

第88回愛知学院大学モーニング・セミナー

幼児・高齢者は熱中症になりやすい！！
—なぜでしょう？この謎を解く！—

平田 晃正

名古屋工業大学大学院

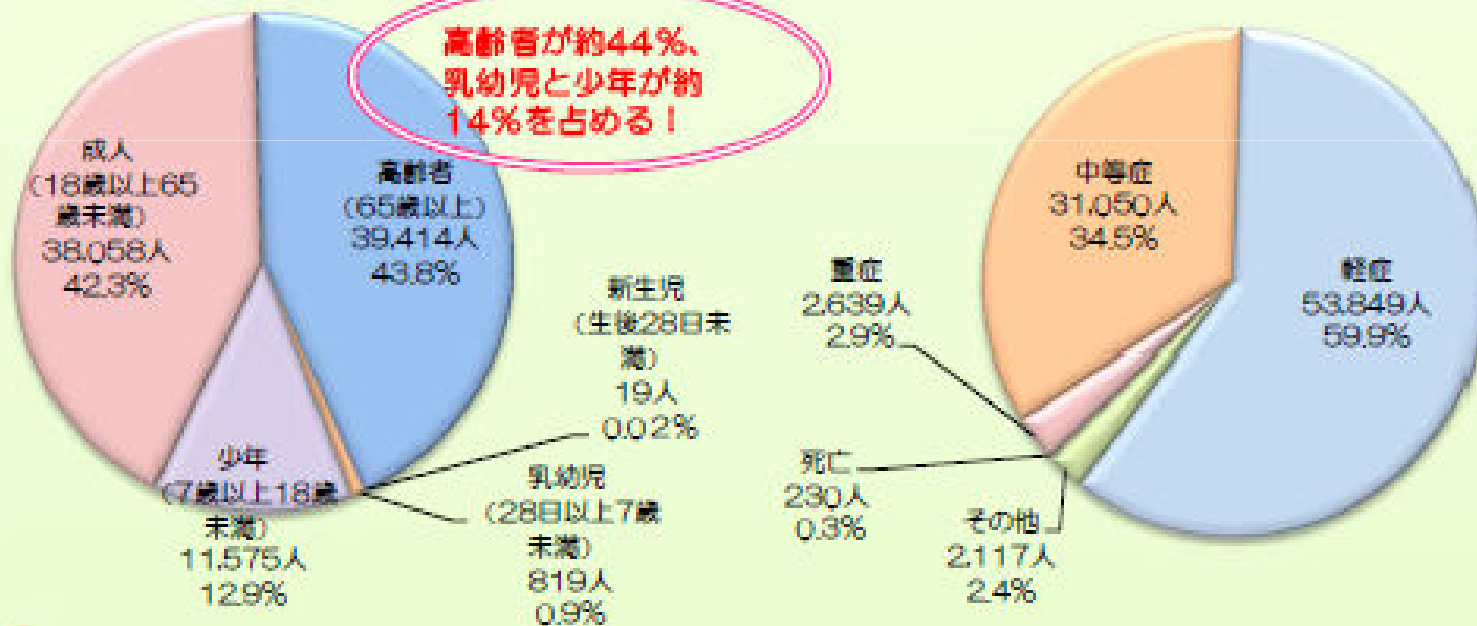
日時 平成25年7月9日（火）

熱中症について

- ◆ 日本国内での熱中症による**死亡者数**は1968年から2007年までの40年間で6,770件†

