

シリーズ “アミノ酸” No.9

アミノ酸の味

味の素株式会社中央研究所基盤研究所 主席研究員 木村 毅

アミノ酸の味

味の素株式会社中央研究所基盤研究所 主席研究員 木村 毅

1

呈味成分としてのアミノ酸利用の歴史

ほとんどのたんぱく質は無味であるが、たんぱく質が分解されて生じる遊離のアミノ酸とペプチドが、味を呈するようになる。たんぱく質の分解によって得られる遊離アミノ酸を多く含む食品や調味料は、人類の歴史において古くから使われてきた。みそ、しょうゆ、魚醤、そしてある種のハムやチーズの伝統的な製法において、熟成過程でたんぱく質が分解され遊離アミノ酸が増加する工程が設けられている。これらの食品や調味料の製法が発明された当時、アミノ酸の存在すら知られておらず、遊離アミノ酸が多くなるようなプロセスになったのは、アミノ酸の味が好まれた結果といえるであろう。日本の昆布やマンマーの魚醤において、値段の高いものほど遊離グルタミン酸含量が多いことが報告されており^{1, 2)}、これらに関してもグルタミン酸含量を測定してから値段をつけているわけではない。

現代では科学的な呈味成分の分析と再構成により、魚介類等を始めとする天然素材の味にアミノ酸が大きな役割を果たしていることが示されている。たとえばトマトらしい味を再現するためには、グルタミン酸とアスパラギン酸が必要で、4 : 1の割合が最も有効であると報告されている³⁾。ズワイガニとホタテ貝の特有の味においてはグルタミン酸、グリシン、アラニン、アルギニンが欠くことのできないアミノ酸成分であり、同様にバフンウニにおいてはグルタミン酸、グリシン、アラニン、バリン、メチオニンがそうであると報告されている³⁾。またヒトやチンパンジーの母乳には遊離グルタミン酸が多いことが報告されており⁴⁾、ヒトは生まれたときからアミノ酸の味に慣れ親しんでいることになる。そして、人類の歴史において遊離アミノ酸を増加させるような加工が施された食品や調味料が多々あるのも、人類がアミノ酸の味を求めていたことの表れと解釈できるのではないだろうか。

これらの遊離アミノ酸を多く含む食材や調味料のなかで、魚醤の歴史はとくに古く、古代ギリシャ・ローマ文明の時代に調味料として広く使われていた。魚醤は今でも「しょっつる」等として日本でも生産されているが、おもに東南アジアで使われており、タイのナンプラー、ベトナムのニョクナム等がよく知られている。魚醤は古代ギリシャではガロン、古代ローマではガルム、リクアメン等と呼ばれていた。米国ジョージア大の古典学教授のRobert I. Curtisがガルムに関する専門書を1991年に出版しており⁵⁾、本稿におけるガルムに関する記載は本書が出典である。

魚醤は鮮魚と違い保存が利いたので、古代ではワインや食用油と並んで重要な交易品で、その交易の歴史は紀元前7世紀ごろにまでさかのぼることができる。最も交易が盛んだったのは紀元前2世紀ごろから4世紀ごろまでで、地中海沿岸に大規模な魚醤工場の遺跡も発掘されている。ガルムはアンフォラと呼ばれた縦長の壺で交易され、グレード、生産者、原料等が書かれたアンフォラ

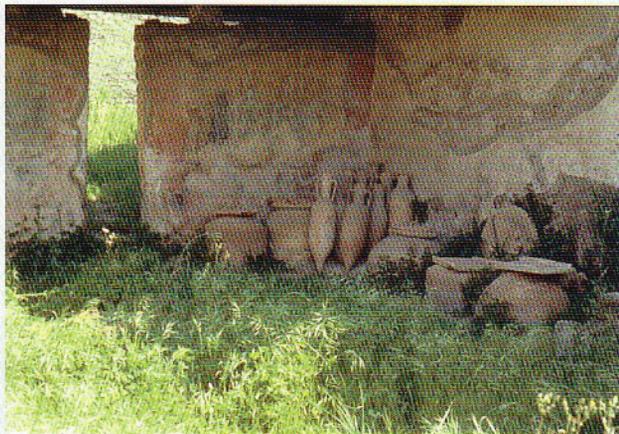
が見つかっている。紀元79年8月24日のベスビウス火山の噴火で埋まってしまったポンペイの遺跡からも、床にモザイクでガルム入れが描かれたガルム商人ウンブリキウス・スキアウルスの家や、裏庭にアンフォラが置かれていたガルム店等が発掘されている。

