

## ラットにおけるクロスモーダル知覚の検討

高橋 真

### 序 論

ヒトが環境から得る情報は必ずしも単一の感覚のモダリティ (modality) からとは限らない。視覚と聴覚、視覚と触覚、味覚と触覚など、複数のモダリティからの情報が統合され処理される。しかし、視覚・聴覚・嗅覚・味覚・触覚はそれぞれが個別のモジュール的に処理されているため、こうした情報がどこかの時点で統合されるかは、「結合問題 (binding problem)」として脳神経科学や認知心理学において重要なトピックになっている。結合問題を解明するための現象として、クロスモーダル知覚 (Cross-modal Perception) や感覚間統合と呼ばれる現象が重大な手がかりとなる。

Davenport, Rogers & Russel (1973) は、クロスモーダル知覚を、感覚モダリティ間で情報が抽出・交換される現象としている。ヒトのクロスモーダル知覚に関しては、心理物理学 (Psychophysics) 的な手法を用いて、空間・時間的一致などの要因が関連することが示されている (Calvert, Spence, & Stein, 2004; 和田・北川・大森, 2007; 北川・和田・加藤・市原, 2007; Spence, Sanabria, & Soto-Faraco, 2007)。また、<ba>を発音するときの口の動きに <ga> の音を同期させると <da> と聞こえる McGurk 効果 (McGurk & MacDonald, 1976) もクロスモーダル知覚の一つであるといえよう。

クロスモーダル知覚における空間・時間的一致や McGurk 効果は、必然的な関連性に基づいた感覚間の相互作用といえるが、モダリティ間の関連の必然性が少ない結びつきにおいてもクロスモーダル知覚は生じる。感覚間の結びつきの必然性が少ないクロスモーダル知覚の現象として、共感覚症 (synesthesia) が知られている。共感覚症とは、特定の知覚領域と別の知覚領域が結びつく現象である (Cytowic, 1993, Harrison, 2001; Ramachandran, & Hubbard, 2003; Mondloch & Maurer, 2004)。共感覚症として現れる結びつきはヒトによって異なる。

その中で、Ramachandran & Hubbard (2003) は、数字に色が自動的に結びついて投射される共感覚症からの知見を示している。

共感覚症は特殊な事例として知られているが、共感的な感覚モダリティ間の結びつきは、一般的にも見られる。例えば、日本語の「黄色い声」や「甘い声」のような比喻表現は、共感的なクロスモーダル知覚の一つといえる。比喻などで表現される感覚モダリティ間の結びつきは日本語に固有の表現ではない。「高い音」や「低い音」は英語では、“high pitch” や “low pitch” と表現される。また、「明るい音」や「暗い音」のような表現も文化に関わらず共通した現象である。

ヒトにおける共感的なクロスモーダル知覚に関して様々な研究が行われている。Bernstein & Edelman (1971) は、画面の上、もしくは、下に提示される刺激に対して、特定のボタンを押す弁別課題中に、高い音、もしくは、低い音が提示されると、反応時間が変化することを示した。その後の研究でも、同様の結果を示している (Melara & O'Brien, 1987; Ben-Artzi & Marks, 1995; Patching & Quinlan, 2002; Evans & Treisman, 2010)。Marks (1987) は同様の実験により、音の明暗 (高低) と光の明暗が一致するときには弁別課題中の反応時間が減少し、一致しないときは反応時間が増加することを示している (Martino & Marks, 1999; Melara, 1989; Evans & Treisman, 2010)。また、大きさの大きいものには低い音、小さいものには高い音の結びつき (Gallace & Spence, 2006; Evans & Treisman, 2010)、V字型と高い音の結びつき (Marks, 1987) が弁別課題の成績に影響を与えることを示している。こうした研究結果は、知覚の段階でモダリティ間の相互作用が生じることを示している。すなわち、共感的なクロスモーダル知覚は概念や思考といった高次認知においてだけでなく、比較的低次元認知活動において生じることを示している。

クロスモーダル知覚の研究はヒトの成人だけでなく、発達研究として乳幼児でも行われている。Marks, Hammeal, & Bornstein (1987) は9歳児が音の高い音と小さい物体、低音と大きい物体を組み合わせることができることを示している。その後、Mondloch & Maurer (2004) は、3歳児が音と大きさの大小を組み合わせることができることを示している。こうした研究は、共感的なクロスモーダル知覚が言語の発達とともに生じる可能性を示すが、言語獲得以前にも存在する可能性が示されている。Wagner, Winner, Cicchetti, & Gard-

ner (1981) は、刺激に対する注視時間の差を検出する選好注視法を用いて、11 か月児のクロスモーダル知覚を調べている。Wagner らは、乳児に上昇音と上向きの矢印、下降音と下向きの矢印を提示したときの刺激に対する注視時間と音と矢印の向きが一致しない組み合わせを提示したときの注視時間が異なることから、この月齢の乳児の段階で、クロスモーダル知覚が生じている可能性を示した。さらに、Walker, Bremner, Mason, Spring, Mattock, Slater, & Johnson (2010) は、3～4 か月児が、音の高低と位置の高低、および、音の高低と鋭角と鈍角の一致性を認識していることを、選好注視法を用いて示している。

