

総説 3

## 地球環境の変化とマラリア流行に関する一試論

今井長兵衛

(掲載決定:平成6年11月29日)

**Key words:** global environmental change, green house effect, malaria, epidemiology

マラリアは代表的な昆虫媒介性の感染症であり、熱帯地方を中心に亜熱帯から暖温帯で流行がみられる。現代においても世界の23億人がマラリアの危険に曝され、感染者は年間約3億人、死亡者は年間約150万~270万人といわれている。アフリカのガンビアでは4才以下の子供の死亡原因の25%がマラリアと報告されている(WHO, 1994)。

人に感染するマラリア原虫は三日熱マラリア *Plasmodium vivax*, 四日熱マラリア *P. malariae*, 卵形マラリア *P. ovale*, 熱帯熱マラリア *P. falciparum* の4種であり、そのうちでも温帯から熱帯まで広く分布する三日熱マラリアと亜熱帯から熱帯で猛威をふるっている熱帯熱マラリアが重要とされている。

一方、人間活動に伴う地球環境の悪化には、オゾン層の破壊、地球温暖化、酸性雨、砂漠化、熱帯林の減少、野生生物の減少などが指摘されている。このような地球環境の変化は多くの寄生虫病の流行動態にも大きな影響を与えているものと思われるが、ここでは、温暖化、砂漠化、熱帯林の減少などの地球環境変化とマラリア流行との関わりについて検討する。

### 地球環境の変化

#### 1. 温暖化

CO<sub>2</sub>などの温室効果ガスの排出による温度の上昇についてはいくつかのシミュレーションがなされている。日本の気象庁気象研究所の最新の予測では、50年後の気温の上昇は北緯20度以南の地域の大部分では0.9℃以下、北緯20度以北の大部分では0.9~1.8℃、北半球中~高緯度のいくつかの地域では1.8~4.5℃になるという(朝日新聞, 1994年5月26日)。これは初期の予測値に比べて昇温の程度を低く抑えているのが特徴的である。

また、別の予測では北半球の高緯度地域で冬の気温上昇が著しいとされているが、マラリアの流行と関わり

ある低~中緯度地方では温度上昇に季節性はないと考えられてよいようである(Manabe *et al.*, 1994)。

#### 2. 温暖化にともなう水収支の変化

気候モデルから予測される降水量の増加分から蒸発量の増加分を引いて計算される水収支の変化は、平均的には赤道付近で現状維持、北緯5~35度および南緯5~35度の間で降水量にして年間200~600mm減少し、北緯35度以北と南緯35度以南で年間150~600mm増加と予測されている(Manabe *et al.*, 1994)。すなわち、低~中緯度地方で蒸発した水が高緯度地方で降雨や降雪となる。しかし、蒸発量の増加はほとんど砂漠地方に集中しており、低~中緯度地方でも砂漠化が進行していない地域では、水収支は現状維持であろうと思われる。

たとえ、砂漠化が進行していない低~中緯度地方で水収支が若干マイナスの方向に変化するとしても、灌漑システムなどによって人為的に維持されている水田などの面積に及ぼす影響はそれほど大きくなく、海水の侵入の影響を受ける海岸部の自然の水域を縮小する方向にはそれほど働かないものと考えられる。

#### 3. 温暖化にともなう海面上昇

地球温暖化にともなって生じると予測される海面上昇の程度は、有効な対策がとられない場合には、2100年には64cmに達するとされている。また、21世紀前半に温室効果ガスの濃度の安定化が達成された場合でも、35cm程度上昇すると予測されている(IPCC, 1990)。この予測値も従来より低く抑えられている。

#### 4. 砂漠化

砂漠はアフリカの北部と南部、中近東からモンゴルに至るアジア、オーストラリア、アメリカ合衆国南部からメキシコに至る北アメリカ、南アメリカの西海岸一帯に分布している。現在でも砂漠化が激しく進行しているのは、アフリカのサハラ周辺、中近東、メキシコなどであり、毎年600万haが砂漠化しているという(UNEP, 1992)。

## 5. 熱帯林の減少

熱帯林の減少は東南アジア、中央アフリカ、中米、アマゾン周辺などで進行している (Burgess, 1993)。外国資本による商業的伐採や各国政府の移住政策による森林の農地化などが主な原因とされている。

### マラリア流行の過去と現在

マラリアは1930年代後半には北緯66度から南緯45度付近にまで達し、熱帯から温帯の大部分をおおっていた (Gill, 1938)。

WHO(1994)によると、1992年現在のマラリアの分布はおおむね赤道をはさんだ南北両帰帰線の範囲にあるが、トルコから中国にいたるアジア大陸南部では、北緯40度線付近まで達しているところもある。

