~1.2 の範囲にあった。

(6-8) 式の、 β_R の値は、1年生苗において 0.8~1.0、また、2年生苗において 0.9~1.2 の範囲にあった。

したがって、ヒノキ苗においては個体の呼吸速度は個体の重さとほぼ比例関係にあるといえる。

6-3-2. 呼吸商の季節変化

図 6-3 に平均呼吸商 \overline{RQ} の季節変化を示す。この平均呼吸商は呼吸測定に用いた苗木に関するものである。

\overline{RQ} の変化域は、当年生苗では 0.83~1.14、1年生苗では、地上部で 0.85~0.99、地下部で 0.73~1.02 となった。

このように、 \overline{RQ} は各苗齢とも全期間を通じて 1 に近い値を示したが、冬期において \overline{RQ} は低下する傾向にあった。

1年生苗における地上部と地下部において、 \overline{RQ} の季節変化に顕著な違いは認められなかった。

6-3-3. 平均個体呼吸速度および林分呼吸速度の季節変化

【平均個体呼吸速度および林分呼吸速度の算出法】

<平均個体呼吸速度>

当年生苗については、(6-6) 式により採取した全試料 100本の苗木の個体全呼吸速度 r を推定して、その平均呼吸速度 \bar{r} を算出した。

1年生および2年生苗については、(6-7) および (6-8) 式により、サブプロット内の苗木の地上部および地下部の呼吸速度 r_T, r_R を推定し、その平均呼吸速度 \bar{r}_T, \bar{r}_R を算出した。

1年生および2年生苗の地下部の平均個体呼吸速度は、苗畑の地下 5 cm の地温に、また、2年生苗の地上部の平均個体呼吸速度は、苗畑の地上 40 cm の気温に温度補正した。この温度補正は、各成育時期で温度係数 Q_{10} が 2 である (Jarvis and Leverenz, 1983) という仮定に基づいた。

<林分呼吸速度>

林分呼吸速度は平均呼吸速度と苗の植栽密度との積で定義される。

【平均個体呼吸速度および林分呼吸速度の季節変化】

図 6-4 は地上部と地下部の平均呼吸速度を合計した個体の平均全呼吸速度 \bar{r} の季節変化を示す。

各苗齢とも \bar{r} は類似した季節変化を示し、当年生苗においては 10月初旬に、1年生苗においては 9月下旬に、2年生苗においては 8月下旬にピークに達し、最大値をもった。

図 6-5 は 1年生および2年生苗における地上部と地下部の平均個体呼吸速度 \bar{r}_T, \bar{r}_R の季節変化を示す。

地上部と地下部の平均個体呼吸速度の季節変化に顕著な違いは認められな

かった。

図 6-6 は地上部と地下部を合計した林分全呼吸速度 R の季節変化を示す。

当年生苗は苗齢の割に高い林分全呼吸速度を示した。これは当年生苗が高密度下にあるためである。

6-3-4. 比呼吸速度の季節変化

図 6-7 は、個体の平均全乾重に対する個体の平均全呼吸速度の比として定義される比呼吸速度の季節変化を示す。

各苗齢とも比呼吸速度の季節変化は気温のそれとほぼ類似した変化を示した。

比呼吸速度は、当年生苗では 8月初旬、1年生苗では 9月下旬、2年生苗では 8月下旬にピークに達し、冬に向かって減少した。ただし、当年生苗において、比呼吸速度は 5月初旬に最大値を示したが、これは成長初期における温度非依存性の構成呼吸の増大によるものと考えられる。

図 6-8 は 1年生および 2年生苗の地上部と地下部の比呼吸速度を示す。各苗齢とも、地上部、地下部の比呼吸速度は温度と類似した季節変化を示した。また、4月下旬～10月下旬の期間において、1年生苗の地上部、地下部の比呼吸速度は、2年生苗のそれらより高い値を示した。

6-4. 考察

6-4-1. 測定方法の吟味

本呼吸測定において主として問題となるのは、

- (1) 密閉法において呼吸室内の CO_2 濃度が CO_2 放出速度に及ぼす影響
- (2) 苗木を地上部と地下部に切断した場合、切断が呼吸速度に及ぼす影響

である。

この 2点について以下で吟味する。

(1) 呼吸室内 CO₂ 濃度が CO₂ 放出速度に及ぼす影響

図 6-9 は当年生苗を用いて調べた呼吸室内の CO₂ 濃度の経時変化の結果を示す。CO₂ 濃度の経時変化は飽和曲線を描いた。このことは CO₂ 放出速度が時間とともに低下することを示している。時間経過にともなう CO₂ 放出速度の低下は、主として、呼吸室内の CO₂ 濃度の増加による拡散抵抗に起因していると考えられる (Evans, 1972)。二宮・穂積 (1978) および Ninomiya and Hozumi (1981) は CO₂ 濃度が CO₂ 放出速度にどのように影響するかを、2、3 の仮定を立ててモデル計算により検討した。

図から判断して、呼吸室の CO₂ 濃度が 5 % に達するまでは CO₂ 濃度は密閉後の時間に対して直線的に増加する傾向にあった。ガスクロマトグラフによる呼吸測定はこの結果を目やすにして行った。ただし、時間経過にともなう CO₂ 放出速度の低下は、O₂ の不足とも考えられるが、今の時点ではよく分からない。

(2) 苗木を地上部と地下部に切断した場合の切断が呼吸速度に及ぼす影響

根岸 (1970) が総説しているように、切断による障害は呼吸速度に影響を与え、呼吸速度は切断により増大する。また、その影響の程度も、季節・温度・水分など各種要因によって複雑に変化する。

図 6-10 は、2年生苗について地上部と地下部に切断する前後の個体全呼吸速度を全実験期間を通じて比較した結果である。切断前後の個体全呼吸速度は、その大部分が相対誤差 ± 10 % 内におさまり、顕著な差はみられなかった。

広葉樹に比して針葉樹においては、切断後かなりの時間が経過してから呼吸速度に切断の影響があらわれる (大畠ほか, 1967; Negisi, 1974)。例えば、直径 2~3 cm、長さ 20 cm 程度のヒノキの幹では切断により呼吸速度は、3日間程度では、それほど顕著には影響されなかった (大畠ほか, 1967)。

したがって、本研究においては切断により呼吸速度はそれほど顕著には影響されなかったと考えられる。

6-4-2. 個体呼吸速度のサイズ依存性

本研究において、個体の呼吸速度は全期間を通じてその重さと比例関係にあった。7~11年生のアイグロマツ (*Pinus densi-thunbergii* Uyeki) の若齢林 (Ninomiya and Hozumi, 1981) においても、個体の地上部呼吸速度はその重さと比例関係にあった。

しかし、自然間引き (穂積, 1973) すなわち競争により林木の死亡を起こしている 24年生ヒノキ人工林 (Ninomiya and Hozumi, 1983a, b) においては、

個体サイズがある程度大きくなると、個体の呼吸速度はその表面積に比例した。Ninomiya and Hozumi (1983b) は、このような個体の呼吸速度と個体サイズとの関係を拡張された巾乗式によって定式化し、その生物学的意味を明らかにした。すなわち、自然間引きを起こしている林分では生存可能な最小の大きさをもつ個体が存在し、個体が有限の大きさで呼吸速度が0となった。

このように、個体呼吸速度のサイズ依存性は林分の発達段階を示唆するもので、森林生態系の動態を考えるうえで重要な指標とみなせよう。

6-4-3. 比呼吸速度の温度依存性

気温または地温の季節変化に対する比呼吸速度の反応を調べるために、図6-11 に示すように、比呼吸速度と気温または地温との関係を片対数グラフ上にプロットした。

各苗齢とも、比呼吸速度は温度の増加とともに指数関数的に増加した。しかし、比呼吸速度と温度との関係は、各苗齢とも2本の折れ線で近似され、低温域では直線の傾きは大きく、高温域では直線の傾きは小さかった。すなわち、低温域の方が高温域に比して温度変化に対する比呼吸速度の変動が大きくなるといえる。

低温域と高温域の境界温度は当年生苗において 23 °C と近似された。1年生苗における境界温度は、地上部において 15 °C、地下部において 14 °C と近似された。2年生苗における境界温度は、地上部、地下部とも 13 °C と近似された。

各苗齢とも、低温域は 11月～3月、また、高温域は 4月～10月までの期間とほぼ対応した。第3章(3-3-1)で述べた苗高と幹直径の季節変化を考慮すれば、低温域は成育休止期に、また、高温域は成育期に対応した。したがって、維持呼吸が優先するとみなせる成育休止期と、維持呼吸と構成呼吸とが共に盛んであるとみなせる成育期とでは呼吸の温度反応が異なると考えられる。

類似した結果が、17年生ヒノキの葉群呼吸 (Hagihara and Hozumi, 1977)、7～11年生アイグロマツの地上部呼吸 (Ninomiya and Hozumi, 1981) および24年生ヒノキの地上部呼吸 (Ninomiya and Hozumi, 1983a) においても報告されている。

表 6-1. (6-6) 式の係数 α , β , (6-7) 式の係数 α_T , β_T および (6-8) 式の係数 α_R , β_R

当年生苗				1年生苗						2年生苗							
年/月/日	(6-6) 式			年/月/日	(6-7) 式			(6-8) 式			年/月/日	(6-7) 式			(6-8) 式		
	α	β	c^2		α_T	β_T	c^2	α_R	β_R	c^2		α_T	β_T	c^2	α_R	β_R	c^2
84/ 5/ 8	0.61	0.77	0.97	85/ 4/25	0.50	0.91	0.98	0.51	0.90	0.92	81/10/28	0.41	1.12	1.00	0.47	1.36	0.97
30	3.24	1.15	0.96	5/29	0.93	1.10	0.94	0.93	0.94	0.92	11/26	0.43	0.92	0.96	0.34	1.17	0.99
6/15	2.63	1.07	0.98	6/26	1.08	1.09	0.95	0.84	0.89	0.85	12/25	0.24	0.86	0.92	0.32	0.65	0.69
27	3.85	1.22	0.97	7/30	1.28	0.92	0.96	1.58	1.14	0.97	82/ 1/27	0.25	0.80	0.77	0.26	0.93	1.00
7/13	1.76	0.94	0.95	8/29	1.66	0.99	0.98	1.52	1.11	0.93	2/24	0.22	1.04	0.95	0.23	0.94	0.92
23	3.33	1.13	0.99	9/27	1.36	1.22	0.97	1.94	1.01	0.98	3/26	0.21	1.11	0.99	0.27	1.04	0.97
8/ 2	2.51	1.02	0.99	10/31	0.63	1.07	0.99	1.05	0.96	0.97	4/30	0.78	0.93	0.99	0.81	0.78	0.86
21	2.43	1.16	0.99	11/27	0.49	0.94	0.86	0.53	0.96	0.92	5/27	1.29	0.92	0.99	1.06	0.68	0.91
9/ 6	2.19	1.12	0.99	12/26	0.13	0.99	0.99	0.17	1.07	0.97	6/24	1.20	0.91	0.99	1.07	0.78	0.89
20	1.88	1.15	0.99	86/ 1/30	0.10	1.06	0.98	0.16	0.92	0.97	7/20	0.43	1.17	0.99	0.82	0.95	0.96
10/11	1.71	1.15	1.00	2/26	0.12	0.93	0.99	0.13	0.82	0.98	8/30	0.71	0.98	0.99	0.79	0.97	0.97
26	0.71	0.96	0.98	3/28	0.25	0.96	0.99	0.31	0.82	0.95	9/27	0.61	1.02	0.98	0.55	1.04	0.98
11/29	0.52	1.02	0.99								10/18	0.34	1.12	1.00	0.35	1.01	0.93
12/21	0.30	1.00	0.99														
85/ 1/24	0.22	1.06	0.99														
2/22	0.26	1.01	0.99														
3/14	0.27	0.91	0.99														

[Dimension]: $[\alpha] = [\text{mg (CO}_2\text{) seedling}^{\beta-1} \text{ h}^{-1} \text{ g (dry wt)}^{-\beta}]$, $[\alpha_T] = [\text{mg (CO}_2\text{) seedling}^{\beta_T-1} \text{ h}^{-1} \text{ g (dry wt)}^{-\beta_T}]$, $[\alpha_R] = [\text{mg (CO}_2\text{) seedling}^{\beta_R-1} \text{ h}^{-1} \text{ g (dry wt)}^{-\beta_R}]$, $[\beta] = [\beta_T] = [\beta_R] = [\text{Dimensionless}]$.

c^2 : 決定係数 (ただし, c は相関係数).

(6-6) 式: $r = a W^\beta$, (6-7) 式: $r_T = a_T W^{\beta_T}$, (6-8) 式: $r_R = a_R W^{\beta_R}$.

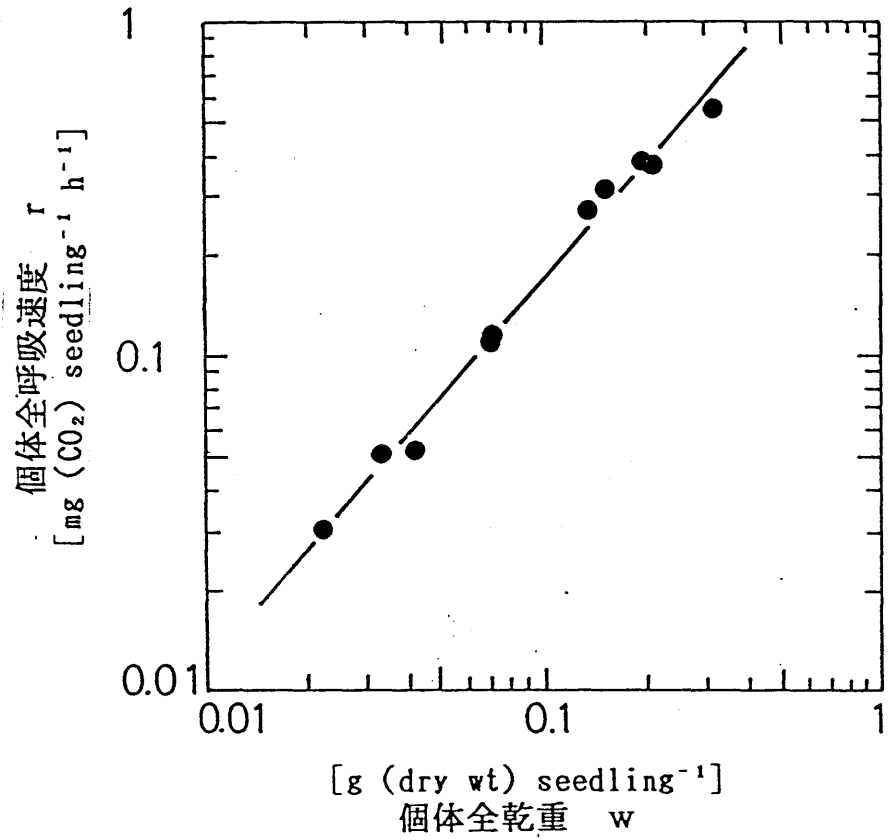


図 6-1. 当年生苗における個体全呼吸速度 r と個体全乾重 w との関係
 1984年8月21日の結果。直線は (6-6) 式を示す。測定温度は
 31.3 °Cであった。

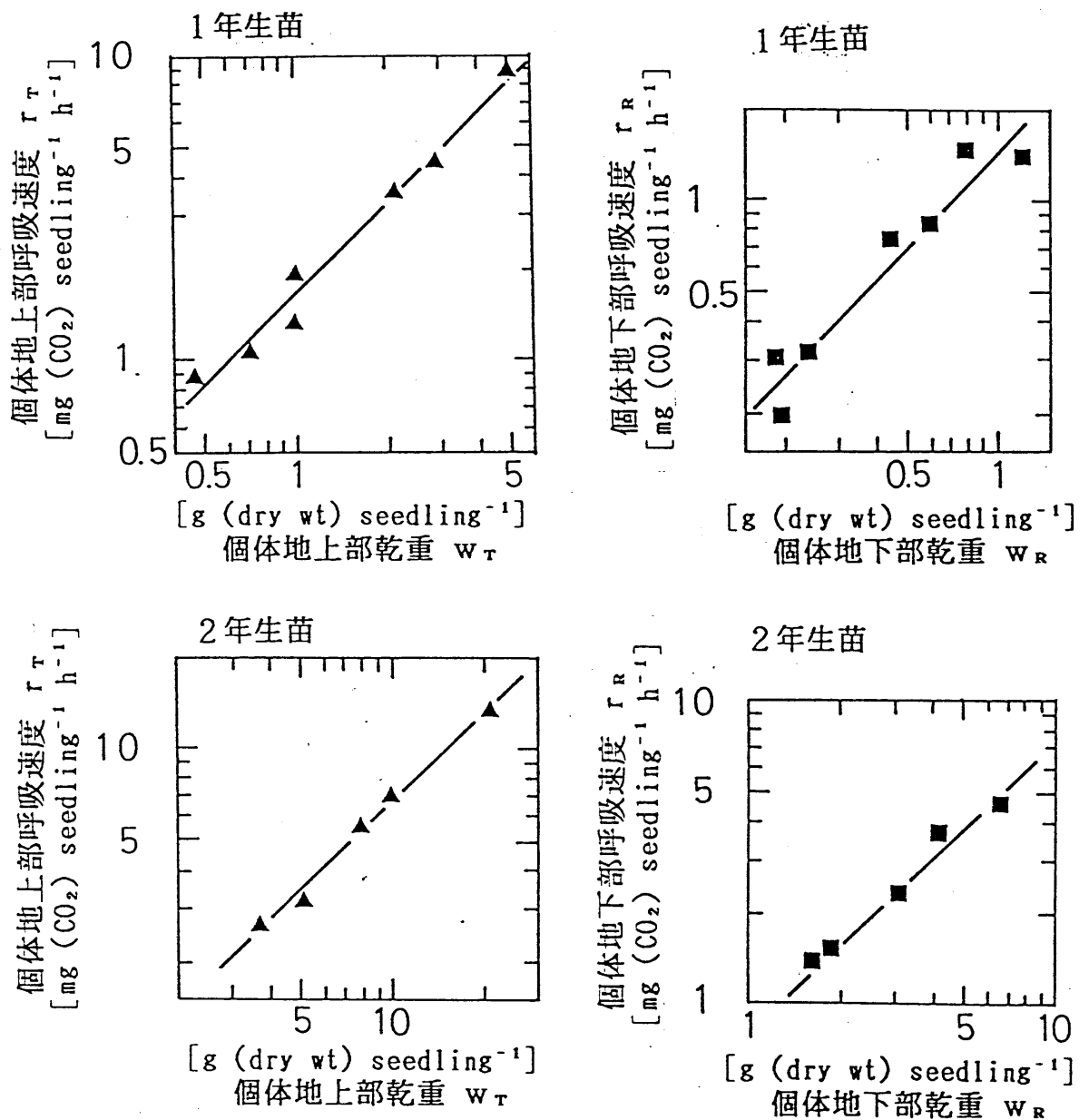


図 6-2. 1年生および2年生苗における個体地上部呼吸速度 r_T - 個体地上部乾重 w_T と個体地下部呼吸速度 r_R - 個体地下部乾重 w_R 関係

1年生苗は 1985年8月29日、2年生苗は 1982年8月30日の結果を示す。直線は、地上部については (6-7) 式を、地下部については (6-8) 式を示す。測定温度は、1年生苗では 32.5°C 、2年生苗では 28.3°C であった。

