

カツラマルカイガラムシの発育ゼロ点および有効積算温度の推定

浦野忠久 (森林総研)・比留間脩 (山形大)

要旨: カツラマルカイガラムシに関して、温暖化にともなう将来の被害予測に利用することを目的として、発育ゼロ点 (T_0) および有効積算温度 (K) を推定するための飼育実験を行った。飼育はバターナッツカボチャを餌に用いて 20, 21, 22, 23, 24°C 一定の恒温器内で行い、各飼育温度における 1 世代所要日数を調査した。発育遅延の著しく生じたデータを除外し、温度と発育速度の 1 次回帰式から $T_0=12.2^\circ\text{C}$ および $K=770$ 日度を得られた。この値を発生予測用プログラムに入力した結果、野外で観察されたのとはほぼ同じ時期、年 2 回の発生が予測された。

キーワード: カツラマルカイガラムシ、発育ゼロ点、有効積算温度

Abstract: A rearing experiment of the armored scale insect, *Comstockaspis macroporana* (Takagi), was conducted to estimate its developmental zero (T_0) and effective accumulative temperature (K) for predicting the expanding areas of the damage by global warming. The scale insects were reared on butternut squashes at different temperatures of 20, 21, 22, 23, and 24°C in an incubator and surveyed the development period for one generation at each temperature. We derived $T_0=12.2^\circ\text{C}$ and $K=770$ day-degrees from the regression analysis between temperature and developmental rate. We input these values to a program for estimating the development of the scale insects and derived two occurrences per year that were almost identical with the prevalence of the field populations.

Keywords: *Comstockaspis macroporana*, developmental zero, effective accumulative temperature

I はじめに

カツラマルカイガラムシ (*Comstockaspis macroporana* (Takagi)) は半翅目マルカイガラムシ科の昆虫である。従来クリ園の害虫として知られていたが、2000 年頃から東日本の落葉広葉樹林における被害が拡大している。主な寄主はコナラ、クリなどであるが、激害林分では下層植生も含めた広範囲の樹種に被害が及ぶ場合がある。被害の症状は主として高密度に発生した本種個体の吸汁による枝枯れであるが、激害地では 4 割前後の樹木が枯死する例が知られている (11)。本種による被害は 1960~70 年代は西日本のクリ園において顕著であった (3)。しかし 1980~90 年代には関東地方のクリ園で激害が発生し (1), その後は 2000 年頃に山梨県において広葉樹林での被害が認められ、長野、新潟から東北地方へとその被害は北上している。このことから本種の分布拡大に地球温暖化が関与しているのではないかと考えることができる。ただし本種は元来北海道から九州にかけて分布しているため (6)、いわゆる南方性害虫の分布拡大 (10) とは異なり、温暖化のみに原因を特定することはできない。一方で被害地の現在の分布は山形県では標高 100~400m のコナラが優占する地域とほぼ一致し、その他広葉樹林の被害が顕著な山梨、長野、福島いずれの県においても

コナラにおける被害が最も大きい (9, 11)。しかし温暖化によって本種の分布が現在より高標高地に推移すると仮定した場合、本種がきわめて広食性であることを考慮すると、ミズナラやブナなどの樹種が被害を受けることが予想され、本種と温暖化の関係でいえばむしろこちらの方が重要ではないかと考えられる。

したがって将来の温暖化にともなう気温の変化によって本種の分布がどう変わるかを予測する必要があるが、そのためにはまず本種の発育と温度の関係を明らかにしなければならない。この関係を数式化する手段として最も多く用いられてきたのが積算温度法則である (7)。この法則に則って任意に設定したいくつかの恒温区で昆虫を飼育し、各温度区における発育日数の逆数(発育速度)と温度の回帰式より発育ゼロ点 (T_0) および有効積算温度 (K) を求めることができる。これらの値をある地域における気温と比較することにより、本種がその地域において生育可能であるかどうかを予測することができる。比留間ら (4, 5) は山形県のカツラマルカイガラムシ室内飼育データから $T_0=10.5^\circ\text{C}$, $K=1110$ 日度と推定した。この値を山形市の気温データに当てはめると年 1.5 化となり、野外での観察と併せて本種は山形では 2 年 3 化という特殊な化性を持つと予測した。しかし浦野ら (13)

