

<皮膚血流量>

$$V_{bf} = \frac{6.3 + 200 \cdot (T_{cr} - 36.8)}{1 + 0.5 \cdot (T_{sk} - 33.7)} \quad (2.5)$$

$$\left[ \begin{array}{l} V_{bf} > 90 \text{ ならば } V_{bf} = 90 \\ V_{bf} < 0.5 \text{ ならば } V_{bf} = 0.5 \end{array} \right]$$

$E_{sk}$  : 皮膚表面からの蒸発による全熱放散量 [W/m<sup>2</sup>]

$E_{rsw}$  : 発汗による蒸発熱放散量 [W/m<sup>2</sup>]

$E_{diff}$  : 不感蒸泄による蒸発熱放散量 [W/m<sup>2</sup>]

$T_b$  : 体温 [°C]

$T_{sk}$  : 皮膚温 [°C]

$w_{rsw}$  : ぬれ率 [W/m<sup>2</sup>]

$E_{max}$  : 最大蒸発熱損失量 [W/m<sup>2</sup>]

$V_{bf}$  : 皮膚血流量 [l/m<sup>2</sup> · h]

$T_{cr}$  : 深部温度 [°C]

## (2) モデルの分割

Two-node モデルは、人体を皮膚層とコア層の 2 節点でモデル化しているため、全身の皮膚が均一な環境に暴露されている場合のみ適用可能である。しかし、入浴中の人体は、湯に接していない部分と湯に接している部分とで環境条件が大きく異なる。湯に接していない部分是对流・放射・蒸発・呼吸により熱交換が行われるが、湯に接している部分是对流のみで熱交換が行われる。そこで首まで湯に浸かる全身浴を想定し、Two-node モデルを、湯に接していない首より上の部分と、接している首より下の部分に分割し、3 節点モデルとした (図 2-1)。分割は既往研究<sup>[2.4],[2.5]</sup>を基に行い、表 2-1 に示すように、皮膚層を体表面積比で分割し、コア層を共有するモデルとした。また表 2-2 に示すように、首から下の部分に関しては従来の入力項目に湯温と水圧を追加した。

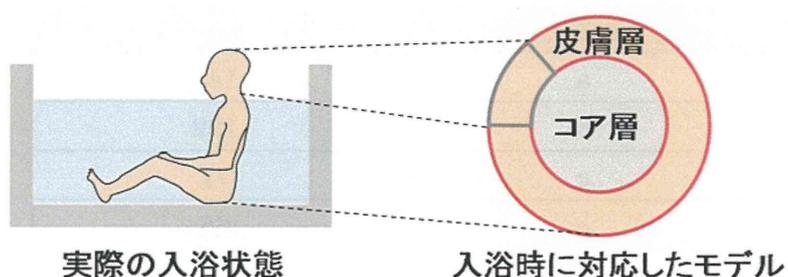


図 2-1 Two-node モデルの分割イメージ

表 2-1 体表面積率

部位	体表面積率[%]
首から上	7.5
首から下	92.5

表 2-2 分割したモデルの入力項目

暴露時間 [min]	水圧 [mmHg]
浴室温度 [°C]	体重 [kg]
平均放射温度 [°C]	体表面積 [m <sup>2</sup> ]
気流速度 [m/s]	着衣量 [clo]
大気圧 [mmHg]	代謝量 [W/m <sup>2</sup> ]
浴室湿度 [%]	外部仕事量 [W/m <sup>2</sup> ]
湯温 [°C]	

### (3) 環境側・人体側の条件設定

#### 1) 環境側

空気と水では物性値が異なる。そこで湯に接している部分は、対流熱伝達率と放射熱伝達率の値を変更した。

##### ① 対流熱伝達率

被験者実験<sup>文[2.6],[2.7]</sup>の結果を基に、各被験者の体温が最も精度良く再現される対流熱伝達率の値を算出した。その結果を表 2-3 に示す。対流熱伝達率の値は被験者の平均値である 96.8 W/(m<sup>2</sup>K)に設定した。

表 2-3 各被験者の対流熱伝達率の値

被験者	対流熱伝達率 [W/(m <sup>2</sup> K)]
a	144
b	122
c	71
e	65
f	82

##### ② 放射熱伝達率

湯に接している部分は放射の影響がないため、放射熱伝達率の値を 0 W/(m<sup>2</sup>K)にした。

#### 2) 人体側

##### ① 体表面積

(2.6) 式<sup>文[2.8]</sup>に示すように、体重と身長から体表面積を算出するプログラムを組み込んだ。

$$\text{体表面積 [m}^2\text{]} = 0.202 \times (\text{体重})^{0.425} [\text{kg}] \times (\text{身長})^{0.725} [\text{m}] \quad (2.6)$$

## ② 蒸発熱損失量

従来の Two-node モデルは、皮膚からの蒸発熱損失量の値が負値で与えられ、凝縮により熱が体に流入する状態となっている。しかし、入浴中に湯に接している部分は、皮膚表面で凝縮が起これないため、蒸発に伴う熱交換はゼロとなる。そこで (2.2) '式のように、湯に接している部分は、皮膚からの蒸発熱損失量の値を  $0\text{W/m}^2$  に設定した。

$$E_{sk} = 0 \quad (2.2) '$$

## ③ 皮膚血流量<sup>文[2.9]</sup>

入浴中は血管が膨張し、そこに流れる血流量が増加する。そこで、(2.5) 式において「入浴中は入浴前と比較して血流量が 2 倍に増加した」という報告を参考に、皮膚血流量の最大値を、最大値  $90\text{l}/(\text{m}^2\text{h})$  の 2 倍である  $180\text{l}/(\text{m}^2\text{h})$  に設定した。

$$V_{bf} = \frac{6.3 + 200 \cdot (T_{cr} - 36.8)}{1 + 0.5 \cdot (T_{sk} - 33.7)} \quad (2.5) '$$

$$\left[ \begin{array}{l} V_{bf} > 180 \text{ ならば } V_{bf} = 180 \\ V_{bf} < 0.5 \text{ ならば } V_{bf} = 0.5 \end{array} \right]$$

