

快適な睡眠環境について

2009年10月20日

京都大学大学院工学研究科
銚井修一

講演内容

1. はじめに
2. 寝具による吸放湿:寝具内の汗
3. 快適な睡眠環境を目指して
4. さいごに

1. はじめに: 情報化社会における睡眠

- 情報が飛び交う現代社会
- 人体の情報処理装置である脳の維持管理
- 適切な睡眠の確保
- 快適な睡眠
 - 寝室, 寝具内の温湿度環境
 - 熱帯夜
- 寝室の温湿度環境と湿気

寝具における熱水分移動とその人体 温熱生理応答への影響

- 快適な睡眠と寝室・寝具内温湿度との関係
- 睡眠環境の形成に対して、寝室内温熱環境および寝具の果たす役割は非常に大きい。
- 寝具における熱水分移動が、寝具内の温熱環境・快適性を左右する主要な因子

快適な寝心地に関係する要因¹⁾

1. 精神的－身体的要因
2. 寝室環境に関する要因
3. 寝具の機能
 - ・寝床内の温湿度を快適に保ち，寝返りがうち易く，肌沿いの良いことなどが要求される。
 - ・寝床内を適切な温度に保つための保温性
 - ・寝床内の湿度調整
吸湿性，透湿性，放湿性が基本的性能

1)南本，快適なねごちを得るための寝具の条件，繊維と工業，Vol.43，No.6，PP.222-227，1987.

梁瀬・宮沢の研究²⁾

- 睡眠中の寝床内の温湿度測定
 - 寝つきなどには温湿度が関係
 - 体動との関連で明らかにしている。
- 快適睡眠
 - 布団における温湿度の予測
 - 夏期: 汗(液水)の移動と蓄積も重要

²⁾ 梁瀬・宮沢, 寝床環境の調整設備に関する基礎的研究, ハウスクリマ, 第4号, PP.8-11, 1978.

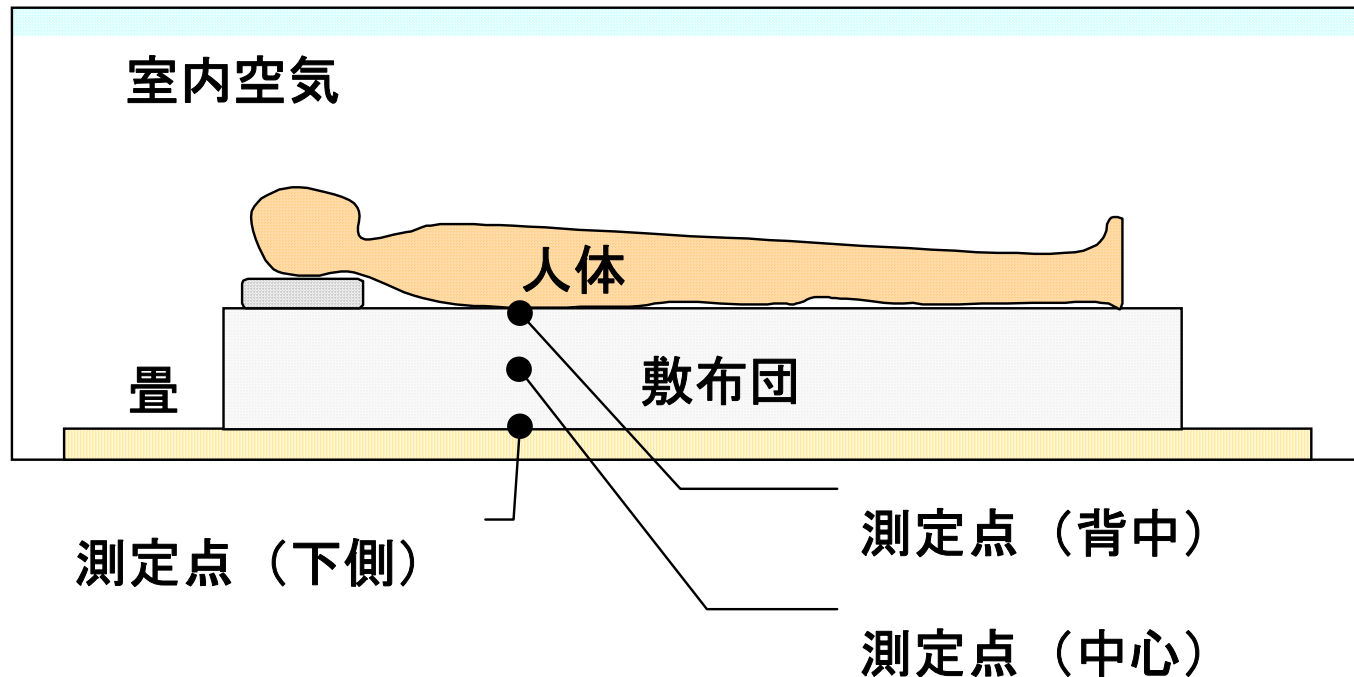
2. 寝具による吸放湿： 登倉らの研究³⁾

- 発汗が布団により吸着され発熱し、これが人体への熱流入を引き起こしている。
- 平均皮膚温がコア温度より上昇。これを放熱するために発汗が増加するという、寝具と人体生理応答との相互関係
- 熱・湿気の移動・蓄積と人体の温熱生理応答とのカップリングの重要性

³⁾登倉・小野・辰尾, 敷布団のわたの材質の相違がヒトの発汗反応に与える影響, 家政学雑誌, Vol.32, No.1, PP.47-52, 1981.

睡眠時の測定

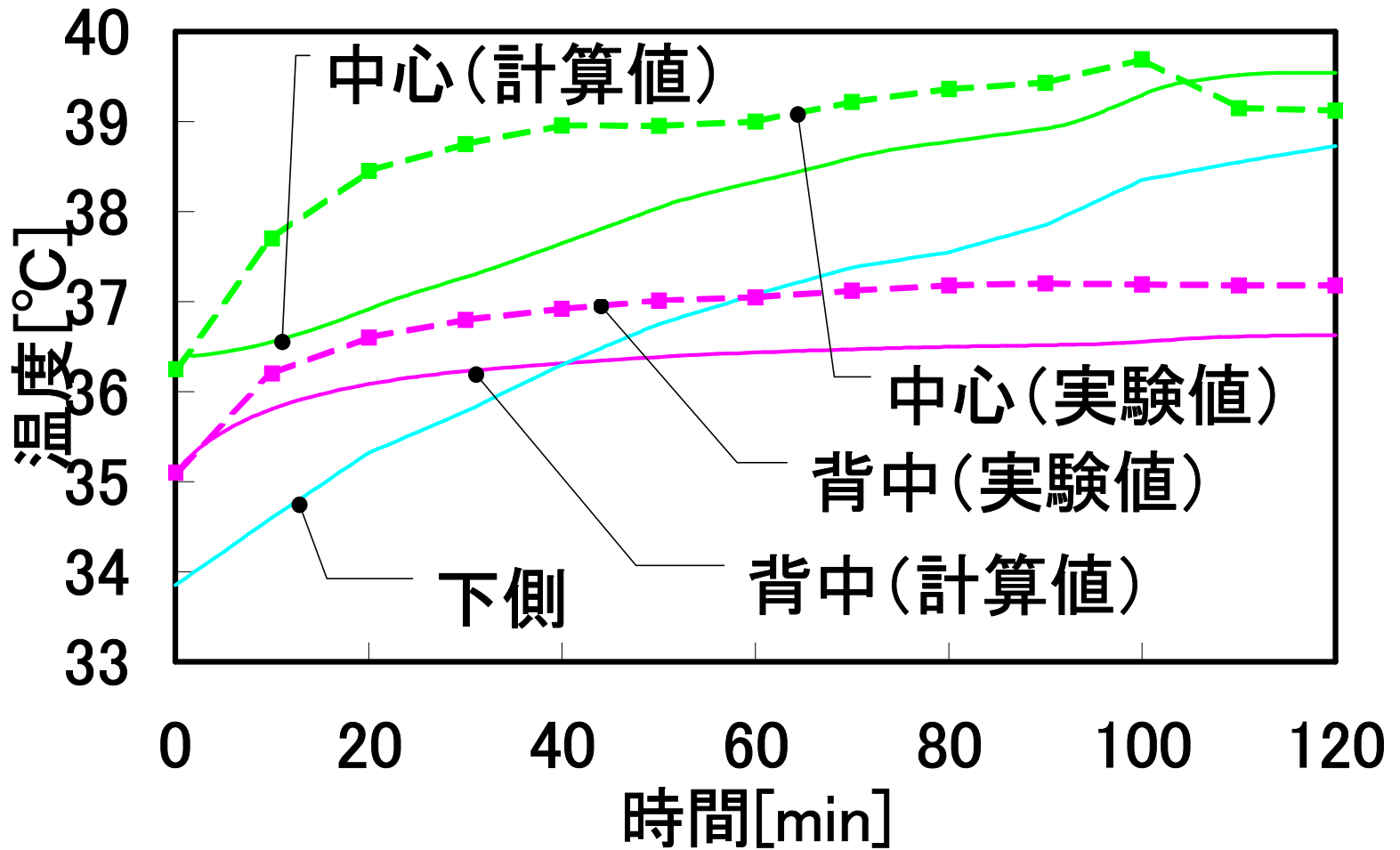
- ・1978年8月から9月
- ・被験者は男子6名、女子1名の計7名
- ・敷布団は綿わた敷布団とポリエステルわた敷布団
- ・環境温33°C、相対湿度45%に制御された人工気象室



