

特集：うま味発見100周年記念公開シンポジウム－10

農芸化学と味覚研究*

阿部 啓子**

(東京大学大学院・農学生命科学研究科)

国際的にもユニークな存在とされる日本の農芸化学が、“化学と生物”の手法によって生体成分・生物生産機序を解析し、成果を工業化することを目的に、その旗印を鮮明にしつつ今日に至った背後に、基礎面では鈴木梅太郎博士、応用面では池田菊苗博士のノーベル賞級の業績と、科学・技術に関する慧眼があったことは疑問の余地もない。それは、農芸化学が昨今、最先端のライフサイエンスを取り入れ、ユニバーサルな科学・技術へと脱皮したことに繋がる。当初、味物質の研究から始まった農芸化学の味覚科学は、呼応して最近、生体における味の受容、味覚シグナルの味細胞内伝達、味神経伝導路の分子生物学さらにはゲノム科学へと発展しているのにも、時の推移を感じる。これについては、筆者らのグループの最新のデータを紹介しつつ、併せて、味覚の個人差の遺伝学的背景と“個のための調理”の未来像を寸評し、筆責を果したい。キーワード：農芸化学、味覚、うま味物質、うま味受容、シグナル伝達

はじめに

百有余年の歴史を通じて動・植・微生物の生命機序と生物生産を主要な研究対象とし、化学と生物学を基盤の方法論とし、基礎から応用とくに工業化までを研究理念に掲げて発展してきた日本の農芸化学は、国際的にもきわめてユニークな学問として広く認知され、世界に冠たる幾多の成果を挙げて今日に至った。しかもこの過程で、グローバルに展開され始めた先端科学に十分対応し得る力量と柔軟性を培い、ユニバーサルを学問へと変貌を遂げた。農芸化学分野における味の研究から味覚の研究への推移も同様である。

草創期の農芸化学の学術基盤の構築に最も大きく寄与されたのは東京帝國大学農学部教授の鈴木梅太郎博士であろう。明治時代に、日本の国民病と揶揄されていた脚気の拡大を憂慮した博士は、その予防・治癒因子を米糠から発見してオリザニンと命名し、1911年に発表した¹⁾。しかし、本物質を単に脚

気の特効薬とは考えず、さらに実験を重ね、これがヒトにとって必要不可欠の新しい栄養素(ビタミン)であることを実証、5大栄養素の概念の確立に貢献した。その直後、ドイツ学派からノーベル医学生理学賞候補に推薦された。当然のことと思える。

時をほぼ同じくして、化学と工業の分野で画期的な出来事があった。池田菊苗博士によるうま味物質第1号L-グルタミン酸ナトリウム(MSG)の発見とその製造の工業化(味の素株式会社の創設)が、それである。

鈴木梅太郎博士の業績は農芸化学特有の“化学と生物”の研究(今日でいうケミカル・バイオロジー)のルーツとなった。池田菊苗博士の業績はアミノ酸醗酵を中心とする微生物工業の世界制覇への起点となった。うま味ヌクレオチド5'-IMPと5'-GMPの発見にも繋がり、食品科学・産業の発展への強いインパクトとなった。

想えば、両博士(図1)はわが国の科学・技術の

* Received June 18, 2008; Accepted July 5, 2008

Agricultural chemistry and taste research

** Keiko Abe, Grad. Sch. Agri. and Life Sci., Univ. Tokyo, Tokyo 113-8657; aka7308@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp, Fax+81-3-5841-8006