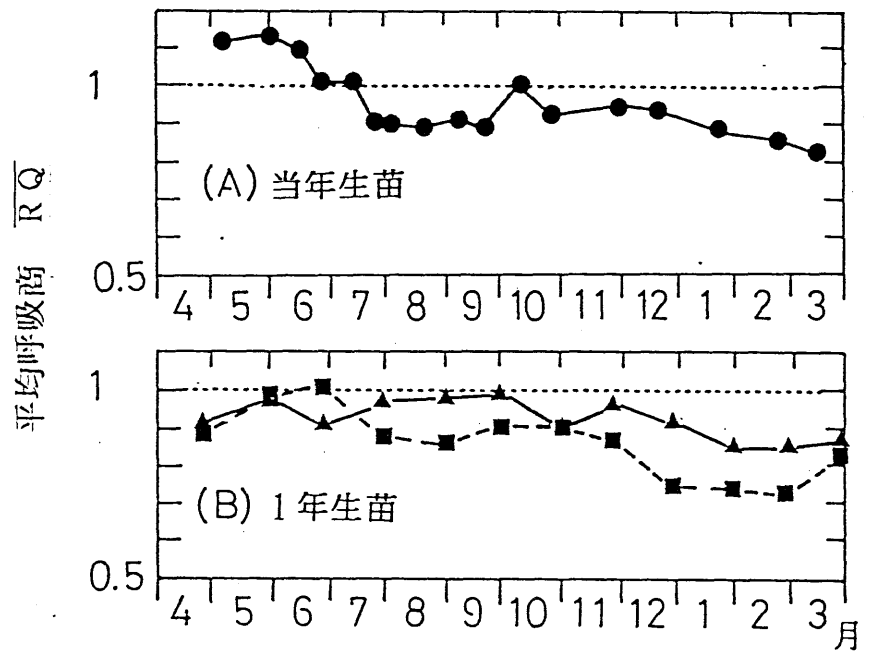


図 6-3. 平均呼吸商 \overline{RQ} の季節変化

(A) 当年生苗 ● : 全体重。

(B) 1年生苗 ▲ : 地上部, ■ : 地下部。

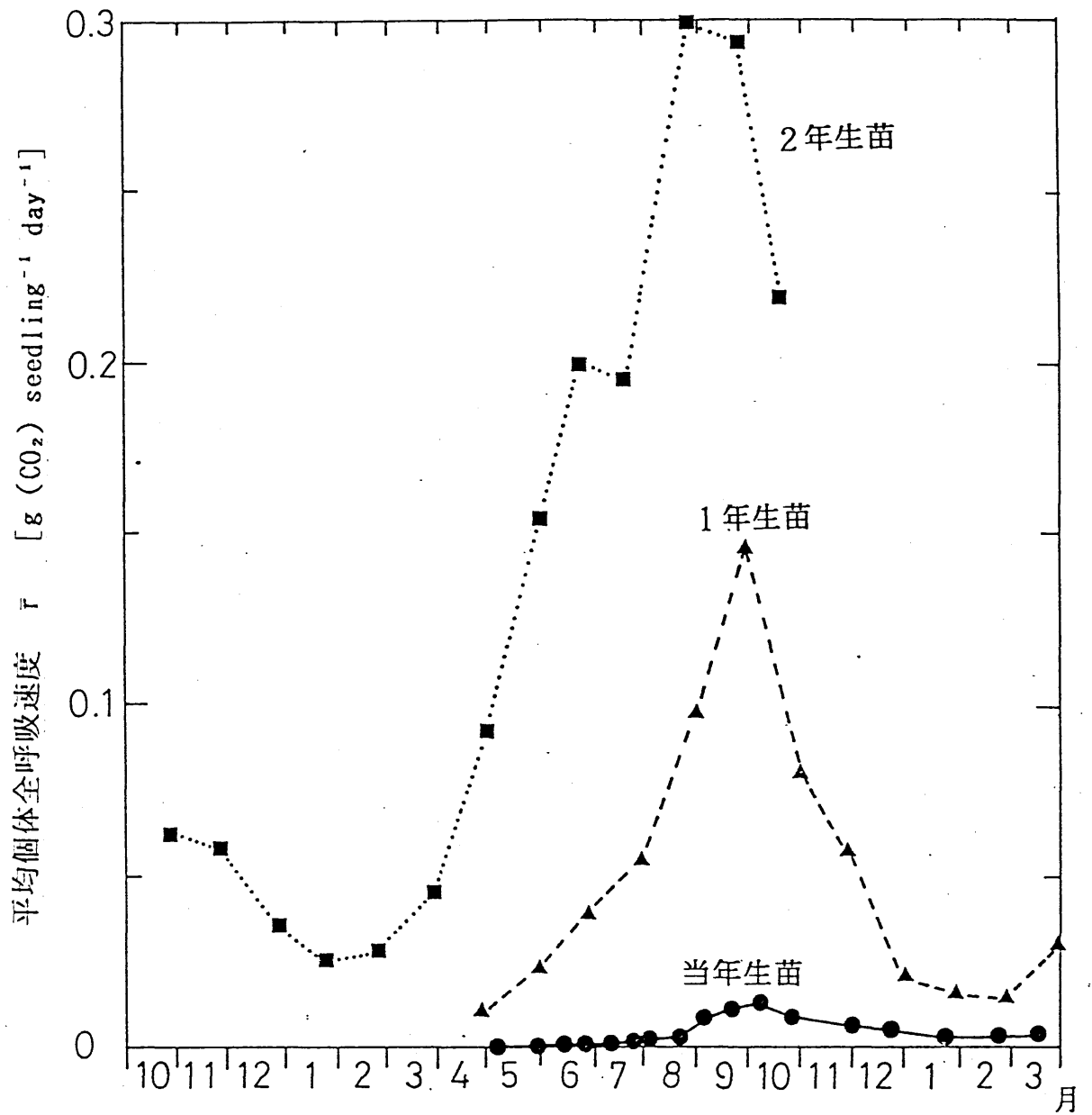


図 6-4. 平均個体全呼吸速度 \bar{r} の季節変化

- : 当年生苗。
- ▲ : 1年生苗。
- : 2年生苗。

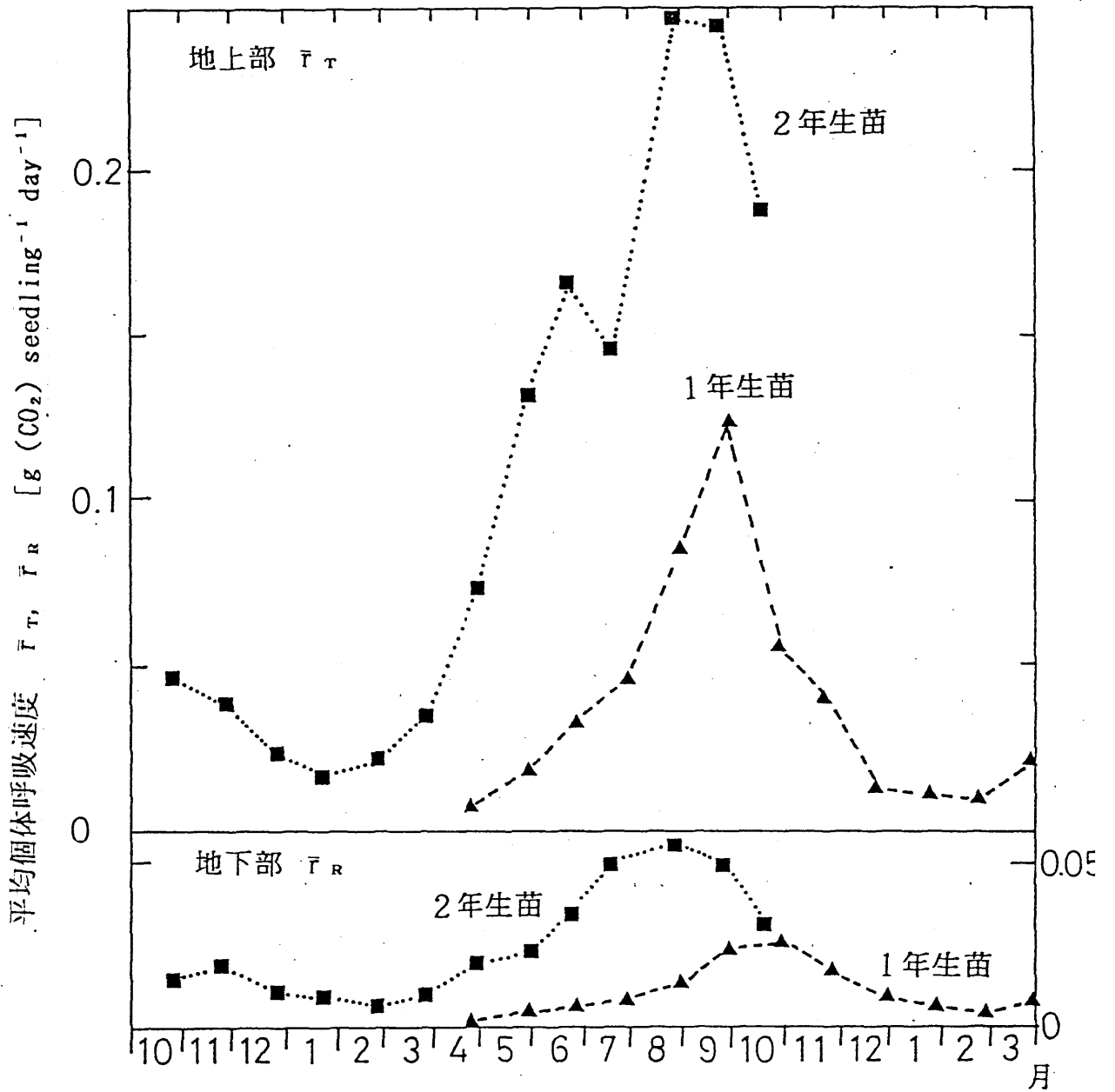


図 6-5. 地上部および地下部の平均個体呼吸速度 \bar{T}_T, \bar{T}_R の季節変化

▲ : 1年生苗。

■ : 2年生苗。

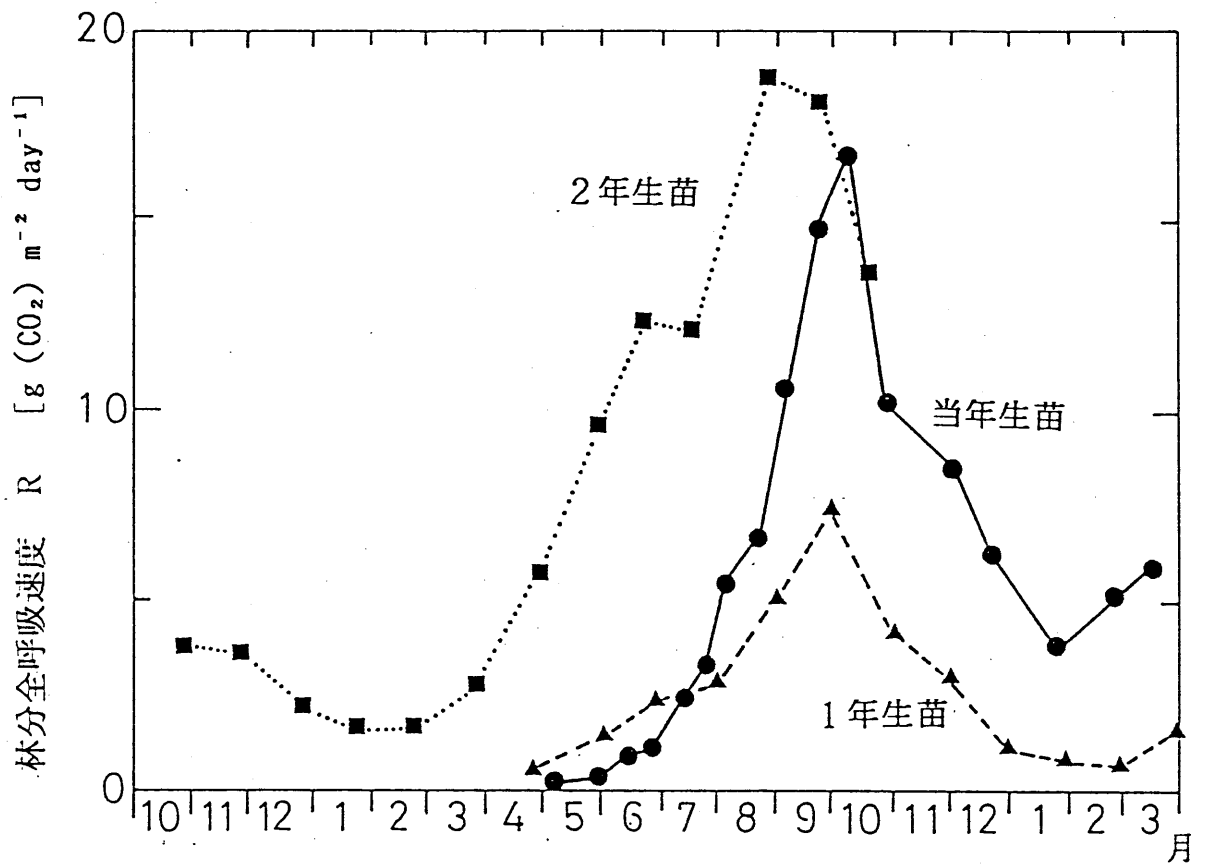


図 6-6. 林分全呼吸速度 R の季節変化

- : 当年生苗。
- ▲ : 1年生苗。
- : 2年生苗。

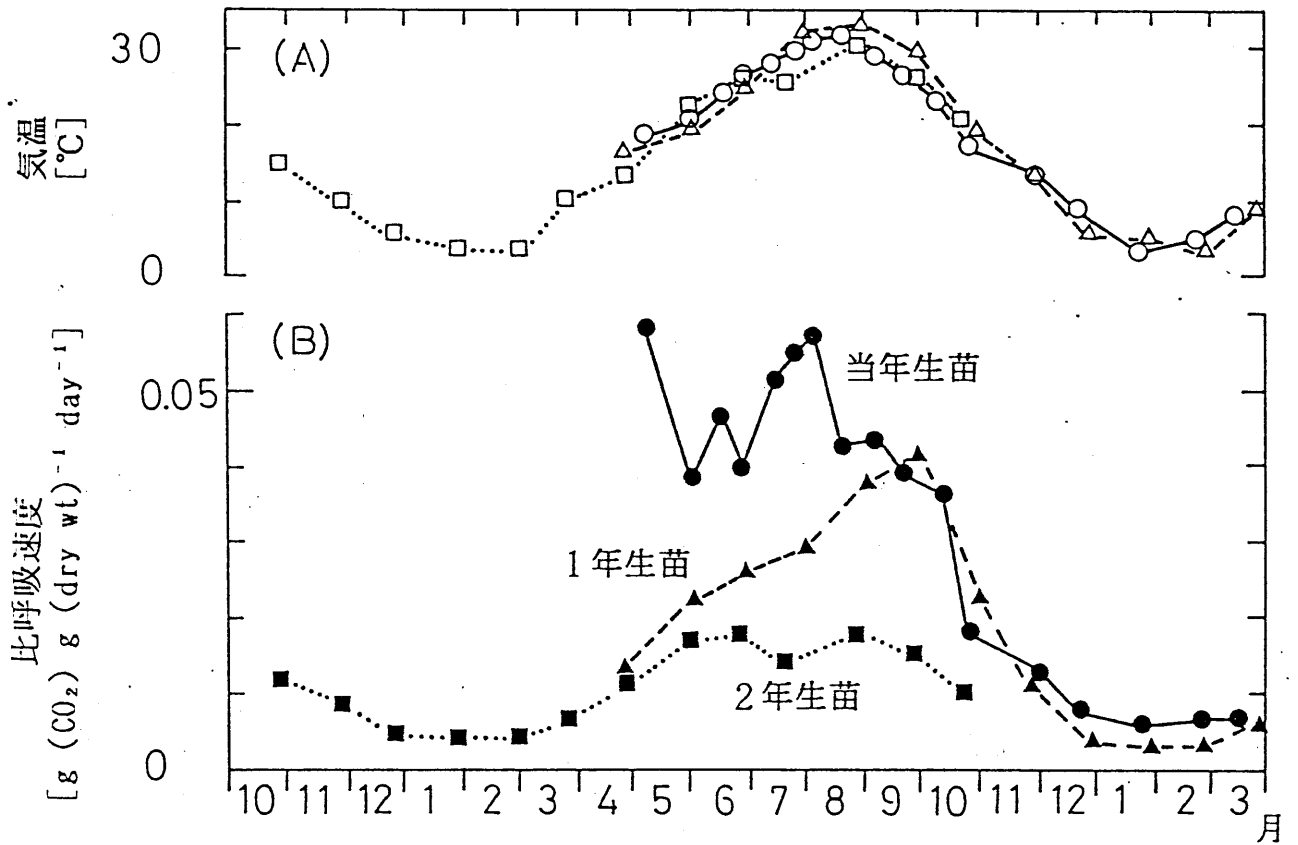


図 6-7. 気温と比呼吸速度の季節変化

(A) 地上 40 cm の気温

○ : 当年生苗。

△ : 1年生苗。

□ : 2年生苗。

(B) 比呼吸速度

● : 当年生苗。

▲ : 1年生苗。

■ : 2年生苗。

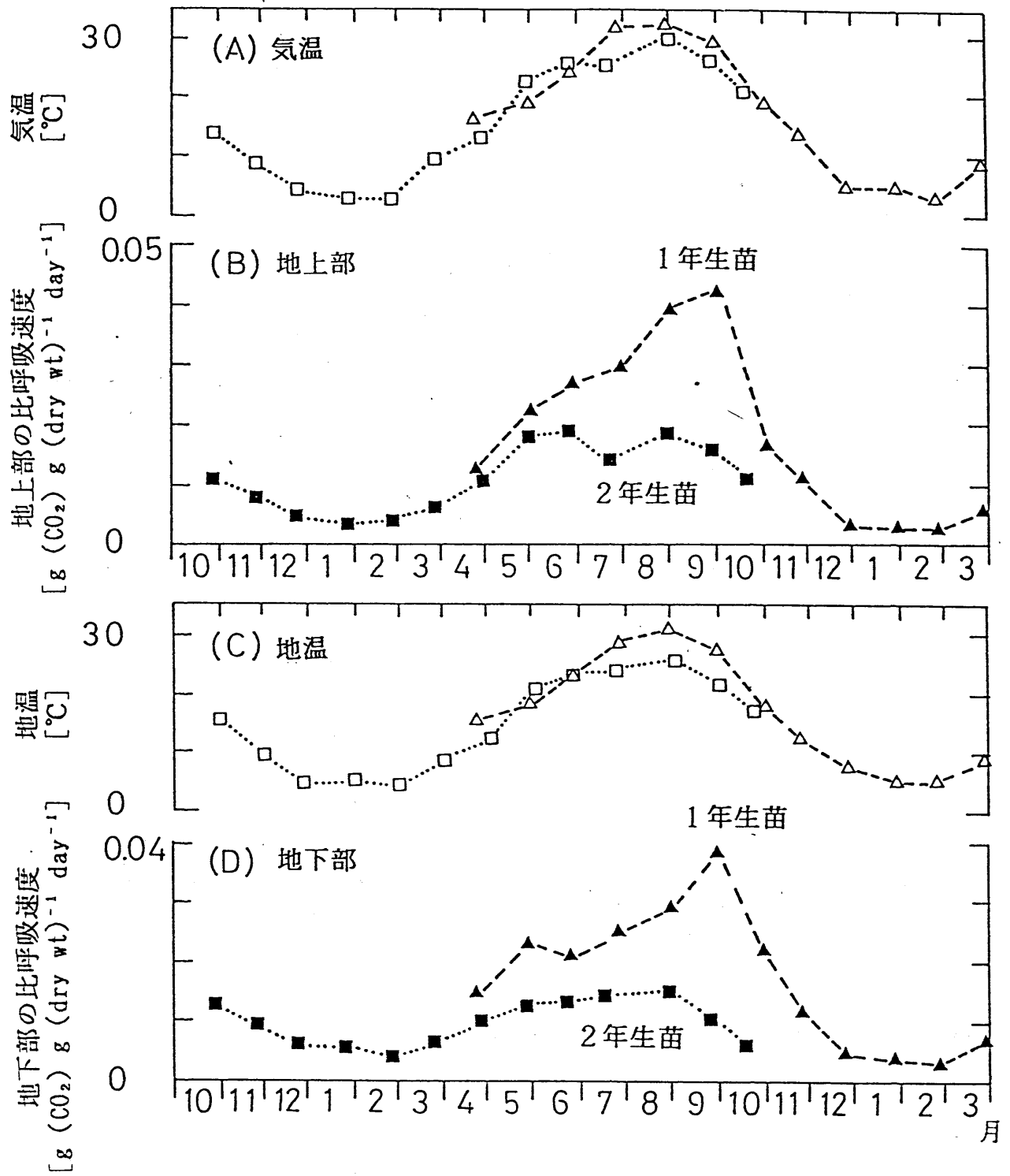


図 6-8. 気温と地上部の比呼吸速度の季節変化および地温と地下部の比呼吸速度の季節変化

(A) 地上 40 cm の気温

○ : 当年生苗。

△ : 1年生苗。

□ : 2年生苗。

(C) 地下 5 cm の地温

○ : 当年生苗。

△ : 1年生苗。

□ : 2年生苗。

(B) 地上部の比呼吸速度

● : 当年生苗。

▲ : 1年生苗。

■ : 2年生苗。

(D) 地下部の比呼吸速度

● : 当年生苗。

▲ : 1年生苗。

■ : 2年生苗。

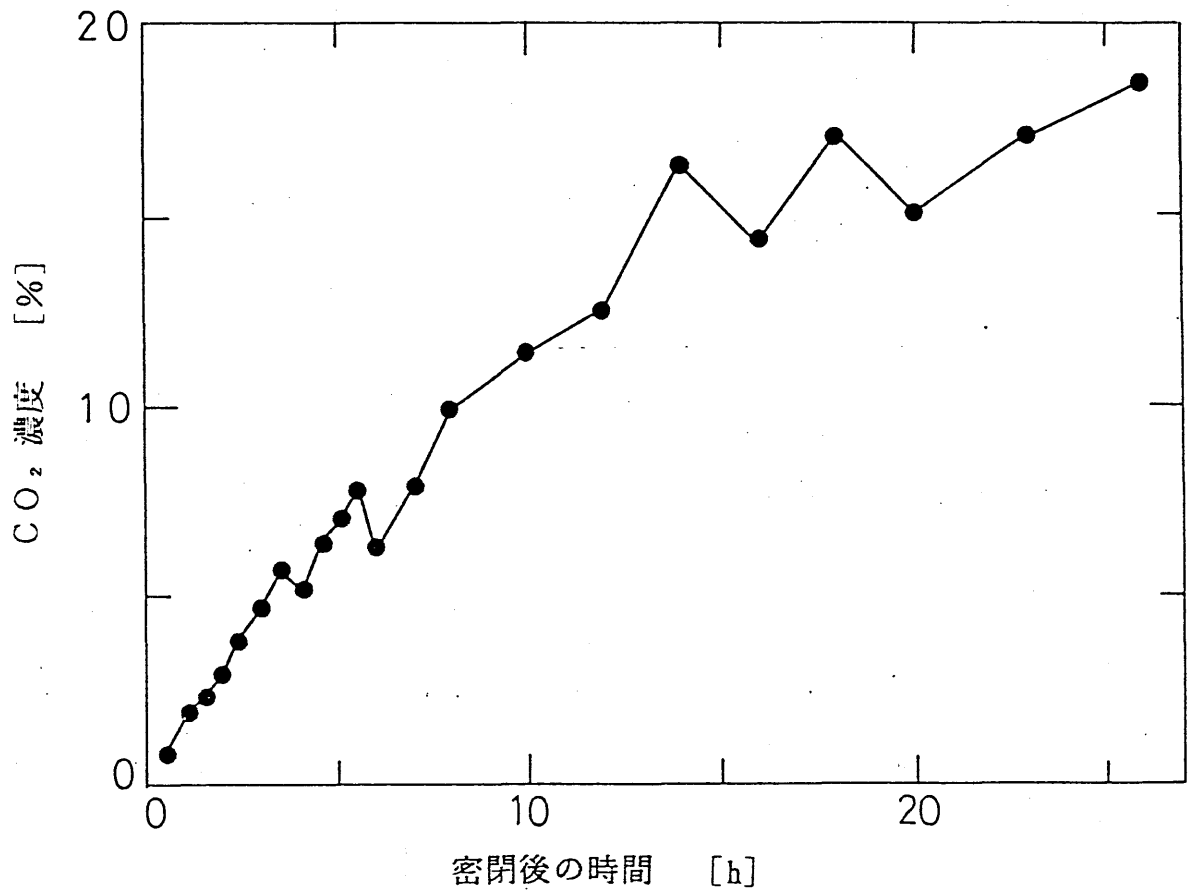


図 6-9. 当年生苗における呼吸室内の CO₂ 濃度の経時変化
 実験は 1984年8月27日～28日に行った。測定温度は 31.3 °Cであっ
 た。各測定点で用いた試料は異なり、一つの呼吸室には 3個体の苗
 木を密閉した。呼吸室に密閉した試料の平均乾重 (± 1 S. D.) は
 0.357 ± 0.018 g (3 seedlings)⁻¹ であった。

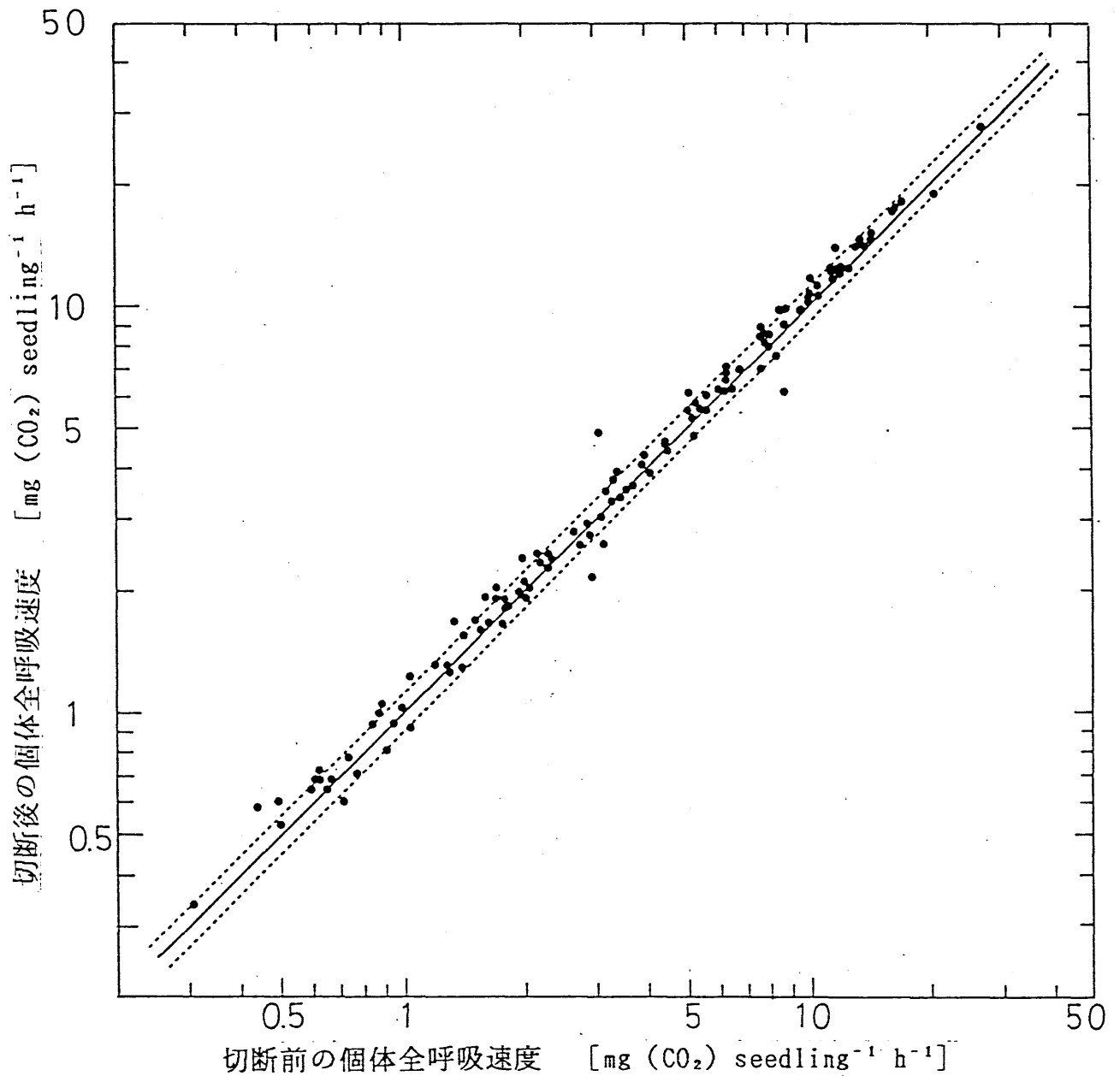


図 6-10. 2年生苗における地上部と地下部に切断する前後の個体全呼吸速度の比較

切断後の個体全呼吸速度は地上部と地下部の呼吸速度の総和を意味し、また、切断前の個体全呼吸速度は切断されていない個体全体の呼吸速度を意味する。データは全実験期間を通じてプロットしてある。実線および破線は、それぞれ相対誤差 0、±10%を示す。分析は赤外線 CO₂ 分析計を用い、通気法で測定した。

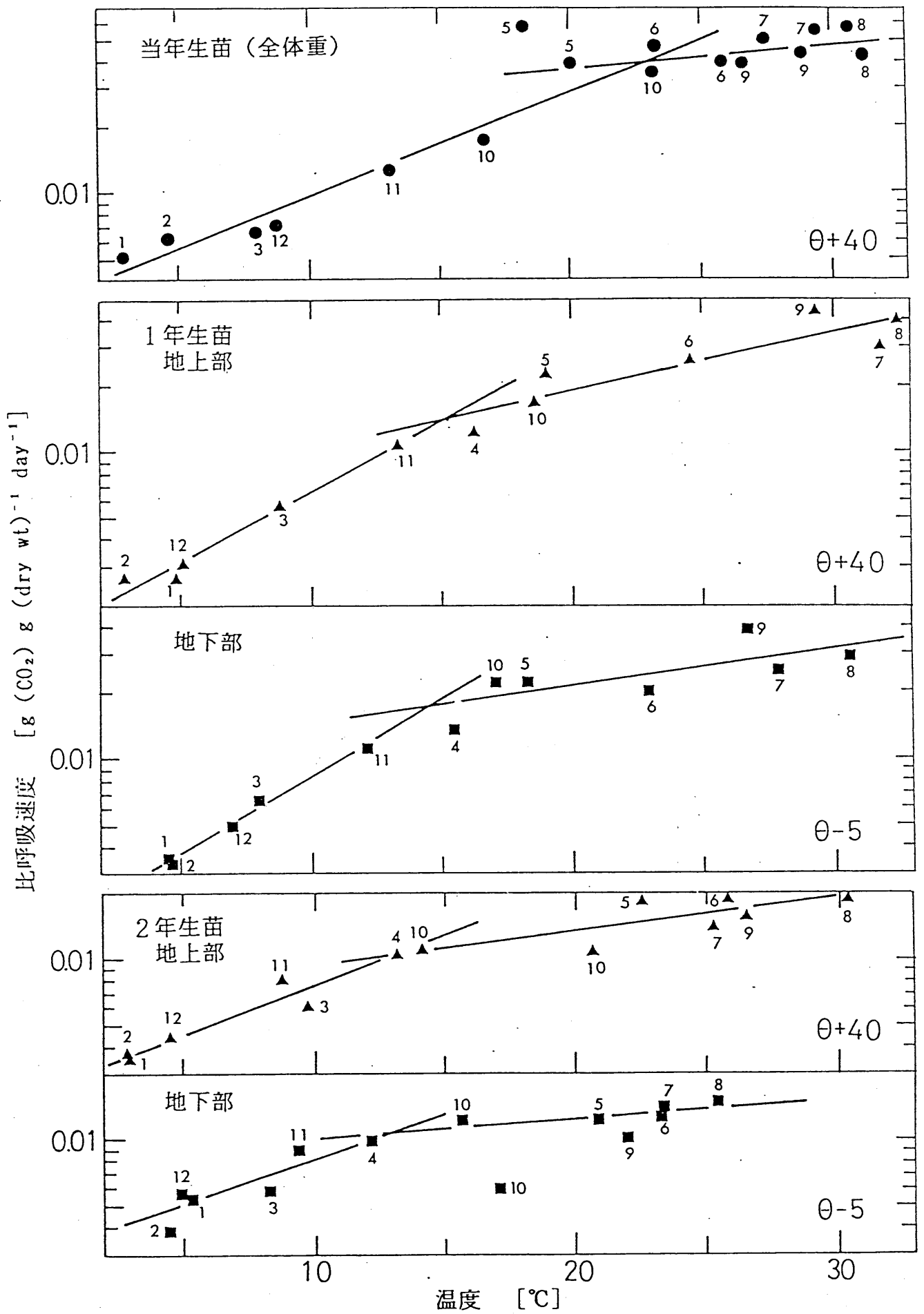


図 6-11. 比呼吸速度と温度との関係

$\theta+40$: 地上 40 cm の気温, $\theta-5$: 地下 5 cm の地温。

図中の数字は月を示す。

第7章 一次生産

7-1. はじめに

本章では、ヒノキ苗個体群の一次生産力を明らかにするため、第4章および第6章で述べた現存量および呼吸量のデータをもとに積み上げ法により総生産速度を推定し（小川，1986；Ogawa et al., 1986）、その結果を苗齢間で比較・検討した。

7-2. 材料と方法

7-2-1. 材料

【当年生苗】

毎回採取した 100本の 苗木を解析の対象とした。ただし、枯死量は、サブプロット内の苗木を対象として、算出した。

【1年生および2年生苗】

サブプロット内の苗木を解析の対象とした。対象とした苗木の本数は、1年生苗では 69~80本、2年生苗では 80本であった。

7-2-2. 方法

ある2つの時刻 t_1 から t_2 までの期間 Δt を

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (7-1)$$

とする。ただし、 $t_2 > t_1$ とする。

この $t_1 \sim t_2$ 間における総生産速度およびその構成因子の速度は、各苗齢とも以下のようにして算出した。

【現存量の増加速度】

第4章(4-3-2)で述べた全現存量 y の季節変化から、 $t_1 \sim t_2$ 間における全現存量の増加量 Δy

$$\Delta y = y_2 - y_1 \quad (7-2)$$

を算出した。 y_1 、 y_2 は時刻 t_1 、 t_2 における全現存量を示す。

(7-1)、(7-2) 式から、 $t_1 \sim t_2$ 間の全現存量の増加速度 $\Delta y / \Delta t$

$$\frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1} \quad (7-3)$$

を算出した。

【林分呼吸速度】

第6章(6-3-3)で述べた林分全呼吸速度 R の季節変化において、 $t_1 \sim t_2$ 間の林分呼吸速度の平均値を \bar{R} とすると、 $t_1 \sim t_2$ 間の林分全呼吸量 ΔR は、

$$\Delta R = \bar{R} \cdot \Delta t \quad (7-4)$$

として示される。

(7-4) 式を変形すれば、

$$\frac{\Delta R}{\Delta t} = \bar{R} \quad (7-5)$$

が得られる。

ここで、 $t_1 \sim t_2$ 間における林分呼吸速度の平均値 \bar{R} の算出は、下式によった。

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2}{2} \quad (7-6)$$

ここで、 R_1 、 R_2 は時刻 t_1 、 t_2 における林分全呼吸速度を示す。また、 CO_2 量の乾物量への変換は呼吸商を1と仮定し、乾物量/ CO_2 量比を0.614とした(佐藤, 1973)。

