

A study on habitat and distribution survey and physical control of
house dust mites and mosquitoes around human dwellings in Japan.

2 0 2 3

KAMEZAKI Hiroki

わが国の屋内塵性ダニと人家周辺の蚊の
生息・分布調査と物理的防除に関する実験的研究

令和5年
(2023)

亀崎 宏樹

目次

序論	1
図表	8
第1章 屋内塵性ダニの生息分布と物理的防除	
1-1. 屋内塵性ダニの敷布団内部の分布調査	
1-1-1. 緒言	9
1-1-2. 材料と方法	11
1-1-3. 結果	13
1-1-4. 考察	16
1-1-5. 図表	20
1-2. 屋内塵性ダニに対する脱酸素剤の致死効果	
1-2-1. 緒言	31
1-2-2. 材料と方法	33
1-2-3. 結果	37
1-2-4. 考察	39

1-2-5. 図表	4 2
-----------	-----

第2章 人家周辺の蚊の行動習性と物理的防除

2-1. ヒトスジシマカ *Aedes albopictus* の分布と行動習性

2-1-1. 緒言	4 7
-----------	-----

2-1-2. 材料と方法	4 8
--------------	-----

2-1-3. 結果	5 1
-----------	-----

2-1-4. 考察	5 3
-----------	-----

2-1-5. 図表	5 6
-----------	-----

2-2. Box Trap を用いた屋内侵入蚊チカイエカ *Culex pipiens form molestus*, の物理的防除に関する実験的検討

2-2-1. 緒言	6 3
-----------	-----

2-2-2. 材料と方法	6 4
--------------	-----

2-2-3. 結果	6 9
-----------	-----

2-2-4. 考察	7 1
-----------	-----

2-2-5. 図表	7 6
-----------	-----

総括	8 2
----	-----

引用文献 8 6

謝辞 1 0 4

Summary 1 0 5

序論

衛生害虫という言葉の概念は幅広く、様々な定義が存在する。例えば、疾病を媒介する媒介害虫、刺咬や吸血など肉体的に実害を与える有害害虫、不快感や不潔感など心理的・精神的な害を与える不快害虫等の総称とし、必ずしも昆虫のみを対象としない場合が多い。したがって、ムカデ（刺咬害虫）やダンゴムシ（不快害虫）も衛生害虫と呼ばれることがある【1】。法的には「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保に関する法律」（旧薬事法）に基づく感染症を媒介する害虫で、ゴキブリ、ハエ（成虫・幼虫）、蚊（成虫・幼虫）、ノミ、シラミ、トコジラミ、イエダニ、屋内塵性ダニ、マダニがこれに該当する。本研究では、この法律に基づく害虫を衛生害虫と呼ぶことにする。

わが国の、衛生害虫が媒介する主だった感染症について歴史的に概観すると、まず、ハマダラカが媒介するマラリアは、平安時代にはすでに深刻な病であったとされ【2】、明治時代にも北海道を含む全国的に流行していた【3】。昭和に入ってからマラリア5県とよばれた、富山、石川、福井、滋賀および愛知に集中して被害が残存しており、最後まで流行の続いた滋賀県で撲滅されたのは、1950年代であった【3】。琉球列島では太平洋戦争中に多くのマラリアによる死傷者を出した記録がある。また、

ブタの多頭飼育が行われるようになった 1920 年代からコガタアカイエカが媒介する日本脳炎の患者が多数発生するようになり、1960 年代後半までその患者数は年間千人を数えていた【4】。さらに、デング熱は過去に何度かの流行が起こっている。1931 年には沖縄で、1942 年には大阪、神戸および長崎で大きな流行を経験している【5】。加えて、アカイエカ群が媒介するフィラリア症は、古くから日本にも存在していた病気で、1978 年に最後まで流行が見られた沖縄県で撲滅が宣言された【3】。以上の例示のように、過去には多くの感染症に悩まされ、それを克服してきた歴史がある。それぞれの疾病において、行われた対策は大きく異なるが、例えばマラリアでは、幼虫の生息場所である湿地の埋め立てと、Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) の散布による成虫の防除、および治療薬の服用の徹底があげられる。これに対して、日本脳炎では、ワクチンの普及と、従来農家に隣接して行われたブタの飼育が郊外に移動し、ヒトとブタの距離が保たれるようになったこと、網戸と家庭用殺虫剤の普及によってヒトが蚊にさされにくくなったことが発生率低下の大きな要因とされる【3】。

殺虫剤の開発は、1940 年代の DDT や Benzene hexachloride (BHC) といった有機塩素系につづき、1950 年代以降には、フェニトロチオンやダイアジノンといった有機リン系、更に 1970 年代以降は、温血動物に対する安全性と速効性を向上させたフェノトリンやペルメトリンといった合成ピレスロイド系殺虫剤が相次いで開発され、ハエ、蚊の他、ゴキブリやシラミ、トコジラミが大きく減少した。また、1950 年代より

厚生省が主導した「蚊とハエのいない生活実践運動」が全国的に展開されるようになり集団的な防除意識が浸透したこと【6】、また1964年の東京オリンピック開催を契機として、下水道の完備、ごみ収集のシステム化が進んだことも、衛生害虫の減少に大きく寄与した【7】。

一方で、殺虫剤偏重による害虫防除は、一部の害虫の殺虫剤抵抗性獲得を助長することとなり、過去に制圧されたと考えられたトコジラミの他、チャバネゴキブリ、アタマジラミなどが高いピレスロイド抵抗性を獲得し、難防除化が問題となっている

【8-10】。このような状況から、衛生害虫分野でも総合的害虫管理（Integrated Pest Management (IPM)）の考え方が取り入れられるようになった。IPMとは、1970年代に生まれた考え方であり、農業害虫分野での農薬偏重による環境汚染への反省から、害虫をゼロにすることを目標にするのではなく、化学的、物理的、生物的な防除法を効率的に組み合わせ、害虫の生息密度を被害許容水準以下に抑えようという考え方である【11】。生物的防除（その多くは天敵による防除）が制限されることが多い屋内の害虫防除においては、物理的な防除法の開発がIPMを支える考え方のひとつになるものと考えられる。

制圧された感染症がある一方で、常に新たな昆虫媒介性感染症の問題が起こっている。例えば、2000年以降アメリカで大流行し、未だに収束していない蚊媒介性のウエストナイル熱や、わが国では2013年にマダニが媒介するウイルスによる重症熱性血

小板減少症（Severe Fever with Thrombocytopenia Syndrome (SFTS)）が新たな感染症として認知された。また、物流の発達や地球温暖化によってデング熱の再興やチクングニア熱の国内流行が懸念されている【12】。また、住宅の気密化は、屋内塵性ダニの被害を顕在化させた。屋内塵性ダニの代表種であるチリダニ科 Pyroglyphidae のヒョウヒダニ *Dermatophagoides* 属のダニがアレルゲンであることを Voorhorst et al. が 1964 年に指摘して以来【13】、様々な視点からこのダニのアレルゲンとしての重要性が議論されてきた。これらのダニに対しては、居住空間のカーペットなどに対してくん煙剤など全量噴射型の製剤が有効であることが知られているが【14】、重要な生息場所である布団については、布団内の生息分布が不明なため、その対策は明確になっていない。また、現在市販されているこれらの薬剤は、皮膚に直接触れることによる安全性の懸念から、布団への直接暴露は制限されている。

以上のような背景のもと、本研究では重要な衛生害虫でありながら生息分布や生態的習性の詳細が不明な、屋内塵性ダニと、新たな感染症が発生した場合の媒介者として、重要性が高いと想定される人家周辺生息蚊を対象とし、その生息分布と生態的習性を明らかにし、適切な防除、IPM の観点から、特に物理的な対策に焦点をあて、その実用可能性を提示することを目的とした。

第 1 章では、屋内塵性ダニの代表種であるヒョウヒダニ 2 種、ヤケヒョウヒダニ *D. pteronyssinus* (Trouessart, 1897) とコナヒョウヒダニ *D. farinae* A.M.Huges, 1961 の

布団内の生息分布について調査を行った。わが国においても上記ヒョウヒダニ 2 種は重要な衛生害虫であり、文部科学省の学校環境衛生管理マニュアル【15】には、保健室の寝具や教室などに敷かれたカーペットにおける管理基準として、ダニの密度が $100 \text{ 匹} / \text{m}^2$ 以下又はこれと同等のアレルゲン量以下と定められている。しかしながら、一般住宅や宿泊施設などにおけるヒョウヒダニの重要な生息場所のひとつである布団、特に布団内部のダニ生息密度や分布の実態については、ほとんど調査が行われていない。布団に限らず、屋内の生息場所や生息密度の調査は、もっぱら電気掃除機等によって対象物表面のハウスダストを集塵し、ハウスダスト中のダニ相やダニ数を調査するという方法がとられてきた【16】。これらの方法は簡便であるが、対象物表面のダニしか調査できないという欠点があった。布団内部のダニ数調査は、調査方法が煩雑であることその他、布団を解体しなければならないため継続的な調査が不可能なこと、また、調査に用いた布団のその後の使用ができなくなることから調査協力者が得られにくいことなどが原因で、これまで行われてこなかったと考えられる。本研究では、わが国の布団の内部のダニの生息実態を知るために、国内 1 都 1 府 9 県より 20 枚の敷布団を収集し、ダニ類の生息実態調査を行った。

また、布団内部の分布調査結果を踏まえ、布団内部のダニにも有効と考えられる物理的なダニ対策の一つとして、脱酸素剤によるヒョウヒダニ 2 種に対する致死効果について検討し、その実用可能性について論じた。

第2章では、わが国の人家周辺に生息する代表的な蚊について、その行動習性と物理的防除の可能性について検討を行った。蚊は世界には3520種以上、日本にも100種以上生息することが知られているが【17】、わが国の人家周辺で優占するのは、ヒトスジシマカ *Aedes albopictus* (Skuse, 1895) とアカイエカ群（主としてアカイエカ *Culex pipiens pallens* Coquillett, 1898 とチカイエカ *Culex. pipiens form molestus* Forskål, 1775 である。2000年以降、アメリカで大流行したウエストナイル熱の国内侵入を警戒して、潜在的な媒介蚊の発生状況やウイルス陽性蚊の調査が多く行われた【18-24, 26, 27】。また、2011年以降に東北地方で行われた蚊の調査は、東日本大震災の津波によって根本的に変化した生息環境における、蚊の種構成や発生密度を知るために行われた【25】。Table 1に、これらの蚊の捕獲調査成績をまとめたが、いずれの調査においても、ヒトスジシマカとアカイエカ群が優占種であることが示されている。

衛生害虫としての重要性を考慮し、本研究では、人家周辺の蚊として、ヒトスジシマカとチカイエカを研究対象とした。ヒトスジシマカは、厚生労働省の「蚊媒介感染症に関する特定感染症予防指針」【12】のなかで、「本指針では、デング熱及びチクングニア熱を、重点的に対策を講じる必要がある蚊媒介感染症に位置づけ、これらの感染症の媒介蚊であるヒトスジシマカが発生する地域における対策を講じることにより、その発生の予防とまん延の防止を図ることを主たる目的とする。」と記されている

ように、わが国の感染症媒介蚊として重要な衛生害虫である。また、チカイエカは、厚生労働省の建築物環境衛生維持管理要領等検討委員会が作成した「建築物における維持管理マニュアル」の蚊に関する調査と対策において、主対象として記載されており【29】、ビルなど建築物の環境衛生維持管理における主要な防除対象となっている。

ヒトスジシマカについては国内外で多くの生態学的研究が行われてきたが【30-33】、緑地が点在する市街地における成虫の行動習性の詳細は不明であった。そこで、デング熱やチクングニア熱が発生すると想定される市街地におけるヒトスジシマカの行動習性、特に点在する緑地の内部や緑地間の移動分散の実態を定量的に調査・分析し、防除対策の策定や実施において重要なパラメータとなる移動分散距離を知ることが目的に、沖縄県石垣市の市街地を選んで調査を行った。

加えて、特に都市部で夜間に屋内に侵入しヒトから吸血を行うチカイエカに対する物理的な防除対策方法を検討した。蚊の休息場所として暗がりを選好する習性を利用した Box Trap について、捕獲数を高めるための構造や色、設置場所、設置個数について実験的検討を行い、防除への応用可能性について論じた。

Table 1. Compositions of *Cx. pipiens* gr. and *Ae. albopictus* found in mosquito fauna surveys conducted by using CO₂ traps from 2000 to 2014 in Japan.

No.	Survey area	Survey year	No. <i>Cx.pipiens</i> gr.	No. <i>Ae.albopictus</i>	Total No. mosquitoes	% <i>Cx.pipiens</i> gr. & <i>Ae.albopictus</i>	References
1	YOKOHAMA	2003	1,538	544	2,242	92.86	[17]
2	NARITA	2003	326	235	747	75.10	[18]
3	KANTO	2004	4,225	908	5,135	99.96	[19]
4	MIINAMIDAITO	2006-2007	1,159	77	1,320	93.64	[20]
5	TOKYO	2007	814	1,320	2,327	91.71	[21]
6	TOKYO	2008	2,797	401	3,380	94.62	[22]
7	TOKYO	2009	1,108	1,933	3,190	95.33	[23]
8	MIYAGI	2011	328	286	723	84.92	[24]
9	TOKYO	2003-2013	4,858	5,658	10,546	99.72	[25]
10	TOKYO	2013	726	3,488	4,443	94.85	[26]
11	NAGANO	2012-2014	398	139	685	78.39	[27]

第 1 章

屋内塵性ダニの生息分布と物理的防除

1-1. 屋内塵性ダニの敷布団内部の分布調査

1-1-1. 緒言

屋内塵性ダニのダニ相は、チリダニ科 Pyroglyphidae、マヨイダニ科 Ascidae、ホコリダニ科 Tarsonemidae およびコナダニ科 Acaridae など 18 科が屋内の塵より検出されたと吉川により報告されている【34】。わが国ではチリダニ科 Pyroglyphidae の構成割合が高く、高岡ら（1977）、高岡と岡田（1984）および Toma et al.（1988）の報告によると、それぞれ、屋内塵中の 85%【35】、52.8～76.6%【36】、および 95.9%【37】がチリダニ科であった。寝具に限っては、敷布団、掛布団、毛布、まくら等の寝具全体で 99.6%【38】、敷布団で 96.6%【37】と更にその構成割合は高くなる傾向がある。また、チリダニ科のダニの密度に関しては、床面と寝具を比較して、寝具の密度が高いという報告がある【39,40】。したがって、寝具はチリダニ科のダニの最も重要な生息場所のひとつであると言える。

チリダニ科のダニの空間分布に関しては、Andersen（1984）はベッドに 28 の区画

を設けて、掃除機で塵を吸い取り、場所によるダニの分布を調べたが、分布に偏りはあるものの、その偏りに規則的な傾向は認められなかったことを報告している【41】。Colloff (1988) はダブルベッドを9つの区画に分割して、温湿度を測定し、チリダニ科のダニの発生との関係を調べた結果、暖かく湿った区画には発生が多かったことを報告している【42】。また、Boer and Geest が1990年に電気毛布の加熱によるマットレスのダニの防除効果を検討した際に、マットレス表面のみならず、マットレス内部にもダニが分布していたことを報告しているが【43】、布団内部のダニ分布を詳細に調査した例はない。

また、チリダニ科のダニの代表種であり、アレルギー性疾患の普遍的なアレルゲンとなるヤケヒョウヒダニ *Dermatophagoides pteronyssinus* (Trouessart, 1897) (以下 Dp) とコナヒョウヒダニ *D. farinae* A.M.Huges, 1961 (以下 Df) は選好する湿度が異なると言われており、両者の割合は地域によって異なるとの報告がある【44】。

Feng et al. (2009) によれば、中国では中部や南部など多くの地域で Dp が優占しているが、一部の地域では Df が優占していた【45】。また、北京では Df が優占しているという報告がある【46】。韓国の調査では中国とは逆に Df が優占する例が多いが【47, 48】、Dp が優占する家屋も存在する【48】。日本の一般家庭では Df と Dp の優占度が家庭により大きく異なるとされる【44】。Kawakami et al. (2016) によれば、わが国では1970年代から1990年代には Df よりも Dp が多いとの報告が多いが、近

年は Df の割合が極めて高くなっていると報告されている【49】。以上、屋内塵中のダニ相、密度、布団における空間分布、代表 2 種の構成割合に関する研究事例を述べたが、これまでの研究は Boer and Geest の報告【43】を除き、いずれも屋内塵を掃除機で集塵して調査したもので、布団や床面の表面を対象としており、布団内部を切り出し直接調査したものではない。そこで本研究では、適切な防除法確立の手がかりを得ることを目的として、チリダニ科のダニの重点的な生息場所とされる敷布団の内部の分布を調査した。

1-1-2. 材料と方法

敷布団サンプルの入手：

2014 年 6 月から 12 月に、東京都（4 枚）、神奈川県（5 枚）、大阪府（2 枚）、兵庫県（2 枚）、群馬県（1 枚）、埼玉県（1 枚）、千葉県（1 枚）、新潟県（1 枚）、石川県（1 枚）、鳥取県（1 枚）、および福岡県（1 枚）、合計 20 枚の敷布団を入手した（Table 1-1-1）。敷布団は基本的に次の 3 条件を満たすものを選んだが、一部条件に合わないもの（使用年数 3 年未満）も調査サンプルに加えた。（1）花粉症ではないが、布団の上げ下ろし時や就寝、季節ごとの布団交換時に、くしゃみや鼻水等のアレルギー様症状が出るヒトが使用していた布団で、（2）3 年以上使用し、（3）丸洗いやクリーニングを行っていない。

ダニ類の採取と同定：

敷布団の縫い目のない部分に 5 カ所の採集ポイント（Fig. 1-1-1a, ①～⑤）を選定した。各採集ポイントで、5 cm×5 cm の範囲を上から下まで切り抜き次の 3 層に分けた（布団の上面、下面は提供者が表示した）（Fig. 1-1-b）。（1）上層、側生地と中綿を含む厚さ 5 mm の部分、（2）下層、側生地と中綿を含む厚さ 5 mm の部分、（3）中層、それ以外の中綿（厚さは平均 30 mm）。各層ごとに、日本工業規格（JIS）に定められた洗い出し法【50】によってダニの検出を行った（Fig. 1-1-2）。洗い出し法とは、篩上で布団や屋内塵のサンプルに水道水を吹き付け、サンプルからダニを分離する方法である。サンプルは、取手付きポリプロピレン製カップ（ニッコー・ハンセン（株）製）の上に、目開き 0.7 mm、直径 20 cm の篩を乗せ、篩上でサンプルを水道水で洗い出した。水道水は内径 10 mm のホースの先端に、基部外径 9.8 mm、先端部内径 1 mm のオートピペッターチップ（（株）ニチリョー Nichipet® EX 適合）を取り付け、水が勢いよくサンプルにあたるようにした。上層と下層はそれぞれサンプルを一度に篩上に置いて洗い出し、中層については中綿の量に応じて 5～6 回に分けて洗い出し作業をおこなった。洗い出しによって、篩の下のカップに溜まったダニを含む水は、ブフナーロート上のろ紙（ADVANTEC® No. 2 東洋濾紙（株）製）で吸引ろ過した。ろ紙上にダニが検出されなくなるまで、洗い出しを繰り返した。採

取したろ紙上のダニサンプルは、実体顕微鏡下で科別、生死別に計数した。ろ紙上で脚の動きが認められる個体の他、体液が残存して丸みのある個体を生存とし、体液や丸みの失われた個体を死とした。チリダニ科の成体が検出された場合には、同定可能な状態の死骸を任意に取り出し、Dp と Df の同定を行った【51】。

