

マツの枯死・衰退に対する活力剤の効果
(2) 鉢植え苗木実験

中根 周歩*・戎 晃司**

*広島大学大学院生物圏科学研究科

**イービーエス産興株式会社

Effect of a tree tonic on pine tree vitalities
(2) Evaluation for pine seedlings in pots

Kaneyuki NAKANE* and Kouji EBISU**

*Graduate School of Biosphere Sciences, Hiroshima University,
1-7-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8521, Japan

**EBS Sankou Co.Ltd., 4-2-53-7 Itsukaichichuo, Saeki-ku, Hiroshima 731-5128, Japan

Abstract : Effect of a tree tonic, which was the powder composed of several kinds of herbal medicines and rice bran etc. , on the vitality, biomass increment and relative growth rate of sixty seedlings of Japanese black pine (*Pinus thunbergii*) grown in pots was examined at the experimental farm of Hiroshima University from March to November in 1994. 0, 1,000 and 3,000 individuals of pinewood nematode were injected into each ten seedlings both treated with and without the tree tonic, respectively. The vitality of seedlings with the tree tonic became up while that without it changed little, regardless of the number of nematoda injected. Biomass increment was significantly larger in seedlings with the tree tonic than in those without it. Mean weight of individuals of seedlings with the tree tonic were evaluated to grow up about twice as large as those without it one year after planting seedlings in pots, based on the data of relative growth rate obtained in both seedlings with and without tree tonic treatments. There was a little difference in the mean relative growth rate over the experimental period between seedlings injected with 0 and 1000-3000 nematoda. However, in the case of seedlings without tree tonic, the relative growth rate of seedlings injected with 1000 or 3000 nematoda became down significantly more than those without nematode at two or three months after nematode injection. The facts suggest that the tree tonic significantly increases the vitality and biomass increment of black pine seedlings, and suppresses the negative effect of nematode invasion.

1. はじめに

我が国において、20世紀の半ばから顕著となったマツ枯れは、21世紀を迎えようとしている現在なお、いっこうに終息していない。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。

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（Nakane and Kimura, 1992; 中根, 1992; 苗村ら, 1997; 松本, 1998; Kume et al., 2000a, b; 苗村ら, 2000; 久米, 2000）。

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、マツノマダラカミキリ (*Monochamus alternatus*: 以後、マダラカミキリとする) が伝搬するマツノザイセンチュウ (*Bursaphelenchus xylophilus*: 以後、ザイセンチュウとする) などによる被害を拡大しているものと考えられる。さらに、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*) 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; 苗村ら, 1997; 梅生育障害対策研究会, 2000; 中根ら, 2000）、ザイセンチュウを介さ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マツ林の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と思われる。

そこで、第1報（中根・戎, 1994）では、独自に開発した樹木活力剤を野外のアカマツ自然林で施行したところ、施行しなかった対照区と比較して年間枯死率が1/20となったことを報告した。さらに、活力剤の施行によって、マツの活力指数（葉の色や活着を指標とした活力度）が改善されることも示唆した。

本報告では、活力剤の施行（施肥）が実際にマツの活力指数や成長量、成長率にどのような影響（効果）があるのか、クロマツ (*Pinus thunbergii*) 苗木を用いて、米ヌカや市販されている有機肥料の施肥と比較して、これを対象として、具体的に明らかにすることを試みた。

従来マツに関する1、2の活力剤が開発されているが、その効果が科学的に検証されているとは言い難く、また当然衰弱したマツへのその効果の具体的、定量的評価もされていない。

一方、マツ林へのチッソやリンを含む化学肥料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 & Elowson, 1980; Crane, 1982; Linder et al., 1987; Raison et al., 1990）。これによって、マツ葉中の窒素濃度が高まり、また葉面積比も増大し、結局、成長が促進されることが報告されている。しかし、本報告は、活力剤の効果を既存の肥料による施肥の効果と比較、検討しようとするもので、単なる既存の肥料の施肥では確認できなかった、衰弱した樹木を快復させるというこの活力剤の効果の実態を明らかにしようとするものである。

さらに、第1報で報告しているように、活力剤の施行がマツの枯死率を低下させていることから、活力剤の施肥と非施肥の場合それぞれに、ザイセンチュウの接種の影響がどのように異なって現れるか、合わせて検討を試みた。

