

【シリーズ】

地球温暖化の健康への影響

内山 巖雄

京都大学大学院

The Health Effects of Global Warming

Iwao UCHIYAMA

Department of Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University

Abstract: The third report published by IPCC in 2001 said that the health effects of global warming have appeared in all of the world, and estimated that the average temperature in 2100 will increase 1.4 to 5.8 degrees centigrade compared with that in 1990. They also described both the direct and indirect effects including ecological, social and economic ones.

The occurrence of heat stroke increases when daily maximum temperature is higher than 30°C in Tokyo, and senior citizen older than 65 years are defined as a high risk group for heat stroke. It is observed that there is a “V”-shaped relationship between daily maximum temperature and daily mortality rates, characterized by mortality rates that are higher when the temperature is extremely low or higher than when the temperature is moderate. Besides, the V-shape moves horizontally according to the climate in Japan.

Response to the heat stress of the young people in Thailand may be best among Japanese and Thailand people judging from the LF/HF and HF values. But it is suggested that young people working in air conditioned offices in the daytime have weak response to heat stress.

Key words: global warming, health effects, heat stress, daily mortality, autonomic nerve system

要旨： IPCC が 2001 年に公表した第 3 次評価報告書では、地球温暖化の影響が世界各地で現れてきたと結論し、2100 年には 1990 年と比較して平均気温が 1.4 ～ 5.8 °C 上昇すると予測している。また影響を直接影響と間接影響に分け、生態学的影响に加え社会・経済・人口学的影响も考慮している。

東京では最高気温が 30 °C を超えると熱中症の発生が増加することが観察されているが、65 歳以上の高齢者がハイリスクグループである。また日最高気温と死亡率の関係では、日最高気温の上昇とともに日死亡率は低下するが、33 °C を超えると再び日死亡率が上昇する。死亡率の最も低い日最高気温は日本の各地で異なり、平均気温が低い地域はこの気温が低い傾向が認められ、温暖化の影響はどの地域でも認められる可能性がある。

暑熱に対する反応を自律神経機能の 1 種である LF/HF、HF を指標として日本人とタイ人の成人、高齢者を比較したところ、タイの成人が最も暑熱に対する反応は優れていたが、日中空調のあるオフィスで働く成人はその機能が低下していることが示唆された。

その他、動物媒介性感染症の増加、光化学オキシダントの悪化による呼吸器疾患の増加の可能性について解説した。

キーワード： 地球温暖化、健康影響、熱中症、日死亡率、自律神経機能

1. はじめに

地球温暖化によって生ずる環境変化による健康影響は、いわゆる熱波等による直接的な影響のみでなく、既存の環境を前提として形成されている都市環境や、生活

環境における人工的な環境、たとえば衣服、空調、住宅構造などの様式を変えざるを得ない、あるいは疾病構造や死亡構造が変わる可能性のある大きな潜在的・間接的影響を含んでいる。1990 年に「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」が、初めて健康影響のシナリオを出

して以来、わが国でも地球温暖化による健康影響の調査研究が進められ、また IPCC は最近この5年間の世界での研究成果を新たにまとめた。本稿では、これまでの世界の知見と我々の研究成果も述べていきたい。

2. 気候変動による健康影響の予測シナリオ

IPCC が2001年に公表した第3次評価報告書では、人間活動が引き起こした地球温暖化の影響が世界各地で現れてきたと結論している。今年の各地の桜の開花の早さには驚かされたのは記憶に新しいが、上記報告書では2100年には1990年に比べて平均気温が1.4～5.8℃上昇し、海面上昇は9～88cmと予測している。気候変動による健康への影響のシナリオは、直接影響として、①気温の過度の変化（特に熱波）による暑熱や寒冷に関する疾患や死亡率の変化（特に心血管疾患、呼吸器疾患）すること、②その他の過度の気候の変動による災害（洪水、嵐など）の程度や頻度が変化することによる死亡、負傷、精神的傷害が増加し、公衆衛生上のダメージを生ずること、が挙げられている。また間接影響としては生態系システムの障害がおり、①疾患の媒介動物や感染性寄生虫の増加や活動性が変化し、動物媒介性感染症の分布や流行が影響を受けること、②水媒介性または食物媒介性感染症の地域生態系が変化することにより下痢症や他の感染性疾患の流行が変化すること、③気候の変化や病虫害による食物生産（特に穀物）の変化により、局地的な飢餓や食糧不足とそれに伴う子供の成長不全などが考えられ、さらに④海面上昇による人口移動と社会的基盤の崩壊、⑤花粉や孢子などを含む大気汚染レベルや生体影