統計処理：

サンプル間のダニ数の違いは、Kruskal-Wallis 法によって分析した。ダニ類の構成割合の違いは、カイ二乗検定によって独立性の検定を行い、違いが有意と判定され多重比較を行う必要がある場合には、ボンフェローニの補正を用いた Fisher's exact test によって有意差を検定した。解析は、R (ver.3.6.1) によって行った。

1-1-3. 結果

ダニ相：

今回の調査で 10 科 12,734 個体のダニ類の虫体とチャタテムシ科 3 個体が採集された。ダニ類ではチリダニ科が全体の 97.03%を占めていた (Table 1-1-2a)。次いで採集個体が多かったのはホコリダニ科で 2.63%であった。次いでツメダニ科の 0.19%で、残りの 7 科のダニはいずれも 0.1%に満たなかった。ダニ類に占めるチリダニ科の割合をサンプル毎に求めて、割合の低い順に Table 1-1-3 に示した。チリダニ科の割

合はサンプル間で有意に異なり ($p < 0.05$)、42.1%から 100%の大きな違いが認められた。本研究で同じ地域から 4 つ以上のサンプルを調査した東京都と神奈川県の結果を見ると、同じ地域でありながらチリダニ科の割合に違いが認められ、東京都での最大値 100%と最小値 93.8%、神奈川県での最大値 100%と最小値 42.1%の違いは、それぞれ、統計的に有意であった。なお、42.1%とチリダニ科の割合が他のサンプルと比べ極端に低かったサンプル ID 10 は、チリダニ科以外のダニは全てホコリダニであった。

密度：

Table 1-1-4 に 5 cm×5 cm 区画 5 個あたりのダニ虫体数（生ダニ+死ダニ）を下層、上層と全層に分けて示した。下層および上層のダニ虫体の平均値はそれぞれ、296 個体/ 125 cm²、101 個体/ 125 cm² であった。3 層全体では平均 637 個体/ 125 cm² で、これに脱皮殻を加えると 901 個体/ 125 cm² であった。また、これらの値から布団 1 枚を 2 m²として、布団あたりのダニ数を表の右側に表示した。布団 1 枚あたりの、3 層全体のダニ虫体の推定値の平均は 101,872 個体（50,936 個体/ m²）で、これに脱皮殻も含めた推定値の平均は 144,176 個体（72,088 個体/ m²）であった。

空間分布：

敷布団におけるダニ類の空間分布を知るために、採集ポイント（5カ所）とサンプルの立体構造を示す層（3層）がダニ虫体数に与える違いを Kruskal-Wallis 法によって分析した。採集ポイントによる差は有意ではなかったが（ $p = 0.295$ ）、層による差は有意だった（ $p = 0.01$ ）。5カ所の採集ポイントについて、上層、中層、下層におけるダニ虫体数の割合を Fig. 1-1-3 に示した。各採集ポイントにおける検出割合の違いは有意（ $p < 0.001$ ）で、布団の両端（①と⑤）では中層に多く分布していたが、布団の中央（②、③、④）では下層に多く分布する傾向が認められた。敷布団内部のチリダニ科の分布がサンプルによってどの程度異なるかを表層（上層と下層）と中層の割合を求めた（Fig. 1-1-4）。表層に分布するチリダニ科の割合は 15.6%から 94.3%とサンプル間で大きく異なり、その違いは統計的に有意だった（ $p < 0.001$ ）。

Dp と Df の割合：

今回の調査全体で同定したチリダニ科の Dp と Df の割合を Table 1-1-2b に示した。32.4%が Dp、50.8%が Df、その他および不明が 16.8%であった。また、サンプルごとの Dp、Df の割合を Fig. 1-1-5 に示した。Dp と Df の成虫の割合にもサンプルによって有意な違いが認められ（ $p < 0.001$; Table 1-1-5）、Dp の割合は 0%から 100%とサンプル間で大きく異なった。Table 1-1-5 はサンプルごとの Dp の割合を低い順に示したが、東京都の 4 サンプルでは Dp の割合は最小が 20.7%、最大が 86.8%で違い

は有意だった。神奈川県 の 5 サンプルでも Dp の割合には有意な差が認められたが、
こちらはいずれも Df が優占していた。

脱皮殻数とダニ虫体数の関係：

今回の調査で、脱皮殻がかなりの割合で存在することが明らかになった (Table 1-1-
4) ことから、ダニ虫体数と脱皮殻の関係を調べ、結果を Fig. 1-1- 6 に示した。スピ
アマンの順位相関係数を求めたところ、両者の間には有意な相関関係が認められた。

1-1-4. 考察

ダニ相に関しては、今回の調査では、全体の 97.03% がチリダニ科のダニであり
(Table 1-1-2)、これまでの電気掃除機を用いた集塵による研究と同様の結果であっ
た。わが国において屋内塵中のみならず布団においても、そのほとんどがチリダニ科
のダニで占められていることが明らかとなった。一方、サンプル ID 10 のようにホコ
リダニ科が大きな割合を示すこともあった。屋内塵中でのホコリダニの生態やアレル
ゲンとしての重要性に関しては未知な部分が多いが、これまでの調査でもチリダニ科
に次いでホコリダニが多く発見される例やまれに大発生と思われる例が見られている
【41, 52】。ホコリダニの今後の発生動向に留意する必要があるかもしれない。

ダニ密度に関しては、今回、布団表面だけでなく内部まで調べた結果とは言え、平

均で 72,088 個体/ m² (最低 2,640 個体/ m²、最高 324,080 個体/ m²) という非常に高い密度であった (Table 1-1-4)。この成績は、学校における維持管理基準の 100 個体/ m² 【53, 54】 に比べ、非常に高い密度であり、何らかの有効な対策が必要であることが示された。

空間分布については、布団内部の分布状況が、本研究によりはじめて明らかになった。Fig. 1-1-3 に示したように、布団の両端では中層に多く分布する傾向があり、布団の中央部では下層に多く分布する傾向が見られた。チリダニ科のダニの餌となる皮脂の堆積の空間分布の偏り、あるいは側生地および中綿の水分含量の場所的な違いが、この分布傾向に影響を与えた可能性が推測されるが、この原因については今後明らかにする必要がある。また、Fig. 1-1-4 に示すように表層のチリダニ科の割合はサンプルによって大きく異なった。これは各家庭の室内の微気象や布団の管理状況によって、様々にダニの分布が変化することを示すものと考えられる。一方で、本研究では、上層、下層を、側生地を含む 5 mm としたが、これを例えば 10 mm とした場合には表層 (上層、下層) に分布すると見なされる個体の割合が大きく上昇することも予想される。これは、今後の検討課題である。

Dp と Df の、内部を含めた布団における割合も、今回の調査で初めて明らかにされた。結果で述べたように、同じ東京都で集めた 4 枚の布団でも両種の割合は大きく異なっていた (Table 1-1-5)。緒言で述べたように、両種の構成割合については電気掃

除機を用いて集めた塵中の調査によって、地域ごとの優占種について様々な報告と議論がある【43-48】。しかし、本研究の結果は、両種の構成割合は地域のようなマクロな気象よりも各家庭の生活習慣や布団の管理状況に由来する微気象によって、両種の構成割合は変化することを示唆している。この要因がこれまでに言われてきた湿度や布団の水分含量によるものか、あるいは他の要因によるものか、これらに影響を及ぼす布団の管理方法や住宅構造などの要因に関する検討が今後の課題である。

更に、本研究の新たな試みとして、ダニ虫体数と脱皮殻の関係性に着目した。調査した敷布団がダニ類の生息場所として安定していれば、繁殖に適した布団では脱皮殻の数もダニ虫体数も多く、逆に繁殖に不適な布団では脱皮殻もダニ虫体も少ないと考えられるので、ダニ虫体数と脱皮殻の間には、正の相関関係が予想される。両者には有意な相関関係が認められたが、Fig. 1-1-6 に示したように、相関関係から大きく外れたサンプルも認められた。脱皮殻が調査以前の繁殖状況を反映し、ダニ虫体数が調査時の繁殖状況を反映していると仮定すると、相関関係から大きくはずれたサンプルでは、繁殖を左右する何らかの要因が変化して繁殖状況に大きな変化をもたらしたと推察される。そして、その要因が、過去の繁殖状況を反映した脱皮殻数と現在の繁殖状況を反映するダニ虫体数の違いを説明する新たな要因と考えられるが、残念ながら今回の調査では環境条件に関するデータがないため、このような要因を特定することはできなかった。ダニ類の個体数が調査以前の繁殖状況の影響を受けているとすれば、

敷布団の使用期間の長さがダニの個体数に影響していることが予想される。そこで、脱皮殻を含むダニ数について Kruskal-Wallis 分析をおこなった。その結果、布団の使用期間とダニ数の間に統計的に有意な相関は認められなかった。これはダニ数が、使用年数よりも布団の管理方法や温湿度などの環境条件の影響を受けたためと考えられる。

最後に、ダニ類が敷布団の表層だけでなく中層にも分布していることが示されたことは、ダニ類の有効な対策を考える上で重要である。敷布団の中層には薬剤を浸透させるのが難しいため、布団中層のダニに対して他の有効な対策が講じられなければならないが、その一つとして熱処理や、低酸素で密封などの物理的な対策の可能性があげられる。そこで次項では、密封空間を簡便に低酸素状態にできる、脱酸素剤を用いたダニ防除検討を行った。

Table 1-1-1. The place and month of collection and period of use of the 20 Japanese mattresses examined in this study.

Sample ID	Collection place	Collection month and year	Period of use (years)
1	Gunma	December, 2014	>5
2	Niigata	December, 2014	3 to 5
3	Saitama	December, 2014	3 to 5
4	Tokyo	December, 2014	3 to 5
5	Tokyo	December, 2014	3 to 5
6	Tokyo	December, 2014	>5
7	Tokyo	December, 2014	3 to 5
8	Chiba	December, 2014	1 to 3
9	Kanagawa	October, 2014	>5
10	Kanagawa	October, 2014	>5
11	Kanagawa	June, 2014	>5
12	Kanagawa	June, 2014	>5
13	Kanagawa	December, 2014	>5
14	Ishikawa	December, 2014	1 to 3
15	Osaka	December, 2014	>5
16	Osaka	December, 2014	3 to 5
17	Hyogo	December, 2014	>5
18	Hyogo	December, 2014	1 to 3
19	Tottori	December, 2014	>5
20	Fukuoka	December, 2014	1 to 3

Table 1-1-2. Mite fauna of the mattresses (a), and results of species identification of adult Pyroglyphid mite (b).

(a) Mite fauna of the mattresses

Family	No. (%) of mite collected	
チリダニ科 Pyroglyphidae	12,356	(97.03)
ホコリダニ科 Tarsonemidae	335	(2.63)
ツメダニ科 Cheyletidae	24	(0.19)
イエササラダニ科 Haplochthoniidae	8	(0.06)
マヨイダニ科 Ascidae	3	(0.02)
コナダニ科 Acaridae	3	(0.02)
ニクダニ科 Glycyphagidae	2	(0.02)
フシダニ科 Eriophyidae	1	} (0.02)
コハリダニ科 Tydeidae	1	
カザリヒワダニ科 Cosmochthoniidae	1	
Total	12,734	

(b) Species identification of adult Pyroglyphid mite.

Species	Total
<i>Dermatophagoides farinae</i>	591
<i>Dermatophagoides pteronyssinus</i>	377
Others and unidentified	196
Total	1,164

Table 1-1-3. Variations in the proportion of Pyroglyphidae among the 20 mattresses.

Sample ID	Collection place	Pyroglyphidae		Others ¹⁾	% Pyroglyphidae	
		dead	alive			
10	Kanagawa	82	1	114	42.1	f
9	Kanagawa	437	0	50	89.7	g
6	Tokyo	1,863	3	123	93.8	h
5	Tokyo	605	0	28	95.6	ch
3	Saitama	107	1	3	97.3	acdh
17	Hyogo	1,030	0	24	97.7	cd
11	Kanagawa	182	10	3	98.5	abcd
1	Gunma	142	6	2	98.7	abcd
14	Ishikawa	1,153	17	10	99.2	a
19	Tottori	588	8	5	99.2	abd
7	Tokyo	607	4	5	99.2	abd
20	Fukuoka	609	25	3	99.5	abe
18	Hyogo	296	18	1	99.6	abe
12	Kanagawa	329	2	1	99.7	abe
2	Niigata	2,390	68	6	99.8	be
16	Osaka	1,543	1	1	99.9	e
8	Chiba	29	0	0	100	abcdegh
4	Tokyo	92	0	0	100	abcde
13	Kanagawa	33	0	0	100	abcdegh
15	Osaka	74	0	0	100	abcdeh

¹⁾ Others include unidentified specimens.

The Percentages followed by different letters are significantly different (Fisher's exact test, $p < 0.05$).

Table 1-1-4. Mite density of the bottom layer, upper layer and all layers, and estimated mite density per mattress (2 m²) .

Sample ID	Number of mites / 125 cm ²				Estimated number of mites / 2 m ²	
	Bottom layer	Upper layer	All layers	All layers +exu ¹⁾	All layers	All layers +exu
1	84	35	150	165	24,000	26,400
2	1,138	213	2,464	4,051	394,240	648,160
3	54	8	111	200	17,760	32,000
4	19	15	92	155	14,720	24,800
5	189	210	633	655	101,280	104,800
6	464	783	1,989	2,139	318,240	342,240
7	440	49	616	700	98,560	112,000
8	13	7	29	33	4,640	5,280
9	60	3	487	570	77,920	91,200
10	55	14	197	213	31,520	34,080
11	131	16	195	284	31,200	45,440
12	254	8	332	479	53,120	76,640
13	26	6	33	88	5,280	14,080
14	781	84	1,180	1,509	188,800	241,440
15	32	7	74	126	11,840	20,160
16	1,018	55	1,545	2,955	247,200	472,800
17	521	128	1,054	1,558	168,640	249,280
18	203	39	315	655	50,400	104,800
19	379	96	601	789	96,160	126,240
20	62	247	637	698	101,920	111,680
Mean	296	101	637	901	101,872	144,176
±SD ²⁾	±340	±178	±686	±1,062	±109,698	±169,951

¹⁾ Including exuviae

²⁾ SD = Unbiased estimation of a standard deviation

Table 1-1-5. Variations in the proportion of *Dermatophagoides pteronyssinus* in adult Pyroglyphidae among the 20 mattresses.

Sample ID	Collection place	Dp	Df	Others ¹⁾	% Dp	
16	Osaka	0	43	16	0	i
17	Hyogo	0	38	8	0	ei
3	Saitama	1	24	2	3.7	bei
10	Kanagawa	6	40	12	10.3	bce
13	Kanagawa	1	7	1	11.1	abcdefgi
11	Kanagawa	15	63	9	17.2	abc
4	Tokyo	6	22	1	20.7	abcdf
15	Osaka	3	10	1	21.4	abcdfg
5	Tokyo	12	28	10	24.0	acdfg
9	Kanagawa	47	96	49	24.5	a
12	Kanagawa	56	112	34	27.7	ad
8	Chiba	2	2	3	28.6	acdfg
18	Hyogo	19	18	8	42.2	dfg
14	Ishikawa	23	23	7	43.4	dfg
2	Niigata	27	27	7	44.3	fg
6	Tokyo	20	9	11	50.0	g
19	Tottori	26	15	10	51.0	g
20	Fukuoka	45	7	7	76.3	h
7	Tokyo	46	7	0	86.8	h
1	Gunma	22	0	0	100	h

Df = *D. farinae*

Dp = *D. pteronyssinus*

1) Others include unidentified specimens.

Percentages followed by different letters are significantly different (Fisher's exact test, $p < 0.05$).

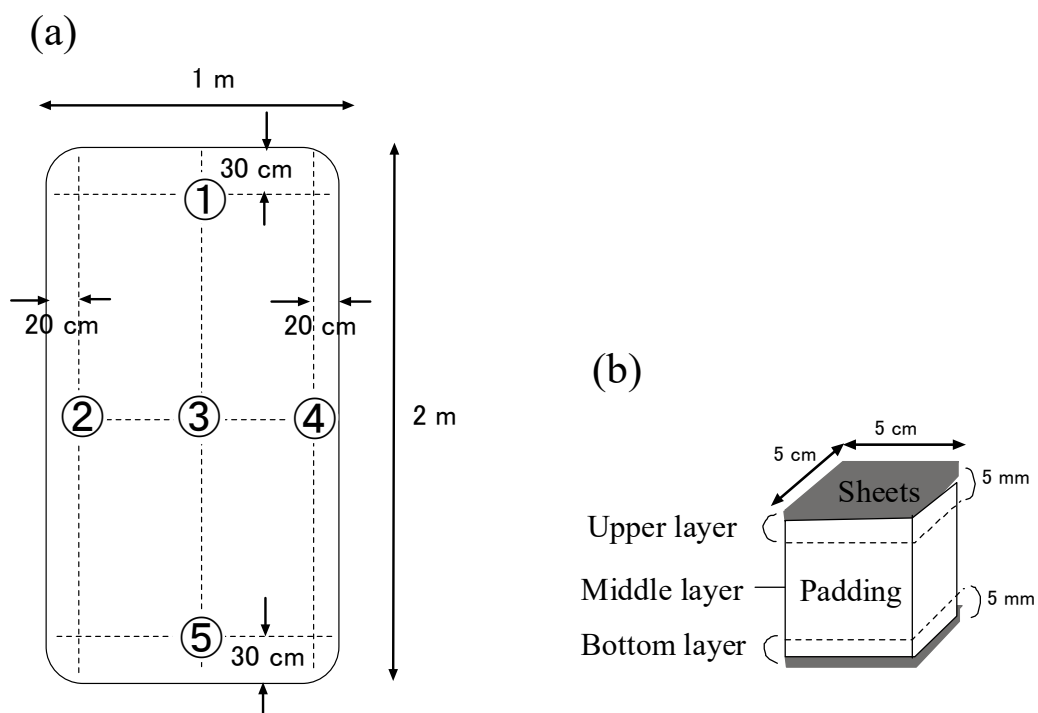


Fig. 1-1-1. Locations of the 5 sampling points on each mattress (a) and the 3 layers of each sample (b) .

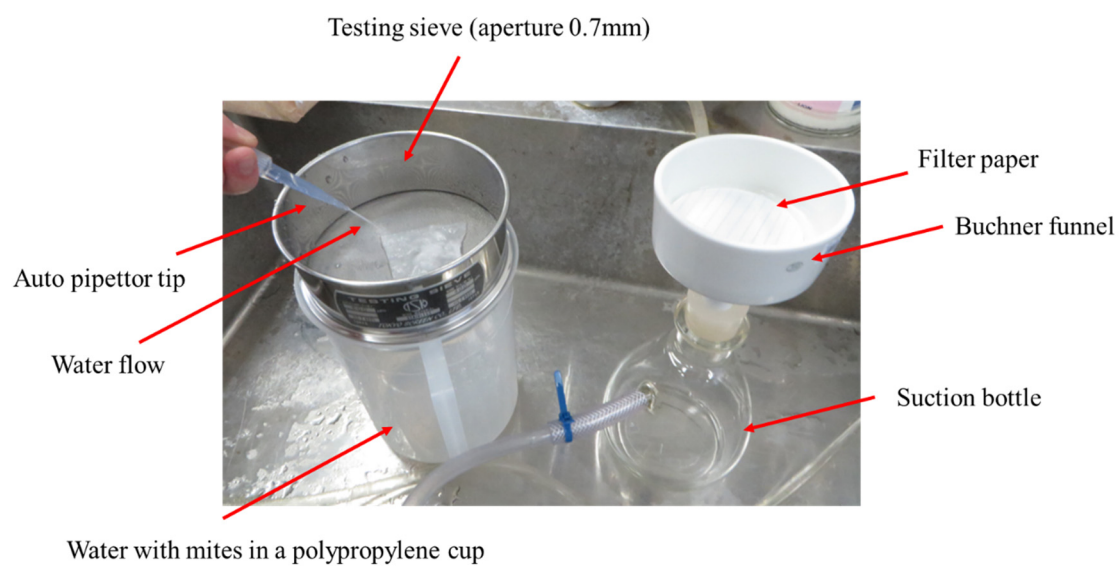


Fig. 1-1-2. Equipment for separating mites from samples. The sample was placed on a sieve and washed by flowing water. Mites in the water were collected by suction filtration.

