

ラットのかつおだし嗜好性に及ぼす飼料中の砂糖およびたんぱく質含量の影響

近藤 高史

近畿大学農学部食品栄養学科食品化学研究室

**Influences of dietary composition of sucrose and protein on preference
for dried bonito *dashi* in rats**

Takashi KONDOH

*Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Agriculture, Kindai University,
3327-204 Nakamachi, Nara 631-8505, Japan*

Synopsis

Intake and preference for dried bonito *dashi* are reduced by ingestion of high fat diet in rats and mice. The present study examined influences of dietary sucrose levels (35% vs. 67%), protein levels (20% vs. 5% or 30%), presentation order of dried bonito *dashi* (ascending vs. descending concentrations), and prior experience with *dashi* ingestion on subsequent *dashi* intake and preference using two-bottle choice tests in male Sprague-Dawley rats. In the ascending concentration tests, rats on a control diet preferred 10-100% *dashi* to water, while consumption of high sucrose diet or low protein one, but not of high protein one, reduced intake and preference for *dashi*; precisely, the rats avoided *dashi* over a wide range. In the descending concentration tests, however, rats on the high sucrose diet preferred *dashi* over a wide range (0.03-100% *dashi*); the rats never avoided *dashi*. Exposure of high sucrose diet to *dashi* experienced rats influenced neither intake nor preference for *dashi*. These results suggest that preference for dried bonito *dashi* is influenced by 1) dietary sucrose levels, 2) dietary protein levels, 3) presentation order of *dashi*, and 4) prior experience with *dashi*.

Keywords: dried bonito *dashi*, preference, high sucrose diet, low protein diet, high protein diet, food experience

1. 緒言

食べ物に対する好み（好き嫌い）は、国、地域、食文化によって異なる。さらには人によっても異なることがある¹⁾。この食物の好みの差には、先天的因子（遺伝因子）と後天的因子（環境）の両方が関与する²⁾。後天的因子として、食べる人の栄養状態、健康状態、および食経験が含まれる。すなわち、味、におい、食感などの食品側の要因だけでは決まらないことが、おいしさ／嗜好性の解明を難しくする最大の要因となっている。

だしは和食の味付けに欠かせない^{3,4)}。その中心となるのは、かつお節や昆布などで引いただしである。この食文化は世界の中でも日本特有であり、多くの日本人はだしを好む。しかし、かつおだしについて成分を分析すると、酸味物質（乳酸）および苦味物質（ヒスチジン、クレアチン、クレアチニン、カルノシン、カルシウム、マグネシウムなど）が大半を占め、人が好む糖類、脂質、グルタミン酸をほとんど含んでいない⁵⁾。好ましい成分は、固形分の3%を占めるうま味成分のイノシン酸のみという非常に不思議な組成をしている。昆布についても、うま味成分であるグルタミン酸・アスパラギン酸以外には、特徴的な呈味成分が見当たらない⁶⁾。一方、海外の人々はだしを磯臭い、生臭い、魚臭いとおおいで敬遠する傾向が強い^{7,8)}。かつお節や昆布を使う食文化が根付いているのも、世界の中でも日本だけである。そこで、この差異を説明するため、だしの摂取経験がだしの嗜好性に大きく影響するという仮説が立てられた^{9,10)}。だしは最初からおいしいのではなく、飲むことによって好きになるという仮説である。しかし、それを検証するためには、だしの摂取経験がない人（動物）を探し、だしを摂取したらどのように嗜好性が変化するかを長期的に追跡する必要がある。日本国内でだしを摂取したことがない被験者を探す（集める）ことはかなり難しい。しかし、実験動物であれば、だしの摂取経験がないため、未経験の状態から経験することによる変化を調べるのが容易に可能である。さらに実験条件をいろいろと変えて調べることもできる。

実験動物を使ってかつおだしを調べた結果によると、ラットやマウスも、かつおだしを水より好んで摂取する⁹⁻¹²⁾。このかつおだし嗜好性は、動物に豚脂（ラード）含量が高い高脂肪食を摂取させると、著しく低下する¹³⁾。豚脂は飽和脂肪酸を多く含む食品であり、畜肉も飽和脂肪酸を多く含む。世界では、宗教や個人的信念などの理由により、肉を食べないベジタリアンやビーガンはいるが、日本は国家レベルで1,000年以上肉食を禁じていた歴史をもつ。そのような国は、世界でも他に類を見ないことから、日本の食環境は非常に特殊な状況にあったと言える。したがって、日本の食環境（食習慣）とかつおだし嗜好性の間に、何らかの関連がある可能性が考えられた。その意味で、脂肪摂取とかつおだし嗜好性との間に関連性があることは、たいへん興味深い¹³⁾。しかし、脂肪以外の栄養素組成の変化が、かつおだし嗜好性にどのような影響を与えるかについては明らかになっていない。

そこで、本研究では、ラットにスクロース（砂糖）あるいはカゼイン（たんぱく質）の含有量を変化させた飼料（飼料組成を変更した飼料）を与えて、かつおだし嗜好性に及ぼす影響を検討した。

2. 材料および方法

2.1. 動物

雄性 Sprague-Dawley ラット (9 週齢、日本チャールスリバー) を使用した。動物を、コントロール食群 ($N=7$)、高砂糖食群 ($N=22$)、低たんぱく質食群 ($N=8$)、および高たんぱく質食群 ($N=8$) に分けた。高砂糖食群は、 $N=8, 8$, および 6 に分けて、3 種類の実験 (後述) に使用した。動物に、飼料および水を与え、 $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、12 時間 : 12 時間の明暗サイクル (明期 07:00-19:00) の飼育室で飼育した。実験は、京都大学動物実験委員会の承認を受け、動物実験指針に基づき実施した。

