総 説

琉球列島のハマダラカ *Anopheles* 属の蚊に関する研究

當 間 孝 子^{1), 2)}

¹⁾ 琉球大学医学部保健学科 (〒903-0215 沖縄県西原町上原 207 番地)

²⁾ 琉球大学アジア・太平洋島嶼研究センター (〒903-0213 沖縄県西原町千原 1 番地)

(受領: 2002 年 2 月 22 日; 掲載決定: 2002 年 2 月 25 日)

Studies on the *Anopheles* mosquitoes in the Ryukyu Archipelago, Japan

Takako TOMA

¹⁾ School of Health Sciences, Faculty of Medicine, University of the Ryukyus,
Uehara 207, Nishihara, Okinawa, 903-0215 Japan

²⁾ Center for Asia-Pacific Island Studies, University of the Ryukyus,
Senbara 1, Nishihara, Okinawa, 903-0213 Japan

(Received: 22 February, 2002; Accepted: 25 February, 2002)

Key words: Ryukyu Archipelago, *Anopheles* mosquito, *An. minimus*, *An. saperoi*, *An. sinensis*, distribution

Abstract: Seven species of *Anopheles*, *An. bengalensis*, *An. l. japonicus*, *An. saperoi*, *An. sinensis*, *An. lesteri*, *An. minimus* and *An. tessellates*, are known to occur in the Ryukyu Archipelago. This review covers and explains the distribution and biology of these species. Historical review on synonymizing *An. ohamai* with *An. saperoi*, *An. saperoi* as a new laboratory vector for *Plasmodium y. nigeriense*, and the study on its biology for maintenance of laboratory colonization are presented. Furthermore, the susceptibility status of *An. sinensis*, *An. saperoi* and *An. minimus* to several insecticides, mosquito control as a component of malaria eradication program, and the distribution of *An. minimus* just after malaria eradication and its recent status in the Yaeyama Is. are discussed.

はじめに

琉球列島は、旧北区に位置する日本本土と東洋区に位置する台湾の間約 1,000 km にあり、北緯 24 度から 30 度、東経 123 度から 132 度に位置する。この弧状列島は 100 の島々からなり、6 つの諸島 (トカラ、奄美、沖縄、宮古、八重山、大東) に区分されている。亜熱帯気候で、1 月に平均気温が最低になり、それぞれの諸島で異なるが、奄美諸島で低く、平均気温 13.9℃、八重山諸島は高く、17.6℃である。7 月には平均気温が最高になり、奄美諸島で 28.5℃、八重山諸島で 29.3℃である。年間の総雨量もそれぞれの島で異なるが、1,600 か

ら 2,500 mm である。

琉球列島は土地面積も日本国土全体の 1% 程度に過ぎないが、生物種の分布は本州に比べ特異かつ豊富であり、固有種が多い。動物地理学的に興味ある位置にあり、また、病原体の伝播にとって重要であるにも関わらず、世界第 2 次大戦前まで蚊に関する調査がほとんどされていなかった。終戦直後、米国の研究者 (Bohart, 1946, 1959; Bohart and Ingram, 1946a, b) によって、蚊相や重要種の生態についての調査が精力的に行われた。その後の Tanaka et al. (1975, 1979) の調査で、琉球列島の蚊相がかなり明らかになり、1975 年以降は宮城と當間による 19 島での精力的な調査で、蚊相の特

微や種々の蚊の興味深い生態がずっと明らかになってきている。

琉球列島を除いた全日本（旧北区日本）には68種の生息が知られているが、琉球列島にはそれより多い72種が生息し、蚊相が豊富である。蚊の種類が最も多かったのは八重山諸島で86.1%を占め、ついで、沖縄諸島の67.6%である。琉球列島に生息する種の57種(79.2%)が東洋区に生息し、旧北区日本との共通種は33(45.8%)で、特産種は10種(13.9%)である。このように、琉球列島の蚊相は明らかに熱帯の様相を呈し、多種多様であることが特徴づけられる。日本本土のハマダラカについては栗原(2002)の総説があるので、本総説では琉球列島に生息するハマダラカ属の蚊について取り上げ、特に、形態学的、生態学的に興味深い数種についての話題を紹介しながら話を進めたい。

1. 琉球列島に生息するハマダラカ

琉球列島のハマダラカは第2次大戦前まで、*An. sinensis* と *An. minimus* のみの記録であったが、現在は7種が記録されている (Table 1). *Anopheles bengalensis* Puri, 1930 モンナシハマダラカは翅に斑紋がなく、東南アジアに広く分布し、琉球列島が分布の北限地で、奄美大島と徳之島に生息している。本種は溪流や岩礁の水溜りに生息しているが、成虫の吸血習性についてはよくわからない。

Anopheles (Anopheles) lindesayi japonicus Yamada, 1918 ヤマトハマダラカの幼虫は山間の溪流の岩床の小

さな水溜りや湧き水の流れが淀んだ溜まりに多く発生する。分布はトカラ列島の中ノ島、宝島に生息し、旧北区日本にも分布している。北日本では温泉地に多く、夜間吸血性で、稀に室内にも侵入する (上村, 1976)。

Anopheles (Ano.) sapeiroi Bohart and Ingram, 1946 オオハマハマダラカは琉球列島特産種で、沖縄本島北部と西表島の森林内に生息し、幼虫は清い溪流に生息している。ハマダラカの成虫は薄明薄暮または夜間に吸血する種が多いが、本種は昼間、森林内で、人に吸血に飛来する特異な生態を持つ蚊である。第2次世界大戦中、沖縄本島北部の森林内に避難した人達の間で流行した3日熱マラリアの伝播に本種が関わったものと考えられている (宮城ら, 1974)。大浜(1968)は3日熱マラリアに感染した篤志家の協力を得て、石垣産の *An. sapeiroi* に血液を吸わせた結果、マラリア原虫が蚊体内で充分発育することを明らかにしている。石垣産と沖縄本島産の *An. sapeiroi* の形態、分類に関しては次の項で詳しく紹介する。

Anopheles (Ano.) sinensis Wiedemann, 1828 シナハマダラカは、琉球列島では水田、休耕田や湿地に生息し、広範囲に生息している。マラリア媒介蚊としてよく知られている。夜間吸血性で、牛舎などによく飛来する (Toma and Miyagi, 1986)。西表島でのライトトラップ法による成虫の採集では、採集された全ての蚊のなかで23%が本種であった (宮城・當間, 1980)。また、与那国島でも44.3% (宮城ら, 1983) で、非常に多い種である。*Anopheles lesteri* Baisas and Hu, 1936 オオ

Table 1. Distribution of *Anopheles* mosquitoes occurring in the Ryukyu Archipelago.

