

たんぱく質・アミノ酸の必要量に関する研究

木戸 康博

京都府立大学大学院生命環境科学研究科応用生命科学専攻栄養科学研究室

摂取エネルギーは十分であっても、摂取たんぱく質が不足した時にクワシオコールが発症し、感染症などを併発しやすい。たんぱく質必要量は、身体の構造と機能を正常に維持するために必要な摂取量（代謝要求量）であり、食事たんぱく質必要量は、それらの要求量を満たす量である。たんぱく質必要量は、窒素出納法によって決定されてきた。しかし、窒素出納法にはその方法上様々な問題がある。指標アミノ酸酸化（IAAO）法は、窒素出納法とは原理が大きく異なり、窒素出納法の代替法として動物とヒトにおいて開発された。私たちは、指標アミノ酸酸化法を用いてラットと健康成人男性の食事たんぱく質必要量とたんぱく質の質を再評価した。その結果、指標アミノ酸酸化法は全てのライフステージ（幼児、小児、学童、成人、高齢者）の食事たんぱく質必要量の評価だけでなく、代謝要求量が大きく変化している術後、傷害、感染症などいろいろな病態時の食事たんぱく質必要量の推定、また、たんぱく質の質の評価にも利用できることがわかった。

栄養学雑誌, Vol.69 No.6 285-293 (2011)

キーワード: たんぱく質・アミノ酸, たんぱく質必要量, 代謝要求量, 窒素出納法, 指標アミノ酸酸化法

はじめに

たんぱく質必要量に関する議論は1955年に「タンパク質必要量に関する FAO 委員会」¹⁾で行われた。この FAO 委員会¹⁾では、人の不可欠アミノ酸必要量パターンを重視し、これと同じ理想的なアミノ酸組成を持つたんぱく質（比較基準たんぱく質）の必要量が決められた。

1963年の「タンパク質必要量に関する FAO/WHO 合同専門グループ」²⁾では、たんぱく質必要量は無たんぱく質食摂取時に身体から失われる不可避窒素損失量によって規定されるという新しい概念が導入された。

1971年の「エネルギーとタンパク質の必要量に関する FAO/WHO 合同特別専門家委員会」³⁾では、エネルギーとたんぱく質が初めて一緒に検討された。この特別専門家委員会では、生物価の高いたんぱく質であっても、窒素平衡維持のための最小必要量は、不可避窒素損失量よりも大きいとした。また、集団に対する必要量を決定する場合、エネルギーとたんぱく質とは考え方が異なることも明確にした。

1981年の「エネルギーとタンパク質必要量に関する協議会」⁴⁾では、個人のたんぱく質必要量を最適レベルの身体活動を行ってエネルギー平衡を維持している人の、身体から失われる窒素と等しい最小の食事たんぱく質摂取量と定義された。子どもや妊婦、授乳婦では、良好な健康状態を維持しながら、組織の増殖肥大、あるいは乳汁分泌に必要なたんぱく質も含まれる。すべての必要量の算定値は、適当な期間続けて求められた要求量を参考に

決められた。このような期間の摂取量は、ある特定の1日の摂取量と区別するために、「習慣的」あるいは「日常の摂取量」といえる。習慣的摂取量を「1日当りの摂取量」で表しているが、これらの量が毎日摂取しなければならない量であることを意味しているわけではない。

2002年の「タンパク質とアミノ酸の必要量に関する WHO/FAO/UNU 合同専門家協議会」⁵⁾では、成人のアミノ酸必要量の算定根拠が窒素出納法の成績から¹³C-指標アミノ酸を用いたトレーサー実験に変わった。たんぱく質必要量については、引き続き窒素出納法の成績が用いられたが、皮膚などからの損失は1981年の8 mgN/kg/日より低い5 mgN/kg/日の値が採用され、安全摂取量が0.75から0.83 g/kg/日に改定された。

このように、たんぱく質とアミノ酸の必要量に関する研究は、確実に進歩してきた。しかし、窒素出納法と¹³C-指標アミノ酸を用いたトレーサー実験の結果の解釈等、議論を必要とする課題は山積している。本稿では、私たちの最新のデータを示すとともにたんぱく質とアミノ酸の必要量の考え方について概説する。

I. たんぱく質欠乏症

たんぱく質欠乏症は、イギリス領黄金海岸（現ガーナ共和国）で1933年に Cicely D. Williams⁶⁾によって最初に報告され、クワシオコール（kwashiorkor）と命名された。クワシオコールの主原因は、エネルギーは足りているがたんぱく質が不足することである。浮腫、毛髪の変

本論文は、平成23年度（第58回日本栄養改善学会学術総会）学会賞受賞対象論文である。

連絡先：木戸康博 〒606-8522 京都府京都市左京区下鴨半木町1-5 京都府立大学大学院生命環境科学研究科

電話・FAX 075-703-5402 E-mail kido@kpu.ac.jp

色、ペラグラ様皮疹、下痢、低たんぱく質血症、発育障害などが特徴である。1990年から1年間、国際協力事業団（現国際協力機構）の専門家として、ガーナ共和国ガーナ大学医学部野口記念医学研究所で、現地の乳幼児の栄養調査と栄養改善プログラムの開発に関わることができた。この時はじめて、途上国における栄養問題の重要性を実際に感じる事ができた。現地では、ガーナ共和国保健省、WHO、UNICEF など関係組織とともに2回のセミナーを開催した⁷⁻⁹⁾。