【枯死速度】

サブプロット内の苗木について、 $t_1 \sim t_2$ 間に生じた枯死木、付着枯死葉、地面に落下した葉をそれぞれ採取し、 $t_1 \sim t_2$ 間の枯死量 ΔL を算

出した。この枯死量 ΔL から、 $t_1 \sim t_2$ 間の枯死速度 $\Delta L/\Delta t$ を算出した。

【純生産速度および総生産速度】

以上の結果から、積み上げ法により総生産速度を算出した (Kira et al., 1967; Newbould, 1967; Ogawa, 1977)。

総生産速度 $\Delta P_g/\Delta t$ は、

$$\frac{\Delta P_g}{\Delta t} = \frac{\Delta P_n}{\Delta t} + \frac{\Delta R}{\Delta t} \quad (7-7)$$

として定義される。上式において $\Delta P_n/\Delta t$ は純生産速度を示し、

$$\frac{\Delta P_n}{\Delta t} = \frac{\Delta y}{\Delta t} + \frac{\Delta L}{\Delta t} + \frac{\Delta G}{\Delta t} \quad (7-8)$$

として定義される。ここで、被食速度 $\Delta G/\Delta t$ は本研究においては他の速度に比して微小であるとして無視した。すなわち、 $\Delta P_n/\Delta t$ は、下式のように示される。

$$\frac{\Delta P_n}{\Delta t} = \frac{\Delta y}{\Delta t} + \frac{\Delta L}{\Delta t} \quad (7-9)$$

7-3. 結果

7-3-1. 現存量の増加速度の季節変化

図 7-1 に各器官の現存量の増加速度およびそれらの総和である全現存量の増加速度 $\Delta y/\Delta t$ の季節変化を示す。

全現存量の増加速度は、当年生苗では 3月下旬～9月下旬、1年生苗では 4月下旬～9月下旬、2年生苗では 5月下旬～10月下旬にかけて増加する傾向にあった。その後、当年生および1年生苗において、全現存量の増加速度は減少する傾向にあった。

また、各苗齢の苗木とも 12月下旬～1月下旬ないし 2月下旬の期間に現存量の増加速度はすべての器官で負となった。

1年生苗において 6月下旬～7月下旬の期間に現存量の増加速度は低下し

たが、これは、第3章(3-4-1)ですでに述べたように、同期間における根切虫による根部の損傷が起因する幹の直径生長の低下によるものと考えられる。

7-3-2. 枯死速度の季節変化

図7-2に枯死速度 $\Delta L/\Delta t$ の季節変化を示す。

各苗齡の苗木とも、枯死速度は秋に最大値ないしそれに近い値を示し、全実験期間中の枯死量の大部分がこの期間に集中した。また、当年生苗において子葉・初生葉はそのほとんどがこの期間に枯死した。

枯死速度の最大値は、当年生苗では10月初旬～10月下旬、1年生苗では7月下旬～8月下旬、2年生苗では9月下旬～10月中旬の期間にみられた。ただし、1年生苗における枯死速度の最大値は苗木の枯死によるものであった。

ヒノキ林においても、主として秋に集中して落葉がおこることが報告されている(只木・香川, 1968; 齋藤・四手井, 1973; Hagihara et al., 1978; Miyaura and Hozumi, 1985)。

7-3-3. 純生産速度の季節変化

図7-3に純生産速度 $\Delta P_n/\Delta t$ の季節変化を示す。

各苗齡の苗木とも、純生産速度は現存量の増加速度と類似した季節変化を示した。これは純生産量 ΔP_n の大部分が現存量の増加量 Δy で占められたためである。

枯死量/現存量の増加量比 $\Delta L/\Delta y$ は最大でも当年生苗では10月初旬～10月下旬の期間に4%、1年生苗では6月下旬～7月下旬の期間に12%、2年生苗では9月下旬～10月下旬の期間に27%であった。

7-3-4. 林分呼吸速度の季節変化

図7-4に林分全呼吸速度 $\Delta R/\Delta t$ の季節変化を示す。

林分全呼吸速度は、当年生苗では9月下旬～10月初旬、1年生および2年生苗では8月下旬～9月下旬の期間にピークに達し、最大値を示した。

7-3-5. 総生産速度の季節変化

図7-5に総生産速度 $\Delta P_g/\Delta t$ の季節変化を示す。ここで、当年生苗において、播種日～5月初旬の期間における総生産速度は、この期間における林分全呼吸速度が5月初旬～5月下旬の期間の林分全呼吸速度と等しいと仮定して算出した。

総生産速度は、当年生苗では3月下旬～9月下旬、1年生苗では4月下旬

～9月下旬、2年生苗では3月下旬～10月下旬にかけて増加する傾向にあった。その後、当年生および1年生苗において、総生産速度は減少する傾向にあった。

12月下旬～1月下旬ないし2月下旬に各苗齢とも総生産速度は負となった。この現象は生物学的には不合理なことであるが、本研究においては根の枯死量が考慮されていないことがその原因として考えられる。

7-3-6. 比総生産速度の季節変化

葉の光合成能率を調べるために、下式で定義される比総生産速度 (rate of assimilation per unit leaf area) a (Iwaki, 1958, 1959) を算出した。この a の日本語訳は著者によった。

$$a = \frac{1}{\overline{\text{LAI}}} \frac{\Delta P g}{\Delta t} \quad (7-10)$$

上式において、ある期間 Δt ($= t_2 - t_1$) における平均葉面積指数 $\overline{\text{LAI}}$ は、

$$\overline{\text{LAI}} = \frac{\Delta \text{LAI}}{\Delta \ln \text{LAI}} = \frac{\text{LAI}_2 - \text{LAI}_1}{\ln \text{LAI}_2 - \ln \text{LAI}_1} \quad (7-11)$$

