

B-10 温暖化による健康影響と環境変化による社会の脆弱性の予測と適応によるリスクの低減化に関する研究

(4) ライフスタイルからみた温暖化の影響への適応と健康リスクの予防に関する研究

京都大学大学院工学研究科	内山巖雄
厚生労働省国立公衆衛生院	丹後俊郎・兵井伸行・高橋美加
警察庁科学警察研究所	西田 泰
筑波大学体育科学系	本田 靖
福島県立医科大学医学部衛生学	佐々木昭彦・前田享史・金子信也・田中かづ子・田中正敏
大阪教育大学	永井由美子
海外研究協力機関-Faculty of Environ. and Resource Studies, Mahidol University	Kobkaew Manomaipiboon・Anuchat Pongsumlee

平成11～13年度予算額 30,490千円
(うち、平成13年度予算額 8,040千円)

要旨 社会環境と文化を背景とした、暑熱暴露に対する人間の生理的反応と適応を調査した。社会的な暑熱適応では、個人や集団で発生する暑熱の直接作用よりも、社会毎の「温度依存性と感受性」として定義される特徴によって、暑熱影響が予想以上に拡大したり、既存の方法では予防できなくなり、危機に陥る可能性が問われている(明白なメカニズムをもち、予測できるものが脆弱性)。予防対策上、その初期変化と高リスク集団の同定が重要であり、影響の単なる外挿とは異なる「健康リスク」が問題となる。そこで健康リスクを以下の4つに分けて評価した:①暑熱に対する体温調節を行なう自律神経機能を、職場・通勤・家庭生活において比較し、適応能力を年齢・職種ごとに評価した(温度感覚、生理的能力、行動習慣)。②自動車内の温度環境(外気温・日射・空調)と、運転者の生理的状态(心拍数変動、脳波、唾液中sIgA)を評価した。③暑熱適応を社会システムの性能としてみた場合、社会の脆弱性が生活環境と生活スタイルとどのように結びつけられるかを概念化した。④既存のデータを用いて気温と死亡の関連に関する分析をより精確に行った。

キーワード: 温暖化、健康リスク、都市、高齢者、生活様式

1. はじめに

温暖化による健康リスクの予防として、暑熱影響に対する適応現象が如何なるものか、どのような限界があるか、様々な選択肢の有無を評価することが考えられる。熱に対する社会の脆弱性、地域的・文化的な適応格差、技術・情報・体制による格差の緩和について研究した。健康リスクの最大の要因は、個人の生理的な多様性と行動選択の幅である。暑熱がストレス・有病・治療に対してどういふ影響を与えるかデータがないので、健康リスクに対する暑熱の閾値は、循環器疾患を除けば不明である(表1)。また、快適さに対する様々の介入の影響も、健康リスクをどのように増減させるか検討する必要がある。

表1 暑熱に対する行動影響と健康リスクのデータ

暴露の計測	地理情報システム、ヒートアイランド、生活スタイル、気象警報
反応の計測	加齢・職業、自動車/空調、行動変容
影響の評価	死因モデル、熱中症、CO ₂ /温度差、リスク回避
適応の指標	交通事故統計、死亡・栄養統計、自律神経機能、体温、行動モデル

2. 研究方法

以下のように方法を整理した。詳細は、結果および研究成果の発表の項にそれぞれ記した。

- (1) 空調と交感神経機能からみた暑熱適応: タイ人と日本人の体温調節
- (2) 自動車への暑熱影響と事故リスク
 - 1) 車内の暑熱暴露と蓄熱予防(事故率の温度依存性、駐車時・走行時の車内温度環境)
 - 2) 運転時の温度環境と生理的変化(体温、皮膚温、自律神経機能、脳波、唾液中sIgA)
- (3) 社会集団の適応プロセス
- (4) 既存のデータを用いて気温と死亡との関連のより精確な分析

3. 結果

- (1) 空調と交感神経機能からみた暑熱適応: タイ人と日本人の体温調節

都市環境での労働や睡眠が問題となり、地理的条件とそこでのライフスタイルとの関係が焦点となる。タイ国における暑熱環境についての調査と実験から、空調が心臓の自律神経調節を介して、体温調節能力に影響を与えている可能性が明らかになった(Manomaipiboon, 2002)。すなわち、若年成人、特に事務職者では他の同様の軽労働者に比べて(1.7対1.4 METs)、空調に接する時間が長く、環境温度が低い(表2下段、30.8℃対32.4℃)。しかし、環境温度が33℃以上の場合、30-33℃の場合と比べて、若年成人の交感神経機能が上昇する。ただし、事務職者はその他の職種とは違って、33℃以上の場合でも、労働負荷に応じた交感神経機能の上昇がみられず、暑熱適応能力は低いといえる。

一方、高齢者は空調を利用することが少なく、33℃以上になると産熱が抑制されて、交感神経機能が低下したと考えられる。しかし、実験的に35℃の暑熱負荷をかけると、若年成人ほどではないが、交感神経機能が上昇し、日本人高齢者よりも高くなった。タイ人も日本人も、高齢者では、若年成人よりも皮膚血管の拡張による発汗が少ないので、蓄熱により直腸温が上昇しやすいと考えられる。ただし、直腸温の上昇レベルは、日本人の方がタイ人よりも大きかった(0.2℃対0.1℃)。日本人では、環境温度の上昇に対して直腸温だけが上昇し、交感神経機能は上昇しにくいために、空調に強く依存した受動的な体温調節となる傾向があると思われる(内山ほか、2001)。以上より、33℃以上の時間や場所が増加するならば、国、年齢、職種によって程度に相違はあるものの、暑熱ストレスが増加する可能性があると考えられる。

表 2 Comparison of the personal temperature environment (T_m , mean \pm S.E.), metabolic equivalent of work load against resting (METs), and frequency ratio of the power spectrum of ECG R-R interval variation (LF/HF), between elderly and young people, and between clerks and other workers during no air-conditioning (Manomaipiboon, K., 2002)

Activity (cases)	Elderly (n=8)	Young (n=11)	Clerk (n=8)	"Other worker" (n=5)
Sleep				
T_m , °C	31.4 \pm 0.7	30.8 \pm 0.4 ns	31.2 \pm 0.6	30.9 \pm 0.4 ns
LF/HF	3.03 \pm 0.39	1.53 \pm 0.49 **	2.27 \pm 0.32	1.98 \pm 1.03 ns
METs	0.8	0.8	0.8	0.8
Other activity				
T_m , °C	31.9 \pm 0.2	31.8 \pm 0.5 ns	30.8 \pm 0.4	32.4 \pm 1.1 ns
		(Work)	31.0 \pm 0.6	31.0 \pm 0.3 ns (Else)
LF/HF	4.52 \pm 0.69	4.69 \pm 0.72 ns	6.49 \pm 1.10	4.60 \pm 1.49 *
		(Work)	5.48 \pm 0.99	3.44 \pm 1.20 * (Else)
METs	1.5 \pm 0.1	1.7 \pm 0.1 ns	1.7 \pm 0.2	1.4 \pm 0.0 ns
		(Work)	1.4 \pm 0.1	1.3 \pm 0.1 ns (Else)

"Other worker" has similar work load during no air-conditioning.

ns: non significant, * p <0.05, ** p <0.01

(2) 自動車への暑熱影響と事故リスク

1) 車内の暑熱暴露と蓄熱予防

現在の制度上、自動車の暑熱対策は空調のみである。しかし、駐車車内での子供の熱中症死亡事故の発生から、温度環境の問題と対策を検討する必要があるといえる。そこで運転疲労や事故リスクが暑熱によって増大する可能性を検討した。自動車交通事故統計の分析と、駐車時と走行時における窓断熱性と熱蓄積に関する実験を行なった。

ア 交通事故の頻度と気温

1992-1996年に新潟市の一般道で発生した自動車事故のうち、日中、晴れ・曇りに発生し、非飲酒の自動車運転者が第1当事者である場合(7,134件)について、新潟気象台における毎時気温・日射量と、運転者の年齢(40歳未満、40-59歳、60歳以上)・移動目的や道路環境との関係を検討した。市内の代表的地点の曜日別・時間別実測値を用いて、月別・曜日別の道路交通量を補正し、気温・日射量範囲ごとの延出現時間で割った値を時間当り事故件数とした。

