

# ラットにおける間隔二等分課題の反応潜時

中村 勇太・坂田 省吾

広島大学大学院総合科学研究科

## Study of Response Latencies of Interval Bisection Task in Rats

Yuta NAKAMURA and Shogo SAKATA

Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

**Abstract:** Interval timing, whose range is from a second to several minutes among the sense with respect to time, is related with feeding behavior, decision making and time estimation of animals. In this study, we used interval bisection task, which is a method for examining this interval timing quantitatively. First, rats learned left and right lever pressing associated with the tone stimuli of 2 seconds and 8 seconds for each. Second, probe stimulus tones (e. g. 2.5, 3.2, 4, 5, 6.4 seconds) were presented, and we observed which lever rats selected. When the proportion of the lever pressing associated with the 8 seconds tone is 50%, the point of subjective equality (PSE) can be obtained. The PSE is an indicator of decision making in time perception. In order to investigate whether the difference in the physical properties of the stimulus affects the time perception, we used two kinds of tones, a continuous tone and a 4 Hz pulse tone. The results suggest that the difference in physical properties between continuous tone and 4 Hz pulse tone does not affect time perception. As another index, response latency of lever pressing for each tone presented in the task was calculated. As a result, at the testing stage, a peak in a distribution of response latency was around 3.2 seconds or 4 seconds of probe stimulus. The durations of the

peak was similar to PSE. From these results, it was suggested that response latency is an important indicator in decision making of which lever selected.

**Keywords:** timing, Interval bisection task, response latency, rats

### 序論

人間を含むあらゆる動物は、日々の生活を送る上で時間を知覚している。時間を正しく評価し、それに基づいた判断を行う事は様々な場面において適応的である。Buhusi & Meck (2005) は時間に対する感覚を3つに分類している。スケールの大きいものから順に、サーカディアンタイミング (circadian timing), インターバルタイミング (interval timing), ミリセカンドタイミング (millisecond timing) がある。このうちインターバルタイミングは数秒から数時間までの範囲に関係しており、動物の採餌, 意思決定, 時間推定などの行動にとって重要であると考えられている。インターバルタイミングを定量的に検討する方法の一つとして、間隔二等分課題がある。この課題は、過去に提示された刺激の持続時間を手がかりとして反応を行うような回顧的計時に関するものとして最も広く用いられてきた手続きとされてい

る(藤巻・新保・松井・時・神前, 2015)。動物における音を用いた間隔二等分課題では、例えば、まず2秒間持続する音刺激と左のレバー押し(Short反応)、8秒間持続する音刺激と右のレバー押し(Long反応)の対応づけを学習する時間弁別トレーニングを行う。そのあとに、それらの中間に位置するいくつかのプロープ刺激を提示し、それぞれの刺激に対する反応をみる間隔二等分テストを行う。それらの刺激に対するLong反応率を刺激の持続時間の関数としてプロットすると、持続時間の増加に伴い反応率が増加するS字にカーブしたグラフが得られる。さらにChurch & Deluty (1977)は、そのグラフにおいてLong反応率が50%となる刺激持続時間を主観的等価点 (point of subjective equality: PSE) とした。そして、アンカーとなるトレーニング刺激として、1秒-4秒, 2秒-8秒, 3秒-12秒, 4秒-16秒の長さ刺激を用いた実験から、PSEが刺激持続の幾何平均であることを見出した。そのため短い時間の知覚は対数的な判断に基づくものであると考えられている。

このような時間的課題の結果を説明するものとして、Gibbon, Church, & Meck (1984) は時間知覚の情報処理モデルを提唱している。このモデルは3つの段階を想定する。一段目は時計部である。この段階ではペースメーカーでパルスを発生させ、スイッチを押す回数が蓄積していく。二段目は記憶部である。この段階では時計部で累積したパルスの数を作業記憶として保持する。そして作業記憶が積み重なり参照記憶として蓄えられていく。試行回数が増えるごとに作業記憶をもとに参照記憶は更新される。三段目は決定部である。この段階では蓄えられた参照記憶と現在の試行から得られた作業記憶を比較し、どちらの価値が高いかを判断する。時間弁別トレーニングでは参照記憶に蓄えられた短い(例えば2秒)と長い(例えば8秒)の時間の長さを基準に、それらを弁別していると考えられる。そして間隔二等分テストではそれらアンカーの中間にあたる長さの音(例えば4秒)に対しても参照記憶内に蓄えられている情報をもとにその音が長いものに近いのか、短いものに近いのかを判断する。

先行研究では動物の時間判断は刺激要因の影響

を受けることを示している。例えば、動物の時間弁別の正解率は刺激モダリティ (Meck, 1984)、刺激強度 (Kraemer, Brown, & Randall, 1995) などの影響を受ける。ラットは視覚刺激よりも聴覚刺激を正確に計時する (Meck, 1984)。一方で、ハトは聴覚刺激よりも視覚刺激をより正確に計時する (Roberts, Cheng, & Cohen, 1989) とされている。さらにSanti, Miki, Hornyak, & Eidse (2005) は、ラットが充実時間 (filled interval) を空虚時間 (empty interval) よりも長く判断することを示した。一方の充実時間は刺激が出ているそのものの長さとして定義された。もう一方の空虚時間は500 msの音刺激で示される2つのマーカーの間の長さとして定義された。テストの結果は充実時間よりも空虚時間の方が長いものとして判断されるというものであった。これはトレーニングで用いる2つの短い刺激と長い刺激のアンカーが1秒-4秒, 2秒-8秒, 4秒-16秒のとき、同様の結果であった。さらに、充実時間と空虚時間のそれぞれのPSEの差は2つのアンカーの大きさに比例して大きくなった。このことにより、この実験における計時の違いは空虚時間に加え、500 msのマーカーまで計時していたのではないと彼らは考えた。これらの結果は、計時する物理的な時間の長さが同じであっても、主観的な時間に違いがあることを示唆していた。

