

食物選択の行動生理学～何を食べるかをどう選ぶか？

裕 哲 崇¹⁾ 勝 川 秀 夫¹⁾ 中 島 清 人²⁾
神 田 昇 平¹⁾ 但 野 正 朗¹⁾ 杉 村 忠 敬¹⁾

Behavioral Physiology of Food Choice — The Mechanisms How We Choose Foods to be Ingested

SAKO NORITAKA¹⁾, KATSUKAWA HIDEO¹⁾, NAKASHIMA KIYOHITO²⁾, KANDA SHOHEI¹⁾,
TADANO MASAOKI¹⁾ and SUGIMURA TADATAKA¹⁾

われわれヒトを初めとする動物は、外界からの食物を栄養素として取り込まねば生きていくことができない。本総説では、「必要な栄養素を選択的に取り込むメカニズム」や「誤って毒物を摂取しないメカニズム」など摂食行動に関する行動生理学的な知見について、われわれの最新の研究成果を含めて解説する。

キーワード：食物選択，味覚，新奇性恐怖，食物嫌悪学習，摂食行動

It is known that the chemical properties of foods control feeding behavior. For example, when animals are deficient in nutrients, they choose foods that contain the deficient nutrients selectively. On the other hand, some behavioral mechanisms, such as neophobia and conditioned taste aversion, work to avoid food poisoning. Recently, we found that the physical properties of foods, such as hardness and temperature, also affect food choice. This review describes how chemical and physical properties of foods control feeding behavior.

Key words : Food choice, Taste, Neophobia, Conditioned food aversion, Feeding behavior

1. はじめに

われわれヒトを初めとした動物は、外界から栄養素を食物という形で摂取しないことには、生命を維持することができない。しかしながらこの外界から食物を摂取するという行動には、いくつかのジレンマが存在している。例えば、苦勞して摂取した食物が、実際の体内ではまったく欠乏しておらず、逆に欠乏している栄養素がその食物に含まれていないとなれば、その摂食行動はただの徒勞でしかない。また、摂取した食物に毒物が含まれておれば、その動物は死滅するかもしれない。このように、摂食行動は、非常にプリミティ

ブな行動ではあるものの、ハイリスクハイリターンな行動であることも確かである。

ところで、動物の摂食行動は、食物が体内に入る前にすでに開始していることに注意せねばならない。すなわち、数ある物質の中からどれを食物として摂取し、どれを非食物として忌避するのかという判断自体が、摂食行動の開始ポイントである。しかしながら、従来の生理学は、食物が体内に入ってから動態については着目してきたが、食物が体内に入る前、すなわち、動物がどのような基準で、何を食べるのかを決定する生体側の機構については、深く論じてこなかった。本総説では、「動物が何を食べるかをどのように決めているのか？」について、われわれの最近の行動生理学的研究による知見を含めて解説する。

2. 味覚を利用した食物選択

実は、下等な動物から高等動物にわたって、摂食に関しては非常にプリミティブな原則が与えられている。

¹⁾朝日大学歯学部口腔機能修復学講座口腔生理学分野

²⁾朝日大学歯学部化学教室

岐阜県瑞穂市穂積1851

¹⁾Department of Oral Physiology, Division of Oral Functional Science and Rehabilitation and ²⁾Department of Chemistry Asahi University School of Dentistry Hozumi 1851, Mizuho, Gifu 501-0296, Japan

それは、味覚(下等動物では化学感覚)を用いた摂食行動の調節である。この原則は非常に簡単な二つの要素からなる。ひとつは、「おいしいと感じるものは積極的に摂取すること」、もうひとつは、「まずいと感じるものは積極的に忌避すること」である。

