

# 密閉型衣服におけるヒートストレス警報装置の開発

- ヘルメット内気候の温度上昇と基幹温度の関係 -



村山 雅己

(社)日本船舶品質管理協会  
製品安全評価センター  
(船舶艙装品研究所)

生野 晴美

東京学芸大学教育

物部 博文

横浜国立大学教育人間科学

中橋美智子

元東京学芸大学

# 密閉型衣服の種類

- 消防員装具

- ・一般消防員装具
- ・化学薬品消防員装具
- ・船舶油火災用消防員装具

- ガス防護服

- 細菌防護服

- 農薬防護服

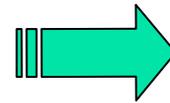
- 合羽類



# 密閉型衣服におけるヒートストレス

## 密閉型衣服による弊害

衣服内の換気が抑制  
発汗による気化熱放熱が  
抑制  
作業による代謝熱の蓄積



ヒートストレス



**火炎等**による  
傷害ではない！

# ヒートストレスによる傷害事故 －消防士の場合－

「National Fire Protection Association」(1998)

## 消防士の死亡原因

Cause of Injury	死亡	%
Stress (ストレス)	42	46.2%
Struck by / contact with object (物体との衝突、接触)	24	26.4%
Caught or trapped (下敷きなど)	21	23.1%
Electrocuted (感電死)	2	2.2%
Fell (落下)	1	1.1%
Other (その他)	1	1.1%
Total	91	100.0%

## 傷害の種類

Nature of Injury	死亡 (人)	%
Heart attack (心臓病)	39	42.9%
Internal trauma (外傷)	21	23.1%
Asphyxiation (窒息)	9	9.9%
Crushing (衝突)	8	6.8%
Burns (やけど)	6	6.6%
Electrocution (感電死)	2	2.2%
Drowning (溺死)	1	1.1%
Stroke (脳卒中)	1	1.1%