間隔二等分課題から得られる最も主要な指標はPSEである。この値は様々な長さの音に対してそれを短い音に近いのか、もしくは長い音に近いのかの選択率から算出される。多くの研究では、この値を見ることで主観的な時間の長さがどのように変化したのかを捉えている。しかし、情報処理モデルの決定部から、左右どちらかのレバーを選択する際には、判断の難しい音に対しての反応潜時が長くなるとも考えられる。そこで、間隔二等分課題におけるレバー押しの反応潜時に着目し、PSEと合わせて分析を行うことを試みた。

本研究では、オーソドックスなPSEを求めて検討することに加えて、それぞれの時間刺激に対する反応潜時を詳しく分析することで新たな考察をすることを主眼とする。本研究は連続音・パルス音をそれぞれ単独で訓練した実験1と連続音・パルス音を混合で訓練した実験2から、最後に総合考

察をした。

### 実験1

これまでの研究において、間隔二等分課題で用いる刺激の提示順序について検討したものはない。そのため、本研究では連続音とパルス音の2種類の音刺激を用いて、それらの提示順序で主観的な時間知覚の指標であるPSEの移動が起こるか検討する。また、時間知覚と刺激量もしくは刺激頻度の関係を検討するために、パルス音のon-offの刺激周波数を変化させたテストも実施した。

本研究には大きく2つの目的があった。1つ目は連続音とパルス音の物理的な特性の違いが時間知覚に影響を及ぼすのか検討することであった。2つ目は連続音とパルス音の2種類の音刺激の提示順序による時間知覚の違いを検討することであった。もし物理的特性によって時間知覚が影響を受けるのであれば、連続音テスト・パルス音テストで求められるPSEの大小関係はどの順序でテストを実施しても一貫するはずである。反対に刺激順序によって影響を受けるのであれば、PSEの大小関係は連続音・パルス音の種類に関係なく、その提示順序に関して一貫するはずである。また、Hzテストについて、刺激のon-offの頻度が時間知覚に影響を与えるなら、操作したプローブ刺激の周波数の変化に伴ってLong反応率に違いがでると考えられる。またその際に用いる指標として、PSEの他に反応潜時の分析も行った。反応潜時が反応に対する迷いを反映すると仮定すると、トレーニングで用いる2秒と8秒の幾何平均で最も判断が難しくなり、反応潜時が延長することが考えられる。

### 方法

#### 被験体

被験体は、実験未経験の雄のWistar-Imamichi系ラット16匹を用いた。すべての個体は広島大学内の実験動物飼育施設内で出産・成育され、実験開始時は約3 - 4ヶ月齢であった。飼育施設は8:00 - 20:00を明期とする12時間の明暗サイクルが保たれていた。実験期間中は個別ケージにおいて飼育され、体重が自由摂食時の85 - 90%となるように食餌制限された。水は自由摂取であった。本実験は広島大学動物実験委員会の承認を得て行われた。

#### 装置

装置は、格納式2レバーの亚克力製オペラント箱(縦26 cm × 横30 cm × 高さ25 cm) 6台を使用し、それらをノイズのマスキングのために木製の防音箱(縦45 cm, 横62 cm, 高さ46 cm)の中に設置した。箱の天井にはハウスライト(6.3 V, 0.15 A), 外部にはブザー(DC6 V, 60 mA, 松下電工製), 後方には音刺激提示用スピーカーを設置した。餌口は箱前面の底部中央に設置され、その両側3.5 cm, 床から3.0 cmの位置に格納式レバーを設置した。強化子は45 mgのペレット餌1粒とした。全ての実験制御及び実験データの記録は、パーソナルコンピュータ(EPSON ENDEAVOR MR6700, EPSON ENDEAVOR AT951)によって行った。

#### 刺激

本実験では、音の提示の仕方によって以下の3種類を定義した。

##### ①連続音

2000 Hz, 80 dBの純音とした。トレーニング刺激としては2秒と8秒の長さの音を用いて、テスト

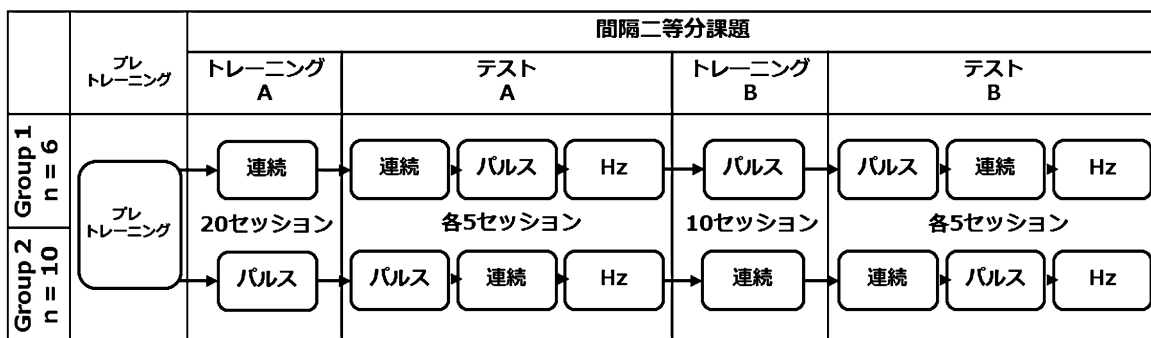


Figure 1. 実験1全体の流れ

で用いるプローブ刺激としては2.5, 3.2, 4, 5, 6.4秒の長さの音を用いた。

## ②パルス音

2000 Hz, 80 dBの純音を1秒間に4回の頻度で音のon-offをくり返すように加工したものとした。用いる音の長さは連続音と同じであった。

## ③Hz音

2000 Hz, 80 dBの純音をon-offが1秒間に繰り返す回数について操作したものとした。その頻度は1, 2, 4, 8, 16 Hzとし、その長さは全て4秒とした。出現確率はどのHz音も同じになるように擬似ランダムとした。

手続き

### プレトレーニング

プレトレーニングとして実験箱馴化、連続強化(Continuous reinforcement: CRF)、エラーレストレーニングを実施した。

実験箱馴化では、ラットをオペラント箱に慣れさせるために、30分間の自由探索を行わせた。この間は常に左右2つのレバーが提示されていて、どちらを押しても強化子として45 mgペレット1粒が与えられた。

