

人體 體溫調節系の 特性和 計測

成 秀 光

曉星女子大學校 家政大學 衣類學科

Charateristics of Temperature Regulation System in Man and its Measurement

Su-Kwang Sung

Dept. of Textiles & Clothing, College of Home Economics, Hyosung Women's University

I. 序 言

최근 衣類學이나 生理學에서는 의복에 의한 溫濕度 調節機能이나 의복 착용시의 快適性등 의복과 인체의 결합 문제를 關心事로 하고 있다.

이러한 문제는 人體의 체온조절기능과 관련시켜 생각하여야 하며, 人間—衣服—環境系の 諸問題를 고찰 함에는 體溫調節系の 특성을 파악하는 것이 무엇보다도 중요하다. 특히 人間이 차지하는 비율이 큰 環境系 즉 보육기, 우주복, 잠수복, 소방복 등의 경우에는 人體 體溫調節系の 특성을 아는 것이 不可缺하다.

이러한 종류의 연구에는 體溫調節系の modeling 이 人體의 조절기능을 종합적으로 解明하기 위한 유용한 수단인 하나가 된다.

本稿는 人體 體溫調節系の 특징과 數式 model 의 계산에 의한 體溫調節系の 특성을 一覽하고, 이어서 측정의 實例 및 體溫調節系の 計測과 그 問題點을 記述한다.

II. 體溫調節系の 特徵

체온조절계는 生體 system 에 있어서 다른 subsystem 의 정상적인 움직임의 基盤을 형성하고 있으며, 人間의 체온조절계는 恒溫動物중에서도 가장 발달된 恒常性 유지기능을 가지고 있다고 한다.

그 기구는 溫冷 2종의 受容器를 구비하여 發汗, 떨림 (shivering), 皮膚血流 등의 操作量을 교묘히 구사하

므로 情報와 制御의 조절방식에 관해서는 工學의 溫度 制御系에서는 볼 수 없는 고유의 특징을 가지고 있다. 또한 피부온도, 내부온도 등의 system 의 狀態量과 그 檢出端인 溫度受容器나 操作部인 感測, 피부말초혈관 등이 피부표면에 널리 分布되어 있는 특이한 分布制御 system 을 형성하고 있다.

體溫調節系는 반드시 독립된 system 이 아니고 본래는 다른 목적의 器官인 骨格筋, 皮膚末梢血管 등을 代用하고 있기 때문에 다른 subsystem 의 영향을 받기 쉽고, 또한 全身적이기 때문에 外亂 특히 內部外亂을 받고 있다고 생각된다. 그럼에도 불구하고 비교적 안정된 恒常성을 유지하고 있다.

이와같이 복잡하고 교묘한 機構의 制御情報 system 이 어떻게 구성되어 있는가는 매우 흥미있는 문제이다.

III. 體溫調節系の 解析^{1~3)}

체온조절계 연구의 가장 큰 問題點은 system 을 分割할 수 없는 것이다. 工學의 制御系에서는 보통 system 을 각 構成要素로 분해하여 개개의 특성을 알며, 각 또한 요소의 관련을 고려해서 system 전체의 특성을 파악하는 방법을 취하고 있다.

그러나 生體는 원래가 폐쇄된 system 이어서 體外로 끄집어 내어 측정하거나 構成要素로 나누는 것은 전혀 불가능하다. 그러므로 未知의 기능을 推論으로 보충해서 model 化하여 解析하는 것이다.