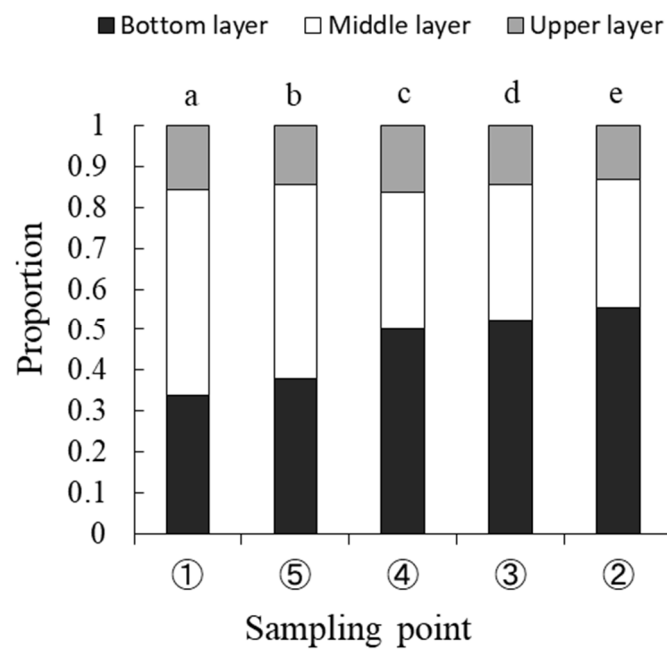


Fig. 1-1-3. Comparisons of the distribution both dead and alive mites among the 5 sampling points (① to ⑤ shown in Fig. 1-1-1 (a)). The bars were arranged according to the proportion of mites in the bottom layer. Bars with different letters are significantly different (Fisher's exact test, $p < 0.05$) .

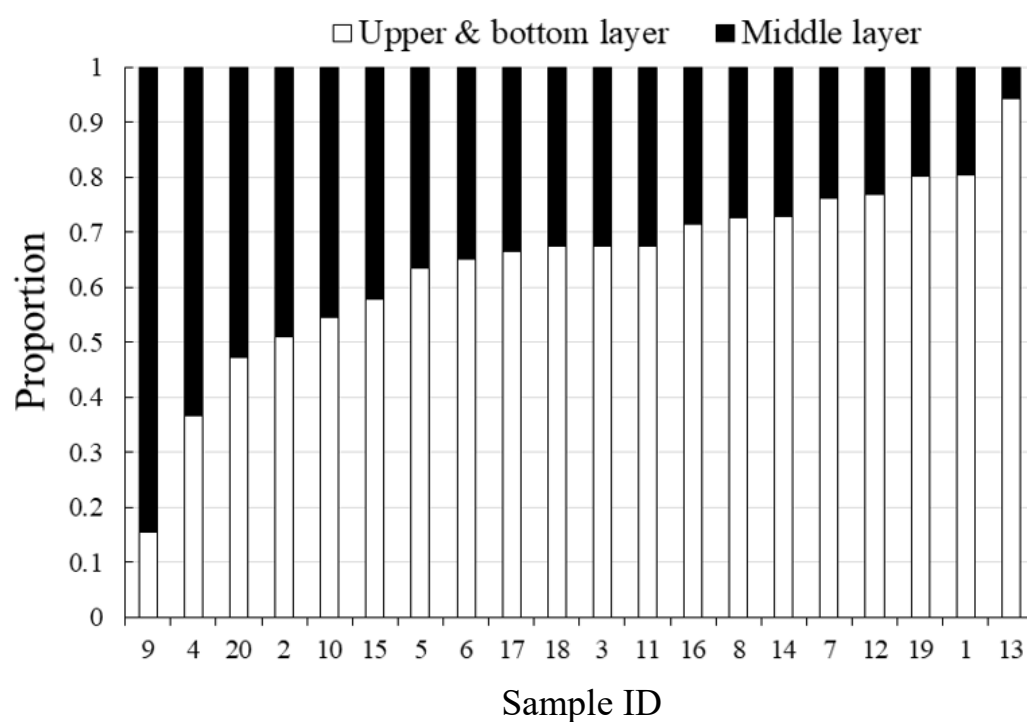


Fig. 1-1-4. Comparisons of the distribution of Pyroglyphid mites (including exuviae) among the 20 mattresses. Differences are significant (chi-sq.= 12125, $p < 0.001$).

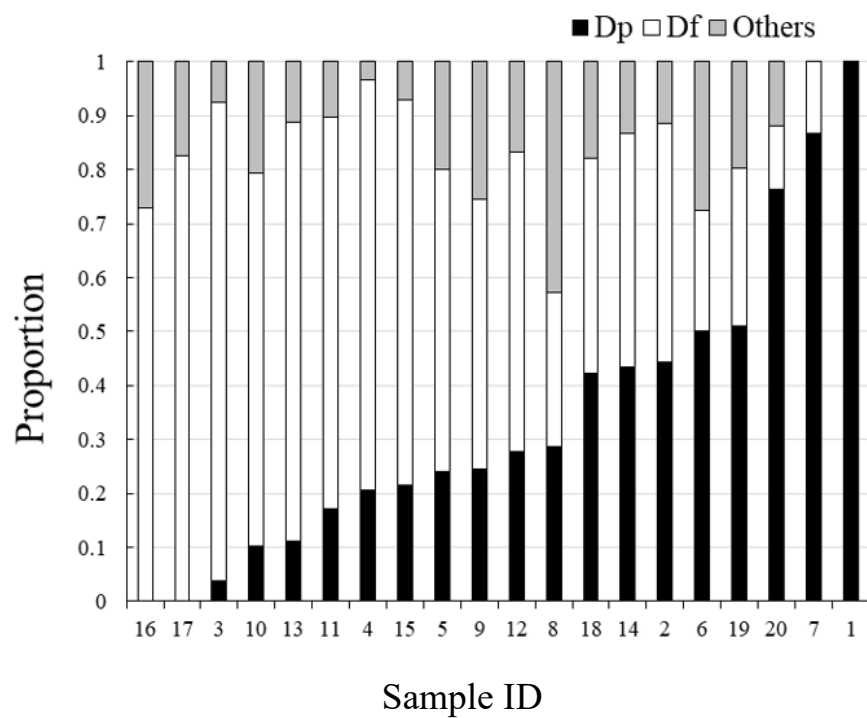


Fig. 1-1-5. Differences in the composition of *D. pteronyssinus* (Dp) and *D. farinae* (Df) in adult Pyroglyphidae among the 20 mattresses. Others include unidentified specimens. Differences among the mattresses are significant (chi-sq.= 288.02, $p < 0.05$), and the results of pair-wise comparisons are shown in Table 1-1- 5.

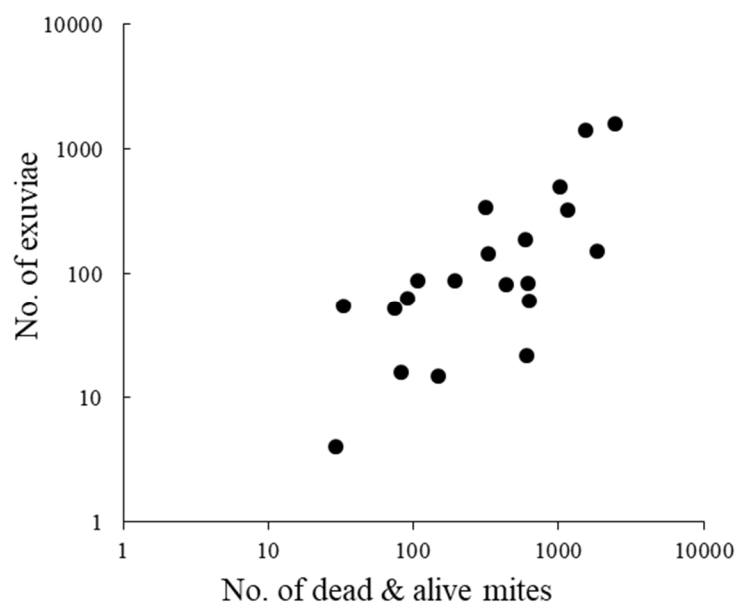


Fig. 1-1-6. Relationship between the number of dead and alive mites and number of exuviae. Spearman's rank correlation is 0.718 and significant ($p < 0.001$) .

1-2. 屋内塵性ダニに対する脱酸素剤の致死効果

1-2-1. 緒言

低酸素濃度殺虫法とは、薬剤を使用しない物理的殺虫法のひとつである。脱酸素剤を用いて密封空間の酸素濃度を低下させて害虫を致死させる研究は、これまで貯蔵穀物害虫や衣料害虫で行われてきた【55-57】。これらの方法は、薬剤を到達させにくい環境でも効果が得られるため、布団内部のような環境での害虫防除効果が期待されるが、害虫種や発育ステージによって低酸素濃度に対する耐性が大きく異なるという問題がある【55】。

脱酸素剤は食品の酸化防止を目的として開発されたもので、鉄系のものとアスコルビン酸に代表される有機系のものに大別できる。鉄系では鉄の酸化反応を利用するのに対して、アスコルビン酸系ではアスコルビン酸の酸化反応による酸素吸収反応を利用している。鉄系剤の方が汎用性に富むが、酸素を吸収することによって体積が減少することを防止するためには二酸化炭素を発生するガス置換型のアスコルビン酸系のものが適している【58】。

これまでの屋内塵性ダニに対する脱酸素剤を用いた殺虫効果試験は、供試した脱酸素剤や密封方法が異なるために実験結果やその解釈に違いがみられる【59- 61】。例え

ば、田中（1990）によるとケナガコナダニ *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank, 1781) を脱酸素剤で処理した2日後の酸素濃度が2.5%と比較的高い値であるにもかかわらずダニの死亡が確認されたのに対して、Tatsuki and Fukami（1984）の報告では処理2日後の酸素濃度がわずか0.1%であったにもかかわらずダニの生存が確認されている【59-61】。このように、脱酸素剤によるダニの致死効果については未だ不明な点がある。

一方で、二酸化炭素の濃度を高めることで貯蔵穀物害虫などを殺虫する報告があるが【62, 63】、これまでに屋内塵性ダニ類に対して用いられた脱酸素剤はすべて鉄系のものであり、酸素濃度の低下による致死効果のみが論じられてきた。これに対して、アスコルビン酸系脱酸素剤の殺ダニ効果についての研究例はこれまで皆無である。この脱酸素剤には吸収した酸素と同量の二酸化炭素を発生する特徴があり、低酸素条件下に加えて二酸化炭素濃度が増加することによるダニの致死効果についても期待できる。それゆえ、アスコルビン酸系によるダニの致死効果に関する知見は、屋内塵性ダニの防除においてどのような脱酸素剤を選択する上で重要な情報を提供できると考えられる。

そこで本実験では、鉄系およびアスコルビン酸系という2つの異なったタイプの脱酸素剤を用いて、屋内塵性ダニの代表種であり、アレルギー疾患の最重要アレルゲン産生者であるヤケヒョウヒダニ *D. pteronyssinus* (Trouessart, 1897) とコナヒョウヒ

ダニ *D. farinae* A.M.Hughes,1961 の脱酸素剤による致死効果の有無、致死に必要な密封時間について、異なる発育ステージ（成虫と卵）で明らかにすることを目的とした。

1-2-2. 材料と方法

供試ダニ：

実験には、ヤケヒョウヒダニ *D. pteronyssinus* (Trouessart, 1897)（以下 Dp）、コナヒョウヒダニ *D. farinae* A.M.Hughes,1961（以下 Df）（いずれも東京女子医大系統）を用いた。乾燥酵母エビオス®（アサヒフードアンドヘルスケア（株）製）と煮干しを重量比で 1：1 に混合粉碎したものを培地として飼育した。ダニは、種別に直径 6cm、高さ 2cm の平型シャーレ内の約 10g の培地で 25℃、75%相対湿度（以下 RH）、16 時間明期、8 時間暗期に調節したコンテナ内に維持した。培地は 1 週間に一度の割合でその 3～5 割程度を新しいものと交換した。シャーレ内のダニ密度は概ね、培地 10mg あたり 50～100 個体程度に保たれていた。

供試脱酸素剤：

成虫に対する試験では、鉄系とアスコルビン酸系、それぞれ、2 種類ずつの脱酸素剤を用いた。鉄系では 1) ワンダーキープ® LP500（パウダーテック（株）製）、2) バ

イタロン® PH-2500（（株）常盤産業製）を、アスコルビン酸系では 3) YC-500PW(ドレンシー（株）製)、4) バイタロン® U-1000 およびバイタロン® U-1500（（株）常盤産業製)を組み合わせたものを用いた。4) 以外の脱酸素剤はいずれも酸素吸収能力が空気量約 2.5L（酸素量として 0.5L）であるので、いずれも単独で用いた。4) では 2 剤を同時に用いると他の脱酸素剤と同量の酸素吸収能力となるので、それらを組み合わせて使用した。

また、卵に対する評価試験では、最初に行った成虫に対する試験で比較的效果が高かったものを、鉄系とアスコルビン酸系からそれぞれ 1 種ずつを選んだ。すなわち、鉄系ではバイタロン® PH-2500（（株）常盤産業製)、アスコルビン酸系では YC-500PW（ドレンシー（株）製）を供試した。

ダニの密封：

検定対象とするダニ類は、屋内塵性ダニ類の薬剤検定に汎用されるクリップ法により、ろ紙内に封入した。成虫に対する試験では、5 cm×10 cm の黒色ろ紙（ADVANTEC® 131B 東洋濾紙（株）製）を二つ折りにし、その内側にメス成虫 30～100 個体を細筆によって導入し、幅 52 mm の目玉クリップ（No.52（株）ライオン事務機器製）でろ紙の 3 辺を閉じた（Fig. 1-2-1）。このダニを封入したろ紙を、ガス吸入用コックを取り付けた 35 cm×24 cm のポリ塩化ビニリデンコートプロピレン

(KOP/CP、厚さ 20/40 μm)製ガスバリア袋内に、各脱酸素剤 1 袋 (バイタロン® U-1000 と U-1500 では各 1 袋) とともに入れ、直ちにガスバリア袋をヒートシーラにより密封した。次に、袋内の湿度が 70% RH 以上になるように、飽和食塩水を入れたデシケータ内の空気 2L を小型ポンプによりガス吸入用コックから注入し、その後コックを閉じて密封状態とした (Fig. 1-2-1)。このように密封したガスバリア袋を 25°C、16 時間明期、8 時間暗期、75% RH に調節した恒温器に入れた。なお、脱酸素剤を入れないバリア袋を対照区として上記と同様に処理した。バリア袋は実験区、対照区ともに、密封時間を 24、48 および 72 時間用のものをそれぞれ準備し、試験は各 3 回ずつ行った。

卵に対する試験では、産卵後 24 時間以内のものを用いた。成虫に対する試験と同様に二つ折りにした黒色ろ紙の内側にそれぞれの種のメス成虫 50~100 個体を細筆で導入し、目玉クリップでろ紙の 3 辺を閉じた。ろ紙は 25°C、16 時間明期、8 時間暗期、75% RH に調節した恒温器に 24 時間維持した後、ろ紙を開封して雌成虫を除去し、ろ紙上に産卵された卵の周辺に鉛筆でマークし、それらを供試卵とした。ろ紙あたりの供試卵数は 20 卵を基本としたが、産卵数にばらつきがあったため、結果的にろ紙あたりの供試卵数は 12~27 個であった。これらのろ紙を、成虫に対する試験と同じ方法で密封した。密封時間は 1 (24 時間)、2 (48 時間)、5 および 7 日間とした。バリア袋は試験区および対照区ともに、それぞれの密封時間ごとに別のものを使用し、それ

ぞれ3回繰り返しを行った。

酸素および二酸化炭素の測定

酸素および二酸化炭素の濃度とダニの致死効果の関係を明らかにするために、前述のバリア袋を密封してから24、48および72時間後に袋内の酸素および二酸化炭素濃度を熱伝導度検出器（Thermal Conductivity Detector (TCD)）付ガスクロマトグラフ（GC-14B 島津製作所製）によって測定した。酸素濃度の測定にはモレキュラーシーブ5A（60/80 mesh）を充填した内径3 mm、長さ2 mのガラスカラムを用い、ヘリウムをキャリアーガスとして流量毎分25 ml、カラム温度50 °C、検出器および注入部温度100 °C、TCD電流値150 mAの条件下で測定した。本法では、空気中に0.94%（体積比）存在するアルゴンを酸素と分離できないため、分析試料中に一律に0.94%のアルゴンが存在すると仮定して酸素濃度を求めた。また、二酸化炭素濃度の測定には、活性炭（60/80 mesh）を充填した内径3 mm、長さ3 mのガラスカラムを用い、ヘリウムをキャリアーガスとして流量毎分50 ml、カラム温度130 °C、検出器および注入部温度160 °C、TCD電流値150 mAの条件下で測定した。

ダニの致死効果の判定：

成虫に対する試験では、密封して24、48および72時間後に処理したバリア袋を開

封し、ろ紙内の生死を実体顕微鏡下で判定した。このとき、細筆で刺激しても全く動かない個体を死亡個体と見なし、暫定的に死亡率を算出した。しかし、動かない個体でもその後に蘇生することがあるので、ろ紙を再びクリップで閉じてもとの恒温器に戻し、さらに 24 時間後に蘇生の有無を観察し最終的な死亡率を求めた。

卵に対する試験では所定期間密封後にバリア袋を開封し、ろ紙を取り出して 25 °C、16 時間明期、8 時間暗期、75% RH 条件下に保存した。卵期間は、23 °C 条件下では、Dp と Df で、それぞれ、8.1 および 10.1 日であったと報告されていることから【64, 65】、卵の 1 回目の観察は産卵 10 日目に行い、発育遅延があった場合を考慮してさらに 2 回目の観察を産卵 17 日後に行った。観察は実体顕微鏡下で行い、幼虫脱出後の卵殻が認められるものを孵化卵とし、孵化率を算出した。

供試脱酸素剤による成虫の死亡率および卵の孵化率の差は、角変換した値を Tukey 法で検定した。

1-2-3.結果：

酸素および二酸化炭素濃度の変化：

酸素および二酸化炭素濃度の変化を Fig. 1-2-2 に示した。密封 24 時間後の酸素濃度は、鉄系のワンダーキーブ® LP-500、バイタロン® PH-2500 区でそれぞれ 0.90 および 0.08%、アスコルビン酸系の YC-500PW 区では 2.43%であった。48 時間後にはそ

それぞれの区の酸素濃度はそれぞれ 0.21、0.06 および 0.41% となり、72 時間後では鉄系 2 区の酸素濃度は 48 時間後と変化がなかったのに対して、YC-500PW 区では 0.10% まで減少した。バイタロン® U-1000 と U-1500 を合わせた区では、観察した全ての時点で酸素濃度の低下が他の脱酸素剤処理区よりも穏やかであった。また、アスコルビン酸系 2 区ではそれらの脱酸素剤が吸収した酸素とほぼ同量の二酸化炭素を発生したが、鉄系のものでは全く発生がなかった (Fig. 1-2-3)。

