

藏澄研究室（建築・住居分野）A21AB059 熊谷友月 A21AB078 杉浦奈瑚 A21AB104 夏目梢

### 1. はじめに

乳児は、成人と比べると環境に対する熱的な適応能力が低い。特に、夏期の屋外環境においては、体温調節の観点から乳児の温熱環境は厳しい条件となる場合がある。また、夏の強い日差しや高温多湿な環境では乳児の体温は急速に上昇しやすくなり、寒い環境では体温が急速に低下する傾向がある[1]。

乳児の身体的特徴として、成人に比べて皮膚が非常に薄いという点が挙げられる。具体的には、乳児の皮膚の厚さは、成人の1/2から1/3程度[2]のために外部の環境変化に対する影響を受けやすい。さらに、乳児の皮膚温は成人よりも高く[3]、外の気温が高い場合には体温が急激に上がるリスクが高まる。

乳児の体表面積と体重の関係も体温調節に大きく関わっている。乳児の体表面積は成人に比べて小さく、体重に対する体表面積の割合は非常に大きくなる。これより、乳児は体内で発生する熱を放散しにくい、外部からの熱の影響を強く受けやすいため、成人と同じ環境下でも、乳児はより熱中症になりやすいと考えられる[4][5][6][7][8][9]。

乳児は血流調節や発汗といった体温調節機能が未熟である。成人であれば暑い環境では発汗や血流の変化によって体温を効果的に下げることができるが、乳児はそうした機能が十分に働かない。加えて、乳児が使用するマットやベビーカーなどの器具は、乳児の体に対する熱抵抗を増大させる傾向があり、これがさらに体温調節を困難にする原因となることがある。

以上のように、乳児の温熱感覚や体温調節機能は成人とは大きく異なるため、特別な配慮が必要である[10]。この対策には、夏期の外出時には適切な日よけ対策や風通しの良い服装を選ぶこと、寒い環境では保温対策を徹底することが含まれる。

ベビーカー乗車乳児への直射日光を避けるために、ベビーカーの日よけカバーを使って乳児の体を覆うことがある。日除けカバーにより、直射日光は遮られるが風通しが悪くなる。ベビーカー内部には熱や湿気がこもりやすくなり、熱中症のリスクを高める要因となる。また、乳児は意思伝達能力が未熟であり、自身の状態や感覚を正確に表現することができない。乳児の温熱環境は保護者の判断基準に左右され、劣悪な環境になる場合もある。

環境省の熱中症予防情報サイト[11]によると、東京都心で、地上1.5mの高さにおける気温が32℃の時、地上0.5mの高さでは35℃以上になることが示されている。この地上0.5mという高さは、ベビーカーに乗っている乳児の位置に相当する高さであり、地表からの熱の影響を特に強く受ける環境と考えられる。地表面温度が高くなると、地面からの反射日射や長波長放射による熱放射の影響を受けやすくなる。この現象は、土川ら[12]の研究でも示されており、地表に近い高さの放射熱の影響が顕著であることが明らかにされている。

人体の温熱環境に関する既往研究には以下のものがある。Stolwijk[13]の人体の体温調節の仕組みを数学的にモデル化した研究、持田[14]の対流と熱放射に着目した人体の熱伝達特性を研究した論文、Tanabe[15]のサーマルマネキンを用いた温熱環境を評価する研究、deDear et al.[16]の人体の各部位の対流および放射熱伝達係数を測定した研究、市原ら[17]のサーマルマネキンを用いた立位および座位の人体各部位の放射および対流熱伝達率を測定した研究、Kurazumi et al.[18]の自然対流での人体の放射および対流熱伝達係数を測定する研究がされている。しかし、これらの温熱環境に関する研究は、主に成人を対象としており、乳児や高齢者といった異なる身体的特性を持つ人々に対する研究は十分とはいえない。特に、前述のように、乳児は成人とは大きく異なる身体的特性を持っており、その体温調節機能や温熱感覚も未熟である。乳児人体の熱収支が明確になっていないため、十分な温熱環境の解析や対応策が見いだされていない。そのため、乳児に対して温熱環境がどのように影響を及ぼすかを理解するには、まず、人体と環境との間の熱収支を明らかにすることが不可欠である。