model 化的 利點은 그것을 검토하는 단계에서 만들어진 作業假說로 부터 많은 사항을 演繹할 수 있고, 또

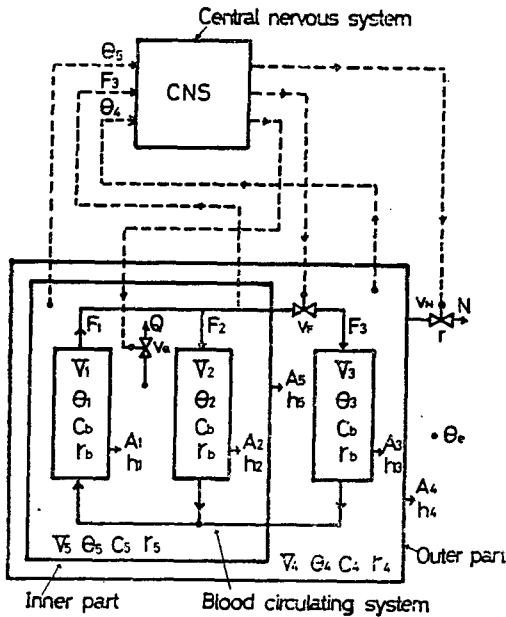


Fig. 1. A model of the temperature regulation system in the human body.

한 諸特性을 통일적으로 알 수 있을 뿐만 아니라 지금까지와는 다른 새로운 洞察이 얻어지며 實驗方法에 대해서도 많은 示唆가 얻어진다는 점이다.

體溫調節系에 대해서는 비교적 일찍부터 數式化의 研究가 이루어져 지금까지 많은 數學的 model이 제안되었다⁴⁻⁸⁾. 특히 1967년 川島⁹⁻¹³⁾는 체온조절계의 操作量 사용의 假說에 의거한 model을 만들어 全身의 靜特性을 계산하고 溫熱 parameter의 영향을 조사하였다.

Fig. 1은 川島 model의 略圖로서 이를 詳述한다. 人體는 비교적 일정한 온도를 유지하는 內部系와 용이하게 그 온도를 변화하는 外部系로 나누고 그 사이를 血液이 순환하는 것으로 하며, 외부의 血液循環量 F_3 와 떨림 등에 의해서 변화하는 代謝產熱量 Q 및 發汗量 N 에 의해서 조작되는 것을 假說하여 체온조절계의 靜特性이 해석된다.

이때 熱發散에 관계하는 외계환경의 변화로서는 氣溫, 濕度, 風速, 輻射 등이 있으나 대표적으로 氣溫 θ_s 만 취한다. 이 model의 계산에서 血液에 의한 조절 가능한 범위가 명확하게 된다.

川島는 체온조절계의 操作量 성질에 관한 다음과 같은 假說을 설정하였다.

- 1) 周圍環境의 변화에 대해서 극력 內部溫度가 일정

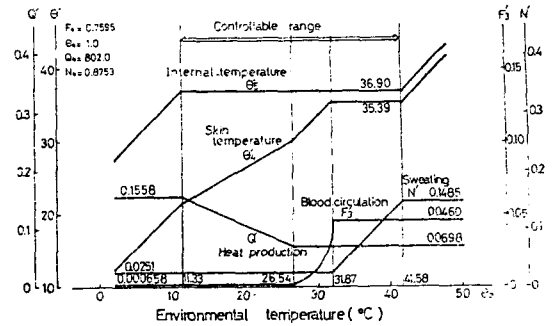


Fig. 2. Prediction of heat insulation effect of clothing.

하게 유지되도록 制御되고 있다.

2) 常溫 부근에서의 操作量으로서의 皮膚血流量의 변화가 쓰이고, 이것만으로 制御가 불가능한 온도영역에서는 發汗 및 떨림이 쓰인다.

Fig. 2는 上記 作業假說에 의해 체온조절계의 靜特性을 계산한 例이다. model의 定數를 변화함에 의해서 性別, 年齡別, 季節別 등에 관계하는 체내온도 設定値의 변화, 皮下脂肪의 두께, 基礎代謝量, 體格, 着衣量 및 風速 등의 parameter의 변화가 체온조절계의 특성 특히 調節領域에 미치는 영향을 조사할 수가 있다.

