

修士論文

顔と掌の温度分布変化による生活行動理解

通し番号 1 - 90 完

平成14年2月15日提出

指導教官 庄司 正弘 教授

06161 坂田 晶子

目次

目次	2
図目次	4
表目次	6
1 緒論	7
1.1 研究の背景	7
1.2 従来研究	9
1.3 研究の目的	9
1.4 本論文の構成	10
2 実験システム	11
2.1 システム概要	11
2.2 赤外線カメラ	11
2.2.1 赤外線放射エネルギーと温度測定	11
2.2.2 赤外線カメラの基本構成	17
3 実験方法	22
3.1 測定内容とその方法	22
3.1.1 熱画像撮影	22
3.1.2 生理量測定	25
3.2 実験内容とその方法	27
3.2.1 頭脳労働実験	27
3.2.2 食事実験	28
3.2.3 自律神経刺激実験	28
4 熱画像データ解析手法	31
4.1 熱画像データ処理	31

4.1.1	熱画像データ処理プログラム	31
4.1.2	ノイズ除去	35
4.1.3	顔輪郭, 顔パーツ, 手掌, 手指先の抽出	38
4.2	温度分布解析	49
4.2.1	温度分布解析プログラム	49
4.2.2	高温分布率	50
5	解析結果	53
5.1	頭脳労働	53
5.2	食事	56
5.3	自律神経の刺激	62
5.3.1	ストレスによる刺激	62
5.3.2	運動による刺激	65
6	考察	68
6.1	行動と温度分布に関する考察	68
6.2	血圧値と温度分布に関する考察	72
7	まとめ	76
7.1	結論	76
7.2	得られた知見	76
7.3	今後の課題	77
	謝辞	78
A	熱画像を理解するための基礎医学	80
A.1	生理学の基礎	80
A.2	解剖学の基礎	84
A.2.1	頭部	84
A.2.2	手部	86
	参考文献	87

目次

1.1	Current status of population aging and estimate (1950-2010).	7
1.2	Anticipated Communication network service.	8
2.1	Experiment System	12
2.2	Electromagnetic wave spectrum.	13
2.3	Radiant emittance - wave length correlation.	14
2.4	Apparent temperature energy.	16
2.5	Infrared Detector.	17
2.6	Infrared camera configuration.	18
2.7	Spectrum characteristic of detectivity.	20
2.8	DIF board configuration.	21
3.1	Resolution of Infrared camera.	23
3.2	View of measurment.	24
3.3	View of measurment (2).	26
3.4	Stress Enquete.	30
4.1	Analysis process and data format.	32
4.2	Quantization from text temperature data.	33
4.3	Thermal image processing program.	34
4.4	Temperature Distribution after filtering.	36
4.5	Thermal image after filtering.	37
4.6	Face abstraction from theramal image.	38
4.7	Face abstraction algorithm.	39
4.8	Face parts abstraction by featureing points.	41
4.9	Face parts abstraction by featureing points (2).	43
4.10	Nose center abstraction.	44
4.11	Eye and nose side abstraction.	45

4.12	Mouth abstraction.	46
4.13	Cheek abstraction.	47
4.14	Chin abstraction.	48
4.15	Hand and Finger abstraction from thermal image.	49
4.16	Temp. distribution analysis program.	50
4.17	Ex. High temperature moment.	51
5.1	High temp. distribution after test.	55
5.2	High temp. distribution result after test.	56
5.3	High temp. distribution after lunch.	59
5.4	High temp. distribution result after lunch.	60
5.5	High temp. distribution at 15min. after lunch.	61
5.6	High temp. distribution under stress.	63
5.7	High temp. distribution result under stress.	64
5.8	High temp. distribution after exercise.	66
5.9	High temp. distribution result after exercise.	67
6.1	Temperature distribution and change.	69
6.2	Stress enquete.	71
6.3	Nosecenter-B.P. negative correlation.	73
6.4	Nosecenter-Finger correlation.	74
6.5	Classification of blood pressure levels.	74
6.6	Finger-Nose temperature correlation.	75
A.1	Factors of Skin Temperature	80
A.2	Ambient Temperature - Hand Skin Temperature And Blood Flow	81
A.3	Blood Flow Change in Forehead, Upper Arm and Thumb by Exercise	83
A.4	Arteria and Mustle in Face	85
A.5	Arteria and Mustle in Palm	86

表目次

3.1	Specification of infrared camera.	23
3.2	Condition for medical thermography(JIS standard).	25
3.3	Specification of HEM-757.	25
3.4	Lunch experiment condition.	27
3.5	Lunch experiment condition.	28
3.6	Autonomic functions.	29
3.7	Stimulus experiment condition.	30
5.1	Results of average temperature change after test.	53
5.2	Result of forehead and nose center after test.	54
5.3	Result of average temperature change after lunch.	57
5.4	Result of average temperature change at 15 min. after lunch.	57
5.5	Result of average temperature change at 15 min. after lunch (2).	58
5.6	Lunch result of forehead and nose center.	60
5.7	Result of average temperature change after stress.	62
5.8	Result of nose center and mouth under stress.	64
5.9	Result of average temperature change after Exercise.	65
5.10	Result of nose side after exercise.	67
6.1	Test conditions differences.	70

第1章

緒論

1.1 研究の背景

数年前から問題が叫ばれるようになってきた少子高齢化は依然として進行段階にあり、今後益々深刻になっていくものと予想される。Fig. 1.1 に示すのは、2000 年の厚生白書による高齢化の推移と将来推計のグラフである。

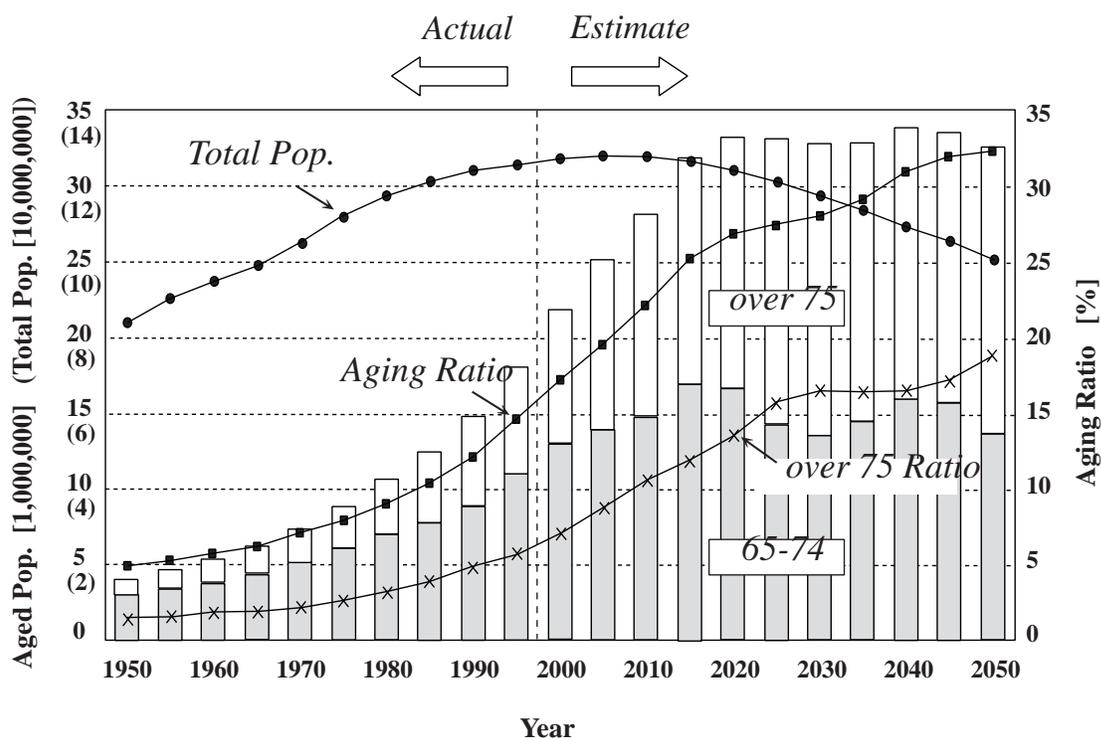


Fig.1.1: Current status of population aging and estimate (1950-2010).

グラフによると、1970年には65歳以上人口は739万人、総人口に占める割合(高齢化率)は7.1%であった。2000年には65歳以上人口は2,187万人、高齢化率は17.2%となり、この30年間に急速に高齢化が進行してきている。一方で少子化も進んでおり、すでに65歳以上人口は、0~14歳の年少人口(2000年には1,860万人)を上回っている。今後更に高齢者数と高齢化率は増加し、2020年には65歳以上人口は3,334万人、高齢化率は26.9%になると予想されている。

高齢化が進行するに伴って、寝たきりや痴呆の高齢者の増加、介護期間の長期化など、介護ニーズがますます増大すると見込まれているが、核家族化の一層の進行、介護する家族の高齢化など家族をめぐる状況も大きく変わりつつあり、介護の問題が家族にとって大きな負担となってきているのも事実である[1]。

このような状況の下で、高齢化社会における健康管理や介護問題に対する不安を多くの人が抱えており、Fig. 1.2に示した総務省の動向調査結果によると、自宅で利用したい情報通信新サービスについて、「画面を通じて医師に健康相談したり診断を受けたりできる」が40.8%と最も多くなっている[2]。

以上に述べるように、高齢化社会において在宅健康管理システムの充実が望まれている。

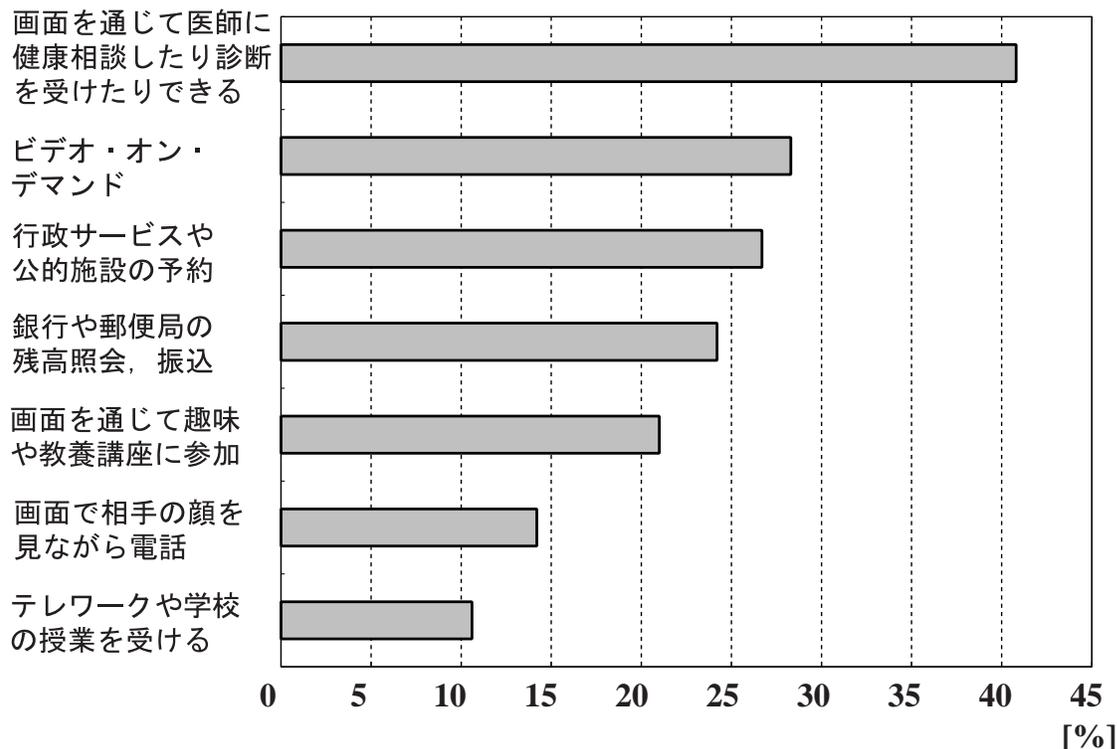


Fig.1.2: Anticipated Communication network service.

1.2 従来研究

日常生活において生理量を計測するシステムとしては、浴槽内心電図、ベッド内温度モニタ、トイレ体重計といった計測システムを用いた生体パラメータの自動計測システムの開発 [3] 等が報告されている。また、日常生活の中でも特に睡眠中の生理量に注目したもので、枕の下に敷き詰められた圧力センサによって、寝ている人の呼吸や体動などを無拘束に測定するシステム [4] や、布団の動きをビデオカメラで捉え、呼吸や心拍数を計測するシステム [5] の開発等が行われており、生活空間の中にセンサを組み込んで日常生活の生理量計測を試みる研究が盛んに行われている。

一方、人の行動や情動変化も健康状態を反映する。

人の行動を認識するシステムとしては、生活空間に赤外線センサや接触センサ、圧力センサ等様々なセンサを配置することにより、行動パターンを解析する研究 [6][7] がいくつかなされている。また、テンプレートを用いて可視画像から行動認識を行う研究 [8] や赤外線カメラを利用して人の行動追跡を行う研究 [9] も行われている。

情動推定の分野では、可視画像による顔面表情と感情的意味との関係に関する研究 [10] や、熱画像システムを利用した、笑いの情動下における顔面皮膚温計測 [11]、鼻部温度の時間変化を利用した快・不快推定 [12]、眼窩周辺の温度上昇と驚きの関係 [13] や、眼窩周辺温度変化を利用したウソ発見器の開発 [14] のように、様々な研究が行われている。

特に赤外線カメラを利用することに関しては、光環境の影響を受けにくい、人間の目には見えない情報を記録することができるという利点が挙げられ、非接触で皮膚温や血流量を把握できるセンサとして、医療の分野でも画像診断 [15][16] や手術時の血流モニター [17] といった研究が盛んにすすめられている [18]。

1.3 研究の目的

以上に述べたような人間の行動や生理状態、内面の情動を把握するシステムが、例えば介護人が被介護人の顔色を窺うような感覚で人を理解できれば、人に優しい生活支援システムに応用されることが期待できるであろう。そこで、赤外線カメラを用いて生活行動理解、情動理解、生理量計測を統合して行うことができないかを検討する。

本研究では、赤外線カメラを利用して人の行動やそれに伴う生理状態を把握することができないか検討する。具体的には頭脳労働、食事、自律神経の刺激（ストレス負荷、全身運動）において、これらの活動（状態）の前後で顔と掌の静止熱画像を撮影し、活動や生理状態に伴う特徴的な温度分布がないか調べる。

また静止熱画像の温度分布状態を定量的に解析するための方法を提案し、実験によって得られたデータが、生活行動としれに伴う生理状態の把握に有効であるかどうか検証を行う。

1.4 本論文の構成

本論文は以下のような構成になっている。

第 2 章 実験システム

実験系と熱画像処理系からなる実験システムの概要を説明し、実験系で使用した赤外線カメラについて説明を行う。

第 3 章 実験方法

頭脳労働、食事、自律神経の刺激（ストレス負荷、全身運動）のそれぞれの実験について、その目的と方法を説明する。

第 4 章 熱画像データ解析手法

熱画像データ処理方法について述べる。また処理された熱画像から温度分布を定量的に解析するための方法を提案する。

第 5 章 解析結果

第 4 章で提案した解析手法に基づきデータの解析を行い、その結果を示す。

第 6 章 考察

第 5 章で得られた結果の考察を行う。また全データを総合的に扱い、生理状態と温度分布の関係についての考察を行う。

第 7 章 まとめ

本研究で得られた知見と将来課題を述べ、本論文の結論を述べる。

付録 熱画像を理解するための基礎医学

熱画像を生理情報として理解するための生理学、解剖学について説明する。

第2章

実験システム

2.1 システム概要

実験システムは Fig. 2.1 のように熱画像データを得る実験部と、熱画像データを処理する熱画像処理部からなっている。

まず、対象から放射される赤外線エネルギーを赤外線検出部によって電気信号に変換し、これを PC に送る。PC には DIF ボード (Detector Interface) が実装しており、赤外線カメラから送られたアナログ信号を A/D 変換している。そうして得られたデータは熱画像として、リアルタイムにディスプレイに表示されるので、撮影は熱画像の様子を見ながら行うことができる。

実験で得られた熱画像データは、後で別の PC 上に構築されたプログラムによってノイズ除去、顔や手のデータ抽出等の画像処理が施され、温度分布の解析が行われる。熱画像データの詳しい処理方法については 4 章で温度分布解析方法と共に説明する。

ここでは実験系に用いた赤外線カメラ (TH3102-MR, NEC 三栄) の温度測定原理と基本構成について説明する。

2.2 赤外線カメラ

2.2.1 赤外線放射エネルギーと温度測定

赤外線カメラは、あらゆる物体が常に発している熱放射を測定して対象物の温度計測を行っている。熱放射は分子の回転や振動、または固体格子の振動によると考えられており、これらの振動スペクトルは赤外線領域に現れる。Fig. 2.2 にその領域を示した。特に人体から放出されている赤外線波長は $10\mu\text{m}$ の付近にある。赤外線カメラは $2.5\sim 25\mu\text{m}$ までの中間赤外部の赤外線エネルギーを検知して対象物の温度計測を行っている。

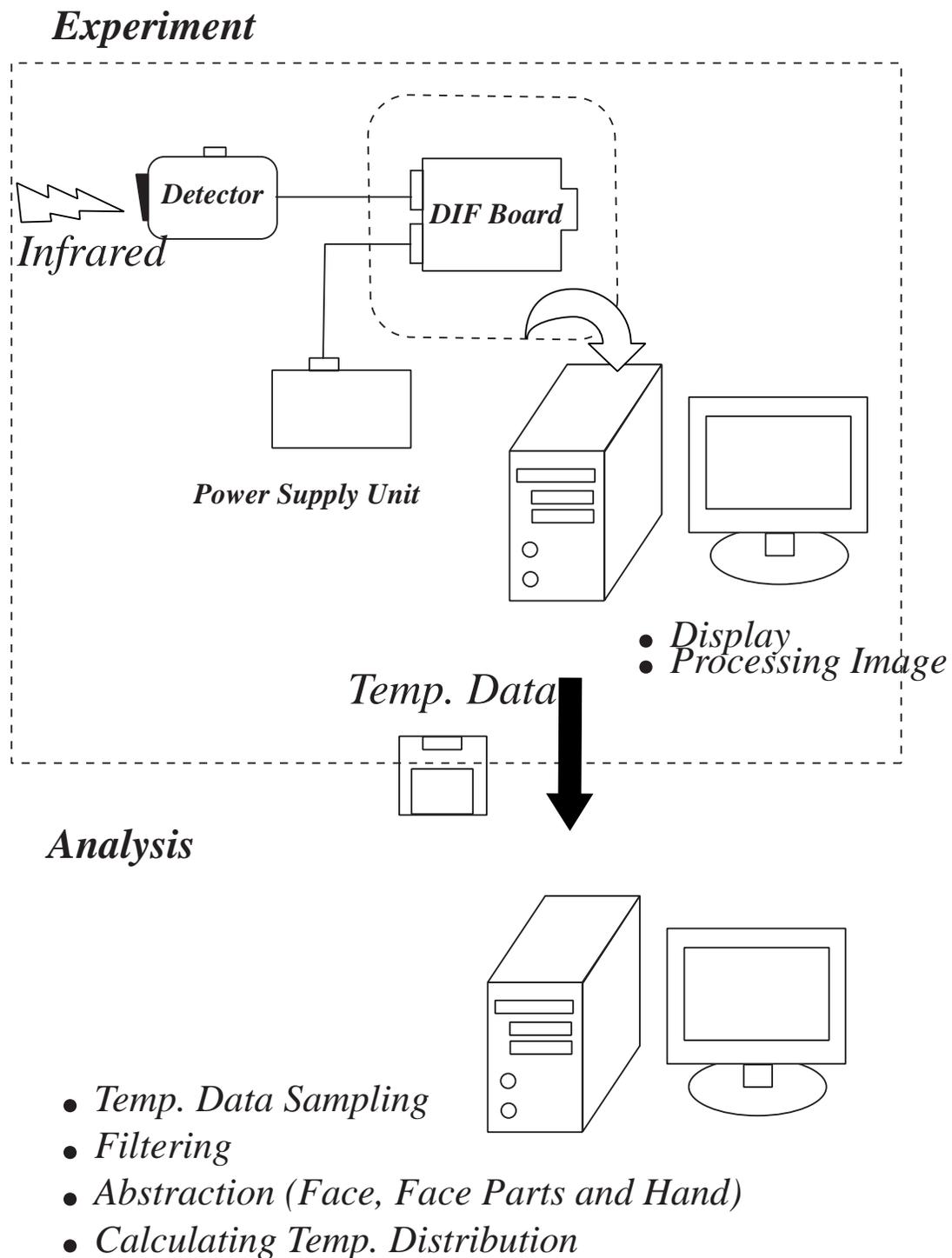


Fig.2.1: Experiment System

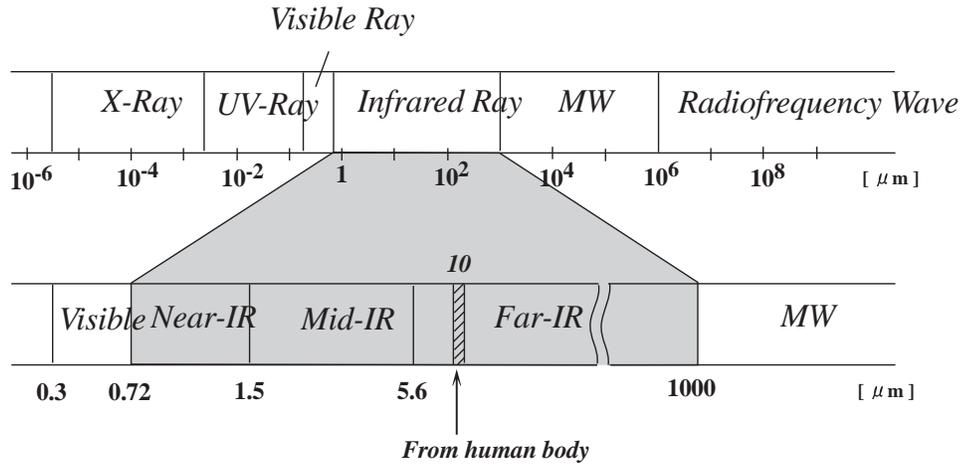


Fig.2.2: Electromagnetic wave spectrum.

ところで放射強度は物体が黒体のときにはプランクの放射式により温度と関係付けられており、式 (2.1) で表されることが知られている。

$$W_{\lambda} = C_1 \lambda^{-5} \{ \exp(C_2 / \lambda T) - 1 \}^{-1} \quad (2.1)$$

ここで、

W_{λ} : 黒体の放射エネルギー (分光放射発散度) [$W/cm^2 \cdot \mu\text{m}$]

λ : 波長 [μm]

T : 黒体の絶対温度 [K]

C_1 : 第一放射定数 ($2\pi^5 h^6 c^2 / 15 = 3.7402 \times 10^{-12} [W \cdot \text{cm}^2]$)

C_2 : 第二放射定数 ($hc/k = 1.4388 [cm \cdot K]$)

h : プランク定数

k : ボルツマン定数

c : 光速

である。

式 (2.1) をグラフ化すると Fig. 2.3 のようになり、絶対温度によって黒体の放射エネルギーが波長にどのように分配されるかがわかる。

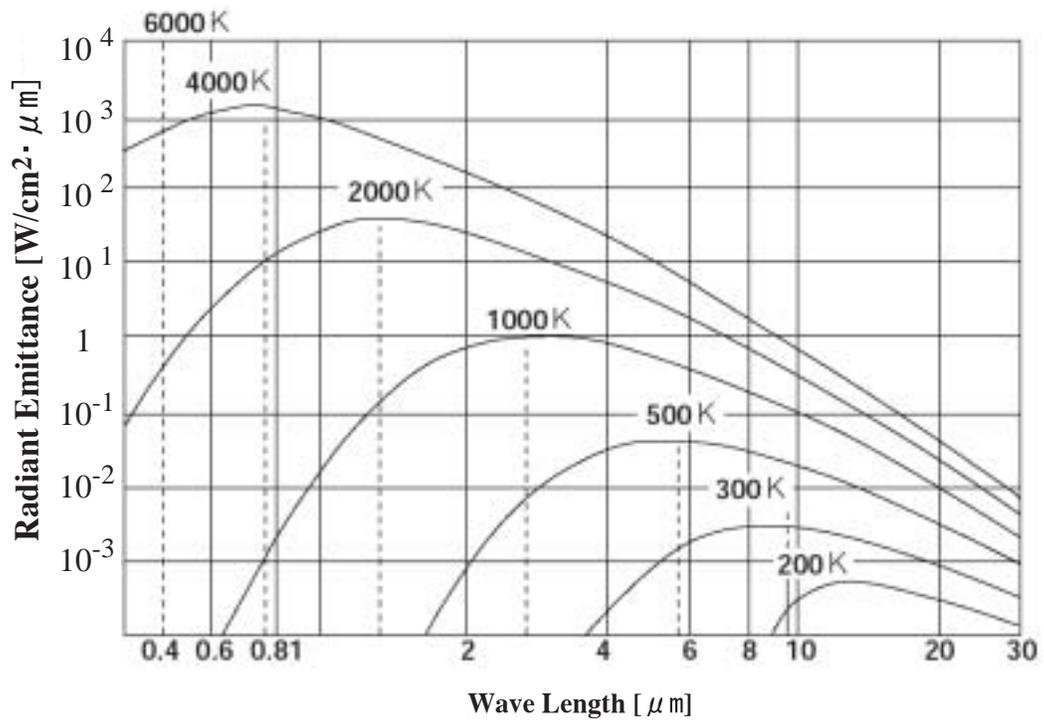


Fig.2.3: Radiant emittance - wave length correlation.