味覚には、甘味、塩味、酸味、苦味、うま味の5つの基本味が存在することが知られている¹⁾が、このうち原則としてどんな動物でもおいしく感じる味は甘味であり、まずく感じる味は、苦味である。大脳の発達したヒトでは、嗜好性が多様化し、甘いものが苦手という者もいるが、胎児でさえ羊水中に甘味物質を混入してやると、羊水を飲む回数が増えること²⁾からも、この原則は、動物にとっては一般的な本能であることがわかる。これは、甘く感じる物質の代表例が糖のような炭水化物であることからわかるように、甘味が、エネルギーのシグナルであり積極的に摂取するのが合理的であり、逆に、苦味は毒物の代表であるアルカロイドのシグナルであるので、忌避するのが合理的であるからと考えれば説明がつく。進化論的には、逆に、このような基本的選択が出来なかった動物が、進化の過程で淘汰されたものと考えてよい^{3, 4)}。

塩味(ミネラルのシグナル)、酸味(水素イオンのシグナル)、うま味(L-アミノ酸のシグナル)などは、一定量は生体にとって有用であるが、過剰の摂取はむしろ生体に害を及ぼす。従って、これらの味質が、低濃度での嗜好性は高く、高濃度での嗜好性は低いという官能検査の結果⁵⁻⁷⁾は食物選択の立場からみても非常に合理的である。

この味覚による食物選択判断の原則は、食性の異なる動物においても成立する。例えば、肉食獣であるネコの味覚神経は、その栄養源となる肉に含まれるアミノ酸に対しては大きな応答を示すのにかかわらず、われわれヒトが甘いと感じるショ糖に対してはほとんど反応を示さない³⁾。また、筆者ら⁸⁻¹⁰⁾は、ラットやある種のマウスが、ヒトではほとんど味として認識できないPolycoseなどの長鎖炭水化物を強く嗜好し、かつ、この溶液を舌に作用させると大きな味覚神経応答の見られることを発見した。これは、彼ら齧歯類が本来主食としている穀物の主成分が、でんぷんなどの長鎖炭水化物であり、この味を感じることが生存に有利であると考えれば説明がつく。逆に、ヒトの祖先はある種のサルであったわけで、樹上生活をしてきた彼らにとっては、果実の成分である果糖やブドウ糖などの短鎖炭水化物(単糖類や二糖類)を“おいしく”感じられたほうが生存に有利であった。このなごりが、現在のわれわれが短鎖炭水化物を甘く感じるができる理由であると考えられている¹¹⁾。

3. 欠乏栄養素をおいしく感じさせる機能

生体には、欠乏した栄養素をおいしく感じさせる能力がそなわっている。特に、この能力は生体では合成できない必須アミノ酸やビタミンを摂取するのに有効な機能となる。

Toriiらのグループ^{12, 13)}は、必須アミノ酸のひとつであるリジンを含まない飼料を与え続けたリジン欠乏ラットを作成し、これらの動物にリジンを含んださまざまな溶液を呈示して、どの溶液を好んで選択するかを調べた。その結果、リジン欠乏食摂取から数日もたつと、ラットはリジン溶液のみを選択的に摂取するようになった(図1)。本来リジンは苦味を有するので、正常なラットはこれを選択しようとはしない。この実験結果は、動物には自身が欠乏状態にある栄養素を察知し、それを選択的に摂取しようとする機能が存在することを示唆する。さらに、近藤ら¹³⁾は、リジン欠乏動物であってもその味覚神経を切断するとリジンへの選択性が低下することを示していることから、この行動には、味覚が関与することを示した。現在では、これは、味覚と必須栄養素の取り込みによって体調が改善されたことによる快情報との連合学習(味覚嗜好学習)の一種だと考えられている。