制御對象의 간단한 model化와 調節部에 대한 作業假說에서 많은 豫測結果를 유도하고 이것에 의해 각종 溫熱 parameter의 영향을 一覽할 수 있다. 그러나 이러한 결과는 어디까지나 假說로부터의 演繹이어서 많은 實驗을 集積하여 歸納해 가지 않으면 안된다.

IV. 體溫調節系 特性의 測定 例

筆者는 각종 溫熱環境에서의 체온조절계의 靜特性을 生理的, 心理的으로 측정하여 報告한¹⁴⁻¹⁵⁾바 있다.

被實驗者는 건강한 여성으로서 약 25°C, 50%RH의 豫備室에서 60분간 安靜시킨 후, 일정 조건(10, 16, 22, 28, 34, 40°C, 50%RH)의 人工氣候室에 이동시켜서 裸體, 椅座, 安靜의 상태로 180분동안의 온열환경 변화에 대한 人體의 生理的, 心理的 反應을 측정, 기록하였다.

측정 항목은 直腸溫度, 耳內溫度, 皮膚溫度, 指血流量, 體重減小量(發汗量), 代謝量, 脈搏數, 呼吸數, 血壓, 放熱量, 皮膚溫度의 分布, 溫冷感, 快適感 등이다.

裸體, 安靜時의 체온조절계의 특성을 측정한 결과는 數式 model의 결과와 잘 일치하며 前述한 操作量에 관한 假說과 大局의으로 보아 모순하지 않는다는 結論

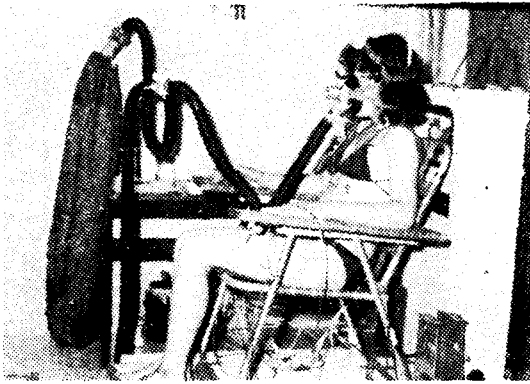


Fig. 3. Scenery of experiment.

을 얻었다.

Fig. 3은 人工氣候室內에서의 측정 광경이며, 以下 靜特性的 요점을 記述한다.

- 1) 直腸溫度는 環境온도가 높아짐에 따라 약간의 상승 경향이 있다.
- 2) 平均皮膚溫度는 環境온도가 높아짐에 따라 상승하나, 發汗이 일어나는 高溫環境에서는 그 상승의 기울기가 완만하다.
- 3) 血流調節領域 領域은 약 22~28°C이다.
- 4) 發汗은 약 31°C에서 시작하며 이것은 男子의 경우¹⁶⁾보다 약 3°C 높다.
- 5) 代謝에 의한 溫度調節은 약 28°C 부근이다.
- 6) 脈搏數는 環境온도에 따라 상승하지만 呼吸數는 큰 변화가 없다.
- 7) 放熱量은 거의 直線的으로 감소하며, 38~40°C에서는 負의 값이 된다.
- 8) 最高血壓은 環境온도에 관계없이 비교적 일정하나, 最低血壓은 環境온도가 높아짐에 따라 감소하는 경향을 나타낸다.
- 9) 溫冷感의 嗜지도 嫌지도 없는 中立點은 약 30°C이다.

V. 體溫調節系の 計測과 問題點

체온조절계의 계측은 方法이나 機器가 현재로서는 반드시 충분하다고는 할 수 없으며 해결되어야 할 문제가 山積해 있다. 本稿에서는 계측방법의 概要와 그 問題點을 記述한다.

1. 體內溫度

인체내부의 온도를 無侵入的으로 측정함에는 直腸溫

度, 腔溫度, 耳內溫度, 鼓膜溫度, 口腔溫度, 食道溫度 등을 측정하는 방법이 있다.