7月～9月の熱中症による救急搬送者の内訳（平成20年～平成22年合計）

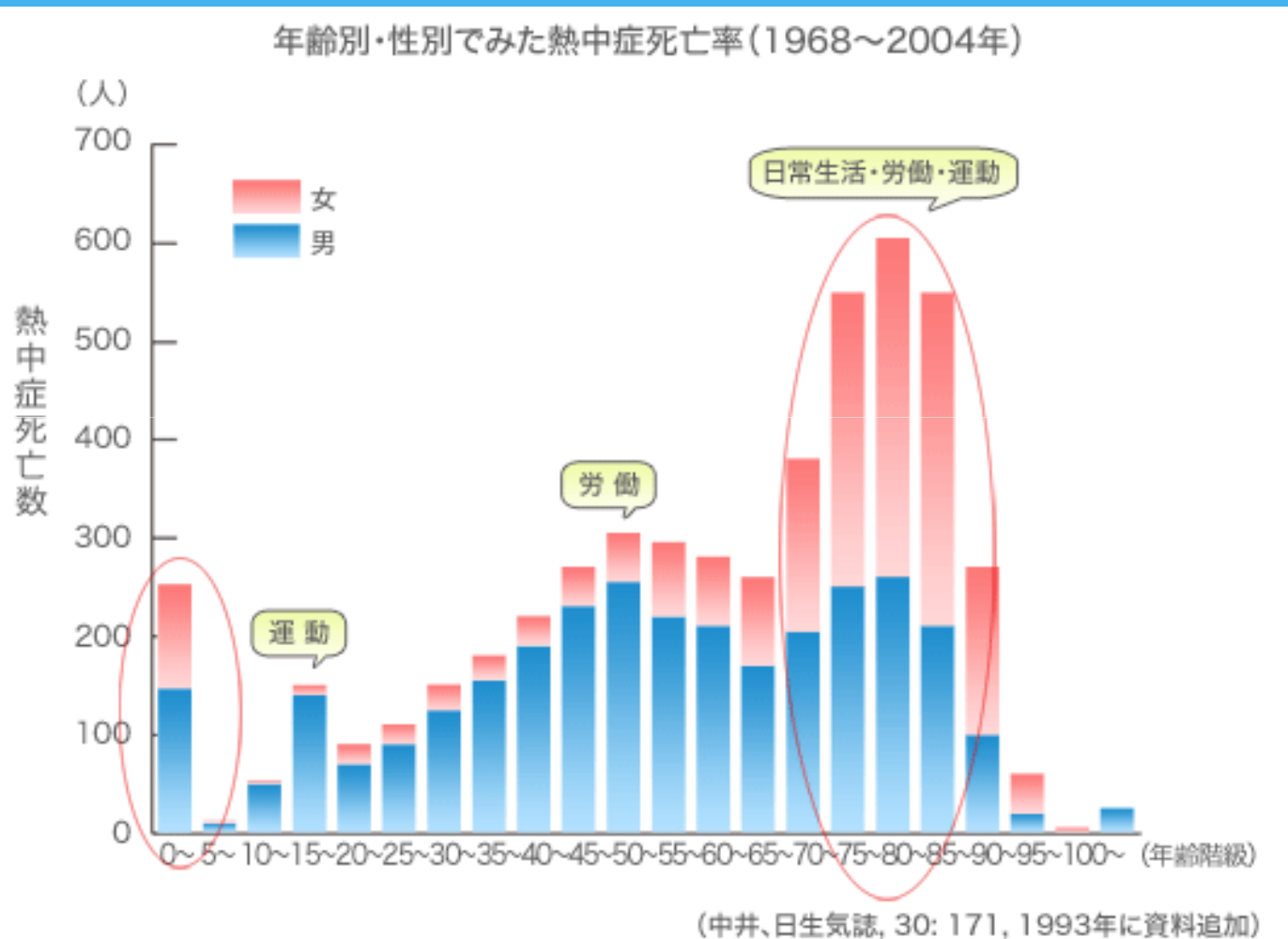
搬送人員計 89,885人



†: 環境省 熱中症 環境保健マニュアル

††: 総務省消防庁: 熱中症対策リーフレット http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/fieldList9_2.html