	Ryukyu Archipelago																			Oriental r. (incl. Taiwan)	Palaeartic Japan
	Tokara Is.		Amami Is.	Okinawa Is.				Miyako Is.	Yaeyama Is.			Daito Is.									
	Nakanoshima	Takarajima	Kuchinoshima	Amami Oshima	Tokunoshima	Okinawajima	Iheyajima	Izenajima	Minnajima	Kumejima	Miyakojima	Ishigakijima	Iriomotejima	Kohamajima	Kuroshima	Haterumajima	Yonagunijima	Kita Daitojima	Minami Daitojima		
<i>An. bengalensis</i>				○	○																
<i>l. japonicus</i>	○	○																			
<i>saperoi</i>						○						○	○								
<i>sinensis</i>	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
<i>lesteri</i>				○		○	○					○	○	○			○	○			
<i>minimus</i>											○	○	○	○		?					
<i>tessellatus</i>						○						○	○								

○, +: *Anopheles* spp. present.

ツルハマダラカは *An. sinensis* に非常に酷似している。幼虫は同様に水田、休耕田、沼、池などに生息しているが、*An. sinensis* に比べて *An. lesteri* は冷たい、日陰を好むようである (Tanaka et al., 1979). *Anopheles sinensis* よりも *An. lesteri* が、日本での土着マラリアの重要な媒介蚊であったものと推測されている (大鶴, 1949; 上村, 1968; Tanaka et al., 1979). 琉球列島における *An. lesteri* は、大鶴ら (1976) によって卵型の特徴により生息が確認されているが、詳しい生息水域の特徴などは明らかでない。

Anopheles (Cellia) tessellatus Theobald, 1901 タネツルハマダラカは琉球列島では沖縄本島と石垣・西表島で成虫のみが記録されているが、個体数が少なく、その生態は不明である (Toma and Miyagi, 1986).

Anopheles (Cel.) minimus Theobald は東南アジアで熱帯マラリアの媒介蚊として著名な蚊である。本種の分布は琉球列島が北限地で、現在、宮古島や八重山諸島の石垣島や西表島に普通に生息している。本種はタイ、中国では形態的によく似た種群 A, B, C, D が報告されている (Baimai, 1989; Sucharit, 1988; Green et al., 1990; Harrison et al., 1990; Yuan, 1987), 最近, Somboon et al. (2001) によって石垣島の本種はタイや中国のとは異なる形態や染色体を持つことから新たに E タイプとして報告している。幼虫は宮古島では湧き水の流れ、八重山諸島の石垣島や西表島では溪流に生息している (Toma and Miyagi, 1986). 宮古諸島や八重山諸島

ではかつてマラリアが流行しており、本種がマラリアの伝播に重要な役割を果たしていた。宮古島の地層は石灰岩からできており、島の地下には多くの水が溜まり、かつてマラリアが流行していた頃は島のあちこちから水が地上に湧き出て、湧き水が流れ、*An. minimus* の良好の発生水域となっていた。最近、大規模な地下ダムができ、地表に湧き出る水が著しく減少してきた。その結果、本種の発生水域も減少し、現在は、個体数が著しく激減している (Toma et al., 1996b). 石垣島での *An. minimus* に関しては別の項で詳細に述べる。

2. *Anopheles soperi* Bohart and Ingram, 1946 オオハママダラカについて

Anopheles soperi Bohart and Ingram, 1946 は 1946 年に Bohart and Ingram によって沖縄本島北部から発見され、新種として記録されている。その後、1947 年、八重山保健所の所長であり、マラリア防圧の指揮者であった大浜信賢によって石垣島の溪流に生息する新しい種 *An. ohamai* Ohama, 1947 が発表された。しかし、両種は形態的によく似ており、発見当初から Bohart と大浜の間でいろいろな議論がかわされている (Bohart, 1959). Bohart は *ohamai* を新種としてなかなか認めなかったため、戦後の混乱期であるにもかかわらず大浜は渡米し、Bohart に会い、*ohamai* の翅の斑紋の特徴について説明し、ついに新種としての独立性を認めさせた (大浜, 1968).

Fig. 1. Seasonal variations of the mean SCP/AP ratio in *Anopheles soperi* from Okinawa Island and Iriomote Island.

その後も両種の取り扱いには研究者で異なり, Teller and Gentry (1955) や上村 (1976) は *ohamai* を *saperoi* のシノニムとしている. Tanaka et al. (1975, 1979) はいくつかの個体を調べ, 幼虫の形態, 雄の中白斑の長さは *saperoi* と *ohamai* で違いは見られないが, *saperoi* 雌の中白斑の長さが, 先白斑に比べて明らかに短いこと. また, 雄の後脚第一跗節と頸節の比に差がみられることから亜種として取り扱っている. しかし, *ohamai* の蛹, 成虫雌の標本個体数が少なかったことで, 十分比較検討するまでにはいたらず, 再検討の必要があるとした.

その後, Higa et al. (1998) によって, 両種について再検討が行われた. 1993 年から 1996 年に沖縄本島と西表島で採集した *saperoi* と *ohamai* の標本を用い, 両種の区別点である成虫の翅の前縁脈上の中白斑と先白斑の長さの季節変化 (Fig. 1) や幼虫, 蛹の形態を調べた. さらに, *saperoi* を用いて日長や温度が翅の形態に及ぼす影響を知るために室内実験も行っている. その結果, 野外の標本では成虫の翅, 幼虫, 蛹, いずれの形態でも両種を区別することはできず, 室内実験の結果から両種の重要な区別点である先白斑や中白斑は日長や温度に影響を受けてその長さが変わることが明らかになった. 野外で採集した個体の比較研究においても, 白斑の長さが季節的に変動していることを支持する結果であった. 長期間にわたり, 年間を通して多くの標本を調べることで, *ohamai* は *saperoi* のシノニムと結論づけられた. 最近では分子生物学的な研究が盛んになってきており, 特にハマダラカの仲間で形態学的に区別できない種群に

対しては良く用いられている. この種についても両者の関係が分子生物学的にもどのようなになっているのか興味深い.

