

2022年11月18日

国立研究開発法人 医薬基盤・健康・栄養研究所

学校法人 早稲田大学

学校法人 京都先端科学大学

国立大学法人筑波大学

研究成果



分野: 医学、生理学、運動栄養学

キーワード: 水代謝、水分損失、水分摂取、環境、ライフスタイル、脱水症・熱中症予防、国際共同研究

ヒトの体の水の代謝回転量を予測する式を世界で初めて発明

～23カ国 5604人を対象とした国際共同調査の結果から～

ポイント

- ◎ ヒトの生命維持、体温調節、血液循環、身体活動には、水分が常に必要です。ヒトの体にどれだけの水分が含まれているか(ストック)はかねてより分かっていたましたが、ヒトの体にどれだけの水分が入りしているか(フロー)については、意外かもしれませんが、正確に把握することは困難でした。
- ◎ 今般、国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所(大阪府茨木市 理事長 中村祐輔)(以下「NIBIOHN」という。)身体活動研究部の山田陽介室長、吉田司研究員は、早稲田大学宮地元彦教授、渡邊大輝助教、京都先端科学大学木村みさか客員研究員、筑波大学下山寛之助教、米国・英国・中国・オランダ等の研究機関の研究者と共同して、23カ国に住む生後8日の乳児から96歳の高齢者までの男女計5604名について安定同位体を用いた調査を行い、ヒトの体における1日の水分の出入り(以下「水の代謝回転」という。)を予測する式を**世界で初めて発明**しました。この研究の成果は2022年11月25日に『**Science**』誌に発表されます。
- ◎ 過去の研究により、ヒトの乳児の身体の約60%、一般男性の身体の約53%、一般女性の身体の約45%が水分で構成されていること(以下「体水分量」という。)は明らかになっていました。今回の研究により、平均的な場合、乳児で体水分量の約25%にあたる水分が、また、成人でも体水分量の約10%にあたる水分がたったの1日で体外に失われることがわかりました。ヒトは食糧を摂取せずとも最大で数週間生存できますが、水の代謝回転はこのように非常に速いことから、水分が3日補給されないだけで生存が危うくなります。
- ◎ さらに本研究から、高温・多湿な環境や高地においては水の代謝回転が速く、また、身体活動レベルの高い者やアスリート、妊産婦、筋量の多い者においても水の代謝回転が速いことが明らかとなりました。個人の年齢、体格に加えて、環境やライフスタイルなどの要因は独立して水の代謝回転量に影響を及ぼしており、発展途上国に住むヒトの水の代謝回転は他の因子で調整しても速いことなどが、今回、ビックデータを用いることで明らかになりました。
- ◎ 本研究の成果により、多様な環境下での脱水や熱中症の予防、さらには脱水に伴う腎臓や心臓の障害などの予防のために必要な水分摂取量の目安を明らかにできることが期待されます。さらに、国連によると、世界人口の約3分の1が、家庭で安全な飲料水が不足している状態にあると推測され、特に発展途上国において水不足の問題は顕著である中、本研究で得られた予測式は、各国における災害や有事の際の飲料水や食糧の確保の戦略立案や、世界における人口増加や気候の変動による水不足の予測モデル構築に役立つものと考えられます。

Press Release

❖ 注意

1. 本成果は米国科学振興協会(AAAS)の科学誌『Science』(<https://www.science.org/>)の11月24日号に発表されます。
2. 論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)は、DOI: 10.1126/science.abm8668 です。
3. 日本時間:11月25日(金)午前4時から発表されます。
4. Embargo(発表禁止期間)の遵守をお願い申し上げます。

❖ 本件に関する問い合わせ先

<研究に関すること>

国立研究開発法人 医薬基盤・健康・栄養研究所 身体活動研究部 運動ガイドライン研究室 室長
山田 陽介

〒566-0002 大阪府摂津市千里丘新町3番17号健都イノベーションパーク NKビル(移転後)

〒162-8636 東京都新宿区戸山1-23-1(移転前)

E-mail: yamaday※nibiohn.go.jp (※に@を入力して送信願います。)

TEL: 03-3203-8061(内4201)

