

樹木の根系の成長に関する基礎的研究

佐藤 孝 夫*

Fundamental studies on the root growth of trees in Hokkaido

Takao SATOH*

抄 録

樹木の根系の成長特性を解明することを目的とし、北海道産樹木 44 種（針葉樹 4 種、広葉樹 40 種）を用いて、根端伸長の季節変化、根の垂直・水平方向への成長量および根の分布の経年変化、地上部の成長に伴う根系の形態の変化、根系への人為的な作用が樹木の成長に及ぼす影響を調査した。

針葉樹 4 種、広葉樹 38 種の植栽後 2 年間の根端の伸長を調べ、各樹種の根端伸長の開始時期、最盛期および停止時期は樹種によって異なることを明らかにし、根端伸長と地上部の成長との関係を 4 型に、根端伸長の季節変化を 6 型に類型化した。また、根端伸長は地温だけに影響されるのではないことを明らかにした。

カツラなど 6 樹種の根の成長量を 3～5 年間測定した結果、いずれの樹種とも垂直方向への成長量（根の深さ）は小さいが、水平方向（根の広がり）は大きいことを示した。また、水平方向への成長量と根の重量は地上部の大きさおよび重量に比例して増加すること、垂直分布と水平分布は樹種によって異なるが、多くの樹種では根系が枝張りを越えて広がること等を明らかにした。

アカエゾマツなど 4 樹種の稚樹などの根系を調査し、水平根を発達させることが個体の成長と維持にきわめて重要であることを示した。

根系に対する人為的な作用が樹木の成長に与える影響を検討した結果、根系の切断量、植栽密度、床替の有無、植栽時期別等が、地上部や根系の成長量および活着率等に大きく関係することが明らかになった。

Abstract

Growth of forest tree is generally estimated by shoot growth but there is little data for root growth. Study on characteristic of root of forest tree will open to technique for arboriculture. To clarify dynamics of root growth of forest trees, growth of root, shoot and trunk, from juvenile to mature stage, of 44 species (4 conifers, and 40 broad-leaved trees) in Hokkaido were investigated.

- (1) The patterns of seasonal variation in the root elongation of forty-two species were classified into the six groups.

* 北海道立林業試験場 Hokkaido Forestry Research Institute, Bibai, Hokkaido 079-01

[北海道林業試験場研究報告 第 32 号 平成 7 年 3 月, Bulletin of the Hokkaido Forestry Research Institute, No.31. March, 1995]

- (2) The root elongation was closely correlative with the shoot growth.
- (3) Annusl growth of horizontal root of the six species was larger than the vertical root.
- (4) Growth of the horizontal root was proportional to the height.
- (5) Weight of the root was correlative with that of the trunk and the branch.
- (6) The spread of fine root exceeded the crown diameter.
- (7) Root amount, density and the time of transplantation of the seedlings affected the shoot growth.

From these results, I conclude that development of root and root system plays an important role in shoot growth of forest tree in Hokkaido.

目 次

緒 言	1
1 節 はじめに	1
2 節 研究の目的	1
I 章 根端伸長の季節変化	4
1 節 測定方法	5
2 節 根端伸長の個体間差異	5
3 節 樹種別の根端の伸長特性	7
4 節 根端の総伸長量および1日当たりの最大伸長量	18
5 節 根端伸長の開始時期と停止時期	19
6 節 根端伸長と地上部の伸長との関係	21
7 節 根端伸長の最盛期と季節変化の類型化	22
8 節 地温と根端伸長	26
II 章 根系の成長量および根の分布様式の経年変化	27
1 節 調査方法	27
2 節 根系および地上部の成長量の推移	28
3 節 根の垂直方向（根の深さ）の成長量および地上部の大きさとの関係	28
4 節 根の水平方向（根の広がり）の成長量および地上部の大きさとの関係	30
5 節 根の重量の推移および地上部の重量との関係	31
6 節 垂直分布の経年変化	32
7 節 水平分布の経年変化	34
8 節 枝張りとの根の分布量との関係	36
III 章 樹木の成長に伴う根系の形態変化	36
1 節 アカエゾマツ	37
2 節 カラマツ	38
3 節 シラカンバ	38
4 節 エゾウコギ	39
5 節 まとめ	40
IV 章 根系への人為的な作用が樹木の成長に及ぼす影響	41
1 節 根系の切断量が苗木の成長に及ぼす影響	41

2節	植栽密度が苗木の成長に及ぼす影響	41
3節	苗木の移植が成長に及ぼす影響	42
4節	苗木の植栽時間と根端の伸長量	43
5節	苗木の植栽時期と活着率	44
6節	まとめ	45
V章	総合考察	45
1節	根端伸長と地上部の成長の年周期性	46
2節	根系の成長と順応性	46
3節	生存競争における根系成長の役割	47
4節	植栽技術への応用	48
摘 要		49
文 献		50

緒 言

1節 はじめに

近年、緑の減少、大気汚染など環境問題が重視されるようになってきたが、それにもなつて環境緑化樹に対する関心も高くなり、樹木の植栽が増加している。しかも最近では緑の量とともに、緑の多様性が望まれており、植栽される樹種数も増加する傾向にある。環境緑化樹として植栽される苗木は造林用とは異なつて大きなものが多く、街路樹では一般に樹高3m以上のものが用いられている。しかし、街路では小さな植え株に植栽するなど、樹木の生育に配慮したとはいえない植栽方法が採られることが多い。そのため、樹勢が衰えたり、成長不良のものが多く、病虫害にもかかりやすくなる。また、天然木に比較して著しく寿命が短くなり、風倒などの被害も受けやすくなる。これらの原因は、強度の剪定や除排雪のさいに受ける傷に起因することもあるが、一般に街路樹の植栽場所は根系が生育するためのスペースが小さく、また土壌の理化学性が不良な場合が多いため、根系の成長や働きが不良となり、これが地上部の生育に大きく影響している(寺田・苺住 1987)ことが多い。ところがこれまで街路樹など緑化樹の植栽に当たっては、各樹種の根系を考慮して植栽されることはほとんどなく、植え株などは一定の基準でつくられてきた。街路樹など環境緑化樹を健全に育てるためには、根系の特性や生育環境条件を明らかにし、正常な生育ができるような植栽環境を整える必要がある。また森林を造成する場合においても適地適木が重要であるといわれ、土壌の理化学的な性質と樹木の成長との関係が調べられてきたが、これは土壌の性質と根系の成長との関係に置き換えられる。すなわち、地上部の成長に根系の成長が大きく影響しており、根系の成長は土壌の理化学的性質と密接な関係があることが報告されている(石原・松井 1939, 寺田・苺住 1984, 寺田 1986など)。さらに、苗木を植え付けるさいに根系をはわせる方向によって地上部の成長が異なる場合があり、造林木の植栽にも根系の特性を考慮する必要があることを指摘している(若林 1977)。また、森林における天然更新や同種・異種間の競争などにも根系の働きが大きく関わっていることが報告されている(原田 1936, ADAMS 1928など)。

このように、環境緑化樹や造林樹種の植栽方法や維持管理方法、森林における更新など、さまざまな面から根系の研究の重要性はきわめて高いといえる。

2節 研究の目的

樹木の根系が植物体ではたしている働きには、土壌からの養分や水分などの吸収、地上部の支持、同化生産物質の貯蔵などがあげられる(苺住 1979b)。このうち、地上部の樹体を支えること、養分や

水分を吸収することは、とくに重要な働きとされている。このように樹木にとってきわめて重要な器官でありながら、地上部に比べるとこれまでの研究事例は著しく少ない。それは、根が通常は地下にあって直接観察できないこと、地下部で根系が複雑に交錯するために調査が複雑なこと、調査には多大な労力と時間を要すること、一度掘りあげた根は継続調査がきわめて難しいことなどがあげられる。しかし、地上部と地下部は表裏一体のものであることから、地下部の特性の解明なしには、樹木の特性を知ることが難しく、その樹種の特性を明らかにしたとはいえない。

樹木の根系に関するこれまでの研究は、樹種間の根系の特徴を明らかにすること (PULLING 1918, 菱江 1930a, b, 1931, 荻住 1956, 1979a など)、土壌条件と根系の関係を明らかにすること (白沢 1901, MOORE 1922, YEAGER 1935, 石原・松井 1939, 田添 1939, 宮崎 1942 など) が中心に行われてきた。また、根端の成長に関する報告 (柴田・功木 1962, LYR&HOFFMANN 1967, HEAD 1968, 荻住 1979b など) や、根系の発達の方法に関する報告 (佐藤 1929, 玉利 1932 など) のほか、同種間、異種間の根系の競争に関する報告 (明永・林 1925, ADAMS 1928, 原田 1936, 柴田 1941, JENIK et al. 1952, SCHMID&ZEIDLER 1953 など) や、育苗方法や造林方法などの報告 (石川 1931, 原田 1940, 深浦 1942 など) もある。さらに、荻住 (1979b) は根系に関する詳細な研究を行い、根形の形態、垂直分布や水平分布の類型化など、多くの樹種の根系の特性について明らかにした。

しかし、根系に関する調査事項はきわめて多岐におよんでおり、いまだに明らかにされていない問題が数多く残されている。とくに根が1年間にどのような成長をし、どのくらい成長するのか、また年々どのように根が成長していくか、さらに地上部の成長と根系の成長との関係などについては、これまでほとんど解明されていない。根系の成長特性を明らかにすることは、樹木の生態的な特性を知るうえからも、また樹木の育苗技術や植栽技術への応用からもきわめて重要なことである。

本研究では、樹木にとってきわめて重要な器官である根系の成長特性を解明することを目的とするものであり、1年間の根端の伸長の季節的な周期性などの特性および根系の成長量や根の分布様式が年々どのように変化していくかを明らかにし、根系の形態が地上部の発達にもなるとどのように変化するかを検討する。さらに根系への人為的な作用が樹木の成長に及ぼす影響について述べる。したがって、I章ではまず樹種ごとの根端伸長の特性を明らかにするとともに、根端伸長の開始時期と停止時期、根端伸長と地上部の伸長との関係、伸長の季節変化などについて述べ、地温と根端の伸長との関係について検討する。II章では、根系の成長量として根の深さ、根の広がり、根の重量を測定し、地上部の成長量との関係を検討する。さらに、全体の根と細根の分布量の割合が、垂直方向や水平方向にどのように変化していくかを明らかにし、枝張りとの関係について述べる。III章では、実生苗や天然生稚苗や稚樹の根系の形態を調べ、根系の発達の方法と地上部の成長との関係について論じる。IV章では、人為的な作用が樹木の成長に及ぼす影響を論じるために、根系の切断量や植栽密度が苗木の成長に及ぼす影響や、移植が苗木の成長に及ぼす影響について検討する。そしてV章で総合的な考察を行う。

なお、本論文は「北海道大学学位審査論文」であるが、紙面の都合により全体に圧縮したものである。論文の執筆に際して、北海道大学農学部五十嵐恒夫教授には御指導と御助言を賜った。また、同大学農学部滝川貞夫教授、矢島 崇助教授には原稿の御校閲を賜った。さらに、北海道立林業試験場の関係職員の皆様には研究の遂行上さまざまな御協力をいただいた。これらの方々に、深く感謝申し上げる。

I 章 根端の伸長の季節変化

地上部の成長の季節変化や周期性についてはいくつかの樹種で調べられているが (守屋 1988, 中野 1988, 二宮ほか 1988, 小見山・生田 1988 など)、根端伸長の季節変化についての報告例は少ない。し

かし、各樹種の根端伸長の季節変化などを明らかにすることは、それぞれの樹種の特徴を解明することばかりでなく、樹木の移植時期や施肥の時期、維持管理などの上からもきわめて重要である。

1 節 測定方法

根端伸長の観察方法として、これまで各種の根箱が用いられてきた (TURNER 1936, 佐藤 1956, 佐々木 1959, 本多 1960, 苧住ほか 1980a など)。根箱を用いる方法は、根端を容易に観察することができることから、根端伸長の測定にはきわめて有効である (苧住ほか 1980a) とされる。本調査でも、小型の根箱と大型の根箱を用いて根端の伸長を測定した。

(1) 温室内における根端の伸長測定

温室内で小型の根箱を用いて、アカエゾマツとトドマツ、エゾヤマザクラの根端の伸長を測定した。供試した苗木は1回目がアカエゾマツ5年生苗2本(樹高40cm)、トドマツ4年生苗2本(樹高40cm)、2回目はアカエゾマツ3年生苗8本(樹高25cm)、3回目がエゾヤマザクラ1年生苗2本(樹高40cm)、である。根箱への苗木の植栽はいずれも11月中～下旬に行い、調査期間は1回目が1980年11月中旬～1981年3月上旬、2回目が1981年11月中旬～1982年4月中旬、3回目が1982年11月下旬～1983年5月中旬である。使用した根箱の大きさは、縦48cm、横50cm、高さ55cmで、ガラス面の大きさは縦40cm、横45cmで、20度の傾斜をつけてある。調査は2～7日間ごとに行い、前回の測定日以降にガラス面に沿って伸長した全ての根端の伸長量および地上部の伸長量を測定した。根箱内の土壌は火山砂とピートモスを6:4に混合したものを用いた。また、1980年12月1日から1981年3月10日までの柿箱内の地温を測定した。その間の温室内の最高気温は32.8℃、最低気温は7.7℃であり、日長は自然光による。

(2) 屋外における根端伸長の測定

自然条件下における根端の伸長量を測定するために、大型の根箱を屋外に設置して調査を行った。調査は図-1-1のような観察室の両側に、一面にガラスを入れた根箱を片側に3個ずつ、計6個を配して行った。ガラス面の大きさは幅約30cm深さ約180cmであり、根箱内の土壌は畑土と火山砂を4:6の割合で混合したものを用いた。供試した樹種は27科42樹種で、樹種名と供試時の苗高を表-1-1に示す。樹種はできるだけ多くの科から選んだが、同科・同属の樹種を比較するために、カバノキ科とバラ科は4属5種、カエデ科1属4種、マツ科3属3種を調査した。苗木は各樹種とも5月中旬に根箱へ植栽し、植栽した年と翌年の2年間にわたって根端の伸長量を測定した。調査は、表中のイチイ以下6種を1980～81年に、シラカンバ以下12種を1982～83年に、ミヤマハンノキ以下12種を1983～84年に、ドロノキ以下12種を1984～85年に行った。通常は毎週1回の測定とし、前回の測定日以降にガラス面に沿って伸長したすべての根端の伸長量、上部の伸長量を調査した。また1981年の4月から11月までの、根箱内の深さ15cm、30cm、60cm、90cmの地温をあわせて測定した。

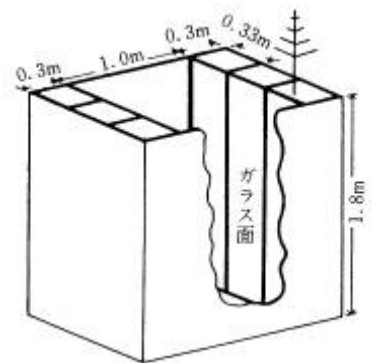


図-1-1 大型根箱の模式図

2 節 根端伸長の個体間差異

各樹種の根端の伸長の変化を明らかにするために、冬期間に温室内で小型の根箱を用いてアカエゾマツやトドマツ、エゾヤマザクラの伸長の変化の個体間差について検討した。なお、根端の伸長の変化は、根端全体の伸長量に対する各期間毎の伸長量の割合で示した。

1回目試験でアカエゾマツを調査したところ2個体とも12月8日～11日に根端の伸長がみられ、

表-1-1 供試樹種名と苗高

樹種名	学名	科名	樹高 (cm)
イ チ	<i>Taxus cuspidata</i>	イ チ イ 科	50
ア カ エ ズ マ ツ	<i>Picea glehnii</i>	マ ツ 科	50
ト ド マ ツ	<i>Abies sachalinensis</i>	マ ツ 科	50
カ ラ マ ツ	<i>Larix kaempferi</i>	マ ツ 科	70
カ ツ	<i>Cercidiphyllum japonicum</i>	カ ツ ラ 科	80
キ タ コ ブ シ	<i>Magnolia kobus ver. borealis</i>	モ ク レ ン 科	50
シ ラ カ ン	<i>Betula platyphylla ver. japonica</i>	カ バ ノ キ 科	110
ミ ズ ナ	<i>Quercus mongolica ver. grosseserrata</i>	ブ ナ 科	70
ハ ル ニ	<i>Ulmus davidiana ver. japonica</i>	ニ レ 科	130
ナ ナ カ マ	<i>Sorbus commixta</i>	バ ラ 科	80
エ ゾ ヤ マ ザ ク	<i>Prunus sargentii</i>	バ ラ 科	80
ウ ワ ミ ズ ザ ク	<i>Prunus grayana</i>	バ ラ 科	70
ト チ ノ	<i>Aesculus turbinata</i>	ト キ ノ キ 科	50
イ タ ヤ カ エ	<i>Acer mono</i>	カ エ デ 科	80
ヤ マ モ ミ	<i>Acer palmatum ver. matsumurae</i>	カ エ デ 科	90
カ ラ コ ギ カ エ	<i>Acer ginnala</i>	カ エ デ 科	90
オ ガ ラ バ	<i>Acer ukurunduense</i>	カ エ デ 科	50
ハ リ ギ リ	<i>Kalopanax pictus</i>	ウ コ ギ 科	60
ミ ヤ マ ハ ン ノ	<i>Alnus maximowiczii</i>	カ バ ノ キ 科	120
ケ ヤ マ ハ ン ノ	<i>Alnus hirsuta</i>	カ バ ノ キ 科	140
ツ ノ ハ シ	<i>Corylus sieboldiana</i>	カ バ ノ キ 科	60
サ ワ シ	<i>Carpinus cordata</i>	カ バ ノ キ 科	60
オ ニ グ ル	<i>Juglans ailanthifolia</i>	ク ル ミ 科	80
ク	<i>Castanea crenata</i>	ブ ナ 科	70
ヤ マ グ	<i>Morus bombycis</i>	ク ワ 科	80
キ ハ	<i>Phellodendron amurense</i>	ミ カ ン 科	80
シ ナ ノ	<i>Tilia japonica</i>	シ ナ ノ キ 科	90
ヤ チ ダ	<i>Fraxinus mandshurica ver. japonica</i>	モ ク セ イ 科	70
ハ イ イ ヌ ツ	<i>Ilex crenata ver. paldosa</i>	モ チ ノ キ 科	40
ハ ク サ ン シ ャ ク ナ	<i>Rhododendron brachycarpum</i>	ツ ツ ギ 科	60
ド ロ ノ	<i>Populus maximowiczii</i>	ヤ ナ ギ 科	130
ノ リ ウ ツ	<i>Hydrangea paniculata</i>	ユ キ ノ シ タ 科	60
ズ	<i>Malus sieboldii</i>	バ ラ 科	100
ハ マ ナ	<i>Rosa rugosa</i>	バ ラ 科	60
イ ヌ エ ン	<i>Maackia amurensis ver. buergeri</i>	マ メ 科	60
ニ シ キ	<i>Euonymus alatus</i>	ニ シ キ ギ 科	50
ク ロ ウ メ モ ド	<i>Rhamnus japonica</i>	ク ロ ウ メ モ ド キ 科	60
ア キ グ	<i>Elaeagnus umbellata</i>	グ ミ 科	80
ミ ズ	<i>Cornus controversa</i>	ミ ズ キ 科	50
ハ シ ド	<i>Syringa reticulata</i>	モ ク セ イ 科	60
エ ゴ ノ	<i>Styrax japonica</i>	エ ゴ ノ キ 科	60
ク ロ ミ ノ ウ ギ ス カ グ ラ	<i>Lonicera caerulea ver. emphylocalyx</i>	ス イ カ ズ ラ 科	60

伸長の変化はいずれも2月上～中旬をピークとする一山型をしていた。この間、2個体とも地上部の伸長はみられなかった。トドマツでも、供試した2個体とも根端の伸長は12月8日～11日に始まった。試供木 No.1 では2月上～中旬に伸長量は最大となり、試供木 No.2 では3月上旬に最大となったが、伸長の変化は両者とも一山型をなしていた。この間、地上部の伸長はみられなかった。(図-1-2)。

2回目の試験におけるアカエゾマツでは、8個体の苗木とも11月30日～12月7日から伸長がみられ、伸長量は12月中旬まで増加したが、その後は減少し1月中はいずれの試供木とも著しく少なかった。

2月にはいと再び伸長量は増加し、伸長の変化はいずれも明かな二山型をしていた。最初のピークは低く期間も短かったが、2つ目のピークは高く期間も長かった(図-1-3)。この間、12月21日～28日に地上部は開芽し、伸長は1月4日～11日に始まり、1月18日～25日にはすべての個体で地上部の伸長は停止した。

3回目のエゾヤマザクラでは、1個体は12月上旬～1月中旬にごくわずかに根端は伸長したが、他の1個体では伸長がみられず、2個体とも根端が本格的に伸長したのは4月中旬以降であった。また、地上部の伸長は4月上旬以降に始まった。

このように、1回年目のアカエゾマツ2個体、トドマツ2個体、および2回年目のアカエゾマツ8個体では、それぞれの年における根端の伸長は同じような変化をしており、エゾヤマザクラ2個体でも同じような伸長を示したことから、同一樹種では環境条件が同じであれば根端の伸長は同じような変化をするといえる。なお、アカエゾマツの1回目と2回目の伸長パターンの変化の違いについては後述する。

3節 樹種別の根端の伸長特性

植栽1年目と2年目の各根端の1年間の伸長量を合計し(以下、総伸長量という)、各測定期間中ごとの伸長量を総伸長量に対する割合で示した。また、地上部は主たる枝1本の1年間の伸長量を測定し、各測定期間ごとの伸長量を全体の伸長量に対する割合で示した。以下に、供試した42樹種の根端の伸長特性を述べる。

(1) イチイ(図-1-4)

植栽当年の根端伸長は7月下旬からみられ、伸長量は8月中旬から急増し、9月上旬・中旬に最大となった。10月中旬以降は伸長量は減少し、11月上・中旬に伸長は停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は275.4cmであった。地上部の伸長は7月上旬に始まり、8月中旬に停止した。

2年目の根端伸長は4月中旬に始まり、伸長量は7月上旬～9月上旬に多く、8月中～下旬に最大となった。10月中旬以降は伸長量は減少し、11月下旬に停止した。季節変化はなだらかな一山型をしており、根端の総伸長量は520.7cmであった。地上部の伸長は5月中旬に始まり、7月上・中旬に停止した。

(2) アカエゾマツ(図-1-4)

植栽当年の根端伸長は7月上旬からみられ、伸長量は7月中旬から急増し、7月下旬～8月上旬に最大となった。その後は減少して、11月上・中旬に停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は685.9cmであった。また、地上部の伸長は6月中旬に始まり、7月中旬に停止した。

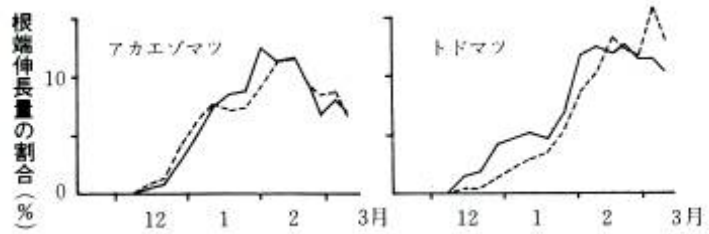


図-1-2 温室内におけるアカエゾマツ、トドマツ根端伸長の変化
—No.1No.2

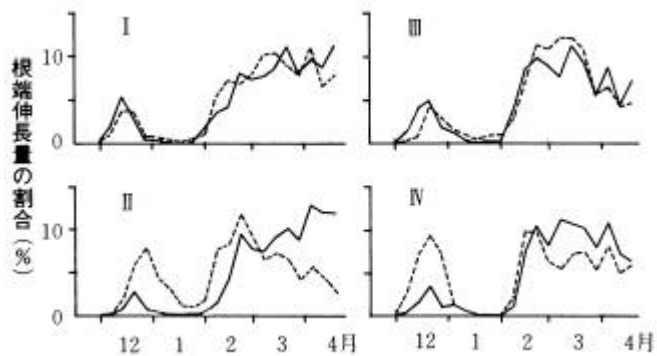


図-1-3 温室内におけるアカエゾマツの根端伸長の変化
—No.1No.2

2年目の根端伸長は4月下旬に始まり、伸長量は5月上旬～下旬に多くなったが、一時減少した後再び増加し、7月下旬～8月上旬に最大となり、11月中旬に停止した。季節変化は二山型をしており、根端の総伸長量は305.6cmであった。地上部の伸長は5月中・下旬に始まり、7月上・中旬に停止した。

(3) トドマツ (図-1-4)

植栽当年の根端伸長は7月上旬からみられ、伸長量は7月下旬から急増し、9月上旬に最大となった。その後減少して、11月上・中旬に停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は279.9cmであった。また地上部の伸長は6月上旬に始まり、7月中旬に停止した。

2年目の根端伸長は4月中旬に始まり、伸長量は5月上～中旬に多かった。その後一時減少したが、6月下旬から増加し、7月下旬に最大となり、12月中旬に伸長は停止した。季節変化は二山型をしており、根端の総伸長量は343.9cmであった。地上部の伸長は5月中旬に始まり、7月中旬には停止した。

(4) カラマツ (図-1-4)

植栽当年の根端伸長は6月下旬からみられ、伸長量は7月上～中旬に最大となった。また、9月中旬～10月中旬にも若干伸長し、11月上旬に伸長を停止した。季節変化は大・小の二山型をしており、根端の総伸長量は495.3cmであった。地上部の伸長は植栽時にはすでに始まっており、9月上旬に停止した。

2年目の根端伸長は5月中旬に始まり、伸長量は5月下旬～6月中旬と9月中旬に多く、7月中旬～8月中旬は著しく少なかった。根端の伸長は10月下旬に停止した。季節変化は二山型をしており、根端の総伸長量は80.6cmであった。地上部の伸長は4月下旬に始まり、9月上旬に停止した。

(5) カツラ (図-1-4)

