第 25 回獣疫学会学術集会

シンポジウム “地球の温暖化と感染症の発生”

地球温暖化が媒介昆虫に与える影響

小林睦生*

国立感染症研究所昆虫医科学部

Effect of the Global Warming on the Vector Mosquitoes

Mutsuo KOBAYASHI, Ph. D (DMS)*

Department of Medical Entomology, National Institute of Infectious Diseases,
1-23-1 Toyama, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8640, Japan

Summary

A recent IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Changes) report clearly showed that the emission of greenhouse gases has already changed world climate, such as severe heat waves, rises in global mean sea level, summer droughts, wild fire, more intense precipitation, and increasing number of large typhoon, cyclones and hurricanes. The average global temperature is expected to rise by 1.4 to 5.8°C by 2100, potentially raising the sea level to rise a maximum 88 centimeters by melting of glacier of the Antarctic. High temperatures may increase survival among arthropod vector in the winter season in Temperate Zone and accelerate the spread of vectors such as Asian Tiger mosquito, *Aedes albopictus*, in Japan, USA and Europe.

Global warming, extreme climate change, changing physical distribution, and an increase in overseas travel are also expected influence the epidemiology of vector-borne infectious diseases.

はじめに

温室効果ガスとして問題となっている炭酸ガス (CO₂) の濃度は 1750 年には 280 ppm であったのが, 2000 年には 368 ppm と明らかに上昇しており, 有史以来最も高い濃度となっている。この影響によって, 過去 100 年間に地上の平均気温が 0.6 度上昇し, 北半球の温度上昇が他の地域より大きいことも明らかとなった¹⁾。地球規模での温度上昇は 2100 年までに 1.4~5.8°C と予想されており, これに関係して海面が 4~88 cm 上昇すると指摘されている²⁾。異常気象の出現では, 2003 年のヨーロッパ諸国での熱波が記憶に新しい, この熱波では 22,000~35,000 人が死亡したと言われている, また, サイクロン, 台風, ハリケーンの大型化が顕著で, カテゴリー 4, 5 を示す大型のハリ

ケーンの発生数が明かに上昇している³⁾。「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」が最近発表した第 4 次評価報告書において, このまま温暖化が最悪のシナリオで進んだ場合の影響を予測している。温暖化が人の健康に直接関係する問題として, 熱中症による死亡者の増加が指摘され, また, 間接的な影響としては, 病気を媒介する蚊, ダニなどの生息域が高緯度地方に拡大する可能性や, 高地へ移動することによって媒介生物が関係する感染症のリスクが上昇することなどが指摘されている⁴⁾。このような生態系への温暖化の影響は, 媒介昆虫が関係する感染症の流行に大きな影響を与える可能性があるが, 実際, 感染症の流行が生態系の変化とどのように密接に関係して起こるか明らかになっていない。この総説では, 地球規模での温暖化が昆虫, 特に蚊が媒介する感染症にどのような影響を与えるのか, また, 近未来および 2100 年の時点での温暖化の影響予測, 最後に, これらの問題に対して我々はどうに対応するべきかを概説する。

1) 蚊が媒介する感染症と温暖化の影響

1999 年に突然米国で流行したウエストナイル熱は, そ

連絡先: 小林睦生*

国立感染症研究所昆虫医科学部

東京都新宿区戸山 1-23-1

Tel : 03-5285-1111 (内 2400) Fax : 03-5285-1178

E-mail : mutsuo@nih.go.jp

の後、米国内での患者数が増加し、ここ数年は3-4千人以上の患者が発生し、完全に米国にこの病原体は定着したと考えられている⁵⁾。このウイルスは、高温条件で蚊体内での増殖率が高まることが知られており、夏期の高温は患者数を増加させると言われている⁶⁾。デング熱ウイルスも蚊の体内での増殖は、高温であるほど効率が高まり、ウイルスが感染可能な状態（唾液腺に蓄積）になるまでの時間も短縮する⁷⁾。一方、西部ウマ脳炎の原因ウイルス（WEEV）は、*Culex tarsalis* が重要な媒介蚊であるが、25℃以下の温度がウイルスの増殖に最適であることが知られており、32℃で飼育された感染蚊ではウイルスの増殖と唾液腺へのウイルスの蓄積が著しく抑えられる⁸⁾。このように、ウイルスと媒介蚊の組み合わせによっては、温暖化の影響が大きく異なっていることが報告されている。

マラリアはアフリカのサハラ砂漠以南で患者数が増加しており、中国、東南アジアなどの山間部、中南米で依然として猛威をふるっている。4種類のマラリアの中で熱帯熱マラリアは特に重要で、無治療の場合に重篤な脳マラリアに発展し、死に至る疾病である。毎年、アフリカ諸国の子供を中心に100万人近くが死亡している⁹⁾。