温帯地方のマラリアが一部の地域を除いて消失したことは上記の2報告の比較から明らかである。1964年から記録されているアフリカと中国を除く全世界の報告患者数も1976年をピークに1979年まで減少傾向を示した (WHO, 1993)。

しかし、1980年代に入ると患者数の減少傾向はみられず、安定または漸増傾向に転じて現在に至っている。インドでは1987年まで患者数の減少傾向が維持したが、その後は安定傾向に転じた。アフリカ、中国およびインドを除く世界の患者数は1979年以後増加傾向にある。減少傾向を維持しているのは中国だけであり、現在では患者発生は10万人を割り込んでいる。アフリカの患者数は毎年2億7千万人～4億8千万人と推定されているが、信頼できるデータがないせいか、年次変化の論議からは除外されている (WHO, 1993)。

### 地球規模の環境変化とマラリア流行

#### 1. マラリア原虫の生活環

マラリアの分布範囲では、気温の低い高山を除き、海岸部から平野部、低山地まで、また、砂漠を除くオープンランドから森林まで多様な環境で流行が見られる。

ヒト感染マラリアの原虫はヒトと蚊との間でライフサイクルを完結しているのが通常であり、人体内で無性生殖、*Anopheles*属の蚊の体内で有性生殖を行う。人から蚊への原虫の受け渡しは gametocyte のステージで行われ、蚊の体内で oocyst を経て sporozoite へと発育する。蚊から人への原虫の受け渡しは sporozoite のステージで行われ、人体内で gametocyte へと発育する (Pampana, 1969)。

#### 2. 人体内発育期に及ぼす環境変化の影響

ヒトは恒温動物であり、原虫にとっての人体内環境が地球環境の変化に直接連動して変化することはほとんどないであろう。したがって、人体内での原虫の発育期間や増殖率などが変化する可能性は大きくないと思われる。しかし、環境変化が原虫感染者の症状、免疫獲得状況、死亡率などに影響を与えれば、原虫の運命に間接的な影響を及ぼすこともあるかもしれない。想定される一例は温暖化による感染者の死亡率の上昇であろうか。

#### 3. 蚊体内発育期に及ぼす環境変化の影響

Pampana (1969)によると、蚊の体内における熱帯熱マラリア原虫の発育に必要な最低温度は18℃、発育所要日数(新たに感染した蚊が原虫をヒトに媒介できる状態になるまでに要する日数)は26℃で12日であり、三日熱原虫の発育所要日数は16℃で55日、26℃で9日である。また、MacDonald (1957)は両種原虫の温度と発育所要日数の関係を図示し、温度の低下とともに双曲線的に発育所要日数が長くなることを示している。そこで Pampana (1969)のいう発育に必要な最低温度を発育零点の近似値と考え、いずれの原虫でも積算温度則が成り立つものと仮定すると、

$$\text{熱帯熱マラリアでは } n = 96 / (t - 18)$$

$$\text{三日熱マラリアでは } n = 109 / (t - 14)$$

という式が成り立つ。ここで、 $t$  は気温 (℃)、 $n$  は発育期間 (日) である。

しかし、温度が高すぎると発育障害を生じ、32℃以上の高温が続くと蚊の体内で原虫が死滅、30℃でも三日熱原虫の発育が阻害されるという (Pampana, 1969)。

#### 4. マラリアの地理的分布に及ぼす環境変化の影響

##### 1) 拡大要因としての温暖化

理科年表 (国立天文台, 1994) に記載された世界各地の月平均気温のデータから最寒月の平均気温を調べて等温線を引き、WHO (1994) のマラリア分布地図と重ね合わせたものが図1である。この図には、1994年5月26日付け朝日新聞に掲載された気象研究所による温暖化予測地図と突き合わせて50年後の最寒月の平均気温を予測して引いた等温線のうちで現在と顕著に異なる部分も示してある。

現在のマラリア分布の北限は5℃の等温線、南限は15℃の等温線とほぼ対応しているようである。しかし、1930年代にはもっと高緯度地方まで分布していたことから、現在の北限や南限がマラリア原虫がどうしても越えられない生理的な分布限界とは考えにくい。むしろ、1930年代以後における温帯の大部分でのマラリアの消滅という歴史的背景やさまざまに変化した社会経済的条件

