

B-13 地球温暖化による人類の生存環境と環境リスクに関する研究

(3) 地球温暖化による健康影響と健康リスク評価に関する研究

研究代表者 厚生省国立公衆衛生院 労働衛生学部長 内山 巖雄

厚生省国立公衆衛生院

労働衛生学部

内山 巖雄・森 直代

生理衛生学部 体力生理室

佐々木昭彦

環境庁国立環境研究所

社会環境システム部 環境計画研究室

原沢 英夫

環境健康部 環境疫学研究室

本田 靖・小野 雅司

文部省東京大学

医学部人類生態学教室

大塚柳太郎・中澤 港

平成7年度合計予算額 3,470千円
(平成6年度予算額 3,515千円)

要旨： 温暖化の健康影響とリスク予測に関する研究は、データベースへの活用を意図した健康指標の研究、開発を中心としている。その中で気象情報によつて暴露人口のリスクを局在化することや、死亡と死亡率が外気温に依存することの検証から、超過死亡の要因分析へと研究が進展してきた。また、日常生活における暑熱暴露と行動との関係、および熱帯性（高地）気候における外気温と乳幼児死亡との関係は、暑熱影響のしくみの多様性を記述している。指標のデータベース化は進行中であり、健康リスク評価にどのように役立つかは課題ごとに検討した。

キーワード： データベース、外気温、死亡統計、リスク、適応、空調、リスク評価

- 構成
1. 地球温暖化による健康リスクの研究 (内山巖雄、佐々木昭彦)
 2. 温暖化の健康影響評価のためのデータベースの構築とその適用に関する研究 (原沢英夫ほか)
 3. わが国における気温と死亡との関連、および温暖化の健康影響予測の試み (本田 靖、小野雅司ほか)
 4. 自動車事故死亡率に及ぼす日別気象条件影響—東京都、北海道、大阪府及び福岡県の比較 (平成6-7年度：森 直代ほか)
 5. パプアニューギニア・フリ語族における日最高気温と死亡との関係 (平成5-6年度：大塚柳太郎、中澤 港)
 6. 生活温度からみた行動適応 (佐々木昭彦・内山巖雄、国吉秀樹・恩河尚博、上田伸男、前山美由紀・野崎恵子)

1. 地球温暖化による健康リスクの研究

地球温暖化による環境変動は、既存の諸条件に依存する都市環境と生活様式を変え、日々の行動や生活感覚を維持させる社会的環境をも変えていく。このような変化は熱波、紫外線、マラリアなど狭義の疾病よりも深く広いたくだけでなく、間接的で多岐にわたる影響をもたらす。また、健康-行動への影響が発生する確率の計算と、リスクの局在（より早期に出現）する地域や集団の特定は容易ではない。そのために暑熱暴露のリスク、暑熱反応と超過死亡の関係、健康影響指標の開発などを課題とした。本研究は、環境温度の変動による健康リスク予測を目的として、温度暴露に関わる社会環境と人間集団の要因を、環境温度、温度制御システム、健康リスクに分けて分析した。

対象と方法

(1) 環境温度： 温度暴露は生活環境と行動によって変化し、自然環境、都市環境全体、特定の個人について分析される。都市環境では地表条件（樹木、河川、建物）や物的条件（屋根、帽子、衣服）から、直接暴露（日射）と間接暴露（輻射、空調）に区別される。なお、戸外温度を修飾する気流、雲量、日照時間などは日周リズムを仮定できるので、日単位の温度分析は現実的である。人間の環境温度は、屋外、屋内、および特殊空間（交通機関・病院等）の温度に分類される（図1）。都市環境では暴露される温度は外気温と一致せず、空調や移動によって変動する。「生活温度」は行動と場所とに関連づけられた個人の暴露温度である（夏期の外気温と生活温度の差は約5-10℃）。

(2) 都市の温度制御システム： 日本の生活様式は都市環境も含めて中緯度モンスーン気候を前提としている。1990、1994、1995年の猛暑は電力消費の増大により大きな影響を与え、社会的リスクとして認知された。快適な人工環境を志向した社会は熱波に弱いなど、温度制御システムの共通点や違いを国際的視点から考慮する必要もある。そこで、都市の環境温度の制御システムを、ハードウェア、ライフスタイル、温度感覚・健康状態に分けると、影響因子は固定したものから自由度の高いものまで並ぶ(表1)。第2章のGRID/GISと社会経済および都市環境指標との組合せによる解析は、これらの因子の寄与を健康の観点から推定する試みであり、死亡統計の結果(第3章)と関連づけた予測が今後の課題である。本研究では、これらの分析に必要な前提である、暑熱条件の局在性とリスク評価の過程を、以下に考察した。

(3) 健康リスク： 健康リスクの評価は、リスクアセスメント(影響の分類、量-反応関係、環境アセスメント)、リスク判定(実測データ、モデル計算)、リスク管理(フィードバック、回避条件、リスク比較)の過程からなる。「暑熱暴露-反応」を単純なモデルにするのは容易でないが、リスク過程の区分によりデータの収集と計算がしやすいWHO/EHGの環境健康指標(DPSEE)を温度暴露に適用して、データの国際比較を進めている。

次に、熱中症の増加の背景として、中国(瀬戸内海側)、四国、九州、沖縄地方の7月、8月の日平均気温(県庁所在地15ヶ所、1972-1990年)を分析し、30°C以上の高温の日の出現と持続日数を、年次と地域別に比較し、県ごとに暑熱リスクに準備、対応しうる可能性を検討した。

結果と考察

1950年代以降、脳血管疾患死亡率の季節差は、環境や治療の改善により低減している。しかし、5°Cごとに区分された日最高気温別死亡率は10-20%変動し、6月から9月には高温日の頻度に関係なく、特定の日の死亡の約1/4が隣接の温度区分に入れ替わる可能性がある。疾患別死亡で見ると、温度依存性のないがん、心疾患、65歳未満の脳血管疾患では温度変動の効果がランダムとなるが、65歳以上の脳血管疾患では最高気温28-33°Cの日に死亡率が最低となる。外気温が当日の物理的条件や人々の行動に影響を与える、後者特有のしくみがあると仮定される。

中国、四国、九州、沖縄の15県の7月と8月の平均気温区分の割合は、20-25°Cの日16%、25-30°Cの日82%、30-35°Cの日2.3%であった(東京では25-30°Cの日68%、30-35°Cの日2.8%)。中国・四国地方と福岡県における30-35°Cの日の頻度を図2に示した。福岡県は30-35°Cの日が延べ78日間、経年的に増加した(とくに1983年以降)。平均気温30-35°Cの日が続く場合には、外気温がリスクとなりうる。30-35°Cの日数は、山口、愛媛、高知、大分、沖縄県では延べ19日以下であるが、福岡、熊本、宮崎県では延べ30日以上であった(図3)。さらに単年度に7日以上の集中は福岡4回、その他各1回であり、7日以上の連続は福岡県だけであった(1983年)。高温の持続による健康リスクは特定の県に高いといえる。

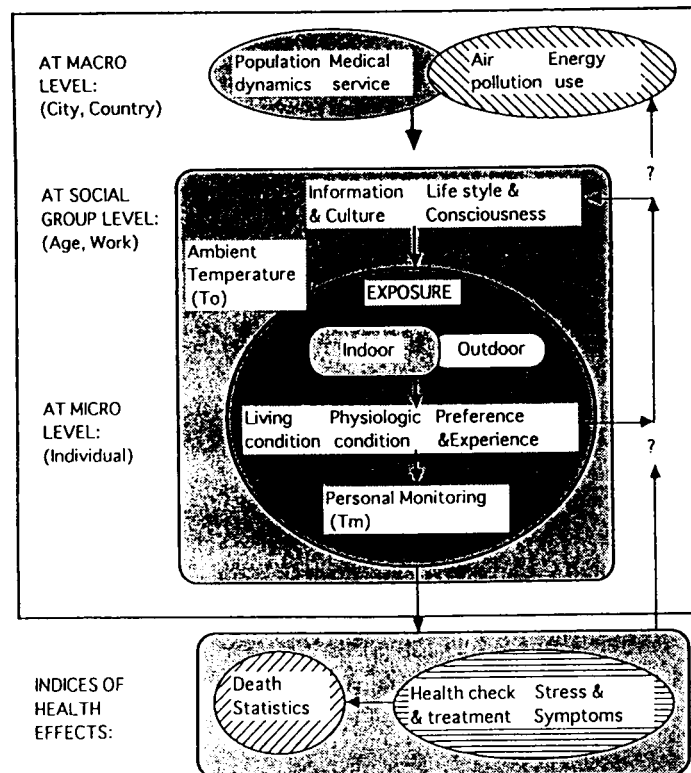


Fig. 1 Hypothetical Temperature Exposure and its Control System of the Living Environment and Indices of Health Effects in Relation to the Monitoring (To and Tm).

