

複数の3軸加速度センサを用いた Non-Exercise Activity Thermogenesis を含む 身体活動のモデル化

中尾京子[†] 梅田智広^{††} 高田雅美^{†††} 城和貴^{†††}

日常生活における運動強度の低い身体活動 (NEAT) による代謝は、人の総エネルギー消費量の 20~30% を占め、個人差も大きい。そこで、運動だけでなく、NEAT を含むあらゆる身体活動のエネルギー消費量を推定するモデル化を行う。エネルギー消費量は体重に比例するため、体の中で最も比重の大きい胴体のエネルギー消費に注目する。胴体の動きをより正確に捉えるため、両胸椎、腰椎の3点の3軸加速度データを用いる。胴体の3軸加速度から得られた運動量、運動エネルギー、力積、仕事量から、NEAT を含む身体活動によるエネルギー消費のモデルの提案を行う。

キーワード：エネルギー消費，3軸加速度センサ，NEAT

Modeling of physical activity including Non-Exercise Activity Thermogenesis using plural triaxial accelerometers

KYOKO NAKAO[†] TOMOHIRO UMEDA^{††}
MASAMI TAKATA^{†††} KAZUKI JO^{†††}

The metabolism by physical activity of low exercise intensity in daily life (Non-Exercise Activity Thermogenesis: NEAT), account for 20-30% of total energy expenditure of the people, its individual difference is large. Therefore, we propose the modeling for estimating energy expenditure of any physical activities including not only exercise but also NEAT. Energy expenditure is in proportion to body weight. Accordingly we model by limiting the energy expenditure of the body having a large specific gravity in the whole body. To capture more accurate movement of the body, we use three-axis acceleration data of the three points, right thoracic and left thoracic and lumbar. We propose a model of energy expenditure by physical activity including NEAT from momentum, kinetic energy, impulse, and work.

Keywords: energy expenditure, triaxial accelerometers, NEAT

1. はじめに

近年、交通機関の発達や作業の自動化に伴い、人々の運動する機会が減少している。肥満やメタボリックシンドロームを要因とする三大生活習慣病の癌、心疾患、脳疾患は、日本人の死亡者数の約6割を占めている[1]。そこで、メタボリックシンドロームや生活習慣病の予防のために、適正体重の維持を目標として、個人が日常生活の中での適度な運動を実践するように啓発する取り組みが厚生労働省によって進められている[2][3]。

一日当たりの総エネルギー消費量 (Total Energy Expenditure : TEE) は、基礎代謝量、食事誘発性熱産生、運動による代謝、運動以外の身体活動(Non-Exercise Activity Thermogenesis: NEAT) による代謝の4つの成分から構成さ

れる[4]。TEEの20~30%を占めるNEATによる代謝は、家事、買い物・通勤、余暇活動、生活の中における運動強度の低い活動による代謝である[5]。運動習慣がある人でも、運動による代謝量よりもNEATによる代謝量の方が大きい。そのため、NEATはTEEの個人差に大きく左右していると考えられている。そのため、NEATによる代謝量の推定が望まれている。

既存のエネルギー消費量の測定法として、加速度センサを用いた推定方法がある。一般に、加速度センサを用いた推定方法では、単一の3軸加速度データからユーザの動作推定を行い、エネルギー消費量を推定する[6][7]。しかしながら、ユーザの動作推定からエネルギー消費量を算出する方法では、エネルギー消費量を算出できる対象の行動をあらかじめ定めなければならない。NEATには様々な動作、活動が含まれるため、NEATを含むあらゆる活動のTEEを推定することはできない。さらに、単一の3軸加速度センサでは、センサ自体が軸となって回転する場合の動きが、3軸加速度データに反映されない。

そこで本稿では、複数の3軸加速度センサを用いて

[†] 奈良女子大学大学院人間文化研究科
Graduate School of Humanities and Sciences, Nara Women's University
^{††} 奈良女子大学社会連携センター
^{†††} 奈良女子大学社会連携センター
Social Collaboration Center, Nara Women's University
^{†††} 奈良女子大学大学院自然科学系情報科学領域
Information Science Field, Natural Science Group, Institute of Nara Women's University

