

スギ ヒノキ 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

助教授 佐藤 大七郎

Taisitiroo SATOO

Drought Resistance of Some Conifers at the First Summer

after their Emergence.

目 次

I 問題のアプリカと範囲……………(2)	IV 土のカワキによる生長の減退……………(21)
II 土の乾燥は問題になるか……………(4)	1 やや長期の実験……………(21)
1 田無苗畑での例……………(4)	(1) 材料と方法……………(21)
2 雨のふらない日のつづきかた……………(5)	(2) 結 果……………(24)
3 考 察……………(6)	a. 生長のミチスジ……………(24)
4 あらまし……………(7)	b. 最終結果……………(25)
III 土がひどくかわいたときのカレカタ……………(7)	2 みじかい期間の実験……………(32)
1 根のはいるフカサを制限しない場合……………(8)	(1) 材料と方法……………(32)
実 験 1……………(8)	(2) 結 果……………(32)
(1) 材料と方法……………(8)	3 考 察……………(33)
(2) 結 果……………(10)	4 あらまし……………(39)
実 験 2……………(10)	V 危険な時期における根の発達と分布……………(39)
(1) 材料と方法……………(10)	1 材料と方法……………(40)
(2) 結 果……………(11)	2 結 果……………(40)
2 根のはいるフカサを制限した場合……………(12)	3 考 察……………(42)
実 験 1……………(12)	4 あらまし……………(43)
(1) 材料と方法……………(12)	VI 根の生長の型……………(44)
(2) 結 果……………(13)	1 材料と方法……………(44)
実 験 2……………(13)	2 結 果……………(44)
(1) 材料と方法……………(13)	(1) 地上部と根の生長のスジミチ……………(44)
(2) 結 果……………(14)	(2) 地上部と根の関係……………(47)
3 耐乾性と根の発達そのほか……………(14)	3 考 察……………(48)
(1) 根のナガサ……………(15)	4 あらまし……………(49)
a. 材料と方法……………(15)	VII どこまで水をうしなつたら枯れるか……………(49)
b. 結 果……………(15)	1 生存率と含水率の関係……………(50)
(2) T-Rとナエのオオキサ……………(15)	(1) 材料と方法……………(50)
a. 材料と方法……………(15)	(2) 結 果……………(50)
b. 結 果……………(15)	2 含水率と生死……………(51)
4 根をとりぞいたばあい……………(16)	(1) 材料と方法……………(51)
(1) 材料と方法……………(16)	(2) 結 果……………(51)
(2) 結 果……………(17)	3 切りとつたナエの含水率と生死……………(51)
5 考 察……………(18)	(1) 材料と方法……………(52)
6 あらまし……………(20)	(2) 結 果……………(52)

4 考 察..... (55)	4 あらまし..... (75)
5 あらまし..... (56)	X ナエが水をうしなうにともなう
VIII イタミカタのひどくなる含水率..... (57)	水分関係の変化..... (76)
1 材料と方法..... (57)	1 実験 1..... (76)
2 結 果..... (57)	(1) 材料と方法..... (76)
3 考 察..... (60)	(2) 結 果..... (77)
4 あらまし..... (61)	2 実験 2..... (79)
K 土のかわくにともなうナエの	(1) 材料と方法..... (79)
水分関係の変化..... (61)	(2) 結 果..... (81)
1 根のはいるフカサを制限しない場合..... (61)	3 考 察..... (84)
(1) 材料と方法..... (61)	4 あらまし..... (87)
(2) 結 果..... (63)	XI しめくくり..... (87)
2 根のはいるフカサを制限した場合..... (65)	XII あらまし..... (95)
(1) 材料と方法..... (66)	XIII 文 献..... (98)
(2) 結 果..... (66)	XIV Résumé (104)
3 考 察..... (69)	

I 問題のアリカと範囲

スギ ヒノキ および アカマツは、わがくにの造林樹種として 古くから もつとも重要視されており、1947 年の統計によると、人工造林地の全面積の 50.6% はスギによつて、26.1% はヒノキによつて、16.6% はマツ類によつて しめられており、スギ ヒノキ マツの合計は 93.3% にのぼり、マツについては このほかに 天然更新による林が多数ある (藤村 1950, p. 55—56)。したがつて これらの樹種の 造林上の性質についての知識は、すでに 江戸時代から、経験的には かなりゆたかであり (徳川 1941, p. 115—142)、水の不足に対する抵抗性は アカマツ ヒノキ スギの順につよいと 一般に考えられている。しかしながら 実証的なウラツケを欠いており、また ひとつひとつのばあいには かならずしも 常識と一致しないばあいがある。たとえば、マキツケドコでの ヒデリの害は ヒノキのほうが スギよりも いちじるしかつた という事実も 報告されている (野原 1942)。これらのことを 統一的に理解し、これらの樹種の造林的トリアツカイに対する基礎を得るには、これらの樹種の 水分不足に対する反応のチガイの よつて来るところをあきらかにする必要がある。

水の不足と植物の生活との関係については かなりふるくから いろいろと研究されており、われわれの一般的な知識も 相対的なイミにおいては かならずしも ゆたかでないとはいえない (МАКСИМОВ 1926, 1943, 瀨瀬 1932, KRAMER 1949, RICHARDS and WADLEIGH 1952)。しかしながら われわれが 合理的な造林技術をもつためには、そのような 一般的な関係についての知識だけでは じゆうふんでなく、ひとつひとつの樹種の特質と その相対的な関係を知ることが必要であると考え、われわれの もつともたいせつな樹種である スギ ヒノキ および アカマツについて マキツケナエの耐乾性と それに関係のある いろいろな因子につい

て実験をおこなつた。種のあいだの耐乾性のチガイは STOCKER (1948) もいつているようにいろいろな性質のチガイのくみあわせられた結果であり、ひとつひとつの種はそれぞれべつな点で耐乾性をかためるような性質をもっているので、ひとつの点だけをくらべても、統一的なスガタはつかめない。それで 3 樹種の耐乾性のチガイの原因について いろいろな角度から検討をくわえた。ここでマキツケナエをとりあつたのは、芽を出してから はじめて 夏の乾燥をむかえる 針葉樹の幼植物は、まだ ちいさく、根を深くはつていないので、きわめてかわきやすい浅い層の土から 水をもとめなければならぬいうえ、まだ軟弱な地上部も 地表から数cm のタカサの範囲にあるので、つよい日射によつて 高められた 地温の影響により、温度の高い 飽差の大きな空気につつまれて、はげしく水をうばわれる条件にあるので、水分関係はいちじるしく不利であり、深い根と 高い地上部をもつ 1 年生以上のものに比べると、土の乾燥の影響をひどくうけるからだ。

ここで問題になるのは 耐乾性というコトバの ナカミであるが、それは 研究者によつてかなりちがつており、ときには おなじ人でも 時代によつて ちがつたナカミをもたせているので、ここでとりあつかう 問題の範囲を あきらかにしておく 必要がある。耐乾性というコトバは、乾燥にたえて 枯死をまぬかれる 性質の イミにつかわれることがおおい (たとえば MAXIMOW 1931, 瀧瀬 1932, p. 396; SHIRLEY and MUELI 1939 a, b, など) が、あるばあいには 最適水分条件のもとでの収量に対する 乾燥条件での収量の比だとされている (STOCKER et al 1943)。しかしながら このふたつは かならずしも一致しない (LEVITT 1951)。МАКСИМОВ (1926, p. 416; 英編訳 1929, p. 399; 英訳からの日本訳 1935, p. 377) は、耐乾性とは カンバツにたえ、永久凋萎ののちに、植物自体 および それからもたらされる 収穫に対する 損害がもつともすくなく たやすく回復する 能力だとしており、むしろ 中間の立場をしめている。この研究では、乾燥に耐えて枯死をまぬかれる能力に中心をおいてすすめるが、STOCKER たち (1943) の考えかたは、LEVITT (1951) もいつているように、生理学的にはとくにイミがあるわけではないにせよ、実用的および生態学的には 大きなイミがあると考えられるので、そのようなイミでの 耐乾性をもとりあつた。

STOCKER (1954) は 耐乾性を 植物が枯れることをまぬかれる耐乾性 (letale Trockenresistenz) と 生活機能がみだされることのすくない耐乾性 (vitale Trockenresistenz) にわけている。これにしたがえば ここではおもに letal な耐乾性をあつかうが、vital な耐乾性も一部とりあつかう。

また STOCKER (1947, 1954) は 耐乾性を ふたつにわけて plasmatisch と konstitutionell な 耐乾性とした。前者は 原形質が 低い水分状態で 生きる能力であり、後者は 原形質の水分状態を まわりのそれよりも 好適な 安定した状態にたもつ能力である。前者は 原

形質の物理的・化学的な性質に関するより基礎的なものであり、後者は原形質の水分状態に影響をあたえる構造と機能に関するものである。この研究はおもに konstitutionell な耐乾性をとりあつかうが plasmatisch な耐乾性にもふれる。

STOCKER (1948, 1954) はまた耐乾性を phänotypisch と genotypisch な耐乾性にわけている。前者は植物がカンバツにさらされておこす変化によるものであり、後者は種あるいは品種の耐乾性の遺伝的なチガイに関するものである。この研究ではもつぱら3樹種のあいだの genotypisch な耐乾性のチガイをとりあつかった。

WALTER (1931, p. 111—112), ARVIDSON (1951) は耐乾性を aktiv と passiv にわけた。ここで passiv というのは休眠状態になつてカンバツをのがれるもので、ここでは関係がない。ARVIDSON は aktive な耐乾性をさらに primary と secondary にわけている。前者は植物の組織が脱水にたえる能力であり、後者は水分関係を有利にたもつ能力であり、STOCKER の plasmatisch と konstitutionell にあたる。この研究ではおもに secondary の耐乾性をあつかうが、primary の耐乾性にもふれることになる。

この研究は中村賢太郎教授の御指導のもとにおこなわれた。同教授に心からのお礼を申しあげる。また芝本武夫教授は有益な助言をあたえられた。同教授にあつくお礼を申しあげる。1951年におこなつた実験の一部をてつだつてもらつた名村次郎君と、田無苗畑でのシゴトをてつだつてもらつた桜井正衛君と、苗畑の土の水分の測定をてつだつてもらつた根岸賢一郎君にあつくお礼を申しあげる。

II 土の乾燥は問題になるか

わがくには雨がおおいといわれているが、雨のフリカタが不規則なために、夏には雨のふらない日がかなりながくつづくことはめずらしくない。このようなときには土の浅い層はかなりかわいてしまう。そのようなときの土のカワキカタはマキツケナエにとつて危険なものだろうか？

1. 田無苗畑での例

第1図は1951年7月18日から8月8日までのあいだまったく雨のふらなかつたときの田無苗畑の土の含水率の垂直分布を7月31日と8月8日にしらべたものの3地点の平均である。8月8日には地表はほとんど風乾状態になつており、フカサ5—30 cmのあいだの土の含水率はおよそ45%で、有効水分のおよそ1/3がのこつているにすぎない。この程度まで土がかわくと、あとでのべる実験結果がしめすように、蒸散量は急速にへりはじめ、スギとヒノキの生長はひどくさまたげられる。また100 ccの土のなかにふくまれている有効水分は7.7 ccにすぎない。このようなときにはわずかの雨がふつてもほと

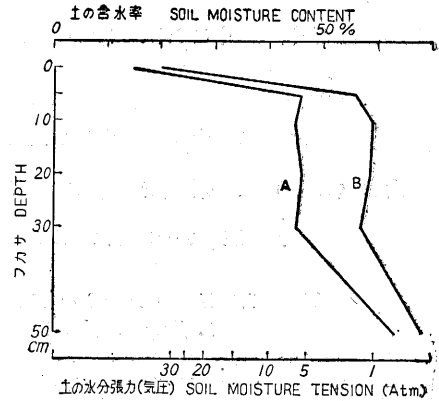
んどイミがなく、たとえば 8月8日のような状態にかわいたときに 5 mm 程度の雨がふつても、わずかに地表から 1.5 cm 程度までをうるおすにすぎず、次の晴れた日に 1日でかわいてしまう。8月8日の試料をとつたあとでかなりの雨がふつたのでこれ以上の乾燥状態をはかることはできなかつたが、田無からあまり遠くない大和田で山中(1950)がしらべた土の乾燥経過から推定すると、雨のない日がさらにつづけばすみやかに有効水分がなくなることが考えられる。

第2図に おなじ田無苗畑の 1955年 7月16日から 27日までのあいだの土の水分状態をしめす。

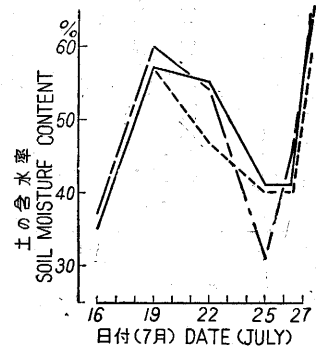
このときは 1951年の例とことなりときどき雨があつたにもかかわらず、土がひどくかわいている。この年はツユがほとんどなく、測定をはじめの前については 7月8日以前の記録を欠くが、7月11日には苗畑の土はひどくかわいて表面に地割がみられたことから考えると雨はすくなかつたようだ。8日以後は 8, 9, 15日に小雨があり、測定をはじめから 19日にかなりの雨 22日朝 25日および 26日朝 27日夜に雨があつたが、図にしめすようなカワキカタをしめしている。このことから考えてもすこしばかりの雨はあまり影響がないことがわかる。この測定記録のなかには土の含水率が永久凋萎含水率以下またはそのちかくまでさがつたばあいがある。このように土がかわくと生長に影響をあたえることはあとにしめす実験からあきらかだ。

2. 雨のふらない日のつづきかた

上にのべたような土のかわくことがどのくらいおこりやすいかについては、永年にわたつて土の含水率をしらべた記録がないのでわからないが、第1の例の程度以上に雨のふらない日がつづいた例はめずらしくない。中央気象台の気象月報から 1939—54の15年間に7—8月に雨のふらない日がつづいた例をひろくと第1—3表のようになり、0.1mm以上の雨のふらない日がかんりながくつづくことはめずらしくなく、5mm以下の雨で中断されたばあいをふくめれば雨のふらない日がつづくことはしばしばおこることがあきらかだ。



第1図 雨のふらない日がつづいたあとの土の含水率 A : 21日間 B : 13日間
Fig. 1. Soil moisture after prolonged rainless days. A : 21 days after the rain, B : 13 days after the rain.



第2図 ときどき小雨のあつたあついで夏の土の含水率 —フカサ 3cm
.....フカサ 8cm ---フカサ 12cm,
Fig. 2. Soil moisture in hot sunny days interrupted at times by light rains. — at the depth of 3 cm, at the depth of 8 cm, -- at the depth of 13 cm.

このようなばあいにも、そのあいだの 気象状態によつて 土のガワキカタがちがうにせよ、苗畑の土が、ひどくかわくことは けつして めずらしいことではないと 考えられる。

3. 考 察

雨がふらないために 土地がかわいたのを はかつた例は いくつか あげることができる。佐藤と山口 (1940) は 札幌で 雨がふらない日がながくつづいて 土がかわいたために エゾ

第1表 7—8月に0.1mm以上の雨のふらない日のつづいた回数
(1939—1953, 15年間)

Table 1. Frequency of continuation of days without rain heavier than 0.1 mm, in July-August, 1939—53.

地名 Locality	日数 Days	11—15	16—20	21—25	26—30	31—35	36—40
宮崎 Miyazaki		3			1	1	
松山 Matuyama		6	2		1	1	
広島 Hiroshima		10	3		1	1	
松江* Matue*		3	1	2			1
名古屋 Nagoya		6	3		2		
横浜 Yokohama		7	2		1		
東京 Tokyo		6	2	1	1		
水戸 Mito		5	2				
長野 Nagano		5	1		1		
富山 Toyama		7	3		1		
仙台 Sendai		3					
秋田 Akita		4	2	1	1		

* 松江は 1941—53, 13年間.

* For Matue, 1941—53.

第2表 7—8月に1mm以上の雨のふらない日のつづいた回数
(1939—53, 15年間)

Table 2. Frequency of continuation of days without rain heavier than 1 mm, in July-August, 1939—53.

地名 Locality	日数 Days	11—15	16—20	21—25	26—30	31—35	36—40
宮崎 Miyazaki		3	1		1	1	1
松山 Matuyama		10	3	4	2	1	
広島 Hiroshima		12	6	4	1	1	
松江* Matue		8	1	2			1
名古屋 Nagoya		9	4		2	3	
横浜 Yokohama		8	5	1	1		
東京 Tokyo		6	5	2	1		
水戸 Mito		9	2				
長野 Nagano		6	1		1		
富山 Toyama		8	5		1		
仙台 Sendai		7	3				
秋田 Akita		5	3	1	2		

* 松江は 1941—53 の 13年間.

* For Matue, 1941—53.

第3表 7—8月に5mm以上の雨のふらない日のつづいた回数

(1939—53, 15年間)

Table 3. Frequency of continuation of days without rain heavier than 5 mm, in July-August, 1939—53.

地名	Loacity	日数 days	16—20	21—25	26—30	31—35	36—40	41—45	46—50
宮崎	Miyazaki		1	1	1	1	1	1	
松山	Matuyama		5	6	4	4			
広島	Hirosima		7	6	3	6	1		
松江*	Matue*		4	6			2		
名古屋	Nagoya		6	5	2	3			
横浜	Yokohama		6	4	2				
東京	Tokyo		7	5	3	1			
水戸	Mito		5	5	2	1			
長野	Nagano		6	1	2	1			1
富山	Toyama		8	3	2	1			
仙台	Sendai		9	2	1	1			
秋田	Akita		7	1	2	1		1	

* 松江は 1941—53 の 13 年間.

* For Matue, 1941—53.

マツ トドマツの 1—4 年生苗の枯れたばあいの 土の水分張力について 報告しており、彼等の表にしめされた 蔗糖液のモル数を 気圧になおすと 地表から 20 cm までは まつたく有効水分をふくまなかつたことがわかる。平野と藤井 (1954) は 瀬戸内海岸の ハゲヤマについて、われわれ (佐藤, 名村 1955) も 愛知県瀬戸市の ハゲヤマについて、田崎 (1951) は 海岸のクロマツ林について、おなじような例を 報告している。ここで例にあげた 田無苗畑の土は 有効水分のハバが おおきなほうに属するから、保水力のよりすくない 砂質の土では さらにひどくかわくばあいが めずらしくないと 考えられる。そのようなばあいに 芽を出してからは じめての夏をむかえる 針葉樹の当年生の幼植物は、まだちいさく、深く根をはつていないので 水を 地表から浅い層の土に もとめなければならぬので、このような 土のカワキは 生長に、ひどいばあいには 生存に おおきな影響をあたえらる。

4. あらまし

田無苗畑で土のかわいたばあいの例をしめし、そのような 状態がおこることは めじらしくないことを 気象資料から ひきつついて雨のない日の オコリカタをしらべて あきらかにした。

Ⅲ 土がひどくかわいたときのケレカタ

アカマツ ヒノキ スギの順に 耐乾性がつよいと 経験的に いわれているが、それが どのようなばあいに そうであるかは はつきりしていない、この点についての 具体的な記録は きわめてすくない。まきつけてから はじめての夏の条件では、野原 (1942) が ヒデリのさい

に 苗畑で観察した記録のほかには みあたらない。それによると、ヒノキの被害が もつともいちじるしく、スギとアカマツでは たいしたことはなかつたという。石川 (1933) は スギのマキツケナエが アカマツにくらべると 8月までのあいだの カレカタがひどい といっているが、これも 関係があるかもしれない。ところが 満1年以上の苗を ほりあげて ある程度かわかしたあとで 土にうえて 回復をしらべた実験は かなりおこなわれている。渡辺(1908) は スギ ヒノキ アカマツの順に 枯れブアイが高いと報告し、坂口と野原 (1939) は スギがもつともおおく枯れ ヒノキがもつとも枯れにくいことを見ており、伊藤 (1951 b) は 水をうしなつた苗を 水耕にうつして 回復をしらべ アカマツ ヒノキはスギよりも枯れブアイがたかかつたといっている。もつとも 伊藤の実験では 水をうしなわせなかつたものの枯れブアイも おなじような順序をしめしているから、かならずしも 水をうしなつたための カレカタのチガイだとは いいきれない。これらの実験では 根が 空気のなかで かわくことや 根の再生力も 関係していると おもわれるので、土にはえているときの 耐乾性を あらわしているとは かぎらない。いま われわれのもつている資料が この程度だとすると、3樹種の マキツケナエの 土がかわいたための カレカタについて、あらためて しらべてみる必要があると 考えられるので、土がひどくかわいたときの カレカタと それに関係のある因子の一部について しらべてみた。

1. 根のはいるフカサを制限しないばあい

もつとも自然状態にちかい条件での ひきつづいた凋萎にたえるチカラを くらべるために、根のはいるフカサを 制限しないで 実験をおこなつた。

実験 1.

(1) 材料と方法

土： 田無苗畑の土で、関東ロームといわれる かるい 腐植にとぼしい 砂壤土である。1分目のフルイをとおしたものを つかつた。ピペット分析による 組成は 第4表のとおりだ。常法でしらべた 真比重は 2.55、容積重は 0.68、孔隙率は 74%、WOLF-WAHNSCHAFFE法による 最大含水量は 93.5% (オモサに対し) および 63.2% (容積に対し) だつた。苗

第4表 土の組成

Table 4. Soil texture

	石 礫 Gravel	粗 砂 Coarse sand	細 砂 Fine sand	微 砂 Silt	粘 土 Clay
粒 径 Grain diameter (mm)	>2.0	2.0—0.25	0.25—0.02	0.02—0.002	0.002>
ワリアイ (%)	0.33	4.71	41.27	37.99	15.70

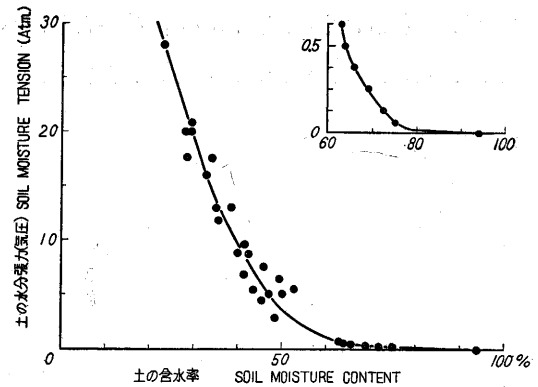
畑で じかにもとめた 野外含水量は 平均 64.5% (オモサに対して)、実験室で ガラス管を

つかつて もとめた 野外含水量は 64.3%。水分張力が 15 気圧のときの含水率は 33.5% で、この点は きわめておおくの種類の土で 永久凋萎含水率 (permanent wilting percentage) と よく一致するという (RICHARDS and WEAVER 1944)。土の含水率と水分張力との関係は RICHARDS (1948) の porous plate apparatus のような すすんだ 精度の高い 方法をとることができなかつたので、精度はおちるが すこしあらためた HANSEN (1926) の方法によつて もとめた。ピンに濾紙片を出し入れするあいだの

蒸発量の修正は おこなつた。この方法は 水分張力の低い 土の含水率の高いときには 不正確なので、ややかわいた土についてだけおこない、しめつた 水分張力のひくい土については tensiometer によつてもとめた。tensiometer ではかれる範囲 (約 0.8 気圧以下) のそとで HANSEN 法の精度のわるい 5 気圧以下の部分については はかることができなかつたが、はかつてある部分の ふたつの曲線を むすびつけることによつて 推定した。いずれのばあいにも土がしたいにかわくばあいと しめつてゆくばあいとは おなじ含水率でも 水分張力がちがうので、この実験の目的にあうように、土がかわいてゆくばあいのアタイをもとめた。土の含水率と水分張力の関係を 第3図にしめす。

タネ： スギとヒノキは 東大秩父演習林産、アカマツは 同千葉県演習林産のものを、オオキサのはぼそろつたものを えらんで もちいた。

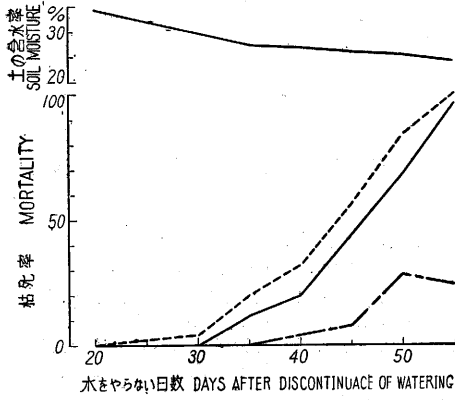
直径 16 cm フカサ 30 cm の 亜鉛の ワグネル型ポットに 田無苗畑の土をいれ、土のオモテを 3個のオオギ形にくぎり、おのおの1区を それぞれ スギ ヒノキ アカマツにあてた。3月31日に アカマツ 70 粒 スギ ヒノキ おのおの 300 粒をまきつけ、芽が出そろつてからまびいて おのおの 30本とした。マワリのガラス壁をとりのぞいて メのあらい金網をはつた 自然条件にややちかい ガラス室で 普通にそだてた。ただ ときどき ハチをまわして ならべかえ、一部だけの土が つねに 日射のために あつくなることをふせいだ。7月1日に じゆうぶんの水をやつたのち、水をやるのをやめて 土がかわくにまかせた。特別な 耐乾性試験装置 (たとえば SHIRLEY 1934) は つかわなかつた。第4図にしめす日数をへたのちに 1ハチずつ 水をやり、水をやつてから1週間後に シオレから回復しないで 赤く色がかわつていたものを 枯れたものとして かぞえた。実験にかかるまえに 立枯病のために か



第3図 実験につかつた土の 含水率と水分張力の関係、右上の図は tensiometer による部分。

Fig. 3. Relation between soil moisture content and soil moisture tension of the soil used (determined with HANSEN's method and tensiometer). Small figure on the upper right is the detail of the one determined with tensiometer.

なりのハチに 枯れたものが出たので、そのようなハチは 実験につかうのをやめたため、クリカエシは おこなわなかつた。水をやるまえに 地表から 10 cm のフカサの 土の試料をとつて常法で含水率をしらべた。



第4図 土のカワキによるカレカタ
Fig. 4. Mortality due to drought of the seedlings in the deep containers. — スギ *Cryptomeria japonica*, ... ヒノキ *Chamaecyparis obtusa*, -.- アカマツ *Pinus densiflora*.

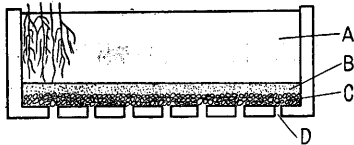
(2) 結果

第4図にしめすように、枯れブアイは ヒノキがもつともたかく アカマツがもつともひくく、この関係は 水をやらずにおいた期間の長短によつてかわることはなかつた。図にしめた 土の含水率は ほかのハチの 土の含水率をも 代表するものではないが、あまり大きなチガイはないと考えて、すべてのハチの土が おなじように かわいていつたとすると 各樹種とも 土の水分張力が 15 気圧をこえても かなり ながく生きていたことがわかる。

実験 2.

(1) 材料と方法

まえとおなじガラス室に ナガサ 182 cm ハバ 75 cm フカサ 27 cm (すべてウチノリ) の底にアナをおおくあけた 木の箱をおき、第5図のように 底に コイシと砂の うすい層をつくつたうえで 実験 I とおなじ 田無苗畑の 砂壤土をいれ、第6図のような配置にくぎつ



第5図 実験につかつた木の箱の断面
Fig. 5. Cross section of the container for the experiment. A: 土 soil, B: 砂 sand, C: コイシ gravel, D: 排水孔 drain.

Ch	P	Cr	Ch	P
Cr	Ch	P	Cr	Ch
P	Cr	Ch	P	Cr

第6図 樹種の配置
Fig. 6. Arrangement of the species in the container.

第5表 つかつたタネ
Table 5. Seeds used.

樹種 Species	産地 Source	発芽率 % Germinability	千粒重 g Weight per 1000 grains	千粒容積 cc Volume per 1000 grains
スギ <i>Cr. japonica</i>	東大秩父演習林 Tokyo Univ. Forest at Titibu	19.0	4.2	12.2
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	長野県 福島 Hukusima, Nagano Pref.	72.6	3.0	8.4
アカマツ <i>P. densiflora</i>	東大千葉演習林 Tokyo Univ. Forest in Tiba	94.6	8.4	15.3

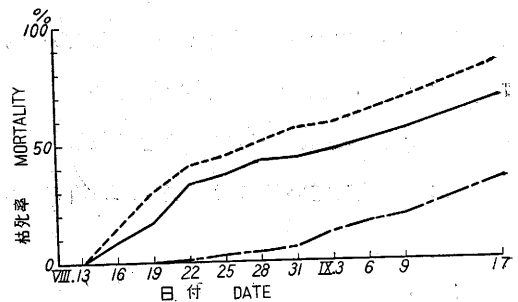
て、第5表にしめすようなタネを 4月2日にまきつけた。芽が出そろつてから ほどよくまびき、1—2日おきに水をやつて 普通にそだてた。7月13日から 水をやるのをやめて 土がかわくにまかせた。土がひどくかわいて 土が永久凋萎含水率以下にかわくまで 数日おきに地表から 5 10 15 20 cm のフカサの 土の試料を 検土杖をつかつて とりだして 含水率をしらべ 永久凋萎含水率になる時期をおさえた。この実験では 実験1のばあいとちがつて おもに 葉の色調の変化によつて 枯れたか枯れないかをしらべた。すなわち、予備実験の結果によると、土が永久凋萎含水率以下にかわくと、アカマツとスギでは まず あたらしい葉がしおれ ついで 下のほうの葉から しだいにやわらかくなり スギでは 葉がたれはじめる。ヒノキでは そのころ 全体がやわらかくなる。ついで 胚軸にシワがより、スギとヒノキでは 子葉がにぶい緑色になる。このときまでは 水をやれば 水をすつて もとどおりになる。さらに 苗が水をうしなうと 葉の緑色がうすくなり ツヤがなくなる。こうなると もはや 水をやつても回復しないので このようになったときを 枯れたときとした。このキメカタは 実験1のキメカタにくらべると タシカサは おちるとおもわれる。はじめて スギとヒノキの枯れた個体の見られた 8月16日から 9月9日まで 3日ごとに 枯れた個体の数をかぞえ 枯れた日がわかるように メジルシをつけておいた。9月17日に実験をうちきつた。ほかの実験につかつた ノコリをもちいたので 個体の数は 樹種によつてちがひ、スギ 124 ヒノキ 302 アカマツ 337 だつた。

(2) 結果

第7図にしめすように、ヒノキのカレカタが もつともひどく アカマツのカレカタが もつともすくなく、実験1の結果とよくあつている。また スギとヒノキのチガイはすくないが アカマツは とびはなれて カレカタがすくなく 枯れはじめる時期がおそいことも 実験1

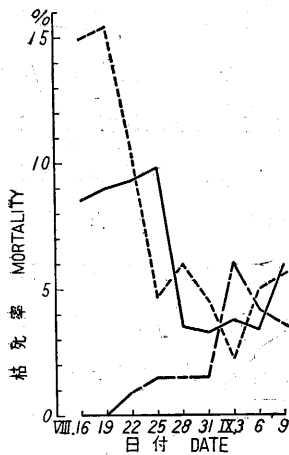
のばあいとおなじだ。土の含水率は フカサ 5 cm では 7月30—8月1日に、10cm と 15 cm では8月1—2日に、20 cm では 8月6

日ごろに 永久凋萎含水率までさがつたが、それから 枯れたものが見られるまでには スギとヒノキでは およそ2週間 アカマツでは およそ3週間かかつたわけで、ともに 有効水分 (readily available water) がなくなつたあとも かなり ながく生きていることがわかる。第4図の スギとヒノキの 枯れブアイのふえてゆく曲線 および 第7図の 3樹種の 枯れブアイのふえてゆく曲線は 枯れはじめてからしばらくたつと 平行にちがひことから考えると、樹



第7図 土のカワキによつて枯れてゆくスジミチ
Fig. 7. The progress of mortality due to drought of the seedlings in the deep container.
—スギ *Cr. japonica*, ヒノキ *Ch. obtusa*,
---アカマツ *P. densiflora*.

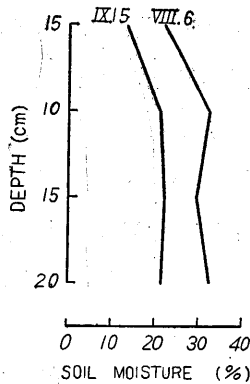
種のあいだの 枯れブアイのチガイは おもに 初期の枯れブアイ



第8図 3日ごとの枯れブアイ

Fig. 8. Mortality for every three days of seedlings in the deep container.

— スギ *Cr. japonica*
 ヒノキ *Ch. obtusa*
 - - - アカマツ *P. densiflora*



第9図 土の含水率の垂直分布

Fig. 9. Soil moisture contents at various depths from the soil surface.

によつてきまつているように見える。この関係を さらにあきらかにするために、しらべた間隔の3日のあいだに枯れたものの全供試数に対する ワリアイをもとめると第8図のようになり、スギとヒノキの枯れたものの大部分は 枯れはじめたころにまともまつているが、アカマツではそのようなことはなく、ある時期の枯れブアイとしてあらわれた数字には この時期のカレカタのチガイが おおきくあらわれているようだ。実験のあいだの 土の含水率の垂直分布を 第9図にしめす、10 cm より深い土の層では フカサによつてあまりチガイはないようだ。

実験 1, 2 をとおしていえることは、根のはいるフカサを制限しないばあいの 耐乾性の順位は アカマツ スギ ヒノキであり、3樹種とも 土の含水率が 永久凋萎含水率よりもさがつても なお かなりのあいだ生きていられるということだ。また ここで得られた 耐乾性の順位は 根のはいるフカサの順位と 一致している。

2. 根のはいるフカサを制限したばあい

まえの実験で 根のはいるフカサを制限しないばあいの 耐乾性の順位と 根のはいるフカサの順位とが 一致しているので 根のはいるフカサのチガイをとりのぞいて 耐乾性をくらべてみた。

実験 1.

(1) 材料と方法

まえとおなじガラス室で、ナガサ 45 cm, ハバ 30 cm, フカサ 6 cm の セトビキのバツ

第6表 つかつたタネ
 Table 6. Seeds used.

樹種 Species	産地 Source	発芽率 % Germinability	千粒重 g Weight of 1000 grains	千粒容積 cc Volume of 1000 grains
スギ <i>Cr. japonica</i>	東大田無苗畑 Tanasi, Tokyo	18.4	4.1	12.0
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	高知県窪川 Kubokawa, Kooti Pref.	43.8	3.1	8.6
アカマツ <i>P. densiflora</i>	岩手県沼宮内 Numakunai, Iwate Pref.	97.6	8.2	14.9

ト3個に 田無苗畑の土をいれ、第6表にしめすようなタネを 第10図のような配置に 4月15日にまきつけた。芽がでそろつてから ほどよくまびき、実験にかかるまで普通に管理した。8月11 16 および 31日に それぞれ ひとつのバツトに 十分に水をやつたのち 土が自然にかわくにまかせ、8月26 31日 および 9月17日に それぞれひとつずつに ふたたび水をやり、1週間後にしらべて 赤く色がかわつていたものを 枯れたものとした。実験の条件は 第7表のとおりだ。

第7表 実験の条件
Table. 7. Conditions of drought treatment.

Cr	Ch	P
P	Cr	Ch
Ch	P	Cr

第10図 樹種の配置
Fig. 10. arrangement of the species in the containers.

回 Series	I	II	III
水をやらない期間 Date	VIII. 11—26	VIII. 16—31	VIII. 31—IX. 17
水をやらない日数 Length of drought treatment	15	15	17
水をやるまえの土の含水率 % Soil moisture before re-watering	24.4	24.4	21.5
土が凋萎含水率に達した日 Date when permanent wilting percentage was attained	VIII. 21	VIII. 25	IX. 10

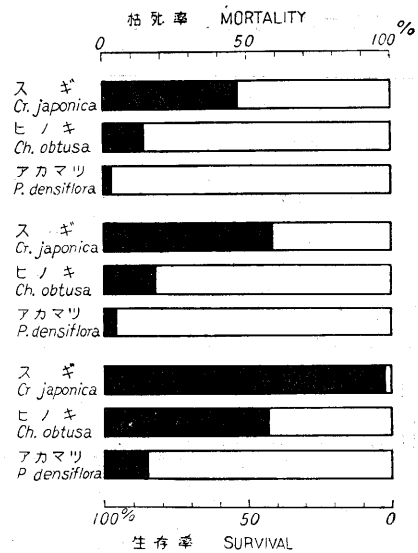
(2) 結果

第11図にしめすように、3回のクリカエシをとおして スギが もつとも耐乾性がよわくアカマツが もつともつよいことがわかる。土が永久凋萎含水率に達してから6—7日たつた水をやるまえの 土の含水率は かなりひくいが、この程度まで土がかわいても まだ かなりのものが生きており、ことに それは アカマツでいちじるしい。実験をおわつたあとで、バツトをひつくりかえて根をあらいだしたところ、根は土のなか全体に網のように 分布していた。

実験 2.

(1) 材料と方法

直径 15.5 cm フカサ 3.1 cm の ガラスのシャーレ 25 個に 田無苗畑の土をいれ、シャーレのまんまかに ガラス管をたてて 水をやるときの 空気ヌキとした。土のオモテを 3個のオオギ形に等分し、そのおのおのに 第8表にしめすタネを アカマツ 100粒 スギとヒノキ おのおの 300粒を 4月15日に まきつけた。芽が出そろつてから 各樹種 35本にまびいた。まえとおなじガラス室で 7月7日まで 普通にそだてた。ときどき 位置をいれかえ シャーレをまわし



第11図 土のカワキによるカレカタ
Fig. 11. Mortality due to drought of the seedlings in the shallow containers.

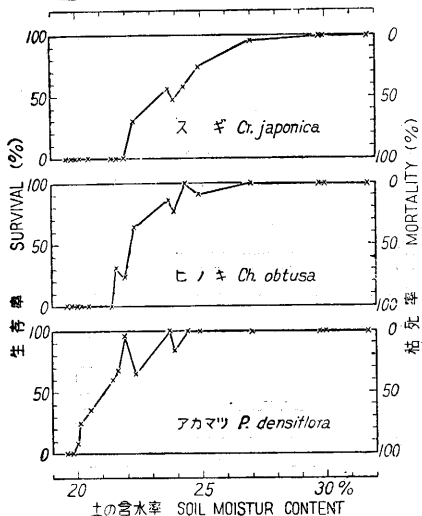
第8表 つかつたタネ
Table 8. Seeds used.

樹種 Species	産地 Source	発芽率 % Germinability	千粒重 g Weight of 1000 grains	千粒容積 cc Volume of 1000 grains
スギ <i>Cr. japonica</i>	東大千葉県演習林 Tokyo Univ. Forest in Tiba	38.2	3.4	8.2
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	同 秩父演習林 Tokyo Univ. Forest in Titibu	47.6	1.7	7.1
アカマツ <i>P. densiflora</i>	岩手県 一ノ関 Iitaoeki, Iwate Pref.	97.5	8.3	15.8

て ちいさな条件のチガイをすくなくした。7月7日に じゆうぶんに水をやり 空気ヌキのガラス管をとりのぞき 水でオモテの土をながしてアナをうめた。それから水をやらず 土が自然にかわくにまかせた。25個のうち 8個は 立枯病のため アカマツがやられたので もちいず、17個を実験にもちいた。7月14日に1個、7月18 20 および 25日に4個ずつ、それぞれのシャーレから 各樹種 10本あての ナエの試料をとり、コルクボーラで シャーレの底の土の試料を 含水率をしらべるために とつたのち 水をやつた。水をやつてから1週間後にまえとおなじ方法で 枯れブアイをしらべた。

(2) 結果

第12図の ヨコ軸に水をやるまえの土の含水率を タテ軸に生きのこつたブアイをしめす。この実験でも 耐乾性は アカマツがもつとも強く スギがもつとも弱いことが あきらかだ。また 土のカワキがすすむほど 枯れブアイがたかまる傾向が はつきりしている。樹種のあいだでは 枯れはじめる時期 半分が枯れる時期 全部が枯れる時期 とともに スギがもつともはやく アカマツがもつともおそかった。



第12図 土のカワキによるナエのカレカタ

Fig. 12. Mortality due to drought of the seedlings in shallow containers.

根のはいるフカサを制限した ふたつの実験から ひきだされることは、根のはいるフカサを制限しないばあいとちがつて 耐乾性は アカマツ ヒノキ スギの順につよいこと と、いずれも 土が永久凋萎含水率よりもかなりかわいても まだ かなり 生きていうことだ。

3. 耐乾性と根の発達そのほか

根のはいるフカサを制限したばあいと 制限しないばあいに見られた 耐乾性の 樹種のあいだの順位に 一部 クイチガイがあつた。このチガイは 根のはいるフカサに関係があると 考えられるので 根の発達そのほかと 耐乾性との関係を 検討してみた。

(1) 根のナガサ

a. 材料と方法

根のはいるフカサを制限しないばあいの 実験 2の材料についてしらべた。9月17日に 枯れブアイをしらべたのち 箱をこわして、根を いためないように ほりあげ、枯れたとみとめた 日付べつにわけ 根のナガサをはかつて 平均を もとめた。初期に枯れたものなかには かなり 葉の落ちたとみとめられるものがあつたので 地 上部についての測定は おこなわなかつた。

b. 結果

第13図に それぞれの調査日と そのまえの調査日のあ いだに 枯れたとみとめられるものの 根のナガサをしめ す。どの樹種でも 根のみじかいものから さきに枯れてゆ き、根のながいものほど 生きのこる傾向があるが、樹種の あいだをくらべると、はじめの一部をのぞけば おなじ時期 に枯れたもののあいだでは、ヒノキの根が もつともみじか く アカマツの根が もつともながかった。9月17日に 実験をうちきつたときに 生きていたものと そのときまで に枯れてしまったものの 根のナガサの平均を 第14図にしめす。どの樹種でも 枯れたもの は 生きのこつたものにくらべると 根がみじかいことがあきらかだ。

要するに、おなじ樹種のなかでは 根のながいものほど 土のカワキにたえて 生きのこるこ とが あきらかだが、樹種のあいだでは かならずしも この関係はあてはまらない。

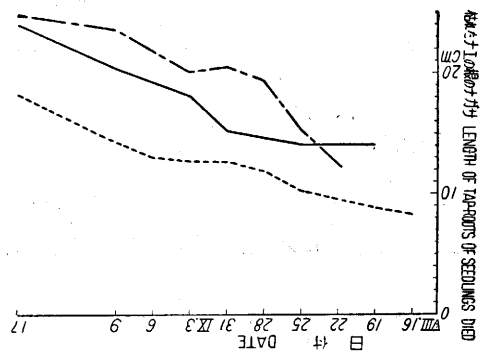
(2) T-R 率とナエのオオキサ

a. 材料と方法

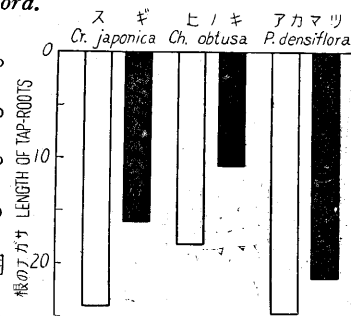
根のはいるフカサを制限したばあいの 実験1の材料について、生死をしらべたのち、バット をふせて土をあげ、水であらつて 土をとりのぞき、きずつけないように 個体ごとにわけ、さ らに 水でよくあらつて 土をおとし、それぞれの地上部と根を カミソリのハで 切りわけ、 個体ごとに 105°Cで 72時間 かわかして 絶乾重量を トーションバカリではかつた。

b. 結果

第15図に 地上部と根の 平均のオモサを、第16図に T-R率をしめす。3回のクリカ エシをとおして 生きのこつたものは 枯れたものにくらべると T-R率は ちいさく、地上部

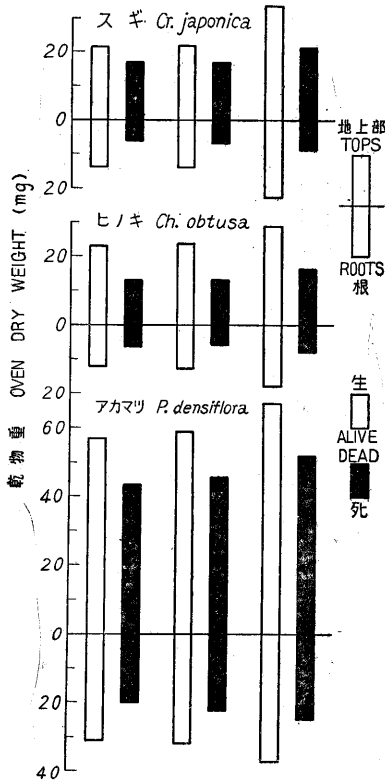


第13図 枯れたナエの根のナガサ
Fig. 12. Length of roots of the seedlings died during every three days. —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.



