ラットの液体摂取行動におけるサッカリンと 水の舐め率の違い¹

京都大学 高橋十九朗

Differences in rat's licking rate for saccharin solution and water

TOKURO TAKAHASHI

*Department of Psychology, Faculty of Letters,
Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501*

Abstract Long-Evans rats were trained to lick saccharin solution or tap water through a drinking tube. Two experiments examined whether the burst licking rate is faster for saccharin than for water under a condition of water deprivation. In Experiment 1 the burst rates of two of the three subjects were faster for saccharin than water. Volume per lick was smaller for saccharin. And the decreasing period of the burst rate was confirmed during the initial period of drinking. Experiment 2 investigated the effect of the distance between an opening for drinking and a spout of a tube outside the opening. The burst rates of two of three subjects were faster for saccharin. The difference of the burst rates for saccharin and water was not related to the distance between the opening and the spout.

Key words: drinking behavior, burst licking rate, saccharin, water, rat.

ラットは液体を舌先で舐めて摂取する。その舐めは1秒間に6～7回という率で激発される (Stellar & Hill, 1952)。この定率のなめ行動は激発と休止、また激発と休止というパターンで繰り返される。ところで、一定時間に生じた舐め数を、その時間で割ったものを平均舐め率といい、そのうちで、激発的に舐めていた時間で、その間の舐め数を割って求めた舐め率を激発舐め率 (burst licking rate) という。本研究

では誘因の違いによるこの激発舐め率の変化を調べる。その理由は、この激発舐め率が一定であり、かつまた、1舐め当たりの摂取量が一定であれば、単位時間あたりの摂取量はそれらの積となるので一定となる。その時、ラットが一定時間内に摂取する液体の量は摂取時間に比例するので、摂取行動の分析がより容易になるからである (Corbit & Luschei, 1969)。

Corbit & Luschei (1969) は、14日間の飲水訓練の後、5段階の濃度のサッカリンを1日ずつテストした。そして、その濃度によって激発舐め率が変化しないこと、さらに、飲み口の口径や位置など外的な要因が一定であれば、1舐め当たりの摂取量も変化しないことを示し、摂取行動時の単位時間あたりの摂取量は一定であると述べた。ただし、サッカリンの濃度によって、全被験体の摂取量の平均値が変化したので、サッカリンへの嗜好は明らかであるが、個体に

¹本研究の一部は日本基礎心理学会第7回大会 (1988年) と第10回大会 (1991年) において発表された。論文の作成にあたって、御指導下さいました京都大学名誉教授本吉良治先生、また、有益な御助言をいただいた関西学院大学今田寛先生、並びに、審査者の方々に心から感謝致します。また、本実験の基礎実験を行なわれた京都大学元研修員埴田豊嗣先生に厚く感謝いたします。

については述べられていない。

それに対して、Cone, Wells, Goodson, & Cone (1975) は激発舐め率に関してテスト溶液への先行経験を問題にした。ホームケージにおいて水に馴致させる群とサッカリンに馴致させる群に分け、それらをさらに、実験箱への1日での馴致を水を用いて行なう群とサッカリンで行なう群に分けた。それら4群のそれぞれに水とサッカリンを2日間ずつ与え、サッカリンの激発舐め率が水のそれより高いことを見出した。サッカリンの激発舐め率は2日間のうち2日目が1日目よりも高く、水の激発舐め率は2日目の方が低くなった。また、サッカリンを用いて実験箱に馴致させた群ではサッカリンの激発舐め率が水のそれよりも高かったが、水を用いて実験箱に馴致させた群では差がなかった。ただし、溶液による激発舐め率の違いが安定して見られるかどうかは明らかでない。また、溶液や実験箱への馴致の速さは個体ごとに異なるが、その点に触れていない。

本実験の目的は、溶液と実験条件への馴致を十分に行なって、個体についてサッカリンと水に対する激発舐め率に安定した違いがあるかどうかを調べること、また1舐め当たりの摂取量に変化するかどうかを調べることである。

実験1

方法

被験体 3匹のオスの実験歴のないLE系のラットを用いた。生後5ヶ月目の体重は被験体S1が400 g、被験体S2が370 g、被験体S3が440 gであった。実験箱での訓練開始時に生後8ヶ月半であった。

装置 実験箱は幅20.3 cm、奥行き30.2 cm、高さ30 cmの大きさで、1側面と床以外は透明アクリル板でできていた。床はステンレス製グリッド。奥面はアルミ板。Figure 1に示したように、アルミ板の中央部、床から8 cmのところ

Figure 1. A drinking opening and a spout of a tube.