にしたがって計算した。ここで、 LAI_1 、 LAI_2 は時刻 t_1 、 t_2 における葉面積指数を示す。

図 7-6 は比総生産速度 a の季節変化を示す。

比総生産速度は、当年生苗では5月初旬～8月初旬、2年生苗では3月下旬～6月下旬にかけて増加し、その後減少する傾向にあった。17～20年生のヒノキ人工林における比光合成速度についても類似した季節変化が報告されている (Hagihara and Hozumi, 1977)。

一方、1年生苗においては、比総生産速度がピークに達すると推測される6月下旬～7月下旬の期間に比総生産速度は急激な低下を示した。これは、同期間に現存量の増加速度が急激に低下したことに起因した。

比総生産速度の最大値は、当年生苗では $0.081 \text{ g (dry wt) dm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ (7月下旬～8月初旬)、1年生苗では $0.069 \text{ g (dry wt) dm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ (8月下旬～9月下旬)、2年生苗では $0.049 \text{ g (dry wt) dm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ (5月下旬～6月下旬) となった。

7-4. 考察

7-4-1. 比総生産速度の温度依存性

比総生産速度の温度依存性を明らかにするために、図 7-7 に示すように、比総生産速度 a と温度との関係を片対数グラフ上にプロットした。ここで、温度は苗畑における地上 40 cm の気温 $\theta+40$ を意味する。

比呼吸速度と温度との関係と同様に、各苗齢とも比総生産速度は温度の増加とともに指数関数的に増加した。しかし、比総生産速度と温度との関係は、各苗齢とも 2 本の折れ線で近似され、18~19 °C を境とする低温域と高温域で温度依存性が異なった。低温域においては直線の傾きは大きく、高温域においては直線の傾きは小さかった。すなわち、低温域の方が高温域に比して温度変化に対する比総生産速度の変動が大きかった。また、低温域は 11月~3月、高温域は 4月~10月までの期間とほぼ対応した。

類似した結果が、若いヒノキ人工林における比光合成速度と温度との関係においても報告されている (Hagihara and Hozumi, 1977)。

7-4-3. 総生産の分配率の季節変化

図 7-8 は各季節の総生産量が呼吸消費、現存量の増加および枯死に配分される割合を示したものである。

当年生苗では多くの季節で総生産に占める呼吸消費の割合が 50 % を下回ることにはなかった。しかし、1年生および2年生苗では呼吸消費の割合は全期間を通じて 50 % 以上であった。ただし、1年生苗と2年生苗との間では呼吸消費の割合に明らかな差は認められなかった。

また、総生産量に占める枯死量の割合の最大値は、当年生苗では 2 %、1年生苗では 3 %、2年生苗では 10 % で、総生産量に占める枯死量の割合は非常に少なかった。

7-4-4. 年総生産量とその配分

実験開始時から終了時における年総生産量は、表 7-1 に示すように、当年生苗 (表 7-1(A)) では $2119 \text{ g (dry wt) m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、1年生苗 (表 7-1(B)) では $793 \text{ g (dry wt) m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、2年生苗 (表 7-1(C)) では $2882 \text{ g (dry wt) m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ となった。ただし、当年生苗は播種日から実験終了時までの期間を対象とした。

図 7-9 に示すように、この総生産量のうち、当年生苗では 57.8 % が、1年生苗では 70.4 % が、2年生苗では 60.7 % が呼吸によって消費され、残

りが純生産に配分された。Negisi (1966) は1年生ヒノキ苗において総光合成量の 60.3~68.8 % が呼吸によって消費されたと報告している。

1年生および2年生苗において、呼吸消費のうち約 80 % が地上部で占められた。総生産量に占める枯死量の割合は非常に少なく、当年生苗では 0.6 %、1年生苗では 1.5 %、2年生苗では 2.3 % となった。当年生および2年生苗では、枯死量の約 80 % が、また1年生苗では約 50 % が付着枯葉量で占められた。現存量の増加量のうち葉の占める割合は、当年生および1年生苗では約 60 %、2年生苗では約 50 % となった。

ここで、年総生産量およびその構成量の何割が各季節で占められているかを調べるために、表 7-2 に示すように、当年生および1年生苗について1年間を 4月~7月、8月~11月、12月~3月の3期間に分けて、年総生産量およびその構成量の配分をみてみた。

当年生および1年生苗とも年総生産量およびその構成量の配分は 8月~11月の期間に集中した。当年生苗では、8月~11月の期間に年総生産量の 63.5 %、年呼吸消費量の 62.2 %、年純生産量の 65.3 %、現存量の年増加量の 65.0 %、年枯死量の 88.4 % を配分された。1年生苗では、8月~11月の期間に年総生産量の 64.5 %、年呼吸消費量の 63.3 %、年純生産量の 70.6 %、現存量の年増加量の 70.1 %、年枯死量の 80.2 % を配分された。

表 7-1(A). 当年生苗の年総生産量 [g (dry wt) m⁻² yr⁻¹] (1984年3月29日～1985年3月14日)

	葉	幹	地上部	根	合計
現存量 †					
84/3/29	(0.33)	(0.33)	(0.66)	(0.33)	1.0
85/3/14	528.8	171.9	700.7	183.3	884.0
現存量の増加量	528.5	171.5	700.0	183.0	883.0
枯死量					
付着	9.8	0.0	9.8	?	9.8
離脱	0.9	0.0	0.9	?	0.9
苗木	0.6	0.4	1.0	0.2	1.2
合計	11.3	0.4	11.7	0.2	11.9
純生産量	539.8	171.9	711.7	183.2	894.9
呼吸消費量	—	—	—	—	1223.6
総生産量	—	—	—	—	2118.5

†: [g (dry wt) m⁻²].

?: 測定せず.

播種日 (1984年3月29日) における各器官の現存量は種子 (胚乳と胚) の乾重 (0.69 mg/seed) を3等分し、この値と6月15日の密度 (1382 m⁻²) から推定した。推定された各器官の現存量の値は () 内に示した。

表 7-1(B). 1年生苗の年総生産量 [g (dry wt) m⁻² yr⁻¹] (1985年4月29日~1986年3月28日)

	葉	幹枝	地上部	根	合計
現存量 †					
85/4/29	26.4	7.0	33.4	8.9	42.3
86/3/28	159.1	34.4	193.5	71.0	264.5
現存量の増加量	132.7	27.4	160.1	62.1	222.2
枯死量					
付着	5.7	0.0	5.7	?	5.7
離脱	1.0	0.0	1.0	?	1.0
苗木	3.4	0.9	4.3	1.3	5.6
合計	10.1	0.9	11.0	1.3	12.3
純生産量	142.8	28.3	171.1	63.4	234.5
呼吸消費量	—	—	437.9	120.3	558.2
総生産量	—	—	609.0	183.7	792.7

†: [g (dry wt) m⁻²].

?: 測定せず.

表 7-1(C). 2年生苗の年総生産量 [g (dry wt) m⁻² yr⁻¹] (1981年10月28日～1982年10月18日)

	葉	幹枝	地上部	根	合計
現存量 †					
81/10/28	205.5	47.6	253.1	74.0	327.1
82/10/18	723.0	355.9	1078.9	323.1	1402.0
現存量の増加量	517.5	308.3	825.8	249.1	1074.9
枯死量					
付着	54.0	0.0	54.0	?	54.0
離脱	11.5	0.0	11.5	?	11.5
合計	65.5	0.0	65.5	?	65.5
純生産量	583.0	308.3	891.3	249.1	1140.4
呼吸消費量	—	—	1388.0	353.6	1741.6
総生産量	—	—	2279.3	602.7	2882.0

†: [g (dry wt) m⁻²].

?: 測定せず.

表 7-2. 年総生産量およびその構成量の分期別（4ヶ月）配分比 [%]

期間 [月]	当年生苗			1年生苗		
	4～7	8～11	12～3	4～7	8～11	12～3
総生産	2.6	63.5	28.9	23.3	64.5	11.2
呼吸消費	6.4	62.2	31.4	21.1	63.3	15.6
純生産	9.3	65.3	25.4	28.2	70.6	1.2
現存量の増加	9.4	65.0	25.6	28.8	70.1	1.1
枯死	0.8	88.4	10.8	16.0	80.2	3.8

