

## 総説特集Ⅱ：食における味とにおいの接点－4

## 食における学習性の共感覚

坂井 信之

(神戸松蔭女子学院大学・人間科学部)

本論文では、「共感覚」というタームを中心に「味とにおいの接点」について論じた。最初に、我々ヒトの食において、味とにおいは切っても切れない関係にあることを、筆者らの心理学・行動科学的な研究を中心に、現象論として例示した。次に、その背後にあると考えられる味覚と嗅覚の連合に関する脳機構について、ラットを用いた行動神経科学的な研究とヒトの非侵襲計測の結果を合わせて考察した。最後に、最近になって蓄積されつつある第一次感覚野での情報の統合が、味覚と嗅覚の連合でも生じている可能性について論じた。

## はじめに

我々は日常生活での経験を通じて、『味とにおいの接点』を意識せずに体験していることが多い。例えば、料理番組などにおいて「この香りをお伝えできないのが残念です」というコメントを聞いたり、風邪や花粉症で鼻が正常でなくなったときに生じる味の変化などはそのよい例である。また、無果汁のオレンジジュースを飲んでオレンジ「味」を感じるはその香料(=におい)のためであるし、松茸や日本そばなど、呈味成分があまりないものの「味」を楽しむことができるのも、その香りのせいである。しかしながら、このような知識を持っている筆者自身であっても、実際にそれらの食物を口の中に入れたときに生じる感覚は、やはり「味」である。

一方、本学会で研究されている「味」は味覚のことを差す。味覚の受容機構という研究課題の下で嗅細胞を研究している人はいない。それは味覚が「口腔内に存在する味覚受容器によって検知される化学物質によって引き起こされる感覚である」という定義を心得ているからである。しかしながら、一般の方は「秋の味覚」「旬の味覚」という使い方をされているし、前にも述べた通り、この現象を研究の対象としている筆者自身も混同するときがある。そこで、本総説では、「味」という用語で食物を口に入

れたときに生じる感覚を、「味覚」という用語で口腔内の味覚受容器が刺激されたときに生じる感覚を表現することにしたい。

## 1. 共感覚

最初に共感覚について説明しておきたい。近年、共感覚という言葉がタイトルに含まれる一般の書籍が多く発行されている<sup>1,4)</sup>。多くは海外のものであるが、一部翻訳され、日本語の文献として、参考になるものもある<sup>1,3)</sup>。中でも、長い間の臨床経験に基づくシトーウィック氏の書かれた本のタイトル「共感覚者の驚くべき日常－形を味わう人、色を聴く人－<sup>2)</sup>は、共感覚を物語る良い例であろう。本書で紹介されている人物(マイケル氏)は、「味に形がある」といい、「強い味のものを食べると、感覚が腕をつたって指先までいく。そして重さとか質感とか、温かいとか冷たいとか、そういうことをみんな感じる。実際には何かをつかんでいるような感じがする」と述べている。この例が示しているように、ある感覚モダリティに属する感覚に伴って、別の感覚モダリティが同時に引き起こされることを共感覚という。この共感覚は、自動的に引き起こされ、意識的に止めようと思っても止めることができないのが特徴である。

\* Received July 20, 2009; Accepted August 11, 2009

Learned synesthesia between taste and smell.

\*\* Nobuyuki Sakai, Kobe Shoin Women's University, 1-2-1 Shinoharaobanoyama-cho, Nada, Kobe, Hyogo 657-0015; nob-sakai@shoin.ac.jp, Fax: +78-882-4627

### 1.1. 共感覚の神経科学的メカニズム

共感覚者の頭（脳）の中はどのようになっているのであろう？言葉を聞くと色が見える色聴者の脳をfMRIにより調べた研究<sup>9)</sup>では、言葉を聞いたときにコントロール群の脳は上側頭回を中心とする聴覚に関する脳部位が応答を見せたのに対して、色聴者の脳部位は聴覚関連部位に加えて、色覚の処理に関連する部位（V4/V8野）にも応答がみられた。同じような知見は、色聴者の脳をPETを用いて計測した研究<sup>6)</sup>によっても得られており、色聴者の脳では、単語を聞いたときに、V4/V8野周囲の左後頭回上部／上頭頂回境界部とより高次の視覚野である下側頭皮質後部などの細胞が活動する。fMRIに比べてPETの空間解像度が低いことを考えると、前述の結果とはほぼ同じ（単語を聴いて色覚関連領域が活性化される）と考えることもできる。つまり、色聴者の脳では、音声言語を処理する際に色覚関連部位も活性化されているのである。

