

富山県における最近の気象データを反映した
マツ枯れ被害の動態予測
—被害の垂直分布とマツノマダラカミキリの脱出時期—

松浦 崇遠・相浦 英春

Prediction of damage dynamics by pine wilt disease reflected recent meteorological data in Toyama prefecture: vertical distribution of the damage and emergence period of *Monochamus alternatus* adult

Takatoh MATSUURA, Hideharu AIURA

富山県農林水産総合技術センター
森林研究所研究報告

No.10 平成30年3月31日 発行

Reprinted from

BULLETIN

OF

THE TOYAMA FORESTRY RESEARCH INSTITUTE

No.10 2018.3

【論文】

富山県における最近の気象データを反映したマツ枯れ被害の動態予測 —被害の垂直分布とマツノマダラカミキリの脱出時期—

松浦 崇遠・相浦 英春

Prediction of damage dynamics by pine wilt disease reflected recent meteorological data in Toyama prefecture: vertical distribution of the damage and emergence period of *Monochamus alternatus* adult

Takatoh MATSUURA, Hideharu AIURA

マツノマダラカミキリが媒介するマツ枯れ被害の防除に対する指針を得るため、気温から求められる既存の指標に、富山県の最近の気象データを当てはめて、県内での被害の垂直分布や、海岸地域における成虫の脱出時期を推定した。

地域（3次）メッシュごとの平均標高と各月の平均気温との間には高い相関が得られたため、両者の回帰式からMB指数を算出した。他県の調査事例に基づいて、MB指数が20～21に到達する標高を、被害の分布の境界と見なすと、県内では500～550mの範囲に相当した。

カミキリの休眠覚醒時期を2月15日以降、発育零点を11℃として、海岸近くに位置する気象庁の観測点の日平均気温から有効積算温度を算出し、 $345.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ を初めて超えた日付を脱出開始日、 $504.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ を初めて超えた日付を50%脱出日として、それぞれを年ごとに求めた。1973または1979～2017年の観測期間を通して、脱出日は次第に早期化する傾向が見出された。期間中の最初の9～15年間と最後の15年間を比べると、これらの観測点において予測されたそれぞれの脱出日は、平均して4～7日間早くなっていた。

キーワード：マツノマダラカミキリ・マツ材線虫病・MB指数・垂直分布・脱出時期

1. はじめに

マツノマダラカミキリ (*Monochamus alternatus*, 以下カミキリ) は、マツノザイセンチュウ (*Bursaphelenchus xylophilus*, 以下センチュウ) を病原とするマツ材線虫病 (マツ枯れ) を媒介することが知られている (森本・岩崎 1972)。枯損被害の分布域や、カミキリの成虫が被害木から脱出する時期を明らかにすることは、被害木の伐倒・破砕による駆除や、殺虫剤の散布による後食の予防など、防除対策を図る上で、極めて重要である。

全国の各地で発生した被害に関しては、それが拡大した時期が地域ごとに推定されており、富山県では、1970年前後には、平野部に広く蔓延していたと考えられた (岸 1988)。一方、山岳部を含めた被害の垂直分布に関して、1970年代の調査によれば、標高400m前後の丘陵地に発生したアカマツの枯死木から、カミキリやセンチュウが確認されている (赤祖父 1975; 赤祖父

1976; 赤祖父 1977)。さらに、県内の被害量を把握するための、2014～2017年に行われた調査では、標高460m付近から枯死木が見つかっており (富山県農林水産部森林政策課 未発表)、被害はさらに標高の高い地域にも及んでいることが示唆された。

平野部では、海岸に造成されたクロマツの被害が依然として発生しており、防除対策の重要性が一層高まっている。富山県では海岸地域の気象データに基づいた、カミキリの成虫が脱出する時期の推定は行われてこなかった。また、県内では温暖化の進行による生態系の変化が既に現れており (富山県 2017)、成虫の脱出時期は、過去の調査 (赤祖父 1975; 赤祖父 1976; 赤祖父 1977) の時点よりも早まっていることが懸念された。

