裸地と林内に置いたマツ材線虫病被害材内の温湿度環境*

谷 脇 徹**^{1,2}

谷脇 徹：裸地と林内に置いたマツ材線虫病被害材内の温湿度環境 日林誌 90: 253~256, 2008 マツノマダラカミキリの蛹室内温湿度環境を調べるため、人工蛹室を内蔵したマツ材線虫病被害丸太を直射日光の当たる裸地および日陰の林内に設置し、それぞれの場所での人工蛹室内と外気の気温および湿度を測定した。平均気温、最低気温および曇天日の最高気温に丸太の設置場所や人工蛹室内外による違いはみられなかったが、晴天日の日中には裸地の人工蛹室内気温は高温になりやすく、最高 39.9℃ に達した。人工蛹室内湿度に日周変動はみられず、日数の経過に伴う丸太の乾燥により徐々に低下した。これらの結果をもとに、材内の温湿度環境がマツノマダラカミキリの羽化脱出に及ぼす影響について考察した。

キーワード：人工蛹室、直射日光、湿度、マツノマダラカミキリ、気温

T. Taniwaki : Temperature and Humidity Conditions in the Xylem of the Damaged Tree by Pine Wilt Disease Placed at Bare and Tree-shaded Sites. J. Jpn. For. Soc. 90: 253~256, 2008 To examine temperature and humidity conditions in pupal chambers of *Monochamus alternatus endai*, logs that artificial pupal chambers were made inside of were set at a bare-site under direct sunlight and in a forest in the shade, and temperature and humidity of the chambers and the air at each site were recorded using thermo-recorders. The daily mean and minimum temperature, as well as the daily maximum temperature on a cloudy day, didn't show significant difference either between the sites or between inside and outside of the chamber. However the temperature of the chambers at a bare-site in the daytime on a fine day rose easily and reached to a maximum of 39.9°C. Humidity in the chambers didn't fluctuate diurnally. It decreased gradually with dryness of logs. Based on the results, effects of temperature and humidity conditions in the xylem on adult emergence of *M. alternatus* were discussed.

Key words: artificial pupal chamber, direct sunlight, humidity, *Monochamus alternatus endai*, temperature

I. は じ め に

マツノマダラカミキリ (*Monochamus alternatus endai*) (Makihara, 2004) (以下、カミキリ) 幼虫の多くは、秋期までに蛹室を形成し、そこで越冬する。越冬幼虫は翌年 2 月には休眠から覚醒し (Togashi, 1991)、関東地方では 5 月以降に蛹化し、おもに 6~7 月に羽化脱出する。越冬後、羽化までの発育には温度の影響が大きいとされ、有効積算温量とカミキリの発育との関係についての研究が行われ、地域別に総括されている (遠田, 1981; Kishi, 1995)。また、カミキリの羽化脱出は高温少雨の年や (遠田, 1975; 竹下ら, 1979)、材が直射日光を受けたり (岩崎・森本, 1974; 滝沢ら, 1979)、乾燥すると (小林ら, 1976) 早くなること、林内では林床が管理されると材の含水率が低くなり羽化脱出時期が早くなること (Nakamura, 1994)、日中の羽化脱出は晴天時には抑制される傾向にあること (井戸・武田, 1973; 谷脇ら, 2004) が報告されている。

これらの報告では、気象条件や環境条件が蛹室内の温湿度を介してカミキリの発育や行動に影響することが示唆されている。このことを証明するには蛹室内温湿度の測定が必要であったが、これまでに測定を実施した報告はなく、

いずれも推測の域を出ていない。

そこで本研究では、マツ材線虫病被害アカマツの材内にカミキリの蛹室を模した人工の蛹室を作成し、温湿度測定を試みた。測定にあたっては、蛹室内環境変動への関与が大きいと想定される直射日光の影響をみるため、直射日光の当たる裸地と日陰となる林内で測定を行った。得られた結果から蛹室内の温湿度環境がカミキリの羽化脱出に与える影響について考察した。

II. 材 料 と 方 法

1. 供 試 丸 太

人工蛹室を作成する丸太は、2003 年にカミキリの羽化脱出が終了したアカマツ (*Pinus densiflora*) を用いた。このアカマツは、2002 年に茨城県東茨城郡内原町の一林分で発生した自然枯死木であり、冬期に伐倒後 2 m に玉切り、東京都府中市の東京農工大学農学部苗圃内の、下層植生のある雑木林内にはい積みに置いた後、2003 年の 5 月下旬に林内の野外網室に立てかけた状態に置いてカミキリを羽化脱出させたものである。供試丸太には、腐朽菌等による顕著な変質は認められなかった。

* 本研究の一部は第 117 回日本森林学会大会で口頭発表した。

** 連絡・別刷請求先 (Corresponding author) E-mail: sigen01@pref.kanagawa.jp

¹ 東京農工大学大学院連合農学研究科 (183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8)

United Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwai, Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan.