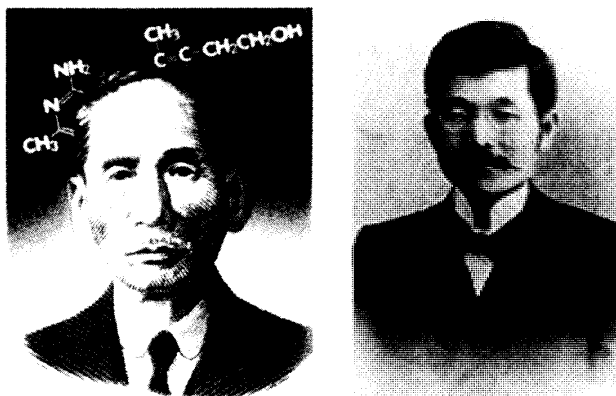


図1 鈴木梅太郎博士(左)と池田菊苗博士。

主要な一端に象徴的な貢献を果たした二大泰斗といえるのである。

農芸化学における味の研究

フレーバー科学

5'-IMPと5'-GMPは、それを添加した食品の香味が一段と強まることから、フレーバー増強剤と呼ばれる。一般に食品中にはフレーバーと呼ばれる多様な因子が存在する。戦後期にいっせいに開設された大学、研究機関、民間の食品科学研究室では、色・味・香りを主要な研究対象としていた。これはフレーバー研究の一環なのである。われわれは、ものを食べる時、色・味・香りを同時に渾然一体のものと認識する。それがフレーバーである。時には“visual flavor”という概念も登場し、食品における色の美しさがそのおいしさに寄与することを強調した。香りは鼻に直接流入して嗅覚を刺激するorthonasal効果のみならず、いったん口腔を介して鼻に逆流して嗅覚を刺激するretronasal効果も、食品摂取の際には大きな要因となる。しかし、フレーバーの主因はやはり味である。

食品中には、甘・酸・塩・苦の4基本味に加え、うま味という新たな基本味を示す成分が多々存在する。基本味の化学類型は多様で、最近だけでも、研究例は枚挙に暇がないほどである。しかし、うま味成分としては上述のMSGとヌクレオチドの他、コハク酸などの有機酸を除けば、ほとんど知られていなかった。ところが、1970年代に、ペプチドの苦味の研究が発端になって、うま味を示すペプチドがタンパク質の酵素水解物の中に見いだされた。

うま味ペプチドの研究

高分子物質であるタンパク質には一般に味はない。味を感じるとすれば、それはタンパク質中に不純物として混在する低分子物質(多くの場合タンパク質の原料に由来する呈味物質)の味を感じているの他にない。このように本来無味のタンパク質を、タンパク質分解酵素(エンドペプチダーゼ)で水解していくと、水解物には次第に味が発生してくる。エンドペプチダーゼはタンパク質を大雑把に所々で切断する酵素なので、遊離アミノ酸の生成はほとんどない。にもかかわらず味が発生するのであるから、その味は低分子ペプチドによるはずである。味の種類としては、たいていの場合、もっとも顕著なのは苦味である。したがって、水解物中には苦味を有するペプチドが生成していると考えられる。ところがこの種の苦味は、タンパク質を酸で水解したのでは、酵素での場合ほど明瞭には現れてこない。これは酸水解の場合にはペプチド結合切断のしかたに特異性が低く、特定ペプチド(苦味ペプチドを含めて)を蓄積する確率が小さいためと考えられる。つまり、苦味ペプチドはタンパク質を酵素で水解した際の所産であるといつてよい。

苦味ペプチドの存在に初めて気付いたのは酪農科学の研究者たちで、彼らはチーズの苦味の原因を探っているうち、それがある種のペプチドに基づくことを見だし、そのペプチドは、チーズ中のレンニンあるいはペプシンの残存活性によってカゼインが水解したことに成因があると考えた。

苦味はカゼインからだけでなく、他のたいていのタンパク質からもその酵素水解によって生じる。ただしこの場合、生じた苦味の強さはまちまちであり、また、同一のタンパク質でも、それを水解する酵素の種類によって、生じる苦味にはかなりの幅の強弱がある。さらにまた、タンパク質(基質)と酵素の組合せが問題である。たとえば、カゼイン基質ではトリプシン水解により強い苦味が発生するが、ペプシン水解によってはたいしたことはない。ところが、後で詳しく述べるダイズタンパク質(変性したもの)を基質としたときには、カゼイン基質の場合と反対である。このことは、酵素化学およびタンパク質構造論の面からも、今後に残された非常に興味ある問題であろう。