植栽当年の根端伸長は7月中旬からみられ、伸長量は7月下旬から急増し、9月上・中旬に最大となり、11月上・中旬に伸長は停止した。季節変化は一山型をして

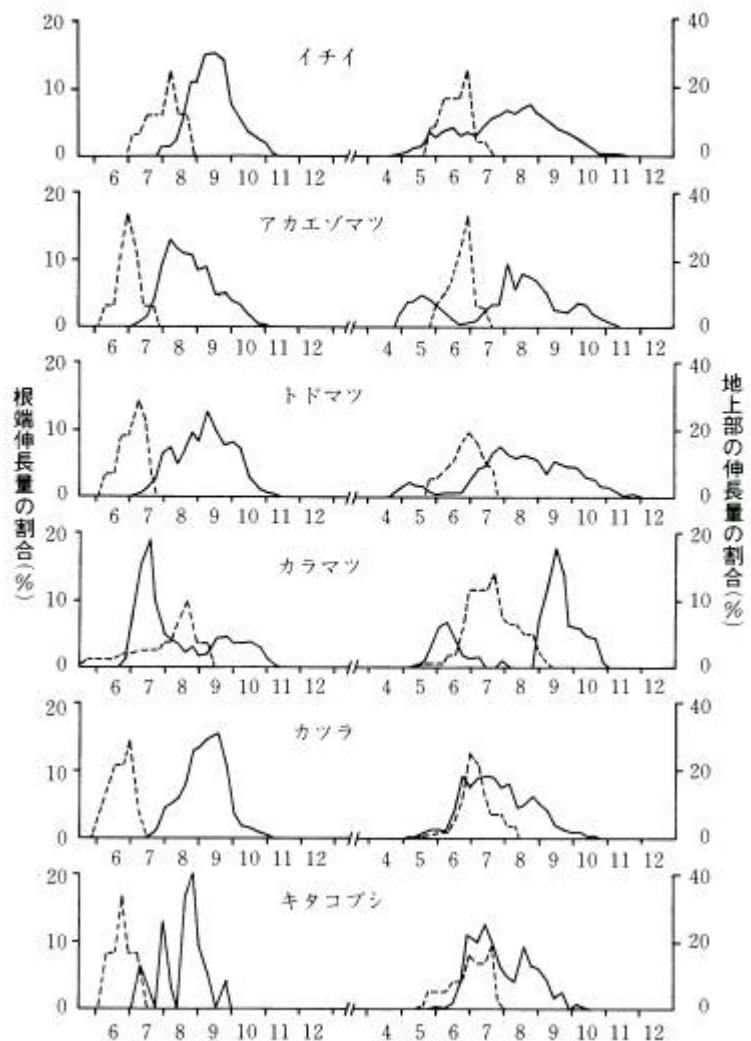


図-1-4 根端の伸長および地上部の伸長の季節変化 (1)
 ——根端の伸長地上部の伸長 以下同じ

しており、根端の総伸長量は **796.6cm** であった。地上部の伸長は5月下旬～6月上旬に始まり、7月上旬に停止した。

2年目の根端伸長は4月下旬に始まり、伸長量は6月中旬から急増し、7月中旬にかけて最大となり、10月下旬に停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は **1200.2cm** であった。また、地上部の伸長は4月下旬～5月上旬に始まり、8月上旬には停止した。

(6) キタコブシ (図-1-4)

植栽当年の根端伸長は7月上旬からみられたが、根端は伸びたり停止したりと不規則であった。その中でも伸長量は8月中旬～9月上旬に最大になったが、9月中旬に伸長が停止し、総伸長量は **24.5cm** であった。また、地上部の伸長は6月上旬に始まり、7月上旬に停止した。

2年目の根端伸長は5月中旬に始まり、伸長量は6月下旬～7月中旬に多かった。8月中旬にも若干多い時期があり、10月中旬には伸長を停止した。季節変化は、全体として二山型をしており、根端の総伸長量は **99.7cm** であった。また、地上部の伸長は5月上旬に始まり、7月下旬には停止した。

(7) シラカンバ (図-1-5)

植栽当年の根端伸長は6月上旬からみられ、伸長量は9月中～下旬に最大となり、11月上旬に伸長は停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は **392.9cm** であった。また、地上部の伸長は5月上旬から始まり、6月上旬に停止した後、7月中旬～下旬に再び伸長した。

2年目の根端伸長は4月下旬に始まり、伸長量はゆるやかに増加した。そして8月上～中旬に最大となり、10月下旬には停止した。季節変化はゆるやかな一山型をしており、根端の総伸長量は **1035.3cm** であった。また、地上部の伸長は4月下旬に始まり、8月上旬に停止した。

(8) ミズナラ (図-1-5)

植栽当年の根端伸長は6月中旬からみられ、伸長量は6月下旬に最も多く、その後8月中・下旬にもやや多かったが、9月上～中旬に伸長は停止した。

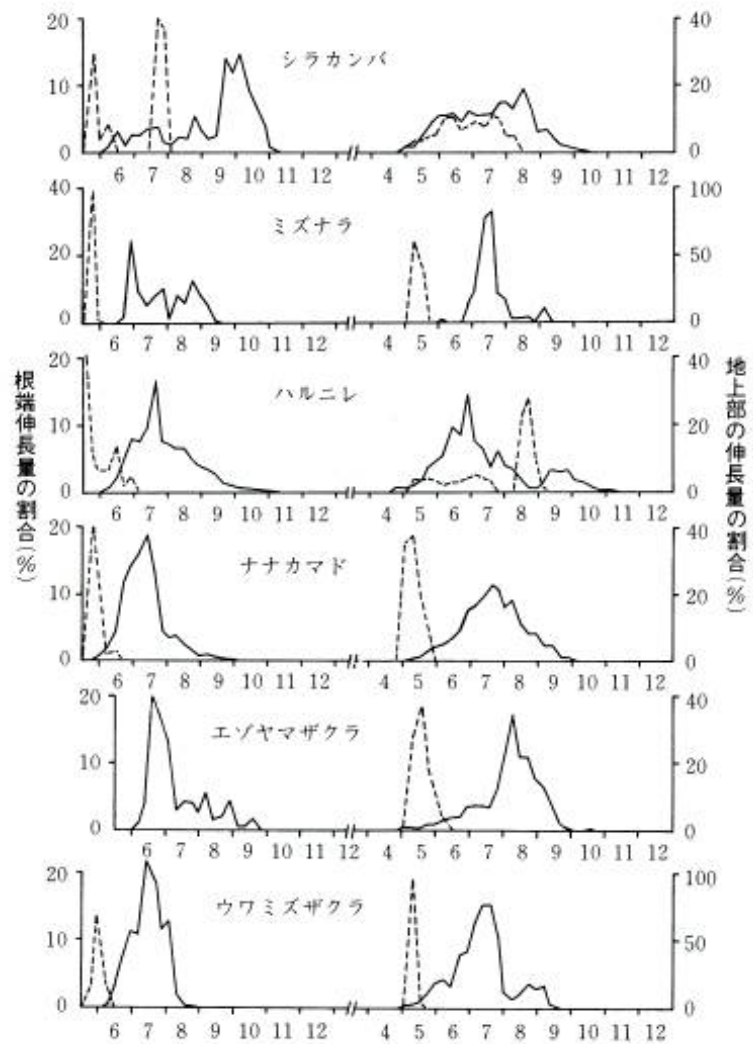


図-1-5 根端の伸長および地上部の伸長の季節変化 (2)

季節変化は二山型をしており、根端の総伸長量は **62.8cm** であった。また、地上部の伸長は5月中旬に始まったが、2週間以内には停止した。

2年目の根端伸長は6月上旬に始まったが、本格的に伸びだしたのは6月下旬～7月上旬であった。伸長屋は7月上旬～中旬に多く、8月下旬～9月上旬には伸長を停止した。季節変化は急な一山型をしており、根端の総伸長量は **39.9cm** であった。地上部の伸長は5月上旬に始まり、中旬には停止した。

(9) ハルニレ (図-1-5)

植栽当年の根端伸長は、5月中旬からみられ、伸長量は7月中旬に最大となった。その後徐々に減少し、12月上～中旬に停止した。季節変化は一山型をしており、根端総伸長量は **5811.7cm** であった。また、地主部の伸長は植栽時にはすでに始まっており、6月下旬に停止した。

2年目の根端伸長は4月中旬に始まり、伸長量は6月下旬に最大となった。また9月上～下旬にごく小さなピークがみられ、11月上旬に伸長は停止した。季節変化は二山型をしており、根端の総伸長量は **1146.4cm** であった。地上部の伸長は5月上旬～7月中旬と8月中旬～9月上旬の2度みられた。

(10) ナナカマド (図-1-5)

植栽当年の根端伸長は、5月下旬からみられ、伸長量は6月中旬～7月中旬に多く、7月上旬に最大となり、その後は急減して、10月上旬に停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は **950.4cm** であった。また、地上部の伸長は5月中旬に始まり、6月中旬に停止した。

2年目の根端伸長は4月下旬に始まり、伸長量は6月中旬～8月上旬に多く、7月中旬に最大となり、10月中旬に伸長は停止した。季節変化はゆるやかな一山型をしており、根端の総伸長量は **1586.0cm** であった。また、地上部の伸長は4月下旬に始まり、5月中旬には停止した。

(11) エゾヤマザクラ (図-1-5)

植栽当年の根端伸長は6月中旬からみられ、伸長量は7月中旬に最も多かった。8月にはいと根端の伸長量は急減し、10月中旬に停止した。季節変化は急な一山型をしており、根端の総伸長量は **259.3cm** であった。

2年目の根端伸長は4月下旬に始まり、伸長量は7月下旬～8月中旬に多く、とくに8月中旬頃が最大であった。根端の伸長停止は10月中旬であり、季節変化は急な一山型をしている。根端の総伸長屋は **1457.1cm** であった。また、地上部の伸長は5月上旬に始まり、6月上・中旬には停止した。

(12) ウワミズザクラ (図-1-5)

植栽当年の根端伸長は6月上旬からみられ、伸長量は6月中旬～7月下旬に多く、7月上旬に最大となった。8月上旬以降は急減し、8月下旬に伸長は停止した。季節変化は急な一山型をしており、根端の総伸長量は **325.3cm** であった。また、地上部の伸長は5月中旬に始まり、6月上・中旬に停止した。

2年目の根端伸長は4月下旬に始まり、伸長量は6月下旬～7月下旬に多かった。8月上旬の伸長量がやや少ないが、季節変化は全体とするとやや急な一山型である。根端の伸長は9月上旬に停止し、根端の総伸長量は **136.8cm** であった。地上部の伸長は5月上旬に始まり、中旬には停止した。

(13) トチノキ (図-1-6)

植栽当年の根端伸長は6月上旬からみられ、伸長量は6月中旬に最大となり、7月下旬までは多かった。8月になると伸長量は急減し、8月下旬に停止した。季節変化は急な一山型をしており、根端の総伸長量は **261.2cm** であった。また、地上部の伸長は5月中旬に始まり、6月上・中旬に停止した。

2年目の根端伸長は5月上旬に始まったが、本格的に伸びだしたのは6月上旬であり、伸長量は6月上～中旬に最大となり、9月下旬～10月上旬に停止した。季節変化は急で大きな一山型をしており、根端の総伸長屋は **297.6cm** であった。地上部の伸長は5月中旬に始まり、2週間以内で停止した。

(14) イタヤカエデ (図-1-6)

植栽当年の根端の伸長は6月上旬からみられ、伸長量は6月中旬～7月中旬に多く、7月上旬に最大となり、11月下旬に伸長は停止した。季節変化は大きな山と小さな山の二山型をしており、根端の総伸長量は541.2cmであった。地上部の伸長は5月中旬に始まり、6月上・中旬に停止した。

2年目の根端伸長は4月中～下旬に始まり、伸長量は8月上旬～9月中旬に多く、最も多いのは8月中旬と9月上旬であり、10月中～下旬に伸長は停止した。季節変化はややゆるやかな一山型をしており、根端の総伸長量は2371.7cmであった。地上部の伸長は5月中旬に始まり、7月上旬に停止した。

(15) ヤマモミジ (図-1-6)

植栽当年の根端伸長は5月下旬からみられ、伸長量は7月下旬～8月上旬に多く、7月中旬が最も多かった。8月下旬以降は少なく、11月中旬に伸長は停止した。季節変化は急な一山型をしており、根端の総伸長量は2057.9cmであった。地上部の伸長は5月中旬に始まり、6月上・中旬に停止した。

2年目の根端伸長は4月中～下旬に始まり、伸長量は6月上～中旬と7月下旬～8月上旬に多かった。小さな山はいくつかあるが、季節変化は全体として二山型をしている。根端の伸長停止は11月上旬であり、根端の総伸長量は450.3cmであった。地上部の伸長は5月上旬に始まり、下旬には停止した。

(16) カラコギカエデ (図-1-6)

植栽当年の根端伸長は5月中～下旬からみられ、伸長量は8月上・中旬に最も多かった。その後は急減し、11月中旬に伸長は停止した。季節変化は小さなピークはいくつかあるものの、全体としては一山型であり、根端の総伸長量は2893.6cmであった。地上部の伸長期間は5月中旬～下旬であった。

2年目の根端の伸長は4月中～下旬に始まり、伸長量は徐々に増加して、7月中～下旬に最大となった。その後は徐々に減少し、10月下旬に伸長は停止した。季節変化はゆるやかな一山型をしており、根端の総伸長量は2998.5cmであった。地上部の伸長は5月中旬に始まり、7月上旬に停止した。

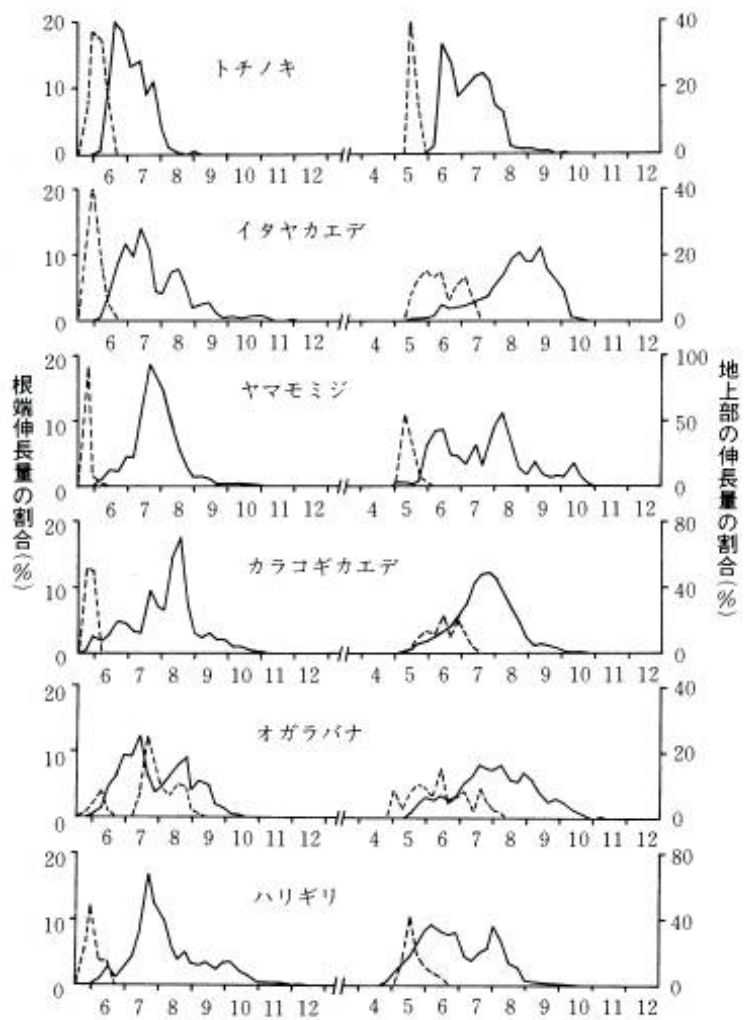


図-1-6 根端の伸長および地上部の伸長の季節変化 (3)

(17) オガラバナ (図-1-6)

植栽当年の根端伸長は5月下旬からみられ、伸長量は6月下旬～7月中旬と8月上～中旬に多く、伸長は10月中～下旬に停止した。季節変化はやや二山型をしており、根端の総伸長量は1081.3cmであった。地上部は5月下旬～6月中旬と7月上旬～9月上旬の2度伸長していた。

2年目の根端伸長は5月上旬に始まり、伸長量は7月中旬～9月上旬に多かった。その後は徐々に減少し、11月上～中旬に伸長は停止した。季節変化はゆるやかな一山型をしており、根端の総伸長量は1051.4cmであった。また、地上部の伸長は4月下旬に始まり、8月上旬に停止した。

(18) ハリギリ (図-1-6)

植栽当年の根端伸長は5月下旬からみられ、伸長量は7月上旬から8月上旬にかけて多く、7月中旬が最も多かった。根端の伸長は12月中旬に停止した。季節変化は急な一山型をしており、根端の総伸長量は2127.0cmであった。また、地上部の伸長は5月中旬に始まり、6月上・中旬に停止した。

2年目の根端の伸長は4月中～下旬に伸び始め、伸長量は6月上～下旬と7月下旬に多く、伸長は10月中～下旬に停止した。季節変化は幅の広いピークと狭いピークの二山型をしており、根端の総伸長量は876.0cmであった。地上部の伸長は5月上旬に始まり、6月上・中旬に停止した。

(19) ミヤマハンノキ (図-1-7)

植栽当年の根端伸長は5月中旬からみられ、伸長量は7月中～下旬に多く、9月上～下旬にもわずかに増加しており、10月下旬に伸長は停止した。季節変化は急で大きな山と小さな山の二山型をしており、根端の総伸長量は369.5cmであった。地上部の伸長は5月中・下旬に始まり、8月下旬に停止した。

2年目の根端伸長は5月上旬に始まり、伸長量は7月上旬と7月下旬に多く、その後はわずかな増減を繰り返し、11月中旬に伸長を停止した。季節変化は全体とすると二山型をしている。根端の総伸長量は340.6cmであった。また、地上部の伸長は5月中旬に始まり、7月下旬に停止した。

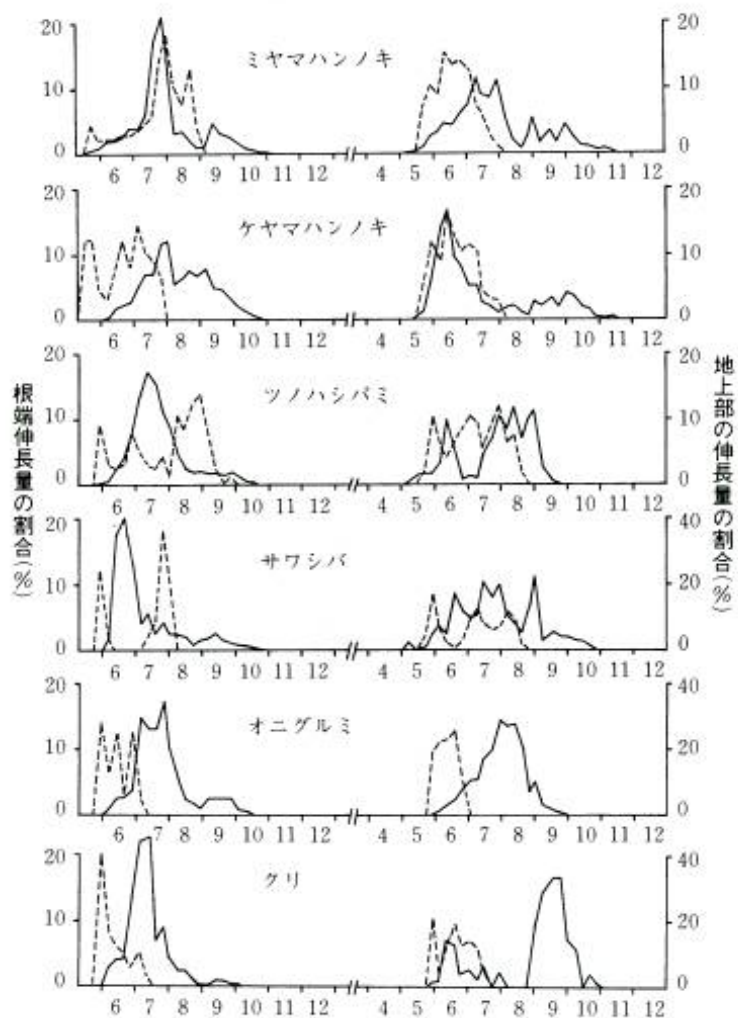


図-1-7 根端の伸長および地上部の伸長の季節変化 (4)

(20) ケヤマハンノキ (図-1-7)

植栽当年の根端伸長は5月中旬からみられ、伸長量は7月中旬～下旬に最も多かった。9月中旬を過ぎると根端伸長量は減少し、10月下旬に停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は2104.4cmであった。また、地上部の伸長は5月中旬に始まり、7月下旬に停止した。

2年目の根端伸長は4月下旬に始まり、伸長量は6月上旬に最大となり、9月中旬～10月上旬にもやや増加し、11月上旬に伸長は停止した。季節変化は、大・小のピークを持つ二山型をしており、根端の総伸長量は465.4cmであった。地上部の伸長は5月中旬に始まり、7月下旬に停止した。

(21) ツノハシバミ (図-1-7)

植栽当年の根端伸長は5月中～下旬にみられ、伸長量は6月下旬～7月下旬に多く、7月上旬に最大となった。その後減少し、10月下旬に根端の伸長は停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は1007.9cmであった。また、地上部の伸長は5月下旬に始まり、9月中旬に停止した。

2年目の根端伸長は5月上旬に始まり、伸長量は6月上旬と7月下旬～8月下旬に多く、9月中～下旬に伸長は停止した。季節変化は幅の狭いピークと広いピークの二山型をしており、根端の総伸長量は79.4cmであった。地上部の伸長は5月中旬に始まり、8月中旬に停止した。

(22) サワシバ (図-1-7)

植栽当年の根端伸長は6月上旬からみられ、伸長量は6月中旬に最も多かった。6月下旬以降は伸長量は少なくなり、10月下旬に停止した。季節変化は急な一山型をしており、根端の総伸長量は334.7cmであった。地上部は5月下旬～6月上旬と7月上～下旬の2度伸長した。

2年目の根端伸長は5月上旬に始まり、伸長量は6月中旬、7月中～下旬、8月下旬に多かったが、伸長量が多い期間は長く続かなかった。根端伸長は10月中旬に停止した。根端の総伸長量は43.8cmであった。地上部の伸長は5月中旬に始まり、8月中旬に停止した。

(23) オニグルミ (図-1-7)

植栽当年の根端の伸長は5月下旬からみられ、伸長量は6月下旬～7月下旬に多かった。8月中旬を過ぎると伸長量は減少し、10月中旬に停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は575.6cmであった。地上部の伸長は5月下旬に始まり、7月上旬に停止した。

2年目の根端伸長は5月下旬に始まり、伸長量は7月下旬に最大となり、8月中旬まで伸長量は多かった。根端の伸長は9月中～下旬に停止した。季節変化はやや急な一山型をしており、根端の総伸長量は1302.3cmであった。地上部の伸長は5月下旬に始まり、6月中・下旬に停止した。

(24) クリ (図-1-7)

植栽当年の根端の伸長は5月下旬からみられ、伸長量は6月下旬～7月下旬に多かった。8月にはいと伸長量は著しく減少し、10月上旬に伸長を停止した。季節変化は急な一山型をしており、根端の総伸長量は402.6cmであった。地上部の伸長は5月下旬に始まり、7月中旬に停止した。

2年目の根端伸長は5月下旬に始まり、伸長量は6月上旬に多いが、8月中はほとんど伸長せず、その後は再び伸長始め、9月中・下旬に最大となり、10月下旬に停止した。季節変化は二山型をしており、根端の総伸長量は25.5cmであった。地上部の伸長は5月下旬に始まり、7月中旬に停止した。

(25) ヤマグワ (図-1-8)

植栽当年の根端の伸長は6月上旬からみられ、伸長量は6月下旬～7月下旬に多く、その後減少した後、8月中旬～9月上旬に最大となり、10月下旬に停止した。季節変化は二山型をしており、根端の総伸長量は

伸長量は 526.3cm であった。地上部の伸長期間は 6 月上～中旬と 7 月下旬～8 月下旬であった。

2 年目の根端伸長は 5 月上旬に始まり、伸長量は徐々に増加し、7 月下旬に最大となった。その後は徐々に減少し、10 月下旬～11 月上旬に停止した。季節変化はややゆるやかな一山型をしており、根端の総伸長量は 1428.2cm であった。地上部の伸長は 5 月下旬に始まり、6 月上旬に停止した。

(26) キハダ (図-1-8)

植栽当年の根端の伸長は 5 月中旬からみられ、伸長量は 6 月中旬～7 月上旬に多く、6 月下旬が最も多かった。7 月中旬以降は著しく減少し、9 月上旬に停止した。季節変化は急な一山型をしており、根端の総伸長量は 149.9cm であった。地上部の伸長は 5 月中旬に始まり、6 月中旬に停止した。

2 年目の根端伸長は 5 月下旬に始まり、伸長量は 8 月上旬に最大となり、8 月下旬に停止した。季節変化はピークが 2 つに分かれるものの減少量が少ないことから、急で大きな一山型とみなせる。根端の総伸長量は 114.4cm であった。地上部の伸長は 5 月下旬に始まり、6 月中・下旬には停止した。

(27) シナノキ (図-1-8)

植栽当年の根端の伸長は 5 月中～下旬からみられ、伸長量は 7 月上旬～8 月上旬に多かった。9 月にはいと伸長量は著しく少なく、10 月中旬に停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は 1061.2cm であった。地上部の伸長は 6 月中旬に始まり、7 月上旬に停止した。

2 年目の根端伸長は 5 月上旬に始まったが伸長量はわずかで、本格的に伸長しだしたのは 5 月下旬であった。伸長量は 7 月中旬に最大となり、10 月中旬に停止した。季節変化はやや急な一山型をしており、根端の総伸長量は 385.8cm であった。地上部の伸長は 5 月下旬に始まり、6 月下旬に停止した。

(28) ヤチダモ (図-1-8)

植栽当年の根端の伸長は 5 月中～下旬からみられ、伸長量は 7 月中・下旬が最も多く、9 月下旬～10 月上旬に伸長は停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は 2700.7cm であった。地上部の伸長は 5 月中旬に始まり、6 月下旬～7 月下旬に停止した。

