

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：34301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25870888

研究課題名(和文) 共感覚の進化的基盤を探る

研究課題名(英文) Study of evolutionary basis in Synesthesia

研究代表者

高橋 真 (TAKAHASHI, Makoto)

大谷大学・文学部・講師

研究者番号：80508424

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：共感覚とは、ある刺激に対して通常感覚だけでなく、別の感覚が生じる知覚現象である。共感覚の進化的基盤を明らかにするため、本計画ではヒト以外の種(ラットとキンギョ)を調べた。視聴覚のノイズのような直接的な共通性をキンギョが知覚しているかどうかを調べたところ、キンギョもヒトやラットと同様に視聴覚のノイズに共通性を知覚していることが明らかになった。明暗の音といった間接的な共通性をラットが知覚しているかを調べたところ、ラットもヒトやチンパンジーと同様の共通性を知覚していることが明らかになった。これらの結果から、共感覚的な知覚の基盤は言語が出現する前に存在する可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：Synesthesia is a condition that stimulation of one sense involuntarily evokes an additional arbitrary stimulation of another sense. To explore the evolutionary basis of synesthesia, I examined for a non-human species (rats and goldfish). I studied whether goldfish perceived a commonality mediated by the physical property between auditory noise and visual noise. The result of an experiment showed that goldfish perceived the commonality in the audio-visual noise, like human and rats. Bright sound or dark sound is an expression combined with visual and auditory sensory modality. The commonality would not be mediated by the physical property. I studied whether rats perceived a commonality in brightness of sound and color. The result showed that rats would perceive the commonality of sound and color, like human and chimpanzees. These results suggest that the synesthesia-like perception would have evolved before primates.

研究分野：比較認知科学

キーワード：共感覚 比較研究 ラット キンギョ

1. 研究開始当初の背景

共感覚とは、ある刺激に対して通常感覚(e.g. 視覚)だけでなく、別の感覚(e.g. 聴覚)が生じる知覚現象である。特殊な共感覚は共感覚症と呼ばれる。共感覚症の事例としては、数字を見たとき、その数字には色がついていないにもかかわらず、その数字に色を投射してしまう症状が知られている(Ramachandran, 2003)。共感覚症が成立するメカニズムとして、特殊な経験や言語能力との関連性が提唱されてきたが、近年の研究から、発達途上における脳神経の不要な結合の刈り込みが関連するとする説が有力となっている(Spector & Maurer, 2009)。

共感覚症のような特殊なものではなく、一般的な人においても、共感的な知覚が知られている。例えば、「黄色い声」や「高音・低音」、「明るい声・暗い声」といった比喩表現は共感覚が基盤になっていると考えられる。

ヒト成人による精神物理学的な測定により、音と空間位置の高低(Bernstein & Edelstein, 1971)、音と光の明暗(Martino & Marks, 1999; Melara, 1989; Evans & Treisman, 2010)、音と大きさの大小(Gallace & Spence, 2006; Evans & Treisman, 2010)など、共感的な知覚が存在することが示されている。こうした共感的な知覚は成人だけでなく、言語獲得前の乳児期においても見られることが示されている(Walker, Bremner, Mason, Spring, Mattock, Slater, & Johnson, 2010)。

ヒト以外の動物において、ヒトと同様の共感的な知覚を明確に示す研究として、チンパンジーの研究がある。Ludwig, Adachi, & Matsuzawa(2011)はチンパンジーがヒトと同じような音と光の明暗に関する共感的な知覚を示している。また、Over & Mackintosh (1969)は、音の大小弁別から光の強弱弁別において学習の転移が生じることを示している。Over & Mackintoshの結果は、間接的ながらラットにおいても共感的な知覚が生じている可能性を示していると言えよう。

ヒトはテレビの砂嵐(視覚的ノイズ)と音声ノイズ、直線運動と純音の対応を感じる。こうした知覚も共感的な知覚と考えられる。このような知覚をしている場合、視覚刺激と聴覚刺激の組み合わせが一致しないときに違和感が生じる。こうした違和感を動物が知覚しているかについて滞在時間を指標(選好滞在法)として調べてきた。その結果、若齢のラット(高橋・谷内・藤田, 2009, 2010)と老齢のハムスター(高橋真・別役透・玉井智之・谷内通・藤田和生, 2011)が、視覚的ノイズと聴覚的ノイズの間に共通した知覚を同時に想起している可能性が示された。