ダニに対する致死効果：

脱酸素剤による成虫の死亡率を Table 1-2-1 に示した。Dp、Df の両種とも、鉄系 2 種の脱酸素剤では、いずれも 48 時間の密封で 100% の死亡率が得られ、その後の蘇生は全く認められなかった。24 時間の密封では開封直後の暫定的な死亡率は高かったが、一部の個体が蘇生した。また、24 時間密封での死亡率は、バイタロン® 2500 区のほうがワンダーキープ® LP-500 区に比べて高く、さらに Df の最終死亡率には有意差が認められた ($p < 0.05$; Table 1-2-1)。これに対して。アスコルビン酸系を用いた場合には 72 時間後でも両種とも 100% の死亡率は得られなかった。バイタロン® U-1000 + 1500 の処理区の方が YC-500PW 区よりも 48 時間および 72 時間後の死亡率が低く、それらの時点における暫定的な死亡率には両種ともに有意差が認められた ($p < 0.05$)。

卵に対しては、成虫と同様に 2 日（48 時間）密封で鉄系では両種とも孵化率が 0 となったのに対して、アスコルビン酸系の孵化率は 2 回目の観察（産卵後 17 日目）において Dp で 88.9%、Df では 67.5%で、鉄系に比べいずれも有意に孵化率が高かった($p < 0.05$)。

1-2-4. 考察

成虫に対する致死効果では、鉄系 2 種の脱酸素剤を比較すると、バイタロン® PH-2500 のほうが、ワンダーキープ® LP-500 よりも酸素濃度の低下が速く、24 時間後の Dp と Df の死亡率にはこの違いが反映され、Df の最終死亡率は前者が有意に高かった（Table 1-2-1）。このことは、酸素濃度の低下が 2 種の死亡要因であることを示している。また、鉄系の中で酸素濃度低下が緩やかであったワンダーキープ®LP-500 とアスコルビン酸系で酸素濃度低下率の高かった YC-500 を比較すると前者は 24 時間後が 0.90%、48 時間後は 0.21%であったのに対して、後者の 48 時間後は 0.41%、72 時間後では 0.10%であった。これにも関わらず、前者では 48 時間後の死亡率が 100%であったのに対して、後者の死亡率は 72 時間後においても Dp で 82.7%、Df で 94.4%と 100%に達しなかったことは（Table 1-2-1）、両者の致死効果の違いを酸素濃度の低下だけで説明できないことを示唆している。相馬ら（1995）は、コクゾウムシ *Sitophilus zeamais* Motschulsky, V. de, 1855 を無酸素状態に暴露すると二酸化炭素に

よる致死効果が低下することを示したが【66】、今回の実験でもアスコルビン酸系脱酸素剤により二酸化炭素が発生すると、低酸素状態でのヒョウヒダニの死亡率が低下することが示唆された。

卵に対する致死効果も成虫と同様の結果が認められた。Dp、Dfの両種ともに、孵化率を0にするには鉄系の脱酸素剤で、成虫と同様に2日（48時間）間密封すればよいことが示された（Table 1-2-2）。

以上から、布団のような環境においても適切な酸素吸収量を有する鉄系の脱酸素剤とともに適切なバリア袋を用いて2日間密封すれば、布団内部に生息する優占種であり重要なアレルゲン産生者であるDpとDfに対して100%の致死効果が得られると結論された。これは布団の簡便なダニ対策への指針のひとつとなりうると考えられる。

一方で、2日間の密封では、例えば、押し入れて数か月間使用しないで収納する布団に対しては実用的だが、日々の布団を使用しながらの防除実施は、密封時間が長時間であるため、適用が困難であることが予想される。今後は、脱酸素剤の酸素吸収速度を高めればさらに密封時間を短縮できるのか否かの検討が必要と考える。また、補助的、相乗的に効果を高め、密封時間を短縮できる手段を見いだす研究も必要であろう。例えば木川ら（1999）は低酸素濃度下でのコクゾウムシに対する殺虫効果が高温の方が高くなり、20℃と30℃では死亡率が大きく異なり、駆除に必要な密封期間も大きく異なることを報告している【56】。このような検討も含め、更に殺虫効果を高める

ことで、密封時間の短縮が可能になれば、更に実用的な手段として普及させることが可能と判断された。

Table 1-2-1. Percentage mortality (mean \pm SE) of two house dust mites after treatment with different oxygen absorbers.

Mite species	Oxygen absorber	Duration of treatment ^a					
		24h		48h		72h	
		Just after opening	24h after opening	Just after opening	24h after opening	Just after opening	24h after opening
<i>D. pteronyssinus</i>	Fe-type						
	WONDERKEEP® LP-500	77.7 \pm 8.9 ^a	68.1 \pm 18.0 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
	VITALON® PH-2500	100 ^a	98.4 \pm 1.6 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
	Ascorbic-acid-type						
	YC-500PW	32.4 \pm 23.8 ^b	—	100 ^a	96.5 \pm 3.5 ^{ab}	78.0 \pm 22.0 ^a	82.7 \pm 17.3 ^{ab}
<i>D. farinae</i>	Fe-type						
	WONDERKEEP® LP-500	90.4 \pm 7.1 ^a	47.7 \pm 4.7 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
	VITALON® PH-2500	100 ^a	98.5 \pm 0.9 ^b	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
	Ascorbic-acid-type						
	YC-500PW	15.2 \pm 11.0 ^b	—	100 ^a	96.1 \pm 1.0 ^a	80.2 \pm 19.8 ^a	94.4 \pm 5.6 ^{ab}
All test used 30-100 adults and were replicated three times.	VITALON® U-1000 + U-1500	4.4 \pm 3.0 ^b	—	19.9 \pm 13.6 ^b	57.2 \pm 2.1 ^b	26.8 \pm 5.8 ^b	79.9 \pm 9.2 ^b
	Control	1.9 \pm 1.9 ^b	—	1.7 \pm 0.3 ^b	17.1 \pm 8.9 ^c	17.8 \pm 6.1 ^b	17.7 \pm 7.4 ^c
	Control	2.0 \pm 1.4 ^b	—	4.3 \pm 3.0 ^b	29.1 \pm 19.1 ^c	18.2 \pm 8.5 ^b	30.8 \pm 1.5 ^c
	Control	2.0 \pm 1.4 ^b	—	4.3 \pm 3.0 ^b	29.1 \pm 19.1 ^c	18.2 \pm 8.5 ^b	30.8 \pm 1.5 ^c
	Control	2.0 \pm 1.4 ^b	—	4.3 \pm 3.0 ^b	29.1 \pm 19.1 ^c	18.2 \pm 8.5 ^b	30.8 \pm 1.5 ^c

^a Means in each column in each species followed by the same letters are not significantly different (p.0.05,Tukey's test arcsine transformation).

— : Not observed.

Table 1-2-2. Percentage of egg hatchability (mean \pm SE, $n=3$) of two house dust mites after treatment with two different oxygen absorbers.

Mite species	Duration of treatment (days) ^a										
	1			2			5			7	
	No.of days after oviposition			No.of days after oviposition			No.of days after oviposition			No.of days after oviposition	
	10	17		10	17		10	17		10	17
<i>D. pteronyssinus</i>											
	74.6±7.6 ^a	74.6±7.6 ^a		0 ^a	0 ^a		0 ^a	0		0 ^a	0
	91.0±1.9 ^{ab}	91.0±1.9 ^a		88.9±1.3 ^b	88.9±1.3 ^b		0 ^a	0		0 ^a	0
Control	93.9±1.5 ^b	—		100 ^c	—		86.1±1.1 ^b	—		96.9±1.5 ^b	—
<i>D. farinae</i>											
	88.9±3.7 ^a	88.9±3.7 ^a		0 ^a	0 ^a		0 ^a	0		0 ^a	0
	74.0±8.6 ^a	74.0±8.6 ^a		64.1±9.6 ^b	67.5±7.5 ^b		0 ^a	0		0 ^a	0
Control	95.2±2.9 ^a	—		94.6±3.2 ^c	—		83.0±4.1 ^b	—		86.3±5.2 ^b	—

Each replicate had 12-27 eggs.

^aMeans in each column in each species followed by the same letters are not significantly different (p.0.05, Tukey's test arcsine transformation).

— : Not observed.

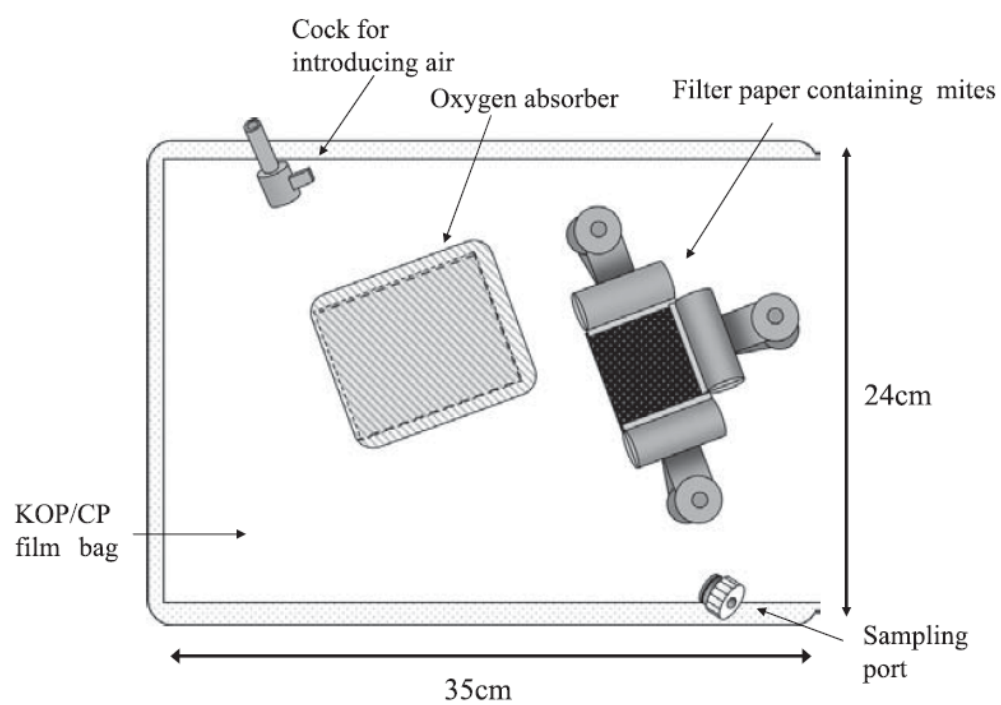


Fig. 1-2-1. Method for testing of acaricidal effect of oxygen absorber. A filter paper containing mites and an oxygen absorber were placed in a film bag (KOP/CP). The bag was sealed and filled with 2L of air.

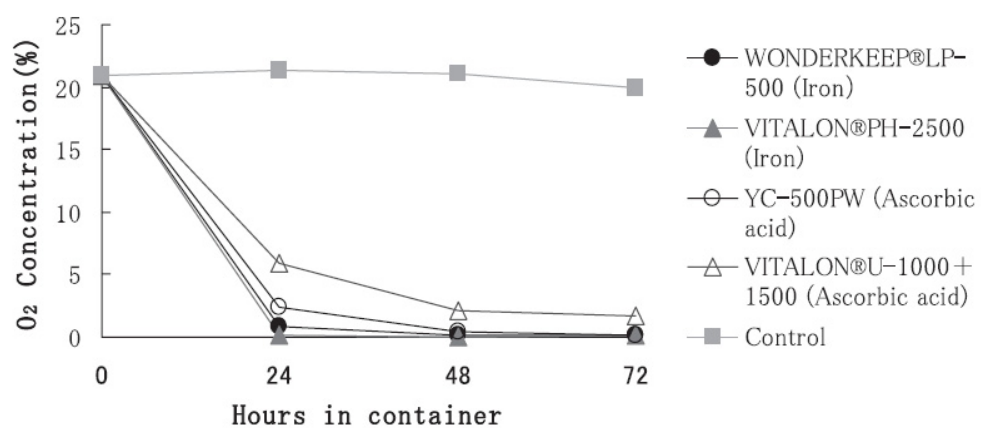


Fig. 1-2-2. Change in O₂ concentration with various oxygen absorbers.

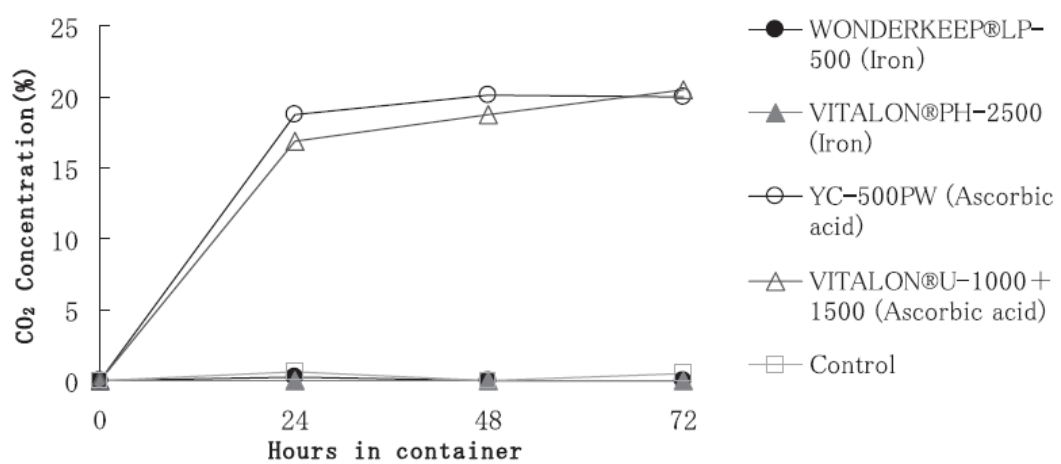


Fig. 1-2-3. Change in CO₂ concentration with various oxygen absorbers.

第 2 章

人家周辺の蚊の行動習性と物理的防除

2-1. ヒトスジシマカ *Aedes albopictus* の分布と行動習性

2-1-1. 緒言

ヒトスジシマカ *Aedes albopictus* (Skuse, 1895) は、わが国に最も普通にみられる蚊の一種である【17】。本種は東南アジアに起源をもつとされているが【30】、1980 年代より米国、中南米、ヨーロッパ、アフリカに分布を拡大している【32, 67】。本種はデング熱やチクングニア熱の媒介蚊として知られており【17, 68】、わが国でも 2014 年に約 70 年ぶりに国内感染が認められたデング熱の媒介蚊が、このヒトスジシマカであることが確認されている【69, 70】。感染症媒介蚊の対策には、大きく幼虫対策と成虫対策があり、幼虫対策においては発生源である水域の特定が、成虫対策においては蚊の動きや行動範囲に関する詳細な情報が、効率的な殺虫剤処理範囲を策定する上で重要となる【71】。

蚊成虫の行動範囲を知るひとつの方法として、マーキング法（標識再捕獲法）が用いられる。この方法は、動物の行動範囲や個体群の大きさ等を推定する方法として、マーキング手法や得られたデータの解析方法が考案されてきた【17, 72-74】。

蚊の行動範囲を知るためのマーキング法には、グループマーキング法と個別マーキング法が知られている【73】。グループマーキング法は蛍光塗料の粉末を蚊に付着させる方法が一般的で、一度に多くの個体に同じマークを施すことができる利点があるが、より詳細な行動習性調査には、個別マーキング法が有効である。個別マーキングには、これまでに胸部背板にマークを施す方法や、吸引掃除機によって蚊をネット上に固定し左右それぞれの翅の基部、中間、先端の3か所に3色の異なるフェルトペンでマークを施す方法が考案されている【75, 76】。ヒトスジシマカのマーキング実験は日本やアメリカ、イタリア、ブラジル等で行われており、成虫の行動が、植生、特に樹木の存在によって大きく影響されることが認められている【76】。

しかし、これまでの研究は、大きな森林や公園、および大学のキャンパス内の調査であり、実際にデング熱やチクングニア熱が発生する市街地の調査は限られている。

そこで本研究では、移動の範囲や方向性を知ることができる個別マーキング法を用いて、実際に住宅地に緑地が点在する市街地を調査地として、ヒトスジシマカの行動習性の調査を行った。

2-1-2. 材料と方法

調査地と調査期間：

調査地として、沖縄県石垣市の住宅地の 230 m×250 m の区画を選んだ（Fig. 2-

1-1)。調査地には、住宅の他、3つの緑地や公共施設などがあった。緑地は、樹木、低木、草本植物が茂っており、暗く湿潤な環境であり、ヒトスジシマカの潜伏場所として好適な場所と判断された。調査期間は2013年3月18～27日の10日間であった。最初の7日間は、捕獲された蚊の胸部背板に着色（マーク）して放虫した。最後の3日間は捕獲のみ行い、捕獲した個体のマークと放虫は行わなかった。

蚊の捕獲と個体マーキング：

調査区画より、蚊の捕獲地点として樹木の下4箇所（Site A～Site D）を選んだ（Fig. 2-1-1）。Site Aは住宅（民宿）の庭、Site Bは大きな緑地の入り口、Site Cは大きな緑地の奥、Site Dは小さな緑地の入り口とした。全ての捕獲地点は樹木によって直射日光と強風の影響を受けなかった。4箇所の捕獲地点間の距離は、直線距離で48 m～187 mであった。蚊の捕獲は、蚊の吸血時間帯とマーキングに要する時間を考慮して、1日2回、8時と14時に行った。1人の捕獲者が捕獲地点に行き、脚と腕にとまった蚊を、直径1 cm、長さ25 cmのガラス管の1端にナイロンゴースで蓋をして、長さ40 cmのゴムチューブを取り付けた吸虫管（Fig. 2-1-2）で10分間捕獲した。捕獲した蚊は、3%の砂糖水を含ませた脱脂綿を入れた紙製の容器に入れ、Site Aの民宿に持ち帰り、種の同定とマーキングを行った。捕獲した個体は、マークの有無を確認し、マークされてない個体は、氷の上にとろ紙（ADVANTEC® No.2 東洋濾紙

(株) 製) を置き、実体顕微鏡 (SMZ Nikon 製) 下で、割りばしの先端に刺した昆虫標本用の針 (No.3 志賀昆虫社製) の丸みのある部分を用いて、胸部背板の 5 箇所 of いずれかにマークをした (Fig. 2-1-3. (a), (b))。マークがある個体についてはマークの位置と色を捕獲地とともに記録し、同日中に捕獲された地点から放虫した。マークに用いたペイントは白色の修正液ミスノン® (ライオン事務機器 (株) 製) に食用色素、青色 1 号 (F0147)、黄色 4 号 (F0144)、赤色 2 号 (F0144) (いずれも東京化成 (株) 製) を混ぜたもので合計 4 色のペイントを作成した。4 色のペイントを 5 箇所にマークする組み合わせは、無マークの箇所を入れて、 $5^5 = 3,125$ 種類となる (Fig. 2-1-3.(b))。ただし、5 箇所とも無マークのものは未マーク虫と区別ができないので、マークの組み合わせは $5^5 - 1 = 3,124$ 種類が得られることになる。

気象データの収集：

日ごとの平均気温、平均湿度、風速は最寄の気象台 (24° 20.2'N, 124° 9.8'E) のデータを気象庁オンラインデータベース (www.data.jma.go.jp/) で収集した。

統計解析：再捕獲率の有意差検定は、統計ソフト【77】を用いて、カイ二乗検定で行った。

2-1-3. 結果

調査期間の気象条件は調査期間中、標識再捕獲調査に適していた。降雨は 1.5～18 mm/ 日を 4 日間記録した。合計した降水量は 25 mm で蚊の捕獲の阻害要因とはならなかった。平均気温は 21.3～25.0 °C、平均湿度は 73～92% で蚊の吸血に適した環境であった。日ごとの風速は 3.2～6.2 m/ s であったが、捕獲地点は植生によって強風や直射日光の影響を受けなかった。