2.2. 飼料

Research Diets 社 (New Brunswick, NJ, USA) の齧歯類用コントロール食 (#D12450B)、高砂糖食 (#D11511 ; カロリーベースで 67.7%のスクロースを含む飼料)、低タンパク質食 (#D10062201 ; カロリーベースで 5%のたんぱく質を含む飼料)、および高たんぱく質食 (#D10062202 ; カロリーベースで 30%のたんぱく質を含む飼料) を使用した (表 1)。コントロール食の CFP 比率 (炭水化物 : 脂質 : たんぱく質の比率) は、カロリーベースで 70:10:20 であった。

2.3. かつおだし

本造り一番だしかつお (味の素株式会社) を使用した。この製品は、かつお節から成分を熱水抽出した液体かつおだしであり、固形分含量は約 4.0%であった。カロリーは 0.14 kcal/g で、マクロ栄養素組成は、たんぱく質が 3.44%、灰分が 0.8%、脂質と炭水化物は両者合わせても 0.1%未満であった。本実験では、無希釈のかつおだしを濃度 100%と定義した。希釈かつおだしは、無希釈かつおだしを水 (水道水) で希釈することにより、毎日調製して使用した。

ラットのかつおだし嗜好性に及ぼす飼料中の砂糖およびたんぱく質含量の影響
近藤

表 1 4種類の実験食の組成

	Control		High Sucrose (HS)		Low Protein (LP)		High Protein (HP)	
	g %	kcal %	g %	kcal %	g %	kcal %	g %	kcal %
Caloric density (kcal/g)	3.8		3.9		3.8		3.8	
Protein	19	20	20.3	20.8	5	5	29	30
Carbohydrate	67	70	66	67.7	82	85	58	60
Fat	4	10	5	11.5	4	10	4	10
<i>Ingredient</i>	<i>g</i>	<i>kcal</i>	<i>g</i>	<i>kcal</i>	<i>g</i>	<i>kcal</i>	<i>g</i>	<i>kcal</i>
Casein, 80 Mesh	200	800	200	800	50	200	300	1200
L-Cystine	3	12	0	0	0.75	3	4.5	18
dl-Methionine	0	0	3	12	0	0	3	12
Corn Starch	315	1260	0	0	527.25	2109	313.5	1254
Maltodextrin 10	35	140	0	0	75	300	35	140
Sucrose	350	1400	650	2600	250	1000	250	1000
Cellulose, BW200	50	0	50	0	50	0	50	0
Soybean Oil	25	225	0	0	25	225	25	225
Lard	20	180	0	0	20	180	20	180
Corn Oil	0	0	50	450	0	0	0	0
Mineral Mix S10026	10	0	0	0	10	0	10	0
DiCalcium Phosphate	13	0	0	0	13	0	13	0
Calcium Carbonate	5.5	0	0	0	5.5	0	5.5	0
Potassium Citrate, H ₂ O	16.5	0	0	0	16.5	0	16.5	0
Mineral Mix S10001	0	0	35	0	0	0	35	0
Vitamin Mix V10001	10	40	10	40	10	40	10	40
Choline Bitartrate	2	0	2	0	2	0	2	0
FD&C Yellow Dye #5	0.05	0	0	0	0	0	0.025	0
FD&C Red Dye #40	0	0	0	0	0.025	0	0.025	0
FD&C Blue Dye #1	0	0	0	0	0.025	0	0	0
Total	1055.05	4057	1000	3902	1055.05	4057	1055.05	4057

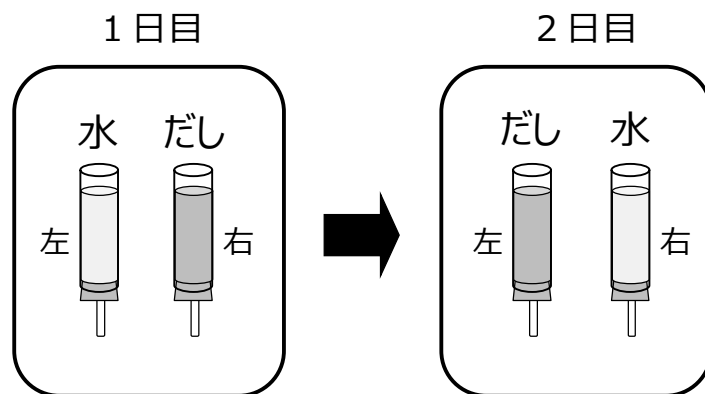
FD&C, Federal Food, Drug, and Cosmetic Act.

2.4. 嗜好性試験法

嗜好性試験の標準法である 48 時間二瓶選択嗜好性試験法（二瓶法）を用いた（図 1）。二本のプラスチック製ボトル（50 ml または 100 ml）の片方には水を、もう片方にはテスト水溶液（かつおだし）を充填し、飲水チューブを接続した。ボトルを、飼育ケージの蓋に対して水平から約 30 度の角度で挿入し、ゴムチューブで固定して、室温で動物に与えた。試験は、1 種類の濃度につき 2 日間連続して行った。テストボトルの左右位置を 1 日目と 2 日目で入れ替えることにより、位置嗜好性の影響を打ち消した。ボトルおよび飲水チューブは毎日取り外して洗浄し、乾燥させたものを使用した。また、試験水溶液は、毎日新しいものを調製し動物に与えた。

嗜好性試験は、動物に 5 日間実験食および水を与えてから開始した。テスト水溶液の試験は、基本的に最も低い濃度から開始し、最も高い濃度に向かって徐々に濃度を上昇させた（上昇濃度テスト）。しかし、一部の試験では、最も高い濃度から試験を開始し、2 日ごとに徐々に濃度を低下させた（下降濃度テスト）。さらに、同じ濃度（10%）のかつおだしを、30 日間連続して提示する連続濃度テストも行った。

水溶液摂取量は、上皿電子天秤（A&D 社）を用いて小数点以下二桁まで測定し、パソコンに自動転送した。水溶液の毎日の蒸発量および実験操作によるこぼれ量を補正するため、空のケージに飲水ボトルをセットし、その変化量（約 0.05 g/day）を飲水量から差し引いて、各ボトルの変化量を求めた。



$$\text{嗜好性}(\%) = \frac{\text{かつおだしの摂取量 (g/day)}}{\text{全水溶液摂取量 (g/day)}} \times 100$$

