

# 「素材質感」の視聴覚統合の発達

(中間報告)

中央大学研究開発機構 氏家悠太

## The development of audiovisual material perception

Research and Development Initiative, Chuo University UJIE, Yuta

### 要約

質感を持つ「物体」の認識は、「木」や「金属」を叩いている時の視覚映像と音が一致することにより成立する (e.g., Fujisaki et al., 2014)。本研究では、言語獲得直前の乳児 (生後 4-8 ヶ月児) を対象に、質感を持つ素材の視覚と聴覚の統合過程について、近赤外分光法 (NIRS) を用いて検討した。実験では、Fujisaki et al. (2014) で使用された木と金属の質感の CG 動画を用いて、木や金属を叩く音とその表面材質 (視覚刺激) が一致した刺激と不一致の刺激を提示し、乳児の左右側頭領域の脳活動を測定した。結果では、素材の音と視覚が一致した刺激を観察した際、不一致の刺激と比べ、右側頭領域における脳血流の有意な増加が見られ、質感を持つ素材の視覚と聴覚の統合に右側頭の活動が関与することが示された。

**【キー・ワード】 視聴覚統合, 質感知覚, 近赤外分光法**

### Abstract

Adults can judge an object's material by perceiving the visual appearance of one material is combined with the impact sound of the same material (Fujisaki et al., 2014). However, its development has been little understood. This study examined the brain activity in response to audiovisual material perception ("Metal" and "Wood") in preverbal 4- to 8-month-old infants, by using functional near infrared spectroscopy (fNIRS). We measured cerebral hemoglobin concentrations in bilateral temporal brain regions, included the superior temporal sulcus (STS) area which is known to be critical for supra-additive processing of auditory and visual information (e.g., Calvert et al., 2000). Our results showed that a cerebral activation in the right temporal region increased when infants observed match stimuli which is the auditory material property with the congruent visual material (i.e., "Metal" sound with "Metal" movie). This indicates that the right temporal region comes well reflect to the processing of audiovisual material matching.

**【Key words】 Audiovisual integration, material perception, fNIRS**

## 問題と目的

私たちは、見ること、聞くことを通して、周囲の環境にあるモノの素材や状態を認識している。例えば、ナイフやフォークなどの食器が、金属の素材で作られているのか、あるいはプラスチックにメッキ加工が施されたものであるのかを見分ける際には、素材の視覚的な光沢感だけでなく、モノを叩いた際に発する音も重要な手がかりとなる。近年では、成人を対象とした研究から、「木」や「金属」といった物体の表面材質（視覚情報）と、その物体を叩いた際に発する音の印象を統合し、物体が持つ質感のカテゴリを判断することが示されている（e.g., Fujisaki et al., 2014）。質感知覚の脳内機構として、素材質感を見たとき（e.g., Goda et al., 2014）、その素材の音を聞いたとき（e.g., Arnott et al., 2008）では、どちらも比較的低次な処理経路（腹側系）が関与することが示されているが、素材質感の音と視覚の統合では、視聴覚統合処理の責任領野である上側頭溝（e.g., Calvert, Campbell, & Brammer, 2000; Kanero et al., 2014）が関与する可能性が考えられる。

一方で、このような素材質感の視聴覚統合がいつから、どのように獲得されるのかは明らかでない。Lickliter, Bahrick, & Vaillant-Mekras (2017) によれば、生後から 2 ヶ月の間に、刺激強度や呈示時間、時間的同期など感覚間に共通した物理特性の統合（アモーダル統合）が発達し、その後、単一の感覚処理の発達に伴い、各感覚モダリティに固有の情報を統合するクロスモーダル処理 [i.e., 顔と音声（e.g., Patterson & Werker, 1999）] が発達するとしている。本研究では、言語獲得直前の乳児（生後 4-8 ヶ月児）を対象に、近赤外分光法（NIRS）を用いて、素材質感の視聴覚統合の発達過程を検討する。