共感覚的なクロスモーダル知覚の成立するメカニズムとして、経験や言語の発達などが考えられてきたが、現在のところ、神経結合の不要な結合の刈り込みが最も有力とされている (Spector & Maurer, 2009)。ただし、この刈り込みが成立する要因が経験によるものか、それとも、生得的な基準で決定されているかは明確でない。共感覚が現象として現れるヒトの場合、経験や生得的要因が混在しているため、この刈り込みがいかなる基準で行われているかを知るためには、ヒト以外の動物との比較研究が必要である。

ヒト以外の動物のクロスモーダル知覚は、異なる感覚での見本合わせ課題を用いて調べられてきたが、サル (Monkey) では同じ課題を解決したという証拠は得られていなかった (Ettlinger, 1967)。このことから、Ettlinger (1967) はクロスモーダル連合が言語獲得と密接な関係がある可能性を示唆している。

しかし、その後の研究で、ヒト以外の動物でもクロスモーダルの存在を示す証拠が得られている。Davenport は見本合わせ課題を用いた一連の実験で、チンパンジーやオランウータンなどの類人 (Great Ape) の視覚と触覚のクロスモーダルの連合を調べた (Davenport & Rogers, 1970; Davenport, Rogers & Russel, 1973)。Davenport が行った実験では、動物に見えない物体を見本刺激として触らせ、その後、比較刺激として視覚的に物体が提示されたとき、触った物体を同じ物体を選べるかどうかをテストした。その結果、チンパンジーやオランウータンが課題を解決できることを示した。

Davenport の研究はチンパンジーでもクロスモーダ的な表象が成立することを示しているが、ヒトで示されるような、自動的、かつ、共感覚的なクロスモーダル知覚である確証はない。しかし、近年、共感覚的なクロスモーダル知覚がチンパンジーで調べられた。Ludwig, Adachi, & Matsuzawa (2011) は、

黒色の見本刺激に対しては黒色の比較刺激を、白色の見本刺激に対しては白色の比較刺激を選択する見本合わせ課題中に、高音、もしくは、低音の音刺激が同時に提示された時の反応時間を、チンパンジーとヒトで比較した。その結果、チンパンジーもヒトと同様に、見本刺激が白色のときに高音、黒色のときに低音を提示されたときの反応時間が、そうでないときよりも短くなることを示した。これらの結果は、ヒトと同様にチンパンジーも共感覚的なクロスモーダル知覚をしている可能性を示している。

チンパンジーの研究により、ヒト以外にもクロスモーダル知覚が存在していることが示されているが、チンパンジーが手話 (American Sign Language) (Gardner & Gardner, 1969) や人口言語を用いた象徴的なコミュニケーション (Premak, 1976; Savage-Rumbaugh, 1986; 室伏, 1980; 松沢, 1991) を獲得できることが知られている (藤田, 1998)。チンパンジーが初歩的なヒト言語の獲得ができることを考慮するならば、Ettlinger (1967) が主張するように、クロスモーダル知覚とヒト言語獲得の能力は密接な関連が強いという結論が妥当なようでもあるが、必ずしもヒト言語の獲得と関連しない証拠も得られてきている。

Evans, Howell, & Westergaard (2005) は、フサオマキザルが、サルやヒトの発話の口の形と音声の対応を知覚していることを、選好注視法を用いて示している。こうした研究の成果は、チンパンジー以前の段階でクロスモーダル知覚が獲得された可能性を示している。

さらに、クロスモーダル知覚の発生がネズミ目まで遡ることができる可能性を示す研究もある。Garcia & Koelling (1966) は、ラットの嫌悪学習において、電気ショック - 光、吐き気 - 味の連合は成立するが、その逆の場合は成立しないことを示した。また、Over & Mackintosh (1969) は、ラットに明暗弁別学習から、音の大小の弁別学習に移行したときの成績により、ラットのクロスモーダル連合を調べた。その結果、明刺激から音の大きい刺激 (もしくは、暗刺激から音の小さい刺激) が正刺激 (正解となる刺激) となる群の弁別学習の学習速度が、刺激の組み合わせが一致しない群の学習速度よりも早くなることを示した。これらの結果は、ラットにおいてもクロスモーダル知覚が生じている可能性を示している。

