総 説

日本人のエネルギー代謝†

中 村 正

長崎大学医学部衛生学教室

Energy Metabolism of the Japanese

Masashi NAKAMURA

Department of Hygiene, University of Nagasaki Medical School, Sakamoto-machi, Nagasaki

1. はじめに

1780 年ごろフランスの Lavoisier 氏によってその研究が進められて以来、ヒトのエネルギー代謝は数多くの研究者によってその量・質ともに究明つくされた感があり、花々しく発展した現代の栄養学のなかではその入口を守っている古めかしい扉にすぎないように思われる。しかし一方、エネルギー代謝は生きとし生けるものの生命活動の量的指標であり、生命活動に参与するすべての栄養素の必要量やその代謝量を左右する基礎量ともいえよう。

私事ながら昭和22年に当時長崎大医学部衛生学の藤本薫吉教授（現本学会名誉会員）の門を叩いた私は、当時助教授だった福井忠孝現国立栄養研所長のおしごきを受けながら、ヒトの基礎代謝を中心とするエネルギー代謝の測定研究を馬鹿の一つ覚え式になし続けて現在に至っている。私はこの馬鹿道で拾いあるいは体験したことを中心としてエネルギー代謝の問題についていささか説いてみたい。

2. 基礎代謝の気候による変動

この問題については古く生理学的に実験室内温度を変えるとヒトの新陳代謝は低温でもまた極端な高温でも上昇することが知られている。現実の生活下での基礎代謝の季節変動については1956年 Wilson¹⁾ が後多の研究報告を総括して、夏低く冬高いという説、年間不変の説、逆に夏高冬低の説と分けて詳細な綜説を報じており、これは本邦でも紹介されている。本邦での実験研究も数多く（代表的研究若干をここに引用しておく^{2)~4)}、

夏低く冬高いとされている。

著者は昭和34年に職を長崎から弘前へ遠く転じた際、初めて住む積雪地方住民の基礎代謝はいかにとの素朴きわまる興味から、まず自家実験から始めてこの地住人の毎月の基礎代謝を観測した⁵⁾⁶⁾。いま、省みて馬鹿道を歩いていた私の素朴なおどろきとして弘前住人の基礎代謝は月平均気温約 10°C を境として厳寒の季にかえて低下することを知ったのである（図1参照）。そしてそれは冬好適な暖房下の屋内作業者の場合であり、同じ弘前で温暑季に激しい肉体労働を余儀なくされる国鉄保線工は冬よりもかえて夏の暑季にその代謝を高めていたのである（図2参照）。また南国長崎住民に比べて東北弘前住人も住生活の改善された今日では一年を通じての平均基礎代謝水準は普通程度の生活活動下ではほぼ同じであり、それを左右するのは生活活動の強度らしいことがわかったのである。新潟住人の甲状腺機能が春秋に高いということ（渡辺ら⁷⁾）もやはり雪国のこの地で冬の塾居生活が冬に春秋よりもこの機能や基礎代謝を低下させているのではないかと筆者は考えている。かつて WHO がヒトの基礎代謝は年平均気温差 10 度 C 低ければ 2% 高く見積もれと提唱したことにも再考が必要であらう。

3. 日本人と白人との基礎代謝などの比較

1966~67年欧州外遊のころ訪れたオスロー大学の衛生学教室で、高いエスキモー人の基礎代謝が白人キャンプで白人食の生活をさせる白人なみの代謝レベルに下がると報じた有名な R 氏と語ったおり、日本人の基礎代謝の大きな季節変動はその住・食生活の低さに因するといわんばかりの同氏の言にいささか日本人的義憤を覚えた。帰朝して早速佐世保市駐留米軍人⁸⁾ および長崎市在住白人⁹⁾ の毎月の基礎代謝を同市日本人を対照に比較測定し

† 本総説は昭和54年度日本栄養・食糧学会賞の対象となったものである。

図 1. 積雪地帯住民の基礎代謝季節変動の特徴

九州、長崎、熊本の住民が夏低く冬高い一相性変動を呈するのに対し、寒冷積雪地方弘前市在住の屋内事務作業員では月平均気温 10°C あたりを境として、それより寒い時期では暖房下の盤居生活によると思われる代謝の低下がみられる（数値はそれぞれ年間平均値に対する指数）

