



殺虫剤研究班のしおり

事務局：(一財)日本環境衛生センター環境生物・住環境部内；

〒210-0828 川崎市川崎区四谷上町 10-6；TEL 044-288-4878；FAX 044-288-5016

郵便振替：口座番号 01710-6-0126034，口座名称：日本衛生動物学会殺虫剤研究班

目次

2021 年度殺虫剤研究班集会報告	2
I 新規殺虫剤テネベナール®の効果	
新規殺虫剤テネベナール® (一般名：プロフラニリド) のチャバネゴキブリに対する効果 大橋駿樹 (三井化学アグロ)	4
新規殺虫剤テネベナール® (一般名：プロフラニリド) のトコジラミに対する効果 原田恵理 (アース製薬)	9
II ジメチコン含有製剤のアタマジラミに対する臨床効果	
ジメチコン製剤のコロモジラミ成虫、卵に対する駆除効果 菅野夏基 (アース製薬)	17
ジメチコン製剤のアタマジラミに対する臨床研究 山口さやか (琉球大学)	21
III 常温揮散型ピレスロイド製剤の蚊に対する効果	
アフリカのマラリア媒介蚊に対する空間忌避製剤の効力と作用性評価 川田 均 (長崎大学)、大橋和典 (住友化学)	24
常温揮散性ピレスロイドを有効成分とする樹脂蒸散剤の蚊に対する効果 菊田幸雄 (大日本除虫菊)	45
常温蒸散原体を用いたエアゾール製剤の実地における蚊の忌避効果 佐々木智基 (フマキラー)	52
IV コロナ禍の防除現場の変化	
コロナ禍におけるトコジラミ現場の変化 小松謙之 (株式会社シー・アイ・シー)	55
新型コロナ流行中のトコジラミ駆除事例 足立雅也 (あだち PCO コンサルティング)	59

2021 年度殺虫剤研究班集会報告

日 時： 2022 年 4 月 8 日（金） 12:30-15:10

会 場： ハイブリッド開催（WebEx）

参加者： 会場参加者 20 名

最大接続パソコン数 91 台

参加費： 2022 年度集会は特例として無料開催とした。

2022 年度総会では、下記の事項が報告・審議され、承認された。

1. 会員動向 団体会員 8(±0) 個人会員 38(-2)

2. 2021 年度決算：

期間：2021.4.1～2022.3.31

収入		支出	
2020年度繰越金	1,752,566	印刷費	0
大会参加費	0	通信運搬費	2,416
団体会員年会費		会議費	0
（2020年度分）	5,000	講師謝金・交通費	20,000
（2021年度分）	40,000	雑費(和田先生弔電)	5,940
個人会員年会費		アルバイト代	0
（2019年度分）	2,000		
（2020年度分）	6,000		
（2021年度分）	74,000		
（2022年度分）	6,000		
雑収入	0		
合計	1,885,566		28,356
差引残高(2021年度繰越金)			1,857,210

3. 役員

委員長：橋本知幸

委員：足立雅也、葛西真治、川田 均、木村悟朗、千保 聡、富田隆史

任期：2021年4月1日～2024年3月31日

4. 会費：¥5,000（団体会員）、¥2,000（個人会員）

5. 事務局

所在地：〒210-0828 川崎市川崎区四谷上町10-6

（一財）日本環境衛生センター環境生物・住環境部内

電話：044-288-4878 Fax：044-288-5016

E-mail: seibutsu@jesc.or.jp

I 新規殺虫剤テネベナール®の効果

新規殺虫剤テネベナール®（一般名：プロフラニリド）のチャバネゴキブリに対する効果

大橋駿樹（三井化学アグロ株式会社）

1. 新規有効成分テネベナールについて

テネベナールは三井化学アグロ株式会社が開発した既存の殺虫剤とは全く異なるメタジアミド系の殺虫剤で、殺虫剤の作用性分類である IRAC※分類において世界で初めてグループ 30 に分類された（図 1）。農業害虫や生活環境害虫に対して高い基礎活性を示すことに加え、新規作用性を有することにより既存の殺虫剤に抵抗性を示す害虫に対しても卓越した効果を発揮する。また、哺乳動物に対する毒性が低い殺虫剤で、臭いや刺激もほとんどないことから、農業場面や生活環境場面、木材保存場面など様々な分野で展開されている。

※Insecticide Resistance Action Committee（殺虫剤抵抗性対策委員会）の略称。

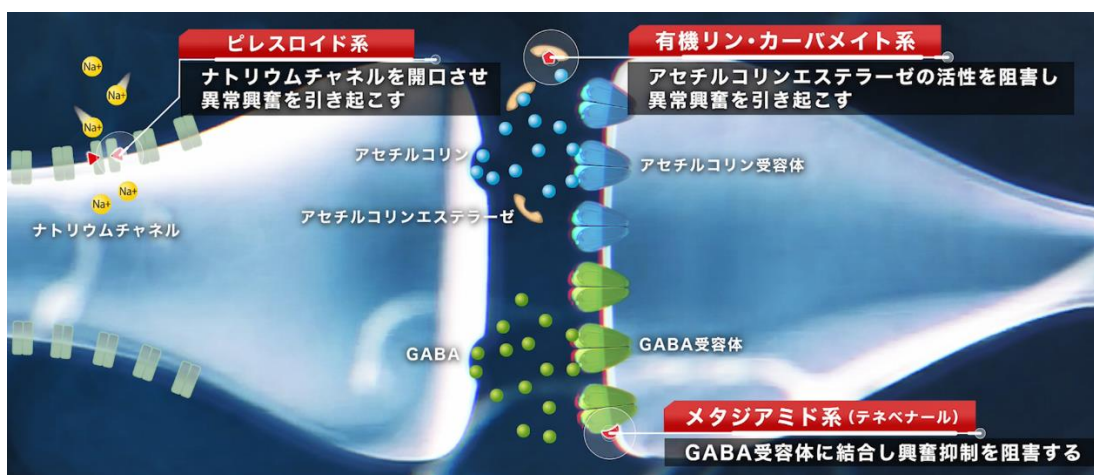


図 1 現在国内においてゴキブリ用散布剤※として展開されている主要な殺虫剤の作用性メカニズム

※ゴキブリ用散布剤：ゴキブリに適用がありハンドスプレーヤー等で噴霧処理が可能な製品

2. ベクトロン®FL について

ベクトロン FL は有効成分テネベナールを 5%配合したフロアブル剤であり、厚生労働省の承認を取得した防除用医薬品である。ゴキブリ、ノミ、トコジラミ（ナンキンムシ）、イエダニの駆除に適用を持ち、水で 50 倍に希釈し、1 m²あたり 50mL の割合で、害虫の生息又は発生場所に残留噴霧して使用する薬剤である。また、低臭・低刺激性で、哺乳動物及び魚類に対する毒性が低い薬剤となっている。本報では本剤の特長、チャバネゴキブリの駆除事例及びユーザーアンケート結果を報告する。

3. 特長①：新規作用性

同じ系統の殺虫剤を連続して使用すると、やがてその系統に抵抗性を獲得したゴキブリが出現・増殖することが知られている。ベクトロン FL の有効成分テネベナールは、既存の殺虫剤とは全く異なる新しい作用性により、既存剤に抵抗性を獲得したゴキブリに対して

も高い効力を示すことが確認されている（図 2）。但し、本剤を連続使用することによる抵抗性発達のリスクを回避するために、他系統殺虫剤とのローテーション処理が重要である。

		テネバナール		フェントロチオン		プロベタンホス		ペルメトリン		フィプロニル	
		LD ₅₀ (ng/虫)	R/S比	LD ₅₀ (ng/虫)	R/S比	LD ₅₀ (ng/虫)	R/S比	LD ₅₀ (ng/虫)	R/S比	LD ₅₀ (ng/虫)	R/S比
感受性系統	伝研系	4.81	-	151		176		94.9		0.761	
現場採取 チャバネ ゴキブリ	千代田系	34.8	7.2	10000>	65>	1970	11.2	9870	104	102	134
	京都系	17.9	3.7	2490	16.5	980	5.6	10000>	100>	154	202
	大阪系	16.3	3.4	4480	29.7	2000>	11>	13100	138	227	298
	高槻系	18.4	3.8	4930	32.6	1220	6.9	10000>	100>	231	304
	神戸系	13.2	2.7	9600	63.6	1120	6.4	10000>	100>	75.9	100

図 2 現場採取チャバネゴキブリに対する微量滴下試験 結果

LD₅₀（個体群半数致死薬量：ng/虫）を測定し、R/S比^{*}を算出した。その結果、既存剤に抵抗性を獲得した現場採取系統のチャバネゴキブリに対しても R/S 比は 10 以下で交差抵抗性を示さなかった。

※R/S 比：現場採取ゴキブリの LD₅₀ ÷ 伝研系（感受性）の LD₅₀ この値が 10 を超えると抵抗性を獲得

4. 特長②：連鎖効果

連鎖効果とは、薬剤に触れたゴキブリが、薬剤に直接触れてないゴキブリにも殺虫効果を広げる現象である。ベクトロン FL の持つ“高い基礎活性”“非忌避性”“遅効性”が組み合わせることで、連鎖効果を発揮する（図 3）。これにより、直接薬剤を処理することが困難なスポットのゴキブリに対しても、高い駆除効果が期待される（図 4, 5）。



図 3 連鎖効果メカニズム

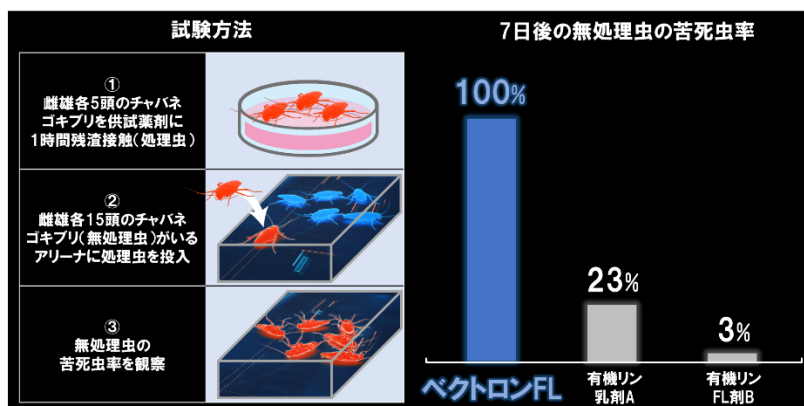


図4 成虫間の連鎖効果確認試験 結果

ベクトロンFL 処理区では無処理虫の7日後の苦死虫率が100%となり、対照剤と比較して成虫間の高い連鎖効果を示した。

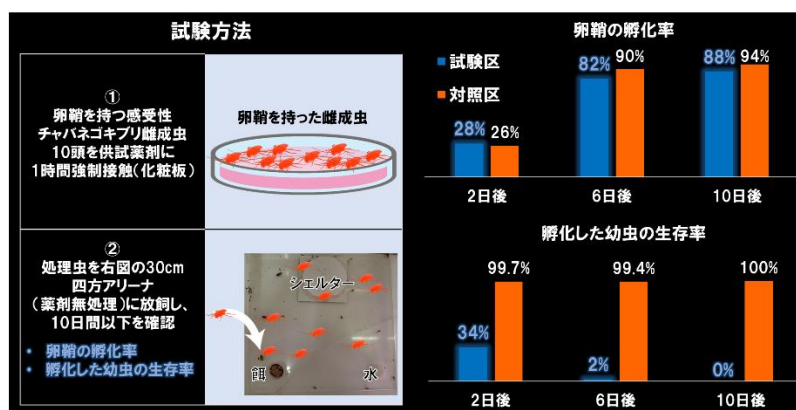


図5 世代間の連鎖効果確認試験 結果

ベクトロンFL 処理区は、無処理の対照区と比較して卵鞘の孵化率に明確な差は確認されなかったが、孵化幼虫は全頭致死したことにより、ベクトロンFL による雌成虫から孵化幼虫への世代間連鎖効果が確認された。

5. 特長③：長期残効性

ベクトロンFL は、フロアブル剤でありながらマイクロカプセル剤と同等の長期残効性を持つ。残渣接触試験において3ヵ月間の100%致死効果が確認されており、水や熱に対する耐性も高いことから、様々な現場において長期残効性が期待される(図6)。



図6 経時部材に対する残渣接触試験及び耐水・耐熱性試験結果

6. 実地効力試験

都内和食居酒屋の厨房(床面積: 50 m²)で実施したチャバネゴキブリ駆除事例を紹介する。本物件は毎月2回の薬剤処理(有機リンMC剤C及びヒドrameチルノンベイト剤Dを処理)を行ってもゴキブリの発生を減らすことが出来ない難防除物件であった。

この物件に対しベクトロンFLの希釈液3.6L分をB&Gを用いて什器下部周りを中心に厨房全体に広範囲に処理し、0.3L分をB&Gのノズルをコーンジェットノズルに変えてゴキブリのスポットとなっている棚や什器の隙間に対して局所処理を行った。

その結果、処理前には1.2あったゴキブリ指数が、1ヵ月後には0.06(駆除率: 95%)、3ヵ月後には0(駆除率: 100%)となり、既存の薬剤処理では防除困難な難防除物件においてベクトロンFLの高い防除効果が確認された(図7)。

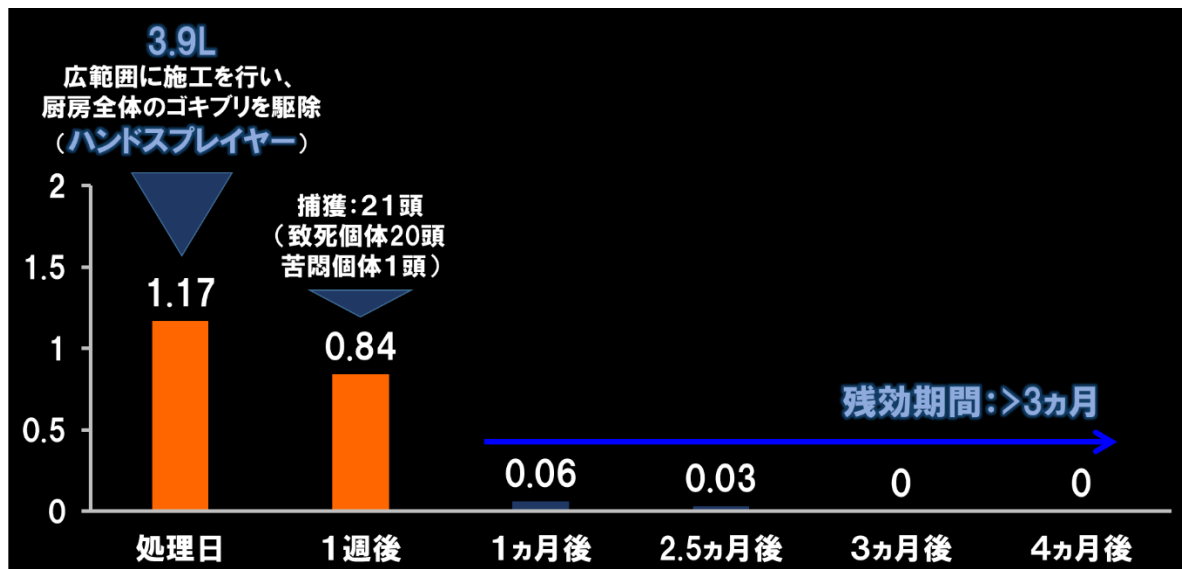


図7 試験物件におけるゴキブリ指数推移

7. 使用ユーザーアンケート結果

ベクトロン FL 使用ユーザー222 名に対して「使用結果」「作業性」「使用満足度及び今後の使用意欲」に関するアンケートを実施した。その結果を以下に示す（図 8）。

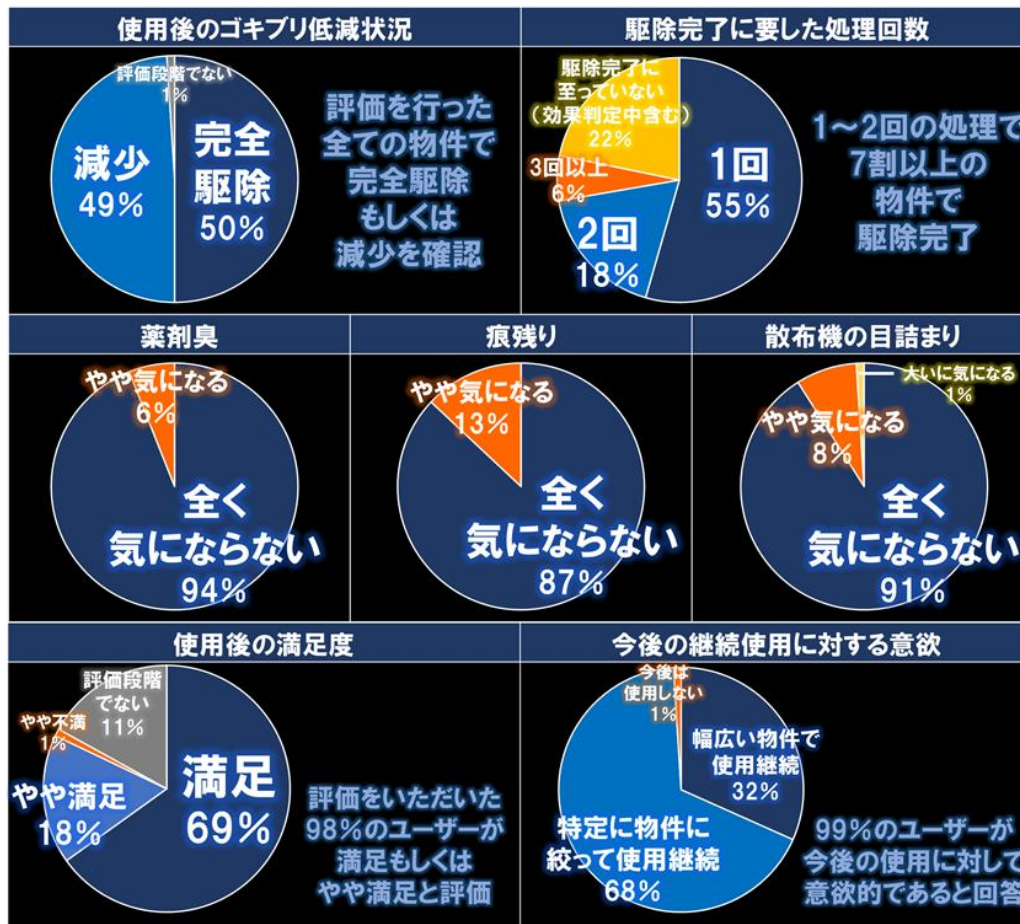


図 8 ベクトロン FL 使用ユーザーアンケート 結果

8. まとめ

ベクトロン FL は「新規作用性」「連鎖効果」「長期残効性」の優れた3つの特長を持ち、ゴキブリ駆除現場で高い防除効果が発揮されることが期待される。是非一度、ゴキブリ駆除現場でその効果を実感下さい。

ベクトロン FL 専用 WEB サイト



<https://www.mitsui-agro.com/ppm/vectron/>

ベクトロン FL 専用 WEB サイトでは、製品概要から施工方法まで動画コンテンツを交えて本製品を詳しく紹介しています。

新規殺虫剤テネベナール®（一般名：プロフラニド）のトコジラミに対する効果

原田恵理（アース製薬株式会社）

1. トコジラミの被害

トコジラミ (*Cimex lectularius*) はヒト吸血性の害虫であり、その被害は世界中で深刻化している。日本でも 2000 年代初頭から、訪日外国人の増加に伴い宿泊施設を中心にトコジラミの被害が報告されてきたが、コロナ禍の現在においても医療機関や介護施設、一般住宅等から数多くの報告があり、被害は依然として拡大し続けている (図 1)。*¹

本種は、吸血時以外は家具の隙間や壁の亀裂等に潜んでおり、被害者本人が市販品を用いて根絶することは困難である。一方で、害虫駆除業者に駆除を依頼すると、根絶までに莫大な手間とコスト、時間を要してしまう。

従来、トコジラミの駆除にはピレスロイド系駆除剤が用いられてきたが、世界各国でピレスロイド系化合物に抵抗性を持つトコジラミが確認されており、駆除に支障を来している。また、最近では有機リン系やカーバメイト系化合物にも抵抗性を持つ系統が確認されており、既存の駆除剤を用いた本種の駆除は、今後益々困難になってくるものと予想される。*²そのため、トコジラミの駆除をより簡便で効果的な駆除剤の開発が急務となっている。

