

熱帯住民の高温環境への適応に関する試論

——タイ住民のケース・スタディ——

堀 清 記*・齊 藤 昇**・吉 村 寿 人*

A Note on Heat Acclimatization of Inhabitants in Tropical Zone

—A Case Study of Residents in Thailand—

by

Seiki HORI, Noboru SAITO and Hisato YOSHIMURA

The aim of this research was to study the effects of tropical climate on physical characteristics of men and their physiological responses in relation to temperature control. The research was carried out on 30 male Thai, aged 21 years old, and 8 male Japanese residents in Thailand, aged 25–45 years old, in September of 1975. Oral temperature and skin temperatures for each subject in recumbent position were estimated in a room at temperature of 27–28°C in early morning and anthropometrical measurements were made. The mean value of oral temperature for Thai (36.4°C) was slightly lower than that for Japanese 36.5°C and the mean value of mean skin temperature for the Thai (34.0°C) was higher than that for Japanese (33.8°C). These results suggested that the Thai has higher conductive-convective heat transfer coefficient from core to skin than Japanese. The Thai has significantly lighter body weight (52.8 kg) and thinner mean skinfolds (8.4 mm) than Japanese (64.5 kg and 10.9 mm, respectively). The mean values of girths of chest, upper arm and thigh for Thai were 85.0 cm, 26.9 cm and 47.5 cm respectively and were significantly shorter than those for Japanese (91.2 cm, 28.3 cm and 50.7 cm, respectively).

The anthropometrical characteristics of Thai people may be explained as due to a result of adaptation to hot environment. As the number of subjects measured were not enough to draw an exact conclusion, further studies with more subjects of two kinds of peoples should be made in the future.

は じ め に

ヒトが高温環境に曝露されると皮膚温と環境温度の差が減少して放熱量の減少をきたし体温が上昇するが、ヒトの体内では生理的にそれに対応して体温調節反応がおこる。例えば産熱を伴う労作を避けたり、体位を変えて放熱面積を増加させて放熱を増加させたり、皮膚への循環

* 兵庫医科大学第一生理学教室

** 京都大学医学部栄養治療室

血液量の増加あるいは発汗の発現等の体熱の放散促進的反応がおこり、体温を一定に保とうとする。これらの生理的变化は神経反射やホルモンの分泌量の変化に伴って血液および体液性状の変化を生じ、ヒトが高温環境に適応するように変化する。^{1,2)}

これらの適応的变化は高温曝露の期間が長期に及ぶ時は、体温調節機能の変化や摂取食質の変化、さらには体型や発育、生活様式にも変化がみられるようになる。

我われは今回東南アジア研究センターと日米医学協力研究パネルの援助によってタイ国に研究調査を行なう機会を得た。タイ国は熱帯に属し、一年を通じて高温多湿である。そこで長期間高温環境下で生活し、高温環境の影響を強く受け充分高温環境に馴化しているタイ人とタイ在住の日本人について体型や生理的反應についての測定を行ない、両者を比較することにより高温環境への馴化の本態を解明する手がかりを得ようとした。

I 実験方法

タイ人の成人男子30名とタイ在住の日本人の成人男子8名について1975年9月上旬タイ国バンコク市において測定を行なった。

早朝、覚醒後臥位での舌下温および室温(27~28°C)に曝露した状態での皮膚温をパイロメーターで測定した。背部の皮膚温は坐位で測定した。いずれも発汗のない状態で測定し、その後身長、体重、胸囲、上膊囲、大腿囲および皮下脂肪厚の測定を行なった。皮膚温の測定は次の各部の皮膚温を測定した後その値を各部の面積の割合に按分平均した。皮膚温測定部位とその按分比率は次の通りである。³⁾

部 位	按分比率
額：額中央眉上2 cm	0.098
胸：乳腺と第4肋骨の交点	0.083
腹：乳腺上、臍の高さ	0.162
背：肩甲骨下角直下	0.083
上腕：三角筋中央点	0.082
前腕：前腕内面中央線下から 1/3	0.061
手：手背中央線上から 1/2	0.053
大腿：大腿前面中央線上から 1/2	0.172
下腿：下腿後面中央線上から 1/3	0.134
足：足背中央線上から 1/2	0.072