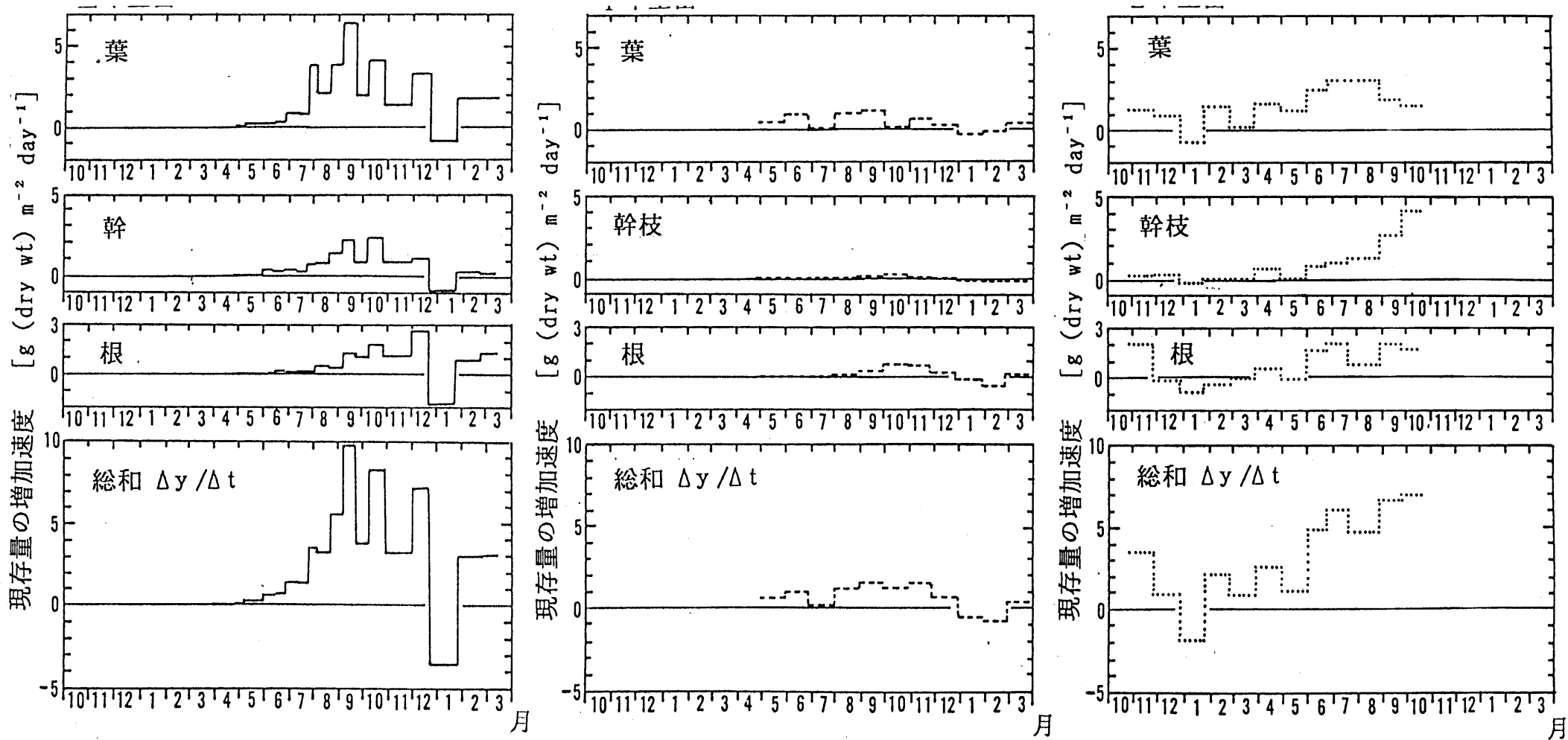


図 7-1. 各器官の現存量の増加速度およびそれらの総和である全現存量の増加速度 $\Delta y / \Delta t$ の季節変化

- : 当年生苗。
- : 1年生苗。
-: 2年生苗。

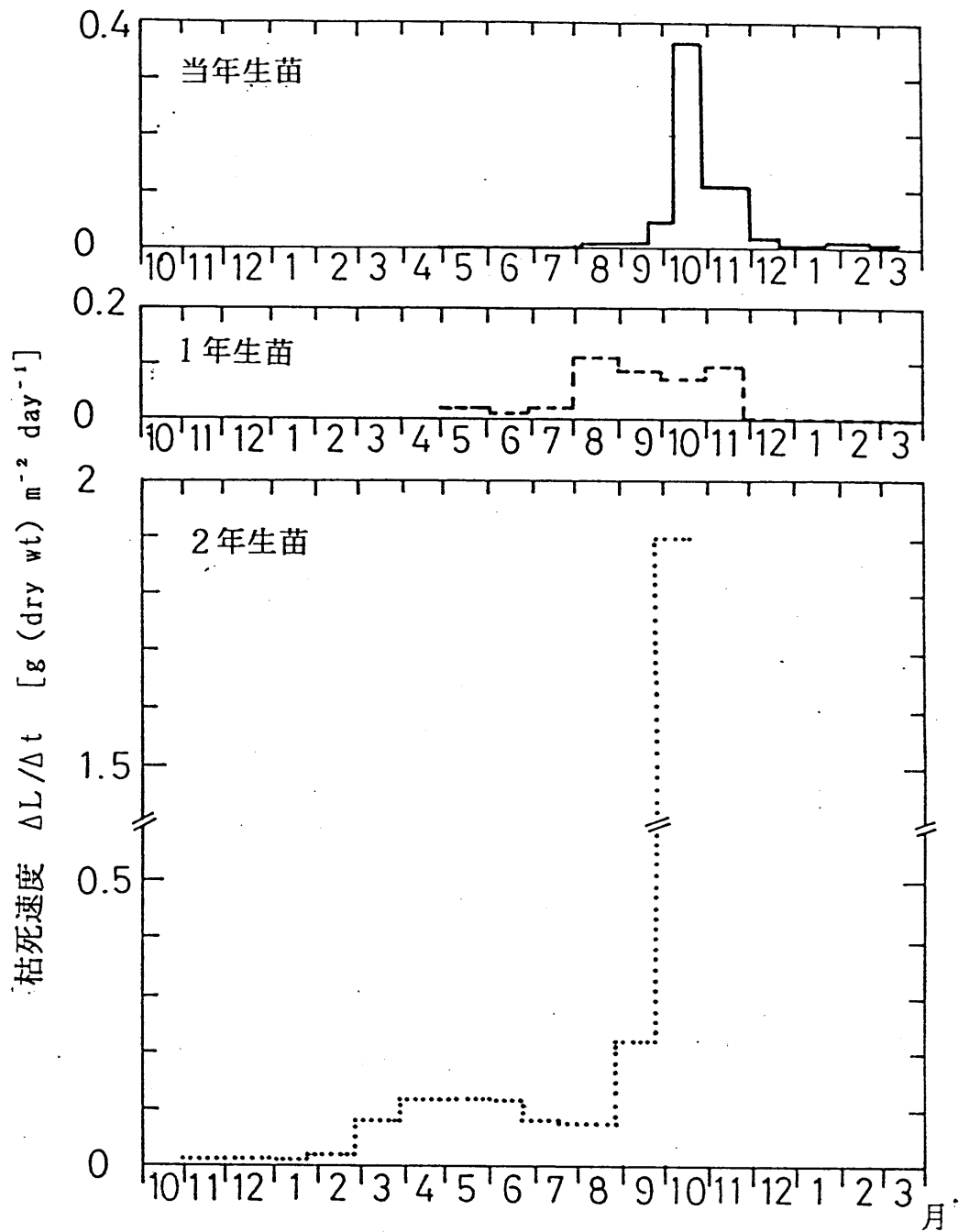


図 7-2. 枯死速度 $\Delta L/\Delta t$ の季節変化

—: 当年生苗。

---: 1年生苗。

.....: 2年生苗。

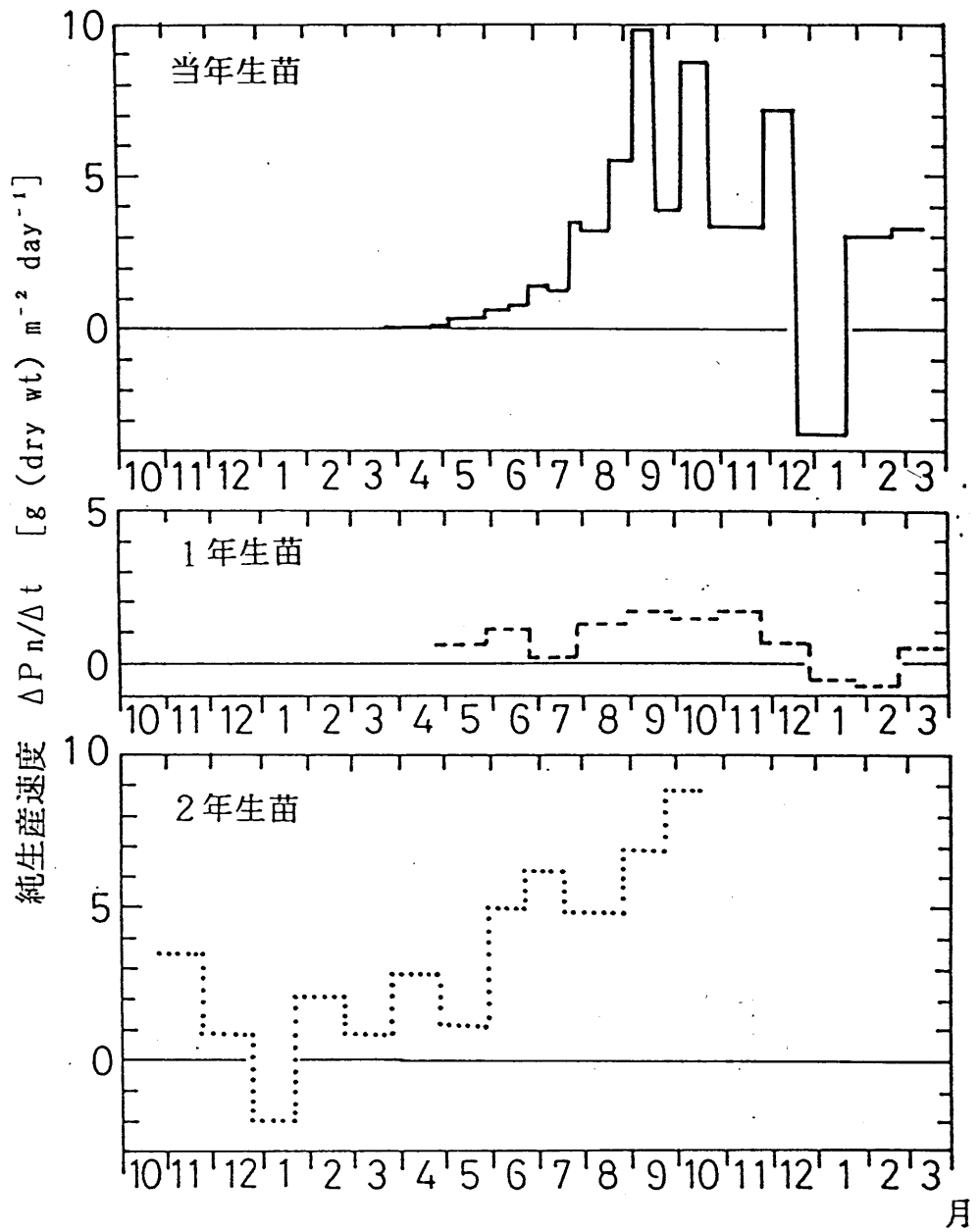


図 7-3. 純生産速度 $\Delta P_n / \Delta t$ の季節変化

- : 当年生苗。
- : 1年生苗。
-: 2年生苗。

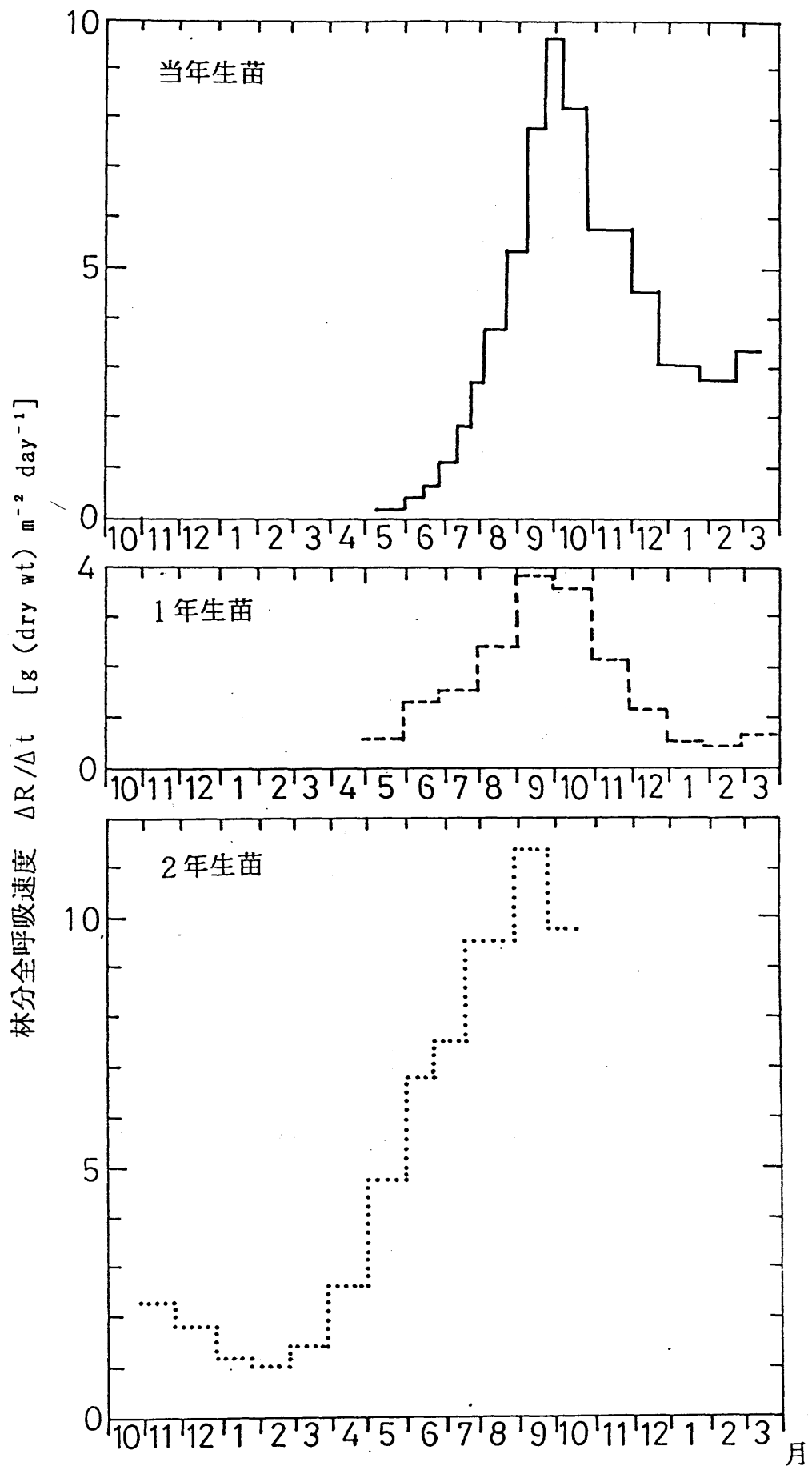


図 7-4. 林分全呼吸速度 $\Delta R/\Delta t$ の季節変化

- : 当年生苗。
- : 1年生苗。
-: 2年生苗。

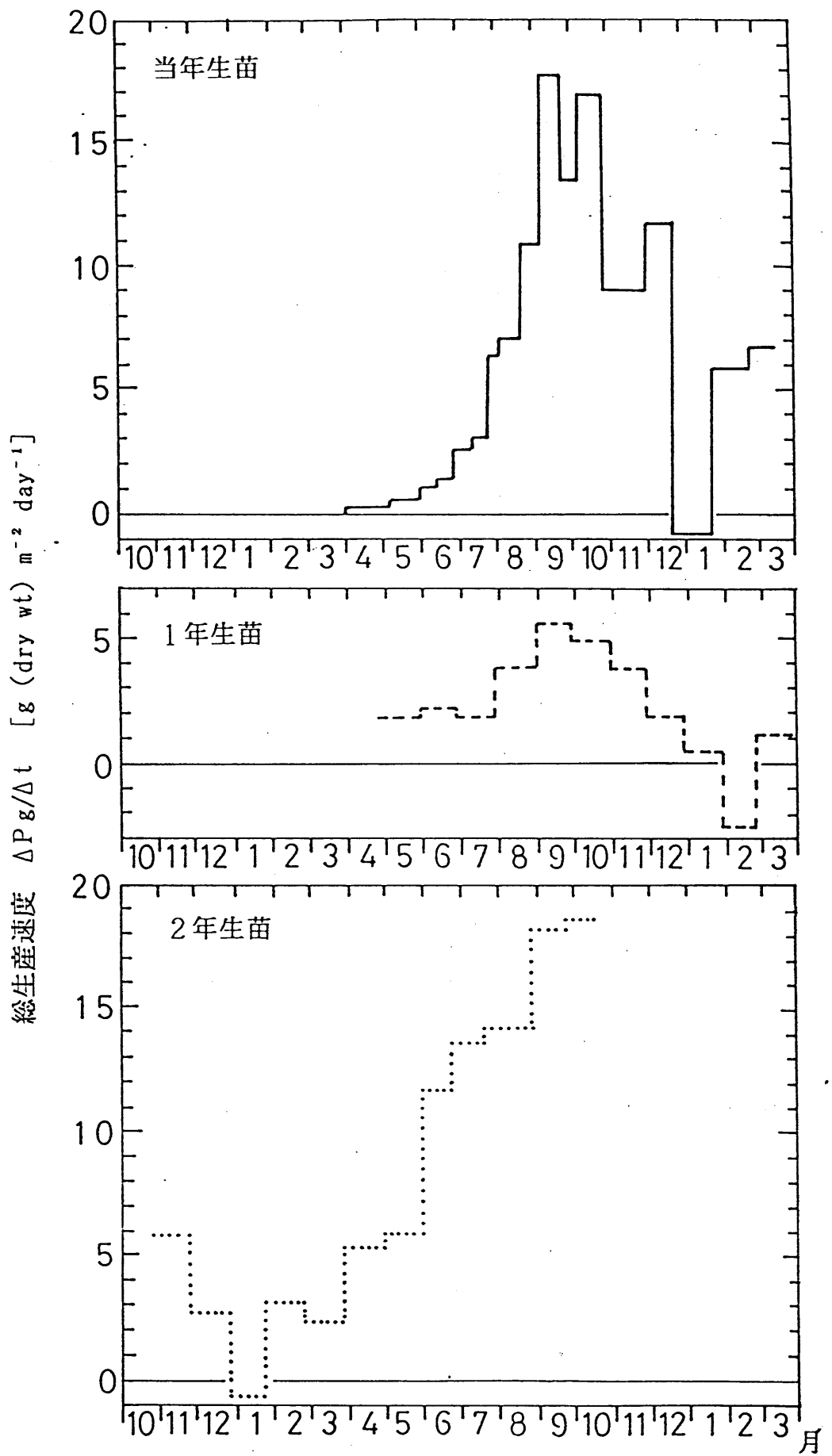


図 7-5. 総生産速度 $\Delta P g / \Delta t$ の季節変化

- : 当年生苗。
- : 1年生苗。
-: 2年生苗。

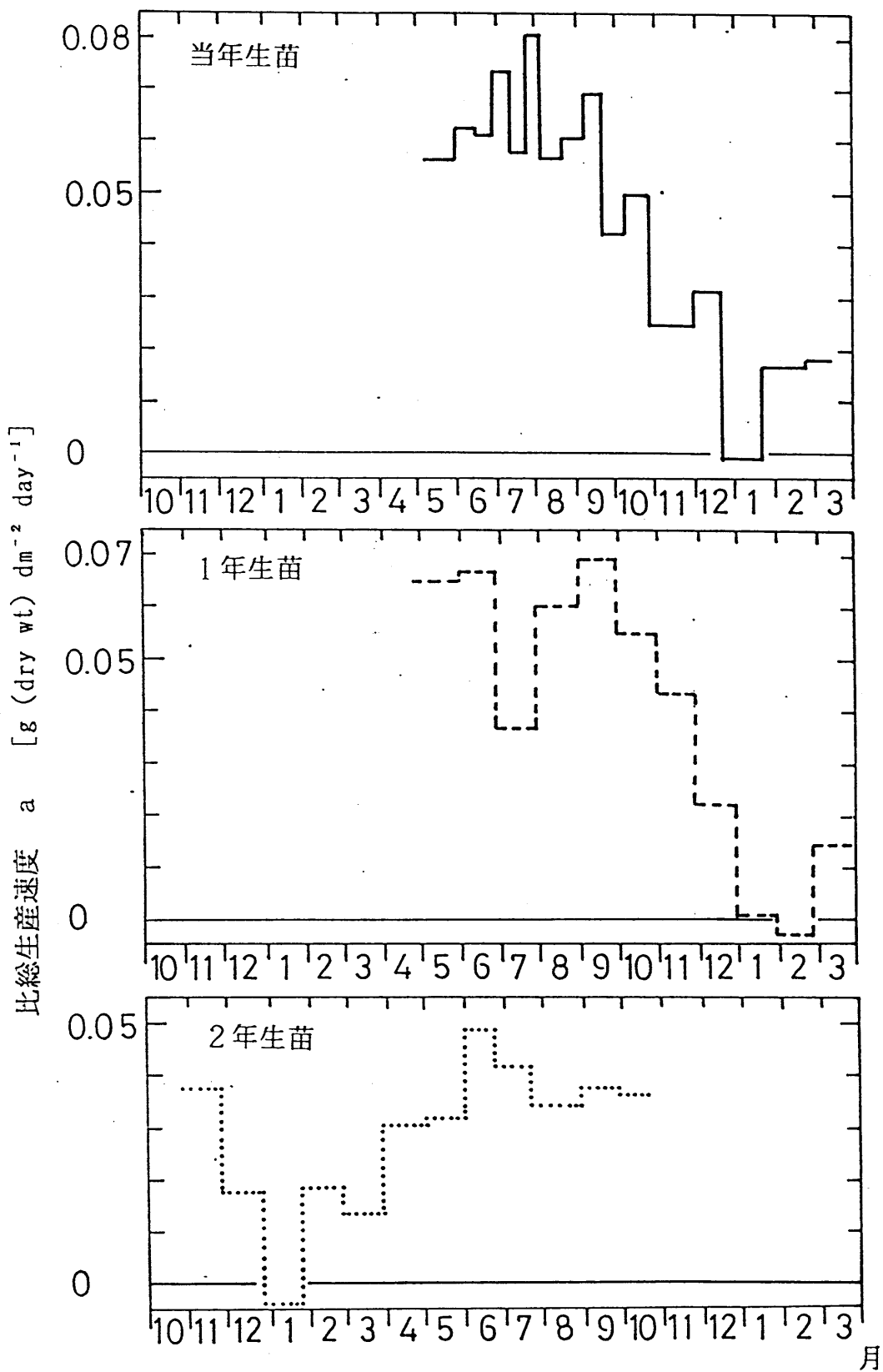


図 7-6. 比総生産速度 a の季節変化

—: 当年生苗。

---: 1年生苗。

.....: 2年生苗。

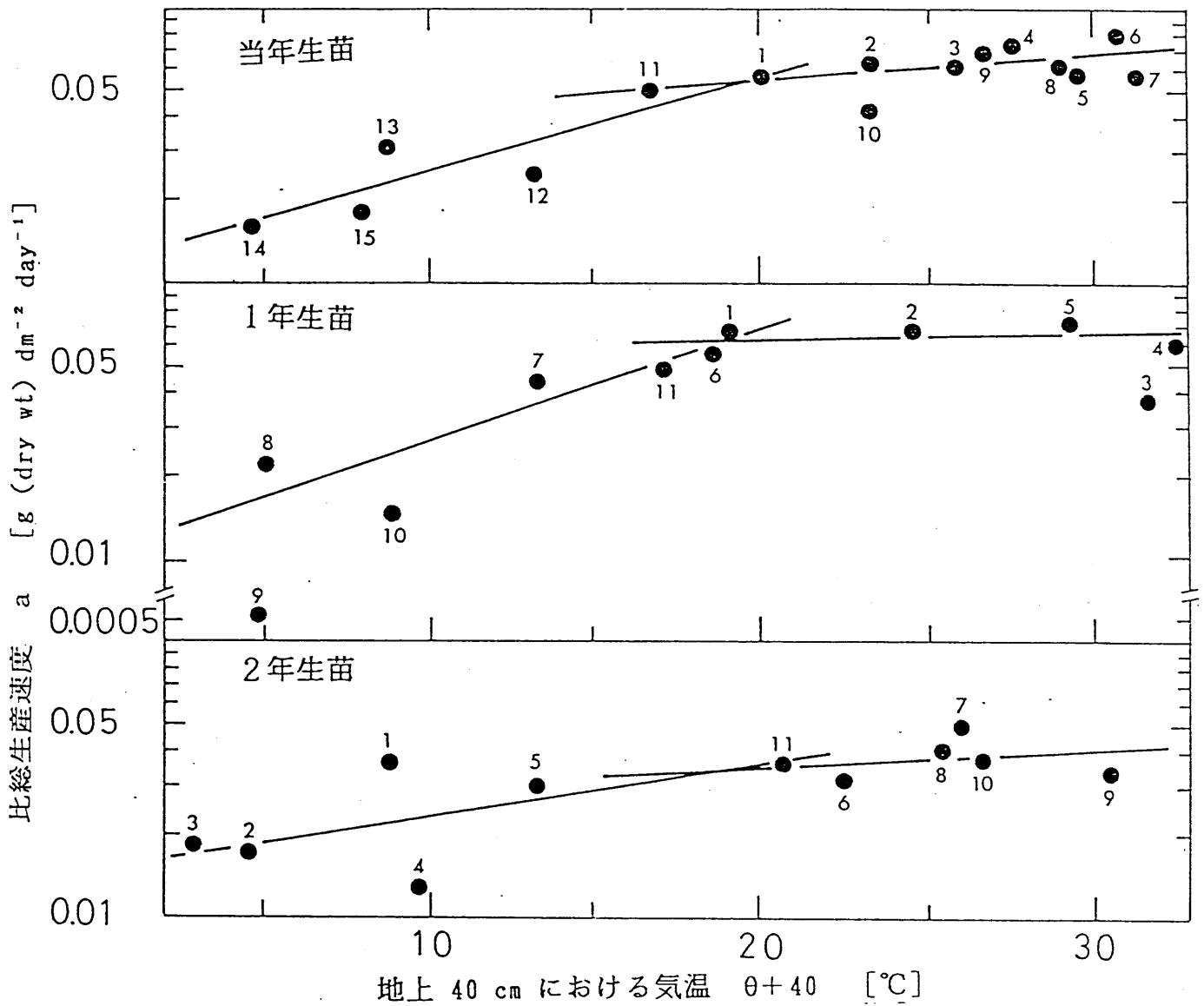


図 7-7. 比総生産速度 a と気温 $\theta + 40$ との関係

図中の数字は以下の期間と対応する：

【当年生苗】

- 1, 5/8~5/30 ; 2, 5/30~6/15 ; 3, 6/15~6/27 ;
 4, 6/27~7/13 ; 5, 7/13~7/23 ; 6, 7/23~8/2 ;
 7, 8/2~8/21 ; 8, 8/21~9/6 ; 9, 9/6~9/20 ;
 10, 9/20~10/11 ; 11, 10/11~10/26 ; 12, 10/26~11/29 ;
 13, 11/29~12/21 ; 14, 1/24~2/22 ; 15, 2/22~3/14。

【1年生苗】

- 1, 4/25~5/29 ; 2, 5/29~6/26 ; 3, 6/26~7/30 ;
 4, 7/30~8/29 ; 5, 8/29~9/27 ; 6, 9/27~10/31 ;
 7, 10/31~11/27 ; 8, 11/27~12/26 ; 9, 1/30~2/26 ;
 10, 2/26~3/28。

【2年生苗】

- 1, 10/28~11/26 ; 2, 11/26~12/25 ; 3, 1/27~2/24 ;
 4, 2/24~3/26 ; 5, 3/26~4/30 ; 6, 4/30~5/27 ;
 7, 5/27~6/24 ; 8, 6/24~7/20 ; 9, 7/20~8/30 ;
 10, 8/30~9/27 ; 11, 9/27~10/18。

