

地球温暖化の健康への影響

— 生活環境と健康 —

本田 靖*¹、内山巖雄*² (*¹国立環境研究所環境健康部 *²国立公衆衛生院労働衛生学部)

摘 要

生活環境と健康との関連を調べるため、わが国における1972—1990年の気象・死亡統計資料をもちいて解析をおこなった。基本的に都道府県を単位とした。気象変数として日最高気温、気候の変数として1972—1990年の「平均気温」、死亡の変数として人—時間法による死亡率を用いた。

横軸に日最高気温、縦軸に全年齢の死亡率をとると、男女ともにその関係はV字型を示した。ただし、死亡率が最低になる気温は北海道で九州よりも低く、33℃以上での死亡率は北海道で高かった。47都道府県で「平均気温」と日最高気温区分別死亡率との関係をもても、寒い日の死亡率は寒冷な地方で低く、暑い日の死亡率は逆に寒冷な地方で高くなっていた。これは文化的対応まで含めた広義の適応によると思われる。

九州の例で年齢階級別にみると、30歳代は気温の影響がほとんどなく、より高い年齢階級では高齢者ほどはっきりしたV字型を示した。年次によって33℃以上の暑い日は大きく異なるにもかかわらず、毎年の死亡率の変化は小さかった。すなわち、暑い日が多ければ多いほど死亡数は増加する。死因別にみると、V字型を示すのは循環系・呼吸系・消化系の各疾患などであり、新生物ではV字型が認められなかった。熱射病を含むと考えられる「過度の高温」による死亡は、多い年でも日最高気温33℃以上での全死亡の1%未満であり、これがV字型に貢献しているとは考えにくい。

上述の日最高気温と死亡との関係をそのまま用いて将来の温暖化による死亡数の変化を予測した。九州地方で1972—1990年の気温が常に実際の気温よりも、1℃、3℃、5℃高かったという3種類の仮定で計算したところ、どの仮定でも死亡数は実際よりも少なかった。しかし、科学的根拠をもって外挿できるほどのモデルはまだ完成していないので、実際に温暖化が有利に働くかどうかは難しい。

キーワード：気温，死亡率，日本，適応，疫学

1. 緒言

温暖化の健康影響を考える場合の「生活環境」というのは、気温を含む気象要因と、その気象要因に対する適応としての人工的な環境、たとえば衣服、空調、住宅構造とを合わせたものと考えられる。そのための研究では一般に人間集団が対象となる。この場合、入来¹⁾の例にみられるような生理学的な実験とは異なり、実際に社会で生活している集団を扱うための方法論として、疫学が用いられる。疫学の方法論は、応用統計学の発達ともあいまって、ここ2、30年の間に急速に進歩した。

気象と健康との関連についての考察は、ヒポクラテスの時代からおこなわれていたようであるけれども²⁾、上記の意味での研究としては、疫学研究の方法を取り入れ

たものが米国³⁾、欧州⁴⁾などでみられるようになった。そのなかには、温暖化に焦点を当て、気温上昇による死亡数の変化やそれを修飾する適応に関連する考察が加えられているものもある⁵⁾。わが国では穀山らの仕事⁶⁾が有名であるけれども、上述した欧米での研究にみられるような新しい疫学研究はまだおこなわれていなかったようである。特に、日本全国にわたって日別の気象データと死亡との関連をみた研究は、著者の知る限り過去にはない。東京に限った研究には井野川の一連の研究がある⁷⁾。

本論文では、温暖化がわが国での死亡に与える影響を推定するための基礎として、著者らの疫学的な研究の成果を中心に解説し、今後の研究の展望を述べる。

2. 資料と方法

<資料>

死亡に関する資料は1972年から1990年までの人口動態統計死亡票（総承統156号）、人口の資料は総務庁統計局の国勢調査と人口推計資料、気象に関する資料は気象庁の各測候所における普通気候観測時日別資料を用いた。

<方法>

日最高気温

気温と死亡との関係を観察する際、理想的には内部での気温の格差が無いように地域を設定することが望ましい。しかし、現実には空調設備のある屋内においても気温を均一にするのは困難であることが示すように、かなりせまい範囲ですら気温が均一であるとは考えがたい。そこで、ある程度の誤差は覚悟の上で、使用できる気温の資料を用いることになる。本研究では測候所の資料を用いることとし、それによって代表される最小単位として県を選んだ。県内に数カ所の測候所が存在することもあるけれども、そのうちのいくつかは島嶼、山頂など、気象予報には重要でも人口密度の低い地点であり、単純な平均はかえって偏りを大きくする。そこで、一般的に人口の最も多い県庁所在地の測候所を用いることにした。ただし、県庁所在地に測候所のない埼玉県と滋賀県は、それぞれ熊谷市と彦根市の測候所で代用した。また、沖縄県は1972年の死亡に関する資料が得られなかったため、死亡と気温との関連を調べる場合には1973年から1990年までの資料を用いた結果を示した。

気温の指標として、日最高気温、日平均気温、日最低気温があるが、本研究は地球温暖化による影響評価をおこなうための基礎研究という位置づけから、日最高気温を指標とした。ただし、1972年から1990年までの九州各県での日最高気温と日平均気温との相関係数は0.97以上、日最高気温と日最低気温との相関係数も0.91以上であり、3つのうちのどれを用いても結果に大きな相違はないものと思われる。

気温区分は、8℃未満から5℃きざみで33℃以上までの7区分とした。この区分は恣意的であるけれども、これらを1℃ずつずらして7℃未満、7—12℃などとして解析を行っても同様の傾向を得たので、区分のしかたによって結果が大きく異なることはないと考えられる。