Ⅱ. たんぱく質必要量の考え方

食事中のたんぱく質必要量とは、生体が必要とする量、すなわち代謝要求量を満たすために必要な摂取量である（図1）。代謝要求量は、アミノ酸を消費する代謝経路を維持するために必要な量と成長、妊娠、授乳など特別な必要量の和として求めることができる。維持必要量とは、アミノ酸を消費し、尿、糞便、皮膚、毛髪、分泌物など生体から排泄される全ての損失を補完できる量をいう。

たんぱく質の必要量がエネルギー摂取量に大きく影響を受けるにもかかわらず、健康づくりのための運動基準相当の運動を行った時のたんぱく質必要量については全く検討されていなかった。そこで、厚生省（現厚生労働省）の健康づくりのための運動所要量（現健康づくりのための運動基準2006）に相当する運動施行時にたんぱく質必要量が変動するかを検討した結果、運動所要量に相当する運動を行ってもたんぱく質必要量を増加させる必要がないことを明らかにした^{10, 11)}。窒素出納法を用いた

この研究では、尿、糞便、だけでなく皮膚など生体から排泄される窒素損失量を測定した。表1に示したように、皮膚などから排泄される窒素を測定していれば、「健康づくりのための運動（200～400 kcal/日のエネルギー消費）をしても摂取するたんぱく質を増やす必要はない」と結論できる。しかし、皮膚などから排泄される窒素を測定しないと、「健康づくりのための運動（200～400 kcal/日のエネルギー消費）を実施すると、摂取するたんぱく質を増やさなくても体たんぱく質の蓄積が増加する」という結論になる。すなわち、窒素出納試験を用いてたんぱく質代謝を評価するためには、尿、糞便、皮膚、毛髪、分泌物など生体から排泄される全ての損失を測定しなければならない。実際に、尿、糞便、皮膚、毛髪、分泌物など生体から排泄される全ての損失を測定することは非常に困難である。

食事たんぱく質必要量とは、代謝要求量を満たし、窒素平衡を維持するために食事として摂取すべきたんぱく質またはその成分であるアミノ酸、またはその両者である。したがって、食事たんぱく質必要量は次式で示すことができる。

食事たんぱく質必要利用＝代謝要求量÷利用効率

食事からの窒素摂取量がゼロで、エネルギーとその他の栄養素が十分量摂取されている場合に、尿中に排泄される窒素量は徐々に減少し、一定の値となる。尿中に排泄される窒素量が一定となるためには5～7日間を要することが報告されている（図2）¹²⁾。すなわち、食事からのたんぱく質摂取量を変化させた時には、少なくとも7日間の適応期間を要し、このようにして得られた窒素平

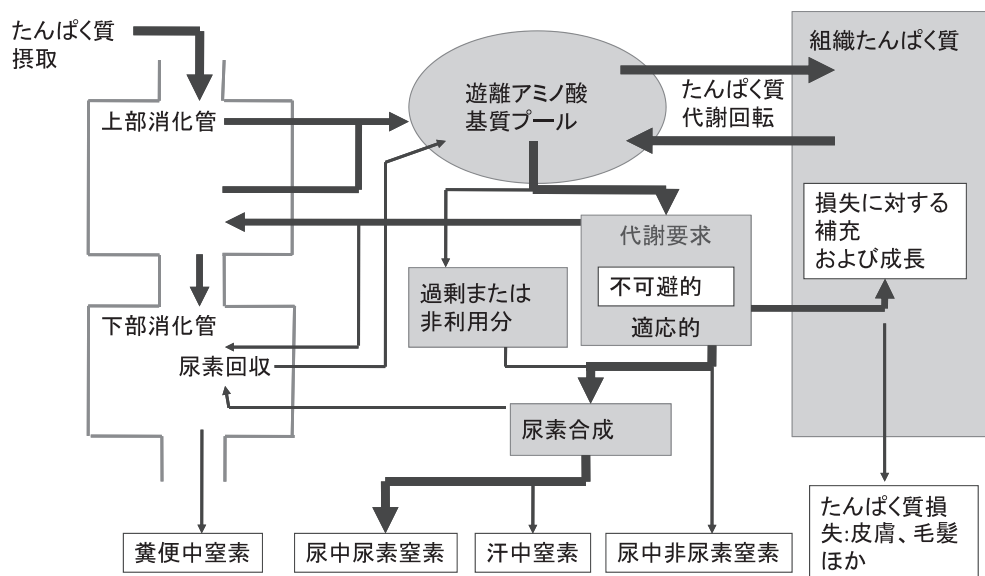
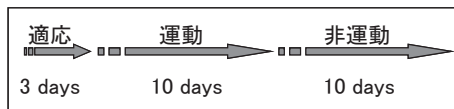


