

た、LF と HF の比を LHR とした。HF を心臓副交感神経活動性の指標、LHR を交感神経活動性の指標とした²⁾。また、温湿度モニターの記録を心電図の5分間隔の区間に同期して各区間の平均値を求め、次にその値を用いて不快指数を計算し、最後に HF および LHR の5分間隔の時系列と対応させた。

不快指数と HF ならびに LHR との関連性を昼勤時の労働時間中と睡眠時間中、ならびに、夜勤時の労働時間中と睡眠時間中において、昼勤時と夜勤時の温湿度環境と自律神経活動性の関係を比較した。

C 研究結果

図 1.1 において、副交感神経活動性の温湿度環境（不快指数）への感受性を昼勤時と夜勤時の間で比較した。昼勤時は労働時間（午前7時30分から午後3時40分）中も睡眠時間中（夜）も不快指数が上がると HF は低下した。しかし、夜勤時にはその傾向が崩れ、特に睡眠時（夜勤時なので昼間寝ていることになる）には量反応関係の方向が逆転した。図には示さなかったが、睡眠時（昼勤時は夜、夜勤時は朝から夕方）の副交感神経活動性（平均 0.42、SD0.41）は労働中（昼勤時は午前7時30分から午後3時40分朝、夜勤時は午後11時30分から午前7時40分）のそれ（0.95、1.09）に比べて有意に上昇していた（ $p < 0.001$ ）。

図 1.2 において、LHR（交感神経活動性）の温湿度環境への感受性を、昼勤時と夜勤時で比較した。昼勤時は労働時間中（午前7時30分から午後3時40分）も睡眠時間中（夜）も不快指数が上がると LHR も上昇した。しかし、夜勤時にはその傾向が崩れ、特に睡眠時には量反応関係の方向が逆転した。図には示さなかったが、労働時間中（昼勤時は午前7時30分から午後3時40分、夜勤時は午後11時30分から午前7時40分）の交感神経活動性（平均 4.26、SD3.52）は睡眠時間中（昼勤時は夜、夜勤時は朝から夕方）のそれ（2.18、1.84）に比べて有意に上昇していた（ $p < 0.001$ ）。

D 考察

今回の心拍スペクトル解析の結果では、実

際にはほとんどのヒトが不快とは感じない範囲である不快指数 7.5¹⁾ 以下の範囲でその指数の増加にともない交感神経活動の上昇そして副交感神経活動の低下という生理学的にも至当な反応が確認された。ただし、睡眠が十分取れておらず疲労の蓄積が推定される夜勤者では、この反応は崩れており、ヒト側の条件を勘案したモニタリング結果の斟酌の必要性を示唆していた。

分回的心拍変動のスペクトル解析の結果では、副交感神経の活動性と環境の温度・湿度との関連性が昼間勤務時と夜間勤務時で相違を呈し深夜勤務時の自律神経の適応能が低下していることが示唆された。従って、交替性勤務者のような睡眠の質が低下している場合にその改善にとって、逆に環境の温度・湿度の制御がそれに作用する可能性もあることが考えられた。実際に、この職場では、夜勤明け後の睡眠改善プログラムとして就寝前の入浴や昼寝が推奨されており、今後のその有効性の検討につながる結果であった。

ところで、睡眠の深さが心臓自律神経の活動性と関連性を有することは以前から指摘されている。この現象の背後には中枢ならびに末梢の神経活動性の変化があるものと考えられる。適切な睡眠の深さが睡眠感の良好さと関連するものと仮定すると、心臓自律神経の活動性が適切な水準にあることが睡眠の良好さと関連しているであろう。心拍変動のスペクトル解析による自律神経の活動水準は、主として末梢から入力された環境の状態に対して、諸器官の状態を制御するための中枢からの出力のなかで心拍数の制御に相当するものを評価している。

環境の変化に対する自律神経活動性の対応がヒト側の状況により影響をうけることが今回の結果から示唆された。環境の状態を変化させれば、心拍数の制御も変化しそれは心拍変動のスペクトル解析の結果にも当然、反映されるであろう。この意味で自律神経の活動性を環境状態を変化させることによって制御した場合、保養にとって重要な要素である睡眠の質にまで実際に影響を及ぼすか否かは今後、実験室での研究を実施する必要がある。

E 結論

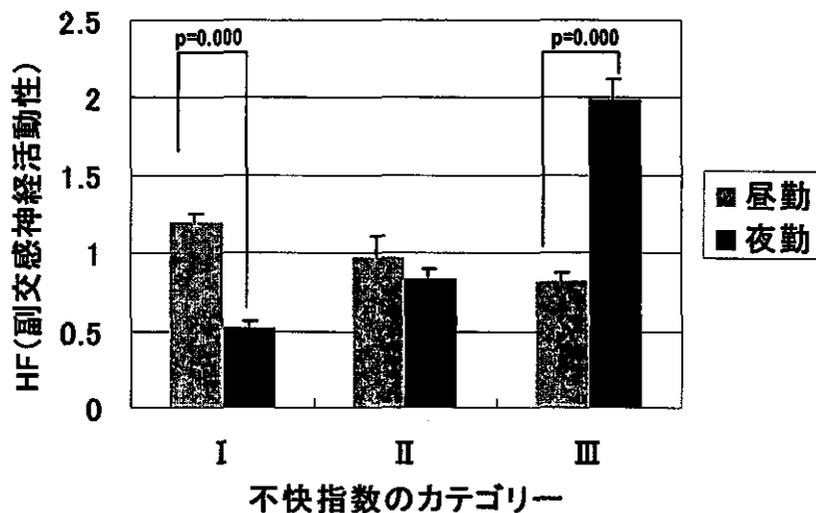
心拍変動スペクトル解析による心臓自律神経系の交感神経・副交感神経の活動性と環境の温度・湿度との関連性をみると、実際に不快と感じない程度の不快指数の範囲内で通常の勤務体制の昼勤者ではその指数の上昇に伴い交感神経活動上昇、副交感神経活動低下傾向が生じた。一方、睡眠の質が低下していた夜勤者ではこのような関係がみられず、自律神経系の環境に対する反応に偏位が生じていることが

示唆された。

F 参考文献

1. 湿度計測・センサ研究会 編著. 湿度計測・センサのマニュアル. 学献社、1989.
2. Hayashi T, Kobayashi Y, Yamaoka K, Yano E. Effect of overtime work on 24-hour ambulatory blood pressure. *J Occup Environ Med* 1996;38:1007-11.

B. 睡眠時間中

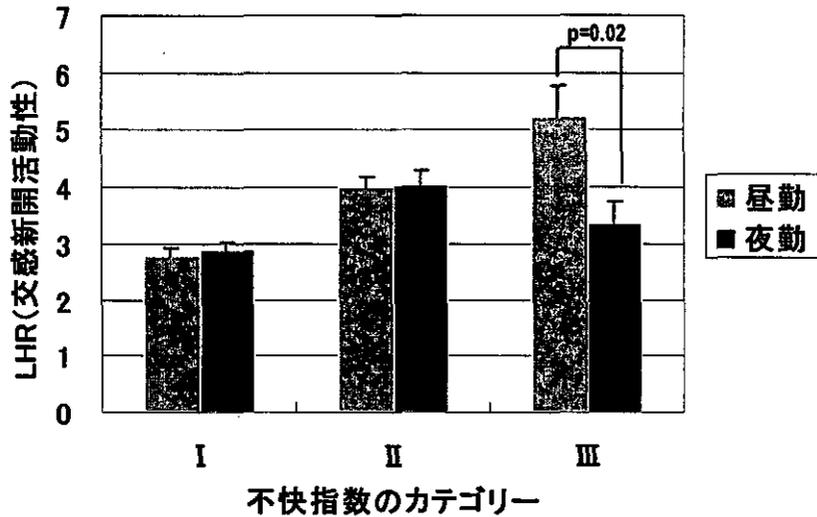


【図 1.1】副交感神経活動性の温湿度環境への感受性の昼勤時 (A) と夜勤時 (B) の比較。昼勤時は労働時間中も睡眠時間中も不快指数が上がると HF は低下した。しかし、夜勤時にはその傾向が崩れ、特に睡眠時には量反応関係の方向が逆転した。

