総 説

フィラリア伝播効率に及ぼす媒介蚊の要因

栗 原 毅 前田龍一郎

帝京大学医学部寄生虫学教室 (〒173 東京都板橋区加賀)

(受領: 1980年8月6日)

Entomological factors affecting the transmission
of mosquito-borne filariasis

Takeshi KURIHARA and Ryuichiro MAEDA

Department of Parasitology, Teikyo University School of Medicine,
Itabashi, Tokyo 173, Japan

蚊が媒介するフィラリア病に関して、二つの意図をもってこの総説を作製した。第一はスナネズミ、マレー糸状虫などを用いたフィラリアの動物実験系の維持のうえで、より能率よく伝播を成立させていくためには、終宿主のミクロフィラリア密度、蚊のとりこみ数、蚊の生存率などを考えて、どのような状況下で蚊の吸血・飼育をさせたらよいか。第二は、これを逆用して、フィラリア病流行地域で伝播の実態を監視したり、流行阻止作業を進めるうえで、昆虫学的な重要点は何であるか、が浮かび上がらないか。

周知のように、フィラリア仔虫は媒介蚊の体内では、仔虫数が減少することはあっても増殖はしない。したがって能率よい伝播とは媒介蚊群になるべく多数のミクロフィラリアをとりこませ、かつ最低の減少度のレベルを求めて適用することになる。蚊体内での仔虫の生活史を、そのポピュレーションの変動という面から、従来の知見を整理してみた。

また予防と伝播阻止を主軸とする本病の対策において、流行地では伝播の状況を把握していることが、媒介昆虫の担当者にとって重要な業務となる。伝播の強さ、その季節的な変化、集団駆虫の効果判定などを客観的に、伝播状況の変化という面からとらえるのにはどのような要因をおさえればよいか。これらの要因を数量的に表現することができないか。こうした流行地での実務面をも考慮して、伝播についての検討をも加えた。

なお本文では、蚊媒介のヒト・フィラリア病を主体とし、次の略称を用いている。

W. b.: *Wuchereria bancrofti*B. m.: *Brugia malayi*B. p.: *Brugia pahangi*

Mf : ミクロフィラリア

1. 蚊の Mf とりこみ

a. とりこみ数と期待値

宿主のもつ Mf 密度が高くなると、吸血蚊の中腸内に Mf が見いだされる蚊の比率 (Mf とりこみ率) は、相対的に高くなり、密度が $5/\text{mm}^3$ を越すと100%に達する (Jordan and Goatly, 1962), あるいは、とりこみ率 y と Mf 密度 x に、 $y=41.654x+48.735$ の関係がある (山本, 1964), という報告が知られている。また蚊にとりこまれる Mf の数も、高密度であるほど、多数になり、Jordan and Goatly (1962) では、両者の相関係数が0.9と著しく高い。しかし、蚊がとりこんだ Mf 数を、宿主 (吸血源) の Mf 密度から推測することは、意外に難しい。従来、吸血蚊の吸血量を測定して、宿主の Mf 密度から換算し期待値として算出され、実際にとりこんだ Mf 数 (実測値) と比較して、多くの討議がなされてきた。

Hawking and Worms (1961) は、従前の感染実験を総説して「Mf とりこみ数にはバラツキが大きい、一般的には宿主の Mf 密度からの期待値より少ない。しかし、 $0.2/\text{mm}^3$ といった低密度宿主からの吸血とりこみでは、ほぼ期待値どおりの Mf 数をとこむ」と記している。Kershaw ら (1953) が、すでにこの状況を

子細に観察しているが、最近では Gubler ら (1973) が、ほぼこの見解に沿った成績をえた。しかし、この成績 (W. b.) は、同一人から同時刻に吸血したとは思えない程にとりこみ数の変異幅が大きい。平均値に換算すると宿主の Mf 密度が $10/\text{mm}^3$ 以上では期待値より少ない、それ以下ではほぼ期待値どおりという結果になった。また Obiamiwe (1977b) は、血液を薄膜を通して蚊に吸わせたが、Mf (B. p.) ととりこみ数の平均値は、Mf 密度相応に上下するがどれも期待値のだいたい $1/3$ の値であった。1 回に 10 匹前後の蚊を供し 21 群試みたが、期待値以上とりこんだ群はなかった。これらはいわば、「過少とりこみ説」をしめした例といえよう。

これに対し、吸血蚊の Mf ととりこみが、期待値をはるかに上まわり、蚊が Mf を選択的にとりこんでいるような印象を与える、いわば過剰とりこみ説の実験例がある。Ramachandran (1966) は、ネッタイシマカをネコ (B. m.) から吸血させた 3 グループのいずれもが、3 匹のネコそれぞれの Mf 密度から算出した期待値を、3 倍以上も上まわる成績をえた。57 匹中 6 匹の蚊が期待値を下まわったのみで、中には 10 倍以上とりこむ蚊もいた。近年、濾過膜濃縮法などの導入で、超低密度の Mf 保有者の存在が知られ、その保虫者が伝播に関与するかどうか、疫学的意義が問われるようになって、低密度保虫者からの過剰とりこみ説が、注目をあびるようになった。

Bryan and Southgate (1976) は、 $0.01/\text{mm}^3$ という低密度 Mf 保虫者 (W. b.) からの吸血で、670 匹の蚊が、7.2~11.8% の感染率を示し、計 80 匹のフィラリア仔虫を回収した。中には 2 匹の仔虫をとりこんだ蚊もいた。吸血量 1.3mg で、回収の期待値は合計 5~6 匹と算出されていたので 15 倍もとりこんだことになる。また Carme and Laigret (1979) は、度々の多量採血の検査でも遂に Mf を証明しえなかった人に、*Aedes polynesiensis* 室内育成蚊 100 匹を吸血させたところ、そのうち 1 匹から 5 匹の III 期仔虫を回収して xenodiagnosis に成功した。

過少、過剰の二つのあい反する見解を支持する報告は他にもある。しかし子細に検査するとどちらともいえないデータも多い。Ramachandran and Zaini (1967) は、トウゴウヤブカ 63 匹をネコ (B. m.) から吸血させて、過少とりこみだったとしているが、吸血蚊の合計とりこみ Mf 数は 1,096、期待値の合計は 759.9 である。4 段階の Mf 密度吸血源を供しているが、明らかに期待値以下だったのは、 $7.28/\text{mm}^3$ という最高密度の吸血群だけであった。また Obiamiwe (1977b) は、Jordan and Goatly (1962) の成績を、過剰とりこみ説に採用してい

るが、原著者らは「一見過剰にとりこんでいるが、これはほんの数匹の蚊が 800 以上もの Mf をとりこんだため、期待値以上あるいは以下の Mf をとりこんだ蚊の個体数の差異は統計的に有意なものではない。過剰とりこみの証拠はない」と記している。この実験は W. b.—ネッタイエカによって行われている。

