

## 尾根型斜面地におけるマツ枯れ被害度と土壤環境との関係

小 舘 誓 治<sup>1)</sup>\*

### Relationship between the soil condition and pine wilt disease on a ridge-shaped slope

Seiji KODATE<sup>1)</sup>\*

#### Abstract

The topography, vegetation and soil properties were investigated in a stand of red pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) forest on a ridge-shaped slope in Sanda City, Hyogo Prefecture. The purpose of this study is to clarify the relationship between the degree of damage of the forest from the pine wilt disease and environmental and topographic factors, such as the position on the slope and the maximum capillary-water capacity of the soil. The degree of elongation growth of the red pine tended to be smaller on the upper part of the slope than the lower part. There was also a tendency of more frequent, severer pine root die-back damage on the lower part of the slope than the upper part. The total basal area was higher in plots with severe pine wilt damage than in other plots. The soil in the investigated area was thin in effective depth and poor development. The soil water-repellency was weaker in plots with severe pine wilt damage than in the other plots. Plots with severe damage from the pine wilt disease had a better soil moisture environment than the other plots. Resistance of the red pine to the dryness was weak, and trees that had developed in a good moisture environment appeared prone to root desiccation during periods of extraordinary summer dryness.

**Key word:** Ridge-shaped slope, Red pine forest, Pine wilt disease, Soil condition, Soil water-repellency, Maximum capillary-water capacity

#### はじめに

西日本において里山を構成する代表的な樹林の一つにアカマツ林があげられる。この樹林はかつて広い面積を占めていたが1970年代以降に広がった、マツ材線虫病、いわゆる「マツ枯れ」によって他の樹林に変化している(豊原ほか, 1986; 藤原ほか, 1992)。一方その後成長した比較的若いアカマツ林でもマツ枯れが近年、持続的に発生しているようである。

マツ枯れは立地の影響を受けるという報告がある(岩崎, 2000; 三木ほか, 2001)。アカマツ林の立地環境(斜面上の位置など)とマツ枯れ被害の関係についての最近

の研究では、斜面の上部よりも下部の方がマツ枯れ被害が大きいことが報告されている(岩崎, 2000; 三木ほか, 2001)。また、その斜面位置の違いは土壤含水率の違いを反映し、相対的に日常の土壤水分率が高い斜面下部で、降水量が少ない年のように急性の水ストレスがかかった場合に、乾燥ストレスに順応していない斜面下部の個体は枯死しやすいと考えられている(岩崎, 2000)。

土壤含水率(採取時水分量)は、降雨など天候によって変動する水分量である。しかし、その立地の土壤水分環境を表す指標としては、天候によって変動しないものの方がより望ましい。天候に比較的左右されない水分量として、保水量の一つである最大毛管容水量(以下、保

<sup>1)</sup> 兵庫県立人と自然の博物館 自然・環境再生研究部 〒669-1546 兵庫県三田市弥生が丘6丁目 Division of Ecological Restoration, Museum of Nature and Human Activities, Hyogo; Yayoigaoka 6, Sanda, Hyogo, 669-1546 Japan

\* 兼任: 公立大学法人兵庫県立大学 自然・環境科学研究所 〒669-1546 兵庫県三田市弥生が丘6丁目 Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo; Yayoigaoka 6, Sanda, Hyogo, 669-1546 Japan

水量という)があげられる。

ところで、マツ類 (Pinus) などが優占する樹林における表層土壌で、菌根菌の菌糸や有機物等の存在によって強い撥水性がみられることが知られている (Richardson and Hole, 1978; 小川, 1991)。その撥水性は前述の保水量にも影響を及ぼし、ひいては、そこに生育する植物にも影響を及ぼしていると考えられる。

今回、マツ枯れが進行している尾根型斜面地のアカマツ林において、その被害程度と表層土壌の保水量を調査し、その保水量を用いて撥水性の程度を把握することを試み、マツ枯れ被害と土壌環境の関係の検討を行った。

## 調査地および方法

### 1 調査地の概要

図1に調査地点図を示した。調査地は兵庫県三田市福島 (北緯 34° 54' 44", 東経 135° 13', 標高 175 ~ 185m) にある南西向き尾根型斜面 (今村ほか, 1984) である。

