

バランス食アミノ酸スケールを応用した食品アミノ酸表示

片 山 一 男

The display of the foods amino acid adapting a balance diet amino acids scale

Kazuo Katayama

現在、世界各国では独自のアミノ酸分析データに基づく「食品アミノ酸成分表」が出版され、栄養学関連の分野で活用されている。近年、条件付き必須アミノ酸や免疫系で重要な役割を果たすアミノ酸が存在することが明らかにされ、食品に含まれるこれらのアミノ酸についても必須アミノ酸同様注目する必要がある。したがって、分析値が記載されている18種のアミノ酸すべてを何らかの形で表現することが栄養アセスメントにおいて重要である。

本研究では食品のたんぱく質1g当りの各アミノ酸重量をモル数に換算し、日本人の食事摂取基準を満たす食品構成を行い、その時のたんぱく質中のアミノ酸をモル数の大きい順に配置したアミノグラムを作成した。さまざまな食品に含まれるたんぱく質中のアミノ酸量をこのバランス食アミノ酸スケール上に表示することによって、それぞれの食品のアミノ酸成分の特徴をパターン化し視覚的に簡便に把握、比較、評価することが可能となった。

キーワード：アミノグラム、バランス食、アミノ酸降順スケール

背景・目的

食事のたんぱく質を構成するアミノ酸組成が公的に発表されたのは1958年、W.L.OrrとB.K.Wattによる「各種食品のアミノ酸組成表」にはじまり¹⁾、現在では世界各国で独自のアミノ酸分析データに基づく「食品アミノ酸組成表」が出版され利用されている。しかし、現実にはこのデータブックの活用は、まだ十分ではない。わが国における「食品アミノ酸組成表」の活用は18種類のアミノ酸組成の分析値を食品表示への引用、各種動物実験での飼料アミノ酸量の算出、18種類のアミノ酸のうち9種類の必須アミノ酸分析値を用いての献立たんぱく質のアミノ酸スコア算出など特定の限られた範囲に留まっている。しかし、たんぱく質を構成する総アミノ酸量の60～70%が非必須アミノ酸で占められていること、また近年、非必須アミノ酸のいくつかは、生体内で重要な作用、機能をもつことが臨床栄養学分野での複数の研究^{2～6)}で明らかにされており、中でも条件付き必須アミノ酸⁷⁾と称するアミノ酸や免疫系で一定の役割を果たすアミノ酸の存在が知られるようになった。このことから今後は分析値が記載されているアミノ酸18種類全てのデータを何らかの形で表現する必要があると考えられる。^{8,9)} またこれらの食品たんぱく質のアミノ酸組成表示¹⁾は歴史的に当初から現在にいたるまで、重量表示(ミリグラム)とされてきた。一方、1970年代半ば頃から、血漿アミノ酸

2013年3月28日受理
* 尚絅学院大学 准教授

等においては、それまで重量表示されていたデータがモル数表示されるようになり、アルブミンや種々の酵素、ペプチドホルモンなどのアミノ酸配列が次々と明らかにされ、アミノ酸残基数での表記も一般的になってきた。

本研究では食品に含まれるたんぱく質の 1 グラム当りの各アミノ酸重量をモル数に換算し、日本人の食事摂取基準¹⁰⁾を満たす食品構成を行い、その時のたんぱく質中でモル数の多いアミノ酸を左高右低に降順に配置したものを“バランス食アミノ酸降順スケール”と定義し、このスケールにアミノグラムとして描き表すことでアミノ酸成分の特徴をパターンとして視覚的に把握、評価することを目的とした。また「日本食品標準成分表準拠アミノ酸成分表 2010」¹²⁾に記載されている 16 食品群 301 食品について、バランス食アミノ酸降順スケールを応用して、それぞれの食品のアミノグラムを作成した。さらに 2 つの食品間のアミノ酸成分*をそれら 2 食品のアミノ酸の散布図とアミノグラムで比較した。

注)

*「アミノ酸組成」という用語が長年に亘って術語として用いられてきたが、2010 年、それまでの「日本食品アミノ酸組成表」¹¹⁾が改訂され「日本食品標準成分表準拠アミノ酸成分表 2010」¹²⁾と改称した。この理由から本稿においては「アミノ酸成分」という用語を用いることとする。

方 法

1 食事・食品のアミノ酸量の算出

食品に含まれるアミノ酸量については、「日本食品標準成分表準拠アミノ酸成分表 2010」¹²⁾に記載されている 16 食品群 301 食品の 18 種類のアミノ酸成分値を用いた。アミノ酸成分表に示されているアミノ酸含量は mg 表示であるので、本研究ではそれぞれのアミノ酸をその分子量で除してモル数に換算し、たんぱく質の 1 g 当りのモル数を用いた。また食品中のたんぱく質を構成するグルタミンとアスパラギンは加水分解処理過程で ω 位のアミノ基がアンモニアとして脱離されグルタミン酸、アスパラギン酸として分析される。このためアミノ酸成分表にはグルタミンとアスパラギンのデータは表示されていない。これらの理由からアミノ酸スケールの横軸にはグルタミン酸+グルタミン、アスパラギン酸+アスパラギンと表記した。

2 バランス食のアミノグラム作成

日本人の食事摂取基準を満たすように、表 1 に示した食品群を組合わせた時の食事をバランス食と定義した。横軸にバランス食に含まれる 18 種類のアミノ酸をモル数の多い順に左から右に降順配列し、縦軸にはたんぱく質 1 g 当りのそれぞれのアミノ酸のモル数 (mol/g たんぱく質) を表示することによりアミノグラム (アミノ酸パターン) を作成した。「日本食品標準成分表準拠アミノ酸成分表 2010」¹²⁾に記載されている 16 食品群 301 食品についても、バランス食のアミノ酸配置に従ってアミノグラムを作成した。

