

マツの枯死・衰退に対する活力剤の効果(1)

中根周歩*・戎 晃司**

*広島大学総合科学部

**イービーエス産興株式会社

Effect of a tree tonic on pine tree vitalities (1)

Kaneyuki NAKANE* and Kouji EBISU**

* Faculty of Integrated Arts and Sciences Hiroshima University,
Higashi-Hiroshima 724 Japan

** EBS Sanko Co. Ltd. 1-1-10 Kairouen, Saeki-ku, Hiroshima 731-51, Japan

Abstract : A tree tonic, which was the powder composed of seven kinds of herb medicines, rice bran, soybean, rice, pearl barley and etc., was exploited and its effectiveness on recovering or maintaining the vitality of trees was examined by the field treatment at seven pine (*Pinus densiflora* and *P. thunbergii*) stands in Hiroshima and Yamaguchi Prefectures. The tonic solution was injected into the soil at 6-90 points just around each trunk of about 3,700 pine trees (treatment trees). One year later their vitality, which was evaluated by the leaf longevity and divided into eleven grades, was measured again as same as just before the treatment. The average mortality of the treatment trees was only 0.8% per year, while 17.1% of non-treatment, i. e., control 4,700 trees, which were adjacent to the treatment trees, died during the year. The vitality of treatment trees became up on an average rather more than before treatment. The facts suggest remarkable effects of the tonic on the vitality of trees.

Key words : Herb medicine, Organic fertilizer, Pine tree, Tree tonic, Vitality,

はじめに

昭和40年代後半から顕著となった、マツの大量枯死、いわゆる「マツ枯れ」は昭和52年の「松くい虫防除特別措置法」、さらにこれを改正延長した昭和57、62年、平成4年の「松くい虫被害対策特別措置法」に基づく薬剤の空中散布や枯死木の伐倒駆除などの努力にもかかわらず、マツ枯れはいつこうに終息せず現在に至っている。特に、山陽の瀬戸内海沿岸部や山陰の沿岸部はますますマツ枯れが激しくなっているのが実状である。

今までのマツ枯れ対策は、主にマツノマダラカミキリ (*Monochamus alternatus* Hope) が伝搬するマツノザイセンチュウ (*Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et Buhrer) Nickle; 以下、ザイセンチュウとする) の接種がアカマツ (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) やクロマツ (*P. thunbergii* Parl) (以下、マツとする) を枯死させる (清原・徳重, 1971; 岸, 1988) ことから、マダラカミキリと

ザイセンチュウを唯一の原因とする立場から実施されてきた。しかし、伐倒駆除は別として、マツ林に殺虫剤を広範囲にわたって大量に散布するいわゆる「空中散布」は、生態系や周辺の人々の身体への悪影響が指摘されている（加藤他，1986；Hatakeyama et al., 1990）。さらに、ザイセンチュウの駆除剤の樹幹注入は幹そのものを傷つけることが指摘されている（中川，1985）。

最近、改めてマツ枯れを促進する要因として、マツの生育環境の悪化、特に大気汚染（酸性雨・霧・露、酸性降下物質などを含む）の影響が指摘されている（Senoo and Honjyo, 1988；Futai and Harashima, 1990；野見山他，1991；Nakane and Kimura, 1992；中根，1992；中根・苗村，1994）。さらに、関東地方や関西、瀬戸内海沿岸部において大気汚染によるとされるスギ（*Chryptomeria japonica* D. Don）の衰退が大きく進行していることが指摘され（高橋他，1986；1991）、大気汚染物質を集め易いマツ、スギ、モミ（*Abies firma* Sieb. et Zucc.）といった針葉樹の衰弱が日本各地で明らかになりつつある（環境庁，1992）。

すなわち、マツの生育環境の悪化がマツの活力を低下させ、ザイセンチュウなどによる被害を拡大しているものと考えられる。マツ枯れの激しい地域では、比較的大気汚染に弱いとされるヤマザクラ（*Prunus yamasakura* Sieb. ex Koizd.）などの広葉樹（農水省，1973；峠田，1976）にも、枯死や異常落葉（または出葉の減少）などの被害が見られることから（Senoo and Honjyo, 1988；中根・苗村，1994）、ザイセンチュウを介在しない大気汚染のみによる、マツを含めた樹木の枯死も発生していると思われる。

それ故に、マツ枯れを抑える手段として、大気汚染の規制など生育環境の改善が大切であることは言うまでもないが、とりあえずマツの活力を回復させることによって、ザイセンチュウや大気汚染に対する抵抗力をつけることが必要であろう。しかし、従来マツに関する1、2の活力剤の開発がされているが、その効果が科学的に検証されているとは言い難い。一方、マツ林へのチッソやリンの施肥効果については諸外国でいくつかの報告がある（Aronsson and Elowson, 1980；Crane, 1982；Linder et al., 1987；Raison et al., 1990）。しかし、これらは健全なマツの成長促進についての効果実験であり、衰弱したマツの回復効果実験ではない。そこで、マツを含む衰弱した樹木の回復を目的とした活力剤を開発し、その効果実験を行った。今回は、花崗岩土壌上に生育したマツについて報告する。

材料、調査地および方法

実験に用いた樹木活力剤（既にイービーエス産興株式会社から市販されている）の構成材料は以下の通りである。

1. 米ぬか（100）
2. 大豆（*Glycine soja*）、米（*Oryza sativa*）、ハトムギ（*Coix lacryma-joki* var. *ma-yuen*）、胡麻（*Sesamum indicum*）、トウガラシ（*Capsicum annuum*）以上の種子、ニンニク（*Allium sativum*）の地下茎、人参（*Daucus carota* var. *stivus*）の根、（以上、5）
3. 漢方薬：苦参、ヨクイニン、当帰、センキュウ、陳皮、紅花、五加皮（以上、3）
4. 酵素：アルファ・アミラーゼ、グルコ・アミラーゼ（以上、0.1）