### 1.2. 発達の未分化説

このような脳の構造の違いはどのような過程で形成されてくるのであろうか。今現在では、共感覚の神経機構を説明する学説にはいくつかの説があるが、最もよく説明できる学説に脳の発達の未分化説というのがある。この学説を使って、上記の現象を説明してみたい。最初に、我々ヒトの脳の発達の仕組みについて触れておきたい。

ヒトのニューロンの数は生後6ヶ月くらいを頂点として、その後減少を続ける。さらに、シナプスの数も生後6ヶ月から8ヶ月の間を頂点として、その後減少を続ける<sup>7)</sup>。これらの減少は我々の脳機能の低下を意味するわけではないことは自明であるが、それでは何の意味があるのだろうか。現時点で最も有力な考え方は、最初にあらゆるつながりを作っておき、生後使われなくなったつながりを淘汰し（これを刈り込みという）、機能を洗練させていくというものである。前もってあらゆるシナプスを作っておき、それが使用される限り残し、使用されなければ消失させるという戦略は、経験に基づいて新たなシナプスを完成させるより、早く学習が完成すると考えられる。そのため、このようなシナプスの消失こそが学習の最も重要な基盤であると考えている研究者も多い<sup>8-10)</sup>。例えば古典的条件づけの文脈では、

「パブロフの犬」の事例のような数十回から数百回の対提示をおこなわないと獲得できない学習がある一方で、恐怖条件づけや味覚嫌悪学習などは数回の対提示のみで十分な強さの学習を獲得することができる。この場合、前者の古典的条件づけはシナプス長期増強のように新たにシナプスを作り出さなければいけない学習、後者はすでにある回路を使い始めるだけでよい学習と考えることができよう。実際、後者は神経科学的なバックグラウンドが見いだされるずっと前から「準備された」学習<sup>11)</sup>と呼ばれてきた。

さて、共感覚の話に戻りたい。脳の発達の未分化説では、このような通常の神経発達過程において、何かの事情で、うまく淘汰されなかった神経回路が残った結果、ある感覚種に属する刺激が別の感覚モダリティに属する感覚を生じさせるようになってしまうことが、共感覚の原因だと考える。模式図を使って説明してみよう。ここでは仮に聴覚関連細胞を四角で、視覚関連細胞を丸で表現している。多くの人（非色聴者）では、生後間もないときにはつながりのあった聴覚系と視覚系の細胞群（図1上）は、成熟とともに、それぞれ分化した神経回路を形成する（図1右下）。そのため、これらの人の脳では、上の研究のコントロール群の脳活動にみられたように、聴覚刺激によって、視覚に関連する神経回路には活動は生じない。一方、色聴者の人の脳では、成熟に伴って分化が生じていくが、その過程で一部の神経系のつながりが残されたままとなる（図1左下）。そのため、聴覚刺激によって、視覚に関連する神経回路の一部に活動が生じることになる。実際、サル胎児のV4野にある7割から9割の神経細胞は聴覚野からの入力を受けているが、成体になるとその割合が2割から3割程度に落ち着くようだ<sup>2)</sup>。

このような共感覚のメカニズムから、生まれつき目の不自由な人では、点字を読んでいるときにV1野が活性化する<sup>12)</sup>ことも説明できる。生まれつき目の不自由な人では、視覚情報がV1野に到達しないので、視覚情報とV1野のつながりが淘汰されていき、反対に生まれつき誰もが持っている共感覚性のつながり（聴覚情報や体性感覚情報と視覚野のつながり）が強化されるのであろう。ここで、「誰もが持っている共感覚性のつながり」という部分に引っかけかりを覚えられた読者の方も居られるかもしれな

