

## ヒトの熱帯馴化に関する生理学的研究

吉 村 寿 人\*

### **Physiological Studies on Human Acclimatization to Tropical Climates**

by

Hisato YOSHIMURA

1. Basic concepts of the human physiology of thermoregulation are described.
2. Studies on acclimatization to heat are reviewed on the basis of thermoregulatory functions, and changes in the pattern of physiological functions in acclimatization are discussed. It is clarified that the pattern of changes of physiological function differs according to the degree of acclimatization. For example, in the case of a man born and raised in a tropical region, the pattern of the sweating reflex to heat exposure and the number of active sweat glands are quite different as compared with those in the transitory acclimatization to hot summers of a man living in the temperate zone or in a cold climate.
3. Group means of the basal metabolism (B. M.) of peoples living in various regions, from the temperate zone to tropical areas where the monthly mean temperature is from 8°C to 35°C were plotted against the monthly mean temperature at the time of B. M. measurement. It was ascertained that the B. M. is well correlated with temperature, and its regression line is expressed by the following equation:  $Y = 41.78 - 0.208 X$ , where Y is the group mean of B. M. and X is the monthly mean temperature.
4. This correlation exists among peoples in Asia who eat rice and whose fat intake is below 25% of total caloric intake. In the case of Caucasians whose daily intake of fat is over 35% of total calories, the seasonal variation of B. M. which was found among Japanese disappears.
5. It was found that a reduction of B. M. occurs in heat acclimatization, and this reduction is accelerated in people having rice as their staple food. As the wet cultivation of rice is well developed in Asia, where the climate is hot and humid, the peoples there use rice as their main food and thus their lives are well adapted to their hot and humid habitat, and this forms a well-developed ecosystem.
6. Racial differences of physiological functions between tropical nations and those living in arctic or subarctic regions were compared, and an attempt was made to explain those differences as adaptative differentiation which may develop into an apparently genetic differentiation.

---

\* 兵庫医科大学第一生理学教室

## I 体温調節の原理

熱帯馴化を述べるに先立って、体温調節の原理について少しく解説を加える。

ヒトの正常体温は体内の各部位において多少の変異はあるが、体内重要臓器の温度は平均的には $37^{\circ}\text{C}$ と考えてよい。この体温は外界の条件にかかわらず一定に保たれている。それは体表面からの放熱量を体内でつくられる熱（産熱）で補って熱の体内保有量を常時一定に保つ機構が働くためである。この熱の出納のバランスがいかん保たれるかを図1によって説明する。

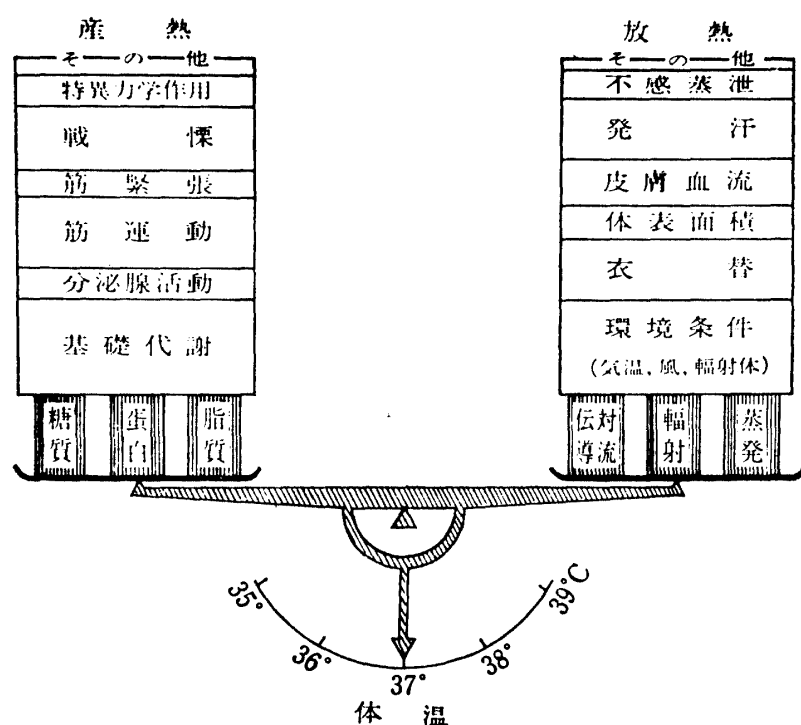


図1 放熱・産熱のバランス

図は身体より熱が放散される機構と体内での産熱の機構を示している。天秤の左側の皿の上の分銅は産熱の大きさを、右側の皿の分銅は放熱の大きさをそれぞれ表わしている。指針は体温を表わし、バランスよく保たれた所で $37^{\circ}\text{C}$ を指す。すなわち放熱の分銅が産熱のそれより重くなれば指針は $37^{\circ}\text{C}$ より低い示度を指すことになり、体は冷えた状態となる。図2はこのバランスが室温（外界温）によりどの様に変化しているかを、産熱量、放熱量それぞれ別の曲線で示している。体表面積 $1\text{m}^2$ 当り1時間当りのkcalの単位で室温に対し、産熱量は(+)の方向に、放熱量は(-)の方向にプロットし、しかも放熱は体表面からの水分の蒸発(または蒸泄)と、輻射・伝導・対流によるものとの二つの曲線により示されている。ここでいう輻射とは、皮膚温が外界温よりかなり高いために体外に放熱されることである。例えば冬期、空の晴れた夜に野原

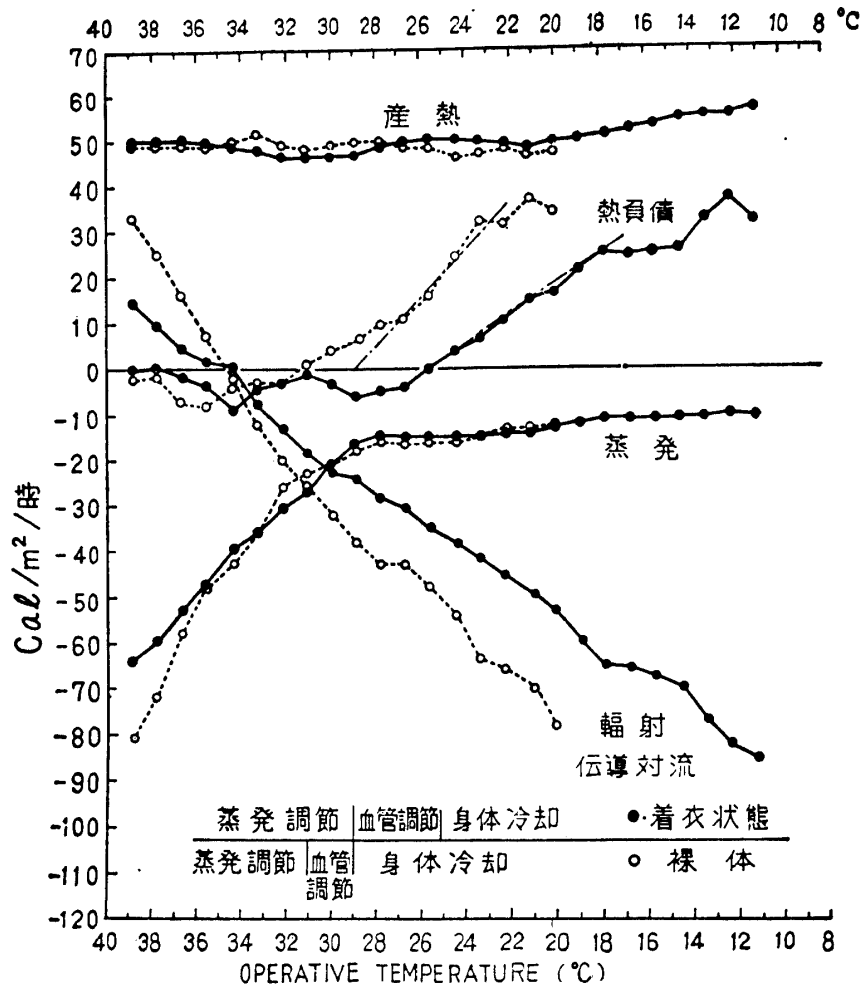


図2 裸体時および着衣時の熱出納 (Gagge, et al., 1938)

産熱量は上向きに、放熱量は下向きにとる。いずれも体表面積当りの Cal で示す。ただ熱出納値は熱負債としてその負出納値を上向きにとってある。

を歩くと体が冷えてくるが、これは輻射として天空に向かって熱が体から出ている為である。また、皮膚の表面で空気を温めることにより空気が動き、それによって熱が逃げてゆくことが対流・伝導である。この両者の和、つまり全放熱量Lと全産熱量Hの差(L-H)を熱負債という値で曲線で表わしている。この値が正であることは体内の熱含量が失われることを意味し、反対に負または減じることは体内の熱含量が増すこと(貯熱)を意味する。従ってこの値が零であることはうまくバランスがとれていて体熱の出納が零ということである。図中の白丸は裸体のヒト、中実の丸は被服をつけたヒトの成績で、いずれも静止、かつ坐ったままの状態を観察している。われわれは熱負債の増加を「寒さ」として感じ、逆に体内での熱の増加を「暑さ」として感じるのである。

室温が下降すれば、熱の放散が増えるが、逆にこれが上昇して30°Cくらいになると輻射・伝導・対流による放熱はその量がだんだん少なくなり、曲線は零に近づいていく。その代わりに

水分蒸発、つまり発汗による放熱が増していくことにより蓄熱が起こらないよう調節されている。従って30°C付近では熱負荷はほとんど零の状態、室温が変化しても横這い状態になっている。ただしこの場合の湿度は60%くらいにおさえてある。

体熱の出納を論ずる場合、熱負荷の無い、寒冷や暑さへの生理的反応の無い状態を標準としたほうがよい。これはちょうど裸体で30°C付近に安静状態を保った状態に相当し、熱の不関温域（図6の中和温域）と称し体温調節反応を観察する標準点としている。不関温域とは暑さも寒さも感じない状態（代謝の変化がおこらぬ範囲）であるが、これよりも気温が低くなっていくと、先述のごとく輻射・伝導・対流による放熱が増加する。最初は身体表層の熱の損失に留まっているが、これが強くなると体の内部まで深く冷えて体温の下降が現われる。こういう体熱の損失の進行している気温の範囲を身体冷却域という。逆に室温が32°C以上のところになると、身体からの水分の蒸発が増し汗をかく。この蒸泄により水分1g当り0.580kcalの潜熱が奪われるから、これにより放熱が行なわれる。つまり、暑い所では身体表層の温度と外気温の差がなく、輻射・対流・伝導による放熱の道が絶たれるから100%蒸発による放熱によって体温を調節するほかはなくなる。この範囲を蒸発調節域と称する。そしてこの蒸発調節域と身体冷却域の中間の所を血管調節域と言い、皮膚血管の伸縮のみにより、身体表面からの放熱を調節している（つまりこれが代謝不関温域に相当する）。我々はこの血管調節域において非常に快適 comfortable に感じる。衛生学者はこれを快感帯 comfort zone と称する（Winslow学説）。

血管調節域の範囲は着衣することにより低い気温の方向へ伸びていく（図2の黒丸の点により図示）。これは、寒い外気中であっても、被服の断熱作用により身体からの放熱のスピードが抑えられるためであり、外気温の高い環境に居るのと同じ効果を生ずるためである。厚い被服をつけるとそれだけ低い温度でも熱負荷を生ぜず、従って血管調節だけで体温を調節することができ、血管調節域が広がる訳である。従って我々の comfort zone を伸ばすのが衣服の役割であると言える。普通、衛生学でいう快感帯は気温18°C、湿度65%であるが、図2においては25~29°Cの範囲になっている。これは着衣状態の違いによるものであり、図2の実験では衣服が一定していて極めて薄い着物しか着ていないためである。ここで言う operative temperature というのは、普通の冷暖房の無い室の温度と考えてよい。我々は気温の寒暖に応じて日常衣服替えを行なうことにより、血管調節域を気温の低い下まで伸ばしているのである。逆に裸体になると血管調節域は気温の高いところへずれてくる。ことに対流放熱を増すために裸体を風に当てると、気温の値においてこの領域は気温の上の所まで伸びる。しかし無風状態裸体の条件では血管調節領域は狭い範囲（図2では29~31°C）で気温が上がるにつれて蒸発調節的な範囲に入ってくる。

次に気温と放熱、産熱のプロセスが気温変化によりどの様に変わっていくか、放熱のプロセ

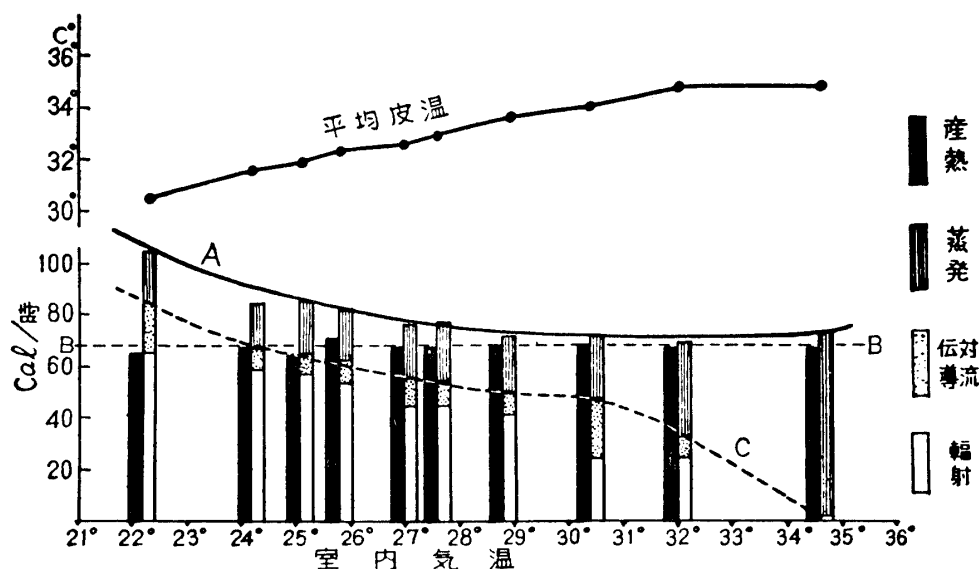


図3 環境気温と裸体時の放熱量 (DuBois, 1937)

被検者：50才男子，75kg，臥位裸体

A：全放熱量

B：安静時代謝量（産熱量）

C：輻射・伝導・対流による放熱量

(A-C)：蒸発による放熱量

(A-B)：熱負債に相当する。短時間の実験であるから産熱量は低温域においても上昇していないが，熱負債が長時間に及べば産熱量は上昇する。従って熱負債もさらに減少するはずである。

スの割合はどうなるかを気温22～35°Cの範囲で図3に示した。

AとBがだいたいバランスをとっているのは29～35°Cである。29°C以下は先の図2の身体冷却域に当たり，(A-B)の値が熱負債に当たる。

図3によると外気温度が冷えるにつれて輻射による放熱の量が増える。この図でこの輻射・伝導・対流による放熱のレベルを結んだものがCである。従って(A-C)が蒸発による放熱量である。図の様に，気温が上がるにつれて蒸発による放熱が増え，35°Cくらいになるとそのほとんどが蒸発によるということになる。この様に外気温により身体の放熱の状態が変わってくる。

ところでこの場合に皮膚温はどうなるのかと言えば，図の範囲では30～35°Cくらいの間で平均皮膚温の恒定への推移が見られる。この皮膚温の推移がだいたい恒定する33°C付近を中心とした範囲が先述の血管調節の領域の状態である。

平均皮膚温というのは，身体の各部分の皮膚温を各部の表面積の割合に按分して割り出したものである。この平均皮膚温は皮膚放熱のレベルを比較するのにしばしば用いられるが，これは身体各部の皮膚温は環境気温によって非常に変化するためである。図4は京都で日本人の被検者について，四季(5°C～30°C)にわたって暑からず寒からずの衣服を着け椅坐した場合の

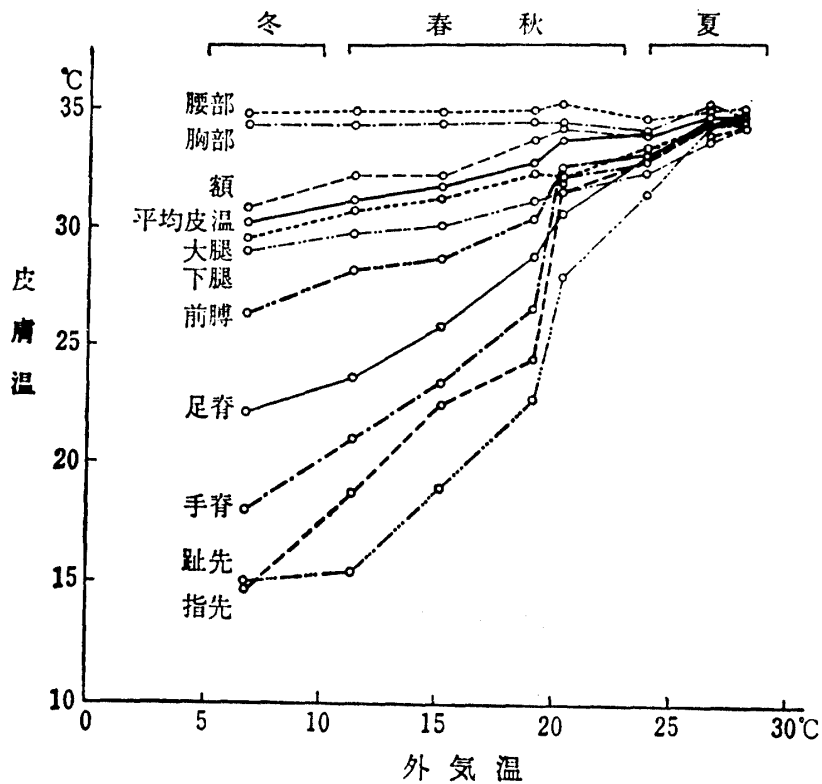


図4 身体各部の皮膚温と環境気温 (吉村, 1960)