図 2. 積雪地帯の屋内事務作業員、戸外肉体労働者および長崎住民の毎月の基礎代謝水準の比較

厚生省体表面積当たり日本人基準に対する比率で示す。積雪地帯の事務作業員値は長崎住民値とはほぼ同水準にあり、戸外労働者は総じて高水準でしかも夏期に高値を示している

た（このころ京府医大吉村寿人先生一門では京都在住白人の基礎代謝の夏の低下が少ないことを指摘し彼らの高い脂肪摂取をその一因と唱えられていた）。代謝水準にとくに人種差はなかったが、対照の自衛隊員に比べ約2倍の脂肪食を給されていた米軍人の夏の代謝は日本人より高い傾向を呈した。しかしR氏の言に反するごとく米軍人の代謝も日本の激しい気候の変動下でけっこう揺れ動きを示した（図3）。ただし真冬の室内気温の低かった自衛隊員に比べ 18°C の適温下の米軍人の代謝は厳冬

季に低下するという、先に弘前住人に見られた傾向を呈した。長崎在住の一般市民ではむしろ白人の代謝変動が日本人より大であった（図4）。

これで日本の気候下では食質の影響は否定できぬとしても、白人にも日本人と大同小異の基礎代謝の変動があることが確認され、R氏に反発できたのである。あわせて測った血清 PBI 値も日米両群でよく一致した夏低冬高の変動を呈した¹⁰⁾¹¹⁾。基礎代謝をコントロールする甲状腺機能の態度も日米人種間に認むべき差がないのであ

図 3. 白人と日本人の佐世保市における基礎代謝 (kcal/m²/hr), 呼吸商, 血清 PBI の月別平均値

白人は米軍海兵隊員, 邦人は海上自衛隊, 練習部隊員のおおの10人。邦人に比べ約2倍の高脂肪食を給されている白人のRQは低い。また高脂肪食のせい, 夏のBMRの低下は邦人より少ない。両群ともBMRとPBIが寒期に上昇するが, 白人に真冬の低下をみるのは彼らの居室が邦人では10°Cと低かったのに比べ18°C前後と暖かったためと思われる。

る。長崎市長に比べ佐世保軍人, 自衛隊員の季節変動は大ではあったが。ちなみにこれら一連の実験研究はJIBP 国際生物計画日本研究グループ Human Adaptability (HB) 研究班 (班長吉村寿人) の研究費に負うところが大きかった。

4. 沖縄本島住人の基礎代謝と血清 PBI

日本列島南端を占め亜熱帯に属するこの地に昭和46年から兵庫医大堀清記教授らの応援を得, かつ上記HBで造られた移動式耐熱実験装置を動員して, この地住人の耐熱性の特徴の追求を行なった。その際にあわせ測定した彼らの夏8月と冬1月の基礎代謝は, やはり夏低冬高の変動を呈しながらそれぞれの厚生省日本人基準値を中心として分布しており (図5)¹²⁾, この地住人の基礎代謝もおしなべては日本人基準値なみとみなされた。またこの地で, 肉体活動が比較的軽い事務作業や駐留海上自衛隊基地員は長崎市民なみの, また激しい肉体訓練下の警察学校生徒は同じく佐世保海自教育隊員なみの, それぞれ代謝水準と季節変動を呈した (図6)。

ただしあわせ測った血清PBI値は図7¹³⁾¹⁴⁾のとおりであり, 8月は長崎のそれに近いが, 1月値は長崎のこの季に相当する10月値より低きにとどまった。長崎, 佐世保両住人ともPBI値は向寒期に急昇し向暑期に急墜する反時計回りの年間サイクルを呈する。気候の変動に

図 4. 長崎で市民生活している白人と日本人の基礎代謝, 呼吸商, 血清 PBI の月別平均値

白人の食事は日本人食に近く, RQも両群で差がない。平均年齢は白人が高くBMRのレベルは低いが, PBIとともにその季節変動は日本人同様夏低・冬高の一相性である。居室温は日本人に高めであった。

