

カラマツのナラタケ病について*

—発生におよぼす土壌条件の影響—

および野外観察の知見—

河 田 弘⁽¹⁾
鷹 見 守 兄⁽²⁾
浜 武 人⁽³⁾

I は じ め に

カラマツは現在信州地方および北海道において造林上重要な地位を占めているが、その造林面積は今後さらに拡大されようとしている。しかしながら、カラマツは他の主要造林樹種に比べると、数多くの病虫害を受けやすい。この点が、今後のカラマツの拡大造林にともなう大きな問題として残されている。

カラマツの病害の一つとして、最近ナラタケ菌 [*Armillaria mellea* (Fr.) Karst.] による被害（以下ナラタケ病という）が注目を集めるようになってきた。ナラタケは多くの樹木をおかすいわゆる多犯性の菌として知られているが、信州地方における被害はカラマツがもつとも大きい⁽⁴⁾。カラマツ林における被害は幼齢林がもつとも大きい、が、壮齢林においても、また1代目および2代目造林地のいずれにおいても見られる。

ナラタケ病はいわゆる土壌病害と考えられている。カラマツ林においては、局地的に大きい被害を生じている場合が少なくない。したがって、その発生には土壌条件が深い関連性を有するのではないかと推定されている。ナラタケ病の防除方法を確立するためには、まずその発生経過および発生におよぼす環境諸因子—とくに土壌条件—について、十分な知見をうる必要があると思われる。筆者らはこのような見地から、カラマツのナラタケ病被害地について調査を行なったので、結果をここに報告する。

II 調 査 地

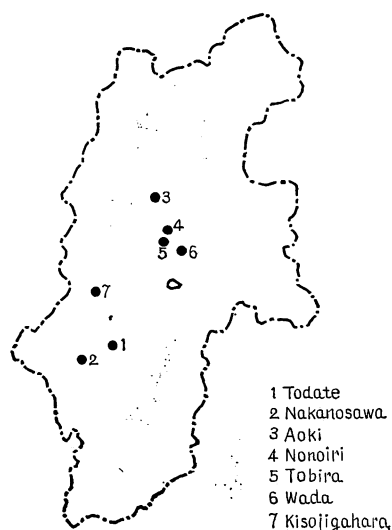
調査地は長野県下の次の7箇所である（第1図参照）。

- 1) 西筑摩郡福島町、福島営林署管内戸立官行造林地におけるカラマツ林地肥培試験地、幼齢林（樹齢4年から7年まで4年間にわたる継続調査）（以下戸立という）。
- 2) 同上上松町、上松営林署上松（旧小川）経営区228号林小班、カラマツ幼齢林（樹齢4年から6年まで3年間にわたる継続調査）（以下中ノ沢という）。
- 3) 小県郡青木村、上田営林署川西経営区180号林小班カラマツ壮齢林（32年生、ヒノキ混交林）（以

* この研究は農林水産技術会議、永年作物病虫害共同研究を分担実施したものである。

この研究の主要な部分は、筆者らの1人河田の木曾分場在勤中に行なわれた。また、この報告の一部戸立に関する部分の要約は、第71回日本林学会大会講演集、p. 93～98（1961）に発表した。

(1) 関西支場土壌研究室長（元木曾分場土壌研究室長）・農学博士
(2) 木曾分場土壌研究室員 (3) 木曾分場保護研究室員



第1図 調査地の位置図(長野県)

Fig. 1 Locations of surveyed forests (Nagano Prefecture.)

下青木という。

4) 同上和田村, 同上147に林小班, カラマツ壮齡林(42年生)(以下野々入という)。

5) 同上, 同上142は林小班, カラマツ壮齡林(40年生)(以下扉という)。

6) 同上, 同上137そ林小班, カラマツ壮齡林(35年生)(以下和田という)。

7) 西筑摩郡木祖村, 藪原営林署管内木祖路原官行造林地3い林小班, カラマツ壮齡林(30年生)(以下木祖路原という)。

以上はいずれもカラマツの1代目造林地である。

III 土壤の理化学的性質の実験方法

土壤の自然状態の理学的性質は 400 cc の土壤採取円筒を用いて常法どおり行ない, 透水性は真下法¹²⁾を用いた。土性は国際法を用いた。

炭素は酸化滴定法⁷⁾, 窒素は KJELDAHL 法, 置換性 Ca は NKCl 浸出液(置換酸度と同じ)について EDTA 法を用いて定量し, pH はガラス電極を用いて測定した。

IV 戸 立

IV-1. あ ら ま し

この調査地は福島営林署管内, 西筑摩郡福島町の東部, 駒ヶ岳の西北山麓に位置する戸立官行造林地内に設定された林地肥培試験地である。

1954年にミズナラ, シラカンパ等を主とする薪炭林(伐採当時約30年生, ha当たり35~40m³)を伐採し, 翌1955年にカラマツの植栽が行なわれた。林地肥培試験地は元木曾分場土壤研究室員(当時造林研究室員, 現長野営林局三股営林署員)稲葉正則によつて設定され, 1958年夏から河田および鷹見が木曾分場赴任とともに参加した。

この試験地は, 1) 一部の処理区の各 plot の地形が均一でないこと, 2) 植栽本数が各 plot ごとに相当な相違が見られ, またいずれも現在行なわれているカラマツの植栽本数に比べていちじるしく少ないこと, 3) 一部の処理区のカラマツの成長量の初期の測定に手落ちがあつたために, 肥培試験地としては十分な成果をうるにいたらなかつた。

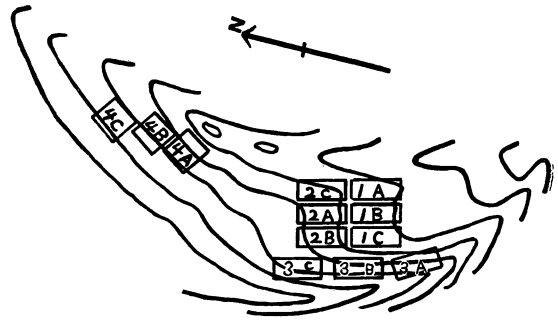
しかしながら, 1958年秋(植栽後4年目)にナラタケ病による枯損が発見された。その発生経過および発生におよぼす環境因子の影響等について興味のある知見が得られたので, 当初の目的とはなれてナラタケ病についての調査を進めることにした。この調査は引きつづき1961年(植栽後7年)までつづけられた。同年末にいたつても, なおわずかではあるが被害の発生が見られたが, 筆者らの1人河田の関西支場転出にもなつて, 一応同年末をもつてとりまとめることとした。

IV-2. 立地, 植生, 土壤条件および施肥方法

IV-2-A. 地 形

この試験地は標高 1,170~1,200 m, 地形および各処理区の位置は第 2 図に示すごとくである。

1 および 2 区の各 plot は南東から北西に向かつて走る緩斜な台地状の尾根に位置する。1 A の南東端から下端を通り, 2 C の中央を走る浅い U 字型の凹地が形成されているために, 1 A および 2 C は両側の緩斜面と中央部の浅い凹地形から成る。1B, 1C, 2A および 2B の各



第 2 図 戸立カラマツ林の地形および各試験区の位置
Fig. 2 Topography and locations of plots in Todate Forest.

plot は, 全体としては緩斜な台地状の地形をなしているが, 1B および 2A は両側がやや高く, 中央部はわずかに凹地形をなしている。さらに, これらの 4 plots はいずれも斜面の方向および斜面と直角の方向に微細な起伏が見られる。このような起伏は, 1B および 2A に多く, 1C および 2B では少ない。これらの微細な起伏の高低差はきわめて僅少で, 早春に積雪のために被圧されたササおよび草本の遺体がねている時にだけ明りように認められる程度にすぎないが, これらの起伏は局所的にいちじるしい土壌の水分状態の相違を生じているように思われる。この点は後述のように, 土壌の不良な理学的性質によつて助長されているものと思われるが, 同時に植生の相違からも裏書きされる。また, このような水分状態の相違はナラタケ病の発生にも大きな関連性を有するものと考えられる。

3 区は 1C および 2B の西側の台地の縁から沢にかけて急斜面に位置し, 各 plot は地形的にはほぼ均一な条件におかれている。しかしながら, 沢をへだてた対岸の急斜面は山脚がより長く, また両者間の距離が短いために, 3 区の各 plot の下半部はいずれも日照がさえぎられ, したがつて, カラマツの立地条件としては望ましい環境とはいいがたい。

4 区は 1 および 2 区につづく西向の山腹斜面上に位置する。各 plot は A, B, C の順に標高が低くなり, また同時に沢沿いの緩斜面に近づくために, 土壌の水分環境は上記の順に多少より湿性に傾いているといえよう。

1, 2 および 3 区の各 plot はいずれも 20×50 m (0.1 ha), 4 区の各 plot は 30×33.3 m (0.1 ha) である。

IV-2-B. 植 生

この試験地の各土壌断面における植生は巻末の第 10 表に示すごとくである。

1 および 2 区では, 前述のような微地形の相違にともなつて, 植生も明りような相違が見られた。すなわち, 1A および 2C の浅い U 字型の凹地形およびその他の plot の微細な凹地では, ノリウツギ, コウヤノマンネンズギ, スギゴケ等の湿性型の植生が多く見られ, 後者の微細な凸地形では, リョウブ, クロソヨゴ, ヤマウルン等の乾性型の植生が多く見られ, 微地形の相違にともなう土壌の水分状態の相違を反映していた。

IV-2-C. 土 壌

IV-2-C-a. 母材, 断面形態および土壌型

基岩は古生層の粘板岩および砂岩である。台地上の 1 および 2 区、および緩斜地形の 4 区では、基岩の上を厚くおおつている火山灰を母材とする。急斜地形の 3 区は火山灰層は薄く、表層は火山灰から成るが、下層は上記の基岩を多く混じえる。

各区の土壤の断面形態は巻末の第 9 表に示すごとくである。

1 および 2 区の土壤は、各層位の厚さ、成層状態は変化が大きく、また表層には局部的に下層土が斑状に混在し、いちじるしい不均一性を示していた。この区の土壤はいずれも [B]₁D 型土壤（適潤性黒色土壤、退色型）に属し、前述の微地形の影響による土壤型の相違は明らかではなかつた。

3 区は斜面上部は (B)₁D_(d) 型土壤（やや乾性の形態を示す適潤性黒色土壤、退色型）、斜面中腹から沢筋にかけて B_D 型土壤（適潤性褐色森林土）に漸移する。

4 区は緩斜な山脚の短い斜面のために、斜面上部は B_D 型土壤、中腹から下部にかけて B₁D 型土壤（適潤性黒色土壤）に漸移する。

3 および 4 区の各 plot は、いずれも山腹斜面に沿った土壤の諸条件の変化はほぼ均一であつた。

IV-2-C-b. 土性および理化学的性質

土性は第 11 表（巻末）に示すごとくである。

各断面の表層は重埴土ないし軽埴土で、きわめて埴質であつた。1, 2 および 4 区では下層まで同様にきわめて埴質であつたが、3 区は比較的浅層からしだいに砂質に傾いていた。

自然状態の理学的性質および透水性は第 12 表および第 18 図（巻末）に示すごとくである。

自然状態の理学的性質および透水性は、1C では A₁ 層にササの根が密生していたために、また 3C 上部の B₁ 層は多礫のために供試し得なかつた。自然状態の理学的性質は各断面いずれもとくに異常な値は見られなかつた。表層の透水性は 3C 下部および 4C 上部では比較的良好であつたが、3C 上部は相当な低下を示し、また 2C および 4C 下部ではきわめて不良であつた。さらに各断面の A₂（または A-B, 第 2 層）および B₁（または A-B, A₃, 第 3 層）の透水性は、3C 上部の A₂ 層以外は不良であつた。2C および 4C 下部の A₁ 層では、団粒状構造の発達、堅密度、孔隙量および最小容気量等からは透水性の良好なことが予想されたが、透水性は意外に不良であつた。これらの断面の A₁ 層ではいずれもコケの根が密生していたが、この点が透水性の悪化に影響を与えていたのではないかと考えられる。

化学的性質は第 13 表（巻末）に示すごとくである。

各区いずれも表層の pH は低く、置換酸度も大きく、また C-N 率も比較的大きかつた。これらの点とはとくに 3C 上部においていちじるしかつたが、この点は他の断面に比べて乾性の水分環境（土壤型）におかれていることの影響によるものであろう。

置換性 Ca 含有量は 3 および 4 区では、斜面地形の影響を受けて斜面下部では上部より増大を示し、また 3 区は他の区に比べて増大を示していたが、全般的にはこの試験地の土壤は置換性 Ca 含有量が多いとはいいがたかつた。

以上の点から見て、この試験地の土壤はいずれも理化学的性質の良好な土壤とはいいがたいが、カラマツの成長に対して阻害因子となるほどのものとは考えがたい。

IV-2-D. 施肥方法

この試験地のカラマツは、1955 年 4 月に福島営林署によつて植栽され、1 および 2 区は同年 11 月中旬、3 および 4 区は 6 月下旬に施肥が行なわれた。

1 および 2 区は固型肥料④ 1 号*, 3 区は同 2 号*を用い, 1 本当たり A は 10 個, B は 20 個を施肥し, C は無施肥区とした。また 4 区は尿素を用い, A は 20 g, B は 40 g を施肥し, C は無施肥とした。これらの肥料はいずれも苗木の根際から 30 cm の箇所に, 前後左右 4 箇所, 深さ 15 cm に分施した。

IV—3. カラマツの成長と肥培効果

各試験区におけるカラマツの成長は第 1 表に示すごとくである。

これらの測定値は枯損, 頂枝の折れ等の被害木および寄せ焼き跡地の植栽木は除外した。寄せ焼き跡地の植栽木は, 各区いずれも他の供試木よりいちじるしく良好な成長を示したことは注目すべき事実である。供試木は 1959 年秋に平均樹高約 3 m に達し, 一部は詳細な成長量の測定が困難となつたために成長量の調査は同年秋で打ち切つた。

前述 (IV-1) の試験地設定当初における多くの欠点と, 後述 (IV-7) のように各個体別の各年度の成長量の大きな偏差がナラタケ菌の感染 (後に回復) によるものか否かを, 多数の供試木について明確にすることはきわめて困難であつたために, 第 1 表における結果はカラマツの成長の概要を示すにとどめたい。

この試験地のカラマツの平均成長量は, 全般的には良好といえよう。3 区の成長量が他の区に比べて低下していたことは, 斜面上部は乾性の水分環境におかれていたこと, 斜面下部は前述 (IV-2-A) のように日照量の減少の影響によるものであろう。

IV—4. ナラタケ病による枯損状況

各試験区におけるナラタケ病による枯損の各年度別の状況は第 2 表に示すごとくである。

この場合頂枝の折れ等の障害を受けたものもすべて調査の対象とした。また前年秋に衰弱を示していたが枯損に至らず, 翌春には開葉せず, その間に枯損したと認められるものは便宜上前年度の枯損として扱つた。

この試験地においてナラタケ病に対する注意が払われたのは, 河田および鷹見が分場に赴任した 1958 年秋以降であつた。したがつて, 1955~1956 年 (植栽後 1~2 年) における枯損木はすでに消失していたために, ナラタケ病による枯損か否かは判定し得なかつた。しかしながら, 他のカラマツ林におけるナラタケ病の観察結果からは, これらの年度におけるカラマツの枯損はおそらくナラタケ病以外の原因によるものであろうと想像される。

緩斜な台地上に位置する 1 および 2 区においては, 植栽後 3 年目 (1957 年) からナラタケ病による枯損が発生し, 4 および 5 年目 (1958~59 年) がもつとも枯損がはげしく, 6 年目 (1960 年) には 1A, 2A および 2C ではなお枯損が見られたが, 全般的に枯損率はいちじるしく低下し, またその他の plot では枯損は見られなかつた。7 年目 (1961 年) には 1A, 1C および 2A でわずかな被害が見られたにすぎなかつた。

山腹斜面に位置する 3 および 4 区では, 一部の plot において枯損が見られたにすぎないが, 1 および 2 区に比べると枯損率は小さかつた。また年度別に見ると, 植栽後 4~5 年目がもつとも多く, 他の年度はきわめて少ないか, 皆無であつた。

以上のように, ナラタケ病による枯損は, カラマツの植栽後 3~7 年にわたつて発生したが, 4~5 年目が最高となり, 以後はしだいにおとろえるように思われた。

* 1 個 15 g, 1 号は N 5 %, P_2O_5 3 %, K_2O 3 %, 2 号は N 6 %, P_2O_5 4 %, K_2O 3 %。

第 1 表 カ ラ マ ツ

Table 1. Growth

Plot	植栽本数 Nos. of planted larch (Apr., 1955)	枯損・事故 本数 Nos. of dead and injured larch	測定本数 Nos. of measured larch	カラマツの樹高成長 Height growth		
				全 樹 高 Total height Nov., 1955	Nov., 1956	
					年間成長量 Annual growth	全 樹 高 Total height
1 A	153	45	108	$\frac{58}{30\sim88}$ (cm)	$\frac{73}{16\sim113}$ (cm)	$\frac{131}{76\sim187}$ (cm)
2 A	145	33	112	$\frac{64}{35\sim90}$	$\frac{77}{27\sim112}$	$\frac{141}{83\sim189}$
1 B	113	39	74	$\frac{60}{33\sim99}$	$\frac{81}{15\sim114}$	$\frac{141}{78\sim185}$
2 B	129	37	92	$\frac{67}{47\sim127}$	$\frac{79}{9\sim115}$	$\frac{146}{72\sim202}$
1 C	129	32	97	$\frac{60}{33\sim92}$	$\frac{69}{17\sim112}$	$\frac{129}{78\sim179}$
2 C	135	39	96	$\frac{61}{33\sim103}$	$\frac{65}{5\sim116}$	$\frac{126}{53\sim185}$
3 A (Upper part)	100	16	84	—	—	$\frac{120}{72\sim180}$
3 A (Lower part)	100	8	92	—	—	$\frac{122}{55\sim176}$
3 B (Upper part)	60	5	55	—	—	$\frac{123}{76\sim165}$
3 B (Lower part)	58	10	48	—	—	$\frac{127}{69\sim170}$
3 C (Upper part)	79	2	77	—	—	$\frac{109}{53\sim160}$
3 C (Lower part)	76	6	70	—	—	$\frac{120}{57\sim156}$
4 A (Upper part)	110	37	73	—	—	$\frac{117}{63\sim173}$
4 A (Lower part)	106	34	72	—	—	$\frac{110}{62\sim171}$
4 B (Upper part)	110	33	77	—	—	$\frac{110}{58\sim148}$
4 B (Lower part)	112	39	73	—	—	$\frac{120}{63\sim166}$
4 C (Upper part)	105	11	94	—	—	$\frac{122}{75\sim186}$
4 C (Lower part)	106	9	97	—	—	$\frac{125}{61\sim182}$

の 成 長 (戸 立)
of larch (Todate).

of larch		aver. min.~max.			
Nov., 1957		Nov., 1958		Nov., 1959	
年間成長量 Annual growth	全 樹 高 Total height	年間成長量 Annual growth	全 樹 高 Total height	年間成長量 Annual growth	全 樹 高 Total height
$\frac{54}{13\sim106}$ (cm)	$\frac{185}{124\sim257}$ (cm)	$\frac{62}{11\sim103}$ (cm)	$\frac{247}{141\sim350}$ (cm)	$\frac{68}{9\sim127}$ (cm)	$\frac{315}{164\sim433}$ (cm)
$\frac{56}{19\sim106}$	$\frac{197}{108\sim283}$	$\frac{67}{10\sim103}$	$\frac{264}{138\sim365}$	$\frac{76}{4\sim113}$	$\frac{340}{184\sim465}$
$\frac{57}{17\sim98}$	$\frac{198}{118\sim273}$	$\frac{65}{4\sim113}$	$\frac{263}{137\sim381}$	$\frac{78}{19\sim113}$	$\frac{341}{163\sim477}$
$\frac{51}{5\sim92}$	$\frac{197}{107\sim275}$	$\frac{63}{6\sim118}$	$\frac{260}{113\sim375}$	$\frac{73}{8\sim119}$	$\frac{333}{166\sim482}$
$\frac{54}{7\sim94}$	$\frac{183}{114\sim257}$	$\frac{60}{25\sim97}$	$\frac{243}{144\sim338}$	$\frac{74}{10\sim104}$	$\frac{317}{187\sim432}$
$\frac{50}{3\sim90}$	$\frac{176}{79\sim260}$	$\frac{63}{4\sim103}$	$\frac{239}{97\sim337}$	$\frac{76}{8\sim115}$	$\frac{315}{143\sim440}$
$\frac{43}{11\sim78}$	$\frac{163}{98\sim244}$	$\frac{56}{18\sim84}$	$\frac{219}{142\sim320}$	$\frac{81}{24\sim110}$	$\frac{300}{179\sim411}$
$\frac{43}{4\sim72}$	$\frac{165}{85\sim227}$	$\frac{54}{5\sim91}$	$\frac{219}{106\sim300}$	$\frac{77}{25\sim119}$	$\frac{296}{131\sim386}$
$\frac{42}{12\sim78}$	$\frac{165}{104\sim210}$	$\frac{52}{13\sim100}$	$\frac{217}{126\sim301}$	$\frac{71}{8\sim105}$	$\frac{288}{149\sim398}$
$\frac{35}{7\sim72}$	$\frac{162}{106\sim210}$	$\frac{58}{4\sim88}$	$\frac{220}{142\sim272}$	$\frac{66}{3\sim101}$	$\frac{286}{168\sim373}$
$\frac{36}{7\sim76}$	$\frac{145}{78\sim234}$	$\frac{48}{10\sim87}$	$\frac{193}{115\sim291}$	$\frac{70}{31\sim111}$	$\frac{263}{162\sim398}$
$\frac{36}{9\sim82}$	$\frac{156}{84\sim232}$	$\frac{51}{5\sim90}$	$\frac{207}{107\sim320}$	$\frac{72}{9\sim102}$	$\frac{279}{151\sim384}$
$\frac{60}{16\sim94}$	$\frac{177}{116\sim241}$	$\frac{65}{28\sim102}$	$\frac{242}{137\sim326}$	$\frac{78}{36\sim119}$	$\frac{320}{178\sim436}$
$\frac{64}{25\sim96}$	$\frac{174}{90\sim247}$	$\frac{73}{21\sim119}$	$\frac{247}{124\sim343}$	$\frac{84}{41\sim125}$	$\frac{331}{214\sim447}$
$\frac{55}{24\sim85}$	$\frac{165}{90\sim220}$	$\frac{55}{8\sim97}$	$\frac{220}{123\sim317}$	$\frac{68}{21\sim115}$	$\frac{288}{171\sim409}$
$\frac{59}{14\sim90}$	$\frac{179}{109\sim241}$	$\frac{59}{6\sim100}$	$\frac{238}{127\sim320}$	$\frac{69}{19\sim100}$	$\frac{307}{159\sim420}$
$\frac{55}{17\sim92}$	$\frac{177}{99\sim247}$	$\frac{68}{20\sim104}$	$\frac{245}{142\sim358}$	$\frac{82}{22\sim112}$	$\frac{327}{218\sim453}$
$\frac{66}{19\sim107}$	$\frac{191}{108\sim261}$	$\frac{73}{17\sim111}$	$\frac{264}{133\sim367}$	$\frac{86}{22\sim122}$	$\frac{352}{160\sim464}$

第2表 ナラタケ病によるカラマツの年度別枯損状況 (戸立)
Table 2. Annual death of larch by *Armillaria* root rot (Todate).