熱中症について（補足）

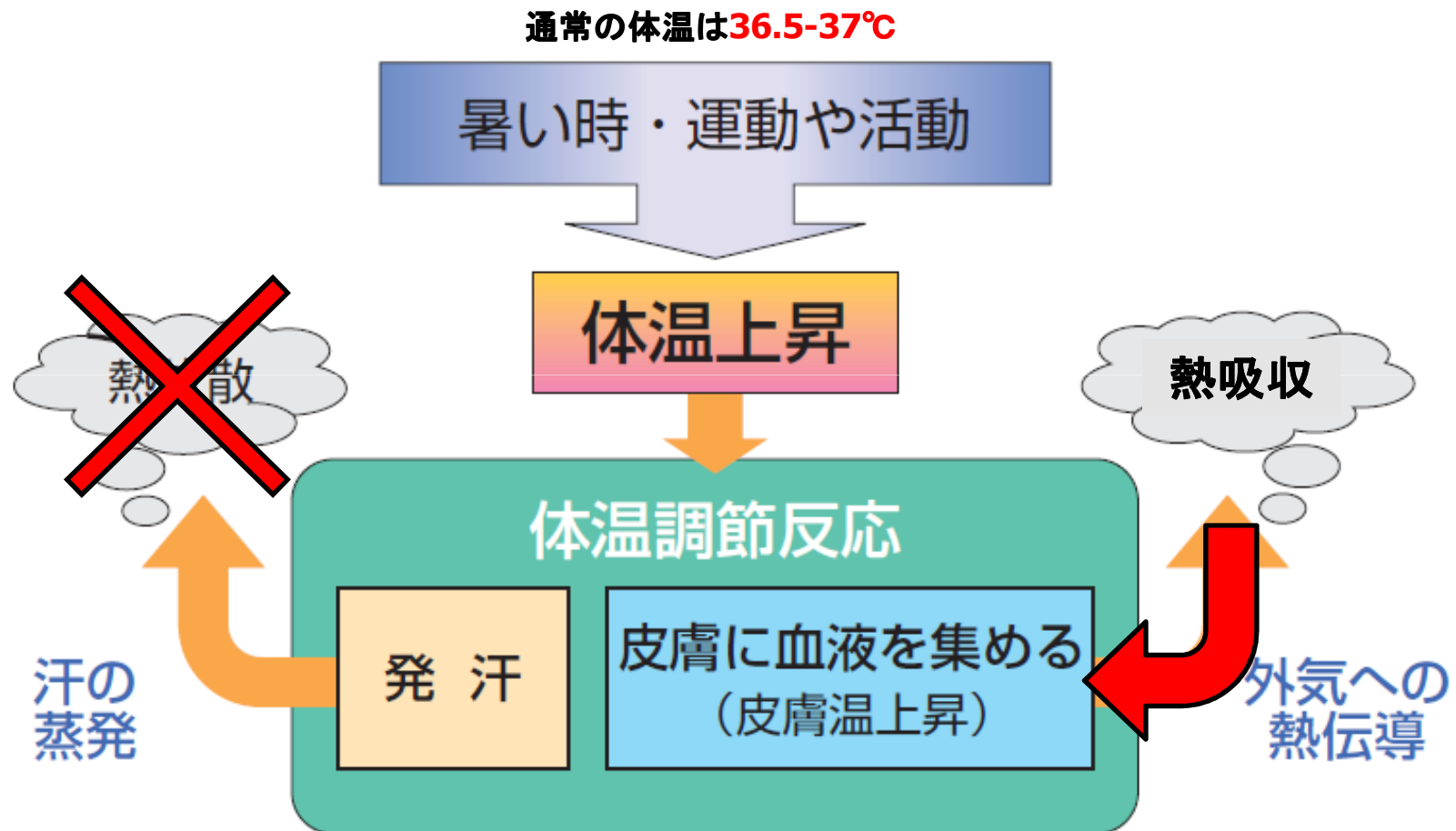


テルモ HP (監修・朝山正己先生)

http://www.terumo-taion.jp/health/hyperthermia/01_1.html

体内の熱バランスー平常時ー

熱中症 環境保健マニュアルより



体内の熱バランスー平常時ー

熱中症 環境保健マニュアルより

体のバランスの破綻

体に熱がたまる
(体温上昇)



熱中症

小児: **脱水症状**

高齢者: **脱水症状?**

放置は絶対ダメ

車内の3歳児 13分で熱中症

自動車内など太陽が差す気温四五度の環境に三歳児を放置した場合、わずか十三分で熱中症(脱水症状)になる可能性があることを、名古屋工業大の平田正准教授、金沢医科大の佐々木洋主任教授らのグループが、コンピューターを使ったシミュレーション実験で突き止めた。米科学誌「電磁科学アカデミー」に近く発表する。

熱中症は体重の3% 屋外の気温が二〇度 結果」と説明している。相当の水分が失われる 台後半でも、車内などと発症するとされてい 密閉された空間では グループは、コンピューター内にも再現した。大人でおおよそ二 四五度に、気温が三〇 ユーター内にも再現した。三歳児で四百gと 度を超えると五〇度に 人体のモデルに発汗量なる。熱中症の人体実 上がることもある。平 や体温上昇などの情報験が倫理的に難しい 田准教授は「自動車内 を入力して実験。三歳 ぬ、これまで詳しい資 幼児を放置する危 児は太陽光による体温 険性をあらためて示す の上昇こそ大人より少