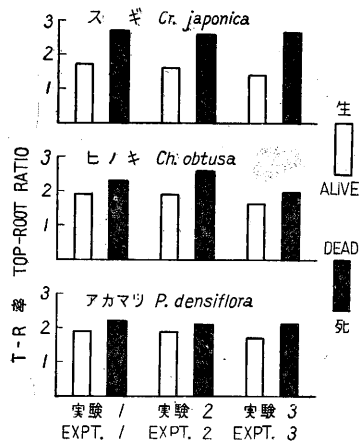
第14図 生死と根のナガサ
■枯れた □生きています
Fig. 14. Length of roots of the seedlings alives and dead. ■ dead, □ alive.

にくらべて 根のよくそだつたものが 土のカワキにたえて 生きのこることをしめしている。また 地上部も 根も ともに よくそだつた 大きなナエのほうが 生きのこりやすいことがわかる。しかしながら 樹種のあいだでは 耐乾性と T-R 率のあいだには 一定の関係がみられない。すなわち 生きのこつたもののなかでは スギ ヒノキ アカマツの順に T-R 率がちいさく、枯れたもののなかでは その逆だつた。また 根の量だけについて見ると、アカマツがもつともおおく ヒノキがもつともすくなかつた。



第 15 図 ナエのオオキサと生死
Fig. 15. Dry weight of the seedlings alive and dead.

要するに 根のナガサや 量 および T-R 率によつては 樹種のなかの 個体の耐乾性のチガイを説明することはできるが 樹種のあいだの 耐乾性のチガイについては、ある程度は 関係があるとしても、完全には 説明しきれない。



第 16 図 T-R 率と生死
Fig. 16. Top-root ratios of the seedlings alive and dead.

4. 根をとりのぞいたばあい

根のナガサや 量は 樹種のあいだの 耐乾性のチガイに ある程度は 関係があるにせよ、それを十分に説明することはできないので、根の 総合された 水を取りいれる能力のチガイをとりのぞいた 樹種のあいだのチガイを見るために、地上部だけを 切りとつて その乾燥に対する抵抗性をくらべた。

(1) 材料と方法

スヤキのウエキバチに 田無苗畑の土をつめ、土のオモテを 3個の オオギ形にくぎつて、第9表にしめすようなタネを それぞれのクギリにまいた。タネは あらかじめ およそ 5°C の 冷蔵庫のなかで 3週間 水をすわせたのちに、4月12日にまきつけた。

第9表 つかつたタネ

Table 9. Seeds used.

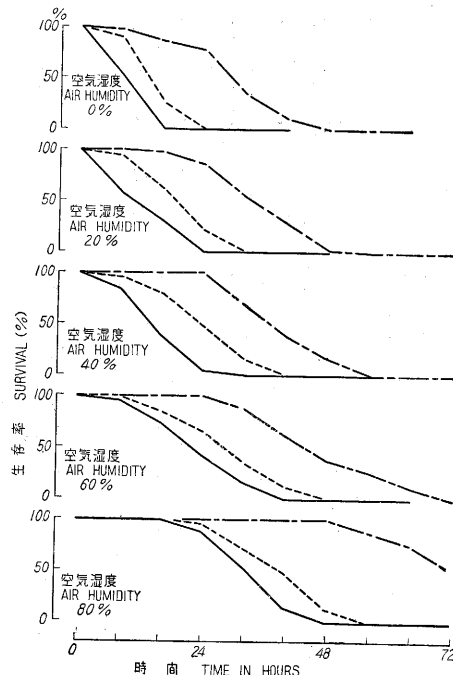
樹種 Species	産地 Source	発芽率 % Germinability	千粒重 g Weight of 1000 grains	千粒容積 cc Volume of 1000 grains
スギ <i>Cr. japonica</i>	東大秩父演習林 Tokyo Univ. Forest at Titibu.	34.7	3.5	8.6
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	同上	42.3	2.1	7.8
アカマツ <i>P. densiflora</i>	東大千葉県演習林 Tokyo Univ. Forest in Tiba	93.4	3.1	14.9

芽が出そろつたのちに ほどよくまびき、まえとおなじガラス室で 普通にそだてた。7月21日から 8月10日のあいだに 切りとつた地上部の 乾燥に対する抵抗性をしらべた。地上部をきりとり、水にさして 実験室にもちこみ、水のなかで キリクチをきりなおして およそ1時間おいたのち、キリクチをきりなおし キリクチにワセリンをぬつて キリクチからの蒸発をふせぎ、第17図にしめすような 空気の湿度にたもつた デシケーターのなかの 金網の上にならべた。デシケーターのなかの 空気の湿度は 0%は CaCl_2 、そのほかは それぞれ きまつた濃度 (生物科学ハンドブック、岩波全書、p.9) の H_2SO_4 でつুক্তた。図にしめす時間ののちに デシケーターから とりだして キリクチをきりなおして ワセリンをぬつた部分をとりのぞき、キリクチを水につけて フタをしたシャーレに置いて 木箱のなかにおき、24時間

後に シオレからもどるかどうかをしらべて 枯れブアイをもとめた。樹種と空気の湿度については 平行して、時間については 部分的にはべつべつに 実験をおこなつた。1回 1区に1樹種5本あてをもちい 5回くりかえして平均をもとめた。デシケーターは 実験室のすみのうすぐらいところにおき、室温 (21°-32°) で実験をおこなつた。ナエの地上部をきりとつて 実験にかかるのは、8 24の倍数 およびそれに8をくわえた時間のものは 9時—9時30分に、16 および 24の倍数に16をくわえた時間のものは 17—17時30分とした。

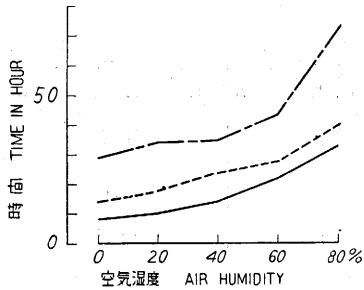
(2) 結果

第17図にしめすように、すべての湿度条件をとおして、枯れたものがあらわれはじめる時間からみても、おなじ時間での 枯れブアイか



第17図 切りとつた地上部の乾燥に対する抵抗性
Fig. 17. Desiccation resistance of shoots.

— スギ *Cr. japonica*, ヒノキ *Ch. obtusa*,
-.- アカマツ *P. densiflora*.



第18図 ナカバが枯れるまでの時間

Fig. 18. Time when half of the treated shoots died. —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, ---アカマツ *P. densiflora*

ら見ても、切りとつた地上部の乾燥に対する抵抗性はアカマツ ヒノキ スギの順につよいことがわかる。50%が枯れるに要する時間を第17図からもとめると第18図のようになり、ナカバが枯れるに要する時間はどの樹種でも空気の湿度がたかいほどながかつたが、その時間は空気の湿度には比例せず湿度が高いほど比例以上にながく生きる傾向が見られた。

5. 考察

根のはいるフカサを制限しないばあいの耐乾性の順位はアカマツ スギ ヒノキとなつた。このことはヒノキがスギやアカマツにくらべるとヒデリのさいのマキツケドコでのカレカタがはるかにひどかつたという野原(1942)の観察とあつている。このような方法で耐乾性をくらべることはМАКСИМОВ(1926, p. 409—410)によればТУМАНОВ(1926)が春マキのコムギの品種のあいだにおこなつて畑での試験とおなじ結果を得ている。林木についてもナラ類についてBOURDEAU(1954)がこのような方法で耐乾性をくらべており、土が永久凋萎含水率になつてから2日目にもつともよわいものが枯れ、12日目にはごくつよい樹種をのぞくとほとんど枯れてしまつたといつている。この実験では、実験1では土が永久凋萎含水率までかわいた時期ははつきりしないが、実験2ではスギヒノキは土が永久凋萎含水率になつてから16日目には枯れはじめ、アカマツは22日目に枯れじめた。この実験の結果とBOURDEAUの実験の結果は樹種のほかにいろいろな条件がちがうのでくらべることはできない。AUER(1948)は土の種類によつてヨーロッパのカラマツのマキツケナエの土のカワキのために枯れる時期がいちじるしくちがうことを報告している。FOWELLS and KIRK(1945)もおなじような方法でトマトと*Pinus ponderosa*をくらべている。岡崎たち(1954)はソダテカタのちがうスギのナエのしおれるときの土の含水率をおなじような方法でくらべて耐乾性をくらべており、平田と神保(1928)もアカマツとハンテンボクをおなじようにくらべている。しかしシオレが目に見える時期の土の含水率の多少と耐乾性とをむすびつけるにはさらに検討を要する点がある。この実験で得られた樹種のあいだの耐乾性の順位は樹種のあいだの根のフカサの順位と一致している。ヒデリのさいに根のふかくはいる種類ほど生きのびやすい例はかずおおく報告されており、林木の当年生の幼植物についてもHAIG(1936), HAIG et al(1941)が野外で観察している。

根のはいるフカサの影響をとりぞくために、根のはいるフカサを制限しておなじような実験をおこなつたところ、アカマツの耐乾性がもつともつよいことは根のはいるフカサを制限

しないばあいとかわらないが、スギとヒノキの順位はいれかわつた。DAUBENMIRE (1943) は数種の針葉樹について フカサ 8 cm のイレモノをつかつて おなじような実験をおこない、*Picea engelmannii* は 土が永久凋萎含水率までかわいてから 1日以内に枯れはじめ、*Thuja plicata* と *Abies lasiocarpa* は 4日以内にみな枯れたが、*Pinus edulis* は 10日たつても 枯れなかつたことを 報告している。この実験では そのようにはやく枯れるものは 見られなかつた。彼は その実験の結果から 耐乾性と 樹種の垂直分布の問題を論じているが、根のはいるフカサを制限すると 自然状態とちがつた 結果が得られる オソレがあることは この実験の結果から考えられるので、そのようなばあいの 実験法としては 根のはいるフカサを制限することが 適当でないばあいがあり得るとおもう。

根のはいるフカサを制限することによつて スギとヒノキの 耐乾性の順位がかわつたことには、スギのほうが ヒノキよりも 根のはいるフカサがふかいことが 関係があるように 考えられるので、根のはいるフカサと 耐乾性との関係を しらべたところ、おなじ樹種のなかでは根のながいものほど、いきのびることが あきらかにされたが、ちがう樹種のあいだでは そのような関係は みいだされず、おなじ期間に枯れたもののあいだでは アカマツの根がもつともながく ヒノキの根がもつともじかかつた。このことから考えると、根のはいるフカサと 耐乾性の順位が 一致したのは ミカケの一致にすぎなかつたようにみえる。しかしながら 根のはいるフカサを制限しないばあいの 樹種によるカレカタのチガイは おもに 初期のカレカタのチガイによつて きまつていることから考えると 根のはいるフカサも 関係がないとはいえない。すなわち 初期に枯れた 根のみじかいものでは 根の大部分が ごく浅い層にだけあるために、ひどくかわいた土だけに 水をもとめなければならぬので、根のみじかいヒノキがもつとも枯れやすく 根のながいアカマツが 生きのびるということになる。初期に枯れたもののほかは かなり ふかい層に根をはつており、それらの層では フカサによる 土の含水率の差はほとんどないので、根のナガサのもつイミは すくなくなると考えられる。根のナガサとして あらわされたものは、おなじ 樹種のなかでは 同時に 根の量の多少をも あらわしていることは 考えにいれなければならない。また 根のナガサとカレカタの関係は 土の含水率の垂直分布の型によつても そのアラワレカタが ちがうと考えられる。土の含水率の垂直分布の型は 気象状態による 土のカワキカタのチガイのほか、土の性質 ことに 土の粒の大小が関係し、砂質の土では はやく毛管の連絡がきれるために おもての層は はやくかわくが 下の層は ながくしめつているという (WALTER 1926, 高橋 1941)。HAIG (1936), HAIG et al (1941) は 根のナガサと 土のカワキカタの ふたつが カレカタをきめている例を報告している。彼等によると、ヒカゲでは 土のカワキカタはすくないが 根の発達がいちじるしくわるいために かつて ナエのカレカタが ひどいばあいがあるという。しかしながら 根のはいるフカサだ

けで カレカタがきまるわけでないことは、おなじ期間に 枯れたもののあいだでは カレカタのすくない樹種のほうが かねて 根がながいこと、また 根のはいるフカサを 制限して ひとしくしても 樹種のあいだに カレカタのチガイが見られることから あきらかだ。

おなじ樹種のなかでは どの樹種でも 根のながいものほど よく生きのびたが、このような例は HAIG (1936), HAIG et al (1941) も報告している。このばあい 根のフカサは 根のはいるフカサだけでなく それによって代表される 根の発達状態の影響をふくむと考えられ、このことは大きなナエ 根のよく発達したナエほど よく生きのびたことからわかる。根のおおいほど 水のトリイレがたやすく (BIALOGLOWSKI 1936, PARKER 1949) よく生きのびることが 知られている (FOWELLS and KIRK 1945, LANE and McCOMB 1948)。根のオモサが 水を取り入れる表面積をあらわさず また 地上部のオモサも 蒸散する部分を代表するわけではないにもかかわらず、T-R率 すなわち 地上部と根のオモサの比率が ナエの耐乾性に大きな影響をもつことは よく知られており、われわれも アカマツのマキツケ苗について そのような例を報告した (1953)。このような関係は この実験では おなじ樹種のなかでは どの樹種でも はつきりみとめられたが、樹種のあいだでは T-R率の差がすくなく このような関係は はつきりしない。神 (1950) は 針葉樹のナエについて 樹種のあいだの T-R率のチガイは 耐乾性と関係があるとはいえないという結果を得ており、山田 (1950) は 針葉樹では 樹種のあいだの耐乾性のチガイと T-R率は 密接な関係があるとしている。単位重量の根の水を取り入れるハタラキ および 単位重量の葉の 蒸散量が 樹種によつてことなるから 樹種のあいだには このような関係がなりたつ必然性はない。

根の発達状態が 耐乾性に影響しているので、そのハタラキをとりのぞくために、地上部だけを切りとつて いろいろの湿度の空気にさらして カレカタをくらべたところ、空気の湿度に関係なく アカマツ ヒノキ スギの順に 乾燥に対する抵抗性がつよかつた。このばあいの耐乾性(乾燥抵抗 desiccation resistance)の順位は 根のはいるフカサを制限したばあいの 耐乾性の順位と 一致していた。このばあいの耐乾性の順位をきめているものは 水をうしなうハヤサと どのくらいまで水をうしなつても枯れないか の ふたつだと考えられ、これらの点についても 樹種のあいだに チガイがあると考えられる。

6. あらまし

根のはいるフカサを制限しない 自然条件にちかえばあいには アカマツ スギ ヒノキの順に耐乾性がつよく、このチガイは 枯れるものが出はじめる時期の カレカタのチガイによることが大きい。根のはいるフカサを制限したばあいには アカマツの耐乾性が もつともつよいことはおなじだが、スギとヒノキの耐乾性の順位は いれかわつた。このタイチガイから 根のはいるフカサが 耐乾性に影響することが 考えられるが、根のはいつているフカサ T-R率 根お

よびナエ全体のオモサなどは おなじ樹種のなかの 生きのこつたものと 枯れたものの 耐乾性のチガイを 説明することはできるが、 樹種のあいだの耐乾性のチガイを 説明するには じゆうぶんではなかつた。地上部だけの乾燥抵抗をくらべたところ 根のはいるフカサを制限したばあいとおなじく アカマツ ヒノキ スギの順に 抵抗性をしめたので 樹種のあいだの耐乾性のチガイには 地上部のいろいろな性質が 根の発達状態とともに 関係していると考えた。

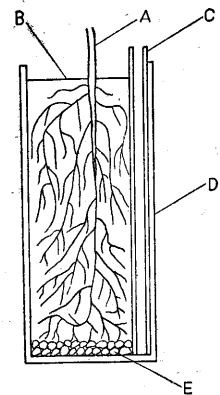
IV 土のカワキによる生長の減退

耐乾性を もつともよい水分条件のもとでの収量に対する 土がかわいているときの収量であらわすという STOCKER et al (1943) のカンガエカタは LEVITT (1951) のいうように 生理学的には とくにイミがあるわけではないが、実用的 および 生態学的には 大きなイミがあるので、土のカワキの生長におよぼす影響をくらべてみた。これによつて STOCKER (1954) のいう vital な耐乾性がくらべられるワケだ。スギ ヒノキ アカマツのマキツケナエの生長と土の水分の関係については、すでに 中村(柴田 1950 による)の研究があるが、その実験は土の含水率を いろいろな状態に “一定に” たもつようなカタチでおこなわれており、この方法については あとからのべるように 批判の余地がある。そのうえ 印刷されていないので くいしいことはわからない。スギとヒノキについては 1年生苗について 芝本(1951), 岡崎(1951)の研究があり、アカマツとヒノキについては 玄(1937)の研究がある。

1. やや長期の実験

第 19 図のように 直径 3 cm フカサ 7.5 cm (ウチノリ) の茶色ガラスの クダビンの底に 4 mm 目のフルイをとおり 2 mm 目のフルイにとまつた ちいさな コイシをいれ、その上に まえの実験とおなじ 田無苗畑の土を 風乾状態 (含水率 14.75%) で 37 g つめ、ビンのスミにガラス管をたてて 土のオモテから水を やるときの 空気のニゲミチとした。クダビン コイシ ガラス管 フタをあわせて 50 g になるように コイシの量でオモサを調節した。150 個を用意した。第 10 表にしめすようなタネをもちいた。

タネの個体差をすくなくするために、それぞれ 1本の母樹のタネをもちい、オモサの範囲を トーションバカリ (1/10 mg メモリ) ではかつて そろえた。アカマツ 400 粒 スギとヒノキ おのおの 1000 粒をえらび、それぞれ ガーゼにつつま、水でよくぬらしたのち ガーゼのハンが水についでいて、たえず水が補給されるよう



第 19 図 ナエをそだてたイレモノ
Fig. 19. The container for the culture.
A: ナエ seedling, B: 土 soil, C: 空気ヌキのガラス管 glass tubing for outlet of the air on the time of the watering, D: クダビン container made of brown glass, E: コイシ gravel.

第 10 表 つかつたタネ

Table 10 Seed used.

樹種 Species	産地 Source	オモサの範囲 Weight mg
スギ <i>Cr. japonica</i>	東大秩父演習林 Tokyo Univ. Forest at Titibu	6.0—3.0
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	東大田無苗畑 Tanasi, Tokyo	2.5—3.5
アカマツ <i>P. densiflora</i>	東大千葉県演習林 Tokyo Univ. Forest in Tiba	9.0—11.0

にして、4月23日から およそ1週間 およそ5°Cの冷蔵庫のなかで 水をすわせたのち、しめつた濾紙の上にならべて 27°Cの恒温器にいた。恒温器にいて3日目ごろから発芽はじまつたが、必要な量のタネがおなじ日に発芽するまでは 芽の出たタネをすてた。スギとヒノキでは5月6日に アカマツでは5月7日に 必要な量だけ発芽したので、できるだけ おなじような状態のものをえらんで ただちに実験用のイレモノに 1ハチに1個ずつ ていねいに植えつけた。要するに おなじ母樹の はぼおなじオオキサの 同じ日に発芽したものをもちいて 誤差をすくなくすることにつとめた。タネを植えつけたイレモノは フカサ 6.5 cmの木箱に水をいれたものにならべて 土の温度が高くなりすぎるのをふせいだ。また イレモノの上面には 土のオモテからの 蒸発をおさえるために 白い厚紙でつくつた トリハズシのできるフタをしたが、密閉はしなかつた。まえとおなじガラス室でそだてた。6月1日までは 土の含水率が 野外容水量のあたりにあるように 水をやり、6月1日から 水のヤリカタの 調節をはじめた。このころには どの樹種でも 主根は すでに イレモノの底にとどいていた。各樹種 50 個のうちから よくそろつたもの 28 個ずつを えらびだして 試験用とし、ほかの 12 個を途中で苗のオモサをしらべる試料とし、ノコリはつかわなかつた。土の水分状態は4種類とし、各区に7個ずつをあてた。各区に対して ナエを無作為にわけ、そだてるあいだの配置も樹種とトリアツカイに関して 無作為にならべ、ときどきナラベカタをかえた。

土の水分の調節は つぎのようにした。水をやるときには どの区も 土の含水率が オモサで 70 % (野外容水量よりもすこし上 水分張力およそ 0.3 気圧) になるようにあたえ、それから 自然に水をうしなうにまかせて 土の含水率が

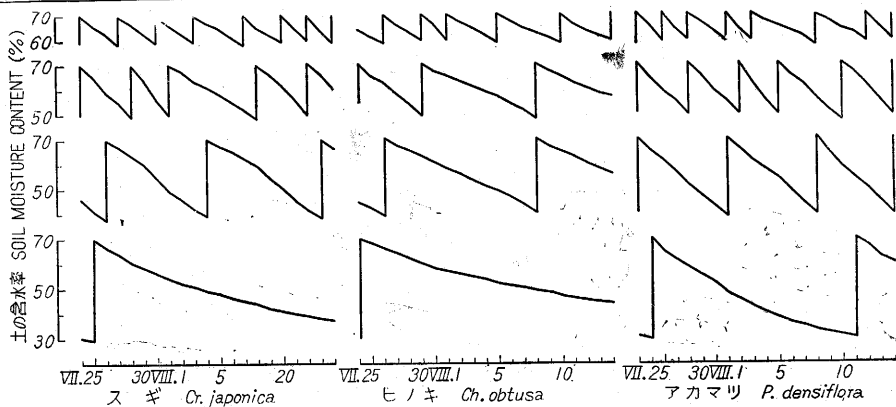
- A. 60 % (野外容水量よりもすこし下、有効水分が およそ 85 % だけ のこつている。水分張力 およそ 1 気圧)
- B. 50 % (有効水分が およそ半分 (53 %) だけ のこつている。水分張力およそ 1.6 気圧)
- C. 40 % (有効水分が およそ2割 (21%) だけ のこつている。水分張力 およそ 9.5 気圧)
- D. 30 % (永久凋萎含水率よりもすこし下、有効水分は まつたくなくなつている。水分張

力 およそ 18.4 気圧)

までさがつたときに 水をやつた。土の含水率は 1—2日おきに イレモノごと オモサをはかつて しらべた。ナエの生長にともなつてオモサのふえたぶんは ときどき べつに用意したナエのオモサをはかつて 修正した。実験をうちきつた 9月 27日までのあいだに 水をやつた回数とその平均の間隔は 第 11 表にしめすとおりで、おなじ処理でも 樹種によつて 水分を消費する程度がちがひ (その一部は個体のオオキサのチガイによる)、したがつて 水をやる必要のある点まで 土がかわくに要する時間も ちがうので、水をやつた回数がちがうことはやむを得なかつた。水の消費の 個体差も いくぶんみとめられた。実験のあいだの 土の含水

第 11 表 水のヤリカタ
Table 11. Irrigation regime.

回数 Frequency of watering	含水率 % Soil moisture		スギ <i>Cr. japonica</i>	ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	アカマツ <i>P. densiflora</i>
	70—60	最大 Max.		36	28
最小 Min.			31	25	29
平均 Mean			33.2	26.3	32.4
70—50		最大 Max.	19	15	21
	最小 Min.	16	13	18	
	平均 Mean	17.7	14.3	19.6	
70—40	最大 Max.		12	9	13
	最小 Min.		11	8	11
	平均 Mean		11.3	8.9	12.0
	70—30	最大 Max.		6	6
最小 Min.			5	4	5
平均 Mean			5.6	4.7	6.3
平均間隔 (日) Interval of watering (days)		70—60		3.55	4.49
	70—50		6.67	8.25	6.02
	70—40		10.44	13.26	9.83
	70—30		21.07	25.11	16.63



第 20 図 土の含水率の変化の一例
Fig. 20. An example of the change in the soil moisture.

率の変化の一例を第20図にしめす。個体差があるので平均値としてはしめなさい。

実験のあいだに 数回 タカサと 胚軸の直径をはかつて 生長のミチスジをしらべた。タカサは 普通のモノサシをつかつて mmまで 子葉から上の部分をはかり、直径は 胚軸のナカホドを ダイアルゲージをつかつて 1/100mm までのはかつた。

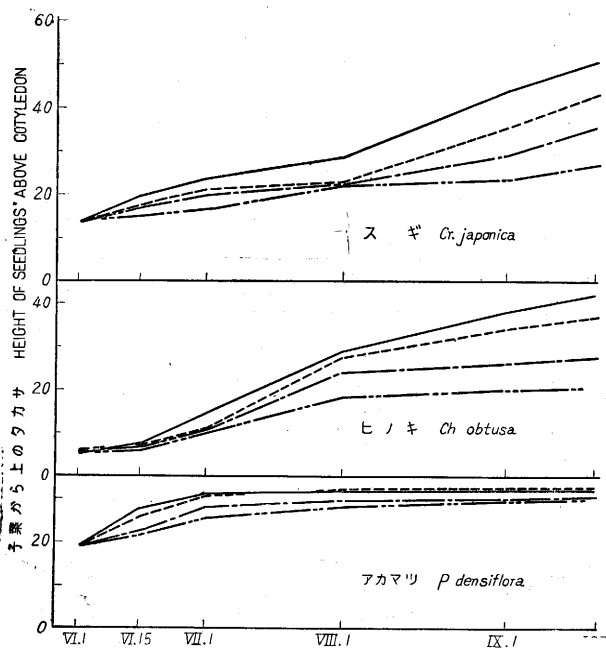
9月27日に実験をうちきり、土の含水率を70%までたかめたのち ナエを イレモノから土のままぬきとり、水のなかで 根をいためないように 土をとりのぞき、地上部と根を カミソリのハで 切りわけ、スイトリ紙で 水をよくふきとつたのち、容量500mg メモリ1mg の トーションバカリで オモサをはかり、地上部と根のナガサ 胚軸の直径 枝の数などをしらべ、105°Cの乾燥器で72時間かわかしたのち 乾燥重量を トーションバカリではかつた。

(2) 結果

a. 生長のミチスジ

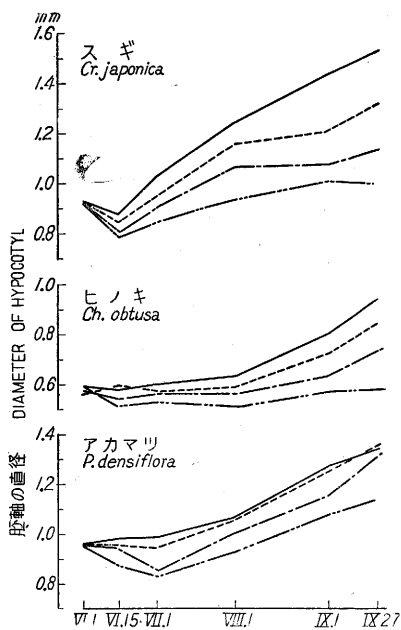
1. タカサ

タカサの生長のミチスジを 子葉から上について 第21図にしめす。アカマツでは 7月1日以後の タカサの生長は ごくわずかで、処理によるチガイは あまりはつきりしなかつた。アカマツでは葉と葉のあいだがせまいので、葉の数がふえるワリアイとは タカサの増加はすくないためだろう。スギとヒノキでは ときがたつにつれて 処理のあいだのチガイが はつきり



第21図 子葉から上のタカサの生長のミチスジ
Fig. 21. The course of increase in height above cotyledon.

土の最低含水率 lower limit of soil moisture:
— 60%, 50%, - - - 40%, - · - · 30%.



第22図 胚軸の直径の生長のミチスジ
(第21図の説明を見よ)

Fig. 22. The course of growth of diameter of the hypocotyl (see the explanation of Fig. 21).

してきた。ヒノキでは7月 スギでは8月以後 処理によるチガイが めだつてきた。

2. 胚軸のフトサ

胚軸のナカホドの直径の 生長のミチスジを 第 22 図にしめす。どの樹種でも タカサのばあいよりも 胚軸のフトサのほうが 処理によるチガイが はつきりあらわれている。ここでめだつことは 胚軸の直径がちぢむ現象が見られたことだ。スギでは 6月 15日, ヒノキでは

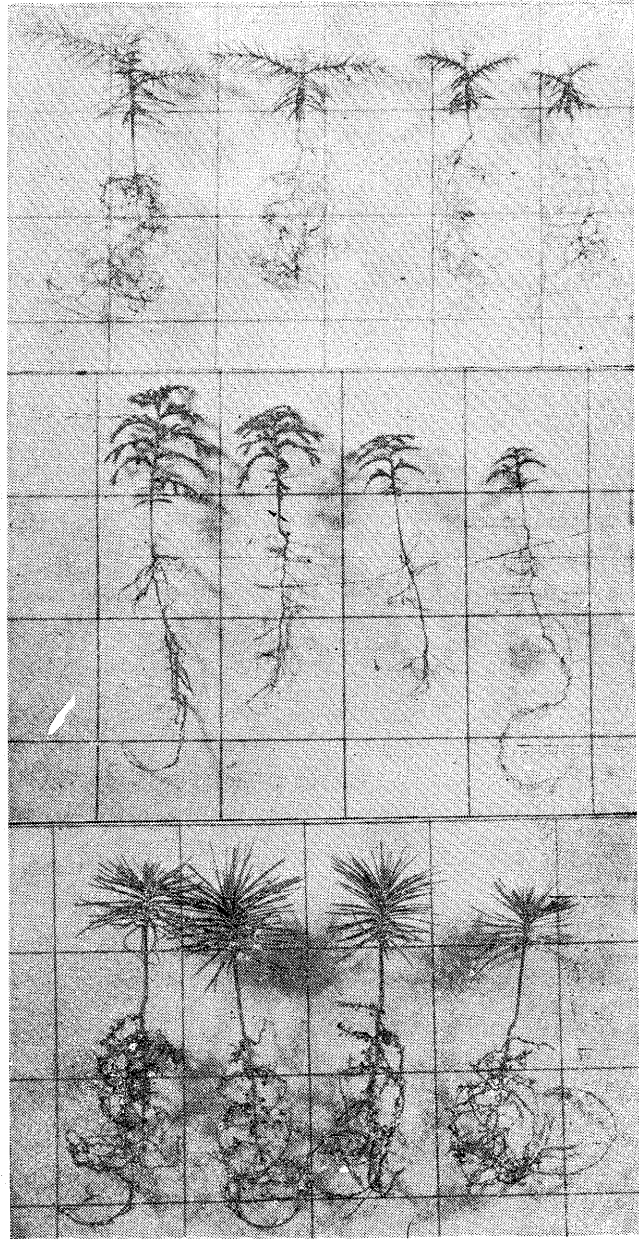
6月 15日と 一部は7月1日, アカマツでは 7月1日の測定にこの現象があらわれている。ヒノキの 土をひどくかわかした区では 胚軸の直径が ちぢむまえの アタイまで 回復するのに 実験をうちきるまでかかった。胚軸のフトサのチガイも アカマツでははじめに かなりのチガイがでて そのチガイが ほとんど増さずに 実験をうちきるまでつづいたが スギとヒノキでは ときとともに ヒラキがおおきくなった。

b. 最終結果

9月 27日に 実験をうちきつて ほりあげた ナエの それぞれのクミの 代表的とおもわれるものを 第 23 図にしめす。

1. オモサ

生重量と乾物重を 地上部と根にわけて それぞれ 第 12, 13 表にしめす。生重量 乾物重ともに スギとヒノキでは 地上部 根および全体について 土のかわく程度の影響が はつきりあらわれているが, アカマツでは 根についてだけ ややはつきりあらわれて



第 23 図 実験をうちきつたときの苗。左から右に 土の最低含水率 60, 50, 40, 30 %

Fig. 23. Representative seedlings at the end of the experiment. left to right : lower limit of soil moisture : 60, 50, 40, and 30 %.

第 12 表 生 重 量 (mg)
Table 12. Fresh weight (mg).

	Species 樹 種	最低含水率 Minimum soil moisture				差 の 検 定 Statistical test
		60	50	40	30	
地 上 部 Top	スギ <i>Cr. japonica</i>	798.4	582.0	508.6	276.1	* *
	ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	235.7	235.9	158.8	79.2	* *
	アカマツ <i>P. densiflora</i>	360.4	392.1	298.9	300.9	—
根 Root	スギ <i>Cr. japonica</i>	490.4	387.0	331.7	213.4	* *
	ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	158.0	145.0	114.2	79.0	* *
	アカマツ <i>P. densiflora</i>	332.9	307.4	276.5	223.9	*
計 Total	スギ <i>Cr. japonica</i>	1288.9	969.0	843.1	849.6	* *
	ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	443.7	380.0	273.0	158.2	* *
	アカマツ <i>P. densiflora</i>	692.9	699.6	575.4	524.7	—

* 5%, ** 1%の危険率で有意
Significant at 5% (*) and 1% (**) levels.

第 13 表 乾 物 重 (mg)
Table 13. Dry weight (mg).

	Species 樹 種	最低含水率 Minimum soil moisture				差 の 検 定 Statistical test
		60	50	40	30	
地 上 部 Top	スギ <i>Cr. japonica</i>	204.1	141.4	118.4	70.1	* *
	ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	76.3	62.1	45.0	23.7	* *
	アカマツ <i>P. densiflora</i>	119.4	126.9	119.3	101.3	—
根 Root	スギ <i>Cr. japonica</i>	94.6	75.1	68.9	40.9	* *
	ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	26.1	22.1	19.6	15.8	* *
	アカマツ <i>P. densiflora</i>	83.6	79.3	76.4	58.6	*
計 Total	スギ <i>Cr. japonica</i>	293.7	217.1	187.3	111.0	* *
	ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	102.4	84.3	64.6	39.5	* *
	アカマツ <i>P. densiflora</i>	203.0	206.1	195.7	159.9	—

* 5%, ** 1%の危険率で有意
* Significant at 5% (*) and 1% (**) levels.

いるにすぎない。このような関係をさらにつくりしめすために、土の含水率の低下を 60%にとどめたときの アタイにたいする ワライとしてしめすと 第 24 図のようになる。STOCKER et al (1943) のいうように もつともよい水分条件での生産量に対する 水の不足条件での生産量のワライで 耐乾性をあらわすと、アカマツの耐乾性もつともつよく スギとヒノキでは 耐乾性にチガイがあるとはいえない。アカマツでは 土の含水率が 永久凋萎含水

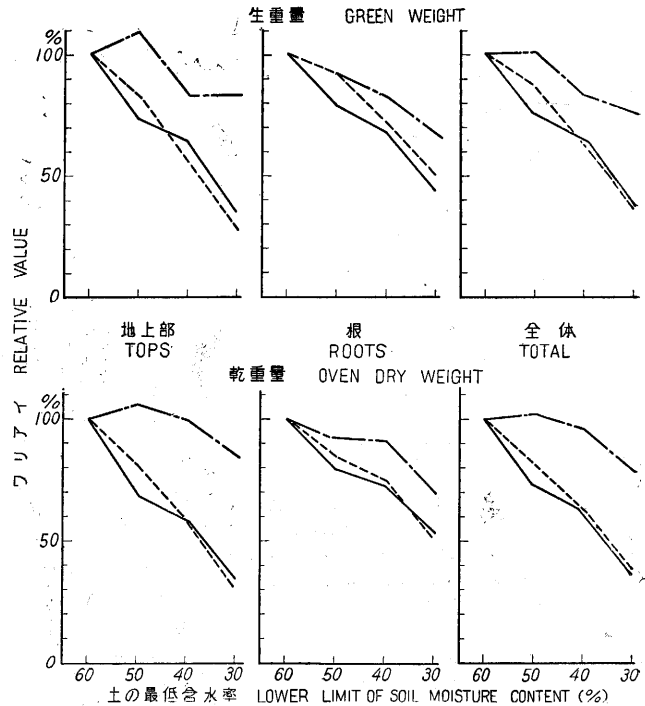
率以下にさがつて はじめて 生長量に影響があらわれている。

もつともかわいたときの 土の含水率を 基準とすることは 実験のトリアツカイのうえでは つごうがいいが、定量的というよりも むしろ定性的なキライがある。樹種によつて 水を消費するハヤサがちがい したがつて 土が さだめられた含水率に かわくまでの 時間がちがうので、おなじ処理でも 土の水分の欠乏のウケトリカタは 樹種によつて ちがっているわけだ。それで 平均的な土の水分状態をもとめて

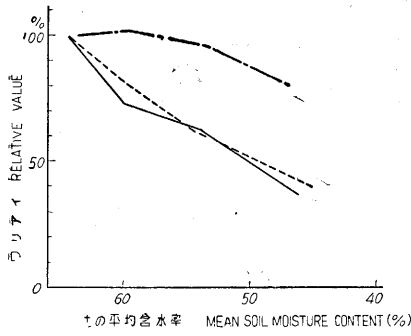
それによつて 生長状態をくらべてみよう。そだてるあいだに 水

のヤリカタを調節するためにはかつた オモサから そのときの 土の含水率をもとめ、はかつてない日の 含水率は つづけてはかつた 数回の資料から 推定して 毎日の土の含水率をもとめ、それを 水のヤリカタをかげんした期間について 平均することによつて 平均含水率をもとめた。また 毎日の土の含水率から 第3図によつて 毎日の 土の水分張力をもとめ、それを おなじように平均することによつて 平均水分張力をもとめた。それぞれの樹種 それぞれの処理の 平均含水率と 平均水分張力を 第14表にしめす。表からわかるように 土の平均含水率と平均水分張力は おなじ処理でも 樹種によつて いくぶんちがっている。

土の平均含水率と全乾物生産量の関係を 第25図にしめす。スギとヒノキでは 土の平均含水率がすくないほど 生長量はすくないが、アカマツでは それほど影響はない。土の平均含水率のチガイ1%あたりの 乾物生産量のチガイを 土のカワキカタの もつともすくない組の アタイに対するワリアイでしめすと 第15表のようになり、スギとヒノキでは 土の平均含水率のごくわずかなチガイが おおきくひびき、含水率のたかいところでの影響がいちじるしいが、アカマツでは 土がひどくかわいたばあいだけに 影響があることがあきらかだ。また 土の含水率のたかいあいだの 土の平均含水率の低下による 生長の低下は 樹種のあいだに いちじるしいチガイがあるが、土がひどくかわいてからは 樹種のあいだのチガイは すくなかつた。

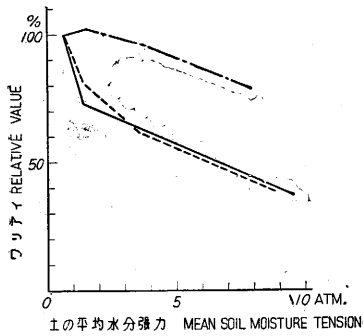


第24図 土の最低含水率60%のときのアタイにたいするワリアイであらわしたナエのオモサ
 Fig. 24. Weights of the seedlings expressed as the percentages of those grown with sufficient water supply (lower limit 60%).
 —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.



第 25 図 土の平均含水率と生長との関係

Fig. 25. Growth of seedlings as a function of mean soil moisture content.
—スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.



第 26 図 土の平均水分張力と生長との関係

Fig. 26. Growth of seedlings as a function of mean soil moisture tension.
—スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.

影響するが、水分張力の高いときには水分張力が高まってもそれほどの影響は見られなかつた。土の平均水分張力のチガイ1気圧ごとの乾物生産量のチガイをもとめて、土のカワキカタのもつともすくない組の乾物重に対するワリアイでしめすと第16表のようになり、スギとヒノキでは水分張力の低い範囲ではごくわずかな水分張力のチガイが生長におおきくひびくが、アカマツではごくわずかしかひびかない。しかし土の水分張力の高い範囲では水分張力のチガイの生長におよぼす影響は樹種によつてちがうとはいえなくなつた。

要するに土のカワキのオモサの生長におよぼす影響のウケカタはアカマツがもつともすくなくスギとヒノキではほぼおなじで、スギとヒノキは土がまだよくしめつた水分張力の低いときにも土の水分状態のチガイの影響をひどくうけるが、アカマツは土がひどく

第 14 表 土の平均水分状態

Table 14. Average soil moisture conditions.

樹種 Species	最低含水率 Minimum soil moisture			
	60	50	40	30
平均含水率 % Soil moisture content				
スギ <i>Cr. japonica</i>	64.5	60.0	54.3	46.2
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	64.7	60.5	54.7	44.9
アカマツ <i>P. densiflora</i>	63.8	59.6	53.7	46.4
平均水分張力 (気圧) Soil moisture tension (Atm.)				
スギ <i>Cr. japonica</i>	0.64	1.42	3.48	9.52
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	0.59	1.31	3.25	8.64
アカマツ <i>P. densiflora</i>	0.71	1.45	3.64	7.73

第 15 表 土の平均含水率が1%へるにもなる生長量のヘリカタ (土のカワキカタのもつともすくないものに対するワリアイ)

Table 15. Depression of growth per 1% decrease of mean soil moisture content, represented as the percentages of the dry weight of those grown with sufficient water supply.