Plot	植栽本数 (A) Nos. of larch planted (A)	ナラタケ病以外に よる枯損 (B) Nos. of larch killed by certain factors except <i>Armillaria</i> root rot (B)			差引 A — B	ナラタケ病による枯損 Nos. of larch killed by <i>A. mellea</i>						
		1955	1956	1957~ 1961		1955~ 1956	1957	1958	1959	1960	1961	Total
1	A	153	7	1	0	145	0	3 (2.1%)	5 (3.4%)	11 (7.6%)	3 (2.1%)	23 (15.9%)
	B	113	2	10	0	101	0	5(5.0)	6(6.0)	5(5.0)	0	16(16.0)
	C	129	3	0	2	124	0	1(0.8)	1(0.8)	3(2.4)	0	6(4.7)
2	A	145	3	2	0	140	0	1(0.7)	3(2.1)	5(3.6)	4(2.9)	14(10.0)
	B	129	8	3	1	117	0	3(2.6)	6(5.1)	3(2.6)	0	12(10.3)
	C	135	2	0	0	133	0	4(3.0)	7(5.3)	10(7.6)	5(3.7)	26(19.6)
3 Upper part	A	100	0	0	2	98	0	0	0	2(2.0)	0	2(2.0)
	B	59	0	0	0	59	0	0	2(3.4)	1(1.7)	2(3.4)	5(8.5)
	C	79	0	0	0	79	0	0	0	0	0	0
3 Lower part	A	100	0	0	1	99	0	0	2(2.0)	2(2.0)	0	4(4.0)
	B	58	0	2	1	55	0	0	4(7.3)	3(5.5)	0	7(12.7)
	C	76	0	0	1	75	0	0	2(2.7)	1(1.3)	0	3(4.0)
4 Upper part	A	110	36	1	0	63	0	0	0	0	0	0
	B	110	26	2	1	81	0	0	0	2(2.5)	0	2(2.5)
	C	105	9	0	0	96	0	0	0	0	0	0
4 Lower part	A	116	24	6	0	86	0	0	2(2.3)	0	0	2(2.3)
	B	112	23	1	2	86	0	0	7(8.1)	4(4.7)	1(1.2)	12(14.0)
	C	108	8	0	0	100	0	0	0	0	1(1.0)	1(1.0)
Total		1967	151	28	11	1777	0	17(1.0)	47(2.6)	52(2.9)	15(0.8)	135(7.6)

IV—5. ナラタケ病に感染後枯損までの経過

カラマツがナラタケ病に感染した時期を明りように確認することは困難であるが、成長のいちじるしく低下した年度をもつて感染の年度と見なすと、枯損までの経過 (年数) は第3表に示すごとくである。

枯損の前年までは良好な成長を示し、その翌年に急激な成長低下を示すとともに枯損したもの、すなわち感染後1年 (または1年以内) で枯損したと見なされるもの (C) が、全枯損本数の約 60% 弱を占めていた。枯損した年度およびその前年も成長が不良で、感染後2年で枯損したと見なされるもの (B) が約 20% 強を占め、この両者で約 80% 強に達していた。感染後3年で枯損したもの (A)、および枯損した年度においても比較的良好な成長を示し、感染後急速に枯損に至つたと推定されたもの (D) はいずれも 5% できわめて少なかった。この場合の成長の低下とは、大部分が各 plot のその年度の平均成長量の約 1/3 (約 15~25 cm)、またはそれ以下であつて、良好な成長とは 8 割ないしそれ以上の場合である。

感染後枯損に至るまでの年数は、おそらくは感染した場所、侵入した菌の病原性の強さと、それに対するカラマツの抵抗力の相違によつて決定される問題であろう。感染木の大部分は感染後2年以内 (約半数は1年以内に枯損に至るもの) と見なして差し支えないであろう。この点は後述 (IV-7) のナラタケ菌に感染後治療した場合と、ほぼ同じ年数であることは興味ある事実であろう。

これらのナラタケ病による枯損木は、根際および樹幹に樹脂が多量に分泌されているものが多かった。

第3表 ナラタケ病枯損木の成長経過 (戸立)
Table 3. Classification of growing process of larch killed by *Armillaria* root rot (Todate).

Plot		成長経過 Growing process					計 Total
		A	B	C	D	E	
1	A	2	7	12	1	1	23
	B	1	4	6	2	3	16
	C	1	1	3	1	0	6
2	A	0	2	11	1	0	14
	B	0	3	8	1	0	12
	C	1	4	16	1	4	26
3 Upper part	A	1	0	1	0	0	2
	B	0	2	3	0	0	5
	C	0	0	0	0	0	0
3 Lower part	A	0	1	3	0	0	4
	B	0	3	4	0	0	7
	C	0	0	1	0	2	3
4 Upper part	A	0	0	0	0	0	0
	B	0	0	2	0	0	2
	C	0	0	0	0	0	0
4 Lower part	A	1	0	1	0	0	2
	B	0	4	7	0	1	12
	C	0	0	1	0	0	1
計 Total (Per cent)		7 (5.2)	31 (23.0)	79 (58.5)	7 (5.2)	11 (8.1)	135 (100)

Remarks:

Type A: The larches grew very poorly for 3 years successively and they were killed in the final year. 枯死した年を含めて3年連続成長不良。

Type B: The larches grew very poorly for 2 years successively and they were killed in the final year. 枯死した年を含めて2年連続成長不良。

Type C: The larches grew well until the preceding years and they were killed in the following year with the remarkable decrease of their growth. 枯死前年まで成長良好、翌年成長低下とともに枯死。

Type D: The growth of larches was good even in the year that they were killed. 枯損した年度においても良好な成長を示したもの。

Type E: Unexamined. 未調査

Figures show the nos. of killed larch belonging to each type. 数字は各タイプのカラマツの枯損本数を示す。

また1959年以降の観察では、感染後枯損までに2年以上を要したとみなされたものは、いずれも枯損の前年は健全木に比べると5月の開葉がおそく、輪生葉も小型で、さらに9月末には葉はやや黄色を呈し、樹勢のおとろえを示していた。一部には枯損の前年に花芽を多く着生していた場合もしばしば観察された。

IV-6. 感 染 源

この試験地におけるカラマツの本病の感染源としては、前生樹の広葉樹の伐根に繁殖したナラタケ菌が

考えられる場合が少なくなかった。伐根のナラタケ菌の状況は、前生樹の伐採後すでに5～6年を経過していたために腐朽がはなはだしく、地上部の切株について本菌の根状菌糸束を確認できない場合もしばしば認められた。しかしながら、主としてシラカンバ、ミズナラおよびクリ、その他少数であつたがハウチワカエデ、ノリウツギ等の伐根には多くの場合ナラタケ菌の根状菌糸束が認められ、またごく少数であつたが子実体も認められた。しかしながら、これらの伐根は腐朽がはなはだしいために、地下部の根系におけるナラタケ菌の分布範囲、ならびにナラタケ菌の侵入の認められたカラマツの根との接触状況については十分な結果が得られなかった。

この試験地におけるナラタケ菌によるカラマツの枯損木は、根際から分岐した多くの主要な根系の中の1～2本がナラタケ菌に犯され、その他の根系は健全な場合が多かつた。これらのナラタケ菌の侵入の認められた根の走向および伐根の位置からは、伐根に繁殖したナラタケ菌との接触が感染源をなしていたと推定される場合が多かつた。

しかしながら、これらの広葉樹の伐根に繁殖したナラタケ菌が唯一の感染源であるとはいいいがたいように思われた。なぜならば、ナラタケ病によるカラマツの枯損木の周囲に広葉樹伐根の認められない場合も決して少なくはなかつたからである。

IV-7. ナラタケ病の感染と治療

調査したカラマツ各供試木の年度別の成長量は前述のように全般的には良好であつたが、各年度いずれも個体別の偏差はきわめて大きかつた。頂枝の折れ、その他の明りような障害が認められなかつたにもかかわらず、ある年度だけ、または次年度も引きつづいていちじるしい成長の低下を示し、その他の年度はいずれも良好な成長を示していたものがしばしば認められた。このような異常な成長経過を示していたものは、全般的にはとくに1および2区の各 plot に多かつた。

これらの原因を明らかにするために、成長量の測定の終わつた後1960年秋に掘り取り調査を行なつた。その結果、次に述べるようにナラタケ菌の感染によるものと推定される場合が少なくなかつた。すなわち、ナラタケ菌の感染によつてある年度、または次年度も引きつづいていちじるしく成長が低下したが、その後治療することによつてふたたび正常な成長に回復したものと考えられた。

これらについて代表的な例を示すと、以下のごとくである。これらの調査木の年度別の成長は、第4表に示すごとくである。

第4表 ナラタケ病に感染したカラマツの成長経過
Table 4. Examples of annual growth of larch affected with *Armillaria* root rot.

カラマツ感染木 Infected larch	年度別樹高成長 Annual height growth (cm)					
	1955	1956	1957	1958	1959	1960
1 B — 58	46*	80	52	7	76	77
1 A — 66	64*	53	13	11	33	65
2 A — 126	60*	27	64	13	52	106
2 B — 39	60*	78	50	56	14	16

Remark:

*) Figures show the total height in 1955.

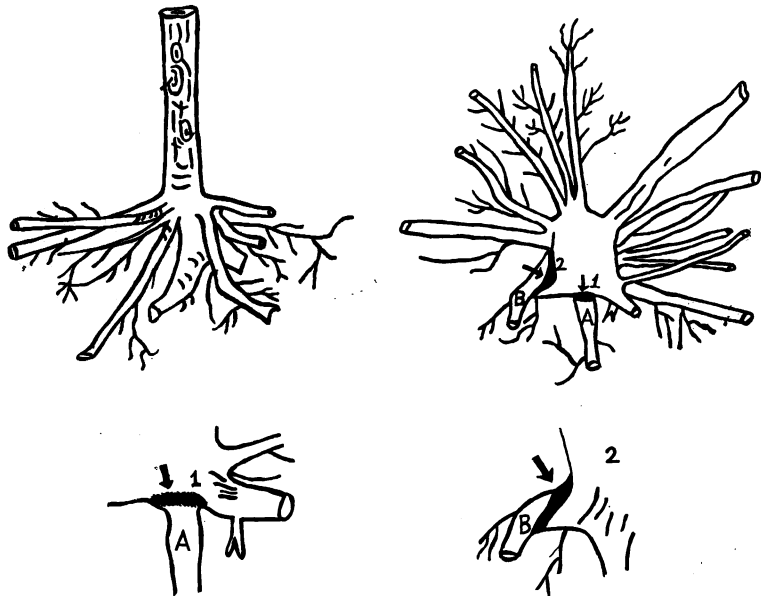
Example 1, 1B-58 (第3図参照)

このカラマツは 1958 年の成長はいちじるしく低下し、59 年春は開葉がおそく、開葉直後の輪生葉は小型で、樹勢のおとろえを示し、花芽の着生が多く認められた。

根系の分岐および発達良好であつたが、太根から分岐していた 2 本の中根 ((A および B) が、ナラタケ菌に感染して枯死していたことが認められた。中根 A および B はいずれも形成層の部分に白色のナラタケ菌の菌糸束が密に認められた。さらに、太根との分岐点 (1 および 2) は樹脂が厚い層をなして完全に遮断され、ナラタケ菌の菌糸の伸長もそこで中断されていた。その他の根系はいずれも異常は認められなかつた。

したがつて、58 年の成長量の異常な低下はナラタケ菌の感染によるもので、その後感染した中根と健全な太根との境界を分泌された樹脂層によつて遮断し、それにともなつて回復したものと考えられる。

このカラマツは根際から約 50 cm はなれた所に、ナラタケ菌の根状菌糸束の認められたシラカンパの



第3図 ナラタケ病におかされたカラマツの根系 (1) (1B-58)

Fig. 3 Roots of larch affected with *Armillaria* root rot (1) (1B-58).

Remarks :

A and B : Medium roots killed by the fungus.

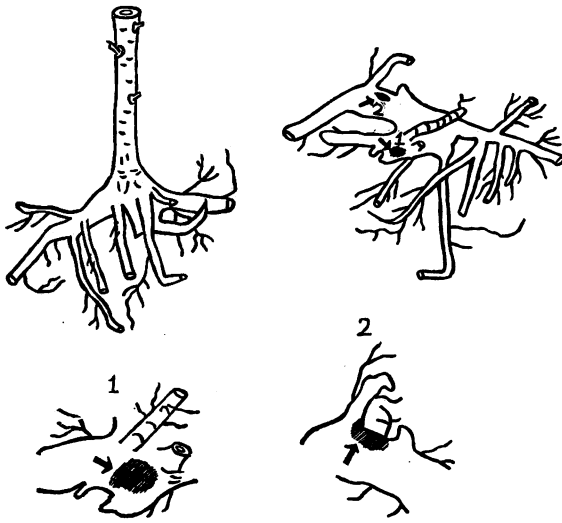
1 and 2 : Resinous layers.

伐根が存在していた。ナラタケ菌に感染した中根の走向から、このシラカンパの伐根との接触が感染源をなしていたと推定された。

Example 2, 1A-66 (第4図参照)

このカラマツは 1957 および 58 年の 2 年にわたつていちじるしい成長の低下を示し、'59 年には多少の回復を示したが、'60 年には完全な回復を示した。'59 年春には Example 1 と同様に開葉がおそく、開葉直後の輪生葉は小型で樹勢のおとろえを示していたが、同年秋以後はとくに異常は認められなかつた。

根系の分岐および発達は良好であつたが、2 本の中根がナラタケ菌に犯されて枯損していたことが認め

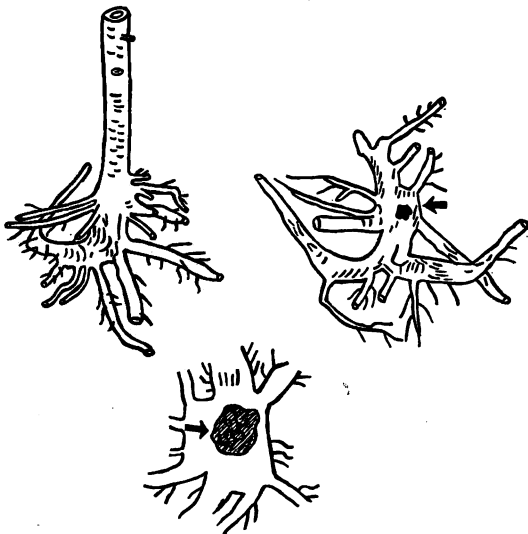


第 4 図 ナラタケ病におかされたカラマツの根系 (2) (1A-66)

Fig. 4 Roots of larch affected with *Armillaria* root rot (2) (1A-66).

Remark: 1 and 2: resinous layers.

であつたが、'57年には回復を示し、'58年にはふたたびいちじるしい低下を示し、その後は順調な回復を示していた。59年春には Example 1 および 2 と同様の症状を呈し、樹勢のおとろえを示していたが、同年秋以後はとくに異常は認められなかつた。



第 5 図 ナラタケ病におかされたカラマツの根系 (3) (2A-126)

Fig. 5 Roots of larch affected with *Armillaria* root rot (3) (2A-126).

Remark: Arrow points the resinous layer.

られた。これらの中根は掘り取りの際に機械的に切断されたが、白色のナラタケ菌の菌糸束が形成層の部分に密に認められ、また Example 1 と同様に太根と接続していた部分は樹脂が円形の厚い層を形成し (1 および 2)、これらの中根は完全に太根から遮断され枯死していたことが認められた。その他の根系はいずれも異常が認められなかつた。

このカラマツの根際から約 40 cm はなれた所にナラタケ菌の根状菌糸束の認められたノリウツギの伐根が存在し、カラマツのナラタケ菌に感染した中根の走向から、この伐根との接触が感染源と考えられた。

Example 3, 2A-126 (第 5 図参照)

このカラマツは 1956 年の成長は不良

根系は 2 段に分岐してやや畸型を呈し、植栽当時に植え方が不良であつたと思われた。その後の根系の良好な発達により、調査当時の根系の発達は良好であつた。ナラタケ菌に犯されて枯損した根系は確認するに至らなかつたが、Example 1 および 2 と同様に円形の樹脂が厚い層をなしていた部分が 1 箇所認められ、ナラタケ菌に犯され枯損した根を遮断していたものと推定された。枯損した根はおそらく掘り取りの際に脱落したものだと思われた。

その他の調査木の結果を総合すると、カラマツの年間成長量が約 15 cm 前後またはそれ以下に低下していた場合は、大部分がナラタケ菌の感染が原因と推定されたが、約 25 cm 程度の低下の場合にはナラタケ菌の感染によるものと、根系の異常 (畸

形または発達不良)によるものの両方の場合が認められた。

このカラマツの根系は、ナラタケ菌による感染が1箇所しか認められなかつたこと、'56および'58年の年間成長量、および根系の形状から、おそらく'56年の成長低下は根系の異常(畸形)によるもので、'58年の成長低下はナラタケ菌の感染によるものと推定された。

このカラマツの根際から約70 cm はなれた所に、ナラタケ菌の根状菌糸束の認められたミズナラの伐根が存在し、カラマツのナラタケ菌におかされた根の付着跡から推定された走向から見て、この伐根がナラタケ菌の感染源と推定された。

Example 4, 2B-39 (第6図参照)

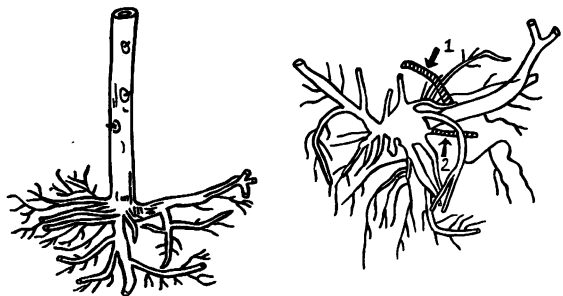
このカラマツは1959および'60年の2箇年にわたつていちじるしい成長低下を示していたが、'60年秋の掘り取りの際には生存中であつた。'59および'60年の春にはExample 1~3と同様の症状を呈して樹勢のおとろえを示し、また秋には健全木に比べると早期に落葉が見られた。根系の分岐および発達は良好であつたが、根際および下方から分岐した各1本ずつの中根がナラタケ菌に感染していたことが認められた。いずれも形成層の部分には白色のナラタケ菌の菌糸束が密に繁殖していたが、根際まで伸長していなかつた。

このカラマツの全根系の分岐および発達の状態から見て、ナラタケ菌におかされた根系は、全根系中きわめてわずかな部分を占めていたにすぎなかつたが、成長がいちじるしい低下を示していたことは、きわめて興味ある事実であろう。この点はExample 1~3の場合も同様であつたが、全根系中1~2本程度の中根がナラタケ菌におかされることによつて、カラマツの成長がいちじるしい低下を示したことは注目すべき現象であろう。

このカラマツの根際から1.2 m および2.2 m はなれた箇所に、各ナラタケ菌の根状菌糸束の認められたシラカンバの伐根が存在した。カラマツのナラタケ菌におかされた根系の走向は、それぞれ明らかにこれらの伐根に向かつていた。前者の伐根はおそらく感染源をなしていたと推定されたが、後者はカラマツの根系の分布範囲から見てやや距離が遠いが感染源をなしている可能性が推定された。

以上のナラタケ菌に感染後回復したカラマツは、前述(IV-5)のナラタケ病による枯損木と同様に、幹に樹脂が多量に分泌されていた場合が多く、地上部の外観上の特徴をなしていた。

今回の調査では、1および2区の年間成長量が約20~30 cm 以下(各plotの各年間成長量の1/3以下)に低下したものの一部を対象とした。上述のように、調査した範囲ではナラタケ菌の感染木は多くの場合約15 cm 以下のいちじるしく低下した成長を示していた場合が多かつた。また、20~30 cm 程度の成長量の低下の場合には、a) ナラタケ菌の感染の認められたもの、b) 根系の発達不良ないし畸形が原因と推定されたもの、c) なんらの異常も確



第6図 ナラタケ病におかされたカラマツの根系(4) (2B-39)

Fig. 6 Roots of larch affected with *Armillaria* root rot (4) (2B-39).

Remark:

1 and 2: Diseased medium roots.