CRFでは、常に2つのレバーが提示されて、それぞれへの反応に対して強化子が与えられた。左右50回ずつ、計100回の強化、または60分経過でセッションを終了した。

エラーレストレーニングでは、2秒・8秒の長さの音と左右のレバー押しの対応を学習させた。それぞれの長さの音に続いて、正解となるレバーのみを提示し、反応があれば強化子を与えた。刺激提示終了後10秒を制限時間とした。

### 時間弁別トレーニング(トレーニング)

トレーニングはセッション内で用いる刺激の種類によって連続音トレーニングとパルス音トレーニングの2つがあった。どちらのトレーニングでも2秒もしくは8秒の音提示の後、両レバーを提示してレバーに3回反応することで選択を確定するものとして、正解の反応には強化子を与えた。刺激提示終了後10秒を制限時間とした。1セッションは120試行で、各刺激の提示割合は50%であった。

### 間隔二等分テスト(テスト)

テストはセッション内で用いる刺激の種類によって連続音テスト、パルス音テスト、Hzテストの3つがあった。

連続音テストとパルス音テストでは、2秒・8秒のトレーニング刺激に加え、反応に対して強化子が与えられないプローブ刺激も提示した。1セッションは135試行で、そのうち110試行ではトレーニング刺激を提示し、残りの25試行ではプローブ刺激を提示した。

Hzテストでは、トレーニング刺激としてパルス音、プローブ刺激としてHz音を提示した。試行数とトレーニング・プローブ刺激の割合は前述のテストと同様とした。

トレーニングとテストの実施順序についてはFigure 1に示した。連続音・パルス音どちらか一方でトレーニングAを行い、続けてテストAを行った。テストAでは連続音・パルス音のテストを順に行った後、Hzテストを行った。そして、トレーニングAで用いていないもう一方の音でトレーニングBを行い、2種類のテスト、Hzテストの順で実施した。また連続音とパルス音どちらのトレーニングとテストを経験するかによって被験体を二つの群を割り当てた。連続音を先に経験する個体6匹をグループ1、パルス音を先に経験する個体10匹をグループ2とした。

分析にはSPSS (Statistical Package for Social Science) Version 23を用いた。除外基準として、フィッティングに失敗した個体のデータは除外して分析を行った。また、正反応率が80%を下回ったデータ、正解となる反応のうち左右のレバー押しが10回以上異なるデータ、1つのプローブ刺激に対して3回以上無反応であったデータも除外して分析を行った。

## 結果

### 時間弁別トレーニング

6匹の被験体は連続音トレーニング20セッションとパルス音トレーニング10セッションを行った。10匹の被験体はパルス音トレーニング20セッションと連続音トレーニング10セッションを行った。各トレーニングにおいて最終セッション時点

で正反応率が80%以上であった。そのため、どちらの種類の音を用いても2秒・8秒の音の長さの弁別ができたと判断した。

#### 間隔二等分テスト (連続音・パルス音)

##### Long反応率

Figure 2は連続音テストとパルス音テストで得られた平均Long反応率から作成したS字型の関数を示した。

Figure 2上段の左図はグループ1の前半のテストの結果 (G1-A) を示した。この結果は、除外基準を満たした2匹を除いた4匹分のデータであった。この図を見ると実線で表される連続音テストの曲線が、破線で表されるパルス音の曲線よりも左側に位置していた。S字型の関数とLong反応率が50%の直線の交点に当たる刺激持続時間を主観的等価点 (PSE) として算出した。得られたPSEの平均値は連続音テストでは3.38 (SE = .18) 秒、パルス音テストでは3.95 (SE = .77) 秒であった。しかし、この

間には有意差はなかった ( $t(3) = 1.93, n.s.$ )。

Figure 2上段の右図はグループ1の後半のテスト (G1-B) の結果を示した。この結果は、除外基準を満たした2匹を除いた4匹分のデータであった。この図を見ると破線で表されるパルス音の曲線が実線で表される連続音テストの曲線よりも左側に位置していた。算出されたPSEは、連続音テストでは4.16 (SE = .30) 秒、パルス音テストでは3.67 (SE = .18) 秒であった。しかし、この間には有意差はなかった ( $t(3) = 1.47, n.s.$ )。

Figure 2下段の左図はグループ2の前半のテスト (G2-A) の結果を示した。この結果は、除外基準を満たした2匹を除いた8匹分のデータであった。算出されたPSEの平均は連続音テストでは3.60 (SE = .099) 秒、パルス音テストでは3.52 (SE = .145) 秒であった。この間には有意差はなかった ( $t(7) = 1.024, n.s.$ )