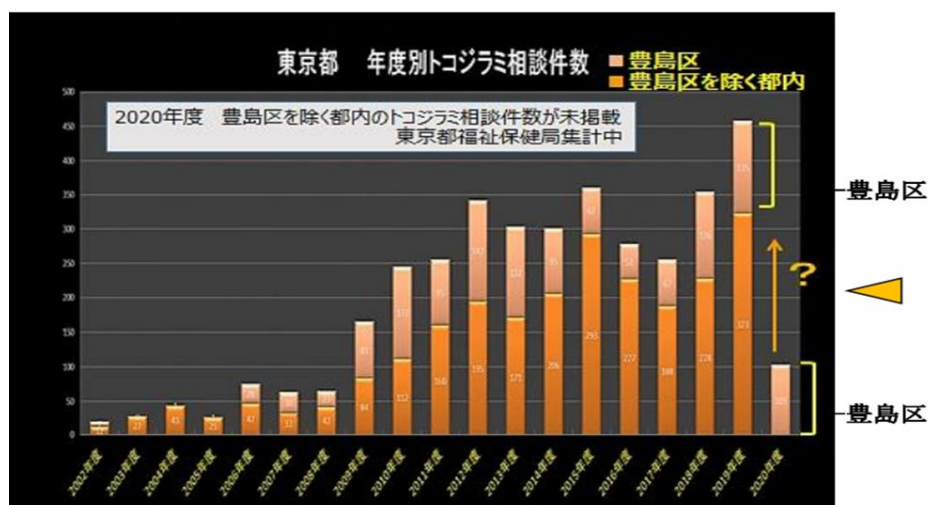


図 1. 東京都年度別トコジラミ相談件数*¹

2. テネベナール®くん煙剤

テネベナール®（一般名：プロフラニド）は既存殺虫原体とは作用機序が異なり、種々の化合物に抵抗性を持つトコジラミに卓効であることが報告されている。*³我々は、このテネベナール®と、屋内の隅々まで有効成分を拡散できる加熱蒸散式くん煙剤「アースレッド®」の拡散技術を組み合わせ、テネベナール®くん煙剤（販売名：アースレッドME）を開発した (図 2)。使用方法が簡単である本製剤を用いれば、被害者本人でも、水を入れるだけで簡単に加熱蒸散の力でテネベナール®を部屋中に拡げ、一気に抵抗性トコジラミを駆除することができる。

テネベナル®くん煙剤

販売名	アースレッドME (2021年承認)
区分	第2類医薬品
有効成分量	テネベナル® (一般名：プロフラニリド) 10%
剤型	くん煙剤 (加熱蒸散駆除剤)
効果・効能	ゴキブリ、トコジラミの駆除



テネベナル®くん煙剤の使い方と薬剤拡散メカニズム

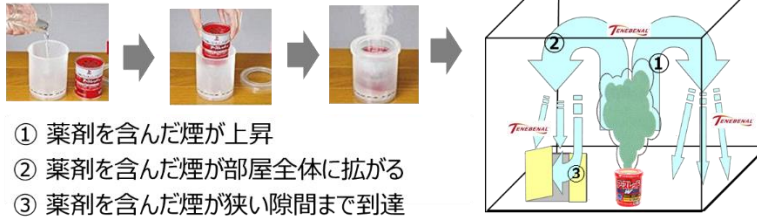


図 2. テネベナル®くん煙剤 (販売名：アースレッド ME)

3. 駆除事例

東京都内の集合住宅の一室 (約 19.5m²) にて実施した、本製剤によるトコジラミの駆除事例を示す (図 3)。この事例では、高い既存薬剤抵抗性を示すトコジラミが大量発生しており、通常は定着しにくい浴室や玄関付近にまで定着範囲を広げていた (図 4)。刺咬被害の程度も酷く、住人の腕や脚全体に搔きむしりによる傷跡が数多く見受けられた。

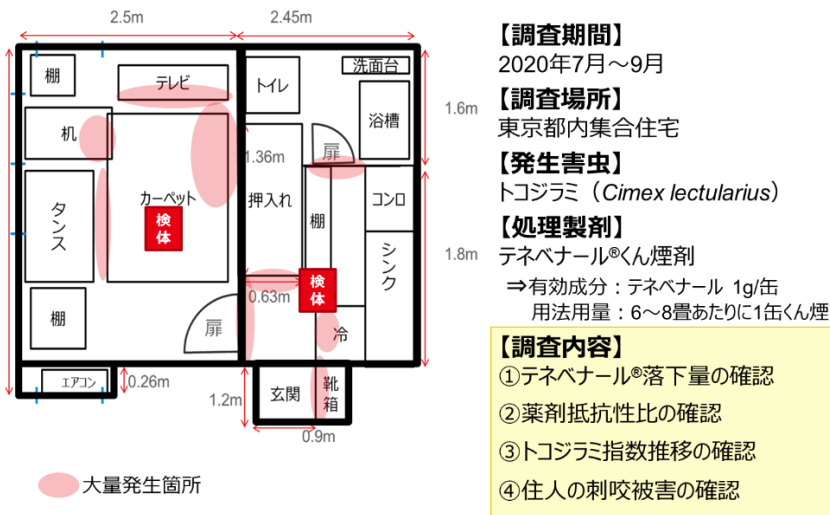


図 3. 東京都内集合住宅での本製剤の処理
(左側：見取り図とトコジラミ大量発生箇所、右側：本製剤の処理条件と調査内容)

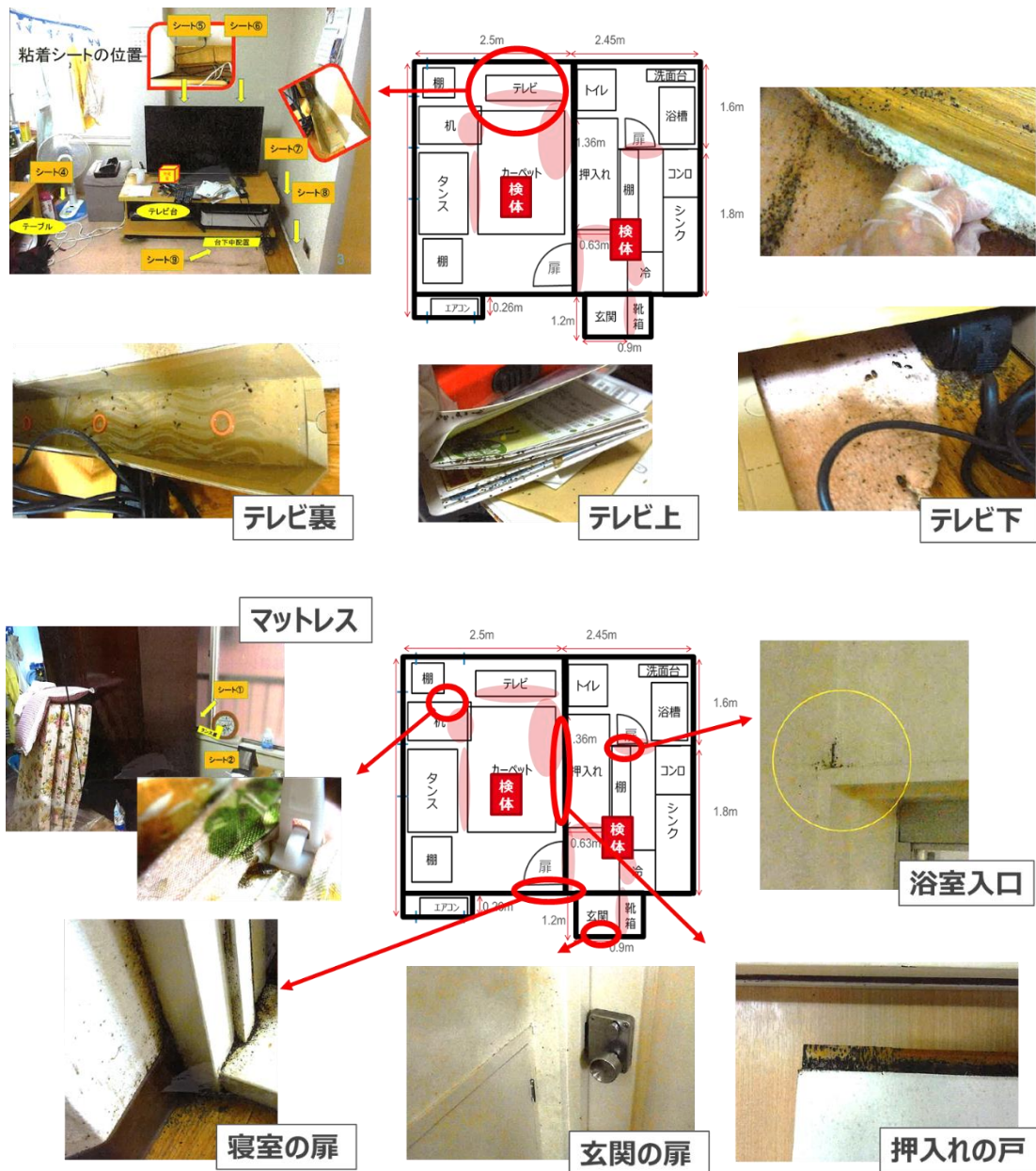


図 4. トコジラミ大量発生箇所の様子
 (上段：住人の就寝場所付近の様子、下段：その他発生箇所の様子)

3-①. 有効成分落下量の確認

室内の各所に金属シャーレを設置した後、用法用量通りになるよう本製剤を2缶処理し、テネベナール®の落下量を分析した。シャーレは、コンロの上やテレビの裏側、押し入れの中等、閉鎖状態や高さが異なる条件に複数設置した。分析の結果、本製剤の処理により、シャーレ設置箇所の条件にかかわらず、部屋中にほぼ均一にテネベナール®が拡散することが分かった(図5)。

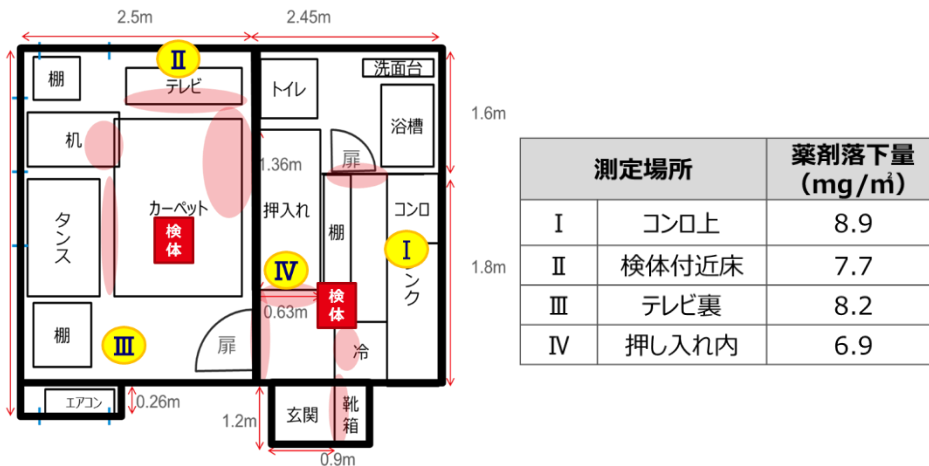


図 5. 有効成分落下量の確認

(右側：落下量確認箇所、左側：各所のテネベナール[®]落下量)

3-②. 薬剤抵抗性比の確認

微量滴下法により、アース製薬㈱で継代飼育している感受性トコジラミの 50%致死薬量 (LD₅₀) と被害現場で採取したトコジラミの LD₅₀ を比較し、定着していたトコジラミの抵抗性比を確認した。その結果、定着していたトコジラミは、ペルメトリンに対しては感受性トコジラミの 60,000 倍以上、フェニトロチオンに対しては 43 倍の抵抗性を示すことが明らかとなった。

表 1. 定着していたトコジラミの抵抗性比

供試虫	供試化合物	LD ₅₀	抵抗性比
感受性トコジラミ	ペルメトリン	0.0015μg/頭	-
	フェニトロチオン	0.0092μg/頭	-
採取したトコジラミ	ペルメトリン	> 80μg/頭	> 60,000
	フェニトロチオン	0.396μg/頭	43.0

3-③. トコジラミ指数推移の確認

以下の手順で本薬剤の処理に伴うトコジラミ指数の推移を確認した。

【試験方法】

1. 室内の各所にネズミ用粘着トラップを 1 週間設置し、トコジラミの捕獲数をカウントした (図 6)。
2. 部屋を閉め切った状態で本薬剤の処理を開始し、2 時間暴露した。
3. 1 と同じ場所にネズミ用粘着トラップを設置し、1 週間後に回収してトコジラミの捕獲数をカウントした。また、捕獲数からトコジラミの指数と駆除率を下記の計算式に従って算出した。

〈計算式〉

- ・トコジラミ指数＝捕獲数/（トラップ数×設置日数）
- ・駆除率（％）＝100×（処理前指数－処理後指数）/処理前指数

4. 3の作業を処理後1カ月間繰り返した。



図 6. ネズミ用粘着トラップ設置箇所

【結果と考察】

本製剤の処理前の指数は 14.8 と非常に高い値を示していたが、処理 1 週間後には 5.2、2 週間後には 0.3、3 週間後、1 カ月後には 0.1 となり、本製剤処理によるトコジラミ指数の顕著な減少が確認できた（図 7）。トコジラミの駆除率も処理から 1 カ月後には 99.5% となった。本試験より、たった一度の処理でも、本製剤が抵抗性トコジラミに対し非常に高い駆除効果を示すことを確認できた。

また、トコジラミの生育ステージ毎に指数の推移を確認したところ、吸血意欲が高く活動性の高い 1~2 齢幼虫、及び成虫の指数減少が特に顕著であり、効果発現の早さが活動量に関係している可能性が示唆された（図 8）。このことから、本製剤を処理した際に、万が一トコジラミが潜んでいる亀裂等までテネベナール® が到達しなかったとしても、トコジラミが吸血時にテネベナール® 暴露面を徘徊することで薬剤に接触して致死するため、持続的に効果が発現するものと考えられる。

さらに、処理から 1 年後に住人へのヒアリングを実施したところ、処理から 1 年の間、トコジラミの再発は一切見受けられなかったとの声を頂いている。

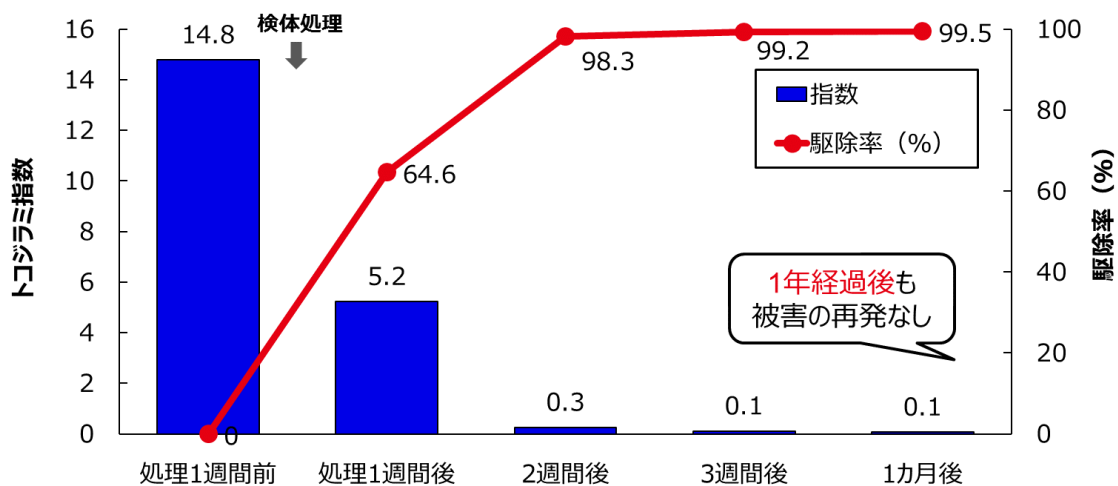


図 7. トコジラミ指数と駆除率の推移

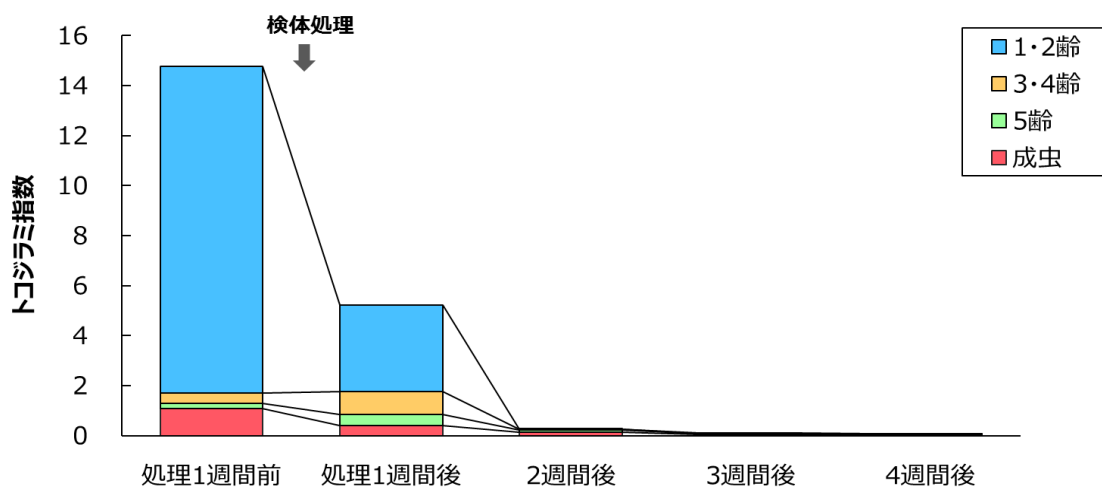


図 8. 生育ステージ毎の指数推移

3-④ 住人の刺咬被害の確認

住人の左腕の写真を経時的に撮影し、刺咬被害の状態を確認した。すると、当初は掻きむしりによる傷跡が数多く見受けられたが、本製剤の処理による指数の減少に伴って刺咬被害が減ることで顕著に状態が改善し、処理2週間後には通常の状態に戻っていた(図9)。



図9. 住人の左腕の様子

4. まとめ

最適な根絶方法がなく国内のトコジラミ被害は拡大し続けている。そこで、我々は抵抗性トコジラミに卓効なテネベナール®と、簡単に部屋の隅々にまで薬剤を届けられるアースレッド®を組み合わせ、「テネベナール®くん煙剤」を開発した。

今回の東京都内の被害現場での本剤の実使用事例にて、1回の処理で抵抗性トコジラミを徹底駆除できること、本剤の残効性が高く1年以上も効果実感が継続すること、そしてトコジラミの指数低減に伴い刺咬被害も顕著に低減することが明らかとなった。


以上のことから、テネベナール®くん煙剤が抵抗性トコジラミの防除において画期的な製剤であることが示された（図10）。


- Point+ テネベナール®配合**


 - ・抵抗性トコジラミにも高い駆除効果
 - ・長期残効性
- Point+ 部屋の隅々まで薬剤を届ける拡散力**

 - ・アースレッド®（くん煙剤）の技術でトコジラミの潜み場所にも薬剤が届く
- Point+ コストもかからず使い方も簡単**

 - ・大がかりな作業が不要
 - ・水を入れるだけで部屋中一気に処理できる







トコジラミ防除におけるあらゆる課題を解決

図10. テネベナール®くん煙剤の特長

謝辞

本製剤の開発にあたり、原体をご提供いただいた三井化学アグロ株式会社、ならびに試験へのご協力、写真のご提供、および貴重なご助言を頂きました豊島区池袋保健所 矢口昇氏に深く感謝申し上げます。

引用

1. 矢口昇 (2021) コロナ禍におけるトコジラミ対応事例—新型コロナウイルスの影響は?! . 殺虫剤研究班のしおり. 第 91 号. pp. 27-36
2. Komagata, Osamu, et al. "Common substitution mutation F348Y of acetylcholinesterase gene contributes to organophosphate and carbamate resistance in *Cimex lectularius* and *C. hemipterus*." *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 138 (2021): 103637.
3. 佐藤一行 (2020) 新規殺虫剤 テネベナール™ (一般名プロフラニリド) について. 殺虫剤研究班のしおり. 第 90 号. pp. 4-9

※被害現場の写真は池袋保健所 矢口昇氏よりご提供頂きました。

II ジメチコン含有製剤のアタマジラミに対する臨床効果

ジメチコン製剤のコロモジラミ成虫、卵に対する駆除効果

菅野夏基（アース製薬株式会社）

1. はじめに

アタマジラミはヒトの頭髮に寄生し、幼虫から成虫に至るまで全ステージで吸血を必要とする外部寄生虫である。主に小学生以下の幼・小児に寄生し、頭髮が直接接触する際に最も感染しやすいが、頭に触れる寝具、タオル、帽子、櫛などを共用することにより間接的にも感染する¹。東京都におけるアタマジラミの相談件数は2010年以降1,000件程度で推移していたが、2020年は新型コロナウイルスの感染拡大により300件程度まで減少している（表1参照）ものの、依然としてアタマジラミによる被害は続いている。

国内のアタマジラミ駆除剤としてスミスリンパウダー[®]をはじめ、スミスリンシャンプー[®]、アースシラミとりシャンプー^α[®]などが市販されている。いずれの商品もピレスロイド系化合物であるフェノトリンが有効成分として配合されているが、2011年まで実施された国立感染症研究所の報告によると、沖縄県ではアタマジラミのピレスロイド抵抗性保有率が90%を越えており²、既存の市販品での治療が困難な状態となっている。

欧州でも同様にアタマジラミのピレスロイド抵抗性が発達し、難防除化が問題となる中、イギリスのThornton & Ross社からシリコンオイルの1種であるジメチルポリシロキサン（以下、ジメチコン）を有効成分とするアタマジラミ駆除剤（Hedrin[®]）が発売された。ジメチコンは従来のピレスロイド系化合物と作用機作が異なり、虫体表面で被膜を形成し、長時間運動抑制することのほか、虫体の気門や器官を閉塞し水分排泄を阻害することによって、吸血後の虫体に腸管破裂が生じ致死すると報告されている³。Hedrin[®]の発売以降、ピレスロイド抵抗性アタマジラミへの確かな効果と化学合成殺虫剤不使用という特長により、ジメチコンを有効成分とするアタマジラミ駆除剤がイギリスを中心に広まった。

当社でもピレスロイド抵抗性アタマジラミへの対策としてジメチコンを有効成分としたアタマジラミ駆除剤の開発に着手し、海外の先行品に比べ、べたつきや洗い流し易さを改善した、日本で初めてとなるジメチコンを有効成分としたアタマジラミ駆除剤「アースシラミとりローション[®]」を開発した。