本調査において、合計 309 個体のヒトスジシマカ雌個体を捕獲し、7 日間で 232 個体にマークをして放虫した (Table 2-1-1)。再捕獲されたのは 48 個体で、その割合は 21% (48/232) であった。捕獲地点別に、その地点で放虫した個体数と、その地点で放虫された個体が 4 箇所いずれかの地点で捕獲された再捕獲総数、および再捕獲率を Table 2-1-2 に示した。再捕獲率は Site B で放虫された個体が 40% (10/25) で他の Site A、C、D で放虫された個体の再捕獲率よりも有意に高かった。各捕獲地点で放虫した個体がどの地点で再捕獲されたのかを Table 2-1-3 に示した。同じ行の数字はその地点で放虫された蚊が、どの地点で再捕獲されたかを示している。例えば、Site A で放虫された 8 個体のそれぞれの地点での再捕獲数は、Site A (放虫した地点) で 3、Site B (Site A から 64m の距離) で 2、Site C (Site A から 95m の距離) で 3、および Site D (Site A から 187m の距離) で 0 であった。同様に、Site B で放虫された 10 個体は、Site B (放虫した地点) で 3、Site C (Site B から 48m の距

離) で 7 個体が再捕獲された。Site C で放虫された 26 個体は Site A (Site C から 95m の距離) で 1、Site B (Site C から 48 m の距離)で 1、Site C (放虫した地点) で 23、Site D (Site C から 92 m の距離) で 1 個体が再捕獲された。Site D で放虫された 4 個体は Site A (Site D から 187 m の距離) で 1、Site C (Site D から 92 m の距離) で 2、Site D (放虫した地点) で 1 個体がそれぞれ再捕獲された。放虫した地点と同じ地点での再捕獲率は Site A で 38% (3/8)であり、Site B (30%)、Site D (25%) とほぼ同じ値であった。これに対して Site C での再捕獲率は 88% (23/26)であった。また、Table 2-1-3 の同じ列の値は、ある地点で再捕獲された個体が、どの地点で放虫されたかを示したものである。例えば、Site A で再捕獲された 5 個体のそれぞれの放虫地点は、Site A が 3、Site B が 0、Site C と D がそれぞれ 1 個体ずつであった。これは Site C (Site A から 95 m の距離) と Site D (Site A から 187 m の距離) からも Site A への移入があることを示している。同様に、Site B で再捕獲された 6 個体の放虫地点は、Site A が 0、Site B が 3、Site C (Site B から 48 m の距離) が 1、Site D が 0 であった。Site D では、Site C (Site D から 92 m の距離) と Site D の放虫個体がそれぞれ 1 個体ずつ再捕獲された。一方、Site C での再捕獲個体の放虫地点は、Site A (Site C から 95 m) が 3、Site B (Site C から 48 m の距離) が 7、Site C が 23、Site D (Site C からの距離が 92 m) が 2、と多くの個体の Site C への移入が認められた。本調査では合計 48 個体が再捕獲されたが、そのうち 35 個体が

Site C で再捕獲され、35 個体のうち 12 個体が他の地点から移入した個体であった。

2-1-4. 考察

本調査では、最初の 7 日間で 232 個体のメス成虫がマークし放虫され、そのうち 48 個体が再捕獲され、その割合は 21%であった。これまでに行われたヒトスジシマカを対象としたマーキング試験では蛍光色素を用いたグループマーキングでの再捕獲率は 7.7~38.7%（平均 25%）で、本結果よりもわずかに高かった【17, 78】。一方で翅にマーキングしたときの再捕獲率は 13%で【76】、本結果よりも低かった。このことから、本調査でおこなった胸部背板へのマーキングは蚊のダメージが少なく、飛翔行動に影響を与えなかったと判断された。

Table 2-1-2 に示したように、Site C は、捕獲され、放虫された個体数が、他の地点よりも多かった。Table 2-1-3 で示した各地点間の蚊の移動の方向と頻度を Fig. 2-1-4 にまとめた。Site B で放虫された 10 個体のうち、7 個体が Site C で捕獲された。他の地点（Site A、Site D）で放虫された個体も、それぞれ 3/8、2/4 が、Site C で捕獲されている。このことは Site B から Site C への移動が頻繁であること、および Site A と Site D から Site C への移動が起きていることを示している。また、Site C で再放虫した 26 個体のうち、23 個体が同じ Site C で捕獲された。以上のことは、大きな緑地の奥に位置する Site C が、本調査地域において、蚊の移動の休息場所として

も、吸血源の探索場所としても好適であり、この地点を中心におおよそ 100 m の距離の緑地間をヒトスジシマカが移動していることを示していると考えられる。一方で Site D から Site A への移動も 1 個体認められたことは、187 m の距離を移動した個体の存在を示すものであった。

以上、蚊のダメージの少ない個体別マーキング法を行うことにより、緑地が点在する市街地において、ヒトスジシマカが緑地間を移動しながら吸血と休息を繰り返している行動習性の一端をとらえることができた。今回の調査で、ヒトスジシマカの行動を理解するにあたり、緑地が重要な役割を果たしていることが再確認された。また、複数の緑地が存在する場合、92 m 離れた緑地間で移動が起こることが示された。異なる場所で再捕獲された 18 個体の調査期間内の平均移動距離は 75.3m であり、最大で 187 m (Site A と Site D の間の距離) 移動した個体も 1 個体確認された。

以上のことは、デング熱やチクングニア熱がわが国で発生した場合、発生地域での成虫の重点的な生息緑地を把握し、そこからおおよそ半径 100 m の範囲の緑地に殺虫剤を優先的に処理することが重要であることを示唆している。

本知見が公表された同じ年に、わが国で約 70 年ぶりにデング熱が国内発生したが、その際に、本知見がヒトスジシマカの成虫対策範囲を決定する上で重要な指針を与えた。2014 年 9 月 12 日発の厚生労働省事務連絡【79】には、「防除範囲として、患者が感染した可能性の高い場所、およびウイルス血症期間中に滞在した場所を中心とする

エリア内の建物の屋外を調査・防除の対象とする。エリアの半径は 100m 程度が望ましい。」と記載されている。また、2014 年 12 月 24 日付けの東京都蚊媒介感染症対策会議報告書【80】においては、代々木公園渋谷門付近半径 75 m の範囲に蚊の駆除のための薬剤散布が行われたことが記載されている。これらデング熱国内流行時の対策の指針の作成には、本研究結果が反映された。

Table 2-1-1. Number of mosquitoes collected, released and recaptured during 18 to 27 May 2013 on Ishigaki island, Japan.

Date	No.collected	No.released	No.recaptures
18-Mar-2013	17	17	
19-Mar-2013	43	43	1
20-Mar-2013	68	68	9
21-Mar-2014	22	22	6
22-Mar-2015	39	39	8
23-Mar-2016	23	23	8
24-Mar-2017	20	20	9
25-Mar-2018	6	0	1
26-Mar-2019	32	0	2
27-Mar-2020	39	0	4
Total	309	232	48

Table 2-1-2. Differences in recapture rate of released mosquitoes among 4 collection sites.

Collection site	No.recaptures	No.released	Recap. Rate
Site A	8	54	0.15
Site B	10	25	0.40
Site C	26	125	0.21
Site D	4	28	0.14
Total	48	232	0.21

Table 2-1-3. Movement of released mosquitoes among 4 collection sites.

Release site	Recapture site				Total
	Site A	Site B	Site C	Site D	
Site A	3	2	3	0	8
Site B	0	3	7	0	10
Site C	1	1	23	1	26
Site D	1	0	2	1	4
Total	5	6	35	2	48

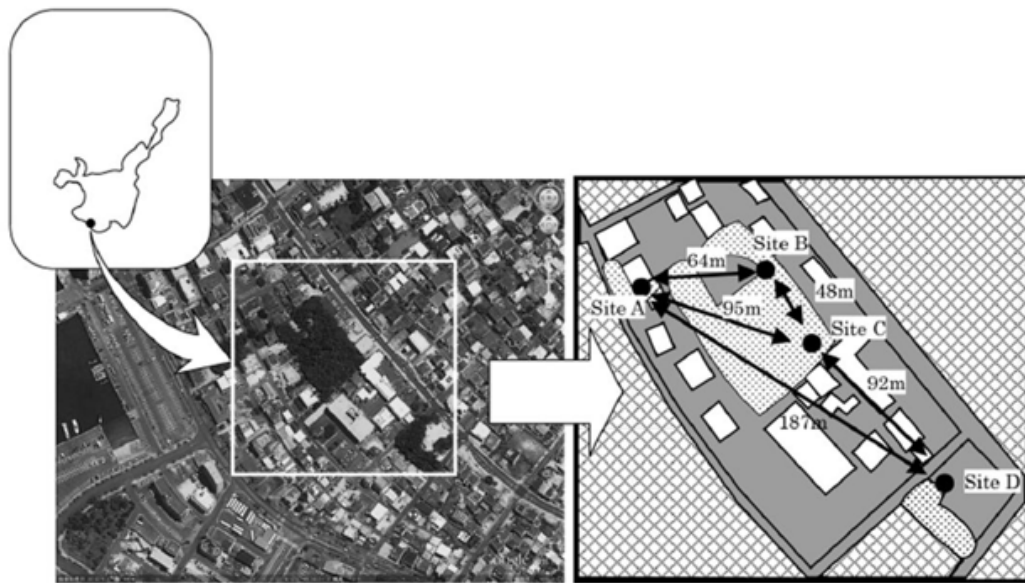


Fig. 2-1-1. The study area ($230\text{ m} \times 250\text{ m}$) for mark-release-recapture of *Ae. albopictus* located in residential area of Ishigaki island, Japan.
Dotted areas show vegetated places. White squares show human dwellings and local government buildings.

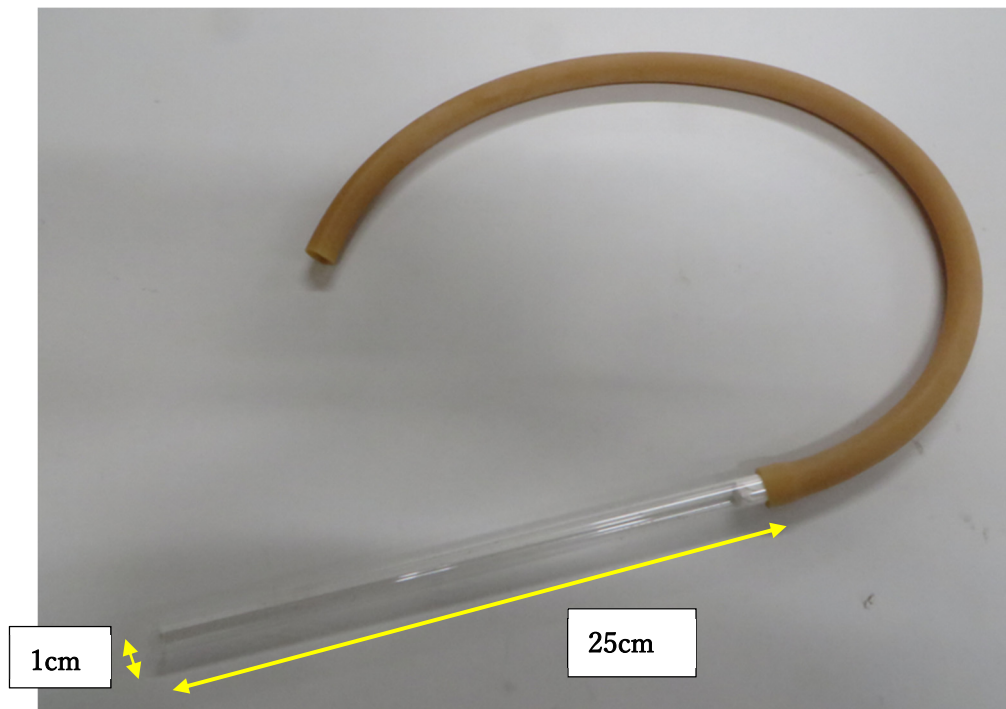


Fig. 2-1-2. A sucking tube used for collecting mosquitoes in this study.

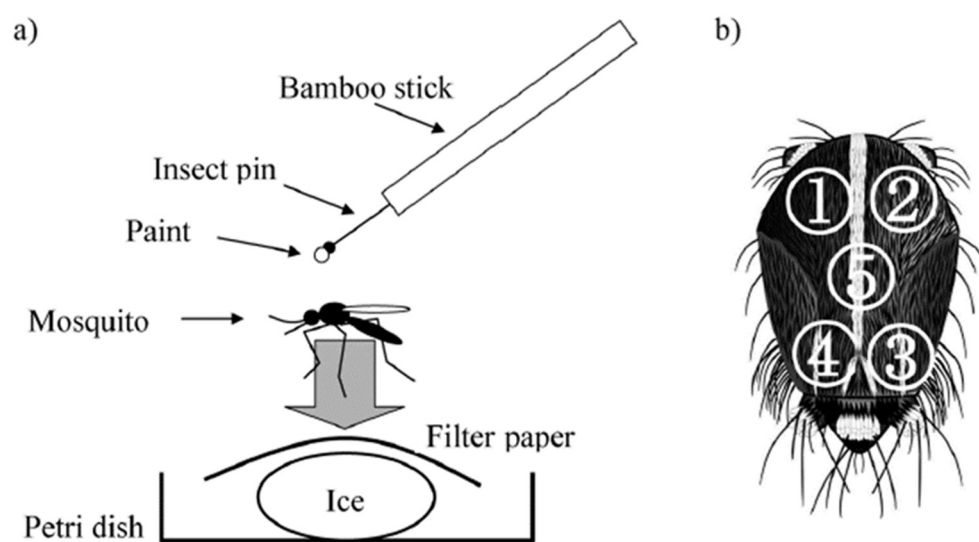


Fig. 2-1-3. Individual marking used in this study (a). Mosquitoes were given a unique marking by placing spots of paint at five selected sites on the thorax under a stereo-microscope(b).

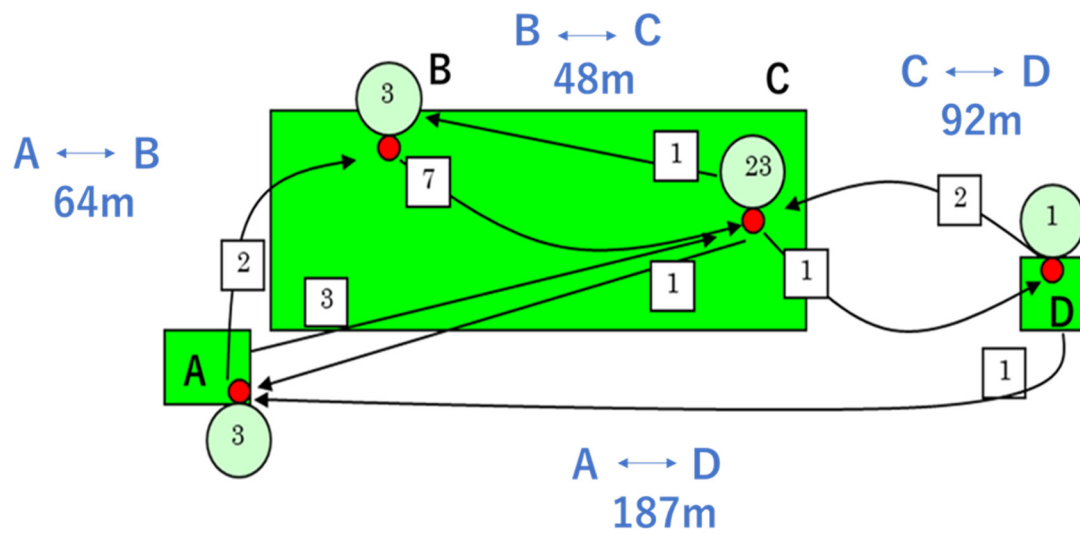


Fig.2-1-4. A schematic representation of movement of female *Ae. albopictus* among 4 collection sites (Site A to D) located at three vegetated places (green squares).

Arrows and numbers in squares show the direction of movement of females and their numbers. Numbers in circles show number of females recaptured at the same sites where they were released.

2-2. Box Trap を用いた屋内侵入蚊チカイエカ, *Culex pipiens form molestus*, の物理的防除に関する実験的検討

2-2-1. 緒言

チカイエカ *Culex pipiens form molestus* Forskål, 1775 はアカイエカ *Culex pipiens pallens* Coquillett, 1898 と同じアカイエカ群 *Culex pipiens* group に属する我が国の代表的な人家周辺の蚊である。アカイエカとチカイエカは近縁種であるが、チカイエカは、ビルの地下水域などに見られること、冬季にも発生が認められること、無吸血産卵を行う性質があること等、特異的な性質が知られている【17, 81, 82】。また、首都圏の一般住宅のアカイエカ群のうち、80%以上がチカイエカであったという報告がある【81】。チカイエカは、アカイエカと同じウエストナイル熱やフィラリア症を媒介する可能性が指摘されている【17, 83】。1999 年に米国に侵入し、その後、大流行が継続しているウエストナイル熱の感染サイクルにおいて、アカイエカ群は非常に重要な役割を果たしていることが報告されている【84, 85】。現在、我が国にはアカイエカ群が媒介するヒトの感染症の流行はないが、媒介蚊としての対策は、非常時に備え立てておく必要がある【83】。

本研究で検討を行った Box Trap は、Resting Box と呼ばれ、箱型のトラップで、

蚊成虫が活動を停止する時間帯に潜伏場所に潜む行動習性を利用したトラップである

【86, 87】。Box Trap には、吸血後の雌個体、未吸血の雌個体の他、雄も捕獲されることから【88-91】、蚊相の調査【92】、雌の吸血の有無【93】、生理的な齢構成や経産卵率の調査【88】などに使用されている。

Box Trap による成虫捕獲数がトラップの構造にどのように影響されるかに関しては、野外での捕獲実験が行われているが【94】、屋内での使用を想定したトラップの構造的要因に関する実験的検討は行われていない。そこで本研究では、屋内に侵入したアカイエカ群の捕獲を目的として、Box Trap の構造と色、および設置高さに関する実験的検討を行った。また、トラップ設置台数と捕獲成功率の関係についても検討を加えた。

2-2-2. 材料と方法

基本トラップの構造：

実験には、栗原と佐々【88】など過去の調査研究で使用した Box Trap や、本研究の共同研究者のイエカ類の潜伏場所に関する観察経験に基づいて設計したトラップを用いた。

実験に使用した Box Trap の基本的な構造と大きさを Fig. 2-2-1 に示した。トラップは厚紙製で、大きく 3 部分（遮光板、天板、捕集箱）で構成されている。遮光板

は 10 (奥行 L) cm × 33 (幅 W) cm の板が、長辺を天板の一辺と接する形で斜めに取り付けられている。天板は 18 cm × 33 cm で、遮光板と接する辺の中央に開口部がある。天板はトラップに近づいた成虫を開口部に誘導することを目的として、開口部から外側に向かって、グラデーションカラーで彩色した。グラデーションは描画ソフト Free Hand Mx (Macromedia, Inc. CA, USA) で見本 (Fig. 2-2-1) を作成し、製作は印刷業者に委託した。天板の下には捕集箱 (13 cm L × 18 cm W × 10 cm H) が取り付けられている。捕集箱側面の内壁 4 面には、粘着シート (鵬図商事 (株) 製) が貼り付けられており、開口部から侵入した蚊成虫が捕捉される。基本トラップの開口部は 9 cm L × 9 cm W、遮光板角度は 45 度、天板の色は黒色グラデーションである。天板を持ち上げると捕集箱の天面が開けるようになっており、側面の粘着シートに捕獲された個体を記録することができる。粘着シートは両面テープで側面に貼付されており、粘着シートを取りかえると再利用できる。実験では基本トラップの他、開口部の大きさ、遮光板の角度、天板の色が異なるトラップを作成し、試験ケージ内に成虫を放してトラップで捕獲される個体数を調べ、捕獲個体数が最も多くなるトラップの条件を明らかにした。