## (4) 開発した若年者の入浴時の人体温熱生理モデルの精度検証

### 1) 精度検証

開発した若年者の入浴時の体温予測モデルを用いて算出した体温の解析結果を、健康な成人男性 9 名を対象とした被験者実験で測定した口腔温の結果と比較して精度検証を行った。

解析結果を算出するにあたり、入力条件として用いた値の一例を表 2-4 に示す。入浴実験の温熱環境の測定結果等、実験条件を入力値とした。水圧に関しては、表 2-5 に示す理論値<sup>文[2.10]</sup>に従って入力条件を与えた。水深により水圧の値が異なるため、鉛直分布で平均をとり、大気圧に  $15.6\text{mmHg}$  を加えた  $775.6\text{mmHg}$  を、全身浴を行っている時の入力条件として採用した。

表 2-4 入力条件の例

浴室	浴室温度 [°C]	26.8
	平均放射温度 [°C]	31.7
	気流速度 [m/s]	0.1
	大気圧 [mmHg]	760
	浴室湿度 [%]	60.2
浴槽	湯温 [°C]	41.0
	水圧 [mmHg]	775.6
人体	体重 [kg]	74
	体表面積 [m <sup>2</sup> ]	1.87
	着衣量 [clo]	0
	代謝量 [W/m <sup>2</sup> ]	87.3 文[2.11]
	外部仕事量 [W/m <sup>2</sup> ]	0
	暴露時間 [min]	7

表 2-5 水深と水圧（大気圧との差）の関係

水深	水圧の理論値 [mmHg]
床面から 0cm 上	31.2
床面から 10cm 上	23.4
床面から 20cm 上	15.6
床面から 30cm 上	7.8
床面から 40cm 上	0

なお、数値解析の初期体温は、入浴実験において入浴前に測定された体温を与えた。

## 2) 検証結果

検証結果を図 2-2 に示す。

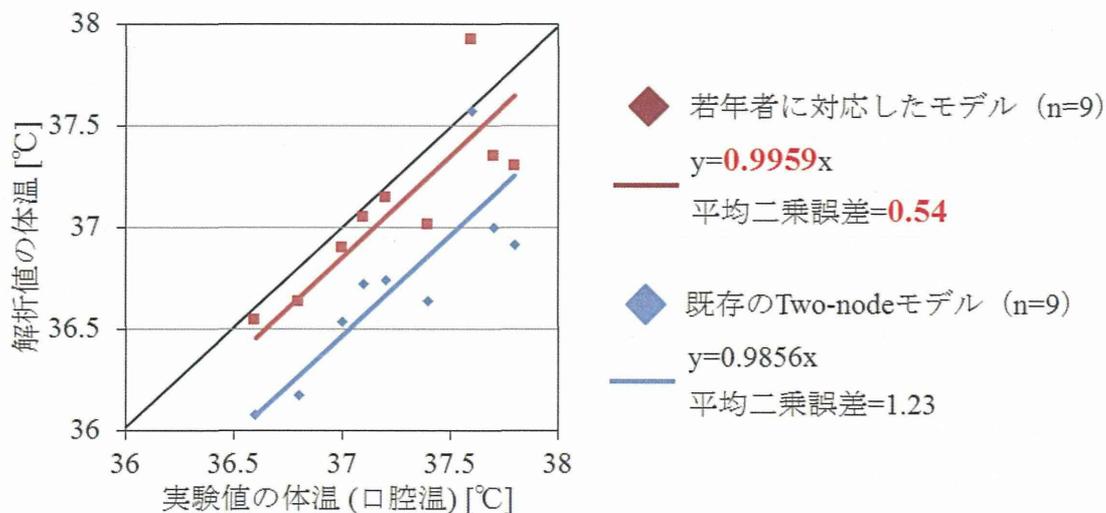


図 2-2 若年者の入浴時に対応した体温予測モデルにより算出した体温と入浴実験で測定された体温の比較

近似曲線は、45度線との傾きを比較するために切片が0を通るように引いた。その結果、近似式の傾きは、従来の Two-node モデルは 0.98 であったのに対し、本研究で開発した若年者の入浴時に対応した体温予測モデルは 0.99 となった。また、実験値に対する解析値の平均自乗誤差は、従来の Two-node モデルは 1.23°C であったのに対し、本研究で開発した若年者の入浴時に対応した体温予測モデルは 0.54°C となった。このことから、人体温熱生理モデルの分割や、入浴時に対応した環境側・人体側の条件設定により、従来のモデルよりも実験値を精度良く再現できることを確認した。

## 2.2.3 入浴時に対応した高齢者の体温予測モデルの開発

### (1) 高齢者を評価するための改良点

入浴事故患者の約 9 割が 65 歳以上の高齢者である。入浴事故を防止するためには、高齢者の入浴時に対応した体温予測モデルが必要となるが、従来の Two-node モデルは、健康な若年者を想定して体系化されているため、高齢者を想定したモデルへの改良が必要となる。本節では、前節で開発した入浴時に対応した若年者の体温予測モデルに対して改良を行い、高齢者に対応した体温予測モデルの開発について解説する。改良点は 1)発汗制御係数・血管拡張係数の変更、2)血流量の算出式の変更、3)基礎代謝量の算出式の変更、の 3 点である。

#### 1) 発汗制御係数・血管拡張係数の変更

人は暑熱環境において体温の上昇を防ぐために発汗量・皮膚血流量を増加させ放散を促進させる<sup>〔2.11〕</sup>。従って、暑熱環境において体温上昇による意識障害の発症を防ぐためには、発汗量および皮膚血流量を増加させることが重要であるが、これらは加齢に伴い減少する<sup>〔2.12〕</sup>。

表 2-6 に、既往研究<sup>〔2.5〕,〔2.13〕</sup>に基づき、温度 35℃、湿度 45%の室内環境に 60 分間暴露された際の高齢者男性（64～74 歳）の若年成人男性（21～25 歳）に対する発汗量と皮膚血流量の割合、及び部位表面積を示す。

表 2-6 高齢者男性と若年成人男性の発汗量・皮膚血流量の割合の比較  
及び部位表面積<sup>〔2.5〕,〔2.13〕</sup>

	前額	胸	大腿	背	前腕
発汗量	91%	84%	52%	75%	95%
皮膚血流量	95%	55%	43%	-	-
部位表面積	0.035m <sup>2</sup>	0.175 m <sup>2</sup>	0.224 m <sup>2</sup>	0.161 m <sup>2</sup>	0.063 m <sup>2</sup>