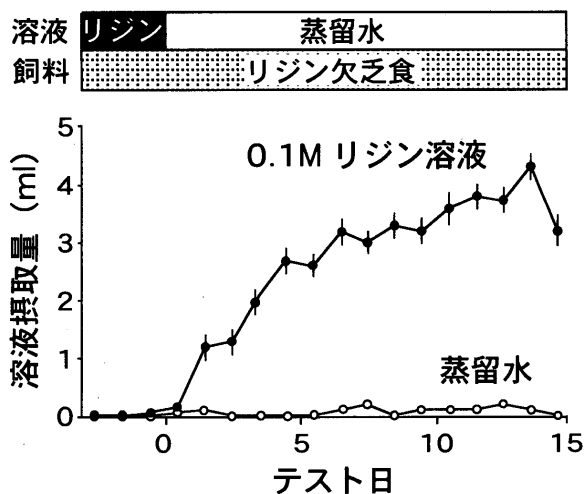


図1 リジン欠乏ラットに0.1Mリジン溶液と蒸留水を2ピン選択的に与えた場合の両溶液の摂取量を示す。リジン欠乏動物は、苦い味を呈するリジン溶液への嗜好性が明らかに増加している。近藤ら(1994)¹³⁾より一部改変して引用。

4. 食物中の毒物を除去する機構

世の中に存在する食物は、単一な化学物質ではないので有用な栄養素と毒物が同時に存在する場合も少な

くない。多くの動物は、このような食物しか周辺環境にない場合に備えた機構を有している。Katsukawaら¹⁴⁾は、糖吸収を阻害するギムネマエキスを混入した餌を与えられたラットが、当初は、体重が低下するものの、やがて体重が増加し、正常動物と差のなくなることを見つけた。さらに詳細に調べた結果、ギムネマ含有食を与えられたラットの唾液中に正常動物より多量のシスタチン様蛋白質が存在することがわかった。また、この蛋白質がギムネマエキスを結合すると、その効力を無効化することがわかった。つまり、自身の摂取した食餌が栄養素として吸収できない状況におかれたラットが、その栄養素吸収阻害物質(ここではギムネマエキス)の効力を無効化する蛋白質を自身の唾液腺で作り出すことにより、飢餓状態を脱することに成功したのである。

同様に、果実などのいくつかの植物性食物には、タンニンが含まれていることが知られているが、このタンニンそのものも、多くの動物に対して毒性を発揮する。しかしながら、われわれヒトを含めた多くの動物が、タンニンの入った果実を食しても特に障害が起らないのは、唾液に含まれる高プロリン蛋白質がタンニンの解毒作用を有しているからであると考えられている¹⁵⁾。事実、このような唾液蛋白質を合成することのできないハムスターでは、タンニン含有飼料のみを与えられると体重が減少し、やがて死に至る¹⁶⁾。

5. 新奇性恐怖による危険回避

われわれがどこか見知らぬ土地に旅行に出かけ、そこで提供された料理が今までに経験したこともないよ

うな色や匂いを呈していた場合、その料理を摂食するのは躊躇するのではないだろうか。この現象は、新奇性恐怖(neophobia)と呼ばれ、多くの動物が有する機能である。例えば、ラットにとっては本来甘くておいしく感じるはずのサッカリンやショ糖であっても、初めて与えられた時の摂食量は、極端に少ない¹⁷⁾。

裕と山本(未発表)は、離乳直後のラットを4群にわけ、それぞれショ糖(甘味)、食塩(塩味)、酒石酸(酸味)、塩酸キニーネ(苦味)を含んだ飼料で、5週間飼育した。6週目に、これらのラットに、この4つの餌と味物質をなら含有していない無味飼料を同時提示したところ、実験の初日はいずれの動物もその動物が従来経験してきた飼料を最も多く摂食したが、実験を重ねるごとにショ糖含有飼料へ嗜好性をシフトさせた。驚いたことに、苦い餌のみで飼育されてきた動物も、実験当初は、近隣に甘い餌があるのにもかかわらず苦い餌を選択的に摂食したのである。

この事実も、この苦い餌で育ってきたラットが、他の味の餌に対して新奇性恐怖を有しているものと考えれば説明がつく。この新奇性恐怖は、従来食べ慣れていた餌は安全であるから積極的に摂取するように、初めての餌には、毒物が含まれている可能性があるから注意して食べるように、動物を行動づけるように働いている。

