

ウイルス感染症媒介蚊の生理・生態学的研究

研究分担者	沢辺京子	国立感染症研究所
研究協力者	津田良夫	国立感染症研究所
	前川芳秀	国立感染症研究所
	小川浩平	国立感染症研究所
	糸川健太郎	国立感染症研究所

**研究要旨**

蚊媒介性ウイルスのヒトへの感染リスクを考える上で、ウイルスを保有した蚊の諸性質の知見を得ることは重要である。そこで本研究では、蚊の寿命・発育日数と飛翔能力に注目し、各種ウイルス感染が蚊の諸性質に及ぼす影響を評価しようと計画した。まず、ウイルス非感染のアカイエカの成虫の寿命と飛翔能力、ならびにヒトスジシマカの幼虫の発育日数と飛翔能力についてそれぞれ調査した。

ヒトスジシマカ(301 個体)およびオオクロヤブカ(336 個体)の胸部背面にマークし、調査区画内における蚊の移動分散の様子を調査した。放した後4日間でヒトスジシマカ84 個体(27.9%)、オオクロヤブカ62 個体(18.5%)が再捕獲された。ほとんどが放した地点周辺で再捕獲されたが、別の地点で捕獲された個体のうち、ヒトスジシマカ2 個体(2.4%)の最長移動距離は95 m、オオクロヤブカ13 個体(17.8%)は167 m だった。ヒトスジシマカの乾燥卵は、4 および20 日では4 ヶ月は生存し、羽化できることが示唆された。羽化率は4 日 > 20 日 > 25 日の順に高く、25 日で4 ヶ月間維持された卵からは羽化成虫は得られなかった。

アカイエカが産卵場所とする雨水マスは調査地域内で集中分布(集中度指数は2.2)しており、アカイエカ幼虫の分布はランダム分布(集中度指数は1.04)であった。産卵期のアカイエカ成虫は遭遇する雨水マスをランダムに選び産卵すると推測された。フライトミルによりアカイエカおよびコガタアカイエカの雌成虫を飛翔させたところ、コガタアカイエカは最長25 時間の連続飛翔が観察された(アカイエカは10 時間程度)。アカイエカに長距離移動性はなく、15 日では約4.5 km は飛翔可能と推測された。羽化後のアカイエカはすべての温度・日朝条件でコガタアカイエカに比べ寿命が長く、特に15 日短日条件下では平均155.5 日、最長で282 日(コガタアカイエカは平均80.9 日、最長174 日)であった。

今後は、それぞれの蚊種のウイルス感染蚊を作出し、これら非感染蚊の結果と比較することで、ヒトへの感染リスクを評価することを目指す。

**A. 研究目的**

わが国には、デングウイルス媒介蚊のヒトスジシマカやウエストナイルウイルスの潜在的媒介蚊であるアカイエカが国内の広範な地域に生息しており、特に首都圏の住

宅地では、この2 種の全体の種構成における割合は95%以上も占めている。また、日本脳炎は国内に唯一常在している蚊媒介感染症であり、媒介蚊であるコガタアカイエカは農村部の特に畜舎周辺に多く生育して

いる。日本脳炎は、近年 10 名以下の患者数を推移していたが、2016 年は 1993 年以降はじめて 10 名を超え（11 名）、特に長崎県対馬市内で短期間のうちに 4 名の患者の集積が見られた。デング熱の国内流行が 2014 年に発生し、デングウイルスを保有したヒトスジシマカが多数存在する都内の公園が複数存在したことも明らかになった。このように、国内にはデングやウエストナイルウイルスを媒介する蚊は存在しており、いったん国内にウイルスが侵入すれば、国内流行が起きる可能性は高い。また、日本脳炎においても、今後の環境の変化や生活様式の変化に伴い、大規模な流行に繋がる恐れもある。

これらウイルスのヒトへの感染リスクを考える上で、ウイルスを保有した蚊の諸性質が非感染蚊と異なるのか、感染を有利にする傾向はあるか。などの知見は重要である。蚊の諸性質としては、雌蚊の寿命、吸血行動の変化、交尾行動、飛翔能力、休眠性などが考えられる。生理・生態学的観点から蚊の諸性質を観察、調査した研究は、これまでも多くの報告があるが、蚊の性質は種によって大きく異なり、また、同一種であっても生息する地域により変異があることも知られている。さらに、ウイルス感染蚊に関する情報はほとんど得られていない。