以上の材料を粉末にし、使用直前まで常温、暗条件で密封保存したものである。ただし、材料の組成比は米ぬかを100とした相対重量比でそれぞれ（ ）の中に示した（材料の含水率は、乾重比で、すべて約10%である）。しかし、この材料比は、実際にはその時々それぞれの材料自身の成分が

必ずしも一定でないので、おおよその参考値である。正確には、付表の成分比になるように調合が必要である。

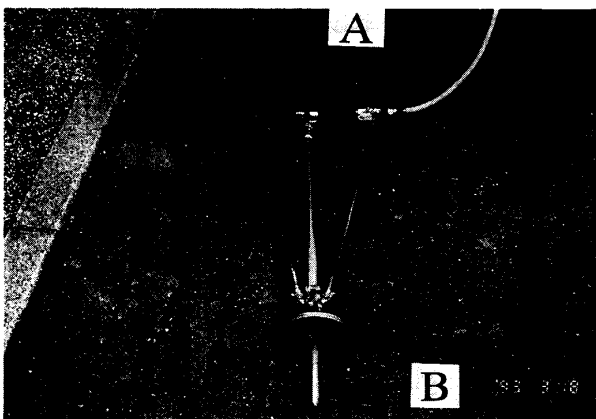
表1. 各調査地の平均林分密度、平均胸高直径、施行区本数、施行時、効果調査時及び対照区本数、対照木調査時。

調査地	平均林分密度(/ha)	平均胸高直径(cm)	施行区本数	施行時	効果調査時	対照区本数	対照木調査時
A	780	35	25	1988.11	1991. 7	47	1991. 7
			880	1990. 6	1991. 8	311	1991. 8
B	1100	31	257	1990. 3	1991. 9	630	1991. 9
C	960	29	551	1990. 4	1991. 9	1574	1991. 9
D	1350	27	5	1989. 5	1991. 7	10	1991. 7
			202	1990. 4	1991.10	185	1991. 9
			343	1990. 7	1991.10	228	1991. 9
E	930	28	642	1990. 5	1991. 9	968	1991. 9
F	1270	26	297	1990. 6	1991.10	211	1991. 8
			484	1990. 9	1991.10	474	1991. 8
G	650	37	28	1991.10	1992. 5	155	1991. 9
計			3714			4793	

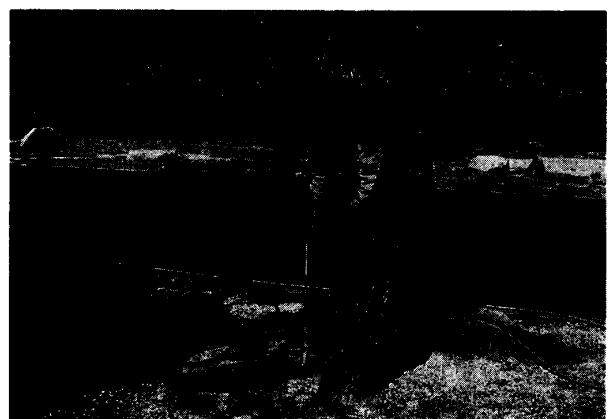
A：広島市佐伯区五日市町皆賀、B：広島市安芸区畑賀町、C：広島県東広島市西条町、
D：山口県熊毛町、E：広島県福山市神村町、F：広島県庄原市板橋町、
G：広島市佐伯区広島市植物公園

今回対象とした調査地は表1に示す通りで、公園やゴルフ場内のマツ二次林である。一部には植栽木を含む。A～Gの調査地内にそれぞれ15～20カ所の施行効果調査区（施行区）を無作為に設置して、施行区内の全てのマツについて施行実験を行った。施行実験を行った木数を同じく表1に示す。ただし、サイセンチュウの駆除剤を樹幹注入したマツは調査対象からはずした。

活力剤の施行方法としては、アルミ製袋で密封しておいた活力剤を施行1時間前に水に溶かし、混合し（200 g/l）、これを打込み器（写真1）で対象とするマツの根元周辺、土壌の深さ5～10cmのところ、マツの胸高直径と活力度に応じて数カ所～数十カ所打ち込んだ（具体的には、活力度の点数7で、DBH＝5～10cm：6カ所、11～20：12、21～30：18、31～40：24、41～50：30、これが活力度の点数8で点数7の2倍、点数9、10で点数7の3倍の箇所を打ち込む）。一カ所に打込む混合液の量は約200mlである。活力剤を根元に打ち込んだマツの幹に識別用の塩化ビニール製の札



(I)



(II)

写真1. 活力剤の打込み器（I）と打込み作業の様子（II）。（I）取っ手（A）の引き金を引くと、先端（B）の弁が開き、約4気圧の圧力で活力剤を溶かした液が噴出する。

を付け、番号を記入した。また、松中（1979；1984）を参考にして考案した、表2の活力度評価システムに基づきそのマツの活力度を記録した（予備実験として、このマツの活力度と小枝を切断して枝断面に出てくる松ヤニの量との間には良い相関が得られた、 $r=0.87$ ）。

施行から1年から3年後（表1）、施行効果調査として、施行したマツの活力度および状況（塩害、風害、マツカレハの被害の程度、被陰による枯死など）を再度記録した。

実験木への効果を検討する上での、対照木として活力剤を施行しなかった、施行区に隣接し、ほぼ同様な林齢で、同一に管理されているマツ林内に対照区（約15～20カ所）を無作為に設置し、その区内のマツを対照木として、その枯れ被害度を調査した（表1）。その際、この1年以内に枯死したと思われる樹冠が赤褐色になっているマツの本数を計測し、健全木を含めた全本数に占める比率（%）を求めた。さらに、調査地Bの対照区では、施行区と同様の活力度調査を施行区の施行時と効果調査時に合わせて行った。

また、対照区と施行区の配置の一例を図1に示す。

以上の調査地の土壌はすべて花崗岩の 마사土である。合計3,714本の施行したアカマツ（3,582本）またはクロマツ（132本）の樹齢は20～50年である。調査地A～Fの林分の植栽木を含めた大部分は下草刈は行われているが、間伐を行った形跡はなかった。調査地Gでは間伐も下草刈も行われていた。

表2. マツの活力度評価システム.

