

7月に罹病木が発生しやすいという履歴効果によって罹病木が発生する。

### マツ林の枯損動態と防除のシミュレーション・モデル

1. 材線虫病罹病木の時間的空間的分布の形成過程に関する仮説に基づいて、マツ林の枯損動態のシミュレーション・モデルを作成した。模擬計算によって、成虫の分散能力が低い場合、成虫の発生数が少なくても罹病木が発生し、それらは集中分布をすることがわかった。しかし、分散能力が高い場合、罹病木は、成虫の発生数が少ないと発生しないが、多いと発生し、それらはランダム分布の様相を呈した。成虫の初期発生数や林分サイズは、80%以上のマツが枯れるまでの期間にほとんど影響しないことが示された。
2. マツ林の枯損動態のシミュレーション・モデルに殺虫剤の予防散布、枯死木の伐倒駆除、材線虫病抵抗性マツの選抜育種という防除技術を組み込み、それらの有効性を評価した。その結果、マツが材線虫病に感受性である場合、殺虫剤の予防散布を適期に2回行うか、あるいは1回の予防散布（最適時期）と死亡率が70%以上の伐倒駆除を併用することによって、防除が4年以内に成功することが示された。しかし、枯死木の伐倒駆除だけで防除が短期間に成功しにくいことも示された。材線虫病抵抗性のマツ林造成は、たとえ個々のマツの抵抗性が完全でなくても、たとえば、殺虫剤の1回予防散布だけで短期間の防除を可能にするなど、これまでの防除技術の効果を非常に高めることが明らかで、今後最も有望な手段になりうるものと考えられる。

### 引用文献

- 在原登志男（1984）松の枯損防止新技術に関する総合研究—マツノマダラカミキリの天敵利用技術に関する研究—。福島林試研報 16：1—22。
- 遠田暢男（1972）マツノマダラカミキリからのマツノザイセンチュウの離脱経過。24回日林関東支講：32。
- 遠田暢男（1975 a）マツノマダラカミキリの発育と温度との関係。森林防疫 24：208—211。
- 遠田暢男（1975 b）マツノマダラカミキリ体表面の糸状菌と線虫保持数および死亡率。86回日林講：325—326。
- 遠田暢男・野淵 輝（1970）マツ類の穿孔虫に関する研究—卵巣の成熟と寄生性線虫（予報）—。81回日林講：274—276。
- 福原敏彦（1979）昆虫病理学。東京：学会出版センター、218 p。
- FUJIYAMA, S. (1983) The larval diapause of three scarabaeid beetles and its function in their life cycles. *In: Diapause and Life Cycle Strategies in Insects.* (V. K. BROWN and I. HODEK eds.), Hague, Netherlands: Dr. W. Junk Publishers, pp. 55—66.
- 二井一禎・古野東洲（1979）マツノザイセンチュウに対するマツ属の抵抗性。京大演報 51：23—36。
- 橋本平一・清原友也（1973）マツノザイセンチュウの樹体内移動（Ⅲ）。84回日林講：330—332。
- 橋本平一・清原友也（1975）マツノザイセンチュウ接種木におけるいわゆる「持ち越し」について。日林九支研論 28：169—170。