図1 アミノ酸の代謝要求の概略図

成人の不可欠アミノ酸必要量は、窒素平衡をもたらすために必要なアミノ酸摂取量として測定される。

表1 1.08 g/kg/日のたんぱく質摂取量時の窒素出納値に及ぼす運動（400 kcal/日）の影響¹⁰⁾

Subjects	Non-exercise period						Exercise period					
	IN	FN	TD	DN	UN	NB	IN	FN	TD	DN	UN	NB
L	181.9	15.5	98.3	7.6	150.6	8.1	181.0	15.5	98.3	17.6	149.3	-1.4
M	177.2	19.4	96.0	3.5	124.8	29.5	177.8	16.1	97.9	9.7	123.5	28.5
N	181.9	12.6	99.9	10.3	145.9	13.1	180.0	17.5	97.2	18.4	134.0	10.0
O	179.0	16.8	97.6	8.2	147.9	6.1	179.2	17.8	97.0	9.8	145.5	6.1
P	177.7	20.7	95.3	8.4	152.0	-3.4	178.3	24.0	93.5	9.5	136.8	8.0
Q	180.5	17.7	97.1	5.6	142.2	15.0	179.2	16.8	97.6	7.4	135.6	19.5
Mean	179.7	17.1	97.4	7.3	143.9	11.4	179.3	18.0	96.9	12.1*	137.5*	11.8
SD	2.0	2.9	1.6	2.4	10.0	11.0	1.2	3.1	1.7	4.7	9.1	10.6

($p < 0.05$ vs non-exercise period)

摂取たんぱく質量：1.08 g/kg/日
 エネルギー摂取量：42.8～43.8 kcal/kg/日
 代謝性糞中排泄量：12.4 mgN/kg/日
 運動強度：65% VO_2max
 運動によるエネルギー消費量：400 kcal/日

略語：IN, 摂取窒素；FN, 糞中窒素；TD, 真の吸収率；DN, 経皮窒素；UN, 尿中窒素；NB, 窒素出納値

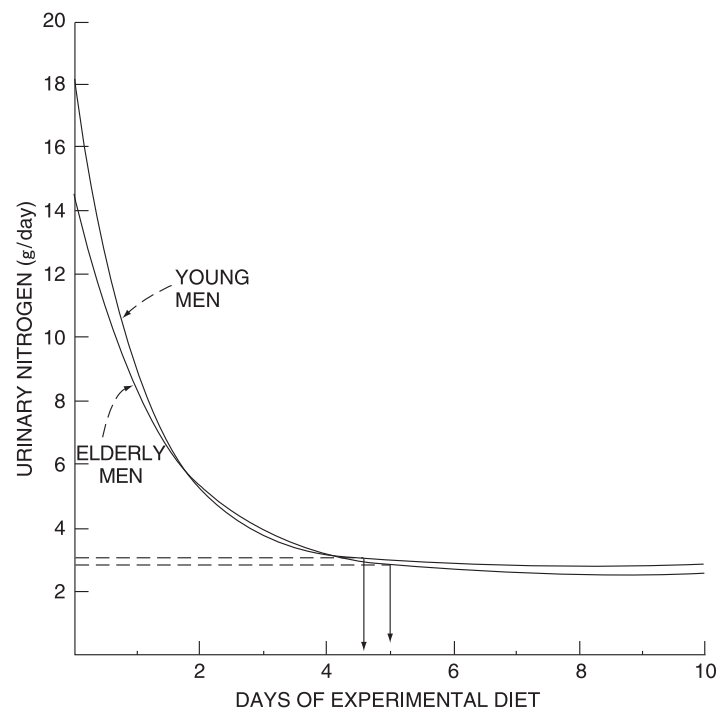


図2 無たんぱく摂取後の尿中窒素排泄量の変化

(J Nutr; 108, 97 (1978) を改変)

維持に必要な食事からのたんぱく質摂取量は、最小たんぱく質必要量と定義できる。

私たちは、たんぱく質代謝には、適応現象が存在することに着目した。習慣的なたんぱく質摂取状態に適応しており、低たんぱく質代謝適応が成立していない状態（たんぱく質摂取レベルを変更した実験日）で、たんぱく質代謝を推定できる指標アミノ酸酸化（indicator amino acid oxidation: IAAO）法を用いることにより、習慣的な

たんぱく質摂取状態でのたんぱく質代謝要求量の推定を試みた。たんぱく質の摂取量を習慣的な摂取量より少ない摂取量に変化させた時に、その少ない摂取たんぱく質量でのたんぱく質代謝状態を反映する期間は、少なくとも7日間を要する（図3）。つまり、一過性のたんぱく質代謝応答は、その時の習慣的なたんぱく質摂取時の代謝を反映していることを意味する。習慣的に十分量のたんぱく質を摂取している時に、生体内で合成されるたん

ばく質と分解されるたんぱく質はほぼ一定であり、たんぱく質代謝回転が定常状態であると考えられる。この時たんぱく質合成に必要なアミノ酸は、体内の遊離アミノ酸プールから供給される。この遊離アミノ酸プールのアミノ酸の供給源は、食事、体たんぱく質の分解、および体内合成である（図4）。

たんぱく質必要量とたんぱく質代謝要求量は、その意味するところが異なる。窒素出納法で求めるたんぱく質必要量は、低たんぱく質栄養状態に適応した状態での最小たんぱく質摂取量を意味する。この最小たんぱく質必要量を下回る摂取量が続くと、たんぱく質欠乏症が発症すると考えられる。一方、IAAO法で求めるたんぱく質代謝要求量は、その時の習慣的なたんぱく質摂取時の代謝を維持するために必要なたんぱく質摂取量を意味する。このたんぱく質代謝要求量を下回る摂取量が続いてもたんぱく質欠乏症が発症することはない、その時のたんぱく質摂取量でのたんぱく質代謝に適応していくと考えられる。