最低土壌含水率 % Minimum soil moisture	60→50	50→40	40→30
スギ <i>Cr. japonica</i>	6.0	1.8	3.2
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	4.3	3.4	2.4
アカマツ <i>P. densiflora</i>	-0.5	1.0	2.3

土の平均水分張力と乾物生産量の関係は、第26図にしめすように、アカマツでは土の平均水分張力が高まることの影響はすくないが、スギとヒノキでは平均水分張力と生長の関係は複雑で、水分張力のひくいときにはごくわずかの水分張力のチガイがおおきく

かわいて 水分張力が高くなつてから はじめて スギやヒノキとおなじような 影響をうけることがあきらかだ。

2. ナガサ

ナガサを おもに実験をはじめてからのびた 子葉から上の部分 根 および そのふたつの和に

胚軸のナガサをくわえた 全体として、第 17 表にしめし、土のカ

ワキカタのもつともすくない組の

アタイに対するワリアイとして 第 27—29 図にしめす。子葉から

上のナガサにたいする 土のカワキの影響は オモサのばあいと

まつたくおなじだつた。根のナガサについても スギとアカマツに

ついては 程度の差はあるにせよ 土のカワキカタはひどいほど根が

みじかくなり オモサのばあいとおなじような傾向をしめた。た

だし スギのばあいには その傾向はあまり はつきりしたもので

はなかつた。ところが ヒノキでは 土がひどくかわくほど根がな

第 16 表 土の平均水分張力が 1 気圧たかまるにともなう生長量のヘリカタ (最低土壌含水率 60% のもののオモサに対するワリアイ%)

Table 16. Depression of growth per 1 atmosphere increase of mean soil moisture tension, represented as the percentages of the dry weight of those grown with sufficient water supply.

最低土壌含水率 Minimum soil moisture	60→50	50→40	40→30
スギ <i>Cr. japonica</i>	34.6	4.9	4.3
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	25.0	10.3	4.4
アカマツ <i>P. densiflora</i>	- 2.7	2.7	4.2

第 17 表 ナガサ (mm)

Table 17. Length (mm).

樹種 Species	最低含水率 Minimum soil moisture				差の検定 Statistical test	
	60	50	40	30		
子葉の上 Above cotyledon	スギ <i>Cr. japonica</i>	32.9	27.1	24.1	19.4	**
	ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	41.9	37.0	29.7	20.3	**
	アカマツ <i>P. densiflora</i>	25.4	26.4	23.4	22.9	—
	スギ <i>Cr. japonica</i>	165.4	155.4	151.7	150.3	—
根 Root	ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	115.3	131.0	142.5	151.7	**
	アカマツ <i>P. densiflora</i>	203.6	205.6	190.9	170.4	*
	スギ <i>Cr. japonica</i>	216.9	199.6	193.0	186.9	**
	ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	170.3	199.3	185.8	186.7	—
全体 Total	アカマツ <i>P. densiflora</i>	254.9	260.0	240.9	220.0	—
	スギ <i>Cr. japonica</i>	216.9	199.6	193.0	186.9	**

* 5% ** 1% の危険率で有意
Significant at 5% (*) and 1% (**) levels.

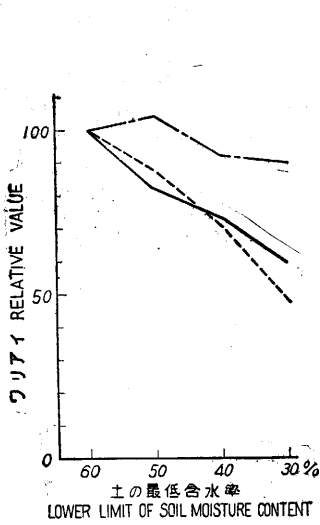
第 18 表 根のナガサとオモサのワリアイ (mm/mg)

Table 18. The ratio of length (mm) to weight (mg) of the roots.

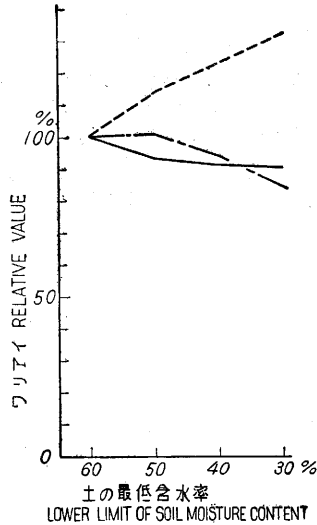
最低土壌含水率 % Minimum soil moisture	60	50	40	30	差の検定 Statistical test
スギ <i>Cr. japonica</i>	1.75	2.08	2.22	3.70	**
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	4.34	5.83	7.14	10.01	**
アカマツ <i>P. densiflora</i>	2.44	2.56	2.50	2.94	—

** 危険率 1% で有意
** Significant at 1% level.

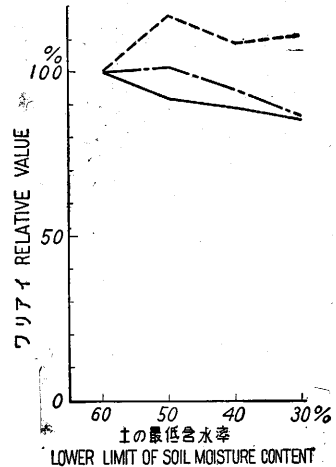
のオモサに対する 主根のナガサのワリアイは 土がひどくかわくほどおおきい。すなわち 土がひどくかわくほど 根の量のワリアイには ながい主根をもつことがあきらかだ。この傾向は スギとヒノキでは はつきりしており、アカマツでは 土がひどくかわいたばあいだけに見られ



第 27 図 土の最低含水率 60% のときのアタイにたいするワリアイであらわした子葉から上のナガサ
 Fig. 27. Length above cotyledon expressed as the percentages of those grown with sufficient moisture supply. —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, —●—アカマツ *P. densiflora*.



第 28 図 土の最低含水率 60% のときのアタイにたいするワリアイであらわした根のナガサ
 Fig. 28. Length of roots represented as the percentages of those grown with sufficient moisture supply. —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, —●—アカマツ *P. densiflora*.



第 29 図 土の最低含水率 60% のときのアタイにたいするワリアイであらわしたナエ全体のナガサ
 Fig. 29. Total length of seedlings represented as the percentages of those grown with sufficient moisture supply. —*Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, —●—アカマツ *P. densiflora*.

た。この傾向は コトバをかえれば 土のカワキカタがひどいほど 側根のにくらべて 主根が発達していることだ。全体のナガサは 上へのべた ふたつの傾向の和としてあらわされたがつて スギについては 土のカワキカタがひどいほど みじかいという傾向がみられ、ほかの樹種では はつきりした傾向がみられなかつた。

3. 胚軸のフトサ

胚軸のマンナカの直径を 第 20 表に、それを まえとおなじように ワリアイとして 第 30 図にしめす。どの樹種でも 胚軸の直径と土のカワキカタのあいだにははつきりした関係がみられ、スギとヒノキでは 土のカワキカタがひどいほど 胚軸はほそいが、アカマツでは 土が永久凋萎含水率以下にかわいたときにだけ いちじるしくほそくなつた。

第 19 表 胚軸の直径 (mm)
 Table 19. Diameter of hypocotyl (mm).

樹種 Species	最低含水率 Minimum soil moisture	60	50	40	30	差の検定 Statistical test
	スギ <i>Cr. japonica</i>		1.53	1.32	1.14	
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>		0.94	0.84	0.73	0.58	**
アカマツ <i>P. densiflora</i>		1.34	1.35	1.31	1.14	**

** 1%の危険率で有意
 ** Significant at 1% level.

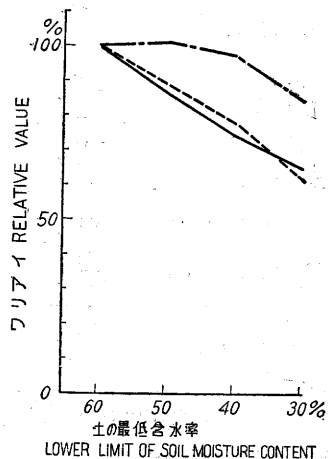
4. 枝の 数

枝の数を第 20 表に、そのワ
リアイを まえとおなじように
第 31 図にしめす。アカマツで
は まつたく エダワカレはみ
られなかつたが、スギとヒノキ
では 土のカワキカタがひどい
ほど 枝の数はすくなかつた。

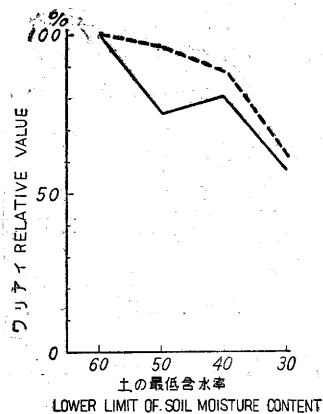
5. 含水率

第 21 表にしめすように ヒ
ノキでは 地上部でも根でも
土のカワキカタのひどいほど
含水率は低かつたが、アカマツ
とスギでは 一定の傾向は見ら
れなかつた。

6. T-R 率



第 30 図 土の最低含水率 60% の組に対するワリアイであらわした胚軸の直径
Fig. 30. Diameter of hypocotyl represented as the percentages of those grown with sufficient moisture supply. —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.



第 31 図 枝の数のワリアイ
Fig. 31. Number of branches represented as the percentages of those grown with sufficient moisture supply. —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*.

第 20 表 枝 の 数
Table 20. Number of branches.

樹種 Species	最低含水率 Minimum soil moisture	60	50	40	30	差 の 検 定 Statistical test
	スギ <i>Cr. japonica</i>		3.6	2.7	2.9	
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>		7.6	7.4	6.8	4.7	**
アカマツ <i>P. densiflora</i>		0	0	0	0	—

** 1%の危険率で有意
** Significant at 1% level.

第 21 表 含水率 (絶乾%)
Table 21. Water content of seedlings (dry weight basis).

樹種 Species	最低含水率 Minimum soil moisture	60	50	40	30
	地上部 Tops	スギ <i>Cr. japonica</i>	292.9	312.2	334.7
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>		275.3	277.1	254.9	235.9
アカマツ <i>P. densiflora</i>		200.2	188.6	173.4	196.7
根 Roots	スギ <i>Cr. japonica</i>	421.3	414.9	382.9	415.7
	ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	503.4	490.5	405.4	400.2
	アカマツ <i>P. densiflora</i>	298.8	289.6	261.9	280.2

第 22 表 T-R 率
Table 22. Top-root ratios..

樹種 Species	最低含水率 Minimum soil moisture				差の検定 Statistical test
	60	50	40	30	
スギ <i>Cr. japonica</i>	2.18	1.87	1.73	1.71	*
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	3.00	3.01	2.29	1.49	**
アカマツ <i>P. densiflora</i>	1.46	1.62	1.57	1.82	—

* 5%, ** 1%の危険率で有意
Significant at 5% (*) and 1% (**) levels.

直径 15.5 cm フカサ 3.1 cm の ガラスのシャーレ 4 個に まえとおなじ 田無苗畑の土を
いれ、マンナカに 空気ヌキのガラス管をたて、土のオモチを 3 個のオオギ形にわけて、それ
ぞれに ながい期間の実験につかつたタネの ノコリの 5 月 8 日に芽をだしたものを 35 個あ
て 等間隔にうえつけた。まえとおなじガラス室で 7 月 26 日まで 土の含水率が 68—50 %
の範囲にあるように 水のヤリカタを調節してそだてた。7 月 27 日に 4 個のシャーレのうち
から 生長状態のもつともよくにた 2 個をえらび、土の含水率が 68 % になるように水をあた
え、それぞれから 無作為に それぞれの樹種 6 本あてを 切る位置による誤差をすくなくす
るために 子葉の下から 地上部を切りとり、105°C の乾燥器で 72 時間 かわかし、トーショ
ンバカリで 乾物重をはかつた。試料をとると同時に シャーレの底の土を 含水率をしらべる
ために コルクボーラをつかつて とつた。それから 毎日 両方とも 蒸発および蒸散したた
けの 水をおぎなつた。8 月 1 日に ふたたび 両方のシャーレから それぞれの樹種 6 本ず
つを無作為にえらんで まえとおなじように 地上部をきりとり、乾物重と土の含水率をもと
めた。それからあとは 1 個のシャーレは まえとおなじように 毎日水をおぎない、1 個は水
の補給をたつて かわくにまかせた。8 月 6 日と 11 日に 両方のシャーレから まえとおなじ
ように 苗の地上部の試料と 土の含水率をしらべる試料をとり、8 月 11 日に実験をうちきつ
た。それぞれの期間の前後の ナエの試料の 乾物重のチガイを その期間の ナエの生長量と
した。

(2) 結果

第 23 表に それぞれのときにとつた ナエの試料の乾物重と そのときの シャーレの底の
土の含水率をしめす。野外含水量りよも すこしよけいになるように 水をやつたので、シャー
レの底の 土の含水率は かなり高く、71%前後だつた。また ひきつづき水をやつているあい
だの ふたつのシャーレの 土の含水率には あまりチガイはなかつた。ひきつづき水をやつた
ものの 生長量に対する 水をやるのを中断したものの 生長量のワリアイを 第 32 図にしめ
す。おなじように水をやつているあいだの ふたつの生長量には ほとんどチガイはないから

第 22 表にしめすように ス
ギとヒノキでは 土のカワキカ
タのひどかつたものほど T-
R 率はちいさかつたが、アカマ
ツでは そのような 一定の傾
向は 見られなかつた。

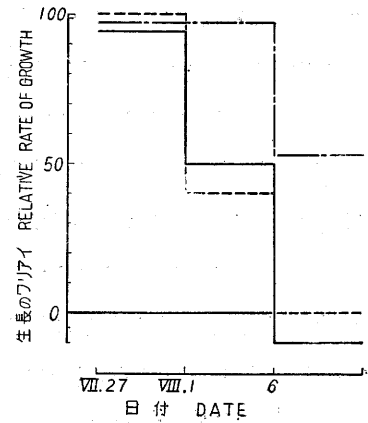
2. みじかい期間の実験

(1) 材料と方法

第 23 表 苗の地上部の乾物重の変化 (mg) と土の乾燥 (%)

Table 23. Soil moisture content (%) and dry weight of seedlings above cotyledon (mg).

月 日		Ⅶ.27	Ⅷ.1	Ⅷ.6	Ⅷ.11
Date		Ⅶ.27	Ⅷ.1	Ⅷ.6	Ⅷ.11
対 照	土の含水率 Soil moisture content	70.6	71.4	70.8	71.0
	乾物重 Dry weight				
	スギ <i>Cr. japonica</i>	22.3	24.1	26.1	23.2
	ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	13.4	14.2	15.2	16.4
乾 燥	土の含水率 Soil moisture content	71.2	70.5	45.6	28.9
	乾物重 Dry weight				
	スギ <i>Cr. japonica</i>	22.8	24.5	25.5	25.3
	ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	13.6	14.4	14.8	14.8
	アカマツ <i>P. densiflora</i>	42.0	45.2	48.6	50.4



第 32 図 土のカワキと生長
Fig. 32. Growth of seedlings as influenced by drying of soil. — スギ *Cr. japonica*, ヒノキ *Ch. obtusa*, - - - アカマツ *P. densiflora*.

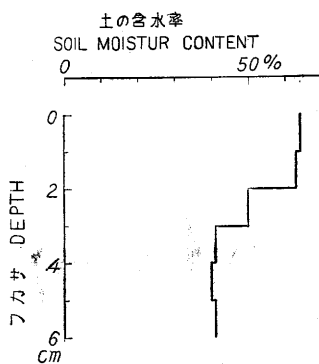
ふたつをくらべても さしつかえないとおもわれる。水をやるのを中断したあとの はじめの 5 日間の 生長量は アカマツでは 水をつづけてやつたものと ほとんどちがわなかつたが、スギとヒノキでは 生長量が 半分またはそれ以下におちた。つぎの 5 日間のオワリには 水をやらなかつたシャーレの 土の含水率は 永久凋萎含水率以下にさがっていた。この 5 日間には アカマツの生長量も つづけて水をやつたもののおよそ半分へり、スギとヒノキでは ほとんど生長がみられなかつた。スギでは 数字のうえでは マイナスの生長があらわれているが、これは イミのあるものではなく 試料のカタヨリによる 誤差だと考えられる。要するに 生長におよぼす 土のカワキの影響のウケカタは アカマツが スギとヒノキにくらべると はるかにすくないことがわかる。

3. 考 察

土の水分状態と植物の生長の関係を とりあつた研究は きわめておおく、林木のナエをとりあつたものに かぎつても 一つ一つがぞえあげるとは 容易でない。わがくにの林木にかぎつても、スギ ヒノキ および アカマツについて 中村 (柴田 1950 による) が、スギとヒノキについて 芝本 (1951) と岡崎 (1951) が、アカマツとクロマツについて 伊藤たち (1951) が、エゾマツとトドマツについて 石原たち (1940) が、キリについて 有賀 (1950) が しらべている。これらの大部分は それぞれ 幾段階かにわけた "一定の" 含水率に 土を たもつようにつとめている。しかしながら 現在では ややかかわいた土に すこしばかりの水をあたえても オモテの層が 野外含水量のちかくまで しめるだけで、それより下は もとのままの状態にとどまつているので、そのようなことはできないと 考えられており、実際は 土全体が 特定の水分状態に たもたれているのではなく 単に 実験につかた土の 野外含水量までしめつている。フカサを 変える にすぎないともいわれている (HENDRICKSON and

VEIHMEYER 1941)。ところが おおくの 実験では ウエキバチの なかの土の 上から下まで が ほぼ均一な 一定の 水分状態に たもたれていることが 実測値をもつて しめされてお り、そのような 状態にたもつのに つごうがいいという 方法も となえられている (例えば FOWELLS and KIRK 1945)。この点をたしかめるために かんたんな 実験をおこなつた。

実験につかつた ガラスのクダビンと おなじおおきさの 紙の円筒をつくり、とがしたパラ フインのなかにつけて パラフィンをよくしみこませ、ガラス板のうえに パラフィンでとりつ け、実験につかつたのとおなじように コイシとガラス管をいれた。実験につかつたのとおなじ 土を 風乾状態で 37g とり、それに水を 7.5 cc くわえて よくまぜて 41% 強の含水率とした のち、ときどき 机の上でたたいて おちつかせながら 円筒につめ、さらに 十数回 机の上 でたたいて よくおちつかせたのち、3 cc の水を土の上からくわえた。計算によると 51% 弱 の 含水率になるわけだ。水をくわえて すぐに 円筒の上に ガラス板を ワセリンで 密着 させて フタとした。およそ 24 時間放置したのち、円筒のカベを カミソリのハで およそ 2 cm ハバに 切りとり、土のオモテから 1 cm ごとの土の層をとりだし 含水率をしらべたと ころ、第 33 図のように 上のおよそ 1/3 は 野外含水量ちかくの 含水率をしめし、底にちか い部分は 40% ぐらいの含水率をしめた。これとおなじことは 実験の途中に 実験材料とお なじようにとりあつた アカマツをうえたものの 土の含水率が 30% にさがつたものに



第 33 図 不十分な量の水をあ たえたときのイレモノのなかの 土の含水率のタテの分布

Fig. 33. Vertical distribution of moisture of the soil in a container which was given with insufficient amount of water.

不十分な量の水をくわえただけのものは、翌日になつても 土 の上半分は しめつた色をしているのに 下半分は かわいた うすい色をしたままであることが 茶色ガラスのクダビンをと おして うかがわれた。このような結果によつて、土の含水率 を それぞれきめた水準にたもつ方法は すくなくとも この 実験につかつた土では できないことがわかつたので、水をや るまえまでの 土のカワキの程度をかえることにした。この方 法のほうが 現実の 苗畑で見られることに近い。WADLEIGH and AYERS (1945), WADLEIGH and GAUCH (1948), WADLEIGH et al (1946), AYERS et al (1943), DAVIS (1942) など は この方法をつかつて マメ ワタ guayule などの 生長 と 土の水分との関係をしらべている。

生長のミチスジをしらべているうち、胚軸の直径が ちいさくなるばあいが 観察された。この現象は 胚軸の組織の充実にもなうもので、おおくの針葉樹に見られるものだといわれている (BAKER 1950, p. 248—253)。スギについては 柴田 (1933) によつて すでに観察されて いる。しかしながら どの樹種でも 土のカワキが はなはだしいばあいほど チジミカタがいい

ちじるしいことから考えると、胚軸の含水率の変化も一部は関係があると考えられる。このカンガエカタは まえにのべたように シオレがあらわれると 考えられる時期に 胚軸にシワがよることからも うらづけられる。しかし スギでは じゆうぶんに水をあたえたものにも この現象があらわれているから、土の水分不足だけが原因だとは 考えられない。

根のナガサ(および それに大いに影響される 全体のナガサ)以外の すべての測定したアタイは 土をかわかす程度が ひどいほど 低くなつていたが、その程度は 樹種によつてちがひ、スギとヒノキではいちじるしく、アカマツでは 土を永久凋萎含水率以下まで かわかしたときに 影響があらわれる程度だつた。柴田(1950)によれば 中村は スギがもつとも土の水分の影響をうけ アカマツがもつとも影響をうけにくく ヒノキは中間であると 報告している。柴田の引用には ナエのトシは 書いてないが、図にしめされた地上部の風乾重量から考えると この実験とおなじく タネからそだてた 最初の年のものようだ。中村の実験は 土の含水率を 容水量の何%という きまつた水準に“維持”しておこなわれている。実験の方法がちがうにもかかわらず、ふたつの実験はおなじような結果をしめた。ただ 中村の実験では ヒノキが スギよりも 土の水分の影響を うけにくいことになつているが この実験では スギとヒノキのあいだに まつたく チガイがみとめられなかつた。玄(1937)も マキツケドコで ヒオイの程度と 水をやる程度をかえて 実験をおこない ヒノキが アカマツよりも 土の水分状態の影響を うけやすいという 結果を得ている。

根のナガサについては、ヒノキでは 土のカワキがひどいほど 根はながくなり、スギとアカマツでは あまりはつきりした傾向ではないが むしろ反対だつた。ところが 玄(1937)は これと反対に アカマツでは 土がかわいているほど 根がながくなるが ヒノキでは その反対だとしている。このふたつの 反対の結果は 実験の方法がちがうので 理由をみいだせない。しかし この実験のように かぎられた空間に 根がそだつばあいにも かわいた土にそだつたものほど 根がながくなつたという事実は いままでおおくとられている 目的論のニオイのある見解に対して ひとつの批判をあたえるだろう。根の総量に対する 主根のナガサのワリアイは どの樹種でも 土のカワキがひどいほど おおきくなつた。香山(1943)は アカマツの 3—4年生のナエについて 土がかわくほど 主根がながくなり 側根がみじかくなることを見ている。この実験の結果も ほぼおなじようだが、ヒノキ以外では 根のナガサの絶対量ではなくて 根の総量に対して 相対的に主根がながいということになつた。

みじかいあいだに 大きな生長量をしめす 広葉樹では、土が自然にかわくにともなり 生長量の変化を 枝ののびた量を はかることによつて しらべることができるので、その変化のモヨウから 耐乾性をきめることが よくおこなわれている。小林、中川(1949)、松本(1951)、中川、宮田(1954)などは 枝のノビがとまる時期の 土の含水率をくらべることによつて 果

樹の耐乾性をくらべている。WADLEIGH and GAUCH (1948) は ワタの葉のノビカタの 土のかわくにもなう変化をしらべ、葉ののびる量は soil moisture stress (水分張力と土壤溶液の滲透圧の和) の 二次函数として あらわされ、soil moisture stress が 15 気圧附近になると葉のノビは とまるといつている。DAUBENMIRE and CHARTER (1942) は 沙漠の マメ科の木の名エの生長は 土の含水率が 永久凋萎含水率になるまでは かわらないが、土が永久凋萎含水率になると まつたく とまるとしている。針葉樹のマキツケナエでは このような方法で生長と土の含水率との関係を しらべることはできないので 数日間の ナエの地上部の オモサのフエカタを しらべたところ、アカマツでは 土の含水率が 有効水分の 1/3 ぐらいになるまでのあいだは 生長に影響は見られなかつたが、スギとヒノキでは その時期に すでに生長がおとろえた。スギとヒノキのあいだには 差が見られなかつた。土がそれ以上かわくと アカマツの生長も おとろえたが スギとヒノキでは ほとんど 生長が見られなかつた。この結果は ややながいあいだの生長について 見られたことと一致している。

この実験では スギとヒノキの生長は 土のかわく程度によつて いちじるしく影響をうけ、アカマツでは 土の含水率が 永久凋萎含水率以下になると 生長がへつた。ところが VEIHMeyer and HENDRICKSON (1950) は、おおくの実験から、土が 永久凋萎含水率以上に 水をふくんで 有効水分をもつかぎり、土の水分の有効性は 含水率にかかわりなく、したがつて生長は影響をうけないと 主張している。DAUBENMIRE and CHARTER (1942) は 数種の 沙漠の マメ科の木の名エは 土の含水率が 永久凋萎含水率にさがるまでは 生長がおとろえず、土が永久凋萎含水率よりもかわくと にわかに 生長がとまると報告している。しかしながら これらと反対に この実験の結果と一致する 実験結果も きわめておおい(例えば DAVIS 1942, AYERS et al 1943, WADLEIGH and AYERS 1945, WADLEIGH et al 1946, WADLEIGH and GAUCH 1948 など)。土から 植物への 水の移動に関係する力を考えると、土の含水率が低いほど 一定量の水が 一定距離を動くのに 必要な力はおゝきくなり、植物は 水をすいにくくなることはあきらかだ。しかしながら 水分張力と土の含水率の関係をしめす曲線は 第3図のように 双曲線的な性質をもつており すくなくとも ある種の土では 有効水分の大部分が その たいらな部分に ふくまれているので、植物が 水をとりにれるのに必要な力は 実際的には あまりふえず、そのような土では 土の含水率の多少は 生長にあまり影響しないと 考えられている (KRAMER 1949, p. 62—67)。この実験でつかつた土では 水分張力と含水率との関係をしめす曲線が 第3図のように 含水率の高い部分でも 含水率の減少にもなう水分張力の上昇が わりあいにも 急だから 水をとりにれるに要するエネルギーの 土の水分の減少にもなう 増加が大きく、したがつて土の含水率の 生長におよぼす影響が 大きいと考えられる。ところが スギとヒノキでは たしかにそうだが、アカマツでは 土の水分が すこ

しぐらいへつても はつきりした影響はあらわれず、土が 永久凋萎含水率以下にかわいて はじめて 土のカワキの影響が はつきりあらわれている。すなわち 土の水分と生長の関係について スギとヒノキは ひろくみとめられている型の変化をしめし、アカマツは VEIHMAYER たちの主張する型を あらわしていることになる。このことから考えると まえにのべた 土の水分の有効性についての ふたつの対立したカンガエカタの おこる原因として、これまではとりあげられていないが 植物の 種類による 性質のチガイも 問題になるのではなからうか。根が 土のなかに じゆうぶんに ひろがついていないばあいには、根にふれた土ばかりが 根によつて 水をうばわれて まずかわくので、全体のオモサをはかつて イレモノのなかの 土の平均的な 含水率をもとめる この実験法では おなじ含水率であらわされても 根の分布の状態によつて 根にふれている土の含水率は 実際は ちがうことが 考えられる。野外容水量より下の含水率の 土では、土のなかでの 水の移動がむずかしいので、根がのびることによつて 水が利用されるようになること といわれている。また 根の量がおおいと、土がかわいたばあいに あらゆる部分の 土にふくまれる水を 利用することができるだけでなく、吸収面がひろいので 水のトリイレが むずかしくなつたときに とりいられる水の 絶対量がおおくなって 有利だ。第 12, 13 表 および 第 23 図を見れば、アカマツとヒノキのあいだの関係には このようなカンガエカタが いくぶん あてはまるようにおもわれる。しかしながら アカマツとスギでは とともに 根は イレモノのなかに やや均等に分布しているようにおもわれ、根の量としても 土がひどくかわいたばあいをのぞいては スギのほうが アカマツよりもおおいので このような関係はあてはまらない。また スギとヒノキのあいだでは 根の量と分布が いちじるしくちがうのに、土の水分状態と生長の 相対的な関係は ほとんどちがわなかつた。さらに ごくみじかい期間の 生長をしらべた実験では 浅いイレモノに 密に植えてあるので、根の量はべつとして、根の分布状態の 樹種のあいだのチガイは あまり問題にならないが、ながい期間の実験と おなじような結果を得ている。これらのことから考えると、根の状態と それにもとづく根と土の関係だけでは これらのチガイのすべてを 説明しきれず、ほかに 原因をもとめなければならない。

生長量は 結局は 炭酸同化による 乾物の生産量と 呼吸による その消費量とのサンヒキであり、同化量と呼吸量の 土のカワキともなり変化について しらべる必要がある。しかしながら この実験につかつたような マキツケナエについては 材料のオオキサと 測定装置の感度の関係で 実験をおこなうことはできなかつたが、1年生のナエについては スギとアカマツのあいだには 土のカワキの影響のウケカタに チガイがあることは すでに報告したとおりである(根岸, 佐藤 1954 b, 1955)。ただし 1年生のナエについて得られた結果が そのまま マキツケナエについても あてはまるかどうかについては いくらかウタガイがのこる。

T-R 率は 根の吸収面と 葉の蒸散面との 関係を ただしくは あらわさないにせよ、いくぶん それにちかい関係をあらわす。しかし 樹種のあいだの T-R 率のチガイは 土のカワキの 生長におよぼす影響のウケカタと かならずしも関係はなかつた。樹種によつて 地上部も根も質的にちがうので そのような関係がなりたつ 必然性はない。T-R 率は 土のカワキがひどいほど ちいさくなることは ひろくみとめられているところだが、この実験でも スギとヒノキでは その傾向がみとめられた。アカマツについては そのような傾向は みとめられなかつた。アカマツでは 生長に対する 土のカワキの影響が ひどくなかつたことの結果だろうが、土の乾燥の影響の樹種によるチガイが 量的な面だけでなく 質的な面にもあらわれていることは興味がある。

STOCKER et al (1943) は 耐乾性は 水分条件の最適なときの生産量に対する 水のたりない条件での生産量の比だとしている。この定義にしたがえば、アカマツは もつとも耐乾性がよく、スギとヒノキは おなじくらいの耐乾性をもつことになり、土のカワキによる カレカタから見た 耐乾性との関係は、アカマツがもつとも強い点では おなじだが、スギとヒノキについては カレカタについては 条件によつて 順位がちがい 生長については チガイがなく、かならずしも ふたつの見方からの耐乾性が 一致するともいえない。カレカタから見た耐乾性と 生長に対する土のカワキの影響とのあいだには かならずしも 関係はないといわれている (LEVITT 1951)。

WADLEIGH and AYERS (1945), WADLEIGH (1946), WADLEIGH and GAUCH (1948) は 生育期間の土の水分張力と 土壤溶液の滲透圧をあわせたものである soil moisture stress を integrate して それと生長の関係をもとめている。それによると integrated total soil moisture stress が高いほど 生長はへり stress が高まるにともなう 生長量のヘリカタは stress のすくない部分ほど いちじるしいとしている。この実験では 土壤溶液の滲透圧は あまり関係がないので、水分張力だけについて平均値をもとめて、それと生長との関係を見たところ、スギとヒノキでは 彼等の結果とおなじように 水分張力の低いところほど 水分張力の変化の影響は大きかつたが、アカマツでは そのような傾向は 見られなかつた。平均水分張力が 1 気圧高まるにともなう 生長のヘリカタは 土がかわいて 水分張力が高くなつてからは 樹種によるチガイはなく、土のしめつた部分だけに チガイが見られた。したがつて 土の水分に対する樹種の反応のチガイは 土の含水率の 高い部分にあると考えられる。このことが 何をイミするかは これだけの資料ではわからないが、樹種の 土の水分に対する 反応のチガイをとくひとつのテガカリとして さらに実験を要する。

土のカワキの生長におよぼす影響は アカマツでは もつともすくなく スギとヒノキでは おなじくらいで ともに かなりいちじるしかつた。そして スギとヒノキでは 有効水分が

まだ 半分ものこっている程度 (含水率 50%) まで 土がかわくだけで 生長がいちじるしく さまたげられるが、アカマツでは 有効水分の 4/5 ぐらいがなくなつても あまり影響はなく、有効水分がまったくなくなつて はじめて影響をうけた。ところで 有効水分が 1/2 ぐらいまで できることは めずらしくなく、しばしば さらにひどくかわくとすると、この実験の結果が 苗畑にあてはまるとすれば、苗の生長量だけを問題にすれば、スギとヒノキには人工的に水をやる必要があるが、アカマツには その必要はすくないといふことができる。ただし 苗の品質のことを 考えなければならないので、苗畑の土の含水率を どの程度まできけてもいいかといふことは この実験からはひきだせない。苗の大きさだけを考えれば スギとヒノキでは 有効水分がすこしでも不足したときに 水をやれば キキメがあるが、アカマツでは 有効水分の 2 割 ぐらいまでさがつても まだ水をやる 必要がないようだ。小林 (1948) によれば GOURLEY は VEIHMAYER たちの考えにしたがつて 土が永久凋萎含水率になるまでは 水をやらなくてもよく 水をやるときには 根のある層の土の 含水率を 野外含水量 または 水分当量まで 高めるだけの 量をあたえる必要があるとしており、小林は これに対して 土の含水率が 水分当量までさがれば水をやることを 理想とし、水をやる量は 根のある層の土の含水率を含水量の 80% まで 高めるだけを 理想としている。この実験の結果からは 水をやる必要のある 土のカワキカタは 樹種によつてちがひ、水をやる量の 算定法については GOURLEY の意見と 同じだといえよう。

4. あらまし

できるだけちいさなイレモノに 土をいれて、スギ、ヒノキ、アカマツを タネからそだて、土を自然にかわくにまかせて、水をふたたびやるまえの 土の最低の含水率を いろいろと 変えることによつて 土のカワキの生長におよぼす影響を しらべた。スギとヒノキは 土のカワキの影響を いちじるしくうけるが、アカマツは影響がすくなく、土の含水率が永久凋萎含水率以下にさがるばあいだけ 生長がさまたげられた。この 樹種のあいだのチガイについて考察をくわえた。ごく短い期間の生長におよぼす 土のカワキの影響についても 実験をおこない、スギとヒノキの生長が まつたとまるほど 土がかわいても アカマツは 生長していることを知つた。さらに 土のカワキカタを 土の平均水分張力として いつそう定量的にあらわし、土のカワキの影響の あらわれかたを 考察した。苗畑の灌水の問題についても 考察をおこなつた。

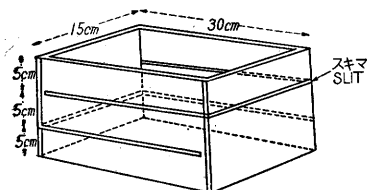
V 危険な時期における根の発達と分布

根の発達状態と 分布が 耐乾性に関係があることは 一般にみとめられているところであり、この実験でも 土のカワキによる ナエの枯死と 生長の減退の 樹種のあいだのチガイに

も ある程度は 根の発達と 分布が 関係していることが わかつたので、苗畑の条件での 根の発達と 垂直分布をしらべた。スギ ヒノキ および アカマツの マキツケナエの 根の 発達と 垂直分布については これまで ほとんど しらべられていないが、これを知ることは 耐乾性を考えるばあいだけでなく 合理的な灌水や施肥をおこなううえにも必要だ。

1. 材料と方法

1951 年と 1952 年に 田無苗畑に それぞれ 第5表と 第6表にしめすタネを まき、普通 のソグテカタをおこなつた。1951 年 7 月 31 日と 1952 年



第 34 図 根をほり取るのにつかつたワク

Fig. 34. The frame for sampling soil block containing roots.

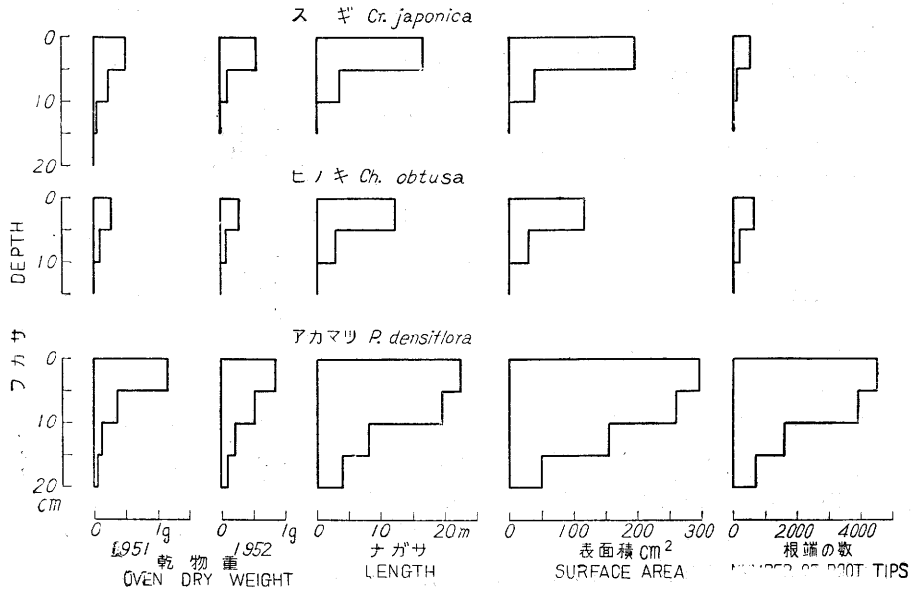
7 月 23 日に、苗畑から 50×50 cm のトコを 無作為に それぞれ 7 個および 5 個を 各樹種について むきだし、その上のもつともよくそろつた 15×30 cm の部分をえらんで 根をほりとつた。根をほり取るまえに 土が

くずれないように じゆうぶんに水をやり、第 34 図にした めすような 木のワクでカタをつけ、ホーチョーで その オオキサに 土のカタマリを 切りとりながら ワクをお

しこみ、15 cm のフカサまで ワクがはいつたときに ワクの下面にそつてホーチョーをいれて 土のカタマリを切りとり 切つた面に うすい鉄板をさしこんで ワクごと 土のカタマリを 取り出す。とりだしたワクの 5 cm ごとにある キレコミにホーチョーをいれ、5 cm ごとの土の層に切りわけ、キレコミに うすい鉄板を さしこんでおく。上と下の層の 土をとりだしたのち、鉄板をぬいて 中の層の土をとり出す。これをくりかえして 根をふくんだ アツサ 5 cm の 土の層を 根がなくなるまで とり出す。同時に地上部もとつておく。土の層ごとにふくまれた根を よりわける。このようにして 土のなかでの 根の分布状態をみださずに 根を とりだすことができる。とり出した根は 水で洗つて 土をおとしたのち、1951 年の試料は 105°C でかわかして 乾物量をもとめ、1952 年の試料は フォルマリン液につけておき、適時 とり出して 土で洗つたのち、根のナガサを 1mm 目の方眼紙の上で はかつてから 1951 年とおなじように 乾物量をもとめた。1952 年には べつに試料をとつて ナマの状態 で 根のナガサ フトサおよび 根端の数を しらべたのち フォルマリン液につけておき、ふたたび ナガサをはかつてのち 乾物重をもとめ、換算の資料と フォルマリン液につけておくことによる 根のチデミを 補正する資料とした。フォルマリン液につけておいた根の ナガサは すべて これによつて 補正した。1951 年には 比較のために となりのトコから カラマツ モミ および サワラの試料を おなじようにとつた。

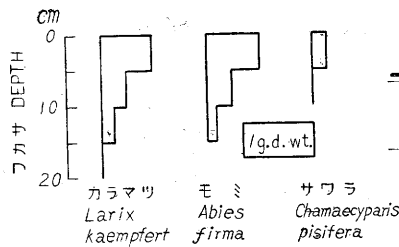
2. 結果

1951 年 7 月 31 日の 根の乾物重と、1951 年 7 月 23 日の 根の 乾物重と ナガサの実測値お



第 35 図 根の層別分布

Fig. 35. Distribution of roots to soil layers.



第 36 図 カラマツ モミ サワラの根の層別分布

Fig. 36. Vertical distribution of roots of *Larix Kaempferi*, *Abies firma*, and *Chamaecyparis pisifera*.

第 24 表 根の計算につかつたアタイ

Table 24 Base of calculations on roots.

	フトサ mm Diameter	マワリ mm Circumference	根端の数/m Number of root tips per m
スギ <i>Cr. japonica</i>	0.38	1.19	30.5
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	0.31	0.97	54.2
アカマツ <i>P. densiflora</i>	0.42	1.32	200.0

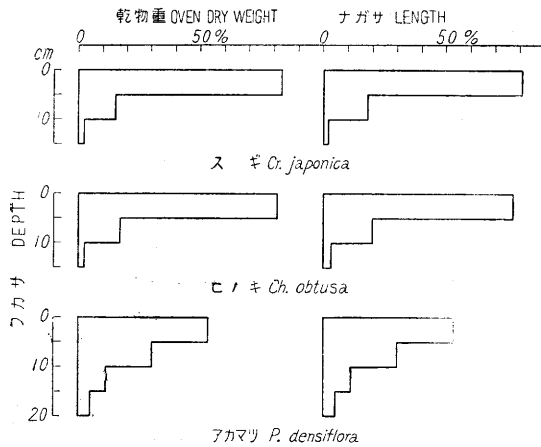
第 25 表 根 100本あたりのアタイ

Table 25 Dry weight, total length, surface area, and number of root tips per 100 seedlings.

	スギ <i>Cr. japonica</i>	ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	アカマツ <i>P. densiflora</i>
乾物重 g Dry wt.	1951 0.787 1952 0.653	0.351 0.356	1.684 1.684
ナガサ m Length	20.25	15.63	53.75
表面積 cm² Surface area	241	152	709
根端の数 Number of root tips	618	847	9977

よび第 24 表のアタイから計算した根の表面積と 根端の数層を、層ごとに 第 35 図に、全体をまとめて第25表にしめす。ともに 15×30 cm あたり 100 本のアタイに 修正してしめした。参考のために 1951 年

にしらべた。カラマツ モミ サワラの根の乾物重を 第 36 図にしめす。図と表にあきらかなように 根のオモサ ナガサ 表面積 根端の数は すべて アカマツがもつとも多く ヒノキがもつともすくない。アカマツでは 菌根をつくるので根の吸収面積は さらにおおくなる。根のはいるフカサ および 下層えの分布も アカマツがもつともおおく ヒノキがもつともす



第 37 図 根の層別分配

Fig. 37. Relative distribution of roots to the layers.

