

## 乳児におけるカテゴリカル色知覚の脳内処理の発達

中央大学研究開発機構 楊 嘉 楽

### Neural processing of categorical color perception in infants

Research and Development Initiative, Chuo University, YANG, Jiale

#### 要 約

本研究では、NIRS（近赤外分光法）を用いて言語獲得前の乳児と成人の脳機能の計測を行うことにより、カテゴリカル色知覚の脳内処理の発達過程を検討し、言語とカテゴリカル色知覚の関連性を調べた。言語獲得前の5-7ヶ月児を対象に、NIRSを用いて左右後側頭領域の脳血流反応を計測した結果、カテゴリ内の色変化と比べカテゴリ間の色変化を観測時に、Oxy-Hbが上昇することが判明し、この活動は成人と類似していることを確認した。左右後側頭領域にみられた反応と初期視覚野の応答とを比較するために、同じ刺激を観察時の後頭部の脳血流反応を計測した。その結果、カテゴリ内・間の色変化によらず、類似した脳血流反応がみられた。以上の結果から、乳児に色カテゴリが存在すること、色カテゴリの色変化に伴って生起する脳活動変化が後側頭領域と後頭領域の応答と異なることが示され、カテゴリカル色知覚は言語と独立した生理学の基盤を持っていると考えられる。

**【キー・ワード】** カテゴリカル色知覚, 乳児, 脳内処理

#### Abstract

In the present study, we measured the hemodynamic response of the bilateral temporal regions to categorical perception of color in prelinguistic infants by near-infrared spectroscopy. We presented two sets of geometric figures to infants: one set which altered between green and blue (between category condition), and another set which altered between two different shades of green (within category condition). Our results showed a significant increase in hemodynamic response during the between-category condition, while changes in the hemodynamic response were not significant for the within-category condition. In the measurement in adults, comparable hemodynamic responses to categorical perception were observed. We also measured the hemodynamic response in the occipital area of infants. Not like the measurement in temporal regions, there weren't difference between between-category and within-category alternations. The present study has obtained the first evidence that colors of different categories are differently represented in the bilateral temporal regions of infants, but not in the early visual cortex. These results also support the idea that categorical color perception can be independent of language.

**【Key words】** categorical color perception, infants, neural processing

## はじめに

知覚のカテゴリ化とは、物理的連続した刺激に対し、いくつかのカテゴリに分け、知覚する現象である。同一カテゴリ内の刺激ペアと比べると、同じ物理距離を持つにもかかわらず、カテゴリ間の刺激ペアの違いをより大きく判断する (Harnad, 1987)。知覚のカテゴリ化は色知覚においても観察される。ヒトの色知覚は 100 万個以上の色を弁別できるが、ヒトはいくつかのカテゴリにまとめ、色名を付けて知覚している (内川, 1998)。ヒトは多数の色をいくつかのカテゴリにまとめることにより、認知機能の負担を顕著に軽減していると考えられる。

カテゴリは言語ラベルによって分かれていることから、日常的に使われる言語が、カテゴリの分け方に影響を与える可能性を提唱する Sapir-Whorf 仮説 (Whorf, 1956) は、18 世紀から心理学、言語学、文化人類学などの領域で広く議論されてきた。百種類以上の言語を調査した結果、ヒトは色空間の中で特定の色に対していくつかのカテゴリを形成する傾向があり、さらに各言語のカラーネーミングシステムを支える普遍的な知覚制約も存在することが示されている (Kay & Regier, 2006; Regier, Kay, & Cook, 2005)。その一方で、Sapir-Whorf 仮説を支持する研究もある。Roberson et al., (2000) は、それぞれの言語で名づけられる色の種類とそのカテゴリの効果 (別のカテゴリにあるものは違いをより大きく判断し、同じカテゴリにあるものは違いをより小さく判断すること) について検討を行った。その結果、緑と青の境界を持たないベリンモ語話者は、その境界を持つアメリカ人被験者よりも、緑と青のカテゴリ化の効果が弱いことが示された。また、ベリンモ語話者はベリンモ語に特有の Nol と Wor という色名の境界でカテゴリ化の効果をより強く示した。これは、語彙が色の弁別に影響を与えるという点において、Sapir-Whorf 仮説を支持するものと考えられる。Gilbert, Regier, Kay, & Ivry (2006) は、等色差の 2 色の弁別において、異なるカテゴリ間の色弁別が同じカテゴリ内の色弁別よりも容易になるという色カテゴリ効果が、右視野 (左半球) 優位性をもつと示している。ヒトの言語中枢は通常左半球にあるため、この結果はカテゴリカル色知覚が言語の影響を受けることを示唆している。このカテゴリカル色知覚の右視野 (左半球) 優位性と言語処理の関連性を検討するため、Gilbert et al., (2006) は視覚探索課題を行う際に、言語妨害課題あるいは視覚妨害課題を加える二重課題の実験を行った。その結果、色カテゴリ効果は言語妨害課題の影響を受け、視覚妨害課題の影響を受けないことが判明した。さらに Siok et al., (2009) は fMRI を用い、Gilbert et al., (2006) の視覚探索課題遂行時の脳活動を測定した。その結果、カテゴリを超えるターゲットが右視野に提示された時にのみ、左半球の言語野の活動の増加が観察された。これらの結果から、カテゴリカル色知覚は言語処理に関わる左半球で処理される可能性が示唆された。