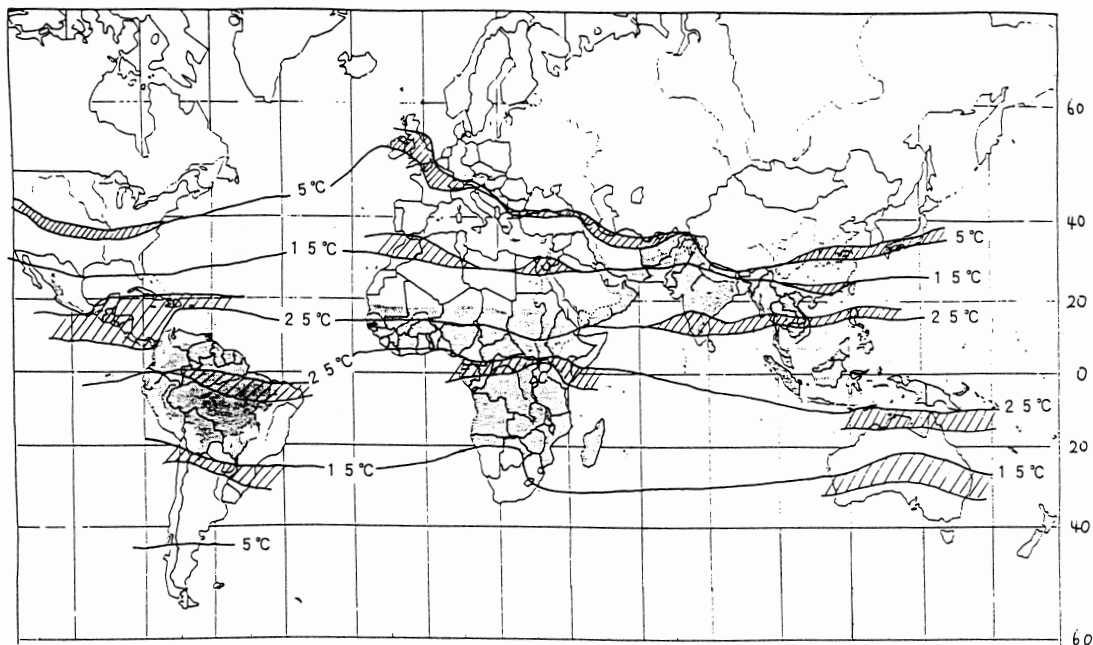


図1 現在の最寒月の平均気温の等温線とマラリアの分布，ならびに温暖化による等温線の移動予測影の部分がマラリア分布地域，斜線の部分が予測される等温線の移動を示す。

と温度条件とのバランスの結果として現在の分布限界が存在しているのであろう。したがって、温暖化による中緯度地域における約2°Cの昇温によって、分布限界地域における流行要因間のバランスがくずれ、流行に適した環境が作り出される可能性がある。北限と南限の等温線の移動距離が大きい地域では、マラリア分布地域の拡大の程度も顕著になるかもしれない。図1より、そのような地域はトルコ北部、アフガニスタン北部、中国、アルゼンチン北部、ブラジル南部などと推測される。

なお、最寒月の平均気温が30°Cを超えると予測される地域は存在しないので、熱帯地方であっても、高温障害によるマラリアの消失は期待できないようである。

## 2) 縮小要因としての砂漠化

現在のマラリア分布の限界温度より気温が高い地域でも、アフリカのサハラ砂漠やオーストラリアにはマラリアが分布していない(図1)。砂漠化の進行が媒介蚊の発生源の消失ないし極端な縮小をもたらすためであろう。このことは、砂漠化が進行している地域でマラリア流行が抑圧され、マラリアの分布域が縮小される可能性を強く示唆している。

## 5. マラリア流行の激化に及ぼす環境変化の影響

ここではMacDonald(1957)のマラリア流行モデルに基づいてGarett-Jones and Shidrawi(1969)が提案したvectorial capacityの概念を用い、砂漠化が進行していない熱帯地方における熱帯熱マラリアの流行に及ぼす環境変化の影響を検討する。

### 1) vectorial capacity, C

vectorial capacity, Cは1人の患者から生産される2次患者の1日当たりの数に相当し、次式で表される。

$$C = ma^2p^n / (-\ln p)$$

m: ある地域におけるヒト1人あたりの蚊の数

a: 1匹の蚊が1日にヒトから吸血する確率

p: 蚊の日生存率

n: 蚊が感染してから伝播可能になるまでの日数

この値が大きいほど流行が激しくなる。Molineaux and Gramiccia(1980)は新しいモデルによる計算からマラリア流行が拡大するか縮小するかの限界値であるcritical vectorial capacityを0.022と推定し、MacDonald(1957)のモデルからも0.0125という臨界値が計算できる。

## 2) 媒介蚊の個体数 $m$ に及ぼす環境変化の影響

蚊の個体数の変動要因：年間の温度変化がほとんどない熱帯では、蚊の個体数は降雨量と連動して変化する (Ismail *et al.*, 1973; Bruce-Chwatt, 1980; Molineaux and Gramiccia, 1980)。海岸部では降雨の影響に加えて海水の侵入が汽水性の蚊を増加させる方向に働く (Giglioli, 1963; Imai and Panjaitan, 1989)。これらはいずれも好適な発生源の増減を通じて蚊の個体数を変化させているが、どのような水域がその蚊にとって好適であるかは、蚊の種類ごとに異なっており、水域の拡大が好適な発生源の拡大に常に直結するとは限らない。