くない。それぞれのフカサの層への分布の関係をさらにはつきりさせるために層別の百分率を実測した根のオモサとナガサについてもとめると第 37 図のようになり、アカマツがもつともよく深い層に根をひろげており、ヒノキとスギではワライイではチガイはすくない。

3. 考 察

草本植物の根の量については PAVLYCHENKO (1937b) や DITTMER (1937, 1938, 1947) のこまかな研究があるが、林木の

ナエの根についてはその重要性にもかかわらず意外にしらべられていない。根の総重量についてはいろいろなウエキバチ試験の結果としてしるされているが、根のナガサや表面積についての記載はほとんどみあたらない。KOZLOWSKI and SCHOLTES (1948) はニセアカシア, dogwood, loblolly マツの根のナガサと表面積を木の箱に植えたものについてしらべているがそのいろいろなフカサへの分配はしらべていない。苗畑で自由にそだつたものについての調査はすくなく、ことにその垂直分布を量的にしらべたものはほとんどない。しかしながら土がかわくばあいを考えると重要なのは根の形や総量ではなく、どのフカサにどれだけ分布しているかということだ。

根をほりあげてしらべる方法としては PAVLYCHENKO (1937a) の soil block washing 法や WEAVER and VOIGT (1950) の monolith 法があるが、これらは個体の根の形をしらべるにはもつとも適している方法だとしても、この調査のような個体の根の量や形よりも苗畑にそだっているままのナエの根の垂直分布を量的におさえようとするばあいにはむいていない。それで ROGERS and VYVYAN (1934) の block 法をつかうことにした。ROGERS たちはこの方法の欠点としてほかの木の根がはいりこみ必要な木の根が block の外ににげられることをあげているが、この調査のように多くのナエが block のなかにはいるときには、はいりこむ根とにげだす根とがうちけしあつて、誤差がでてでも全体から見ればわずかから欠点とするにはあたらない。

根の量はすべての点でアカマツがもつともおおく、ヒノキがもつともすくない。そのうえアカマツには、おおくの菌根がついていて、吸収面はさらにひろくなる。水が根端にちかところからもつともたやすくとりいられることはおおくの研究によつてあきらかであり、根端のおおいことは水のトリイレにつごうがいいが、そのほかに根端のおおいことは

根ののびるところがおおいことであり、土がひどくかわいて 土のなかでの 水のウゴキが むずかしくなつたときには 根がのびることによつて まだ 水をおおくふくんでいる土から 水をとりいれることができる と いわれている (KRAMER and COILE 1940) ことを考えあわせると、根端の数がおおいことは 土のカワキにたえるうえに 有利だ。根端の数は アカマツがとびはなれておおい、スギとヒノキでは ヒノキのほうが ややおおいようだが、この数は 根のオモサやナガサのような 直接にはかつたアタイではなく、それから推定したアタイなので スギとヒノキをくらべることは さげよう。

これまであげてきたアタイは すべて根の総量についてであり、水をとりに役立つかと ふつうに 考えられている 若い白根の部分を わけていない。しかしながら 土がひどくかわいて 永久凋萎含水率にちかぶくと、若い白根の部分は枯れ (McQUILKIN 1953) あるいは表面がコルク化してしまつて (REED 1939)、生長している部分は見られないという。そのようなときには 表面のコルク化した根の 皮目そのほかから 水をとりにいれる という (KRAMER 1946)。そうだとすると ここで問題になるような 土がひどくかわいた状態では すべての根を まとめてはかつても イミがあるとおもう。土のカワキカタは 第 1, 2 図にしめすようにフカサによつて かなりちがうから、根のはいるフカサと 根の量の垂直分布は たいせつなイミをもつ。根のはいるフカサは アカマツがもつともふかく、スギとヒノキのあいだでは 1951年の調査では スギのほうが 根がふかくはいつていたが、1952年の調査では チガイはなかつた。根の垂直分布は スギとヒノキでは 土の表面から 5 cm のあいだに 大部分が 分布していたが、アカマツでは 土の表面から 5 cm のあいだの層に もつともおおい 分布してはいたが つぎの 5—10 cm の層 および それより深い層にも おおい分布していた。このことは土の表面にちかい土は つねにかわきやすいことを 考えれば アカマツの耐乾性がつよいことのひとつの原因となつていられる。しかしながら 根の量だけでなく 根の性質と 根からとりいれた水を 蒸散する 地上部の 量と性質が 樹種によつてちがうとすれば、根の量だけでは耐乾性のチガイを説明しきれず、地上部について 水分生理的な性質を しらべる必要がある。単位量の根の 水をとりにいれる能力 とくに 土がかわいたばあいのそれが 樹種によつてちがうことは 考えられるが、それを正確にはかる方法は 現在では 知られていない。

4. あらまし

土のひどくかわくオソレの もつともおおい 7—8月における スギ ヒノキ アカマツの根の量を、マキツケドコで ふつうにそだつている ナエについて オモサとナガサを おおきの試料について実測し、表面積と根端の数を 小数の試料についての実測値をつかつて 推定した。それらのすべての量 および 根のはいるフカサと 垂直分布について、アカマツが 土のカワキに耐えるのに もつとも有利であり、スギとヒノキのあいだでは スギのほうが それら

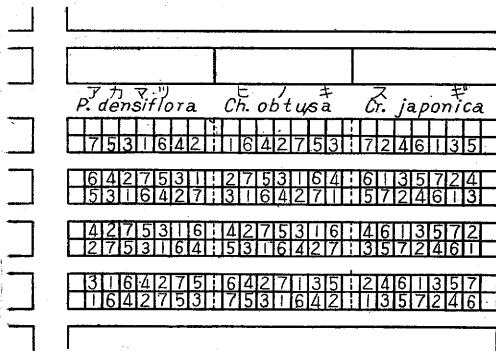
の量と 根のはいるフカサについては ヒノキよりも 土のカワキに耐えるのに 有利だが 根の垂直的な分布については 相対的には 両者のあいだに チガイがみられなかつた。総合的に見ると 根の量と分布については 土のカワキに耐えるには アカマツが とびはなれて有利であり、スギはヒノキにくらべると やや有利なようだ。

VI 根の生長の型

おなじ樹種のなかでは 根のはいるフカサ 量 T-R 率などが 耐乾性にふかい関係があることがわかつた。これらの要素が ナエのそだつていくにつれて どうかわつてゆくか、ことに 土がひどくかわくオソレのある時期には ほかの時期にくらべて どうであるかということは 樹種の耐乾性を考えるうえに たいせつだ。このような 生長の型 とでもいうべきものをくらべることによつて、その樹種の 土のひどくかわくオソレのある時期が いつであるかという 気候の型への適応の程度をくらべて、いわば ウケミの耐乾性を くらべることができる。乾燥地帯にはえる植物が 乾燥期に 葉がおちたり 休眠状態にはいつたりして 乾燥の危険からのがれることは よく知られており、WALTER (1931, p. 111—112) は そのような性質を passiv な耐乾性とよんでいる。このような極端なものでなくても、乾燥の危険のある時期に乾燥に耐えやすいような形をとることは ふつうの植物についても 考えられないだろうか。

1. 材料と方法

1951年4月に 田無苗畑に 第5表にしめしたタネをまき、普通のそだてかたをして、5月31日から11月21日のあいだ 第39図にしめす日に 試料をとつて しらべた。苗畑の配置と 試料をとる順序は 第38図にしめすとおりで、1回に 各樹種 7区あての 試料をとつた。試料をとる方法は Vのばあいとおなじで、ただ はじめ2回は 30×30 cm のワクを、



第3回目からあとは ナエがおおきくなつたので 15×30 cm のワクをつかつた。試料は よく水であつたのち 105°C の乾燥器でかわかして オモサをはかつた。不注意のために 5月31日の地上部と 6月30日のヒノキの全資料をうしなつたので その部分の資料を欠いている。

第38図 苗畑の配置と試料をとる順序 図の数字は試料をとる順序

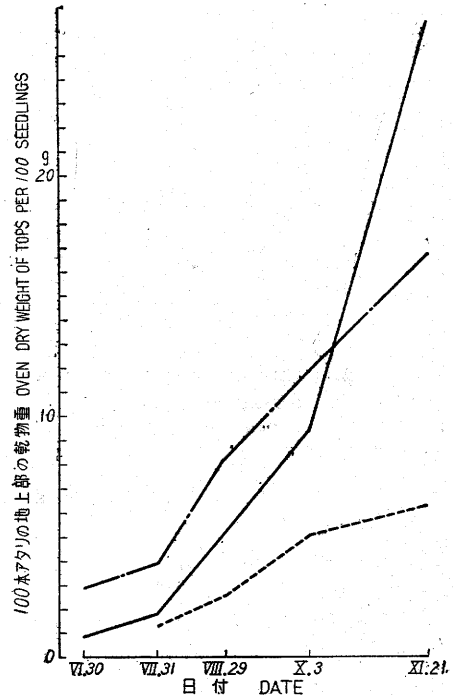
Fig. 38. Arrangement of the species in the nursery and the system of sampling, the numbers in the figure show the sequence order of sampling.

2. 結果

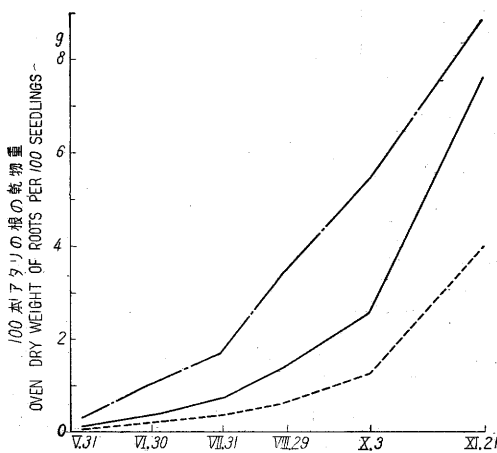
(1) 地上部と根の生長のスジミチ
第39図と第40図に それぞれ 地

上部と根の それぞれの時期における 現存量をしめす。根の量は つねに アカマツがもつともおおく ヒノキがもつともすくないが、11月には スギとアカマツのあいだの 根の量のチガイは めだたなくなる。地上部も だいたい おなじようだが 生育期間のオワリには スギの地上部は アカマツよりも おもくなつた。試料をとつた時のあいだの 1日の平均生長量を 第 39, 40 図のデータからもとめると 第 41 図のようになり、根の生長量は 6-9月のあいだは アカマツがもつともおおく ヒノキがもつともすくないが、10-11月には アカマツとスギの順位が逆になつた。地上部の生長量も ヒノキがつねにもつともすくなく、スギとアカマツでは 7-9月にはわずかしちがいがわなかつたが

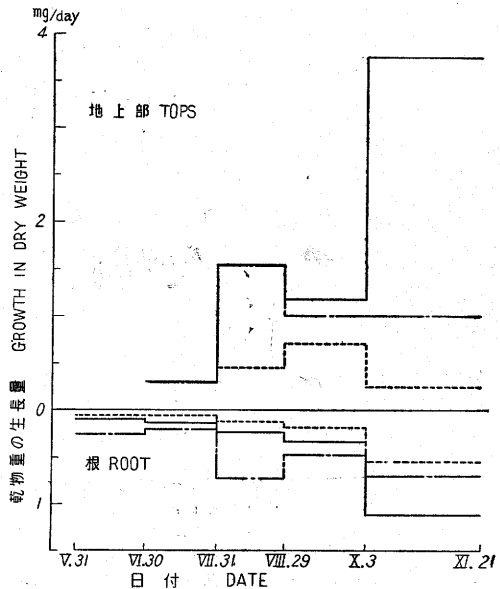
10-11月のスギの地上部の生長量は いちじるしくおおきかつた。ヒノキは 10-11月には地上部の生長はいちじるしくへつたが 根の生長量はふえていた。根の生長量の 季節配分の型を はつきりしめすために 11月21日のアタイを100として それにいたるスジミチを ワライアイでしめすと 第 42 図のようになり、スギとヒ



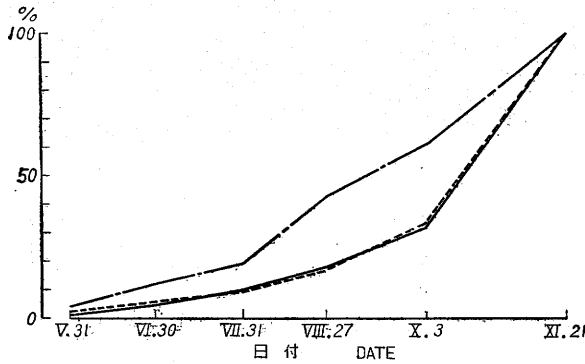
第 39 図 地上部の生長のスジミチ
Fig. 39. The course of growth of parts above ground. —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.



第 40 図 根の生長のスジミチ
Fig. 40. The course of growth of roots. —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.



第 41 図 平均生長量の季節変化
Fig. 41. Seasonal trend of growth. —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.

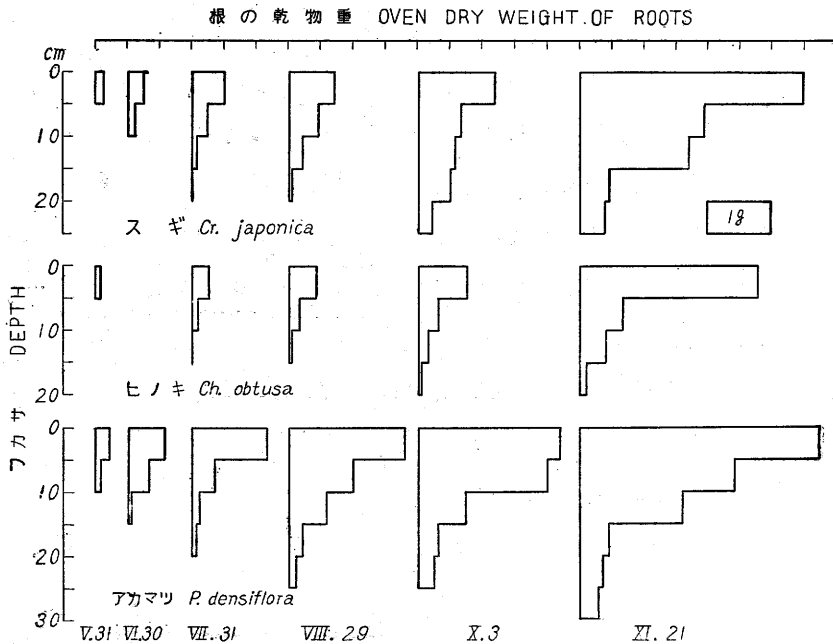


第 42 図 根の生長量の季節配分

Fig. 42. Seasonal distribution of root growth.
 —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.

ノキの根は ほぼおなじスジミチをたどつて 増していくが、アカマツは それらにくらべると はやい時期に生長するワライイが おおきいことが あきらかだ。

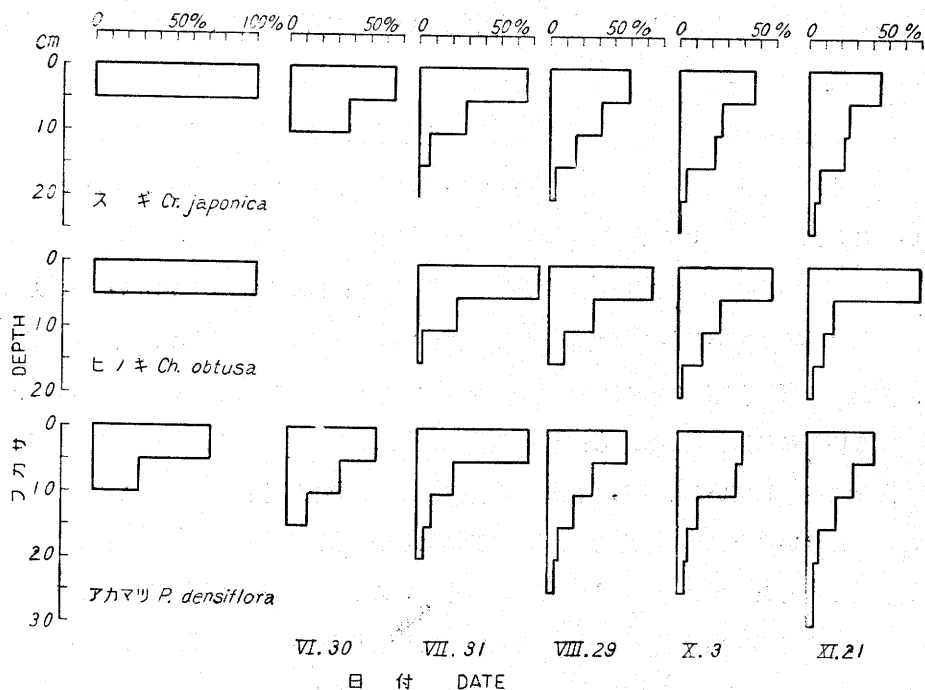
土の層ごとの 根の現存量を 第 43 図にしめす。根のはいるフカサは ヒノキがもつともすくなく アカマツがもつとも深い。この傾向は 生育期の終りまで つづいた。各層ごとの 根の量も



第 43 図 根の層別の現存量

Fig. 43. Amount of root in the layers of soil.

アカマツが もつともおおく、ヒノキが もつともすくない。根の 垂直的な分配の ワライイは、第 44 図のように ヒノキでは 生育期間の終りまで 根が地表にちかい層にあつまっている 傾向があるが、スギとアカマツでは 8 月ごろから 根が地表ちかくにおおいという傾向は すくなくなつた。根の絶対量 はいるフカサ 垂直分布の型 および 根の生長量の季節的な分配の型の すべての点で アカマツが 土のカワキに耐えるのに もつとも有利であり、スギとヒノキのあいだでは 根の絶対量 はいるフカサ 垂直的な分布の型 については スギのほうが 土のカワキにたえるのに 有利だが、根の生長量の 季節的な分配の型は ほぼひとしいと 考えられる。

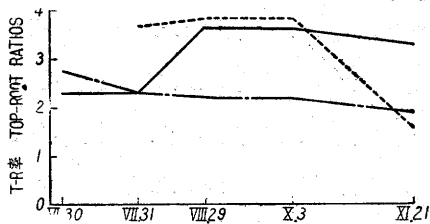


第 44 図 根の層別分配
Fig. 44. Relative vertical distribution of roots.

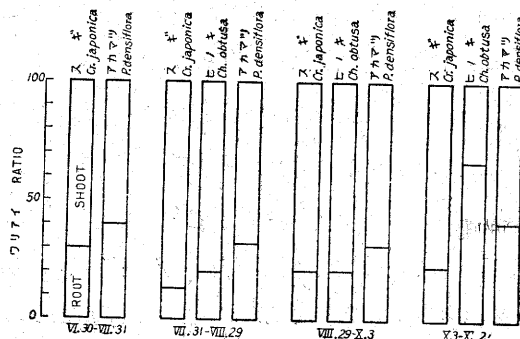
(2) 地上部と根の関係

T-R 率の変化を 第 45 図にします。アカマツの T-R 率は 6 月 30 日には スギよりもやや高いが 7 月 31 日以後は もつとも低くなり ほぼ一定のアタイを もちつづける。スギの T-R 率は 7 月までは低い が 8 月中に高くなり そのアタイをつづける。ヒノキは 7—10 月のあいだは スギよりもやや高く もつとも高いアタイをしめすが 生育期の終りには いちじるしくさがつた。7 月以後の それぞれの期間のうちに 生産された物質の 地上部と根への ワカレカタを 第 46 図にします。11 月のヒノキをのぞくと それぞれの期間のうちに生産された 物質のうちで 根をつくるのにつか

われるものの ワライイは アカマツにお



第 45 図 生育のすすむにともなう T-R 率の変化
Fig. 45. Changes in top-root ratios with growth of seedlings.
—スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, - - -アカマツ *P. densiflora*.



第 46 図 生産された乾物のワカレカタ
Fig. 46. Share of dry matter produced.

いて もつとも高く スギにおいて もつともすくないが スギとヒノキのチガイはわずかだ。

3. 考 察

ナエのそだつていくスジミチをしらべた報告の大部分は 1年生より上のものについてであり、そのおおくは 地上部の タカサの生長についてのものだ。マキツケナエについての調査はすくない。ことに スギ ヒノキ アカマツの マキツケナエの生長の スジミチをくらべた報告は ほとんどない。この調査では 生育初期の資料が 完全でないので たちいつた考察はさけるが、資料のそろつていゝ根の生長のスジミチについてみると、芽を出したときから 生育期間の終りである 11月下旬にかけて、根の現存量は アカマツがもつともおおく ヒノキがもつともすくない。ここに見られた 根の量の順位は 根のはいるフカサを制限しないばあいの耐乾性の順位と一致している。もし ほかの条件がおなじならば 根の量がおおいほど 土のカワキをしのごやすいことは あたりまえだ。1日あたりの 根の生長量も 生育期間の終りの 10—11月をのぞくと アカマツがもつともおおく ヒノキがもつともすくない。根が そのふれている土の ふくんでいる有効水分を とりいれてしまうと、毛管力による 土のなかでの水のウゴキは きわめてのろく それをおぎなうことができないので、まだ おおくの有効水分をふくんでいる あたらしい土のなかに たえず 根をのばして、その水を利用することの重要性を KRAMER and COILE (1940) は強調し、ライムギについて そのようにして有効にされる 水の量を 計算している。その見方にしたがえば 根の生長量の大小は 土からの 水のトリイレにとつて 大きなイミをもつ。アカマツは 根の生長量が大きいだけでなく、生産した乾物のうちで 根の生長にまわされる部分の ワリアイも おおいことは アカマツが土のカワキによく耐えるように 適応していることをしめすと 考えられる。乾燥地にはえる植物が 土がひどくかわくオソレのある時期に カワキに対して 抵抗性のつよい形をとることは よく知られており、WALTER (1931, p. 111—112) や ARVIDSON (1951) は このような性質を passiv な耐乾性とよんでいる。ここでとりあつかつている樹種には、そのような 極端な性質はないが、土がひどくかわくオソレのある時期にもつ状態が ほかの時期にくらべると ある程度は カワキにたえるのに つごうのよい形をとることは考えられる。根のナガサ 量 T-R 率などが おなじ樹種のなかでは 耐乾性におおきく影響することを あきらかにしたが、そのような性質は ヒデリのオソレのある時期には ほかの時期にくらべてどうだろうか。根の生長の季節的配分は スギとヒノキのあいだには ほとんど チガイが見られなかつたが、アカマツは それらにくらべると 根の年間の生長量のかなりの部分を 生育の初期に すませている、土のかわくオソレのある時期には すでに かなりの量の 根をもつ 傾向があることが わかつた。また 1日あたりの 根の生長量は アカマツが 生育末期をのぞくと つねにもつとも おおいが 土のカワキのオツレのおおい7—8月にはこの傾向が ことにいちじるしかつた。根

の生長速度が土のカワキにたえるうえにもツイミについては、すでにふれた。T-R率はアカマツでははじめのうちはスギよりもやや高いが、土のひどくかわくオソレのある7月からあとには低くなり、つねにもつとも低いアタイをたもつ。スギではカワキのオソレのおおい8月にT-R率が高くなつてそれからあとはそのアタイをたもち、ヒノキでははじめの時期の資料を欠くが土のかわくオソレのおおい7-8月はT-R率が高く、そのオソレのすくなくなつた11月下旬にはいちじるしくT-R率が低くなつた。このことから考えると地上部と根の生育期間内の生長量の季節配分はアカマツが夏にヒデリの害をうけるオソレのもつともすくない型をとるようにおもわれ、スギとヒノキのあいだにはあまりチガイがないようにおもわれる。根の垂直分布の型の変化はスギとアカマツではおなじようだつたがヒノキでは生育期間の終りまで大部分の根が地表ちかくの土の層にある傾向をつづけた。しかし根の垂直分布の型についてはとくにどの樹種が乾燥期を夏にむかえるのに適しているとはいえない。

4. あらまし

根と地上部の現存量と生長量、根のはいるフカサと垂直分布、T-R率、単位期間に生産された物質の根と地上部へのワカレカタなどの生育期間をとおしての変化をしらべたところ根の現存量、生長量、はいるフカサのいろいろな時期におけるアタイはアカマツがもつともおおく、ヒノキがもつともすくなかつた。根の生長量の季節配分についてはアカマツが夏に土のひどくかわくオソレのある時期をむかえるのにもつともつごうのいい型をとつており、スギとヒノキはあまりちがわなかつた。生産された物質のうち根の生長につかわれる部分のワリアイはアカマツがもつともおおく、ヒノキはスギよりもややおかつた。T-R率はアカマツがもつとも低く、スギはヒノキよりもやや低く、その季節的变化はアカマツは変動がすくなかつたがスギとヒノキではヒデリのオソレのすくない時期よりもそのオソレのある時期にかえつて高かつた。これらのことから生長の型はアカマツがスギやヒノキよりも夏に土のひどくかわくオソレのある時期をむかえるのに適しているといえるようだ。

VII どこまで水をうしなつたら枯れるか

これまでの実験によつてナエの耐乾性のチガイには根の発達状態もいろいろと関係しているが、それだけでは説明しきれないことがわかつた。ナエが土のカワキのために枯れることは水をひどくうしなつた結果にほかならないから、どのくらいまで水をうしなつてもナエが生きていられるかということは耐乾性をきめるおおきな要素となる。この点についてはふるくSCHROEDER (1909) は針葉樹は広葉樹にくらべると低い含水率までさがつて

も 害をうけないと報告している。針葉樹についても NEGER und FUCHS (1915), CHU(1936) PISEK und BERGER (1938), PISEK und LARCHER (1954), PARKER (1951, 1952) などの 報告があるが、いずれも 成木の葉についてのものであり、マキツケナエについては クロマツに ついての 田崎 (1951), アカマツについてのわれわれ (佐藤, 名村 1953) の報告があるだけで、 スギとヒノキについては まったく しらべられていないので、いくつかの実験をおこなった。

1. 生存率と含水率の関係

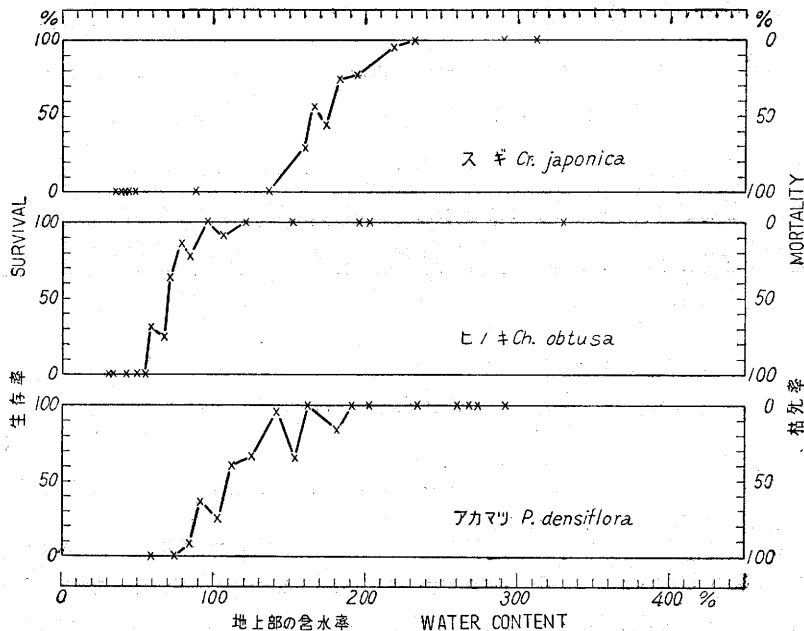
ナエの 枯れるか枯れないかの サカイメの含水率を 樹種のあいだで おおまかにくらべる ために ナエの生存率と含水率の関係をくらべた。

(1) 材料と方法

Ⅲの2の実験2で 水をやるのをやめて 土をかわくにまかせたのち ふたたび水をやるまえ に ナエの試料を それぞれの樹種について 10 個あてを ひとつずつ とつてすぐに トー ションバカリで オモサをはかり、105°C の乾燥器で 72 時間 かわかして 含水率をもとめ た。生存率は まえの実験とまったくおなじだ。

(2) 結 果

第 47 図に ナエの試料の 平均の含水率と 試料をとつたモトの シヤールレにのこつた ナ エの 生存率との関係をしめす。ヒノキがもつとも低い含水率まで生きており スギがもつとも 高い含水率で枯れることが あきらかだ。ことに スギがまったく枯れてしまうような含水率で も ヒノキは まだ まったく枯れていないほど スギとヒノキのチガイははなはだしい。



第 47 図 ナエの含水率と生存率の関係
Fig. 47. Relations between water content and survival of seedlings.

2. 含水率と生死

実験1で 苗の生きていられる 最低の含水率の 樹種のあいだのチガイは ほぼあきらかにされたが、さらに その含水率を 量的におさえるために 実験をくわえた。

(1) 材料と方法

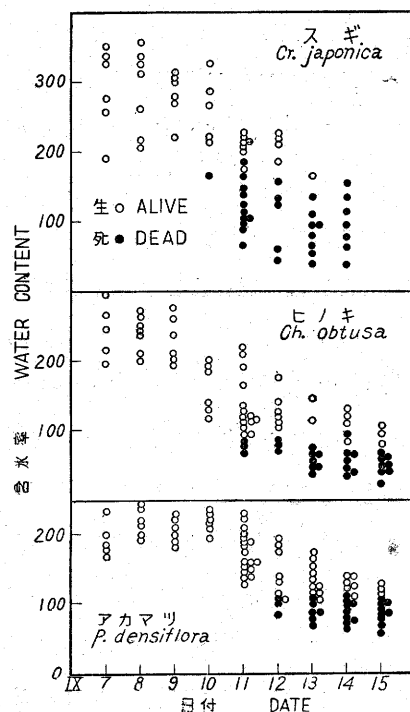
ナガサ 44 cm ハバ 29 cm フカサ 3 cm の トタン板でつくつた バットに 田無苗畑の土をいれ、第6表にしめしたようなタネを 第10 図とおなじような配置に 4月15日に まきつけた。それから まえとおなじガラス室で しばしば水をやつて 土をあまりかわかさないうちに注意して そだてた。9月3日に じゆうぶんに水をやつたのち 水をやるのをやめて 土がかわくにまかせた。9月7日から 毎日 それぞれの樹種を 5—18本の 地上部を切りとり すぐにオモサをはかり 水にさした。水にさしたまま 実験室にもちこみ そのまま 温室に 24時間おいて、そのあいだに じゆうぶんに水をすつて シオレから回復して 緊張した 健全な状態になつたものを 生きているとし、そのあいだに 水をすわずに さらにしおれたものを 枯れたものとした。ナエを 105°C で 72時間 かわかして 切りとつたときの含水率をもとめた。

(2) 結 果

第48 図に スギ ヒノキ アカマツのナエの 地上部の含水率と生死の関係をしめす。スギは 地上部の含水率 155—180 %、ヒノキは 75—95% アカマツは 100—110%まで 含水率がさがる と 枯れてしまうことがあきらかだ。ナエが 健全にそだつてい るときの 含水率は、スギで およそ 350%、ヒノキで およそ 260%、アカマツでは およそ 230%だつたから、スギとアカマツでは およそ 1/2、ヒノキでは およそ 2/3の水をうしなうと 枯れることになり、スギが もつとも高い含水率で枯れ ヒノキがもつとも低い含水率まで 生きてい ることになる。また 枯れずに うしなうことのできる水の ワリアイは ヒノキがもつとも おおく スギとアカマツでは ほとんどちがわないことになる。

3. 切りとつたナエの含水率と生死

さらにおおくの材料について さらにこまかな実験を おこなうために、ナエの地上部を切りとつて 水の補給を たつて 空気中で 水をいろいろな程度にうしなわせ



第48 図 ナエの生死と含水率
Fig. 48. Water content of the seedlings at their lethal levels.

て生死のサカイメの含水量をしらべた。

(1) 材料と方法

ナエは III の 4 につかつたものとおなじクチのものをもちいた。8 月 12—25 日のあいだにもナエの地上部を切りとつて 実験をおこなつた。ナエを切りとつて シャーレにいった水にさき、水のなかで キリクチをきりなおして、氷にさしたまま 実験室にもちこみ、フタをして くらい箱のなかに入れて 翌朝までおいた。朝 10 時に 水からとりだして キリクチにワセリンをぬり オモサを トーションバカリで はがつたのち、空気の湿度を CaCl_2 で 0% いろいろな濃度の H_2SO_4 で 20 40 60 80% にたもつた デシケーターのなかに入れて、1—72 時間のあいだの いろいろの時間のあいだ 水をうしなわせたのちに、とりだし オモサをはかり キリクチを水のなかで切りなおし、ふたたびキリクチを氷につけたまま くらい湿室に 24 時間おいたのち、ふたたびオモサをはかり 生死をしらべた。デシケーターからとりだしたのちに切りとつた 胚軸の一部は 水のなかにしばらくおいたのちに オモサをはかり そのオモサを修正した。

生死をしらべるには ふたつの方法をもちいた。ひとつは 実験 2 とおなじく ナエを肉眼で観察して じゆうぶんに水をすつて シオレから回復した 健全な状態にあるものを 生きているとし、水をすわず あるいはすこししかすわずに しおれた状態にあるものを 死んだものとした。もうひとつは テルル酸カリによる 呈色によつてしらべた。PARKER (1951, 1952, 1953 a, b, 1955) は針葉樹の葉の生死をしらべるのに TTC (2,3,5-triphenyltetrazolium chloride) をもちいて 良い成績を得ている。予備実験でこの方法をためしたところ、TTC が還元された Formazan の 赤い色は アカマツとヒノキでは よくわかるが 緑色のややこいいスギでは みわけにくかつた。TTC は LAKON (1942) が タネの活力検定に もちいており、長谷川 (1933) の還元法と おなじ原理にもとづくものだから、長谷川のつかつた テルル酸ソーダも おなじようにつかえるわけであり、YANAGISAWA and ASAKAWA (1953) は テルル酸カリを タネの活力検定につかっている。テルル酸カリがてもとにあつたので PARKER のつかつた TTC と おなじようにつかえるかを ためしたところ その黒い呈色反応は TTC の赤い色の反応よりも はるかにみわけやすかつたので テルル酸カリ ($\text{K}_2\text{TeO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) をつかうことにした。TTC は いろいろなトリエがあるが (PARKER 1953 b), 光によつて たやすく還元されるので、あかるいところでのトリアツカイには 注意しなければならない点からも テルル酸カリのほうがべりだ。7 月に スギ ヒノキ アカマツの マキツケナエをほりとり、 -5°C の冷蔵庫に 26 時間おいて、とりだしてから 室温に 1 時間おいたのちに、葉を 5mm ぐらいにきり 時計皿にいった 1% のテルル酸カリ溶液に 24 時間つけて 反応をしらべたところ 第 26 表のような 結果を得た。この結果からも テルル酸カリが 生死の判別に やく

にたつことがわかる。

ナエの生死を 肉眼的にみわけたのち、葉の一部をとり、5 mm ぐらいに切り、時計皿にいれた1%のテルル酸カリ溶液にいれ、それを時計皿のままシャーレにいれて 30°C の恒温器に 24 時間いれておいたのち、とりだして 反応をしらべ、つかつた葉片の 3/4 以上が (+) の反応をしめすものを 生きているとした。

第 26 表 -5°C で 26 時間処理したもののテルル酸カリに対する反応 (%)
Table 26. Percentages of needle segments stained by K₂TeO₄ solution.

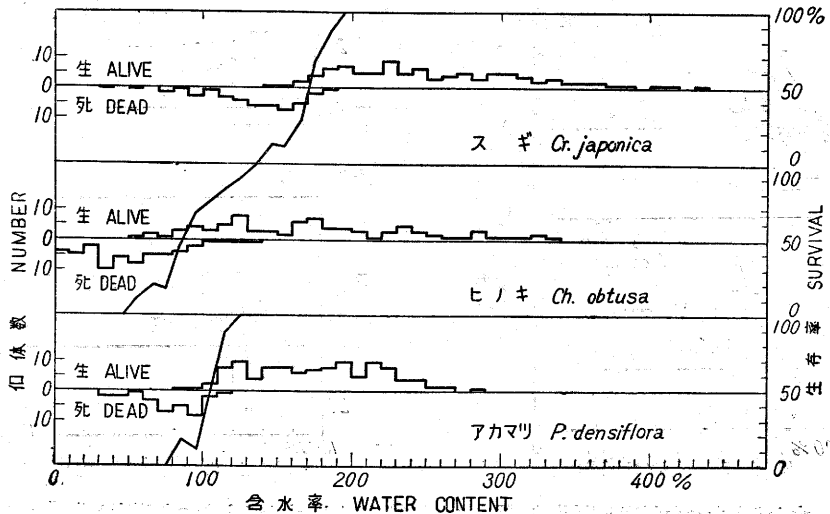
	処 理 Exposed to low temp. (-5°C)	対 照 Control
スギ <i>Cr. japonica</i>	3.1	100
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	6.5	100
アカマツ <i>P. densiflora</i>	6.0	99.3

肉眼的に 生死をみわけたのち ナエを 105°C でかわかし、テルル酸カリ試験につかつたものもくわえて さらにかわかして 乾燥重をもとめ、胚軸の切りすてた部分のオモサを修正して含水率をもとめた。ナエが水をうしなうあいだの 空気の湿度によつては 結果にチガイがみとめられなかつたので、まとめてとりあつかうことにした。

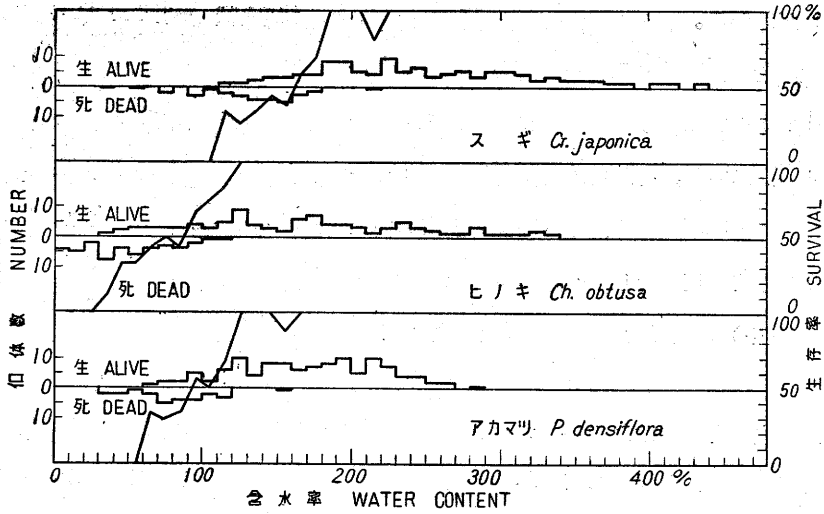
(2) 結 果

a. 生死と含水率

第 49, 50 図に ナエの地上部の 含水率と生死の関係を 個体数と 生存率でしめす。ふたつのミツケカタによつて いくぶんの チガイはでたが、大勢はかわらず スギがもつとも高い含水率で死に ヒノキがもつともひくい含水率まで 生きていることが わかる。半数が生きているときの含水率を 生きるか死ぬかのサカイメの含水率とすると、スギ およそ 170%, ヒノキ およそ 90%, アカマツ およそ 100%ということになる。



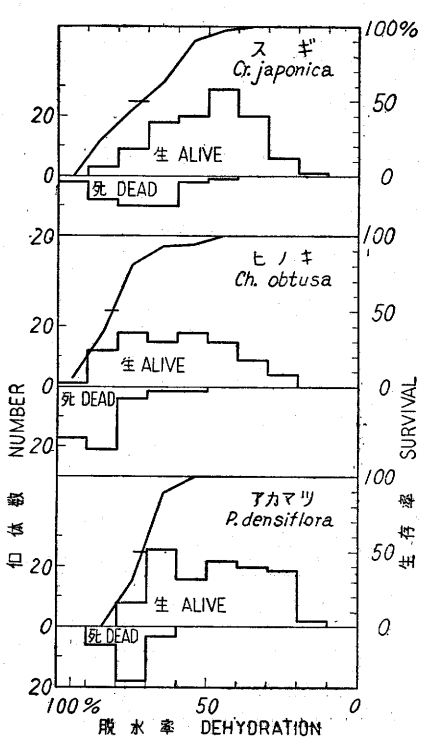
第 49 図 ナエの含水率と生死 (肉眼でみわけた)
Fig. 49. Water content of the seedlings at their lethal levels (determined by ocular observations).



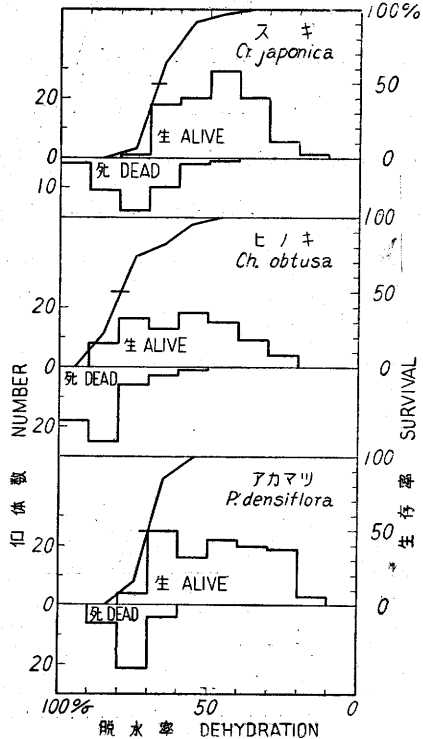
第 50 図 ナエの含水率と生死 (テルル酸カリによる呈色のみわけた)
 Fig. 50. Water content of the seedlings at their lethal levels (determined by K_2TeO_4 -staining tests).

b. 生死と水をうしなう程度

ナエの地上部が 水をうしなつて死ぬときの含水率は 樹種によつてちがうが、健全なときの含



第 51 図 水をうしなつた程度と生死 (肉眼によつてみわけた)
 Fig. 51. Degree of dehydration of the seedlings at their lethal levels (determined by ocular observations).



第 52 図 水をうしなつた程度と生死 (テルル酸カリによる呈色のみわけた)
 Fig. 52. Degree of dehydration of the seedlings at their lethal levels (determined by K_2TeO_4 -staining tests).

水率もちがうので、健全なときにふくんでいた水のうちのどのくらいの部分をうしなつたら枯れるかということが ナエの耐乾性を考えるうえにたいせつだ。ひとつひとつのナエの水をあたえてあるときの含水率と、水をあたえずに水をうしなさせたあとの含水率とから脱水率をもとめて、それと生死の関係を見ると第 51, 52 図のようになり、ヒノキはもつともいちじるしい脱水にたえるが、アカマツとスギのあいだにはあまりチガイがないようだ。半数が枯れたときの脱水率を生死のサカイメのアタイとすると、ヒノキはおよそ 80% スギとアカマツは およそ 70% の水をうしなせば死ぬということになる。

4. 考 察

それぞれ方法のちがう 3 回の実験をとおしていえることは、ナエが水をうしなつたときにヒノキがもつとも低い含水率まで生きており、スギがもつとも高い含水率で枯れるということだ。スギ ヒノキ アカマツの枯れるサカイメの含水率についてはこれまでくらべられていない。枯れるか枯れないかのサカイメの含水率は実験のたびにいくらちがいが、第 27 表にまとめたようなアタイをしめた。スギとヒノキについてはくらべるべきほかの実験報告はないが、アカマツについてはわれわれはさきに(佐藤, 名村 1953) 100% とおさえた。田崎(1951)はクロマツのマキツケナエについて 110% だと報告している。アカマツについてここに得られた結果はまえの報告とほぼ一致しクロマツともちかいアタイをしめしている。PISEK und BERGER (1938) は耐乾性のつよいヨーロッパのアカマツは耐乾性のよわいヨーロッパのトウヒに比べるとそのような含水率がいちじるしくひくいことを報告し、CHU (1936) もいろいろな樹種のあいだにもこのようなチガイがありまた陰葉は陽葉よりも下のほうの葉は上のほうの葉よりも高い含水率のまま枯れるといっている。これらの結果はすべて耐乾性のつよいものほど低い含水率まで生きていることをしめしている。しかしながらこの実験で得られた結果は生きるか死ぬかのサカイメの含水率と経験的および実験による耐乾性とはかならずしも一致していない。耐乾性がいろいろな要素の総合された結果としてあらわれるものであることを考えれば、ひとつひとつの要素について得られた結果と全体的にみた耐乾性とがかならずしも一致するとはかぎらないことは当然考えられる。ここに見られた低い含水率で生きつづける能力の樹種によるチガイは樹種のもつ原形質の特性のチガイにもとずくものと考えられ、STOCKER (1948, 1954) のいう *plasmatisch* な耐乾性にあたるとおもわれ、このチガイのよつてきたところをさらにあきらかにするには原形質の物理化学的な特性をあきらかにしなければなら

第 27 表 枯れるサカイメの含水率 (%)
Table 27. Water content of seedlings at their lethal levels.