## 食における学習性の共感覚

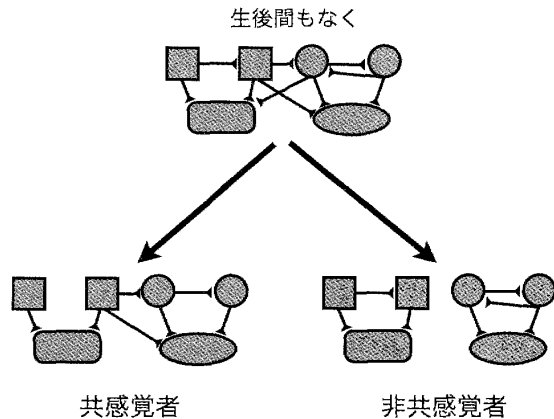


図1 神経の発達段階において、未分化の回路が共感覚の原因であるという発達の未分化説を図示したもの。

いが、このことも、生後ずっと目が見えている人でも、目隠しをして生活し、点字を読む訓練を続けると、5日程度でV1野の細胞が点字を読んでいるときに活動するようになるという実験<sup>13)</sup>を紹介すれば理解していただけるだろう。この例は、共感覚者ではない我々にも、共感覚性の神経連絡が残っていることを示す良い証拠である。

## 2. ソフトな共感覚—味とにおい—

共感覚の話がどうして味覚だとか「味」に関係するのだ?と疑問をお持ちの方も多いただろう。そのお気持ちはわかるが、今しばらくおつきあい願いたい。多くの人に同意していただけるだろうと思うが、実は、非共感覚者である我々も日常的に共感覚のような経験をしている。例えばバニラやチョコレートの香りを嗅いだときを想像していただきたい。おそらくほとんどすべての人が「甘い」と感じるだろう。しかし、実際バニラアイスクリームやチョコレートを口の中に入れた訳でない。ただ、それらの香りを嗅いだだけで、「甘い」という表現が自然に出てきたはずである。「いや、それは表現上の話で…」と反論される方もおられるかもしれない。では、ただの水にそれらの香料だけを入れた水を飲んでみていただきたい。ほとんどの人がやはり「甘い」と表現するだろう。しかしながら、この味覚と嗅覚の間に生じる共感覚は前の節で述べた共感覚とは異なる特徴も持っている。この節では味覚と嗅覚の間に生じる共感覚の現象論について、主に行動科学(心理学や行動学など)の観点からまとめる。

### 2.1. 味とにおいの交互作用

味とにおいの間に交互作用が生じることは広く知られており、研究例にも枚挙に暇がないくらいである。それらの研究の紹介の詳細については他書<sup>14,16)</sup>に譲ることにして、ここでは現象の概略をまとめてみよう。

一般的に味溶液に香料を添加すると、1. 味覚閾値の低下(あるいは上昇)、すなわち味覚に関する感度の上昇(あるいは低下)、2. 味覚強度評定の増強(あるいは抑制)、すなわち味覚に関する感受性の上昇(あるいは低下)、3. 感じられる味質の変容に大別される。ここでは代表的な2(味覚の増強あるいは抑制の効果)について考えてみる。

従来の多くの研究では、混合刺激を提示する際に、味覚溶液に香料を直接添加していた。しかしながら、このような提示方法では、香料そのものが味細胞を刺激している可能性を否定することはできない。つまり、においを添加したときに感じられる味の強さは、味覚刺激によって喚起される味覚強度+嗅覚刺激によって喚起される味覚強度となるため、味覚刺激のみを提示したときに感じられる味覚強度よりも強いのは当然であるという批判がなされる余地がある。そこで、筆者らは、味覚刺激と嗅覚刺激を(混合せずに)それぞれ独立して提示する方法を開発し、このときに味覚増強効果がみられるか否かを検討した<sup>17)</sup>。味覚刺激にはアスパルテーム溶液を用いて、舌の一部に提示した。嗅覚刺激は、バニリン溶液を用いて、簡易型オルファクトメータにより、鼻孔経由で鼻腔内に提示(前鼻腔提示)するか、あるいは口腔経由で鼻腔内に提示(後鼻腔提示)した。このとき、後鼻腔提示による味覚の増強効果が大きければ末梢性におい物質が味覚を刺激している可能性があると考えられる(末梢説)が、前鼻腔提示によっても後鼻腔提示によっても同じような味覚増強効果が得られれば、におい物質が味蕾を刺激する可能性は小さくなく、この味覚増強効果は中枢性に生じる可能性が高くなる(中枢説)。

実験の結果は中枢説を支持することになった。つまり、前鼻腔提示による味覚増強効果は $1.82 \pm 0.17$ (味覚のみの提示のときを1としたとき)、後鼻腔提示による増強効果は $1.70 \pm 0.17$ となり、これらの間には有意な差は認められなかった。この結果から、