3 2 食品間のアミノ酸成分の類似性

食品のたんぱく質の 18 種類のアミノ酸データについて、2 つの食品間のアミノ酸成分の相同性あるいは相違性を散布図で示し、最小二乗法により回帰直線と相関係数を求めた。散布図

の横軸、縦軸は、それぞれ2つの食品の18種類のアミノ酸量（ $\mu\text{mol/g}$ たんぱく質）とした。今回は、日本食品標準成分表に収載されている13食品群16区分の各同一区分内の食品について4,709通りの組合せの解析を行った。また、同じ2つの食品間のアミノ酸成分について2で述べた方法によって作成したアミノグラムと散布図との比較をおこなった。

4 アミノグラム、散布図の作成、相関係数の算出

「Microsoft Office Excel 2007」を用いて行った。

結 果

日本食品標準成分表準拠アミノ酸成分表2010に収載されている食品群及びそれぞれの食品群に分類される食品数を表2に示した。本研究では、バランス食及び種々の食品のアミノグラム作成に日本食品標準成分表準拠アミノ酸成分表2010（以下アミノ酸成分表）に収載された301食品に含まれるアミノ酸成分値を用いた。また、アミノ酸成分表に示されている18種類のアミノ酸の重量をモル数に換算に用いたそれぞれのアミノ酸の略号と分子量を表3に示した。なお、アミノ酸成分表ではシスチン（Cys-Cys）として表記されているが、アミノグラム作成に際しては、シスチンをモル数換算後2倍してシステイン（Cys）として表した。さらにスパラギン（Asn）とグルタミン（Gln）は食品たんぱく質の分析で加水分解によってそれぞれアスパラギン酸（Asp）とグルタミン酸（Glu）として測定されるので、本研究ではAsx（またはAsp+Asn）、Glx（またはGlu+Gln）と表記し、アミノグラム作成にもこれらを用いた。

表1 バランス食の食品構成

食 品 群	重量 (g)	たんぱく質量 (g)
穀 類	280	16.2
いも類	50	0.6
豆 類	48	6.4
魚 類	60	10.4
肉 類	70	11.4
卵 類	50	5.4
乳 類	206	5.6
緑黄野菜類	94	3.4
その他の野菜類	269	
きのこ類	20	0.4
藻 類	10	0.3
果実類	150	0.8
油脂類	35	—
砂糖及び甘味類	20	—
合 計	1362	60.9

食事の総エネルギー2,000kcal、脂質48.0g、ビタミン、ミネラルそれぞれ13種類の食事摂取基準を満たす食品構成を設定した。

表2 基礎データとして用いた食品数

食 品 群	食 品 数
1 穀 類	37
2 いも類	4
3 砂糖及び甘味類	—
4 豆 類	21
5 種実類	12
6 野菜類	44
7 果実類	21
8 きのこと類	5
9 藻 類	5
10 魚介類	87
11 肉 類	35
12 卵 類	4
13 乳 類	12
14 油脂類	—
15 菓子類	1
16 し好飲料類	1
17 調味料類	8
18 調味加工品類	4
合 計	301

日本食品標準成分表準拠アミノ酸成分表2010収載食品では3砂糖及び甘味類と14油脂類はたんぱく質を含まないため収載されていない。

表3 18種類のアミノ酸の略号とモル換算に用いた分子量

略号	英名	和名	分子量
Ile	Isoleucine	イソロイシン	131.2
Leu	Leucine	ロイシン	131.2
Lys	Lysine	リシン (リジン)	146.2
Met	Methionine	メチオニン	149.2
Cys-Cys*	Cystine	シスチン	240.3
Phe	Phenylalanine	フェニルアラニン	165.2
Tyr	Tyrosine	チロシン	181.2
Thr	Threonine	トレオニン (スレオニン)	119.1
Trp	Tryptophan	トリプトファン	204.2
Val	Valine	バリン	117.2
His	Histidine	ヒスチジン	155.2
Arg	Arginine	アルギニン	174.2
Ala	Alanine	アラニン	89.1
Asp**	Aspartic acid	アスパラギン酸	133.1
Glu**	Glutamic acid	グルタミン酸	147.1
Gly	Glycine	グリシン	75.1
Pro	Proline	プロリン	115.1
Ser	Serine	セリン	105.1

* Cys-Cys は分子量 240.3 で除した後2倍して Cys (システイン) に換算して用いた。 ** Asp および Glu の分析値には元のたんぱく質構成残基の Asn (アスパラギン)、Gln (グルタミン) に由来するものも含まれるので Asx (または Asp+Asn)、Glx (または Glu+Gln) と表記した。

表4 バランス食アミノ酸モル数降順表 (たんぱく質 1 g 当り)

アミノ酸	μ mol
Glx	1451
Asx	833
Leu	708
Ala	668
Gly	645
Pro	570
Val	530
Ser	530
Lys	526
Arg	407
Ile	396
Thr	393
Phe	332
Tyr	236
His	239
Met	188
Cys	157
Trp	72

日本人の食事摂取基準を満たす食品の組合せ (バランス食) の食品構成とそれぞれの食品に含まれるたんぱく質量を表1に示した。表1は、たんぱく質、糖質、脂質、食物繊維のほかビタミン13種類、ミネラル13種類を含む食事摂取基準の栄養素30項目について成人の摂取基準を満たすように食品の構成を行った。表1の食品の組合せによる食事の総エネルギーは2,000kcal、総たんぱく質量60.9g、総脂質量48.0gに相当する。これらの食品の組合せによるバランス食に含まれるアミノ酸量をアミノ酸成分表から求め、たんぱく質1g当りのモル数で表したものを表4に示した。表4からバランス食に含まれるアミノ酸はGlx (グルタミン酸とグルタミン) が最も多く、次いでAsx (アスパラギン酸とアスパラギン)、ロイシン、アラニンとつづき、トリプトファンが最も少ないことが明らかとなった。この結果を横軸にアミノ酸量を降順に配置し、縦軸にそれぞれの量 (μ mol/1gたんぱく質) をプロットし、折れ線で結んだアミノグラムが図1である。