響への変化、⑥気候変動の影響による社会的、経済的、民主的状態の崩壊による広範囲の公衆衛生学的影響、を挙げている。最初のシナリオに比べて、直接影響（熱波、洪水、嵐など）と間接影響を明確に分けたこと、さらに、生態学的影響（動物媒介性感染症、伝染病、食糧不足による飢餓など）に加え、社会・経済・人口学的影響をも考慮するようになってきたのが特徴である。

3. 気温の上昇による健康影響

1) 熱波による熱中症と死亡

外気温がある閾値を越えて著しく高くなると、中枢神経系の温熱中枢と、熱産生臓器や汗腺等の効果器による体温維持機能の低下により深部体温が上昇し、いわゆる熱中症が起こる。夏の暑い直射日光に長時間さらされて起こったものは日射病と言われるが、軽度の症状の場合は涼しい所に避難すれば症状は回復する。しかし、外気温が33℃を越える様な日が数日間続くいわゆる「熱波 (heat wave)」が襲ったり、長時間の暑熱曝露が続くと体温上昇は非可逆的となり死に至ることがある。特に、心血管系、脳血管系、呼吸器系等の基礎疾患を持ち、生体機能の低下している病人、高齢者、乳幼児はその危険が大きくなる。図1は、昨年記録的な猛暑が続いた東京都の消防庁が報告した最高気温と熱中症で救急車で搬送された人数を示したものである。最高気温と熱中症の搬送数がよく一致していることがわかる。また、これまでの調査では最高気温が30℃を越えると、急速に熱中症の発症数が増加することがわかっている。65歳以上の高齢者がハイリスクグループであるが、若年者が主にス