甲状腺機能はいち早く則応態勢を整えているものと思われる。今後季節をこまかく追って沖縄住民のPBI値を観察して確かめる必要があるが, はたして彼らのPBI値も九州住人なみの明瞭な反時計回りを示すものや否や。現在の著者の憶測では気候変化速度が九州地方より約1/2とゆるやかな沖縄ではこの時計回りサイクルは明瞭ではなく, PBIはゆるやかな季節変化でもって基礎代謝を制御し切っているのであろう。

ともあれ, 北は東北北端から南沖縄まで日本列島住民の基礎代謝は, 年間をおしなべてみると現在の厚生省基準値をもってこれを推し測ってよいものと著者は判断するしだいである。北海道住人についてはこの種の報告は見られず, 著者も手を染める機を逸したが, 東北地方よりすぐれた住居条件を備えているとされるこの地住民の基礎代謝の季節変動や年平均レベルは, 先に弘前で著者が経験した水準とほぼ同じではなかろうか。

5. 日本人基礎代謝基準値に対する私見

1) 体表面積当たり基準値について 高比良を初めてして数多の研究者によって設定されてきた本基準値は幾度かの改定を経て今日に至っている。Max Rubnerの表面律 (Oberflächentheorie)¹⁵⁾は諸批判に耐えていまなお厳としてその妥当性を失っていない。ただし現今の体表面積当たり基準値 (kcal/m²/hr) は昭和30年代になされた研究成績をもとにして昭和44年に設定されたものである。今次大戦後同24年に戦前の資料をもとに設

図 5. 沖縄住人の 7 月と 1 月の基礎代謝

原住民, 本土からの移住者あわせ 61 の同一人であり, 年齢に応じて厚生省基準値をはさんではほぼ均等に分布している

図 6. 沖縄住人と九州佐世保・長崎住人との基礎代謝量の比較

「軽い」か「普通」なみの職種である沖縄の事務職者と海上自衛隊基地駐留者の値は長崎市民と同程度に低く, 激しい肉体訓練を受けている沖縄警察学校生徒は同程度に高い代謝量を呈している

定された基準値は, 若輩の筆者はその経緯を詳らかにしえないが, おそらく当時の先達らにより日本人の栄養摂取条件の改善にともなう基礎代謝の回復上昇を推定して同 34 年いったんより高水準に定められた後上記 44 年値に落ち着いたのである。

しかし思うに今日の日本人の栄養の向上はかたや日本

人の发育速度を促進しており, 发育期日本人の基礎代謝に現在の基準値が妥当するかという点が今後の問題となろう。かたやまた日本人成人の体位は伸び, かつ体型は肥満化の傾向にあり, これまた現在の基準値がこれに妥当であるか, さらに表面律の妥当性さえ不問にはできないと思われる。さらには近代日本人の生活・労働活動

図 7. 血清 PBI 値とその季節変動の比較

8月そして翌年1月に測った沖縄住人3群は、長崎、佐世保の2群に比べて、8月値は高めにとどまり、その1月値は、その月と気温がほぼ等しい長崎、佐世保の10月値より低めにとどまる傾向を示している（沖縄住人は、その基礎代謝の季節変動の割にはPBI値の変動が小さいとみられる）

量の低下現象は、従来基準値を「普通労作」に対し「軽労作」を2%減、「やや重い」を2%増、「重い」を4%増とした定めめの妥当性も問われるべきであろう。

将来これらの諸問題については、昭和54年度日本人栄養所要量策定委員会エネルギー所要量委員長の衝に当たった老生は、3年余を残すのみの現職の身にあり、後進諸士のご研究活動と当局のご支援を期待するのみである。

2) 基礎代謝の制式基準値が体重当たり (kcal/kg/day) にあらためられた点について これが昭和50年の改定において体表当たりに代わって制定されたことは周知のとおりである。その実用性の容易さや他の諸栄養素の所要量との関係できわめて妥当なことである。