蚊幼虫の生息密度と魚類の個体数との関係から個々の生息場所における発育途中の死亡率が捕食者の影響で変化する可能性が示唆されるが (Imai and Panjaitan, 1989)、地域全体では捕食者の影響が顕著に現れることはないようである。なお、年間総個体数は年間世代数が多いほど多くなり得る。

水収支の変化：気候モデルから予測される北緯5度以北、南緯5度以南の低緯度地方での水収支のマイナスへの変化はほとんど砂漠地方に集中し、ここで論じている砂漠化の進行していない熱帯地方への影響はほとんど無いものと推測される。仮に、いくばくかの自然水面の縮小がもたらされたとしても、それが直ちに好適な発生源の縮小につながるとは限らない。Reisen *et al.* (1982) はパキスタンでは *Anopheles culicifacies* という止水性の媒介蚊の個体数が乾季に増加すると報告している。上記の例のように、河川が干上がってできる水溜まりが止水性の媒介蚊の好適な発生源になる場合もあり、影響の現れ方は画一的ではない。

海面上昇：地球温暖化にともなう海面上昇により、海岸部における汽水の侵入地域が現在より内陸の方に移動することは確かであり、汽水性の媒介蚊の発生源が現在より内陸部に達する可能性がある。北スマトラの海岸部では、比較的大きな集落の多くはマングローブの湿地からやや奥まったところにあり、その周辺まで汽水域が広がれば、大集落における汽水性媒介蚊の個体数が増加することになる。地形的には、バングラデッシュの首都ダッカ周辺も危険地域であろう。

温度上昇：蚊の幼生期の発育日数は温度が高いほど短縮されるが、40°C前後で飼育するとほとんどの種が比較的短期間に死滅する (Clements, 1963)。しかし、予測される程度の温暖化は高温障害の原因とはならず、発育速度を若干短縮する方向に働くものと思われる。

熱帯地方での温度上昇を1°Cとすると、1年間の有効積算温度の増加分は365日°Cとなり、蚊ではおよそ1世代分余りに相当する (Clements, 1963)。したがって、年間総個体数が1世代分だけ増加することになる。

## 3) 媒介蚊のヒト吸血率 $a$ に及ぼす環境変化の影響

ヒト吸血率 $a$ の変動要因：蚊がヒトから吸血する確率は蚊の吸血嗜好性、蚊の吸血間隔、ヒトと他の吸血源動物との存在比率、ヒトの行動などで決まる。

温度上昇：昇温はヒトの行動に影響するであろう。熱帯といえども海岸沿いや高地では夜間温度が22~23°Cあるいはそれ以下まで低下するが、平野部では夜間温度が25°Cを超えるのが通常である。温暖化によって平野部の夜間温度はさらに高くなり、寝苦しさを増すであろう。その結果、住民は戸外で夜を過ごすことが多くなり、蚊帳の使用頻度も低下すると予測される。このことは蚊がヒトから吸血する確率を高めるであろう。

熱帯林の減少：熱帯林の商業的伐採や移住政策による森林の農地化は、それらが進行している地域におけるヒトと森林性の蚊との接触の機会を増やす。これは他の吸血源動物に対するヒトの比率の増大を意味し、蚊のヒト吸血率を高めることになるだろう。当然ながら、熱帯林の減少がさらに進み、熱帯林が消滅してしまえば、森林性の蚊自体が減少する。ここでは、現在進行中の減少について論じているのである。

## 4) 媒介可能な蚊の平均余命 (または longevity factor) $p^n / (-1 \ln p)$ に及ぼす環境変化の影響

媒介可能な蚊の平均余命あるいは Garrett-Jones (1964) のいう longevity factor は2つのパラメータ  $p$  と  $n$  で決まる。 $n$  が温度の影響を受けて変化することはすでに検討した。ここでは  $p$  に及ぼす環境変化の影響を検討し、 $p$  と  $n$  の変化につれて  $p^n / (-1 \ln p)$  がどのように変化するかを見る。

温度上昇：熱帯で予測される気温の上昇が野外における蚊の日生存率  $p$  にどう影響するかは不明な点が多い。Reisen *et al.* (1982) はパキスタンの *An. culicifacies* の8~12月までの日生存率を経産蚊率から0.669~0.849、標識再捕法から0.627~0.843と推定している。調査期間中の屋内の気温は約16°C~約30°C、屋外17時の相対湿度は約45%~約75%の間で変動しているが、いずれの値も日生存率と相関を示さなかった。室内実験では高温低湿が蚊の生存率を低下させるとい報告は多いが (Clements, 1963)、野外個体群における実際の生存率は生理的な要因だけで決まるのではないようである。マラリア媒介蚊の成虫は夜間活動型であり、昼間はブッシュ