認できなかったもの等が認められた。b) については、植栽後初期に成長低下を示し、その後回復したものに認められた場合が多く、c) については、カラマツの各個体に自然に生ずる成長量の偏差によるものか、または今回調査し得なかつたさらに細い根系の部分のナラタケ菌に感染（その後治療）によるものかは、なお今後の調査研究に残された問題であろう。

ナラタケ菌に感染した年度は外観からは確認しがたいが、成長のいちじるしく低下した年度をもつて感染した年度と仮定すると、治療するまでの年数は1年のものがもつとも多く、2年連続したものは少なかつた。これらの点は、前述（IV-6）のナラタケ菌に感染後枯損に至るまでの年数と類似した傾向を示していたといえよう。

IV-8. ナラタケ病の発生と環境因子との関係

前述（IV-4）の第2表に示した結果から環境—とくに地形およびそれにもとづく土壌条件—諸因子のナラタケ病の発生におよぼす影響を考察すると、ナラタケ病の発生には土壌の水分条件がもつとも大きな影響をおよぼし、次いで施肥が影響をおよぼしているといえよう。

緩斜な台地地形における1および2区のナラタケ病の発生率が斜面地形における3および4区を上回っていたこと、および斜面地形における3および4区において（Cを除く）、斜面下部の方が斜面上部よりいちじるしく発生率が大きかつたこと等の諸点は、地形にもとづく土壌の湿性の水分条件がナラタケ病の発生に好適な影響を与えていることを示すものといえよう。

さらに、地形的に各 plot いずれも同一条件にあると見られる3区、およびほぼ同様の条件にあると考えられる4区において、施肥区が無施肥区よりも、施肥区においては施肥量が多いほどナラタケ病の発生率が大きかつたことから明らかであろう。

地形にもとづく土壌の水分条件のナラタケ病の発生におよぼす影響をさらに明確にするために、台地地形における1および2区の各 plot について、微細地形とナラタケ菌の被害状況の関係について解析を行なつた結果を第5表に示した。

前述（IV-2）のように、1A および 2C を除く1および2区の各 plot は微細な起伏が見られたが、これらの起伏は局所的に土壌の水分条件の相違をもたらすことが考えられる。さらに凹地形において地表に密に生育していたコケの根系が表土の透水性を悪化せしめることは（IV-2-C-b）、水分条件の相違をさらに助長するものと考えられる。このような微細地形の相違を重視して、微細な起伏の凸部、中腹および凹部に区分して、ナラタケ病による枯損との関係を求めた。また 1A および 2C は比較的大きい浅い凹地がほぼ中央を走つていたために、中央は凹地形、両側は斜面地形をなしていたが、前述の4 plots と同様に地形区分を行なつた。

第5表に示したように、1A および 2C においては、ナラタケ病の枯損木は中央の凹地形がもつとも多く、それぞれ 65% および 80% を占めていた。その他の4 plots においても同様に凹地形が60~70%を占め、さらに1および2区全体としては凹地および中腹を合わせると全枯損木の約 90% 強に達した。これらの点は、地形およびそれにもなう土壌の湿性の水分条件のナラタケ病の発生におよぼす影響をさらに明確に物語るものといえよう。

これらの凹部における土壌の断面形態はグライ層ないしグライ斑、還元色の色調、および斑鉄等の常時過湿な状態におかれている土壌の形態的な特徴は認められなかつた。したがつて、常時過湿な状態にあるとは考えられなかつたが、雪どけ期および梅雨期等ある季節に一時的に過湿（停滞水の影響）な状態にお

第5表 1および2区におけるナラタケ病による枯損と微地形の関係(戸立)
 Table 5. Relation between death of larch by *Armillaria* root rot and micro-topography in Block 1 and 2 (Todate).

Plot	微 地 形 Micro-topography			計 Total
	凸 部 Convex part	中 腹 Intermediate between convex and concaved part	凹 部 Concaved part	
1	A	1 (4.3%)	7 (30.4%)	15 (65.2%)
	B	2 (12.5)	3 (18.8)	11 (68.8)
	C	1 (16.7)	1 (16.7)	4 (66.7)
2	A	1 (7.1)	3 (21.4)	10 (71.4)
	B	2 (16.7)	3 (25.0)	7 (58.3)
	C	0 (0)	5 (19.2)	21 (80.8)
計 Total	7 (7.2)	22 (22.7)	68 (70.1)	97 (100)

Remark:

Figures show the nos. of larch killed by *Armillaria mellea*.

かれることが、地形および土壌の理学的性質から推定された。

筆者らはナラタケ病の発生におよぼす環境因子の影響として、このような地形にもとづく土壌の湿性—とくに一時的に停滞水的な要素を含む—の水分条件をもつとも有力なものと考えたい。さらに、3C および 4C においてはナラタケ病による枯損は斜面下部でわずかに認められたにすぎなかった。これらの plot における斜面下部においては、土壌は同様に湿性（乾性に対する広義の意味の湿性）の水分環境におかれていたが、これらの土壌中の水は地形の影響を受けて斜面に沿って流動する水であり、凹地形に見られるような停滞水的な要素を含む水とは多分に性格の異なるものである。

また、地形および施肥のナラタケ病の発生におよぼす影響は、1および2区の各 plot におけるナラタケ病の枯損率の相違からも裏書されよう。すなわち、中央を走る浅い凹地形が主要な部分を占める 1A および 2C においては、これらの凹地形は 1A の東南端から発生するために下部になるほどしだいに拡がりを増し、したがって plot の全面積に対して凹地形の占める比率は 2C は 1A よりさらに大きい。2C が無施肥にもかかわらず最高の被害率を生じたことは、前述のように地形の影響が施肥の影響よりはるかに大きいことを示すものといえよう。また、plot 全体としてきわめて浅い凹地をなし、さらに微細な起伏の多い 1B および 2A において枯損率が大きかったことは、地形の影響が施肥によつて助長されることによつてもたらされたものであろう。微細な起伏の少ない 1C および 2B において、前者の被害率が 1 および 2 区の各 plot 中もつとも小さく、また後者が相当の枯損を生じていたことは同様に地形および施肥の影響によつて説明されよう。

施肥のナラタケ病におよぼす影響については、N, P₂O₅, K₂O の肥料 3 要素のいずれが影響をおよぼすかは、これらのわずかな資料から判定を下すことは困難であるが、4 区の尿素区の結果から見て、N の影響の大きいことが推定された。

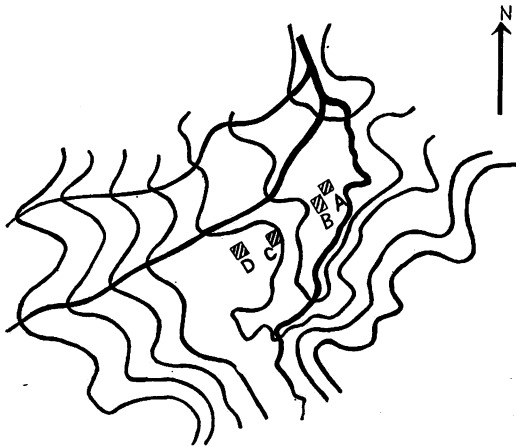
V 上松営林署上松経営区 228 号林小班 (中の沢)

V-1. あ ら ま し

この調査地は 1954 年にサワラ天然生老齢林を伐採後、1956 年にカラマツが植栽されたが、1958 年秋ごろからナラタケ病によるカラマツの枯損が発生し始めたので、'59 年春にナラタケ病についての調査を行なう目的をもって、 $20 \times 25 \text{ m}$ (0.05 ha) の調査区を 4 箇所に設定し、'61 年まで引きつづいて調査を行なった。

V-2. 立地条件、土壤および植生

この調査地の標高は $1,200 \text{ m}$ 、地形は第 7 図に示すように沢沿いの洪澗堆積地である。



第 7 図 中ノ沢カラマツ林の地形および各試験地の位置

Fig. 7 Topography and locations of plots in Nakanosawa Forest.

母材は花崗岩および中世層の粘板岩および砂岩である。

試験区は A, B → C → D 区の順にきわめてゆるやかではあるが傾斜をなしているために地下水位がしだいに低くなっていた。A, B および C 区は G 型土壤 (グライ土壤), D 区は B_D 型土壤に属する。

土壤の断面形態は巻末の第 9 表に示すごとくである。A および B 区は深さ約 30 cm 付近に明りようなグライ層が認められ、C 区も同様の深さにグライ層が認められたが、グライ層の色調は A および B 区に比べるとやや弱い。D においては深さ 60 cm まではグライ層は認められなかった。

土性および土壤の理化学的性質は巻末の第

第 6 表 カ ラ マ ツ
Table 6. Height growth

Plot	植栽本数 Nos. of larch planted	枯損事故本数 Nos. of dead and injured larch	測定本数 Nos. of measured larch	1956 樹高 Total height	Nov., 1957	
					年間成長量 Annual growth	全樹高 Total height
A	101 (1956)	37	64	$\frac{53}{25 \sim 79}$ (cm)	$\frac{65}{8 \sim 109}$ (cm)	$\frac{118}{46 \sim 171}$ (cm)
	19* (1957)	7	12			$\frac{41}{26 \sim 62}$
B	108 (1956)	22	86	$\frac{45}{22 \sim 80}$	$\frac{47}{2 \sim 93}$	$\frac{92}{28 \sim 156}$
	22* (1957)	9	13			$\frac{45}{30 \sim 75}$
C	121 (1956)	26	95	$\frac{50}{33 \sim 72}$	$\frac{76}{20 \sim 159}$	$\frac{126}{84 \sim 212}$
D	140 (1956)	25	115	$\frac{52}{23 \sim 91}$	$\frac{76}{13 \sim 126}$	$\frac{128}{41 \sim 198}$

Remark:

*) Larches replanted in 1957. (1957年の補植木)

11～13 表および第 18 図 (巻末) に示すごとくである。土壤は各区いずれも埴質 (軽埴土) で、深さ 30 cm 以下は堅密で理学的性質は不良であつた。また各層位いずれも透水性は不良であつた。化学的性質は D 区 B_d 型土壤は他の plot に比べると pH が低く、置換酸度も大きかつた。また置換性 Ca 含有量は C 区は他の plots に比べるといちじるしく大きく、さらに C 区は pH も高く、置換酸度も小さかつたが、これがいかなる原因にもとづくものかは明らかではなかつた。

カラマツの根系はいずれも浅く地表に沿つて発達し、A、B および C 区ではこれらの根から分岐して下降しグライ層に到達していた根系は、いずれも枯損 (腐根) していることが認められた。

植生は巻末の第 10 表に示すように、ハンゴンソウ、ノリウツギ、バライチゴ等の湿性型の植生が多く見られ、その他ウダイカンバ等が見られた。

V—3. カラマツの成長

各 plot におけるカラマツの成長は第 6 表に示すごとくである。

IV の戸立の場合と同様に頂枝の折れ、その他明りような機械的障害を受けたものは除外した。

カラマツの成長は上述の地形の変化にともなつて相違を示し、地下水位の影響が少なくなるほど良好な成長を示した。全般的には、A および B 区においては植栽直後の枯損が多く、翌年補植が行なわれていたが、この点はおそらくグライ層による根腐れが原因と推定された。補植木の成長はいずれも良好とはいいがたかつたが、とくに A 区における成長は不良であつた。

補植木を除いたカラマツの成長は全般的には良好といえよう。土壤の不良な理学的性質、グライ層の存在も現在の幼齢林については、とくに成長の障害となつていとは考えられなかつたが、今後樹齢が増加するにつれて根系の分布範囲が拡大するにともなつて、グライ層の存在は警戒を要する因子となるのではないと思われる。

この調査地においても、前述の戸立の場合と同様に 1 年ないし 2 年にわたつて、いちじるしい成長の低

の 樹 高 成 長 (中ノ沢)
of larch (Nakanosawa).

Nov., 1958		Nov., 1959		Nov., 1960	
年間成長量 Annual growth	全 樹 高 Total height	年間成長量 Annual growth	樹 高 Total height	年間成長量 Annual growth	樹 高 Total height
$\frac{67}{11 \sim 114}$ (cm)	$\frac{185}{85 \sim 266}$ (cm)	$\frac{76}{3 \sim 137}$ (cm)	$\frac{261}{157 \sim 377}$ (cm)	$\frac{86}{41 \sim 112}$ (cm)	$\frac{347}{212 \sim 453}$ (cm)
$\frac{24}{3 \sim 71}$	$\frac{65}{38 \sim 128}$	$\frac{32}{5 \sim 82}$	$\frac{97}{45 \sim 194}$	$\frac{47}{8 \sim 88}$	$\frac{144}{55 \sim 282}$
$\frac{63}{4 \sim 115}$	$\frac{155}{52 \sim 228}$	$\frac{59}{6 \sim 122}$	$\frac{214}{82 \sim 317}$	$\frac{80}{3 \sim 118}$	$\frac{294}{146 \sim 408}$
$\frac{31}{3 \sim 60}$	$\frac{76}{44 \sim 110}$	$\frac{58}{11 \sim 95}$	$\frac{134}{67 \sim 184}$	$\frac{74}{58 \sim 88}$	$\frac{208}{130 \sim 265}$
$\frac{79}{32 \sim 116}$	$\frac{205}{124 \sim 302}$	$\frac{87}{23 \sim 153}$	$\frac{292}{181 \sim 410}$	$\frac{89}{12 \sim 123}$	$\frac{381}{245 \sim 502}$
$\frac{83}{8 \sim 119}$	$\frac{211}{67 \sim 291}$	$\frac{85}{22 \sim 139}$	$\frac{296}{103 \sim 390}$	$\frac{85}{38 \sim 130}$	$\frac{381}{145 \sim 538}$

下を示し、他の年度はいずれも良好な成長を示していた場合がしばしば認められた。これらのカラマツについて掘り取り調査を行なった結果、いずれも一部の根系がグライ層に到達し腐朽していたことが認められたが、ナラタケ菌の感染とその後の治癒による場合は認められなかった。したがって、このような例は地下水位の高いA、BおよびC区一とくに前2者一に多かつたこととも関連して、一部の根系の腐朽がその主要な原因であろうと推定された。

また、このようなグライ層に到達した腐朽根が、ナラタケ菌の侵入経路となつている例は認められなかった。

V—4. ナラタケ病による枯損状況

各区におけるナラタケ病によるカラマツの枯損状況は第7表に示すごとくである。

B区を除く他の各区はいずれも植栽後3年目(1958年)がもつとも枯損率が高く、4年目(1959年)はA区ではなお高い枯損率を示したが、他はいずれも低下を示し、5～6年目(1960～61年)はわずかな枯損が見られたに過ぎなかった。

AおよびB区における補植木は、3年目(1959年)にA区において高い枯損率を示したが、B区では枯損は見られなかった。

植栽後1～2年(1956～57年)のナラタケ病による枯損木を皆無としたことは、調査区設定以前のことであるから確実に断定しがたいが、他の調査例から見ても植栽初年度のナラタケ病による枯損木は皆無に近く、翌年も一般にはきわめて少ないこと、またこの造林地の調査区以外をも含めた調査結果では、ナラタケ病による枯損はほとんどすべてが植栽後3年目以降に生じたものと判定された。

第7表 ナラタケ病によるカラマツの年度別枯損状況(中ノ沢)
Table 7. Annual death of larch by *Armillaria* root rot (Nakanosawa).

Plot	植栽本数 Nos. of larch planted (A)	ナラタケ病以外による枯損 Nos. of larch killed by certain factors except <i>A. root rot</i> (B)	差 引 A-B	ナラタケ病による枯損 Nos. of larch killed by <i>Armillaria</i> root rot					
				1956～57	1958	1959	1960	1961	計 Total
A	101 (1056)	2	99	0	12 (12.1%)	9 (9.1%)	0	3 (3.0%)	24 (24.2%)
	19* (1957)	0	19	0	0	2(10.5)	0	0	2(10.5)
B	108 (1956)	2	106	0	1(0.9)	1(0.9)	1(0.9)	1(0.9)	4(3.8)
	22* (1957)	1	21	0	0	0	0	0	0
C	121 (1956)	1	120	0	9(7.5)	3(2.5)	2(1.7)	1(0.8)	15(12.5)
D	140 (1956)	0	140	0	6(4.3)	3(2.1)	1(0.7)	0	10(7.1)
計 Total	511	6	505	0	28(5.5)	18(3.6)	4(0.8)	5(1.0)	55(10.9)

Remark :

*) Larches replanted in 1957. 1957年の補植木。

これらの点は、前述の戸立の場合に比べるとナラタケ病発生の最盛期が早期におとずれ、かつ短期間に終わっていたように思われた。

V—5. 感染後枯損までの経過

前述の戸立の場合と同様に、感染後枯損までの経過（年数）を第8表に示した。

第8表 ナラタケ病枯損木の成長経過（中ノ沢）
Table 8. Classification of growing process of larch killed by *Armillaria* root rot (Nakanosawa).

Plot	成長経過 Growing process					計 Total
	A	B	C	D	E	
A	0	1 (4.2%)	9 (37.5%)	12 (50.0%)	2 (4.3%)	24 (100%)
	0	0	0	2 (100)	0	2* (100)
B	0	0	2 (50.0)	2 (50.0)	0	4 (100)
C	0	1 (6.7)	3 (20.0)	11 (73.3)	0	15 (100)
D	0	0	6 (60.0)	4 (40.0)	0	10 (100)
計 Total	0	2 (3.6)	20 (36.4)	31 (56.4)	2 (3.6)	55 (100)

Remarks :

The classifications of growing process were same as Table 3.

成長経過の区分は第3表と同じ。

Figures show the nos. of killed larch belonging to each type.

数字は各タイプのカラマツの枯損本数を示す。

* Larches replanted in 1957. 1957 年補植木。

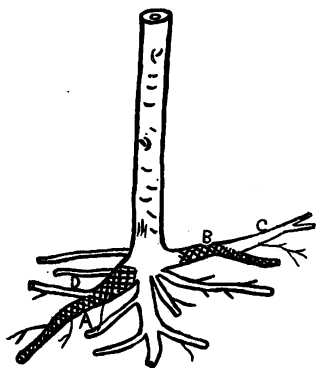
これらの結果は前述の戸立の場合とはいちじるしく異なり、枯損した年度においても良好な成長を示し、したがって感染後急速に（1年以内で）枯損したと推定されるもの（D）が40～70%（平均56%）を占め、感染後1年で枯損したと推定されるもの（C）が20～60%（平均36%）を占め、各区いずれも枯損までに2年を要したもの（B）はきわめて少ないか、または認められず、3年を要したもの（A）は存在しなかつた。

地下水位の高いA、BおよびC区においては、いずれも枯損した年度においても良好な成長を示したものの（D）の比率が高く、地下水位の低いD区においては、むしろ感染後1年で枯損したものの（C）の比率が大きいことは、地下水位が高く、土壤が過湿な条件におかれているほどナラタケ病に対するカラマツの抵抗性が相対的に低下を示しているものといえよう。

この試験地におけるカラマツの成長は、前述の戸立の場合と同様に良好な経過を示していたが、感染後枯損に至る経過が戸立の場合といちじるしく異なることは、おそらく次の理由にもとづくものではないかと推定された。

ナラタケ病による枯損木の根系調査の結果は、各区いずれも根際で分岐していた太根および中根のほとんどすべてが、ナラタケ菌によつておかされていた場合がきわめて多かつた。この点は、太根および中根の一部がおかされていたに過ぎなかつた戸立の場合とは明りような相違を示していた。したがって、この調査地においては、ナラタケ菌がカラマツの根系をおかす頻度がきわめて大きいといえよう。

この点に関連して次のことを補足しておきたい。すなわち、カラマツの根に侵入したナラタケ菌の菌糸



第 8 図 ナラタケ病におかされた
カラマツの根系

Fig. 8 Roots of larch affected
with *Armillaria*
root rot.

Remark : Hatched parts, A
and B, were attacked by
A. mellea.

は徐々に根際に向かつて伸びるが、根の分岐点および根際から他の太根および中根の先端に向かつて下向することは無いように思われた。その一例を第 8 図に示したが、中根 A および B の斜線の部分にはナラタケ菌の白色の菌糸束が密に認められたが、これから分岐していた中根 C および D には菌糸束は認められなかつた。これと同様の例は根系調査中しばしば認められた。

これらの事実から見て、この調査地におけるナラタケ病による枯損木は、多くの場合多数の根が同時に、またはほとんど同時に感染を受けたのではないかと推定され、さらにこの点が感染後急速に枯損した原因をなしているのではないかと推定された。

枯損木および感染木は幹に多量の樹脂が分泌されていた場合が多く、戸立の場合と同様の症状を呈していた。

V-6. ナラタケ病の感染源

この調査地の伐採前の林況は、伐根の状況および隣接する同様の立地および土壌条件におかれている天然生林の状況から見て、150～200 年生のサワラの大径木からなる天然生林で、主としてミズナ

ラ、その他ミズメの大、中径木が少数混交していたものと推定された。

サワラおよびミズメの伐根にはナラタケ菌の根状菌糸束は確認できなかつたが、ミズナラの伐根にはいずれもナラタケ菌の根状菌糸束が顕著に認められた。

しかしながら、これらのミズナラの伐根に繁殖したナラタケ菌が主要な感染源をなしていたと考えられる場合は少なかつた。ミズナラの伐根は各区の周辺数 m (区域外) の部分も含めて、A 区は 7 本、B 区は 3 本、C および D 区は各 2 本にすぎなかつた。各区いずれもミズナラの伐根の周辺半径 2～3 m の範囲におけるナラタケ病による枯損木はきわめて少ないか、または全く認められず、伐根周辺のカラマツの植栽木は大部分、または全部が健全であつた。また、ナラタケ病による枯損木の大部分はミズナラの伐根から遠く離れて位置し、その影響を認めがたかつた。さらに、前述のように、カラマツのナラタケ病による枯損木の大部分は根際から四方に分岐していたほとんど大部分の根系がナラタケ菌におかされていたことも、ナラタケ病の主要な感染源および感染経路を、ミズナラの伐根以外に求めるべきことを示しているように思われた。

V-7. ナラタケ病の発生におよぼす環境諸因子の影響

この調査地は前述のように、A、B および C 区は地下水位が高く、グライ層が地表近くに存在し、過湿な水分環境におかれていた。また、D 区も B₀ 型土壌であるが、地形および不良な土壌の理学的性質から見て、雪どけ、梅雨期等には季節的に過湿な水分条件におかれることが推定された。

このような停滞水的な要素を含む過湿ないし湿性の水分条件は、前述の戸立の場合と同様にナラタケ病の発生に好適な条件を与えているものと考えられた。D→C→A 区の順に、水分環境が過湿に近づくほどナラタケ病の発生率が増大していたことは、過湿に近づくほどナラタケ病の発生を助長するものと推定された。しかしながら、B 区においては土壌および環境諸条件は隣接する A 区と同様であつたにもかかわらず、ナラタケ病の枯損率がいちじるしく小さかつたことは、上述の推論と相反する結果を与えていた。こ

れがいかなる原因にもとづくかは今後の究明に残された課題であろう。

さらに、前述のようにナラタケ病による枯損木の感染状態、感染後枯損までの経過は、この調査地における土壌中のナラタケ菌の activity が高いこと、およびおそらくは土壌中の分布密度が大きいことを推定させたが、全枯損率は戸立の場合とはいちじるしい相違が見られなかつた。これらの点は、ナラタケ病の発生には土壌の湿性の水分条件(停滞的な要素をふくむ)の影響が大きい、さらに他の因子が付加されることによつて、ナラタケ病の発生が生ずるのではないかと推定される。

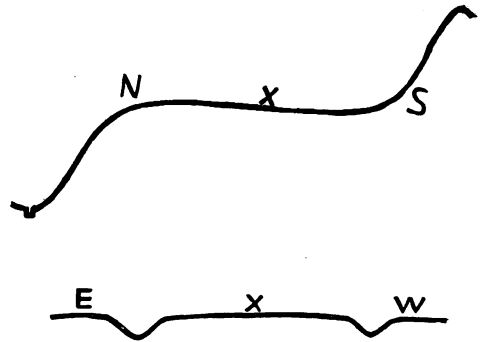
VI 上田営林署川西経営区 180 い林小班 (青木)

VI-1. 地形、立地および土壌

この調査地は標高 1,100 m, 長大な山腹斜面中腹における平坦な台地状地形をなしている(第 9 図参照)。母材は第三紀層黒色泥炭を主とし、緑色凝灰岩および安山岩を含む。土壌型は Bld 型土壌に属する。

断面形態、植生および土壌の理化学的性質は巻末の第 9~13 表および第 18 図(巻末)に示すごとくである。

土壌は塩質で、ヒノキの根系は下層まで分布していたが、30 cm 以下はすこぶる堅密であつた。A₃ 層以下は円礫を多く含むために自然状態の理学的性質は検討し得なかつた。A₁ および A₂ 層の自然状態の理学的性質はとくに異常な値を示さなかつたが、透水性はいずれも良好とはいいがたかつた。また、pH は低く、置換酸度も大きく、置換性 Ca 含有量も少なかつた。



第 9 図 青木カラマツ林の地形(模式図)
Fig. 9 Relief of Aoki Forest (Schematic presentation).