活力度 (点数)	評 価 基 準
11	枯死
10	1年葉の大半（50%以上）が脱落（～秋期） 2年葉は無し
9	1年葉の一部（50%以下）が脱落または変色（～秋期） 2年葉の大半が脱落
8	1年葉は健全 2年葉の大半が変色または一部脱落（～秋期）
7	1年葉は健全 2年葉の一部が変色（～秋期）
6	1年葉、2年葉は健全 3年葉は無し
5	1年葉、2年葉は健全 3年葉の一部が残存、しかし変色有り
4	1年葉、2年葉は健全 3年葉の一部が残存、変色無し
3	1年葉、2年葉は健全 3年葉の大半が残存、しかし変色多し
2	1年葉、2年葉は健全 3年葉の大半が残存、変色少ない
1	1年葉、2年葉は健全 3年葉の大半が残存し、変色無し

1年葉：その年に出葉したもの、2年葉：前年度に出葉したもの、
3年葉：前々年度に出葉したもの。

結果および考察

1. 対照区（無施行マツ）と施行区（施行マツ）の枯死率

表3に、「活力剤」無施行の対照区マツの年間枯死率を示す。これらのマツは施行区マツと隣接しており、土壌や管理条件は両者に余り差が無いことから、施行以前の施行区のマツとほぼ同様の活力をもつ集団と考えてよからう。また、1991年9月の大型台風19号以前の調査結果であるから、台風の影響は考慮する必要は無かった。

対照区マツの枯死率は場所によって、かなりバラツキがあり、最高は調査地Aで31%、最低は調査地Dの5%で、全体の平均は17%であった。広島市周辺（調査地A、B、G）で高く、内陸（調査地C、D）で低い。しかし、全体として施行区周辺のマツがかなりの速さで枯れている状況が示された。特に、調査区AとBの対照区では、このまま放置した場合、数年でマツが壊滅することが予測された。

これに対して、施行区マツの台風などの影響を除いた枯死率(表2)は最高で3.6%(広島市植物公園)で、最低は0.1%(庄原市板橋町)、平均0.8%に過ぎなかった。すなわち、枯死率に関しては施行しなかった場合の4.7%、約20分の1に激減していることが示された。特に、対照区のマツが数年で壊滅することが予測されている調査区AとBの施行区では、10年後ですら現在の生存しているマツの約10%が枯れるにすぎないと予測された。このことは、活力剤によるマツの活力維持、再生効果を如実に示している。

表3. 対照区(活力剤無施行)マツと施行区マツの年間枯死率(%)

	調査地							全体
	A	B	C	D	E	F	G	
対照区マツ								
調査本数	358	630	1574	423	968	685	155	4793
枯死本数	110	151	172	21	150	171	43	818
(a)年間枯死率(%)	30.7	24.0	10.9	5.0	15.5	25.0	27.7	17.1
施行区マツ								
調査本数*	902	247	313	467	605	736	28	3297
枯死本数*	15	2	5	3	1	1	1	28
(b)年間枯死率(%)	1.7	0.8	1.6	0.6	0.2	0.1	3.6	0.8
(b)/(a)(枯死率の比)	0.055	0.033	0.147	0.128	0.011	0.005	0.129	0.047

調査地A~Gは表1と同じ。*:台風、マツカレハ及び被陰で枯死したものは除外した。

2. 施行区における施行時と効果調査時の活力度

施行時と効果調査時における施行区マツの活力度の頻度分布の例(調査区AとE)を図2に示す。この図で示している、施行時と効果調査時の分布は χ^2 検定(有意水準<0.01)でそれぞれ正規分布していることが確認された。同様に、他のすべての調査区および全調査地を合わせた、同様の頻度分布も χ^2 検定(有意水準<0.01)で正規分布していると見なせた。

施行時の活力度(点数)は、各調査地によって分布範囲や分布平均値がやや異なっているが、分布平均値の低い(活力のある)順に、調査地A(6.91)→E(7.36)→D(7.55)→C(7.95)→F(8.05)→B(8.46)→G(8.93)となった。これは、必ずしもその調査地のマツの活力度を示すというよりは、活力剤を施行したマツの活力度がたまたまそのような分布をしていたと見るべきであろう。

約1年後の効果調査時、多くの調査地では、その間に大型台風の影響で施行区マツに被害(倒木や先端折れなど)が出ており、それが活力度の点数に影響が見られた。特に調査地Cについては、その被害は無視できないと思われた。しかし、全調査地を合わせた、活力度の頻度分布曲線は、台風などの被害木を含めても、施行時から効果調査時へと、全体としてやや活力度の点数が低い方に分布が移動している。当然、被害木を除いた分布は、よりその傾向を鮮明にしている。このことは、隣接する対照区マツが年平均で17%が枯死している状況の中で、施行区マツでは枯死率が20分の1に抑えられているだけでなく、マツの活力がけして顕著ではないが、逆に増大していることを示唆している。