しかしながら、この新奇性恐怖は、食物の化学的性状(味覚)には、影響を受けるものの、物理的性状には影響をほとんど受けない。筆者ら¹⁸⁻²⁰⁾は、離乳直後のラットを2群にわけ、それぞれ成分も形状も同じで硬さだけが異なる硬い餌と軟らかい餌で5週間飼育し

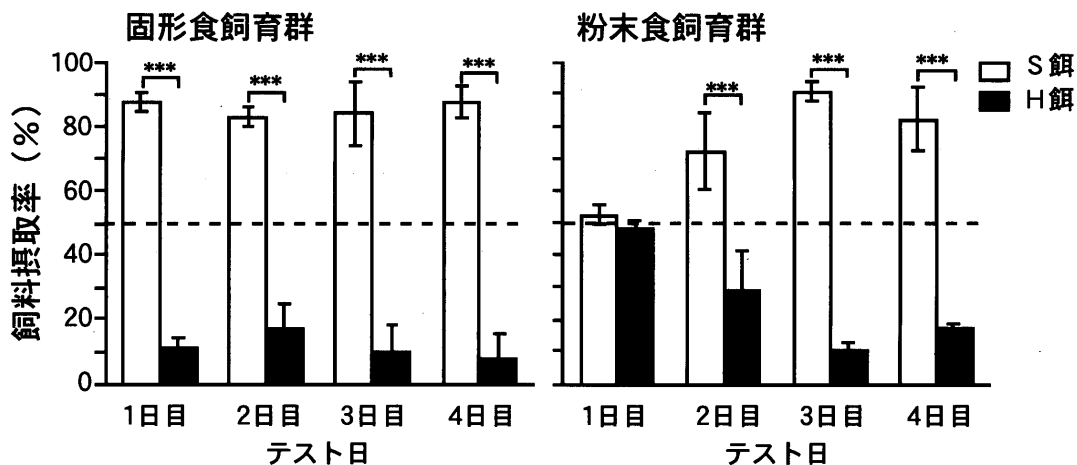


図2 固形食飼育群と粉末食飼育群の成分と形状が同じ軟かい餌(S餌)と硬い餌(H餌)に対する摂取率。両餌を同程度摂取した場合には50%となる。固形食飼育群のラットは実験初日からS餌を好んで摂取した。粉末食飼育群のS餌とH餌に対する摂取率は実験当初はほぼ同じであったが、実験を重ねるとS餌に対する嗜好を増加させた。Sakoら(2002)¹⁹⁾より引用。

た。6週目に両群のラットに両餌を提示して摂食量を測定したところ、硬い餌を摂食してきたラットは、軟らかい餌を経験したことがないにもかかわらず、軟らかい餌を好んで摂取した(図2)。この事実は、このラットが少なくとも食物の硬さに対しては新奇性恐怖を持たなかったことを意味する。反対に、軟らかい餌を摂取してきたラットは、硬い餌と軟らかい餌の摂取量がほぼ同程度であった。これは、摂食の嗜好性の問題ではなく、軟らかい餌の持続的摂食により、ラットが硬さの弁別を行えなくなったために、結果的に両餌の摂取量が同じになったものであることがわかった。しかし、この硬さ弁別能の障害は、数日のトレーニングで回復する。

6. 味覚嫌悪学習による危険回避

新奇性恐怖は、毒物を摂取する可能性を減少させることができるが、それでもなお、誤って毒物を摂取する可能性は否めない。この危険を回避するために多くの動物は味覚嫌悪学習とよばれる能力を保持している。この学習は、実験により容易に観察することが可能である。以下に、その一例を述べる。

飲料水として蒸留水のみを与えて飼育してきたラットに、サッカリンを与えると、新奇性恐怖により呈示初日は通常の蒸留水の飲量よりも少ないものの、若干量は摂取する。その直後に、内臓不快感を呈する塩化リチウムを腹腔内に投与してやると、ラットは、直前に摂取したサッカリンの味と内臓不快感を連合して記憶し、翌日、サッカリンを与えてもほとんど摂取しない。対象として、塩化リチウムのかわりに生理食塩水を投与されたラットでは、サッカリンは本来甘くておいしいので、新奇性恐怖も徐々に消滅し、日ごとにサ