そこで本研究では、これらの蚊の性質の中で、特に蚊の寿命と飛翔能力に注目し、各種ウイルス感染が蚊の諸性質に及ぼす影響を評価しようと計画した。まず、ウイルス非感染のヒトスジシマカ成虫の行動範囲と乾燥卵から孵化した幼虫の発育日数ならびに羽化率、アカイエカの成虫の寿命と飛翔能力をそれぞれ調査した。

## B. 研究方法

### 1. ヒトスジシマカ飛翔範囲の推定

#### 1) 調査地

石垣島の住宅街（住宅・商店・公共のビ

ル・博物館・大小 3 つの緑地がある約 300 m × 250 m の区画）を調査地を選び、その中に 5 ヶ所の採集場所を設けた。採集場所「庭」にはヤブカ類の発生源となる人口容器があった。採集場所「大緑地」は全体が樹冠で覆われ灌木や下草が茂っていた。採集場所「小緑地」は大緑地から南東に約 92 m 離れた小規模な緑地で、大きな木が茂り、灌木や下草が茂っていた。採集場所「博物館」は大緑地の採集場所の北西 230 m に位置する周囲を植込みで囲まれた建物であり、建物の周囲にある排水溝が幼虫発生源となっていた。採集場所「小茂み」は駐車場の境界にある茂みで大きな樹木の木陰に低木が茂り、蚊の潜伏場所となっていた。

### 2) マーキング法

調査の前半 3 日間は、各採集場所で人おとり法により調査者に飛来するヤブカ類を捕獲した。捕集蚊の多くがヒトスジシマカとオオクロヤブカであったため、これら 2 種をマーキングの対象とした。生かして持ち帰った捕集蚊は麻酔し、胸部背面の 1 あるいは 2 ヶ所に 4 色の塗料で各採集場所を区別できるようにマークした。マーク虫は放すまで飼育ケージで砂糖水を与えて維持した。3 日目の夕方、マークしたヒトスジシマカ（合計 301 個体）およびオオクロヤブカ（合計 336 個体）を各採集場所から放した。

放した蚊の再捕獲は翌日から毎日午前（9:00 頃）と午後（14:00 頃）の 2 回、8 分間人おとり法により実施し、マークを確認し個体数とともに記録した。再捕獲は 4 日間継続して実施した。

## 2. アカイエカの行動範囲および飛翔能力の推定

### 1) 成虫産卵期の行動範囲の野外調査

調査は、周囲を河川で囲まれた広さ 450 m × 750 m（面積約 133,000 m<sup>2</sup>）の庭園で実施した。この庭園の中央部で比較的均一な植

生の場所 450 m×350 m を調査地として、この範囲にある雨水マス 195 個における蚊幼虫の発生状況を調べた。25 m 四方の区画ごとに幼虫が発生していた雨水マスの数を集計した。雨水マスが少なくとも 1 つある区画を対象として、区画当たりの平均幼虫発生雨水マス数( $m$ )とその分散( $s^2$ )を算出し、分布の集中度指数 ( $s^2/m$ ) を求めた。

## 2) フライトミルによる飛翔実験

フライトミル(虫を固定し強制的に飛翔させる装置)は、九州沖縄農業研究センター(熊本県合志市)に設置されている装置を使用し、松村正哉、大塚彰両博士の協力を得て実施した。実験に用いた雌成虫は、アカイエカ NIID 系統(2008 年新宿区で捕集後、25 長日条件下で飼育・維持)、コガタアカイエカ出雲系統(2008 年出雲市捕集後、上記同様に飼育・維持)である。両種ともに羽化後約 1 週間の未吸血の雌成虫を 15 長日および 25 長日の温度条件下で飛翔させ、5 秒間に 3 回以上回転した回数のみを集計し、連続飛翔時間と総飛翔距離を算出した。

## 3. 異なる温度条件下でのアカイエカ雌成虫寿命およびヒトスジシマカ幼虫の発育日数と羽化率

実験に用いた蚊は、アカイエカ NIID 系統(前出)、コガタアカイエカ出雲系統(前出)、およびヒトスジシマカ海老名系統(2011 年海老名市捕集後、25 長日条件下で飼育・維持)である。