そこで、さらに施行時と効果調査時の活力度の統計的比較を行った。その際、両者の分布平均値の有意差検定を試みた。

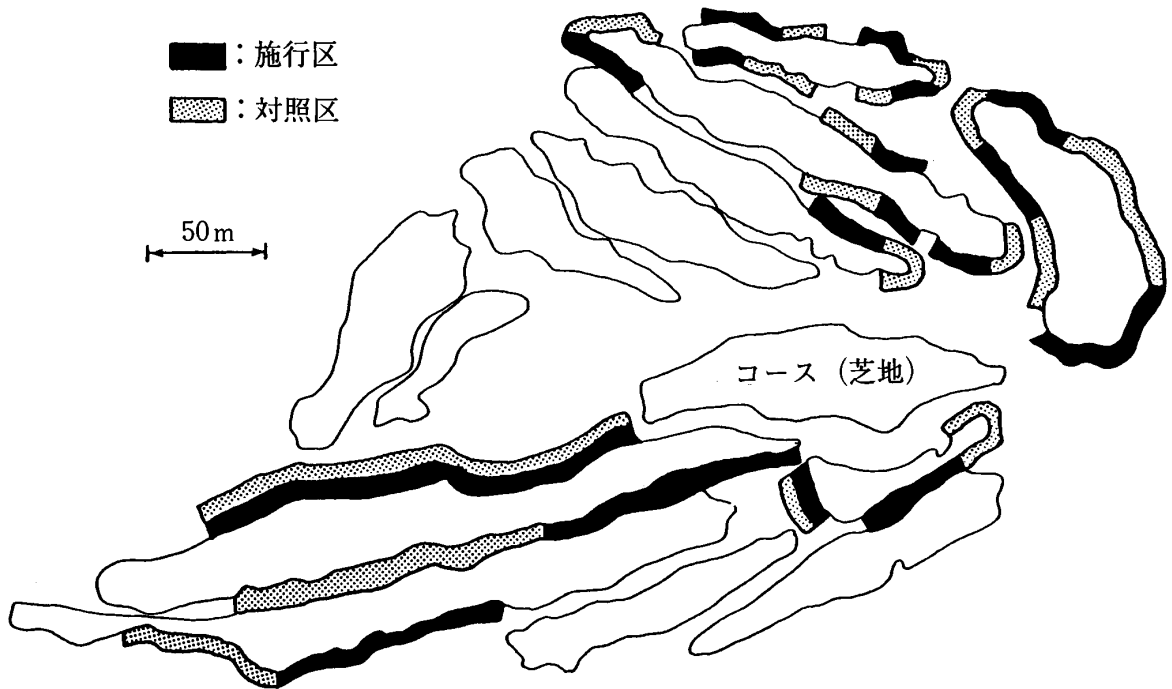


図1. 調査地における樹木活力剤施行区と対照区の配置の一例 (調査地A: 広島市佐伯区五日市町、広島ゴルフ倶楽部)。

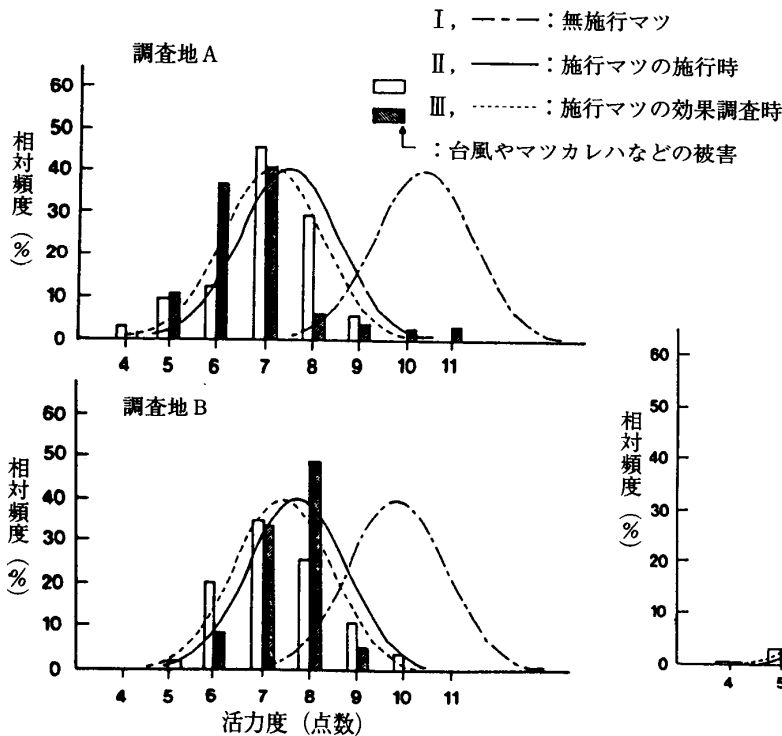


図2. 調査地AとEにおける施行区マツの施行時と効果調査時の活力度の頻度分布とその適合曲線、及び対照区マツの、枯死率(A)から推定した活力度の頻度分布曲線。以上の分布は正規分布を仮定している(効果調査時の分布曲線は台風などの影響を除いた補正データに適合させている)。

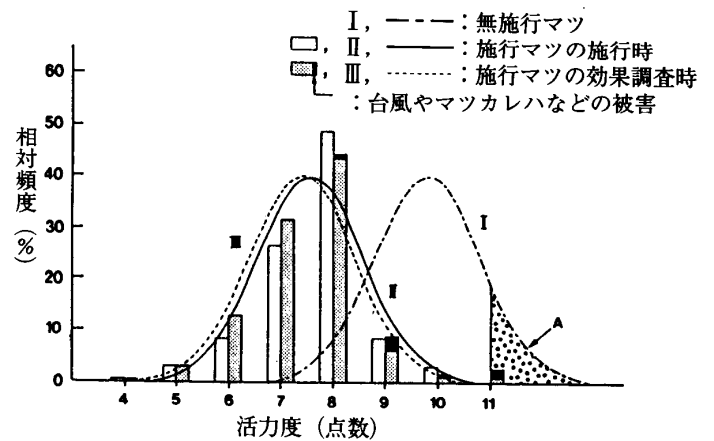


図3. 全調査地における施行区マツの施行時と効果調査時の活力度の頻度分布とその適合曲線、及び対照区マツの、枯死率(A)から推定した活力度の頻度分布曲線。以上の分布は正規分布を仮定している(効果調査時の分布曲線は台風などの影響を除いた補正データに適合させている)。

表4. 各調査地の施行区マツの施行時、効果調査時の活力度及び推測された対照区マツの活力度の頻度分布の平均値、分散及びこれら間の有意差検定.

