

総説 6

地球的環境変化が寄生性線虫類に及ぼす影響

安藤勝彦

(掲載決定:平成6年11月29日)

Key words: nematode, global warming, acid rain, ozone depletion

人類の地球環境への関心は1970年頃から始まり、1972年ストックホルムで開かれた国連人間環境会議によって一層高まった。その後人工衛生や現地調査によって各地から環境情報が集まるにつれて、自然破壊が深刻に進んでいることが判明してきた。またそれに伴い現在地球上で生じている大きな環境問題がクローズアップされるに至り(1)地球の温暖化(2)酸性雨(3)オゾン層の破壊(4)海洋汚染(湖沼汚染)(5)砂漠化(熱帯林の減少)などの問題が各地で論議されている。本報告では2035年頃を想定した条件下で、上記(1)、(2)、(3)及び(4)の項目が寄生性線虫類に及ぼす影響について述べてみたい。

(1)地球の温暖化:地球はその外側約50kmを大気で覆われている。この大気が存在しないと地表近くの気温は-18℃になるが現在の地球の平均気温は15℃であり、この33度の温度差が大気の温室効果と呼ばれている。しかし、産業活動の拡大によって現在のように年間200億トンのCO₂、100万トン以上のクロロフルオロカーボン(フロン)及び多量のメタンが放出されると、太陽光によって暖められた地表から放出される赤外放射が再び地表に戻るため、平均気温が上昇すると考えられている(内嶋, 1992)。それらの中でもCO₂は量が多いため地球温暖化に関しては最も問題になっており、2035年には現在量の2倍、2125年には約4倍相当になり、これにより地球全体の平均気温がすでに0.3~0.6度上昇しているが、2025年には約1度、21世紀末には3度以上上昇すると予測されている。中緯度や高緯度地方では気温はさらに上昇し、日本付近では2035年には約2度、2125年には約4度上昇すると予測されている。地球温暖化に伴う人類の健康リスクについてはすでに報告されている総説(安藤, 1989; 安藤, 1990)にゆずるとして、本報告では線虫類への影響について述べることにする。

現在の東京の平均気温は15.3℃であり鹿児島では17.3

℃であるから気温が2度上昇すると、東京が現在の鹿児島と同じ気候になり、現在九州以南にのみ棲息している糞線虫が東京でも棲息が可能になると推測される。また、寄生虫全般の生活史の短縮も当然考えられる。そこでトウゴウヤブカ、*Aedes togoi*、に犬糸状虫、*Dirofilaria immitis*、のマイクロフィラリアを吸血させ21、25及び28℃で実験したところ、感染幼虫に発育するために必要な日数はそれぞれ28、13及び11日であった。そこで発育日数の逆数をY軸に、温度をX軸にプロットし、これらの点の分布に直線回帰式をあてはめ $1/Y = 0$ の温度すなわち発育ゼロ点を求めると16℃になる。そこでT℃における発育日数をY、発育ゼロ点をT₀、kを有効積算温度とすると $Y(T - T_0) = k$ (池庄司, 1993)となりk=129.7となる。この値から20℃が22℃、25℃が27℃、30℃が32℃に上昇した時の発育日数の短縮を計算すると、それぞれ10.8、2.6及び1.2日となる(Table 1)。

また日本顎口虫卵を15、20、25及び30℃で培養し発育ゼロ点を求めると14℃となり、この値はAndo *et al.* (1989)の過去の実験値とはほぼ一致した。そこで上記と同様の計算をし、温度が2度上昇したときのふ化までの発育日数の短縮を求めるとそれぞれ88、5.5、1.8及び1.3日となる。さらにふ化した第2期幼虫がケンミジンコ体内で第3前期幼虫に発育する際の発育ゼロ点を求めると

Table 1 Reduction of developmental period of microfilariae (*Dirofilaria immitis*) to infective larvae in *Aedes togoi*

Temp. (°C)	Developmental period (Days)	Reduction of period (Days)
20 → 22	32.4 → 21.6	10.8
25 → 27	14.4 → 11.8	2.6
30 → 32	9.3 → 8.1	1.2