更に式 (2.1) を $0 \sim \infty$ で積分すると

$$W = \int_{\lambda=\infty}^{\lambda=0} W_{\lambda} d\lambda = \sigma T^4 \quad (2.2)$$

W : 単位面積あたりの赤外線放射エネルギー [W/cm^2]

σ : ステファン・ボルツマン定数 ($= 5.673 \times 10^{-12} [W/cm^2]$)

式 (2.2) はステファン・ボルツマンの法則と呼ばれ, これにより, 得られたエネルギーから直接温度を求めることができる.

しかし実際赤外線エネルギーを赤外線カメラで測定する際には赤外線検出器で赤外線を電気信号に変換する必要があり赤外線検出器には検知可能な波長範囲が存在する. そのため温度に対する出力信号は式 (2.2) に示すように絶対温度の 4 乗には比例せず, 式 (2.3) で近似される.

$$R(T) = \alpha T^n \quad (2.3)$$

$R(T)$: 有効入射強度

n : n 値 (観測波長域および温度 T により決まる定数)

α : 定数

加えて, 実存する物体では完全な黒体はなく, その物体の種類と表面状態によって放射スペクトルは異なる. それを関係づけるのが放射率 ϵ で, 放射率は物体の放射エネルギーと同温度の黒体の放射エネルギーの比で定義されている. よって実存する物体では式 (2.3) は式 (2.4) となる.

$$R(T) = \epsilon \alpha T^n \quad (2.4)$$

また, 放射と吸収との間には密接な関係があり, 物体の放射率はその物体の吸収率に等しい (キルヒホッフの法則). 物体に入射するエネルギーのうち, α 吸収率, ρ 反射率, τ 透過率するとすると, エネルギーの保存から

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2.5)$$

が成り立ち, 物体が不透明 ($\tau = 0$) の場合はキルヒホッフの法則 ($\alpha = \epsilon$) と式 (2.5) より式 (2.6) が成り立つ.

$$\epsilon = 1 - \rho \quad (2.6)$$

従って式 (2.4), 式 (2.6) を用いて環境熱源の反射を考慮に入れた入射エネルギーを表すと, 式 (2.7) のようになる.

$$R(T') = \epsilon R(T) + (1 - \epsilon)T(T_a) \quad (2.7)$$

$R(T)$: 温度 T に対応する有効入射強度

T_a : 反射源の温度

T' : 測定される見かけ温度

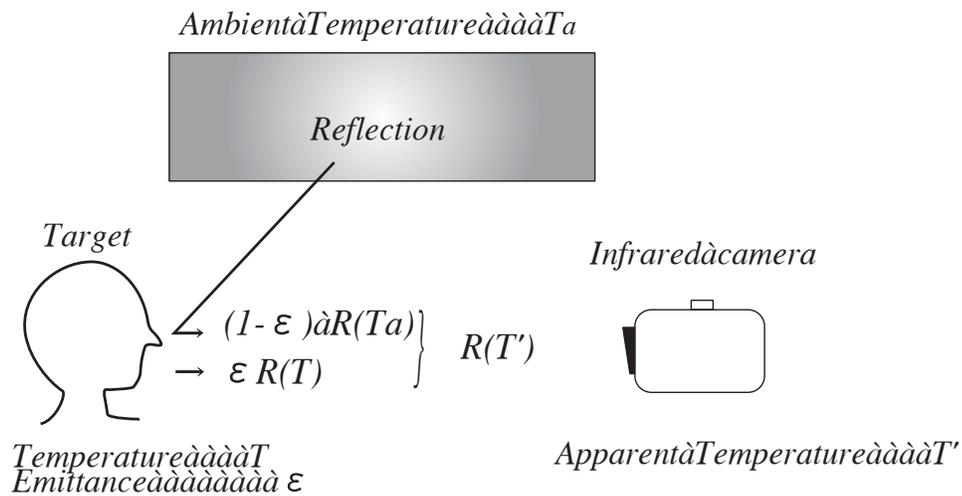


Fig.2.4: Apparent temperature energy.

つまり, Fig. 2.4 に示すように, 実際赤外線カメラによって測定することになるのは環境熱源からの反射等を含む見かけの温度で, 対象の放射率が小さいときは環境熱源の温度は無視できない. そこで物体の真の温度を測定するためには, 物体の放射率と環境熱源の温度を知り, 補正を行うことが必要となる.

2.2.2 赤外線カメラの基本構成

本実験で用いた赤外線カメラ(以降赤外線カメラ)は, Fig. 2.1 でも述べたように赤外線検出部とDIFボード部からなる.

赤外線検出部

赤外線検出部では測定対象物から自然放射されている赤外線を光学走査することにより, 温度信号を二次元的な電気信号に変換している.

Fig. 2.5 に赤外線検出部の写真を示す.



Fig.2.5: Infrared Detector.

赤外ウィンドは赤外線のみを透過させるウィンドで, 赤外光学機器を保護する. また通風口が検出部後ろの矢印の部分にあり, ここから検出器の冷却によって出る熱を排出している.

次に検出部の内部構成を Fig. 2.6 に示す.

検出部は主に光学処理系, 赤外線検出器, 信号処理系からなっている. 以下に各構成要素の機能を説明する.

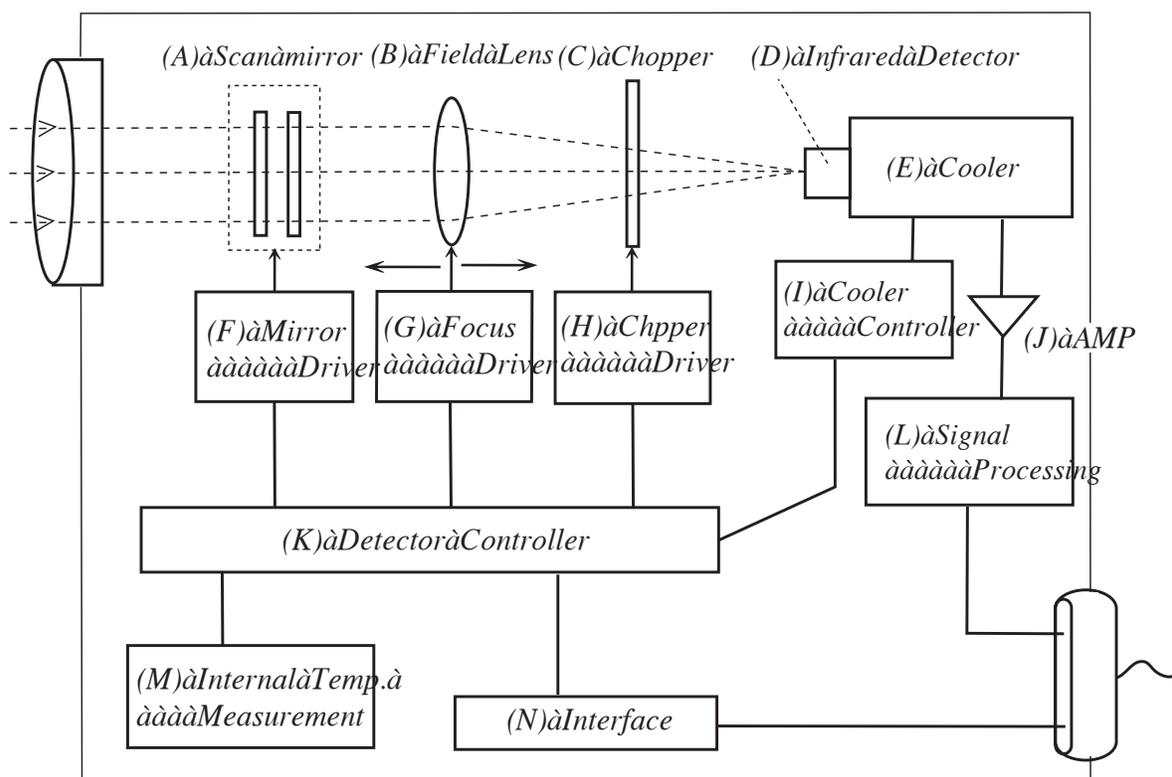


Fig.2.6: Infrared camera configuration.

(A) スキャンミラー

2枚の光学ミラー（水平及び垂直ミラー）を動作させることで、測定物を走査する。

(B) 対物レンズ

(A) で走査した赤外線を集光する。

(C) チョッパ

水平走査に同期して回転し、入射赤外線をチョッピングする。

(D) 赤外線検出器

集光した赤外線エネルギーを電気信号に変換する。

(E) スターリングクーラー

赤外線検出器を冷却する。

(F) ミラードライバ (ガルバドライバ)

垂直・水平方向の光学ミラーを駆動する電子回路。

(G) フォーカスドライバ

フォーカス位置信号に従って、対物レンズを移動させる。

(H) チョッパドライバ

水平方向の信号に同期させて、チョッパモータを駆動させる。

(I) 冷却制御

検出器の温度を検出し、規定の温度まで冷却させて安定させる。

(J) プリアンプ

検出器で得られた電気信号を増幅する、低雑音高感度増幅器。

(K) 検出部コントローラ

各部へ処理や命令を出し、検出部内を制御する。

(L) 信号処理

放射率補正などの信号補正後、電気信号を温度信号に変換する。

(M) 内部温度測定部

検出部の内部温度を測定し、内部赤外光の影響を取り除く。

(N) インターフェイス

検出部とコントロール部間を電氣的に接続する回路。

ところで、今回赤外線検出器には HgCdTe が用いられている。HgCdTe は半導体に赤外線が照射されるとその光量子によって生じる自由電子や正孔によって誘電率が変化する光誘電型である。長所としては感度が高く、誘電率の変化や起電力の発生が光量子の吸収によるため、応答速度が速いという点があげられる。短所としては半導体の禁制帯幅エネルギーが検出可能な遮断波長を決定しており、感度に波長選択性があることが挙げられる。

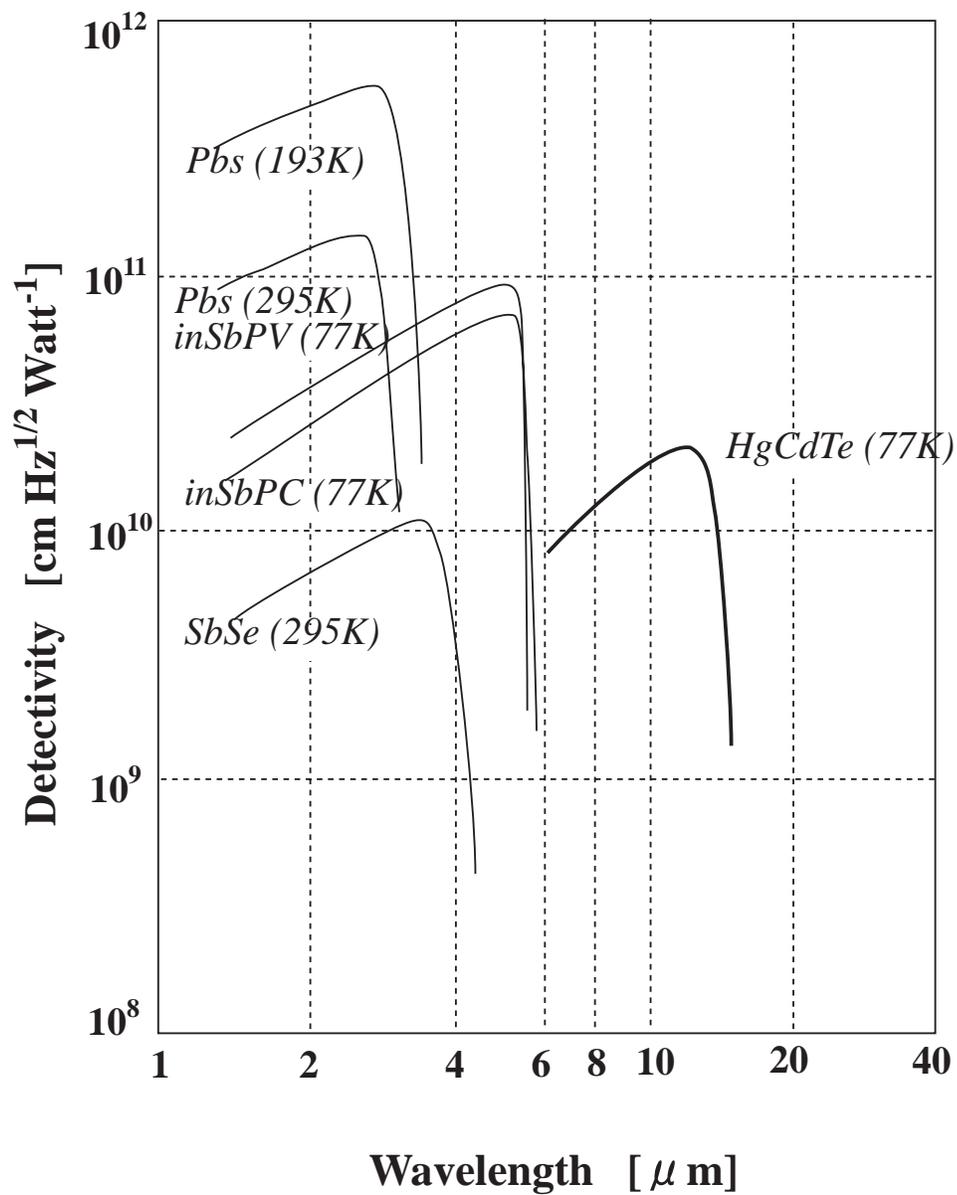


Fig.2.7: Spectrum characteristic of detectivity.

Fig. 2.7 に赤外線検出器の比検出率の分光特性を示した。このグラフから HgCdTe は $8 \sim 13\mu\text{m}$ に感度をもつことがわかる。これは Fig. 2.2 にも示したように、人体から発せられる赤外光の波長領域と一致しており、人体を対象とする場合には適していることがわかる。

DIF ボード

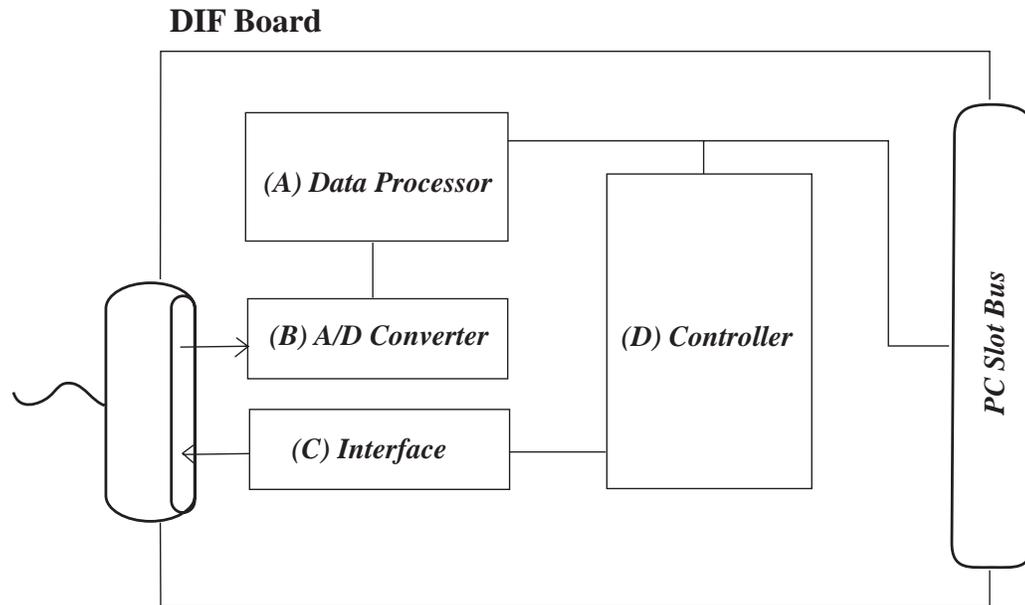


Fig.2.8: DIF board configuration.

DIF ボードの内部構成は Fig. 2.8 のようになっている。DIF ボードは検出部と、コントローラとしての PC とのインターフェイスの働きをしている。以下に各構成要素の機能を説明する。

(A) データ処理

測定された熱画像信号を処理する。

(B) A/D 変換器

検出部から PC へ送られる信号を、12bit のデジタル信号に変換する。

(C) インターフェイス

PC や検出部の入出力信号を翻訳する。

(D) コントローラ

検出部への命令や受信信号を、PC の監視の下で管理を行う。

第3章

実験方法

3.1 測定内容とその方法

被験者は23～24歳の学生男女を対象として、以下の三つの行動(状態)について実験を行う。各実験の前後で顔と掌の熱画像を撮影し、同時に生理量の測定を行った。

- 頭脳労働
- 食事
- 自律神経の刺激(ストレス, 運動)

以下に熱画像撮影と生理量測定方法について説明する。

3.1.1 熱画像撮影

熱画像の撮影には NEC 三栄の赤外線カメラ (TH3102-MR) を用いた。赤外線カメラについての詳しい説明は2章で行った。

TH3102-MR の仕様を Table 3.1 に示す。

また、赤外線カメラの分解能を Fig. 3.1 に示す。一段目の数字が水平走査範囲 [m]、二段目の数字が垂直走査範囲 [m]、三段目の数字が最小検知範囲 [mm] で、一番下の段の数字がカメラから対象までの距離 [m] である。

これより対象と赤外線カメラの距離は 1.0m とした。このときの走査範囲は縦 0.546m、横 0.576m で、ちょうど被験者の顔と掌が一枚の熱画像に収まる大きさになっている。また最小検知範囲は 1.67mm×1.67mm である。

Table 3.1: Specification of infrared camera.

Measuring Range	-50 ~ 250
Min. Detection	0.1 (at 30)
Accuracy	±0.5 %
Measuring Wavelength	8 ~ 13 μm
Screen Ruling	239
Data Depth	12bit
Frame Time	0.8s/frame

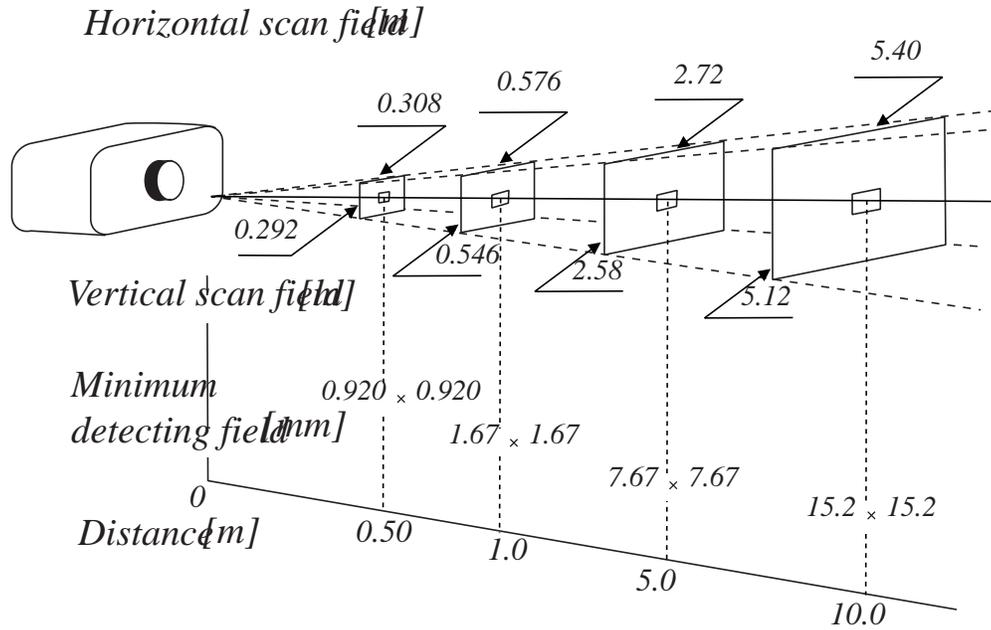


Fig.3.1: Resolution of Infrared camera.

(A) Thermal image by TH31-402(NEC)

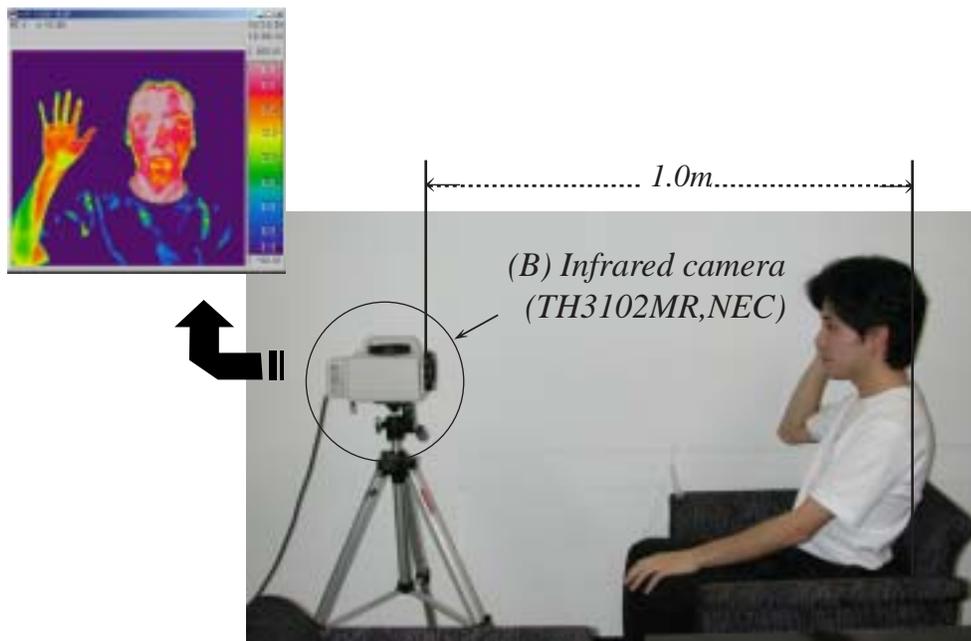


Fig.3.2: View of measurement.

次に熱画像撮影の様子を Fig. 3.2 に示す。

図中の (A) が赤外線カメラによって撮影される熱画像をリアルタイムに表示した様子，(B) が本実験に用いた赤外線カメラである．熱画像撮影は以下のとおりに行う．

1. 被験者は座位にて赤外線カメラを正視する．
2. 撮影する掌は右掌とする．
3. 対象と赤外線カメラの距離は 1.0m とする．
4. 放射率は $\epsilon = 0.99$ に設定する．

また，撮影時の環境温度，環境湿度等についてはそれぞれの実験方法説明の際に条件を記すが，特に外気温が 12.0 以下の場合には，室内に入ってから 20 分程度の馴化時間をおいた．これは，外気温が低いときには交感神経が緊張方向にあるため，四肢体表温が末梢から著しく低下していると考えられるからである．それ以外の場合においては，3～15 分程度の馴化時間をおいている．

参考までに，医用サーモグラフィ装置の使用環境条件 (JIS 規格) を Table 3.2 に示す．

Table 3.2: Condition for medical thermography(JIS standard).

Temperature ()	Humidity (%)	Air Pressure[KPa]
10-40	30-85	70-106

3.1.2 生理量測定

測定項目は最高血圧値，最低血圧値，脈拍数である．測定には家庭用上腕式の HEM-757 ファジイ (OMRON 社製) を用いた．仕様は Table 3.3 のとおり．

Table 3.3: Specification of HEM-757.

表示方式	デジタル表示方式
測定方式	オシロメトリック法
測定範囲	圧力：0～280mmHg/脈拍数：40～180 拍毎分
精度	圧力：±4mmHg/脈拍数：読み取り数値の±5%以内

生理量測定の様子を Fig. 3.3 に示す．(A) が血圧を測定するための腕帯で，(B) が血圧値，脈拍数表示部である．

生理量測定は以下のように行う．

1. 被験者は座位にて測定を行う．
2. 測定は左腕で行う．
3. 測定の際は上腕を圧迫しないような軽装で行う．

血圧を測定する際に腕の血管を圧迫するので，それにより掌や指の温度が変化する可能性があると考え，腕帯は熱画像撮影とは反対の左腕に巻くことにした．

また腕帯を巻くときに衣服で腕を圧迫することがないように Fig. 3.3 に見られるような軽装で行う．



Fig.3.3: View of measurement (2).