名工大准教授 大人は1時間超

●熱中症になるまでの時間

温度	3歳児	大人
45℃	13分	1時間以上
40℃	17分	1時間以上

※3歳児は発汗400g、大人は2kgで発症

なかつたが、外気温の影響を受けやすさ、四〇度の際には十七分で熱中症の状態になった。一方、大人は四五度に一時間以上置いても熱中症にはならなかつた。

幼児は体重当たりの体表面積が大きく、多くの熱を早く吸収する。さらに、汗腺数が二百五十万と大人と変わらないことから発汗が多く、体重の3%分の水分が大人より早く失われることが分かつた。

—小児の熱中症(1)—

- ◆ 子供は通常の熱中症に加えて、特有の「**車内放置**」が知られている。年間**3.5名**の死者(1990年以降)[†]

子供が**車内等の暑熱環境下**で熱中症になる^{††}

- 夏場の車内温度上昇：**15 ~ 25 °C**^{††}

成人と子供の**形態的・機能的な相違**^{†††}

- 成人と子供の体重あたりの体表面積の割合の大きさの相違^{†††}
- 子供の**体温調節機能**に関して有用な情報が少ない^{††††}

- ◆ 倫理的に**実験を行えない**

[†] : 全日本遊技事業協同組合連合会 <http://www.zennichiuren.or.jp/activity/release/child.html> など

^{††} : C. McLaren, J. Null and J. Quinn, Pediatrics, vol.116, pp.109-112, (2005)

^{†††} : O. Baror, Int. J. Sport., vol.1, pp.53-65, (1980)

^{††††} : K. Tsuzuki-Hayakawa, Japan. Soc. Home. Econ., vol.49, no.4, pp.409-415, (1998)

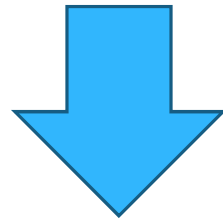
— 小児の熱中症 (2) —

熱負荷

暑熱環境下 (外気温上昇)

太陽光

- ◆ 2つの要因を十分に考慮し、検討した例はない



- ◆ コンピュータで解析 (仮想的な実験) できないか？

—高齢者の熱中症—

- ◆ 総患者数に占める高齢者の割合は**44.1%**
- ◆ **室内**で生ずる場合がある。
- ◆ エアコンをつけないことが直接的な原因か？
- ◆ 加齢に伴う**発汗の遅延、発汗率の低下**が指摘されている[†]、^{††}。

成人と高齢者の**形態的・機能的**な相違

- 高齢者は個体差によるばらつきが大きくなる^{†††}
- 高齢者の体温調節に関して測定事例はあるものの、**相違の主たる要因**を明らかにした事例はなかった

[†] : J. P. Crowe and R. E. Moore, J. Physiol. Vol.236, pp.43P-45P (1974).

^{††} : Y. Inoue, M. Shibasaki, J. Applied Physiol. & Occupational Physiol., vol.74, pp.78-84 (1996)

^{†††} : O. Baror, Int. J. Sport., vol.1, pp.53-65, (1980)

高い体温熱中症ご注意

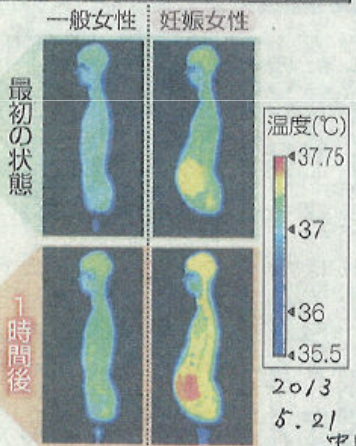
妊婦が夏に体内から奪われる水分量は一般女性の1.5倍に上ることを、名古屋工業大の平田晃正准教授（医用工学）らのグループがシミュレーション実験で突き止めた。気温三五度の場合、一般女性の発汗量は一時間に百ミリだが、妊婦は百五十ミリとなった。

平田准教授は「医学的には妊婦が汗をかきやすいことは知られているが、これを実証した。汗とともに体内のミネラルも失われ、熱中症などの危険性が高まるので、夏場には水分などをしっかり補給することが大切」と話している。

グループは妊婦と一般女性を想定して、血流量

発汗量 妊婦さん1.5倍

気温35℃の際の体温の変化



名工大グループが実証

や体温変化、発汗量など度と高かったのが、三七のデータを入力した人体モデルをコンピュータで再現。気温を三五度に設定、体温や発汗量の変化を追った。

一般女性は三七度の体温が、一時間後には三七一度に上昇。妊婦の体温は、もともと三七一度、一時間後には三七一度と計算上、八

時間では両者の差が四百ミリになり、妊婦が失う水分は1.2倍となる。

胎児は体温が高く、これに引きずられる形で妊婦の体温も高くなり、外気温が高いと汗の量が一般女性より増える。ただ、妊婦の体温が上がると発汗量が増えても、母体が健康なら普通、胎児は安全という。