センチュウやカミキリの活動および繁殖には、気温が密接に関わっており、これらの動態を気象データから予測するための研究が、以前

から行われている。そこで、本稿では、気温から求められる既存の指標に、富山県の最近の気象データを当てはめて、県内における被害の垂直分布や、海岸地域における成虫の脱出時期を推定し、効果的な防除対策の実施に資することを目的とした。

2. 材料および方法

2-1 被害の垂直分布の推定

MB指数(1年間の月ごとの平均気温のうち、15℃を超えるものから、15℃を差し引いた残差の累積値)による区分は、被害が発生している地域とよく対応することから(竹谷ら1975)、他県では指標としてしばしば求められている。本稿でもMB指数を算出することにより、他県の調査事例を当てはめて、県内における被害の垂直分布を推定した。

県内では、クロマツは海岸地域に植栽されている。アカマツは主として標高400mまでの地域に分布し、山体の稜線近くに多く出現する。また、植生区分としては標高550mまで、単木では800m付近にも見られる(石田2004)。

県内において、気温が測定されている気象庁の観測点は、標高300m未満の地域に位置しており、アカマツが分布する、標高がさらに高い地域のMB指数を、観測値から直接求めることはできない。

ところで、約1km四方の地域(3次)メッシュを単位とする、地形因子と気象データとの関係から、任意地点の気象因子を推定する技術が開発されており、富山県では、1980年代までの各月の平均最高気温と平均最低気温の、実測値と推定値との間に高い相関があることが、既に確かめられている(石田1991)。そこで、本稿では、「メッシュ平年値2010」(気象庁2014)の月平均気温の推定値を用いて、最近のMB指数を算出した。各3次メッシュの平均標高と各月の平均気温との関係から単回帰式を求め、標高50mごとのMB指数を得た。他県での調査から推定された、被害が発生する閾値を、標高とMB指数との関係に当てはめて、県内での被害が発生する標高帯を予測した。

2-2 カミキリ成虫の脱出時期の推定

カミキリの発育零点とそれを基準にして算出される有効積算温度は、成虫の脱出時期を予測

する指標として求められ(遠田1975)、他県から複数の調査事例が報告されている(例えば、藤下1979;林・宮崎1979)。県内においても、1973~1975年および1997~2002年の9年間に行われた調査によって、成虫が脱出するまでに必要な有効積算温度が算出された(西村2003)。

過去の調査の時点から現在に至る、長期的な傾向を明らかにするため、西村(2003)が求めた成虫の脱出開始日と、成虫の脱出が盛んになる時期の目安となる50%脱出日までの有効積算温度を、本稿の指標に用いた。西村(2003)の方法と同じく、石川県における事例(Togashi1991)に基づき、休眠覚醒時期は2月15日以降、発育零点は11℃とした。

県内の海岸近く(汀線から0.5~6kmの距離)に位置する気象庁の観測点のうち、富山地方気象台(以下、「富山」と)伏木特別地域気象観測所(以下、「伏木」)の観測値(気象庁2017)から、西村(2003)が調査を開始した1973年以降の日平均気温を抽出した。また、泊地域気象観測所(以下、「泊」)からは、記録が最も古い1979年以降の日平均気温を抽出した。さらに、成虫の脱出時期に関する過去の調査が行われた、森林研究所(以下、「立山」)の観測値から求めた、1999年以降の日平均気温を参照した。各観測点の位置を図-1に、標高と解析に用いた気温の観測期間を表-1示す。

2月15日以降の日平均気温のうち、11℃を超えるものから、11℃を差し引いた残差の累積値(有効積算温度)を算出し、有効積算温度が345.3℃・日(脱出開始日に相当)、および504.0℃・日(50%脱出日に相当)を初めて超えた日付(西村2003)を、年ごとに求めた。なお、比較に当たって、閏年による日数の補正は行わず、そのままの日付を用いた。

1973年以降の年代ごとの、成虫の脱出日の変化を明らかにするため、閏日の翌日に当たる3月1日を基準にして、各年の脱出日までの日数を求めた。1973~2017年の45年間で15年ごとに区切った各群の脱出日を、観測点ごとに比較した。統計解析プログラムにはR 3.4.3(R Development Core Team 2017)を用い、群間の差をSteel-Dwass Test ($p < 0.05$)によって検定した。