Table 2 Reduction of developmental period of *Gnathostoma nipponicum* larvae

Temp. (°C)	Developmental period of eggs (Days) (1)	Developmental period of larvae in cyclops (Days) (2)	Developmental period from eggs to larvae (Days) (1+2)	Reduction of period (Days)
15 → 17	132 → 44.0	95.0 → 31.7	227.0 → 75.7	151.3
20 → 22	22 → 16.5	15.8 → 11.9	37.8 → 28.4	9.4
25 → 27	12 → 10.2	8.6 → 7.3	20.6 → 17.5	3.1
30 → 32	8 → 7.3	5.9 → 5.2	13.9 → 12.5	1.4

14°Cとなる。そこでこの値から温度が2度上昇した時の短縮日数を求めると63.3, 3.9, 1.3及び0.7日となり、いずれの場合も低温域での温度上昇は発育日数をかなり短縮させることが判明した (Table 2)。したがって地球の温暖化に伴い線虫類の生活史が早く回転するし、すでに述べたように分布域も移動拡大すると予測され、結局は虫体の増加につながると考えられる。これらの予測は日本のみならず熱帯地でも同様であると考えられる。

(2)酸性雨：主に火力発電所から排出される亜硫酸ガスや自動車及び工場から排出される窒素酸化物が太陽光線、オゾンなどにより亜硫酸又は亜硝酸となって雨水中に含まれ、pH5.65以下の雨を酸性雨と呼んでいる。三重県四日市市では1958年石油コンビナートが稼働し始めた頃の雨水はpH6.2であったが、次第に低下し1970年以後4.4以下になっている (四日市市調査)。津市において著者が1994年に測定した雨水もpH4.1~5.5であり新聞 (毎日新聞, 1993年12月9日) 等で紹介されている全国的な調査結果と同様であった。これらの酸性雨に直接さらされる建物及び植物の被害はわが国でもすでに新聞等で大きく報道されている。当然、湖沼や河川の生物にも大きな影響を与えると予想され、一般的にはpH 5~4.8でサケ、マス、甲殻類や貝が死亡し4.5では生物全般に著しい影響を与えられている (谷山, 1993)。この第一の原因はまず泥水中の泥が酸性化することによって泥の中のマグネシウムやカルシウム等の金属が溶出し、それらが生物体内で濃縮されて生殖器官等に影響を与え、しいては受精率、ふ化率に悪影響を与えられている。第二の原因は湖水自体が酸性化してプランクトン等が死滅し、その後は食物連鎖によって死に至る過程が考えられている。

線虫類の生活は水とのかかわり合いが非常に強い。しかし第一の原因による影響は長期間及び何世代もの観察

が必要であり困難であるので、第二の原因に対する影響について調べてみた。酸性雨の生物への影響は酸性雨の成分ではなくてpHの影響と考えられているので実験は緩衝液及び硫酸を用いてpHを調整した水溶液を用いた。犬糸状虫の中間宿主であるトウゴウヤブカのpHに対する生存率を2令幼虫で調べると、pH 6, 5及び4では1日後から徐々に死に始め、5日後ではいずれも50%以下になったがその後の死亡は認められなかった。4令幼虫では2令幼虫に比べて少し耐性が認められた (Fig. 1)。

一方日本顎口虫の虫卵を25°Cで培養するとpH 7, 6, 5及び4の溶液では10から12日後にふ化し始め、その後も順調にふ化した。pH 3では16日後に約10%ふ化したのみで50日経過してもその後の変化は観察されなかった (Fig. 2)。顎口虫の第1中間宿主であるケンミジンコはpH 7, 6及び5の溶液では6日後の生存率が65から80%であるのに対し、pH 4では1日後に60%、6日後には0%、pH 3では1日後に全て死亡した (Fig. 3)。このように線虫卵及びその幼虫、さらにはそれらの中間宿主等、全般にpH 4及び3で悪影響がみられたが、今ところ著者がケンミジンコを獲得している津市内の池の水はpH6.8~7.2であり直接の影響は考えられない。しかし三重県内のある池ではpHは変わらないものの棲息する珪藻に酸性に強い種類が発生しており (Kato *et al.*, 1994)、楽観は出来ない。現在の日本における酸性雨の発生源は日本及び中国であり、これ以外に近い将来東南アジア地域で強い酸性雨の発生源となる国は、公害専門家の間でも予想されていない。従って東南アジア地域で線虫類が酸性雨の直接の影響を受けるとは予想されない。