2. 実験材料及び方法

2.1. 材料

実験に用いた樹木活力剤（商品名「松イキイキ」として、イービーエス産興株式会社から市販されている）については、第1報（中根・戎, 1994）で既に詳細に記述しているのので、ここでは簡単に述べる。活力剤の主な構成材料は、米ヌカで、これに大豆 (*Glycine soja*)、米 (*Oryza sativa*)、ハトムギ (*Coix lacryma-joki* var. *mayuen*)、胡麻 (*Sesamum indicum*) などと、漢方薬（苦参、ヨクイニン、当帰、センキュウ、陳皮、紅花、五加皮）と酵素（アルファ・アミラーゼ、グルコ・アミラーゼ）である。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。

また、活力剤と対照の有機肥料として、米ヌカと固形有機肥料（東商, N(4):P(6):K(2)）を用いた。

活力剤の効果を評価するための実験木として、クロマツ苗木（3年生）を60本用いた。これらの苗木は9号鉢に盛ったマサ土に移植したものである。

また、接種に用いたザイセンチュウの系統はS-10である。

2.2. 方法

1994年3月10日、東広島市の広島大学西条キャンパス内の圃場において、クロマツ苗木60本を鉢に移植した。その際、同キャンパス内のアカマツ林から採取したリターをその鉢のマサ土の上に布いた。同年3月25日、60鉢を、活力剤（100g/鉢）を施肥した域（活力剤施肥域とする）の3区（10鉢ずつ：F0区、F1区、F2区）と、米ヌカと固形有機肥料（それぞれ50g/鉢）を与えた対照域（活力剤非施肥域とする）の3区（10鉢ずつ：C0区、C1区、C2区）に区分した。活力剤と米ヌカはそれぞれ水に溶かし、鉢のマサ土中に打込み器（第1報）で打ち込んだ。固形有機肥料は各鉢のリターの下に置いた。

同年7月15日、F1区とC1区にザイセンチュウを1,000頭/苗木、F2区とC2区に3,000頭/苗木を接種した。F0区とC0区は無接種（0頭/苗木）とした。接種の方法は、根元から約10cmの高さの幹にキリで約2~3mm（深さ約3~5mm）を開け、ザイセンチュウをマイクロピペットで注入した後、綿で穴を塞ぎ、その上からビニールテープを巻いた。また、接種前後でザイセンチュウの生死を確認したが、何ら異常はなかった。

3月25日（I期）、7月15日（II）、8月18日（III）、10月22日（IV）に苗木の樹高（H, cm）と一割高直径（D, cm）を測定し、活力剤効果実験に用いた苗木とは別のクロマツ苗木13本（3~5年生）のサンプリングから得た以下の相対成長式から、地上部個体重（乾燥重： W_t , g）の推移（I→II→III→IV）を追跡した。さらに、それぞれの期間（I~II、II~III、III~IV）、また全期間（I~IV）の地上部個体重の成長量（増加量： $W_{t_{i+1}} - W_{t_i}$, g）、地上部個体生長量比（GRR：成長量/[初期重×日数], day^{-1} ）、及び相対成長率（RGR： $[\ln W_{t_{i+1}} - \ln W_{t_i}] / \text{日数}$, day^{-1} ）を求めた。

$$\text{乾重 (g)} : W_s = 0.14 (D^2 H)^{1.010} \quad (1)$$

$$\text{枝重 (g)} : W_b = 0.50 (D^2 H)^{0.884} \quad (2)$$

$$\text{葉重 (g)} : W_l = 17.2 (D^2)^{1.251} \quad (3)$$

$$\text{地上部個体重 (g)} : W_t = W_s + W_b + W_l \quad (4)$$

また、葉の変色、脱落率から苗木の活力指数（10段階評価で、数値が低いほど活力度が高い）（第1報）を3月と10月に測定した。さらに、苗木の生死を7、8、10、11月に確認した。ここでは、枯死を全葉が変色または脱落した時点とした。枯死した苗木は、地上部（枝と幹）から10カ所ほど

木片を取り、パールマン法でザイセンチュウの有無を確認した。

実験期間中の苗木への灌水は、3月～6月、10月～11月には隔日に約500ml/鉢、7月～9月には毎日約1,000ml/鉢とした。

また、各処理区間のデータの有意差検定には、分散分析後にScheffeの検定を用いた。

3. 結 果

3.1. 活力指数と枯死率

実験開始時の3月25日時点での活力指数には、活力剤施肥域及び非施肥域、またそれぞれの域のザイセンチュウ無接種(0頭)、千頭、3千頭接種区など、全ての6区において、有意な差異は見られなかった。すなわち、全ての区の活力指数の平均値が7.6～7.8の範囲にあった(表1)。ところが、10月の時点では、活力剤施肥域で活力指数が改善されている(7.7～6.9)のに対して、非施肥域では7.7～7.9と横ばいか、若干悪化している傾向が見られる(表1)。活力剤施肥域・無接種区(F0)と活力剤非施肥域・無接種区(C0)では統計的にも有意な差異となっている($p < 0.05$)。