表-1 観測点の標高と解析に用いた気温の観測期間

観測点	施設名 (所在地)	標高	解析に用いた観測期間	摘要
富山	富山地方気象台 (富山市石坂)	9m	1973~2017年	
伏木	伏木特別地域気象観測所 (高岡市伏木古国府)	12m	1973~2017年	
泊	泊地域気象観測所 (朝日町東草野)	13m	1979~2017年	
立山	森林研究所 (立山町吉峰)	230m	1999~2017年	2004年と2010年は欠測があるため除外

3. 結果および考察

3-1 被害の垂直分布の推定

各3次メッシュの平均標高(0~2,772m)と各月の平均気温との関係から得られた、単回帰式の定数と決定係数を、表-2に示す。両者の相関は高く、月平均気温は標高のみによって十分に説明されると見なされた。その背景には、県域の面積が小さい一方で標高差は大きいという、富山県の地勢的特徴が挙げられ、県域に属するメッシュのみを抽出したことによって、重回帰式では標高とともに変数の一部に選択されていた、緯度や経度によるばらつきが小さくなり、標高の説明力が相対的に向上したと考えられた。

前出の月平均気温から得られた、標高とMB指数との関係を図-2に示す。両者の間には、標高が高くなるとともに、MB指数はほぼ直線的に減少する関係が認められた。

被害の分布をMB指数に関連付けた最近の報告では、竹谷ら(1975)が提示した値が大きく修正されている。中村・野口(2005)は、標高が高くなると被害が減衰する地域を対象に調査を行い、被害が発生していない林分はMB指数が19未満、単木の枯損が散見される程度(微害)の林分は19以上22未満に当てはまると指摘した。また、その前後に報告された事例でも、福島県ではMB指数が20以下になると微害にとどまり(在原 2001)、長野県では21以下になると被害が発生していない(岡田・小山 2006)ことを明らかにしている。

これらの事例の中間となる、MB指数が20~21の範囲に、被害の分布の境界があると見なして、図-2からその標高を求めると、500~550mであった。この標高は、最近の調査で枯損木が観察された地点よりもやや高く、アカマツを構成要素とする植生の分布のほぼ上限に相当した。したがって、山岳部に分布するアカマツの大部分

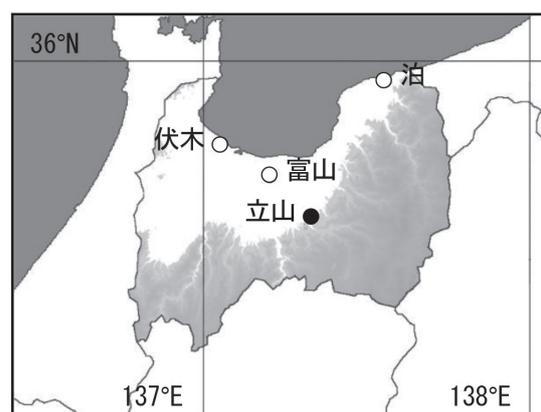


図-1 観測点の位置

図中の「○」は気象庁の観測点を、「●」は森林研究所の位置を表す。

表-2 3次メッシュの平均標高と各月の平均気温との関係から得られた単回帰式($y=ax+b$)の定数と決定係数

平均気温の 対象月	定数 a	定数 b	決定係数 r^2
Jan	-6.47×10^{-3}	2.28	0.996
Feb	-6.54×10^{-3}	2.32	0.997
Mar	-6.22×10^{-3}	5.35	0.997
Apr	-5.46×10^{-3}	11.32	0.996
May	-5.11×10^{-3}	16.22	0.992
Jun	-4.90×10^{-3}	20.20	0.995
Jul	-4.83×10^{-3}	24.18	0.996
Aug	-5.12×10^{-3}	25.55	0.997
Sep	-5.36×10^{-3}	21.36	0.997
Oct	-5.75×10^{-3}	15.54	0.994
Nov	-5.77×10^{-3}	10.04	0.993
Dec	-6.20×10^{-3}	5.05	0.993

