

## 材線虫病の病徴進展に及ぼす環境の影響

### —ギャップ効果—

清水一郎\* \*\*・鈴木和夫\*・福田健二\*

## Effect of Site Conditions on the Development of Pine Wilt Disease

### —Gap Effect—

Ichiro SHIMIZU, Kazuo SUZUKI, and Kenji FUKUDA

#### 1. はじめに

いわゆる“松くい虫”による被害は、明治末年に初めて長崎県で記録されて以来、西日本において流行病的な様相を呈してきた。この被害は、1950年代に一時衰えかけたものの、1970年代以降再び増加の傾向を見せはじめ、現在では東北地方にまで及んでいる。

このような材線虫病によるマツの枯損被害の分布と気候・気象との間には、従来経験的に、被害が分布する地域は温暖な気候条件下にあり、平年に比べ夏季の気温が高く降水量の少ない年には被害が増大することが知られていた(佐多 1942)。これに関して、竹谷ら(1975)は、マツ枯損の発生環境を温量で区分することを試み、竹下ら(1975)は、マツ枯損の被害程度と気象値との間の多角的な関係について検討を加えた。

清水(1987)は、茨城県における材線虫病被害調査の分析結果から、夏季の気象条件は、被害地域の拡大に対してはあまり影響を与えないが、既に被害の発生している地域の被害程度の上昇には強く影響することを報告し、被害地域の拡大と被害程度の上昇とは異なる現象であることを指摘した。

一般に、気象環境が材線虫病の被害拡大に及ぼす影響としては、病原体であるマツノザイセンチュウ、媒介昆虫であるマツノマダラカミキリ、そして、宿主であるマツの生理状態に及ぼす影響などが考えられる。従って、当初はマツノザイセンチュウの発育に関する温度条件(清原 1973)、マツノマダラカミキリの羽化脱出や成虫の活動に関する温度条件(遠田 1975)、夏季のマツに生ずる水ストレスと材線虫病の進展(SUZUKI and KIYOHARA 1978)などが検討され、最近ではさらにマクロな観点から材線虫病の発現と気象要因を取り扱った報告がある(鈴木ほか 1987)。

しかし、このようなマクロな気象環境因子とは別に、林分内のミクロな環境の変化も材線虫病の病徴進展に及ぼす影響が考えられる。

材線虫病に比較的抵抗性であるとみなされている林分において、ある時点から枯死率が著しく高まる現象(鈴木 1979)は、林分内のミクロな環境変化がマツに水ストレスを誘発し、材線虫病

\* 東京大学農学部林学科  
Department of Forestry, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

\*\* 現勤務先: 林野庁  
Present address: Forestry Agency.

の被害拡大に影響を与えているものと推測される。

そこで、今回は材線虫病による林分内での単木的なマツの枯損を想定して、ある程度以上の大きさのギャップ発生に伴う隣接木の水分生理状態の変化について検討した。

調査にご協力頂いた伊藤進一郎、大野啓一両博士に御礼申し上げる。

## 2. 材料および方法

試験地は、筑波山から東南東にのびる尾根筋上のアカマツ林で、標高 400 m に位置する。アカマツの林齢は 25~30 年生、樹高は 7~9 m、林床は高密度のアズマネザサでおおわれており、空地ではススキが優占する。

試験地の気象条件は、年平均気温 13.2°C、年降水量 1,292 mm と推定される。

この地域における材線虫病の初めての被害確認は 1981 年頃と考えられ、現在の被害は枯損本数で約 1 割程度である。

この試験地における自然に発生した樹高程度以上の大きさのギャップ周辺部（ギャップ群：G 群）、林縁部（林縁群：A 群）、林内閉鎖部（対照群：C 群）のアカマツについて水ポテンシャル（water potential:  $\Psi_w$ ）を測定した。各個体の位置略図を図-1 に示した。図-1 に示された各群のアカマツの平均樹高は対照群、林縁群、ギャップ群でそれぞれ 7.2 m, 5.8 m, 6.7 m であった。

