

## 食品の熱量（エネルギー）について ～ エネルギー換算係数の話 ～

### はじめに

食品の熱量（エネルギー）は、たんぱく質、脂質及び炭水化物のそれぞれについて定められたエネルギー換算係数（各成分 1g 当たりの利用エネルギー量）を用いて算定されます。ただし、わが国の食品成分表と栄養表示基準を比較すると、同一の食品であっても、用いるエネルギー換算係数が異なる場合も少なくありません。ここでは、エネルギー換算係数はどのような経緯で決められているのか、なぜ食品成分表と栄養表示基準とで異なる部分があるのかについてお話ししましょう。

### エネルギー換算係数が決められた経緯について

私たちは、摂取した食品に含まれるたんぱく質、脂質及び炭水化物を体内で「燃焼」させることによって私たちの生命活動に必要な熱量（エネルギー）を確保しています。ある食品中のたんぱく質、脂質及び炭水化物を完全に 100%「燃焼」させる時に得られる熱量（エネルギー）の量は、実験的には、ボンブカロリーメーター装置で求めることができます。ところが、私たちは摂取した食品中のたんぱく質、脂質及び炭水化物を 100%消化吸収できるわけではありません。さらに、たんぱく質については吸収されたものの一部が尿素や尿酸などのかたちで尿中に排泄されてしまいますので、体内で食品から実際に確保できる熱量（エネルギー）はボンブカロリーメーター装置で求めた「物理的燃焼熱」よりも少なくなってしまうのです。

では、ある食品から私たちが体内で確保することのできる熱量（エネルギー）は、ボンブカロリーメーター装置で求めた当該食品の「物理的燃焼熱」よりもどの程度少いのかと言いますと、それは、厳密には、それぞれの食品中のたんぱく質、脂質及び炭水化物の体内代謝や消化吸収率を実験的に求めて初めて分かることです。ところが、現実には、その様な実験をそれぞれの食品中について実施することには様々な困難を伴います。そこで、できるだけ手間をかけずに計算だけで近似値を求める仕組みをつくらうとの発想から生まれたのがエネルギー換算係数であるわけです。実際には、食品群毎に代表的な幾つかの食品を選び、それらについて実施したヒトによる消化吸収率等の実験結果から各食品群のたんぱく質、脂質及び炭水化物の平均的な利用率を求めてエネルギー換算係数を定めます。

### アトウォーター（Atwater）のエネルギー換算係数について

一般的に広く用いられているエネルギー換算係数にアトウォーター（Atwater）のエネルギー換算係数があります。すなわち、たんぱく質、脂質及び炭水化物についてそれぞれ利用エネルギー量を 4 kcal/g、9 cal/g 及び 4 kcal/g と定めたものです。

アトウォーターのエネルギー換算係数は、Rubner と Atwater の研究により、ヒトによるたんぱく質、脂質及び炭水化物の消化吸収率が平均的にそれぞれ 92%、95%及び 97%であり、さらにたんぱく質の一部が尿素や尿酸などとして尿中に排泄されることによるエネルギーの損失が平均的にたんぱく質 1g 当たりで 1.25 kcal であることが明らかにされたことに基づいています（表 1 参照）。

表1 Atwater のエネルギー換算係数の策定プロセス

成分	物理的燃焼熱 kcal/g	消化吸収率 %	排泄熱量	換算係数
			kcal/g	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

### 食品成分表と栄養表示基準でエネルギー換算係数になぜ差があるのか

アトウォーターのエネルギー換算係数は、食品全般に対する平均的な値です。ところが、たんぱく質、脂質及び炭水化物の体内代謝や消化吸収率は、食品によって微妙に異なるのが現実です。

すべての食品についてたんぱく質、脂質及び炭水化物のヒトによる利用率を求め、食品毎に個別のエネルギー換算係数を設定するのが理想ではありますが、現実的ではありません。そこで、2種類の考え方が生まれました。

