

2021年8月13日

報道関係者各位

国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所  
国立大学法人筑波大学  
京都先端科学大学

## 1日に必要なエネルギーは加齢に伴いダイナミックに変動する ～29カ国6600人超が対象の国際共同調査で判明～

ヒトの成長や生命維持、身体活動には食事からのエネルギーが必要です。これまでの大規模研究では、生命活動の維持に必要なエネルギー量（基礎代謝）のみが測定されてきました。基礎代謝は、私たちが毎日消費するエネルギーの50～70%に過ぎず、食物の消化吸収や、家事・散歩・運動などといった身体活動に必要なエネルギーは考慮されていません。そのため、基礎代謝以外に必要なエネルギーも含めた代謝（日常生活環境下における総エネルギー消費量）を明らかにすることが、ヒトの食事と身体活動について考える上で必要です。1日当たりの総エネルギー消費量については、二重標識水法という技術で測定が可能ですが、研究の規模や範囲が限られていました。

そこで、国際的な科学者チームは、世界29カ国の生後8日から95歳までの6,600人以上の二重標識水法のデータベースを構築し、ヒトの生涯にわたる1日当たりの総エネルギー消費量について分析しました。総エネルギー消費量の絶対値としては、10代後半で最も高く、その後わずかに低下したのち、60代までは一定の値を示していました。体格調整した総エネルギー消費量は、乳児が最も高い代謝率を有していました。総エネルギー消費量は生後12カ月の間に急増し、1歳の誕生日には、大人に比べて50%も速くエネルギーを消費していました。すなわち、乳児は体格から予想されるよりもはるかに多くのエネルギーを必要とし、この時期に十分に食べることができないと生存することが難しく、生存できたとしても健康的に成長する可能性が低い理由を部分的に説明している可能性があります。

中年期の代謝の減速は緩やかで、年にわずか0.7%でした。これは中年太りのことを考えると予想外の現象にみえるかもしれません。一方で90代の方は、中年の人よりも1日当たりの必要なエネルギーが26%少なくなっています。これらの結果は、ヒトの生涯における細胞・組織の代謝が加齢にともなってダイナミックに変動することを示しており、そのメカニズムを調べる研究が今後期待されます。

### 国内の研究代表者

国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所 国立健康・栄養研究所 身体活動研究部 特別研究員  
京都先端科学大学 総合研究所 アクティブヘルス支援機構 客員研究員

山田 陽介

筑波大学体育系 助教

下山 寛之

京都先端科学大学 総合研究所 アクティブヘルス支援機構 客員研究員

木村 みさか

## 研究の背景

発育発達や生殖、食物の消化吸収、身体活動といった、ヒトの生命活動に必要な不可欠なものの全てはエネルギーを必要とします。そのため、日常生活環境下における総エネルギー消費量<sup>注1)</sup>を知ることは、毎日の食事で摂取すべきエネルギーと、摂取したエネルギーを身体活動にどう使うかの両方を理解する上で重要です。しかし、これまで、1000人を超える大規模な研究は、基礎代謝<sup>注2)</sup>に関するものに限られてきました。基礎代謝は、私たちが毎日消費するエネルギーの50~70%に過ぎず、食物の消化吸収や家事・散歩・運動などといった身体活動に必要なエネルギーは考慮されていません。基礎代謝以外に必要なエネルギーも含めた1日を生きるために必要とされるすべての代謝(総エネルギー消費量、図1右)については、二重標識水法<sup>注3)</sup>という技術(図1左)で測定が可能ですが、二重標識水法は高度な分析技術が必要なため、研究の規模や範囲が限定されていました。

## 研究内容と成果

こうした背景から、2014年より世界のエネルギー代謝を専門とする研究者が協力し、二重標識水法の測定値を一つのデータベースにまとめる国際プロジェクトが始まりました。医薬基盤・健康・栄養研究所の山田陽介特別研究員、吉田司研究員、筑波大学の下山寛之助教、京都先端科学大学の木村みさか客員研究員を含む、国際的な科学者チームは、世界29カ国の生後8日から95歳までの6,600人以上の二重標識水法のデータベースを2018年12月に構築し(<https://doubly-labelled-water-database.iaea.org/home>)、ヒトの生涯にわたる総エネルギー消費量について分析してきました。