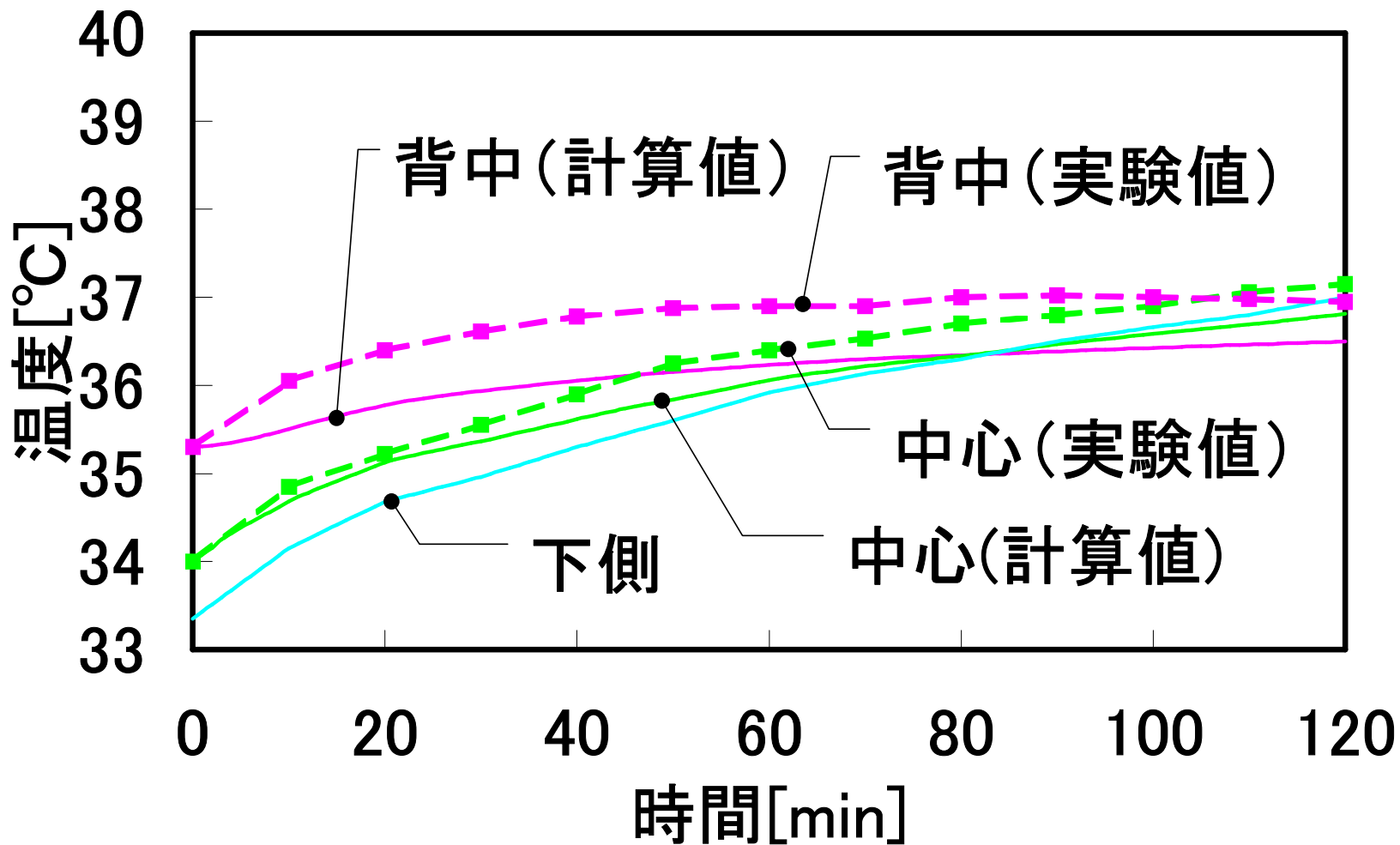
夏期における寝具内環境の 測定と解析

- ・ 被験者：男子6名，女子1名
- ・ 被験者の実験時の着装：男子は海水パンツ，女子は綿ショーツ，綿タンクトップ，綿ミニスカート
- ・ 敷布団：ポリエステルわた敷布団と綿わた敷布団
- ・ 環境温 $33 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，相対湿度 $45 \pm 5\%$
- ・ 実験用の着衣に替え，椅子に座り安静を保つ。被験者は敷布団の上に安静仰臥

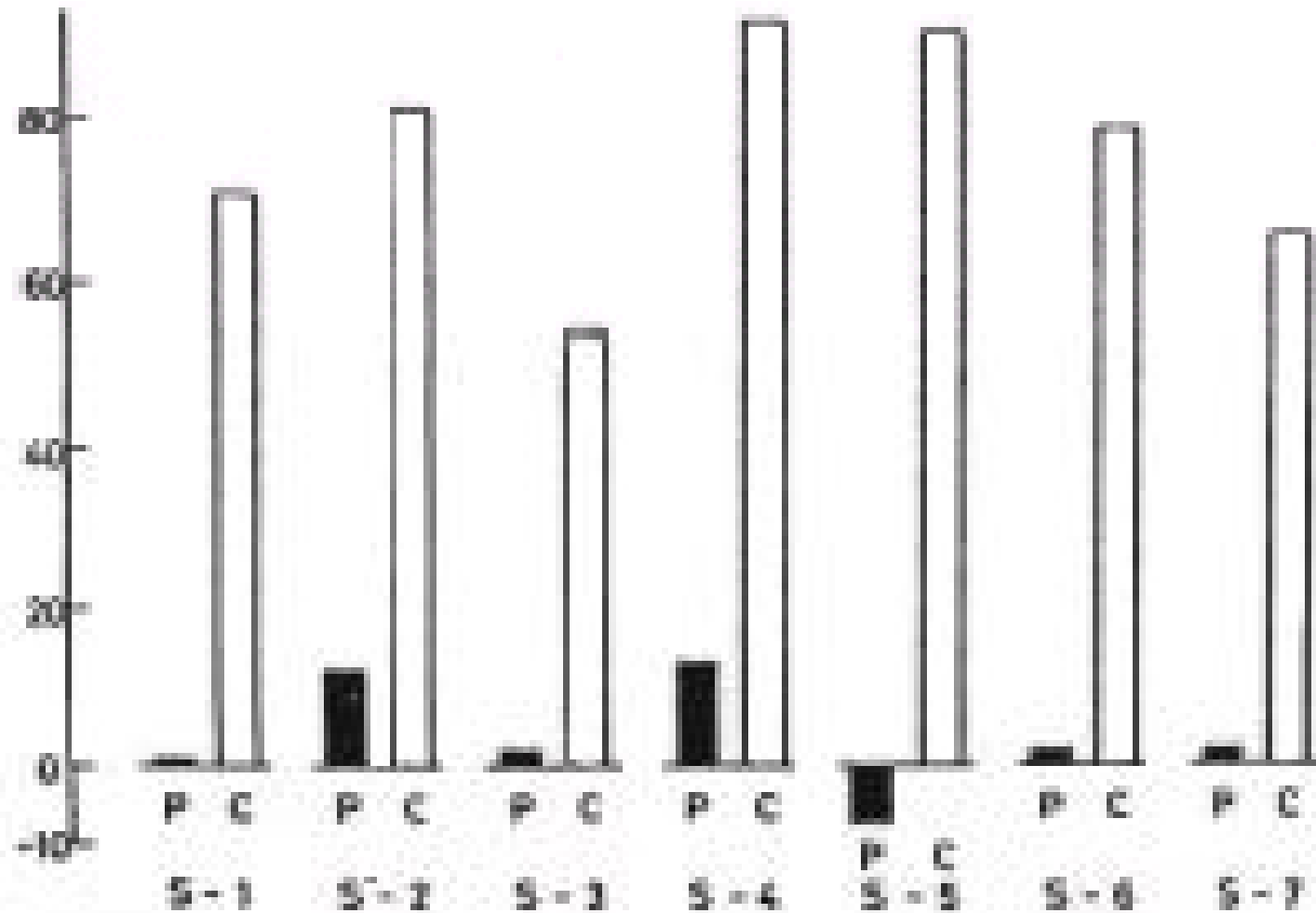
温度変化(綿)



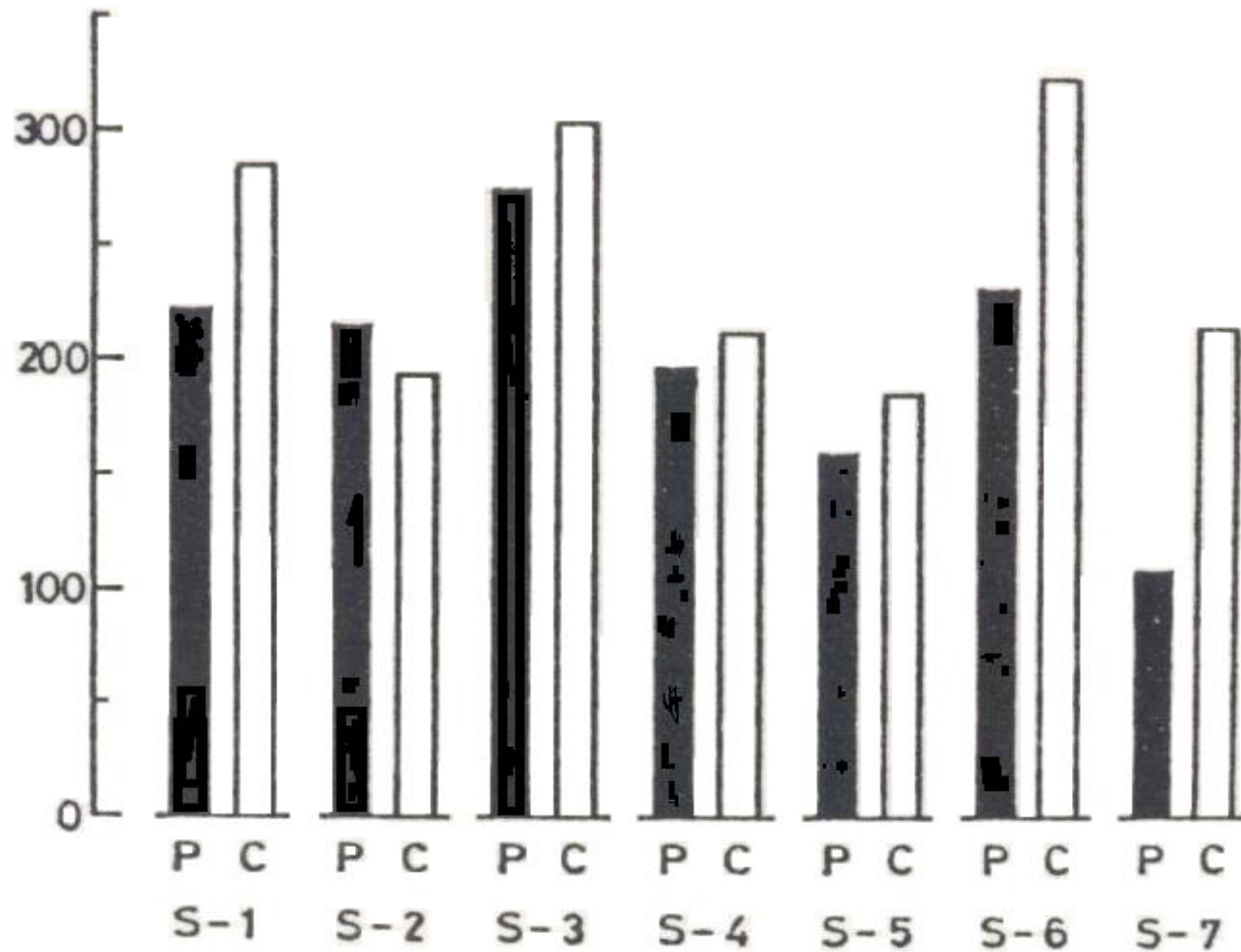
温度変化(ポリエステル)