地球規模での温暖化とマラリアに関してはいろいろと議論がなされている。アフリカ大陸での高地マラリアの症例が今後増加するとの予測がある。ケニアの高地では、海拔1,500m以上の地域にマラリア患者が発生している。高地と低地との行き来が頻繁に行われている場合、低地で感染して高地で発症する可能性が否定できないが、小児の患者が発生している場合には、居住地周辺で感染した可能性が高いと考えられる。実際、ケニア山の高地で媒介蚊である *Anopheles gambiae* の調査が行われ、確実に1,500~1,900mの地帯に同蚊の分布が確認されている。今後、エルニーニョなどの影響でアフリカの高地の温度が上昇した場合には、多数のハマダラカが発生することから、高地の環境でマラリアの流行が起こることが考えられる。

2) デング熱媒介蚊の分布域拡大と温暖化

デング熱の主要な媒介蚊であるネッタイシマカは、1月の平均気温が10℃以上の地域に分布すると言われている¹⁰⁾。台湾南部の高雄や台南ではデング熱の流行が見られるが、台北ではヒトスジシマカが関係した小規模な流行しか報告されていない¹¹⁾。これは、台北地方でのネッタイシマカの個体群密度が相当低いことを意味している。

IPCCの最近の報告で、最悪の予測として、2100年までに北半球を中心に年平均気温が5.8℃上昇することが指摘されている。MIROC (K1) モデルを用いた将来の温度分布の予測を試み、1月の月平均気温の上昇予測を行った。デング熱の流行している台湾南部の1月の平均気温

を参考にして、10~15℃、15~18.5℃に分けて媒介蚊の分布地域の拡大予測をおこなったところ、2000年では、石垣島から沖縄本島までは流行が可能な地域であったが、2035年には奄美大島が含まれ、九州南部の一部地域に同蚊が分布する可能性が予測された。2100年での予想マップでは、種子島までデング熱の流行がおこる可能性が示され、九州南部から天草灘および日向灘の海岸線の地域にネッタイシマカの分布が広がる可能性が示唆された。また、九州以外に、高知県および徳島県南部の海岸線、紀伊半島南部、静岡県、神奈川県、千葉県南部の海岸線で同蚊の分布が広がる可能性が示された（図1）。将来の温暖化がデング熱媒介蚊の分布域を拡大させる可能性が示されたことから、九州南部から南西諸島にかけて媒介蚊の侵入を継続してモニタリングする必要性が強く示された。

一方、デング熱の媒介蚊として重要と考えられているヒトスジシマカは、1942~1945年にかけての我が国の約2万人規模のデング熱の流行に係わっており¹²⁾、2002年のハワイでの120人規模の流行にも関係している¹³⁾。この蚊はもともと東南アジア起源の蚊で、徐々に分布域を広げて日本に侵入したと考えられているが、いつの時代にこの蚊が日本に運ばれてきたのか明らかになっていない。我が国のヒトスジシマカは卵のステージで越冬（10月~4月）できる特徴があり、この点が南西諸島以南のヒトスジシマカと大きく異なっている。我が国のヒトスジシマカの分布北限は、第2次世界大戦後進駐軍が約5年間かけて行った全国の蚊の調査では、栃木県が北限であった¹⁴⁾。その後、あまり詳細な調査は行われていなかったが、1968年に仙台でヒトスジシマカの分布が確認された。その後1993~1996年に広範な調査が開始され、当時の北限は日本海側では本庄、内陸部では古川、太平洋側では石巻であった¹⁵⁾。1998~2000年にかけて、26市の200ヶ所以上で幼虫および成虫の調査を行い、日本海側では秋田および能代、内陸部では一関および東山町まで分布北限の移動が確認された¹⁶⁾。1998年から2006年にかけての北限の移動をまとめたが、日本海側での分布拡大が顕著であった¹⁶⁾。ヒトスジシマカの分布を規定する要因として、最寒月の平均気温が0℃以上の気象条件が関係しているとの報告があるが、東北地方の1月の平均気温が0℃以下の8都市で同蚊の分布が確認されている。ヒトスジシマカの分布および定着を規定する環境要因として、年平均気温に着目して1kmメッシュ気候図を10.0℃から11.6℃まで0.2℃の間隔で作成した。その結果、11.0℃以上のメッシュ気候図と2000年の分布都市が非常によく対応することが示された¹⁶⁾。この温度はヒトスジシマカの発育零点とほぼ一致しており、同蚊が確認された都市と未確認都市における温度データから11℃以上の積算温