死亡率

都道府県ごとに人口や各気温区分に含まれる日数が異なること、また同一都道府県でも19年間で人口が変化したことから、単純な死亡数の比較には問題がある。そこで、性・年齢階級・気温区分別死亡率を用いることに

よって上記の条件が一定のもとでの比較をおこなった。

まず、ある1年間における各気温区分別の県別死亡率について述べる。

- 1) ある年次の各気温区分に属する日数と、その年次の県人口をかけてその区分の人日（person-days）とする。
- 2) 各気温区分に属する日に発生した死亡数を合計する。
- 3) 求めた死亡数を人日で除する。便宜上、本研究ではその死亡率を100,000,000倍する。

これがその年次の死亡率である。通年の場合は、通年の死亡数の合計を各年次の人日の合計で除して求めた。

県よりも大きな単位での死亡率は各県の人日を重みとした県別死亡率の重みづけ平均とした。

性、年齢階級などの属性・交絡因子別の死亡率は、属性によって合計する死亡数・人日を制限することによって得られる。死因別死亡率は、国際疾病分類の第8回修正が用いられた期間（1972—1978年）と第9回修正が用いられた期間（1979—1990年）とに分けて解析をおこなった。

統計的方法

気温によってどの程度死亡率が異なるかをみるのに、死亡率の比をとった。すなわち、23—28℃を基準とし、他の日最高気温区分の死亡率がその何倍になっているかを調べた（表1）。ただし、年次の影響を制御するために、Mantel-Haenszel法によって年次を制限した⁸⁾。これは、後で示すように、年齢と死因がeffect modifiersとして重要であるのに対して、年次に関しては比較的安定したパターンを示すためである。基準として23—28℃をとったのは、多くの年次でもっとも人日が多いからである。区間推定にはGreenland-Robinsの方法⁹⁾を用いて95%信頼区間を求めた。

温暖化による死亡数増減の予測

九州の日最高気温と死亡率との関係が不変とし、過去19年間（1972—1990年）の気温が単純に1℃、3℃、5℃高かったと仮定したときの死亡数を求め、実際に観察された死亡数と比較した。

インフルエンザ死亡率の時空間的解析

インフルエンザの流行は冬に集中しており、気温と死亡との関係を調べるときに攪乱因子となる可能性がある。インフルエンザの確定診断は現実的に難しいけれども、ここでは得られるデータからその可能性に関しての研究をおこなった。

死亡診断書によるインフルエンザ死亡数の年次変化を都道府県別に調べ、そのうち大流行の年である1976年に関して、第何週に流行のピークがあるかを都道府県別に

表1 死因別Mantel-Haenszel死亡率比と95%信頼区間 (九州、65歳以上、男、1979-1990年)

日最高気温 (°C)	全死因	感染症	新生物	循環系の疾患
<= < 8	1.32 (1.30-1.34)	1.11(0.984-1.25)	1.01(0.974, 1.04)	1.50(1.47-1.53)
8 <= < 13	1.25 (1.24-1.27)	1.24(1.15-1.34)	0.994(0.974-1.01)	1.39(1.37-1.41)
13 <= < 18	1.18 (1.17-1.19)	1.12(1.04-1.21)	0.985(0.966-1.00)	1.29(1.27-1.31)
18 <= < 23	1.09 (1.08-1.10)	1.10(1.02-1.19)	0.987(0.968-1.01)	1.14(1.12-1.16)
23 <= < 28*	1.00	1.00	1.00	1.00
28 <= < 33	0.947(0.938-0.957)	1.04(0.969-1.13)	0.985(0.966-1.00)	0.921(0.906-0.936)
33 <=	0.976(0.960-0.991)	1.14(1.02-1.28)	1.01(0.977-1.04)	0.941(0.917-0.965)

日最高気温 (°C)	呼吸系の疾患	消化系の疾患	症状・兆候及び診断不明確の状態	外因
<= < 8	1.48(1.42-1.53)	1.26(1.18-1.34)	1.76(1.63-1.91)	1.21(1.11-1.32)
8 <= < 13	1.38(1.34-1.42)	1.24(1.18-1.30)	1.61(1.52-1.71)	1.16(1.10-1.23)
13 <= < 18	1.27(1.24-1.31)	1.15(1.10-1.20)	1.44(1.36-1.52)	1.09(1.03-1.16)
18 <= < 23	1.14(1.11-1.17)	1.08(1.03-1.13)	1.17(1.11-1.24)	1.08(1.02-1.14)
23 <= < 28*	1.00	1.00	1.00	1.00
28 <= < 33	0.916(0.890-0.942)	0.978(0.935-1.02)	0.989(0.931-1.05)	0.979(0.926-1.04)
33 <=	0.967(0.927-1.01)	0.979(0.913-1.05)	1.06(0.968-1.16)	1.02(0.930-1.11)

日最高気温 (°C)	心疾患	虚血性心疾患	脳血管疾患	老衰
<= < 8	1.57(1.52-1.62)	1.51(1.44-1.59)	1.41(1.36-1.46)	1.84(1.70-2.00)
8 <= < 13	1.43(1.39-1.46)	1.34(1.29-1.39)	1.33(1.30-1.36)	1.68(1.58-1.78)
13 <= < 18	1.31(1.28-1.34)	1.26(1.21-1.30)	1.26(1.23-1.29)	1.46(1.38-1.55)
18 <= < 23	1.16(1.13-1.19)	1.14(1.10-1.18)	1.12(1.09-1.15)	1.19(1.12-1.27)
23 <= < 28*	1.00	1.00	1.00	1.00
28 <= < 33	0.896(0.875-0.919)	0.873(0.840-0.907)	0.938(0.916-0.961)	1.01(0.947-1.08)
33 <=	0.904(0.870-0.939)	0.850(0.799-0.903)	0.978(0.942-1.02)	1.11(1.01-1.23)

