— 特 集 —

「食」を通してにおい・かおりを考える

おいしさからやみつきに至る脳内プロセス

山本 隆

おいしさが高じて特定の食べ物に対する嗜好性がとりわけ強くなった状態をやみつきという。代表的な脳内物質の面からみれば、おいしいと思うとき β -エンドルフィンが、もっと欲しいと思うときにはドーパミンが、そして実際に食べるときにはオレキシンが放出される。このとき、ドーパミンは脳内報酬系を賦活し、摂食欲を高める働きをする。より強力な摂取欲を示すコカインなどの薬物依存症の場合とそのしくみは共通である。やみつきとはある食べ物を想起したり、見たり、実際に口に入れたとき、これら脳内物質が容易にかつ過剰に分泌されるようになった状況とも考えられる。

1. やみつきとは

「やみつき（病み付き）」とは、広辞苑によると「悪い習慣などに染まること」とある。自分の意志では抑えようと思ってもそれに逆らって欲求のままに行動をしてしまう状態をいうので、病的ともいえるし、意志に反する行動なので罪悪感も伴う。したがって、やみつきといえど何かマイナスのイメージを伴うようであるが、対象物やその程度に依存するので、必ずしも悪いというイメージではない場合もある。

廣中¹⁾によると、マイナスのイメージのやみつき状態、すなわち、「同じことを繰り返す、いつもそのことばかりを考えている、行動のレパートリーが減る、やめようと思ってもやめられない、など」に対して、科学のことばでは、中毒、嗜癖、習慣、依存などが挙げられるがどれも確に表わすことができず、「ハマる」ということばがもっとも適切であるとしている。「やみつき」と「ハマる」を比べると、後者は薬物（アルコール、シンナー、麻薬、覚せい剤など）のとりこになり、クスリが欲しいという強烈的な欲求を自分でコントロールできない、文字通り、病的にのめり込んでしまう場合に用いられるのに対して、やみつきとは程度的にはそれ程強烈的なイメージはなく、「好きが高じたもの」、といったむしろ愛すべきニュアンスを伴うものも含まれる。先に、やみつきには必ずしも悪いイメージではないものもあると述べたが、食べ物の嗜好には、それがあてはまる場合が多い。

しかし、最近の脳科学の研究の進展により、クスリに「ハマる」ことも食べ物に「やみつき」になることも基本的には脳の共通の構造、脳内の報酬系（reward system）とよばれる脳構造が関与することが明らかになり

つつある²⁾。また、やみつきになる食べ物には、個性的な特徴を持つ場合も多々ある。最初は特有のにおい、独特の味、見た目の悪さなどのために敬遠していたようなものが、何回もの経験を重ねるうちに、とりこになってしまうケースが少なからずある。そのプロセスを脳科学的に説明することは必ずしも容易ではないが、筆者の考えるところを述べてみたい。

2. 生得的なやみつき

砂糖がおいしく、苦いものがまずいことは教えられたわけでも、自ら学んだわけでもなく体のしくみとしてそうになっていることは想像に難くないが、このことを最初に科学的に示したのはイスラエルのスタイナー（1973）である。彼は生後すぐの赤ちゃんの口の中に砂糖水を入れるとにこやかな表情とともにペチャペチャとそれを飲み込もうとするのに対し、クエン酸やキニーネの溶液を入れると顔をしかめたり口を大きく開けたり、明らかに嫌悪性の表情を示すことを報告した³⁾（図-1の写真参照）。新生児が示すこのような味覚反応は、味の質的な認知に基づくのではなく、快（おいしい）・不快（まずい）といった情動性の行動表出であること（図-1のグラフ）、さらに、食物のにおいに関しても、大人が好ましく思うにおいには快の表情を、腐敗臭には嫌悪の表情を示すことを彼は報告している³⁾。

おいしいものはエネルギーのもとになる糖分（甘味）や蛋白質のもとになるアミノ酸（うま味）、あるいは神経活動のもとになる食塩（塩味）、そして水など常に体が必要とするものである。このような、生きて活動をするために必要なものを摂取したときのおいしさ発現は、長い進化の過程で遺伝子に組み込まれた生得的なものであ

図-1 生得的な味覚反応の例

左の写真は赤ちゃんの口の中に味溶液を入れた時の顔面表情 (Steiner³⁾), 右のグラフはその表情をアルファベットで示す各要素 (たとえば, なめる, 口角を下げる, 舌を丸める, など 23 要素) に分割し, その出現頻度として定量的に示したものである (Steiner⁴⁾, 山本¹⁰⁾).