直腸溫度는 안정되어 있고 측정이 용이하기 때문에 실험실 실험에서 많이 쓰이고 있다. 鼓膜溫度¹⁷⁾는 인간의 視床下部온도와 거의 비례한다고 알려져 있으며, 耳內溫度¹⁸⁾는 外耳道의 입구를 斷熱하여 내부의 온도를 측정하며 고막온도 대신에 쓰인다. 현장 실태조사에서 많이 쓰이는 口腔溫度, 舌下溫度¹⁹⁾는 長時間 측정에서의 異物感이 다소 문제가 되나 動脈의 온도를 나타내므로 적합한 측정부위라고 생각된다.

이상 諸溫度의 檢出端에는 Thermistor 또는 Thermocouple이 쓰인다.

採尿직후의 尿溫度에 의해 내부온도를 측정하는 방법도 있는데 이는 口腔溫度나 直腸溫度와는 명백한 相關이 인정되며 거의 정확한 體溫을 나타낸다.²⁰⁾

일반적으로 쓰이고 있는 막대온도계에 의한 腋窩溫度는 팔을 몸에 밀착시킴에 의해 일어나는 鬱熱을 이용하기 때문에 正常에 도달하기에는 5분정도 걸린다. 같은 원리를 人工的으로 일으켜서 측정하는 것에는 深部溫度計^{21,22)}가 있다. 임의 부위의 深部溫度를 측정할 수 있으며 體表로부터 측정하므로 異物感이 없는 등의 특징이 있기 때문에 臨床的으로도 응용범위가 넓다.

이상의 諸溫度計를 사용하더라도 內部溫度 分布의 측정은 어렵다. 전자부품의 超小形化한 오늘날에는 micro capsule에 의한 Telemeter 등에 의해서 胃內溫度나 동물실험에서의 각종 臟器의 온도를 정밀하게 측정하는 것이 今後의 課題의 하나이다.

2. 皮膚溫度

고체와 기체의 境界面을 통한 열의 이동이 있을때 그 境界面의 온도(즉 皮膚表面溫度)를 정확하게 측정하는 것은 매우 어려운 문제의 하나이다. 森田등은 이 문제에 대해 微分値零位法²³⁾을 개발하였는데, 이 방법에 의하면 常溫부근에서 ±0.15°C 이내의 精度로 간편하고 신속하게 表面溫度를 구할 수 있다.

그러나 일반적으로는 사용이 간편한 Thermistor, Thermocouple 등을 發汗이 차단되지 않는 surgical tape 등으로 피부에 밀착시켜 측정한다. sensor를 tape로 붙이므로 원래의 피부 표면온도보다 體內溫度에 조금 가깝게 되며, sensor의 接點부근의 素線이 공기중에 노출되어 있으면 반대로 氣溫에 가깝게 된다. 따라서 이 방법으로는 極細의 sensor를 가능한한 얇은 tape로 붙이는 것이 바람직하다. 素子は enamel 등



Fig. 4. Thermogram of the temperature distribution at ambient temperature 22°C.

로서 電氣的으로 絶緣하여야 한다.

신체 부위별 代表測定點 및 按分比率는 研究者에 따라 다르며, 당연히 體型, 性 등에 따라 달라야하겠지만 여기까지는 아직 상세한 提案은 없다. 後述하는 Thermo Camera 에 의한 皮膚溫度의 측정 및 moire 에 의한 體表面의 측정 등의 방법과 併用함에 의해 보다 적절한 測定點 및 按分比率의 연구가 요망된다.

赤外線 放射溫度計인 Thermograph²⁴⁾를 사용하면 비접촉으로 皮膚의 溫度分布를 흑백 및 colour로 관찰할 수 있어, 體溫관계의 연구에는 必需品이라고도 말할 수 있으나 가격이 비싼 것이 흠이다.

Fig. 4는 筆者가 촬영한 女性 上半身の 10段階 等濃度線 熱像圖이다(Thermo Camera; Canon CT-4A).