さらに、モダール間の連合だけでなく、共感覚的なクロスモーダル知覚がネズミ目に存在する可能性も示されている。高橋・谷内・藤田 (2010) は、ヒトが

対応を感じる、テレビの砂嵐と音声的なノイズとの対応や、心停止時の心電図のように直線と純音の対応をラットが知覚するかどうかなを選好滞在法を用いて調べた。高橋らは、視覚的ノイズの動画と直線運動の動画を2つのモニターから同時に提示すると同時に、音声刺激(ホワイトノイズか1000Hzの純音)を提示し、音に一致するモニターと一致しないモニターに対する滞在時間を測定した。その結果、視覚的ノイズに関しては音が一致しているときと一致していない時で、滞在時間に差が生じることを示している。また、高橋・別役・玉井・谷内・藤田(2011)は老齢のハムスターでも調べた。その結果、ハムスターの場合は、ラットと同様に視覚的なノイズと音声的なノイズの対応だけでなく、直線運動と純音の間の対応も知覚していた。

先行研究から、ネズミ目においても、クロスモーダル知覚が存在する可能性が示されたが、それがヒトやチンパンジーと同じであるかどうかは、さらに詳細で、体系だった分析が必要である。なぜならば、Garcia & Koelling (1966) や Over & Mackintosh (1969) の研究は連合学習の成立により検討されているが、ヒトやチンパンジーと同じように自動的に想起されるものであるかどうかの確証がない。また、高橋らの研究は自動的な、共感覚的なクロスモーダル知覚の可能性を示しているが、比較対象が質的に異なる組み合わせであった。一方、ヒトやチンパンジーの先行研究は、同一次元内の相対的な違いでの共感覚的なクロスモーダル知覚である。

ヒトのクロスモーダル知覚の進化的起源がネズミ目まで遡れるかどうかを検証するためには、ヒトやチンパンジーで見られたクロスモーダル知覚がラットでも生じるかどうかを確認する必要がある。そこで、本研究では、ラットがヒトやチンパンジーと同じように、同一次元内の相対的に異なる違いにおいてもクロスモーダル知覚が生じるかどうかを、高橋らの先行研究で用いられた選好滞在法で調べた。

## 実験1 目的

ヒトでみられる明暗と音の高低、空間位置の高低と音の高低は、クロスモーダル知覚が生じるメカニズムについて、重要なヒントを与えることができる。音の高低は物理現象として正弦波のような周期的に変化する特徴を持つ。それと同様に、光の明るさも同様の特徴を持つ。一方、空間位置の上下に

関しては、そうした物理的特徴を持たない。そのため、直接的な結びつきは、明暗に対する音の高低の方が、空間位置に対する音の高低よりも強いと考えられる。すなわち、空間位置の高低と音の高低の結びつきは、言語という媒介を通して成立した可能性が高いと考えることができる。この仮説に基づくならば、ヒト以外の動物における共感覚的なクロスモーダル知覚は、明暗と音の高低の結びつきの方がより一般的にみられるかもしれない。

そこで、実験1ではヒトで見られる明暗と音の高低、空間位置の高低と音の高低の共通性をラットも知覚しているかどうかを調べた。実験1では、高橋ら(2010)のラットの先行研究の選好滞在法を用いて、共通性の一致する組み合わせと、一致しない組み合わせの刺激に対する滞在時間を計測した。

ラットがヒトと同じようなクロスモーダル知覚をしているならば、一致する組み合わせと一致しない組み合わせの刺激に対する滞在時間に違いが生じるはずである。また、クロスモーダル知覚の進化の過程において、言語が媒介になるものとそうでないものに分かれるのであれば、明暗と音の高低の知覚のみが見られると予測できる。空間位置と音の高低のクロスモーダル知覚において言語が媒介とならないならば、視覚刺激の性質に関わらず、滞在時間に差が生じると予測できる。

## 方 法

### 被験体

Wister系のアルビノラットのオス20個体を被験体として用いた。ラットは、実験開始の時点で80日齢であった。実験の開始に先行して10日間のハンドリングを5分ずつ行った。探索欲求を高めるため、ハンドリングの開始とともに、当初の体重の90から85%になるように摂食制限を始め、実験期間中その体重を維持した。節水制限は行わなかった。

ラットは金沢大学人間社会研究科の谷内准教授の研究室で飼育されており、明暗サイクルは12:12であった。ラットの飼育や実験は金沢大学の実験指針に従って行われた。

### 装 置

実験装置として、Y型走路 (Figure 1)、スピーカ内臓の19インチモニター2台、制御用のノートPCを用いた。

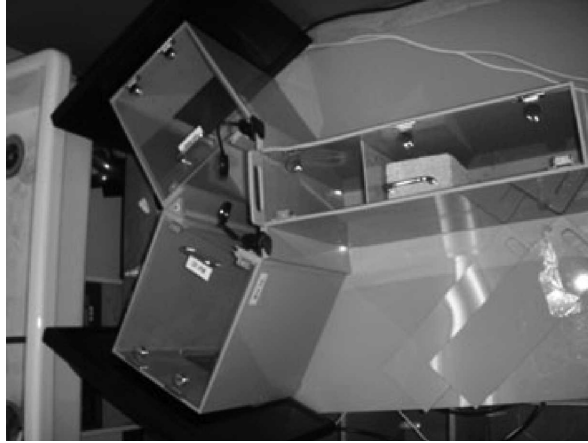


Figure 1. A picture of the apparatus used in Experiment 1 and 2.