尾根型斜面 (あるいは凸形斜面) を選んだのは、直線型斜面 (平衡斜面) や谷型斜面 (凹形斜面) という他の斜面型に比べ物質の移入が少なく、水分が失われ乾燥しやすい斜面形 (丸山, 1993) であり、斜面上の位置などと関係した土壌水分環境の変化が捉えやすく、土壌中での撥水性の影響が強いと考えたからである。またこの斜面地を選んだのは、アカマツ林が尾根筋に沿って帯状に分布し、部分的に調査時点でマツ枯れの発生がみられたからである。この地域一帯の山地斜面をみると、二次林的なアカマツ林が広く分布しており持続的にマツ枯れが発生している。また一部に基岩が露出したような場所 (以下、露岩地と呼ぶ) に自然林的なアカマツ低木疎林がみられる。山麓部にはコナラ林、ヒノキ林、モウソウチク林、スギ林などの二次林や植林がみられる。

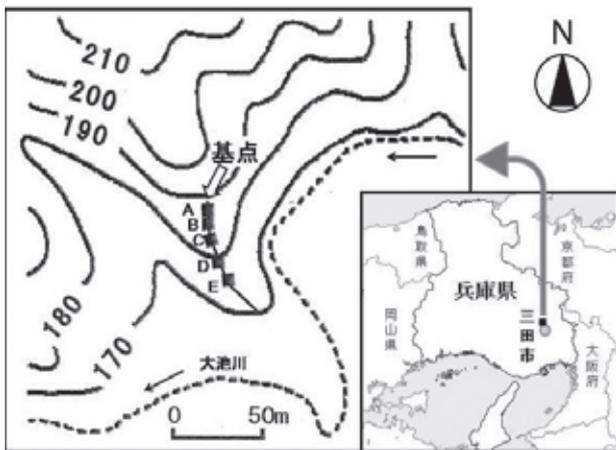


図1 調査地点図  
図中のアルファベット (A ~ E) は地点を示す。

本地域の地質は、中生代白亜紀後期の有馬層群 (流紋岩質含礫溶結凝灰岩) である (後藤, 1983)。しかし一部の地域で地表にチャートの円礫の存在が認められることから高位段丘礫層も存在している。土壌は乾性褐色森林土が広く分布している (東・土田, 1983)。本地域を含む三田市の気候 (資料期間: 1979 ~ 2000 年: 気象庁のホームページ) は、年間降水量が 1,265mm、年平均気温が 13.2°C である。しかし本調査地でマツ枯れが発生した 2002 年の年間降水量は 895mm と少なく、特にマツ葉の色の変化が目立ちはじめた 7 ~ 9 月の夏期 3 ヶ月間の降水量は平年値 433mm の約半分の 223mm であった。

### 2 調査および分析方法

尾根型斜面上部に基点を設け、そこから尾根筋に沿って斜面上の異なる位置でマツ枯れ被害の程度の違う林分 (アカマツ林・コナラ林) のそれぞれに 1 方形区 (面積 5m × 5m) ずつ、合わせて 5 方形区 (地点名 A ~ E) を設置した。各地点の傾斜角度は、地点 A ~ C が 0 ~ 5° で、地点 D ~ E は 6 ~ 8° である。なお 1 方形区の面積を 5m × 5m としたのは、対象とした場所が小尾根で地形的に凸型の部分が狭かったためである。

植生調査は、各地点において胸高以上の樹木を対象とした毎木調査を行った。その際、枯れたアカマツに関しては、その幹や枝にカミキリ類の痕跡 (食害など) が無いかどうかを確認し記録した。また各地点で成長がよい 4 個体のアカマツを選び、逆目盛計測桿によって主幹の節間の長さ (年間伸長成長量) を測定した (なお地点 A と地点 E については、それぞれの方角区外の立地環境に近いと思われる方角区外の個体も調査対象とした)。

土壌調査は、各地点方角区内のそれぞれの代表的な 1 ヶ所において検土杖を用いた最大貫入深の測定、各土層の厚さや土色などの土壌の特徴を記録した。また同じ位置の約 50cm × 50cm の範囲内において、表層 (0 ~ 5cm) の土壌試料 (化学性測定用土壌試料および 100ml 円筒土壌試料) を採取し持ち帰った。なお土壌採取時に菌糸の状態 (菌糸が、「層状」・「多い」・「あり」・「なし」の 4 段階で評価) を記録した。採取した土壌試料を用いて pH (H<sub>2</sub>O) (以下 pH という)、電気伝導度、土壌三相の容量比等の測定を土壌標準分析・測定法 (土壌標準分析・測定法委員会編, 1986) に従って行った。また保水量 (最大毛管含水量) を測定するために土壌三相の測定手順の途中で、円筒土壌試料の下部から毛細管現象によって吸水させて飽水状態 (これを自然状態の保水量と呼ぶ) にし、その後 24 時間以上放置して試料の重さを測定した。一般に菌糸などの影響によって土壌が水をはじく性質が強い場合、アルコールで洗浄すると吸水することが知られており、飽水状態にする場合この処