図 1. 二瓶選択嗜好性試験法（二瓶法）の概略図
1 日目と 2 日目で、ボトルの左右位置を入れ替えた。

2.5. データ解析

各ボトルの摂取量は、上昇および下降濃度テストでは、2日間の平均摂取量 (g/day) を使用し、連続濃度テストにおいては、各日の溶液摂取量 (g/day) を使用した。テスト水溶液の嗜好性 (%) は、テスト水溶液の摂取量を、全水溶液 (水+テスト水溶液) の摂取量の総和で除算し、100 を掛けることにより求めた (図 1)。

かつおだし嗜好性の閾値は、水より有意に好んで摂取する最も低いかつおだしの濃度と定義した (one sample *t*-test を使用)。上昇濃度テストと下降濃度テストの比較におけるかつおだし摂取量の有意差は、Student's *t*-test を用いて検定した。連続濃度テストにおける、各飼料間のかつおだし嗜好性の有意差は、各飼料摂取期間における平均嗜好性を求め、一元配置反復測定分散分析を用いて検定した。データは平均値 ± 標準誤差で示した。 $P < 0.05$ で、統計学的に有意差ありと判断した。

3. 結果

3.1. かつおだしの摂取量および嗜好性

コントロール群に低濃度 (0.1-5%) かつおだしを与えたところ、約 20 g/day のかつおだしと約 20 g/day の水を摂取した (図 2)。すなわち、1日の飲水量は約 40 g/day であった。しかし、10%以上の濃度のかつおだしを与えると、かつおだしの摂取量が著しく増加し、30-50% かつおだしで約 3 倍 (60 g/day) まで達した。100% (無希釈) かつおだしではやや減少したが、それでも低濃度かつおだしの摂取量に比べて約 2 倍 (40 g/day; $P < 0.01$) の高い摂取量を示した。一方、高砂糖食群および低たんぱく質食では、0.1%~30%の濃度範囲でかつおだし摂取量が著しく低下し ($P < 0.001$)、50%~100%かつおだしで水レベルまで回復した。なお、高たんぱく質食群は、コントロール群と同様の摂取行動を示した。このように、ラットのかつおだし嗜好性は、高砂糖食あるいは低たんぱく質食の摂取により、著しく低下することが示された。

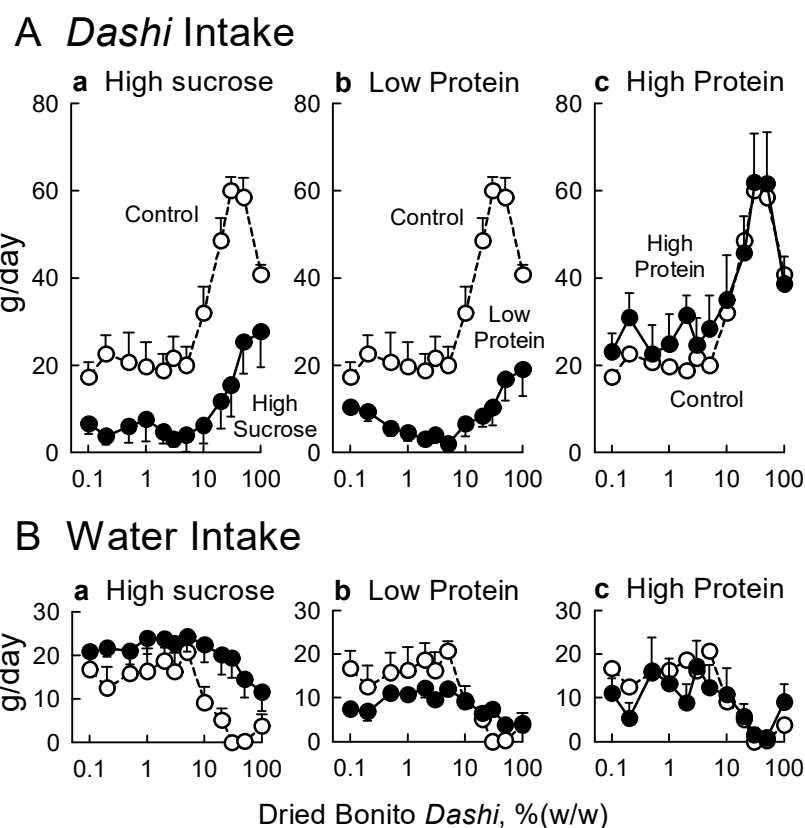


図2 飼料中の栄養素組成がかつおだしおよび水の摂取量に及ぼす影響

A、かつおだし摂取量。B、水摂取量。○、コントロール食群；●、テスト飼料摂取群（a、高砂糖食群；b、低たんぱく質食群；c、高たんぱく質食群）。N = 7-8。

かつだし嗜好性を調べた結果、コントロール食群は、0.1%~5%のかつおだしに対して水と同レベル（約50%）の嗜好性を示したが、10%以上の濃度のかつおだしに対しては強い嗜好性を示した（図3）。とくに30%~50%のかつおだしは、99%の嗜好性を示した。かつおだし嗜好性の閾値は、10%であった。

一方、高砂糖食群は、0.1%~10%のかつおだしに対する嗜好性が13%~22%と低かったことから、低濃度かつおだしを嫌う（忌避する）ことが示された（図3A）。20%以上の濃度では、濃度の上昇と共にかつおだし嗜好性が徐々に増加したが、それでも50%~100%かつおだしで水の嗜好性レベルまで回復した。水より有意に好んで摂取するかつおだしの濃度はなかったため、嗜好性の閾値を求めることはできなかった。

低たんぱく質食群では、0.1%~0.2%かつおだしに対して水と同等レベルの嗜好性を示したが、0.5%~10%かつおだしの嗜好性は17%~35%と低下した（図3B）。忌避のピークは5%であり、10%以上の濃度では嗜好性が増加に転じたが、50%~100%かつおだしでも68%~