また、活力剤施肥域、非施肥域の両方においても、ザイセンチュウ接種区と無接種区の両者間には有意な差異は見られないように、活力指数にはザイセンチュウよりも活力剤の施肥効果の影響がより鮮明に現れていると言える(表1)。

一方、実験苗木の枯死は10月までの時点では見られなかったが、11月下旬には活力剤無施肥域で7本(C0: 2本、C1: 3本、C2: 2本)、施肥域で1本(F2: 1本)が確認された(表1)。

表1 活力剤施肥域と非施肥域における活力指数と枯死率

	鉢数	3月25日		10月22日		11月22日	
		平均	(S.D.)	平均	(S.D.)	本数	枯死率(%)
活力剤非施肥域 (C)							
センチュウ無接種区 (C0)	10	7.7	(0.4)	8.1	(0.8)	2 (0) *	20
センチュウ千頭接種区 (C1)	10	7.7	(0.5)	7.8	(1.6)	3 (1)	30
センチュウ3千頭接種区 (C2)	10	7.6	(0.3)	7.9	(1.8)	2 (1)	20
平均		7.7	(0.4)	7.9	(1.4)		
活力剤施肥域 (F)							
センチュウ無接種区 (F0)	10	7.6	(0.7)	6.8	(0.7)	0	0
センチュウ千頭接種区 (F1)	10	7.8	(0.5)	6.8	(0.7)	0	0
センチュウ3千頭接種区 (F2)	10	7.8	(0.5)	7.2	(1.2)	1 (0)	10
平均		7.7	(0.5)	6.9	(1.0)		

()*: マツノザイセンチュウ検出本数

枯死率は有意差ではないが非施肥域で20～30%であるのに対して、施肥域では0～10%と低い傾向にあった(表1)。また、活力剤施肥域と非施肥域のどちらも、ザイセンチュウ接種区と非接種区の両者間の枯死率の差異は統計的にも有意と言えるものではない。

枯死木のザイセンチュウの有無を確認したところ、C1区とC2区でそれぞれ1本づつからザイセンチュウが検出された。結局、接種枯死木6本のうちで、2本から検出されたことになる(検出率33%)。枯死した苗木で、ザイセンチュウを接種したにもかかわらず、ザイセンチュウが検出されなかった

ものは、ザイセンチュウが苗木内で増殖に失敗し、消滅し、ザイセンチュウではない他の要因によって枯死が発生したことを意味する。

3.2. 地上部個体重及び成長量

実験開始時の3月25日から10月22日に至る、各処理区の地上部個体重 (W_t, g) と同成長量 ($\Delta W_t, g$) の推移が表2に示されている。また、それぞれが図1と図2に図示されている。

実験開始時における、各処理区の地上部個体重には有意な差異は見られなかった ($p < 0.01$) (表2)。しかし、8月以降、活力剤施肥域と非施肥域では個体重に差異が顕著に見られるようになった(図1)。特に、測定を終了した10月22日では、施肥域 (F0, F1, F2) の個体重平均値は非施肥域 (C0, C1, C2) の平均値の1.66倍となった。

表2 活力剤施肥域と非施肥域(対照域)における地上部個体重及び成長量の推移

		3月25日 (I)		7月15日 (II)		8月18日 (III)		10月22日 (IV)	
		平均 (g)	(S.D.)	平均 (g)	(S.D.)	平均 (g)	(S.D.)	平均 (g)	(S.D.)
活力剤非施肥域 (C)									
センチュウ無接種区 (C0)	地上部個体重 (W_t)	39.9	(2.8)	104.7	(6.6)	120	(5.1)	136.9	(15.5)
	地上部成長量 (ΔW_t)			64.8	(4.9)	80.1	(4.1)	97.1	(14.8)
センチュウ千頭接種区 (C1)	地上部個体重 (W_t)	37.7	(6.2)	95.9	(20.6)	112.4	(20.5)	126.9	(23.2)
	地上部成長量 (ΔW_t)			58.3	(18.9)	74.9	(19.0)	89.3	(22.0)
センチュウ3千頭接種区 (C2)	地上部個体重 (W_t)	38.2	(5.3)	102	(16.9)	115.9	(16.8)	123.6	(18.6)
	地上部成長量 (ΔW_t)			63.8	(12.7)	77.7	(12.6)	85.3	(15.7)
活力剤施肥域 (F)									
センチュウ無接種区 (F0)	地上部個体重 (W_t)	39.9	(4.6)	100.4	(14.6)	137.1	(16.4)	201.5	(33.4)
	地上部成長量 (ΔW_t)			69.5	(10.9)	106.2	(13.7)	170.6	(30.9)
センチュウ千頭接種区 (F1)	地上部個体重 (W_t)	37.6	(5.1)	107.3	(16.4)	150.5	(24.1)	199.7	(50.0)
	地上部成長量 (ΔW_t)			69.7	(12.7)	112.9	(20.6)	162.1	(45.5)
センチュウ3千頭接種区 (F2)	地上部個体重 (W_t)	41.7	(7.4)	131.1	(42.7)	187.1	(37.3)	242.3	(70.9)
	地上部成長量 (ΔW_t)			89.4	(31.0)	145.5	(41.7)	200.6	(75.3)