*MSG: Monosodium Glutamate (グルタミン酸ナトリウム)

る。これらの物質を含め体が必要とするものは、欠乏状態にあるときは特においしいと感じる。欠乏状態が解消されればおいしさは減弱するのであるが、体が溜め込むことのできる生得的においしいものは充足状態でもおいしい。すなわち、甘いものは常においしく、やみつきになる傾向にあるが、保存のきかないナトリウムイオン、水などは充足状態になればおいしさの程度は減弱する。

3. 獲得性のやみつき

獲得されるやみつきとは、本来は低かった嗜好性が繰り返しの経験 (学習) により、その嗜好性が高まることである。しかし、納豆、くさや、など生理的には避けたくなる感覚要素をもつ食べ物がなぜ好きになり、人によってはやみつきになってしまうのだろうか。日本食に関するテレビ番組などで往々にして出てくる場面は、つけもの、みそ汁、納豆などの日本食を外国人に供したときの反応である。食べる前にまずそのにおいを嫌がって敬遠してしまう人が多い、極めつけはくさややフナズシを出したときで、皆ひと嗅ぎしただけでのけぞり、立ち上り逃げしてしまう。

筆者ら日本人の中にも同様のふるまいをする人もいるが、中にはこのような食べ物、とりわけ、くさややフナズシなどにやみつきになっている人は少なくない。ひとつの理由は、親が好きな場合である。親の好きな食べ物が子供にとっても好物になるのは遺伝というよりは、物

心つくまで (3-4 歳頃まで) に繰り返し食べること、親が喜び、食卓が明るくなることなど、快感を伴う食経験が発達期の脳構造に機能的にインプットされることによるのである。これは、生得的ではないが準生得的ともいえる嗜好性である。

発達期以降に好きになる場合、その原動力は好奇心であり、おいしいから食べてみてはという他者からの勧誘 (情報) であり、食べてみようとする決断である。食べてみて「おいしいじゃないか」と実感すれば好きからやみつきに至る必要条件是揃ったことになる。おいしさは味が中心で生じるものであり、見た目の悪さとかいやなおいといった第一のハードルを越え、実際に食べ物が入ったあとで実感するものである。口にしてもビールのように苦味があったり、キムチのようにヒリヒリ辛い感覚があるとこれは第二のハードルとなる。しかし、快感 (おいしさ) を実感するためには、このハードルを越えたあとに、甘味なり、うま味なり、塩味なり、生得的においしいものが、いいバランスで必ず存在しているはずである。つまり、ビールは単なる苦い飲みものでもない。また、同じ結果でも労せず手にしたものよりは苦難の道を経て (ハードルを越えて) 入手したものの方が何倍も歓喜の度は強い。すなわちおいしさが高じてやみつきになりやすいのである。

4. おいしさから食行動に至る脳内プロセス

おいしさの実感から食行動の亢進に至るプロセスを考えるには、脳のいかなる部位が関与するのか、どのような脳内物質が関与するのかの2つの側面からアプローチする必要がある。アメリカのプラスら⁵⁾は、赤ちゃんの包茎手術の際に、哺乳ビンの中に砂糖水を入れて吸わせておくと、水だけを与えた場合に比べて、痛がって泣く回数が大幅に減少することを見出した。また、母親から離されたときの子供の不安行動も、砂糖水を与えておくと生じなくなると報告している。このような甘味の作用は、ナロキソンというモルヒネ様物質（オピオイド）の働きを阻害する薬物の投与で消失することから、甘味の刺激で脳の中にオピオイドが放出され、抗不安作用や鎮痛作用が生じることが示唆される。