たんぱく質摂取量を窒素出納法で求めたたんぱく質必要量に適応させた時のたんぱく質代謝要求量は、たんぱ

く質必要量と一致すると考えられる。すなわち、窒素出納法で求めた最小たんぱく質必要量にたんぱく質代謝が適応すると、体内の遊離アミノ酸プールもその時のたんぱく質代謝に見合ったサイズになると推定される。このため、この低たんぱく質状態に適応したたんぱく質代謝を維持するために必要なたんぱく質代謝要求量は、最小たんぱく質必要量と一致すると考えられる。

Ⅲ. 指標アミノ酸酸化（IAAO）法の原理

IAAO法の理論は、食事に含まれているあるアミノ酸がたんぱく質代謝要求量以下であれば（すなわち、制限アミノ酸）、他のすべての不可欠アミノ酸（ ^{13}C -標識アミノ酸を含む）はたんぱく質合成には利用することができず、この余分の不可欠アミノ酸は酸化されて、不可逆的に重炭酸塩プールに遊離され、呼気中に排泄される、というものである。例えば、図5に示したように、遊離アミノ酸プール中の制限アミノ酸（ここではリシン）がたんぱく質要求量よりも少ないと、たんぱく質合成量は低下し、余った指標アミノ酸（ここでは $[1-^{13}\text{C}]$ フェニルアラニン（ ^{13}C -Phe））の酸化量が増加し、その炭素骨格は $^{13}\text{CO}_2$ として排泄される。この $^{13}\text{CO}_2$ 排泄量は、摂取するたんぱく質量が増加し、遊離アミノ酸プール中の制限アミノ酸（ここではリシン）がたんぱく質要求量と等しくなるまで減少する。制限アミノ酸（ここではリシン）が合成すべきたんぱく質に必要な量以上に供給されると、たんぱく質をそれ以上合成する必要がないので、指標アミノ酸由来の呼気 $^{13}\text{CO}_2$ 排泄量は一定となる（図6）。この屈曲点が食事たんぱく質必要量と考えられる。この条件を満たすためには、指標アミノ酸として ^{13}C -Phe を利用する場合に、組織や血液中の ^{13}C -Phe と ^{12}C -Phe 濃度の割合と量が一定であることが必要である。