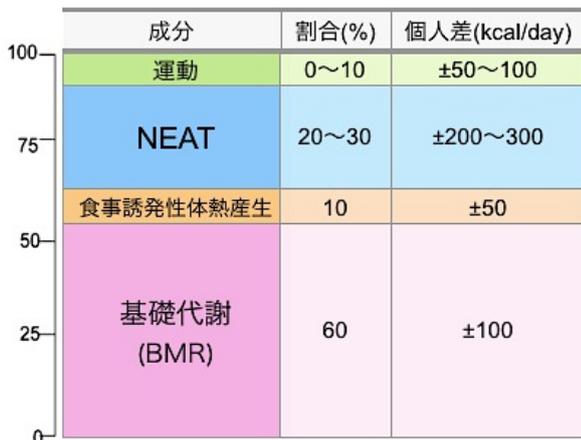


図 1 TEE の構成成分の割合と個人差

NEAT を含むあらゆる身体活動によるエネルギー消費量を推定するモデルの構築を目指す。エネルギー消費量は体重に比例するため、最も比重の大きい胴体のエネルギー消費量に注目する。4 章で運動量のモデルと運動エネルギーのモデルを構築する。5 章では、4 章で構築したモデルを用いて身体活動のモデルを提案する。6 章にて提案モデルの評価を行い、最後に 7 章で結論を述べる。

2. Non-Exercise Activity Thermogenesis

2.1 Total Energy Expenditure

人間は、食物から摂取したエネルギーを様々な活動によって消費している。エネルギー消費の要因とされる活動は、基礎代謝、食事誘発性熱産生、運動による代謝、運動以外の身体活動 (Non-Exercise Activity Thermogenesis: NEAT) による代謝の 4 つの成分に分類される [5]。図 1 は、1 日当たりの総エネルギー消費量 (Total Energy Expenditure: TEE) の構成要素の標準的な割合とその個人差である。図 1 の値は、体重 60kg 程度の標準的な日本人の体格をもとに試算したものである。基礎代謝 (Basal Metabolic Rate : BMR) は、TEE の約 60% を占め、呼吸や体温調整等の生命維持活動のために消費される必要最小限のエネルギー消費である。つまり、心身ともに安静な状態でも BMR によってエネルギーは消費される。

また、運動による代謝は、積極的に運動を習慣に取り入れている人でも、TEE の約 10% に過ぎない。運動による代謝の個人差は TEE の成分の中で小さい。このように、ほとんどの日本人に運動習慣がないにも関わらず、運動習慣のある人と運動習慣のない人との運動による代謝の個人差が小さいことがわかる。食事誘発性熱産生は、食物の摂取後、体内に吸収された栄養素が分解される際に発生する体熱である。食事誘発性熱産生は TEE の約 10% だけで、絶対量が小さく、個人差も ±50 (kcal/日) と小さい。

NEAT とは、比較的運動強度の低い活動を中心とした様々な身体活動である。例えば、座位や立位を含む姿勢の

表 1 生活スタイルと PAL

生活様式	PAL
重労働	>2.0
長時間立つ職業 (例：接客業や主婦業)	1.8~1.9
日常動作ありの座業	1.6~1.7
日常動作なしの座業	1.4~1.5
寝たきり または 座りっぱなし	1.2

表 2 低所得国における性別と作業強度別の PAL

	作業強度		
	軽度	適度	重度
女性	1.55	1.64	1.82
男性	1.55	1.78	2.10

保持、掃除・洗濯を含む家事、買い物・通勤などにおける歩行、庭仕事などの余暇活動や、工作中における荷物の運搬などが含まれる。そのため、NEAT の大きさは、個人のライフスタイルによって異なる。NEAT によるエネルギー消費は TEE の 20~30% で割合が大きく、NEAT の個人差は ±200~300(kcal/日) で TEE の中で個人差が最も大きい。