一方、ザイセンチュウ接種区と無接種区との比較では、非施肥域では実験期間を通してほとんど差異は見られなかった。また、施肥域でもほぼ同様であるが、ザイセンチュウ無接種区と比較して、3千頭接種区で7月と8月の2時期に、個体重が有意に高い傾向が見られたが ($p < 0.01$)、10月時にはその差異は有意と言えるほどではなくなった ($p > 0.05$: 表2)。

地上部成長量においても、個体重とほぼ同様な傾向が見られる(表2, 図2)。すなわち、活力剤施肥域と非施肥域では、8月以降有意な差異が見られ、10月の時点では、施肥域 (F0, F1, F2) の平均成長量は非施肥域 (C0, C1, C2) の1.96倍となった。しかし、活力剤非施肥域ではザイセンチュウ接種区 (C1, C2) と無接種区 (C0) との比較では、一貫して有意な差異は見られず、また施肥域でも同様であるが、7月と8月の2時期においてのみ、ザイセンチュウ3千頭区 (F2) が無接種区 (F0) より成長量が有意に大きかった ($p < 0.05$)。そして個体重と同様に、10月にはその有意な差異は見られなくなった。

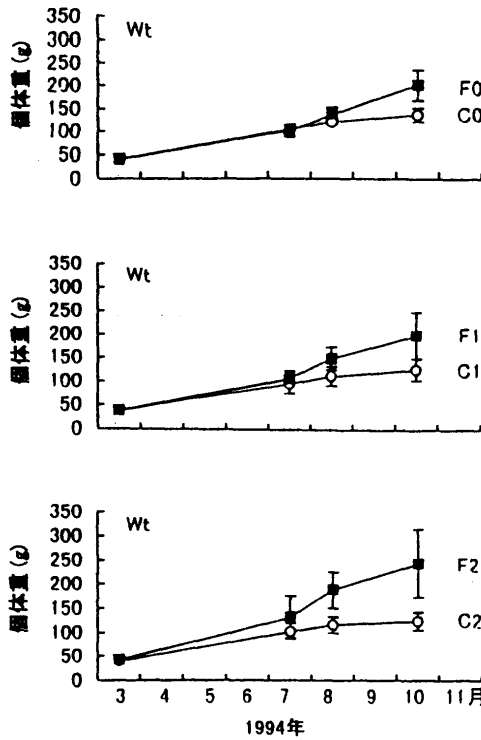


図1. 活力剤施肥域 (F) と非施肥域 (C) の各処理区における地上部個体重 (Wt) の推移の比較
F0, C0: ザイセンチュウ無接種区、F1, C1: 千頭接種区、F2, C2: 3千頭接種区
バー: 標準偏差

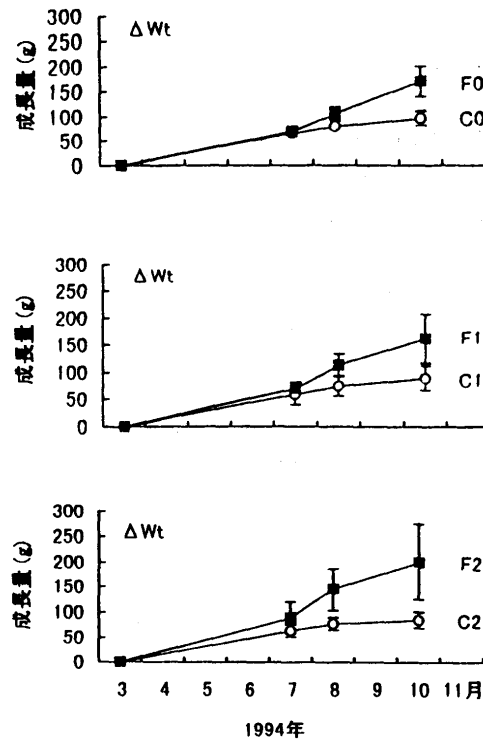


図2. 活力剤施肥域 (F) と非施肥域 (C) の各処理区における地上部成長量 (ΔWt) の推移の比較
F0, C0: ザイセンチュウ無接種区、F1, C1: 千頭接種区、F2, C2: 3千頭接種区
バー: 標準偏差