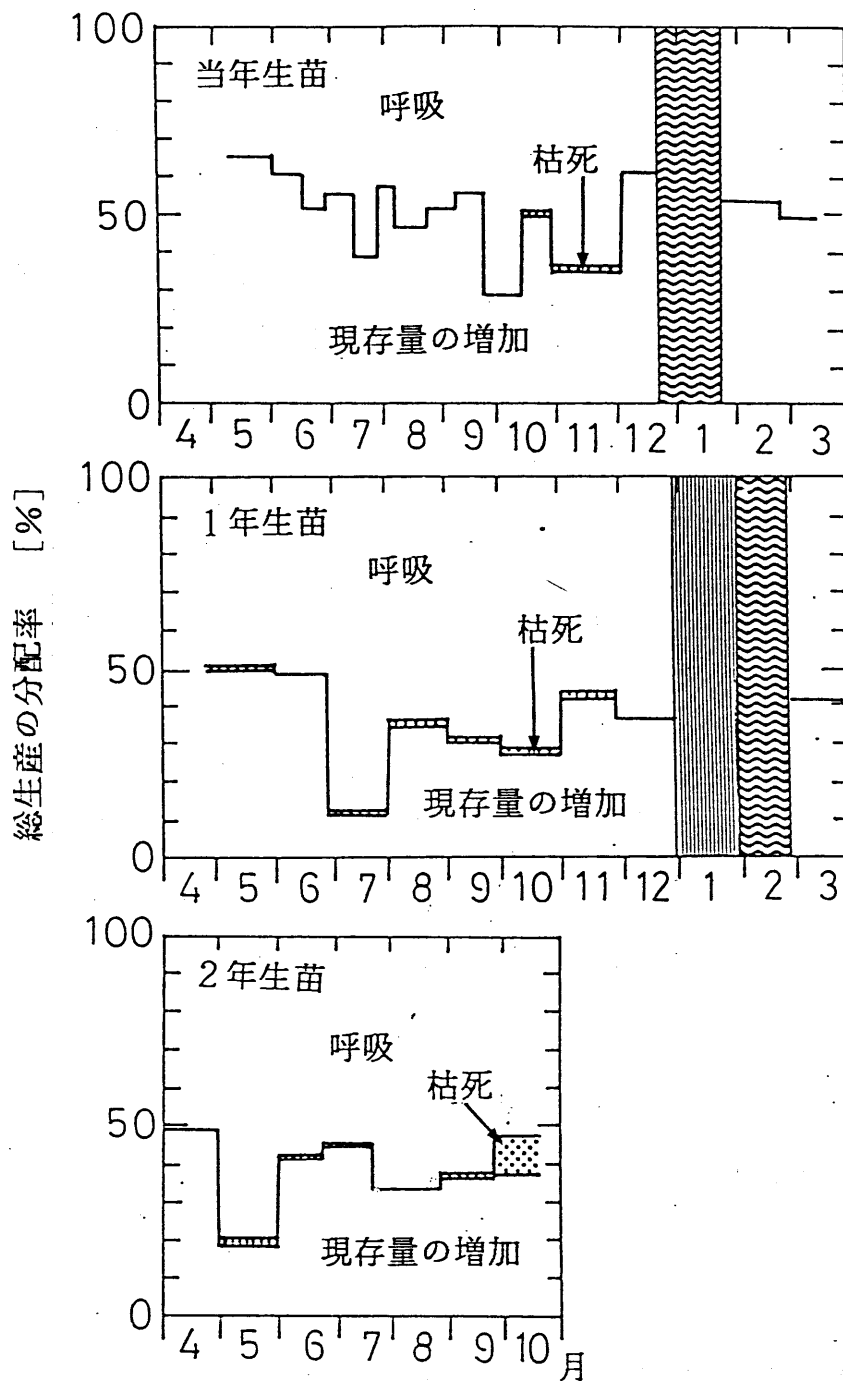




図 7-8. 総生産の分配率の季節変化

: 現存量の増加速度および総生産速度がともに負。

: 現存量の増加速度が負。

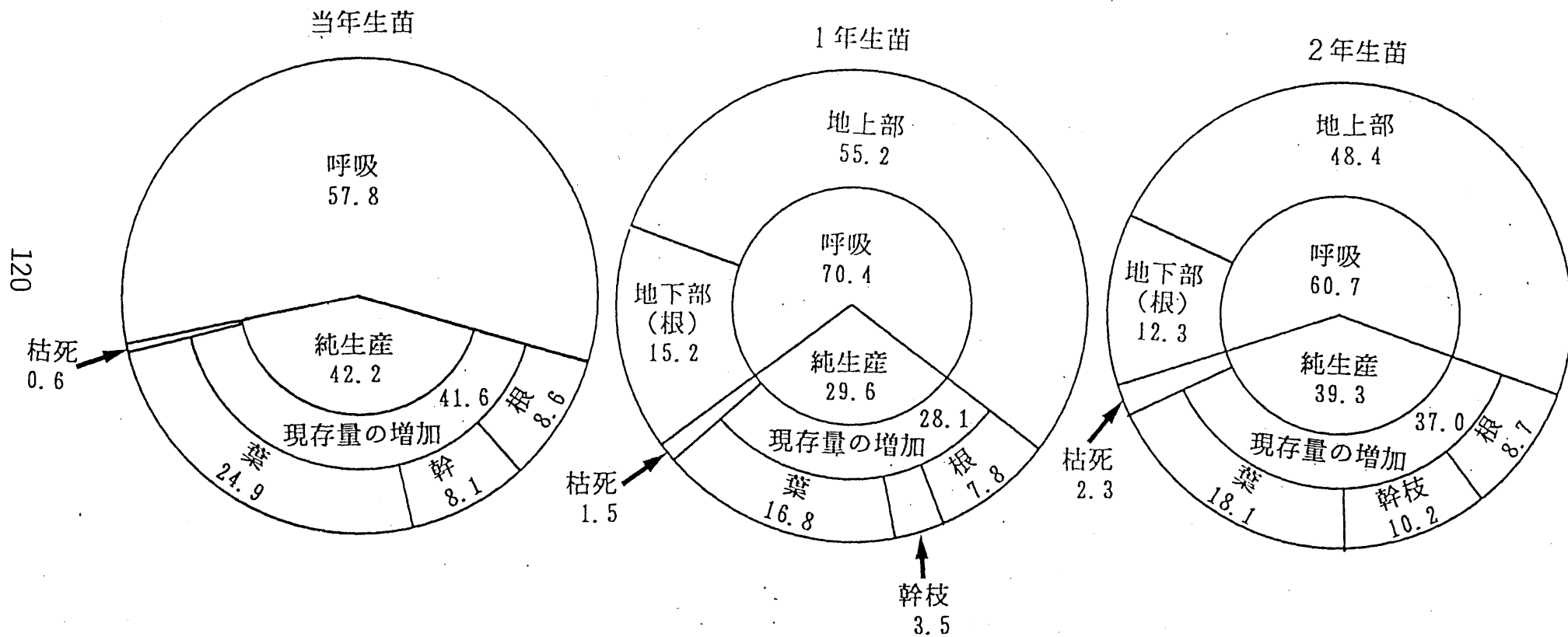


図 7-9. 年総生産量の配分比
 数字は年総生産量の各因子への配分比 [%] を示す。

第 8 章 総合考察

8-1. ヒノキ林との比較

本節では、林分の発達過程における初期段階の特徴を明らかにするために、年総生産の配分比、年呼吸量/現存量比、葉の生産能率について、本研究結果と既報のヒノキ林の結果を比較・検討した。

8-1-1. 年総生産量の配分比

表 8-1 に示すように、年総生産量に占める呼吸消費量の割合は 18年生人工林 (Hagihara and Hozumi, 1983) において 62.5%、45年生人工林 (只木ほか, 1966) において 62.3% と推定されている。本研究においてはその割合は 57.8 ~ 70.4% と推定され、成林のそれと比較して大差はなかった。

純生産量に占める現存量の増加量の割合は林分の成熟度を示すもので、極相林においてこの割合は非常に小さい (吉良, 1976; Kira, 1987)。ヒノキ林における現存量の増加量/純生産量比は 63.8~86.0% の範囲にあった (表 8-1)。本研究における現存量の増加量/純生産量比は 93.8~98.9% となり、成林における結果と比較して高い値を示した。

一般に林分閉鎖後、林分葉量は一定値を保つことが認められている (Kira and Shidei, 1967; Tadaki, 1977)。しかし、本研究では葉の現存量の増分が全現存量の増分の 50% 以上を占めた (第 7 章、7-4-4)。このことは、育苗状態にあるヒノキ苗個体群の特徴と考えられる。

8-1-2. 年呼吸量/現存量比

呼吸活性度を示す年呼吸量/現存量比は、18年生人工林 (Hagihara and Hozumi, 1983) において 0.35 yr^{-1} 、26年生人工林 (森ほか, 1984) において 0.16 yr^{-1} 、40年生人工林 (Saito, 1977) において 0.036 yr^{-1} 、45年生人工林 (只木ほか, 1966) において 0.078 yr^{-1} と計算された (表 8-1)。また、Ninomiya and Hozumi (1983a) は 24年生人工林において地上部における比の値を 0.068 yr^{-1} と報告している。

本研究における年呼吸量/現存量比は、当年生苗では 3.18 yr^{-1} 、1年生苗では 3.07 yr^{-1} 、2年生苗では 2.64 yr^{-1} となり、苗齢とともに比の値は小さくなった。この比の値は成林のそれと比較して非常に高い値を示し、各苗齢の苗木とも現存量の 3 倍ほどの量の物質が呼吸によって年間消費された。

8-1-3. 葉の生産能率

葉の生産能率を調べるために、年総生産量/葉量比を算出し、その結果を表 8-2 に示した。

葉量として葉面積指数を用いた場合、年総生産量/葉量比は本研究では 9.3~11.7 t (dry wt) ha⁻¹ yr⁻¹ となった。また、葉量として葉の現存量を用いた場合、年総生産量/葉量比は 7.1~9.3 yr⁻¹ となった。

本研究結果は以下の成林における面積ベースおよび重量ベースの値と比較して高い値を示した：7.7 t (dry wt) ha⁻¹ yr⁻¹ および 2.9 yr⁻¹ (Hagihara and Hozumi, 1983); 4.7 および 1.9 (Saito, 1977); 8.0 および 3.4 (只木ほか, 1966)。

年総生産量に比してデータ数の豊富な年純生産量 (表 8-2) から葉の生産能率を示すもう一つの測度として年純生産量/葉の現存量比 (只木・蜂屋, 1968) を算出した。この算出結果から、ヒノキ林における林分の発達にともなう葉の生産能率の変化を調べ、図 8-1 に示した。この図において、林分の発達速度としては林齢に関してでなく、現存量に関して示してある。これは、現存量が時間を示す測度とみなすことができるためである (Kira and Shidei, 1967; Kira, 1977)。

年純生産量/葉の現存量比は、林分発達の初期段階において高い値を示し、全現存量の増加とともに急激に減少した。現存量が 100 t (dry wt) ha⁻¹ より大きい範囲では年純生産量/葉の現存量比はほぼ 1 yr⁻¹ で一定となった。このことは葉の現存量に等しい量の物質が純生産によって年間生産されていることを示唆する。

8-2. 今後の研究課題

第 1 章で最初に述べたように、本研究においては苗畑の施業方針のもとで育成された苗木を対象とした。したがって、厳密な意味において苗木の成長および物質生産の苗齢間での比較は困難であろう。

厳密な意味で苗木の成長および物質生産を苗齢間で比較するためには、同一個体群を追跡する必要がある。これは、本研究結果を吟味する上でも必要と言えよう。本研究で取り扱った当年生苗のように高密度下での苗木の成長を追跡すれば、その結果は自然間引き (穂積, 1973) といった森林生態系の動態を特徴づける現象を物質収支の見地から解析するための一つのモデルとなり得よう。

また、施肥とか灌水などは苗畑を管理する上で重要な施業項目である (宮

崎, 1957; 陣内, 1965)。施肥量、灌水量、さらに密度と苗木の成長および物質生産がどのような関係にあるか、その定量的解析は育苗技術の向上・合理化をはかる上で重要な研究課題となる。

本研究においては、便宜上、葉のみを光合成器官として取り扱った。しかしながら、幹、果実といった葉以外の器官も葉と同様にクロロフィルを有し、光合成を行っていることがいくつかの樹種で報告されている。すなわち、幹に関しては、Schaedle and Foote (1971)、Foote and Schaedle (1976)、Linder and Troeng (1980) の報告がある。また、果実に関しては、Dickmann and Kozlowski (1970)、Rook and Sweet (1971)、Bazzaz et al. (1979)、Linder and Troeng (1981)、Koppel et al. (1987) の報告がある。これらの報告によれば、幹、果実の光合成量は顕著なものであった。

著者は、本研究の一環として、名古屋大学構内の苗畑 (面積 171 m²) に成育する4年生ヒノキ苗の球果について、1987年7月に光合成と呼吸を測定した (小川, 1988; Ogawa et al., 1988)。このヒノキ苗は、岐阜営林署緑ヶ丘苗畑産の山出し苗を1986年4月に1 m 間隔で植栽したものである。

図 8-2 は同化箱内温度 25 °C における総光合成速度/暗呼吸速度比 P_R と光量子密度 I との関係を示す。この比の値は光合成によって固定された CO₂ 量が暗呼吸によって放出された CO₂ 量の何 % にあたるかを示す。光飽和点は、ほぼ 400~500 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ となり、総光合成速度/暗呼吸速度比の上限値は 100~104 % と計算された。

図 8-3 は光量子密度が 700 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ における総光合成速度/暗呼吸速度比 P_R との関係を示す。総光合成速度/暗呼吸速度比は温度変化に対してほぼ左右対称の最適曲線を示し、最適温度は 25 °C と近似された。この最適温度での総光合成速度/暗呼吸速度比の値は 97~100 % となった。また、総光合成速度/暗呼吸速度比が 95 % 以上の温度範囲は 20~30 °C と近似されたが、この温度範囲は野外の日平均範囲 (21.4~30.0 °C) とほぼ一致した。

以上の結果から、7月におけるヒノキ球果は、最適な環境条件下では呼吸によって放出された CO₂ を完全に固定しているといえる。ここで、7月における球果の1日当たりの収支を計算してみると、日総光合成量は日暗呼吸量の 55~57 % となった。

したがって、樹木の成長および物質生産を解析する上で葉のみを光合成器官と考えることには問題があろう。また、結実には樹木の成長を抑制することが報告されており (Eis et al., 1965; Tappeiner, 1969; Teich, 1975; Ogawa et al., 1988)、樹木の成長を解析する上で果実の存在は無視できない。

幹、球果といった葉以外の器官の光合成に関する研究例は葉の光合成に関

した研究例と比較すると非常に少ないのが今の現状で (Schaedle, 1975; Linder, 1979, 1981)、幹、果実の光合成についても今後の研究課題の一つとして取り上げたい。

表 8-1. ヒノキ人工林における年生産量

地域	林齢 [yr]	総生産量 (G) [t (dry wt) ha ⁻¹ yr ⁻¹]	呼吸量 (R) [t (dry wt) ha ⁻¹ yr ⁻¹]	純生産量 (N) [t (dry wt) ha ⁻¹ yr ⁻¹]	現存量の 増加量(I) [t (dry wt) ha ⁻¹ yr ⁻¹]	枯死量 [t (dry wt) ha ⁻¹ yr ⁻¹]	現存量 (B) [*]	R/G比 [%]	I/N比 [%]	R/B比 [yr ⁻¹]	文献
栃木	17	-	-	17.3	14.9	2.4	125.9	-	86.0	-	河原ほか, 1979
愛知	18	41.2	25.7	15.4	12.9	2.5	72.9	62.5	83.8	0.35	Hagihara and Hozumi, 1983
" †	24	-	6.34	-	3.59	-	93.43	-	-	0.068	Ninomiya and Hozumi, 1983
"	25	-	-	7.4	4.8	2.6	112.4	-	64.9	-	宮浦, 1983
"	26	-	21.1	-	-	-	133.1	-	-	0.16	森ほか, 1984
滋賀	30	-	-	17.5	14.1	3.4	183	-	80.6	-	Saito, 1977
"	40	32.2	12.2	20.0	13.6	6.4	339	37.9	68.0	0.036	"
熊本	45	40.9	25.5	15.4	12.4	3.0	327.1	62.3	80.5	0.078	只木ほか, 1966
栃木	48	-	-	14.7	11.6	3.1	272.9	-	78.9	-	河原ほか, 1979
滋賀	48	-	-	16.5	10.53	5.98	399	-	63.8	-	齋藤, 1982
岐阜	0	21.2	12.2	8.9	8.8	0.1	3.84 §	57.8	98.9	3.18	本研究
"	1	7.9	5.6	2.3	2.2	0.1	1.82 §	70.4	95.7	3.07	"
"	2	28.8	17.4	11.3	10.7	0.7	6.59 §	60.7	94.7	2.64	"

[*]: [t (dry wt) ha⁻¹].

†: 地上部のみ.

§: 現存量の生長曲線を時間について積分して積算現存量 Biomass duration (Květ and Ondok, 1971) or Integrated biomass (森下, 1979) を算出し, 実験期間中の平均現存量を計算した.

表 8-2. ヒノキ人工林における葉の生産能率

地域	林齢 [yr]	総生産量 [t ha ⁻¹ yr ⁻¹]	純生産量	葉面積指数 [ha ha ⁻¹]	葉現存量 [t ha ⁻¹]	総生産量	総生産量	純生産量	文献
						葉面積指数 [t ha ⁻¹ yr ⁻¹]	葉現存量 [yr ⁻¹]	葉現存量	
栃木	17	-	17.3	-	15.7	-	-	0.94	河原ほか, 1979
愛知	18	41.2	15.4	5.38	14.2	7.7	2.9	0.92	Hagihara and Hozumi, 1983
"	25	-	7.4	5.9	13.4	-	-	0.55	宮浦, 1983
東京	30	-	15.1	-	13.7	-	-	1.10	竹内ほか, 1975
"	30	-	14.9	-	13.3	-	-	1.12	"
"	30	-	14.2	-	12.9	-	-	1.10	"
"	30	-	14.9	-	13.2	-	-	1.13	"
滋賀	30	-	17.5	5.5	14	-	-	1.25	Saito, 1977
"	40	32.2	20.0	6.9	19	4.7	1.9	1.05	"
熊本	45	40.9	15.4	5.1	11.9	8.0	3.4	1.29	只木ほか, 1966
栃木	48	-	14.7	-	15.7	-	-	0.94	河原ほか, 1979
滋賀	48	-	16.5	7.1	19.2	-	-	0.86	齋藤, 1982
岐阜	0	21.2	8.9	2.29 †	2.29 §	9.3	9.3	3.91	本研究
"	1	7.9	2.3	0.68 †	1.11 §	11.7	7.1	2.11	"
"	2	28.8	11.3	2.61 †	3.95 §	11.0	7.3	2.85	"

t: 乾重ベース.

†: 葉面積指数の生長曲線を時間について積分して葉積 Leaf area duration (Watson, 1952) を算出し, 実験期間中の平均葉面積指数を計算した.

§: 葉現存量の生長曲線を時間について積分して積算現存量 Biomass duration (Květ and Ondok, 1971) or Integrated biomass (森下, 1979) を算出し, 実験期間中の平均葉現存量を計算した.

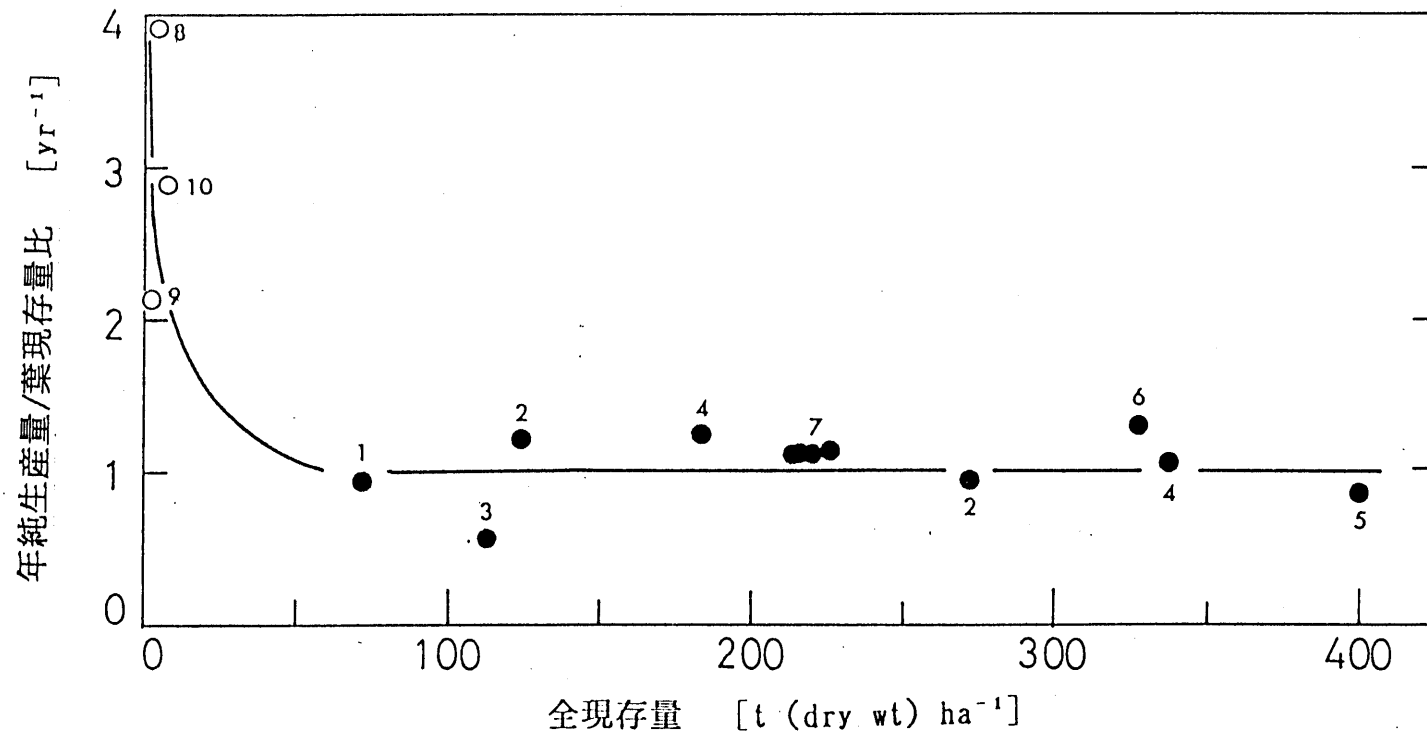


図 8-1. ヒノキ人工林における全現存量の増加にともなう年純生産量/葉現存量比の変化

図中の数字は以下の資料と対応する：1, Hagihara and Hozumi, 1983; 2, 川原ほか, 1979; 3, 宮浦, 1983; 4, Saito, 1977; 5, 齋藤, 1982; 6, 只木ほか, 1966; 7, 竹内ほか, 1975; 8, 当年生苗; 9, 1年生苗; 10, 2年生苗。

