



## 函館市におけるアメリカシロヒトリの発生状況： 街路樹被害状況と防除のため基礎的研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 北海道教育大学 公開日: 2018-10-19 キーワード: 作成者: 三上, 修, 岡本, 瑞貴, 矢吹, 和也, 中川, 優奈 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.32150/00006730">https://doi.org/10.32150/00006730</a>

## 函館市におけるアメリカシロヒトリの発生状況

— 街路樹被害状況と防除のため基礎的研究 —

三上 修・岡本 瑞貴・矢吹 和也・中川 優奈

北海道教育大学函館校地域協働専攻生物学研究室

## The Fall Webworm in Hakodate City

- A Preliminary Study on Pest Control -

MIKAMI Osamu, OKAMOTO Mizuki, YABUKI Kazuya and NAKAGAWA Yuna

Department of Education, Hakodate Campus, Hokkaido University of Education.

### ABSTRACT

The fall webworm *Hyphantria cunea*, an alien species to Japan, was first found in Tokyo in 1945. On Hokkaido Island, this species was first discovered in Hakodate city in 2000. Recently, the number of cases in which the Hakodate city government has initiated extermination of fall webworms has increased, but basic information for controlling this pest species in Hakodate city is still scarce. Here, we aimed to examine the following three questions in relation to Hakodate city: (1) Which tree species are more likely to be damaged by fall webworms? (2) Do Japanese great tits *Parus minor*, a predator of the fall webworm, reduce the damage to street trees by fall webworms? and (3) How many growing degree-days (GDD) do larvae of the second generation of fall webworms require to become pupae? We found that: (1) *Platanus × acerifolia* and *Fraxinus sieboldiana* suffered severe damage from fall webworms, especially in the fall; (2) Japanese great tits did not reduce the negative effect of fall webworms on street trees; and (3) the GDD estimated in Hakodate city was lower than that previously reported in Akita City, which means that the fall webworms in Hakodate city pupate in a fewer number of days as compared to those in Akita city.

### 緒言

街路樹はさまざまな機能を持っている (Seamans,

2013; Forman, 2014)。たとえば、道路と歩道の遮蔽によるガードレール効果、防音防風効果、緑陰効果などである。さらに火事の延焼を防ぐため

の防火帯としての機能を担っている場合もある。そして近年は、都市域のヒートアイランド現象の緩和、あるいは都市の生物多様性を保全するための役割としても重要視されるようになってきた (Seamans, 2013; Forman, 2014; Gillner et al., 2015)。これら街路樹は、道路法において街灯および道路標識と同じく道路の付属物として扱われているため (平塚, 1997)、道路管理者である国や自治体は適切に管理をする必要がある。街路樹は、風雨、病害虫、自然枯死などにより影響を受けるが、特に毎年発生しうる病害虫対策は管理者にとって大きな問題である。

街路樹を食害する昆虫の1種としてアメリカシロヒトリが挙げられる。アメリカシロヒトリ *Hyphantria cunea* (Drury) は北米原産のチョウ目ヒトリガ科の外来種昆虫で、現在ではヨーロッパから東アジアの広い地域に侵入している (Warren and Tadic, 1970; Schowalter and Ring, 2017)。日本では1945年に東京で初めて侵入が確認され (Masaki, 1975)、その後、急速に分布を広げ、現在では日本のほとんどの都道府県で見られるようになった (五味, 2010)。アメリカシロヒトリの幼虫は、世界では400種以上 (Wagner, 2005; Mason et al., 2011)、日本では337種の植物を食害することが確認されており (長谷川, 1966)、日本の侵略的外来種ワースト100にも指定されている (日本生態学会, 2002)。

アメリカシロヒトリの基本的な生活史は、成虫が年に2回発生する2化性である (五味, 1992; Gomi, 1997)。蛹で越冬し晩春から初夏にかけて羽化し成虫となる (越冬世代)。この成虫が産卵し、そこから生まれた幼虫は1~5齢までは巣網を張って集団で生活し、6~7齢は分散し単独で生活し、蛹化を経て成虫 (第1世代成虫) となる。この第1世代の成虫から生まれた幼虫 (第2世代幼虫) も同様に1~5齢までは巣網を張り、その後単独生活へ移行する。第2世代幼虫は秋に蛹化し、休眠越冬して翌年に羽化する。基本的には2化性であるが、1990年代半ばから日本南西部では3化性への進化が起きている (Gomi et al., 2004,

2007, 2009)。

アメリカシロヒトリは、2000年には北海道で初めてとなる函館市への侵入が確認された (館, 2000, 2001)。函館市では2001年にも発生したが (館, 2002)、2002年から2009年までは発生していない (近藤ら, 2009)。2010年以降に再び発生が見られた。函館市から提供された2010年から2015年の毛虫 (アメリカシロヒトリおよびドクガ) の駆除件数によれば (Fig. 1)、2010年から2013年は微増傾向にあり、2014年以降に急増した。アメリカシロヒトリの発生は1978年には青森県で確認されていた (五味, 1992) にも拘わらず、北海道へは侵入できないと考えられていた。なぜなら、アメリカシロヒトリが十分に個体数を増やすためには年に2世代が回る (秋世代が蛹化して次年の個体数増加に寄与すること) が必要であり (Itô et al. 1968; 伊藤 1972)、既存の研究の有効積算温度からでは函館市では気温が低すぎ年2世代を完了できないと考えられてきたからである。