3.2 実験内容とその方法

以下に各実験における目的と方法を説明する．

3.2.1 頭脳労働実験

目的

生活行動において、仕事や勉強で頭を使うという作業はよくあることだが、可視画像等による情報のみではこれらの作業が見かけの状況からしか判断できず、本当に頭を働かせているかどうかの決定力に欠ける．

例えば頭を働かせることによって、頭部の血流量が増加したり、熱産生が増加して血流温度が上昇し、顔面に特徴的な温度分布状態が現れるのではないかと考えた．

そこで頭を集中して働かせた後の温度分布について調べ、温度分布状態に頭脳労働を決定付けるような特徴が認められないか検討を行う．

方法

上述したように、ここでは頭脳労働とは何か一つの物事に集中して頭を働かせている状態を指す．そこで今回の実験では頭脳労働として英語のテストを15分間行った．出題はTOEIC受験対策問題集[19]より、readingの問題を40問出題した．

環境条件と被験者について Table 3.4 に記す．

Table 3.4: Lunch experiment condition.

Number of experiments	Number of subjects	Temperature ()	Humidity (%)
8	8(m=5, f=3)	24.0-26.0	42.0-51.7

ただし、頭脳労働実験は地下2階実験室の一角を利用して行ったため、室内の温度制御、湿度制御は行っていない．また実験室内への人の出入りがときどきあり、環境は急激に変化することはなかったものの、必ずしも一定ではなかった．

3.2.2 食事実験

目的

食事は毎日の生活に欠かせない行動の一つである．そのため，人がいつ食事をしたのかわかれば生活行動パターンの把握につながると考えた．

そこで食事の前と後で測定を行い，食事に伴う特徴的な温度分布状態がないかを調べる．また食事に関しては，内臓の働きが活発になったり，体内熱産生が増加するなどの理由で温度変化が生じるとも考えられるので，その後の時間経過に従って温度分布に特徴が現れないかについても検討を行う．

方法

3, 4人のグループで12:30～14:00の間に食事をしてもらった．食事実験については，食後の時間経過に伴う温度分布変化が認められないかについても調べるために，食事の直前直後以外に，食後15分おきにも測定を行った．

食事のスピードは個人のペースに従ってもらい，食事時間に制限を設けていない．また，食事をしていない間は椅子に座って安静にしていってもらう．

食事実験における環境条件と被験者についてはTable 3.5に示す．

Table 3.5: Lunch experiment condition.

Number of experiments	Number of subjects	Temperature ()	Humidity (%)
11	7(m=5, f=2)	23.0-24.5	36.0-44.7

しかし，食事実験は地下2階の実験室，8号館7階の学生室の一角を利用して行った．そのため室内の温度制御，湿度制御は厳密には行えなかった．また実験室内への人の出入りがときどきあり，環境は急激に変化するようなことはなかったものの，必ずしも一定ではなかった．

3.2.3 自律神経刺激実験

目的

自律神経は循環，消化，呼吸，代謝といった生命活動に必要な機能を調節している神経で，その支配領域によって交感神経と副交感神経に分けられる．交感神経は主に緊張，興

奮状態のときに働き，副交感神経は平常時，心身共にリラックスしているときに働く神経系である。

Table 3.6 にそれぞれの機能をまとめる [20]。

Table 3.6: Autonomic functions.

	Sympathetic	Parasympathetic
Cardiac Functions	INCREASE	SUPPRESS
Blood Vessel	CONSTRICTION	DILATATION
Bronchial	RELAX	CONSTRICTION
Pupil	DILATATION	CONSTRICTION
Gastrointestinal	DILATATION	CONSTRICTION
Secretion	SUPPRESS	INCREASE

ここで特に注目したいのが，自律神経による血管の収縮，拡張機能である。

交感神経への刺激を評価する指標として，指先温度を利用することの研究 [21] もなされており，これは交感神経の刺激に伴う血管収縮によって指先の血流量が減少することを，指先温度の低下によって測定しようとする試みである。

このように自律神経による血管収縮を測定するにも，熱画像は有効である。特に交感神経への刺激が温度分布から理解できれば，緊張，興奮状態を把握することにも有効である。

そこで交感神経を刺激し，それによって特徴的な温度分布が得られないか検討を行う。

また刺激としてはストレスによる刺激と運動による刺激を行う。ストレスによる刺激に対しては鼻温度の減少 [22] が，運動による刺激には指先温度の減少が [23] 報告されており，顔の温度分布が変化することも期待できる。

それぞれの実験方法について以下に説明する。

方法

1. ストレス負荷

一人ずつ大きな声で歌を歌ってもらうとアナウンスした後，歌の準備のために 3 分間時間を与えることで，緊張状態とした。

測定は歌のアナウンスをする前と，歌の準備時間が終わったと知らせたときに行った。

第4章

熱画像データ解析手法

4.1 熱画像データ処理

4.1.1 熱画像データ処理プログラム

Fig. 4.1 に示すように，TH3102-MR によって得られた熱画像データは，独自のファイル形式を採用しており，通常熱画像の表示変更や指定点データの読み込み，統計処理等のデータ処理を行うためには市販のプログラム (TH31-701) を用いる．

本研究では，提案した解析手法に基づいたデータ処理を行うため，あらかじめ TH31-701 によって温度データをテキストデータに変換して，テキストデータをベースに処理を行うための熱画像データ処理プログラムを作成した．(Fig. 2.1Analysis 部.)

扱うデータファイルの流れを説明する．

1. TH31-701 によって，熱画像データ (A) からテキスト形式のデータ (B) を作成する．
2. 熱画像データ処理プログラムによって，テキストデータ (B) から熱画像を表示するためのビットマップファイル (C) を作成する．
3. ビットマップファイル (C) による熱画像表示と，テキストファイル (B) による温度データを用いてノイズ除去や顔，手の温度抽出を行い，温度分布ファイル (D) に出力する．

温度分布ファイルには，指定領域データ抽出後の温度データが0.1 ステップの温度データに量子化され，各温度に含まれる領域内画素数が保存される．

Fig. 4.2 に量子化の様子を示した．連続したテキスト温度データ (A) は0.01 の位で丸められ，その温度域をもつ画素の和が温度分布データ (B) として処理される．

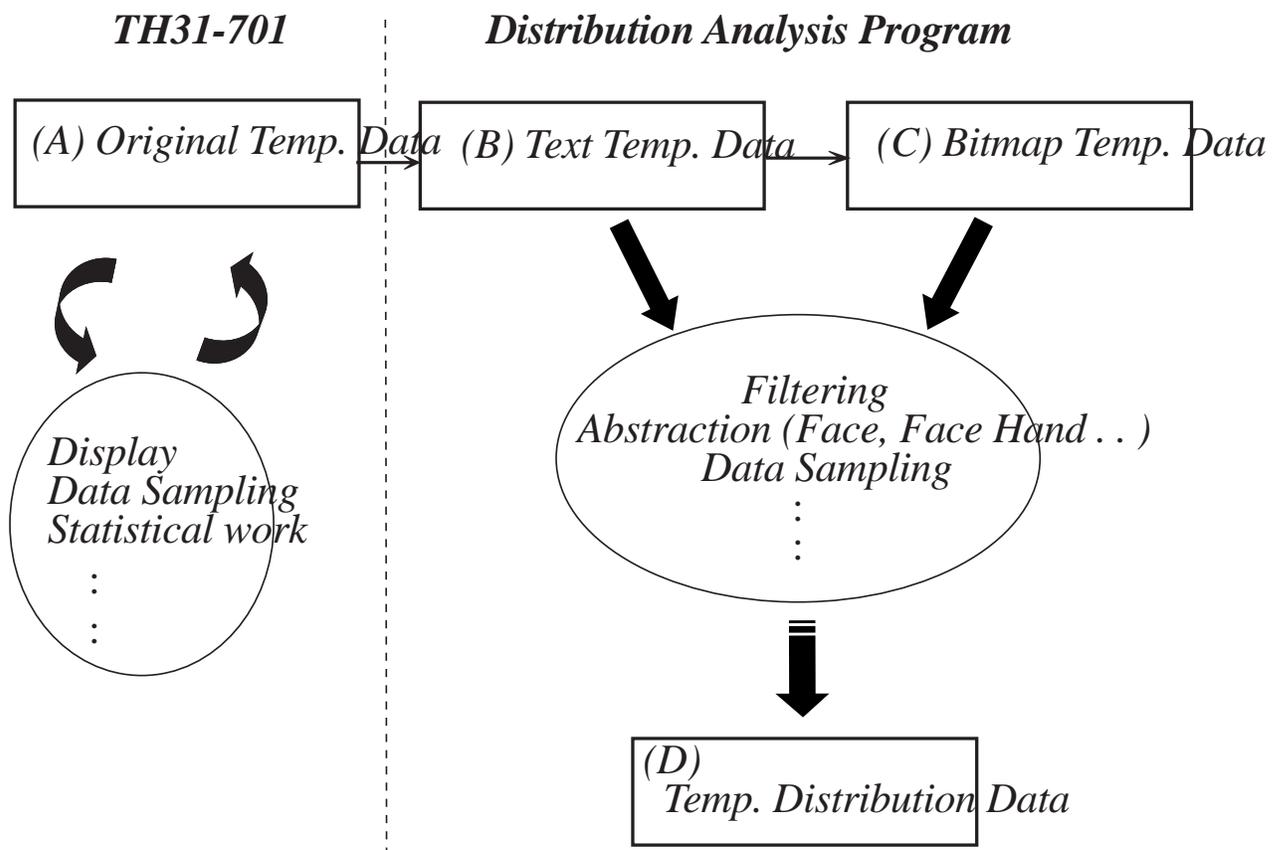


Fig.4.1: Analysis process and data format.

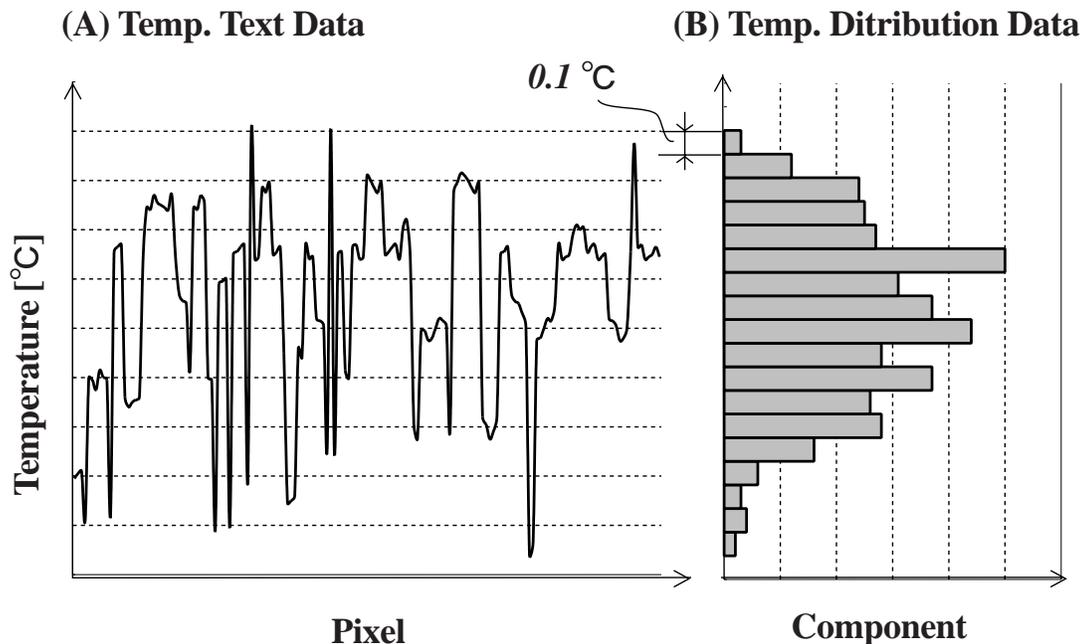


Fig.4.2: Quantization from text temperature data.

その他温度分布データには、以下のような領域内温度情報を保存する。

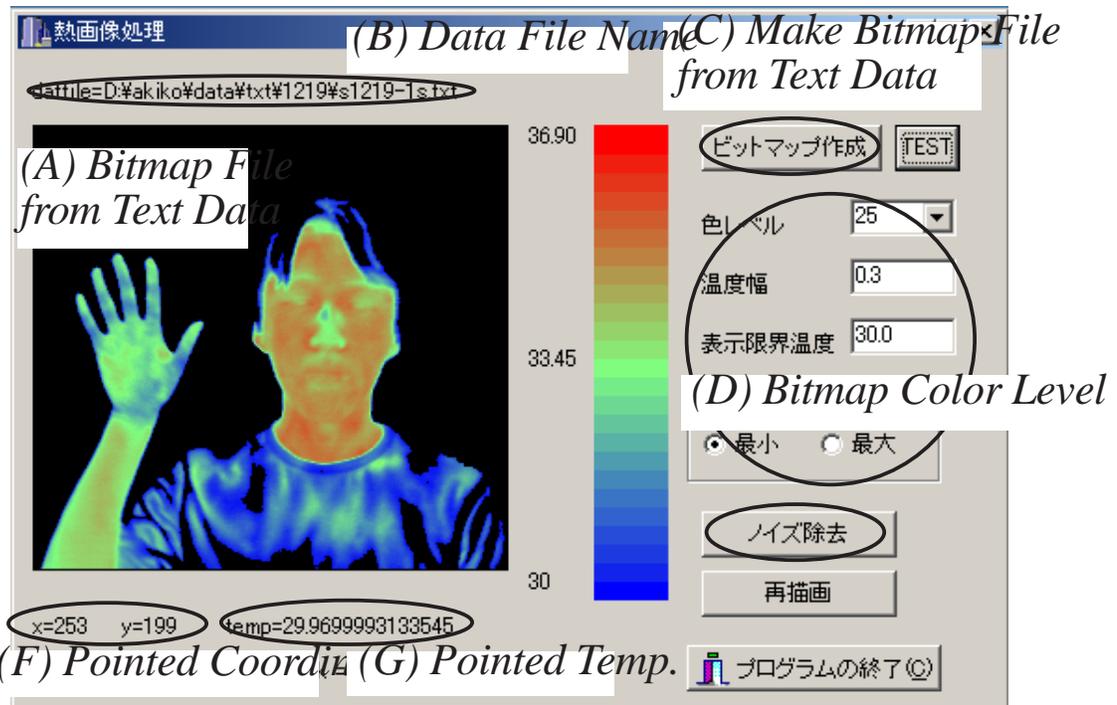
- 量子化された温度データ
- 領域内温度のモード，平均値，分散値，歪度などの統計データ
- 領域内総画素数
- 温度分布データ ID

後に述べる温度分布に関するデータの計算は、このファイルをもとに行われる。

Fig. 4.3 が作成した熱画像データ処理プログラムの一部である。

Fig. 4.3 の上方の図がビットマップファイルの作成と熱画像表示，下方の図が顔領域のデータ抽出を行うプログラムである。データ抽出の詳細い方法に関しては後で述べることにして、ここではプログラムの主な機能を以下に説明する。顔パーツ，手掌，手指先領域抽出に関してはこれとほぼ同様であるので省略する。

Thermal Image Display



Abstraction Controller

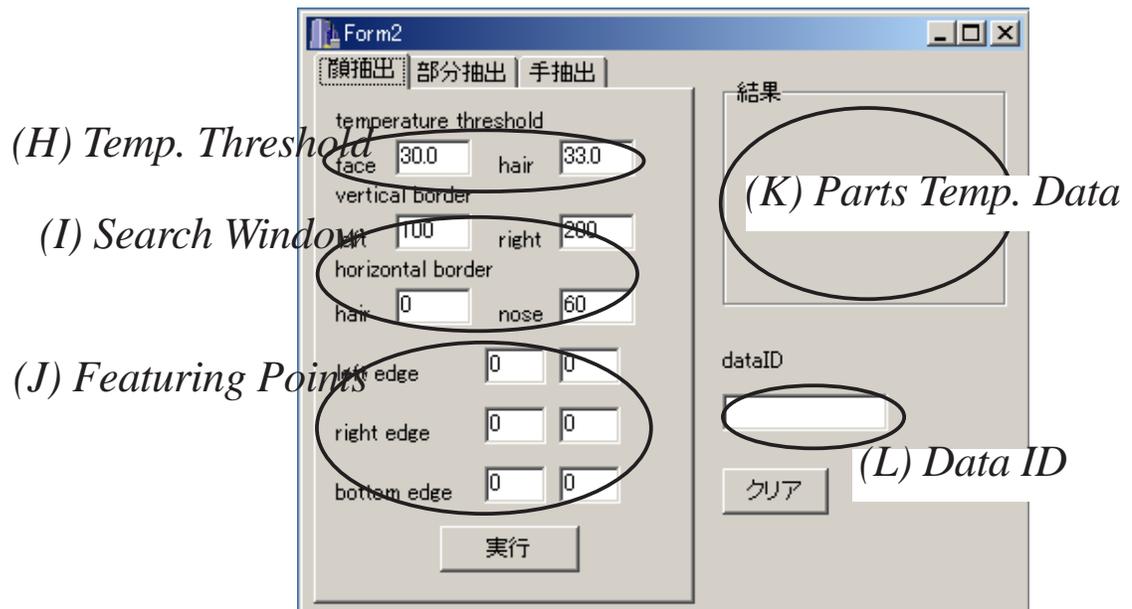


Fig.4.3: Thermal image processing program.

熱画像表示機能

- (A) テキスト温度データから作成したビットマップファイル (熱画像) を表示する .
- (B) 開いているテキストファイルの名前 .
- (C) テキスト温度データからビットマップファイルを作成する .
- (D) 作成するビットマップファイルの色調 , 温度幅 , 表示限界温度を設定する .
- (E) 平均値フィルタによる平滑化処理で , ノイズを除去する .
- (F) 熱画像上でクリックした位置の座標を返す .
- (G) 熱画像上でクリックした位置の温度データを返す .

データ抽出機能

- (H) 環境と対象との温度境界値を設定する .
- (I) データ抽出の際の補助的な値を設定する .
- (J) 抽出対象の境界線を計算するための特徴点を与える .
- (K) 抽出した範囲の平均温度 , 分散値等を表示する .
- (L) 抽出結果を温度分布ファイルに保存する際 , 温度分布データに ID を与える .

次に , 熱画像データ (テキストデータ) の処理方法について , 詳しく説明していく .

4.1.2 ノイズ除去

Fig. 4.4 は , フィルタ処理を行う前後の温度分布である . グラフは横軸が温度 , 縦軸が温度に対応した画素の数を表している . 図中の (a) がフィルタ処理を行う前 (b) がフィルタ処理を行った後を示している .

(a) のグラフに見られるように , フィルタ処理を行う前には , 温度に対応する画素のばらつきが大きかった . このようなデータのばらつきは , 温度データを何回か量子化した際の丸め誤差によって生じたと考えられる . そこでグラフ左に示すような , 注目画素近傍領域内の画素の温度を足し合わせるといふ処理を施した . 加算したものの平均値をとることで , 赤外線検出部からのデータを A/D 変換した際にばらついたデータの平滑化を行っている . また , 注目画素に少し重みをつけて計算することで , エッジの鈍化を抑えた [24] .

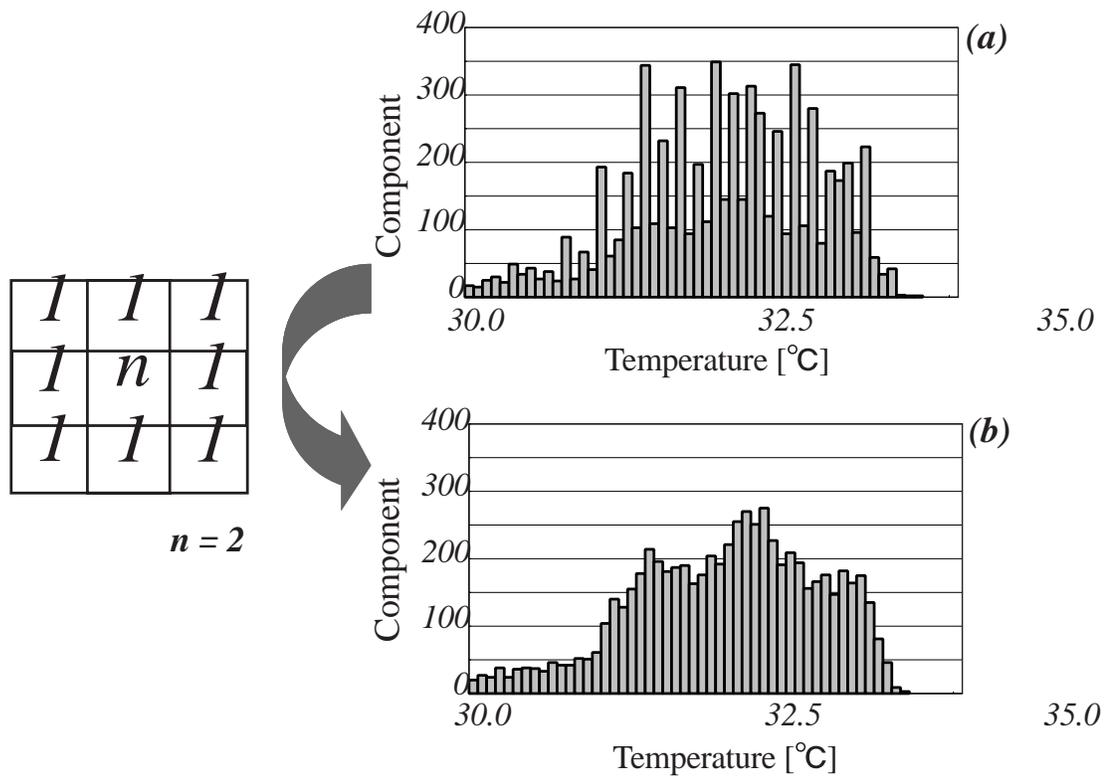


Fig.4.4: Temperature Distribution after filtering.

注目画素 (i,j) の温度を $T_{i,j}$ で表すと、フィルタ処理後の温度 $T'_{i,j}$ は式 (4.1) で与えられる。

$$T'_{i,j} = \frac{\sum_{k,l \in S} T_{k,l} + T_{i,j}(n-1)}{n+8} \quad (4.1)$$

ただし

S : 近傍領域 (注目画素を中心に 3×3 の領域)

n : 重み定数 (=2)

とする。

近傍領域は 3×3 と狭くとり、例えば環境温度が対象温度に影響を与えないようにした。フィルタ処理によって、データのばらつきが改善されたことが Fig. 4.4(B) よりわかる。

Fig. 4.5 にはフィルタ処理後の熱画像を示す。画像は多少鈍っているが、温度境界線ははっきりしており、今後の抽出処理に問題を生じることはないと思われる。

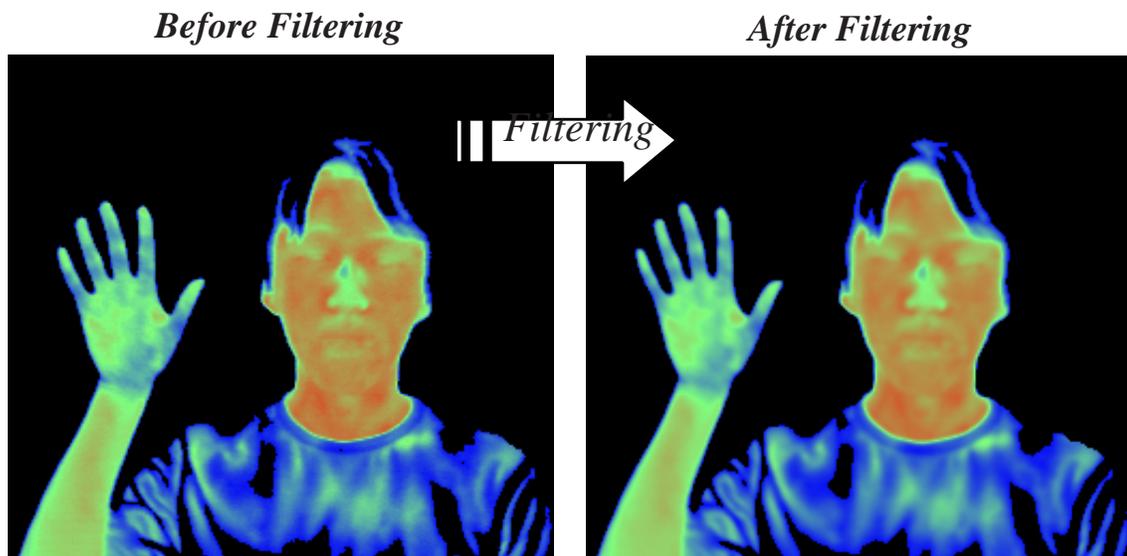


Fig.4.5: Thermal image after filtering.