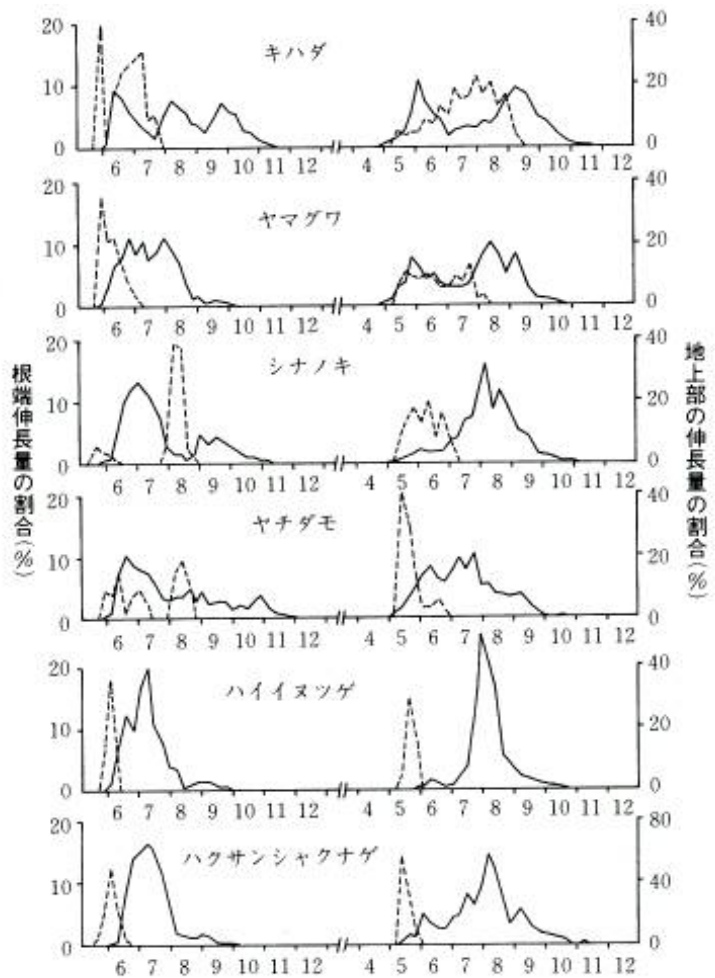


図-1-8 根端の伸長および地上部の伸長の季節変化 (5)

2年目の根端伸長は5月上旬に始まり、伸長量は徐々に増加して、8月中旬に最大となり、11月上旬に伸長は停止した。季節変化は全体としてはゆるやかな一山型をしている。根端の総伸長量は2069.8cmであった。また、地上部の伸長は5月下旬に始まり、6月下旬～7月上旬に停止した。

(29) ハイイヌツゲ (図-1-8)

植栽当年の根端の伸長は5月下旬からみられ、伸長量は8月上旬～9月上旬に比較的多く、8月中旬頃が最大であった。根端の伸長は11月上旬に停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は1161.4cmであった。また、地上部の伸長は6月上旬に始まり、7月下旬に停止した。

2年目の根端伸長は5月上旬に始まり、8月上旬に最大となり、11月上旬に伸長は停止した。季節変化はやや二山型をしているが、谷にあたる期間ではいちぢるしい減少はみられない。根端の総伸長量は500.3cmであった。地上部の伸長は5月下旬～7月上旬、7月中～下旬の2度みられた。

(30) ハクサンシャクナゲ (図-1-8)

植栽当年の根端の伸長は5月中～下旬からみられ、伸長量は6月下旬～8月中旬に多く、8月下旬が最も多かった。根端の伸長は11月上～中旬に停止した。季節変化は全体としては一山型であり、根端の総伸長量は1730.0cmであった。地上部の伸長は6月上旬に始まり、下旬には停止した。

2年目の根端伸長は5月上旬に始まり、伸長量は10月上旬に最大となったが、6月上旬に小さなピーク、7月上旬に大きなピークがあり、季節変化は三山型をしている。根端の伸長停止は12月上旬で、根端の総伸長量は72.4cmであった。地上部の伸長は6月上旬に始まったが、1週間程度で停止した。

(31) ドロノキ (図-1-9)

植栽当年の根端の伸長は5月下旬からみられ、伸長量は6月上～中旬、8月上～中旬、9月中旬～10月上旬に多く、12月中旬に停止した。季節変化は明かな三山型をしており、根端の総伸長量は2915.1cmであった。

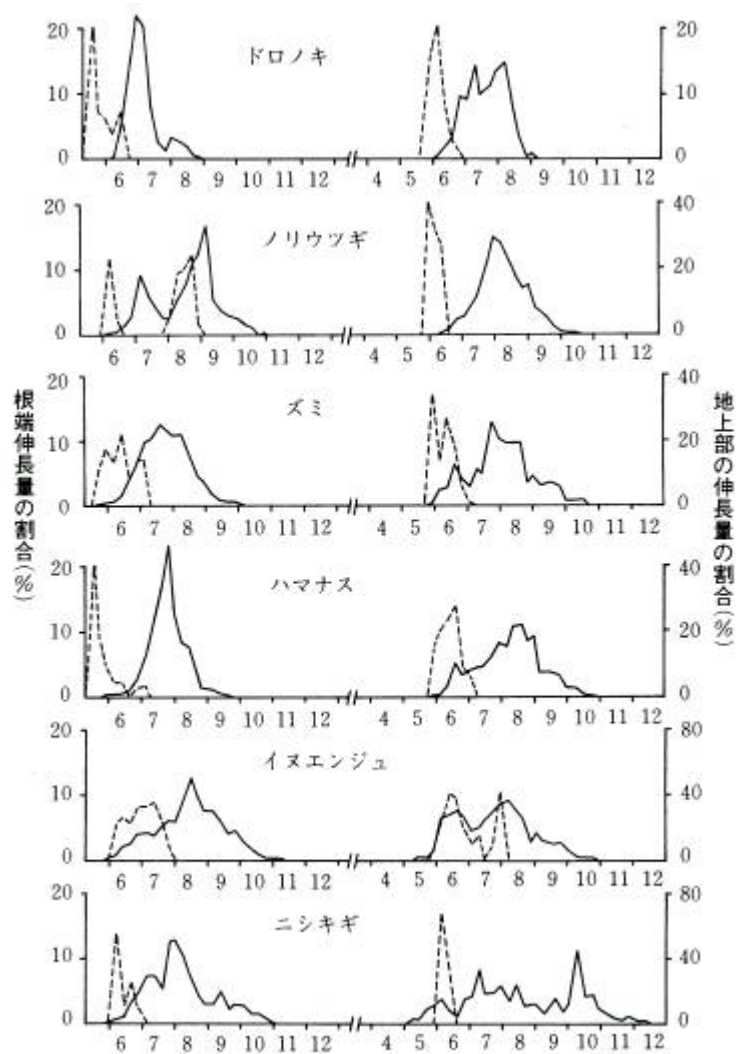


図-1-9 根端の伸長および地上部の伸長の季節変化 (6)

地上部は5月下旬から伸長し、一時停止した後再び伸長して7月中旬に停止した。

2年目の根端伸長は4月下旬に始まり、伸長量は5月下旬～6月上旬に最大となった。また9月上旬にもピークがあり、11月上～中旬に伸長は停止した。季節変化は二山型をしており、根端の総伸長量は1884.5cmであった。地上部の伸長は5月上旬に始まり、9月上旬に停止した。

(32) ノリウツギ (図-1-9)

植栽当年の根端の伸長は5月下旬からみられ、伸長量は6月上旬～8月上旬に多く、10月下旬～11月上旬に停止した。小さなピークがあるものの季節変化は全体として大きな一山型をしている。根端の総伸長量は4496.7cmであった。地上部の伸長は5月下旬に始まり、7月上旬に停止した。

2年目の根端伸長は4月下旬に始まり、伸長量は5月下旬と7月下旬～8月中旬に多く、10月下旬～11月上旬に停止した。季節変化は二山型をしており、根端の総伸長量は1135.4cmであった。地上部の伸長は5月上旬に始まり、8月上旬に停止した。

(33) ズミ (図-1-9)

植栽当年の伸長は5月中旬からみられ、伸長量は6月下旬が最も多く、8月下旬～9月下旬にもわずかに増加し、11月中旬には停止した。季節変化は大・小の二山型をしており、根端の総伸長量は1763.8cmであった。地上部の伸長は5月中旬～6月上旬と7月下旬～8月中旬の2度あった。

2年目の根端伸長は5月上旬に始まり、伸長量は7月中旬以降から多くなり、8月上旬に最大となり、10月下旬～11月上旬に伸長は停止した。季節変化はゆるやかな一山型をしており、根端の総伸長量は2703.7cmであった。地上部の伸長は5月上・中旬に始まり、6月下旬に停止した。

(34) ハマナス (図-1-9)

植栽当年の根端の伸長は5月下旬からみられ、伸長量は6月中旬に最大となり、11月下旬～12月上旬に伸長は停止した。季節変化は小さなピークはあるものの全体としては一山型をしており、根端の総伸長量は714.2cmであった。地上部は5月下旬～7月上旬と8月上旬～中旬の2度伸長した。

2年目の根端伸長は5月上旬に始まり、伸長量は7月中旬に最大となり、10月上～中旬に停止した。伸長量は6月上旬と7月上旬に多いものの、全体的には季節変化はゆるやかな一山型をしている。根端の総伸長量は278.2cmであった。地上部の伸長は5月上旬に始まり、6月下旬に停止した。

(35) イヌエンジュ (図-1-9)

植栽当年の根端伸長は5月下旬～6月上旬からみられ、伸長量は7月上旬が最も多く、9月中～下旬に伸長を停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は455.4cmであった。地上部の伸長は5月下旬に始まり、6月上旬には停止した。

2年目の根端伸長は5月下旬に始まり、伸長量は7月下旬に最大となったが、8月中旬以降は伸長量は少なくなり、根端の伸長は10月上～中旬に停止した。季節変化は急な一山型をしており、根端の総伸長量は401.0cmであった。地上部の伸長は5月上・中旬に始まり、下旬には停止した。

(36) ニシキギ (図-1-9)

植栽当年の根端伸長は5月下旬～6月上旬からみられ、伸長量は6月中旬～7月下旬に多く、最も多いのは7月上旬であり、10月中旬に伸長は停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は460.9cmであった。地上部の伸長は5月中・下旬から始まり、6月中旬に停止した。

2年目の根端伸長は5月上～中旬に始まり、伸長量は8月上旬に最大となり、10月下旬～11月上旬に伸長は停止した。季節変化は小さなピークはあるものの、全体としてはゆるやかな一山型であり、根端の総伸長量は253.1cmであった。地上部の伸長は5月上・中旬に始まり、下旬には停止した。

(37) クロウメモドキ (図-1-10)

植栽当年の根端伸長は6月下旬からみられ、伸長量は7月中旬～9月下旬にかけてほぼ同じように多く、季節変化は一山型をしている。根端の伸長は10月中旬に停止した。根端の総伸長量は180.6cmである。地上部の伸長は5月中・下旬に始まり、6月上・中旬には停止した。

2年目の根端伸長は5月上～中旬に始まり、伸長量は6月下旬～7月中旬に多く、9月中～下旬に伸長は停止した。季節変化は全体としてはやや急な一山型をしている。根端の総伸長量は146.0cmである。地上部の伸長は5月上・中旬に始まり、5月下旬～6月上旬に停止した。

(38) アキグミ (図-1-10)

植栽当年の根端伸長は5月中旬からみられ、伸長量は6月中旬～7月上旬に多かった。8月になると伸長量は少なくなり、12月中旬に伸長は停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は1348.2cmであった。地上部の伸長は5月中旬に始まり、9月上旬に停止した。

2年目の根端伸長は5月上旬に始まり、伸長量は7月中旬に最大となったが、10月上旬にも小さなピークがみられ、季節変化は三山型をしている。根端の伸長停止は11月下旬で、根端の総伸長量は542.4cmであった。地上部の伸長は5月上・中旬に始まり、8月中旬に停止した。

(39) ミズキ (図-1-10)

植栽当年の根端伸長は5月中旬からみられ、伸長量は7月下旬に最も多いが、6月中旬～9月中旬までほぼ同じように多かった。根端の伸長は10月中旬に停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は589.3cmであった。地上部の伸長は5月中旬に始まり、8月下旬～9月上旬に停止した。

2年目の根端伸長は5月上～中旬に始まり、伸長量は6月中旬に多く、一時減少した後、8月上旬に最大となり、10月中～下旬に停止した。季節変化は小・大の二山型をしており、根端の総伸長量は909.7cmであった。地上部は5月上旬～6月上旬と7月上旬の2度伸長した。

(40) ハシドイ (図-1-10)

植栽当年の根端伸長は5月上～中旬からみられ、伸長量は6月中旬～7月中旬に多かった。

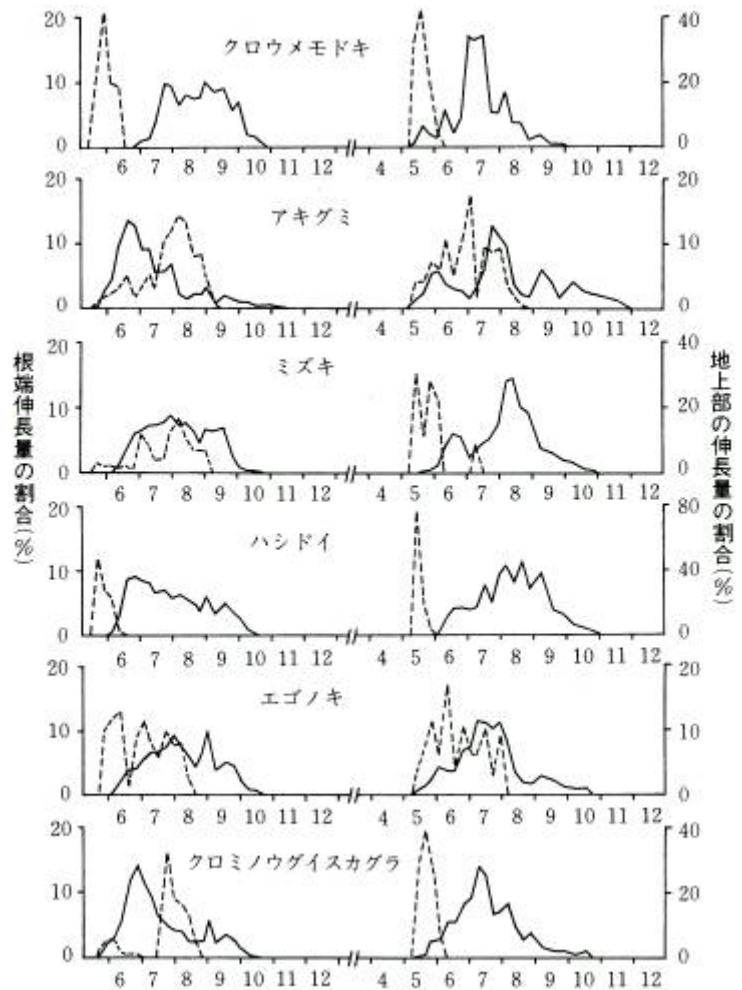


図-1-10 根端の伸長および地上部の伸長の季節変化 (7)

根端の伸長は 10 月中旬に停止した。季節変化は一山型をしており、根端の総伸長量は 1784.6cm であった。地上部の伸長は 5 月中旬に始まり、6 月上・中旬には停止した。

2 年目の根端伸長は 5 月上旬に始まり、伸長量は 7 月中旬～9 月上旬に多く、8 月中旬が最大となり、10 月下旬～11 月上旬に伸長は停止した。季節変化は全体としてゆるやかな一山型をしており、根端の総伸長量は 1423.0cm であった。地上部の伸長は 5 月上・中旬に始まり、下旬には停止した。

(41) エゴノキ (図-1-10)

植栽当年の根端伸長は 5 月下旬からみられ、伸長量は 7 月下旬と 8 月下旬に多く、11 月上旬に停止した。季節変化はやや二山型をなすものの、谷に当たる時期の減少量は少ないことから一山型といえる。根端の総伸長量は 1125.9cm であった。地上部の伸長は 6 月下旬に始まり、8 月中旬に停止した。

2 年目の根端伸長は 5 月上～中旬に始まり、伸長量は 7 月上～下旬に多かった。その後は徐々に減少し、10 月上～中旬に伸長は停止した。季節変化はゆるやかな一山型をしており、根端の総伸長量は 341.7cm であった。地上部の伸長は 5 月上・中旬に始まり、7 月下旬に停止した。

(42) クロミノウグイスカグラ (図-1-10)

植栽当年の根端伸長は 5 月中旬からみられ、伸長量は 6 月中旬～7 月中旬に多く、6 月下旬に最大となり、10 月上～中旬に停止した。季節変化は一山型をしている。根端の総伸長量は 1597.6cm であった。地上部の伸長は 5 月下旬～6 月下旬と 7 月中旬～8 月中旬の 2 度あった。

2 年目の根端伸長は 5 月上～中旬に始まり、伸長量は徐々に増加して 7 月上旬に最大となった。その後は徐々に減少し、10 月中～下旬に停止した。季節変化はゆるやかな一山型をしており、根端の総伸長量は 864.5cm であった。地上部の伸長は 5 月上・中旬に始まり、5 月下旬～6 月上旬に停止した。

以上、42 種の根端伸長の特性について述べたが、樹種によって根端伸長の開始・停止時期、根端の伸長と地上部の伸長との関係、根端伸長の季節変化などが異なっていることが分かった。そこで、これらについての類型化を行ったので以下の 4 節～7 節に述べる。

4 節 根端の総伸長量および 1 日当たりの最大伸長

(1) 根端の総伸長量

植栽 1 年目と 2 年目の各樹種の根端の総伸長量のうち、多いほうを表-1-2 に示す。最も総伸長量が多い樹種はハルニレの 5811.7cm で、次いでノリウツギの 4496.7cm であり、カラコギカエデ、ドロノキほか 6 種で、総伸長量は 2000cm を超えていた。これは根箱の 4 面のうち 1 面だけに現われた根端の伸長屋であるので、単純に 4 倍すると年間の根端の総伸長量はハルニレでは少なくとも 230m 以上になる。一方ミズナラやキタコブシではきわめて少なく、100cm 以下であった。年間の根端伸長量のこれまでの報告では、最も多いものは胸高直径約 13cm のフサアカシアの 805m であるが、数 m から 10m のものが多い (KOZLOWSKI&SCHOLTES 1948, MORROW 1950, 苧住 1979b)。今回の値もこれらとほぼ一致するが、総伸長量は樹種によって大きな違いが認められる。

(2) 1 日当たりの根端の最大伸長量

各樹種の 1 日当たりの根端の最大伸長量 (以下、根端の最大伸長量という) を表-1-3 に示す。これは最も長く伸長した根端の伸長量をその間の日数で割り、1 日当たりに換算したものである。最も伸長した根端はズミの 32.2mm で、次いでハルニレの 31.7mm であった。20mm 以上の樹種は他にドロノキ、ミズキ、シナノキがある。また、10mm 未満は 16 種あり、中でもハクサンシャクナゲ、ミズナラで非常に少なかった。苧住 (1979b) が 9 種類の針葉樹について調べた結果では、最も多かったものはテーダマツの 3.2mm 最も少なかったものはストロブマツの 1.4mm であり、広葉樹ではシラカンバ 7.1mm、

表-1-2 樹種別の根端の総伸長量

樹種	根端の総伸長量 (cm)	樹種	根端の総伸長量 (cm)
ハルニレ	5811.7	オガラバナ	1081.3
ノリウツギ	4496.7	シナノキ	1061.2
カラコギカエデ	2998.5	シラカンバ	1035.3
ドロノキ	2915.1	ツノハシバミ	1007.9
ズミ	2703.7	ミズキ	909.7
ヤチダモ	2700.7	ハマナス	714.2
イタヤカエデ	2371.7	アカエゾマツ	685.9
ハリギリ	2127.0	イチイ	520.7
ケヤマハンノキ	2104.4	カラマツ	495.3
ヤマモミジ	2057.9	ニジギキ	460.9
ハシドイ	1784.6	イヌエンジュ	455.4
ハクサンシャクナゲ	1730.0	クリ	402.6
クロミノウグイスカグラ	1597.6	ミヤマハンノキ	369.5
ナナカマド	1586.0	トドマツ	343.9
エゾヤマザクラ	1457.1	サワシバ	334.7
ヤマグワ	1428.2	ウワミズザクラ	325.3
アキグミ	1348.2	トチノキ	297.6
オニグルミ	1302.3	クロウメモドキ	180.6
カツラ	1200.2	キハダ	149.9
ハイイヌツゲ	1161.4	キタコブシ	99.7
エゴノキ	1125.9	ミズナラ	62.8

表-1-3 1日当たりの1根端の最大伸長量

樹種	伸長量 (mm/日)	樹種	伸長量 (mm/日)
ズミ	32.2	シラカンバ	11.7
ハルニレ	31.7	ノリウツギ	11.6
ドロノキ	24.7	トチノキ	11.0
ミズキ	21.0	ウワミズザクラ	10.4
シナノキ	20.3	ヤチダモ	10.3
アカエゾマツ	18.5	クリ	9.9
イタヤカエデ	18.1	アキグミ	9.6
オニグルミ	17.7	トドマツ	9.0
ヤマグワ	16.7	エゾヤマザクラ	8.8
カラコギカエデ	16.3	クロミノウグイスカグラ	8.3
ハリギリ	15.7	キハダ	7.9
オガラバナ	14.3	エゴノキ	7.6
ハシドイ	13.9	サワシバ	7.0
ヤマモミジ	13.7	クロウメモドキ	6.2
ナナカマド	13.1	ハイイヌツゲ	6.1
カラマツ	13.0	イチイ	6.0
ケヤマハンノキ	12.4	ミヤマハンノキ	6.0
ハマナス	12.4	ニシギキ	5.8
カツラ	12.0	キタコブシ	5.5
イヌエンジュ	12.0	ミズナラ	4.1
ツノハシバミ	11.8	ハクサンシャクナゲ	3.0

コナラ 21.1mm, ミズナラ 18.7mm という報告(寺田・荻住 1985)もある。このように、根端の最大伸長量は樹種間に大きな違いが認められる。

5節 根端伸長の開始時期と停止時期

植栽1年目には正確な根端伸長の開始時期を観察できないため、2年目における根端伸長の開始時期を表-1-4に示す。根端伸長の開始時期が最も早いのがイチイとトドマツの4月中旬で、次いでハルニレであった。一方、遅い樹種はミズナラ、トチノキで、6月中旬になってようやく根端の伸長がみられた。

表-1-4 根端伸長の開始時期

時 期	樹 種 名			
4月中旬	イチイ	トドマツ		
中～下旬	ハルニレ			
下旬	アカエゾマツ	ドロノキ	シラカンバ	ケヤマハンノキ
	カツラ	ノリウツギ	ナナカマド	エゾヤマザクラ
	ウワミズザクラ	ヤマモミジ	イタヤカエデ	カラコギカエデ
	ハリギリ			
5月上旬	ツノハシバミ	サワシバ	ミヤマハンノキ	ヤマグワ
	ハマナス	ズミ	シナノキ	オガラバナ
	ハイイヌツゲ	アキグミ	ハシドイ	ヤチダモ
	ハクサンシャクナゲ			
上～中旬	ニシキギ	ミズキ	クロウメモドキ	エゴノキ
	クロミノウグイスカグラ			
中旬	カラマツ	キタコブシ		
下旬	キハダ*	オニグルミ	クリ	イヌエンジュ
6月上旬	ミズナラ	トチノキ		

*：植栽当年は5月中旬

表-1-5 根端伸長の停止時期

時 期	樹 種 名		
9月上旬	ミズナラ	ウワミズザクラ	キハダ
中旬			
下旬	トチノキ		
10月上旬			
中旬	オニグルミ	キタコブシ	ナナカマド
	エゾヤマザクラ	イヌエンジュ	シナノキ
	クロウメモドキ	ミズキ	
下旬	ツノハシバミ	サワシバ	クリ
	クロミノウグイスカグラ		
11月上旬	カラマツ	シラカンバ	ケヤマハンノキ
	カツラ	ヤマグワ	ノリウツギ
	ニシキギ	オガラバナ	エゴノキ
	ハシドイ	ヤチダモ	ハイイヌツゲ
中旬	アカエゾマツ	ミヤマハンノキ	ズミ
	ヤマモミジ	カラコギカエデ	
下旬	イチイ	イタヤカエデ	ハマナス
12月上旬	ハルニレ	ハクサンシャクナゲ	
中旬	トドマツ	ドロノキ	アキグミ
	ハリギリ		

またキハダ、オニグルミ、クリ、イヌエンジュも5月下旬になって根端の伸長が始まった。このように根端の伸長開始時間は樹種によって異なり、4月中旬から6月上旬までと幅はあるが、多くの樹種では4月下旬～5月上旬にかけて根端伸長が始まっている。なお、アカエゾマツやトドマツでは2月中旬～3月上旬に根端が肥大してやや白色となり伸長が始まる（田添 1933）というが、このころは通常はまだ積雪があり地温も著しく低いことから、北海道で本格的に伸長しだすのは雪解け以降と思わ

れる。またカエデ科4種では、オガラバナがやや遅いものの他の3種は同じ時期に根端の伸長が始まり、カバノキ科5種とバラ科5種では、科内では1週間程度の違いしかなかった。なお、常緑針葉樹のほうが広葉樹よりも開始時期は早い傾向がみられる。

植栽1年目と2年目の根端伸長の停止時期を比較すると、ほぼ同じ時期に停止した樹種は12種であり、植栽1年目のほうが4週間以上も遅く停止した樹種が8種、1～4週間遅かった樹種は7種であった。一方、植栽2年目のほうが4週間以上も遅く停止した樹種は4種、1～4週間遅かった樹種は11種であった。このように同じ樹種でも根端の伸長停止時期は年度によってかなり異なっているが、これは樹体内部の生理的な周期性に対する移植の影響があるためと考えられる。

植栽1年目と2年目のうち、少なくともこの時期までは根端が伸長することがあるということで、遅いほうをもとに根端伸長の停止時期を表-1-5に示す。根端伸長の停止時期が最も早いのはミズナラ、ウ