アメリカシロヒトリは、本州で侵入した当初は広い地域の街路樹に大きな影響を与えたが、現在は不定期に発生が起こるものの、かつてほどの勢いはなくなった。一方、侵入の歴史が浅い北海道では今後、どのような影響を及ぼすか不透明である。そこで本研究では、函館市におけるアメリカシロヒトリの被害の現状を把握し、今後の発生の予測および対策を考案するために、以下の3つの調査を行った。

まず、函館市の一部の街路樹に対して、樹種ご

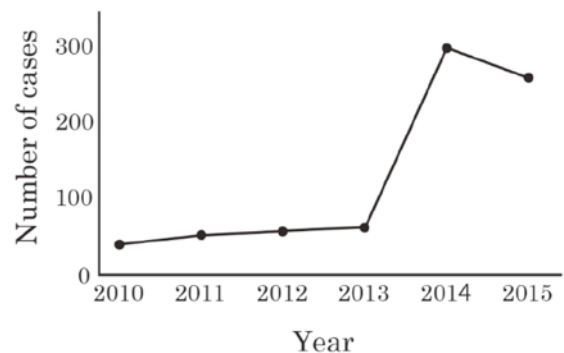


Fig. 1. Number of cases in which the Hakodate city government exterminated fall webworms and other caterpillars.

とおよび季節ごと（夏期と秋期）の食害の程度を調査した。すでに本州でどのような樹種が食害されているかは知られている（長谷川, 1966）が、函館市でも同様かを確かめるためである。

次に、生物防除の可能性を探るために、アメリカシロヒトリによる街路樹の食害がシジュウカラ *Parus minor* の存在によって低減されるかを検証した。アメリカシロヒトリの天敵として鳥類と昆虫類が挙げられ（Hasegawa and Itô, 1967; Itô and Miyashita, 1968; Schowalter and Ring, 2017; Wagner, 2005; Watanabe 2005）、生物的防除として、中国ではヒメコバチ科の *Chouioia cunea* による駆除を行っている（Yang et al., 2006, 2014）。日本国内でも、在来の天敵昆虫によりアメリカシロヒトリの防除が可能かもしれないが、日本の人口密集地において昆虫類を大量に放つのは住民感情などから難しいと思われる。そこでアメリカシロヒトリの幼虫を捕食するシジュウカラ（Itô and Miyashita, 1968）による生物的防除の可能性を探ることを目的とした。鳥による昆虫の防除は海外での研究例はあるが（e.g. Jedlicka et al., 2011）、日本の都市における定量的な評価は初めてと思われる。

最後に、2016年のアメリカシロヒトリの発生時期から、函館市で観察されるアメリカシロヒトリの各ステージ、とくに秋世代が蛹化するのに必要な有効積算温度（Growing degree days; GDD）を推定した。これを推定するのは2つの目的がある。ひとつは今後の発生時期を簡易的に予測するためである。もうひとつは、なぜ近年になって函館市に侵入してきたのかを検討するためである。前述したように、アメリカシロヒトリは、北海道では年2回の発生はできないはずであった。それゆえ、近年になってからアメリカシロヒトリが繁殖できるようになったのは、函館市の気温が上昇したことで年2回の発生ができるようになった可能性と、2化性から3化性が進化した（Gomi et al., 2004, 2007, 2009）時のように成長に必要な有効積算温度が下がった可能性の2つが考えられる。このどちらか、あるいは両方なのかを明らか

にするために、函館市の過去の平均気温からみて、秋世代（第2世代）が蛹化することが過去において可能であったかを検討した。

本論文では以上3つの調査結果を報告し、北海道函館市におけるアメリカシロヒトリの発生状況と対策について考察した。

## 材料および方法

### 調査1：街路樹被害の調査

アメリカシロヒトリによる街路樹の被害状況を把握するために、函館市内の中心部の7つの通り（Fig. 2）を調査範囲とした。7つの通りは、それぞれA：五稜郭通り（1.33km）、B：新興通り（1.08km）、C：ときわ通り（1.17km）、D：3・3・24中環状線（1.65km）、E：八幡通り（1.32km）、F：梁川公園通り（0.80km）、G：放射2号線（1.23km）である（括弧内の数字は、調査した距離）。これらの通りは、長谷川（1966）を参考にし、アメリカシロヒトリが食害する樹種が多い通りを選んだ。これらの通りにあった以下の18種を対象とした；モミジバズブカケノキ（プラタナス） *Platanus × acerifolia*、ナナカマド *Sorbus commixta*、ヤチダモ *Fraxinus sieboldiana*、トチ



Fig. 2. Seven studied streets (A to G) and the numbers of trees studied in the summer. When the number of trees in the fall is different from that in the summer, it is shown in the parentheses.