アヘンやモルヒネなどには、鎮痛作用や陶酔作用のほかに、摂食を促進する作用もある。このような薬物を全身性に投与すると、多くの動物種において摂食量が増加する⁶⁾。しかも、その効果は動物が本来好む味刺激に選択的に生じる。モルヒネはあくまで外来性の物質であり、実際に脳内に存在するオピオイドは β -エンドルフィンである。ラットに数種類の味溶液を摂取させたあとで脳脊髄液中の β -エンドルフィン量を測定すると、ラットのもっとも好む砂糖やサッカリンを摂取したときに最大値を示す⁷⁾（図-2）。しかし、条件づけ法⁸⁾により砂糖に嫌悪感を抱かせたあと、ラットに砂糖を与えると β -エンドルフィン量は遊離されない⁷⁾。このことは、「甘い」という神経情報だけで β -エンドルフィン量が増えるのではなく、おいしさと連動する必要があることを意味している。 β -エンドルフィン量は脳内モルヒネともいわれ、至福感、多幸感を引き起こし、依存性も有するので、

やみつきにさせる作用がある。ケーキなどの甘いものが大好物になって手放せなくなるのは β -エンドルフィンの作用効果によるのである。なお、おいしいと感じるときに β -エンドルフィンが関与しているが、ほかにもベンゾジアゼピン、カンナビノイド（大麻の成分）なども関与する。

おいしいという実感はもっと食べたいという欲求を引き起こす。この欲求は、脳内にドーパミンが分泌されることと大に関係する。ドーパミンは中脳の腹側被蓋野の細胞が産生し、その神経投射により前脳部に広範囲に分泌する神経伝達物質であるが、その一つの主要な経路は側坐核に至るもので、そこでドーパミンが分泌される。この脳内経路を報酬系とよぶ（図-3参照）。このドーパ

図-2 味溶液摂取後のラット脳脊髄液中の β -エンドルフィン量

サッカリンやショ糖の甘味刺激で分泌量が多いが、挿入グラフで示すように、ショ糖に対して味覚嫌悪学習（conditioned taste aversion, CTA）を獲得させたあとでは β -エンドルフィンの放出は認められない。Yamamotoら⁷⁾より。

図-3 ラットの脳内味覚伝導路（白抜き領域）、報酬系（濃く塗った領域）と両者を結ぶ領域（薄く塗った領域）

矢印の横に示すアルファベットはその経路で働く神経伝達物質を示す。DA：ドーパミン、GABA： γ -アミノ酪酸、Glu：グルタミン酸、OP：オピオイド。山本¹⁷⁾より転載。

ミンの働きは目標に向かって努力させること、すなわち、欲しいものを手に入れるために積極的な行動を生じさせることである。たとえば、図-4Aに示すように、レバーを一定回数押すとミルクが出る課題では、ラットがミルクを求めてレバーを押しているときに側坐核でのドーパミンの放出がみられ、ミルクを獲得すればドーパミン放出はストップする。そして再びドーパミンが出て、レバー押し行動が始まる⁹⁾。図-4Bに示すように、腹側被蓋野の細胞活動の記録からもこのことは裏付けられる。実験箱の中にラットを入れ、ブザー音が鳴るとシャッターが開いて砂糖水が飲めることをあらかじめ学習させておく。そして、のどの渇いた状態にしてラットを実験箱に入れると、ブザー音とともにシャッター前で待ち構え、シャッターが開くと同時に飲み始める。このときの腹側被蓋野の細胞活動を調べると、ブザー音が鳴ってシャッターが開くところで大きな活動を示し、砂糖水を飲み始めるとともにその活動は減弱する¹⁰⁾。ドーパミン含有細胞は、報酬が手に入ることを予期して待つときに大きな活動を示し、ドーパミンを放出するのであるが、報酬が手に入るとその活動は停止するのである。したがって、報酬系におけるドーパミンの活動は、より正確には、報酬が手に入る前の期待、予測、手に入れるための行動といった渴望状態に関与するのである。コカインなどの薬物依存のときも同じ経路が関与することが知られている¹¹⁾。

食べ物報酬の場合は、図-3に示すように、側坐核から腹側淡蒼球を経て、視床下部外側野（摂食中枢）に情報が流れ、実際に食べるという行動を引き起こす。このルートにおける神経伝達物質の働きは複雑であるため、本稿では割愛するが、興味のある読者は筆者らの最近の報告^{12,13)}を参照していただきたい。摂食中枢の細胞はオレキシンという摂食促進物質を作り、脳内各部へ輸送している。オレキシン含有神経は迷走神経運動核にも到達し、オレキシンの作用により消化機能を促進する。筆者らは、ラットの脳にオレキシンを投与すると水と溶液に対する摂取量が增大するが、その際、胃も活発に運動していることを明らかにした^{14,15)}。図-5は、おいしさの実感から摂食行動発現、そして満腹感に至る過程で働く脳内物質とその相互作用をまとめたものである。