の中、人家、物陰などに潜む。したがって、1℃程度の昇温が生理的寿命に直接影響するとは考えにくい。捕食者の数や活動性が昇温によって変化し、その間接的な影響を受けて生存率が変化する可能性が考えられるが、データはない。

湿度低下：気候モデルから予測される熱帯地方での1℃程度の昇温は相対湿度を若干低下させるはずである。低湿度における蚊の生存率の低下はいくつか報告されている (Clements, 1963)。しかし、これらは室内あるいは野外ケージでの実験であり、蚊が適当な昼間潜伏場所を選択できる野外でも同じ現象が起こっているかは不明である。

媒介可能な蚊の平均余命 (longevity factor) のシミュレーション：媒介蚊の日生存率  $p$  と熱帯熱マラリア原虫の蚊体内での発育所要日数  $n$  を変化させ、 $p^n / (-\ln p)$  がどのように変化するかを検討した結果を図2に示す。 $n$  に9～14の整数値を与え、 $p$  を0.60～0.95の範囲で変化させた。積算温度則から、 $n=14$ は24.9℃、 $n=9$ は28.7℃のときの発育所要日数に相当する。

環境変化の影響で  $p$  の値が  $p_1$  から  $p_2$  に、 $n$  の値が  $n_1$  か

ら  $n_2$  に変化する場合を考える。 $n_1$  に対応する曲線上の  $p_1$  に対応する点の縦軸の値がはじめの平均余命であり、 $n_2$  に対応する曲線上の  $p_2$  に対応する縦軸の値が変化後の平均余命となる。縦軸は対数目盛だから、その隔たりは変化率を示す。

環境変化による  $p$  の変化が無視できる程度の場合、もともと  $p$  の高い媒介蚊では昇温によって  $n$  が短縮されても媒介可能な蚊の平均余命はほとんど変化しない。しかし、 $p$  が低い媒介蚊の場合は  $n$  が短縮されると平均余命が増加し、増加率は  $p$  が低いほど大きくなる。したがって、平均余命に及ぼす環境変化の影響は、生存率の高い媒介蚊より生存率の低い媒介蚊に対して顕著に現れる可能性が高い。

#### 5) 北スマトラの *An. sundaicus* における vectorial capacity の変化予測

プルブック村：北スマトラの海岸部のマラリア媒介蚊 *Anopheles sundaicus* を対象に、地球環境の変化が vectorial capacity に及ぼす影響を検討する。現状は池本 (1982) によるプルブック村のデータから引用したが、加工してから用いたものもある。プルブック村の気