布団の重量変化



体重減少量



解析方法と計算条件⁴⁾

人体の温熱生理モデル

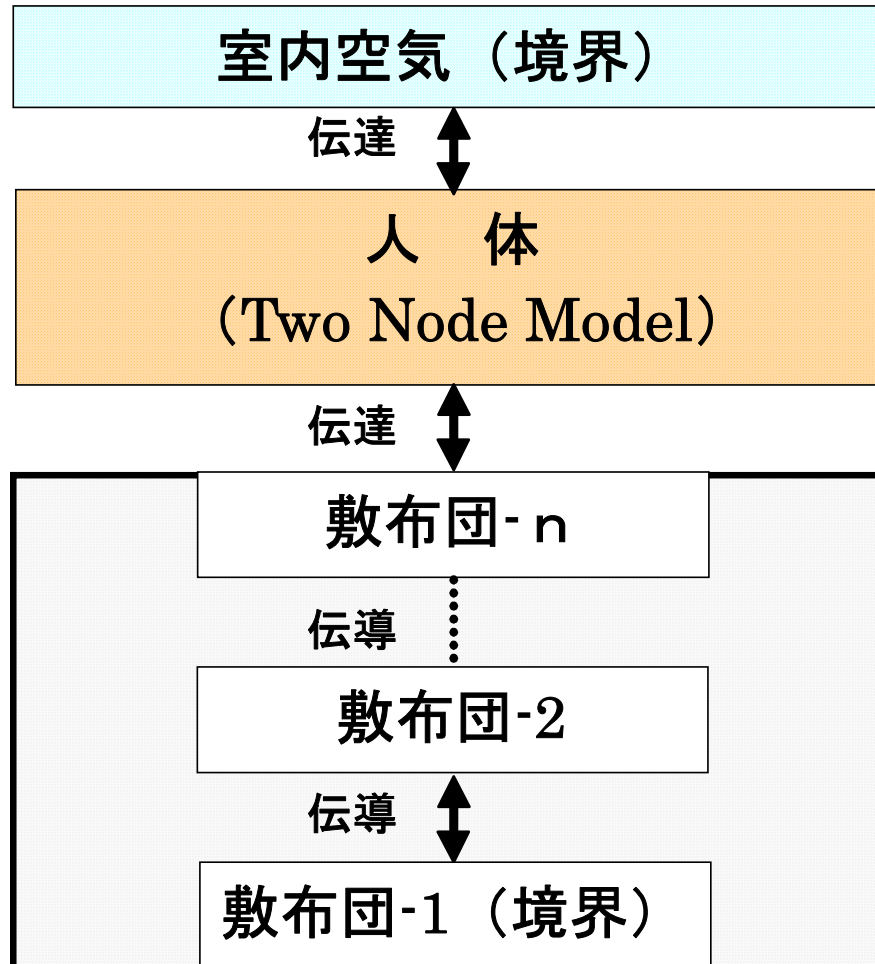
- ・ GaggeらのTwo node model
- ・ 着衣の有無により皮膚の節点を分割したJonesらのモデル

敷布団

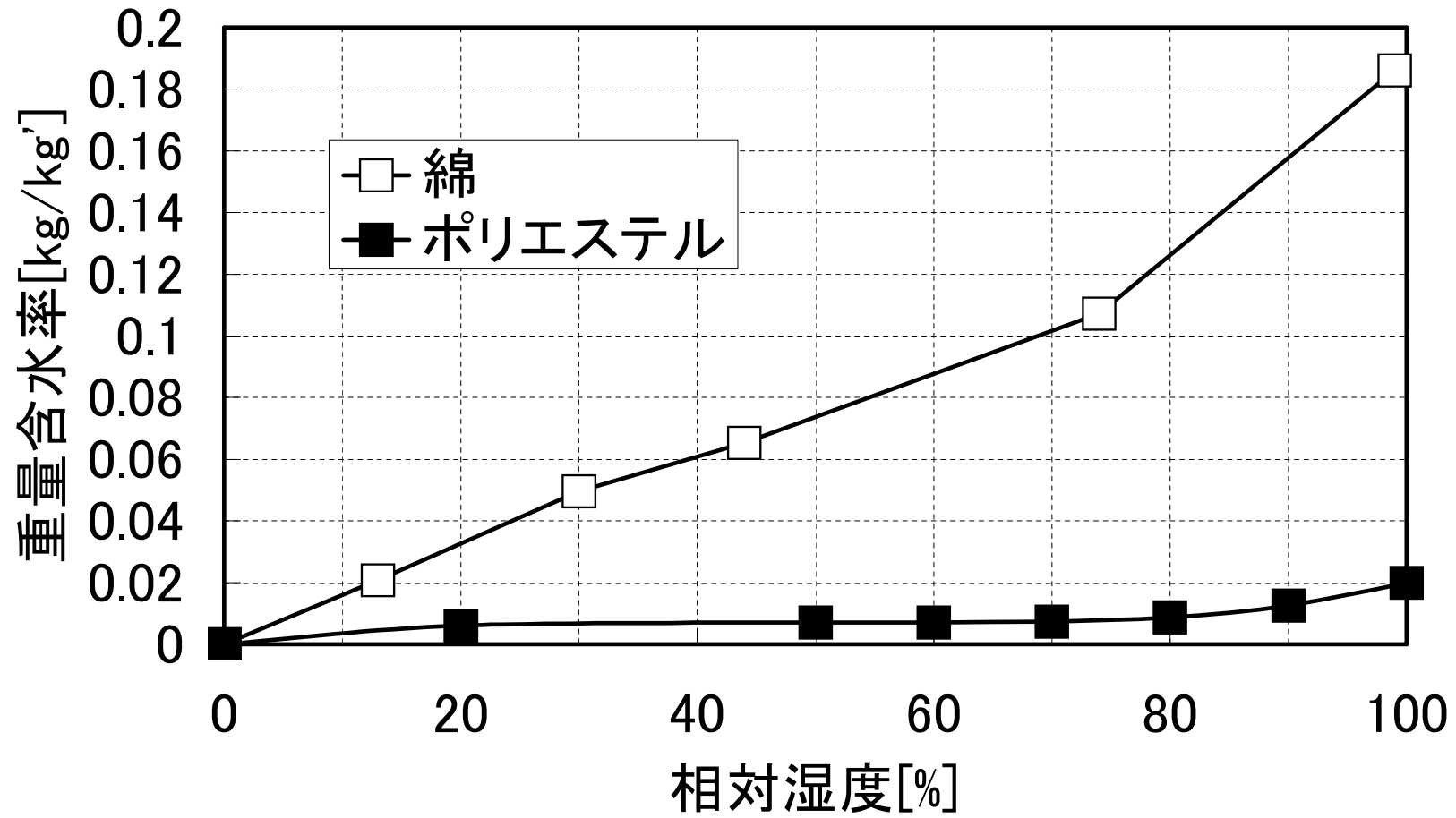
- ・ 熱水分同時移動モデル

4)小森ら：寝具における熱水分移動が人体の温熱生理応答に及ぼす影響，日本建築学会近畿支部研究報告集，第41号・環境系，PP.213-216, 2001.