3.3. 生長量比と相対成長率

活力剤の施肥やザイセンチュウの接種の個体生長に及ぼす影響をより精密に評価するために、生長量比 (GRR) と相対成長率 (RGR) を各処理区の各期間別の値を、また全期間の平均値を求めたのが、表3である。また、相対成長率については、図3と図4にも図示している。

I~II (3/25~7/15) の初期間においては、F2区を除いて、生長量比や相対成長率に各処理間で有意といえるほどの差異は見られなかった。しかし、それ以後、活力剤施肥域と非施肥域の成長量比や相対成長率には著しい差異が見られた (表3, 図3)。例えば、非施肥域に対して、施肥域の平均相対成長率はII~III、III~IV期間にはそれぞれ2.38倍、2.92倍となった。結局、全期間 (I~IV) の平均も1.39倍となった (表3)。

一方、ザイセンチュウの接種区と非接種区の比較では、ザイセンチュウを接種した以後のII~III期間では、施肥域と非施肥域とも、その両域に有意な差異が見られないが、III~IV期間になると、無接種区一千頭区→3千頭区の順に成長量比と相対成長率が有意に低下しているのが窺える ($p < 0.05$)。しかし、全期間を通した生長量比や相対成長率では、ザイセンチュウの接種の影響は、施肥域及び非施肥域とも明瞭とはならなかった ($p > 0.05$) (図4)。ただ、統計的に有意と言えるほどではないが、非施肥域では無接種区 (C0) → 千頭接種区 (C1) → 3千頭接種区 (C2) の順に全期間の生長量比や相対成長率に低下傾向が見られる。また、逆に施肥域では無接種区 (F0) → 千頭区 (F1) → 3千頭区 (F2) の順に全期間の生長量比や相対成長率が増加している傾向が見られる (表3, 図4)。

表3 活力剤施肥域と非施肥域(対照域)における成長量比及び相対成長率の推移

		I~II (3/25~7/15)		II~III (7/15~8/18)		III~IV (8/18~10/22)		I~IV (3/25~10/22)	
		平均	(S.D.)	平均	(S.D.)	平均	(S.D.)	平均	(S.D.)
活力剤非施肥域 (C)									
センチュウ無接種区 (C0)	成長量比 ($\times 10^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)	1.45	(0.11)	0.429	(0.025)	0.216	(0.019)	1.15	(0.11)
	相対成長率 ($\times 10^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$)	8.61 ^a	(0.39)	4.01 ^{ab}	(0.12)	2.03 ^a	(0.20)	5.84 ^c	(0.24)
センチュウ千頭接種区 (C1)	成長量比 ($\times 10^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)	1.38	(0.29)	0.506	(0.11)	0.198	(0.037)	1.13	(0.22)
	相対成長率 ($\times 10^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$)	8.34 ^a	(1.64)	4.67 ^a	(0.72)	1.87 ^a	(0.28)	5.75 ^a	(0.79)
センチュウ3千頭接種区 (C2)	成長量比 ($\times 10^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)	1.49	(0.23)	0.401	(0.064)	0.102	(0.016)	1.06	(0.017)
	相対成長率 ($\times 10^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$)	8.77 ^a	(1.05)	3.76 ^b	(0.37)	0.990 ^b	(0.109)	5.57 ^a	(0.45)
活力剤施肥域 (F)									
センチュウ無接種区 (F0)	成長量比 ($\times 10^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)	1.56	(0.23)	1.075	(0.15)	0.723	(0.16)	2.03	(0.34)
	相対成長率 ($\times 10^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$)	8.24 ^a	(0.77)	9.16 ^c	(0.71)	5.92 ^a	(0.63)	7.67 ^b	(0.67)
センチュウ千頭接種区 (F1)	成長量比 ($\times 10^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)	1.66	(0.27)	1.18	(0.20)	0.503	(0.110)	2.04	(0.52)
	相対成長率 ($\times 10^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$)	9.36 ^{ab}	(1.02)	9.95 ^{cd}	(1.11)	4.35 ^{cd}	(0.71)	7.91 ^{bc}	(0.80)
センチュウ3千頭接種区 (F2)	成長量比 ($\times 10^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)	1.91	(0.58)	1.256	(0.501)	0.454	(0.124)	2.28	(0.678)
	相対成長率 ($\times 10^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$)	10.23 ^b	(2.09)	10.46 ^d	(1.75)	3.98 ^c	(0.87)	8.34 ^c	(1.43)