乳児の人体熱収支の算出において、蒸散と伝導、放射、対流の経路別の熱交換量を明らかにすることが必要である。蒸散と伝導、放射については、従前の研究モデルから推測できるが、対流は乳児の形態が成人と異なるために、対流熱伝達率の研究が必要と考えられる。

自然対流条件下での対流熱伝達率については、石井ら[19]の実験データをもとに構築された対流熱伝達率などがある。しかし、乳児を対象とした研究ではなく、成人とは形態の異なる乳児に適用できるかの検証もされていない。

そこで、本研究では、日よけカバーをしたベビーカー乗車時などに起こりうる風通しが悪く、熱や湿気がこもった環境条件を想定し、静穏な状態の自然対流時における対流熱伝達率を明らかにすることを目的とした。

自然対流とは、静止した流体の温度差が大きくなると、流体の粘性力よりも浮力のほうが大きくなり、流体に動きが生じる。このように、温度差のみによって、駆動された流体の移動のことを自然対流という。

本研究は、乳児の安全な温熱環境の創造、乳児のベビーカーの開発、さらには、温熱環境計画におけるユニバーサルデザイン化に寄与できる意義がある。

### 2. 対流熱伝達率の算定方法

従前の研究では、生理的なデータや熱流計を用いて求められた身体と外部環境との間で熱交換される熱量が基準とされてきた。算出式により求められた放射熱伝達量を用いることで、対流熱伝達率が求められてきた。しかし、この算定に必要な人体と環境との間の形態係数が正確に求められていないため、その推算値には大きな問題がある。そこで、本研究では、気温と各周囲壁面温度が等しくなる実験にて、人体と環境との間の熱交換量を測定する。

人体全身の対流熱伝達率  $h_c$  は、以下の通りとなる。

$$Q=C+R \quad (1)$$

$$C=h_c(T_s-T_a)f_{conv} \quad (2)$$

$$R=h_r(T_s^4-T_r^4)F_{w-h}f_{rad} \quad (3)$$

$$h_c=(Q-\varepsilon_h\varepsilon_w\sigma(T_s^4-T_r^4)F_{w-h}f_{rad})/((T_s-T_a)f_{conv}) \quad (4)$$

ここで、

$C$ : 対流熱交換量 [W/m<sup>2</sup>]

$f_{conv}$ : 対流熱伝達率積率 [N. D.]

$f_{rad}$ : 放射熱伝達率積率 [N. D.]

$F_{w-h}$ : 人体の形態係数 [N. D.]

$h_c$ : 対流熱伝達率 [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$h_r$ : 放射熱伝達率 [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$Q$ : 顕熱交換量 [W/m<sup>2</sup>]

$R$ : 放射熱交換量 [W/m<sup>2</sup>]

$T_a$ : 気温 [K]

$T_r$ : 平均放射温度 [K]

$T_s$ : 平均皮膚温 [K]

$\varepsilon_h$ : 人体の放射率 [N. D.]

$\varepsilon_w$ : 環境の放射率 [N. D.]

人体の放射熱伝達率  $h_r$  は、対流熱伝達率や人体の熱収支

を求める過程で算出されるが、具体的な数値が記載されているものは極めて少ない。また、そのほとんどが立位や椅座位姿勢のみにとどまり、他の姿勢の放射熱伝達率については稀有である。

乳児人体の放射熱伝達率や形態係数など、温熱環境に関する詳細な人体係数値が明らかにされていない。そこで、乳児人体の放射熱伝達率は線形式[20]にて算出した。

従前の研究では、リクライニング姿勢に近い椅座位姿勢の人体の放射熱伝達率は、0.70-0.76の範囲であることが示されている[21][22][23]。しかし、上述のように、乳児の放射熱伝達率積率が明らかにされていないため、線形式で用いられている Fanger et al.[21]の0.70を代用した。

対流熱伝達率の算出の過程において、人体の有効対流面積率は1.0とされてきたが、姿勢別の人体の有効対流面積率を求めた藏澄ら[24]やKurazumi et al.[25]によれば、体表面積の約10-20%は対流熱伝達率に関与していない結果となっている。本研究においては、後述の体表面積の接触がない乳児サーマルマネキンを大気開放する実験手法とするので、対流熱伝達率に1.0を用いた。