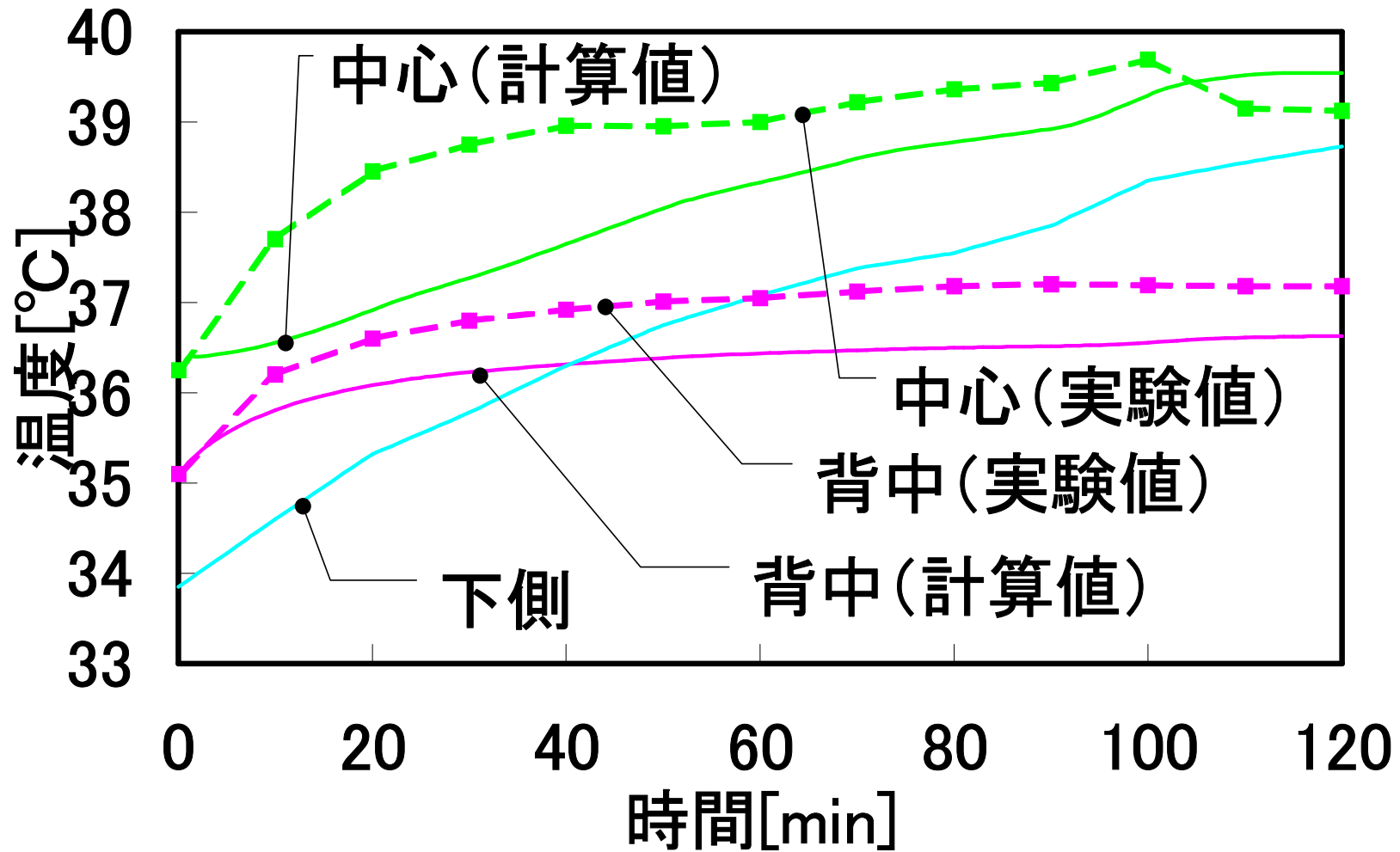
解析モデル



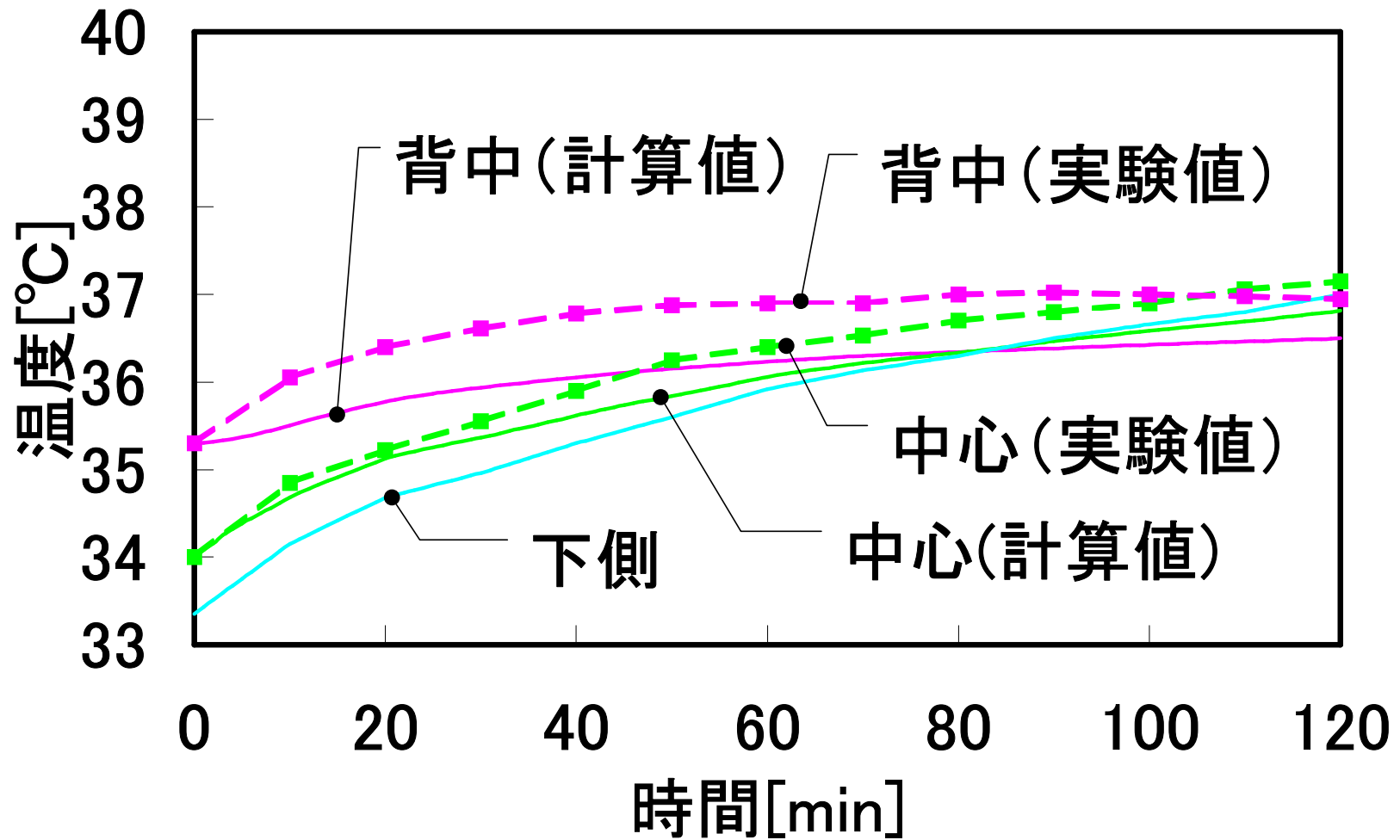
平衡含水率曲線



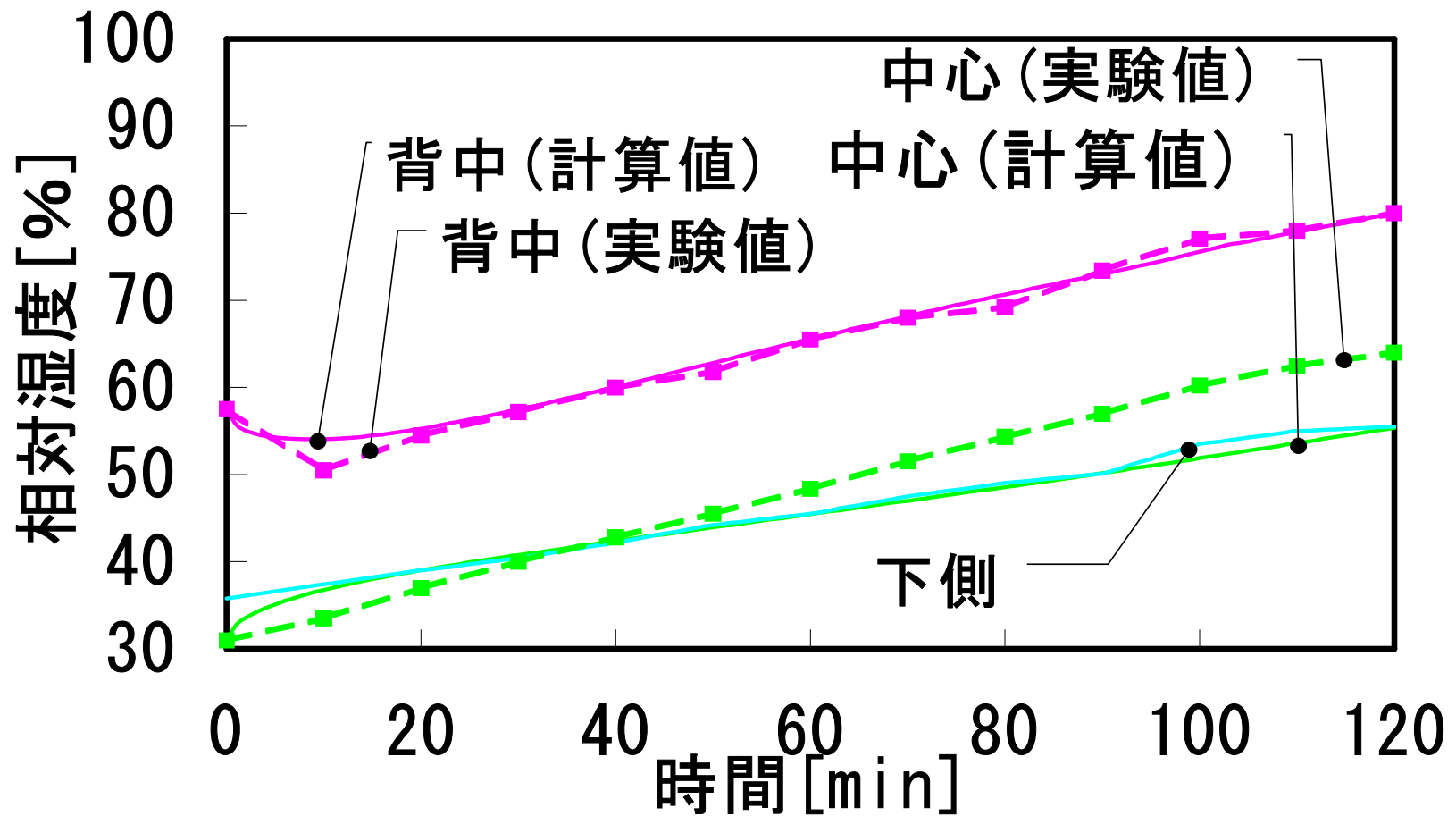
温度変化(綿)



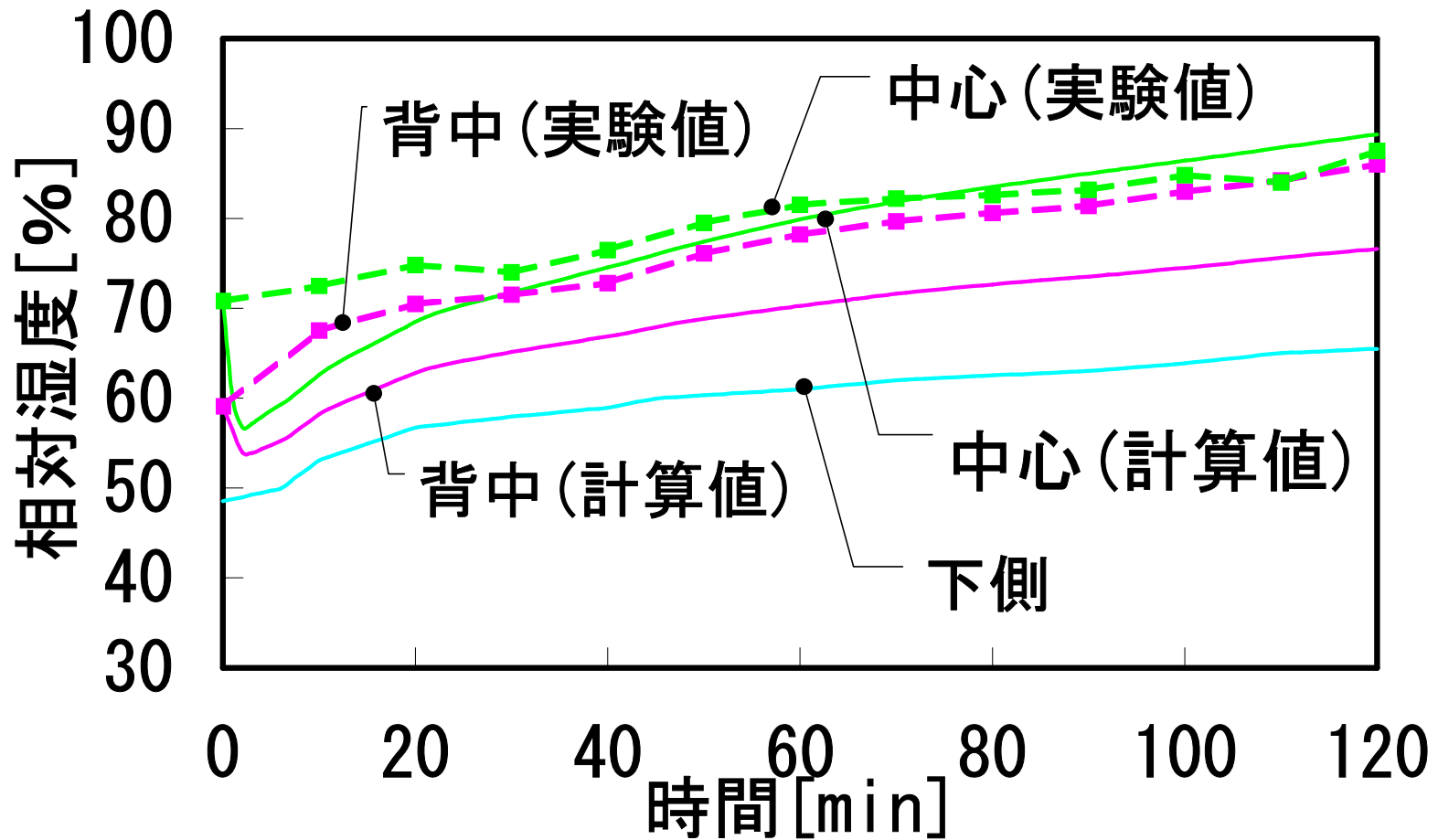
温度変化(ポリエステル)



相対湿度の変化(綿)