Figure 2下段の右図はグループ2の後半のテスト (G2-B) の結果を示した。この結果は、除外基準を

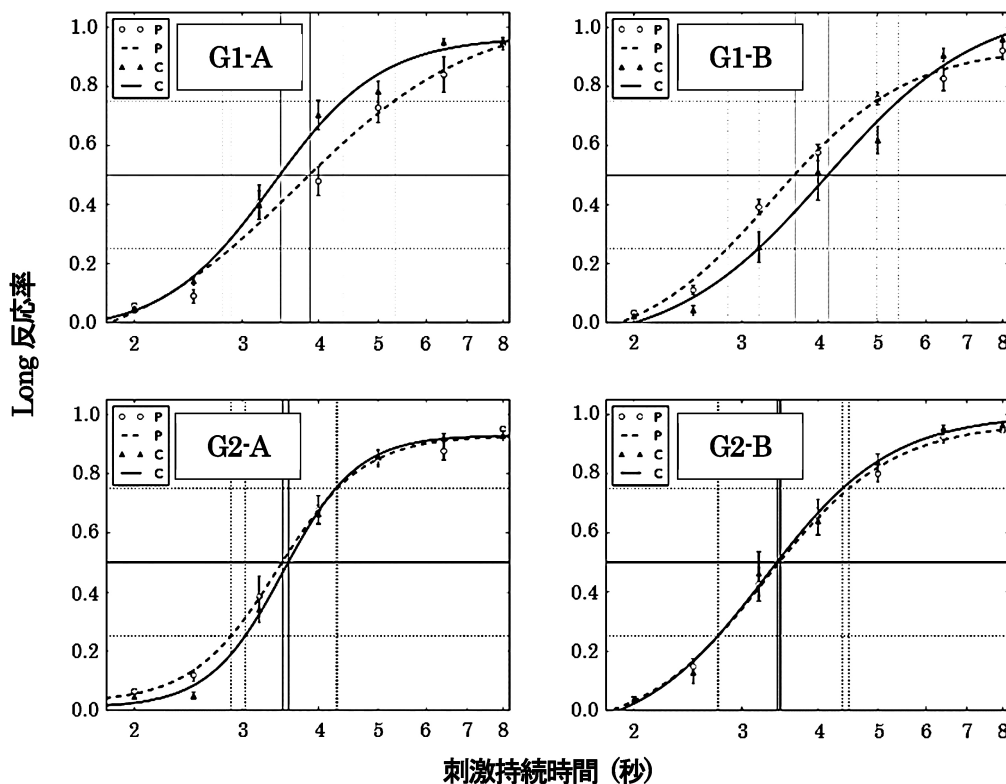


Figure 2. 連続音テストとパルス音テストのLong反応率 (±SE).

縦軸はLong反応率を、横軸は刺激持続時間を対数尺度で示している。図中の▲と○はそれぞれの連続音テストとパルス音テストにおける刺激持続時間に対する平均Long反応率、実線と破線はそれぞれ連続音テストとパルス音テストから得られたS字型の関数を示している。

満たした1匹を除いた9匹分のデータであった。算出したPSEの平均は連続音テストでは3.48 (SE = .182) 秒, パルス音テストでは3.49 (SE = .153) 秒であった。しかし, この間には有意差はなかった ( $t(8) = .042, n.s.$ )。

### 反応潜時

Figure 3 は連続音テストとパルス音テストで得られた反応潜時を示した。

Figure 3の上段の左はG1-Aの結果を示した。刺激持続時間 (7) × 音の種類 (2) の分散分析の結果,

刺激持続時間の主効果は有意であった ( $F(6, 56) = 2.87, p < .05$ ) が, 音の種類の主効果・刺激持続時間 × 音の種類の交互作用は有意ではなかった (音の種類:  $F(1, 56) = .038, n.s.$ ; 刺激持続時間 × 音の種類:  $F(6, 56) = .368, n.s.$ )。

Figure 3の上段の右はG1-Bの結果を示した。刺激持続時間 (7) × 音の種類 (2) の分散分析の結果, 刺激持続時間の主効果は有意であった ( $F(6, 63) = 6.45, p < .01$ ) が, 音の種類の主効果と刺激持続時間 × 音の種類の交互作用は有意ではなかった (音の種類:  $F(1, 63) = 2.62, n.s.$ ; 刺激持続時間 × 音の種