3. ネズミマラリア原虫に対する琉球列島産ハマダラカ感受性試験

Anopheles stephensi Liston, 1901 は実験室で, ネズミマラリア *Plasmodium y. nigeriense* の媒介蚊として広く使用されている. 本種はインドで発見され, タイからエジプトまで生息している. インド産の *An. stephensi* はネズミマラリアに対し高い感受性を持っている (Graves and Curtis, 1982; Ichimori, 1989). 本種は室内での飼育が容易であるが, 吸血欲も高く, 飼育中に逃げ出す可能性がある. 亜熱帯気候下にある琉球列島では, 本種が野外で生息することができる. さらに, なんらかの理由で室内コロニーが切れると, 外国産の種の入手が困難になる. 日本産のハマダラカのなかでは, 日本本土で記録され, 樹洞に生息する *An. omorii* Sakakibara, 1959 だけがネズミマラリアに対して高い感受性を持つことが明らかにされている (Ichimori et al., 1989).

Toma et al. (2002b) は, *An. stephensi* に変わる新しい実験室での媒介蚊を選出するために, 琉球列島産のハマダラカを用いて, ネズミマラリア原虫に対する感受性試験を行った. 実験にもちいた 3 種 *An. sinensis*, *An. saperoi*, *An. minimus* と比較のためにインド産の *An. stephensi* を同時に用いて実験を行っている. *An. stephensi* はマラリアに感染したネズミを吸血して 3 日

Fig. 2. Development of *P. yoelii nigeriense* sporozoites in *Anopheles minimus*, *An. sinensis*, *An. saperoi* and *An. stephensi*.

Fig. 3. Survival of adult female *Anopheles soperi* and *An. stephensi* which fed on infected or non-infected mouse.

目から中腸壁にオオシストが検出されるが, *An. minimus*, *An. soperi* は4日目, *An. sinensis* は6日目に検出される。吸血後8から14日目には *An. stephensi* の97.2–100%, *An. soperi* の85.7–100%, *An. minimus* の20–74.1%, *An. sinensis* の12.5–13.3%の個体がオオシストを持つようになる。吸血後8日目から唾液線や頭部でスポロゾイトが検出され, 10–16日目には *An. minimus* の平均14.9%, *An. soperi* の47.3%, *An. stephensi* の96.2%の個体がスポロゾイトを持っている (Fig. 2)。しかし, *An. sinensis* はスポロゾイト保有個体は全く見られなかった。実験に用いた琉球列島産3種の蚊の中で *An. soperi* が高い感受性を示し, 実験室でネズミマリアの媒介蚊の役目を果たすことが明らかになった。*Anopheles soperi* の生存率は羽化後58日目でも50%あり, 感染血吸血後60日目の生存率は非感染血を吸血した個体の値と差はみられてない。*Anopheles soperi* はこれまで用いてきた *An. stephensi* に比較するとスポロゾイト保有率は低く, 実験室内での飼育が容易ではないが, 本種は琉球列島産であり, 感染血を吸血した後も死亡個体が少なく, 長寿であることから (Fig. 3), *An. stephensi* に変わる室内媒介蚊として有効である。

4. *Anopheles soperi* の室内飼育

蚊を使つてのマリア感染実験には同年齢の成虫を多数提供できなければならない。*Anopheles soperi* の幼虫は溪流に生息しており, 同じような溪流に生息する *An. minimus* 同様, 幼虫の室内での飼育は, イエカや

ヤブカ属の蚊に比べて難しい (Wilkinson et al., 1974; Sucharit and Choochote, 1982)。Toma et al. (2001) は, *An. soperi* を室内でエアレーション, 静置, 滴下の3方法を用いて, 幼虫の発育期間, 生存率, 成虫の交尾率, 吸血率や産卵について調べ, 本種の室内での累代飼育法を確立した。

幼虫の飼育方法に用いたエアレーション法はイエカやヤブカ属の蚊幼虫を飼育する時に良く用いられており, 飼育する容器の中に空気を送って飼育する方法である。静置法は空気を送らずに, 特別な装置も使わずに飼育する方法である。滴下法は Toma et al. (2001) によって考案された方法で, 本種の生息水域が溪流であることから, 飼育容器の中の水が常に少しずつ新しい水と入れ替わるように工夫をし, 幼虫飼育期間中, 水質が良好な状態で保てるようにしている。3方法の中で, エアレーション法の結果が最も悪く, 羽化率は5.3%でほとんどが若齢幼虫で死亡した。水面が気泡の破裂で常に激しく動いているため, 若齢幼虫は, 水表面に浮いている餌をうまく摂食することができず, 死亡する。静置法と滴下法では前者が成虫になるまでの期間は10.4日と短く, 後者は13.8日であったが, 羽化率は73.3%で, 滴下法の95%に比べて低かった。餌量や幼虫密度についての検討もおこなわれ, 100個体の1齢幼虫に対して12 mg, 2齢幼虫には25 mg, 3齢幼虫には50 mg, 4齢幼虫には75 mgの餌を1日に2回与え, 飼育幼虫密度は飼育容器 (40×30×6 cm) に3 lの置き水を入れ, 100–200個体の飼育が適当であることが明らかになった。