*基準となる区分

調べた。この際、流行時の週あたり死亡数が5未満の県は解析対象から除外した。また、複数週で死亡数が同じ場合のピークはその中点をピークとした。なお、1976年の流行は前年の12月から始まっている様子がうかがえたけれども、少なくともピークが12月に始まった様子はなかったため、1月1日から第1週を開始してピークを求めた。

気温と死亡率に与える気候の影響

気温と死亡との関係を観察する場合の気温は、日最高気温を指標としている。これは短期的な大気の状態、すなわち気象のひとつである。長期的な大気の状態、すなわち気候の指標として、ここでは資料の得られた19年間(1972-1990年)にわたる日平均気温測定値すべてを平均(沖縄県は18年間)して「平均気温」とした。北海道が寒冷であるとか沖縄は温暖であるとかは、この平均気温で数量的にあらわされる。

この平均気温と日最高気温別死亡率との関連を、各県を点とする散布図を描いて観察した。

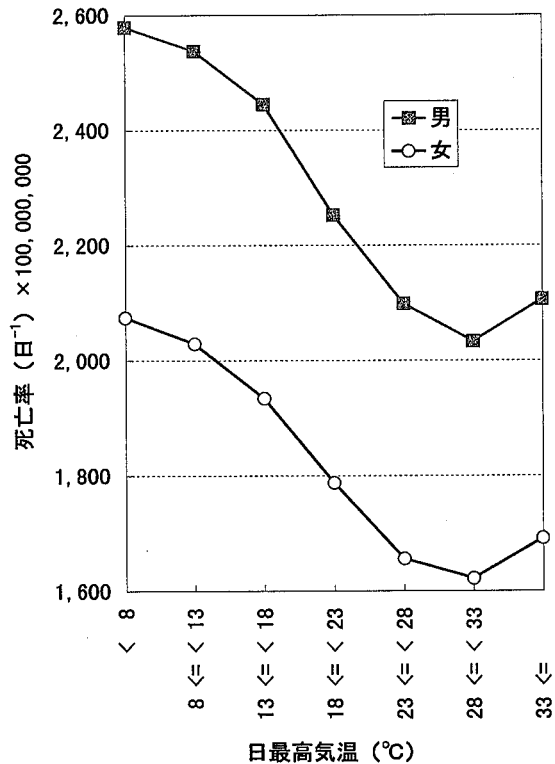


図1 九州における日最高気温と総死亡率との関係 (1972-1990)

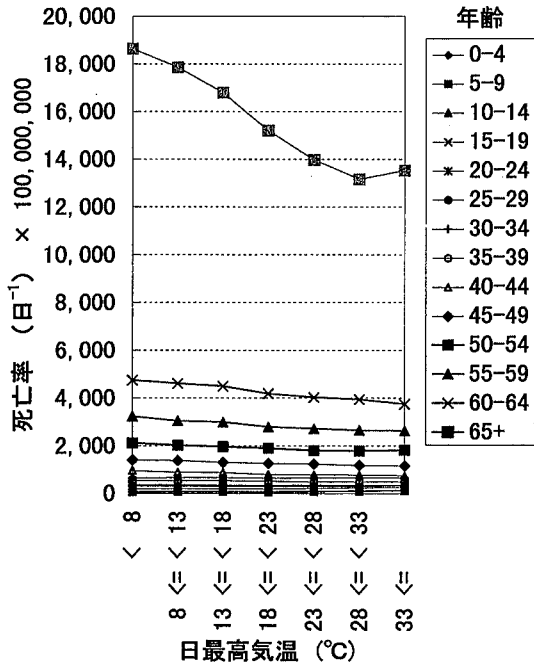


図2 日最高気温と年齢階級別死亡率との関連 (九州, 男, 1972-1990年)

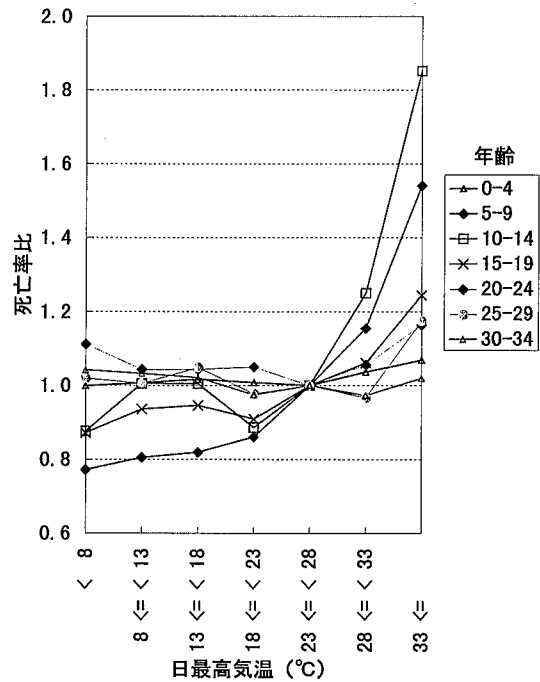


図3 Mantel-Haenszel 死亡率比でみた日最高気温と総死亡率との関連 (九州, 男, 1972-1990)