さらに、同じ選好滞在法を用いて、音の高低と光の明暗、および、音の高低と空間位置の高低の間のラットの共感的な知覚を調べた。その結果、これらの組み合わせにおいて

ラットが共感的な知覚をしている可能性は得られなかった(高橋, 2013)。

2. 研究の目的

共感覚として生じる刺激の組み合わせとして、以下の3つのパターンに分けることができる。(A) 情報伝播特性に直感的な類似点があるもの、(B) 情報伝播特性に間接的な類似点があるもの、(C) ヒトの文化(後天的な経験)により成立するもの。

これらの特性に基づくならば、それぞれの組み合わせの共感覚が獲得された時点が異なると想定できる。

(A)の直感的な結びつきは、生物が水中で生活した時点ですでに獲得されているかもしれない。なぜならば、音の刺激の伝達とともに、水も動くためにその視覚像も同様の変化が生じると考えることができる。すなわち、視聴覚のノイズのような共感覚はこの時点で生じると考えることができる。

(B)の間接的な結びつきは、すでに獲得された共感的な結びつきをもとにしてマッピングされることで成立するかもしれない。こうした結びつきは象徴的な機能を持つため、ヒト言語のような象徴的な刺激の結びつきを行うようになった時点で獲得されたと考えることができる。

上記の仮説を検証するためには、水中で生活する種、陸上で生活するが象徴的なコミュニケーションを行わない種、および、ヒトのような象徴的なコミュニケーションを行う種でそれぞれの特性に従った共感覚が生じているかどうかを調べる必要がある。

そこで、本計画では、魚類のキンギョ、ネズミ目のラット、および、ヒトを比較することで、上述のモデルを検証した。

3. 研究の方法

3.1 キンギョにおける共感覚

高橋らの研究から、物理的特性に対応があるため直観的に対応関係が見える刺激の組み合わせ(視覚的ノイズと聴覚的ノイズ)は哺乳類の段階で共通して進化している可能性が示されている。これらの特性が、動物が水中生活をする段階で獲得されているならば、魚類でも見られるはずである。そこで、キンギョを用いて、その可能性を検討した。被験体

キンギョ(ワキン)12個体を実験に用いた。

装置

T型の走路のある水槽(40cm×25cm)、モニタ(22インチ)の液晶モニタ、水中スピーカー(UA-30, UETAX社製)を用いた(図1)。水槽内のT型走路の基部(幅15cm、長さ15cm)はスタート位置とし、分岐の後の左右の走路はそれぞれ幅10cm、長さ10cmとした。モニタは水槽の長辺に接しており、左右の走路内に刺激を提示した。キンギョの反応を取得するため、走路の基部と左右の走路の分岐点に光ファイバセンサ(FU-A100, キーエンス社製)を設置した。

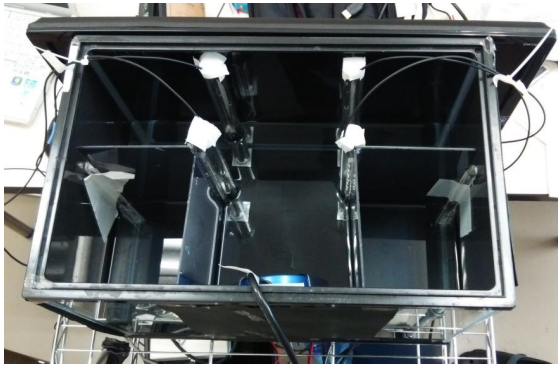


図 1 実験装置

刺激

視覚刺激として 10pixel のランダムドットパターン（視覚的ノイズ）と直線運動を繰り返す四角形（ライン）を用いた。それぞれの刺激は 360pixel × 300pixel の幅の領域に提示した。