開口部の大きさに関する検討：

開口部の横幅だけを変えた 3 つのトラップを作成した。もっとも開口部が小さいも

のから順に、9 cm L×2 cm W、9 cm L×9 cm W および 9 cm L×15 cm W であった。

遮光板と天板の接する角度、天板の色は基本トラップと同様であった。

遮光板の角度に関する検討：

遮光板と天板の接する角度だけが異なる 3 つのトラップを作成した。遮光板の接する角度が最も小さいものは 15 度、次いで 45 度、最も大きいものは 90 度（遮光板は天板に対して垂直）とした。遮光板の角度が 15 度の場合、遮光板の上辺と天板の距離は約 2 cm であり、45 度の場合、遮光板の上辺と天板の距離は 7 cm である。遮光板の角度が 90 度の場合、開口部は遮光板に覆われることはなく、全体が露出している。なお、これらのトラップの開口部の大きさ、天板の色は基本トラップと同様であった。

天板の色に関する検討：

天板の色だけが異なる 4 つのトラップを作成した。基本トラップの黒色の他、赤、緑、青で、カラーチャート（DIC グラフィックス(株) 2018 年 3 月第 4 刷）に従い、赤（Y60、M100、C0、K0）、緑（C80、M0、Y100、K0）、および青（C100、M0、Y0、K20）のグラデーションで彩色した。グラデーションのパターンは基本トラップと同様であった。トラップの開口部の大きさ、遮光板の角度も基本ト

ラップと同一であった。

蚊のサイズの測定：

トラップへの侵入に影響すると考えられる蚊のサイズを測定した。実験に供試した同一の個体群より無作為にチカイエカ雌雄成虫各 10 個体ずつを取り出し、デジタルマイクロスコープ（VHX-900 KEYENCE 製）の 2 点間距離測定機能を用いて、両翅の広げたときの翅端から翅端までの長さと、脚の中で最も長い後脚の長さを測定した。両翅間の長さについては、ガラス製シャーレ上で翅を延ばした状態で測定した。後脚については全体を延ばすことが困難なため、腿節、脛節、跗節をそれぞれ測定して合計したものを後脚の長さとした。

試験方法：

供試虫は、25℃、相対湿度 55% 日長 16 時間（22:00～6:00 が全暗）の飼育室で 30 年以上無吸血産卵により累代飼育されているチカイエカ *Cx. pipiens form molestus* Forskål, 1775 を用いた。

実験は気温 25℃、相対湿度 55%、日長 16 時間（22:00～6:00 が全暗）に調節された部屋で行った。大きさの異なる 2 種類の蚊帳を用いた。小さい蚊帳は 1 人用の蚊帳（220 cm L×110 cm W×130 cm H、白色、三河繊維産元協同組合製）、大きい蚊帳は

6 畳用（300 cm L×200 cm W×200 cm H、白色、Dreamy wing 製）であった。

開口部の大きさと遮光板の角度、および天板の色に関する実験は、1 人用の蚊帳を用いて 3～5 回繰り返した。蚊帳床面の 4 隅から 3 または 4 箇所を選び、1 台ずつトラップを設置した。無吸血産卵を済ませた成虫ケージから、20 個体を雌雄無作為に選び出し、16:00 に蚊帳の中に放飼した。翌朝 10:00 にトラップを回収して捕獲された個体数を記録した。

トラップを設置する高さの検討：

基本トラップ 3 個を 6 畳用蚊帳内の異なる高さに設置した。すなわち、蚊帳の一隅に 50 cm L×180 cm W のプラスチック板（白色）を垂直に立て、床面から 80 cm（標準的なテーブルの高さ）と 160 cm（棚の上段の高さ）の位置に捕集箱底面と同じ大きさの棚を取り付け、トラップを設置した。さらに、これらのトラップの直下の床面にトラップを 1 個設置した。無吸血産卵を済ませた成虫ケージから、20 個体を雌雄無作為に選び出し、16:00 に蚊帳の中に放飼し、翌朝 10:00 にトラップを回収して捕獲された個体数を記録した。実験は 3 回繰り返した。

トラップ設置台数と捕獲成功率の関係の検討：

本トラップは 6 畳の部屋での使用を想定して開発しており、1 個のトラップ（基本

トラップ)を設置した場合にどの程度の捕獲成功率を示すかを、6 畳用蚊帳を用いて調べた。蚊帳内の一隅にトラップを設置し、チカイエカの屋内侵入密度がかなり低い状況を想定し、6 畳用蚊帳に雌雄無作為に 1 個体放飼し、翌日トラップに捕獲されたか否かを確認する実験を 10 回行った。次にトラップの設置個数を 2 つに増やして蚊帳の 2 隅に配置し、放飼された 1 個体がいずれかのトラップで捕獲される確率(捕獲成功率)がどの程度高くなるかを、10 回の実験を行って調べた。

統計処理：

開口部の大きさ、遮光板の角度、天板の色、設置場所の高さ、のそれぞれを要因とする 1 元配置分散分析を行い、効果が有意である場合には、Tukey' HSD 法による平均値の多重比較を行った。統計解析は、R(ver.3.6.1)によって行った。

2-2-3. 結果

開口部の大きさ：

放飼した 20 個体のチカイエカは、全ていずれかのトラップに捕獲されていた(捕獲率 100%)。天板の開口部の大きさの異なる 3 つのトラップに捕獲された個体数を Fig. 2-2-2 に示した。開口部の最も小さい 9 cm L×2 cm W のトラップの平均捕獲数は 9.0、9 cm L×9 cm W では 7.7、最も大きな 9 cm L×15 cm W のトラップでは 3.3 で

あった。開口部の大きさが小さいほど捕獲数は多くなり、開口部が最も小さいもの（9 cm L × 2 cm W）および中間のもの（9 cm L × 9 cm W）と、最も大きなもの（9 cm L × 15 cm W）の間には有意差（ $p < 0.05$ ）が認められた。

遮光板の角度：

蚊帳の中に放飼した蚊は1個体を除きいずれかのトラップに捕獲された（捕獲率98.3%）。遮光板の角度の異なる3つのトラップの平均捕獲数を Fig. 2-2-3 に示した。角度が15度、45度、90度のトラップの平均捕獲数はそれぞれ、0.7、12.3 および 6.7 個体であり、45度のトラップが最も多く捕獲され、15度のトラップが最も少なかった（ $p < 0.05$ ）。

天板の色：

蚊帳の中に放飼された蚊が天板の色の異なるいずれかのトラップに捕獲された割合は93%であった。平均捕獲数は、赤、黒、青、緑の順に、8.0、5.6、2.8 および 2.2 個体で（Fig. 2-2-4）、赤色トラップと青色、緑色トラップの差は有意であった（ $p < 0.05$ ）。

トラップの設置位置：

蚊帳の中に放飼された蚊の捕獲率は 53.3%であった。それぞれの高さに設置したトラップの平均捕獲個体数は床面（0 cm）、80 cm、160 cm の順に、5.0、4.7 および 1.0 個体で（Fig. 2-2-5）、床面と高さ 80 cm のトラップの捕獲数は有意差がなかったが、これらのトラップに比べ、高さ 160 cm に設置したトラップの捕獲数は有意に少なかった（ $p < 0.05$ ）。

トラップ設置台数と捕獲成功率の関係：

6 畳用蚊帳にトラップを 1 台設置し、1 個体の成虫を放飼して翌日に捕獲されたかどうかを調べた。10 回の反復を行い、捕獲されたのは 7 回で、捕獲成功率は 0.7 であった。トラップの設置台数を 2 台に増やして同様の実験を 10 回繰り返したところ、いずれかのトラップで捕獲されたのは 9 回、トラップで捕獲されなかったのは 1 回であった（捕獲成功率 0.9）。

2-2-4. 考察

Box Trap の捕獲率に影響を与えと考えられる要因（開口部の大きさ、遮光板の角度、天板の色、設置位置、設置台数）について実験的検討をおこなった結果、以下の点が明らかとなった。

まず開口部の大きさについては、供試した 9 cm L×2 cm W、9 cm L×9 cm W、9

cm L×15 cm Wの間では、小さい順に捕獲個体数が増加する傾向があった。実験に用いたチカイエカは、翅を広げた時の翅端から翅端までの長さ（平均 ± 標準偏差）が、雌 9.1 ± 0.5 mm（n=10）、雄 8.1 ± 0.5 mm（n=10）であったため、開口部の幅 2 cm は蚊が飛翔して通過できる最小の幅であると推察される。Morris によれば【95】、屋外に設置された Box Trap に捕獲されるハボシカの一種 *Culiseta melanura* (Coquillett, 1902) の個体数は、開口部が大きいほど多いという、Fig. 2-2-2 の結果とは全く逆の結果を示している。これは種によって、休息場所の選好性が異なることを示唆するものであり、Box Trap の開発には、対象とする蚊の種を明確にする必要があると考えられた。

遮光板の角度に関しては、45 度のトラップの捕獲数が最も多かったが、これは開口部が遮光板によってある程度覆われることで、開口部が暗所となって蚊を誘引していることを示唆している。チカイエカの後脚の長さ（平均 ± 標準偏差）を測定したところ、雌 9.1 ± 0.5 mm（n=10）、雄 8.3 ± 0.4 mm（n=10）であった。飛翔中の成虫が脚を下方に伸ばして羽ばたいているとすると、翅の上端から後脚の先端までは 10～15 mm となると考えられ、したがって、遮光板の角度が 15 度の場合、隙間を通過するのはかなり困難であると推察された。このことが 15 度のトラップにおいて捕獲数が最も少なかった一因と考えられる。成虫が通過するのに十分な隙間を確保し、かつ開口部が暗所となるためには、遮光板は 45 度が適切であると判断された。

天板の色に関しては、Crans が外側をツヤなしで黒色に塗ったトラップは日陰の潜伏場所を探している蚊を強く誘引すると述べているように【86】、屋外に設置される Box Trap の場合、外側が黒色や赤色に塗られていることが多い【87】。Box Trap のように特別な誘引物質を使用しないトラップの場合、設置された環境の中で蚊がトラップを見つけやすいことは最も重要であり、そのためトラップの色、特に外側の色が重要になると推察される。過去に研究された屋外用 Box Trap と同様に、Fig. 2-2-4 に示した本実験の結果も、天板の色は赤色か黒色が好ましいと判断された。

トラップの設置位置に関しては、Fig. 2-2-5 に示したように、Box Trap は床面あるいはテーブル上のように床から 80 cm ほどの比較的低い位置に設置することが効果的であることが示唆された。緒方らは、一般家屋や事務所で日中に係留しているアカイエカを調べた結果、壁に係留している個体 96 個体中 94 個体が床面から 1 m 以内の高さに係留していたと報告している【96】。本研究で調べたチカイエカはアカイエカと近縁の種であることから、Fig. 2-2-5 の結果は、チカイエカの潜伏場所選択行動を反映した結果であると推察される。つまり、Box Trap を設置するのは、床面からテーブルの上といった、高さ 0~80 cm の場所がよいと判断された。

トラップ設置台数と捕獲成功率の関係については、6 畳用蚊帳に設置された 1 台のトラップで捕獲される確率は 0.7 であったことから、2 台のトラップいずれにも捕獲されない確率は 0.3 の 2 乗（0.09）となる。したがって、2 台設置されたトラップの少

なくとも 1 台で捕獲される確率は $1 - 0.09 = 0.91$ と推定され、本実験結果、すなわちトラップ 2 台を設置した場合の捕獲成功率 0.9 とほぼ等しかった。以上の結果から、Box Trap の捕獲成功率 (P_{overall}) とトラップの設置台数 (n) との間には、 $P_{\text{overall}} = 1 - (1 - 0.7)^n$ という関係式が成り立つと考えられる。この関係式は、6 畳間を想定したものであるが、同じ方法によって大きさの異なる空間における捕獲成功率とトラップ設置台数の関係式を求めることが可能であり、得られた関係式は最適なトラップの設置台数を検討する上で有益と考えられる。さらに、同じ大きさの空間であっても、クローゼットや押し入れなどの競合する潜伏場所が存在して、1 台のトラップで捕獲される確率 (p) が低下する場合についても、同じ考え方に基づけば、 $P_{\text{overall}} = 1 - (1 - p)^n$ という関係式が成り立つ。したがって、競合潜伏場所が存在する空間における 1 台のトラップの捕獲確率 (p) を求めることにより、その空間における最適なトラップ台数を推定することが可能と考えられる。例えば、上に示した関係式を変換することにより、対象とする部屋における期待する捕獲率を α とするとき、必要なトラップ数 n を関係式 $n = \log(1 - \alpha) / \log(1 - p)$ によって推定が可能と考えられる。 p が異なる場合の n と P_{overall} の関係を Fig. 2-2-6 に示した。

以上の知見から、Box Trap による屋内に侵入したチカイエカの物理的防除の可能性を示唆することができた。Box Trap の特性から、潜伏場所を探す個体を捕獲し潜伏後の吸血を阻止する、あるいは吸血して潜伏場所に侵入した吸血個体を捕獲し、次の吸

血（感染）を阻止する、という意味で、蚊媒介性感染症の対策として有効であると考えられる。本検討では6畳相当の部屋での使用を想定したが、設置数を増やすことにより、より広い空間での使用が考えられる。例えば、ビル内の発生源と通じる事業所や病院の待合室などは、夜間（暗期）にヒトがいない間に吸血することなく Trap に捕獲されることが期待できる。また、本知見は、屋内での潜伏場所や設置された Box Trap で多数の成虫が捕獲されているネッタイエカ *Cx. quinquefasciatus* Say, 1823【87, 89】や、同じ潜伏場所選好性を示すアカイエカでも有効であると推定される。今後、一般家屋を含めた幅広い用途展開においては、吸血意欲の高い個体に対する速効的な効果に関する知見を集積し、必要に応じ、殺虫剤の併用も含めた防除体系の検討が必要であると考えられる。

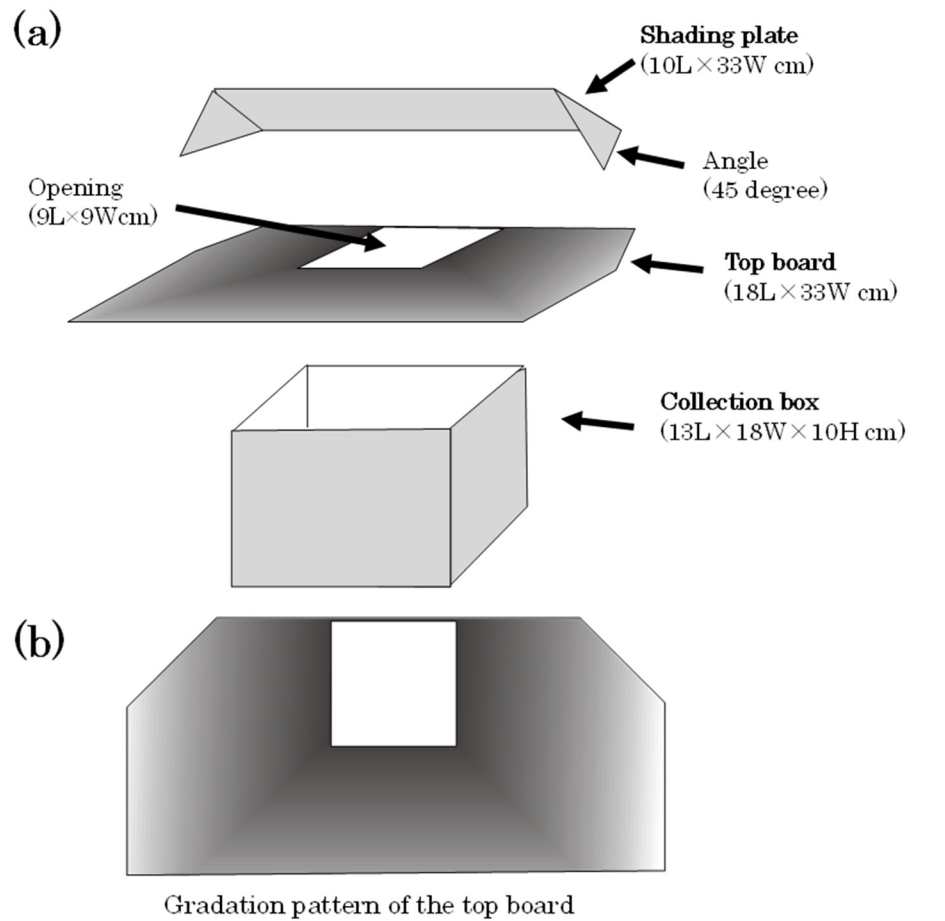


Fig. 2-2-1. Three components of the box trap (basic type) used in the experiments (a): shading plate, top board, and collection box, and the gradation pattern of the top board using a black color (b).

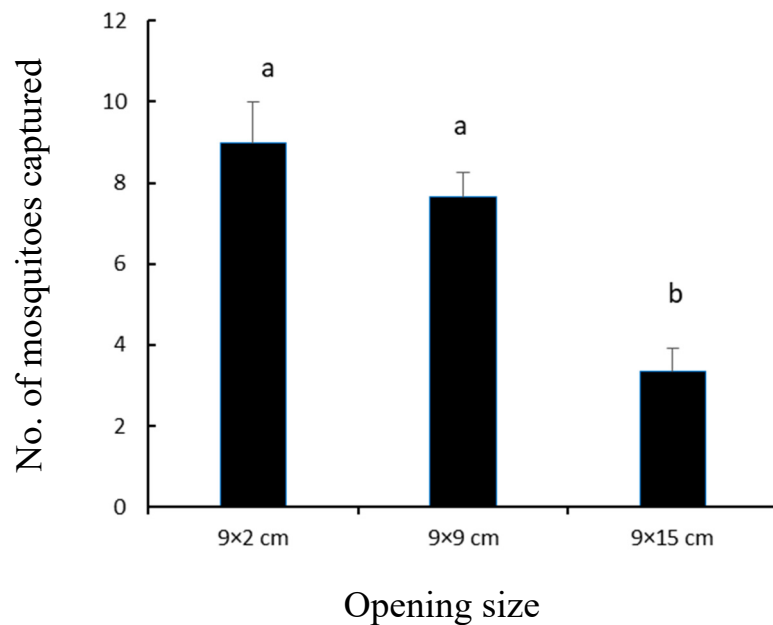


Fig. 2-2-2. Comparisons of mean numbers of mosquitoes (\pm SD) captured by the box traps with three different sizes of opening. The means with the same letter are not significantly different (Tukey's HSD-test, $p > 0.05$).

Three traps with different opening size were placed at three corners of a mosquito net (220 cm L \times 110 cm W \times 130 cm H) and 20 *Cx. pipiens* form *molestus* were released into the net at 16:00. The numbers of mosquitoes captured in the traps were counted at 10:00 in the next day.