暑熱時の時間当り事故件数は、気温28°C以上では、運転に注意を要しない場合に事故が起こりやすくなるが、28°C未満とは逆になる傾向があった(表3)。

イ 駐車時の暑熱

白色のセダンを日当たりのよい石畳の空間に、西向きまたは東向きに5台併置した(2000年7月中旬、東京都内)。午前10-12時の全天日射量1.8MJ/m²以上を晴れ日、それ以下を曇り日とした。外気温と車内温度を計測した。風速は南北・東西向きとも0.2-0.6m/sであった。窓フィルムは後3面窓に貼付し、透過率の低い着色吸収型(#2)と、透過率の高い断熱型(レフテル、テイジン)を用いた。後者は断熱吸収型(#3)と断熱反射型(#4)があり、断熱反射型は全6面窓にも貼付した(#5)。10-14時の前・後窓(約45°傾斜)の合計入射光量を一定と仮定した。

黒球温度は、断熱反射型フィルム(#4と5)が、断熱吸収型と着色吸収型フィルムよりも、天気・時間・車の向きを問わず、約2℃低かった。車内各部の表面温度は、後面窓と後ダッシュボードが、他の部位よりも約5℃から10℃低く、「断熱反射型>断熱吸収型>着色吸収型」の順にフィルムの効果があった(表4)。しかし、約50%の日射量は透過するので、能動換気がない限り、車内の蓄熱量は窓からの熱出納と日射の時間経過とで決まる。側面窓を4面とも約5cm開けた場合(開口部の気流は約0.01m/s)には約5℃低下する。また、シートや車体の蓄熱は、車内の劣化や運転者の都合だけでなく、同乗する高齢者や乳幼児の快適性と安全のためにも抑制すべきであろう。窓の断熱性の向上、効果的な受動換気、などが必要である。

ウ 走行時の暑熱

2000年7月下旬、常磐自動車道(柏-日立間約95km)を、時速約80kmで、午前・午後各1往復、南北に走行した(前記イの#1、3、4)。空調は25℃の自動設定、吹出し方向は正面・水平とした。日射量と助手席枕部の黒球温度を自動計測した(表5)。フィルム添付した車両の黒球温度は、非添付車両に比べて約1℃前後低い。しかし、測定点間の温度バラツキは大きく、後窓下では「非添付<断熱吸収<断熱反射」であった。また、非空調の休憩時間でも、フィルム貼付車の黒球温度は、非貼付車よりも1℃以上低かった(平均皮膚温とは相関なし)。

2001年8月下旬、東北自動車道(福島飯坂IC-白河IC間約90km)を、前報と同じ白色セダン(A)と、後3面に75%透過の断熱反射フィルム添付車を用いた(B車)。10時-16時半頃に平均90km/hで走行し、午前と午後各1往復した。外気温29-32℃に対して、車内の温度(助手席の背後)は22.6-26.9℃であった。空調により、車室内の温度環境は1℃程度の差しかないが、フィルムの断熱効果が示された。また、昼休みの空調停止後の温度上昇が少なく、空調再作動後の室温低下も迅速であった(断熱吸収型が、断熱反射型よりも優れていた)。

2) 運転時の温度環境と生理的变化

自動車内の温熱環境は空調により快適にできるが、日射の影響も無視できない。上記イの走行条件で、運転中の30歳代男性2名の生理ストレスを評価した。また、断熱反射フィルムが体温や温冷感に及ぼす影響も検討した。黒球温度はフィルム添付車で低値を示した(図7)。

体温と皮膚温： 皮膚温は、温度センサーとデータロガー(LT-8)を用い7点を連続測定した(右後頸部、右上腕部、左上腕部、左胸部、右大腿部、左大腿部、左下腿部)。走行前後と往復途中の休憩で、フリッカー試験を行なった。温冷感覚と快適感覚の主観評価を自己記入した。皮膚温の平均値と車室内環境の間には相関がなく、各運転者とも時間帯・走行方向によらず、皮膚温度が高い部位は、右上腕部と左大腿部であり、上下・左右で異なる。左右の大腿部は1℃以上温度差がある

が、午後には差が小さくなる。フリッカー試験では大きな変動はみられなかった。温冷感覚が「暑い」、快適感覚が「どちらかと言えば不快」の割合は、フィルム添付車よりもフィルム非添付車の方に多かった。断熱フィルムが日射による輻射熱を低減し、快適な運転環境に有効であることが示唆された。胸部誘導心電図によりR-R間隔を測定し、自律神経機能と温度との関係を分析中である。

脳波： 携帯脳波計 (AP1000、TEAC) と電極ネットを用いて単極誘導し、FFT周波数解析により α 波 (8-13Hz) のパワースペクトル (μ V を割合にした) の5分間平均値を求めた (AP Viewer、TEAC)。 α 波の出現頻度は、左前頭部 (FP1) が他の部位よりも高く、より大きく変動した。A車の運転者は α 波が出やすく、運転状況によって細かく変動した。B車の運転者は α 波の出現頻度は少なく、運転状況による大きな変動はなかった。2日目と最終日について、走行中と休憩中を比較すると、両者とも有意な差がみられるが、増減は逆向きであった (表6)。A車の運転者はB車の運転者よりも全体に10%程度高めで、フラットな中間部と終了時の低下がみられた。B車の運転者は2日目にゆっくりした変動を示した。4つのセッション間の α 波の出現頻度を比較すると (表7)、A車の運転者は2日目、最終日も午前1から午後2にかけて有意に低下した。B車の運転者は、2日目には午前中の2セッション間のみ有意差があり、最終日には午前1から午後2にかけて有意に増加した。運転時の脳波がストレスに応じて一定の特徴を示すことがわかった。

唾液中IgA： 分泌型免疫グロブリンA (sIgA) は、急性ストレスに敏感に変動する。高速道路走行による唾液中sIgAの変動を検討した。運転者2名、同乗者2名で、各往復走行の直前・中間・直後・2時間後に、パーキングエリアにて2分間の混合唾液を採取し、[EIA-sIgAテストキット]を用い定量した。運転者と同乗者、合計4人を1群とした。走行時のsIgA値は有意な日間変動はみられなかったが、第1-4日には午前中有意な増減を示さなかったが、午後の中間値・直後値が増加し、終了2時間後に低下した ($p < 0.05$)。実験前値に対する変化率 (%) では、午前中の全平均値も山型の増減を示した。急性ストレスとして負荷した場合、唾液中sIgAは敏速に応答すること、走行の前後に十分な休息をとると応答がより明確になる可能性が示された。

表3 性別・年齢群別の時間当り事故件数に対する関連要因

暑熱・道路環境		時間当り事故件数	
気温 28～33℃		男性の40～59歳が増加し、60歳以上は減少	
33℃以上		40～59歳と60歳以上の変化が、28～33℃とは逆転	
日射量(1.5MJ/m ² 以上・以下) 性・年齢群差なし。			
年齢 40歳未満	車道幅員 5.5m未満<5.5m以上	交差点<その他	
	通勤<私用		
40歳以上	歩道あり<歩道なし		
	信号あり<信号なし	交差点<その他	
発進・加速(等速・減速・左右折)	温範囲による差がない		
密集地域(その他)	温範囲による差がない		

表4 西向き駐車時の車内黒球温度(天井中央)。#2-#4は後3面窓にフィルム貼付。
2000年7月中旬、東京(10-16時の気温29-34℃)。

天気(全天日射量)	晴れ日(1.8-3.1MJ/m ²)		曇り日(0.5-1.7MJ/m ²)
	窓閉鎖	窓5cm開放	
#1 フィルムなし	54.6	57.3	50.7
#2 着色吸収型(透過率30%)	54.4	49.1	50.5
#3 断熱吸収型(透過率80%)	54.8	49.3	50.5
#4 断熱反射型(透過率75%)	53.9	49.0	49.8
#5 同上、全6面貼付	52.6	48.7	48.5

表5 走行時の車内温度環境(フィルムなし車両)

	常磐自動車道 (柏-日立南大田間約95km)	東北自動車道 (福島飯坂-白河間約90km)
時期	2000年7月下旬	2001年8月下旬
天気	晴れ3日、曇り1日	晴れ2日、曇り4日
外気温	30.2-32.6	29-32℃
日射量	2.45-3.26MJ/m ²	0.54MJ/m ² (最大4.0MJ/m ²)
温度		22.6~26.9℃

表6 走行中と休憩中の30歳台運転者のα波の5分毎の出現頻度(左前頭部、平均±標準偏差)

(n)	走行中(56)	休憩中(9)
運転者1		
8.21	55.6±6.0	51.4±4.2*3
8.26	60.3±4.0	48.2±8.0*3
運転者2		
8.21	42.8±7.6	45.8±2.2*3
8.26	39.9±3.2	42.1±3.0