表 2-6 の値に基づき、部位表面積を考慮した、高齢者男性の若年成人男性に対する全身の発汗量、皮膚血流量の割合を決定した。

#### ① 発汗量

$$\begin{aligned}
 & 91 \times \frac{0.035}{0.035 + 0.175 + 0.224 + 0.161 + 0.063} + 84 \times \frac{0.175}{0.035 + 0.175 + 0.224 + 0.161 + 0.063} \\
 & + 52 \times \frac{0.224}{0.035 + 0.175 + 0.224 + 0.161 + 0.063} + 75 \times \frac{0.161}{0.035 + 0.175 + 0.224 + 0.161 + 0.063} \\
 & + 95 \times \frac{0.063}{0.035 + 0.175 + 0.224 + 0.161 + 0.063} = 72.3\%
 \end{aligned}$$

② 皮膚血流量

$$95 \times \frac{0.035}{0.035 + 0.175 + 0.224} + 55 \times \frac{0.175}{0.035 + 0.175 + 0.224} + 43 \times \frac{0.224}{0.035 + 0.175 + 0.224} = 52.0\%$$

①、②で算出した、高齢者男性の若年成人男性に対する全身の発汗量、皮膚血流量の割合を基に、入浴時の高齢者に対応した体温予測モデルのプログラムにおける「発汗制御係数」及び「血管拡張係数」の値を表 2-7 に示す値に変更した。

表 2-7 発汗制御係数と血管拡張係数の変更

	入浴時の若年者の体温予測モデル (従来の Two-node モデル)	入浴時の高齢者の体温予測モデル
発汗制御係数	170	123
血管拡張係数	200	104

2) 血流量の算出式の変更

血流量は加齢に伴い減少するという報告<sup>文[2.12]</sup>から、既往研究<sup>文[2.14]</sup>を参考に血流量の算出式を、加齢の影響を加味した (2.7) 式へ変更した。

$$\text{New 血流量 [L/h]} = \text{血流量 [L/h]} \times \text{血流量への年齢の影響を表す係数 [-]} \quad (2.7)$$

(2.7) 式における“血流量への年齢の影響を表す係数”は、表 2-8 に示す、既往研究<sup>文[2.15]</sup>より明らかになった年齢別の平均脳血流量から算出した。

表 2-8 年齢別の平均脳血流量<sup>文[2.15]</sup>

	60 歳未満	60 歳代	70 歳以上
平均脳血流量 [-]	50.5±8.4	48.8±9.0	47.0±7.8

60 歳代の男性であれば、60 歳未満と比較した平均脳血流量の割合 0.97 (= 48.8/50.5×100) が血流量への年齢の影響を表す係数となる。

### 3) 基礎代謝量の算出式の変更

基礎代謝量は加齢に伴い減少するという報告<sup>文[2.11]</sup>から、既往研究<sup>文[2.14]</sup>を参考に基礎代謝量の算出式を、加齢の影響を加味した (2.8) 式へ変更した。

New 基礎代謝量 [W/m<sup>2</sup>]

$$= \text{基礎代謝量 [W/m}^2\text{]} \times \text{基礎代謝量への年齢の影響を表す係数 [-]} \quad (2.8)$$

(2.8) 式における“基礎代謝量への年齢の影響を表す係数”は、図 2-3 に示す、既往研究<sup>文[2.11]</sup>より明らかになった年齢と基礎代謝量の関係から算出した。

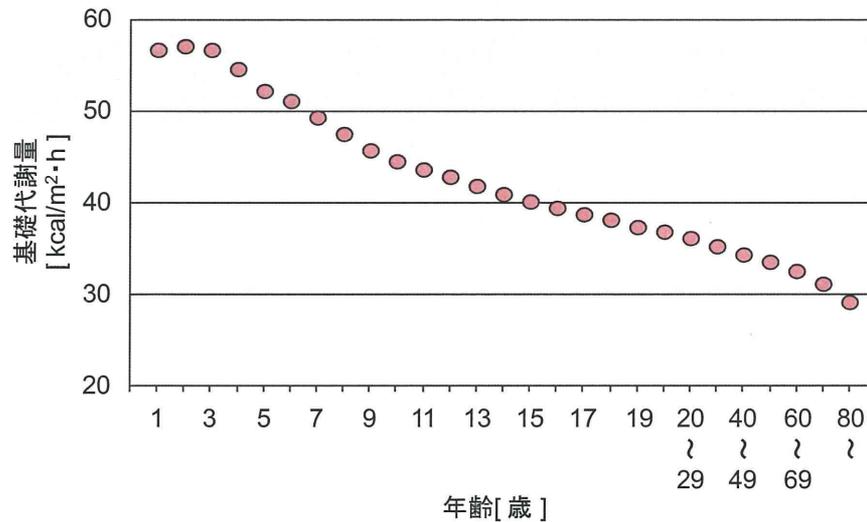


図 2-3 加齢と基礎代謝量の関係<sup>文[2.11]</sup>

60 歳代の男性であれば、20 歳代と比較した基礎代謝量の割合 0.88 (= 32.6/36.9×100) が基礎代謝量への年齢の影響を表す係数となる。

## (2) 開発した高齢者の入浴時の体温予測モデルの精度検証

### 1) 検証用データの概要

高齢者を対象に入浴の被験者実験を行った 2 つの既往研究の結果<sup>文[2.16],[2.17]</sup>を用いて、開発した高齢者の入浴時の体温モデルの精度検証を行った。1 つ目の既往研究（以下、既往研究①とする）<sup>文[2.16]</sup>では、40℃の湯を張った浴槽に 10 分間肩まで浸かった時の口腔温を測定している。2 つ目の既往研究（以下、既往研究②とする）<sup>文[2.17]</sup>では、41℃の湯を張った浴槽に 7 分間肩まで浸かった時の鼓膜温を測定している。

### 2) 検証方法

体温の変化を 1) 実験値、2) 高齢者の入浴時に対応した体温予測モデルの解析値の 2 通りで比較した。数値解析の初期体温は、被験者実験において入浴前に測定された体温を与えた。各入力条件を表 2-9-1,2-9-2 に示す。