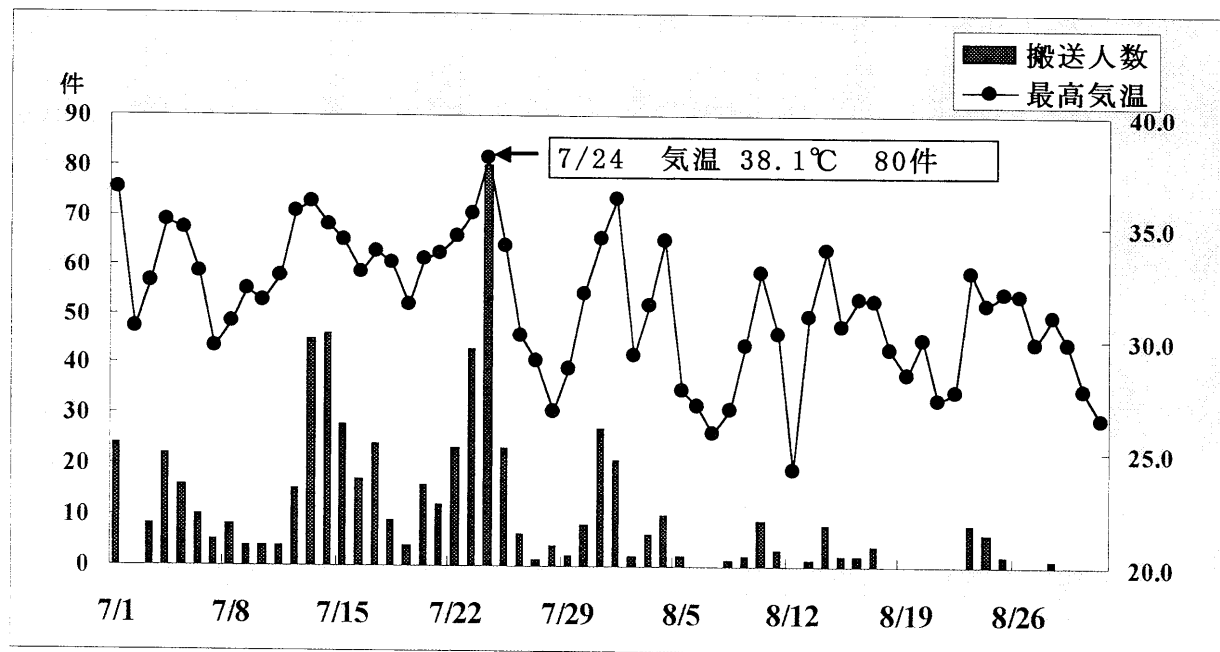


図1. 昨年記録的猛暑のため熱中症が多発（東京消防庁、2001年報告より）

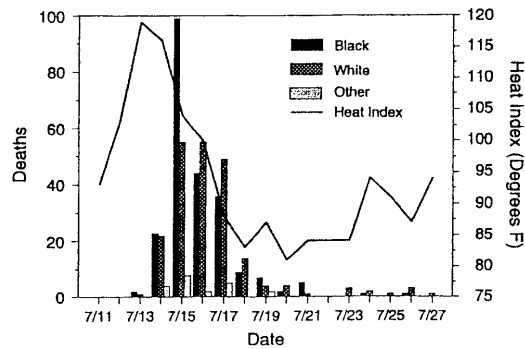


図2. 暑熱関連死亡率（人種別）と暑熱指数の推移（1995年7月11日～27日，シカゴ）（UMWR, 1995）

スポーツや遊びの最中に，中年から高齢者が屋外労働中や歩行中に発症する特徴があるのに比べて，高齢者が屋内や自宅など直接日射に当たらなくても発症する例が多いことにも注意が必要である。幸い我が国では，熱波による熱中症を原因とした過剰死亡は観察されていないが，アメリカや，中国などでは以前からその危険が報告されている。

米国の最近の事例では1995年7月12～16日にシカゴを襲った熱波により，この間（7月11日～27日）の暑熱関連死亡（heat-related mortality）は，465名にのぼったと報告されている¹⁾。この間気温は33.9℃～40.0℃に達し，暑熱指数（heat index，気温に湿度を加味したもので，日本の不快指数に類似）は13日のピーク時には48.3℃に達した。死亡数のピークは暑熱指数のピークの2日後であった（図2）。年齢の確認できた437名のうち，222名（51%）は75歳以上であった。ここでは，暑熱関連死亡の定義として，以下の①～③の条件のうちどれか一つを満たしたものとしている。即ち，①死亡時または死亡直後の深部体温が40.6℃以上の場合，②現場の環境や状況が，暑熱が死亡に直接関与している証拠がある場合（例えば死亡者が外気温が高温にもかかわらず，窓を締めきったエアコンの無い部屋で発見された場合），③死亡者が熱波期間中に生存が確認されていて，他の死因が考えられないにもかかわらず腐敗死体で発見された場合，としている。死亡の定義から多少過大評価しているかもしれないが，熱波が襲った2日後位から死亡数が増大し，高齢者に死亡リスクが大きいことはこれまでの報告と共通している。

また，少し古くなるが，張ら²⁾は中国南京市で1988年7月に起こった熱波で重症熱中症をおこした高齢者の疫学調査を報告している。南京市の7月の平均気温は26～29℃であるが，この年の7月は1日から24日の間，連日31.3～38.5℃の最高気温を記録し，相対湿度は75～80%であった。この1ヵ月間に約4,500名の熱中症の患者が病院を受診したが，入院した411例のうち，271例（65.9%）が60歳以上の高齢者であった。これらの