	調 査 地							全体
	A	B	C	D	E	F	G	
I 施行区施行時								
総数	905	257	551	550	642	781	28	3714
平均値	6.91	8.46	7.95	7.55	7.36	8.05	8.93	7.57
分散	1.08	0.80	0.65	1.77	1.08	0.06	0.35	0.80
II 施行区効果調査時								
総数	902	247	313	467	605	736	28	3297
平均値	6.60	7.23	8.10	7.94	7.45	7.79	8.39	7.41
分散	1.24	0.50	0.32	0.95	0.58	0.31	0.54	0.72
III 対照区								
総数	358	630	1574	423	968	685	155	4793
平均値	(10.19)	(9.82)	(9.59)	(9.70)	(9.95)	(9.90)	(9.92)	(9.80)
分散								
有意差検定								
II ~ I	++	++	-	*	++	+	+	++
II ~ III	++	++	++	++	++	++	++	++

調査地 A ~ G は表 1 と同じ。

有意差検定

++ : 有意水準=0.001、+ : =0.01でそれぞれ有意差あり (プラスの効果: 活力の回復)

- : 有意水準=0.01で有意差あり (マイナスの効果: 活力の低下)

* : 有意水準=0.01で有意差なし

ただし、III の対照区マツの分布は年間の枯死率から推定した。また、II ~ III の検定の際、III の分散は I、II と同じと仮定して両方について計算した。

各調査地の施行時と効果調査時の活力度の頻度分布平均値、分散を求めたものを表4に示した。ただし、効果調査時のデータからは台風、被陰、マツカレハなどの被害が大きいものは除いた。また、表4には対照区マツの効果調査時の活力度分布が正規分布すると仮定し、その年間枯死率から分布平均値を推定した値も示している。さらに、対照区マツの活力度の分散を施行区マツの施行時及び効果調査時の分散と同じとして、施行区マツの施行時と効果調査時、及び施行区マツの効果調査時と対照区マツの活力度の有意差検定を行い、その結果を同じく表4に示した。このような操作の根拠としては、対照区と施行区が隣接する同一母集団に属すると考えられることと、実測された調査地Bの対照区の活力度の分布(平均値及び分散)である。すなわち、施行区の施行時における、対照区の活力度の点数の分布平均値(8.62)と分散(0.92)が施行区のそれらの値に近いこと、また施行区の効果調査時における、対照区の活力度の分布(平均値が9.23、分散は0.69)が枯死率から推定された、活力度の分布と類似していることである(表4)。ただし、この操作によって得られた結果は、対照区マツの活力度調査を調査地B以外では実施していないので、一つの参考資料にとどめる。

施行区マツの施行時と効果調査時の活力度は、調査地A、B、Eで有意水準0.001で両者に有意な差があり、しかも活力剤のプラス効果(活力回復)が示された。また、調査地F、Gについては、有意水準0.01で同様な結果が示された。これに対して、調査地Dでは両者に有意差は見られず、調査地Cでは逆に有意水準0.01でマイナス効果が見られた。しかし、全体としては、有意水準0.001でプラス効果が確認された。

一方、施行区マツと対照区マツとの活力度の有意差は、当然ながら、どの調査地でも、また全体としても有意水準0.001以下の高い信頼度で確認された。当然ながら、調査区Bの施行区および対

照区で同時に測定された活力度の間にも、同様な結果が得られた。

図2や3が示すように、施行時と効果調査時の活力度の差は見かけの活力剤の効果であり、施行しなかった場合、施行時の活力度が対照区マツの分布に移行すると推測すると、施行区マツの効果調査時の活力度と対照区マツの活力度の差異が活力剤の真の効果と見るべきであろう。それ故に、施行区の施行時と効果調査時の比較以上に活力剤の効果があることは確かであるが、本報告ではそれを明確にするには至っていない。

3. 施行区における施行時と効果調査時の活力度の「差」の分布

施行区マツの施行時と効果調査時の活力度（点数）の「差」の分布も同様に、二つ集団の活力度の比較をする上で指標になろう。

図4は調査地全体の活力度の差の分布を表している。ただし、台風などの被害木を含めた場合と除いた場合の両方について示している。

図4が示すように、活力度の差の分布はほぼ正規分布を示し（ χ^2 検定：有意水準 <0.01 ）、その分布平均値は台風の被害木を除いた場合で0.34、被害木を含めた場合で0.21と、どちらも分布がプラスに傾いている。すなわち、施行時よりも効果調査時の方が活力度が全体として増大していることを示している。これは、施行時と効果調査時の活力度の有意差検定の結果を裏付けている。