幼虫期を高温・長日(25℃, 16L:9D)の条件下で維持した羽化成虫を 4 つの異なる飼育条件(25℃, 16L:9D; 20℃, 11L:13D; 15℃, 11L:13D; 10℃, 10L:14D)下で飼育し、雌成虫の生存日数を調べた。ヒトスジシマカの乾燥卵を高温・長日(25℃, 16L:9D)条件下に 1 ヶ月間維持し、その後 4℃, 20℃, 25℃ の温度条件で維持し、孵化した幼虫の発育日数および羽化率を調査した。

## C. 研究結果

### 1. ヒトスジシマカ飛翔範囲の推定

5 ヶ所の採集場所から合計 301 個体のヒトスジシマカを放し、その 27.9%(84 個体)が再捕獲された。それぞれの採集場所について求めた再捕獲率は、「民宿の庭」が最も低く 13.3%、「博物館」は最も高い 41.1%(23/56)であった。オオクロヤブカの再捕獲率は 18.5%で、ヒトスジシマカよりも低かった。再捕獲されたヒトスジシマカ(84 個体)の 97.6%(82 個体)が放された場所と同じ場所で捕獲されたが、別の場所で捕獲された 2 個体の移動距離は 92 m と 95 m であった。オオクロヤブカは 82.3%が同じ場所で捕獲されたが、別の場所で捕獲された 13 個体の中で「博物館」から「小茂み」に移動した 167m の移動距離が最長であった。

### 2. アカイエカの行動範囲および飛翔能力の推定

アカイエカの産卵場所である雨水マスの区画当たり平均個数と分散は 1.02 および 2.24 であった。集中度指数( $s^2/m$ )を求めたところ 2.2 となり、調査範囲内に集中して分布していることが示された。同様の分析をアカイエカ幼虫が発生していた雨水マスの空間分布について行ったところ、区画当たりの幼虫発生雨水マスは平均 0.81 個で分散は 0.84 であった。集中度指数は 1.04 となり、アカイエカ幼虫が発生している雨水マスは調査範囲内にランダムに分布していることが分かった。

フライトミル法によりアカイエカの総飛翔距離を算出したところ、最長で約 10 時間羽ばたく個体も確認されたが、その飛翔パターンを観察すると、非常に速いスピードで羽ばたくが、短時間で頻りに休止する特徴が確認された。一方、コガタアカイエカは 5 秒間で 5 回以下の非常にゆっくりとしたスピードで翅を羽ばたかせ、最長 25 時間

連続して飛翔する個体も確認されており、両種の差異は顕著であった。また、アカイエカの 25 での連続飛翔時間は 0.2 時間で約 100 m であったが（コガタアカイエカは 7.5 時間で 8.2 km）、15 では連続 5 時間で 4.5 km 飛翔すると推測された（コガタアカイエカは約 13 時間で 14 km）。

### 3. 異なる温度条件下でのアカイエカ雌成虫およびヒトスジシマカ幼虫の発育

羽化後の成虫を上述した 4 つの条件下で飼育した結果、アカイエカはコガタアカイエカに比べ寿命が長く、特に 15 短日条件下では平均 155.5 日、最長で 282 日（コガタアカイエカは平均 80.9 日、最長 174 日）であった。また、5 前後の非常に低い温度条件下での平均生存日数はアカイエカは 66.6 日であったが、コガタアカイエカは 22 日であり、アカイエカは有意に長命であった。

ヒトスジシマカの乾燥卵は、4 および 20 では 4 ヶ月は生存し、羽化し得ることが明らかになった。羽化率は 4 > 20 > 25 の順に高かったが、25 では 4 ヶ月後に羽化成虫は全く得られなかった。

### D. 考察

ウイルスのヒトへの感染リスクを考える上で、ウイルスを保有した蚊の諸性質を知ることが重要である。例えば、2014 年のデング熱国内流行時の代々木公園において、我々は、蚊からのウイルス検出を主な目的として成虫を捕集し、その一部の雌成虫を実験室内で維持したところ、捕集蚊の平均寿命は 32 日、最長で 54 日生存することが確認された。つまり、都内の公園で 8 月 29 日に捕集された雌蚊は平均して 9 月の末までは生存し、最長では 10 月中旬まで公園内に留まっていた可能性があったことが推察された。この成虫がウイルス保有蚊であったのか否かは確認できなかったが、8 月 29