皮下脂肪厚は栄研式皮脂厚計を用い、圧力を10g/mm²で皮膚をつまんでから2秒後に測定した。測定は数回行ない、その平均値をその部位の皮下脂肪厚とした。皮下脂肪厚の測定部位と平均皮下脂肪厚算出のための加重平均係数を以下に示す。³⁾

部 位	係数
上腕：右腕背面肩峰と肘頭の間、右腕前面中央部	0.082
背：右肩甲骨下角	0.083
胸：右前腋窩皺襞と右乳頭の間	0.083
腹：右乳腺上、臍の高さ	0.081
腰：右肋骨下縁と右腸骨稜の間	0.081
大腿：右大腿中央、前面、背面の平均値	0.172

体脂肪含有率 f は予知式

$$f(\%) = 28.9 \times \frac{\text{体表面積 (m}^2\text{)} \times \text{平均皮下脂肪厚 (mm)}}{\text{体 重 (kg)}} + 3.67$$

によって算出した。⁴⁾

体表面積の算出には高比良の式⁵⁾を使用した。

II 実 験 成 績

1. 被検者の身体的特徴

被検者の身体的特徴を Table 1 に示した。タイ人被検者の平均身長は 168.6 cm で日本人被検者の平均 165 cm よりやや高いが有意の差ではなかった。

Table 1 Characteristics of subjects

Group	Number	Age (yr)	Height (cm)	Wt (kg)	B.S.A. (m ²)	G.C. (cm)	G.A. (cm)	G.T. (cm)
Thai	30	21.0	168.6	**57.8	1.67	***85.0	26.9	*47.5
		±0.0	±5.0	±5.4	±0.09	±3.8	±1.8	±3.4
Japanese	8	32.8	165.0	64.5	1.72	91.2	28.3	50.7
		±6.1	±3.4	±5.8	±0.06	±6.6	±2.4	±3.4

Note 1) Wt: Body weight, B. S. A.: Body surface area, G.C.: Girth of chest, G.A.: Girth of upper arm, G.T.: Girth of thigh. Mean values are given with their standard deviations.

2) Significant difference between Thai and Japanese

*at 5% level, **at 2% level, ***at 1% level.

タイ人の体重、胸囲、上腕囲、大腿囲の平均値はそれぞれ 57.8 kg, 85 cm, 26.9 cm および 47.5 cm で、日本人の平均値 64.5 kg, 91.2 cm, 28.3 cm および 50.7 cm よりかなり小さい値であった。このうち体重、胸囲、大腿囲の差は有意差であった。

2. 皮下脂肪厚

皮下脂肪厚の測定値は、表皮と真皮の厚さおよび真の皮下脂肪厚をそれぞれ 2 層ずつ含むが、測定値そのものを皮下脂肪厚として表わした。測定部位別の測定値およびその標準偏差を

Table 2 に示した。

タイ人の皮下脂肪厚の平均値は全ての測定部位において日本人の平均値より薄いですが、部位別に見ると胸、腹、背、腰、上腕前部は有意の差をもってタイ人のほうが薄く、全体としてみると軀幹部の皮下脂肪厚の差が大きい傾向を示した。

3. 形態指数および栄養指数

身体計測より得られた測定値から算出されたローレル (Rohrer) 指数、比胸囲、体表面積と体重の比、体脂肪含有率、平均皮下脂肪厚の平均値および標準偏差を Table 3 に示した。

タイ人のローレル指数と比胸囲の平均値は 120.7 および 50.5 で日本人の平均値 144.5 および 55.3 と比較すると小さく、ことに比胸囲は有意の差をもって小さい。体表面積と体重の比は体重を熱産生源の量に比例すると仮定すると、身体を動かす労作中の放熱面積と産熱量の比を示すことになる。この値は平均値で比較するとタイ人は 290.5 で日本人の平均 268.5 より有意に大きい。つまりタイ人のほうが放熱面積が比較的広くて暑さに耐え易い形態をしていることが判る。