アミノグラムがそれぞれの食品のアミノ酸データを的確に反映し、視覚的に2つの食品間のアミノ酸データの隔たりあるいは類似性を読み取ることが可能かを検証するため、2つの食品のアミノ酸データからアミノグラム、散布図及び相関係数を求め比較した。それぞれの食品の

アミノグラムはバランス食のアミノグラムの横軸のアミノ酸配置にしたがって作成し、2食品のアミノグラムを同一グラフ上に描き比較した。13食品群16区分の食品を対象に各同一区分内の2つの食品間におけるアミノ酸成分の散布図及び相関係数を求めた。総数4,720通りの2食品間の組合せの内訳を食品群別に整理した結果を表5-1及び表5-2に示した。表5-1には、2つの食品間でそれぞれのアミノ酸データの類似性の高い組合せを、表5-2には2食品間でアミノ酸データの隔たりが大きい食品の組合せを示した。なお食品の名称は「日本食品標準成分表準拠アミノ酸成分表2010」¹²⁾の表記に従った。

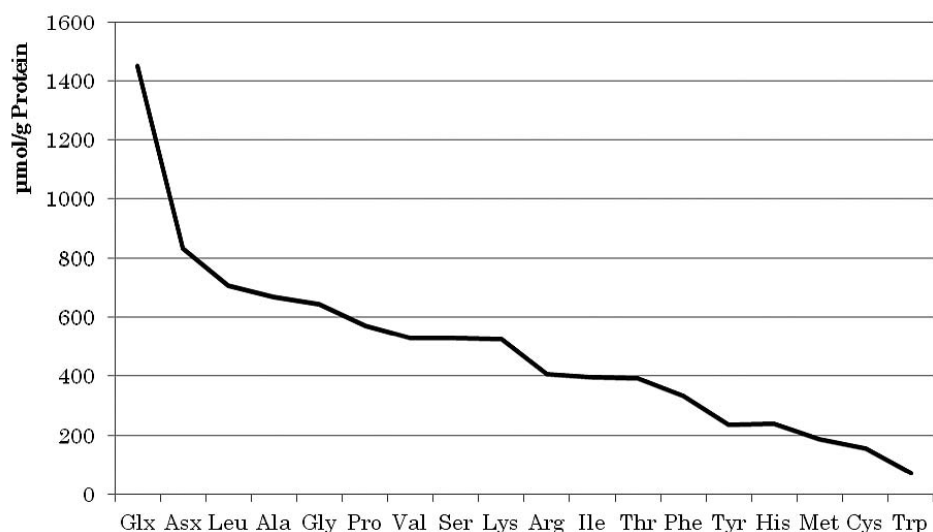


図1 バランス食のアミノグラム
日本人の食事摂取基準を満たす食品構成をした時のアミノ酸を横軸にモル数の多い順に左から右へ降順に配置した。

表5-1 常用食品の食品群内におけるアミノ酸組成の相関係数最大値の食品組合せ

食品群	相関係数の数	相関係数最大値の食品組合せ
10 魚 類	1,830	1.00 あまだい／あこうだい *他多数
13 乳 類	66	1.00 プロセスチーズ／CHEDDARチーズ
5 種実類	66	1.00 カシュナッツ／ピスタチオ
4 豆 類	210	1.00 豆乳／豆腐
11 肉 類	595	1.00 若鶏むね肉／七面鳥 *他多数
1 穀 類	666	1.00 うどん／小麦粉・中力 *他多数
7 果実類	210	0.99 日本なし／もも、日本なし／うめ
6 野菜類	946	0.99 サラダな葉／こまつな・ほうれんそう

相関係数は小数点下3桁を四捨五入して示した

表 5-2 常用食品の食品群内におけるアミノ酸組成の相関係数最小値の食品組合せ

食品群	相関係数の数	相関係数最小値の食品組合せ
7 果実類	210	0.06 日本なし／ぶどう
6 野菜類	946	0.17 トマト／ごぼう
		0.47 れんこん／だいこん
5 種実類	66	0.67 マカダミアナッツ／日本ぐり
11 肉 類	595	0.34 うさぎ赤肉 /ゼラチン
1 穀 類	666	0.65 小麦たんぱく粉末状／小麦はいが
10 魚 類	1,830	0.74 うなぎ／くろまぐる赤身 *魚卵は除外
4 豆 類	210	0.94 糸引き納豆／さらしあん
13 乳 類	66	0.96 カゼイン／調整粉乳 カゼイン／人乳