1つは、日本の栄養表示基準やイギリスの食品成分表などに採用されている考え方で、炭水化物を利用可能なもの（糖類やでんぷん等）と利用不能なもの（食物繊維、難消化性オリゴ糖あるいは糖アルコール等）に分け、これらの成分についても個々にエネルギー換算係数を設定するものです。この考え方の場合は、食品の種類を問わず同一の成分であれば一律に同じエネルギー換算係数を用いることができるという利点があります。たとえば、日本の栄養表示基準における各成分のエネルギー換算係数は表2の通りです。たんぱく質と脂質のエネルギー換算係数をそれぞれ4 kcal/g と9 kcal/g と定め、炭水化物については小腸までで消化吸収されるもの（消化性糖質）のエネルギー換算係数を4 kcal/g、消化吸収されず、大腸で腸内細菌による発酵分解を受けて短鎖脂肪酸となり、吸収されてエネルギーとして利用される難消化性糖質や食物繊維のエネルギー換算係数を発酵分解の難易度に応じて3、2、1及び0 kcal/g の4段階に設定しています。

もう1つの考え方は、日本の食品成分表などに採用されているもので、炭水化物を利用可能なものと利用不能なもの等に分けることはせず、ヒトによる消化吸収試験のデータに基づいて食品毎にエネルギー換算係数を設定するものです。たとえば、「五訂日本食品標準成分表」（科学技術庁資源調査会編）における、米のエネルギー換算係数を調べてみますと、

玄米	たんぱく質	3.47 kcal/g	脂質	8.37 kcal/g	炭水化物	4.12 kcal/g
半つき米	たんぱく質	3.78 kcal/g	脂質	8.37 kcal/g	炭水化物	4.16 kcal/g
精白米	たんぱく質	3.96 kcal/g	脂質	8.37 kcal/g	炭水化物	4.20 kcal/g

と、同じ米でもその精製度によって異なるエネルギー換算係数が設定されています。それぞれについて日本人による試験が実施され、その結果に基づいてエネルギー換算係数が設定されているわけです。ただし、米は日本人の主食だからこそこれだけ詳しいヒト試験が行われたわけで、全ての食品について米の場合と同じようにヒト試験を実施するのは現実的ではありません。通常は、食品を幾つかのグループに分け、そのグループの中の代表的な食品について求めたエネルギー換算係数をグループ全体に適用する方式が採用されています。

表2 食品成分のエネルギー換算係数（栄養表示基準対応）

食 品 成 分			エネルギー換算係数	
たんぱく質			4 kcal/g	
脂 質			9 kcal/g	
炭 水 化 物	利用可能炭水化物（消化性糖質）		4 kcal/g	
	利 用 不 能	難 性 消 糖 化 質	第1群の難消化性糖質	3 kcal/g
			第2群の難消化性糖質	2 kcal/g
			第3群の難消化性糖質	0 kcal/g
	炭 水 化 物	食 物 繊 維	発酵性食物繊維	2 kcal/g
			難発酵性食物繊維	0 または 1 kcal/g
			第1群の食物繊維素材	2 kcal/g
			第2群の食物繊維素材	1 kcal/g
			第3群の食物繊維素材	0 kcal/g
	アルコール		7 kcal/g	
	有 機 酸		3 kcal/g	

（平成15年5月現在）

- 第1群の難消化性糖質 ソルビトール，マルトテトライトール，キシリトール  
テアンデオリゴ
- 第2群の難消化性糖質 マンニトール，マルチトール，イソマルチトール，  
マルトトリイトール，ラクチトール，パラチニット，  
フラクトオリゴ糖類，キシロオリゴ糖類，ゲンチオオリゴ糖類，  
ガラクトシルスクロース，ガラクトシルラクトース，  
ラフィノース，スタキオース，ソルボース，ラクチュロース，  
サイクロデキストリン類 など
- 第3群の難消化性糖質 エリスリトール，スクラロース
- 第1群の食物繊維素材 グァーガム，グァーガム分解物，小麦胚芽，プルラン，  
水溶性大豆食物繊維（WSSF），タマリンドシードガム  
湿熱処理でんぷん（難消化性でんぷん）
- 第2群の食物繊維素材 アラビアガム，難消化性デキストリン，ビートファイバー
- 第3群の食物繊維素材 寒天，キサントガム，サイリウム種皮，ジェランガム，  
セルロース，低分子化アルギン酸ナトリウム，  
ポリデキストロース