# ヒートストレスに関する今までの研究経過



## ■ ヒートストレスの評価方法

- ・サーマルマネキンによる方法
- ・人体着用実験による方法



## ■ ヒートストレスの対処方法

- ・冷却材による方法
- ・衣服内換気による方法
- ・ヘルメット内送風による方法



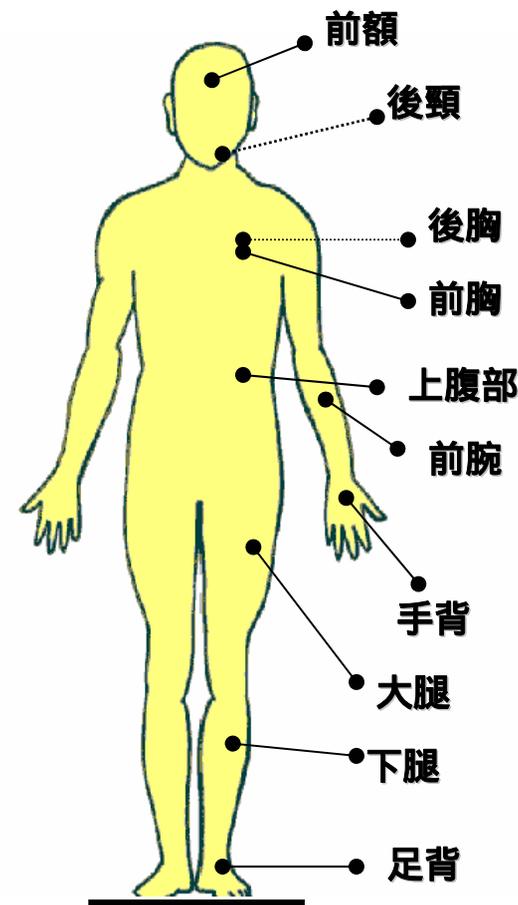
## ■ ヒートストレスの予防法

- ・アラームによる事前予測

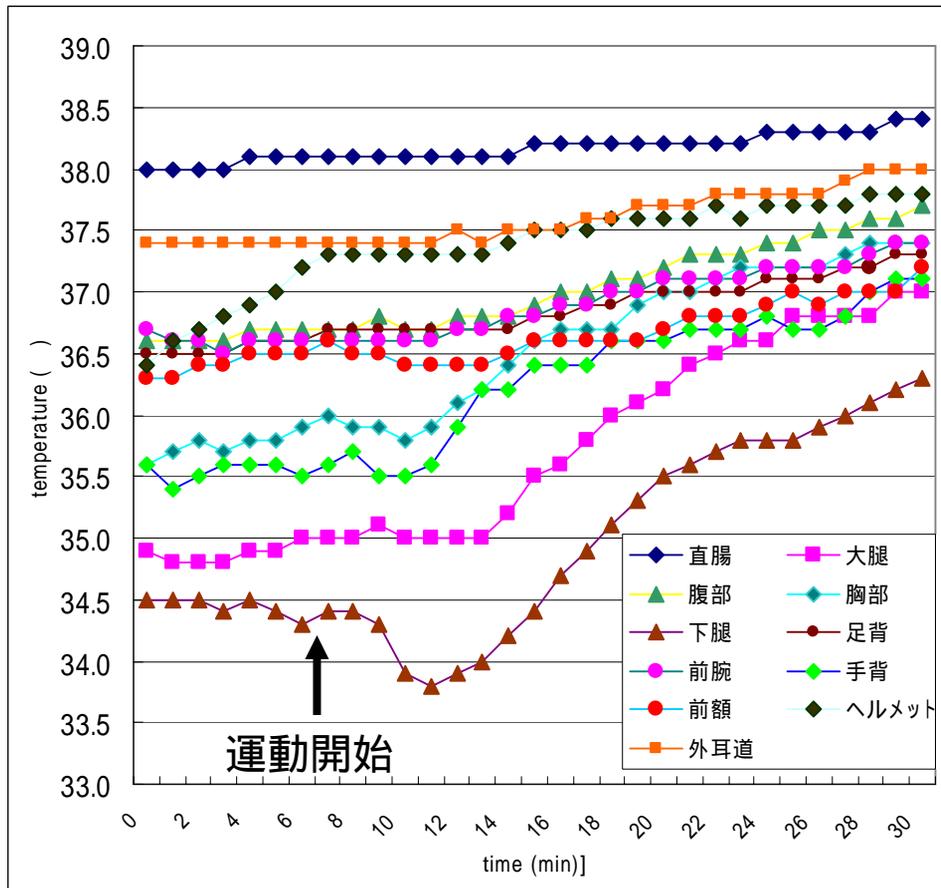