Y型走路は幅10cm×長さ15cmのスタートボックス、幅20cm×長さ20cmの走路で構成されていた。装置壁面の高さは20cmであった。装置は壁面、および、床は中間灰色の亚克力素材であった。装置の天井部分は透明の亚克力素材でできていた。走路の先端には15cm×15cmの窓があり、そこにモニターを設置して刺激を提示した。スタートボックスの前方にはスライドドアが設置されており、そのドアが開くと、ラットは各走路内を探索することができた。

刺激の制御はノートPCで行った。ラットの行動を記録するために、ビデオカメラを装置上方に設置した。

## 刺 激

視覚刺激は空間刺激と明暗刺激の2種類があった。どちらの刺激も5分間提示された。視覚刺激の作成、制御はVisualBasic 2008で行った。

**空間刺激：**空間刺激は直径50pxの円が上下に運動する刺激であった。運動の距離は180pxで、2秒間で上方(または下方)に移動し、2秒で下方(または上方)に往復運動した。運動の方向は左右のモニターで逆であった。

**明暗刺激：**明暗刺激は400px×400pxの正方形領域の明るさが変化する刺激であった。明暗刺激では、領域内の色が2秒間で、RGB値で0から255(もしくは逆)に変化し、2秒間で元の色に戻った。変化の方向は左右のモニターで逆であった。

**聴覚刺激：**聴覚刺激は視覚刺激と同時にモニター内臓のスピーカから提示され

た。聴覚刺激は、4秒間で50Hzから400Hzに増加、減少するスイープ音を用いた。聴覚刺激の最大音量は、80dbであった。刺激の作成は、WaveGene(<http://www.ne.jp/asahi/fa/efu/>)により作成された。

### 手 続 き

2つのモニタの内、一方は白、あるいは、空間位置の上昇から開始する刺激、もう一方は、逆の方向に変化する刺激を5分間対提示した。聴覚刺激は、2つのモニタに内臓のスピーカから提示した。視覚刺激の変化の上昇・下降と聴覚刺激の変化の上昇・下降が一致する場合を一致刺激、一致しない場合を不一致刺激とした。

実験は、まずラットをスタートボックスに入れ、スライドドアを開放した。スライドドアの開放と同時に視覚刺激、聴覚刺激の提示を行った。刺激が提示される5分間で、ラットは装置内を自由に探索することができた。刺激提示の終了とともにラットを装置内から取り出した。

実験は1日1試行として、4日間、すなわち、4試行行った。半数のラットは前半2試行で視覚刺激として空間刺激が、後半2試行で明暗刺激が視覚刺激として提示された。残りの半数は前半2試行で明暗刺激が、後半2試行で空間刺激が視覚刺激として提示された。左右のどちらに一致刺激が提示されるかは、試行間、および、個体間でカウンターバランスを取った。

### コーディング

撮影したビデオにより滞在時間を計測した。ラットが各走路の入り口に体の半分以上が入った時点からコーディングを開始し、ラットの体の半分以上が走路の入り口から出たときにコーディングを終了し、そのフレーム数を計測した。ビデオは1秒間30フレームで録画した。

### 結果と考察

個体ごとに一致刺激が提示された走路内に滞在した時間と不一致刺激が提示された走路内に滞在した時間を測定した。総探索時間に対する各走路への滞在時間の割合を算出し、平均値を算出した。第1試行の探索の結果を Figure 2に示す。