2.2 NEAT の重要性

個人の活動度を測る基準に、身体活動レベル (Physical Activity Level : PAL = TEE ÷ BMR) という指標がある。欧米や日本における PAL は 1.75 程度が標準の値である [4]。運動習慣のない人々を中心とした集団において PAL を測定すると、個人差が大きいことがある [4]。運動習慣のない人々に個人差が発生する原因は、NEAT によるものだと言われている。NEAT が個人の PAL に大きく影響を及ぼしているということは、2002 年 Mayo Clinic の Levine によって解明されている [5]。表 1 に、生活様式と PAL の関係を示す。表 1 より、重労働な職業は、ねたきりでの生活よりも PAL がほぼ 2 倍の値となる。また、日常動作の有無だけでも、PAL 値に 0.2 の差が生じている。例えば、基礎代謝量が 1400 (kcal/日) の 2 人において 0.2 の PAL 値の差が生じる場合、2 人の TEE には 280(kcal/日) の差が生じる。図 1 より、運動によるエネルギー消費は、最大でも基礎代謝の 10% である。2 人のうち PAL 値の少ない人が運動量を増やした場合でも、運動によるエネルギー消費は 140(kcal/日) であるため、日常の動作によるエネルギー消費に比べると小さい。また、表 2 に、低所得国における性別と作業強度別の PAL 値を示す。表 2 より、PAL 値は作業強度に比例して男女共に大きくなる。このように、低所得国において職業の作業レベルによっても PAL の値が変化することがわかる。そのため、日常の動作や仕事における身体活動が重要とされている。そこで、厚生労働省でも、日本人の運動不足解消のために、NEAT を増やす普及啓発がされてい

る[3].

3. 関連研究

加速度データを用いてエネルギー消費量を推定する研究として、ユーザの状況を推定し、METS エネルギー換算法によって推定するものがある。METS エネルギー換算法とは、アメリカスポーツ医学会により提案されたエネルギー消費量の推定方法で、以下の式によって算出することができる[9].

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費量(kcal)} \\ &= 1.05 \times \text{運動強度(METS)} \\ &\quad \times \text{運動時間(hour)} \times \text{体重(kg)} \quad (3.1) \end{aligned}$$

METS (Metabolic equivalent: メッツ) とは運動強度を意味し、安静時に消費する酸素量である $3.5(\text{ml/kg/min})$ を 1.0 メッツとして、活動時に安静時の酸素消費量の何倍にあたるかを表す指標である[10][11]. オムロンヘルスケア (株) の大島らは、単一の 3 軸加速度センサのデータを用いている[7]. 独自のアルゴリズムを用いて 12 種類の行動に分類し、METS エネルギー換算法によって、エネルギー消費量を算出している。メッツは、性別や年齢によらず、運動の種類のみによってその値が決まる。ただし、ユーザの行動状況から METS エネルギー換算法を用いてエネルギー消費量を算出する方法は、対象の行動をあらかじめ定めている。そのため、NEAT を含むあらゆる活動の TEE を推定することはできない。また、(株)タニタは、単一の 3 軸加速度センサと、年齢、性別、体重、除脂肪量等をもとに、エネルギー消費推定のモデル式を提案している[8]. しかしながら、(株)タニタの提案手法では、3 軸加速度センサを 1 つしか搭載していないため、センサ自体が軸となって回転する場合の動きが、3 軸加速度データに反映されない。

4. NEAT を含む身体活動の運動量と運動エネルギーのモデル化

4.1 定義

NEAT を含む身体活動によるエネルギー消費量のモデルの定義について述べる。本稿で提案するモデルには 3 軸加速度データを用いる。3 軸加速度センサは、センサ自体を軸に回転する場合、回転の動きを捉えることができない。そこで 3 軸を補うため、3 軸加速度センサを 3 つ用いる。

また、エネルギー消費量は体重に比例する。そこで、人間の体の部位で最も比重の大きい胴体に着目し、胴体におけるモデル化を行う。センサの装着位置は、図 2 のように、両胸に 1 点ずつと腰に 1 点と仮定する。胴体の右胸に点 A、左胸に点 B、腰に点 C をおくとする。

物理学において、物体の運動を表すものとして、運動量と運動エネルギーの 2 つがある。運動量 \vec{p} は、力 F を時間積分したものであり、運動エネルギー E は、力 F を空間座標で積分したものである。運動量 \vec{p} は、物体の質量 m とその運動

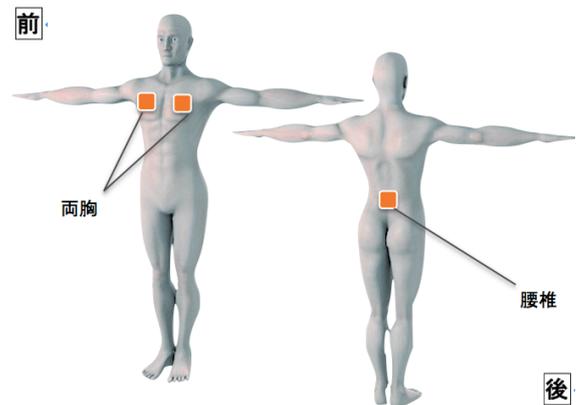


図 2 提案モデルにおける 3 軸加速度センサの装着位置

速度 \vec{v} の積と定義される。

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (4.1)$$

また、ニュートンの運動第 2 法則より、運動量 p と力 F の関係は、

$$\frac{dp}{dt} = F \quad (4.2)$$

である。さらに、運動量の時間による変化量は力積と呼ばれる。物体の質量 m が時間 t_0 から時間 t_1 まで速度が v_{t_0} から v_{t_1} に変化したとき、力積 I は、以下の式で与えられる。