## 方法

### 実験参加者

生後 4-8 ヶ月児 32 名（女兒 19 名）が本実験に参加した。生後 4-5 ヶ月児 16 名（女兒 11 名、平均日齢 137 日）を低月齢群、生後 6-8 ヶ月児 16 名（女兒 8 名、平均日齢 200 日）を高月齢群とした。実験参加者のリクルートならびに本実験は、中央大学倫理審査委員会の承認の上、実施した。

### 刺激と手続き

実験刺激は、Fujisaki et al. (2014) で使用された、木や金属の材質を叩く CG 動画 (800 × 600 pixels) と音を用いた。材質から発せられる音とその表面材質（映像）が一致した刺激と不一致の刺激を、それぞれ 2 種類作成し、音刺激を基準として、Wood-sound 条件（木を叩く音と木を叩く映像を一致刺激、木を叩く音と金属を叩く映像を不一致刺激）、Metal-sound 条件の 2 つを設定した。

低月齢群、高月齢群をそれぞれ 8 名ずつ、Wood-sound 条件、Metal-sound 条件にランダムに割り振り、実験を実施した。観察距離を約 40cm として 21 インチの CRT モニタ（解像度 1,024 × 768 pixels）から視覚刺激を呈示し、聴覚刺激はモニタの左右に配置したスピーカーから約 60dB で呈示した。刺激呈示はブロックデザインを使用し、ベースライン試行を挟んで、一致刺激あるいは不一致

刺激のターゲット試行を交互に呈示した。ターゲット試行では、一致刺激（あるいは不一致刺激）が 8 回呈示し（12.4 秒）、ベースライン試行では、ランダムドット画像(800 × 600 pixels)とホワイトノイズを繰り返し呈示した（12.8 秒）。

## NIRS 測定

乳児の脳血流の測定には、ETG-4000 (Hitachi Medical, Japan) を使用した。2 種類の光波長（695 and 830 nm）により、酸化ヘモグロビン (oxy-Hb)、脱酸化ヘモグロビン (deoxy-Hb)、総ヘモグロビン (total-Hb) の相対的な変化量を測定した。測定チャンネル数は左右各 12 チャンネルであり、シリコン製の乳児用プローブ（3×3 のファイバー配列、配置間隔 2cm）を用いて、T3, T4（国際 10-20 法）を基準とした両側頭領域を計測部位とした。測定データにバンドパスフィルタ（0.02-1.0 Hz）を適用した後、刺激呈示前 3 秒のデータの平均値と標準偏差を用いて Z-score を算出した。有効データの選定基準として、先行研究と同様に（e.g., Kobayashi, Macchi Cassia, Kanazawa, Yamaguchi, & Kakigi, 2018）、ターゲット試行中のディスプレイの注視時間が 6 秒以下、あるいは、測定データに体動ノイズの波形が含まれる場合は分析対象から除外した。

## 結果

各チャンネルの Oxy-Hb 値について、刺激呈示前 3 秒を基準として Z-score を算出し、刺激呈示後 9~13 秒を分析区間として、左右各 12ch の平均値を算出し、図 1 に示した。