71%の嗜好性までしか増加しなかった。水より有意に好んで摂取するかつおだしの濃度は認められなかったため、嗜好性の閾値を求めることはできなかった。

他方で、高たんぱく質食群のかつおだし嗜好性は、コントロール食群と同様であった(図3C)。ただし、低濃度かつおだしを水より強く好む傾向が認められ、かつおだし嗜好性の閾値は2%であった。しかし、3%および5%かつおだしの嗜好性に水摂取レベルとの有意差が認められず、10%以上の濃度で水との有意差が認められたことから、2%の濃度で認められた有意差は、偶然誤差の可能性が高いと考えられる。

これらの結果から、かつおだし嗜好性は、高砂糖食または低たんぱく質食の摂取により、著しく低下し、高たんぱく質食の摂取は影響しないことが示された。

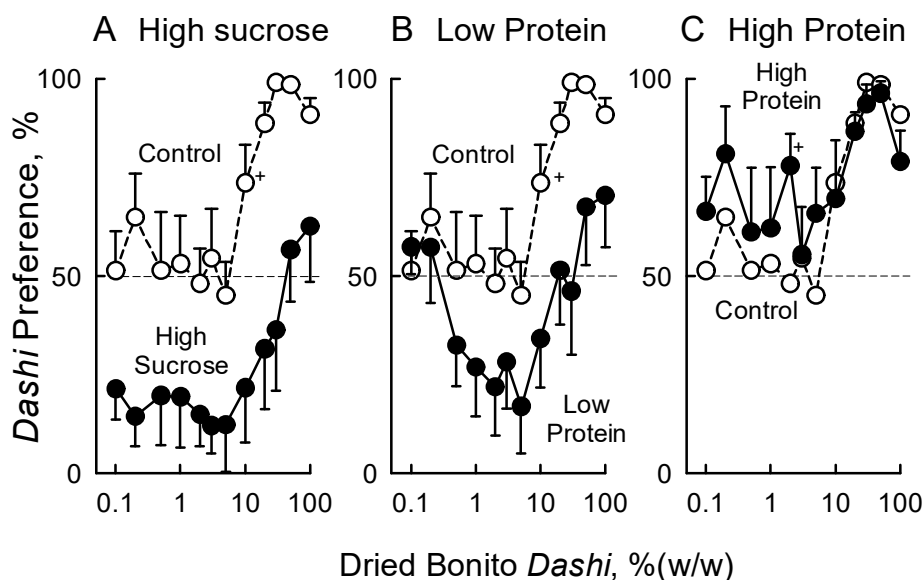


図3 飼料中の栄養素組成がかつおだし嗜好性に及ぼす影響

コントロール食群 (○) に対する各テスト飼料摂取群 (●) のかつおだし嗜好性 (%) を表示した。A, 高砂糖食群; B, 低たんぱく質食群; C, 高たんぱく質食群。+, かつおだし嗜好性の閾値。N = 7-8。

3.2. かつおだしの摂取量と嗜好性に及ぼすかつおだし提示順序の影響

コントロール食および高脂肪食を摂取した動物(ラット、マウス)のかつおだし嗜好性は、上昇濃度テストに比べて下降濃度テストで著しく増加する¹³⁾。そこで、高砂糖食を摂取したラットについても、同様に調べた。

その結果、上昇濃度テストに比べて、下降濃度テストではかつおだしの摂取量と嗜好性が著しく増加することが明らかとなった（図4）。かつおだし摂取量については、2倍～5倍の増加が（ $P < 0.01$ ）、また下降濃度テストにおけるかつおだし嗜好性の閾値は0.03%であった。上昇濃度テストでは、水より有意に好むかつおだしの濃度が認められなかったため、閾値を計算することはできなかったが、かつおだしを好んで摂取する濃度は、下降濃度テストでは見かけ上、約10,000倍低下した。これらの結果は、コントロール食および高脂肪食を摂取したラットと本質的に同様の变化であった。このように、高砂糖食摂取によるかつおだし嗜好性の低下は、かつおだしの提示方法を工夫する（下降濃度テストを行なう；高濃度かつおだしを摂取経験させる）ことにより増加に転じることが可能であることが示された。

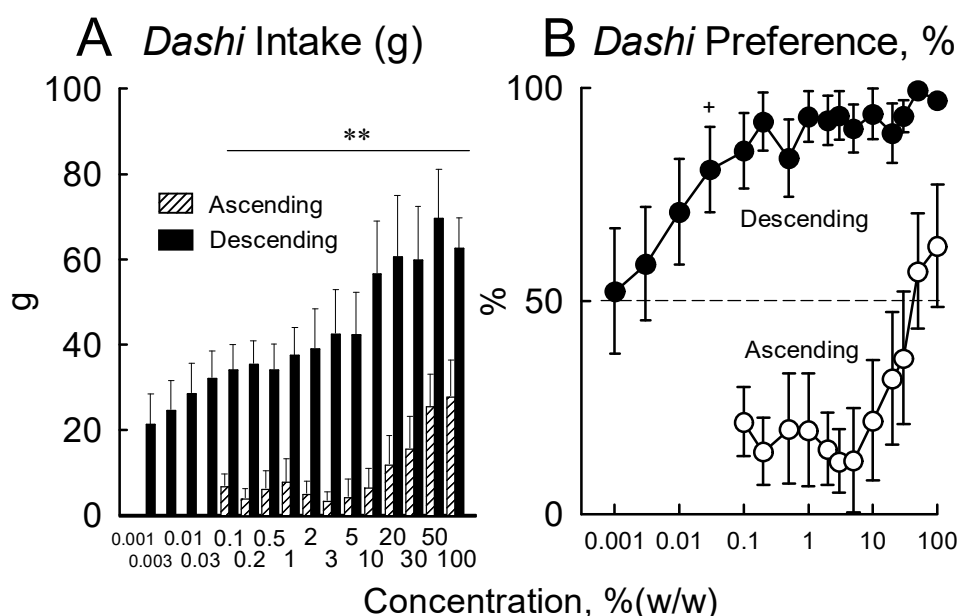


図4 かつおだし提示順序がかつおだし嗜好性に及ぼす作用

高砂糖食摂取ラットを用いた。A, 上昇濃度テスト（斜線バー）および下降濃度テスト（黒色バー）におけるかつおだし摂取量（g/day）の比較。 $**P < 0.01$, 上昇濃度テストと下降濃度テストの比較におけるかつおだし摂取量の有意差がある濃度範囲。B, 上昇濃度テスト（○）および下降濃度テスト（●）におけるかつおだし嗜好性（%）の比較。+, かつおだし嗜好性の閾値。N = 8。