このような日中の水ポテンシャルを測定したアカマツの中から数本を選んで、P-V 曲線法を用いて浸透ポテンシャル（osmotic potential:  $\Psi_s$ ）・圧ポテンシャル（turgor potential:  $\Psi_p$ ）を測定し、初発原形質分離点（turgor loss point:  $\Psi_w^{tlp}$ ）を求めた。P-V 曲線の作成にあたっては既報に従った（丸山・森川 1983, Suzuki et al. 1987）。

P-V 曲線を用いた水ポテンシャルの各要素（ $\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$ ）の検討には、試験地を追加して測定し、比較した。追加した試験地は、多摩川が形成した青梅市街地を頂点とする旧扇状地上に位置

する平林地で、標高約 155 m である。この地域はアカマツを主とするアカマツ林とコナラを主とする雑木林がモザイク用に混成していて、アカマツの林齢は約 25~40 年生、樹高は 15~20 m である。林床は草本かササにおおわれている。

気象条件は、年平均気温 13.1°C、年降水量 1,377 mm で太平洋型の気候を示す。

この地域は宅地造成のため 1984 年より一部伐採されて、南北に走る一連の伐採区域（将来道路となる）の北の部分は 1984 年初めに、中央部は 1984 年 10 月に、南の部分は 1986 年 5 月にそれぞれ伐採された。この伐採の異なった区域に位置するアカマツ林において調査木を選定した（図-2）。

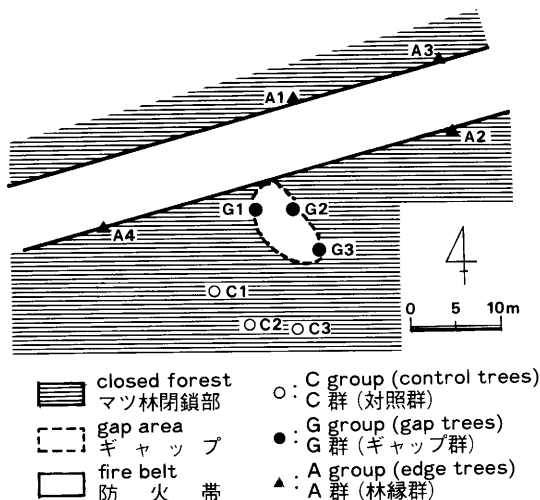


図-1 測定木の位置略図（筑波山）

Fig. 1. Profile of study area at Mt. Tsukuba.

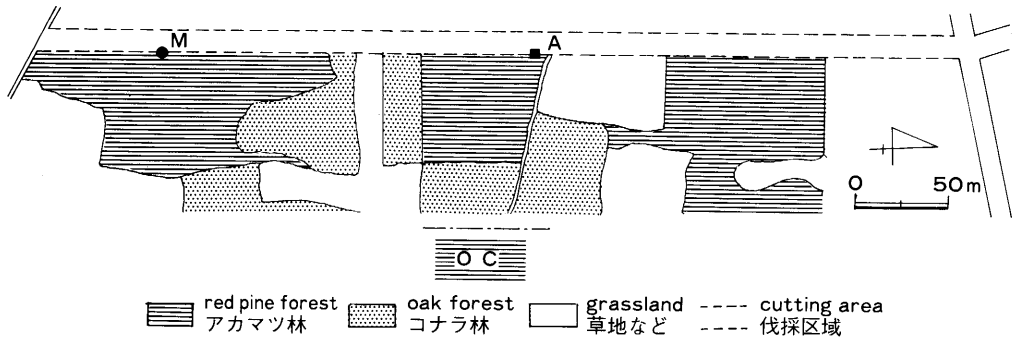


図-2 青梅市アカマツ林 Cは対照木, Aは古い林縁部のアカマツ, Mは新しい林縁部のアカマツ  
 Fig. 2. Profile of study area at Ohme. C: control tree, A: old edge tree, M: new edge tree.