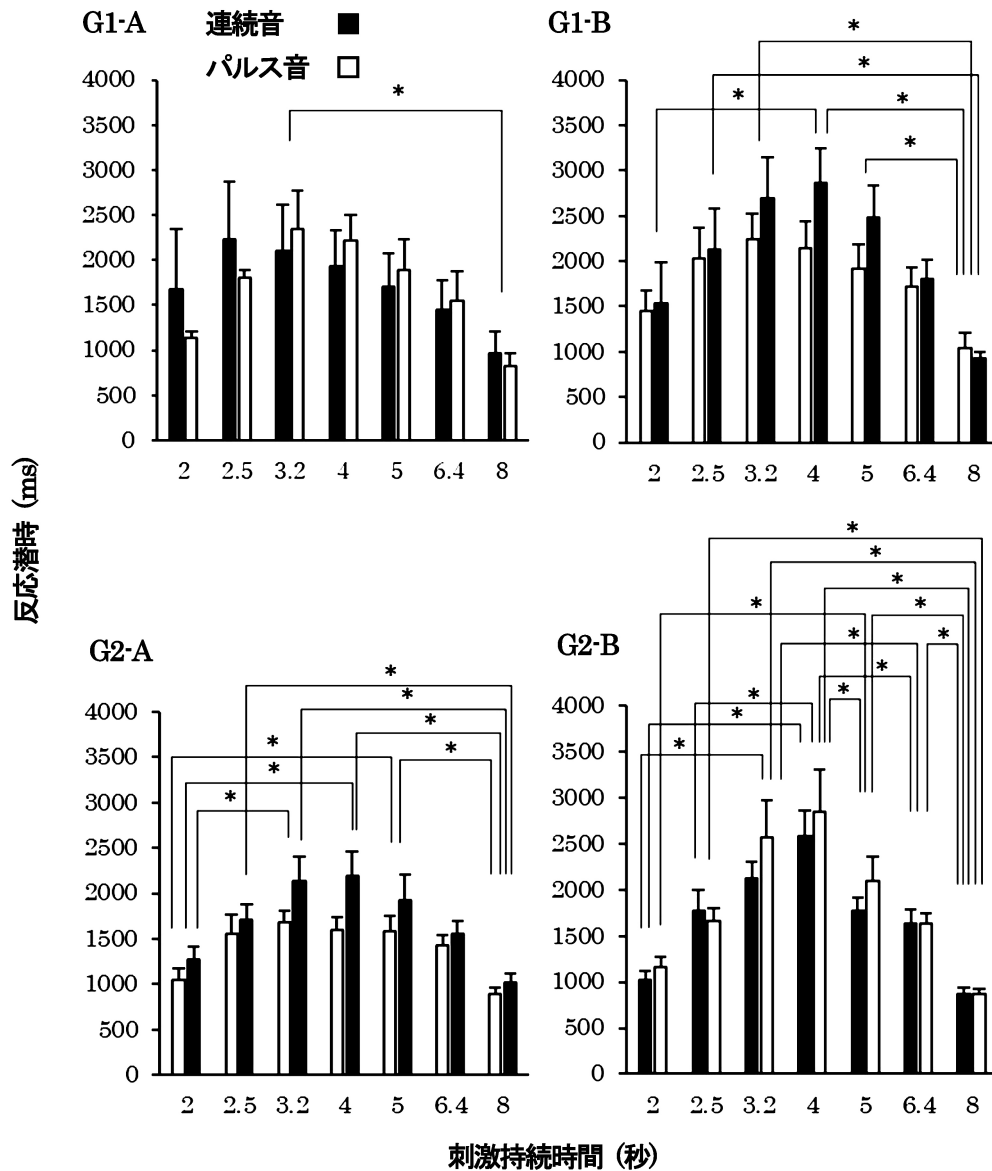


Figure 3. 連続音テストとパルス音テストの反応潜時 (±SE).

縦軸は反応潜時を, 横軸は刺激持続時間を示している。黒色のグラフと白色のグラフはそれぞれ連続音テストとパルス音テストの結果を示している。\*  $p < .05$