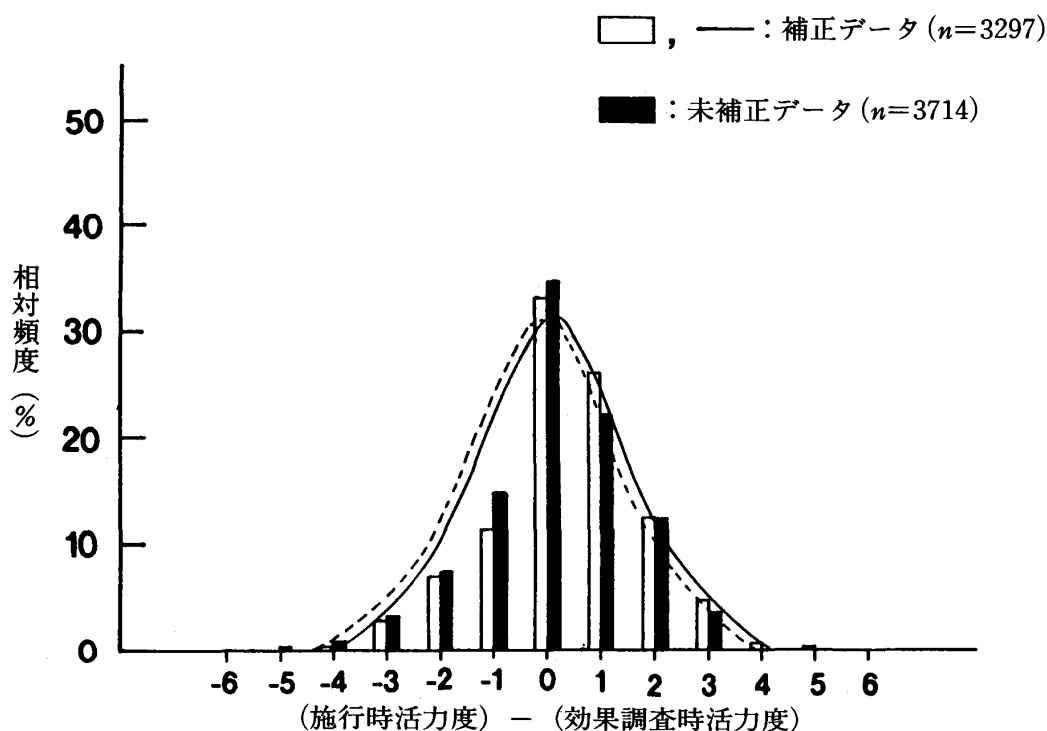


図4. 全調査地における施行区マツの施行時と効果調査時の活力度（点数）の差の分布。

補正データ：台風やマツカレハなどによって強く被害をうけた個体を除いたもの。

—————：補正データに正規分布曲線（平均値0.34）を適合したもの（ χ^2 検定：有意水準 <0.01 ），

.....：破線は分布の平均値が0の場合の正規分布を示す。

4. 活力度の低いマツの原因解析やその活力度の推移

効果調査時の活力度が低かったマツについて、その原因を解析したのが表5である。活力度11(枯死)、10、9といった活力度が低いと評価された施行マツの45%は台風による塩害や風害、また被陰やマツカレハなどによるもので、残りの55%(263本)が活力剤の施行にもかかわらず、活力が低かったことを示している。しかし、施行時に活力度が10、9であったマツが合計で431本あったことを考慮すれば、全体として活力が改善されたと見るべきであろう。

表5. 全調査地における、効果調査時に枯死または活力度が低かった施行区マツの被害原因の分布。

活力度	被害の原因(全体)					(全体) 本数
	塩害	風害	被陰	毛虫	その他	
11	11	54	5	3	28(0.31)	91
10	19	25	2	7	32(0.48)	66
9	30	67	13	6	201(0.63)	317
8	9	94	50	51	1434(0.88)	1638

() : 各活力度の合計本数に対する比

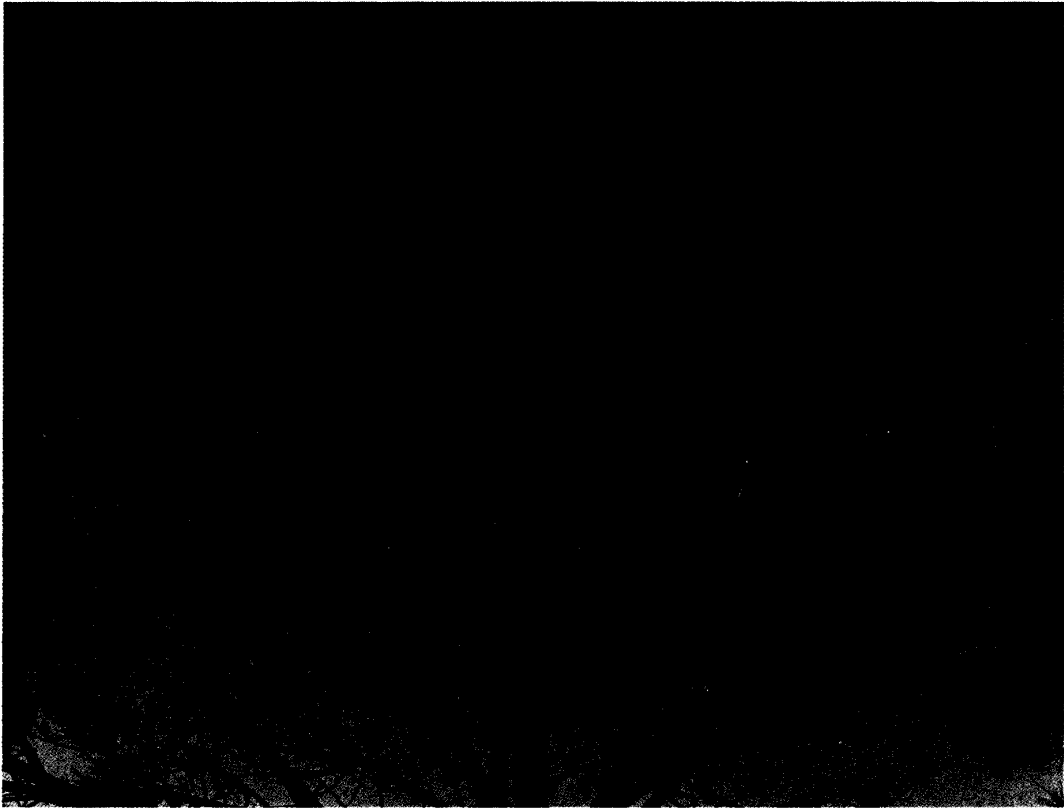
さらに、効果調査時に活力度が11、10となったマツ(すべて活力度が施行時と比較して低下)15本の内、11本までが台風やマツカレハの影響が大きかったもので、仮にこれを除くと活力が低下したマツはわずか3%に過ぎなかった。