身体各部の皮膚温である。平均皮膚温は30~35°Cの間で変化している。しかも手足の温度が非常に変化している。これは、手足は他の身体部分と違って一つの放熱機関として働いているためである。即ち手足の血管は身体が冷えると強く収縮し、これにより血液の循環が悪くなり、冷えるために手足からの輻射・伝導・対流による放熱が抑えられてしまうのである。

図5は上記のような血液の分布を夏、冬に分けて模型的に示したものであり、点により血液循環の活発な部を示す。図示の様に冬には皮膚の表面、ことに四肢の血管が収縮し、血液の大部分は身体内部に集まる。この様な状態に関し、生理学者は血液循環量の特

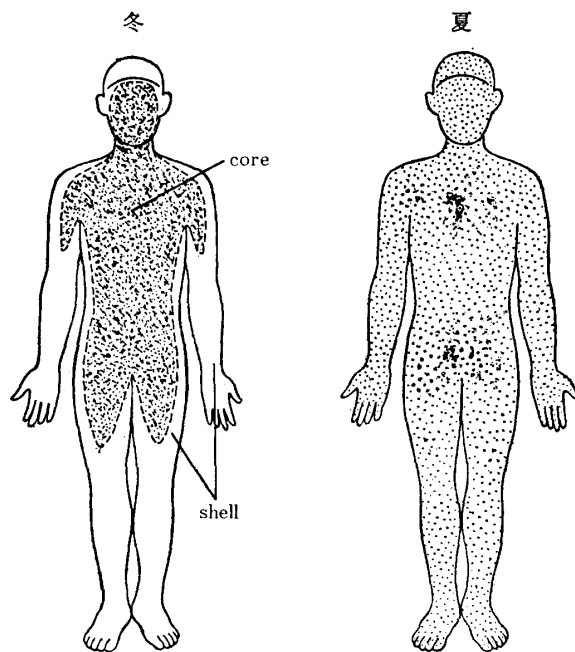


図5 寒冷時と暑熱時の血液分布の比較模型

に少なくなった四肢表面を **shell** (被殻) と称し、反対に血液循環の盛んな身体内部を **core** (核心部) と言う。この **shell** が出来ることにより、重要内臓を包蔵する **core** の温度を一定に保つことができるのである。この身体内部温がいわゆる体温である。手足が非常に冷えるにもかかわらず全身にあまり寒さを感じないのは平均皮膚温が $32\sim 34^{\circ}\text{C}$ に保たれているためである。この場合軀幹部皮膚温は $34^{\circ}\text{C}$ 付近の温度に一定に保たれている。それは、軀幹部においてはごく表面しか血管が収縮しないため皮膚温が下がりにくく、寒さの脅威が軀幹部温自身にまで及ばないからである。他方夏期にあっては、血液の分布状態が一変し、全身の表面に血液が循環することになる。これは血液の熱を皮膚の表面から放出するためである。この様に季節により血管の伸縮状態が変わることにより全身の血液の循環の分布が変わることになり、放熱調節に大きな役割を果たすことになるのである。

図6は図3よりもっと環境気温の広い範囲にわたって産熱量と環境気温との関係を裸体の人体について示した模型図である。暑さ寒さを感じない気温の範囲を中性(または中和)温域あるいは代謝不関温域といい、図2の血管調節域に相当する。これよりもさらに気温が低い状態になると放熱冷却が増えてくることは前述のごとくであるが、さらにこの冷却が強まると **core** 部を脅かして体温低下を来たすに至り、産熱を高めていかないと **core** 部の体温を一定状態に保つことができなくなる。つまり代謝の上昇により体温を一定値に保つ訳である。図6の産熱曲線が上昇を開始するところが、この限界点であり臨界温 **critical temperature** と称する。時にはこの臨界温を上臨界温(蒸泄による調節の開始点)と下臨界温とに区別する人もあ

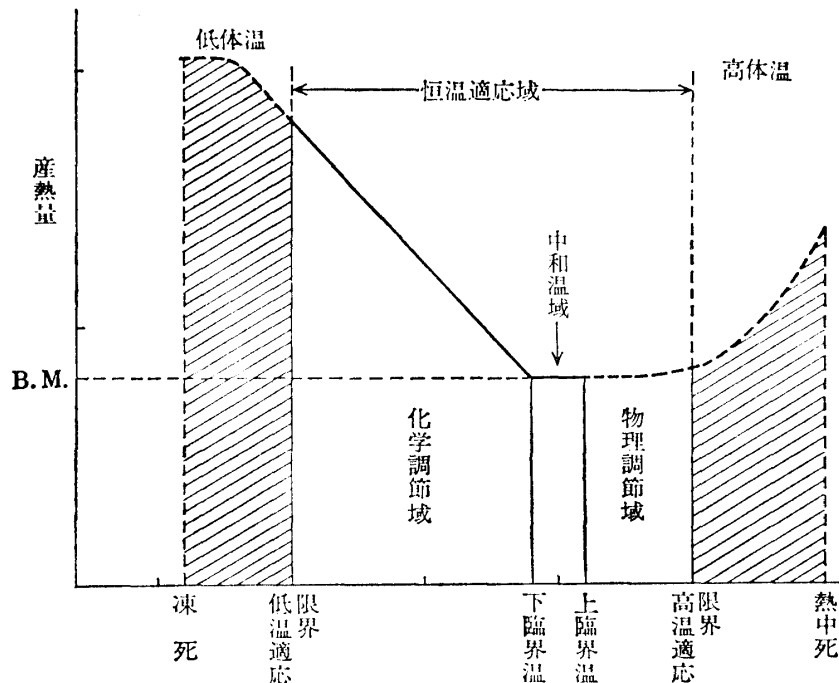


図6 体温調節範囲の諸区分

るが、一般にはこれは下臨界温を指す。この臨界温以下の気温での体温の調節は体内成分の酸化分解による熱の生産により行なわれるのであるから、これを化学的調節と言う。これは人体においては筋肉の収縮によって賄われている。筋肉の収縮というのは戦慄または“ふるえ”の現象となって現われる。“ふるえ”の際には筋肉の各繊維がバラバラに収縮し、そのために有効な仕事ができず、従って筋収縮の結果生じたエネルギーは全て熱に変わってしまう。つまり大きく熱を出させるといふ特徴ある筋肉収縮の特殊な型が戦慄の現象である。人体、少なくとも成人ではこれにより体内に熱をつくり体温を維持している。

一方、前記のごとく気温が中性温域よりも暑い範囲になると、蒸発による体内の熱の放出が増加するが、動物には人体の様に蒸泄が充分でないものもある。これらの動物では代謝量低下によって産熱を抑え、体温を一定に保つことが知られている。これを第二化学調節と言ひ、先の産熱量を増すほうを第一化学調節と言う。しかし、気温がさらに上昇して、発汗による放熱の増加、さらに多くの動物にあつては第二化学調節等、体温上昇を抑えるためのあらゆる生理反応がおこっても、体温を一定に保つことができなくなる限界がある。この限界点を高温適応限界温と言う。この温度以上では熱が体内にたまり体温が上昇するために体内の化学反応は Van't Hoff の法則によりますます促進され、そのために代謝量が非常に上昇する。この様に原因が結果となって熱がさらに体内に蓄積される。そして最初は「蓄熱」の徴候しか現われないが、遂には本格的に熱射病がおこる。

ところで人体では第二化学調節はおこらないと言われているが、アメリカの Hardy と Du-Bois の研究 (1952) によると、女性の場合、暑熱が高まると熱の生産量が減るといふ。つまり女性に限り第二化学的調節がヒトにもあることが示された。これは図7の成績で示す。図の中央部の曲線が産熱量である。男子の場合、図示の気温23~36°Cの範囲では産熱量に変化はない。しかし女子の場合、気温が28°C以上になると産熱量の減少、つまり第二化学調節があることが認められる。始めは暑熱による放熱の減少と同程度に産熱量が減じてくるが、ある限度を越すと、今度は蒸発が増してくるから産熱の減少は止まる。男子ではこの蒸発の増加は女子よりも早くから現われて発汗上昇がおこっている。図中の皮膚の熱貫流率というのは、皮膚からの放熱率をいう。これは普通は男女あまり変わらないと思われているが、実際は女子のほうが低い。衆知の様に女子は皮膚の脂肪が非常に厚いため、寒さに対する **critical temperature** は男子よりも低温側にずれている。これは熱の放散する速度が低いためである。つまり女子は寒さに対しても男子よりも抵抗が強いと言える。寒くて“ふるえる”ことは体内エネルギーの損耗を来し、あまり能率の良い体温調節の方法とは言えず、熱産を来さずに寒さに耐えるほうが能率的であるが、女子はまさしく男子に比して「ふるえ」の始まりが低温側にずれている。一方、暑い領域においても、女子は産熱量の減少という特別な抵抗力を示す。従って体温調節の面からいふと、男子に比して女子は優れた能力を持つといえる。



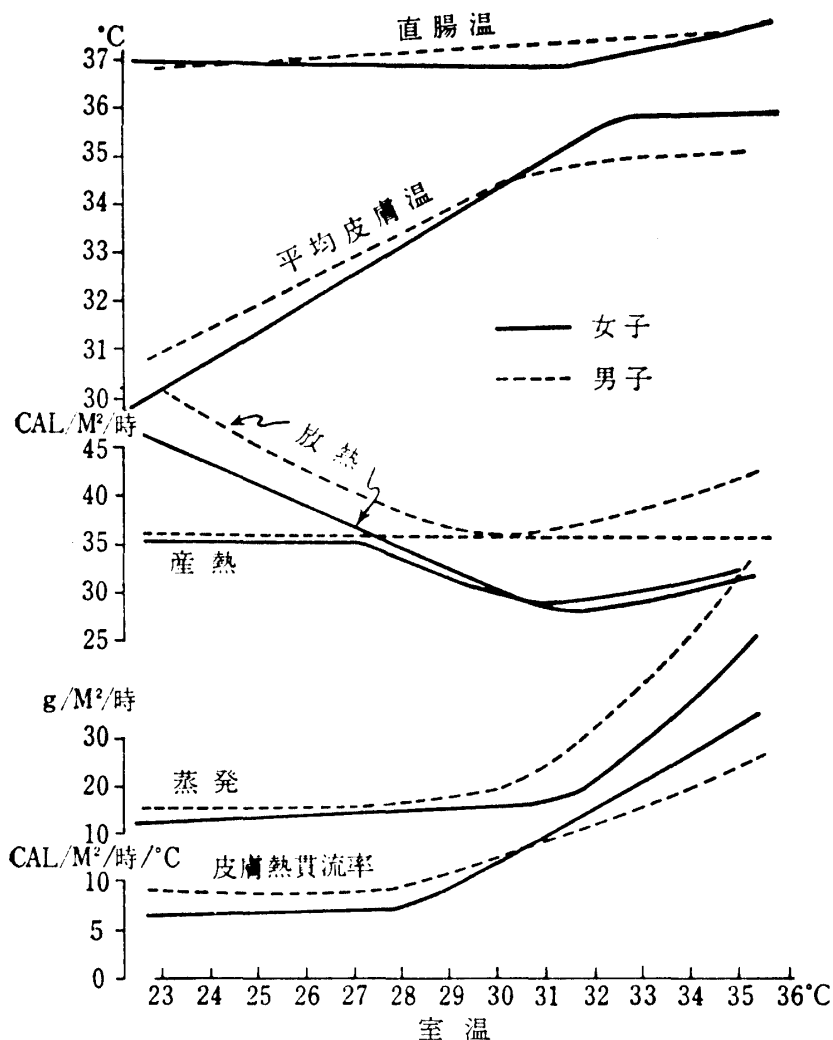


図7 高温環境における男女の体温調節機能の比較 (DuBois, et al., 1952)

裸体臥位条件の実験であつて、産熱量とは代謝量を意味し、放熱量は皮膚からの輻射伝導対流による放熱と水分蒸発による放熱量との和である。蒸発量が30°C以上で急速に増しているのは発汗による。

このほか女子は低栄養の実験を実施しても男子よりも抵抗力が強く、アミノ酸の必要量も少ない。つまり粗食に耐えることが可能な訳である。この様に男子と女子を比較すると、生理的能力において女子は抵抗力が強く、悪条件下における生活環境に耐え得ると言える。

興味あることは我々がさきにタイ国で行なつた調査によると、タイ国の青年の皮膚厚は日本人よりも薄い事が判つた。これは熱帯地の人には皮下脂肪が少なく、皮膚からの放熱率が高いことを示し、暑熱馴化によって皮下脂肪の蓄積が少なくなっていると考えられることである。

もちろん皮膚放熱の増加や産熱の低下の強さにも限度があり、室温30°C以上になると直腸温もだんだんと上昇し、鬱熱状態に移行していく。しかしこの代謝量上昇の高温適応限界温(図6参照)は女子のほうが男子より高い。

以上はアメリカの白人についての男女差の比較調査をしたものであるが、我々が行なった日本人についての調査からも同様の結論が出ている（益子）。この場合の被検者は女子大学生であり、室温45°Cにおける直腸温、平均皮膚温、発汗速度、代謝量について調査し、図8に示す様な成績を得た。実線が示す男子の成績と比較し、女子（点線）は、発汗速度は低く、平均皮膚温は高く、しかも直腸温上昇はやや低い。もっとも代謝量に関しては Hardy の報告の様な低下は見なかったが、上昇の度合は男子よりもずっと低いのである。本来高温曝露時に代謝が上昇するのは体内温上昇の二次的な影響と見られるから、女子の体温上昇の低い結果であろう。ところでこの場合の女子の成績はさきの図7の成績とは異なり、皮膚温上昇は男子より高く出ている。これは外気温が45°Cという高い環境下にあったことを考えるべきで、女子は皮下脂肪が厚いために外界よりの熱が体内に入るのを防ぐ防熱壁の役割を果たしたと考えるのが一番合理的な様である。皮膚温上昇の高いのもそのためである。したがってこういう意味でも女子は男子よりも暑さに強いと言えそうである。

次に基礎代謝に対する気候の影響について

述べる。基礎代謝とは生命を保つための最低の代謝量を言い、これは内臓の働きに必要な代謝量の総合されたものが主体である。例えば心臓、呼吸運動、肝臓、消化器、腎、脳等の働きである。これらの臓器は我々が労働するとか、安静状態にあるの如何にかかわらず、ある一定の強さ以上で働かねばならない。これらに必要とされる最小必要限の代謝量ないしは栄養素の燃焼を基礎代謝量という。この基礎代謝量を日本人について年間を通じて毎月調べたものが図9である。本図の上の曲線は京都での大気の月平均気温であり、下は4人の被検者について行なった基礎代謝量の変化である。図でも明らかな様に暑い候には低下し、寒い候には上昇している。白人についてはこの様な季節変動がないとされているから、日本人は白人よりも暑さ寒さに対する順応性があると言えるかもしれない。それは暑い時に体熱生産が基礎条件において既に低いことは、放熱量を減らせる結果となり、暑さに耐えるのに都合のよい状態にあることを示すからである。しかし一方、労研の三浦博士が暑熱環境下で一定の労働を负荷した状態で、

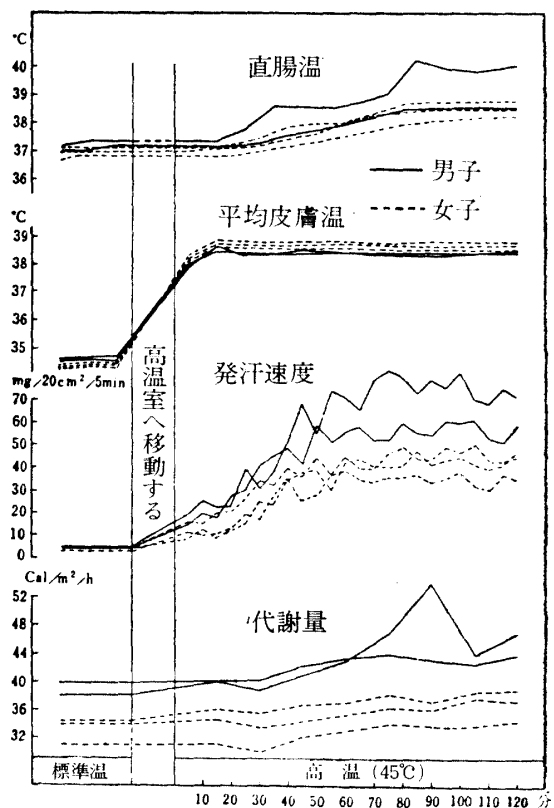


図8 高温室内における暑熱反応の男女差の比較（益子，1958）

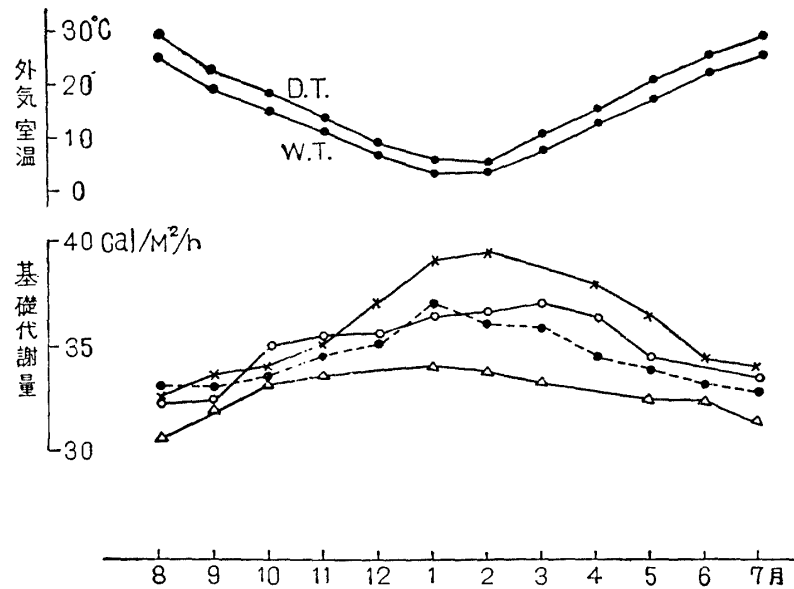


図9 基礎代謝の季節変動 (大柴, 1957)