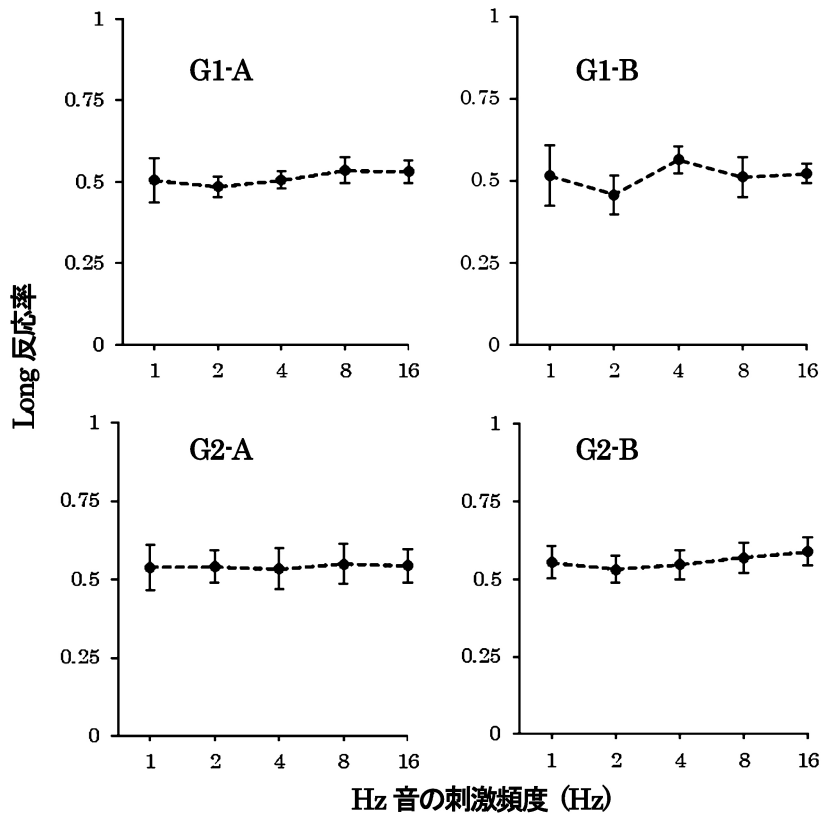


Figure 4. HzテストのLong反応率時 (±SE).  
縦軸はLong反応率を, 横軸はHz音のon-offの頻度を対数尺度で示した。

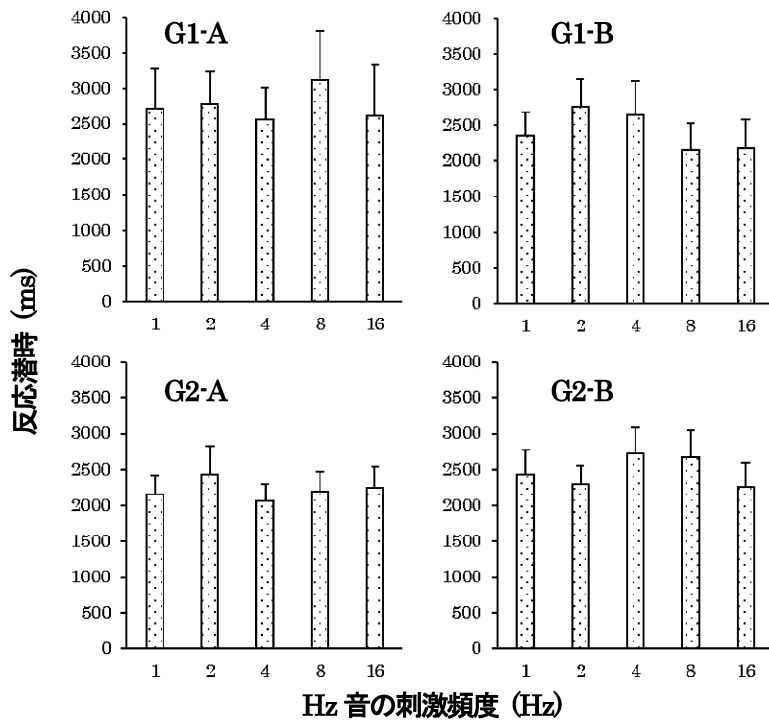


Figure 5. Hzテストの反応潜時 (±SE).  
縦軸は反応潜時を, 横軸はHz音のon-offの頻度を対数尺度で示した。

類:  $F(6, 63) = .487, n.s.$ 。

Figure 3の下段の左はG2-Aの結果を示した。刺激持続時間 (7)×音の種類 (2) の分散分析の結果、刺激持続時間の主効果 ( $F(6, 105) = 8.301, p < .01$ )、音の種類の主効果 ( $F(1, 105) = 8.815, p < .01$ ) が有意であったが、刺激持続時間×音の種類の交互作用は有意ではなかった ( $F(6, 105) = .508, n.s.$ )。

Figure 3の下段の右はG2-Bの結果を示した。刺激持続時間 (7)×音の種類 (2) の分散分析の結果、刺激持続時間の主効果は有意であった ( $F(6, 112) = 17.775, p < .01$ ) が、音の種類の主効果と刺激持続時間×音の種類の交互作用は有意でなかった (音の種類:  $F(1, 112) = 1.626, n.s.$ ; 刺激持続時間×音の種類:  $F(6, 112) = .425, n.s.$ )。

多重比較の結果はFigure 3内に示した。

#### 間隔二等分テスト (Hzテスト)

##### Long反応率

Figure 4はHzテストの平均Long反応率を示した。上段左はG1-A, 上段右はG1-B, 下段左はG2-A, 下段右はG2-Bの結果をそれぞれ示している。図を見るとどの周波数のパルス音に対してもLong反応率はおよそ0.5であった。分散分析の結果、どの図においても、パルス音の頻度の主効果は有意でなかった (G1-A: ( $F(4, 20) = .236, n.s.$ ), G1-B:  $F(4, 20) = .388, n.s.$ , G2-A:  $F(4, 35) = .008, n.s.$ , G2-B:  $F(4, 30) = .325, n.s.$ )。

##### 反応潜時

Figure 5はHzテストの平均反応潜時を示した。上段左はG1-A, 上段右はG1-B, 下段左はG2-A, 下段右はG2-Bの結果をそれぞれ示した。これを見るとどの周波数に対しても同程度の反応潜時であった。分散分析の結果、どの図においてもパルス音の頻度の主効果は有意でなかった (G1-A:  $F(4, 20) = .139, n.s.$ , G1-B:  $F(4, 20) = .482, n.s.$ , G2-A:  $F(4, 35) = .216, n.s.$ , G2-B:  $F(4, 30) = .385, n.s.$ )。

#### 考察

本研究の目的は、連続音とパルス音の物理的な特性の違いが時間知覚に影響を及ぼすのか検討すること、またはそれらの刺激の提示順序による

時間知覚に影響を及ぼすのか検討することであった。加えて、それらの検討の際にPSE以外の指標として、2つのレバー選択の反応潜時についての分析も行った。

Figure 2より、連続音テストとパルス音テストから得られたPSEには有意差はなかった。またG2ではどちらのグラフもほとんど重なった。つまり、PSEの比較については2つのグループで同様の結果となった。また、今回算出されたPSEについて考察すべき点があった。先行研究 (Church et al., 1977) ではPSEは用いたアンカー (2秒と8秒) の幾何平均 (4秒) になるとされている。しかし、本実験ではほとんどのPSEが4秒よりも小さい値であった。この原因として、音の長さで左右のレバーの対応が固定されていたことが考えられる。実験期間中、音の提示開始直後に左レバーの前で待機し、もし2秒の持続時間ならそのままレバーを押し、もしそれ以上の持続時間なら右のレバーへ移動するという、左から右への一方向のレバー押し方略が観察された。そのため本実験で学習の進んだラットは「2秒」と「2秒以上」という判断基準でレバー押しを行っていた可能性があった。この要因を排除するために2秒と8秒の音に対して、左右のレバー押しのカウンターバランスをとって比較することが必要だと考える。また別の方法として、計時終了まで反応を抑制することが挙げられる。例えば、刺激の計時中はノーズポーク反応を求め、計時終了と同時に自由に左右のレバーを選択させる方法である (Ho et al., 1995)。

Figure 3より、反応潜時は2つのアンカーで短く、プローブ刺激の3.2秒や4秒で長くなった。このような2つのアンカーの幾何平均付近で頂点を持つ山なりのグラフは、時間知覚の情報処理モデル (Gibbon et al., 1984) の決定部におけるどちらのレバーに反応するかの迷いを反映した結果だと解釈できる。G2-Aのグラフでは、連続音テストの反応潜時が有意に長かった。また、有意差はなかったがG1-AとG2-Bのグラフにおいてはパルス音テストの反応潜時が長かった。これらは直前のトレーニングセッションで用いた刺激がテストで用いた刺激と一致しているかどうかの影響を示唆する結果だった。しかしPSEと同様に、アンカーの幾何