表1 熱中症の重症に陥った271例の基礎疾患と死亡率（60歳以上）（張ら，1990）

基礎疾患	例数	%	死亡数	%
高血圧	92	34.0	33	35.9
虚血性心疾患（狭心症，心筋梗塞）	89	32.8	56	62.9
糖尿病	21	7.8	8	38.1
肥満	20	7.4		
心不全	18	6.6	8	44.4
脳血管疾患後遺症	15	5.5	4	26.7
慢性気管支炎	15	5.5	5	33.3
貧血	10	3.7		
精神疾患	8	3.0		
悪性腫瘍	5	1.9	3	60.0
慢性疾患2つに罹患	64	23.6	31	48.4
慢性疾患3つに罹患	15	5.5	8	53.3
慢性疾患4つに罹患	4	1.5	3	75.0

重症熱中症の高齢者では，慢性的基礎疾患を持っている場合が大半であり，頻度の高い疾患は脳，心血管系疾患と糖尿病であった（表1）。また，死亡率も高く35.4%に達し，さらに罹患している慢性的基礎疾患の数が多いほど死亡リスクは上昇していることがわかった。

わが国では中井³⁾の報告によると，1970年～1990年の熱中症の死亡数は年間26～155件とそれほど多くないが，65歳以上の高齢者の占める割合は41.4%である。東京および大阪管区気象台の資料を日本全国の気象条件の代表として，熱帯夜（日最低気温が25℃以上の日）と真夏日（日最高気温が30℃以上の日）の日数を調査すると，年間熱中症死亡数と熱帯夜および真夏日の年間日数との間には有意の正の相関関係を認め，暑い日が多いと熱中症による死亡も多くなっていたと推測している。

2) 日最高気温が日死亡率に及ぼす影響^{4,5)}

わが国の全死因による死亡率の最近の月別変動をみると，死亡率は寒い冬に高く，夏に低いパターンとして知られ，気温による死亡リスクはむしろ寒さの方が注目されてきた。実際，公表されている月別死亡率をプロットしていくと，1950年代には夏季に死亡率の上昇する小さな山が見られたが，これは乳幼児，小児を中心とする伝染性下痢症による死亡率の上昇であって，1970年代になると医療の発達，衛生状態や栄養状態の改善により，この山はほとんどなくなった。従って，日本では地球温暖化で平均気温が上昇すれば，むしろ住みやすくなる地域が増えるのではないかと議論もされてきたのである。しかし我々は，月別ではなく，さらに詳しく1日の最高気温（日最高気温）と同日の死亡率（日死亡率）を比較すれば暑熱も死亡リスクの増加になっているのではないかと考えた。もしそうだとすれば，地球温暖化の

(66)

地球温暖化の健康への影響

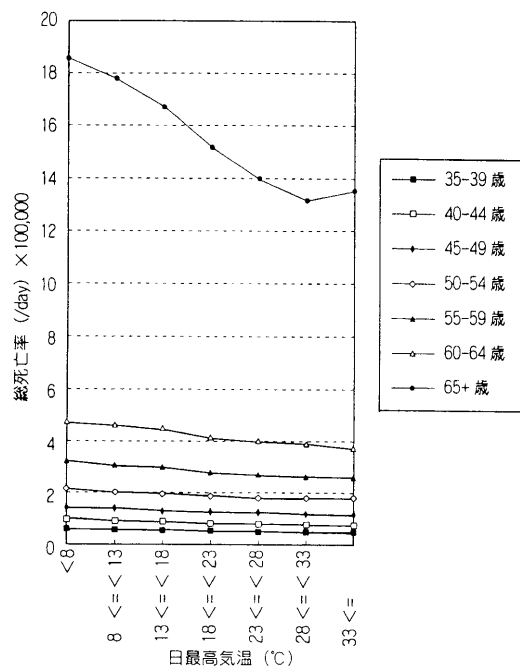


図3．年齢階級別・日最高気温と総死亡率との関係
(九州, 1972～1990年, 男)