日に捕集した蚊の 6.7% がウイルスを保有していると算出されており、かなりの保有率であったことが明らかになった。この公園では、陽性蚊が検出されなくなって以降も 10 月 30 日まで一部閉園の措置が継続されたが、非感染蚊の寿命と比べて感染蚊が長命であるのか、あるいは短命であるのかは重要な知見となる。また、ヒトスジシマカのウイルス非感染蚊の野外での移動距離は、本研究ではおおよそ 100 m 以内と推定されたが、ウイルス感染蚊の行動範囲がこれと同等なのかは議論しなければならない。

本研究では、(1) 吸血源動物を探索する未吸血個体の飛翔能力を推定したが、(2) 吸血に成功して未消化の血液を保持する個体、(3) 血液を消化し卵巣も成熟して産卵のための場所を探索する個体については検討していない。ウイルスを保有した雌蚊の移動距離を評価するためには、温度・日長等の季節的な条件が重要であるため、(2)(3)の生理状態の雌蚊についても検討する必要がある。また、吸血源を探索するための雌蚊の移動距離をフライトミルを用いて推測したところ、アカイエカは 25 では平均 100 m 程度（最高でも約 300 m）しか飛翔しなかったが、15 では 4.5 km（最高で約 10 km）飛翔可能と推測された。コガタアカイエカでも同様に、15 では 25 よりも飛翔距離が長い（約 1.7 倍）結果が得られたが、アカイエカではその差は 50 倍以上もあった。両種ともに涼しい気温では広範に吸血源探索を行うと推察される。また、その飛翔パターンや先行研究の結果から、コガタアカイエカは気流を利用して長時間・長距離を飛ぶことが可能と考えられるが、アカイエカは吸血源を探して約 4.5 km は飛翔できるものの、長距離移動性は有していないと推察された。これまでの知見では、アカイエカの飛翔能力は約 2 km と主に野外調査から推定されているが、さらに長距離を移動

可能となれば、対策範囲を拡大する必要があり、また、この距離が異なる生理状態ではどうなるのか、ウイルス感染蚊ではどうなのかなど、検討しなければならない課題は多い。これらの結果は、蚊対策に影響を及ぼすであろうことは容易に想像できる。

2014年のデング熱国内流行の翌春の捕集蚊からはウイルスは検出されなかったが、デングウイルスの経卵伝搬は常に関心の的である。ヒトスジシマカの乾燥卵は、本研究から4および20では4ヵ月は生存し、羽化成虫も出現することが示唆されたが、25では4ヵ月後に羽化成虫は全く得られなかった。乾燥状態にある卵の中でウイルスがどのくらいの期間生存できるのか、ウイルス感染蚊の羽化率は高まるのか否か、などの疑問は、デングウイルスの垂直伝搬の可能性を検討する上で重要な情報となるはずである。

事業開始時の予定では、最終年度中に各種ウイルス感染蚊の諸性質を調査し、非感染蚊と比較することを目指していたが、この点では計画通りに進められなかった。本調査と並行して、デングウイルス感染ヒトスジシマカを人工吸血装置を用いて作出していたが、実験に供する数の感染蚊を得ることができず、計画を延期した。しかし、研究期間内に得られた情報をもとに、今後は、それぞれの蚊種に親和性のあるウイルスを感染させた感染蚊を作出し、非感染蚊での結果との比較を試みたい。

## E. 結論

1. 実験期間中の平均気温が19.2とやや低い天候であったが、ヒトスジシマカとオオクロヤブカの2種を用いて実験した結果、前種では放逐場所から少なくとも95m、後

種では少なくとも167mを移動した個体が確認された。

2. ヒトスジシマカの乾燥卵は、4および20では4ヵ月は生存し、羽化し得ることが明らかになった。羽化率は4>20>25の順に高かったが、25では4ヵ月後に羽化成虫は全く得られなかった。

3. アカイエカ幼虫が発生している雨水マスの集中度指数は1.04となり、調査範囲内にランダムに分布することが示唆された。産卵期のアカイエカの行動範囲は、少なくとも450m×350mであると推測された。

4. アカイエカは25では連続して0.2時間、約100m、15では5時間、4.5km飛翔可能であると推察された。アカイエカは、吸血源を探して約4.5kmは飛翔できるものの、コガタアカイエカのような長距離移動性は有しないことが示唆された。

## F. 健康危険情報

なし

## G. 研究発表

1. 論文発表  
なし
2. 学会発表  
なし

## H. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得  
なし
2. 実用新案登録  
なし
3. その他  
なし