平田准教授らのグループは以前にも同様の手法を使い、自動車内など日光が当たる気温四五度の環境に三歳児を放置した場合、十三分で熱中症（脱水症状）になる可能性があるとの研究結果を公表している。

今回の研究結果は、英国物理学会誌「フィジクス・イン・メディア・アンド・バイオロジー」の電子版に近く掲載される。

何を明らかにするのか？

- ・熱中症の報告のほとんどは、何らかの症状が出た後の対処例
- ・熱中症に至る過程で、ヒトの体温、汗はどのような**時間変化**しているのか？
- ・成人と比べて、幼児、高齢者は何が違うのか？

目的と内容

取り組みの目的

- ◆ **小児**および**高齢者**に対する太陽光と外気温を考慮できる**熱中症シミュレータの開発**と熱中症に関する**物理・工学面からの考察**

本日の紹介内容

- ◆ **暑熱環境下**において日本人成人男性モデル、**3歳小児モデル**が**太陽光**を浴びた際の体温上昇と発汗量の解析
- ◆ **暑熱環境下**における日本人成人および**高齢者モデル**の体温上昇の解析
- ◆ 日本人**成人、小児、高齢者モデル**の体内深部温度上昇の解析

計算機上で再現した人体



日本人成人男性モデル

* 高齢者も同じモデル

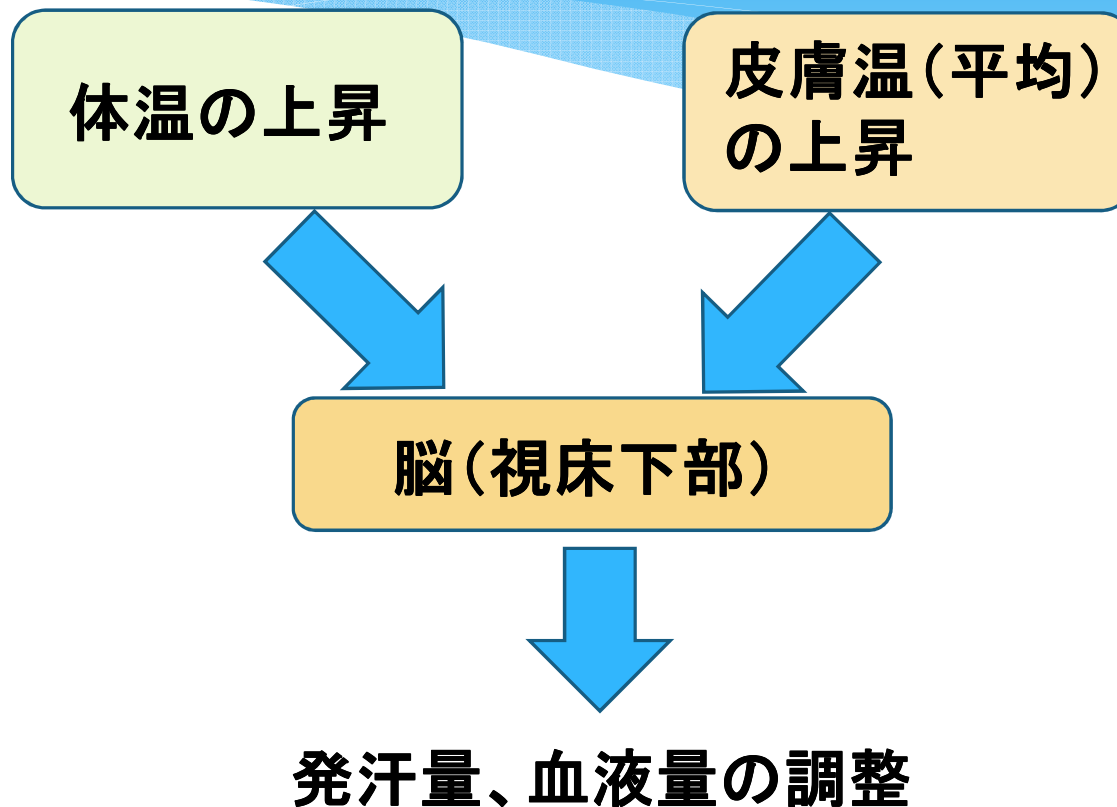
3歳小児モデル

各モデル51の組織・器官
を考慮

各組織に、電気特性、熱特
性を入力

熱調整反応 (脳からの指
令)を考慮

熱調整反応は何で決まる？



生体熱輸送方程式

$$C(r)\rho(r)\frac{\partial T(r,t)}{\partial t} = \nabla \cdot (K(r)\nabla T(r,t)) + \rho(r)\underline{SAR(r)} + A(r,t) - \mathbf{B(r,t)}(T(r,t) - \mathbf{T}_b(t))$$

境界条件

$$-K(r)\frac{\partial T(r,t)}{\partial n} = H(r) \cdot (T_s(r,t) - T_e(t)) + \mathbf{SW(r,T(r,t))}$$

SAR : 各セルのSAR[W/kg]	K : 熱伝達率[W/(m·°C)]	H : 熱伝達率[W/(m ² ·°C)]
ρ : 組織の密度[kg/m ³]	A : 代謝熱[W/m ³]	T_s : 外気に接する組織温度[°C]
C : 比熱[W/°C]	B : 血流定数 [W/(m ³ ·°C)]	T_a : 外気の温度[°C]
T : 組織の温度[°C]	T_b : 血液温度 [°C]	SW : 発汗係数 [W/m ²]

血液温度

$$T_b(t) = T_{b0} + \int_0^t \frac{Q_{btot}(t)}{C_b \rho_b V_b} dt$$

$$Q_{btot}(t) = \int_{WholeBody} B(t)(T_b(t) - T(\vec{r}, t)) dV$$

T_{b0} : 血液の初期温度 [°C]
C_b : 血液の比熱 [W/°C]
ρ_b : 血液の密度 [kg/m ³]
V_b : 血液の体積 [°C]

熱調整反応(1)

血流量調節作用

A. Hirata, T. Asano, O. Fujiwara, Phys. Med. Biol., vol.52, pp.5013-5023, 2007