日本人と欧米人が暑さに耐えられなくなるに至るまでの耐容時間 tolerance time を比較した成績では図10に示す様にむしろ日本人のほうが弱い。図10の横軸は Oxford index という環境の暑さを示す指標である。働いている時と安静状態とでは暑さに耐える条件が違うから基礎代謝の季節変動だけから白人と日本人の耐熱性を一般的に比較することはできない。

次に耐寒性についてであるが、これは寒さへの馴化を理解する上に大切なことであるのみならず、気候馴化機構全体を見てその意味を理解するのに役立つ。図11は色々な動物の臨界温の調査の成績である (Burton *et al.*)。熱帯アライグマについて見ると代謝量は気温30°C以下になると直ちに上昇しているが、北極に棲息するネズミは10°Cくらいで少し代謝が上がっている程度である。さらにエスキモー犬にいたっては-20°Cになっても上昇しない。つまり臨界温が低いということは寒さへの抵抗力が強いということであり、皮膚の断熱性が強く身体栄養素の消耗を要さずに寒さに耐えられるということである。

他方、臨界温の高い熱帯の動物では、外気温度のわずかな低下により直ちに代謝量が上昇し、体内栄養素の消耗を来たすことになり寒さに弱いという結果になる。

人体の臨界温は25~29°Cくらいのところにあり、熱帯動物のそれに近い。このことから生物学的な判断として、人類の熱帯起原を推定することができるかもしれない。人間の皮膚には毛がないこと、また汗腺がよく発達していることなども寒地動物との大きな違いであり上述の推論を支えるものとして数え得る。近時の人類学的・考古学的資料の中には人類発祥の地として中央アフリカの熱帯地方を示唆するものがあることも、上記の生物学的判断とよく合致している。

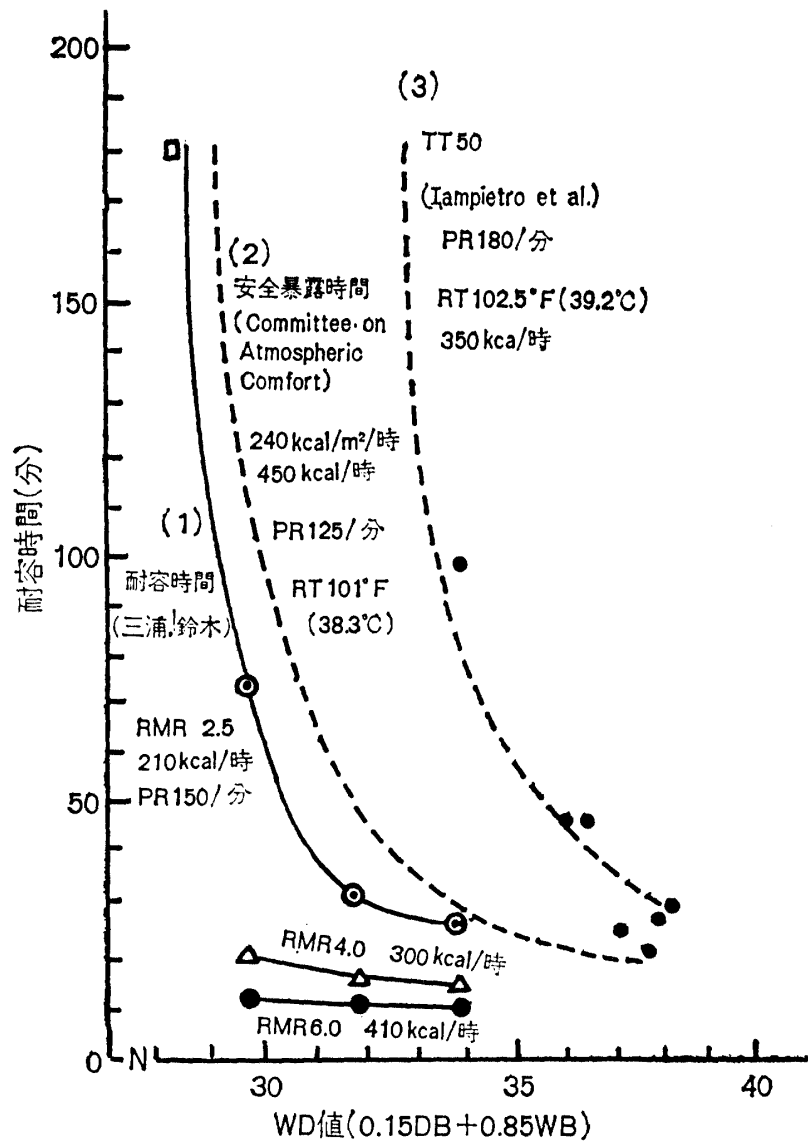


図10 日本人および欧米人の高温高湿条件下での筋労作時における耐容時間。実線(1)は日本人の耐容時間、点線(2)は欧米人に対する安全暴露時間、点線(3)は欧米人の耐容時間(三浦, 1967)。

各種の高温環境(乾球温 DT, 湿球温 WT の総合)下で作業させ、脈数 PR や直腸温 RT が一定値に達するまでの時間をもって耐容時間、安全暴露時間とした。図中のかっこ内の氏名はその研究者を示す。RMR や Kcal/時は作業の強さを示す。

現在人間は酷寒の地をも含めて地球上いたる所に住んでいるが、このことは人間がその英知によって衣服や住居、それに火を発明し、寒さへの抵抗を生理的なものみにたよらずに自らの手で寒さに耐える工夫をした結果であって、人間が本来熱帯動物であることは矛盾しない。人間が衣服をまとってその皮膚温を前述の快感帯(30~35°C)に保っていることは、衣服直下の空気の層についての実測の結果、ここでは熱帯地方の気候と酷似した微気象を示し

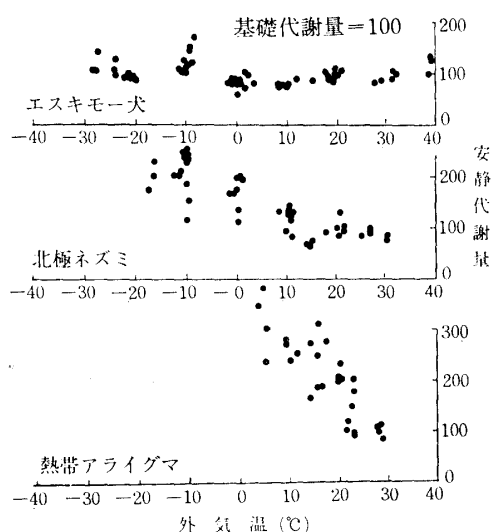


図11 代謝量と外気温 (Burton & Edholm より引用)

ていることから理解できる。このことは言いかえ  
ると、衣服によって熱帯地方の気候を micro-  
climate の形で常に身につけているということ  
であり、上記の推論と考え合わせるとまことに興味  
深い。

もちろん、人類が寒さに耐えるには単に英知に  
よる文化的適応（知恵を働かせ道具を使って適  
応すること）だけでなく、皮膚血管の伸縮による放  
熱量の調節とか、体内代謝量の調節による産熱量  
の調節とかの生理的機能も働いているが、最も強  
力な調節力は英知作用による文化的適応能力であ  
る。

## II 暑熱馴化の諸相

以上の様に人類を熱帯動物と見てくると、暑さへの適応ということは生まれ故郷へ帰るとい  
うことであり、特別に強力な適応能力を働かせる必要がない訳である。生理学的に人間の耐寒  
能と耐熱能を比較した場合、前者に対しては色々の機能を持つのにに対して、後者には発汗能力  
と皮膚血管開張による皮膚温上昇という二つの機能しか持たない。しかしこれはあくまで生理  
機能の面だけの観察であるから、次に英知作用による暑熱馴化とか体液やホルモンそのほか上  
に述べた基礎的な体温調節能の項で述べ切れなかったことについて考察を加える。

### 1. 行動的体温調節（文化的適応）

ここに言う行動的体温調節とは、例えば暑い時にイヌやネコが身体を出来るだけ開くこと  
により放熱し易い姿勢をとるとか、労働を避けて眠る、水浴をする、あるいは木陰で日射を避け  
るといった行動をいい、またヒトでは団扇、扇風機等の道具を作って風をおこして放熱を促す、  
冷房によって室を冷すなど英知による行動とか道具を使って行なう体温調節をさす。もっとも  
この行動的調節の中にも体を払げたり、日陰に入る等は多分に生理的な働きによるものであ  
る。

### 2. 発汗機能や体液組成に見られる暑熱馴化

発汗機能が暑さに対してどの程度の防御能力を有するのか、またこの機能は生活条件により  
どの様な影響を受けるのかについて述べる。

発汗の内でも温熱性発汗は体温調節に有効な作用であり、この汗が1L 皮膚表面から蒸発す

ることにより約 600 kcal の蒸発潜熱を奪うことは衆知である。いま人体の比熱を 0.8 とし、その人の体重を 60kg とするならば、これだけの蒸発潜熱により体温は 12.5°C だけ引き下げられる計算になる。しかし堀ら (1975) が人体の全身を湯につけて発汗させ、蒸発潜熱による冷却を防いだ場合 (I) と、湿度 70%、30°C の室内にて両下腿を 42°C の湯につけて、裸体のまま発汗させた場合 (II) とについてその直腸温の上昇の度を比較すると、両者の発汗量の差 0.5 L に対し、体温 (直腸温) 上昇度に 1°C の差を生ずることが立証されている (全身を湯につけたほうが体温上昇が高い)。もとより I の実験は 30 分しか実施していないし、II は 1 時間半も発汗させているから、この時間の差による体内熱生産量の差も考慮しなければならないが、少なくともこの I と II の実験での蒸発水分の差と体温上昇度抑制との関係は順相関をなし、汗による蒸発潜熱が熱負荷による体温上昇を防いでいることは確実である。

次に発汗機能は訓練により盛んになることはよく知られているが、図 12 に久野の鍛練による発汗量増加を示した成績を引用する。この実験では右腕は予め 10 日ほど毎日 2~3 時間 50°C くらいの熱気浴の箱の中で熱気訓練をしておく。その後、裸体で 30°C の暑い部屋に入って足を 44°C 前後の湯に浸して発汗させると、足を湯につけてから 10 分ほど経つと全身に汗が出る。この時左右の腕の発汗速度を 5 分ごとに 20cm<sup>2</sup> の表面からの水分蒸発量として測る。この結果をプロットすると図 12 のごとく、右の腕 (S<sub>R</sub>) は 10 分経過頃から急に発汗が増え、左腕 (S<sub>L</sub>) から同時に発汗がおこるが、その発汗速度 (5 分間の発汗量) はずっと小さい。つまり熱気訓練をした右腕のほうが発汗能が高くなっている事を示す。このことは熱気訓練をうけることによって汗腺自身が訓練されて、多量の汗をかくことができるということを示した非常に典型的な成績と言える。また、全身同時に汗が出ていることからこの発汗の開始は神経中枢の働きで反射的に出ることを示し、これを発汗の普現法則と称する。

次にこの様な暑さに曝露する訓練を度々行なった場合、発汗反射はどんなふうになるかを森島の実験により示す。図 13 は冬期 3 週間にわたって被検者 (京都府立医大学生希望者) を 30°C の室に連日寝泊りさせ、一定組成の食物をその献立だけかえて与えて代謝条件をととのえ、入室前、入室後第 1 週、第 2 週、第 3 週の計 4 回、それぞれ両足を 45°C の湯に浸けて発汗試験を行ない、暑熱への馴

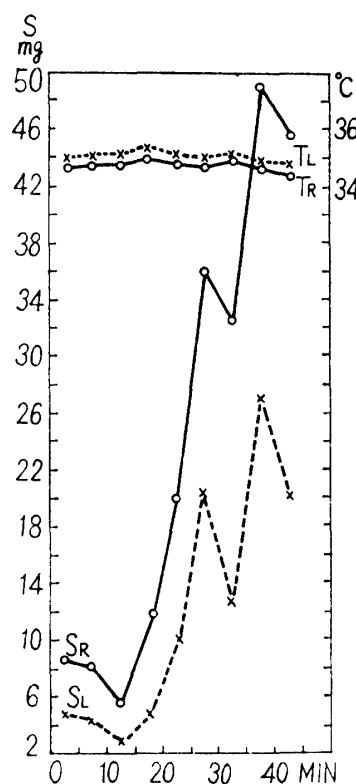


図 12 皮膚の耐熱訓練効果 (汗腺) (久野, 1946)

S<sub>L</sub>, S<sub>R</sub>: 左右前腕の発汗量  
T<sub>L</sub>, T<sub>R</sub>: " の皮温

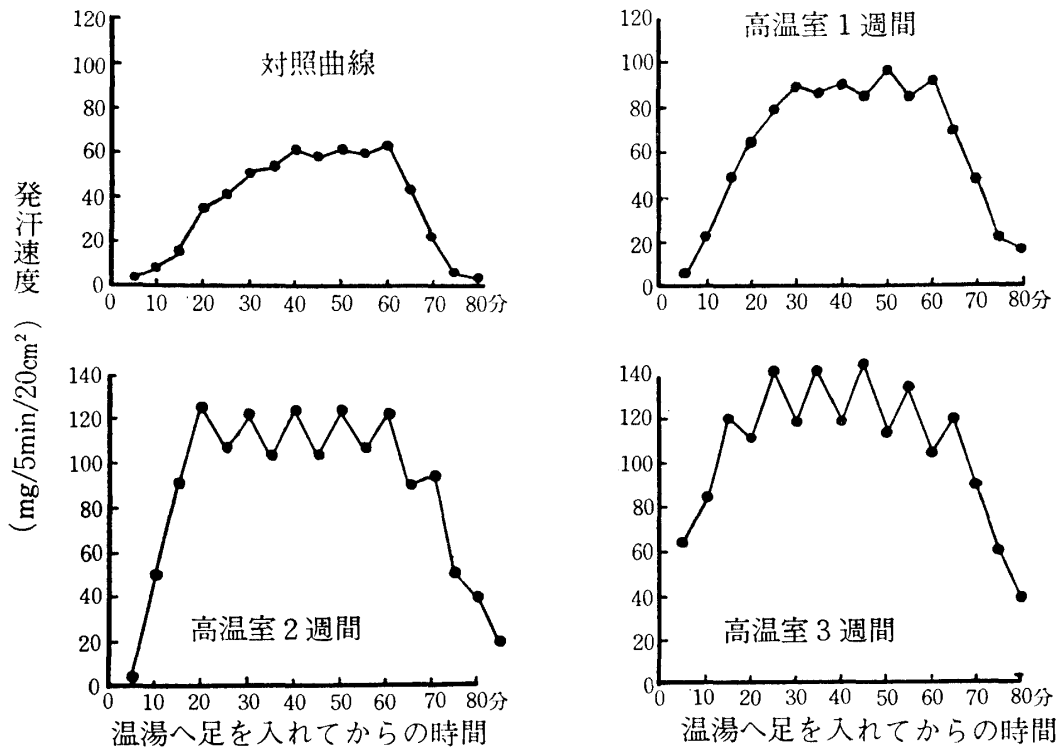


図13 季候馴化に対するアルドステロンの意義 (森島, 1964)

化をはかった実験の成績である。図に示される様に発汗速度は久野氏法により胸部の20cm<sup>2</sup>の皮膚面より5分間ごとにとった汗量であり、他側の胸からは川田氏法により10分間ごとに汗玉を集めてその塩分濃度を分析した。

図示の様に对照実験ではなかなか発汗が強くおこらないが第1週、第2週と高温室滞在が長くなるにつれて、発汗開始時間(両足を湯に浸してから以後の発汗反射潜伏時間)が短くなってゆき、3週間後には足を湯につけると同時に発汗する様になる。また最高発汗速度もだんだん高くなるが、3週間後と2週間後の成績の比較ではもうほとんど差がないほどに高くなっている。従ってこの頃には暑熱馴化がだいたい完成したと考えられる。

一方、この汗の塩分濃度(Na および Cl)を調べると、一般に発汗速度が高くなると濃度も高くなるのが通則であるが、この濃度は馴化が進むにつれて漸次に低い値になっていくことが図14に示されている。発汗速度の上昇に伴い濃度も上昇するが、その最高発汗時の塩分濃度が漸次低くなり、第3週間あたりではほぼ落ち着くことになる。元来、血液のナトリウム濃度は血漿で150mM/L くらいであるが、これが第1週目の汗の中では90mM/L くらいの最高濃度を示し、3週間後には50mM/L くらいの最高濃度にまで下がる。つまり高温馴化により汗の中のNa濃度は半減する訳である。この汗の水分も塩分も共に血漿の水分塩分に由来するとすれば、馴化の初期には1Lの発汗によって血漿中の塩分約90mMが汗腺によって最高発汗時に汗