5. やみつきの脳機序

食べ物のやみつきが生じるためには少なくとも3つの要因がある。

(1) 薬物依存のように、摂取物そのものの中にやみつき誘導物質が含まれている場合で、コーラやコーヒーに含まれるカフェイン、アルコール飲料中のエタノール、幅を広げればタバコの中のニコチンといった外因性

図-4 報酬系の活動の例

A, 報酬関連レバー押し行動と側坐核におけるドーパミン放出 (Richardson and Gratton⁹⁾, 廣中¹⁾より転載).
B, ショ糖溶液摂取時 (リッキング) の腹側被蓋野におけるニューロンの活動例。横軸の0の直前でブザー音を鳴らし、シャッターを開く。(Shimura¹⁰⁾より)。

図-5 おいしさの発現から満腹までの各段階における脳内物質とその相互作用。

山本¹⁷⁾より転載。

の物質が報酬系を含む中枢神経細胞に直接作用して種々の精神作用や嗜癖性を生じさせる場合が考えられる。

(2) 飲食物摂取による味覚、嗅覚、テクスチャーなど種々の感覚刺激や、摂取後のブドウ糖や栄養素の補充による効果として生理的に β -エンドルフィンが放出さ

れ、快感や摂取意欲が増進される場合である。甘味を発現する糖（チョコレート、ケーキなど）、吸収後のカロリー補充にもっとも適した油脂類（マヨネーズ、てんぷらやポテトチップスなどの揚げ物）、カプサイシンなどの痛み発現物質（キムチ、カレーなど）は β -エンドルフィンに脳内に放出させることが知られている。

（3）上記のようなやみつき要素を含まない食べ物にやみつきになる場合は、物心つくまでに身についてしまった場合、何らかの状況下でそのおいしさに衝撃を覚えた場合や、繰り返しの摂取でそのおいしさに目覚めてきた場合などが考えられる。フナズシを例にすれば、こんな嫌なにおいのものが、おいしいはずはないと思いつつ口にしたら意外とおおいかった場合である。その後、何回か同じ経験をするうちに、徐々に嗜好性が上り、おいしさと連動するのに対して不快感が減弱してくるようになる。これらは、心理学的にも知られる過小予測後の報酬感の増大効果であり、報酬と連合された信号（この場合はにおい）にも報酬価値が生じるという条件づけ効果である。ところで、納豆、くさや、フナズシなどのおいしさの本態はうま味である。うま味そのものは生得的なやみつき効果を示さないが、そのおいしさは獲得性のやみつきを生じさせる大きな味覚性要因となる。

上記（1）と（2）は生理的な体のしくみに基づくものであるから誰にでも共通に生じうる現象であるが、（3）は獲得性のものであり、状況に依存するため個人差が認められる。しかし、いずれの場合も結果的には、摂取時に多くの β -エンドルフィン放出を伴いおいしいと実感することがやみつきの基本であることには変わらない。食べ物と β -エンドルフィン放出のこのような関係は記憶に留められ、対象物をみただけで快感を連想させ、それを食べたいという欲求が生じる。このような外因性のあるいは想起による内因性の動機づけはドーパミン系を活性化させ摂取欲を生じさせる。ドーパミン系が容易に賦活されるようになった状況がやみつきになったという神経基盤である。

6. むすび

先に述べた「くせのある」くさややフナズシのような食べ物に対して、そのハードルを越えさせる原動力はドーパミンである。急坂を上る車がアクセルを踏み込むように、「さあ食べるぞ」という意気込みとともに腹側被蓋野からのドーパミンは大量に放出される。図-5に示すように、関連する脳内物質間では連鎖反応が起こることが最近明らかになりつつある。ドーパミンは他の物質の放出も促進するのである。ましてや、一口食べておいしいと思えば、 β -エンドルフィンの増加も伴う。ハードルを越えるたびこれらの食べ物の摂取と脳内物質の連鎖