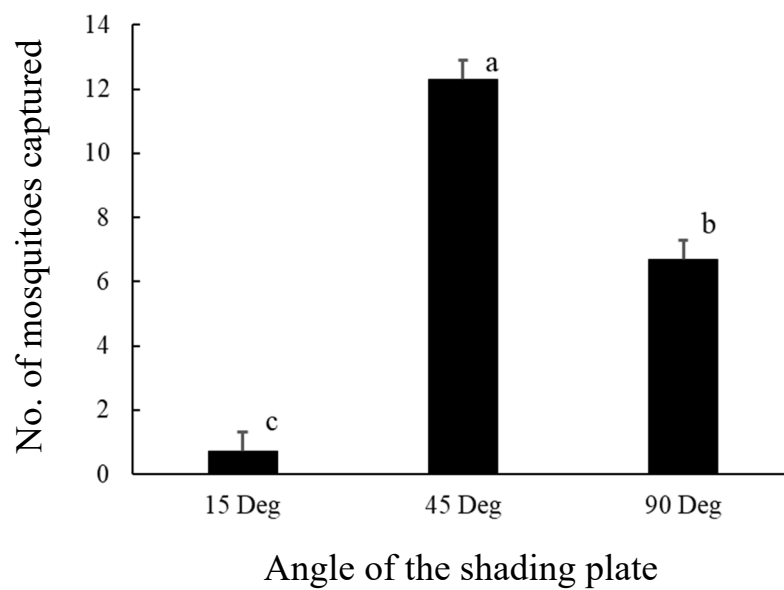


Fig. 2-2-3. Comparisons of mean numbers of mosquitoes (\pm SD) captured by the box traps with three different angles of the shading plate. The means are significantly different (Tukey's HSD-test, $p < 0.05$).

Three traps with different angle of the shading plate were placed at three corners of a mosquito net (220 cm L \times 110 cm W \times 130 cm H) and 20 *Cx. pipiens form molestus* were released into the net at 16:00. The numbers of mosquitoes captured in the traps were counted at 10:00 in the next day.

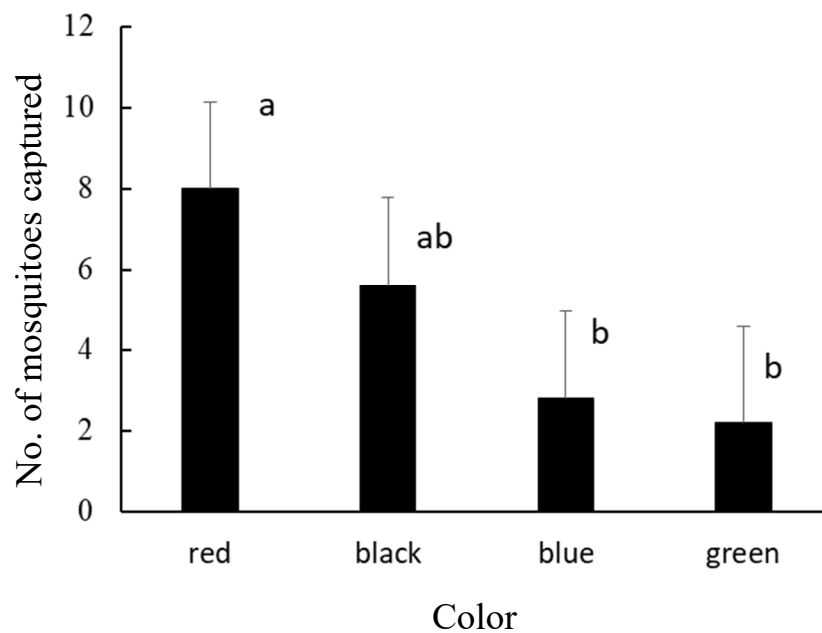


Fig. 2-2-4. Comparisons of mean numbers of mosquitoes (\pm SD) captured by the box traps with four different colors of the top board. The means with the same letter are not significantly different (Tukey's HSD-test, $p > 0.05$).

Four traps with different colors of the top board were placed at each corner of a mosquito net (220 cm L \times 110 cm W \times 130 cm H) and 20 *Cx. pipiens form molestus* were released into the net at 16:00. The numbers of mosquitoes captured in the traps were counted at 10:00 in the next day.

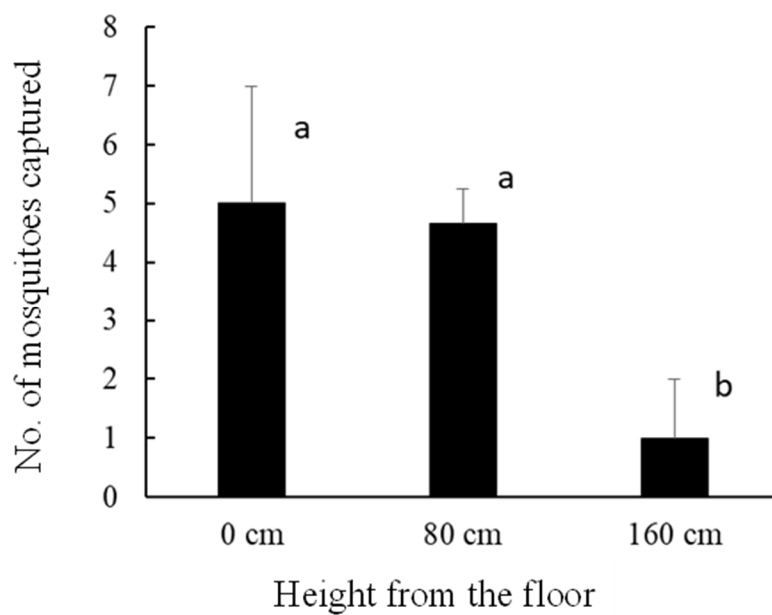


Fig. 2-2-5. Comparisons of mean numbers of mosquitoes (\pm SD) captured by the box traps placed on three different heights from the floor. The means with the same letter are not significantly different (Tukey's HSD-test, $p > 0.05$).

Three basic type traps were placed in a mosquito net (300 cm L \times 200 cm W \times 200 cm H) at three different heights from the floor and 20 *Cx. pipiens* form *molestus* were released into the net at 16:00. The numbers of mosquitoes captured in the traps were counted at 10:00 in the next day.

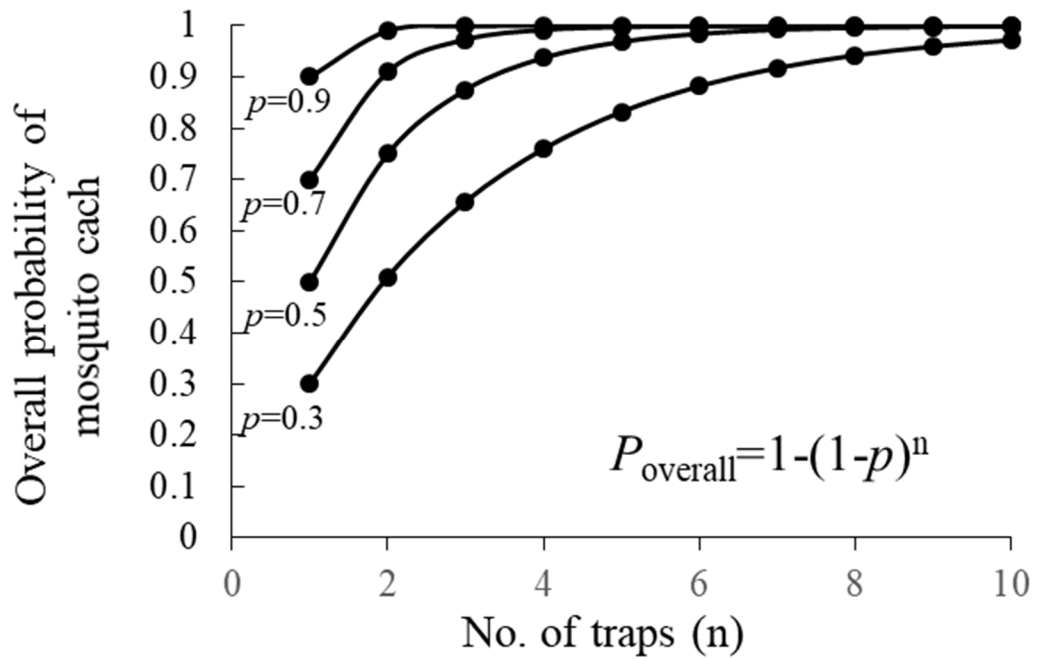


Fig. 2-2-6. The relationship between the number of traps and the overall probability of mosquito. When more than one trap were placed, the overall probability of mosquito catch P_{overall} becomes higher according to the number of traps placed in a room. The relationship is valuable to decide the number of traps necessary for achieving the desired overall probability of mosquito catch in the room.

総括

衛生害虫という言葉の概念は幅広く、様々な定義が存在するが、法的には「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保に関する法律」に基づく感染症を媒介する害虫で、ゴキブリ、ハエ（成虫・幼虫）、蚊（成虫・幼虫）、ノミ、シラミ、トコジラミ、イエダニ、屋内塵性ダニ、マダニがこれに該当する。わが国では、これまで、マラリア、日本脳炎、デング熱、フィラリアなど様々な害虫媒介性感染症に悩まされ、これらを制圧してきた歴史があるが、常に新たな害虫媒介性疾病の問題が生じている。例えば、住宅の気密化によって、屋内塵性ダニ、特にヒョウヒダニのアレルゲンとして重要性が認識された。これに対しては、居住空間へのくん煙製剤が有効であることが知られているが、重要な生息場所である布団については、布団内の生息分布が不明なため、その対策は明確になっていない。また、物流の発達や地球温暖化により、わが国でのデング熱の再興やチクングニア熱の侵入の懸念が増大している。

以上のような背景のもと、本研究では重要な衛生害虫でありながら生息分布や生態的習性の詳細が不明な、屋内塵性ダニと、新興・再興感染症の媒介者として重要性が高いと想定される人家周辺生息蚊を対象として、その生息分布と生態的習性を明らか

にし、適切な防除、特に物理的な対策に焦点をあて、その実用可能性を検討した。

第1章では、屋内塵性ダニの主要な生息場所である敷布団のダニ相、密度および空間分布を明らかにした。全国から20サンプル収集し、従来の電気掃除機による表面の塵採集法ではなく、布団の5カ所から一部（5 cm×5 cm）を切り取り、上層、中層、下層の3層に分けて洗い出し法によってダニの全数調査を行った。その結果、敷布団の主要なダニは、アレルゲンとして重要であるヤケヒョウヒダニとコナヒョウヒダニであり、2種の構成比率は布団サンプルによって大きく異なった。脱皮殻を含めたダニ密度は72,088 個体/ m²で、学校における管理基準の100 個体/ m²に比べ、非常に高い密度であった。また、5カ所の採集ポイント間ではダニ数に有意な差は認められなかったが、布団の上端と下端では中層に多く、布団中央部3カ所では下層に多くのダニが認められた。中層と表層（上層と下層）のダニの分布比率は布団サンプルによって大きく異なり、表層に分布するダニの割合は15.6%から94.3%であった。以上から、布団内のダニ種構成や空間分布は各家庭の変異が非常に大きく、各家庭における微細気象、室内温湿度、布団干しや掃除機掛けなどの生活習慣によって大きく影響されていると考えられた。

敷布団の表層だけでなく薬剤が浸透しにくい中層にもダニが分布していることが明らかになったことから、簡便に密封空間を低酸素状態にする脱酸素剤の殺ダニ効果について検討した。鉄系とアスコルビン酸系の2タイプの脱酸素剤を用いてバリア袋内

でのヤケヒョウヒダニとコナヒョウヒダニの致死効果を調べた結果、鉄系のもので2日間以上密封すれば、両種のダニの成虫だけでなく卵も100%致死させることができたことから、布団内部のダニに対する脱酸素剤の有用性が示された。

第2章では、デング熱媒介蚊であるヒトスジシマカ成虫の住宅地における移動範囲を明らかにした。緑地が点在する住宅地で個体マーキング法を用いて調査を行った結果、異なる地点で再捕獲された個体は、平均で75.3 m、最大で187 mを移動していることが明らかになった。このことは、デング熱やチクングニア熱がわが国で発生した場合、発生地域での重点的な生息緑地を把握し、そこからおよそ半径100 mの範囲の緑地に殺虫剤を優先的に処理することが重要であることを示唆している。最近、我が国で約70年ぶりにデング熱が国内発生したが、本知見を基にして行政の蚊成虫対策範囲が決定された。

加えて、夜間に屋内に侵入し、ヒトから吸血を行うチカイエカに対する物理的な防除方法を検討した。蚊の休息場所として暗がりを選好する習性を利用したBox Trapについて、捕獲数を高めるための構造や色、設置場所、設置個数について検討を行い、それぞれの要因について捕獲率を増加させる形状や色（開口部：9 cm L× 2~9 cm W、遮光板角度：45°、天板色：赤か黒）があることを明らかにした。また、トラップの設置位置は床面から80 cmくらいまでの高さが適切であることが分かった。更に、期待される捕獲（防除）効果を得るために必要なトラップ設置個数を、実験的に

算出できる可能性が示されたことから、防除への実用可能性が示唆された。

以上、本研究では、屋内塵性ダニの布団内での分布が明らかにするとともに、これにより、薬剤を浸透させることが難しい布団内部のダニに対する対策の端緒として、脱酸素剤による物理的防除の有効性を示した。また、ヒトスジシマカの市街地における移動範囲を明らかにした研究結果は、デング熱国内発生時の薬剤散布範囲の策定に直接的に寄与した。加えて、チカイエカの屋内侵入を想定し、捕獲率を最大にする Box Trap の構造や色、配置場所を明らかにし、物理的防除の可能性を提示することができた。

引用文献

1. 津田良夫. 2020. 1-1. 衛生動物とは. 衛生動物の事典（津田良夫, 安居院宣昭, 谷川 力, 夏秋 優, 林 利彦, 平林公男, 山内健夫編）, p. 2-3. 朝倉書店, 東京.
2. 牧 純, 増野 仁, 郡司良夫, 秋山伸二, 菅野裕子, 関谷洋志, 難波弘行, 玉井栄治, 坂上 宏. 2012. 日本におけるマラリアの史的考察. *松山大学論集*, 23: 244-256.
3. 和田義人. 2000. 環境開発の置き土産 蚊がもたらした疾病との闘争の歴史, pp. 220. 財団法人日本環境衛生センター, 神奈川.
4. 多屋馨子, 佐藤 弘, 新井 智, 笏田有希, 大石和徳. 2012. わが国の日本脳炎に関する疫学情報（患者報告数、ヒトおよびブタの抗体保有状況）. 第7回厚生科学審議会感染症分科会予防接種部会日本脳炎に関する小委員会, 資料 3.
5. 栗原 毅. 2005. 日本の蚊学—1945 年までの足跡をたどる. *有害生物*, 2: 1-45.

6. 関 なおみ. 2009. 戦後日本の「蚊とハエのいない生活実践運動」－住民参加と国際協力の視点から. *国際保健医療*, 24: 1-11.
7. 水谷 澄. 日本衛生動物学会殺虫剤研究班. 1993. 日本の衛生害虫防除史. *衛生動物*, 44: 53-62.
8. 平尾素一. 2010. トコジラミの再興と防除の現況. *衛生動物*, 61: 211-221.
9. 高山 渉, 松谷修一, 佐藤秋弘, 山田英夫, 川瀬 充, 羽原政明, 城戸 毅, 高橋朋也. 1995. 各地で採集されたチャバネゴキブリの殺虫剤感受性. *ペストロジー学会誌*, 10: 62-64.
10. 櫻間照雄, 橋本信芳, 浅田康隆, 森永嗣彦, 上山久史. 2009. アタマジラミ症の現状と対策. *防菌防黴*, 37: 677-690.
11. 桐谷圭治. 1981. 害虫の総合防除. *関東東山害虫研究会年報*, 28: 3-5.
12. 厚生労働省. 2015. 厚生労働省告示第二百六十号. 蚊媒介感染症に関する特定感染

症予防指針, pp. 16.

13. Voorhorst, R., Spieksma-Boezeman, M. I. I. A. and Spieksma, F. TH. M. 1964. Is a mite (*Dermatophagoides* sp.) the producer of the house-dust allergen? *Allerg. Asthma.*, 10: 329-334.

14. 橋本知幸, 皆川恵子, 小泉智子, 亀崎宏樹, 滝田賢路. 2004. 新規化合物アミドフルメト製剤によるダニアレルゲン抑制効果の準実地試験による評価. *衛生動物*, 55: 47-53.

15. 文部科学省. 2018. 学校環境衛生管理マニュアル. p. 55-56.

16. 橋本知幸, 田島文忠, 田中生男. 1998. カーペットの使用期間と屋内塵性ダニ類の発生について. *日本ダニ学会誌*, 7: 115-125.

17. 津田良夫. 2013. 蚊の観察と生態調査. pp. 359. 北隆館, 東京.

18. 小曾根恵子, 金山彰宏, 神奈川県ペストコントロール協会. 2004. 横浜市における

蚊成虫捕獲調査（2003 年度）. ペストロジー学会誌, 19: 103-108.

19. 津田良夫, 比嘉由紀子, 葛西真治, 伊澤晴彦, 星野啓太, 林 利彦, 駒形 修, 澤邊京子, 佐々木年則, 富田隆史, 二瓶直子, 倉橋 弘, 小林睦生. 2006b. 成田国際空港近接地と周辺地域の媒介蚊調査（2003, 2004 年）. 衛生動物, 57: 211-218.
20. 津田良夫, 比嘉由紀子, 倉橋 弘, 林 利彦, 星野啓太, 駒形 修, 伊澤晴彦, 葛西真治, 佐々木利則, 富田隆史, 澤邊京子, 二瓶直子, 小林睦生. 2006a. 都市域における疾病媒介蚊の発生状況調査—ドライアイストラップを用いた 2 年間の調査結果—. 衛生動物, 57: 75-82.
21. Tsuda, Y., Matsui, S., Saito, A., Akatani, K., Sato, Y., Takagi, M. and Murata, K. 2009. Ecological study on avian malaria vectors on an oceanic island of Minami-Daito, Japan. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 25: 279-284.
22. Kim, K. S., Tsuda, Y. and Yamada, A. 2009. Bloodmeal identification and detection of avian malaria parasite from mosquitoes (Diptera: Culicidae) inhabiting coastal areas of Tokyo Bay, Japan. *J. Med. Entomol.*, 46: 1230-1234.

23. 田部井由紀子, 岩崎則子, 岡崎輝江, 長谷川道弥, 保坂三継, 甲斐明美. 2009. 東京都におけるウエストナイルウイルス及び日本脳炎ウイルスを媒介する蚊の生息状況. *東京健安研セ年報*, 60: 73-78.
24. 大野 正彦, 花岡 皐, 関 比呂伸, 栗田 雅行, 矢口 久美子. 2010. 東京都内で採集された蚊の種構成と季節的消長 (2006-2009 年). *東京健安研セ年報*, 61: 341-347.
25. Tsuda, Y., Haseyama, M., Ishida, K., Niizuma, J., Kim, K.S., Yanagi, D., Watanabe, N. and Kobayashi, M. 2012. After-effects of Tsunami on distribution and abundance of mosquitoes in rice-field areas in Miyagi Prefecture, Japan in 2011. *Med. Entomol. Zool.*, 63: 21-30.
26. Tsuda, Y. and Hayashi, T. 2014. Results of mosquito surveillance using dry-ice traps from 2003 to 2013 at the National Institute of Infectious Diseases, Tokyo, Japan. *Med. Entomol. Zool.*, 65: 131-137.
27. 高橋久美子, 酒井侑, 森高久賀, 阿部圭美, 矢野一成, 金子雅信, 井口智義, 田部

- 由紀子, 長谷川道弥, 村田理恵, 鈴木淳, 保坂三継, 平 昭彦, 林志直, 灘岡陽子.
2014. 感染症媒介蚊サーベイランスについて (2004 年～2013 年). *東京健安研セ年報*, 65: 249-255.
28. Hirabayashi, K., Nihei, N., Kobayashi, M., Tsuda, Y. and Sawabe, K. 2020. Horizontal and elevational distribution of *Culex pipiens* complex mosquitoes compared with *Aedes albopictus* in an inland mountain area, Nagano Prefecture, Japan. *Med. Entmol. Zool.*, 71: 271-277.
29. 厚生労働省健康局. 建築物環境衛生維持管理要領等検討委員会. 2008. 建築物における維持管理マニュアル, p. 57-58.
30. Hawley, W.A. 1988. The biology of *Aedes albopictus*. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 4 Suppl. 1: 1-39.
31. Faraji, A. and Unlu, I. 2016. The eye of the tiger, the thrill of the fight: effective larval and adult control measures against the asian tiger mosquito, *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae), in North America. *J. Med. Entomol.*, 53: 1029–1047.