本研究では、身体が外部環境とやり取りする熱交換量を測定し、算出式により人体の対流熱伝達率を求めた。

### 3. 実験計画

#### 3.1 実験手順

乳児を対象とした温熱環境に関する被験者実験は倫理的な観点から極めて難しい。そのため、乳児の人体係数値を明らかにし、人体熱モデルを用いた実験やシミュレーションが実験方法として考えられる。本研究では、乳児サーマルマネキンを用いる手法をとった。

乳児サーマルマネキンと周囲環境との間に熱平衡が成立し、設定温熱環境条件と乳児サーマルマネキンからの熱損失が定常状態であることを確認した後、乳児サーマル

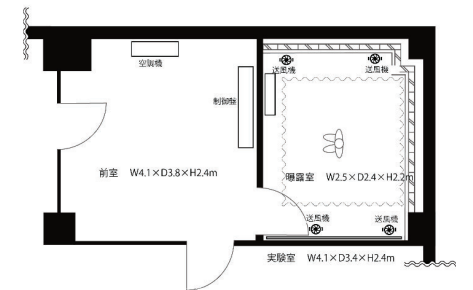


図1 実験室

ネキンを設定温熱環境条件下に90分間曝露した。実験開始後20分以降から終了前10分までの60分間のデータを解析の対象とした。実験は図1に示す環境実験室を用いておこなった。環境実験室は、壁表面温が気温と等しく平均放射温度が気温と均質な温熱環境条件となるように、壁と天井には薄手のカーテンを設置した。

### 3.2 被験者

乳児人体を対象とした実験や実測は倫理的な理由から実施することが難しいため、本研究では、Kurazum et al. [26]の手法に基づいて開発された乳児サーマルマネキンを使用して実験をおこなった。厚生労働省の男子乳児の発育調査[27]より、月齢が1-2箇月程度の乳児における50パーセンタイル値データを抽出した結果、身長は55.6cmで体重は4.79kgとなる。Kurazumi et al. [26]は、このデータを基に、乳児の人体モデルにおける伝熱面積の妥当性を明らかにしている。

### 3.3 実験姿勢

本実験はベビーカーに乗車した姿勢を想定し、リクライニング姿勢にて行った。

ベビーカーに関する基準[28]は、構造上の安全性などが規定されているが、ベビーカーのリクライニングの角度を基準化しているのは製品安全協会のCPSA001のみである。CPSA001 SG standard for stroller A型には、首が座っていない1歳を過ぎた乳児や寝かせた姿勢で使用する場合のリクライニング角度は、生後1箇月から4箇月までの乳児に対しては150°以上、生後4箇月から48箇月までの乳児に対しては130°以上とされている。したがって、本研究では、乳児のリクライニングの椅座位姿勢の背もたれの角度を150°に設定した(図2)。

また、乳児サーマルマネキンの全ての表面が気流に開放されるように、通気性のよい5mm程度の竹材で組んだ木



図2 実験姿勢

製の支持架台に直接配置した。

支持架台は熱容量が小さく、乳児サーマルマネキンに接触する部分が少ないので、サーマルマネキンの表面は大気に開放されていると見做した。

### 3.4 温熱環境条件

乳児サーマルマネキンは自然冷却機構であるため、表面温度が制御可能な気温30℃を上限とした。したがって、皮膚表面温度30℃から低温域の温度範囲で条件設定を行った。

具体的には、気温を16℃、18℃、20℃、22℃、24℃、26℃、28℃、30℃の8段階に設定した。それぞれの気温段階で、壁面温度を気温と同じにすることで、均一に均質な温熱環境を形成した。すべての気温条件下で、風速は0.2m/s以下の静穏な気流とした。また、相対湿度は、50%とした。

### 3.5 測定項目

気温と湿度、風速、鉛直方向の気温分布、室内構成各面の表面温度を測定した。気温と湿度は床から90cmに設置したアスマン通風乾湿度計、風速は無指向性の熱球式風速計、鉛直方向の気温分布と室内構成各面の表面温度は0.2mmφT型熱電対で測定間隔5秒にて測定した。なお、鉛直方向の気温分布は床表面から0.0、0.1、0.3、0.6、0.9、1.2、1.5、1.7、2.0、2.2mの高さで測定した。