(3)オゾン層の破壊：オゾンは成層圏中層又は上層で紫外線 (UV) によって酸素から生成されるが、生成された

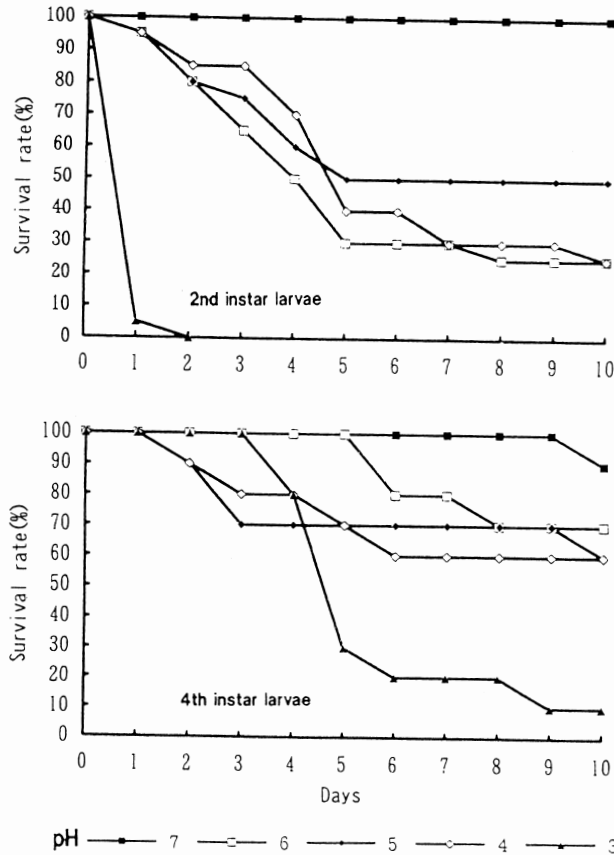


Fig. 1 The influence of pH on 2nd and 4th instar larvae of *Aedes togoi* (n=40 each).

オゾンは一酸化窒素の触媒作用をうけてUVによって分解され、通常は生成と分解の均衡が保たれている。しかし年々増加するフロンガス汚染により、対流圏及び成層圏に上昇したフロンガスはUVによって分解され塩素ラジカルとなり、これによってオゾンが分解される(泉, 1993)。このオゾン層の破壊によって地表に到達するUV量が増加するため、人体に対する影響が危惧されている。UVによる細胞障害はDNA損傷によるものでTTダイマーが主である。このダイマーを修復する機構には古い分類で表現すると主に光回復、除去修復、組み換え修復等があるが、色素性乾皮症の一部はこの修復機構が欠損しているためにガン化がおり、悪性黒色腫(メラノーマ)が発生することが知られている。

線虫類に対するUVの影響も報告されており、糞線虫, *Strongyloides planiceps*, の世代交代してUVは自

由生活雌成虫と感染幼虫の二方向分化に影響を与え、UV照射によって感染幼虫がふえると報告されている(有蘭, 1976)。また生活環境の違いから捻転胃虫, *Chabertia ovina*, *Haemonchus contortus*, *Ostertagia circumcincta*等の感染幼虫は豚回虫, *Ascaris suum*, 豚腎虫, *Stephanurus dentatus*, 蟻虫, *Enterobius vermicularis*等の感染幼虫に比してUVに対して強いとの報告もある(Tromba, 1978)。著者らもかつて蚊の培養細胞のUVに対する感受性を調べたことがあるが, *Aedes aegypti*が*Culex molestus*よりも強いという結果を得たがこれも生活環境の違いによる結果と考えている(Togo et al., 1976)。線虫類のUV修復機構については不明であるが上記の蚊細胞にはそれらが備わっている。寄生虫の中間宿主となる魚類, 両生類及び爬虫類には修復機構があり(武田, 1974)紫