表7 2日目と最終日の各セッション間のα波の頻度の比較(t検定)

誘導部位 運転月日	FP1 (左前頭部)		O2(右後頭部)	
	8.21	8.26	8.21	8.26
運 午前1(13)	59.9±7.7*3	64.8±2.8*3	-	33.1±1.3*3
転 午前2(15)	58.4±2.5	60.0±2.6	-	31.8±0.8
者 午後1(14)	52.5±3.4@3	59.0±3.5	-	31.3±1.6
A 午後2(14)	51.4±3.5	57.8±3.6	-	30.1±1.2
運 午前1(13)	46.4±2.0	38.6±2.0	37.6±2.3	35.3±2.3
転 午前2(14)	45.2±2.3	39.5±1.8	34.6±1.6&3	33.2±3.7
者 午後1(14)	45.7±2.8	38.5±2.5	35.6±3.1	33.0±3.8
B 午後2(14)	45.9±1.7	43.8±3.1#3	34.4±2.4	31.9±2.6#3

*3対全てp<0.001。#3、&3対午前1p<0.001。@3対午前2p<0.001。

(3) 社会集団の適応プロセス

1) 適応のフィードバックと予測

環境変化に対する「歴史的な適応」は、人口移動による過疎、過密として生じている。人口(N)の自展力曲線は、技術導入や価値観や願望などの影響を受ける(鈴木継美:人口変動の分析・試論、東北医学雑誌、58:179-187, 1972)。環境抵抗は下の式のように、人口増加率そのものを反映するが、人口支持力(K)と実人口との差である「余裕」をも反映する。地球温暖化は、局所的適応の可能性を小さくすると思われる(農地荒廃や水不足により難民が生じて、人口支持力を強化する移住は弱く、自律的な再適応は期待できない)。健康に関する「環境抵抗」がどのようなものか、移動をいつ発生させるか、を記述することが必要である。

($N_t = N_0 e^{rt}$ の式にあてはめて、年単位で人口変動率を求めた。回帰係数が増加率rに相当。)

環境抵抗 = 自展力曲線($dN/dt = rN - (K - N)/K$) - 人口の成長曲線 = $rN - (K - N)/K$

社会集団の温暖化への適応は、人口と環境抵抗を中心にして関数表現できよう(表8)。適応のフィードバックには、即応性と遅延、感受性、強化と集積、システムの安定性などの特徴があり、あるものは脆弱性となる。

表8 適応関数の名用と条件

-
- ・ 適応関数F(time, temp)のモデル化と、パラメータの関連づけ。
適応関数は、分野別・問題別のほか、統合型・相互作用型などの設定ができる。
 - ・ 資源、供給、関連情報などが空間的に不均一ならば、適応は低下する。
適応の学習効果をバイパス、オプション、技術、統合と連携、容量として表現できる。
 - ・ 秩序の破綻、病気の悪化、集団の移動で適応を判定する場合、微分か積分か異論がある。
(警報は個体の生存(微分型)を、百年後の適応はシステム破綻(積分型)を想定する)
 - ・ 適応関数を先進国安定型、同発展型、途上国安定型、同発展型とすると幅が予測できる。
脆弱性を、資源の容量、フィードバック停止、危機、システム破綻、として評価できる。
-

2) 健康リスクの計算と高リスク集団の特定

文化・規範・技術・経済・心理の変化が同時に発生すれば、社会組織の適応能力が変化する。適応能力が低下すれば、社会不安、暴動、経済混乱、疾病が増加し、個別には障害を受けない人々にも影響が及ぶ。個々人の健康要素よりも、社会システムの働きの方が重要なのである。適応の低下を時間・空間的に記述・図示することが必要である。JPC報告書作業(内山ほか、2001)と、疾病モデルの検討(Sasaki et al., 2000)では、患者行動、社会的対応を含む疾病モデル、地域情報などを用いて、健康リスクの枠組みを表現することを試みた(表9)。

リスクの計算には、時間的因子やターゲット評価(要因の標準化、相加性)が必要である。個人と集団とでは、適応には大きな相違がある。適応システムが破綻すれば、集団は個人よりも弱くなる。集団システムは「予想されない事態」への対応が難しく、問題が重大化する。「熱波で倒れ、入院する」ということ

は、加算できる個人的な問題。そのうち、何人死亡し、何日入院するか、倒れた状況と環境や行動との関係は、必ずしも加算通りではない「集団的な問題」である。(たとえば、福島の雪10cmは何でもないが、東京では大混乱が起こるということは、マクロ的な適応の議論では、集団のダイナミクスが過小評価されることによる)

一方、国際的には労働者への影響は共通しており、長期的なリスク対策が必要である。労働を扱う視点を欠いているので、情報不足である。英国の熱波報告(1996)は、外出や屋外労働の影響を論じた。高リスク集団の確認では、職場・職種ごとの温度の許容性、許容性が低下した時の行動の自由度と選択肢、疲労要因の区分(温度上昇、熱輻射、発汗、冷却方法、睡眠、食欲、通勤)、温暖化の緩和に伴う産業形態・労働内容の変化、などを考慮すべきである。

表9 健康リスクの枠組み(案)

健康要素	健康リスクの特徴
医学的知見とのギャップ 医学適応と他領域の適応	カルテに記録されない温度と、患者の療養や生死との関係は不明。 相互影響とリスク評価は、脆弱性と対策の基礎情報として必要。 分野間影響では、死亡よりも、生活影響(ストレス、行動変化)と健康状態を指標とする必要がある。
6つの分野の対策の影響	誰にいつ健康影響をおよぼすかモデル化できず、不可知である。 米国の医科大学の環境教育と、ゼロ次予防対策。
温度以外のパラメータ	影響の次元(実績)ではなく、リスクの次元(予想される影響)の時間的な順位。7領域間の影響比較、相互影響、政策調整。
温度と人間の多様な関係	人工環境は地理的条件に反して一定。個人の温度嗜好は多様。 年齢と条件によって温度認識は変動し、適応手段が限定される。 人工環境の温度特性は運用、空調の有無・効果で異なる。
適応システムの容量	集団が長期対応できる可能性、または危機に陥る可能性の評価。

(4) 既存のデータを用いた気温と死亡に関する研究

本テーマの目的は、過去に行ってきた解析につき、その方法論的問題点の改善および評価をおこなうことと、それをふまえた上で新たな解析を行うことである。今回の新たな解析は、小児事故およびヒートアイランドの評価である。

1. 解析方法の改善およびその評価

従来、気温と死亡との関連を評価する場合、都道府県を単位として解析し、各都道府県の県庁所在地の気温をもってその都道府県を代表させていた。解析を始めた1990年代半ばには、計算機の能力が限られていたため、これ以上の細かい解析は実質的に不可能であった。

しかしながら、計算機の演算速度、記憶容量が飛躍的に向上し、より細かい解析が可能となったため、市町村単位の解析を行い、それを基準として上記都道府県単位の精度を評価した。

〔方法〕

1970年代から継続して得られる気象情報として、もっとも細かいものが Automated Meteorologica Data Acquisition System (AMeDAS)によって得られるデータである。ただし、現時点においても、観測地点数は900に不足しており、3,000を超える市町村数よりは少ないため、一観測点でいくつかの市町村を代表することは避けられない(図1)。

この AMeDAS 測定点に市町村を対応させる方法として、まず行ったのが「半径法」である。これは市町村の地理的重心から一定の半径で円を描き、その円に含まれる測定点を対応させるものである。距離は近い方が望ましいけれども、半径を小さくするとカバーできない市町村が増加してしまう。逆に、半径を大きくすると隣接する市町村でオーバーラップが大きくなりすぎる。5km, 10km, 15km, 20kmの半径で評価し、15kmが最適と判断した(図2)。複数の AMeDAS 測定点が含まれる場合はその平均値を計算した。以下に述べる1995年の解析は、この「半径法」で求めた気温データを用いた。

この「半径法」の問題点は、AMeDAS 測定点の数が年次によって大きく異なり、1995年ではほとんどの市町村カバーできていたのに、1976年では欠落する市町村が非常に多くなることであった。このため、1976年から1995年までの解析では「最近点法」によって対応させた。これは、市町村の地理的重心から直線距離でもっとも近い測定点を選び、それをその市町村の代表とするものである。これにより、どの市町村にも必ず測定点が対応できることになった。ただし、年次を追って測定点数が増加しているため、1年ごとに計算を繰り返し、その年の最近点を求めている。市町村によっては年による測定点の変更があり、気温レベルの精度という意味からは一貫性に欠けることになる。しかし、一貫性を優先すると、結局低い精度に統一することになるため、今回は一貫性よりも精度を重視することとした。