第1試行の探索における、滞在時間の平均値に関して、刺激の種類(空間 vs 明暗)×聴覚刺激との組み合わせ(一致 vs 不一致)の分散分析を行った。その



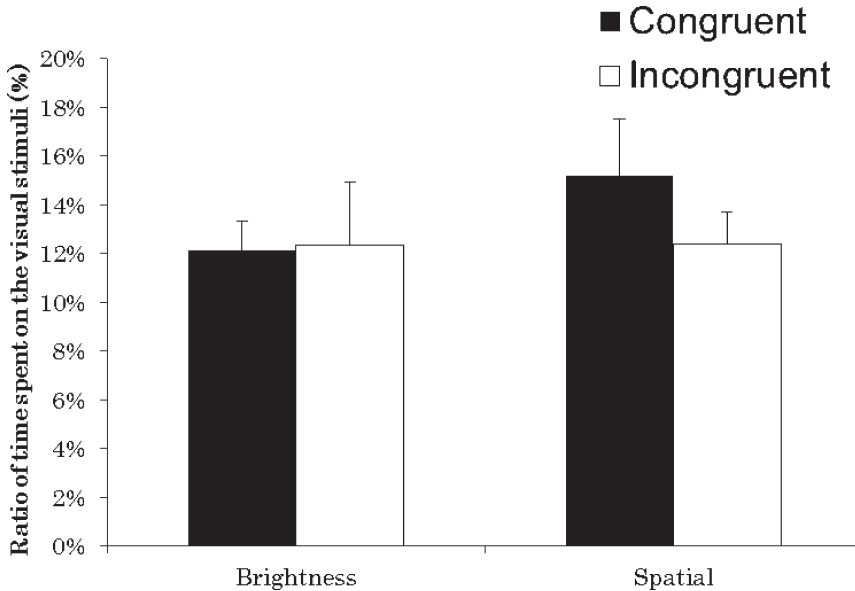


Figure 2. Averaged percentage of time spent on the visual stimuli in the first session in Experiment 1.

Note: Error bar shows standard error.

結果、刺激の種類の主効果 ( $F [1, 18]=0.42, p>0.10$ )、聴覚刺激の組み合わせの主効果 ( $F [1, 18]=0.74, p>0.10$ )、および、それらの相互作用 ( $F [1, 18]=1.03, p>0.10$ )は見られなかった。全4試行に関しても同じ分析を行ったが、刺激の主効果、組み合わせの主効果、および、それらの相互作用も見られなかった。

これらの結果から、ラットがヒトと同じようなクロスモーダル知覚を示す証拠は得られなかった。しかし、こうした結果は、視覚刺激と聴覚刺激の変化の方向以外の一致性が影響を与えた可能性がある。本実験では連続的に変化する刺激を用いた。その場合、変化方向の一致・不一致とともに、変化の有無という意味での共通性も同時に知覚する可能性がある。Wagner, Winner, Cicchetti, & Gardner (1981)の研究では、本実験で用いたような連続的に変化する明暗と音、および、空間と音の視覚-聴覚間のクロスモーダル知覚が示されている。しかし、その提示時間は10秒程度であった。一方、本実験のように5分間の間、連続的に変化する刺激が提示され続けると、運動の方向の効果が消失し、運動の

有無の一致性のみが強調される可能性がある。ラットは空間的な高低や明暗と音の高低という方向性と同時に変化の有無の共通性を知覚してがために、滞在時間に差が生じなかった可能性がある。

## 実験 2

実験 1 ではラットがヒトと同様のクロスモーダル知覚を示さなかったが、その原因として、視覚刺激と聴覚刺激の変化の有無に関する共通性を知覚した可能性がある。こうした可能性を排除するためには、変化の方向がより明確な刺激の提示が必要である。そこで、実験 2 では、視覚刺激、聴覚刺激ともに連続的に変化する刺激ではなく、離散的に変化する刺激を用いて、ラットがヒトと同様のクロスモーダル知覚をするかどうかを調べた。

## 方 法

### 被 験 体

実験 1 と同じラット 20 個体を被験体として用いた。

### 装 置

実験 2 で用いた装置は実験 1 と同じであった。

### 刺 激

聴覚刺激として、400Hz の純音と 1600Hz の純音を 1 秒ごとに交互に提示した。音の大きさは約 80db であった。

空間刺激として、刺激窓の上部・下部に直径 50px の円刺激を 1 秒ごとに交互に提示した。一致刺激は、400Hz の純音に対し下部に、1600Hz の純音に対し上部に出現する刺激とした。不一致刺激はその逆とした。

明暗刺激として、400px×400px の正方形領域に、ライトグレー（RGB 値で 210）とダークグレー（RGB 値で 80）を 1 秒ごとに交互に提示した。一致刺激は、400Hz の純音に対しダークグレーが、1600Hz の純音に対しライトグレーが提示される刺激とした。不一致刺激はその逆とした。

### 手 続 き

半数のラットは空間刺激を、残りの半数のラットは明暗刺激を 1 試行のみ経験した。一致刺激の左右の位置は個体間でカウンターバランスを取った。それ以外の手続きの詳細は実験 1 と同じであった。