聴覚刺激として、ホワイトノイズ（聴覚的ノイズ）、1000Hz の純音を用いた。水のない状態でホワイトノイズは 78db、純音は 87db であった。

手続き

キンギョに装置内を 5 分間自由に探索させた。その際、2 種類の視覚刺激（視覚的ノイズとライン）と一種類の聴覚刺激（聴覚的ノイズか純音）を提示した。

半数のキンギョには聴覚刺激として聴覚的ノイズを提示し、左右の視覚刺激の位置を入れ替えて 2 試行の自由探索を行った。その後、聴覚刺激を純音として提示し、左右の刺激位置を入れ替えた自由探索を 2 試行行った。残りの半数は逆の順番で自由探索を行った。したがって、それぞれのキンギョは 4 試行の自由探索を行った。

聴覚刺激として聴覚的ノイズが提示されているときは視覚的ノイズを一致（Congruent）、ラインを不一致（Incongruent）刺激とした。純音が提示されているときはラインを一致刺激、視覚的ノイズを不一致刺激とした。それぞれの刺激に対する滞在時間を計測した。

3.2 ラットにおける明暗の共感覚

高い音に対して明るい音、低い音に対して暗い音といった表現は異なる知覚モダリティに対して同じ表現を当てはめたものである。こうした表現も共感覚的である。この組み合わせはそれぞれの強さという媒介を通してつながっている。したがって、直接的なつながりというよりも間接的なつながりというべきである。こうした知覚はチンパンジーにおいて生じることが示されている（Ludwig, Adachi, & Matsuzawa, 2011）がラットでは示されていない。そこで、ラットにおいても共感覚的な知覚が生じているかどうかを調べた。

被験体

生後約 70 日の Wister 系のラット 12 個体

（ ）を用いた。

装置

T 型の走路を用いた（図 2）。

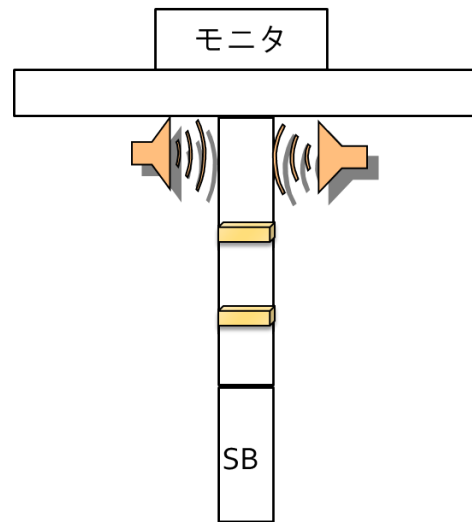


図 2 T 型走路の模式図

走路の左右の分岐点の部分に 10 cm 四方の窓を開いており、そこに 19 インチのモニタを設置して刺激を提示した。走路はスタートボックス（幅 10.5 cm、長さ 30 cm、高さ 15 cm）、走路（幅 10.5 cm、長さ 80 cm、高さ 15 cm）、左右のアーム（幅 10.5 cm、長さ 45 cm、高さ 15 cm）で構成した。スタートボックスの出口にはギロチンドアを設置し、その開閉により試行の開始を制御した。走路内部の 2 か所にハードルを設置した。左右の走路の端には餌場があり、そこに報酬として 45 mg のミルクペレット 1 粒を置いた。各走路の餌場、および、スタートボックスの出口にはマイクロスイッチを設置し、そのスイッチにより試行のスタートと終了、および、走行時間の計測を行った。装置の左右にスピーカを設置し、そのスピーカにより音刺激の提示を行った。

刺激

明るい視覚刺激として白色、暗い視覚刺激として黒色を用いた。それぞれの視覚刺激は高さ 300pixel 幅 300pixel とした。それぞれの色は、RGB 値の最高値（255）と最低値（0）とした。聴覚刺激として 5000Hz の純音（明るい音）と低い音（暗い音）を用いた。5000Hz の純音は 93db、1000Hz の純音は 87db）であった。

手続き

訓練として視覚刺激のみの条件性弁別の訓練を行った。半数のラットは黒色の時に右、白色の時は左のアームが正解となるように訓練した。残りの半数はその逆とした。

装置に順化させるために 5 日間の予備訓練を行った。最初は 5 分間の自由探索をさせた。この時、装置内の様々な場所に餌を置いた。その後、左右のそれぞれの位置に対して、10 試行の餌探索を行わせる予備訓練を 2 日間実施した。