$$I = mv_{t_1} - mv_{t_0} = \int_{t_0}^{t_1} F dt \quad (4.3)$$

一方、運動エネルギー E は、物体の質量 m とその運動速度 v の 2 乗に比例する。

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (4.4)$$

運動エネルギーの時間変化での増加分は仕事とよばれる。物体の質量 m が時間 t_0 から時間 t_1 まで速度が v_{t_0} から v_{t_1} に変化したとき、仕事 W は、以下の式で与えられる。

$$W = \frac{1}{2}mv_{t_1}^2 - \frac{1}{2}mv_{t_0}^2 \quad (4.5)$$

胴体上の点 A, B, C における時間 t_0 から t_1 までの 3 軸加速度 $\vec{a}_A, \vec{a}_B, \vec{a}_C$ はそれぞれ

$$\begin{aligned} \vec{a}_A &= a_{AX}\vec{x} + a_{AY}\vec{y} + a_{AZ}\vec{z} \\ \vec{a}_B &= a_{BX}\vec{x} + a_{BY}\vec{y} + a_{BZ}\vec{z} \\ \vec{a}_C &= a_{CX}\vec{x} + a_{CY}\vec{y} + a_{CZ}\vec{z} \end{aligned} \quad (4.6)$$

である。

ただし、 a_{AX}, a_{AY}, a_{AZ} は、それぞれ点 A における $\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$ 方向の加速度である。点 B, 点 C についても同様である。

以上の式(4.1)から式(4.6)を用いて、まず NEAT を含む身体活動の運動量と運動エネルギーのモデルを構築する。胴体を剛体と考える場合と実際の胴体の動きのように変形する場合に分ける。また、3 点の 3 軸加速度値がそれぞれ異なる値になることは物理的に考えにくい。そのため、さらに 3 点の 3 軸加速度が同じ値の場合と、両胸椎の 3 軸加速

度値が同じ値になるかの2つの場合についてモデル化を行う。以降、胴体の質量は $m(kg)$ 、加速度を $a(m/s^2)$ とする。

4.2 NEAT を含む身体活動の運動量のモデル

(1) 胴体を剛体として考える場合

胴体を剛体と考えた場合、胴体の運動量は3点の重心の運動量と等しい。したがって、胴体の重心 G での運動として考えることができる。時間 t_0 から t_1 までの期間を Δt とおくと、胴体が活動したときの運動量 P は、式(4.1)より以下の式で与えられる。

$$P = m \cdot \overline{a_G} \cdot \Delta t = P_G \quad (4.7)$$

またある期間 T_0 からその後の期間 T_1 までの力積 I は、

$$I = m \cdot \overline{a_G} \cdot (T_1 - T_0) = I_G \quad (4.8)$$

ある期間 T_0 からその後の期間 T_1 までを ΔT とおくと、

$$\begin{aligned} I &= m \cdot \overline{a_G} \cdot (T_1 - T_0) \\ &= m \cdot \overline{a_G} \cdot \Delta T \end{aligned} \quad (4.9)$$

(2) 胴体に変形する場合

(i) 3点の3軸加速度が同じ値の場合

3軸加速度が同じ値の場合、

$$\overline{a_A} = \overline{a_B} = \overline{a_C} \quad (4.10)$$

よって、活動した期間を Δt とおくと、胴体が活動したときの運動量 P は、

$$\begin{aligned} P &= m \cdot \overline{a_A} \cdot \Delta t \\ &= m \cdot \overline{a_B} \cdot \Delta t \\ &= m \cdot \overline{a_C} \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (4.11)$$

またある期間 T_0 からその後の期間 T_1 までを ΔT とおくと力積 I は、

$$\begin{aligned} I &= m \cdot \overline{a_A} \cdot \Delta T \\ &= m \cdot \overline{a_B} \cdot \Delta T \\ &= m \cdot \overline{a_C} \cdot \Delta T \end{aligned} \quad (4.12)$$

