

トコジラミ防除技術の最新情報 —米国とUKの場合

環境生物コンサルティング・ラボ 技術士 平尾 素一

1. はじめに

2009—2019年まで計6回、本誌に海外のトコジラミに関する話題を提供した。日本ではトコジラミの殺虫剤抵抗性の研究報告はあるが、生態や防除に関する研究報告は最近めっきり少なくなった。しかし、世界では米国を中心に相変わらず数多くの研究論文が報じられている。今回は2年ぶりに、米国でのトコジラミに関する最近の研究成果や話題などから主として防除に関する興味のあるものを紹介した。

2. 新型コロナ(Covid-19)蔓延下でのトコジラミ防除は低調

米国のペストコントロール業界の様子は、2つの業界誌PCT (Pest Control Technology)とPMP (Pest Management Professional)が発信するニュース、月間雑誌、毎年の害虫ごとの調査報告などで知ることができる。調査は通常、何社かの大手薬剤メーカーが、調査専門会社Readex Researchに依頼しているが、その結果が毎年上記業界紙に紹介されたが、トコジラミに関する最も新しい情報は、PCT誌の2020年12月号の特集記事である。

1990年代から始まったトコジラミ防除の需要は順調に伸びてきた。その平均的伸び率は、2016-2017年は12.8%、2017-2018年は15.1%、2018-2019年は14%であった。トコジラミ施工の売上げが、どの程度各社の売上げ成

績に貢献しているかの調査では、「大いに貢献している」が2017年は68%、2018年は66%、2019年は61%となっている。少しずつ下がっているようであるが、これはお客さんが減ったというより、取り扱うPCO社の数が年々増加し、競合が激しくなったことに起因しているとPCT社は述べている。トコジラミ・マーケットを簡単に表現すると“Growing (成長)”から“Steady (安定・着実)”へ変化を遂げている。施工先にはあまり変化はなく、ファミリー向けのアパートが49%、単身者向けハウスが35%、ホテル等が7%、病院・ヘルスケアが7%、ホームレス用仮住宅が2%、オフィスが1%、学校が1%となっている。

しかし、2020年に入り、新型コロナウイルスによる市民生活への大きな変化はトコジラミ防除の市況にも暗い影を落としている。2020年の春頃の調査では、悪影響がまだあまり報じられていなかったが、8月4-17日に行なわれたアンケートの結果(n=223社)が11月号に報じられたが、PCOの1/3 (32%)は問い合わせ数が減少したと述べている。テキサス州の大手PCOではトコジラミの仕事は1/2に減少した。これは市内全体のロックダウン、旅行禁止、海外からのインバウンド客の激減などで人々の移動が大幅に減少したことが大きな要因のようである。2つの大きいホテルでの仕事がなくなったとか、介護施設や老人ホーム

では外部からのウィルスの持ち込みを恐れたのか、仕事を中止する所も増加したと嘆きの声も聞かれる。見知らぬ人が施設内へ立ち入ることに強い抵抗感があるようだ。アパート、店舗、小売店などでも利用者が激減した。中には閉店しているところもあり、そこでの防除業務にも悪影響を与えている。会社の収入の10%前後を占めていたトコジラミの仕事も、2020年の3-8月の間に40-60%も減少している。最近の暖かい環境下に生きているトコジラミは、吸血しなくても半年は生きているため、防除を休止しても、どこかに潜伏、生息し続け、2021年にCovid-19が収束すれば、再び被害が顕在化するであろうと言われている。

3. 最近のトコジラミ防除技術のトレンドは“Proactive”である

PCT誌の2019年12月のニュースで、“Proactive Bed Bug control programは役立つ”という記事が紹介されていた。“Proactive”とはコマーシャルではよく耳にするが、聞きなれない言葉である。辞書を引くと“傾向”と和訳されているが、何のことかよく理解できない。これは、「イニシアチブをとり、予測して行動すること、即ち先行する学習により導き出された色々な結論に従い、より良い手段を採用して問題を解決をする」という意味のようである。