組織の温度上昇による血流量の変化を考慮

血流量

皮膚

$$B(\vec{r}) = \left[B_0(\vec{r}) + 17500 \times (T_H - T_{H,0}) + 1100 \times \overline{\Delta T_s} \right] \times 2 \frac{(T(\vec{r}) - T_0(\vec{r}))}{6}$$

$$\overline{\Delta T_s} = \frac{\int_S (T(\vec{r}, t) - T_0(\vec{r})) ds}{S}$$

Handbook of physiology, D. H. K. Lee, Amer.Physiol.Soc., Bethesda, MD, pp.45-68, 1977
M. Hoque and O. P. Gandhi, IEEE Ttans. Biomed. Eng., vol.35, pp.442-449, 1988

T_H : 視床下部の温度 [°C]

$T_{H,0}$: 視床下部の基準温度 [°C]

S : 表面積 [m²]

皮膚以外の組織

$$B(\vec{r}, T(\vec{r})) = B_0(\vec{r})$$

$$T(\vec{r}) \leq 39^\circ C$$

$$B(\vec{r}, T(\vec{r})) = B_0(\vec{r}) \left[1 + 0.8 \times (T(\vec{r}) - 39) \right]$$

$$39^\circ C \leq T(\vec{r}) \leq 44^\circ C$$

$$B(\vec{r}, T(\vec{r})) = B_0(\vec{r}) (1 + 5 \times 0.8)$$

$$44^\circ C \leq T(\vec{r})$$

熱調整反応 (2)

発汗作用

発汗による放熱を考慮

A. Hirata, T. Asano, O. Fujiwara, Phys. Med. Biol., vol.52, pp.5013-5023, 2007

D. Fiala, et al, Int J, Biometeorol., 2001.

発汗作用のモデル化

$$SW(t) = \left\{ \left\{ \begin{array}{l} [\alpha_{11} \tanh(\beta_{11}(T_S - T_{S,0}) - \beta_{10}) + \alpha_{10}](T_S - T_{S,0}) \\ + [\alpha_{21} \tanh(\beta_{21}(T_H - T_{H,0}) - \beta_{20}) + \alpha_{20}](T_H - T_{H,0}) \end{array} \right\} + PI \right\} / 60$$

$$\alpha_{10} = 1.20 \quad , \quad \alpha_{11} = 0.80 \quad , \quad \alpha_{20} = 6.30 \quad , \quad \alpha_{21} = 5.70$$
$$\beta_{10} = 0.19 \quad , \quad \beta_{11} = 0.59 \quad , \quad \beta_{20} = 1.03 \quad , \quad \beta_{21} = 1.98$$