である。また、

$$\begin{aligned} \overline{a_A} &= \frac{\overline{a_A} + \overline{a_B} + \overline{a_C}}{3} \\ &= \overline{a_G} \end{aligned} \quad (4.13)$$

と書けるため、

$$\begin{aligned} P &= m \overline{a_G} \Delta t \\ &= P_G \end{aligned} \quad (4.14)$$

$$\begin{aligned} I &= m \overline{a_G} \Delta T \\ &= I_G \end{aligned} \quad (4.15)$$

したがって、3点が同じ加速度の場合は、剛体と考える場合と同じ動きである。

(ii) 3点のうち2点と同じ加速度の場合

点 C を基点に点 A 、 B が同じ加速度で作用する場合である。個人の性別や筋肉量、脂肪量によって部位での運動量が異なるため、右胸、左胸、腰それぞれにかかる力の割合を、 R_A 、 R_B 、 R_C とおく。ただし、

$$R_A + R_B + R_C = 1 \quad (4.16)$$

である。このとき、点 C を基点とした点 A 、点 B における運動量を P_{CA} 、 P_{CB} 、点 C における運動量を P_C とおくと、

胴体の運動量 P は、

$$P = R_A P_{CA} + R_B P_{CB} + R_C P_C \quad (4.17)$$

時間 t_0 から t_1 までの期間を Δt とおくと、胴体が活動したときの P_{CA} は、

$$P_{CA} = m \cdot (\overline{a_A} - \overline{a_C}) \cdot \Delta t \quad (4.18)$$

同様に、 P_{CB} は、

$$P_{CB} = m \cdot (\overline{a_B} - \overline{a_C}) \cdot \Delta t \quad (4.19)$$

また、 P_C は、以下の式で表される。

$$P_C = m \cdot \overline{a_C} \cdot \Delta t \quad (4.20)$$

点 C を基点とした点 A 、点 B における運動量を I_{CA} 、 I_{CB} 、点 C における力積を I_C とおくと、胴体の力積 I は、

$$I = R_A I_{CA} + R_B I_{CB} + R_C I_C \quad (4.21)$$

このとき、ある期間 T_0 からその後の期間 T_1 までを ΔT とおくと、点 C を基点とした点 A における力積 I_{CA} は、

$$I_{CA} = m \cdot (\overline{a_A} - \overline{a_C}) \cdot \Delta T \quad (4.22)$$

同様に、点 C を基点とした点 B の力積 I_{CB} は

$$I_{CB} = m \cdot (\overline{a_B} - \overline{a_C}) \cdot \Delta T \quad (4.23)$$

また、点 C の力積 I_C は、以下の式で表される。

$$I_C = m \cdot \overline{a_C} \cdot \Delta T \quad (4.24)$$

4.3 NEAT を含む身体活動の運動エネルギーのモデル

(1) 胴体を剛体として考える場合

4.2節(1)と同様に、胴体を剛体と考えた場合、胴体の運動量は3点の重心の運動量と等しい。胴体 $m(kg)$ の物体がある期間 Δt の間、重心における加速度 $\overline{a_G}$ で動いたとき、運動エネルギーは、式(4.4)より、

$$E = \frac{1}{2} m |\overline{a_G}|^2 \Delta t^2 = E_G \quad (4.25)$$

またある期間 T_0 からその後の期間 T_1 までの仕事量は、

$$W = \frac{1}{2} m |\overline{a_G}|^2 (T_1^2 - T_0^2) = W_G \quad (4.26)$$

(2) 胴体に変形する場合

(i) 3点の3軸加速度が同じ値の場合

4.2節(2))と同様、活動した期間を Δt とおくと、胴体が活動したときの運動エネルギー E は、

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} m |\overline{a_A}|^2 \Delta t^2 \\ &= \frac{1}{2} m |\overline{a_B}|^2 \Delta t^2 \\ &= \frac{1}{2} m |\overline{a_G}|^2 \Delta t^2 \end{aligned} \quad (4.27)$$