以上、今回の実験に用いた活力剤の効果について、実例を写真2、3に示す。

おわりに

活力剤の施行時とその約1年後の効果調査時の活力度の比較から、この活力剤によると思われる活力回復が見られた。さらに、対照区の無施行マツが高い確率で枯死していることを兼ね合わせると、その効果は見かけ以上に大きいと言って良からう。少なくとも、枯死率が20分の1に減少したこと、活力が弱かったマツの大部分(約80%)が活力を増大させたことがそれを如実に示している。もし、1991年9月の台風が無かったら、その効果はより鮮明に明らかになっていたと思われる。さらに、隣接する対照区のマツが年間約20%という高い枯死率で衰退していることを考え合わせると、施行区の、マツが活力度を維持していること自体、活力剤の大きな効果と見なして良からう。

もし、大部分のマツ枯れが、マダラカミキリが媒介するザイセンチュウによるものとするならば、隣接する施行区と対照区の余りにも異なる枯死率は何によって引き起こされたのであろうか。活力剤によるマツの活力の増大がザイセンチュウへの抵抗力をつけた、という可能性である。しかし、従来ザイセンチュウの接種実験において、マツの活力の強弱による枯れの差異を示した報告は見当たらない。ただ、Futai and Harashima(1990)は、酸性霧を吹き付けたマツの方がザイセンチュウの接種による被害がいくらか大きくなることを報告している。しかし、この説だけでは、今回の枯死率の大きな低下を説明できるとは考えられない。すなわち、冒頭で指摘したように、現在瀬戸内沿岸部に蔓延しているマツ枯れが酸性雨や霧を含めた大気汚染などによるマツの活力の喪失によるものである(Nakane and Kimura, 1992; 中根, 1992; 中根・苗村, 1994)、という可能性である。それだからこそ、根系を中心に、活力を回復させれば、マツ枯れを大きく抑えることが可能であったということではないだろうか。



施行直後



施行五ヵ月後

写真2. 全面的に葉が枯れた被害木（高木）の再生（広島県安芸区畑賀：調査区B）.
（撮影日時）施行直後；1990年3月、施行後；1990年6月

施行前

施行後

(I)



(II)



(III)



写真3. 当年葉の、マツカレハによる食害 (I: 山口県熊毛町、調査地D)、衰退 (II: 同)、変色 (III: 広島市植物公園、調査地G) が著しい被害木 (低木) の再生。

(撮影日時) 施行前; (I) 1991年6月, (II) 1989年5月,
(III) 1991年10月、
施行後; (I) 1991年9月, (II) 1990年7月,
(III) 1992年6月

一方、今回の活力剤の効果のメカニズムは今後施行前後における、根圏土壌の物理化学性、微生物相やそのバイオマス、細根の伸長などの変化の追跡調査を通して明らかにして行く必要があるが、とりあえず、その効果については以下のように考察できよう。

すなわち、従来米ぬかなどの有機肥料だけでは活力が衰退したマツへの効果が余り見られなかったのは、有機肥料など土壌に与えられた栄養素を吸収する力を既に根系が失っているからと思われる。そこで漢方の生薬の強壯剤を与えて、吸収根の生理活性を快復させ、同時に高栄養で、比較的分解が速やかな米ぬかに天然酵素を同時に添加し、その分解、無機化を促進することによって、速やかに根の栄養吸収を促すからであると考えられる。

現在、激しく進行しているマツ枯れへの対策は、とりあえず、マツノマダラカミキリやマツノザイセンチュウ対策とともに、少なくともマツの生育環境の改善、特に酸性雨や酸性霧、酸性降下物質など大気汚染の改善が望まれる。そして、当面の対応として、今回報告したような活力剤の開発、普及が急がれる。その意味でも、今回開発した活力剤は、無公害で自然の地力に依拠している点で注目すべきで、貴重な観光資源としてのマツ林、公園、庭園やゴルフ場などの景観としてのマツ林、沿岸部急傾斜地での防災的に重要なマツ林、さらにマツタケの生産林としてのマツ林の保全への適用が期待される。

謝 辞

本調査を実施するにあたって、松永カントリークラブ、瀬野川カントリークラブ、庄原カントリークラブ、広島カントリークラブ、広島ゴルフ倶楽部、周南カントリークラブ、広島市植物公園の方々には調査地の提供などいろいろ便宜をはかっていただいた。また、広島大学総合科学部の蟹由昌美、馬場智子の両氏には活力度調査の際に協力していただいた。以上の方々に、この場をお借りしてお礼を申し上げます。

引用文献

- Aronsson, A. and Elowson, S. (1980) Effects of irrigation and fertilization on mineral nutrients in Scots pine needles. *Ecol. Bull.*, 32 : 219-228.
- Crane, W. J.B. (1982) Fertilizer treatment of *Pinus radiata* at establishment and at thinning —an evaluation of its potential in Australia. *N.Z. J. For. Sci.*, 12 : 293-307.
- Futai, K. and Harashima, S. (1990) Effect of simulated acid mist on pine wilt disease. *J. Jpn. For. Soc.*, 72 : 520-523.
- Hatakeyama, S., Shiraishi, H. and Kobayashi, N. (1990) Effects of aerial spraying of insecticides on nontarget macrokenthos in a mountain stream. *Ecotoxi. Environ. Safe.*, 19(3) : 254-290.
- 加藤龍夫・花井義道・植田博 (1986) スミチオンの空中散布による大気汚染. 横浜国大環境科学センター紀要, 13(1) : 25-36.
- 環境庁 (1992) 第2次酸性雨対策調査の中間報告取りまとめについて. 29pp, 環境庁.
- 岸洋一 (1988) マツ材線虫病—松くい虫—精鋭. 298pp, トーマス・カンパニー, 東京.
- 清原友也・徳重陽山 (1971) マツ生立木に対する線虫 *Bursaphelenchus* sp の接種試験. 日林誌, 53 : 210-218.