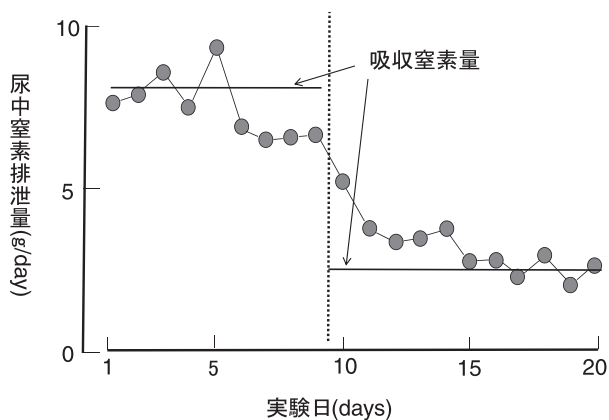


図3 たんぱく質の摂取量を変化させた時の尿中窒素排泄量の変化

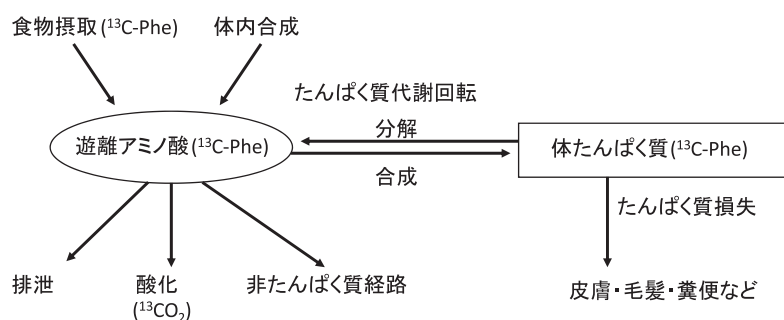


図4 たんぱく質必要量の考え方

成人のたんぱく質必要量は、体外に失われる窒素量を補い、体たんぱく質量を維持するために必要な食事たんぱく質の最小摂取量である。

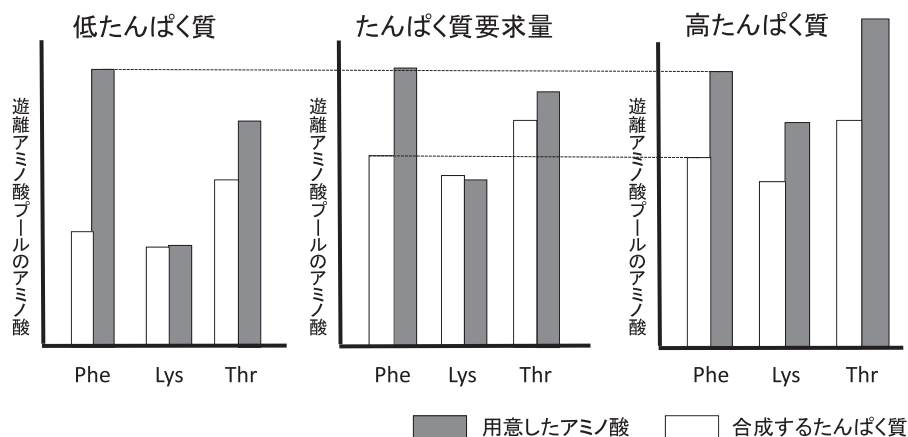


図5 指標アミノ酸酸化法の原理

リシンが第一制限アミノ酸と仮定すると、合成するたんぱく質よりも用意したアミノ酸の量が少ない状態（低たんぱく質）では、合成すべきたんぱく質に必要なリシン量が供給されないため、たんぱく質合成量は低下し、他の余った指標アミノ酸は分解され、その炭素骨格は呼吸 CO_2 として排出される。しかし、合成すべきたんぱく質に必要な量以上にリシンが供給される（高たんぱく質）と、たんぱく質はそれ以上合成する必要がないため、指標アミノ酸由来の呼吸 CO_2 の排泄量は一定となる。

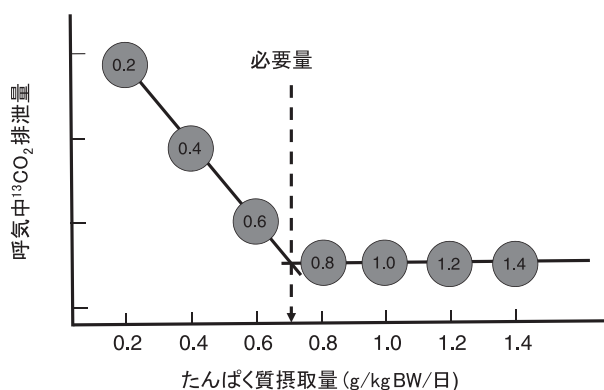


図6 指標アミノ酸酸化法 (IAAO 法)

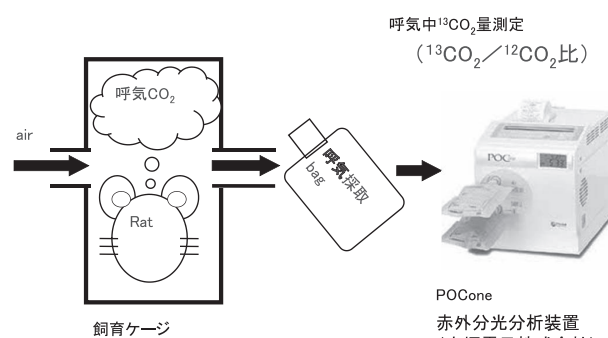


図7 呼気の採取と呼気分析の方法

IV. たんぱく質代謝研究における IAAO 法の利点

たんぱく質代謝研究における IAAO 法の利点は次の3つが考えられる。

第1に、トレーサーが試験たんぱく質とは別なので、栄養学的にかなりの量のトレーサーを与えても問題がないことである。指標アミノ酸の摂取量は一定に保たれているので、試験たんぱく質よりも指標アミノ酸のほうが濃度の変化が小さい。指標アミノ酸としては、 ^{13}C -Phe が最も高い頻度で利用されてきた。今後、様々なアミノ酸を指標アミノ酸として利用し、たんぱく質代謝に用いる指標アミノ酸としての評価も必要である。

第2に、出納試験を必要とせず、異なるたんぱく質摂取レベルに対して事前に実験食に適応させる必要がないことである。習慣的な食生活の条件でたんぱく質代謝要

求量を求めることが可能である。個々人に見合ったたんぱく質代謝要求量が算出でき、体調や生活スタイルが変化すれば、その都度、最適なたんぱく質代謝要求量を算出することができる。また IAAO 法は、成人だけでなく成長期から高齢者まで同じ方法でたんぱく質代謝要求量を再評価できると考えられる。

第3に、アミノ酸酸化測定の精度や正確さについて高いレベルが要求されないことである。屈曲点は、試験たんぱく質摂取量が十分であることへの操作上の指標であり、それは指標物質の酸化率が正確に測定されているか否かに依存しない。私たちは、一定速度で空気を送り込んでいる飼育ケージにラットを入れ、飼育ケージ内の気体を呼吸採取バッグに採取し、赤外分光分析装置（大塚電子株式会社）を用いて、呼吸 $^{13}\text{CO}_2$ 量を ^{12}C との割合として測定している（図7）。