Tadahisa Urano (For. and Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki, 305-8687, Japan), Osamu Hiruma (Fac. Agr., Yamagata Univ., Yamagata, 997-8555, Japan), Estimation of developmental zero and effective accumulative temperature of *Comstockaspis macroporana* (Takagi).

の野外調査では山形、福島、長野各県とも本種は年2化であり、成虫発生時期など細かい発育ステージの推移は3県の間でかなり一致していることが明らかになった。このことから、本種の室内飼育を行ってできるだけ多くの発育所要日数データを取り、 T_0 およびK値を再度推定することが望ましい。

そこで本研究では、福島県にて採集したカツラマルカイガラムシをカボチャを用いて恒温飼育し、あらためて T_0 およびK値の推定を行った。

II 材料と方法

福島県内で発生したカツラマルカイガラムシの被害枝は2009年より定期的につくば市の森林総合研究所に送られており、年2回(6~7月および9月)の孵化幼虫発生時期には被害枝をクリのポット苗(高さ約70cm)に固定して孵化幼虫をクリに寄生させ、ガラス温室(温度25~28°Cに調節)内で飼育を行っている。本研究の供試虫は、2012年に福島県喜多方市で採集したコナラおよびクリの被害枝から発生した幼虫をクリ苗に移し、1~2世代経過した後に発生した孵化幼虫をさらにカボチャに移したもの(図-1)を用いた。カボチャはバターナッツカボチャを用いた。マルカイガラムシ科昆虫はカンキツ果実、ジャガイモ、カボチャなどを代替餌として飼育可能であることが知られており(8)、北米のアカマルカイガラムシ *Aonidiella aurantii* (MASKELL)では天敵昆虫の増殖を目的とした大量飼育も過去に行われている(2)。カツラマルカイガラムシの飼育には、1世代経過させるのに2ヶ月以上かかる場合が多く、しかも本種は固着性であるため、一旦定着して摂食開始すると移動できない。したがって餌に求められる条件としては、長期間腐敗しないことが最も重要である。バターナッツは他のカボチャに比べてこの点で優れている。本試験には2012年に山形県で無農薬栽培されたカボチャを用いた。

クリ苗からカツラマルカイガラムシ孵化幼虫を移動させたカボチャは、プラスチック製バットにのせて恒温器(日本医科器械 LH-30-8CT)内で飼育した。設定温度は20, 21, 22, 23, 24±0.3°Cの5段階、日長は16L:8Dとした。飼育温度については、通常1°C刻みのような細かい間隔で設定すると誤差の影響を受けるため本来は望ましくない。しかしカツラマルカイガラムシの場合は25°C以上では1世代所要日数にほとんど変化がなく、温度-発育速度のグラフが頭打ちになってしまうため、 T_0 およびK値の推定には使用できない。また20°C未満では日数が長くなりすぎてカボチャの腐敗が生じ、飼育の成功率が下がるということが、比留間ら(4,5)の調査から

わかっている。したがって本研究では上記の温度設定で飼育を行った。各温度に対し、カボチャ2~4個を使用した。1つのカボチャ上ではおよそ300~1000個体を飼育した。飼育個体は2~3日間隔で発育状況を確認した。本種は1, 2齢幼虫の後、雄は蛹化して有翅の成虫となり、雌は成虫となるがそのまま固着状態が続き、交尾後に体内で産卵し、次世代幼虫が孵化する卵胎生である。しかし雌は介殻に覆われているため、個体ごとの繁殖を確認できない。したがって1世代の所要日数は、それぞれのカボチャ上にクリ苗から孵化幼虫を移した日から、次世代孵化幼虫の出現が初確認された日までとした。