体脂肪含有率と皮下脂肪厚の平均値を比較するとタイ人では 10.5% および 8.4 mm であり、日本人は 12% および 10.9 mm でタイ人のほうが有意に小さい。これもタイ人が熱帯生活に適

Table 2 Skinfold thicknesses of subjects

Group	Chest	Abdomen	Anterior upper arm	Posterior upper arm	Back	Waist	Anterior thigh	Posterior thigh
Thai	***6.3 ±1.9	**9.6 ±3.3	***3.2 ±0.6	6.8 ±2.3	*10.2 ±2.2	*9.7 ±3.9	8.6 ±2.7	7.9 ±3.1
Japanese	11.3 ±5.2	13.6 ±5.5	5.7 ±2.2	8.8 ±2.6	13.0 ±5.7	12.9 ±3.4	10.4 ±3.4	8.7 ±2.7

Note 1) Mean values (in mm) are given with their standard deviations.

2) Significant difference between Thai and Japanese

*at 5% level, **at 2% level, ***at 0.1% level.

Table 3 Physical and nutritional indices.

Group	Rohrer's index	Brugsch's index	B.S.A. Wt (cm ² /kg)	Body fat (%)	Skinfold (cm)
Thai	120.7 ±11.4	***50.5 ±2.3	***290.5 ±14.7	*10.5 ±1.6	**8.4 ±2.3
Japanese	144.5 ±20.1	55.3 ±5.1	268.5 ±15.7	12.0 ±2.3	10.9 ±3.5

Note 1) B. S. A.: Body surface area, Wt: Body weight, Skinfold: Mean skinfold thickness. Mean values are given with their standard deviations.

2) Significant difference between Thai and Japanese

*at 5% level, **at 2% level, ***at 0.1% level.

した形態をもっていることになる。なお、ここではタイ人の体表面積を高比良式で計算したが、これは現在の日本人の体表面積の計算には不適當であるとの意見（『日本人の栄養所要量』厚生省、昭和44年）もあり、ましてタイ人に適するか否かは今後の問題である。

4. 舌下温および皮膚温

舌下温および全身10カ所の皮膚温を測定した。部位別皮膚温、平均皮膚温、 $T_o - \bar{T}_s$ gradientの平均値および標準偏差を Table 4 に示した。

Table 4 Oral temperature and skin temperatures

	Thai		Japanese	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.
T_o	36.4	0.17	36.5	0.39
Forehead	34.9	0.66	34.9	0.53
Chest	**34.6	0.39	33.7	1.35
Abdomen	**34.7	0.38	34.2	0.50
Back	***35.1	0.38	34.0	1.33
Upper arm	34.0	0.47	34.1	0.42
Forearm	34.4	0.59	34.1	0.49
Hand	32.8	0.86	33.3	0.40
Thigh	33.3	0.67	3.2	1.12
Calf	33.6	0.73	3.5	0.41
Foot	*32.1	0.89	32.9	0.78
$\bar{T}_s$	34.0	0.40	33.8	0.54
$T_o - \bar{T}_s$	2.46	0.39	2.74	0.82

Note 1) T_o : Oral temperature, $\bar{T}_s$: Mean skin temperature. Mean values (in °C) are given with their standard deviation (S. D.).

2) Significant difference between Thai and Japanese

*at 5% level, **at 1% level, ***at 0.1% level.

タイ人の舌下温の平均値は36.4°Cで日本人の平均値36.5°Cとほぼ同じであった。タイ人の部位別皮膚温の平均値は胸、腹、背ではそれぞれ34.6, 34.7, 35.1°Cであって日本人のそれぞれの平均値33.7, 34.2, 34.0°Cより有意に高かった。これらの部位は軀幹部であるが、一方末梢部の手および足の皮膚温は32.8および32.1°Cで日本人のそれぞれの値33.3および32.9°Cより低かった。ことに足の皮膚温は有意に低い。平均皮膚温の平均値はタイ人では34.0°Cで日本人の33.8°Cよりわずかに高かったが有意性はない。 $T_o - \bar{T}_s$ gradientの安静時の値は、もしも単位体表面積当り単位時間当り放熱量が等しいと仮定する時は、身体の熱貫流率と逆比例の関係にあるが、この値はタイ人の平均値が2.46°C、日本人の平均値は2.74°Cでタイ人の値は日本人の値よりかなり低く、他の実験によってタイ人と日本人の単位時間当り体内産熱量はほぼ等しい事が判っており、かつ体温が一定値を保つ以上は放熱量と産熱量は等しいからタイ人の身体の熱貫流率は日本人のそれより高いことを示す。ただしこの差は統計的には有意差ではない。