理を行う（河田，1989）．そこで自然状態での飽水状態の重さを測定後，土壤中の撥水性の状態を知る目的で，撥水性を除去するため70%アルコールを10mlずつ各円筒土壌試料に表面から浸透させ，その後24時間以上放置し，アルコール処理後の飽水状態の試料の重さを測定した．なお土壌三相は，各地点から採取した円筒土壌試料3個ずつを用いて測定し，解析にはそれらの平均値を用いた．またpH，電気伝導度は，各地点で採取した試料を1回ずつ測定しその値を解析に用いた．

比較のために，近隣の露岩地（1方形区：自然性が高いと思われるアカマツ低木疎林）においてほぼ同様の調査を行った．ただし土壌の採取はAo層が存在するところとAo層が存在しないところの2ヶ所で行った．なお野外調査は2002年11月～2003年2月にかけて行った．

## 結 果

### 1 アカマツの伸長成長とマツ枯れ被害

図2に各地点におけるアカマツの伸長成長を示した．斜面上の位置とアカマツの伸長成長との関係を見ると，斜面上方の地点Aで成長が悪く，斜面下方ほどよくなる傾向が認められる．なお伸長成長を測定したアカマツの主幹の節間数は25～33で，地点間で大きく違わなかった．地際付近での節間が不明瞭な部分を考慮すると調査地のアカマツの樹齢は40年以下と推定された．

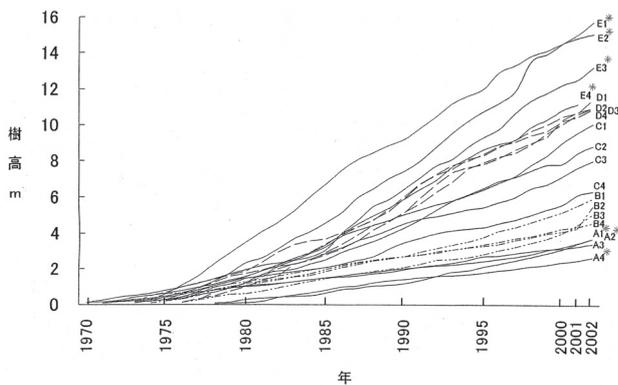


図2 各地点におけるアカマツの伸長成長  
図中のアルファベットは地点名を，数字は個体をそれぞれ示す．ただし，\*は，各方形区近く（方形区外）の個体を示す．

表1に各方形区の位置と林分の相観およびマツ枯れ被害の程度を示した．また表2に胸高以上の全樹木（マツ枯れ個体を含む）を対象とした，地点A～Eの方形区内における胸高断面積合計を示した．各地点の林分を相観的にみると，地点A～Dがアカマツ林（ただし地点Aは疎林でリョウブの割合が高い），地点Eがコナラ林で

あった（表1）．各地点の胸高断面積合計は斜面下方ほど大きくなる傾向がみられた（表2）．

各地点のマツ枯れ割合をみると，方形区内全アカマツ個体に対する枯れ個体（本数）では，地点Aで0%，地点Bで17%，地点Cで29%，地点Dで75%であった．また方形区内全樹種の胸高断面積合計によるアカマツ枯れの割合は，地点Aで0%，地点Bで2.4%，地点Cで13.5%，地点Dで69.2%であり，いずれの割合も斜面下方ほど被害程度が高い傾向がみられた（表1，表2）．他の地点よりも高い胸高断面積合計を示した地点Dではマツ枯れ被害の割合が特に高かった．