ッカリンに対する摂取量を増加させ、やがては蒸留水の摂取量よりも増加する(図3)。

この味覚嫌悪学習は、一度誤って摂取してしまった毒物を再び摂取することを避けるのに働く。筆者ら²¹⁻²⁴⁾は、この味覚嫌悪学習の脳機序をFOS様蛋白質を指標とした免疫組織化学的手法で検討してきた。その結果、嫌悪条件づけの前後で同じ味質であっても、味覚の第二次中継核である結合腕傍核での応答細胞が異なることを見つけた。例えば、サッカリンに対する味覚の投射部位が、条件づけにより、嗜好性味覚情報が投射する背側外側垂核から嫌悪性味覚が投射する外部外側垂核にスイッチするのである。このことは一見味覚嫌悪学習が中脳レベルで獲得可能な原始的な反射のように思われるが、除脳動物でサッカリンに対して条件づけ操作をしても、サッカリンに対する結合腕傍核でのFOS様蛋白質発現部のスイッチングは生じないことから、このスイッチングには上位中枢からの影響の存在することが推測できる。事実、扁桃体基底外側核と視床味覚野を破壊した動物では、この条件づけそのものの獲得が不可能になるものの、大脳皮質味覚野やその他の味覚投射部位の単独破壊ではその獲得阻害効果が少ないこと¹⁷⁾から、味覚嫌悪学習の獲得には、扁桃体を中心とした複数の脳部位が関与するものと考えられている。

近年筆者らは、味覚ではなく食物の温度を条件刺激としたいわゆる溶液温度嫌悪条件づけにおいても、扁桃体にFOS様蛋白質活性が認められること²⁵⁾、この部位を両側破壊するとこの条件づけの獲得が阻害されること²⁶⁾を明らかにしており、扁桃体とその周辺領域は、食物嫌悪学習の獲得に対して一般的に関与している可能性が非常に高い。

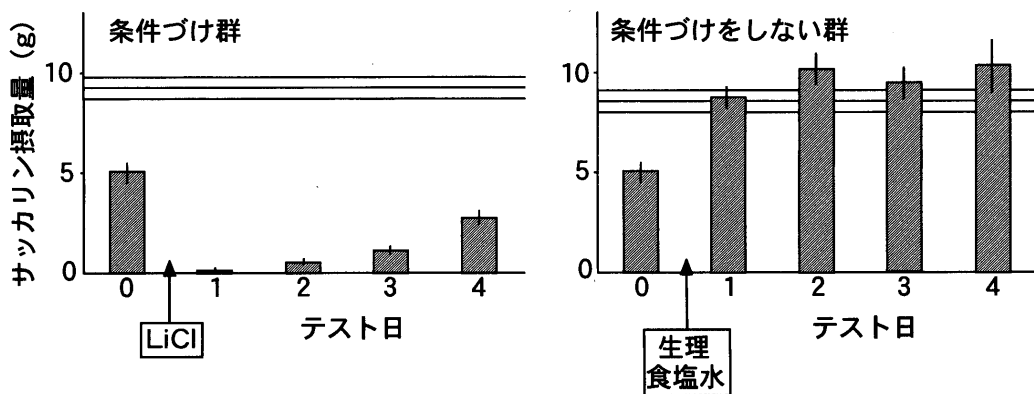


図3 サッカリンに対して味覚嫌悪条件づけを行った群(左)と行わなかった群(右)のサッカリン摂取量。横実線は、通常の蒸留水摂取量の平均および標準偏差を示す。両群とも新奇性恐怖は示すものの、条件づけをしない群は徐々にサッカリンに対する嗜好性を増加させるのに比べ、条件づけ群はサッカリンを忌避していることがわかる。Yamamotoら¹⁷⁾より改変して引用。