過剰とりこみは、Ramachandran (1966) 以外では、Mf の著しい低密度の際にみられるようであるが、低密度ゆえに必ず起こる現象ではない。山本 (1964) の成績 (W. b.) は、34 組の蚊の感染実験で 7 組を除き期待値には達していないと推定されるが、 $0.06\sim 1.0/\text{mm}^3$ といった低密度でも期待値以下であった。Ramachandran and Zaini (1968) も $0.017/\text{mm}^3$ (B. m.) で、Mf ととりこみ蚊を見だしていない。Samarawickrema ら (1979) は、同じ西サモアで、Bryan and Southgate の成績の追試をしているが、同じ *Ae. polynesiensis* で、30 回のテスト中、25 例が期待値より多い結果であった。しかしせいぜい 2 倍程度のとりこみで、 $0.02/\text{mm}^3$ 以下の低密度がとくに過剰にとりこんだこともなかった。*Ae. samoanus* も供したが、やはり 1.3~1.5 倍のとりこみになった。

b. とりこみ数変動の諸要因

Mf ととりこみ数は、期待値と一致するのではないかと考えさせるデータも多い。大森 (1958) (W. b.) は、467 匹の吸血アカイエカ中 47.9% が期待値より少なく、52.1% が余計にとりこんだ、そしてその分布様式は明らかに集中型を示し、蚊は個体別に吸血か所の Mf 密度を反映したとりこみをしていると考えている。Ramachandran and Zaini (1967) の報告も蚊を個体別にみれば、57.1% の蚊が期待値より少なく、残りは同等かまたは過剰にとりこんでいるし、Wharton (1957a) (B. m.) は、とりこみ Mf 数平均値は期待値の 1.5 倍だが、40 匹中 23 匹 (57.5%) が、期待値を下まわった。Pacheco ら (1972) は、*Dipetalonema viteae* の Mf をとりこんだマダニで、とりこみ数は個々様ではなく、過剰、過少あるが、これらの回帰直線を求めると、期待値とよく一致すると報告している。

とりこんだ Mf 数の分布様式が集中型を呈することについては、その後、田中ら (1963) がコトナラットとイエダニ、Schmid and Robinson (1972) はムクドリ の Mf をとりこんだヌカカ、また和田ら (1977) はマレー糸状虫とトウゴウヤブカなどの組みあわせで検討され、いずれも負の二項分布に一致するとされている。したがって、Mf ととりこみ数の平均値算出は、十分なサンプル数がないと、期待値との大少判定に結論を誤ることになる。

過剰あるいは過少とりこみを経験した多くの実験者は、Mf とりこみにさいしての機構について種々の考察を加えている。過剰とりこみを再現した著者らは、一樣に、蚊の吻端には Mf を集中する、あるいは、Mf には口吻に誘引される機能があるのではないかと考えている。Obiamiwe (1977b) は、この誘引の能力が、B. m. と W. b. とでは異なっているのではないかと考え、Ramachandran and Zaini (1968) は、蚊の種によってとりこみのマナーが違う、と考えた。前述の大森(1958)の報告を、トウゴウヤブカで追試した中村(1964)は、この蚊では、期待値の $1/5 \sim 1/2$ であると報告した。しかし同じトウゴウヤブカでも和田ら(1977)は、ネコ(B. m.) から吸血した台北産の蚊は期待値より多く、三崎産のコロニーは少なくとりこんだ、ということからとりこみ数の大少は種特有の現象とはいえない。

蚊個体ごとの吸血量の差異が、とりこみ Mf 数の差異となって表現されることは考えられることだ。しかし吸血量を測定した従来の報告は例外なく、吸血量ととりこみ Mf 数の間に正の相関はなかったと結論している。ただし従来の研究の多くは、吸血量を、吸血前後の体重の差によって、しかも数匹以上の蚊をプールして扱い、その平均値によって個体の吸血量とし、Mf 数は一匹ごとの中腸内から、塗抹標本によって測定しているのだから、必ずしも厳密に検討された値ではない。前田・栗原(1980 a, b) は、Briegel ら(1979)の個体別吸血量測定法と濾過膜利用の Mf 分離法を組み合わせ、個々の蚊の両者の数値を測定した。この結果は、同時の吸血でも、Mf とりこみ数が、1 から 70 までふれ、吸血量は $2 \sim 8 \text{ mm}^3$ とばらついた。吸血量の多い蚊が多数の Mf をとりこんでいる傾向は認められるが、両者の相関係数は $+0.5$ であった。そしてどの蚊も期待値よりは少なく Mf をとりこんでいた。

この実験ではさらに、同一飼育歴の同じ群のトウゴウヤブカで、羽化後 5 日と 12 日の吸血を比較したところ、5 日の方が吸血量、Mf 数とも、はるかに多かった。それもとくに Mf のとりこみ数が多いのが顕著であったことから、とりこみ数の多少に影響する要因はかなり複雑と思われる。

過少とりこみの原因を、吸血蚊が吸血中または、直後に肛門から排泄液とともに Mf を出してしまうからという考えもある。しかし、Jordan and Goatly (1962)、山本(1964)とも、排泄液中の Mf 数は著しく少数であると報告している。また、吸血中に頭部の cibarial armature と、pharyngeal armature の 2 か所のネックを血液とともに通過するさいに Mf が傷つけられ行動力を失い、中腸内でのカウントに入らないことも考えられる

(Coluzzi and Trabucchi, 1968; McGreevy ら, 1978)。この歯状機構は、どの蚊種にも備わるものではなく、Bryan ら(1974 a, b) は、ネッタイシマカは cibarial を欠き、*An. gambiae* は両方ともあるため、中腸内の Mf 数で前者は 15%、後者は 80% が破損していたという。Omar and Zielke (1978) は、ここで破損をまねがれた Mf は、*An. gambiae* 体内で、以後きわめて高い生存率を保つという。

これに対して過剰とりこみ現象を説明することは難しい。Wharton (1957a) の *Mansonia* による B. m. とりこみは平均 1.5 倍過剰とりこみであったが、彼はその原因を「吸血後の蚊の体重測定が、それ以前の蚊の排泄液の重量を考慮に入れなかったため、過少に評価され期待値を低めに計算した」と考えている。このほかに、Denham ら(1971)、和田ら(1977)が、塗抹した Mf がスライドガラス上を離脱する危険性も指摘している。

最も基本的には終宿主の Mf 密度は、蚊の吸血が所のどこでも同一値を示すか、という点がある。Burren (1972) はネコ(B. m.) の左右の耳から 6 サンプルずつ採血し、密度平均値は左右とも等しいが、サンプル中の最大値は最小値の 2~3 倍にもなること、Nathan and Rac-curt (1979) は人耳たぶからの採血(W. b.) が指端の採血の Mf 密度の 4 倍以上で有意な差異のあることを報告している。しかし Gubler ら(1973)は、静脈採血でも末梢血採取でも Mf 密度に変化はなかったとし、和田ら(1977)は、同一宿主、同一か所の Mf 密度分布はポアソンと一致した、という報告もあるので、今後の検討課題といえよう。

2. 蚊体内での仔虫数の減少

a. 実験感染指数

ある吸血蚊群がとりこんだ Mf が、Ⅲ期に達するまで、生存していた蚊だけを対象にして、Ⅲ期保有率 = infective rate; mature larva rate; 完熟幼虫保有率(山本, 1964)、あるいはⅢ期仔虫保有数(mature larva density)を求めるのは、しばしば採集蚊の解剖成績の説明に用いられる。これを前述の諸感染実験に適用すると、Ⅲ期保有率は、吸血源の Mf 密度が高いときは、高率になる傾向が強いが、100%を示すことは少ない。山本(1964)は、保有率と、Mf 密度との間に直線回帰式を算出したが、100%に達するのは $100/\text{mm}^3$ 以上という高密度の Mf をとりこむ場合となった。

一方、生存蚊のⅢ期保有数平均値については多くが、ある Mf 密度で、頭うちの値を示している、その値は Jordan and Goatly (1962) (W. b. ネッタイイエカ) では密度 $6.5/\text{mm}^3$ で 7.2 匹; 山本(1964) $9.4/\text{mm}^3$ で