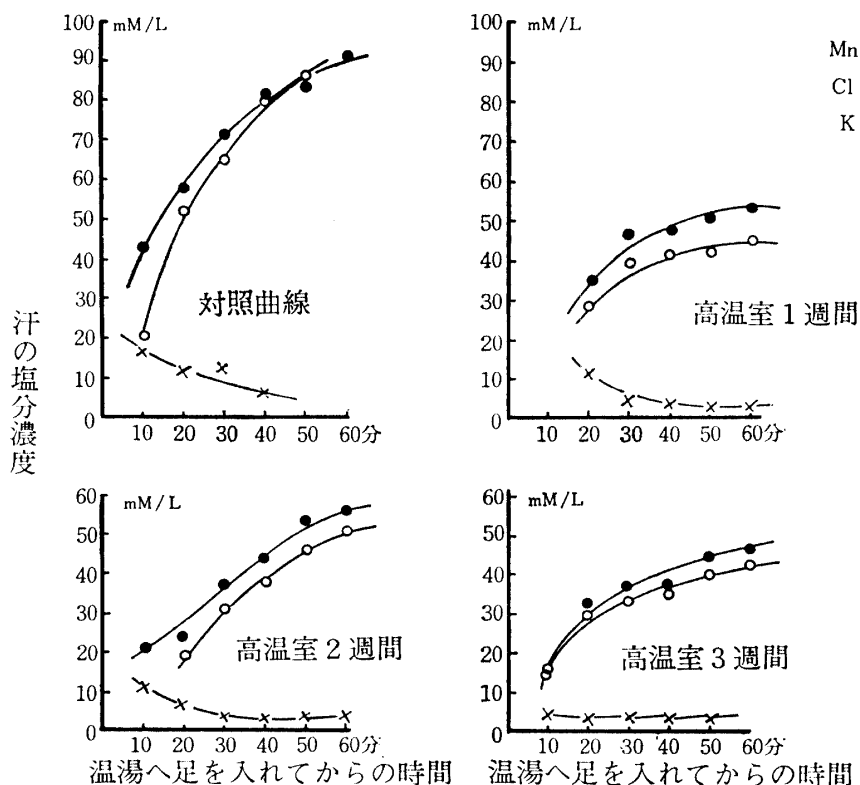


図14 暑熱馴化による汗の塩分濃度の変化 (森島, 1964)

し出された事になる。ところが馴化が進むと、汗の中の Na の最高濃度は 50mM になるのであるから、150 mM の Na をもった血漿または組織液のほうに 100 mM 残り、汗に 50mM しか出ず薄い汗となる。これは全身の汗についても証明されている。つまり暑さに馴化すると多量の汗が出る様になり、汗の蒸発による体温上昇抑制作用が強くなるが、一方、汗と共に塩分も出てしまえば体内の塩分欠乏を来たして熱射病になり易くなるから (塩分欠乏で痙攣のおこることが知られている)、これを防ぐ機構が発達して汗への塩分脱出を防ぐのである。これが発汗に見られる暑熱馴化の姿であることは久野ら (1956) により詳しく研究されている。暑熱馴化によって何故塩分の薄い汗が出る様になるかという事も森島 (1964) の研究で明らかにされている。本来汗の塩分は血液のそれに由来するものであるが、これが汗腺において血液中の蛋白を除いた水溶成分として浸み出してくる途中、汗腺の導管で  $\text{Na}^+$  や  $\text{Cl}^-$  が逆吸収を受けるために薄い汗となって分泌されるのである。ところがこの逆吸収は aldosterone という副腎皮質ホルモンにより支配されている事が判っているから、暑熱馴化に伴って aldosterone 分泌が増してくることが推論される。図15は 2 人の被検者について 1 日の尿中の aldosterone 全量を入室前の control 期から日を追って測定した成績である (2 人の成績の平均値を棒図で示す)。図には入室と同時に aldosterone の量が増してくることが示されている。これと同時に副腎皮質より出る他のホルモン 17-OHCS, 17-KS 等の尿排泄量を見ると、これはかえっ



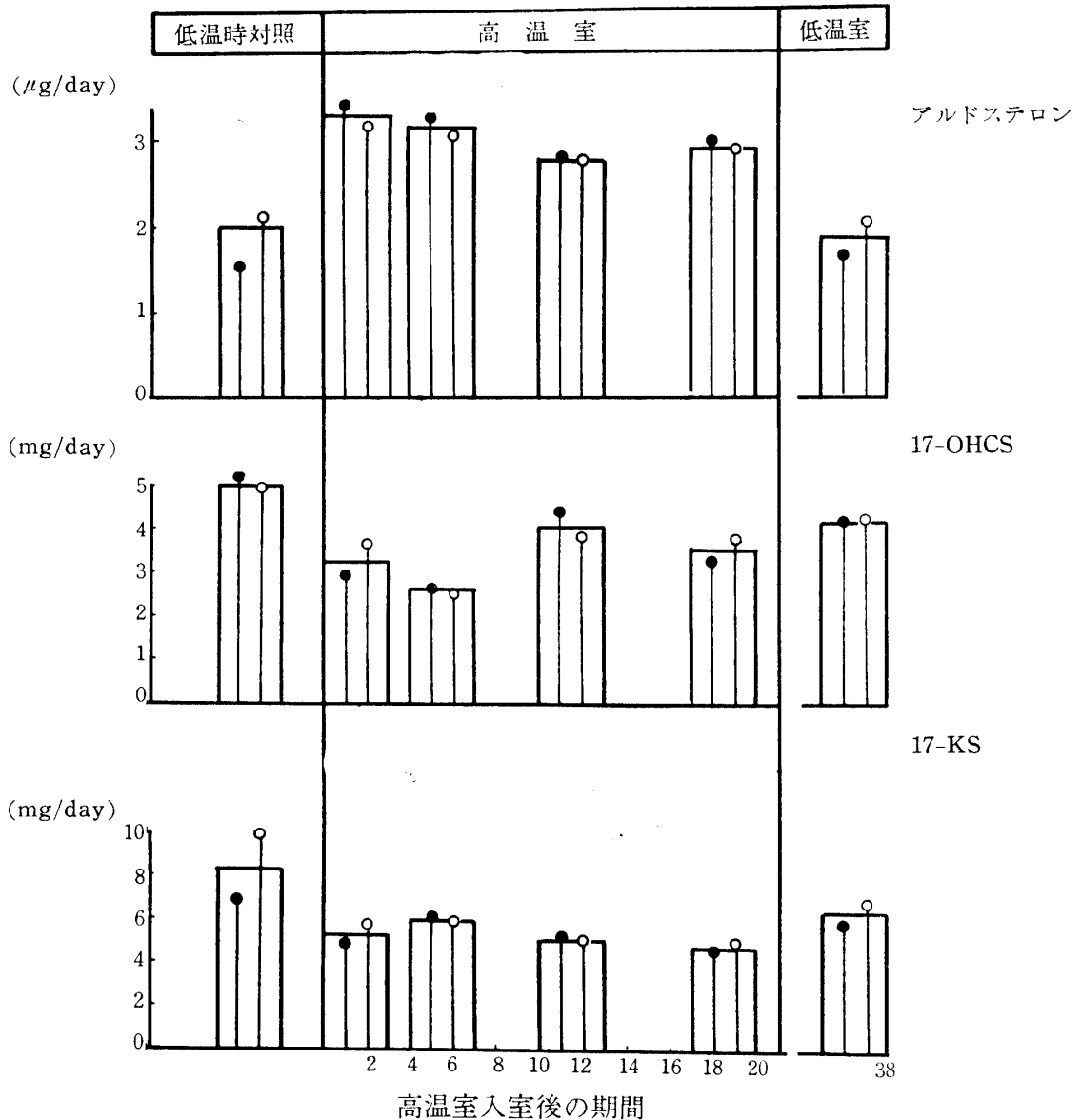


図15 高温馴化によるアルドステロンの1日尿排泄量の変化 (森島, 1964)

で減少している。この二つのホルモンはむしろ寒さへの抵抗増進に役立つホルモンであるから、これが下がることはあるいはさきの **aldosterone** 作用にも関連するのかもしれない。ことに図14では汗の Na 濃度は入室後日が進むにつれて減少しているのに、尿の **aldosterone** 量は入室後の日を追って減少の傾向さえ見える。日を追って減少の傾向の見えるのはむしろ 17-KS である。17-OHCS は入室後減少する事は確かであるが変動している。事実この二つのホルモンと **aldosterone** およびこれらの塩分逆吸収との関係はまだ解決していない。従ってこの汗の Na 濃度が高温室入室後の経過につれて減少する事は単に **aldosterone** のみの作用によるのかどうかははっきりしていない。17-KS や 17-OHCS の働きがある程度影響し合った結果で

あるかもしれないし、またここに測定していない corticosterone や deoxycorticosterone の働きが暑熱馴化に関係しているのかもしれない。いずれにしても暑熱馴化はこれらのホルモン作用によって汗の塩分濃度が低下する形で現われてくると思われる。

次に汗の成分が血液あるいは血漿、従ってそれよりつくられる組織液に由来するとすれば、これが稀薄な汗として出されて体内の水分を失った場合には汗腺の周囲にそれだけ濃厚な塩分を含んだ組織液が残るはずであるが(久野, 1946), はたしてその様な事実は立証されるのであろうか。図16はこれを検討する為に行なった千早の実験成績(1954)である。千早は皮下に挿入できる様に工夫した塩化銀電極をつくり、前膊の皮膚について皮下 Cl 濃度を測定しながら被検者を高温室に入れ、その両下脚を45°Cの湯に浸して発汗せしめた。そして胸部よりの発汗速度を久野氏法で測定し、また川田氏法で汗 Cl 濃度を測定した。図の上段は冬の実験であり、下半は夏の実験である。図の上半の冬の実験に見る様に、発汗が盛んになるにつれて皮下の Cl 濃度が上昇している。つまり発汗に伴って皮下に食塩が蓄積されていくのである。この

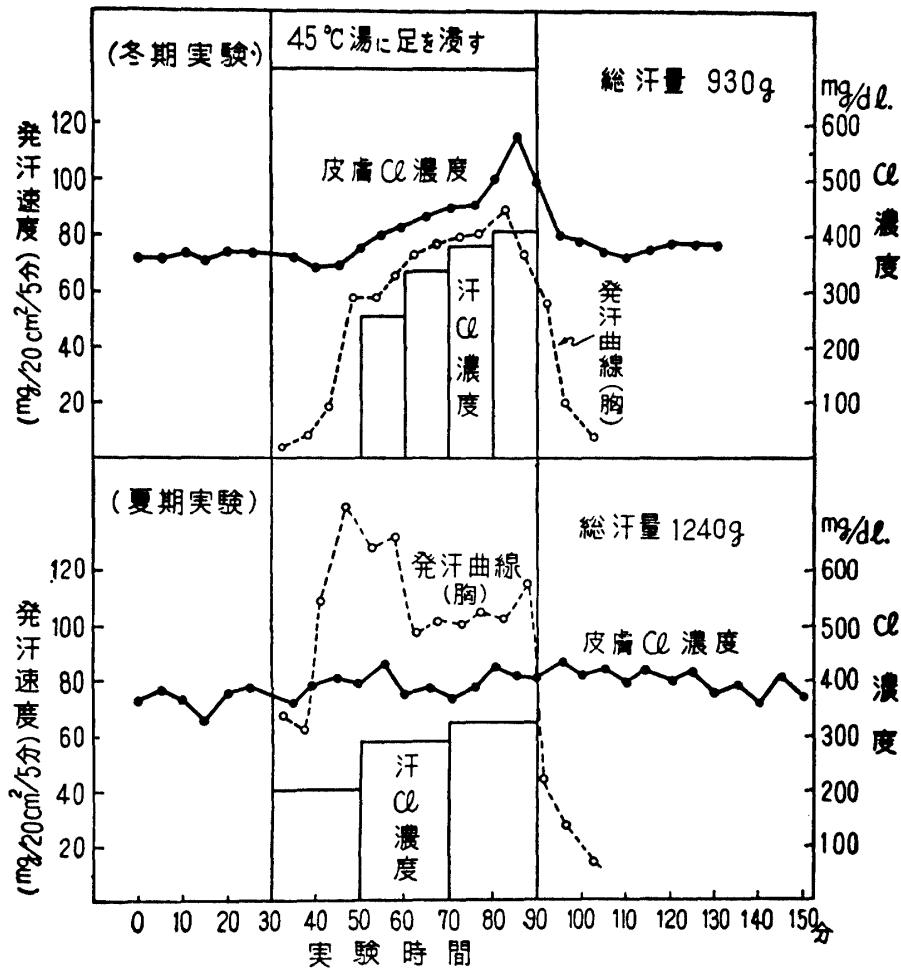


図16 発汗に伴う皮下(図には皮膚と記す) Cl 濃度の変化(千早, 1954)

様に皮下に食塩が蓄積される事は、発汗に伴って血液浸透圧が急速に高まることを防ぐ効果があり、もしこの血液より汗腺で洩しとられた食塩がそのまますぐに血液中に残されていくのであれば、かなり浸透圧の高い血液が出来上がるはずである。例えば1日2Lの発汗があるとすると(夏においては普通の値)上述の様に1L当り100mMに近い塩分が汗腺の外に残されて水分だけが洩しとられるのであるから、血漿中にこの水分を供給した血漿1L中の塩分の残り100mMずつのNaとClが残される(Na<sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>の和200mM)ことになる。全血量を60kgの人体について4.8Lとすると約2.6Lの血漿があることになる。その中にこれだけの塩分(NaとCl)が入るとその浸透圧は約20%以上高くなるはずである(これは極めて大ざっぱな計算であって実際には細胞外液と内液全体のバランスを考えた上で浸透圧上昇度を考えなければならぬ)。もしこれが事実ならばちょっと汗をかいても猛烈な口渴に悩まされることになる。しかし事実はそんな事はない。それは千早が証明した様に皮下に食塩が一時的に蓄えられて血液浸透圧の上昇を防ぐためである。ところが図16の下半の夏の成績を見ると、発汗時の皮下のCl濃度の上昇は意外に少ないことに気がつく。これは夏には組織液が増しているために少々塩分が汗腺の周囲にたまってその濃度の上昇に影響しないのかもしれない。事実、著者らの研究によると表1に示す様に、4人の夏と冬同一の被検者についてその摂取食事を同一に

表1 体液量および細胞外液量とその塩分保有量の季節変動(古志谷)

	被検者数	年平均	夏期	冬期	変化(%)
気温(°C)		15.5	25.7	6.0	+19.7
体重(kg)	4	52.04	52.5	51.89	+0.61(1.2%)
全血清量(体重kg当りcc)	8	48.0	50.2	46.1	+4.1** (8.59%)
全血清蛋白/体重(g/kg)	4	3.46	3.5	3.51	-0.01(-0.25%)
全体液量/体重(%)	4	60.4	63.3	56.8	+6.5** (10.8%)
ECF/体重(%)	4	22.4	23.7	20.6	+3.1** (13.8%)
ICF/体重(%)	4	38.0	39.7	36.2	+3.5** (9.2%)
ECF中の全Na(mM/kg)	4	29.5	30.8	27.9	+2.9** (9.8%)
ECF中の全Cl(mM/kg)	4	24.9	25.9	23.0	+2.9** (11.6%)
ECF中の全K(mM/kg)	4	0.94	0.90	0.97	-0.07(*) (-7.5%)

- 1) 夏期の値とは6, 7, 8月の平均値, 冬期の値は12, 1, 2月の平均値であって、いずれも早朝空腹の基礎条件における値である。
- 2) ECFとは細胞外液量, ICFは細胞内液量(または全体液量よりECFを引き去った値)を示す。
- 3) 変化値は夏期より冬期の値が高い時を(-)とし、かつ夏冬の差を年間平均値で割った値を%でかっこ内に示す。
- 4) \*は統計学的に5%の危険率で、\*\*は1%の危険率で有意なことを示す。(\*)は5%に近い危険率を示す。

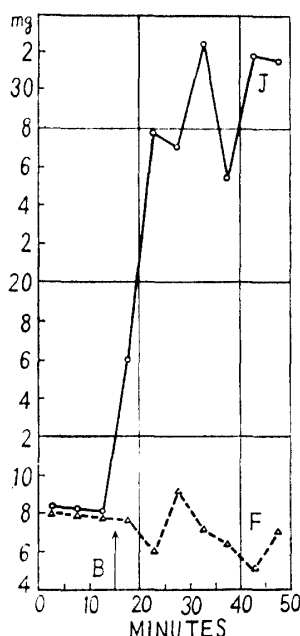
した状態で体液量やその中の Na, Cl, K 等の塩分量を比較して見ると、夏のほうが体液量が年平均値の 10.8% も多いし、細胞外液量、内液量共に夏は増し、また Na, Cl, K 等の塩分の体内総量も増している。これは夏に急に多量の汗をかいて水分や塩分を失っても体液組成や体液量に激変がおこらないよう一つの耐熱馴化態勢が成立しているためと考えることができる。もっとも上記の図 16 の皮下 Cl の上昇が夏に少ない理由は到底この程度の組織液（細胞外液）の増加では説明できないから、おそらく皮膚の血液循環促進や細胞内液の水分もこの場合に組織液中に滲出して塩分稀釈を助けるという機作などを考えねばならないであろう。

上述の様に夏は発汗反射が起こりやすく、また汗が出てもそれがすぐに身体全体の働きに支障を来たさない様に馴化態勢ができ上がっている。従ってこれをまた汗をかき易い状態にあると言いかえてもよい。日本人について夏と冬とでこのような変化があるとすれば熱帯地域に住む民族はおそらく汗をかき易い状態にあると思われるが、事実はどうであろうか。

久野門下の小管と川端は1937年にフィリピンにおいて発汗実験を実施しその発汗性を比較した。この時の被検者はフィリピン人と渡航後2週間の日本人であり、室温30°Cの実験室内で45°Cの湯に足を浸す方法をとった。図17に示される様に、日本人（J）は足を湯につけると直ちに盛んな発汗反射が現われて汗をかいているが、フィリピン人（F）は30分くらい経った所で少し汗が出始めた程度である。日本人がたたくさん汗をかいたのは暑熱下にあつて発汗反射の中