水飲みボトルに付いていた外径が8 mm、飲み口の口径が2 mmの金属管を給水管として用いた。この給水管には20 ml メスピペットが繋がっていた。給水管の飲み口を飲み穴の中央、飲み穴との距離3 mmの所に呈示し、呈示しない時にはモーターで2 cm 横にずらした。実験箱の上方に2 cdの電球を常時点灯し、マスキングノイズを常時流した。手製のドリノコメーターで給水管と床の間の電位差を測り、舐め行動を測定した。日本電気製のパソコンPC 9801 Fで実験の制御と記録を行なった。

手続き **馴致** 12日間ホームケージにおいて、2つの給水ボトルにそれぞれ水(水道水)とサッカリン水溶液(以後、サッカリンと呼ぶ)を入れ、1日に2時間2つのボトルを同時に呈示し、サッカリンを水よりも多く摂取することを確かめた。サッカリンの濃度は、最も嗜好される濃度に近い0.2% (Corbit & Luschei,

1969) を用いた。

行動形成 水を用いて1日で実験箱において水飲み行動を形成した。

水舐め訓練 給水管を2分間呈示する試行を1日に6回、17日間行なった。試行間間隔は10秒であった。水は汲み置き水道水を用いた。

テスト サッカリンと水を日を替えて与えた。訓練と同じく2分間の給水管の呈示を1日6試行繰り返した。6試行とも同じ種類の液を与えた。テストを通じ、同じ種類の液が2日または3日で交替する系列をゲラマン系列から選んだ。45日間テストを行なった。被験体S3は途中で病気になったが、正常と判断されたそれまでの35日間のデータを用いた。実験室の室温は22°Cから26°C、湿度は66%から84%。実験終了の1時間後、被験体S1とS3には2時間、被験体S2は訓練での摂取量が少なかったため1時間40分だけ水を与えた。ホームケージでは固形飼料を自由に摂取させた。

測度 舐め行動を測定するために以下の測度を用いた。

1. 摂取量：メスピペットの目盛りを30秒ごとに目測した。
2. ILTの平均値：Corbit & Luschei (1969)に従い、一定の範囲の舐め間の時間(inter-lick time: ILT)の平均値により、激発舐め率の変化を調べた。舌が飲み口に触れてから再び触れるまでの時間をILTとした。激発的に舐めていた時を選び出すためと、測定過誤を除くため、ILTの分布から主ピークだけを含むように130 ms以上、250 ms以下に範囲を定めた。その範囲のILTの総和を激発的に舐めていた時間として、そのILTの個数で割り、ILTの平均値を算出した。

激発舐め率 = 激発的に舐めていた時の舐め数 / 激発的に舐めていた時間

であるから、激発舐め率はこのILTの平均値の逆数となる。

3. 1舐め当たりの摂取量 (volume per lick: VPL): ILTの平均値の算出に用いたILTの

個数を舐め数とした。摂取量を舐め数で割ってVPLを求めた。

結果と考察

Figure 2 にテストにおいて被験体S1にサッカリンを与えた日(day 31)と、水を与えた日(day 33)のILTの時間的変化を示した。1試行目には飲み始めてから30秒ほど、ILTが徐々に長くなり、激発舐め率が次第に下降していく時期があった(以後、下降期と呼ぶ)。途中5秒以上休んだ後にも、しばしば下降期があった。他の日、他の被験体のILTの時間的変化のパターンもFigure 2と同様であった。

下降期の影響をあまり受けない時期のILTの平均値を次のように求めた。2試行目以後は下降期が出現する可能性が高いので除き、第1試行の内の、飲み始めてから30秒以後の時期の

Figure 2. Interlick time of Subject S1 plotted as a function of time from the start of the session. The top panel is from day 31 (saccharin was given). The bottom panel is from day 33 (water was given). The five vertical lines indicate the start of the trials. The ordinals above the graph indicate trial numbers. The bold lines on the X axis indicate intertrial intervals. The two horizontal lines indicate the range: 130-250ms to calculate the means of interlick time.

Table 1. Means of each measure for respective last 11 days of water and saccharin solutions in Experiment 1. Sac. Indicates saccharin solutions. In parentheses is t-value. All degrees of freedom are 20.