坂井 信之

嗅覚による味覚増強効果は、末梢性の現象ではなく、中枢性に生じていることが示唆された。

## 2.2. 学習性の交互作用

味覚増強効果が中枢性に生じている可能性は別の現象からも支持される。多くの研究から、においのイメージと味のイメージが一致しているときに、増強効果がみられることが示されている<sup>18)</sup>。つまり、甘いイメージの香料は甘味を増強させ、酸っぱいイメージの香料は酸味を増強させるというわけである。一方、このようなイメージの一致がみられない組み合わせでは、味覚の増強効果はみられないか、反対に抑制効果がみられる<sup>18, 19)</sup>。この現象が嗅覚による味覚の増強効果の中樞説を支持すると考えられるのは、このようなイメージの一致が日常の食経験から形成されることが示唆されている<sup>20)</sup> からである。さらに、オーストラリアの Stevenson らのグループは、ヒトの嗅覚が味覚イメージを形成する過程を詳しく検証し、実験的に甘いイメージを形成されたにおいをショ糖溶液に添加することによって、甘味の増強効果が生じ、酸っぱいイメージが形成されたにおいをクエン酸溶液に添加することによって酸味の増強効果がみられること等を数多く報告している<sup>16)</sup>。そこで、においは生後の食経験を通じて、学習性の味覚イメージを脳内に形成し、その味覚イメージと一致する味覚を増強させると考えられるようになった。そのためにこの現象は「学習性の共感覚」と呼ばれている<sup>6)</sup>。

## 3. 学習性の共感覚

### 3.1. ラットにおける味とにおいの連合

とはいえ、このような研究をヒトで行うには限界があるのも事実である。研究室内で飼育されている動物とは異なり、ヒトは、実験に参加・協力するために実験室に来るまでに、様々な食経験を積んでいる。この食経験は、離乳期以降ではなく、すでに乳児期や胎児期に始まっていることがわかっている<sup>21)</sup>。そのため、我々にとってはバニラの香り＝甘い、レモンの香り＝酸っぱいというイメージが生得的なものであるか、生後経験を通じて生じたものかを区別することは非常に難しい。

そこで、筆者らはヒトに比べて生後の食経験が統制できる実験用ラットを用いて、ラットが食経験を

通じて、味覚と嗅覚の連合を形成することが可能か否かを検証した<sup>22)</sup>。実験手続きは図2に示すような形で、あるにおい (CS+) と0.5Mの食塩水、別のにおい (CS-) と蒸留水の対提示を5回行い、その後、ラットを塩分欠乏状態にさせた。塩分欠乏状態におかれたラットは、普段は飲まないような高濃度の食塩水に嗜好を示すようになることが知られているが、同じように食塩水と対提示されたにおい (CS+) のする水に対しても嗜好を示した。一方、対提示を受けたが、食塩欠乏状態にないラットは、CS+を忌避するようになった。このことから、ラットは高濃度の食塩水と対提示されたにおいに対して「濃い塩味」というイメージを形成することが示唆された。つまり、においの持つ味覚イメージは日常の食経験を通じて学習される可能性があることが示されたことになる。

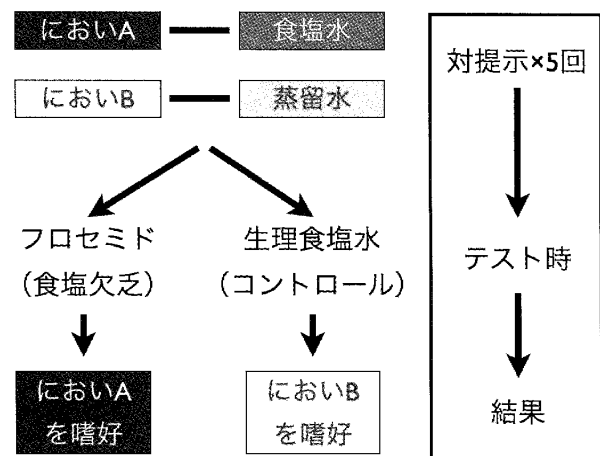


図2 Sakai and Imada (2003) の実験<sup>22)</sup> の概略。

### 3.2. 味とにおいの連合に関わるラットの脳機構

続いて、この学習に関与する脳部位を破壊行動法により探索したところ<sup>22)</sup>、第一次味覚野である島皮質あるいは第二次味覚野である前頭前野腹外側部を破壊されたラットはこの学習を獲得できなくなったことから、これらの味覚野を経由する情報が嗅覚情報と連合されることが示唆された (図3)。一方、あるにおいを甘味 (サッカリン溶液) と、別のにおいを苦味 (キニーネ溶液) と対提示したときには、ラットは甘味と連合されたにおいに嗜好を示すが、この学習はこれらの味覚野を破壊しても正常に獲得できた<sup>23)</sup>。後者は、においと味覚の質 (甘いあるいは苦い) が連合したというよりは、においと味覚に