米国でトコジラミが問題になり始めたのは1990年代で、被害が顕在化し始めたのは2000年以降である。2010年頃にはすでに全米に拡大していた。当初の防除法は主に室内で使用許可されていたピレスロイド剤を発生個所に処理する方法であったが、すでにトコジラミは強い抵抗性を持っていたため駆除に失敗することも多かった。2006-2009年頃になると、米

国の大学の研究者によりピレスロイド系殺虫剤に強いトコジラミ抵抗性があることが次々と発表されるようになった。そのため、代替法の一つとして、室内に熱風を送り込んで室温を上げ、熱でトコジラミを駆除するという方法が試されるようになった。室内実験では、45℃で7時間、48℃なら90分、50℃なら1分の加熱でトコジラミが死亡することが判明したので、電気或いはプロパンガスで空気を熱し、室内に熱風を送り込み、室温を上げて駆除をするという試験が行われた。その後、熱風を効率よく発生させるいろいろな機種が発売されるようになった。この方法は実際には効果はあったが、設備的に経費が掛かることより(熱風送風器20-40万円)、防除費用もかなり高額になり、効果の問題点もあった。室内の加熱を始めるとトコジラミはより温度の低い所へ逃げ出すようで、隣室や引き出しの奥深く、革張り家具の裏側、床下の隙間、など熱の届きにくい箇所に逃れ、そこに潜伏して生き残る個体が存在することも判明した。

筆者は2002年と2003年米国カンサス大学で行われた製粉工場での食品害虫駆除のための加熱作業の実験に立ち会う機会を得た。プロパンガスを利用した熱風を布製の風洞で工場内に送り込み温度を上げ食品害虫を駆除しようとする大がかりな実験である。温度が上がるとともに至る所からぞろぞろとコクヌストモドキ現れ、やがて少しでも温度の低い所を求め、壁と床の接合部などに集合したり、シャッターの下から逃げ出す個体なども多く見かけるようになった。同じことがトコジラミにも起こっているようで、パデュー大学での研究によると、室温50℃で6-8時間加熱するとすべてのトコジラミは死亡するはずであるが、ドアの下の隙間

トコジラミ防除技術の最新情報—米国とUKの場合

から逃げたり、ソファーや本箱の奥深くに潜り込んで助かる個体もいることを問題にしていた。あまり長く加熱すると家具などを傷めたり、場合によっては火災の危険もあった。

その後、トコジラミ用散布剤としてピレスロイドとネオニコチノイド系の混合製剤が開発され、トコジラミに即効性であることが判明したため、再び殺虫剤処理が対策の主流になり、施工価格も比較的安価に落ち着いているという。

PCT誌の2020年12月のトコジラミ特集号ではPCOが利用する防除法を多い順に示している(n=184)。

① 殺虫剤処理	97%
② マットレスの包み込み	62%
③ モニタリング	48%
④ 吸い取り	48%
⑤ 熱風送風加熱	28%
⑥ スチーム加熱	26%
⑦ 探知犬による調査	16%
⑧ ガス燻蒸	12%
⑨ 超冷却	4%

となっており、施工物件ごとにこれらの手段を単独または複数を用いてうまく組み合わせることで効果を上げている。通常、年に2-4回の調査を行い、その結果、生き残った個体や、新たに持ち込まれた個体を発見するとその場ですぐに処理をし、年間を通じて「いない状態に保つ」という“Proactive”な年間管理方法を採用しているところが多くなったという。

4. トコジラミの防除効果を妨げるもの

防除効果を妨げるものが2つあげられている。1つは殺虫剤抵抗性のため効力が低下することである。近年、効果のあるネオニコチノ

イド剤が開発されたおかげでこのところ、抵抗性への関心は少なくなっている。アンケート調査で「抵抗性の管理が難しい」と答えた人はわずか3%で、「抵抗性は重大な問題であるが管理は可能である」と答えた人は32%、「抵抗性で苦労した例はめったにない」と答えた人は69%、「まだ抵抗性に出会ったことはない」と答えた人は36%で、目下のところ新しいトコジラミ駆除用薬剤には抵抗性は問題にはなっていないようである。