本報告では、飼育が難しいアタマジラミの代替として使用されるコロモジラミ成虫、卵を対象に実施した、アースシラミとりローション[®]の基礎効力評価について紹介する。

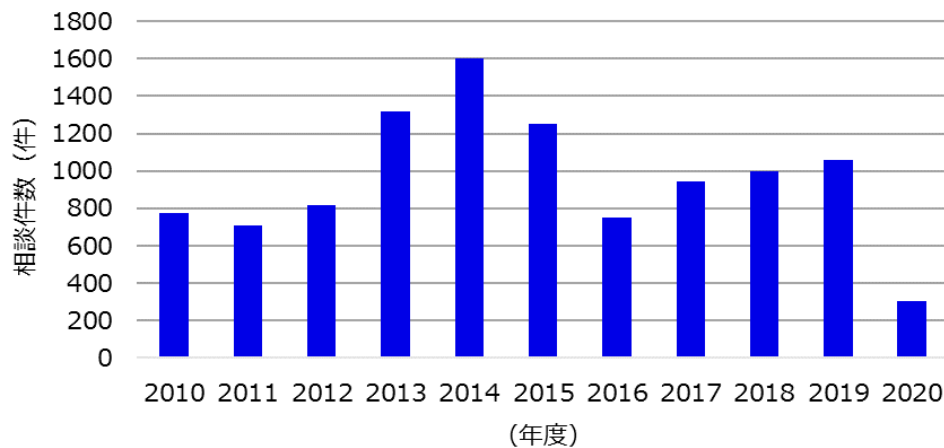


図1. 東京都におけるアタマジラミ相談件数の推移（東京都福祉保健局公開資料引用）

2. 試験材料、供試虫

○供試薬剤：製品名「アースシラミとりローション®」

アースシラミとりローション®はジメチコン 4%を有効成分として配合した、防除用医薬部外品に該当するアタマジラミ駆除剤である。

用法用量は、アタマジラミが寄生している頭髮を水で濡らさず乾いた状態で、1回量（25mL～50mL程度）を毛の生え際に十分にいきわたるように又全体に均等になるように塗布する。塗布して5分間以上放置した後、洗髪用シャンプーで洗い流す。この操作を1日1回、2～3日おきに3回繰り返す、となっている。

本製品はジメチコンを有効成分とする日本で初めてのアタマジラミ駆除剤であり、また、ローションタイプにすることで毛髪の間隙や根元まで広がりやすい処方としている。

○対照薬剤：製品名「アースシラミとりシャンプーα®」

アースシラミとりシャンプーα®はフェノトリン 0.4%を有効成分として配合した、第2類医薬品に該当するシラミ駆除剤である。

○供試虫

コロモジラミ *Pediculus humanus humanus* 雌成虫

：アース製薬株式会社累代飼育感受性系統

コロモジラミ *Pediculus humanus humanus* 卵

：アース製薬株式会社累代飼育系統

3. コロモジラミ成虫への駆除効果

○試験方法

- ① 各薬剤にコロモジラミ成虫を5分間浸漬した。
- ② 供試薬剤の処理区は市販シャンプーをなじませ、対照薬剤の処理区はそのまま流水ですすぎ洗いした。

- ③ コロモジラミ成虫を回収し、4 時間後、24 時間後の KD 数、致死数から駆除率（KD 率＋駆除率）を算出した。
- ④ 各試験は 3 回繰り返した。
 なお、未処理群として、供試薬剤の処理を行わず、市販シャンプーによる洗浄以降の処理を行ったものを用意し、市販シャンプーが効果に寄与しないことを確認した。

○結果

処理 4 時間後、24 時間後のコロモジラミ成虫の駆除率を以下に示す。

表 1. 処理 4 時間後、24 時間後のコロモジラミ成虫の駆除率 (N=3)

薬剤	駆除率	
	処理 4 時間後	処理 24 時間後
アースシラミとりローション®	100%	100%
アースシラミとりシャンプー α®	100%	100%

供試薬剤、対照薬剤ともにコロモジラミ成虫に対して、同等の高い速効性と駆除効果を示した。

4. コロモジラミ成虫への行動停止効果

○試験方法

- ① ろ紙を敷いたガラスシャーレ上にコロモジラミ成虫を放ち、供試薬剤、または、対照薬剤を虫体背面に向けて一滴（10 μL 相当）滴下した。
- ② 滴下後、コロモジラミ成虫の脚部、触覚の動きが完全に停止する時間を測定した。
- ③ 各試験は 3 回繰り返した。

○結果

コロモジラミ成虫の行動が停止するまでの時間を以下に示す。

表 2. コロモジラミ成虫の行動が停止するまでの時間 (N=3)

薬剤	行動が停止するまでの時間
アースシラミとりローション®	34±3.3 秒
アースシラミとりシャンプー α®	219±27.5 秒

供試薬剤は、対照薬剤と比較してコロモジラミ成虫の行動が停止するまでの時間が有意に短く（ $p < 0.05$ ）、運動抑制効果を確認できた。

5. コロモジラミ卵への駆除効果

○試験方法

- ① 各薬剤にコロモジラミ卵を 5 分間浸漬した。
- ② 供試薬剤の処理区は市販シャンプーをなじませ、対照薬剤の処理区はそのまま流水ですす

ぎ洗いした。

③ コロモジラミ卵を回収し、薬剤を処理していない無処理区のコロモジラミ卵の孵化が確認されるまで保管した。

④ 無処理区のコロモジラミ卵の孵化が見られた後、各薬剤処理区のコロモジラミ卵の孵化数を確認し、以下の式にて補正孵化阻害率を算出した。

$$\text{補正孵化阻害率} = (\text{無処理区の孵化率} - \text{処理区の孵化率}) / \text{無処理区の孵化率} \times 100$$

⑤ 各試験は3回繰り返した。

なお、未処理群として、供試薬剤の処理を行わず、市販シャンプーによる洗浄以降の処理を行ったものを用意し、市販シャンプーが効果に寄与しないことを確認した。

○結果

コロモジラミ卵の補正孵化阻害率を以下に示す。

表3. コロモジラミ卵の補正孵化阻害率

薬剤	補正孵化阻害率
アースシラミとりローション®	100%
アースシラミとりシャンプーα®	18±4.5%

供試薬剤は、補正不可阻害率が100%と高い阻害率を示した。

6. まとめ

ジメチコンを有効成分とするアースシラミとりローション®は感受性のコロモジラミ成虫に対して高い速効性と致死効果を有し、コロモジラミ卵に対しても高い孵化阻害効果を有することが確認できた。

アースシラミとりローション®は従来のピレスロイド系化合物を有効成分とするシラミ駆除剤とは異なり、物理的な作用によりシラミを駆除することから、ピレスロイド抵抗性アタマジラミに対しても有効な製剤と考えられる。

引用

1. 富田隆史、葛西真治：衛生昆虫の解説-2，ヒトに寄生する3種のシラミ．モダンメディア，57巻4号2011
2. 富田隆史、葛西真治、駒形修：アタマジラミのピレスロイド系駆除剤抵抗性，厚生労働科学研究費補助金（新興・再興感染症研究事業）分担研究報告書．
3. Ian F Burgess: The mode of action of dimeticone 4% lotion against head lice, *Pediculus capitis*. *BMC Pharmacology*. 2009, 9: 3

はじめに

アタマジラミは主に幼児から児童の間で、家庭内や学校内で集団感染する。市販の駆虫薬であるフェノトリン含有シャンプー（スミスリンシャンプー®、しらみとりシャンプー®）を薬局などで購入し、各家庭で駆虫作業を行うため、医師が介入する機会は少なかった。しかし、近年フェノトリン含有シャンプーでは駆虫できず、寄生が遷延する難治性のアタマジラミが出現している。

ピレスロイド抵抗性アタマジラミ症

ピレスロイド抵抗性は、ピレスロイドの作用点であるこのNa⁺チャンネルのαサブユニットをコードする遺伝子に *kdr* 変異が生じることで獲得される。1994年フランスで、ピレスロイド製剤によるアタマジラミの駆虫率が40%に低下¹しており、その後、世界中でピレスロイド抵抗性のアタマジラミが確認されている。

国立感染症研究所による全国のアタマジラミの調査(2006-2011年)では、34都道府県のうち17都道府県で *kdr* 変異をもつアタマジラミが確認された(表1)。東京都の抵抗性率は8.6%、兵庫県7.2%と、*kdr* 変異の陽性率は10%に満たないところがほとんどであったが、沖縄県では96% (71/74症例)が *kdr* 変異陽性であり、ピレスロイド抵抗性アタマジラミが蔓延していることが明らかになった²。その後、全国的なアタマジラミの調査は行われていないが、日本各地で *kdr* 変異陽性アタマジラミが検出されることから、抵抗性アタマジラミが増加していることが予想される。

表1. 都道府県別ピレスロイド抵抗性変異を含むアタマジラミコロニーの検出率

	検体数	抵抗性	抵抗性率(%)
北海道	10	1	10.0%
新潟県	110	1	0.9%
宮城県	2	0	0%
東京都	185	16	8.6%
愛知県	9	2	22.2%
兵庫県	139	10	7.2%
沖縄県	74	71	95.9%

国立感染症研究所昆虫医科学部 富田隆史先生調べ
一部抜粋

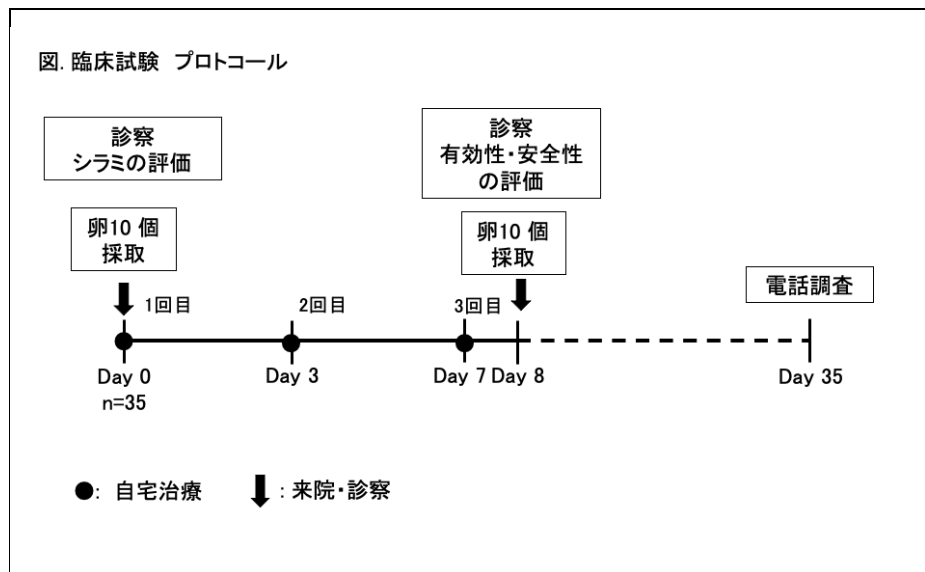
新規シラミ駆除剤の臨床試験

沖縄県では、既にピレスロイド抵抗性アタマジラミが蔓延していることが明らかとなり、物理的防除以外の有効な駆除方法が無く、公衆衛生上も大きな問題であった。有効な駆虫薬がない状態が続けば、今後日本全体にピレスロイド抵抗性アタマジラミが拡大していく可能性は高

い。そこで、ジメチコンを有効成分とした新規シラミ駆除剤がアース製薬で開発された。2017年に沖縄県のアタマジラミ症を対象に、安全性と有効性を評価するため臨床試験を行った³。

○方法

試験薬を頭部全体に週3回塗布し、day0とday8に虫と卵の数や卵の孵化率を計測し、改善度を判定した。頭皮の状態や有害事象から安全度を判定し、改善度と安全度を合わせて有用度を評価した。また、試験薬使用前後で卵を採取し、孵化実験を行い、推定生卵数を算出した。



○結果

35 患者が参加し、23 患者で改善度、35 患者で安全度を評価した。

95.7 % (22/23 患者)で、「やや有用以上」に改善し、全 35 症例で皮膚反応や有害事象はなく、本試験薬は安全で有効であることが確認できた³(表 2)。試験薬外用後 4 週間で電話調査を行い、28 人中 25 人は治癒していると判断した。被験者から採取したアタマジラミの虫体及び卵についてアミノ酸配列を解析した結果、フェントリン抵抗性を示す *Kdr* 遺伝子変異は、93.8 % (30/32 人)で確認された。試験薬使用前後で孵化実験をおこなった。試験薬使用前の推定生卵数は、37.9% (67/177 個)であった。試験薬使用後は、0.6 % (1/174 個)で、ほとんどの卵が孵化せず、本試験薬が卵にも殺卵効果があることがわかった。沖縄では、ピレスロイド抵抗性アタマジラミが高率に検出され、本試験薬がこれらにも有効で安全であることを確認できた。

表2. 臨床試験結果 有効症例23例のまとめ

ID	年齢 (y)	性別 (M/F)	Day 0 虫体数	Day 8 虫体数	Day0 卵数	Day0 推定生卵数	Day8 卵数	Day8 推定生卵数	改善度	有用度	電話調査 1ヶ月後
1	10	M	0	0	32	5.3	6	0	軽度改善	やや有用	治癒
5	4	F	1	0	29	17.4	20	0	軽度改善	やや有用	治癒
6	8	F	8	0	120	45	110	0	著明改善	極めて有用	治癒
7	1.5	F	0	0	30	24	3	0	軽度改善	やや有用	治癒
8	34	F	4	0	51	25.5	41	0	軽度改善	やや有用	治癒
9	6	F	0	0	73	48.7	82	0	軽度改善	やや有用	駆虫失敗
11	10	F	0	0	27	16.2	35	0	軽度改善	やや有用	治癒
12	13	F	1	0	22	6.3	28	0	軽度改善	やや有用	治癒
14	42	F	0	0	50	40	11	0	軽度改善	やや有用	治癒
15	4	F	1	0	4	0.7	7	0	軽度改善	やや有用	駆虫失敗
18	2	F	1	0	15	データなし	3	データなし	軽度改善	やや有用	治癒
19	9	F	0	0	27	27	16	0	軽度改善	やや有用	治癒
21	6	F	0	0	23	23	1	0	軽度改善	やや有用	治癒
22	9	F	0	0	24	24	5	1.25	不変	無用	治癒
23	7	F	1	0	14	7	0	0	軽度改善	やや有用	データなし
24	7	F	1	0	64	64	46	0	著明改善	極めて有用	データなし
25	6	F	0	0	27	13.5	9	0	軽度改善	やや有用	データなし
27	10	F	3	0	80	53.3	20	0	著明改善	極めて有用	治癒
28	7	F	1	0	8	8	3	0	軽度改善	やや有用	治癒
29	5	F	0	0	52	52	28	0	著明改善	極めて有用	治癒
30	6	F	0	0	31	8	17	0	軽度改善	やや有用	データなし
31	7	F	0	0	28	52	22	0	軽度改善	やや有用	治癒
32	10	F	1	0	13	0	2	0	軽度改善	やや有用	治癒

引用

1. Chosidow O, et al: Controlled study of malathion and d-phenothrin lotions for *Pediculus humanus var capitis*-infested schoolchildren. *Lancet*, 1994; 344: 1724-1727.
2. 富田隆史、葛西真治、駒形修: アタマジラミのピレスロイド系駆除剤抵抗性, 厚生労働科学研究費補助金 (新興・再興感染症研究事業) 分担研究報告書.
3. Yamaguchi S, et al: Efficacy and safety of a dimethicone lotion in patients with pyrethroid-resistant head lice in an epidemic area, Okinawa, Japan. *J Dermatol.* 2021; 48: 1343-1349.

Ⅲ 常温揮散型ピレスロイド製剤の蚊に対する効果

アフリカのマラリア媒介蚊に対する空間忌避製剤の効力と作用性評価

川田 均（長崎大学熱帯医学研究所）

大橋和典（住友化学株式会社 健康・農業関連事業研究所）

1. メトフルトリン含有空間忌避デバイス（Metofluthrin-impregnated Spatial Repellent Device, MSRD）の開発

メトフルトリン（SumiOne®）（**図 1**）は、近年開発された新しいタイプのピレスロイドである。メトフルトリンの特長を生かした常温揮散デバイスがこれまでに幾つか開発されてきた（**図 2**）。著者らの初期段階の実験では、メトフルトリンをアセトンで溶かし多層構造の紙（ Dengri 紙）に処理しただけの簡単なデバイスを使用した（**図 2A**）。 Dengri 紙は、英語で表現するとハニカムシートで、蜂の巣状の小室を多数有する構造を保ち、通常は平らに折りたたまれた状態であるが、これを開く（でんぐり返す）と立体的な構造となる、七夕の飾り等で良く使用される紙である。古来より世界中にあったようで、日本には（恐らく中国から）江戸時代頃に輸入されて広まったようである。

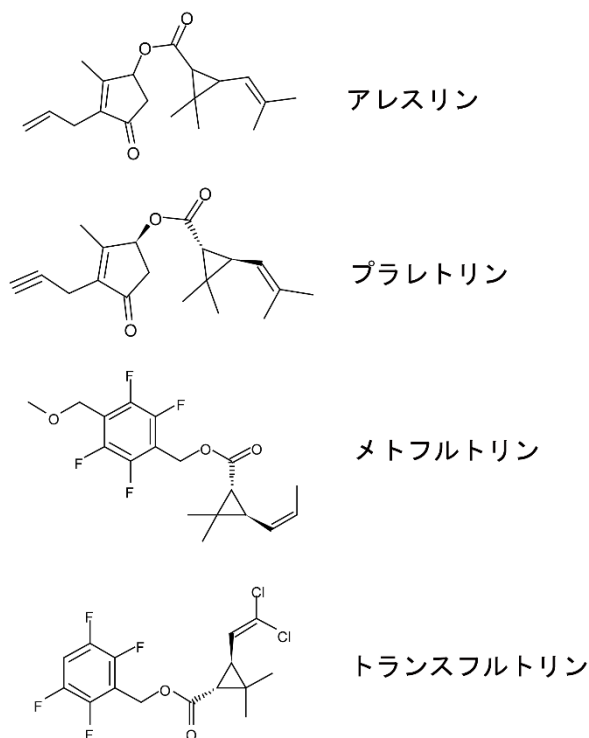


図 1 蚊取り剤に使用されるピレスロイド

著者らは、まず手始めに長崎大学医学部構内にタープ型 TENT を張り、このデバイスとドライアイス を誘引源とした CDC トラップを中央に設置して、構内に自然発生するヒトスジシマカのトラップへの捕獲数を無処理区と比較することで効果確認を行った。屋外での試験であり、この種のデバイスを扱うのは初めての経験だったので、効果については半信半疑であったが、結果は良好で、7 週間以上の空間忌避効果が確認された。また、メトフルトリンの効果は同薬量のト

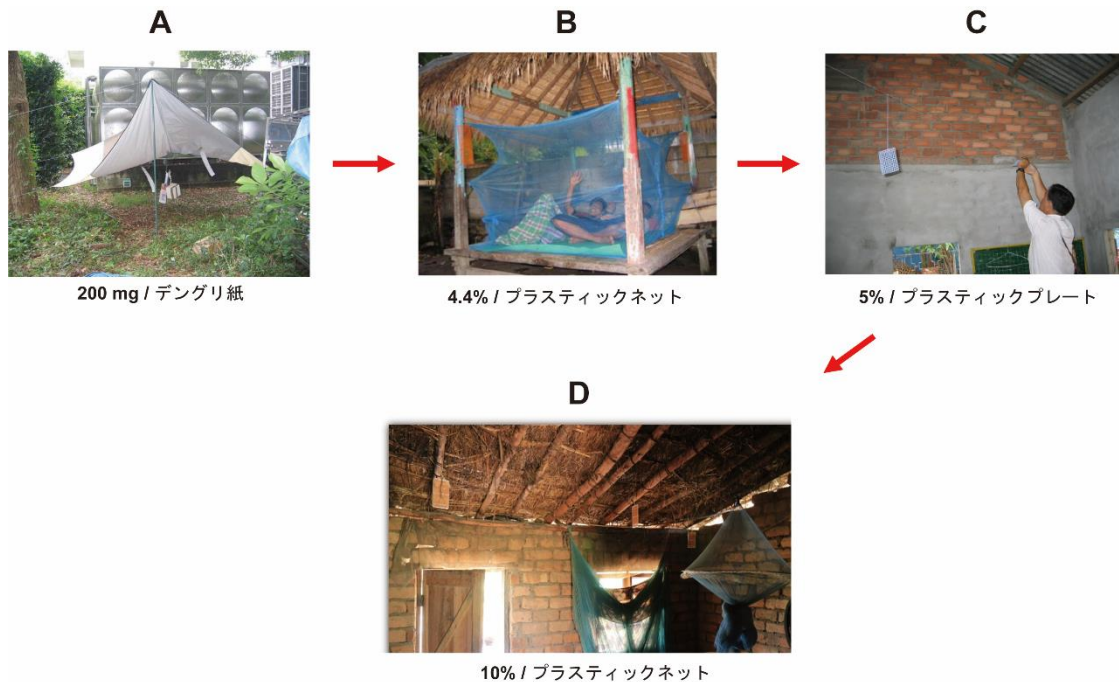


図 2 メトフルトリンを使用した常温揮散デバイスの変遷

ランスフルトリンよりも優れることが分かった (Argueta et al., 2004a)。この結果に自信を得た著者らは、インドネシア、ロンボク島の野外条件で、現地のハマダラカ (主に *Anopheles balabacensis*) およびネッタイエカを対象としたフィールド試験を実施した。メトフルトリンを含浸させたデングリ紙を家屋内や屋外に設置してヒトやウシを吸血しに飛来する蚊の個体数を無処理区と比較したところ、国内のヒトスジシマカと同様に良好な空間忌避効果を示した (Kawada et al., 2004a, 2004b)。しかし、試作品のデングリ紙は湿気に弱く、高温多湿のインドネシアの気候下では、湿気を吸って伸びきってしまい、ハニカム構造が保てないことが分かった。そのため、国内の試験でもインドネシアでの試験でも、デングリ紙は試験時以外は取り外して室内で保管していたために、実際の残効性は試験結果よりも短いと思われた。