健康への影響もわが国にとって無縁ではなくなってくるはずである。分析には1972年～1990年の19年間の人口動態統計死亡票と気象庁の各測候所における気象資料を用いた。まず、1972年の沖縄県を除く九州7県の各県庁所在地の日最高気温をその県の代表値として、8℃未満、8℃～33℃の間を5℃間隔の5区分、33℃以上と計7区分に分けてX軸にとり、同年の日死亡率（以下死亡率）をY軸にとって死亡率曲線を描いた。その結果日最高気温が高くなるにつれて死亡率は低下し、最高気温が28～33℃の時に死亡率が最低となった。しかし、日最高気温が33℃以上になると死亡率は再び上昇し、死亡率曲線はV字型を示した。しかも家庭や病院における空調設備が急速に普及し、生活環境が快適になったと思われる1990年までの19年間でもほとんどこの死亡率曲線のパターンは変らなかった。この様に月単位でなく、1日毎に日最高気温と死亡率の関連を分析していくと日最高気温が33℃以上になると、死亡率は再び上昇することが初めて明らかになった。

従来の報告では、高齢者や何らかの基礎疾患を持っている者が暑熱に対してハイリスクであるといわれている。そこで同じく九州地方の7県につき、19年間のデータをまとめて、35歳以上の5歳ごとの年齢階級別に同様の分析を試みたものが図3である。予想された通り、日最高気温と死亡率との関係がV字型を示すのは65歳以上の年齢階級のみであり、それ以下の年齢階級では、死亡率はほとんど気温の影響はなくやや右下がりの傾向を示すのみであった。またこの図では省いたが、10代～20代の若年者は、やはり日最高気温が高くなると死

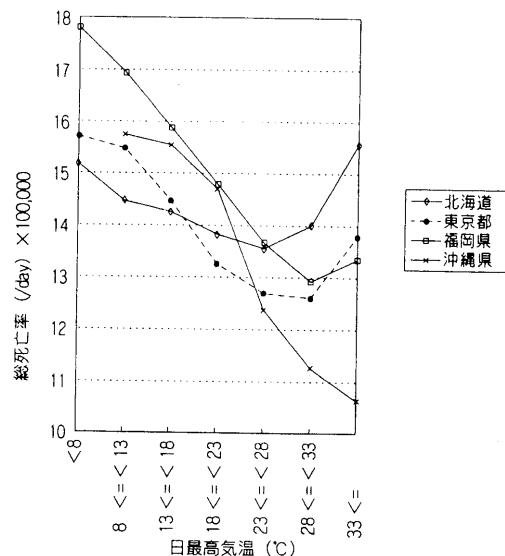


図4．都道府県別・日最高気温と総死亡率との関係
(1972～1990年, 65歳以上, 男)

亡率は上昇するが、その数が少なくて年によって変動が大きいこと、夏季に水死などの事故死が多いことがその理由と考えられ、事実不慮の事故による死因を除くとその傾向はなくなるので、以後の分析は65歳以上のみで行なった。

次に死因別に分析すると、33℃以上で死亡率が上昇する疾患は心疾患、脳血管疾患などのいわゆる循環系疾患が最も顕著であり、虚血性心疾患、老衰、呼吸器疾患が弱い関連を示し、悪性新生物やその他の疾患は気温との関連はほとんど認められなかった。