ある期間 T_0 から期間 T_1 まで胴体が活動した仕事量 W は、

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} m |\overline{a_A}|^2 \cdot T_1^2 - \frac{1}{2} m |\overline{a_A}|^2 \cdot T_0^2 \\ &= \frac{1}{2} m |\overline{a_B}|^2 \cdot T_1^2 - \frac{1}{2} m |\overline{a_B}|^2 \cdot T_0^2 \\ &= \frac{1}{2} m |\overline{a_C}|^2 \cdot T_1^2 - \frac{1}{2} m |\overline{a_C}|^2 \cdot T_0^2 \end{aligned} \quad (4.28)$$

である。また、このとき式(4.26)より

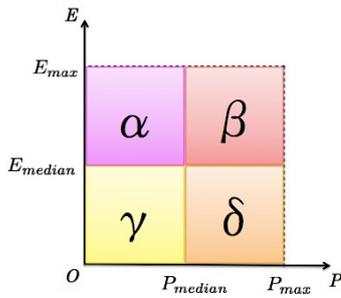


図3 PA1(P, E)

$$W = \frac{1}{2}m|\bar{a}_A|^2 \cdot T_1^2 - \frac{1}{2}m|\bar{a}_A|^2 \cdot T_0^2$$

$$= W_G \quad (4.29)$$

したがって、3点が同じ加速度の場合は、剛体と考える場合と同じ動きである。

(ii) 3点のうち2点の3軸加速度が同じ値の場合

4.2節(2)(ii)と同様、右胸、左胸、腰それぞれにかかる力の割合を、 R_A, R_B, R_C とおく。ただし、式(4.16)を満たす。このとき、点Cを基点とした点A, 点Bにおける運動エネルギーを E_{CA}, E_{CB} , 点Cにおける運動エネルギーを E_C とおくと、胴体の運動エネルギー E は、

$$E = R_A E_{CA} + R_B E_{CB} + R_C E_C \quad (4.30)$$

時間 t_0 から t_1 までの期間を Δt とおくと、胴体が活動したときの点Cを基点とした点Aにおける運動エネルギー E_{CA} は、

$$E_{CA} = \frac{1}{2}m|\bar{a}_A - \bar{a}_C|^2 \Delta t^2 \quad (4.31)$$

同様に、 E_{CB} は、

$$E_{CB} = \frac{1}{2}m|\bar{a}_B - \bar{a}_C|^2 \Delta t^2. \quad (4.32)$$

また、 E_C は、以下の式で表される。

$$E_C = \frac{1}{2}m|\bar{a}_C|^2 \Delta t^2. \quad (4.33)$$

このとき、胴体の活動の仕事量 W は、点Cを基点とした点A, 点Bにおける仕事を W_{CA}, W_{CB} とおくと、

$$W = R_A W_{CA} + R_B W_{CB} + R_C W_C \quad (4.34)$$

このとき、点Cを基点とした点Aにおける期間 T_0 から T_1 までの仕事 W_{CA} は、

$$W_{CA} = \frac{1}{2}m \cdot |\bar{a}_A - \bar{a}_C|^2 (T_1^2 - T_0^2) \quad (4.35)$$

である。同様に、 W_{CB} は、

$$W_{CB} = \frac{1}{2}m \cdot |\bar{a}_B - \bar{a}_C|^2 (T_1^2 - T_0^2) \quad (4.36)$$

また、 W_C は、以下の式である。

$$W_C = \frac{1}{2}m \cdot |\bar{a}_C|^2 (T_1^2 - T_0^2) \quad (4.37)$$

5. NEATを含む身体活動モデルの提案

5.1 NEATを含む身体活動モデルの提案

運動量は力を時間で積分したものである。よって、運動

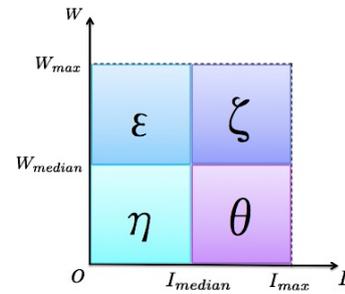


図4 PA2(I, W)