今回の論文で明らかになったことは、総エネルギー消費量の絶対値としては、10代後半で最も高く、男性で $3415 \pm 605$  kcal/日(平均 $\pm$ 標準偏差)、女性で $2480 \pm 478$  kcal/日という値を示しました(図2左)。これは基礎代謝の約1.9倍に相当していました。総エネルギー消費量は、その後わずかに低下したのち、60代までは一定の値を示していました。体格調整した総エネルギー消費量は、乳児が最も高い代謝率を有していました(図2右)。エネルギーの必要性は生後12カ月の間に急増し、1歳の誕生日においては、20歳代後半~50歳代までの大人に比べて50%も速くエネルギーを消費していました。1歳児では体重は約10kgしかないのに対して、約1000kcalものエネルギーを1日で消費します。すなわち、体格から予想されるよりも遥かに多くのエネルギーを必要とし、乳児の代謝が活発であることは、この時期に十分に食べることができないと、生き残ることが難しく、生き残ったとしても健康な成人に成長する可能性が低い理由を部分的に説明している可能性があります。

中年期の代謝の減速は緩やかで、30~50代では代謝は減らず、60代以降で年にわずか0.7%の減速がみられました。これは40~50代に観察される中年太りのことを考えると予想外の現象にみえるかもしれません。つまり、中年期にウェスト周囲径が大きくなってしまう理由については、総エネルギー消費量の減少だけでは説明がつかず、より深いメカニズムがあることが予想されます。一方で90代の方は、40~50代の人よりも1日当たりの必要なエネルギーが26%少なくなっています。高齢者における少ない総エネルギー消費量の理由は筋量の低下だけでなく、細胞・組織レベルの代謝の低下があることが示唆されました。このように本研究の結果は、ヒトの生涯における細胞・組織の代謝が加齢にともなってダイナミックに変動することを示しています。また、本研究で明らかになった各世代の総エネルギー消費量の数値は、将来における世界の食糧問題の解決法を考えるうえでも重要な数値であり、持続可能な食糧供給システムとの関係でも大切な成果を社会に提供しています。

## 今後の展開

本研究チームは現在、このデータベースを活用して、身体活動と筋量との関係や、発展途上国におけるエネルギー必要量の推定、ヒトのエネルギー代謝と気温との関係、水分摂取の必要量の推定など、さまざまな研究を遂行中です。世界において、低栄養状態と体重超過・肥満・非感染性疾患が共存する状態を、栄養障害の二重負荷といいます。二重標識水法を用いて、ヒトの総エネルギー消費量を明らかにすることは、食事摂取基準の策定の上でも最も重要な事項のひとつと考えられています。現在進行中のさまざまな研究を通じて、多様な環境に住み、幅広い活動を営む人類の食事摂取の適切な量を調べることは、低栄養児/者や、肥満児/者の割合を減少させる施策を考える上で必要不可欠なものと考えられます。