以上は九州での分析であったが、日本は南北に長く、気温分布は大きく異なる。そこで、次に興味があるのは寒い地域でもこの様な現象が見られるか否かということである。そこで全国各都道府県毎に65歳以上のみを対象として分析を行なったところ、ほとんどすべての都道府県で、死亡率曲線がV字型を描いたが、V字の谷となる気温区分は地域によって異なることが明らかとなった。図4に代表として北海道、東京都、福岡県、沖縄県を示したが、平均気温が低い地域（北海道）はV字型の谷となる気温区分は低くなる（23～28℃）傾向にあり、また33℃以上になった時の死亡率は高い。東京は23～28℃と28～33℃の値が殆ど変わらず、福岡県は28～33℃で最低となる。逆に沖縄県は33℃以上になっても死亡率は上がらず、V字型を示さなかった唯一の県であった。この事は、ある地方での平均気温から、死亡リスクが最も小さくなる「至適温度」を予測するモデルが作成出来る可能性を示唆している。以上の事から、わが国の多くの地域で、日最高気温が33℃以上に上昇すると死亡リスクは再び増加し、それらは特に65歳以上の高齢者に特徴的であり、疾患としては特に循環系疾患

表2 地球温暖化による動物媒介性感染症への影響 (IPCC報告, 1995年一部変更)

感 染 症	リスク人口 (百万人)	感染者数・ 年間新患者数 (百万人)	現在の地理分布	地球温暖化 による分布 の変化
マラリア	2,400	300-500/年	熱帯・亜熱帯	+++
住血吸虫症	600	200	熱帯・亜熱帯	++
リンパ性フィラリア症	1,094	117	熱帯・亜熱帯	+
アフリカトリパノソーマ症 (ねむり症)	55	25万-30万/年	熱帯アフリカ	+
ドラクンクルス症 (ギニア虫症)	100	10万/年	南アジア・アラビア半島・ 中央-西アフリカ	?
リーシュマニア症	350	12	アジア・南ヨーロッパ・ アフリカ・アメリカ	+
オンコセルカ症	123	17.5	アフリカ・ラテンアメリカ	++
アメリカトリパノマ症 (シャーガス症)	100	18	中南米	+
テング熱	1,800	10-30/年	熱帯各国	++
黄熱病	450	< 5千/年	熱帯南米・アフリカ	++

+: 確度あり ++: 確度が比較的高い +++: 確度が著しく高い ?: 不明

に顕著であることがわかった。

この傾向はわが国のみでなく、北欧やアメリカでも報告されているが、北欧では日死亡率の最も低い時の平均気温は北海道よりもさらに低いことが興味深い。

3) タイ人の暑熱に対する適応の違い

日本においては、普段平均気温が低い地域では暑熱に対する反応が不十分であり、死亡率が最も低い気温区分が平均気温が高い地域に比べて低いことがわかった。それならば亜熱帯地域に属するタイに住む人たちは日本人に比較して暑熱に対してどの様に適応しているのであろうか。その違いがわかれば、将来わが国が温暖化によって平均気温や最高気温が上昇した場合の対策を、個人の生理的適応でどの程度補えるのかが予測できると考えて、タイのマヒドン大学と共同研究を行ってきた。適応や順応、あるいは気候に対する馴化はいろいろ定義が異なっているが、本稿では生活全体の面から考えて適応という言葉を使わせていただく。

暑熱への反応の状態を調べるために、実験室での暑熱曝露の影響の評価には直腸温の測定がよく行われる。しかし、直腸温の測定は苦痛や不快感を伴うので、将来一般の高齢者の暑熱に対する適応状態を評価するために不適當である。そこで、非侵襲的な調査方法であり、タイのフィールドで使用できるものとしてホルター心電計を用いて、RR間隔分析を行った。得られた長時間心電図からパワースペクトル分析を行って10分ごとの高周波成分(HF)と低周波成分(LF)の値を算出し、LF/HF比を交感神経活動状況、HF値を副交感神経活動状況の指標とした。まず日本人(東京在住者)とタイ人の青年男子と高齢者を25℃の前室から35℃の部屋に移動して