VI-2. カラマツの成長およびナラタケ病の被害状況

この調査地は大正 3 年にヒノキが植栽(調査当時 47 年生)され、その後多量に枯損を生じたために、昭和初期にカラマツの補植が行なわれた。カラマツ被害木の伐根の年輪からは、調査当時(昭和 35 年)樹齢約 32 年と推定された。調査当時ヒノキ 62%, カラマツ 36%, その他 2% の混交林を形成していた。カラマツは樹高 $\frac{19}{16\sim 21}$ m, 直径 $\frac{27}{25\sim 28}$ cm で、樹高成長は I 等地¹³⁾に相当し、きわめて良好な成長を示し、カラマツを上木としヒノキを下木とする二段林を形成していた。また、カラマツ被害木の伐根の年輪幅はいずれも植栽後引きつづき順調な成長経過をたどつていたことを示していた。

ナラタケ病の被害は昭和 33 年に約 20 本の枯損が発見され、34 および 35 年においても引きつづき各 20~30 本の被害の発生(枯損)が見られた。各年度別の被害木の位置からは、33 年に最初に集団的に被害(枯損)が発生し、順次同心円状に波状に被害が伝染していたことが認められた。

33 年および 34 年初期の枯損木の伐根は、いずれも根際にナラタケ菌の根状菌糸束が認められたが、新しい枯損木の伐根は根際および根際から約 1 m くらいの範囲の根系にはナラタケ菌の菌糸束は認められなかつた。

上述のナラタケ病の発生後の伝染経過および間伐がおくれているために立木密度が高いことから見て、

33年に発生した被害木の根系から順次健全木の根系にナラタケ菌が接触感染し、被害が拡大したものと推定された。

この林地においては、カラマツ（間伐木）ないし広葉樹（除伐木）の伐根等は見られなかった。したがって、33年に突然多数の被害木が集団的に発生した原因は、今回の調査結果からは手がかりが得られなかった。

この調査地の土壌は湿性の水分環境におかれていたが、グライ層ないしグライ斑、還元色の色調、斑鉄等は認められなかった。しかしながら、平坦な台地状地形および不良な理学的性質（透水性）からは、前述の戸立および中ノ沢の場合と同様に、季節的に過湿—停滞水的な要素を含む一な状態におかれることを推定することは決して困難ではなかった。このような土壌の水分条件がナラタケ病の発生に大きな影響をおよぼしているのではないかと思われた。

カラマツと混交していたヒノキにはナラタケ病の被害は全く見られなかった。この点はヒノキはナラタケ病に対して抵抗力が大きいことを示すものといえよう。

Ⅶ 上田営林署川西経営区 147 に林小班（野々入）

Ⅶ—1. 地形、立地条件および土壌

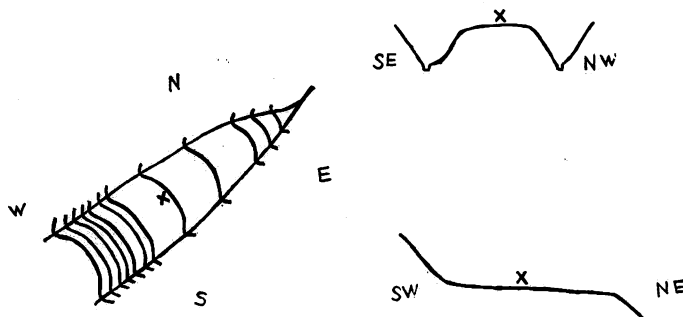
この調査地は標高 1,450 m、馬背状の平坦～緩斜な細長い台地状地形である（第 10 図参照）。母材は安山岩、土壌型は Bld-E 型土壌である。

断面形態、植生および土壌の理化学的性質は巻末の第 9～13 表および第 18 図（巻末）に示すごとくである。

土壌は埴質で、20 cm（B 層）以下は堅密であつた。各層位とも自然状態の理学的性質はとくに異常な価は見られなかったが、透水性はいずれも良好とはいいがたかつた。B 層において腐根が認められたことは、B 層以下がすこぶる堅密で、かつ透水性が不良であつたことと関連して、いちじるしく湿性（過湿）の水分環境におかれることが推定されたが、B 層以下においては還元色の色調、ないしは斑鉄等は認められなかった。表層の pH は低く、置換酸度も大きく、置換性 Ca 含有量も少なかつた。

Ⅶ—2. カラマツの成長およびナラタケ病の被害状況

調査地は大正 7 年植栽のカラマツ人工林で、調査当時 42 年生、樹高 $\frac{22}{20\sim24}$ m、直径 $\frac{29}{23\sim33}$ cm で、樹高成長は 1 等地下¹³⁾に相当しきわめて良好な成長を示していた。また、被害木の伐根の年輪幅はいずれ



第 10 図 野々入カラマツ林の地形（模式図）

Fig. 10 Relief of Nonoiri Forest (Schematic presentation).

も異常が認められず、植栽後ひきつづいて現在まで順調な成長経過をたどっていたことを示していた。

ナラタケ病の被害(枯損)は昭和 34 年 6 月に十数本のカラマツが集団的に枯損していたことが発見された。被害木の年輪から枯損はほぼ昭和 33 年に、また大体同じ時期に枯損したものと推定されたが、その後被害の拡大は認められなかった。被害木の伐根はいずれも根際にナラタケ菌の根状菌糸束が認められた。

この林地には古い伐根(おそらくカラマツ間伐木の伐根)が見られたが、腐朽がはげしく、樹種およびナラタケ菌の根状菌糸束は確認し得なかった。

したがって、前述の青木の場合と同様に感染源、感染経路等についての解明は今後に残された問題であった。

この土壌は、前述のように湿性の水分環境、とくに地形および土壌条件によつて季節的に過湿—停滞水的な要素を含む一状態におかれることが考えられる。したがって、前述の幼齢林の被害地および青木の場合と同様の条件を有するといえよう。また、このような土壌の水分条件がナラタケ病の発生に大きな影響をおよぼしているのではないかと思われた。

VIII 上田営林署川西経営区 142 は林小班(扉)

VIII-1. 地形、立地条件および土壌

この調査地は標高 1,350 m、地形は山腹急斜面の中腹における緩斜地形である(第 11 図参照)。母材は両輝石安山岩および花崗閃緑岩、土壌型は B/D-E 型土壌である。断面形態、植生および土壌の理化学的性質は巻末の第 9~13 表および第 18 図(巻末)に示すごとくである。

土壌は埴質であるが、下層まで比較的膨軟で、カラマツの根系は深層まで分布していた。崩積土のために下層まで理学的性質および透水性は良好であつた。また、表層は置換酸度が小さく、置換性 Ca 含有量は大きかつた。

VIII-2. カラマツの成長およびナラタケ病の被害状況

この調査地は大正 9 年植栽のカラマツ人工林で、調査当時 40 年生であつた。樹高は $\frac{21.5}{18 \sim 23}$ m、直径 $\frac{27}{24 \sim 35}$ cm で、樹高成長は 1 等地¹³⁾に相当し、きわめて良好な成長を示していた。

ナラタケ病による被害は 33 年秋ごろから散発的に順次約 20 本の枯損を生じ、調査当時(35 年秋)枯損木の周辺には衰弱木も認められた。

新しい枯損木については、前述の青木の場合と同様に根際および根際に近い根系にはナラタケ菌の根状菌糸束は認められなかったが、古い枯損木は根際および幹の部分までナラタケ菌の根状菌糸束が認められた。



第 11 図 扉カラマツ林の地形(模式図)

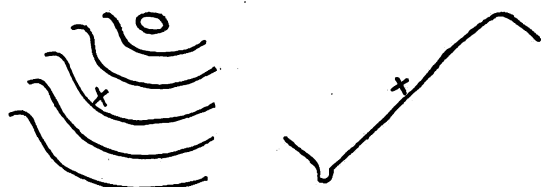
Fig. 11 Relief of Tobira Forest (Schematic presentation).

この林地においては広葉樹およびカラマツ間伐木等の伐根は見られず、また散発的に被害を生じていたために、感染源および感染経路については明りような知見が得られなかった。

この林地における土壌は、前述のように湿性の水分環境におかれているが、地形および土壌条件からは季節的に停滞水的な湿性の水分条件の影響を受けるとは考えらず、むしろ流動水的な要因を含む湿性の水分条件におかれているといえよう。

これらの点は、前述の青木および野々入の場合とは明りような相違が見られたが、また同時に被害が散発的に発生していた点でも明りような相違を示したことは興味深い。

IX 上田営林署川西経営区 137 号林小班 (和田)



第 12 図 和田カラマツ林の地形 (模式図)
Fig. 12 Relief of Wada Forest (Schematic presentation).

IX—1. 地形、立地条件および土壌

この調査地は標高 1,350 m、山腹斜面の中腹に位置する (第 12 図参照)。母材は火山灰 (兩輝石安山岩)、土壌型は B_d 型土壌である。断面形態、植生、土性および土壌の理化学的性質は巻末の第 9~13 表および第 18 図 (巻末) に示すごとくである。

土壌は埴質であるが、下層まで比較的膨軟で、カラマツの根系は深層まで分布していた。理学的性質および透水性は下層まで良好であつたが、pH は低く、置換酸度は大きく、置換性 Ca 含有量は少なかつた。

IX—2. カラマツの成長およびナラタケ病の被害状況

この調査地は大正 14 年植栽のカラマツ人工林で、調査当時 35 年生、樹高 $\frac{18}{14 \sim 19} m$ 、直径 $\frac{29}{24 \sim 36} cm$ で、樹高成長は 2 等地¹³⁾に相当し、良好な成長を示していた。被害木の伐根の年輪幅は、植栽後順調な成長経過をたどつてきたことを示していた。

ナラタケ病による被害は 32 年ごろから散発的に発生し、引きつづき 35 年秋 (調査当時) まで十数本の枯損を生じ、また衰弱木も認められた。

古い被害木の伐根にはナラタケ菌の根状菌糸束が認められたが、新しい被害木の伐根は根際および根際付近の根系には根状菌糸束は認められなかった。

林内にはカラマツの間伐木および広葉樹の伐根が認められなかったこと、および被害木が散発的に発生していたことは、感染源および感染経路について明りような知見を与えなかった。

この林地における地形的な因子および土壌条件は、前述の扉の場合と同様に土壌は湿性の水分環境におかれているが、季節的に過湿—停滞水的な要素を含む一な状態におかれるとは考えられず、むしろ流動水的な要因を含む湿性の水分条件におかれているといえよう。また、ナラタケ病の被害の散発的な発生状況も扉と同様の傾向を示していたことは興味ある現象であろう。

X 藪原営林署木祖路原官行造林地 3 い林小班 (木祖路原)

X—1. 地形、立地条件および土壌

この調査地は標高 1,400 m、この地域一帯は緩斜な丘陵性地形をなしているが、調査地は緩斜面の中腹

に位置する(第 13 図参照)。母材は基岩の古生層の上を厚く覆っている火山灰、土壌型は Bld(d) 型土壌である。

断面形態、植生、土性および理化学的性質は巻末の第 9~13 表および第 18 図(巻末)に示すごとくである。

この土壌は埴質で、20 cm 以下はすこぶる堅密であつた。表層は孔隙率はやや小さく、

理学的性質はやや不良で、透水性も良好とはいいがたかつた。A₁ 層の透水性が意外に不良なことは、地表面をおおっているオオイトスゲの根系が密に存在していることによつて助長されているのではないかと考えられた。

pH はほぼ中庸であつたが、置換酸度はやや大きく、置換性 Ca 含有量は少なかつた。

X-2. カラマツの成長およびナラタケ病の被害状況

この林地は昭和 4 年植栽のカラマツ人工林で、調査当時 30 年生であつた。樹高は $\frac{13.5}{12 \sim 15}$ m、直径 $\frac{22}{15 \sim 26}$ cm で、樹高成長は 3 等地¹³⁾に相当し、成長は良好とはいいがたかつた。被害木の伐根の年輪幅は植栽後 15~20 年間の成長は良好であつたが、以後は年輪幅はいちじるしい縮少を示し、成長量が低下していることを示していた。調査当時樹冠は鈍形を呈し、上長成長の低下を示していた。

昭和 34 年春に 11 本のカラマツのナラタケ病による枯損を生じたが、その詳細は次のごとくである。

被害木は細かく見ると 4 group に分けられたが、全体としてはこの林地の一隅にほぼ集団的に発生していたといえよう。感染源および感染経路を明らかにするために、被害木、数年前に行なわれた間伐木の伐根および周辺の健全木の根系を深さ 30 cm について掘り起こして相互の関係の検討を行なつたが、その結果は第 14~17 図に示すごとくである。

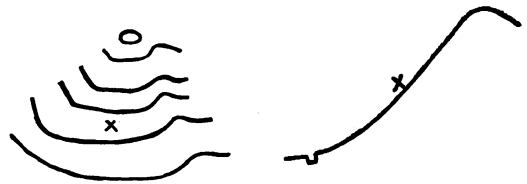
ナラタケ病による枯損の原因としては、以前に行なわれたカラマツ間伐木の伐根の根系に着生したナラタケ菌が、根系の相互の接触によつて健全木の根系に感染したことが主要なものと考えられた。しかしながら、第 14 および 15 図に示した枯損木において明りように認められたように、間伐木の伐根の根系が周辺に存在しないにもかかわらず、またナラタケ菌の繁殖した間伐木の根系との接触なしに被害木の一部の根系にナラタケ菌の感染が認められたことは、伐根に繁殖したナラタケ菌との接触感染以外にも、ナラタケ病の発生の可能性のあることを示すものといえよう。

カラマツ枯損木の根系は、調査当時いずれも根際から約 1~2 m の部分にはナラタケ菌の菌糸束が認められなかつた場合が多く、それ以下の根の先端に近い部分にナラタケ菌の菌糸束が認められた。したがつて、これらの被害木は吸収作用を営む細根の機能が阻害されたために枯損に至つたものと推定された。

枯損木の周辺の衰弱木(おそらく感染木と思われる)および新しい枯損木には結実の見られたものが多かつた(健全木は結実せず)ことは興味ある現象であつた。

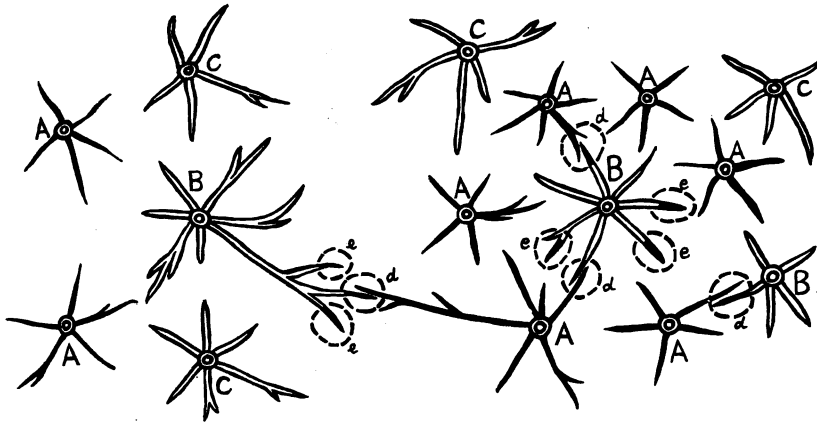
この調査地の土壌はやや乾性の水分環境におかれ、また斜面中腹に位置するために、季節的に過湿—停滞的な要素を含む一な状態におかれるとは考えがたい。これらの点で、前述の各調査地点とは土壌の水分条件は異なるといえよう。

以上のように、この林地では間伐木の伐根に繁殖したナラタケ菌が主要な感染源であることは明りよう



第 13 図 木祖路原カラマツ林の地形(模式図)

Fig. 13 Relief of Kisojigahara Forest
(Schematic presentation).



第 14 図 カラマツのナラタケ病枯損木 (B), 間伐木 (A) および健全木 (C) の根系の相互関係 (1)

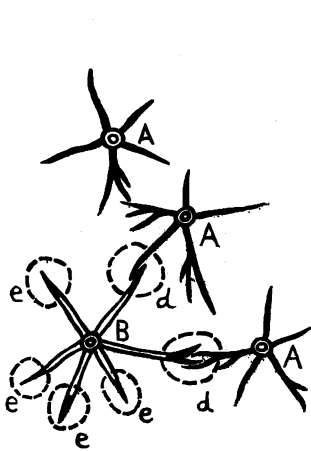
Fig. 14 Interrelation among root systems of killed larch by *A. mellea* (B), of previously felled one by thinning (A) and of healthy one (C) (1).

Remarks :

Black part shows the infected root.

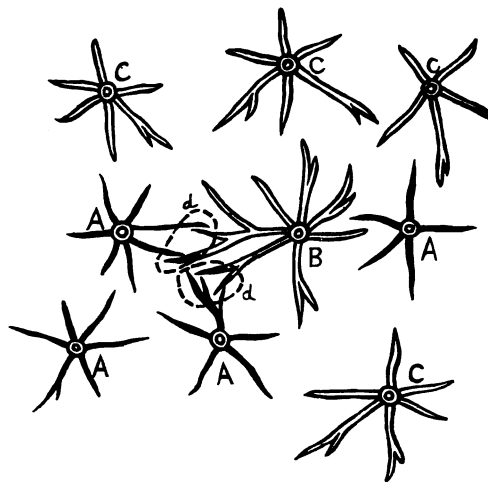
(d) shows infection of *A. mellea* by contact with root that *A. mellea* infected previously.

(e) shows infection of *A. mellea* without contact with root previously infected by *A. mellea*.



第 15 図 同上 (2)

Fig. 15 Ibid. (2)



第 16 図 同上 (3)

Fig. 16 Ibid. (3)

であるが、次の諸点はなお今後に説明を要する課題として残されているといえよう。すなわち、ナラタケ病による被害木は集団的に発生していたといえるが、これらはこの造林地全体から見るとわずかな部分を占めていたにすぎない。カラマツ間伐木の伐根は、被害木の周辺以外ではナラタケ菌の根状菌糸束が認められなかつた場合が多かつた (上記の感染源をなしていた伐根には、いずれも根状菌糸束が認められた)。土壌および立地条件が同一と考えられる林地において、なにゆえに一部の箇所の伐根にだけナラタケ菌が

繁殖し、健全木の感染源となっていたのか？ また、少数ではあつたが、他のナラタケ菌の繁殖の認められた間伐木の周辺の健全木に被害の発生が認められなかつたのはなぜであろうか？ これらの諸点はなお今後の課題として残された問題であろう。

XI 考 察

信州地方におけるカラマツのナラタケ病の被害は、幼齡林ばかりでなく、壮齡林においても見られた。筆者らの今までの調査結果では（未報告の林地をも

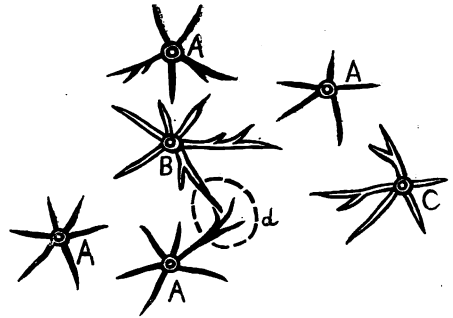
含めて）、幼齡林における被害地はこの地方のカラマツ全造林面積から見れば、きわめて僅少といえよう。しかしながら、局地的には集中的に大きな被害の発生している場合がしばしば見られ、この点が今後のカラマツの拡大造林にとまなう問題点となろう。壮齡林においては、30～40年生前後の造林地の被害が観察されているが、その他の樹齡の被害地はまだ観察されていない。また、幼齡林の場合とは異なり、造林地の一部に比較的わずかな被害が見られたにすぎない場合が多かつた。

わが国のカラマツのナラタケ病については、若い造林地の比較的多い北海道において、幼齡林の被害についての調査結果がすでに報告されている。以下、これらの結果を総合して、その発生に影響をおよぼす諸因子について考察を試みたい。

XI-1. 地形および土壤条件の影響

カラマツ幼齡林のナラタケ病の発生と地形および土壤条件との関係について、小林（享）¹⁰⁾ は地形的に凹所一水の集まりやすい所、凹地、斜面の肩のうしろの部分や下部、台地の中央部等一に多いという。魚住および小野²²⁾ は、北海道では傾斜地では斜面上部にはほとんど被害を認めず、中央部にもつとも多く、下部にもおよぶが、沢地等の湿地には被害を認めないという。これに対して、小村（守）⁹⁾ は北海道十勝において、斜面の尾根から中腹にかけて、凸地形に顕著に被害が生ずること、またV字状の沢や凹地の湿地には少なく、さらに、ES-WSの乾燥型方位に多く、EN-WNの傾斜面では少ないことを明らかにした。小野・篠原および内田¹⁴⁾ は、北海道池田および北見における被害は南面に多く、北面では少なく、また尾根に多く、ことに凸地（小尾根）に多く、凹地（小沢）では少ないという。さらに、小野および内田¹⁵⁾ は、北海道名寄地方では凹地形および緩斜地に発生するが、池田および北見地方では尾根から少し下がった南よりの斜面、また同一斜面内部でも凸地形に被害が生ずることを明らかにし、地方ごとに被害地の地形が異なることを指摘している。内田²¹⁾ は第3紀層に由来する土壤の名寄地方では沢沿いの凹地に、火山灰に由来する土壤の函館、北見、池田地方では峰通り等の凸地に被害が多いという。

地形的因子は当然土壤の水湿条件に顕著な相違をおよぼすことが考えられる。小林（享）¹⁰⁾、小野および内田¹⁵⁾ の名寄地方の被害地の地形においては、一般に土壤は停滯水的な要因を多分に含む湿性の水分環境におかれることが予想される。これと相反する小野および内田¹⁵⁾ の指摘する函館、池田、北見地方の被害地は、一般に乾性の水分環境の予想される地形であるが、同氏らは土壤は erosion のために表層の火山灰層が流亡しやすく、下部の不透水層が比較的浅いところに出現するために、雪どけ期には土壤水が停滯しやすく、一時的に停滯する可能性のあることを指摘している。