にも、被害が及ぶ可能性が指摘されるとともに、調査の対象とする範囲は、この標高までを目安とすることが望ましいと言える。

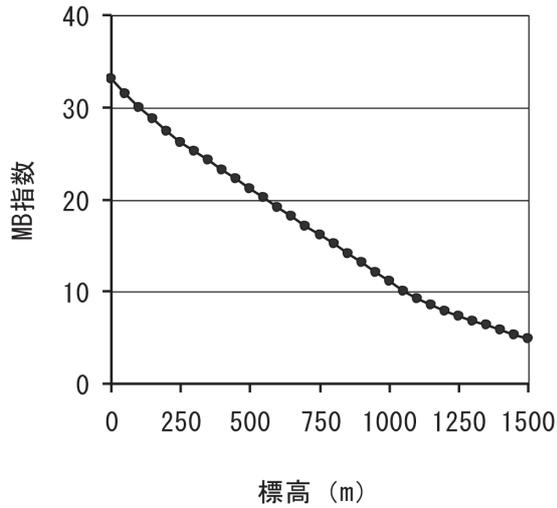


図-2 標高とMB指数との関係

3-2 カミキリ成虫の脱出時期の推定

脱出開始日および50%脱出日に相当する日付の、観測点ごとの年次変化を、図-3に示す。日付は数年単位では大きくばらつくものの、2017年

現在までの38～45年間を通して見ると、次第に早期化する傾向が、いずれの地点でも明らかとなった。海岸近くの観測点において予測された脱出開始日は、1970～1980年代には概ね6月中旬で推移していたが、2000年前後からは6月上旬に早まる年が目立って増えた。50%脱出日も、6月下旬～7月上旬で推移していたものが、2000年前後からは概ね6月中～下旬に早まっている。

予測されたそれぞれの脱出日は、1973～2017年のそれぞれの15年間で、脱出日が早まる傾向が確認された(図-4)。また、富山での脱出開始日と50%脱出日、および伏木での50%脱出日は、最初(1973～1987年)と最後(2003～2017年)の15年間の群間に有意な差が検出された。最後の15年間における脱出開始日と50%脱出日は、最初の15年間に比べて、富山ではそれぞれ6日間と7日間、伏木と泊ではともに4日間と5日間、平均して早くなっていた。県内では、これまで気温が上昇する傾向が持続しており(富山県