ノキ *Aesculus turbinata*, ハシドイ *Syringa reticulata*, ケヤキ *Zelkova serrata*, ムラサキハシドイ (ライラック) *Syringa vulgaris*, サクラ属 (*Cerasus* spp.), ギンドロ *Populus alba*, オニグルミ *Juglans ailantifolia*, イチョウ *Ginkgo biloba*, ハリエンジュ (ニセアカシア) *Robinia pseudoacacia*, カエデ属 (*Acer* sp.), シダレヤナギ *Salix babylonica*, イチイ *Taxus cuspidata*, ウメ *Prunus mume*, クワ属 (*Morus* sp.), シダレカツラ *Cercidiphyllum japonicum*。同じ通りには同じ樹種が並んでいる傾向があった。

調査は、第1世代幼虫による被害については、2016年7月7日～7月22日の3週間(以後、夏期)、第2世代幼虫による被害については2016年9月9日～10月2日の4週間(以後、秋期)の各週に行なった。アメリカシロヒトリによる樹木への被害を評価するために、対象木がある歩道に対し通りを挟んで反対側の歩道から1本ずつ観察し、樹形の葉の部分縦3横2の6区画に分け、各区画の巣網の有無を調べた。これにより被害の程度を0から6の範囲で評価した。ただし本結果では被害の有無(0か1以上)だけを用いた。最も木の本数が多い八幡通りでは、調査時間を短縮するために10本観察し10本飛ばしてまた10本観察する方法で行った。それ以外の通りは全本数を調査した。調査した街路樹の総本数は、夏期が719本、秋期は713本であった(Fig. 2)。季節により違いがあるのは2016年8月30日に北海道に上陸した台風10号によって損害を受けた木が切られたためである。

#### 調査2：シジュウカラの分布調査

アメリカシロヒトリの幼虫を捕食するシジュウカラの分布が、アメリカシロヒトリによる街路樹被害の発生場所に影響するかを検討するために、シジュウカラの分布を調査した。時期は、アメリカシロヒトリの発生時期およびシジュウカラの個体ごとの繁殖期のずれを考慮して、2016年6月4日～8日、7月1日～7日とし、4時00分～6時00分の間に行なった。調査範囲は、街路樹被害調査を行う7つの通りを含むおよそ2km<sup>2</sup>内とした。この範囲でルートセンサスを行い、シジュウカラ

の姿を確認した場合はその位置を、鳴き声は聞こえるが建物に遮蔽されるなどして姿が確認できない場合は、推定位置を地図上に記録した。シジュウカラの各個体を標識していないので、個体ごとの正確な行動圏はわからないが、一般に知られているシジュウカラのテリトリー面積である1ha前後(Krebs, 1971)を考慮して大まかな行動範囲を推測した。そしてシジュウカラが頻繁に観察される範囲でかつ街路樹がある場所を、シジュウカラによるアメリカシロヒトリの駆除効果がある実験区とし、その実験区の中で木の本数の多い樹種を選びだした。シジュウカラが全く確認されなかった場所で、かつ前述の樹種が見られる場所を対照区として、アメリカシロヒトリ第1世代幼虫による街路樹への被害数を比較した(Fig. 3)。被害数はシジュウカラの繁殖期と重なる調査1の夏期の結果を用いた。

#### 調査3：発生に必要な有効積算温度の推定

2016年の函館市におけるアメリカシロヒトリの各ステージに達する時期を、調査1およびそれ以外の期間については任意な観察により最初に記録された日として求めた。この根拠として限られた範囲の観察においてあるステージに達する個体が観察されるということは、すでに十分な数があるステージに達していると考えられるためである。記録された日から、第1世代幼虫発生、第2世代幼虫発生、第2世代蛹化に必要な有効積算温度を推定した。気温のデータは国土交通省気象庁(<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>, 2017年2月2日閲覧)のウェブサイトから函館(函館地方気象台)の記録をダウンロードして用いた。有効積算温度の計算法には複数のものがある(McMaster and Wilhelm, 1997)。もっともよく使われるのは「(1日の最高気温+1日の最低気温)/2-基準となる気温」である。これは1日の気温の推移が、高温と低温の間を同程度に推移することを仮定している。そこで可能な限り推移の変化を考慮するために、Itô et al. (1968)および桐谷(2012)を参考に、発育ゼロ点を10℃とし、1時間ごとに10℃を超えていればその値に

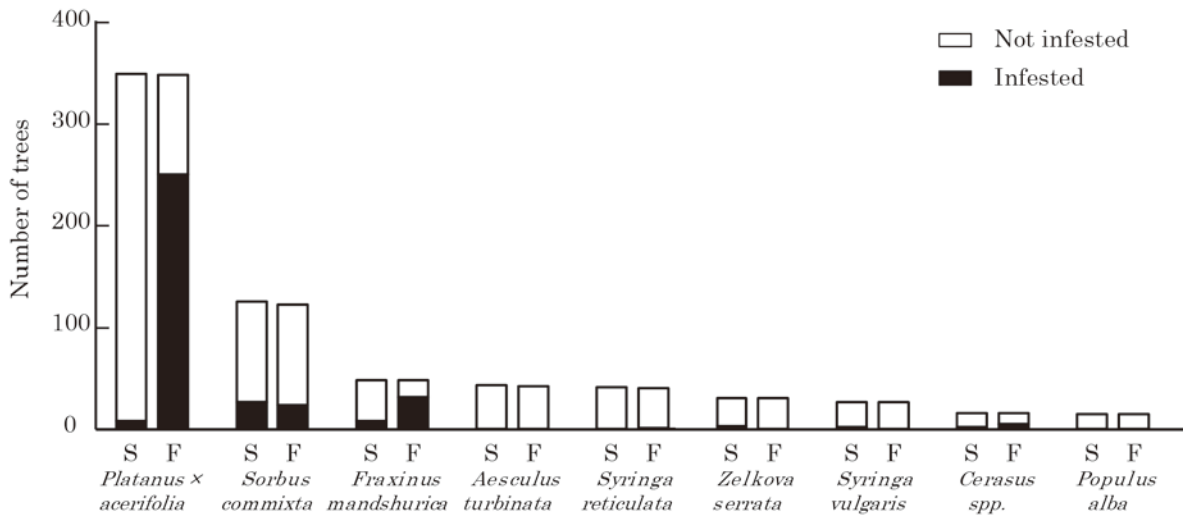


Fig. 3. Number of trees infested by *Hyphantria cunea* in the summer (S) and the fall (F).