しかしながら基礎代謝は表面律のとおり体表面積とは正比例し同じ年齢・性では個人の体表の大小にかかわらず体表当たり値は一定であるが、体重は体表と正比例せず体重が増す割に体表は増さないため体重が大きいヒトほど体重当たり基礎代謝量は低くなる。したがって日本人の体重当たり基準値は日本人の基準体重が時代とともに変わればこれもまた変えなければならないという宿命をはらんでいる。また個人の体重が基準体重から著しく偏る場合はその修正が必要となる。その修正の暫定的方法は「日本人栄養所要量の解説」に附録として示され、著者も別報した¹⁰⁾。ここに一つの事例を計算して示したい。

日本人成人男子の基準体重は 62.5 kg, 基準基礎代謝

は 24.5 kcal/kg, いま体重 80 kg の人がいれば前記修正を加えるとその現実の基礎代謝はおおよそ 3.2 kcal/kg, 基準値より約 13% 低い。この人のタイムスタディーに基準基礎代謝を適用して1日の消費エネルギー 3,000 kcal と算出されたとすれば実際のそれは 13% 減の 2,610 kcal であり、約 390 kcal 過大に見積もられることになる。無修正のままだと栄養指導が過体重を助長しかねないのである。逆に体重が基準値より著しく劣るヒトのエネルギー消費量は過小に見積もられるおそれがある。

基礎代謝の体重当たり基準値はあくまでも基準体重をもったいわゆる reference man を中心とした標準的ないし集団的な立場での意義が主であることを銘すべきである。

6. 日本人のエネルギー所要量について

1) 生活活動のエネルギー代謝 従来個々の生活・労働の要素作業はエネルギー代謝率 (relative metabolic rate, RMR) で示され、沼尻幸一博士らが中心となって膨大な測定成績が集成されてきた。これも前回昭和50年の所要量改定に当たり、同氏を中心として体重当たりカロリー値に換算することが考案され一応の成功をみるにいたった。長年採用されてきた RMR はその分母を基礎代謝量、分子を作業による増加代謝量とする指数であり、個人の体格差をよけした合理的指数とされている。ただし著者の私見として一般に筋力の労作の代謝量の基

礎代謝に比例するが、身体の移動を主とする労作は体重に比例するという傾向があると思われる。ともあれ RMR の分母には基礎代謝が適用されて、分子の増加代謝は体格のみに左右されるが、分母の基礎代謝は体格と年齢・性の両因子に左右されるために同一体格者でも RMR 値は若年者ほど低く見積もられ、男性は女性より低く見積もられることになる。このような点がまだ「日本人のエネルギー所要量の設定」に当たり RMR 値から体重当たりカロリー値の換算法の解決すべき問題点として残されている。

2) 日本人の1日のエネルギー所要量について 栄養学の先達たちによって測られた日本人健康人の1日の生活活動エネルギーは1日の基礎代謝量のほぼ50%であるという経験的事実と、その後労働生理方面の学者でなされた労働疲労の生理的限界、無理のない心搏数の限界、現場労働者の労作量の実態などから¹⁷⁾、成人男子の1日の望ましいエネルギー所要量標準は2,500 kcalとみなされてきた。生活と産業労働の機械化は近代人のエネルギー消費量を低下させ、それが体力の低下や肥満・成人病にもつながることが憂慮されているのは周知の事実である。そしてたんに栄養学にとどまらずスポーツ医学や予防医学など多方面の科学および研究室によって至適エネルギー消費量に関する研究は大きな life sciences 的課題としてとりあげられつつある。

7. 体構成成分 body composition とエネルギー代謝に関する私の知見と私見

エネルギー代謝ことに基礎代謝をたんに体表面積単位とするにとどまらず、古く Benedict と Talbot¹⁸⁾ が唱えた基礎代謝量が活性原形質 active protoplasmic mass という抽象的体成分に左右されるという概念を具象化し、代謝非活性の脂肪成分と代謝活性の除脂肪成分に分離測定する研究が1940年ごろからにわかに発展してきた。また組織代謝学の面で脂肪組織の代謝活性が注目されつつある。筆者らは現在以下のような仮説と資料をもとにして体脂肪組織 (fat tissue mass, FTM) と除脂肪成分 (fat free mass, lean body mass, LBM) のおのこの基礎代謝産熱量を推算しつつある (すでに成績の概要は本学会総会にも報じ、また近くその成績を本誌に投稿すべく準備中である)。

i) 水漬法 Water displace method による体容積と体重から体密度を知る。ii) FTM の密度 0.948, LBM の密度 1.097 なる文献値からそれぞれの重量を推算する。iii) 性・年齢・生活条件一定な若干の人間対象者の FTM, LBM それぞれの単位重量当たり産熱量を一定とみなしそれぞれ b , a とし、個人の基礎代謝量を B_i とおいて、 $B_i = a \times LBM_i + b \times FTM_i$ が成立すると仮定す