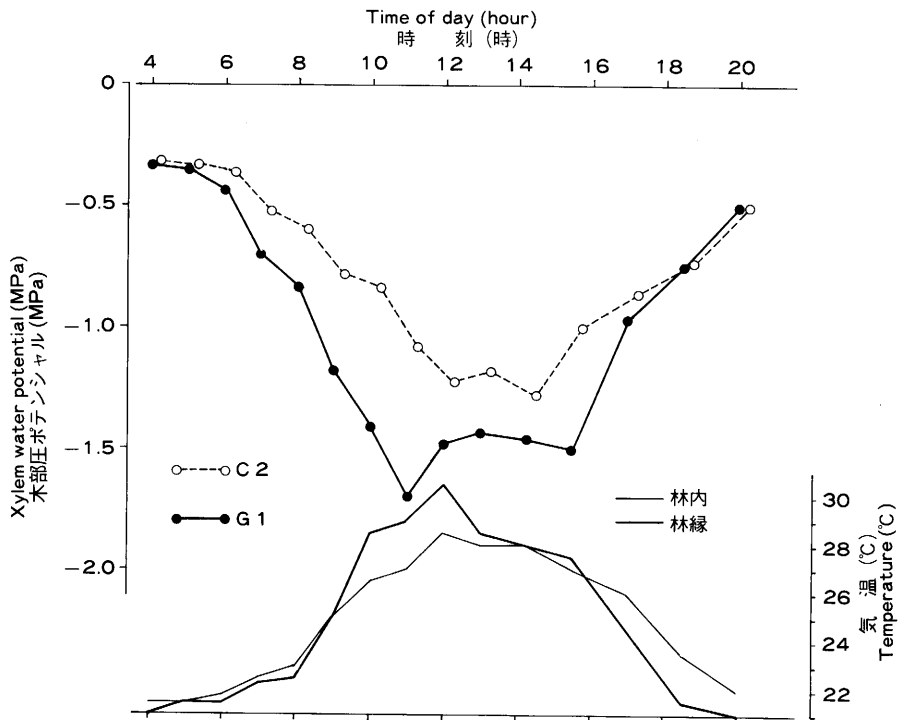


図-3 アカマツ (筑波山) の木部圧ポテンシャルの日中変化 (1986. 8. 31)  
 C2は対照群, G1はギャップ群のアカマツ

Fig. 3. Diurnal patterns of xylem water potential of Japanese red pine at Mt. Tsukuba (1986. 8. 31).  
 C2: control tree, G1: gap tree.

### 3. 結果および考察

筑波山のアカマツ林内に自然に発生したギャップ周辺部のアカマツの水ポテンシャルを測定した。ギャップ群のアカマツ3本, 林縁群4本, 対照群3本について測定し, それぞれの平均的な

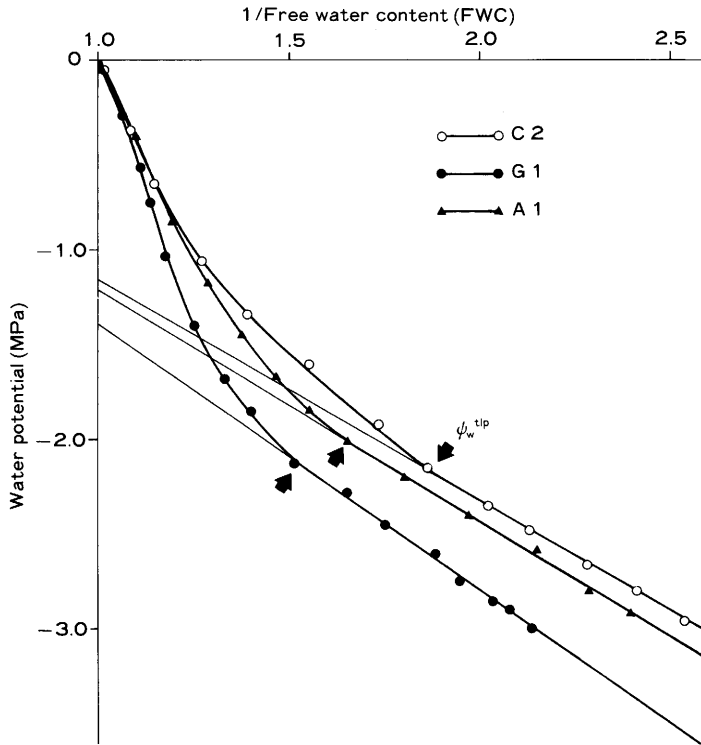


図-4 アカマツ（筑波山）のP-V曲線（1986. 8. 31）

C2は対照群，G1はギャップ群，A1は林縁群のアカマツ

Fig. 4. Pressure-volume curves of Japanese red pine at Mt. Tsukuba (1986. 8. 31).  
C2: control tree, G1: gap tree, A1: edge tree.