枢興奮性が高まってきたためであり、フィリピン人は暑熱馴化が強く進んだ結果、発汗中枢に慣れ **Habituation** の現象が現われて中枢の興奮性が抑圧されたためである。

このことを生理学的に解釈してみると、第一に、発汗はその水分蒸発によって暑い所での体温調節に役立っているものであるから、むやみに汗を流してみてもそれは蒸発せずに外へ流れ落ちるだけで水分の損失を来たすに止まり、何の役にも立たぬ訳である。ところが熱帯人ではちょうど蒸発により体温調節に役立つ程度の汗はかくが、それ以上無駄な汗はかかないということである。つまり熱帯人の発汗は非常に有効な状態で起こり、流汗淋漓の状態はあまり体温調節に役立たぬ無駄汗をかいていることであり、熱帯ではとても耐えられない。これが久野の熱帯人の **Habituation** と日本人の発汗性亢進の差についての解釈である。つまり熱帯馴化が高度にすすんでくると発汗反射はむしろ鈍化してくると言うのである。しかしこのフィリピン人でも、いざ本当に体内に熱がたまるような状態に追い込まれ



発汗は両者とも胸部皮膚 20cm<sup>2</sup>からの蒸発水分量を求めて測定した。Bで両者とも同じ場所で両足を45°Cくらいの湯につける。

図17 日本人とフィリピン人の発汗反射の比較 (久野, 1946)

ると、発汗速度は増すということが知られている。同じ暑さの状態で最高の発汗させた場合には、フィリピン人の発汗能力は日本人よりも高いと久野は主張している(久野, 1946)。その根拠は図12に示した様に汗腺は暑さに訓練されると発汗の能力 (sweating capacity) が増すことが立証されているし、また一方熱帯人, 温帯人, 寒帯人について全身皮膚の能動汗腺 (発汗することのできる汗腺) の数を比較すると、表2に示す様に熱帯人の能動汗腺数は温帯人, 寒

表2 各種民族の全身の能動汗腺数 (久野, 1956)

	被 検 者 数	最 小—最 大	平 均
		万 万	万
ア イ ヌ 人	12	106.9—199.3	144.3
ロ シ ア 人	6	163.6—213.7	188.6
日 本 人 (内 地)	11	178.1—275.6	228.2
日 本 人 (タイ国)	8	149.7—269.2	229.3
中 国 人 (台 湾)	11	178.3—341.5	241.5
タ イ 人	9	174.2—312.1	242.2
フ ィ リ ピ ン 人	10	264.2—306.2	280.0
日 本 人 二 世 (フ ィ リ ピ ン)	15	258.9—402.6	277.8

帯人に比して格段に多いことがわかっている。人間が生まれた時に皮膚に出来た汗腺の総数は屍体での調査では約500万程度であると言われている。ところが実際に全身皮膚の各所について発汗させた時に汗を出す汗腺 (能動汗腺) の数を計算すると、表2に見るようにその人が生まれた土地の気候によって能動汗腺の数が違っている。久野はこれは子供が成長するにつれて汗腺の発汗機能も発達するが、これがはたして活発な汗の分泌機能をもつ様に発達するかどうかはその土地の気候によって違い、暑い土地では汗腺の働きが強く刺激される為に分泌機能の発達も促進されて能動汗腺の数が増してくるのであると説明している。従ってこの能動汗腺の数が熱帯人に多いことは熱帯へのヒトの適応の結果であると言える。また、能動汗腺の数の多いことは最大発汗能力が他の寒い地帯の民族に比して高いという事をも示唆している。

能動汗腺数の多いことが適応の結果であることを表2について詳しく検討すると、例えば、表記の様に日本人では能動汗腺数は約228万であるが、この日本人がタイに長く住みついてやはり能動汗腺の数にはあまり違いはない。しかし、フィリピンに生まれた日本人の二世についてみると、能動汗腺の数はフィリピン人と同様になり日本生まれの日本人よりも多い。つまり汗腺の能動化は生後成育の過程で起こるものであって、この能動化の完成する時期 (生後約2カ年までといわれる) に居住した場所の気候によって能動汗腺の数は決まると言える。

### 3. 皮膚血管に見られる暑熱馴化

以上発汗の熱帯馴化とそれに関連した機構をみたが、次に皮膚血管にみられる暑熱馴化につ

いて述べる。

先述のごとく、暑さ寒さを感じない程度の衣服をつけた時の平均皮膚温を同一の被検者について毎月測定し、これに付随して被服重量や基礎代謝量を筆者らの教室で調べた成績を図18にかかげる。図示の様に気温が15~25°Cくらいの間が体温調節の上でその調節パターンが変わる領域である。即ち、平均皮膚温はこの気温帯で大きく(31→35°C)変化し、被服の重量も顕著に変化している。これは季節的には春・秋に当たり、皮膚血管の収縮状態の変化により皮膚温

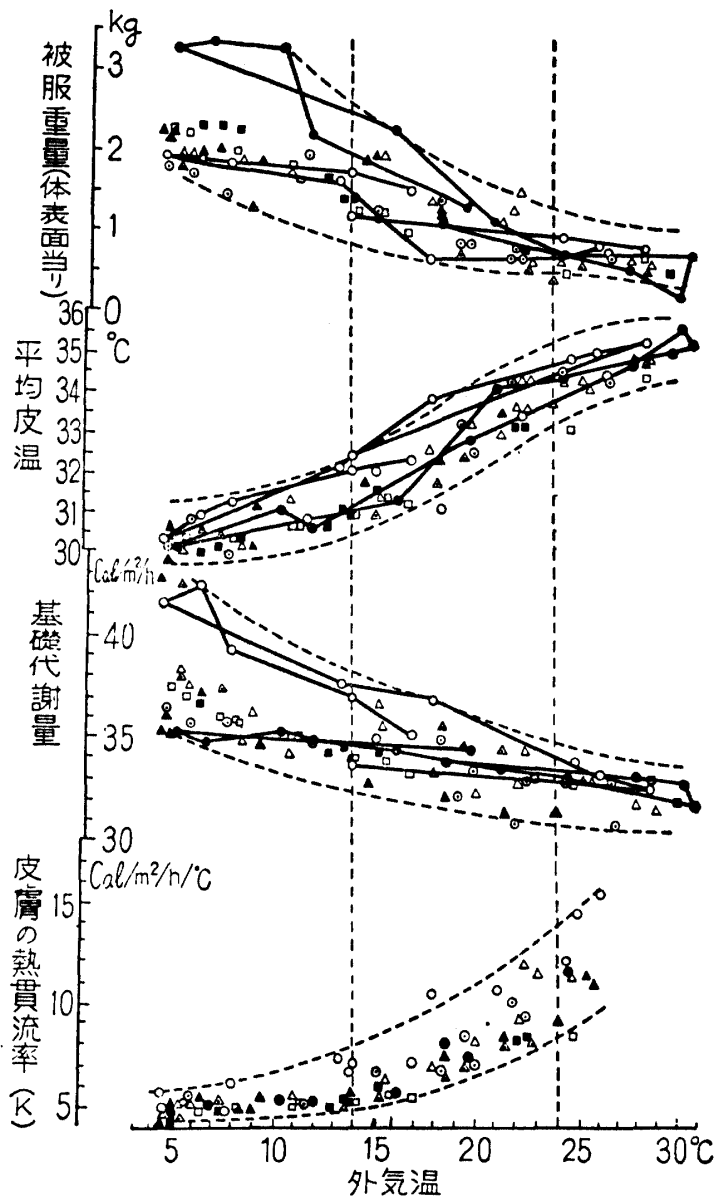


図18 日本人(男子)体温調節機能の季節変動(吉村, 1957)

数値の特に高い者と低い者は毎月の測定値をそれぞれ線で結んで示した。点線は全測定値の存在するだいたいの範囲を示す。また皮膚の熱貫流率  $K$  の算出に当たっては皮膚蒸発による放熱量  $E$  は全放熱量  $M$  の25%に相当すると仮定した。

に大きい変化があらわれる。この時期に血管調節域がはいるのは前述の通りである。ところが、気温25°C以上の気温帯または夏の候になると皮膚血管拡張も最大に近づき発汗が始まる。一方、気温15°C以下になると皮膚血管の収縮も最大に近く、被服や基礎代謝の上昇が体温調節の上に意味をもつ様になる。この頃になると、日によってはともすれば外気の寒さのためにしばしばふるえる事もあり、それが度重なると皮膚血管もその収縮性が高まって寒冷馴化の状態になる。図19は A, B, C, D の4人の被検者について8月, 10月, 1月 にわたってその胸部,

腹部, 前膊, 大腿, 下脚の5カ所の皮膚温と、それぞれの皮下1cmの所に熱電対を刺入して皮下温を測り、これと直腸温Rとの関係を追跡した成績である(緒方, 1949)。図示の様に直腸温は季節変化がないが、皮膚温, 皮下温には季節変化が現われている。この実験は被検者を常に26~27°Cの恒温室に入れて測定しているから、実験室の気温の影響は同一である。従ってここに現われた皮膚温, 皮下温の変化から各季節における皮膚血管の緊張の状況がうかがえ、寒くなるにつれて4人の被検者共に下脚温の低下が強く、次に前膊皮膚温, 大腿皮膚温が夏よりも冬に低下の傾向を示す。このことはこれらの部位の血管が常時収縮(緊張)し、血流を減じている為はその温度が下がっているのである。しかし軀幹部温にはそれが無い。つまり冬になるほど身体末梢部の皮膚温低下の傾向が強く現われるのである。このことは既に図4において説明したが、ここで注目すべき事は皮下1cmの深部温にも皮膚温と同様の季節変化の傾向が現われている事実である。従って図5

に示した様に、血管の収縮性が季節馴化によって変わってくるため、冬になると厚い shell が体表面に現われ、夏の暑い頃には血管緊張がゆるんで shell が消失してしまうのである。このような皮膚血管の緊張は皮膚に来る自律神経の緊張に基づいているから、当然自律神経の緊張にも季節変動が現われ、暑熱馴化の一部を荷って、暑熱時の皮膚放熱促進に一役果たすこととなる。

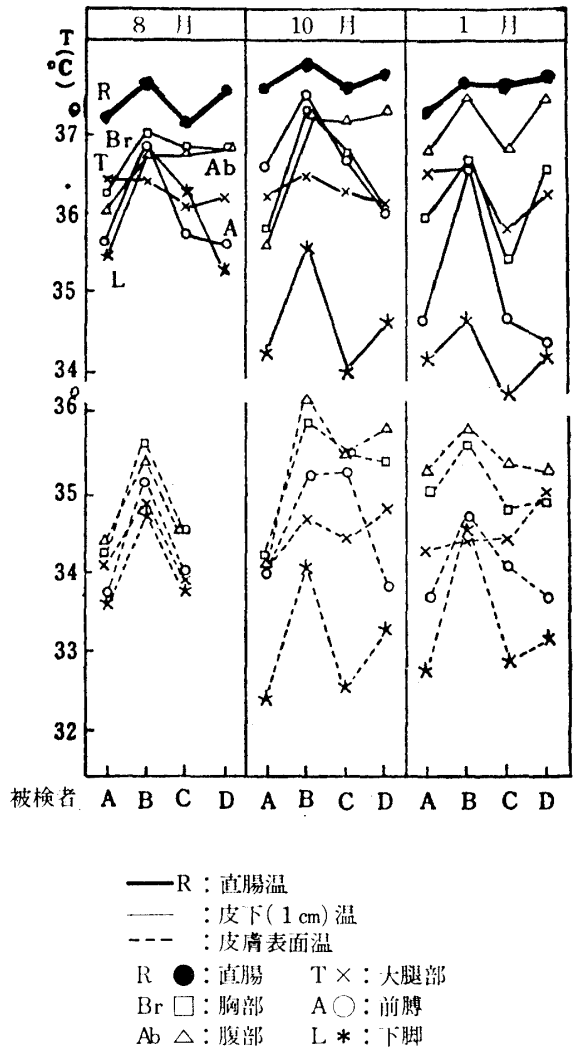


図19 皮膚温度勾配の季節変化(緒方, 1949)

4. 代謝量の変化にみられる暑熱馴化

人体については高温環境下にあっても代謝量の減少（第二化学調節）はないとされている。しかし Hardy の行なった実験（図7）では、女子のみにはこの第二化学調節があるらしいことが示唆された。他の動物ではこの第二化学調節の現われるものがある。それに関係するかどうか必ずしも明らかではないが、表3に示したネズミの成績では高温（30°C）の環境下で3週間飼育したネズミではわずかに対照群（15~30°Cの自然環境下で飼育したもの）に比して、安静時の代謝量（O<sub>2</sub> consump.）が低下の傾向を示す。これは図23のC群に明瞭に示されている。これに反し、0~2°Cの寒冷環境下で飼育したものは安静時代謝量の上昇を来たしている。暑い時に代謝量（産熱量）の低いこと、寒い時にこれが高いことは暑さ寒さに耐える上に有利なことであるから、馴化現象の一つとみなしてよいであろう。そういう意味からは、日本人にみられた基礎代謝量の季節変化も一つの気候馴化と見ることができる。また、イギリスか

表3 高温及び低温馴化ネズミの安静時代謝量の比較（吉村，1966）

Climate	Diet	Control	Fat	C.H.	Dietary Composition (Levine and Smith)
Natural (30°~15°)	Resting O <sub>2</sub> consump. (cc/h/cm <sup>2</sup> )	95.4 ± 8.6 *	106.0 ± 11.8	106.8 ± 13.9	Control Diet
	R.Q.	0.85 ± 0.02	0.75 ± 0.03	0.94 ± 0.03	Protein 13.8% Carbohydrate 39.2
	B.W. (g)	185.5	177.5	158.5	Fat 47.0
Warm acclimated (30°C)	Resting O <sub>2</sub> consump. (cc/h/cm <sup>2</sup> )	97.4 ± 9.2	104.3 ± 10.1	102.2 ± 8.1	Fat Diet
	R.Q.	0.84 ± 0.02	0.79 ± 0.04	0.89 ± 0.02	Protein 13.8% Carbohydrate 6.3
	B.W. (g)	178.6	176.5	193.0	Fat 79.9
	I* uptake % (15μg) PBI*/Total I*%	8.4 9.4	10.7 10.3	8.4 10.0	Carbohydrate Diet
Cold acclimated (0~2°C)	Resting O <sub>2</sub> consump. (cc/h/cm <sup>2</sup> )	129.2** ± 10.6 *	140.8** ± 3.1 *	125.4**	Protein 13.8% Carbohydrate 77.8
	R.Q.	0.84 ± 0.06	0.75 ± 0.03	0.91 ± 0.04	Fat 8.4
	B.W. (g)	184.9	159.8	189.9	
	I* uptake % (15μg) PBI*/Total I*%	14.7 13.8	15.0 11.3	10.1 14.0	

\* 5%危険率で常温群よりも変化の現われたもの。

\*\* 1% "

飼育食質の組成は表の右側に示したが、食質の差の有意性は表の縦線上の\*印で示した。\*のついてるのは相隣れる食質群の間に差のあることを示す。ただし I\* は放射性沃度の意であって、甲状腺機能は <sup>131</sup>I の15μc を腹腔内に与えてから8時間目に調べた。



らインドへ送られた兵士について基礎代謝量を調べたところ、イギリスにいる頃の標準値より5~6%も低下するもののがかなり多いが、全然反応しないものも若干あったと MacGregor ら (1941) は報告している。従って暑さによって基礎代謝量の低下するのは必ずしも日本人のみとは限らないことが判る。

著者らは京都に住むカナダ人について基礎代謝の季節変化を調べた。図20Aに見る様に、カナダ人には基礎代謝の季節変動が見られないが、同時に測った日本人の対照(図20B)には明らかに冬高夏低の変化が認められる。しかもその居住する室温は図示の様に両者ともに冬は10°C以下に、夏は25°Cになっている。つまり住む環境気温には両者ともに同様の季節変化があるが、基礎代謝の季節変化には両群に大きな違いがあるということである。

図21は基礎代謝の季節変動が気候馴化によることを実験的に検討した実験成績(大柴)であるが、医大生希望者を被検者として冬期に1週間ほど基礎代謝量を測った後に、約30°Cの高温室に入れて約3週間そこに住ませた。もちろん被検者は学生であるから昼間6~7時間は室外にいるが、食事は教室でつくって一定のものしか食べない様にしてある。その時の外気温