4.1.3 顔輪郭，顔パーツ，手掌，手指先の抽出

熱画像中から対象の温度データだけを処理するためには顔，手領域を環境から抜き取る必要がある．また温度分布を調べるためには領域を分割して計算を行う必要がある．そこで顔，顔パーツ，手掌，手指先の領域を以下のように定め，領域データの抽出を行っている．

以下にそれぞれの領域の抽出方法を説明する．

顔領域

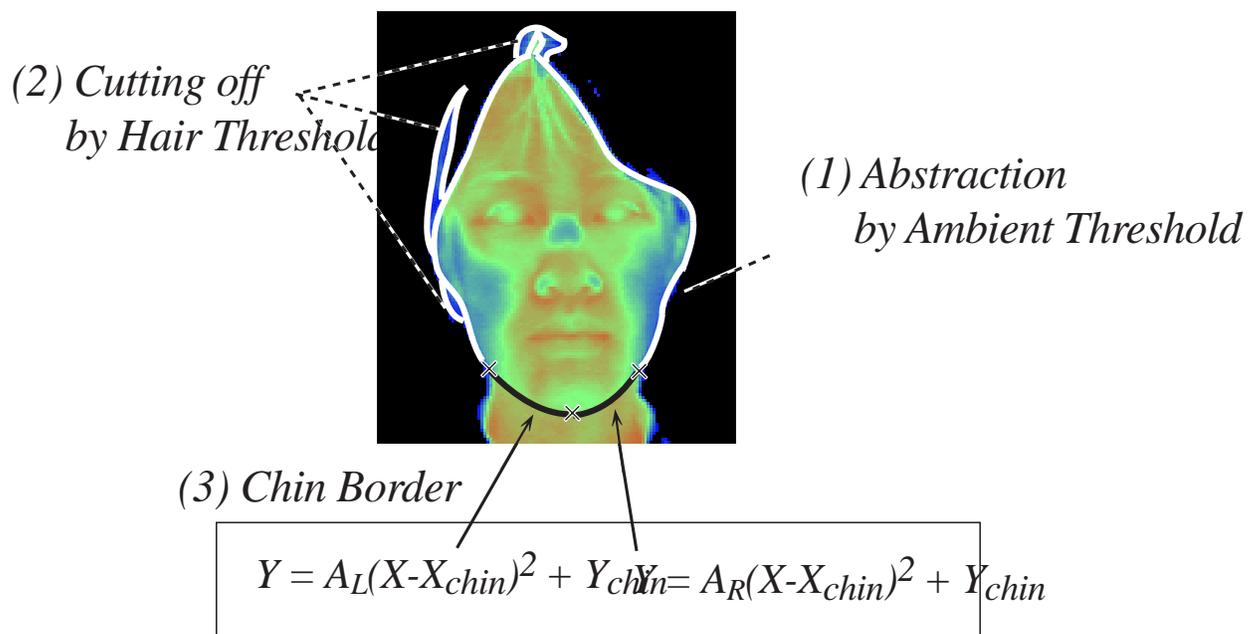


Fig.4.6: Face abstraction from thermal image.

Fig. 4.6 に顔領域抽出の様子を示した．まず，顔と手の境界線に Y 軸と平行な直線を指定して顔領域探索範囲を設定する．顔領域抽出のためには，以下の 3 つの作業が必要となる．

1. 環境からの抽出

顔領域全体を環境から環境閾値温度により抽出する．その際環境閾値は 25.0 ~ 30.0 で設定する．

2. 頭髪領域の除去

頭髪領域は頭髪閾値温度によって切り捨てる．頭髪閾値は 28.0 ~ 30.0 で設定する．

データ走査は左上から右下へ行う． (i,j) が注目画素の座標で，その座標の温度を $T_{i,j}$ で表す．

まずはじめに注目画素の温度が環境閾値 (T_a) より高いか調べる．高ければ環境ではない．次に高い場合は探索箇所が頭部 (S_h) でないか，頭部であれば頭髪閾値 (T_h) よりも低いか調べる． T_h よりも低ければその位置は頭髪であるし．高ければ顔としてカウントする．

また，もし注目座標の温度が環境閾値より低くても，特に鼻や口部は温度が低いことがあるので，顔領域に含まれる可能性がある．そこで，鼻の存在箇所は顔の中心部にあるとして鼻存在位置を絞込み (S_n)，注目画素がこの S_n に含まれる場合は環境閾値より低くても顔領域と認識するようにした．

顔パーツ領域抽出

皮膚表面温度は温度，湿度，風といった環境条件とともに，皮膚に供給される血液の温度と量に左右される (A 章)．そこで Fig. A.4 を参考に，その皮膚下に主な血管や筋肉を含むようにして，顔領域を眉間 (Forehead)，眼窩周辺 (Eye)，鼻中央 (Nose center)，鼻サイド (Nose side)，頬骨周辺 (Zygoma)，口 (Mouth)，頬筋周辺 (Cheek)，顎 (Chin) の 8 つのパーツにわけた．

顔パーツの分割は 11 個の特徴点を与えることによって自動的に行う．Fig. 4.8 が特徴点からの顔パーツ抽出例である．眼窩周辺，鼻サイド，頬骨周辺，頬筋周辺については，左右の領域をあわせたものを，1 つのパーツ領域としている．

(A) が特徴点の与え方，(B) がそのときの顔パーツ抽出結果を表している．(A) 中に示したそれぞれの特徴点の決め方は以下のようにになっている．

- a1, a2
左眉の右端，右眉の左端付近の点
- b1, b2, b3, b4
左目，右目の左右の端点 (温度変化が著しい点)
- c1, c2
鼻の左下横，右下横の温度変化が著しい点
- d1, d2
口の左右の端点となる点
- e1
顎先の点

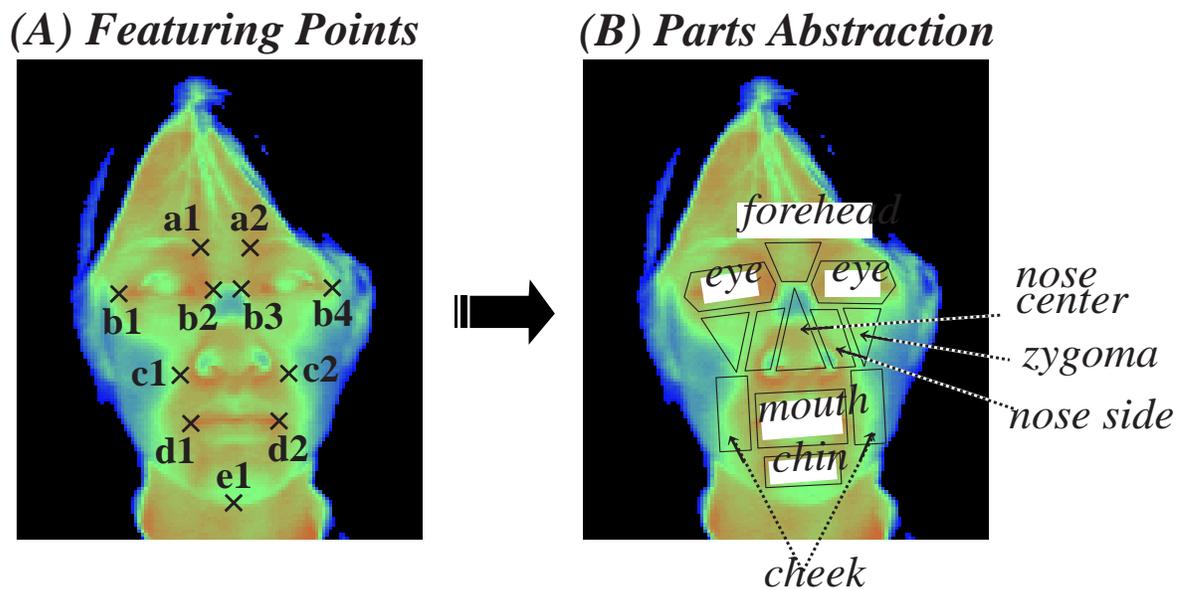


Fig.4.8: Face parts abstraction by featuring points.

また、それぞれの部位において以下の血管または筋肉を含むように定めた。

- 眉間
滑車上動脈 ... 眼動脈より起こり、頭皮前部に分布する。
- 眼窩周辺
鼻背動脈、眼輪筋 ... 眼動脈より起こり、鼻背及びその周囲に分布する。
- 鼻中央
特になし。
- 鼻サイド
眼角動脈 ... 顔面動脈の終枝。鼻の側面の筋肉および皮膚に分布する。
- 頬骨周辺
眼窩下動脈 ... 顎動脈第三部より起こり、下眼瞼に分布する。
- 口
上唇動脈、下唇動脈 ... 顔面動脈より分岐し、上唇、下唇周辺に分布する。

- 頬筋周辺

顔面動脈，頬筋 ... 下唇動脈，上唇動脈，眼角動脈等に分岐する．口角外側で皮膚表面に分布する．

- 顎

オトガイ動脈 ... 下歯槽動脈より起こり，オトガイ部に分布する．

ここで鼻中央については特になしと記したが，この部位については自律神経の刺激に対してオンオフ的に血流量が変化するAVA(動静脈吻合)血管が多く分布しているとされている．

次に，具体的にパーツ抽出の方法を Fig. 4.8(B) を例にとって説明する．便利上各領域抽出の際に求められる点を Fig. 4.9 のように呼ぶことにする．

Fig. 4.9 は，点線で囲まれた部分が顔パーツで，眉間 = F，眼窩周辺 = E，鼻中央 = N，鼻サイド = S，頬骨周辺 = Z，口 = M，頬筋周辺 = C，顎 = J に対応する．×印が抽出の際に指定した特徴点，印が自動的に計算される点である．

顔左半分の各顔パーツの点には，左上(もしくは上)から半時計回りに番号を振り，例えば眉間の左上の点であれば点 F1，顎の右下の点であれば点 J3 と呼ぶことにする．同様に顔領域右半分は，右上点(もしくは上)から時計回りに番号を振る．ただし，顎先に指定した特徴点は点 J5 とする．抽出の仕方は左右対称なので，左半分の顔パーツを例にとって説明する．特徴点として既に与えられている点は，点 F1，F4，E2，E5，E2'，E5'，S2，S2'，M2，M5，J5 である．また座標系は左上を原点としており，X 軸は右方向，Y 軸は下方向が正となる．

1. 眉間

点 F2 は点 E5 を (+1,-1) だけ平行移動した点とし，点 F3 は点 E5' を (-1,-1) だけ平行移動した点とする．領域は点 F1 ~ F4 を頂点とする四角形内部．

2. 鼻中央

点 N1 は点 E5，点 E5' の中点．点 N2 は点 S2 と点 S2' を 1:2 に内分する点，点 N3 は点 S2 と点 S2' を 2:1 に内分する点とする．領域は点 N1 ~ N3 を頂点とする三角形内部．(Fig. 4.10 参照．)

3. 眼窩周辺

点 E5 と点 F1 の Y 座標の差を H_{eye} とする．直線 E5-E6 は直線 F1-F2 に平行で，かつ点 E6 の Y 座標は点 E5 の Y 座標より $\frac{1}{2}H_{eye}$ だけ上方にある．

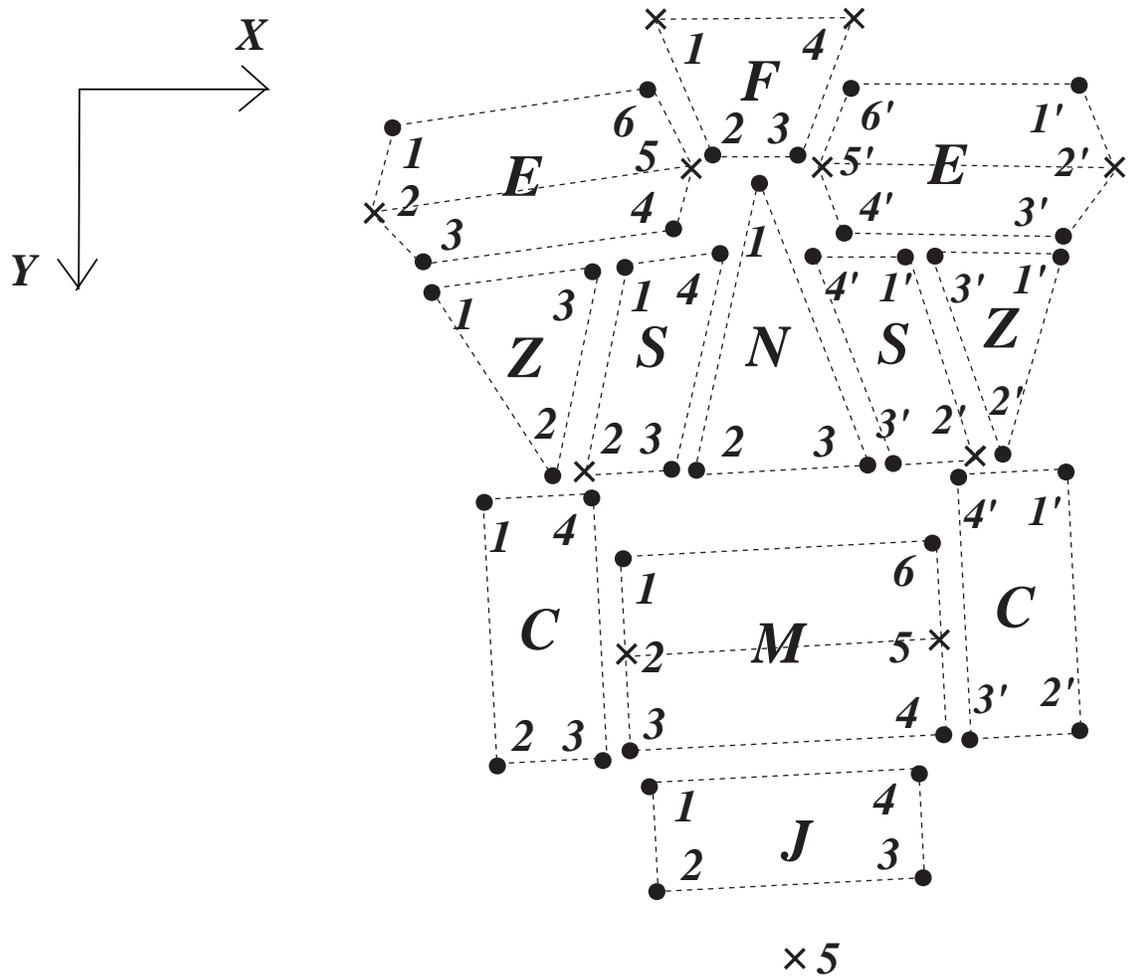


Fig.4.9: Face parts abstraction by featuring points (2).

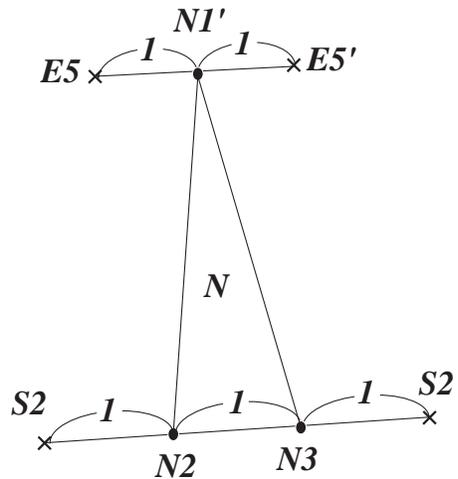


Fig.4.10: Nose center abstraction.

これを用いて点 E6 が決定される。直線 E1-E6 は直線 E2-E5 に平行で、直線 E1-E2 と直線 E2-E5、直線 E5-E6 と直線 E2-E5 のなす角が同じになるように直線 E1-E2 を求める。直線 E1-E2 と直線 E1-E6 の交点が点 E1 である。

直線 E4-E5 は直線 N1-N2 と平行で、かつ点 E4 の Y 座標は点 E5 の Y 座標より $\frac{1}{3}H_{eye}$ だけ下方にある。これを用いて点 E4 が決定される。

最後に、直線 E3-E4 は直線 E2-E5 に平行で、直線 E2-E3 と直線 E2-E5、直線 E4-E5 と直線 E2-E5 のなす角が同じになるように直線 E2-E3 を求める。直線 E2-E3 と直線 E3-E4 の交点が点 E3 である。

点 E1 ~ E6 を頂点とする六角形内部が眼窩周辺領域 (Fig. 4.11 参照)。

4. 鼻サイド

点 E3 と点 E4 を 2:1 に内分する点を点 E7 とする。点 E7 から (0,+2) だけ平行移動した点が点 S1。

また、直線 S1-S4 は直線 E3-E4 に平行で、直線 S1-S4 と直線 N1-N2 の交点の X 座標より 2 だけ小さい X 座標を持つ S1-S4 上の点を S4 とする。点 S3 は点 N2 を (-2,0) だけ平行移動した点である。領域は点 S1 ~ S4 を頂点とする四角形内部 (Fig. 4.11 参照)。

5. 頬骨周辺

点 Z1 は点 E3 を (+2,+2) だけ平行移動した点、点 Z2 は点 S2 を (-2,0) だけ平行移動した点、点 Z3 は点 S1 を (-2,0) だけ平行移動した点である。領域は点 Z1 ~ Z3 を頂

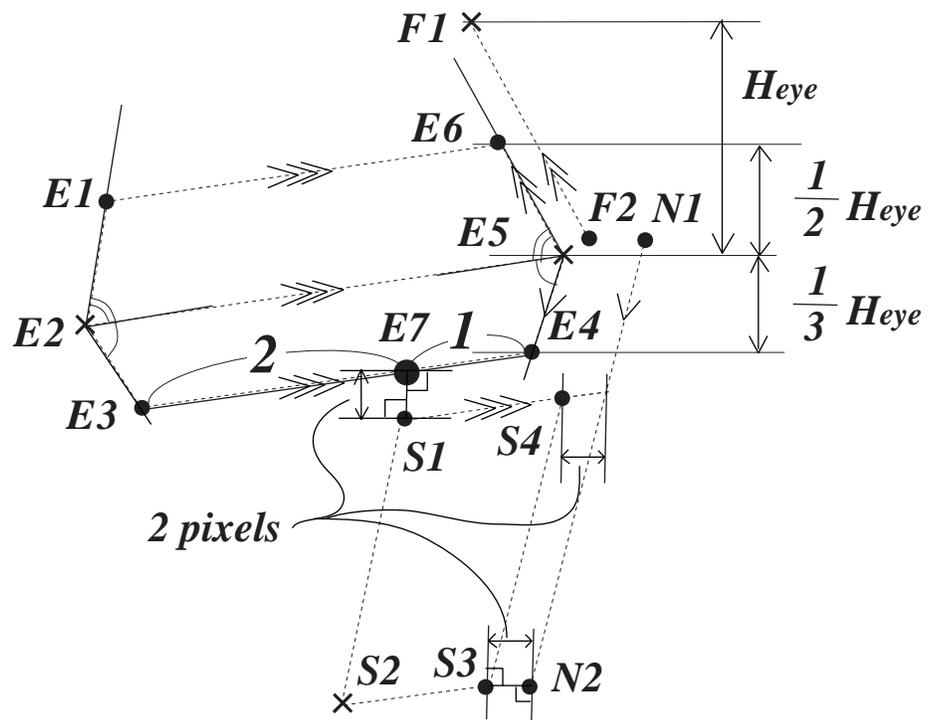


Fig.4.11: Eye and nose side abstraction.

点とする三角形内部。

6. 口

H_{mouth} は点 N2 と点 M2 の Y 座標の差，及び点 N3 と点 M5 の Y 座標の差を平均したものをとする。

また，点 M2 を $(0, -\frac{1}{3}H_{mouth})$ だけ平行移動した点と，点 M5 を $(0, -\frac{1}{3}H_{mouth})$ だけ平行移動した点を結んだ直線を直線 M1-M6 とする。同様に，点 M2 を $(0, +\frac{1}{3}H_{mouth})$ だけ平行移動した点と，点 M5 を $(0, +\frac{1}{3}H_{mouth})$ だけ平行移動した点を結んだ直線を直線 M3-M4 とする。

また，点 M2 を通り直線 M2-M5 に垂直な直線を直線 M1-M3，点 M5 を通り直線 M2-M5 に垂直な直線を直線 M4-M6 とする。

点 M1 は直線 M1-M3 と直線 M1-M6，点 M3 は直線 M1-M3 と直線 M3-M4，点 M4 は直線 M3-M4 と直線 M4-M6，点 M6 は直線 M4-M6 と直線 M1-M6 の交点。

点 M1，M3，M4，M6 を頂点とする長方形内部が求める領域 (Fig. 4.12 参照)。

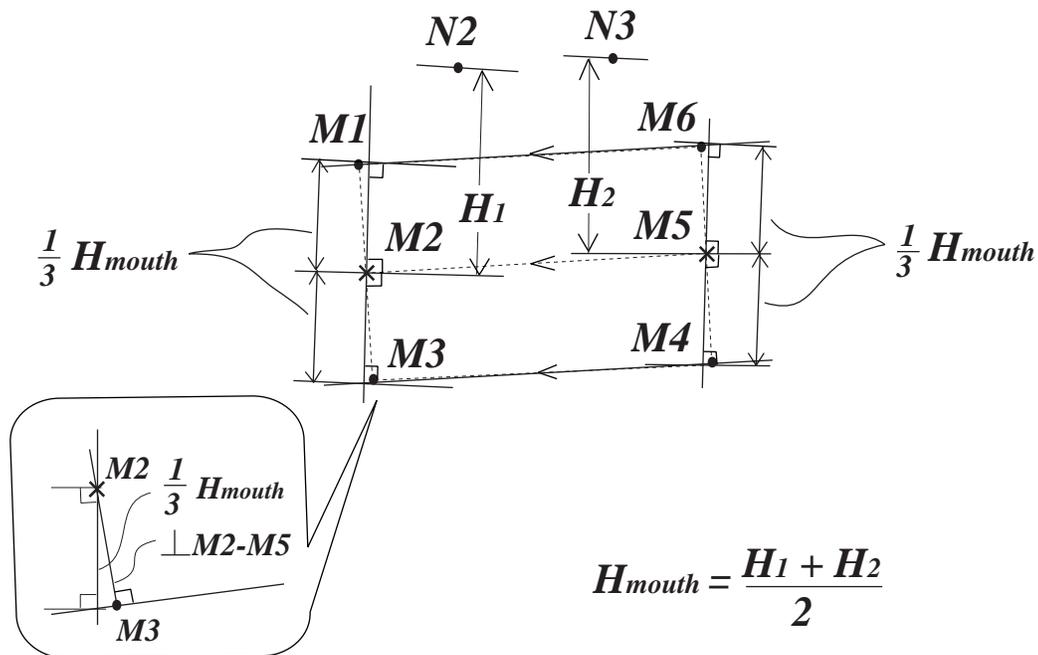


Fig.4.12: Mouth abstraction.

7. 頬筋周辺

点 C4 は (点 M2 の X 座標-2，点 N2 の Y 座標+2) で与える。直線 C3-C4 は直線 M1-

M3 に平行で，点 C3 は点 M3 の Y 座標と同じ Y 座標を持つ．また直線 C2-C3 は直線 C3-C4 に垂直で，点 C2 の x 座標は点 C3 の x 座標より $\frac{1}{2}H_{mouth}$ だけ左方にある．これより点 C2 は計算できる．

直線 C1-C2 は直線 C3-C4 に，直線 C1-C4 は直線 C2-C3 にそれぞれ平行であり，直線 C1-C2 と直線 C1-C4 の交点が点 C1 である．

点 C1 ~ 点 C4 を頂点とする長方形内部が求める領域 (Fig. 4.13 参照) ．

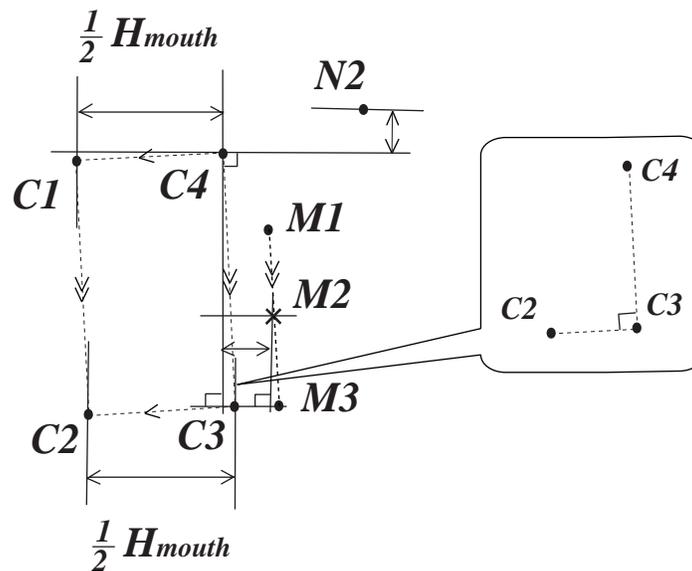


Fig.4.13: Cheek abstraction.