1/24をかけて、超えていなければ0℃を積算した。つまり有効積算温度を時間単位でより精度高く求めた。ただし1989年までの気温については3時間ごとの記録しか無かったので、3時間ごとの値に対し3/24をかけて積算した。なお函館市ではおおむね5月上旬から11月上旬までの間が日平均気温は10℃以上になる期間である。

こうして求めた有効積算温度を、既知の有効積算温度と比較するために、正確な値のある中では函館市に近い、五味（1992）が測定した秋田市の個体群の値を用いた。さらに函館市における過去の気温が、上記2つの有効積算温度に達しているか確認するために、発育ゼロ点を10℃とし、前述と同様に1980年から2016年までの各年の有効積算温度を算出した。

#### 解析方法

調査1に関し、夏期と秋期それぞれにおいて樹種によってアメリカシロヒトリによる被害に偏りがあるかをフィッシャーの正確確率検定で検定した。その際、本数の少なかった、オニグルミ（6本）、イチョウ（4本）、ハリエンジュ（4本）、カエデ（2本）、ヤナギ（2本）、イチイ（1本）、ウメ（1本）、ヤマグワ（1本）、シダレカツラ（1本）は除き、相対的に本数が多かった、プラタナス、ナナカマド、ヤチダモ、トチノキ、ハシドイ、ケヤキ、ライラック、サクラ、ギンドロの9種のみを対象とした。また、夏期と秋期の差について

も、フィッシャーの正確確率検定を行なった。その際、多重比較を考慮するためにHolm法を用いた。実際には、同じ樹種は空間的に近くにあり、被害をあたえるアメリカシロヒトリにも集合性があり、夏期と秋期は独立な事象ではないかもしれないが、それらをすべて統制するのは困難なため、ここでは簡易的に上記の方法により解析した。

調査2については、シジュウカラの行動圏内(実験区)と対照区で、樹種ごとに総本数に対して被害のあった本数をフィッシャーの正確確率検定により検定した。その際、多重比較を考慮するためにHolm法を用いた。

なおすべての解析にはR version 3.3.1 (R Core Team 2016)を用いた。

## 結果

### 街路樹の被害状況

Fig. 3に調査した街路樹18種のうち本数が多かった9種について、各種の調査本数と、夏期、秋期に1箇所でも巣網が確認された木の本数を被害本数として示した。夏期（フィッシャーの正確確率検定,  $df=8$ ,  $p<0.01$ ）、秋期（フィッシャーの正確確率検定,  $df=8$ ,  $p<0.01$ ）とも樹種によって食害率は有意に異なっており、プラタナス、ナナカマド、ヤチダモの本数が多く、被害も多かった。被害の総本数及び割合は、夏期は51本

(7%), 秋期は319本(45%)であり, 夏期と秋期で被害率に統計的有意差が見られたのはプラタナス(フィッシャーの正確確率検定,  $df=1, p<0.01$ )とヤチダモであった(フィッシャーの正確確率検定,  $df=1, p<0.01$ )。

シジユウカラの分布と街路樹被害状況

合計131地点でシジユウカラの鳴き声および姿を確認した。地点の分布は, 北海道教育大学函館校近辺, 大川公園, 梁川公園などの都市緑地の近くに集中していた。シジユウカラが頻繁に観察される範囲でかつ調査した街路樹がある場所をFig. 4のように実験区として設定した。実験区内で十分な本数があった樹種はプラタナスとナナカマドであった。そこでプラタナスとナナカマドがあり, かつシジユウカラの鳴き声および姿が確認されなかった場所を対照区として設定した(Fig. 4)。そして, 実験区と対照区でプラタナスとナナカマドの被害率を比較した(Fig. 5)。プラタナスの被害率は, シジユウカラの行動圏内外で差は見られなかったが(フィッシャーの正確確率検定,  $df=1, p=0.28$ ), ナナカマドの被害率は, 行動圏内外で有意な違いがあり(フィッシャーの正確確率検定,  $df=1, p<0.05$ ), シジユウカラの行動圏内でより被害率が高かった。



Fig. 4. Estimated area where *Parus minor* were present or absent.

アメリカシロヒトリ発生に必要な有効積算温度の推定

五味(1992)による秋田市の値によると, 越冬世代から第1世代幼虫発生に必要なのは約400日度, 第1世代幼虫が蛹化するのに必要なのは437日度(積算では837日度), 蛹期間には160日度(積算では997日度), 成虫の前産卵期期間及び卵期に約100日度(積算では1,097日度)が必要だった(小数点以下は四捨五入)。これに, 第2世代幼虫が蛹化するのに必要な437日度を足すと, 秋世代が蛹化して越冬するためには1,533日度が必要であることが示された(Table 1)。なお, これらの値は実験個体のうち50%の個体にとっての有効積算温度である。