1時間滞在してもらった実験的暑熱曝露による直腸温とLF/HF、HFの値の変動を比較し、次にタイ人の空調施設のあるオフィスで働く成人(A群)、空調施設のない仕事場で働く成人(B群)と空調を使用しない高齢者(C群)の24時間の生活環境温度と自律神経バランス状態を調査した。結果の詳細は改めて報告するが、概要は実験的暑熱曝露の結果は、青年より高齢者の暑熱に対する自律神経の反応が低下していること。しかし、タイの方が日本人より暑熱に対する反応が優れていることがわかった。また日常生活では、同じ成人でも普段空調のあるオフィスで働いているA群は、B群よりも33℃以上の空間に移動した場合の反応が劣ること、高齢者C群は、A群、B群より33℃以上の暑熱曝露に対する反応が劣るということが推定できた。

これらの結果は、人間が生理学的適応のみでなく、社会的・文化的な適応も関連しながら非常に長い期間かけて外部の環境変化に適応してきたことを示しており、空調による室内の温度コントロール程度では十分な対策では無い事を示唆している。従って地球温暖化により、平均気温が上昇すれば日本各地での生活様式を含んだ社会・文化的適応が起こらない場合には、日本のどの地域でも健康への影響が起こり得ることを示唆していると言える。

4. 動物媒介性感染症による健康影響

動物媒介性感染症は、熱帯・亜熱帯および温帯地方にまで広範囲に分布するが、その発生を規定する要因には気温と湿度が大きく関わっている。わが国では日本脳炎の流行が散発するが、同じく蚊媒介性疾患であるマラリアの発生は見られていない。しかし、沖縄県の島嶼では、

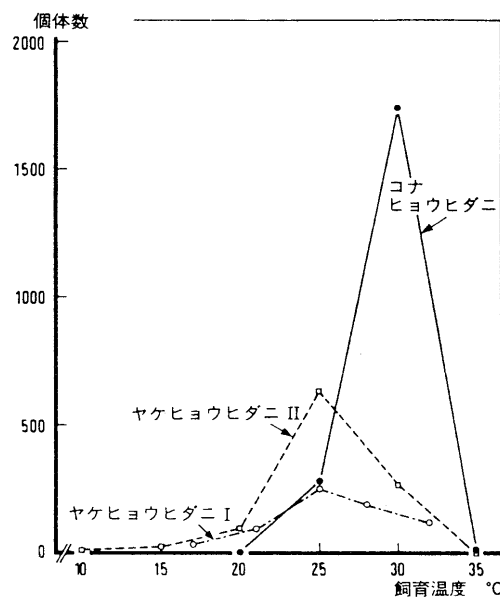


図5. 種々の温度、好適湿度条件で20個体（コナヒョウヒダニ、ヤケヒョウヒダニI）または雌5個体と雄5個体（ヤケヒョウヒダニII）で飼育した場合、8週間後の個体数（Spieksman 1967, Koekkoekとvan Bronswijk 1972, WakiとMatsumoto 1973, MurtonとMadden 1977による）

（ハウス・ダストの生物学，1990より引用）

マラリアを媒介する蚊の生息が確認されているし、輸入マラリアは常に起こる可能性がある。しかし、一方でマラリアやデング熱のように媒介動物が感染症の流行域を越えて分布しているのが見られることは、社会経済状態、環境衛生の整備、栄養状態、保健医療設備の状況も感染症の流行を決定するもう一つの大きな要因であることを示しており、たとえ媒介動物の分布領域が拡大しても予防対策を取り得る可能性を示している。表2は地球温暖化による動物媒介性感染症への影響をまとめたものである。蚊の媒介する伝染病としてはマラリアが有名であるが、マラリアを媒介する蚊よりはデング熱を媒介する蚊の方が、都市の汚染された水系で生息できるという事実から、わが国のように都市化した社会では、マラリアよりはデング熱の流行に注意する必要がある。

また、感染症ではないが、わが国のみならず先進各国でアレルギー疾患の増加が報告されているが、その抗原のひとつであるチリダニ類（コナヒョウヒダニ、ヤケヒョウヒダニ等）の成育状況や繁殖状況は気温や湿度によって大きく左右される。図5は気温が25～30℃になると、チリダニ類の個体数が急激に増加することを示している。これは至適温度になると、成育するまでの期間の短縮、1個体あたりの産卵数の増加の両者の要因が重なって爆発的に個体数が増加するのである。地球温暖化により平均気温が上昇すると、今まで以上に室内温度、湿度がチリダニ類の成育条件に合った地域が増加し、アレルギー疾患がますます増加することも予想される。