デングリ紙の欠点を克服するために、筒状のプラスチックネットにメトフルトリンを練り込んだ樹脂製剤が開発された (以下デバイス No.1 とする ; 20g のネットに 1000 mg のメトフルトリンが練り込まれている) (図 2B)。インドネシアの Lombok 島には、ブルガと呼ばれる屋根と床だけの東屋が家屋の近傍にあり、夕方や朝方の食事や祈り、団欒に使われているが、これがマラリア媒介の原因になっている。上記のブルガにおいてこのデバイス No.1 を使用した実験を行ったところ、1 軒のブルガあたり 4 個のデバイスを仕掛けることによって 14 週間以上高い空間忌避効果を持続させることができた (Kawada et al., 2005a)。ブルガのような開放条件でメ

トフルトリンデバイスが空間忌避効果を示したことは特筆すべきである。同じくデバイス No.1 を使用した実地試験を、 Deng 熱媒介蚊であるネッタイシマカを対象として、ベトナムの Do Son (Hai Phong 市) で実施した。ベトナムでの試験は、室内にデバイスを吊す形で行われたが、1 部屋に1 個のデバイス No.1 の設置で少なくとも約6 週間の効力持続が確認されたが (Kawada et al., 2005b)、実用場面を考えると更なる持続時間の延長が望まれた。

そこで次の段階として、新しい樹脂形態と処方 of デバイス No. 2 (12.3g のプラスチック樹脂に 600 mg のメトフルトリンが練り込まれている) が試作された (図 2C)。デバイス No. 2 は、有効成分の揮散率をデバイス No.1 の約半分に減少させたものである。このデバイスによるネッタイシマカを対象とした実地試験をベトナムの My Tho 市 (Tien Giang province) の家屋で実施したところ、床面積 2.6 m²あたり 1 個のデバイス No. 2 設置で、約 8 週間の持続効果が確認された (Kawada et al., 2006)。My Tho 市での試験では、家屋内の温度、湿度、開放度がメトフルトリンの効力に及ぼす影響についても調査した。気温が高いベトナムの南部の家屋は、都市部においても開放度が高くなっている。メトフルトリンの空間忌避デバイスは、屋外条件においても空間忌避効果を発揮するが、このような家屋内では、環境条件の違いによってどのような効き方をするのであろうか?そこで、環境パラメーターとして、1 日の平均室温、平均湿度、床面積、部屋の体積、開放面積を測定した。開放面積 (総窓面積、総換気口面積、その他の開口部面積、ドア面積の半分 (ドアは開閉されるので) の総和) をそれぞれ説明変数とし、目的変数は採集されたネッタイシマカの数とした。その結果、平均室温が高いほど採集される蚊の数が少なく、家屋の開放度が高いほど蚊の数が多くなるという傾向が得られた (Kawada et al., 2006)。これは良く考えてみれば、部屋の開放度が低ければ (換気量が少ないので) 室温も低くなり、侵入してくる蚊の数も減る、という当たり前の現象を証明しただけの結果であり、メトフルトリンの空間忌避効果と環境要因の関係が隠されている可能性はあるが、これを直接証明できるデータとはならなかった。この課題に対するもう少しクリアな証明については、後に述べるメトフルトリンの揮散量と環境要因の関係調査を行った次節で再考察を行うこととする。

さらに、デバイス No. 2 を使用したマラリア媒介蚊 *Anopheles gambiae* s.l. に対する空間忌避効果試験をタンザニアの Kongo 村 (Bagamoyo district) で実施した (Kawada et al., 2008)。Kongo 村の家屋は My Tho 市の家屋に比べて平均気温は低く、逆に相対湿度は高いことが分かった。また、床面積と家屋の体積は My Tho 市の家屋が Kongo 村の家屋を上回るが、体積あたりの窓などの開口部の割合が Kongo 村の家屋では My Tho 市の家屋の 2 倍近くになり、Kongo 村の家屋がより「開放的」であることが分かる。このように、アフリカの家屋の構造はベトナムの家屋に比べより開放的で、空間忌避効果には不利な条件であると思われるが、18 週に亘って無処理家屋に比べて 98.7%の個体数減少が見られた (Kawada et al., 2008)。

上記の種々の試験で考慮されていなかったのは、媒介蚊のピレスロイド抵抗性である。2008 年以降の調査により、ベトナム南部のネッタイシマカ (Kawada et al., 2009a, 2009b) や、ケニアの主要マラリア媒介蚊である *Anopheles gambiae* s.s., *Anopheles arabiensis*, *Anopheles funestus* s.s. (Kawada et al., 2011a, 2011b) やネッタイイエカ (Itokawa et al., 2013) はいずれも高いピレスロイド抵抗性を有していることが明らかとなり、東南アジアにおけるネッタイシマカやアフリカにおけるマラリア媒介蚊、および全世界の熱帯地域に生息するネッタイイエ

カのピレスロイド抵抗性は既に普遍化しているのが現状である。したがって、上記試験における対象媒介蚊の多くはピレスロイド抵抗性であったことが推察される。電位感受性ナトリウムチャンネルの *kdr* ミューテーション (L1014S) をほぼ 100% 近く有するケニアの *Anopheles gambiae* s.s. 個体群に対してメトフルトリンのデバイス No. 3 (図 2D) の空間忌避効果を評価したところ、処理直後においてこのデバイス 2 個/10 m² 処理で無処理区との有意な採集蚊数の減少が見られ、1 ヶ月後も有意差は得られないものの個体数減少が認められた (Kawada et al., 2017a, 2017b)。Kdr はピレスロイドの作用点における抵抗性であり、蚊の忌避行動にも影響を与えると思われるが (Kawada et al., 2014)、このような抵抗性個体群に対してもメトフルトリンの空間忌避効果が認められたことは注目すべきであろう。ピレスロイド抵抗性因子の違い (代謝抵抗性、作用点の感受性低下、皮膚透過性の低下など) とピレスロイドの忌避効果との関係についてはまだ解明されていない点が多い。メトフルトリンの実用効果の評価と並行した上記の作用性解明が今後の課題である。

2. MSRD からの有効成分の揮散と環境要因の関係

MSRD の有効期間は、時間の経過に伴う有効成分の揮散量によって決定されるが、これは有効成分を含有する樹脂からのブリード速度を決定するポリマーの種類や密度などの製剤的要因によって調節することが可能である。揮散速度が速いと高い効果が速効的に出るが、有効期間は短くなる。一方、揮散速度が遅いと効果が長時間持続する可能性があるが、効果が期待できなくなる最小の揮散率より速度が低下すると十分な空間忌避は期待できなくなる。MSRD の有効期間には、上記のような製剤的な要因だけでなく、室温や換気量などの室内環境要因も重要であると思われる。筆者らは、マラウイ南東部の典型的な農村家屋において、家屋内に設置した MSRD からのメトフルトリンの揮散量を化学分析により検出し、家屋構造、室温や換気量などの室内環境因子が MSRD からのメトフルトリンの揮散に与える影響について調査した。

マラウイ南東部の Zomba 地区の Likangara にある隣接した 2 村 (Chliko 村と Chilore 村) で調査を実施した。ゾンバ地区はマラリア流行地域に位置し、主要なマラリア媒介蚊は *Anopheles arabiensis* と *Anopheles funestus* s.s. である。いずれの媒介蚊もピレスロイドと DDT に対して高い代謝抵抗性を有しているが、電位感受性ナトリウムチャンネルにおける変異は検出されていない。調査地の家屋はほとんどが泥レンガで建てられている。レンガには窯で焼いた焼成レンガと天日で乾燥しただけの乾燥レンガの 2 種類あり、家屋はトタン屋根と茅葺き屋根の 2 種類に大別される。100% ではないが、焼成レンガによって建てられた家屋はトタン屋根、乾燥レンガの家屋は茅葺き屋根であることが多く、トタン屋根の家にはアフリカの家屋に特有の eaves が無いことが多い (図 3)。



図3 マラウイ Zomba 地区の典型的家屋. A:トタン屋根を有する焼成レンガ作りの家屋, B:茅葺き屋根を有する日干しレンガ作りの家屋, C:トタン屋根の家屋の多くはeaves構造を持たない, D:茅葺き屋根の家屋の多くはeaves構造を有する.

調査は、雨期である 2015 年 1 月から 5 月にかけて、Chiliko 村のトタン屋根家屋 19 軒と茅葺き屋根の家屋 21 軒を調査対象として実施した。MSRD はデバイス No. 3 (8×15cm のポリエチレン製ネット材にメトフルトリン 10%w/w を含浸させたもの) を使用し、床面積 10 m²あたり約 2 枚あるいは約 3 枚となるように家屋内に設置した (図 3C)。40 軒の家屋には、マイクロデータロガーを MSRD と同じ高さの位置に吊り下げて、2 時間間隔で室温を記録した。MSRD 設置から 4 ヶ月後 (2015 年 5 月) に全ての MSRD を回収し、MSRD 中のメトフルトリン残存量をガスクロマトグラフィーで分析した。家屋内のハマダラカの採集は、午前中にスプレーキャッチ法により行った。

日中 (06:00-18:00) および夜間 (20:00-04:00) の平均室温は、トタン屋根家屋ではそれぞれ 28.7 °C および 25.5 °C、茅葺き屋根家屋では 26.0 °C および 25.1 °C となり、いずれのタイプの家屋でも日中の室温は夜間の室温よりも有意に高かった。また、トタン屋根家屋と茅葺き屋根家屋の室温の差は、日中、夜間共にトタン屋根家屋が有意に高く、さらに、日中と夜間の室温の差はトタン屋根家屋が茅葺き屋根家屋よりも有意に高かった (Kawada et al., 2022)。

MSRD 処理家屋 20 軒 (トタン屋根家屋 8 軒、茅葺き屋根家屋 12 軒) について、MSRD 中に残存するメトフルトリン量の化学分析を行ったところ、トタン屋根家屋および茅葺き屋根家屋それぞれ 62 個の MSRD 中のメトフルトリンの平均残存率 (% w/w) は、トタン屋根家屋で

3.81 %, 茅葺き屋根家屋 1.68 % (未使用の MSRД 中のメトフルトリン含量は 10.6 %) となり, トタン屋根家屋における残量が茅葺き屋根家屋に比べて有意に多いことが分かった (図 4 左)。MSRD を設置していた 4 ヶ月間の平均室温と家屋ごとの MSRД 中のメトフルトリン平均残存量をプロットすると, 茅葺き屋根家屋では残量と平均室温の間に相関は認められなかったのに対し, トタン屋根家屋では相関計数は低いものの正の傾きを示し, 室温が高いほどメトフルトリンの揮散量が少なくなることが示された (図 4 右) (Kawada et al., 2022)。

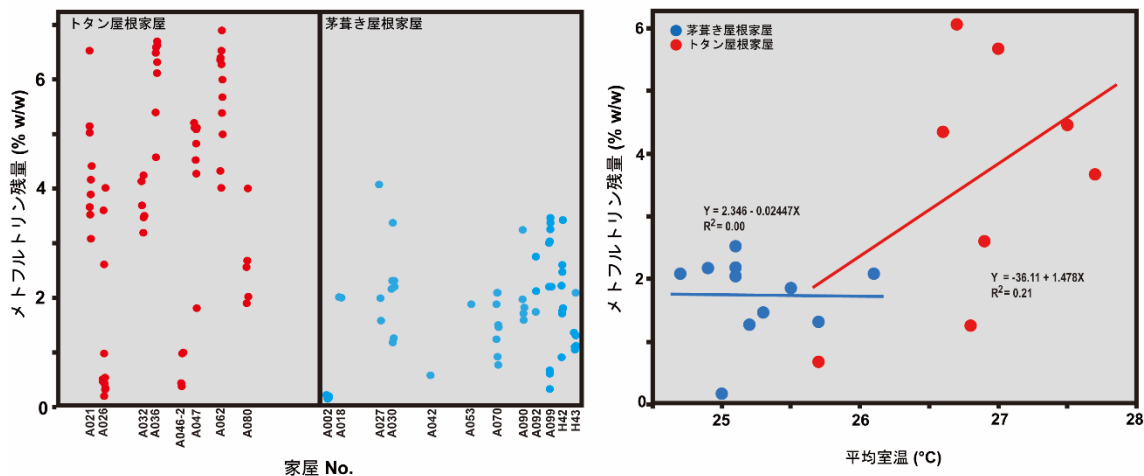


図 4 マラウイ Zomba 地区のトタン屋根家屋と茅葺き屋根家屋に設置したメトフルトリン含有樹脂デバイス中の有効成分残存量 (左) と, 平均室温と残存量との関係 (右)

MSRD 設置前のトタン屋根家屋における蚊の平均採集数は 1.67 頭, 茅葺き屋根家屋では 2.99 頭であり, トタン屋根家屋よりも茅葺き屋根家屋で有意に多かったが, MSRД 設置後の採集数は, トタン屋根家屋で 0.95, 茅葺き屋根家屋で 0.67 となり, 有意な違いは見られなかった (Kawada et al., 2022)。

本調査により, トタン屋根家屋の方が茅葺き屋根家屋よりも日中の室温が高いことが示されたが, これは主に 2 つの屋根材に対する日射の影響の違いによるものと思われる。ほとんどの茅葺き屋根家屋には, 屋根と壁の間に eaves があるのに対して, トタン屋根家屋の多くにはこれがないため, 2 種類の屋根の間の換気量の違いも温度差に寄与している可能性がある。今回調査した茅葺き屋根の家屋 (21 軒) は全て eaves を有していたが, トタン屋根家屋 19 軒のうち 1 軒にしかこの特徴は見られなかった。最近の他の研究では, eaves を有する茅葺き屋根家屋と eaves を持たないトタン屋根家屋とでは, 換気量に大きな差があることが報告されている (Knudsen et al., 2020)。また, 先に述べたように, タンザニアの茅葺き屋根家屋の開放度 (開放面積/家屋の容積) は, ベトナム南部のコンクリート製家屋の 2 倍である (Kawada et al., 2008)。

MSRD 中のメトフルトリン残量の分析結果は予想外のものであった。すなわち, MSRД からのメトフルトリンの揮散量と室温は僅かながら負の相関を示し, 室温が高いほどメトフルトリンの揮散量が減少することが示されたのである。このことから, MSRД のプラスチック表面にブリードしたメトフルトリンの主な揮散要因は温度ではなく別の微気象要因であり, 家屋の構

造の違いから生じる換気による空気の流れである可能性が示唆された。室内が閉鎖的であればあるほど、換気量は少なくなり室温は高くなるが、これがメトフルトリンの揮散量を減少させているのである。セルロース系の紙からのメトフルトリン放出を予測するために考案された数理モデルでは、気化が温度のアレニウス関数として依存し、空気中の物質移動係数は風速に線形に依存することが明らかにされている (Bal et al., 2017)。上記モデルを設計するための実験データによると、温度が 10°C 違ってもメトフルトリンの揮散量に生じる変化は 10^{-4} mol 以下であるのに対し、風速が 0.2 m/sec 増加するだけで 10^{-4} mol 以上の揮散量の増加が起こり、風速が最も大きな影響を与えることを示している (Bal et al., 2017)。低密度ポリエチレン (LDPE) 中の添加剤の消失は、LDPE 表面からの添加剤の消失によって制御され、ポリマー分子を通過してプラスチック表面に到達する添加剤の移動速度に依存する。また温度の上昇は、LDPE フィルム中の添加剤の放出量を増加させる。しかし、添加剤の放出率の大幅な増加が認められる温度範囲は 35–115°C であり、25–35°C の範囲では放出率の増加は非常に低いものであった (Haider and Karlsson, 1999)。上記の論文における添加剤をメトフルトリンと置き換えて考えると、本調査による家屋内の平均室温の温度範囲 (20–30 °C) における温度上昇によって発生する MSRД 表面へのメトフルトリンの移動は非常に低いことが類推される。したがって、メトフルトリンの揮散の大部分は、温度上昇ではなく換気による空気の流れによって促進されると判断できる。

家屋の開放性は、蚊の家屋内への侵入に影響を与える。屋根と壁の間の隙間 (eaves) は蚊の主要な侵入経路と考えられており、この eaves を塞ぐだけで家屋内の *Anopheles gambiae* s.l. の数が 66% 減少した という報告がある (Njie et al., 2009)。屋内で休息するハマダラカのうち、*Anopheles arabiensis* の数は eaves を有する家屋の方が eaves を塞いだ家屋よりも多く、さらに茅葺き屋根家屋についてのみ比較分析を行っても、eaves を開けた場合の方が塞いだ場合よりも有意に *Anopheles gambiae* s.l. 数が多かった (Ondiba et al., 2018)。本調査においても、MSRD を処理しない条件下では、茅葺き屋根家屋で採集されたハマダラカ雌蚊の数はトタン屋根家屋のほぼ 2 倍であったが、MSRD の介入により、トタン屋根家屋でも茅葺き屋根家屋でも蚊の侵入が減少し、侵入数の差は 2 つの屋根のタイプ間で有意ではなくなった。

本調査により、MSRD を処理した茅葺き屋根家屋は、蚊の侵入確率が高いが、室内の換気率が高いことによる空気の流れによって、メトフルトリンの揮散量も多くなり、蚊に対する空間忌避性が高くなることが分かった。これとは対照的に、eaves がないトタン屋根家屋では、室内の気流が少ないためにメトフルトリンの揮散は抑制されるが、蚊の侵入確率も低いために、結果的に茅葺き屋根家屋と同様な MSRД の効果が期待できる (図 5-26)。さらに、Lindsay et al. (2019) が報告しているように、トタン屋根は茅葺き屋根に比べて室温の上昇を招き、蚊の寿命を短くするばかりでなく、マラリア原虫の発育に悪影響を及ぼす可能性がある。次節で述べるが、マラウイの試験地では、半数以上の家屋が茅葺き屋根であったが、LLIN (オリセット・プラス) と MSRД を 10 m² あたり 2 枚ずつ 3 ヶ月間隔で併用することで、媒介蚊の密度が長期に亘って減少することを筆者らは明らかにした (Kawada et al., 2020)。アフリカ農村部の家屋の大半を占める eaves 構造を持つ茅葺き屋根の家屋は、蚊が侵入する確率が高いが、このような家屋構造は換気率が高いために室内の気流により MSRД からのメトフルトリンの揮散率も高く、侵入蚊数の減少につながると考えられる。そして、家屋構造がより閉鎖的な家屋や都市部の家屋では、MSRD

のより長い効果持続時間が期待できる。

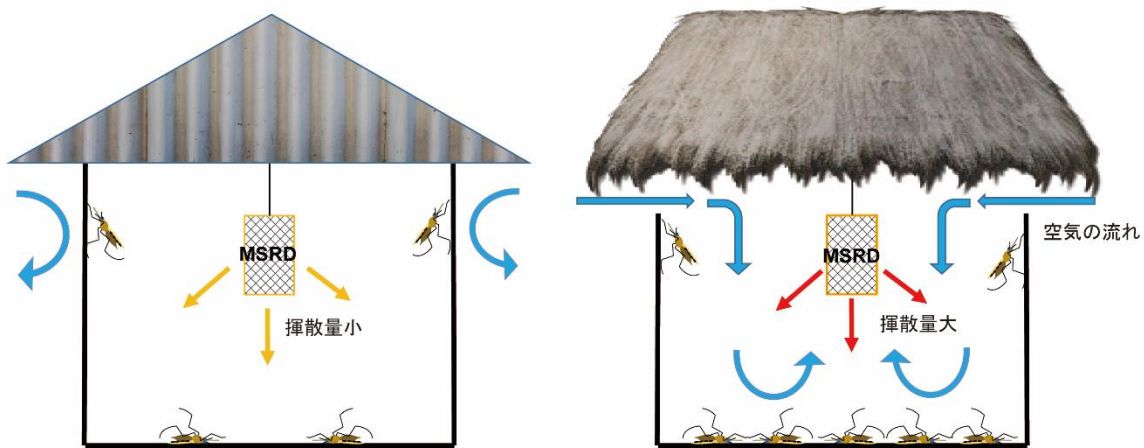


図 5 Eaves 構造を有しないトタン屋根家屋と、eaves 構造を有する茅葺き屋根家屋に MSRD を設置した場合の空気の流れと、侵入してきたマラリア媒介蚊に対する効果の模式図

3. マラウイのマラリア流行地域における MSRD と LLIN の併用による介入試験

新規の自己防衛手段としての可能性を持つ MSRD と LLIN との併用による、ピレスロイド抵抗性蚊の個体群密度抑制、および子供のマラリア感染抑制を目的とした介入試験をアフリカのマラリア流行地において行った。調査地は、マラウイ共和国 Zomba 地区東部の Chiliko 村、Chilore 村、Lamusi 村の隣接 3 村で実施した。マラリアは同地区における主要な感染症の一つであり、死亡原因の 60%以上を占めている (Zomba District Health office, 2009)。調査地に発生する主要なマラリア媒介蚊 (*Anopheles arabiensis*, *Anopheles funestus* s.s.) は、いずれの種もピレスロイドや DDT に代謝抵抗性を有する。