第 17 図 同上 (4)

Fig. 17 Ibid. (4)

Day³⁾ は一般に造林地におけるナラタケ病の被害は土壌が非常に湿性の条件で生ずること、さらに土壌がいちじるしく乾燥した条件にともなつて生ずることがしばしば指摘されているが、決して乾燥期間中には生じないことを、諸研究者の結果から総合している。

筆者らの結果では、幼齢林における被害は、戸立および中ノ沢において示したように、緩斜～平坦な台地状地形の残積土、沢沿いの平坦な洪涵堆積地においていちじるしい。戸立において示したように、一般には土壌が乾性の水分環境におかれる斜面上部では、単木的にわずかな被害の生ずる場合が観察されたが、このような例はきわめてまれであつた。主として適潤性～弱湿性土壌の出現する山腹斜面下部では、散発的にわずかな被害の生じていた例もしばしば見られたが、発生頻度および被害程度は上述の地形に比べるといちじるしく軽微といえよう。

これらの結果は、カラマツ幼齢林のナラタケ病の発生には、主として地形にもとづく土壌の湿性の水分環境が大きな影響をおよぼすといえよう。さらに、湿性の水分環境においても、土壌水が流動的な性格を有する場合に比べて、停滞的な要因を含む場合には、被害の発生は飛躍的に増大するといえよう。

この点は、戸立の台地状尾根（1および2区）における被害が、微細な凹地形に集中している例からも、さらに明りように裏書きされよう。

上記の地形においては、土壌は一般に残積土（ないし古い水積土）に属し、下層土の理学的性質が不良な場合が多い。さらに、戸立および中ノ沢の例に見られたように、土壌が塩質の場合は停滞的な要因を含む土壌の湿性の水分条件を、さらに助長するものといえよう。

しかしながら、このような地形および土壌条件におけるカラマツ幼齢林において、必ずしもナラタケ病の被害を生ずるとはいいがたい。この点は中ノ沢のB区の例に示されたとおりであるが、さらに筆者らの観察では、同様な地形および土壌条件において、ナラタケ病の被害がほとんど見られないカラマツ幼齢林もこの地方では決して少なくはなかつたからである。

したがつて、上記の地形および土壌条件はナラタケ病の発生に好適な条件を与えているといえるが、決定的な因子とはいいがたいように思われる。この点は、後述のように、ナラタケ病の発生はカラマツの樹勢とナラタケ菌の病原性の相対的な関係によつて決定されと考えられるが、上記の地形および土壌条件によつて生ずる嫌氣的な土壌条件は、カラマツの樹勢を低下せしめ、相対的にナラタケ菌の病原性を高めるのに役だつてあらうと考えられる。

カラマツ壮齢林におけるナラタケ病の被害例の報告はきわめて少ない。塩崎²⁰⁾は北海道北見における被害地は、停滞的な過湿な土壌条件におかれていることが原因であることを指摘している。

今回筆者らが調査した結果では、この地方の壮齢林の被害地の地形および土壌条件は幼齢林の場合より幅が広く、a) 幼齢林の場合と同様に湿性～停滞的な要因を含む一水分条件におかれている平坦～緩斜な台地状地形における適潤～弱湿性土壌（青木および野々入）、b) 山腹斜面中腹の流動的な要因を含む湿性の水分条件におかれている適潤～弱湿性土壌（扉および和田）、c) 山腹斜面中腹の多少乾性の水分環境における土壌（木祖路原）等において被害の発生が見られている。しかしながら、典型的な乾性土壌における被害例はまだ観察されていない。

a) の平坦～緩斜な台地状地形では、一般に残積土（古い水積土を含む）に属し、下層土の理学的性質は不良で、前述の幼齢林被害地の場合と同様に季節的に過湿な水分条件におかれることが予想される。さらに、青木および野々入で見られたように、土壌が塩質な場合には、上記の土壌の過湿な水湿条件をさら

に助長するものと考えられる。

b) の山腹斜面の場合は、土壌は一般に崩積土ないし圃行土に属し、理学的性質も良好で、過湿—停滞水的な要因を含む一な水湿条件を推定することはきわめて困難である。

c) も地形および土壌条件からは、同様に過湿な水分条件を推定することはむずかしい。

以上のように、壮齡林における被害地は、地形および土壌条件から推定される水分条件は幅が広く、共通点を求めることは困難であつた。しかしながら、幼齡林被害地の場合と同様の地形および土壌条件を有する青木および野々入において被害が集団的に発生し、流動水的な要因を含む湿性の水分環境およびやや乾性の水分環境におかれている扉、和田、木祖路原において、被害が散発的に生じ、両者の間に相違が見られたことは、その原因の究明は今後に残された課題であるが興味ある問題であろう。

XI—2. 感 染 源

今関および小林(享)⁹⁾は、ナラタケ病の感染源として、ナラタケ菌の根状菌糸束またはナラタケ菌が寄生している根との接触を指摘している。小林(享)¹⁰⁾、小林(守)⁹⁾、佐保¹⁸⁾はカラマツ幼齡林中の原生樹の伐根に寄生したナラタケ菌が感染源をなしていることを明らかにした。ナラタケ菌の繁殖する伐根としては、カラマツ、ミズナラ、モミ、アカマツ、シラベ等が主要なものとされている¹⁰⁾。

一般に、多くの樹木のナラタケ病の感染源として、ナラタケ菌に感染または繁殖した根との接触が感染源をなしていることは、MARSH¹¹⁾が black currant, ZELLER²³⁾がリンゴおよびトウヒ, BUCKLAND¹⁾が douglas fir について認めている。その他、ZELLER²³⁾はリンゴおよびトウヒの場合には、一般に根の傷口からナラタケ菌の侵入が行なわれることを明らかにし、BUCKLAND¹⁾も健全な根の樹皮を直接菌が貫通する場合は見られず、機械的な損傷および健全な根と感染した根との癒合によつて、ナラタケ菌の侵入が行なわれていることを認めている。DAY²⁾は一般に広葉樹の伐根に繁殖したナラタケ菌の根状菌糸束が感染源をなしていることを指摘するとともに、同時にカラマツについて、根に傷口がないにもかかわらずナラタケ菌が侵入している多くの例を認め、傷口ないし伐根はナラタケ病の発生には必ずしも必要ではないとしている。

筆者らの結果では、戸立の幼齡林において、ミズナラ、クリ、シラカンバ、その他のナラタケ菌が繁殖した広葉樹の伐根との接触が主要な感染源と推定された。しかしながら、このような原生樹の伐根だけが唯一の感染源とは考えがたいことは、前述の戸立および中ノ沢の例からも明らかであろう。

壮齡林の場合には、木祖路原において、ナラタケ菌の繁殖したカラマツの間伐木の伐根との接触感染が主要な原因となつていた例を認めたが、その他の調査地ではいずれも林内に伐根が認められず、感染源を明らかにし得なかつた。これらの感染源についての究明は、なお今後の調査研究にゆずりたい。

XI—3. ナラタケ病の発生経過——カラマツとナラタケ菌の相互の関係および枯損するまでの経過

ナラタケ菌は多種類の樹木を犯す、いわゆる多犯性の菌として知られている。ナラタケ菌の病原菌としての作用は、1) 健全な樹木を枯損せしめる強力な寄生菌であるとする見解と、2) 他の原因で衰弱した樹木を枯損せしめる二次的な寄生菌であるとする見解が行なわれている。

前者については、PATTON および RICKER¹⁶⁾は7～10年生の針葉樹人工林で、旺盛な成長を示している林木が、他の要因で衰弱した兆候もなしに、ナラタケ菌によつて枯損する場合を認めている。DAY²⁾は各種の針葉樹のナラタケ菌に感染した根の解剖学的な観察結果から、ナラタケ菌は無傷の健全な根を貫通するために、強力な寄生菌になりうるとし、さらに、かれ³⁾は人工林または人為が相当に加わつた林地で

は、ナラタケ菌は強力な寄生菌として作用するという見解を示している。

これに対して、後者の見解を支持する研究例はいちじるしく多い。BUCKLAND¹⁾ は douglas fir では成長の衰えている林木ほどナラタケ菌による枯損が多く、菌が侵入しても良好な成長を示している林木では菌は繁殖できないが、林木が衰弱すると寄生菌として作用することを明らかにし、ナラタケ病の発生する外部因子として、1) 瘠悪地および岩石地、2) 根の畸形を指摘し、また根系が発育不良で畸形を呈している場合は、幼齡木の樹勢には影響しないが、ナラタケ病の原因となることを指摘している。MARSH¹¹⁾ もリンゴ園で樹の樹勢が、低下するほど菌の病原性が増大し、枯損が多くなることを明らかにしている。SECRET, MACALONEY および LORENZ¹⁹⁾ は、ツガ林で長期の干ばつ後に生じた穿孔虫の攻撃が一次的原因として作用し、その後ナラタケ菌が二次的な原因となつて枯損に至っている例を報告している。DAY²⁾ は干ばつ後林木がナラタケ菌によつて犯された例を報告し、さらに林木は不良な土壤条件、またはこれにウドンコ病菌または defoliating larvae の侵害が結合した場合に、ナラタケ菌が二次的因子として作用することを明らかにし、その他干ばつ等が一次的因子をなし、ナラタケ菌が二次的因子をなしている多くの例を引用している。佐保¹⁸⁾ は、カラマツ幼齡林について、ナラタケ菌は健全な根には侵入しがたく、植え方が不良で根が異常な場合に被害が多いという。

BUCKLAND¹⁾ は douglas fir について、樹勢の旺盛な林木では菌が根に侵入すると、その周囲に callus と樹脂層を形成することによつて、菌の発育を阻止する例を認めている。

さらに、DAY³⁾ は針葉樹では樹種によつてナラタケ菌に対する抵抗力に相違が見られるが、この点は固有の因子よりもむしろ外部の因子の方がより重要であるとする見解を示し、RAYNER¹⁷⁾ もナラタケ菌の病原菌としての強さは、林木の反応と菌の固有の性質によるというよりも、むしろ環境因子によつて決定されるという。

以上のように、ナラタケ菌は二次的な因子として作用するという見解の方が有力であるように思われる。

筆者らの調査結果では、戸立のカラマツ幼齡林において、ナラタケ菌に感染後、感染した中根と太根との境界を樹脂層によつて遮断することによつて治癒し、その後成長を回復していた場合がしばしば認められたことは、前述の BUCKLAND¹⁾ の douglas fir における場合と類似した結果を示していたが、同時にナラタケ菌はカラマツに対して必ずしも強力な寄生菌として作用するものではないことを示すものといえよう。

刈住および寺田⁶⁾ は、カラマツの根系は嫌気的な条件に対してきわめて抵抗力が弱いことを明らかにした。前述の戸立および中ノ沢の幼齡林の地形および土壤条件は、季節的（一時的）に停滯水的な要因を含む湿性の水分条件におかれることが推定された。このような環境因子が季節的（一時的）にカラマツを衰弱せしめ、ナラタケ菌に対する抵抗力を相対的に低下せしめていたのではないかと思われる。これらの調査地におけるカラマツが全般的に良好な成長を示し、さらに被害木も感染前には良好な成長を示していたことは、このようなカラマツに不利な条件が季節的（短期間）のものであり、年間を通じての成長量にはとくに阻害因子となつていないことを示すものといえよう。

しかしながら、中ノ沢のカラマツ幼齡林が枯損の年度においても良好な成長を示し、ナラタケ菌に感染後急速に枯損に至っていることは、ナラタケ菌が強力な寄生菌として作用していたと考えるよりも、前述のように感染の頻度が高いことによるのではないかと考えられる。

したがって、カラマツ幼齡林に対するナラタケ菌の病原菌としての性格は、地形および土壤条件によってもたらされる停滞的な要因を含む湿性(過湿)の水分条件におかれる程度と期間、それにとまうカラマツの衰弱(一時的)の程度、およびおそらくは土壤中のナラタケ菌の密度によつて影響されるのではないかと考えられる感染の頻度によつて支配されるのではないと思われる。

壯齡林については、木祖路原では樹齡 15~20 年以後は急激な成長低下を示し、樹勢の低下がナラタケ菌に対する抵抗力を相対的に低下せしめていたと思われる。青木および野々入はいずれも 1 等地の樹高成長を示し、被害木の年輪幅からは樹勢の低下は見られなかった。これらの林地においては、前述の幼齡林の場合と同様に、地形および土壤条件によつてもたらされる季節的な過湿な水分条件によつて、季節的(一時的)に樹勢が低下し、ナラタケ菌に対する抵抗力を相対的に低下せしめることが考えられる。筆者らの一人河田⁹⁾はさきに、前山・桐原国有林におけるカラマツ壯齡林の成長は土壤の理学的性質によつていちじるしい影響を受け、理学的性質の不良な残積土に属する平坦な台地状尾根では、いちじるしく成長の不良なことを指摘した。青木および野々入が山腹斜面中腹の台地状地形の理学的性質の不良な残積土であるにもかかわらず、いちじるしく良好な成長を示していたことは、おそらくは山腹斜面上の位置の相違と、それにとまう土壤の水分環境の相違によつてもたらされたものであろう。扉および和田はそれぞれ 1 および 2 等地の樹高成長を示し、被害木の年輪幅はいずれも樹勢の低下は見られなかった。さらに、地形および土壤条件は季節的に過湿な条件におかれることを推定しがたく、カラマツの樹勢を低下せしめる要因を見いだすことは困難であつた。

このように、壯齡林の被害地の土壤条件は幅が広く、ナラタケ病の発生に影響をおよぼす因子については、明りような結論を見いだしがたかつた。

カラマツがナラタケ菌に感染後枯損するまでの年数は、判定方法によつて当然相違が生ずるのであろうが、幼齡林については、今関および小林(享)⁹⁾は満 1 (2 年目)ないし 2 年とし、魚住および小野²²⁾は 2~3 年の潜伏期があるとし、小林(守)⁹⁾は 3~5 年としている。筆者らの調査結果では、前述のように、戸立および中ノ沢ではいちじるしい相違が見られたが、戸立では感染後 1 年以内で枯損したものが半ば以上を占め、2 年以内で枯損したものをあわせると大半を占め、中ノ沢では感染後 1 年以内ないしさらに短期間に急速に枯損したものが大部を占め、前述の諸氏の結果に比べるとさらに短期間で枯損にいたるものと判定された。

XII 要 約

この報告は信州地方におけるカラマツ林のナラタケ病被害地—幼齡林および壯齡林—7 箇所について、発生におよぼす環境因子—主として土壤条件—の影響および発生経過等について調査したものである。

得られた結果の概要は次のごとくである。

A. 幼 齡 林

1. 戸立林地肥培試験地

a) この試験地は緩斜な台地状尾根および山腹斜面に位置し、(B₁)_{D(d)}, B_D, (B₁)_D, B_{1D} 型土壤等に属する。

b) 植栽後 4~7 年にわたつて、被害の発生状況について 4 箇年の継続調査が行なわれた。

c) ナラタケ病による枯損は 3 年目から発生し、4~5 年目がもつともはげしく、6 年目はいちじるし

第9表 断面形態
Table 9. Description of profile.

土壌型 Type of soil	層位 Horizon	厚さ Thickness (cm)	推移状態 Definition of boundary	色 Color	石 礫 Stone (Size, quantity)	土 性 Texture	構 造 Structure	堅密度 Compac- tness	根 系 Root	母材, 標高, 方位, 傾斜, 堆積様式 Parent material, Height above sea level (m), Direction, Inclination, mode of formation
---------------------	---------------	----------------------	--------------------------------	------------	-------------------------------	----------------	------------------	-------------------------	-------------	--

i) 1C区: Plot 1C

I 戸立: Todate

(Bl) _D	A ₀	L: 1~2 cm, F: 2 cm								Volcanic ash, 1,200 m, N 40° W, 10°, Residual soil
	A ₁	7		dark brown	none	hC	Cr	1	5	
	A ₂	10~12	G	(brownish) black	none	hC	(Cr)-M	2	4	
	A-B	15~35	G	light blackish brown, (reddish) brown	none	lC	M	2	2	
	A'	10	G	black	none	C*	M	3	1	
	A'-B'	10~20	G	blackish brown, light yellow	none	C*	M	3	1	
	B'	20+	G	light yellowish orange	none	C*	M	3	—	

ii) 2C区: Plot 2C

(Bl) _D	A ₀	L: +~1 cm, F: 2 cm								Volcanic ash, 1,200 m, N 40° W, 10°, Residual soil
	A ₁	12		(brownish) black	none	hC	Cr	1—2	3	
	A ₂	19	G	(brownish) black	none	hC	(Cr)-M	2	2	
	(B)	(5)	G	reddish brown	none	lC	M	2	2	
	A'	10~12	G	dark grayish black	none	lC	M	3	2	
	A'-B'	10~12	G	dark grayish black, light orange	none	lC	M	3	1	
	B'	15+	G	light yellowish orange	none	lC	M	4	—	

iii) 3C区上部: Upper part of Plot 3C

(Bl) _{D(d)}	A ₀	L: +~1 cm, F: +~1 cm								Sandstone and clayslate (palaeozoic), Volcanic ash, 1,200 m, W, 23°,
	A ₁	10		(brownish) black	none	lC	Cr, Gr	1—2	4	
	A ₂	6~10	C	(brownish) black	none	lC	Gr	3	4	

B ₁	13~18	G	dark yellowish brown	medium, frequent	CL	M	3	2	Residual soil
B ₂	12		dark yellowish brown	large and medium, abundant	SCL	M	3	1	
C	20+	C	light yellowish brown	large, medium and small, abundant	CL	M	4	—	

iv) 3C区下部: Lower part of Plot 3C

B _D	A ₀	L: +, F: +~1 cm								Sandstone and clayslate (palaeozoic), Volcanic ash, 1,170 m, W, 20°, Colluvial soil
	A ₁	9~11	G	blackish brown	none	IC	Cr	1	4	
	A ₂	8~11	G	blackish brown	small, frequent	IC	(Cr)-M	2	3	
	B ₁	12~15	C	yellowish brown	medium and small, frequent	L	M	4	2	
	B ₂	20+	G	yellowish brown	large and medium, abundant	SL	M	4	1	

v) 4C区上部: Upper part of Plot 4C

B _D	A ₀	L: 1~2 cm, F: +~1 cm								Volcanic ash, 1,200 m, N 60° W, 15°, Residual soil
	A	10~13	C	dark brown	none	IC	Cr	1—2	4	
	A-B	15	C	brown	none	IC	M	3	2	
	B ₁	10~14	G	dark yellowish brown	none	IC	M	4	1	
	B ₂	25+	G	yellowish brown	none	IC	M	4	—	

vi) 4C区下部: Lower part of Plot 4C

B _{LD}	A ₀	L: 1~2 cm, F: 1~2 cm								Volcanic ash, 1,170 m, N 50° W, 15°, Colluvial soil
	A ₁	7~10	G	black	none	hC	Cr	1	4	
	A ₂	11~13	G	black	none	IC	(Cr)-M	2	2	
	A ₃	13~15	G	black	none	IC	M	3	2	
	A-B	18~20	C	dark blackish brown	none	IC	M	3	1	
	B ₁	10	G	dark yellowish brown	none	SCL	M	3	—	
	B ₂	5+	G	yellowish brown	none	SCL	M	3	—	

II 中ノ沢: Nakanosawa

i) A区: Plot A

土壤型 Type of soil	層 位 Horizon	厚 さ Thick- ness (cm)	推移狀態 Defini- tion of bound- ary	色 Color	石 礫 Stone (Size, quantity)	土 性 Texture	構 造 Struc- ture	堅密度 Compac- tness	根 系 Root	母材, 標高, 方位, 傾斜, 堆積様式 Parent material, Height above sea level (m), Direc- tion, Inclination, mode of formation
G	A ₀	L: +, F: +								Granite, sandstone and clayslate (mesozoic), 1,200 m, S 20° E, 2°, deposit of flood
	A	15~18	C	brown	small (round), occasional	IC	Cr	2	3	
	B	10~18		yellowish brown	small (round), occasional	IC	M	3	2	
	G	12		dark grayish blue, ferru- ginous mottling	medium and large, abun- dant	IC	M	4	—	

ii) B区: Plot B

G	A ₀	L: +, F: +								ibid.
	A	2	S	blackish brown	none	CL*	Cr	2	3	
	B	20~30		yellowish brown	small (round), occasional	IC	M	3	2	
	G ₁	15	C	dark grayish blue, ferru- ginous mottling	small (round), occasional	IC	M	4	—	
	G ₂	20	G	dark grayish blue, ferru- ginous mottling	small, abundant	IC	M	4	—	

iii) C区: Plot C

G	A ₀	L: +, F: +								ibid.
	A	3	S	blackish brown	small (round), occasional	CL*	Cr	2	3	
	A-B	10~15		yellowish brown	small (round), occasional	IC	M	3	2	
	B ₁ -(G)	10~15	G	grayish brown	medium, frequent	IC	M	3	—	
	(B ₂)-G	10+		grayish blue	large, abundant	IC	M	4	—	

iv) D区: Plot D

B _D	A ₀	L: +, F: +								ibid.
	A	1~2	C	black	small (round), occasional	CL*	Cr	1	4-3	
	A-B	10		dark yellowish brown	small frequent	IC	(Cr)-M	2	2	
	B ₁	10	G	grayish brown	ibid.	IC	M	3	1	
	B ₂	18~20	C	dark brown	medium frequent	CL	M	3	—	
	C	10+	S	light yellowish brown	large, abundant	CL*	M	3	—	

III 青木: Aoki

Bld	A ₀	L : +, F : 2~4 cm								Mudstone and greentuff (tertiary),
	A ₁	5~10	C	black	small (round), rare	IC	Cr, (Gr)	1	3	Andesite, 1,400 m,
	A ₂	10~14		dark blackish brown	ibid.	IC	(Cr)-M	2	4	N 20° E, 10°,
	A ₃	8~10	G	dark brown	medium and small(round), frequent	IC	M	3	2	Residual soil
	A'	7~10	C	dark blackish brown	medium (round) frequent	IC	M	4	1	
	B'	10+	S	yellowish brown	medium and small(round), abundant	IC	M	4	—	

IV 野々入: Nonoiri

B/D-E	A ₀	L: +, F: 5 cm								Andesite, 1,450 m,
	A	12~18	C G G	black	small round, occasional	IC	Cr	1—2	4	N 40° E, 8—10°, Residual soil
	B	20~22		dark yellowish brown	ibld.	IC	M	3	1	
	A'	10		dark brown	ibid.	IC	M	4	—	
	B'	10+		light yellowish brown	ibid.	CL	M	4	—	

V 扉: Tobira

B/D-E	A ₀	L: +~1, F: 2 cm								Pyroxene Andesite and
	A ₁	10~20	G	black	medium and small, occasional	IC	Cr	1	4	Grano Diorite, 1,350 m,
	A ₂	5~10		blackish brown	medium and small, frequent	IC	M	2	3	S, 10°, Colluvial soil
	B	25+	G	dark brown	ibid.	IC	M	2—3	2	

VI 和田: Wada

B _D	A ₀	L : +, F : 2~3 cm								Pyroxene Andesite and
	A	10~12	G	blackish brown	medium and small, occa- sional	1C	Cr	1	4	Volcanic ash, 1,300 m,
	A-B	10		brown	ibid.	hC	M	2	3	S 20° E, 20°,
	B	20+		dark yellowish brown	ibid.	hC	M	2—3	2	Colluvial soil

土壌型 Type of soil	層 位 Horizon	厚 さ Thick- ness (cm)	推移状態 Defini- tion of bound- ary	色 Color	石 礫 Stone (Size, quantity)	土 性 Texture	構 造 Struc- ture	堅密度 Compac- tness	根 系 Root	母材, 標高, 方位, 傾斜, 堆 積様式 Parent material, Height above sea level (m), Direc- tion, Inclination, mode of formation
---------------------------	----------------	-------------------------------	---	------------	-------------------------------	----------------	-----------------------	-------------------------	-------------	---

Ⅶ 木祖路原 : Kisojigahara

B _{1b} (d)	A ₀	L : +, F : 2~4 cm							Volcanic ash, 1,400 m,	
	A ₁	6~9	G	black	small (pumice), rare	IC	Gr	2	4	S 20° W, 15°,
	A ₂	11~14		black	ibid.	IC	Gr	3	2	Creep soil
	A-B	12~18		blackish yellow brown	ibid.	IC	M	4	1	
	A'	22~25		black	ibid.	IC	M	4	1	
	B'	15		yellowish brown	ibid.	SCL	M	4	—	

Remarks :

Type of soil :

B_{1b} : Moderately moist black soil, (B₁)_D : degraded type of B_{1b}, B_{1b}(d) : B_{1b} soil that has well developed granular or nutty structure in A horizon, (B₁)_D(d) : Degraded type of B_{1b}(d), B_{1b}-E : Intermediate type between B_{1b} and B_{1E} (Slightly wetted black soil) soils, B_D : Moderately moist brown forest soil, G : Gley soil.