ワミズザクラ、キハダの9月上旬であり、遅い樹種はトドマツ、ドロノキ、アキグミ、ハリギリの12月中旬である。このように、開始時期に比べて樹種間の停止時期の差が大きかったが、多くの樹種では10月中旬～11月上旬に根端の伸長は停止している。なお同科・同属の樹種でも停止時期には一定の傾向はみられなかった。また、全般に根端の伸長間始め遅い樹種は停止時期が早い傾向がみられた。すなわち伸長開始時期の遅いミズナラ、トチノキ、キハダは停止時期が早く、オニグルミとイヌエンジュも停止時期はやや早い。これらの樹種は、樹木の内部の生理的な要因のために早く冬期に備えるためか、根端の伸長には他の樹種よりも高い地温を必要とするためではないかと考えられる。また、冬期でも土壌深部の地温の高いところでは、根端は伸長するという報告(木多 1960, 苅住 1979b)や、秋に停止する(田添 1933)、秋から春まではほとんど伸長しない(STEVENS 1931, REED 1939, KAUFMAN 1945)という報告もあることから、冬期間の根端伸長は樹種特性のほか、生育地における地温との関係もあると推察される。また、落葉樹よりも常緑針葉樹のほうが停止時期はやや遅い傾向がみられた。

6節 根端伸長と地上部の伸長との関係

(1) アカエゾマツにおける根端伸長と地上部の伸長との関係 (図-1-2, -3 参照)

温室内で行ったアカエゾマツの根端の伸長の変化をみると、1回目は一山型であるが、2回目では明かな二山型を示しており、最初は根端が伸長するが、やがて地上部の伸長が始まると根端の伸長はいちじるしく減少し、地上部の伸長が停止すると再び根端の伸長は盛んになる。このように、根端の伸長は地上部の伸長成長と密接な関係があることは明らかであり、アカエゾマツでは地上部の伸長時には根端の伸長量が減少するといえる。

トドマツでは冬芽が正常な開芽をするにはある程度の低温が必要である(中須賀 1968)ことから、アカエゾマツでも低温による休眠の打破が関係していると考えられ、1回目の苗木で地上部が伸長しなかったのは、屋外において十分に低温にさらされなかったために休眠が打破されず、地上部が伸長しなかったが、2回目は十分に低温にさらされたために休眠が打破されて、地上部が伸長したと推察される。

(2) 根端伸長と地上部の伸長との関係の類型化

植栽2年目における根端伸長と地上部の伸長の開始時期の関係を表-1-6に示す。根端の伸長は地上部よりも早く始まる(KEIKRAINEN 1955など)とされるが、今回でも根端伸長のほうが早い樹種は42種中27種で、アカエゾマツ、トドマツ、ハクサンシャクナゲでは約4週間も早く根端の伸長を開始していた。また、根端伸長と地上部の伸長がほぼ同じ時期に始まるのは10種類で、根端伸長のほうが遅かったのは5種あり、ミズナラでは約4週間も遅れて始まった。なお、伸長の停止時期はいずれも地上部のほうが明らかに早かった。LRY&HOFFMANN (1967)の報告でも7種中4種は根端の伸長が早く、2種はほぼ同時で、1種だけが地上部のほうが早く伸長し始めたが、いずれの樹種とも根端は地上部よりも遅くまで伸長していた。このように、根端の伸長は地上部の伸長よりも早いかほぼ同時に始まる樹種が多く、すべての樹種で地上部の伸長が停止した後も根端は伸び続けるものと考えられる。

また、地上部の伸長と根端の伸長の時期はスギやクロマツではほぼ一致し(佐々木 1959, 門田 1951)、ストロブマツやカラマツでは一致しない(佐々木 1959, 柴田・功木 1962)とされる。このように、樹種によって地上部と根端の伸長との関係は異なっている。そこで、42樹種の根端伸長と地上部の伸長との関係を4型に分類し、表-1-7に示した。地上部が盛んに伸長中は根端の伸長量がきわめて少ない樹種(I型)が14種、若干伸長する樹種(II型)は9種、比較的良く伸長する樹種(III型)は9種、良く伸長する樹種(IV型)は10種であった。このうち植栽1年目と2年目とでは異なった関係を示すものがみられた(ハリギリ、カラコギカエデ、カツラ、クリ、ノリウツギ、ミズキなど)が、これは移植の影響を強く受けたためと思われる、通常は植栽2年目のような関係にあると推察される。

表-1-6 根端伸長と地上部の伸長の開始時期との関係

伸長開始期	樹 種		
根の伸長が早い	アカエゾマツ (4)	トドマツ (4)	ハクサンシャクナゲ (4)
	イチイ (3)	ケヤマハンノキ (3)	ハイイヌツゲ (3)
	ヤマグワ (3)	ヤチダモ (3)	シナノキ (3)
	カラコギカエデ (3)	イタヤカエデ (3)	ドロノキ (2)
	ミヤマハンノキ (2)	サワシバ (2)	ツノハシバミ (2)
	ハルニレ (2)	ノリウツギ (2)	ハリギリ (2)
	ヤマモミジ (2)	カツラ (1)	アキグミ (1)
	ハシドイ (1)	ハナマス (1)	ズミ (1)
	エゾヤマザクラ (1)	ウワミズザクラ (1)	トチノキ (1)
	ほ ぼ 同 時 期	オニグルミ	シラカンバ
キハダ		ナナカマド	ニシキギ
クロウメモドキ		ミズキ	エコノキ
クロミノウグイスカグラ			
根の伸長が遅い	オガラバナ (1)	カラマツ (2)	キタコブシ (2)
	イヌエンジュ (2)	ミズナラ (4)	

() は早遅の週間数

表-1-7 根端伸長と地上部の伸長との関係

型	地上部が伸長中の根の伸長量	樹 種		
I	根端伸長がきわめて少ない	アカエゾマツ	カラマツ	ミズナラ
		ナナカマド	エゾヤマザクラ	ウワミズザクラ
		イヌエンジュ	キハダ	トチノキ
		ヤマモミジ	ニシキギ	ハシドイ
		ヤマグワ*	ミズキ****	
II	根端が若干伸長する	トドマツ	オニグルミ	ズミ
		ハマナス	イタヤカエデ	シナノキ
		クロウメモドキ	ヤチダモ	クロミノウグイスカグラ
III	根端が比較的伸長する	イチイ	ドロノキ	ミヤマハンノキ
		ツノハシバミ	オガラバナ	アキグミ
		サワシバ**	ハリギリ***	カラコギカエデ***
IV	根端がよく伸長する	ケヤマハンノキ	エゴノキ	ハクサンシャクナゲ
		ハイイヌツゲ	ハルニレ**	シラカンバ***
		カツラ***	キタコブシ***	クリ*****
		ノリウツギ*****		

* : 植栽当年は1回目の地上部の伸長時は根端はほとんど伸長しないが、2回目はよく伸長する。

** : 植栽当年の1回目の伸長時は根端はよく伸長するが、2回目の時はほとんど伸長しない。

*** : 植栽当年はほとんど伸長しない。

**** : 植栽当年はよく伸長する。

***** : 植栽当年は若干だけ伸長する。

7節 根端伸長の最盛期と季節変化の類型化

(1) 根端伸長の最盛期

伸長量が最大となる時期は、植栽1年目ではドロノキの6月上旬が最も早く、シラカンバの10月上旬が最も遅かった。月別では7月が23種と最も多く、次いで6月の9種であった。植栽2年目では、ドロノキとハリギリの5月下旬～6月上旬が最も早く、ハクサンシャクナゲの10月上旬が最も遅かった。このように、根端の伸長量が最大となる時期は樹種ごとに異なっているが、7月が18種と最も多く、次いで8月の15種であった。このうち、多く樹種では1年目と2年とでは最大となる時期が異なっているものも多いが、これは移植の影響が強く作用しているものと思われる。そこで、2年目の結果

表-1-8 根端伸長の最盛期

時 期	樹 種 名
5月下旬	ドロノキ
6月上旬	ケヤマハンノキ クリ
中旬	トチノキ ミズキ
下旬	ハルニレ ハリギリ
7月上旬	ミヤマハンノキ クロウメモドキ エゴノキ クロミノウグイスカグラ
上～中旬	ミズナラ ウワミズザクラ
中旬	カツラ キタコブシ ナナカマド シナノキ ハマナス アキグミ (サワシバ)
中～下旬	トドマツ カラコギカエデ
下旬	オニグルミ ヤマグワ イヌエンジュ
下旬～8月上旬	アカエゾマツ ヤマモミジ
8月上旬	キハダ ハイイヌツゲ ノリウツギ ズミ ニシキギ
上～中旬	シラカンバ
中旬	イチイ エゾヤマザクラ オガラバナ ツノハシバミ ヤチダモ ハシドイ (イタヤカエデ)
下旬	(サワシバ)
9月上旬	(イタヤカエデ)
中旬	カラマツ
下旬	
10月上旬	ハクサンシャクナゲ

() は最も盛んな時期が2度ある樹種。

をもとに各樹種の根端伸長が最も盛んな時期を表-1-8に示した。これまでは根端の伸長は春が盛んである (MORROW 1950, REED 1939, RICHADSON 1954), 春と秋に盛んで夏は衰える (McQUILKIN 1935, TURNER 1936, STEVENS 1931, 九里 1936), 春に成長する型と秋に成長する型とがある (KRAMER & KOZLOWSKI 1960) などといわれていたが, 夏も盛んに伸長しているものが多いことが明らかになった。

(2) 根端伸長の季節変化とその類型化

根端伸長の季節変化では伸長量が最大となる時期のほかにも, いくつかの樹種では数回伸長量が多い時期がみられる。そこで, 伸長量が多い時期が何回あるかによって根端伸長の季節変化を分類すると, 一山型, 二山型, 三山型の3つの型に分けられた。植栽1年目では一山型が33種, 二山型は7種, 三山型がドロノキであり, キタコブシは伸長量が著しく少なくしかも不規則な伸長をしていた。2年目の季節変化では一山型が24種, 二山型は15種, 三山型が3種であった。植栽1年目の一山型33種のうち, 2年目も一山型の樹種は19種, 二山型は11種, 三山型は3種あり, 二山型であった7種のうちカラマツとミヤマハンノキは2年目も二山型をしていたが, その他は一山型であった。三山型のドロノキは2年目は二山型であった。このように両年とも同じような季節変化の型をするものは21種で, 残りは異なった変化をしていた。このうちズミ, ヤマグワ, オガラバナでは1年目に地上部の伸長が2回あったが, 2年目は1回だけで, 根端伸長は一山型であることから, 通常は2年目のような一山型をしていると推察される。また, 植栽2年目のハルニレでは2回目の地上部の伸長後に根端の伸長はやや盛んになり, 二山型をしているが, 通常は地上部の伸長は1回であることから根端の伸長も一山型であると思われる。ハイイヌツゲでは二山型をしているが, 地上部の伸長の変化と一致しており, 2回目の伸長の影響を受けたために二山型になったと考えられる。サワシバでは全体に不規則な三山型であり, 地上部の2回目の伸長との関係は明確ではない。その他の樹種では1年目と2年目の季節変化の違いは明確ではないが, 植栽1年目の根端伸長は植栽によって根系が切断されていることから, 必ずしも根端の伸

長の季節変化を表しておらず、植栽2年目になると植栽による影響も少なくなり、通常は各樹種とも2年目のような季節変化をすると考えられる。

また一山型と二山型では、同じ山型でもピークの形に差がみられることから、一山型をさらにA型とB型、二山型はA型、B型、C型に区分し、それに三山型を加え、根端伸長の季節変化を6型とした(図-1-11)。一山型のA型は、伸長が盛んな時期が短く急な山型をしており、B型は伸長が盛んな時期が長くややゆるやかな山型をしているものとした。また、二山型のA型は大きな山と小さな山の二山、B型は逆に小さな山と大きな山、C型はほぼ同じような二山のものとした。そして各樹種をそれぞれの型に類型化した(表-1-9)ところ、根端伸長の季節変化が一山型の樹種が24種(A型8種、B型16種)、二山型が15種(A型5種、B型6種、C型4種)、三山型が3種であった。LYR&HOFFMANN(1967)の結果をみると、ヨーロッパアカマツは一山型、アカナラとベルコーザカンバ、ヨーロッパトウヒは二山型、ニセアカシアは三山型で、苧住(1979b)が調べた針葉樹8種は、ヒノキアスナロが三山型のほかはすべて二山型に分類される。また、エゾマツ・アカエゾマツ・トドマツでも根の成長が盛んな時期が2回ある(田添1933)といわれ、ストロブマツ(STEVENS 1931, KIENHOLZ 1934)、テーダマツ・エチナータマツ(REED 1939, TURNER 1936)、テーダマツ(MCQUILKIN 1935)、クスノキ(渡辺1956)も2回あるとされる。樹種によっては成長周期が約3週間単位で盛んな時期が繰り返される(佐々木ほか1980)という報告もあるが、このように多くの樹木の根端伸長の季節変化は一〜三山型に分けられ、落葉広葉樹では一山型の樹種が多く、針葉樹では二山型の樹種が多い傾向がみられる。また、バラ科5種はいずれも一山型であるが、同属のエゾヤマザクラとウワミズザクラはA型で、他はB型であった。カバノキ科

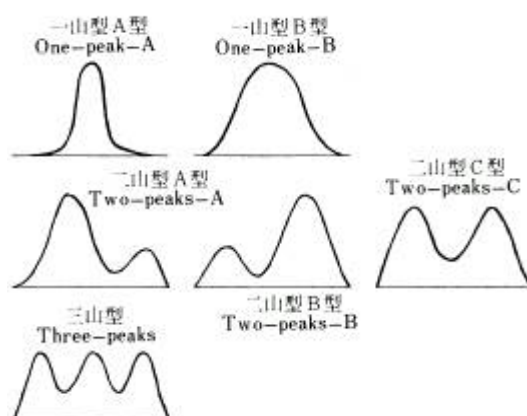


図-1-11 根端伸長の季節変化様式の模式図

表-1-9 根端伸長の季節変化の類型化

季節変化の型		樹種			
一山型	A	ミズナラ イヌエンジュ	オニグルミ キハダ	エゾヤマザクラ トチノキ	ウワミズザクラ クロウメモドキ
	B	イチイ ナナカマド オガラバナ ヤチダモ	シラカンバ ズミ カラコギカエデ ハシドイ	ヤマグワ ハマナス シナノキ エゴノキ	カツラ イタヤカエデ ニシギキ クロミノウグイスカグラ
二山型	A	ミヤマハンノキ ハリギリ	ケヤマハンノキ	ハルニレ	キタコブシ
	B	アカエゾマツ クリ	トドマツ ミズキ	カラマツ	ツノハシバミ
	C	ドロノキ	ノリウツギ	ヤマモミジ	ハイイヌツゲ
三山型		サワシバ	アキグミ	ハクサンシャクナゲ	

5種では一山型から三山型までみられたが、同属のミヤマハンノキとケヤマハンノキは二山型でやや似ている。カエデ属では二山型のヤマモミジを除くと、いずれも一山型B型である。このように、同属の樹種では季節変化は似た傾向を示すものが多いようである。

(3) 各根端の伸長量の季

根端どうしが交錯したり、土の中の入ってしまうことなどから、ガラス面で伸長した各根端を長期間継続して調査していくことは難しい。しかし、イチイ、アカエゾマツ、トドマツ、カラマツ、カツラ、キタコブシでは各根端の継続調査をできる限り行い、比較的長く観察できた主な根端5本の1週間当りの伸長量の季節変化を図-1-12に示した。イチイでは、No.1やNo.3の伸長量はあまり増減が少ないが、No.2とNo.4では急に増加したり急に減少している。No.5では全体に大きな一山形をしており、総伸長量の季節変化とよく似ている。なお、伸長量が急増する根端と急減する根端が同時にみられた。アカエゾマツでは、No.1の伸長量は少なく、増減も少ない。No.2では伸長量が急増し全体に多いが、途中で土中に入ってしまった。No.3とNo.4では伸長量の変化は二山型をしており、No.5ではほぼ一定に推移している。また、伸長量が最大になると根端と、一時的に伸長を停止する根端が同時にみられる。全般に長く観察された根端はなく、総伸長量の季節変化に似た根端はなかった。トドマツでは、No.2, No.3, No.4は総伸長量の季節変化とよく似た変化をしており、No.1もやや似ている。No.5ではわずかに伸長した後、ほとんど伸長しない期間が長く続き、その後やや伸長した後に著しく伸長量が減少している。このように、総伸長量に似た変化をする根端が多くみられるものの、長い期間伸長を停止する根端もみられた。カラマツでは、No.1とNo.2の根端は5~6月にかけて伸長するが、その後伸長量は減少して停止した。No.3とNo.4ではわずかながら二山型を呈し、総伸長量の季節変化ときわめて似ている。No.5では9月頃によく伸長している。このように全体として各根端の伸長量の変化も総伸長量の季節変化とよく似たものが多くみられ、また伸長を停止する根端と伸長量が急増する根端とが同時にみられる。カツラでは、No.1, No.5の伸長量の変化は一山型で、総伸長量の季節変化とよく似ている。

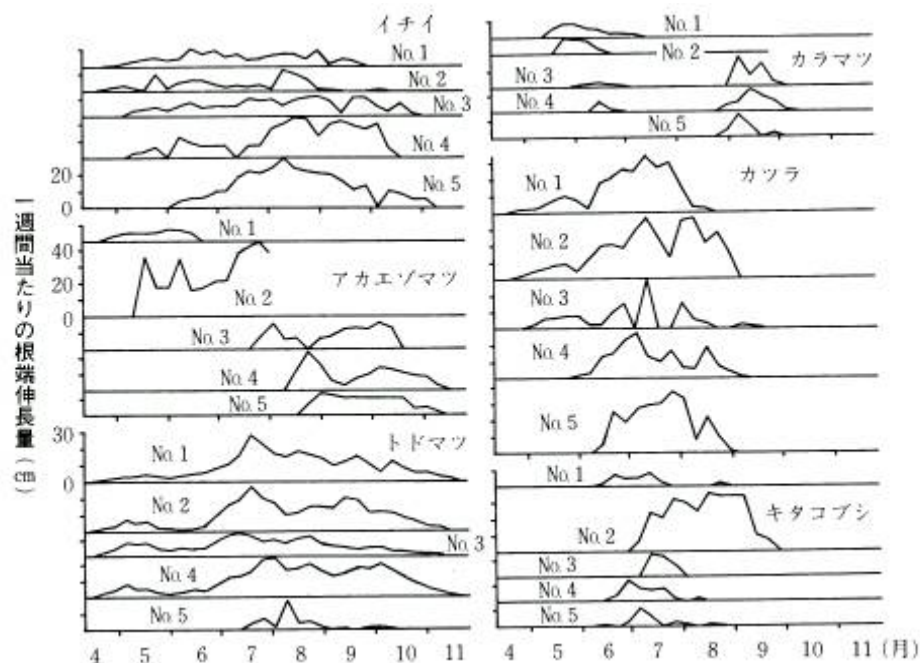


図-1-12 各根端の伸長量季節変化

No.2 は7月下旬に伸長量がやや減少し、二山型をしている。No.4 では一時的に伸長量がやや増加する期間がみられ、No.3 では伸長が急に停止したり、急に増加したり、複雑な伸長をしている。また、伸長を停止する根端と伸長量が急増する根端とが同時にみられる。キタコブシの No.2 では伸長量が多い期間が長く、一山型をしている。それ以外ではいずれも伸長期間は短く、伸長量の変化も一山型をしているが、各根端では伸長量が最大となる時期は異なっている。

このように、各樹種とも総伸長量の季節変化と各根端の伸長量の季節変化とは必ずしも一致しないが、トドマツやカラマツではよく似た季節変化をする根端も多い。また、イチイ・アカエゾマツ・カラマツ・カツラでみられるように、一時的に伸長を停止する根端と伸長量が急に増加する根端とが同時に存在する。このことは、各根端はすべて同じように伸長するのではなく、ある根端ではよく伸ばすが、同時にある根端では伸長を休むものがあり、全体ではそれぞれの樹種特有の季節変化をしていると推察される。

8節 地温と根端伸長

温室内における 1980 年 11 月～1982 年 3 月の小型根箱内の最低地温は 9.7℃であったが、15℃以下になった日は6日間しかなく、根端の生育には十分な地温であり、年度が異なっても大きな差はないと考えられる。この間のアカエゾマツは、2年目のときは地上部の伸長時には根端の伸長量は著しく減少している(図-1-3 参照)。また、エゾヤマザクラでは1個体では12月～1月中旬にごくわずか伸長したが、その後は停止し、4月中旬から本格的に根端伸長が始まった。もう1本では、根端伸長は地上部の伸長とともに4月中旬から伸長し始めた。このように根端伸長に十分な地温があるにもかかわらず、伸長がみられなかった。

また、屋外における 1981 年 4 月～11 月の各週の平均最高地温の変化を図-1-13 に示す。これをイチイなど6樹種の根端伸長と比較すると、トドマツやイチイでは地温が5～6℃から根端の伸長は始まっているが、アカエゾマツ、カツラではそれよりやや高い地温から伸長し始め、カラマツ、キタコブシでは地温が10℃以上に上がった4月下旬～5月上旬でも根端の伸長はみられず、5月中旬から伸長を始めている。また、トドマツでは4℃ぐらい、イチイは約6℃、アカエゾマツは8℃前後で根端の伸長は停止しているがカラマツ、カツラは約12℃、キタコブシは14℃前後ですでに停止している。このように同じ樹種でも伸長開始時期や停止時期の地温は樹種によって異なっている。地温と根端の伸長については多くの報告があり(KRAMER&KOZOLOWSKI 1960, KAUFMAN 1945, LADEFOGED 1939、本多 1960、苅住 1979b、金子・辻田 1960、寺田 1978, 1980, 1981, 寺田・苅住 1982, 1983 a, b, 原田 1951, REED 1939, CRIDER 1928), これらを総合すると、温度条件に対する反応は樹種によって異なるが、低温では根端は伸長せず、地温が5℃ぐらいから根端の伸長が始まり、10℃以上になると盛んになる。また根端の伸長における最適地温についてはトドマツ・エゾマツ・カラマツでは15～20℃(寺田・苅住 1983 b), または14～17℃(原田 1951)で、他の多くの樹種では地温が20～32℃のときに伸長量は最大であるとされる(KRAMER & KOZOLOWSKI 1970, KAUFMAN 1945, LADEFOGED 1939, 金子・辻田 1960, BARNEY 1951)。しかし地温が高い時期にもかかわらず、カラマツでは7月中旬～8月中旬に伸長が停止しており、アカエゾマツ、トドマツで

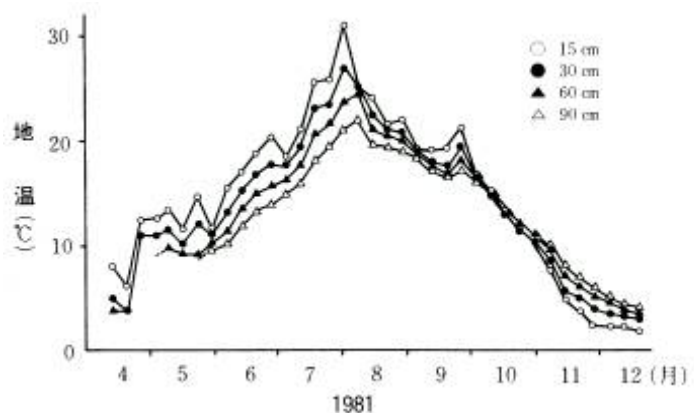


図-1-13 土壌の深さ別の最高地温の変化

も一時的に伸長量は著しく減少している。また、冬季から初春にかけての地上部の成長休止期でも地温を高くすると根端の成長が盛んになる樹種（スギ、ヒノキ、常緑広葉樹など）と、今回のエゾヤマザクラのように地温を高くしてもまったく伸長しない樹種（シラカンバ、ソメイヨシノ、コナラ、ミズナラなど）があることが指摘されている（荻住ほか 1980 a, b, 寺田 1985, 1988）。根端の伸長が地温だけで制限されるならば、樹種間に伸長開始時期や停止時期の差はないはずである。また伸長開始や停止時の地温が樹種によって異なっているとしても、同一個体では開始時期と停止時期の地温の差はないはずである。このようなことから、地温さえ高ければ必ずしも根端が伸長するというものではない、すなわち根端伸長は地温だけでは規制されないことがわかる。

以上から、春になって地温がある程度高くなると根端が伸長し始め、秋になって低温になると根端の伸長は止まるが、地温が根端の伸長にとって十分に高いときは、地温よりも地上部の成長や樹体内部の生理的な成長周期性などの影響が強くなり、樹種特有の季節変化をすると推察される。とくに落葉広葉樹では地温は根端の伸長にとって必要条件ではあるが、十分条件ではないと考えられる。なお、樹種によっても異なるがおおむね 30~35℃以上の高温では根端の伸長が阻害されることも指摘されている（KAUFMAN 1945, BARNEY 1951, TYRTIKOV 1954, KRAMER & KOZOLOWSKI 1960, 荻住ほか 1980 a, b, 寺田 1978, 1980, 1981, 1988, 寺田・荻住 1982, 1983 a, b, 1985, など）。1981年における測定では地表付近では 30℃以上になる日が約 20 日あったが、深さ 15cm では 6 日しかなく、深さ 30cm 以上になると 0 日であることから道内では高温のために根端伸長が阻害されるようなことはほとんどないと思われる。

II 章 根系の成長量および根の分布様式の経年変化

根系の成長として、荻住（1979b）は伸長成長と根量成長を上げている。そこで、根の伸長成長を表す指標として、根の垂直方向への成長すなわち根端が達した最大の深さ（以下、根の深さという）と、根の水平方向への成長すなわち根株から最も遠くまで達していた側根の長さ（以下、根の広がりといい、半径で表す）が適当であると考え、その成長量を測定した。またあわせて、根系の垂直および水平分布様式の変化についても調査した。これまでは土壌断面に現われた根の数を調査することによって、各樹種の垂直的な分布特性が明らかにされてきた（松室 1933, HEYWRD 1933, YEAGER 1935, KUCERJAVYH & KOSTJUK 1952, KERESZTESI 1955, 荻住 1957 など）が、樹本全体の分布様式は明らかにされておらず、水平分布は調査の困難さからほとんど調べられていない。

1 節 調査方法

根系の成長を直接測定することはきわめて困難であり、一度掘り上げた樹木は再度調査することはできない。そのため、同じような樹高の苗木を苗畑に植栽し、3~5年間にわたって毎年 1~数本を掘り上げ、根の深さと根の広がりを測定するとともに、根量の垂直・水平分布を調べた。垂直分布は荻住（1957）の区分を参考に、深さ 0~15cm 未満、15~30cm 未満、30~60cm 未満、60cm 以上の 4 つに、水平分布は根株から 40cm ごとの同心円状に区分し（図-2-1）、それぞれのブロック