成虫飼育についての問題点は実験室で狭いケージ (空

間)の中で交尾し、与えた動物(マウス)を短時間に、効率よく吸血することが望ましい。*Culex quinquefasciatus* Say ネットイエカや *Aedes albopictus* (Skuse) ヒトスジシマカ、*Ae. f. downsi* Bohart and Ingram ダウンズシマカや *Ae. riversi* Bohart and Ingram リバーズシマカは中ケージ 20×20×30 cm のケージ内で、ほとんどの雌個体は交尾し、羽化数日後には受精嚢に精子が貯まる。また、吸血源として与えたマウスをほとんどの雌個体が吸血する (Miyagi and Toma, 1982; 1989)。自然交尾が難しいハマダラカの多くは人工交尾法を用いて累代飼育が行われている (Oguma and Kanda, 1976; Wilkinson et al., 1974)、人工交尾を行うのに多大な時間と労力を費やすため、可能な限り自然交尾で受精率を上げることが望ましい。*Anopheles soperi* は 30×30×60 cm の大型ケージに雄、雌それぞれ 100 個体ずつ (1 個体あたりの体積 545.5 cm³) 入れると、羽化後 10 日目で受精率は高く、88.3% になる。ケージを小さくするとその値は低く、2-3% であった。ケージを大きくし、個体数を多くすることで人工交尾を行わず、自然交尾で飼育が行えることが明らかになった。吸血源として金網の中に入れた無毛(ヘヤーレス)マウスを羽化後 10-14 日目の *An. soperi* に暴露すると、吸血率は 37% であった。有毛マウスの 17% に比べて高い値が得られた。イエカやヤブカ属の蚊に比べて吸血率は低いが、世代を重ねることにより、高率に吸血するようになった。吸血した雌は 1 個体当たり、平均 203.5 個を産卵し、その 96% が孵化している。産卵数は *An. sinensis* の 235-329 個 (Oguma and Kanda, 1976) に比べて少ないが、*An. minimus* の 76 個 (Sacharit and Choochote, 1982) に比べて多い。

以上、*An. soperi* の飼育方法をまとめると、室内累代飼育の数世代は少し手間がかかるが、幼虫の飼育は滴下法を用い、餌は適量与え、幼虫密度は適正密度で飼育し、羽化成虫は大ケージを用いて自然交尾で受精率をあげる。吸血源としては無毛マウスを用い、個別産卵を行う。数世代実験室の影響に慣れるに従い、幼虫、成虫もイエカやヤブカとはほぼ同様な方法で飼育が比較的容易になり、必要に応じて大量の個体を供給することができるようになってきている。

5. *Anopheles minimus*, *An. soperi* および *An. sinensis* 幼虫の殺虫剤感受性について

約 20 年前から日本各地で *Cx. tritaeniorhynchus* の有機燐系殺虫剤に対する抵抗性が報告され (上村・丸山, 1983; 安富ら, 1986)、琉球列島産でも、高い抵抗性を示すことが報告された (安富・高橋, 1989, Toma

et al., 1993)。その後、*Cx. quinquefasciatus* (Miyagi et al., 1994) や *Ae. albopictus* (當間ら, 1992) についても調査が行われ、*Cx. quinquefasciatus* が malathion に対して強い抵抗性であることも明らかになっている。ハマダラカについても 4 齢幼虫を用いて調べられており (Toma et al., 1998)、石垣島産の *An. minimus* は有機燐系殺虫剤 malathion, fenitrothion, dichlorvos, temefos に対して低い LC₅₀ 値を示し、沖縄本島産 *An. soperi* は *p,p'*-DDT と 6 種の有機燐系殺虫剤 malathion, fenitrothion, dichlorvos, fenthion, diazinon, temefos に対し低い LC₅₀ 値を示している。沖縄本島産 *Anopheles sinensis* は 7 有機燐系の中で malathion, fenitrothion, dichlorvos, diazinon, trichlorfon に対して高い LC₅₀ 値を示し、埼玉や長崎産 (安富ら, 1986) と同じような結果を得ている。*p,p'*-DDT や permethrin に対しては高い LC₅₀ 値を示し、埼玉や長崎産とは異なっている。Toma et al. (1993) は沖縄本島中部地域と石垣島産の *Cx. tritaeniorhynchus* が permethrin に対して感受性であることを報告しているが、安富・高橋 (1989) は沖縄本島の南部地域の知念産の本種は permethrin に対して高い抵抗性であることを報告している。Toma et al. (1998) が殺虫剤試験に用いた *An. sinensis* も沖縄本島の知念産のものであり、*An. sinensis* も permethrin に対しても抵抗性を示している。知念村の *Cx. tritaeniorhynchus* や *An. sinensis* 幼虫の生息水域ではクレソンが栽培されており、これら 2 蚊種の抵抗性の獲得はクレソン栽培のための殺虫剤使用と深く関係していることが推測されている。

6. 八重山諸島石垣島での *Anopheles minimus* の生息状況

a. 過去のマラリアの流行と対策

琉球列島では過去にマラリアの流行があり、特に、八重山諸島や宮古諸島では悲惨な歴史があった (黒島, 1960; 八重山保健所, 1962; 照屋, 1975; 崎原ら, 1994; Miyagi et al., 1996)。この項では簡単に、八重山諸島のマラリアの歴史とマラリア対策について紹介するとともに、その当時のマラリア媒介蚊 *An. minimus* の発生状況と、マラリア撲滅後の媒介蚊の発生状況、最近の生息分布と発生消長について紹介する。

八重山諸島では 1922 年には、人口 23,548 人に対して 1,127 人の熱帯熱マラリア患者が記録され、その後 1944 年までは年間 700 人から 2,000 人の間で増減を繰り返している (Table 2)。その当時のマラリア対策は患者へのキニーネやアテプリンの投与が主で、蚊に対する対策は補助的に行われ、流行地の部落付近の藪や灌木の

Table 2. Malaria control operations in Yaeyama Island (1896–1962).