8. 顎

点 J1 は点 M3 を (0,+2) だけ平行移動した点，点 J4 は点 M4 を (0,+2) だけ平行移動した点である．

ここで H_{chin} を点 M3 と点 J5 の y 座標の差と，点 M4 と点 J5 の y 座標の差の平均値とする．直線 J1-J2，直線 J3-J4 はともに直線 J1-J4 に垂直で，点 J2 の Y 座標は点 J1 の Y 座標より $\frac{1}{2}H_{chin}$ だけ下方，点 J3 の Y 座標は点 J4 の Y 座標より $\frac{1}{2}H_{chin}$ だけ下方とすると，点 J2，点 J3 を決定することができる．

点 J1 ~ 点 J4 を頂点とする長方形内部が求める領域 (Fig. 4.14 参照) ．

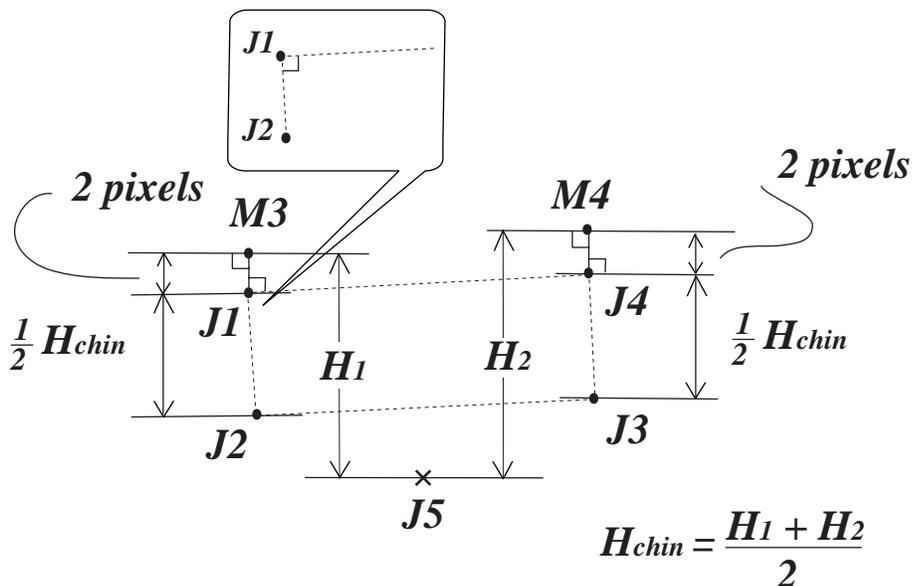


Fig.4.14: Chin abstraction.

掌領域と指先領域抽出

掌領域と指先領域の抽出の様子を Fig. 4.15 に示す。

掌領域抽出についても顔領域の抽出と同様に、まず手と顔の境界を Y 軸と平行な直線で設定して、手探索領域を絞り込む。掌領域、指先領域抽出に必要な処理を以下にまとめる。

1. 環境からの抽出

手領域は環境閾値温度を設定することにより抽出する。環境閾値温度は 25.0 ~ 30.0 で設定する。ただし手領域は指温度が著しく低い場合があり、室温にほぼ近い場合には抽出がうまく行えない場合もあった。

2. 掌領域と手首の切り離し

掌領域と手首の切り離しは境界線を設定することによって行った。境界線は一次直線で近似し、2 点を指定して境界となる直線を決定している。

3. 指先領域の切り離し

ここでは指先領域とは指の第一関節より先端部分を指す。指先領域の切り離しも掌領域の抽出と同様に一次直線の境界線を設定することで行う。

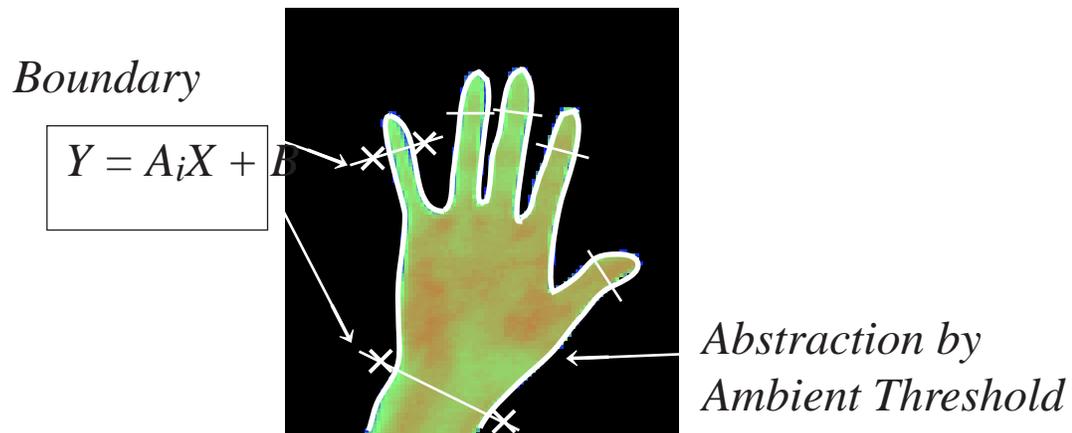


Fig.4.15: Hand and Finger abstraction from thermal image.

また手指先領域については、5本の指先全てをあわせた領域を一つの領域として扱うことにする。

次に、抽出して得られた温度分布データから温度分布状態を解析する方法について説明する。

4.2 温度分布解析

4.2.1 温度分布解析プログラム

温度分布を解析するために作成したプログラムを Fig. 4.16 に示した。

温度分布解析のための機能は以下のようになっている。

温度分布解析機能

- (A)(B) 解析対象となる温度データ ID。
- (C) 解析対象となる部分 (顔, 顔パーツ, 手) の選択。
- (D) 対象領域の平均値, 分散, 歪度, 領域内総画素数を表示する。
- (E) 対象領域の最大温度を表示する。
- (F) 対象領域の平均温度を表示する。
- (G) 対象領域の高温分布率を計算する。

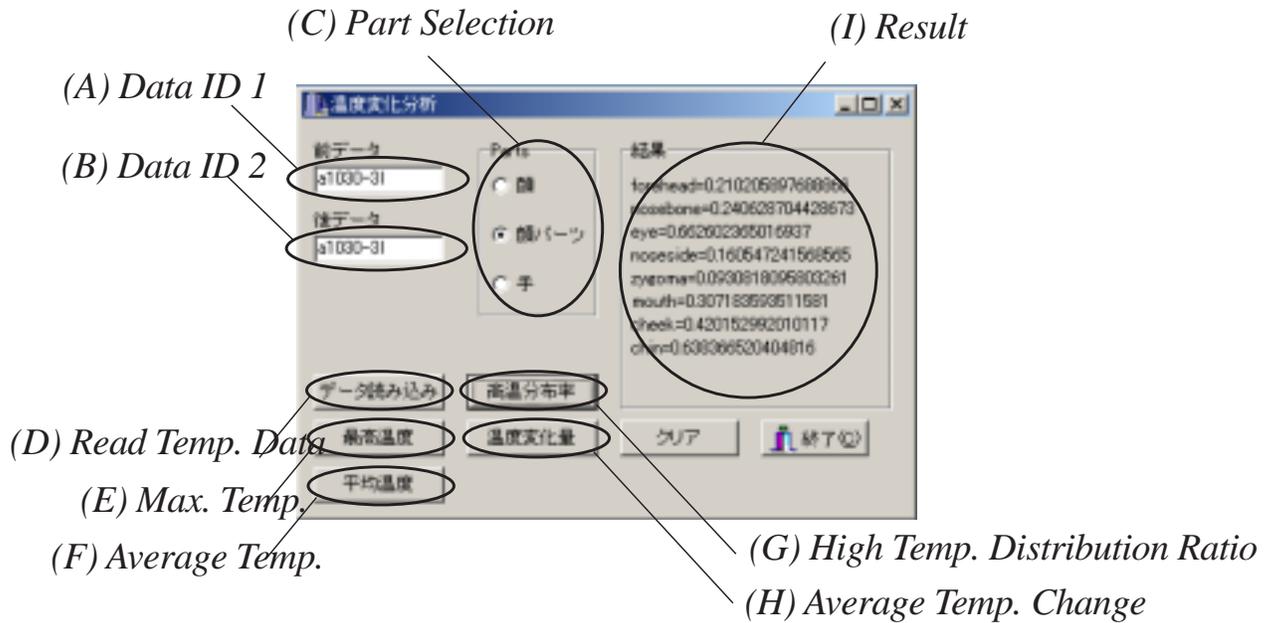


Fig.4.16: Temp. distribution analysis program.

(H) 対象領域間の平均温度変化を計算する。

(I) 結果を表示する。

4.2.2 高温分布率

高温部，もしくは温度上昇部を検出することにより，行動に伴って血流量が増加した部位や代謝によって血流温度が上昇している部位を特定することができるのではないかと考えた．そこで顔面の特に高温である部位を特定するために，顔全体の平均温度以上の温度をもつ画素に注目して，高温モーメントを式 (4.3) で表した．

$$\mu_j = \frac{\sum_{i \in S_j} (T_i - \lambda_{face})^2}{n_j} \quad (4.3)$$

ここで，

μ_j ：領域 j における高温モーメント

T_i ：注目画素 i の温度

λ_{face} ：顔領域全体の平均温度

S_j ：領域 j に含まれる画素のうち λ_{face} 以上の温度を持つ画素の集合

n_j ：集合 S_j に含まれる画素数

更に，高温モーメント μ_j を用いて高温分布率を式 (4.4) で定義する．

$$\rho_j = \frac{\mu_j}{\mu_{face}} \quad (4.4)$$

高温モーメント μ_j は，顔パーツ領域の抽出の際に含んでしまう対象顔パーツ領域以外の低温部を無視し，平均温度より特に温度が高い部分を強調する意味を持つ．また顔全体の平均値と比較しているので環境による温度反射の影響等を相殺することができる．

更に各顔パーツの高温モーメントを顔全体の高温モーメントで割ることで高温分布率 ρ_j は高温モーメントが持つ個人差を減らすという意味を持っている．

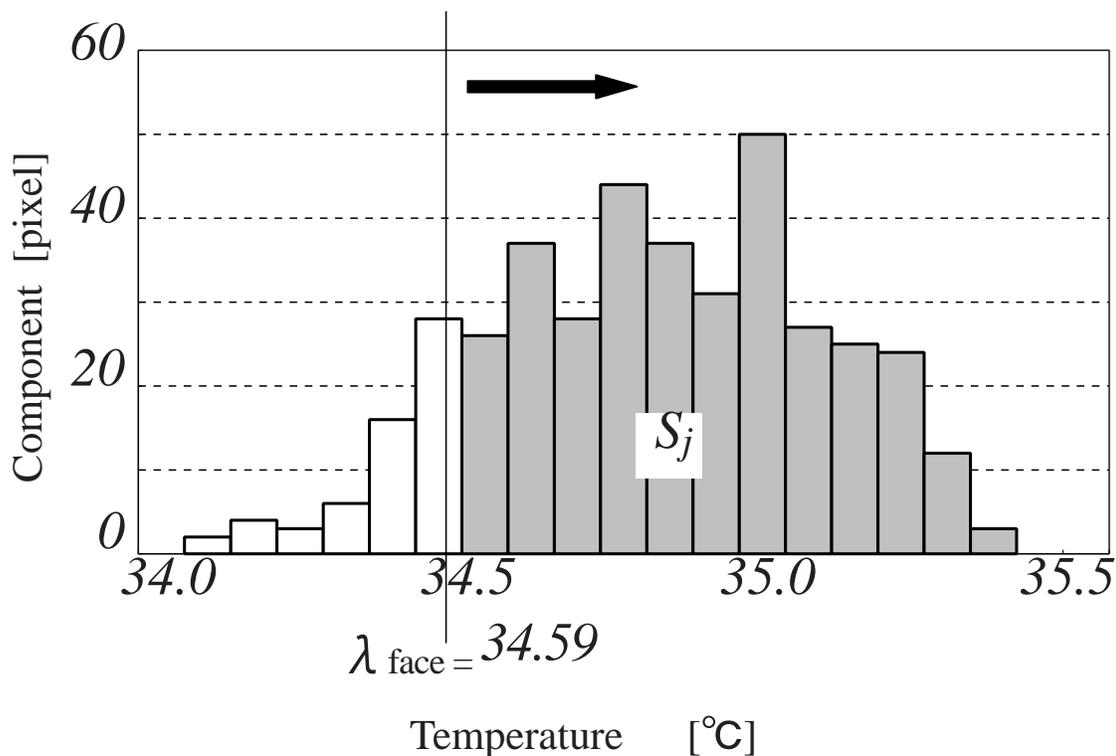


Fig.4.17: Example of high temperature moment.

Fig. 4.17 は眼窩周辺の温度分布グラフである．縦軸に眼窩周辺においてある温度を持った画素の数，横軸に温度をとった．色をつけた部分が顔領域の平均温度以上の画素の集合で式 (4.3) の S_j をあらわす．

矢印方向に温度が高くなるに従って、二乗による重み付けが加わる。つまり高温分布率が高いほど、平均温度よりも特に高い温度画素をより多く含んでいるということになる。

また、高温分布率が低いということは、対象領域に平均温度より高温である画素があまり含まれていないということを意味するが、先にも述べたとおり高温分布率は低温部を無視して計算しているため、平均値温度以下の情報を含まない。

そこで低温部を考慮に入れた解析には単純にその領域内における平均温度を用いることにする。

第5章

解析結果

頭脳労働，食事，自律神経の刺激（ストレス，運動）のそれぞれの行動について，行動の前後における平均温度変化，高温分布率について結果をまとめる．また，高温分布率の結果から，それが行動に特徴的なものであるか検討し，行動判断において有効であるか考察を行う．

5.1 頭脳労働

平均温度変化

頭脳労働の前後で平均温度を比較した結果を Table 5.1 に示す．

ここで，A=顔全体，F=眉間，E=眼窩周辺，N=鼻中央，S=鼻サイド，Z=頬骨周辺，M=口，C=頬筋周辺，J=顎，H=手掌，I=手指先を指している．記号については以下この記述に従う．また，変化量が0.05 未満の場合は変化なしとした．

Table 5.1: Results of average temperature change after test.

	Face									Hand	
	A	F	E	N	S	Z	M	C	J	H	I
↗ Rise	7	8	5	7	8	7	7	8	7	7	7
→ Constant	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
↘ Fall	0	0	3	0	0	0	1	0	1	1	1

(Total 8 samples.)

Table 5.1によると、頭脳労働を行った後は顔、掌ともに全体的な温度上昇が認められ、眼窩周辺以外のパーツにおいては8人中7人以上の温度上昇が確認された。

高温分布率

テスト前後の顔パーツ毎の高温分布率を Fig. 5.1 に示す。

図中のグラフは横軸がパーツ、縦軸が高温分布率である。グラフ中にプロットされた各マークは被験者を表す。(A)のグラフがテスト前、(B)のグラフがテスト後の高温分布率を表している。

Fig. 5.1の(B)のグラフ中、点線で囲んである部分に注目すると、眉間と鼻中央の高温分布率は、テスト前より大きい値を示していることがわかる。このことは頭脳労働により、眉間と鼻中央の温度が顕著に高くなったことを意味する。そこで眉間の高温分布率と、鼻中央の高温分布率に関して Table 5.2 にテスト直後の結果をまとめ、それをグラフ化したものを Fig. 5.2 に示す。ただし $H_f = 1.5$ 、 $H_n = 1.0$ とした。

Table 5.2: Result of forehead and nose center after test.

	Test		All	
	F	N	F	N
$\rho_i \geq H_i$	4	3	29	6
$\rho_i < H_i$	4	5	93	116

(TEST:Total 8 samples. ALL:Total 122 samples.)

Fig. 5.2 中央のグラフは、全ての熱画像(122 データ)における眉間と鼻中央それぞれの $\rho_i \geq H_i$ を満たすデータの割合を表している。また、(A)のグラフが $\rho_f \geq H_f$ を満たすデータのうち、テスト後に $\rho_f \geq H_f$ を満たしていたデータの割合、(B)についても同様で、こちらは鼻中央の結果である。

これによると眉間の高温分布率に関しては、テスト後以外で大きくなっていることの方が多く、眉間の高温分布率増大が頭脳労働に特徴的であるとはいえない。鼻中央の高温分布率に関しては、大きくなっている場合の半数がテスト後のデータであり、頭脳労働の特徴として否定はできないものの、やはり鼻中央高温分布率から頭脳労働を判断するのは難しい。

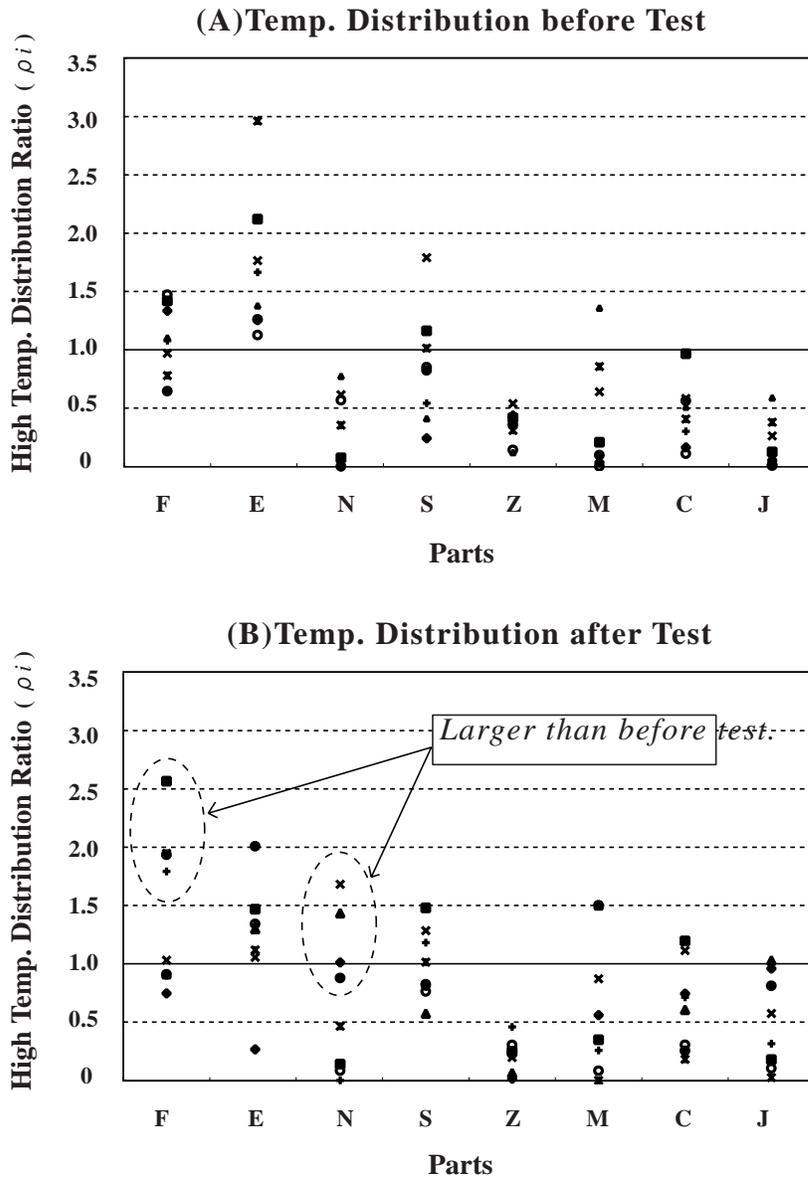


Fig.5.1: High temp. distribution after test.

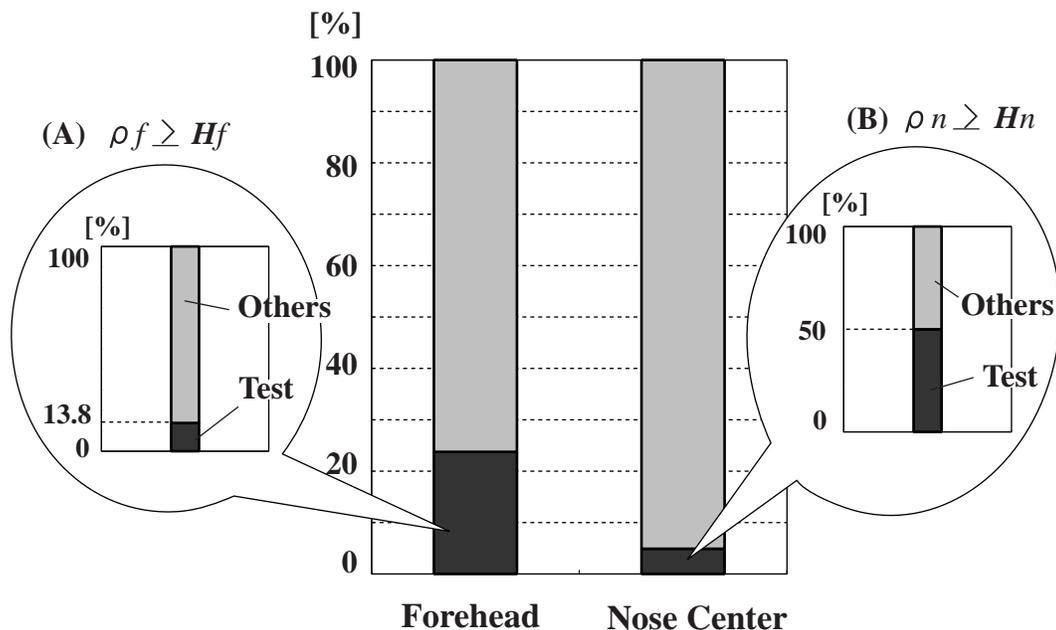


Fig.5.2: High temp. distribution result after test.

5.2 食事

平均温度変化

食事の前後で平均温度を比較した結果を Table 5.3 に示す。

食事直後については、鼻中央の温度低下が 11 データ中 6 データに見られた。それ以外の顔パーツ、掌、手指先については 11 データ中 7 データ以上において温度上昇が確認され、全体的に平均温度は上昇する傾向にあった。

次に、食後更に 15 分経過後の平均温度を食事直後の平均温度と比較した結果を Table 5.4 に示す。

Table 5.4 によると、顔全体、口、頬筋周辺、顎においては、11 人中 7 人以上で温度低下が見られ、特に口、顎に関しては 10 人以上が低下していた。また鼻中央、鼻サイドの温度については、11 人中 8 人以上が上昇しており、これらは、食事直後の温度変化が一時的なものであったことを示す。

Table 5.3: Result of average temperature change after lunch.

	Face									Hand	
	A	F	E	N	S	Z	M	C	J	H	I
↗ Rise	10	9	10	5	7	10	9	11	11	9	7
→ Constant	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1
↘ Fall	0	1	0	6	3	1	2	0	0	1	3

(Total 11 samples.)

Table 5.4: Result of average temperature change at 15 min. after lunch.

	Face									Hand	
	A	F	E	N	S	Z	M	C	J	H	I
↗ Rise	2	6	3	9	8	6	2	1	0	4	5
→ Constant	2	1	4	0	1	0	2	0	0	1	1
↘ Fall	7	4	4	2	2	5	7	10	11	6	5

(Total 11 samples.)

また，食後 15 分経過後の平均温度を食前のそれと比べると Table 5.5 のようになる．

Table 5.5: Result of average temperature change at 15 min. after lunch (2).

	Face									Hand	
	A	F	E	N	S	Z	M	C	J	H	I
↗ Rise	8	9	8	7	9	7	6	7	9	5	6
→ Constant	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0
↘ Fall	2	2	2	4	2	3	4	3	2	5	5

(Total 11 samples.)