る。iv) B_i の連立方程式からそれぞれ a , b を決定する。

現在までに18~19歳の青年男子の a , b 値 (kcal/kg) はそれぞれ1月で29.8, 25.0, 7月で28.5, 18.7と得ている。FTM の代謝活性がきわめて高く、かつ寒冷期の産熱増加の高いことを推定した。FTM 中の代謝不活性脂肪分の重量を仮に80%とすれば脂肪組織実質分の活性は実に80 kcal/kg に垂々とする高さで推算されるのである。また約15年前長嶺・鈴木¹⁹⁾が報告した実験成績を借用して検討したところではFTMからの産熱量を除いたLBMのみからの産熱量もLBMの重量とは正比例関係を示さず、指数関係にあるもののようである。どうやら生体のエネルギー産熱はあくまで表面律かそれに準じた法則で代謝を行なっていると思われるのである。

筆者は余すところ少ない研究職の期間をこの問題の研究に当ててエネルギー代謝研究の馬鹿の一すじ道にピリオドを打つ所存である。

拙筆に当たり弄した妄言を反省し詫び上げ、拙文を採り上げていただいた関係の士に御礼を申し上げるとともに、導きいただいた恩師と研究に協力を惜しまなかった諸君に深甚の謝意を表します。

文 献

- 1) Wilson, O. : *Metabolism*, 5, 531 (1956)
- 2) Fujimoto, S. and Watanabe, T. : *Acta Med. Nagasaki*, 10, 1 (1965)
- 3) 佐々木隆 : 体質医学研報告, 4, 439 (1954)
- 4) 大柴 進 : 日生理誌, 20, 1004 (1958)
- 5) 堀米孝尚 : 弘前医学, 20, 277 (1968)
- 6) Nakamura, M., Usutani, S., Horimai, T. and Sugawara, K. : *Tohoku J. Exp. Med.*, 99, 171 (1969)
- 7) 渡辺敏一 : 基礎環境衛生学, p.142 (1969), 朝倉書店 (東京)
- 8) 吉田啓峻 : 日衛誌, 26, 505 (1972)
- 9) Chen Cherng Hsyoun : *Jpn. J. Hyg.*, 31, 404 (1976)
- 10) 桑野紘一, 山口洋一, 吉田啓峻, 平田文夫, 中村正, 菅原和夫, 榎本六良 : 日衛誌, 26, 513 (1972)
- 11) Tsuchimoto, M. : *Jpn. J. Hyg.*, 31, 417 (1976)
- 12) 桑野紘一 : 日衛誌, 33, 638 (1978)
- 13) 桑野紘一, 野原 博, 中村 正, 菅原和夫, 榎本六良, 菅原正志, 吉田啓峻, 川添達雄, 堀 清記, 飯塚平吉郎 : 日衛誌, 35, 799 (1980)
- 14) 中村 正, 堀 清記, 菅原和夫, 榎本六良, 飯塚平吉郎, 菅原正志, 野原 博, 桑野紘一 : 日生理誌, 17(2), 78 (1980)
- 15) Rubner, M. : *Z. Biol.*, 30, 73 (1894)
- 16) 中村 正 : 栄養学雑誌, 33, 53 (1980)
- 17) 沼尻幸吉 : 労働科学, 36, 411 (1960)
- 18) Benedict, F.G. and Talbot, F.B. : *Carnegie Inst. Bull.*, 201 (1914)
- 19) Nagamine, S. and Suzuki, S. : *Hum. Biol.*, 36, 8 (1964)

(昭和55年9月17日受理)