V. ラットにおける IAAO 法によるたんぱく質代謝 要求量の測定¹³⁾

実験食のたんぱく質源としてカゼインと小麦グルテンを用い、IAAO 法によるたんぱく質代謝要求量について、実験食のたんぱく質源により違いが見られるかを検討した。ラットは、小麦グルテンを実験食として用いる場合も含めたすべての実験について、実験前24時間以上、20%カゼイン食を自由摂取とした。実験日、ラットは、6段階のカゼインを含む実験食（4.3, 8.6, 12.9, 17.2, 21.5, 25.8%カゼイン食）、または、6段階の小麦グルテンを含む実験食（7.2, 10.8, 14.4, 18.0, 21.6, 25.2%小麦グルテン食）のうち一つを09:00から18:00まで3時間ごとに4回摂取した。1回の給餌量はラットの1日摂食量の1/8量ずつとした。¹³C 標識物質投与は3回目の給餌時の15:00 (NaH¹³CO₃, 0.88 mg/kg BW; NaHCO₃, 7.92 mg/kg BW; ¹³C-Phe, 3.3 mg/kg BW; Phe, 29.7 mg/kg BW) に開始し、16:00, 17:00, 18:00 (¹³C-Phe, 6.0 mg/kg BW; Phe, 54.0 mg/kg BW) まで続けた。¹³C 標識物質経口投与後ただちにラットをチャンバーに入れた。15:00から19:00まで30分ごとに、チャンバー内の気体を呼気サンプルとして呼気採取バッグに採取し、赤外分光分析装置 (POCone; 大塚電子株式会社) により呼気中 ¹³CO₂ 量を測定した。

たんぱく質含量が6段階のカゼイン食を実験食とする実験 ($n=8$) と小麦グルテン食を実験食とする実験 ($n=8$) それぞれ6回の IAAO 法は、実施日は2日間間隔と

し、2週間以内に完了した。実験食の組成を表2に示した。

IAAO 法においては、低たんぱく質食から十分なたんぱく質食に食事内容を変化させても、食事中的 ¹³C-Phe と ¹²C-Phe の量および [1-¹²C] チロシン (¹²C-Tyr) の量を一定に保つ必要がある。このように調整された食事を摂取した時に、組織や血漿中の ¹³C-Phe だけでなく、¹³C-Tyr と ¹²C-Tyr の量も一定であることを確認することが必要である。4.3%カゼイン食と17.2%カゼイン食を摂取した時のラットの血漿 Phe と Tyr 濃度を表3に示した。カゼイン食のたんぱく質レベルを4.3%から17.2%に変化させても、血漿 ¹³C-Phe と ¹²C-Phe 濃度の割合と量が一定であった。また、血漿 ¹³C-Tyr と ¹²C-Ty 濃度の割合と量も一定であった。さらに、¹²C-Ty に対する ¹³C-Tyr の割合は、¹²C-Phe に対する ¹³C-Phe の割合よりも小さく、このことは、Phe から Tyr への代謝は亢進していないことを示唆している。また、肝臓および腓腹筋の遊離アミノ酸について測定した結果、血漿と同様にカゼイン食のたんぱく質レベルを4.3%から17.2%に変化させても、血漿 ¹³C-Phe と ¹²C-Phe 濃度の割合と量および血漿 ¹³C-Tyr と ¹²C-Ty 濃度の割合と量も一定であった (表3)。

たんぱく質代謝要求量は、18:30の ¹³CO₂ 量を特異的回帰法 (2段階線形交差)¹⁴⁾ により解析し、段階的なたんぱく質摂取量に対する呼気中 ¹³CO₂ が最小値となる屈曲点として算出した。本研究では、ラットにおいて IAAO 法により、カゼインをたんぱく質源とした時のたんぱく

表2 実験食の組成

Protein	Casein diet						Wheat gluten diet					
	4.3%	8.6%	12.9%	17.2%	21.5%	25.8%	7.2%	10.8%	14.4%	18.0%	21.6%	25.2%
	g/kg diet						g/kg diet					
Casein	50	100	150	200	250	300	—	—	—	—	—	—
Wheat gluten	—	—	—	—	—	—	100	150	200	250	300	350
Cornstarch	557	523	490	457	423	390	527	498	470	440	411	383
Sucrose	278	262	245	228	212	195	265	250	235	221	206	190
Rapeseed oil	35	35	35	35	35	35	31	27	22	18	14	9
Soy bean oil	15	15	15	15	15	15	12	10	8	6	4	3
Vitamins	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Minerals	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Cellulose	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
L-Phenylalanine	11	9	7	5	2	—	9	7	5	3	1	—
L-Tyrosine	13	10	8	5	3	—	13	11	10	9	8	6
Energy (kJ/g)	15.4	15.4	15.5	15.5	15.5	15.6	15.5	15.5	15.5	15.5	15.6	15.6

カゼインのたんぱく質含量は86.2% (N×6.38)、小麦グルテンのたんぱく質含量は72.0% (N×5.70) である。食事中的フェニルアラニン含量は、全ての食事で 13,500 mg/kg diet とした。ただし、25.2%小麦グルテン食の場合には、14,350 mg/kg diet とした。また、食事中的チロシン含量は、全ての食事で 15,000 mg/kg diet とした。

表3 血漿、肝臓、腓腹筋のフェニルアラニンおよびチロシン濃度

Diet	Phenylalanine			Tyrosine		
	¹³ C-Phe	¹² C-Phe	Total	¹³ C-Tyr	¹² C-Tyr	Total
Plasma (nmol/mL)						
4.3% casein	13.2 ± 2.9	47.2 ± 4.3	60.4 ± 7.0	7.5 ± 2.0	113.0 ± 29.4	120.6 ± 30.7
17.2% casein	12.1 ± 2.5	50.8 ± 10.0	62.9 ± 11.8	8.5 ± 1.4	119.8 ± 15.2	128.3 ± 16.2
Liver (nmol/g)						
4.3% casein	10.6 ± 0.4	40.9 ± 5.1	51.5 ± 4.9	7.4 ± 1.3	99.4 ± 32.0	106.9 ± 33.2
17.2% casein	10.4 ± 2.1	43.1 ± 10.5	53.6 ± 12.3	8.8 ± 2.8	92.5 ± 7.5	101.4 ± 9.2
Gastrocnemius muscle (nmol/g)						
4.3% casein	13.0 ± 1.7	46.6 ± 4.5	59.6 ± 5.7	8.4 ± 0.8	91.9 ± 8.7	100.3 ± 8.5
17.2% casein	11.6 ± 1.9	48.2 ± 2.5	59.8 ± 3.6	7.0 ± 1.1	84.7 ± 5.8	91.7 ± 5.0