条件ごと、ターゲット試行（一致刺激、不一致刺激）における左右の脳血流量の平均値と、ベースライン（Z score = 0）との t 検定を行った結果、Wood-sound 条件では両月齢群で、一致刺激を観察した際の右側頭領域の脳血流量の有意な増加が示され（低月齢群： $t(7) = 2.37, p = .049, d = .71$ ；高月齢群： $t(7) = 2.91, p = .02, d = 1.06$ ）、一方で、不一致刺激に対する脳血流量の有意な増加は示されなかった（低月齢群： $t(7) = 1.06, n.s.$ ；高月齢群： $t(7) = .78, n.s.$ ）。左側頭領域では、いずれの刺激に対しても脳血流量の有意な増加が示されなかった（一致刺激：低月齢群： $t(7) = 1.94, n.s.$ ；高月齢群： $t(7) = .65, n.s.$ 、不一致刺激：低月齢群： $t(7) = .58, n.s.$ ；高月齢群： $t(7) = .78, n.s.$ ）。Metal-sound 条件では、高月齢群においてのみ、一致刺激を観察した際の右側頭領域の脳血流量の有意な増加が示された（低月齢群： $t(7) = .14, n.s.$ ；高月齢群： $t(7) = 2.66, p = .03, d = 1.44$ ）。不一致刺激では脳血流量の有意な増加は示されなかった（低月齢群： $t(7) = .11, n.s.$ ；高月齢群： $t(7) = .35, n.s.$ ）。左側頭領域では、Wood-sound 条件の結果と同様に、いずれの刺激に対しても脳血流量の有意な増加が示されなかった（一致刺激：低月齢群： $t(7) = .49, n.s.$ ；高月齢群： $t(7) = 1.37, n.s.$ 、不一致刺激：低月齢群： $t(7) = .40, n.s.$ ；高月齢群： $t(7) = .29, n.s.$ ）。

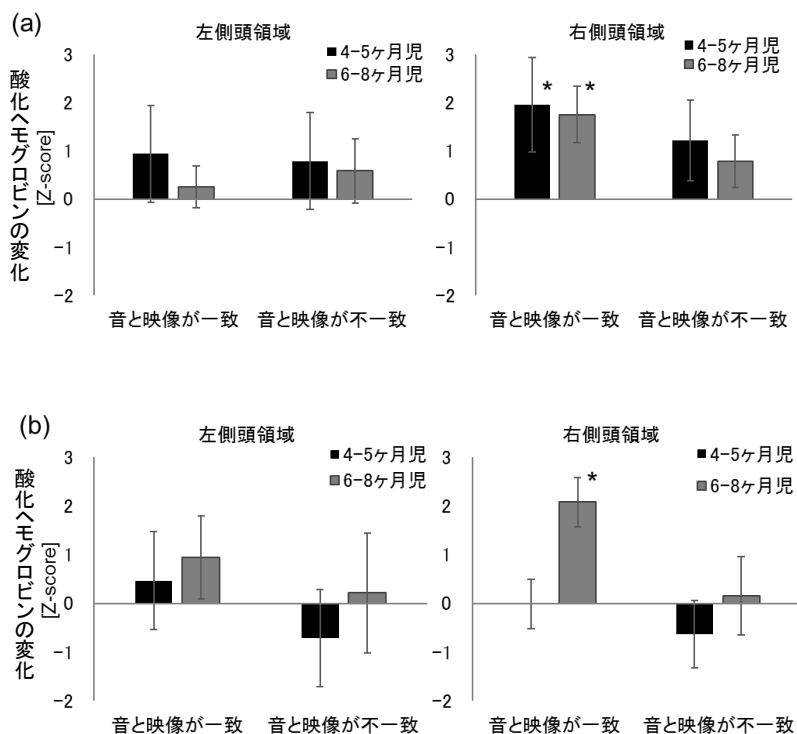


図 1 ターゲット刺激呈示後 9~13 秒間の Oxy-Hb の平均変化量 (Z-scores)  
 (a) Wood-sound 条件, (b) Metal-sound 条件。エラーバーは標準誤差,  
 アスタリスクはベースライン (Z-score=0) との有意差 (有意確率 5%)。

## 考 察

本実験では、言語獲得直前の乳児 (生後 4-8 ヶ月児) を対象に、近赤外分光法 (NIRS) を用いて、素材質感の視聴覚知覚の脳内機構を検討した。結果では、素材を叩く音と映像が一致した刺激を観察した際、不一致の刺激と比べ、右側頭領域の脳血流の有意な増加が示された。乳児を対象とした NIRS の先行研究から、T3, T4 を中心とした左右側頭の測定領域には上側頭溝の活動が含まれることが示されており (e.g, Blasi et al., 2014; Lloyd-Fox et al., 2014), 本研究の結果から、質感を持つ素材の視聴覚の統合には右側の上側頭溝の活動が関与することが示された。