相対成長率の右肩のアルファベットが異なるものは、同時期でP<0.05で有意差あり。

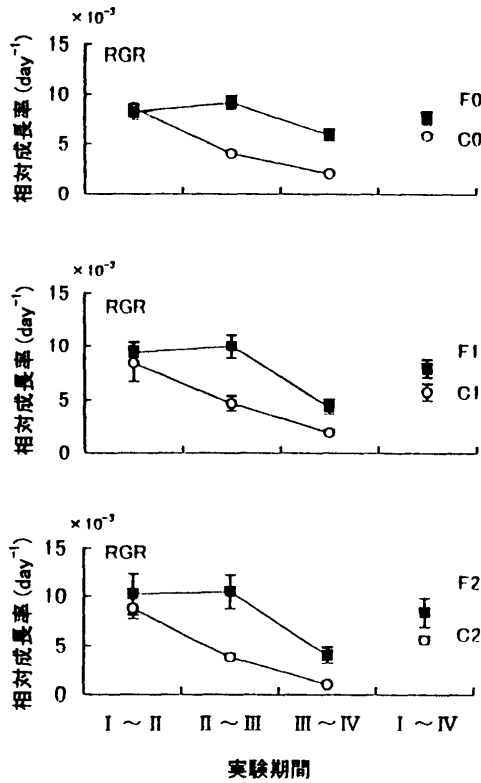


図3. 活力剤施肥域 (F) と非施肥域 (C) の各処理区における相対成長率 (RGR) の推移の比較
 F0, C0 : ザイセンチュウ無接種区、F1, C1 : 千頭接種区、F2, C2 : 3千頭接種区
 バー : 標準偏差
 I~II : 3/25~7/15、II~III : 7/15~8/18、III~IV : 8/18~10/22、I~IV : 3/25~10/22

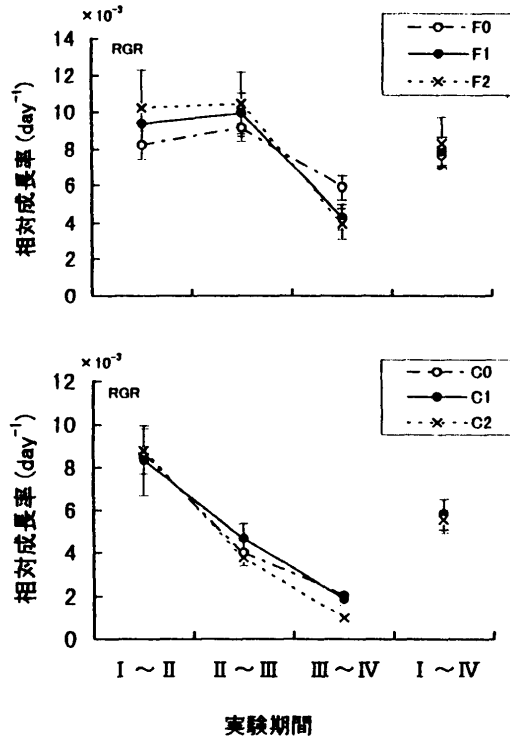


図4. 活力剤施肥域 (F) と非施肥域 (C) 毎に比較したザイセンチュウ各処理区における相対成長率 (RGR) の推移
 F0, C0 : ザイセンチュウ無接種区、F1, C1 : 千頭接種区、F2, C2 : 3千頭接種区
 バー : 標準偏差
 I~II : 3/25~7/15、II~III : 7/15~8/18、III~IV : 8/18~10/22、I~IV : 3/25~10/22

4. 考 察

4.1. 活力指数と枯死率

第1報では、野外のアカマツ自然林における活力剤の効果実験で、全調査本数(約3,200本)の活力指数の平均値が、活力剤施行後1年経過した時点で、7.6-7.4と改善されたことを報告している。今回は、3月と10月の活力指数の比較には、比較の季節が異なるので問題があるが、施肥、非施肥の両域において、3月ではほぼ同一の活力指数であったものが、10月に施肥域でのみ大きく改善されていることから、この活力剤の葉の色や活着からみた効果は明らかであると判断できる。特に、ザイセンチュウ無接種の活力剤施肥域(F0)と非施肥域(C0)では、統計的にも有意な差異が示されている。