東京大学農学部農芸化学科の藤巻正生教授のグ

ループは、ダイズタンパク質のペプシン水解物中に強い苦味を有するペプチドが存在することを見だし、C末端にいずれもロイシンをもつH・Gly-Leu・OH、H・Arg-Leu・OH、H・Arg-Leu-Leu・OH、H・Ser-Lys-Gly-Leu・OH、Pyg-Gly-Ser-Ala-Ile-Phe-Val-Leu・OH (Pygはピロリドンカルボキシル)を同定した。これは、苦味ペプチドの構造例を世界で最初に提示したものであった²⁾。また、京都大学食糧科学研究所グループは、カゼインのトリプトシン水解物中から3種の苦味ペプチドを分離し、それらのアミノ酸配列をH・Gly-Pro-Phe-Pro-Val-Ile・OH、H・Phe-Phe-Val-Ala-Pro-Phe-Pro-Glu-Val-Phe-Gly-Lys・OH、H・Phe-Ala-Leu-Pro-Glu-Tyr-Leu-Lys・OHと決定した³⁾。味の素グループは、ジペプチドの味について推測をまじえて図2のような一覧を提出している⁴⁾。

一方、藤巻正生教授のグループは、タンパク質の酵素水解物の疎水性画分が苦味を有し、その酸性画分が弱いながらMSG様のうま味を有することを見いだした⁵⁾。その酸性画分には主にグルタミン酸やアスパラギン酸で構成されるオリゴペプチドが存在したが、とりわけH・Glu-Asp・OH、H・Glu-Glu・OH、H・Glu-Ser・OH、H・Asp-Glu-Ser・OH、H・Glu-Asp-Glu・OH、H・Glu-Gly-Ser・OH、H・Glu-Gln-Glu・OH、H・Ser-Glu-Glu・OHといった親水性ペ

プチドはMSGの10分の1程度のうま味を示した。しかも興味深いことに、これらを苦味物質の水溶液に添加すると、おそらくpHの低下に伴い、その苦味を軽減する効果を兼ね備えていた。

タンパク質性食品とくにその発酵食品にはやわらかなうま味がある。それはMSGやヌクレオチド調味料あるいはそれらの混合物が呈するうま味よりも明らかにマイルドである。醤油、味噌、納豆、チーズ、魚醬、カビ付け鰹節には多分これらのペプチドが存在し、隠し味的なうま味の発現に寄与しているであろうことを、上記の研究データは示唆してくれるのである。

農芸化学における味覚の研究

化学という学問は、歴史的にみて、その基軸を無機化学から有機化学へ、そして生化学へ、さらには分子生物学へとシフトさせていった。農芸化学も同様であって、とくに生体成分に関する有機化学・生化学からその体内作動のメカニズム解明の分子論へのシフトは、最近の著名な傾向とあってよかる。呼応して、味物質の研究から味覚(味の感覚)の研究へと主軸を移した感がある。それは、“おいしさ”の確保・増強を技術基盤とする食品工業にとっても必要不可欠の情報となり得る。産業界の関心も甚だ大きい。

		中性アミノ酸										塩基性アミノ酸		酸性アミノ酸		
		疎水性アミノ酸														
		Gly	Ala	Ser	Thr	Pro	Val	Leu	Ile	Trp	Tyr	Phe	Lys	Arg	Asp	Glu
甘味アミノ酸	Gly	無味					苦味							酸味		
	Ala	無味					苦味							酸味		
	Ser	無味					苦味							酸味		
苦味アミノ酸	Thr	無味					苦味							酸味		
	Pro	無味					苦味							酸味		
	Val	無味					苦味							酸味		
	Leu	無味					苦味							酸味		
酸味アミノ酸	Ile	無味					苦味							酸味		
	Trp	無味					苦味							酸味		
	Tyr	無味					苦味							酸味		
	Phe	無味					苦味							酸味		
	Lys	無味					苦味							酸味		
	Arg	無味					苦味							酸味		
酸味アミノ酸	Asp	酸味					苦味・酸味					無味		酸味		
	Glu	酸味					苦味・酸味					無味		酸味		
	γ-Glu	酸味・渋味														