<報道のロジスティックに関すること>

国立研究開発法人 医薬基盤・健康・栄養研究所 戦略企画部 広報チーム

TEL:072-641-9832

E-mail: pr※nibiohn.go.jp (※に@を入力して送信願います。)

<共同研究機関>

学校法人 早稲田大学 広報室

TEL: 03-3202-5454

E-mail: koho※list.waseda.jp (※に@を入力して送信願います。)

学校法人 京都先端科学大学 研究・連携支援センター

TEL: 075-496-6211

E-mail: liaison※kuas.ac.jp (※に@を入力して送信願います。)

国立大学法人筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu※un.tsukuba.ac.jp (※に@を入力して送信願います。)

Press Release

❖ 研究の背景と意義

水(H₂O)は生命維持に必要不可欠な物質及び栄養素であり、ヒトを含む陸生動物は脱水を防ぐために水分を日常的に摂取する必要があります。ヒトは液体の水分や食品に含まれる水分を摂取することで、体水分量を維持しています。身体における水分の出入りのことを、水の代謝回転と呼びますが、1日あたりの水の代謝回転量には個人差があり、また個人内でも生活環境によって大きく変動することが知られていたものの、これまでのほとんどの研究が数十人規模の実験によるものか、もしくは、アンケート調査などの主観的な方法に基づく疫学研究であったため、正しく全容を理解することが困難でした。水の代謝回転について正しく理解することによって、大規模災害などの有事の際や、高温多湿な環境下、肉体労働、スポーツ実施時、妊産期、乳幼児期、小児期、高齢期などにおいて、ヒトが生存するために必要な水分量を見積もることができるようになります。加えて、水の代謝回転については、住んでいる国や地域によっても違う可能性があります。そのため、環境とライフスタイルの各因子がどのようにヒトの水の代謝回転を規定しているかを明らかにする必要があります。

❖ 本研究から明らかになったこと

水(H₂O)は、体重の約半分もの重量を占める物質であり、水素(H)と酸素(O)からできています。水素にも酸素にも(同一原子番号を持つものの、中性子数が異なるため質量数が異なる)同位体がありますが、その中でも放射能を持たず、安定して自然界に存在する同位体のことを安定同位体と呼びます。自然界の水素の99%以上は質量数1の水素(¹H)ですが、約0.015%は質量数2の水素(²H)が含まれており、これは安定同位体になります。例えば、成人男性では平均的に40ℓ程度の水を体内に保持していますが、そのうち約600mlは、質量数2の水素が結合した水になります。

体内に存在する²Hの約100分の1というわずかな安定同位体(平均的な成人男性で約5mlの²H₂O)を飲水すると、一時的に体内の²Hの値がわずかに高くなり、その後、数カ月もたないうちに元の量に戻ります。このわずかな変化を正確に捉えることができる装置が、安定同位体比質量分析計(IRMS)です。この手法を用いることで、身体中の水分量(体水分量)を正確に評価できるだけでなく、元に戻る速度から、水の代謝回転が算出できます(図1)。