3.3. かつおだしと高砂糖食の提示順序の影響

上記の実験は、高砂糖食を5日間摂取させたラットにかつおだしを提示して、その嗜好性を調べた結果である。そこで次に、かつおだしと高砂糖食の提示順序を変えて、嗜好性を調

べた。すなわち、コントロール食摂取条件下でかつおだしを好んで摂取することを学習したラットに、高砂糖食を与えてかつおだし嗜好性の変化を調べた。

コントロール食摂取条件下で 10%かつおだしを提示した最初の日、水と同等レベルのかつおだし嗜好性を示したが、その後かつおだし嗜好性が徐々に増加し、5 日目以降は高く安定した嗜好性を示した (図 5)。このようにしてかつおだしを好んで摂取することを確認した後に、飼料を高砂糖食に切り替えたが、かつおだし嗜好性はまったく抑制されず、その後再びコントロール食に切り替えても、嗜好性は影響されなかった ($P=0.69$)。したがって、高砂糖食によるかつおだし嗜好性の抑制は、かつおだしを好んで摂取した経験をもつ動物では生じないことが示された。

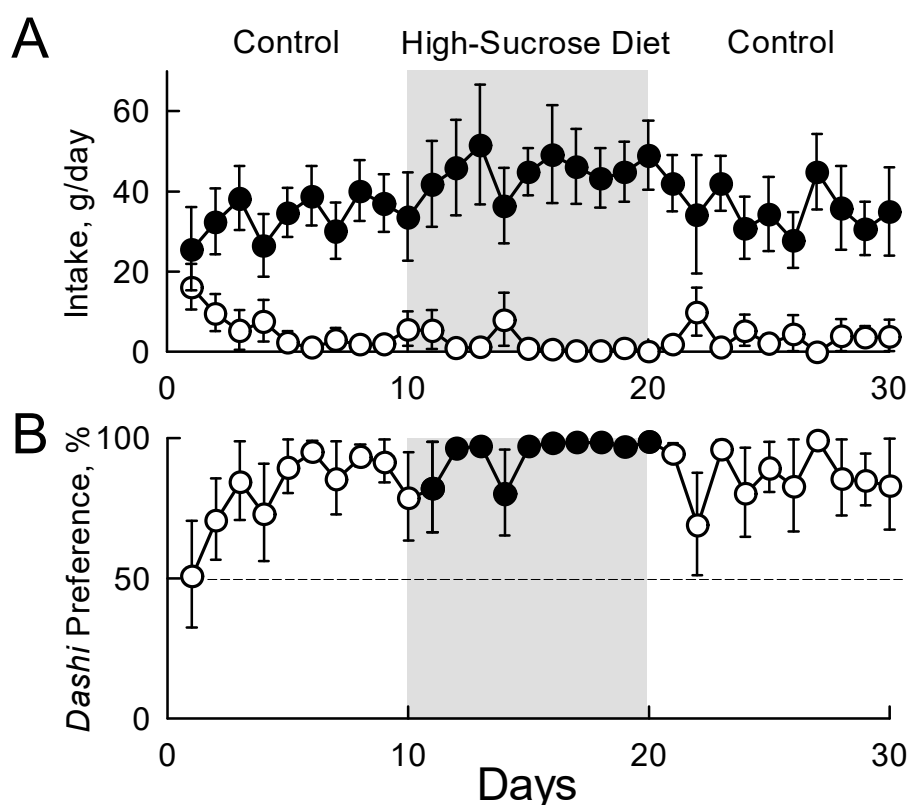


図 5 かつおだし摂取経験のあるラットに対する高砂糖食提示の影響

ラットに、30 日間連続して水および 10%かつおだしを与えて、摂取量およびかつおだし嗜好性を調べた。水溶液は、毎日調製し新しいものに交換した。A, 水 (○) および 10%かつおだし (●) の摂取量 (g/day)。B, かつおだし嗜好性 (%)。最初の 10 日間はコントロール食を与え、次の 10 日間は高砂糖食を与え (灰色カラム)、最後の 10 日間はコントロール食を与えた。高砂糖食を与えた期間のかつおだし嗜好性を、黒丸で示した。N=6。

4. 考察

だしは和食の味付けに欠かせない^{3,4)}。本研究により、ラットにスクロース（砂糖）を多く含む飼料を与えて摂取させると、かつおだし嗜好性が著しく低下することが示された。とくに、低濃度のかつおだし（0.1%~30%かつおだし；固形分 0.004%~0.03%を含有）を忌避することが示された。しかし、この高砂糖食摂取による抑制作用は、かつおだしの提示順序を変更する（下降濃度テストを行なう）と認められず、逆に強い嗜好性に転じた（嗜好性の閾値が 0.03%まで低下した）。さらには、かつおだし摂取経験があるラットに高砂糖食を与えても、かつおだし嗜好性は低下しなかった。上記の結果は、高脂肪食を用いた実験¹³⁾と、本質的に同様の結果であった。したがって、かつおだし嗜好性は、過剰の砂糖／脂肪摂取、あるいはかつおだしの摂取経験により、動的に変化することが示された。