人體의 피부부근에서의 熱移動은 내부로부터의 末梢血管에 의한 熱移動 및 放射傳熱의 복잡함과 더불어 後述하는 發汗의 문제까지 겹쳐 대단히 복잡하나 매우 흥미있는 熱交換 system을 구성하고 있다하겠다.

上記 方法의에 表面溫度의 分布를 측정함에는 液晶을 쓰는 방법이 있는데 간편하므로 이용방법의 적절한 開發에 의해서 많이 普及될 것으로 보인다.

3. 發汗量

땀은 全身에 약 230만개의 汗孔에서 소량씩 나오므로 이것을 모으거나 發汗狀況을 추정함에는 특별한 방법이 필요하다. 總發汗量을 측정함에는 일반적으로 體重減少에 의한 방법이 채택되며 稱量 100 kg, 感量 1 g

의 人體天秤이 사용된다. 땀을 흘리지 않을 때도 피부角質層에서 不感蒸泄이나 呼氣에 의한 蒸散이 있으므로 感量 0.1g 까지 측정할 수 있는 天秤의 개발이 요망된다.

呼氣로부터의 蒸散量은 後述하는 代謝의 측정에 쓰이는 呼氣量과 吸氣와 呼氣의 水蒸氣分壓의 차에서 구한다. 高溫多濕의 실험에서 蒸散量과 發汗量을 나누어 측정하고자 할 경우는 蒸散量을 측정한 후, 수건 등으로서 피부에 남아있는 땀을 닦아 發汗量을 측정한다.

長期間의 실험에서는 음식물, 尿 등의 중량을 측정하여 加減한다. 後述하는 人體 Calorimeter 에서는 피실험자를 상자속에 넣어서 통과하는 공기의 流量과 濕度の 증가에서 總蒸散量이 계산되어진다.

피부면에 나온 땀의 分布를 알기 위해서는 땀에 색을 넣는 방법이 편리하다.²⁵⁾

發汗의 定量的인 측정에는 濾紙를 넣은 작은 cap을 피부에 부착하여 땀을 흡수시킨 후 濾紙중량의 증가분에서 구하는 법과 염화칼슘 등의 吸收劑에 의한 방법이 있다.

發汗하지 않을 때의 不感蒸泄의 측정은 공기가 흐르지 않는 밀폐된 용기내의 濕度の 증가를 측정한다. 또한 單一의 땀샘에는 유리毛細管을 삽입하여 그 分泌를 측정하는 방법도 있다.²⁶⁾

蒸散한 땀은 공기 등에 확산하여 간다. 따라서 水蒸氣分壓은 體表에서 멀리 떨어질수록 낮아진다. Nisson은 이 擴散을 이용한 測定器²⁷⁾를 개발하였다.

發汗을 측정할 때에는 溫熱性發汗, 精神性發汗, 半側發汗反射²⁸⁾ 등의 發汗現象을 미리 把握해 두는 것도 중요하다.

4. 代謝產熱量

代謝量을 측정하는 방법에는 直接熱量測定法과 間接熱量測定法の 2가지가 있다.²⁹⁾

直接熱量測定法은 O₂ 소비량, CO₂ 발생량에서 榮養素의 酸化에 要하는 熱量을 間接的으로 측정하는 것으로, 이른바 gas 代謝法이라고도 일컬어지며 吸氣의 供給法과 呼氣의 處理方法에 따라 閉鎖式과 開放式이 있다.

閉鎖式은 발생한 CO₂를 吸收劑 등으로 흡수케하여 裝置內는 O₂만으로 순환하는 방법으로 O₂ 消費量을 측정하여 熱量을 구한다. 여기에는 Krogh,³⁰⁾ Knipping³¹⁾, Benedict³²⁾, Sanborn³¹⁾ 등의 裝置가 있다.