# ヒートストレスアラームに必要なデータ

- 基幹温度を代表又は推定できる温度測定点(モニター点)の確定
- アラームを発生するクライテリア(基準値)の確認



# 運動時における各部の皮膚温と 外耳道温(鼓膜温)、直腸温

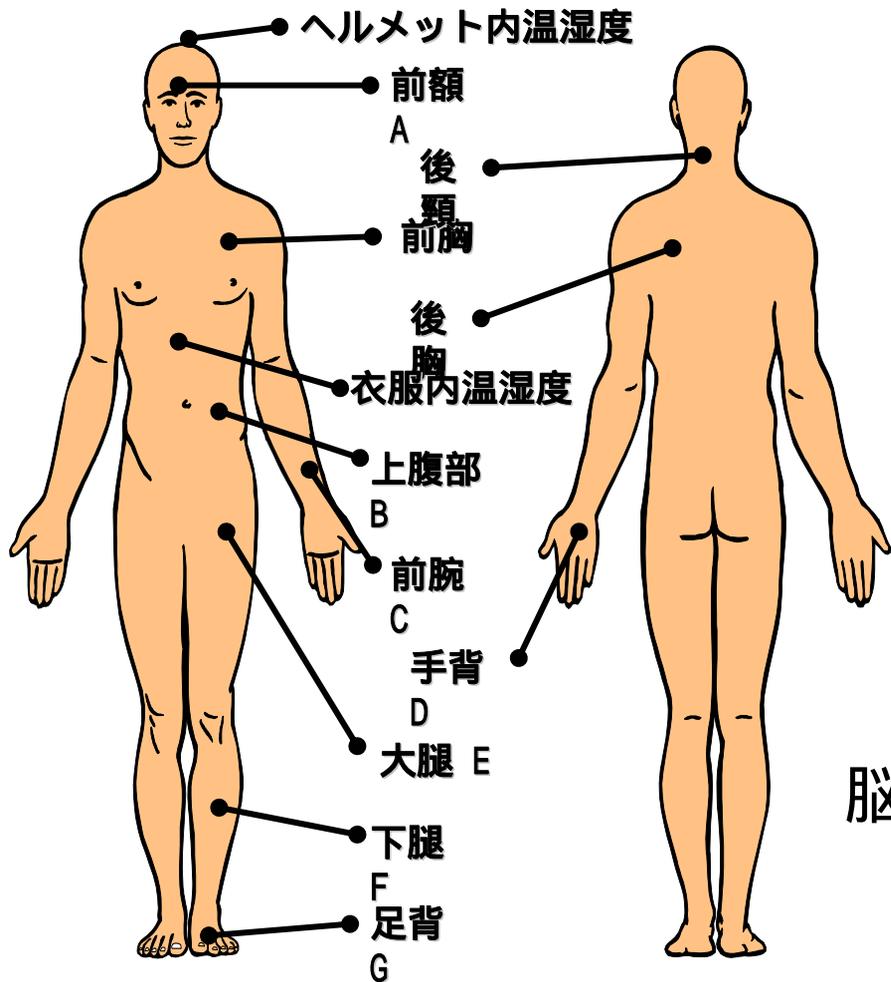


環境気温30 相対湿度50%RH  
代謝量120W/m<sup>2</sup>相当



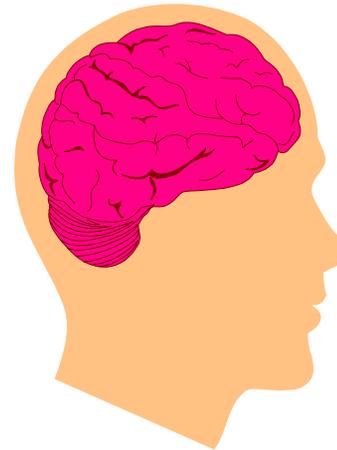
- モニター点としては、直腸温か鼓膜温であるが、現実的ではないので、各部の皮膚温を検討。