Measures	Subject								
	S1			S2			S3		
	Water	Sac.	(t)	Water	Sac.	(t)	Water	Sac.	(t)
Total of six trials									
Intake(ml)	9.6	13.6	(8.29)**	11.4	14.6	(5.56)**	8.7	10.4	(3.04)**
ILT(ms)	185	180	(3.53)**	183	179	(3.94)**	185	179	(4.18)**
VPL(μ l)	5.5	5.1	(3.31)**	6.9	6.5	(3.52)**	6.3	5.5	(5.02)**
First trial except for 30s from the beginning of licking									
ILT(ms)	188	186	(1.95)	189	184	(3.47)**	190	185	(2.82)*
First trial except for the first 30s									
Intake(ml)	2.5	2.4	(1.83)	3.2	3.3	(1.29)	2.6	2.5	(0.59)
VPL(μ l)	5.4	5.1	(2.81)*	7.4	6.8	(1.56)	6.9	5.8	(3.05)**

Note: * $p < .05$ ** $p < .01$

みの ILT の平均値を求めた。また、第1試行の内の30秒以後の摂取量とVPLを求めた。Table 1に、テストでの水とサッカリンの最後の11日間の平均値を示した。個体ごとのt検定の結果も併せて示した。²

総摂取量 どの被験体もサッカリンを水よりも多く摂取した。

激発舐め率 被験体S2とS3の第1試行の内の飲み始めてから30秒以後のILTの平均値は水の方が長く、被験体S1は長い傾向を示した。激発舐め率(回/秒)では水とサッカリンが各々、被験体S1で5.31と5.38、被験体S2で5.29と5.44、被験体S3で5.26と5.41であった。よって、サッカリンの方が激発舐め率が高かったといえる。

摂取量とVPL 第1試行の内の30秒以後の摂取量は、けれども、水とサッカリンで差がなかった。さらに、被験体S1とS3では、サッカリンのVPLが水より少なくなった。

下降期とそれ以後での反応の違い 第1試行の最初の30秒と次の30秒の各測定値をもと

に、各溶液に実験日を割り当て、さらに第1試行の最初の30秒と次の30秒を割り当てた枝分かれ(nested design)のある分散分析を行なった(Table 2)。Figure 3に3被験体の各測定値を示した。すべての被験体で最初の30秒の摂取量の方が次の30秒よりも少なかった。最初の

Table 2. The value of Fs of ANOVA for each measure of the first 30 s quarter and the second 30 s quarter of the first trial in Experiment 1.

Measures Sources	Subject		
	S1	S2	S3
Intake			
Fluids	17.3**	0.0	0.5
Days	1.0	5.1**	2.2*
Quarter	73.7**	47.1**	51.5**
F×Q	0.0	3.6	6.8*
ILT			
Fluids	8.0*	8.8**	14.3**
Days	8.6**	9.2**	7.6**
Quarter	895.3**	525.8**	275.9**
F×Q	18.3**	2.1	3.5
ILT			
Fluids	30.3**	9.7**	20.6**
Days	1.0	2.9**	3.4**
Quarter	96.6**	30.1**	74.4**
F×Q	0.6	1.7	1.4

Note: * $p < .05$ ** $p < .01$ $df = 20, 20$ for Days. $df = 1, 20$ for other sources.

²統計方法は生沢(1977)に従った。ただし、処理数が2なので、分散分析ではなく、t検定になる。

Figure 3. Average intake (top row), average ILT (second row), and average VPL (bottom row) during the first and the second 30 s in the first trial of water and saccharin condition for each subject in Experiment 1. Data were taken from the last 11 days of each condition. (ILT: Inter-Lick-Time, VPL: Volume per lick)

30 秒の方が次の 30 秒よりも ILT が短く、激発舐め率が高かった。また、VPL は最初の 30 秒の方が次の 30 秒よりも少なかった。

以上の結果は、サッカリンの激発舐め率が水よりも高く、1 舐め当りの摂取量は少ないということ、また、最初の 30 秒の激発舐め率が次の 30 秒よりも高く、1 舐め当りの摂取量は少ないことを示唆する。

実験 2

飲み穴と給水管の飲み口の距離が遠いと激発舐め率は低下する (Weijnen, 1977, pp.103)。実験 1 で見られたサッカリンと水の激発舐め率の差はこの距離によって変化するであろうか。距離が遠いと、反応の負荷が大きくなり差が広がるか、逆に、体の姿勢を変える余地がなくなり差が縮まる可能性もある。Justesen (1977) は Mendelson & Chillag (1970) などの実験結果から、被験体の体温よりも低い温度が舐めを誘発し、激発舐め率が高くなる可能性があるとして推測した。そして、溶液への嗜好が大きいほど被験体が飲み口に近づけば、1 舐めで舐め取る量が多くなり激発舐め率が上昇することを示唆した。

実験 2 の目的は、実験 1 に近い条件で実験を行ない、データの信頼性と一般性を高めること、被験体と飲み口との距離が舐め行動にどのように関わるかについて検討を加えることである。そのため、飲み穴と飲み口との距離を 3 mm と 5 mm の 2 通りに操作した。また、サッカリンの濃度を 0.1% に変えて、同じような違いが起きるかを確かめた。