相関係数は小数点下 3 桁を四捨五入して示した

表 5-1 及び表 5-2 のなかから、あまだいとあこうだい (図 2-1, 2)、プロセスチーズとチェダーチーズ (図 3-1, 2)、マカダミアナッツと日本ぐり (図 4-1, 2)、トマトとごぼう (図 5-1, 2)、日本なしとぶどう (図 6-1, 2)、及びれんこんとだいこん (図 7-1, 2) の組合せについて、それぞれの食品のアミノ酸に関し散布図及び相関係数とアミノグラムを比較した。日本なしとぶどうでは 18 アミノ酸のうち回帰直線から大きく外れるものが 5 点あり、相関係数も 0.06 と極めて低い値であった (図 6-1)。日本なしとぶどうのアミノグラム (図 6-2) から、散布図で回帰直線からはずれた 5 アミノ酸は、Glx、Asx、Ala、Pro、及び Arg であることが特定された。同様にトマトとごぼうのアミノ酸についても、散布図 (図 5-1) では回帰直線から大きく離れた 4 点確認され、アミノグラム (図 5-2) でそれら 4 アミノ酸が Glx、Asx、Pro、及び Arg であることが明らかとなった。また、マカダミアナッツと日本ぐりのアミノ酸の散布図 (図 4-1) では、回帰直線から大きく外れた 2 アミノ酸の存在が示されたが、アミノグラムの比較からそれらは、Asx、及び Arg であることが明らかとなった。さらに、れんこんとだいこんのアミノ酸に関する散布図 (図 7-1) では、回帰直線から大きく離れた 2 アミノ酸があったが、アミノグラム (図 7-2) からそれらのアミノ酸が Glx 及び Asx あることが明らかとなった。一方、散布図で 18 アミノ酸がほぼ回帰直線上に並び、相関係数がほぼ 1 である、あまだいとあこうだいあるいはプロセスチーズとチェダーチーズそれぞれのアミノグラムは、ほとんど重なった形として表現された。