当時の製法に関する記載は数種残されているが、基本的には魚の内臓または小魚を塩漬けにし、天日の下で数週間置き、液状に分解したのちに、こして液体をとり出すというものであった。この製法から、おもに腸の酵素による自己消化によって遊離アミノ酸を作り出していたと考えられるが、菌による発酵も関与していた可能性も否定できない。下に10世紀のギリシャの農業マニュアルに記載されていたガルムの製法の一例を紹介する。

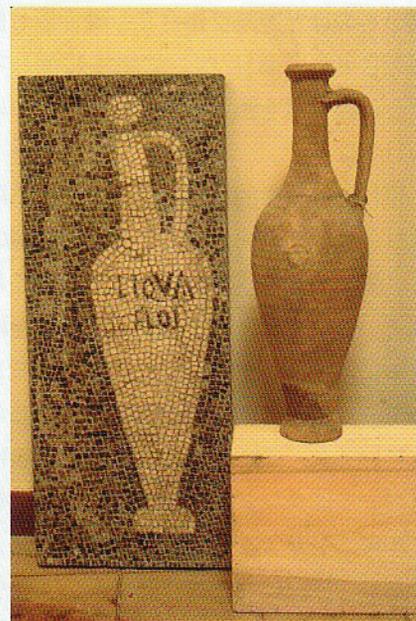
リクアメンといわれるものは次のように作られる：魚の腸を容器に放り込み塩漬けにする。良質のキュウリウオ、小さなボラ、イワシ、オオカミウオ等の小魚と一緒に塩漬けにし、よく振り、天日の下で発酵する。量が少なくなったらガルムをこのようにしてとり出す：強く大きなバスケットを上記の魚を入れた容器におろすと、ガルムはバスケットのなかに流れ込む。このようにしてリクアメンといわれているものはガルムをとり出すときにバスケットによってこされる。残りのくずはアレック。(Curtis, 1991より、筆者訳)

この製法は現在東南アジアで生産されているニョクナムやナンプラーと呼ばれる魚醤の製法と似ており、味も似ていたのであろうといわれている。とくにタイの家内工業的な魚醤作りにおいては魚醤を発酵させた大きなかめの中心に竹で編んだバスケットを入れ、流れ込む魚醤を集めるという手法を用いており、古代ローマの製法を引き継いでいるのではないかと疑いたくなるほどである。

魚醤の臭いに関しては好ましくないとの記載も古代ローマの書物に残されているので、魚醤が好まれていたのはその味のせいだったといえるであろう。魚醤の遊離アミノ酸含量を分析すると、グルタミン酸濃度が高いのはしょうゆと一緒だが、ほかの遊離アミノ酸の濃度もしょうゆと比べて高



▲写真1 ポンペイのガルム店裏庭のアンフォラ(縦長の壺)とドリヤ(瓶) (Dr. Curtis提供)



▶写真2 ガルム商人スキアウルス宅の床のモザイクとガルム容器。モザイクにLIQVA (リクアメン)、FLOS(花：グレード、一番絞りと思われる)の記載がある (Dr. Curtis提供)

くなっており、このなかにリジンも含まれる⁶⁾。当時の主食であった小麦はリジンの含量が少ない。またリジンが欠乏した動物は苦味を呈するリジン水溶液を選択し、好んで摂取することが知られている⁷⁾。遊離のリジンが含まれていたことが、魚醤の味が好まれた隠れた理由であったのかもかもしれない。

魚醤の使用はローマ帝国の衰退とともにヨーロッパから消えていったが、その理由は定かではない。初期のキリスト教による宗教的な制限があったことを示唆する記載もあるが、その反面、7世紀の調味料リストにガルムの名前が見つかっている。また968年にはローマ法王オットー1世の使いがビザンツ皇帝ニケフォロス2世より、玉ねぎ、セイヨウネギ、ガルムで覆われた山羊のローストの接待を受けたとの記録が残っている。しかし、11世紀にはヨーロッパにおける使用は途絶え、一部修道院等で食欲増進のための秘薬としてその製法が受け継がれていたようである。このように、2500年以上の歴史をもつ魚醤は歴史的に最も古いアミノ酸系調味料であったといえよう。また、ヨーロッパにおけるガルムの使用は途絶えたが、その後、トマトやチーズが多く使われるようになり、アミノ酸の味への欲求は健在であるといえる。