## 参考図

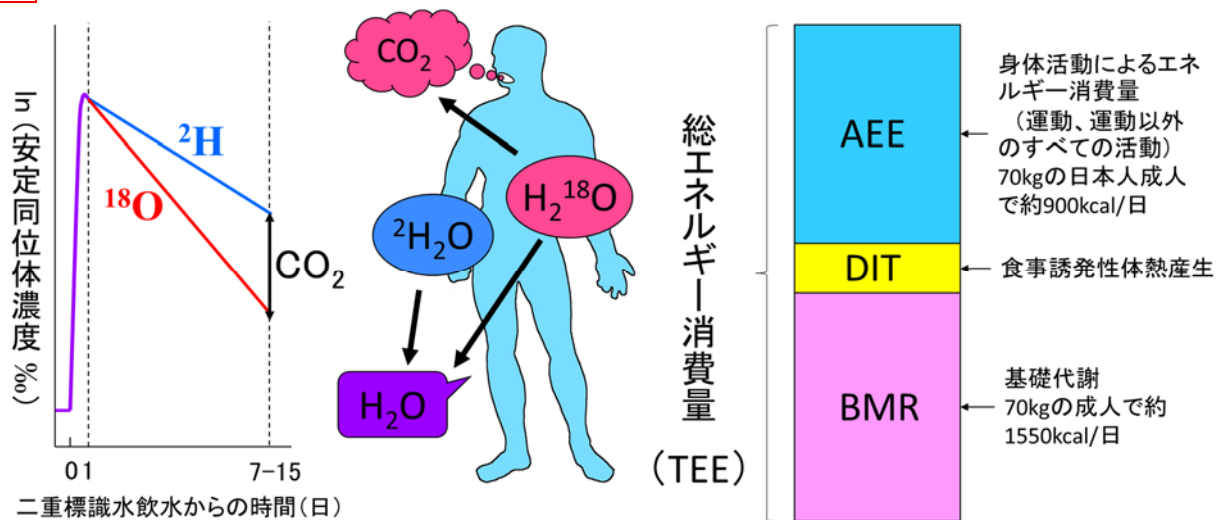


図1 本研究に用いた実験手法と結果

左) 二重標識水法の原理。天然にも微量に存在する水素と酸素の安定同位体（放射能を持たない原子）で標識された水を経口投与し、尿中における同位体の上昇率とその後の減衰率を求めることで、1日当たりの総エネルギー消費量が測定できる。右) 総エネルギー消費量は、基礎代謝、食事誘発性体熱産生、身体活動によるエネルギー消費量から構成され、二重標識水法ではその合計の値が算出される。

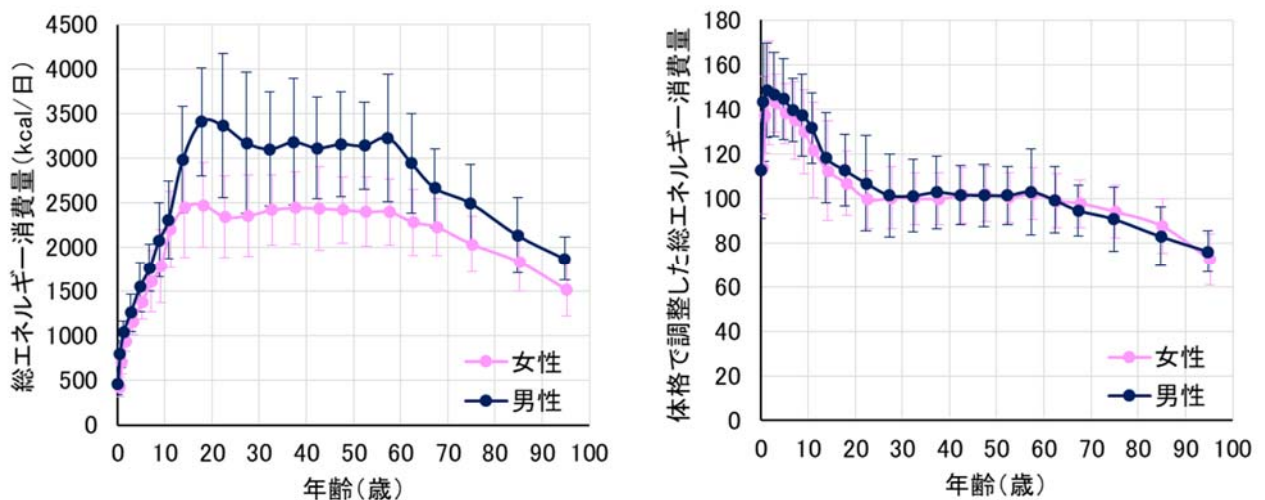


図2 本研究で得られた結果

左) 生後8日から95歳までの日常生活環境下における1日当たりの総エネルギー消費量。右) 体格で調整した1日当たりの総エネルギー消費量。

## 用語解説

### 注1) 総エネルギー消費量

1日に消費するエネルギー量（単位：kcal または MJ）。基礎代謝、食事誘発性体熱産生、身体活動によるエネルギー消費量から構成される。

### 注2) 基礎代謝

生命維持に必要なエネルギー量（単位：kcal または MJ）。安静にしているでも消費される最小のエネルギー量のこと。

### 注3) 二重標識水法

天然にも微量に存在する水素と酸素の安定同位体（放射能を持たない原子）で標識された水を経口投与し、尿中における上昇率とその後の減衰率を求めることで、1日の総エネルギー消費量を測定する方法。