方法

被験体 3 匹のオスの実験歴のない LE 系のラットを用いた。自由摂水時の体重は、被験体 C 1 が 470 g、被験体 C 2 が 450 g、被験体 C 3 が 365 g であった。訓練開始時に被験体 C 1 と C 2 は生後 5 ヶ月、被験体 C 3 は生後 6 ヶ月であった。

装置 実験 1 と同じ実験箱を用いた。

手続き 馴致 ホームケージにおいて、2 つの給水瓶にそれぞれ水(汲み置き水道水)と 0.1% サッカリン水溶液(以後、サッカリンと呼ぶ)を入れ、1 日に 2 時間だけ 2 つのボトルを同時に呈示した。サッカリンを水よりも多く摂取することが明らかになるまでに被験体 C 1 は 9 日間、C 2 は 13 日間、C 3 は 8 日間を要した。

行動形成 水を用いて、実験1と同様に、徐々に条件1の実験条件に近づけた。すなわち、被験体C1とC3は飲み穴と飲み口との距離を3 mmに、被験体C2は5 mmとした。

水舐め訓練 実験1と同様の訓練を、反応が安定するまで続けた。摂取量、舐め数、ILT、VPLに上昇、下降傾向がなければ安定したと判断した。被験体C1は36日間、C2は55日間、C3は33日間を要した。

実験条件1 飲み穴と飲み口の距離は被験体C1とC3が3 mm、C2が5 mmであった。実験1と同様の系列を安定するまで行なった。水とサッカリンで別々に、訓練と同様の安定の判断を行なった。被験体C1は51日間、C2は30日間、C3は38日間を要した。

実験条件2 飲み穴と飲み口の距離を被験体C1とC3は5 mmに、C2は3 mmに変えた。被験体C1は102日間の実験を行なった。被験体C2とC3は病気により実験を中止した。被験体C2は34日間の実験を行なったが、正常と判断された日までの31日間のデータを、被験体C3は56日間の実験のうち、同じく33日間のデータを用いた。

実験条件3 飲み穴と飲み口との距離を3 mmにした。被験体C1だけ25日間行なった。

実験室の室温は20°Cから26.5°C、湿度は48%から79%であった。ホームケージでは固形飼料を自由に摂取させ、実験終了の1時間後から、1時間だけ摂水させた。

結果と考察

どの被験体もILTの時間的変化のパターンは実験1と同様であった。ILTの分布から、主ピークだけを含むように140 ms以上250 ms以下の範囲のILTをデータとして用いた。

被験体C1は各実験条件での水とサッカリンの最後の9日間、被験体C2とC3は実験条件2において安定期間がとれなかったため、実験条件1と2の最後の5日間を分析した。Table 3に分散分析の結果を示した。

Table 3. The value of Fs of ANOVA for each measure of 3 conditions for subject C1 and 2 conditions for subject C2 and C3 in Experiment 2.

Measures Sources	Subject		
	C1	C2	C3
Total intake during the six trials			
Fluids	121.9**	22.7**	20.7**
Conditions	12.2**	0.1	39.7**
F×C	0.1	0.0	0.0
ILT in the first trial except for 30 s from the beginning of licking			
Fluids	2.9	16.7**	11.6**
Conditions	180.1**	48.6**	80.9**
F×C	1	0.2	3.7
VPL in the first trial except for the first 30 s			
Fluids	2.7	2	0
Conditions	53.4**	44.6**	50.5**
F×C	1.2	0.5	0.1
df			
Fluids	1,48	1,16	1,16
Conditions	2,48	1,16	1,16
F×C	2,48	1,16	1,16

Note: **p<.01

各被験体の水の総摂取量はサッカリンの場合より少なかった。ちなみに、全被験体の条件を通じての1日の総摂取量の平均値は、水が12.0 ml、サッカリンが14.6 mlであった。

Figure 4に、第1試行の内の飲み始めてから30秒以後のILTの平均値と、第1試行の内の30秒以後のVPLの平均値を被験体ごとに示した。被験体C1については実験条件1の測定値を左端に、実験条件3の測定値を右端に示した。

被験体C2とC3では、サッカリンの方が第1試行の内の飲み始めてから30秒以後のILTの平均値が有意に短く、被験体C1は短い傾向を示した。従って、サッカリンの激発なめ率が水よりも高いといえるであろう。またどの被験体も、第1試行の内の30秒以後のVPLは水とサッカリンで差がなかった。従って、激発舐め率が高い時でも、1舐め当りの摂取量が多くならないことも確かめられた。

飲み穴と飲み口の距離が遠いと、被験体C1とC3は摂取量が少ないが、被験体C2は差がなかった。各被験体とも5 mmの方が3 mmの場合よりもILTが長く、VPLは少なかった。

Figure 4. ILT and VPL of water and saccharin in Experiment 2. The averages based on 9 days (Subject C1), 5 days (Subject C2), and 5 days (Subject C3).