32. Yee, D. A. 2016. What can larval ecology tell us about the success of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) within the United States? *J. Med. Entomol.*, 53: 1002-1012.
33. ECDC. 2017. Vector control with a focus on *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* mosquitoes: Literature review and analysis. *ECDC Tech. Rep.*, pp., 57.
34. 吉川 翠. 1984. ダニとその駆除. (佐々 学編), p. 27. 財団法人日本環境衛生センター, 神奈川.
35. 高岡正敏, 石井 明, 梶沢靖弘, 大内忠行. 1977a. 小児喘息患者の屋内塵中のダニ相について. *衛生動物*, 28: 237-244.
36. 高岡正敏, 岡田正次郎. 1984. 埼玉県下における家屋内ダニ相の生態学的研究, *衛生動物*, 35: 129-137.
37. Toma, T., Miyagi, I., Takeda, F., Kishimoto, R. and Ahagon, A. 1998. Mite fauna and abundance in dust collected from bedding and bedrooms in Okinawa, Japan. *Med. Entomol.*

Zool., 49: 309-319.

38. 森田和矢, 吉田政弘. 1986. 寝具とダニ (毛布におけるダニについて). *Makoto*, 54: 10-11.

39. Takeda, F., Toma, T., Kinjo, N., Miyagi, I. and Sato, I. 2002. Mites from the floor and bedding of hospitals in mainland Okinawa, Japan. *Med. Entomol. Zool*, 53: 163-168.

40. 岸本高男, 比嘉ヨシ子. 1991. 沖縄県のアパートで採取した室内塵性のダニ相. *沖縄県公害衛生研究所報*, 25: 41-47.

41. Andersen, A. 1984. Abundance and spatial distribution of house-dust mites in their natural environment (Acari: Sarcoptiformes & Trombidiformes). *Ent. Meddr.*, 52: 25-32.

42. Colloff, M. J. 1998. Mite ecology and microclimate in my bed. In: Mite Allergy, a World-wide Problem. (ed. De Weck, A. and Todt, A.) pp., 51-54, UCB Institute of Allergy, Brussels.

43. de Boer, R. and van der Geest, L. P. 1990. House-dust mite (Pyroglyphidae) populations in mattresses, and their control by electric blankets. *Exp. Appl. Acarol.*, 9: 113-122.

44. 須藤千春, 彭城郁子, 伊藤秀子. 1991a. コナヒョウヒダニとヤケヒョウヒダニの個体群動態に関する比較研究. *衛生動物*, 42: 129-140.

45. Feng, M., Sun, W. and Cheng, X. 2009. Seasonal dynamics and distribution of house dust mites in China. *BioSci. Trends.*, 3: 210-215.
46. Sun, J. L., Shen, L., Chen, J., Yu, J. M. and Yin, J. 2013. Species diversity of house dust mites in Beijing, China. *J. Med. Entomol.*, 50: 31-36.
47. Paik, Y. H., Takaoka, M., Matsuoka, H. and Ishii, A. 1992. Mite fauna and mite antigen in house dust from houses in Seoul, Korea. *Jpn. J. Sanit. Zool.*, 43: 29-35.
48. Ree, H. I., Jeon, S. H., Lee, I. Y., Hong, S. S. and Lee, D. K. 1997. Fauna and geographical distribution of house dust mites in Korea. *The Korean J. Parasitol.*, 35: 9-17.
49. Kawakami, Y., Hashimoto, K., Oda, H., Kohyama, N., Yamazaki, F., Nishizawa, T., Saville, T., Asano, N. and Fukutomi, Y. 2016. Distribution of house dust mites, booklice, and fungi in bedroom floor dust and bedding of Japanese houses across three seasons. *Indoor Environ.*, 19: 37-47.
50. 日本工業規格. 2007. 繊維製品の防ダニ性能試験方法. JIS L 1920, pp. 1-38.
51. 大島司郎. 1980. 日本ダニ類図鑑 (江原昭三編), p. 390-391. 全国農村教育協会, 東京.

52. Takeda, F., Toma, T., Otomo, G. and Miyagi, I. 1999. Mites on the floors and bedding at day nurseries in Okinawa Prefecture, Japan. *Med. Entomol. Zool.*, 50: 169-173.
53. Platts-Mills TAE. and de Weck AL. 1989. Dust mite allergens and asthma: a world wide problem. *J. Allergy. Clin. Immunol.*, 83: 416-427.
54. 文部科学省. 2018. 学校環境衛生管理マニュアル[平成 30 年改訂版], pp. 55.
55. 大口嘉子, 鈴木秀明, 田付貞洋, 深見順一. 1983. 貯穀害虫および衣料害虫に対する脱酸素剤エージレス®の殺虫効果. *日本応用動物昆虫学会誌*, 27: 270-275.
56. 木川りか, 永山あい, 山野勝次. 1999. 低酸素濃度殺虫法—処理温度と殺虫効果の検討—. *保存科学*, 38: 9-14.
57. 小野寺裕子, 小峰幸夫, 木川りか. 2015. 低酸素濃度殺虫法—25°C, 27°C, 30°Cにおける処理期間の検討—. *保存科学*, 54: 161-170.
58. 吉川義夫. 1983. 脱酸素剤による食品の鮮度保持技術とその効果. *日本食品工業学会*

誌, 30: 52-58.

59. 田中雄一. 1990. 殺ダニ方法、殺ダニ装置及び被殺ダニ処理材用収納体. 特許出願公開, 平 2- 234626.

60. 田中雄一. 1993. 寝具の衛生処理方法. 特許出願公開, 特許出願公開, 平 5- 146240.

61. Tatsuki, S. and Fukami, J. 1984. Lethal effect of oxygen absorber (Ageless®) on mold mite, *Tyrophagus putrescentiae* (Acari:Acaridae). *Rep. Spec. Res. Proj. Trop. Agric. Resour.*, 3: 101-105.

62. 木村 広, 井上市郎, 鶴田 理, 桑原雅彦. 1991. 貯穀害虫に対する炭酸ガスの殺虫効果. *日本環境動物昆虫学会誌*, 3: 136-139.

63. 日高真吾, 園田直子, 和高智美, 河村友佳子, 橋本沙知, 二俣 賢, 犬塚将英, 木川りか. 2011. 加温二酸化炭素による殺虫処理の可能性 1: 殺虫効果について. *文化財保存修復学会第 33 回大会研究発表要旨集*, 230-231.

64. Arlian, L. G., Rapp, C. M. and Ahmed, S. G. 1990. Development of *Dermatophagoides pteronyssinus* (Acari:pyroglyphidae). *J. Med. Entomol.*, 27: 1035-1040.
65. Arlian, L. G. and Dippold, J. S. 1996. Development and fecundity of *Dermatophagoides farinae* (Acari:Pyroglyphidae). *J. Med. Entomol.*, 33: 257-260.
66. 相馬幸博, 岸野秀昭, 後藤睦郎, 藪田重樹, 松岡郁子, 加藤利之. 1995. 貯穀害虫の二酸化炭素くん蒸に対する感受性 1. コクゾウ、グラナリアコクゾウ及びヒラタコクヌストモドキの二酸化炭素くん蒸における温度、時間及び酸素濃度の影響. *植物防疫所調査研究報告*, 31: 25-30.
67. Benedict, M. Q., Levine, R. S., Hawley, W. A. and Lounibos, L. P. 2007. Spread of the tiger: global risk of invasion by the mosquito *Aedes albopictus*. *Vector Borne Zoon. Dis.*, 7: 76-85.
68. ECDC. 2012. Guideline for the surveillance of invasive mosquitoes in Europe. 95 pp.,

69. 津田良夫 2015. 代々木公園周辺で起きたデング熱流行時の媒介蚊調査に基づくデングウイルス感染リスクの評価. *衛生動物*, 66: 211-217.
70. Kobayashi, D., Murota, K., Fujita, R., Itokawa, K., Kotani, A., Moi, M.L., Ejiri, H., Maekawa, Y., Ogawa, K., Tsuda, Y., Sasaki, T., Kobayashi, M., Takasaki, T., Isawa, H. and Sawabe, K. 2018. Dengue Virus Infection in *Aedes albopictus* during the 2014 Autochthonous Dengue Outbreak in Tokyo Metropolis, Japan. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 98: 1460-1468.
71. CDC 2017. Surveillance and Control of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in the United States. 1-16.
72. Krebs, C. J. 1978. Ecology the experimental analysis of distribution and abundance. Second ed. 678pp., Happer International Edition, New York.
73. Silver, J. B. 2008. Mosquito Ecology: field sampling methods 3rd ed. 1494 pp., Springer, Dordrecht.
74. Guerra, C. A., Reiner Jr, R.C., Perkins, T. A., Lindsay, S. W., Midega, J. T., Brady,

- O.J., Baker, C.M., Reisen, W. K., Harrington, L. C., Takken, W., Kitron, U., Lloyd, A. L., Hay, S. I., Scott, T. W. and Smith, D. L. 2014. A global assembly of adult female mosquito mark-release-recapture data to inform the control of mosquito-borne pathogens. *Parasites . Vectors.*, 7: 276
75. Trips, M and Hausermann, W. 1978. Dispersal and other population parameters of *Aedes aegypti* in an African village and their possible significance in epidemiology of vector-borne diseases. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 35: 1263-1279.
76. Takagi, M., Tsuda, Y., Suzuki, A. and Wada, Y. 1995a. Movement of individually marked *Aedes albopictus* females in Nagasaki, Japan. *Trop. Med.*, 37: 79-85.
77. Wilkinson L. 1996. Systat 6.0 for Windows: statistics. SPSS Inc., Chicago, IL.
78. Takagi, M., Tsuda, Y. and Wada, Y. 1995c. Temporal and spatial distribution of released *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Nagasaki, Japan. *Jpn. J. Sanit. Zool.*, 46: 223-238.

79. 厚生労働省健康管理局結核感染症課. 事務連絡. 2014 年 9 月 12 日 デング熱国内
感染事例発生時の対応・対策の手引きについて. 別添:「デング熱国内感染事例発
生時の対応・対策の手引き 地方公共団体向け (第 1 版)」, p. 1 -24 .
80. 東京都蚊媒介感染症対策会議報告書, 2014 年 12 月 24 日 p. 1-54.
81. 葛西真治. 2020. チカイエカ. 衛生動物の事典 (津田良夫, 安居院宣昭, 谷川 力,
夏秋 優, 林 利彦, 平林公男, 山内健夫編) p. 180-181. 朝倉書店, 東京.
82. Harbach, R. E. 2012. *Culex pipiens*: Species Versus Species Complex – Taxonomic
History and Perspective. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 28(4s): 10-23.
83. ECDC. 2014. Guidelines for the surveillance of native mosquitoes in Europe.
119pp.,
84. Kramer, L. D., Styer, L. M and Ebel, G.D. 2008. A Global Perspective on the
Epidemiology of West Nile Virus. *Ann. Rev. Entomol.*, 53: 61–81.

85. Reisen, W. K. 2012. The Contrasting Bionomics of *Culex* Mosquitoes in Western North America. *J. Am. Mosq. Control. Assoc.*, 28(4s): 82-91.
86. Crans, W. J. 1989. Resting boxes as mosquito surveillance tools. *Proc. the 82nd Ann. Meet. the New Jersey Mosq. Control Assoc.*, p. 53-57.
87. Service, M. W. 1993. Mosquito ecology, field sampling methods. Second edition. 988 pp., Elsevier applied science, London.
88. 栗原 毅, 佐々 学. 1965. ネットアイエカの吸血および休止行動の日週性について. *衛生動物*, 16: 41-48.
89. 栗原 毅, 佐々 学, Dhamvanij, O. 1965. Sumithion 散布のネットアイエカに対する駆除効果の Box Trap 法による観察. *衛生動物*, 16: 239-243.
90. Kay, B. H. 1983. Collection of resting adult mosquitoes at Kowanyama, northern Queensland and Charleville, south western Queensland. *J. Aust. Entomol. Soc.*, 22: 19-24.

91. Howard, J. J., Oliver, J. and Kramer, L. 2011. Assessing the use of diurnal resting shelters by *Culiseta melanura* (Diptera: Culicidae). *J. Med. Entomol.*, 48: 909-913.
92. Brown, R., Hing, C. T., Fornance, K. and Ferguson, H. M. 2018. Evaluation of resting traps to examine the behaviour and ecology of mosquito vectors in an area of rapidly changing land use in Sabah, Malaysian Borneo. *Parasites. Vectors.*, 11: 346.
93. Oliver, J. and Howard, J. J. 2011. Fecundity of wild-caught gravid *Culiseta morsitans* (Diptera: Culicidae). *J. Med. Entomol.*, 48: 196-201.
94. Chaiphongpachara, T., Bunyuen, P. and Chansukh, K. K. 2018. Development of more effective mosquito trapping box for vector control. *Sci. World J.*, 2018: 6241703.
95. Morris, C. D. 1981. A structural and operational analysis of diurnal resting shelters for mosquitoes (Diptera: Culicidae). *J. Med. Entomol.*, 18: 419-424.

96. 緒方一喜, 田中生男, 水谷 澄, 鈴木 猛, 大畑吉春, 西沢 伝, 小林英夫. 1968.

コガタアカイエカ成虫の系留場所に関する観察成績. *衛生動物*, 19: 38-43.

謝辞

本論文を何度も校閲くださり、懇切丁寧なご助言とご指導をいただきました帯広畜産大学原虫病研究センター、鈴木宏志教授に心より感謝申し上げます。また、本論文をご精読頂き、貴重なご助言をいただきました帯広畜産大学、河津信一郎教授、横山直明教授、白藤梨可准教授に深謝致します。

本研究において、終始ご指導、ご助言、暖かい激励をいただきました国立感染症研究所、津田良夫博士に深く感謝申し上げます。

私にダニ研究のきっかけを与えてくださり、長年にわたりご指導、ご助言を賜りました京都大学、高藤晃雄名誉教授に深く感謝申し上げます。

また、本研究の基礎となった実験をともに行いました、大橋和典博士、佐々木義昭氏、石原圭朗氏、庄子佳文子氏、上村慎一郎氏、ご協力いただきました幸形 聡氏、滝田賢路氏に厚く御礼申し上げます。

最後に、私の研究活動をご支援くださった、中外製薬株式会社、ライオン株式会社、レック株式会社の関係者の皆様に御礼申し上げます。

Summary

Although the concept of "sanitary pest" is broad and various definitions exist, legally, they are pests that transmit infectious diseases based on the "Act on Quality, Efficacy and Safety Assurance of Drugs and Medical Devices," and include cockroaches, flies (adults and larvae), mosquitoes (adults and larvae), fleas, lice, bed bugs, house tropical red mites, house dust mites, and ticks fall into this category. Japan has suffered from a variety of pest-borne infectious diseases such as malaria, Japanese encephalitis, dengue fever, and filariasis, and has a history of controlling these diseases, but new pest-borne disease problems are constantly emerging. For example, the airtightness of housing has led to the recognition of the importance of house dust mites, especially the *Dermatophagoides* mite, as an allergen. Although it is known that a smoke formulation in the living space is effective against this problem, measures for Japanese mattress, an important habitat, are not clear because the distribution of the habitat within the Japanese mattress is unknown. In addition, the development of logistics and global warming have increased concerns about the resurgence of dengue fever and the invasion of chikungunya fever in our country.

Against this background, this study focused on house dust mites, which are important sanitary pests but the details of their habitat distribution and ecological habits are unknown, and mosquitoes living around human dwellings, which are assumed to be highly important as vectors of emerging and reemerging infectious diseases. The practical feasibility of appropriate control measures, especially physical measures, was discussed in this study.

In Chapter 1, the fauna, density, and spatial distribution in Japanese mattress, the primary habitat of house dust mites, were clarified. Twenty samples were collected from all over Japan, and instead of using the conventional surface dust collection method with an electric vacuum cleaner, a portion (5 cm x 5 cm) was cut from five locations on the Japanese mattress and divided into three layers (upper, middle, and lower) to investigate the total number of mites by the washing out method. The results showed that the major mites in the Japanese mattress were the mites *Dermatophagoides pteronyssinus* and the *D. farinae* , which are important allergens, and the composition ratio of the two species varied greatly among the mattress samples. The density of mites, including exuviae, was 72,088 individuals/m², which was very high compared to the control standard of 100 individuals/m² at schools in Japan. Although there was no significant difference in the number of mites among the five collection points, more

mites were found in the middle layer at the upper and lower ends of the mattress, and in the lower layer at the three collection points in the center of the mattress. The distribution ratio of mites in the middle and surface layers (upper and lower layers) varied greatly among the mattress samples, with the percentage of mites in the surface layer ranging from 15.6% to 94.3%. These results suggested that the mite species composition and spatial distribution in the mattress vary greatly from household to household, and are greatly influenced by the microclimate, indoor temperature and humidity, and lifestyle habits of each household, such as drying and vacuuming the mattress.

Since it was found that mites were distributed not only in the surface layer of the mattress but also in the middle layer, which is difficult for the agent to penetrate, the mite-killing effect of oxygen absorbers that can easily create a low-oxygen state in the sealed space was examined. The results showed that the iron-based oxygen absorber was effective in killing 100% of both adult and egg mites in the barrier bag, indicating that the oxygen absorber is effective in killing mites inside the mattress. This shows the usefulness of oxygen absorbers against mites inside mattresses.

In Chapter 2, the migratory range of adult *Aedes albopictus*, a dengue vector mosquito, in residential areas was clarified. The results of a survey using the individual

marking method in a residential area dotted with green spaces revealed that individuals recaptured at different locations moved an average of 75.3 meters and a maximum of 187 meters. This suggested that if dengue or chikungunya fever occurs in our country, it is important to identify priority habitat green areas in the outbreak area and prioritize insecticide treatments in green areas within an approximate radius of 100 m from these areas. Recently, Japan experienced its first domestic outbreak of dengue fever in about 70 years, and the scope of mosquito adult control measures by the government was determined based on this knowledge.

In addition, physical control methods for *Culex pipiens form molestus*, which invade indoors at night and suck blood from humans, were studied. The structure, color, location, and number of Box Traps, which take advantage of the mosquitoes' preference for dark places as resting places, were examined to determine which shapes and colors (opening: 9 cm L x 2 to 9 cm W, shading plate angle: 45° , top plate color: red or black) would increase the capture rate for each of the factors. It was found that it is appropriate to place the trap at a height of up to about 80 cm from the floor. Furthermore, the possibility of experimentally calculating the number of traps required to achieve the expected capture (control) effect was demonstrated, suggesting the practical feasibility of pest control.

In conclusion, this study clarified the distribution of indoor dust mites in futons, and demonstrated the effectiveness of physical control with oxygen scavengers as a beginning of countermeasures against mites inside futons, which are difficult to penetrate with chemicals. In addition, the results of this study, which clarified the movement range of *Aedes albopictus* in urban areas, directly contributed to the formulation of the scope of chemical spraying in the event of a domestic outbreak of dengue fever. In addition, the structure, color, and location of box traps that maximize the capture rate were clarified, assuming indoor infestation by *Cx pipiens* form *molestus* and the possibility of physical control was presented.