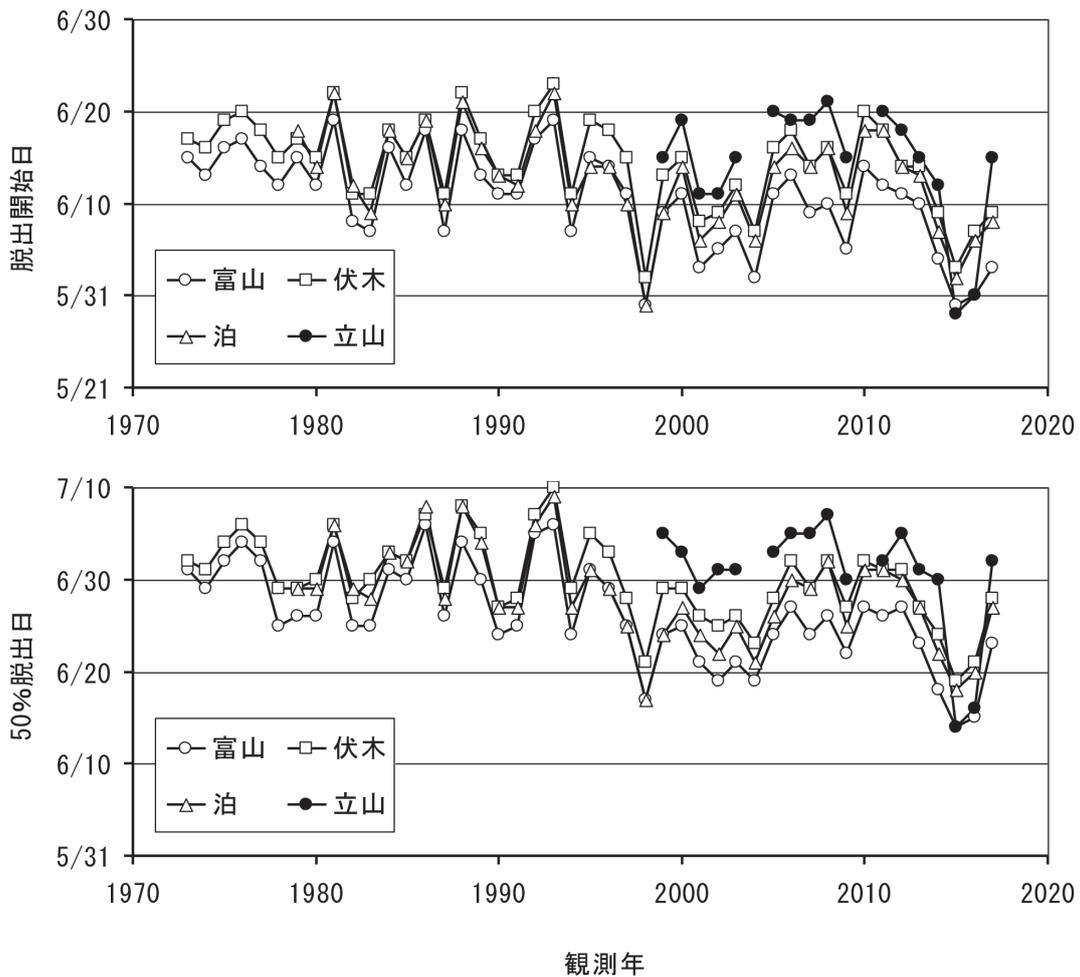


図-3 有効積算温度から予測されたカミキリ成虫の脱出日の年次変化

図中、マーカーのない年の気象データには、その一部または全部に欠測がある。

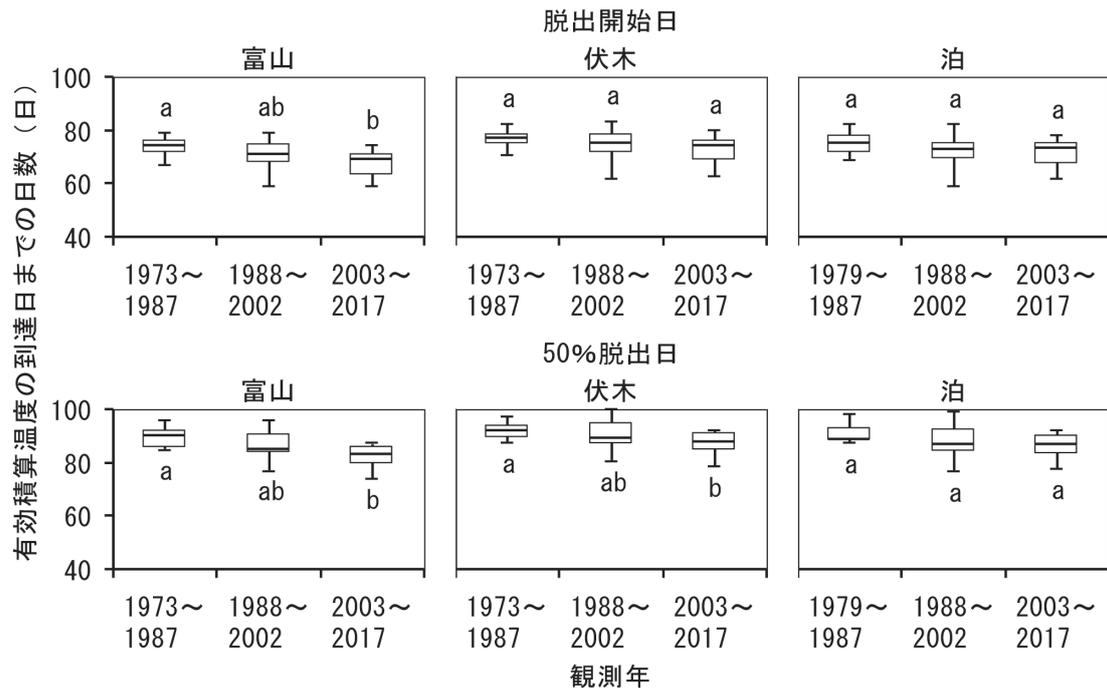


図-4 15年ごとの年代別に区分した各群におけるカミキリ成虫の脱出日

観測点のうち、「泊」の気象データには、1973~1978年の観測期間が欠けているため、以降の9年間で、他の群との比較を行った。図中、バーの上端と下端は最大値と最小値、ボックスの上端と下端は第3および第1四分位数、ボックス内の仕切りは中央値を示す。また、アルファベットは、脱出日と観測点のそれぞれの組み合わせにおいて、同一の文字が付されていない群間に有意な差があることを示す ($p < 0.05$)。