まず、MSRD の用法用量を決定するために、Chiliko 村の家屋を使用して小規模な試験を行った。古い蚊帳を撤去した 29 軒の家屋にオリセット・プラス (ペルメトリン 2%と PBO 1% (w/w) を含有する新しい LLIN) を配布し、11 軒は対照区とした (従来のオリセットネット (ペルメトリン 2% (w/w) を含有する) を使用)。オリセット・プラスを配布した 29 軒のうち 10 軒に MSRD (8×15cm のポリエチレン製ネット材にメトフルトリン 10% (w/w) を含浸させたもの) を 10 m² あたり 2 個となるように設置、残りの 9 軒には 10 m² あたり 3 個を設置した。介入試験は、2015 年 1 月 22 日に開始した。

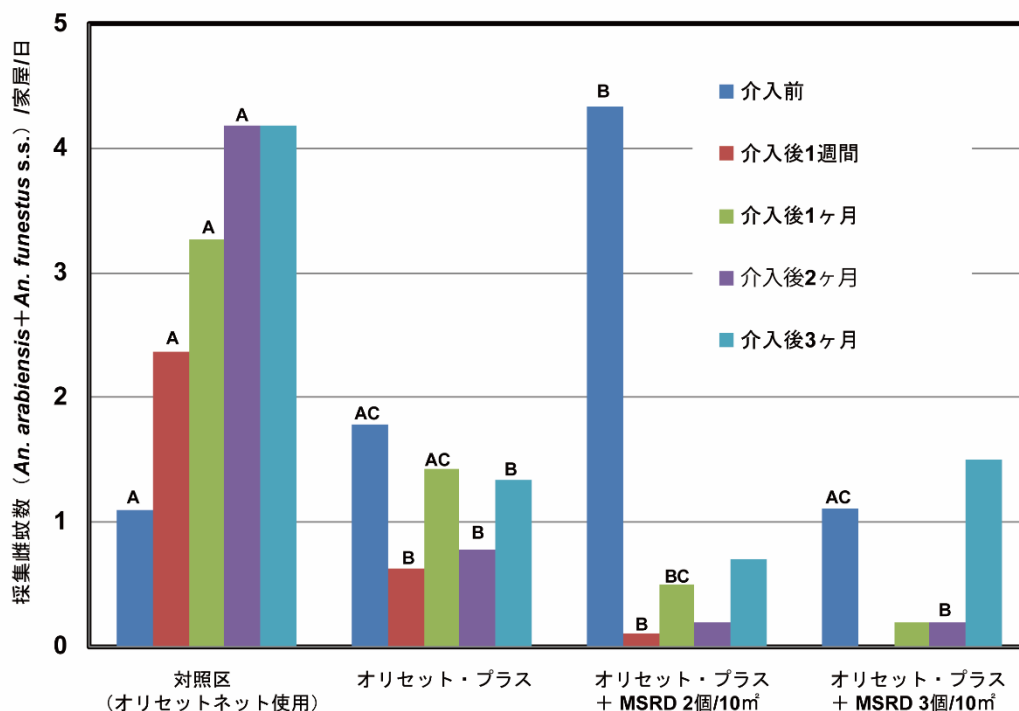


図 6 MSRDRD とオリセット・プラスの併用による小規模予備試験前後における採集雌蚊数の推移 (Kawada et al., 2020)

介入後のスプレーキャッチ法によるハマダラカ採集 (2015 年 1 月～4 月) によって、40 軒の家屋で採集された雌蚊の総数は、*Anopheles arabiensis* 232 頭、*Anopheles funestus* s.s. 82 頭であった。雨期の初めと中頃 (2015 年 1 月～2 月) には、*Anopheles arabiensis* 157 頭、*Anopheles funestus* s.s. 17 頭と、*Anopheles arabiensis* が優占種であったが、雨期の終わり (2015 年 3 月～4 月) には、*Anopheles funestus* s.s. の占める割合が上昇した (*Anopheles funestus* s.s. 65 頭、*Anopheles arabiensis* 75 頭)。介入前、介入 1 週間後、介入 1 ヶ月後、介入 2 ヶ月後、介入 3 ヶ月後において、採集蚊数の減少はオリセット・プラス+MSRDRD (10 m²あたり 2 個、3 個いずれにおいても) で処理した家屋で最も大きかったが、処理後 3 ヶ月目には若干の採集数上昇が認められた (図 6)。したがって、MSRDRD の単回処理の有効期間は 10 m²あたり 2 個で 4 ヶ月未満であると考えられた。さらに、実用コスト削減の観点から、家屋への MSRDRD の処理数は 10 m²あたり 2 個が望ましいと思われた。本調査地では、通常 11 月から 5 月上旬までが雨期であり、この時期が蚊の繁殖期となる。したがって、この 6 ヶ月の期間をカバーするためには、2 回の MSRDRD の処理が必要であると考えられる (Kawada et al., 2020)。

次に、2015 年 5 月から 2016 年 6 月にかけて、オリセット・プラスと MSRDRD の併用による小児のマラリア感染率への影響調査を含めた大規模試験を行った。Chilore 村 (215 軒)、Chiliko 村 (120 軒)、Lamusi 村 (408 軒) の全戸を介入試験対象家屋とした。古い蚊帳を取り除いた後、住民全員をカバーするのに十分な数のオリセット・プラスを全戸に配布した。MSRDRD は、

10 m²あたり 2 個の割合で 1 回処理する方法 (Lamusi 村) と、3 ヶ月の間隔を開けて 2 回処理する方法 (Chilore 村) の 2 種類の介入方法を採用した。Chiliko 村は対照区とした (オリセット・プラスを使用)。2015 年 12 月 9 日～10 日にオリセット・プラスの配布を行い、2 村における MSRD の第 1 回介入は 2016 年 1 月 6 日～12 日まで、Chilore 村における MSRD の第 2 回介入は 2016 年 4 月 22 日～23 日に実施した。2 村における家屋内のハマダラカ採集は、それぞれ 20 軒を無作為に選択して行った。

無作為に選んだ 40 戸の家屋で採集したハマダラカ雌蚊の総数は、187 頭の *Anopheles gambiae* s.l. (*Anopheles arabiensis* 185 頭, *Anopheles gambiae* s.s. 2 頭), および 77 頭の *Anopheles funestus* s.l. (*Anopheles funestus* s.s. 71 頭, *Anopheles rivulorum* 2 頭, *Anopheles parensis* 4 頭) であった。採集された *Anopheles arabiensis* と *Anopheles funestus* s.s. における熱帯熱マラリアのスポロゾイト陽性率は、Chilore 村でそれぞれ 16.4%, 20.5%, Lamusi 村でそれぞれ 5.7%, 11.1%と、いずれも非常に高い値を示した。MSRD による 2 つの方法での介入による蚊の数の差は、介入前および介入後 1, 2, 3 カ月では有意ではなかったが、4 カ月後には有意差があり、MSRD 単回処理では 4 カ月後に空間忌避効果が低下するが、MSRD の 2 回目の処理によって高い空間忌避効果が継続したことが分かる (図 7) (Kawada et al., 2020)。

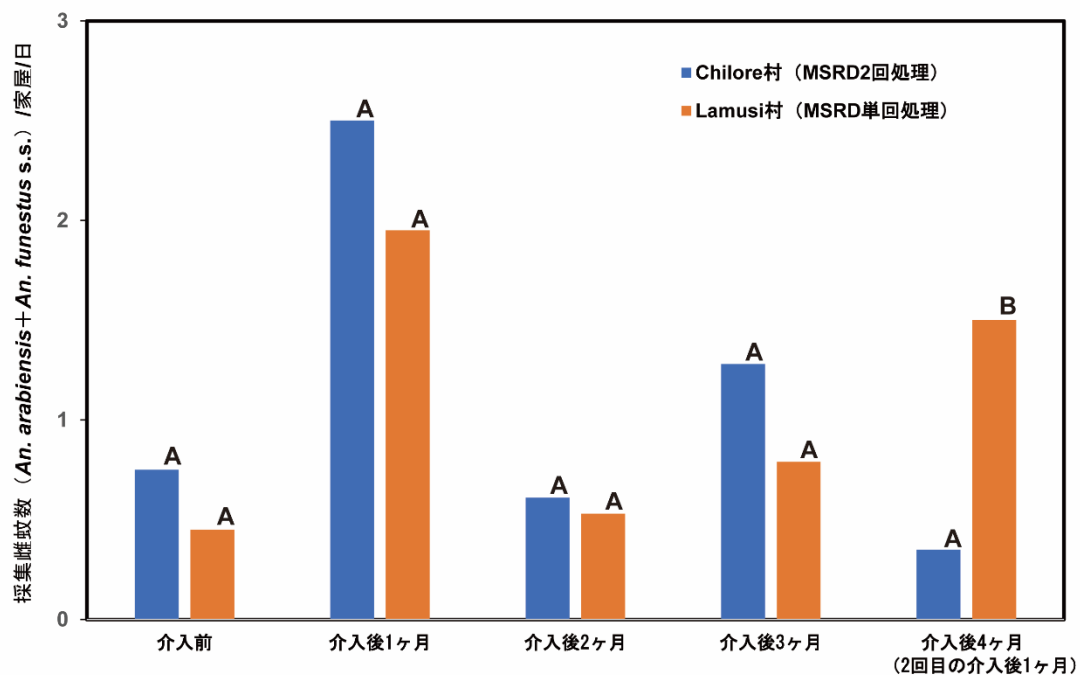


図 7 MSRD とオリセット・プラスの併用による大規模介入試験前後における採集雌蚊数の推移 (Kawada et al., 2020)

10 歳未満の子供の事前採血は、2015 年 5 月 5 日から 8 日にかけて、Chilore 村で 74 人、Chiliko 村で 61 人、Lamusi 村で 112 人に対して実施した。介入後の採血は、2016 年 5 月 2 日～3 日に、Chilore 村で 50 人、Chiliko 村で 44 人、Lamusi 村で 105 人を対象に実施した。各

子供の指から血液サンプル（5 μ L）を採取し、簡易迅速診断キット（RDT）によりマラリア原虫の存在を判断した。さらに 100 μ L の血液を PCR 分析用のろ紙に載せ、実験室に持ち帰り PCR によるマラリア原虫の確認を行った。熱帯熱マラリア陽性の子供には、アルテミシニン/ルメファントリン合剤のシロップを投与して治療した。MSRD を処理した 2 村（Chilore 村、Lamusi 村）は、統計的な有意差は出なかったものの、いずれも介入前に比べ介入後に熱帯熱マラリア原虫の感染率が低下した（図 8）。多くの熱帯熱マラリア陽性の子供の体温が正常範囲内であったことから、これらの子供は大多数の村の成人とともに不顕性感染者であると思われた。このような不顕性感染者は、MSRD や LLIN の介入のみによっては直接影響を受けないマラリア原虫を保有し、吸血する蚊に生殖母体細胞を供給し続けるために、急激な感染率低下は見られないと考えられる（Maeno et al., 2008; Nakazawa et al., 2011）。MSRD や LLIN の介入によって蚊の吸血頻度が減少することは、スポロゾイトのヒトへの感染頻度を減少させるだけでなく、ヒトから蚊への生殖母体の感染率も減少させることになり、トータルの感染率が徐々に低下していくことを意味する。したがって、MSRD を用いた継続的な介入による蚊のヒトからの血液摂取の抑止は、マラリア治療薬などとの併用によって、さらに効果的な結果をもたらすと思われる（Kawada et al., 2020）。

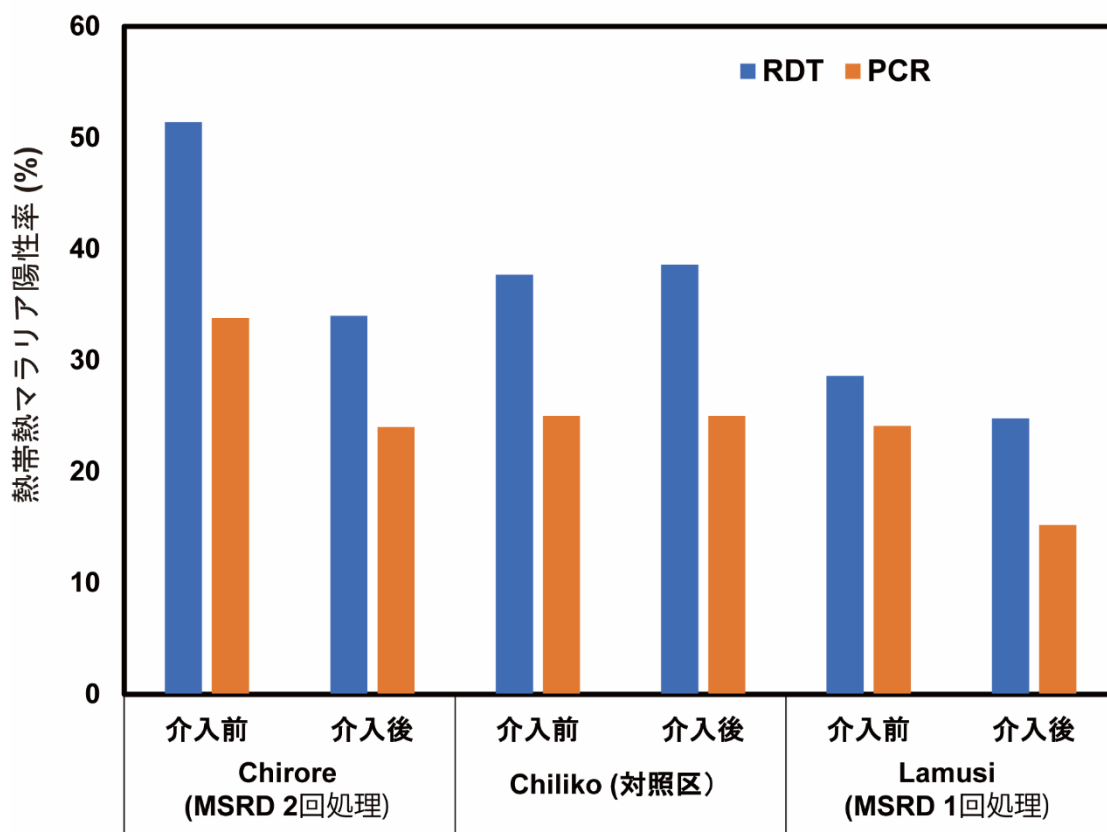


図 8 MSRD とオリセット・プラスの併用による大規模介入試験前後における 10 歳以下の子供の熱帯熱マラリア陽性率の変化（Kawada et al., 2020）。

メトフルトリンがピレスロイド抵抗性の蚊に有効であるメカニズムは、ペルメトリンやデルタメトリンなどのフェノキシベンジルアルコール系ピレスロイドと、トランスフルトリンやメトフルトリンなどのテトラフルオロベンジルアルコール系ピレスロイドの化学構造の違いにより説明できる可能性がある。チトクローム P450 関連の代謝解毒酵素がフェノキシベンジルアルコール部位に好ましく結合し、テトラフルオロベンジル部位には結合しないため、トランスフルトリンがピレスロイド抵抗性の蚊の防除に有効であるとする報告がある (Horstmann and Sonneck, 2016)。また、ペルメトリン抵抗性のネッタイエカに対するトランスフルトリンとメトフルトリンの抵抗性比はペルメトリンよりもはるかに小さい (Argueta et al., 2004b)。

空气中に揮散したメトフルトリンの蚊に対する空間忌避剤としての作用機序は興味深い。気中のメトフルトリンに接触したネッタイシマカは、忌避効果ではなくメトフルトリンの速やかなノックダウン効果と高い致死力により、結果的にヒトの吸血が抑制されるとする報告がある (Ritchie and Devine, 2013)。また、メトフルトリンの常温揮散デバイスを設置した部屋では、ほとんどのネッタイシマカ成虫は忌避によって部屋から逃亡することなく、死亡するかノックダウン状態になったという (Rapley et al., 2009)。一方、これらの報告とは逆に、メトフルトリンを処理した人工小屋での実験において、*Anopheles gambiae* s.s. の顕著な忌避性が報告されている (Stevenson et al., 2018)。この相反する試験結果は、宿主嗜好性の異なる蚊種の違いによるものかもしれない。いずれにせよ、メトフルトリンの空間忌避性は、致死効果、興奮性忌避効果 (Exito-repellency)、寄主探索意欲の減退効果など、複数の効果が複合的に作用した結果であると考えられる。ピレスロイド抵抗性蚊に対するメトフルトリンの作用機序の解明と、MSRDを用いたフィールドでの空間忌避効果のさらなる検証は、マラリア流行地での防除対策にブレークスルーをもたらす可能性がある。

(川田 均)

4. メトフルトリンは空間忌避剤なのか？

メトフルトリンは常温で揮散し、蚊に対してとりわけ高いノックダウン活性や致死活性を有するピレスロイドである。本剤を処理した周辺空間や家屋内から蚊の密度が減少することは良く知られてきたが、空間忌避（Spatial repellency）と呼ばれるこの現象がどのように引き起こされているのかについては完全に明らかにされていない。そこで、タンザニア連合共和国のマラリア媒介蚊発生地域に設置した実験小屋（Experimental hut, 図 9）を用いて、空間忌避効果の作用メカニズムについて検証した。



図 9. タンザニアに設置された実験小屋

実験デザイン

メカニズムを検証するために、まず、メトフルトリンを処理した家屋内の蚊の密度が減少する原因として次の 3 つの仮説を立てた。(1) 蚊が屋内への侵入を避ける。(2) 蚊は屋内に侵入するが、すぐにノックダウンしてカウントされず、見かけ上減少する。(3) 蚊は屋内に侵入するが、すぐに屋外へ脱出する。

これらの仮説を検証するため次のような実験を行った。実験小屋の軒下に蚊の侵入口を設け、室内側に三角錐状のかえし(図 10a)を設置していったん侵入した蚊が脱出できないようにした。別の軒下に蚊の脱出口を設け(図 10a)、その外側にトラップ部屋(図 10b)を設置して室外に脱出した蚊をトラップした。このような実験小屋(室内のサイズは W260 × D260 × H254 cm)の天井中央部にメトフルトリンを 10%w/w 含有する樹脂製剤(約 2 g)を設置し(図 10a)、夕刻に蚊の誘引源として子牛を室内に入れた。翌朝に室内とトラップ部屋で生きた蚊を採集し、侵入した蚊の総数(室内+トラップ部屋の採集数)と、脱出した蚊の割合(総数に対するトラップ部屋の採集数の割合)を求めた。室内の床には白いシートを敷いておき、室内で致死した蚊を集めてカウントした。

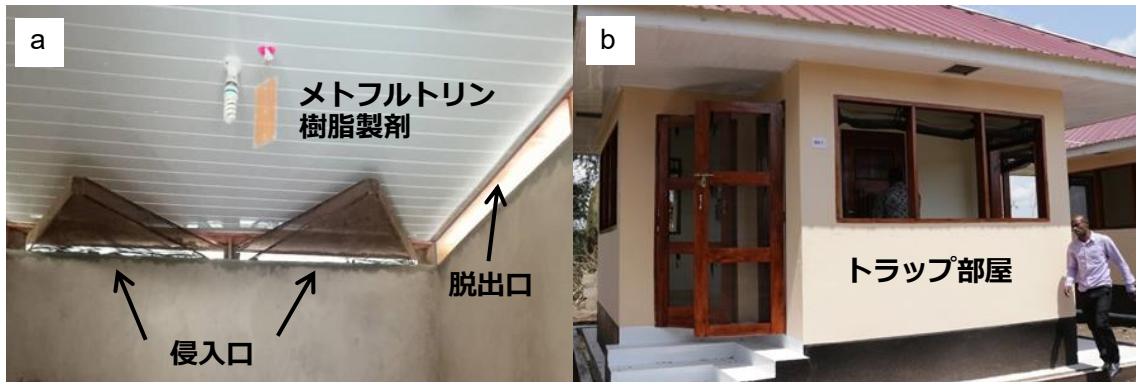


図 10. 実験小屋室内天井部 (a) および、実験小屋室外のトラップ部屋 (b)

実験には 10 軒の実験小屋を使用し、5 軒を処理区、5 軒を無処理区とした。処理小屋と無処理小屋はそれぞれ 2 軒ずつ隣り合うようにランダムに配置した (図 11)。すべての小屋で薬剤処理前に子牛を囿にした採集を 3 週間実施したのち、処理小屋にメトフルトリン樹脂製剤を設置し、5 週間にわたって各週 4 夜連続で子牛を導入した。薬剤処理量は 1 軒あたり樹脂製剤 1 個 (=1.5 個/10 m², 0.6 個/10 m³) であった。翌朝に蚊を目視で採集し、腹部に血液を持つ蚊と未吸血の蚊を区別してカウントし、清潔なカップに入れてその後の死虫率を観察した。対象害虫はアラビエンシスハマダラカ *Anopheles arabiensis* とネッタイエカ *Culex quinquefasciatus* であった。なお、本調査地のアラビエンシスハマダラカはペルメトリンに対して高度の代謝抵抗性を持つことが確かめられている。

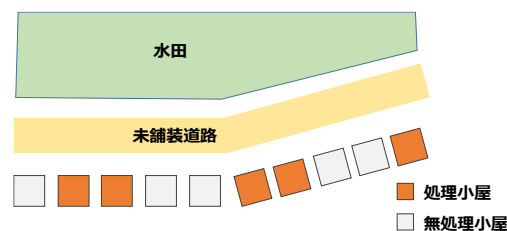


図 11. 処理小屋と無処理小屋の配置

侵入個体数

小屋への蚊の侵入個体数 (室内+トラップ部屋の採集数) を図 12 に示す。薬剤処理前に採集された蚊の数は、処理を予定している小屋でやや多かった。一方、薬剤処理後はアラビエンシスハマダラカで侵入数が約半数に減少し (図 12 上)、ネッタイエカでは半数以下に減少した (図 12 下)。