3. 結果と考察

気温と死亡との関連

総死亡で見たとき、図1に示すように、九州においては28—33℃においてもっとも死亡率が低く、それより気温が上がっても下がっても死亡率は高かった¹⁰⁾。Kunstほか⁴⁾はオランダにおける観察でV字型がみられると報告しており、Rogot and Puolgett²⁾は米国の循環系の疾患に関して多くの都市でV字型がみられることを報告している。オランダで最低の死亡率を示す気温は日平均気温で約16℃である。九州の例では、日最高気温が日平均気温よりも平均4℃高いことから、死亡率が最低になる日平均気温は24℃以上29℃未満で、中点をとると26.5℃となる。これはオランダと比べると10℃近く高い。また、オランダのV字型はグラフから判断して、平均気温－5℃と25℃とで死亡率がほぼ同じで、ともに16℃の最低死亡率の1.2倍となっている。それに対して、九州では寒冷時の死亡率がかなり高いのに比べ、33℃以上の区分でも死亡率はそれほど高くない。「V字型」は普遍的で、民族、地域などによる相違によってそのV字型の位置、形態が異なるものと考えられる。

年齢による相違

九州での年齢階級別死亡率を見たものが図2である¹¹⁾。65歳以上の死亡率が圧倒的に高く、もっとも顕著なV字型を示すことがよくわかる。図でははっきりしないものの、年齢ごとにみていくと、おおむね横這いと考えら

れるのは30歳代で、以後は加齢とともに低温での死亡率が上昇していく。ただし、60—64歳でも8℃未満の死亡率は23-28℃の死亡率の1.2倍程度である。このように、高年齢層の方が気温による死亡率の変動が大きいという報告は、(総死亡に限らず)海外でも散見される(たとえば文献12など)。

図2では高齢者の死亡率が非常に高いために、若年者のグラフはほぼ水平に見える。しかし各年齢階級ごとに23—28℃の区分を基準とした死亡率比をみると、特に男の若年者が特異なパターンを示す(図3)。このパターの解釈は死因別死亡率の項で述べる。

このように、年齢によって気温と死亡との関係は大きく異なる。これ以降は、特に断らない限り、死亡の大多数を占め、V字型がもっとも顕著な65歳以上の集団のみに関して述べる。

性による相違

男に比べて女の平均余命が長いことはよく知られている。図1に示したように、九州ではそれほど大きな性差がみられなかった。しかし、県ごとに男女のグラフをみると、V字型の屈曲点、すなわち最低の死亡率を示す気温区分は、平均して男の方が低いようである(論文作成中)。すなわち、女の方がより低い気温に適應していることがうかがわれる。この事実、一般に女の方が厚い皮下脂肪をもつことで説明可能である。気温の変化に対して敏感に衣服を変えるという行動適應の影響が全くないとは言いきれないけれども、その場合、女の方が

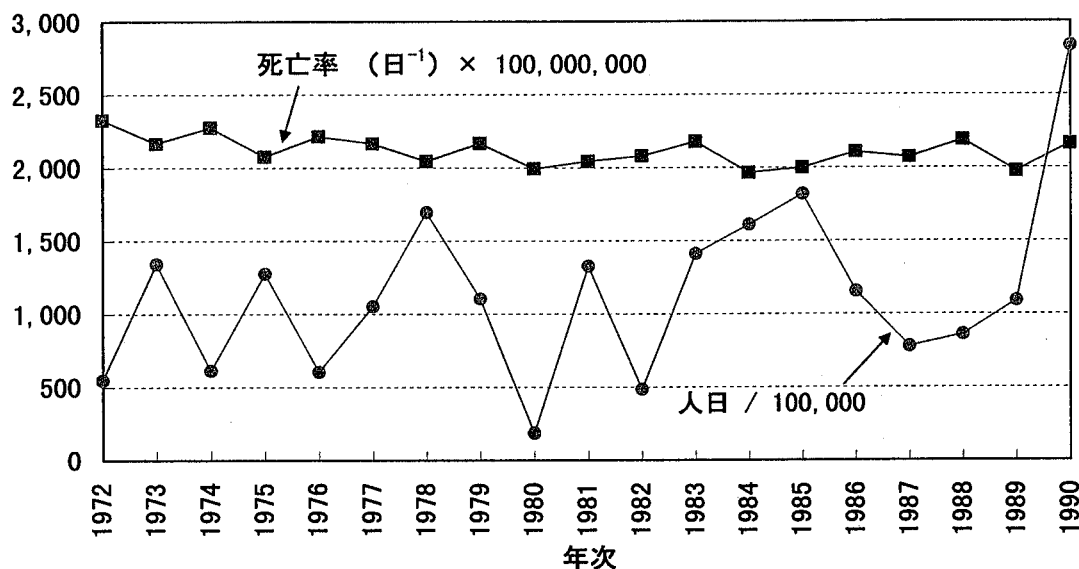


図4 九州における日最高気温33℃以上での死亡率と人日の年次推移 (65歳以上, 男)

寒さには強いが暑さには弱いということは説明しにくい。同様に、女の方が寒さにより適した住宅に住んでいるとも考えにくいので、文化的な適応も考えにくい。

年次による相違

日最高気温と死亡率の関係を1972年から1990年まで年次ごとに調べると、若干の例外はあるが、多くの年次で28—33℃を屈曲点とするV字型を示す。33℃以上での死亡率は23—28℃、あるいは18—23℃と同レベルであり、18℃未満の死亡率は、それらよりも高く、特に8℃未満、8—13℃での死亡率は、最低を示す28—33℃での死亡率に比べて1.5倍程度の死亡率を示す。