上記の飼育から得たデータについては、横軸に温度、縦軸に1世代所要日数の逆数(=発育速度)をとって1次回帰式を求め、そのx切片を T_0 、x係数の逆数をKとした。得られた T_0 とKの値が野外における年2世代の生活史と合致しているかどうかを確認するため、比留間ら(5)が作成したカツラマルカイガラムシ発生予測用プログラムを使用した。このプログラムは気象庁の気象統計情報とリンクしており、 T_0 およびK値、予測開始年の第1世代孵化幼虫の発生日を入力することで有効積算温度の法則に基づいた計算を自動で行い、選択した地域における以後数年間のカツラマルカイガラムシ発生日を予測することができる。これによって室内飼育の結果得られた値が将来の分布予測に利用可能かどうかを判定した。

III 結果と考察

1. **カツラマルカイガラムシの室内飼育結果** 20~24°Cの各温度下で飼育したカツラマルカイガラムシの、カボチャごとの1世代所要日数を表-1に示した。1世代所要日数には同じ飼育温度でも大きなばらつきが認められ、20°Cでは2倍に近かった。このばらつきは個体間のばらつきを反映しており、1つのカボチャ上でも次世代孵化幼虫を産出している個体が見られる一方で、まだ1齢幼虫の個体が存在するといった状態であった。これはどのカボチャ上でも一部の個体に発育遅延が生じていたためと考えられる。本種の野外個体群は1齢幼虫で越冬するが、休眠生態に関してはほとんど解明されていない。飼育温度20~23°Cにおいて確認された1世代所要日数が100日を超えるサンプル(表-1のNo.2, 6, 7, 11)およびNo.14(24°C)については、そのすべての個体が発育遅延の状態にあったものと見なして、 T_0 およびK値の推定から除外した。

2. **発育ゼロ点および有効積算温度の推定** 表-1の結果をもとに飼育温度(T)と発育速度(V:1世代所要日数の逆数)の関係を表したグラフを図-2に示す。

決定係数は $R^2=0.7624$ で、相関は有意であった($P<0.001$)。この1次回帰式

$$V=0.00137-0.0158$$

より、発育ゼロ点 $T_0=12.2^{\circ}\text{C}$ および有効積算温度 $K=770$ 日度が得られた。

3. 発育ゼロ点および有効積算温度による発生日予測
上記で得られた数値を比留間ら(4)が作成したカツラマルカイガラムシ発生予測用プログラムに入力して得られた2010年から2012年の予測発生日を図-3に示す。なお、予測地域(アメダス観測地点)には福島県喜多方市を選択し、予測開始年(2010年)の第1世代孵化幼虫発生日を7月8日とした。浦野ら(12,13)から引用した2010年から2012年までに福島県磐梯町および喜多方市で採集した被害枝からの本種野外個体群における実際の発生日は表-2のとおりであった。プログラムからの予測値と比較すると、2010, 2011年の越冬世代および2012年の第1世代にややずれが生じているものの、年2世代のサイクルは再現できた。

今回の飼育調査で得られた数値について実際の野外個体群の生活史とさらに比較してみると、 12.2°C というやや高め発育ゼロ点は、野外におけるほぼすべての個体が1齢幼虫の段階で越冬することを可能にしていると考えられる。今回の飼育温度($20\sim 24^{\circ}\text{C}$)では、発育日数の個体差が大きく、その傾向は温度が低いほど顕著に見られた。野外において越冬世代が出現する9月後半以降、気温が低下していく中で発育期間が長引くことは、室内で見られたような個体間の著しい発育のばらつきにつながる可能性がある。したがって比較的早い時期、全個体が1齢幼虫の間に発育停止することで、翌年気温が上昇した後の発育と第1世代発生日のばらつきを抑えることができるのではないかと考えられる。ただし今回の解析においては休眠を考慮していないため、今後解明する必要がある。前記のガラス温室内のクリ苗木を用いた飼育では、照明を用いていないため温度のみがコントロールされた条件であり、今後は光周期が発育に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