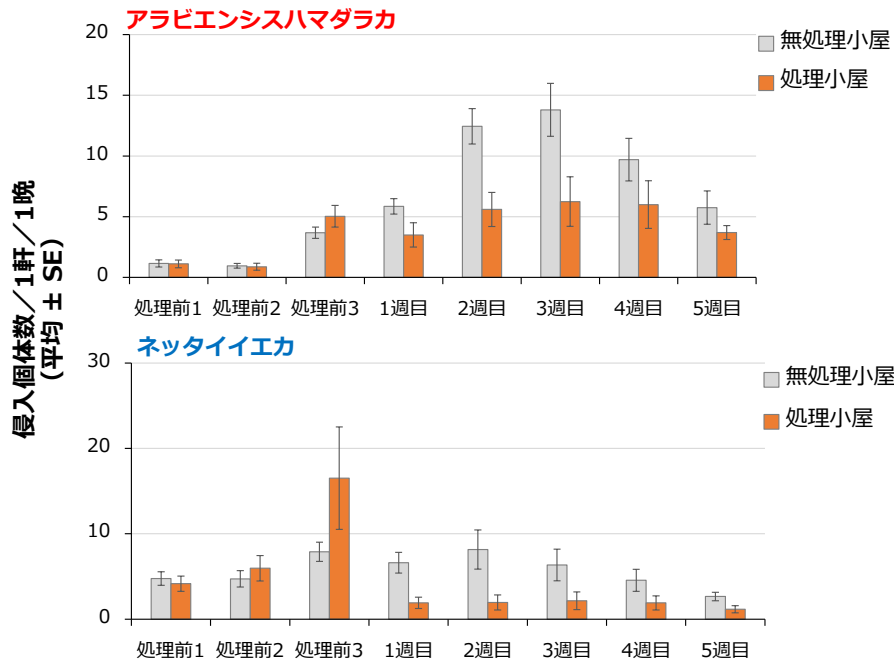


図 12. 実験小屋へのアラビエンシスハマダラカ（上）とネットアイエカ（下）の侵入個体数

吸血率

吸血していたアラビエンシスハマダラカの個体の割合および実数を図 13 に示す。無処理小屋におけるアラビエンシスハマダラカの吸血率は高く、80%以上の個体が吸血していた(図 13 上)。

実験小屋周辺には吸血源となる動物が不在のため、ほとんどの個体は誘引源の子牛から吸血したと考えられた。一方、処理小屋では吸血率が 30~60%に減少した(図 13 上)。上述したように、処理小屋への侵入個体数が無処理小屋に比べて少なかったため、吸血個体の実数は、無処理区に比べて処理小屋で大きく減少した(図 13 下)。

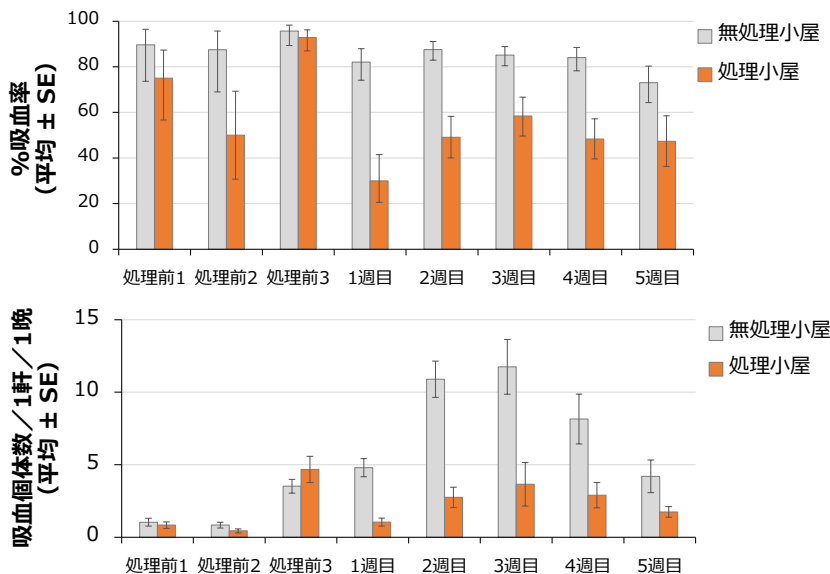


図 13. アラビエンシスハマダラカの吸血率（上）と吸血個体数（下）

次にネットアイエカの吸血個体の割合および実数を図 14 に示す。ネットアイエカでは無処理小屋で 40%前後の吸血率を示したが、処理小屋における吸血率は極めて低く（図 14 上）、吸血個体の実数はほとんどゼロとなった（図 14 下）。

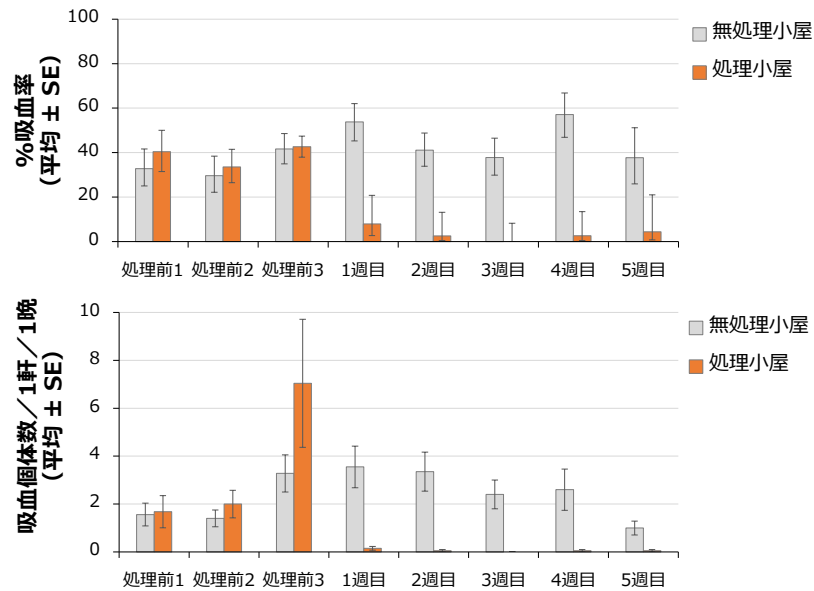


図 14. ネットアイエカの吸血率（上）と吸血個体数（下）

脱出率

脱出トラップ内で採集されたアラビエンシスハマダラカとネッタイエカの個体数の割合を、処理前と処理後のデータをそれぞれプールして図 15 に示す。いずれの種も、無処理小屋で 7 割前後の個体が室外に脱出した。一方、薬剤処理小屋では脱出率がいずれの種も 90%以上に増加し、無処理小屋より有意に高かった。このことから、いったん侵入した個体も、薬剤処理区ではほとんどの個体が室外に脱出することが示された。

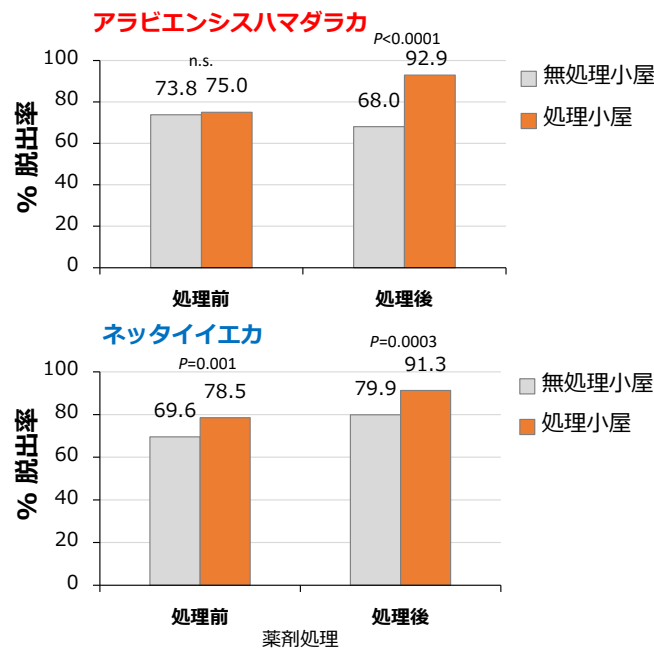


図 15. トラップ部屋で捕獲されたアラビエンシスハマダラカ（上）とネッタイエカ（下）の割合

致死率

室内で致死していた個体の割合を図 16 に、生存個体の採集 24 時間後の致死率を図 17 に示す。室内で致死していた個体の割合（総採集個体数に対する致死率）は薬剤処理小屋でも極めて低く、アラビエンシスハマダラカで 0.99%，ネッタイエカでは 4.23%であった。処理小屋で採集された個体の 24 時間後の致死率も高くはなく、アラビエンシスハマダラカで 5.8%，ネッタイエカでは 3.6%であった。これらの結果は、蚊に対する小屋への侵入阻害効果や吸血活動の阻害効果が、非致死的な薬量で引き起こされていることを示している。

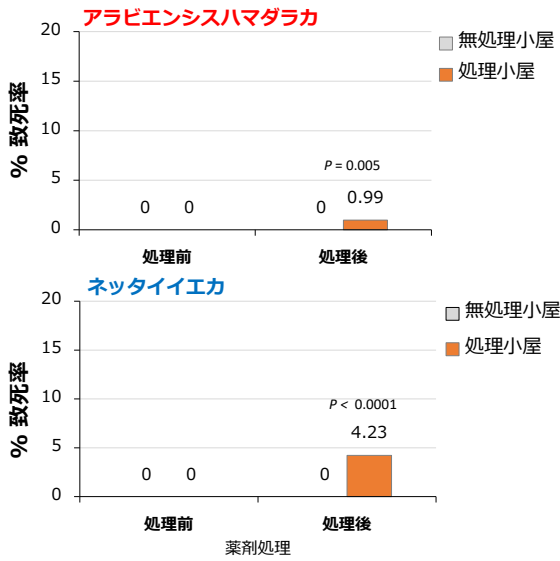


図 16. 室内で致死していた個体の割合

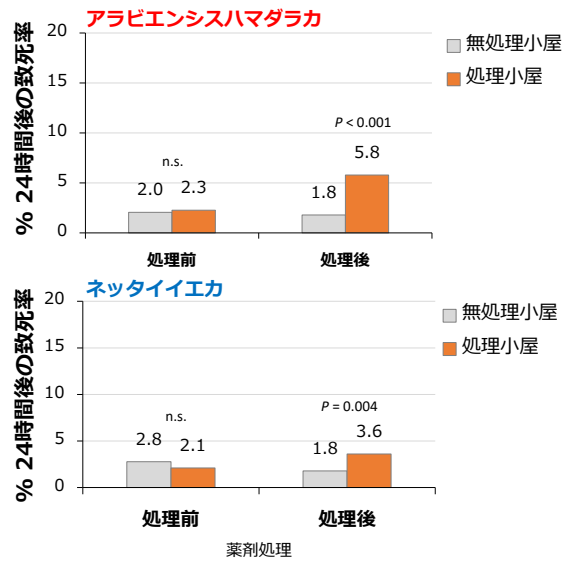


図 17. 生存個体の採集 24 時間後の致死率

まとめ

以上の結果を図 18 にまとめた。メトフルトリン樹脂製剤を設置することで小屋への蚊の侵入数は、半減、もしくは半減以下となり、いったん侵入した個体の大半が室外に脱出したことから、空气中に揮散したメトフルトリンが、誘引源に定位する蚊に対して室内への侵入を阻害し、室内に侵入した蚊の脱出率をも高めることが明らかとなった。一方、小屋内で致死していた個体はわずかに 1%程度であったことから、薬剤によるノックダウン効果によって蚊の密度が見かけ上減少するという仮説は否定された。すなわち、メトフルトリンは非致死的なわずかな薬量で、蚊の侵入数の減少と脱出数の増加を引き起こし、これらの作用が本剤による空間忌避効果の主なメカニズムであると考えられた。このような効果は、ピレスロイド抵抗性ハマダラカに対しても有効であった。

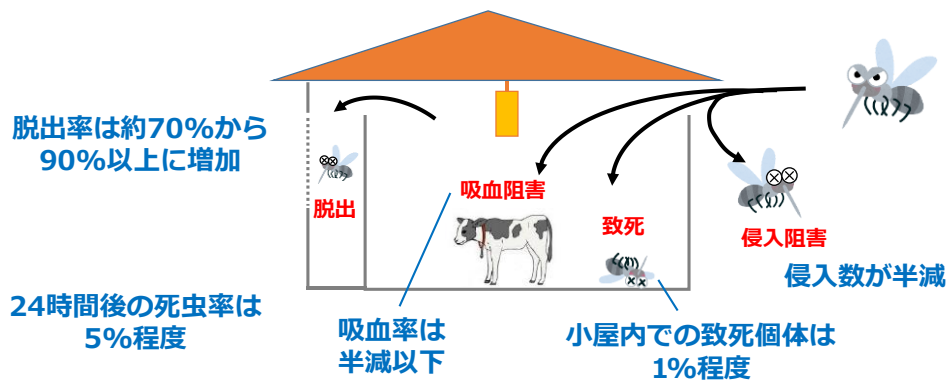


図 18. メトフルトリン樹脂製剤の蚊に対する効果

(大橋和典)

引用文献

- Argueta TBO, Kawada H, Takagi M (2004a) Spatial repellency of metofluthrin-impregnated multilayer paper strip against *Aedes albopictus* in the outdoor conditions, Nagasaki, Japan. *Medical Entomology and Zoology*, 55: 211–216.
- Argueta TBO, Kawada H, Sugano M, Kubota S, Shono Y, Tsushima K, Takagi M (2004b) Comparative insecticidal efficacy of a new pyrethroid, metofluthrin, against colonies of Asian *Culex quinquefasciatus* and *Culex pipiens pallens*. *Medical Entomology and Zoology*, 55: 289–294.
- Bal V, Gayasena V, Bibals R, Avhad AP, Chakrabarty D, Bandyopadhyaya R (2017) Modeling and experiments on release of metofluthrin from a thin cellulosic-polymer film. *Chemical Engineering Research and Design*, 118: 31–40.
- Haider N, Karlsson S (1999) Migration and release profile of Chimassorb 944 from low-density polyethylene film (LDPE) in simulated landfills. *Polymer Degradation and Stability*, 64: 321–328.
- Horstmann S, Sonneck R (2016) Contact bioassays with phenoxybenzyl and tetrafluorobenzyl pyrethroids against target-site and metabolic resistant mosquitoes. *PLoS One*, 11: e0149738.
- Itokawa K, Komagata O, Kasai S, Kawada H, Mwatele C, Dida GO, Njenga SM, Mwandawiro C, Tomita T (2013) Global spread and genetic variants of the two CYP9M10 haplotype forms associated with insecticide resistance in *Culex quinquefasciatus* Say. *Heredity*, 111: 216–226.
- Kawada H, Maekawa Y, Tsuda Y, Takagi M (2004a) Laboratory and field evaluation of spatial repellency with metofluthrin-impregnated paper strip against mosquitoes in Lombok Island, Indonesia. *Journal of American Mosquito Control Association*, 20: 292–298.
- Kawada H, Maekawa Y, Tsuda Y, Takagi M (2004b) Trial of spatial repellency of metofluthrin-impregnated paper strip against *Anopheles* and *Culex* in shelters without walls in Lombok, Indonesia. *Journal of American Mosquito Control Association*, 20: 434–437.
- Kawada H, Maekawa Y, Takagi M (2005a) Field trial of the spatial repellency of metofluthrin-impregnated plastic strip against mosquitoes in shelters without walls (Beruga) in Lombok, Indonesia. *Journal of Vector Ecology*, 30: 181–185.
- Kawada H, Yen NT, Hoa NT, Sang TM, Dan NV, Takagi M (2005b) Field evaluation of spatial repellency of metofluthrin impregnated plastic strips against mosquitoes in Hai Phong city, Vietnam. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 73: 350–353.

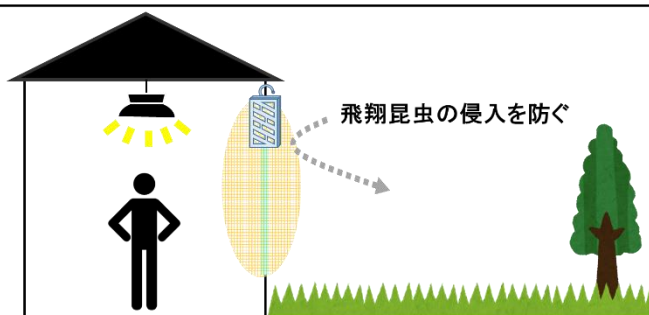
- Kawada H, Iwasaki T, Loan LL, Tien TK, Mai NTN, Shono Y, Katayama Y, Takagi M (2006) Field evaluation of spatial repellency of metofluthrin-impregnated latticework plastic strips against *Aedes aegypti* (L.) and analysis of environmental factors affecting its efficacy in My Tho city, Tien Giang, Vietnam. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 75: 1153–1157.
- Kawada H, Temu EA, Minjas JN, Matsumoto O, Iwasaki T, Takagi M (2008) Field evaluation of spatial repellency of metofluthrin-impregnated plastic strips against *Anopheles gambiae* complex in Bagamoyo, coastal Tanzania. *Journal of American Mosquito Control Association*, 24: 404–409.
- Kawada H, Higa Y, Nguyen TY, Tran HS, Nguyen TH, Takagi M (2009a) Nationwide investigation on the pyrethroid susceptibility of mosquito larvae collected from used tires in Vietnam. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 3: e0000391.
- Kawada H, Higa Y, Komagata O, Kasai S, Tomita T, Nguyen TH, Luu LL, Sánchez RAP, Takagi M (2009b) Widespread distribution of a newly found point mutation in voltage-gated sodium channel in pyrethroid resistant *Aedes aegypti* populations in Vietnam. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 3: e0000527.
- Kawada H, Dida GO, Ohashi K, Komagata O, Kasai S, Tomita T, Sonye G, Maekawa Y, Mwatele C, Njenga SM, Mwandawiro C, Minakawa N, Takagi M (2011a) Multimodal pyrethroid resistance in malaria vectors *Anopheles gambiae* s.s., *Anopheles arabiensis*, and *Anopheles funestus* s.s. in western Kenya. *PLoS One*, 6: e24323.
- Kawada H, Futami K, Komagata O, Kasai S, Tomita T, Sonye G, Mwatele C, Njenga SM, Mwandawiro C, Minakawa N, Takagi M (2011b) Distribution of a knockdown resistance mutation (L1014S) in *Anopheles gambiae* s.s. and *Anopheles arabiensis* in Western and Southern Kenya. *PLoS One*, 6: e24323.
- Kawada H, Ohashi K, Dida GO, Sonye G, Njenga SM, Mwandawiro C, Minakawa N (2014) Insecticidal and repellent activities of pyrethroids to the three major pyrethroid-resistant malaria vectors in western Kenya. *Parasites & Vectors*, 7: 208.
- Kawada H (2017a) Possible new controlling measures for the pyrethroid-resistant malaria vectors. *Annals of Community Medicine and Practice*, 3: 1019.
- Kawada H (2017b) Potential control measures for pyrethroid-resistant malaria vectors. *Acta Horticulturae*, 1169: 59–72.
- Kawada H, Nakazawa S, Shimabukuro K, Ohashi K, Kambewa EA, Pemba DF (2020) Effect of metofluthrin-impregnated spatial repellent devices combined with new long-lasting insecticidal nets (Olyset® Plus) on pyrethroid-resistant malaria vectors and malaria prevalence - Field trial in south-eastern Malawi. *Japanese Journal of Infectious Diseases*, 73: 124–131.

- Kawada H, Nakazawa S, Ohashi K, Kambewa EA, Pemba DF (2022) Effect of indoor environmental factors and house structures on vaporization of active ingredient from spatial repellent devices in rural houses in Malawi. *Japanese Journal of Infectious Diseases*, 75 : 288–295.
- Knudsen JB, Pinder M, Jatta E, Jawara M, Yousuf MA, Søndergaard AT, Lindsay SW (2020) Measuring ventilation in different typologies of rural Gambian houses: a pilot experimental study. *Malaria Journal*, 19: 273.
- Lindsay SW, Jawara M, Mwesigwa J, Achan J, Bayoh N, Bradley J, Kandeh B, Kirby MJ, Knudsen J, Macdonald M, Pinder M, Tusting LS, Weiss DJ, Wilson AL, D’Alessandro U (2019) Reduced mosquito survival in metal-roof houses may contribute to a decline in malaria transmission in sub-Saharan Africa. *Scientific Reports*, 9: 7770.
- Maeno Y, Nakazawa S, Dao LD, Yamamoto N, Giang ND, Hanh TV, Thuan LK, Taniguchi K (2008) A dried blood sample on filter paper is suitable for detecting *Plasmodium falciparum* gametocytes by reverse transcription polymerase chain reaction. *Acta Tropica*, 107: 121–27.
- Nakazawa S, Culleton R, Maeno Y (2011) In vivo and in vitro gametocyte production of *Plasmodium falciparum* isolates from Northern Thailand. *International Journal of Parasitology*, 41: 317–23.
- Njie M, Dilger E, Lindsay SW, Kirby MJ (2009) Importance of eaves to house entry by anopheline, but not culicine, mosquitoes. *Journal of Medical Entomology*, 46: 505–510.
- Ondiba IM, Oyieke FA, Ong’amo GO, Olumula MM, Nyamongo IK, Estambale BBA (2018) Malaria vector abundance is associated with house structures in Baringo County, Kenya. *PLoS One*, 13: e0198970.
- Rapley LP, Russell RC, Montgomery BL, Ritchie SA (2009) The effects of sustained release metofluthrin on the biting, movement, and mortality of *Aedes aegypti* in a domestic setting. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 81: 94–99.
- Ritchie SA, Devine GJ (2013) Confusion, knock-down and kill of *Aedes aegypti* using metofluthrin in domestic settings: a powerful tool to prevent dengue transmission? *Parasites & Vectors*, 11: 262.
- Stevenson JC, Simubali L, Mudenda T, Cardol E, Bernier UR, Vazquez AA, Thuma PE, Norris DE, Perry M, Kline DL, Cohnstaedt LW, Gurman P, D’hers S, Elman NM (2018) Controlled release spatial repellent devices (CRDs) as novel tools against malaria transmission: a semi-field study in Macha, Zambia. *Malaria Journal*, 17: 437.