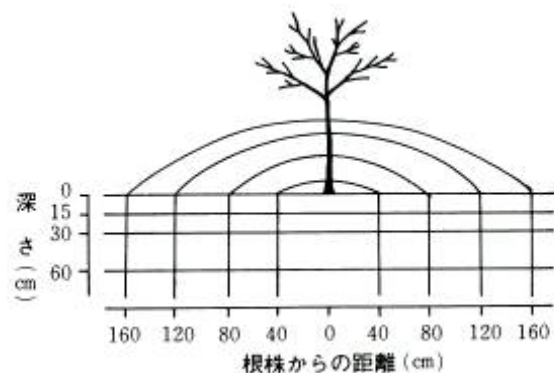


図-2-1 根系の垂直分布・水平分布の区分

内に含まれる根の乾重量を測定した。根の重量は、全体の根（以下、全根という）の重量と、細根（絶乾後の直径 1mm 未満）の重量について調査し、分布量は全体に対する割合であらわした。また、地上部も絶乾後に重量を測定したが、測定は毎年5月中旬に行ったので葉量は含んでいない。供試樹種はシラカンバ、カツラ、エゾヤマザクラ、キタコブシ、ハクウンボク (*Styrax obassia*)、ハルニレの6種である。

2節 根系および地上部の成長量の推移

各樹種ごとに地上部（樹高、地上部重）および根系（根の深さ、根の広がり、根の重量）の成長の経年変化を表-2-1に示す。

表-2-1 地上部および根系の成長経過

樹種	年数	樹高 (cm)	根の深さ (cm)	根の広がり (cm)	地上部重 (g)	地下部重 (g)
シラカンバ	植栽時	80	21	8	2.3	1.5
	1年後	114	69	104	58.2	97.5
	2年後	232	125	180	1010.6	741.0
	3年後	340	140	220	3970.0	2153.9
	4年後	470	150	280	14701.8	9778.0
	5年後	645	160	420	29100.0	12351.7
カツラ	植栽時	129	18	13	65.7	62.1
	1年後	136	42	68	164.7	295.5
	2年後	236	80	120	1049.9	1363.4
	3年後	290	120	140	5010.0	3374.1
	4年後	355	140	180	6732.5	5925.8
	5年後	445	130	210	11310.0	10844.6
エゾヤマザクラ	植栽時	42	23	6	2.0	1.7
	1年後	116	57	79	45.5	57.3
	2年後	209	80	160	377.8	349.2
	3年後	308	100	220	2030.0	1106.3
	4年後	400	100	240	5572.0	2689.5
	5年後	470	85	340	16880.0	11090.5
キタコブシ	植栽時	80	26	15	62.9	63.7
	1年後	85	50	47	56.9	87.5
	2年後	109	80	120	290.3	365.8
	3年後	170	100	180	945.4	825.2
	4年後	265	120	240	3966.5	3789.0
	5年後	325	140	260	9800.0	3974.0
ハクウンボク	植栽時	52	20	8	14.4	13.3
	1年後	72	53	45	34.0	29.4
	2年後	161	70	80	207.2	282.7
	3年後	210	80	120	902.8	497.2
	4年後	295	80	140	1420.0	1239.6
ハルニレ	植栽時	185	25	30	—	—
	1年後	260	45	130	1148.9	454.1
	2年後	370	70	240	3740.0	2083.9
	3年後	485	80	420	16570.0	7206.9

3節 根の垂直方向（根の深さ）の成長量および地上部の大きさとの関係

(1) 根の深さの成長量

根の深さはシラカンバが最も深く、植栽5年後には160cmに達しているが、ハクウンボクやハルニレでは浅く、80cmであった。このように同一条件下に植栽にしても、樹種によって根の深さは異なっ

いる。根の垂直方向への伸長量は、エゾヤマザクラでは植栽当年が最も大きい、カツラでは2～3年目に、その他の樹種では2年目が最も大きい。根の深さの1年間の平均伸長量はシラカンバでは28cm、キタコブシでは23cm、ハルニレで18cmになる。これは樹高成長のそれぞれ25%、47%、18%にしか当たらない。また、カツラやエゾヤマザクラでは5年目の根の深さは5年目よりも浅くなっている。根の深さは土壌の有効深度つまり根が伸長することのできる深さや土質によっても異なることが指摘されている(荏住 1979b)。しかし、同じ条件の場所に植栽しても、根の深さは各樹種間に特性がみられ、地中深くまで伸長する樹種と、あまり深くまで進入しない樹種とがみられる。そして、各樹種とも根の深さすなわち垂直方向への成長は、初めはやや大きいのがちに小さくなり、樹高に比べると根の深さはかなり小さい。これは、深部では土壌が堅密になり、通気が悪く成長に不都合であること、養分や水分の吸収する必要があるために水平根の発達が旺盛となり生理的に垂下根の成長が抑制されることから、根の深さは制限されると考えられる。

(2) 根の深さと地上部の大きさの関係

根の深さと樹高および根元径の関係を図-2-2、図-2-3に示す。樹高や根元径が大きくなっても根の深さは著しい増加はみられず、枝張りとの関係も同様であり、根の深さと地上部の大きさは直線回帰での相関は低い。しかし、樹高や根元径、枝張りを対数にとると、いずれの樹種でも相関は高くなる(表-2-2)。このように、樹体の大きさが増すにつれて根の深さは徐々に深くなるが、その成長量は4節に示す根の広がりには比べるとはるかに少ない。

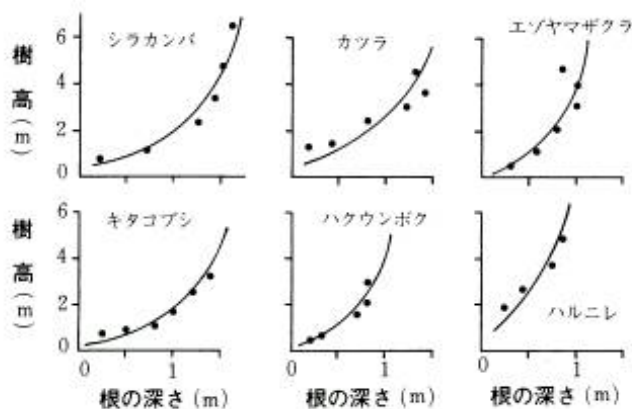


図-2-2 根の深さと樹高の関係

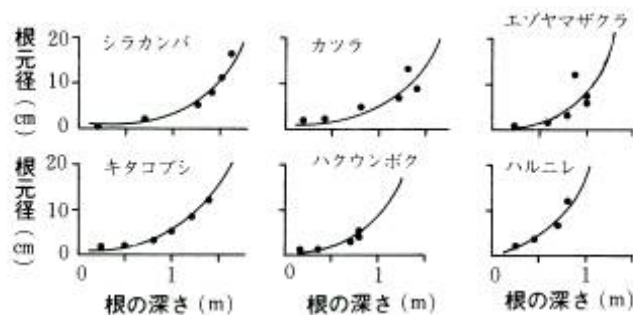


図-2-3 根の深さと根元径の関係

表-2-2 根の深さと樹高・根元径・枝張りとの相関係数

樹種	樹高	根元径	枝張り
シラカンバ	0.968	0.992	0.976
カツラ	0.963	0.971	0.948
エゾヤマザクラ	0.948	0.929	0.935
キタコブシ	0.967	0.979	0.989
ハクウンボク	0.981	0.973	0.898
ハルニレ	0.995	0.988	0.964

表-2-2 根の深さと樹高・根元径・枝張りとの相関係数

(樹高5mと10mの場合の根の深さの推定値)

樹種	根の深さ (cm)	
	樹高5m	樹高10m
シラカンバ	160	208
カツラ	164	235
エゾヤマザクラ	106	130
キタコブシ	177	228
ハクウンボク	109	136
ハルニレ	84	125

(根元径10cmと20cmの場合の根の深さの推定値)

樹種	根の深さ (cm)	
	根元径10cm	根元径20cm
シラカンバ	145	173
カツラ	134	181
エゾヤマザクラ	104	121
キタコブシ	135	176
ハクウンボク	98	151
ハルニレ	78	102

ところで、樹種間の根の深さを比較するためには、同じ大きさの樹体で比較する必要がある。そこで、これらをもとに各樹種の根の深さ（X）と樹高および根元径（Y）の回帰式（ $\log Y = a + bX$ 、a、bは定数）から樹高5m、10mおよび根元径10cm、20cmの場合の根の深さを推定すると表-2-3のようになる。樹体が同じ大きさであればキタコブシ、カツラが深く、ハルニレ、エゾヤマザクラが浅いことがわかる。

4節 根の水平方向（根の広がり）の成長量および地上部の大きさとの関係

(1) 根の広がり成長量
 根の広がり、シラカンパが植栽5年後には420cmに達しており、ハルニレも植栽3年後には420cmに達していた。また、一番小さなハクウンボクでも植栽4年後には140cmであった。根の広がり平均伸長量は、シラカンパが82cm、エゾヤマザクラが67cm、カツラが39cm、キタコブシが39cm、キタコブシが49cm、ハクウンボクが33cm、ハルニレが130cmである。これらは、それぞれ年平均の樹高成長量の73%、78%、62%、100%、54%、130%に当たる。根の広がり年平均伸長量はハルニレ、シラカンパが大きく、ハクウンボク、カツラが小さい。樹高成長に対する割合では、ハルニレ、キタコブシの順に大きく、ハクウンボクが小さい。このように、根の広がり成長量は樹種間に大きな差がみられるが、根の深さに比べると根の広がり非常に大きく、根の成長量は垂直方向よりも水平方向が大きいことがわかる。これは、地中深くでは土壌が堅密で通気が悪いことや、成長に必要な養分が少ないことなどで、根系の進入が制限されるが、水平方向ではこのような制限がないために、広く伸長できるものと思われる。

(2) 根の広がりとの地上部の大きさの関係

根の広がり、樹高、根元径、枝張りの関係を図-2-4~6に示した。樹高や根元径との直線回帰における相関は高く（表-2-4）、いずれも1%水準で有意である。根の広がり、樹高、根元径との高い相関関係があり（PRESTON 1942）、樹冠と根の広がりとは一定の関係がある（菱江 1930b, 1931）とされるが、今回の結果はこれを裏付けるものである。また、12~30年生のりキダマソの根の広がり、樹高の1~1.5倍あり（QUILKIN 1935）、林木の水平根の長いものは樹冠直径の数倍もある（宮崎 1935）という。このように、いずれの樹種とも根の広がり、樹高、根元径、枝張りとの高い相関があり、根の広がり、地上部

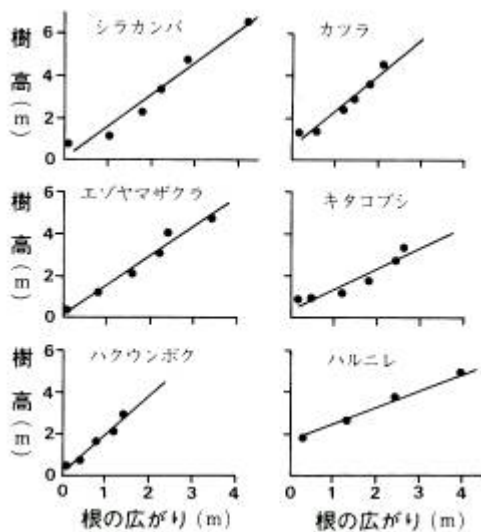


図-2-4 根の広がりとの樹高の関係

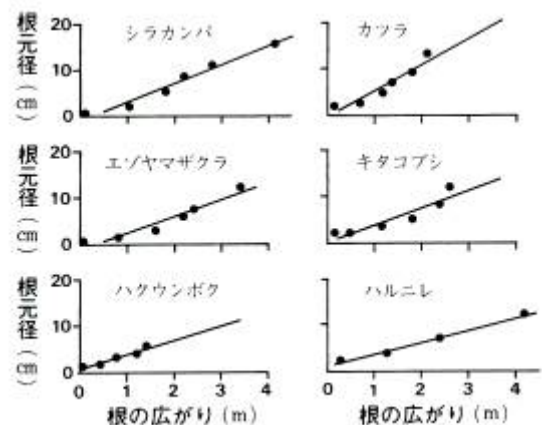


図-2-5 根の広がりとの根元径の関係

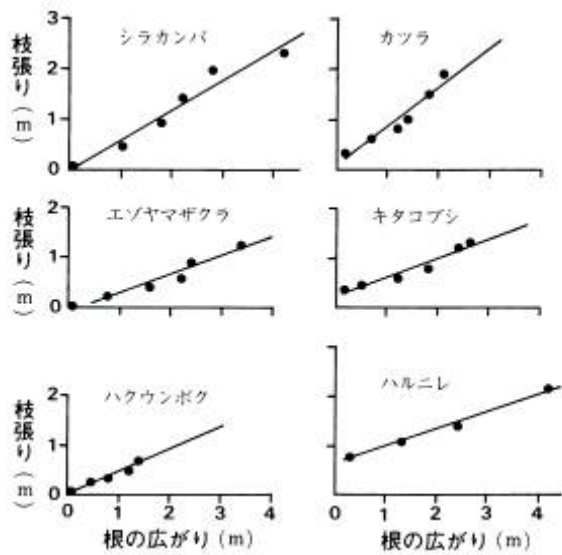


図-2-6 根の広がり と 枝張りの関係

の大きさに比例して成長している。また、根の広がり は根の深さに比較すると非常に大きいために、根の成長を表す指標としては、根の深さよりも根の広がりの方が適切である。

ところで樹種間の根の広がり を比べるためには、同じ大きさの樹体で比較する必要がある。そこで、各樹種の根の広がり (X) と樹高、根元径、枝張り (Y) の直線回帰式 ($Y = a + bX$, a, b は定数) から、樹高 5m と 10m および根元

径 10cm と 20cm の場合の根の広がり を推定すると表-2-5 のようになる。樹体の大きさが同じであれば、根の広がり はハルニレ、キタコブシ、エゾヤマザクラが大きく、カツラが小さく、樹種によってかなり異なっている。林内では他の個体との競合もあることから、今回の推定値とは異なった値になると思われるが、樹種間の比較では同じ傾向があると推察される。

5 節 根の重量の推移および地上部の重量との関係

(1) 根の重量の推移

根の乾重量の増加率をみると、シラカンバでは1年後には65倍、5年後には植栽時の8200倍になっている。また、エゾヤマザクラでは1年後には34倍、5年後には6500倍に増加した。一方、カツラでは1年後に5倍、ハクウンボクは2倍、キタコブシは1.5倍であり、5年後でもカツラは175倍、キタコブシで62倍、またハクウンボクは4年間で93倍に増加した。この間の地上部の乾重量は、シラカンバが12650倍、カツラは170倍、エゾヤマザクラでは8400倍、キタコブシでは156倍、ハクウンボクでは100倍に増加している。カツラを除く他の樹種では、地上部の重量の増加率が地下部のそれよりも上回っている。また、前年の乾重量に対する増加率の推移をみると(図-2-7)、ハクウンボクを除く各樹種とも1年後の増加率は地上部よりも根の重量のほうが高く、とくにシラカンバやエゾヤマザクラの増加率は著しい。2年後では、ハクウンボクを除くと今度は地上部のほうが高くなるが、シラカンバ以外はあまり大きな違いはみられない。

表-2-4 根の広がり と 樹高・根元径・枝張りとの相関係数

樹種	樹高	根元径	枝張り
シラカンバ	0.979	0.985	0.976
カツラ	0.964	0.953	0.960
エゾヤマザクラ	0.984	0.971	0.978
キタコブシ	0.944	0.927	0.975
ハクウンボク	0.971	0.971	0.984
ハルニレ	0.996	0.994	0.995

表-2-5 樹高・根元径・枝張り と 根の広がり の推定値

(樹高 5m と 10m の場合の根の広がり の推定値)

樹種	根の広がり (cm)	
	樹高 5m	樹高 10m
シラカンバ	327	662
カツラ	264	566
エゾヤマザクラ	352	719
キタコブシ	486	1008
ハクウンボク	268	545
ハルニレ	429	1069

(根元径 10cm と 20cm の場合の根の広がり の推定値)

樹種	根の広がり (cm)	
	根元径 10cm	根元径 20cm
シラカンバ	273	520
カツラ	187	366
エゾヤマザクラ	315	601
キタコブシ	265	537
ハクウンボク	304	628
ハルニレ	353	743

3年後以降になると、ハクウンボク以外では増加率に著しい差はみられない。これは、植栽後1年間は移植によって切断された根系を回復させるために根の増加率のほうが高くなるが、根系が十分に回復すると地上部と根の増加率には大きな違いはみられなくなると推察される。また、1年目の増加率が高いシラカンバやエゾヤマザクラは根系の回復の早い樹種で、2年目の根量の増加率のほうが高いハクウンボクやキタコブシは根系の回復の遅い樹種であると考えられる。

(2) 根の重量と地上部の重量との関係

根の乾重量と地上部の乾重量の関係を図-2-8に示す。個体の全重と部分重の間には両対数で直線の関係があり(吉良 1960)、スギやヒノキでは地上部と地下部重の間には一定の関係があり、樹体が成長してもほぼ直線的に推移したという報告(荻住 1979b)もある。いずれの樹種とも根量と地上部の重量の間には非常に高い相関関係がみられ、根重と地上部の重量とは比例して増加することは明かである。またハルニレを除くと、回帰式の傾きが1よりもやや大きいことから、地上部の増加率のほうがわずかに高く、重量の成長量は地上部のほうが根よりもわずかに上回っている。なお、根と幹の重量比は樹齢とはほとんど関係しないが、孤立木と林内木とでは大きく異なるとの指摘もある(前田 1933)ことから、今回の式をそのまますべての個体に当てはめることはできないが、それぞれの環境においては回帰式の傾きは異なっても、地上部の重量は根の重量に比例して増加すると思われる。

6節 垂直分布の経年変化

各樹種の全根と細根の垂直分布量の割合の経年変化を図-2-9に示す。

シラカンバの全根では徐々に地中深く分布する根の割合が増加しており、5年後には深さ0~15cm未満に42%、15~30cm未満に28%、30~60cm未満に20%があり、60cm以上の深さにも10%の根量があった。

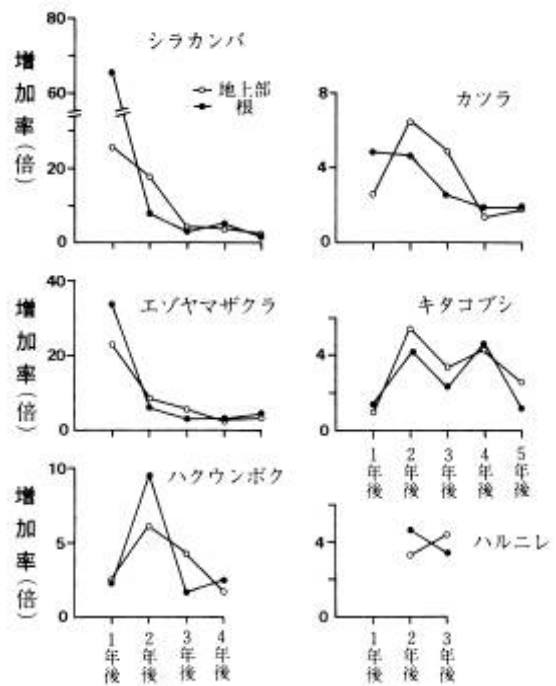


図-2-7 前年の乾重量に対する増加率

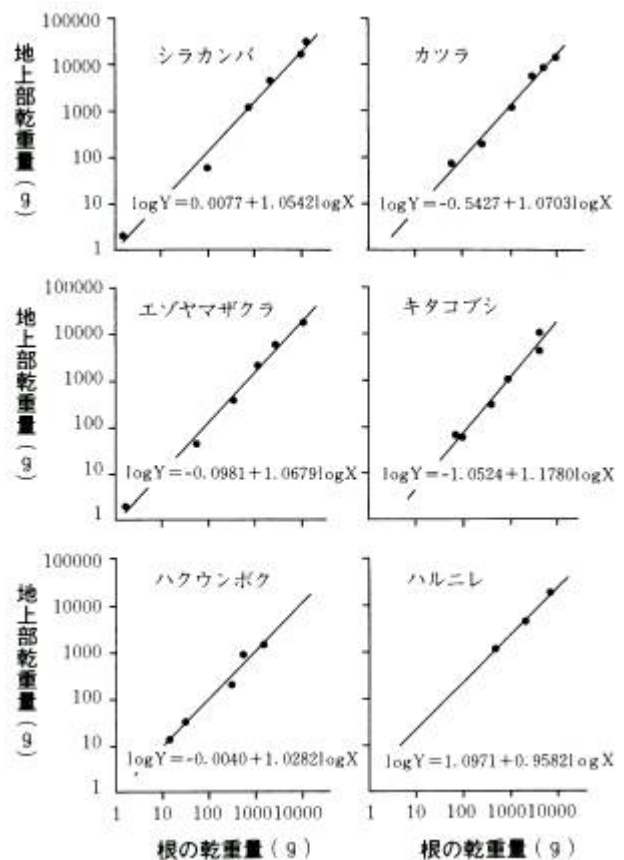


図-2-8 根の乾重量と地上部の乾重量の関係

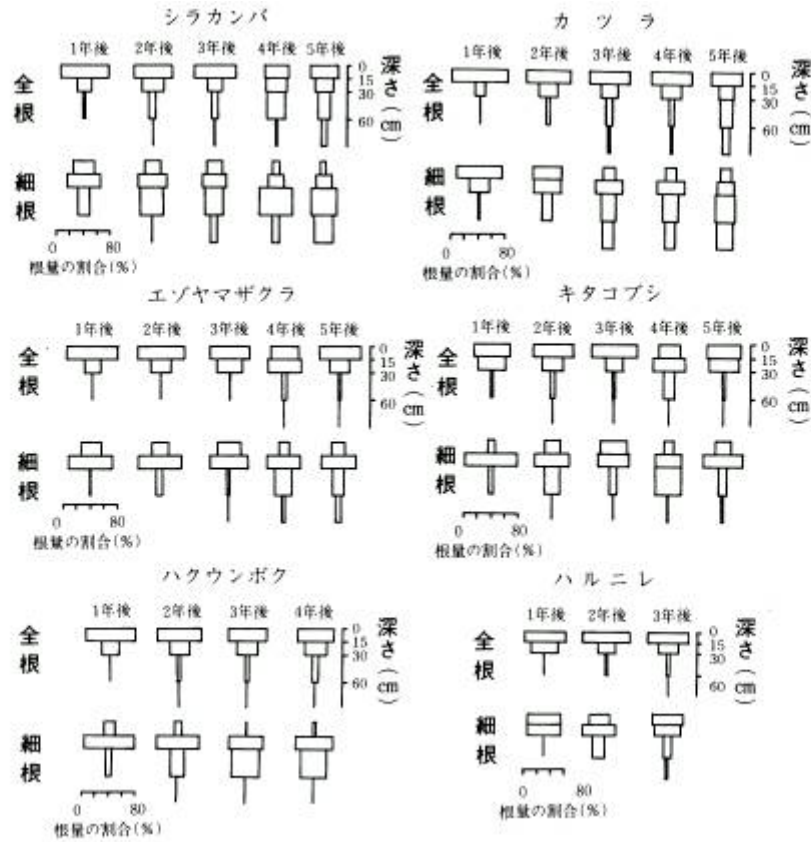


図-2-9 垂直分布の経年変化

細根でも地中深くに分布する割合が徐々に増加しており、5年後には深さ 0~15cm 未満には 8%、15~30cm 未満に 25%、30~60cm 未満には 38%、60cm 以下の深さにも 29%の根量があった。このように、全根・細根ともに地中深くの根量の割合が徐々に増加するのが特徴である。

カツラの全根では地表近くの割合は徐々に減少し、深部では少しずつ増加する傾向がみられ、5年後には深さ 0~15cm 未満に 47%、15~30cm 未満に 22%、30~60cm 未満に 20%、60cm 以上にも 11%が分布していた。細根では地中深くに分布する割合が増加するようすがより顕著に現れており、5年後には0~15cm 未満に 17%、15~30cm 未満に 26%、30~60cm 未満に 31%、60cm 以上にも 26%があった。このように全根・細根ともに、地中深くに分布する根量の割合が年々増加するのが特徴である。

エゾヤマザクラの全根では、4年後を除くと 0~15cm 未満の深さに 60%以上があり、30cm 未満までの深さに 90%以上があったが、深部での割合はきわめて少なかった。細根では深さ 15~30cm 未満での割合が高く、30cm 未満までの深さに約 70%があるが、60cm 以上の深さの割合はわずかずつ増加するものの、5年後でも 9%しかなかった。このように、根全・細根とも地表近くに多く分布し、深部での割合が少ないのが特徴である。

キタコブシの全根では 30cm 未満までの深さの割合が高く、4年後を除くと他は 95%以上あった。また4年後を除くと 30~60cm 未満では 4%程度であり、60cm 以上の深さになるとわずかに 1%程度しかなかった。細根では 15~30cm 未満の深さの割合が最も高く5年後には 30 cm 未満までの深さに約 80%があったが、60cm 以上の深さには 4%しかなかった。このように、根の深さは深いものの、全根・細根とも、分布量の割合は浅いところに多く、深いところでは少ないのが特徴である。

ハクウンボクの全根ではいずれの年も90%以上の損は深さ30cm未満にあり、60cm以上には1%にも満たなかった。細根では4年後でも深さ0~15cm未満の割合は数%と非常に少なく、15~30cm未満の深さに約50%、30~60cm未満に約40%があり、60cm以上の深さにはごくわずかしかなかった。このように、全根は浅いところに多く、細根では15~60cm未満の深さにそのほとんどがあり、ごく浅いところと深いところには少ないのが特徴である。

ハルニレの全根では地中深いところでも徐々に増加する傾向があるが、3年後でも15cm未満の深さに60~70%、30cm未満に90%以上が分布していた。細根でも深部での根量は徐々に増加するが、3年後でも30cm未満の深さに80%以上が分布していた。このように、根の多くは浅いところにあり、深部での根の割合が少ないのが特徴である。