放出の因果関係は確立され、銘記される。そしてハードルの認識がなくなったときは、もうやみつきになったときである。そして、やみつきになった食べ物は満腹感という制止を振り切って食べ過ぎてしまうのである。

キーワード：やみつき、 β -エンドルフィン、ドーパミン、オレキシン、報酬系

参考文献

- 1) 廣中直行：(2001), “人はなぜハマるのか”, p71, 岩波書店.
- 2) Berridge, K.C.: Food reward: brain substrates of wanting and liking, *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **20**, 1-25, (1996).
- 3) Steiner, J.E. (ed. Bosma, J.F.): (1973), The gustofacial response: observation on normal and anencephalic newborn infants, in *4th symposium on Oral Sensation and Perception*, p 254-278, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- 4) Steiner, J.E. (ed. Kawamura, Y. and Kare, M.R.): (1987), What the neonate can tell us about umami, in *Umami: A Basic Taste*, p 97-123, Marcel Dekker, New York.
- 5) Blass, E.M. and Hoffmeyer, L.B.: Sucrose as an analgesic for newborn infants, *Pediatrics*, **87**, 215-218, (1991).
- 6) Shimura, T., Kamada, Y. and Yamamoto, T.: Ventral tegmental lesions reduce overconsumption of normally preferred taste fluid in rats, *Behav. Brain Res.*, **134**, 123-130, (2002).
- 7) Yamamoto, T., Sako, N. and Maeda, S.: Effects of taste stimulation on β -endorphin levels in rat cerebrospinal fluid and plasma, *Physiol. Behav.*, **69**, 345-350, (2000).
- 8) 山本 隆：(1996), “脳と味覚”, p127-134, 共立出版.
- 9) Richardson, N.R. and Gratton, A. Behavior-related changes in nucleus accumbens dopamine transmission elicited by food reinforcement: an electrochemical study in rat, *J. Neurosci.*, **16**, 8160-8169, (1996).
- 10) Shimura, T., Imaoka, H., Okazaki, Y., Kanamori, Y., Fushiki, T. and Yamamoto, T.: Involvement of the mesolimbic system in palatability-induced ingestion, *Chem. Senses*, **30**, i188-i189, (2005).
- 11) Adinoff, B.: Neurobiologic processes in drug reward and addiction, *Harv. Rev. Psychiatry*, **12**, 305-320, (2004).
- 12) Shimura, T., Imaoka, H. and Yamamoto, T.: Neurochemical modulation of ingestive behavior in the ventral pallidum, *Eur. J. Neurosci.*, **23**, 1596-1604, (2006).
- 13) 山本 隆：おいしいとなぜ食べすぎてしまうのか？—脳内報酬系の働き—, 日本味と匂学会誌, **13**, 119-124, (2006).
- 14) Kobashi, M., Furudono, Y., Matsuo, R. and Yamamoto, T.: Central orexin facilitates gastric relaxation and contractility in rats, *Neurosci. Lett.*, **332**, 171-174, (2002).
- 15) Furudono, Y., Ando, C., Yamamoto, C., Kobashi, M. and Yamamoto, T.: Involvement of specific orexigenic

neuropeptides in sweetener-induced overconsumption in rats, *Behav. Brain Res.*, **175**, 241-248, (2006).
16) 山本 隆 : (1996), “脳と味覚”, p 165-166, 共立出版.

17) 山本 隆 : おいしさから過食へ 脳内報酬系の働き, 化学と生物, **45**, 21-26, (2007).

From palatability to addiction —its brain mechanism—

Takashi YAMAMOTO

Division of Behavioral Physiology, Graduate School of Human Sciences,
Osaka University 1-2 Yamadaoka, Suita,
Osaka 565-0871, Japan

Abstract An addiction to a particular food denotes a state of very strong preference and a craving for the food. The representative brain substances such as β -endorphin, dopamine and orexin are released when we feel the food is delicious, want to eat it more and show actual feeding behavior, respectively. Dopamine activates the reward system in the brain which is known to be the neural substrate of drug addictions. Since these 3 substances interact with each other to facilitate their releases, the food addiction may reflect the state of over-releases of these substances to particular food items.

Key words : addiction, β -endorphin, dopamine, orexin, reward system