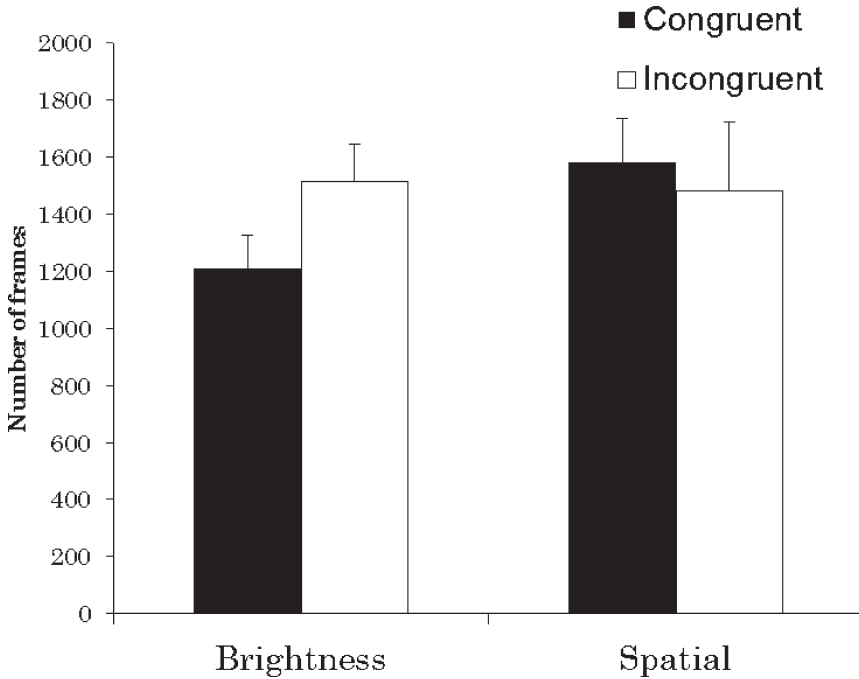


Figure 3. Averaged number of frames of the first session in Experiment 2.

Note: Error bar shows standard error.

## 結果と考察

個体ごとに一致刺激が提示された走路内に滞在した時間と不一致刺激が提示された走路内に滞在した時間（ビデオフレーム数）を測定し、平均した。その結果を Figure 3に示す。

刺激の種類（空間 vs 明暗）×聴覚刺激との組み合わせ（一致 vs 不一致）の分散分析を行った。その結果、刺激の種類の主効果（ $F [1, 18]=2.74, p > 0.10$ ）、聴覚刺激の組み合わせの主効果（ $F [1, 18]=0.00, p > 0.10$ ）、および、それらの相互作用（ $F [1, 18]= 0.56, p > 0.10$ ）は見られなかった。

しかし、Figure 3の結果では、いくらかの差が生じている可能性がある。そこで、空間刺激、明暗刺激それぞれの一致刺激・不一致刺激の滞在時間の平均値に関して個別に対応のある  $t$  検定を行った。その結果、空間刺激においては有意差が見られなかった（ $t(9)=0.09, p > 0.10$ ）が、明暗刺激に対してはわずか

ではあるが差がある傾向が見られた ( $t(9)=1.83$ ,  $p=0.10$ )。

実験2においても、実験1と同様に、ラットがヒトと同じようなクロスモーダル知覚をしている証拠は得られなかった。しかしながら、個別に行った  $t$  検定では、明暗刺激に関して、一致刺激と不一致刺激の間に差のある傾向が見られた。このことから、音の高低と明るさの明暗のクロスモーダル知覚はヒトに限らず、ラットでも生じている可能性はあるが、本実験で用いた手続きにおいては、それが十分に検知できなかった可能性を示しているかもしれない。

### 総合考察

本実験では、ヒトが音の高低と空間位置の高低、明るさの明暗と音の高低の間で知覚する共通性を、ラットも同様に知覚するかどうかを検証した。実験2において、光の明暗と音の明暗の間に、ラットもヒトと同じような知覚をしている可能性をわずかながら示したものの、明確な証拠を得ることができなかった。

この結果は、Ludwig ら (2011) が示したチンパンジーの結果とは異なった。このことから、クロスモーダル知覚は、ヒトとチンパンジーの祖先の段階で獲得された認知能力である可能性を示すかもしれない。その一方で、高橋ら(2010)や Over & Mackintosh (1969) のラットの先行研究ではクロスモーダル知覚の可能性が示されていることは、本研究の結果とは一致しない。

ラットの先行研究との違いが生じた一つの理由として、共通性が生じる次元が考えられる。高橋らの先行研究では、高橋の先行研究では、直線運動と純音、ノイズとホワイトノイズの組み合わせにより、ラットがモダリティ間の共通性を知覚している可能性を示している。高橋らの研究の共通性は、異なる次元の質の違いの検出を示している。一方、本研究では、音の高低や、光の明暗・空間位置の上下といった同次元内での相対的な違いの検出であった。こうした場合、質的な違いよりも量的な違いの検出が難しいために異なる結果が生じたと考えられる。

第2の理由として、クロスモーダル知覚を検出するための課題が考えられる。Ludwig et al (2011) は弁別課題解決中の音による妨害・促進効果により、Over & Mackintosh (1969) はモダリティ間の異なる弁別課題の促進効果によりモダリティ間の共通性の知覚の効果を示していた。一方、本研究では選好によりモダリティ間の共通性の知覚を検出しようと試みていた。クロスモーダルが生じ