また、ザイセンチュウの接種の影響は葉の色や活着という視覚評価の点から、今回の実験では施肥、非施肥の両域で示されなかった。11月の時点での枯死率が、有意に非施肥域(C)で高く、しかもこの域のザイセンチュウ接種区(C1, C2)と無接種区(C0)間に有意な差異がないことを合わせ考えると、活力剤の効果と比較して、ザイセンチュウ接種の影響が比較的小さいと考えられる。これは、ザイセンチュウ接種枯死木の1/3にしかザイセンチュウが検出されなかったことから示唆される。

実験を実施した1994年の夏期は、百年に一度と言われるほどの激しい干ばつに見舞われ、連日灌水をしていたと言え、鉢苗木にとって厳しい環境であったと思われる。これが、特に非施肥域の苗木に影響を及ぼしたと思われる。これに対して、施肥域では枯死は1本であったが、活力剤による根系の発達が功を奏している可能性が考えられる。この点についての追跡調査が今後の課題と言えよう。

4.2 成長量及び生長率

活力剤施肥域と非施肥域でザイセンチュウを接種しなかった両区(F0とC0)では、3月の時点では平均個体重は同じく39.9gであったが、10月までの成長量では施肥域のF0区は非施肥域のC0区に対して1.76倍となったことが示すように、成長量としても活力剤の効果は歴然としている。実験期間(3月25日~10月22日)の211日間の相対成長率(day⁻¹)でも1.31倍で、これを単純に年間に換算すると、両域の個体重は1年間で2倍の開きとなることを意味する。

一方、施肥域と非施肥域でそれぞれザイセンチュウ接種による成長量への影響は、接種の影響の可能性のあるⅢ期とⅣ期でも、活力剤施肥域では明確ではない。逆に、3千頭区(F2)が最も成長量が大きい。また、非施肥域でⅣ期でやや接種の影響と思われる成長量の低下が見られるが、必ずしも統計的には有意な低下とは言えない程度である。

そこで解析の精密さを期するため、各期間及び全期間の成長量比や相対成長率でザイセンチュウ接種の影響をみた。活力剤施肥域と非施肥域の両域でⅢ~Ⅳ期間に成長量比や相対成長率の値が、接種頭数の増大に伴って有意に低下しているのが判る($p < 0.05$) (表3, 図4)。すなわち、ザイセンチュウの接種の影響が表面化すると考えられる8月から10月に、施肥、非施肥両域で確かに成長の阻害が生じていることが窺える。特にその低下は非施肥域で著しい。しかし、それが全期間を通じた相対成長率や成長量比となると、それ以前の時期の成長量比や相対成長率が影響して、ザイセンチュウ接種の効果は、特に施肥域で不明瞭となっている。また、非施肥域でも無接種区(C0)一千頭区(C1) - 3千頭区(C2)の順に全期間の生長量比や相対成長率の低下が見られるものの、統計的に有意と言えるほどのものではない。

以上は10月までの結果であるが、11月に記録された枯死木の個体重や成長量を10月の時点でゼロとして生長量比や相対成長率を各処理区で求めても、前述した全体の傾向に変更は見られない。

以上より、活力剤によるクロマツ実生の成長促進が明らかとなり、その効果は年間にして地上部個体重が約2倍となるほどであること、そして、これら実生へのザイセンチュウ接種の影響は、一時的には生じるが、活力剤施肥によって軽減され、有意なものとはならないことが示唆された。

4.3. 活力剤と松枯れ

第1報では、野外のアカマツ自然林での活力剤の施行によって、年間枯死率が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報告されている。その理由として、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と、蔓延しているマツ枯れが酸性雨や酸性霧・露を含めた大気汚染などによるマツの活力の喪失が背景にあるからである(Nakane & Kimura, 1992; 中根, 1992; 苗村ら, 1997; Kume et al. 2000a, b; 久米, 2000)としている。

また、中根・戎(1998)や岡馬ら(1999)は、マダラカミキリの放虫実験から、比較的健全なマツでは自然では考えられないほど激しくマダラカミキリの後食を受けたとしても、ザイセンチュウはマツに伝搬しないか、伝搬したとしても増殖できず、よってマツ枯れが生じないと報告している。同様に、二井(1987)も、マツのザイセンチュウへの抵抗力(活力)によってザイセンチュウの侵入や増殖が抑制されることを指摘している。