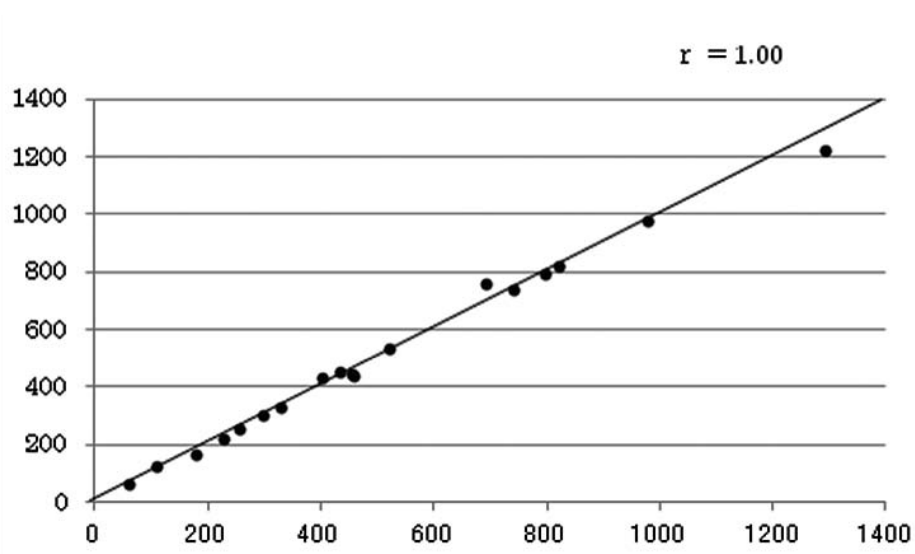


図2-1 あまだいとあこうだいの散布図

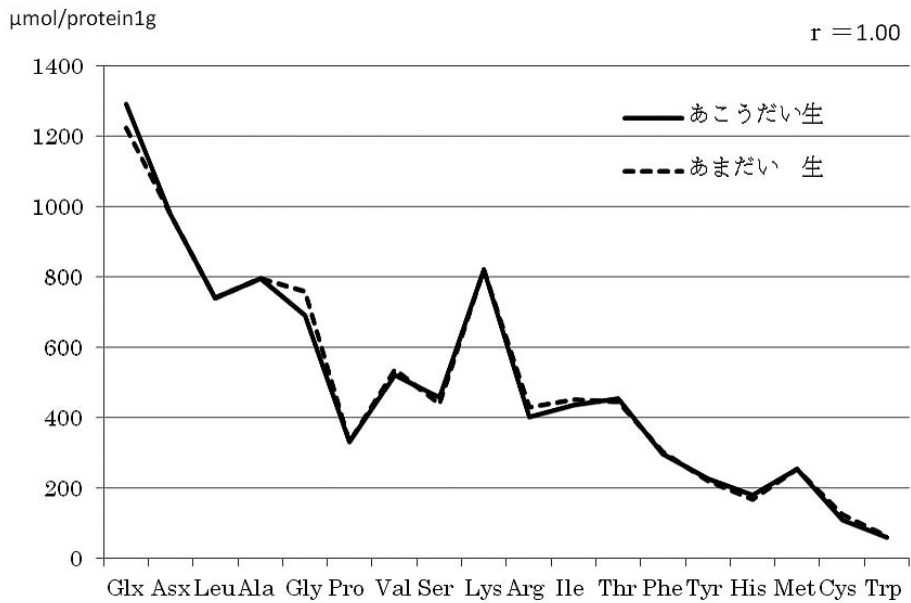


図2-2 あまだいとあこうだいのアミノグラム
2つのアミノグラムはほとんど重なり、あまだいとあこうだいのアミノ酸成分がほぼ等しいことを表していた。

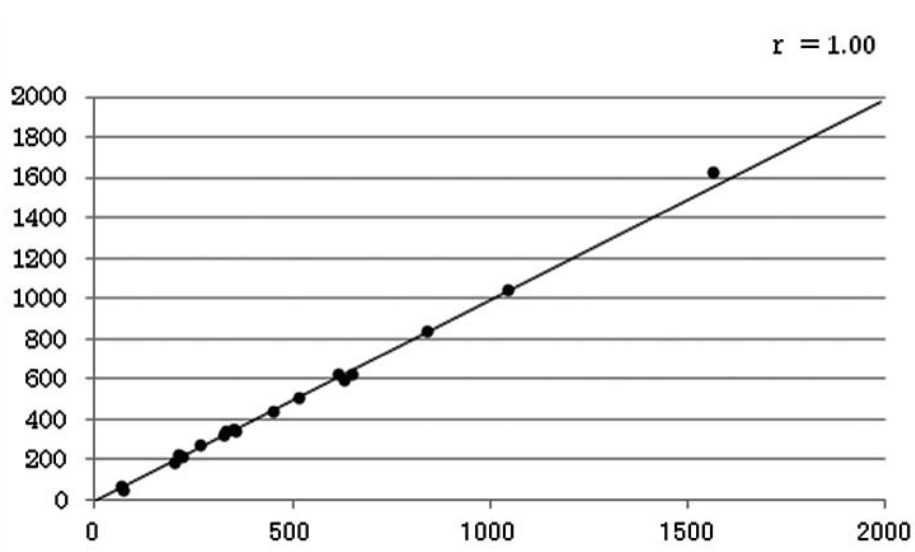


図3-1 プロセスチーズとチェダーチーズの散布図

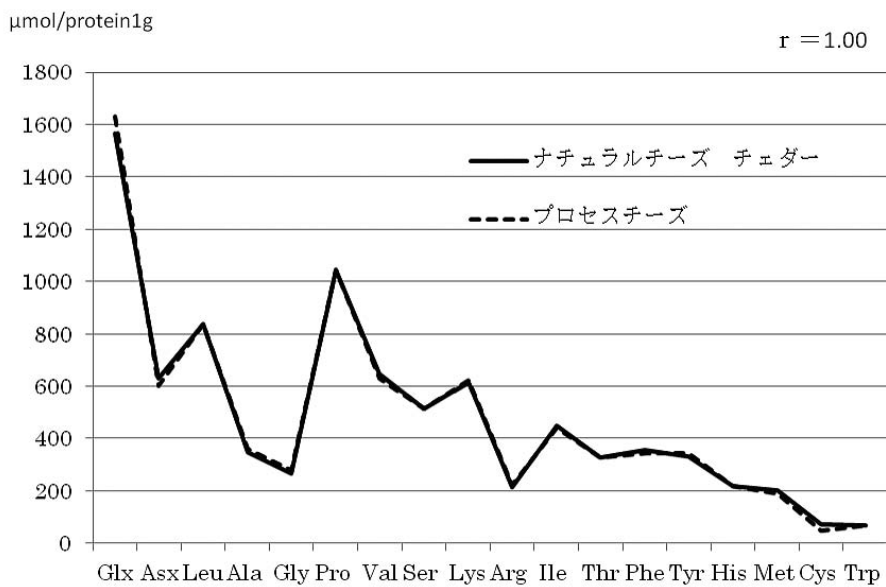


図3-2 プロセスチーズとチェダーチーズのアミノグラム
2つのアミノグラムは重なり、プロセスチーズとチェダーチーズのアミノ酸成分がほぼ等しいことを表していた。

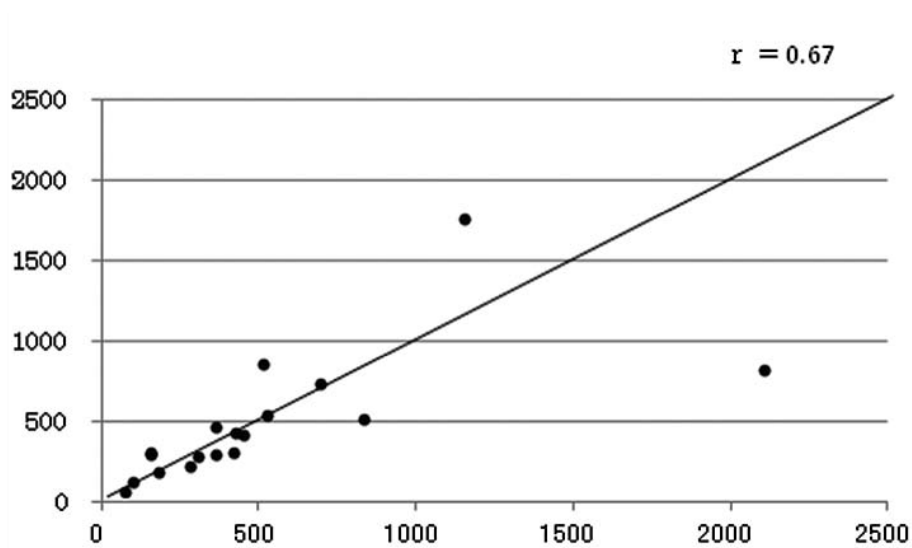


図4-1 マカダミアナッツと日本ぐりの散布図

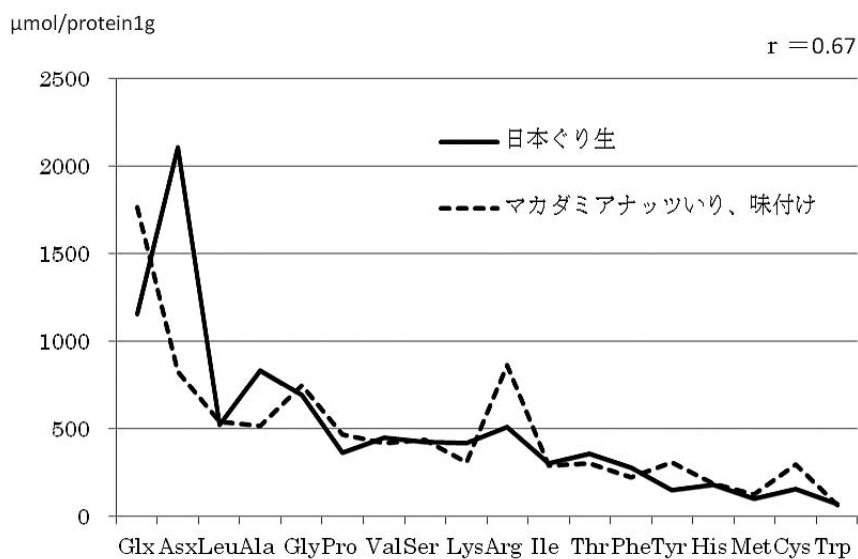


図4-2 マカダミアナッツと日本ぐりのアミノグラム
 散布図で回帰直線から外れた2アミノ酸は、Asx 及び Arg であった。