2 アミノ酸とうま味

遊離アミノ酸にはそれぞれ味があり、グリシン、アラニン、トレオニン、プロリン、セリンは甘味、フェニルアラニン、チロシン、アルギニン、イソロイシン、ロイシン、バリン、メチオニン、リジンは苦味、グルタミン酸とアスパラギン酸はうま味と酸味を呈する⁸⁾。グリシン、アラニン、セリンは高濃度では甘味のほかにうま味も呈する⁹⁾。最近グルタミン酸の味覚レセプター（受容体）の候補の発見により¹⁰⁾、アミノ酸のひとつであるグルタミン酸の味、「うま味」が甘味、塩味、酸味、苦味と並ぶ基本味であることがますます明らかになってきた。

基本味としてのうま味という言葉は1909年東京化学会誌に掲載された「新調味料に就きて」という東京大学池田菊苗教授による論文で初めて公式に使用された¹¹⁾。池田は前年に「グルタミン酸塩を主成分とせる調味料製造法」の特許をすでに取得していたが、すべての味は甘味、塩味、酸味、苦味の4基本味によって成り立っているとの従来の説に対して異議を唱えた。この論文で池田は昆布のうま味成分の抽出に成功し、それがグルタミン酸塩であったと報告しており、科学的なアミノ酸の味覚研究はここで始まったといっても過言ではない。

その後1913年にカツオブシのうま味成分がイノシン酸の塩であることが発見され、のちにシイタケの成分であるグアニル酸の塩がうま味物質であることが1957年に発見された¹²⁾。イノシン酸もグアニル酸もともに核酸の分解物であるといえるが、グルタミン酸と混ぜるとうま味が著しく増加し、それぞれのうま味の強さの和よりはるかに強い味がするので、この現象はうま味の相乗効果と呼ばれている。

うま味が基本味であることは国際的にはなかなか受け入れられなかった。米国でグルタミン酸ナ

トリウムがフレーバーエンハンサー（風味増強剤）として分類されたいきさつについて、FDAの担当官がグルタミン酸ナトリウム溶液をなめたところうま味を認識することができなかつたために、そのものには味がないが食品に加えると風味を増強する物質として分類されたと元FDA高官が筆者に語ってくれたことがある。当時うま味は基本味として国際的に認知されておらず、オマホニー等は英語に「うま味」を表すよい言葉がなかつたためにこのようなことになった可能性を示唆している¹³⁾。日本人研究者に加えて欧米研究者の研究の積み重ねで、最近10年間ほどでうま味は基本味として国際的な認知が得られるようになった。ちなみに欧米ではUMAMIとして知られている。官能評価データの多次元尺度法による解析からグルタミン酸ナトリウム等の味は従来の4基本味で形作られる味覚空間外にあることが数学的に検証され、味細胞にうま味物質と結合する受容体が存在し、電気生理学的にうま味物質に応答すること、うま味刺激を伝達する味神経の存在、ほかの基本味と同様に脳のなかにうま味の刺激に応答する部位があることが解明されてきた^{13,14)}。そして最近になってうま味の味覚受容体候補のクローニングに至っている¹⁰⁾。

最近、高濃度でうま味を呈するグリシン、アラニン、セリンモイノシン酸とうま味の相乗効果を示すことが確認された¹⁵⁾。この現象はグリシン、アラニン、セリン等がグルタミン酸の味覚受容体に弱く結合したためにうま味を呈し、相乗効果が見られたと推測できる。

3

グルタミン酸の生物学とうま味の起源

アミノ酸はたんぱく質の生合成に使われるだけでなく、多くの生理活性物質の前駆体としても活用されている。腸管は非常に活発な臓器で細胞増殖が速く、大量の粘液の生産も行なっており、体の平均と比べて重量比で4～5倍の速度でたんぱく合成が行なわれ、エネルギーが消費されている。最近、グルタミンやグルタミン酸が腸管の栄養源として重要であり、食事由来のグルタミン酸は腸管の主エネルギー源であることが判明している¹⁶⁾。安定同位体と質量分析を使った手法によって、腸管内、動脈、静脈、門脈におけるアミノ酸の動きを量的に把握することが可能になり、これによって左下の表に示されるように腸管は大半のエネルギーをアミノ酸代謝によって得ていることがわかったのである¹⁷⁾。

これは脳がグルコースを主たるエネルギー源としているのと対照的であり、脳のためにグルコー

表 腸管エネルギー消費に対する基質の寄与度(ブタ)