2. 温暖化の健康影響評価のためのデータベースの構築とその適用に関する研究

気温上昇による健康影響を、気温-死亡率の係数を用いて評価するためには、気象関連情報と地域特性関連情報のデータベース化が必要になる。本研究は地理情報システムによるデータの結合、指標計算、カラー画像表示、健康影響評価の支援システムの開発を目指している。平成6年度はデータベース化と共に、温暖化の影響をうける人口予測を最高気温-死亡率関係から試みた。

対象と方法

(1) 温暖化の健康影響評価データベース：本データベースは気象、地域、温暖化の3つの関連情報から構成される。気象関連情報は、620地点の日最高気温などをデータベース化した。地域関連情報は社会・経済条件データであり、表象単位は行政地域またはメッシュ（標準1 km）なので、統一的に処理できる地理情報システム（GIS、ARC/INFO）を用いた。国土地理院のFDマップを用いて行政区域境界、海岸線、主要な道路・鉄道をGISで扱える形式に変換した。また、各地点の位置と市町村コードとの対応表を入力した。温暖化関連情報では、大気中CO₂の濃度漸増に対して現実に近い気候現象の応答を表現できる、ハドレイセンター、マックスプランク、GFDLの3つのGCMの気候変動シナリオをデータベース化し、他の変数と重ね合わせた。

(2) 気象データの解析と影響人口の推定：関東地方と全国における1976-1986年8月の日別最高・最低気温を抽出した。地点毎の確率的指標を算定するために、日最高気温（Tx）の年間平均値、標準偏差を求め、正規分布を仮定して非超過確率値として50%、75%、90%、99%値を求めた。例えば、非超過確率75%値は、

$$(P75) = Txの平均値 + A75 \times Txの標準偏差、となる。$$

A75=0.674の場合、P75は毎年8月にその値を越える日が平均7日ある。一方、気候変動シナリオの空間密度は緯度で約5°と粗いので、ハドレイセンターの値（2.87°Cの上昇）を予測値とした。また、観測地点の気温データを、気候変動シナリオと重ねるためにメッシュ化した。その際、市町村周辺の特定地点を検索して平均値を用いる方法が最適であった。

結果

死亡率には33°Cを境に減少から増加に転じる至適温度がある。東京、大阪、福岡の3地点における8月の日最高気温の非超過確率をトーマスプロット法により正規確率紙上にプロットした（図4）。ゆがみは観測地点をとりまく自然・社会条件と関係していると考えられる。CO₂2倍時には約3°C上昇し、各直線が右方向（日最高気温の軸）にそって並行移動すると考えることができる。33°Cを越える確率は東京、大阪、福岡で約0.14、0.5、0.2である。気温が3°C上昇するとそれぞれ約0.6、0.85、0.8と、日最高気温が33°Cを越える確率がかなり高くなる（東京と福岡では大阪よりもその増加率が大きい）。

次に、33°Cをしきい値として死亡率が変化する関係を基に、現在と将来の気温上昇時について、関東地方の死亡者数を推定した。65歳以上の人口が現在もCO₂が2倍時も変化しない、Txの予測値はP75%値とし（市町村別）、気温上昇は関東地方全域で一定である（2.87°C）と仮定した。全般的にはリスクに暴露される人口が増加するが、ただし周辺地域では減少から横這いとなる傾向がみられた。さらに、全国の各市町村別に死亡者数を計算した結果を示す。図5は1990年の人口に基づく現状と、50%値を用いた場合の将来予測値との差をとったものである。関東地方から以北ではほとんど変化がなく、関西から中国、四国、九州にかけて影響人口が増加すると予想される。とくに都市部での増加が顕著であり、人口の密集やヒートアイランド現象による温度上昇なども関連して影響が大きく出ていると考えられる。高齢人口の増加により、影響はさらに広範囲に及ぶと推測される。

考察

温暖化の健康影響の評価・分析のための地理情報システムを利用したデータベースを作成して、日本における健康影響を試算した。モデル式や気温指標の解釈によって暴露人口の推定値は変化する。また、温暖化は冬場に死亡率を低下させるため、通年では影響が平均化される。今後、通年の影響も考慮した計算とリスク指標による表現を検討する予定である。一方、いくつかのリスク指標による表現と定義を明確化することが課題である。人口の集中する都市レベルでの温度環境と健康影響についての検討や東アジア全域でのマクロ予測も、気温-死亡率モデルが開発されれば計算できよう。

データベースをアジア・太平洋地域に拡張するためには、この地域のデータ収集と加工が必要となるとともに、地域によって異なる温暖化の健康影響をモデル化することが必要となる。熱帯から温帯、亜寒帯まで幅広い気候区分に位置するために、一律のモデルでは適用不可能である。GISは環境影響評価や環境管理など環境計画の策定に際して強力なツールとなりうるが、機能の多さゆえになかなか実際の場に生かされにくい。今後、温暖化の影響評価システムを構築する際に、知的支援の方法とノウハウの蓄積を考える必要がある。

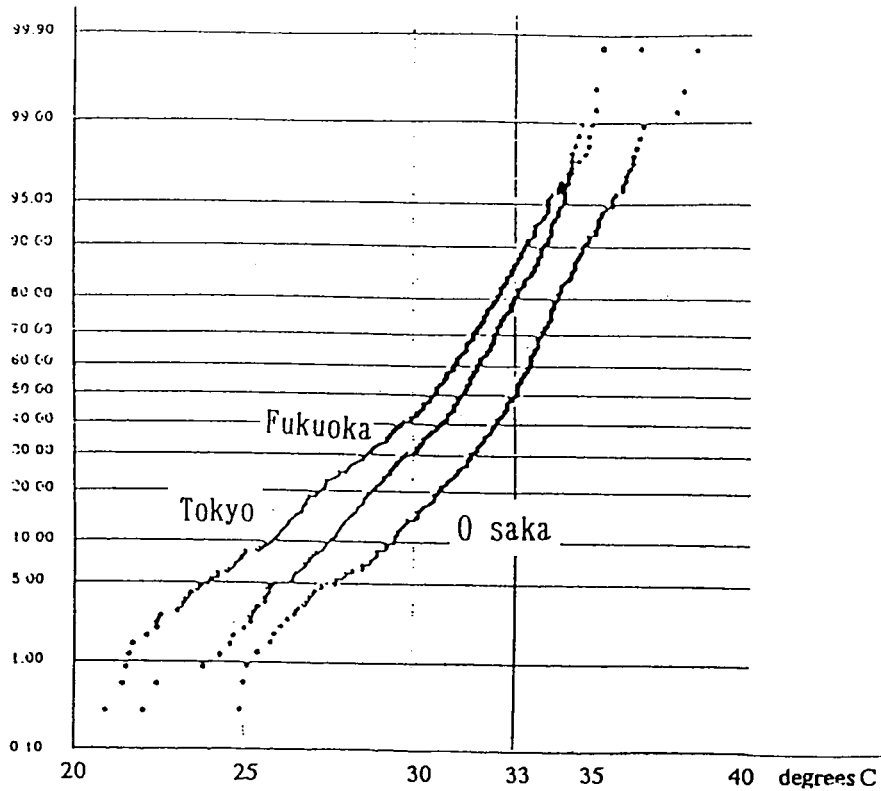


Figure 4 Probability distribution of 3 prefectures of daily maximum temperature (Tx) during August of 1976-1986. These lines will be shifted to the right when Tx is increased. The probabilities of Tx exceeding 33 degrees in Tokyo, Osaka, and Fukuoka are 0.14, 0.5, and 0.2 at present, and 0.60, 0.85, 0.80 at CO₂ doubling condition, respectively. Relative increase of the probability will be higher in Tokyo (+0.46) and Fukuoka (+0.6) than in Osaka (+0.35).

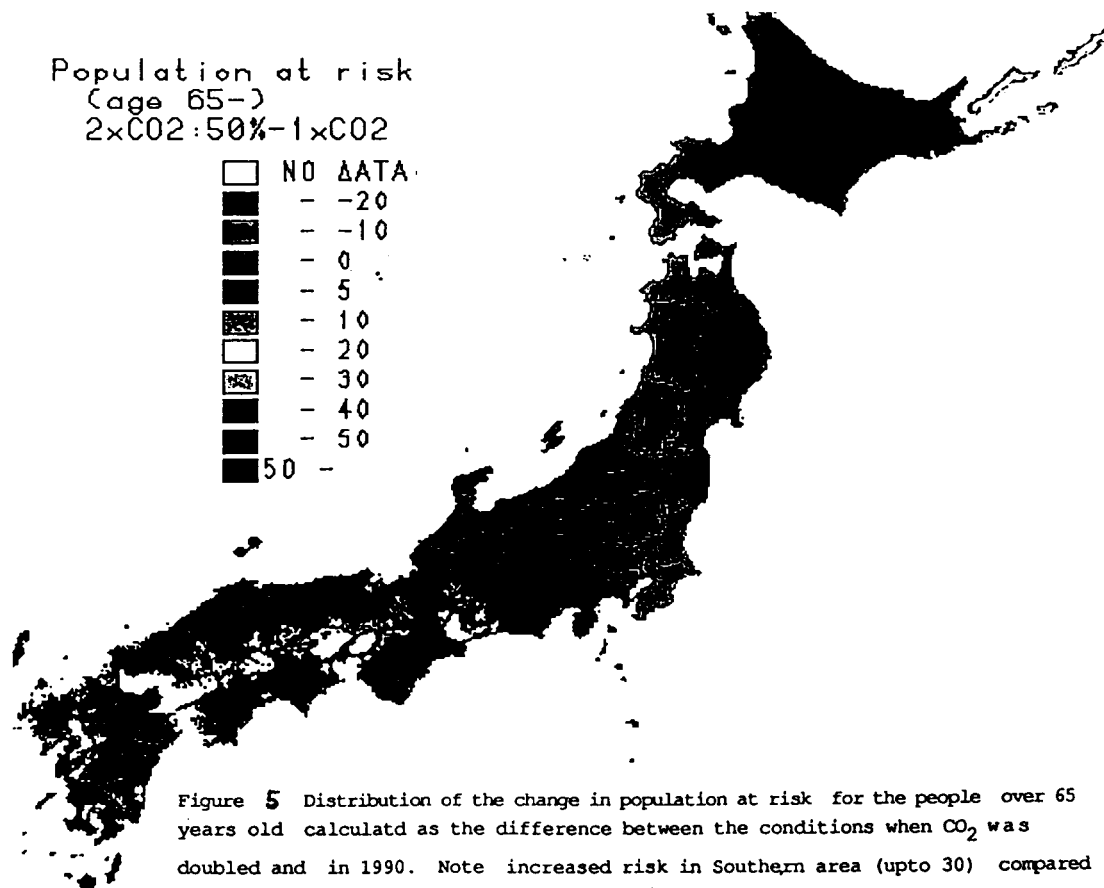


Figure 5 Distribution of the change in population at risk for the people over 65 years old calculated as the difference between the conditions when CO₂ was doubled and in 1990. Note increased risk in Southern area (upto 30) compared with those in Northern area (no increase) in Japan.