Year	Human population	Malaria cases	Control measures against parasites and vector mosquitoes	
1896–1913	—	—	1896–1913	
			Against parasites:	treatment of clinical cases by quinine.
1922	23,548	1,127	1922–1944	
1923	26,578	831	Against parasites:	treatment of parasitemics by quinine and clinical cases by atebrin.
1924	26,881	887	(major)	
1925	26,418	1,720		
1926	29,241	886	Against mosquito larvae:	cut down bushes and trees around houses in endemic areas, drain, swamps, bury pools of water, introduce Gambusia fishes.
1927	29,991	1,055	(minor)	
1928	30,511	1,568		
1929	29,918	2,024		
1930	30,126	1,387	1894	Three spp. of malaria were identified for the first time by Dr. Miura.
1931	31,621	1,197	1921	Malaria control office was established in Yaeyama.
1932	31,546	1,324	1926	Extension and re-organization of malaria control office.
1933	31,646	1,070		
1934	36,322	1,298	1945–1947	
1935	35,992	1,223	Against parasites:	treatment of clinical cases with atebrin in endemic areas.
1936	35,456	957		
1937	35,188	1,303	1947	Government of Yaeyama was established by-laws for control.
1938	36,198	2,255		
1939	36,672	1,399	1947–1954	
1940	36,979	704	Against parasites:	mass chemotherapy and treatment of all clinical and presumptive cases with atebrin in endemic areas.
1941	36,137	922		
1942	35,273	930		
1943	35,276	937	Against mosquitoes:	spray 5% DDT kerosene solution inside houses.
1944	47,553	—		Treat all breeding habitats with 10% DDT dust or 2% chlorden solution by a slow releasing formulation (drip) method. General clearing of bushes and cutting of trees within 2 km distance around living houses.
1945	31,371	16,884		
1946	35,731	9,050		
1947	38,573	6,594		
1948	42,134	799		
1949	43,546	17	1949	Emigrants from Okinawa and Miyako to Ishigaki Is.
1950	43,986	35		
1951	46,137	74	1955–1956	
1952	47,471	405	Against parasites:	treatment with chloroquine or primaquine for-all clinical cases and parasitemics.
1953	48,642	1,610		
1954	42,234	2,039		
1955	47,656	1,865	Against mosquitoes:	spray chlorden or DDT kerosene solution into breeding streams and rivers.
1956	48,415	2,211		
1957	47,411	1,730		
1958	49,240	370	1957–1962	
1959	49,075	58	Against parasites:	treatment of clinical cases with chloroquine or primaquine and mass chemotherapy with chloroquine in endemic areas.
1960	51,431	4	(minor)	
1961	51,442	5	Against mosquitoes:	DDT residual spray.
1962	—	0	(major)	“Wheeler’s plan”

(Based on the data by Kuroshima, 1960, Yaeyama Health Center, 1962, Teruya, 1975 and Sakihara et al., 1994)

伐採、不要な沼、水溜りを埋めたり、タップミノーの放流などを行っている。

終戦の1945年には社会・経済状態の変化により、マ

ラリア患者は急激に増加し、1947年から蚊幼虫の防除対策に有機塩素系殺虫剤 DDT や chlorden を用いるようになる。河川には点滴装置を置き、水田、水溜りには

それらの殺虫剤を散布している。このような蚊対策が原虫対策と共に行われ、マラリア患者は急激に減少した。しかし、1949年には沖縄本島や宮古島の住民が当時マラリア流行地であった石垣島の東側に位置する星野部落に入植したのを始め、次々と移住政策が推し進められ、再びマラリア患者が増加しはじめた。1957年から1962年には、これまで主に行ってきた原虫対策は補助的になり、蚊対策が主要になった。しかも、成虫対策に主眼を置き、そのころ WHO で新しく考案された DDT 屋内残留噴霧法 (residual spray) を Wheeler 氏の指導のもとで実施した。これを "Wheeler plan" と呼んでいる。

1957 年から 1962 年に行った蚊駆除対策は石垣・西

表島の全地域で行われ、家屋内、納屋、畜舎、乗り物などあらゆるものに徹底的に DDT を噴霧し、第 1-7 回目までは半年に 1 回の割合で、40,000-44,000 人が住んでいる地域に噴霧し、8-9 回目の噴霧は 1 年に 1 回の割合で約 11,000 人が住んでいる地域に噴霧している。1962 年には八重山・宮古諸島からマラリア患者は全くなくなった。

b. マラリア流行当時のマラリア媒介蚊の生息状況

1938-1942 年に八重山保健所が石垣島と西表島で *An. minimus* と *An. sinensis* の調査を行っており、石垣島の南部に位置する四箇、平得、大浜、宮良、白保は当時無病地と言われたところで、マラリア患者は非常に少なく、ハマダラカもこのような地域では全く採れてい

The bars for each locality show incidence rate (%) of malaria cases for 1942.

Adjacent to the name of locality is the total number of mosquito collected and the number in parenthesis are the percentage rates of *An. minimus* (m) and *An. sinensis* (s) for all mosquitoes larvae collected respectively.

Based on the data by Yoshino(1956).

Fig. 4. Results of larval survey (1938-1942) and incidence of malaria in Ishigaki Island (1942), Ryukyu Archipelago.

Fig. 5. Results of larval surveys in Iriomote Island, Yonaguni Island and other nearby islets (1938–1942), Ryukyu Archipelago.

ない (Fig. 4). マラリア患者が多い地域では *An. minimus* や *An. sinensis* が採れ、住民の 80.3% がマラリア患者であった山田原地区では 841 個体の幼虫が採れ、そのうち *An. minimus* が 10.9%, *An. sinensis* が 1.2% 記録されている (吉野, 1956). 西表島の中央部は森が深く、部落が周辺部にあり、島全体が有病地であった。Fig. 6 に示したように西表島でも両種は採集されており、網取では蚊幼虫 189 個体のうち *An. minimus* が 0.5%, *An. sinensis* が 3.2% である。その当時、与那国島でも患者がおり、*An. minimus* も採集されている (Fig. 5). 1946, 1947 年には大浜 (1947) によっても石垣島の 9 部落で幼虫調査が行われ、川平では採集したハマダラカの中の 60.1%, 名蔵では 50.9%, 川平では 60.1%, 梶海では 44.2% が *An. minimus* であったと報告している。

DDT 残留噴霧時の 1961 年 1 月と 3 月に断片的に調査を行っているが石垣、西表島ではハマダラカは採集されていない。残留噴霧後 1964 年には石垣、西表島で、毎月定期調査を行い (WHO, 1966), 1 年間に 20,905 回掬いとり採集を行い、315 個体の *An. minimus* と 6,210 個体の *An. sinensis* の幼虫、210 夜のライトト