図4は、日最高気温33℃以上の区分の人日数と死亡率を年次別に示している。これから明らかのように、33℃以上に区分される人日数は少なく、その死亡率は統計的に不安定ではないかと予想される。実際、人日数は年次により大きく変動しており、最高の1990年が最低の1980年の15倍以上になっている。しかしながら、死亡率は安定しており、相違は最大でも2割を越えない。そして、日最高気温と死亡率との関係は、ほとんどの年次でV字型になっていた。なお、図には男のみ示してあるが、女でも同様の傾向がみられた。このことは、「気温の影響がなくても1、2週間のうちに死亡する人が、極端な気温によってやや早く死亡しただけ」という解釈と相容れない。なぜなら、もし死亡を少しはやめるだけの影響しか与えないのであれば、年次によって極端に暑い日数が15倍になっても、死亡数が約15倍になるとは考えられないからである。

死因による相違¹¹⁾

九州の研究では、気温と死亡との関連を示すV字型が、

大分類の中で第8回修正 (ICD—8) の期間と第9回修正 (ICD—9) の期間とで大きく異なるのは呼吸系の疾患であった (18℃未満で、ICD—9の期間の死亡率比が低くなっている)。理由は不明であるが、疾病分類の変更による変化は小さいと考えられており、何らかの疾病の増減があったものと思われる。他の疾患では期間による相違は大きくないので、1979—1990年のもののみをまとめて表1に示す。V字型が認められたのは循環系の疾患、呼吸系の疾患、消化系の疾患、「症状、徴候及び診断名不明確の状態」、感染症、不慮の事故であり、V字型が認められなかったのは、「新生物」であった。

細分類では、循環系の疾患のうち、心疾患でV字型がはっきりしており、脳血管疾患はその傾向がやや弱い。それ以外では老衰のV字型が顕著である。

「過度の高温」による死亡は、ICD—8では気象によるものと人工的な環境 (例えば溶鉱炉近傍での作業など) とを区別していない。最高気温が23℃未満などで気象による熱射病を起こすとは考えられないので、ここでは33℃以上での「過度の高温」による死亡を気象によるもの、すなわち外気温による熱射病とみなす。すると、全ての年齢階級をあわせても、その死亡数が10人をこえたのはわずかに2年次であった。総死亡数に対する外気温による熱射病の死亡数の割合をみると、1983年の男が最高で、0.39%であった。また、男か女で0.2%を越えた年は、1974年、1978年、1980年および1983年の4年次のみであった。このように、33℃以上での「過度の高温」による死亡は非常に少ないので、体温調節機能の破綻による死亡がV字型形成に寄与しているとは考えにくい。凝固系因子、赤血球数、血液粘性と気温^{13,14)}、凝

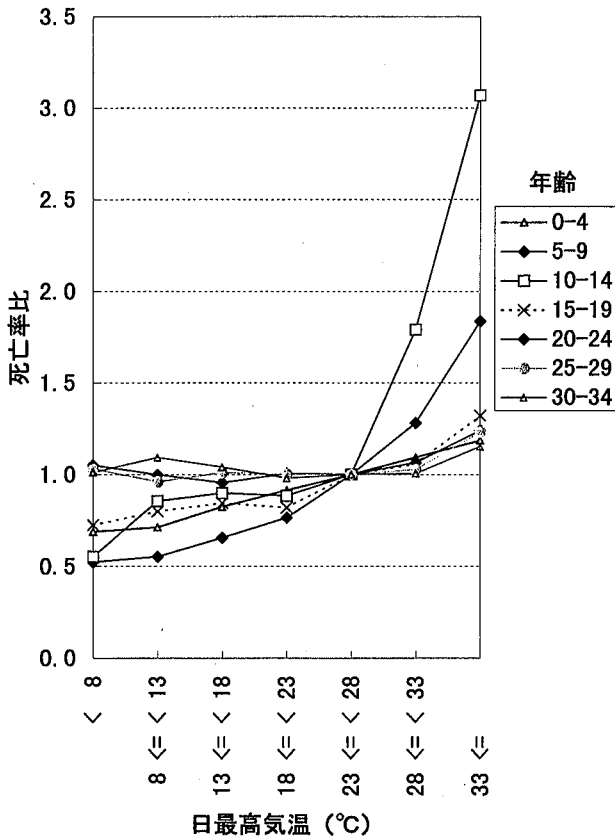


図5 Mantel-Haenszel 死亡率比でみた日最高気温と外因死亡率との関連 (九州, 男, 1972-1990年)

固系因子と季節との関連に関する報告¹⁵⁾などからは、むしろ、温熱および寒冷ストレスに対応するための適応能力の低下、および循環動態の変化、それを修飾する人工環境、文化的対応によって、超過死亡の多少が決定されることが考えられる。

年齢別の解析で述べた若年層の特異なパターンに関連して10—14歳男女の外因（不慮の事故など）による死亡率を図5に示す。これによると、28℃以上で高い死亡率を示し、それは（図には示していないが）女よりも男に顕著である。5—9歳では、パターンは同様であるが、高温での死亡率はそれほど高くない。これら若年層で、（総死亡率—外因死亡率）を計算してみると、若干のランダムな変動はあるものの、気温による死亡率の差はほとんどなくなってしまった。この事実から考えると、若年層の特異なパターンは、夏期休暇に伴う屋外活動などでの事故、すなわち溺死などによるものと考えられる。その意味では、気温の間接的な影響に分類されるものである。