人口に関しては、市町村ごとに国勢調査年の性・年齢階級別人口が電子化されているものの、非国勢調査年のものは紙媒体で残されているのみである。実施期間、費用の観点から、この紙媒体データを電子化することは非現実的と考え、単純な補間法で非国勢調査年の性・年齢階級別市町村人口を計算した。

死亡は、総務庁の目的外使用許可を得て(総統承158号)、死亡小票データを用いているため、市町村ごとの性・年齢階級別死亡数を1976年から1995年まで正確に計算した。

ある日の死亡率は、各年次の人口に1日をかけて人日とし、その人日でその日の死亡数を除して求める。気温を7区分した従来の解析では、それぞれの区分に含まれる日数を求めて、その日数に人口をかけて人日とし、対応する区分の日に死亡した数を除することになる。

以前の都道府県単位の解析では、県庁所在地の気温を7区分し、それぞれの区分に含まれる日数を求め、それに人口をかけて人日とした。市町村単位の情報でその精度を評価するため、市町村単位の解析では都道府県内各市町村ごとに気温区分ごとの死亡数、人日を計算し、それらを用いて都道府県単位の気温区分別死亡数、人日、死亡数を求めた。

1995年の資料を用いて、47都道府県で都道府県単位の解析の精度を評価すると、死亡率に関しては図3に見られるように、市町村単位のものと大きな相違はなかった。よって、過去に行っ

てきた都道府県単位の解析で得られた成果，たとえば寒冷な気候ほど，最低の死亡率を示す気温（至適気温）が低いことなどは，精度を上げた解析によっても同様の結果が得られるものと考えられる。

図4は，市町村単位で求めた各気温区分の人日，死亡数および死亡率をゴールドスタンダードとし，都道府県単位の値がその何倍になっているかを見たものである。図3で見られたように，死亡率は市町村単位の解析でもほとんど変わらないために1.0の近辺にある。一方，死亡数と人日を見ると，低温の区分では大きなずれはないものの，高温の区分では大きく偏っている。このことは，温暖化による死亡状況の変化を推定する場合に問題となりえる。すなわち，気温の将来推計が粗く，都道府県レベルであれば必然的に都道府県単位の解析になるけれども，より細かい気温の推計ができる場合には，図4のように人日が偏っていれば，死亡数は各気温区分別の死亡率に人日をかけてことによって推計するので，死亡数も偏ってしまう。

このような偏りは，ほとんどの都道府県で同一の方向に見られたため，系統的な偏りと考えらる。その方向は，少数の例外を除いて図4と同様，高気温の区分で大きく上に偏っているというものであった。県庁所在地は，都道府県によっては都道府県の北側に位置することもあれば南側に位置することもある。それにもかかわらず一定の方向に偏った理由は，都市化に伴うヒートアイランド現象ではないかと考えられる。すなわち，県庁所在地という都市化の進んだ気温の高い地域の気温を県の代表とすることで，気温が高めに誤分類され，それによって都道府県単位の解析では市町村単位の解析に比較して見かけ上高温の日が多くなったものと考えられる。

都道府県単位の解析と市町村単位の解析が一致しない理由は，上記のような系統的な誤差以外に，統計的な誤差も存在する。図5は，各都道府県，男女別に気温区分を一つの点として，図4で用いた都道府県単位と市町村単位の比と，死亡数の平方根との関連をみたものである。死亡数が少ないほど，統計誤差が大きく，死亡数が大きくなるにつれて比は1.0に収斂していく。例外の4点は，二つの低気温区分，兵庫県の男女である。1995年1月に阪神淡路大震災が発生し，火事で多数の死傷者を出した。その日の気温区分が誤分類を受けてこのように大きな偏りとなった。逆に言えば，大震災のような突発的な災害以外では，死亡数がある程度の大きさになるように数年次分をまとめるなどすれば，死亡率の偏りは十分に小さくできることがわかった。

II. 小児事故

図6は，1995年に発表した九州における解析の論文から引用した気温と死亡率比との関連である。このことから，絶対的な死亡率は低いものの，小児では気温の高い日に死亡率が非常に高くなっていることがわかった。また，総死亡から不慮の事故をのぞくと，ここでみられた高死亡率が認められなくなることから，その原因が不慮の事故であることも明らかとなった。

しかしながら，このことは，かならずしも気温が高い方が事故になりやすいことを意味するわけではない。事故に遭う確率は一定でも，平日に比べて休日の方がレジャーに出かける人口が大きいため事故の人数が増加することも考えられる。この場合，図6のような気温と死亡の関連の解析では，レジャーに出かけた人口ではなく，全人口に日数をかけたものが分母になるため，見かけ上休日の死亡率が高くなってしまう。

この影響を避けるため，休日と平日に分けて不慮の事故，溺死の関連を調べた。図7は総死亡

であるが、溺死に限ってもほぼ同様のグラフとなる。これから明らかのように、休日と平日に分けても、やはり高気温で死亡率が高くなっている。28℃未満に関しては、雨の日が含まれているために死亡率が低くなっている可能性があり、そのために休日と平日の差が小さいことが考えられる。しかし、28℃以上であれば、ほとんどが晴れているものと考えられるので、レジャーに出かける人口だけでなく、やはり高気温による判断力の低下、体力の消耗などの影響があるものと考えられる。

より妥当性の高い検討は、個人単位の詳細な情報を収集する症例対照研究などを待たなければならぬものの、今回の解析からも、気温の高い日のレジャーには一層の注意が必要なることを周知徹底することは意味のあることと考えられる。

III. ヒートアイランド

上記Iに示したように、市町村単位で死亡率を計算することが可能になったことを受け、大都市を擁する東京都、愛知県、大阪府において、指定都市、その他の市、町村の3区分に分け、予備的な解析を行った。

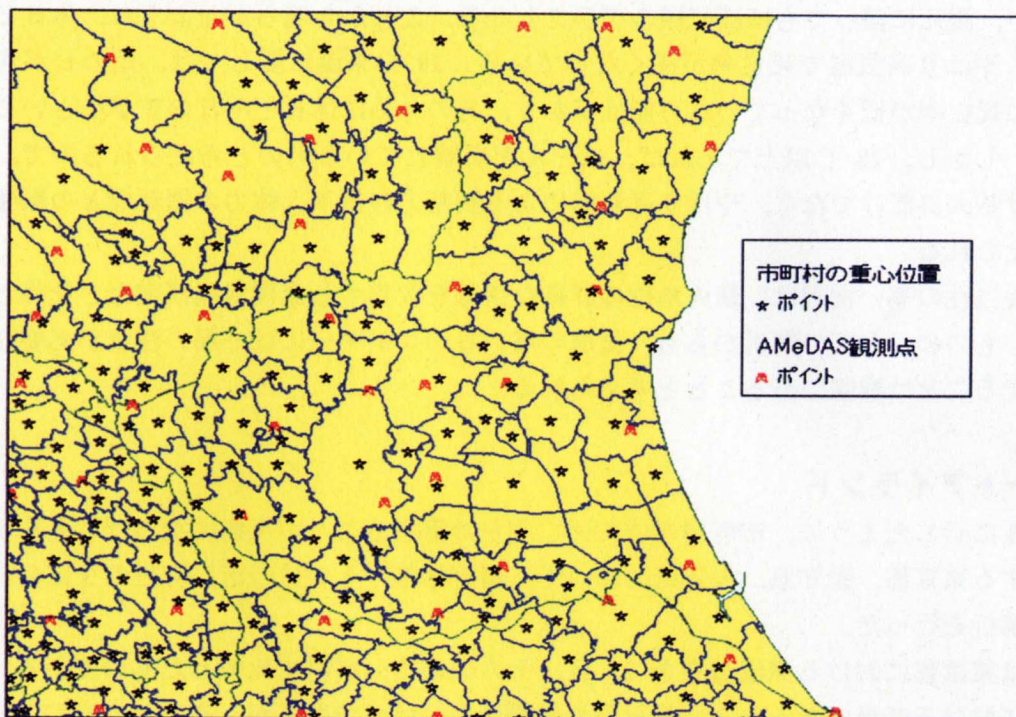
図8は東京都における気温分布を23区、その他の市、町村で比較したものである。AMeDAS測定点における気温であるから、輻射熱の影響はないはずであるが、やはり33℃以上の日数の割合が23区で高くなっている。愛知県、大阪府でも程度の差はあるが、同様の傾向であった。

