令和5年度青産林研報告【研究報告】

ナラ枯れ被害材の低温保管処理によるカシノナガキクイムシの越冬耐性調査

伊藤　昌明

要約

カシナガの越冬可能な気温条件を把握することを目的として、ナラ枯れ被害材の低温保管試験を行った。その結果、カシナガの越冬が可能な気温条件は日平均気温が0℃以下の日が55日未満であることが示された。この結果を青森県内の気温データに当てはめたところ、カシナガの定着が可能な地域として、青森県内陸部及び中～高標高地域を除く大部分の地域が抽出された。これらの地域ではナラ枯れ被害探査の強化と初期防除の徹底が重要と思われた。

Ⅰ　はじめに

2016年に西津軽郡深浦町で発生したナラ枯れ被害は、2019年以降10,000本を超える被害量となっており、2020年には深浦町近隣の6市町村（弘前市、中津軽郡西目屋村、五所川原市、つがる市、西津軽郡鰺ヶ沢町、北津軽郡中泊町）でも被害が確認された。また、2023年には青森市及び東津軽郡平内町でも被害が発生し、被害地域は拡大傾向にある。

ナラ枯れ被害の媒介者であるカシノナガキクイムシ（以下、カシナガ）は冬季の低温により越冬が困難になることが報告されており、特に高標高地域において、次世代生産への負の影響が示されている（江崎，2006；中島・松浦，2015；大橋，2015）。また、ナラ枯れ被害材を低温下で保管することによって、材内幼虫の死亡率が増加することが報告されている（江崎，2008）。これらのことから、本県においても、冬季の低温とカシナガの越冬の関係を明らかにすることによって、ナラ枯れ被害の定着や拡大の危険性を検出できるかもしれない。そこで、本研究ではカシナガの越冬可能性を把握するために、ナラ枯れ被害材の低温保管試験行い、カシナガの越冬耐性を検証した。

Ⅱ　材料と方法

1. 供試昆虫及び採取地

供試昆虫は東津軽郡平内町で発生したナラ枯れ被害木に穿入しているカシナガである。被害木はミズナラで、その主幹部3.5m分を試験に用いた。

2. 試験用丸太の作成

被害木の主幹部は厚さ約10cmに玉切りし、主幹部3.5mから35枚の円盤を作成した。用いた円盤は長径20.1±1.1cm（平均値±標準偏差）、短径18.4±0.9cm、厚さ9.6±0.7cm、体積2,775.7±333.0cm^{3}である。

3. 低温保管試験

作成した円盤は直ちに20℃のインキュベータに保管した。この時、円盤の乾燥を防ぐため、十

分に水を含ませた水苔で円盤を被覆した。その後、12 日間かけてインキュベータの温度を 4℃まで低下させ、越冬前処理とした。

越冬前処理後の円盤は、3 温度条件（4℃、0℃、-2℃）に設定したインキュベータで保管した。なお、インキュベータは全暗条件とし、乾燥を防ぐため、円盤を水苔で被覆した。各温度条件における円盤の供試数は、4℃が 11 枚、0℃及び-2℃が 12 枚であり、その材積等は表 1 のとおりである。これらを保管 2 日後から 77 日後にかけて割材し、円盤内の幼虫を計数した。また、幼虫を生存と死亡に分けて計数し、その生存率（生存幼虫個体数/（生存幼虫個体数+死亡幼虫個体数））を越冬耐性の指標とした。なお、調査期間中のインキュベータの庫内の平均温度は 4℃が 3.3℃、0℃が 0.7℃、-2℃が-0.9℃であったことから、以降の処理温度を 3.3℃、0.7℃、-0.9℃とする。