ラップ採集で、6 個体と 33 個体のそれぞれの成虫が捕獲され、マラリア媒介蚊、特に *An. minimus* が著しく減少していることが明らかになっている。

c. マラリア流行終焉後と最近の *An. minimus* の生息分布と発生消長

宮城・當間 (1978) は残留噴霧後 13 から 15 年経過した 1975 年から 1977 年に石垣島と西表島の山脚と海岸近くの溪流でハマダラカの幼虫調査を行っており、*An. minimus* が石垣島で 1 掬い当たり 0.90 個体、西表島で 0.41 個体を採集し、*An. minimus* の個体数が増え始めていることを報告している。

その後、1990 年に石垣島全地域の 30 溪流で調査し、66.7% の溪流に *An. minimus* が生息するなど分布、生息図を作成した。また、本種幼虫の生息している水域の水質についても調べている。汚濁度の高い河川、流速の早い溪流、コンクリートの堤や川底からなる溪流には生息しないことも明らかにした (Toma et al., 1996a)。

Toma et al. (2002a) は、最近の発生状況を明らかにするために、石垣島全地域の溪流で *An. minimus* の生息分布と 4 溪流での季節消長を調べている。1990 年の調査 (Toma et al., 1996) よりも水域数を増やし、1998

Fig. 6. Distribution and density of *Anopheles minimus* in 56 streams of Ishigaki Island, Ryukyu Archipelago, 1999.

年は48, 1999年は56溪流で調査し, 本種が約70%の溪流に生息し, 市街地を除く, 石垣島全地域に広範囲に生息していることを報告している. 調査は柄杓を用い, 100回掬って *An. minimus* 幼虫がどの程度いるかを調べている. 一掬い当りに換算し, 3個体を超えたのは1999年には56溪流中4溪流, 2-3個体は2溪流, 1-2個体は14溪流で, 調査した全溪流の35.7%に1掬い1個体以上が生息していたことになる (Fig. 6). このことから, 本種幼虫がいに石垣島の広域にわたって多数生息しているかがわかる. 生息分布調査の結果, 幼虫個体数の多かった西浜川や, 幼虫数が多く, 過去にマラリアの流行地であったファナン川, 白水川と, 市街地に近い新川溪流の4溪流について, 幼虫発生の季節消長を調べている. 季節消長のパターンは西浜とファナン川はよく似ており, 水温の低い冬季はほとんど幼虫が採集されず, 暖かくなり始める4月の下旬から個体数が増加しはじめている. 5月の下旬から急激に多くなり, 1掬い7-10個体を採集している. 11月の下旬まで4-8個体が採れている (Fig. 7) が, 雨や気象条件によって, 個体数は影響を受け変動する. 白水川は, 現在ではコンクリートの堤と川底になり, マラリア流行当時とは

川の形状が大きく変化し, 人工的な川になっている. 1999年11月上旬に最高の1掬い2.1個体の本種幼虫が採れた程度で, 1998年の11月から1999年5月上旬まではほとんど採れず, 他の季節でも1掬い1個体までで, 流行当時に比べると白水川での本種の発生数は減少していることが考えられる. 市街地にもっとも近い新川溪流 (約4 km) では, 冬季でも幼虫が採集されている. この溪流は湧き水であるため, 他の3溪流に比べて, 冬季の水温が高い (21.1°C). そのために幼虫の越冬場所として利用されているのであろう. 多数の個体が採集されたのは2月の下旬から4月の下旬で, 1掬い1.1から3.5個体である. 著者は八重山保健所の協力を得て, 最近, 離島の西表島, 小浜島, 波照間島, 与那国島でも *An. minimus* 幼虫の調査を行い, 西表島は石垣島と比較して個体数が少なく, また, 小浜島では初めて本種幼虫の生息を確認している. 波照間島, 与那国島では, 生息を確認することが出来なかった. 与那国島ではマラリア流行時には本種の生息が報告されているが (吉野, 1956), 1977-81年にかけての5回の調査 (宮城, 1983) と最近の調査では, 本種の生息に適した溪流が島内には存在するが, 幼虫の生息を確認することは

Fig. 7. Seasonal prevalence of *An. minimus* immatures in Fanan Stream of Ishigaki Island, Ryukyu Archipelago.

Fig. 8. Number of *An. minimus* and *An. sinensis* adults collected by light-trap near Nishihama Stream of Ishigaki Is., Ryukyu Archipelago.

できなかった。

石垣島では牧畜業が年々盛んになり、飼育頭数も1978年には8,236頭、1993年には19,396頭、2000年には27,200頭に増えている。西浜川の近くの牛舎では多くの *An. minimus* 成虫が捕獲 (Fig. 8) されている (Tsuda et al., 1999; Toma et al., 2002a) ことから、放牧牛が本種の重要な吸血源となり、現在のように *An. minimus* の個体数が増加していることが考えられる。

2000年に石垣島へ訪れた観光客は60万人でその数も年々増加している。また、旅行や仕事でマラリア流行地へ出向く住民や、逆に、マラリア流行地の人々が石垣島を訪問する機会も増えている。地球温暖化による感染蚊の分布域の拡大化の可能性もある。韓国における最近のマラリアの流行 (Strickman et al., 2000) や、アメリ

カでの西ナイル熱の突然の流行など、蚊媒介性感染症の再興が大きな問題になっている。マラリアの流行を未然に防ぐためには、琉球列島八重山諸島での *An. minimus* の発生に気を配り、定期的な調査を行い、危機管理体制を整える必要がある。

引用文献

- Baimai V. 1989. Speciation and species complexes of the *Anopheles* malaria vectors in Thailand. *Proceeding of the 3rd conference on malaria research, Thailand*. 1989, 146-162.
- Bohart, R. M. 1946. New species of mosquitoes from the Marianas and Okinawa (Diptera: Culicidae). *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 59: 39-46.
- Bohart, R. M. 1959. A survey of the mosquitoes of the southern Ryukyus. *Mosq. New*, 19: 194-197.