図2 ジペプチドの呈味。
縦列のアミノ酸はN-末端、横列のアミノ酸はC-末端。

味覚シグナル伝達の解析

生物は多様な外来シグナルの環境にさらされている。彼らは、これを単純な束一的な内生シグナルに変換し、それに依存して生き残る途を選択する。その中で、感覚システムはきわめて重要な役割を演じている。とりわけ味覚は動物の摂食行動を直接的に左右し、生存を決定づける因子となる。一方で味覚は、人類の食文化を育成し、現代では食品産業の基盤の1つにもなっていることから、社会科学的にも大きな意味をもつ。

こうした重要な因子である味覚の研究が開始されたのは20世紀に入ってからであった。その後、分子・細胞生物学の進歩とともに大きく発展し始めた。が、当初、味覚に関するこうした研究は主に生理学の分野に限られていたとして過言ではない。それが農芸化学の分野に波及してきたのは、酵素工学・細胞工学・遺伝子工学といったいわゆるニューバイオテクノロジーが農芸化学を支える基幹技術として定着したミレニアムの頃であった。

筆者のグループは、1993年ラット舌上皮に発現するロドプシンタイプのGタンパク質共役レセプター(GPCR)を報告した⁶⁾。2000~2003年にかけてZukerグループは、うま味レセプターとしてT1R1-T1R3ヘテロダイマー⁷⁾、甘味レセプターとしてT1R2-T1R3ヘテロダイマー⁸⁾、苦味レセプターとしてT2R群⁹⁾という、いずれもGPCR型タンパク質を見だし、すでに知られていた味覚特異的Gタンパク質(α サブユニット)G α gust¹⁰⁾と相俟って、味覚シグナル伝達の初動部分の研究が活発になった。最近、酸味レセプター候補も同定され¹¹⁾、塩味以外の4つの基本味のレセプターがほぼ解明され、味覚の研究は世界的に、そしてわが国では農芸化学分野を含めた多くの研究領域で、大きな展開を見せ始めた。

筆者らは、*in situ*ハイブリダイゼーションにより、G α gustとは別のGタンパク質であるG α i2がT1R系レセプターを保持する味蕾細胞に発現していること¹²⁾、そしてこれを活性化させるエフェクター分子はホスホリパーゼC- β 2(PLC β 2)であること¹³⁾を発表した。これは、ホスホイノシトール(PI)ターンオーバーによってイノシトール三リン酸(IP $_3$)およびシヤシルグリセロール(DG)という第二メッセンジャーを生成させる。つまり第一メッセンジャー

である外来(食品由来)の多様な味シグナルは、内生の束一的な少数の味覚シグナルへと変換され、味細胞内を伝達されることが、上記の解析から示された。

IP $_3$ は小胞体膜レセプターと反応してサイトゾールへのCa²⁺流入を促進し、transient receptor potential (TRP) M5チャネルを開口し、味細胞膜の脱分極を誘導することが示唆される。しかも、PLC β 2とIP $_3$ は共通の味細胞に存在する¹⁴⁾。これらのデータは、うま味・甘味レセプターT1R発現細胞と苦味レセプターT2R発現細胞が互いに別種であるにもかかわらず、これらは共通してG α i2、PLC β 2、IP $_3$ レセプターを発現しているのである。ここでも、多様な第一メッセンジャーである味が単純な味覚シグナルへと変換され、味細胞内を伝わり、味神経に達することがわかる。

筆者らが得たこれまでの知見を整理すると味細胞内の味覚シグナル伝達には①PIターンオーバー機序の存在、②TRPM5活性化と関連するアラキドン酸カスケード構成因子PLA2IIA、モノアシグリセロールリパーゼ(MGL)、シグロオキシゲナーゼ2(COX2)、の共存¹⁵⁾、③再分極(脱分極復元)カスケード因子としての電位依存性カリウムチャンネルKCNQ1およびKCNH2の存在が関与¹⁶⁾していることになる(表1)。なお、前記の酸味レセプターPKD1L2発現細胞は上記のKCNQ1発現細胞に存在していることも判明した。