表 2-9-1 入力条件：既往研究①<sup>文[2.16]</sup>

浴室	浴室温度 [°C]	27.0
	平均放射温度 [°C]	30.8
	気流速度 [m/s]	0.1
	大気圧 [mmHg]	760
	浴室湿度 [%]	72.0
浴槽	湯温 [°C]	40
	水圧 [mmHg]	776
人体	体重 [kg]	56.6
	体表面積 [m <sup>2</sup> ]	1.56
	着衣量 [clo]	0
	代謝量 [W/m <sup>2</sup> ]	76.1 <sup>文[2.10]</sup>
	外部仕事量 [W/m <sup>2</sup> ]	0
	暴露時間 [min]	10

表 2-9-2 入力条件：既往研究②<sup>文[2.17]</sup>

浴室	浴室温度 [°C]	27.0
	平均放射温度 [°C]	30.8
	気流速度 [m/s]	0.1
	大気圧 [mmHg]	760
	浴室湿度 [%]	57.0
浴槽	湯温 [°C]	41
	水圧 [mmHg]	776
人体	体重 [kg]	56.6
	体表面積 [m <sup>2</sup> ]	1.56
	着衣量 [clo]	0
	代謝量 [W/m <sup>2</sup> ]	76.1 <sup>文[2.10]</sup>
	外部仕事量 [W/m <sup>2</sup> ]	0
	暴露時間 [min]	7

平均放射温度に関しては、既往研究に示されていないため、入浴の被験者実験<sup>文[2.6],[2.7]</sup>の結果から、全被験者・全ケースの平均値である 30.8℃を入力条件として採用した。

また、表 2-10 に日本人の体位の基準値を示す。既往研究①、②共に、被験者は 70 歳代の男女であった。そのため、入力条件の体重は、70 歳代男女の平均値である 56.6kg を採用した。

表 2-10 日本人高齢者の体位の基準値<sup>文[2.18]</sup>

年齢 [歳]	身長 [cm]		体重 [kg]		体表面積 [m <sup>2</sup> ]	
	男性	女性	男性	女性	男性	女性
60～69	165.7	152.9	65.2	53.4	1.586	1.429
70～79	162.0	148.9	61.6	51.5	1.531	1.363
80～	159.4	140.5	57.2	43.37	1.483	1.297

### 3) 検証結果

検証結果を図 2-4 に示す。

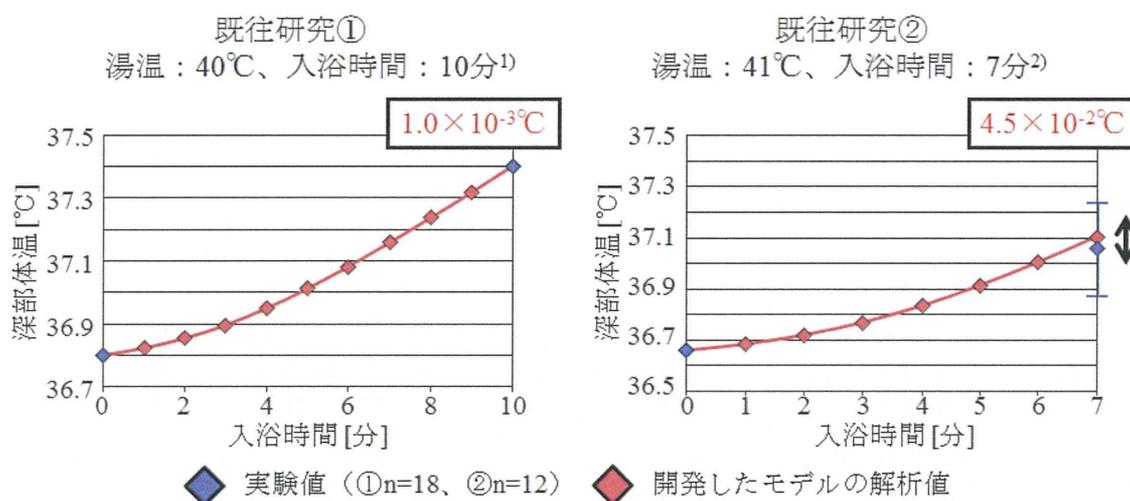


図 2-4 実測値と解析値の比較

入浴終了時の実験値と開発したモデルの解析値の差は、既往研究①で 0.001℃、既往研究②で 0.045℃となった。このことから、発汗制御係数・血管拡張係数の変更や、基礎代謝量の算出式の変更により、高齢者の入浴時の体温を精度良く再現できることを確認した。

## 2.2.4 性別・体格・体温の個人差による入浴時の体温変化の差異

日本救急医学会は、東京都、山形県、佐賀県の浴室発症の救急搬送例について、以下の2点を報告しており、深部体温が39℃を上回ると意識障害が発生すると推測している。

- ①心肺停止を除き、浴槽から自力で出られなくなり救助を要した患者群の主訴のほとんどは意識障害と脱力であった。
- ②救急現場で測定した深部体温について、浴槽から脱出困難となった患者群のうち、50%以上が37℃以上、25%以上が38℃以上であった。

入浴時の体温の上昇度は、性別・体格・体温の個人差により異なる。開発したモデルを用いて、性別、体格、体温の個人差を踏まえて、深部体温が39℃に到達する時間を算出した。体格は、BMIを3分類（平均値・平均値±標準偏差<sup>文[2.18]</sup>）し、肥満型、標準体型、やせ型に分類した。結果の一例を図2-5に示す。