7.5匹 (W. b. ネッタイエカ) ; Ramachandran and Zaini (1968) (B. m. トウゴウヤブカ) $6\sim7/\text{mm}^3$ で15匹 ; Obiamiwe (1977b) (B. p. アカイエカ) $13/\text{mm}^3$ で5.1匹といった値である。これ以上高密度の Mf をとりこんでもⅢ期仔虫数の平均値はふえないという域値である。Pacheco ら (1972) は, *Dipetalonema* で上限値が20~30の頭うちを描く曲線で示している。

このような実験感染の効率を、蚊種間等で比較するために、Kartman (1954) は、Index of experimental infection=実験感染指数 (山本, 1964) を提示した。これは (a) 吸血した蚊の生存率, (b) 生存蚊のⅢ期仔虫保有率, (c) Host Efficiency Ratio (HER) として、Ⅲ期仔虫の生存蚊あたり平均保有数/Mf とりこみ数の平均値、三つの積である。その後 Wharton (1957a) は、Ⅲ期仔虫総回収数/吸血蚊総数で指数をあらわし、また WHO (1962) は、Wharton の式を吸血源密度で割った値を提示した。山本 (1964) は、Kartman の式を用い、Mf 密度 $1\sim2/\text{mm}^3$ (とりこみ数3.3) のとき、0.55で最大値をえた。また Jordan and Goatly (1962) も、ほぼ同じ結果をえたが、Wharton の式では、Mf 密度の差異は、指数としては大きな影響を示さなかった、としている。これらの指数は、相対的に効率を示すため尺度が異なり、表1にみるように、同一データでも異なった傾向を示している。

Mansonia 属の蚊が B. m. に高い HER 値をもつことが知られている (Wharton, 1957a, b). $0.9\sim10.2/\text{mm}^3$ の密度の Mf とりこみ蚊の10.5日後の死亡率が3~14%, 生存蚊は、とりこみ数とはほぼ同じ4.1~47.9のⅢ期をもつ。しかし Mf 密度23.6という高密度では低下し10匹程度のⅢ期仔虫保有になるので、やはり頭うちの状況だが、域値はきわめて高い。この属の特異な Mf 親和性は *B. patei* とりこみでも見られ、*M. uniformis* は、平均16.5, 最大値58の Mf をとりこみ、その98%が胸筋に入り、半数の蚊が20匹以上 (最大69匹) のⅢ期を保有した (Laurence and Pester, 1961)。

b. 減少の要因

蚊の中腸内にとりこまれた Mf は、中腸壁を貫通脱出し、胸筋へ移行する。ここで発育して、Ⅲ期仔虫に育ち、終宿主へ感染をする。この間流行地では、10~15日を要しているが、とりこまれた仔虫の全部が生長を全うするわけではない。Pichon ら (1974) は、「Mf とりこみ数がある域値を越すと、parasite yield (蚊群がとりこんだ Mf 総数とⅢ期に育った仔虫数の比) は相対的に低下してⅢ期数がある頭うちになる場合と、逆に yield が高まり、多数のⅢ期仔虫を育てる場合があり」このちがいは、蚊の種の違いで生じるとしている。この para-

site yield は、とりこんだ Mf が、Ⅲ期にまで育つ間の生存率と同じであり、前述の Kartman の HER の値と吸血蚊の生存率を乗じた数値でも示される。

仔虫の生存率を左右する要因の一つは、仔虫の死である。その時期は、中腸内から脱出できずに Mf のまま死んでしまう初期死亡、体腔または胸筋内で成育中に死ぬ中期死亡、およびⅢ期に育っても宿主体内に入れず死ぬ後期の死亡と、仮に三大別されよう。蚊の種によってこの時期のいつが仔虫の死を多くもたらすか特徴的で、非感受性 (B. p.) のアカイエカ群にとりこまれた Mf は、99%が中腸内で死ぬが、ネッタシマカでは胸筋内での中期死亡率が高い (Obiamiwe, 1977a)。

仔虫の中腸壁貫通は、吸血の直後から見られ、5~15分ほどが最盛期となる (Esslinger, 1962)。したがって吸血後数時間以内に脱出できなかった Mf は、固まりかけた血液の中で行動力を失ってしまう (Ramachandran, 1966)。*Ae. scutellaris* グループの蚊は、3時間以内にとりこんだ蚊体内 Mf (B. p.) の95%が、中腸脱出に成功し、非感受性では、1.5時間以内に50%が脱出するので、感受性の区別規準とされている (Owen, 1978)。済州島の B. m. は、オオクロヤブカにとりこまれた場合、胸筋に移行して直後に死に、ヒトスジシマカではさらに後に死ぬ (Oda and Wada, 1980)。またネッタシマカの非感受性系統は、大部分の仔虫が、胸部侵入後に死ぬ (Omar and Zielke, 1978)。しかし感受性蚊群でも前項の諸実験の示すように、とりこみ Mf 数が著しく多いと密度効果が作用して仔虫の死が起こると思われる。

減少の要因の第二に、仔虫を蔵している蚊の死に附随して起こる減少がある。これもとりこみ初期と、仔虫が発育して後の時期にみられるケースがある。しかし、カエルを吸血してそのフィラリア *Foleyella flexicanda* の Mf をとりこんだ *Ae. triseriatus* が、Mf 密度の高低にかかわらず、吸血後1~2時間で100%死んでしまう (Benach and Crans, 1975) という極端な例を除いて、一般には蚊の飼育という不安定な条件が含まれているため、仔虫をとりにこんでいるために死んだか否か判定の難しいケースも多い。Rosen (1955) はタヒチで、*Ae. polynesiensis* が、Mf (W. b.) の宿主密度 $9.78/\text{mm}^3$ までは、蚊の生死に影響がないと報告したが、西サモアでの実験 (Samarawickrema ら, 1979) では密度0.1以下と、 $0.1\sim0.99/\text{mm}^3$ では、おのおの蚊の生存率22%, それが、1.0~5.29だと10.4%に低下した。ここでもやはり、とりこんだ Mf の密度が蚊の生死に影響する。後に Christensen (1978) は、宿主 Mf (*Dirofilaria immitis*) 密度と蚊の死亡率との間には、明らかな負の相関を見いだした。蚊の死も仔虫の密度効果のあらわれ

表 1 Index of Experimental Infection の計算例(前田・栗原, 1980 a による)

吸血時日令	5 日	12 日
吸血蚊数	188	186
Mf とりこみ総数*	3,741(19.9)	2,585(13.9)
14日後生存蚊数<生存率>	85<45.2%>	47<25.2%>
Ⅲ期保有蚊数<感染率>	45<52.9%>	32<68.0%>
Ⅲ期仔虫回収総数	227(2.67)	151(3.21)
算出値		
HER 値	0.134	0.231
Kartman's index	0.0321	0.0397
Wharton's index	1.207	0.811
WHO's index	0.086	0.057
Parasite yield	0.0606	0.0584