- Bohart, R. M. and Ingram, R. L. 1946a. Four new species of mosquitoes from Okinawa (Diptera: Culicidae). *J. Wash. Acad. Sci.*, 36: 46-52.
- Bohart, R. M. and Ingram, R. L. 1946b. Mosquitoes of Okinawa and islands in the Central Pacific. *U.S. Navmed.*, 1055: 1-110.
- Graves, P. M. and Curtis, C. F. 1982. Susceptibility of *Anopheles gambiae* to *Plasmodium yoelii nigeriensis* and *Plasmodium falciparum*. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, 76: 633-639.
- Green, C., Gass, R. F., Munstermann, L. E. and Baimai, V. 1990. Population-genetic evidence for two species in *Anopheles minimus* in Thailand. *Med. Vet. Entomol.*, 4: 25-34.
- Harrison, B. A., Rattanarithikul, R., Peyton, E. L., Mongkolpanya, K. 1990. Taxonomic changes, revised occurrence records and notes on the Culicidae of Thailand and neighboring countries. *Mosq. Syst.*, 22: 196-227.
- Higa, Y., Toma, T., Miyagi, I., Malenganisho, W. L. M. and Takagi, M. 1998. Morpho-taxonomical studies on two subspecies of *Anopheles soperi* (Diptera: Culicidae) from the Ryukyu Archipelago, Japan. *Med. Entomol. Zool.*, 49: 207-216.
- Ichimori, K. 1989. Susceptibility of *Anopheles stephensi* and other *Anopheles* strains to *Plasmodium yoelii nigeriensis*. *Jpn. J. Parasitol.*, 38: 150-151.
- Ichimori, K., Kurihara, T., Arakawa, R., Kamimura, K. and Nakamura, M. 1989. Susceptibility of *Anopheles omorii* to *Plasmodium yoelii nigeriensis*. *Jpn. J. Sanit. Zool.*, 40: 341-343.
- 上村 清. 1968. 日本における衛生上重要な蚊の分布と生態. 衛生動物, 19: 15-34.
- 上村 清. 1976. 日本産蚊科各種の解説. 蚊の科学 (佐々学, 栗原 毅, 上村 清著), pp. 150-288, 図鑑の北隆館, 東京.
- 上村 清, 丸山由紀子. 1983. 数種殺虫剤に対するコガタハマダラカ幼虫の感受性について. 衛生動物, 34: 33-37.
- 栗原 毅. 2002. 日本列島のマラリア媒介蚊 (南西諸島を除く). 衛生動物, 53 (補遺): 印刷中.
- 黒島直規. 1960. 八重山群島のマラリア撲滅の成果. 環境衛生, 7: 18-25.
- 宮城一郎, 當間孝子. 1978. 八重山群島の蚊科に関する研究 1. 石垣・西表島のハマダラカ属, とくにコガタハマダラカの発生について. 衛生動物, 29: 243-250.
- 宮城一郎, 當間孝子. 1980. 八重山群島の蚊科に関する研究 5. 西表島の山脚, 森林地帯で採集した蚊について. 衛生動物, 31: 81-91.
- Miyagi, I. and Toma, T. 1982. Studies on the mosquitoes in the Yaeyama Islands, Japan. 6. Colonization and bio-nomics of *Aedes (Verrallina) iriomotensis* and *Aedes (Verrallina) atriisimilis*. *Mosq. News*, 42: 28-33.
- Miyagi, I. and Toma, T. 1989. Experimental crossing of *Aedes albopictus*, *Aedes flavopictus downsi* and *Aedes riversi* (Diptera: Culicidae) occurring in Okinawajima, Ryukyu Islands, Japan. *Jpn. J. Sanit. Zool.*, 40: 87-95.
- 宮城一郎, 當間孝子, 伊波茂雄. 1983. 八重山群島の蚊科に関する研究 8. 与那国島の蚊について. 衛生動物, 34: 1-6.
- Miyagi, I., Toma, T., Malenganisho, W. L. M. and Uza, M. 1996. Historical review of mosquito control as a component of malaria eradication program in the Ryukyu Archipelago. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Hlth.*, 27: 498-511.
- 宮城一郎, 當間孝子, 照屋寛善. 1974. “終戦直後 (1946-1948 年) 沖縄本島北部の森林内で大流行したマラリアの主要伝播蚊と思われるオオハマハマダラカ”. 日本熱帯医学会雑誌, 13: 187-188.
- Miyagi, I., Toma, T., Zayasu, N. and Takashita, Y. 1994. Insecticide susceptibility of *Culex quinquefasciatus* larvae (Diptera: Culicidae) in Okinawa Prefecture, Japan in 1989. *Jpn. J. Sanit. Zool.*, 45: 7-11.
- Oguma, Y. and Kanda, T. 1976. Laboratory colonization of *Anopheles sinensis* (Wiedemann, 1828). *Jpn. J. Sanit. Zool.*, 27: 319-324.
- 大浜信賢. 1947. 八重山ニ於ケルマラリアノ流行学的研究 第 II 報, 石垣島ニ於ケル新ニ発見シタルアノフェレスノ一種. アノフェレス・オーハマイ, ANOPHELES OHAMAI (ISHIGAKI ISLAND), 1947, ニ就イテ. 八重山民生府衛生部業績, 4: 1-15.
- 大浜信賢. 1968. 八重山のマラリア撲滅 随筆・あの日の頃, 447 pp. 信母書籍, 東京.
- 大鶴正満. 1949. 日本産 *Anopheles hyrcanus* の一新型に就いて. 福岡医学雑誌, 40: 139-148.
- 大鶴正満, 長島義介, 中村靖人, 岸本高男. 1976. 沖縄産シナハマダラカ群の卵型調査, 衛生動物, 27: 301-303.
- 崎原盛造, 西 貴世美, 當山富士子, 宇座美代子, 平良一彦. 1994. 第2次世界大戦中琉球諸島に流行したマラリアに関する再考察—とくに八重山群島を中心として—. 民族衛生, 60: 67-84.
- Somboon, P., Walton, C., Sharpe, R. G., Higa, Y., Tuno, N., Tsuda, Y. and Takagi, M. 2001. Evidence for a new sibling species of *Anopheles minimus* from the Ryukyu Archipelago, Japan. *J. Am. Mosq. Control. Assoc.*, 17: 98-113.
- Strickman, D., Miller, M. E., Kim, H. C. and Lee, K. W. 2000. Mosquito surveillance in the demilitarized zone, Republic of Korea, during an outbreak of *Plasmodium vivax* malaria in 1996 and 1997. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 11: 377-378.
- Sucharit, S. 1988. Research in taxonomic classification of *Anopheles minimus*. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Hlth.*, 19: 86.
- Sucharit, S. and Choochote, W. 1982. Hybridization of *Anopheles minimus* and *Anopheles aconitus* (Diptera: Culicidae) in Thailand. *J. Med. Entomol.*, 19: 290-292.
- Tanaka, K., Mizusawa, K. and Saugstad, E. S. 1979. A revision of the adult and larval mosquitoes of Japan (including the Ryukyu Archipelago and the Ogasawara Islands) and Korea (Diptera: Culicidae). *Contrib. Am. Entomol. Inst. (Ann Arbor)*, 16: 1-987.
- Tanaka, K., Saugstad, E. S. and Mizusawa, K. 1975. Mosquitoes of the Ryukyu Archipelago (Diptera: Culicidae). *Mosq. Syst.*, 7: 207-233.
- Teller, L. W. and Gentry, J. G. 1955. Report of a malaria survey of the Yaeyama islands. *Proceeding of Forth-Second Annual Meeting, New Jersey Mosquito Extermination Association*, 43-47.
- 照屋寛善. 1975. 沖縄における主要感染性疾患の戦後における消長. 沖縄県公衛研所報, 9: 175-217.
- Toma, T., Higa, Y., Malenganisho, W. L. M. and Miyagi, I. 2001. Study on the biology of *Anopheles soperi* (Diptera: Culicidae) for maintenance under laboratory coloni-