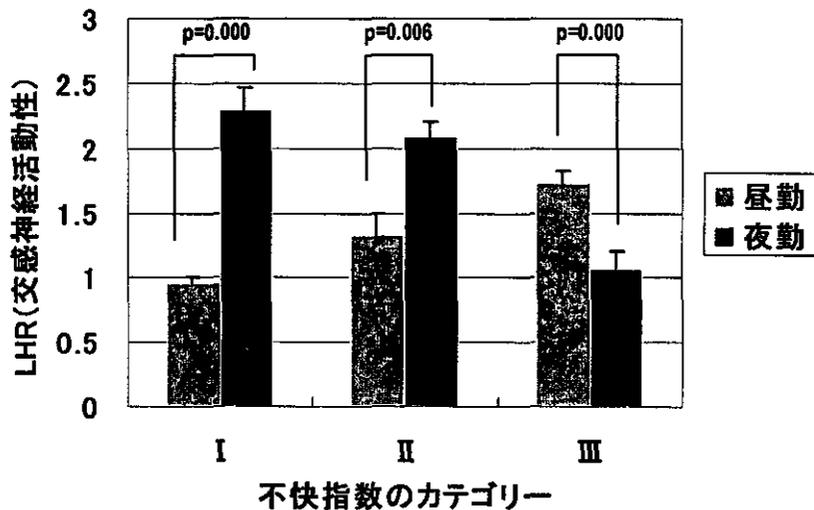
温湿度環境として 5 分間隔で不快指数を計算しその分布を 3 分割した (不快指数のカテゴリ-I ≤ 66.1997 ; II >66.1997 かつ II ≤ 71.919393 ; III >71.919393)。不快指数を計算した同じ時刻の HF の平均値とその標準誤差を図中に示した。不快指数のカテゴリによる HF (副交感神経活動性指標) の変動は 1% の水準で有意であり、F 値は、昼勤の労働時間中 5.4、夜勤の労働時間中 8.0、昼勤後の睡眠中 14.3、夜勤後の睡眠中 68.9。各不快指数カテゴリ内での昼勤と夜勤による HF の平均値の差の有意性(t 検定)を図中に示した。

なお、図中の各カテゴリの標本数を記しておく。A.労働時間中は、昼勤時 I ;166、II ;330、III ;78、夜勤時 I ;275、II ;160、III ;39。B.睡眠時間中は、昼勤時 I ;245、II ;32、III ;263、夜勤時 I ;99、II ;165、III ;116。

A. 労働時間中



B. 睡眠時間中



【図 1.2】 LHR(交感神経活動性)の温湿度環境への感受性の昼勤時 (A) と夜勤時 (B) の比較。昼勤時は労働時間中も睡眠時間中も不快指数が上がると LHR も上昇した。しかし、夜勤時にはその傾向が崩れ、特に睡眠時には量反応関係の方向が逆転した。

温湿度環境として5分間隔で不快指数を計算しその分布を3分割した(図 1.1 の説明参照)。不快指数を計算した同じ時刻の LHR の平均値とその標準誤差を図中に示した。不快指数のカテゴリーによる LHR (交感神経活動性指標) の変動は 1% の水準で有意であり、F 値は、昼勤の労働時間中 20.4、夜勤の労働時間中 9.7、昼勤後の睡眠中 25.6、夜勤後の睡眠中 20.7。各不快指数カテゴリー内での昼勤と夜勤による LHR の平均値の差の有意性(t 検定)を図中に示した。

なお、図中の各カテゴリーの標本数は図 1.1 の説明を参照。

厚生科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）

分担研究報告

暑さに対する温熱指標（不快指数）からみた日本各地方の保養地としての適正

分担研究者 鏡森定信 富山医科薬科大学保健医学講座 教授

協力研究者 王 紅兵 富山医科薬科大学保健医学講座 大学院生

研究要旨

日本の各地方および日本を代表する保養地である軽井沢について気温と湿度の統合的指標である不快指数を用いて検討を加え、保養の視点からの整理を行った。北海道から沖縄まで、各地方の気象台における直近の1998年の毎時間ごとの温度と湿度の測定値を用い、毎時間毎の不快指数を、1、5、8、10の各月の全日の各時間帯について算出し、これをそれぞれの月の全日の各時間帯の平均値として示し、検討を加えた。この際、不快指数の70を快適レベル、75をやや不快のレベル、80を不快のレベル、85を著しく不快なレベルと定義した。その結果、北海道と軽井沢は夏の避暑地として最適の地位にあった。この後に秋田、盛岡、宇都宮、富山が続き、その他の地方は気象条件から見て避暑には適さないと判定された。なお、沖縄は冬の不快指数はいわゆる「快適」に近いレベルにあり、その温暖さとともに不快指数からみても冬季の保養に適していた。

A. 研究目的

暑さによる温熱刺激は、その至適な範囲を超えるとヒトに対するストレスとなる。特に発汗を妨げる、すなわち湿度の高い気候ではこのストレスが一層増強され、それは一般に不快指数として表示される指標にによって知ることができる。

したがってこの不快指数は快適な温熱環境にとって警告的なものであり、保養との関連では、このような気候環境を回避する動機の面から、また快適な気候環境を提供するという面からも重要となる。

本研究では、日本の各地方および日本を代表する保養地である軽井沢について気温と湿度の統合的指標である不快指数を用いて検討を加え、保養の視点からの整理を行ったことを目的とした。

B. 研究方法

日本の気象庁の各気象台の気象計測結果はCDに収められ公表されている。今回は利用可能な直近の1998年のものを使用した。一時間毎の気温と湿度の平均値からアメリカ気象局の方法1)にしたがって以下の式によって不快指数を算出した。

$$Q = 1.8t - 0.55(1-H)(1.8t-26) + 32$$

t ; 気温℃、H ; 相対湿度

不快指数には他にも、乾球・湿球温度を使うものや気温・露点を使うものなどがあるが、前者の湿球温度、後者の露点などの計測器は、今回用いた式の相対湿度よりは汎用されておらず、算出に際し

て支障をきたすこともありうる。そこで、通常の大気環境では算出結果に大差のないことも考慮して本式を用いた。

この不快指数を春（5月）、夏（8月）、秋（10月）、冬（1月）について、それぞれの月の各日の1時間後との気温、相対湿度から不快指数を算出しその平均値の24時間の移り変わりを示した。

不快指数判断の目安としては、日本人の研究で72で2%、75で9%、77で65%、85で93%が暑さのため不快と感じるとの成績²⁾に準じて、70を快適レベル、75をやや不快のレベル、80を不快のレベル、85を著しく不快なレベルとした。各地方の区分は、各種の分野で用いられているように、北海道（札幌）、東北（秋田、盛岡）、関東（宇都宮、東京）、北陸（富山）、東海（静岡）、近畿（大阪）、中国（広島）、四国（高知）、九州（熊本）の9地方とし、各地方から原則として1都道府県を選んだ。この他に日本の代表的な保養地として軽井沢を検討の対象とした。

C. 研究結果

9地方の各代表都道府県別の1、5、8、10月の1日24時間の時刻別不快指数平均値±標準偏差を1図の1から9に示した。

北海道の札幌気象台では、不快指数が最高になる8月の12時前後といえども平均値が70（快適レベル）をすこし上回る程度であり。平均値+標準偏差は75（やや不快のレベル）を越えることはなかった（図1-1）。

