

# キンギョにおける音と光の 共感覚的知覚の検討

高 橋 真

## 序 論

ヒトは単一の感覚モダリティ (modality) だけではなく、別の感覚モダリティを複合させて知覚する。感覚モダリティ間で情報が抽出・交換される知覚現象はクロスモーダル知覚 (Cross-modal Perception) と呼ばれる (Davenport, Rogers, & Russel, 1973)。こうした知覚は、質感やオノマトペ、比喩表現などの様々な認知活動に関連する。クロスモーダル知覚の研究は多様な感覚情報の統合メカニズムの解明につながる。

ヒトのクロスモーダル知覚は、様々な場面で生じる。口の形に応じて発話音が異なって知覚される McGurk 効果 (McGurk & MacDonald, 1976) や、2つの標的が交差する瞬間に短い音を提示すると反発したように知覚される反発誘導効果 (Sekuler, Sekuler, & Lau, 1997) など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研究では、刺激間の空間・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)。クロスモーダル知覚における空間・時間的一致性は、必然的な関連性に基づいた感覚間の相互作用であることを示すが、モダリティ間の関連の必然性が少ない場合で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として、特定の知覚領域と別の知覚領域が結びつく特殊な知覚症状である共感覚症 (synaesthesia) が挙げられる (Cytowic, 1993; Harrison, 2001; Ramachandran & Hubbard, 2003; Mondloch & Maurer, 2004)。共感覚症は特殊な現象であるが、共感覚症で見られるような必然性の少ないクロスモーダル知覚 (共感覚的知覚) は比喩表現などにもみられる。例えば、日本語の「黄色い声」や「甘い声」、「明るい音」や「暗い音」のような比喩表現は、共感覚的なクロスモーダル知

覚の一つといえる。

比喩表現の基礎となる共感覚的知覚においても多様な研究が行われており、空間的位置と音の高低 (Bernstein & Edelstein, 1971; Melara & O'Brien, 1987; Ben-Artzi & Marks, 1995; Patching & Quinlan, 2002; Evans & Treisman, 2010)、音と光の明暗 (Marks, 1987; Martino & Marks, 1999; Melara, 1989; Evans & Treisman, 2010)、音の大小と大きさの大小 (Gallace & Spence, 2006; Evans & Treisman, 2010)、鋭角と鋭い音 (Marks, 1987) など、多様な現象が知覚レベルで成立することが示されている。すなわち、共感覚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、比較的低次な認知活動において生じることを示している。

共感覚的なクロスモーダルの出現は言語を獲得した幼児だけでなく、言語獲得前の乳幼児にも生じている。言語獲得後の幼児に関しては、音と大きさの大小の共通性を9歳児 (Marks, Hammeal, & Bornstein, 1987) だけでなく、3歳児でも知覚していることが示されている (Mondloch & Maurer, 2004)。さらに、11か月の乳児が音の上昇・下降と矢印の上下の共通性 (Wagner, Winner, Cicchetti, & Gardner, 1981) を、3から4か月児でも音と空間位置の高低や音の鋭さと角度の鋭さの共通性 (Walker, Bremner, Mason, Spring, Mattock, Slater, & Johnson, 2010) を知覚していることが示されている。

ヒト以外の種のクロスモーダル知覚の研究は、見本刺激と同じ刺激を選択する見本合わせ課題が異なる感覚でも成立するかどうかで調べられてきた。Ettlinger (1967) は、サル (monkey) ではクロスモーダル連合が生じないことから、言語獲得と密接な関係がある可能性を示唆したが、Davenport は、チンパンジーやオランウータンなどの類人 (Great Ape) が視覚と触覚でクロスモーダル連合が生じることを示した (Davenport & Rogers, 1970; Davenport, Rogers, & Russel, 1973)。また、共感覚的なクロスモーダル知覚がチンパンジーで生じることも発見されている。Ludwig, Adachi, & Matsuzawa (2011) は、明るい色 (白色) と暗い色 (黒色) の見本合わせ課題中に、明るい音 (高音) と暗い音 (低音) を提示したときの妨害効果から、チンパンジーにも共感覚的な知覚の存在を示した。また、Evans, Howell, & Westergaard (2005) は、フサオマキザルで McGurk 効果が生じることも示している。