表1 各地点の方形区の位置，林分の相観，マツ枯れ木の本数割合，幹等にカミキリ類の痕跡がない個体数

地点	方形区の位置 (基点からの斜面長)	相 観	方形区内全アカマツ個体 に対する枯れ個体の割合	幹等にカミキリ類の 痕跡がない個体数
A	0～5m	アカマツ林	0% (2本中 枯れなし)	-
B	5～10m	アカマツ林	17% (29本中 5本枯れ)	5本枯れ中 4本
C	12～17m	アカマツ林	29% (28本中 8本枯れ)	8本枯れ中 4本
D	26～31m	アカマツ林	75% (12本中 9本枯れ)	9本枯れ中 0本
E	41～46m	コナラ林	- (アカマツの立木なし)	-

表2 各地点における樹種ごとの胸高断面積（BA）の割合（%）とBA合計

種名	地点	A	B	C	D	E
<常緑針葉樹>						
アカマツ		22.9	76.2	76.5	10.5	.
アカマツ(枯れ)		.	2.4	13.5	69.1	.
スズ		.	.	0.4	2.4	.
ヒノキ		.	1.3	.	.	.
<落葉広葉樹>						
コナラ		1.7	9.1	4.5	3.0	6.3
ミズナギ		.	1.8	0.0	0.9	61.4
ネジギ		.	0.8	0.1	6.3	4.8
ツバノネツギ		.	.	1.1	1.0	1.1
ミヤマカマズミ		.	0.4	0.3	0.0	.
リョウブ		72.6	4.1	.	.	.
ヤマウルシ		.	0.4	0.8	.	.
ナツハヒ		.	.	0.5	0.3	.
ガンビ		.	0.1	0.1	.	.
マルバアオガモ		2.3	.	.	.	.
タカノツメ		.	0.8	.	.	.
ヤマハヒ		.	.	.	3.6	.
アヘマキ		.	.	.	.	23.4
ウリカエデ		.	.	.	.	2.3
カマツカ		.	.	.	.	0.3
モチツツジ		.	.	.	.	0.3
<常緑広葉樹>						
ソコ		0.6	2.6	.	2.9	.
ヒサギ		.	.	2.2	.	.
BA合計 (cm <sup>2</sup> /25m <sup>2</sup> )		33.8	234.3	624.0	1029.1	960.0

表中の「0.0」は，0.1%未満を示す．

図3に地点A～Dにおけるアカマツの胸高直径と樹高の関係を示した．アカマツ枯死木の樹皮を現地では剥いで確認したところ，地点Dの個体のほとんどにマツ材線虫病の伝播者とされるマツノマダラカミキリ（森本・岩崎，1972）の材入孔や幼虫および食害痕がみられた．一方，地点Bと地点Cでのアカマツ枯死木の幹では樹高

5m以上の個体で幼虫や食害痕がみられたが、それよりも小さな個体には材入孔や食害などはほとんど確認できなかった(表1)。

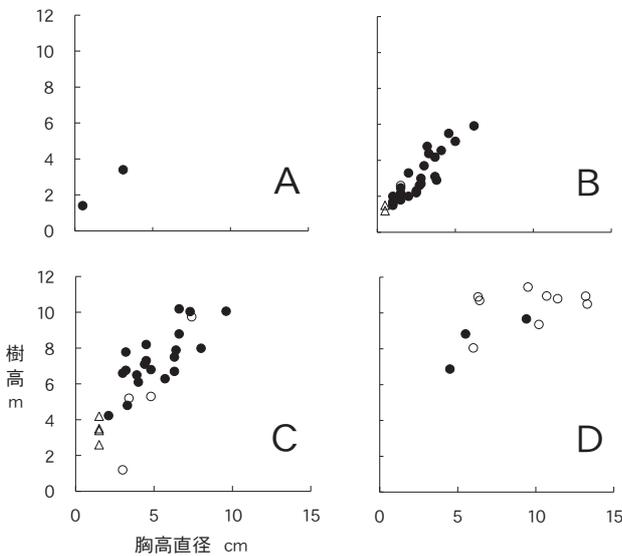


図3 地点A～Dにおけるアカマツの胸高直径と樹高  
●：生立木，○：枯死木，△：枯死木で、幹にカミキリ類の痕跡がない個体を表す。

## 2 土壌の厚さとその特徴

表3に各地点におけるAo層の厚さ、検土杖による最大土壌貫入深、各土層の深さ、土色を示した。Ao層は地点Aでわずかに認められる程度で、斜面下方の地点ほど厚くなる傾向が認められた。ちなみに地点Aと地点Bでは落葉が少ないため、林床にハナゴケやトゲシバリなどの地衣類の生育が見られた。最大土壌貫入深は地点Eで23cmであったが、地点A～Dでは8～12cmであり、全般に土壌が浅かった。土色は全般的に明るく淡い色であり、腐植などが少なく有効土層が薄いと推測された。