表 1　供試円盤の基本情報

温度（℃）	供試数	長径* (cm)	短径* (cm)	厚さ* (cm)	材積* (cm3)	カシナガ穿入孔数*	その他穿入孔数*
4	11	19.7±0.8	18.3±0.7	9.4±0.7	2,672.7±262.8	6.2±1.9	10.1±2.9
0	12	20.5±1.3	18.7±0.8	9.5±0.7	2,858.9±388.6	6.5±2.4	8.9±3.7
-2	12	20.0±1.1	18.2±1.0	9.8±0.9	2,787.0±332.7	6.3±2.5	6.3±2.7

*数値は平均値±標準偏差を示す。

4. 統計解析

円盤内の幼虫の生存率に寄与する要因を、マルコフ連鎖モンテカルロ法（以下、MCMC 法）で事後分布を推定する手法（以下、ベイズ法）を用いたロジスティック回帰モデルによって抽出した。この解析では、応答変数に生存率を、説明変数に保管温度及び保管日数を用いた。また、変量効果として、各円盤、カシナガの穿入孔数、その他の穿孔性昆虫の穿入孔数及び円盤の体積（cm3）を用いた。なお、応答変数は二項分布に従うものとし、リンク関数には logit を用いた。

これらのモデルにおけるパラメータ推定は rstan version 2.26.23（Stan Development Team, 2023）を用い、統計ソフト R version 4.3.1（R Development Core Team, 2023）内で計算した。また、初期値の影響を避けるため、最初のデータの 10,000 回を切り捨て、以後 20,000 回のデータを 50 回ごとに抽出した。推定は異なる初期値を用いて 3 連鎖計算を行い、R-hat 値が 1.1 未満となっている場合に連鎖が収束したものと判断した（Gelman et al., 2004）。また、説明変数の 95%ベイズ信用区間が 0 をまたがない時に、その説明変数が応答変数に有意な影響を及ぼしているものと判断した。

Ⅲ　結果

1. 供試丸太内のカシノナガキクイムシ

越冬耐性試験に用いた供試丸太内のカシナガの個体数等を表 2 に示す。3 温度とも、カシナガの成虫、蛹及び幼虫が確認された。カシナガ穿入孔当たりの幼虫個体数は 18.2±7.5～25.7±5.7 個体/孔であり、全体では 21.4±9.3 個体/孔であった。また、カシナガ幼虫の生存率は初回割材時では 98.0～100.0%であったが、最終割材時には 0.0～82.2%となり、生存率の低下傾向がみられた。

表 2　供試円盤内のカシノナガキクイムシ

温度（℃）	供試数	成虫 個体数*	蛹 個体数*	幼虫 個体数*	カシナガ穿入孔当たりの幼虫個体数*	初回割材時 生存率(%)**	最終割材時 生存率(%)**
3.3	11	5.3±2.1	0.3±0.5	104.9±36.2	18.2± 7.5	100.0 (2)	82.2 (76)
0.7	12	8.3±5.2	0.5±0.7	147.5±40.9	25.7± 5.7	100.0 (2)	54.2 (77)
−0.9	12	5.7±3.7	0.5±0.9	112.5±42.5	22.0±12.5	98.0 (2)	0.0 (77)

*数値は平均値±標準偏差を示す。
** ( )の数値は割材時の保管日数を示す。

2. カシノナガキクイムシの生存率

ベイズ法による推定の結果を表 3 に示す。保管温度－0.9℃を対照とした場合、3.3℃及び 0.7℃の係数の 95%ベイズ信用区間は 0 をまたがなかったことから、-0.9℃よりも生存率が有意に高いことが示された。また、保管日数の係数は負の値を示し、その 95%ベイズ信用区間が 0 をまたがなかったことから、保管日数と生存率には有意な負の関係があることが示された。以上の解析結果に基づく保管日数及び保管温度と生存率の関係を図 1 に示す。保管温度－0.9℃では、保管から 31 日後に幼虫の生存率が 50%以下となり、55 日後に 10%以下となることが示された。保管温度 0.7℃では 58 日後に生存率が 50%以下になるものの、77 日後までに 10%を下回ることはなかった。また、保管温度 3.3℃では、76 日後における生存率は 82.1%であった。