7. 食物の物理的要因による嫌悪学習

特定の味に対して内臓不快感を経験するとその味を忌避することは前項で述べたが、実際のわれわれは単純な味溶液のみを摂取しているわけではなく、多くの食物には、温度や硬さといった物理的な要因も備わっている。このような食物の有する物理的要因も食物嫌悪学習の条件刺激となりうるのだろうか。

この疑問に答えるため、筆者ら¹⁸⁻²⁰⁾は、形状も成分も同じで、硬さのみが異なる2種類の飼料を作成し、以下のような実験を行った。

ラットを2群にわけ、一方には硬い餌を、もう一方には、軟かい餌を摂食させ、その直後に、腹腔内に塩化リチウムを投与した。翌日からそれぞれのラットに2種類の硬さの餌を同時提示して、どちらをより多く摂取するかを観察した。その結果、いずれのラットも塩化リチウム投与直前に摂取した硬さの餌を忌避することがわかった。また、この条件づけを繰り返すことによって、より強固な条件づけを獲得させることも可能であった。この事実は、動物には食物の化学的性状のみならず、物理的性状をもとにした食物嫌悪学習の獲得能力をもちしていることを示唆する(図4)。

同様に、味溶液の温度を条件刺激とした条件づけも行ったが^{20, 25-28)}、ラットは、やはりこの学習も獲得することができた。また、この学習は、味覚神経を切断しても獲得可能なことから、三叉神経経路での情報が学習獲得に関与しているものと思われる。しかしながら、条件刺激を温度と味質の混合刺激とした場合には、動物は、条件刺激温度の溶液を忌避するのではなくて、溶液の温度にかかわらず、条件刺激と同じ味質の溶液を忌避する。この事実は、食物嫌悪学習においては、食物の物理的的刺激(温度)よりも、化学的的刺激(味覚)が優先して脳内処理されていることを示唆する。実際の食中毒を考えた場合、その原因の大部分が細菌や腐敗によるものであるから、食物の化学的的刺激を物理的的刺激に優先させて嫌悪学習を形成する能力は合理的なものであるといえよう。

8. おわりに

われわれ動物は、食物の選択、摂取、咀嚼、消化、吸収という一連の作業を繰り返さねば生きていくことができない。従来の生理学における摂食機構の研究は、食物が体内に入ってから動態に着目したものであり、「どのような機序でその食物を選択したか?」という摂食行動の起点については、無視されてきたきらいがある。しかしながら、本稿で示してきたように、食物選択行動は、一歩間違えば死をまねく可能性のあるハイ

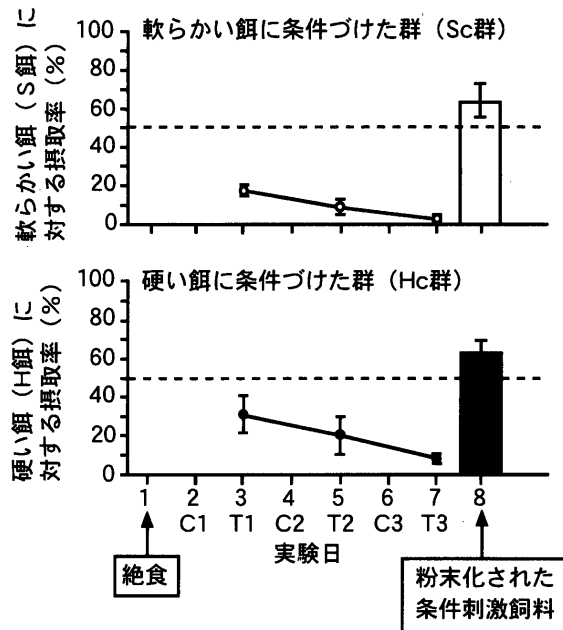


図4 成分が同じ硬い餌(H餌)に条件づけられたラット(Hc群)あるいは軟かい餌(S餌)に条件づけられたラット(Sc群)が両餌を同時に与えられたときに条件刺激(すなわちHc群ではH餌、Sc群ではS餌)を摂食した割合を示す。棒グラフで示すように、呈示される両餌を粉末状にクラッシュして与えた場合、いずれの群も粉末化餌に対する嗜好率が同程度であることから、ラットには食物の硬さを条件刺激とした食物嫌悪条件づけ獲得能のあることが明らかとなった。横軸のCは条件づけ操作を繰り返した日であることを、Tは測定日であることを示す。Sakoら¹⁹⁾より改変して引用。