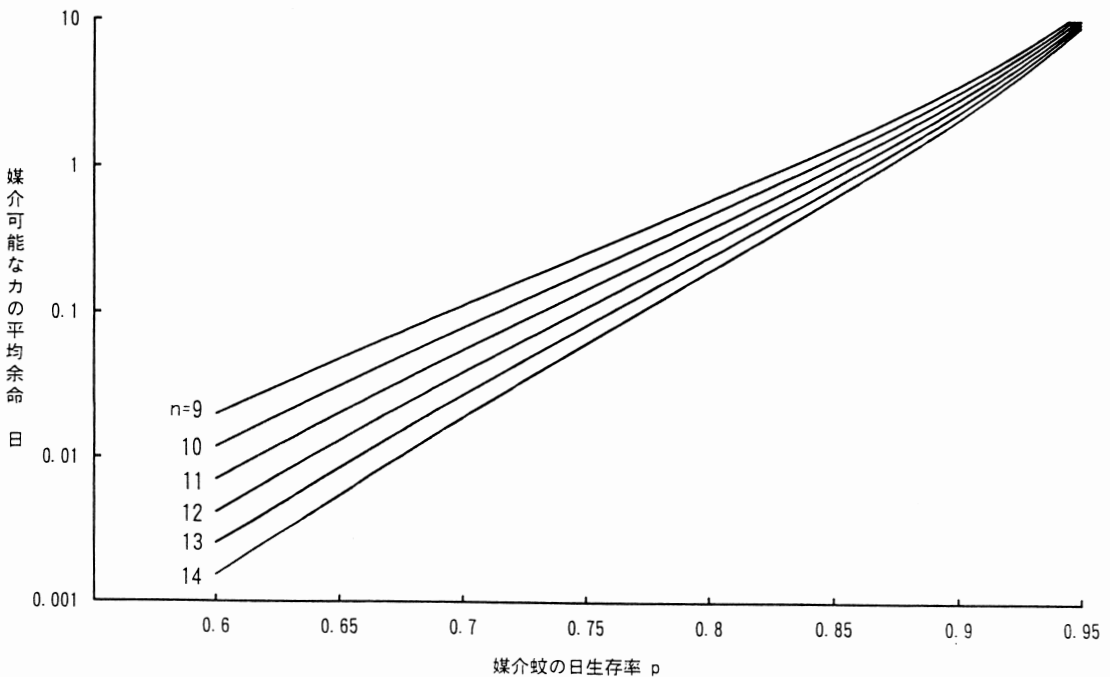


図2 媒介蚊の生存率  $p$  とカ体内での原虫の発育所要日数  $n$  を変えた場合の媒介可能な蚊の平均余命  $p^n / (-\ln p)$  の変化

温のデータはないので、約120km離れたメダン市のデータを援用すると、年平均気温は26.3°C、月平均気温は最寒月で25.6°C、最暖月で27.2°Cである。降水量は最も少ない2月で75mm、最も多い10月で312mm、年間合計で2186mmである。プルブック村は北緯3度17分に位置するので、温暖化によって温度が上昇しても水収支に変化はないと予測される。

現在の vectorial capacity : 同時囓法による吸血嗜好性の調査ではヒト1人、水牛1頭、ヤギ1頭から吸血した蚊の割合は79%, 17%, 4%となり、ヒト1人とカニクイザル1頭からの吸血の割合は90%と10%であった(池本, 1982)。個体数の不明なサルを無視して各吸血源の存在比で補正するとヒトからの吸血割合は0.99となり、サルの個体数を100および200として同様に計算すると0.98および0.97となる。ここでは他の野生動物からの吸血も考慮してヒトからの吸血割合を0.90としておく。Sundararaman *et al.* (1957)に従い吸血間隔を2日とすると、1日あたりの吸血率  $a = 0.45$  が算出される。

$ma$  はヒト囓法による室内での1人1日あたり吸血飛来数として求まる。池本(1982)は本種が終夜吸血性で、1人1時間あたり吸血飛来数が乾季の平均で12.32、雨季の平均で7.85であると報告している。夜の長さを12時間と考え、両者の平均値を12倍して  $ma = 121$  を算出し、これを  $a = 0.45$  で除して  $m = 269$  を求めた。

積算温度則より年間平均気温26.3°Cのときの原虫の発育所要日数  $n = 12$  が求まる。経産蚊率は5~1月に6回調査されており、平均値は0.42であった。Sundararaman *et al.* (1957)に従い吸血間隔を2日として Davidson (1954)の式を適用すると、蚊の日生存率  $p$  は0.42の平方根0.65として算出される。

これらのパラメータから vectorial capacity,  $C$  を計算すると、 $C = 269 \times 0.45^2 \times 0.65^{12} / (-1 \ln 0.65) = 0.719$  となる。この値は、Molineaux and Gramiccia (1980)による西アフリカのスーダンの流行地における *An. gambiae* と *An. funestus* の乾季の推定値にほぼ等しく、雨季の推定値の約35分の1である。

環境変化による vectorial capacity の変化 : 温暖化による海面上昇により、汽水域が現在より内陸部に移動し、*An. sudaicus* の発生源周辺の人口密度が増加するものと予測される。このことは媒介蚊とヒトの接触確率を高め、 $a$  を増加させる方向に働くであろう。

本種の発生源となり得る塩分濃度が一定(通常0.4%)以上の止水域は感潮域のまわりに帯状に分布しており(Imai *et al.*, 1988)、この帯状の地域は海面上昇によ

て内陸部へ移動するが、平均的には面積に変化はないと予測される。しかし、本種はマングローブに覆われた閉鎖的な止水域には塩分濃度が好適な場合でも発生しない。発生がみられるのは、ヒトが利用した後のマングローブの疎林や放棄された養魚池、人家や道路周辺の人工の水溜まり、ココヤシ栽培のための灌漑用水路など、開放的な水域に限られている(Imai *et al.*, 1988)。したがって、海面上昇によっても潜在的な発生源の面積は変化しないが、人口密度の高まりにより潜在的な発生源のうち人手が加わって実際の発生源として機能する部分の比率が高まるものと推測される。したがって、海面上昇によってもたらされるであろう人口密度の増大が発生源の拡大につながる可能性が高い。

蚊の個体数が一定なら、人口密度が高いほど  $m$  の値は小さくなる。発生源の拡大による蚊の総数の増加と人口密度の増加によるヒト1人あたりの蚊の数の減少という2つの要因によって実際の  $m$  の値が決まるのであろう。ここでは、同じプルブック村で潮位が高かった1984年のデータ(今井, 未発表)に基づく  $ma$  の概算値265を考慮し、 $m$  が倍増する場合、変化しない場合、半減する場合を想定した。