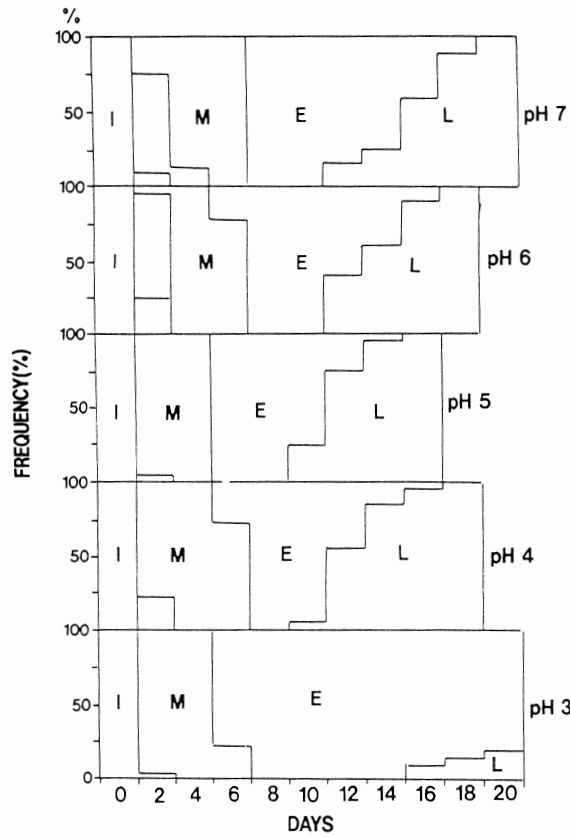


Fig. 2 The influence of pH on development of eggs of *Gnathostoma nipponicum*. Development of 50 eggs were observed at intervals of two days. I; one-cell stage, M; sixteen-cells to morula, E; embryonated egg, L; larva

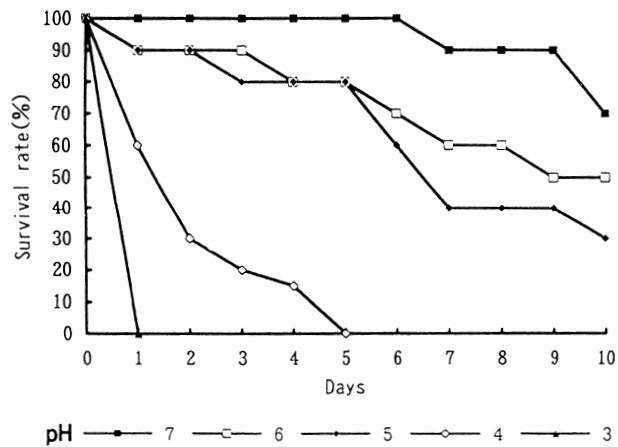


Fig. 3 The influence of pH on *Cyclops vicinus* (n=40).

外線の増加による影響は少ないと考えられる。

(4)湖沼汚染：寄生虫の中間宿主となるケンミジンコが棲息する湖沼の汚染も大きな問題にしなければならない。津市内においても寄生虫の中間宿主となるケンミジンコの棲息している池と、棲息していない池があるがこの両者の水質の差については残念ながら1994年の夏の異常渇水のために明らかにすることができなかったし、また明確な解答を示した文献も見あたらなかった。しかしながら著者の経験から判断すると非常にきれいな池及び汚染の進んだ池には棲息しておらず、少し汚染した池に多量に棲息していた。従って、今後生活排水が流れ込み汚染が進むとケンミジンコの生存に悪影響を与えると考えられる。

本報告では紙面の都合で多くの種類の寄生線虫類について論じることが出来なかったし、また各項目についての考察も不十分であると考えている。しかしながら以上述べてきた結果から推定すると、寄生線虫類が地球規模の環境変化によって、今後近い将来に大きな影響を受けて減少していくとは考えにくい。もし減少の方向に進むとすればその要因として診断技術、治療薬、住民意識の向上、保健環境の向上によると考えられる。