² 現勤務先：神奈川県自然環境保全センター (243-0121 厚木市七沢 657)

Present address: Kanagawa Prefecture Natural Environment Conservation Center, 657 Nanasawa, Atsugi 243-0121, Japan.

(2007 年 10 月 9 日受付; 2008 年 3 月 21 日受理)

2. 人工蛹室の作成と温湿度の測定

樹皮を剥いだ直径7 cmの丸太を長さ30 cmに切断し、これを縦に半分に割った。丸太中央部の、材表面から深さ1 cmのところに縦7 cm、幅2.5 cm、奥行き1.5 cmの人工蛹室を作成した(図-1)。センサーのコードを通すため、人工蛹室の下部に直径0.5 cmの小孔をあけた。ここに温湿度センサー(THERMO RECORDER RS-11, ESPEC MIC CORP.)をはめ込み、割った丸太の断面を合わせ、上部と下部を紐で強く縛って固定した後、コードを通した孔の隙間に木屑を詰め、割れ目を粘着テープで塞いだ。センサーが濡れると正常に作動しなくなるため、丸太上部にはプラスチックカップを被せて雨水の人工蛹室内への侵入を防いだ。この供試丸太を2本作成し、東京農工大学農学部苗圃内の日当たりのよい裸地に設置した網室(幅1 m、奥行き1 m、高さ2 m)と、階層構造を成す樹高約20 mの雑木林内に設置した網室内に、地上高1 mで人工蛹室が南方向に向くように各1本ずつ設置した。各網室の網は青色のビニール芯入り防虫網(目合2 mm)であり、日光はメッシュを通して直接材に当たっていた。網室内および網室周辺1 m程度の範囲内の下層植生は刈り払った。外気の温湿度を測定するため、供試丸太の隣に雨水よけのシェルターに入れた温湿度センサーを各1基ずつ設置した。

測定は2003年9月5日0時から17日23時にかけて、1時間に1回行った。当初はカミキリの羽化脱出時期(6~8月)の調査を予定していたが、2003年の6~8月は台風の襲来が相次ぎ、日照時間が不足気味であった。このため、夏期の直射日光の蛹室内気象への影響をみるには不適と判断し、9月に測定を実施した。

調査期間中の気象の概況を把握するため、調査地最寄りの府中市(東京農工大学農学部構内)のアメダスデータ(気象庁ホームページ)を用いた。

図-1. 人工蛹室内の温湿度測定装置の設置方法(断面図)

III. 結果および考察

1. 調査期間中の気象概況

アメダスにより9月15日から16日にかけての夜間に13 mm、9月16日の日中に1 mmの降水量が観測された。9月7日と8日は曇天日で日照はほとんど観測されなかったが、その他の調査日は晴天日であり4.7時間以上の日照が観測された。

2. 気温

人工蛹室内気温と外気温の日平均気温(1日24回測定された気温の平均)、最高気温および最低気温を図-2に示す。また、人工蛹室内気温と外気温の曇天日(9月7日、8日)の平均(以下、曇天日平均)と晴天日の平均(以下、晴天日平均)を求め、 t 検定によって曇天日平均と晴天日平均の差の有意性を、TukeyのHSDによって人工蛹室内外および林内外の差の有意性をそれぞれ検定した。

裸地の人工蛹室内気温と外気温、林内の人工蛹室内気温と外気温の最低気温では曇天日平均と晴天日平均に有意な差はみられなかったが(いずれの場合も $p>0.05$, t 検定)、平均気温および最高気温では晴天日平均は曇天日平均よりも有意に高かった(いずれの場合も $p<0.05$, t 検定)。平均気温および最低気温は人工蛹室内外および林内外で大きな違いがなく、曇天日平均と晴天日平均のいずれにおいても有意な差はみられなかった($p>0.05$, TukeyのHSD)。一方、最高気温は曇天日平均では人工蛹室内外および林内外で有意な差はみられなかったが($p>0.05$, TukeyのHSD)、晴天日には裸地の人工蛹室内が最も高く、次いで

.....人工蛹室内気温(裸地) ---人工蛹室内気温(林内)
——外気温(裸地) -.-.-外気温(林内)