従って、飲み穴と飲み口との距離を広げたとき、Weijnen (1977) と同様、激発舐め率が低下することがわかった。同時に 1 舐め当りの摂取量が減ることも見出された。しかし、溶液と実験条件の交互作用がどの被験体にも見られなかったため、飲み穴と飲み口との距離が変わっても、水とサッカリンの激発舐め率の差が変化するとは言えなかった。

総合考察

実験 1 と 2 を通じ、溶液と実験条件への十分な馴致後、サッカリンと水を与えたとき、激発舐め率に定常的な違いがあることが明らかになった。ILT の時間的変化のパターンから、第 1 試行の内の飲み始めてから 30 秒以後の時期が激発舐め率が安定して測定できる時期であると判断した。この時期の ILT は 6 匹中 4 匹の被験体で水の方が有意に長く、残りの被験体でも水の方が長い傾向を示した。ただし、その差は ILT で 5 ms、舐め率で 0.15 回/秒程度の差で

あった。また、飲み穴と飲み口との距離が一定のとき、激発舐め率が高くて、1 舐め当りの摂取量は多くならないことが示された。飲み穴と飲み口との距離を広げたとき、激発舐め率が低下し、1 舐め当りの摂取量は減ることが示された。

激発舐め率がセッション中に下降することは知られている (Imada, 1964; Hulse, 1967; Justesen, 1977)。Hulse (1967) の実験では 2 分後も、継続して激発舐め率が下降する点が本実験結果と異なる。これは装置の違いによる可能性が高い。

サッカリンと水の激発舐め率が異なったことについて考えてみる。ここで、補足として ILT の内の on time (舌が飲み口に触れてから離れるまでの時間) と off time (舌が飲み口を離れてから触れるまでの時間) の平均値を求めた。実験 1, 2 を通じ、サッカリンと水とで第 1 試行の内の飲み始めてから 30 秒以後の off time に差がなかった被験体が 6 匹中 5 匹おり、サッカリンのとき飲み口に口を近づけたとは言えない。また、サッカリンのとき激発舐め率は高かったが 1 舐め当りの摂取量は多くならなかったため Justesen (1977) の温度による説明は成り立たない。6 匹中 4 匹の被験体で、サッカリンの on time が水のそれよりも短かったことから、サッカリンのときには舌を延ばす長さが短くなり、激発舐め率が高くなった可能性を挙げることができる。飲み口への接触時間 (on time) が短いので 1 舐め当りの摂取量が低下した可能性がある。Imada (1964) は激発舐め率と舌圧とが両立しにくいと述べた。今後は on time と舌圧との関係も調べる必要があるかもしれない。

引用文献

- Cone, A. L., Wells, R., Goodson, L., & Cone, D. M. 1975 Changing lick rate of rats by manipulating deprivation and type of solution. *Psychological Record*, 25, 491-498.
- Corbit, J. D., & Luschei, E. S. 1969 Invariance

- of the rat's rate of drinking. *Journal of Comparative & Physiological Psychology*, **69**, 119-125.
- Hulse, S. H. 1967 Licking behavior of rats in relation to saccharin concentration and shifts in fixed-ratio reinforcement. *Journal of Comparative & Physiological Psychology*, **64**, 478-484.
- 生沢雅夫 1977 実験計画 新曜社
- Imada, H. 1964 "Vigor" of water drinking behavior of rats as a function of thirst drive. *Japanese Psychological Research*, **6**, 108-114.
- Justesen, D. R. 1977 Classical and instrumental conditioning of licking. In J. A. W. M. Weijnen & J. Mendelson (Eds.), *Drinking behavior*. New York : Plenum Press.
- Mendelson, J., & Chillag, D. 1970 Tongue cooling : A new reward for thirsty rodents. *Science*, **170**, 1418-1421.
- Stellar, E., & Hill, J. H. 1952 The rat's rate of drinking as a function of water deprivation. *Journal of Comparative & Physiological Psychology*, **45**, 96-102.
- Weijnen, J. A. W. M. 1977 The recording of licking behavior. In J. A. W. M. Weijnen & J. Mendelson (Eds.), *Drinking behavior*. New York : Plenum Press.

(1996.9.26 受稿, 1998.10.30 受理)