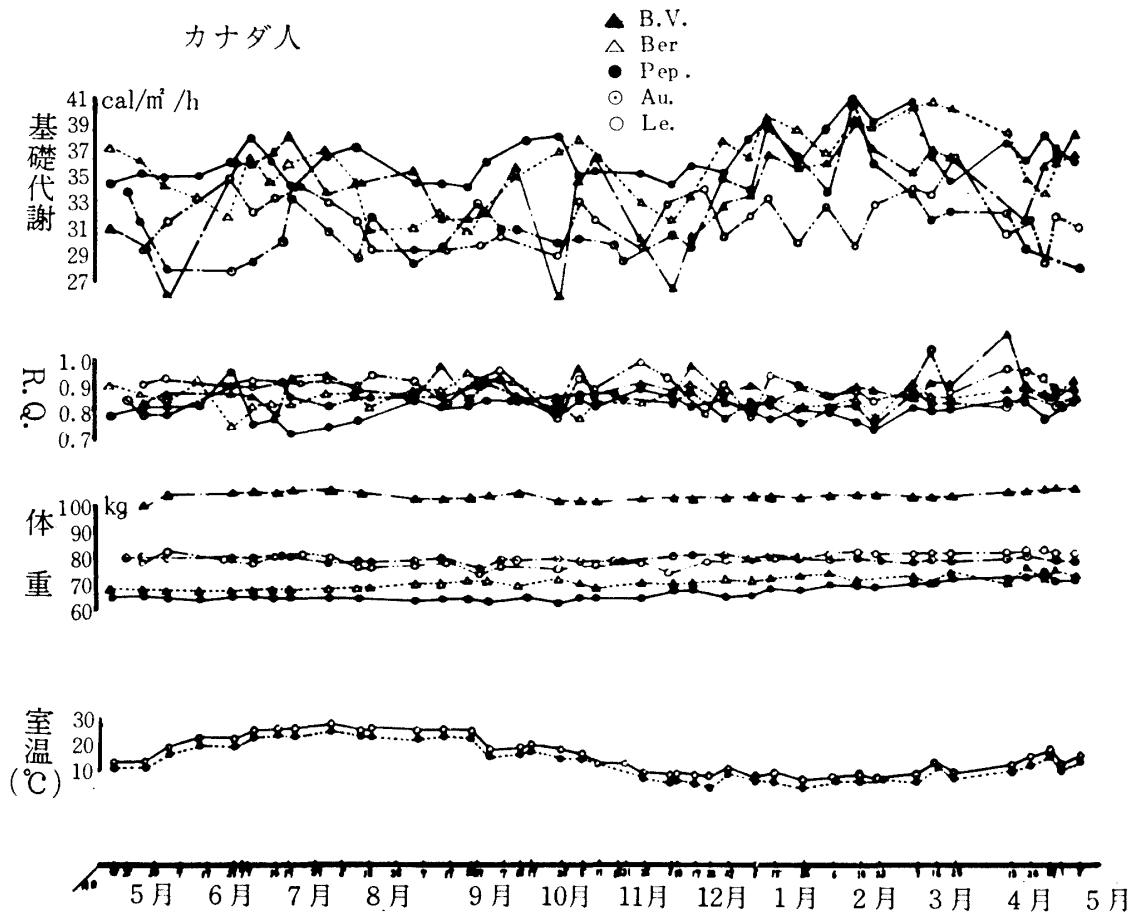


図20-A 基礎代謝年間変動(毎月の測定値) (吉村学ら, 1966)

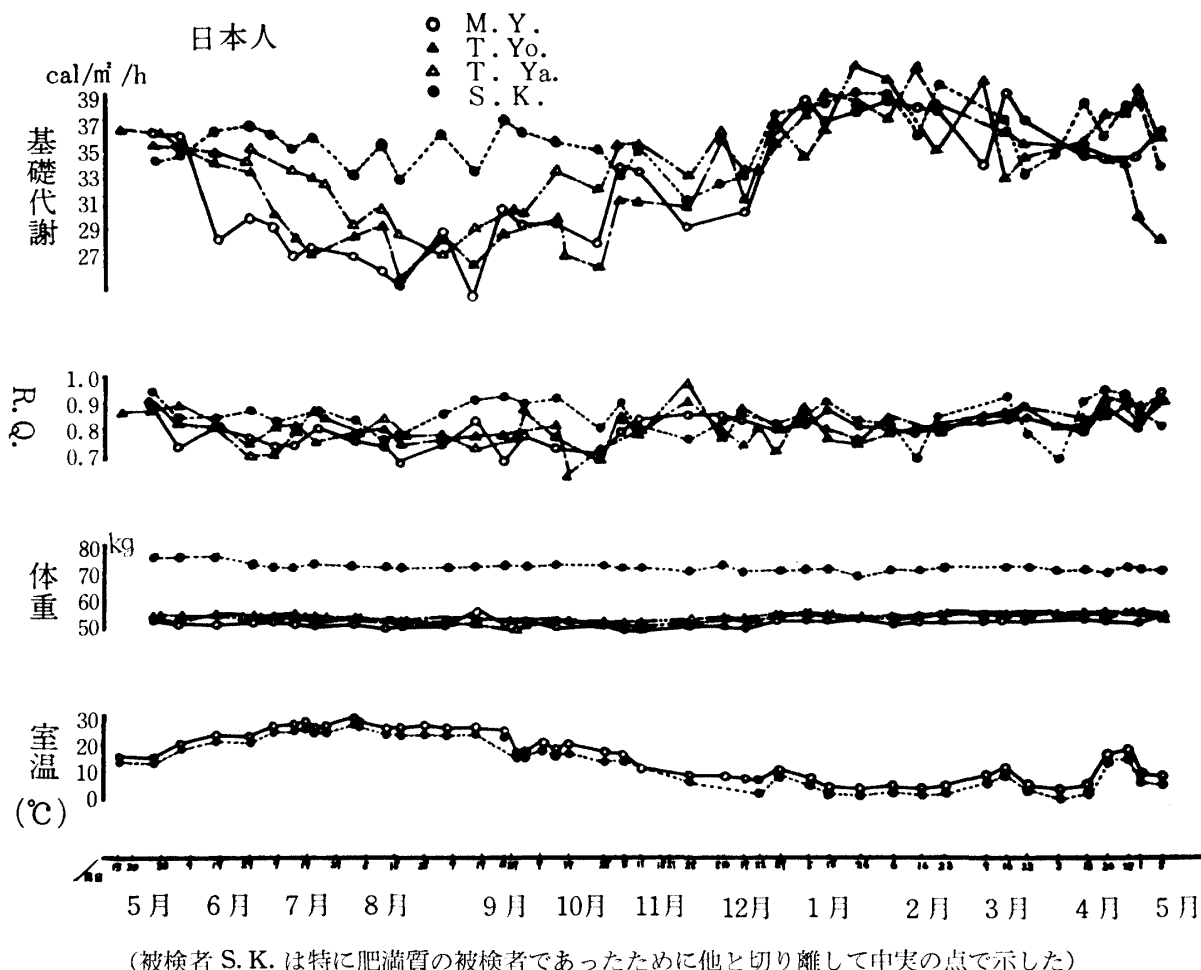


図20-B 基礎代謝年間変動 (毎月の測定値) (吉村学ら, 1966)

は 5°C くらいであり、その基礎代謝量 (R. M. R.) も実験室に入る前には標準の基礎代謝量に近い 40 Cal/m<sup>2</sup>/h という値を示していた。ところが暖かい室に入って毎日寝泊りする様になると基礎代謝がだんだんと下がり夏の暑い時の値に近づいてくる。その原因が何かを調べるために基礎代謝に関係深い甲状腺線から出るサイロキシンの血漿中の濃度 (P. B. I.) を調べると、これも下がっていることが判った。つまり甲状腺ホルモンの血中濃度の下がることは、甲状腺機能が暑さに馴化してその働きが弱くなっている可能性がある。(もっとも P. B. I. の減少は直ちに甲状腺機能の低下を意味するものではないが、少なくとも血漿中の P. B. I. が少ないことは組織への甲状腺ホルモンの供給不十分の可能性は否定できない。) 基礎代謝量の低下もそれに原因するのかもしれない。つまりこれによって体内産熱量を減じて暑さに耐える様な状態をつくっているということである。先の表3でネズミに投与した全放射性沃度の内何パーセントが P. B. I. に合成されているかの比率を調べても、低温馴化ネズミでは P. B. I. の <sup>131</sup>I の取り込みが高いが、高温馴化ネズミではそれよりもずっと減じていることが見られる。これも高温

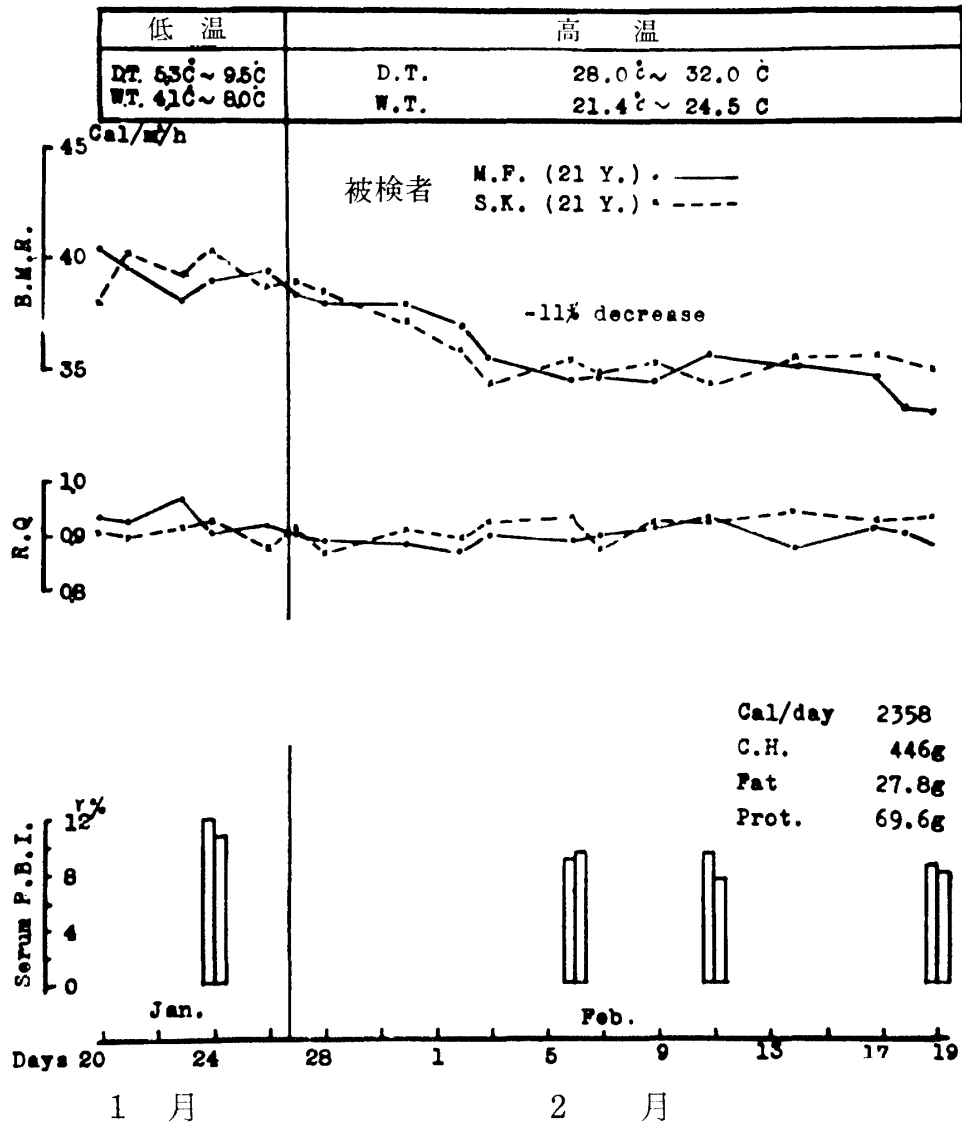


図21 基礎代謝の高温馴化 (大柴, 1957)

馴化の結果，甲状腺機能が低下したためと見るべきであろう。先に示した日本人とカナダ人は同じ京都に住み，ほぼ同じ室温の家に住みながら何故に日本人には基礎代謝の季節変化が現われ，カナダ人には現われないのか，これを調べるために両群の生活条件についていろいろと比較してみた。その結果判明した両群の最も大きい生活条件の差は，その食物の食質にみられた。図22はその成績の一部である。図示の様に両者共に多少食質に季節変化はあるが，これは基礎代謝の変化とは関係なく，注目すべきことは，カナダ人の食質は脂肪のとり方が日本人よりも格段に高い(約2倍)ことである。先の表3にも少しその傾向が現われているが，動物実験によると脂肪をたくさんとると甲状腺機能が亢進する。北大の伊藤ら(1974)はこれに反対し，むしろ低下するという成績を出しているが，その成績をよく見ると，あまりに多量に脂肪を与

えすぎたためにネズミが病気になって尿が出なくなってしまうている。例えば伊藤門下の黒島ら(1971)の成績によると、Iの転換率が高脂肪食でひどく低下しているが、これは転換率(P. B.  $^{131}\text{I}$ /全血漿  $^{131}\text{I}$ )の計算の際にその分母に当たる血漿中の  $^{131}\text{I}$  が尿に排泄されないために血中に蓄積した結果と思われる。従って、このようなネズミの血漿を用いたのでは誤った結論が出てくるのは当然である。著者らの成績は単に動物実験のみではなく人体についても高脂肪食による甲状腺機能亢進を証明することができた(吉村ら, 1966 および 1970)。もとよりいずれも健康体についての実験である。もっとも高脂肪食のネズミ実験は脂肪量や脂肪の質によって往々ネズミが瘡せてくる場合もあるので、よほど慎重に行なわないと失敗するものである。著者らの成績では確かに脂肪を多く与えると甲状腺機能が高まってくる。そして暑い環境下で7週間も飼育したにもかかわらず、このネズミには安静時代謝量の低下は遂に見られなかった(図23の中で対照とした高糖質食群には高温馴化による  $\text{O}_2$  消費量の低下が見られるが、高脂質群にはそれが見られない)。このことは高脂肪食による甲状腺機能亢進作用が強かったために、暑熱馴化による甲状腺機能低下が抑制された結果と判断される。しかし、高糖質食で飼育したネズミでは高温馴化によって顕著な代謝量の低下(約10%)を来たしている(図23)。

ここで著者は一つの推論を行なうことができると考える。つまり、本来東南アジアや日本の気候は温暖多湿で湿地農業に適した土地柄であり、そのため稲作農業が発達して米を主食にして生活している。米を多くとることにより

平均体重 (kg)

	カナダ人(5)	日本人(4)
夏	78.2	58.5
秋	78.1	58.6
冬	80.3	57.9
春	82.5	58.8
平均	79.7	58.5

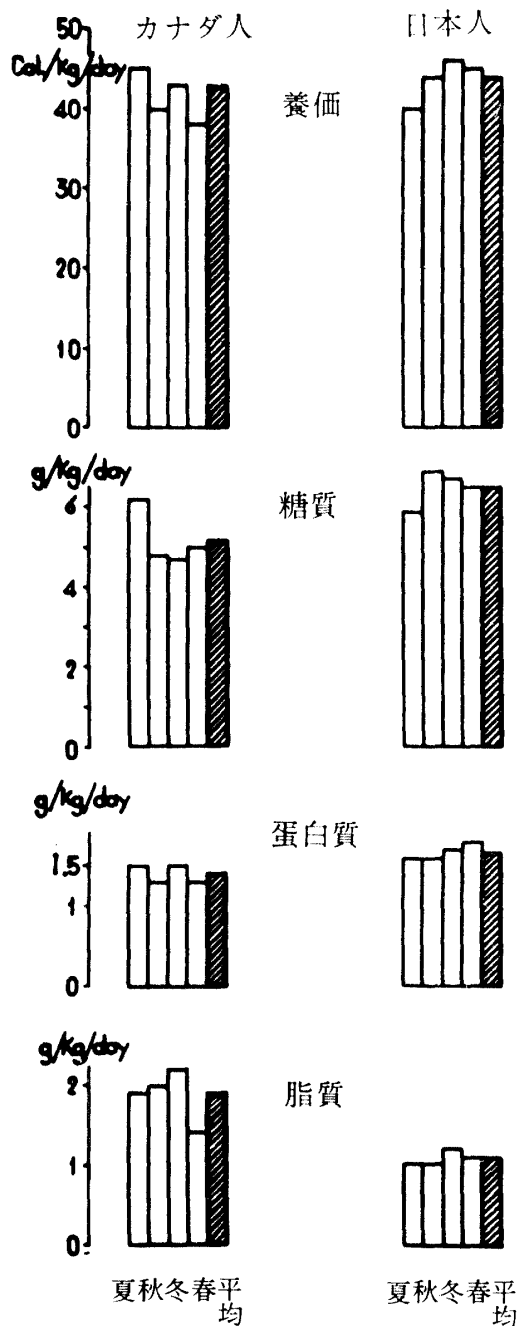
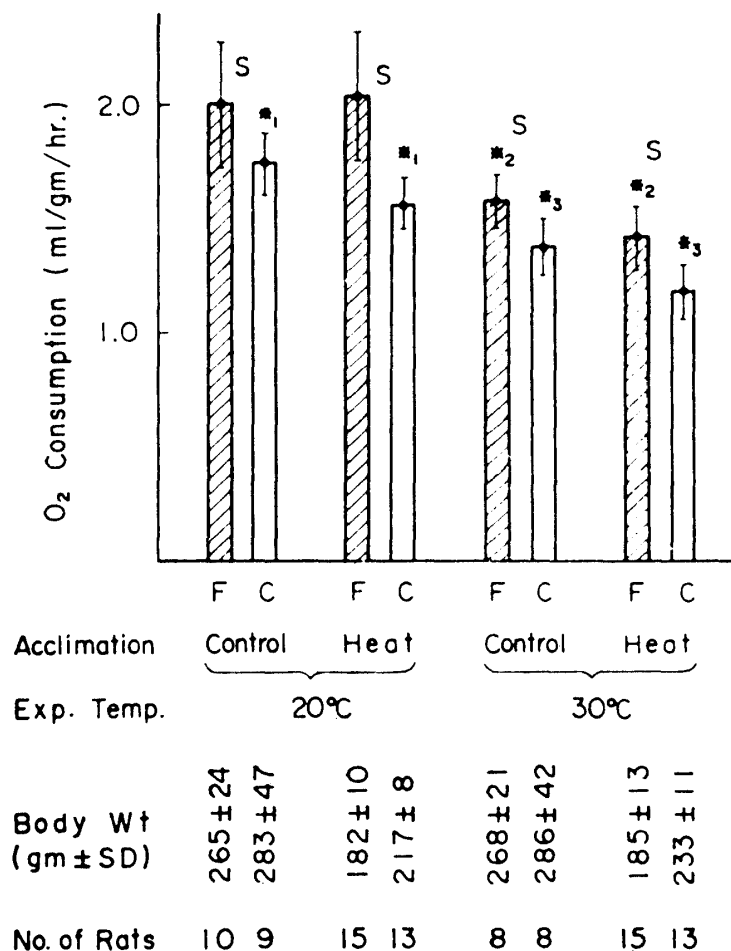