4.1. 高砂糖食摂取によるかつおだし嗜好性の低下

高砂糖食を5日間与えてから、かつおだしの上昇濃度テストを行なった結果、低濃度のかつおだし嗜好性は、水の嗜好性より有意に低下した。このことは、砂糖の過剰摂取により、かつおだしを嫌ったことを示す。現代の加工食品、とくにお菓子には砂糖を含んだものが多いことから、砂糖を過剰摂取することにより、かつおだしを好まなくなる（あるいは積極的に嫌いになる）可能性が考えられる。糖は嗜好性が高く、口腔内への甘味刺激、あるいは摂取後の消化管内腔からの刺激の両方により、脳内報酬系でドーパミンを放出する^{14,15)}。一方で、かつおだしは、胃内投与しても脳内報酬系は賦活化しない¹⁶⁾。したがって、かつおだしを好んで摂取するためには、日頃の砂糖摂取量を低く抑えた状態に維持することが必要なのかもしれない。コントロール群が、5%以下の低濃度かつおだしを水と同程度摂取した理由は、かつおだしの味やにおいを感じとることができなかつたのではなく、その価値が分からなかつたため、動機付けや誘引が生じず、結果的に水に対する行動と同等の行動を示したものと考えられる。

この高砂糖食摂取による嗜好性の変化は、短期間（5日間高砂糖食を与えた状態）で生じたことから、肥満形成とは関連性がないと考えられる。したがって、砂糖の過剰摂取により代謝が変化し、その結果、かつおだしの味やにおいに対する忌避が生じた可能性が考えられる。

なお、本実験では、スクロースを飼料に混合して試験したため、砂糖をジュースのような液体系で与えても同様の結果が得られるかは調べていない。また、砂糖以外の糖質・糖類、たとえばグルコースやフルクトースの作用についても調べていない。これらの点については、今後解明すべき課題として残されている。

4.2. 下降濃度テストにおけるかつおだし嗜好性の増加

本研究において、高砂糖食を5日間摂取したラットでは、下降濃度テストにおけるかつおだし嗜好性が、上昇濃度テストに比べて、著しく増加した。とくに、嗜好性の閾値は、見か

け上、約 10,000 倍低濃度側に低下した。この低い嗜好性閾値 (0.03%) は、Kondoh & Matsunaga が報告している「高脂肪食を摂取したラットの下降濃度テストにおける閾値」と全く同じであった¹³⁾。また、下降濃度テストでは、かつおだしに対する忌避が一切認められなかった点についても、高脂肪食を摂取したラットの結果と同じであった。

C57BL/6J マウスおよび 129P3/J マウスでは、上昇濃度テストに比べて、下降濃度テストでスクロース嗜好性の閾値が約 4 倍低下する (すなわち約 4 倍感受性が増加する) ことが報告されている¹⁷⁾。しかし、人工甘味料であるサッカリンでは、このような変化を生じない¹⁷⁾。実験方法は異なるが、先行する刺激 (摂取経験) によりその後の嗜好性が変化する例は、グルタミン酸ナトリウム (MSG ; うま味物質) でも示されている。たとえば、マウスに高濃度 (300 mM) MSG あるいは栄養成分 (スクロース、ポリコース (でんぷん加水分解物)、カゼイン加水分解物、大豆油エマルジョン) を摂取させてから MSG を摂取させると、その摂取量と嗜好性が増加する¹⁸⁾。イノシン酸に対する嗜好性も、高濃度 MSG 水溶液を摂取経験した後で増加する¹⁸⁾。しかし、スクラロース (人工甘味料) や低濃度 MSG (10 mM または 100 mM) では生じない。したがって、このように、先行する食経験により、その後の嗜好性が増加することがあることは、スクロースおよび MSG でも報告されているが、かつおだしの場合は、その変化が極めて大きい点で異なる。スクロースや MSG は単一物質であるため、甘味あるいはうま味という味覚作用を呈するが、においはない。それに対し、かつおだしは、うま味以外にも酸味や苦味などの複雑な味覚作用を示すことに加えて、多種多様におい成分も含んでいる¹⁹⁾。この複雑性が、下降濃度テストにおける嗜好性の大きな変化に関与している可能性が考えられる。

4.3. 食経験による嗜好性増加のメカニズム

食経験によって嗜好性が変化するメカニズムとして、口腔内刺激と食後効果との連合学習 (正の強化) による可能性が高い²⁰⁾。口腔内刺激は、味覚、嗅覚、食感、温冷覚などであり、食後効果 (postingestive effects) は、食品を嚥下した後に、消化管以降の過程で生じる作用 (消化、吸収、代謝、満腹感などを含む) をいう。たとえば、実験動物にある香気水溶液を与えて摂取させた直後に、その摂取量に比例した体積の栄養素水溶液 (糖、脂肪、あるいはたんぱく質) を、胃あるいは小腸内に留置したチューブを介して注入する操作を繰り返すと、手掛かり刺激となる香気水溶液に対する摂取量および嗜好性が増加する (条件付けフレーバー嗜好学習)²⁰⁻²³⁾。したがって、栄養素は摂取後も正の強化作用を示し、この作用を味覚あるいは嗅覚などの口腔内感覚と連合学習することにより、その味溶液 / 食品に対する嗜好性を増加させる。この方法では、動物が嫌う酸味物質 (クエン酸) / 苦味物質 (スクロースオクタアセテート) に対する嗜好性を増加させることも可能である²¹⁾。かつおだしは、酸味物質と苦味物質を多く含み、ラットの胃内に投与すると、前脳および脳幹部の特定部位の活動を増加させる¹⁶⁾。したがって、たとえ酸味や苦味が強くても、高濃度のかつおだしを摂取して何らかの食後効果を経験した動物では、希釈したかつおだしに対する強い嗜好性