修飾因子の制御

実際の人間集団をあつかう研究で大きな問題となるのが、第3の因子、すなわち曝露と疾病（あるいは死亡）との関係を修飾する因子である。疫学ではこれを「交絡因子」と呼ぶ。交絡因子を無視した場合、全く死亡率に

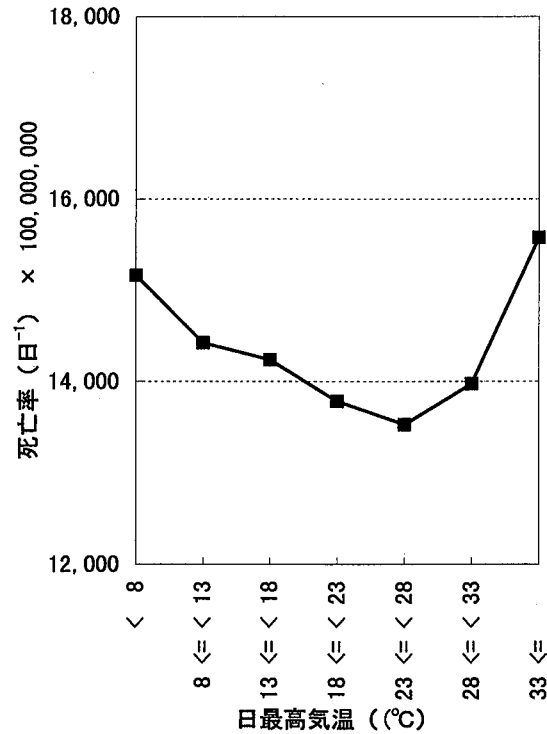


図6 北海道における日最高気温と総死亡率との関連 (65歳以上, 男, 1972-1990年)

関係のない要因を、死亡の原因と間違える可能性があったり、その逆がおこったりするため、交絡因子に関して詳細な研究がなされてきた（たとえば文献15、16など）。

気温と死亡との関連に関して、日常生活に関連した交絡因子の情報が得られないことは、大きな問題と考えられる。Rogot³⁾は、暑い日でも寒い日でも、たばこを吸う人は吸うのだから、交絡因子を制御してもしなくても同じ結果が得られる、という意味の報告をした。これが本当ならば非常に都合のよい話である。しかし、本来の意味の交絡因子一般には、この論理は成り立たないことが明らかとなった¹⁸⁾。実は、彼らのモデルには“multiplicative,”つまり要因Aによって死亡率が2倍になり、要因Bで死亡率が3倍になるとき、要因AとBがともにある場合には、どちらもない場合の2×3=6倍の死亡率となる、という仮定をおいている。上述した年齢のような場合にはその仮定が全く成り立たないので、年齢は何らかの形で制御しなくてはならない。

上述した年齢以外に、いくつかの修飾因子をとりあげて以下に述べる。

適応・馴化

図6は、北海道における日最高気温と死亡との関連を示す。図1との比較から明らかなように、死亡率が最低になる気温区分は北海道の方が低温側にある。また、日最高気温33℃以上の区分では、8℃未満の区分よりも死

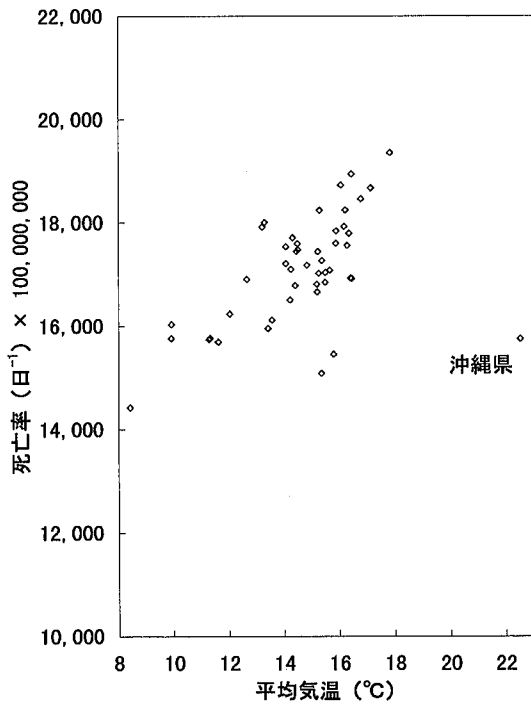


図7 各県における総死亡率と平均気温
(65歳以上, 男, 日最高気温8-13°C)

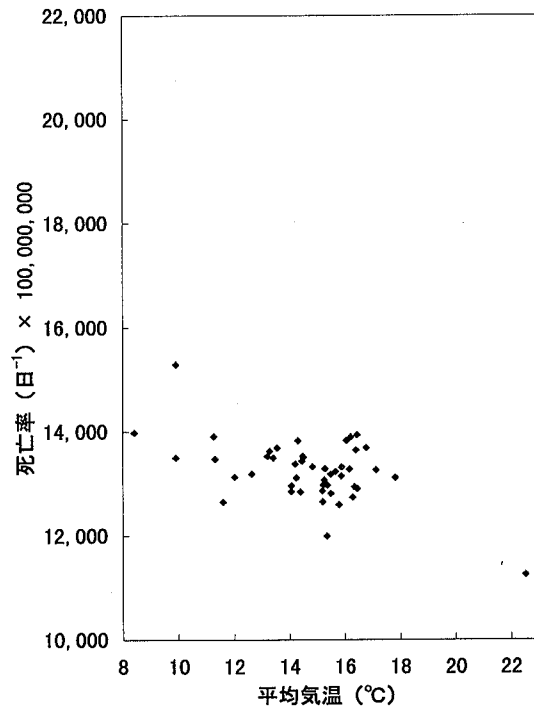


図8 各県における総死亡率と平均気温
(65歳以上, 男, 日最高気温28-33°C)