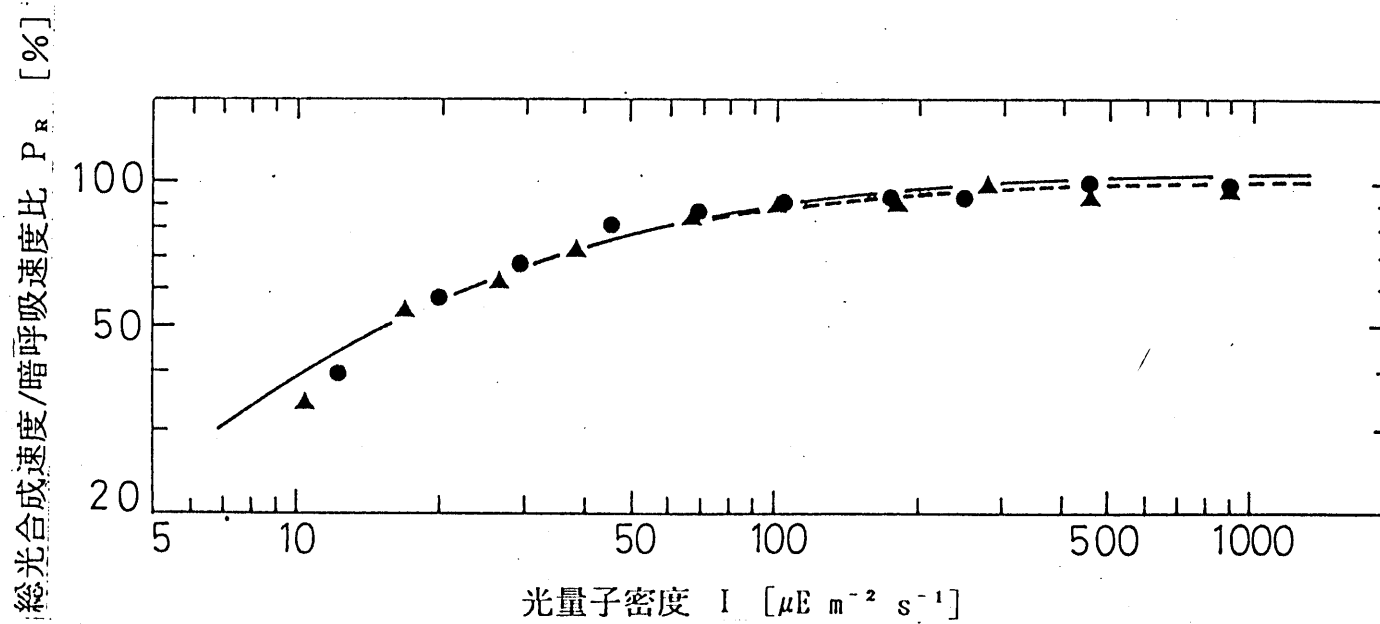


図 8-2. 同化箱内温度 25 °Cでのヒノキ球果の総光合成速度/暗呼吸速度比 P_R と光量子密度 I との関係

—●— : 1987年7月11日, --▲-- : 13日。曲線は $P_R = \frac{6.20 I}{1 + 0.059 I}$

(11日)、 $P_R = \frac{6.04 I}{1 + 0.060 I}$ (13日) を示す。

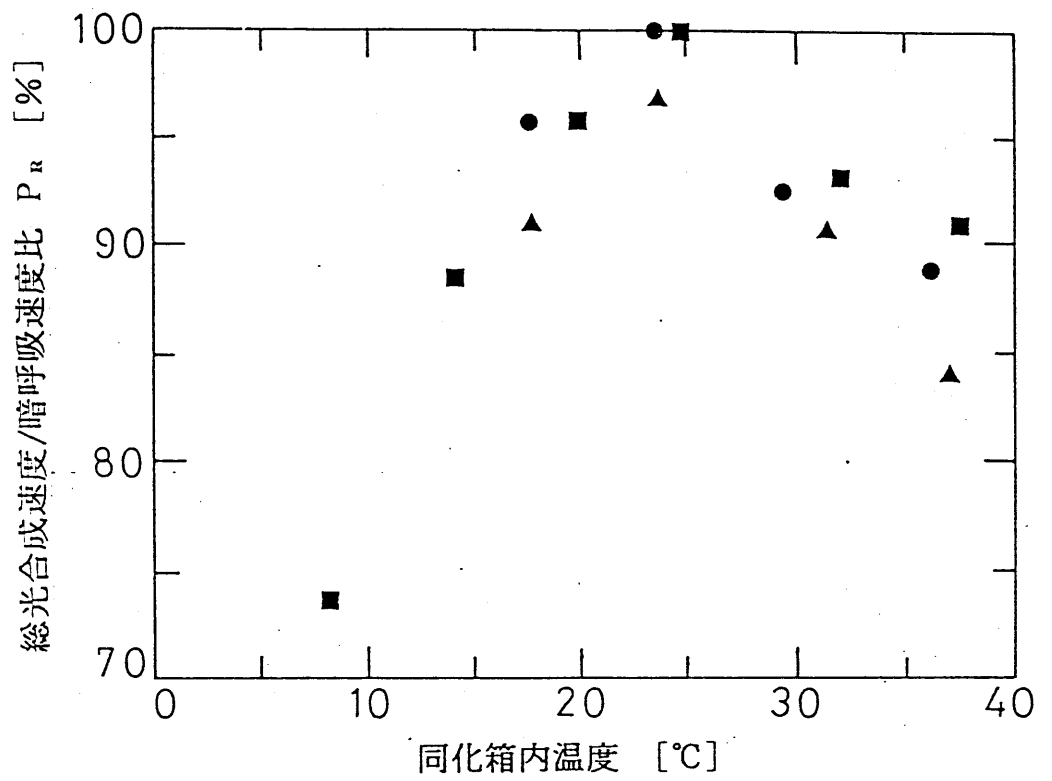


図 8-3. $700 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ でのヒノキ球果の総光合成速度/暗呼吸速度比 P_R と温度との関係
 ● : 1987年7月11日, ▲ : 13日, ■ : 15日。

要約とまとめ

要 約

苗木といった幼齡期における樹木群の生産生態学的研究例は、現在のところ極めて少ない。

このため、著者は初期成長段階にある苗木の成長および物質生産と苗齡との関係を明らかにすることを目的とし、苗畑に成育する播種後3年までの成育途中にある当年生、1年生、2年生ヒノキ苗について研究を行った。

本研究で得られた結果は、幼齡期における森林の天然更新などを含む森林生態系の動態を明らかにするための基礎的データとなる。また、これらのデータは苗畑の管理のためにも必須のものと言える。

実験地は、岐阜県美濃加茂市にある岐阜営林署緑ヶ丘種苗事業所内の苗畑であった。実験期間は、当年生苗については1984年4月から1985年3月、1年生苗については1985年4月から1986年3月、2年生苗については1981年10月から1982年10月までであった。

以下に本研究で得られた結果を要約する。

(1) 苗木のサイズを示す最も基本的な量的因子である苗高、幹直径について、その成長を追跡し、伸長成長と肥大成長の相互関係を検討した。

- ① 1年生および2年生苗における平均苗高と平均幹直径の相対成長関係から、1年生苗では両者の成長率は等しい傾向にあることが、また2年生苗では苗高の成長率は幹直径のその3倍近い値となることが明らかとなった。
- ② 各苗齡の苗木から得られた苗高の頻度分布は、全期間にわたって正規型分布を示す傾向にあった。
- ③ 1年生および2年生苗から得られた幹直径の頻度分布は、全期間にわたって正規型分布を示す傾向にあった。

(2) 伸長成長および肥大成長は結果として重量の成長をもたらす。言うまでもなく、成長の源は光合成による光合成産物にあり、その担い手は葉である。そこで次に重量成長ならびに葉面積成長を追跡し、その成長パターンを検討した。

- ① 当年生苗は異なる複数の形態の葉からなり、葉は子葉→初生葉→本葉の順で

展開した。子葉および初生葉は播種された年の秋にそのほとんどが枯死した。1年生および2年生苗の葉は本葉のみから成り立った。

- ②個体の平均全乾重に対する各器官の平均乾重の比の季節変化を調べてみると、葉と根の乾重比は互いに逆に変化する傾向にあった。この傾向は当年生および1年生苗で特に顕著であった。
- ③T/R比は、実験期間中、当年生苗では3回、1年生苗では2回増減を繰り返した。2年生苗ではT/R比に明白な季節変化は認められなかった。
- ④当年生および1年生苗でみられた T/R比の季節変化を、平均個体地上部重と平均個体地下部重との相対成長関係から解析した。その結果、当年生、1年生苗とも、地上部と地下部の成長率の大小関係に交互性が認められた。しかし、その交互性は、当年生苗では両者の成長率が等しくなる傾向にあり、1年生苗では地下部の成長率の方が高くなる傾向にあった。
- ⑤葉面積成長と葉重成長との相互関係を、4月から10月の期間を対象とした平均個体葉面積と平均個体葉重との相対成長関係から解析した。この相対成長関係は両対数グラフ上で当年生苗では3本の折れ線で、1年生・2年生苗では2本の折れ線で近似された。この当年生苗と1年生・2年生苗の相対成長関係の違いは、①で述べた葉の展開過程の違いと密接に関係した。
- ⑥個体全重の頻度分布は、当年生苗では正規型分布からL型分布に移行する傾向にあったが、1年生および2年生苗では全実験期間を通じて正規型分布を示す傾向にあった。同様の結果が個体葉面積の頻度分布からも得られた。

(3) 重量成長を葉の生理的機能と葉の量の両者からとらえたイギリス系の成長解析法を用いて重量成長の解析をした。

- ①当年生苗では平均個体全重の成長率 RGR は、4月から翌年の3月の期間において、季節とともに減少する傾向にあった。1年生苗では4月から翌年の3月、2年生苗では4月から10月の期間において、RGRは一頂型の変化を示す傾向にあった。
- ②純同化率 NAR は、当年生および1年生苗では4月から翌年の3月、2年生苗では4月から10月の期間において、季節とともに減少する傾向にあった。
- ③葉面積比 LAR は、当年生苗では4月から翌年の3月の期間において二頂型の変化を示した。1年生苗では4月から翌年の3月、2年生苗では4月から10月の期間において、LARは一頂型の変化を示した。
- ④RGR と NAR の正の相関は、各苗齢で常に有意であった。一方、RGR と LAR の正の相関は、苗齢とともに弱くなった。

- ⑤比面積は、当年生苗では 4月から翌年の 3月の期間において、季節とともに減少する傾向にあった。1年生苗では 4月から翌年の 3月、2年生苗では 4月から 10月の期間において、比面積は一頂型の変化を示した。ただし、当年生苗における本葉のみの比面積は 1年生および 2年生苗のそれと同様に一頂型の変化を示した。
- ⑥当年生苗においては子葉・初生葉の比面積が大きいために、光合成能力を葉重ベースで算出した場合、子葉・初生葉の光合成能力が本葉のそれより高くなることを示唆した。

(4) 成長は光合成による収入と主として呼吸による消費の差として決定され、呼吸測定は成長解析の良い補助手段となる。このような見地から、苗木の呼吸消費について検討した。

- ①各苗齢とも個体呼吸速度と個体乾重との間には巾乗関係が成立し、巾指数の値はほぼ 1 であった。すなわち、個体の呼吸速度はその乾重と比例関係にあった。
- ②当年生および 1年生苗から得られた呼吸商は 1年を通じて 1に近い値を示したが、冬期において低下する傾向にあった。
- ③個体の平均全呼吸速度は、各苗齢とも類似した季節変化を示し、当年生苗では 10月下旬、1年生苗では 9月下旬、2年生苗では 8月下旬にピークに達した。
- ④平均個体呼吸速度/平均個体乾重比で定義され、苗木の呼吸活性度を示す比呼吸速度は、4月～8月ないし 10月の成長期において、苗齢とともに低下した。
- ⑤また、各苗齢とも比呼吸速度は温度増加にともない指数関数的に増加した。しかし、4月から 10月の高温月では 11月から 3月の低温月に比して温度増加にともなう比呼吸速度の増加の割合は小さかった。

(5) ヒノキ苗個体群の一次生産力を明らかにするため、積み上げ法により総生産速度を算出し、その結果を苗齢間で比較・検討した。

- ①現存量の増加速度、枯死速度、林分呼吸速度およびこれらの総和である総生産速度は、各苗齢とも類似した季節変化を示した。
- ②総生産速度/葉面積指数比で定義され、葉の生産能率を示す比総生産速度は温度とともに指数関数的に増加した。しかし、4月から 10月の高温月では、

11月から3月の低温月に比して温度増加にともなう比総生産速度の増加の割合は小さかった。

- ③年総生産量に占める呼吸消費の割合は、当年生苗で 57.8 %、1年生苗で 70.4 %、2年生苗で 60.7 % となった。年総生産量に占める枯死量の割合は当年生苗で 0.6 %、1年生苗で 1.5 %、2年生苗で 2.3 % となった。
- ④当年生および1年生苗について、1年間を3期間に分けて年総生産量およびその構成量の配分をみると、各苗齢とも年総生産量、年呼吸消費量、現存量の年増加量の 60~70 % が、また、年枯死量の 80~90 % が8月から11月の期間に集中した。

(6) 林分の発達過程における初期段階の特徴を明らかにするために、年総生産の配分比、年呼吸量/現存量比、葉の生産能率について、本研究結果と既報のヒノキ林で得られた結果を比較・検討した。

まとめ

本論文は、苗木の成長および物質生産と苗齢との関係を明らかにすることを目的とし、苗畑に成育する播種後3年までの成育途中にある当年生、1年生、2年生ヒノキ苗について研究を行った。

当年生苗と1年生・2年生苗とでは葉の展開過程が異なった。当年生苗では、葉は異なる複数の形態の葉から構成され、葉は子葉→初生葉→本葉の順で展開した。一方、1年生および2年生苗の葉は単一の形態の葉である本葉のみから構成された。この苗齢による葉の展開過程の違いは、葉面積比、比面積の季節変化の違いと密接に関係した。

当年生苗の乾重の成長率は春季から冬季にかけて単調に減少する傾向にあった。しかし、1年生・2年生苗の乾重の成長率は春季から秋季ないし冬季にかけて一頂型の変化を示す傾向にあった。

現存量の増加速度、枯死速度、呼吸速度の結果を基に、積み上げ法により総生産速度を算出し、苗個体群の物質生産について解析した。

総生産速度およびその構成因子の速度は、各苗齢とも類似した季節変化を示した。

年総生産量に占める呼吸消費量の割合は各苗齢で顕著な違いは認められず、その割合は60~70%となり、残りが純生産量で占められた。また、年総生産量に占める枯死量の割合は各苗齢とも非常に小さかったが、その割合は苗齢とともに増加した。

呼吸活性度を示す年呼吸量/現存量比は苗齢とともに低下した。しかし、葉の生産能率を示す年総生産量/葉面積指数比は苗齢に対して明白な変化は示さなかった。

また、林分の発達過程における初期段階の特徴を明らかにするために、年総生産の配分比、年呼吸量/現存量比、葉の生産能率について、本研究結果と既報のヒノキ林で得られた結果を比較・検討した

謝 辞

本研究は、研究の指針から実験方法の詳細に至るまで、名古屋大学農学部造林学研究室の穂積和夫教授の御指導のもとで遂行された。ここに謹んで深い謝意を表する次第である。同研究室の萩原秋男助教授には、本研究を遂行するにあたり、終始的確な御助言と励ましを受けた。心から御礼申し上げる。また、名古屋大学農学部附属演習林の金光桂二教授と名古屋大学農学部森林経理学研究室の梅村武夫教授からは本論文の作成にあたって、数々の貴重な御意見と御批評を受けた。厚く御礼申し上げる。

また、愛媛大学農学部造林学研究室の二宮生夫助教授、林業試験場北海道支場の小池孝良博士、名古屋大学農学部附属演習林の肘井直樹博士からは、暖かい激励と数々の貴重な御助言を頂いた。厚く御礼申し上げる。二宮助教授、肘井博士には、野外作業においても多大なる御助力を頂いた。

当研究室の弓場譲助教授（現同大学農学部附属演習林）、杳名重明助手、鈴木道代技官、市川貴之技官（現三重大学工学部）、太田馨氏（現名古屋市立中央高等学校）には本研究の遂行あたって多大の便宜をはかって頂いた。同大学農学部害虫学研究室の田中幸一博士（現九州農業試験場）にはガスクロマトグラフの操作技術に関して御指導を賜った。また、同大学農学部園芸学研究室には葉面積計（AAM-5、林電工）を使用させて頂いた。あわせ厚く感謝する。

野外作業や研究途上の討論を通じて、当研究室研究生倉地奈保子、宮浦富保、勝野真澄、森茂太（現林業試験場四国支場）、大学院生梶本卓也、永津雅人、隅田明洋、パエンボナン サムエル・アルンならびに卒業生棚尾達也、千葉幸弘、藏野和範、佐藤功佐、梅田裕之の各氏に御協力、御助言ならびに御批評を頂いた。また、宮浦富保、森茂太両氏には貴重なオリジナルデータの使用をお許し頂いた。ここに謹んで感謝の意を表す。

最後に、本研究に多大なる御援助と御協力を頂いた名古屋営林支局、並びに、岐阜営林署緑ヶ丘種苗事業所の生路春雄元主任、水本達男前主任、長瀬貢主任をはじめとする同事業所職員の方々に厚く御礼申し上げる。

以上ここに記したように、この研究はこれら多くの方々の御協力と御援助によってできあがった。ここに深く感謝申し上げます。

引用文献 (欧文)

- Bazzaz, F.A., Carlson, R.W., and Happer, J.L.: Contribution to reproductive effort by photosynthesis of flowers and fruits. *Nature* 279:554-555, 1979
- Becker, C.A., Mroz, G.D., and Fuller, L.G.: The effects of plant moisture stress on red pine (*Pinus resinosa*) seedling growth and establishment. *Can. J. For. Res.* 17:813-820, 1987
- Bormann, F.H.: Ecological implications of changes in the photosynthetic response of *Pinus taeda* seedlings during ontogeny. *Ecology* 37:70-75, 1956
- Bourdeau, P.F. and Mergen, F.: Photosynthesis and respiration in colchicine-induced polyploid seedlings of slash pine. *J. For.* 57:191-193, 1959
- Boysen Jensen, P.: *Die Stoffproduktion der Pflanzen*. 108pp., Gustav Fischer Verlag, Jena, 1932 †
- Cannell, M.G.R.: Dry matter partitioning in tree crops. In *Attributes of trees as crop plants* (Cannell, M.G.R. & Jackson, J.E., eds.). pp.160-193, Institute of Terrestrial Ecology, England, 1985
- Dickmann, D.I. and Kozlowski, T.T.: Photosynthesis by rapidly expanding green strobili of *Pinus resinosa*. *Life Sci.* 9:549-552, 1970
- Drew, A.P.: Shoot-root plasticity and episodic growth in red pine seedlings. *Ann. Bot.* 49:347-357, 1982
- Eis, S., Garman, E.H., and Ebell, L.F.: Relation between cone production and diameter increment of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), grand fir (*Abies grandis* (Dougl.) Lindl.), and western white pine (*Pinus monticola* Dougl.). *Can. J. Bot.* 43:1553-1559, 1965
- Evans, G.C.: *The quantitative analysis of plant growth*. 734pp. Blackwell Scientific Publ., Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne, 1972

- Foote, K.C. and Schaedle, M.: Physiological characteristics of photosynthesis and respiration in stems of Populus tremuloides Michx. Plant Physiol. 58:91-94, 1976
- Hagihara, A. and Hozumi, K.: Studies on photosynthetic production and its seasonal changes in a Chamaecyparis obtusa plantation. J. Jpn. For. Soc. 59:327-337, 1977
- and —————: Studies on the primary production in a Chamaecyparis obtusa plantation. J. Jpn. For. Soc. 65: 357-365, 1983
- , Suzuki, M., and Hozumi, K.: Seasonal fluctuations of litter fall in a Chamaecyparis obtusa plantation. J. Jpn. For. Soc. 60:397-404, 1978
- Hunt, R.: Plant growth analysis. Studies in biology. no. 96. 67pp. Edward Arnold, London, 1978
- Iwaki, H.: The influence of density on the dry matter production of Fagopyrum esculentum. Jap. Journ. Bot. 16:210-226, 1958
- : Ecological studies on interspecific competition in a plant community. I. An analysis of growth of competing plants in mixed stands of buckwheat and green grams. Jap. Journ. Bot. 17:120-136, 1959
- Jarvis, P.G. and Leverenz, J.W.: Productivity of temperate, deciduous and evergreen forests. In Physiological plant ecology. IV. (Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B., and Ziegler, H., eds.) pp.233-280. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1983
- Kanazawa, Y.: Growth analysis of seedlings of two deciduous broad-leaved tree species, Quercus acutissima CARR. and Fagus crenata BLUME, from the viewpoint of dry matter and "soluble" carbohydrate economy. Jap. J. Ecol. 31:147-153, 1981
- Karizumi, N.: Root biomass. In Primary productivity of Japanese forests (Shidei, T. & Kira, T., eds.). pp.45-52 & 63. University of Tokyo Press, Tokyo, 1977