食事後 15 分経過したときの平均温度は食前に比べるとすべての顔パーツにおいて 6 人以上の上昇の傾向が見られた．

以上のことから，食時をした直後は一時的に温度は上昇しており，食後は時間に伴って温度は再び下がり始める．しかし鼻周辺の温度に関しては食事が終わってから上昇する傾向にあるということがわかる．

高温分布率

食事前と食事後の高温分布率を Fig. 5.3 に示す．

グラフの書式については Fig. 5.1 と同じである．(A) のグラフが食事前，(B) のグラフが食事後の高温分布率を表している．

Fig. 5.3(B) 中，点線で囲んである部分に注目すると，頬筋周辺と顎の高温分布率が，食事前より大きい値を示していることがわかる．このことから食事によって頬筋周辺と顎の温度が顕著に高くなったと考えられる．そこで頬筋周辺，顎の高温分布率に関して Table 5.6 に食事直後の結果をまとめ，それをグラフ化したものを Fig. 5.4 に示す．ただし $H_c = 1.0$ ， $H_j = 1.0$ とした．

Fig. 5.4 中央のグラフは，全ての熱画像における頬筋周辺と顎それぞれの $\rho_i \geq H_i$ を満たすデータの割合を表している．また，(A) のグラフが $\rho_c \geq H_c$ を満たすデータのうち，食後に $\rho_c \geq H_c$ を満たしていたデータの割合，(B) についても同様で，こちらは顎の結果である．

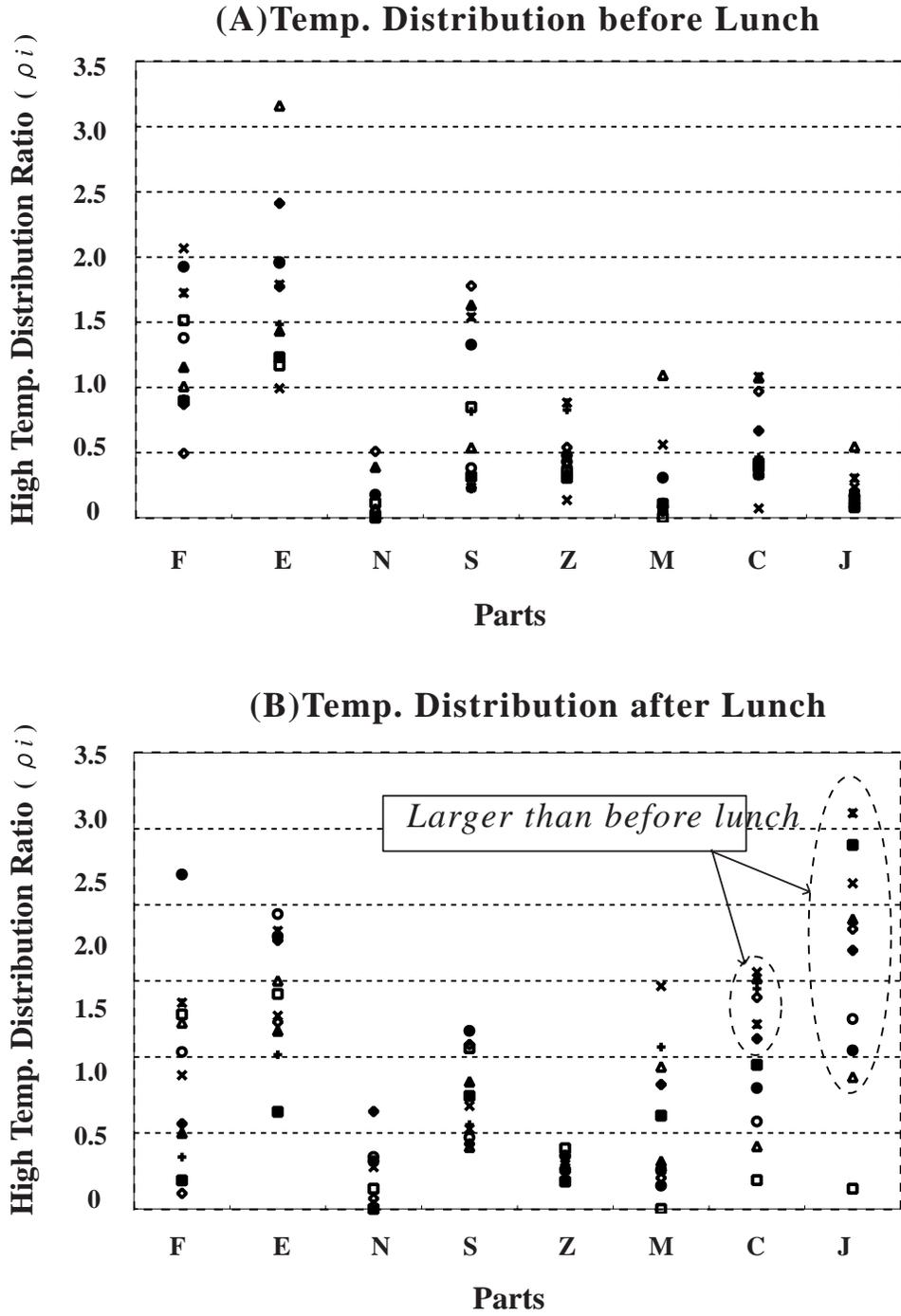


Fig.5.3: High temp. distribution after lunch.

Table 5.6: Lunch result of forehead and nose center.

	Lunch		All	
	C	J	C	J
$\rho_i \geq H_i$	5	9	27	12
$\rho_i < H_i$	6	2	95	110

(LUNCH:Total 11 samples. ALL:Total 122 samples.)

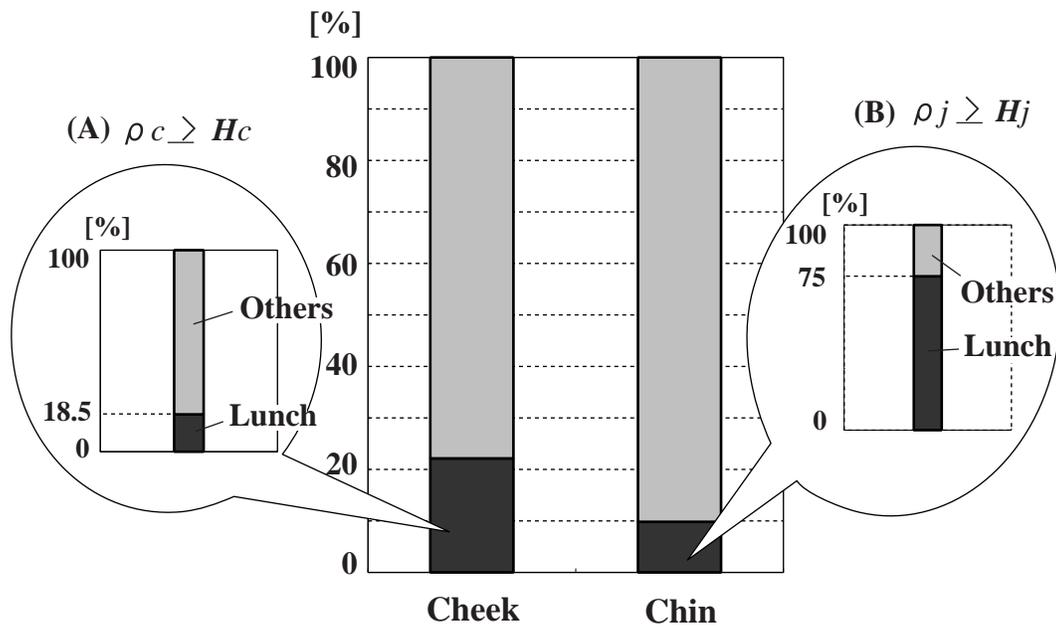


Fig.5.4: High temp. distribution result after lunch.

頬の高温分布率については、食事後に関わらずすべての測定結果において大きくなっていることの方が多く、食事後に特徴的な温度分布と考えることはできない。顎の高温分布率については、大きくなっていた場合の75%が食事後のものであり、食事後は顎部の高温分布率が增大していることに特徴付けられると言ってよい。

更に食後15分経過したときの高温分布率の様子を Fig. 5.5 に示した。

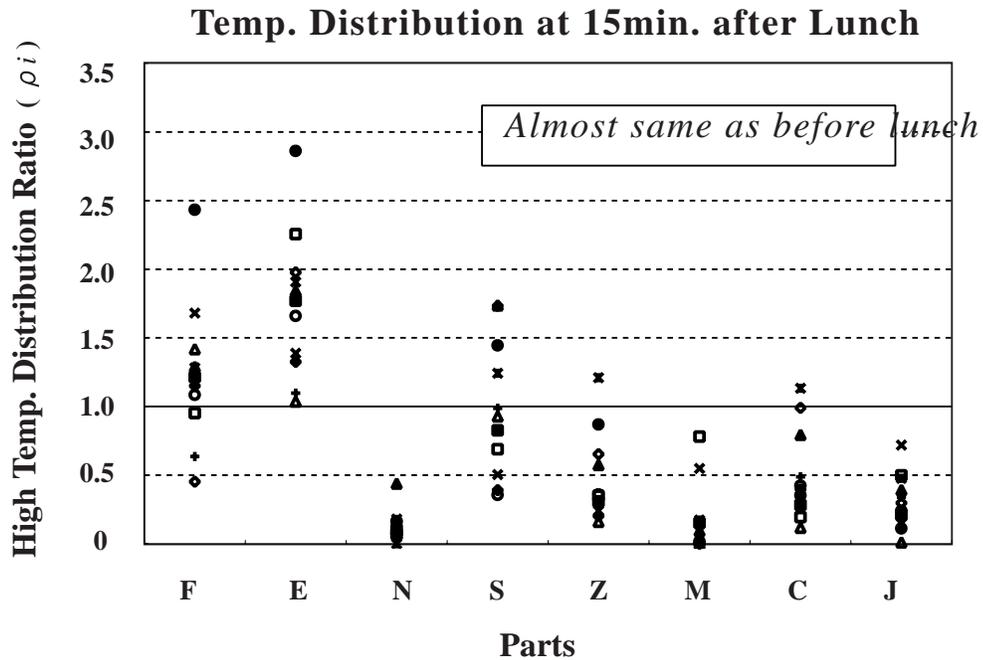


Fig.5.5: High temp. distribution at 15min. after lunch.

グラフの書式については Fig. 5.1 と同じである。

食後15分経過したときの高温分布率は食前のそれとほとんど変化はなかった。このことから食事による高温分布率の変化が一時的なものであるということがわかる。

5.3 自律神経の刺激

5.3.1 ストレスによる刺激

平均温度変化

ストレスを負荷する前後の平均温度を比較した結果を Table 5.7 に示す。

Table 5.7: Result of average temperature change after stress.

	Face									Hand	
	A	F	E	N	S	Z	M	C	J	H	I
↗ Rise	2	3	3	1	1	4	1	4	3	0	1
→ Constant	0	2	1	1	2	2	0	2	1	0	0
↘ Fall	4	1	2	4	3	0	5	0	2	6	5

(Total 6 samples.)

ストレスを負荷すると、鼻中央の温度低下が6 データ中4 データ、口と指の温度低下が6 データ中5 データ見られた。また、頬骨周辺と頬筋周辺の温度上昇がともに6 データ中4 データという結果であった。それ以外のパーツに関しては温度変化に特に傾向は見られなかった。

高温分布率

ストレス負荷前と、ストレス下における高温分布率を Fig. 5.6 に示す。

グラフの書式は Fig. 5.1 と同じである。(A) がストレス負荷前、(B) がストレス下における高温分布率を表している。

(B) 中、点線で囲んである部分に注目すると、鼻中央の高温分布率がほとんどすべてゼロになっていることがわかる。また口の高温分布率に関してもどの被験者においても極めて小さい。そこで、鼻中央、口の高温分布率に関して Table 5.8 にストレス負荷後の結果をまとめそれをグラフ化したものを Fig. 5.7 に示す。ただし $L_n = 0.0$, $L_m = 0.3$ とした。

Fig. 5.7 中央のグラフは、全ての熱画像における鼻中央と口それぞれの $\rho_i \leq L_i$ を満たすデータの割合を表している。また、(A) のグラフが $\rho_n \leq L_n$ を満たすデータのうち、ストレス負荷後に $\rho_n \leq L_n$ を満たしていたデータの割合、(B) についても同様で、こちらは

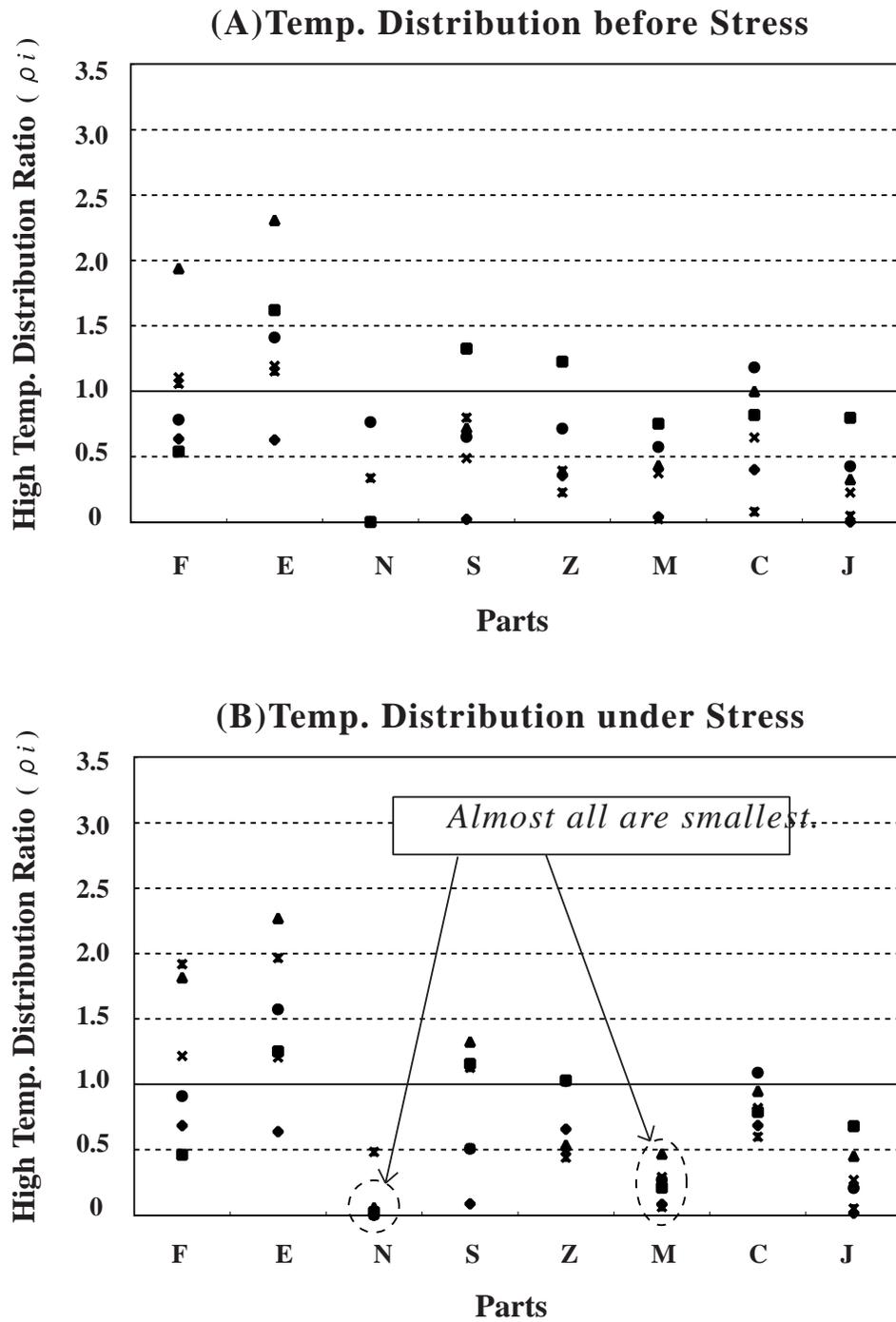


Fig.5.6: High temp. distribution under stress.

Table 5.8: Result of nose center and mouth under stress.

	Stress		All	
	N	M	N	M
$\rho_i \leq L_i$	3	5	42	80
$\rho_i > L_i$	3	1	80	42

(STRESS:Total 6 samples. ALL:Total 122 samples.)

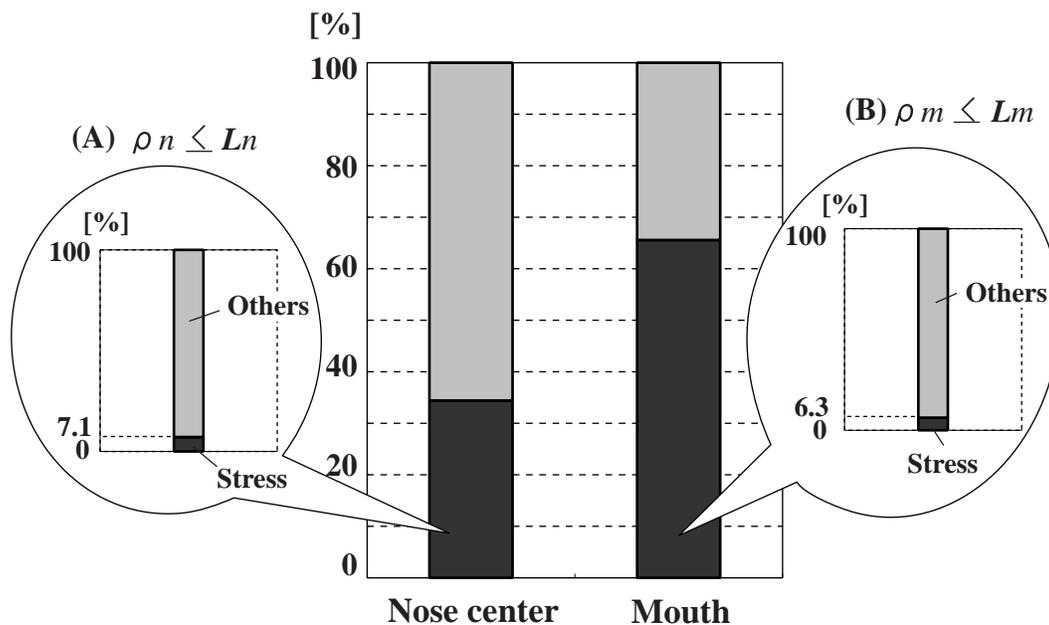


Fig.5.7: High temp. distribution result under stress.

口の結果である。

鼻中央，口の高温分布率については，全データ中でも $\rho_i \leq L_i$ である場合が多く，よって鼻中央と口の高温分布率が小さいことがストレスにおける特徴とはいえない。

5.3.2 運動による刺激

平均温度変化

足の屈伸運動の前後で平均温度を比較した結果を Table 5.9 に示す。

Table 5.9: Result of average temperature change after Exercise.

	Face									Hand	
	A	F	E	N	S	Z	M	C	J	H	I
↗ Rise	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
→ Constant	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	2
↘ Fall	6	5	6	6	6	5	6	5	6	4	3

(Total 6 samples.)

足の屈伸運動の直後に，全ての顔パーツにおいて6人中5人以上の温度低下が認められた。また，掌温度に関しても6人中4人は低下していたが，手指先温度になると，低下していたのは6人中3人の半数であった。

高温分布率

足の屈伸運動を行う前後の高温分布率を Fig. 5.8 に示す。

グラフの書式は Fig. 5.1 と同じである。(A) のグラフが運動前，(B) のグラフが運動後における高温分布率を表している。

Fig. 5.8(B) 中，点線で囲んである部分に注目すると，鼻中央の高温分布率はほとんどすべてゼロで，鼻サイド，口の高温分布率に関しても，どの被験者においても極めて小さい値を示している。

そこで鼻中央，鼻サイド，口の高温分布率に関して Table 5.10 に運動後の結果をまとめる。ただし鼻中央，口に関しては全てのデータにおいてもその値が小さいことはよくあ

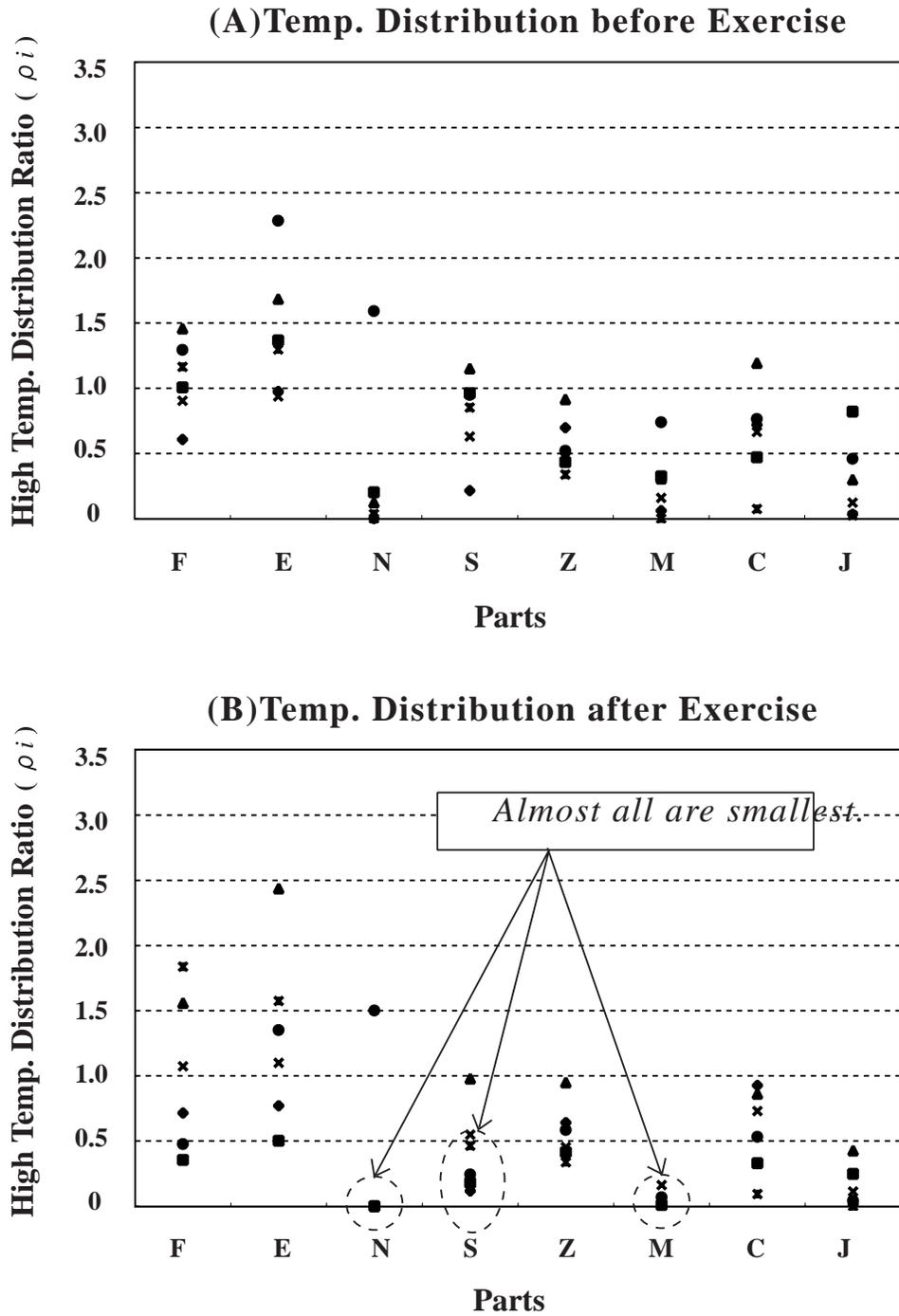


Fig.5.8: High temp. distribution after exercise.

ることだったので (Fig. 5.7), グラフ化は鼻サイドにおいてのみ行った. Fig. 5.9 にその結果を示す. ただし $L_s = 0.3$ とした.

Table 5.10: Result of nose side after exercise.

	Exercise			All		
	N	S	M	N	S	M
$\rho_i \leq L_i$	6	3	6	42	18	80
$\rho_i > L_i$	0	3	0	80	104	42

(EXERCISE:Total 6 samples. ALL:Total 122 samples.)

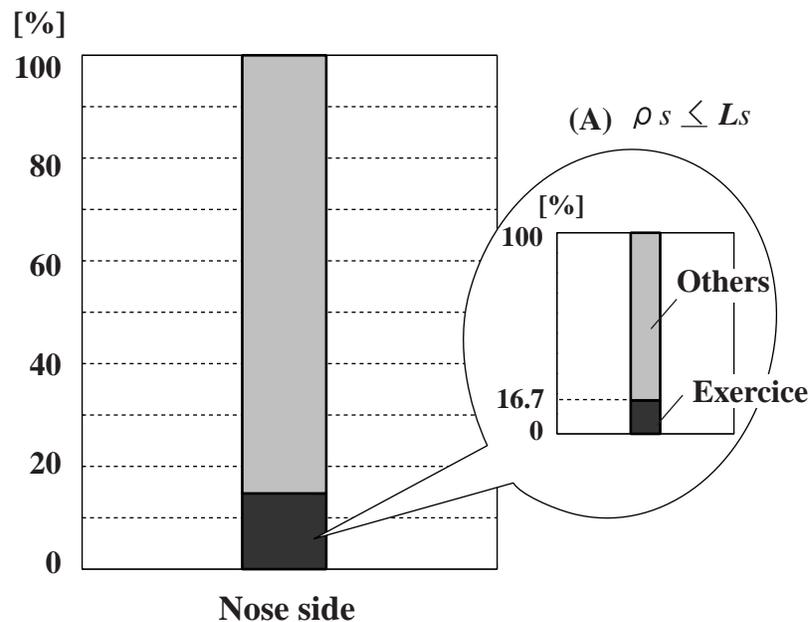


Fig.5.9: High temp. distribution result after exercise.

Fig. 5.9 左のグラフは, 全ての熱画像における鼻サイドの $\rho_s \leq L_s$ を満たすデータの割合を表している. (A) のグラフが $\rho_s \leq L_s$ を満たすデータのうち, 運動後に $\rho_s \leq L_s$ を満たしていたデータの割合である.

鼻サイドの高温分布率が小さいのは運動後に限ったことではないので, 特徴的な高温分布率とは言えず, 運動負荷後にも特徴的な温分布は認められなかった.