## 共同研究機関

本研究は、80人以上からなる国際プロジェクトによる研究成果です。すべての研究者の氏名・所属は、<https://doubly-labelled-water-database.iaea.org/managementGroup>にて、確認することができます。特に、デューク大学（米国）、アバディーン大学（英国）、中国科学院（中国）、マーストリヒト大学（オランダ）、ロヨラ大学（米国）、ウィスコンシン大学（米国）、ベイラー医科大学（米国）、ペニンントンバイオメディカルリサーチセンター（米国）、医薬基盤・健康・栄養研究所（日本）、筑波大学（日本）、京都先端科学大学（日本）、および、国際原子力機関（IAEA）が中心となってプロジェクトが進んでいます。

## 研究資金

本プロジェクトは、米国国立科学財団（BCS-1824466）、国際原子力機関（IAEA）、大陽日酸（日本）、および、Sercon（英国）からの研究資金支援を受けて実施されました。

## 掲載論文

【題名】 Daily energy expenditure through the human life course.

（ヒトの加齢に伴う1日あたりのエネルギー消費量の変化）

【著者名】 Pontzer H\*, Yamada Y\*, Sagayama H\*, Ainslie PN, Andersen LF, Anderson LJ, Arab L, Baddou I, Bedu-Addo K, Blaak EE, Blanc S, Bonomi AG, Bouten CVC, Bovet P, Buchowski MS, Butte NF, Camps SG, Close GL, Cooper JA, Cooper R, Das SK, Dugas LR, Ekelund U, Entringer S, Forrester T, Fudge BW, Goris AH, Gurven M, Hambly C, Hamdouchi A, Hoos MB, Hu S, Joonas N, Joosen AM, Katzmarzyk P, Kempen KP, Kimura M, Kraus WE, Kushner RF, Lambert EV, Leonard WR, Lessan N, Martin C, Medin AC, Meijer EP, Morehen JC, Morton JP, Neuhouser ML, Nicklas TA, Ojiambo RM, Pietiläinen KH, Pitsiladis YP, Plange-Rhule J, Plasqui G, Prentice RL, Rabinovich RA, Racette SB, Raichlen DA, Ravussin E, Reynolds RM, Roberts SB, Schuit AJ, Sjodin AM, Stice E, Urlacher SS, Valenti G, Van Etten LM, Van Mil EA, Wells JCK, Wilson G, Wood BM, Yanovski J, Yoshida T, Zhang X, Murphy-Alford AJ, Loechl CU, Luke AH\*, Rood J\*, Schoeller DA\*, Westterterp KR\*, Wong WW\*, Speakman JR\*, IAEA DLW Database Consortium

（\*印は、本論文の共同責任著者を示している）

【掲載誌】 Science

【掲載日】 2021年8月13日

【DOI】 10.1126/science.abe5017

問合わせ先

【研究に関すること】

山田 陽介（やまだ ようすけ）

国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所 国立健康・栄養研究所 身体活動研究部 特別研究員  
京都先端科学大学 総合研究所 アクティブヘルス支援機構 客員研究員

Email: [yamaday@nibiohn.go.jp](mailto:yamaday@nibiohn.go.jp) / [yamada.yousuke@kuas.ac.jp](mailto:yamada.yousuke@kuas.ac.jp)

下山 寛之（さがやま ひろゆき）

筑波大学体育系 助教

Email: [sagayama.hiroyuki.ka@u.tsukuba.ac.jp](mailto:sagayama.hiroyuki.ka@u.tsukuba.ac.jp)