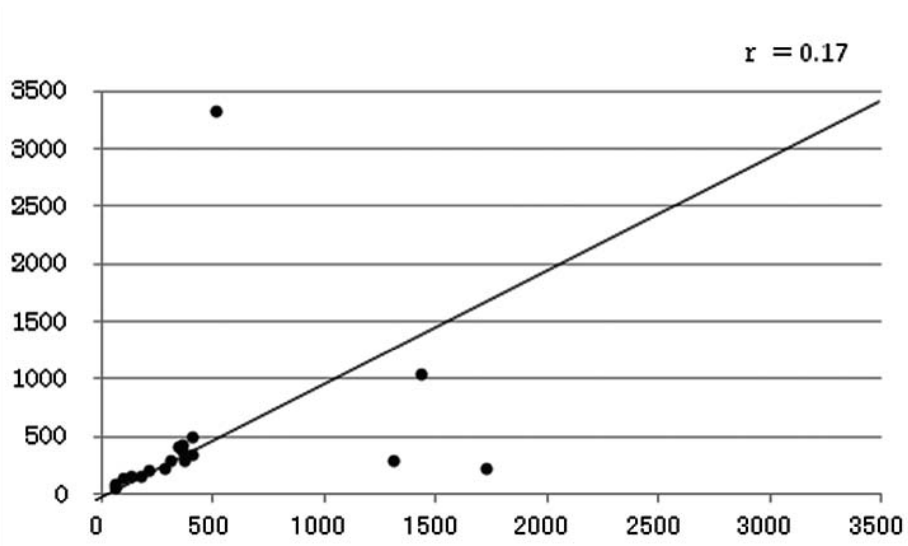


図5-1 トマトとごぼうの散布図



図5-2 トマトとごぼうのアミノグラム
 散布図で回帰直線から外れた4アミノ酸は、Glx、Asx、Pro及びArgであった。

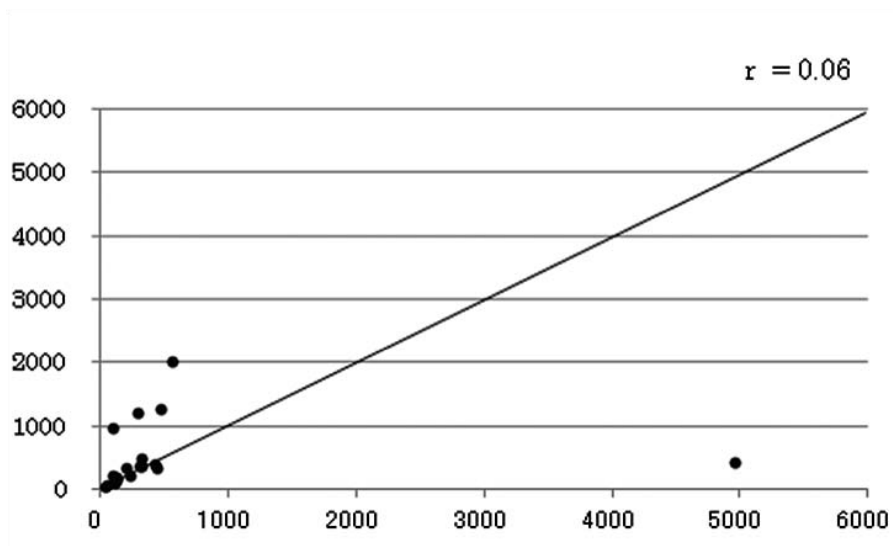


図6-1 日本なしとぶどうの散布図

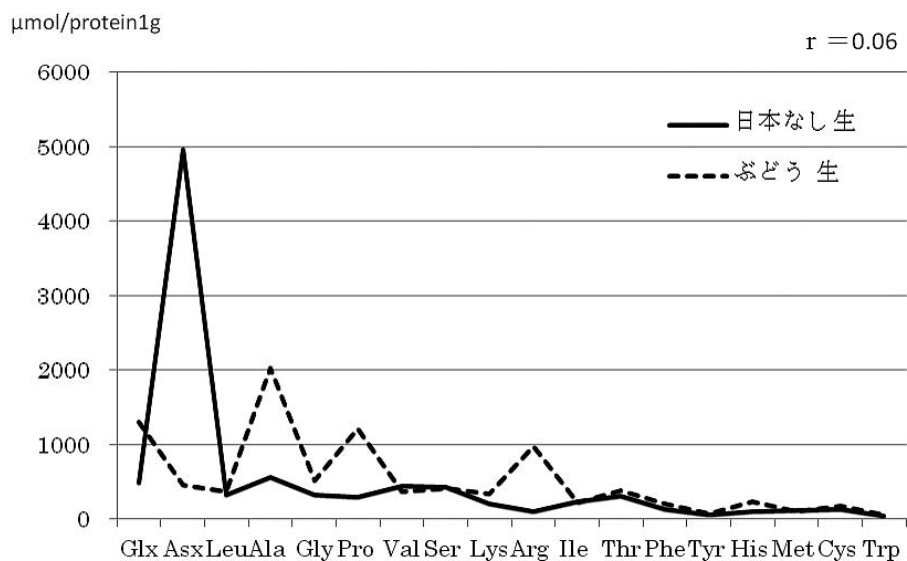


図6-2 日本なしとぶどうのアミノグラム
 散布図で回帰直線から外れた5アミノ酸は、Glx、Asx、Ala、Pro及びArgであった。

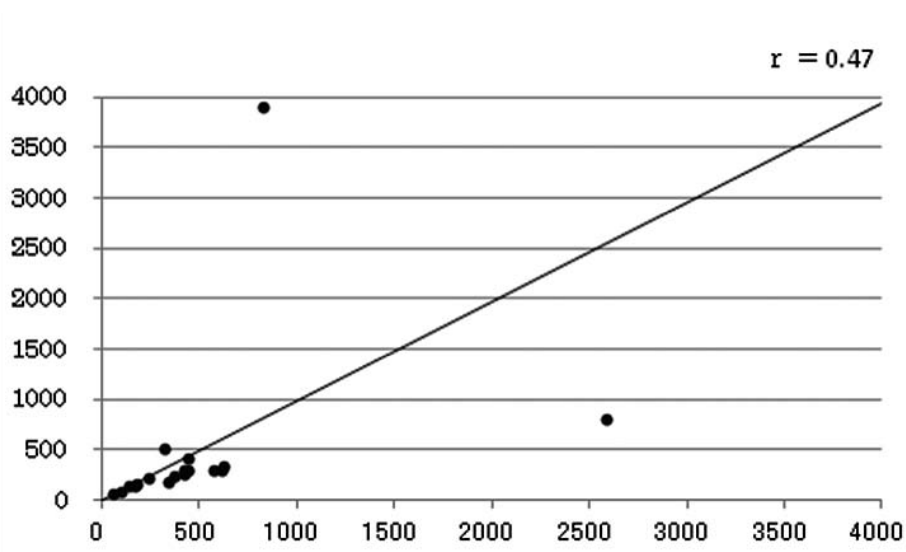


図7-1 れんこんとだいこんの散布図

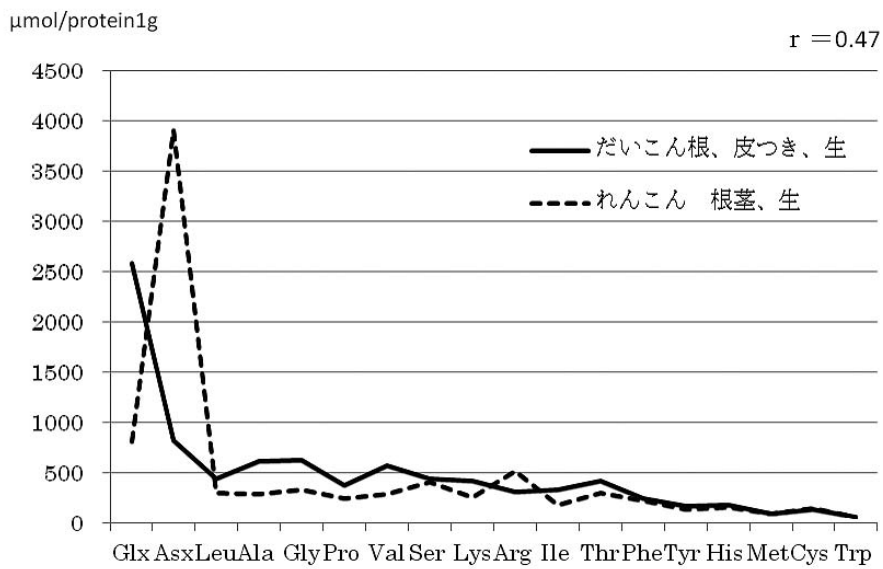


図7-2 れんこんとだいこんのアミノグラム
 散布図で回帰直線から外れた2アミノ酸は、Glx 及び Asx であった。

考 察