日中変化を示す個体C2とG1について図-3に示した。同時に林内および林縁における気温の変化をあわせて示した。

それぞれの群における水ポテンシャルの日中変化についてみると、対照群では明け方の最大値は $-0.32 \sim -0.34$  MPaで、午後2時過ぎの最小値は $-1.13 \sim -1.28$  MPaであった。夕方の水ポテンシャルの回復は午後6時以降であり、午後8時には $-0.50$  MPaを示した。

一方、ギャップ群においては、明け方の最大値は対照群と同様で、 $-0.33 \sim -0.36$  MPaを示したが、午前中の水ポテンシャルの低下は対照群に比べ速やかで、午前11時に最小値 $-1.55 \sim -1.70$  MPaを示した。その後、多少回復を示したが、午後4時頃までは大きな変化はなく推移した。午後4時を過ぎるころから水ポテンシャルの値は高まり、対照群との差は認められなくなった。

林縁群については図示しなかったが、明け方の水ポテンシャルの値は $-0.24 \sim -0.30$  MPaで、午前中は対照群とギャップ群の中間的な値を示して推移した。最小値は午前11時～午後1時の間に $-1.28 \sim -1.48$  MPaの値を示した。午後はほぼ対照群と同様の傾向を示したが、日没後の水ポテンシャルの回復は対照群よりも多少早まった。

対照群とギャップ群のアカマツの水ポテンシャルの日中変化を比較してみると、明け方の水ポ

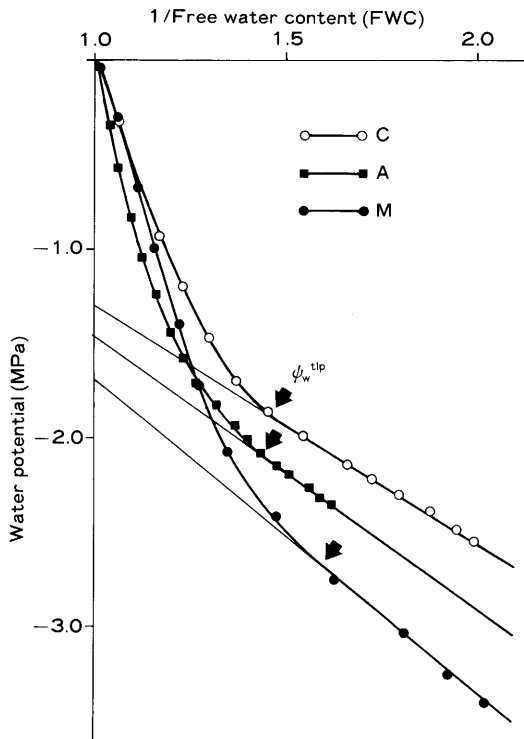


図-5 アカマツ (青梅市) の P-V 曲線 (1986. 8. 10)

C は対照木, A は古い林縁部のアカマツ, M は新しい林縁部のアカマツ

Fig. 5. Pressure-volume curves of Japanese red pine at Ohme (1986. 8. 10).  
C: control tree, A: old edge tree, M: new edge tree.