# ヒートストレスのモニター一点は？



## 脳温の重要性

選択的脳冷却 (Selective Brain Cooling)



脳温の上昇

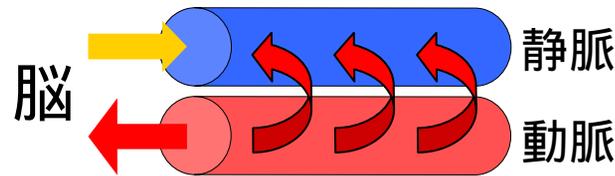
顔面および頭部  
表面での熱放散

導出静脈 (血管  
収縮神経欠如)

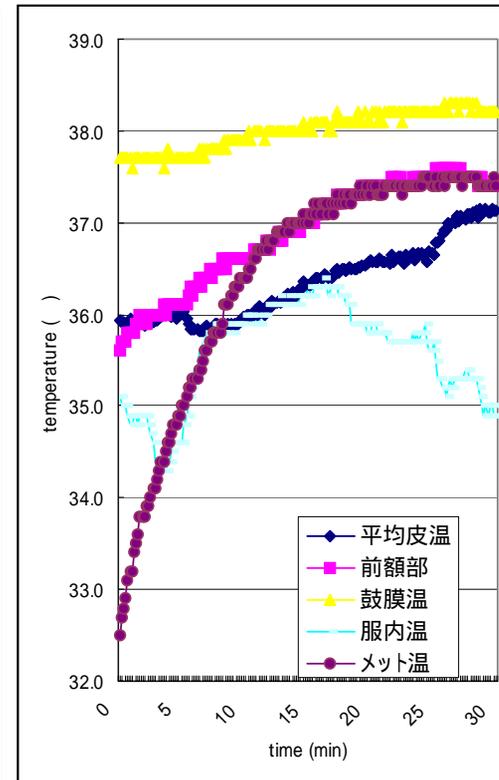
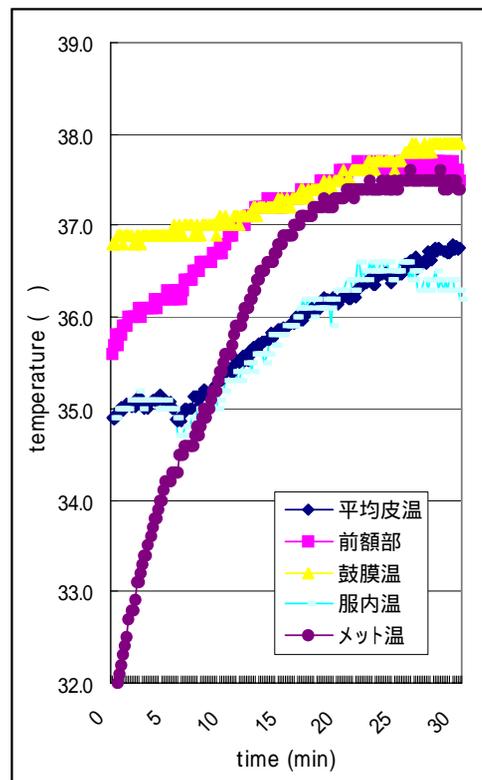
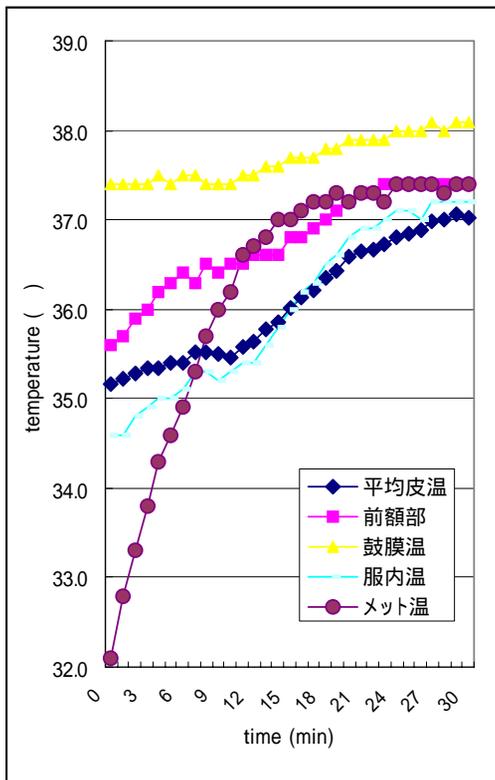
対向流熱交換