### 4. 実験結果

温熱環境条件の測定結果を表3に示す。各実験条件中の気温は0.2℃程度の偏差があるが、±0.1℃の範囲内で制御された。相対湿度は6%程度の偏差があるが、±0.8℃の範囲内で制御された。周囲壁面の表面温度は、床表面温度が低く2.3℃程度の偏差があるが、気温とほぼ同一であった。乳児の形態係数が明らかにされていないため、正確な平均放射温度を求めることはできないが、面積重みの平均放射温度はほぼ気温と同一となっていた。実験期間中の風速については実験を通じて0.2m/s以下であった。各実験中の平均放射温度は気温とほぼ同一となり、温熱環境は設定条件をほぼ満たしていた。

本研究では、顕熱交換のみ扱っていることに加え、姿勢維持に用いた支持架台は熱容量が小さく、支持架台と乳児サーマルマネキンとの間の接触する部分が少いため、サーマルマネキンの表面は大気に開放されていると見做している。これにより、乳児サーマルマネキンと周囲環境と

表3 温熱環境条件測定結果

| 着衣状態 | 気温 [°C]:Ta | 風速 [m/s]:Va | 相対湿度 [%]:RH | 床温度 [°C]:Tf | 壁表面温度 [°C]:Tw | 天井表面温度 [°C]:Tg | 平均放射温度 [°C]:MRT |
|------|------------|-------------|-------------|-------------|---------------|----------------|-----------------|
| 裸体   | 16.11±0.05 | 0.12±0.04   | 48.33±0.75  | 15.71±0.04  | 16.32±0.08    | 15.73±0.60     | 16.11±0.07      |
| 裸体   | 17.93±0.06 | 0.14±0.04   | 55.75±0.43  | 17.16±0.05  | 17.91±0.07    | 17.86±0.05     | 17.85±0.08      |
| 裸体   | 20.04±0.07 | 0.13±0.05   | 55.75±0.43  | 19.21±0.03  | 20.13±0.08    | 20.22±0.10     | 19.98±0.11      |
| 裸体   | 22.18±0.06 | 0.11±0.04   | 55.75±0.43  | 21.04±0.06  | 22.35±0.09    | 22.85±0.07     | 22.20±0.09      |
| 裸体   | 24.13±0.05 | 0.11±0.04   | 55.50±0.50  | 22.80±0.03  | 24.35±0.09    | 25.09±0.07     | 24.21±0.08      |
| 裸体   | 25.88±0.08 | 0.11±0.04   | 55.75±0.43  | 24.24±0.05  | 26.21±0.13    | 26.97±0.11     | 25.99±0.10      |
| 裸体   | 28.14±0.09 | 0.10±0.04   | 55.75±0.43  | 25.85±0.10  | 28.42±0.10    | 29.74±0.09     | 28.20±0.10      |
| 裸体   | 30.10±0.11 | 0.10±0.04   | 55.50±0.50  | 27.78±0.07  | 30.43±0.11    | 32.30±0.12     | 30.29±0.11      |

の間の熱交換経路は、放射熱交換と対流熱交換のみとなる気温と全身の熱損失量から算定したベビーカー乗車姿勢の乳児の総合熱伝達率と対流熱伝達率を図3に示す。温熱環境設定条件の気温と乳児の体表面温度との温度差となる4-18 Kの範囲内では、総合熱伝達率が8-9 W/(m<sup>2</sup>·K)程度となった。回帰式の回帰係数の有意性をANOVAにより検定した結果(p=0.00)は、p<0.05となり、回帰式の傾きは有効と判断できた。

気温Taと平均皮膚温Tsとの温度差(ΔT [K])を駆動力とした人体全体の総合熱伝達率 h<sub>t</sub>+h<sub>c</sub> [W/(m<sup>2</sup>·K)]は以下の通りとなる。

$$h_t+h_c=6.767 \Delta T^{0.094} \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K)]} \quad (5)$$

ここで、総合熱伝達率を示す

h<sub>t</sub>: 放射熱伝達率 [W/(m<sup>2</sup>·K)]

h<sub>c</sub>: 対流熱伝達率 [W/(m<sup>2</sup>·K)]

ΔT: T<sub>s</sub>-T<sub>a</sub> [K]

T<sub>s</sub>: 平均皮膚温 [K]

T<sub>a</sub>: 気温 [K].