を引き起こすことが可能になると考えられる。

では、かつおだし摂取後の効果とは何だろうか？かつおだしの作用については多くの報告がある。たとえば、人では、肩こり²⁴⁾、眼精疲労²⁵⁾、乾燥肌と荒れ肌²⁶⁾、疲労感・活力・緊張不安などの精神状態²⁷⁾を改善する。マウスやラットでは、抗疲労作用²⁸⁾、抗不安作用²⁹⁾、攻撃行動とうつの低下作用¹²⁾が報告されている。このメカニズムとして、かつおだしの長期摂取により、パルブアルブミン陽性ニューロンの神経密度が増加することが関与すると報告されている^{12,30)}。パルブアルブミンは、ガンマアミノ酪酸 (GABA) 介在性抑制性神経の中のある特定のサブタイプのみの特異的に発現する小分子量たんぱく質であり³¹⁾、カルシウム結合能が高く、細胞内カルシウム濃度を低く保つ働きがある。そのため、パルブアルブミンを共発現する GABA ニューロンは、30-80 Hz の高頻度でインパルス放電することが可能となり、情動行動、記憶学習を含む多くの脳機能を調節することが示唆されている³²⁻³⁴⁾。パルブアルブミン陽性ニューロンは、成熟してパルブアルブミンを発現するまでに長い期間を必要とし、とくにヒトの前頭葉では思春期あるいは青年期で最大に達する^{35,36)}。さらに、パルブアルブミン陽性ニューロンは、ストレス感受性が高く、ストレス負荷によってパルブアルブミンが発現しなくなることも報告されている^{37,38)}。かつおだしの繰り返し摂取によりパルブアルブミン発現量の増加を生じることが、脳機能と行動に大きな変化をもたらす可能性が考えられる。

このように、かつおだしには様々な健康効果があり、これらの効果を体験・学習することでかつおだし嗜好性が高まると考えられる。このような変化を引き起こすためには、健康効果を示す比較的高濃度 (少なくとも 10%以上) のかつおだしを摂取することが必要であり、低濃度のかつおだしでは効果が低下する。

世界の中でも多くの日本人がだしを好む理由として、子供の頃からだしを飲む習慣があることによって、だしの風味と健康効果との関連性を連合学習している可能性がある。だしを好む外国人がいる理由も、だしの摂取経験で説明できるものと思われる。この仮説については、今後さらなる検討が必要である。

5. 要約

本研究では、雄性 Sprague-Dawley ラットに、砂糖あるいはたんぱく質の含量を変化させた飼料を与えて、かつおだしの摂取量および嗜好性に及ぼす影響を調べた。嗜好性は、通常法である二瓶選択嗜好性試験法（二瓶法）を用いて調べた。

その結果、ラットに高砂糖食あるいは低たんぱく質食を摂取させると、上昇濃度テストにおけるかつおだし嗜好性が著しく低下した。とくに、低濃度のかつおだしを忌避した。一方で、高たんぱく質食の摂取は、かつおだし嗜好性に影響しなかった。高砂糖食摂取の影響を詳細に調べるため、実験条件（かつおだしの提示方法）を変えた結果、下降濃度テストでは、かつおだしの摂取量と嗜好性が著しく増加し、とくに嗜好性の閾値濃度が見かけ上約 10,000 倍低濃度側に移動した。さらにコントロール食条件下でかつおだし摂取を好んで飲むことを経験させたラットでは、高砂糖食を摂取させてもかつおだし嗜好性が抑制されなかった。上記の結果は、すでに報告されている高脂肪食を用いた場合の結果と同様であった。したがって、かつおだし嗜好性は、砂糖の摂取やかつおだしの摂取経験により動的に変化することが示された。このような変化が生じるメカニズムとして、かつおだしの健康機能を体験・学習することが関与している可能性が考えられた。

6. 引用文献

- 1) 堀越昌子 (2011) ふなずし なれずし おいしさの体験は受け継がれる、おいしさの科学 Vol.2 熟成 豊かなるスローフードの世界、エヌ・ティー・エス、東京、pp.34-41.
- 2) 近藤高史 (2014) 食べ物の好き嫌い与健康—苦くても必要な栄養素は取れるように嗜好性が増加、生物の科学 遺伝、**68**: 445-451.
- 3) 高橋英一 (2006) だしの基本と日本料理 うま味のもとを解きあかす、柴田書店、東京、pp. 4-5.
- 4) Many contributors (2009) Dashi and Umami - The heart of Japanese cuisine (Takahashi Y ed), Eat-Japan/Cross Media Ltd, London, UK.
- 5) 福家眞也, 渡辺勝子, 酒井久視, 鴻巣章二 (1989) かつお節のエキス成分、日本食品工業学会誌 **36**: 67-70.
- 6) 二宮くみ子 (2010) 日本及び西洋料理における'だし'に関する研究、広島大学博士 (農学) 学位論文.
- 7) 河野一世 (2009) だしの秘密—みえてきた日本人の嗜好の原点—、建帛社.
- 8) 熊倉功夫、的場輝佳 (2012) 日本のだしについて、だしとは何か、アイ・ケイ コーポレーション、東京、pp. 60-78.
- 9) 近藤高史, 松永哲郎, 中村和弘, 堀悦郎, 西条寿夫 (2011) かつおだし嗜好性における学習の関与、日本味と匂学会誌 **18**: 301-302.
- 10) 近藤高史 (2012) だしのプラス α に着目 カギは学習の関与と機能性、おいしさの科学 Vol.4 だしと日本人 生きていくための基本食 (田中美智子編)、エヌ・ティー・エス、東京、pp. 16-20.
- 11) Ackroff K, Kondoh T, Sclafani A (2014) Dried bonito *dashi*: a preferred fish broth without postoral reward actions in mice. *Chemical Senses* **39**: 159-166.
- 12) Jargalsaikhan U, Nishimaru H, Matsumoto J, Takamura Y, Nakamura T, Hori E, Kondoh T, Ono T, Nishijo H (2017) Ingestion of dried-bonito broth (*dashi*) facilitates PV-parvalbumin-immunoreactive neurons in the brain, and affects emotional behaviors in mice. *Nutritional Neuroscience* **20**: 571-586.
- 13) Kondoh T, Matsunaga T (2020) Intake and preference for dried bonito *dashi* in male Sprague-Dawley rats and C57BL/6N mice. *Physiology & Behavior* **213** (Online ahead of print). doi: 10.1016/j.physbeh.2019.112708.
- 14) Hajnal A, Smith GP, Norgren R (2004) Oral sucrose stimulation increases accumbens dopamine in the rat. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* **286**: R31-R37.
- 15) Ren X, Ferreira JG, Zhou L, Shammah-Lagnado SJ, Yeckel CW, de Araujo IE (2010) Nutrient selection in the absence of taste receptor signaling. *Journal of Neuroscience* **30**: 8012-8023.
- 16) Kondoh T, Yoshimura M, Sonoda S, Fujihara H, Matsunaga T, Ueta Y (2019) Induction of Fos