* 推定値

() 1 蚊あたり平均値

であろう。

前田・栗原(1980a)は、同一宿主(B. m.)から羽化後5日と12日の2群の蚊に吸血させた。表1はその成績だが、HERとKartmanのindexは後者が高く、他は逆になる。parasite yieldは、この点、Mfの生存率として素直な表現ともいえる。この表のようにとりこみ全数の94%が両群ともに生長しなかったのだが、5日群では55%のMfが、12日では75%が、蚊の死によって失われたと推察しうる。従来の多くの感染実験でもyield値は低く、宿主Mf密度が5/mm³のときとりこみMfは、Jordan and Goatly(1962)(W. b. ネットアイエカ)10%以下、Ramachandran(1966)(B. m. ネットアイシマカ)7~8%に減る。そして一般に宿主のMf密度が高まるほどyieldが低下する。さらにその低下の主な原因として蚊の死の要因の占める割合が強くなってくる。ただしその割合は、個々の実験(蚊の飼育維持法も関連して)によりまちまちで、宿主密度5/mm³程度でJordan and Goatlyは、yield低下の7~8%は蚊の死に依存するとし、同様に山本(1964)は65%(W.b. ネットアイエカ)、Ramachandran(1966)は21%、Samarawickremaら(1979)は88%(W. b. *Ae. polynesiensis*)と、大きく異なる。Wharton(1957b)の効率よい感染では10.2/mm³以下ではyield 0.7、10%が蚊の死により、また23.6/mm³という高密度でyield 0.2、うち、蚊の死により60%が失われている。*Mansonia*の例を除き、多くの感染実験で、yieldが10%以下と低率であることは、野外ではさらに低くなるであろうことを予想せしめる。

これに対して、Mf密度が高まると逆にyieldが増加するという例が、*An. gambiae*で示されている。Mf

(W. b.)とりこみ数1~70の範囲では、少数とりこみだとその20%以下が、多数とりこみでは50%が中腸壁を脱出した。同時に行ったネットアイシマカでは、少数とりこみ58%、多数とりこみで8%の脱出率となる(Bren-guess and Bain, 1972)。そしてこの蚊はMf密度7.5~11.5/mm³でも蚊の死亡率に影響がでなかった(Bren-guess and Coz, 1972)。前述Pichonら(1974)の「yieldが高まる場合」は、この例に基づいている。Omar and Zielke(1978)は、本種のMfとりこみ平均値が2.6、対照のネットアイエカが7.3であった。しかしⅢ期仔虫数は、前者が3倍も多かったという。前者はcibarial armatureでのバリアーの役目が、強力に果たしているからだと説明している。中腸内にとりこむMf数がたとえこのために減っても、そこで生存したMfは、密度効果を示さない。ただし、フィールドでは、Wijers and Kiilu(1977)が、ケニアではネットアイエカの方がⅢ期保有の数、率ともに高いと報告しているし、White(1971)は、タンザニアで、ネットアイエカの方が劣る、とあい反する報告をしている。またCrans(1973)による両種の比較実験では、ネットアイエカが数、率ともに高いが、感染蚊の死亡率も高い。

Ⅲ期仔虫の産生について影響する要因は、この他にもいくつか知られている。Duxburyら(1961)、Desowitz and Chellappah(1962)、Ramachandran(1966)は、若い蚊よりも古い蚊の方が、Ⅲ期仔虫保有率、あるいは保有数が多いことを報告している。前述のように前田・栗原(1980a)もこれを追試し、保有率は羽化後の日数を経た蚊の方が高かった。これらの原因は、まだ推定の域を出ていない。

Omori(1958)は、長崎で越冬前のアカイエカにとり

こませた Mf が、春には失われていることを見いだした。低温が、仔虫の活性を奪ったことになるが26~30°C, 80~90% RH の適当条件下でも18日余り保存されたネッタイシマカから、いるはずのⅢ期仔虫が見いだされなかった結果が報告されている (Ramachandran, 1966)。

異なる時点の Mf とりこみ、すなわち1回めの吸血で Mf をとりこみ、また2, 3回めでもとりこむ現象は、しばしば観察されている (Krafsar and Garrett-Jones, 1977; Suzuki, 1978)。Mf を実験的に、5/mm³ の宿主から、10日おいてとりこませた成績では、2回とも感染率、Mf の生長曲線、Ⅲ期仔虫数に大差がない (Meillon ら, 1967a)。したがって重複した Mf とりこみを嫌う抗体などの産生はないようだ。

c. Ⅲ期仔虫の終宿主移行

平均6.1匹のⅢ期仔虫 (W. b.) をもつネッタイイエカをヒヨコに吸血させ、吸血後に蚊の体内に残っている仔虫数を調べたところ、3.6匹 (59%) がヒヨコに感染されることなく、蚊の体内に残留していることがわかった。吸血直後には吻にとどまっている仔虫はいないが、吸血前に腹部にとどまっていた仔虫が、血液のとりこみによって胸部へ押し出され、次の吸血の際に蚊から宿主へ移行する予備軍となるらしい (Meillon ら, 1967b)。Ⅲ期仔虫をもつ蚊が吸血を完了する直前に、皮ふに刺し込まれている fascicle を切りとると吻の仔虫は、皮膚の表面にはみられても、皮膚組織内にはみられない。したがって、仔虫は刺し口の吻をぬいた後に皮膚に侵入する (Ewert, 1967)。しかし、皮膚内に侵入できないで死ぬ仔虫も多く、Ⅲ期総保有数の45.4%に達する。また1回の吸血で32.3%はなお蚊体内にとどまり終宿主へ移されたものは22.3%にすぎない。吻を刺しても吸血しなかった蚊では、終宿主へ移行したもの3.4%、蚊体内に残留しているもの66.7%となった (Ewert and Ho, 1967; Ho and Ewert, 1967)。

Zielke (1976) は、同様な実験を、人工膜を通した吸血時に観察し (W. b.), *An. gambiae* では79.6%の仔虫が体内にとどまり、膜を通りぬけたのは6.6%にすぎなかった。モルモットを吸血させた場合は、体内に残留している率がやや低くなる。この実験でさらに興味あるのは、より多数の仔虫をもつグループは、吸血を拒否していることである。また、砂糖水をガーゼを通じて吸った蚊は、0.3~1.6%の仔虫を放出したにすぎない。しかしⅢ期の終宿主への移行は、比率であらわす場合、常にこうした低率とは思えない。和田ら (1977) は、この比率は、蚊がもつ仔虫数平均1.92だと57%, 1.37では63%, 0.57では61%と、保有仔虫数によりちがいがあるといふ。概して少数保有では吻に多く集まり、移行の率は

高まると考えられる。フィラリアの種によってもこの差は明白で、Zielke (1979b) は、B. m., B. p., W. b. の3種を比べて、終宿主へ移行する比率 (蚊体内から出た率×終宿主体内へ入った率) は、順に19.6%, 22.2%, 5%, で W. b. は、皮膚表面に残される率は高く、移行の率が低い。Laurence and Pester (1961) は、ヌマカ体内のⅢ期仔虫分布を比べているが、W. b. は、*Brugia* に比べて、頭部にいる率が低いという。バンクロフトの方が、感染の効率は劣るようだ。

終宿主の種も、蚊からのⅢ期移行に影響を及ぼす。トウゴウヤブカ (B. p.) は、ネコを吸血するときの方が、マウスに対するよりも、早期に (吸血開始後5秒で57%), かつ全体でも91.35%と多数を移行させるが、マウスに移行したのは73.98%と少なかった (Ho and Lavoipierre, 1975)。感染に際しては、仔虫のⅢ期までの死亡率に、さらに終宿主移行時のロスを考慮せねばならない。

3. 伝播の実態調査

a. 蚊の生存率

Rozeboom ら (1968) は、カルカッタの W. b. 流行地で、ネッタイイエカの Mf 保有数平均値と、Ⅲ期仔虫保有数平均値を求め、自然条件下で HER は0.053と算出した。彼らは蚊の日死亡率が25%と報告しているので、10日間の蚊生存率は0.056と計算される。したがって yield は0.053×0.056=2.96%, 仔虫数減少の理由はほとんど蚊の死亡に由来している、と推察される。しかもとくに感染に伴う高死亡率ではなさそうである。