図-2. 調査期間中の人工蛹室内および外気における日平均気温、最高気温および最低気温

図-3. 人工蛹室内および外気の気温の日周変化

異なるアルファベットは5%水準で有意差があることを、N.S.は有意差がないことを表す (Tukey の HSD)。

裸地の外気温、林内の外気温、林内の人工蛹室内の順で低くなった。晴天日平均では裸地の人工蛹室内および外気温の最高気温は林内の人工蛹室内および外気温よりも有意に高かった ($p < 0.05$, Tukey の HSD)。裸地の人工蛹室内気温は最高で 39.9°C に達し (9 月 13 日), 林内の人工蛹室内との気温差は最大で 10.2°C であった (9 月 15 日)。

気温の日周変動について比較するため, 調査期間中の人工蛹室内気温および外気温を各時刻について平均した値 (以下, 時刻平均) を求め, 時刻ごとに Tukey の HSD によって差の有意性を検定した (図-3)。

直射日光の当たらない林内では夜間, 日中ともに人工蛹室内気温と外気温に大きな違いはなく, 時刻平均にも有意な差はみられなかった。裸地では, 夜間の人工蛹室内気温と外気温に大きな違いはみられなかったが, 日中になると人工蛹室内気温, 外気温ともに, 林内の人工蛹室内気温や外気温に比べて顕著に上昇した。裸地の人工蛹室内気温は 11 時から 13 時の日中に林内の人工蛹室内気温よりも有意に高くなった。

直射日光の直接の影響が少ない林内では人工蛹室内気温と外気温の時刻平均に有意差はなかった (図-3) ことから, 人工蛹室内の気温変動は基本的に外気温に支配されているものと考えられる。一方, 日中に裸地の人工蛹室内気温が林内の人工蛹室内気温よりも有意に高く (図-3), 40°C 近い高温に達した (図-2) のは, 裸地では外気温上昇に加え直射日光の影響が大きく表れたためと推測される。

3. 湿 度

人工蛹室内および外気の日平均湿度 (1 日 24 回測定した湿度の平均) を図-4 に示す。外気では, 湿度は裸地, 林内とも曇天日の 9 月 7 日, 8 日に高くなってその後低下したが, 降雨後の 16 日に再び上昇した。人工蛹室内では, 湿度は裸地, 林内とも最初 100% に近かったが, 徐々に低下する傾向がみられた。人工蛹室内湿度の日あたりの平均湿度の最大値と最小値の差は林内で 13.0%, 裸地で 23.6% と人工蛹室内の湿度低下は林内よりも裸地の方が大きかった。

図-4. 調査期間中の人工蛹室内および外気における日平均湿度

図-5. 人工蛹室内および外気の湿度の日周変化

人工蛹室内の湿度低下の要因として, 丸太が直径 7 cm, 長さ 30 cm と小さく, また剥皮されていたため, 材表面からの水分の消失が大きかったこと, また, 温湿度センサーを保護するために供試丸太の上部にプラスチックカップを被せたため, 降雨による水分供給がなかったことがあげられる。また, 人工蛹室内の湿度低下が林内よりも裸地で大きかった理由として, 直射日光によって気温が上昇したことで水分蒸発量が增大したことが考えられる。

調査期間中の人工蛹室内および外気の湿度の時刻平均を図-5 に示す。外気では, 湿度は日中に低下し, 夜間に高くなる周期性がみられた。一方, 人工蛹室内では, 湿度は裸地, 林内ともほとんど変動しなかった。人工蛹室内の湿度に日周変動がみられなかったのは, 人工蛹室がほとんど密閉されていたためと考えられる。この意味で, 蛹室内の湿度条件は安定しているといえる。

4. 蛹室内の温湿度変動がカミキリの羽化脱出に及ぼす影響

カミキリは 2 月には休眠覚醒し (Togashi, 1991), その後の発育は積算温量則に支配される (遠田, 1975)。また, カミキリの蛹化前期間の発育は気温が高いほど促進され (遠田, 1976), 蛹期の気温変動により初期の脱出時期や消長の山の形を変える (奥田, 1981) など, カミキリの

羽化脱出前の発育に温度の与える影響は大きい。本研究から、裸地の人工蛹室内気温は直射日光のため林内の人工蛹室内気温よりも高くなることが示された。本研究の測定時期は9月であり、カミキリの休眠覚醒後から羽化脱出にあたる時期の環境変動を追跡した訳ではない。しかし、直射日光による蛹室内気温の上昇は時期に関わらず普遍的に起こる現象と考えられ、カミキリの発育に係る積算温度に差をもたらしているに違いない。カミキリの羽化脱出は材が直射日光を受けると早くなる(岩崎・森本, 1974; 竹下ら, 1979)ことが報告されているが、この原因は本研究でみられたような蛹室内気温の上昇が幼虫および蛹の発育を促進したためと推察される。