## 3 表層(0～5cm)土壌の理化学性

表3に表層土壌の電気伝導度とpHを示した。pHは6.2(地点A)から4.2(地点E)の範囲であった。また電気伝導度は10.8 μS/cm(地点A)から32.3 μS/cm(地点E)の範囲であった。露岩地の電気伝導度とpHは、Ao層が存在するところで、それぞれ14.3 μS/cmと5.1、Ao層が存在しないところで、それぞれ20.2 μS/cmと5.1となり、地点Bと地点C(あるいは地点D)との間の値を示した。

表4に各地点の容積重と土壌三相の容量比を示した。なお有意差の検定をKruskal Wallis H-test(比較検定)で行った結果、表4の項目はすべて危険率P>0.05で差が認められた。しかし、その後のMann-Whitney

表3 各地点におけるAo層の厚さ、検土杖による最大土壌貫入深、各土層の深さ、土色および表層土壌の電気伝導度、pH、菌糸の状態

地点	A	B	C	D	E	露岩地のアカマツ林
Ao層の厚さ(cm)	±*	2	4	6.5	10	±*
最大貫入深(cm)	8	12	11	12	23	6
第1層の深さ(cm)	0～3	0～5.5	0～3	0～3	0～6.5	0～1.5
土色	2.5Y6/4 にぶい黄色	2.5Y5/4 黄褐色	10YR5/4 にぶい黄色	10YR4/6 褐色	10YR4/4 褐色	10YR6/6 明黄褐色
第2層の深さ(cm)	3～8	5.5～7.5	3～7.5	3～8	6.5～19	1.5～6
土色	2.5Y7/4 浅黄色	2.5Y6/3 にぶい黄色	10YR5/6 黄褐色	10YR5/6 黄褐色	10YR5/6 黄褐色	10YR7/6 明黄褐色
第3層の深さ(cm)	—	7.5～12	7.5～11	8～12	19～23	—
土色	—	10YR6/6 明黄褐色	2.5Y7/4 浅黄色	2.5YR6/4 にぶい黄色	2.5Y6/4 にぶい黄色	—
表層(0～5cm)の電気伝導度(μS/cm)	10.8	11.8	20.1	20.8	32.3	20.2 14.3**
表層のpH	6.21	5.22	4.54	4.67	4.15	5.07 5.10**
表層の菌糸の状態	あり	あり	あり	あり	あり	あり

\*：±は、方形区内の一部でAo層が存在したことを示す。

\*\*：Ao層が存在していたところの試料で測定。

土色は、標準土色帖(マンセル系統分類方式)による。

U-test with Bonferroni correction(多重比較)を行ったところ有意差がないという判定になった。

アルコール処理後の保水量をみると、地点Aで42.6%、地点Bで44.7%、地点Cで50.8%、地点Dで51.4%、地点Eで50.1%であり、斜面下方でやや高い傾向がみられ、地点C、D、Eでは比較的近い値を示した。処理後の保水量増加分(処理後の保水量と処理前の保水量の差)は、地点Aで1%、地点Bで9%、地点Cで22%、地点Dで7%、地点Eで23%であった。一方、露岩地のAo層が存在するところとAo層が存在しないところの保水量は、それぞれ42.2%と41.8%(アルコール処理前)、44.0%と41.8%(アルコール処理後)であった。露岩地の保水量は、いずれもAo層が存在するところの値は地点BのそれらとAo層が存在しないところの値は地点Aのそれらと近い値を示した。

容積重と孔隙量は、コナラ林である地点Eでは、それぞれ70.9 g/100mlと71.7%であったが、他のアカマツ林の地点では、それぞれ94.9 g/100ml(地点C)～136.5 g/100ml(地点A)と63.4%(地点C)～48.4%(地点A)で、ち密な土壌であった。露岩地では、Ao層が存在するところの120.0 g/100ml(容積重)と54.6%(孔隙量)、Ao層が存在しないところの138.6 g/100ml(容積重)と48.1%(孔隙量)であった。露岩地の容積重と孔隙量は、Ao層が存在するところは地点Bのそれらと、Ao層が存在しないところは地点Aのそれらと、それぞれ近い値を示した。なお採取時水分量は今回同じ日に調査しているが、地点A(29.9%)と地点D(29.0%)でやや高いものの、他の地点では22～24%の範囲で各地点間での差が少なかった(表4)。

