



エネルギー換算係数について

はじめに

人間の生命維持や活動にはエネルギーが必要不可欠です。そして、エネルギーは主に食品のたんぱく質、脂質、炭水化物といった栄養成分が体内で代謝されることにより産出され、私達人間はそれらの成分を日々の食事から摂取しています。また、生活習慣病や肥満と摂取・消費エネルギーは密接に関係があるので、食事のエネルギー(カロリー)を知るとは健康生活の鍵でもあります。食品のエネルギーを直接測定する方法はなく*、わが国の食品表示基準では、食品中のたんぱく質、脂質、炭水化物等を分析、算出し、それぞれに定められたエネルギー換算係数を乗じて合計する方法を用いています。現在では、たんぱく質、脂質、炭水化物、有機酸、アルコール以外に食物繊維、難消化性糖質などの成分もその性質が明らかとなり、固有のエネルギー換算係数が定められ、エネルギーの算出に用いられています。

今回は、これらエネルギー換算係数についてご紹介します。

*「ボンブカロリーメーターによる熱量」で物理的燃焼エネルギーを測定することは可能ですが、私達は摂取した食品中のエネルギー源を100%消化吸収できるわけではありません。また、排泄の割合を考慮する必要もあり、栄養学的な意味からエネルギーそのものを測定する方法はないということになります。

アトウォーター (Atwater) のエネルギー換算係数について

食品表示基準でエネルギー計算に用いられるアトウォーター (Atwater) が提唱したエネルギー換算係数は、たんぱく質、脂質及び炭水化物についてそれぞれ 4 kcal/g、9 kcal/g 及び 4 kcal/g と定められています。

このアトウォーターのエネルギー換算係数は、各成分の物理的燃焼熱をヒトの消化吸収率と排泄熱量で補正し求めた係数です。たんぱく質、脂質及び炭水化物のヒトによる消化吸収率をそれぞれ 92, 95, 97%とし、たんぱく質についてはその一部が尿素、尿酸、クレアチニンなどとして尿中に排泄されるため、その損失分を 1.25 kcal として算定されたものです(表-1 参照)。

ただし、これらの値は厳密には食品により異なるため、多くの食品に対する平均値から設定されたものです。

表-1 アトウォーター (Atwater) のエネルギー換算係数の算定根拠

栄養素	物理的燃焼熱 (kcal/g)	消化吸収率 (%)	排泄熱量 (kcal/g)	換算係数 (kcal/g)
たんぱく質	5.7	92	1.25	4
脂質	9.4	95	—	9
炭水化物	4.1	97	—	4

難消化性糖質のエネルギー換算係数について

利用可能な炭水化物が小腸までで消化吸収される消化性糖質であるのに対し、難消化性糖質は消化吸収されず、大腸で腸内細菌による発酵分解をうけて短鎖脂肪酸に代謝され、エネルギー源として利用できるものを示します。

発酵分解によって生成される短鎖脂肪酸のうちエネルギー源として利用できるのは酢酸、プロピオン酸及び酪酸のみで、その総保有エネルギー量は平均 2.71 kcal/g です。ところが、人に摂取させた場合はその約 15%が排泄されるため、これを考慮するとエネルギー量が 2.3 kcal/g となります。更に利用率を考慮した値も 1.59 kcal/g となる事から食品表示基準では整数に丸めて 2 kcal/g としています。以上のことから、難消化性糖質のエネルギー換算係数は、小腸までで消化吸収される部分 (4 kcal/g) と大腸で発酵分解をうける部分 (2 kcal/g) の割合が明らかになれば算出することができます。この方法によって食品表示基準で定められている難消化性糖質のエネルギー換算係数は、表-2 の通りです。

表-2 難消化性糖質のエネルギー換算係数 (kcal/g)

難消化性糖質	エネルギー換算係数
エリスリトール スクラロース	0
ソルボース マンニトール ガラクトピラノシル(β 1-3)グルコピラノース ガラクトピラノシル(β 1-6)グルコピラノース ラクチュロース イソマルチトール パラチニット マルチトール ラクチトール ガラクトピラノシル(β 1-6)ガラクトピラノシル(β 1-4)グルコピラノース ガラクトピラノシル(β 1-3)ガラクトピラノシル(β 1-4)グルコピラノース ガラクトシルスクロース (別名ラクトスクロース) ガラクトシルラクトース キシロトリオース ケストース ラフィノース マルトトリイトール キシロビオース ゲンチオトリオース ゲンチオビオース スタキオース ニストース ゲンチオテトラオース フルクトフラノシルニストース α-サイクロデキストリン β-サイクロデキストリン マルトシル β-サイクロデキストリン	2
ソルビトール テアンデオリゴ マルトテトライトール キシリトール	3