## 食における学習性の共感覚

よる情動（快不快感）が一致したと考えるのが妥当であり、実際、この学習は扁桃体を破壊することによって阻害された。つまり、味覚に関連する学習でも、おいしい（あるいはまずい）という学習と味覚の質（甘い、塩辛い、酸っぱい、苦いなど）の学習はそれぞれ並行して行われていることが示唆される。

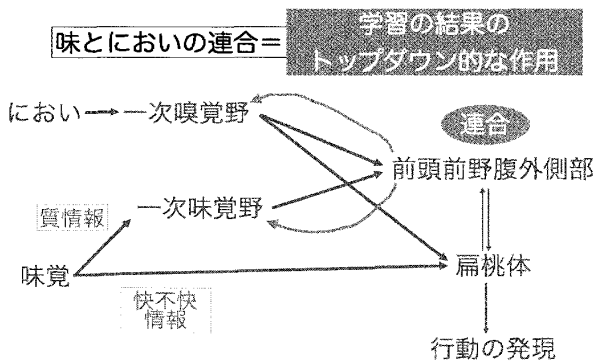


図3 筆者らの研究<sup>22, 23)</sup>によるラット脳内での味覚と嗅覚の連合に関わる脳部位の模式図。図中の前頭前野腹外側部は、ヒトにおいては眼窩前頭皮質に相当すると考えられる。

## 3.3. ヒトにおける味とにおいの連合とその脳機構

ヒトにおいても、嗅覚と味覚の連合が眼窩前頭皮質（ラットでは前頭前野腹外側部が相当すると考えられる）で生じている可能性を示唆する研究がいくつかある<sup>24-26)</sup>。例えば、de Araujo らの研究<sup>24)</sup>では、シヨ糖溶液と後鼻腔性に提示されたイチゴ香料とを同時に提示されたときの左側外側眼窩前頭皮質尾側部の活動は、味覚刺激と嗅覚刺激をそれぞれ単独提示した時の活動の和に比べて有意に高かった。一方、Small らの研究<sup>25)</sup>では、シヨ糖溶液と後鼻腔性に提示されたバニラ香料とを同時に提示されたときに、右側の外側眼窩前頭皮質から腹側島皮質への移行部の活動が、それぞれの刺激を単独に提示したときの和よりも強かったことが報告されている。左右の違いについては、Small らの研究論文<sup>25)</sup>においても、総説論文<sup>26)</sup>においても、触れられていないので、よくわからないが、左右の違いが無視できるとすれば、味覚と嗅覚の情報が収斂しているのは、外側眼窩前頭皮質から腹側島皮質にかけての領域であることが示唆される。これらの部位は筆者らがラットにおいて見いだした部位<sup>22)</sup>に相当する部位であると考えられ<sup>26)</sup>、味覚と嗅覚の連合とその学習によって生じる増強効果は、行動においても脳機能において

もヒトとラットに共通して見られる現象であることが示唆された。

ここまでの知見から、嗅覚による味覚増強効果を考えてみよう。我々がバニラの香りを嗅いだときには、いくつかの中継核を経て、嗅覚情報が眼窩前頭皮質に達する。これまでの食経験を通じて形成された記憶（バニラ＝甘い）が活性化され、その情報はトップダウン的に味覚の情報処理過程に作用し、甘味情報を増強する。その結果、感じられる甘味が増強して感じられる。一方、バニラの香りには、酸っぱさに関連する情報は関係ない。そこで、バニラを酸味溶液に添加すると、トップダウンの情報と末梢から上がってくる味覚情報との間に混乱が生じるため、酸味が弱く感じられるのかもしれない。