- expression in the rat brain after intragastric administration of dried bonito *dashi*. *Nutritional Neuroscience* (Online ahead of print). doi: 10.1080/1028415X.2019.1670925.
- 17) Sclafani A (2006) Enhanced sucrose and polycose preference in sweet "sensitive" (C57BL/6J) and "subsensitive" (129P3/J) mice after experience with these saccharides. *Physiology & Behavior* **87**: 745–756.
 - 18) Ackroff K, Weintraub R, Sclafani A (2012) MSG intake and preference in mice are influenced by prior testing experience. *Physiology & Behavior* **107**: 207–217.
 - 19) 川口宏和 (2005) かつおだしのおいしさ解析と商品開発への応用～香りの解析からのアプローチを中心に～、日本味と匂学会誌 **12**: 123–130.
 - 20) Sclafani A, Ackroff K (2012) Role of gut nutrient sensing in stimulating appetite and conditioning food preferences. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* **302**: R1119–R1133.
 - 21) Sclafani A (2004) Oral and postoral determinants of food reward. *Physiology & Behavior* **81**: 773–779.
 - 22) Sclafani A, Glendinning JI (2005) Sugar and fat conditioned flavor preferences in C57BL/6J and 129 mice: oral and postoral interactions. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* **289**: R712–R720.
 - 23) Ackroff K, Sclafani A (2011) Flavor preferences conditioned by post-oral infusion of monosodium glutamate in rats. *Physiology & Behavior* **104**: 488–494.
 - 24) Nozawa Y, Ishizaki T, Kuroda M, Takahashi K, Ebihara S, Itoh T (2007) Ingestion of dried-bonito broth ameliorates blood fluidity in humans. *Journal of Health Science* **53**: 543–551.
 - 25) Honda M, Ishizaki T, Kuroda M (2006) The effect of dried skipjack soup stock on visual fatigue. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology* **53**: 443–446.
 - 26) Yamada K, Ishizaki T, Kuroda M, Kajimoto O, Kawagishi R (2006) The effect of dried-bonito soup stock intake on drying and roughage of skin. *Journal of Nutritional Food* **9**: 53–62.
 - 27) Kuroda M, Nozawa Y (2008) Effect of dried-bonito broth on mood states: a pooled analysis of four randomized controlled human trials. *Biomedical Research* **29**: 175–179.
 - 28) Murakami H (2004) Fatigue-recovering effect of bonito extract. *Kagaku to Kogyo* **57**: 522–524.
 - 29) Funatsu S, Kondoh T, Kawase T, Ikeda H, Nagasawa M, Denbow DM, Furuse M (2014) Long-term consumption of dried bonito *dashi* (a traditional Japanese fish stock) reduces anxiety and modifies central amino acid levels in rats. *Nutritional Neuroscience* **18**: 256–264.
 - 30) 近藤高史、小野武年、西条寿夫 (2017) かつおだしが攻撃行動を低下させる仕組み、日本醸造協会誌 **112**: 812–821.
 - 31) 橋本隆紀、松原拓郎、Lewis DA (2010) 統合失調症と大脳皮質 GABA 神経伝達異常、精神神経学雑誌 **112**: 439–452.
 - 32) Nguyen PTH, Nakamura T, Hori E, Urakawa S, Uwano T, Zhao J, Li R, Bac ND, Hamashima T,

- Ishii Y, Matsushima T, Ono T, Sasahara M, Nishijo H (2011) Cognitive and socio-emotional deficits in platelet-derived growth factor receptor- β gene knockout mice. *PLoS One* **6**: e18004.
- 33) Nakamura T, Matsumoto J, Takamura Y, Ishii Y, Sasahara M, Ono T, Nishijo H (2015) Relationships among parvalbumin-immunoreactive neuron density, phase-locked gamma oscillations, and autistic/schizophrenic symptoms in PDGFR- β knock-out and control mice. *PLoS One* **10**: e0119258.
- 34) Urakawa S, Takamoto K, Hori E, Sakai N, Ono T, Nishijo H (2013) Rearing in enriched environment increases parvalbumin-positive small neurons in the amygdala and decreases anxiety-like behavior of male rats. *BMC Neuroscience* **14**: 13.
- 35) Caballero A, Flores-Barrera E, Cass DK, Tseng KY (2014) Differential regulation of parvalbumin and calretinin interneurons in the prefrontal cortex during adolescence. *Brain Structure & Function* **219**: 395–406.
- 36) Caballero A, Tseng KY (2016) GABAergic function as a limiting factor for prefrontal maturation during adolescence. *Trends in Neurosciences* **39**: 441–448.
- 37) Behrens MM, Sejnowski TJ (2009) Does schizophrenia arise from oxidative dysregulation of parvalbumin-interneurons in the developing cortex? *Neuropharmacology* **57**: 193–200.
- 38) Cabungcal J-H, Steullet P, Kraftsik R, Cuenod M, Do KQ (2013) Early-life insults impair parvalbumin interneurons via oxidative stress: reversal by N-acetylcysteine. *Biological Psychiatry* **73**: 574–582.