一方、気温と死亡の関連はそれぞれの大都市圏で大きく異なっていた。図9は東京都、図10は大阪府のものである。東京都では町村の死亡率がもっとも高いのに対し、大阪府では大阪府が最も高くなっている。このことから、ほぼ均質の集団が異なる気温の環境におかれたとは考えがたく、社会経済的な要因の影響が大きいことが推察される。ヒートアイランド現象による相違には更に詳細な解析が必要になるものと考えられる。

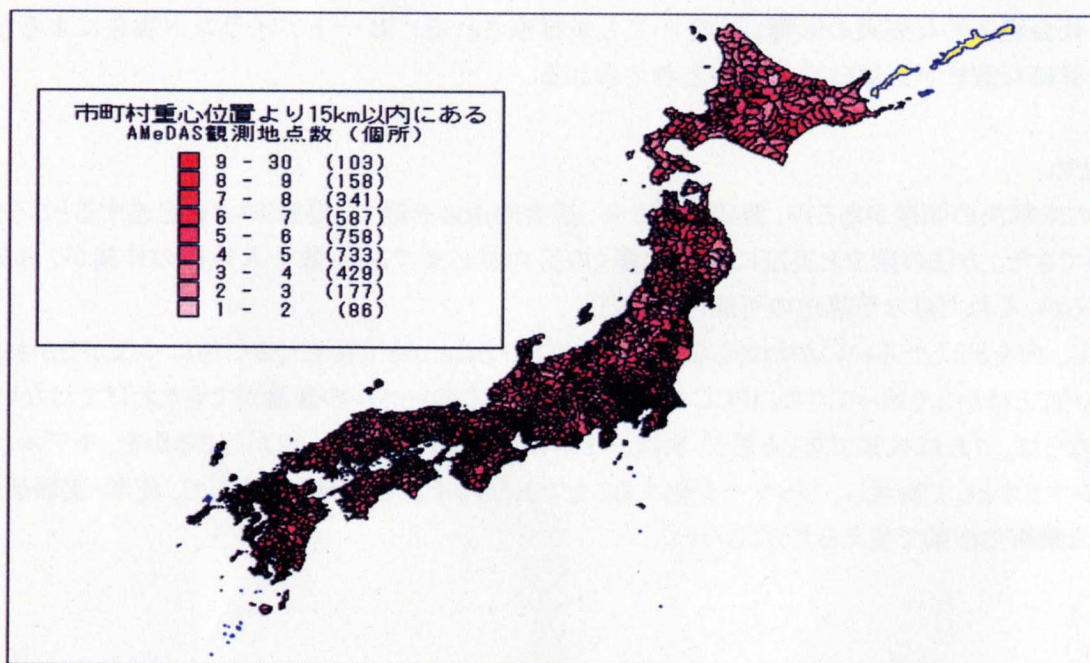
4. まとめ

多くの未解決の問題があるが、健康影響から、社会的適応を経て、健康リスクを記述するところまでの道筋ができた。方法の確立と実証には、より多くの努力が必要である(数十人規模の作業が、10年は必要であるが、それだけの予算化の可能性はない)。

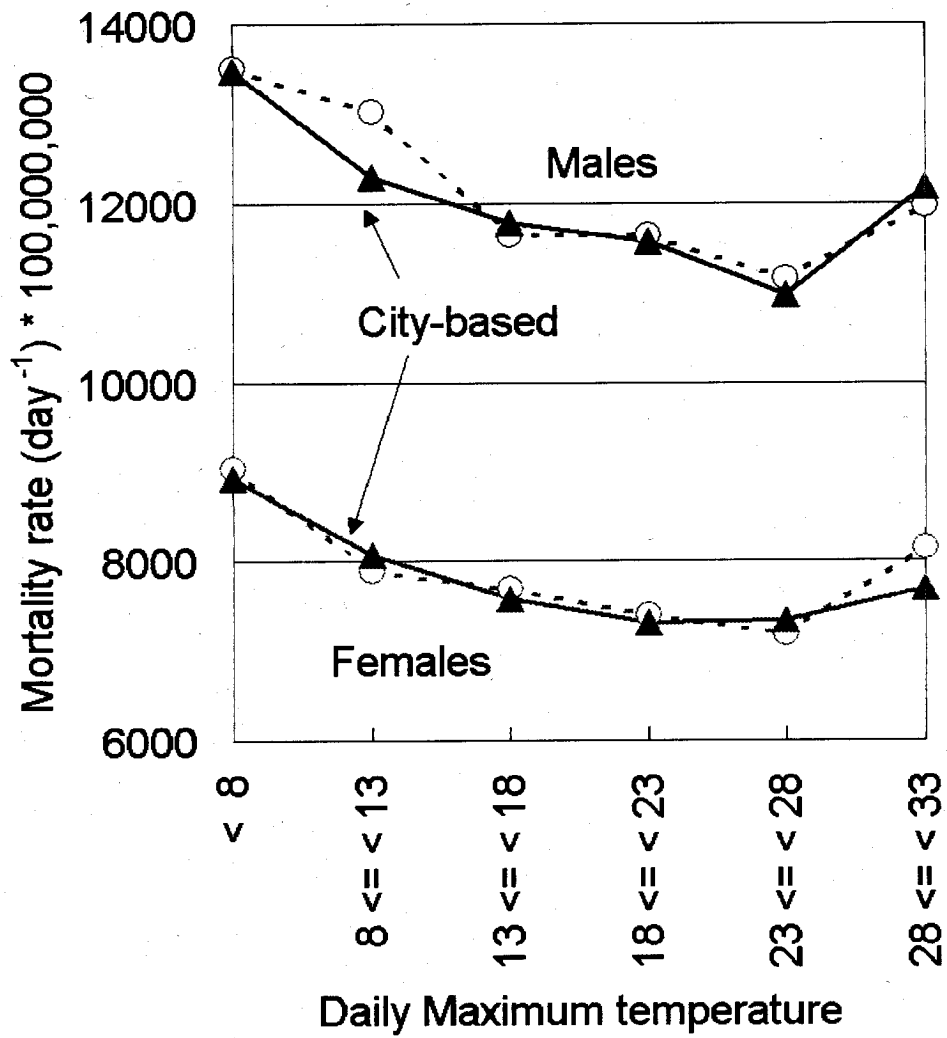
しかし、何をどうしたらいいかわからない、今やっていることがどう役立つか、何につながるかわからない、ということはかなり減ってきた。IPCCの作業部会でも、このレベルの議論ができたわけではないことを考えるならば、これは成果であると思う。次は、+2℃程度の温度変化で、何が起こるかを、モデル、パラメータ、シナリオとして表現し、パッケージ化することであろう。それを評価尺度として、疫学・実験研究や、医療・公衆衛生活動で使えるようにしたい。



図－1 AMeDAS観測地点と市町村重心位置（茨城県）



図－2 市町村重心から15km以内のAMeDAS観測地点数（括弧内は、対象地点の総数）



図一 3 日最高気温と死亡率との関連
(北海道, 65+歳, 1995年)