東北地方の日本海側の秋田気象台では、

不快指数が最高になる8月の12時前後には平均値が75（やや不快のレベル）に達していたが、平均値+標準偏差は80（不快のレベル）を越えることはなかった（図1-2）。

東北地方の太平洋側の盛岡気象台では、同じ地方の日本海側の秋田とほぼ同様な傾向を示していたが、5月の12時前後の不快指数+標準偏差が70（快適のレベル）を越えており秋田ではそれが見られなかった（図1-3）。

関東地方でも北関東に入る宇都宮気象台では、不快指数が最高になる8月の12時前後には平均値が80（不快のレベル）にまで近づき、平均値-標準偏差は80を越えていた。なお、5月と10月の12時前後では平均値が70（快適のレベル）まで上昇し、平均値+標準偏差は70を越えていた（図1-4）。

関東地方の中心の大都会にある東京気象台では、不快指数が最高になる8月の12時前後には平均値が80（不快のレベル）を越え、平均値+標準偏差は深夜、朝、夕において80に達しており、12時前後には85（著しく不快なレベル）近くまでに迫っていた。なお、5月と10月の12時前後において平均値が70に達し、平均値+標準偏差が75（やや不快なレベル）にまで近づくといったこれまでの以北の気象台では見られなかった春と秋の暑さによる不快が平均的に出現するようになった（図1-5）。

北陸地方の富山気象台では、不快指数が最高になる8月の12時前後には平均値が80（不快のレベル）に近づくものの平均値+標準偏差が85（著しく不快）

までには達しない。5月と10月では12時前後の平均値+標準偏差でようやく70（快適のレベル）をわずかに越える程度で、各月、各時刻の全体としておおむね宇都宮に似ていた（図1-6）。

東海地方の静岡気象台では、不快指数が最高になる8月の12時前後そして夕方まで平均値が80（不快のレベル）を越えているが、平均値+標準偏差は85（著しく不快なレベル）を越えていない。5月と10月の12時前後では平均値が70（快適のレベル）を多少上回るが平均値+標準偏差が75（やや不快のレベル）を越えることはない（図1-7）。

近畿地方の大阪気象台では、不快指数が最高になる8月の12時前後そして夕方は勿論、夜にかけてまで平均値が80（不快のレベル）を越え、平均値+標準偏差は85（著しく不快なレベル）にほぼ達していた。また、深夜、朝、夕のいずれにおいても平均値+標準偏差は80を越えていた。なお、5月と10月の12時前後では平均値+標準偏差が75（やや不快なレベル）を越えていた。（図1-8）。

中国地方の日本海側の松江気象台では、不快指数が最高になる8月の12時前後に平均値が80（不快のレベル）を越えたが、平均値+標準偏差は85（著しく不快なレベル）に達することはなかった。5月と10月の12時前後では平均値が70（快適のレベル）に近づいていたが、平均値+標準偏差は75（やや不快なレベル）を越えることはなかった（図1-9）。

中国地方の太平洋側の広島気象台では、

不快指数が最高になる12時前後から夕方にかけて平均値が80（不快のレベル）を越えていたが、平均値+標準偏差は85（著しく不快なレベル）にまで達することはなかった。5月と10月においては、12時前後の平均値が70（快適のレベル）を越えたが、平均値+標準偏差が75（やや不快なレベル）を越えることはなかった（図1-10）。

四国地方の高知気象台では、不快指数が最高になる12時前後それを挟んで午前9時から夜の21時まで平均値が80（不快のレベル）を越えていたが、平均値+標準偏差は12時前後に85（著しく不快なレベル）近くまで達したがそれを越えることはなかった。なお、5月と10月では12時前後で平均値が70（快適のレベル）を越え、平均値+標準偏差は75（やや不快なレベル）に達していた（図1-11）。

九州地方の熊本気象台では、ほぼ高知で見られた傾向と同様であった。高知に比較して5月と10月の12時前後の不快指数が多少高めであった（図1-12）。

沖縄の沖縄気象台では、不快指数の平均値が11時から16時位までほとんど同じで85（著しく不快）近くまで達していた。深夜、朝、夕の平均値も全て80（不快のレベ）を越えていた。5月と10月の平均値でも12時前後で多少高めになって80近くまで上昇するが、深夜、朝、夕でも全て75（やや不快のレベル）を越えていた。なお、1月の平均値は一日中65前後であり、12時前後で平均値+標準偏差が70（快適のレベル）に達していた。

日本の代表的な保養地にある軽井沢気象台では、不快指数の平均値が10時から17時位まで上昇するが、平均値+標準偏差はおおむね75（やや不快ノレベル）に収まっていた。また、深夜、朝、夕にあっても平均値+標準偏差は70

（快適のレベル）近くであった（図1-14）。

これまでに検討した気象台について8月の各時間帯の不快指数の平均値が75以上ならびに80以上を示した割合を表1に示した。

表1 各気象台別にみた8月の各時間帯の平均不快指数が75以上ならびに80以上を示した割合
（24時間各1時間毎の24回の平均不快指数に対するそれ以上の値を示した回数の割合で表示）

| 気象台名 | 全平均値の合計数 | 75以上の回数(%) | 80以上の回数(%) |
|------|----------|------------|------------|
| 札幌 | 24 (100) | 0 (0) | 0 (0) |
| 秋田 | 24 (100) | 3 (12.5) | 0 (0) |
| 盛岡 | 24 (100) | 2 (5.2) | 0 (0) |
| 宇都宮 | 24 (100) | 14 (58.3) | 0 (0) |
| 東京 | 24 (100) | 24 (100) | 5 (20.8) |
| 富山 | 24 (100) | 15 (62.5) | 0 (0) |
| 静岡 | 24 (100) | 24 (100) | 9 (37.5) |
| 大阪 | 24 (100) | 24 (100) | 13 (54.2) |
| 松江 | 24 (100) | 24 (100) | 6 (25.0) |
| 広島 | 24 (100) | 24 (100) | 12 (50.0) |
| 高知 | 24 (100) | 24 (100) | 13 (54.2) |
| 熊本 | 24 (100) | 24 (100) | 12 (50.0) |
| 沖縄 | 24 (100) | 24 (100) | 24 (100) |
| 軽井沢 | 24 (100) | 0 (0) | 0 (0) |

不快指数が75を越す時間帯は、札幌と軽井沢では皆無、秋田、盛岡では12.5、5.2%、宇都宮、富山では50%を越え、58.3、62.5%、東京、静岡そしてそれ以南の各気象台では100%に達していた。80を越す時間帯は、札幌、秋田、盛岡、宇都宮、富山そして軽井沢では皆無、東京、静岡、松江ではそれぞれ20.8、25.0%、大阪、広島、高知、熊本では50%を越え、それぞれ54.2、50.0、54.2、50.0%、沖縄では100%に達していた。

D. 考察

今回は不快指数75を「やや不快」、80を「不快」のカットオフ値として採用した。この基準によれば札幌と軽井沢では8月といえども1日のどの時間帯においても不快指数が75を越えることはなかった。したがって避暑を目的とした場合に気象条件からみて最優先される保養地候補といえよう。一方、大阪、広島、高知、熊本、沖縄では不快指数が80を越える時間帯が1日の半分を越えており、気象条件の面からこれらの地方では自然

を利用した夏の保養は望めないこととなる。これらの中間の気象条件を示した地方のうち、秋田、盛岡、宇都宮、富山では不快指数80を示す時間帯が皆無であったことから気象条件からみて避暑を目的とした保養地の2番手として推薦できよう。