根の垂直分布量の変化をみると、地表近くに大部分の根があり深部へはあまり成長しないタイプと、根が地中深く成長して深部での割合が年々増加するタイプとがみられる。すなわち、エゾヤマザクラ・キタコブシ・ハクウンボク・ハルニレでは、植栽後数年を経ても深さ30cm未満までに全根の90%以上があり、60cm以下には2%以下しかない。一方、シラカンバとカツラでは浅いところでの根の割合は徐々に減少し、深部での割合が多くなり、60cm以上の深さにも約10%の損が分布する。また、細根でも同じ傾向があり、60cm以上の深さにエゾヤマザクラ・キタコブシ・ハクウンボク・ハルニレでは10%未満しかないが、カツラ・シラカンバでは26~29%と非常に多い。今回の6樹種について根の垂直分布を分類すると、エゾヤマザクラ・キタコブシ・ハクウンボク・ハルニレは浅根型、カツラ・シラカンバは深根型であるといえる。シラカンバは浅根性(苅住1979)とされてきたが、これは一般に土壌層の浅いところや痩せ地に多く生えることから、根は深部へ伸びられず、浅いところに多いためと考えられ、土壌層が深ければ深部へも多くの根が侵入するといえる。

7節 水平分布の経年変化

各樹種の全根と細根の水平分布量の割合の経年変化を図-2-10に示す。

シラカンバの全根では徐々に根株から離れたところへ広がっているが、5年後でも根株から40cm未満までの範囲に約50%があり、40cm以上離れると急激に減少し、その後は徐々に減少した。細根は樹体の成長にともなって根株から遠いところまで徐々に広がり、広範囲にわたってほぼ同じような割合で分散した。このように、樹体が成長しても全根では根株近くに多く集まっているが、細根は広範囲に分散するのが特徴である。

カツラの全根では根株付近に多く集まっており、5年後でも根株から40cm未満までに約60%、80cm未満までに80%以上があったが、120cm以上離れるときわめて少なかった。細根では根株付近の根の割合は年々減少する傾向がみられ、5年後には40cmから120cm未満の範囲内での割合が高かった。しかし根株から120cm以上離れると、根量の割合は非常に少なくなった。このように、全根は根株付近に多く分布し、樹体が成長しても細根は分散せず、根株からあまり遠くないところに集中しているのが特徴である。

エゾヤマザクラの全根では根株付近の割合は徐々に減少していくものの、5年後でも40cm未満までに50%以上があり、80cm未満までに約70%があった。しかし、根株から120cm以上離れると非常に低くなった。細根では少しずつ根が遠くまで広がっていき、5年後になると40~160cm未満でやや多いものの、広い範囲にわたって分散していた。このように、全根は根株近くに多く分布するが、細根では樹体の成長にともなって広範囲に分散するのが特徴である。

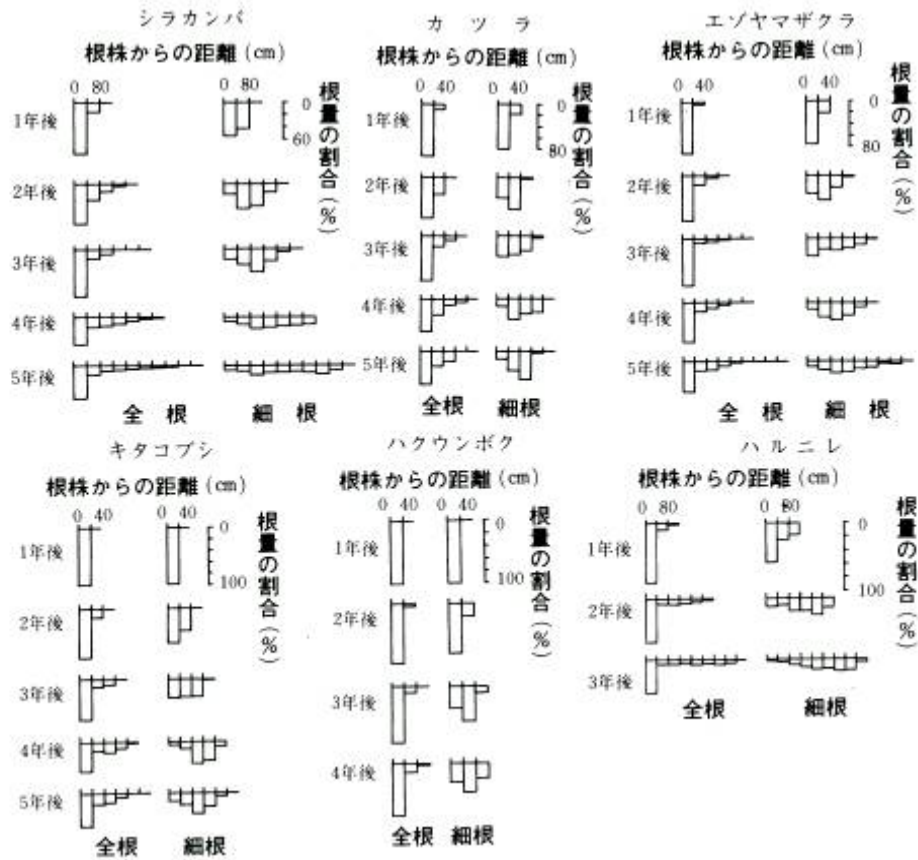


図-2-10 水平分布の経年変化

キタコブシ全根では根株から 40m 未満までの割合は年々減少するが、5年後でも 60%近くがあり、120cm 以上離れると非常に少なかった。細根では樹体の成長にともなって徐々に根株から分散し、5年後には 80~120cm 未満で最も多くなった。このように、全根は根株付近に多く、細根は根株からやや離れたところで最も多かった。

ハクウンボクの全根では5年後でも根株から 40cm 未満までに約 80%があり、80cm 以上になるときわめて少なかった。細根も根株付近に多く、120cm 未満までにそのほとんどが分布していた。このように、樹体が成長しても全根・細根とも根株付近に集中しているのが特徴である。

ハルニレの全根では根株付近の根は徐々に減少するものの、3年後でも 40cm 未満までに約 50%が 40cm 以上になると急に減少していた。細根では根株付近の割合は徐々に減少し、根株から離れるにしたがって多くなり、広い範囲に分散していた。このように、全根は根株近くに多いもののやや分散しており、細根では樹体の成長にともなって根株付近には少なく、広範囲に分散するのが特徴である。

このように各樹種とも樹木の成長にともなって、根の水平分布も広範囲に及んでいる。しかし、全根の水平分布をみると、ハクウンボクを除く 5 種では5年後（ハルニレは3年後）にも根株から 40cm 未満までの範囲に 50~57%があり、40cm 以上離れると分布量は大幅に減少し、ハクウンボクでは 40cm 未満までの範囲に 80%以上がある。また、シラカンパやエズヤマザクラでは根株から 40cm 以上離れると、全根の割合は徐々に減少していくのに対し、ハクウンボクやカツラ、ハルニレではある距離を境にして急激に減少している。一方細根では、各樹種とも樹木の成長にともなって根株付近に分布する割合は減少する傾向がある。とくにシラカンパ、エズヤマザクラ、ハルニレでは短期間に水平的に分散していき、分布が広範囲に及んでいる。しかしカツラやハクウンボクでは根株付近の分布量の割合は減少

するものの、根株からそれほど遠くない範囲に集中している。またキタコブシはこれらの中間的な傾向がみられるが、5年後の細根の分布は樹高がほぼ同じの3年後のシラカンバとよく似ており、キタコブシも樹体の成長とともに細根の分布は広範囲に及ぶものと思われる。荻住（1956, 1979 a）は、根の水平分布の型を集中型、分散型およびその中間型の3つに分類しているが、細根の水平方向への分布の仕方を指標にすると、よりその特徴を適切に表わすことができる。すなわち、細根の分布様式の推移からカツラ、ハクウンボクは集中型、シラカンバ、エゾヤマザクラ、ハルニレ、キタコブシは分散型といえる。

8節 枝張りとの根の分布量の関係

(1) 枝張りとの全損の分布量の関係

枝張りとの全根の分布量との関係を見ると、カツラでは枝張りの範囲にはいずれの年も95%以上の根があり、ハクウンボクでも約90%あった。またキタコブシでは当初は95%以上、3年後以降は85%以上が分布していた。さらに、シラカンバでは3年後を除くと85~90%の根が枝張り内にあり、エゾヤマザクラは2~5年後では80~85%程度が分布した。ハルニレでは枝張りの内に含まれる損量は徐々に減少する傾向がみられるが、3年後でも約80%が分布していた。このように、樹種によって枝張りの範囲内に分布する根量も異なるが、カツラを除くと全損の10%以上は枝張りの外に分布していることになる。

(2) 枝張りとの細根の分布量の関係 (図-2-11)

枝張りとの細根の分布量との関係を見ると、カツラでは3年後を除くとおおむね90%以上の根が枝張りの範囲内に分布していた。キタコブシでは3年後以降は約70%、シラカンバでは3年後を除くと60~70%、ハクウンボクも1年後を除くと同じく60~70%が分布していた。また、ハルニレでは2年後以降は50%が、エゾヤマザクラでは25~50%が枝張り内に分布していた。このようにカツラを除くと、細根のかなりの量は枝張りを越えて広がっている。とくに根の水平分布が分散型のハルニレやエゾヤマザクラでは細根の約半分は枝張りの外に広がっており、広範囲から養分や水分を吸取しているといえる。

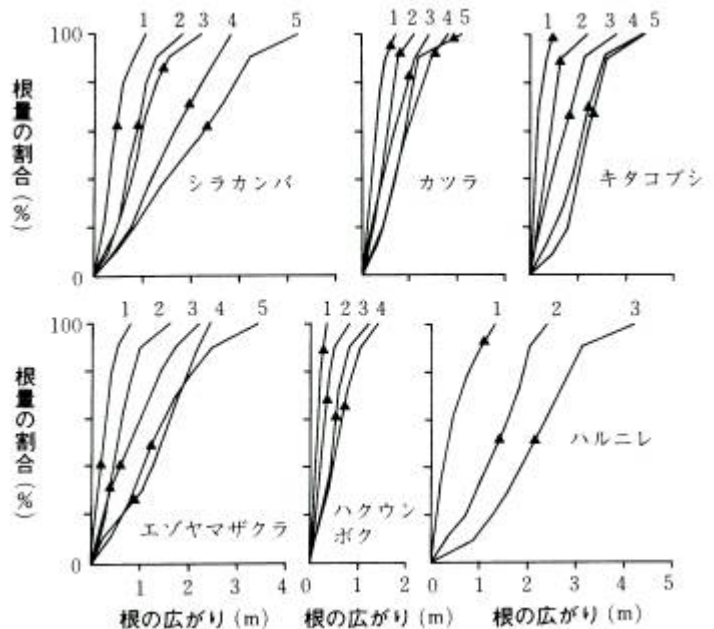


図-2-11 枝張りとの細根の分布量の関係

▲枝張り

数字は植栽後の年数を表す。

III章 樹木の成長に伴う根系の形態変化

アカエゾマツ、カラマツ、シラカンバ、エゾウコギ (*Acanthopanax senticosus*) の実生苗や天然生稚樹の根系を調べ、樹木の成長にともなって根の形態がどのように変化するか、また横の形態と樹高成長との関係を明かにする。横の形態は荻住（1979b）の区分をもとに、垂下横型、斜出根型、水平根型とし、垂下根型の中でも直根性の太い根を持つものをとくに杭根型とした。

1節 アカエゾマツ

1年生苗 20本の平均樹高は 2.2cm, 根の深さは平均 12.1cm, 根の広がりには平均 5.2cm であった。根の形態はいずれも垂下根型である。2年生苗 20本の平均樹高は 8.6cm, 根の深さの平均は 20.1cm, 最大は 25.5cm、根の広がりには平均は 8.4cm であった。根の深さは樹高の約 2.3 倍あった。

苗畑に植栽した 5~10年生苗木の樹高と根の深さ, 根の広がり(図-3-1)に示す。根の深さは毎年 1~8cm 成長しているが, 根の広がりには 10~46cm も成長しており, 根の深さよりも根の広がりの方が成長量は多かった。このことは, 下方への垂下根はあまり発達せず, 水平方向への根がよく発達していることを示している。しかも 6年生以降になると樹高よりも根の広がりの方が大きい。

蛇紋岩地帯に生育する樹高 2.5cm と 4.5cm の稚樹 2本(樹齢 2年生)と樹高 22~84cm の稚樹 23本(根株上に発生している稚樹 12本, 地面上に発生している稚樹 11本, 樹齢は 13~27年生)のうち主な供試木の根系を(図-3-2)に示す。ごく小さ

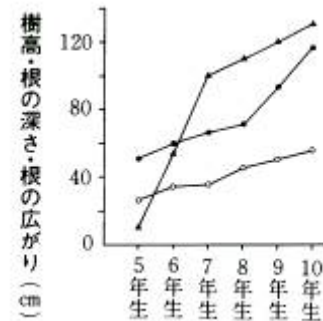


図-3-1 アカエゾマツ苗木の樹高・根の深さ・根の広がり(図-3-1)に示す。根の深さは毎年 1~8cm 成長しているが, 根の広がりには 10~46cm も成長しており, 根の深さよりも根の広がりの方が成長量は多かった。このことは, 下方への垂下根はあまり発達せず, 水平方向への根がよく発達していることを示している。しかも 6年生以降になると樹高よりも根の広がりの方が大きい。

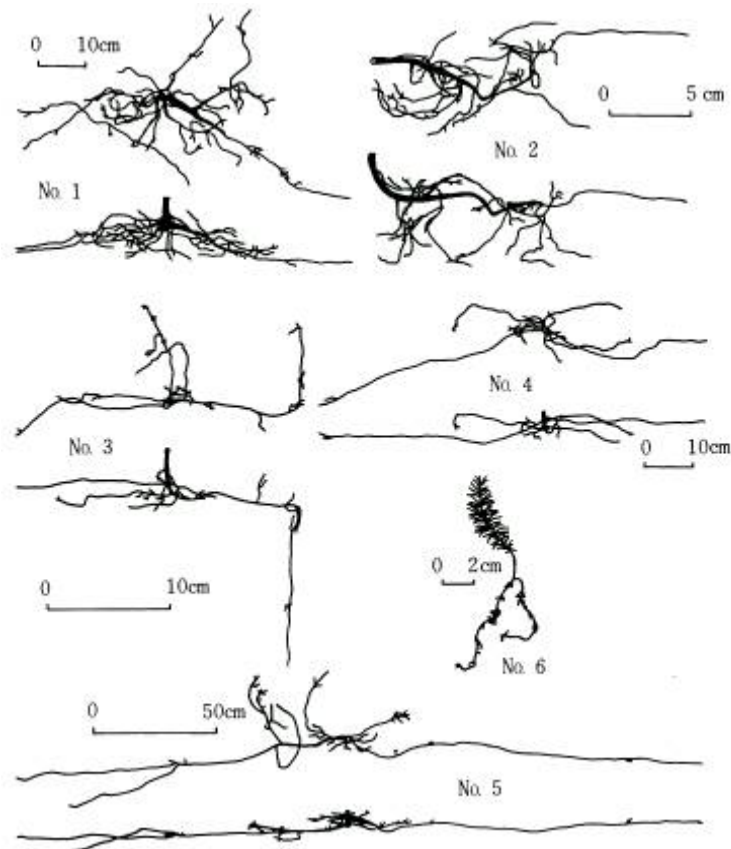


図-3-2 アカエゾマツ天然生稚樹の根系図

な稚樹では垂下根型であった (No. 6)。しかし根株上に発生している稚樹では水平横型が多く、No.1のように根株を中心に根が広がっているものが7本、No.2のように根元曲がりし、根が片側だけに広がっているものが4本あった。地面上に発生している稚樹ではすべて水平根型で、もっとも長い水平根は147cm (樹高の2.1倍)、次いで142cm (樹高の2.3倍)であった。No.5は供試木中最大の根の広がりをしていて、樹高71cmで根の広がりには長径287cm、短径42cmで長い水平根が発達しているが、根系は2方向への伸長が著しい。しかし根株上に発達している稚樹では根の広がりには樹高よりも小さいものが多く、地面上に発生している稚樹のほうが根系の発達が良い。一方、根の深さは全般に浅く、多くは6.5~12cmの深さであった。

このようにアカエゾマツでは、発芽当年には樹高成長よりも根の成長が旺盛であり、最初に地上部よりも根をつくる。2年生苗でも根の伸長量のほうが大きい、根の広がりはまだ根の深さよりも小さく、垂下根型である。しかし樹体の成長にともなって水平根が長く伸長するが、垂下根はあまり発達せず、地中下部への成長量は少なく、とくに天然木では根はきわめて浅い。そして根の形態は水平横型となり、長い水平根を伸ばしながら樹体は成長し、ときに樹高よりも長大な水平根が発達する。

2節 カラマツ

種子をまきつけてそのまま3生育期間経過した苗木では、樹高成長に明かな個体間差が認められる。そのうちの36本を調べたところ、樹高は28~137cmで、60cm未満が13本、60~80cm未満と80~100cm未満が各8本、100cm以上が7本であった。樹高60cm未満の苗木では根の形態はすべて杭根型であるが、60~80cm未満では杭根型の割合はやや減少し、垂下根型や斜山根型がみられる。80~100cm未満では垂下根型と斜出根型の割合はほとんど変わらないが、杭根型はやや減少し、水平根・杭根型がみられる。樹高100cm以上になると、杭根型の割合はさらに減少し、垂下根型と斜出根型はみられない。そして水平根・杭根型の割合が増加するほか、水平根型もみられる (図-3-3)。このように、同苗齢のカラマツの苗木では、樹高の低いものでは杭根型の割合が高いが、樹高が高くなると杭根・水平根型の割合が高く、樹高がとくに高いものは水平根が良く発達している。そして、より早く水平根を伸長させた個体は樹高をより成長させることができるが、根を伸長させることのできなかつた個体はあまり樹高を伸長させることができず、そのために樹高成長に優劣ができると考えられる。このように、稚樹では樹高の大きさによって根の形態は異なり、垂下根型では樹高は低いが水平根型では高く、水平根の発達が樹高成長に大きく関わっていることは明らかである。

3節 シラカンバ

種子をまきつけてそのまま4生育期間経過した苗木では、個体間の樹高成長に明かな差が認められる。そのうちの128本の苗木を調べたところ、樹高は23~263cmで、50cm未満が37本、50~100cm未満が49本、100~150cm未満が24本、150~200cm未満と200cm以上が各9本であった。樹高50cm未満の苗木の横の形態では垂下根型が最も多く、斜出横型と水平根型は少ない。50~100cm未満では垂下根型の割合はやや減少し、斜出横型と水平根型が増加してくる。100~150cm未満では垂下根型はさ

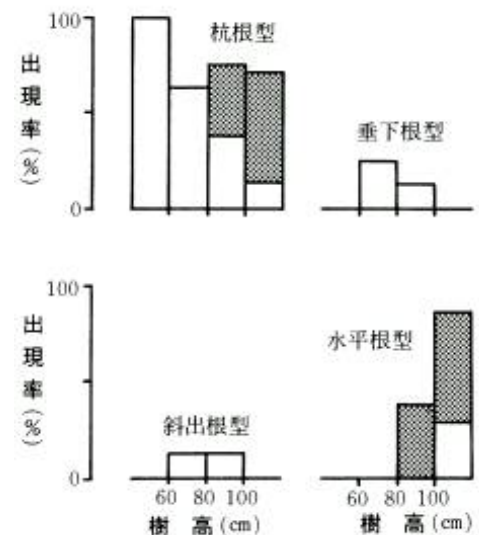


図-3-3 カラマツの樹高階別の根の形態の割合
 ■ 杭根・水平根型

らに減少し、斜出根型が最も多い。150~200cm 未満になると杭根型と垂下根型はみられず、斜出根型と水平根型がほぼ同じ割合でみられ、さらに斜出根・水平根型もみられる。樹高 200cm 以上になると、水平根型と斜出根・水平根型だけになる（図-3-4）。このように同苗齢のシラカンバの苗木では、樹高の低いものでは垂下型が多いが、樹高が高くなると、斜出根型や水平根型になる。とくに樹高が大きいものは水平根が著しく発達している。これは水平根や斜出根を早く長く伸長させた個体が樹高成長も良くなるが、苗木が高密度の生育条件下などにあつて、水平根を伸長させられなかった個体では樹高成長が劣ると思われる。

4節 エゾウコギ

カラマツ人工林（置戸）と天然林（訓子府）に自生する1群のエゾウコギの根系を露出させて根の広がりや深さを調べた。その結果、カラマツ人工林内では7個体、天然林内では4個体が生えていた。これにカラマツ人工林内の他の場所の1本を加えた計12個体中9個体で、2本以上の地上部（幹）が地下部でつながっており、最大8本の幹がつながっていた。各個体の樹高や根の広がり、根の深さなどの測定値を表-3-1に、カラマツ人工林内の各個体の根系を図-3-5に示す。根の広がりや深さは、2.2mから最長9.6mに達するものまであり、各個体とも樹高以上に大きく、樹高の4.5倍に達するものもあったが、根株から1ないし2方向に偏っているものが多い。根の深さは、垂下根が最大70cmのものもみられたが、多くの個体では根の深さは40cm未満であった。このように環境条件の異なる場所においても、根系は同じような形態をしており、水平根は良く発達するが、垂下根はほとんど発達しない。つまり、樹木の成長にともなって水平根を出し、そこから萌芽幹を出し、さらに水平根を出し、このようにして根系がつながった複数の幹ができていく。エゾウコギの樹高成長は7~8年目で衰え、最大樹高は250cm前後である（林ほか1985）ことから、長い水平根を出しながら多数の幹を発生させて、個体の成長をはかっていると思われる。

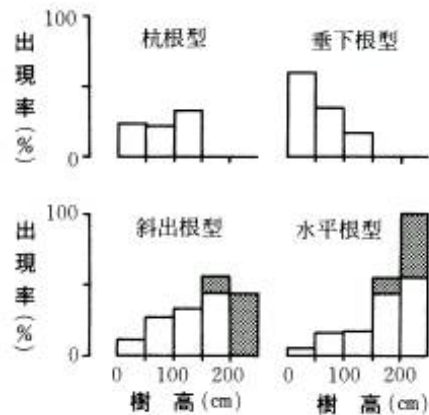


図-3-4 シラカンバの樹高階別の根の形態の割合
 斜出根・水平根型

表-3-1 エゾウコギの地上部の幹数、樹高、根の広がり、根の深さ

調査木 No.	地上部の幹数			樹高 (cm)	根の広がり (m)		根の深さ (cm)
	総本数	生存数	枯損数		長径×短径		
置戸	1	5	3	2	77~215	4.2×3.6	55
	2	1	1	0	90	2.3×0.5	20
	3	2	2	0	235~255	4.0×1.7	40
	4	1	1	0	140	2.2×0.8	30
	5	8	4	4	100~210	9.6×3.7	60
	6	1	1	0	190	2.2×1.4	35
	7	6	4	2	155~210	4.2×2.7	45
	8	3	2	1	110~190	4.1×2.9	40
訓子府	1	2	1	1	265	3.8×2.4	30
	2	6	3	3	180~290	3.2×1.8	40
	3	4	4	0	220~280	3.7×1.6	70
	4	6	1	5	300	6.1×1.6	30

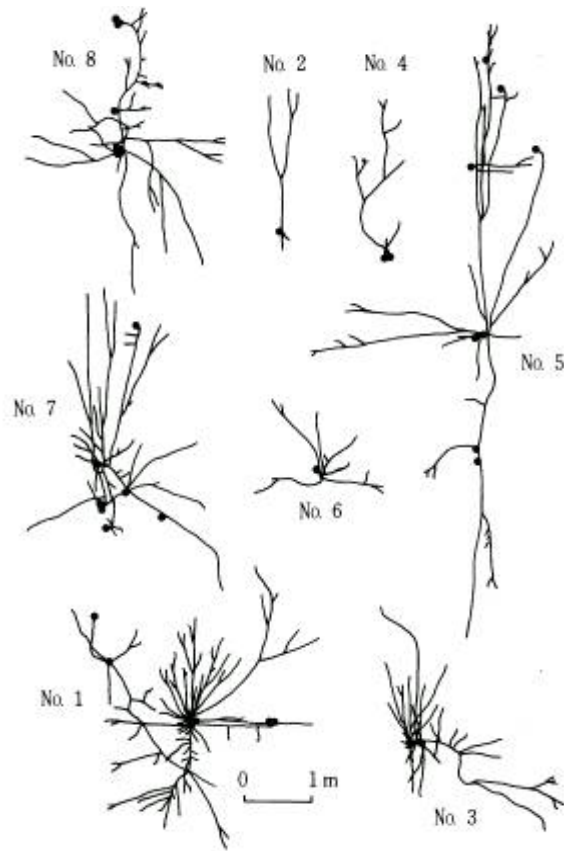


図-3-5 エゾウコギの根系図
●は幹を示す。

5節 まとめ

発芽当年のアカエゾマツ稚苗では、地上部よりも根の伸長量が多いことから、まず根のほうに先に旺盛な成長をする。そして成長初期は側根に比べて主根の伸長速度がきわめて大きく（荻住 1979b）、当年生苗では根の形態は垂下根型である。しかし、やがて水平根を伸長させるようになり、アカエゾマツの天然生稚樹のように樹高以上の長い根を持つようになる。樹体の成長にともなって水平根が発達することはいくつかの樹種で報告されている（BOERKER 1916, 佐藤 1929, 玉利 1932）。水平根を長く伸長させた個体では根系の面積が拡大し、養分の吸収量も多くなることから樹高成長が良くなり、また樹体を支えるために根系もさらに発達すると考えられる。このようなことから、水平根が樹高成長との関係が深いと考えられ、水平根を発達させることが樹木全体の成長に大きくかかわっているといえる。そのため、まきつけ床におけるカラマツやシラカンバが示すように、稚樹が高密度な生育状態にある場合、いかに早く根を伸長させることのできるスペースを見つけ、水平根を発達させるということが、地上部の生存競争に打ち勝つ方法のひとつと思われる。そして根系を十分に発達させることのできた樹木だけが樹高成長が良いために優勢木として残り、根を伸長させられなかった個体は被圧され、やがては枯死していくと思われる。またエゾウコギのように、長い水平根を伸長させながら新たな地上部を発生させることにより、個体の成長と維持をはかっている樹種もみられる。このように、樹体の成長にともなって根の形態は変化していくが、とくに水平根を長く発達させることが樹体を大きく成長させたり、個体の維持をはかるために必要と考えられる。