表4 各地点における表層の円筒土壌試料による容積重および土壌三相の容量比（平均値±標準偏差）

地点	容積重 g/100ml	孔隙量 %	固相 固相率 %	採取時		自然状態の飽水時**		アルコール処理後	
				気相 空気率 %	液相 採取時 水分量 %	気相 最小 容気量 %	液相 保水量 %	保水量 %	保水量の 増加分 %
A	136.5±5.5	48.4±2.6	51.6±2.6	18.4±5.8	29.9±3.2	6.5±2.3	41.9±0.9	42.6±1.0	0.7±0.8
B	116.5±7.9	54.9±2.5	45.1±2.5	30.6±2.2	24.3±0.8	19.3±1.3	35.6±1.3	44.7±2.6	9.1±1.3
C	94.9±1.2	63.4±0.2	36.6±0.2	41.6±2.4	21.8±2.4	34.6±5.2	28.8±5.1	50.8±1.5	22.0±3.6
D	108.5±2.7	59.8±0.8	40.2±0.8	30.7±1.3	29.0±0.6	14.9±1.2	44.9±0.5	51.4±0.7	6.5±1.1
E	70.9±11.8	71.7±4.4	28.3±4.4	49.1±3.6	22.6±1.6	44.3±5.3	27.4±4.6	50.1±2.0	22.7±2.6
* 露岩地	120.0±2.1	54.6±0.8	45.4±0.8	24.6±0.5	30.0±0.4	12.5±1.0	42.2±1.8	44.0±1.8	1.8±0.6
露岩地	138.6±6.9	48.1±2.7	51.9±2.7	18.9±4.8	29.2±2.1	6.3±1.8	41.8±1.4	41.8±1.8	0.0±0.5

\*：露岩地のアカマツ低木疎林のデータで、上段がA<sub>0</sub>層が存在するところ、下段がA<sub>0</sub>層がないところを示す。

\*\*：毛細管現象で最大に水分を保持した状態。その時の液相（保水量）は最大毛管容水量である。

## 考 察

今回調査を行った尾根型斜面の土壤は、総体的に有効土層が薄く、土色が淡い色であることや電気伝導度が低いこと（表3）などから判断して、土壤化が進んでいないようであった。特に地点A、Bの土壤環境は、露岩地のアカマツ林の土壤と未熟土的であるという点でよく似ていた。斜面上の位置とアカマツの伸長成長との関係を見ると、斜面上方の地点Aで成長が悪く、斜面下方でよくなる傾向が認められた（図2）。

諸戸ほか（1987）は、中部低山地帯において複数の母材地域の土壤とアカマツの伸長成長の関係を報告している。それによれば、各土壤母材地域ともにアカマツの成長は、地形別にみると尾根部が最低で、斜面中部・下部の方が良好であり、特に堆積岩（新第三紀）地域で、より顕著な違い（斜面下部ほど成長がよい）があることが示されている。また、その地域の土壤は未熟土的な乾性赤色系褐色森林土であり、表層土壤のpHは、4.8～3.9の範囲である。これらの斜面位置に対するアカマツの伸長成長の傾向は土壤母材（地質）が異なるが本調査地の結果と一致する。一方、本調査地の表層土壤のpHは6.2（地点A）から4.2（地点E）の範囲で、諸戸ほか（1987）の調査結果よりもやや高い値を示した。また本調査地の電気伝導度は32  $\mu$  S/cm以下で総体的に表層土壤にしては低い電気伝導度であり、貧栄養であることがわかる。

胸高断面積合計はアカマツの伸長成長と対応して斜面下方で大きかった。また斜面上の位置とマツ枯れの被害程度との関係を見ると、斜面下方で被害程度が大きかった（表1、表2、図3）。二井（1999）は、マツ材線虫病