表 3　カシノナガキクイムシの生存率に寄与する要因

応答変数	説明変数†		係数	95%ベイズ信用区間
生存率	切片		2.74	1.77～ 3.79*
	保管温度	3.3℃	5.62	2.93～ 8.95*
		0.7℃	2.48	0.95～ 4.19*
	保管日数		−0.09	−0.14～−0.06*

†保管温度は-0.9℃を対照に設定
*有意な効果のある変数（95%ベイズ信用区間が 0 をまたがない）

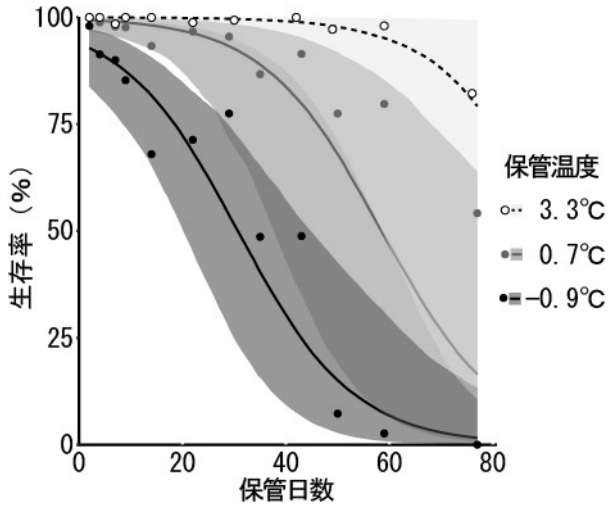

図 1　材内幼虫の生存率
図中の実践及び破線はロジスティック回帰曲線の事後中央値を示し、灰帯はロジスティック回帰曲線の 95%ベイズ信用区間を示す。

Ⅳ　考察

本研究の結果、カシナガの幼虫の生存率は保管期間が長くなるほど低下し、3 温度条件では-0.9℃で最も低くなることが示された（表 3，図 1)。また、-0.9℃において、保管から 55 日後に生存率が 10%以下となることが明らかとなった。石川県で採取されたカシナガの低温耐性調査では、0℃で 15 日、-5℃で 5 日後に生存率が 10%以下に低下することが報告されているが（江崎，2008)、青森県の集団では、低温耐性が石川県の集団よりも高いのかもしれない。これは伊藤(2024)と大橋（2014）における発育零点の差と同様に、カシナガの遺伝的系統の違い（Shoda-Kagaya et al. 2010）が影響しているかもしれない。

本研究において、カシナガの穿入孔当たりの幼虫個体数は 18.2±7.5～25.7±5.7 個体/孔であり（表 2)、全体では 21.4±9.3 個体/孔であった。カシナガは雌雄 1 ペアで孔道を創設し、繁殖することから、幼虫の生存率が 10%以下になった場合、次世代成虫が最大で 2 個体程度となり、ナラ枯れ被害量が前年程度からそれ以下になると予想される。そこで、幼虫の生存率が 10%以下となる保管温度-0.9℃、保管期間 55 日（図 1）をカシナガの越冬が困難な地域の指標とした。具体的には、冬季期間の日平均気温が 0℃以下となる日が 55 日未満となる地域でカシナガの越冬が可能であるとし、冬季期間は前年 12 月 16 日～当年 3 月 15 日までの約 90 日間とした。この条件を基に、青森県におけるカシナガの越冬適地を図 2 に示す。カシナガが 1 年 1 化で生活環が全うできる地域の抽出（伊藤，2024）と同様に、青森県においてナラ枯れ被害が発生した 2016 年以降の期間を対象とした。ただし、2016 年の被害は前年に産卵されたカシナガによる被害のため、2015 年 12 月 15 日以降を対象期間とした。この条件において、カシナガの越冬が容易と思われた地域には、青森県内陸部及び中～高標高地域を除く大部分の地域が抽出された（図 2)。これらの地域においては、冬季の気温条件によるカシナガの繁殖阻害の可能性が低いため、ナラ枯れ被害が継