開放式은 공기를 빨아들여 呼氣量을 측정하고 O₂, CO₂의 濃度を 呼氣分析器로서 分析하여 계산한다. 呼氣의

採集에는 Douglas bag 法³⁹⁾이 操作 및 携帶가 간편하고, 또한 變化가 많은 代謝量의 시간적 추적을 할 수 있기 때문에 많이 사용된다.

呼氣의 分析에는 勞研式, Haldane, Sholander 등이 있고,³⁴⁾ 連續測定에는 gas의 磁化率, 熱傳導度를 이용한 電氣式 呼氣分析器가 있으나 빈번한 校正을 필요로 한다.

直接熱量測定法은 人體에서 외부로 방출되는 熱量을 직접 측정하는 것이다. 간단히 말하면 상자속에 被實驗者를 넣고, 상자에 送入하는 空氣와 排出하는 空氣의 溫濕度 및 流量을 측정하고, 통과 空氣에 의해 없어지는 顯熱과 潛熱을 구한다. 또한 상자의 壁 진체를 熱流計로서 구성하여 壁을 통해 없어지는 熱量을 측정하여 全放熱量을 구한다.

初期의 장치로는 DuBois의 斷熱性 Calorimeter가 있는데, 이것은 壁이 二重壁으로 되어 같은 온도가 유지되도록 斷熱되어 있다. Winslow 등의 分割 Calorimeter²⁵⁾는 최초로 對流과 輻射를 분리할 수가 있어 放熱 徑路마다 熱量을 구하게끔 되어 있다.

한편 몸의 일부에서의 放熱을 측정함에는 Forster 등의 Hand Calorimeter³⁶⁾가 있다. 部位別 放熱量의 측정은 今後의 중요한 과제이며, 그 경향은 筋電圖에 의한 筋活動의 측정과 振動計에 의한 떨림(shivering)을 측정하는 방법 등이 있다.

5. 皮膚血流量

皮膚血流量의 측정에는 plethysmography에 의한 靜脈閉塞法³⁷⁾이 많이 쓰이는데, 筆者가 사용한 이 方法을 詳述한다.

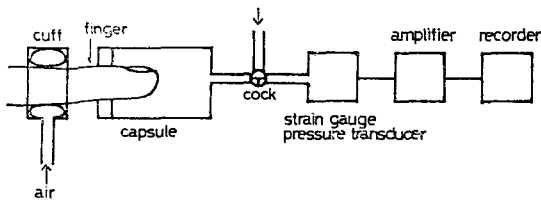


Fig. 5. Measurement of the blood flow rate of finger.

손가락을 밀폐容器인 capsule로 덮고 下部에 작은 cuff를 감아서 內壓을 약 70 mmHg로 올려 靜脈流만을 정지시키면 動脈血의 流入에 의해 손가락의 體積은 급속히 증가하여 容器內의 壓力이 變化한다. 이 壓力變化를 微壓計인 strain gauge pressure transducer로서 檢出하여 増幅하고 Recti-

graph로서 기록한다. 上昇曲線의 기울기에서 손가락에 흐르는 血流量을 구한다.

密閉容器내에 물을 넣어서 毛細管 水面의 움직임을 읽는 방법도 있으며, 또한 內徑 0.1mm 정도의 silicon 고무속에 水銀을 넣고 이것은 손가락에 감으면 손가락 周徑의 신장에 따라 silicon 고무가 늘어나 電氣抵抗이 變化한다. 따라서 손가락의 周徑과 容積의 관계에서 血流量을 구할 수 있는데 이것도 일종의 plethysmography이다.^{38,39)}

임의 部位의 皮膚血流量을 측정함에는 反射光電 plethysmography가 있는데 이는 皮膚의 일부에 빛을 가해, 그 部位의 血液量에 의존하는 反射光量을 半導體 등으로서 電氣的으로 檢出記錄하는 것이다.