味覚シグナル伝達機構の脊椎動物共通性

上記の研究を筆者らは主にマウスを用いて行ってきた。遺伝子ノックアウトが可能だからである。一方で最近、メダカやゼブラフィッシュなどの小魚を実験動物として用いることが国際化している。その利点は、哺乳類と同じ脊椎動物であること、ゲノムサイズが小さく、解析が容易なこと、遺伝子操作が簡単なこと、個体のターンオーバーが短期間であること、そして味覚研究のツールとしては味の嗜好と忌避を食行動における摂食量から推測し得ることなどが挙げられる。

筆者らは、ヒトT1R1、T1R2、T1R3そしてT2Rといった味覚レセプターがメダカにも、そっくりそのまま存在することを見いだした¹⁷⁾。しかも、興味深いことに、T2Rは哺乳類におけると同様にデナ

表1 食品の味に対する応答分子-味覚シグナリングの担い手。

Player	1st messenger	甘味	うま味	苦味
Receptor		T1R2+T1R3	T1R1+T1R3	T2Rs
G protein		Gi2		Ggust / Gi2
Effector	Phospholipase C β 2 (PLC β 2)			
2nd messenger	Inositol 1,4,5-tris phosphate (IP $_3$), Diacylglycerol (DAG)			
Channel	IP $_3$ receptor type 3 (IP $_3$ R3)			
Ca $^{2+}$	Intracellular Ca $^{2+}$ concentration ([Ca $^{2+}$] $_i$)			
Depolarization (modulator)	Transient receptor potential M5 channel (TRPM5) (Arachidonic acid)			
Repolarization	Voltage-dependent potassium channel Q1 (KCNQ 1)			

トニウムなどの苦味成分に应答し、これを含有する餌を忌避し、T1R2-T1R3はこれも哺乳類におけると同様、L-グルタミン酸などのアミノ酸を嗜好するうま味レセプターとして働く一方、哺乳類（ネコ以外）が甘味レセプターとして保持するT1R1-T1R3は、メダカでは、うま味に应答することが行動実験から明らかになった。これは、哺乳類がグルコースなどの糖類をカロリー源として利用する代謝経路を獲得しているのに対し、デンブンなどのグルコース源に出会う可能性の小さい水棲動物である魚では、アミノ酸の糖新生（グルコネオゲネシス）系路が発達していることと符合する。哺乳類のプロトタイプともいえる魚から派生したわれわれ陸上哺乳類は、進化の過程で、甘味嗜好を獲得し、それによって化学エネルギーを得、生命を維持・発展させてきたプロセスが、こうした味覚シグナル研究によっても立証されるのである。

味覚コーディングのゲノミクス

生物機能は、特に細胞内現象に関わるものについては、単独の遺伝子によって達成されることは少なく、多くの遺伝子にコードされる多様な因子が多様な現象（リン酸化・脱リン酸化、生体物質間相互作用、プロテオリシスなど）に対して影響を与えた結果、成立する。細胞内シグナル伝達等の複雑性は、これを解析する際に、単に細胞生物学にとどまらず、遺伝学・分子生物学から生化学・構造生物学に至る広い分野の視点と解析手段を取り込むことによってこそ初めて理解することができよう。ゲノミクスの基盤であるDNAマイクロアレイ解析は、翻訳制御

とタンパク質の安定性という要素を持ち込むことは困難であるものの、複雑な多因子に依存した状況変化を網羅的に捉えることができる数少ない方法論の1つである。比較対照する2者（あるいはn者）間の差異が僅かであっても、そこから一連の因子を導き出すことができれば、細胞機能の差として明示することが容易になる。例えば、味を感じることは味覚器と味覚伝達系を担う細胞（味細胞と味神経細胞）にどのような変化をもたらしているのかに関する広範な知見は、単に味の受容機構の解明にとどまらず、味の調節・学習の解明へと広がると予想できよう。あるいは、直接的には、むしろ味を与える物質や現象よりも味を与えない現象、例えば、一定の化学物質に対して先天的・後天的に味を感じなくなってしまう現象を解き明かし、再び味を感じるようになるという、遠い将来における味の再生・創出の方途に繋がるものである。こうした基盤的なデータをDNAマイクロアレイ解析は与えてくれる。