これらは避暑の観点から見た整理であるが、沖縄（那覇）では、夏（8月）は勿論春（5月）、秋（10月）いずれも1日のすべての時間帯で不快指数の平均値が75を越えており快適な規少雨条件とはいえないが、冬（1月）の不快指数をみると軽井沢の夏（8月）の値である60-70にかけて推移しており、冬の温暖を求めている保養には適していることが分かる。

E. 結論

北海道から沖縄まで、各地方の気象台における直近の1998年の毎時間ごとの温度と湿度の測定値を用い、毎時間毎の不快指数を、1、5、8、10の各月の全日の各時間帯について算出し、これをそれぞれの月の全日の各時間帯の平均値として示し、気象面から保養地としての適正を検討した。

このようにして求めた一日の各時間帯の不快指数によれば、北海道と軽井沢は夏の避暑地として最適の地位にあった。この後に秋田、盛岡、宇都宮、富山が続き、その他の地方は気象条件から見て避暑には適さないと判定された。

なお、沖縄は冬の不快指数はいわゆる「快適」に近いレベルにあり、その温暖さとともに不快指数からみても冬季の保

養に適していた。

F. 健康危険情報

特になし

G. 文献

- 1) 湿度計測・センサー研究会編著：湿度計測・センサのマニュアル. p 4. 学献社、1989.
- 2) 佐藤方彦：人間と気候—生理人類学からのアプローチ. p 29. 中公新書（講談社）、1987

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

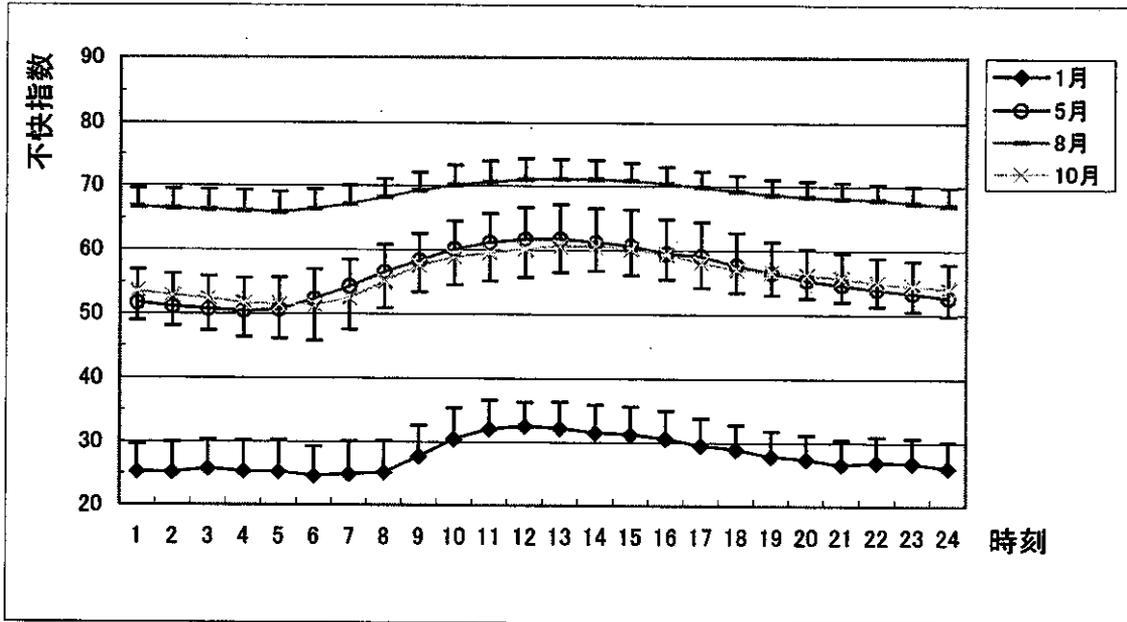
なし

2. 実用新案登録

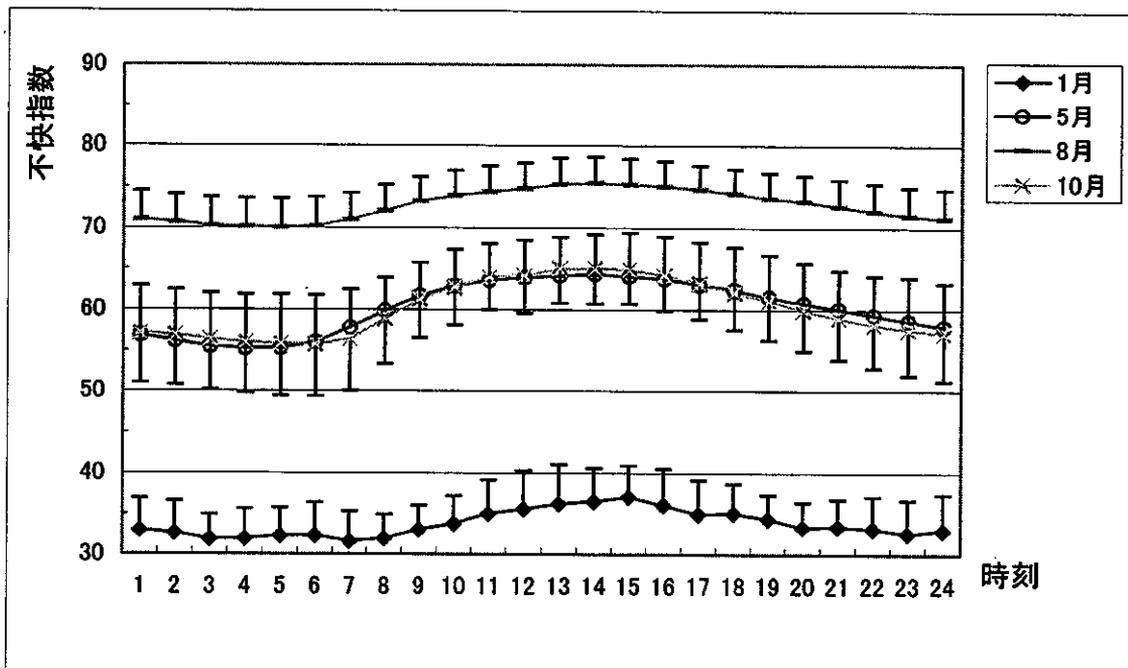
なし

図1 各月(1、5、8、10月)の時刻別にみた不快指数の変化 (M±SD)

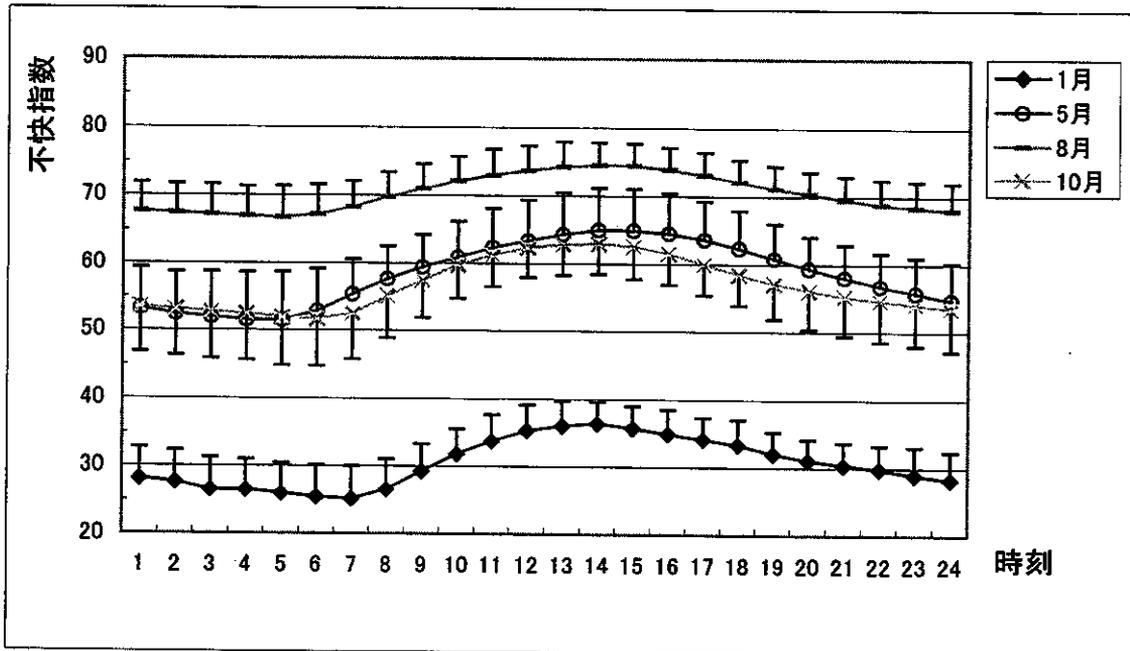
1-1 札幌气象台 (1998年)