対流熱伝達率の回帰式の有効性をANOVAによって検定した結果(p=0.00)は、p<0.05となり、回帰式の傾きは有意であると判断できた。また、気温Taと平均皮膚温Tsとの温度差ΔTを駆動力とする乳児の自然対流下での対流熱伝達率 h<sub>c</sub>は以下の式で表される。

$$h_c=2.243 \Delta T^{0.216} \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K)]} \quad (6)$$

ここで、

h<sub>c</sub>: 対流熱伝達率 [W/(m<sup>2</sup>·K)]

ΔT: T<sub>s</sub>-T<sub>a</sub> [K]

T<sub>s</sub>: 平均皮膚温 [K]

T<sub>a</sub>: 気温 [K].

総合熱伝達率と対流熱伝達率の回帰式の決定係数はそれぞれ0.78、0.77となり、強い相関を示している。

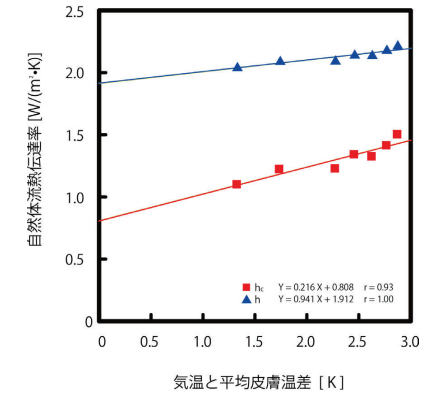


図3 乳児の熱伝達率

### 5. 考察

リクライニング角度150°の椅座位姿勢における乳児の対流熱伝達率と既往の研究との比較を図4に示す。本研究では、乳児人体の放射熱伝達率は線形化式[20]にて算出したため、実際の放射熱交換量は算出した値よりも少ないと考えられる。また、本研究では乳児の体表面が完全に外気にさらされていることを前提としているため、対流熱面積率を1.0としている。Kurazumi et al. [29][25][30]は、対流熱面積率は椅座位でも10-20%は低くなる指摘している。したがって、対流熱交換量も実際はより少ないことが考えられる。これらが互いに相殺されるかは不明であり、乳児の温熱的な係数値の研究の進展を基に検討をする必要がある。

リクライニング姿勢の乳児は、全身が大気開放されている椅座位姿勢から仰臥位姿勢であるとみなすことができるが、リクライニング姿勢のColin and Houdas[31]、仰臥位のHardy and DuBois[32]は他の椅座位姿勢の研究と比較しても対流熱伝達率は大きくなっている。これらの研究は、対流熱面積率を1.0としている。面積率を考慮しない場合、対流熱伝達率が高めに算定される傾向がある。全身が大気開放されているリクライニング姿勢は浅

く座面に着座した姿勢と述べられており、詳細なリクライニング角度は明記されていない。加えて、気温と平均皮膚温との温度差に依存しないと、自然対流熱伝達率は  $5.6 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  としている。同様に、気温と平均皮膚温との温度差に依存しないとしている研究では設定気温は様々であるが、静穏な気流状態での研究である。一方、気温と平均皮膚温との温度差を駆動力とした研究は Kurazumi et al. [30] とほぼ同様である。リクライニング姿勢の乳児人体の対流熱伝達率は、Nielsen and Pedersen [33] とおおむね等しくなった。

乳児サーマルマネキンの体表面積を基に等価球を対象とした Ranz-Marshall では、本研究とほぼ一致している。また、Nielsen and Pedersen[33] や Ishigaki et al. [34] の研究と同様の傾向を示し、ベビーカーに乗る乳児に適した評価が可能であることが確認された。

## 6. おわりに

人間の温熱感覚を左右する6要素である気温、湿度、対流、放射、代謝量、着衣量のうち、乳児の快適性に影響する対流に着目した実験を行い、ベビーカー乗車姿勢の乳児の自然対流熱伝達率を明らかにした。