III 考 察

生活環境が異なるとヒトの生理的な機能や発育状態、体型あるいは生活様式に差異を生じることがよく知られている。また環境の影響は人種的に遺伝因子に関する事も知られている。

タイ国は1年を通じて高温多湿であり、気候の人体生理機能に及ぼす影響が著しい事を考えるならば、タイ人と日本人の間に見出される生理的反応や体型の違いはタイ人と日本人の生活した気候の差によってもたらされた部分が多いものと推察される。身体計測値よりみたタイ人の特徴は日本人と比較した場合、身長は少なく、体重が軽く、軀幹部および四肢の囲径が小さいことである。このことは、いわゆる Allen-Bergman の法則に一致している。これらの結果を形態指数で表わすならばタイ人のローレル指数、ブルグッシェ指数（比胸囲）は日本人のそれより小さくなる。

ヒトは常に生命維持あるいは労作の為にエネルギーを使用するが、このエネルギー消費は産熱を伴い身体内に熱として蓄積される。しかし体温を一定に保つためには同じ熱量が放熱されねばならない。高温環境下では放熱が困難であるが、ヒトは高温に対する生理的反応の適応的变化をおこすことにより高温環境下でより有利に生活できるようになる。

適応的な変化としては体液の性状や栄養摂取量の変化もあるが、高温環境への曝露期間が長期に及び、かつこれが世代を重ねることによって馴化機転が深く進行して、遂にはその体型の変化にも熱帯馴化が現われるものと考えられる。例えばさきにも述べたように体表面積と体重の比が大きいほど高温下での体温調節に有利な体型と考えられるが、Table 3 に示されたタイ人のこの比の平均値290.5は日本人の平均値268.5より有意に大きく、日本人と比べてタイ人の体型は熱帯での生活に適した体型であることが示されている。

体型の違いについては人種差（遺伝）、栄養摂取状態、生活様式、年齢等によっても影響を受けるから、体型の差異を全て気候によるものとするわけにはいかないが、少なくともかなりの部分は気候による差異が日本人とタイ人の体型に現われているものと考えられる。

皮下脂肪厚は寒冷環境下では増加（暑熱環境下では減少）することが知られているが、⁶⁾ Table 2 に示されたようにタイ人の皮下脂肪厚はいずれの皮膚部位をとってみても日本人のそれより薄い。皮下脂肪は他の体構成成分に比し、熱貫流率が低く気温が体温より低い場合は放熱を妨げる防熱壁となる。これに反し熱帯の気温は高くはあるがおおむね体温よりは低い。従ってタイ人の皮下脂肪厚が薄いことはタイ人の体表面積よりの放熱は日本人に比して容易であると考えられる。

$T_0 - \bar{T}_s$ gradient は身体の熱貫流率と逆比例の関係にあるが、この値はタイ人の平均値が2.46°Cで日本人の2.74より小さく、タイ人の熱貫流率は日本人のそれより高い傾向にあり、これもまた熱帯に住み易い条件を具えたことになる。一方平均皮膚温はタイ人の場合平均値34.0

で日本人の 33.8°C よりわずかではあるが高いが、このことは皮膚への血液循環がタイ人のほうが日本人より良好であることを推定させる。つまり皮膚放熱が盛んであることを示唆している。