この値を用いて, 函館市の日平均気温から類推すると, 2016年の第1世代の幼虫の発生日は7月

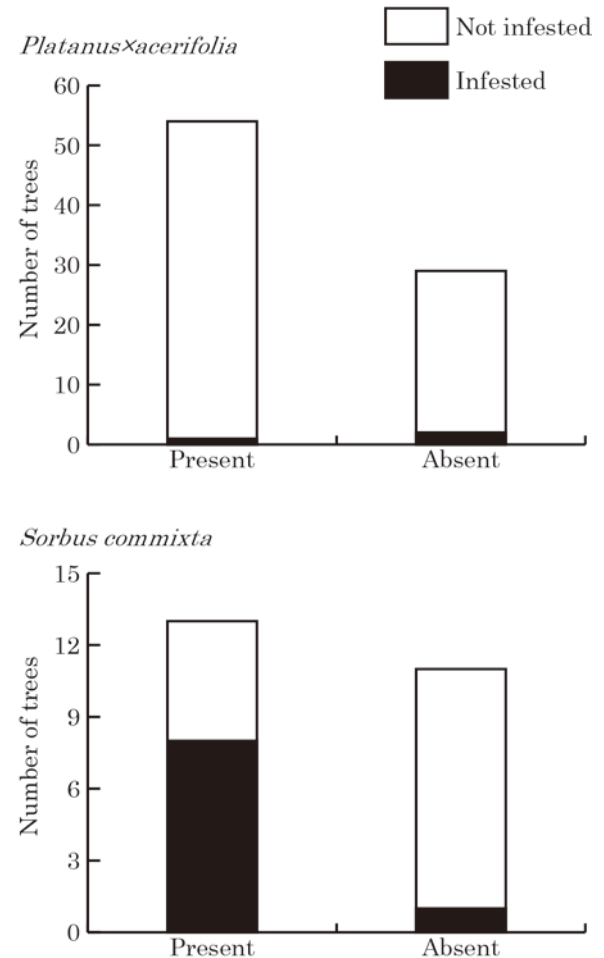


Fig. 5. The number of trees infested and not infested by *H. cunea* in the areas where *Parus minor* were present and absent.

Table 1. 実 Growing degree days of of *Hyphantria cunea* in Akita and Hakodate.

Developmental stage	Growing degree days	
	Akita (from Gomi 2010)	Hakodate (estimated)
1st generation larvae hatch	400	338
1st generation larvae pupate	837	—
1st generation pupa emerges	997	—
2nd generation larvae hatch	1097	—
2nd generation larvae pupate	1533	1397

11日、第2世代の幼虫の発生日は9月2日、そして第2世代は蛹化できないはずだった。しかし実際は、第1世代の幼虫を最初に確認したのは7月1日であり、9月2日には第2世代の4齢幼虫と思われる個体を、また第2世代の蛹化を10月5日に多数確認した。この結果から2016年の函館市の気温から換算すると、越冬世代から第1世代の幼虫発生に必要なのは338日度、第2世代幼虫が蛹化するのに必要な有効積算温度は1,397日度となった (Table 1)。この推定値は、五味 (1992) のように十分な個体数のもと半数の個体にとっての有効積算温度を調査したわけでは無く、あくまで簡易的な値である。

Fig. 6に、10℃を基準とした函館市における1980年から2016年の各年における1月1日から12

月31日までの有効積算温度を示した。五味(1992)が秋田市の個体群を対象にして求めた第1世代、第2世代の幼虫発生および第2世代蛹化に必要な有効積算温度を用いると、どの年も第1、第2世代の幼虫発生に必要な有効積算温度に達しているが、第2世代の蛹化に必要な有効積算温度には達していなかった。一方、前述の1,397日度を用いると、2000年と2010年以降に連続してこの有効積算温度に達していた。

## 考 察

### 街路樹被害の状況

街路樹の被害本数は夏期よりも秋期に多かった (Fig. 4)。これはアメリカシロヒトリの個体数が

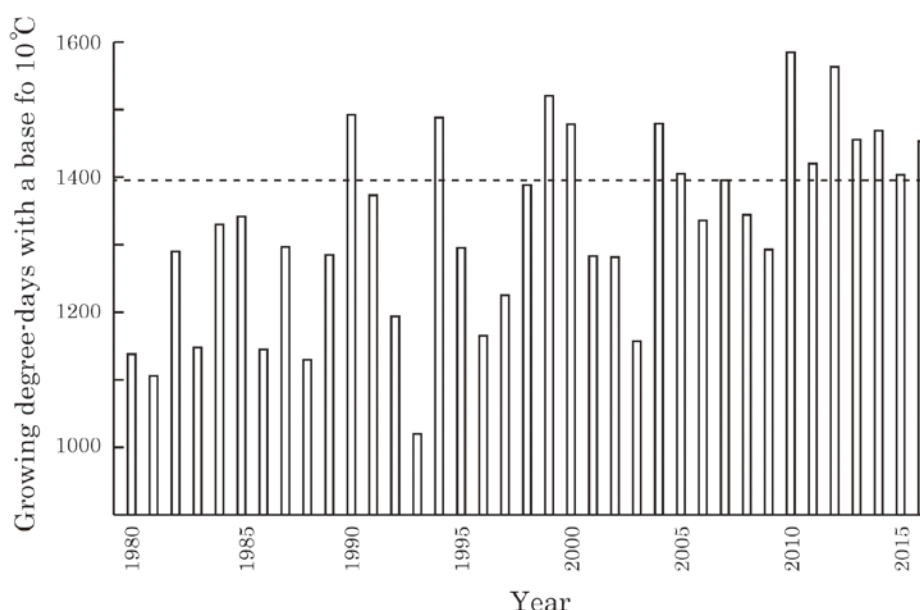


Fig. 6. Annual growing degree-days (GDD) in Hakodate City. The dot line is the estimated GDD required for the larvae of the second generation of *H. cunea* to become pupae in Hakodate City.