脳への動脈

脳表面の  
直接冷却



# ヘルメット内気候と外耳道温

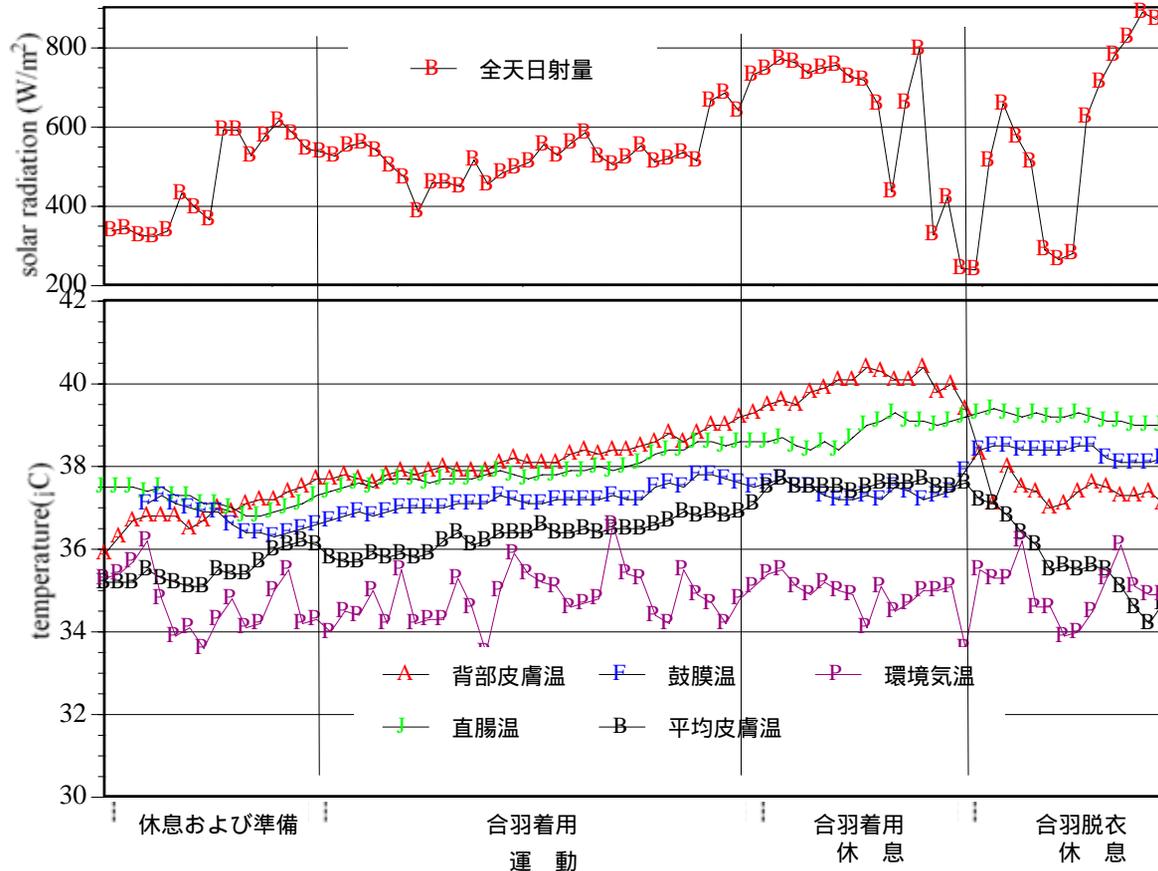


鼓膜温  
平均皮膚温  
前額温  
ヘルメット内  
温度

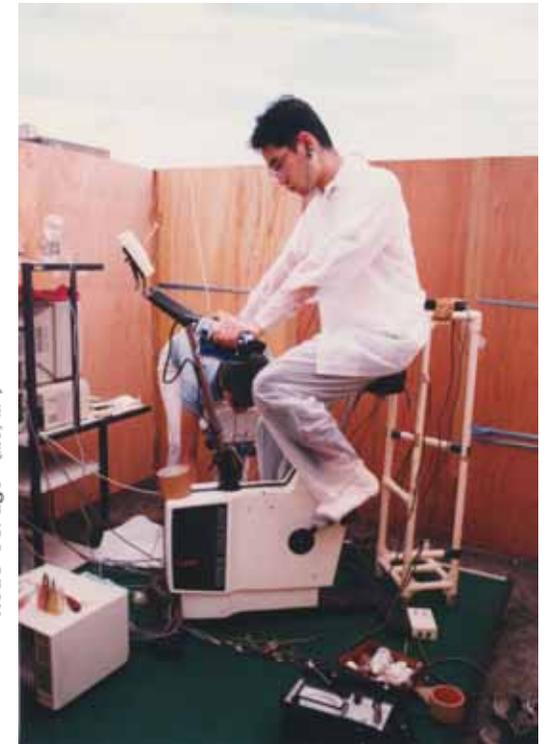
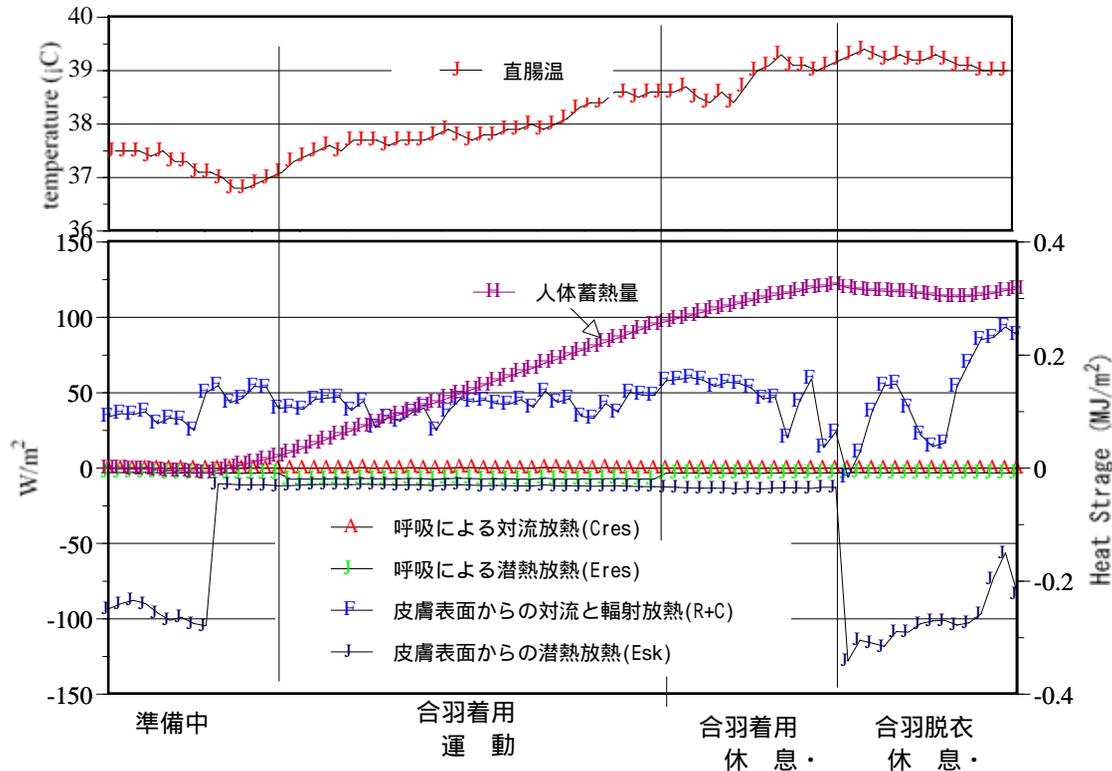
←  
←  
←