3. わが国における気温と死亡との関連、および温暖化の健康影響予測の試み

昨年度は九州の資料を用いて、日最高気温と死亡率との関係について以下のことを明らかにした。

- (1) 28-33℃の区分で最低の死亡率を示し、その両側では死亡率は高くなる（V字型の構造）
- (2) その関係は65歳以上の高齢者が大きく寄与し、社会・経済・文化的な要因が関与している。
- (3) 循環器疾患、呼吸器疾患などでは気温の影響が大きく、悪性新生物では小さい。

今年度は、平均気温を県ごとの気候指標として、気候に対する適応が、気温-死亡関係をどのように修飾するかを主に解析した。また、湿度による気温-死亡関係の修飾、およびインフルエンザ流行の影響も解析した。

資料と方法

ある年次のある気温区分の県別死亡率は、県庁所在地での気温が特定の気温区分に属する日数に、その県の年中央人口をかけて人日とし、その気温区分の日に死亡した人数をこの人日で除して求める。滋賀県と埼玉県はそれぞれ彦根市、熊谷市の気温で代用した。最低の死亡率を示す気温（至適気温）を、便宜的に日最高気温区分の midpoint とした。両端は midpoint が無いが、各区分に対応する幅が一定になるように至適気温を25.5℃、30.5℃、35.5℃とした。気候の指標は、日平均気温の1972-1990年の19年間の平均を用いた。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き、その回帰直線から関連をモデル化した。グループごとの至適気温と平均気温、あるいは死亡率の平均を求める場合、各県の人口で重み付けした。解析への人口構造の影響を除くために、対象をV字型に大きく寄与する65歳以上に限った。

気温依存性の強さをみる場合には、日最高気温区分間で死亡率を比較するためMantel-Haenszel法によって年次を制御して死亡率比を求めた（23-28℃を基準とした）。Greenland-Robinsの方法を用い、95%信頼区間を求めた。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。さらに、インフルエンザによる死亡数（1972-1978年はICD-8の470-474、1979-1990年はICD-9の478）の年次変化を、大流行した1973、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調べた（週あたり死亡数が5未満の県は除外）。複数週で死亡数が同じ場合はその midpoint をピークとし、1976年の流行は1月1日から第1週を開始してピークを求めた。

結果と考察

(1) 死因別の温度依存性： 気温依存性の強さに関して、ICDの2つの期間で大きくボタンが異なるのは呼吸器疾患であった（18℃未満で後者の死亡率比が低い）。気温依存性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、気温依存性が認められなかったのは新生物であった（表2）。循環系の疾患は28℃以上が23-28℃の死亡率よりも有意に低かった。循環系の疾患の中では心疾患の気温依存性が強く、脳血管疾患はやや弱い。それ以外では老衰が非常に強い。多くの疾患で気温依存性はV字型を示した。なお、33℃以上の気温区分での総死亡率の経年変化は、その出現度数（人日）と比べて安定しており統計的比較にたえられる（図6）。

ICD-8は「過度の高温」による死亡を人工的な環境と区別しないので、33℃以上での死亡を外気温による熱射病とみなすと、死亡総数が10人をこえたのは2年間であった（1983年の男が最高で0.39%）。男か女で0.2%を越えた年は1974、1978、1980、1983年のみであった。オランダでは最低死亡率を示す日平均気温は16℃（最高気温で約20℃）と、九州より約10℃低い。また、平均気温5℃未満と25℃での死亡率は16℃の1.2倍である。高い外気温による死亡は非常に少ないことから、体温調節機能の破綻は死亡率に寄与しておらず、むしろ温熱ストレスへの適応能力と循環動態の変化、および人工環境と文化的対応が関わっていると考えられる。

悪性新生物でも予備力は低下するはずだが、大多数の患者が空調設備の整った病院で死亡することが一因であろう。しかし、総死亡率は1990年でも28-33℃の気温区分に比べて33℃以上の方が高いので、空調の普及は33℃以上での死亡率を28-33℃のレベルまで低下させなかったと考えられる。なお、Rogotらによると米国では家全体の空調をしている場合は猛暑による超過死亡が緩和されるが、部分空調では緩和作用は認められにくいという。脳血管疾患よりも虚血性心疾患の気温依存性が大きく、消化器疾患、感染症、不慮の事故では弱い気温依存性がみられた。

(2) 湿度の影響： 九州地方の男では、日最高気温が23℃未満で相対湿度が低い方が死亡率は低い。女では一定の傾向がなかった。中国・近畿地方でも、低温低湿度で死亡率が低い傾向があった。逆に、首都圏では日最高気温28℃未満で相対湿度が高い方が死亡率は低い（東北・関東・甲信・東海地方、および四国地方の男でも同様）。北海道、北陸地方、沖縄県では一定の傾向はみられなかった。大別すると東日本型と西日本型に二分される。気温と総死亡との関係は、湿度を考慮しても大きくは変わらない。オランダでは湿度が高い場合に、低温側で死亡率が高く、高温側では死亡率が低いと報告されている。英国などでは冬に湿度の高い傾向がある。

Table 1 Controlling System of Urban Environmental Temperature and Effecting Factors

| Control System: | Hardware | Life style | Feeling and Health |
|-------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|
| Effecting factors | Urban structure | Cloths, Culture, | Comfort |
| (Fixed) | Population density | Custom (siesta) | Symptoms |
| | Building, Tree, River | Work, Amusement | Chronic disease |
| | Road, Traffic | Home life, Sleep | Sex, Age, |
| | | | Occupation |
| (Variable) | Housing, | Ways and time for | Value system, |
| | Air-conditioning | going out | Preference |

Prefecture:

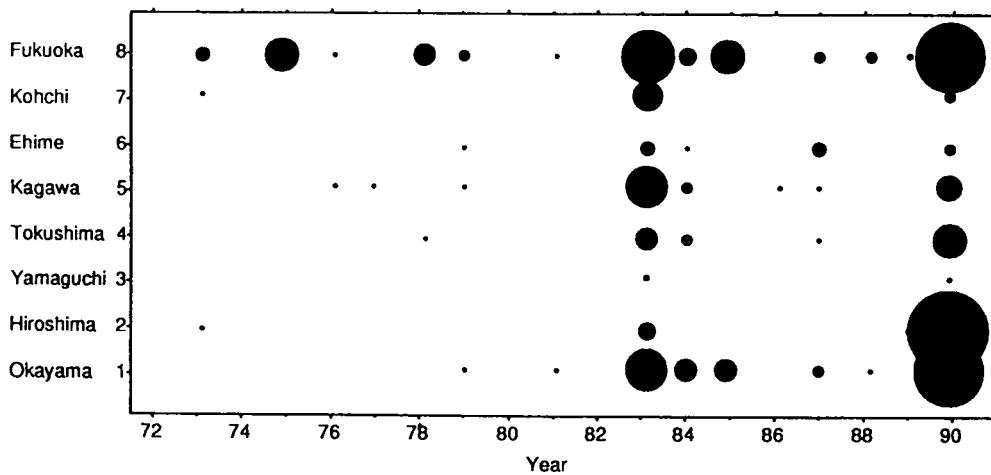


Fig. 2 Frequency of days of mean temperature 30-35 degrees C in 8 southern prefectures of Japan during July and August of 1972-1990.

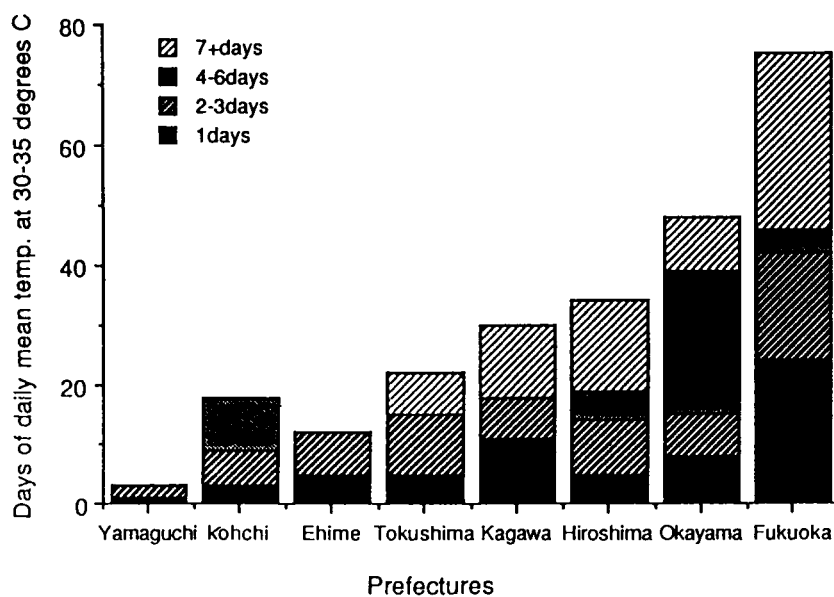


Fig. 3 Cumulated number of days (July and August, 1972-1990) with daily mean temperature at 30-35 degrees C prolonged various period (1 to 7+ days) in 8 prefectures sorted by total number of days of 30-35 degrees C.