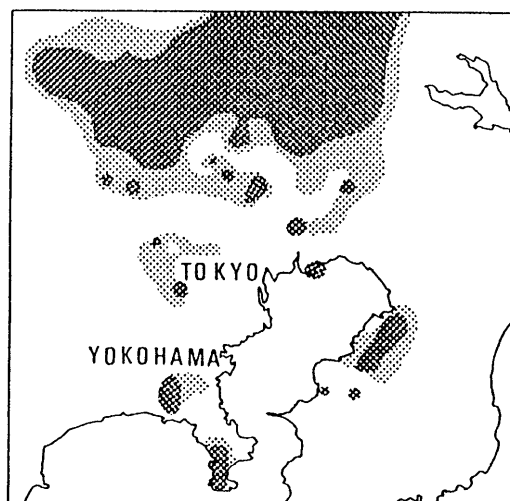


図6. 温暖化による関東地方の光化学オキシダント高濃度汚染域の拡大予想

- （ 1987年時点の一時間値の最高値180ppb以上の地域）
- （ 温暖化による5℃の上昇で180ppb以上になる地域）

アレルギー疾患がますます増加することも予想される。

5. 光化学オキシダントの悪化による健康影響

光化学オキシダントの生成には、窒素酸化物とVOC（揮発性炭化水素）に太陽の紫外線が関与するが、屋外チャンバーを用いた実験によれば、最高オゾン濃度は日中の最高気温に伴って増加することが示されている。また、米国でのデータによると、オゾン濃度が基準（米国の基準0.12ppm）を越えた日数は、平均の最高気温と直線的な関係にあり、平均最高気温が25℃であった1988年には基準を越えた日数は12日であったのに対し、23℃であった1984年は、わずか1日であった。また、わが国での光化学チャンバーを用いた実験によると、気温の上昇によりオゾン生成の立上がり時間は短くなり、高濃度オゾンの持続時間が長くなることが明らかになっている。これらの実験結果と、1987年の光化学オキシダントの1時間値の最高値の分布をもとに、温暖化により5℃の気温上昇が起こった場合の東京湾周辺の光化学オキシダント濃度の予測をしたものが図6である。さらにこれにもう一つの地球環境問題であるオゾン層の破壊による紫外線量の増加が加われば汚染地域がさらに拡大することが予測され、このような大気汚染の悪化により、呼吸器系の疾患が増大することが心配されている。

6. おわりに

地球温暖化による健康影響の現われ方は、IPCCのシナリオにもあるように、非常に複雑で、直接影響である熱ストレスや、動物媒介性感染症であっても、人の生理

学的反応のみでなく、年齢、基礎疾患の有無や社会・文化的適応がからみ、感染症に関しては、宿主の栄養状態や、衛生環境等にも関係してくる。間接的影響ともなればその分析はさらに困難になることは明らかであり、これまでに述べてきた研究もまだ緒についたばかりであることがお解りいただけたと思う。しかし、地球温暖化が遠くない将来にやってくることが確実になった今、我々はこれからも着実にその影響と対策に関する研究をすすめていかなくてはならないだろう。

謝辞：本稿の内容の一部は、環境庁「地球環境研究総合

推進費」地球の温暖化（B—13）研究の一環として実施されたものである。

参考文献

- 1 CDC, Morbidity and Mortality Weekly Report, Vol.44, No. 31, 577/579, August 11, 1995,
- 2) 張季平ら：日生氣誌, 27(2), 77/82, 1990
- 3) 中井誠一：日生氣誌, 30(4), 169/177, 1993
- 4) 本田靖ら：日本公衛誌, 42, 260/268, 1995
- 5) Honda et. al : Global Environ. Res. 2, 105/110, 1998.