## 3.4. 学習性の共感覚としての風味知覚

味覚は食物を口腔内に取り入れて初めて生じる感覚である。一方、嗅覚は食物がある程度離れたところにあっても感じる事ができる。そのため、においによって味を予想することができれば、いち早く食物を認知できることにつながる。おそらく進化の過程で、このような学習の基盤を備えていた生体が生き延びてくることができたため、現在生きている我々（含むラット）は、味覚と嗅覚を連合し、嗅覚が外在化された味覚機能（＝味覚イメージの形成）を果たすようになっているのであろう。だから我々は風邪を引いたり花粉症で鼻が利かないときに、味覚は全く異常がなくとも、「味」が変になったと考えてしまうほど、味覚と嗅覚は強く一体化しているのである。このような意味において、本論文は味覚と嗅覚の交互作用について、「共感覚」というタームを使って説明してきた。

しかしながら、味覚と嗅覚の交互作用には、一般的な共感覚とは異なる特徴もある。色聴や単語が色と結びついているなど、本論文の導入部分で述べたいわゆる一般的な共感覚は、一部生後の経験で説明できるような関連性を持つものもあるが、基本的には個人差が大きい<sup>1)</sup>。それゆえ、共感覚者の感じている世界は、我々非共感覚者にとっては不思議な世界に思えるのである。

それに対して、味覚と嗅覚の間にみられる共感覚的な関係には、個人差は少なく、あるとしても、文化による差がみられるだけである。例えば、本論文

坂井 信之

では「バニラ＝甘い」「レモン＝酸っぱい」という例を用いてきたが、ベトナムではバニラの香りは塩味と、レモンの香りは甘味と結びついているそうである<sup>4)</sup>。一般的な共感覚は、本論文でも説明したように、神経の発達段階におけるランダムな刈り込み（の不足？）によって生じることが多いため、個人によって生じ方が異なる。一方、味覚と嗅覚の共感覚は、日常経験を通じて学習されるため、同じ文化圏で生活を送っていると、同じような共感覚を身につけることになる。このような現象があるため、本論文では、味覚と嗅覚の関係について「学習性の共感覚」という表現をとった。

#### 4. まとめと今後の展望

本論文では、味覚と嗅覚の共感覚が学習性に形成されるものであることを中心に述べてきた。しかしながら、その背後には遺伝子により「準備された」神経基盤があるのかもしれない。例えば、1.2.で恐怖条件づけや味覚嫌悪学習は「準備された」学習と呼ばれると述べたが、味覚と嗅覚の連合も、他の古典的条件づけに比べて早く獲得できる学習であるため、「準備された」学習の一つと言えるかもしれない。そうすると、この学習に関与する脳機構にも、遺伝子により準備されている仕組みがあると考えるのが妥当であろう。そこで、高次連合野より早い段階で、味覚と嗅覚の連合が生じている可能性もあると思われる。

視覚と聴覚の間には、情報処理の比較的早い段階（視床の上丘や下丘）において、情報の統合（収斂）が見いだされており、この統合が視覚と聴覚の相互作用（例えば音源の同定や読唇など）に大きな影響を与えていることが示唆されている<sup>27, 28)</sup>。同じように、味覚と嗅覚の間においても、第一次嗅覚野や第一次味覚野において、味覚と嗅覚の収斂が報告されている<sup>29, 30)</sup>。このため、味覚と嗅覚の連合は、高次感覚野での情報の統合を待たずに、一次感覚野のレベルで、ボトムアップ的に生じている可能性もある（図4）。食物をいち早く認知し、それに対して行動を起こすためには、高次感覚野で処理された高度な情報がトップダウン的に感覚情報の処理へ干渉することを悠長に待ってられないだろう。実際、ヒトの島皮質は比較的早く（306-486msec.の潜時）、におい刺激に応答を見せることが報告されている<sup>31)</sup>。

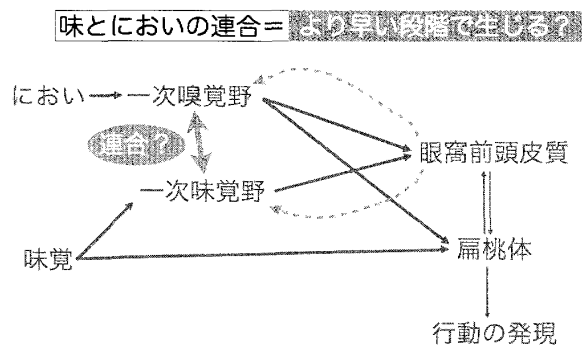


図4 より早い段階（第一次感覚野）で連合が生じている可能性を示した模式図。トップダウンによる下降性の情報を待つ必要がないため、比較的早く反応することができるようになる。