- 橋本平一・讚井孝義 (1974) マツ樹体内におけるマツノザイセンチュウの行動とマツの異常経過 (IV). 85回日林講 : 251-253.
- 細田隆治・奥田素男・竹谷昭彦・小林一三 (1974) 激害終期マツ林の枯損木から羽化したマツノマダラカミキリのマツノザイセンチュウ保持数. 85回日林講 : 231-233.
- 井戸規雄・武田丈夫 (1975) マツノマダラカミキリ成虫飼育による産卵と生存期間に関する2・3の知見. 86回日林講 : 337-338.
- 井戸規雄・武田丈夫 (1976) 野外ケージにおけるマツノマダラカミキリの羽化脱出状況-48時間連続調査結果-. 27回日林関西支講 : 259-261.
- 井戸規雄・武田丈夫・小林一三・竹谷昭彦・奥田素男・細田隆治 (1975 a) マツノマダラカミキリ成虫の分散行動に関する調査. 86回日林講 : 335-336.
- 井戸規雄・武田丈夫・小林一三・竹谷昭彦・奥田素男・細田隆治 (1975 b) マツノマダラカミキリの羽化脱出消長ならびに時間別脱出状況. 86回日林講 : 341-342.
- 五十嵐正俊 (1977) 東北地方におけるマツノマダラカミキリの生態 (II) -自然温度下における幼虫の発育経過-. 林試東北支年報 18 : 126-133.
- 井上悦甫 (1985) マツノマダラカミキリの個体数変動とその要因. 岡山林試研報 6 : 46-61.
- INOUE, T. (1978) A new regression method for analyzing animal movement patterns. Res. Popul. Ecol. 20: 141-163.
- 伊藤一雄 (1974) 樹病学大系Ⅲ. 東京 : 農林出版、405 p.
- ITO, K. (1982) The tethered flight of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* HOPE (Coleoptera: Cerambycidae). J. Jap. For. Soc. 64: 395-397.
- 伊藤賢介 (1982) マツノマダラカミキリ幼虫の人工飼育. 33回日林関西支講 : 259-262.
- IWAO, S. (1972) Application of the  $m^*m$  method to the analysis of spatial patterns by changing the quadrat size. Res. Popul. Ecol. 14: 97-128.
- IWAO, S. (1977) Analysis of spatial association between two species based on the interspecies mean crowding. Res. Popul. Ecol. 18: 243-260.
- 岩崎 厚・森本 桂 (1975) マツノマダラカミキリに関する研究Ⅷ. 誘引器周辺でカミキリの後食が多くなる範囲. 日林九支研論 28 : 197-198.
- 岩崎 厚・竹谷昭彦 (1980) マツノマダラカミキリに関する研究 XXXII-マツノマダラカミキリの産卵(1) -日林九支研論 33 : 111-112 .
- 鎌田直人 (1986) 東北地方におけるマツノマダラカミキリの生態 (XIX) -1年1世代虫と2年1世代虫の産卵スケジュール-. 日林東北支誌 38 : 237-238.
- 片桐一正・島津光明 (1980) マツノマダラカミキリの天敵微生物. 森林防疫 29 : 28-33.
- 加藤幸雄 (1966) 松くい虫の発育経過と枯損型. 森林防疫ニュース 15 : 178-185.
- 川端幸蔵 (1978) 変数選択. 応用統計ハンドブック (応用統計ハンドブック編集委員会 編)、東京 : 養賢堂、pp. 136-144.
- 川畑克己 (1979) マツノマダラカミキリの島嶼間移動. 日林九支研論 32 : 281-282.
- 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日林講 : 334-335.

- 清原友也 (1977) マツノザイセンチュウ系統間の増殖および病原性の比較. 日林九支研論 30 : 241-242.
- 清原友也・鈴木和夫 (1975) クロマツ樹体内におけるマツノザイセンチュウの季節的消長. 86回日林講 : 296-298.
- 清原友也・鈴木和夫 (1976) 接種時期を異にしたマツ樹体内でのマツノザイセンチュウの個体数推移. 87回日林論 : 227-228.
- 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.
- 清原友也・橋本平一・大庭喜八郎・西村慶二 (1977) アカマツおよびクロマツ精英樹の母樹別系統に対するマツノザイセンチュウ 4 系統の病原性. 88回日林論 : 329-330.
- 木村重義 (1974) マツノマダラカミキリの発育と温度 (I) - 幼虫期の低温遭遇と蛹化 -. 日林東北支誌 26 : 141-143.
- 木村重義・山家敏雄・五十嵐正俊 (1975) 東北地方におけるマツノマダラカミキリの分布地域と生活史. 林業試験場東北支場年報 16 : 101-108.
- 岸 洋一 (1977) 茨城県におけるマツノマダラカミキリの世代数について. 森林防疫 26 : 97-98.
- 岸 洋一 (1978) マツノザイセンチュウのマツノマダラカミキリからマツ樹体への侵入経過. 日林誌 60 : 179-182.
- 岸 洋一 (1980) 茨城県におけるマツノザイセンチュウによるマツ枯損と防除に関する研究. 茨城林試研報 11 : 1-83.
- 小林富士雄・奥田素男・竹谷昭彦・細田隆治 (1971) 松の樹脂異常木と松くい虫の飛来の連日調査. 林試関西支年報 12 : 117-120.
- KOBAYASHI, F., A. YAMANE and T. IKEDA (1984) The Japanese pine sawyer beetle as the vector of pine wilt disease. Ann. Rev. Entomol. 29: 115-135.
- 小林一三・細田隆治 (1978) マツノマダラカミキリの保線虫数調査法に関する検討. 日林誌 60 : 191-192.
- 小林一三・奥田素男・細田隆治 (1976) マツ枯損木の乾燥程度、太さとマツノマダラカミキリの脱出、線虫保持数. 87回日林論 : 239-240.
- 小林享夫・佐々木克彦・遠田暢男 (1978) 冬期のマツ枯損に関与するキバチ (*Sirex*) - 糸状菌 (*Amylostereum*) 相互の関係. 日林誌 60 : 405-411.
- 小島圭三・片桐一正 (1964) マツノマダラカミキリの幼虫の齢期と齢構成の動き. 日林誌 46 : 307-310.
- 真宮靖治 (1972) マツノザイセンチュウの接種によるクロマツおよびアカマツ幼令木の萎凋症状進行と枯死. 日線虫研誌 2 : 40-44.
- MAMIYA, Y. (1972) Pine wood nematode, *Bursaphelenchus lignicolus* MAMIYA and KIYOHARA, as a causal agent of pine wilting disease. Rev. Plant Protec. Res. 5 : 46-60.
- 真宮靖治 (1974) マツノザイセンチュウのアカマツ、クロマツ苗樹体内における増殖の経過. 85回日林講 : 249-251.
- 真宮靖治 (1975 a) マツノザイセンチュウの発育と生活史. 日線虫研誌 5 : 16-25.