2017)、脱出日の早期化は、気候の変動によるものと考えられた。

海岸地域のクロマツを対象とした、殺虫剤の1回目の散布時期は、脱出開始日が最近の数年間で一層早まっているため、これに合わせると5月末~6月初旬が適当であり、6月中旬では、気温が高めに推移した場合、成虫の脱出が既に始まって、予防が間に合わないことが十分に想定された。また、2回目の散布を行う場合、その時期は、50%脱出日のばらつきの中心に合わせて、6月下旬が適当であると考えられた。さらに、被害木の処理は、成虫が早ければ5月末には脱出すると予測されたため、それよりも早い時期に、伐倒から破砕までの工程を完遂することが望ましいと言える。

海岸近くの観測点での予測された脱出開始日と50%脱出日は、標高230mにある立山の観測点に比べて、富山ではそれぞれ7日間と8日間、伏木と泊では2~3日間と3~5日間、平均して早くなっていた(図-3)。両者の違いは、観測点間の標高差によるものと考えられた。

被害木の一部を、成虫が脱出する前年の10~12月に、森林研究所へ持ち込んで行われた、

1970年代の調査では、脱出は6月中旬から始まり、6月下旬~7月中旬に最盛期を迎えることが報告されており(赤祖父 1975; 赤祖父 1976; 赤祖父 1977)、これらの結果を受けて、殺虫剤の1回目の散布時期は、県西部では6月中~下旬、県東部では6月下旬が適当であると指摘された(赤祖父 1977)。最近の気象データから見積もられた、海岸地域における散布の適期は5月末~6月初旬と、過去に指摘された時期よりも大幅に早まっており、その背景には、温暖化による気候の変動と観測点間の標高差が関与していると推定された。

4. おわりに

福島県では、被害が発生していないか、微害にとどまるとされる標高は450m(在原 2001)であり、長野県では800m以上(岡田・小山 2006)であることが報告されている。このように、地域ごとの被害の垂直分布は、標高では異なるものの、MB指数という温量を指標に用いれば、県内でも被害の分布の推定が可能であると考えられた。

また、被害の垂直分布やカミキリ成虫の脱出

時期を、最近の気象データに基づいて推定し、山岳部や海岸地域での被害の動態に関する予測から、被害が及ぶ標高の範囲や防除作業の適期を具体的に提示した。

但し、山梨県では、MB指数が9.5~12.4の範囲にある標高帯でも、アカマツの枯損木が出現するとともに、カミキリの繁殖が確認されるなど、被害がこれまでの知見よりも標高の高い地域に及ぶ可能性が示唆されている (Ohsawa and Akiba 2014)。MB指数については、被害が発生する閾値が、過去に大きく修正された経緯もあり (中村・野口 2005)、被害の実態に適合するかどうか、調査に基づいて検証していく必要がある。

また、県内の全域において、気温はさらに上昇することが予測され (富山県環境科学センター 2015)、温暖化による影響は、今後数十年間は避けられない見通しとなっている (富山県 2017)。したがって、将来には、カミキリの活動や繁殖が盛んになって、山岳部での被害量が増えることや、防除の適期が一層早まることが想定されるため、気候の変動に留意しながら、事業を円滑に実施できるよう、体制を整備していく必要があるだろう。

謝辞

富山県農林水産部森林政策課、ならびに各農林振興センターの森林病虫害防除事業担当者各位から、本稿執筆の契機となる御助言や御要望をいただいた。ここに記して厚く感謝の意を表す。