亡率が高くなっており、高温側の死亡率が相対的に高くなっている。

県ごとの日最高区分別死亡率と平均気温との関連の例が図7、8である。これから、気温が低い日の死亡率は寒冷な気候の県の方が低く、気温が高い日の死亡率は逆に温暖な気候の県の方が低い。このことは、広い意味での適応の影響と考えられる。広い意味の適応には生物学的な馴化、たとえば南アジアの住民の方が汗腺の数は多いのに、少々暑さでは汗をあまりかかないし、汗に含まれる電解質が少ないために発汗による問題が起こりにくいといった形の適応と、冷暖房をはじめとする住環境整備に代表される人工的・文化的な適応とが含まれる。

なお、沖縄の特殊性については別に詳しく報告¹⁹⁾してある。

インフルエンザ

気温の直接影響を研究する場合、修飾因子として重要と考えられるものにインフルエンザによる死亡がある。1976年のインフルエンザ大流行で第何週にピークがあるかを調べたところ、流行のもっとも早いのは東京都・神奈川県、京都府・大阪府・奈良県の2大都市圏で第1週にピークがあり、そこから流行が拡散するようである。観察可能な県ではもっとも遅いピークでも第7週であり、大きな流行は2月に終焉するようである。このように、インフルエンザの流行は、多くの場合冬季に限定されているため、われわれがおこなっ

ているような日別の気温と死亡との関連の研究では、インフルエンザの流行によって低気温の区分で死亡率が高くなってしまう。

湿度

Kunstら⁴⁾によれば、オランダでは寒冷な日には湿度の高い方が高い死亡率を示し、逆に暑い日には湿度の低い日の方が高い死亡率を示した。このことは、高湿度のほうが低温の影響を強くうけること、また高温時には、低湿度で不感蒸泄が活発におこるために脱水を起こしやすくなり、それによって死亡率が高くなるということでは、整合性がある。しかし、循環系の疾患で湿度の影響がみられなかったとの報告もある²⁰⁾。

われわれの解析でも、東北などではKunstほかと同様に低温域では低湿度の方が高死亡率であったのに対して、西日本では低温域で低湿度の方が低い死亡率を示すこともあり、どうも単純な関係ではなさそうである。いずれにしても、わが国に限っては、気温と死亡との関連をみる場合に、湿度を考慮した場合としない場合とで、大きな相違はないものと考えられる(論文執筆中)。

温暖化による影響の予測¹⁰⁾

実際の子測では、本研究のような直接的な死亡のほかに、間接的な死亡(マラリア媒介蚊の棲息域拡大によるマラリア死亡の増加、気候変化、海面上昇による農業生産の激減に伴う飢饉による死亡など)も考慮する必要があるし、直接的死亡に関しても、馴化の影響

表2 九州における気温上昇の影響(1972-1990年)

	気温上昇			
	0°C(観察値)	1°C	3°C	5°C
男	964,014	957,095	943,629	931,257
女	843,211	837,183	825,726	815,422

は無視できない。しかし、現時点での知見をもとに、予測をおこなっておくことは、より精緻なモデル作成の基礎として有用と考えられる。方法の項で述べた強い仮定のもとで、九州での予測をおこなった結果が表2である。

図1から予想されるように、九州においては温暖化がむしろ死亡数減少に働く。しかしながら、33°C以上という区分で実際に観測された日最高気温の多くは33°Cに近かった。日最高気温が36°C、あるいはそれ以上になった場合に死亡率が図1でみられるレベルにとどまっているという保証はない。北海道、オランダなどの例から考えると、むしろ33°C以上での死亡率を観察されたまま使うことによって死亡率を過小評価していると考えた方が妥当であろう。そうすると、表2でみられた、温暖化は死亡率を減少させる、ということも額面通りに受け取るべきではないことになる。

4. 研究の展望

以上の結果から、気温と死亡との関係には広い意味での適応が関連していること、またインフルエンザなどによる間接的な影響が含まれることが明らかになってきた。今後の研究にとって必要と思われることがらを以下に述べる。

年齢別人口は、1972年から1990年まで通して研究する場合には65歳以上を一括した解析しかできないのが現状である。しかしながら、われわれの沖縄の研究¹⁹⁾で明らかになったように、1970年代から現在まで、急速に人口の高齢化が進んでおり、65歳以上に占める80歳以上の割合は急速に増加してきている。65歳以上での年齢階級別人口を推測して、再解析をおこなう必要がある。

インフルエンザの評価は、インフルエンザの確定診断が実際上ほとんど不可能であることから非常にむずかしい。ただし、死亡率、届け出された罹患率にはある程度の関連もみられるので、やや精度の高い予測は可能になるかもしれない。

馴化に関して、平均気温との関連は明らかになったけれども、その一般的な傾向からはずれている県を、文化的な適応という面から説明できるような研究が望まれる。また、温暖化をターゲットにして、その死亡に与える影響を予測するためには、現在の状態から温暖化した状態へ、ある程度科学的根拠をもった外挿が可能なモデルを