クロスモーダル知覚はサル目以外の哺乳類でも存在する可能性が示されてい

る。Garcia & Koelling (1966) は、ラットの嫌悪学習が、電気ショック・光、吐き気・味の連合であれば成立するが、その逆の場合は成立しないことを示した。Over & Mackintosh (1969) は、ラットに明暗弁別学習が、音の大小の弁別学習を促進することを示した。これらの結果は、サル以外の種がモダール間連合を成立することを示している。モダール間連合だけでなく、共感覚的なクロスモダー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、音に対して視覚刺激が一致する場合と一致しない場合のラットの好み（選好滞在法）を調べることで、ラットが視覚的ノイズと聴覚的ノイズの一致性を知覚していることを示した。また、同様の手続きの実験で、老齢のハムスターでも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を知覚していたことが示されている（高橋・別役・玉井・谷内・藤田, 2011）。さらに、高橋・谷内 (2013) は Ludwig et al. (2011) と同様の手法を用いてラットもチンパンジーやヒトと同様に音と光の明暗の共通性を知覚している可能性を示している。これらの結果から、共感覚的知覚の一部はチンパンジー以降に進化した知覚ではなく、ネズミ目の段階ですでに進化している可能性を示した。

クロスモダール知覚は複数の感覚情報が同時に処理されていることを意味するが、複数の感覚が統合するための媒体として言語が考えられてきた。しかし、ヒト以外の種、特にラットのようなヒト言語を学習する機会のない種でも成立することから、必ずしも言語という媒介によってクロスモダール知覚が生じるわけではなさそうである。別の仮説として、異なる感覚が独立に進化して統合されたのではなく、本来は統合されていた情報が異なる感覚へと分化したとする仮説を想定することが可能である。生物が生まれた水中では音は水の粒子によって伝播する。その結果、水粒子の流れは聴覚としてだけでなく、触覚としても知覚される。さらに、音の伝播によって水中の粒子が変化するため、それによって光の屈折も変化する。したがって、水中では同じ情報が異なる感覚器によって入力されることになる。ただし、同じ情報を扱うため、外界からの情報は同じ脳領域で処理されることで共感覚的な知覚が成立するようになったと考えることが可能である。

この仮説が正しいのであれば、水中の種、例えば、魚類においても共感覚的なクロスモダール知覚が存在することが予想できる。実際、Takahashi & Taniuchi (2015) は、キンギョが視覚的ノイズと聴覚的ノイズの共通性を知覚す

るかどうかを、高橋ら (2010) の手法を用いて調べた。その結果、キンギョでもラットやハムスターと同様に視聴覚のノイズの共通性を知覚している証拠が得られた。この研究結果は、前述の仮説が検証されたかのように見える。ただし、視聴覚のノイズの共通性はオノマトペのような極めて直接的なつながりであって、ヒトの共感覚的知覚が生じる比喩表現的な組み合わせとは異なる。なぜならば、視覚的ノイズは複数の空間周波数の組み合わせであり、聴覚的ノイズは複数の音周波数の組み合わせであるため、これらの複合処理の産物として考えられるからである。一方、Ludwig et al. (2011) のチンパンジーが示した「明るい音」や「暗い音」といった比喩表現における音の高低と光の明暗の共通性は、視聴覚のノイズのような物理的な類似性がない。したがって、水中での感覚情報の類似性による共感覚的な知覚とは異なる進化的起源をもつ可能性がある。こうした可能性を検証するには、キンギョがチンパンジーやラットと同様に音の高低と光の明暗の共通性知覚しているかどうかを検証する必要がある。