20分ベースのデータ

# ヒートストレス(基幹温度)のクライテリア

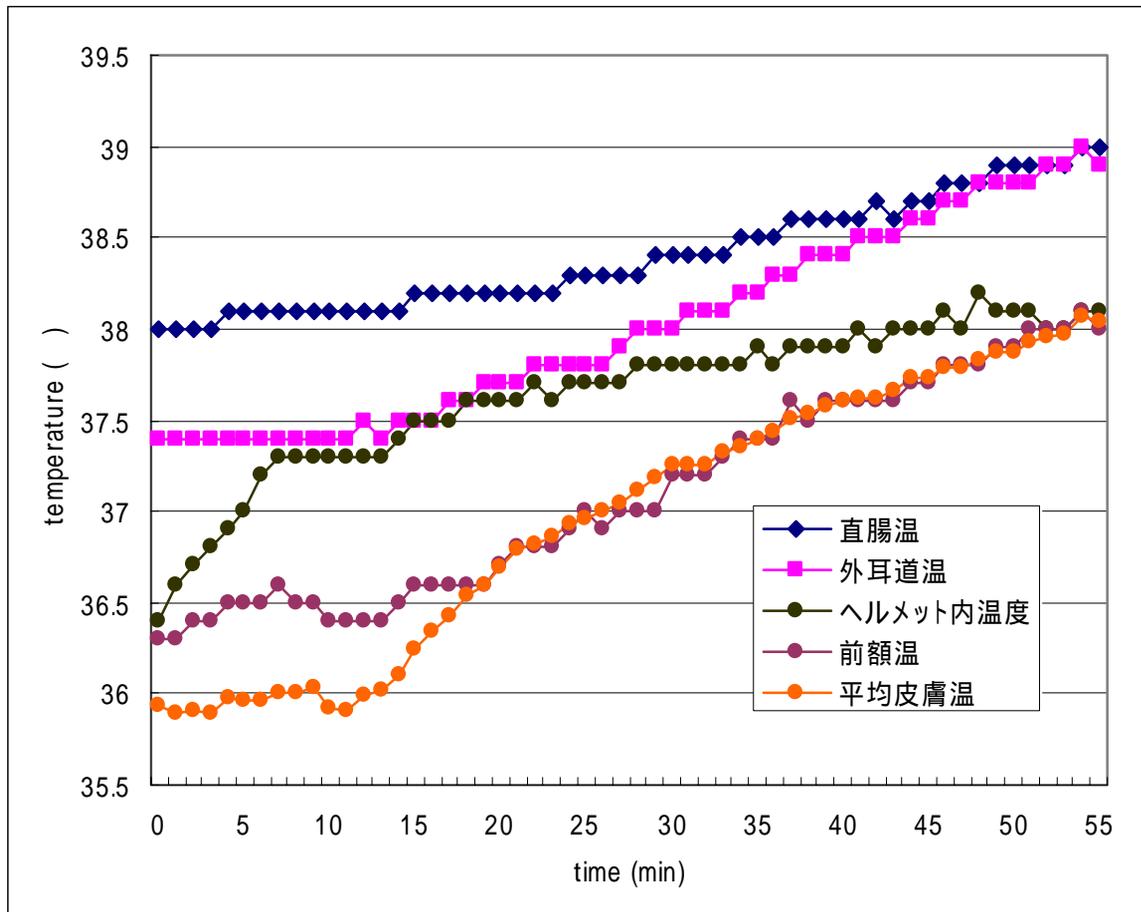


# 基幹温度と人体蓄熱量



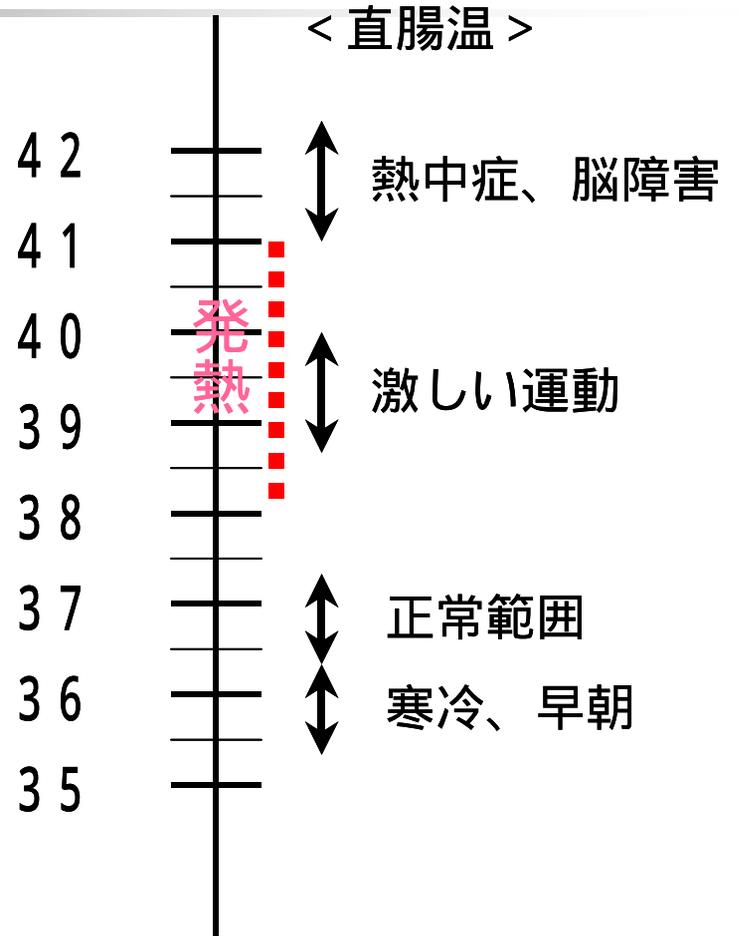
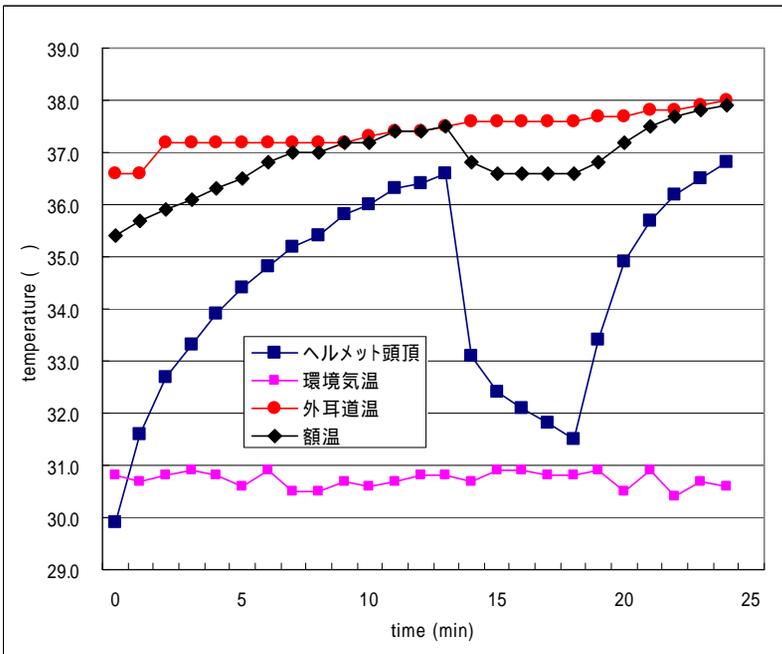
人体熱平衡式に測定値を代入した計算結果