平均より小さい持続時間で反応潜時が長くなることに関しては、レバー押し方略の影響が考えられるため、PSEについての考察と同様の対策が必要である。

Figure 4とFigure 5より、プローブ刺激のパルス音のon-offの頻度を操作しても反応率や反応潜時に違いは見られなかった。そのため、計時する音刺激の物理的な特性は時間知覚に影響を及ぼさないことを示唆した。また、反応率と反応潜時のどちらの結果は、どのパルス音頻度に対しても同様の値を示し、これは2つの指標の対応を示唆した。

## 実験2

実験1では連続音・パルス音を用いて間隔二等分テストを実施したが、それは同一のセッション内で1種類の音刺激のみを使用したものであった。そこで、本実験では直接的に音刺激の特性による感覚の違いを検討するために、セッション内で連続音とパルス音の2つの音刺激を織り交ぜて提示する手続きを実施した。

### 方法

#### 被験体

実験1で用いた個体のうち、グループ2の10匹を引き続き用いた。飼育環境は実験1と同様であった。本実験は広島大学動物実験委員会の承認を得て行われた

#### 装置

実験1と同じものを用いた。

#### 刺激

実験1と同じものを用いた。

#### 手続き

実験1と同じ被験体を用いたため、レバー押しの行動形成とエラーレストレーニングの手続きは省略した。

#### 時間弁別トレーニング (混合トレーニング)

トレーニングはセッション内で連続音とパルス音の両方をランダム提示した。どちらの種類音であっても、2秒もしくは8秒の提示の後、両レバーを提示してレバーに3回反応することで選択を確

定するものとして、正解の反応には強化子を与えた。刺激提示終了後10秒を制限時間とした。1セッション120試行を10セッション実施した。

#### 間隔二等分テスト (混合テスト)

テストはセッション内で連続音とパルス音の両方をランダム提示した。2秒・8秒のトレーニング刺激に加え、反応に対して強化子が与えられないプローブ刺激も提示した。1セッションは160試行で、そのうち130試行ではトレーニング刺激を提示し、残りの30試行ではプローブ刺激を提示した。このテストは10セッション実施した。

実験2の流れについてはFigure 6に示した。

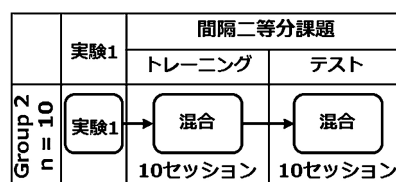


Figure 6. 実験2全体の流れ

### 結果

#### 混合トレーニング

10匹の被験体は混合トレーニング10セッションを行った。最終セッション時点で正反応率が80%以上であったため、連続音とパルス音の2つの種類の音を織り交ぜて提示しても2秒・8秒の音の長さの弁別ができたと判断した。

#### 混合テスト

##### Long反応率

Figure 7は混合テスト10セッションで得られた平均Long反応率から作成したS字型の関数を示した。算出したPSEの平均は、連続音では3.38 (SE = .17) 秒、パルス音では3.46 (SE = .20) 秒であった。この間には有意差はなかった ( $t(9) = 1.93, n.s.$ )。

##### 反応潜時

Figure 8は混合テスト10セッションの反応潜時を示した。刺激持続時間 (7) × 音の種類 (2) の分散分析の結果、刺激持続時間の主効果は有意であった ( $F(6, 126) = 21.916, p < .01$ ) が、音の種類の主効果と刺激持続時間 × 音の種類の交互作用は有

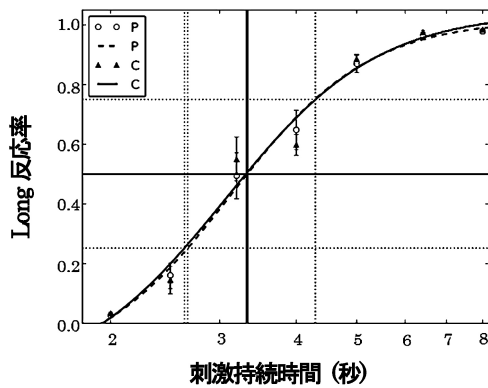


Figure 7. 混合テストのLong反応率 (±SE).

縦軸はLong反応率を、横軸は刺激持続時間を対数尺度で示している。図中の▲と○はそれぞれの連続音テストとパルス音テストにおける刺激持続時間に対する平均Long反応率、実線と破線はそれぞれ連続音テストとパルス音テストから得られたS字型の関数を示している。

意でなかった (音の種類:  $F(1, 126) = .765, n.s.$ ; 刺激持続時間 × 音の種類:  $F(6, 126) = .692, n.s.$ )。

### 考察

本実験では、連続音とパルス音の物理的な特性の違いが時間知覚に影響を及ぼすか検討するために、同一セッション内で連続音とパルス音の両方を織り交ぜた間隔二等分テストを実施した。

Figure 7より、連続音とパルス音から得られたグラフはどちらも2秒の音提示に対して最もLong反応率が低く、8秒に近づくにつれて上昇した。また、それぞれのグラフは重なり、算出されたPSEにも有意差はなかった。この結果は本研究で用いた連続音とパルス音の間の物理的な特性が時間知覚には影響を与えないこと、またはその影響が小さいことを示唆した。さらに、実験1と同様にPSEがアンカーの幾何平均よりも小さかった。これについては実験1と同様の対策をする必要がある。

Figure 8より、反応潜時は2つのアンカーで短く、プローブ刺激の3.2秒や4秒で長くなった。このような山なりのグラフは実験1と同様の結果であった。これはPSEと対応して、選択への迷いを反映していると解釈できる。

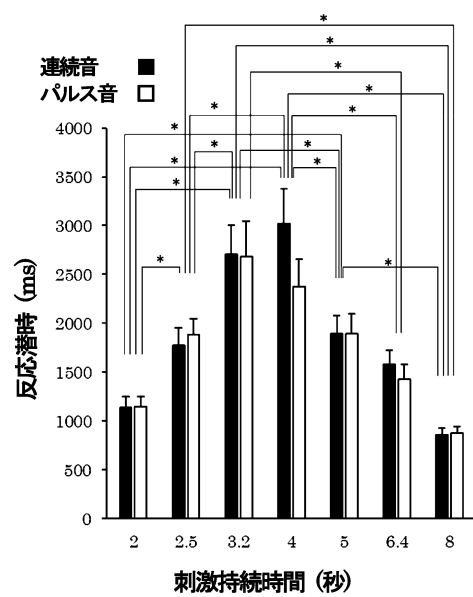


Figure 8. 混合テストの反応潜時 (±SE).