そこで、本研究では、キンギョ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共感覚的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

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キンギョ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、共通性の一致する刺激の組み合わせと、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。キンギョがヒトと同じような共感覚的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。

## 方法

### 被験体

キンギョ (ワキン) 10 個体を被験体として用いた。キンギョは観賞用として販売されている体長 5 ～ 10 cm のアネアカを用いた。実験に際して、食餌制限は行わなかった。

## 装置

実験装置として、T字型水路 (Figure 1)、22インチモニタ、制御用のノートPCを用いた。T字型の水路は幅45 cm、奥行き25 cm、深さ27 cmの水槽の中をアクリル板で区切ったものを用いた。水路内は、基部 (幅15 cm、長さ15 cm) と分岐後の走路 (幅45 cm、長さ10 cm) で構成した。基部はスタートボックスとしても使い、先端に水中スピーカ (UETAX 社製) を設置した。基部と走路の分岐点にはファイバセンサ (キーエンス社製) を設置した。ファイバセンサはキンギョの走路への出入りを検知するために用いた。また、キンギョ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。走路部分の外壁にはモニタを設置し、それにより刺激の提示を行った。刺激の提示、および、行動の検出はノートPC内の VisualBasic2010で制御した。

## 刺激

視覚刺激として明暗刺激、聴覚刺激として高音と低音を用いた。明暗刺激は400px×400pxの正方形領域に提示した。明刺激は白色、暗刺激を黒色とした。聴覚刺激は視覚刺激と同時に水中スピーカから提示した。音刺激は Takahashi & Taniuchi (2015) で用いた純音 (1000 Hz) を高音の基準として、筆者が暗いと感じた純音 (400 Hz) を低音とした。視覚刺激、聴覚刺激ともに、黒色から白色 (もしくはその逆)、高音から低音 (もしくは、その逆) に切り替わった。



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

### 手続き

キンギョは5分間の自由探索を行った。スタートボックスと分岐部分に仕切りを入れ、その仕切りの開放をもって試行の開始とした。5分間が経過するとキンギョを水槽から取り出した。

探索時間中、左右の通路部分に視覚刺激を提示した。聴覚刺激は後方の水中スピーカから提示した。左右視覚刺激のうち、一方は白色に対しては高音、黒色に対しては低音の組み合わせを一致刺激 (Congruent Stimulus) として提示した。もう一方は、逆の組み合わせを不一致刺激 (Incongruent Stimulus) として提示した。

自由探索中の刺激に対する滞在時間を計測した。分岐点に設置されたセンサはキンギョが横切るとその通過時間を記録するようにプログラミングした。センサを通過し、センサから先端までの領域に入っている時間を滞在時間としたが、体の半分以上が通過して出てきた時間を滞在時間とした。キンギョの滞在状況に関しては、録画したビデオで確認した。

実験は1日1試行として、4日間、すなわち、4試行を行った。半数のキンギョは前半2試行で低音から開始した。残りの半数は高音から開始した。残りの2試行は逆の音から開始した。左右のどちらに一致刺激が呈示されるかは、試行間、および、個体間でカウンターバランスを取った。

### 結果と考察

個体ごとに一致刺激が呈示された領域内に滞在した時間と不一致刺激が呈示された走路内に滞在した時間を測定した。各刺激に対する滞在時間の平均値を算出した。その結果を Figure 2に示す。

各試行の滞在時間の平均値に関して、聴覚刺激との組み合わせ (一致 vs 不一致) × 試行の2要因の分散分析を行った。その結果、聴覚刺激の組み合わせの主効果 ( $F [1, 9] = 2.26, p > 0.10$ )、試行の主効果 ( $F [3, 27] = 0.17, p > 0.10$ )、および、それらの相互作用 ( $F [3, 27] = 0.57, p > 0.10$ ) も見られなかった。これらの結果は、キンギョは音と光の明暗の共通性を知覚していないことを示す。