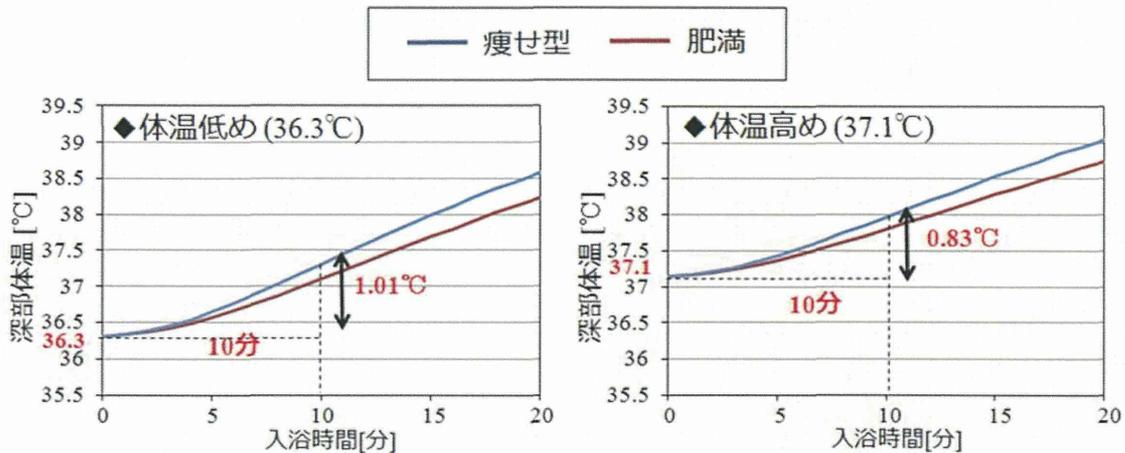


図 2-5 体格、体温の個人差による入浴時の体温変化の違い（湯温 41℃，女性の場合）

また日本温泉気候物理医学会の調査では、リハビリ患者を対象として約5分の入浴をさせた後に体温上昇が1度近く認められ、収縮期血圧が有意に低下していた。これより、出浴時の起立性低血圧が事故を誘発する可能性があることが入浴関連事故班研究会議により報告されたことから、入浴後から深部体温が1℃上昇するまでにかかる時間も併せて算出した。

以上をまとめた結果を表2-11-1, 2-11-2に示す。

表 2-11-1 日本人高齢者(男性)の入浴時の体温上昇の評価

体格	湯温[°C]	38°C到達時間[分]	39°C到達時間[分]	1°C上昇時間[分]
肥満 (BMI=26.5)	40	15-25	31-41	15-17
	41	13-20	24-31	13-14
	42	11-17	19-26	11-12
	43	10-15	17-22	10-11
標準 (BMI=23.4)	40	14-23	28-39	14-16
	41	12-19	22-30	12-13
	42	10-16	18-25	11-12
	43	9-14	15-21	10
やせ (BMI=20.3)	40	13-22	26-36	13-15
	41	11-18	20-28	11-13
	42	10-15	16-23	10-11
	43	8-13	14-19	9-10

表 2-11-2 日本人高齢者(女性)の入浴時の体温上昇の評価

体格	湯温[°C]	38°C到達時間[分]	39°C到達時間[分]	1°C上昇時間[分]
肥満 (BMI=26.5)	40	15-22	31-37	14-17
	41	13-18	24-29	12-14
	42	11-16	19-24	11-13
	43	10-14	17-20	10-11
標準 (BMI=23.4)	40	14-21	28-35	13-16
	41	12-17	22-27	11-13
	42	10-15	18-22	10-11
	43	9-13	15-19	9-10
やせ (BMI=20.3)	40	13-19	26-32	12-14
	41	11-16	20-25	10-12
	42	9-13	16-20	9-10
	43	8-12	14-17	8-9

日本人の入浴方法（入浴時間、湯温）の決定には生まれ育った環境や好みや習慣、収入等の経済面も影響を与えると考えられ、入浴方法には個人差がある<sup>文[2.19]</sup>。さらに、入浴時の体温の上昇度は、性別・体格・体温の個人差により異なる。開発したモデルを用いて、入浴方法における個人差と性別・体格・体温の個人差を考慮した安全な入浴方法の目安を提示した。

【参考文献】

- [2.1] ASHRAE : Handbook of Fundamentals Physiological Principles and Thermal Comfort, Chapter 8, 1993
- [2.2] 中山昭雄 : 温熱生理学、理工学社、1981
- [2.3] A.P. Gagge, J.A.J Stolwijk, and Y. Nishi : An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response, ASHRAE Transactions, Vol.16, pp.247-262, 1971
- [2.4] 徐莉 : 人間-熱環境系快適性数値シミュレータ (その22) 体温調節モデルJOSの開発-AVAを含む血管系の考慮、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.361-362、2002
- [2.5] 田辺新一 : 温熱環境評価のための 65 分割体温調節モデルに関する研究、日本建築学会計画系論文集 第 541 号、pp.9-16、2001
- [2.6] 杉本有梨 : 入浴時の体温予測モデルに基づく高齢者の熱中症リスク評価、慶應義塾大学大学院修士論文、2011
- [2.7] 伊香賀俊治、堀進悟、鈴木昌 : 熱中症の視点から見た高齢者の入浴事故予防策の検討、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.2103-2106、2012.9
- [2.8] 社会法人 空気調和・衛生学会 : 快適な温熱環境のメカニズム 豊かな生活空間を目指して、p.30、1997
- [2.9] 吉村拓巳 : 入浴中の心拍数・血流の測定とその評価、信州技報、pp.29-30、1993
- [2.10] 樗木晶子 : 入浴の人体に及ぼす生理的影響-安全な入浴を目指して-、九州大学医療技術短期大学
- [2.11] 中山昭雄ら : 新生理科学体系 (第 22 巻) エネルギー代謝・体温調節の生理学、医学書院、1987
- [2.12] 中井誠一ら : スポーツ活動および日常生活を含めた新しい熱中症予防対策の提案 - 年齢、着衣及び暑熱順化を考慮した予防指針 -、体育科学、2007
- [2.13] 井上芳光ら : 発汗および脈管反応の身体部位差からみた加齢特性、日本運動生理学雑誌、1995
- [2.14] 田辺新一 : 温熱環境評価のための体温調節モデル JOS の開発 (その 1) 血管及び体躯・性別・年齢の考慮、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2002
- [2.15] 武田俊平 : 加齢に伴う脳体積と脳血流量の低下、日本老年医学会雑誌、25 巻 1 号、1988
- [2.16] 高橋龍太郎 : ミストサウナを利用した高齢者向け入浴方法の検討 (その 2) 入浴時の生理応答の変化、日本建築学会大会学術講演梗概集、2007
- [2.17] 長塚智子 : 安全な入浴方法開発のための基礎的研究、九州大学医学部保健学科紀要、第 2 号、2003
- [2.18] 厚生労働省 : 平成 23 年 国民健康・栄養調査報告
- [2.19] 東京ガス株式会社都市生活研究所 : 現代人の入浴事情 2012、都市生活レポート、2012