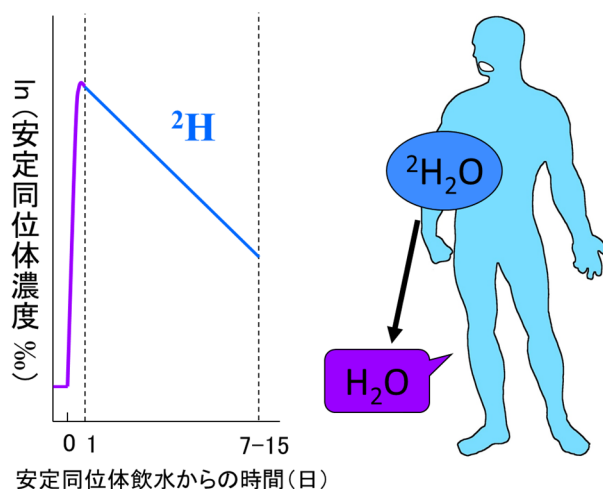


図1 水の代謝回転を算出する原理についての概念図

Press Release

本研究では、この方法を 23 カ国に住む生後 8 日の乳児から 96 歳の高齢者までの男女計 5604 名に用いて、体水分量や水の代謝回転率(体水分量に対して、1 日に失う平均的な水分量がどれくらいか)を測定しました。図 2 は今回の研究で明らかになった水の代謝回転率を年齢別に示したものです。平均的には、ヒトの乳児では体水分量の約 25%にあたる水分が、成人でも体水分量の約 10%にあたる水分が 1 日で体外に失われることがわかりました。また、後期高齢者になると水の代謝回転率は有意に低下することも明らかになりました。なお、男女に違いはほとんどないのが特徴です。このように、ヒトは、非常に早い速度で身体から水分を失うため、水分補給ができないと 3 日生存するのも難しくなります。また脱水は腎臓や心臓の障害のリスクにもつながります。

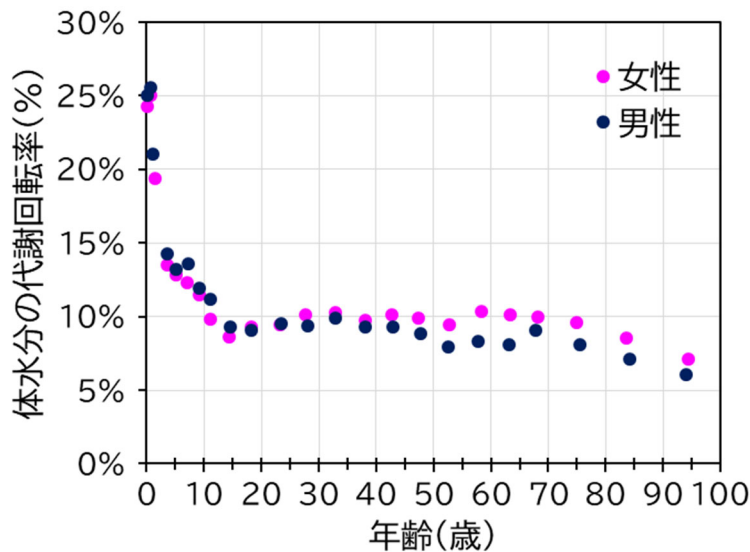


図 2 年齢と体水分の代謝回転率の関係(平均値)

平均値としては、図 2 で示したとおりの結果となるのですが、実際には図 3 で示したように大きな個人差があります。成人に限ってみても、1 日に体水分量の 5%しか水の代謝回転(ヒトの身体を出入りする 1 日当たりの水分量)が起こらない人がいる一方で、20%もの水の代謝回転が生じる人がいます。その変動要因については、小規模な研究でいくつか明らかになっていたものの、多人数を対象とした網羅的な研究が行われていなかったため、不明な部分が多く存在していました。

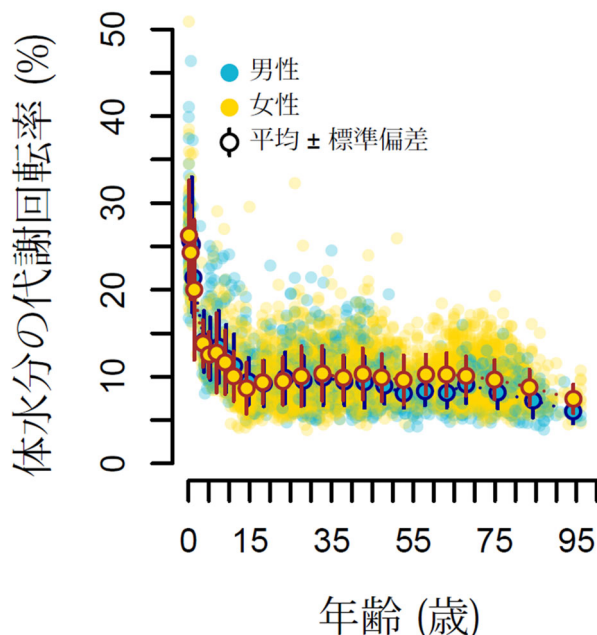


図 3 年齢と体水分の代謝回転率の関係(個体値と平均値)