近年、蚊の卵巣の観察と産卵間隔を知ることによって、蚊群の日死亡率、さらには平均余命を計算できるようになった。Laurence (1963) は南インド、Samarawickrema (1967) はスリランカのおおの W. b. 流行地で、Mf をとりこんだネッタイイエカの日死亡率を、とりこまなかったものと比べて、いずれもほぼ20%で、感染蚊がとくに死にやすいという証拠はないとしている。Krafsar and Garrett-Jones (1977) もアフリカで *An. gambiae* が、最初の吸血に際して Mf をとりこんだと仮定して、保有している仔虫の各ステージの数は、Mf とりこみ後の日数にかかわらず一定で減少を示さない、また算出された蚊の日死亡率も感染・非感染蚊とも16.4%前後とほぼ等しいことから、Mf とりこみの影響を否定している。われわれは、まだ十分な証拠をもってはいるわけではないが、流行地で蚊は、Mf のとりこみによって生存率に影響を受けることはあまりないのではないか。

Abdulcader and Sasa (1966) はスリランカで、3年

間の集計調査から、4,497人の陽性者の98.7%が、Mf 密度 $5/\text{mm}^3$ 以下であり、Ⅲ期保有蚊総計277匹の98.6%が、Ⅲ期保有数14以下であった。Mf 5以下の人を吸血した蚊の Mf とりこみ数は15以下と仮定すると、良く一致する比率で、高密度の保虫者から吸血した蚊もとくに高い死亡率を示さなかったと思われる。同じ土地で、Samarawickrema and Laurence (1978) は、さらに子細に解析し、Mf とりこみ数の平均値が10.3、しかし31以上とりこんだ蚊は、13.3%いた。Ⅲ期保有数の平均値が2.6 (HER が0.25) だが、31以上保有しているものはゼロ匹で、16以上保有が2.5%いた。室内実験の結果もあわせ、Mf 平均値10.3の半数は胸筋へ移行できずに死に、さらにその半数は胸筋内で生育をできず2.6という平均値になる。しかし胸筋内での半減は仔虫自体の死というよりは、高密度にとりこんだ蚊が死んだために、平均値を半減させられたとみている。

Wharton (1962) は *Mansonia* (B. m.) で、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ期別に保虫数の頻度分布を示している。Ⅰ期は平均6.1、Ⅱ期4.7で、ともに40以上の仔虫をもつ蚊もいる。Ⅲ期は平均4.45だが、30以上保有する蚊はいない。したがって減少は、多数とりこみ蚊の死または、その仔虫の密度効果によるところが大と推察される。この場合の HER は0.72と著しく高い。

b. 伝播レベルの数量的表現

上述のような報告で推察するに、フィラリア流行地では終宿主の Mf 保有状況が一定の条件下では、媒介蚊の生存率が伝播の程度の尺度として重要な役割をもっているといえよう。Wada and Omori (1978) が、トウゴウヤブカとアカイエカの伝播効率を、蚊体内で仔虫がⅢ期に到達して以降の時点における蚊の平均余命と比較しているのがその例である。マラリアではすでに、Macdonald, Garrett-Jones らにより、蚊の日生存率と人吸血密度を主たる係数として Basic reproduction rate あるいは Vectorial capacity という名の、伝播を測る数式、あるいは近々発生するであろう患者数を予測する式が導き出され(栗原, 1971紹介)、近年 Molineaux (1978, 1979) が、熱帯熱マラリア流行地で予測して、よく適中し評価を高めた。この数式でえられる値は、一人の患者から媒介蚊を通じてえられるであろう二次感染者の数で、伝播の強さを明確に示すものだ。

ところがこの式をフィラリアの伝播に適用するためには、いくつかの前提条件の検討が必要である。その一つは、病原体をとりこんだ媒介蚊の生存率が、正常の蚊と変わらないか否かである。既述のように、この点、明確な結論をえていない。また、終宿主の末梢血に Mf が出現するまでに何回の感染を必要とするかが未解決であ

る。たとえば Zielke (1977a) は計2,464のⅢ期仔虫(B. m.) をもつと推定される2,250匹のネッタイシマカを、22頭のスナネズミから自由に吸血させ、その4か月後に剖検して B. m. 成虫の回収を試みたところ、回収数88 (3.5%) で、しかも2頭は感染をしていなかった。したがってこの数式は、今のところフィラリア症では、新患者数の予測には使えず、単に伝播の動向を示唆する相対評価の指標としての価値をもつといえよう。

しかし適切な係数が加われば、この式はフィラリアの伝播力を示すものとなるだろう。そのための試みとして、たとえば Webber (1977) は、Hairston and Meillon (1968) の後述する推定値 (15,500匹のⅢ期保有蚊に刺されると Mf 保有者になる) を係数に加えて、試算している。また、Bryan and Southgate (1976) は、西サモアの島で一日に生産されるであろうⅢ期仔虫数で算出するべく、Mf 保有者数、Ⅲ期仔虫数平均値等を係数に加えている。

相対的に伝播程度を評価しようという試みは、すでにいくつか知られている。これらは、比較的短期間に解答が求められ、その要因は、限られた人員でカバーすることができ、なおかつ伝播の実体に迫る意味のあるものでありたい。WHO (1974) は、この研究を進めるべき要因を5項目に区分列記し、さらに Sasa (1976) が、これを改良し解説を加えたが、さらにその一部を改めて、次のような項目が伝播に関与する要因と考えている。

(1) 終宿主に関与して

a. 終宿主体内でのフィラリアの成長

1. 寄生した仔虫の生長率、2. Mf を産むにいたる個体の比率、3. Mf 産出継続期間

b. 終宿主集団の伝播に関与する条件

1. Mf 陽性率、2. Mf 密度分布、3. 蚊吸血相当量中の Mf 密度

(2) 媒介昆虫に関与して

a. Mf のとりこみ

1. とりこみ数の変異幅、2. 吸血時刻と末梢血中 Mf 出現時刻の適合性

b. 昆虫体内での仔虫生長と終宿主移行

1. 生長所要日数と仔虫生存率、2. 昆虫の生存率、3. 吸血時の終宿主への移行率

c. 昆虫集団の生態的要因

1. 1終宿主の年間刺咬数、2. Ⅲ期保有率と、平均保有数、3. Ⅲ期保有昆虫の年間刺咬数、4. 人嗜好性と吸血間隔

これらの要因を数で表していくと、伝播の状況を表現できるかもしれない。現に、Beye and Gurian (1960) は、1匹の Mf が、成虫に育つ確率を算出することを

表 2 各地の Intensity of transmission

著者	調査地	Wharton (1962)	Rozeboom (1968)	Hairston and Meillon (1968)	White (1971)	Gubler (1974)	Wijers (1977)	Kuhlow and Zielke (1978)	Self (1978)
		マレー半島	カルカッタ	ラングーン	タンザニア	カルカッタ	ケニア	リベリア	ジャカルタ
フィラリア種		B. m.	W. b.	W. b.	W. b.	W. b.	W. b.	W. b.	W. b.
媒介蚊種*		M.	C. p. f.	C. p. f.	3 sp.	C. p. f.	C. p. f.	Anoph.	C. p. f.
吸血飛来数/年/人		7,452	3,187	82,873	7,620	115,000	—	36,450	223,000
Ⅲ期保有飛来/年/人		38	50	298	185	1,725	46**	536	647
Ⅲ期保有率 %		0.8	1.5	0.4	2.4	1.5	0.97	1.5	0.29
Ⅲ期仔虫平均保有数		5.1	3.64	4.54	—	3.19	3.36	2.3	3.0
Intensity***		193	182	1,504	—	5,502	155	1,211	1,941