22 years male : **0.63** [g/min] , 3 years child : **0.25** [g/min][†]

T_S : 皮膚の平均温度[°C]

T_H : 視床下部の平均温度[°C]

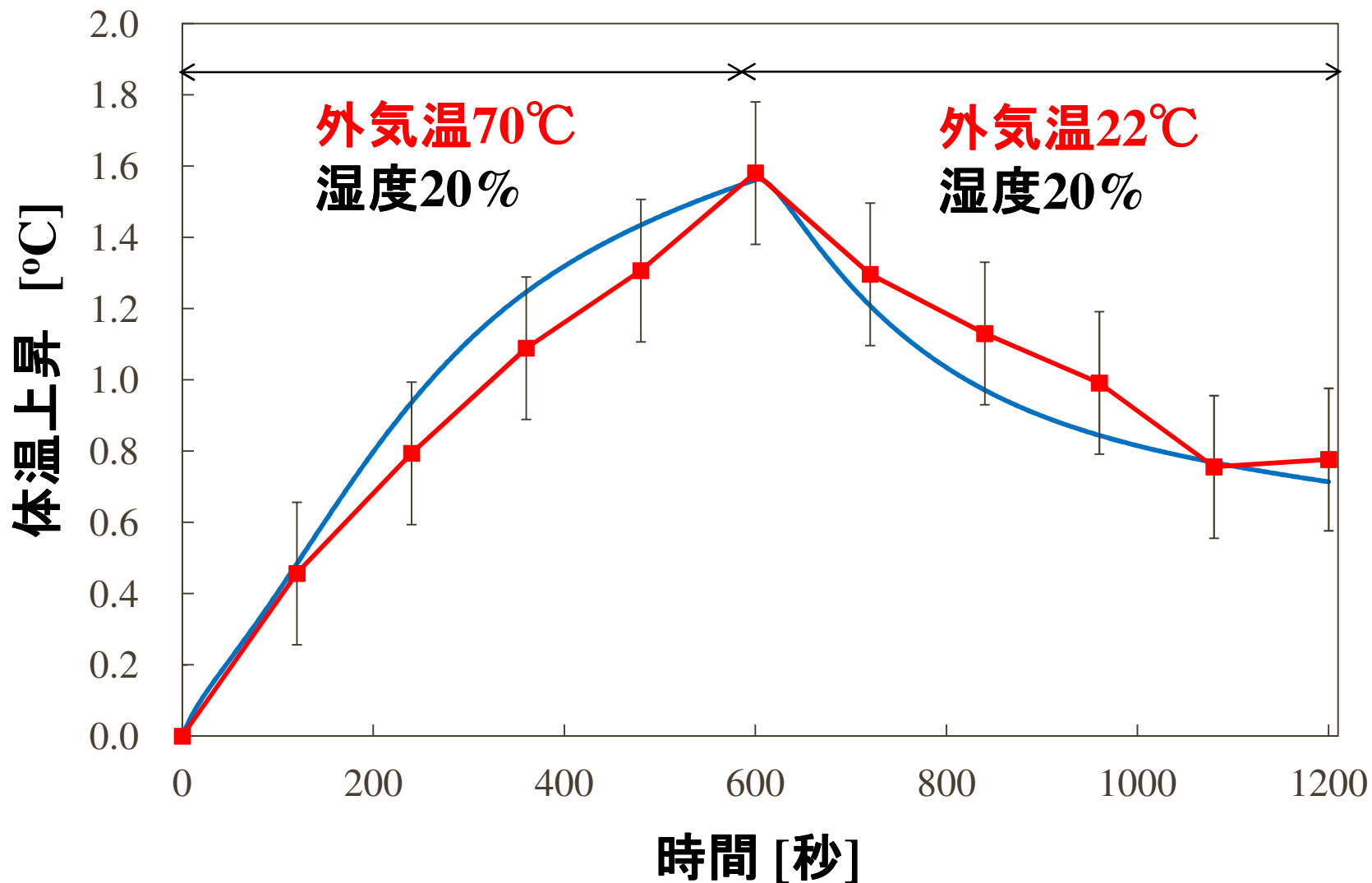
$T_{S,0}$: 皮膚の平均基準温度[°C]