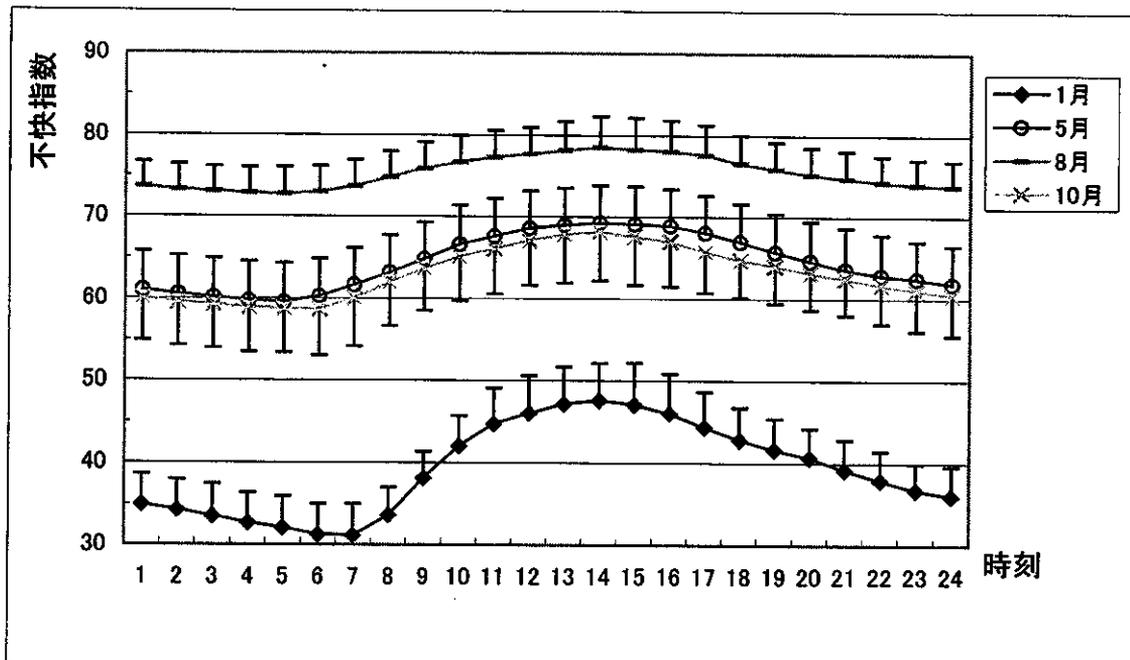
1-2 秋田气象台 (1998年)



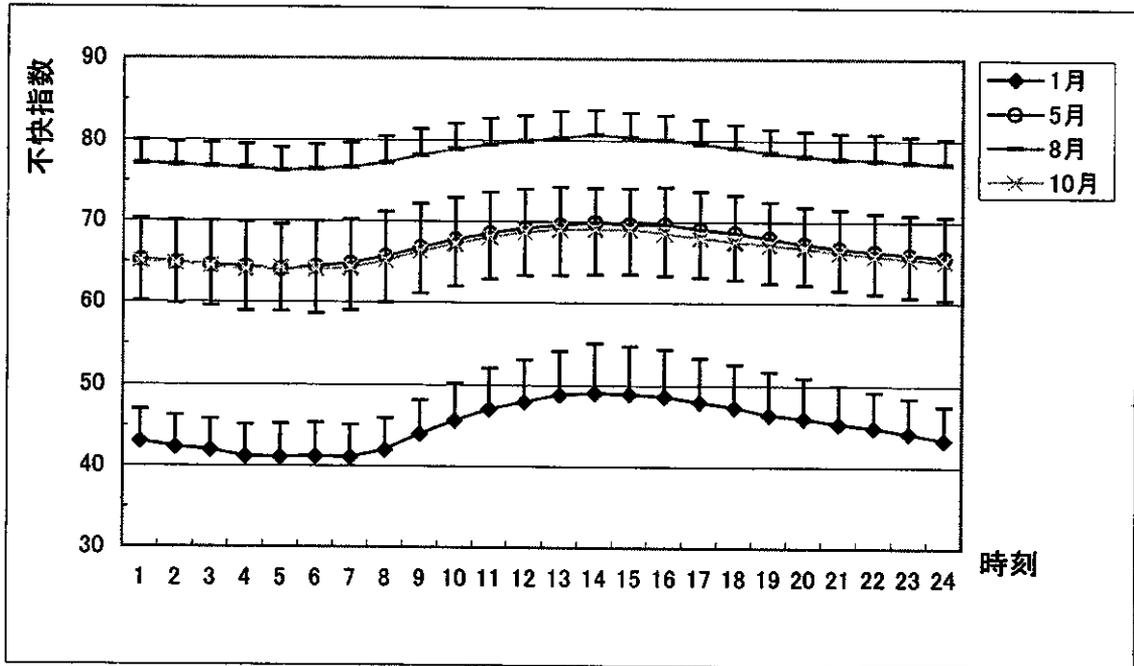
1-3 盛岡气象台 (1998年)



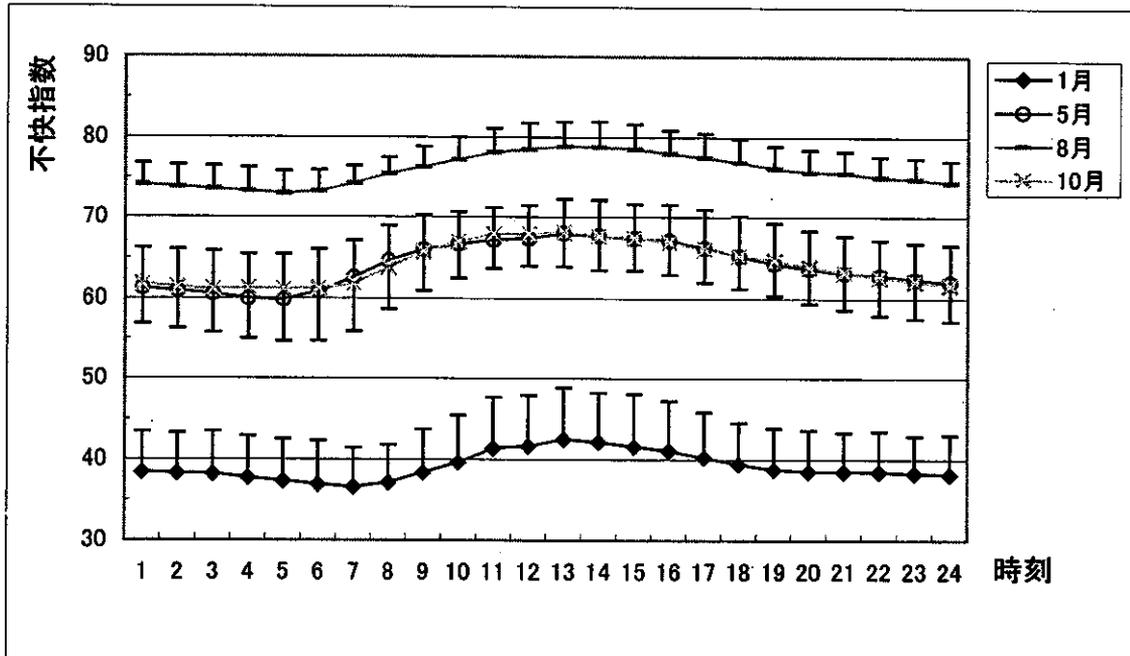
1-4 宇都宮气象台 (1998年)