1. はじめに

吊り型空間用虫よけ剤は、一般的には常温揮散性で、虫に対して高活性のピレスロイドを有効成分とし、メッシュ状の構造体に担持させた薬剤本体を容器に収納したもので、ベランダなど屋内と屋外の境目に設置することで、ピレスロイドが周囲に揮散し飛翔昆虫が屋外から屋内へ侵入することを防ぐ製剤である（図1）。本報にて示す樹脂蒸散剤も吊り型空間用虫よけ剤の一つであり、有効成分を樹脂製のメッシュに担持させたものである。

吊り型空間用虫よけ剤について



・設置するだけで効果を発揮

図1. 吊り型空間用虫よけ剤の侵入阻止効果のイメージ

ピレスロイドは、空間中の有効成分濃度が高い場合には、害虫に対するノックダウン、致死の効果を示し、濃度が低い場合には、害虫に対する忌避効果を示すことが明らかにされている^{文献1)}。吊り型空間用虫よけ剤は、このピレスロイドの低濃度での忌避効果を応用したものである。

吊り型空間用虫よけ剤の対象となる害虫としては、弊社では、家の中に入ってきて特に困る虫に挙げられる、蚊、ユスリカ、チョウバエなどの飛翔昆虫を対象として効果を検証しているが、本報では、このうち衛生害虫である蚊を対象として検討された製剤設計とその効果について報告する。

2. 製剤設計

I. 使用方法の設定

蚊を対象とする上で、吊り型空間用虫よけ剤として、まず、どのような使用方法が有用であるか蚊の生態を鑑みて検討した。

蚊は人に寄りつき吸血する習性があり、屋内、屋外ともに刺咬被害のリスクが生じる。吊り型空間用虫よけ剤を使用した蚊対策として、屋内と屋外の境目に設置することで、吸血のために屋外から屋内に入って来ようとする蚊の侵入を阻止する使用方法がまず考えられる。加えて、屋外においても吸血するために蚊が人に近づいて来ることから、屋外に設置しておくことで、その周

囲で蚊を忌避するという使用方法も蚊対策として重要であると考え設計を進めた（図2）。

使用方法

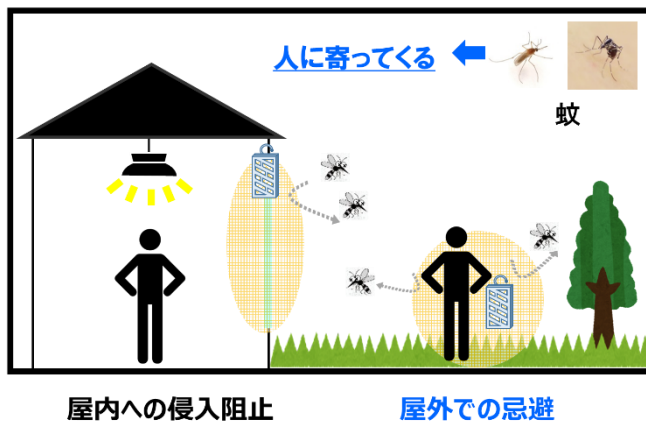


図2. 蚊を対象とした使用方法の設定

これらの使用方法が可能な製剤とするには、屋外の開放空間において蚊に対する効果を一定期間にわたって持続させる必要がある。そこで次に、蚊に対して高い効果を発揮するための有効成分の選定と効果を長期間持続させるための有効成分の担持方法の検証を行った。

II. 有効成分の選定

吊り型空間用虫よけ剤は、熱源等を必要とせず、設置するだけで薬剤が周囲に広がり蚊に対する効果を発揮する必要があるため、その有効成分には、常温揮散性であること、及び蚊に対する活性の高さが求められる。ピレスロイドの蒸気圧と揮散性並びに常温揮散性ピレスロイドの蚊に対する基礎活性を表1及び表2に示す。

表1. ピレスロイドの蒸気圧と揮散性

薬剤名	蒸気圧 mmHg(×10 ⁻⁵)※1	揮散性
エムペントリン	18	常温で揮散
プロフルトリン	7.7	
トランスフルトリン	2.56	
メトフルトリン	1.35	
アレスリン	0.59	揮散に加熱が必要
プラレトリン	0.48	

※1. 文献2) より引用

表 2. 常温揮散性ピレスロイドの蚊に対する基礎活性

薬剤名	アカイエカ成虫微量滴下法 LD ₅₀ ($\mu\text{g}/\text{匹}$) ^{※2}
エムペントリン	0.10
プロフルトリン	0.014
トランスフルトリン	0.006
メトフルトリン	0.0015

※2. 文献3)、4)より引用

上表に示した通り、トランスフルトリン及びメトフルトリンは、ピレスロイドの中でも常温揮散性であり、且つ蚊に対して特に高い基礎活性を示す。その特性から蚊を対象とした吊り型の空間用虫よけ剤の有効成分として適していると考えられた。

III. 有効成分担持方法の検討

続いて、効果を長期間持続させるための有効成分担持方法の検討を行った。有効成分担持方法として、合成繊維を編んだメッシュ上に有効成分を含んだ薬液を塗布した薬剤塗布タイプと、樹脂と有効成分を高温で溶解・混合しメッシュ状に成型した薬剤練り込みタイプの2種類の樹脂蒸散剤を試作し(図3)、それぞれの有効成分の揮散推移を調べた。

有効成分担持方法の選定

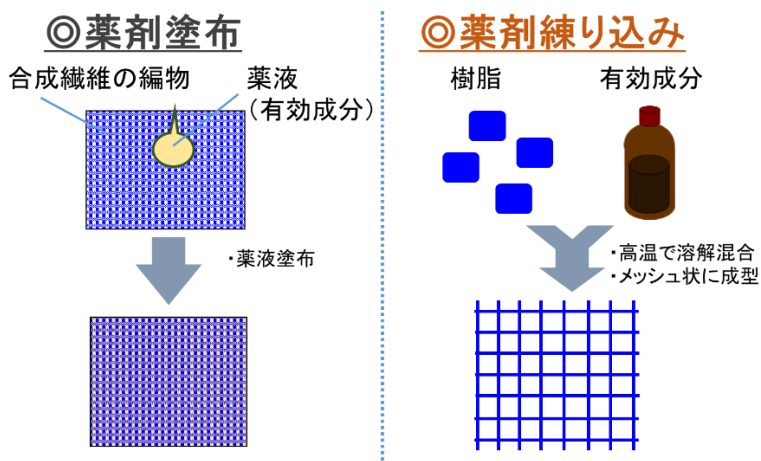
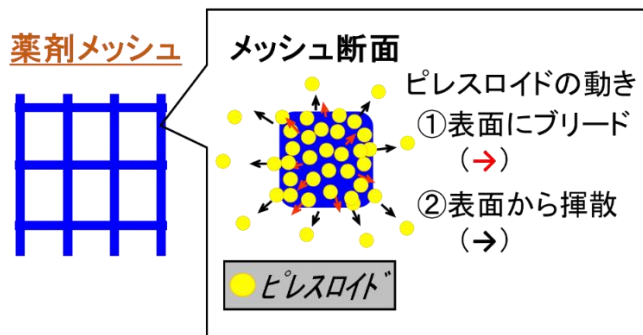


図3. 有効成分担持方法

その結果、薬剤塗布タイプは、使用初期に有効成分が急激に揮散し、後半は有効成分がほとんど残っておらず揮散量が著しく低下した。一方で薬剤練り込みタイプは、有効成分が揮散している期間中、揮散量が安定していた。弊社では、この結果をもとに、薬剤練り込みタイプの樹脂蒸散剤が効果を長期間持続させるのに適していると判断し、こちらを吊り型空間用虫よけ剤に採

用した。

薬剤練り込みタイプの樹脂蒸散剤のメッシュ簡略図及び有効成分の揮散メカニズムを模式的に図4に示す。

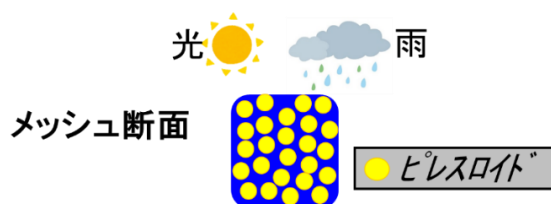


ブリード調節されることで揮散量が安定

図4. 薬剤練り込みタイプの樹脂蒸散剤における有効成分の揮散メカニズム

上図において、黄色い丸で示した有効成分は、メッシュの樹脂の中に練り込まれており、まず樹脂の内部から表面へ拡散移動（ブリード）し（ステップ①）、そして表面から揮散する（ステップ②）と考えられる。このように連続して樹脂内部の有効成分が表面にブリードしてから揮散することで揮散量が安定するものとする。

また、有効成分を練り込むことによるメリットとして有効成分の保護が挙げられる。ピレスロイドは、家庭用に使用される有効成分として、虫に対する高い活性のみならず、人、環境に対する高い安全性が求められ、虫に対する効果を発揮後は速やかに分解される^{文献5)}。一方、この環境中で速やかに分解されるという特性は、屋外で長期間使用するには不利な性質である。そのため、吊り型空間用虫よけ剤の製剤化において有効成分のピレスロイドをいかに安定化させるかが重要であるが、樹脂に練り込むことで、光などによる分解や雨による流出から守られる（図5）。



樹脂に練り込むことで有効成分が守られる

図5. 樹脂への練り込みによる有効成分の保護

以上のように、有効成分として常温揮散性で蚊に対する基礎活性の高いメトフルトリン、トランスフルトリンを使用し、それを樹脂メッシュに練り込んだ樹脂蒸散剤とすることで、安定した揮散性能と環境安定性が得られ、その結果、蚊に対して長期間安定した効果を発揮する製剤となった。

常温揮散性のピレスロイドを有効成分とした樹脂蒸散剤は、火も電池も必要がなく、また雨に強く、屋外に設置したままでも、長期間蚊対策が可能であり、従来の屋外で使用できる蚊対策製剤

の蚊取り線香や電池式蚊取りと比較して長期間、簡単手軽に使用できる点がメリットである(図6)。

屋外の蚊対策製剤









<p style="text-align: center;">樹脂蒸散剤</p>  <p>★火も電池も不要 ★雨に強い ★屋外に設置したまま 長期間蚊対策可能</p>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="background-color: #4CAF50; color: white; text-align: center; padding: 5px;">蚊取り 線香</td> <td style="background-color: #0070C0; color: white; text-align: center; padding: 5px;">電池式 蚊取り</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"> <ul style="list-style-type: none"> ●火や電池が必要 ●雨に弱い ●毎回準備・片付け </td> </tr> </table>	蚊取り 線香	電池式 蚊取り			<ul style="list-style-type: none"> ●火や電池が必要 ●雨に弱い ●毎回準備・片付け 	
蚊取り 線香	電池式 蚊取り						
							
<ul style="list-style-type: none"> ●火や電池が必要 ●雨に弱い ●毎回準備・片付け 							

図6. 従来の屋外の蚊対策製剤との比較

3. 効力評価

上記設計に基づき製剤化した樹脂蒸散剤(表3)について効力評価を行った。評価項目として、吸血のために屋内へ侵入しようとする蚊に対する侵入阻止効果と、屋外で吸血のために飛来する蚊に対する忌避効果の2つの効果について試験を実施した。

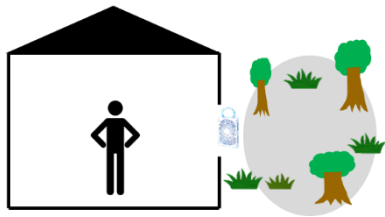
表3. 供試薬剤

蚊に効く虫コナーズプレミアムプレートタイプ 250日無臭 (弊社蚊対策用樹脂蒸散剤)		
有効成分	トランスフルトリン	
使用期間	約 250 日間	
効能	蚊成虫の侵入阻止又は忌避	

I. 蚊に対する侵入阻止効果

(試験方法)

殺虫剤効力試験法解説^{文献6)}の侵入阻止試験法に準拠し以下の手順で実施した。



1. 供試薬剤を居室の窓付近に設置し、観察者が居室に入った。
2. 薬剤使用前及び使用中の蚊の侵入数を観察し、次式により侵入阻止率を算出した。

$$\text{侵入阻止率 (\%)} = \frac{\text{使用前の侵入数} - \text{使用中の侵入数}}{\text{使用前の侵入数}} \times 100$$

(結果)

表4. 侵入阻止試験の結果

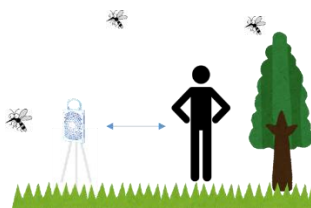
侵入阻止率	
使用初期	使用末期
95%	90%

侵入阻止率は使用初期で95%、使用末期でも90%と使用初期から末期まで蚊に対して高い侵入阻止効果が確認できた(表4)。

II. 屋外での蚊に対する忌避(飛来阻止)効果

(試験方法)

殺虫剤効力試験法解説^{文献6)}の飛来阻止試験法に準拠し以下の手順で実施した。



1. 供試薬剤を被験者の1 m離れた所に設置した。
2. 薬剤使用前後および使用中の蚊の飛来数を観察し、次式より飛来阻止率を算出した。

$$\text{飛来阻止率 (\%)} = \frac{\text{使用前後の平均飛来数} - \text{使用中の飛来数}}{\text{使用前後の平均飛来数}} \times 100$$

(結果)

表 5. 飛来阻止試験の結果

飛来阻止率	
使用初期	使用末期
88%	88%

飛来阻止率は、使用初期から末期まで 80%を超え、実用性のある安定した高い飛来阻止効果が確認できた (表 5)。

4. まとめ

吊り型空間用虫よけ剤について、蚊を対象とした製剤設計の検証と効力評価を実施した。

製剤設計としては、蚊を対象とした場合の効果として、蚊の生態を鑑み、屋内への侵入阻止効果とともに屋外における忌避効果が重要であると考え、これら 2 つの効果が得られる製剤を目指した。検証の結果、有効成分には、常温揮散性且つ蚊に対する基礎活性の高いトランスフルトリンとメトフルトリンが適していると考えられた。また、長期間にわたり安定した揮散性能と環境安定性を得るために、有効成分を樹脂に練り込んで担持させる樹脂蒸散剤の技術が有用であることが確かめられた。

設計した樹脂蒸散剤の蚊に対する効力評価として、実地における侵入阻止試験と飛来阻止試験を実施した。その結果、侵入阻止試験においては使用初期から末期まで高い侵入阻止効果が確認できた。また、屋外における飛来阻止試験においても使用末期まで高い飛来阻止効果が確認された。

以上の結果から常温揮散性ピレスロイドを有効成分とする樹脂蒸散剤は、設置したまま長期間にわたって蚊に対して安定した効果を発揮することが確かめられ、屋内外での衛生対策上の有用性が確認できた。

(参考文献)

- 1) 松永 忠功 ピレスロイドの害虫忌避性 環境管理技術 Vol.8/No.4 p16-18 (1990)
- 2) Katsuda Y, Progress and Future of Pyrethroids, Topics in Current Chemistry, 314, p1-30 (2012)
- 3) 家庭用殺虫剤概論Ⅲ 日本家庭用殺虫剤工業会 p13 (2006)
- 4) 氏原 一哉、菅野 雅代、中田 一英、岩倉 和憲、西原 圭一、加藤 日路士 衣料用防虫剤プロフルトリン (フェアリーテール®) の発明と開発 住友化学 2010-II p13-23 (2010)
- 5) 家庭用殺虫剤とピレスロイドーその使い方と安全性 日本家庭用殺虫剤工業会 p6, p27 (2007)
- 6) 厚生労働省「殺虫剤効力試験法解説について」(平成 30 年 3 月 29 日薬生薬審発 3029 第 10 号厚生労働省医薬・生活衛生局長医薬品審査管理課長) (2018)

常温蒸散原体を用いたエアゾール製剤の実地における蚊の忌避効果

佐々木智基（フマキラー株式会社開発研究部）

1. 屋外でも使える蚊対策剤

様々な害虫に対して、さまざまな使用場面で効果を発揮するために、殺虫剤には様々な剤型がある。エアゾールやベイト剤、線香、マット、リキッドなど、多種多様な剤型が存在する。とくに蚊対策剤は古くから対策がなされてきたため、多くの剤型があるものの、そのほとんどが屋内用である。近年、アウトドアブームや家庭園芸の広がりもあって、屋外でも蚊の対策をしたいという要望が増えてきているが、屋外で使うことのできる蚊対策剤は意外と少ない。人体用忌避剤や、蚊取り線香、電池式やエアゾール等が該当するが、中でもエアゾールは最近開発され、上市された比較的新しい剤型である。この蚊対策エアゾールの実地での忌避効力について報告するとともに、その開発経緯も解説する。

2. 屋外蚊対策エアゾールの開発

屋外で見かける蚊と言えばヒトスジシマカである。ヒトスジシマカによる吸血被害をいかに防ぐかを考えると、人体用忌避剤や蚊取り線香などが思い浮かぶ。しかし、人体用忌避剤は汗をかいたりして薬剤が流れ落ちると効果が無くなり、蚊取り線香は携帯すると煙の臭いが付いてしまうなど、使いにくいと言う声があった。そこで、屋内用のハエ蚊エアゾールを屋外で使用できるようにすれば、ヒトスジシマカによる被害を減らせるのではと考えた。エアゾールであれば、処理も簡単にできる。ただし、使用場所はヒトスジシマカが潜む藪や植栽のある場所であり、そのまま使うとエアゾールの噴霧が当たった植物が枯れてしまう。そこで、植物への薬害が出にくい水性処方を採用し、最初の蚊対策エアゾールが完成した。

3. 初期の蚊対策エアゾール商品の忌避効果

屋内用のハエ蚊用エアゾールを水性処方とした最初の商品が発売されたのは、2000年であった。実際にこの商品を屋外で使用すると、ヒトスジシマカを忌避することができ、吸血被害を減らすことができる。実地での忌避効力を確認する試験法としては、以下の通りである。

- ・蚊が潜んでいそうな場所に試験区を設ける（3m×3m 前後）
- ・薬剤を処理する前に、吸血に来る蚊を一定時間カウントする
- ・被験者を中心として、試験区の外側に薬剤を処理
- ・所定時間経過後に蚊の寄り付き数を再度カウントし、処理前と比較し忌避率を算出する

この試験方法にて、最初の商品の実地での忌避効果を確認すると、2～3時間程度は実用的な忌避効果があることが分かったが、それ以降は急速に効果が低下することが分かった（図1：ピンク）。

4. 忌避効果に持続性を持たせるために

屋内用のハエ蚊用エアゾールを屋外で用いた場合、薬剤が到達する場所にいる蚊を駆除することが出来る。そのため、初期は非常に高い忌避効果が見込める。しかしながら、蚊は吸血源を探索するために少しずつ移動する。屋内用のハエ蚊エアゾールには残効性が無いため、時間が経過すると遠くから飛来する蚊が増え、忌避効果が得られなくなると考えられる。もっと長時間の忌避効果を得るためには、後から侵入してくる蚊に対しても効果をえられるように、別の方法を考える必要がある。

そこで、蚊対策剤について改めて効き方に着目し解決策を探ってみた。蚊対策剤は、空間中に原体を留まらせて効果を発揮させる剤型が多い。エアゾールの場合、噴霧した粒子は空間中にはとどまらず、直接虫体に付着するか、床や壁に付着したあとに虫に触れることで効果が表れる。この違いを埋めるために、エアゾールでも原体を空間中に留まらせる方法が必要になる。そこで思い至ったのは、トランスフルトリンの常温蒸散性を利用することである。常温蒸散性を持つトランスフルトリンを使えば、植物体や土に付着したトランスフルトリンが再蒸散することで空間中の原体濃度を維持できるようになり、忌避効果が持続するかもしれないと考えた。

5. トランスフルトリンを用いた蚊対策エアゾール

トランスフルトリンを有効成分とする水性エアゾールを作成し、上記した試験方法にて忌避効果を確認したところ、およそ8時間程度 80%の忌避効果が得られることが分かった（図1：緑）。この結果をもとに、2004年に新商品を発売。さらに、効果の持続時間を延ばすことを鋭意検討し、2022年に24時間効果が持続する商品を発売した（図1：赤）。