味細胞が味細胞として機能する際には過渡的な因子として何が出現し、それがどのような機能を果たして味覚受容に至るのか、また、味細胞においては何が細胞の時間を支配し、10~14日という短い寿命（すなわち、細胞機能の喪失と細胞死）を何が規定しているのかを、遺伝子発現プロファイルとの関連で記述できないか考えている。既存の研究においては、分化と機能発現、機能と細胞死というのは、それぞれ別個の事象として取り扱われていることが、味覚系にとどまらず一般的に多かった。しかし、味蕾細胞のように寿命が短く、分化から機能発現、そして細胞死が一体化しているように見える細胞系においては、これらの関係が必ずしも別々にあるわけではなく、細胞機能全般から互いに影響し合っている様相を描き得る。これらの現象を担う因子は、単にp53のような細胞周期と細胞死の両方に関わる因子にとどまらない。味覚研究から、普遍的な細胞現象の研究に貢献しうる要素であると期待しているところである。

味のコーディングは味蕾、味神経節、中枢など多段階で行われており、しかも味蕾細胞と味神経との対応は1対1ではない。味蕾に投射する味神経は4つの感覚神経（鼓索神経、浅在性大錐体神経、舌咽神経、上喉頭神経）から成る。これらの4神経に伝えられた味刺激の情報は、延髄の孤束核に伝達

され、次の情報処理を受ける。本研究において味覚器→味神経へと辿っていった次の段階は、孤束核における神経系の記述と神経細胞の機能解析であろう。最も大きな興味は、多段階で味はどのように情報処理されるのかという問題である。この大命題に対し、松本准教授グループは上記の4神経の細胞体である神経節(膝神経節 GG、下神経節 PG・NG)の性状をDNAマイクロアレイ解析で行い、各神経節に特徴のある発現遺伝子群の知見を得た¹⁸⁾。さらに最近、うま味・甘味情報がどのように神経系中枢へと伝達されるかについて解析した¹⁹⁾。神経シナプストレーサーであるWGAを用い味神経特異的エンハンサーであるT1R3プロモーターにより発現させ、WGA標識された味神経、そこからシナプス連絡する孤束核の神経細胞(二次神経)を標識した(図3)。今後、WGA陽性神経細胞の遺伝子発現プロフィールを解析し、味蕾のうま味・甘味細胞との対応関係を明確にし、味のコーディングの分子機構を明らかにしたいと考える。同様にして、順次上行的に解析を進めていくことで、味覚情報伝達経路の総合的な理解に繋がると期待している。

おわりに

農芸化学は物質科学を基盤とする味の研究から生命科学を基盤とする味覚の研究に至る一連のプロセスを自己の領域に取り込んだ。これは、農芸化学が単に農学面での化学を守備範囲としていた明治・大正・昭和前半の一時期から、生物とその生命の全体像の分子論的解明を目途とするユニバーサルな科学へと攻勢を強めている現状を如実に反映する。

今後、味覚の研究は甘・酸・塩・苦・うま味の感覚の個人差の遺伝子レベルでの解明に向かうであろう。この場合、味覚レセプター遺伝子の多型(SNPs)と個人個人の味覚の強弱の関連から、ゲノミクスにより、“個のための味”のデザイン、さらには“私の美食学”(personalized gastronomy)、オーダーメイドの調味(made-to-order seasoning)の科学・技術に途が拓かれるであろう。料理の達人たちの匠の業(アート)からテクノロジーへ、そしてサイエンスへの止揚が最初を実現するのは、味の世界からであるように思えてならない。