- 真宮靖治 (1975 b) マツ樹体内におけるマツノザイセンチュウ個体群の消長. 森林防疫 24 : 192—196.
- 真宮靖治 (1975 c) マツノザイセンチュウのベルマン法による抽出効率. 森林防疫 24 : 115—119.
- MAMIYA, Y. (1976) Pine wilting disease caused by the pine wood nematode, *Bursaphelenchus lignicolus*, in Japan. JARQ 10: 206—211.
- MAMIYA, Y. (1983) Pathology of the pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*. Ann. Rev. Phytopathol. 21: 201—220.
- MAMIYA, Y. and N. ENDA (1972) Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoididae) by *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). Nematologica 18: 159—162.
- 真宮靖治・小林享夫・陣野好之・遠田暢男・佐々木克彦 (1973) マツノザイセンチュウによるアカマツの自然感染、発病の経過. 84回日林講 : 332—334.
- 峰尾一彦 (1976) マツノザイセンチュウ寄生性発現に関与する土壌の乾燥条件. 87回日林論 : 241—242.
- 森本 桂 (1977) 幼虫の加温時期と蛹化前期間. マツ類材線虫病の防除に関する研究 (農林水産技術会議 編)、東京 : 農林水産技術会議事務局、p. 78.
- 森本 桂 (1979) マツの枯損量とマツノマダラカミキリの密度. 森林防疫 28 : 77—80.
- 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. 日林誌 54 : 177—183.
- 森本 桂・岩崎 厚 (1973) マツノマダラカミキリに関する研究 (IV) —蛹室をめぐるカミキリと材線虫の生態—. 日林九支研論 26 : 199—200.
- 森本 桂・岩崎 厚 (1974) マツノマダラカミキリに関する研究 (XI) —羽化率に対する密度効果—. 85回日林講 : 229—230.
- 森本 桂・岩崎 厚 (1975) マツノマダラカミキリに関する研究 (XVI) —個体数変動要因の解析 (1) —. 86回日林講 : 319—320.
- 森本 桂・岩崎 厚・谷口 明 (1975) マツノマダラカミキリに関する研究 XIV —停留率と温度の関係—. 日林九支研論 28 : 199—200.
- 森本 桂・岩崎 厚・吉田成章・谷口 明 (1975) マツノマダラカミキリに関する研究 XV —マーキング法による個体数推定 (第2報) —. 日林九支研論 28 : 201—202.
- 森本 桂・吉田成章・倉永善太郎・岩崎 厚 (1974) マツノマダラカミキリに関する研究 VIII —マーキング法による個体数推定第1報—. 日林九支研論 27 : 181—182.
- 永井正樹・遠田暢男 (1974) マツノマダラカミキリの産卵推移. 85回日林講 : 225—226.
- 中根 勲 (1975) 2回越冬幼虫の状況とマツノザイセンチュウ保持状況. 26回日林関西支講 : 228—231.
- 中根 勲 (1976) マツノザイセンチュウ耐久型幼虫の虫体からの離脱状況. 27回日林関西支講 : 252—254.
- NICHOLSON, A. J. (1933) The balance of animal populations. J. Anim. Ecol. 2 : 132—178.
- 野淵 輝 (1976) マツノマダラカミキリの受精と産卵. 87回日林論 : 247—248.