基質	腸管エネルギー寄与度 (%)
食物由来グルコース	6
動脈血グルコース	24
食物由来グルタミン酸	35
動脈血グルタミン	15
食物由来アスパラギン酸	20

(ピアール&リーズ、1999¹⁷⁾を改変)

スを残しておくという効果が生まれる。グルタミン酸は脳内では神経伝達物質として使われているが、食事のグルタミン酸はほとんど腸管で代謝されてしまうので、脳中のグルタミン酸はすべてグルコースから生合成されている。

腸管は体外の物質と最も多く接触する臓器であり、外部からの侵入に対する防御の第一線といえる。腸管では生体防御に重要な抗酸化物質であるグルタチオンの構成成分としてシステイン、グリシンとともに、食事由来のグルタミン酸がその生産に必要であることもわかってきた¹⁸⁾。また、ヒトを含む動物の母乳のたんぱく質のアミノ酸組成は似ており、グルタミン酸（グルタミンを含む）が20種のアミノ酸のなかで20%と最も含量が多い¹⁹⁾。母乳のアミノ酸組成は、当然進化の過程で形作られたはずで、グルタミン酸が多いということは、相当に重要な役割が背景にあるものと考えられる。

グルタミン酸が口内においては味覚物質として働き、脳では神経伝達物質として働くということは、言い換えればグルタミン酸が栄養分子として認識され、また信号分子としても機能していることとらえることができる。この二面性は進化のかなり初期の段階で発生したと考えられる。ある種のバクテリア (*E. coli*) において細胞内でいちばん多い遊離イオンはカリウムとグルタミン酸であることが知られており²⁰⁾、これはグルタミン酸がほかのイオンに比べ、高濃度になっても細胞の機能を阻害しない特性をもっているからだとされている²¹⁾。このバクテリアは栄養状態が悪くなると集合し、アスパラギン酸とグルタミン酸に応答するレセプターを壊すと集合しなくなると報告されており²²⁾、アスパラギン酸やグルタミン酸が集合を促す信号として働いている可能性があると考えられる。バクテリアには大量の遊離グルタミン酸があることを考えると、栄養状態が悪くなって一部のバクテリアが死に始めると大量のグルタミン酸が放出され、これにほかのバクテリアが群がることによって生き延びるという行動パターンができたとしてもおかしくはない。

嗅覚と味覚はともに化学物質を感知する感覚だが、一般的には鼻や舌があって初めて匂いや味を感じることができると考えられがちである。しかし、嗅覚は遠くにある食物や危険物から発散される化学物質を感知する感覚であり、味は口に入れた食物候補を飲み込むかどうかを判断する、つまり、栄養素のとり込みの是非を判断するための感覚と定義すると、バクテリアにも嗅覚と味覚が存在するといえる。

動物の脳の神経伝達に携わるグルタミン酸レセプターとバクテリアの栄養とり込みに関与しているたんぱくのグルタミン酸を捕らえる部位の構造が似ていることが報告されており²³⁾、ここでも味覚と信号伝達の深い関係を見ることができる。はじめに栄養とり込み（味覚）のために進化した構造が、のちに信号伝達に転用されたと考えることができる。

グルタミン酸レセプターは植物でも発見されており²⁴⁾、バクテリア、動植物にまたがる構造の類似は、グルタミン酸受容機能が生命の進化のかなり初期に確立されたことを示唆する。

グルタミン酸は生物の進化の初期から、量が多く、栄養物質として感知され、また信号伝達にも関与していたと考えられる。グルタミン酸が生物学的に重要な分子であり、その味が基本味であることにはこのような進化的背景があったと考えられるのではないだろうか。

栄養学的に外部からの供給が必須か必須でないかという視点からアミノ酸は必須と非必須アミノ酸に分類されているが、グルタミン酸の例のように非必須アミノ酸の重要性がクローズアップされ、その名前から非必須アミノ酸は重要でないと思われてしまうことの不適切さが指摘されている。生

物学的には、必須アミノ酸は体内で作るよりも外部で作ってもらったほうが安いのでアウトソーシングされたアミノ酸と見ることができ、体内で作らなければならない、いわゆる非必須アミノ酸のほうが生物機能の面から見れば、より重要ではないかという認識も生まれつつある¹⁷⁾。トレオニンを除くすべての必須アミノ酸は苦く、非必須アミノ酸のほうが好ましい味をしているのにも、何らかの生物学的な理由があるのかもしれない。今後、ゲノム情報の解析などによって味覚の生物学的な理解が深められ、アミノ酸のさらなる味が引き出されることが期待される。