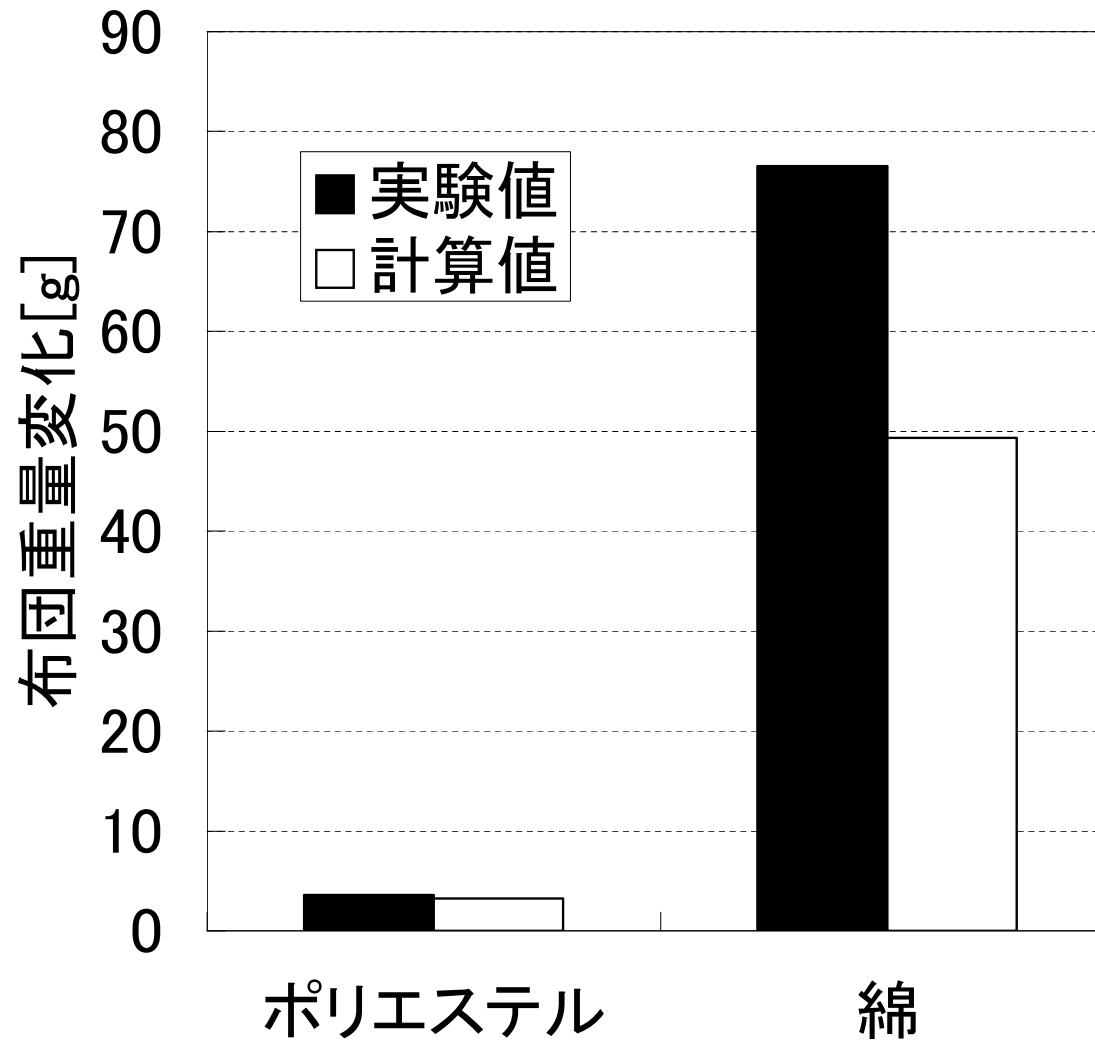
相対湿度の変化(ポリエステル)



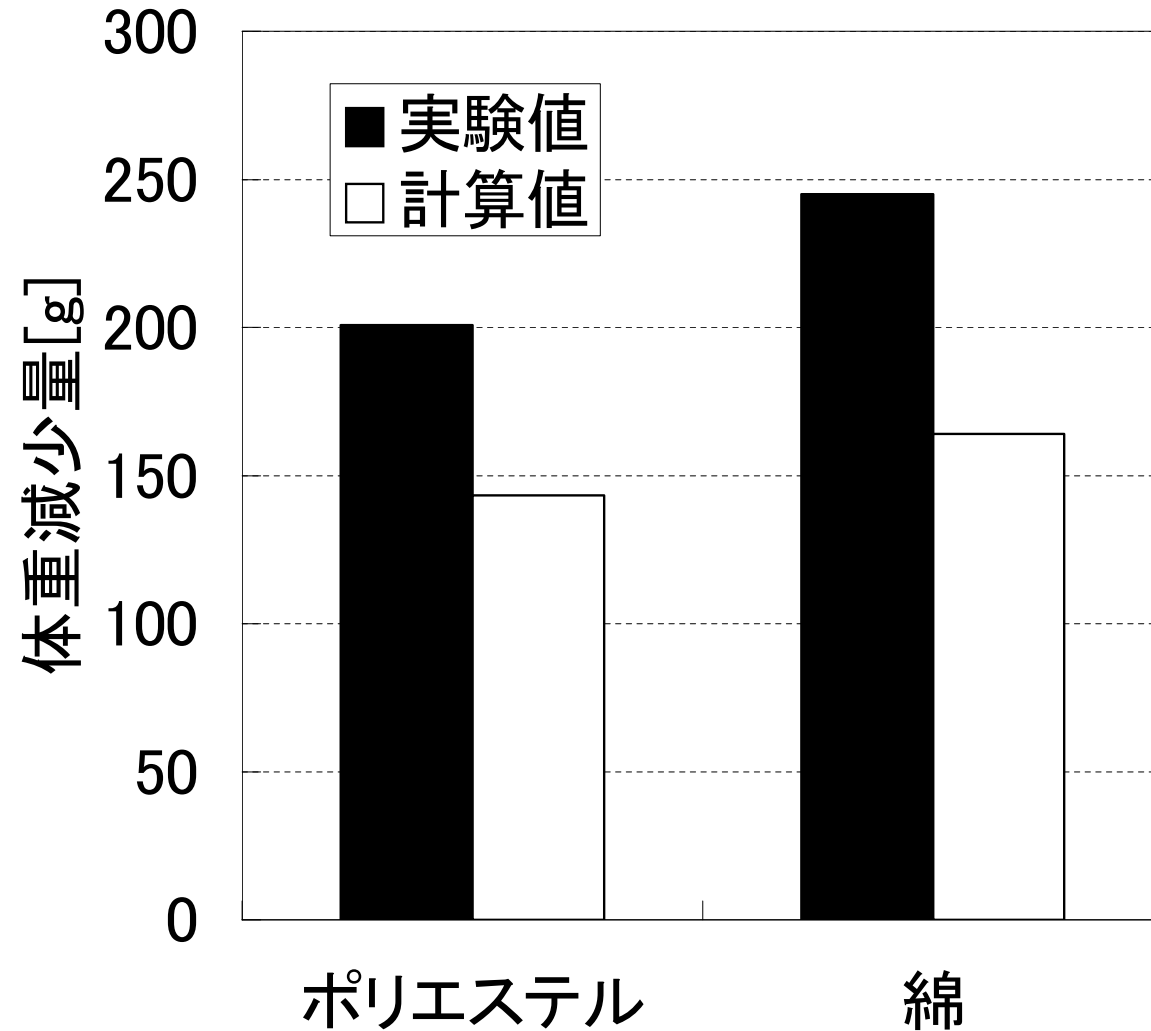
結果と考察

- 温度および相対湿度の測定値と計算値の比較
- 綿わた敷布団とポリエステルわた敷布団
- 計算結果は実験結果の全体的な傾向を再現
 - 敷布団の中心温度が背中よりも高い値
 - その程度はポリエステルに比して綿の方がかなり大きい。
 - 綿の吸湿性が大：発生した多量の汗（水蒸気）が布団内部で吸着され、熱が発生することによるもの

布団重量変化の比較



体重減少量の比較



敷布団の重量変化と体重変化

- 実験値と計算値の比較
 - 解析には被験者7人の実験条件を平均
- ポリエステルに比べて綿の敷布団の重量増加量は遥かに大きい。
- 敷布団による汗の吸着に伴って発生する熱が人体の発汗を促しているものと推定される。
- 綿, ポリエステルとも実測値に比して過小であるが, 計算によりそれが再現されている。

まとめ(寝具による吸放湿)

- 吸湿放に伴う発熱により敷布団中心部の温度が背中温度を上回ること、吸湿性が大きい綿わたの方がポリエステルよりその程度が大きいことを再現
- 綿わた敷布団では、ポリエステルの場合よりも人体の発汗量が多くなることを再現
- これは、寝室および敷布団における熱水分移動と人体生理応答との相互作用の重要性を示している。

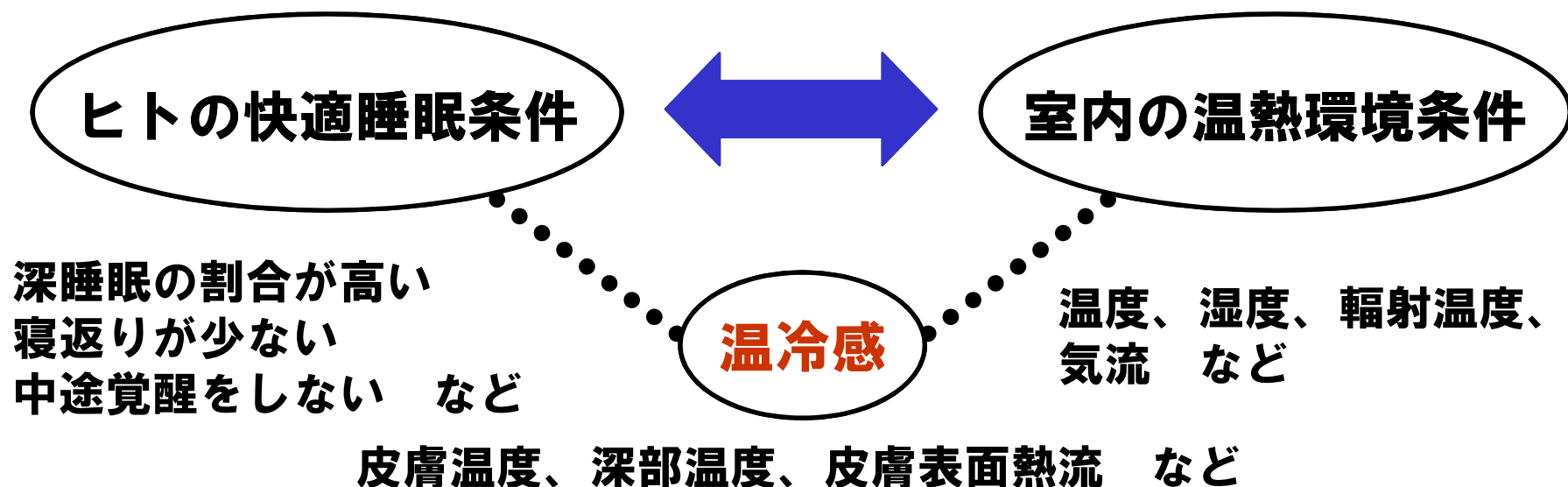
3. 快適な睡眠環境を目指して

- (1) 睡眠に関しては、快適性と健康性が同等
- (2) 睡眠中の生理量の予測と制御 ⇒ 熱帯夜を何とかしたい
 - ・どの程度の予測ができるか（Stolwijkモデル）
 - ・そのためには血流量、代謝量、熱伝導、温度センサー、姿勢などの検討が必要
 - ・最適な空調制御の可能性
 - ・個人差への対応が容易な状況
- (3) 睡眠深度、体動、睡眠時の温熱感
 - ・脳波の計測による睡眠深度の判定
 - ・脳波⇒本当に熟睡？どうして実験した？
 - ・睡眠時に温熱感はある？覚醒時の温熱感指標が使えるか？
- (4) 寝姿勢と血流量
- (5) 快適な睡眠とサーカディアンリズム⇒日変化⇒セットポイント