予備訓練の終了後、訓練を行った。訓練開始から 5 セッションは 1 セッション 24 試行

の訓練を行い、それ以降は 1 セッション 32 試行の訓練を行った。この訓練を 3 セッション連続で 75%以上の正答でそのうちの 1 セッションの正答が 80%以上か、2 セッション連続で 85%以上正答するまで行った。

訓練の学習基準到達後、テストを行った。テストは 1 セッション 40 試行で 4 セッション行った。最初の 10 試行はウォームアップ試行として、訓練と同じであった。残りの 30 試行のうち、10 試行をベースライン試行として訓練と同じ試行を、残りを一致試行と不一致試行としてそれぞれ 10 試行ずつ行った。一致試行では視覚刺激に一致する音刺激（黒色に対して 1000Hz の純音、白色に対し 5000Hz の純音）を提示した。不一致試行では視覚刺激に対し一致しない音（黒色に対し 5000Hz の純音、白色に対し 1000Hz の純音）を提示した。一致試行・不一致試行・ベースライン試行の提示順番はランダムに配列した。

テスト試行における正答率、および、反応時間を測定した。ラットがヒトやチンパンジーと同じような知覚を行っている場合、不一致試行の反応時間や正答率が低下することが予測できた。

4. 研究成果

4.1 キンギョにおける共感覚

キンギョがそれぞれの視覚刺激に対して 1 訪問当たりの滞在していた時間の中央値を算出し、それを平均した。その結果を図 3 に示す。図内のエラーバーは標準偏差を示す。

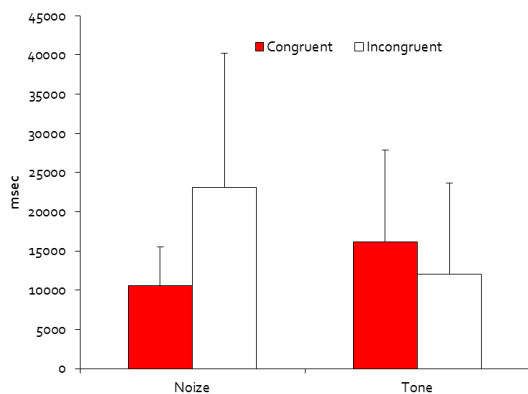


図 3 1 回あたりの滞在時間の中央値の平均

提示された音声×視覚刺激の一致・不一致×セッションの 3 要因の分散分析を行った。その結果、音声×視覚刺激の一致・不一致の交互作用が統計的に有意であった ($F[1, 10] = 6.20, p = 0.03$)。さらに、下位検定を行った結果、ノイズ音声提示されているときのみ、刺激の一致・不一致の効果が見られた ($F[1, 10] = 7.04, p = 0.024$)。この結果は、ノイズが流れている場合に、不一致刺激に対する探索時間が長くなっていることを示す。純音の時にこうした効果が見られなかったことから単にノイズ音声の時に探索時間が増加したわけではないことを示す。いうなれば、ノイズ音声に一致しない刺激に対して違和感が

生じたために、不一致刺激に対しての探索が増加した可能性を示す。

ノイズ音声に対して不一致刺激に生じる違和感はラットやヒトの結果と一致する（高橋・谷内・藤田, 2009, 2010）。したがって、キンギョもヒトや哺乳類と同様の共感覚的な知覚を生じさせていることを示唆する。これらの知見を総合するならば、視聴覚のノイズの共通性は魚類の段階で獲得された知覚様式が基盤になっている可能性を示す。

4.2 ラットにおける明暗の共感覚

明暗の条件性弁別における音提示の影響について調べた。弁別の効率性をもとに分析するため、正答した時の反応時間を正答率で割った値を効果量として算出した。その結果を図 4 に示す。図 4 では、一致条件の場合を Congruent、不一致条件の場合を Incongruent として示す。図内のエラーバーは標準偏差を示す。

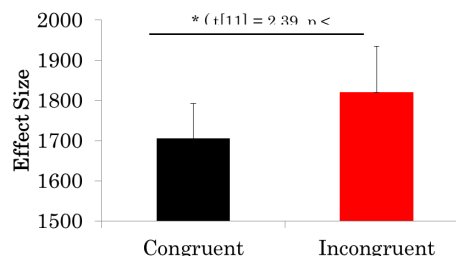


図 4 テスト条件ごとの効果量の平均

条件により効果量が統計的に異なるかどうかを検証するため、対応のある t 検定を行った。その結果、Incongruent 条件の効果量が有意に高くなった ($t[11] = 2.39, p < 0.05$)。この結果は、不一致条件においては音がある場合に探索効率が悪くなることを示す。すなわち、視覚刺激と音刺激が一致しないときは音が妨害効果をもたらすことを示す。