IV章 根系への人為的な作用が樹木の成長に及ぼす影響

育苗における根切りの量や植栽密度、苗木の移植が地上部の成長に及ぼす影響について述べるとともに、植栽の時期や方法と活着率を調べ、育苗や移植などにおける人為的作用が、苗木の成長に及ぼす影響について検討する。

1節 根系の切断量が苗木の成長に及ぼす影響

(1) 調査方法

キハダ1年生苗木の根の長さの1/3, 1/2, 2/3を切断したものと、無処理のものを苗畑に植栽し、1生育期間経過後の成長量を比較した。供試した苗木数は各20本ずつとした。

(2) 結果および考察

無処理区の樹高の平均成長量を100とすると、根の長さの1/3を切りつめた苗木では89, 1/2では82, 2/3では75となる。このように切断した根量が多くなるほど樹高成長量は減少する。しかし根元径の成長量には明確な差は認められない(図-4-1)。マツ類やケヤキなど多くの樹種では除去する根量が多いほど地上部の成長が抑制され(佐藤1942, 西山1992, 佐々木ほか1988, 海老原ほか1992など), 人工造林地の不成績の原因は根系の切断によるものという指摘例もある(石川1931, 原田1940, 深浦1942)。このように、植え付ける苗木の根量が少ないほど樹高成長量も少ないといえる。これは、根量を少なくすると失われた根系を回復させようとして、光合成生産物はおもに根を作ることに使われるためと考えられ、根量と樹高の成長量が密接に関係していることは明らかである。

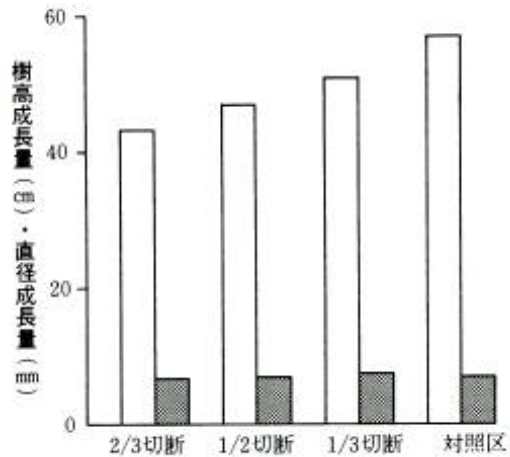


図-4-1 キハダの根系の切断量と成長量
 □ 樹高成長量
 ■ 直径成長量

2節 植栽密度が苗木の成長に及ぼす影響

(1) 調査方法

キハダの1年生苗木を1㎡当たり1本, 4本, 16本, 64本の密度で植栽し、そのうちの各20本について、1生育期間経過後の樹高成長量および根元径の成長量を測定した。また、各10本について地上部と地下部の乾重量を測定した。

(2) 結果および考察

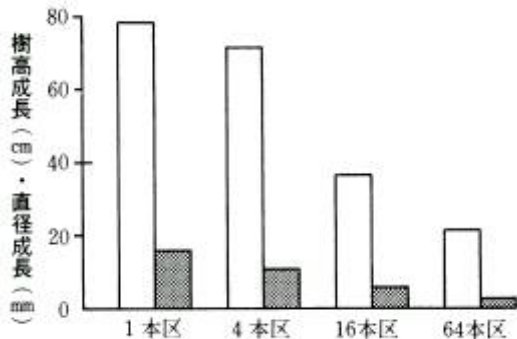


図-4-2 キハダの植栽密度と成長量
 □ 樹高成長量
 ■ 直径成長量

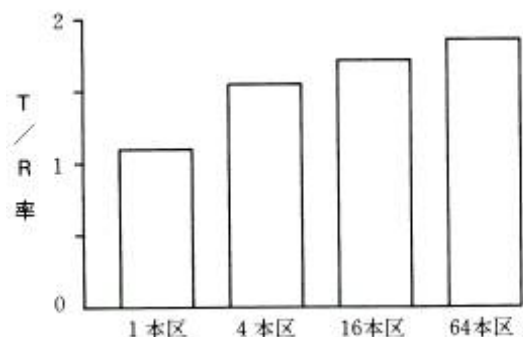


図-4-3 キハダの植栽密度と T/R 率

樹高では1㎡当たり1本区の成長量を100とすると4本区が91、16本区が27になる。また根元径では順に69、38、18となる(図-4-2)。植栽密度が高くなるにしたがって成長量は減少するが、とくに樹高成長よりも直径成長に大きな影響を与えた。また、T/R率では1本区は1.10で、植栽密度が高くなるにつれてT/R率も高くなり、64本区では1.86であった(図-4-3)。このことから植栽密度が高くなるほど地上部に比べて根系の発達が悪くなるといえ、本数密度の増加は根系の発達、とくに根系の広がり著しく制限するために、養分の吸収量が減少するとともに、一定面積内の養分を多く苗木で分けることになるから、地上部の成長、とくに直径成長に影響すると考えられる。

3節 苗木の移植が成長に及ぼす影響

(1) 掘り取りによって失われる細根量

a 調査方法

2生育期間据え置いたカツラ(7年生)、ズミ(4年生)、シラカンバ(4年生)の苗木を掘り取った場合に失われた細根量を調べた。またカツラ(5年生)、キタコブシ(4年生)、エゾヤマザクラ(1年生)について、2生育期間苗畑で据え置いた苗木(据置苗)と春に植えて秋に掘り取った苗木(床替苗)との失われた細根量の違いを比較した。

b 結果および考察

掘り取りによって失われた細根の割合を表-4-1に示す。失われる細根の割合は樹種間に差がみられ、シラカンバ、エゾヤマザクラで多く、キタコブシで少ない。また床替苗と据置苗と比較すると、エゾヤマザクラでは失われる細根量は7%ほどの差しかないが、キタコブシでは約20%、カツラは約30%の差があり、据置苗の移植では多くの細根が失われるといえる。いずれにしても移植にさいしては多くの細根が失われており、残された細根で水分の吸収をはからなければならないことから、苗木の掘り取りは、できるだけ多くの細根を残すように大きく掘り取る必要がある。

表-4-1 掘り取りによって失われる細根量

樹種	樹高 (cm)	失われる細根量 (%)
カツラ (据置苗)	136	80
ズミ (据置苗)	112	85
シラカンバ (据置苗)	114*	90~96
キタコブシ (据置苗)	97	73
〃 (床替苗)	70	51
カツラ (据置苗)	231	84
〃 (床替苗)	168	53
エゾヤマザクラ (据置苗)	197	89
〃 (床替苗)	142	82

*: 4本の平均値

(2) 据置苗と床替苗の成長比較

a 調査方法

苗木を苗畑に植栽し、2生育期間据置いたものを据置苗とし、秋に掘り取り仮植し、翌春再び植栽したものを床替苗とし、2生育期間の成長量および葉の長さを測定した。材料はキタコブシ(4年生苗)とエゾヤマザクラ(1年生苗)、カツラ(5年生苗)を用いた。供試木数はキタコブシとエゾヤマザクラが据置苗と床替苗各10本ずつ、カツラは各5本ずつとした。

b 結果および考察

各樹種とも据置苗と床替苗の1年目の成長量に差はみられない。しかし2年目には、キタコブシの据置苗は床替苗に比べて樹高成長量が4.1倍、根元径の成長量が6.3倍で、カツラでは樹高成長量は8.1倍、根元径の成長量は10.1倍、エゾヤマザクラでは両者とも2.3倍であり(図-4-4)、いずれも据置苗が上回っていた。また、2年目の葉の長さを比較すると、キタコブシとカツラでは床替苗の葉は据置苗の55~60%、エゾヤマザクラでは70%程度で、明らかに据置苗の葉が大きいことから(図-4-5)、葉緑素の量も多く、光合成の生産量も多いと考えられる。また、植栽当年は地上部の成長量よりも地下部の成長量が多くなるが、これは植栽当年は根系の回復のために多くの光合成産物が使われ、苗木を据え

置く」と根系がある程度回復するので、翌年の光合成産物は地上部の成長にも使われ、据置苗は床替苗よりも成長が良いと考えられる。そして、再生力が大きい樹種ほど根系切断の影響が少なく、短期間に樹種固有の根系に回復する（苅住 1979b）が、再生力の小さい樹種や著しく根量の少ない樹種では根系の回復に長期間を要すると思われる。

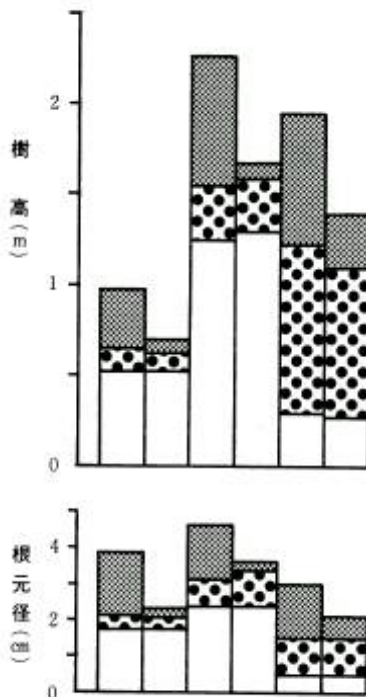


図-4-4 据置苗と床替苗の成長の比較

2年目の成長量
 1年目の成長量
 植栽時

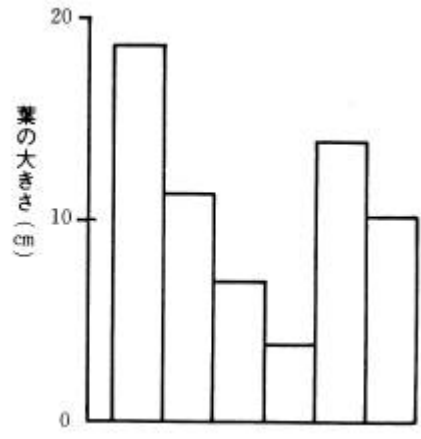


図-4-5 据置苗と床替苗の葉の大きさの比較

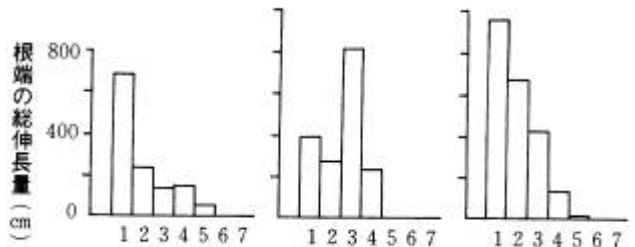


図-4-6 苗木の植栽時期と根端の伸長量
 1: 5月15日植栽 5: 9月14日植栽
 2: 6月15日植栽 6: 10月13日植栽
 3: 7月14日植栽 7: 11月11日植栽
 4: 8月10日植栽

体を支え、雪害の防止等のためには十分な支柱

4節 苗木の植栽時期と根端の伸長量

a 調査方法

アカエゾマツ（苗木高約 30cm）、シラカンバ（苗木高約 7.0cm）、ナナカマド（苗木高約 40cm）、を小型根箱（縦 48cm、横 50cm、高さ 55cm）に、5月から11月の毎月中旬に各樹種1本ずつ植栽し、根の伸長量を調べた。調査は1週間に1回行い、前回の調査日から根箱のガラス面で伸長した根端の伸長量を測定した。

b 結果および考察

植栽してから根の伸長が停止するまでの各樹種の総伸長量を図-4-6に示す。シラカンバの7月植栽木を除くと、いずれも植栽時期が遅くなるにしたがって減少する。さらにシラカンバ、ナナカマドとも8月中旬以降に、またアカエゾマツは9月中旬以降に植栽すると、その年はほとんど根端が伸長しないことが明らかになった。このことは、秋に樹木を植栽するとその年は根がほとんど伸長しないために、樹

が必要であるといえる。また根切り作業を行う場合は、秋に行っても根端が伸長しないために、ほとんど効果がないことを示唆している。

5節 苗木の植栽時期と活着率

(1) 苗木の植栽時期と活着率および雪害状況

a 調査方法

5～11月の各月1回苗木を植栽し、その活着率を調べた。供試樹種はシラカンバ、ナナカマド、エゾヤマザクラ、イチイで、植栽本数は1回につき各50本とした。苗木の大きさはイチイが樹高約50cm、ナナカマドが約70cm、エゾヤマザクラが約80cm、シラカンバが約150cmである。また植栽翌年の春にナナカマドとシラカンバの雪害状況を調査するとともに、シラカンバ各月10本の植栽翌年の伸長量を測定した。

b 結果および考察

シラカンバの活着率は6～9月に低く、5月と10・11月が高かった。エゾヤマザクラでは6月と7月が著しく低く、9・10月が高かった。ナナカマド・イチイではいずれの月も活着率が高いが、その中では6月がわずかに低かった(図-4-7)。掘り取ってから短時間のうちに植栽したために全般に活着率が高いが、広葉樹では春と秋の活着率が高く、夏期に低い傾向がみられる。また、樹種によって活着率に差が認められ、樹種によって移植に対する難易性が異なり、移植に対して強いものと弱いものがあるが、これは各樹種の樹勢や根系の回復力の違いに起因するものと考えられる。

雪害状況では、ナナカマドは5月植栽の苗木では幹折れ木も傾斜木もみられないが、6月から11月に植栽したものでは幹折れ木が2～15%みられた。シラカンバでは5月植栽の苗木では幹折れ木はみられず、傾斜木は15%であったが、その他の月では幹折れ木は6～17%、傾斜木は66～79%もみられた(図-4-8)。さらに、翌年の樹高成長量は5月植栽が多いが、他の月ではきわめて少なかった(図-4-9)。このように、5月に植栽したものは秋までに十分に根を張ることができるので、雪害に対しても強く、翌年の伸長量も多くなるが、秋植栽のものはその年は根がほとんど伸長しないために、雪害に対して弱く、翌年の成長量も少ないと推察される。またナナカマドとシラカンバの雪害に対する違いは、ナナカマドのほうが樹高も低く、枝が太くて分岐が少

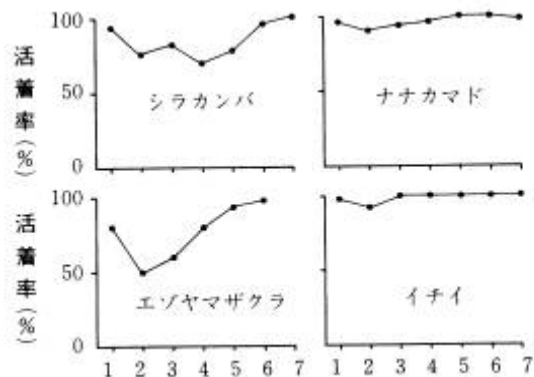


図-4-7 苗木の植栽時期と活着率

1: 5月10日植栽 5: 9月14日植栽
 2: 6月14日植栽 6: 10月13日植栽
 3: 7月14日植栽 7: 11月11日植栽
 4: 8月10日植栽

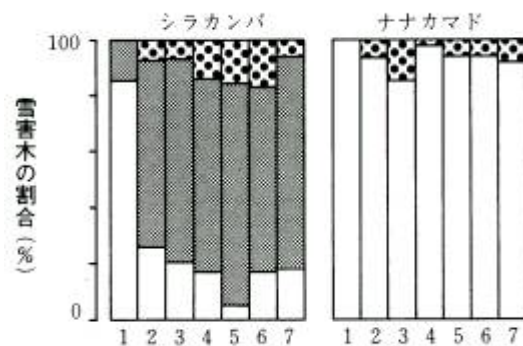


図-4-8 苗木の植栽時期と雪害状況

1: 5月10日植栽 5: 9月14日植栽
 2: 6月14日植栽 6: 10月13日植栽
 3: 7月14日植栽 7: 11月11日植栽
 4: 8月10日植栽

☒ 幹折れ木 ▨ 傾斜木 □ 無被害木

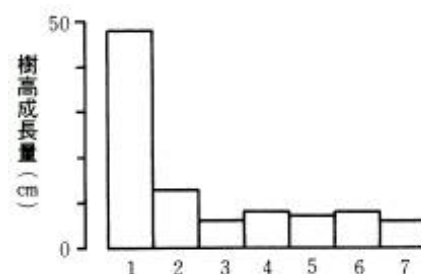


図-4-9 苗木の植栽時期と翌年の成長量

1: 5月10日植栽 5: 9月14日植栽
 2: 6月14日植栽 6: 10月13日植栽
 3: 7月14日植栽 7: 11月11日植栽
 4: 8月10日植栽

ないために、被害率も低かったと思われる。以上から、活着率や雪害に対する抵抗性、翌年の成長を考慮すると、春植栽が最も良いと思われる。

6節 ま と め

苗木の根系の切断や育苗における植栽密度は苗木の地上部の成長に強い影響を与え、切断する根の量が多いほど、植栽密度が高いほど地上部の成長は劣る。樹木の移植にさいしては、失われる細根量がきわめて多く、また据置苗と床替苗との成長を比較すると、明らかに据置苗の成長が良い。さらに樹木の植栽は春と秋に行うと活着率が高いが、秋植栽ではその年の根端の伸長量が著しく少なく、根系が十分に発達しないために雪害を受けやすく、翌年の成長量も少ない。一方、春植栽では秋までに根系が十分に発達するので雪害に対しても弛く、翌年の成長量も多い。このように、根系に対する人為的な作用は、地上部や根系の成長に大きく関係するといえる。

V章 総 合 考 察

1節 根端伸長と地上部の成長の年周期性

根端の伸長の年周期性をまとめると、地温が 10°C前後になると多くの樹種では根端の伸長が始まり、地上部の伸長よりもわずかに早いものが多い。根端は春先と秋に伸びて夏は休止するといわれている(苧住 1979b) が、北方系の多くの樹種では7~8月頃に最も盛んになり、地上部の伸長が停止後も根端は伸長し続け、秋~初冬に地温の低下とともに停止する。そして、根端の伸長が盛んな時期は1~3回あって、その季節変化は一山型~三山型に区分され、樹種固有の年周期待性を待っている。地上部が早めに伸長を停止するのは、冬の寒さに対するために冬芽を形成して成長点を保護するための準備であろうと考えられる。一方根端の伸長は、秋~春の地温が気温よりもかなり高いことから寒さに対する準備をそれほど必要とせず、養水分の吸収のためにはできるだけ根端を伸長させて白根を発生させることが生育には有利であることから、伸長期間は長くなると推察される。しかしコナラ・ミズナラ(寺田・苧住 1985)やエゾヤマザクラのように、落葉広葉樹では地温さえ高ければ根端は伸長するというものではなく、地上部の成長や樹体内部の周期性と綿密な関係があるものが多いことは明らかである。

根端の伸長と地上部の伸長との年周期性の関係は、①根端が伸長し、その後地上部が伸長したあと、再び根端が伸長するタイプ、②地上部が伸長し、その後根端が伸長するタイプ、③根端を伸長させながら地上部も伸長させるタイプに大別される。マツ科やビノキ科の針葉樹は①のタイプにはいり、②は広葉樹の中で地上部の伸長期間が著しく短い樹種が多く、③はイチイと地上部の伸長期間が長い広葉樹が含まれる。光合成によって生産される炭水化物は貯蔵でんぷんや糖・脂肪の形で貯えられるが、冬期には糖の割合が増加し、耐凍性を高めるのに役立っている(苧住 1979b)。①のタイプの樹種のうち、カラマツは落葉樹であるが開葉は早く、他の樹種は常緑であることから、春先すぐに光合成を行って同化物を生産することができ、その生産物と前年からの貯蔵物質とでまず根系を成長させ、その後には今度は地上部を伸長させる。そして、地上部の伸長を停止させたあとに再び根端を伸長させることで、同化生産物を耐凍性を高めることに用い、さらに翌年の成長に備へて貯蔵すると推察される。②では、地上部の伸長期間が著しく短い樹種が多く、春先にいっきに地上部を伸長させるために、その間は根端の伸長を抑え、地上部の伸長が停止後に今度は根端を伸長させる。これは、前年に貯えた貯蔵物質をもとにまず地上部を伸長させ、その後展開した葉で生産された物質を根にまわして根系の成長を行い、さらに耐凍性を高めるためと翌年の成長のための物質の貯蔵に充てると推察される。このタイプの樹種にはミズナラ、トチノキ、ウワミズザクラ、ナナカマドなどがあげられる。③では、地上部の伸長期間が長い樹種が多いが、これは地上部を伸長させながら根端も伸長させられると思われる。すなわち前年からの貯蔵物

質をもとに春先に地上部と地下部でほぼ同じように成長させる。そして、地上部の成長にともなって展開した葉の光合成で生産した同化物も地上部と地下部とでほぼ同じように成長に使われる。地上部の成長を停止した後は根の成長に主に使われ、秋になると耐凍性を高めるためと翌年の成長のための物質の貯蔵が行われると推察される。このような樹種にはシラカンバやケヤマハンノキ、ミヤマハンノキ、カツラ、イチイなどがある。

しかし、根端の伸長と地上部の伸長の年周期性が持つ生態的な意義については不明な点が多く、さらにさまざまな角度から検討されなければならない。

2節 根系の成長と順応性

樹木における種子の発芽ではまず根を出し、根を伸長させながら地上部を伸長させるが、地上部の伸長が停止後も根端は伸長し続ける。そして発芽当年における針葉樹では地上部よりもはるかに長い根を伸長させ、広葉樹でも直根性の長い根を発達させるものが多い。このように発芽当年は地上部よりも根系の発達が良いものも多く、形態的には垂下根型をしているが、やがて数年後には水平根が発達してくる。根の成長量の指標としての根の深さや根の広がりには樹種ごとに異なっているが、根の深さは地上部の大きさに直線的には比例しないが、根の広がりには直線的に比例して大きくなる。これは、地中深くでは土壌が堅密になり、通気が悪く、根の成長に不都合な環境条件になるために（荻住 1979b）、深部への根系の発達は制限されるが、水平的な広がりには制限が少ないためと考えられる。根系が発達してくると広範囲から養分・水分を吸収するために地上部も大きくなり、成長した地上部を支えるためにまた根系も発達する。そのため、いずれの樹種でも地上部と地下部では量的にバランスを保ちながら成長していく。そのさい、細根の分布の仕方は樹種ごとに異なっており、垂直分布では深部にその分布量を広げるものと、表層近くに多くの細根がある樹種があり、また水平的には根株から遠くまで細根が分散する樹種と根株近くに集中している樹種とがある。同一条件下に植栽しても樹種によって形態や成長量、分布様式などが異なることから、このような根系の特徴は各樹種に固有な性質であると考えられる。

根系の形態や分布様式の特徴と生態的な関係については、深部に細根が多く分布する樹種は耐乾性が大きく（佐藤 1956）、乾燥地域に適する樹種の方が湿潤気候に適するものよりも下方への成長屋が大きく早く深部に達する（藤井 1990, 1991）ことが報告されている。また根系の発達の仕方と根端細胞溶液の浸透価の違いから耐寒性の差異を指摘する報告もある（田添 1951）。しかし、浅根型で地表に広い根系分布をもつ種類の中にも乾燥性の種類があることなどから、根系の形態や分布を直接生態的に林木の生活と結び付けることにはなお多くの問題点がある（荻住 1978）という指摘もある。このように各樹種においては固有の根系の形態を呈するが、根系の形態的な分類型は必ずしも生育環境との対応性を示さない場合もある。

また、根系の形態は土壌条件などによっても変化することが指摘されており（宮崎 1939）、トドマツは通常は深根型である（荻住 1979b）が倒木上では水平根を発達させることが報告（植村・田中 1929）され、土壌層の浅いところでは深根型の樹種であっても垂下根は発達せず、垂直分布は浅くなることは筆者もいくつかの樹種で観察している。また、シラカンバでは自生地における根系は浅根型を呈するものが多いために浅根型に分類される（荻住 1979b）が、今回の結果が示すように、土壌層の深いところに植栽すると根は深くまで侵入し、深部での細根の分布量も多くなる。

このようなことから、根系の形態と環境条件とが対応しているのではなく、それぞれ固有の根系の形態を有しながらも、さまざまな環境条件に対して根系を順応させていると考えられる。すなわち、樹木は動物のように移動できず、与えられた環境のもとで生育しなければならないため、根系は土壌の理化学的性質や土壌水分（乾燥や過湿）、土壌層の厚さや広がりなどに対して直接影響を受けるために、根

系が環境条件にあわせて変化することにより生存しており、根系は順応性が大きい、すなわち広い適応性を持っていると考えられる。このことは土壌層の厚さや水分環境によって根系の発達の様子が異なる（若林 1977, 石原・松井 1939）ことや、アカエゾマツのように湿原から砂丘、蛇紋岩地帯にも生育する（舘脇 1943, 松田 1989 など）樹種があることから推察される。また、根端の伸長量が急増する根端と一時的に伸長を停止する根端が同時にみられることは、条件の良い根端は伸長し、悪い根端では休むためと思われることは根端の可塑性の大きさをものがたるものであろう。また、I章の調査時に伸長根端数はハルニレでは最大 852 本もあり、最も少ないキタコブシとクロウメモドキでも 25 本あり、地上部の枝先数よりも根端数が多く、さらに枝の総伸長屋よりも根端の総伸長屋が多いと思われることは、根の可塑性の大きさを示すものといえよう。また、樹種ごとの根系の順応性や可塑性の差異が、土壌条件や水分環境に対する適応性の差異に大きく関与していると思われ、適応性の広い根系を持つ樹種が生存には有利であると考えられる。

このように、樹木は各樹種特有の根系の形態や分布様式を有しながらも、環境条件に順応しながら根系を発達させ、しかも地上部と根系のバランスを保ちながら成長していく。そのさいとくに水平根の発達が樹木の成長に大きく関与しているといえよう。