食物繊維のエネルギー換算係数について

食物繊維も難消化性糖質のひとつで、小腸では全く消化されず、大腸での発酵分解を受けることによってのみ、有効エネルギーを産生します。従って、エネルギー換算係数は最大でも2 kcal/gとなり、その有効エネルギーは大腸による発酵分解性の差異(発酵分解率)で変化することになります。

発酵分解率は人を用いた出納実験で求めることができ、食品表示基準ではそれが明らかとなっているいくつかの食物繊維素材について表-3 のようなエネルギー換算係数を設定しています。

表-3 食物繊維素材のエネルギー換算係数 (kcal/g)

食物繊維素材名	エネルギー換算係数
寒天 キサンタンガム サイリウム種皮 ジュランガム セルロース 低分子アルギン酸ナトリウム ポリデキストロース	0
アラビアガム 難消化性デキストリン ビートファイバー	1
グァーガム (グァーフラワー, グァルガム) グァーガム酵素分解物 小麦胚芽 湿熱処理でんぷん (難消化性デンプン) 水溶性大豆食物繊維 (WSSF) タマリンドシードガム プルラン	2

また、表-3 に記載のないものについては、以下のような考え方に従いエネルギー換算係数を設定することになっています。

- 1) 大腸に到達して完全に発酵分解されるものは 2 kcal/g
- 2) 発酵分解を受けない食物繊維は、原則 0 kcal/g
- 3) 発酵分解性が明らかな食物繊維についてその発酵分解率に 2 kcal/g を乗じて算出する。
 - ・ 発酵分解率が 25%未満 → 0 kcal/g
 - ・ 発酵分解率が 25%以上 75%未満 → 1 kcal/g
 - ・ 発酵分解率が 75%以上 → 2 kcal/g

エネルギーに影響する成分の考慮について

ここまで述べてきたように、食品の各成分を分析し、それぞれのエネルギー換算係数を乗じることで、その食品を摂取したときのエネルギーを算出することができますが、多種多様な食品の中には、たんぱく質、脂質及び炭水化物だけではなく、個別に定量しエネルギー算出に考慮することが望ましい成分を含むものが存在します。

例えば以下に示したように 100 g 当たり、たんぱく質 20 g、脂質 15 g、炭水化物 40 g、食物繊維 10 g、エリスリトール 15 g を含む食品を想定して、これについてエネルギーを算出する場合、食物繊維・エリスリトールを考慮しない場合と、考慮する場合とでは、以下のようにそれぞれ 375 kcal/100g と 295 kcal/100g となり、エネルギーの結果に 27% の差が出てしまいます。

◎たんぱく質，脂質，炭水化物のみから算出

$$\text{エネルギー} = 20 \times 4 + 15 \times 9 + 40 \times 4 = 375 \text{ kcal/100 g}$$

◎たんぱく質，脂質，炭水化物，食物繊維，エリスリトールから算出

$$\text{エネルギー} = 20 \times 4 + 15 \times 9 + (40 - 10 - 15) \times 4 + 10 \times 2 + 15 \times 0 = 295 \text{ kcal/100 g}$$

おわりに

各食品に含まれている成分のうち、特に炭水化物に含まれる食物繊維、難消化性糖質（糖アルコール等）の含量が高い場合は、それらを考慮するか否かでエネルギー算出結果に差が生じるため、正しくエネルギーを求めるためには、影響する成分の含量を計算に考慮することが必要になります。製品について正しくエネルギー評価をすることにより商品価値を高めることも可能となります。

弊財団では食品表示基準に基づいた栄養成分分析とエネルギー算出に加え、これらの成分の評価についてご相談を承っております。お気軽にご相談下さい。

参考資料

- ・ 奥 恒行：栄養学雑誌，Vol.61，No.4，263～266（2003）
- ・ 奥 恒行：日本栄養・食糧学会誌，第58巻，第6号，337～342（2005）
- ・ 消費者庁：食品表示基準について（平成27年3月30日消食表第139号）別添 栄養成分等の分析方法等

http://www.caa.go.jp/foods/pdf/161117_tuchi4-betu2.pdf