これらの結果から、キンギョ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。この結果はヒトやチンパンジー、および、ラットの結果とは異なる。しかしながら、視聴覚のノイズに関してはキンギョでも哺乳類と同様の知覚を行っていたとする先行研究とも異なる結果ともいえる。こうし

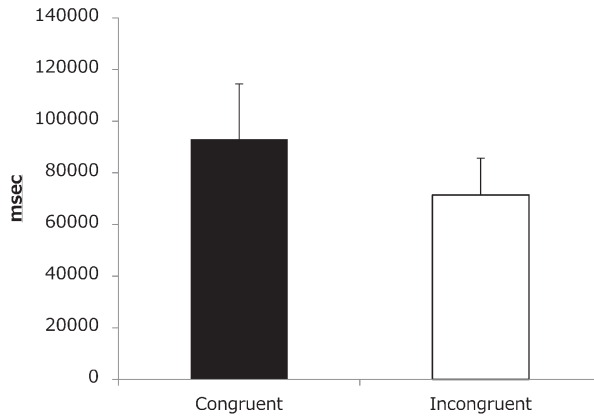


Figure 2. Averaged total time of spent for each visual stimulus in Experiment 1.

Note: Error bar shows standard error.

た違いをもたらしたものとして、2つの可能性が考えられる。第1に、直接的な関係性を持つ視聴覚のノイズの共感覚的知覚と音と光の明暗の共感覚的知覚は進化的起源の異なる知覚であり、後者は哺乳類の段階で進化したとするものである。もう一つは、共通性を知覚するための刺激の差が少ないために実験1では共感覚的知覚を検出することができなかった可能性である。視聴覚のノイズの共通性を調べた先行研究では、視聴覚のノイズと直線運動と純音の組み合わせであった。そのため、動物が見る刺激は質的に異なる組み合わせであるため、両者の違いが明白である。一方、実験1の場合は、黒と白、1000 Hzと400 Hzというように、どちらも同次元内の比較である。そのため、刺激間の差異が明確でなかった可能性がある。2つの可能性のどちらかを検証するためには、より刺激間の差異がある組み合わせでの検証が必要である。

## 実験2

実験1では、キンギョがチンパンジーやラットと同様に音と光の明暗に関わる共感覚的知覚を有しているとする証拠を得られなかったが、その原因として同次元内の刺激間の違いの検出が難しかった可能性がある。特に、聴覚刺激に関しては、刺激間の違いをさらに広げることが可能である。そこで、実験2では実験1と同じ手法で高音と低音の差を広げて、キンギョが共感覚的知覚を



示すかどうかを検証した。

## 方法

### 被験体

実験1と同じキンギョ（ワキン）を被験体として用いた。ただし、1個体は実験2開始前に死亡したため、9個体を被験体として用いた。

### 装置・刺激・手続き

実験2では、実験1よりも高音と低音の差異を明確にするため、高音の聴覚刺激として2000 Hzの純音、低音の刺激として200 Hzの純音を用いた。これらは、筆者が明るい音と暗い音として知覚できる音であった。それ以外は、実験1と同じであった。

### 結果と考察

個体ごとに一致刺激が呈示された領域内に滞在した時間と不一致刺激が呈示された走路内に滞在した時間を測定した。各刺激に対する滞在時間の平均値を算出した。試行ごとの結果を Figure 3に示す。

各試行の滞在時間の平均値に関して、聴覚刺激との組み合わせ（一致 vs 不一致）×試行の2要因の分散分析を行った。その結果、聴覚刺激の組み合わせの主効果 ( $F[1, 8]=0.11, p>0.10$ )、試行の主効果 ( $F[3, 24]=0.79, p>0.10$ ) とともに統計的に有意な差はみられなかった。しかしながら、組み合わせ×試行の相互作用 ( $F[3, 24]=3.84, p=0.02$ ) が統計的に有意であった。試行ごとの刺激の組み