る知覚がきわめて短い時間で生じるならば、その効果は極めて小さいと考えることができる。こうした微細な違いを検出するには、個体内での変動や個体間での変動が大きくなる選好滞在課題では適切ではない可能性がある。また、好みの効果として、一致するものを好むか、一致しないものを好むかを事前に定義することができない。こうした違いが、本研究と先行研究との違いをもたらした可能性がある。

第3の理由として、用いた刺激、特に、音刺激の強度に問題があるかもしれない。本研究の刺激の選定は、筆者の耳で聞いた時の対応で決定した。すなわち、人間の耳においてクロスモーダル知覚が生じるであろう音の高さを決定したことになる。しかし、音の聞こえる大きさと強さの範囲である可聴範囲は種によって異なる。人間可聴範囲は、20~20000Hzであるが、最も感度が良いのは1000~10000Hz付近である。一方、本研究で用いたような Wister 系のアルビノラットの可聴範囲は、250Hz~50000Hzであるが、感度が良いのは8000~40000Hz付近である (Kelly & Masterton, 1977)。実験1で用いた50~400Hz、実験2で用いた400Hzと1600Hzの音の場合、少なくとも60db以上が必要となる。実験1、実験2ともに音量が80db程度の音が出ていたため、これらの音がラットに聞こえていないわけではないが、人間の耳で聞くよりも聞こえ難い可能性がある。そのため、本研究においては、音刺激が小さかったために、ラットが視覚・聴覚の共通性を知覚していなかった可能性がある。

本研究では上述のような問題点があったため、ラットにはヒトやチンパンジーと同じようなクロスモーダル知覚が進化していないということは確定できなかった。また、実験2の明暗と音の高低のクロスモーダル知覚において、統計的に有意ではないが、わずかながら差のある傾向が見られた。このことから、刺激や検出方法などの改善によって、ラットのクロスモーダル知覚を証明できるかもしれない。そのため、さらなる研究が必要であろう。

## 展 望

本研究では上述した手続き上の問題点で、ラットのクロスモーダル知覚の証拠を得られなかった可能性がある。こうした問題を解決したうえで、ラットのクロスモーダル知覚を再検討する必要がある。チンパンジーの先行研究とより直接的な比較をするためには、類似の課題での検討が必要である。ただし、先

行研究で用いられたチンパンジーは様々なプロジェクトにより、見本合わせ課題などに精通した個体であった。こうしたチンパンジーと完全に同じ課題をラットで行うのは難しい。特に、視覚刺激を用いた見本合わせ課題をラットに学習させるのは難しい。そこで、より単純な条件性弁別課題を利用することが望ましいであろう。例えば、T型迷路を用い、アームの分岐点に刺激を提示し、黒であれば右、白であれば左といった条件性位置弁別課題であれば、ラットでも可能である。こうした条件性位置弁別課題遂行中に音刺激を提示したときの正答率の変化、および、反応時間の変化により、ラットとチンパンジーやヒトとの比較が可能であろう。

## 謝 辞

本研究は金沢大学人間社会環境研究科の谷内通准教授との共同研究として行われました。研究に際し、被験体であるラット、実験施設等の提供、および、貴重な助言をいただきました、谷内通准教授に深く感謝の意を表します。

## 引用文献

- Ben-Artzi, E., & Marks, L. E. (1995). Visual-auditory interaction in speeded classification: Role of stimulus difference. *Perception & Psychophysics*, *57*, 1151-1162.
- Bernstein, I. H., & Edelman, B. A. (1971). Effects of some variations in auditory input upon visual choice reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, *87*, 241-247.
- Calvert G. A., Spence, C., & Stein, B. E. (Eds.) (2004). *The handbook of multisensory processing*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Cytowic, R. E. (1993). The Man Who Tasted Shapes. 山下篤子(訳) 共感覚者の驚くべき日常 2002 草思社
- Davenport, R. K. & Rogers, C. M. (1970). Intermodal equivalence of stimuli in apes. *Science*, *168*, 279-280.
- Davenport, R. K., Rogers, C. M., & Russell, I. S. (1973). Cross-modal perception in apes. *Neuropsychologia*, *11*, 21-28.
- Ettlinger, G. (1967). Analysis of cross-modal effects and their relationship to language. In F. L. Darley & C. H. Millikan (Eds.), *Brain mechanisms underlying speech and language*. New York: Grune & Stratton.
- Evans, T. A., Howell, S., & Westergaard, G. C. (2005). Auditory-visual cross-