さらに、このような脳内処理は、木の素材に対しては生後 4 ヶ月から存在するが、金属の素材では生後 6 ヶ月以降にみられ、素材によって獲得時期が異なることが示された。質感知覚の発達では、生後 7 ヶ月から物体表面の光沢感を知覚することが示されており (e.g., Yang et al., 2011), 視覚的な光沢知覚の発達が、金属素材の視聴覚統合の獲得時期に影響している可能性が考えられる。

## 引用文献

- Arnott, S. R., Cant, J. S., Dutton, G. N. & Goodale, M. A. (2008). Crinkling and crumpling: An auditory fMRI study of material properties. *NeuroImage* 43, 368–378.
- Blasi, A., Lloyd-Fox, S., Johnson, M.H., & Elwell, C.E. (2014). Test–retest reliability of functional near infrared spectroscopy in infants. *Neurophotonics* 1(2), 025005.
- Calvert, G. A., Campbell, R. & Brammer, M. J. (2000). Evidence from functional magnetic resonance imaging of crossmodal binding in the human heteromodal cortex. *Curr. Biol.* 10, 649–657.
- Fujisaki, W., Goda, N., Motoyoshi, I., Komatsu, H. & Nishida, S. (2014). Audiovisual integration in the human perception of materials. *Journal of Vision.* 14, 1–20.
- Goda, N., Tachibana, A., Okazawa, G. & Komatsu, H. (2014). Representation of the material properties of objects in the visual cortex of non-human primates. *J. Neurosci.* 34, 2660–2673.
- Kanero, J., Imai, M., Okuda, J., Okada, H. & Matsuda, T. (2014). How sound symbolism is processed in the brain: A study on Japanese mimetic words. *PLoS ONE* 9, e97905.
- Kobayashi, M., Macchi Cassia, V., Kanazawa, S., Yamaguchi, M. K., & Kakigi, R. (2018). Perceptual narrowing towards adult faces is a cross-cultural phenomenon in infancy: A behavioral and near-infrared spectroscopy study with Japanese infants. *Developmental Science*, 21(1), e12498.
- Lickliter, R., Bahrick, L.E., Vaillant-Mekras, J. (2017). The intersensory redundancy hypothesis: Extending the principle of unimodal facilitation to prenatal development. *Developmental Psychobiology.* 59, 910–915.
- Lloyd-Fox, S., Richards, J.E., Blasi, A., Murphy, D.G.M., Elwell, C.E., & Johnson, M.H. (2014). Coregistering functional near-infrared spectroscopy with underlying cortical areas in infants. *Neurophotonics* 1(2), 025006.
- Patterson, M., & Werker, J. F. (1999). Matching phonetic information in lips and voice is robust in 4.5-month-old infants. *Infant Behavior and Development*, 22, 237–247.
- Yang, J., Otsuka, Y., Kanazawa, S., Yamaguchi, M. K. & Motoyoshi, I. (2011). Perception of surface glossiness by infants aged 5 to 8 months. *Perception* 40, 1491–1502.

## 謝 辞

本実験に参加して下さった多くの赤ちゃんやご家族の方々にお礼を申し上げます。また、データの取得にご協力いただきました中央大学山口研究室の皆様にご感謝を申し上げます。なお本研究の一部は、科研費新学術領域研究「トランスカルチャー状況下における顔身体学の構築—多文化をつなぐ顔と身体表現—」（研究代表者：山口真美，課題番号：17H06343）、「多元質感知」（研究代表者：金沢創，課

題番号：18H05014), そして公益財団法人発達科学研究教育センターのご支援を頂きました。