* 媒介蚊種 M.: *Mansonia dives/bonneae*
C. p. f.: *Culex pipiens fatigans*
3sp.: *Cx. p. fatigans*, *Anopheles gambiae*, *An. funestus*
Anoph.: *An. gambiae*, *An. funestus*

** 早朝屋内休止蚊採集による推定値
*** Intensity = (吸血飛来数/年/人) × Ⅲ期保有率 × Ⅲ期仔虫平均保有数

試みた。が、この式はあまりに複雑な要因がとりこめられ、実際に野外調査で用いられるとは思えない。その後、伝播の実態を簡易に把握するための指標がいくつか報告された。Wharton (1962) は Intensity of transmission として1人が一定期間に「何匹のⅢ期保有蚊に刺されるか」を算出しマレー半島流行地 (B. m.) で、1年に38匹と推定した。WHO (1962) は、potential transmission index として、人おとりによる採集数と、仔虫保有蚊率の積を、また、Meillon ら (1967b) は、1時間1人当たり吸血蚊数、その中の経産蚊率、経産蚊中のⅢ期保有蚊率の3項の積を、Risk of infection index として示した。

この中で Wharton の方式は、Hairston and Meillon (1968) がラングーン (W. b.) で計算し、298匹と求めた。この際、年平均 Mf 陽転者数等を考慮し、Efficiency of transmission として、1人が15,500回Ⅲ期保有蚊に刺されると Mf 陽性者になると推定した。その後 Gubler and Bhattacharya (1974) は、カルカッタで、Wijers (1977) がアフリカの、それぞれ Intensity of transmission を算出している。これらの各地の成績を表2にまとめているが、流行地ごとでかなり変異幅が大きい(表2の Intensity は、表の説明に基づく)。

伝播防止の作業は、この Intensity を低下させることが目的となるが、現状ではこれは総合的な目やすとしてなら計算する意義もあろう。もしも集団駆虫が対策の主流であるなら、媒介蚊の監視すべき項目には、Ⅲ期保有率を入れるとともに、蚊の Mf とりこみ状態も調査すべき指標となる。Samarawickrema and Laurence (1978) は、蚊の Mf 保有率が、人の Mf 保有率より高く、検血が不完全なのではないかと指摘している。また媒介蚊対策を進めるなら、人吸血密度と、蚊の生存率の2点が重要な評価規準となるだろう。幸いにヒトのフィラリア媒介蚊の多くが、高い人吸血嗜好性をもっているが、人獣共通のフィラリア症の場合は、吸血源調査が必要な点検事項となるだろう。限られた人員、予算で進める媒介蚊の監視態勢では、調査項目をできるだけ絞っていききたいが、たとえばⅢ期保有率の値は、集団駆虫の後などでは、1,000匹調べても1匹いるか否か (Suzuki and Sone, 1973) という低率になる。したがって必ずしも、こだわる数値ではなく、より能率のよい評価規準を求めている。

本稿作製にあたり佐々学先生の御指導をいただいた。文献の一部は、吉村堅太郎先生(順天堂大)、神谷正男先生(北大)、斉藤一三先生(横浜市大)から貸与された。また、日米医学協力計画寄生虫病部会の御援助をいただいた。

引用文献

- Abdulcader, M. H. M. and M. Sasa (1966) : Epidemiology and control of bancroftian filariasis in Ceylon. *Jap. J. Exp. Med.*, **36** : 609-646.
- Benach, J. L. and W. C. Crans (1975) : Differential susceptibility of *Culex territans* and *Aedes triseriatus* to *Foleyella flexicanda*. *J. Med. Entomol.*, **12** : 209-213.
- Beye, H. K. and J. Gurian (1960) : The epidemiology and dynamics of transmission of *Wuchereria bancrofti* and *Brugia malayi*. *Ind. J. Malariol.*, **14** : 415-440.
- Brenques, J. and J. Coz (1972) : Receptivite comparee des trois especes du complexe *Anopheles gambiae* presentes en Afrique de l'Ouest vis-avis de *Wuchereria bancrofti*. *Cah. ORSTOM, Ser. Entomol. Med. Parasitol.*, **10** : 207-215.
- Brenques, J. and O. Bain (1972) : Passage des microfilariae de complexes *Wuchereria bancrofti*-*Anopheles gambiae* A, *W. bancrofti*-*Aedes aegypti* et *Setaria labiatopapillosa*-*Ae. aegypti*. *Cah. ORSTOM. Ser. Entomol. Med. Parasitol.*, **10** : 235-250.
- Briegel, H., A. O. Lea and M. J. Klowden (1979) : Haemoglobinometry as a method for measuring blood meal sizes of mosquitoes. *J. Med. Entomol.*, **15** : 235-238.
- Bryan, J. H., P. Oothuman, B. J. Andrews and P. B. McGreevy (1974a) : Effects of pharyngeal armature of mosquitoes on microfilariae of *Brugia pahangi*. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **68** : 14.
- Bryan, J. H., P. B. McGreevy, P. Oothuman and B. J. Andrews (1974b) : Effects of the pharyngo-cibarial armature of mosquitoes on microfilariae. *3rd. Int. Cong. Parasitol.*, **2** : 610-611.
- Bryan, J. H. and B. A. Southgate (1976) : Some observations on filariasis in Western Samoa after mass administration of diethylcarbamazine. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **70** : 39-48.
- Burren, C. H. (1972) : The behaviour of *Brugia malayi* microfilaria in experimentally infected cats. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, **66** : 235-242.
- Carme, B. and J. Laigret (1979) : Longevity of *Wuchereria bancrofti* var. *Pacifica* and mosquito infection acquired from a patient with low level parasitaemia. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **28** : 53-59.
- Christensen, B. M. (1978) : *Dirofilaria immitis*; effect on the longevity of *Aedes trivittatus*. *Exp. Parasitol.*, **44** : 116-123.
- Coluzzi, M. and R. Trabucchi (1968) : Importanza dell'armatura bucco-faringea in *Anopheles e Culex* in relazione alle infezioni con *Dirofilaria*. *Parassitologia*, **10** : 47-59.
- Crans, W. J. (1973) : Experimental infection of *Anopheles gambiae* and *Culex pipiens fatigans* with *Wuchereria bancrofti* in coastal east Africa. *J. Med. Entomol.*, **10** : 189-193.
- Denham, D. A., I. T. Dennis, G. S. Ponnuduri, G. S. Nelson and G. Frances (1971) : Comparison of a counting chamber and thick smear methods of counting microfilaria. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **65** : 521-526.
- Desowitz, R. S. and W. T. Chellappa (1962) : The transmission of *Brugia* species through *Culex pipiens fatigans*. The effect of age and prior non-infected blood meals on the infection rate. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **56** : 121-125.
- Duxbury, R. E., A. P. Moon and E. H. Sadum (1961) : Susceptibility and resistance of *Anopheles quadrimaculatus* to *Dirofilaria unformis*. *J. Parasitol.*, **47** : 687-691.
- Esslinger, J. H. (1962) : Behaviour of microfilariae of *Brugia pahangi* in *Anopheles quadrimaculatus*. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **11** : 749-758.
- Ewert, A. (1967) : Studies on the transfer of infective *Brugia pahangi* larvae from vector mosquito to the mammalian host. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **61** : 110-113.
- Ewert, A. and B. C. Ho (1967) : The fate of *Brugia pahangi* larvae immediately after feeding by infective vector mosquitoes. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **61** : 659-662.
- Gubler, D. J., T. S. Innui, H. R. Block and N. C. Bhattacharya (1973) : Comparisons of microfilaria density in blood sampled by finger prick, venipuncture and ingestion by mosquitoes. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **22** : 174-178.
- Gubler, D. J. and N. C. Bhattacharya (1974) : A quantitative approach to the study of bancroftian filariasis. *WHO/FIL/74.*, 129 (mimeographed).
- Hairston, N. G. and B. de Meillon (1968) : On the inefficiency of transmission of *Wuchereria bancrofti* from mosquito to human host. *Bull. Wld Hlth Org.*, **38** : 935-941.
- Hawking, F. and M. Worms (1961) : Transmission of filarioid nematodes. *Ann. Rev. Entomol.*, **6** : 413-432.
- Ho, B. C. and A. Ewert (1967) : Experimental transmission of filarial larvae in relation to feeding behaviour of the mosquito vectors. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **61** : 663-666.
- Ho, B. C. and M. M. Lavoipierre (1975) : Studies on filariasis. IV. The rate of escape of the third-stage larvae of *Brugia pahangi* from the mouth parts of *Aedes togoi* during the