ギャップの有無も、その周囲の林木に及ぼす影響が少なくないことが明らかにされた。

林分環境の変化に伴うこのようなアカマツの水分特性の変化についてさらにその詳細を知るために、P-V 曲線法を用いて水ポテンシャルの各要素 ( $\Psi_w$ ,  $\Psi_s$ ,  $\Psi_p$ )、および初発原形質分離点 ( $\Psi_w^{tip}$ ) を求めて検討を加えた。水ポテンシャルの各要素を読み取りやすくするために、縦軸に  $\Psi_w$ 、横軸に  $1/FWC$  (free water content: 相対自由水量) をプロットした P-V 曲線を用いた。

筑波山のアカマツ林の P-V 曲線を図-4 に示した。図-4 に示された P-V 曲線についてみると、対照木 (C2)、林縁木 (A1) の P-V 曲線にはあまり差は認められず、それぞれの  $\Psi_w^{tip}$  の値は  $-2.15$  MPa および  $-2.04$  MPa であった。

一方、ギャップ木 (G1) における P-V 曲線は上述の 2 本の P-V 曲線とは著しく異なる形を示した。 $\Psi_w^{tip}$  の値は  $-2.13$  MPa を示し他の群におけるアカマツとの違いは認められなかったが、FWC の減少に伴う水ポテンシャルの低下は、対照木や林縁木よりも際立っていた。 $RWC^{tip}$  (relative water content at turgor loss point) の値はいずれの群でも 79~83% を示し、各群間の差は認められなかった。

テンシャルの最小値は両群とも  $-0.35$  MPa 前後で差は認められなかったが、日中変化の全体的な傾向として、対照群がゆるやかな曲線を描くのに対して、ギャップ群では多少変化の大きいものとなっていた。

林縁群の日中変化は、個々の個体についてみると、太陽光を樹体全体でよく受ける時間帯ではギャップ群によく似た変化を示し、太陽光があまりよくあたらぬ時間帯では対照群に似た曲線となった。

このようなことから、ギャップ周辺部のアカマツでは、林内閉鎖部の対照としたアカマツに比べ、日中の水ポテンシャルの低下が強く現れ、林縁部のアカマツではその中間的な値を示して推移することが示された。

林木の水ポテンシャルの日中変化は、生育する立地環境によって異なることが知られている。佐藤・森川 (1976) はスギ人工林における斜面の違いによる差について、鈴木ら (1979) はヒノキ人工造林木の植栽地形の違いによって生ずる生育過程の差について、それぞれ水ポテンシャルの日中の変化を比較して検討を加えている。今回の測定結果から、林分内における

このような筑波山アカマツ林のギャップ発生に伴う水分特性の変化と比較するために、青梅市平地林のアカマツについて追加測定した(図-5)。

青梅市のアカマツ林のP-V曲線についてみると、対照木(C)では、 $\Psi_w^{\text{up}}$ は-2.00 MPaを示し、筑波山の対照としたアカマツに比べてやや高い値を示した。しかし、旧い林縁部(A)と新しい林縁部(M)に位置するアカマツについてみると、 $\Psi_w^{\text{up}}$ はそれぞれ-2.14 MPaおよび-2.75 MPaを示し、対照木より順次低い値となった。特に新しい林縁部におけるアカマツにおいて、その低下が顕著であった。RWC<sup>up</sup>の値はいずれの群でも78~81%で差は認められなかった。

このことは、アカマツの水分特性が伐採に伴う新しい環境の違いに応じて速やかに変化することを示している。すなわち、アカマツのP-V曲線の変化は、対照(閉鎖林分内)アカマツ→新林縁部アカマツ→旧林縁部アカマツで示されたような経過をたどることが推測される。

筑波山におけるアカマツ林と青梅市におけるアカマツ林の環境の違いについて比較してみると、筑波山のアカマツのギャップや林縁は規模も小さくまた形成されてから長期間を経過しているのに対して、青梅市のアカマツでは旧い林縁や新しい林縁はかなり大規模な伐採に伴って形成されたものであり、このことが青梅市のアカマツの水分生理状態に著しい影響を及ぼしたものと考えられた。

以上の結果から、新しく発生した、ある程度以上のギャップ周辺では、ギャップ発生に伴う環境の変化が、マツの水分生理状態に急激な変化をもたらし、水ストレスを強めるものと考えられた。すなわち、このようなギャップ周辺のマツが材線虫病の感染を受けた場合は、病徴の進展が速やかになるものと考えられる。このような林分内のミクロな環境の変化も材線虫病の被害拡大に重要な役割を果たしているものと考えられる。