第1世代よりも第2世代で増えたからと考えられる。また樹種により被害率に違いが見られた (Fig. 4) が、これはアメリカシロヒトリが樹種を選んでいる効果と、同じ通りには同じ樹種があり空間的に近いために被害が起きやすかった (正の空間的自己相関) という両方の効果が含まれているものと思われる。

被害率は、樹種によっては夏期と秋期で異なっており、プラタナスとヤチダモは、夏期よりも秋期に被害本数が多かった。一方、ナナカマドの被害率は変わらなかった (Fig. 4)。樹種によって被害率が異なる理由として2つのことが考えられる。1つは、樹種あるいはアメリカシロヒトリの生理的な変化によって、アメリカシロヒトリが好む樹種が夏期と秋期で異なる可能性である。アメリカシロヒトリの食餌植物に関する研究 (北尾ら, 1962) でも、葉の物理的性状が幼齢幼虫の食餌に影響する可能性について指摘している。もう1つの可能性として、函館市役所がアメリカシロヒトリの駆除のために行っている枝の剪定の影響が考えられる。2015年の函館市の報告によると、秋にプラタナスの剪定が多く行われていた。街路樹は同じ樹種が並んでいることが多いので、多くのプラタナスが剪定されれば通り単位でアメリカシロヒトリの個体数が減少し、その結果、局所的にアメリカシロヒトリの第1世代によるプラタナスへの被害が減った可能性がある。

### シジュウカラによる効果

プラタナスの被害はシジュウカラの行動圏内外で差が見られなかったが、ナナカマドでは予想に反してシジュウカラの行動圏内で被害が大きかった (Fig. 5)。この理由として3つ考えられる。1つは調査方法の問題である。シジュウカラはアメリカシロヒトリが4齢以降になると主に捕食し始める (伊藤, 1972)。そのため1~5齢を対象とする巣網の調査ではシジュウカラによる抑制効果を十分に評価できなかった可能性がある。2つ目はシジュウカラが営巣する都市緑地には樹木が多いため、アメリカシロヒトリの出現数も高く、双方が相関してしまったためというものである。3

つ目はシジュウカラがアメリカシロヒトリの天敵昆虫などを捕食することで、アメリカシロヒトリの発生を促進したというものである。

少なくとも本調査で行ったように、シジュウカラの行動圏を大まかに推測しその内外で被害の程度を比べるという方法で効果が検出されるほど、シジュウカラによるアメリカシロヒトリの低減効果は大きくないと考えられる。

### 函館市における有効積算温度

秋田市での第2世代蛹化に必要な有効積算温量は1,533日度であった。一方、2016年の函館市の発生記録から推定したものでは、それより約136日度低く1,397日度と推定された (Table 1)。

この違いに対して3つの可能性が考えられる。

まず、実際の有効積算温量は秋田市の個体群と函館市の個体群では違いがなく測定方法の違いによる可能性である。五味 (1992) の推定は実験室で行ったものであり、アメリカシロヒトリ個体が実際にさらされる気温を測定している。対して本研究で2016年の発生から推定したものは、函館市の气象台で記録された値から推定しているため、街路樹でアメリカシロヒトリが受ける温度は異なる可能性がある。たとえば野外では人工構造物からの排熱や直射日光が当たることで、より高い温度にさらされる個体もいる可能性がある。加えて本研究の結果は十分な個体数を観察して平均を出したものではない。実際、五味 (1992) でも平均よりも数日早く成長を進める個体がいることが示されており、有効積算温量で換算すると40~60日度平均より早く成長が進む個体が確認されている。

次に、日本国内における2化性と3化性が進化したように (Ozaki and Ohbayashi, 2001; Gomi et al., 2004)、函館市のアメリカシロヒトリ個体群は (少なくとも一部の個体は)、本州の個体群から派生し必要な有効積算温度がより低くなったものである可能性である。

最後は、函館の個体群が秋田市の個体群よりも必要な有効積算温度が低いという点では同じだが、本州由来ではなく、より低い有効積算温度をもった別の個体群のアメリカシロヒトリが侵入し

た可能性である。世界的な外来種のデータベースである Global invasive species database (<http://www.iucngisd.org/gisd/> 2017年2月2日閲覧)によれば、日本より緯度の高い中央ヨーロッパにおいて、アメリカシロヒトリは年2回の発生が確認されており、そういったより低温でも発生が可能な個体群が函館に侵入した可能性がある。

この3つの可能性の検証は、今後、有効積算温度については詳細な実験により、また個体群の由来については遺伝的な解析により明らかにできるだろう。

#### 今後の発生予測と過去における未発生理由

本研究で推定した第2世代蛹化に必要な1,397日度という値は、個体が受ける値としては正確さを欠いている。しかし函館市の気温から「この程度の有効積算温量があればアメリカシロヒトリが発生する」という推測をするのには有用である。たとえば、ある年の日平均気温について発育ゼロ点を10℃とした場合の積算値が、上記の値を下回っていれば、第2世代の多くの個体は蛹化できないため、翌年の大発生は起きないと予測できる。