- blood meal. *J. Helminthol.*, **49** : 65-72.
- Jordan, P. and K. D. Goatly (1962) : Bancroftian filariasis in Tanganyika: a quantitative study of the uptake, fate, and development of microfilariae of *Wuchereria bancrofti* in *Culex pipiens fatigans*. *Am. Trop. Med. Parasitol.*, **56** : 173-187.
- Kartman, L. (1954) : Suggestions concerning an index of experimental filaria infection in Mosquitoes. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **3** : 329-337.
- Kershwa, W. E., M. M. J. Lavoipierre and T. A. Chalmers (1953) : Studies on the intake of microfilariae by their insect vectors, their survival and their effect on the survival of their vectors. 1. *Dirofilaria immitis* and *Aedes aegypti*. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, **47** : 207-224.
- Krafsar, E. S. and C. Garrett-Jones (1977) : The survival in nature of *Wuchereria* infected *Anopheles funestus* Giles in north-eastern Tanzania. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **71** : 155-160.
- Kuhlow, F. and E. Zielke (1978) : Dynamics and intensity of *Wuchereria bancrofti* transmission in the savannah and forest regions of Liberia. *Tropenmed. Parasitol.*, **29** : 371-381.
- 栗原 毅 (1971) : 昆虫学が蚊媒介病の疫学に果たす役割. vectorial capacity を主として. 熱帯, **5** : 227-233.
- Laurence, B. R. (1963) : Natural mortality in two filarial vectors. *Bull. Wld Hlth Org.*, **28** : 229-234.
- Laurence, B. R. and F. R. N. Pester (1961) : The behaviour and development of *Brugia pateri* in a mosquito host, *Mansonia uniformis*. *J. Helminthol.*, **35** : 285-300.
- 前田龍一郎, 栗原 毅 (1980a) : トウゴウヤブカ *Aedes togoi* の吸血時日令がマレー糸状虫の伝播に及ぼす影響. 衛生動物, **31** : 277-281.
- 前田龍一郎, 栗原 毅 (1980b) : 蚊の吸血量とマイクロフィラリア摂取数の個体別測定法. 衛生動物, **31** : 299-302.
- McGreevy, P. B., J. H. Bryan, P. Oothuman and N. Kolstrup (1978) : The lethal effects of the cibarial and pharyngeal armatures of mosquitoes on microfilariae. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **72** : 361-368.
- Meillon, B. de., S. Hayashi and A. Sebastian (1967a) : Infection and reinfection of *Culex pipiens fatigans* with *Wuchereria bancrofti* and the loss of mature larvae in blood feeding. *Bull. Wld Hlth Org.*, **36** : 81-90.
- Meillon, B. de., B. Grab and A. Sebastian (1967b) : Evaluation of *Wuchereria bancrofti* infection in *Culex pipiens fatigans* in Rangoon, Burma. *Bull. Wld Hlth Org.*, **36** : 91-100.
- Molineaux, L. (1978) : Entomological parameters in the epidemiology and control of vector-borne disease. In *Medical Entomology Centenary*, pp. 100-105, R. Soc. Trop. Med. Hyg., London.
- Molineaux, L., G. R. Shidrawi, J. L. Clarke, J. R. Boulzaguest and T. R. Ashkar (1979) : Assessment of insecticidal impact on the malaria mosquitoes vectorial capacity, from data on the man-biting rate and age-composition. *Bull. Wld Hlth Org.*, **57** : 265-274.
- 中村義清 (1964) : バンクロフト糸状虫症の伝搬に関わるトウゴウヤブカの役割に関する実験的研究. 1. 長崎大風土病紀要, **6** : 25-33.
- Nathan, M. B. and C. Raccurt (1979) : Higher concentrations of microfilariae in capillary blood from the ear lobe than from the finger in *Wuchereria bancrofti* and *Mansonia ozzani*. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **73** : 455-457.
- Obiamiwe, B. A. (1977a) : The fate of ingested *Brugia pahangi* microfilariae in susceptible and refractory strains of *Culex pipiens* and *Aedes aegypti*. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, **71** : 375-377.
- Obiamiwe, B. A. (1977b) : Relationship between microfilaria density, the number of microfilariae ingested by mosquitoes and the proportion of mosquitoes with larvae. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, **71** : 491-500.
- Oda, T. and Y. Wada (1980) : Exsheatment and migration of microfilariae of *Brugia malayi* (Che-ju strain) in mosquitoes. *Trop. Med.*, **22** : 27-33.
- Omar, M. S. and E. Zielke (1978) : Abortive development of *Wuchereria bancrofti* in a West African strain of *Culex pipiens fatigans*. *Tropenmed. Parasitol.*, **29** : 364-370.
- Omori, N. (1958) : Experimental studies on the role of the house mosquito, *Culex pipiens pallens* in the transmission of bancroftian filaria. 3. Duration of life of filariae in mosquitoes exposed to winter temperature. *Yokohama Med. Bull.*, **9** : 382-390.
- 大森南三郎 (1958) : バンクロフト糸状虫症の伝搬に関するアカイエカの役割に関する実験的研究. 2. 人末梢血流中における Mf の分布様式について. 長崎医学会誌, **33** : 1045-1053.
- Owen, R.R. (1978) : The exsheatment and migration of *Brugia pahangi* microfilariae in mosquitoes of the *Aedes scutellaris* species complex. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, **72** : 567-571.
- Pacheco, G., M. J. Atkins and J. Gurian (1972) : Qualification of infection of ticks with *Dipetalonema viteae*. *J. Parasitol.*, **58** : 275-278.
- Pichon, G., G. Perrault and J. Laigret (1974) : Rendement parasitaire chez les vecteurs de