Press Release

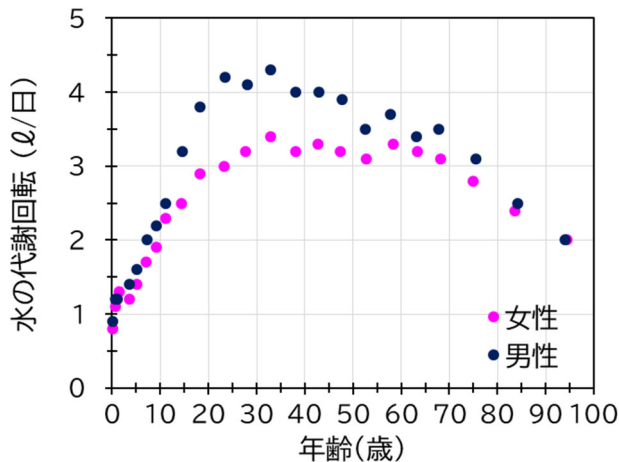


図4 年齢と水の代謝回転との関係
(平均値)

男女別の水の代謝回転について示したのが、図4になります。男性では 20～35 歳で最も高い値を示し平均 4.2ℓ/日でした。その後、年齢が上がるにつれて低くなっていき、90 歳代では平均 2.5ℓ/日になっていました。女性では 30 歳～60 歳で高い値を示し平均 3.3ℓ/日でした。その後は男性同様に年齢が上がるにつれて低くなっていき、90 歳代では平均 2.5ℓ/日でした。

このほかに、除脂肪体重、総エネルギー消費量、身体活動レベルが水の代謝回転と正の相関を示し、体脂肪率は負の相関関係を示しました。平均気温と水の代謝回転との間、及び、住んでいる地点の緯度と水の代謝回転との間には曲線的な関係が認められました。具体的には、気温が高い場合や赤道付近で生活している場合には、水の代謝回転は高い値を示しましたが、極端に寒い場合や北極圏で生活している場合などにも、ヒトの身体が 1 日に失う平均的な水分量はやや高くなる結果でした。一般的な感覚どおりですが、春に比べると暑い夏では水の代謝回転は平均で 0.7ℓ/日程度高い値を示しました。妊娠後期では 1 日の水の代謝回転は 0.7ℓほど多く、これは妊娠に伴う胎児の成長と体水分量の増加によるものと考えられます。また、出産後の授乳期には、母乳を与える影響などにより水の代謝回転は 0.3ℓほど高い値を示しました。加えて、発展途上国、ならびに、肉体労働の多い人では高い水の代謝回転を示していました。日常の身体活動やスポーツへの従事も水の代謝回転を高めていました。これら一つ一つの結果は、生理学的に予測されたものではありませんが、今回の成果により、このような各種要因が水の代謝回転に与える影響度を明確にする式を構築することができました。この式は、世界中の国や地域で利用でき、その日の平均気温・湿度が分かれば、その人の身体から 1 日に失われるであろう水分量を予測できる式になります。

$$\begin{aligned} \text{水の代謝回転 (mℓ/日)} = & [1076 \times \text{身体活動レベル}] + [14.34 \times \text{体重(kg)}] + [374.9 \times \text{性}] + \\ & [5.823 \times 1 \text{ 日の平均湿度(\%)}] + [1070 \times \text{アスリート}] + [104.6 \times \text{人間開発指数(HDI)}] + \\ & [0.4726 \times \text{標高(m)}] - [0.3529 \times \text{年齢の 2 乗}] + [24.78 \times \text{年齢(歳)}] + [1.865 \times \text{平均気温の} \\ & \text{2 乗}] - [19.66 \times \text{平均気温(}^\circ\text{C)}] - 713.1 \end{aligned}$$

* 身体活動レベル(座位中心な場合 1.5、平均的な場合 1.75、高い場合 2.0)、
性(女性 0、男性 1)、アスリート(非アスリート 0、アスリート 1)、
HDI(先進国 0、中間的な国 1、発展途上国 2)