図22 食物摂取(栄養素別)の民族差 (吉村学ら, 1960)



注) EXP. Temp: ネズミの安静時間謝量を測定した室温,  
 F: 高脂肪食飼育群, C: 高糖食群  
 Control: 20°Cの恒温で5週間飼育, Heat: 30°Cで5週間以上飼育,  
 \*: 同一食質群の間での飼育温度の差の有意なもの,  
 S: 同一飼育温度群の間での食質の差の有意なもの。

図23 各種食質飼育ネズミの酸素消費量に対する高温馴化の影響 (吉村, 1969)

糖質によるエネルギー補給が充分に行なわれるため、脂肪分の摂取量は少なくなる。米が良いタンパク質を持っているため、タンパク質の摂取量も動物性蛋白を少し補えば足りることになる。つまり米をたくさん食べる国民には気候変化に応じて暑さに馴化する能力が高いという推論である。これは日本人のみでなく韓国人についての報告 (金, 1965) から証明されている。タイ人については、このような観点から基礎代謝を調べた成績はこれまでのところ見当たらなかったが、今回筆者らがタイ国青年やタイ在住日本人について基礎代謝を測定し、さらにインド人について測られた成績 (Malhotra, et al. 1960) 等を合して、その測定された土地および月の平均気温とその月に測った被検者の基礎代謝のグループ平均との関係を見ると、図24のごとく脂肪を多量にとっていたカナダ人を除き、すべて一つの相関帯 (95%信頼限界線内) の中

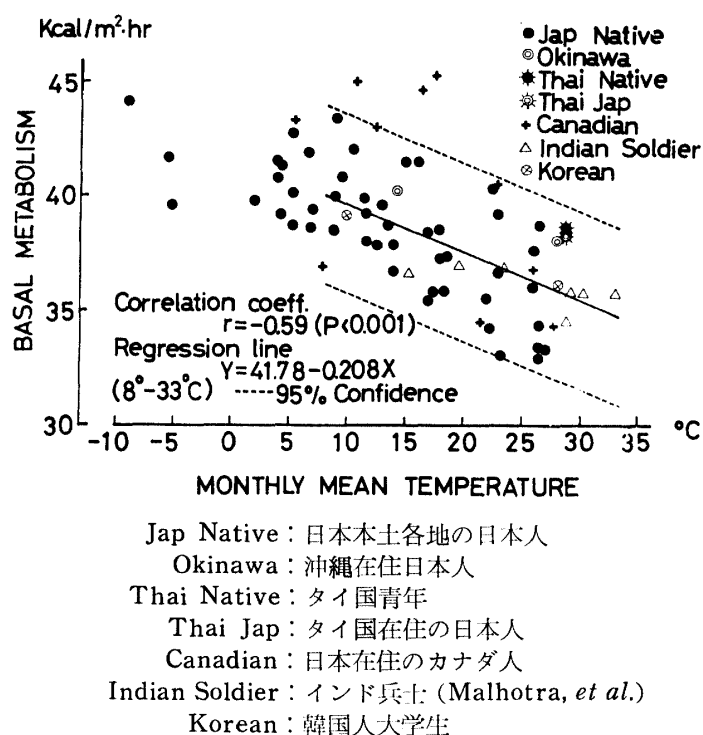


図24 各種民族の種々の気候下における基礎代謝量のグループ別平均とその測定時の月平均気温との関係。(本土日本人の値は緒方ら1975より引用)。

に集まりその回帰線は  $Y = 41.78 - 0.208X$  (ただしYはグループ平均としての  $B.M./m^2/h$ , Xは月平均摂氏気温とする) であって、気温  $10^{\circ}C$  の上昇に伴い、基礎代謝量は  $2 Cal/m^2/h$  の低下を示すこととなる (大仲・堀ほか, 1975)。もっともこれは脂肪の摂取量が摂取カロリーの25%以下の国民についてのことであって、相関帯よりはみ出したものは脂肪摂取量が摂取カロリーの35%を越したカナダ人グループのみである。他はすべて東南アジアに住む米食民族についてのグループ平均値である。本来民族の食習慣はその土地に多量に生産される食物により左右されるものであるが、米食民族が気候変化の激しい大陸の東海岸に住み、しかもその食習慣のゆえに気候の変化に適応し易い生理機能を具備するに至ったことは、つまりここにヒトと食物と風土を統合した生態系が成立していることを意味し、自然の摂理の妙を見せていると言えよう。

ただ最後に付言したいことは上述したわが国民の食事の組成が近年徐々に変化しつつある事実である。表4は厚生省で調査した戦後のわが国民の平均的栄養摂取量(1人1日)の推移である。表記のごとく、脂肪の摂取量は年々増加し、今日では20年前の約2倍量もとっていることになる。もっとも図22に示したカナダ人の脂肪摂取量  $100g/日$  の値には及ばないが、年々増加し、しかも従来は魚や豆からとった不飽和脂肪酸の多いリピッドからバターの様な飽和脂肪のとり方が多くなりつつあり、そのために心筋硬塞の様な欧米人型の血管病が増加しつつある。

表4 日本人の栄養調査の年次別推移 (成人男子1日平均値) (Yurugi *et al.*, 1975)

年次	全養価 摂取量	1日摂取量			養価供給比率			
		蛋白質	脂肪	糖質	蛋白質	脂肪	糖質	脂肪F/糖質C
	kcal	g	g	g	%	%	%	
1946	1963	59	14	400	12.0	6.4	81.6	0.078
1948	2047	63	13	419	12.3	5.7	81.9	0.070
1952	2109	69.9	20.1	412	13.3	8.6	78.1	0.110
1956	2092	69.1	21.8	405	13.2	9.4	77.4	0.121
1960	2096	69.7	24.7	398.8	13.3	10.6	76.1	0.139
1964	2223	74.4	34.3	398	13.5	14.0	72.5	0.194
(1970)	2300	75.0	38.0	(414.5)	13.0	14.9	72.1	0.207
(1975)	2500	75.0	56.0	(407.7)	12.3	20.8	66.9	0.311

1970と1975は実測値ではなくて摂取目標値である。

表5 日本人の食質の変化と基礎代謝の年間変動の推移 (Yurugi *et al.*, 1975)

		基礎代謝				食物摂取量の平均				発表者
		被検者数	性	年間平均 変動%	総カロリー kcal	蛋白質 %	脂肪 %	糖質 %	脂肪/ 糖質	
A	1949-	9	M	17.3	2204	13.4	8.7	77.9	0.112	佐々木(22)
	1950	6	F	21.2	2425	12.5	10.6	76.9	0.138	
B	1950	8	M	19.8						佐々木(22)
C	1951	4	F	15.2						坂本(20)
D	1952-	9	M	12.2						福田(6)
	1953	3	F	12.4						益子(11)
E	1953-	9	M	17.6						大柴(18)
	1955									
F	1956-	29	M	16.1						古賀(8)
	1957									
G	1957-	4	M	9.9						田代(25)
	1958									
H	1958-	total	M	15.9	2858	15.0	12.4	72.7	0.171	宮崎(15)
	1959	201			2860	14.0	12.4	73.6	0.168	
I	1961-	5	M	11.3	2743	14.9	14.8	70.2	0.211	増田(9)
	1962				2735	16.5	16.2	67.3	0.241	
J	1966-	5	M	9.6						佐々木ら(24)
	1967									
K	1967	7	M	7.7	3255	14.6	18.3	67.1	0.277	万木ら(34)

従って基礎代謝の季節変動のほうも表5に示す様に年平均値に対する夏冬の変動幅を比率(%)にして示した値は年々低下し、20年前には季節変動幅が16%もあったのが今日では8%くらい半減している (Yurugi *et al.* より引用)。日本の風土によく服合した日本人の生活がこうして時代と共に変貌してゆくことは、新しい人為的生活環境に対する適応とも考えられるが、耐熱

性・耐寒性などの生理機能の面では退化の傾向にあると言わなければならない、一考を要する問題であると思われる。

### III 馴化の進度と適応のパターンおよび熱帯人の特性について

発汗能の暑熱馴化については、温帯地方において見られる夏と冬の発汗能力の差（図 13, 16）の様な一過性の馴化と、熱帯移住に際して見られる馴化のようにその発汗のパターンに差異のあるものがあることは先に述べた。即ち、夏には発汗能が冬よりも増して著しく汗をかき易くなるのに対し、熱帯人はむしろ発汗反射が容易に発動せず、必要な汗しか出さない様になってくる。つまり冬から夏に移った時の発汗はむしろ発汗中枢が暑熱刺激に敏感になり過ぎていると考えることができる。この様な中枢興奮性の過敏な上昇を抑えて少々の暑熱刺激にも敏感には反応しなくなる現象は発汗中枢の慣れ **Habituation** によるものと理解される。**Habituation** とは一定の温熱刺激が繰り返し与えられると、これに反応する反射中枢がその刺激に慣れて、かえって反射の発現がにぶる現象を言い、**Glaser** らはこれは中枢神経のシナプス部位における反応に何らかの **plastic** な変化が生じたためであると説明した。この **plastic** な変化の本態は現在まだ不明であるが、ただ川上ら（1966）の研究によるとウサギを寒冷に曝して、寒冷反応を誘起すると橋脳→中脳→視床下部→海馬に脳波活動が極めて顕著になってくる部分があるが、これを10日間も反復すると橋脳より上のいわゆる汎賦活系と言われる部分では脳波活動がむしろだんだん低下してくる。これは高温馴化の場合も同様で、上行賦活系に属する部位に活動の鎮静を認めると言う。

この様な **habituation** は寒冷時に働く戦慄反射の場合にも見られる。即ち **Scholander** ら（1958）がオーストラリア原住民について行なった実験は明らかにそれを物語っている。オーストラリアの中西部にはいまなお裸体のままで狩猟採集の生活を送っている原住民 **aborigin** がいる。この地方は夜間は  $0 \sim 5^{\circ}\text{C}$  くらいに気温が下がるので、**Scholander** らは白人の被検者数名と原住民数名を同様な裸体のまま寝袋で一夜を過ごさせた結果、原住民の皮膚温は急速に低下して **shell** のでき方が強く、戦慄はほとんど起こらず安眠することができた。一方白人のほうは激しい戦慄によって酸素消費量は増大しほとんど眠れず、皮膚温の低下も原住民よりも弱かった。これは、原住民においては皮膚血管収縮による **shell** の形成が強い為に戦慄を誘発することなく体温維持が可能であった結果、戦慄の発生が抑えられたと理解してもよいし、また **habituation** により戦慄の発現が現われなかったために強い **shell** 形成によって代償したと理解することも可能である。さらに確実に反射能の **habituation** の成立を思わせる成績は **Wyndham** と **Morrison**（1958）が行なったアフリカ **Kalahari** 砂漠の原住民 **Bushman** の実験により示されている。それによると気温  $15^{\circ}\text{C}$  付近の夜間、白人と原住民の両群を共に裸



体で地上に約2時間半座らせてみると、時間がたって体が冷えてくると皮膚温、ことに四肢皮膚温は両群ともに低下しているが、この低下は白人のほうが激しくまた戦慄も激しかった。しかし原住民は戦慄をおこすことがなかった。戦慄した白人は体熱産生が高いからその体温はほとんど低下しなかったが、原住民では体温に低下が見られた。つまり体温が低下するほどに体が冷えても、戦慄反射は慣れ **Habituation** により現われないのである。

これと同様な関係はノルウェーの狩猟 **Lapp** 人と家に定住する村人 **Lapp** 人および白人を対照にした寒冷曝露実験においても見られる。**Andersen** ら (1960) は北ノルウェーの **Kantokeino** 地区に住む **Lapp** 人について、 $0^{\circ}\text{C}$  の室内で裸体となり、寝袋に入ってフロンをかけず午後10時より朝6時まで約8時間寝かせる実験を試みた。この実験には普通の村人 **Lapp** 人のほかに、この地方を冬に狩猟をして山野をさまよって歩く遊牧の **Lapp** 人約9名と5名の白人隊員も被検者になって同様の試験に加わった。その結果は図25に示す通りで、図の下段に示した  $\text{O}_2$  消費量の各グループ別平均値の経過に見る様に、狩猟 **Lapp** 人は夜間ほとんど戦慄を来たすことなく代謝の上昇もほとんど見られなかった。それに反して白人の対照は、夜中にたえず戦慄をつづけ安眠することができなかった。そのために  $\text{O}_2$  消費量も時間と共に上昇を続けた。村に住む **Lapp** 人はこの中間で、中には若干戦慄を見るものもあった。図の上段に示した皮膚温、直腸温を見ると（全被検者の成績を時間を追ってプロットした）、白人や村人 **Lapp** では顕著な皮膚温の低下、ことに足部温（身体末梢部）の低下がみられ、激しい場合には白人の中には足の皮膚温が  $14^{\circ}\text{C}$  近くも下がったものがある。即ち **Shell** 形成が著明におこり、こうして直腸温（体温）はほとんど一定に保たれているのである。ところが狩猟 **Lapp** 人ではこの皮膚温低下は白人ほどに顕著ではない。被検者によってはせいぜい  $3\sim 4^{\circ}\text{C}$  しか下がっていない。従ってその体温は当然低下してくる。つまり放熱と産熱のバランスがとれなくなるのである。かくて狩猟 **Lapp** 人では直腸温が平均（曲線で示す） $2^{\circ}\text{C}$  近く下がっている。つまりこの狩猟 **Lapp** 人は寒冷刺激による皮膚血管の収縮反射も戦慄反射も共に **Habituation** により、十分に働かないから体温の維持ができなくなっているのである。外界気温の低下に伴って体温が低下する点より見れば、この狩猟 **Lapp** 人は変温動物的になったといえることができる。

このことに関連して、ここに引用すべきは **Prosser** が外界環境の変化に応じて生体が順応するパターンに二つの型があるのを指摘したことである。その第1は恒温動物に見られる調節型 **regulating pattern** である。例えば外界気温がどのように変化しようと、生体はこれに対処して生理機能を働かせ、体温を一定に保ち、生体機能の恒常性を維持しようとする適応のパターンである。他の一つは外界気温の変化に順応して体温も変化し、その生命を保つ同調型である。これを **Conforming type**（伊藤はこれを従合型と訳す）と言っている。変温動物がその例である。

ところがいまここに述べた様に、同一人種であってもその寒さへの慣れまたは鍛錬のいかん

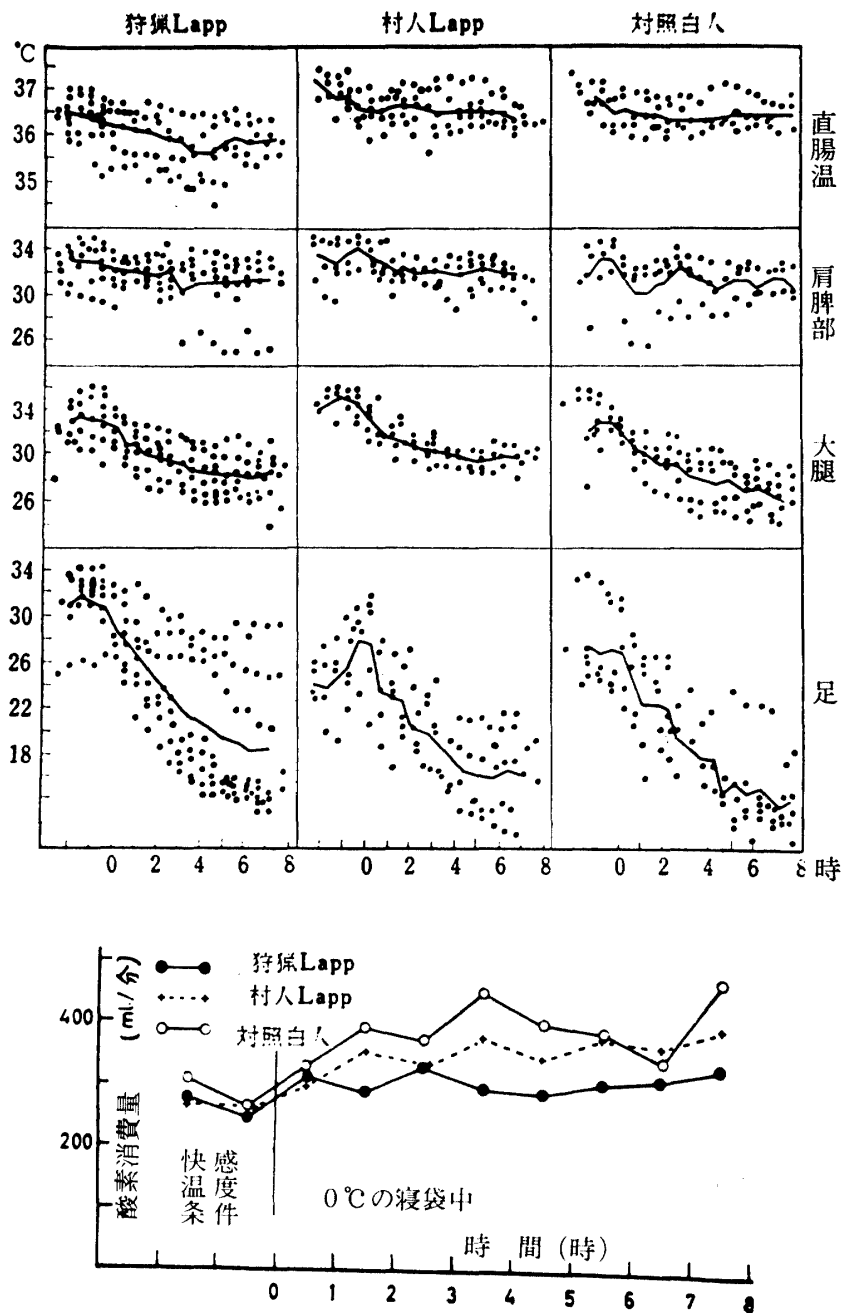


図25 0°C環境中寝ぶくる内睡寝中の直腸温・皮膚温およびC<sub>2</sub>消費量 (Andersen, K.L. et al.)