睡眠時は室内を快適な環境に維持することが難しい⁵⁾

睡眠時は主体的な温熱環境の操作ができない
(空調の設定を変更する、服を脱ぎ着する など)

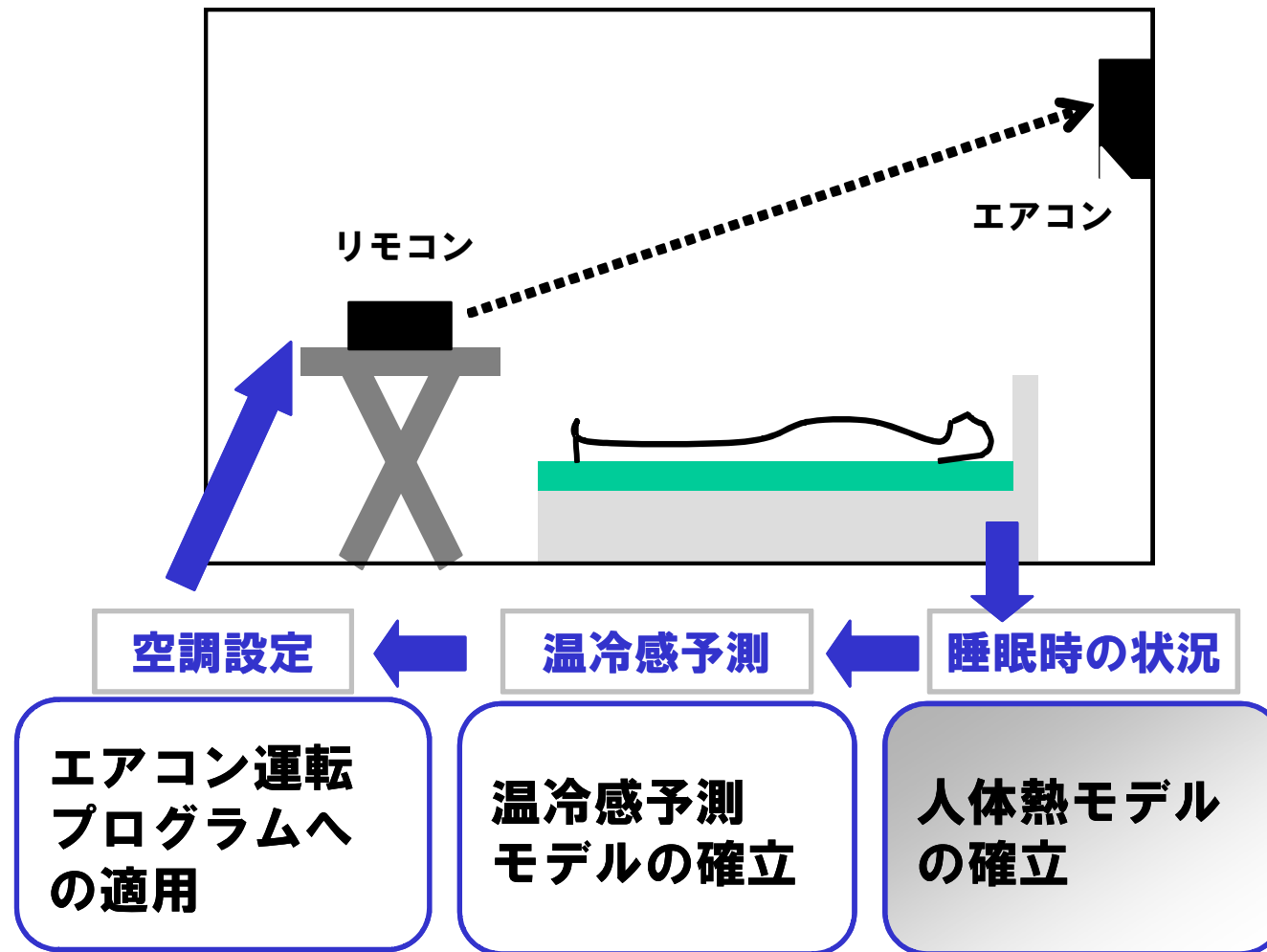
⇒ヒトの快適睡眠条件と室内の温熱環境条件の対応
関係に基づいて室内環境を制御



5) 石黒晃子：「睡眠時の温熱生理・心理反応の非定常モデル」京都大学・学位論文, 2009.

温熱環境制御方法の提案

人体生理量から睡眠時温冷感を予測
⇒設定温度にフィードバックする空調制御システム



睡眠実験：解析対象

被験者：健康な成年男子（身長163cm、体重58kg、25歳）
寝室を模した実験室にて夏季に4回の睡眠実験



実験概要

NO.	消灯時刻	起床時刻	ベッド	仰臥位	室内環境(頭部周辺の平均値)		
			滞在時間	継続時間	温度	相対湿度	絶対湿度
			[min]	[min]	[°C]	[%]	[kg/kg']
2	0:48	7:00	373	193	23.7	67.8	0.013
3	0:21	7:00	399	212	26.4	60.7	0.013
4	0:53	7:03	370	224	23.5	60.9	0.011

着衣：綿の半袖Tシャツ、綿の膝丈ズボン、トランクス

布団：タオルケット

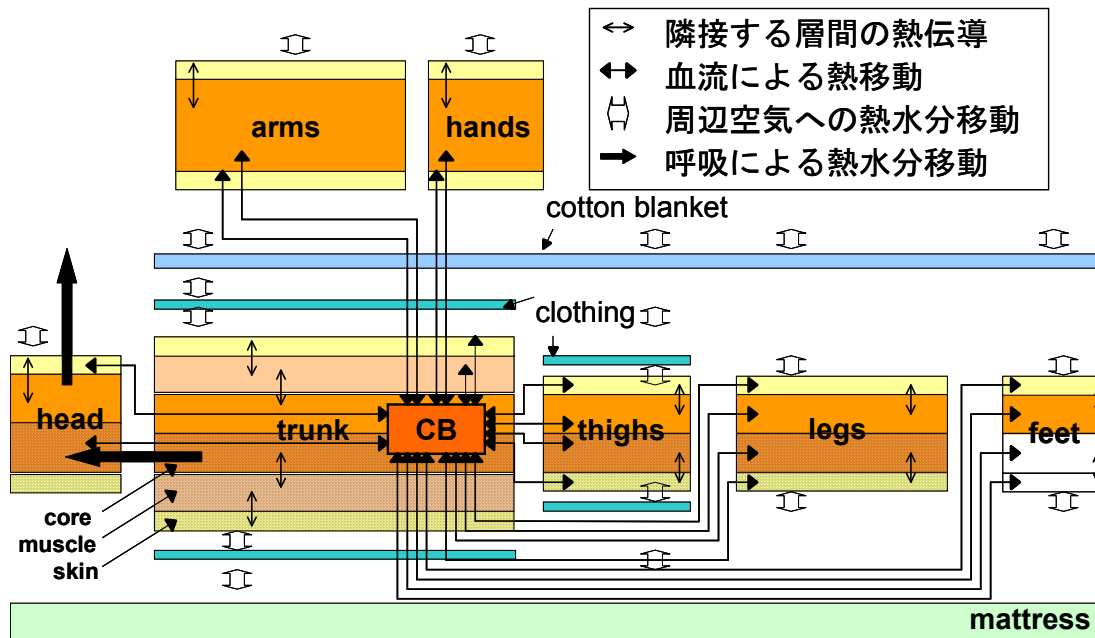
室温：ルームエアコンで制御

測定項目：

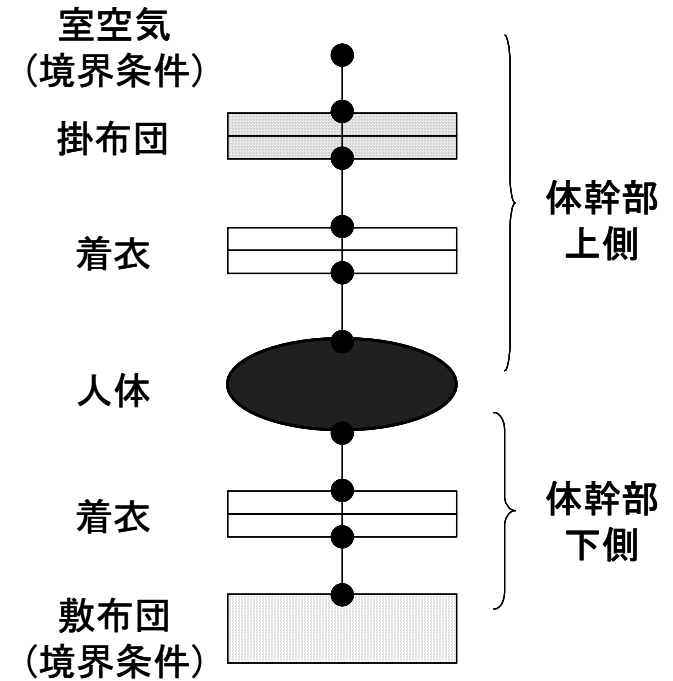
人体各部温度、寝具および室内の温湿度、血流量、発汗量、体動(体動計およびサーモカメラ)、体重変化量、脳波、眼球運動、頤筋電図、起床時にOSA睡眠調査票によるアンケート

解析モデル

人体：Stolwijkらのモデル 着衣・掛布団：熱水分移動の式



人体熱モデル (Stolwijk model)



着衣・寝具モデル (熱水分移動式)

解析条件

- 人体の熱容量、基礎代謝量、呼吸および不感蒸泄による放熱量、中立環境における皮膚血流量の見直し ←被験者の体格を考慮
- **深部血流量**
解析値が実測値に合うように見直し
NO.2、NO.3、NO.4はそれぞれ、**40%、100%、20%**と仮定
←睡眠時・寝姿勢時では異なる可能性
- 皮膚血流量の各部位の比率の見直し←実測結果を参考
- **体幹部における各層間の熱伝導率 (50%)**
←解析値にあうように見直し。個体差？
- 平均皮膚温のセットポイントは文献値より低い33.6℃ ←個体差？