によって大径木の方が枯れやすいことを報告している。今回の調査でアカマツ枯死木の存在が比較的多く認められたのは、地点Cと地点Dである。地点Cでみられたアカマツ枯死木は下層の小径木で、これらの幹にはマツノマダラカミキリの幼虫や食害が認められなかった（図3）。このことから被圧などの別の原因で枯死した可能性が高い。節間数の調査から推定された本調査地のアカマツの樹齢は40年以下で大径木と言えるような個体はなかったが、地点Dでは他の地点よりも胸高直径が大きい個体（胸高直径10cm以上）がみられ、それらの多くが針葉の一斉変色やマツノマダラカミキリによる食害などのマツ材線虫病の特徴を示していた。したがって本研究の結果は大きな個体の方が枯れやすいという二井（1999）の報告と矛盾しないと考えられる。

一般に尾根部の土壤中では菌糸などが発達しその遺体などが集積され、菌糸網層となる場合もある（森林土壤研究会編、1982）。菌糸の遺体が集積したり、それらの層が発達すると土壤は強い撥水性を示し、乾燥しやすい地形である尾根部では、いっそう乾燥化が進む。今回の調査地点では、どの地点でも菌糸の存在は認められるものの（表3）、菌糸網層は認められなかった。しかしアルコール処理を行うと、各地点の土壤試料で撥水性が除去され処理後の保水量の増加が認められた（表4）。ただし地点Cや地点Eと比べると、地点Dの処理後の保水量増加分は少なく、有機物・菌糸など撥水性を示す物質の集積が少なかったことを示唆するものと考えられた。撥水性除去前の保水量が高いことも合わせて考えると、地点Dは地点Cや地点Eに比べて土壤の乾燥化が進みにくい条件にあったと考えられる。

岩崎（2000）は、斜面の上部よりも下部の方がマツ

枯れ被害が大きいとし、その斜面位置の違いは土壌含水率の違い（斜面下部の方で土壌含水率が高い）を反映しているとした。すなわち相対的に土壌含水率が高い斜面下部ではそこに生育するアカマツ個体は乾燥ストレスに順応できておらず、降水量が少ない年のように強い水ストレスがかかった場合に、枯死しやすいと考えた（岩崎, 2000）。一方、菊池ほか（1991）はアカマツの菌根の形成がマツ枯れに対する抵抗性を高めている可能性があることを述べている。この抵抗性は菌根の形成が植物の水分吸収能力を高める（Duddridge et al., 1980）ことと関係していると考えられている。

本調査地域では同じ日の土壌含水率（採取時水分量）を測定している。地点Bと地点Cと地点Eの間では、表層土壌の採取時水分量は地点間の差は少なかったが、地点Aと地点Dではそれらの地点よりもやや高かった。その傾向は自然状態の保水量でも同様であった（表4）。地点Aでは容積重が非常に高く、空隙量が低いことで土壌がち密で堅くなっており、有効土層が非常に薄い。また、この地点の胸高断面積合計は少なく、他の地点と比べると共存種も極端に少ない（表2）。これらのことから地点Aでは植物の定着がしづらく、また定着した植物の根の発達が悪く、図2のアカマツの伸長成長で示されたように地上部の伸長も十分行われないものと考えられる。それらを反映して表層土壌に対しての有機物や菌糸の影響も少なく、アルコール処理後の保水量の増加分も非常に少なくなったものと考えられる。地点Aにつづく地点Bと地点Cは、容積重で地点A > 地点B > 地点Cの関係があり、空隙量と最小容気量は逆に地点A < 地点B < 地点Cの関係にある。自然状態の保水量は、地点Aから地点Cに向かって減少する傾向がみられた。逆にアルコール処理後の保水量増加分は増加する傾向がみられた。これらに対応するようにアカマツの伸長成長や胸高断面積合計は地点Aから地点Cに向かって増加する傾向がみられた。地点Cでは空隙量と最小容気量が高いことから植物の根がよく発達し、落葉等の有機物の土壌中への供給の増加および菌根菌の菌糸が発達しやすい土壌環境であると推察される。そのため土壌中の有機物や菌糸の影響は、アルコール処理後の保水量の増加分から判断してアカマツ林の地点の中では最も大きくなったものと考えられる。

一方、地点Dの胸高断面積合計やアカマツの伸長成長が高いのは、他の地点よりも自然状態の保水量が高く（表4）、日常的に土壌水分に恵まれた環境によって支えられていたと推測される。他方で最小容気量は地点Aに次いで低い状態であった。これらの点が菌糸の発達に負の要素として働いていたのかもしれない。このようなことから、地点Dのような土壌環境のアカマツは、ひとたびマツ材線虫病に感染し、夏期の異常気象（高温少雨）に