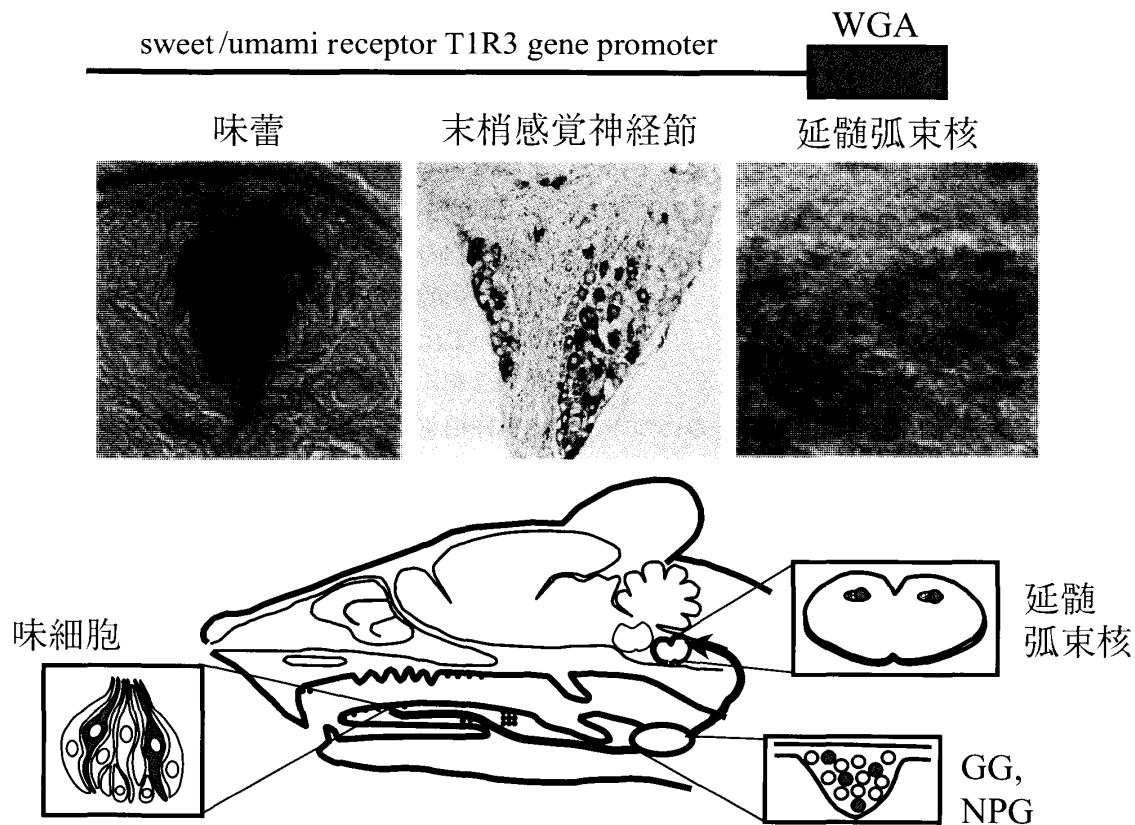


図3 トランスジェニックマウスを用いたうま味・甘味シグナル伝達経路の可視化。

文 献

- 1) Suzuki U, Shimomura U and Okada S: Über Oryzanin: ein Bestandteil der Reiskleie und seine physiologische Bedeutung. *Biochem. Z.* 43, 89-153 (1912)
- 2) Fujimaki M, Yamashita M, Okazawa Y and Arai S: Diffusible bitter peptides in peptic hydrolyzate of soybean protein. *Agric. Biol. Chem.* 32, 794-795 (1968)
- 3) Matoba T, Nagayasu C, Hayashi R and Hata T: *Agric. Biol. Chem.* 33, 1662-1663 (1969)
- 4) Kirimura J, Shimizu A, Kimizuka A, Ninomiya T and Katsuya N: *J. Agric. Food Chem.* 17, 689 (1969)
- 5) Fujimaki M, Arai S, Yamashita M, Kato H and Noguchi M: Taste peptide fractionation from a fish protein hydrolysate. *Agr. Biol. Chem.* 37, 2891-2898 (1973)
- 6) Abe K, Kusakabe Y, Tanemura K, Emori Y and Arai S: Primary structure and cell-type specific expression of a gustatory G protein-coupled receptor related to olfactory receptors. *J. Biol. Chem.* 268, 12033-12039 (1993)
- 7) Nelson G, Chandrashekar J, Hoon MA, Feng L, Zhao G, Ryba NJP and Zuker CS: An amino-acid taste receptor. *Nature* 416, 199-202 (2002)
- 8) Nelson G, Hoon MA, Chandrashekar J, Zhang Y, Ryba NJP and Zuker CS: Mammalian sweet taste receptors. *Cell* 106, 381-390 (2001)
- 9) Adler E, Hoon MA, Mueller KL, Chandrashekar J, Ryba NJP and Zuker CS: A novel family of mammalian taste receptors. *Cell* 100, 693-702 (2000)
- 10) Wong GT, Ruiz-Avila L and Margolskee RF: Transduction of bitter and sweet taste by gustducin. *Nature* 381, 796-800 (1996)
- 11) Ishimaru Y, Inada H, Kubota M, Zhuang H, Tominaga M and Matsunami H: Transient receptor potential family members PKD1L3 and PKD2L1 form a candidate sour taste receptor. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103, 12569-12579 (2006)
- 12) Kusakabe Y, Yasuoka A, Asano-Miyoshi M, Iwabuchi K, Matsumoto I, Arai S, Emori Y and Abe K: Comprehensive study on G protein α -subunits in taste bud cells, with special reference to the occurrence of G α i2 as a major G α species. *Chem. Senses* 25, 525-531 (2000)