久野によれば熱帯の住民は高温曝露時に発汗反射の発現が遅く、発汗量が少ないという。久野はこれを熱帯人には熱帯馴化機転が非常に有効に働くように体制の変化がおこった為と説明している。¹⁾ 我われはタイ住民は日本人に比し体表面積と体重の比が大きく、皮下脂肪厚が薄く、皮膚温が高く、 $T_0 - \bar{T}_s$ gradient が低いことに示されるように身体の熱貫流率がよいことを見た。従って高温負荷時に発汗の発現が遅く、また発汗量が少なくても発汗以外の放熱促進的な皮膚の性状が優れているので、発汗が少なくても体温の調節が可能であるのかもしれない。

タイ人と日本人の差異をよく表現しうる形態指数、栄養指数、平均皮膚温、 $T_0 - \bar{T}_s$ gradient をまとめて Fig. 1 に示した。図において、タイ人の被検者の平均値を0とし、その標準偏差を1として日本人の平均値の値がタイ人のそれと比較してある。ローレル指数、体脂肪含有率、皮下脂肪厚の日本人の平均値はタイ人の平均値より大きく、体表面積と体重の比、平均皮膚温、 $T_0 - \bar{T}_s$ gradient については日本人の平均値はタイ人の平均値より小さい。タイ人と日本人との間にみられるこれらの測定値の差は、タイ人の体型または体温調節的生理反応が日本人よりも耐熱性に優れていることを示し、高温環境への適応の度合はタイ人のほうが大きいことがよく判る。

タイ人の生活様式は日本人のそれとかなりの差がある。例えば早朝の水上マーケットにみられるように朝早く起きて涼しいうちに活動し、日中の暑いときにはあまり働かず、夕方涼しくなると再び活動を始める。つまり活動のパターン自身にも差異が見られる。日本人は夏において多少ともタイ人の活動のパターンの傾向を示すが、日本の夏は短く、秋から春の期間が長いので、日本人の活動のパターンは昼の活動が大きいパターンを示している。以上の活動のパターンの差はヒトのみならず、犬においても見られ、日本の犬は秋から春にかけてのパターンは昼に比較的活動が大きいですが、夏になると昼は日陰で寝そべっていることが多い。一年中暑い熱帯では犬は走る動物ではない。ことに昼間は走らない。

また、牛についても水牛は水浴により体温調節が容易にできるせいか丸々と太っているが、普通の牛は瘠せていて皮膚のしわが目立っている。おそらくこれも体表面積/体重の値を大き

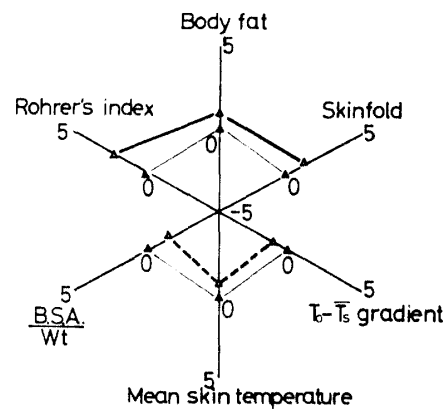


Fig. 1 Comparison of physical indices, values of mean skin temperature and $T_0 - \bar{T}_s$ gradient of Thai with those of Japanese.

Note: B. S. A.: Body surface area, Wt: Body weight, T_0 : Oral temperature, $\bar{T}_s$: Mean skin temperature, ▲: Thai, △: Japanese. Figures indicate ratio of the difference of the value from the mean values for Thai to their standard deviations.

くする事に役立つのであろう。

日本人の生活のパターンから見ると、タイ人の生活は昼間の活動が少ないので活動力が少ないように見えるが、生理的に見ると昼間働く生活のパターンは一年中昼間に高温多湿である熱帯の環境では生理的に無理をしていることになり、タイ人の生活様式のほうが環境に適した生活の仕方をしていると考えられる。環境条件の著しく異なった外国に自国の生活様式をそのまま持ち込むことや、自国の生活様式を何ら批判することなく優れたものとして外国人に推めることにはより慎重であらねばならないと考えられる。