	土に植えたまま Shoots of intact plants	切りとつた 苗 Cut shoots
スギ <i>Cr. japonica</i>	155—130	約 ca170
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	75—95	約 ca 90
アカマツ <i>P. densiflora</i>	100—110	約 ca100

らない。PISEK und LARCHER (1954) によれば、このような含水率は、おなじ植物でも季節によつてちがひ、秋から冬にかけて低くなり、春にはふたたびたかくなるという。

生きていられる「最低の含水率が」樹種によつてちがうことは、あきらかだが、じゆうぶんに水をふくんだ健全な状態で生活しているときの含水率も、樹種によつてちがうから、生きていられる「最低の含水率とともに、健全な状態でもつている」水のうちの「どのくらいをうしなつても生きていられるか」ということは、耐乾性を考えるうえに、たいせつだ。OPPENHEIMER (1932) や ROUSCHAL (1938) は、このようなアタイを、乾燥地の植物の、生態学的な研究にも

第 28 表 枯れずに失ひ得る水のワリアイ
Table 28. The percentages of water which can be lost before death.

	土にうえたまま Shoots of intact plants	切りとつた苗 Cut shoots
スギ <i>Cr. japonica</i>	約 ca 1/2	約 ca 70%
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	約 ca 2/3	約 ca 80
アカマツ <i>P. densiflora</i>	約 ca 1/2	約 ca 70

ちいている。枯れるまでに「うしなうことのできる水の量の」健全なときにふくんでいる「水の量に対する」ワリアイは、第 28 表のとおりで、2 回の実験で得られたアタイは、いくぶん「ちがつている」が、樹種のあいだの関係は「かわらず、ヒノキが」もつともおおくのワリアイで「水をうしなうことが」でき、アカマツとスギのあいだには「ほとんど」チ

ガイがないことになる。

生きているために必要な「最低の含水率をくらべれば、カワキにたえるには、ヒノキがもつともつごうがよく、スギがもつともつごうがわるい。枯れるまでにうしなうことのできる水の量は健全なときの含水率に対する」ワリアイで見ると、ヒノキが「やはり」もつともカワキにたえるのにつごうがよく、スギとアカマツのあいだには「チガイがあるとはいえない。しかし、その絶対量から見ると、スギがもつともおおく、アカマツがもつともすくなく、経験的、および、実験による、耐乾性の順位と、まったく逆になる。すべての点について、ここで得られた結果は、経験的、および、実験で得られた、耐乾性の順位と、一致していない。これらのアタイは、カワキにたえるうえに、たいせつなイミをもつとはいへ、それだけでは、耐乾性をきめることができず、健全な状態から、生きていられる「最低の含水率にいたるまでの、変化のハヤサが、重要なイミをもつものと、考えられる。

5. あらまし

いろいろな方法で、ナエの含水率が「どのくらいまでさがつても、生きていられるかをくらべたところ、ヒノキが、もつともひくい含水率で、生きていられ、スギが、もつとも高い含水率のまま、枯れることがわかつた。また、枯れるまでに「うしなうことのできる水の量は、絶対量では、スギがもつともおおく、アカマツがもつともすくないが、これを、健全な状態でもつ、含水率に対する」ワリアイであらわすと、ヒノキがもつともおおく、スギとアカマツのあいだには、チガイがなかつた。低い含水率で生きていられる能力と、枯れるまでにうしなうことのできる水

の量は耐乾性をきめる おおきな要素だと考えられるが、経験的 および 実験からの 耐乾性の順位とは 一致しなかつた。これらのアタイは それ自身だけでなく それまでにいたるハヤサとともに考えて ばじめて イミをもつと考へた。

VII イタミカタのひどくなる含水率

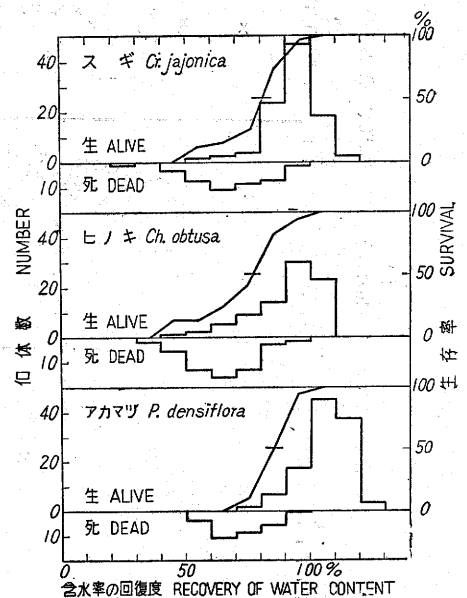
ナエの地上部が 水をうしなつたばあいに、生きているものと 死んだものを いろいろな方法で みわけたが、ナエの組織の 全部が死ぬ あるいは全部が生きている といったような はつきりしたカタチをとるものではなく、生きているとされたものも そのおおくは 一部の組織は 枯れており、枯れたとされたものも 一部の組織は 生きているものが おおいと考へられる。このことは テルル酸カリによる 呈色反応でみわけたばあいに おなじナエの試料のうち 生きているとみられるものと 死んだとみられるものが あつたことから うなずかれる。葉が 部分的に枯れることは ふるく YAPP (1912) によつてのべられており、OPPENHEIMER (1932) は 葉の 5—10% が枯れたときの 含水率を 乾燥地の植物の 生態的な性質をみる ひとつの基準としている。枯れたものが シオレから回復しないのは 枯れた組織が active に 水をすうチカラを うしなつたためだと 考へれば、ひとたび 水をうしなつた ナエが ふたたび 水をすつて 含水率を回復する程度は 水をうしなつたための ナエのイタミカタをあらわすものと 考へられるので、水をうしなつた程度と シオレからの回復の程度との関係をしらべてみた。

1. 材料と方法

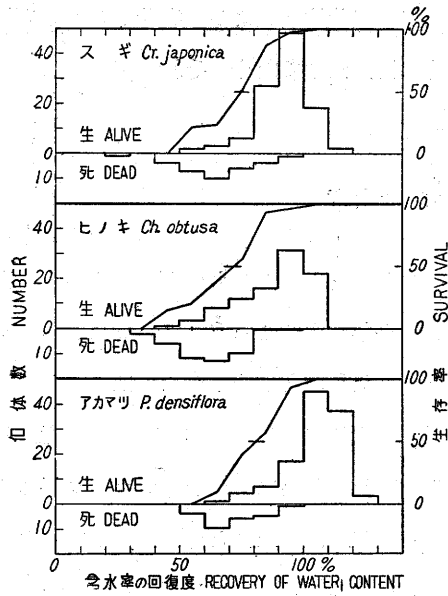
材料は VIIの3の材料を そのままもちい、いろいろな程度に水をうしなつたナエの 胚軸のキリクチを水につけて 24 時間のあいだ 温室で じゆうぶんに 水をすわせたのちに オモサをはかり、水をうしなうまえの含水率に対する ふたたび水をすわせたあとの含水率の 比をもとめて 回復度とした。

2. 結果

シオレから回復した程度と 生死の関係を 第53, 54 図にしめす。生きているものの 含水率を回復する程度は アカマツがもつともおおく、スギとヒノキは おなじくらいだ。枯れたとされたものにも かなり水をすつているものが いくぶんあるが、こ



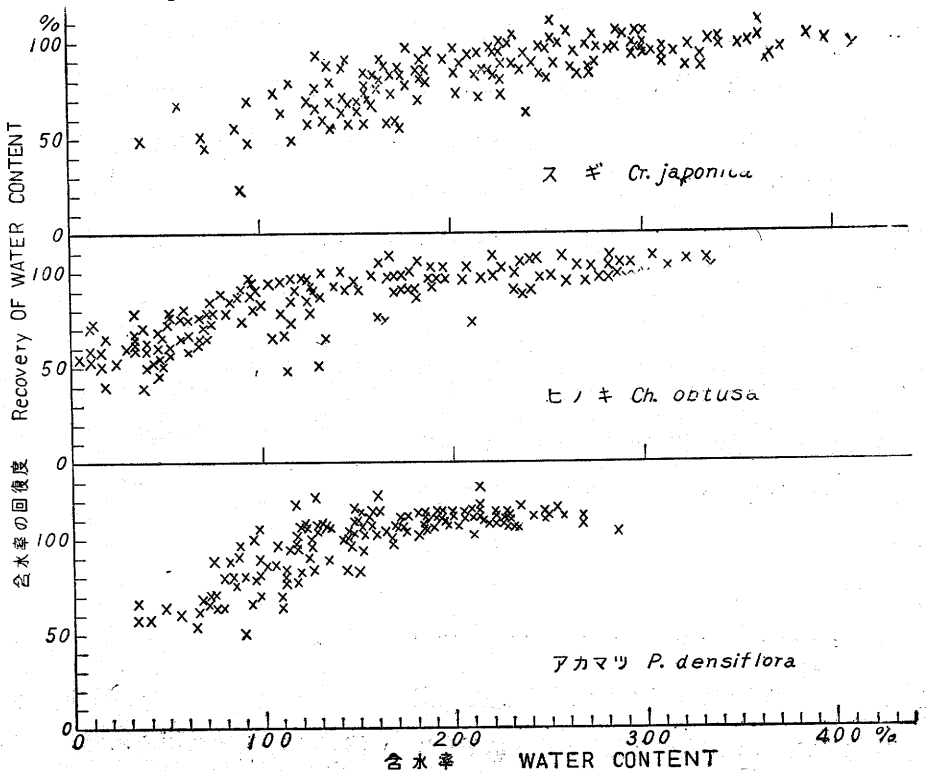
第53 図 生きているものと死んだものの含水率の回復状況 (肉眼的にみわけた)
Fig. 53. Recovery of water content in the seedlings alive and those dead (determined by ocular observations).



第 54 図 生きているものと死んだものの含水率の回復状況 (テルル酸カリによる呈色反応でみわけた)
 Fig. 54. Recovery of water content in the seedlings alive and those dead (determined by K_2TeO_4 -staining tests).

これは トリアツカイ中に 水のなかに たおれたものがあり その枯れた組織に 水がしみこみ スイトリ紙でふきとつても とれないものがあつたためだ。生きているものと 枯れたものが 同数のときの回復度は 肉眼によつて みわけたばあいには 77—85%, テルル酸カリをつかつて みわけたばあいには 72—91%で, いずれのばあいにも ヒノキがもつとも低く アカマツがもつとも高いが, そのチガイはわずかで, このようなばあいに イミがあるとは考えられない。

水をうしなつたときの 含水率と 回復度の関係は 第 55 図にしめすように 直線的ではなく, 両者の関係が 急にかわる点が ふたつあるように見える。すなわち ある程度までは 水をうしなつて含水率がさがつても, 水をうしなつたときの 含水



第 55 図 水をうしなつたときの含水率と回復度との関係
 Fig. 55. Relations between the recovery of water content and the water content after dehydration.

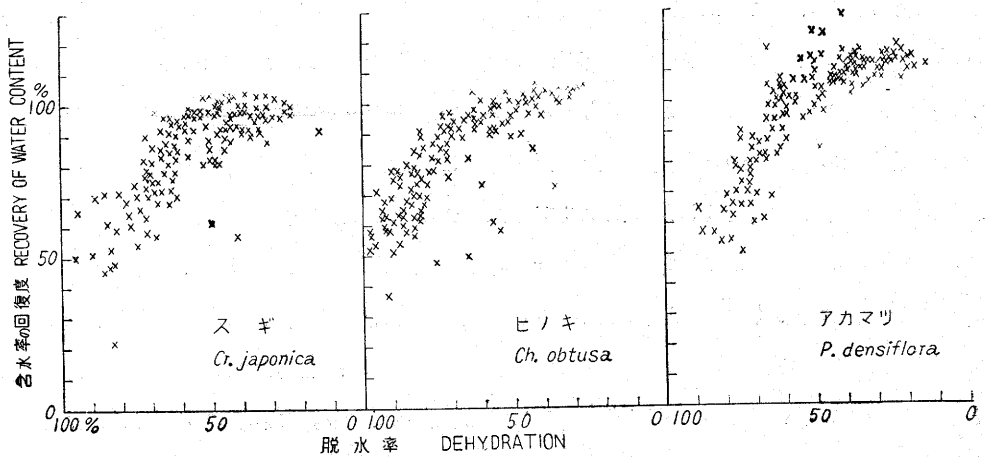
率には関係なく 含水率を回復するが、その範囲をこえて 含水率がさがると もはや 完全には含水率を回復せずに さがった含水率に応じて 不完全な回復をしめす。さらに含水率がさがって 第2の点よりも低くなると そのときの含水率には関係なく 一定の点までしか 含水率を回復しないように見える。このふたつの点を 樹種ごとにみると第 29 表のようなアタリにあるようで、Ⅶでのべた 生死のサカイメの含水率は この ふたつの限界点の あいだにあるのではなからうか。

回復率と うしなつた水分のワライとの関係をみると 第 56 図のようになり、水をうしなつたワライと 回復度の関係は 直線的ではなく、樹種によつてちがう あるきまつたワライまでは 水をうしなうのにもなる 回復度のさがりかたが ゆるやかだが それ以上の水をうしなうと 回復度のさがりかたが 急になる点があるように見える。その点は スギでは 50—60% ヒノキでは 70—80% アカマツでは 60—70% ぐらいの 水をうしなつた点にあるように見える。また 第 55, 56 図から じゆうぶんに回復したものの回復度は アカマツがもつとも高く スギがもつとも低いようだ。

これらの結果から考えると、水をうしなうことによる 組織のイタミカタは、スギが もつとも高い含水率で イタミがひどくなりはじめ、ヒノキが もつとも低い含水率まで ひどくいたまずに 水をうしなうことができ、イタミカタがひどくなるまでに うしなうことのできる水のワライも ヒノキがもつともおおく スギがもつともすくない ということになり、このイミでは 耐乾性はヒノキがもつともつよく スギがもつともよわい ことになる。しかしながら

第 29 表 ふたつの限界点の含水率 (%)
Table 29. Water content at the two critical points (see Fig. 55).

	I	II
スギ <i>Cr. japonica</i>	180—200	130—140
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	100—110	50—60
アカマツ <i>P. densiflora</i>	110—120	70—80



第 56 図 水をうしなつた程度と回復度との関係
Fig. 56. Relation between dehydration of seedlings and recovery of water content when rehydrated.

イタミカタが、それほどひどくない程度に、水をうしなつたときの、含水率の回復度は、アカマツがもつともおおきく、スギがもつともすくない、よつから、考えると、ヒノキとアカマツの耐乾性の順位は、逆になる。

3. 考 察

ひとたび、水をうしなつたナエが、ふたたび水をすつて、シオレから回復するばあい、水をすつて、含水率が回復する程度は、もつともよく回復したもののあいだでは、アカマツがもつともおおく、スギがもつともすくなかつた。このことは、経験的な耐乾性の順位と一致しており、ひとたび、水をうしなつたナエが、その後、ふたたび、水をすう程度が、健全な組織の量のワリアイに、比例すると考えれば、水をうしなう量によつて、スギがもつともいたみやすく、アカマツがもつともいたみにくいと、考えられる。枯れたものが、ふたたび、水をあたえても、シオレから回復しないのは、死んだ組織が、水を active にすわなないためだと、考えれば、この考えかたは、耐乾性を考えるうえに、やくにたつ。また、水をうしなつた量がおおいほど、その後、水をあたえても、水をとりいれる量がすくないことは、この考えかたの正しいことをイミする。その点からみると、耐乾性は、アカマツ、ヒノキ、スギの順につよいことになる。しかしながら、ひとたび水をうしなつた葉が、ふたたび、水で飽和されるまでに、要する時間は、植物の種類によつてちがう (OPPENHEIMER 1932) というから、この実験のように、24 時間だけ、水をすわせたのでは、すべてが、飽和するまで、水をすつたかどうかには、疑問がのこる。

水をうしなつたワリアイがおおいほど、また、水をうしなつたあとの含水率が低いほど、ふたたび水をあたえたときの、含水率の回復度は低かつたが、この関係は直線的ではなく、水をうしなつたワリアイから見ると、ひとつの、含水率から見ると、ふたつの、変曲点が見られた。水をうしなつたワリアイからみたときの、変曲点は、第2のものがないわけではなく、はつきりしなかつただけだ。このことは、ある程度までは、水をうしなつても、あまりおおきな変化は、おこらないが、それをこえて水をうしなうと、おおきな変化があらわれる、限界があることをしめす。その点は、含水率であらわしても、のこつている水のワリアイであらわしても、ヒノキがもつとも低く、スギがもつとも高かつた。ただ、ここで考えなければならないことは、ここにあらわれた、含水率や、水をうしなつたワリアイは、ナエの地上部全体の、平均として、あらわれたものであり、ナエの、こまかな部分の、含水率や、水をうしなつたワリアイを、あらわしてはいないことだ。おそらくは、ある部分は、ひどく水をうしなつて、枯れており、ある部分は、生きていて、じゆうぶんに、含水率を回復しており、それらの、総合されたものが、含水率、水をうしなつたワリアイ、あるいは、回復度、としてあらわれており、これらのアタイは、生きている部分と死んだ部分とのワリアイを、ある程度、あらわしているものとおもわれる。植物が水をうしなつたばあいに、ある部分が、ほかの部分から水をうばいとることによつて、枯れずにいるこ

とはよく知られている(КРАСНОСЕЛЬСКАЯ-МАКСИМОВА 1931)。

どのくらいまで水をうしなつても おおきな変化がおこらないか、ということは 耐乾性を考えるうえに イミがあり、ことに 実用のタチバナからは 水をうしなうことによつて 枯れないばあいにも 部分的なイタミの程度は、その後の生長に ひびくことが大きいと 考えられる。しかしながら、それらの点のもつイミは、健全な状態から、その点にいたる ハヤサを同時に考えなければ、それ自身だけでは、じゆうぶんではない。すなわち、土がひどくかわいて 永久凋萎含水率以下になり、根からの水のとり入れが、きわめて困難になつたときには、ナエの含水率が、それらの 限界点まで さがるハヤサが、おおきなイミをもち、その点にいたるハヤサのはやいものが害をうけても、その点にいたるハヤサが、おそいものは、まだ、害をうけず、害をうけるまえに、雨によつて、土の含水率が高まり、水を十分にとりいれて、健全な状態にもどり得るばあいが、あり得る。

4. あらまし

いろいろな程度まで、水をうしなつた、ナエの地上部に、ふたたび、水をあたえて、水をうしなつた程度と、含水率の回復度との、関係を、しらべた。水をうしなつたときの、含水率、および水をうしなつたワリアイと、回復度との関係は、直線的ではなく、ある限度までは、水をうしなつても、それほど回復度はおちないが、その限度をこえて水をうしなうと、回復度は、水をうしなつた程度にともなつて、急速におちる。この限界は、生きるか死ぬかのサカイメよりも、かなり上にあり、水をうしなうことによる、ナエの組織の、イタミカタが、ひどくなる点だと考えた。この点は、スギがもつとも高く、ヒノキがもつとも低かつた。

IX 土のかわくにともなう ナエの水分関係の変化

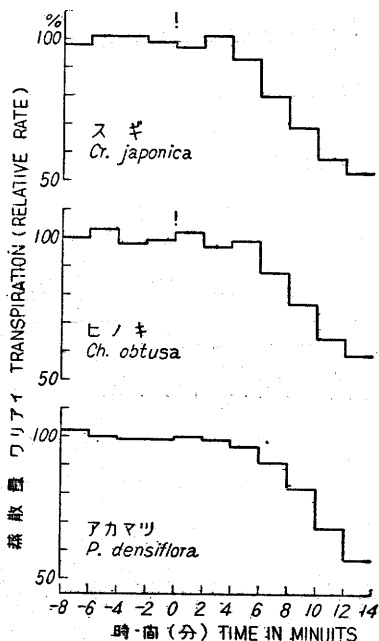
Ⅶ Ⅷ の実験で、ナエが生きるか死ぬか、あるいは、イタミカタがひどくなる、サカイメの含水率は、耐乾性をきめるうえに、おおきなイミをもつが、それだけでは、じゆうぶんでなく、その含水率まで、水をうしなうハヤサが、耐乾性をきめるうえに、おおきなハタラキをもつことが、考えられたので、土のかわくにともなう、ナエの水分関係、とくに、含水率と蒸散量が、どうかわつてゆくかを、しらべた。

1. 根のはいるフカサを制限しないばあい

(1) 材料と方法

Ⅲの1の実験2の材料を、そのまま、つかつた。7月12日に、じゆうぶんに、水をやつたのちは、水をやらずに、自然に土がかわくにまかせた。7月13日から、3、4日ごとに、蒸散量と含水率を、無作為にとりだした。それぞれの樹種、5個体あてについて、しらべ、検土杖をつかつて、フカサ、5、10、15、20cmの、土の試料をとつて、その含水率をしらべた。フチから

5 cm 以内のナエは つかわなかつた。蒸散量のハカリカタは いろいろと考えられているが、ナエの地上部の含水率を 同時にしらべる 必要があるので、HUBER (1923, 1927 b), STOCKER (1929 a), ARLAND (1927) などの キリエダを すばやくはかる方法によつた。切りとる前後の 蒸散量のチガイについては HUBER (1927 b), STOCKER (1929 a), IWANOFF (1928), FIRBAS (1931), KAMP (1930), MONSI (1944) などが論じており、針葉樹についても PFLEIDERER (1933, ヨーロッパトウヒ), 門田 (1950, クロマツ) などが しらべているが、この実験につかつたような 針葉樹のマキツケナエについては しらべられていないので、予備実験をおこなつた。ハチウエにした マキツケナエを 地ぎわから切りとつて すぐに 水にさし、水のなかで キリクチを 切りなおし、ほそいガラス管の 一端を封じて ふくらませてつくつた ちいさなイレモノにいれた水に さしこみ、しばらくおいたのち、容器と胚軸のあいだのスキマを ワセリンで封じ、トーションバカリで オモサをはかり、その後 2分ごとに 4回 オモサをはかつて、オモサをはかるたびごとの オモサのチガイを 水をあたえているあいだの 蒸散量とした。5回目にオモサをはかつてすぐに 胚軸を切つて 容器からきりはなし キリクチに ワセリンをぬり ただちにオモサをはかり、その後2分ごとに 7回 オモサをはかつて はかるたびごとの オモサのチガイを 切りとつてからの 蒸散量とした。水をあたえているあいだの 蒸散量の平均値に対する 切りとつたあとの蒸散量の ワリアイを もとめた。それぞれの樹種についての 7回のクリカエシの 平均を 第 57 図にしめす。切りとつてから 2—



第 57 図 切りとる前後の蒸散量
(! 切りとる)

Fig. 57. Transpiration before and after detachment. (! detached).

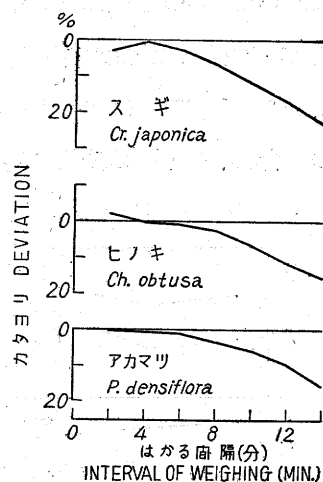
6分のあいだの 蒸散量は 切りとるまえと あまりちがわないが それ以後 急激におちる。第 57 図のデータから、切りとつて はじめてオモサをはかつてから つぎにはかるまでの時間を いろいろと かえたばあいには 得られる 蒸散量の、切りとるまえの アタイに対する カタヨリの ワリアイを もとめると 第 58 図のようになり、切りとつてから 4—6分ぐらいまでは 切りとるまえに ちかい アタイをしめすことが あきらかだ。

ナエの地上部を切りとり すぐに キリクチにワセリンをぬつて そこからの蒸発をふせぎ、ガラスの窓のついた箱のなかで トーションバカリで オモサをはかり 5分間 その箱のなかにつるしておいたのち ふたたびオモサをはかり そのチガイを 蒸散量とした。前後2回の測定の間隔は なが

いほどチガイがおおきくなつて測定の精度はあがるが、切りとつてから時がたつとともに蒸散量がへるので、自然状態の蒸散量をあらわさないから、予備実験の結果にもとづいて、はかる間隔を5分間とした。ただし実験の終りのほうで土がひどくかわいて蒸散量がいちじるしくすくなくなつたときにははかる間隔を20—30分とした。蒸散量をはかるあいだの気温と飽差をASSMANN通風乾湿計ではかつた。蒸散量をはかつたあとで胚軸のワセリンをつけた部分をきりとり、オモサをはかつてナエのオモサを修正した。ナエを105°Cの乾燥器でかわかして乾燥重量と含水率をもとめた。蒸散量と含水率は乾燥重量をモトとしてあらわした。蒸散量は飽差20 mm Hgのときのアタイに換算し、乾燥重量1g 1分あたりのアタイとしてあらわした。蒸散量はそのときの気温に対する最大水蒸気張力とそのときの実在水蒸気張力の差としての物理的飽差に關係するのではなく、そのときの葉の温度に対する最大水蒸気張力と実在水蒸気張力の差である生理的飽差(GÄUMMAN und JAAG 1936)に比例し、葉の温度と気温がちがうためにおこる誤差はかなりおおきい(MONSI 1944)が、蒸散量をはかるたびごとに葉の温度をはかることはむづかしく、また蒸散量は箱のなかで直射日光をさけてはかつているから、葉の温度と気温とのチガイはすくないと考へて物理的飽差によつて蒸散量を修正して蒸散能力をもとめた。測定は毎回14時におこなつた。

(2) 結果

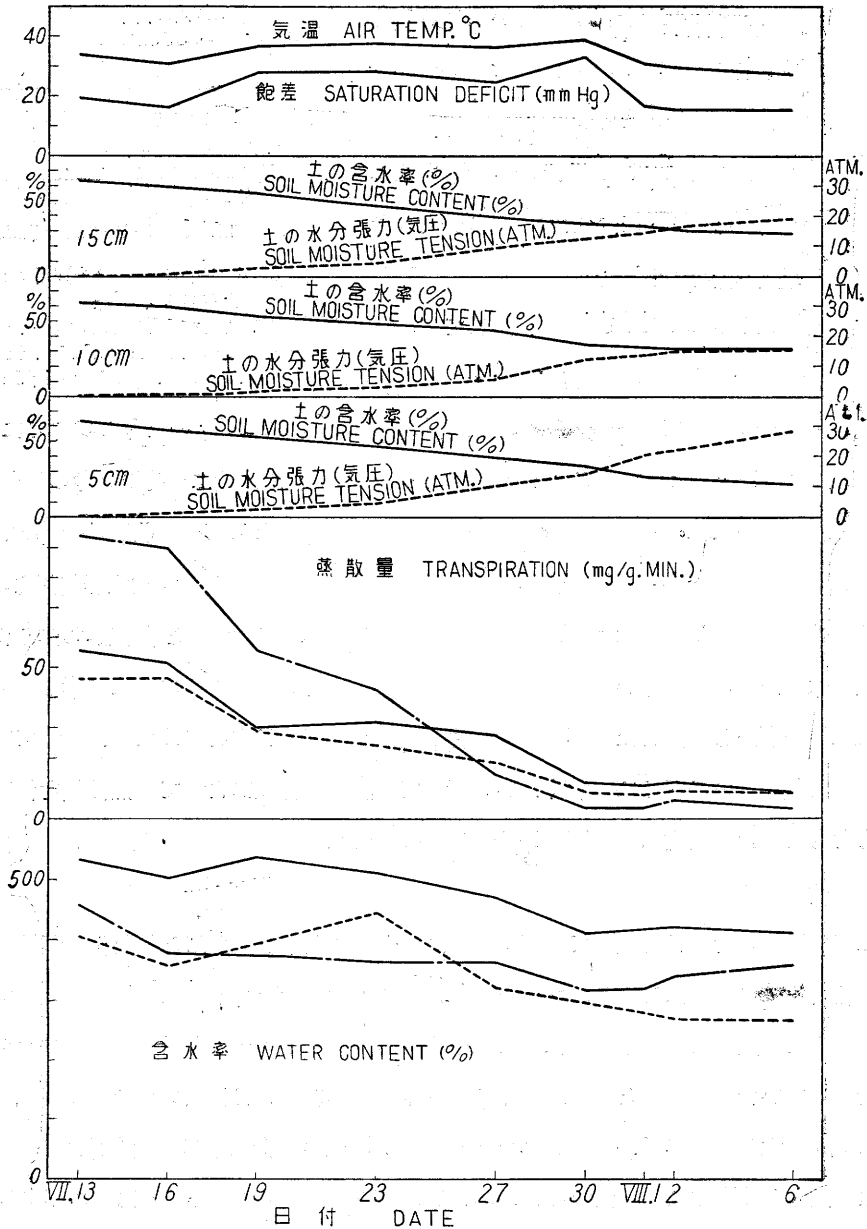
すべての測定値を日を追つて第59図に、土の含水率の減少にともなう蒸散量と含水率の変化を第60図にしめす。フカサ5 cmのアタリにもつともおおくの根をもつていることが苗畑での調査であきらかにされたので、第60図の土の水分状態はフカサ5 cmのものをもちいた。3樹種とも水をやるのをやめてから3日目(フカサ5 cmの土の含水率が58% 水分張力が1.4気圧、フカサ10 cmの土の含水率が61% 水分張力が1気圧)までは蒸散量の変化はめだたないが、このときのアカマツの蒸散量はスギやヒノキにくらべるといちじるしくおおい。3日目と6日目(フカサ5 cmの土の含水率が53.5% 水分張力が2.6気圧、フカサ10 cmの土の含水率が55% 水分張力が2気圧)のあいだに蒸散量は急にへりはじめ、土がかわくにともなつて蒸散量はへつてゆくが、そのへりカタは



第58図 はかる間隔と得られた蒸散量のカタヨリの關係

Fig. 58. The relations between the interval of weighing and the deviation in the measured transpiration (rapid weighing method).

アカマツにおいて もつともはげしい。水をやるのをやめてから 11 日目 (フカサ 5 cm の土の含水率が 47 % 水分張力が 5 気圧, フカサ 10 cm の土の含水率が 50 % 水分張力が 3.5 気圧) から 15 日目 (フカサ 5 cm の土の含水率 39.5 % 水分張力 10 気圧, フカサ 10 cm の土の含水率 45 % 水分張力 6.2 気圧)のあいだに アカマツの蒸散量は スギやヒノキ



第 59 図 土のかわくにともなう ナエの含水率と蒸散量の変化
 Fig 59 Changes in transpiration and water content of the seedlings with decreasing soil moisture. —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, —•—アカマツ *P. densiflora*.

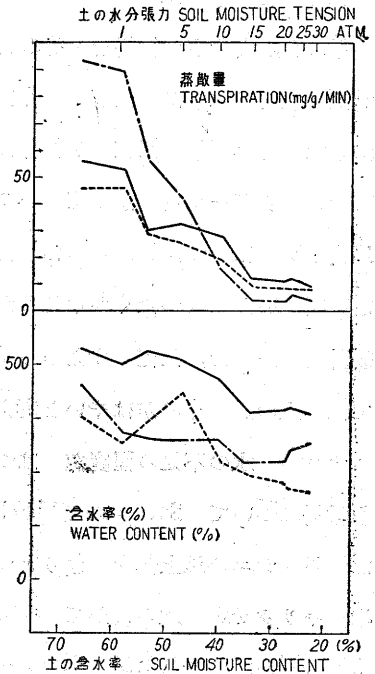
よりも すぐなくなり、3樹種のなかで 最低となる。ヒノキは 土の水分のおおいときも すぐないときも つねに スギよりは 蒸散量がすくない。それ以後 スギ ヒノキ アカマツの順に おおい蒸散量が たもたれる。水をやるのをやめてから 17日目 フカサ5cmの土の含水率が 永久凋萎含水率(含水率 33.5% 水分張力 15気圧)以下にさがると、3樹種とも 一様に 蒸散量は それ以上 へらなくなり、樹種ごとに ほぼ一定の アタイのマワリを 上下するようになる。土の含水率の 変化にともなう 蒸散量の変化は 量的には 樹種によるチガイが見られたが、質的なチガイはなかつた。

ナエの含水率は どの樹種でも はじめのうちは 一定の傾向をもつた変化は しないが、フカサ5cmの土が 永久凋萎含水率のあたりまで かわくと どの樹種でも へりはじめるようだつた。含水率は スギがもつとも高く アカマツとヒノキのあいだには チガイがみとめられなかつた。

ナエの含水率と 蒸散量の変化を さらにはつきりさせるために、実験のはじめの 7月13日と16日の 平均値に対する、土が永久凋萎含水率以下にかわいた 7月30日 8月1 2 6日のアタイの平均値 のワリアイを 第30表にします。土がかわくにとともなう 蒸散量の へりカタは アカマツが もつともいちじるしく、スギが もつともすくない。含水率の へりカタは ヒノキが もつともいちじるしく、アカマツとスギのあいだには チガイがなかつた。

2. 根のはいるフカサを制限したばあい

樹種によつて 根のはいるフカサが ちがうので、根のはいるフカサを 制限しない実験では 同時にはかつたものでも 樹種によつて ちがつたカワキカタをした土に 根をはつているので ほんとうは おなじ条件にはないわけだ。それで 樹種による 根のはいるフカサのチガイをなくするために 根のはいるフカサを制限して 実験をおこなつた。



第60図 フカサ5cmの土の水分状態とナエの含水率および蒸散量との関係

Fig. 60. Transpiration and water content of the seedlings in relation to soil moisture conditions at the depth of 5cm. —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-.-アカマツ *P. densiflora*.

第30表 実験はじめの2日とオワリの4日の平均値のワリアイ(%)

Table 30. Ratios of the average of the last 4 determinations to the first 2 determinations.

	蒸散量 Transpiration	含水率 Water content
スギ <i>Cr. japonica</i>	35	80
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	23	74
アカマツ <i>P. densiflora</i>	7	81

(1) 材料と方法

Ⅲの2の実験1の材料を、そのまま つかつた。8月11日に 水をじゆうぶんにあたえたのちは 水をやらずに 土がかわくにまかせた。8月2日から 毎日 10時に 無作為にとりだした それぞれの樹種 7個体について ナエの地上部の含水率と 蒸散量を しらべ、さらに コルクボーラをつかつて バツトの底の 土をとつて 含水率をしらべた。フチから 3cm 以内のナエは つかわなかつた。蒸散量と含水率の ハカリカタは 根のはいるフカサを制限しないばあいと まつたくおなじだが、気温と飽差をもとめるには $1/10^{\circ}\text{C}$ メモリの 乾湿球寒暖計をつかつた。ただ まえの実験では はかる日の間隔が すこしながすぎたのと この実験では 土のかわくのがはやいと考えられたので 測定は 毎日おこなうことにした。

ナエの 水の不足の程度を はつきりさせるために 蒸散量と含水率をはかつたのとは ちがう材料について STOCKER (1929 b) のとなえた 水分不足度 (Wasserdefizit) をしらべた。すなわち ナエの地上部を きりとつて すぐにオモサをはかり、水にさして 実験室にもちこみ、キリクチを 水のなかで 切りなおして、キリクチを水につけたまま 温室に入れておき、24 時間後に ふたたび オモサをはかつて 水で飽和した オモサをもとめ、 105°C でかわかして 乾燥重量をもとめ、飽和したときの含水率と とつたときの含水率の差を 飽和したときの含水率でわつて 水分不足度をもとめた。切りすてた胚軸の オモサは修正した。

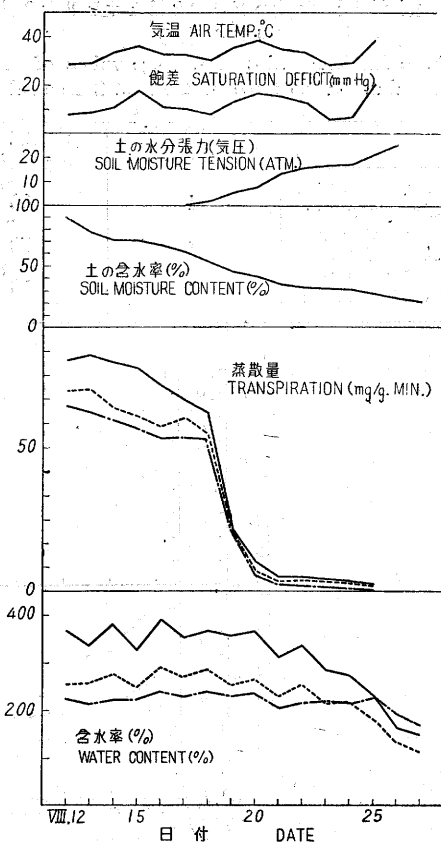
蒸散量と含水率の 日変化を べつのバツトに おなじようにしたてたもの (Ⅲの2の実験1の第2、3回の材料) をもちいて しらべた。2個のバツトのうち、1個は 8月16日に じゆうぶんに水をやつたのち 水をやらずに かわくにまかせ、ほかの1個は 毎日 夕方に じゆうぶんに水をあたえた。8月25日に まえの実験の経験から かなり土がかわいていると 推定して 予備測定をおこない、その結果によつて 8月26日と 29日に 蒸散量と含水率の日変化を まえの実験と おなじ方法で しらべた。しらべた時刻は 8時から 16時まで 2時間おきとした。なお 27、28日にも 1回あて測定をおこなつた。

(2) 結 果

すべての測定値を 日を追つて 第61図に、蒸散量とナエの含水率と 土の水分状態との関係を 第62図にしめす。蒸散量は 水をやるのをやめてから 7日目 (土の含水率 53% 水分張力 2.6 気圧) にさがるまでは すこしずつへつたが、水をやるのをやめてから 8日目 (土の含水率 47%、水分張力 5気圧) になると 急激におちはじめ、10日目 (土の含水率 35%、水分張力 13.7気圧) あるいは 11日目 (土の含水率 32%、水分張力 16.6気圧) からあとは あまり変化しない ごく低い アタイに おちついた。このミチスジは 樹種によつてちがうということは なかつた。この実験では 実験のあいだをとおして 蒸散量は スギがもつともおおく アカマツがもつともすくなかつた。

ナエの地上部の 含水率は 水をやるのをやめてから 9日目(土の含水率 42%, 水分張力 8.2 気圧)までは ある範囲内で 多少の上下があるだけで 一定の傾向をもつたウゴキは みられなかつたが, 10日目(土の含水率 35%, 水分張力 13.7 気圧)からは さがりははじめた。ナエの含水率は 蒸散量をはかるのを やめたあとも ひきつづいて 2日間 しらべた。含水率のさがりかたは スギがもつともいちじるしく アカマツがもつともすくなく, 実験をうちきるころには アカマツの含水率は スギやヒノキよりも むしろ たかかつた。

蒸散量と含水率の 変化のモヨウを さらに はつきりさせるために 実験のハジメの 2日間のアタイの 平均に対する 実験をうちきるまえの 2日間のアタイの 平均のワライを第 31 表にしめす。表にしめすように 土のかわくにともなる 蒸散量の低下は アカマツがもつともいちじるしく



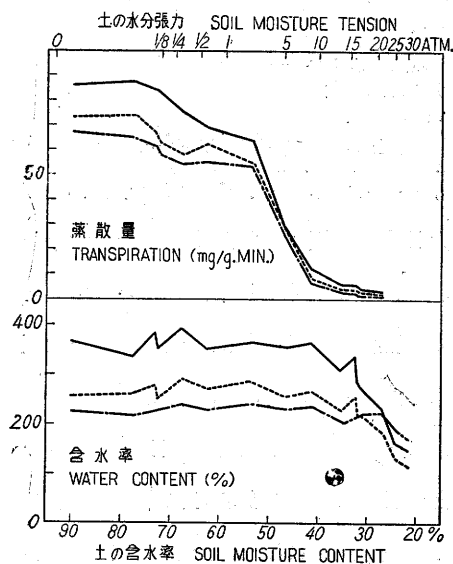
第 61 図 土のかわくにともなる ナエの含水率と蒸散量の変化

Fig. 61. Changes in transpiration rates and water contents of the seedlings with decreasing soil moisture. —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-*P. densiflora*.

スギがもつともすくない。それに反して 含水率の低下は スギがもつともいちじるしく アカマツがもつともすくなかつた。

ナエの水分不足の程度は 第 63 図にしめすようにスギとヒノキでは ほとんどちがわなかつたがアカマツは それらにくらべると はるかにすくなかつた。

ナエの地上部の 含水率と 蒸散量の 1日のうちでの変化を それぞれ 第 64, 65 図に, そのあいたの 毎日 10 時にとつた 土の試料の 水分状態を 第 32 表にしめす。じゆうぶんにしめつた土にあるナエの 蒸散量は ひどくかわいた土にある

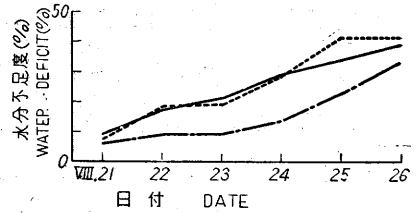


第 62 図 土の水分状態とナエの含水率および蒸散量との関係

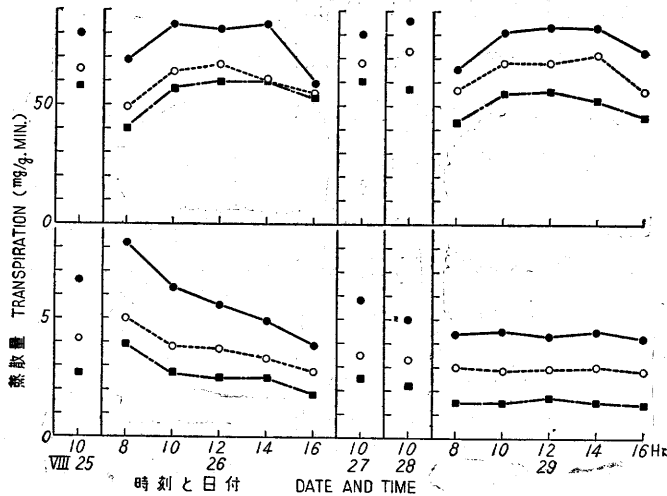
Fig. 62. Transpiration rates and water contents of the seedlings in relation to soil moisture conditions. —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.