によって恒温動物型のものが変温動物型に変わることがありうるのである。

緒方はその著『適応』の中でこのような適応の型の差異を生ずる原因としては、遺伝的素因が加わる可能性を指摘した。しかしこのことは明確な根拠に欠けた示唆である。即ち緒方のあげた根拠の一つに伊藤の発見した事実『北海道におけるアイヌ人の脂肪代謝が北海道地区の他の日本人とは異なり、寒冷時の熱生産に脂肪酸が容易に利用できる様にその代謝の生化学的過程

の変化をおこす』がある。しかし **Le Blanc** や伊藤が証明した様に (伊藤, 1974), ノルアドレナリンの注射を繰り返したり, または 5°C の寒冷な室で飼育して10代以上にもわたって繁殖させたネズミでは, ノルアドレナリン感受性が非常に強くなり, かつ脂肪は脂肪酸よりケトン体に速やかに変化して熱生産に利用される事は, アイヌ人に見られる耐寒反応の場合と同様である。従ってここに遺伝因子が関与すると推論することは当たらないと思われる。むしろ寒冷馴化の程度の差によって生体の示す耐寒反応のパターンが変わると考えたほうがよい。即ち, オーストラリア原住民にあっては寒冷馴化によって戦慄反応に **habituation** が現われる一方, 皮膚血管の収縮反応が強く現われて体温維持を行なったのであるが, **Bushman** や狩猟 **Lapp** 人においては戦慄反射のみならず, 皮膚血管の収縮反射にも **habituation** による収縮度の減少が現われて, 皮膚温はかなり高い状態に保たれかつ戦慄による産熱の上昇も少なく, 従って直腸温は身体冷却により減ずるのである。いずれも寒冷馴化の程度の差として理解するほかはない。ことに図24に見られる様に同じ **Lapp** 人でも村に住む **Lapp** 人に比し, 狩猟 **Lapp** 人には戦慄による代謝亢進はなく, 皮膚温の下降の少ない事はこの寒さへの慣れまたは訓練の効果により説明するほかはないのである。零下何十度という厳しい寒さの中をさまよい歩いて雪の中に眠る様な激しい訓練に耐えた **Lapp** 人と裸のオーストラリア原住民とでは, その寒さへの訓練に一段と差異を生ずるのも当然であろう。

寒冷曝露時の耐寒反応においても戦慄や, 皮膚血管収縮は一時的な適応機作として一般に容易に現われる適応反応であり, 馴化が進むと共にこれらの一時的適応よりもさらに高度の馴化現象として **habituation** による戦慄の低下がおこってくる。本来, 戦慄という現象は筋の動きによって皮膚の対流による放熱を促進し, かつ体内エネルギーの消耗を来すほか, 筋の疲労による疲労物質の蓄積等, あまり効率の良い体温維持反応ではない。それよりも皮膚血管収縮による **shell** の増大, 基礎代謝の上昇その他肝臓等の内臓で体内貯蔵脂肪の燃焼による熱生産の亢進 (ネズミや冬眠動物の褐色脂肪組織の酸化) 等による産熱増大のおこるほうがより効率的である。従って高度の寒冷馴化時には **habituation** による戦慄の減少により, 馴化形成が **regulating pattern** でなくなり, これが **conforming pattern** になって, より長く, より強く寒さに耐えて生存し得る耐寒態勢をとるものと思われる。

なおネズミでは寒冷馴化時にこの戦慄発現を抑える機作として, 非ふる産熱 **non-shivering thermogenesis** の発現することが知られている。図26は寒冷に馴化したネズミと30°Cに飼育したネズミについてこれを各種の温度にさらしてその戦慄の発現による熱生産量と非ふるえ産熱 (ネズミの褐色脂肪組織における脂肪燃焼によると言われる) を比較したもので, 30°C飼育の対照では約-20°Cで寒さに耐え切れずに死ぬものが現われるが, 寒冷適応ネズミでは非戦慄産熱により下適応限界が約-40°Cまでのびる。

以上, 文献に現われた寒冷馴化の影響について述べたのが, 著者もこれに関して若干の成績

があるのでここに追記する。著者は戦時中、満州に派遣され、その頃たまたま興安嶺に住む蒙古人の一種族であるオロチョン族の調査をした事がある。測ったのはこれら原住民の指先の凍傷抵抗性である。著者ら（1950, 1952）は指先を0°Cの氷水中に浸した場合に現われる血管の開張反射が局所の凍傷を防ぐ効果をもっていることを明かにした。図27にはこの血管反応の例を示したが、被検者によって図の(1)の曲線のように指を0°Cの氷水中に浸すと指先温度が下がってばなしの者と(3)の曲線のように冷却の途中から指先の皮膚温度がはね上がって、指先温がなかなか下がらないものがある。この(3)の例は凍傷に対する抵抗の強いものであり、(1)の例は弱いものである。この反応の詳細は著者ら（1950, 1952）の原著に説明しているが、要するにこれは寒冷刺激によって指先に発達した動静脉吻合が開張して暖かい血液が盛んに指先に流れて局所を暖める反応がおこってくるのである。著者らはこの反応を寒冷血管反応と称し、0°C氷水中に指先を浸した時の曲線の特徴によってこの反応の起こり方がどの程度の激しさであるを

比較しようと試みた。その為に曲線の形より採点法により強者（9～8点）、中等者（7～5点）、弱者（4～3点）の3者を区別することにした。そしてこれを用いて満州に住む各種民族人種につき年齢別に反応の強さを比較した結果は表6に示されている。ここに見る様に8～14才の児童では人種間に大差はないが、壮年になると大差を生じ、日本人は他の人種に比して弱くなっている。中でも最も寒冷血管反応が強いのはオロチョン族である。

元来オロチョン族というのは、北満の興安嶺の中を狩猟をしながらさまよい歩いて生活する種族であった、一定の家に着しようとはしない。そのために彼らは乳幼児の頃から雪氷をどかした水で体を洗い、夜は丸太棒の小屋に火をたいてねむり、火が消えた払暁に目をさまして、ノロシカを襲うのである。文字通り氷雪の原野が彼らの棲家である。従って寒さには生まれ落ちた時から自然に鍛えられ、その結果が表6の成績に現わたと考えられる。しかも幼児期には

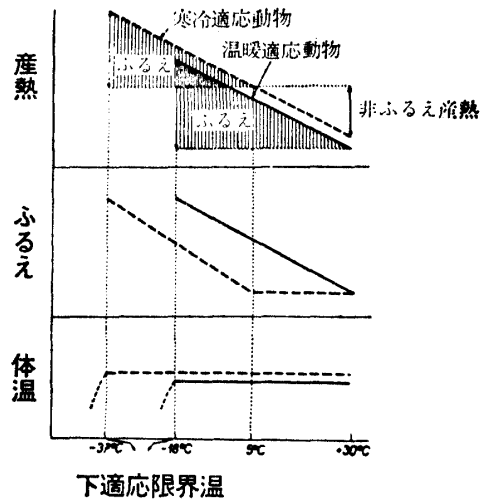


図26 温暖および寒冷馴化ネズミの産熱 (伊藤, 1974)

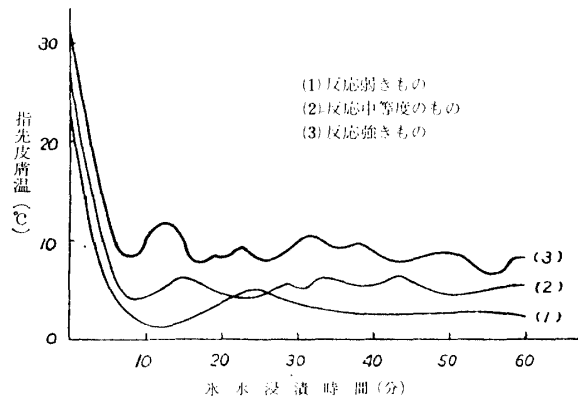


図27 左中指を氷水に浸けた時の皮膚温の変動 (吉村, 1960)

表6 寒冷血管反応指数(血管反応の特性による点数)の民族差(男子)(吉村ら, 1952)

民 族		日 本 人	漢 民 族	蒙 古 民 族	オロチ ョ ン 族
児 童 (8-14才)	被検者数	74	17	22	5
	指 数	6.39±0.11	6.77±0.15	6.64±0.18	7.20
青 年 (15-19才)	被検者数	156	21	28	4
	指 数	5.76±0.09	6.19±0.29	6.14±0.17	8.00
壮 年 (20-28才)	被検者数	137	14	22	3
	指 数	5.80±0.09	6.71±0.18	6.50±0.16	8.66
総 平 均	年 令	8-27	8-28	8-28	10-57
	被検者数	367	52	72	19
	指 数	5.90±0.05	6.52±0.13	6.49±0.10	7.68±0.20

日本人の子供と比較しても大差がなかったのであるから、壮年にこのような大差を生じたのは成長期の生活様式の差に原因する。つまり全く後天的な訓練の差といえる。

以上の様に寒さ、暑さへの抵抗に現われる人種的な差はいずれも後天的な馴化の程度の差に由来するものであって、遺伝的な種族差は無いと考えて良さそうである。

もちろん、皮膚の色の黒いネグロと白人とで皮膚のメラニンの含量が違うことは決して訓練や馴化によるものではないと思われるが、これとても適応によって生じた変化が何代もの世代を重ねた結果、別種族の様な固定した型のものに分化していったことも考えられる。

例えば寒い季節になると体内の脂肪蓄積の増すことが知られている(表7参照)。これは冬期の寒さに耐えるには皮下脂肪を蓄積していたほうが皮膚の断熱度が大きくて都合が良く、一方寒冷時の代謝に用いられる熱源として脂肪が有用であることにも意味があり。さらに脂肪太りになると体型が丸型になって体表面積が体組織実質量に比して、割合に狭くなり比較的な放熱面積を減ずる。つまりこの冬期の脂肪の蓄積はいろいろの意味からして冬の寒さへの適応現象と見ることができる。ところが、この様な適応が北方の寒地に住む住民には極度に進行し、かつこれが幾世代も重ねて発達した結果、北方の寒地に住む人種はダルマ型の体型になり体内組織量に比して体表面積の小さい体型をもつ人種を分化させるに至り、熱帯に住む人種は反対に瘠せて薄っぺらな胴体、手足の細長い、放熱面積の広い体型をもつ様に分化したと言われる

表7 同一の男女農夫について調査した平均の各部皮厚の夏冬の変化

部 位	男 子 (28名)		女 子 (30名)	
	夏	冬	夏	冬
胸 部 (mm)	4.5	6.7	7.9	9.2
腹 部 (mm)	8.1	9.8	11.5	13.2
膝 (mm)	6.2	8.0	9.9	11.5
背 面 (mm)	8.7	8.8	13.2	13.2
上 腕 (mm)	4.8	5.1	10.6	12.7
計	32.3	38.4	53.1	59.8
体 重 (kg) (平均)	53.8	54.5	46.2	46.5

(Allen-Bergman の法則)。もちろん例外はあるが、こうした形態的な変化においても、適応が幾世代も重なり遂には遺伝子にその形質が固く結合して別々の人種にまで分化したと考えるのもよいであろう。従って気候の差異というものが人種的な差を生ずる原因となり得ることは否定はできない。しかし生理機能の面からだけ言えば、ヒトの適応能力は馴化や訓練によって左右することができるものであって、人種による決定的な差異はないと考えるのが常識となっている。

本研究報告は久野寧先生の発汗の研究のほか、諸外国の成績をもあわせて総説し、これを東南アジア研究センターにおいて講じた原稿に手を加え、その後1975年秋には同センター市村所長の御厚意による渡航費と日米医学パネル（委員長・島菌順雄教授）の研究費をあわせてタイ国において調査研究を追加してまとめたものである。またその内容は文部省特定研究「生物圏の動態に関する研究」の中で行なわれた成績を多数に含んでいる。これらの研究を援助された方々に謝意を表すると共に講演記録を論文体に書き改めていただいた東南アジア研究センター久馬教授に感謝する。

#### 主 要 文 献

- Andersen, K. L., Løyning, Y., Nelms, J. D., Wilson, O., Fox, R. H. and Bolstad, A. J. *Appl. Physiol.*, **15**, 640 (1960).  
 Burton, A. C. and Edholm, O. G. *Man in a Cold Environment* (Edward Arnold Publisher, London) (1955).  
 千早卓郎. 『日本生理学雑誌』 **16**, 63 (1954).  
 DuBois, E. F. *Lane Medical Lectures: The mechanism of heat loss and temperature regulation*, Stanford Univ. Press, Calif. (1937).  
 DuBois, E. F., Ebaugh, F. G. and Hardy, J. D. *J. Nutrition*, **48**, 257 (1952).

- Gagge, A. P., Winslow, C. E. A. & Herrington, L. P. *Amer. J. physiol.* **124**, 30 (1938).
- Glaser, E. M. and Wittow, G. C. *J. physiol.*, **136**, 98 (1957).
- 堀 清記 『東南アジア研究』(近刊号発表予定); *Jap. J. Physiol.* **25**, 563 (1975).
- 伊藤真次 『適応のしくみ(寒さの生理学)』北大図書刊行会(1974).
- 市村真一 『ハンチントン学説について』(京大東南アジア研究センター部内資料).
- 川上正澄・根来英雄・山岡貞夫・毛利元彦 『日本生理学会総会』(1966).
- 金 龟子. *J. Korean Modern Medicine*, **3**, 271 (1965).
- 古志谷淳三. 『日本生理学雑誌』**19**, 1037 (1957).
- 小菅武夫・川端愛浩. 『日本生理学雑誌』**4**, 212 (1939).
- 久野 寧. 『汗』京都:養総社,(1946). (光生館より「汗の話」の改訂版が出版されている).
- 久野 寧. 『気候と人生』(創元社)(1949).
- Kuno, Y. *Human Perspiration*, C. C., Thomas Publisher, Springfield (1956).
- Kuroshima, A., Doi, K. and Itoh, S. *Int. J. Biometeor.* **15**, 55 (1971).
- MacGregor, R. G. S. and Loh, G. L. *J. Physiol.*, **99** (1941).
- Malhotra, M. S., Ramaswamy, S. S. and Ray, S. N. *J. Appl. Physiol.*, **15**, 769 (1960).
- 益子研三. 『日本生理学雑誌』**20**, 192 および 204 (1958).
- 三浦豊彦. 『高温環境への適応と馴化, 労働科学』**43**, 373 (1967).
- 森島正彦. 『日本生理学雑誌』**26**, 403 (1964).
- 緒方維弘. 『適応—気候風土に対する適応』医歯薬出版(1973).
- 緒方維弘. 『寒冷と体温調節』南條書店(1949).
- Ogata, K. and Sasaki, T. "Regional differences in the cold adaptability of the Japanese," in *Human Adaptability*, (JIBP Synthesis, Vol. 3), 96, Univ. of Tokyo Press (1975).
- Onaka, S., Hori, S., Saito, N., Shiraki, K., Panata Migasena and Yoshimura, H. "International Symposium on the Biological and Cultural Sources of Variability in Human Nutrition" (1975, at Berkeley, U. S. A.).
- Oshiba, S. *Jap. J. Physiol.*, 355 (1957).
- Prosser, C. L. *Handbook of Physiol. Sec. 4, Adaptation to the environment*, Am. Physiol. Soc. Washington, D. C. (1964).
- Ritchie Calder, C. B. E. *Man and His Environment* (British Broadcasting Corporation, 1964).
- Scholander, D. F., Hammel, H. T., Hart, J. S. and LeMessurier, D. H. *J. Appl. Physiol.*, **13**, 211 (1958).
- 鈴木慎次郎・手塚朋通ほか. 『日本栄養学雑誌』**17**, 209 (1959).
- Wyndham, C. H. and Morrison, J. F. *J. Appl. Physiol.*, **13**, 219 (1958).
- 吉村寿人. 『医科生理学中巻』南江堂(1957).
- ..... "Acclimatization to heat and cold," in *Essential Problems in Climatic Physiology*, Nankodo, Kyoto (1960). 福田正弘, 『日本生理学雑誌』**15**, 68, (1953) より作製.
- ..... 『日本皮膚科学会雑誌』**76**, 527, (1966).
- ..... 『新医科生理学中巻』南江堂(1968).
- ..... 「適応生理学序説」『生理学大系』IX, 医学書院, 東京(1970).
- Yoshimura, H. and Iida, T. *Jap. J. Physiol.*, **1**, 147 (1950).
- Yoshimura, H. and Iida, T. *Jap. J. Physiol.*, **2**, 177 (1952).
- 吉村寿人・吉村 学. 『日本臨床』**28**, 166 (1970).
- 吉村 学. 『栄養と食糧』**22**, 42 (1969).
- Yoshimura, H., Yuki-yoshi, K., Yoshioka, T. and Takada, H. *Federation Proc.*, **25**, 1169 (1966).
- Yurugi, R. and Yoshimura, H. "Seasonal variation of basal metabolism in Japanese," in *Human Adaptability*, (JIBP Synthesis, Vol. 3), 45, Univ. of Tokyo Press (1975).