図 1 MIROC (K1) による 2100 年の 1 月の平均気温の分布予測
(J. Disaster Res. 3, 105-112, 2008 より改変転載)

図 2 本州北部におけるヒトスジシマカの分布
1950 年の分布北限は占領軍の調査による。

図3 MIROC (K1) による2035年と2100年における年平均気温の分布予測

2035年には青森県の津軽平野、青森市および八戸市周辺（矢印）にヒトスジシマカの分布域が拡大する可能性が示された。（J. Disaster Res. 3, 105-112, 2008 より改変転載）

度を計算したところ、1,350 日度以上の地域に蚊の分布が認められること、11°C 以上の日数が186 日以上都市に分布が確認された¹⁶⁾。これらの結果は、ヒトスジシマカの世代数が1 年間3.5~4.4 に相当することから、年間の世代数が4 世代ほど繰り返すことがそれぞれの地域での同蚊の定着に重要と考えられた。最近、温暖化予測モデルである MIROC (K1) モデルを基に、2035 年および2100 年における東北地方および北海道の年平均気温の分布図を作成し、ヒトスジシマカの分布拡大の予測を行った。その結果、2035 年には、津軽平野、青森市周辺、八戸から内陸部にかけて、確実にヒトスジシマカの分布・定着が起ることが予想され、2100 年には、東北地方のほぼ全ての平地でヒトスジシマカの分布が広がり、その他北海道の函館から札幌にかけての平地にも分布域が広がる可能性が示唆された¹⁷⁾ (図3)。これらの将来予測において、デング熱のリスク地域が拡大することが明らかとなった。さて、2005~2006 年にかけて、インド洋南西諸島、インド、スリランカ等でヒトスジシマカとネッタシマカが重要な媒介蚊であるチクングニア熱 (Chikungunya fever) の大きな流行が起こった¹⁸⁻¹⁹⁾。全体で170 万人以上の患者

が発生し、レニオン島では全人口の1/3 にあたる約27 万人が感染し、230 人以上が死亡した。2007 年に北イタリアの小さな村でチクングニア熱の流行がおり、9 月末までに約300 名の患者が発生し、1 人が死亡している²⁰⁾。レニオン島および北イタリアでの媒介蚊はヒトスジシマカであった。イタリアでは、1990 年にローマでヒトスジシマカの分布が初めて確認され、その後、約15 年間でイタリア全土にヒトスジシマカの分布が広がっており、発生密度も相当高いとの情報がある²¹⁾。北イタリアの村の例では、インドから親戚を訪ねて来た一人の患者が原因で流行が起きている。北イタリア流行地の年平均気温は12°C 以上あり、ヒトスジシマカの分布に適した気象条件である。今後、ヨーロッパで温暖化がすすみ、気温が上昇した場合には、より高緯度のヨーロッパ諸国にヒトスジシマカの分布域拡大が起ることが予想され、チクングニア熱などのリスク地域が拡大すると考えられる。なお、2005-2006 年にかけてインド洋南西諸島国で流行したチクングニア熱は、その前年のケニアなどで見られた温暖化が関係した干ばつが一つの原因と考えられている。地域住民が雨水をあらゆる容器に溜め、その結果、媒介蚊

(ネッタイシマカ) が爆発的に増えたことでケニア東部でのチクングニア熱の流行がおこり、それがコモロ諸島の流行につながったとされている²²⁻²³⁾。温暖化の直接的な影響以外に間接的な影響も感染症の流行に係わることが興味深い。このように、温暖化は様々な角度から感染症の流行に影響を与えることから、継続的な病原体と媒介昆虫類のサーベイランスの重要性が示唆される。

3) 自然災害と蚊媒介性感染症

地球規模での温暖化が今後どのように進むかは、今後の化石燃料の消費、各国のCO₂削減に関する努力など様々な要因が関係する。しかし、実際、氷河の融解は確実に進んでおり、その結果、山間部に巨大な氷河湖が多数出現している。また、ハリケーン、台風などの巨大化も顕著で、今後自然災害が開発途上国のみならず、先進国でも起こる可能性が高い。1975年から1997年にかけて米国内で起こった、大洪水、ハリケーンによる自然災害で媒介動物が関係する感染症の流行がどの程度起こったかを調査した研究がある。1975年の洪水に伴って、西部ウマ脳炎が人とウマに流行した報告があるが、それ以外の自然災害ではほとんど蚊が媒介する感染症の流行は起こらなかった²⁴⁾。2005年8月にルイジアナ州のニューオリンズを襲った巨大ハリケーンのカトリーナの場合でも、ウエストナイル熱の患者数は増加しなかった。大型の自然災害の場合、媒介昆虫と患者を含む病原体保有動物の両方ともに影響があり、感染環(Transmission cycle)を回すことが不可能になるからだと考えられる。しかし、地球規模での温暖化の場合には、1年間当たりの温度上昇がごくわずかであるため、媒介動物への直接的影響は少なく、发育速度の上昇による個体群密度の上昇、短期間での病原体の増殖、媒介動物の分布域の拡大が静かに起こり、病原体を持った動物や患者が原因となって突然大きな感染症の流行が起こる可能性が高いと考えられる。