よって土壌が極度の乾燥状態になった場合、菌根菌による菌糸の発達が悪いために、逆に乾燥に抵抗性がなく枯れたものと考えられる。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、兵庫県立人と自然の博物館の江崎美香氏に現地調査およびデータ整理等をお手伝いいただいた。同博物館の自然・環境再生研究部の研究員の方々に貴重なご意見をいただいた。また同博物館の自然・環境評価研究部の加藤茂弘氏には現地およびその周辺の地質についてご教示いただいた。兵庫県立大学大学院緑環境景観マネジメント研究科の藤原道郎氏および千葉大学大学院園芸学研究科の岩崎寛氏に、マツ枯れ等に関連した文献・資料等の貴重な情報をご教示いただいた。これらの方々に深く感謝いたします。

なお本研究は平成14年度兵庫県立人と自然の博物館総合共同研究「武庫川流域における人と自然の共生」の一環として行った。また兵庫県立淡路景観園芸学校平成14年度共同研究「兵庫県の里山におけるマツ枯れ被害後の林分の植生回復および管理手法に関する研究」の研究費の一部を使用した。

## 文 献

- 東 順三・土田広信（1983）土地分類基本調査「三田」5万分の1、土壌図および同説明書、兵庫県、44-61。  
 土壌標準分析・測定法委員会（編）（1986）土壌標準分析・測定法、博友社、東京、427p。  
 Duddridge, J. A., Malibari, A. and Read, D. J（1980）Structure and function of mycorrhizal rhizomorphs with special reference to their role in water transport. *Nature*, **287**: 834-836。  
 藤原道郎・豊原源太郎・波田善夫・岩月善之助（1992）広島市におけるアカマツ二次林の遷移段階とマツ枯れ被害度。日本生態学会誌, **42**, 71-79。  
 今村遼平・岩田建治・足立勝治・塚本 哲（1984）山地の地形。「画でみる地形・地質の基礎知識」。鹿島出版会、東京、pp.68-130。  
 岩崎 寛（2000）マツ材線虫病被害の拡大様式と被害林の動態および修復に関する研究。景観園芸研究, **1**, 45-86。  
 後藤博弥（1983）土地分類基本調査「三田」5万分の1、表層地質図および同説明書。兵庫県、33-43。  
 河田 弘（1989）森林土壌学概論。博友社、東京、399p。  
 菊池淳一・都野展子・二井一禎（1991）マツ材線虫病に対するアカマツの抵抗性因子としての菌根の効果。日本林学会誌, **73**, 216-218。  
 丸山明雄（1993）斜面。久馬一剛・佐久間敏雄・庄子貞雄・鈴木 皓・服部 勉・三土正則・和田光史（編）、「土壌の事典」。朝倉書店、東京、pp.158-159。  
 三木直子・坂本圭児・西本 孝・吉川 賢・波田善夫（2001）マ

- ツ材線虫病被害の発生に対する立地の影響. 日本緑化工学会誌, **27** (1), 108–113.
- 森本 桂・岩崎 厚 (1972) マツノザイセンチュウ伝播者としてのマツノマダラカミキリの役割. 日本林学会誌, **54**, 177–183.
- 諸戸清一・真下育久・春田泰次 (1987) 中部低山地帯の土壤の性質とアカマツの成長. 日本林学会誌, **69**, 371–378.
- 二井一禎 (1999) アカマツ林における“マツ枯れ”被害の進展様式. 森林研究, **71**, 9–18.
- 小川 真 (1991) 「マツタケ」の生物学 補訂版. 築地書館, 東京, 333p.
- Richardson, J. L. and Hole, F. D. (1978) Influence of vegetation on water repellency in selected Wisconsin soils. Soil Sci. Soc. Am. J., **42**, 465–467.
- 森林土壤研究会 (編) (1982) 森林土壤の調べ方とその性質. (財) 林野弘済会, 東京, 328p.
- 豊原源太郎・奥田敏統・福島昭郎・西浦宏明 (1986) 松枯れに伴う宮島の森林植生の変化. 日本生態学会誌, **35**, 609–619.
- [付記] 気象庁のホームページ: <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/> (2013年7月).

(2013年7月30日受付)

(2013年11月6日受理)