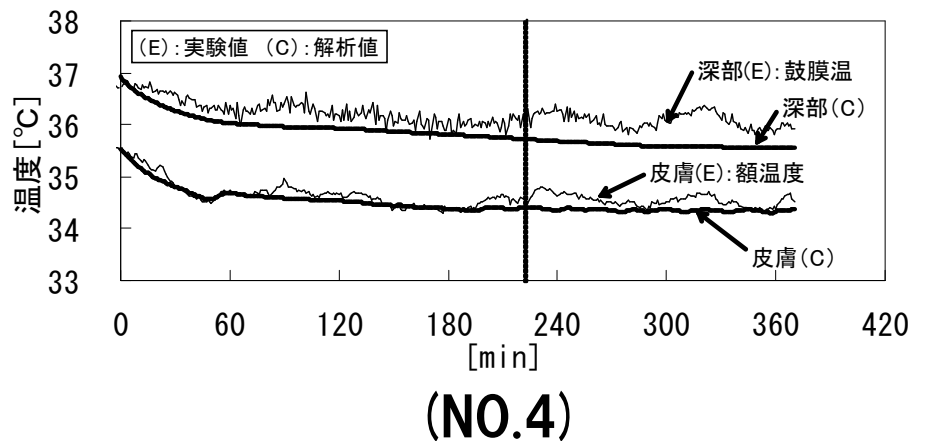
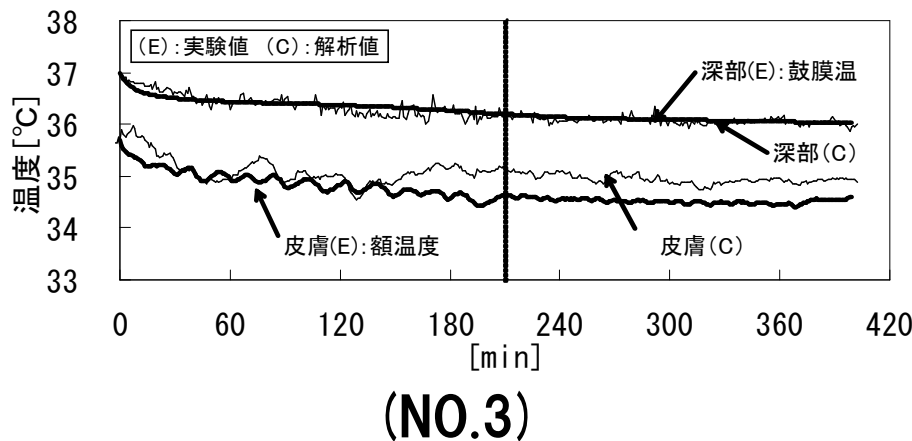
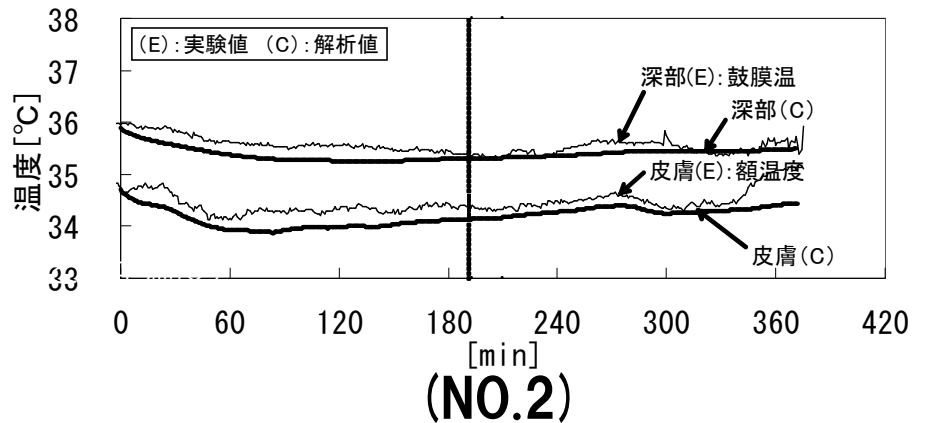
頭部温度：鼓膜温と額温度

NO.2：鼓膜温、額温度とも少し低めであるが大略再現できている。

NO.3：鼓膜温は起床まで精度よく再現、額温度は140分頃までは概ね再現※1

NO.4：鼓膜温は少し低めであるが大略再現されており、額温度はよく一致

※1 額温度は140分以降で温度上昇がみられるが、赤外線カメラをみると頭が動いており、その影響で測定点付近の状況が変化したためと考えられる。



体幹部温度：直腸温と背中温度

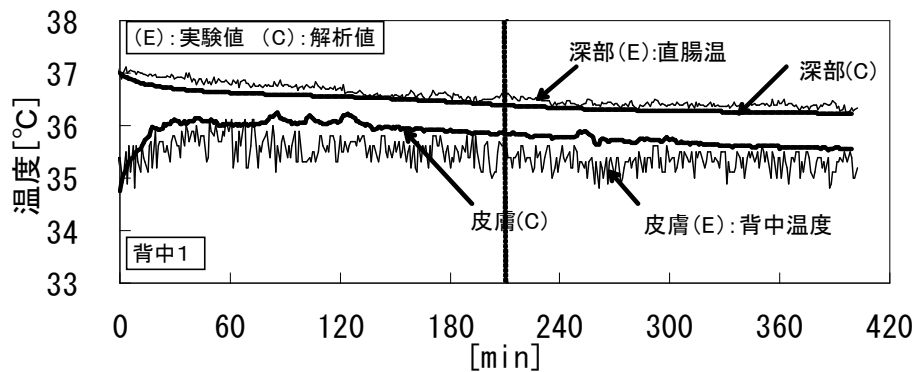
NO.2：直腸温、背中温度とも精度よく一致

NO.3：直腸温は起床まで精度よく再現。背中温度は高めだが変化の傾向は再現※2。

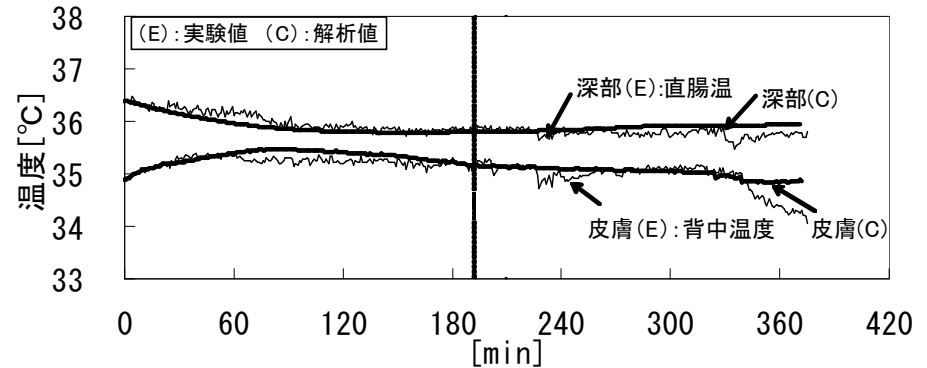
NO.4：直腸温は起床時刻まで非常によく再現、背中温度は185分の低下が再現できていないが、概ね一致している※3。

※2 背中温度は測定点2箇所の平均値であるが、NO.3においては、2点の差が大きく、変化の傾向も異なっていたため、測定箇所1点の値と比較した。

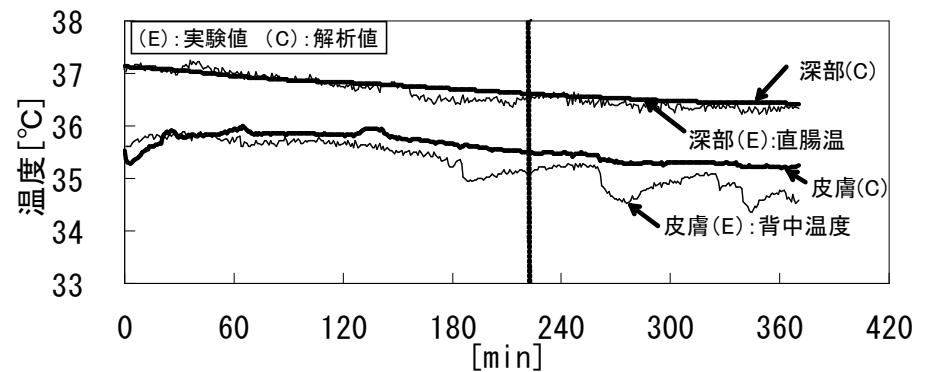
※3 赤外線カメラをみると、185分の前10分間で背中が頻繁に動いており、その影響で背中中の測定点付近の状況が変化したためと考えられる。



(NO.3)



(NO.2)

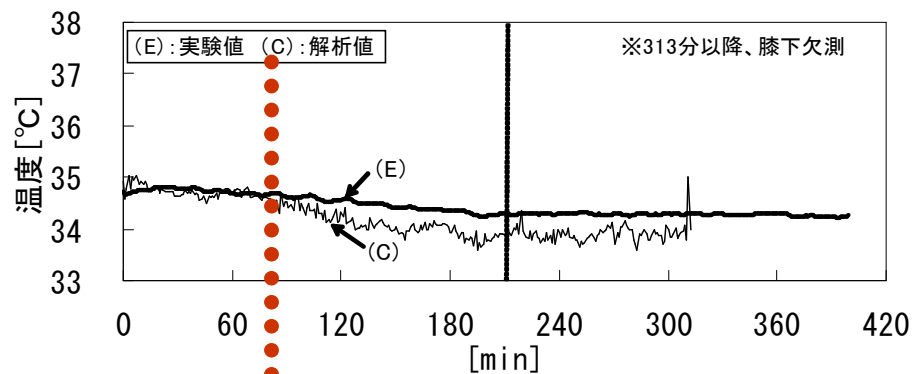


(NO.4)

平均皮膚温度

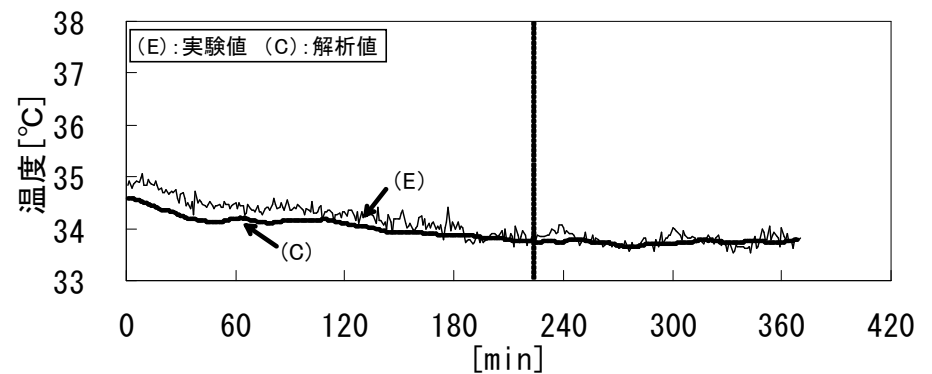
NO.2: 消灯後しばらくして腕温度が欠測したため比較できなかった。
NO.3: 80分までは概ね一致※4。
NO.4: 睡眠直後は低めであるが起床まで大略再現

※2 80分以降、膝下の温度が低下していることが影響していると考えられる。



(NO.3)

80分



(NO.4)