縦軸は反応潜時を、横軸は刺激持続時間を黒色のグラフと白色のグラフはそれぞれ連続音テストとパルス音テストの結果を示している。\*  $p < .05$

### 総合考察

本研究は、インターバルタイミングについて、主観的な時間の長さや刺激の物理的特性の関係を間隔二等分課題で検討した。計時する刺激の特性とPSEの関係について検討した先行研究において、連続的な音提示で示される充実時間と500 msの2つの音提示のマーカで挟まれた時間として示される空虚時間では、その主観的な時間が異なるという結果であった (Santi et al., 2005)。このことより、計時する客観的な持続時間は同じであるにも関わらず、刺激の物理的な特性のために主観的な時間の感じ方が異なることが示唆された。そのため本研究では先行研究の充実時間と同じものを表す連続音とそれを等間隔でon-offを繰り返すパルス音の2種類を比較した。

実験1から、連続音・パルス音の物理的な特性の効果よりもそれらの提示順序の効果が示唆された。実験2から、連続音とパルス音の物理的な特性の効果がないことが示唆された。先行研究 (Santi et al., 2005) と異なる結果になったことは、本研究で用いた連続音とパルス音の間の物理的な違いは充実時間と空虚時間の間の物理的な特性の違いと

比較すると小さなものであった可能性が考えられる。また、今回用いた音刺激の持つ特性には異なる変数が混在していた可能性が考えられる。例えば、音が提示されている時間については、連続音はパルス音の2倍の長さであるが、音のon-offについては、パルス音の方が多い。このような独立変数の混在のため、従属変数の変化が見えにくくなったと考えられる。

間隔二等分課題における指標としてPSEが用いられるが、時間知覚の情報処理モデル (Gibbon et al., 1984) の決定部から考えて、反応潜時はそれと対応した結果であることが予測できる。先行研究でも、2つのアンカーの幾何平均付近で反応潜時が延長するといわれている (Rodriguez-Girones & Kacelnik, 1998)。本研究の結果も多少のばらつきはあったが、それと同様の結果であり、トレーニング刺激として用いた2秒・8秒で反応潜時が短くなり、プローブ刺激として用いた3.2秒や4秒で長くなった。つまり、アンカーの幾何平均付近の音に対しては、選択の迷いの影響が大きくなった。そのため、左右どちらを選択するのかというレバーの選択率と併せて、レバーを押すのにどれだけ時間がかかるのかという反応潜時も時間的な判断における重要な指標であることが示唆された。

本研究で行った2つの実験において、算出したPSEが2秒と8秒の幾何平均である4秒よりも小さな値である傾向があった。また反応潜時についても2秒と8秒のトレーニング刺激に対しては短く、プローブ刺激の幾何平均である4秒もしくはそれよりも短い3.2秒で長くなった。これは実験中にラットの左から右への一方向のレバー押し方略の影響が考えられる。そのため、今後の研究では音刺激の長短と左右のレバー押しの対応についてカウンターバランスをとること、もしくは計時中はノーズポーク (Ho et al., 1995) など特定の行動に従事させ、計時終了とともに自由な反応ができるようにすることが必要である。

## 引用文献

Buhusi C. V. & Meck W. H. (2005). What makes us tick?  
: functional and neural mechanisms of interval timing.

*Nature Reviews Neuroscience*, **6**, 755-765.

Church, R. M., & Deluty, M. Z. (1977). Bisection of temporal intervals. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **3**, 216-228.

Gibbon, J., Church, R. M., & Meck, W. H. (1984). Scalar timing in memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **423**, 52-77.

Ho, M. Y., Al-Zahrani, S. S. A., Martinez, D. V., Cabrera, M. L., Bradshaw, C. M., & Szabadi, E. (1995). The role of the ascending 5-hydroxytryptaminergic pathways in timing behaviour: further observations with the interval bisection task. *Psychopharmacology*, **120** (2), 213-219.

Kraemer, P. J., Brown, R. W., Randall, C. K. (1995). Signal intensity and duration estimation in rats. *Behavioral Processes*, **44**, 265-268.

Meck, W. H. (1984). Attentional bias between modalities: effect on the interval clock, memory, and decision stages used in animal time discrimination. In: Gibbon, J., Allan, L.G. (Eds.), *Timing and Time Perception*, vol. 423. New York Academy of Sciences, New York, pp. 528-541.

Roberts, W. A., Cheng, K., & Cohen, J. (1989). Timing light and tone signals in pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **20**, 66-78.

Rodriguez Gironés, M. A., & Kacelnik, A. (1999). Response latencies in temporal bisection. *Time and the dynamic control of behaviour* (pp. 51-70). Hogrefe & Huber Publishers.

Santi A., Miki A., Hornyak S. & Eidse J. (2005). The perception of empty and filled time intervals by rats. *Behavioural Processes*, **70**, 247-263.

藤巻 峻・新保 彰大・松井 大・時 暁聴・神前 裕 (2015). 条件づけにおける時間 II—オペラント計時行動および時間学習の神経機構—, *基礎心理学研究*, **34** (1), 78-90.