筆者らは、カミキリの羽化脱出の日周期性について、午前中8~12時と日没前後16~20時にピークがあり、気象要因によってピーク数やピーク時間帯が変化すること、日中8~16時では日照時間が長く気温も30℃を超えるような真夏日には、羽化脱出が抑制されることを報告した(谷脇ら, 2004)。井戸・武田(1973)も日中の羽化脱出は晴天よりも曇天に多くなることを指摘している。

カミキリ成虫は30℃以上で異常な行動をとり(森本ら, 1975), 36℃以上では興奮、熱麻痺を起こす(Ishikubo, 1962)ことが報告されているが、本研究では直射日光が当たる人工蛹室内気温は外気温よりも上昇し、最高40℃近くまで達する(図-2)ことを確認した。外気温が高く日照時間が長いために蛹室内が高温になると予想される真夏日は、カミキリ成虫の羽化脱出時期でもみられている(谷脇ら, 2004)。つまり、外気温が高く日照が強い場合、蛹室内の気温はカミキリ成虫が行動異常あるいは熱麻痺を引き起こすまで上昇すると予想され、このことが真夏日において日中の羽化脱出が抑制された(井戸・武田, 1973; 谷脇ら, 2004)原因と考えられる。

蛹室内湿度は外気の湿度と比べて長期的変動(図-4)、日周変動(図-5)ともに小さく、蛹室内は安定した湿度環境であることがわかった。蛹室内は滞在するカミキリにとって乾燥ストレスにさらされる危険性の少ない、生存に有利な環境と考えられる。小型で樹皮のない供試丸太では蛹室内湿度は徐々に低下したが(図-4)、より自然に近い条件で雨水等の水分供給があった場合、蛹室内湿度は比較的高い状態で維持されるであろう。

カミキリの羽化脱出は降水量の少ない年に早く(遠田, 1975; 竹下ら, 1979), また、材が乾燥すると早くなる(小林ら, 1976)ことが知られている。さらに、林床管理され

た林内の網室内では管理されない林内よりもカミキリの羽化脱出時期が早く、材の含水率も低くなる(Nakamura, 1994)ことが報告されている。これらから、蛹室内湿度はカミキリの羽化脱出時期を左右すると考えられるが、湿度が材内のカミキリの発育や行動に直接的に与える影響に関する知見は得られていない。発生予察の観点からも今後解明すべき点であろう。ただし、湿度には日周変動がみられないので(図-4)、羽化脱出の日周期性には関与しないと考えられる。

本文を草するに当たり、終始指導してくださった東京農工大学農学部の岸 洋一名誉教授に、心からの謝意を表します。

引用文献

- 遠田暢男(1975) 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(1976) マツノマダラカミキリの生活史. 森林防疫 25: 182-185.
- 遠田暢男(1981) 関東地方におけるマツノマダラカミキリの発生消長. 日林関東支論 33: 165-166.
- 井戸規雄・武田丈夫(1973) マツノマダラカミキリの羽化脱出に関する2・3の調査. 日林関西支論 24: 153-156.
- Ishikubo, S. (1962) Physiological and ecological studies on the pine bark beetles. Bull. Fac. Educ. Kagoshima Univ. 14: 26-81.
- 岩崎 厚・森本 桂(1974) マツノマダラカミキリに関する研究 V 産卵時期と羽化時期の関係. 日林九支研論 27: 175-176.
- Kishi, Y. (1995) The pine wood nematode and the Japanese pine sawyer. 302 pp, Thomas Company Limited, Tokyo.
- 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.
- Makihara, H. (2004) Two new species and a new subspecies of Japanese Cerambycidae (Coleoptera). Bull. FFPRI. 3(1): 15-24.
- 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 X IV 停留率と温度との関係. 日林九支研論 28: 199-200.
- Nakamura, K. (1994) Survival rate and the time of adult emergence of *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) in *Pinus densiflora* stand with understory vegetation. Appl. Entomol. Zool. 29: 430-433.
- 奥田素男(1981) マツノマダラカミキリの脱出期予測のための有効積算温度の測定. 日林関西支論 32: 225-227.
- 竹下晴彦・立切哲也・前田美寿(1979) マツノマダラカミキリの羽化消長に関する要因について. 日林九支研論 32: 291-292.
- 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.
- 谷脇 徹・興津真行・岸 洋一(2004) マツノマダラカミキリの時間帯別の羽化脱出消長. 日林誌 86: 158-163.
- Togashi, K. (1991) Larval diapause termination of *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) under natural conditions. Appl. Entomol. Zool. 26: 381-386.