# 限界実験データ(1時間)



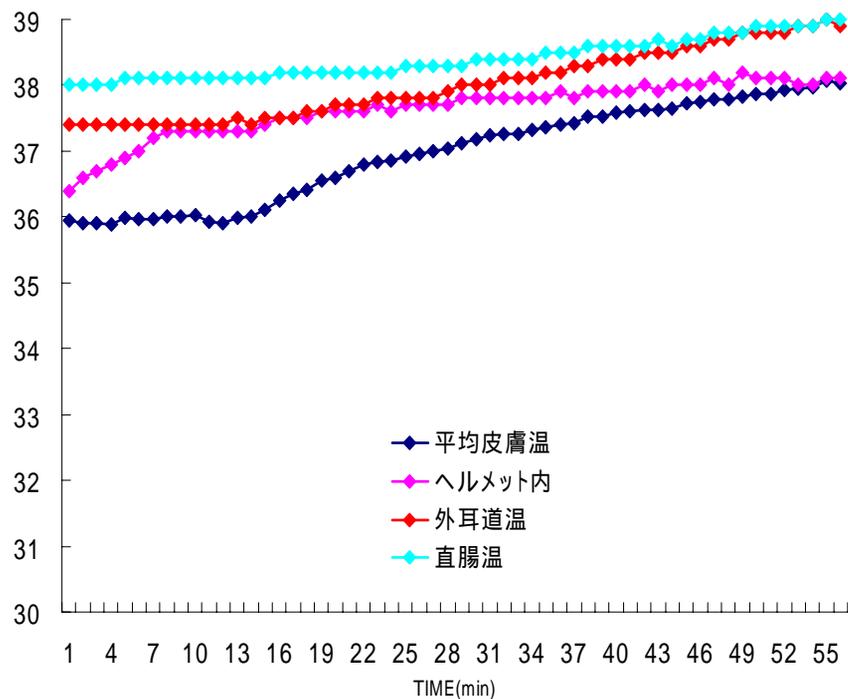
環境気温30 相対湿度50%RH  
代謝量1.20W/m<sup>2</sup>相当