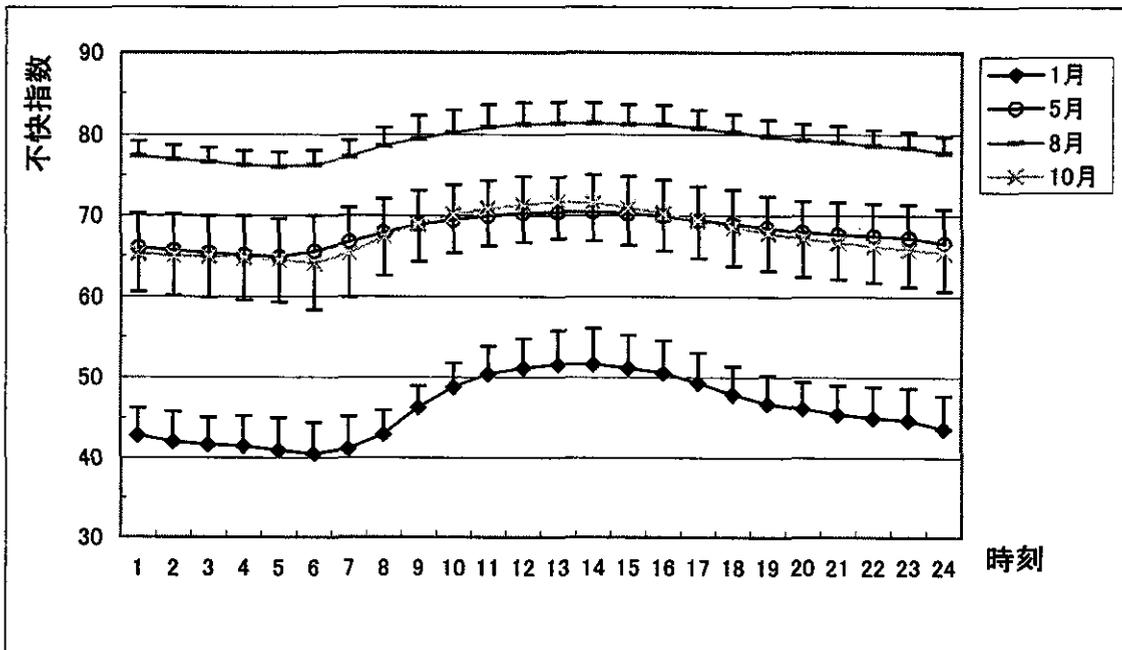
1-5 東京气象台 (1998年)



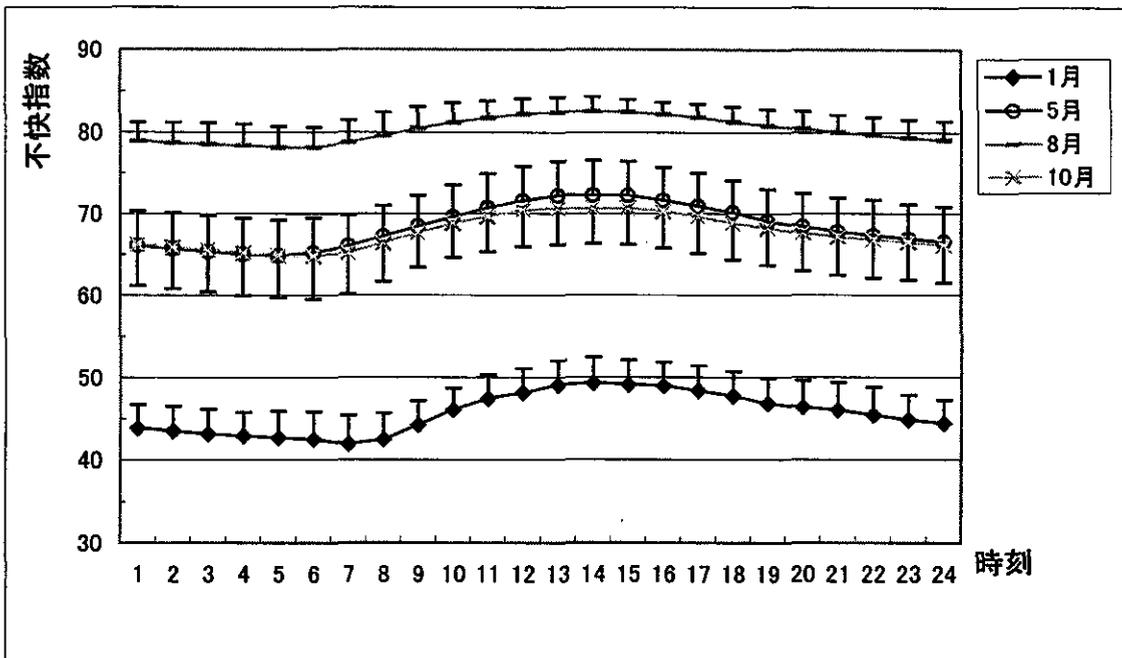
1-6 富山气象台 (1998年)



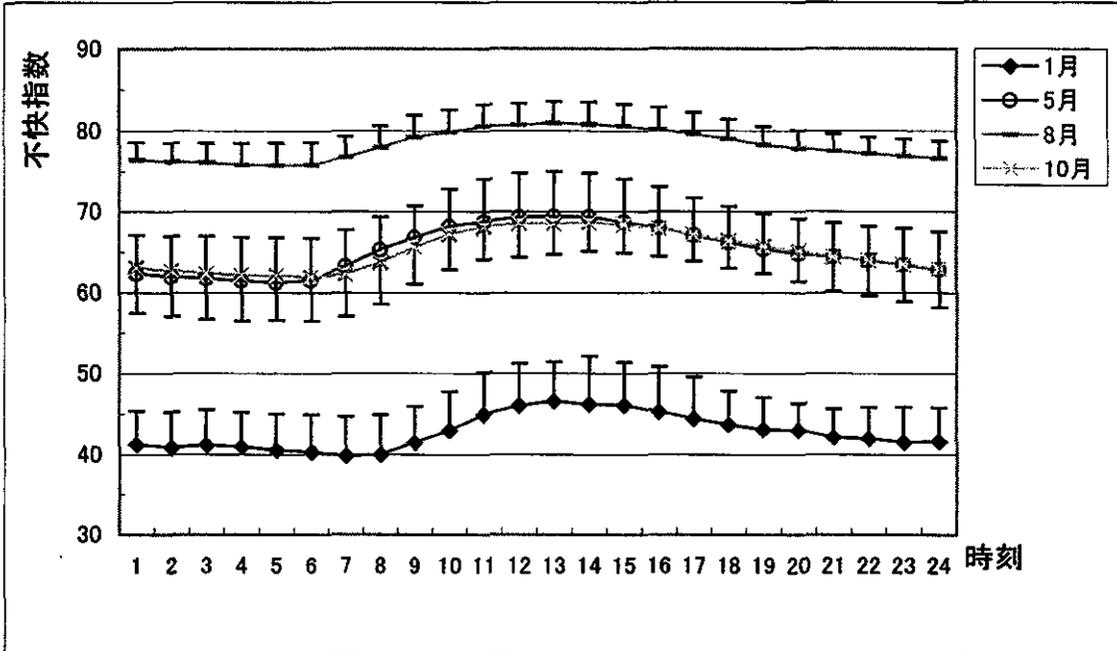
1-7 静岡气象台 (1998年)