- 13) Asano-Miyoshi M, Abe K and Emori Y: Co-expression of calcium signaling components in vertebrate taste bud cells. *Neurosci. Lett.* 283, 61-64 (2000)
- 14) Asano-Miyoshi M, Abe K and Emori Y: IP3 receptor type 3 is co-expressed with PLC β 2 in a subset of rat taste bud cells that includes the cells expressing two types of taste receptor, T1R and T2R. *Chem. Senses* 26, 259-265 (2001)
- 15) Oike H, Wakamori M, Mori Y, Nakanishi H, Taguchi R, Misaka T, Matsumoto I and Abe K: Arachidonic acid can function as a signaling modulator by activating the TRPM5 cation channel in taste receptor cells. *Biochim. Biophys. Acta* 1761, 1078-1084 (2006)
- 16) Ohmoto M, Matsumoto I, Misaka T and Abe K: Taste receptor cells express voltage-dependent potassium channels in a cell age-specific manner. *Chem. Senses* 31, 739-746 (2006)
- 17) Oike H, Nagai T, Furuyama A, Okada S, Aihara Y, Ishimaru Y, Marui T, Misaka T and Abe K: Characterization of ligands for fish taste receptors. *J. Neurosci.* 27, 5584-5592 (2007)
- 18) Matsumoto I, Emori Y, Nakamura S, Shimizu K, Arai S and Abe K: DNA microarray cluster analysis reveals tissue similarity and potential neuron-specific genes expressed in cranial sensory ganglia. *J. Neurosci. Res.* 74, 818-828 (2003)
- 19) Ohmoto M, Matsumoto I, Yasuoka A, Yoshihara Y and Abe K: Genetic tracing of the gustatory and trigeminal neural pathways originating from T1R3-expressing taste receptor cells and solitary chemoreceptor cells. *Mol. Cell. Neurosci.* (in press)

<著者紹介>

阿部 啓子 (あべ けいこ) 氏略歴

学歴・職歴:

- 1969年3月 お茶の水女子大学家政学部食物学科卒業
- 1971年3月 お茶の水女子大学大学院家政学研究科食物学専攻修士課程
修了
- 1973年4月 アメリカ合衆国デューク大学医学部研究員
- 1977年4月 お茶の水女子大学家政学部技官
- 1984年3月 東京大学農学部研究員
- 1992年1月 東京大学農学部 助手
- 1994年6月 東京大学大学院農学生命科学研究科 助教授
- 1996年3月 東京大学大学院農学生命科学研究科 教授



専門分野: 食品科学、味覚科学、遺伝子科学

所属学会: 日本農芸化学会 (理事)、日本味と匂学会、日本栄養・食糧学会、
日本生化学会、日本分子生物学会、日本予防医学会、日本機能性
食品医用学会