$T_{H,0}$: 視床下部の平均基準温度[°C]

S : 人体の表面積[m²]

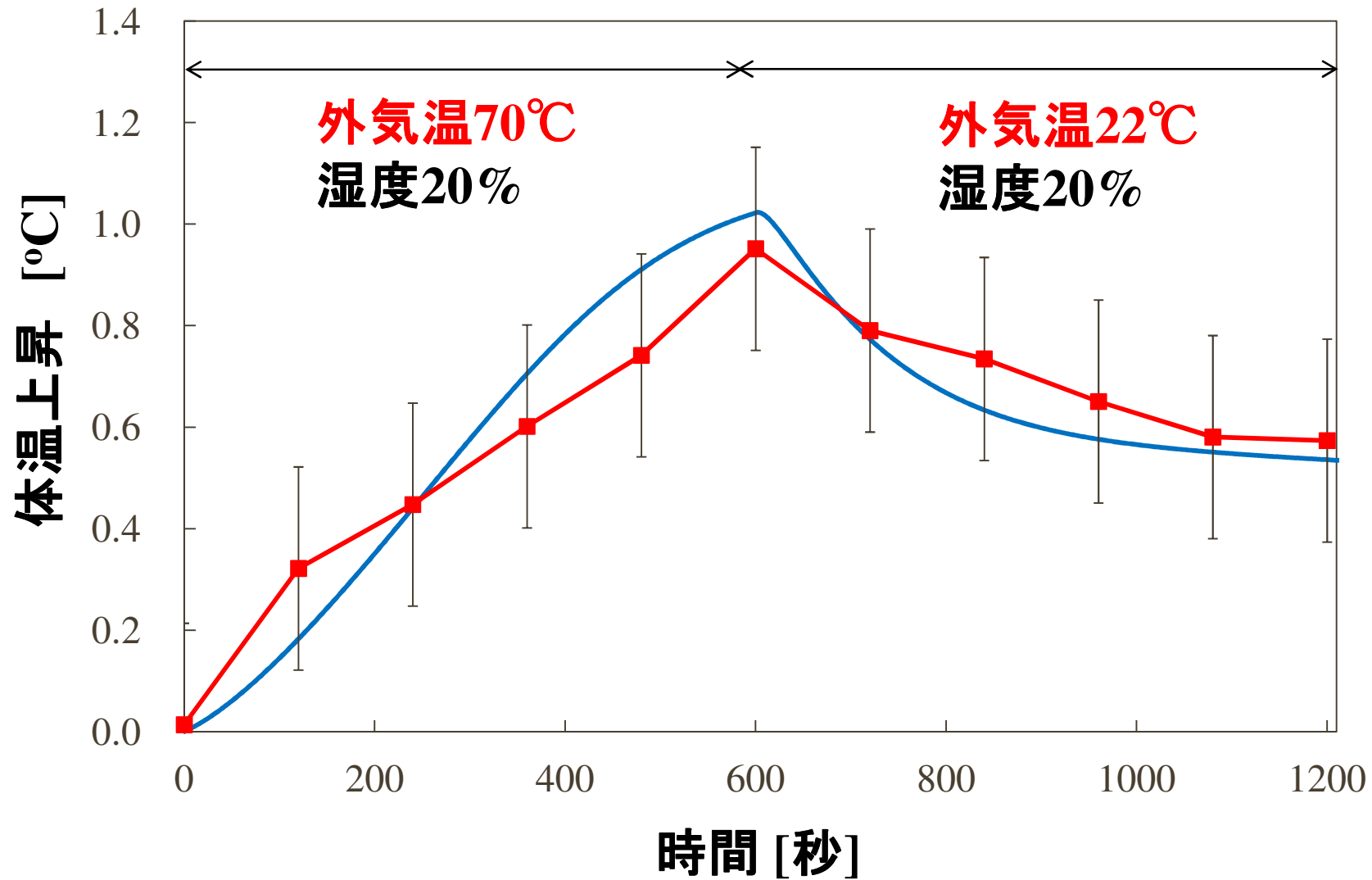
PI : 不感蒸散量[†]

シミュレータの検証：5歳児の体温（サウナ）



† : E. Jokinen, I. Valimaki et al, *Pediatrics*, 1990.

シミュレータの検証：成人の体温（サウナ）



† : E. Jokinen, I. Valimaki et al, *Pediatrics*, 1990.