最近の研究から、言語獲得前の乳幼児のカテゴリカル色知覚は、成人と逆に左視野 (右半球) 優位性であることが示された。Franklin et al., (2008a) は、Gilbert et al., (2006) の視覚探索課題をもとにターゲットへのサッカード潜時を計測することによって、乳児のカテゴリカル色知覚が成人と逆に左視野 (右半球) 優位性であることを示している。さらに、Franklin et al., (2008b) は、言語

獲得期にある 2-5 才の幼児を対象に、カテゴリカル色知覚の形成の変遷を検討した。彼女らは色の言語理解テストの高成績群と低成績群に幼児を分け、カテゴリカル色知覚の結果を比較した。その結果、高成績群の幼児のカテゴリカル色知覚は成人と同じ右視野（左半球）優位性を示し、低成績群は乳児と同じ左視野（右半球）優位性を示すことが判明した。この結果から、カテゴリカル色知覚は、言語獲得以前の乳幼児では左視野（右半球）優位性であり、言語を獲得することにより右視野（左半球）優位性へと発達すると考えることができる。

Franklin et al., (2008a, 2008b) の結果は、視覚探索課題における提示視野の優位性を行動実験で示したものであり、左右半球機能差の脳内メカニズムは直接明らかにされていない。本研究では、NIRS（近赤外分光法）を用いて言語獲得以前の乳児を対象に脳機能の計測を行うことにより、乳児期におけるカテゴリカル色知覚の脳内処理について検討する。具体的に、実験 1 ではカテゴリ間とカテゴリ内で色が切り替わる刺激を観察している時に後側頭部の脳活動を測定し、乳児のカテゴリカル色知覚の脳内処理を調べる。実験 2 では、同じ刺激を観察するときの、後頭部の脳活動を測ることで、実験 1 にみられる後側頭部の脳活動と初期視覚野の脳活動との違いを調べる。実験 3 では、色カテゴリの境界を測定した成人被験者が同じ刺激を観察するときの脳活動を調べることで、実験 1 にみられる脳活動が、カテゴリカル色知覚に関連するかを検討する。

## 実験 1

色の情報は脳皮質の腹側経路に階層的に処理されることが知られている（Komatsu et al., 1992; Koida & Komatsu, 2007; Brouwer & Heeger, 2013）。色情報処理の最終段階である色のカテゴリ化は、腹側高次視覚野に行われると考えられる（Komatsu et al., 1992）。本実験では、腹側高次視覚野に対応する後側頭部の脳活動を測定することで、乳児のカテゴリカル色知覚の脳内処理を調べる。

## 方法

### 1. 対象

実験には、5-7 ヶ月児 12 名（平均日齢=191.6 日）が参加した。そのほかに 12 名の乳児が実験に参加したが、実験の途中で泣いてしまった、刺激を注視しない、運動アーティファクトなどの理由によって十分な計測試行数が得られなかったため、分析から除外した。

### 2. 刺激

実験刺激は、baseline 試行・between category 試行・baseline 試行・within category 試行の順で、乳児が飽きて注視しなくなるまで、繰り返し提示した（図 1 を参照）。それぞれの試行では 9 つの幾何図形を 3×3 配列でグレー背景（輝度：25 cd/m<sup>2</sup>）上に配置した。between category 試行では幾何図形の色が緑・青カテゴリ間（表 1 の B1・G2（輝度：20 cd/m<sup>2</sup>））で切り替わり、within category 試行では幾何図形の色が緑カテゴリ内（表 1 の G1・G2）で切り替わった。baseline 試行では、グ