## 第2章 日本救急医学会の調査研究

### 2.3 入浴事故の発生機序とその予防策 鈴木 昌

#### 2.3.1 従来の救急医学の知見

##### 2.3.1.1 症例の検討

救急医学領域では入浴中の心肺機能停止症例の多発が以前から認識されていた<sup>1-3)</sup>。しかし、非心肺停止の入浴事故に関する報告は皆無であった。これは、本邦の救急医学が救命救急センターを中心にして発展したため、重症救急患者に焦点が絞られた結果、これらに搬送されない救急患者の知見の蓄積が行われなかったためと考えられる。数少ない入浴事故の非心肺機能停止症例に関する報告は、主に体温と意識障害との関係、ならびに血圧調節機能の低下を論じてきた<sup>4-6)</sup>。

##### 1) 体温と意識障害

体温と意識障害との関係は、本調査で救急搬送された救助群に相当する症例において検討されている。JCS II以上の意識障害の有無で体温を比較すると、意識障害ありの群で有意に体温が高いこと(図1)、また、意識障害は経過観察で軽快し、その軽快の仕方は体温の低下に伴っていたことから(図2)、入浴事故において発生する意識障害が温浴による体温上昇の結果であると論じている<sup>4)</sup>。

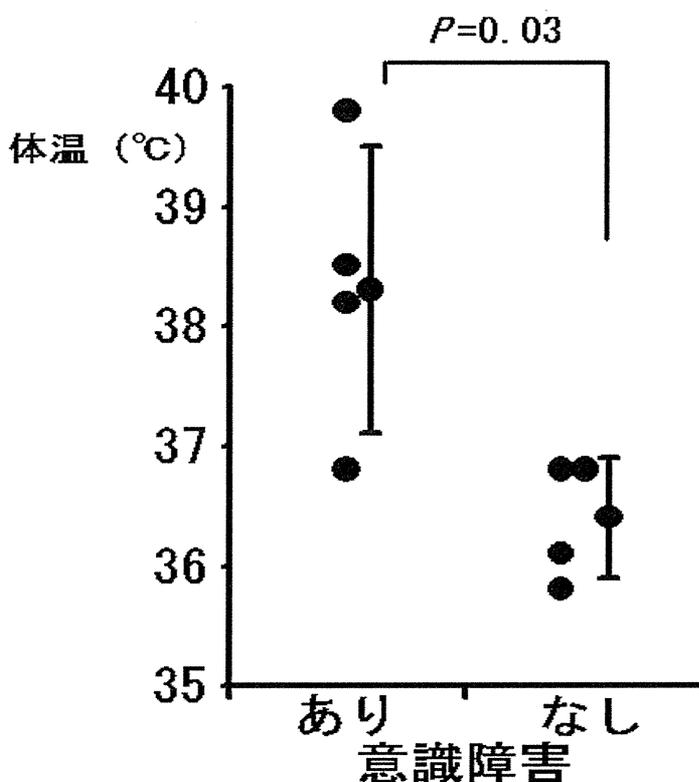


図1 JCS II以上の意識障害の有無と来院時の体温(文献4)  
意識障害ありの場合に高体温であることが救急搬入された入浴事故患者で示された。

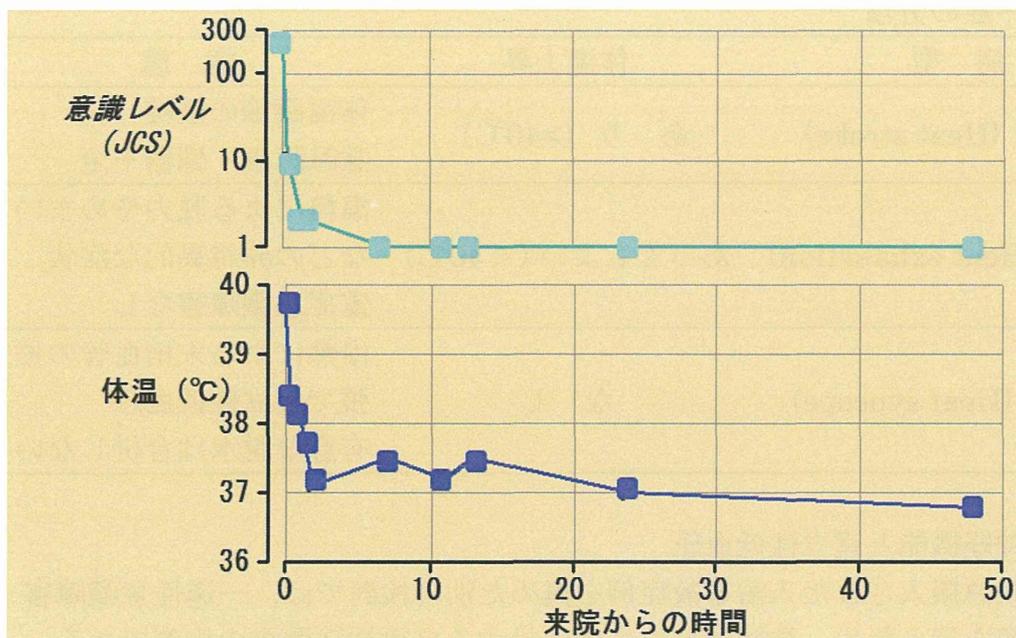


図2 入浴時の意識障害の経過 (文献4)

意識レベルは時間とともに軽快する。この意識レベルの改善は体温の低下と同様の経過をたどっている。

温浴による高体温によって意識障害が発生し、体温の低下とともにその意識障害が軽快するとするならば、この病態は、夏季に多発する環境障害、熱中症と同様の病態と考えられる。入浴事故は冬季に多発するが、高温浴を行う条件では、生体にとっての環境はまさに高温環境におかれている。したがって、熱中症は冬季でも発生しうる。熱中症は高温環境暴露に伴う病態の総称だが、意識障害を来す熱中症は、熱射病、脱力を来すのは熱疲労、一過性意識障害は熱失神である(表1)<sup>7,8)</sup>。熱射病は致死性熱中症であり、死亡原因となりうる。また、致死性ではない熱射病であっても、意識障害を来すので、座位が保持できずに溺没すれば溺水から心停止に至る。これは早期の救助で救命することができる。熱疲労では初期には意識障害を来さないが、脱力や易疲労感から浴槽外に自力では出られなくなる。そのまま高温浴が継続されれば、熱射病に容易に移行すると考えられる。また、高齢者は若年者と比較して温熱に対する感受性が低下している、すなわち湯の熱さに対する感受性が低下しているにも関わらず、軽度の体温上昇で見当識障害などの意識障害が容易に発生する。したがって、熱疲労であっても、高齢者では軽度意識障害を合併しうると考えられる。