この結果はチンパンジーの結果と一致する。すなわち、ラットにおいても、明るい音や暗い音といった異なる刺激モダリティに対して同じ要素をマッピングされている可能性を示す。このことから、比較的間接的な共感覚様式はラットの段階から獲得された知覚様式である可能性が示された。先行研究のチンパンジーが言語訓練の経験があるのに対し、ラットは言語訓練の経験がない。したがって、この知覚様式は言語獲得の副産物的な要素ではなく、より根本的な現象であることを示唆する。

< 引用文献 >

- 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.
- Evans, K. K., & Treisman, A. (2010). Natural cross-modal mappings between visual and auditory features. *Journal of Vision*, **10**, 6–12.
- Gallace, A., & Spence, C. (2006).

Multisensory synesthetic interactions in the speeded classification of visual size. *Perception & Psychophysics*, **68**, 1191-1203.

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.

Martino, G., & Marks, L. E. (1999). Perceptual and linguistic interactions in speeded classification: Tests of the semantic coding hypothesis. *Perception*, **28**, 903-923.

Over, R., & Mackintosh, N. J. (1969). Cross-modal transfer of intensity discrimination by rats. *Nature*, **224**, 918-919.

Ramachandran, V. S., & Hubbard, E. M. (2003). Hearing colors, tasting shapes. *Scientific American*, **288**(5), 52-59.

Spector, F., & Maurer, D. (2009). Synesthesia: A new approach to understanding the development of perception. *Developmental Psychology*, **45**, 175-189.

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.

高橋真 (2013) ラットにおけるクロスモーダル知覚の検討 『大谷大学真宗総合研究所紀要』 **30** 巻, 125-140.

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** 巻, 213 .

高橋真・谷内通・藤田和生 (2009) ラットは視覚と聴覚の共通性を知覚するか? 『動物心理学研究』, **59** 巻, 277 .

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** 巻, 187 .

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

Takahashi, M., Ueno, Y., & Fujita, K. Inference in a social context: A comparative study of capuchin monkeys (*Cebus apella*), tree shrews (*Tupaia belangeri*), hamsters (*Mesocricetus auratus*), and rats (*Rattus norvegicus*). *Journal of Comparative Psychology*, 査読あり, 129, 2015, 402-411. doi: 10.1037/a0039732.

高橋真 ラットにおけるクロスモーダル知覚の検討 『大谷大学真宗総合研究所紀要』 査読なし 30 巻, 2013, 125-140.

[学会発表](計 4 件)

Takahashi, M. & Taniuchi, T. (2015). Synesthesia-like perception in goldfish. The 75th Annual meeting of The Japanese Society for Animal Psychology. The Japan Women's University, Tokyo, Japan. September 11, 2015. 動物心理学研究 (日本動物心理学会第 75 回大会発表要旨), 65, 158.

Takahashi, M., Taniuchi, T., Betsuyaku, T., Tamai, S., & Fujita, K. (2014) Synesthesia-like perception in rodents (rats and hamsters) and human. 17th Biennial Scientific Meeting of The International Society for Comparative Psychology. Pp.30-31. TRYP Hotel, Bogota, Colombia, September 12, 2014.

高橋真・谷内通・別役透・玉井智之・藤田和生 (2013) ラット・ハムスター・ヒトの共感覚 日本心理学会第 77 回大会発表論文集, 571. 2013 年 9 月 19 日 札幌コンベンションセンター(北海道, 札幌)

高橋真・谷内通 (2013) ラットは音と光の明るさの共感覚を示すか? 動物心理学研究 (日本動物心理学会第 73 回大会発表要旨), 63. 2013 年 9 月 15 日, 筑波大学(茨城, つくば市)

[図書](計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 真 (TAKAHASHI, Makoto)

大谷大学文学部・講師

研究者番号: 80508424