本研究では、はじめに日本人の食事摂取基準を満たすバランス食について、含まれるアミノ酸成分をモル数の降順に配置するアミノグラムを作成した。さらに日本食品標準成分表準拠アミノ酸成分表2010に記載されている食品群についてもバランス食のアミノグラムと同じアミノ酸配置のアミノグラムを作成し、2食品間のアミノ酸成分について散布図及び相関係数との比較を行い、アミノグラムの有用性を検討した。

図2から図7に示したように食品間のアミノ酸成分の比較では、散布図は2食品のアミノ酸データはそれぞれのアミノ酸について1つのプロットとして表示されるが、アミノグラムでは同一の座標軸に多くの食品のアミノ酸パターンを表現できる。散布図では2食品間のアミノ酸成分の相違あるいは相同性を相関係数として表すことは可能であるが、個々の構成アミノ酸の相違あるいは相同性などを表現することは困難である。それに対して、アミノグラムでは散布図で示されるそれぞれの食品のアミノ酸データを的確に反映するとともに、視覚的に2つの食品間のアミノ酸成分の相違あるいは類似性を判読することが可能であることが示された。また、アミノ酸成分に異常値が含まれる場合、通常、アミノ酸成分との比較では、相関係数から異常値の存在を推測することはできないが、散布図、アミノグラムでは異常値の存在を推定することが可能であり、特にアミノグラムでは異常を示すアミノ酸を特定できる点で優れている。