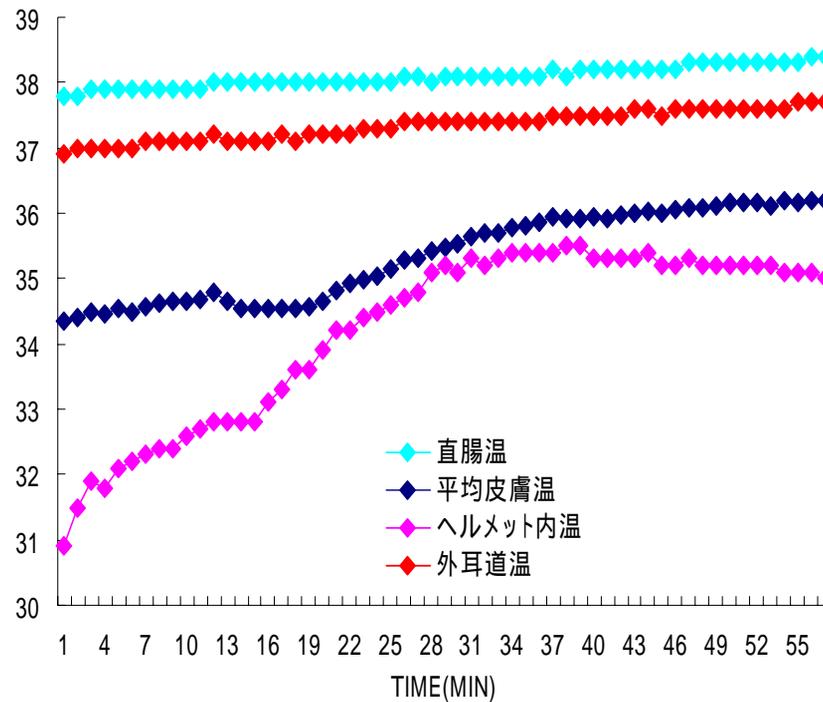


# 環境温度の影響

環境気温 30



環境気温 20



# 環境温度 30 前後の人体蓄熱

## 熱平衡方程式を構成する各要因の構成比

- 代謝量 120 W/m<sup>2</sup>
- 風速 0.25 m/s
- 相対湿度 50%
- 皮膚の濡率 85%
- 衣服の熱抵抗 0.8clo

(1) 呼吸による放熱

$$E_{res} = 1.73 \times 10^{-5} M(5867 \cdot P_{da}) \quad [W/m^2]$$

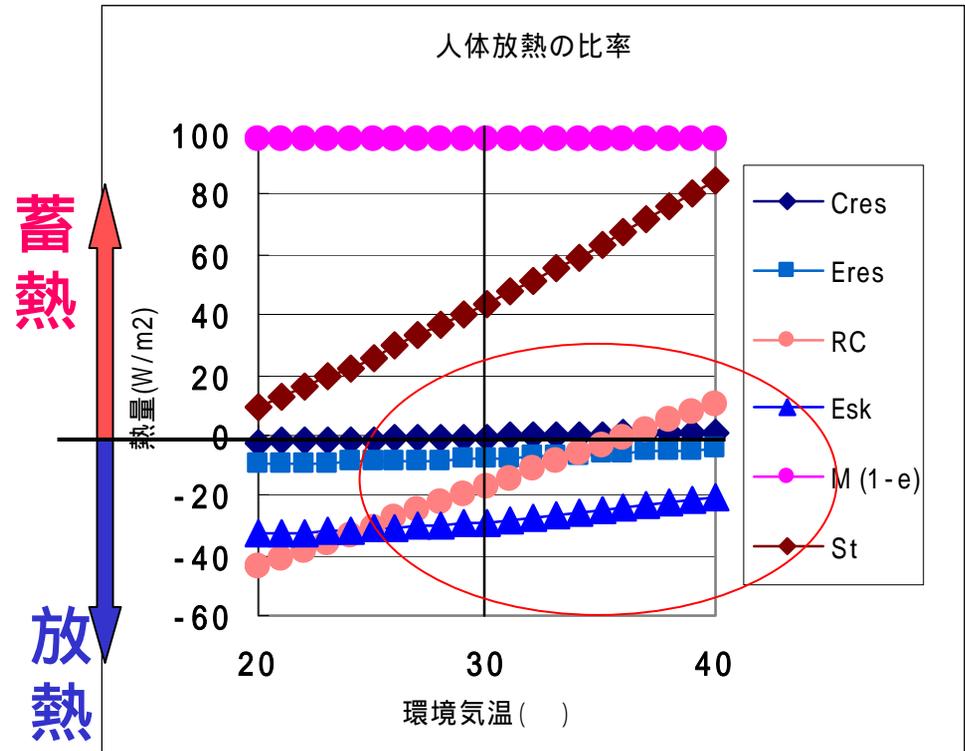
$$C_{res} = 0.0014M(34.0 \cdot \theta_a) \quad [W/m^2]$$

(2) 皮膚表面(衣服表面)からの対流と放射

$$R + C = hF_{cl}(\theta_{sk} - \theta_o) \quad [W/m^2]$$

(3) 皮膚表面から衣服を通しての潜熱(気化熱)放熱

$$E_{sk} = b(0.06 + 0.94W_{rsw})h_e F_{pcl}(P_{sk} \cdot P_{da}) \quad [W/m^2]$$



# まとめ

- 人によって基礎体温が相違するが、絶対温度でのアラームは額温度で38 程度(個人により調節する)
- 基礎体温より1 上昇で第1アラーム、1.5 上昇で第2アラーム、2 上昇では撤退勧告アラーム
- 今後は、消防士による実測実験を予定