(3) インフルエンザの影響： インフルエンザによる死亡の大きな流行は1970年代で終わっている。1973年と1976年の流行で第何週にピークがあるかを調べた。最も早いのは東京都・神奈川県、京都府・大阪府・奈良県で、第7週にもっとも遅い県がピークをむかえた。図9は総死亡と日最高気温との関連を、インフルエンザ死亡率のレベルごとに示した。後者が高くなるにしたがい総死亡死亡率も高くなり、各区分間の相違はインフルエンザ死亡率の相違よりもかなり大きい（最大20倍以上）。循環器疾患、呼吸器疾患、外因等の死亡率も、インフルエンザの流行により上昇した。インフルエンザが気温-死亡関係の交絡因子となる可能性を持つ。流行ピークの移動に約1.5ヶ月のタイムラグがあり、そのため死亡率が増加する日最高気温の区分が、県によって異なる可能性がある。インフルエンザの流行によつて総死亡率がはるかに高い増加を示すことは超過死亡として知られていた。日最高気温区分別に観察しても、インフルエンザ死亡率が高いほど総死亡・循環器疾患・呼吸器疾患の死亡率も高く、気温依存性の大きな疾患は寒冷による死亡率上昇がさらに大きくなる傾向をもつ。

(4) 温暖化に対する馴化の影響： いくつかの県の日最高気温と死亡率との関連をみると、男女ともほぼ同様の傾向をもつ。北海道は23-28°Cの死亡率が最低で、8°C未満よりも33°C以上の方が高い（東京では8°C未満が最高）。逆に、福岡ではV字の左半分の死亡率が高めで、33°C以上の死亡率は23-28°Cと同程度に止まる。また、18°C未満での死亡率は、沖縄と福岡県がほぼ同程度で、東京都や北海道よりも高い。男の「平均気温」と各日最高気温区分の総死亡率の関連は、8°C未満では正相関を示すが（ $r=0.57$, $p=0.0001$ ）、8-13°Cから相関係数が小さくなり、28-33°C以後は負相関となり、33°C以上でも強くなる（ $r=-0.67$, $p=0.0001$ ）。寒冷なほど低温での死亡率が低く、逆に温暖なほど高温での死亡率が低い。さらに、平均気温に対する死亡率の回帰直線を求めて46都道府県を比較すると、8°C未満と8-13°Cの気温区分ではほぼ下へ平行移動、13-18°Cから23-28°Cの区分ではx軸と平行になり、28-33°Cと33°C以上の区分では平均気温の高温側を中心に回転して右下がりの傾きを強める。すなわち、日最高気温が23-28°Cでは平均気温による死亡率の差はない。28°C以上では寒冷地方に対して温暖地方の死亡率が低くなる（図9）。

Table 2. Mantel-Haenszel rate ratio and its 95% confidence interval from selected disease categories by daily high temperature (Kyushu, males, 65+ years old, 1979-1990)

| Daily high temperature(degrees C) | Neoplasms | Circulatory diseases |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| < 8 | 1.00502 (0.97446-1.03653) | 1.49793 (1.46505-1.53155) |
| 8 <= < 13 | 0.99388 (0.97374-1.01444) | 1.38670 (1.36501-1.40874) |
| 13 <= < 18 | 0.98470 (0.96583-1.00395) | 1.29036 (1.27081-1.31020) |
| 18 <= < 23 | 0.98679 (0.96787-1.00609) | 1.13932 (1.12146-1.15747) |
| 23 <= < 28* | 1.00000 | 1.00000 |
| 28 <= < 33 | 0.98489 (0.96629-1.00386) | 0.92108 (0.90609-0.93631) |
| 33 <= | 1.00640 (0.97727-1.03640) | 0.94053 (0.91657-0.96512) |

| Daily high temperature(degrees C) | Respiratory diseases | External causes |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| < 8 | 1.47539 (1.41898-1.53403) | 1.21012 (1.11221-1.31665) |
| 8 <= < 13 | 1.38138 (1.34456-1.41921) | 1.16069 (1.09537-1.22990) |
| 13 <= < 18 | 1.27329 (1.24041-1.30704) | 1.09427 (1.03497-1.15696) |
| 18 <= < 23 | 1.14215 (1.11188-1.17325) | 1.08209 (1.02322-1.14436) |
| 23 <= < 28* | 1.00000 | 1.00000 |
| 28 <= < 33 | 0.91558 (0.89017-0.94172) | 0.97934 (0.92555-1.03626) |
| 33 <= | 0.96709 (0.92679-1.00914) | 1.01479 (0.93042-1.10681) |

* Referent category

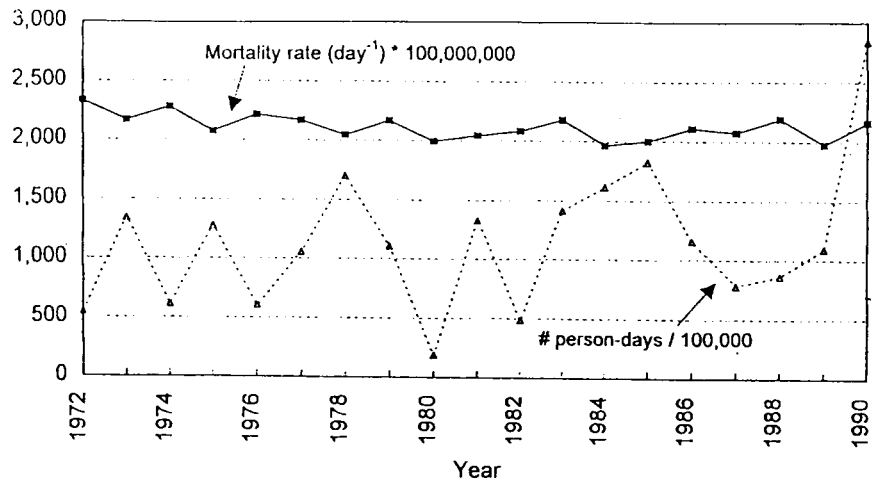


Fig. 6 Number of person-days and mortality rate at 33+, Kyushu, males

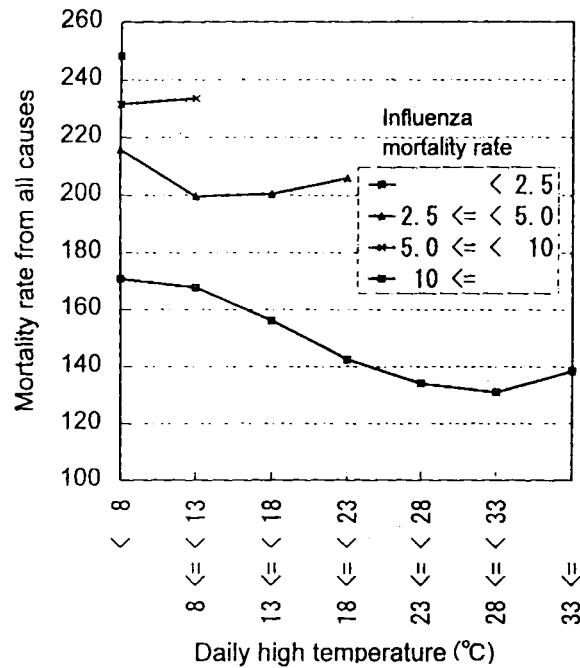


Fig. 7 Relationship between daily high temperature and the mortality rate from all causes calculated under the different conditions of mortality by influenza in males of 65+ years old (Japan, 1972-1990).