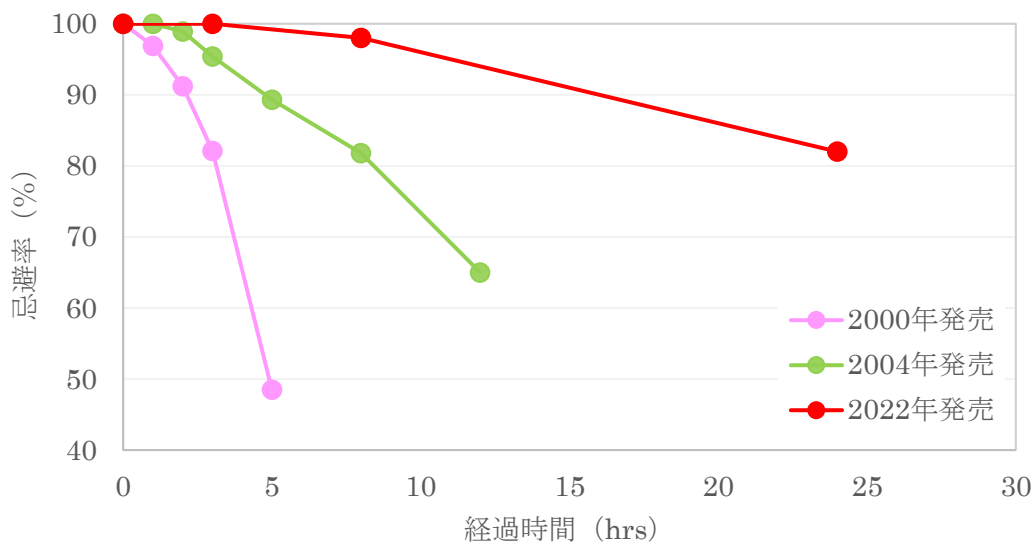


図1. 屋外用蚊対策エアゾール商品の実地における忌避効果と経過時間の関係

6. 忌避効果の感じ方（バリア空間）

トランスフルトリンを有効成分とする蚊対策エアゾールを用いることで、実地においては最長で24時間忌避効果が持続させることができるようになった。薬剤処理直後は、その場にいた蚊を駆除することで高い初期効果を得られる。直接虫に付着せず、植物体や土に付着したトランスフルトリンは常温蒸散性により、再び空間中へと放出される。また、空間中に漂ったトランスフルトリンも同様に地面や植物などに付着し、その後空間中に放出される。このようにしてトランスフルトリンが空間中に放出され、一定以上の濃度が持続する間は忌避効果が得られる。薬剤を処理したエリア内では忌避効果が一定時間持続するため、まるでバリア空間があるように感じることができる。

IV コロナ禍の防除現場の変化

コロナ禍におけるトコジラミ現場の変化

小松謙之（株式会社シー・アイ・シー）

1. はじめに

トコジラミが日本で問題になり始めてから 10 年以上が経過した。当初は PCO 業界もあまり経験がない害虫が急増したため、防除法や抵抗性など様々な研究報告がされた。現在は防除方法は確立され、PCO の間でも特別な害虫ではなくなったと思われる。一般的な認知度も、保健所や日本ペストコントロール協会、都道府県協会がインターネット上に情報を掲載するなどの努力により上がってきた。その証拠に以前のトコジラミ駆除に結びつく市民からの問い合わせの害虫名は「ダニ」が多く、「ダニに刺される」もしくは「小さな虫に刺される」といった依頼からトコジラミの発生が判明することが多かった。現在は、「トコジラミ」と指名して依頼が来ることがほとんどである。

トコジラミの相談件数も増加し、PCO における防除件数も右肩上がり増加していた。トコジラミが国内で増えた原因は、国外からの旅行者について持ち込まれたとする考えが主流である（矢口、2013）。そうした中、2020 年の新型コロナウイルス感染症（以下新型コロナ）の流行により訪日外国人が激減したのは周知の事実である。国外からの旅行者がトコジラミ増加の原因であるならば、当然わが国のトコジラミ発生件数も同様に減少すると考えられる。そこで、昨年の本研究会で矢口（2021）は、行政の立場として本件を考察し、「国内のトコジラミ被害は減るかと思われたが、私生活の範囲内では大きく減っていない。理由として、多発させた社会弱者がトコジラミを持ったまま自治体を渡り歩いたり、日常利用する施設（デイサービス、福祉作業所、医療施設、サウナ、マンガ喫茶等）でトコジラミを落とす例が見られる。」としている。

そこで今回は PCO の立場から、当社のトコジラミ施工件数や協会への相談件数をもとに、コロナ禍におけるトコジラミの発生変化を考察した。

2. 訪日外客数とトコジラミの推移

図 1 に、年単位の数値を示した。訪日外客数は 2011 年以降毎年増加を続け、2019 年は 3,188 万人に達している。しかし、新型コロナの流行が始まった 2020 年は 411 万人と前年に比べ 87% 減少し、2021 年は 23 万人と 99% の減少率となっている（日本政府観光局、2022）。一方、日本ペストコントロール協会が調査した全国のトコジラミ相談件数は 2019 年に 706 件から 2020 年 534 件と 24% の減少にとどまり、東京都に寄せられた相談件数も 2019 年の 458 件から 2020 年の 320 件と 30% の減少である。では、PCO である当社はというと施工件数は申し上げることは出来ないが、2019 年に比べ 2020 年は 55%、2021 年は 75% の減少率となっており、公共の相談件数よりも減少率が大きくなっている。もともと相談数≠施工数であることもあるが、ここまで開きが出ることも考えにくい。

訪日外国人とトコジラミの動向

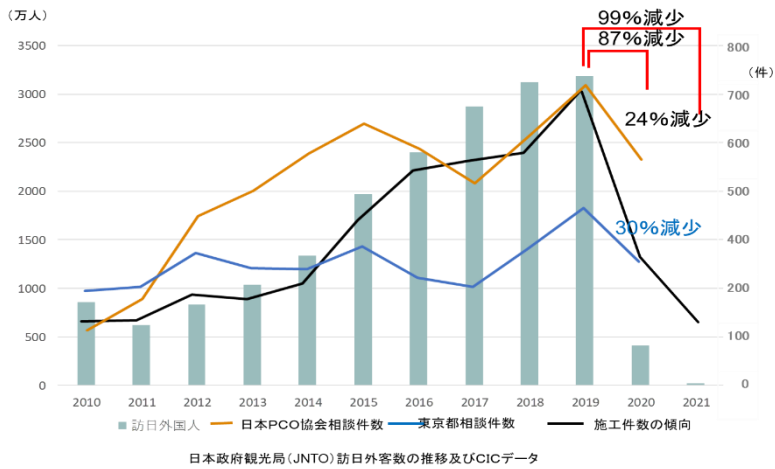


図 1

そこで、2019年から2021年初旬までを月別にまとめた(図2)。2019年の当社の施工件数と日本PCO協会のグラフの形は冬少なく夏多くなる山型でよく似ている。しかし、2020年になると当社の施工件数は減少するのみであるにもかかわらず、日本PCO協会は昨年同様の夏増加する山型となっており、このグラフで見るとトコジラミの発生に関して新型コロナの影響は見られない。この違いとしては、当社の施工対象施設は宿泊施設が多いことが考えられる。したがって当社から見ると新型コロナはトコジラミの発生を減少させる原因となっており、新型コロナ流行=外客数の減少=トコジラミの侵入の減少=ホテルの発生数の減少という関係が見えてくる。結果、新型コロナの流行はトコジラミの侵入を減少させたともみることが出来る。だが実際は日本PCO協会のデータが示すように外客数が著しく減少しても一定のトコジラミ相談者がい

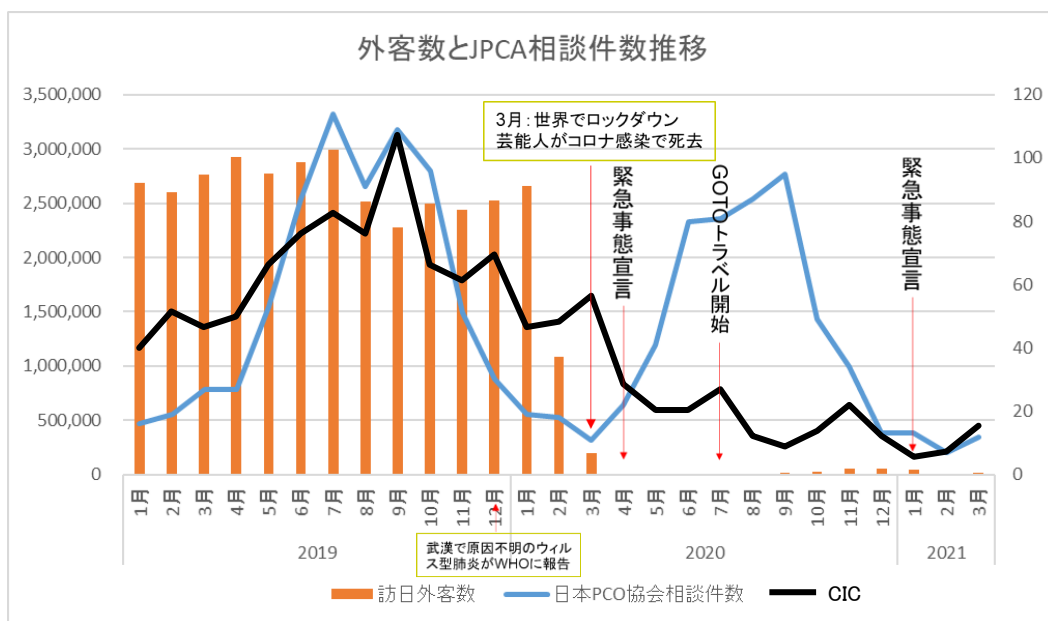


図 2

ることがわかり、これは国外からの侵入ではなく、国内で横の広がりが起こっていると考えの方が自然である。その原因となっているのが矢口（2021）の報告そのものであると思われる。

3. 施設別新型コロナによる影響

(1) ホテル・旅館

2020 年前半は、ホテル業界も例年通りトコジラミの発生はみられ、外客数は減少していたが新型コロナの先行きを楽観視していたためか、緊急事態宣言以降も調査や施工の依頼は前年に近い状況であった。しかし、後半は GOTO トラベルがあったが期待したほどの集客はなかったのか、施工が決まっていた物件も、客が来なければ被害が発生しない等の理由で施工中止が多くなった。また、通常は稼働率が高いため駆除直後に客室の販売することから薬剤を多用しない方法で防除を希望することが多いが、客が少なく急いで販売する必要もないことから薬剤臭が残ることも許容できるようになり、駆除簡素化による減額要請がみられた。

トコジラミ探知犬による調査契約も、客が来なければトコジラミも侵入しないこと、発見しても泊まる客がいないので見つけても意味がないなどにより未更新になったり、調査が延期されるケースもあった。一方、トコジラミ保険適用物件は、しばらくは依頼があったが時間の経過とともに減少した。

2021 年はホテル業界の調査依頼等は前年よりもさらに減少し、休業するホテルも発生した。

(2) 個人住宅

個人住宅はテレワークが多くなり、薬剤散布などは敬遠され、私物が相変わらず多く施工代金は高額になることが多い。件数的にも防除方法も新型コロナの影響は見られていない。

(3) 温浴施設

国内の個人宅で発生しているトコジラミの持ち込みが継続して発生していると思われ、施工件数は大きな変動は見られていない。

(4) その他（オフィス・特養・学校・交通機関）

もともと当社では物件が少ないことから変化は確認できないが一定数の依頼がある。

(5) 新型コロナ流行のための特殊事情

通常はトコジラミ作業といえば PCO は本業であるため、積極的に対応してきたが、新型コロナの消毒業務が激増したことで、事前調査、見積もり、施工手順作成、作業も複数回行うことなど、手間がかかるトコジラミ作業は積極的に取り組もうとする熱意が希薄になることも見られた。

4. まとめ

新型コロナの発生で外客数は激減した。その結果、ホテルの稼働率が下がりトコジラミが持ち込まれない。また、発生があっても稼働率が低いので発生のある部屋を閉鎖しても問題はなく、収益もないので駆除そのものが行われなくなった。すでに新型コロナが蔓延して 2 年が経過し、いくら飢餓に強いトコジラミでも日本の夏を経験すれば餌が取れずに死に絶えたかもしれない。しかし、万が一生き残った個体があった場合、今後ホテル需要が増した時、腹を空かしたトコジラミに急襲されるのではないかと心配される。

参考文献

- 日本政府観光局（2022）訪日外客数および出国日本人数. <https://statistics.jnto.go.jp/graph/>
（2022年3月11日アクセス）
- 矢口 昇（2013）第4章，わが国でのトコジラミ被害. トコジラミ読本（トコジラミ研究会監修），pp. 40-49. 日本環境衛生センター，神奈川.
- 矢口 昇（2021）コロナ禍におけるトコジラミ対応事例 —新型コロナウイルスの影響は？. 殺虫剤研究班のしおり，91：27-36.

新型コロナウイルス流行中のトコジラミ駆除事例

足立雅也（あだち PCO コンサルティング）

1. はじめに

わが国では2020年1月15日に初めて新型コロナウイルス感染症が報告された。それ以降、行政からの外出や移動の自粛の呼びかけ等により、国内の旅行者は減少し、また海外からの渡航者も減少した。トコジラミは人や荷物に付帯して持ち運ばれるが、トコジラミの被害の広がりも変化が生じると予想ができる。筆者が関わったトコジラミの駆除や聞き取り調査で得られた情報を報告する。

2. トコジラミ駆除実績

筆者は積極的に営業をしておらず、知人からの紹介によってトコジラミの駆除の依頼を受けている。2020年は1件、2021年は6件、2022年4月現在で1件、合計8件の実績があった。（表1）

表1 トコジラミ駆除実績

NO.	年	月	日	都道府県	宿泊施設名	分布
①	2020	11	5	神奈川県	サウナホテル	3エリア
②	2021	5	24	三重	ビジネスホテル	5部屋
③	2021	5	27	愛知	ビジネスホテル	2部屋
④	2021	7	10	神奈川県	自立支援施設	3部屋
⑤	2021	8	18	滋賀	ビジネスホテル	4部屋
⑥	2021	11	4	東京	一般家屋	3部屋
⑦	2021	11	16	神奈川県	観光ホテル	6部屋
⑧	2022	3	27	京都	ビジネスホテル	1部屋

3. トコジラミ駆除事例

表1に8件の駆除実績を記した。①から順番に概要を述べる。

① 神奈川県 サウナホテル

リラックスルームのリクライニングチェア数十台で生息があった。サウナホテル従業員はコロナ流行前から生息を認識していたが、数カ月間休館にするためその間で死滅すると思った。ところが、思惑は外れて再開直後に相次いで被害が報告されたため、駆除することになった。



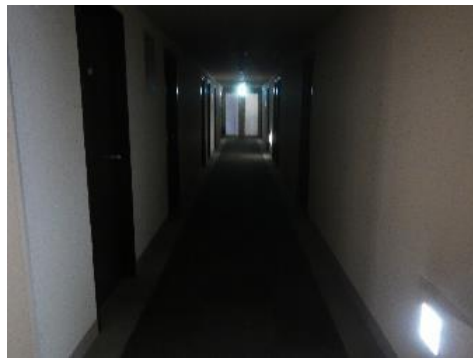
② 三重県 ビジネスホテル

1フロア 30部屋中 3部屋で生息があった。また、別に 2部屋で生体は見つからなかったが、死骸や抜け殻など生息の痕跡があった。これらの部屋は、最も生息が多い部屋の周辺だった。コロナ流行中は外国からの旅行者は全くなくなり、国内旅行者は少数になった。

2020年7月22日から同年12月27日までGo Toトラベルが実施され、宿泊利用者は回復した。この期間にトコジラミが持ち込まれたかのではないと思われる。そして、5月の大型連休後の5月9日から三重県はまん延防止等重点措置が実施され、再び利用者がほとんどいなくなった。そのため、宿泊利用者は任意のフロアに集中させて清掃の効率を維持するとともに、通常は夜通し点灯中の通路の電灯も、節約のために深夜0時から消灯していた。

生息をより精密に目視点検するために深夜の巡回をするのであるが、その際に通路や周辺にある自動販売機コーナーでトコジラミの歩行が見られた。当該ビジネスホテルは国内に複数の店舗を構えており、今までいくつもの店舗でトコジラミ駆除を実施してきたが、これまでの経験にない状況だった。

トコジラミは光を嫌うことから、24時間点灯の通路には自ら出沒することはほとんどなかったのだが、当該ホテルの異例的な措置によりこの事態が起きていると思われる。発生源と思われる部屋からの生息の広がり、清掃時の持ち運びのほか、トコジラミ自らの移動によるものと思われる。



③ 愛知県 ビジネスホテル

1フロア 19 部屋中 2 部屋で生息があった。そのうち 1 部屋に生息が多く、その向かいの部屋に広がり始めたという状態だった。コロナ流行中の宿泊利用者は、外国からの渡航者は 0 人、国内のビジネスマンの出張や観光の旅行者は、人数は少ないがあったという。特に GoTo トラベル実施期間中は連日ほぼ満室だった。



④ 神奈川県 自立支援施設

1～2年ごとにトコジラミの生息が見つかる常連的な施設であり、被害の程度により範囲を決めて駆除を実施している。今回で 3 回目になるが、以前は対象になっていない部屋だった。駆除後はかゆみの有無を聞き取りして、被害がなくなったことを確認できた場合に終息宣言をしてきた。

常時満室であるものの人の入れ替わり、部屋替えもあり、また館内の人の交流による移動も活発なため、どこで持ち込まれて広がっていくかは特定できない。

コロナ流行の影響とはあまり関連ないように思われる。



⑤ 滋賀県 ビジネスホテル

ビジネスホテルであるが周辺に観光地が多い立地のため、観光客が利用することが多いようである。稼働率は決して良くないが、利用者は途切れなかったようである。外国からの渡航者は0人だった。

お盆期間中に観光目的で利用した宿泊者が、生体を見つけて生息が発覚した。一部屋に集中して生息があり、周辺の部屋は少数が見つかる程度で広がり始めのようであった。1フロア 25 部屋中 9 部屋を防除対象として残留噴霧を実施した。成虫の数も多いことから、5月の大型連休より以前に持ち込まれたと思われる。ホテルスタッフとの会話の内容から、Go To トラベルの期間に持ち込まれたのではないかと想像している。



⑥ 東京都 一般家屋

趣味がバイクツーリングで、アウトドアであり、他者との接触も多くないので感染は避けられると思いき、コロナ流行中も月1ペースで父子の2人で全国を走ったそう。どこからトコジラミを持ち帰ったとすれば、宿泊したライダーハウスが疑わしい。

生息は父の部屋が最も多く、子の部屋や家族全員が集まるリビングにも生息があった。

⑦ 神奈川県 観光ホテル

年間を通じて衛生害虫の管理をしている駆除業者が、プロフラニドを使用して駆除を試みたがうまくいかず、その業者からの依頼で引き継いだ。

ベッドを壁から離すと、コンセントの周り、巾木、床に多く生息があり、プロフラニド FL 剤を 50 倍に希釈して噴霧した。プロフラニドは連鎖効果が期待でき、集団でコロニーを形成するトコジラミにも有効と思われる。ところが、ベッドボトムに掛けられたカバーを外して裏返すと、数十匹のトコジラミが生息していた。

連鎖効果を過度に期待して、残留噴霧すべき場所を省いてしまったため、2 カ月経っても生息が残っていた。

結局、引継ぎの際に聞かされていた残留噴霧箇所以外は、効果が得られていなかった。私どもはプロペタンホス MC 剤を使用して、2 カ月後には完全駆除が完了した。



⑧ 京都府 ビジネスホテル

世間では 3 月は春休みで、コロナ感染者も減り始め、重症患者も減ってきていることから観光旅行者が以前ほどには至らないが戻り始めた頃だった。宿泊利用者がトコジラミを 1 匹見つけ、生息が発覚した。

対象の部屋を隅々まで目視調査をしたところ、ベッドの脚の付け根に血糞が 5 粒程度見つかった、他に血糞、死骸、抜け殻、生体は見当たらず、もしかするとこの 1 匹だけだったのかとってしまうほど、ごく少数の生息と思われる。

観光等で人が動き始めると、トコジラミの持ち運びも始まると思わせる案件だった。



5. 聞き取りによるトコジラミの発生事例

トコジラミ駆除を通じて取引のあるチェーンホテル 3 社に、コロナ流行中のトコジラミの発生について聞き取りを行った。いずれも数十～数百の店舗を経営する大手のホテルである。

3 社とも共通して、海外からの渡航者の利用はなかったという。また、被害報告も約 10 分の 1 にまで減少した。これは、宿泊利用者が減少したために発見の機会が減ったためなのか、国内外合わせて持ち込まれる機会が減ったためなのか判断は難しいとのこと。

しかし、緊急事態宣言のためにしばらく休業した後、再開したとたんにトコジラミの被害に遭ったことから、コロナ流行前から潜伏していたことが考えられる。

また、一部の店舗がコロナ患者の療養施設になったが、そのホテルの消毒を担当していた業者が消毒中にトコジラミを発見した。消毒業者はペストコントロール専門業ではないがホテルに駆除を提案し、ホテルも他の業者を館内に入れることにリスクがあると考え、直ちに駆除を依頼した。使用薬剤はプロポクスル油剤で、駆除はできたけれども臭気が残り、療養施設としてその部屋はしばらく利用できなくなった。

6. まとめ

コロナ流行中であっても、以前からホテルに潜伏している場合、飢餓に強いトコジラミは死滅することなく生息している。ときどき人が宿泊することで繁殖さえ可能である。また、**GoTo** トラベル期間や大型連休時に宿泊利用者によって、ホテルに持ち込まれるリスクがあった。

自宅にトコジラミの生息がある家庭もあることから、外出の自粛が解けて以前のように人の移動が活発になると、同時にホテル等の宿泊施設にトコジラミの持ち込みのリスクも高まると思われる。

どんなに駆除が期待できる薬剤であっても、完全に駆除をするのであれば細部にわたって丁寧な噴霧が不可欠である。