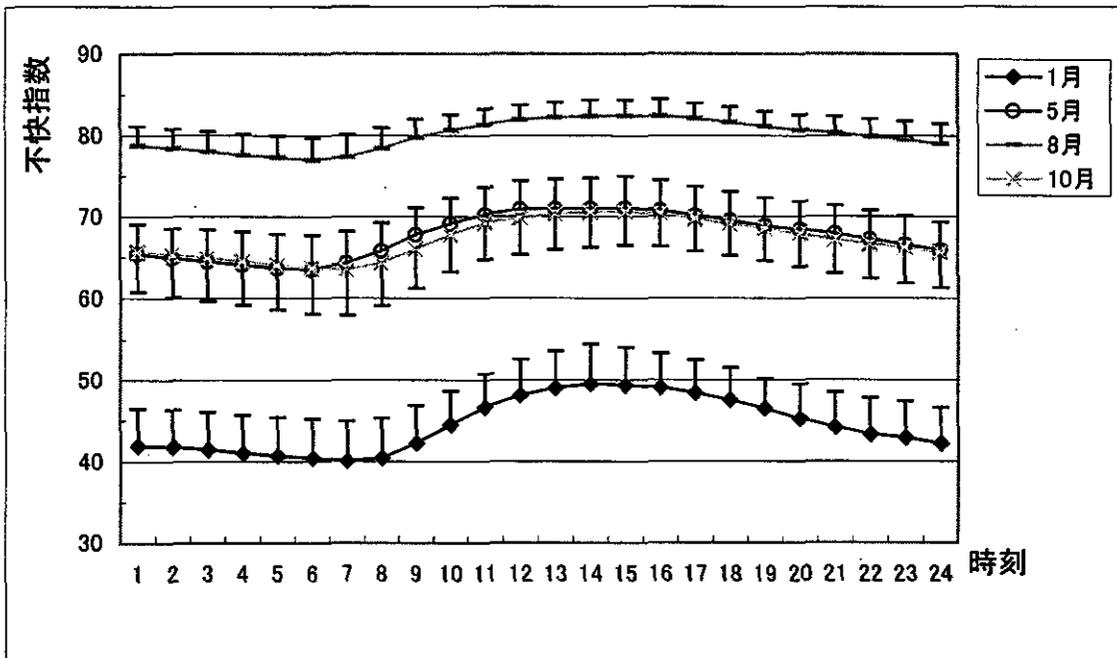
1-8 大阪气象台 (1998年)



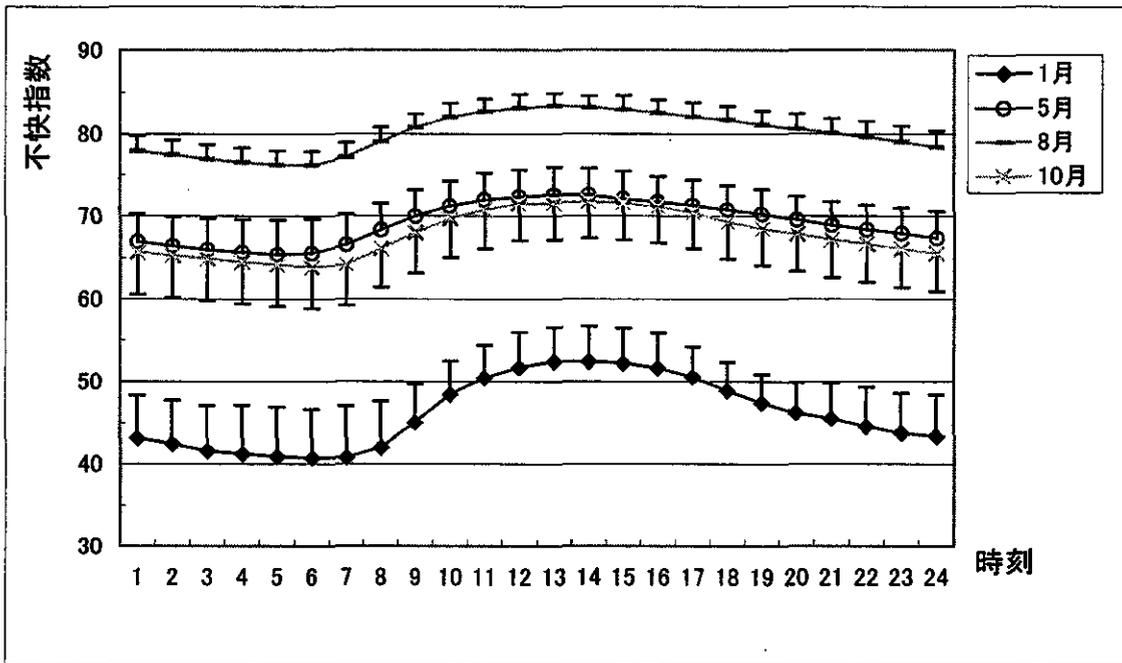
1-9 松江气象台 (1998年)



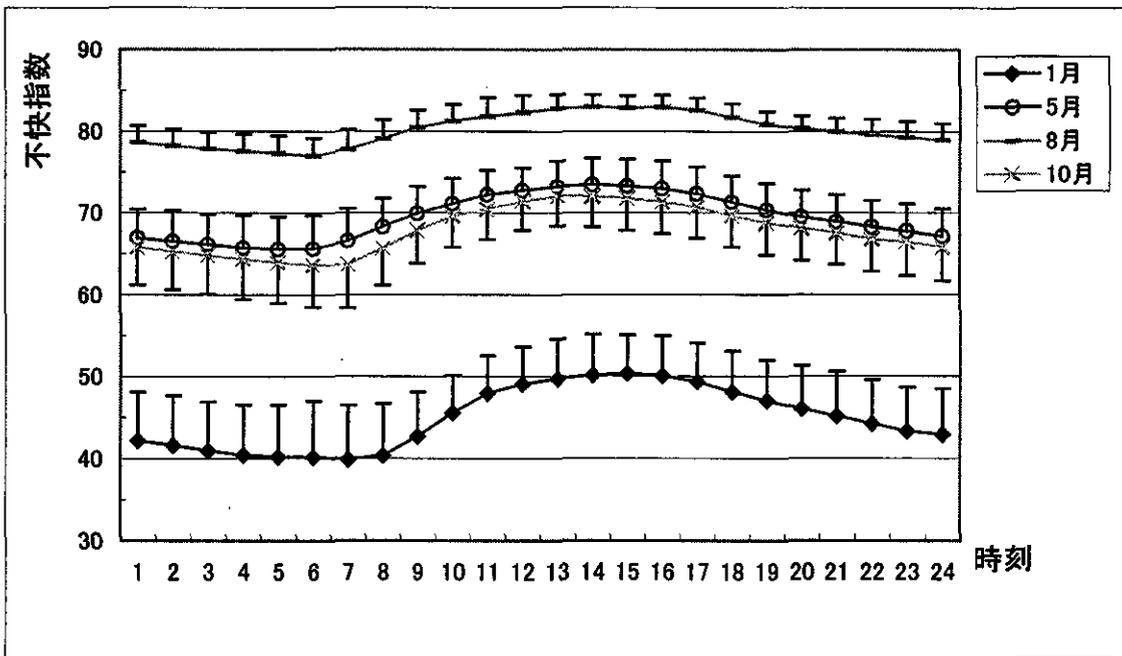
1-10 広島气象台 (1998年)