さらに今回の実験から、活力剤の施肥が具体的にマツの成長促進や活力指数の改善に効果があること、さらに活力剤の施肥によってザイセンチュウの接種の影響を軽減し、結果的には枯死の発生を抑制した可能性が明らかとなったことは、上記の報告や見解を裏付けていると考えられる。

そして、今後、米ヌカと固形肥料などの有機肥料だけとは異なり、強壯剤として評価されている漢方の生薬を加えた効果が、マツの根系の生理活性をどのように快復させ、同時に、高栄養で比較的分解が速やかな米ヌカがどのように分解、無機化されるのか、どのような速度で根系に吸収されるかを追跡調査することが求められていよう。

謝 辞

本実験を実施するにあたって、イービーエス産興の従業員の方々、広島大学大学院生物圏科学研究科の院生の方々には、鉢植え作業や各種の測定作業で大変お世話になった。また、大分県林業試験場からはマツノザイセンチュウを提供していただいた。以上の方々に、この場をお借りして心からお礼を申し上げる。

引用文献

- Aronsson, A. and Elowson, S. (1980) Effects of irrigation and fertilization on mineral nutrients in Scots pine needles. *Ecological Bulletin*, 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. *New Zealand Journal of Forest Science*, 12: 293-307.
- 二井一禎(1987) マツノザイセンチュウと寄主との関係. *森林防疫*, 36(9):155-159.

- 久米 篤 (2000) 瀬戸内海沿岸部のアカマツ林衰退の生理生態学的プロセス. 日本生態学会誌, 50 (3) (印刷中)
- Kume, A., Tsuboi, N., Nakatani, N., Nakagawa, N., Nakane, K., Sakurai, N. and Sakugawa, H. (2000a) Measurement of ethylene emission from Japanese red pine (*Pinus densiflora*) under field conditions in NOx-polluted areas. *Environmental Pollution*, 110: 389-394.
- Kume, A., Tsuboi, N., Satomura, T., Suzuki, M., Chiwa, M., Nakane, K., Sakurai, N., Horikoshi, T. and Sakugawa, H. (2000b) Physiological characteristics of Japanese red pine, *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc., in declined forests at Mt. Gokurakuji in Hiroshima Prefecture, Japan. *Trees*, 14: 305-311.
- 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. *Canadian Journal of Forest Science*, 13: 1157-1165.
- 松本文雄 (1998) 松枯れ白書—松枯れの主犯は大気汚染—. pp.254. 株式会社メタ・ブレーション, 東京.
- 苗村晶彦・中根周歩・佐久川弘・福岡義隆 (1997) 広島県極楽寺山におけるガス状汚染物質の動態とマツ・広葉樹の樹木活力度との相関関係. *環境科学会誌*, 10(1):1-10.
- 苗村晶彦・智和正明・竹田一彦・中根周歩・佐久川弘 (2000) 広島県極楽寺山におけるアカマツ葉上の酸性沈着物質. *生物気象学会誌*, 37(1):15-20.
- 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(4):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. *Ecological Research*, 7: 9-18.
- 中根周歩・戎 晃司 (1994) 松の枯死・衰退に対する活力剤の効果(1). 広島大学総合科学部紀要IV 理系編, 20:81-94.
- 中根周歩・戎 晃司 (1998) マツ生立木に対するマツノマダラカミキリ成虫の後食の影響 (1)クロマツ苗木について. 広島大学総合科学部紀要IV 理系編, 24:27-37.
- 中根周歩・佐久川弘・井川学 (2000) マツ・モミ林衰退地域での大気環境と樹木被害の実態. *日本生態学会誌*, 50(3) (印刷中)
- 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. pp.95, 農林水産省.
- 岡馬裕人・中根周歩・富井利安・戎 晃司 (1999) マツ生立木に対するマツノマダラカミキリ成虫の後食の影響 (2)大気環境の異なる若齢アカマツ林自然林について. 広島大学総合科学部紀要IV 理系編, 25:61-73.
- 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*. *Forest Ecology and Management*, 30: 31-43.
- Senoo, T. and Honjyo, T. (1980) Assessment of tree stress by airborne multi-spectral scanning data. *Journal of Japanese Forestry Society*, 70: 45-56.
- 峠田宏 (1976) 環境汚染と指標植物. pp.170, 共立出版, 東京.
- 梅生育障害対策研究会 (2000) 梅生育障害に係わる大気関係調査. pp.578. 梅生育障害対策研究会.