レーの幾何図形の形が変化した。各フレームは 1Hz で切り替わった。乳児の注意を画面に保つため、各フレームが切り替わる時にビーブ音を提示した。between/within category 試行と baseline 試行に対して、異なる 2 つのビーブ音が用いられた。

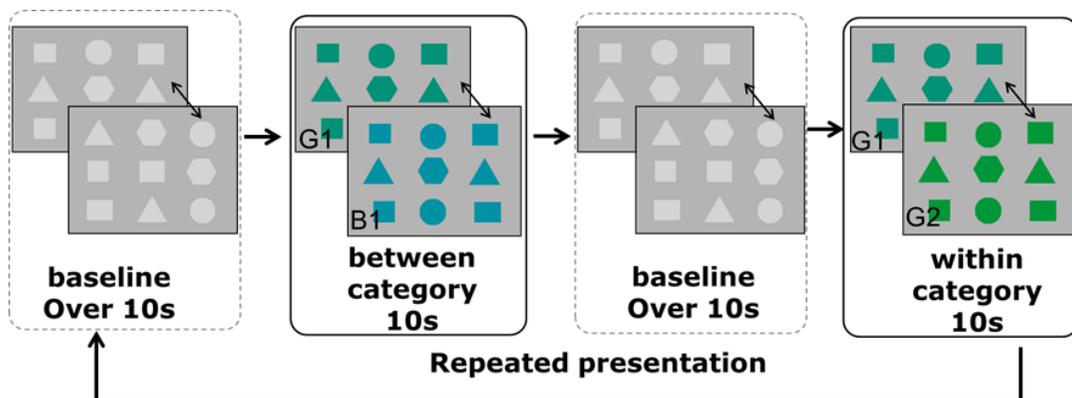


図1 刺激の概要

グレーの幾何図形の提示を baseline 試行として、色が緑・青カテゴリ間で変化する試行 (between category 試行) と色が緑カテゴリ内で変化する試行 (within category 試行) を交互に行った。各テスト試行の刺激持続時間は 10 秒、baseline 試行の刺激持続時間は 10 秒以上であった。

表1 刺激の色度

	刺激の色度 x	刺激の色度 y	色差 (CIE L*a*b*)
青 1	0.215	0.255	37.4
緑 1	0.231	0.355	
緑 2	0.252	0.49	37.1

### 3. 手続き

乳児は実験者の膝の上に抱かれた状態で、CRT モニタ上に提示される刺激を観察した。実験中の乳児の様子は、CCD カメラで録画された。もう 1 人の実験者は、CCD カメラの映像と、乳児が見ている CRT モニタと同じ画像を映し出すモニタを観察しながら、実験を行った。baseline 試行が提示された 10 秒以上、かつ最後の 2 秒の中に乳児が baseline 刺激を注目していることを確認した後に、

実験者はテスト試行 (between category 試行と within category 試行) を開始した。乳児は脳活動の測定中、受動的に刺激を観察し、乳児が画面を注視する限り実験は継続された。実験期間における乳児の注視行動はビデオテープに記録された。

#### 4. 装置

実験は、中央大学体育館の行動観察室にある実験ブースで行われた。実験中は外部から音や光が室内に入らないように防音扉とカーテンが閉められた。実験ブース内には、被験者用の椅子と 22 インチ CRT モニタが設置された。乳児の刺激観察距離はおよそ 40cm であった。実験の計測は Hitachi ETG-4000 を用いて 24 チャンネル同時に行った。2 波長の近赤外光 (695nm および 830nm) を出力し、24 チャンネルから 0.1 秒の時間解像度で酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) 脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb) 総ヘモグロビン (total-Hb) を計測した。乳児を対象とした計測を行うために、軽量で皮膚への接触部分が柔らかい乳児用のプローブを用いた (Hitachi Medical, Infant probe 3×3 mode)。本実験で使用したプローブは、5 本の照射ファイバーと 4 本の検出ファイバーが 3×3 の配置で構成されていた。プローブは光ファイバーと柔らかいシリコン素材で構成され、光ファイバー間の位置は固定されていた。照射ファイバーと検出ファイバーの距離は 2cm であった。チャンネルはそれぞれの隣接する照射ファイバーと検出ファイバーの間が 1 つのチャンネルとして定義され、各プローブはそれぞれ 12 チャンネルから構成される。各プローブは T5・T6 (International 10/20 system for recording EEG) の後ろ 1cm を中心に乳児の両側頭に装着された。乳児の頭に配置したプローブは伸縮性のある素材でできた帽子を用いて固定された。プローブの装着が終わった後で、Hitachi ETG-4000 は各チャンネルが適切に信号を拾えているかを自動的に検出した。