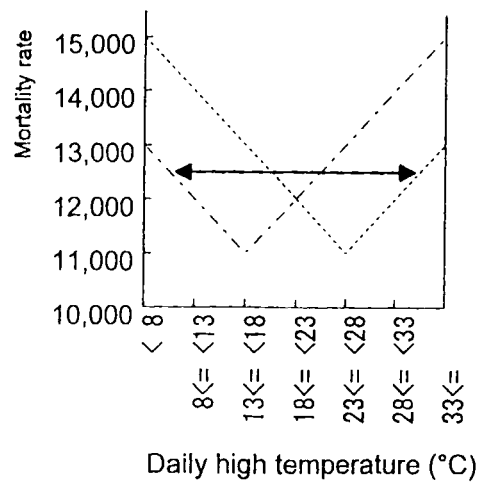


Fig. 8 A hypothetical model of adaptation (dashed line) of mortality rate against the increase in daily high temperature

4. 自動車事故死亡率に及ぼす日別気象条件影響—東京都、北海道、大阪府及び福岡県の比較

自動車交通事故に関する要因の研究は多いが、気象条件との関係の報告は降水量、積雪および晴雨の比較に限られており、今日の道路環境での事故との関係、および大気汚染や車内空調との関係は明らかではない。とくに、快適に走行しやすい晴天時の分析は、青山による1961年8月の名古屋市での調査のみであり、高湿の昼（不快指数83）と高温の午後（乾球温度33℃以上）に事故が多いと報告している。本研究では、自動車事故死亡率に及ぼす最高気温、平均湿度、不快指数の影響を明らかにするため、東京都の1979～1990年の気象情報と日別自動車事故死亡率の関係を解析し、北海道、大阪府、福岡県についてこの関係を比較した。

対象と方法

1979年から1990年の12年間の東京都、北海道、大阪府および福岡県における交通事故死亡数のデータは、厚生省統計情報部の人口動態統計調査死亡表（総承統第156号、平成4年）の本田らの報告に基づく。対象者の選定は、交通事故死亡の死因コード（Eの8100-8199）に基づき、事故発生から24時間以内の死亡の全てを含んでいるが、事故の第1当事者（運転者）と歩行者、自転車、同乗者等の死亡者を区別していない。また、気象データは気象庁月報から、東京、札幌、大阪、福岡の各気象台における毎日の値を使用し、各地域における事故発生地点および死亡地点との異同は区別していない。

人口動態統計調査の交通事故死亡による個票データから日別死亡者数を集計し、死亡率を以下の手順で求めた。まず、各年の日最高気温を、5℃間隔に7つのカテゴリー（-8℃、8-13℃、13-18℃、18-23℃、23-28℃、28-33℃、33℃+）に分け、年次別に各カテゴリーに属する日数(n_{ij} , $i=1-12$, $j=1-7$)を求めた。この日数に、その年の東京都の中央人口(x_i)を掛けた($n_{ij} \cdot x_i$)。一方、最高気温の各カテゴリーに属する死亡数の12年間の合計(D_j)を求めた。各カテゴリー間の死亡数を日数の和で除した値 [$D_j \sum n_{ij} \cdot x_i$] を死亡率とした。また、日平均湿度（-50%、50-60%、60-70%、70-75%、75-80%、80-85%、85%+の6段階）、および日不快指数（慣用的な尺度により、-60、60-68、68-70、70-75、75-80、80-85、85+の7段階）をカテゴリー別にした場合の、交通事故死亡率も同様に算出した。統計的処理は、東京都に関しては最高気温、平均湿度、不快指数の各カテゴリー間の死亡率の差を χ^2 検定により検定し、北海道、大阪府および福岡県の比較も同様に行った。

結果

1980年から1990年における全国の普通自動車保有台数が直線的に増加するのに対して、東京都の交通事故死亡者数と事故発生件数は1980年代後半からやや遅れて増加するもの、全体としては比例して増加していた（図9）。日最高気温と日別交通事故死亡率との関係を図10に示した。日最高気温8℃未満の温度区分では、死亡率は1.5（/1千万人日）と最低を示した。8-13℃から28-33℃の温度区分、では8℃未満に対して有意に増加しているが、各領域間の有意差はない。33℃以上の温度区分では死亡率は2.5となり、それ以前の温度区分に対して有意に増加した（8℃未満に対して67%増加）。不快指数は60の時に死亡率1.7（/1千万人日）と最低を示し、不快指数の上昇とともに増加して、85以上では死亡率2.3と最高値となり（不快指数60の時の35%増）、他の全領域と有意差を示した。

北海道、東京都、大阪府、福岡県について比較した日別死亡率と最高気温との関係を図11に示す。日最高気温8-13℃から28-33℃の日の場合は、北海道では死亡率の明瞭な増加傾向を示すものの、有意な増加はいずれの県でもなかった。しかし、日最高気温が8℃以下の日の場合の死亡率は、他の温度領域に対して東京都と北海道では有意に減少した。これに対して、大阪府と福岡県では逆に増加した。一方、日最高気温が33℃以上の日の死亡率は、北海道と東京都がいずれも他の運度領域に対して有意に増加した。また、大阪府と福岡県では死亡率が逆に有意に減少した。すなわち、日最高気温8-33℃の領域では外気温の影響は変わらないが、8℃以下または33℃以上の領域では、死亡率を増加または減少させ、北日本の温度比例型に対して、南日本は逆に反比例型であった。

考察

夏季の交通事故件数が最高気温33℃以上で増加すると述べた青山の報告と、高気温日に交通事故が多発し、最高気温33℃以上のときに死亡率が上昇した今回の結果は矛盾しない。交通事故発生の環境は過去30年間に変化しているが、高い外気温は有意なリスクファクターであるといえる。東京都、北海道、大阪府および福岡県における最高気温と死亡率の関係は、8-13℃から28-33℃までの温度区分間では有意な差異が認められなかったが、8℃以下の温度区分では他の全ての温度区分よりも低く（大阪府および福岡県）、また33℃以上の温度区分では逆に高かった（東京都、北海道も増加傾向）。著しく寒い日と暑い日には、交通事故死亡率は最高気温と有意な関係がある（北日本と南日本では逆となる）。佐々木らは、交通事故死亡の累積頻度が南日本では狭い温度領域に集中するが、北日本では広い領域にわたると報告し、本研究の結果と共通する。

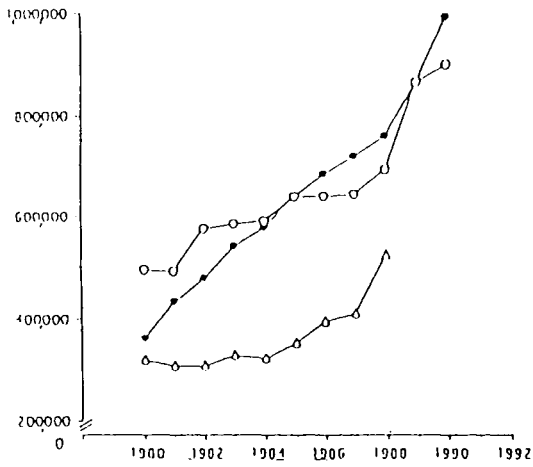


Fig. 9 Numbers of regular cars in Japan (black circle), car accidents (triad, x10), and car accident deaths (white circle, x1,000) in Tokyo Metropolitan area during 1980-1990.

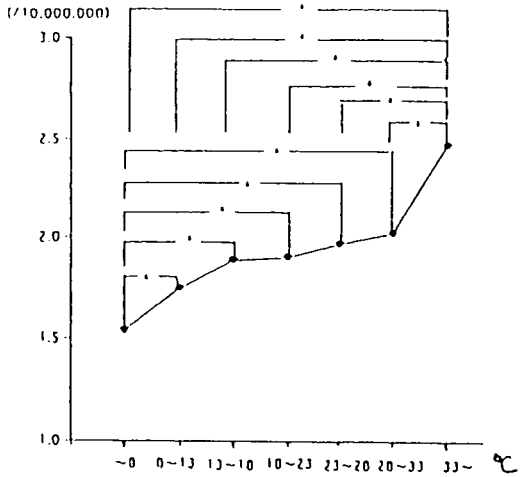


Fig. 10 Daily maximum temperature and mortality rate by car accidents in Tokyo during 1980-1990.

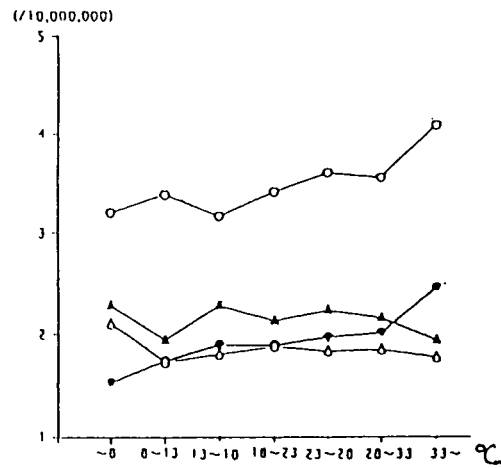


Fig. 11 Comparison of Hokkaido (white circle), Tokyo (black circle), Osaka (white triad), and Fukuoka prefectures (black triad) of mortality rate during 1980-1990.

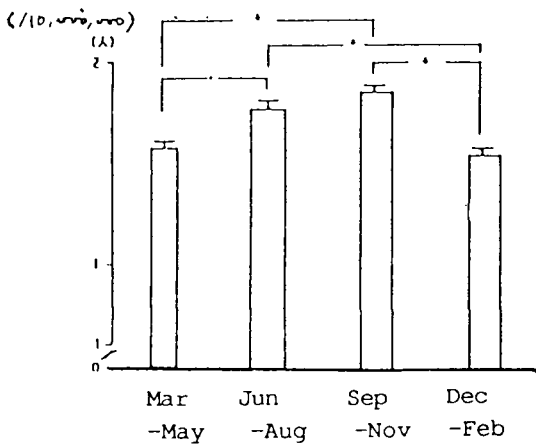


Fig. 12 Comparison of the mortality rate (mean and S.D.) of car accidents between four seasons during 1980-1990 in Tokyo. *p<0.001, N=4018.