この情報処理の早い段階での統合が、遺伝子により「準備された」学習の脳機構であると考えられるが、食物認知において果たしている役割の詳細についてはこれからの研究課題であろう。しかしながら、先に述べたように、ヒトは日常生活での経験を統制することが難しく、また非侵襲的に脳機能を計測する方法においてもかなりの制限や課題点<sup>32)</sup>がある。また、食物認知の特性として、ヒトとラットでは大きく異なる（例えば、ヒトは味覚、嗅覚、体性感覚だけではなく、視覚や聴覚なども動員して五感で食物を認知しているし、調理という技術を磨いて食物を改良・加工してきている）ため、ラットを対象として得られた知見のみで、ヒトの食物認知を語ることは難しい。食における学習性の共感覚の研究の更なる進展は、これらの問題をクリアできる明快なパラダイムの登場を待たなければならないのかもしれない。

#### 文献

- 1) Cytowic RE : The Man Who Tasted Shapes, MIT Press, Cambridge (2003) (リチャード・E・シトウウィック、山下篤子訳：共感覚者の驚くべき日常－形を味わう人、色を聴く人、草思社、東京(2002))
- 2) Cytowic RE and Eagleman DM: Wednesday is indigo blue - Discovering the brain of synesthesia. MIT Press, Cambridge (2009)
- 3) Harrison J: Synaesthesia - The Strangest Thing. Oxford University Press, New York (2001) (ジヨ

## 食における学習性の共感覚

- ン・ハリソン、松尾香弥子訳：共感覚－もっとも奇妙な知覚世界。新曜社、東京（2006）
- 4) Ward J: The Frog Who Croaked Blue - Synesthesia and the mixing of the senses. Routledge, East Sussex (2007)
- 5) Nunn JA, Gregory LJ, Brammer M, Williams SCR, Parslow DM, Morgan MJ, Morris RG, Bullmore ET, Baron-Cohen S and Gray JA: Functional magnetic resonance imaging of synesthesia: activation of V4/V8 by spoken words. *Nature Neurosci* 5, 371-375 (2002)
- 6) Paulesu E, Harrison J, Baron-Cohen S, Watson JDG, Goldstein L, Heather J, Frackowiak RSJ and Frith CD: The physiology of coloured hearing: a PET activation study of colour-word synaesthesia. *Brain* 118, 661-676 (1995)
- 7) Dowling JE: The Great Brain Debate - Nature or Nurture? Princeton University Press, Princeton and Oxford (2004) (ジョン・E・ダウリング、安田肇訳：脳は生まれか育ちか 脳科学入門。青土社、東京（2006）)
- 8) Edelman GM: Neural Darwinism - the theory of neuronal group selection. Basic Books, New York (1998)
- 9) Sporns O and Tononi G: Selectionism and the brain. Academic Press, San Diego (1994)
- 10) Tapia JC and Lichtman JW : Synapse elimination. In *Fundamental Neuroscience* 3<sup>rd</sup> Edition (Squire LR, Berg D, Bloom FE, du Lac S, Ghosh A and Spitzer NC eds.). Academic Press, Burlington pp. 469-490 (2008)
- 11) 坂井信之：味覚嫌悪学習とその脳メカニズム。動物心理学研究 50, 151-160 (2000)
- 12) Sadato N, Pascual-Leone A, Grafman J, Ibanez V, Deiber MP, Dold G and Hallett M: Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. *Nature* 380, 526-528 (1996)
- 13) Pascual-Leone A, Amedi A, Fregni F and Merabet L: The plastic human brain cortex. *Ann Rev Neurosci* 28, 377-401 (2005)
- 14) Prescott J: Psychological processes in flavour perception. In *Flavour Perception* (Taylor AJ and Roberts DD eds.), Blackwell Publishing, Oxford pp. 256-277 (2004)
- 15) 坂井信之：味覚と他の感覚との統合。味覚・嗅覚 (内川恵二総編集、近江正雄編)、朝倉書店、東京 pp.103-114 (2008)
- 16) Stevenson RJ: The psychology of flavour. Oxford University Press, New York (2009)
- 17) Sakai N, Kobayakawa T, Gotow N, Saito S and Imada S: Enhancement of sweetness ratings of aspartame by a vanilla odor presented either by orthonasal or retronasal routes. *Perceptual and Motor Skills* 92, 1002-1008 (2001)
- 18) Schifferstein HNJ and Verlegh PWJ: The role of congruency and pleasantness in odor-induced taste enhancement. *Acta Psychol* 94, 87-105 (1996)
- 19) 坂井信之、石原裕子、斉藤幸子：ニオイによる味覚増強効果はニオイに対する味覚イメージの影響を受ける。日本味と匂学会誌 9, 423-426 (2002)
- 20) 石原裕子、坂井信之：食品に対するイメージについての研究－味・匂を中心に－。日本味と匂学会誌 5, 407-410 (1998)
- 21) Mennella JA and Beauchamp GK: The early development of human flavor preferences. In *Why We Eat What We Eat - The Psychology of Eating* (Capaldi ED ed.). American Psychological Association, Washington DC pp. 83-112 (1996) (坂井信之・長谷川智子・今田純雄訳：人はなぜ食べるのか(4)：発達初期における風味嗜好とその形成。広島修大論集 40, 329-362 (1999))
- 22) Sakai N and Imada S: Bilateral lesions of the insular cortex or the prefrontal cortex block the association between taste and odor in the rat. *Neurobio. Learn Mem* 80, 24-31 (2003)
- 23) Sakai N and Yamaoto T: Effects of excitotoxic brain lesions on taste-mediated odor learning in the rat. *Neurobio. Learn Mem* 75, 128-139 (2001)
- 24) de Araujo IET, Rolls ET, Kringelbach ML, McGlone F and Phillips N: Taste-olfactory convergence, and the representation of the pleasantness of flavour, in the human brain. *Eur J Neurosci* 18, 2059-2068 (2003)
- 25) Small DM, Voss J, Mak YE, Simmons KB, Parrish