注：実線は市町村単位，点線は都道府県単位で求めたもの。

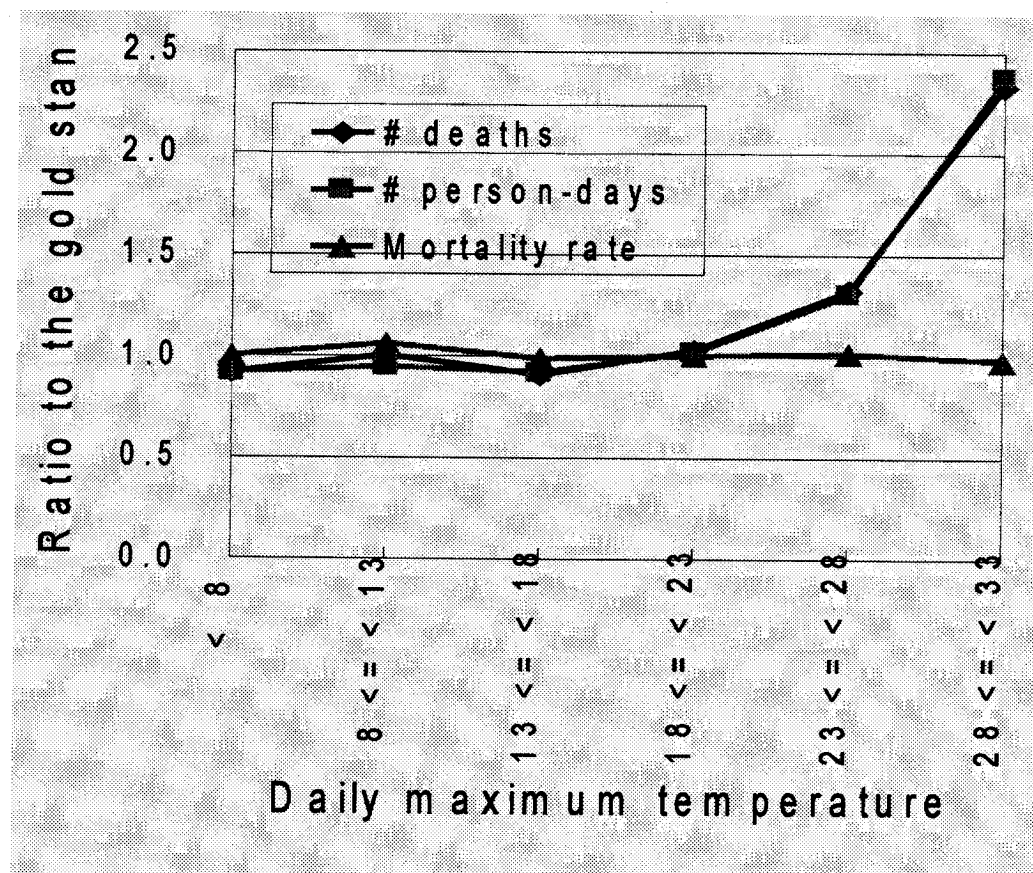


図-4 Prefecture-based の日最高気温別-死亡数, 人日, 死亡数の, gold standard に対する比 (北海道, 男, 1995 年)

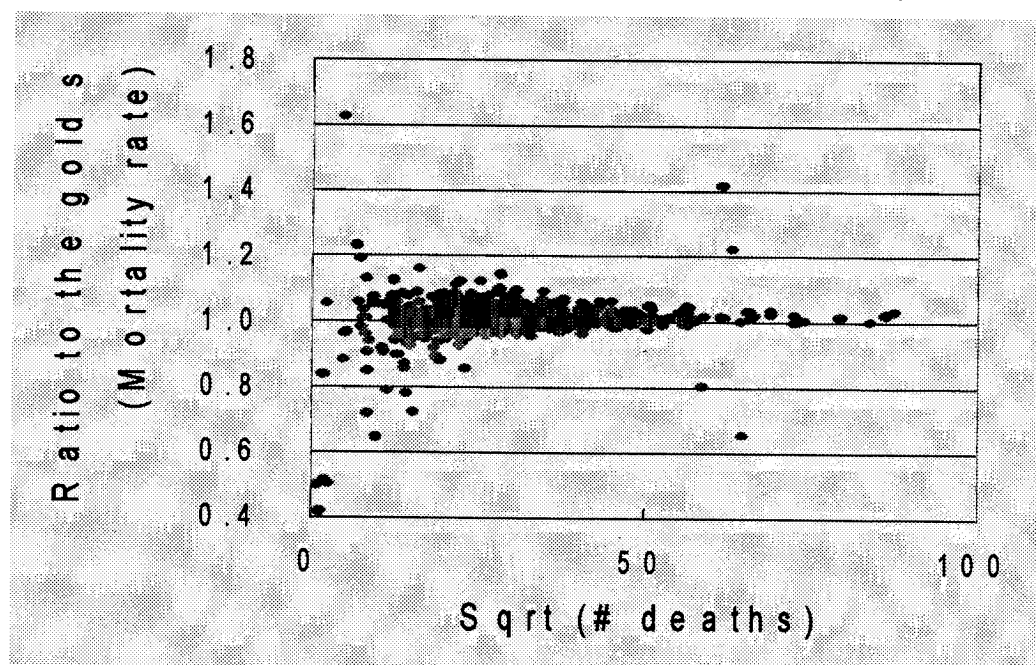


図-5 死亡数の平方根と死亡率の比(prefecture-based の死亡率 / city-based の死亡率)との関係

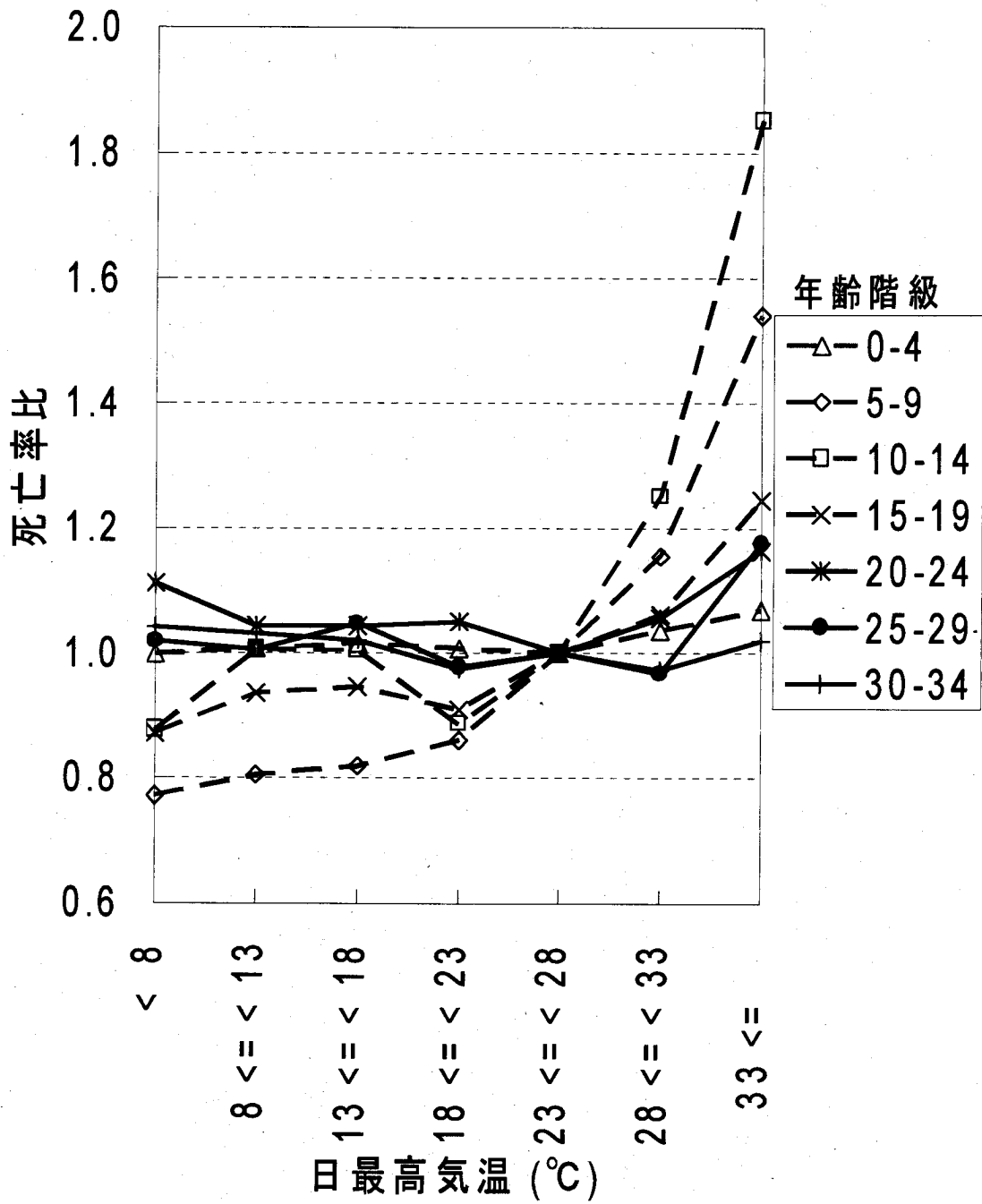
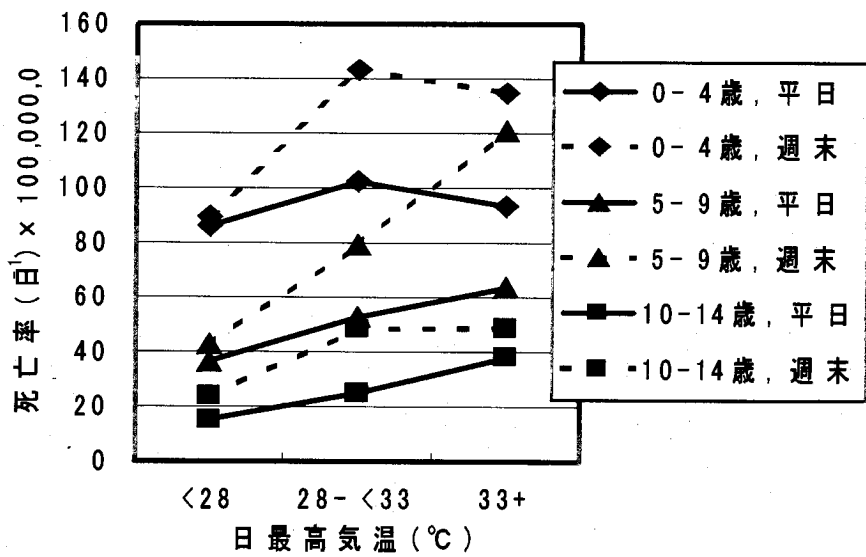
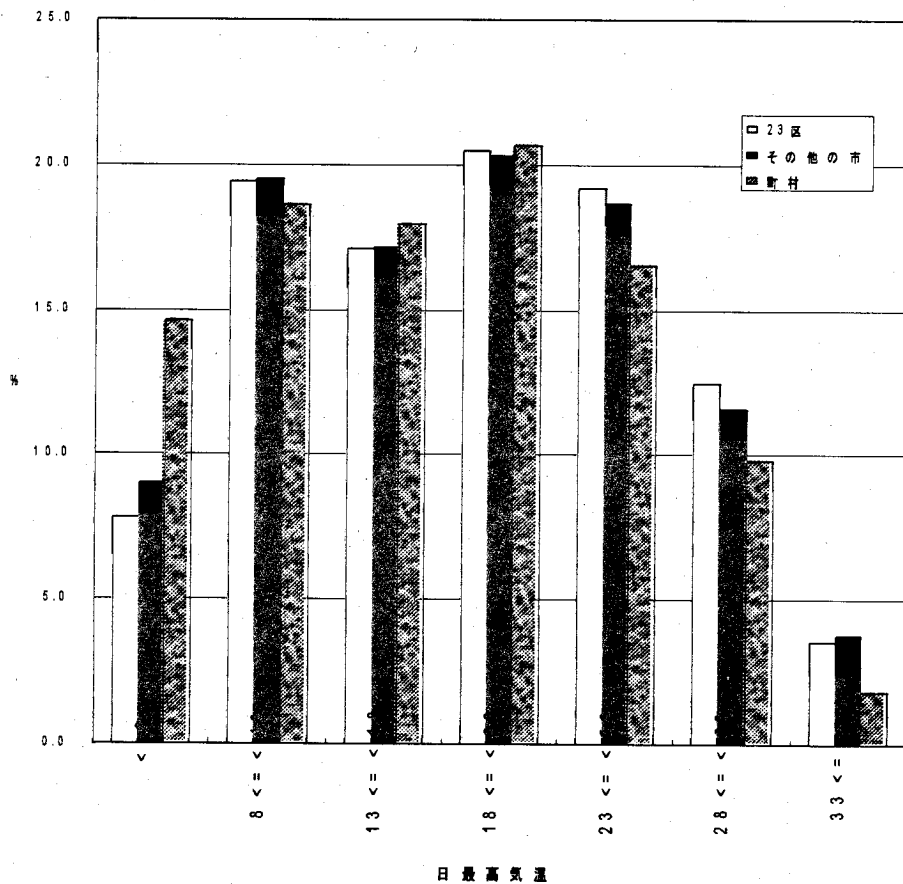