引用文献

赤祖父愷雄 (1974) マツノザイセンチュウ・マツノマダラカミキリの被害実態調査 (第1報)。富山県林試業報 9: 82-98
赤祖父愷雄 (1975) マツノザイセンチュウ・マツノマダラカミキリの被害実態調査 (第2報)。富山県林試業報 10: 56-79
赤祖父愷雄 (1976) マツノザイセンチュウ・マツノマダラカミキリの被害実態調査 (第3報)。富山県林試業報 11: 54-74
在原登志男 (2001) 松くい虫の総合的防除。福島県林研七研報 34: 73-99
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

藤下章男 (1979) マツ類の急激枯損防止に関する研究 (II) -MEP剤によるマツノマダラカミキリ後食防止効果-。静岡県林試研報 10: 39-48
林 末敏・宮崎 徹 (1979) ヘリ散によるマツノマダラカミキリ後食予防について (3) -マツノマダラカミキリの羽化脱出曲線の推定と散布適期-。日林九支研論 32: 277-278
石田 仁 (1991) 富山県における気候値メッシュファイル (気温, 降水, 積雪深) の特性。雪氷 53: 45-51
石田 仁 (2004) 富山県の天然林とその管理 -基礎編-。富山県林技七研報 17 (別冊)
岸 洋一 (1988) マツ材線虫病-松くい虫-精説。トーマス・カンパニー
気象庁 (2014) メッシュ平年値2010解説 (平成26年3月 修正版)。
気象庁 (2017) 各種データ・資料。 <http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html> (参照: 2017年12月12日)
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
中村克典・野口絵美 (2005) マツ材線虫病自然抑制域・自然抑制限界域の広域分布図。森林総研九支年報 17: 38
西村正史 (2003) 富山県におけるマツノマダラカミキリ成虫の脱出消長。富山県林技研報 16: 1-7
岡田充弘・小山泰弘 (2006) 松くい虫被害地の被害拡大現状に関する研究 -マツ材線虫病被害の被害減少要因の検討-。長野県林総七研報 21: 1-9
Ohsawa, M. and Akiba, M. (2014) Possible altitude and temperature limits on pine wilt disease: the reproduction of vector sawyer beetles (*Monochamus alternatus*), survival of causal nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*), and occurrence of damage caused by the disease. Eur J For Res 133: 225-233
R Development Core Team (2017) R: A language and environment for statistical computing. The R Foundation. <https://www.r-project.org/> (参照: 2018年1月19日)
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 -温量からの解析-.
日林誌 57:169-175
- Togashi, K. (1991) Larval diapause termination of *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) under natural Conditions. Appl Ent Zool 26: 381-386
- 富山県 (2017) とやま温暖化ストップ計画.
http://www.pref.toyama.jp/cms_sec/1705/kj00000856.html (参照:2017年12月28日)
- 富山県環境科学センター (2015) 富山県近未来気候. <http://www.eco.pref.toyama.jp/kinmirai/> (参照:2017年12月28日)

Summary

To guide control of pine wilt disease carried by *Monochamus alternatus*, the authors applied recent meteorological data to two existing indexes calculated from air temperature, and estimated vertical distribution of the damage by the disease and emergence period of the adult beetle in the seaside area within Toyama prefecture.

Because a high correlation was found between average elevation and mean monthly temperature in each regional (tertiary) mesh, MB index was calculated with the regression equation between the two factors. The range of MB index from 20 to 21, which was considered as the boundary of the damage extent, corresponded to the elevation from 500m to 550m.

On the conditions that dormancy breaking date was February 15th and developmental zero temperature was 11 °C , the effective temperature summation of the beetle was calculated from mean daily temperature observed in the Meteorological Agency observatories near the seaside area. The initial date of the adult beetle emerging was determined by year as the date when the effective temperature summation exceeded 345.3°C for the first time, and the date of 50 percent adult beetle emerging when it exceeded 504.0°C . The emergence period of each year tended to be advanced by degrees through the duration from the year 1973 or 1979 to 2017. Comparing first 9 or 15 years and last 15 years in the duration, the both date in the former period were estimated from 4 to 7 days on average earlier than the latter one among the observatories.

Keywords: *Monochamus alternatus*, pine wilt disease, MB index, vertical distribution, emergence period of the adult beetle