第6章

考察

6.1 行動と温度分布に関する考察

5章で示した結果から、各行動における顔と掌の温度分布状態、温度変化について Fig. 6.1 にまとめた。

図中の (A) が頭脳労働、(B) が食事、(C-1) がストレスによる自律神経の刺激、(C-2) が運動による自律神経の刺激に伴う温度変化と温度分布状態の傾向をまとめたものである。

表記については Low, High が高温分布率の結果、Rise, Fall が実験前後の平均温度変化を表している。また、Most は80%以上その傾向が見られたということを意味する。

顔全体、掌全体、手指先については変化の傾向を、顔パーツについては全体の温度変化傾向とは反対の温度変化傾向があった部位、もしくは高温分布率に実験の前後で違いが認められた部位についてまとめてある。

以下にそれぞれの結果をまとめ、その考察を行う。

(A) 頭脳労働

- 温度変化に関しては顔全体、掌全体、手指先の平均温度が8人中7人において上昇していた。
- 温度分布に関しては8人中4人において眉間の、3人において鼻中央の高温分布率が実験前より大きい値を示していた。
- 頭脳労働を特徴付ける温度分布は高温分布率には認められなかった。

鼻中央、手指先の温度が共に高くなっていたことから、副交感神経の働きが活発になっていることが考えられる。

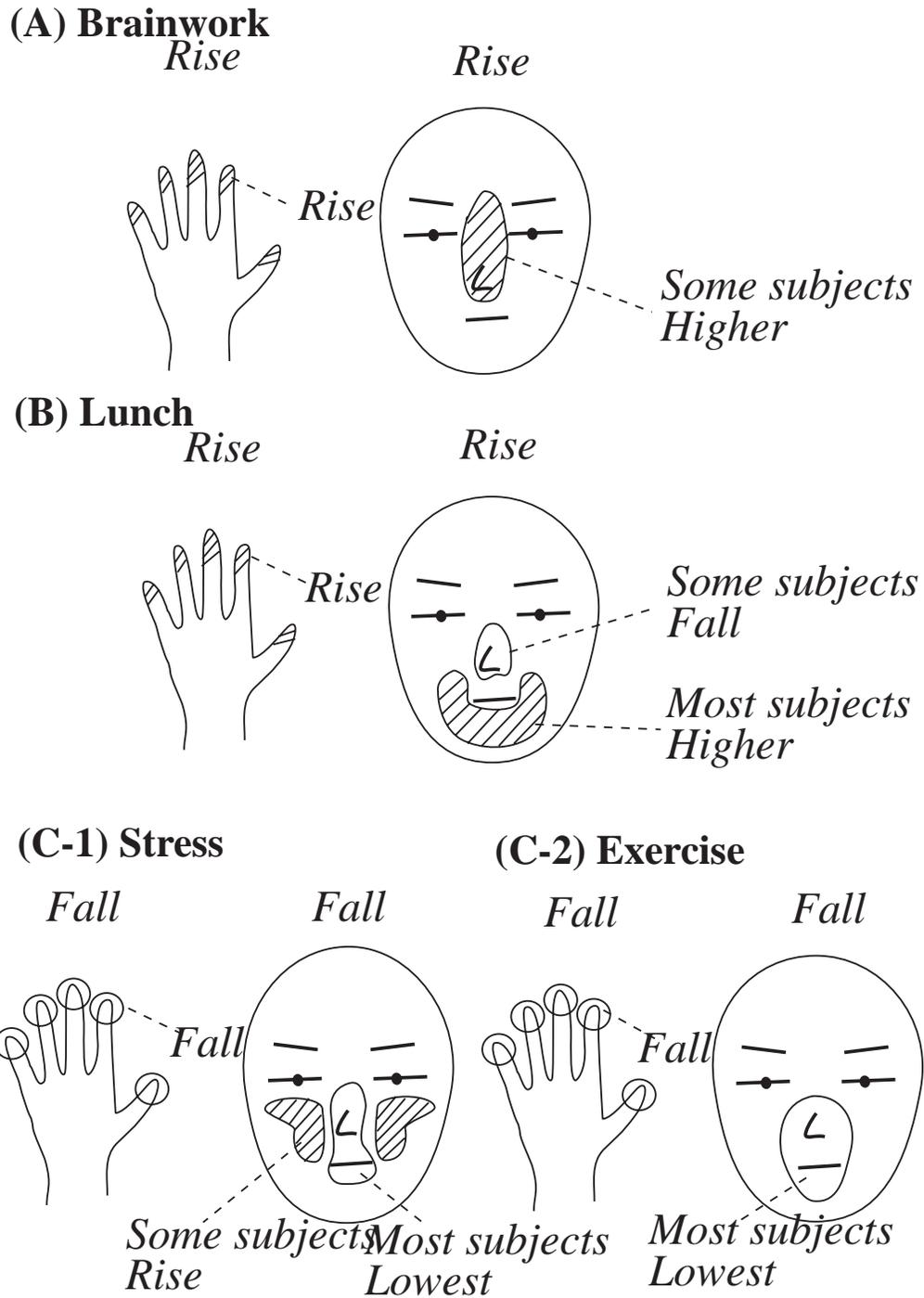


Fig.6.1: Temperature distribution and change.

しかし課題解決時に鼻温度が低下するという報告 [25] が中山らによってなされており、今回の実験のみからでは頭脳労働の温度変化の原因を判断するのは難しい。

本実験との違いで結果に影響を与えたと考えられる実験条件は室温と熱画像のサンプリング周波数、テスト時の姿勢などである。本実験との違いを Table 6.1 に示す。

Table 6.1: Test conditions differences.

	A	B
Ambient Temperature	20.0	24.0-36.0
Sampling Time	30sec.	15min.
Posture	Head Up	Head Down

ここで A が従来研究、B が今回の実験である。Table 6.1 をもとに実験条件を変え、頭脳労働による温度変化について更に調べてみる必要がある。

(B) 食事

- 温度変化に関しては 11 データ中 10 データにおいて顔全体の、9 データにおいて掌全体の、7 データにおいて手指先の平均温度が上昇していた。
- 温度分布に関しては 11 データ中 5 データにおいて頬筋周辺の、9 データにおいて顎の高温分布率が実験前より大きい値を示していた。
- 顎部が特に高温になるのは食事の場合が 75% を占めており、顎部の高温分布率によって食事が特徴付けられる。

食事による顎部周辺温度の上昇は、一時的なものであり、普段はあまり確認されなかった。このことから、顎部温度上昇は食事による顎の動きの活発化によって引き起こされたものとも言える。また顎部の動きが活発化することで温度上昇するのは、顎付近筋肉の熱産生が通常よりも増加するためと考えられる。

(C-1) ストレス負荷

- 温度変化に関しては 6 人中 4 人において顔全体の、6 人全員において掌全体の、5 人において手指先温度が低下していた。

- 温度分布に関しては6人中3人において鼻中央の、5人において口の高温分布率が特に小さい値を示していた。
- ストレス負荷を特徴付ける温度分布は高温分布率には認められなかった。

3章で説明したストレス負荷の際行ったアンケートの結果を Fig. 6.2 にまとめる。

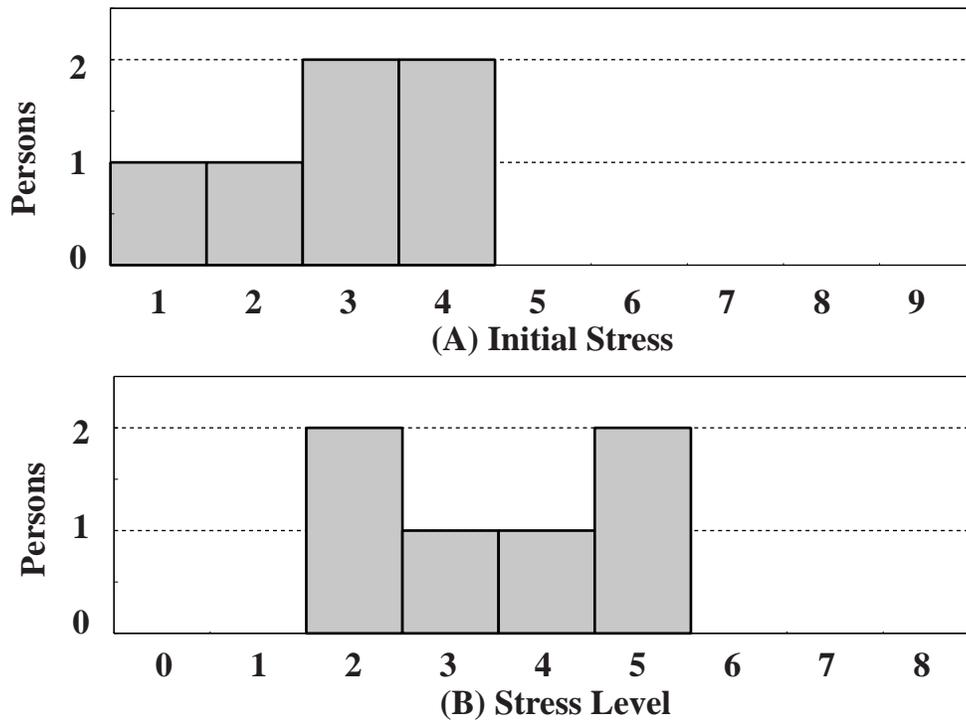


Fig.6.2: Stress enquete.

グラフは横軸が緊張度，縦軸が人数で，(A) がストレス負荷実験をはじめる前の緊張度，(B) がストレス負荷による緊張度変化(ストレス負荷後緊張度-ストレス負荷前緊張度)となっている。被験者によって緊張した度合いは様々であったが，全員が実験によってストレスを受けたといえる。よって鼻と指先の温度低下はストレス負荷による交感神経の刺激のために引き起こされたと言ってよい。しかしストレス負荷実験をはじめる前から，ほとんどすべての人が，わずかではあるが緊張状態にあり，このことはすべての実験データにストレス下のデータが含まれ得るということを示している。そのため，ストレス下における鼻中央や口の高温分布率が特徴的であるかの判断は，アンケートを行った下でのデータでもう一度行う必要があると思われる。

(C-2) 運動

- 温度変化に関しては6人中6人全員において顔全体の、4人において掌全体の、3人において手指先の温度が低下していた。
- 温度分布に関しては6人中6人全員において鼻中央と口の、3人において鼻サイドの高温分布率が特に小さい値を示していた。
- 運動負荷を特徴付ける温度分布は高温分布率には認められなかった。

運動の後ではすべてのパーツにおいて温度が低下していたが、ストレス負荷後では特に口と鼻において温度低下が確認され、自律神経に与える刺激の違いによって温度低下の仕方も異なっていた。また運動後は6人中2人の被験者が実験後のアンケートで「汗をかいた」と答えており、発汗によって皮膚表面からの熱放散が増加したことも顔パーツ全体の温度低下の要因として挙げられる。

6.2 血圧値と温度分布に関する考察

鼻中央の平均温度と血圧値には逆相関が見られた。Fig. 6.3 にその様子を示す。

ここで縦軸左が平均温度，縦軸右が血圧値を表している。横軸は特に意味を持たないが，一人の被験者に対して一時間の内に行った測定データを時系列に並べたものである。図中の(A)が鼻中央の平均温度，(B)が最高血圧値，(C)が最低血圧値を表している。

また手指先と鼻の温度は共に自律神経の働きを受けて変化しており(A章)，二者の温度には相関があると期待できる。そこで手指先と鼻中央の平均温度の関係について調べたところ，Fig. 6.4 に示すような温度相関が確認された。

Fig. 6.4 のグラフは，縦軸が平均温度，横軸が一時間以内の測定データを時系列に並べたものである。また(A)が鼻中央の平均温度，(B)が手指先の平均温度を表している。

そこで鼻中央と手指先，血圧値の三者の相関についても調べるために，まず血圧値を高血圧，正常高値，正常血圧に分類した。血圧値の分類は世界保健機構(WHO)，国際高血圧学会(ISH)によって定められている分類方法に従った。Fig. 6.5 にその分類方法を示す。グラフは縦軸が最高血圧値，横軸が最低血圧値で，最高血圧 140mmHg，最低血圧 90mmHg を境に高血圧と正常血圧が分類されている。

ここで特に正常高値と正常血圧値における手指先(T_n)と鼻中央(T_n)平均温度の回帰直線を求め，鼻中央と手指先温度の関係を表す式(式(6.1))を求めた。このときの決定係数

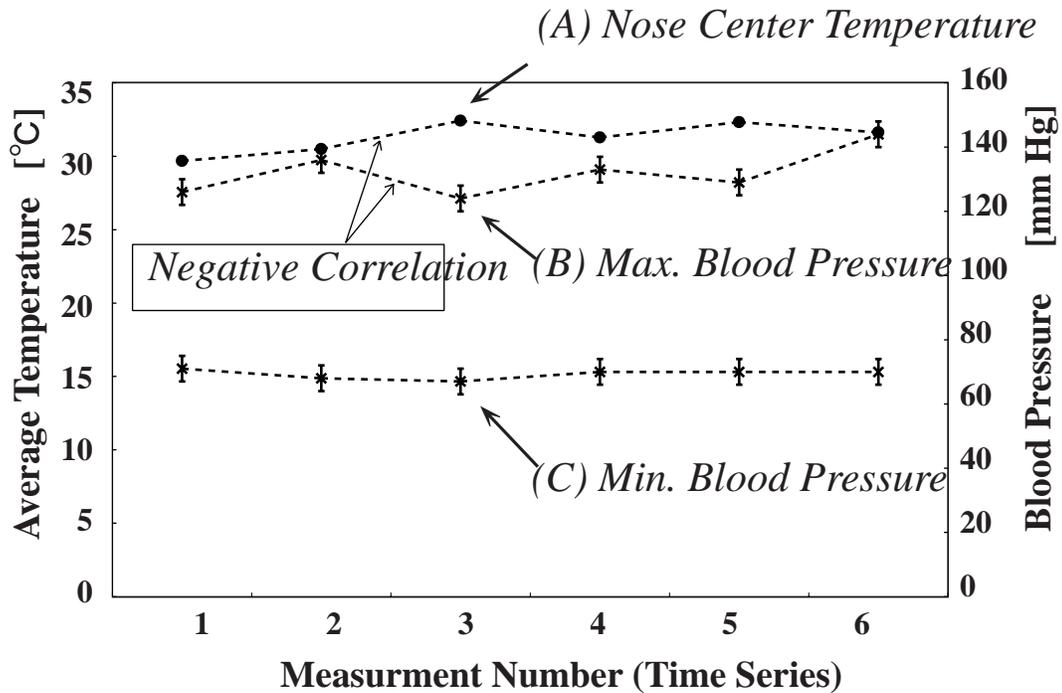


Fig.6.3: Nosecenter-B.P. negative correlation.

は0.7356で、正常血圧値のときの手指先温度と鼻中央温度に強い相関があることを示している [26] .

$$T_n = 0.4355 \times T_f + 20.236 \quad (6.1)$$

それぞれの分類血圧における手指先と鼻中央温度の相関と、式 (6.1) で求めた回帰直線をグラフにまとめると Fig. 6.6 のようになる .

Fig. 6.6 のグラフは縦軸が鼻中央の平均温度、横軸が手指先の平均温度を表している . が正常血圧値、 が正常高値、 × が高血圧における手指先、鼻中央の相関を表している . また図中の点線が正常血圧時の手指先と鼻中央温度の回帰直線である .

すると、矢印で示す部分に高血圧時の (T_f, T_n) が集中しており、正常血圧値の範囲でも、血圧が高いと矢印付近に多く分布していることがわかる . このことから血圧値が高血圧を示している場合には、式 (6.1) によって手指先温から求められる鼻中央温度よりも実際の鼻中央温度の方が低くなる傾向にあるということが確認された .

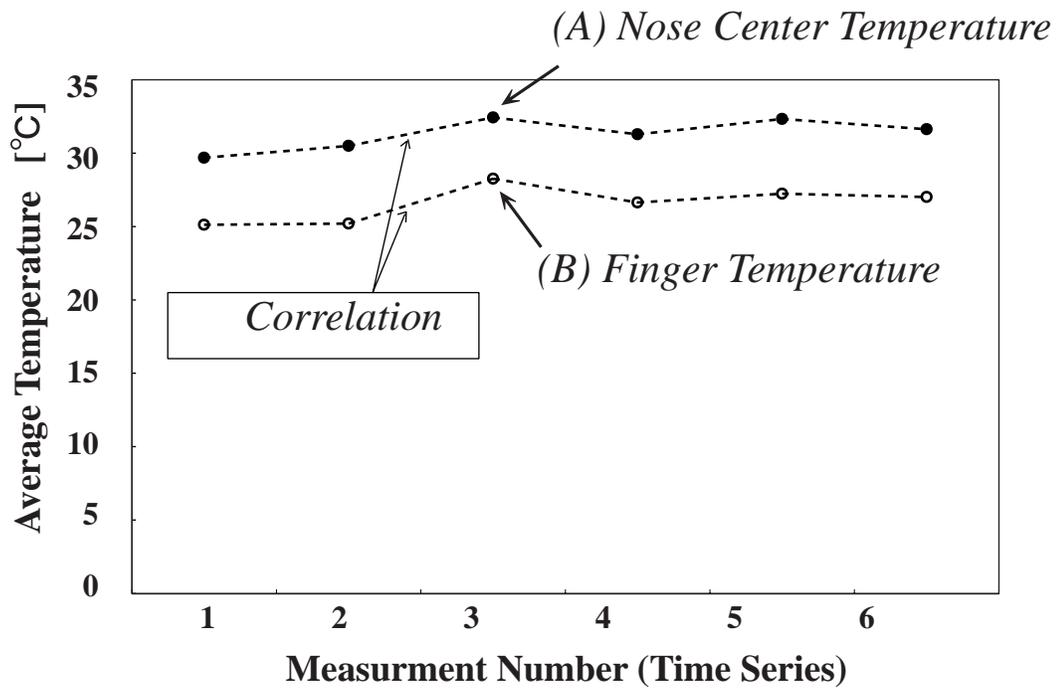


Fig.6.4: Nosecenter-Finger correlation.

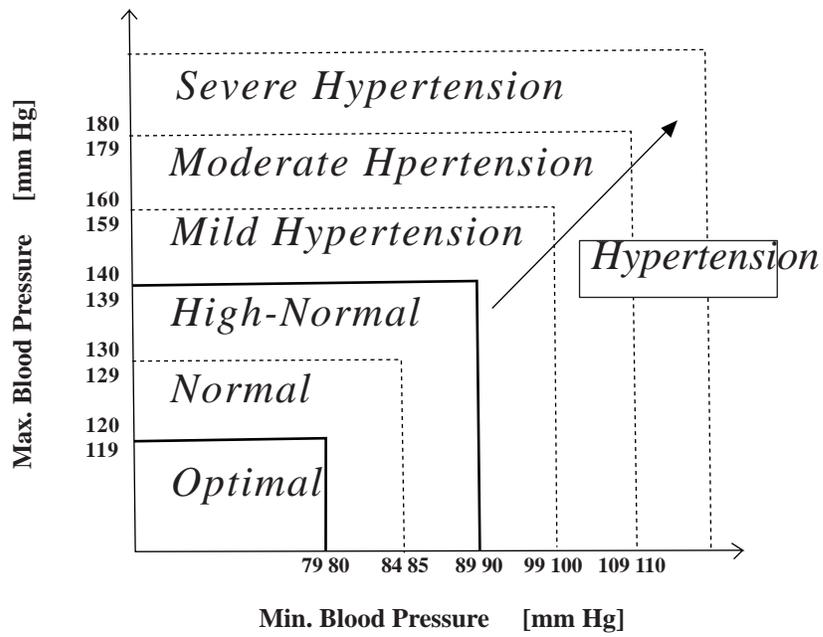


Fig.6.5: Classification of blood pressure levels.

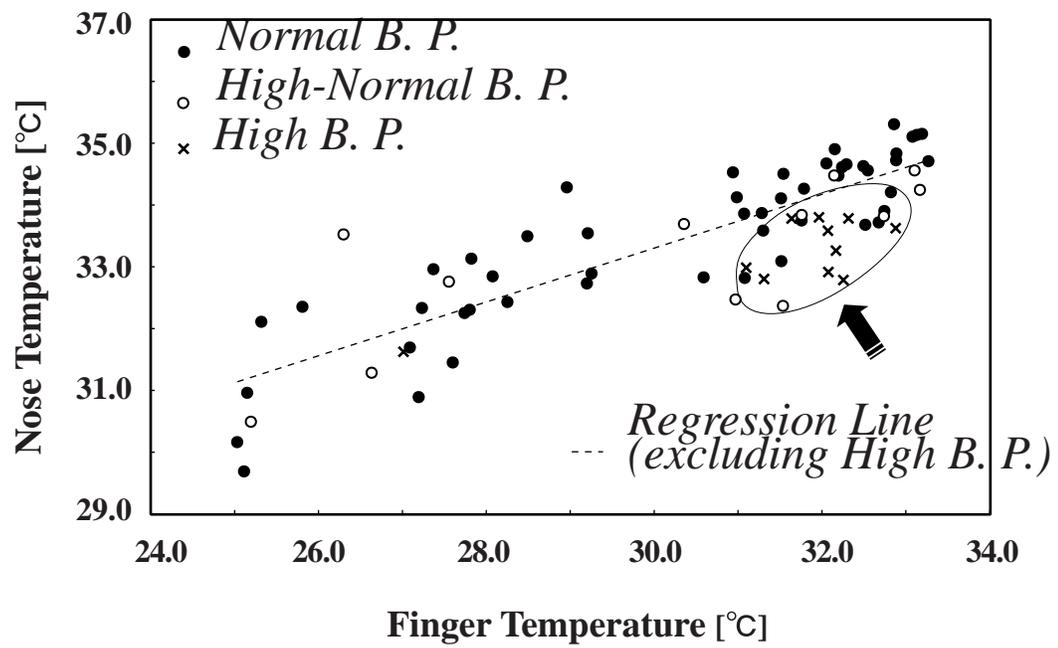


Fig.6.6: Finger-Nose temperature correlation.

第7章

まとめ

7.1 結論

本論文では顔と掌の静止熱画像における温度分布状態から，人の生活行動とそれに伴う生理状態の把握を試みた．温度分布を理解するために顔を8つのパーツに分け，それぞれのパーツを顔全体の平均温度と比較することによって温度分布状態を定量的に表す，高温モーメントと高温分布率を定義した．高温分布率は環境条件の違いや個人差を低減すると共に，顔面の中で特に高温である部位を強調するという意味を持つ．

また実験において，頭脳労働，食事，自律神経の刺激（ストレス，運動）を行った場合の平均温度変化と高温分布率を求め，それぞれの行動（状態）における特徴を調べた．特に食事においては顎の高温分布率によって食事後状態の把握が可能であることを示した．

更に血圧値を正常時と高血圧時に分けたときの手指先と鼻中央温度の相関を調べ，正常血圧時の相関から求められた手指先と鼻中央の関係式によって，高血圧予測を行うことの可能性を示した．

7.2 得られた知見

第1章

高齢化社会における健康管理，在宅介護問題を取り上げ，生活支援システムの必要性を述べた．更にこれらの関連研究を挙げた上で，赤外線カメラを利用することの有効性について論じ，静止熱画像を用いて人間の行動や生理状態の把握を試みることを提案した．

第2章

実験系と画像処理系からなる実験システムの概要を説明し，赤外線カメラの測定原

理と基本構成をまとめた。

第3章

実験における測定項目と実験条件について述べた。また、頭脳労働、食事、自律神経の刺激の実験を行うことと、その方法について説明した。

第4章

熱画像データの処理方法を述べた。また、温度分布の解析を行うために顔を顔パーツに分ける方法と、温度分布状態を定量的に表現するための高温モーメントと高温分布率を定義した。

第5章

第4章で提案した高温分布率を用いて熱画像データの解析を行った。その結果食事直後には顎の温度が顕著に増加することがわかり、食事の判定に顎の高温分布率が有効であることが示された。

第6章

第5章で得られた解析結果を考察した。また手指先と鼻中央の温度相関を確認し、正常血圧値における手指先と鼻中央温度の関係式から高血圧を予測することの可能性が示された。

7.3 今後の課題

本研究における実験では各項目における実験回数が少ないので、より一般的な結果を得るためには被験者数とデータ数を増やしていくことが必要である。

同時に交感神経の働きや発汗を理解するために、低温部に関する温度分布解析も必要となる。

また環境温度や環境湿度の違いによる温度分布状態、睡眠中、発熱時の温度分布状態等、測定対象を増やして日常生活への応用性を広げていくことが望まれる。

更に動熱画像を利用することによって短時間における生理量変化や情動変化の把握についても検討すると共に、可視動画像における行動追跡の手法を取り入れることでも行動把握を行い、日常生活において積極的に「顔色を窺う」システムを構築していくことが今後の課題である。

謝辞

修士論文を書き終えるにあたり，ここにご指導，ご協力いただきました多くの方々に感謝の意を表させていただきます．

庄司正弘教授におかれましては，修士論文を書くにあたり全般的にご指導いただきました．また研究の進捗をしばしば気にかけていただき，滞りなく実験が進められるようにと様々な相談に乗っていただきました．本当にどうもありがとうございました．

丸山茂夫助教授におかれましては，分析方法に関する貴重な提案をしていただいたり，研究の進捗に関してコメントをいただいたりと大変お世話になりました．どうもありがとうございました．

佐藤知正教授，森武俊講師におかれましては，研究テーマを決める際や，研究の方向付けに関して様々なご助言をいただきました．また関連研究について多くの情報を提供していただきました．どうもありがとうございました．

渡辺誠助手におかれましては，研究費用の管理をしていただいたり，実験機器に関するご指導をいただくと，研究を潤滑に進めるために様々な面からご協力いただきました．どうもありがとうございました．