量のモデルは身体活動の時間的指標に利用できると考えられる。また、運動エネルギーは、力を空間座標で積分したものである。そのため、運動エネルギーのモデルは、身体活動の空間的指標に利用できると考えられる。そこで、胴体の運動量 P と運動エネルギー E をそれぞれ2次元座標の軸としたグラフを $PA1(P, E)$ とする。図3は $PA1(P, E)$ を示す。図3中の P_{max} は P の最大値、 P_{median} は P の中央値、 E_{max} は E の最大値、 E_{median} は E の中央値を意味する。 $PA(P, E)$ は、4つの領域に分類できる。 $0 < P \leq P_{median}$ かつ $E_{median} < E \leq E_{max}$ の領域を α 、 $P_{median} < P \leq P_{max}$ かつ $E_{median} < E \leq E_{max}$ の領域を β 、 $0 < P \leq P_{median}$ かつ $0 < E \leq E_{median}$ の領域を γ 、 $P_{median} < P \leq P_{max}$ かつ $0 < E \leq E_{median}$ の領域を δ とする。たとえば、 α の領域の身体活動は運動量が小さく運動エネルギーが大きく、 β は運動量が大きく運動エネルギーも大きい身体活動である。とわかる。

力積は運動量の変化量であり、仕事量は、運動エネルギーの変化量である。そこで、胴体の活動による力積 I と仕事量 W をそれぞれ2次元座標の軸としたグラフを $PA2(I, W)$ とする。図4は $PA2(I, W)$ を示す。 $PA1(P, E)$ と同様に、図4中の I_{max} は I の最大値、 I_{median} は I の中央値、 W_{max} は W の最大値、 W_{median} は W の中央値を意味する。 $PA2(P, E)$ は、4つの領域に分類できる。 $0 < I \leq I_{median}$ かつ $W_{median} < W \leq W_{max}$ の領域を ϵ 、 $I_{median} < I \leq I_{max}$ かつ $W_{median} < W \leq W_{max}$ の領域を ζ 、 $0 < I \leq I_{median}$ かつ $0 < W \leq W_{median}$ の領域を η 、 $I_{median} < I \leq I_{max}$ かつ $0 < W \leq W_{median}$ の領域を θ とする。たとえば、 ϵ の身体活動は運動量の変化が小さく運動エネルギーの増加が大きいとわかる。

$PA1(P, E)$ も $PA2(I, W)$ も、それぞれの最大値、中央値は、母集団によって異なる。例えば、PALの低い集団と、PALの高い集団の最大値、中央値を比較すると、PAL値の高い集団の方が P, E も I, W も高くなると予想できる。さらに、母集団の違いだけでなく、 P, I の単位は $(kg \cdot m/s)$ 、 E, W の単位は $(kg \cdot m^2 / s^2)$ であるため活動時間によっても、2つのグラフの値は異なると考えられる。

そこで、2つグラフ $PA1(P, E)$ と $PA2(I, W)$ を身体活動のモデルとして提案する。提案モデルの精度を上げるためには、ユーザが属する集団と必要とする時間を適切に設定する必要がある。

5.2 考察

NEAT は個人差が大きいため、提案モデルにおいても身体活動の個人差に注目して考察を行う。

まず、母集団ごとに提案モデルを考察し、次に、生活スタイルが身体活動量に及ぼす影響について考察する。考察する母集団としては、性・年齢階級別に分類した集団と、体重と BMI の判断基準を用いて分類した集団の2種類の集団について考える。この場合、同じ単位時間における身体活動量を算出したとして考察を行う。BMI とは、肥満度 (Body Mass Index: $BMI = \text{体重}(kg) \div \text{身長}(m) \div \text{身長}(m)$) を意味し、肥満の判定に用いられる。日本肥満学会が決めた判定基準では、BMI の値は、統計的にもっとも病気にかかりにくい 22 を標準とし、25 以上を肥満として、肥満度を 4 つの段階に分けている。BMI の判定基準を表 3 に示す。

性・年齢階級別の母集団における身体活動量モデルについて考察する。例えば、60 代男性を母集団とした場合、運動習慣があり、さらに日常生活における身体活動がある人は、運動量も運動エネルギーも大きいと考えられる。そのため、運動習慣があり、さらに日常生活における身体活動がある人は $PA1(P, E)$ の領域 β に入ると予想される。一方、寝たきり生活の人は、 $PA1(P, E)$ の領域 γ 、 $PA2(I, W)$ の領域 η に入ると予想される。よって、個人の生活様式によって、提案モデルの分布が変化すると考えられる。最も標準的な生活をおくる人の $PA1(P, E)$ 、 $PA2(I, W)$ の分布は、性・年齢階級別の身体活動量の適正位置である。例えば、性・年齢階級別の P と E の適正位置よりも小さい場合、身体活動量が少ないと言える。このように、性・年齢階級別の身体活動量の適正範囲を見出すことができる。