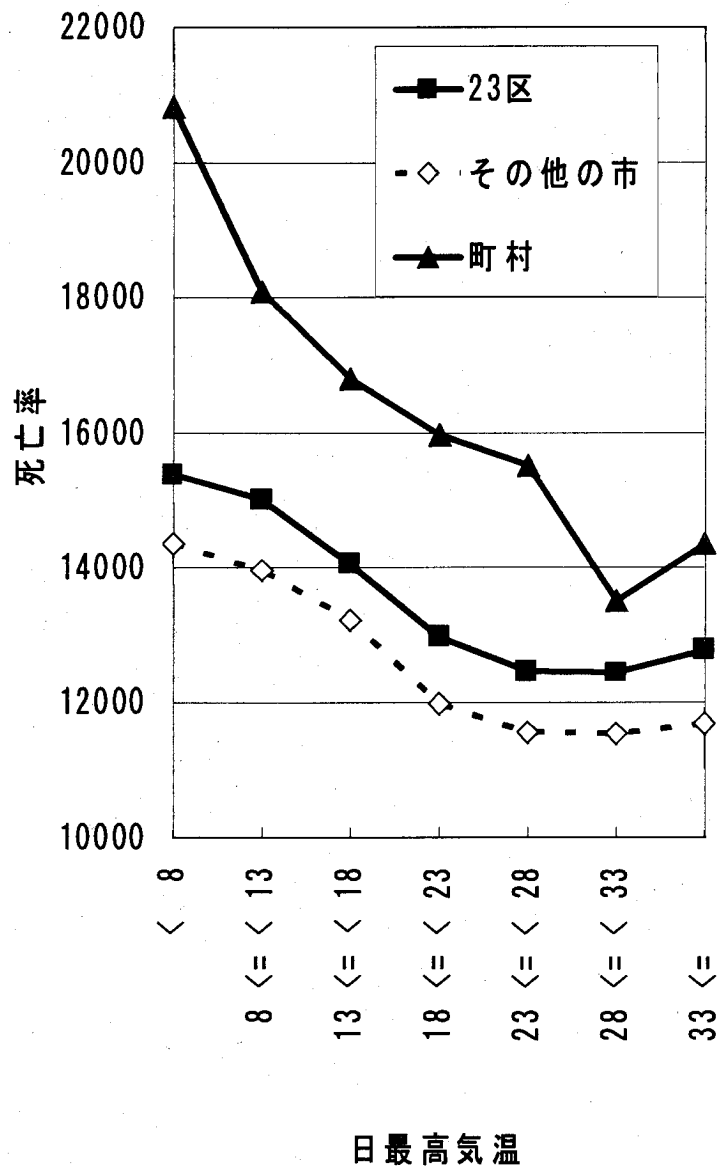
図-6 Mantel-Haenszel 死亡率比
(総死亡, 九州, 男, 1972-1990)