参考文献

- 1) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Climatic Change 2001 : Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Third Assessment Report of the International Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 2001a.
- 2) IPCC : Climate Change 2001 : The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 2001b.
- 3) Van Aalst, M.K. : The impacts of climate change on the risk of natural disasters. Disasters, 30, 5-18, 2006.
- 4) IPCC : Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://www.ipcc-wg2.org/>, 2007.
- 5) Komar, N. : West Nile virus : epidemiology and ecology in North America. Adv. Virus Res. 61, 185-234, 2003.
- 6) Reissen, W.K., Fang, Y. and Martinez, V.M. : Effects of temperature on the transmission of West Nile virus by *Culex tarsalis* (Diptera : Culicidae). J. Med. Entomol., 43, 309-317, 2006.
- 7) Watts, D.M., et al. : Effect of temperature on the vector efficiency of *Aedes aegypti* for dengue 2 virus. Am. J. Trop. Med. Hyg., 36, 143-152, 1987.
- 8) Kramer, L.D., Harady, J.L. and Presser S.B. : Effect of temperature of extrinsic incubation on the vector competence of *Culex tarsalis* for western equine encephalomyelitis. Am. J. Trop. Med. Hyg., 32, 1130-1139, 1983.
- 9) WHO : Malaria, 1982-1997. Week. Eep. Rec., 74, 265-270, 1999.
- 10) WHO : Dengue haemorrhagic fever : Diagnosis, treatment, prevention and control 2nd edition., pp. 84, 1997.
- 11) Teng, H-J., et al. : Emergency vector control in a DENV-2 outbreak in 2002 in Pingtung city, Pingtung county, Taiwan., Jpn. J. Infect. Dis., 60, 271-279, 2007.
- 12) Hotta, S. : Dengue vector mosquitoes in Japan : The role of *Aedes albopictus* and *Aedes egypti* in the 1942-1944 dengue epidemics of Japanese main islands. Med. Entomol. Zool., 49, 267-274, (in Japanese with English summary), 1998.
- 13) Efiler, P.V., et al. : Dengue fever, Hawaii, 2001-2002. Emerg. Infect. Dis., 11, 742-749, 2005.
- 14) La Casse, W.J. and Yamaguchi, S. : Mosquito Fauna of Japan and Korea, 207 Malaria Survey Detachment APO 25-26, Kyoto, Honshu, 1955.
- 15) Kurihara, T., Kobayashi, M. and Kosone, T. : The northward expansion of *Aedes albopictus*, distribution in Japan. Med. Entomol. Zool., 48, 73-77, 1997.
- 16) Kobayashi, M., Nihei, N. and Kurihara, T. : Analysis of northern distribution of *Aedes albopictus* (Diptera : Culicidae) in Japan by geographical information system. J. Med. Entomol., 39, 4-11, 2002.
- 17) Kobayashi, M., Komagata, O. and Nihei, N. : Global warming and vector-borne infectious diseases. J. Disast. Res., 3, 105-112, 2008.
- 18) Parola P., et al. : Novel chikungunya virus variant in travelers returning from Indian Ocean islands. Emerg. Infect. Dis., 12, 1493-1499, 2006.

- 19) Pialouz, G., et al. : Chikungunya, an epidemic arboviro-
sis. Lancet infect Dis., 7, 319-327, 2007.
- 20) European Center for Disease Prevention and Control
(ECDO : Mission report : Chikungunya in Italy. pp.
25., 2007.
- 21) Romi, R. : History and updating on the spread of *Aedes*
albopictus in Italy. Parasitologia 37, 99-103, 1995.
- 22) Chretien, J-P., et al. : Drought-associated Chikungunya
emergence along coastal East Africa. Am. J. Trop. Med.
Hyg. 76, 405-407, 2007.
- 23) Epstein, P.L. : Chikungunya fever resurgence and global
warming. Am. J. Trop. Med. Hyg.. 76, 403-404, 2007.
- 24) Nasci, R.S. and Moore, C.G. : Vector-borne disease
surveillance and natural disasters. Emerg. Infect. Dis. 4,
333-334, 1998.