5. バブアニューギニア・フリ語族における日最高気温と死亡との関係

バブア・ニューギニア高地に居住するフリ語族について得られている10年以上の人口動態データと現地の気象観測データは、出生や死亡といった人口動態と気象状況の関係をミクロにみるのに適している。地区によって粗死亡率が異なり、乾季に高い結果をすでに述べた。今年度は(1) 0歳平均余命に地区間差が見られるか、(2) 乳児死亡に地区間差が見られるか、(3) 一日死亡率とその日の気象条件には関係があるか、を課題とした。

対象と方法

南部高地州の西部に位置する、標高約800-1700mのTariDistrictに居住するHuli語族のデータである。このデータは、バブア・ニューギニア医学研究所によつて雇われた「レポータ」が、担当する「センサスユニット」を、4週間毎に常住人口および前回の報告からの変化(出生、死亡、婚姻、移動など)に基づくデータベース(1980年から1993年8月までの14年分)である。また、気象観測データは、同研究所の1人が毎日測定した。気象観測データは、East BasinとCentral Basinの状況を最もよく表すので、その2地区での1日当りの死亡率と気象観測データとの関連を検討した。気象との関係は、気象データが得られている1989-1993年の5年間について分析した。

統計的解析はSASで行った。地区別の0歳平均余命と乳幼児死亡率の集計には、PROC FREQを用いた。死亡率と気象との関係は本田ら(1995)に準じた。すなわち、気象の代表値として日最高気温を選び、8℃未満、8-13℃、13-18℃、18-23℃、23-28℃、28-33℃、の6つの気温区分について(33℃を越える日は一日もなかった)、各年次でそれぞれの気温区分に属する日の現在人口を合計し(その区分のPerson-daysとなる)、同様に一日死亡数も合計した値を求めて検討した。各年次毎に各区分について死亡数合計を人・日で割って、一千万倍した。なお、年次によってバタンが異なるため、Mantel-Haenszelの方法による死亡率比の検定は行わなかった。死因に関しては、1989年以降に病院に入退院したデータから、年齢別分析と地区別分析のみを行った。

結果

(1) 日最高気温は $25.4 \pm 1.9^\circ\text{C}$ 、日最低気温は $13.9 \pm 1.6^\circ\text{C}$ で、年降水量は $2905 \pm 256\text{mm}$ であった(平均と標準偏差)。また、この5年間は気温の上昇傾向がみられなかった。John Vali博士によれば、干ばつがあった1982年を除けば、気温の経年変動はなかったという。この地方は6月から8月が乾季とされる。このデータについて分散分析をした結果、月による降水量の変化は有意でなかった。一方、日最高気温には有意な季節変化があり、日最高気温の月平均値は、10月から5月にかけてよりも、6月から8月にかけて低かった(Tukeyの多重比較、 $p < 0.05$)。また、日最低気温の季節変化も有意であったが、日最高気温の変化とはずれていて、9月がもっとも日最低気温が低く、12月から7月の月平均値と比べて有意に低かった($P < 0.05$)。日最高気温は、日最低気温($r = -0.16$; $p < 0.01$)も降水量($r = -0.12$; $p < 0.01$)とも強い逆相関の関係にあった。これは、本田ら(1995)の九州のデータで、日最高気温と日最低気温とが相関係数0.9以上の強い正相関を示したのと対照的である。

(2) 0歳平均余命は40年~60年程度と、いわゆる途上国にしては比較的高かった(図13)。また、地区間差があり、標高が低くマラリアがあると思われるIumu地区では短いが、この差は年を追って縮まってきた。

(3) 乳幼児死亡率は、出生千対100をやや越える程度であった。とくに新生児死亡が多く、それ以降は減少するが、これは感染症と母親の低栄養に起因する低出生体重児の死亡率が高いためである。また、0歳平均余命と同じく地区間差があり、Iumuがもっとも死亡率が高く、病院があるCentral Basinが最も低かった(図14)。

(4) 気温区分ごとの人・日の年次間変動は、現在人口はほぼ35,000人前後であるので、気温の違いによると思われた(図15)。死亡率と日最高気温の間には有意な関係はみられなかった(図16)。1990年は日最高気温8-13℃の日の死亡率が高くみえるが、該当する日は1日間、死亡数4人であった。

(5) 病院の入退院データによれば、圧倒的に呼吸器系疾患で入院する場合が多く(とくに肺炎)、死因も肺炎がもっとも多いと考えられる。入院の7割を感染症が占めるが、内訳は、赤痢、麻疹、髄膜炎のように、乳幼児期に、発病が集中する疾患と、チフス、骨髄炎のように年齢に関わりなくほぼ一定の発病率をもつ疾患と、肺炎、マラリアのように乳幼児期と20、30歳代の2つのピーク時期をもつ疾患がある。一方、日本で多い心疾患、がん、脳血管疾患はきわめて少なかった。

考察

タリ地区では0歳平均余命が比較的長く、また地区間差があった。土壌、風土病といった地理的な条件の違いに加えて、都市化の程度により、購入食物からの栄養摂取(とくにタンパク質摂取が大きく異なる)や医療施設の利用のしやすさが違うためと考えられる。乳幼児死亡率の地区間差も、同じ原因によるものと推察された。九州のような気温と死亡率の関係はみられなかった理由として、タリ地区には空調がほとんど存在せず、室内環境の温度と外気温の差が少ないためと考えられる。また、降水量に弱い季節変化がみられるものの、気温の年較差が小さく暑い日が少ないことも、九州のような気象-死亡率関係が存在しないことに寄与したと考えられる。

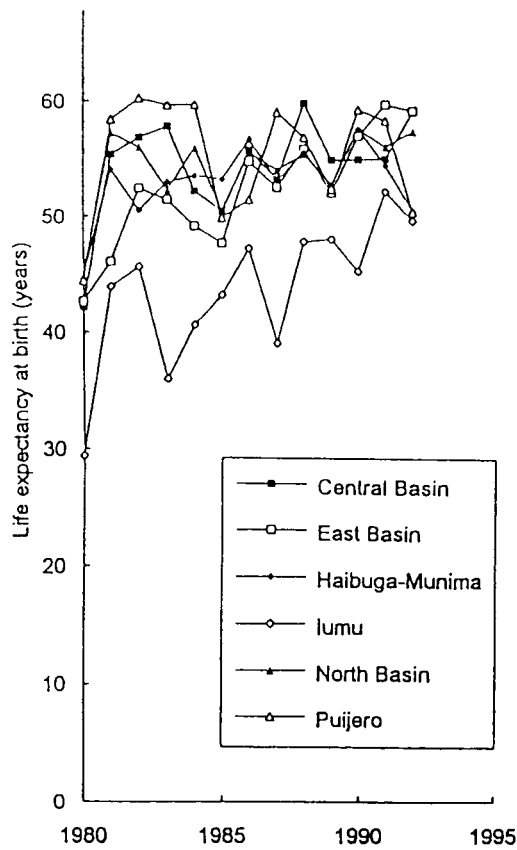


Figure 13 Change of life expectancy at birth among the Huli

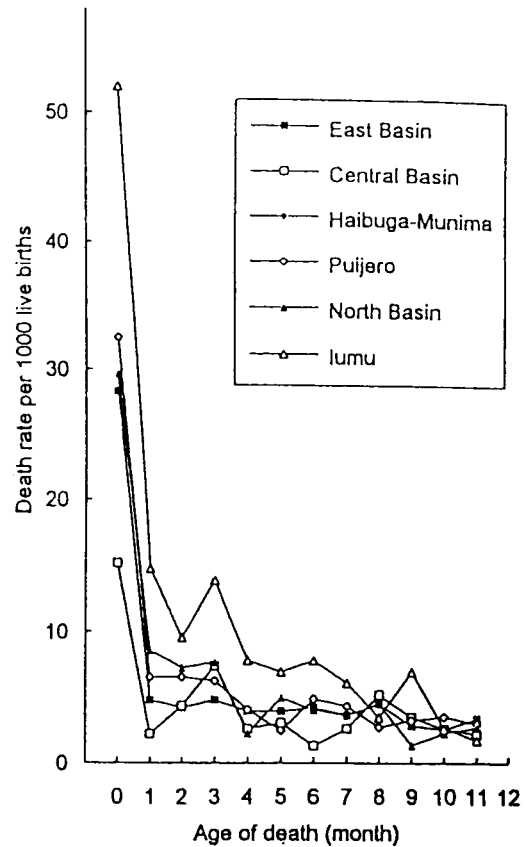


Figure 14 Infant death of the Huli by age (in month), 1981-1992, broken down by census divisions.

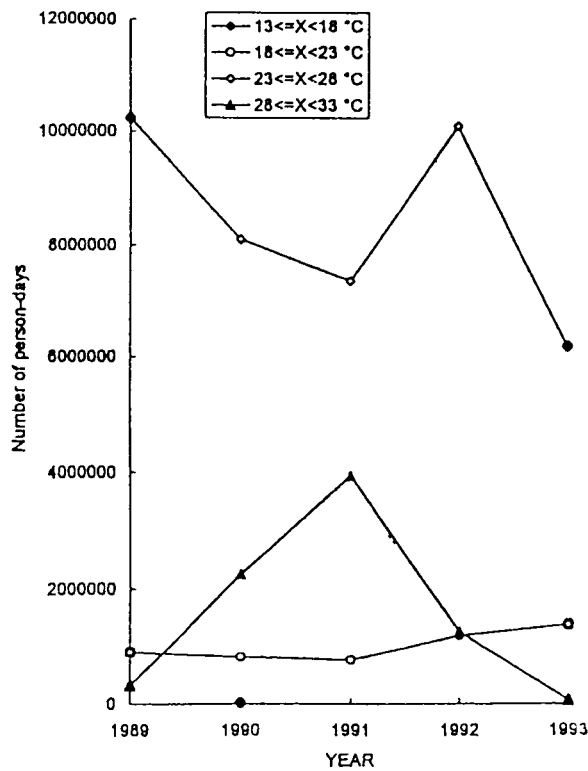


Figure 15 Number of *de facto* population of the Hull, represented by person-days, categorized by daily highest temperature.