温暖化による害虫被害の増加の原因として代表的なものに、年間世代数の増加を挙げることができる(14)。カツラマルカイガラムシの場合は東北から九州まで年2化であり、これは 25°C 以上の条件下では1世代所要日数に変化がないという比留間ら(4,5)の観察結果と一致する。したがって温暖化によってカツラマルカイガラムシの世代数が増加する可能性は小さく、冒頭で述べたようにこれまで本種の被害が認められなかった地域および樹種における被害の広がりについて、今回の結果を用いた分布

予測を今後行う予定である。

謝辞 本研究を行うにあたり、福島県内のカツラマルカイガラムシ被害枝の採集に協力いただいた福島県林業研究センターの蛭田利秀氏と、飼育用カボチャを提供いただいた山形県森林研究研修センターの斉藤正一氏にお礼申し上げる。なお本研究の一部は農林水産技術会議委託プロジェクト「地球温暖化が森林及び林業分野に与える影響評価と適応技術の開発」により行った。

引用文献

- (1) 合田健二(2007) 栃木県侵入害虫物語. 下野新聞社, 宇都宮, pp.163
- (2) FLANDERS, S.E. (1951) Mass culture of California red scale and its golden chalcid parasites. *Hilgardia* :21, pp.1-41
- (3) 平山好見・野上隆史・秋田忠夫・芝茂・宮崎政善(1973) 大分県におけるカツラマルカイガラムシの発生日態および防除について. 大分県農業技術センター研究報告 : 5, pp.1-36
- (4) 比留間脩・安田弘法・浦野忠久・斉藤正一・上野満・海老名寛(2011) カツラマルカイガラムシの大発生とその特異な生態, 見かけ上の年3化. 第55回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨 : pp.76
- (5) 比留間脩・安田弘法・浦野忠久・斉藤正一・上野満・海老名寛・岡田充弘・大澤正嗣・布川耕市・蛭田利秀(2010) 温暖化による寄生蜂-寄主相互作用の変化がカイガラムシを大発生させる?. 第54回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨 : pp.160
- (6) 河合省三(1980) 日本原色カイガラムシ図鑑. 全国農村教育協会, 東京, pp.455
- (7) 桐谷圭治(2001) 昆虫と気象. 成山堂, 東京, pp.177
- (8) ROSE, M. (1990) Rearing and Mass Rearing. In: Armored scale insects. Their biology, natural enemies and control. Vol. 4A (ROSEN, D. ed.), Elsevier, Amsterdam, pp.357-365
- (9) 齋藤直彦・在原登志男(2007) 福島県の広葉樹林で発生したカツラマルカイガラムシ被害. 森林防疫 : 56, pp.122-129
- (10) 積木久明編(2011) 地球温暖化と南方性害虫. 北隆館, 東京, pp.236
- (11) 上野満・斉藤正一(2007) 山形県におけるカツラマルカイガラムシ被害林の林分構造と更新状況. 森林防疫 : 56, pp.157-165
- (12) 浦野忠久・岡田充弘・蛭田利秀(2011) カツラマルカイガラムシ生息密度変化の個体群間比較. 第122回

日本林学会大会講演要旨集 (CD-ROM)

(13) 浦野忠久・斉藤正一・岡田充弘・蛭田利秀 (2012)
東日本3県におけるカツラマルカイガラムシの生活史
と個体群密度. 第123回日本林学会大会講演要旨集
(CD-ROM)

(14) 山村光司 (2010) 世代数増加と発生量の予測. 地球
温暖化と昆虫 (桐谷圭治・湯川淳一編). 全国農村教
育協会, 東京, pp.210-228



図-1. バターナッツカボチャで飼育中のカツラマルカイガラムシ

Fig.1. *Comstockaspis macroporana* reared on butternut squashes.