- 野淵 輝 (1980) 松くい虫の天敵昆虫. 森林防疫 29 : 23-28.
- 農林水産技術会議 (1977) マツ類材線虫病の防除に関する研究. 東京 : 農林水産技術会議事務局、156 p.
- 農林水産技術会議 (1987) マツ枯損防止に関する新防除技術開発のための発病機構の解明. 東京 : 農林水産技術会議事務局、151 p.
- 越智鬼志夫 (1969) マツ類を加害するカミキリムシ類の生態 (II) *Monochamus* 属 2 種成虫の羽化と産卵習性などについて. 日林誌 51 : 188-192.
- 越智鬼志夫 (1975) マツノマダラカミキリの生態学的研究 (III) - 1 齢幼虫の大きさ -. 86 回日林講 : 323-324.
- 越智鬼志夫・片桐一正 (1974) マツノマダラカミキリの生態学的研究 (I) 幼虫の齡構成の動き. 日林誌 56 : 7-11.
- 越智鬼志夫・片桐一正 (1979) 松枯損木内でのマツノマダラカミキリの個体数変動とその要因. 林試研報 303 : 125-152.
- 小田久五 (1967) 松くい虫の加害対象木とその判定法について. 森林防疫ニュース 16 : 263-266.
- 小河誠司・萩原幸弘 (1980) 材線虫病によるマツ枯損被害拡大の様相について. 森林防疫 29 : 115-117.
- OKAMOTO, H. (1984) Behavior of the adults of Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*. In: Proc. of the United States-Japan Seminar the Resistance Mechanisms of Pines against Pine Wilt Disease. (V. DROPKIN ed.), Columbia USA: Univ. of Missouri Coop. Ext. Serv., pp. 82-90.
- 奥田素男 (1969) マツノマダラカミキリの休眠性. 森林防疫 18 : 204-205.
- 奥田素男・柴田叡弼 (1973) マツノマダラカミキリの化性について. 24 回日林関西支講 : 150-152.
- 斎藤 諦 (1985) 山形県におけるマツノマダラカミキリの 2 年 1 世代虫と 3 年 1 世代虫の発生およびマツノザイセンチュウ保持数. 日林東北支誌 37 : 258-259.
- 作山 健・佐藤平典 (1980) マツの材線虫病によって翌年に枯れた事例. 日林東北支誌 32 : 206-207.
- 佐藤平典・作山 健 (1982) 岩手県におけるマツ材線虫病 (松くい虫の被害) の現状と防除. 岩手林試成果報告 15 : 29-64.
- 佐藤邦彦・横沢良憲・庄司次男 (1970) つちくらげ病に関する研究 (I) 東北地方における被害とその分布. 81 回日林講 : 249-251.
- SEBER, G. A. F. (1982) The estimation of animal abundance and related parameters. 2nd ed. London: Charles Griffin and Company Ltd., 654 p.
- SHIBATA, E. (1981) Seasonal fluctuation and spatial pattern of the adult population of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* HOPE (Coleoptera: Cerambycidae), in young pine forests. Appl. Ent. Zool. 16 : 306-309.
- SHIBATA, E. (1986) Dispersal movement of the adult Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* HOPE (Coleoptera: Cerambycidae) in a young pine forest. Appl. Ent. Zool. 21 : 184-186.