- modal perception of communicative stimuli in Tufted Capuchin Monkeys (*Cebus apella*). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **31**, 399-406.
- Evans, K. K., & Treisman, A. (2010). Natural cross-modal mappings between visual and auditory features. *Journal of Vision*, **10**, 6-12.
- 藤田和生 (1998) 比較認知科学への招待. ナカニシヤ出版, 京都.
- Gallace, A., & Spence, C. (2006). Multisensory synesthetic interactions in the speeded classification of visual size. *Perception & Psychophysics*, **68**, 1191-1203.
- Garcia, J., & Koelling, R. (1966) Relation of cue to consequence in avoidance learning. *Psychonomic Science*, **4**, 123-124
- Gardner R. A., & Gardner, B. T. (1969) Teaching sign language to a chimpanzee. *Science*, **165**, 664-672.
- Harrison, J. (2001). *Synaesthesia: The Strangest Thing*. Oxford University Press.  
松尾香弥子(訳) 2006 共感覚者—もっとも奇妙な知覚世界 新曜社.
- Kelly, J. B., & Masterton, B. (1977). Auditory sensitivity of the albino rat. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, **91**, 930-936.
- 北川知利・和田有史・加藤正晴・市原茂 (2007) 感覚間相互作用 大山正・今井省吾・和気典二(編) 新編感覚知覚心理学ハンドブック Part 2 誠信書房.
- Ludwig, V. U., Adachi, I., & Matsuzawa, T. (2011). Visuoauditory mappings between high luminance and high pitch are shared by chimpanzees (*Pan troglodytes*) and humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **108**, 20661-20665.
- Marks, L. E. (1987). On cross-modal similarity: Auditory-visual interactions in speeded discrimination. *Journal of Experimental Psychology and Human Perception Performance*, **13**, 384-394.
- Marks, L. E., Hammeal, R. J., & Bornstein, M. H. (1987). Perceiving similarity and comprehending metaphor. *Monogram Society Research Children Development*, **52**, 1-102.
- Martino, G., & Marks, L. E. (1999). Perceptual and linguistic interactions in speeded classification: Tests of the semantic coding hypothesis. *Perception*, **28**, 903-923.
- 松沢哲郎 (1991) チンパンジーから見た世界. 東京大学出版, 東京.
- McGurk, H., & MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, **282**, 403-403.
- Melara, R. D. (1989). Dimensional interaction between color and pitch. *Journal of Experimental Psychology and Human Perception Performance*, **15**, 69-79.
- Melara, R. D., & O'Brien, T. P. (1987). Interaction between synesthetically corre-

- sponding dimensions. *Journal of Experimental Psychology: General*, **116**, 323-336.
- Mondloch, C. J., & Maurer, D. (2004). Do small white balls squeak? Pitch-object correspondences in young children. *Cognitive Affect Behavioral Neuroscience*, **4**, 133-136.
- 室伏靖子 (1980) チンパンジーの言語の習得とその脳内機構に関する研究. 文部省科学研究費補助金研究成果報告書.
- Over, R., & Mackintosh, N. J. (1969). Cross-modal transfer of intensity discrimination by rats. *Nature*, **224**, 918-919.
- Patching, G. R., & Quinlan, P. T. (2002). Garner and congruence effects in the speeded classification of bimodal signals. *Journal of Experimental Psychology and Human Perception Performance*, **28**, 755-775.
- Premak, D. 1976. *Intelligence in ape and man*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale.
- Ramachandran, V. S., & Hubbard, E. M. (2003). Hearing colors, tasting shapes. *Scientific American*, **288**(5), 52-59.
- Savage-Rumbaugh, E. S. (1986). *Ape language: From conditioned response to symbol*. Columbia University Press, New York.
- Spector, F., & Maurer, D. (2009). Synesthesia: A new approach to understanding the development of perception. *Developmental Psychology*, **45**, 175-189.
- Spence, C., Sanabria, D., & Soto-Faraco, S. (2007) Intersensory "Gestalten and Crossmodal Scene Perception". In K. Noguchi (Ed.), *The Psychology of Beauty and Kansei: A New Horizon for Gestalt Perception*. Fuzambo International, Tokyo. Pp. 519-579.
- 高橋真・谷内通・藤田和生 (2010) ラットはクロスモーダル知覚をするか? 動物心理学研究, **60**, 187.
- 高橋真・別役透・玉井智之・谷内通・藤田和生 (2011) ハムスターはクロスモーダル知覚をするか? 動物心理学研究, **61**, 213.
- 和田有史・北川知利・大森馨子 (2007) 多感覚情報の知覚体制化“五感で感じる” 野口薫(編) 美と感性の心理学—ゲシュタルト知覚の新しい地平— 富山房インターナショナル Pp. 127-163.
- Wagner, S., Winner, E., Cicchetti, D., & Gardner, H. (1981). "Metaphorical" mapping in human infants. *Child Development*, **52**, 728-731.
- Walker, P., Bremner, J. G., Mason, U., Spring, J., Mattock, K., Slater, A., & Johnson, S. P. (2010). Preverbal infants' sensitivity to synaesthetic cross-modality correspondences. *Psychological Science*, **21**, 21-25.