Definition of boundary :

S : Sharply defined, C : Clearly defined, G : Gradually merging.

Texture :

hC : Heavy clay, IC : Light clay, CL : Clay loam, SCL : Sandy clay loam, L : Loam, SL : Sandy loam.

*) Texture determined in the field, not by mechanical analysis.

Structure :

Cr...Crumb structure, Gr...Granular structure, M...Massive.

Compactness :

1 : Soil aggregates bound loosely, 2 : Soil aggregates bound loosely and firmly, 3 : Soil aggregates bound compactly, 4 : Soil aggregates bound very compactly.

Root : 5 : Very abundant, 4 : Abundant, 3 : Frequent, 2 : Occasional, 1 : Rare.

第 10 表 植 生
Table 10. Vegetation

I 戸 立 : Todate	
i) 1C区 : Plot 1C	
Ds : カラマツ 3	
Sh : ノリウツギ 2, リョウブ 2, ヤマウルシ 1, クリ 1, クロソヨゴ 1	
G : ミヤコザサ 5, サルマメ +, コウヤノマンネンズギ +	
ii) 2C区 : Plot 2C	
Ds : カラマツ 3	
Sh : ミズナラ 2, ヤマウルシ 2, リョウブ 2, シラカンバ 1, クリ 1, ノリウツギ 1, アカマツ +	
G : ススキ 3, ワラビ 1, ミツバヒヨドリ +, , シシガシラ +, サルマメ +, スギゴケ (locally) 2	
iii) 3C区上部 : Upper part of Plot 3C	
Ds : カラマツ 3	
Sh : リョウブ 2, シラカンバ 2, ミズナラ 1, クリ 1, クロソヨゴ 1	
G : ミヤコザサ 5, ススキ 1	
iv) 3C区下部 : Lower part of Plot 3C	
Ds : カラマツ 3	
Sh : シラカンバ 2, ミズナラ 1, リョウブ +, アカマツ +	
G : ミヤコザサ 5, イタドリ 2, ワラビ 1, キイチゴ 1, ノイバラ +, タラノキ +, ゴウアケビ +	
v) 4C区上部 : Upper part of Plot 4C	
Ds : カラマツ 4	
Sh : ミズナラ 2, リョウブ 2, クリ 1, エンコウカエデ 1, クロソヨゴ 1, ノリウツギ 1	
G : ミヤコザサ 4, ワラビ 2, ススキ 1, スギゴケ 1	
vi) 4C区下部 : Lower part of Plot 4C	
Ds : カラマツ 4	
Sh : ミズナラ 3, コシアブラ 1, クリ 1, リョウブ 1	
G : ミヤコザサ 3, ススキ 3, ワラビ 1, スギゴケ +	
II 中ノ沢 : Nakanosawa	
i) A区 : Plot A	
Ds : カラマツ 4	
G : オトコヨモギ 4, イヌツゲ 1, ヤマハハコ 1, タケニグサ +, ススキ +, ノリウツギ +, ワラビ +	
ii) B区 : Plot B	
Ds : カラマツ 4	
G : ハンゴンソウ 1, ノリウツギ 1, バライチゴ +, ワラビ +, ウダイカンバ +	
iii) C区 : Plot C	
Ds : カラマツ 4	
G : キイチゴ 3, ノリウツギ 1, ハンゴンソウ 1, ワラビ 1, ウダイカンバ 1	
iv) D区 : Plot D	
Ds : カラマツ 4	
G : バライチゴ 3, ダケカンバ 2, ススキ 1, ノリウツギ +, ウダイカンバ +, ホオノキ +, ハンゴンソウ +	

III 青 木 : Aoki

D: ヒノキ 5, カラマツ 3

G: キフジ 2, クロソヨゴ 1, ヒノキ 1, ヤマウルシ 1, ギボシ 2, チゴユリ 1~+, ゴンゼツ +, ウワミズザクラ +, ヤマモミジ +, ミズナラ +, ノリウツギ +, アキノキリンソウ +

IV 野々入 : Nonoiri

D: カラマツ 4

Sh: キイチゴ 2, ハリギリ +, レンゲツツジ +, ニワトコ +, ヤマウルシ +, タラノキ +, ウラジロモミ +, トチ +, ウリハダカエデ +, イタヤカエデ +, ノリウツギ +

G: オオイトスゲ 5, コケ 5, アキノキリンソウ 2, アオダモ +, ミズナラ +, ハンゴンソウ +, ゴマナ +, ギボシ +

V 扉 : Tobira

D: カラマツ 4

Sh: ミズキ 1, マユミ 1, ハウチワカエデ 1, ヤマザクラ 1, ウリハダカエデ 1, ニワトコ +

G: オオイトスゲ 5, オトコヨモギ 2, キイチゴ 1, ゴカヨウオウレン 1, ハンゴンソウ 1, ワレモコウ +, ニツコウキスゲ +

VI 和 田 : Wada

D: カラマツ 5

Ds: ヤマザクラ 2, クリ 1, ハリギリ 1, シデ 1

Sh: ノリウツギ 2, タニウツギ 1, ミズキ 1, クサギ 1, ナナカマド +, ミズナラ +, ヤマブキ +, ニワトコ +

G: チゴユリ 2, オトコヨモギ +, アキノキリンソウ +, イタドリ +

VII 木祖路原 : Kisojigahara

D: カラマツ 4

Sh: ツクバネウツギ 1

G: オオイトスゲ 4, ベニバナイチヤクソウ 3, オダマキ 2, テリハノイバラ +,

Remarks: D...Dominant tree layer, Ds...Subdominant tree layer, Sh...Shrub layer, G...Ground flora.

第 11 表 土 性
Table 11. Textures of soil.

土 壤 型 Type of soil	層 位 Horizon	深 さ Depth from surface (cm)	砂 Sand			微 砂 Silt	粘 土 Clay	土 性 Texture
			粗 砂 Coarse sand	細 砂 Fine sand	計 Total			

I 戸 立 : Todate

i) 1C : Plot 1C

(Bl) _D	A ₁	1~5	2 %	14 %	16 %	34 %	50 %	hC
	A ₂	7~17	3	13	16	32	52	hC
	A-B	20~30	3	34	37	28	35	1C

ii) 2C : Plot 2C

(B _l) _D	A ₁	2~10	4	12	16	34	50	hC
	A ₂	12~22	5	14	19	35	46	hC
	(B)	(30~35)	4	28	32	30	38	IC
	A'	30~40	5	23	28	29	43	IC
	A'-B'	40~50	4	27	31	30	39	IC

iii) 3C 上部 : Upper part of 3C

(B _l) _{D(d)}	A ₁	1~8	8	24	32	28	40	IC
	A ₂	10~16	8	23	31	29	40	IC
	B ₁	20~33	27	31	58	23	19	CL
	B ₂	38~48	42	26	68	17	15	SCL
	C	50~60	21	39	60	25	15	CL

iv) 3C 下部 : Lower part of 3C

B _D	A ₁	1~9	8	29	37	27	36	IC
	A ₂	11~19	11	28	39	28	33	IC
	B ₁	21~33	22	41	63	24	13	L
	B ₂	35~55	49	20	69	17	14	SL

v) 4C 上部 : Upper part of 4C

B _D	A	1~10	6	19	25	31	44	IC
	A-B	13~28	9	23	32	33	35	IC
	B ₁	28~38	13	17	30	36	34	IC
	B ₂	42~67	6	23	29	40	31	IC

vi) 4C 下部 : Lower part of 4C

B _l _D	A ₁	1~7	2	17	19	35	46	hC
	A ₂	10~21	3	17	20	37	43	IC
	A ₃	23~36	4	19	23	37	40	IC
	A-B	38~56	21	16	37	32	31	IC
	B ₁	58~68	42	15	57	18	25	SCL
	B ₂	68~73	48	19	67	17	16	SCL

II 中ノ沢 : Nakanosawa

i) A 区 : Plot A

G	A	1~10	1	22	23	38	39	IC
	B	15~25	4	23	27	39	34	IC
	G	33~43	5	16	21	40	39	IC

ii) B 区 : Plot B

G	B (upper)	2~12	2	25	27	33	40	IC
	B (lower)	15~25	7	16	23	39	38	IC
	G ₁	33~43	17	18	35	33	32	IC
	G ₂	45~55	27	24	51	20	29	IC

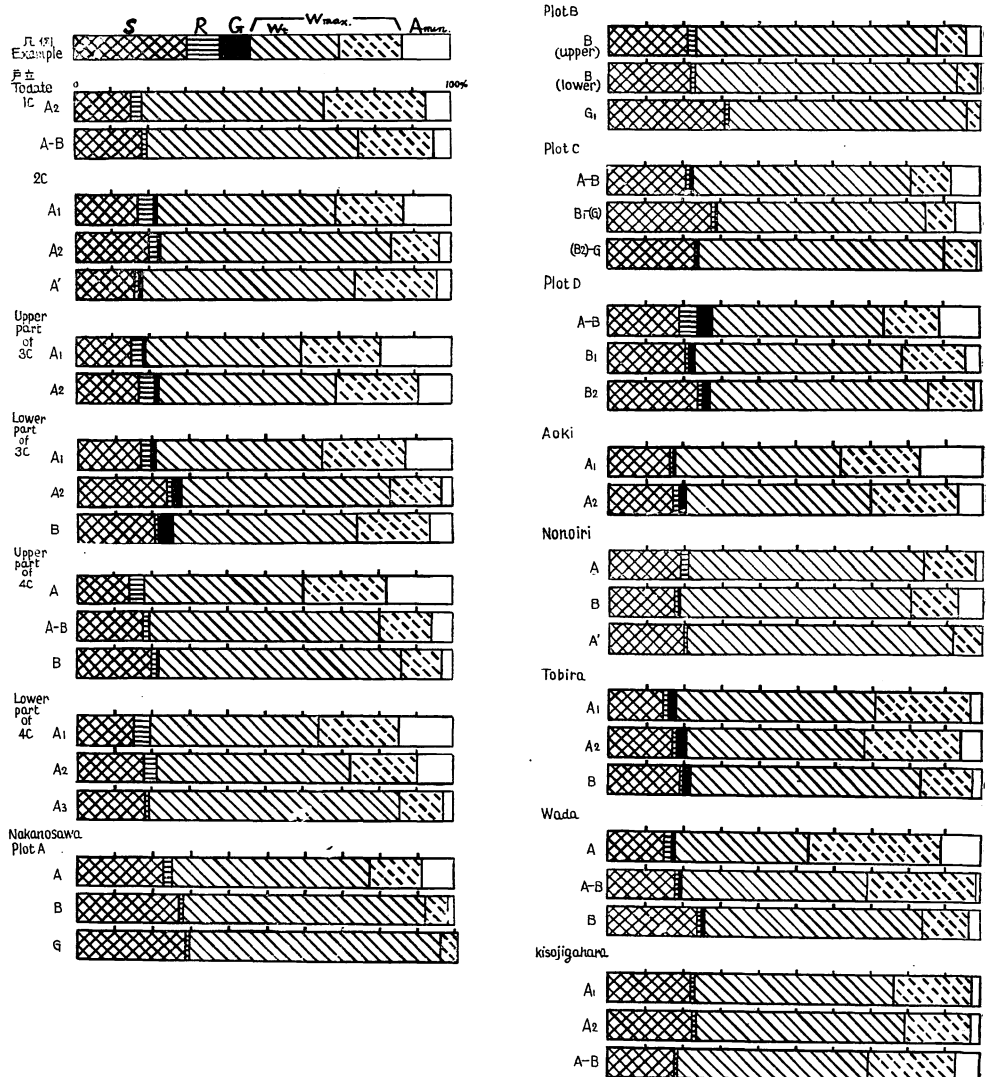
iii) C 区 : Plot C

G	A-B	5~15	5	17	22	42	36	IC
	B ₁ -(G)	18~28	6	19	25	44	31	IC
	(B ₂)-G	30~40	18	15	33	31	36	IC

土 壤 型 Type of soil	層 位 Horizon	深 さ Depth from surface (cm)	砂 Sand			微 砂 Silt	粘 土 Clay	土 性 Texture
			粗 砂 Coarse sand	細 砂 Fine sand	計 Total			
iv) D区 : Plot D								
B _D	A-B	3~12	7	12	19	36	45	IC
	B ₁	12~22	9	12	21	41	38	IC
	B ₂	23~33	17	21	38	36	26	CL
III 青 木 : Aoki								
B/D	A ₁	1~5	9	22	31	32	37	IC
	A ₂	10~20	10	24	34	29	37	IC
	A ₃	22~30	8	22	30	35	35	IC
	A'	32~40	11	26	37	32	31	IC
	B'	40~50	26	23	49	25	26	IC
IV 野々入 : Nonoiri								
B/D-E	A	1~10	5	17	22	37	41	IC
	B	15~25	7	20	27	43	30	IC
	A'	40~50	17	19	36	39	25	IC
	B'	50~60	30	14	44	35	21	CL
V 扉 : Tobira								
B/D-E	A ₁	1~10	14	20	34	28	38	IC
	A ₂	12~20	14	20	34	27	39	IC
	B	20~30	17	19	36	29	35	IC
VI 和 田 : Wada								
B _D	A	1~10	8	12	20	32	48	hC
	A-B	12~20	6	10	16	30	54	hC
	B	20~30	14	10	24	25	50	hC
VII 木相路原 : Kisojigahara								
B/D(d)	A ₁	4~10	4	21	25	32	43	IC
	A ₂	13~23	7	21	28	31	41	IC
	A-B	25~35	11	24	35	31	34	IC
	A'	42~52	6	24	30	37	33	IC
	B'	65~75	52	11	63	17	20	SCL

Remarks :

hC...Heavy clay, IC...Light clay, CL...Clay loam, L...Loam, SCL...Sandy clay loam,
SL...Sandy loam.



第 18 図 自然状態の理学的性質
Fig. 18 Physical properties of soil in natural condition.

Remarks:

S...Solid (Fine soil), R...Root, G...Gravel

Wt...Moisture in fresh soil, W max...Water holding capacity

第 12 表 自然状態の理学的性質および透水性

Table 12. Physical properties in natural condition and water permeabilities.

土壌型 Type of soil	層 位 Horizon	深 さ Depth from surface (cm)	透 水 性 Water permeability after cc/min.			孔隙量 Porosity %	容積重 Volume weight	最大容水量 Water holding capacity		最小容量 Air capacity	採取時含水量 Moisture content of fresh soil	
			5 min.	10 min.	average			volume %	weight %		volume %	weight %

I 戸 立: Todate

i) 1 C ☒ : Plot 1 C

(BL) _D	A ₂	8~13	41	37	39	82	37	75	212	7	48	137
	A-B	20~25	26	24	25	81	46	76	165	5	56	121

ii) $2C \boxtimes$: Plot $2C$

(Bl) _D	A ₁	1~6	24	18	21	79	43	66	162	13	48	116
	A ₂	13~18	9	7	8	78	52	75	148	3	62	122
	A'	33~38	17	16	17	84	41	80	197	4	61	150

iii) 3C区上部: Upper part of Plot 3C

(Bl) _{D(d)}	A ₁	3~8	63	56	60	82	33	63	201	19	42	133
	A ₂	12~17	125	110	118	78	40	69	183	9	47	124

iv) 3C区下部: Lower part of Plot 3C

B _D	A ₁	3~8	102	89	96	79	39	66	175	13	44	116
	A ₂	13~18	43	35	39	73	57	70	127	3	56	101
	B	22~27	27	27	27	75	57	68	124	7	49	90

v) 4C区上部: Upper part of Plot 4C

B _D	A	3~8	104	82	93	82	32	64	205	18	42	134
	A-B	15~20	14	13	14	81	45	75	168	6	61	136
	B	22~27	24	22	23	79	51	76	149	3	65	126

vi) 4C区下部: Lower part of Plot 4C

B/b	A ₁	3~8	36	31	34	82	33	67	209	15	46	142
	A ₂	12~17	41	37	39	79	42	69	174	10	52	128
	A ₃	25~30	18	15	17	81	44	78	179	3	66	149

II 中ノ沢 : Nakanosawa

i) $A \boxtimes : \text{Plot } A$

G	A	3~8	11	12	12	75	56	66	121	9	52	95
	B	15~20	4	4	4	72	62	70	119	2	64	109
	G	30~35	2	2	2	70	72	71	95	-1	66	88

ii) B☒ : Plot B

G	B (upper)	4~9	4	4	4	76	52	72	141	4	64	125
	B (lower)	12~17	8	7	8	76	54	75	145	1	70	135
	G ₁	20~25	1	1	1	69	82	69	85	0	65	78

iii) $C \boxtimes C$: Plot C

G	A-B	5~10	24	23	24	77	59	69	115	8	58	87
	B ₁ -(G)	20~25	22	21	22	71	71	64	90	7	56	79
	(B ₂)-G	30~35	11	10	11	76	60	75	127	1	66	111

iv) D区: Plot D

B _D	A-B	3~8	4	6	5	72	49	61	137	11	46	101
	B ₁	14~19	46	45	46	77	52	73	146	4	56	113
	B ₂	25~30	21	21	21	73	64	71	114	2	59	94

III 青木: Aoki

B _D	A ₁	3~8	15	14	15	82	38	65	176	17	44	119
	A ₂	10~15	24	24	24	79	45	72	166	7	49	113

IV 野々入: Nonoiri

B _{D-E}	A	3~8	32	31	32	79	42	77	184	2	63	142
	B	18~23	33	34	34	82	42	75	180	7	62	150
	A'	40~45	14	14	14	80	50	80	158	0	72	144

V 扉: Tobira

B _{D-E}	A ₁	3~8	58	58	58	82	41	79	199	3	53	134
	A ₂	13~18	53	51	52	80	39	74	194	6	48	126
	B	28~33	69	66	68	79	47	76	165	3	62	136

VI 和田: Wada

B _D	A	3~8	146	142	144	83	34	72	213	11	36	106
	A-B	13~18	82	84	83	80	45	79	181	1	49	122
	B	22~27	58	57	58	75	61	72	118	3	59	96

VII 木祖路原: Kisojigahara

B _{D(d)}	A ₁	2~7	39	37	38	77	49	74	152	3	53	109
	A ₂	10~15	21	19	20	77	52	74	143	3	56	108
	A-B	23~28	7	7	7	81	44	74	168	7	50	113

第13表 化学的性質
Table 13. Chemical properties.