以上のように、熱帯の高温環境下において長く住みついたタイ人には体温調節に関する生理的反応、体型、生活のパターン、発育等に色々な変化が現われていることが実証されたが、今回の調査のタイ人被検者は衛生兵、日本人被検者は一般市民で空調装置のある居室で生活する時間も比較的長く、被検数も充分多いとはいえない。従ってできるだけ同じ生活環境下の同年齢層の多くの被検者の比較を行ない、実際に高温に曝露した場合あるいは運動負荷をさせた場合の発汗や循環機能の変化等の体温調節的生理反応の観察、体表面積の実測、栄養摂取量の調査、time study を行なってその活動のパターンの実測、さらには年齢別、性別の比較、各発育段階での比較等の多くの課題が残っており今後の研究の発展が望まれる。

IV 要 約

1975年9月にタイ国バンコクにおいて、タイの成人男子30名、タイ在住日本人成人男子8名について早朝覚醒後臥位において舌下温、皮膚温の測定と身体計測を行なって次のような結果を得た。

1. タイ人の身長、体重、胸囲、上腕囲、大腿囲の平均値はそれぞれ 168.6 cm, 57.8 kg, 85 cm, 26.9 cm, 47.5 cm, 日本人の平均値はそれぞれ 165 cm, 64.5 kg, 91.2 cm, 28.3 cm, 50.7 cm であった。タイ人の体重、胸囲、大腿囲は日本人より有意に小さい。

2. タイ人の皮下脂肪厚は測定した部位全てにわたって日本人より薄く、胸、背、腹、腰、上腕前部では有意差があった。

3. 口内温はタイ人と日本人の間に差は認められなかったが、皮膚温については軀幹部の胸、背、腹のタイ人の平均値は34.6, 34.7, 35.1°Cで日本人の平均値33.7, 34.2, 34.0°Cより有意に高く、末梢部である足背の皮膚温のタイ人の平均値は32.1°C, 日本人の平均値は32.9°Cでタイ人のほうが有意に低かった。平均皮膚温はタイ人の平均値34.0°C, 日本人の平均値33.8°Cでわずかにタイ人のほうが高い。皮膚温と体温の差 $T_o - \bar{T}_s$ gradient はタイ人の平均値は2.46°Cで日本人の平均値2.74°Cより小さかった。これは皮膚の熱貫流率がタイ人において日本人より高いことを示唆する。

4. タイ人のローレル指数、比胸囲は平均値でそれぞれ120.7, 50.5で日本人の平均値144.5

および 55.3 より小さく 比胸囲は有意の差があった。体表面積と体重の比は タイ人の平均値 290.5 は日本人の平均値 268.5 より有意に大きく、タイ人の体脂肪含有率の平均値は 10.5% で日本人の 12% より有意に少なかった。

5. タイ人と日本人の体型の違いと、タイ人の薄い皮下脂肪厚および高い身体の高熱貫流率が高温環境下でのタイ人の優れた体温調節機能または高温環境への高度の馴化を示すものであることが推論された。

この研究は京都大学東南アジア研究センターからの研究費補助ならびに日米医学協力研究費の援助を得て行なった。

本研究を行なうにあたり終始御助言、御援助を賜った京都大学東南アジア研究センター所長市村真一教授、日米医学低栄養パネル委員長島蘭順雄教授およびタイ国マヒドール大学熱帯医学研究所 Panata Migasena 教授に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) Kuno, Y. 1956. *Human Perspiration*, Charles C. Thomas, Springfield.
- 2) 生物圏動態ヒトの適応能分科会（代表：吉村寿人）. 1970. 『日本人の適応能』講談社.
- 3) 文部省科学研究費医学関係総合研究班（季節生理班）. 1952. 『日新医学』**39**, 121.
- 4) 堀 清記・飯塚平吉郎・中村 正. 1974. 「沖縄住民と本土住民の皮下脂肪厚及び体脂肪含有率の比較」『栄養と食糧』**27** (7), 335.
- 5) 高比良英雄. 1925. 『栄養研究所報告』**1**, 61.
- 6) Lewis, H. E., J. P. Masterton, and S. Rosenbaum. 1960. "Body Weight and Skinfold Thickness of Men on a Polar Expedition," *Clin. Sci.*, **19**, 551.