表1 熱中症の分類

病 型	体温上昇	病 態
熱射病 (Heat stroke)	あ り (>40°C)	体温調節の破綻 意識障害・臓器不全
熱疲労 (Heat exhaustion)	あってもよい (<40°C)	温熱による脱力やめまい などの非特異的な症状 重症意識障害なし
熱失神 (Heat syncope)	な し	温熱による末梢血管の拡張で起立性低血圧 有意な脱水は合併しない

## 2) 自律神経機能と起立性低血圧

同様に救急搬入された入浴事故症例を集めた別の検討では、一過性意識障害の原因検索を行うため、神経調節性失神に対する自律神経機能の検査である Head-up tile test を行い、全例に著明な起立性低血圧が観察されることを示した (表2) <sup>5,6)</sup>。この検討から、自律神経機能、とくに立位耐性の低下している高齢者では、温熱による血管拡張が起立性血圧低下を来して浴槽内座位で起立性低血圧や dysautonomic type の血圧低下を来して失神すると考察している <sup>5,6)</sup>。

温浴による一時的な血圧低下と一過性意識障害は熱中症の一病型である熱失神にあてはまる病態である (表1)。熱失神は自律神経機能の低下している高齢者に多発するので温浴中の座位での血圧低下が意識障害や溺没の一因となりうることを示唆する。なお、失神は臥位をとることで血圧が回復し速やかに意識も回復するのが原則である <sup>9)</sup>。しかし、浴槽内で失神した状態で座位が保持されれば、高温浴が継続して、高体温から熱射病に至る危険性、溺没して溺水となる危険性、座位で発生した血圧低下では座位が解除されずに遷延して心停止に至るプロセスを考えることができる。

表2 入浴事故患者の自律神経機能 (文献 5,6)

年 齢	性 別	起立性低血圧
56	男 性	あり 150→90 mmHg
58	男 性	あり 120→70 mmHg
67	男 性	あり 140→80 mmHg
72	男 性	あり 120→70 mmHg
73	男 性	あり 150→80 mmHg
77	男 性	あり 130→86 mmHg

### 2.3.1.2 実験的検討

なぜ、入浴中に急死が発生するのかを検討するためには、ヒトでの検討が困難なため、動物実験を行う以外にない。一方、なぜ意識障害が発生するのかを検討するためには、動物実験では高次脳機能の検討が煩雑で困難だが、ヒトでは可能である。そこで、動物実験による急死のモデルの検討<sup>10)</sup>とヒトにおける高次脳機能の検討<sup>11)</sup>が行われている。

#### 3) 動物実験

ラットに腹腔麻酔を行って温浴を行うと 41℃以上の水温では全動物が死に至ることを示した。この水温と死亡までの時間とを検討すると図3に示すように、死亡までの温浴時間は水温に強く依存することが示されている。そして、40℃以下の水温では死亡が発生しないことを現象と理論式とから示した<sup>10)</sup>。このモデルでは死亡時の体温は水温より高くなっており、高体温が死亡原因に関与していることが示唆されている（図4）。

このように、動物モデルでは温浴による死亡は水温と体温とが重要な因子であることを示した。温浴の時間と水温は生体が受け取る熱量を表現すると考えられる。

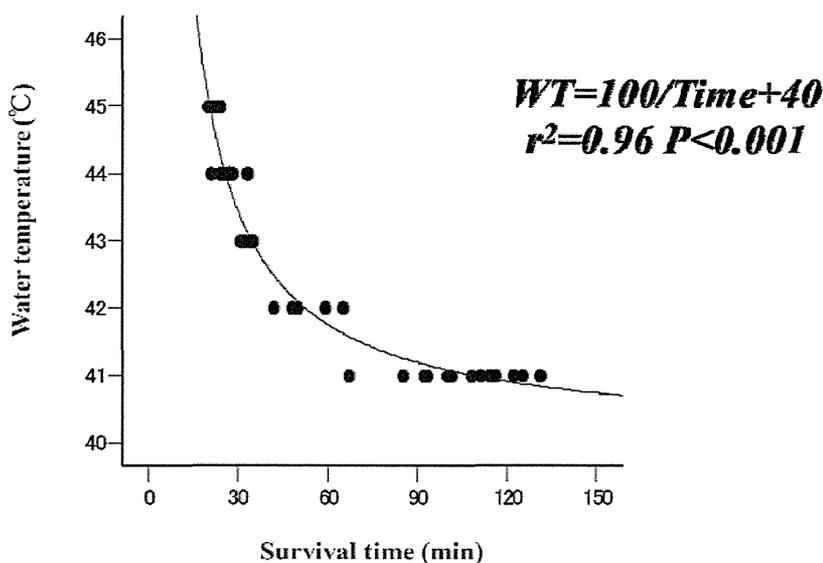


図3 ラット温浴モデルにおける水温と死亡までの時間の関係（文献10）  
実験では41℃以上の温浴で全ラットが死亡した。死亡に至るまでの時間（T）は図中に示すように水温（WT）に強く依存し、40℃では死亡が発生しないことを示した。

死亡時体温(°C)