構築する必要がある。

海外に目を向けると、いくつかのものはタイムラグまで考慮に入れた解析をおこなっている²¹⁾。すなわち、寒冷刺激によって肺炎を起こした場合、あるいは、非常に暑い日に脱水症状を起こし、それが脳動脈硬化と相まって脳梗塞を起こした場合、低温、あるいは高温への曝露から数日して死亡することがありうるため、この時間的ずれを考えた解析をおこなっている。このような場合、タイムラグを考慮に入れないための影響は曝露の誤分類としてとらえられる。一般に、曝露が3区分以上に分けられた場合、誤分類の影響は本来の曝露の影響を過小評価する方向、過大評価する方向、あるいは死亡を増加させる方向から減少させる方向など、様々な場合がありえる²²⁾。しかし、非常に気温が高い日の近傍ではやはり気温の高いことが多く、非常に気温が低い日の近傍ではやはり気温の低いことが多いと思われる。このような場合、その誤分類の影響は気温と死亡との関連を不明確にする方向に働くこともDosemiciほか²²⁾は述べている。よって、上述したわが国の結果で、V字型の関係がみられたことは、タイムラグの影響を考慮に入れても消えることはないと思われる。しかし、より正確な予測のために、今後タイムラグを考慮に入れた解析をおこなう必要がある。

謝 辞

本研究の一部は環境庁地球環境研究総合推進費によっておこなわれた。

文 献

- 1) 入来正躬 (1992) 温暖化に対する生体の応答と適応. 鈴木継美, 安藤満, 編. 地球の気候変化と健康リスク. 東京: 合同出版, 24-34.
- 2) Rogot, E., and S.J. Padgett (1976) Associations of coronary and stroke mortality with temperature and snowfall in selected areas of the United States, 1962-1966. *Am. J. Epidemiol.* 103, 565-575.
- 3) Rogot, E, P.D. Sorlie, and E. Backlund (1992) Air-conditioning and mortality in hot weather. *Am. J. Epidemiol.* 136, 106-16.
- 4) Kunst, A.E., C.W.N. Looman, and J.P. Mackenbach (1993) Outdoor air temperature and mortality in the Netherlands. A time-series analysis. *Am. J. Epidemiol.* 137: 331-41.
- 5) Kalkstein, L.S. (1989) The impact of CO₂ and trace gas-induced climate changes upon human mor-

- tality. Reoprt to U.S. EPA, Contract # CR81430101.
- 6) Momiyama, M.S. (1978) Changes in the seasonality of human mortality: a medico-geographical study. *Soc. Sci. & Med.* 12, 29-42.
 - 7) 井野川 (1963) 気象条件と死亡との関係—第1報一. *日公衛誌*10, 389-395.
 - 8) Rothman, K.J., and J.D. Boice (1982) Epidemiologic analysis with a programmable calculator. Chestnut Hill, Epidemiology Resources Inc., 12.
 - 9) Greenland, S., and J.M. Robins (1985) Estimation of a common effect parameter from sparse follow-up data. *Biometrics*, 41, 55-68.
 - 10) 本田靖 (1995) 温暖化は死亡率に影響するか. *医学のあゆみ* 172, 178-179.
 - 11) 本田靖, 小野雅司, 佐々木昭彦, 内山巖雄 (1995) 九州における日最高気温と死亡との関係. *日公衛誌* 42, 260-268.
 - 12) Bull, G.M., and J. Morton (1978) Environment, temperature and death rates. *Age and Ageing*, 7, 210-224.
 - 13) Keatinge, W.R. *et al.* (1984) Increases in platelet and red cell counts, blood viscosity, and arterial pressure during mild surface cooling: factors in mortality from coronary and cerebral thrombosis in winter. *Br. Med. J.* 24, 1405-1408.
 - 14) Keatinge, W.R. *et al.* (1986) Increased platelet and red cell counts, blood viscosity, and plasma cholesterol levels during heat stress, and mortality from coronary and cerebral thrombosis. *Am. J. Med.*, 81, 795-800.
 - 15) Stout, R.W., and V. Crawford (1991) Seasonal variations in fibrinogen concentrations among elderly people. *Lancet*, 338, 9-13.
 - 16) Kleinbaum, D.G., L.L. Kupper, and H. Mortenstern (1982) *Epidemiologic research*. New York, Van Nostrand Reinhold Co.
 - 17) Rothman, K.J. (1986) *Modern Epidemiology*. Boston, Little, Brown and Co.
 - 18) Honda, Y. (1995) Letter to the Editor Re: Air-conditioning and mortality in hot weather. *Am. J. Epidemiol.* 142, 99.
 - 19) Honda, Y., M. Ono, A. Sasaki, and I. Uchiyama (1997) Relationship between ambient temperature and mortality in Okinawa, Japan. *Jpn. J. Biometeorol.* (In press) 34, 81-87.
 - 20) Hirasawa, K., J. Shibata, and K. Yamamura (1989) Clinical and statistical evaluation of the occurrence of acute myocardial infarction in the cold inland area of Hokkaido. *Jpn. Circ. J.* 53, 677-685.
 - 21) Auliciems, A., D. Frost, and V. Siskind (1997) The time factor in mortality: weather associations in a subtropical environment. *Int. J. Biometeorol.* 40, 183-191.
 - 22) Dosemeci, M., S. Wacholder, and J.H. Lubin (1990) Does nondifferential misclassification of exposure always bias a true effect toward the null value? *Am. J. Epidemiol.* 105, 488-495.