次に、体重と BMI の基準別の母集団における身体活動量モデルについて考察する。運動量 P は体重に比例するが、体重と BMI が同程度の集団を対象にするため、個人の身体活動量の差があまりないと予想できる。また、同程度の体重で異なる BMI のレベルの集団に対して、 $PA1(P, E)$ を算出すると、BMI が小さい集団は BMI が大きい集団よりも PAL が大きいと考えられる。そのため、BMI が小さい集団は、BMI が大きい集団よりも $PA1(P, E)$ が大きくなると考えられる。このように、体重と BMI の基準別の母集団では、集団の身体活動量のおおよその範囲が得られると考えられる。

最後に、時間が身体活動量に及ぼす影響について考察を行う。例えば、ほとんどの人々は、平日と休日で生活スタイルが異なる。そこで、平日の身体活動量と休日の身体活動量を提案モデルから算出することにより、曜日に対する個人差を見出すことができる。このような考察により、提案モデルを身体活動の個人の指標として活用することに期待できる。

表 3 肥満度 (BMI) の判定基準

	低 体重	普通 体重	肥満 (1 度)	肥満 (2 度)	肥満 (3 度)	肥満 (4 度)
BMI	<18.5	18.5 ≤ <25	25 ≤ <30	30 ≤ <35	35 ≤ <40	40 ≤

6. おわりに

本稿では、NEAT を含む身体活動のエネルギー消費のモデル化を行った。運動量と運動エネルギーを用いた身体活動モデルと、力積と仕事量を用いた身体活動の力の変化の指標となるモデルの 2 つを提案した。考察を行った結果、性・年齢階級別の母集団では、提案モデルによって、性・年齢階級ごとの身体活動量の適正範囲が得られる。また、体重と BMI の基準別の母集団では、提案モデルを用いることによって、体重と BMI の基準別の身体活動量のおおよその範囲が得られるものと思われる。このように、母集団を適切に選ぶことができれば、本稿の提案モデルは身体活動量の指標として有効性があるものと考えられる。今後、モデルの評価が必要である。

参考文献

- 厚生労働省, “性別にみた死因順位(第 10 位まで)別 死亡数・死亡率(人口 10 万対)・構成割合”, <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/suii10/dl/s03.pdf>, (参照 2014-01-27).
- 厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会, 次期国民健康づくり運動プラン策定専門委員会, “健康日本 21(第二次)の推薦に関する参考資料”, 厚生労働省, http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/dl/kenkounippon21_02.pdf, (参照 2014-01-27).
- 運動基準・運動指針の改訂に関する検討会, “健康づくりのための身体活動基準 2013”, 厚生労働省, <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xple-att/2r9852000002xpqt.pdf>, (参照 2014-01-27).
- 田中茂穂, “間接熱量測定法による一日のエネルギー消費量の評価”, 体力科学 (2006) 55, pp. 527-532, 2006.
- James A. Levine, “Non-exercise activity thermogenesis (NEAT)”, Best Practice & Research Clinical Endocrinology and Metabolism, vol.16, No.4, pp.679-702, 2002.
- 笠 七菜実, 川原圭博, 小林亜令, 浅見 徹, “非運動性活動を考慮した加速度センサによる消費エネルギー推定手法”, 2008-UBI-18 (11), pp.67-22, 2008.
- オムロンヘルスケア株式会社, 大島秀武, 川口加織, “活動量計”, 特開 2009-28312, 特許第 4992595 号, 2009-02-12.
- 株式会社 タニタ, 西林賢二, 塩川隆, “運動消費エネルギー推定装置”, 特開 2008-100095, 特許第 4694555 号, 2008-05-01.
- Konlakorn Wongpatikaseree, Azman Osman Lim, Yasuo Tan, “A Context-aware Information in Smart Home for Health Recommendation Service based on CARE Architecture”, Proceeding of the 2nd Asian Conference Information System 2013 (ACIS 2013), pp.501-508, 2013.
- M Jetté, K Sidney, G Blümchen, “Metabolic Equivalents (METs) in Exercise Testing, Exercise Prescription, Evaluation of Functional Capacity”, Clinical Cardiology, 13, pp.555-565, 1990.
- 中江悟司, 田中茂穂, 宮地元彦, “改訂版『身体活動のメッツ (METs) 表』”, 国立健康・栄養研究所, <http://www0.nih.go.jp/eiken/programs/2011mets.pdf>, (参照 2014-01-27).