그외에도 熱傳導率法,⁴⁰⁾ 熱電對法^{41,42)} 등이 있는데 이들은 皮膚의 일부에 가한 열의 擴散이 皮膚의 血流에 의존하는 것을 이용한 방법이다.

以上の 皮膚血流量의 측정법은 어느 것이나 校正法 등 많은 문제가 있어, 임의 部位의 皮膚血流量을 定量的, 連續的, 無侵入的으로 측정하는 것은 今後의 課題이다.

VI. 結 言

일반적으로 人體의 調節系는 극히 複雜하고 精巧한 system이라고 일컬어지며, 이러한 人體가 가진 뛰어난 機能을 解明하는 것은 生理學的 立場에서 뿐만 아니라 工學上의 制御問題를 검토하기 위해서도 매우 有用하다.

人間-衣服-環境의 諸問題를 system으로서 파악할 때에는 人體 固有의 體溫調節系의 存在와 그 特性을 충분히 고려할 필요가 있다.

또한 體溫調節系의 數式 model은 人體의 調節機能을 綜合的으로 解明하기 위한 有用한 수단 하나가 되며, 調節部에 대한 作業假說에서 많은 豫測結果를 유도할 수 있다.

이와같이 體溫調節系의 特性을 파악하기 위해서는 數式 model化와 作業假說로부터의 演繹과 實驗 data의 集積에 의한 歸納을 상호 반복하여야 한다.

즉 體溫調節系와 같은 복잡한 人體 system을 綜合的, 定量的으로 파악하기 위해서는 理論的 檢討와 生理學的 實驗을 相補的으로 進行하는 것이 有効하다고 생각된다.