- felarioses. *Bull. Wld Hlth Org.*, **51** : 517-524.
- Ramachandran, C. P. (1966) : Biological capacities in the transmission of *Brugia malayi* by *Aedes aegypti* in the laboratory. *J. Med. Entomol.*, **3** : 239-252.
- Ramachandran, C. P. and M. A. Zaini (1967) : Studies on the transmission of subperiodic *Brugia malayi* by *Aedes (Finlaya) togoi* in the laboratory. I. *Med. J. Malaya*, **22** : 136-144.
- Ramachandran, C. P. and M. A. Zaini (1968) : Studies on the transmission of subperiodic *Brugia malayi* by *Aedes (Finlaya) togoi* in the laboratory. II. *Med. J. Malaya*, **22** : 198-203.
- Rosen, L. (1955) : Observations on the epidemiology of human filariasis in French Oceania. *Am. J. Hyg.*, **61** : 219-248.
- Roseboom, L. E., N. C. Bhattacharya and S. K. Gilotra (1968) : Observations on the transmission of filariasis in urban Calcutta. *Am. J. Epidemiol.*, **87** : 616-632.
- Samarawickrema, W. A. (1967) : A study of the age composition of natural population of *Culex pipiens fatigans* Wied. in relation to the transmission to the transmission of filariasis due to *Wuchereria bancrofti* in Ceylon. *Bull. Wld Hlth Org.*, **37** : 117-137.
- Samarawickrema, W. A., and B. R. Laurence (1978) : Loss of filarial larvae in a natural mosquito population. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, **72** : 561-565.
- Samarawickrema, W. A., F. Sone, K. Ichimori and R. F. Cummings (1979) : Filariasis in Western Samoa. I. Transmission studies of *Aedes (Stegomyia) polynesiensis* (Marks) and *Ae. (F.) samoanus* on carriers with different levels of microfilaremia of *Wuchereria bancrofti*. WHO/VBC/79. 751 (mimeographed).
- Sasa, M. (1976) : Human filariasis ; a global survey of epidemiology and control, 819pp., Univ. of Tokyo Press, Tokyo.
- Schmid, W. D. and E. J. Robinson, Jr. (1972) : The pattern of a host-parasite distribution. *J. Parasitol.*, **58** : 907-910.
- Self, L. S., S. Usman, H. Sajidiman, F. Partono, M. J. Nelson, C. P. Pant, T. Suzuki and H. Mechfudin (1978) : A multidisciplinary study on bancroftian filariasis in Jakarta. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **72** : 581-587.
- Suzuki, T. (1978) : Preliminary studies on blood meal interval of *Aedes polynesiensis* in the field. *Jap. J. Sanit. Zool.*, **29** : 169-174.
- Suzuki, T. and F. Sone (1973) : Filariae infection in vector mosquitoes after mass drug administration in Western Samoa. WHO/VBC/73. 117 (mimeographed).
- 田中 寛, 千葉日美, 田中英文 (1963) : コットンラット糸状虫のミクロフィラリアの中間宿主イエダニによる吸入量の定量的観察. 寄生虫誌, **12** : 191-195.
- 和田芳武, 高岡正敏, 白坂昭子 (1977) : 3種糸状虫の伝搬過程の量的観察. 寄生虫誌, **26** : 101-112.
- Wada, Y. and N. Omori (1978) : Comparison of the transmission efficiency between two human filaria parasites. *Res. Filaria Shistosomiasis*, **3** : 145-150.
- Webber, R. H. (1977) : The natural decline of *Wuchereria bancrofti* infection in a vector control situation in the Solomon Islands. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **71** : 396-400.
- Wharton, R. H. (1957a) : Studies on filariasis in Malaya : Observations on the development of *Wuchereria malayi* in *Mansonia (M.) longipalpis*. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, **51** : 278-296.
- Wharton, R. H. (1957b) : Studies on filariasis in Malaya : The efficiency of *Mansonia longipalpis* as an experimental vector of *Wuchereria malayi*. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, **51** : 422-439.
- Wharton, R. H. (1962) : The biology of *Mansonia* mosquitoes in relation to the transmission of filariasis in Malaya. *Bull. Inst. Med. Res. Malaya*, **11** : 114pp.
- White, G. B. (1971) : Studies on transmission of bancroftian filariasis in North-eastern Tanzania. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **65** : 819-829.
- WHO (1962) : Expert Committee on filariasis. *Wld Hlth Org., Tech. Rep. Ser.* 233, 49pp.
- WHO (1974) : Expert Committee on filariasis. Third report. *Wld Hlth Org., Tech. Rep. Ser.* 542, 54pp.
- Wijers, D. J. B. (1977) : Bancroftian filariasis in Kenya. IV. Disease distribution and transmission dynamics. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, **71** : 451-463.
- Wijers, D. J. B. and G. Kiilu (1977) : Bancroftian filariasis in Kenya. III. Entomological investigations in Mamburi, a small coastal town, and Jaribuni, a rural area more inland. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, **71** : 347-359.
- 山本 久 (1964) : フィラリア症の疫学的研究 (2). 奄美大島におけるバンクロフト糸状虫の蚊体内発育条件に関する研究. 衛生動物, **15** : 245-257.
- Zielke, E. (1976) : Studies on quantitative aspects of the transmission of *Wuchereria bancrofti*. *Tropenmed. Parasitol.*, **27** : 160-164.
- Zielke, E. (1979a) : Quantitative aspects of the development of mosquito transmitted *Brugia malayi* and *B. pahangi* and their distribution in jirds. *Tropenmed. Parasitol.*, **30** : 163-169.
- Zielke, E. (1979b) : Comparative studies on the

transmission rate of *Wuchereria* and *Brugia*.
Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg., **73** : 329-330.

Summary

This paper reviews information on quantitative aspects of filaria larval populations in the mosquito phase. One aim is to clarify the conditions necessary for efficient filarial transmission by mosquitoes during maintenance in the laboratory, including the requirement of suitable microfilaraemia in the host animal. Secondly, attention is given to ways of analysing the dynamics of filaria transmission in endemic areas.

In general, the rate of mosquitoes becoming infected with microfilariae is proportional to the density of microfilaraemia in the host; the actual numbers of microfilariae ingested also increase in proportion to the microfilaria density. Numbers of ingested microfilariae may not be as expected from theoretical calculations based on two parameters: "microfilaria density in the host" and "quantity of blood ingested by mosquito." Some papers have reported mosquitoes to ingest fewer or more microfilariae than expected on the basis of these parameters. However, other studies have found that the mean number of ingested microfilariae is more or less close to what would be expected.

Some possible explanations are discussed in order to account for the observed variations in the numbers of microfilariae ingested by mosquitoes. Such differences have been found between mosquito species, between strains within the same species, and between mosquitoes of different ages. Microfilaria intake is not so well correlated with the quantity of blood ingested. Defecation or discharge of blood from the anus of engorged mosquitoes may affect the number of microfilariae ingested and retained. In some species of mosquitoes oesophageal armatures may kill some of the ingested microfilariae. Density

variations of microfilariae in different regions of the host skin must also be monitored carefully in relation to the feeding-sites of female mosquitoes.

Several authors have shown that only limited numbers of filarial larvae develop to the third (infective) stage in each mosquito, despite the ingestion of more microfilariae by some individual female mosquitoes. Two basic factors are considered to account for the failure of some microfilariae to grow successfully. Either the infected mosquitoes may die, or else there may be mortality of the filarial larvae themselves. Under laboratory conditions, it seems that mosquito mortality is the greater influence. Additionally, some of the infective larvae may fail to be transmitted when the vector feeds again on a vertebrate host. This is due partly to third stage larvae remaining within the mosquito, and partly to failure to penetrate the host's skin by those infective larvae which escape successfully from the vector.

On the basis of papers quoted here, it is suspected that in endemic areas the parasite yield is less than 10 % of the total microfilariae ingested, with a few exceptions such as Brugian filariae ingested by *Mansonia* mosquitoes. This reduction of parasite yield is largely due to the mortality of mosquitoes during the incubation period for filarial larvae. Mosquito longevity, whether or not specimens have become infected with filariae, is therefore a most important component of vector capacity under field conditions. Transmission efficiency is expressed in terms of several indices, proposed and discussed here. For continuing epidemiological surveillance of filariasis, it is considered necessary to minimize the number of factors to be observed for measurement of transmission efficiency, in order to economize the use of man-power and technical resources for field operations.