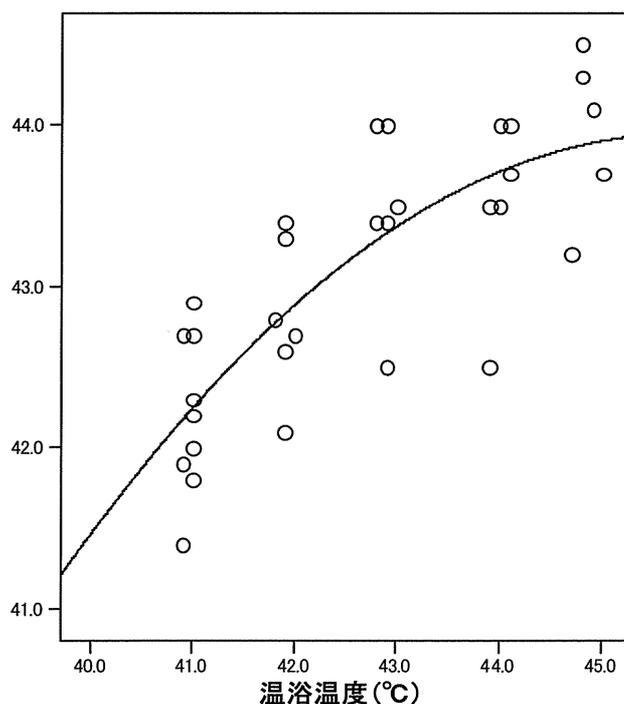


図4 ラット温浴モデルにおける死亡時体温と水温との関係 (文献 10)  
41°C以上の温浴で死亡が観察されている。その際の体温はそのほとんどが水温を超えており、生理的体温を超えている。高体温が死亡の一因と考えられた。

#### 4) ヒトの高次脳機能の検討

健常若年成人の温浴前後の高次脳機能 (PASAT試験: 暗算を行う) を評価した検討では、44°Cの高温浴7分間で体温が38°Cを超えること、その後約10分程度の短時間で体温が40°Cに達することを示している。一方、40°Cの温浴では体温上昇は軽微であった (表3)。したがって、健常若年成人においても、高温浴によって容易に危険な高体温を来すことが示される<sup>11)</sup>。この結果は人体生理モデルに基づくシミュレーション結果 (前節) に示されるとおりである。このような高体温では高次脳機能の低下が認められた (図5)。すなわち、健常若年成人においても高体温は脳機能の低下を来すことを示しており、高齢者ではさらに脳機能異常が悪化することを容易に想像させる<sup>11)</sup>。43°Cを超えるような高温浴が短時間であっても容易に高体温を来し、意識障害の原因となりうることを強く示唆した結果といえる。

表3 ヒトの温浴による体温変化 (文献 11)

	温浴前	温浴 7 分後	温浴終了時	温浴終了直後
<b>44°C温浴</b>				
体温 (°C)	37.0±0.8	38.3±0.5	40.1±0.7	38.5±0.8
心拍数 (/分)	71±7	116±16	127±17	100±12
収縮期血圧 (mmHg)	122±12	128±16	139±31	119±10
拡張期血圧 (mmHg)	76±5	68±10	78±13	66±18
<b>40°C温浴</b>				
体温 (°C)	36.8±0.3	37.1±0.4	38.1±0.5	37.5±0.3
心拍数 (/分)	68±9	87±7	100±6	73±9
収縮期血圧 (mmHg)	118±11	108±5	117±9	112±7
拡張期血圧 (mmHg)	74±6	60±4	56±8	64±8

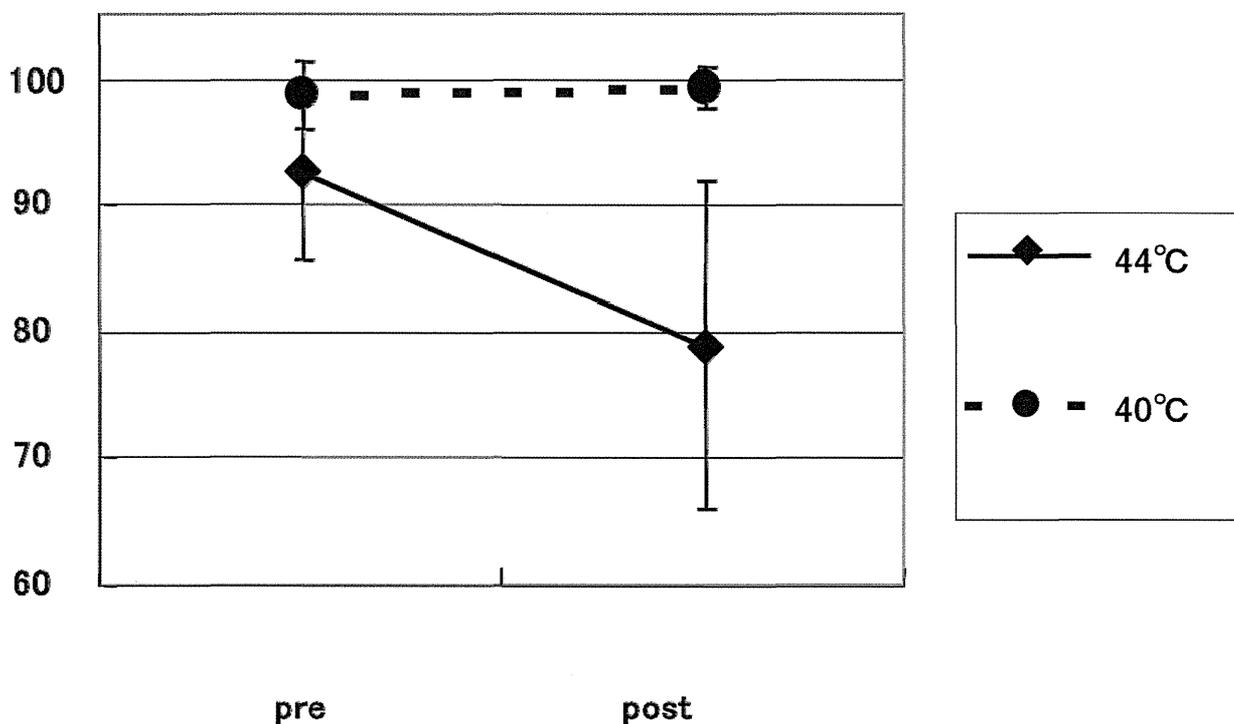


図5 温浴前後のPASAT試験結果 (文献 11)

40°C温浴では前後のPASAT試験結果に差を認めないが、44°C入浴では試験結果が悪化しており、高次脳機能障害が発生していると考えられた。高体温ほど試験結果が悪化しており、血行動態の不良は認めていなかったことから、高体温が脳機能障害の発生原因と考えられた。