第 31 表 実験ヘジメの 2 日とオワリの 2 日の
 平均値のワリアイ (%)
 Table 31. The ratios of average values of the last 2
 determinations to those of the first 2 determinations.

	蒸散量 Transpiration	含水率 Water content
スギ <i>Cr. japonica</i>	4	68
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	3	72
アカマツ <i>P. densiflora</i>	2	98



第 63 図 土がかわいたときのナエの水分不足度
 Fig. 63. Water deficit of the seedlings when soil
 dried severely. —スギ *Cr. japonica*,ヒノ
 キ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.



第 64 図 蒸散量の日変化

上：しめつた土のナエ 下：かわいた土のナエ
 上と下のタテ軸のメモリがちがうことに注意

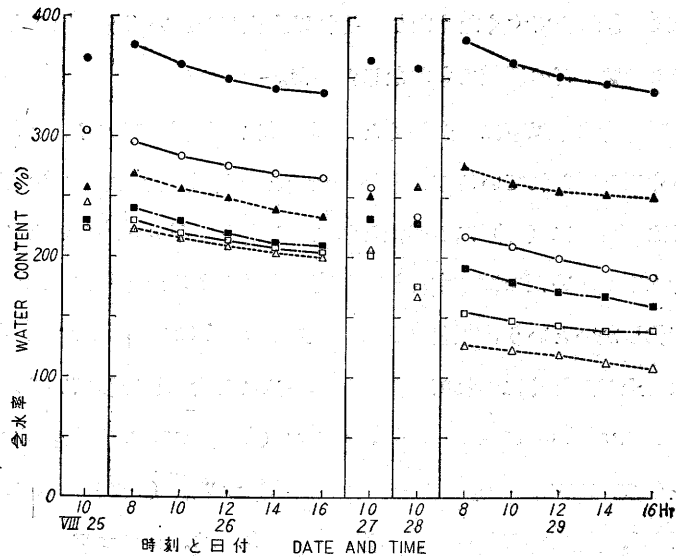
Fig. 64. Daily march of transpiration.

upper : seedlings in moist soil, lower : seedlings in extremely dry soil.

Note that two figures are drawn in different scales.

—スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.

ナエの 蒸散量よりも いちじるしくおおいだけでなく、日変化の型も ちがっていた。すなわち じゆうぶんにしめつた土にあるナエの 蒸散量は 朝夕はすくなく 日中はおおい もつとも普通の型を しめしていたが、かわいた土にあるナエの 蒸散量の日変化は 土のかわいた程度によつて ちがっていた。8月 26 日には 朝のうちは かなりおおい、10 時には かなりへり、それから 夕方にかけて したいにへつた。26 日の朝 8 時には まえの日の 10 時のアタイよりも 高く 8月 27 日 10 時のアタイは まえの日の 10 時のアタイにくらべると やや低いが、まえの日の 16 時のアタイにくらべると やや高い。ところが 土がさらにかわいた 8月 29 日には かわいた土のナエの 蒸散量は 朝 8 時にも まえの日の 10 時のアタイよりも 低いアタイをとり、8月 26 日にしめたような 日変化をしめさずに ほぼおなじアタイを とりつづけた。しかしいずれのばあいにも スギの蒸散量が もつともおおい アカマツの蒸散量が もつともすくないという 傾向は たもたれていた。



第 65 図 含水率の日変化
Fig. 65 Daily march of water content of seedlings.

●▲■ しめつた土のナエ seedlings in moist soil.
○△□ かわいた土のナエ seedlings in extremely dry soil.
○—*Cr. japonica*, △……*Ch. obtusa*, □—*P. densiflora*.

ナエの含水率は 第 65 図にしめすよう
に しめつた土にあるナエも かわいた土
にあるナエも おなじように 朝にもつと
も高く 夕方にむかつて すこしづつ さ
がってゆく 傾向をしめた。また かわ
いた土の苗の 含水率は 土がかわくにと
もなつて 低くなつた。樹種のあいだの

第 32 表 土の水分状態
Table 32. Soil moisture conditions.

月 日 Date	含 水 率 (%) Soil moisture content		水分張力(気圧) (Atm) Soil moisture tension	
	乾 燥 Dry	対 照 Moist	乾 燥 Dry	対 照 Moist
VIII. 25	35.8	77.5	13.8	0.03
26	33.9	74.3	14.4	0.07
27	32.4	75.6	16.2	0.05
28	31.0	73.2	18.0	0.11
29	29.3	79.8	20.4	0.01

含水率の順序は しめつた土では つねに スギ ヒノキ アカマツの順だつたが、かわいた土
では スギは つねに もつとも高い含水率をたもつたが アカマツとヒノキのあいだでは 25
—28 日のあいだは 差がすくなく その順位もしばしばいれかわつたが 8 月 29 日には ヒノキ
のほうが アカマツよりも かなり低くなつていた。

3. 考 察

2 回の実験をとおして 土が 永久凋萎含水率まで かわくにともなつて 蒸散量はへつたが、
そのヘリカタは はじめのうちは かなりゆるやかで 土の含水率が 野外含水量より かなり
下に さがるまでは たいしたことはなかつた。土の含水率が 野外含水量 (64.5%) と 永久
凋萎含水率 (33.5%) のあいだの ある点 (根のはいるフカサを制限しないばあいには 58—53
% 1.4—2.6 気圧, 根のはいるフカサを制限したばあいには 47 % 5 気圧) までさがる
と 蒸散量は 急激にへりはじめ、土が 永久凋萎含水率のあたりまで かわくと いずれのばあい

にも 蒸散量は きわめてすくなくなり それ以上土がかわいても ほとんど かわらなかつた。このスジミチは どの樹種でもおなじだつた。

土が 永久凋萎含水率以下に かわくと 蒸散量は 最低のアタイをとり あまりかわらないことは ひろくみとめられているが、野外容水量と永久凋萎含水率のあいだの 土の水分の 有効性については まえに (IV) にのべたとおり かなり ギロンのあるところだ。野外容水量から永久凋萎含水率のあいだでは すなわち 有効水分のあるかぎり 土の含水率がへつても 蒸散量は 変化しないという 報告 (DAUBENMIRE and CHARTER 1942) もあるが、おおくの実験の結果は 土がかわくにつれて 蒸散量がへることを しめしている。樹木についても リンゴ (SCHNEIDER and CHILDERS 1941), ペカン (LAUSTALOT 1945), オレンジ (MENDEL 1945), ナラ類 (BOURDEAU 1954, KOZLOWSKI 1949) マツ類 (SCHOPMEYER 1939, KOZLOWSKI 1949, 田崎 1951, 佐藤, 名村 1953, 根岸, 佐藤 1954 a), カラマツ (加藤 1954 a, b) ヨーロッパトウヒ (PISEK und TRANQUILLINI 1951) などについて 報告されている。しかしながら 土がかわくにともなつて 蒸散量のへつてゆくスジミチについては かならずしも一致していない。ДОЛГОВ (1947) は 土の性質に関係なく オオムギの蒸散量は 野外容水量のときに最高で 永久凋萎含水率までは 土がかわくにともなつて 連続的にへることを 報告しており、KOZLOWSKI (1949) も マツとナラの類の 蒸散量は 土がかわくにともなつて いちようにへるとしている。しかしながら GRADMANN (1932), MENDEL (1945), SCHNEIDER and CHILDERS (1941), LAUSTALOT (1945), MARTIN (1940), LEMBE (1953), 田崎 (1951), 佐藤, 名村 (1953), 根岸・佐藤 (1954a) は、この実験のばあいとおなじく、土の含水率が 野外容水量と 永久凋萎含水率のあいだの ある点までさがると 蒸散量は 急激にへりはじめることを報告している。蒸散量が急にへりはじめる点の水分状態は、GRADMANN (1932) は 吸水力 (Saugwert) が 実験にもちいた土の種類によつてすこしちがうが WALTER (1931, p.163) の表をつかつてもとめると 4 気圧前後になる 水蒸気張力不足のワリアイであらわされる アタイをしめし、MENDEL (1945) は土の吸水力 (suction forth) が 3.5 気圧だとしており、MARTIN (1940) は 有効水分の およそ $2/3$ がなくなつたときだが 蒸散量の多少によつていくぶんちがうといい、佐藤, 名村は この実験とおなじ土をつかつて 45—50% (水分張力 3.6—6 気圧) 有効水分の $1/2$ — $2/3$ がなくなつたときだとしている。この実験では その点は 根のはいるフカサを制限しないときは 58—53% (水分張力 1.4—2.6 気圧), 根のはいるフカサを制限したときには 47% (水分張力 5 気圧) の 含水率のときであり、あとのばあいは 有効水分 ($64.5\% - 33.5\% = 31.0\%$) の およそ $1/3$ ($47\% - 33.5\% = 13.5\%$) がのこつている状態にあたり MARTIN (1940) が ヒマワリについて得た結果 および われわれ (佐藤, 名村 1953) が まえに アカマツについて得た結果と よく一致しているが、MENDEL (1945) が

オレンジについて得た結果にくらべると かなり高い水分張力で あらわれている。根のはいる
 フカサを制限しないばあいと 根のはいるフカサを制限したばあいのチガイは いちじるしく、
 ことに 根のはいるフカサを制限しないばあいには 報告されている おおくの ほかの実験の
 結果とも かなりはなれている。これはどういうことだろうか。ふたつの実験は同時におこなわ
 れてはいないので、根のはいるフカサ以外の条件も ちがい、蒸散量も ちがっている。ふたつ
 の実験では、測定をおこなった時刻がちがい、根のはいるフカサを制限した実験は午後、制限
 しない実験は午前におこなわれている。ナエの水分不足の程度が午後のほうがひどいことは、第
 65図からも考えられ、したがって 土の水分不足の影響は午後のほうがひどくあらわれることが
 考えられる。そのため 午後測定をおこなった 根のはいるフカサを制限しないばいのほうが
 土の水分不足の程度の低いときに 蒸散量がへりはじめたものと考えられる。LAUSTALOT
 (1945) は 午後の測定のほうが 午前の測定にくらべると、蒸散量と 同化量が急にへる時期が
 はやいことを報告している。蒸散量が 急にへりはじめる点は 蒸散量の多少によつて いくぶ
 んちがう (MARTIN 1940) ことも ひとつの原因かもしれないが、これらだけで説明するには
 チガイがおおきすぎる。根によつてしめられた 土のカタマリの 含水率は 根が水をすつても
 いちようにへるわけではなく 根にごくちかい土は 根によつて つねに水をうばわれるので
 根からはなれた土よりも 含水率はつねに低い。ところが われわれが 土の含水率として
 はかつているものは じつは 根にごくちかい土の含水率と 根からはなれた土の含水率の オ
 モミツキ平均であり、根にふれている土の含水率 そのもの ではない。根のはいるフカサを制
 限しないばあいには 制限したばあいよりも おなじ容積の 土のなかに ふくまれる 根の量
 が はるかにすくなく、したがって 根にごくちかい 含水率の低い土が 試料にふくまれるワ
 リアイは はるかに低く、その結果 土の含水率が いちじるしく高くあらわれていると 考え
 れば ふたつの実験の結果のチガイが理解される。土の含水率の へりカタは 土のなかにふく
 まれる 根の密度に おおいに支配されているといわれている (ALDRICH et al 1935, VEIHM-
 EYER and HENDRICKSON 1938)。この実験のふたつの結果 GRADMANN (1932) MARTIN (19
 40) MENDEL (1945)などの 実験結果のあいだのチガイも おなじように説明される。GRAD-
 MANN と MARTIN の実験は ハチウエの植物についておこなわれ、MENDEL の実験は 果樹
 園の立木についておこなわれており、それらの 単位量の土にふくまれている 根の量は 当然
 ちがうはずであり、したがって 含水率のもつイミも いくぶん ちがうはずだ。なお 有効
 水分のナカバ (KRAMER 1941)あるいは 60% (McDERMOTT 1945) 以下に 土の水分がさ
 がると 溢泌はとまることが 知られているのも この現象に関係があるかもしれない。

ナエの含水率は 土が永久凋萎含水率 または そのすこし上まで かわくまでは ほとんど
 かわらず、さらに土がかわくと 含水率は さがりはじめた。この結果は MARSHALL (1930)

が いろいろな針葉樹の マキツケナエについて みたところと 一致する。彼は 含水率が さがりはじめから まもなく 一度わずかにあがつて それから ふたたびさがることを いくつかのばあいに見ている。この実験でも いくらか それに似た現象はみられたが、MARSHALL のばあいのように 含水率が いちどあがつて ふたたびへりはじめると まもなく おおくのナエが枯れてしまう ということは なかつたので、実験誤差である可能性がおおきい。MARSHALL の結果も、彼のデータからは 誤差とみることもできそうだ。加藤 (1954 b) も カラマツのナエの含水率は 土がかわきはじめても かなりながいあいだは かわらないことを みており、われわれも (佐藤, 名村 1953) アカマツの マキツケナエについて この実験とおなじような結果を すでに報告した。

蒸散量の変化と 含水率の変化の関係をみると、まず 蒸散量がさがりはじめ、ついで含水率がさがりはじめ それとはほぼ同時に 蒸散量は 最低のアタイをとつて もはや ほとんど かわらなくなつた。この実験では 材料の性質上 気孔のヒラキをしらべることは できなかつたが、MARTIN (1940) は ヒマワリについて 蒸散量がさがりはじめるまでは 気孔のヒラキに 変化はおこらないが 蒸散量がさがりはじめると 同時に 気孔のヒラキが しいだいにせまくなり ついには まつたくとじた と報告している。この実験でも 土のかわくにともなう 蒸散量の変化は MARTIN のヒマワリのばあいと よくにているから 気孔のヒラキも おなじように変化したと考へても いいだろう。すなわち 土のカワキがすすみ 根からの 水のトリイレがわるくなつて 蒸散量においつけなくなると 葉に水の不足がおこり、STÅLFELT (1929) の hydroactive Reaktion によつて 気孔がとじはじめ、そのために 蒸散量がへり (STÅLFELT 1932)、根からの水のトリイレと つりあつて 含水率がたもたれる。土がさらにかわくと 水のトリイレが ますます困難になり、それにともなつて 気孔のヒラキも 急激にせばまつて 蒸散量もへるが、蒸散量が 水のトリイレに つりあつているかぎり 含水率は まだ ある範囲にたもたれている。土が永久凋萎含水率まで かわくと 根からの 水のトリイレは きわめてむずかしくなり 気孔はまつたくとじてしまい、蒸散は クチクラ蒸散だけになるので もはや あまり変化しないが、根からの水のトリイレは ますます困難になり すくなくなつた蒸散量にも おいつけないので、含水率は 急速にへりはじめるものと 考へられる。PISEK und WINKLER (1953) は 葉の水分不足が めだたないうちに 気孔がとじはじめるものと かなり水分が不足してから 気孔がとじはじめるものがあり、おおくの樹木は 前者に属するといつている。

これまでのべたことがらは スギ ヒノキ アカマツをとおして みられたことであり、全体の傾向としては 樹種によつてちがうとはいへないが、こまかな点では 樹種によつてちがっている。土に水がじゆうぶんにあるときの 蒸散量は 根のはいるフカサを制限しないときは ア

カマツがもつともおおく ヒノキがもつともすくなかつたが、根のはいるフカサを制限したときにはスギがもつともおおく アカマツがもつともすくなかつた。ところが 土が 永久凋萎含水率よりも かわいたときの 蒸散量 (クチクラ蒸散とおもわれる) は いずれのばあいにも スギがもつともおおく アカマツがもつともすくなかつた。土に水がじゆうぶんにあるばあいの 2 回の実験結果が あわなかつたことについては その理由をあきらかにする資料が 得られなかつた。しかしながら このときの蒸散量の多少が 耐乾性を考えるうえには おおきなイミはないことは すでに MAXIMOW and KRASNOSSELSKY-MAXIMOW (1924), HUBER (1927 a), MAXIMOW (1931) などが のべているとおりで、蒸散された水を 根からの吸水によつて おぎなえるかぎり 蒸散量の多少は 問題にならない。SCHOPMEYER (1939) や GAIL and LONG (1935) は マツ類の 水をゆたかにあたえられている条件での 蒸散量と 耐乾性とのあいだに 関係をみいだすことができなかつた。ところが 土のカワキがすすんでからの 蒸散量は根からとりいれられる水の量が 蒸散量をおぎなうにたりないとすれば 耐乾性を おおきく 支配する。このことは 第 61, 62 図 および 第 31 表にしめした 根のはいるフカサを制限したばあいの含水率の変化の 樹種のあいだのチガイからも はつきりわかる。この時期の蒸散量のもつともおおい スギの 含水率の低下が もつともいちじるしい。ところが 根のはいるフカサを制限したばあいには 第 59, 60 図にしめすように 蒸散量の順位は 根のはいるフカサを制限したばあいと かわらぬが、含水率の変化は 第 30 表にしめすように アカマツがもつともすくない点は おなじだが スギとヒノキの順位は 逆になつている。このふたつの実験の結果のクイチガイは ふたつの実験での 枯死率のクイチガイと一致している。このことから考えると 含水率の低下 および その結果としての枯死 は 蒸散量だけでなく 根のおかれた条件のチガイにもとづく 水の吸収量のチガイも おおいに 関連していると おもわれる。根のはいるフカサを制限したばあいには 根のふれている土は どの樹種でも おなじようにかわいているが、根のはいるフカサを制限しないばあいには、スギのほうが ヒノキよりも 根がふかいたので、まだ 含水率のやや高い土に よりおおくの根が ふれているわけだ。このことから アカマツの耐乾性は つねに もつともつよいが スギとヒノキの耐乾性の順位が 条件によつてかわることが説明される。しかしながら 土がかわいたときの蒸散量が 耐乾性にもつイミがおおきいことはかわらない。MARQUARDT (1953) は 乾燥地むきの ポプラのクローンは 多湿地むきの それに くらべると 土にじゆうぶんに水があるばあいの蒸散量は おおいが 土がかわいたばあいの 蒸散量は いちじるしくすくないことをみて、この性質は 品種改良のばあいに 耐乾性のクローンを選抜するのに やくにたつといつている。SCHOPMEYER (1939) は 土の水分が 30% (水分当量よりもすこし上) のときも 計算してもとめた凋萎係数 (14.8%) のときにも 耐乾性のつよい *Pinus echinata* のほうが 耐乾性のよわい *P. taeda* よりも

蒸散量がおおかつたとしている。しかし 彼のばあいの 凋萎係数は 永久凋萎含水率 (7.7%) よりも かなりたかいので、土が 永久凋萎含水率まで かわいたときのことは わからない。

ナエの含水率は 土に じゆうぶんに水があるときには つねに スギがもつとも高く、ヒノキとアカマツでは 根のはいるフカサを制限しないときには チガイがあるとはいえず、根のはいるフカサを制限したときには アカマツのほうがすくなかつた。ところが 土が 永久凋萎含水率よりも かわいたときには、根のはいるフカサを制限しないばあいは スギ アカマツ ヒノキの順に、制限したときは アカマツ スギ ヒノキの順に 高かつた。SCHOPMEYER (1939) は 土がかわいたときに *Pinus echinata* が *P. taeda* よりも おおく水をふくんでいることによつて *P. echinata* のほうが 耐乾性のつよいことを説明しているが、含水率それ自体が 耐乾性に 関係があるのではなく、そのようなときの含水率は 葉が生きていられる 最低の含水率との関係においてのみ 問題になると考えられる。

蒸散量と ナエの含水率の変化を さらにつきりしめすために、土に 水がじゆうぶんにあるときの アタイに対する 土が 永久凋萎含水率以下に かわいたときの アタイの ワリアイをもとめて 樹種をくらべると、蒸散量の変化は いずれのばあいにも アカマツがもつとも おおきく スギがもつとも すくなかつた。含水率の変化は アカマツは いずれのばあいにも もつとも すくなかつたが、スギとヒノキでは 根のおかれた条件によつて 順位がいかかわつた。このことは 蒸散量の変化によつて 含水率の変化をすくなくともつハタラキは アカマツがもつともつよく、スギとヒノキの間では まえにのべたように 蒸散量の変化は ヒノキがおおきいが、根からとりいられる水の量の変化が 条件によつてちがうので スギとヒノキの 含水率の変化は 条件によつてちがうことを しめしている。SEYFOLD (1929) は 蒸散量の Maximum と Minimum の比は クチクラ蒸散がすくないほどおおきく、1日の 蒸散作用の 経過のうちの Maximum と Minimum の両極端が はなれているほど 耐乾性がつよいと考えて Maximum-Minimum Gesetz とよんだ。この考えかたは いちおうは正しいとしても 彼の いうようには 簡単にはもとめられず、この実験のばあいのような 特別な条件でのみ つかえるものと考えられる。BREWIG (1933) も おなじように Maximum-Minimum-Quotient をもとめており、HYGEN (1951) は 総蒸散と クチクラ蒸散の 比をもとめて このような比較をおこなつている。HUBER (1931) も *Pinus* や *Quercus* の耐乾性が *Picea*, *Fagus*, *Tilia* にくらべると つよいことを 水が不足したときの 蒸散量のヘリカタが おおきいことによつて 説明している。

土がかわいたときの 蒸散量の日経過は 土に水がじゆうぶんにあるときと ちがつた型をしめた。このことは OPPENHEIMER (1947), MENDEL (1951) の報告と一致している。土が 永久凋萎含水率のあたりまで かわいたときには 朝8時には まえの日の 10時よりも蒸散量が

ややおおく 午後にむかつて しいにへつてゆくが、土がさらにかわくと そのような変化はみられずに 1日じゆう おなじような ひくいアタイをたもつた。土に まだ いくぶんの有効水分のこつているうちには、蒸散量のすくない 夜のあいだに ナエの含水率は いくぶん回復して、朝のうちは 気孔が いくぶんひらいているので、蒸散量が いくらかおおくなるが、そのうちに 葉のなかの水がへると 気孔がとじ 蒸散量がへると考えられる。土のカワキが さらにすすむと そのようなことが みられなくなる。これらの点については 蒸散量の絶対値以外には 樹種のあいだに チガイはみられなかつた。

ナエの水分不足 (Wasserdefizit) の程度は 土がかわくとともに すすんだ。KILLIAN (1947), HÄRTEL (1936) なども 乾燥地では 雨のまえには 雨のあとにくらべると 水分不足度が高いことをみている。土がかわいたときの 水分不足の程度は アカマツがもつともすくなく スギとヒノキでは ほとんどちがわなかつた。BOURDEAU (1954) は ナラ類の耐乾性と 土が永久凋萎含水率まで かわいたときの 水分不足度とのあいだには 関係がないといっている。

土のかわくにともなう ナエの含水率と蒸散量の変化からみると、耐乾性は アカマツが つねに もつともつよく、スギとヒノキでは 根のおかれた条件によつて 順位がかわつた。これらのチガイは 根のはいるフカサによつてきめられる 水のトリイレの良否のほか、土が永久凋萎含水率以下に かわいたときの 蒸散量 (おそらくは クチクラ蒸散) が おおきなイミをもつことがわかつた。

4. あらまし

土がかわくにともなう 蒸散量 含水率の 変化をしらべた。蒸散量は 土の含水率が 野外容水量と永久凋萎含水率のあいだの ある点までさがるまでは あまりかわらないが、それよりもさがる 蒸散量は はげしくへりはじめ、土が 永久凋萎含水率まで かわくと 蒸散量は きわめてすくない あまりかわらない アタイに おちつき それ以上土がかわいても かわらなかつた。蒸散量が はげしくへりはじめる点の 土の含水率は 根のはいるフカサを制限したばあいと しないばあいとは かなりちがつていたが その理由について考察した。ナエの含水率は 土に有効水分のあるあいだは ほとんどうごかなかつたが 土の含水率が 永久凋萎含水率まで さがり 蒸散量が きわめてすくないアタイをとると 同時 あるいは すこしまえから さがりはじめた。これらの変化の 相互関係について 考察をくわえた。これらの 生活現象の質的な変化と 土のカワキの程度の 関係については 樹種のあいだに チガイがみられなかつた。しかし 量的には 特に 土が 永久凋萎含水率よりも かわいてからあとは かなりちがいが、蒸散量 (おそらく クチクラ蒸散) は アカマツがもつともすくなく スギがもつともおおく、含水率のヘリカタはアカマツがもつともすくなかつた。これらの関係は そのときの アタイと 水がじゆうぶんにあるときのアタイの ワリアイについても みとめられた。これら

の結果から アカマツがもつとも耐乾性がよく スギとヒノキの耐乾性が 条件によつて 順位がいかかわることに考察をくわえた。

X ナエが水をうしなうにともなう 水分関係の変化

土がかわくにともなう ナエの地上部の水分関係の変化は アカマツが すべての点で カワキに耐えるのに もつともつごうがよく、スギとヒノキをくらべると 蒸散量の変化からみればヒノキのほうが カワキにたえやすいようだが、含水率の変化から見ると 根のはいるフカサを制限したばあいと 制限しないばあいでは 結果がちがつていた。土にうえたものでは 根の発達にチガイがあるので、地上部にあたえられる水の量は 土のカワキカタはおなじでもちがうオソレがある。それで 根の発達のチガイの 影響をのぞくために 地上部だけを切りとつて 水の補給をたつて その 水をうしなうスジミチを しらべることにした。スギ ヒノキ アカマツのナエの 水をうしなうスジミチについては、1年生以上の 成木とおなじ形の葉をもつた ナエについては 渡辺(1908)、坂口、野原(1939)、伊藤(1951a)の報告があるが、いずれも 根をつけたまま 空気中で 水をうしなわせている。切りとつた枝の 水をうしなうスジミチについては 伊藤(1951a)の報告があり、蒸散量については 柴田(1951)の報告がある。しかしながら これらは いずれも こまかな解析をくわえてはいない。いろいろな点でこれらと性質のちがう マキツケナエについては まだ しらべられていない。また 土が 永久凋萎含水率よりも かわいたときの ごくわずかな あまり変化しない 蒸散量(おそらく クチクラ蒸散)が 耐乾性におおきなハタラクをすることがわかつたので、クチクラ蒸散とおもわれる状態になつてからのものについて ややくわしい実験をおこなつた。

1. 実験(1)

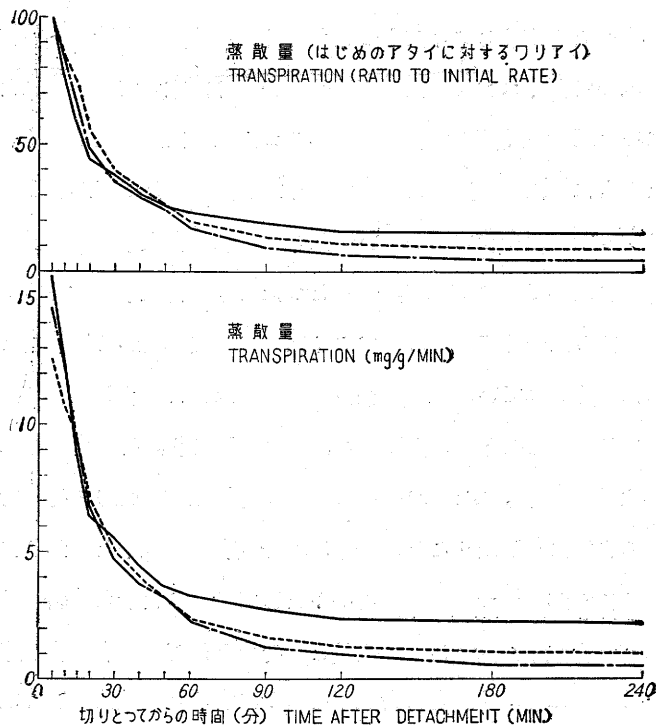
(1) 材料と方法

田無苗畑の土を 小型のサヤキバチにつめ、土のオモサを 3個のオーギ形に くぎつて、第6表にしめすようなタネを 4月15日に まきつけ、まえとおなじガラス室で 普通にそだてた。実験をおこなうまえの日の夕方 じゆうぶんに水をやつたのち 1個のハチを 無作為にとりだして 実験室にもちこみ 窓ぎわにおいた。朝 10時に そのハチから それぞれの樹種について 1本ずつを 無作為にえらび 地上部を切りとり ただちに キリクチに ワセリンをぬつて ガラスの窓のついた木の箱のなかで トーションバカリで オモサをはかつた。それから第66図にしめすような時間ごとに オモサをはかつた。ナエは 105°C でかわかして 絶乾重量をもとめた。オモサをはかるたびごとの オモサのチガイを 蒸散量とし、そのときどきの ナメのオモサから 含水率をもとめた。かわかすまえに 胚軸の下のほうの ワセリンをぬつた部分を 切りとり、そのオモサをさしひいた。ナエは オモサをはかるときのほかも トーショ

ンバカリをいれた 木の箱のなかに つるしておいた。箱のなかの 気温と飽差を $1/10^{\circ}\text{C}$ メモリの 乾湿球寒暖計でしらべたところ 気温は $24.1-24.7^{\circ}\text{C}$ 飽差は $0.86-2.48 \text{ mmHg}$ だった。実験は 9月 12-24 日のあいだに 1日に1回ずつ 7回クリカエシをおこなった。3樹種を平行して およそ 25 分ずつずらせて 実験をおこない、樹種の順序は クリカエシごとにかえた。

(2) 結果

ナエの地上部の 切りとつてからの 蒸散量と含水率の変化を それぞれ 第 66, 67 図にしめす。蒸散量は 切りとつてから しばらくのあいだは かなりおおいが、ときとともに 急速にへつた。切りとつてから 20-30 分たつと、ヘリカタはにぶり、1-2 時間たつと あまりうごかない ごく低い アタイをとるようになった。切りとつたすぐあとの 蒸散量は 差はごくわずかだが スギ アカマツ ヒノキの順におおかつた。しかし まもなく その差はなくなり、切りとつてから 30 分後には 順序はいれかわつて スギは ふたたび もつともおおく



第 66 図 切りとつてからの蒸散量の変化

上 : ハジメ 5 分のアタイに対するワリアイ 下 : 実数

Fig. 66. The decline of transpiration after detachment.

upper : ratios to the initial rates, lower : measured values.

—スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-.-アカマツ *P. densiflora*.

なり、アカマツは もつとも低いアタイをとつて、以後その順序をたもつて ほとんど変化しない ごくすくない蒸散量をつづけた。蒸散量の変化の関係を さらにつきりさせるために 切りとつてから 最初の 5 分間の蒸散量に対する ワリアイでしめすと、はじめのうちは 樹種

によるチガイはめだたないが、アカマツの蒸散量のヘリカタは、スギよりもわずかにすくなく、ヒノキよりもわずかにおおいようだが、イミのあるチガイではない。しかしながら、時がたつとともに蒸散量のヘリカタはにぶ

第 38 表 切り取り後 5 分間の蒸散量がつづいたと仮定したアタイと現実の蒸散量 (mg/g・4 hr.) の比 (%)

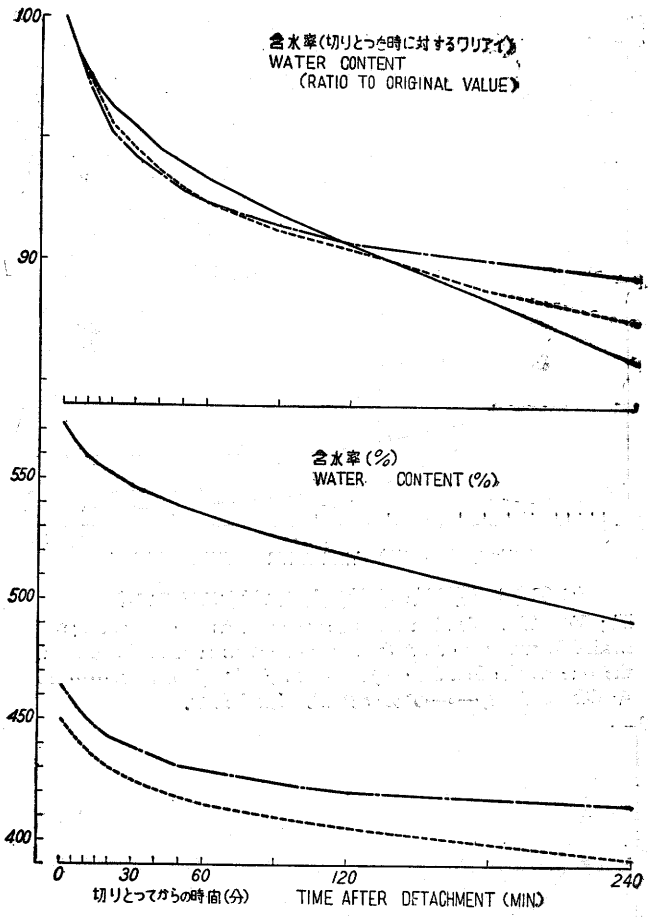
Table 38. The ratios of actual transpiration to the rates expected when initial rates continued for 4 hours.

	仮定 expected	現実 actual	比 ratio
	mg	mg	%
スギ <i>Cr. japonica</i>	3,812	813	21
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	3,053	564	19
アカマツ <i>P. densiflora</i>	3,522	494	14

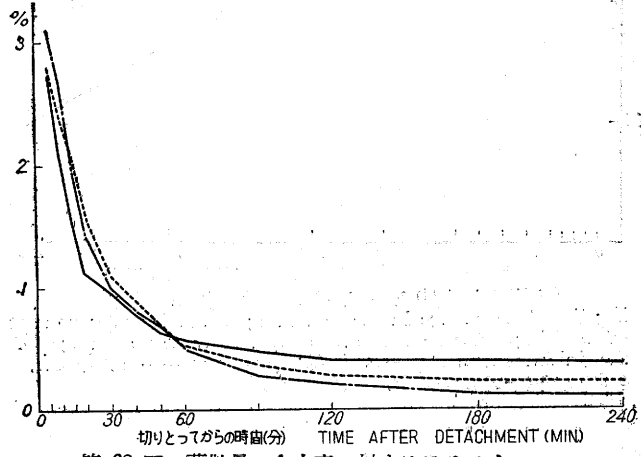
り、ついにはほとんどへらなくなる。このときの蒸散量のハジメの蒸散量に対するワリアイは、スギがもつともおおく、アカマツがもつともすくない。したがって蒸散量の変化のハバはスギがもつともせまく、アカマツがもつともひろい。この関係を SCHRATZ (1931) の Abweichungsquotient にならつてしめすと、第 38 表のようになり、蒸散量の調節は、アカマツがもつともおおきく、スギがもつともちいさいことがわかる。

含水率は、スギがもつとも高く、ヒノキがもつとも低く、4 時間の実験のあいだ、この順序をたもつたが、含水率のへつてゆくスジミチは蒸散量のチガイに応じて、樹種によつてことなつていた。スギは、はじめの 20—30 分間の含水率のヘリカタは、ほかの樹種にくらべると、ややおそいが、時がたつとともに、ほかの樹種との差がなくなり、切りとつてから 1 時間以後には、もつともおおきなワリアイで、水をうしなつていつた(第 68 図)。含水率は、絶対量であらわすと、つねにスギが 3 樹種のなかで、最高だが、切りとつたときの含水率に対するワリアイであらわすと、切りとつて、しばらくたつてからのアタイは、3 樹種のなかで、最低となつた。

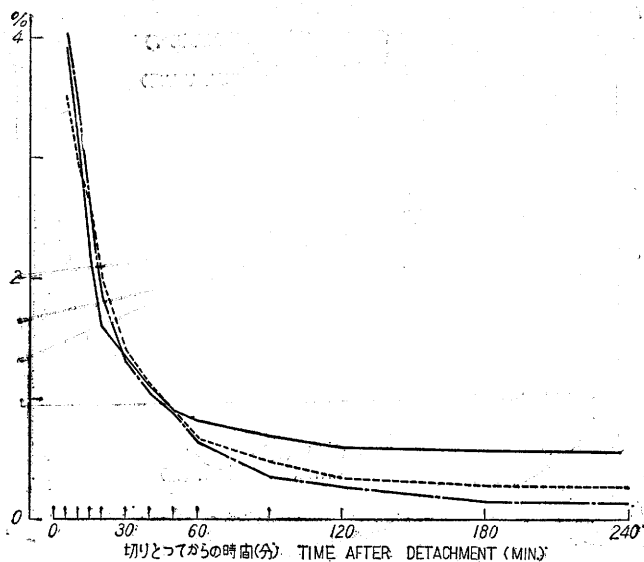
ところで、ナエにふくまれている水の全部が、生きてまますしなうことのできるものではなく、含水率がある程度までさがると、ナエは枯れてしまう。その含水率は、スギ、およそ 70%、ヒノキ、およそ 90%、アカマツ、およそ 100% だから (VII)、それをさしひいたノコリすなわち、枯れるまでにうしなうことのできる水分(有効含水率と、かりに、よんでおく)を、モトとして、考えるほうが、ナマの含水率をモトとして考えるよりも、合理的だと考えられる。切りとつたときの有効含水率に対する蒸散量と、そのときどきの有効含水率のワリアイを、それぞれ、第 69, 70 図にしめす。有効含水率をモトにすると、変化がすくなくなつてからの蒸散量はスギが、ほかの樹種にくらべると、びはなれて、おおく、したがって、有効含水率のヘリカタも、はげしいことが、はつきりする。第 70 図にしめされた有効含水率をしめす曲線が、0 の線とまじわるとき、時間が、切りとつてからのナエの生存時間となるわけで、図にしめされた曲線が、そのまま、のばすことができるとすれば、切りとられたナエの地上部が、枯れる時期は、スギが、とびはなれてはやく、アカマツは、ヒノキよりも、かなりながく生きていられることになる。



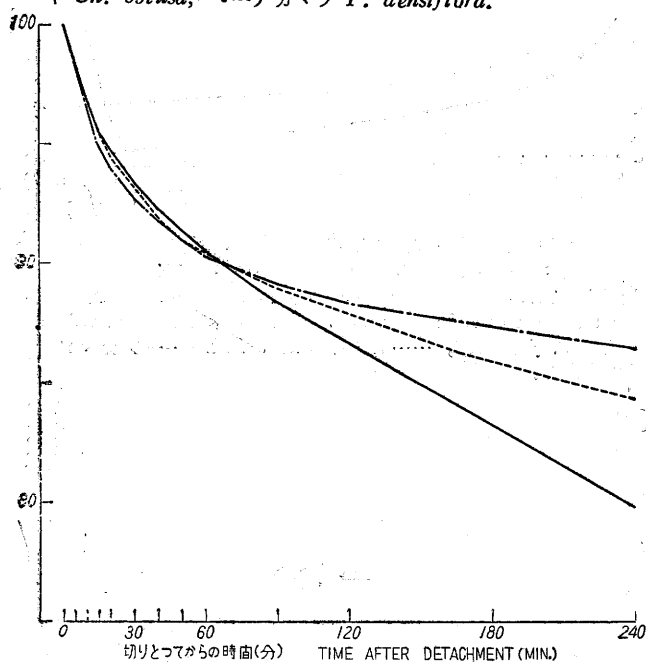
第 67 図 切りとつてからの含水率の変化
 上：はじめに対するワリアイ 下：実数
 Fig. 67. The decrease of water content after detachment.
 upper : ratios to the initial values, lower : measured values.
 —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.



第 68 図 蒸散量の含水率に対するワリアイ
 Fig. 68. Transpiration represented as the percentages of the initial
 water content —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.



第 69 図 蒸散量の有効含水率に対するワリアイ
 Fig. 69. Trauspiration rates represented as the percentages of available water content (water content at normal level minus the one at the lethal level). —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.



第 70 図 切りとつてからの有効含水率の変化
 Fig. 70 The change in the remaining available water content of seedlings after detachment represented as the percentages of the initial values. —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.

2. 実験2

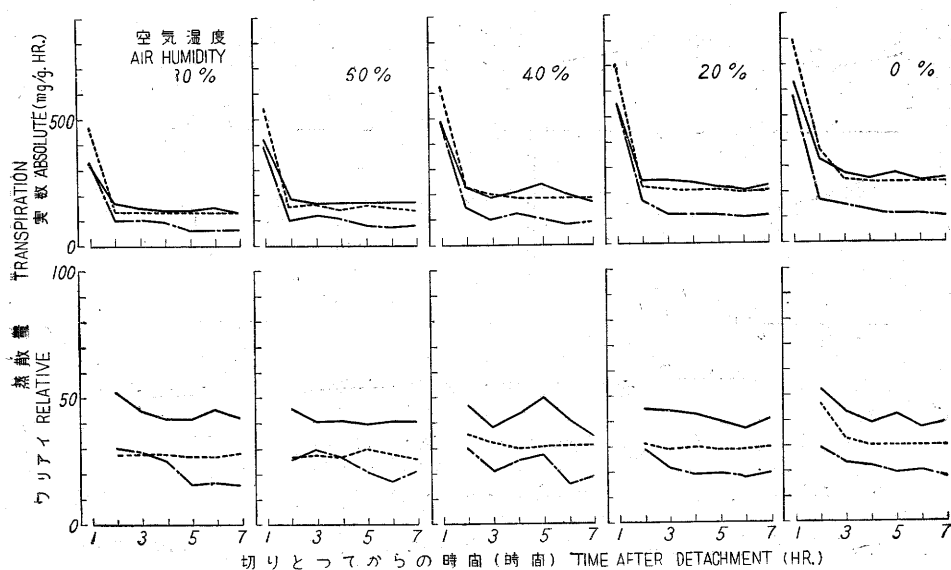
(1) 材料と方法

Ⅲの4とおなじクチのナエを材料として 7月 21—29 日のあいだに 実験をおこなつた。奥

験のまえの日の夕方に じゆうぶんに水をやり、朝9時30分ごろナエを切りとつて 水にさして実験室にもちこみ 水のなかで キリクチをきりなおした。10時に水からあげて すぐに キリクチを切りなおし、キリクチに ワセリンをぬり、トーションバカリで オモサをはかつたのち、 CaCl_2 で0%、きめた濃度の H_2SO_4 で 20 40 60 80%に 空気の湿度を調節した 大型のデシケーターのなかの 金網のうえにならべておき、1時間ごとにとりだして オモサをはかり、オモサの差を蒸散量とした。8回目にオモサをはかつたのち、胚軸の ワセリンをぬつた部分を きりすて、ふたたびオモサをはかり、 105°C でかわかして 絶乾重量をもとめ、含水率をだした。切りすてた胚軸のオモサは 修正した。デシケーターは 実験室内の うすぐらいところにおいた。実験のクリカエシは 7回おこなつた。

(2) 結 果

第71図にしめすように 蒸散量は 水の補給をたつてから 1時間のあいだは かなりおおかつたが、それ以後は ごく低い あまり変化しない アタイにおちつた。はじめの1時間の蒸散量は ヒノキがもつともおおく スギとアカマツでは あまりチガイがなかつた。水をやるのをやめてから 2—6時間のあいだの 変化のすくなくなつてからの 蒸散量は つねに スギがもつともおおく アカマツがもつともすくなかつたが、スギとヒノキのチガイは わずかだつた。水をあたえるのをやめてから はじめの1時間のアタイと 2—6時間の平均値とを まとめて 第72図にしめす。どの樹種でも 蒸散量は 空気がかわいているほど おおいことが



第71図 水をあたえるのをやめてからの蒸散量の変化
(%は空気の湿度)

上：実数 下：はじめの1時間のアタイに対するワリアイ

Fig. 71. Changes in transpiration rates after stopping water supply.
% in the figure shows air humidity.

upper : measured values, lower : percentages to the initial rates.

—スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.

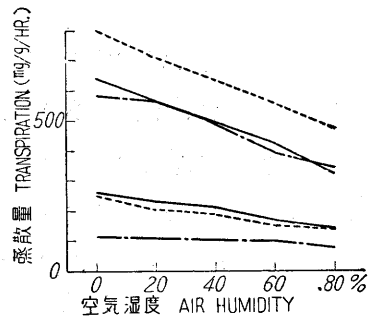
第 35 表 ハジメ 1 時間の蒸散量がつつたと仮定したアタイと現実の 7 時間の蒸散量の比 (%)
 Table 35. The ratios (%) of actual transpiration rates to the rates expected when the initial rates continued for 7 hours.

空気湿度 % Air humidity	80	60	40	20	0	平均 Mean
スギ <i>Cr. japonica</i>	53	50	51	50	50	51
ヒノキ <i>Ch. obtusa</i>	38	38	41	40	43	40
アカマツ <i>P. densiflora</i>	33	35	34	32	33	34

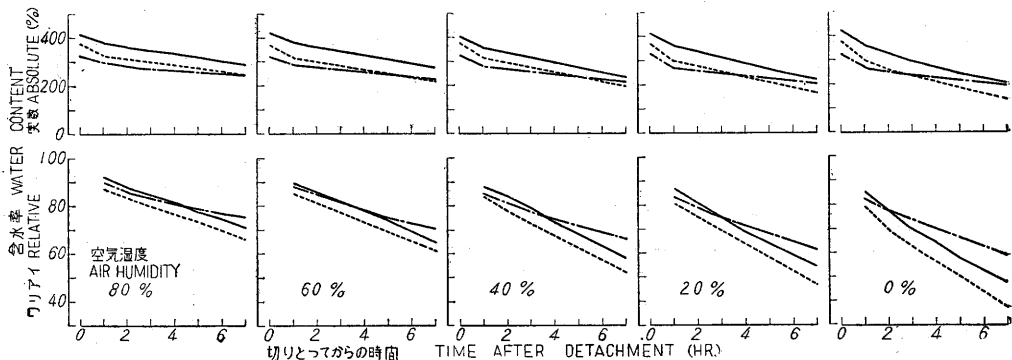
わかる。切りとつてからの蒸散量の変化をさらにはつきりさせるためにはじめの 1 時間のアタイに対する

ワリアイでしめすと (第 71 図), 蒸散量の変化はアカマツがもつともおおきくスギがもつともすくない。この関係を SCHRATZ (1931) の Abweichungsquotient にならつてしめすと第 35 表のようになり, 蒸散量の調節はアカマツがもつともおおきくスギがもつともすくないことがわかる。

含水率は第 73 図にしめすようにはじめはスギがもつとも高くアカマツがもつとも低かつたが, この関係は蒸散量の大小に応じて含水率がへつてゆくので水の補給をたつてから 6—7 時間たつとアカマツとヒノキのあいだにはチガイがなくなるかあるいはヒノキ



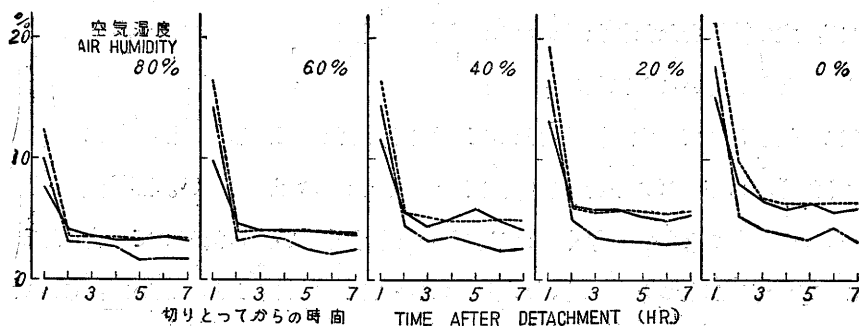
第 72 図 蒸散量と空気の湿度との関係
 上: 0—1 時間 下: 2—6 時間平均
 Fig. 72. Relations between the transpiration rates and air humidity.
 upper: 0—1 hour after stopping water supply, lower: 2—6 hours after stopping water supply.
 —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, ---アカマツ *P. densiflora*.



第 73 図 水をやるのをやめてからの含水率の変化
 上: 実数 下: はじめのアタイに対するワリアイ
 Fig. 73. Changes in the water content of seedlings after stopping water supply.
 upper: measured values, lower: ratios to the initial values.
 —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, ---アカマツ *P. densiflora*.

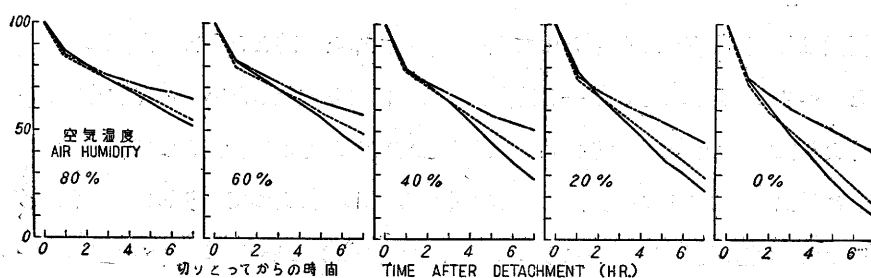
の含水率のほうが低くなつた。含水率の低下するハヤサすなわち含水率をモトにした蒸散量はアカマツがもつともちいさく, スギとヒノキでははじめの 1 時間はヒノキのほうがおおきかつたがそれからあとはほとんどチガイがなく (第 74 図) したがつて含水率の変化するワリアイはスギとヒノキはほぼ平行した。

有効含水率をモトにして含水率の変化をあらわすと第 75 図のようになり, 有効含水率の



第 74 図 蒸散量の含水率に対するワリアイ

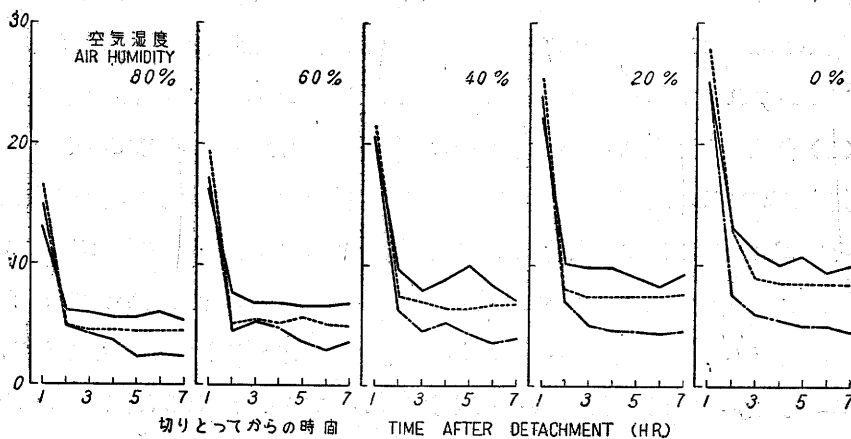
Fig. 74. Transpiration rates represented as the percentages of the initial water content.
 —スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.



第 75 図 有効含水率の変化

Fig. 75. Changes in the remaining available water contents of seedlings after stopping water supply.

—スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.



第 76 図 蒸散量の有効含水率に対するワリアイ

Fig. 76. Transpiration rates represented as the percentages of the initial available water contents.

—スギ *Cr. japonica*,ヒノキ *Ch. obtusa*, -.-アカマツ *P. densiflora*.

低下するハヤサは アカマツがもつともおそく、スギがもつともはやい (第 76 図)。したがって のこつている有効含水率のワリアイは つねに アカマツがもつともおおく スギがもつともすくない。第 75 図にしめされた 有効含水率の曲線が 横軸とまじわるときは時間が 水の補給をたつてからの 生存時間になるわけで、もし 図にしめされた曲線が そのまま延長でき

るとすれば、水の補給をたれた ナエの地上部の 枯れる時期は スギがもつともはやく アカマツがもつともおそいことになる。

要するに 切りとつて 水の補給をたつて しばらくたつてからの 蒸散量は アカマツがもつともすくなく、スギとヒノキをくらべれば わずかに スギがおおい。蒸散量の調節されるハバも アカマツがもつともおおきく スギがもつともすくない。したがつて 含水率の低下するハヤサは アカマツがもつとも低く、スギとヒノキでは あまりちがわないが、これを 有効含水率について考えると その低下速度は アカマツがもつともおそいことは いうまでもないが、スギはヒノキよりも かなり低下速度がはやいことがわかつた。

3. 考 察

どの樹種でも 蒸散量は 切りとつて水の補給をたつと 時とともに 急速にへるが、20—30分たつと ヘリカタがにぶり、1—2時間たつと あまり変化のない ごくすくないアタイにおちつくようになった。このようなことは きわめておおくの実験によつて 一般にみとめられている。これは 切りとると 水の補給がなくなり 蒸散によつて うしなわれた水が おぎなわれないので 葉に水分不足がおこり、STÅLFELT (1929) のいう hydroaktive Reaktionによつて 気孔がとじはじめ、その結果として 蒸散量が急速にへり (STÅLFELT 1932)、気孔がとじてしまうと クチクラ蒸散だけになり もはや蒸散量の変化は ほとんど なくなるものと 考えられている。PISEK und BERGER (1938) は 気孔がとじたかどうかをしらべるには いろいろな方法をつかつて 気孔のヒラキを 直接にみるよりも 蒸散量の変化からおさえたほうがたしかだとのべている。HYGEN (1951, 1953b) は 切りとつてからの 蒸散量の変化のスジミチを (1) 気孔のまだひらいている stomatal phase, (2) 気孔がとじてゆく closing phase (3) 気孔がとじてしまつて クチクラ蒸散だけになつた cuticular phase の3段階にわけている。それにしたがえば この実験では おそらく stomatal phase にあたるものは はじめの5分間だけで それにひきつづいて 切りとつてから 90—120分のあいだまで かなりながい closing phase がつづき、ついで cuticular phase にうつるものと 考えられる。そうすると この実験で あまり変化のない ごくすくない アタイを とるようになったときの 蒸散は クチクラ蒸散と 考えていいと思われる。実験2でも おなじようなスジミチをたどつたが、水の補給をたつてから はじめの1時間は stomatal phase と closing phase をあわせたもの、1—2時間のあいだは closing phase, 2時間からあとは cuticular phase に はいつているものとみられる。SHAFFER (1942) は 総蒸散量から クチクラ蒸散量をさしひいて 気孔蒸散量をもとめ、気孔蒸散量の対数と 切りとつてからの時間とのあいだに 直線的な関係がなりたつとしているが、この実験では あらくみると ほぼ そのような関係はなりたつたが、完全にはなりたらず、3樹種とも 20—60分のあいだのアタイが 直線から下にあらわれる ナ

カダルミの曲線となり、SHAFER のみたものよりも さらに複雑な関係があるようだ。切りとつてから しばらくのあいだの 蒸散量の大小の 樹種のあいだの順位は 2 回の実験で 一致しなかつた。これは はかる間隔もちがうので くらべることが無理だが、はかる間隔のチガイだけでは 説明しきれない。しかし まえにものべたように 耐乾性を考えるうえに 問題になるのは むしろ 蒸散量のごくすくなくなつた時期のものであることを 考えれば このさいは 深くたちいる必要はないと 考えるが さらに研究を要する 問題だ。ナエの蒸散量が それまでの トリアツカイによつて かわることは スギ ヒノキ アカマツについても 報告されている (岡崎たち 1954)。クチクラ蒸散と考えられるものは 2 回の実験をとおして アカマツがもつともすくなく スギがもつともおかつた。このことは 土に植えたままのナエが 土がひどくかわいたばあいに しめた 蒸散量の大小の順序と まつたく一致する。それぞれ 実験法のちがう 4 回の実験から まつたくおなじ結果が得られたことは、クチクラ蒸散の 樹種のあいだのチガイは たしかなものであることを しめしている。PISEK und BERGER (1938) は 耐乾性のつよいものほど クチクラ蒸散がすくないことを報告している。

切りとつて 水の補給をたつてからの 蒸散量のヘリカタは 2 回の実験をとおして アカマツがもつともはなはだしく スギがもつともすくなくなつた。SEYFOLD (1929), BREWIG (1933), KAMP (1930) は Xerophite ほど 蒸散量の Maximum と Minimum の比がおおきいといい、HYGEN (1951) は おなじ種類の植物でも かわいた土地にそだつたもののほうが しめつた土地にそだつたものよりも stomatal phase の蒸散量 すなわち 気孔蒸散とクチクラ蒸散とを あわせたものと クチクラ蒸散量の 差がおおきいことを報告している。また HYGEN (1953) は さらに 3 種類の *Vaccinium* について クチクラ蒸散量の stomatal phase の蒸散量に 対する比は 耐乾性のよわいものほど おおきいことをみている。このような考えかたにしたがうと、スギの耐乾性が もつともよわく アカマツの耐乾性が もつともつよいことになる。この関係を SCHRATZ (1931) は べつのアラワシカタをした。すなわち 蒸散量の極大値がつづく と 仮定したものに対する 現実の蒸散量の比を Abweichungsquotient となづけ、耐乾性のよわいものほど これが大きいとした。その考えかたにしたがつて この実験のばあいの Quotient を 4 時間 (実験 1) および 7 時間 (実験 2) のアタイについて もとめたところ、いずれのばあいにも スギがもつともおおきく アカマツがもつともちいさかつた。これによつても 耐乾性の順位を しめすことができるわけだが、この方法は 時間によつて クチクラ蒸散の ふくまれるワリアイが かわり、アタイがうごくので、切りとつた直後の蒸散量と クチクラ蒸散とを くらべる方法のほうが 合理的だと考えられる。SCHRATZ 自身も つぎの報告 (1933) では この方法をとつていない。いずれにせよ 蒸散量を調節するハクラキは アカマツがもつともおおきく スギがもつともちいさいことが あきらかだ。しかしながら 蒸散量を調節

するハタラキは、カワキにたえるうえに、どのようなイミをもつだろうか。これらのアタイは、切りとつてすぐの おおい蒸散量(気孔蒸散+クチクラ蒸散)と、ときがたつてからの、すくなくなつた蒸散量(クチクラ蒸散)の ふたつの変数をもっている。Abweichungsquotient には、さらに、時間という変数がある。時間という変数をいれることが、不都合なことはまえにのべた。そのほかの、ふたつの変数のうち、はじめの蒸散量は、水分状態のよいときの蒸散量をあらわし、すくなくなつてからの蒸散量は、水分状態のわるいときの蒸散量をあらわしている。水分状態のよいときの蒸散量は、耐乾性の問題を考えるうえには、たいしたイミはなく、このばあい、たいせつなのは、水分状態のわるいときの蒸散量(クチクラ蒸散とおもわれる)だ。水のじゆうぶんにあるときの蒸散量についても、耐乾性のつよいもののほうがすくないという、実験例(たとえば SEYBOLD 1929, HYGEN 1953)は、あるにせよ、そのような蒸散量が、直接に、耐乾性に関係がある、必然性はなく(HUBER 1927 a, MAXIMOW 1931, MAXIMOW and KRASNOSSELSKY-MAXIMOW 1924), 反対の実験例もおおい。そうすると、ふたつの変数のうち、ひとつは、たいしたイミのないものであり、したがつて、それによつて、きめられる比数も、たいしたイミをもたないことになり、むしろ、クチクラ蒸散だけについて考えるほうが、合理的ではあるまいか。樹種のあいだの、クチクラ蒸散量のチガイの原因としては、クチクラのアツサだけでなく、その性質も、おおいに関係する(KAMP 1930)。さらに、この実験のように、ナエのオモサをモトにするときには、オモサと表面積の関係も、関係する。

蒸散量は、つねに、空気のかわいてるほど、おおかつた。これは、ひろくみとめられているとおりだ。空気の湿度がかわつても、これまでのべた、いろいろな関係は、うごかなかつた。

切りとつて、水の補給をたつたナエは、しだいに、水をうしなつて、かわいていくが、そのハヤサは、アカマツが、2回の実験をとおして、もつともおそく、スギとヒノキのあいだでは、実験1では、スギがいちじるしくはやく、実験2では、ヒノキがややはやかつたが、そのチガイは、水分状態がわるくなつて、クチクラ蒸散になつてからは、ほとんど、みとめられなかつた。スギ、ヒノキ、アカマツの、ナエや、針葉の、かわくハヤサについては、すでに、いくつかの報告がある。渡辺(1908)、坂口、野原(1939)は、ナエについて、アカマツのかわくハヤサがもつともおそく、スギがもつともはやいと報告し、伊藤(1951 a)は、ナエについては、ヒノキがもつともはやくかわき、アカマツがもつともゆつくりかわくが、1年生の枝では、スギ、ヒノキ、アカマツの順に、かわくハヤサがおおきいと報告している。これらは、すべて、1年生以上の、成形をした葉をもつたものについての結果だが、この実験の、マキツケナエについての結果と、よくあつている。しかしながら、これらの報告は、ナエのかわくスジミチについての、たちいつた解析を、おこなつていず、また、おおくのものは、地上部と根とを、きりはなしてないので、根から水をうしなうことの影響が、きりはなされていない。根は、水をうしなうのに対する、保護

組織をもっていないので、根からうしなわれる水の量はおおきく、伊藤 (1951a) によれば根のついているものでは根がさかんに水をうしなうので地上部のふくむ水までも根にうばわれるという。PARKER (1951) は乾燥地によくそだつ *Pinus ponderosa* はほかの針葉樹にくらべると葉の水をうしなうハヤサはおそく、また (1954b) *P. ponderosa* の葉のうちでもカワキによい。ふるい葉ほどはやく水をうしなうといっている。

ところでナエはそのふくんでいる水のすべてを生きたままうしなうことができるものではなく、含水率がある程度さがると枯れてしまう。耐乾性に関連してナエが水をうしなうことを考えるときには、枯れるまでにうしなうことのできる水分について考えるほうが合理的だ。ところがこれまでこのような考えかたはされず、枯れるときの含水率あるいはクチクラ蒸散量の測定が関連なしにおこなわれている。うしなうことのできる水分 (有効含水率とかりになづけておく) をモトにして考えることが耐乾性を考えるうえにたいせつだ。そうするとナエの水をうしなうハヤサは、いずれのばあいにもスギがもつともはやくアカマツがもつともおそかった。したがって有効含水率のすべてをうしなう時期すなわち枯れる時期はスギがもつともはやくアカマツがもつともおそいことになり、Ⅲの4の実験結果をよく説明できる。

4. あらまし

切りとつて水の補給をたつたナエの地上部の水をうしなつてゆくスジミチをしらべた。水の補給をたつと蒸散量は急速にさがり、1—2時間後にはごくすくないあまり変化しないアタイにおちつく。このときの蒸散量 (クチクラ蒸散と考えられる) はスギがもつともおおくアカマツがもつともすくなかつた。蒸散量の調節されるハバもアカマツがもつともおおくスギがもつともせまかつた。ナエの含水率のへるハヤサもスギがもつともはやくアカマツがもつともおそかつたが、これをナエが枯れるまでにうしなうことのできる水の量 (有効含水率) をモトにして考えると、いつそうその傾向ははつきりした。これらの点からみて、ナエの地上部の水をうしなうことに対する抵抗性 (乾燥抵抗) はアカマツがもつともつよくスギがもつともよわいといえよう。

IX し め く ぐ り

1. まとめ

わがくには1年をとおしての降水量はおおいが、その分布が不規則なため夏には土がひどくかわくことがめずらしくない (Ⅱ)。そのようなばあいにタネから芽をだしてはじめての夏をむかえるマキツケナエはおおきな影響をうける。土がかわくと生長はおとろえるが、土のカワキの生長におよぼす影響は、アカマツではたいしたことはなく、土の

なかに 有効水分が まったくふくまれない状態まで しばしば 土がかわくと 生長はさまたげられるか、そこまでおよばない程度の 土のカワキでは ほとんど 影響をうけない。ところが スギとヒノキでは ごくかるい程度の 土のカワキによつても 生長はさまたげられる

(IV)。さらに土がかわいて 含水率が 永久凋萎含水率より下になつて しばらくたつと マキツケナエは 枯れはじめる。そのばあい アカマツは つねに スギやヒノキよりも はるかに 耐乾性がつよく、スギとヒノキのあいだでは 根のはいるフカサを 制限するか しないかによつて 耐乾性の順位が いかわつた。このことは 根の ナガサや 量が 耐乾性のチガイの 原因の 一部であることを しめすが、それだけでは 完全な説明ができない。おなじ樹種のなかでは 根のながいもの T-R 率の低いもの 根も地上部もおおきなものほど ながく 生きのこることが あきらかにされたが、樹種のあいだでは かならずしも そのような関係は みとめられなかつた。しかし 樹種をくらべたばあい アカマツは これらの点でも すぐれていた。切りとつた 地上部だけの 乾燥に対する 抵抗性は 土にそだつているナエの 根のはいるフカサを制限したばあいの 耐乾性の 順位とおなじく アカマツ > ヒノキ > スギだつた

(III)。根の発達程度が 耐乾性に関係があるので、それを 苗畑で ふつうにそだてたものについて 土の層ごとになつて くらべたところ、根の発達は アカマツが もつともすぐれており、もつともおおくの根を もつとも深くまで ひろげていた。この点では ヒノキが もつともおとつていた (V)。生長の型 すなわち 生長の季節分配をしらべたところ、根と地上部の 生長量の 季節分配と それにともなる T-R 率の変化などについては、アカマツが 夏の危険期までに 根のよく発達した T-R 率のちいさなものに 発達して 土のカワキによる害がすくないような 生長の配分の型を もつていることが わかつた。スギとヒノキのあいだには そのような 型のチガイが みられなかつた。また 単位期間の 乾物生産量の 地上部と根えの 分配のワリアイからみても アカマツは つねに 生産物のうちで 根をつくるのにつかわれる部分の ワリアイが ほかの樹種にくらべて おおく、土のカワキにたえるのにつごうのいい分配をすることを しめしていた (VI) ナエが 水をうしなつたばあい、生きていられる限界の含水率は スギがいちじるしく高く、ヒノキとアカマツでは あまりちがわなかつたが ヒノキのほうが やや低かつた。この点からみると スギが カワキにたえるのに もつともつごうがわるく、アカマツと ヒノキでは やや ヒノキのほうが つごうがいい。また その含水率を 水をじゆうぶんにあたえられた 健全な状態の 含水率にくらべると、そのワリアイは ヒノキがもつとも低く アカマツとスギでは おなじくらいだつた (VII)。ナエが 枯れるまでにはいたらないが ひどくいたむ 限界の含水率についても ほぼおなじような結果が得られた (VIII)。しかしながら このような 含水率そのものよりも そのような 限界の含水率にいたるまでの 水をうしなうハヤサが 枯れるか枯れないかをきめる おおきな要素だと 考

えられるので、土がかわいてゆくさいの ナエの含水率とに蒸散量の 変化をしらべた。土がある程度かわくまでは 蒸散量には めだつた変化はないが、それ以上土がかわくと 急速に蒸散量がへりはじめ、土がさらにかわいて 永久凋萎含水率になると おそらく クチクラ蒸散とおもわれる ごくわずかな量におちつく。ナエの含水率は 土が永久凋萎含水率までかわいて蒸散が クチクラ蒸散だけになるころまでは 傾向をもつた変化はないが、このころから だいにさがつてゆく。これらの点については 樹種のあいだに 質的なチガイはないが、量的にはかなりちがっている。このばあい クチクラ蒸散は スギがもつともおおく アカマツがもつともすくなかつた。また 蒸散量の 調節されるハバも アカマツがもつともひろく スギがもつともせまかつた (K)。苗畑での調査 (V. VI) によると 土がひどくかわくオソレのある時期の T-R 率は アカマツが いちじるしくちいさいことを考えあわすと、アカマツのクチクラ蒸散量が いちじるしくすくないことは 土がひどくかわいて 水のトリイレがすくないときの アカマツの 体内の 水のツリアイが きわめて有利であると考えられる。含水率のヘリカタは アカマツが つねに もつとも すくなく、スギとヒノキのあいだでは 根のはいるフカサを制限しないときには スギのほうがすくなく、根のはいるフカサを制限したときには ヒノキのほうが すくなかつた。このばあいの 含水率のヘリカタの順位 (K) と 枯れプアイの順位 (III) が まつたく 一致していることから 根のはいるフカサのチガイが 水の吸収量をとおして ナエの含水率に影響し、さらに枯れプアイに影響することが考えられる。

ナエの地上部を 切りとつて 水の補給をたつことによつて 根の いろいろなチガイの 影響をとりぞいて、ナエが 水をうしなうにともなう 水分関係の変化を おいかけたところ、水の補給をたつと 蒸散量は 急速にへつて まもなく ごくすくない あまり変化しない クチクラ蒸散とおもわれるものだけになるが、そのときの蒸散量は 土に植えたままのナエの 土がかわいたときのものとおなじく アカマツがもつともすくなく スギがもつともおかつた。したがつて 含水率のへつてゆくハヤサは スギがもつともはやく アカマツがもつともおそく、とくに 生きたまま うしなうことのできる 含水率 すなわち 有効含水率の ヘリカタは 樹種のあいだのチガイが いちじるしかつた。

土がかわいたときに 生きのびる時間は いいかえれば ナエの含水率が 健全な状態のものから 枯れるサカイメのものまで さがるのにかかる時間だ。その時間は つぎのようにしてもとめられる。 W_0 を あるときのナエの 含水率、 W_t を それから t 時間後の ナエの含水率、 A を 根からの 水のトリイレの 時間的変化を あらわす式、 Tr を 蒸散量の 時間的変化を あらわす式 とすると 一般に つぎの関係がなりたつ。

$$W_t = W_0 + \int_0^t A dt - \int_0^t Tr dt \dots \dots \dots (1)$$

土が 永久凋萎含水率まで かわくまでは ナエの含水率には 一定の傾向のある 変化は 見られなかつたので、そのときまでの 蒸散量と含水率の変化は 問題にしなくてもいいと 考えれば、ここでは 土が 永久凋萎含水率以下に かわいたときだけを 考えればいい。そのよ うなときには 根からの 水のトリイレは きわめて困難だから、吸水量は きわめてすくなく かつ 変化のハバもせまいから

$$\int_0^t A dt = \lim. \sum_{k=0}^t a = t \bar{a} \dots \dots \dots (2)$$

とすることができる。ただし a は そのときどきの 単位時間あたりの吸水量、 \bar{a} はその平均 値である。

そのときには 蒸散量も きわめてすくなく かつ 変化のハバもせまいから (K)

$$\int_0^t T r dt = \lim. \sum_{k=0}^t tr = t \bar{tr} \dots \dots \dots (3)$$

とすることができる。ただし tr は そのときどきの単位時間あたりの 蒸散量、 \bar{tr} は その 平均値である。

そうすると (2) と (3) を (1) にいれて

$$W_i = W_0 + t\bar{a} - t\bar{tr}$$

$$W_0 - W_i = t(\bar{tr} - \bar{a})$$

$$t = \frac{W_0 - W_i}{\bar{tr} - \bar{a}} \dots \dots \dots (4)$$

(4) 式で、 W_0 を 土が 永久凋萎含水率になったときの 含水率とし、 t を そのときか ら かれるまでの時間とすると、 W_i は ナエのかれる サカイメの 含水率 W_i になる。土 が 永久凋萎含水率になったときの ナエの含水率は まだほとんど変化していないから、健全 な状態の含水率を W とすると

$$W_0 = W$$

としても おおきなチガイはおこらない。だから

$$t = \frac{W_0 - W_i}{\bar{tr} - \bar{a}} = \frac{W - W_i}{\bar{tr} - \bar{a}} \dots \dots \dots (5)$$

(5) の式の $W - W_i$ は有効含水率だ。(5) 式の t のアタイをきめる 4 変数の 樹種の あいだのチガイは、 \bar{a} については 実測できないが 根の発達チガイの結果としてあらわされ、ほかの 3 変数については その相対的な関係が この実験によつて あきらかにされてい る。すなわち

W : スギ ≫ ヒノキ > アカマツ

W_i : スギ ≫ アカマツ > ヒノキ

\bar{tr} : スギ > ヒノキ ≫ アカマツ

㉔：アカマツ》スギ＞ヒノキ

これらの関係を 樹種ごとにまとめると、アカマツ：健全なときの含水率は低いが 枯れるサカイメの含水率も低く、クチクラ蒸散とおもわれるものが、いちじるしくすくないので 土がひどくかわいて 根からの水のトリイレの困難なときの 水の消費がすくないうゑに、根がよく発達しているので 土がひどくかわいて 単位量の根の 水のトリイレのすくないときにも わりあいにおおくの水を とりいれることができるだけでなく、まだ かなりの水をふくんでいゑる ふかい層の 土の 水を 利用することができるので、水の消費と 吸収の ふたつの面でも 有利であり、土がひどくかわいたときに もつともながく 生きのびることができる。

ヒノキ：健全なときの含水率は おおくはないが 枯れるサカイメの含水率が もつとも低く この点では カワキにたえるうゑに有利であるが、クチクラ蒸散が ややおおいので 土がひどくかわいたときの 水の消費が すくなくないうゑに、根の発達がきわめて貧弱なので 土がかわいたときの 水のトリイレについては 3樹種のうちで もつとも不利だ。

スギ：健全なときの含水率は いちじるしく高いが 枯れるサカイメの含水率も いちじるしく高く、クチクラ蒸散がいちじるしくおおいので 土の水分が不足して 根からの水のトリイレが困難なときの水の消費は いちじるしくおおい。根の発達状態は 3樹種のうちの中間だ。

アカマツは 土がひどくかわいたときに 生きのびるのに おおくの点で 有利な性質をもつており、それらが くみあわされて 耐乾性もつともつよいという 結果をもたらす。スギとヒノキをくらべると、枯れるサカイメの含水率と 水を消費するハヤサの ふたつの点では スギがいちじるしく不利であり、水のトリイレについては ヒノキが不利であり、これらの 相反する ふたつの方向が くみあわされて、あるばあいには スギのほうが 耐乾性がつよいという 結果になり、あるばあいには ヒノキのほうが 耐乾性がつよいという 結果をもたらすと考えられる。また さらに これらの関係にくわえて、3樹種の 生長の習性のチガイ すなわち アカマツが 夏の危険期までに よく発達した根をつくり 低い T-R 率をもつということが はたらくと考えられる。枯れるにいたらないばあいにも 水をうしなうことによつて ナエが 部分的にいたむことが考えられるが、水をうしなうことによる ナエのイタミカタは アカマツがもつともすくなく スギがもつともひどいようだ。イタミカタのひどくなる サカイメの含水率も スギがもつともたかく ヒノキがもつともひくかつた。枯れないばあいにも ナエがひどくいたむことは それからあとの 生長にひびくことが おおきいとおもわれる。土のカワキの 生長におよぼす影響のウケカタも 樹種によつてちがひ、スギとヒノキでは わずかのカワキによつても 生長がさまたげられたが、アカマツは ごくひどいカワキによつてのみ 生長がさまたげられた。このチガイは それ自体としてよりも ほかの植物との 競争をとおして その樹種のナエの 生存に 影響すると考えられる。

2. この研究で ふれなかつた 二、三の問題について

おおくの 耐乾性の研究は いろいろな 形態的な特徴 たとえば 気孔の数 おおきさ 形 (たとえば 伊藤, 森下 1951, 岡崎たち 1953, 1954), 表皮のアツサ (たとえば 伊藤, 森下 1951) などを しらべている。しかしながら これらは おもに 蒸散量の多少をとおして イミをもつものであり, 蒸散量の測定のほうが より直接的だ。たとえば 表皮や クチクラの アツサと クチクラ蒸散とは かならずしも 関係をもっていないという (KAMP 1930)。この ようなことをしらべて 耐乾性を論ずることは, すでに MAXIMOW (1931) が指摘している ように, SCHIMPER (1898, p 6-25) の影響であり, 形態的な特徴から 生理的な性質を 演繹的にみちびくことなく, 反対に どのような性質が その耐乾性をたかめているかを 研究すべきだ (ECKARDT 1952, 1953)。

また 細胞液の滲透圧をしらべることによつて 耐乾性が論ぜられることがおおい (たとえば BINZ 1939)。しかしながら WALTER (1931, p.112) も のべているように 耐乾性を考えるときに 問題になるのは 滲透圧の Maximum であり, また それだけでは 耐乾性が決定されるわけではない。ただ 滲透圧の大小は, いわゆる 要水量の大小の問題とともに, 耐乾性と 相関々係があるばあいは あるとしても, かならずしも つねに なりたつわけではなく, おおくの 相反する実験結果があり, 因果的な説明は 困難だ。滲透圧と含水率とからもとめられる 溶質濃度 (SCHOPMEYER 1939, 畠山 1947, 岡崎 1950) についても かならずしも 一致した 見解は しめされていない。それで これらの問題には ふれなかつた。

3. 実験結果の適用の限界

マキツケナエだけについておこなわれた この実験の結果を そのまま 1年生以上のナエ および 成木 林分などに あてはめることは いろいろな点で 危険だ。マキツケナエは 形がちいさいだけでなく, 葉の形も 1年生以上のナエ および 成木とは ことなつている。したがつて その生理的な性質についても いろいろな チガイがあることが 考えられる。その うえ 根の発達程度の 樹種のあいだの関係も マキツケナエと それよりも としとつたものでは いくらか ちがうことも考えられる。また 成木では 枝や幹など 蒸散に関係のない おおきな部分があり, そこにふくまれている水も 水のトリイレがたりないときには 葉にあたえられるから, それらの部分の量と 葉の量との関係も 葉のかわくハヤサに 関係することが 知られている (PARKER 1954 a)。また この実験は 1種類の土だけについて おこなつて いるので 土の種類がちがえば こまかい点では いくらか ちがつた結果が 得られるかもしれない。土の含水率と 水分張力の 関係をしめす 曲線の型は 土の種類によつて かなりちがつており, 砂質の土では この実験につかつた 土にくらべると 含水率の高い部分がたいらで有効水分のなくなるあたりから 急に 曲線が立ちあがる 型をしめしている (RICHARDS and

WEAVER 1944)。KRAMER(1949,p.65—67)は 野外容水量と永久凋萎含水率のあいだの 土の水分の有効性についての 対立した ふたつの考えかたの 原因のひとつとして 土の含水率と水分張力の 関係をしめす曲線の 型のチガイを あげている。土のツブの組成によつて 土のかわいたばあいの 含水率の 垂直分布の型が ちがうことが 知られており、ツブのあらい土では はやく毛管の連絡がきれるために ツブのこまかい土にくらべると 表の層は はやくかわくが 下の層は よくしめつているという (WALTER 1926, 高橋 1941)。また 有効水分の絶対量が 砂質の土ではすくなく 粘質の土ではおおく、土の含水率と 水分張力の 関係をしめす 曲線の型が 土の種類によつて ちがうから、土のカワキのために ナエの枯れるハヤサは 土の種類によつて いちじるしく ちがうはずで、AUER (1948) は ヨーロッパのカラマツの マキツケナエについて そのような例を報告している。

4. 実用上の 二, 三の問題との関係

(1) 苗畑の灌水

ちかごろ 各地の苗畑で 灌水がおこなわれているが、はつきりした基準は しめされてはいないようだ。この実験の結果から 灌水の基準について 考えてみよう。土が永久凋萎含水率よりもかわいても スギ ヒノキ アカマツ とともに かなりながく 生きており、さらに土がかわくと まず スギとヒノキが 枯れはじめ、アカマツは かなりながく生きのびた。ただし 生きのびる期間は ほかの条件がおなじでも 土の種類によつて かなりちがうことは まえにのべたとおりだ。この結果と 雨のフリカタと土のカワキの関係とから 考えると、砂質の土をのぞけば 枯死をふせぐために 灌水の 必要なばあいは あまりないと考えられる。もし必要があるばあいは 胚軸にシワがよりはじめたところに 水をやれば 枯死をふせぐことができる。しかしながら 生長を問題にすると 灌水の必要は大きくなる。スギとヒノキは 土がかわげばかわくほど 生長がおさえられることが あきらかにされたから、ナエのオオキサだけを 問題にすれば 灌水は つねに 有効な手段だ。ところが アカマツは 土の有効水分の 2/3 がなくなつても まだ 生長には たいした影響をうけなかつたから、ナエの生長だけを問題にしても ひどく土がかわいたばあいのほかは 灌水の必要はないと 考えられる。ただし 苗畑の灌水の問題は 生長だけについて 考えるべきものではなく、ナエの質が おおきな問題になることは いうまでもない。

土の性質がちがうと ここに得られた結果が いくぶん 変動することが考えられるが、この実験の結果からは 灌水の基準として つぎのようなことが 考えられる。

a. 灌水をはじめめる時期

樹種によつてちがいが スギとヒノキでは まだ 土の有効水分が 2/3 以上のこつているとき、アカマツでは 有効水分が 1/3 以下になつたときに 灌水をおこなえばいい。

b. 一回の灌水量

灌水の一般式

$$\text{灌水量(mm)} = \frac{(\text{野外容水量} - \text{灌水前の含水率}) \times \text{土の容積重} \times \text{灌水すべき土の層のアツサ(mm)}}{100}$$

にしたがう。この式の項のうち 野外容水量と 土の容積重は 土の種類によつてちがひ、灌水前の土の含水率は 樹種によつて 適当にきめられ 上にあげたアタイと 土の種類によつてきまる。灌水すべき 土の層のアツサは 樹種の 根の発達状態によつて きまり、この実験で得られた 7—8月の 根のフカサをモトにすれば スギ：200mm ヒノキ：150mm アカマツ：200—250mm となり、式によつて1回の灌水量がもとめられる。一般的にいうと スギとヒノキでは すこしずつ 何回も、アカマツでは 必要がおこつたときに 多量に灌水することになる。

(2) 造林法そのほか

アカマツが スギやヒノキよりも かけはなれて 耐乾性がつよいことは、これらの樹種のうちで 側方天然下種や タネマキ造林ができるのは アカマツだけということの 理由の一部をよく説明する。また 夏に土がひどくかわく ハゲヤマ(佐藤, 名村 1954)に 侵入し得るのは ここにあげた3樹種のうちでは アカマツだけだ ということをよく説明する。さらにこの実験の結果を 拡張してあてはめれば 樹種の適地の問題にも 関連をもち得るかもしれないが、拡張はさける。

(3) 耐乾性の検定

林木の品種改良の 現在の段階では まだ あまり その必要はないかもしれないが、この実験で得られた結果には 耐乾性の判定に やくにたつ部分がある。切りとつたナエの 地上部の水をうしなうともなう 水分関係の変化 および カレカタは、土に植えられたものの 土のかわくともなつてしめす変化と ほぼおなじよう、根の発達状態の関係をのぞくとともに 枯れるまでにうしない得る水の量(有効含水率)と クチクラ蒸散量によつて 耐乾性がきまることがわかつた。このことから ここにあげた ふたつの項目について 葉を切りとつてしらべ、根の発達状態を くらべれば わりあい簡単に 耐乾性をくらべることができ、耐乾性品種の選択に やくにたつとおもわれる。この方法は MARQUARDT (1953) のとなえた 土がひどくかわいたときの 蒸散量をくらべる方法よりも 簡単におこなえるうえに 完全にしらべることができる。MARQUARDT のとなえた方法と おなじ程度のことをしらべるだけなら 切りとつた葉のクチクラ蒸散をくらべることによつて ほぼ見当をつけることができるとおもわれる。

XII あらまし

わがくにの もつともたいせつな 造林樹種である スギ ヒノキ アカマツの マキツケナエの耐乾性をくらべ、その耐乾性の よつてくるところを あきらかにした。

1. 耐乾性についての いろいろな考えかたを 文献についてしらべ、ここでとりあつかう問題の範囲を あきらかにした。

2. 田無苗畑での 土の水分測定の結果と、気象資料からもとめた ひきつづいて雨のふらない日の頻度から 土のカワキが マキツケナエにとつては 重要な 生育条件であることをたしかめた。

3. 根のはいるフカサを制限しない 自然条件にちかえばあいには、アカマツ スギ ヒノキの順に 耐乾性がつよく、このチガイは 枯れるものが ではじめる時期の 枯れブアイのチガイによるところが おおきい。ところが 根のはいるフカサを制限して 実験をおこなうと、アカマツの耐乾性をもつともつよいことは かわらないが、スギとヒノキの順位はいれかわつた。このチガイから 根のはいるフカサが 耐乾性に影響することが 考えられるが、根のはいるフカサ T-R 率 および 根のオモサなどは、おなじ樹種のなかの 生きのこつたものと 枯れたものの 耐乾性のチガイを 説明することは できるが、樹種のあいだの 耐乾性のチガイを 説明するには じゆうぶんではなかつた。根の影響をのぞくために 地上部だけの カワキに対する抵抗性を くらべたところ 根のはいるフカサを制限したばあいとおなじく アカマツ ヒノキ スギの順に 抵抗性がつよかつたので、樹種のあいだの 耐乾性のチガイには 根の発達だけでなく 地上部のいろいろな性質が 関係していることがわかつた。

4. できるだけちいさなイレモノに 土をいれて スギ ヒノキ アカマツを タネからそだて、土を自然にかわかして ふたたび じゆうぶんに 水をやるまえの 最低の含水率を いろいろとかえることによつて、マキツケナエの生長におよぼす 土のカワキの影響をくらべた。スギ ヒノキ は土のカワキの影響を いちじるしくうけ、土が わずかにかわいても 生長はおとろえるが、アカマツは 影響がすくなく、土の含水率が 永久凋萎含水率よりも さがるばあいにだけ 生長がさまたげられた。土のカワキに対する反応は 生長量だけでなく いろいろな点についても 樹種によるチガイがみられた。ごくみじかい期間の 生長についても 実験をおこない、スギとヒノキの 生長がとまる含水率でも アカマツは なお 生長をつづけていることがわかつた。さらに 土のカワキの程度を 土の平均水分張力として あらわして いつそう定量的に とりあつかい、土のカワキの影響の アラワレカタを考察した。

5. 土がひどくかわくオツレの もつともおおい 7—8月における スギ ヒノキ アカマツの 根の量を、オモサとナガサについては おおくの試料について 実測し、表面積と 根

端の数を 小数の試料についての 実測値をつかつて 推定し、フカサ 5 cm ごとの 土の層に ふくまれる 根について これらの量をもとめた。根の量と分布については アカマツが 土のカワキにたえるのに とびはなれて つごうがよく、スギとヒノキでは スギが やや有利だった。