- 庄司次男・陣野好之 (1985) マツノザイセンチュウの接種時期と枯損発生との関係. 96回日林論 : 461-462.
- SOKAL, R. R. and F. J. ROHLF (1981) Biometry. 2nd ed. New York : W. H. Freeman and Company, 859 p.
- 竹常明仁 (1983) マツノマダラカミキリの個体数変動調査と天敵微生物による防除試験. 広島林試研報 18 : 39-62.
- 滝下国利 (1974) マツノマダラカミキリ駆除薬剤 (秋処理) 試験結果. 虫害防除薬剤試験結果 (林業薬剤協会 編)、東京 : 林業薬剤協会、pp. 3-6.
- 滝沢幸雄・五十嵐正俊・山家敏雄・庄司次男・佐保春芳 (1979) 東北地方におけるマツノマダラカミキリの生態-盛岡における飼育結果を中心にして-. 森林防疫 28 : 84-89.
- 田村弘忠 (1983) 融合した根によるマツノザイセンチュウの感染. 第27回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨 : 163.
- 富樫一巳 (1980 a) 石川県におけるマツノマダラカミキリの越冬状況 (予報). 石川林試研報 10 : 39-50.
- 富樫一巳 (1980 b) マツ枯損予防のための殺虫剤散布時期に関するモデルとその一適用例. 日林誌 62 : 381-387.
- TOGASHI, K. (1985) Transmission curves of *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) from its vector, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), to pine trees with reference to population performance. Appl. Ent. Zool. 20: 246-251.
- TOGASHI, K. (1986) Effects of the initial density and natural enemies on the survival rate of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* HOPE (Coleoptera: Cerambycidae), in pine logs. Appl. Ent. Zool. 21: 244-251.
- TOGASHI, K. and H. MAGIRA (1981) Age-specific survival rate and fecundity of the adult Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* HOPE (Coleoptera: Cerambycidae), at different emergence times. Appl. Ent. Zool. 16: 351-361.
- TOGASHI, K. and H. SEKIZUKA (1982) Influence of the pine wood nematode, *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoididae), on longevity of its vector, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). Appl. Ent. Zool. 17: 160-165.
- VARLEY, G. C. and G. R. GRADWELL (1960) Key factors in population studies. J. Anim. Ecol. 29: 399-401.
- VARLEY, G. C., G. R. GRADWELL and M. P. HASSELL (1973) Insect population ecology. Oxford: Blackwell, 212 p.
- YAMANE, A. (1980) Dispersal of the Japanese pine sawyer and its role in the spread and invasion of the pine wood nematode. In: Proc. 2nd IUFRO Conf. on Dispersal of Forest Insects: Evaluation, Theory and Implications. (A. A. BERRYMAN and L. SAFRANYIK eds.), Pullman, USA: Washington State Univ. Coop. Ext. Serv., pp. 153-163.
- 山根明臣・伏見正二 (1974) マツノマダラカミキリ成虫の脱出直後の移動分散行動. 85回日林講 : 242-245.

横尾多美男 (1962) 土壤線虫—生態と防除—。東京：東京明文堂、553 p.

吉田隆夫・白猪吉郎 (1978) 京都府におけるマツノマダラカミキリの生態と防除 (予報)。29回日林関西支講：134—136.

陣野好之・滝沢幸雄・佐藤平典 (1987) 寒冷・高地地方におけるマツ材線虫病の特徴と防除法。東京：林業科学技術振興所、75 p.

### Summary

More than one million cubic meters of wood from *Pinus thunbergii* PARL. and *P. densiflora* SIEB. et ZUCC. have been annually destroyed by pine wilt disease since 1978 in Japan. This disease is caused by the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (STEINER et BUHRER) NICKLE, which is vectored by a cerambycid, *Monochamus alternatus* HOPE. Various techniques have been developed and applied for disease control. Insecticide application for the adult vectors, especially aerial application, is the most effective among them, but it has been pointed out that the technique gives rise to various problems such as environmental pollution and destructive changes in pine forest ecosystem caused by insecticides. Thus, it is necessary to establish an integrated control program for this disease, which means an effective combination of various techniques, in order to decrease the number of insecticide applications. In the present study, both the population dynamics of *M. alternatus*, *B. xylophilus*, and *P. thunbergii* and the quantitative interrelations among the 3 species were analysed. The basic features of these interrelations were characterized in a 4-year study within a *P. thunbergii* stand at Oshimizu, Ishikawa Prefecture, including rearing and oviposition experiments of *M. alternatus* adults on *P. densiflora* logs. The mechanism of spread of the pine wilt disease within pine stands was deduced from the results of these studies. Based on these results, a simulation model describing the spread of pine wilt disease within a pine stand was constructed. Simulations were done with the model to evaluate the effects of 3 different control techniques and their combinations. Based on simulation results some proposals are presented on the control of the disease. The main biological aspects of the model are summarized as follows:

#### Biology of *M. alternatus*

1. *M. alternatus* required 1 or 2 years to complete its life cycle. A large proportion, 93 %, of individuals found within dead trees had a 1-year life cycle. They overwintered as 3rd or 4th larval instars. Some of them pupated without feeding after overwintering whereas the others resumed feeding and then pupated. Individuals with a 2-year life cycle overwintered as 1st or 2nd larval instars in the first winter and as 3rd or 4th larval instars in the second winter. The proportion of individuals with a 2-year life cycle was higher within dead trees weakened in September than within those weakened from June