Press Release

ただし、ここで注意していただきたい点は、20歳代男性で1日に平均4.2ℓの水分が失われるとしても、1日4.2ℓの水を飲む必要はないということです。体内でエネルギー代謝の過程で産生される水が約10%(約0.4ℓ)あり、また、呼吸などからも水分が少し体内に入ります。そのため、このうちの85%程度(約3.6ℓ)が目安の水分摂取の目安になります。さらに、食品の多くには水が含まれているので、「しっかりと食事」をするだけでかなりの水分を摂取することになります。日本人の場合、一般的な食事を3食取った場合、3.6ℓの水分のうち約半分を食事から摂取していることになり、「液体としての水分補給」として必要な量は1日約1.8ℓになります。20歳代女性の場合では1日約1.4ℓです。平均的な人の場合、この程度の量を水やお茶、汁物、牛乳などからとるとよいかと思われそうですが、上述した式に記載のように、気温・湿度、運動量、年齢、体格などによっても異なるため、個人ごとに目安は異なります。また、夏などの暑熱環境下や運動・肉体労働中にはより多くの水分補給をする必要があります。疾病や死亡などのリスクとの関連については、今後更なる研究が必要です。

いずれにしても、本研究の成果により、多様な環境下での脱水や熱中症の予防、さらには脱水に伴う腎臓や心臓の障害などの予防のために必要な水分摂取量の目安を明らかにできることが期待されます。さらに、本研究で得られた予測式は、各国における災害や有事の際の飲料水や食糧の確保の戦略形成や、世界における人口増加や気候の変動による水不足の予測モデル構築に役立つと考えられます。

❖ 共同研究機関

本研究は、総勢90人以上からなる国際プロジェクトによる研究成果です。特に今回の研究は、医薬基盤・健康・栄養研究所(日本)、早稲田大学(日本)、京都先端科学大学(日本)、筑波大学(日本)、アバデーン大学(英国)、中国科学院(中国)、デューク大学(米国)、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)、バイラー医科大学(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)、及び、国際原子力機関(IAEA)が中心となった成果です。

❖ 研究支援

本研究成果は、国際原子力機関(IAEA, International Atomic Energy Agency)、米国国立科学財団(NSF, National Science Foundation)、中国科学院(CAS, Chinese Academy of Science)、米国国立衛生研究所(NIH, National Institutes of Health)、大陽日酸株式会社(日本)、Sercon Limited(英国)の支援を受けて実施されたものです。

❖ 論文情報

論文タイトル: Variation in human water turnover associated with environmental and lifestyle factors

著者: Yosuke Yamada*†, Xueying Zhang†, Mary E.T. Henderson†, Hiroyuki Sagayama*, Herman Pontzer*, Daiki Watanabe, Tsukasa Yoshida, Misaka Kimura, Philip N. Ainslie, Lene F. Andersen, Liam J. Anderson, Lenore Arab, Issad Baddou, Kweku Bedu-Addo, Ellen E. Blaak, Stephane Blanc, Alberto G. Bonomi, Carlijn V.C. Bouten, Pascal Bovet, Maciej S. Buchowski, Nancy F. Butte, Stefan G. Camps,

Press Release

Graeme L. Close, Jamie A. Cooper, Richard Cooper, Sai Krupa Das, Lara R. Dugas, Simon Eaton, Ulf Ekelund, Sonja Entringer, Terrence Forrester, Barry W. Fudge, Annelies H Goris, Michael Gurven, Lewis G. Halsey, Catherine Hambly, Asmaa El Hamdouchi, Marije B. Hoos, Sumei Hu, Noorjehan Joonas, Annemiek M. Joosen, Peter Katzmarzyk, Kitty P. Kempen, William E. Kraus, Wantanee Kriengsinyos, Robert F. Kushner, Estelle V. Lambert, William R. Leonard, Nader Lessan, Corby K. Martin, Anine C. Medin, Erwin P. Meijer, James C. Morehen, James P. Morton, Marian L. Neuhouser, Theresa A. Nicklas, Robert M. Ojiambo, Kirsi H. Pietiläinen, Yannis P. Pitsiladis, Jacob Plange-Rhule, Guy Plasqui, Ross L. Prentice, Roberto A. Rabinovich, Susan B. Racette, David A. Raichlen, Eric Ravussin, Leanne M. Redman, John J. Reilly, Rebecca M. Reynolds, Susan B. Roberts, Albertine J. Schuit, Luis B. Sardinha, Analiza M. Silva, Anders M. Sjödín, Eric Stice, Samuel S. Urlacher, Giulio Valenti, Ludo M. Van Etten, Edgar A. Van Mil, Jonathan C. K. Wells, George Wilson, Brian M. Wood, Jack A. Yanovski, Alexia J. Murphy-Alford, Cornelia U. Loechl, Amy H. Luke*, Jennifer Rood*, Klaas R. Westerterp*, William W. Wong*, Motohiko Miyachi*, Dale A. Schoeller*, John R. Speakman* † and the IAEA DLW database consortium