参 考 文 献

- 1) 宇都宮敏男, 生體の制御情報システム, 朝倉書店, p.268-277(1978)
- 2) 南雲仁一, 生體システム, 日刊工業新聞社, p.13-40(1971)
- 3) 中山昭雄, 温熱生理學, 理工學社, p.370-381(1981)
- 4) Mcdonald, D.K.C. and Wyndham, C.H., Heat transfer in man, *J. Appl. Physiol.*, **3**, 342-364 (1950)
- 5) Wyndham, C.H. and Atkins, A.R., An approach to the solution of the human biothermal problem with the aid of an analogue computer, Proc. of the 3rd. International Conference on Medical Electronics, London, p.32(1960)
- 6) Crosbie, R.J., Hardy, J.D. and Fessenden, E., Electrical analogue simulation of temperature regulation in man, *IRE Trans. on BME*, **8**, 245-252(1961)
- 7) Wissler, E.H., A mathematical model of the human thermal system, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, **26**, 147-166(1964)
- 8) Stolwijk, J.A.J. and Hardy, J.D., Temperature regulation in man-A theoretical study, *Pflügers Arch*, **291**, 129-162(1966)
- 9) 川島美勝, 人體の熱的モデル, 日本機械學會 システム制御研究分科會資料, (1967)
- 10) 川島美勝, 山本弘, 増淵正美, 人間の體温調節モデルの一提案, 日本 ME 學會, 第7回 大會豫稿集, p.69(1968)
- 11) Kawashima, Z. et al., An analogue model of the body temperature, Proc. of the 16th. International Congress on Occupational Health, Tokyo, p.441(1969)
- 12) 川島美勝, 人體の熱的モデルと體温調節系, 日本機械學會 システム制御研究分科會報告書, p.95(1966)
- 13) 川島美勝, 山本弘, 人間の體温調節系モデル, 日本自動制御協會 生體工學と制御工學シンポジウム, p.55(1970)
- 14) 成秀光, 川島美勝, 後藤滋, 韓服の熱遮断能の研究(第1報), 第6回人間-熱環境系シンポジウム報告集, p.45-48(1982)
- 15) 成秀光, 鄭賢玉, 夏服の温熱生理學的基礎研究, 韓國衣類學會誌, **9**, 115-113(1985)
- 16) 川島美勝, 後藤滋, 體温調節系のシステムの研究, 第14回 日本 ME 學會大會論文集, 567-568(1975)
- 17) 内野欽司, 高感度鼓膜温測定装置と運動時の體温調節, 神奈川縣立體育センター報告, (1977)
- 18) Adducci, A.J., Weidenkopf, T.E. and Garwacki, D.J., Ovulation detetion by internal cranial temperature measure ments, *IEEE Trans on BME*, **12**, 2-7(1965)
- 19) 戸田嘉秋, 笹川祐成, 仁尾尙, 舌下温に関する研究 國民衛生, **23**, 1-7(1954)
- 20) 吉植隆平, 發熱・診かたとその対策, 醫學書院(1972)
- 21) Fox, R.H. and Solman, A.J., A new technique for monitoring the deep body temperature in man from the infacts kin surface, *J. Physiol.*, **212**, 8-10(1970)
- 22) 戸川達男, 根本鐵, 小林登史夫, 深部温度計の特性の解析, 醫用電子と生體工學, **11**(6), 28-31(1973)
- 23) 森田矢次郎, 小林彬, 松本幸三, 微分値零位法による表面温度の計測, 計測自動制御學會論文集, **11**(3), 263-268(1975)
- 24) 東京大學醫學部サーモグラフィ研究會編, 醫用サーモグラフィ圖譜, 醫學書院, (1971)
- 25) 久野寧, 汗の話, 光生館, p.10-11(1981)
- 26) 久野寧, 汗の話, 光生館, p.114(1981)
- 27) Nilsson, G.E., On the measurement of evaporative water loss, methods and clinical applications, Linköping Univ. Medical Dissertations, p.48(1977)
- 28) 高木健太郎, 生體の調節機能, 中央公論社, p.15(1981)
- 29) 沼尻幸吉, 活動のエネルギー代謝, 勞動科學研究所 p.219(1974)
- 30) Krogh, A., Abicycle ergometer and respiration apparatus for the experimental study of muscular work, *Skand. Arch. Physiol.*, **30**, 375-394(1913)
- 31) 金井泉, 金井正光, 臨床検査提要, 金原出版, p.13-18(1968)
- 32) Benedict, F.G., An apparatus for studying the respiratory exchange, *Am. J. Physiol.*, **24**, 345-374(1909)
- 33) Douglas, C.G., A method for determining the total respiratory change in man, *J. Physiol.*,

- 42, 18, (1911)
- 34) 三浦豊彦 外 4名, 新労働衛生ハンドブック, 労働科学研究所, p.501-504(1974)
- 35) Winslow, C.E.A. and Herrington, L.P., Temperature and Human Life, Princeton Univ. Press, p.28(1949)
- 36) Forster, R.E. et al., The relationship between total heat exchange and blood flow in the hand at various ambient temperatures, *Ame. J. Physiol.*, **146**, 600-609(1946)
- 37) 沖野遙, 堀原一, 本田西男, 血流測定, 醫學書院, p.145(1974)
- 38) 伊藤一夫, Mercury strain gange plethysmograph による末梢血障害の検計, 名古屋大學醫學雜誌, **93**, 232-255(1970)
- 39) Hokanson, D.E., et al., An electrically calibrated plethysmograph for direct measurement of limb blood flow, *IEEE Trans. on BME*, **22**, 25-28(1975)
- 40) Challoner, A.V.J., Accurate measurement of skin blood flow by a thermal conductance method, *MBE*, March, 196-201(1975)
- 41) Herbert Hersel and Fanz Bender, Fortlaufende bestimmung der handdurchblutung am menschlichen mit einem elektrischen wärmeleimesser, *Pflügers Archiv*, **263**, 603-614(1956)
- 42) 相馬敬司 宮下豊勝, 福島重廣, 西村營三, 熱電方式による血流計測とその應用, 「生體の制御情報システム」研究論文, No. 77(1976)