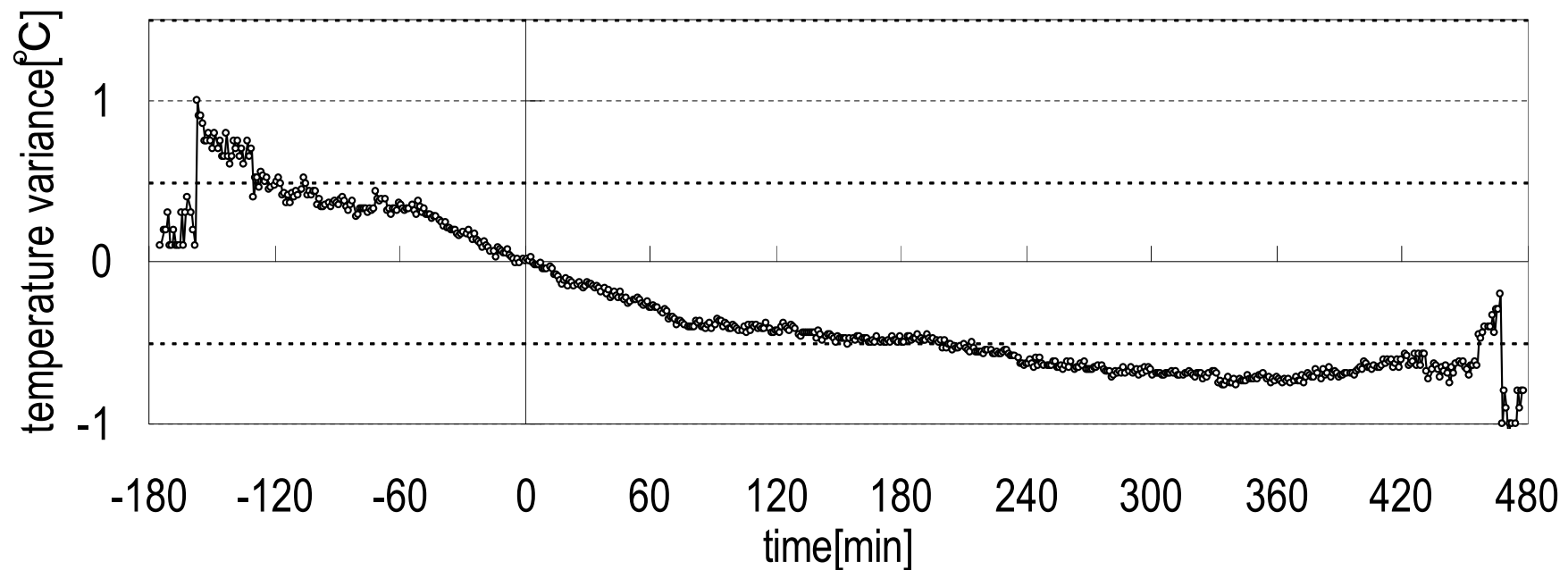
睡眠時の温熱生理の予測

- 睡眠時における人体熱モデルを提案
- 深部血流量、皮膚血流量、体幹部における各層間の熱伝導率および平均皮膚温のセットポイントの見直し
⇒ 仰臥位での頭部および体幹部における深部温および皮膚温の再現においては、良好な結果
- 同一被験者の3つの実験を概ね再現
⇒ 個体特有のパラメータを同定すれば、睡眠時の状況を説明できる可能性大

4. さいごに： 睡眠に関する補足

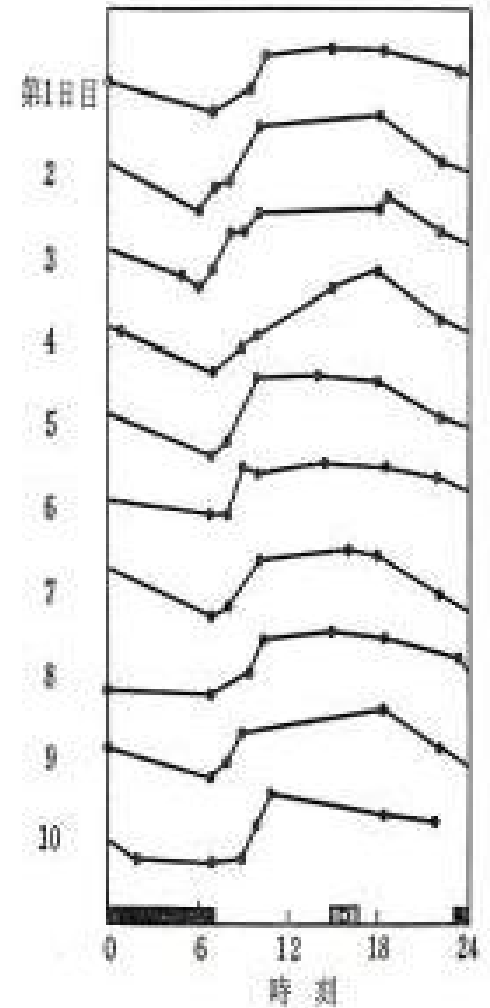
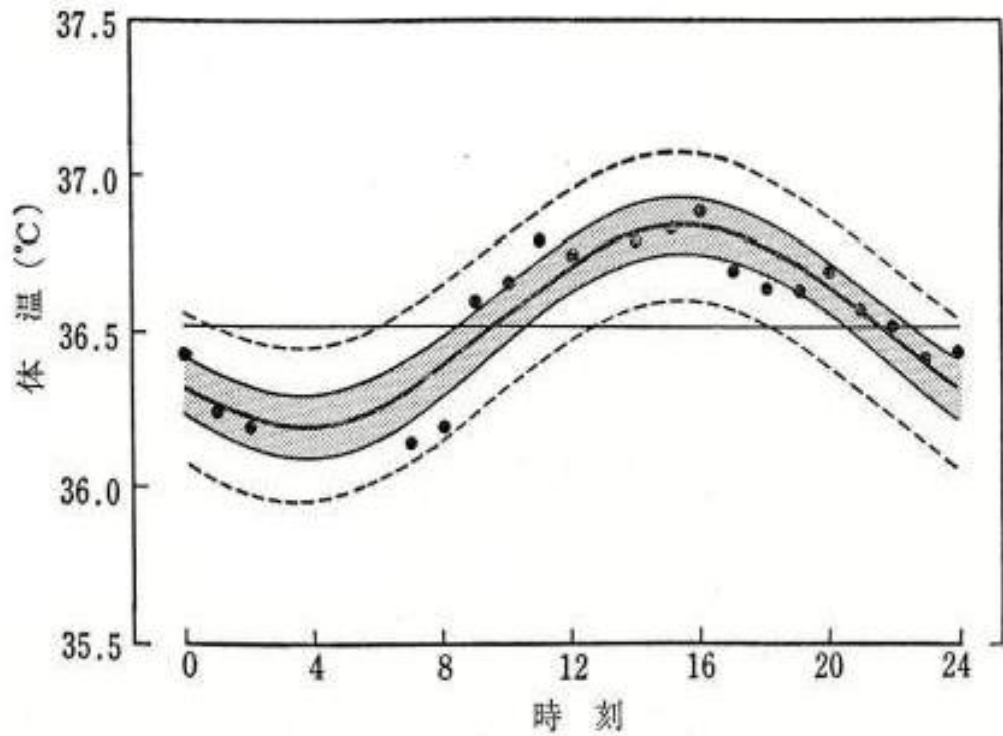
- (1) 覚醒時と睡眠時の好ましい温度の違い
 - ・ 快適な睡眠と深部温度の低下：セットポイント
 - ・ 活動量・姿勢の変化による代謝量の減少
- (2) サーカディアンリズム(概日)リズム
- (3) 個体差と睡眠環境の形成

睡眠中とその前の直腸温変化



消灯前後で深部体温の低下傾向に違い無し
⇒ 深部体温の変化には姿勢による代謝量の違いが影響

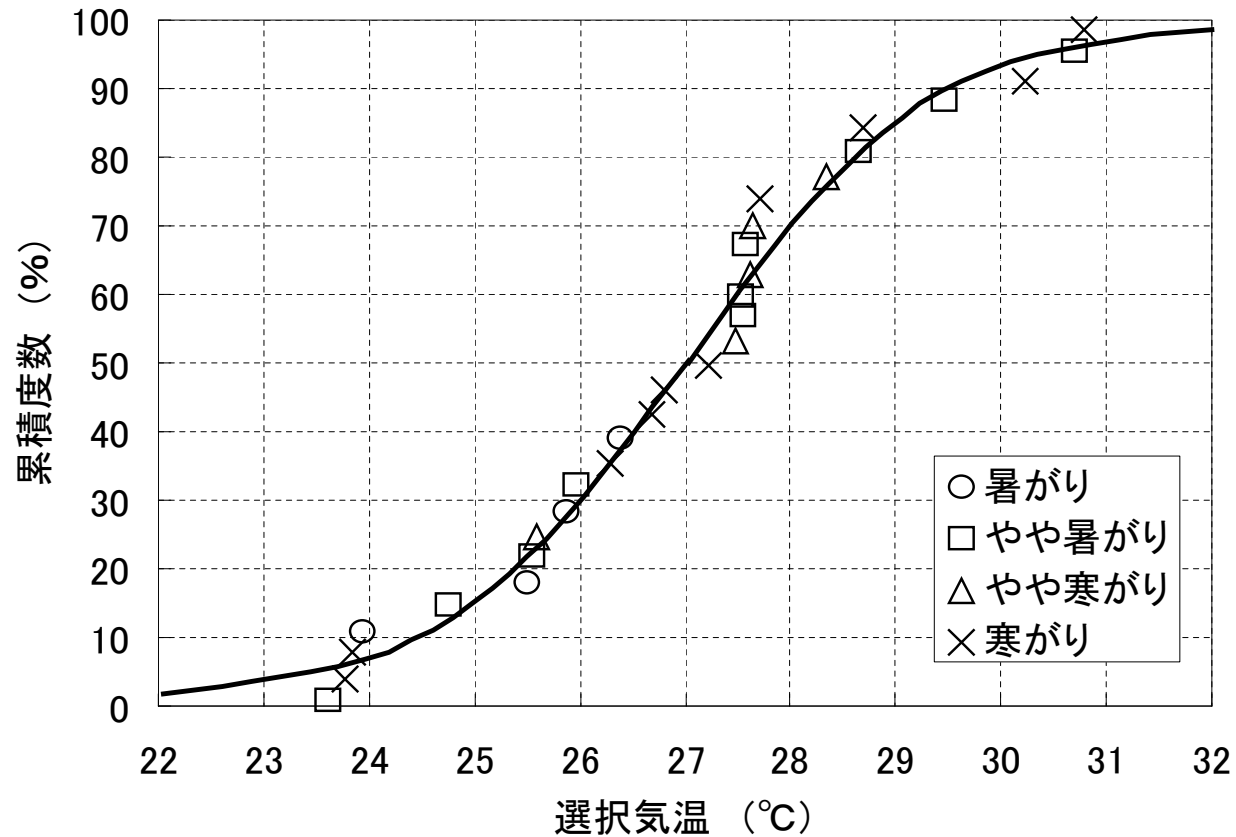
サーカディアンリズム⁶⁾



6) 中山昭雄編:温熱生理学、理工学社、1981

個体差：選択温度の分布とその利用⁷⁾

- ・自由度が多くてやりやすい
- ・個別に対応すれば良いので、問題は少ない



7) 佐々他:ハウスクリマ研究ノート, 23,(1997)

個人差と設計

- 寝室などの睡眠環境・寝具・夜具は個別の調整が容易
- 形状記憶合金を利用した高齢者用のスプーン
- 工学分野における設計行為
 - ⇒ クライアントの要求が多様
 - 全てが同じスペックの設計は創造性が無い
 - ⇒ 温熱生理・心理は非常に面白い対象