温暖化による1°Cの昇温を仮定すると、年平均気温は27.3°Cに上昇し、積算温度則では  $n = 10$ 、MacDonald (1957)のグラフから読みとると  $n = 11$  となる。ここでは、 $n = 11$  を用いる。最暖月の平均気温は28.2°Cと予測され、高温障害の生じる30°Cには達しない。

以上のような検討結果に基づき、数組のパラメータの値を与えたときの vectorial capacity の値を表1に示す。 $m$  と  $a$  が変化しないときは  $p$  が0.63まで低下しても  $C$  は増加する。 $m$  が倍増して  $a$  が変化しないと、 $p$  が0.61まで低下しても  $C$  は1.3倍に増加し、 $p$  が低下しないと  $C$  が3.1倍に増加する。 $m$  が半減すると、 $a$  が若干増加しても  $C$  は減少する。また、 $C$  が増加するためには、 $a$  と  $p$  が不変なら、 $m > 174$ 、 $a$  が不変で  $p$  が0.61に低下すれば  $m > 403$  が必要条件となる。したがって、予測される地球環境の変化は北スマトラの海岸部に生息する *An. sudaicus* の vectorial capacity を高め、この地方のマラリア流行を激化させる方向に働くとは断定できないが、可能性を否定することもできないようである。

## まとめ

温暖化など地球環境の変化とマラリア流行との関わりを vectorial capacity,  $C = ma^2p^2 / (-1 \ln p)$  の概念等を用いて検討した。低~中緯度地方における温暖化ガスに

表1 パラメータの値を変えて計算した北スマトラのマラリア媒介蚊 *Anopheles sundaicus* の vectorial capacity, C の値

m	a	t	n	p	C
269	0.45	26.3	12	0.65	0.719
538	0.45	27.3	11	0.65	2.214
				0.63	1.463
				0.61	0.960
	0.47	27.3	11	0.65	2.414
				0.63	1.596
				0.61	1.046
	0.49	27.3	11	0.65	2.624
				0.63	1.735
				0.61	1.137
269	0.45	27.3	11	0.65	1.107
				0.63	0.731
				0.61	0.480
	0.47	27.3	11	0.65	1.207
				0.63	0.798
				0.61	0.523
	0.49	27.3	11	0.65	1.312
				0.63	0.867
				0.61	0.569
135	0.45	27.3	11	0.65	0.556
				0.63	0.367
				0.61	0.241
	0.47	27.3	11	0.65	0.606
				0.63	0.400
				0.61	0.263
	0.49	27.3	11	0.65	0.658
				0.63	0.435
				0.61	0.285

よる昇温は50年後で概ね0.9~1.8℃と予測され、変温動物である蚊体内でのマラリア原虫の発育所要日数  $n$  を短縮する。 $n$  の短縮は媒介可能な蚊の平均余命（あるいは longevity factor） $p^a / (-\ln p)$  を増加させる方向に働き、その度合いは蚊の生存率  $p$  が高いと小さく、低いと大きくなる。温度が高くなると  $p$  が低下する可能性があり、 $p$  の低下は平均余命を短縮する方向に働く。これらを考え合わせると、昇温による  $p$  の低下が全く生じない

か、またはある狭い範囲内に留まれば、温暖化によって媒介可能な蚊の平均余命が増加する可能性がある。また、温暖化は幼生期の短縮を通じて蚊の年間世代数を増加させるが、赤道を挟む南北それぞれ5~35度の地方では砂漠地方を中心に水収支の純減をもたらす、水域を若干縮小する方向にも働くようである。したがって、温暖化は必ずしも  $m$  の増加に直結しないが、媒介蚊の種や個体群によっては  $m$  が増加する方向に働く可能性がある。以上

から、媒介蚊の種類や地域によっては、温暖化がCを大きくし、マラリア流行を促進する可能性が示唆される。一方、砂漠化は蚊の発生源縮小を通じて流行を抑圧し、熱帯林破壊は、当面、森林マラリアとヒトとの接触の促進を通じて流行を促進するであろう。また、温暖化による海面上昇は、人口密度の高い地域での汽水性媒介蚊の増加を通じて、海岸マラリアの流行を促進する可能性がある。