#### 5. 分析方法

各被験者内・各チャンネル内の条件ごとの酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) の平均値を、試行開始前 2 秒から試行終了後 10 秒までの時系列データとして 0.1 秒の時間解像度で算出した。時系列の平均値に基づいて、酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) の Z 値を被験者内・チャンネルごとに算出した。Z 値は以下の式に示すように、baseline 試行とテスト試行 (between category 試行・within category 試行) の平均値の差を baseline 試行の標準偏差で除算することで計算した。

$$Z = (m1 - m2) / s$$

「m1」と「m2」はそれぞれ baseline 試行とテスト試行 (between category 試行・within category 試行) の平均値、「s」は baseline 試行の標準偏差を示す。SN 比 (信号量 S とノイズ N の比) を高めるため、左右半球 12 チャンネルの Z 値の平均値を算出した。

## 結 果

図 2 に between category, within category の両条件における酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) 脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb) 総ヘモグロビン (total-Hb) の時系列的变化を示す。半球間での全体的な傾向を表すため、グラフには 12 名の乳児全員における全チャンネルのデータを左右各半球で平均した Z 値を示している。図 2a は左半球, 図 2b は右半球の結果を示す。横軸は試行開始からの経過時間 (単位: 秒) を表し、横軸の 0 は刺激提示の開始を示し、横軸の 10 は刺激提示の終了を示す。実線は between category 試行, 点線は within category 試行の Oxy-Hb の経時変化を示している。between category 試行では、両半球の酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) の平均値は増加する傾向が示された。この増加は刺激提示開始後、約 4 秒付近でピークに到達した。一方で、within category 試行では酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) の増加は生じなかった。