さらに、この値を用いて過去になぜ発生しなかったかを検討した。Fig. 6に、1980年から2016年の1月1日から12月31日までの有効積算温度と、今回推定した第2世代蛹化に必要な1,397日度を示した。アメリカシロヒトリの個体数が増えるには、2年以上連続して有効積算温度を超える気温が必要であると考えられる。なぜなら、ある年に単年で気温が十分に高かったとしても、前年からの越冬世代の個体数が少ないので大発生にはつながらない。そのように考えると2000年と2001年に発生したのは、1998年と1999年の気温が高く第2世代の蛹化が起これば2000年の春に十分な個体数が発生したためと説明できる。それに続く2001年は発生は起きて被害もあったが、気温が低くその年の秋に蛹化できなかったため (Fig. 6)、2002年以降はしばらく発生が見られなかったと考えられる。さらに近年になって駆除件数が増えたことも、2010年と2011年の高い気温で個体数が十分に増え、その後も気温の高い年が続く、秋世代の蛹

化が可能であり継続的に起きて個体数が増えたためと説明できる。

むしろ、アメリカシロヒトリの発生は気温だけに影響を受けるわけでは無い。Gomi (1997) および五味 (2010) にあるように光の感受性も重要であるし、天敵の個体数にも影響をうける。それゆえ、気温だけで全ての説明がつくわけではないが、少なくとも函館市では、気温で換算して1,397日度程度の有効積算温度があれば、その翌年はアメリカシロヒトリの発生が起これるとして警戒する必要がある。また地球規模での温暖化により2076年から2095年の日本の年平均気温は現在と比べて4.5℃上昇すると予測されている (気象庁2017)。気温が上がれば、現在の函館の個体群がさらに北上する可能性がある。

#### 今後、検討すべきこと

今後の調査で明らかにすべきこととして、被害樹種については、今回得られた傾向が、別の年でも同じなのか確認する必要がある。また今回は調査範囲を絞ったので樹種も絞られたが、函館市内の街路樹にはアメリカシロヒトリの食餌植物として、高木としてハリエンジュ *Robinia pseudoacacia*、低木としてツツジ類 (リュウキュウツツジ *Rhododendron mucronatum*、ヒノデツツジ *Rhododendron kiusianum* 'Hinode' など) も多い (函館市 <http://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2014011500525/> 2017年2月2日閲覧)。これらの樹種の被害程度も調べる必要がある。実際、定量的な数値はないがハリエンジュに関しては多くの被害が見られている。

シジウカラによるアメリカシロヒトリの抑制効果は検出されなかった。伊藤 (1972) によれば、1つの巣網に属する200~300の幼虫が1日で捕食され、それが4日間続いたことを記録している。定量的なデータはないがシジウカラはアメリカシロヒトリの成虫も食べる (伊藤, 1972)。しかしそれでも、シジウカラの都市における自然の密度では、アメリカシロヒトリの発生を抑えるほどの効果がないのかもしれない。シジウカラは巣箱をかけることで通常よりも密度を高められる

(峯岸, 2005) ので, 今後, 巣箱の設置によりシジユウカラの密度を高めることで, シジユウカラの防除効果を検証する必要がある。

今後の発生に警戒するためにモニタリング調査が必要である。北海道での発生が, 今後本州のように不定期な発生で収まるのか, それとも大規模な食害を起こすのか不透明である。有効積算温度をより正確に推定し, 被害樹種の範囲, 程度について, また地域の広がりについてモニタリングをしていく必要がある。

## 謝 辞

函館市土木部施設管理課の吉田浩樹氏, 川井大知氏からは函館市の駆除状況などの記録を頂いた。北海道教育大学名誉教授の長谷昭氏からは, 樹種の同定, アメリカシロヒトリの発生状況および, 本原稿に関し重要なコメントを頂いた。三上かつら氏にも全文を読んで頂き, 有益なコメントを頂いた。荒奏美氏, 天野健太氏, 石川堯海氏, 工藤璃香氏には論文作成において貴重なご意見を頂いた。以上の方々にお礼申し上げる。

また本研究は, 平成28年度北海道教育大学学長戦略経費「駆除費用軽減および児童への環境教育教材開発を目的としたシジユウカラによるアメリカシロヒトリの生態防除に関する研究」からの助成を受けて実施した。

## 引用文献

Forman, R. T. T. (2014) *Urban Ecology Science of cities*. Cambridge University Press, Cambridge. 478 pp.  
 Gillner, S., J. Vogt, A. Tharang, S. Dettmann and A. Roloff (2015) Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. *Landsc. Urban Plan.* 143: 33-42.  
 五味正志 (1992) アメリカシロヒトリの生活史特性における地理的変異の形成と化性変化の機構. 神戸大学博士論文. 神戸大学. 123 pp.  
 Gomi, T. (1997) Geographic variation in critical photoperiod for diapause induction and its temperature dependence in *Hyphantria cunea* Drury (Lepidoptera:

Arctiidae). *Oecologia* 111: 160-165.  
 五味正志 (2010) アメリカシロヒトリ: 生活史の適応. 植物防疫64: 7-10.  
 Gomi, T., K. Adachi, A. Shimizu, K. Tanimoto, E. Kawabata and M. Takeda (2009) Northerly shift in voltinism watershed in *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiidae) along the Japan Sea coast: Evidence of global warming? *Appl. Entomol. Zool.* 44: 357-362.  
 Gomi, T., M. Muraji and M. Takeda (2004) Mitochondrial DNA analysis of the introduced fall webworm, showing its shift in life cycle in Japan. *Entomol. Sci.* 7: 183-188.  
 Gomi, T., M. Nagasaka, T. Fukuda and H. Higahara (2007) Shifting of the life cycle and life history traits of the fall webworm in relation to climate change. *Entomol. Exp. Appl.* 125: 179-84.  
 長谷川仁 (1966) アメリカシロヒトリの侵入と発生の問題点. 関東病虫研報13: 5-16.  
 Hasegawa, H. and Y. Itô (1967) Biology of *Hyphantria cunea* Drury (Lepidoptera: Arctiidae) in Japan. I. Notes on adult biology with reference to the predation by birds. *Appl. Entomol. Zool.* 2: 100-110.  
 平塚 明 (1997) 緑の都市景観を支える地下環境—立体的な都市環境管理をめざして—. 季刊地理学49: 296-299.  
 伊藤嘉昭編 (1972) アメリカシロヒトリ 種の歴史の断面. 中央公論社, 東京. 185 pp.  
 Itô, Y. and K. Miyashita (1968) Biology of *Hyphantria cunea* Drury (Lepidoptera: Arctiidae) in Japan. V. Preliminary life tables and mortality data in urban areas. *Res. Popul. Ecol.* 10: 177-209.  
 Itô, Y., K. Miyashita and H. Yamada (1968) Biology of *Hyphantria cunea* Drury (Lepidoptera: Arctiidae) in Japan. VI. Effect of temperature on development of immature stages. *Appl. Entomol. Zool.* 3: 163-175.  
 Jedlicka, J. A., R. Greenberg and D. K. Letourneau (2011). Avian conservation practices strengthen ecosystem services in California vineyards. *PLoS ONE* 6: e27347.  
 桐谷圭治 (2012) 日本産昆虫, ダニの発育零点と有効積算温度定数: 第2版. 農環研報31: 1-74.  
 気象庁 (2017) 地球温暖化予測情報 第9巻. 気象庁, 東京. 79 pp.  
 北尾淳一郎・安藤博夫・向山文雄・神岡四郎 (1962) アメリカシロヒトリの食餌植物. 日蚕雑31: 413-420.  
 近藤 健・大林隆司・小野 剛・竹内浩二・井川 茂・小谷野伸二 (2009) 小笠原諸島父島におけるアメリカシロヒトリの発生消長. 関東病虫研報56: 103-106.  
 Krebs, J. R. (1971) Territory and breeding density in the Great tit, *Parus major* L. *Ecology* 52: 2-22.

- Masaki, S. (1975) Biology of *Hyphantria cunea* Drury (Lepidoptera: Arctiidae) in Japan: a review. *Rev. Plant Prot. Res.* 8: 14-28.
- Mason, P. A., S. R. Wilkes, J. T. Lill and M. S. Singer (2011) Abundance trumps quality: bi-trophic performance and parasitism risk fail to explain host use in the fall webworm. *Oikos* 120: 1509-1518.
- McMaster, G. S. and W. W. Wilhelm (1997) Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agric. For. Meteorol.* 87: 291-300.
- 峯岸典雄 (2005) 巣箱の設置数のスズメとシジユウカラ類の営巣数への影響. *Bird Research* 1: A9-A14.
- 日本生態学会 (2002) 外来種ハンドブック. 地人書館, 東京. 390 pp.
- Ozaki, K. and T. Ohbayashi (2001) DNA comparison of Japanese populations of *Hyphantria cunea* with divergent life cycles. *Entomol. Sci.* 4: 47-52.
- R Core Team (2016) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Schowalter, T. D. and D. R. Ring (2017) Biology and management of the fall webworm, *Hyphantria cunea* (Lepidoptera: Erebididae). *J. Integr. Pest Manag.* Online first. doi: 10.1093/jipm/pmw019.
- Seamans, G. S. (2013) Mainstreaming the environmental benefits of street trees. *Urban For. Urban Greening* 12: 2-11.
- 館 和夫 (2000) 函館にアメリカシロヒトリ発生. 森林保護280: 43.
- 館 和夫 (2001) 速報 函館にアメリカシロヒトリ発生. 森林防疫50: 71-72.
- 館 和夫 (2002) 函館のアメリカシロヒトリ・その後. 森林保護287: 19.
- Wagner, D. L. (2005) *Caterpillars of eastern north America*. Princeton University Press, Princeton, NJ. 512 pp.
- Warren, L. O. and M. Tadic (1970) The fall webworm, *Hyphantria cunea* (Drury). *Ark. Agric. Expt. Sta. Bull.* 759: 1-106.
- Watanabe, M. (2005) Parasitism and over-wintering status of tachinids (Diptera) on larvae of the fall webworm, *Hyphantria cunea* Drury (Lepidoptera: Arctiidae), in the Kanto Region of Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 40: 293-301.
- Yang, Z. Q., J. R. Wei and X. Y. Wang (2006) Mass rearing and augmentative releases of the native parasitoid *Chouioia cunea* for biological control of the introduced fall webworm *Hyphantria cunea* in China. *Biocontrol* 51: 401-418.
- Yang, Z. Q., X. Y. Wang and Y. N. Zhang (2014) Recent advances in biological control of important native and invasive forest pests in China. *Biol. Control* 68: 117-128.

(三上 修 函館校准教授)

(岡本 瑞貴 函館校元学生)

(矢吹 和也 函館校元学生)

(中川 優奈 函館校院生)