- zation. *Med. Entomol. Zool.*, 52: 219–226.
- Toma, T. and Miyagi, I. 1986. The mosquito fauna of the Ryukyu Archipelago with identification keys, pupal descriptions and notes on biology, medical importance and distribution. *Mosq. Syst.*, 18: 67–109.
- 當間孝子, 宮城一郎, 知念高子, 畠添日佐子. 1992. 沖縄県各地のヒトスジシマカ *Aedes albopictus* 幼虫の殺虫剤感受性について. *衛生動物*, 43: 331–336.
- Toma, T., Miyagi, I., Kishimoto, T., Higa, Y., Hatazoe, H. and Zayasu, N. 1993. Insecticidal resistance of *Culex tritaeniorhynchus* Giles (Diptera: Culicidae) in Okinawa Prefecture, Japan, in 1970–1972 and 1989. *Jpn. J. Sanit. Zool.*, 44: 263–269.
- Toma, T., Miyagi, I., Malenganisho, W. L. M., Murakami, H., Nerome, H. and Yonamine, M. 2002a. Distribution and seasonal occurrence of *Anopheles minimus* in Ishigaki Island, Ryukyu Archipelago, Japan, 1998–1999. *Jpn. J. Sanit. Zool.*, 53 (supplement): In press.
- Toma, T., Miyagi, I., Malenganisho, W. L. M. and Tamashiro, M. 1998. Insecticide susceptibility of *Anopheles minimus*, *An. soperi* and *An. sinensis* larvae (Diptera: Culicidae) in Okinawa Prefecture, Japan, in 1993 and 1994. *Med. Entomol. Zool.*, 49: 227–230.
- Toma, T., Miyagi, I., Malenganisho, W. L. M., Tamashiro, M., Takagi, M., Higa, Y., Tsuda, Y., Sugiyama, A. and Ishak, H. 1996a. Distribution and seasonal prevalence of the malaria vector mosquito, *Anopheles minimus*, in Ishigaki Is., Ryukyu Archipelago, Japan, 1990–1994. *Med. Entomol. Zool.*, 47: 63–72.
- Toma, T., Miyagi, I., Takagi, M. and Tsuda, Y. 1996 b. Survey of *Anopheles minimus* immatures in Miyako Island, Ryukyu Archipelago, Japan, 1991 and 1995. *Med. Entomol. Zool.*, 47: 167–170.
- Toma, T., Miyagi, I., Tamashiro, M. and Tsuzuki, A. 2002b. Susceptibility of the mosquitoes *Anopheles minimus*, *An. sinensis*, and *An. soperi* (Diptera: Culicidae) from the Ryukyu Archipelago, Japan, to the rodent malaria *Plasmodium yoelii nigeriense*. *J. Med. Entomol.*, 39: 146–151.
- Tsuda, Y., Takagi, M., Toma, T., Sugiyama, A. and Miyagi, I. 1999. Mark-Release-Recapture experiment with adult *Anopheles minimus* (Diptera: Culicidae) on Ishigaki Island, Ryukyu Archipelago, Japan. *J. Med. Entomol.*, 36: 601–604.
- Wilkinson, R. N., Gould, D. J. and Boonyakanist, A. 1974. Laboratory colonization of *Anopheles minimus* Theobald. *Mosq. News*, 34: 29–32.
- World Health Organization 1966. Report of the WHO evaluation team on malaria eradication in the Ryukyu Islands. WPR/419/65/ 1–53.
- 八重山保健所. 1962. 八重山群島のマラリア撲滅の成果. 1–9.
- 安富和男, 高橋三雄. 1989. 沖縄産知念産コガタアカイエカの殺虫剤抵抗性, とくにピレスロイド剤に対する抵抗性の機構について. *衛生動物*, 40: 315–321.
- 安富和男, 浦辺研一, 和田義人. 1986. 埼玉県におけるシナハマダラカおよびコガタアカイエカの殺虫剤抵抗性. *衛生動物*, 37: 357–362.
- 吉野高善. 1956. 南部琉球八重山群島のマラリアに就いて. *鹿児島医学雑誌*, 29: 105–124.
- Yuan, Y. 1987. Studies on the two forms of *Anopheles (Cellia) minimus* Theobald, 1901 in China (Diptera: Culicidae). *Mosq. Syst.*, 19: 143–145.