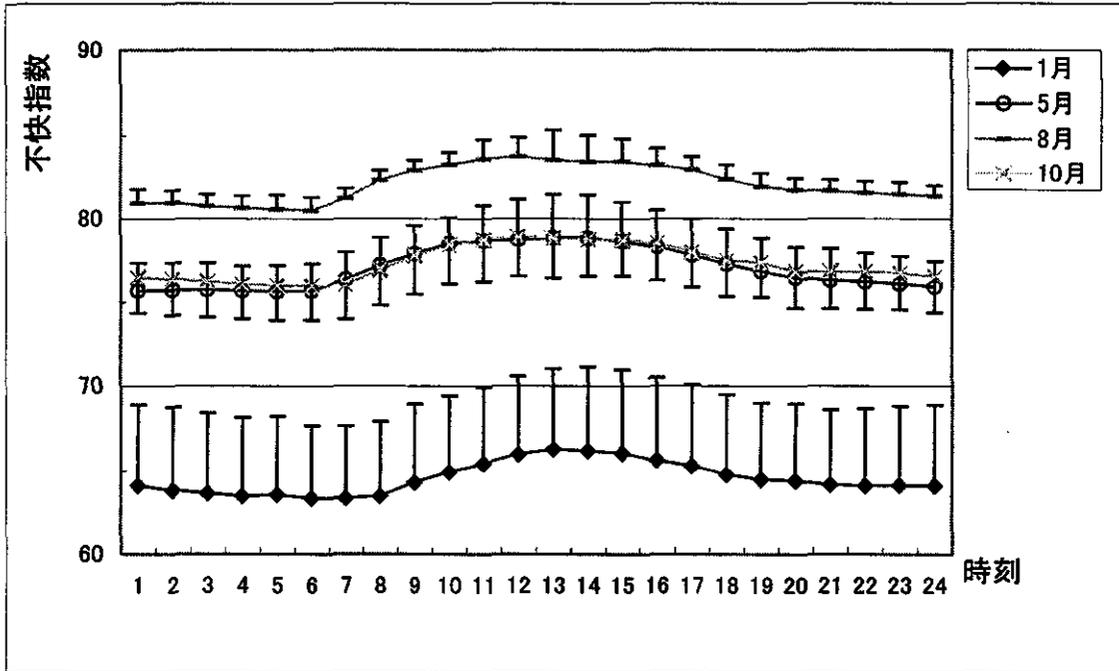
1-11 高知气象台 (1998年)



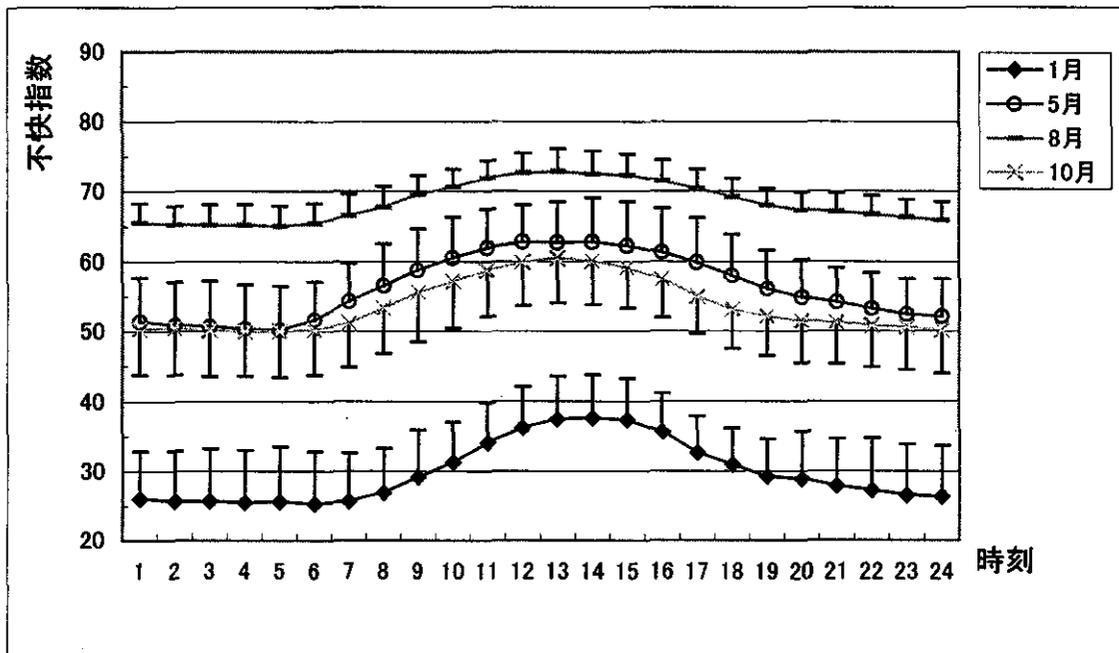
1-12 熊本气象台 (1998年)



1-13 那覇气象台 (1998年)



1-14 軽井沢气象台 (1998年)



研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

| 発表者 | 論文タイトル名 | 発表誌名 | 巻号 | ページ | 出版年 |
|--|---|---|------------------------------|---------|------|
| Kagamimori S, Sekine M, Nakagawa H, Motohashi Y et al. | Time studies on Japanese spa resort visitors by monitoring heart rate variability | The 7 th Annual Symposium on Complementary Health Care 2000, Exter(UK) | 12 | | 2000 |
| Motohashi Y Higuchi S Maeda A | Time-dependent Effects of Japanese-style Spa Bathing on Rectal Temperature and Subjective Sleepiness | Asian Sleep Research Society | (Abstract) | A140 | 2000 |
| Sekine M, Kagamimori S, et al. | The Effect of Taking Bath with Aroma Essence on Cardiac Autonomic Nerve Activity during Sleep | J. Jpn. Assoc Phys Med Baln Clim | 64 | 87-92 | 2001 |
| 泉一郎、上野美和子、鏡森定信 | 健常男性の夜間睡眠時心臓自律神経活動水準 一夜間睡眠時心拍変動パワースペクトル有酸素運動実施の関連一 | 体力科学 | Asian Sleep Research Society | 115-116 | 2000 |
| 樋口重和 本橋 豊 | 温泉入浴の保養効果の自律神経・脳波指標による評価 | 日本生気象学会雑誌 | 37(3) | S46 | 2000 |
| Liu Y, Higuchi S, Motohashi Y | Time-of-day effects of ethanol consumption on EEG topography and cognitive event-related potential in adult males | Japanese Physiology Anthropology and Applied Human Science | 19 | 249-254 | 2000 |
| Higuchi S, Motohashi Y et al. | Diurnal variations in P300 component of human cognitive event-related potential, EEG activity and on physiological anthropology | The Korean Society of Living Environmental System Education | 64(2) | 87-92 | 2000 |

研究成果の刊行物・別刷

1. Time dependent Effects of Japanese-style Spa Bathing on Rectal Temperature and Subjective Sleepiness
2. The Effect of Taking Bath with Aroma Essence on Cardiac Autonomic Nerve Activity during Sleep
3. 温泉入浴の保養効果の自律神経・脳波使用による評価
4. Time-of-day Effect of Ethanol Consumption on EEG Topography and Cognitive Event-related Potential in Adult Males

20000885

これ以降は雑誌/図書等に掲載された論文となりますのでP.34 の「研究成果の刊行に関する一覧表」をご参照ください。