* * *

最後に本稿執筆にあたり、ポンペイの写真を提供していただいたRobert I. Curtis先生、多くの助言をいただいた味の素株式会社栄養健康科学研究班の高橋迪雄班長、森将人主任研究員、中央研究所基盤研究所の鳥居邦夫主席研究員、及び食品研究所原料・素材基盤研究所の河合美佐子研究員に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 大石圭一：昆布の文化誌、日本うま味調味料協会、1989
- 2) 石毛直道：魚醬とうま味の文化圏、日本うま味調味料協会、1999
- 3) 福家眞也：食物におけるうま味の役割、医学のあゆみ、190(13)：1091-1094、1999
- 4) Rassin et. al.: Taurine and other free amino acids in milk of man and other mammals、Early Hum Dev、2(1)：1-13、1978
- 5) Curtis: Garum and Salsamenta, 1991, E. J. Brill, Leiden, Netherlands
- 6) Yoshida: Umami taste and traditional seasonings、Food Rev Intl, 14: 213-246, 1998
- 7) Mori et. al.: Taste preference and protein nutrition and L-amino acid homeostasis in male Sprague-Dawley rats, Physiol Behav, 49(5)：987-995, 1991
- 8) 山口静子監修：うま味の文化・UMAMIの科学、1999 丸善株式会社、東京都
- 9) 二宮恒彦等：各種アミノ酸の呈味に関する研究、第7回官能検査大会論文集：109-123、1966
- 10) Chaudhari et. al.: A metabotropic glutamate receptor variant functions as a taste receptor, Nature Neurosci, 3: 113-119, 2000
- 11) 池田菊苗：新調味料に就きて、東京化学会誌、30: 820-836、1909
- 12) 栗原堅三：味と香りの話、1998、岩波書店、東京都
- 13) Kawamura and Kare: Umami: A Basic Taste: 1987, Marcel Dekker, Inc., New York
- 14) Kawamura et.al.: Umami: Proceedings of the second international symposium on Umami, Physiol Behav, 49(5), 1991
- 15) 河合美佐子等：甘味を呈するアミノ酸と核酸の呈味相互作用、日本味と匂学会誌、6(3)：691-694、1999
- 16) Reeds et. al.: Enteral glutamate is almost completely metabolized in first pass by the gastrointestinal tract of infant pigs, Am J Physiol, 270(3 Pt 1) :E413-8, 1996,
- 17) デニス・ピア -、ピーター・リーズ：グルタミン酸：必須な非必須アミノ酸、Ajico News、194、1-8、1999
- 18) Reeds et. al.: Enteral glutamate is the preferential source for mucosal glutathione synthesis in fed piglets, Am J Physiol, 273(2 Pt 1)：E408-15, 1997,
- 19) Davis et. al.: Amino acid composition of human milk is not unique, J Nutr, 124(7) :1126-32, 1994
- 20) Leirimo et. al.: Replacement of potassium chloride by potassium glutamate dramatically enhances protein-DNA interactions in vitro, Biochemistry, 26(8)：2095-101, 1987
- 21) Thermodynamic stoichiometries of participation of water, cations and anions in specific and non-specific binding of lac repressor to DNA. Possible thermodynamic origins of the "glutamate effect" on protein-DNA inter-actions, J Mol Biol, 228(1)：252-64, 1992

- 22) Budrene and Berg: Complex patterns formed by motile cells of *Escherichia coli.*, *Nature*, 349: 630-633, 1991
- 23) O'Hara et. al.: The ligand-binding domain in metabotropic glutamate receptors is related to bacterial periplasmic binding proteins, *Neuron*, 11(1):41-52, 1993
- 24) Chiu et. al.: Molecular evolution of glutamate receptors: a primitive signaling mechanism that existed before plants and animals diverged, *Mol Biol Evol*, 6:826-38, 1999

木村 毅先生略歴/KIMURA TAKESHI

1978年ロンドン大学キングズカレッジ卒業（細菌学および分子生物学）。84年同大学生化学博士号取得。米国国立衛生研究所（NIH）客員研究員。89年味の素（株）入社。中央研究所、本用品質保証部、ワシントン事務所を経て現在に至る。99年中央研究所基盤研究所主客研究員。専門は生化学。