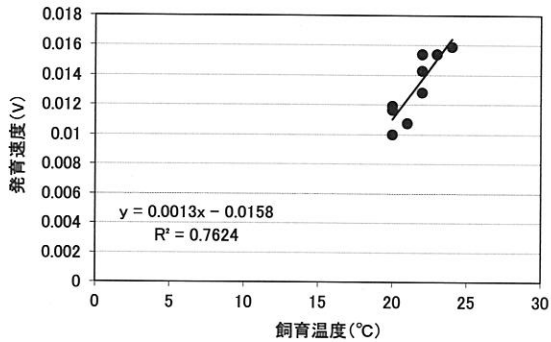


図-2. カツラマルカイガラムシ飼育温度と発育速度の関係

Fig. 2. Relationship between temperature and developmental rates of *Comstockaspis macroporana*

表-1. 各温度におけるカツラマルカイガラムシ飼育個体の1世代所要日数と発育速度

Table 1. Developmental period of one generation and developmental rate of *Comstockaspis macroporana* at different temperatures.

| カボチャ No. | 温度(°C) | 1世代所要日数(D) | 発育速度 (1/D)* |
|----------|--------|------------|-------------|
| 1 | 20 | 100 | 0.01000 |
| 2 | 20 | 164 | - |
| 3 | 20 | 84 | 0.01190 |
| 4 | 20 | 86 | 0.01163 |
| 5 | 21 | 93 | 0.01075 |
| 6 | 21 | 160 | - |
| 7 | 21 | 147 | - |
| 8 | 22 | 78 | 0.01282 |
| 9 | 22 | 70 | 0.01429 |
| 10 | 22 | 65 | 0.01538 |
| 11 | 23 | 104 | - |
| 12 | 23 | 65 | 0.01538 |
| 13 | 24 | 63 | 0.01587 |
| 14 | 24 | 87 | - |

*No. 2, 6, 7, 11, 14 に関しては発育遅延があるものと見なし, 計算から除外した (本文参照).

表-2. 福島県磐梯町および喜多方市におけるカツラマルカイガラムシ各世代の発生日

Table 2. Occurrence period of *Comstockaspis macroporana* in Bandai Cho and Kitakata City, Fukushima Prefecture.

| 年 | 第1世代 | 越冬世代 |
|------|-----------|-----------|
| 2010 | 6/28-7/13 | 9/15-9/28 |
| 2011 | 6/23-7/15 | 9/16-9/27 |
| 2012 | 6/21-7/11 | 9/13-9/21 |

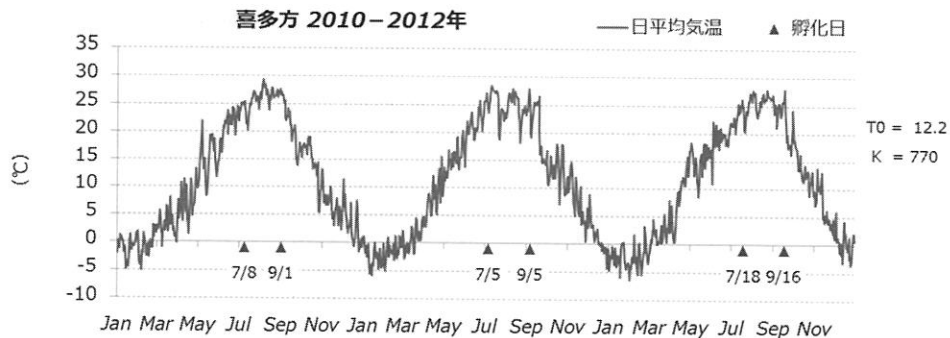


図-3. 2010年から2012年のカツラマルカイガラムシ予測発生時期

Fig. 3. Occurrences of *Comstockaspis macroporana* estimated from 2010 to 2012.