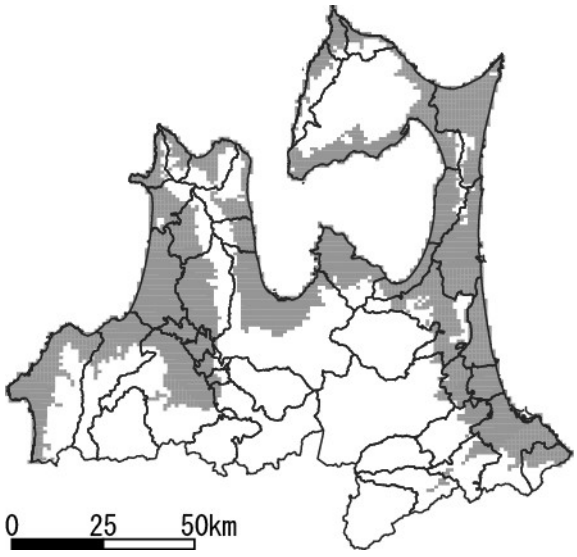

図 2　カシノナガキクイムシの越冬適地

冬季期間において日平均気温が氷点下となる日数が 55 日未満の場合で、カシノナガキクイムシが越冬できるものとした。対象とした期間は 2015 年 12 月 16 日～2023 年 3 月 15 日であり、当年 12 月 16 日～翌年 3 月 15 日までの約 90 日間における日平均気温が氷点下となる日を計数した。地図中の灰色は冬季期間の氷点下日数の 8 年間の平均値が 55 日未満となる地域を示す。温度データは農研機構メッシュ農業気象データ（The Agro-Meteorological Grid Square Data, NARO, https://amu.rd.naro.go.jp/）（大野ら 2016）及びそのマニュアル（小南ら 2019）を利用した。

続する恐れがある。したがって、これらの地域では、被害探査の強化と初期被害における徹底駆除が重要と思われる。

引用文献

江崎功二郎（2006）高標高森林におけるカシノナガキクイムシの繁殖．第 117 回日本森林学会大会学術講演集．B06.

江崎功二郎（2008）13 ナラ集団枯損被害の抑制メカニズムの解明． 公設林業試験研究機関研究成果選集．5: 25-26.

Gelman A, Carlin JB, Stern HS, Rubin DB (2004) Bayesian data analysis, Edn 2. Chapman & Hall, Boca Raton.

伊藤昌明（2024）丸太接種によるカシノナガキクイムシの成育温量調査．令和 5 年度青森県産業技術センター林業研究所研究報告．xx-xx.

小南靖弘・佐々木華織・大野宏之（2019）メッシュ農業気象データ利用マニュアル Ver.4．農研機構.

中島春樹・松浦嵩遠（2015）「ナラ枯れ」はその後どうなったのか？ 富山県農林水産総合技術センター森林研究所研究レポート．10: 1-8.

大橋章博（2014）カシノナガキクイムシの発育零点と有効積算温度の試算． 中部森林研究． 62: 53-54.

大橋章博（2015）冬期の気温がカシノナガキクイムシの発生に及ぼす影響． 中部森林研究． 63: 11-14.

大野宏之・佐々木華織・大原源二・中園　江（2016）実況値と数値予報，平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成．生物と気象 16: 71-79.

R Development Core Team (2023) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.

Shoda-Kagaya E. Saito S. Okada M. Nozaki A. Nunokawa K. Tsuda Y. (2010) Genetic structure of the oak wilt vector beetle *Platypus quercivorus*: inferences toward the process of damaged area expansion. BMC Ecology. 15:10-21.

Stan Development Team (2023). RStan: the R interface to Stan. R package version 2.26.23. http://mc-stan.org/.