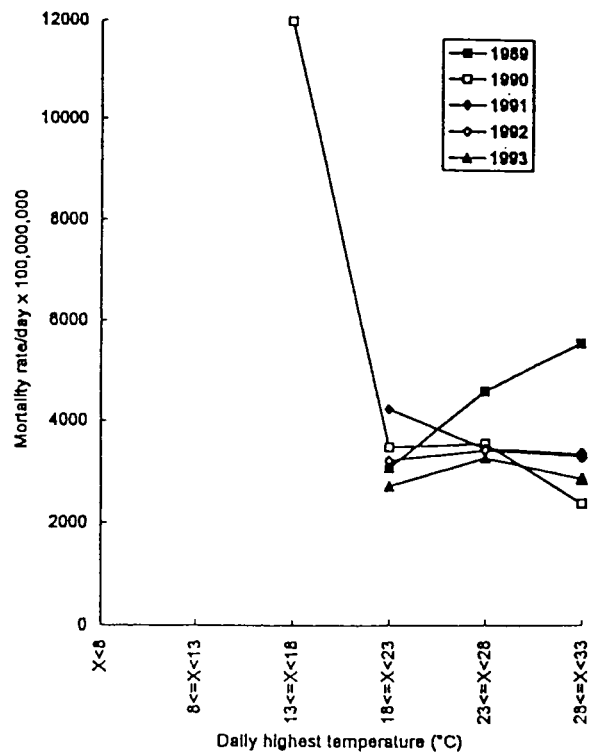


Figure 16 Mortality rate from all causes of the Hull according to daily highest temperature.

6. 生活温度と外気温との関係

顔面周囲の気流の温度を表す「生活温度」は、個人の行動と嗜好を反映し、行動と所在の情報を付け加えると、生活環境に応じた温度分布と温度調節の状況を評価することができる。地域を代表する外気温と異って、生活温度は同一の日に、同一の場所で過ごした人の間でも異なる。その多様性の原因は、空調の利用、年齢・職種・嗜好・適応などにある。その一方で、外気温が違ってても一定の温度環境を維持するという「社会的恒常性」もある程度みられる。これまでは一般集団を対象として、温度暴露-生理的影響関係の、年齢、職業（職場）、エネルギー代謝による違いと健康リスクについて比較した。今回は、異常高温となった夏の影響をシミュレートするために、特異な環境での暑熱暴露と適応を観察した。すなわち、亜熱帯の宮古島島民と来島者の比較（環境に適応した生活習慣の有無）と、阪神大震災後の仮設住宅の高齢者の生活（変化した住環境への適応）を課題とした。

対象と方法

(1) 島民と来島者： 宮古島の平良市は8月の平均気温が3°北の沖縄本島的那覇市と差がない（1990-94年の平均値で28.6°Cと28.8°C）。しかし、サンゴ由来の石灰岩地層のために、日射量の増加とともに温度が急激に上昇しやすい。海水浴や農作業では、熱放射と脱水を防ぐために日中の屋外活動を控えることが習慣化している。この習慣が生活温度に反映するか否かを検討した。対象は平良市内の空調された事務所3ヶ所の日勤職員である。島民21人は宮古生まれで、過去5年以上在島していた（38.7±9.3歳、平均と標準偏差。男性18人と女性3人）。来島者9人（25.9±4.3歳、男性7人と女性2人）は転動後1年半以内であり、2名を除いて沖縄本島生まれであった。対象者の空調利用を聞き取った。測定は1994年8月前半の週日に実施した。携帯用自動記録計（精度0.1°C、1分毎）を用いて心拍数と、胸部前方の気中温度である生活温度を24時間計測した。睡眠時は取外し、枕元の温度を計測した。一日の行動の種類と場所を自己記録させて、10分毎の生活温度（ T_m ）と平良市の毎時外気温から内挿した値（ T_o ）と対応させ、時間別・活動別の T_m と T_o を求めた。

(2) 仮設住宅の高齢者： 伊丹市では阪神大震災後、市内に5ヶ所、約2000人分の仮設住宅が設置された（2年間の期限付き）。戸数280のO地区は野球場と陸上グラウンドに、5番目に作られた。仮設住宅は断熱材が入っていても日中は暑く、ガレキを敷いた地面からの照り返しも強いので、南側に日除けと空調設備が無料貸与された（7月下旬までに完了。電気料は自己負担）。網戸は南側のみであり、空調の位置と風向きの都合で快適な温度調節が難しい。居住者は高齢の単身または夫婦が優先入居しており、多くは近所に元の居住地がある。協力を得た20人（男性4人と女性16人、50-64歳9人と60-82歳11人）は5月末から8月下旬まで定住していた。有病歴者は心疾患3人、高血圧3人、リウマチ1人、および肝疾患疑い2人であった（通院中は1人）。8月15-24日に宮古島と同様の方法で調査した。

結果

(1) 島民と来島者： 病歴は島民43%、来島者22%が持っていた。自宅での空調使用者はそれぞれ86%、78%であった。頻度の少ない散歩と運動は除いた。活動ごとの T_m の変化は、島民では外気温の変動よりも小さいが、来島者では外気温とは逆位相で大きく変動した。その結果、来島者では、睡眠、食事、家事、入浴、テレビ観賞の T_m が島民よりも高かった（図17上）。平良市の平均外気温は約29°C（27-32°C）であり、毎時外気温との差 ΔT （ $=T_o - T_m$ ）は島民の約±1°Cに対して来島者は約±2°C程度、と大きく正（通勤、仕事、食事）と負（睡眠、家事、入浴、テレビ観賞）に分れた。空調に関連する症状の有無から3群に分けて、 T_m と ΔT を比較した（図17下。左から、症状なし、だるい、関節痛の各群）。「だるい」群は「関節痛」群よりも仕事と食事の T_m が低く、睡眠とテレビ観賞では逆に高かった。その結果、「だるい」群の ΔT は正と負に大きく変動した。これに対して「関節痛」群の ΔT は正（睡眠と仕事）またはゼロ付近（テレビ観賞）に安定した。

(2) 仮設住宅の高齢者： 住居は全て南向きである。BMI25以上の肥満者は3人、関節痛による歩行障害が5人、1人を除いて全員が無職であった。空調非使用者は3人だが、空調嫌い12人、好き4人、どちらでもない3人、と嫌いでも使っていた。「快適」と答えた人は日中、夕方、睡眠時にそれぞれ6人、9人、5人であり、残りはほとんど「暑い」と答えた。睡眠時は外気温が下がっても窓を開けにくく、14人が空調時も「不快」と訴えた。活動内容を24時間中の割合で見ると、睡眠21.46%（平均7.5hr）、自由時間11-60%（同6.6hr）、家事0-32%（同3.3hr）、とかなりの個人差があった。測定日は行動が抑制されたが、9人が外出、7人が散歩していた。調査期間の毎時外気温（大阪府豊中市）は平均30.5°C（25.8-35.6°C）であった。空調非利用者2人を含む、18人について T_m の24時間データを収集することができた。活動別の T_m は睡眠31.4±2.6°C、風呂・したく30.1±2.9°C、家事30.1±3.2°C、自由時間29.9±3.1°C、食事29.6±2.8°C、と屋内活動は30-31.5°Cの範囲にあり、屋外活動も外出31.5±3.8°C、散歩30.0±1.9°Cと同様の暑さであった。活動別 T_m を比較すると活動間全てに有意差があり、とくに睡眠時は空調利用にも関わらず他の屋内活動より約1.3-2.8°C、外気温より約6°C高い。また、外出は空調され

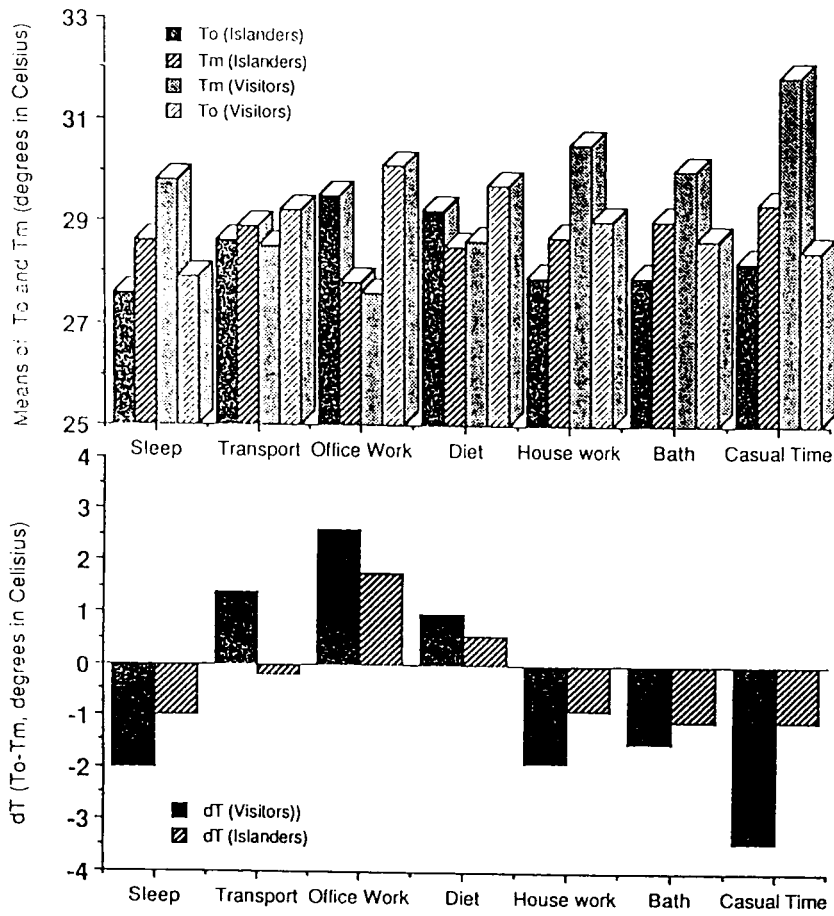


Fig. 17 Means of T_o , T_m , and dT ($T_o - T_m$) of Miyako Islanders and visitors from Okinawa Island during various activities in August 1-13, 1994. *Significant difference of T_m and dT between both groups.