平均値±SE (4.3% casein, $n=5$; 17.2% casein, $n=5$). 全てのデータに4.3% casein 群と17.2% casein 群との間に Student's t-test にて有意差を認めなかった。

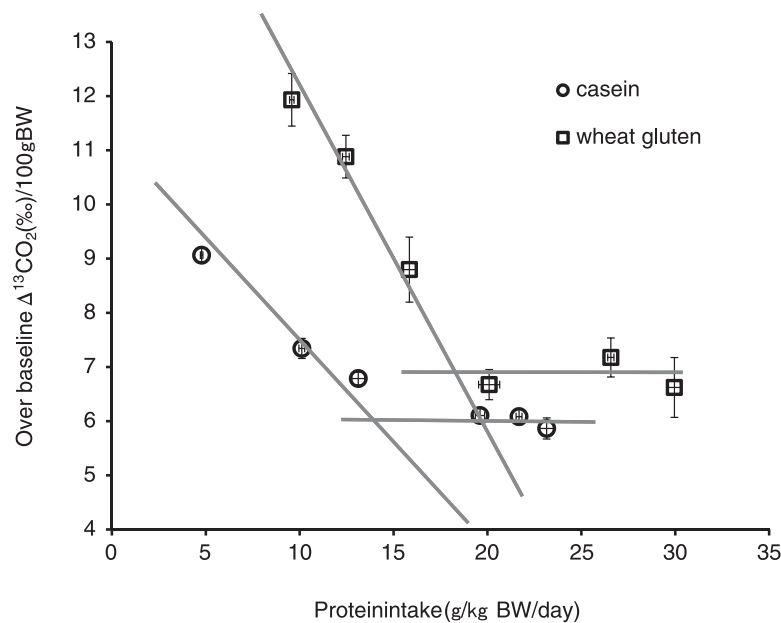


図8 たんぱく質代謝要求量の算出

カゼイン食 ($n=8$) と小麦グルテン食 ($n=8$) のたんぱく質摂取量を変化させた時の呼吸 $^{13}\text{CO}_2$ 産生量の変化を平均値±標準偏差で示した。カゼイン食の回帰直線式は、 $y=10.73-0.35x$ と $y=6.17$ であり、小麦グルテン食の回帰直線式は、 $y=18.87-0.66x$ と $y=6.92$ であった。屈曲点は、カゼイン食が 13.1 g/kg BW/日 、小麦グルテン食が 18.1 g/kg BW/日 であった。

質代謝要求量は 13.1 g/kg BW/day に相当すると推定された (図8)。

小麦をたんぱく質源とした IAAO 法では、たんぱく質代謝要求量は 18.1 g/kg BW/day と算出され、カゼインをたんぱく質源とした時よりも高い値であった。たんぱく質必要量は良質のたんぱく質摂取で低く、劣質のたんぱく質摂取で高くなったという結果は、我々の仮説に合致し、IAAO 法はたんぱく質の質評価に利用できると考えられた。

VI. ヒトにおける IAAO 法によるたんぱく質代謝要求量の測定

1日の総窒素必要量は、不可欠アミノ酸の適切な摂取レベルとバランス、それに α -アミノ窒素源となる十分な不可欠アミノ酸を供給することを満たすものである。2007年に Humayun ら¹⁵⁾ は、IAAO 法を用いて成人のたんぱく質必要量を再評価している。彼らによると成人男性のたんぱく質必要量は、 0.93 g/kg BW/日 であった。我々も、IAAO 法を用いて日本人成人男性のたんぱく質代謝要

求量を評価した。その結果、0.91 g/kg BW/日と推定した（データは未発表）。また、IAAO法を用いて、成人女性では0.91 g/kg/日¹⁶⁾、学童期では1.3 g/kg/日¹⁷⁾と報告されている。いずれも、窒素出納法で策定された値よりも大きい。

以上のように、IAAO法はたんぱく質代謝要求量の評価だけでなく、たんぱく質の質の評価にも利用できることがわかった。さらに、ライフステージ別のたんぱく質代謝要求量やいろいろな病態時のたんぱく質代謝要求の推定にも利用できる方法であると考えられた。

謝 辞

本稿を終えるにあたり、荣誉ある日本栄養改善学会学会賞を授与されたことに対し、選考委員の先生をはじめ、本学会の諸先生に厚く御礼申し上げます。本研究は、大塚製薬株式会社徳島研究所、徳島大学大学院栄養学研究科ならびに京都府立大学大学院生命環境科学研究科で行われたものです。研究を遂行するにあたり終始ご指導いただいた岸恭一徳島大学名誉教授（現名古屋学芸大学教授）に深謝致します。また、大塚製薬株式会社では多大なご指導とご助言をいただきました郡英明博士（元佐賀研究所所長）に心より感謝申し上げます。京都府立大学では常に多くのご助言とご指導をいただきました中坊幸弘京都府立大学名誉教授（現川崎医療福祉大学教授）に厚く御礼申し上げます。最後になりましたが、徳島大学大学院栄養学研究科栄養生理学講座および京都府立大学大学院栄養科学研究室での共同研究者ならびに大学院・学部卒業生、在校生の皆さんに深く感謝いたします。