リスクな行動である。そのため、このような摂食行動を制御する脳内機構に関する研究は、今後鋭意進められる必要があろう。現在、筆者らのグループはこのような食物選択を調節する脳内制御メカニズムについて、行動学や神経生理学的手法の他、神経化学的な手法も加えた研究を行っている。

本論文中に記された筆者らの研究は、以下の研究助成を受けたものです。日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B) (No. 15390629, 研究代表者: 中島清人), 同(C) (No. 15591984, 研究代表者: 裕哲崇およびNo. 15591985, 研究代表者: 勝川秀夫), 2003年度宮田研究助成金(A) (研究代表者: 裕哲崇, 勝川秀夫および中島清人), 2004年度宮田研究助成金(A) (研究代表者: 裕哲崇および中島清人), 平成15年度アサヒビール学術振興財団研究助成金 (研究代表者: 裕哲崇)。

文 献

- 1) 山本隆：脳と味覚—おいしく味わう脳のしくみ，共立出版(東京)，1996.
- 2) Liley, A. W. : Disorders of amniotic fluid, In *Pathophysiology of gestation*, Academic Press (St. Louis), 157~206, 1972.
- 3) 林由佳子：「甘い」ってどういうこと？甘いものを食べたくなるのはなぜ？味のなんでも小事典(日本味と匂学会編)，講談社(東京)，108~110, 2004.
- 4) 林由佳子：うま味と甘味の分岐，味のなんでも小事典(日本味と匂学会編)，講談社(東京)，111, 2004.
- 5) Engel, R. : Experimentelle Untersuchungen über die Abhängigkeit der Lust und Unlust von der Reizstärke beim Geschmacksinnes. *Archive für die Gesamte Psychologie*, **64** : 1~36, 1928.
- 6) Moskowits, H. R., Kumraiah, V., Sharma, K. N., Jacobs, H. L. and Sharma, S. D. : Effects of hunger, satiety and glucose load upon taste intensity and taste hedonics. *Physiol. Behav.*, **16** : 471~475, 1976.
- 7) Yamaguchi, S. : Basic properties of umami and its effects on food flavor. *Food Reviews International*, **14** : 139~176, 1998.
- 8) 裕哲崇，小牟礼まゆみ，望月隆一，原田秀逸，志村剛，山本隆：甘味抑制物質によるラット炭水化物レセプターの検索。味と匂のシンポジウム論文集，**26** : 21~24, 1992.
- 9) Sako, N., Kikuchi, T., Shimura, T. and Yamamoto, T. : Discrimination of taste between polysaccharides and common sugars in rats and mice. In: *Olfaction and Taste XI* (Kurihara, K., Suzuki, N. and Ogawa, H. eds.), Springer-Verlag (Tokyo), 89, 1994.
- 10) Sako, N., Shimura, T., Komure, M., Mochizuki, R., Matsuo, R. and Yamamoto, T. : Differences in taste responses to Polycose and common sugars in the rat as revealed by behavioral and electrophysiological studies. *Physiol. Behav.*, **56** (4) : 741~745, 1994.
- 11) 裕哲崇：動物はペットフードのどこをおいしいと思って食べているの？味のなんでも小事典(日本味と匂学会編)，講談社(東京)，268~269, 2004.
- 12) Torii, K., Mimura, T. and Yugari, Y. : Biochemical mechanism of umami taste perception and effect of dietary protein on the taste preference for amino acids and sodium chloride in rats. In: *Umami : A basic taste* (Kawamura, Y. and Kare, M. R. eds), Marcel Dekker (New York and Basel), 513~563, 1987.
- 13) 近藤高史，田淵英一，小野武年，鳥居邦夫：リジン欠乏ラットのリジン選択摂食行動学習における味神経の役割。日本味と匂学会誌，**1** (1) : S167 - S170, 1994.