限定的な人体係数値とはなるが、本研究の成果は、乳児が安全で快適な生活を送るための温熱環境の設計や評価、乳児のベビーカー開発への活用、さらには温熱環境のユニバーサルデザイン化に活かすことができると考えられる。

本研究では新生児を対象としたが、今後はより大きい個体である乳幼児の自然対流熱伝達率について検討することが必要である。

## 参考文献

[1] 入来正躬 (1995) 体温調節のしくみ。文光堂、東京、日本。  
 [2] Whitton, J.T., Overall, J.D. (1973) The thickness of the epidermis. *British Journal of Dermatol.* 89(5), 467-476.  
 [3] 樋谷陽子, 登倉尋実 (1979) 乳児の体温と皮膚温の日周リズム。 *家政学雑誌*, 30(6), 568-570.  
 [4] Bar-Or, O. (1980) Climate and the exercising child - A review. *International Journal of Sports Medicine*, 1(2), 53-65.  
 [5] Wagner, J.A., Robinson, S., Marino, R.P. (1974) Age and temperature regulation of humans in neutral and cold environments. *Journal of Applied Physiology*,

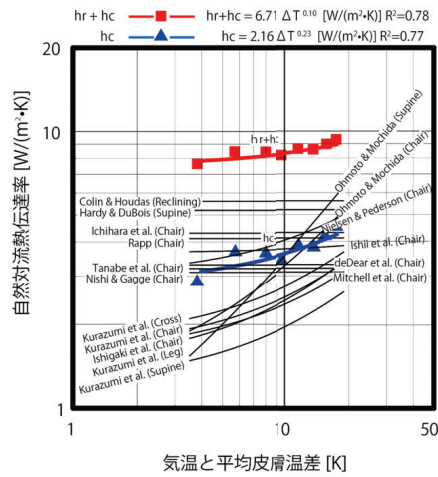


図4 乳児の対流熱伝達率と既往の研究との比較

37(4), 562-565.

[6] Haymes, E.M., McGormick, R.J., Buskirk, E.R. (1975) Heat tolerance of exercising lean and obese prepubertal boys. *Journal of Applied Physiology*, 39(3), 457-461.  
 [7] Drinkwater, B.L., Kupprat, I.C., Denton, J.E., Crist, J.L., Horvath, S.M. (1977) Response of prepubertal girls and college women to work in the heat. *Journal of Applied Physiology*, 43(6), 1046-1053.  
 [8] Araki, T., Toda, Y., Inoue, Y., Tsujino, A. (1979) Age differences in sweating during muscular exercise. *Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 28(3), 239-248.  
 [9] 杉浦弘子, 木下博子, 藤本保 (2011) 乳幼児の四季の汗に関する実態調査。 *小児保健研究*, 70(4), 535-541.  
 [10] Tsuzuki, K., Ohnaka, T., Tochihara, Y. (1998) Seasonal variation and age difference in thermal responses under preferred temperatures determined by the mothers. *Journal of home economics of Japan*, 49(10), 1109-1117.  
 [11] 環境省 (2018) 熱中症予防情報サイト。 [https://www.wbgt.env.go.jp/pdf/manual/heatillness\\_mannual\\_full\\_high.pdf](https://www.wbgt.env.go.jp/pdf/manual/heatillness_mannual_full_high.pdf)  
 [12] 土川忠浩, 近藤恵美, 蔵澄美仁 (2015) 車いす・ベビーカーに対する照り返し熱環境評価方法に関する研究,

その2 地表面素材の違い・高さの違いによる検討。第39回人間-生活環境系シンポジウム報告集, 115-116.