土 壤 型	層 位	深 さ Depth from surface (cm)	Carbon %	Nitrogen %	C-N ratio	Exch. acidity y ₁	Exch. Ca m. e. /100g	pH (H ₂ O) (1:2.5)
Type of soil	Horizon							

I 戸立: Todate

i) 1C区: Plot 1C

(B _D) _D	A ₁	1~5	17.3	0.83	20.8	25.0	0.73	4.90
	A ₂	7~17	13.1	0.67	19.5	7.8	0.04	5.15
	A-B	20~30	8.13	0.44	18.5	4.1	0.02	5.50

土 壤 型 Type of snil	層 位 Horizon	深 度 Depth from surface (cm)	Carbon %	Nitrogen %	C-N ratio	Exch. acidity y ₁	Exch. Ca m. e. /100g	pH (H ₂ O) (1 : 2.5)
--------------------------	----------------	---	-------------	---------------	--------------	------------------------------------	----------------------------	---------------------------------------

ii) 2C区: Plot 2C

(Bl) _D	A ₁	2~10	11.3	0.67	16.8	18.5	0.29	5.00
	A ₂	12~22	9.33	0.56	16.7	13.8	0.04	5.15
	(B)	(30~35)	3.52	0.27	13.0	0.9	0.01	5.70
	A'	30~40	8.85	0.46	19.2	3.4	0.04	5.40
	A-B	40~50	5.41	0.34	15.9	1.6	0.01	5.60

iii) 3C区上部: Upper part of Plot 3C

(Bl) _{D(d)}	A ₁	1~8	22.8	1.20	19.0	37.9	1.07	4.50
	A ₂	10~16	15.9	0.90	17.7	18.2	0.09	5.00
	B ₁	20~33	5.73	0.37	15.5	2.3	0.02	5.30
	B ₂	38~48	3.73	0.21	17.8	2.5	0.01	5.25
	C	50~60	2.40	0.14	17.1	3.1	0.04	5.20

iv) 3C区下部: Lower part of Plot 3C

B _D	A ₁	1~9	13.6	0.79	17.2	15.3	2.56	5.15
	A ₂	11~19	10.7	0.60	17.8	11.7	0.92	5.15
	B ₁	21~33	4.46	0.36	12.4	1.8	0.10	5.25
	B ₂	35~55	4.06	0.32	12.7	1.7	0.09	5.50

v) 4C区上部: Upper part of Plot 4C

B _D	A	1~10	13.7	0.75	18.3	14.2	0.06	5.15
	A-B	13~28	8.39	0.44	19.1	2.7	0.05	5.30
	B ₁	28~38	4.81	0.29	16.6	2.2	0.03	5.30
	B ₂	42~67	2.56	0.18	14.2	1.8	0.05	5.30

vi) 4C区下部: Lower part of Plot 4C

Bl _D	A ₁	1~7	18.1	0.96	18.9	35.1	0.39	4.90
	A ₂	10~21	12.9	0.66	19.5	22.0	0.11	5.10
	A ₃	23~36	12.1	0.57	21.2	15.0	0.07	5.00
	A-B	38~56	10.2	0.52	19.6	6.2	0.04	5.05
	B ₁	58~68	6.40	0.40	16.0	3.9	0.04	5.30
	B ₂	68~73	3.86	0.28	13.8	1.5	0.02	5.35

II 中ノ沢: Nakanosawa

i) A区: Plot A

G	A	1~10	8.20	0.51	16.0	12.1	0.49	5.25
	B	15~25	5.87	0.37	15.8	10.0	0.17	5.40
	G	33~43	4.78	0.25	18.8	6.4	0.10	5.50

ii) B区: Plot B

G	B (upper)	2~12	7.83	0.37	21.1	17.7	0.90	5.40
	B (lower)	15~25	5.33	0.32	16.6	8.2	0.15	5.35
	G ₁	33~43	3.94	0.27	14.5	4.9	0.09	5.45
	G ₂	45~55	2.92	0.19	15.3	3.4	0.07	5.45

iii) C区: Plot C

G	A-B	5~15	9.91	0.63	15.7	4.1	2.52	5.65
	B ₁ -(G)	18~28	6.14	0.43	14.2	4.5	1.96	5.70
	(B ₂)-G	30~40	5.55	0.34	16.3	3.1	1.63	5.95

iv) D区: Plot D

B _D	A-B	3~12	9.63	0.55	17.5	29.7	0.68	5.05
	B ₁	12~22	6.62	0.39	16.9	14.0	0.10	5.25
	B ₂	23~33	6.10	0.37	16.4	4.7	0.03	5.40

III 青木: Aoki

B/D	A ₁	1~5	17.3	1.15	15.0	43.4	2.28	4.40
	A ₂	10~20	10.5	0.60	17.5	18.6	0.56	4.70
	A ₃	22~30	7.55	0.42	17.9	11.7	0.37	4.90
	A'	32~40	6.47	0.42	15.4	7.6	0.38	5.20
	B'	40~50	2.53	0.12	21.0	3.1	0.18	5.10

IV 野々入: Nonoiri

B/D-E	A	1~10	18.7	1.19	15.6	39.2	1.47	4.45
	B	15~25	10.2	0.63	16.1	10.0	0.23	5.00
	A'	40~50	8.24	0.51	16.1	5.7	0.13	5.05
	B'	50~60	6.89	0.35	19.6	1.6	0.08	4.90

V 扉: Tobira

B/D-E	A ₁	1~10	19.7	1.38	14.3	13.3	7.92	5.10
	A ₂	12~20	13.6	1.04	13.1	11.5	0.49	5.15
	B	20~30	10.2	0.86	11.9	6.0	0.46	5.15

VI 和田: Wada

B _D	A	1~10	15.9	1.11	14.3	25.3	0.61	4.65
	A-B	12~20	10.3	0.71	14.5	14.1	0.17	4.90
	B	20~30	6.54	0.49	13.3	8.4	0.09	4.80

VII 木祖路原: Kisojigahara

B/D(d)	A ₁	4~10	17.8	1.23	14.4	17.3	2.43	5.10
	A ₂	13~23	13.8	0.89	15.5	9.2	0.76	5.20
	A-B	25~35	11.0	0.65	16.9	5.8	0.49	5.20
	A'	42~52	15.2	0.67	22.6	10.0	0.70	4.95
	B'	65~75	4.17	0.33	12.6	0.9	0.39	5.05

く低下し、7 年目はさらに僅少であつた。

d) ナラタケ菌に感染後 1 年で枯損したものが約半ばを占め、2 年で枯損したものをあわせると約 80% に達した。

e) ナラタケ菌に感染後、感染した中根と太根との境界に厚い樹脂層を形成し、ナラタケ菌の伸長を遮断することによつて治癒し、その後の成長を回復した場合がしばしば認められた。

f) 感染源はナラタケ菌の繁殖した前生樹の広葉樹の伐根との接触感染が主要なものと推定された。

g) ナラタケ病による枯損は緩斜な台地状尾根に多く、斜面地形では斜面上部にはきわめて少なく、下部に多かつたが、前者に比べるといちじるしく少なかつた。

h) 台地状尾根においては微細な起伏が見られたが、ナラタケ病の被害は凹地形にいちじるしく多く、凸地形では少なかつた。

i) ナラタケ病の被害は、土壤の停滞水的な要因を含む湿性の水分条件においていちじるしくなかつた。

j) 土壤の断面形態は、常時過湿な条件におかれているとは考えがたく、地形および土壤の理学的性質から、雪どけ期ないし梅雨期等に季節的に過湿な条件におかれることが、ナラタケ病の発生に大きな影響をおよぼすものと推定された。

2. 中ノ沢

a) 植栽後 4~6 年の 3 箇年にわたつて被害の発生状況の継続調査を行なつた。

b) 調査地は沢沿いの平坦な洪澗堆積地の G および Bd 型土壤である。

c) ナラタケ病による枯損は 3 年目がもつとも高く、4 年目には低下し、5~6 年目にはわずかな枯損が見られたにすぎなかつた。

d) ナラタケ菌に感染後急速に枯損したものが約半ばを占め、1 年で枯損したものをあわせると約 90% に達した。

e) ナラタケ菌が繁殖していた前生樹のミズナラの伐根が主要な感染源をなしていたと考えられる場合は少なく、主要な感染源およびその経路は明らかにし得なかつた。

f) 土壤の水分環境が過湿に近づくほどナラタケ病の被害はげしく、ナラタケ病の発生を助長するものと推定された。戸立の場合と同様に停滞水的な要因を含む過湿な水分条件が、ナラタケ病の発生に大きな影響をおよぼすものと推定された。

B. 壮 齢 林

1. 青木および野々入

a) いずれも台地状の平坦地形で、前者は Bld、後者は Bld-E 型土壤である。前者はヒノキとの混交林で 32 年生、後者は 42 年生の林分で、いずれも集団的にナラタケ病による枯損が見られた。

b) 地形および土壤条件からは、上述の幼齢林の場合と同様に、季節的に停滞水的な要因を含む過湿な水分条件におかれることが推定され、これがナラタケ病の発生に影響をおよぼしていると推定された。

c) 林内には広葉樹ないし間伐木の伐根は見られず、感染源および感染経過は明らかではなかつた。

2. 扉および和田

a) いずれも山腹斜面中腹における斜面地形で、前者 Bld-E、後者は Bd 型土壤である。前者は 40 年生、後者は 35 年生の林分で、いずれも散発的に被害の発生が見られた。

b) 地形および土壌条件からは、流動水的な要因を含む湿性の水分条件におかれることが推定され、上述の各被害地の場合とはいちじるしい相違を示していた。

c) 林内には広葉樹ないし間伐木の伐根は見られず、感染源および感染経過は明らかではなかつた。

3. 木祖路原

a) 丘陵性斜面中腹の Bld_(d) 型土壌で、30 年生の林分である。

b) ナラタケ菌の繁殖した間伐木伐根との接触感染が主要な感染源と認められた。

以上の結果から、ナラタケ菌のカラマツに対する病原菌としての性格は、幼齢林については、健全木をおかす強力な寄生菌と考えるよりも、むしろ二次的な寄生菌として作用するものと推定された。さらにナラタケ病の発生は、地形および土壌条件によつてもたらされる停滞水的な要因をふくむ土壌の湿性の水分条件におかれる程度と期間、それにとまうカラマツの衰弱の程度およびカラマツに対するナラタケ菌の感染の頻度によつて支配されるものと思われた。

稿を終るに当たり、たえずご懇篤なご指導を賜つた元東大教授大政正隆博士、ナラタケ病について多大のご指導を賜つた本場元保護部長今関六也技官、ご激励を戴いた前木曾分場（現四国支場長）渡辺録郎技官ならびに木曾分場長梅原博技官、調査に協力していただいた元木曾分場土壌研究室員（現長野営林局三殿営林署員）稲葉正則技官ならびに同（現長野営林局福島営林署員）笠井正徳技官の諸氏に心からの感謝を捧げるしだいである。

文 献

Literature cited

- 1) BUCKLAND, D.C.: Forestry chronicle, 29, (1953) p. 344~347.
- 2) DAY, W.R.: Quart. Jour. Forest., 21, (1927) p. 9~21.
- 3) ibid.: Forestry, 3, (1929) p. 94~103.
- 4) 浜 武人: 日林講, 70, (1960) p. 352~355.
- 5) 今関六也・小林享夫: 森林防疫ニュース, 5 (8), (1956) p. 194~197.
- 6) 刈住 昇・寺田正男: 日林講, 68, (1958) p. 97~100.
- 7) 河田 弘: 林野土調報, 8, (1957) p. 67~80.
- 8) 河田 弘: 林試研報, 136, (1962) p. 1~30.
- 9) 小林 守: 北方林業, 12, (1960) p. 48~51.
- 10) 小林享夫: 森林防疫ニュース, 7 (8), (1958) p. 158~160.
- 11) MARSH, R.W.: Trans. British Mycol. Soc., 35, (1952) p. 201~207.
- 12) 真下育久: 林野土調報, 11, (1960) p. 1~182.
- 13) 嶺 一三: 収穫表調整業務研究資料, 12, 林業試験場・林野庁, (1955)
- 14) 小野 馨・篠原 均・内田 勉: 北方林業, 11, (1959) p. 183~187.
- 15) 小野 馨・内田 勉: 同上, 13, (1961) p. 343~350.
- 16) PATTON, R.F. and RICKER, A.J.: Phytopath., 49, (1959) p. 615~622.
- 17) RAYNER, M.C.: Forestry, 4, (1930) p. 65~77.
- 18) 佐保春芳: 北方林業, 12, (1960) p. 78~81.
- 19) SECREST, H.C., MACALONEY, H.J. and LORENZ, R.C.: Jour. Forest., 39, (1941) p. 3~12.

- 20) 塩崎正雄：北方林業，13，(1961) p. 170~173.
- 21) うちだつとむ：林，106，(1961) p. 46~48.
- 22) 魚住 正・小野 馨：日林講，68，(1958) p. 249~250.
- 23) ZELLER, S.M. : Phytopath., 16, (1926) p. 479~484.

A Study on *Armillaria* Root Rot of Larch.
—Effects of Soil Conditions on its Occurrence and
Some Information of Field Observation—

Hiroshi KAWADA, Morie TAKAMI and Taketo HAMA

(Résumé)

1. Introduction

Larch forests form an important part of the afforested land in Shinshu Area and Hokkaido in this country. Recently, with the increments of the afforested area of larch, *Armillaria* root rot of larch came to the front. *Armillaria mellea* (Fr.) KARST. is one of the most prevalent forest fungi. It attacks many species of conifers. Among them, larch suffers most heavily. *Armillaria* root rot is one of the soil-borne diseases, and therefore, it is presumed that its occurrence would be closely related to the soil conditions.

In this report, the authors discuss the effects of soil conditions on the occurrence of *Armillaria* root rot and some information from the observations on the seven larch forests examined (Fig.1).

2. The larch forest in Todate.

In this forest, the larches were planted in 1955 and fertilizer treatments were done by Mr. INABA. In the middle of November, 1958, the death of larches by *Armillaria* root rot had been noticed. Afterwards, field observations were continued seasonally up to the fall of 1961.

a) Topography, site conditions and fertilizer treatment.

The topography of this forest and the locations of the plots are shown in Fig. 2. Block 1 and 2, subdivided into Plot A, B and C, were located on the very gently sloping mountain top plateau. The area of each plot was 0.1 ha, 20×50 m or 33.3×30 m. The parent material of soil was volcanic ash that covered thickly over the bed rock. In Plot 1A and 2C, the central parts of them formed a shallow successive basin. In Plot 1B and 2A, the very micro reliefs were abundant, and their central parts were slightly concaved as a whole. In Plot 1C and 2B, these micro reliefs were less than in Plot 1B and 2A, and they were relatively flat.

These micro reliefs brought about the differences of the soil humidity conditions. Vegetations of the rather arid type were observed in the convex places, but the humid type in the concaved one. These facts would reflect the differences of the soil humidity condition induced by these micro topographical factors.

Block 3 was located on a short steep slope from the ridge of the mountain top plateau to the valley floor. Its parent material of soil was volcanic ash, and clayslate and sandstone of palaeozoic. Block 4 was located on a more gentle mountain slope than that of Block 3 from the ridge of the mountain to the lower part of the mountain slope. In the following order as Plot A→B→C, the location of each plot approaches the valley floor and its moisture condition

of soil increases the humidity. Its parent material was the same as Block 1 and 2.

The descriptions of profile, textures, physical and chemical properties of soil and the types of soil are shown in Table 9~13 and Fig. 18.

The physical properties of soil in natural condition showed no inferior sign. The water permeabilities of the surface horizons were inferior except the lower part of Plot 3C and the upper part of Plot 4C. The inferior water permeabilities of the upper part of Plot 3C would be occasioned by the development of the granular structure. But in other plots, the very densely developed roots of mosses in the surface horizons would affect the decreases of the water permeabilities. The soils were clayey. Its chemical properties were rather inferior.

The fertilizer treatment was as follows:

The solid fertilizer Maruyama No.1 (N 5 %, P_2O_5 3 %, K_2O 3 %, one particle is 15 g) was used in Block 1 and 2, its No.2 (N 6 %, P_2O_5 4 %, K_2O 3 %, one particle is 15 g) in Block 3, and urea in Block 4. Ten particles of solid fertilizer or 20 g of urea were given per one seedling in Plot A, 20 particles or 40 g in Plot B and none in Plot C, respectively.

b) The growth and damage of larch.

The annual growth of larch, shown in Table 1, was good as a whole. The annual death of the larch by *Armillaria* root rot is shown in Table 2. The authors regarded the death of them during the period from the fall to the spring of the next year as being in the previous year.

It was the middle of November, 1958 (4th year after planting), that the authors noticed the death of larches by this disease. At that time, the residues of the dead larches in 1957 still remained, but those in 1955 and 56 were lost. Consequently, the authors could not make clear the causes of the death of the latter. From the information on the other young larch forests, the authors concluded that *Armillaria* root rot of young larches would not occur markedly in 1-2 years old young larches.

In Block 1 and 2, the death of the trees by this disease had occurred from the 3rd year (1957) after planting. It occurred most virulently in the 4th and 5th years (1958~59). In the 6th year (1960), it had occurred only in Plot 1A, 2A and 2C, and the virulence had been remarkably reduced. In the 7th year (1961), its slight occurrence was observed only in Plot 1A, 1C and 2A.

In Block 3 and 4, the death of the larches by this disease had occurred in a part of the plots. They were decreased more than in Block 1 and 2. The disease was most virulent in the 4th and 5th years (1958 and 59), and there was very little or none in other years.

Putting together the above results, the authors were of the opinion that the death of the larches by this disease occurs in the 3rd~7th years after planting. Death reached its climax in the 4th~5th years and decreased gradually afterwards.

The confirmation of the period in which the larch suffered from this disease was very difficult to obtain. However, on the assumption that the remarkable decrease of the affected larches would occur just after the infection of *Armillaria mellea*, the progress of this disease until the death of the host from the infection was classified into the following 4 types, as shown in Table 3.

The authors regarded the annual height growth of about 1/3 or less of the average one in the same plot as the poor or remarkably decreased growth, and the one of about 80% or more as the normal growth.

Type C, in which the death of the larches was caused in one year or less after *Armillaria* infection accounted for about 60 % of the total deaths. In Type B, 2 years passed before the death of the larches was caused after *Armillaria* infection was remarkably decreased, accounting for about 20 %. Type A, in which *Armillaria mellea* took 3 years before it killed the host after its infection, and Type D in which the larches were killed very rapidly after the invasion of this pathogen, were very few. They amounted to only 5 % in both types.

The excretions of resin on the barks of the stem, especially near the base of stem, was observed on most of the larches killed by this disease. The weakening of the diseased larches was characterized by later springing into leaf in May, smaller-sized needles, and earlier appearance (at the end of September) of the autumn-colored needles than in the healthy larches.

On the causes of the *Armillaria* root rot, the authors were of the following opinion. Most of their occurrences would be induced by the contacts of the healthy larch roots with the roots of the felled deciduous trees in which *Armillaria mellea* developed vigorously. However, these contagions were not the only cause, since the absence of the stumps of these deciduous trees near the larches killed by the causal fungus was frequently observed.

The annual growth of the trees was good as a whole, but very large deviations of annual growth on the same individuals were frequently observed. Those that had remarkably decreased growth in only one year or two years successively without any clear causes manifested in their appearances and was good in other years, were frequently observed. These abnormal growing processes were more conspicuous in Block 1 and 2 than in other blocks.

Carrying investigation further into these problems, the authors examined the root systems of them in the fall of 1960. From the results of this examination, the following facts were suggested: The remarkably decreased growth of larches in a certain year or two years successively was induced by the enfeebling effects of the *Armillaria* root rot, and after restoration to a healthy state their normal growth was regained.

Descriptions of these samples are given below. Their annual growth is shown in Table 4.

Example 1 (see Fig. 3).

The development of its root system was good. But two medium roots (A and B in Fig. 3) that diverged from the main root were killed by the invasion of *Armillaria mellea*. Its dense white mycelium developed on their cambium. The thick resinous layers (1 and 2) were formed in the borders between the main root and the diseased medium one, respectively. The developments of the mycelium of *Armillaria mellea* were perfectly inhibited by these resinous layers. All other roots were healthy and showed no sign of the abnormality. The larch would regain its healthy growth with the inhibition of development of pathogen by the formation of these resinous layers.

Example 2 (see Fig. 4).

The development of its root system was similar to that of Example 1. The infections by this pathogen in two medium roots were clearly recognized. These roots were parted from the main root mechanically as they were dug out. The development of the white mycelium of *Armillaria mellea* on their cambium and the formations of the two round thick resinous layers on the main root (1 and 2 in Fig. 4) were clearly observed. The latter would be the points at which the affected medium roots connected with the main root. The other root system was in good order and showed no sign of the abnormality.

The remarkably decreased growth in 1957 and the following year would be brought about by the invasion of this pathogen. After that time, the larch recovered its normal growth gradually with the inhibition of the development of the parasite by the formation of the resinous layers the same as Example 1.

Example 3 (see Fig. 5).

The root system of this larch was malformed. This malformation would be the result of unskilful planting. However, the subsequent development of its root system was excellent. Unfortunately, the authors did not detect the root affected with *Armillaria* root rot. However, a thick round resinous layer similar to the one of Examples 1 and 2 was clearly observed. The authors presumed that it was the point at which the diseased root was attached to the healthy main root.

The growth of this larch decreased in 1956 and 58 remarkably, but it was good in other years. As the resinous layer was detectable only in one, the authors presumed that the first decrease of the growth would be induced by the malformation of the root system, and the second one by the invasion of *Armillaria mellea*.

Example 4 (see Fig. 6).

The growth of this larch decreased remarkably in 1959 and 60. It was still alive in the fall of 1960, when the authors examined it. The invasion of *Armillaria mellea* into two medium roots (1 and 2 in Fig. 6) was clearly recognized. The white mycelium of *Armillaria mellea* densely developed on the cambium of these roots were observed, but they still did not reach to the base of the stem. It was very interesting to note that the invasion of *Armillaria mellea* into only a small part of the roots remarkably decreased the growth of the host.

The appearances of the infected larches were similar to the one of the larch killed by this disease as mentioned above.

Putting together the results of these examinations, the authors concluded that the causes of the temporarily remarkable decrease of the annual growth of the larch were as follows: The one that was about 15 cm or less would be induced by this disease. However, the one that was about 20~30 cm was classified as follows:

- (a) The case presumed to have been induced by *Armillaria* root rot.
- (b) The one presumed to have been induced by the abnormality of the root system (malformation or inferior development).
- (c) The one in which no clear inhibiting factor was recognizable.

The authors were of the opinion that the case (c) would be caused by the deviations of the annual growth of larch occurring naturally, or by the invasion of *Armillaria mellea* into the very fine roots that the authors were not able to observe.

In most of case (b) it was recognized that their remarkably decreased growth occurred in the early years after planting.

It was very interesting to note that in most of the damaged larches, both killed or healed, *Armillaria mellea* invaded only into a small part of the root system, not into the main part of them. Furthermore, the infection by this parasite into a small part of the root system induced the remarkable decrease of the growth, notwithstanding the healthy development of the remaining bigger part of the root system.

- c) The factors affecting the occurrence of this disease.

On the effects of the factors affecting the occurrence of this disease, the authors came to

the conclusion that the moisture conditions of the soil were most affectable and the effects of the fertilizer treatment ranked next.

The following facts, shown in Table 2, would support this opinion. The death of larches by this disease was more abundant in Blocks 1 and 2 than in Blocks 3 and 4. In Plots A and B of Blocks 3 and 4, they were more abundant in the lower part of the slope than in the upper part of it. These facts suggest that the humid moisture condition of soil would influence the occurrence of *Armillaria* root rot. Furthermore, among the plots of Blocks 3 and 4, the death of the larches by this disease increased with the increments of the amount of the fertilizer.

To throw light upon the effects of the moisture conditions of the soil more exactly, the authors investigated the relations between the death of the trees by this disease and the micro topography on Blocks 1 and 2. These results are shown in Table 5.

In Plots 1A and 2C, 70~80 % of the deaths occurred in the central successive shallow basin (concaved part). In other plots, the micro topography was divided into the following 3 types, namely a) the convex part, b) the concaved part, c) the intermediate of a) and b). And 60~70 % of the deaths occurred in the concaved parts. The occurrences in the convex part were very little.