- 14) Katsukawa, H., Imoto, T. and Ninomiya, Y. : Induction of salivary gurrmarin-binding proteins in rats fed Gymnema-containing diets. *Chem. Senses*, **24** : 387~392, 1999.
- 15) Mehansho, H., Clements, S., Sheares, B. T., Smith, S. and Carlson, D. M. : Induction of proline-rich protein synthesis in mouse salivary glands by isoproterenol and by tannin. *J. Biol. Chem.*, **260** : 4418~4423, 1985.
- 16) Mehansho, H., Ann, D. K., Butler, L. G., Rogler, J. C. and Carlson, D. M. : Induction of proline-rich protein synthesis in hamstar salivary glands by isoproterenol treatment and an unusual growth inhibition by tannins. *J. Biol. Chem.*, **262** : 12344~12350, 1987.
- 17) Yamamoto, T., Fujimoto, Y., Shimura, T. and Sakai, N. : Conditioned taste aversion in rats with excitotoxic brain lesions. *Neurosci. Res.*, **22** (1) : 31~49, 1995.
- 18) 岡本香，裕哲崇，森友彦，山本隆：食物の味，匂い，物理的性状が食物選択に与える影響。日本味と匂学会誌，**6** (3) : 683~686, 1999.
- 19) Sako, N., Okamoto, K., Mori, T. and Yamamoto, T. : The hardness of food plays an important role in food selection. *Behav. Brain Res.*, **133** (2) : 377~382, 2002.
- 20) 裕哲崇，杉村忠敬，山本隆：食物の選択行動はいかに制御されているか？。日本咀嚼学会雑誌，**12** (2) : 65~144, 2003.
- 21) Yamamoto, T., Shimura, T., Sako, N., Azuma, S., W. -Zh. Bai and Wakisaka, S. : C-fos expression in the rat brain after intraperitoneal injection of lithium chloride. *NeuroReport*, **3** : 1049~1052, 1992.
- 22) Yamamoto, T., Shimura, T., Sako, N., Sakai, N., Tanimizu, T. and Wakisaka, S. : C-fos expression in the parabrachial nucleus after ingestion of sodium chloride in the rat. *NeuroReport*, **4** (11) : 1223~1226, 1993.
- 23) Yamamoto, T., Shimura, T., Sako, N., Yasoshima, Y. and Sakai, N. : Some critical factors involved in formation of conditioned taste aversion to sodium chloride in rats. *Chem. Senses*, **19** (3) : 209~217, 1993.
- 24) Yamamoto, T. : Neural mechanisms of taste aversion learning. *Neurosci. Res.*, **16** (3) : 181~185, 1993.
- 25) 大橋梨津子，裕哲崇，坂井信之，矢谷憲一郎，杉村忠敬：摂取溶液温度嫌悪条件づけに関与する脳部位の免疫組織化学的検討。日本味と匂学会誌，**9** (3) : 495~498, 2002.
- 26) 裕哲崇，大橋梨津子，坂井信之，楊坤憲，杉村忠敬：摂取溶液温度に対する嫌悪条件づけの獲得とその特徴。日本味と匂学会誌，**8** (3) : 543~546, 2001.
- 27) 裕哲崇：味覚受容から摂食行動制御まで。日本味と匂学会誌，**9** (3) : 267~270, 2002.
- 28) Sako, N., Ohashi, R., Sakai, N., Katsukawa, H. and Sugimura, T. : Conditioned food aversion elicited by the temperature of drinking water as a conditioned stimulus in rats. *Physiol. Behav.*, *in print*.