- Kimura, M., Yokoi, Y., and Hogetsu, K.: Quantitative relationships between growth and respiration. II. Evaluation of constructive and maintenance respiration in growing Helianthus tuberosus leaves. Bot. Mag. Tokyo 91:43-56, 1978
- Kira, T.: Production rates. In Primary productivity of Japanese forests. (Shidei, T. and Kira, T., eds.) pp.101-114. University of Tokyo Press, Tokyo, 1977
- : Primary production and carbon cycling in a primeval lowland rainforest of Peninsular Malaysia. In Tree crop physiology. (Sethuraj, M.R. and Raghavendra, A.S., eds.) pp.99-119. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, 1987
- and Shidei, T.: Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the Western Pacific. Jap. J. Ecol. 17:70-87, 1967
- , Ogawa, H., Yoda, K., and Ogino, K.: Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. IV. Dry matter production, with special reference to the Khao Chong rain forest. Nature & Life in SE Asia 5:149-174, 1967
- Koike, T. and Sakagami, K.: Comparison of the photosynthetic responses to temperature and light of Betula maximowictiana and Betula platyphylla var. japonica. Can. J. For. Res. 15:631-635, 1985
- Koppel, A., Troeng, E., and Linder, S.: Respiration and photosynthesis in cones of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.). Trees 1:123-128, 1987
- Koyama, H. and Kira, T.: Intraspecific competition among higher plants. VIII. Frequency distribution of individual plant weight as affected by the interaction between plants. Jour. Inst. Polytech. Osaka City Univ. Ser. D 7:73-94, 1956
- Kozlowski, T.T.: Water relations and growth of trees. J. For. 56:498-502, 1958

- Kvæt, J. and Ondok, J.P.: The significance of biomass duration. *Photosynthetica* 5:417-420, 1971
- Linder, S.: Photosynthesis and respiration in conifers. A classified reference list 1891-1977. *Stud. For. Suec.* 149:1-71, 1979
- : Photosynthesis and respiration in conifers. A classified reference list, supplement 1. *Stud. For. Suec.* 161:1-32, 1981
- and Troeng, E.: Photosynthesis and transpiration of 20-year-old Scots pine. In *Structure and function of northern coniferous forests - an ecosystem study.* (Persson, T., ed.). *Ecol. Bull. (Stockholm)* 32:165-181, 1980
- and —————: The seasonal course of respiration and photosynthesis in strobili of Scots pine. *For. Sci.* 27:267-276, 1981
- McCree, K.J.: Equations for the rate of dark respiration of white clover and grain sorghum, as functions of dry weight, photosynthetic rate, and temperature. *Crop Sci.* 14:509-514, 1974
- Miyaura, T. and Hozumi, K.: Measurement of litterfall in a hinoki (*Chamaecyparis obtusa* S. et Z.) plantation by the clothing-trap method. *J. Jpn. For. Soc.* 67:271-277, 1985
- Möller, C.M., Müller, D., and Nielsen, J.: Graphic presentation of dry matter production of European beech. *Det. forstl. Forsøgsv. i Danmark* 21:327-335, 1954
- Negisi, K.: Photosynthesis, respiration and growth in 1-year-old seedlings of *Pinus densiflora*, *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa*. *Bull. Tokyo Univ. For.* 62:1-115, 1966
- : Seasonal changes in rate of photosynthesis and growth of *Pinus densiflora*, *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* seedlings in their second vegetation season. *Proc. Bicentenary celebration of C.P. Thunberg's visit to Japan.* (Royal Swedish Embassy & The Bot. Soc. Japan), pp.77-89, 1977

- : Respiration rates in relation to diameter and age in stem or branch sections of young Pinus densiflora trees. Bull. Tokyo Univ. For. 66:209-222, 1974
- Newbould, P.J.: Methods for estimating the primary production of forests. 62pp. Blackwell Sci. Publ., Oxford, Edinburgh, 1967
- Ninomiya, I. and Hozumi, K.: Respiration of forest trees. (I). Measurement of respiration in Pinus densi-thunbergii U_{YEKI} by an enclosed standing tree method. J. Jpn. For. Soc. 63:8-18, 1981
- and —————: Respiration of forest trees. (II). Measurement of nighttime respiration in a Chamaecyparis obtusa plantation. J. Jpn. For. Soc. 65:193-200, 1983a
- and —————: Respiration of forest trees. (III). Estimating of community respiration. J. Jpn. For. Soc. 65:275-281, 1983b
- Ogawa, H.: Principles and methods of estimating primary production in forests. In Primary productivity of Japanese forests. (Shidei, T. and Kira, T., eds.) pp.29-37. University of Tokyo Press, Tokyo, 1977
- and Kira, T.: Methods of estimating forest biomass. In Primary productivity of Japanese forests. (Shidei, T. and Kira, T., eds.) pp.15-25 & 35-36. University of Tokyo Press, Tokyo, 1977
- Ogawa, K., Hagihara, A., and Hozumi, K.: Growth analysis of a seedling community of Chamaecyparis obtusa. (I). Respiration consumption. J. Jpn. For. Soc. 67:218-227, 1985
- , —————, and —————: Growth analysis of a seedling community of Chamaecyparis obtusa. (II). Primary production. J. Jpn. For. Soc. 68:135-142, 1986
- , —————, and —————: Photosynthesis and respiration in cones of hinoki (Chamaecyparis obtusa). J. Jpn. For. Soc. 70:220-226, 1988
- Rook, D.A. and Sweet, G.B.: Photosynthesis and photosynthate

- distribution in Douglas-fir strobili grafted to young seedlings. *Can. J. Bot.* 49:13-17, 1971
- Saito, H.: Chamaecyparis plantations. In Primary productivity of Japanese forests. (Shidei, T. and Kira, T., eds.). pp.252-268 & 286-288. University of Tokyo Press, Tokyo, 1977
- Schaedle, M.: Tree photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 26:101-115, 1975
- and Foote, K.C.: Seasonal changes in the photosynthetic capacity of Populus tremuloides bark. *For. Sci.* 17:308-313, 1971
- Sorensen, F.C. and Ferrell, W.K.: Photosynthesis and growth of Douglas-fir seedlings when grown in different environments. *Can. J. Bot.* 51:1689-1698, 1973
- Strothmann, R.O.: The influence of light and moisture on the growth of red pine seedlings in Minnesota. *For. Sci.* 13: 182-191, 1967
- Tadaki, Y.: Leaf biomass. In Primary productivity of Japanese forests. (Shidei, T. and Kira, T., eds.) pp.39-44 & 57-62. University of Tokyo Press, Tokyo, 1977
- Tanaka, K. and Saito, T.: A method for the determination of respiratory quotient by gas chromatography. *Appl. Ent. Zool.* 19:456-460, 1984
- Tappeiner, J.C.: Effect of cone production on branch, needle, and xylem ring growth of Sierra Nevada Douglas-fir. *For. Sci.* 15:171-174, 1969
- Teich, A.H.: Growth reduction due to cone crops on precocious white spruce provenances. *Bi-monthly Res. Notes Can. For. Serv.* 31:6, 1975
- Thornley, J.H.M.: Respiration, growth and maintenance in plants. *Nature* 227:304-305, 1970
- : Mathematical models in plant physiology. 318pp. Academic Press, London, New York, San Francisco, 1976

Walter, H.: Die ökologische Gliederung der Erde.

Naturwissenschaften 71:387-392, 1984

Watson, D.J.: The physiological basis of variation in yield.

Adv. Agron. 4:101-145, 1952

Wright, R.D.: CO₂ exchange of seedling pines in the laboratory

as related to lower elevational limits. Am. Midl. Nat.

83:291-300, 1970

Yokoi, Y., Kimura, M., and Hogetsu, K.: Quantitative

relationships between growth and respiration. I. Components

of respiratory loss and growth efficiencies of etiolated

red bean seedlings. Bot. Mag. Tokyo 91:31-41, 1978

† : 「植物の物質生産」 (門司正三・野本宣夫訳, 1982), 東海大学
出版会, pp.21-134, 東京

引用文献 (邦文)

- 古川昭雄：非同化器官の呼吸測定法。「植物の生産過程測定法」，pp. 84-99.
共立出版，東京，1981
- 岐阜営林署緑ヶ丘種苗事業所：苗畑概要。6pp. 1981
- 穂積和夫：高等植物の相対生長。2. 樹木の相対生長 - とくに胸高直径を中心とした相対生長について。成長 2：1-18, 1963
- ：植物の相互作用。124+5pp. 共立出版，東京，1973
- ・篠崎吉郎：イギリス系の生長解析。「植物生態学上」(吉良竜夫編)，pp. 237-261. 古今書院，東京，1960
- 陣内巖：苗木。「造林学」，pp. 74-95. 朝倉書店，東京，1965
- 吉良竜夫：陸上生態系。- 概論 -。166+6pp. 共立出版，東京，1976
- 河原輝彦・只木良也・竹内郁雄・佐藤明・樋口国雄・加茂皓一：ブナ天然林とヒノキ人工林の物質生産とその循環。日生態会誌 26：387-395, 1979
- 倉地奈保子・萩原秋男・穂積和夫：カラマツ人工林の光合成。(II)。葉の生長について。31回日林中支講：81-84, 1983
- 宮浦富保：林木リター量の個体別測定。名大農修論，1983
- 宮崎紳：図説苗木育成法。424pp. 高陽書院，東京，1957
- 門司正三：生態学総論。126+8pp. 共立出版，東京，1976
- 森茂太・萩原秋男・穂積和夫：ヒノキ人工林における個体レベルでの呼吸。(II)。31回日生態学会要旨集，142, 1984
- 森下正明：個体群と群集。「森下正明生態学論集 第二巻」，pp. 303-585. 思索社，東京，1979
- 根岸賢一郎：樹木の非同化器官の呼吸。- 森林の物質収支と関連して -。日林誌 52：331-345, 1970
- ：アカマツほか針葉樹メバエの光合成・呼吸速度。東大演報 75：1-10, 1986
- 二宮生夫：林分状態をなす林木の呼吸。名大農博論。1983
- ・穂積和夫：立木状態における林木の呼吸量測定。89回日林論：193-195, 1978
- 大畠誠一・四手井綱英・辻英夫・畠山伊佐男：切り取り前後の樹木の呼吸変化について。京大演報 39：100-109, 1967
- 小川一治：ヒノキ苗群落の生長解析。(VIII)。一次生産。96回日林論：285-286, 1986
- ：ヒノキ球果の光合成。36回日林中支論：45-47, 1988

- ・萩原秋男・穂積和夫：ヒノキ苗群落の生長解析. 93回日林論：333-336, 1982
- ・—————・—————：ヒノキ苗群落の生長解析. (IV). 呼吸測定法の検討. 32回日林中支講：135-136, 1984
- ・—————・—————：ヒノキ苗群落の生長解析. (VII). 現存量および呼吸量の季節変化. 96回日林論：413-414, 1985
- 小沢孝弘：アミドチッド粒剤による苗畑のコガネムシ防除試験. 36回日林中支論：219-220, 1988
- 佐伯敏郎：植物の“生長解析”. Bot. Mag. Tokyo 78：111-119, 1965
- 齋藤秀樹：綿向山山麓にあるヒノキ林の10年間の物質生産. 日生態会誌 32：87-98, 1982
- ・四手井綱英：ヒノキ人工林での落葉枝量の測定法の検討. 「森林生態系の一次生産力の比較研究班中間報告」(四手井綱英編), pp. 75-84. JIBP-PT-F, 1973
- 佐藤大七郎：陸上植物群落の物質生産. I a. -森林-. 95+4pp. 共立出版, 東京, 1973
- 篠崎吉郎・穂積和夫：生長の研究. 「植物生態学上」(吉良竜夫編), pp. 233-236. 古今書院, 東京, 1960
- 鈴木久雄・小林義雄：ヒノキ属 *Chamaecyparis* Spach. 「日本の樹木種子 針葉樹編」(浅川澄彦・勝田柁・横山敏孝編), pp. 105-114. 林木育種協会, 東京, 1981
- 只木良也・蜂屋欣二：森林生態系とその物質生産. 64pp. 林業科学技術振興所, 東京, 1968
- ・香川照雄：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, 1968
- ・尾方信夫・長友安男・吉田武彦：森林の生産構造に関する研究. X. 無間伐の45年生ヒノキ林の生産力. 日林誌 48：387-393, 1966
- 竹内郁雄・只木良也・蜂屋欣二・河原輝彦・佐藤明：ヒノキ30年生林分の間伐試験. -列状間伐を中心として-. 林試研報 272：141-155, 1975
- 依田恭二：森林の生態学. 331pp. 築地書館, 東京, 1971

本論文で使用したおもな記号

	[Dimension]		[章]
H	[cm]	苗高	3, 4
D_B	[cm]	生枝下高幹直径	3, 4
$D_{0.1}$	[cm]	苗高の1/10の高さでの幹直径	3, 4
\bar{H}	[cm]	平均苗高	3
\bar{D}_B	[cm]	平均生枝下高幹直径	3
$\bar{D}_{0.1}$	[cm]	苗高の1/10の高さでの平均幹直径	3
g	[cm^{1-h}]	係数	3
h	[--]	相対成長指数	3
c	[--]	相関係数	3, 4, 5
c^2	[--]	決定係数	3, 4, 6
u	[$\text{dm}^2 \text{ seedling}^{-1}$]	個体葉面積	4
W_L	[g seedling ⁻¹]	個体葉乾重	4
W_S	[g seedling ⁻¹]	個体幹乾重	4
W_{SB}	[g seedling ⁻¹]	個体幹枝乾重	4
W_T	[g seedling ⁻¹]	個体地上部乾重	6
W_R	[g seedling ⁻¹]	個体根乾重	4, 6
W	[g seedling ⁻¹]	個体全乾重	4, 6
\bar{u}	[$\text{dm}^2 \text{ seedling}^{-1}$]	平均個体葉面積	4, 5
\bar{u}_F	[$\text{dm}^2 \text{ seedling}^{-1}$]	本葉の平均個体葉面積	4
\bar{W}_L	[g seedling ⁻¹]	平均個体葉乾重	4
\bar{W}_{LF}	[g seedling ⁻¹]	本葉の平均個体葉乾重	4
\bar{W}_S	[g seedling ⁻¹]	平均個体幹乾重	4
\bar{W}_{SB}	[g seedling ⁻¹]	平均個体幹枝乾重	4
\bar{W}_T	[g seedling ⁻¹]	平均個体地上部乾重	4
\bar{W}_R	[g seedling ⁻¹]	平均個体根乾重	4
\bar{W}	[g seedling ⁻¹]	平均個体全乾重	4, 5
y	[g m ⁻²]	全現存量	4
LA I	[m ² m ⁻²]	葉面積指数	4
$\overline{LA I}$	[m ² m ⁻²]	平均葉面積指数	7
g_1	[$\text{dm}^2 \text{ seedling}^{h_1-1} \text{ g}^{-h_1}$]	係数	4

h_1	[--]	相对成長指数	4
g_2	$[dm^2 \text{ seedling}^{-1} \text{ cm}^{-h_2}]$	係数	4
h_2	[--]	相对成長指数	4
g_L	$[g \text{ seedling}^{-1} \text{ cm}^{-h_L}]$	係数	4
h_L	[--]	相对成長指数	4
g_{SB}	$[g \text{ seedling}^{-1} \text{ cm}^{-3h_{SB}}]$	係数	4
h_{SB}	[--]	相对成長指数	4
g_R	$[g \text{ seedling}^{-1} \text{ cm}^{-3h_R}]$	係数	4
h_R	[--]	相对成長指数	4
q_1	[--]	相对成長指数	4
q_2	[--]	相对成長指数	4
k	[--]	相对成長指数	4
RGR	$[\text{day}^{-1}]$	平均個体全乾重の成長率	5
NAR	$[\text{dm}^2 \text{ g}^{-1} \text{ day}^{-1}]$	純同化率 (葉面積ベース)	5
NAR*	$[\text{day}^{-1}]$	純同化率 (葉乾重ベース)	5
LAR	$[\text{dm}^2 \text{ g}^{-1}]$	葉面積比	5
RQ	[--]	呼吸商	6
\overline{RQ}	[--]	平均呼吸商	6
r_T	$[\text{mg} (\text{CO}_2) \text{ seedling}^{-1} \text{ h}^{-1}]$	個体地上部呼吸速度	6
r_R	$[\text{mg} (\text{CO}_2) \text{ seedling}^{-1} \text{ h}^{-1}]$	個体地下部呼吸速度	6
r	$[\text{mg} (\text{CO}_2) \text{ seedling}^{-1} \text{ h}^{-1}]$	個体全呼吸速度	6
\bar{r}_T	$[g (\text{CO}_2) \text{ seedling}^{-1} \text{ day}^{-1}]$	平均個体地上部呼吸速度	6
\bar{r}_R	$[g (\text{CO}_2) \text{ seedling}^{-1} \text{ day}^{-1}]$	平均個体地下部呼吸速度	6
\bar{r}	$[g (\text{CO}_2) \text{ seedling}^{-1} \text{ day}^{-1}]$	平均個体全呼吸速度	6
R	$[g (\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}]$	林分全呼吸速度	6
a	$[\text{mg} (\text{CO}_2) \text{ seedling}^{\beta-1} \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-\beta}]$	係数	6
β	[--]	巾指数	6
a_T	$[\text{mg} (\text{CO}_2) \text{ seedling}^{\beta_T-1} \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-\beta_T}]$	係数	6
β_T	[--]	巾指数	6

a_R	$[\text{mg (CO}_2\text{) seedling}^{\beta_R-1} \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-\beta_R}]$	係数	6
β_R	[—]	巾指数	6
$\Delta y/\Delta t$	$[\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}]$	全現存量の増加速度	7
$\Delta L/\Delta t$	$[\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}]$	枯死速度	7
$\Delta G/\Delta t$	$[\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}]$	被食速度	7
$\Delta P_n/\Delta t$	$[\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}]$	純生産速度	7
$\Delta R/\Delta t$	$[\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}]$	林分全呼吸速度	7
$\Delta P_g/\Delta t$	$[\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}]$	総生産速度	7
a	$[\text{g dm}^{-2} \text{ day}^{-1}]$	比総生産速度	7

[—] : [Dimensionless] . g: 乾重ベース.

報 文 目 録

- 1) Ogawa, Kazuharu, Hagihara, Akio, and Hozumi, Kazuo
Growth analysis of a seedling community of
Chamaecyparis obtusa (I)
Respiration consumption.
J. Jpn. For. Soc., 67 : 218 - 227 (1985).

- 2) Ogawa, Kazuharu, Hagihara, Akio, and Hozumi, Kazuo
Growth analysis of a seedling community of
Chamaecyparis obtusa (II)
Primary Production.
J. Jpn. For. Soc., 68 : 135 - 142 (1986).

- 3) Ogawa, Kazuharu, Hagihara, Akio, and Hozumi, Kazuo
Photosynthesis and respiration in cones of hinoki
(Chamaecyparis obtusa).
J. Jpn. For. Soc., 70 : 220 - 226 (1988).

- 4) Ogawa, Kazuharu, Hagihara, Akio, and Hozumi, Kazuo
Periodic shoot and root growth in first-year
seedlings of hinoki (Chamaecyparis obtusa).
J. Jpn. For. Soc.
(投稿中)

参 考 論 文 目 録

- 1) 小川一治・萩原秋男・穂積和夫
ヒノキ苗群落の生長解析
第93回 日本林学会大会講演論文集 (以下、日林論) : 333 -
336 (1982) .

- 2) 小川一治・萩原秋男・穂積和夫
ヒノキ苗群落の生長解析 (VII)
—現存量および呼吸量の季節変化—
第96回 日林論 : 413 - 414 (1985) .

- 3) 小川一治・萩原秋男・穂積和夫
ヒノキ苗群落の生長解析 (VIII)
—一次生産—
第97回 日林論 : 285 - 286 (1986) .

- 4) Ogawa, Kazuharu
Analysis of leaf arrangement and light penetration in a
Japanese cypress seedling population by the point quad-
rat method.
Bull. Nagoya Univ. For. 9 : 37 - 43 (1987).

- 5) 小川一治
ヒノキ球果の光合成
第36回 日本林学会中部支部大会講演論文集 : 45 - 47 (1988).