助言をいただいた三重大学生物資源学部谷山鉄朗博士、三重大学医学部医動物学教室の各氏に深謝致します。

本研究の内容は第50回日本寄生虫学会西日本支部、第49回日本衛生動物学会西日本支部合同大会シンポジウム「環境変化と寄生虫病」において報告した。

文 献

- 1) Ando, K., Tanaka, H. and Chinzei, Y. (1989): Influence of temperature on development of eggs and larvae of *Gnathostoma nipponicum* Yamaguti, 1941. *Jpn. J. Parasitol.*, 38, 31-37.
- 2) 安藤 満 (1989): 地球規模気候変動による健康と疾病への影響. *日農医誌*, 38, 55-59.
- 3) 安藤 満 (1990): 地球温暖化に伴う健康リスク. *日農医誌*, 39, 907-912.
- 4) 有蘭直樹 (1976): 糞線虫の対外発育に関する研究 VI 紫外線の影響. *寄生虫誌*, 25 (増), 52.
- 5) 池庄司敏明 (1993): 蚊. 246頁, 東京大学出版会.
- 6) 泉 邦彦 (1993): 恐るべきフロンガス汚染. 135頁, 合同出版
- 7) Kato, S., Koyama, Y., Eiraku, M. and Tsuji, S. (1994): Air pollution on a global scale-current status of acidification. *Proceeding of the 1994 Mie international forum & symposium on global environment and friendly technology*. 519-524.
- 8) 谷山鉄郎 (1993): 恐るべき酸性雨. 144頁, 合同出版.
- 9) 内嶋善兵衛 (1992): ゆらぐ地球環境. 222頁, 合同出版.
- 10) 武田 進 (1974): 紫外線DNA損傷とその修復に関する細胞病理学的研究. *日病会誌*, 63, 91-114.
- 11) Togo, Y., Akeda, S., Yatani, R. and Ando, K. (1976): Repair of ultraviolet-damaged DNA in mosquito cells. *Mie Med. J.*, 25, 153-161.
- 12) Tromba, F. G. (1978): Effect of ultraviolet radiation on the infective stages of *Ascaris suum* and *Stephanurus dentatus* with a comparison of the relative susceptibilities of some parasitic nematodes to ultraviolet. *J. Parasitol.* 64, 245-252.

Abstract

– A review –

THE INFLUENCES OF GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGES ON NEMATODES

KATSUHIKO ANDO

Department of Medical Zoology, Mie University School of Medicine, Tsu, 514 Japan

Global environmental changes have the potential to increase risks to human health. In this paper, the influences of global environmental changes on nematodes up to the year 2035 are forecast by simulation and references. (1) Global warming: An increase in the proportion of green house gases in the atmosphere, carbon dioxide, methane and chlorofluorocarbons, could lead to global warming. If it occurs in Japan, the mean temperature may increase 2°C by the year 2035. This will cause nematodes to spread, increasing their distribution. The thread worm may even spread to Tokyo with this temperature rise. Development of microfilariae of the dog heart worm in *Aedes togoi*, development of *Gnathostoma nipponicum* eggs, and its larvae in cyclops were studied at various temperatures. Life cycles of these organisms were shortened by the temperature rise of 2°C, especially at lower temperature. (2) Acid rain: Direct influence of acid rain on 2nd instar and 4th instar larvae of *Ae. togoi*, gnathostome eggs and cyclops was studied from pH 3.0 to 7.0. Survival rate of these animals fell remarkably at pH 3.0 and 4.0. In Tsu City, the pH of rainfall is 4.1 to 5.5, nevertheless, the pH of pond water is 6.8 to 7.2. Sudden acidification of pond water and river water by acid rain is not forecast for the near future. (3) Ozone depletion: Ozone depletion by chlorofluorocarbons may lead to increased ultraviolet (UV) radiation. UV-damaged DNA such as thymine-thymine dimers is induced by this in living cells. However living organisms have repair systems for UV-damaged DNA. The intermediate hosts of parasites such as pisces, amphibia and reptilia have various repair systems. Therefore, it is considered that the influence of UV on these intermediate hosts will be small.