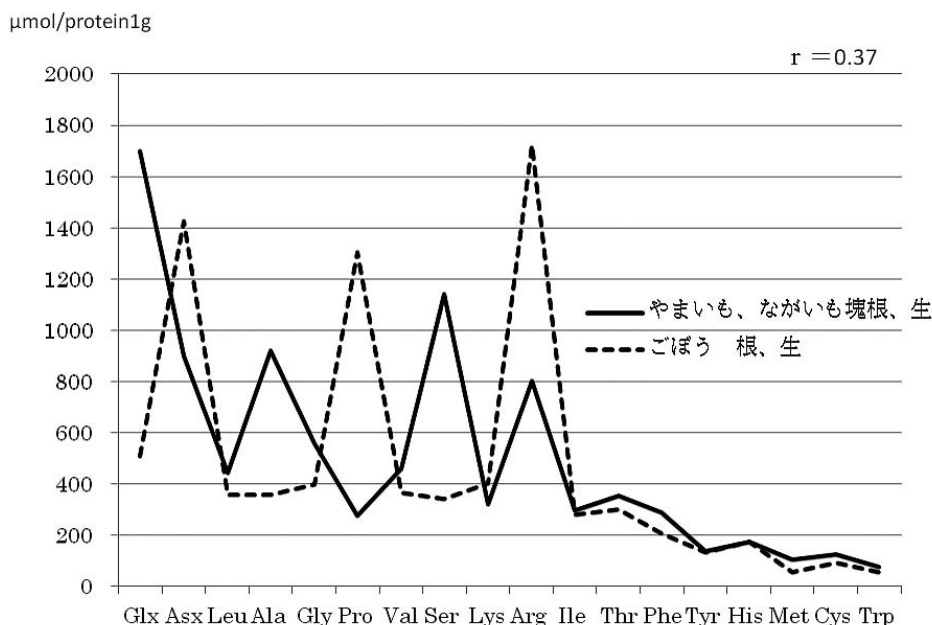


図8 アミノ酸成分の栄養学的相補効果の一例 やまいもとごぼうのアミノグラム

結果に示した相関係数とアミノグラムとの関係から2つの食品のアミノ酸成分の相関係数が低い場合、その多くはアミノグラムによって示されるアミノ酸パターンが類似していないことを意味し、栄養学的にはその2つの食品を組合せることによって相補効果または補完効果が期待できることを示唆している。その1例を図8に示す。やまいもとごぼうのアミノ酸成分について相関係数は0.37と低値で、アミノグラムからそれぞれのアミノ酸パターンは大きく異なっている。しかもごぼうでアミノ酸量が低いGlx、Ala、Serなどはやまいもでは高い値を示し、相互に補完的なアミノ酸パターンになっていることがこれら2食品のアミノグラムから明らかになった。さらにアミノグラムによる食品のアミノ酸パターンの特徴を比較、把握し、図8で示したように補完・相補効果を応用することで、献立のような食品組合せにおいてもパソコン画面上でのシミュレーションを効果的に行うことが可能と考えられる。

本研究で試みた手法は、複数項目のデータを表に並べて比較を行ったり、アミノ酸スコアのような算式により1つの数値を導き出しそれを指標とする方法に比べアミノ酸成分をパターン形で具体的にイメージすることができることを明らかにした。また、本研究で用いたアミノグラムによるアミノ酸成分の評価方法は「日本食品標準成分表準拠アミノ酸成分表2010」というアミノ酸データブックの新たな活用方法の1つとして展開できる可能性がある。

アミノ酸成分のデータを目的別に計算し、パソコン画面上でアミノ酸パターンを随時表示できるソフトウェアを開発することが今後の課題である。

文 献

- 1) 大磯敏雄訳：FAO 栄養部食糧政策及食品科学課編「食品のアミノ酸含量とその蛋白生物価」，第一出版株式会社，1972
- 2) Newsholme EA, Newsholme P, Curi R, et al: A role for muscle in the immune system and its importance in surgery, trauma, sepsis and burns. *Nutrition* 4: 261-268, 1988.
- 3) 吉村一克ほか：侵襲ラットに対するグルタミン加 TPN の検討－腸粘膜の変化を中心に，*外科と代謝・栄養* 23：195-201, 1989.
- 4) 木下学ほか：TPN 施行時のグルタミン補充に関する実験的、臨床的検討－腸粘膜萎縮および腸管壁 translocation 抑制効果を中心に，*外科と代謝・栄養* 25：190-197, 1991.
- 5) 保木昌徳：グルタミン. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* 20 (7)：463-467, 1999.
- 6) 小俣二郎ほか：腸管免疫と栄養管理（特集 外科栄養－最近の進歩），*外科* 70 (10)，1048-1053, 2008-10 南江堂
- 7) Smith RJ, Wilmore DW: Glutamine: nutrition and requirements. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* 14: 94S-99S, 1990.
- 8) 片山一男ほか：血中アミノ酸濃度の表現としてのアミノグラムの検討－特にアミノ酸インバランスの表現を中心に－*厚生年金年報* 19, 363 - 375, 1992
- 9) 片山一男, 川村美笑子：アミノ酸スケールによる慢性腎不全患者の低タンパク食の評価，第27回 日本微量栄養学会誌，*Trace Nutrients Research 微量栄養素研究 Vol.27*, p.97-102, 2010
- 10) 日本人の食事摂取基準 [2010 版]：厚生労働省「日本人の食事摂取基準」策定検討委員会報告 *Dietary Reference intakes for Japanese*, 2010, 第一出版株式会社, 2010
- 11) 科学技術庁資源調査会・資源調査所編：日本食品アミノ酸組成表. 大蔵省印刷局発行, 1986
- 12) 文部科学省 科学技術・学術審議会 資源調査分科会 報告：日本食品標準成分表準拠 アミノ酸成分表 2010
- 13) 片山一男, 川村美笑子：ヒト血漿アミノ酸のスケール化に関する検討－アミノ酸パターンの栄養アセスメントへの応用－*高知女子大学紀要生活科学部編*, 第57巻 2008