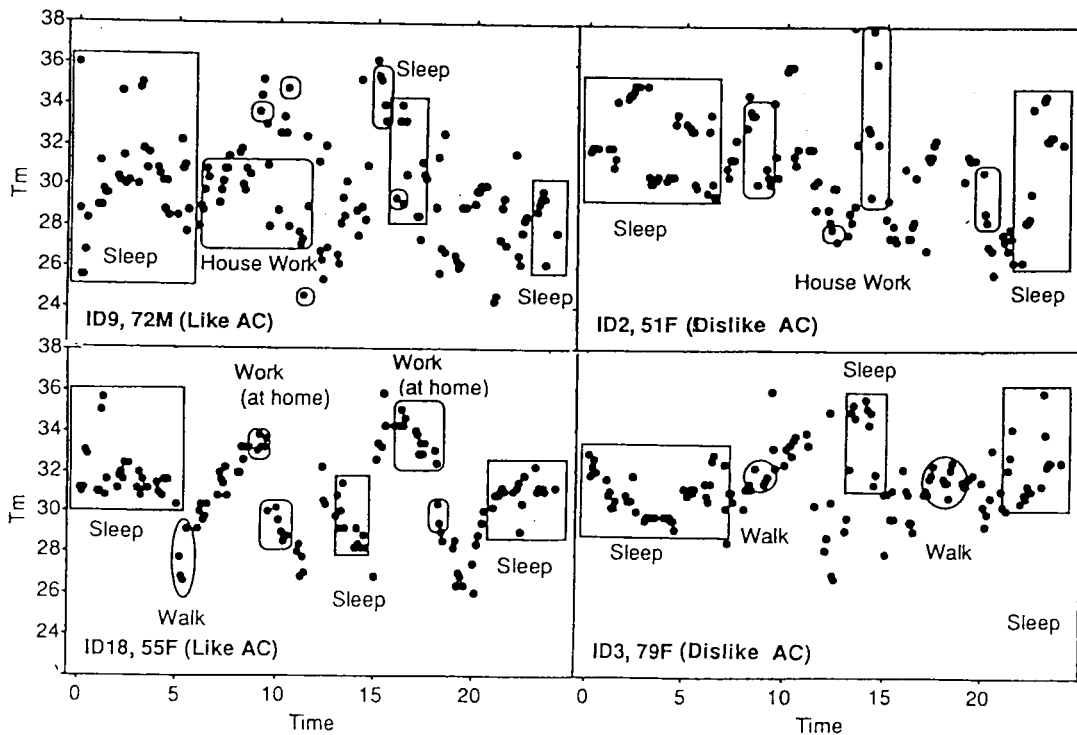


Fig. 18 Distribution of T_m (degrees C) in 4 cases living in temporary houses after Hanshin Earthquake for 24 hours during August 15-22, 1995. T_m during sleep, house work, work at home, and walk was compared between those who like (left) and dislike (right) air-conditioning (AC) but used it most of the day.

た環境での買い物などを含むが、日中が多いために散歩よりも暑かった。次に、性別、年齢階級別に空調利用のしかたとTmの関係を検討した。図18はその例であり、有意差は比較していないが、年齢と空調の好き嫌いによる、温度分布に違いが見られた。

考察

特殊環境への適応状況： 日中、急激に温度が上昇しやすい地理的条件に対して、空調の設定温度は来島者の自宅と職場とも同様であったが（23-26℃）、来島者は自宅のTmがいずれも職場よりも高かった。さらに、来島者のTmは島民のTmと比べると時間的にも活動別にも変動が大きく（睡眠、食事、家事、入浴、テレビ観賞で高い）、 ΔT も大きかった（ $\pm 2^\circ\text{C}$ 対 $\pm 1^\circ\text{C}$ ）。生活経験の長さに基づく環境適応の違いは、空調の利用にも関わらず暑熱暴露に差をもたらしていた。仮設住宅の空調の嫌いな12人の高齢者の中で、実際の非使用者は3人であり、使用しても睡眠時に「不快」とした人は2/3を占めた。活動内容の平均時間は普通と思われたが、睡眠時間や家事などの個人差は大きくなった。そのため生活温度は同一の住環境にもかかわらずバラツキが大きく、健康リスクも予想以上の違いが出やすい。活動別のTmは睡眠を除いて平均外気温30.5℃より低いものの、0.4-0.9℃の差は小さかった。睡眠時Tmは他の屋内活動より約1.3-2.8℃、外気温より約6℃高く、住居環境の不備と高齢者の空調への不適応を示した（空調の好き嫌いによる、生活温度の分布の違い）。

これまでの調査との関連： 暑熱暴露は心拍数、エネルギー消費量などに影響を与える。たとえば、日勤のタクシー運転手は車内の日射と空調のために、窓を開けて調節しても温度が極端に偏り、疲労や不眠を訴えて、自宅では空調なしで過ごす人が多い。緯度と生活温度の関係をみると、東京近郊の運動施設利用者とシステム・エンジニア（ともに北緯36°）は、那覇市のタクシー運転手（北緯26°）と、活動別の生活温度に差がなかった。

一方、環境温度を選択しにくい就労時を除いて、その他の活動ではTmが年齢と正相関し、高齢者ほど暖かい環境を好む（選べる）といえる。また、外気温と生活温度の温度差 ΔT は、屋外との出入りが少ない就労時と睡眠時にのみTmと負相関した。外気温がこれらの時に最高または最低領域で一定となるためと思われる（通勤や自由時間にはTmとToが中間値をとり、屋外との出入りが ΔT をランダムに変動させる）。

心拍数とTmとの関係： 以上の3群に宮古島の2群を加え、24時間平均の生活温度と心拍数との関係をみると、高いTmの運動施設利用者とタクシー運転手は、他の3群と比べて心拍数が低い範囲に集中していた（図19）。睡眠や自由時間のTmは、睡眠時の心拍数と負相関した（ $p < 0.05$ ）。空調を利用せずに自由時間を過ごす人は、睡眠時の心拍数が少ないのに対して、空調を利用する人は代謝と循環系負荷のために睡眠時の心拍数が高くなると思われる。一方、上記の3群間で、体重当りの24時間推定エネルギー消費量（EE）は、睡眠時に対する心拍数増加率やTmとは有意な相関がなかったが、食事時間のTmと負相関した。特定の活動における生活温度がエネルギー消費に影響する可能性は否定できない。今後、生活温度を健康リスク指標として用いるためには、心拍数に由来するEEデータの蓄積と精度管理が、高感度指標の応用（心拍数のR-R変動による自律神経機能評価）とともに必要であろう。

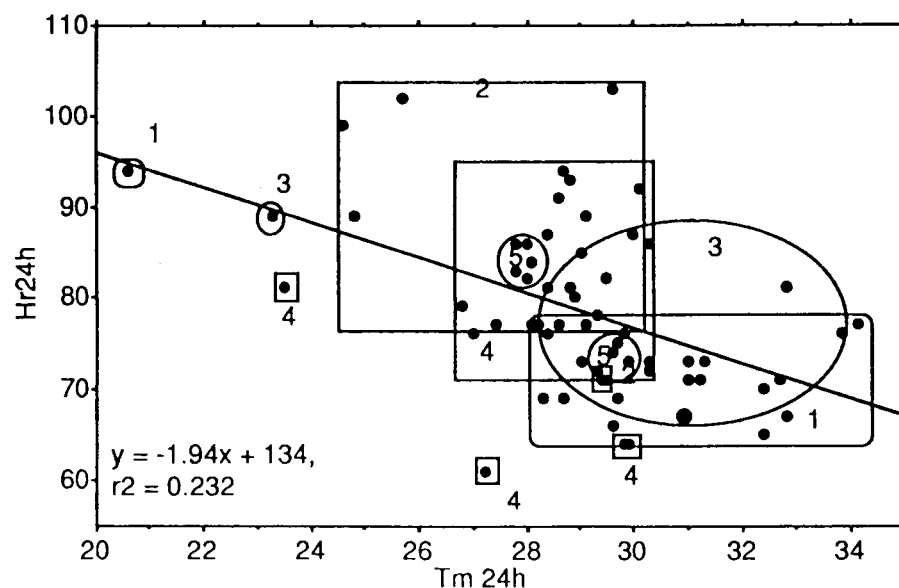


Figure 19 Relationship between mean heart rate and mean Tm during 24 hours in 5 groups (1: Exercising people and 2: office workers in Tokyo (36°N in latitude, 3: Taxi drivers in Okinawa Is., 4: Natives of Miyako Is. (23°N), and 5: Visitors to it from Okinawa Is (26°N).