もう一つ防除がうまくいかない理由の一つに“Low prep. Bed bug service”と呼ばれる顧客が増えていることがあげられている。トコジラミ防除のためお客さんに予め室内の整理整頓を依頼しておくが、行ってみると全くできていない客のことで、室内の整理整頓が極めて悪く、殺虫剤や熱の届かない潜伏箇所が至る所にあるという物件である。

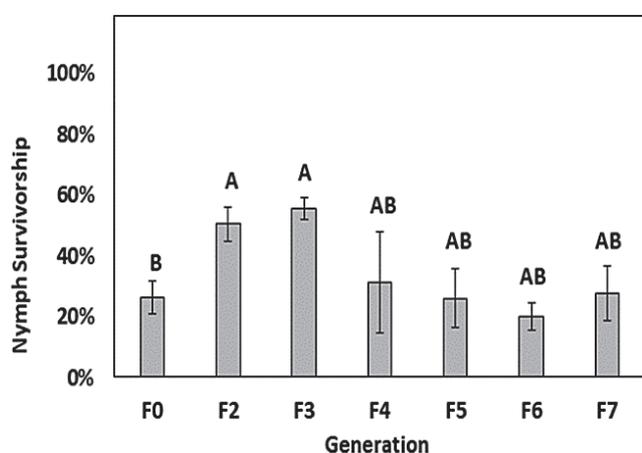
PCOに対し、このような物件でも施工をするのか？ という質問に対して、「はい」と答えた人は、2017年は38%、2018年には48%と増えている。業者の半分はこのような物件は施工しないと答えていることになる。中には、整理・整頓・清掃を別料金で請求し、施工を成功させているケースもあるという。

PCOのクレーム率を見ると、クレーム0%は24%、1-2%が33%、3-4%が17%、5-9%が13%、10-14%が10%、15-19%が3%、20%以上が2%となっている。PCOの実に60%はクレーム率0-2%であり、目下防除効果は好調のようである。

5. 加熱の繰り返しによりトコジラミの耐熱性は発達するか？

3.で紹介したように、トコジラミ駆除の一つの方法に室内に熱風を送り込み室温を50℃

くらいまで上げ60分くらい加熱して殺すという方法がある。米国では広く行われているが、昆虫の種類によっては徐々に熱に強くなる耐熱性問題が発生することがある。トコジラミでは現実にそういうことが起こることはないか？ 市中ではすでに耐熱性系統が混在しているのではないかと？ などが問題になっていた。パデュー大学ではその耐熱性系統の試験¹⁾を行っているので紹介した。



標準系統(ハーラン系)の、4-5令のトコジラミの75%を殺すことができる45℃、60分間という条件で加熱し、生き残った幼虫に血液を与えて産卵させた。この2世代目(F2)が4-5令幼虫になったとき、再び熱を加えるということを繰り返した。図に見るように3世代目(F3)までは生存率は56%迄伸びたが、その後の4世代目以降は生存率23-25%に減少している。このことより、トコジラミは耐熱性系統を発達させる能力は低いとみなされている。

1) Aaron Ashbrook et al.(2019): Bed bugs exhibit limited ability to develop heat resistance; <https://doi.org/10.1371/>

6. トコジラミは恐竜時代から生きていた!