6. 根と地上部の現存量 根のはいるフカサと垂直分布 T-R 率 単位期間に生産された物質の地上部と根への分配などの 生育期間をとおしての変化をしらべた。根の現存量 生長量 およびはいるフカサは アカマツが つねに もつともおおく、ヒノキが もつともすくなかつた。根の生長量の 季節配分は アカマツが 夏 土のかわくオソレのもつともおおい時期までに 年間の生長量の かなりの部分をすませて カワキにたえるのに もつともつごうのいい型をとつており、スギとヒノキのあいだには この点については チガイはなかつた。単位期間に生産された物質のうち 根の生長につかわれる部分の フリアイは、アカマツが つねに もつともおおく、ヒノキは スギよりも ややおおかつた。T-R 率は アカマツが つねに もつとも低く、スギは ヒノキよりも やや低く、その季節的な変化は アカマツでは 変動がすくなかつたが、スギとヒノキでは 土がかわくオソレのある 時期には そのオソレのすくない 時期よりも かえつて高かつた。これらのことから 生長の型は アカマツが スギやヒノキよりも 夏にカワキのオソレのある時期をむかえるのに 適しているようだ。

7. ナエの含水率が どのくらいさがつても 生きていられるかを いろいろな方法で くらべたところ、ヒノキが もつとも低い含水率で 生きていることができ、スギが もつとも高い含水率で 枯れることが わかつた。また 枯れるまでに うしなうことのできる 水の量は 絶対量では スギがもつともおおく アカマツがもつともすくないが、これを 健全な状態でも つ 含水率に対する フリアイであらわすと ヒノキがもつともおおく スギとアカマツでは あまりちがわなかつた。

8. いろいろな程度に 水をうしなつたナエの 地上部に ふたたび 水をあたえて、水を うしなつた程度と 含水率の回復度との関係をしらべた。水をうしなつたときの 含水率 および 水をうしなつたフリアイと 含水率の回復度との関係は 直線的ではなく、ある程度までは 水をうしなつても 回復度はそれほどおちないが、その限度をこえて水をうしなうと 回復度は 水をうしなつた程度にともなつて 急速におちる。この限界は 生きるか死ぬかのサカイメよりも かなり上にあり、水をうしなうことによる ナエの 部分的な組織の 枯死がはじまり、イタミカタが ひどくなる点だと 考えた。この点の 含水率は スギがもつとも高く ヒノキが もつとも低かつた。

9. これらの サカイメの 含水率のチガイだけでは まだ 耐乾性のチガイを説明するのに じゅうぶんでなく、それらの 限界の含水率にいたるまで 水をうしなう ハヤサが おお

きなヤクワリをはたすと 考えられるので、土がかわくにもなり ナエの含水率と蒸散量の変化を しらべた。蒸散量は 土の含水率が 野外容水量と永久凋萎含水率のあいだの ある点 (実験の条件によつていくらかことなる) にさがるまでは あまり変化しないが、それ以下にさがると 蒸散量は はげしくへりはじめ、土が 永久凋萎含水率まで かわくと 蒸散量は きわめてすくなくなり、それ以後 あまり変化しない。このときの蒸散は クチクラ蒸散と考えられる。土がひどくかわいてからは 1日のうちの 蒸散量の変化は わずかだつた。ナエの含水率は 土に有効水分のあるあいだは ほとんどかわらなかつたが、土の含水率が 永久凋萎含水率までさがり、蒸散量が きわめてすくなくないアタイに おちつくと同時 あるいは すこしまえから さがりはじめた。これらの生活現象の 質的な変化の関係については 樹種のあいだにチガイは見られなかつた。しかし量的には ことに 土が永久凋萎含水率よりもかわいたあとには チガイが見られ、蒸散量は アカマツがもつともすくなく スギがもつともおおかつた。含水率のヘリカタは アカマツがもつともすくなく スギとヒノキでは 根のはいるフカサを制限するか しないかによつて 順位がちがつた。蒸散量の調節されるハバは アカマツがもつともひろく スギがもつともせまかつた。

10. 含水率の変化のシカタに 根のはいるフカサの影響が あらわれていたので、根の影響をのぞくために、切りとられて 水の補給をたつた ナエの 地上部の 水をうしなつてゆく スジミチをしらべた。水の補給をたつと 蒸散量は急速にさがり、1—2時間後には ごくすくない あまり変化しない アタイに おちつた。このときの蒸散量(クチクラ蒸散と考えられる)は スギがもつともおおく アカマツがもつともすくなかつた。蒸散量の調節されるハバは アカマツがもつともひろく スギがもつともせまかつた。ナエの含水率のへるハヤサも スギがもつともはやく アカマツがもつともおそかつたが、これを ナエが 枯れるまでに うしなうことのできる 水の量をモトにして 考えると その傾向が いつそう はつきりした。すなわち もはや 生きていられないまでに 水をうしなう ハヤサは スギがもつともはやく アカマツがもつともおそいことになる。いいかえれば 水をあたえられずに 生きている時間は スギがもつともみじかく アカマツがもつともながいことがわかつた。

11. 以上の結果をもちいて 植物体の含水率の変化をあらわす一般式

$$W_t = W_0 + \int_0^t A dt - \int_0^t Tr dt$$

(W_0 : あるときの含水率, W_t : それから t 時間後の含水率, A : 水のトリイレの 時間的変化をあらわす式, Tr : 蒸散量の時間的変化をあらわす式)

を変形して、スギ ヒノキ アカマツの 耐乾性のチガイ すなわち 土が永久凋萎含水率までかわいてからあとの 生存時間 (t) の長短は、健全なときの含水率 W , 枯れるか枯れないか

のサカイメの含水率 W_i 、そのようなときの蒸散量 (シチクラ蒸散と考えられる) の平均値 \bar{tr} 、そのようなときの根からの吸水量の平均値 \bar{a} によってきまる。すなわち

$$t = \frac{W - W_i}{\bar{tr} - \bar{a}}$$

であることを 近似的にみちびいた。 t をきめる 4 変数のうち、 W W_i \bar{tr} の大小は すでに実測され、 \bar{a} は 根の発達状態によつてきまると考えると、これらの変数の 樹種のあいだの関係は

W : スギ \gg ヒノキ $>$ アカマツ

W_i : スギ \gg アカマツ $>$ ヒノキ

\bar{tr} : スギ $>$ ヒノキ \gg アカマツ

\bar{a} : アカマツ \gg スギ $>$ ヒノキ

ということになる。結果から考えると t と \bar{a} が もっともおおきなハタラクキをしているようだ。

12. 以上の結果から 苗畑の灌水 耐乾性の検定 造林法などの 実用上の問題に 考察をくわえた。

XIII. 文 献

ALDRICH, W. W., WORK, R. A., & LEWIS, M. R., 1935. Pear root concentration in relation to soil moisture extraction in heavy clay soil. J. Agr. Res. 59 : 975—988.

有賀好文, 1950. 土壌内含水度を異にせる場合に於ける桐の種子発芽度及び幼植物の發育度の比較. 岐阜農専報告 68, 159—168.

ARLAND, A., 1929. Zur Methodik der Toanspirationsbestimmung am Standort. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 47 : 474—479.

ARVIDSON, I., 1951. Austrocknungs- und Dürreeristenzverhältnissen einiger Repräsentanten olandischer Pflanzenverein, nebst Bemerkungen über Wasserabsorption durch oberirdische Organe. Oikos, Suppl. 1 : 1—181. (BOURDEAU 1954 による)

AUER, C., 1948. Untersuchungen über Dürreeristenz und Wachstum von Lärchenkeimlingen auf verschiedenen Horizonten des Eisenpodosols subalpiner Aruen-Lärchenwäldungen. Vegetatio 1 : 79—82.

AYERS, A. D., WADLEIGH, C. H., & MAGISTAD, O. C., 1943. The interrelationships of salt concentration and soil moisture content with the growth of beans. J. Am. Soc. Agron. 35:796—810.

BAKER, F. S., 1950. Principles of silviculture.

BIALOGLOWSKI, J., 1936. Effect of extent and temperature of roots on transpiration of rooted lemon cuttings. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 34 : 96—102.

BINZ, E., 1939. Untersuchungen über die Dürreeristenz verschiedener Getreidensorten bei Austrocknung des Bodens. Jb. wiss. Bot. 88 : 470—518.

BOURDEAU, P., 1954. Oak seedling ecology determining segregation of species in Piedmont oak-hickory forests. Ecol. Monogr. 24 : 297—320.

BREWIG, A., 1933., Ein Beitrag zur Analyse der Transpirationswiderstandes. Planta 20 : 734—791.

CHU, C. R., 1936. Der Einfluss des Wassergehaltes der Blätter der Waldbäume auf ihre Lebensfähigkeit, ihre Saugkraft und ihren Turgor. Flora 30 : 384—437.

- DAUBENMIRE, R. F., 1943. Soil temperature versus drouth as a factor determining lower altitudinal limits of trees in the Rocky Mountains. *Bot. Gaz.* **105** : 1—13.
-, & CHARTER, H. E., 1942. Behavior of woody desert legumes at the wilting percentage of the soil. *Bot. Gaz.* **103** : 762—770.
- DAVIS, C. H., 1942. Responses of *Cyprus rotundus* L. to five moisture levels. *Plant physiol.* **17** : 311—316.
- DITTMER, H. J., 1937. A quantitative study of the roots and root hairs of winter rye plant (*Secale cereale*). *Am. J. Bot.* **24** : 417—420.
-, 1938. A quantitative study of the subterranean members of three field grasses. *Am. J. Bot.* **25** : 654—657.
-, 1947. A comparative study of the roots and root hairs in eighteen plant species. *Am. J. Bot.* **34** : 582—583.
- ДОЛГОВ, С. И., 1947. О доступности дря растений почвенной влаги. *ДАН* **55** : 453—456.
- ECKARDT, F., 1952. Rapport entre la grandeur des feuilles et le comportement physiologique chez les xérophytes. *Physiol. Plant.* **5** : 52—69.
-, 1953. Transpiration et photosynthèse chez un xérophyte mésomorphe. *Physiol. Plant.* **6** : 253—261.
- FIRBAS, F., 1931. Untersuchungen über den Wasserhaushalt der Hochmoorpflanzen. *Jb. wiss. Bot.* **74** : 459—696.
- FOWELLS, H. A., & KIRK, B. M., 1945. Availability of soil moisture to ponderosa pine. *J. Forest.* **43** : 601—604.
- GAIL, F. W., & LONG, E. M., 1935. A study of site, root development and transpiration in relation to the distribution of *Pinus contorta*. *Ecol.* **16** : 88—100.
- GÄUMANN, E., & JAAG, O., 1936. Untersuchungen über die pflanzliche Transpiration. *Ber. Schweiz. Bot. Ges.* **45** : 411—518.
- 玄信圭, 1937. 日照射度及び土壤含水量を異にする場合に於けるアカマツ及びヒノキの種子発芽度及幼植物発育度の比較. 九大農, 学芸雑誌 **7** : 373—404.
- GRADMANN, H., 1932. Untersuchungen über die Abhängigkeit der Transpiration und des Welkens von den Wasserverhältnissen des Bodens. *Jb. wiss. Bot.* **76** : 558—663.
- HAIG, I. T., 1936. Factors controlling initial establishment of western white pine type. *Yale Univ. School Forest. Bull.* **41**.
-, DAVIS, K. P., & WEIDMAN, R. H., 1941. Natural regeneration in the western white pine type. *U.S. Dept. Agr. Tech. Bull.* **767**.
- HANSEN, H. C., 1926. The water retaining power of the soil. *J. Ecol.* **14** : 111—119.
- HARTEL, O., 1936. Pflanzenökologische Untersuchungen an einem xerothermen Standort bei Wien. *Jb. wiss. Bot.* **83** : 1—59.
- 長谷川孝三, 1933. 金属塩類に依る種子の活力検定と其応用. *日林誌* **15** : 228—235.
- 畠山伊佐男, 1947. 植物水分経済の研究. 第1報 特に耐乾性に就いて. *生理生態* **1** : 15—30.
- HENDRICKSON, A. H., & VEIHMAYER, F. J., 1941. Moisture distribution in soil in containers. *Plant Physiol.* **16** : 821—829.
- 平野 俊, 藤井兵夫, 1954. 瀬戸内禿山地帯の土壤水分と生産力. *農及園* **29** : 1315—1316.
- 平田徳太郎, 神保幸雄, 1928. 樹木の通気量測定試験成績(第1回) 森林治水気象彙報 **10**, 1—46.
- HUBER, B., 1924. Transpiration in verschiedener Stammhöhe. 1. *Sequoia gigantea*. *Z. f. Bot.* **15** : 465—501.
-, 1927 a. Die Beurteilung des Wasserhaushalt der Pflanze. *Jb. wiss. Bot.* **64** : 1—120.
-, 1927 b. Zur Methodik der Transpirationsbestimmung am Standort. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* **45** : 611—618.
-, 1931. Trockenanpassung in der Wipfel. *J. Ecol.* **19** : 283—291.
- 藤村重任, 1950. 日本森林資源の分析. 第2部. 産業構造と森林資源・林業技術叢書 **6**.

- HYGEN, G., 1951. Studies in plant transpiration I. *Physiol. Plant.* **4** : 57—183.
 ……………, 1953 a. Studies in plant transpiration II. *Physiol. Plant.* **6** : 106—133.
 ……………, 1953 b. On the transpiration decline in excised plant samples. *Skrift. Norske Videnskaps-Akad. Mat. - Nat. Kl.* 1953. No. 1.
- 石原供三, 鷲見四郎, 1940. トドマツ及エゾマツ稚樹の生育に適當なる水分量に就て. 昭 15 日林講 37—41.
 石川静一, 1933. 杉, 赤松, 子苗の発生, 消失及生長と之に及ぼす環境主として気象因子に関する実験的考察. 日林誌 **15** : 236—271.
 伊藤悦夫, 1951a. クロマツに関する基礎的研究 I. クロマツ苗木の乾燥過程に就て. 特に二, 三針葉樹との比較. 静岡農大報告 **2**, 46—54.
 ……………, 1951 b. クロマツに関する基礎的研究 II. クロマツ苗木の乾燥と水耕に依る凋萎の状況について. 特に二, 三針葉樹との比較. 静岡農大報告 **2**, 55—61.
 ……………, 稲川悟一, 加藤寿彦, 1953. 土壤水分のちがいがアカマツ, クロマツの苗木の生育に及ぼす影響. 静岡農大報告 **3**, 144—152.
 ……………, 森下友治, 1951. クロマツ及アカマツの二, 三の生理的性質とその針葉の蒸散組織との関係について. 59 回日林講 119—122.
- IWANOFF, L., 1928. Zur Methodik der Transpirationsbestimmung am Standort. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* **46** : 306—310.
- 門田正也, 1950. クロマツの蒸散量について. 東大立研報 **4**, 41—48.
- KAMP, H., 1940. Untersuchungen über Kutikularbau und kutikuläre Transpiration. *Jb. wiss. Bot.* **72** : 413—415.
- 加藤亮助, 1954a. カラマツの水分経済 (予報). 63回日林講 164—166.
 ……………, 1954b. 土の乾燥がカラマツの水分生理におよぼす影響 (予報). 林試北海道支場業務報告特別報告 **2**, 75—80.
- KILLIAN, C., 1947. Le déficit de saturation hydrique chez les plantes Sahariennes. *Rev. Gen. Bot.* **54** : 81—101.
- 小林 章, 1948. 果樹園の灌水量算出法への一考察. 農学 **2**: 145—151.
 ……………, 中川昌一, 1949. 果樹の耐乾性に関する研究 (1) 果樹種類間の耐乾性の比較 (予報). 農及園 **24**: 467—468.
- 瀧瀬理一郎, 1931. 高等植物水分生理.
 香山信男, 1943. アカマツ天然更新の基礎要件としての陽光及土壤水分. 朝鮮林試報 **35**.
- KOZŁOWSKI, 1949. Light and water in relation to growth and competition of Piedmont forest tree species. *Ecol. Monogr.* **19**, 209—231.
 …………… & SCHOLTES, W.H., 1948. Growth of roots and root hairs of pine and hardwood seedlings in the Piedmont. *J. Forest.* **46** : 750—754.
- KRAMER, P. J., 1941. Soil moisture as a limiting factor for active absorption and root pressure. *Am. J. Bot.* **28** : 446—451.
 ……………, 1946. Absorption of water through suberized roots of trees. *Plant Physiol.* **21** : 37—41.
 ……………, 1949. Plant and soil water relationships.
 …………… & COLLE, T.S., 1940. An estimation of the volume of water made available by root extension. *Plant Physiol.* **15** : 743—747.
- Красносельская-Максимова, Т.А., 1931. Опыт Физиологического анализа захвата при помощи искусственного сухояя. Труд. по Пригл. Бот., Ген., и Селекц. **25** : 3—44.
- LAKON, G., 1942. Topographischer Nachweis der Keimfähigkeit der Getreidefrüchte durch Tetrazoliumsalze. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* **60** : 299—305. (LAKON 1949 による)
 ……………, 1949. The topographical tetrazolium method for determining the germinating capacity of seeds. *Plant Physiol.* **24** : 389—394.
- LANE, R.D., & McCOMB, A.L., 1946. Wilting and soil moisture depletion by tree seedings and grass. *J. Forest.* **46** : 344—349.

- LAUSTALOT, A. J., 1945. Influence of soil moisture conditions on apparent photosynthesis and transpiration of pecan leaves. *J. Agr. Res.* **71**: 519—532.
- LEMEÉ, G., 1953. Influence de la culture en sol sec ou en voie d'assèchement sur la physiologie de l'eau du *Lepidium sativum*. *C.R. Acad. Sci., Paris* **236**: 2260—2262.
- LEVITT, J., 1951. Frost, drought, and heat resistance. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **2**: 245—268.
- MARQUARDT, H., 1953. Über eine Methode zur züchterischen Bearbeitung von Standortseigenschaften bei der Pappel. *Züchter* **23**: 365—370.
- MARSHALL, R., 1930. An experimental study of the water relations of seedling conifers, with special reference to wilting. *Ecol. Monogr.* **1**: 37—93.
- MARTIN, E. V., 1940. Effect of soil moisture on growth and transpiration in *Helianthus annuus*. *Plant Physiol.* **15**: 449—466.
- 松本和夫, 1951. 枳殻と柚の耐乾性並に耐水性の比較. *園芸研究集録* **5**, 65—68.
- МАКСИМОВ, Н. А., 1926. Физиологический основы засухоустойчивости растений. *Прил.* **26** в Труд. по Прикл. Бот. и Селект. (Избр. Работы по засухоустойчивости и зимоустойчивости растений. **1**, 137—416. 1952.)
- (YAPP 訳編) *Plant in relation to water.* 1929.
- (YAPP 訳編より大賀一郎訳) *植物と水.* 1930.
- МАХИМОВ, N. A., 1931. The physiological significance of the xerophic structure of plants. *J. Ecol.* **19**: 273—282.
- Максимов, Н. А., 1943. Развитие учения о водном режиме и засухоустойчивости растений от Тимирязева до наших дней. Изд. А. Н., СССР **47** (Избр. Работы по засухоустойчивости и зимоустойчивости растений. **1**, 21—54. 1952.)
- МАХИМОВ, N. A., & КРАСНОСЕЛЬСКИЙ-МАХИМОВ, T. A., 1924. Wilting of plants in its connection with drought resistance. *J. Ecol.* **12**: 95—110.
- McDERMOTT, J. J., 1945. The effect of the moisture content of the soil upon the rate of exudation. *Am. J. Bot.* **32**: 570—574.
- McQUILKIN, W. E., 1935. Root development of pitch pine, with some comparative observations on shortleaf pine. *J. Agr. Res.* **51**: 983—1016.
- MENDEL, K., 1945. Orange leaf transpiration under orchard conditions. II. Soil moisture content decreasing. *Palestine J. Bot., Ser. R.* **5**: 59—85. (*Biol. Abstr.* **20**/11132)
-, 1951. Orange leaf transpiration under orchard conditions. III. Prolonged soil drought and the influence of stocks. *Palestine J. Bot., Ser. R.* **8**: 45—53.
- MONSI, M., 1944. Untersuchungen über die pflanzliche Transpiration, mit besonderer Berücksichtigung der stomatären und inneren Regulation. *Japan. J. Bot.* **13**: 367—433.
- 中川昌一, 宮田 滋, 1954. 葡萄砧木品種の耐乾性及び耐水性の比較. *農及園* **29**: 675—676.
- NEGER, F. W., & FUCHS, J., 1915. Untersuchungen über den Nadelfall der Koniferen. *Jb. wiss. Bot.* **55**: 608—688.
- 根岸賢一郎, 佐藤大七郎, 1954a. 土のカワキがアカマツのナエの同化, 呼吸, 蒸散, 貯蔵炭水化物, 生長にあたる影響. *日林誌* **36**: 66—71.
-, 1954b. 土のカワキとアカマツ, スギのナエの同化, 呼吸量との関係. *日林誌* **36**: 113—117.
-, 1955. 土の水分とアカマツ, スギのナエの同化, 呼吸量. *日林誌* **37**: 100—103.
- 野原勇太, 1942. ヒノキ苗木の旱害対策に就て. *御料林* **173**, 52—57.
- 岡崎文彬, 1950. スギの水分生理. (佐藤彌太郎編) *スギの研究*, 326—337.
-, 1951. 土壌含水量がスギおよびヒノキの稚苗の生育ならびに体内水分生理におよぼす影響. *日林誌* **33**: 323—325.
-, 柴田信男, 磯野英則, 1953. 稚樹の耐乾性に関する研究 (第1報). 土壌水分がスギ稚樹の針葉における滲透濃度ならびに気孔状態に及ぼす影響. *62 回日林講* 129—131.
-, 和田茂彦, 1954. 稚樹の耐乾性に関する研究 (第2報) 土壌水分が稚樹の耐乾

性におよぼす影響。63回日林講 161—164.

OPPENHEIMER, H.R., 1932. Zur Kenntnis der hochsommerliche Wasserbilanz mediterraner Gehölze. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 50a : 185—243.

....., 1947. Studies on the water balance of unirrigated woody plants. Palestine J. Bot., Ser. R. 6 : 63—77.

PARKER, J., 1949. Effect of variation in the root-leaf ratio on transpiration rate. Plant Physiol. 24 : 729—734.

....., 1951. Moisture retention in leaves of conifers of the Northern Rocky Mountains. Bot. Gaz. 113 : 210—216.

....., 1952. Desiccation in conifer leaves : Anatomical changes and determination of the lethal level. Bot. Gaz. 114 : 189—198.

....., 1953a. Some applications and limitations of tetrazolium chloride. Science 118 : 77—78.

....., 1953b. Criteria of life : Some methods of measuring viability. Am. Scientist 41 : 614—618.

....., 1954a. Available water in stem of some Rocky Mountain conifers. Bot. Gaz. 115 : 380—385.

....., 1954b. Differences in survival of excised ponderosa pine leaves of various ages. Plant Physiol. 29 : 486—487.

....., 1955. Annual trend in cold hardiness of ponderosa pine and grand fir. Ecol. 36 : 377—380.

PAVLYCHENKO, T.K., 1937a. The soil-block washing method in quantitative root study. Canad. J. Res., C, 15 : 33—57.

....., 1937b. Quantitative study of the entire root system of weed and crop plants. Ecol. 18 : 62—79.

PFLIEDERER, H., 1933. Kritische Untersuchungen zur Methodik der Transpirationsbestimmung an abgeschnittenen Sprossen. Z. f. Bot. 26 : 305—327.

PISEK, A., & BERGER E. 1938. Kutikuläre Transpiration und Trockenresistenz isolierter Blätter und Spross. Planta 28 : 124—155.

....., & LARCHER, W., 1954. Zusammenhang zwischen Austrocknungsresistenz und Frosthärte bei Immergrünen. Protoplasma 44 : 30—46.

....., & TRANQUILLINI, W., 1951. Transpiration und Wasserhaushalt der Fichte (*Picea excelsa*) bei zunehmender Luft- und Bodentrockenheit. Physiol. Plant. 4 : 1—27.

....., & WINKLER, E., 1953. Die Schliessbewegung der Stomata bei ökologisch verschiedenen Pflanzentypen in Abhängigkeit von Wassersättigungszustand der Blätter und vom Licht. Planta 42 : 253—278.

REED, J.F., 1939. Root and shoot growth of shortleaf and loblolly pines in relation to certain environmental conditions. Duke Univ. School Forest. Bull. 4.

RICHARDS, L.A., 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. Soil Sci. 66 : 105—110.

....., & WADLEIGH, C.H., 1952. Soil water and plant growth. Soil physical conditions and plant growth (SHAW, B. T., ed.), 73—251.

....., & WEAVER, L.R., 1944. Moisture retention by some irrigated soils as related to soil moisture tension. J. Agr. Res. 69 : 215—235.

ROGERS, W.S., & VYVYAN, M.C., 1934. Root studies. V. Rootstock and soil effect on apple root system. J. Pom. Hort. Sci. 12 : 110—150.

ROUSCHAL, E., 1938. Zur Ökologie der Macchien. I. Der sommerliche Wasserhaushalt der Macchienpflanzen. Jb. wiss. Bot. 87 : 436—527.

坂口勝美, 野原勇太, 1939. 苗木の乾燥が活着並に生長に及ぼす影響に就て. 御料林 131, 45—59.

佐藤大七郎, 名村次郎, 1953. 土がかわくにつれてアカマツのマキツタ苗の水分関係はどうかわるか.

- 日林誌 35 : 71—73.
-,; 1955. 夏にハゲヤマの土が水をひきとめているチカラをはかった一例. 日林誌 37 : 253.
- 佐藤義夫, 山口千之助, 1940. 針葉樹の稚苗の耐乾性と土壤吸水力との関係. 日本学術協会報告 15 : 92—94.
- SCHIMPER, A. F. W., 1898. Pflanzen-geographie auf physiologischer Grundlage.
- SOHNEIDER, G. W., & CHILDERS, N. F., 1941. Influence of soil moisture on photosynthesis, respiration and transpiration of apple leaves. *Plant Physiol.* 16 : 565—583.
- SCHOPMEYER, C. S., 1939. Transpiration and physico-chemical properties of leaves as related to drought resistance in loblolly pine and shortleaf pine. *Plant Physiol.* 14 : 447—462.
- SCHRATZ, E., 1931. Vergleichende Untersuchungen über den Wasserhaushalt von Pflanzen im Trockengebiet des südlichen Arizona. *Jb. wiss. Bot.* 74 : 153—290.
-, 1932. Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Transpiration und Blattstruktur. *Planta* 16 : 17—69.
- SCHRÖDER, D., 1909. Ueber den Verlauf des Welkens und die Lebensfähigkeit der Laubblätter. Dissert. Göttingen. (MACHMOB 1926, PARKER 1951 による)
- SEYBOLD, A., 1929. Die physikalische Komponente der pflanzlichen Transpiration. Monogr. aus dem Gesamtgebiet der wiss. Bot. 2.
- SHAFFER, J., 1942. Water loss from excised leaves. *Am. J. Bot.* 29 : 89—91.
- SHIRLEY, H. L., 1934. A method of studying drought resistance in plants. *Science* 79 : 14—16.
-, & MUELI, L. J., 1939a. Influence of moisture supply on drought resistance of conifers. *J. Agr. Res.* 59 : 1—21.
-, 1939b. The influence of soil nutrients on drought resistance of two-year-old red pine. *Am. J. Bot.* 26 : 355—360.
- 芝本武夫, 1951. スギ及ヒノキ苗木の成長と土壤水分に関する研究. 育苗研究会記録, 1—22.
- 柴田信男, 1933. 杉実生稚樹の発生当初よりの生長過程に就て. 第1報. 発生当年の成長経過. 日林誌 15 : 794—819.
-, 1953. スギ林とその環境. (佐藤彌太郎編) スギの研究, 226—325.
-, 1951. スギ, ヒノキ, アカマツの造林学的取扱法に対する基礎的考察. 京大演義報 2, 19—32.
- STÄLFELT, M. G., 1928. Die Abhängigkeit der Spaltöffnungsreaktion von der Wasserbilanz. *Planta* 8 : 287—340.
-, 1932. Die stomatäre Regulation der pflanzlichen Transpiration. *Planta* 17 : 22—85.
- STOCKER, O., 1929a. Eine Feldmethode zur Bestimmung der momentanen Transpiration- und Evaporationsgrösse. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* 47 : 126—129, 130—136.
-, 1929b. Das Wasserdefizit von Gefässpflanzen in verschiedenen Klimazonen. *Planta* 7 : 382—387.
-, 1947. Problem der pflanzlichen Dürresistenz. *Naturwiss.* 34 : 362—371. (*Biol. Abstr.* 23/16800)
-, 1948. Beiträge zu einer Theorie der Dürresistenz. *Planta* 35 : 445—466.
-, 1954. Die Trockenresistenz der Pflanzen. 11e Congrès Internat. Bot. 223—232.
-, REHM, S., & SCHMIDT, H., 1943. Der Wasser- und Assimilationshaushalt dürreresistenter und dürr empfindlicher Sorten landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. *Jb. wiss. Bot.* 91 : 1—53, 273—330. (LEVITT, 1951 による)
- 高橋基生, 1941. 寡雨地域造林に関する基礎的諸問題 1. 植物生態学報 1, No. 2, 34—42.
- 田崎忠良, 1951. 防潮林の生態学研究 (V). クロマツ当年生稚苗の生育について. 東大立研報 7, 20—25.
- 徳川宗敬, 1941. 江戸時代における造林技術の史的研究.
- VEHMEYER, F. J., & HENDRICKSON, A. H., 1938. Soil moisture as an indication of root distr-

- ibution in deciduous orchards. *Plant Physiol.* **13** : 169—177.
-, , 1950. Soil moisture in relation to plant growth. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **1** : 285—304.
- WADLEIGH, C. H. 1946. The integrated soil moisture stress upon a root system in a large container of saline soil. *Soil Sci.* **61** : 225—238.
-, & AYERS, A. D., 1945. Growth and biochemical composition of bean plants as conditioned by soil moisture tension and salt concentration. *Plant Physiol.* **20** : 106—132.
-, & GAUCH, H. G., 1948. Rate of leaf elongation as affected by the intensity of total soil moisture stress. *Plant Physiol.* **23** : 485—495.
-, , & MAGISTAD, O. C., 1946. Growth and rubber accumulation in guayule as conditioned by soil salinity and irrigation regime. U.S. Dept. Agr. Tech. Bull. **925**.
- WALTER, H., 1926. Die Anpassungen der Pflanzen an Wassermangel. Das Xerophytenproblem in kausal-physiologischer Betrachtung. *Naturwiss. u. Landwirts.* **9**.
-, 1931. Die Hydratur der Pflanze.
- 渡辺為吉, 1908. 乾燥せる苗木スギ, ヒノキ, アカマツの枯損試験. *山林会報* **303**, 7—15.
- WEAVER, J. E., & VOIGT, J. W., 1950. Monolith method of root-sampling in studies on succession and degeneration. *Bot. Gaz.* **111** : 286—299.
- 山田藤吾, 1950. 林木の耐乾性に関する研究. 1. 林木の耐乾性と T/R 率について (予報). *林学会関西支部講演集*, 43—44.
- 山中罔利, 1950. 畑地の土壤乾燥型態. *農業気象* **6** : 17—20.
- YANAGISAWA, T., & ASAKAWA, S. 1953. Woody plant seed viability test with tetrazolium salts. *日林誌* **35** : 40—42.
- YAPP, R. H., 1912. *Spiraea Ulmaria*, L., and its bearing on the problem of xeromorphy in marsh plants. *Ann. Bot.* **26** : 815—870.
- 神 キヨシ, 1952. 苗木の TR 率と耐乾性 (特にアカマツとクロマツの差について). 61回日林講 **73—74**.

Résumé

In Japan, in spite of abundant annual precipitation, irregularity in its distribution (Table 1—3) causes sometimes severe drying of the soil in the summer (Fig. 1—2). Seedlings of conifers, which has not yet developed sufficient root systems to intake moisture from the deeper layers of the soil which is still fairly moist in such cases, suffers seriously from the deficiency of soil moisture on their first summer after the emergence from seeds. Experimental studies were carried out on the drought resistance of such seedlings of *Cryptomeria japonica*, *Chamaecyparis obtusa*, and *Pinus densiflora*, which are among the most important forest tree species in Japan, and the factors determining the differences in the resistance among species were investigated.

Several days after the available water in the soil was exhausted, seedlings of the three species began to be killed. When roots were left to penetrate freely into deeper layers of the soil as they do naturally, resistance to drought was strongest in *P. densiflora* and weakest in *Ch. obtusa* (Fig. 4, 7). However, when the depth of penetration of the roots was limited by planting seedlings in shallow containers, rank order of the resistance changed; the mortality of *P. densiflora* was also lowest in this case too, but the mortality of *Cr. japonica* was higher than that of *Ch. obtusa* (Fig. 11, 12). This result suggests that the depth to which roots penetrate affects the drought

resistance, and that care should be taken about the depth of containers used in experiments comparing drought resistance among species. However, the depth to which roots penetrate, weight of root systems, and top-root ratios had no consistent relation with the differences in drought resistance among the species, though they showed always close relation with the difference in drought resistance among individuals of the same species (Fig. 13—16). To eliminate the influence of the differences in the root systems, tops of the seedlings were detached from the root systems and their desiccation resistance was compared under controlled air humidity. In this case, the rank order of resistance was the same as when the depth of penetration of root systems is restricted, independent of the air humidity, i. e., the rank order of desiccation resistance lined up as *P. densiflora*, *Ch. obtusa*, *Cr. japonica*. (Fig. 17). This result shows that lethal drought resistance is also affected by various properties of the shoots.

Responses of the growth of the three species to the soil moisture deficiency were compared by growing seedlings of them from seeds in little containers (Fig. 19). Soil moisture in containers was regulated by modifying its lower limit, soil was allowed to dry out to various limits and when it was reached water was supplied again to a little above the field capacity (Fig. 20, Table 11). Growth of seedlings of *Cr. japonica* and *Ch. obtusa* was affected by a slight decrease of soil moisture below the field capacity, and the effects became more intense with increasing soil moisture deficiency, whereas the growth of seedlings of *P. densiflora* decreased only when the soil moisture was depleted to below the permanent wilting percentage before rewatering (Fig. 24, Table 12, 13). In the course of their growth, shrinking of diameter of the hypocotyl was observed, and it was more severe in those supplied with deficient soil moisture (Fig. 22), though it was also observed in those supplied with sufficient soil moisture. The degree of soil dryness was expressed in terms of mean soil moisture content and mean soil moisture tension, and the effect of soil dryness on growth was discussed more quantitatively (Fig. 25, 26, Table 14—16). The effects of the level of water supply were also observed on various phases of growth, such as the length of shoots and roots, the diameter of hypocotyls, the number of branches, top-root ratios, etc. (Fig. 27—31, Table 17—22). Additional experiments for a shorter period gave data substantiating the main experiment carried out for a rather longer period (Fig. 32, Table 23). From these results, it is concluded that vital drought resistance was strongest in *P. densiflora*, and between *Ch. obtusa* and *Cr. japonica* there was no appreciable difference in this respect.

On July-August, when the risk of drought is highest, the amount of roots of the three species was compared on those grown in the nursery conditions. Roots contained in the layers of soil of every 5 cm were sampled with blocks of the soil, their weight and length were measured, and the surface area and number of root tips were estimated from them. Total amount and the vertical distribution of roots of *P. densiflora* were found to be most suitable for enduring drought. Between the other two, *Cr. japonica* was slightly better (Fig. 35, 37).

The pattern of seasonal changes in the amount of shoots and roots, depth of

penetration and vertical distribution of roots, top-root ratios, and the share of produced dry matter to roots and shoots were compared among the species throughout the growing season. The amount (Fig. 40), growth rate (Fig. 41), and depth of penetration of roots (Fig. 42, 44) were greatest in *P. densiflora* and least in *Ch. obtusa* throughout the growing season. As for the pattern of the seasonal growth of roots, *P. densiflora* completed larger parts of it before the season of the summer drought, and showed the pattern most suitable for enduring summer drought (Fig. 42). The other two species showed no difference in this respect. The percentages of produced dry matter used for root growth was highest in *P. densiflora* and lowest in *Cr. japonica*. *P. densiflora* showed always lowest top-root ratios, and the top-root ratios of *Cr. japonica* was slightly lower than that of *Ch. obtusa*. Top-root ratios of *P. densiflora* showed minimum change throughout the growing season, whereas the one of the other two species was higher in the season of summer drought than in the other seasons. From these findings, it may be said that *P. densiflora* is more adapted to encounter drought in the summer than the other two species, with respect to the pattern of seasonal growth.

Critical water content of shoots, or the lower limits of water content at which seedlings are still alive, of seedlings were determined using various methods. The critical water content was always lowest in *Ch. obtusa* and highest in *Cr. japonica* (Fig. 47—50). The amount of water which can be lost before the seedlings are killed was greatest in *Cr. japonica* and least in *P. densiflora* when expressed as the value per unit weight of seedlings, but it was greatest in *Ch. obtusa* and there was no appreciable difference between the other two when expressed as the percentages of water contents at their optimum conditions (Fig. 51, 52).

The relation between the degree of dehydration and the recovery of water content from it of seedlings was studied by rehydrating seedlings which had once lost water to various degrees. The degree of recovery from dehydration was not linear proportional to the degree of dehydration or the minimum water content at the time of dehydration. As far as water content of the seedlings was kept above a certain limit specific to the species, the recovery of water content from dehydration was not so affected by the degree of dehydration, however, when water was lost beyond the limit, the recovery of water content was inhibited proportionally to the decreased water content or degree of dehydration (Fig. 55, 56). These limits were fairly above the lethal level or critical water content, and supposed as the limit beyond which seedlings were injured severely or parts of tissues were killed. These limits were highest in *Cr. japonica* and lowest in *Ch. obtusa*.

Besides these limits, the course through which these limits are reached is also an important factor determining the drought resistance. The responses of transpiration and water content of seedlings to the decreasing soil moisture content were observed. Transpiration rate was determined by means of the rapid weighing method and represented as the value at the standard condition of 20 mmHg saturation deficit. Water content was determined on the same sample which was used for the determination of transpiration rate. Transpiration rate showed only a slight decrease until

soil moisture decreased to a certain point between the field capacity and the permanent wilting percentage, which differed slightly with the conditions of experiment, however, when soil moisture decreased to below the point above mentioned, transpiration showed marked decrease with decreasing soil moisture until the available water in the soil was exhausted. After the soil moisture reached the permanent wilting percentage, the rate showed the minimum value with little fluctuations, which is supposed as the cuticular transpiration, and kept this value for several days until the measurement was stopped. Water content of the seedlings did not show any systematic change as far as available water was held in the soil, but it began to decrease with decreasing soil moisture contents as the same time with or a little before the available water in the soil was exhausted and the rate of transpiration reached the minimum value (Fig. 59—62). The relation between the changes in transpiration rate and water content of the seedlings which were caused by drying of the soil is discussed. In these rather qualitative change in the water relations with drying of soil, no appreciable difference was found among the three species. However, quantitatively, there were differences among the species, especially in the rate of transpiration after the available soil moisture was exhausted, the rate in these conditions was lowest in *P. densiflora* and highest in *Cr. japonica*. The extent of regulation of transpiration was greatest in *P. densiflora* and least in *Cr. japonica* (Table 30, 31). The decrease in water content in such conditions was least in *P. densiflora*, between the other two the rank order in the decrease changed each other according to the conditions of root systems; when the penetration of the roots into the deeper layers of the soil was hindered, the decrease was more marked in *Cr. japonica*, but when the roots were allowed to penetrate into the deeper layers of soil, it was more marked in *Ch. obtusa* (Table 30, 31). From this result the cause of the change of the rank order of drought resistance among the species according to the conditions of root systems was discussed. The influence of soil dryness on the diurnal march of transpiration and water content of seedlings were also studied (Fig. 64, 65). After available water in the soil was depleted, the range of diurnal fluctuations in transpiration became minimum, though the rate was slightly higher in early morning and decreased toward afternoon. However spatial difference was found only in the transpiration rate, but not in the trend of diurnal course.

To eliminate the differences in the development of the root systems, shoots were detached from the root systems and the course of water loss of them was studied. When shoots were detached from the roots and water supply was cut off, transpiration rate decreased rapidly at first and then gradually until 1—2 hours after detachment when it reached a very low value with little fluctuations. The rate of transpiration at this time, which is supposed as cuticular one, was highest in *Cr. japonica* and lowest in *P. densiflora* (Fig. 66, 71). The extent of regulation in transpiration after detachment was greatest in *P. densiflora* and least in *Cr. japonica* (Table 33, 34, Fig. 66, 71). In accordance with the differences in the magnitude of transpiration rate in the cuticular phase, the decrease in water content of seedlings after detachment was rapidest in *Cr. japonica* and slowest in *P. densiflora* (Fig. 67, 73). When water content is expressed as the percentage

of the vital range of water content, i.e., the difference between the water content at normal condition and at the lethal level, this trend became more prominent (Fig. 70, 75). This shows that the time required to reach the lethal level after detachment is shortest in *Cr. japonica* and longest in *P. densiflora*. These trends were not affected by the difference in the air humidity, though the cuticular transpiration rate was higher and the lethal level was reached earlier in drier air.

If the changes in water content of plant shoots are expressed as

$$Wt = W_0 + \int_0^t A dt - \int_0^t Tr dt$$

where Wt and W_0 represent the water content of plant shoots at t and 0 , respectively, and A and Tr represent the formulae expressing the course of changes in water absorption and transpiration, respectively, this formula is transformed to the following formula using the results of the above mentioned experiments and some approximations :

$$t = \frac{W - Wl}{\bar{tr} - \bar{a}}$$

where t is the time length from the time when available soil moisture was exhausted to the time of death of seedlings ; W and Wl are the water content of shoots at normal level and at lethal level, respectively ; \bar{tr} and \bar{a} are averages of transpiration and water absorption at such conditions, respectively. In this study, W was largest in *Cr. japonica* and least in *P. densiflora*, Wl was largest in *Cr. japonica* and smallest in *Ch. obtusa*, and \bar{tr} was largest in *Cr. japonica* and smallest in *P. densiflora*. Though \bar{a} was not able to be determined directly, it is presumed from the amount and distribution of roots that it is largest in *P. densiflora* and smallest in *Ch. obtusa*. As the results of the difference in these variables, drought resistance of *P. densiflora* was always strongest. Between *Cr. japonica* and *Ch. obtusa*, drought resistance of *Cr. japonica* is stronger when roots are allowed to penetrate freely into deeper layers of the soil and \bar{a} is larger, and weaker when penetration of roots is limited and \bar{a} is not so large or shoots only were compared and \bar{a} is zero. Among these variables, \bar{tr} and \bar{a} seemed to be most effective in determining the t or drought resistance, as estimated from the results of the present experiment. It may be concluded that the most important factors determining the drought resistance of the three species are the magnitude of cuticular transpiration and the development of root systems. From these results, the author discussed some practical problems such as the irrigation in nurseries, estimation of drought resistance, and silvicultural practice of these three species.