文 献

- 1) FAO: Protein requirements, Report of the FAO Committee, FAO Nutritional Studies, No. 16 (1957) FAO, Rome
- 2) WHO: Protein requirements, Report of a Joint FAO/WHO Expert Group, WHO Technical Report Series, No. 301 (1965) WHO, Geneva
- 3) WHO: Energy and Protein requirements, Report of a Joint FAO/WHO ad hoc Expert Committee, WHO Technical Report Series, No. 522 (1973) WHO, Geneva
- 4) WHO: Energy and Protein requirements, Report of a Joint FAO/WHO ad hoc Expert Committee, WHO Technical Report Series, No. 724 (1985) WHO, Geneva
- 5) WHO: Energy and Protein requirements, Report of a Joint FAO/WHO ad hoc Expert Committee, WHO Technical Report Series, No. 935 (2007) WHO, Geneva
- 6) Williams, C.D.: A nutritional disease of child-food associated with a maize diet, *Arch. Dis. Child.*, **8**, 423-433 (1933)
- 7) Proceeding of a seminar on weaning practices in Ghana, *Bulletin of Noguchi Memorial Institute for Medical Research*, **4**, 1-101 (1991)
- 8) Proceeding of a seminar on child nutrition and survival, *Bulletin of Noguchi Memorial Institute for Medical Research*, **5**, 1-185 (1992)
- 9) Armar-Klemesu, M., Rikimaru, T., Kennedy, D.O., et al.: Household food security, food consumption patterns, and the quality of children's diet in a rural northern Ghana community, *Food Nutr. Bull.*, **16**, 27-33 (1995)
- 10) Kido, Y., Tsukahara, T., Rokutan, K., et al.: Japanese dietary protein allowance is sufficient for moderate physical exercise in young men, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **43**, 59-71 (1997)
- 11) Kido, Y., Tsukahara, T., Rokutan, K., et al.: Recommended daily exercise for Japanese does not increase protein requirement in sedentary young men. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **43**, 505-514 (1997)
- 12) Uauy, R., Scrimshaw, N.S., Rand, W.M., et al.: Human protein requirements: Obligatory urinary and fecal nitrogen losses and the factorial estimation of protein needs in elderly males, *J. Nutr.*, **108**, 97-103 (1978)
- 13) Ogawa, A., Naruse, Y., Shigemura, Y., et al.: An evaluation of protein intake for metabolic demands and the quality of dietary protein in rats using an indicator amino acid oxidation method, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **57**, 418-425 (2011)
- 14) Hayamizu, K., Kato, M., Hattori, S.: Determining amino acid requirements from repeated observations on indicator amino acid oxidation method by mixed-effect change-point regression models, *J. Clin. Biochem. Nutr.*, **49**, 115-120 (2011)
- 15) Humayun, M.A., Elango, R., Ball, R.O., et al.: Reevaluation of the protein requirement in young men with the indicator amino acid oxidation technique, *Am. J. Clin. Nutr.*, **86**, 995-1002 (2007)
- 16) Tian, Y., Liu, J., Zhang, Y., et al.: Examination of Chinese habitual dietary protein requirements of Chinese young female adults by indicator amino acid method, *Asia Pac. J. Clin. Nutr.*, **20**, 390-396 (2011)
- 17) Elango, R., Humayun, M.A., Ball, R.O., et al.: Protein requirement of healthy school-age children determined by the indicator amino acid oxidation method, *Am. J. Clin. Nutr.*, **94**, 1545-1552 (2011)

（受理：平成23年11月28日）

Dietary Requirements of Protein and Amino Acids

Yasuhiro Kido

Laboratory of Nutrition Science, Division of Applied Life Science, Graduate School of Life
and Environmental Sciences, Kyoto Prefectural University

ABSTRACT

Even when energy intake is adequate, the classic protein deficiency disease kwashiorkor increases susceptibility to infection. The protein requirement defines the requirement in terms of the needs to maintain the physical structure and body functions, i.e. metabolic demands, and the dietary protein requirement will satisfy those demands. Protein requirement is generally determined by nitrogen balance studies, but various limitations are associated with this method. The indicator amino acid oxidation (IAAO) method, with a theoretical foundation quite different from that of the nitrogen balance method, was developed as an alternative for studies in animals and humans. We employed the IAAO technique to evaluate dietary protein requirements and protein quality in rats and healthy men. The results indicated that the IAAO method is effective for evaluating the dietary protein requirements for people of all ages and for postoperative patients or those with injuries or infections, all of who represent a wide range of metabolic demand. This method could also be used to evaluate protein quality.

Jpn. J. Nutr. Diet., **69** (6) 285~293 (2011)

Key words: amino acid and protein, protein requirement, metabolic demand, nitrogen balance method, indicator amino acid oxidation method