Current Biology¹⁾という米国の学術誌の2019年5月号に発表されたもので、トコジラミの仲間的一种は、恐竜が跋扈していた1億年以上も前から生きていたのではないかと報じられた。我々が聞いてきたのは、トコジラミは人類が出現し、洞窟に住み着くようになると、そこに生息していたコウモリに寄生するトコジラミがヒトにも寄生するようになったというものである²⁾。今回の発表によると、これまでの通説よりはるかに昔から生息していたようで、少なくとも1億年前には既に存在していたのではないかとということが分かってきた。ヒトとつながりのある種類のトコジラミは4700万年前に登場している。霊長類が出現したのが約6500万年前、類人猿と人類が分かれたのが700万年前、更にホモサピエンスへの進化は30-50万年前とされているから、人類があらわれるよりはるか昔からトコジラミは生息していたことになる。

研究チームはトコジラミ科(Cimicidae)の進化過程を再構築するため何百人もの研究者に標本の提供を求め、62か所から集めた34種のDNAを分析している。勿論、自分たちでもトコジラミを採取するため、洞窟に入り、コウモリの糞に足を取られながらトコジラミを採取している。2002年にスタートし、2015年には進化系統図を描いている。ルーツは遠く、白亜紀(1億4500万年-6600万年前)で、Quasicimex eilapinastetesと呼ばれるトコジラミの祖先を、米カンサス大の昆虫学者マイケル・エンゲルが2008年に1億年前の琥珀の中に発見したことが直接的証拠となった。コウモリは恐竜の絶滅後に出現していることから、恐竜は最も古い宿主ではなかったようで、1億

トコジラミ防除技術の最新情報—米国とUKの場合

年前にどんな生物に寄生していたかはまだ謎とされている。

- 1) Steffen Roth et al (2019); Bed bug evolved before their bat hosts and did not co-speciate with ancient humans. *Current Biology*, DOI:10. cub.2019.04.048
- 2) Sailer (1952): The Bed bug. And old bedfellow that' s still with us. *Pest Control* 20(10)

7. スチームクリーナーによるトコジラミ駆除の問題点

マットレス、毛布、シーツ、枕など人が直接接触れるものにトコジラミが生息する場合、殺虫剤を処理することは好ましくない。通常スチームクリーナーでその個所を加熱して駆除する方法が採用されている。その場合どれくらい加熱すればよいか問題となる。即ち、スチームクリーナーをどれくらいのスピードで移動させるかである。

Pereiraら(2009)¹⁾は、トコジラミ成虫を加熱によって駆除するには、41℃で100分、49℃なら1分と報じている。Benoit(2009)²⁾は、成虫なら48℃1時間ですべて死亡と報じている。スチームクリーナーを生息場所に当て加熱で駆除する場合、機器のタイプ、性能に左右されるが、どのメーカーの、どれくらいの性能のものを使用するかで移動スピードは変わってくる。そのため、現場で効力をチェックしながらその場に見合った処理時間を決定する必要があると言われている。

Puckettら(2013)³⁾らによると、スチームクリーナーのヘッドを10秒間に30cmのスピードで動かしながら蒸気加熱すると表面温度は74℃になり、死亡率は幼虫で80%以上、雄成虫で

100%であったと報じている。

不十分な蒸気処理では100%は殺せない。スチームクリーナーのヘッドの移動スピードが速すぎて加熱不十分な場合、トコジラミは床に落下してそのまま生き延びることがある。また、シーツやソファカバー等が厚すぎて熱が十分に達しない場合もある。Rukkeら(2015)⁴⁾によると長期間高温に暴露され、生き残った個体は、成虫寿命の短縮、繁殖能力の低下などの可能性があるとしている。Wangら(2018)⁵⁾によると、蒸気加熱し、1日後に生き残ったトコジラミの行動をCO₂の存在下で10分間測定したところ、雄の動きは非加熱の対象区に比べ少し行動は上回った(有意差アリ)が、雌では差がなかったと報じた。吸血性については、加熱した個体は対象区より有意に減少したと報じている。