It was natural that the moisture conditions of soil in the concaved parts would be very humid. However, the gleysation, the tint of greyish color or the ferruginous mottling were not observed in their profiles. Accordingly, the authors were of the opinion that these soils would not be in the very humid moisture conditions with the character of stagnating water at all times, but would be so in the snow-melting or rainy seasons temporarily or seasonally.

In Blocks 3 and 4, the moisture conditions of soil in the lower part of their plots would be humid, too. But the death of the larches by this disease in them was less than the deaths in Blocks 1 and 2. These differences would be induced by the quite dissimilar character of the movement of water in the soil. In the former, the water in the soil has the qualities of flowing water in a high degree, but in the latter it has the qualities of stagnating water in a high degree.

Furthermore, as the shallow basin beginning from the southeastern corner of Plot 1A broadened in Plot 2A, the ratio of the basin area to the total area increased in Plot 2C. The occurrence of the maximum death of the trees by this disease in Plot 2C that was without fertilizer treatment endorsed the authors' above-mentioned opinion that the effects of the topographical factors were more effective than those of the fertilizer treatment.

Furthermore, the occurrences of the abundant death of the larches by this disease in Plots 1B and 2A would be induced by their above-mentioned topographical effects, and accelerated by the fertilizer treatment. In Plots 1C and 2B, the least damage in the former and the rather abundant damage in the latter would be attributable to similar causes.

It was rather difficult to draw any conclusion upon the effects of the fertilizer elements on the occurrence of *Armillaria* root rot from these few data. However, the presumption that nitrogen was very effectable was inferred from the results of Block 4.

3. The larch forest in Nakanosawa

In this forest, the larches were planted in 1956 on the cut-over area of the over-matured (about 200 years old) natural forest of *Chamaecyparis pisiifera*. The death of larches by *Armillaria* root rot began to occur in the fall of 1958. The authors settled the four research

plots, 20×25 m, respectively, to get information on this disease. This research continued up to the fall of 1961.

This forest is 1,200 m above sea level and is located on the flat of the valley floor, as shown in Fig. 7. The soil originated from the deposit of floods, a mixture of granite, shale and sandstone of mesozoic. As the flat was very slightly inclined, so the water tables of soil gradually elevated among the plots in the following order as Plot D \rightarrow C \rightarrow B and A. Plot A, B and C belonged to the gley soil, and Plot D to B₀ soil.

The descriptions of the profile are shown in Table 9. In the Plots A and B, the gley horizons developed clearly in a depth 30 cm below surface. In Plot C, the gley horizon in the same depth as Plots A and B was observed, but its gleysation was weaker than that of the former two. In Plot D, the gleysation was not observed down to 60 cm from the surface.

The textures, physical and chemical properties are shown in Tables 10~13 and Fig. 18.

The soils were clayey. The horizons of each plot below 30 cm from the surface were compact, and their physical properties in natural conditions were very inferior. The water permeabilities of the upper horizons of all plots were inferior, too. The developments of the root system of the larches were limited only in the upper horizons. In Plots A, B and C, the roots that reached to the gley horizons were rotted.

The annual growth of the trees is shown in Table 6.

In Plots A and B, the seedlings that died just after the plantation were abundant and replanting was carried out the next year. It was probable that the death of the seedling would be induced by the rots of root that reached to the gley horizons near the surface of the soil.

The growth of the larches was good as a whole, except those replanted in Plots A and B. The inferior physical properties and the gley horizon near the surface would not inhibit the growth of the young larch up to this time. The abnormal deviations of the annual growth similar to the above-mentioned cases of Todate Forest, the remarkable decrease of it only in a single year or in two successive years, were often observed. They were conspicuous in Plots A and B. From the results of the examination of the root systems, the authors came to the conclusion that they were not caused by the *Armillaria mellea*, but by the rots of root that reached to the gley horizon. Furthermore, the authors could not confirm that these root rots formed the invading courses of *Armillaria mellea* into the larch roots.

The annual death of the larches by *Armillaria* root rot in each plot is shown in Table 7.

The deaths in Plot B were fewer than those in other plots. In the latter it occurred most abundantly in the 3rd year (1958) after planting. In the 4th year (1959), it was still abundant in Plot A, but it decreased in Plot C and D. In the 5th and 6th years (1960~61), it occurred only very slightly.

On the larches replanted in 1957 in Plots A and B, the death of them by this disease occurred abundantly only in the 3rd year (1959) after planting in Plot A.

From these results, the authors presumed that the occurrence of the death of the trees by *Armillaria* root rot in this forest reached its climax in the earlier years after planting, and ceased in a shorter duration of time than in the case of the Todate Forest.

The progress of *Armillaria* root rot until the death of the host from its contagion was classified the same as in the Todate Forest. The results are shown in Table 8. They were remarkably dissimilar to those of the Todate Forest. Type D reached 40~70 % (56 % in

average) of the total killed larches. Type C reached 20~60 % (36 % in average). In Type B deaths were few and in Type A none. In Plots A, B and C, belonging to the gley soil, the percentages of Type A were high. But in Plot D, belonging to B_d soil, the percentage of Type C was high. From these results, the authors were of the opinion that the relative resisting power of larch to *Armillaria* root rot decreased in proportion to the increments of the humid factor in the moisture condition of soil. The authors observed the invasions of *Armillaria mellea* in the bigger part of the medium and main roots of the killed larches. Very likely these *Armillaria* invasions occurred nearly at the same time. It was likely that these more abundant invasions of *Armillaria mellea* into the roots of the individual larch in this forest than in the Todate Forest would account for the difference of the progress of this disease between the two forests.

On all the stumps of oak (*Quercus crispula*), the advance growth of this forest, the well developed rhizomorphs of *Armillaria mellea* were observed. The cases of *Armillaria* root rot of larch originated by the contacts of the healthy larch roots with those of the dead oak on which the rhizomorphs developed abundantly were few. The larches killed by this fungus were few or none in the circumferences of the stumps of oak, and most of them were away from these stumps. The authors could not get any clear information on why the larches were infected.

As stated above, the soils of Plots A, B and C belonged to the gley soil. Their high water tables and the existence of the gley horizon near the surface showed very humid (water-logged) condition of soil. The possibility existed that the soil in Plot D, belonging to B_d soil, would have temporarily or seasonally very humid moisture conditions with the character of stagnating water in the snow-melting or rainy seasons presumed by its topographical factors and inferior physical properties of soil, especially water permeability. These over- or very humid moisture conditions of the soil, containing the effects of the stagnating water, would be affectable on the occurrences of *Armillaria* root rot. These factors were similar to those in Todate Forest. Furthermore, the fact that the increments of the occurrence of this disease in proportion to the one of the humid factor of the moisture condition of soil, as noted above, would support this opinion. For nearly all the same soil and environmental conditions, the very much less occurrence of this disease in Plot B than appeared in Plot A made an exception. Unfortunately, the authors were obliged to leave the inquiry for future study.

4. The larch forest in Aoki.

This is a mixed forest of 47-year-old *Chamaecyparis obtusa* and 32-year-old larch. It is 1,200 m above sea level. Its topography was a flat, located on the middle a very long mountain slope (see Fig.9). The parent material of soil was a mixture of mudstone and greentuff of tertiary, and andesite.

The descriptions of profile, physical and chemical properties of soil are shown in Tables 9~13 and Fig.18.

The soil was clayey, and the horizons below 30 cm from the surface were very compact. The developments of the larch root system were limited only in the upper horizons. The physical properties in natural condition and the water permeabilities were not good.

The growth of the larch, 19 m in height and 30 cm in diameter in average, was excellent, much more so in comparison with *C. obtusa*. The former formed the upper tree layer and the latter the lower one.

The death of about 20 larches by *Armillaria* root rot had occurred in 1958, followed by about 20~30 larches annually in the following years (1959~60). The death of the trees spread concentrically from the location wherein the first damages had occurred in 1958. The developments of the rhizomorphs of *Armillaria mellea* were recognized on the cambium of the stumps and the main roots of the larch killed in 1958 and in early 1959. But they were not recognized in those killed more recently. Accordingly, it is probable that the invasion of *Armillaria mellea* in the fine or medium roots near the tips caused the death of the hosts.

The growth of the killed larches suggested by the width between the annual rings of the stumps after planting up to the year that they were killed was excellent and showed no sign of abnormality in any of the trees.

The stumps of the deciduous trees or larches by clear cutting or thinning were absent in this forest. Therefore, the authors could not explain the causes of the abrupt death of larches by this disease in 1958.

The soil of this forest belonged to B1b soil. It was presumed that the soil would be very humid moisture condition with the character of stagnating water seasonally or temporarily in the snow-melting or rainy seasons by its topographical factors and inferior water permeabilities of soil. These soil conditions had something in common with the cases of the young larch forests in Todate and Nakanosawa. *C. obtusa*, mixed with larch, was not entirely affected by *Armillaria* root rot. It would be more resistive than the larch to this disease.

5. The larch forest in Nonoiri.

This is a 42-year-old larch forest. Its height above sea level is 1,450 m and is located on a very gently sloping narrow mountain top plateau (see Fig.10). The soil belonged to B1b-E soil. It originated from andesite. The descriptions of profile, physical and chemical properties are shown in Tables 9~13 and Fig.18.

The soil was clayey. Its B horizon and the one below were very compact. The physical properties in natural condition showed no inferior signs; but the water permeabilities of the tested horizons were inferior.

The growth of the larches, 22 m in height and 29 cm in diameter in average, was excellent.

The death of about 15 larches by *Armillaria* root rot was detected concentrically in the late spring of 1959. The fact that the death of the larch occurred in 1958 and at almost the same time was presumed by the annual rings of the killed larch stumps. But the successive occurrences of death by this disease were not observed. The well developed rhizomorphs of *Armillaria mellea* were observed on the cambium of the stumps and their main roots.

The width between the annual rings of the stumps suggested sustained excellent growth of the killed larches after planting up to the year that they were killed.

There were only a few virulently rotted old stumps around the killed larches, and the authors were unable to detect any rhizomorphs of *Armillaria mellea* on them. Accordingly, the authors could not make clear the causes of the abrupt occurrences of this disease and the courses of the invasion.

The rotted fine roots of larch were frequently observed in B horizon. Furthermore, the development of the larch roots was limited to the upper horizons. These facts presumably were induced by the very humid moisture conditions of the soil and the compactness of the lower horizons. However, the characteristics of the profile, given in Table 9, showed no sign of the soil being always under such moisture conditions. But the occurrences of the

seasonally or temporarily very humid conditions of the soil with the character of stagnating water were presumable from its topographical factors, its inferior water permeabilities, and the very compactness of the lower horizons. The moisture condition of soil was similar to that of the above-mentioned forests. The authors presumed that these soil conditions would have some influence on the occurrences of the *Armillaria* root rot of larch.

6. The larch forest in Tobira.

This was a 40-year-old larch forest. Its height above sea level was 1,350 m and was located on the rather gently sloping part on the middle of a long steep mountain slope (see Fig. 11). The soil, belonging to B/D-E soil, originated from pyroxene andesite and grano diorite. The descriptions of profile, physical and chemical properties are shown in Tables 9~13 and Fig. 18.

The soil was clayey. As the soil aggregates bound rather loosely until the lower horizons, the physical properties and water permeabilities of soil were excellent.

The death of about 20 larches by *Armillaria* root rot occurred sporadically from the fall of 1958, up to the fall of 1960. Weakened larches were frequently observed around the killed one.

The rhizomorphs of *Armillaria mellea* could be seen on the cambium of the main roots, bottom of the stem and, frequently, on the stem 1 m up from the bottom of the killed larches.

The growth of the dead larches, suggested by the width between the annual rings of the stumps, was excellent and normal after planting up to the year that they were killed.

The authors had much difficulty in making clear the causes of the occurrence of this disease and the courses of the pathogen invasion on account of the absence of the stumps of the deciduous trees or larches by clear-cutting or thinning, and the sporadic occurrences of the damage.

The moisture condition of soil was rather humid. But the seasonally or temporarily very humid moisture conditions with the character of stagnating water did not occur in this soil. It would have the character of flowing water in the soil.

The nuance of the soil moisture conditions between this forest and the above-mentioned one was very interesting in comparison with the differences of the mode of the occurrences of the damage ... sporadically in the former and concentrically in the latter.

7. The larch forest in Wada.

This is a 35-year-old larch forest. Its height above sea level was 1,350 m and is located in the middle of the mountain slope (see Fig. 12). The soil, belonging to Bp soil, originated from volcanic ash.

The descriptions of profile, physical and chemical properties of soil are shown in Tables 9~13 and Fig. 13. The soil was clayey. As the soil aggregates bound rather loosely down to the lower horizons, the physical properties and water permeabilities were excellent. The root system developed well until the lower horizons.

The growth of the larches, 18 m in height 29 cm in diameter in average, was good.

The death of over 10 larches by *Armillaria* root rot occurred sporadically from 1957 up to the fall of 1960. A few of the weakened larches were observed around the killed one.

The rhizomorphs of *Armillaria mellea* were observed on the cambium of the stumps and the main roots of the aged killed larches.

The growth of those that were killed, suggested by the width between the annual rings of the stumps after planting up to the year that they died was successively well and showed no sign of abnormality. The effects of the seasonally or temporarily very humid conditions of the soil with the character of stagnating water were unrecognizable as in the case of the Tobira Forest. The humid moisture conditions of this soil had the character of flowing water.

The soil moisture conditions and the sporadic occurrences of the damage were similar to those of Tobira Forest. Unfortunately, the authors could not make clear the causes of the occurrence of this disease and the courses of the infections of the pathogen on account of the absence of the stumps of the deciduous trees or larches by clear-cutting or thinning, and the sporadic occurrences of the damage.

8. The larch forest in Kisojigahara.

This is a 30-year-old larch forest. Its height above sea level is 1,400 m and is located on the middle of a gentle mountain slope (see Fig.13). The soil, belonging to B/D_(d) soil, originated from volcanic ash. The descriptions of profile, physical and chemical properties of soil are shown in Tables 9~13 and Fig.18.

The soil was clayey. The lower horizons below 20 cm from the surface were very compact. The physical properties in natural condition and water permeabilities of the upper horizons were not good.

The growth of the larches, 13.5 m in height and 22 cm in diameter in average, was inferior. Furthermore, the width between the annual rings of the stumps of the killed larches showed that their growth had been well for about 15~20 years after planting, but had remarkably decreased after that time.

The death of 11 larches by *Armillaria* root rot occurred abruptly in the spring of 1959. The locations of the killed larches were divided into 4 groups in detail.

The stumps of larches by thinning done several years previously were around the killed larches. The developments of the rhizomorphs of *Armillaria mellea* were clearly observed on the cambium of these stumps and their main roots.

To make clear the causes of the occurrences of *Armillaria* root rot and the course of the infection, the root systems of the killed larches, the healthy ones around them, and the remaining stumps by thinning, were examined. The information is shown schematically in Figs.14~17. From these results, the authors concluded that for the most part the occurrences of the disease was induced by the contacts of the healthy larch roots with the previously thinned one on which the rhizomorphs of *Armillaria mellea* vigorously developed. But invasions of the fungus without these contacts were observed here and there (see e in Figs.14 and 15). These cases were few in this forest, but they showed the possibility of vulnerability without these contacts.

The white mycelium of this fungi were observed only on the cambium of the roots of killed larches near the tip, apart from the bottom of the stem. Accordingly, the invasion of this pathogen only in the fine or medium roots near the tips would cause the death of the hosts.

The moisture condition of the soil was rather arid. The possibility of the seasonally or temporarily humid moisture conditions of the soil with the character of stagnating water was not evident. The moisture condition of this soil was remarkably dissimilar to the that of the above-mentioned forests.

The occurrences of this disease were limited to a part of this forest. The rhizomorphs of *Armillaria mellea* on the stumps of the larch by thinning were not recognized in the area in which the larches were healthy. Unfortunately, inquiries into the development of this pathogen on the stumps and, accordingly, the occurrences of this disease, were limited to a certain area in this forest.

9. Discussion

In the Shinshu area, the death of larches by this disease was observed not only in young forests, but also in matured ones. It is worthy of note that the ages of the larches affected by this disease were limited to the 3~6 year old and the 30~40 year old trees. Up to the present, the damage of other aged forests has not yet been observed. The areas of the damaged young larch forest were very little in comparison with the total one of young larch forest. But the foresters attached significance to this disease in young larch forests for its heavy and concentrical occurrences in certain locations. From the above-mentioned results, the information that the site conditions had an influence upon its occurrence was not precisely borne out by the young and matured larch forests.

It is possible to say that the humid moisture conditions of soil did have an effect upon the occurrence of this disease in the young larch forests. Furthermore, the humid moisture condition of soil with the character of stagnating water caused more virulent damage than the one with the character of flowing water. These differences in the character of the soil water movement were caused mainly by the effects of the topographical factors and partly by the physical properties of the soil. The young larch forests on the mountain top plateaus, flats, basins, and very gentle mountain slopes would be predisposed to *Armillaria* root rot. Furthermore, the concaved reliefs, the clayey textures and the inferior water permeabilities of the soil would accelerate the occurrence of the damage.

In the authors' opinion, the occurrences of serious damage by this disease were limited to the young larch forests under the above-mentioned site conditions. However, they were not the deciding factors for causing this disease. The authors frequently observed healthy or only slightly affected young larch forests under similar site conditions in this area. The occurrence of the damage by this disease would be decided by the relative virulence of the activities of the pathogen and the host. The anaerobic conditions of the soil are very unfavorable for the activities of the larch root system. Therefore, the decreases of the activities of the roots of larch affected by the humid moisture conditions of soil with the character of stagnating water at least seasonally or temporarily induced by the above-mentioned site conditions would increase the relative virulence of the pathogen.

The damage to the matured larch forests was less than that of the young larch forests, as a whole.

The topographical factors and soil conditions of the matured larch forests were divided into the following 3 types.

- (a) The one common to the young larch forests (Aoki and Nonoiri).
- (b) The middle of the mountain slope under the humid moisture conditions of soil with the character of flowing water (Tobira and Wada).
- (c) The same topography as (b), but under the rather arid moisture conditions of soil (Kisojigahara).

Previously, some forest pathologists in this country pointed out that the occurrence of this

disease on many species of forest trees, especially conifers, is induced by the contact of their healthy roots with the rhizomorphs of *Armillaria mellea* in the soil or the dead roots of the advance growth that this pathogen develops. In Europe and the U.S.A., some authors¹⁾¹¹⁾²³⁾ emphasized a similar opinion. One author¹⁾ observed the invasion of *Armillaria mellea* into the host roots through the wounds; but another author²⁾ stated that the wounds or dead roots were not necessary to the invasion of the fungus into the host roots.

From the authors' results, the cases in which the occurrences of the disease ascribed to the contacts of healthy larch roots with those of deciduous trees or larches of advance growth infected by *Armillaria mellea* were observed mainly in young larch forests; and in only a few matured ones. The fact that the dead roots which this pathogen developed on were not necessary to the occurrence of this disease was frequently observed in both young and matured forests. The elucidations of the causes and the courses of invasion in these cases were left for future study.

On the parasitism of *Armillaria mellea*, the following two opinions have been advanced²⁾. Some authors¹⁾²⁾¹¹⁾¹⁹⁾ were of the opinion that *Armillaria mellea* was only a weak parasite; but others²⁾³⁾¹⁶⁾ suggested that this fungi was a virulent parasite. It had been known that the resisting powers against *Armillaria* root rot varied with the species of conifers³⁾. Furthermore, the opinions that the external (environmental) factors were more effective than the inherent resisting power of the host and the virulence of the fungus were proposed³⁾¹⁷⁾. Putting together these opinions, the one that regards *Armillaria mellea* as the weak parasite is more weighty than the one that regards it as the virulent pathogen.

As already stated, the authors frequently observed the inhibitions of the development of this pathogen and, accordingly, the recoveries of the growth of young larches by the formations of thick resinous layers in the borders between the infected roots and the healthy one in Todate Forest. These facts would support the opinion that the parasitism of this fungus would be decided by the relative virulence between the host and the pathogen affected by their inherent qualities and environmental factors in young larch forests.

It was known that the larch root systems were less resistable to the anaerobic conditions of soil. The seasonally or temporarily very humid conditions with the character of stagnating water would induce the decrease of the vigor of the larch root system and, accordingly, the increment of the relative vigor of the pathogen.

The authors were of the opinion that the good growth of the larch in Nakanosawa Forest even in the year that the diseased larches died would be induced by the high frequency of the infection rather than the high virulence of the pathogen. It had been known that the susceptibility to *Armillaria* root rot varied with the species of the conifers and, moreover, the external (environmental) factors were more effective than the inherent resisting power of the host and the virulence of the pathogen³⁾¹⁷⁾.

Accordingly, the authors concluded that the occurrence of the *Armillaria* root rot would be affected by the grades and the periods of the humid soil condition with the character of stagnating water, the grades of the temporary weakening of the larch root systems, and the frequency of the infection affected by the densities of the population of this pathogen in the soil.

Among the matured larch forests investigated, the remarkably decreased growth of the larches afterwards, 15~20 years in Kisojigahara Forest, suggested the decrease of the vigor of

the trees and, accordingly, their resisting power to the pathogen. But in other forests, the decreases of the vigor of the killed larches were not presumed to be so affected. In the case of the Aoki and Nonoiri Forests, it could be presumed that the occurrences of this disease would be affected by factors similar to the above-mentioned young larch forests. But as regards the growth of the healthy and the killed larches in Tobira and Wada Forests, neither their topographical factors, nor their soil conditions suggested the reduced vigor of the host. Accordingly, the factors affecting upon the occurrence of *Armillaria* root rot in these forests were not elucidated; and in consequence the authors found difficulties in getting definite conclusions on the causes of this disease on matured larch forests.

According to previous information on the progress of *Armillaria* root rot by Japanese forest pathologists, the periods from infection up to the death in young larch forests naturally disagreed by the differences of the method of judgement. Some of them inferred that it was one year, but the others 2~3 years, or 3~5 years. From the authors' results, these progresses were dissimilar in Todate and Nakanosawa Forest, as mentioned above. The authors were of the opinion that these disagreements were attributable to the differences of the frequency of the invasion of the pathogen to the host root. But these periods in both forests were shorter than the one that the Japanese forest pathologists previously inferred as a whole.

10. Acknowledgement

The authors wish to express their gratitude to ex-professor M. OHMASA, Department of Forestry, University of Tokyo, and Mr. R. IMAZEKI, former Director of Forest Protection Division of this Experiment Station for their helpful suggestions and kind guidance during the course of this investigation. They are also indebted to Mr. R. Watanabe, ex-Chief of Kiso Sub-branch of this Experiment Station and Mr. H. UMEHARA, Chief of Kiso Sub-branch for their encouragement, and to Mr. M. INABA and Mr. M. KASAI for their cooperations in carrying out this work.