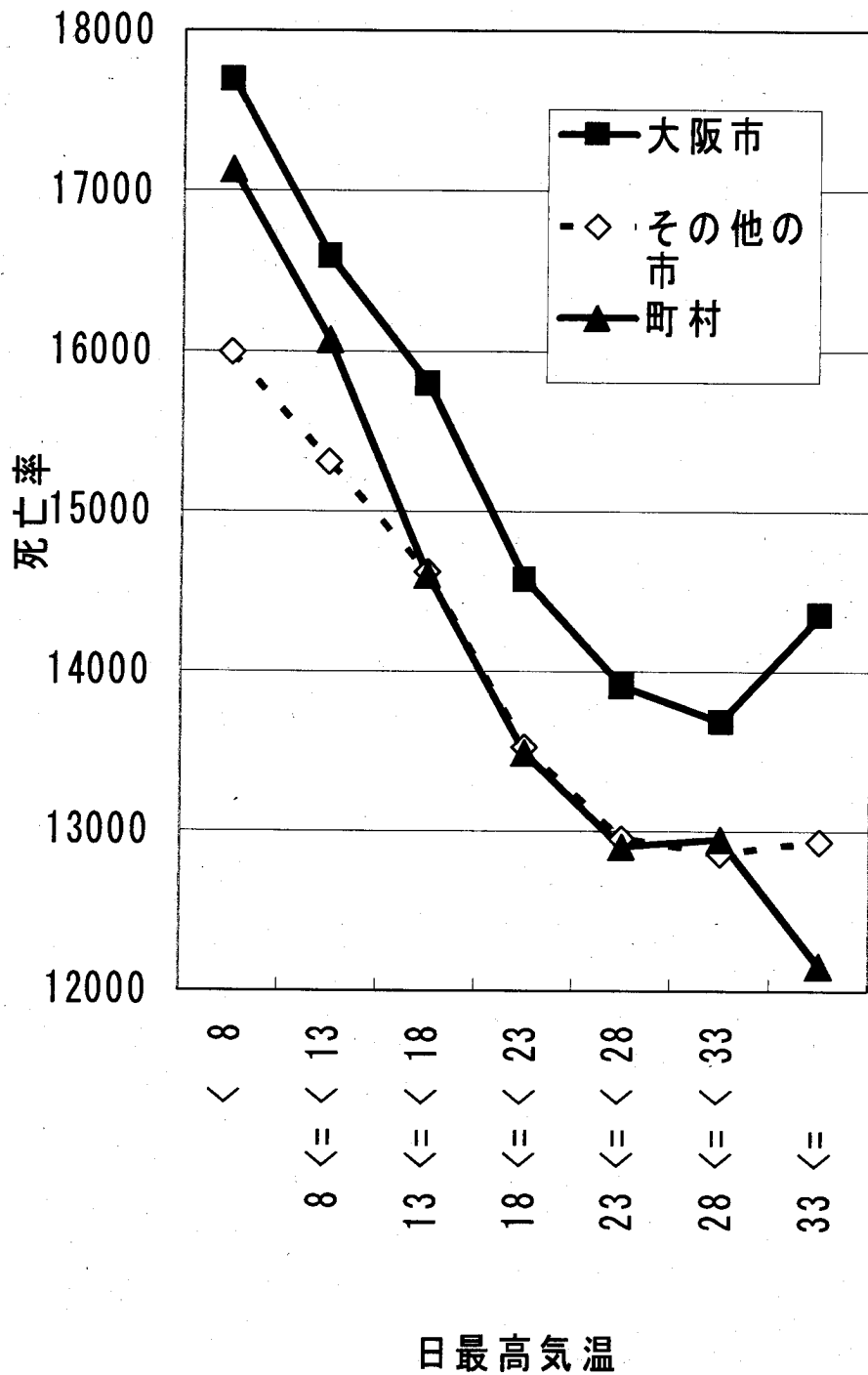
図一七 九州における気温と死亡の関係
 一年齢と週末の効果— (男, 1980-1994年)



図一八 都鄙レベルによる気温分布の相違
 (東京都, 65+歳, 男, 1976-1995年)



図一 9 都鄙別にみた気温と死亡率の関係
(東京都, 65+歳, 男, 1976-1995年)



図一 10 都鄙別にみた気温と死亡率の関係
(大阪府, 65+歳, 男, 1976-1995年)

5. 本研究により得られた成果

社会環境と文化を背景とした暑熱曝露に対する人間の生理的反応と適応を調査した結果以下の点が明らかとなった。

- ①暑熱に対するハイリスクグループの同定と、予防対策のために役立つ適応能力の指標をホルター一心電計による自律神経応答の分析、暑熱ストレスに対する反応指標を脳波による分析と唾液中IgE測定を行った結果、いずれも非侵襲的な検査であり、かつ有用な指標となることが確認された。
- ②日本とタイ国のそれぞれ成年と高齢者、タイ国の昼間空調施設のあるオフィスで働く人と、そうでない人では、それぞれ暑熱適応能力に相違があり、加齢という生理的条件と同時にライフスタイルによっても暑熱に対する適応能力が異なることが示唆された。
- ③わが国の既存データの死亡と日最高気温に関する、より詳細な分析として小児事故とヒートアイランド現象を加味した分析を行った結果、高気温の日における小児事故の増加は、レジャー人口の増加のみでは説明できなかった。また大都市の中心部と周辺市町村の分析では、気温の他に社会経済的要因との関連が示唆された。

6. 引用文献 なし

「国際共同研究等の状況」 タイ国マヒドン大学との共同研究

「研究成果の発表状況」

(1) 誌上発表

- ①佐々木昭彦: 温暖化の健康影響からみたHDP展望—人間の側面と健康, 国立環境研究所地球環境研究センター編: 地球環境研究展望—人間・社会的側面からみた地球環境問題, p1-8, 1999
- ②内山巖雄、安藤満、小野雅司、佐々木昭彦、丹後俊郎、兵井伸行、本田靖: 健康への影響、環境省地球温暖化問題検討委員会温暖化影響評価ワーキンググループ編「地球温暖化の日本への影響 2001」、p337-369、2001
- ③Manomaipiboon K: Health Effects and Risk Evaluation of Ambient Temperature using Power Spectrum of ECG R-R Interval Variation, Thesis to National Institute of Public Health, 49pp, 2002
- ④佐々木昭彦: 環境医学から環境学へ—21世紀の視点と大学の活性化のために—、福島医学雑誌52, 11-21, 2002.

(2) 口頭発表

- ①Sasaki A, Rockhill B, Speizer F, Piver W, Longstreth J, Ultman J, Last J, Maynard N, Portier C, Fraser M, Kabuto M, Honda Y Models for disease, use in risk assessment, how to incorporate diversity in human populations. U.S.-Japan Workshop on Global Environmental Health, Working Group 4, Washington, D.C., Nov, 2000
- ②Sasaki A, Takahashi M, Uchiyama I, and Manomaipiboon K Possible thermal adaptation mechanism of urban workers during 24-hours activity in the hot season of Thailand, 12th Global Warming Conference, Cambridge, U.K., Apr, 2001
- ③高橋美加、佐々木昭彦、内山巖雄、西田泰: 乳幼児の車内熱中症死亡事故における事故要

因の実験的分析、日本衛生学会、2000.3

④内山巖雄、佐々木昭彦、Manomaipiboon, K:タイ国の若年成人の暑熱反応、日本公衆衛生学会、前橋、2000.10

⑤内山巖雄、佐々木昭彦、高橋美加、西田泰:自動車事故への気温と日射の影響:新潟市での検討、日本公衆衛生学会、前橋、2000.10

⑥高橋美加、佐々木昭彦、内山巖雄、永井由美子:高齢者の体温調節能力と夏季の周囲温度への適応状況、第59回日本公衆衛生学会総会、前橋、2000.10、p651

⑦佐々木昭彦:温暖化の健康影響、気候問題懇談会講演、気象庁、2001.2

⑧佐々木昭彦、高橋美加、内山巖雄、西田泰:気象条件からみた駐車時の日射断熱による暑熱回避の限界、第34回気候影響・利用研究会、東京、2001.3

⑨西田泰、佐々木昭彦、高橋美加、内山巖雄:窓フィルムによる走行中の自動車内温度環境及び運転者皮膚温への影響、気候影響・利用研究会、東京、2001.3

⑩Manomaipiboon, K、佐々木昭彦、内山巖雄、高橋美加:高齢者と若年者の自律神経機能と環境温度との関係:バンコクでの生活行動、日本衛生学会、福島、2001.4

⑪佐々木昭彦、内山巖雄・K Manomaipiboon K:タイ国の若年成人の暑熱反応、日本公衆衛生学会、2001.10

⑫佐々木昭彦:地球温暖化の日本への影響—健康への影響—、気候影響・利用研究会合同ワークショップ、2001.11

⑬佐々木昭彦、前田享史、田中かづ子、金子信也、田中正敏、西田泰、内山巖雄:夏期の高速道路走行時の車内温度環境と運転者の生理的特性 1.温度環境と疲労状況、日本衛生学会総会、2002.3

⑭前田享史、佐々木昭彦、田中かづ子、金子信也、田中正敏、西田泰、内山巖雄:夏期の高速道路走行時の車内温度環境と運転者の生理的特性 2.皮膚温と舌下温、日本衛生学会総会、2002.3

⑮田中かづ子、佐々木昭彦、前田享史、金子信也、田中正敏、西田泰、内山巖雄:夏期の高速道路走行時の車内温度環境と運転者の生理的特性 3.唾液中分泌型IgAを指標として、日本衛生学会総会、2002.3

⑯佐々木昭彦:社会集団にとっての適応とそのプロセス、シンポジウム「Adaptation, Adaptability, Adjustment, Acclimatization, Acclimation などの定義及びそれに対する日本語について」、気候影響・利用研究会、2002.3

⑰佐々木昭彦:地球温暖化と産業労働者への影響、産衛学会自由集会温熱研究会、2002.4

(3) 出願特許等 なし

(4) 受賞等 高橋美加 国際健康都市学会、2000

(5) 一般への公表・報道等 なし

(6) 他の成果の普及、政策的寄与・貢献について

佐々木昭彦:温暖化の健康影響、気候問題懇談会講演、気象庁

U.S.-Japan Global Environmental Workshopでの成果発表