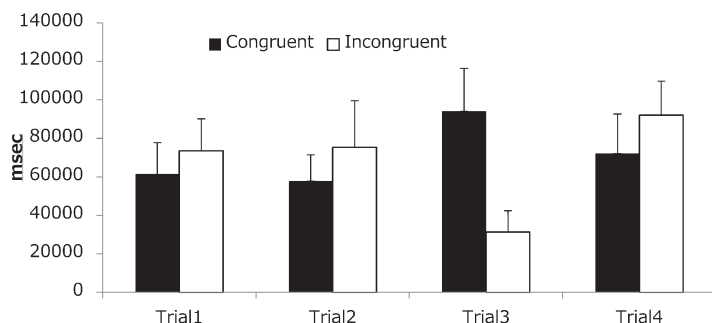


Figure 3. Averaged total time spent for each visual stimulus per trial in Experiment 2.

Note: Error bar shows standard error.



合わせに関して単純主効果を検定したところ、第3試行においては、統計的に有意な差が見られた ( $F[1, 32] = 6.13, p = 0.02$ )。それ以外の試行では統計的に有意な差が見られなかった (第1試行  $F[1, 32] = 0.02, p > 0.10$ ; 第2試行  $F[1, 32] = 0.47, p > 0.10$ ; 第4試行  $F[1, 32] = 0.62, p > 0.100$ )。これらの結果は、第3試行において一致刺激と不一致刺激に対するキンギョの行動が異なっていたことを示す。すなわち、キンギョは音と光の明暗の共通性を知覚する可能性を示唆するかもしれない。

### 総合考察

本実験では、ヒトが知覚する光と音の明暗の共通性を、キンギョも同様に知覚するかどうかを検証した。実験1では、キンギョがヒトと同様の共通性を知覚している証拠を得られなかったが、実験2において、キンギョも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。この結果は、Ludwig et al. (2011) が示したチンパンジーの結果、高橋・谷内 (2013) が示したラットの結果とも一致する。したがって、キンギョも哺乳類と同様に光と音の明暗に関わる共感覚的知覚を有する可能性を示すかもしれない。しかしながら、本研究の結果はチンパンジーやラットの先行研究ほど明確な違いではなかったことから、上述の結論を示したとは言い切れない。

本研究では先行研究ほど明確な共感覚的な知覚が得られなかった理由として、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) や高橋・谷内 (2013) は弁別課題解決中の音による妨害・促進効果により共感覚的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の効果を示そうとしていた。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。さらに、選好課題では、個体内での変動や個体間での変動が大きくなる。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。実際、高橋 (2013) は本研究と同じ課題でラットが音と光の明暗の共感覚的知覚を示すかどうかを検証したが、本研究と同様に明白な証拠を得られていない。したがって、Ludwig et al (2011) や高橋・谷内 (2013) と同様に弁別課題解決中の音による妨害・促進効果を計測する必要があるであ

ろう。

## 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., & Edelstein, 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.
- Gallice, 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.
- Harrison, J. (2001). *Synaesthesia: The Strangest Thing*. Oxford University Press.
- 松尾香弥子 (訳) 2006 共感覚者—もともと奇妙な知覚世界 新曜社
- 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 Part2 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.
- McGurk, H. & MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, **264**, 746–748.
- 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 corresponding 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.
- 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.
- Ramachandran, V. S., & Hubbard, E. M. (2003). Hearing colors, tasting shapes. *Scientific American*, **288** (5), 52–59.
- Sekuler, R., Sekuler, A. B., & Lau, R. (1997). Sound alters visual motion perception. *Nature*, **385**, 308.
- 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 (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**, 125-140.
- 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, **62**, 165.
- Takahashi, M., & Taniuchi, T. (2015). Synesthesia-like perception in Goldfish. 動物心理学研究, **65**, 158.
- 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を知覚するか? 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.