井上満助手におかれましては，研究途中で様々な問題提起をしていただいたり，研究に関するコメントをいただいたりと大変お世話になりました．どうもありがとうございました．

研究員の山口康孝様におかれましては，研究に関するご助言をいただいたり，論文の要旨にチェックを入れていただいたり，様々な面においてご指導いただきました．どうもありがとうございました．

ポストドクターの柴立和様，博士課程の汪双鳳様，姜玉雁様，張蕾様，伊藤浩二様，崔淳豪様，木村達人様，井上修平様，渋谷靖様には，ネットワークのトラブルを解決していただいたり，研究に関する相談や，研究以外にも興味深い話題について話相手になっていただいたりと，様々な面でお世話になりました．どうもありがとうございました．

修士1年の宮崎大輔様，山神成正様，千足昇平様，手島一憲様におかれましては，研究室のイベントを取り仕切っていただいたり，こまめに掃除をしていただいたりと，研究室

生活を快適に過ごせるようにいろいろと気を遣っていただきました。どうもありがとうございました。

学部4年の石川桂様，上田敏之様，対馬将示様，戸松正仁様，橋本康史様，谷口祐規様，広川文仁様，宮内雄平様，山本恒喜様におかれましては，一生懸命研究に取り組む姿に刺激を受けて，精神面で大きな励ましとなりました。どうもありがとうございました。

秘書の渡辺美和子様におかれましては庄司教授が不在の場合に伝言をお願いしたり，差入れの品を何度かいただいたりしました。どうもありがとうございました。

同学年の安井康二様，横田正憲様，連宗旺様，小島亮祐様，吉野雄太様におかれましては，研究から日常生活に至るまで，話相手になっていただいたり，イベントで楽しませていただいたりと，様々な面で大変お世話になりました。本当にどうもありがとうございました。

また，今村隆様，上田ゆりか様，河井智也様，岸本泰樹様，高橋章代様，辰川肇様，辻岡宏介様におかれましては，忙しい時期にも関わらず被験者を快く引き受けていただきました。本当にどうもありがとうございました。

最後に，ここでは挙げられなくともあらゆる面において支えになっていただいた方々に感謝の意を表し，本論文の謝辞とさせていただきます。

平成 14 年 2 月 坂田晶子

付録 A

熱画像を理解するための基礎医学

熱画像によって得られる情報を生理情報として理解するためには、人体についてある程度理解しておくことが必要となる。ここでは、皮膚の温度分布を理解するための生理学、解剖学について簡単にまとめる。

A.1 生理学の基礎

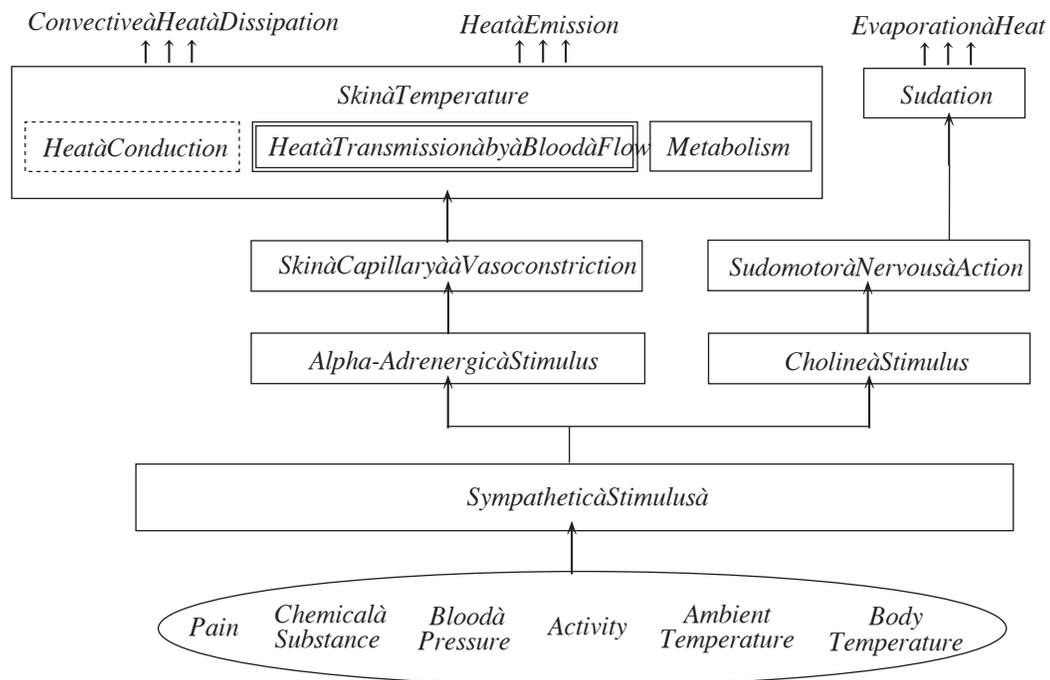


Fig.A.1: Factors of Skin Temperature

体表温を決定している因子は Fig. A.1 に示すように非常に複雑である [27] .

また生体の構成成分の熱伝導率はきわめて小さいため、体表面への熱は、主に血流によって体内部より運ばれると考えられる。つまり皮膚表面温度は、体表をとりまく温度、湿度、風などの環境条件とともに、様々な刺激を受けて調節される皮膚血液の温度と量に左右されると言ってもよい。

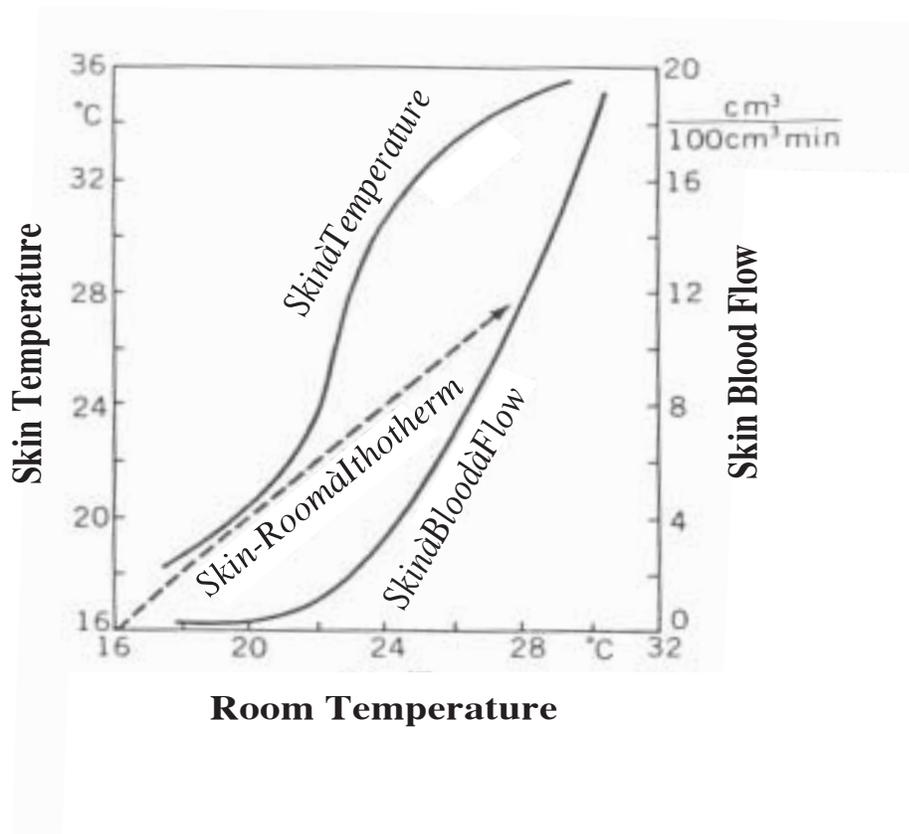


Fig.A.2: Ambient Temperature - Hand Skin Temperature And Blood Flow

ところで、環境温度と皮膚温及び皮膚血流量の関係は Fig. A.2 のようになっている [28] .

環境温度が低いと皮膚血管が収縮して血液はほとんど流れず、この状態では皮膚温は環境温度に近い。環境温度が高いと皮膚血管が拡張して血流量が増加し、皮膚温は核心温度近くまで上昇する。その間の環境温度においては、様々な刺激によって皮膚血流量が増加すると皮膚温は上昇するし、皮膚血流量が減少すると皮膚温は減少する。

皮膚血流量を増減させる主要な原因は血圧と皮膚血管収縮、拡張であり、血圧の影響はとくに皮膚血管が拡張しているときに著しい。

皮膚血管の収縮、拡張には神経性要因、液性要因、局所温度などが関与している。具体的には、低酸素刺激、高炭酸血刺激、皮膚刺激、内臓刺激、温・冷刺激等の皮膚血管の収縮、拡張を引き起こす刺激、ノルアドレナリンやアドレナリンのようなホルモンの作用や、局所組織内の物質代謝率増加に伴う血管収縮・拡張物質の生成、また局所加温や、低環境温度、高環境温度に伴う血管収縮・拡張等様々である。

また、人の皮膚の血流量は、すべての部位で同じというわけではない。温度刺激に対する皮膚血流の応答から、少なくとも全身の皮膚は次の3部に大別される。

1. 四肢末梢部皮膚(手、足、耳等)

皮膚血流はCVC(皮膚血管収縮神経)により調節され、温・冷刺激による血流変化が著しい。

2. 躯幹部皮膚

CVD(皮膚血管拡張神経)により能動的血管拡張が関与する。発汗活動性の変化に関与する。

3. 頭部とくに前額部皮膚

皮膚血流はCVC調節をほとんど受けない。

Fig. A.3は、運動負荷による皮膚血流の応答である[23]。運動負荷により、発汗とともに前額部、胸部、上腕部の皮膚血流量はそれぞれ250%、150%、250%まで顕著に増加しているが、拇指の血流はほとんど増加せず、初期にはむしろ減少している。運動をやめると、前額部、胸部、上腕部の皮膚血流はただちに減少をはじめののに対し、拇指血流はかえって増加している。

以上のように、全身の皮膚血流の応答は部位により異なり、さらにその応答パターンは、刺激の種類により異なることが知られている。

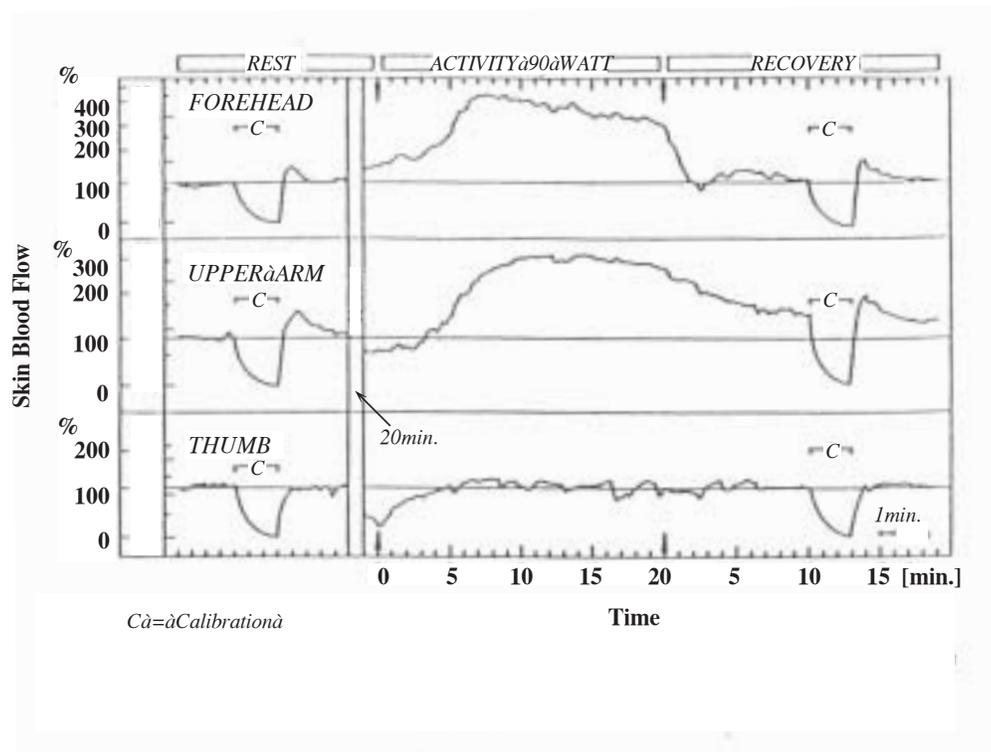


Fig.A.3: Blood Flow Change in Forehead, Upper Arm and Thumb by Exercise

A.2 解剖学の基礎

皮膚表面温度が、環境条件とともに、皮膚に供給される血液の温度と量に左右されるということは既に述べた。つまり体表温度分布を理解するためには、温熱産生と温熱伝達、放散に関与している血管系、神経系、および筋系の解剖学を理解しておくことも必要である。

本研究では顔と掌の熱画像を対象としたため、特に顔部と掌部の表層付近の脈管について述べる。

A.2.1 頭部

頭部表層の血管および筋系の分布は Fig. A.4 に示した。主な動脈については以下に説明する [29]。

- 顔面動脈

咬筋付着部の前で下顎骨の下縁をまがり顔面に出る。口角の外側から内眼角に向かい、眼動脈の枝である鼻背動脈と吻合する。まれに (10.6 %) 下顎部で終わることがあり、その場合には通常異常に発達した顔面横動脈などによって補われる。

- 鼻背動脈

眼動脈 2 終枝の一つで、内眼角のあたりで眼科から出て、内側眼瞼靭帯の上を通り鼻背およびその周囲に達する。

- 眼窩下動脈

眼窩下孔より顔面に出て、顔面動脈と吻合しつつその部の軟組織に分布する。

- 下唇動脈及び上唇動脈

口輪筋の内面を通り、正中線で他の血管と交通して動脈輪を作る。上唇動脈は下唇動脈より太い。

- オトガイ動脈

下顎の歯及び歯肉に多数分布する下歯槽動脈の前端。下唇動脈およびオトガイ下動脈と吻合しつつ、オトガイ部及び下唇部に分布する。

加えて、鼻部には AVA (動静脈吻合) 血管が多く分布することが知られている。AVA 血流は通常の皮膚血流に比較して著しく多量であり、AVA 血管は自律神経系の影響を受けてオンオフ的な挙動を示すという特徴がある。

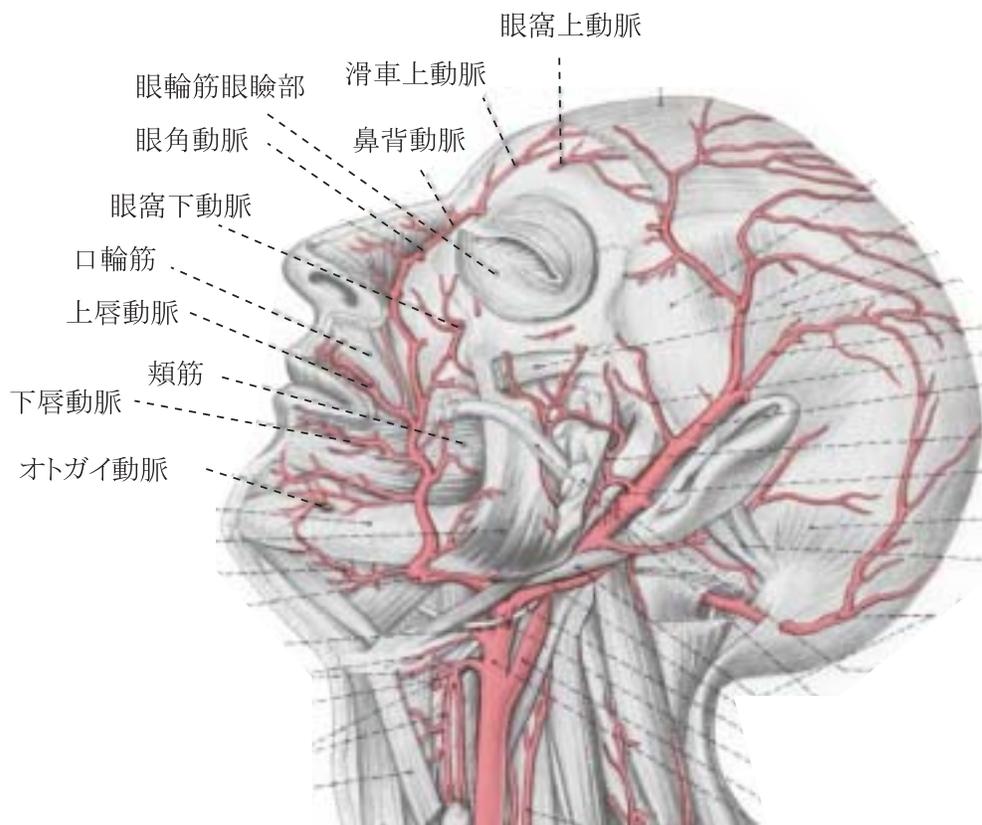


Fig.A.4: Arteria and Mustle in Face

A.2.2 手部

手掌の浅層に分布する動脈と筋系を Fig. A.5 に示す．浅掌動脈弓にはいろいろな型があるが，ここではその一例を示した [29] ．

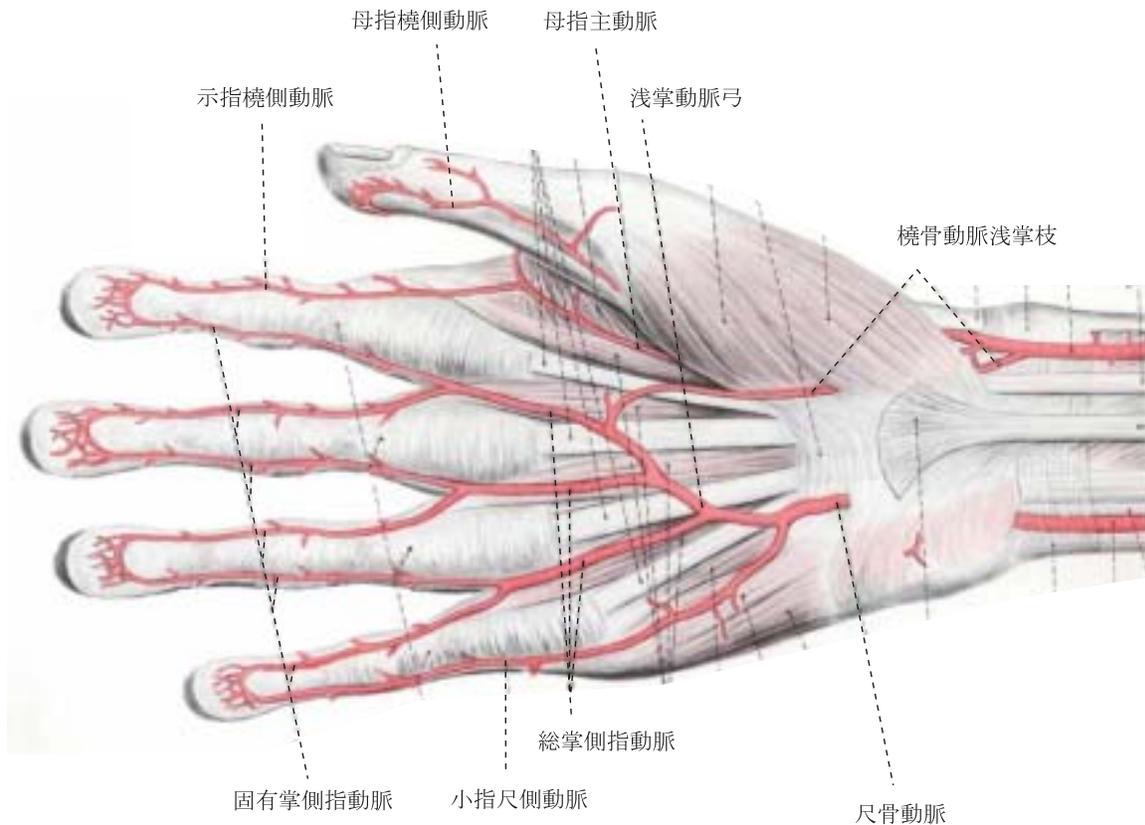


Fig.A.5: Arteria and Mustle in Palm

また，Fig. A.5 には示されていないが，手指先部にも AVA 血管が多く分布しており，自律神経の働きをよく反映することが知られている．

参考文献

- [1] 厚生省. 多様な高齢者. 平成 12 年厚生白書, 2000.
- [2] 総務省. 通信に関する現状報告. 総務省郵政事業庁通信白書, 1998.
- [3] 小川充洋, 田村俊世, 戸川達男. 在宅健康モニタリングのための生体パラメータの自動計測システム-1ヶ月連続測定実験-. 信学技報 TECHNICAL REPORT OF IEICE. MBE98-21, pp. 23–28, 1998.
- [4] T. Harada, A. Sakata, T. Mori, and T. Sato. Sensor pillow system : Monitoring respiration and body movement in sleep. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2000)*, Vol. 1, pp. 351–356, 2000.
- [5] 松本佳昭ら. 動画像処理を用いた非接触呼吸・体動モニタリング. システム制御情報学会論文誌, Vol. 114, No. 4, 2001.
- [6] T. Mori, K. Asaki, Y. Kishimoto, and T. Sato Y. Yoshimoto. One-room-type sensing room. 2000.
- [7] 山口晃史, 小川充洋, 田村俊世, 戸川達男. 健康維持管理のための行動検知. pp. 29–34, 1998.
- [8] A.F. Bobick and J.W. Davis. The recognition of human movement using temporal templates. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 23, No. 3, pp. 257–267, 2001.
- [9] I. Haritaoglu, D. Harwood, and L.S. Davis. w^4 :real-time surveillance of people and their activities. Vol. 22, No. 8, pp. 809–830, 2000.
- [10] 鈴木健嗣, 山田寛, 橋本周司. ニューラルネットワークによる顔面表情の物理的パラメータと感性的パラメータの対応付け. 信学技報 TECHNICAL REPORT OF IEICE. HCS2000-47, pp. 7–13, 2001.

- [11] 黒田勉, 渡辺富夫. 情動変動に伴う顔色の画像分析とバーチャル顔画像合成. 日本機械学会論文集 (C 編), Vol. 65, No. 638, pp. 4114–4120, 1999.
- [12] 善住秀行, 田中久弥, 井出英人. 鼻部熱画像の経時変化量を用いた快・不快 *vas* の推定. 平成 13 年電気学会全国大会, p. 982, 2001.
- [13] Levine J.A., Pavlidis I., and Cooper M. The face of fear. *Lancet*, Vol. 357, , 2001.
- [14] I. Pavlidis, N.L. Eberhardt, and J.A. Levine. Seeing through the face of deception. *Nature*, Vol. 415, , 2002.
- [15] Y. Takahashi, K. Takahashi, and H Moriya. Thermal deficit in lumbar radiculopathy. correlations with pain and neurologic signs and its value for assessing symptomatic severity. *Spine*, Vol. 19, pp. 2443–2449, 1994.
- [16] M. Anbar. Hyperthermia of the cancerous breast-analysis of mechanism. *Cancer Lett.*, Vol. 84, .
- [17] M. Anbar. Open-heart and other vascular surgery. in: Anbar m. quantitative dynamic telethermometry in medical diagnosis and management. *CRC Press Inc. Boca Raton*, pp. 75–77, 1994.
- [18] M. Anbar. Clinical thermal imaging today. *IEEE engineering in medicine and biology July/August*, pp. 25–33, 1998.
- [19] 花本金吾. TOEIC 受験対策問題集. ECS.
- [20] 三木直正, 畑文明, 上崎善規, 土橋朗. 薬理学電子教科書 (上). 2000.
- [21] A. Kistler, C. Mariauzouls, and K. Berlepsch. Fingertip temperature as an indicator for sympathetic responses. *International Journal of Psychophysiology*, Vol. 29, pp. 35–41, 1998.
- [22] 人間生活工学研究センター. 一過性ストレスの評価-皮膚温. 1999.
- [23] Melchior H. and Hildebrandt G. Die hautdurch-blutung verschiedener korperregionen bei arbeit. *Int. Z. angew Physiol. einsch. Aebets physiol.*, Vol. 24, pp. 68–80, 1967.
- [24] 長谷川純一. 画像処理の基本技法. 技術評論社.

- [25] 中山実, 椎野貴博, 清水康敬. 課題解決時の鼻部温度変化と課題正答率との関連. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J81-D-II, No. 6, pp. 1452–1454, 1998.
- [26] 縄田 和満他. 統計学入門. 東京大学出版会, 1994.
- [27] 藤正巖. サーモグラフィを病態生理学的に理解するためには. サーモグラフィ：生理機能画像診断 (医学生物学サーモグラフィ第1巻), pp. 36–39, 1988.
- [28] 入来正躬. 体表温分布を理解するための生理学. サーモグラフィ：生理機能画像診断 (医学生物学サーモグラフィ第1巻), pp. 13–19, 1988.
- [29] 平沢 興他. 分担解剖学 2 巻「脈管学・神経学」. 金原出版, 1982.

以上

通し番号 1 - 90 完

修士論文

平成 14 年 2 月 15 日 提出

0 6 1 6 1 坂田 晶子