坂井 信之

- T and Gitelman D: Experience-dependent neural integration of taste and smell in the human brain. *J Neurophysiol* 92, 1892-1903 (2004)
- 26) Small DM and Prescott J: Odor/taste integration and the perception of flavor. *Exp Brain Res* 166, 345-377 (2005)
- 27) Calvert GA, Bullmore ET, Brammer MJ, Campbell R, Williams SCR, McGuire PK, Woodruff PWR, Iversen SDI and David AS: Activation of auditory cortex during silent lipreading. *Science* 276, 593-596 (1997)
- 28) Stein BE: Neural mechanisms for synthesizing sensory information and producing adaptive behaviors. *Exp Brain Res* 123, 124-135 (1998)
- 29) Shipley MT and Geinisman Y: Anatomical evidence for convergence of olfactory, gustatory, and visceral afferent pathways in mouse cerebral cortex. *Brain Res Bull* 12, 221-226 (1984)
- 30) Fu W, Sugai T, Yoshimura H and Onoda N: Convergence of olfactory and gustatory connections onto the endopiriform nucleus in the rat. *Neurosci* 126, 1033-1041 (2004)
- 31) Kettenmann B, Hummel C, Stefan H and Kobal G: Multiple olfactory activity in the human neocortex identified by magnetic source imaging. *Chem Senses* 22, 493-502 (1997)
- 32) 坂井信之・小早川達・小川尚・丹生健一：味覚・嗅覚における functional MRI 適用の問題点. 日本味と匂学会誌 14, 35-42 (2007)

### <著者紹介>

坂井 信之 (さかい のぶゆき) 氏略歴

- 1998年 3月 大阪大学大学院人間科学研究科博士後期課程修了  
同 4月 日本学術振興会特別研究員 (認知行動科学：広島修道大学)  
2001年 4月 科学技術振興事業団科学技術特別研究員 (認知神経科学：産業技術総合研究所)  
2003年 4月 神戸松蔭女子学院短期大学生活科学科専任講師  
2004年10月 同上助教授  
2005年 4月 神戸松蔭女子学院大学人間科学部生活学科助教授  
2007年 4月 同上准教授、神戸松蔭女子学院大学大学院文学研究科心理学専攻准教授を兼任  
現在に至る。

専門は未嗅覚を中心とする認知行動科学、食行動学