(総勢 90 名以上のプロジェクト)

*責任著者、† equal contribution

掲載雑誌：Science (サイエンス誌)

❖ 参考情報

本研究は、昨年(2021年)8月13日に Science 誌に掲載された論文『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:Pontzer H, Yamada Y, Sagayama H et al.)で用いられた国際二重標識水法データベースを活用した内容です。昨年度の研究成果について興味のある方は、https://www.nibiohn.go.jp/eiken/info/info_ronbun20210813.htmlの「詳細はこちら」をご覧ください。(参考:<https://www.asahi.com/articles/DA3S15065821.html>など)

❖ 医薬基盤・健康・栄養研究所について

2015年4月1日に医薬基盤研究所と国立健康・栄養研究所が統合し、設立されました。本研究所は、メディカルからヘルスサイエンスまでの幅広い研究を特長としており、我が国における科学技術の水準の向上を通じた国民経済の健全な発展その他の公益に資するため、研究開発の最大限の成果を確保することを目的とした国立研究開発法人として位置づけられています。

国立健康・栄養研究所は、世界で初めての国立の栄養学のための研究所として大正9年(1920年)に誕生した国立栄養研究所が基になっており、栄養と運動(身体活動)に関する研究を行っております。

ウェブサイト:<https://www.nibiohn.go.jp/>

Press Release

❖ 担当研究者の略歴

山田 陽介:2009年京都大学大学院人間・環境学研究科修了、博士(人間・環境学)。福岡大学ポストドクター、京都府立医科大学日本学術振興会特別研究員(SPD)、米国ウィスコンシン大学マディソン校訪問研究員を経て、現在、医薬基盤・健康・栄養研究所 身体活動研究部 運動ガイドライン研究室 室長、および、京都先端科学大学 アクティブヘルス支援機構 客員研究員

吉田 司:2017年京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科修了、博士(学術)。医薬基盤・健康・栄養研究所 栄養代謝研究部 特別研究員を経て、現在、身体活動研究部 研究員、および、京都先端科学大学 アクティブヘルス支援機構 客員研究員。

宮地 元彦:1988年鹿屋体育大学体育学部卒業。1999年筑波大学にて博士(体育科学)を取得。川崎医療福祉大学 健康体育学科 助教授、医薬基盤・健康・栄養研究所 身体活動研究部 部長を経て、現在、早稲田大学 スポーツ科学学術院 教授。

渡邊 大輝:2020年聖マリアンナ医科大学医学研究科修了、博士(医学)。医薬基盤・健康・栄養研究所 身体活動研究部 特別研究員を経て、現在、早稲田大学スポーツ科学学術院 助教、および、京都先端科学大学 アクティブヘルス支援機構 客員研究員。

木村 みさか:1971年信州大学教育学部卒業、1983年京都府立医科大学博士(医学)。大阪体育大学体育学部、京都府立医科大学医学部看護学科 教授、京都学園大学(現・京都先端科学大学)教授を経て、現在、京都先端科学大学 アクティブヘルス支援機構 客員研究員、および、同志社女子大学看護学部 特任教授。

下山 寛之:2015年福岡大学大学院スポーツ健康科学研究科修了、博士(スポーツ健康科学)。米国ウィスコンシン大学マディソン校訪問研究員、国立スポーツ科学センター日本学術振興会特別研究員(PD)を経て、現在、筑波大学体育系 助教。