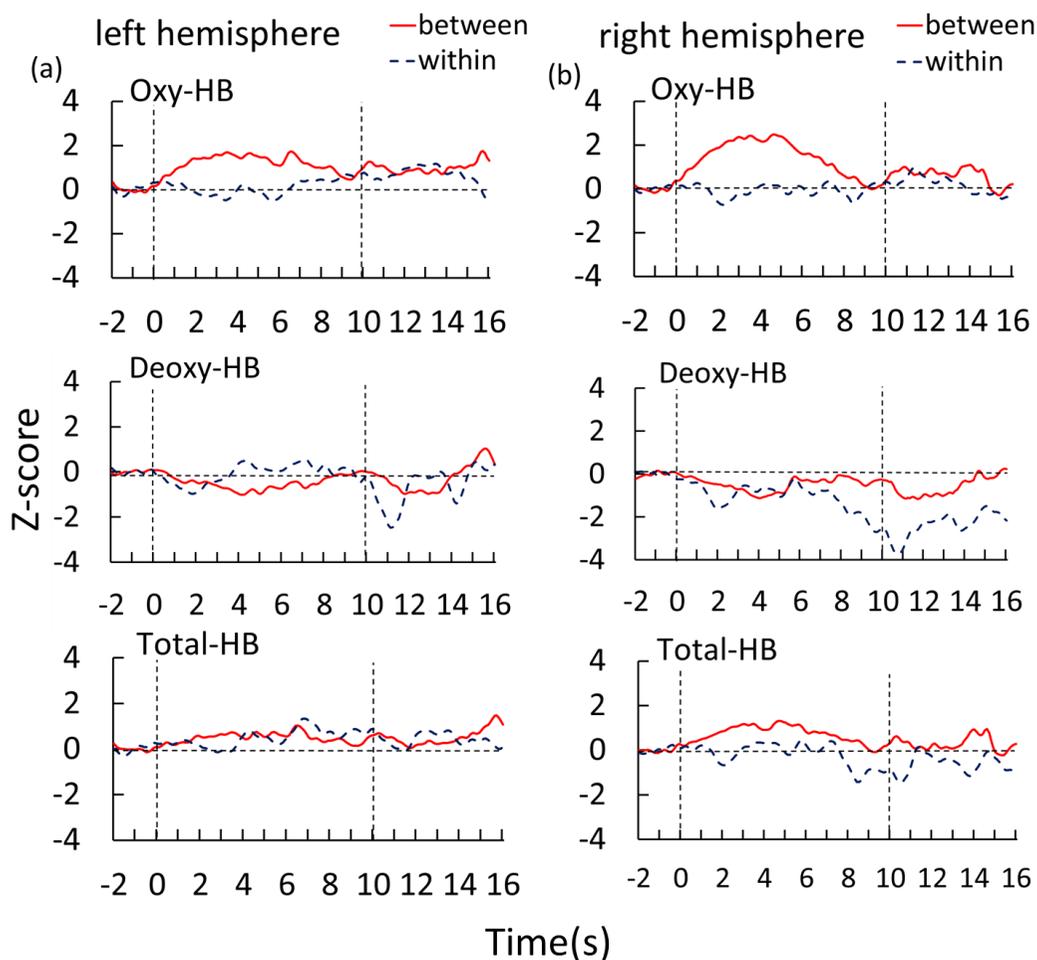


図 2 ヘモグロビンの時系列変化

図3には、between category・within categoryでの試行開始から2秒から6秒までの区間の各チャンネルの酸素化ヘモグロビン(oxy-Hb)のZ値の平均を示す。平均Z値に対して2要因分散分析(実験条件: between category・within category, 計測領域: 左半球・右半球)を行った結果、条件間の主効果は有意( $F(1,11)=11.95$ ,  $p<0.01$ )であったが、両半球の主効果と相互作用は有意ではなかった。色カテゴリ間と色カテゴリ内の情報を処理する時に、乳児の脳血流反応が異なることをはじめて示すことができた。この結果から、乳児がカテゴリカル色知覚を持ち、側頭領域においてカテゴリカル色知覚に対応した情報処理が行われると推測される。

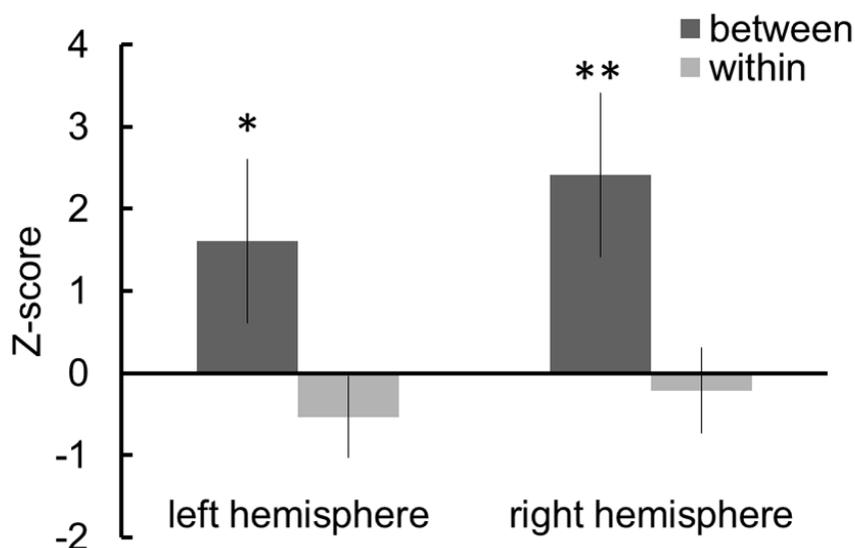


図3 左右半球における試行開始から2秒から6秒までの区間の平均Z値

## 実験2

実験1にみられた脳活動は、カテゴリカル色知覚と関連するのではなく、刺激に含まれた色の低次特性と相関がある可能性が考えられる。例えば、多数の先行研究(Bornstein, 1975; Zemach & Teller, 2007; Brown, & Lindsey, 2013)が、乳児が緑よりも青を選好することを報告した。さらに、CIE LABの色空間は、乳児にとって均等性もつかは知られていない。すなわち、乳児にとって、実験1のカテゴリ間の2色はカテゴリ間の2色よりも色差が大きく感じる可能性が否定できない。実験1にみられた脳活動は、刺激の色低次特性と相関すれば、初期視覚野でも類似する活動が観察できると考えられる。実験2では、乳児が実験1と同様な刺激を観察するときの後頭部の脳活動を測定することで、上記の可能性を検討する。

## 方 法

### 1. 対象

実験には、5・7ヶ月児 12名（平均日齢=179.6日）が参加した。そのほかに6名の乳児が実験に参加したが、実験の途中で泣いてしまった、刺激を注視しない、運動アーティファクトなどの理由によって十分な計測試行数が得られなかったため、分析から除外した。