3節 生存競争における根系成長の役割

樹木の根系の競争については、古くから指摘されてきた。原田 (1936) は、エゾマツ・トドマツ林で被圧本ができることは根系の競争によるところが大きいことを、また ADAMS (1928) は地上部の成長が林木個体間の根系の競争に影響されることが大きいことを指摘している。また、原生花園のハマナスの樹勢を回復させるためには、草本を取り除くことが効果があるとされ（斎藤ほか 1985, 1986）、光条件の競争では優位にあるはずの木本のハマナスが草本との生存競争では劣位にある。これまで、同樹種間および異樹種間の競争はおもに光条件によって議論されてきたが、このように光だけの競争ではなく、樹木の生存競争には根系も大きく関わっていることは明かである。すなわち、地上部は通常高さ 20~30m までの空間での主に光条件の競争が行われているが、地下部では通常深さ 2m ほど、最も深いものでもクロマツやアカマツなどの 3.3~3.4m（荻住 1979b）であり、この間で養分・水分の競争が行われている。したがって、空間的には地上部よりも地下部のほうがし烈な競争を繰り返しているといえる。高密度に植栽した苗木の成長量が低密度のものよりも少なかったことは、地下部における競争の激しさをものがたるものであろう。根系の分布様式、とくに垂直分布の特性の異なる樹種間では土壌層を有効に利用することができ、競争は緩和されるが、同種間や根系の分布様式の似た種類では根系の競争は激烈であると考えられる。そのため、母樹の近くでは稚樹の天然更新が難しく、逆に根系の分布様式の異なる樹種では調和する（武藤 1943）とされる。そして、IV章で示したカラマツやシラカンバのように、根系の競争においては、他の個体よりもいかに早く水平根を伸長させ、養分や水分を広い範囲から吸収することができるかが、生存競争に打ち勝つための重要な条件のひとつであると考えられる。すなわち、地下部の成長は地上部よりも 2~3 年早い（柴田 1941）ことから、水平根を伸ばし広範囲から養分・水分の吸収をすることによって地上部は成長し、成長した地上部を支えるために根系もまた発達する。地下部の競争で一度優位に立った個体では、地上部の成長にともなって光条件でも優位になり、地下部・地上部ともに他の個体との競争に優位に立つために生存競争に打ち勝つことができる。一方、根系を発達させられなかった個体では、養分・水分の吸収が十分にできないために地上部が成長せず、またそれを支えるための根系も発達する必要がないために、地下部・地上部とも養分・水分条件や光条件の競争に劣位になると考えられる。このように、生存競争に果たしている根の役割はきわめて大きいといえるが、天然更新とからめた根系の競争や調和に関してはまだ調査事例が少なく、今後の詳細な研究が必要

である。

4節 植栽技術への応用

(1) 育苗方法

環境緑化樹の苗木は造林用苗木と異なって、街路樹のように樹高3m前後の苗木が植えられることが多い。環境緑化樹用苗木の増殖方法はある（斎藤・佐藤 1981a, b, 1982, 公立試験研究機関共同研究グループ 1983 など）ものの、その後の育苗方法については確立されていない。苗木を毎年床替えして養成すると、細根が発生して良い根ができるが、樹高成長が抑えられ育苗に年数がかかる。一方据え置くと成長量は多くなるが、根系も発達するために根鉢内に含まれる細根の量が少なくなる。そのため、苗木の育苗ではまずやや疎に植えて据置することによって成長をうながし、苗木がある程度の高さに達して（街路樹用では2.5m前後）から根切りを行い、根株付近での細根の発生をうながすとともに、苗木の徒長を抑える方法が良いと考えられる。このような方法で養成しても根系が十分に発達しているために、徒長した枝でも寒乾害などの被害は見られない。根系の回復の遅い樹種（例えばキタコブシ、ハクウンボクなど）ではとくに有効である。キタコブシでは毎年床替えしていると、枝先が枯れてなかなか樹高成長しないことが多いが、据え置くと成長は良くなり枝先の枯れもなくなることから、このような方法が良いと思われる。また根系の回復の早い樹種（例えばシラカンバ、エゾヤマザクラなど）では前記の方法のほかに、2年ごとに床替をして細根の発生をうながす方法も有効である。このように苗木を早期に育成するためには、苗木の据置と床替または根切りを組み合わせる必要がある。今後は根系の伸長特性を考慮して、樹種ごとに環境緑化樹用としての育苗方法を確立する必要がある。

(2) 移植方法

移植は根端伸長が盛んになる前に完了していることが望ましい（苅住 1978）とされる。根端伸長の季節変化から判断すると、春先の根端伸長が始まる前か、秋の秋端伸長の停止後が良いとなる。しかし秋植栽では活着率は高いものの、雪害を受けやすく翌年の成長量は少ないことから、春植栽が望ましい。しかし、工事の都合から他の時期に行う場合には、根を切断せずに移植できるコンテナ栽培した苗木を用いることが有効な手段である。つまり春のうちにコンテナに移植しておくと、いつでも移植が可能である。適切な時期に適切な方法で移植が行われなければ、その後の苗木の成長や生育に大きく影響することは明白である。一度樹勢が衰えた樹木を回復させることはなかなか難しい。

また、地上部と地下部は量的にバランスを保ちながら成長しているので、移植後は根系の回復のために多くの同化生産物が使われるが、大きな木ほど根系の広がりが大きいため失われる根量が多く、そのため植栽後の根系の回復が遅れる。移植木の根系が発達して正常な支持力を回復するには植栽後5年は必要で、大径木ではこれ以上の時間を要する（苅住 1978）。したがって、基本的には小さな苗木を用いたほうが早く根系の回復がはかれるが、大きな苗木を植栽する場合にはできるだけ早く根系の回復するような環境条件を整えてやるのが大切である。そのためには、各樹種の根景の水平的および垂直的な分布特性を考慮し、根系が発達するためのスペースを確保する必要がある。すなわち水平分布がカツラのように集中型の樹種ではとくに大きな植樹帯を必要としないが、ハルニレのような分散型の樹種では大きな広がりが必要とし、垂直分布がハルニレのような浅根型の樹種ではさほど深い土壌層を必要としないが、カツラのような深根型の樹種では深い土壌層を必要とする。浅根型の樹種では土壌層の深いところでも生育するが、深根型の樹種では土壌層の浅いところでは生存はできても生育は不良になることが多い。土壌の深さについてはこれまでの植え樹でも90cmほどの深さがあり、あまり問題はないが、広がりについては著しく小さい（斎藤 1978）。根の広がりには根の深さよりも著しく大きく、広がり直径は樹高よりも大きくなるものがみられ、また樹木の成長はとくに水平根の発達が不可欠である。しか

し、街路樹ではそのような大きな植樹帯を確保することは多くの場合困難である。またどのくらいの植樹帯があれば良いかということは、根系発達の制限度合に対する各樹種の反応も異なると思われることから、現時点では明らかになっていない。そして植栽木は植栽時点が完成ではなく、将来的に成長するものである。根系は環境に対する適応性が広いことは指摘したが、しかし根系全体の成長が妨げられれば生存はしても生育はできない。このようなことを考慮するとできるだけ大きな植樹帯を確保することが望ましい。根系の発達と地上部の成長とは密接に関係していることから、根の成長が妨げられると地上部の成長が不良になり、植栽木が衰弱したり、枯死の原因になりかねない。また、植樹帯を大きくしても、その中に入れる土壌が樹木の生育を妨げるものであってはならない。土壌の性質が根系の発達にきわめて関係が深く（石原・松井 1939）、とくに土壌の理化学性が悪いと根系の発達が悪くなる（寺田・菊住 1987）ことから、化学性よりも理化学性の良い土壌に植栽することが重要である。

摘 要

本論文では樹木の根系の成長特性を解明することを目的とし、根端の成長の季節的な周期性など根端伸長の特性、根系の成長量および根量の分布様式の経年変化を明らかにし、地上部の発達にともなう根系の形態の変化、さらに根系への人為的な作用が樹木の成長に及ぼす影響を調査した。

1 根端の伸長の季節変化

根箱を用いて針葉樹 4 種、広葉樹 38 種、合計 42 樹種の植栽後 2 年間の根端の伸長を調べ、各樹種の特性を明らかにした。また根端の 1 年間の総伸長量、1 日当たりの根端の最大伸長量について各樹種間の比較を行った。根端伸長は 4 月中旬～6 月上旬に始まり、9 月上旬～12 月中旬に停止し、根端の伸長は地上部の成長よりも早く始まる樹種が多く、すべての樹種で地上部の伸長が停止した後も根端は伸び続けた。温室でのアカエゾマツの根端伸長の観察の結果、地上部が伸長中は根端の伸長は著しく衰えることが明らかとなり、根端伸長と地上部の成長には明確な関係がみられた。地上部の伸長と根端の伸長との関係を大別すると、地上部の伸長が盛んなときは根端の伸長量が著しく少ない樹種、若干伸長する樹種、比較的良く伸長する樹種、良く伸長する樹種に分けられた。根端の伸長が盛んな時期は樹種によって異なるが、7～8 月に最も伸長が盛んとなる樹種が多く、根端伸長の季節変化は一山型、二山型、三山型に分けられ、さらに一山型は急な山型とゆるやかな山型の 2 型、二山型は大きな出と小さな山、小さな山と大きな山、ほぼ同じような大きさの二山の 3 型に類型化された。根端伸長と地温との関係では、地温がおおむね 10℃前後から伸長し始めるが、根端の伸長は地温だけで規制されるのではなく、地上部の成長との関係も深いと考えられた。

2 根系の成長量および根量の分布様式の経年変化

6 樹種の根の深さ、蘗の広がり、根量を 3～5 年間にわたって測定した。根の深さはシラカンバ、カツラで深く、ハルニレ、ハクウンボクで浅かったが、根の深さの成長量はいずれの樹種とも小さく、地上部の大きさと直線的な比例関係はみられなかった。根の広がりにはシラカンバ、ハルニレで大きく、ハクウンボク、カツラで小さかった。樹高の年平均成長量と比較するとハルニレ、キタコブシでは樹高成長と同じかそれ以上であり、根系の水平的な成長は垂直的な成長よりも大きく、しかも根の広がりには地上部の大きさに比例して大きくなった。根の重量の増加率はシラカンバ、エゾヤマザクラで大きく、キタコブシ、カツラ、ハクウンボクで小さく、また根の重量は地上部の重量と相関が高く、両者は比例して増加した。

垂直分布では、細根では地中深いところでの分布量の割合が年々多くなる樹種（シラカンバ、カツラ）と、浅いところに多い樹種（ハルニレ、エゾヤマザクラ）とがみられた。水平分布では根株近くに多く

の細根が分布する樹種（カツラ、ハクウンボク）と、広範囲にわたって分散する樹種（エゾヤマザクラ、ハルニレ、シラカンバ）とがみられた。枝張り根系の分布屋の関係をみると、ほとんどの樹種では全根量の10%以上が枝張りの外に分布し、エゾヤマザクラやハルニレの細根では50%以上が枝張りの外にあり、多くの樹種ではかなりの根が枝張りを越えて広がっていることを明らかにした。

3 樹木の成長に伴う根系の形態変化

アカエゾマツなど4樹種の稚苗や稚樹の根系の形態について調査した。発芽当年のアカエゾマツの稚苗では、地上部よりもまず根のほうに先に旺盛な成長をし、根系は垂下根型であった。しかし、やがて水平根を伸ばすようになり、アカエゾマツでは樹高以上の長い根を持つのがみられた。まきつけ床におけるカラマツやシラカンバでも、長い水平根を持つ個体は樹高成長も良いが、根系の発達が悪い個体では樹高成長は劣っていた。エゾウコギでは長い水平根を伸長させながら新たな地上部を発生させることにより、個体の成長と維持をはかっている。このようなことから、根系とくに水平根を長く発達させることが、樹木の成長にきわめて重要であると推察された。

4 根系への人為的な作用が樹木の成長に及ぼす影響

キハダ苗木の根系の切断量および植栽密度と苗木の成長の関係を調べたところ、切断する根量が多いほど、また植栽密度が高いほど地上部の成長は悪かった。カツラなど5樹種の苗木で移植時に失われる細根量を調べたところ、51~96%の細根が失われていた。またカツラなど3樹種の据置苗と床替苗との成長を比較したところ、据置苗のほうに明らかに成長が良かった。アカエゾマツなど3樹種の苗木を5~11月までの毎月植栽して根端の伸長量を観察したところ、秋に植栽すると伸長量は著しく少ないか、全く伸長しなかった。さらにシラカンバなど4樹種の苗木を5~11月まで毎月植栽したところ、春と秋に植栽を行うと活着率が高く、夏に低い傾向がみられた。しかし秋植栽では雪害を受けやすく、翌年の成長屋も少ないが、春植栽では雪害に対しても弛く、翌年の成長量も多かった。このように根系に対する人為的な作用は、地上部や根系の成長に大きく関係していた。

5 総合考察

根端と地上部の成長との年周期性の関係を3つのタイプに分類し、同化生産物の利用方法の面から考察した。また、根系が環境条件によって形態が異なることから、環境に対する順応性が広く、この広い順応性を持つ根系が生存には有利であることを推察した。さらに、生存競争における根系の役割について論じ、生存競争には地上部の光条件だけではなく、根系の熾烈な争いが強く影響していることを考察した。植栽技術への応用として、苗木の育苗方法や移植の時期などについて述べ、樹木の植栽にあたってはそれぞれの樹種の根系特性を考慮し、広い植樹帯を確保する必要があることを指摘した。

文 献

- ADAMS, W. R. 1928 The effect of spacing in a Jaek pine plantation. *Vt. Agric. Exp. Sta. Bul.* 282 : 55
- 明永久次郎・林 唯推 1925 アカマツとカラマツとの混交植栽に就いて. *林試報* 26 : 57-136
- BARNEY, C. W. 1951 Effect of soil temperature and light intensity on root growth of Loblolly pine seedlings. *Plant Physio.* 26 (1) : 146-163
- BOERKER, R. H. 1916 Ecological investigation upon the germination and early growth of forest trees. *Nebr. Univ. Studies*, 16 : 1-89
- CRIDER, F. J. 1928 Winter root growth of plants. *Science* 68 : 403-404
- 海老原 満・垂水秀樹・片岡寛純 1992 ブナ苗の成長に及ぼす根系切断の影響. 103回日林論 451-452

- 藤井久雄 1990 数種のアカシア, ユーカリ苗の栄養要求性と根系発達. 101回日林論 35-36
- 1991 数種のアカシア実生の根系発達特性—種間比較および土噴水分量との関係—. 102回日林論 551-552
- 深浦 武 1942 鳥海山麓における赤松人工造林地の成績に就いて. 赤松林施業法研究会講演集 205-216
- 原田博明 1940 西霧島におけるアカマツ不成績造林地について. 昭14年度日林講 21-28
- 原田 泰 1936 森林内に於ける根系の争闘. 植物及動物 4(4):39-44
- 1951 森林気象学. 327p 朝倉書店 東京.
- 林 善三・梶 勝次・佐藤孝夫 1986 エゾウコギの育成試験(3)—幹及び枝の生長—. 昭60年度林研論 122-123
- HEAD, G. C. 1968 Estimating seasonal changes in the quantity of white unsuberized root on fruiton trees. *Jur. Hort. Sci.* 41:197-206
- HEYWARD, F. 1933 The root system of Longleaf pine on the deep sands of Western Florida. *Ecol.* 14(2):136-148
- 菱江順治 1930a 林木根の形態に就いて. 林曹会報 164:1-21
- 1930b 林木根の形態に就いて. 林曹会報 167:1-25
- 1931 林木根の形態に就いて. 林曹会報 171:28-48
- 本多恒夫 1960 クワの根系の季節変化. 日蚕誌 29:436-442
- 石原供三・松井善喜 1939 根系より見たるトドマツの育林的考察. 昭和13年度日本林学会大会号 114-137
- 石川蔵吉 1931 赤松人工林播種造林の一考察. 日林誌 13(4):199-204
- JENIK, J., PERINA, V. and SLAVIK, B. 1952 Ecology of agroup felling in a pure Scots pine p l a n t a t i o n with A. Glbtionsa Lesn. *Hoz.* 5(2):56-61
- 門田正也 1951 防潮林の生態学的研究—クロマツの根系—. 東大立地研報 9:16-20
- 金子 章・辻田昭夫 1960 造林作業の適期に関する研究(Ⅲ報)—アカマツ幼齡木の吸収量と上長生長および根の伸長生長の年変化—. 70回日林講集 247-250
- 苧住 昇 1956 樹木根系の形態と分布. 66回日林講 83-86
- 1957 樹木の根の形態と分布. 林業試験場研究報告 94 1-205
- 1978 根のはたらきと生長. 261pp 林業改良普及双書 69 全国林業改良普及協会
- 1979a 根系の種類. 90回日林論 289-291
- 1979b 樹木根系図説. 1121pp 誠文堂新光社 東京
- ・寺田正男・山本幸右 1980a 大型根箱による根系成長の観察, 91回日林論 235-236
- ・————— 1980b 大型根箱による根系と地上部の成長解析(Ⅲ)・地温の指数. 32回日林関東支論 3-4
- KAUFMAN, C. M. 1945 Root growth of Jack pine on several site in Cloquet forest, Minnesota. *Eco l.* 26(1):10-32
- KEIKRAINEN, L. 1955 Seasonal changes in the root systems of pine stand on peat moors. *Acta Forest. Fenn.* 65(2):70-73
- KERESZTESI, B. 1955 Some data on the root system of Robinia pseudoacacia. *Erdo.* 4(3):113-121

- KIENHOLZ, R. 1934 Leader, Needle, Cambial and root growth of certain conifers and their interrelation. *Bot. Gaz.* 96 : 73-92
- 吉良竜夫 1960 植物生態学 (2). 235-322
- 小見山 章・生田賢英 1988 落葉広葉樹 25 種の肥大生長の季節性, とくに年次変動について (予報). 99 回日林論 347-348
- 公立林業試験研究機関共同研究グループ 1983 有用広葉樹の増殖技術-試験事例集-. 226p
- KOZLOWSKI, T. T. and SCHOLTES, W. L. 1948 Growth of root and root hairs of pine and hardwood seedling in the Piedmont. *J. Forestry* 46 (10) : 750-754
- KRAMER, B. J. and KOZOLOWSKI, T. T. 1960 *Physiology of Trees*. McGraw-Hill New York
- KUCERJAVYH, E. G. and KOSTJUK, M. D. 1952 A study n the root systems and transpiration rate of tree species. *Lesn. Hoz.* 5 (5) : 29-35
- 九里房二 1936 苗木の白根に就いて. *青森林友* 253 : 24-29
- LADEFOGED, K. 1939 Investigations on periodicity in the production and longitudinal growth of roots in Some of our commonest forest trees *Dansk Skovforen. Tidsskr.* 24 (11) 473-510
- LYR, H. and HOFFMANN, G. 1967 Growth rates and growth periodicity of tree roots. *Int. Rev. Forestry Res.* 2 : 181-206
- 前田半次 1933 アカマツ根系と樹幹生長との関係. *日林誌* 15 (12) : 1178-1182
- 松田 彊 1989 アカエゾマツ天然林の更新と成長に関する研究. *北大演研報* 46 (3) : 595-717
- 松室重博 1933 ヒバを主体とせる天然林に於けるよ要林木根系調査. *日林誌* 15 (12) : 1149-1177
- MCQUILKIN, W. E. 1935 Root development of Pitch pine, with some comparative observations on shortleaf pine. *Jour. Agr. Res.* 51 (11) : 983
- 官崎 榊 1935 森林樹木の根に関する研究 (第1報). *日林誌* 17 (8) : 620-629
- 1939 森林樹木の根に関する研究 (第2報). 昭14年度日林講 109-111
- 1942 四国の森林植生と土壤形態との関係に就て. *興林会* 203-217
- MOORRE, B. 1922 Influence of certain soil actors on the growth of tree seedlings and wheat. *Ecol.* 3 : 65-83
- 守屋 均 1988 ケヤキ・クスノキの肥大生長の季節変化. 99 回日林論 345-346
- MORROW, R. R. 1950 Periodicity and growth of sugar maple surface layer roots. *J. Forestry* 48 (12) 875-881
- 武藤益蔵 1943 赤松林の天然更新及保残作業について. *赤松林施行法研究会講演集* 111-112
- 中野敏夫 1988 広葉樹6種の年次生長周期について-枝条の伸長生長と肥大生長-. 99 回日林論 349-350
- 中須賀常雄 1968 樹木の休眠に関する研究 (予報) -トドマツ, オウシュウアカマツの低温要求度について-. *日林北支講* 17 : 64-65
- 二官生夫・松木修一・荻野和彦 1988 モミ・ツガ天然林における林木の季節性-肥大生長, 伸長生長および葉群動態の解析-. 99 回日林論 353-354
- 西山嘉寛 1992 根の切断処理が樹高成長に及ぼす影響. *日林関西支論* 1 : 165-167
- PRESTON, R. J. 1942 The growth and development of the root systems of juvenile Lodgepole pine. *Ecol. Mono.* 12 (4) : 449-468

- PULLING, H. E. 1918 Root habit and plant distribution in the far north. *Plant World* 21 : 223
—233
- QUILKIN, W. E. 1935 Root development of Pitch pine, with some comparative observation
Shortleaf pine. *Jour. Agr. Rev.* 51 (11) : 983
- REED, J. F. 1939 Root and shoot growth of Shortleaf and Loblolly pine in relation to certain
environmental conditions. *Duke Univ. Sch. Forestry. Bul.* 4 : 1—52
- RICHARDSON, S. D. 1954 Root growth of *Acer saccharinum* seedling during winter. 8th Int. Bot.
Congr. Paris, Sect. 11 : 303—304.
- 齋藤 満・宮木雅美・外崎定晴 1985 ハマナスを主体とする海浜植生の保全に関する研究(4) —小
清水町海岸のハマナスに対する草除去の効果—. 昭59年道林研論. 144—145
- ・————— 外崎定晴 1986 ハマナスを主体とする海浜植生の保全に関する研究(5) —小
清水町海岸におけるハマナス群落の保全対策—. 昭60年道林研論. 180—181
- 齋藤 晶 1978 街路樹の枯死誘因 日本造園学会春季大会発表要旨(1978) 70—71
- ・佐藤孝夫 1981 緑化樹の苗木養成法—実生, 無性繁殖の技術(1)—. 光珠内季報 48 :
6—16
- ・————— 1981 緑化樹の苗木養成法—実生, 無性繁殖の技術(2)—. 光珠内季報 50 :
26—35
- ・————— 1982 緑化樹の苗木養成法—実生, 無性繁殖の技術(3)—. 光珠内季報 51 :
21—33
- 佐々朋幸・溝口岳夫・西木哲昭 1988 クヌギ苗木の活着と生長(Ⅱ)—根きり, 断幹位置の違いと活
着・初期生長—. 99回日林論 277—278
- ・ARTHUR, R. and JEAN, P. 1980 根系の成長およびそのリズムに関する二, 三の考察
—*Cedrus atlantica* の場合—. 91回日林論 267—268
- 佐々木 茂 1959 根箱によるスギ・アカマツ・カラマツの根の伸長の季節変化. 林試東北支場研究だ
より 99 : 2—3
- 佐藤大七郎 1956 スギ, ビノキ, アカマツのマキツケナエの耐乾性, とくに樹種のあいだのチガイに
ついて. 東大演報 51 : 1—108
- 佐藤敬二 1942 赤松のせん枝・枝打並に根切が幼樹の形態に及ぼす影響. 赤松施業法研究論文集 95
—108
- 佐藤義夫 1929 エゾマツ天然更新上の基礎要件と其の適用, 北大演報 6 : 260—280
- SCHMID, H. and ZEIDLER, H. 1953 Observation on the decline of Silver fir. *Forstw. Centb.*
72 : 101—110
- 柴田信男 1941 杉植栽林に於ける不成績地の研究に就て. 昭15年度日林講 1—6
- 柴田 前・功木六郎 1962 外国樹種の育苗. 161p. 北方林業叢書 22
- 白沢保美 1901 苗木根部の切断度合が其の茎根の發育に及ぼす影響. 林試報 1 : 1—43
- STEVENS, C. L. 1931 Root growth of White pine (*Pinus strobus*). *Yale Univ. Sch. Forestry*
Bul. 32 : 62
- 玉利長助 1932 松の根相と更新. 日林誌 14 (1) : 1—23
- 舘脇 操 1943 アカエゾマツ林の群落的研究. 北大演研報, 13 (2) : 1—181
- 田添 元 1933 北海道産主要樹の稚苗根吸収力の季節変化に関する研究. 日林誌 15 (6) : 437—454

- 田添 元 1936 積雪下におけるクロエゾ・アカエゾマツの根の耐寒性. 日林誌 18 (2) : 1005-1007
 ——— 1939 土壌の種類に依る北海道産主要樹の根系の変化に就て. 昭 13 年度日林講 112-115
 ——— 1951 生育期間中に於けるトドマツ, エゾマツ, アカエゾマツ稚苗の根端細胞の細胞液濃度
 に対する土壌湿度および温度の影響に関する研究. 59 回日林講 122-123
- 寺田正男 1978 稚苗の根系生長と温度条件. 90 回日林論 287-288
 ——— 1980 稚苗の根系生長と温度条件 (II) 91 回日林論 281-283
 ——— 1981 稚苗の根系生長と温度条件 (III) 導入された外国産マツ属について. 92 回日林論
 253-254
 ———・荻住 昇 1982 稚苗の根系生長と温度条件 (IV) 広葉広葉樹について. 93 回日林論
 271-272
 ———・——— 1983a 稚苗の根系生長と温度条件 (V) モミ属とマツ属について. 94 回日林論
 317-320
 ———・——— 1983b 地温とマツ類の根端の生長特性. 35 回日林関東支論 103-104
 ———・——— 1984 苗木の成長に及ぼす土性と土壌水分の影響. 95 回日林論 351-352
 ———・——— 1985 地温とコナラ類の根端生長. 96 回日林論 341-343
 ———・——— 1986 苗木の生長に及ぼす土壌水分の影響 (II) 緑化樹について. 97 回日林論
 381-383
 ———・荻住 昇 1987 街路樹の根系. 98 回日林論 439-441
 ———・——— 1988 大型根箱による広葉樹の根端の伸長. 99 回日林論 275-276
- TURNER, L. M. 1936 A comparison of roots of Southern shortleaf pine in three soils. Ecol.
 14 (4) 649-658
- TYRTIKOV, A. P. 1954 The growth in length of roots of trees at the Northern limit of the forest
 zone. Otdel Biol. 59 (1) : 71-82
- 植村恒三郎・田中祐一 1929 邦領樺太北部原生林に於けるエゾマツ・トドマツの更新及び根系に関す
 る研究. 九大演報 2 : 1-78
- 若林隆三 1977 多雪地幼齡林における根切れと根張り. 88 回日林論 265-266
- 渡辺資仲 1956 クスの季節的発育相について. 東大演報 52 : 63-60
- YEAGER, A. F. 1935 Roots systems of certain trees and shrubs grown on prairie soils. Jour.
 Agr. Res. 51 (12) : 1085