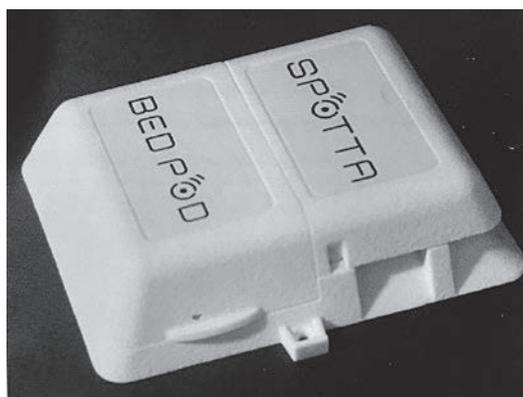
- 1) Pereira, R. M., P. G. Koehler, M. Pfiester, and W. Walker. 2009. Lethal effects of heat and use of localized heat treatment for control of bed bug infestations. *J. Econ. Entomol.* 102: 1182-1188.
- 2) Benoit, J. B., G. Lopez-Martinez, N. M. Teets, S. A. Phillips, and D. L. Denlinger. 2009. Responses of the bed bug, *Cimex lectularius*, to temperature extremes and dehydration: levels of tolerance, rapid cold hardening and expression of heat shock proteins. *Med. Vet. Entomol.* 23: 418-425.
- 3) Puckett, R. T., D. L. McDonald, and R. E. Gold. 2013. Comparison of multiple steam treatment durations for control of bed bugs (*Cimex lectularius* L.). *Pest Manag. Sci.* 69: 1061-1065

- 4) Rukke, B. A., A. Aak, and K. S. Edgar. 2015. Mortality, temporary sterilization, and maternal effects of sublethal heat in bed bugs. PLoS One. 10: e0127555.
- 5) Desen Wang, Changle Wang, Chen Za. 2018. Effect of steam treatment on feeding, mating, and fecundity of the common Bed Bug(Hemiptera: Cimicidae). J. of Medical Entomology, Vol.55,(6):1536-1541

8. 探知・配信型トコジラミ探知トラップ

トコジラミ対策で、捕獲トラップの利用は生息の有無や防除効果の判定上、重要である。

いくつかのトラップが商品化されている。平滑な垂直面を登れないことを利用した捕獲タイプや粘着シートで捕獲するものが多い。更に捕獲効率を上げるため誘引剤も研究されている。炭酸ガス、人の体温程度のヒーターによる加熱、ヒトの汗の成分、などが利用されているが、誘引力がいま一つということで集合フェロモンに期待が寄せられていた。カナダのサイモン・フレーザ大学のGreis教授ご夫妻らのグループが集合フェロモンとして5つの揮発性成分、dimethyl disulfide, dimethyl trisulfide, (E)-2-hexanal, (E)-2-octenal, 2-hexanoneと Arrestant と呼ばれる揮発性の低いヒスタミン系の定着成分を同定したことが2014年に報じられた¹⁾。その後Contech Enterprises社が商品化をしていると聞いていたが、20億円近い負債で倒産したというニュースが出ていた。残念なことである。チャバネゴキブリでも集合フェロモンやArrestantが発見されたが、製品化には至っていない。そんな中、英国のケンブリッ



ジ大学を卒業した2人のエンジニアが2016年頃から開発したトラップがある。トラップに捕獲されると、トコジラミであることを自動的に判定し、直ちにスマホに連絡するというシステムを開発し、注目を集めている。ホテルなどでは定期的に訪問し、トラップを回収し、発見すればそれから駆除するという方法が一般的であるが、対応に遅れが出る。このトラップでは素早く効率的な対応が可能とされている。現在ヨーロッパで使用されているが、ホテルで使用したところ、ハウスキーピングの人が発見したケースは2.5%で、お客さんが見つけたケースが3.3%に対し、このトラップで発見したケースは94.2%という結果が出たと報じている。筆者もまだ試してはいないが、事実であるとすれば、有力な武器になりそうである。

- 1) Regine Greis, Prof. Robert Britton, Michael Holmes, Huimin Zhai, Jason Draper, Prof. Geharh Gries (2014): Bed bug aggregation pheromone finally identified; *Angewante Chemie International Edition*. Vol.54, (4), p1135-1138 [https:// doi.org/10.1002/anie.20140989](https://doi.org/10.1002/anie.20140989)