- Linder, S., Benson, M.L., Myers, B.J. and Raison, R.J. (1987) Canopy dynamics and growth of *Pinus radiata* I. Effect of irrigation and fertilization during a drought. *Can. J. For. Sci.*, 13 : 1157-1165.
- 松中昭一 (1979) 図説 環境汚染と指標生物. 198pp, 朝倉書店, 東京.
- 松中昭一 (1984) 指標生物—環境汚染を啓示する. 182pp, 講談社, 東京.
- 中川茂子 (1985) 樹幹注入によりマツ材に現れる異常について. 96回日林論, 471-472.
- 中根周歩 (1992) 酸性雨等による樹木衰退現象の実態／広島のマツ. 資源環境対策, 28(14) : 1340-1343.
- Nakane, K. and Kimura, Y. (1992) Assessment of pine forest damage by blight based on Landsat TM data and correlation with environmental factors. *Ecol. Res.*, 7 : 9-18.
- 中根周歩・苗村晶彦 (1994) 大気汚染とマツ・広葉樹の被害—NO₂を指標として—. 水, 36(8) : 30-33.
- 野見山洋之・中根周歩・坪田博行・高橋史樹・倉石晋 (1991) 松枯れ地域と非松枯れ地域における、アカマツ葉上での酸性降下物質の挙動. 日生態中四国大会講演要旨, p15.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局編 (1973) 大気汚染による農林作物被害の測定法に関する研究. 95pp, 農林水産省.
- Raison, R.J., Khanna, P.K., Connell, M.J. and Falkiner, R.A. (1990) Effects of water availability and fertilization on N cycling in a stand of *Pinus radiata*. *For. Ecol. Manage.* 30 : 31-43.
- Senoo, T. and Honjyo, T. (1980) Assessment of tree stress by airborne multi-spectral scanning data. *J. Jpn. For. Soc.*, 70 : 45-56.
- 峠田宏 (1976) 環境汚染と指標植物. 170pp, 共立出版, 東京.
- 高橋啓二・沖津進・植田洋匡 (1986) 関東地方におけるスギの衰退と酸性降下物による可能性. 森林立地, 28(1) : 11-17.
- 高橋啓二・梨本真・植田洋匡 (1991) 関西・瀬戸内地方におけるスギ衰退とオキシダント指数, 降雨量との関係. 環境科学会誌, 4(1) : 51-57.

付表. 樹木活力剤の成分表

項目	結果	方法	
pH(25℃)	6.9	A	
窒素全量	2.05(wt)%	A	
リン酸(P ₂ O ₅)	3.52(wt)%	A	
加里(K ₂ O)	1.40(wt)%	A	
ケイ酸(SiO ₂)	0.37(wt)%	A	
アルミニウム(Al ₂ O ₃)	0.44(wt)%未満	A	
鉄(Fe)	1.73(wt)%未満	A	
カルシウム(CaO)	0.94(wt)%	A	
マグネシウム(MgO)	0.642(wt)%	A	
マンガン(MnO)	0.015(wt)%	A	
チタン(TiO ₂)	0.01(wt)%未満	A	
ナトリウム(Na ₂ O)	0.01(wt)%未満	B	
エネルギー	402 kcal/100 g	C	
水分	9.6 g/100 g	C	
蛋白質	12.97 g/100 g	C	
脂質	13.45 g/100 g	C	
炭水化物	糖質	52.04 g/100 g	C
	繊維	5.38 g/100 g	C
デンプン	26.7 g/100 g	D	
灰分	6.57 g/100 g	C	
タンニン	0.104 g/100 g	C	
ブドウ糖	0.116 g/100 g未満	C	
マンニトール	0.1 g/100 g未満	C	
パルミチン酸	2.97 g/100 g	C	
リノール酸	6.7 g/100 g	C	
アラキドン酸	0.1 g/100 g	C	
リンゴ酸	0.12 g/kg	E	
ナイアシン	4.5 mg/100 g	C	
コリン	0.11(wt)%	F	
ビタミンA	レチノール	10 μg/100 g未満	D
	βカロチン	30 μg/100 g	D
	A効力	16.4 IU/100 g	D
ビタミンB 1	2.05 mg/100 g	D	
ビタミンB 2	0.13 mg/100 g	D	

項目	結果	方法
ビタミンC	1 mg/100 g未満	D
ビタミンD	10 IU/100 g未満	D
ビタミンE	7.4 mg/100 g	D
アスパラギン酸	1.0 g/100 g	D
スレオニン	0.35 g/100 g	D
セリン	0.44 g/100 g	D
グルタミン酸	1.73 g/100 g	D
プロリン	0.94 g/100 g	D
グリシン	0.64 g/100 g	D
アラニン	0.63 g/100 g	D
シスチン	0.237 g/100 g	D
バリン	0.63 g/100 g	D
メチオニン	0.14 g/100 g	D
イソロイシン	0.43 g/100 g	D
ロイシン	0.79 g/100 g	D
チロシン	0.33 g/100 g	D
フェニルアラニン	0.38 g/100 g	D
ヒスチジン	0.94 g/100 g	D
リジン	0.60 g/100 g	D
アルギニン	0.67 g/100 g	D
トリプトファン	0.15 g/100 g	D
コレステロール	2.84 mg/100 g	G
ブラシカステロール	1 mg/100 g	G
カンベステロール	68 mg/100 g	G
スチグマステロール	50 mg/100 g	G
β-シトステロール	50 mg/100 g	G
モノグリセライド	0.07(wt)%	G
シグリセライド	0.83(wt)%	G
トリグリセライド	7.33(wt)%	G
ホスファチジルコリン	8.10 mg/100 g	H
ホスファチジルエタノールアミン	54.2 mg/100 g	H
ホスファチジルイノシトール	64.3 mg/100 g	H
ホスファチジルセリン	10 mg/100 g未満	H

〔方法〕 A…肥料分析法(農林水産省農業環境技術研究所), B…肥料分析法カルシウムに準拠

C…加工食品の栄養成分分析法(厚生省), D…衛生試験法・注解(日本薬学会編)

E…食品中の食品添加物分析方法, F…ライネック塩沈殿法

G…ガスクロマトグラフ法, H…薄層クロマトグラフ法

〔備考〕分析結果は乾重量値である。(pH, 水分を除く)