#### 謝 辞

本文を終えるにあたり、文献についてご教示を賜った大阪市立大学医学部の井関基弘博士、ならびに環境変化と寄生虫病シンポジウムで講演する機会を与えて下さった富山医科薬科大学医学部の上村清博士に厚くお礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) Bruce-Chwatt, L. J. (1980): *Essential Malariaology*, William Heinemann Books, London, 354 pp.
- 2) Burgess, J. C. (1993): Timber production, timber trade and tropical deforestation. *AMBIO*, 22, 136-143.
- 3) Clements, A. N. (1963): *The Physiology of Mosquitoes*, Pergamon Press, London, 393 pp.
- 4) Davidson, G. (1954): Estimation of the survival rate of anopheline mosquitoes. *Nature*, 174, 792-793.
- 5) Garrett-Jones (1964): The human blood index of malaria vectors in relation to epidemiological assessment. *Bull. Wld Hlth Org.*, 30, 241-261.
- 6) Garrett-Jones and Shidrawi (1969): Malaria vectorial capacity of a population of *Anopheles gambiae*. *Bull. Wld Hlth Org.*, 40, 531-545.
- 7) Giglioli, G. (1963): Ecological change as a factor in renewed malaria transmission in an eradicated area. *Bull. Wld Hlth Org.*, 29, 131-145.
- 8) Gill, C. A. (1938): *The seasonal periodicity of malaria*, Churchill, London. (cited from Pampana, 1969)
- 9) 池本孝哉 (1982): 北スマトラの海岸地帯におけるマラリア媒介蚊 *Anopheles sundaicus* (Rodenwaldt, 1925) の生態学的研究. 帝京医学雑誌, 5, 1-15.
- 10) Imai, C., Ikemoto, T., Takagi, M., Yamugi, H., Pohan, W., Hasibuan, H., Sirait, H. and Panjaitan, W. (1988): Ecological study of *Anopheles sundaicus* larvae in a coastal village of North Sumatra, Indonesia I. Topography, land use, and larval breeding. *Jpn. J. Sanit. Zool.*, 39, 293-300.
- 11) Imai, C. and Panjaitan, W. (1989): Ecological study of *Anopheles sundaicus* larvae in a coastal village of North Sumatra, Indonesia II. Environmental factors affecting larval density of *An. sundaicus* and other anopheline species. *Jpn. J. Sanit. Zool.*, 41, 205-211.
- 12) IPCC (1990): *The IPCC's Scientific Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, 365 pp.
- 13) Ismail, I. A. H., Notananda, V. and Schepens, J. (1973): Studies on malaria and responses of *Anopheles balabacensis balabacensis* and *Anopheles minimus* to DDT residual spraying in Thailand. Part I, Pre-spraying observations. WHO/MAL/73. 810, WHO/VBC/73. 454, 1-30.
- 14) 国立天文台 (1994): 理科年表, 丸善, 東京, 1042 pp.
- 15) MacDonald, G. (1957): *The epidemiology and control of malaria*, Oxford University Press, London, 201 pp.
- 16) Manabe, S., Stouffer, R. J. and Spelman, M. J. (1994): Response of a coupled ocean-atmosphere model to increasing atmospheric carbon dioxide. *AMBIO*, 23, 44-49
- 17) Molineaux, L. and Gramiccia, G. (1980): *The Garki Project*, World Health Organization, Geneva, 311 pp.
- 18) Pampana, E. (1969): *A Textbook of Malaria Eradication*, 2nd ed., Oxford University Press, London, 570 PP.
- 19) Reisen, W. K., Mahmood, F. and Parveen, T. (1982): Seasonal trends in population size and survivorship of *Anopheles culicifacies*, *An.*



- stephensi* and *An. subpictus* (Diptera: Culicidae) in rural Punjab Province, Pakistan. *J. Med. Entomol.*, 19, 86-97.
- 20) Sundararaman, S., Soeroto, R. M. and Siran, M. (1957): Vectors of malaria in Mid-Java. *Indian J. Malariol.*, 11, 321-338.
- 21) UNEP (1992): *Saving Our Planet, Challenge and Hopes*, Chapman and Hall, London,
- 22) WHO (1993): World malaria situation in 1991. *Weekly Epidemiol. Rec.*, 68, 245-252, 253-260.
- 23) WHO (1994): World malaria situation in 1992. *Weekly Epidemiol. Rec.*, 69, 309-316, 317-324, 325-332.

[*Jpn. J. Parasitol.*, Vol. 43, No. 6, 453-461, December, 1994]

**Abstract**

– A review –

**A PRELIMINARY STUDY ON GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE AND MALARIA**

CHOBET IMAI

*Osaka City Institute of Public Health and Environmental Sciences*

Effect of global environmental change on the epidemics of malaria disease was discussed on the basis of the MacDonald model. Rise of temperature by the greenhouse effect may cause the increase of the vectorial capacity of some anopheline mosquitoes through shortening the incubation period of *Plasmodium* parasites in mosquitoes. The tropical deforestation may raise the forest-malaria endemicity by increasing the frequency of man-vector contact in the deforested areas. The expansion of the desert areas may decrease the vectorial capacity of some vectors through reducing their breeding places. The sea-level rise as a result of the temperature rise would, in some cases, promote the malaria endemicity in the coastal areas by expanding the habitats of brackish water breeding vectors.