[13] Stolwijk, J.A.J. (1970) Mathematical model of thermoregulation.  
 [14] 持田徹 (1977) 人体に関する対流及びふく射熱伝達率。 *日本建築学会論文報告集*, 258, 63-69.  
 [15] Tanabe, S., Arens, E.A., Bauman, F.S., Zhang, H., Madsen, T.L. (1994) Evaluating thermal environments by using a thermal manikin with controlled skin surface temperature. *ASHRAE Transactions*, 100(1), 39-48.  
 [16] de Dear, R.J., Arens, E., Hui, Z., Oguro, M. (1997) Convective and radiative heat transfer coefficients for individual human body segments. *International Journal of Biometeorology*, 40, 141-156.  
 [17] 市原真希, 斎藤正文, 西村美加, 田辺新一 (1997) サーマルマネキンを用いた立位・座位人体各部位の放射・対流熱伝達率の測定。 *日本建築学会計画系論文集*, 62(501), 45-51.  
 [18] Kurazumi, Y., Tsuchikawa, T., Ishii, J., Fukagawa, K., Yamato, Y., Matsubara, N. (2008b) Radiative and convective heat transfer coefficients of the human body in natural convection. *Building and Environment*, 43(12), 2142-2153.  
 [19] 石井仁, 堀越哲美, 渡邊慎一, 鈴木健次, 楊昌智 (2000) 自然対流時における人体および部位の対流熱伝達率の推定。 *日本建築学会計画系論文集*, 530, 31-37.  
 [20] ASHRAE (2017) 2017 ASHRAE Handbook Fundamentals, Chapter 8 Thermal Comfort. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia, US.  
 [21] Fanger, P.O., Angelius, O., Jensen, P.K. (1970) Radiation data for the human body. *ASHRAE Transactions*, 76-II, 338-373.  
 [22] Horikoshi, T., Tsuchikawa, T., Kobayashi, Y., Miwa, E., Kurazumi, Y., Hirayama, K. (1990) The effective radiation area and angle factor between man and a rectangular plane near him. *ASHRAE Transactions*, 96-I, 60-66.  
 [23] Kurazumi, Y., Tsuchikawa, T., Matsubara, N., Horikoshi, T. (2008) Effect of posture on the heat transfer areas of the human body. *Building and Environment*, 43(10), 1555-1565.  
 [24] 蔵澄美仁, 土川忠浩, 大和義昭, 角谷孝一郎, 松原斎樹, 堀越哲美 (2003) 姿勢と人体の有効対流面積率に関する研究。 *日本生気象学会雑誌*, 40(1), 3-13.  
 [25] Kurazumi, Y., Tsuchikawa, T., Matsubara, N., Horikoshi, T. (2004) Convection heat transfer area of the human body. *European Journal of Applied Physiology*, 93(3), 273-285.  
 [26] Kurazumi, Y., Sakoi, T., Yamashita, K., Fukagawa, K., Kondo, E., Tsuchikawa, T. (2019) Thermal manikin of infant. *Engineering*, 11(11), 735754.  
 [27] 厚生労働省 (2022) 乳幼児身体発育調査。 <https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/dl/73-22-01.pdf>  
 [28] 製品安全協会 (2021) CPSA001 ベビーカーのSG基準。 [https://docs.wixstatic.com/ugd/f19996\\_be389277c3fc49e69147e94c49ebb973.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/f19996_be389277c3fc49e69147e94c49ebb973.pdf)  
 [29] Kurazumi, Y., Tsuchikawa, T., Yamato, Y., Kakutani, K., Matsubara, N., Horikoshi, T. (2003) The posture and effective thermal convection area factor of the human body. *Japanese Journal of Biometeorology*, 40(1), 3-13.  
 [30] Kurazumi, Y., Tsuchikawa, T., Ishii, J., Fukagawa, K., Yamato, Y., Matsubara, N. (2008) Radiative and convective heat transfer coefficients of the human body in natural convection. *Building and Environment*, 43(12), 2142-2153.  
 [31] Colin, J., Houdas, Y., 1967. Experimental determination of coefficient of heat exchanges by convection of human body. *Journal of Applied Physiology*, 22(1), 31-38.  
 [32] Hardy, J.D., DuBois, E.F., 1938. The technique of measuring radiation and convection. *Journal of Nutrition*, 15(5), 461-475.  
 [33] Nielsen, M., Pedersen, L. (1952) Studies on the heat loss by radiation and convection from the clothed human body. *Acta Physiologica Scandinavica*, 27, 272-294.  
 [34] Ishigaki, H., Horikoshi, T., Uematsu, T., Sahashi, M., Tsuchikawa, T., Mochida, T., Hieda, T., Isoda, N., Kubo, H. (1993) Experimental study on convective heat transfer coefficient of the human body. *Journal of thermal Biology*, 18(5/6), 455-458.