## 要 旨

材線虫病の病徴進展には、マツに生ずる夏季の水ストレスなど、気象環境要因が影響することが知られているが、マツの枯損などに伴う林分内のミクロな環境の変化も、残存するマツの水分生理状態や、被害の拡大に影響を及ぼしているものと考えられる。そこで、林内に生じたギャップの周辺部及び伐開に伴って生じた林縁部のマツと、林内閉鎖部のマツの水分生理状態について検討を加えた。その結果、水ポテンシャルの日変化は、ギャップ周辺部で日中の低下が著しく、P-V曲線法による水分特性にも、ギャップ周辺部及び林縁部と、林内閉鎖部とでは著しい相違が見られた。以上の結果から、新たに生じたギャップの周辺部では、マツの水分生理状態に急激な変化が生じ、材線虫病の病徴の進展に主要な役割を果たしているものと考えられた。

キーワード：材線虫病，水分生理状態，ギャップ効果，P-V曲線

## 引用文献

- 1) 遠田暢男(1975): マツノマダラカミキリの発育と温度の関係. 森林防疫 24, 208-211.
- 2) 清原友也(1973): マツノザイセンチュウを接種したクロマツ苗の発病に及ぼす温度の影響. 84回日林講, 334-335.
- 3) 丸山 温・森川 靖(1983): 葉の水分特性の測定 —P-V曲線法—. 日林誌 65, 23-28.
- 4) 佐多一至(1942): 兵庫県下に於て激害を加えつつある松樹の穿孔虫と其の駆除予防に関する考察. 兵庫県林業試験場 53pp.

- 5) 佐藤 明・森川 靖 (1976): ふたつの斜面に生育するスギ林分における木部圧ポテンシャルの日経過. 日林誌 **58**, 321-327.
- 6) 清水一郎 (1987): 茨城県における材線虫病被害の激害化と気象要因. 東大演報 **76**, 281-288.
- 7) 鈴木和夫 (1979): マツ材線虫病の発現機作. 森林防疫 **28**, 90-94.
- 8) SUZUKI, K. & KIYOHARA, T. (1978): Influence of water stress on development of pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus lignicolus*. Eur. J. For. Pathol. **8**, 97-107.
- 9) 鈴木和夫・清原友也・橋本平一・小野 馨・市原紅美雄 (1979): ヒノキナラタケ病の発生環境 (I) 水ポテンシャルと地形. 日林九支研論 **32**, 321-322.
- 10) SUZUKI, K. HIRATSUKA, Y. & AYER, W. A. (1987): Pathophysiological investigations on water potential components in lodgepole pine seedlings. 日植病報 **53**, 39-44.
- 11) 鈴木和夫・仁多見俊夫・熊谷洋一 (1987): マツ類材線虫病の発現と気象要因. 東大演報 **76**, 163-175.
- 12) 竹下敬司・荻原幸弘・小河誠司 (1975): 西日本におけるマツの立枯れと環境. 福岡県林業試験場時報 **24**, 1-46.
- 13) 竹谷昭彦・奥田素男・細田隆治 (1975): マツの激害型枯損木の発生環境. 日林誌 **57**, 169-175.  
(1987年10月26日受理)

### Summary

Severity of the pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus* has a close relationship to water status of pine trees. It is considered that water stress plays an important role in the disease development. And, severity of water stress in pine trees is generally influenced by macro-climatic weather conditions. However, micro-climatic conditions such as incidence of gaps or openings of forest canopy seem to have some effects on the development of the disease.

To compare physiological status of gap-faced trees, edge trees and trees in closed stand, water potentials were measured by a pressure chamber technique, and their components were determined by means of pressure-volume analysis.

Diurnal patterns of water potentials and P-V curves obtained indicate remarkable differences in water status among pine trees measured. The results suggest "gap-effect" plays an important role on the development of the pine wilt disease in forest stands.

**Key words:** pine wilt, water status of pines, gap-effect, pressure-volume analysis