### 2. 装置

装置は実験1と同様である。プローブはOz（International 10/20 system for recording EEG）の上1cmを中心に装着された。

### 3. 刺激, 手続き, 分析方法

刺激, 手続き, 分析方法は実験1と同様である。

## 結 果

図4に between category, within category の両条件における酸素化ヘモグロビン（oxy-Hb）の時系列的変化を示す。半球間での全体的な傾向を表すため、グラフには12名の乳児全員における全チャンネルのデータを左右各半球で平均したZ値を示している。両条件において、脳血流の上昇がみられたが、実験1の結果と異なり、条件間の差が観察できなかった。between category・within category での試行開始から2秒から6秒までの区間の各チャンネルのZ値の平均に対して、対応のあるt検定を行った結果、条件間の差は有意ではなかった（ $t(11)=0.49, n.s.$ ）。すなわち、実験1の2つ異なる刺激を観察するとき、初期視覚野の血流変化は同様である。この結果から、実験1にみられた条件間の脳活動の差は、色刺激の低次特徴に由来するではないことが示唆された。さらに、色のカテゴリ化は、初期視覚野で処理されていないと考えられる。

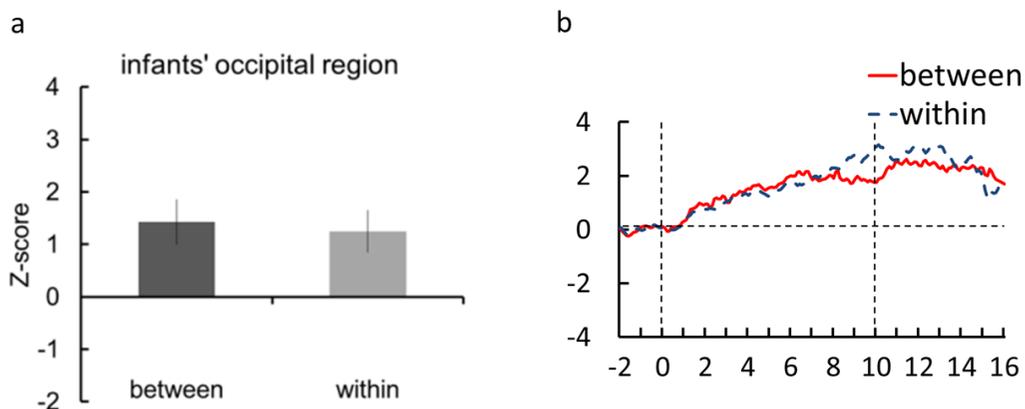


図4 a 左右半球における試行開始から2秒から6秒までの区間の平均Z値  
b 酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) の時系列変化

### 実験 3

実験 3 では、色カテゴリの境界を測定した成人被験者が同じ刺激を観察するときの脳活動を調べることで、実験 1 にみられる脳活動が、カテゴリカル色知覚に関連するかを検討する。脳活動を測定した前に、カラーネーミング課題の実施によって、成人被験者全員が実験 1 で使われた緑 1・緑 2 を緑、青 1 を青として知覚することを確認した。

### 方 法

#### 1. 対象

実験には、成人 6 名（平均年齢 29.2 歳）が参加した。

#### 2. 装置

NIRS 装置は実験 1 と同様であるが、成人用のプローブを使用した。測定位置は実験 1 と同じである。

#### 3. 刺激, 手続き, 分析方法

刺激, 手続き, 分析方法は実験 1 と同様である。between category, within category 両条件をそれぞれ 20 試行が行われた。

### 結 果

図 5 に between category, within category の両条件における酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) の時

系列的変化を示す。実験 1 にみられた乳児の脳活動と類似した血流上昇がみられた。between category 試行では、oxy-Hb の平均値は増加する傾向が示された。一方で、within category 試行では oxy-Hb の増加は生じなかった。between category・within category での試行開始から 2 秒から 6 秒までの区間の各チャンネルの Z 値の平均に対して 2 要因分散分析（実験条件：between category・within category, 計測領域：左半球・右半球）を行った結果、条件間の主効果は有意 ( $F(1,5) = 11.97, p < .01$ ) であったが、両半球の主効果と相互作用は有意ではなかった。色カテゴリ間と色カテゴリ内の情報を処理する時に、確実に色カテゴリをもつ成人被験者でも乳児と同様な脳血流反応がみられた。この結果から、乳児が成人と類似する色のカテゴリ化情報処理が、後側頭領域に行われると考えられる。

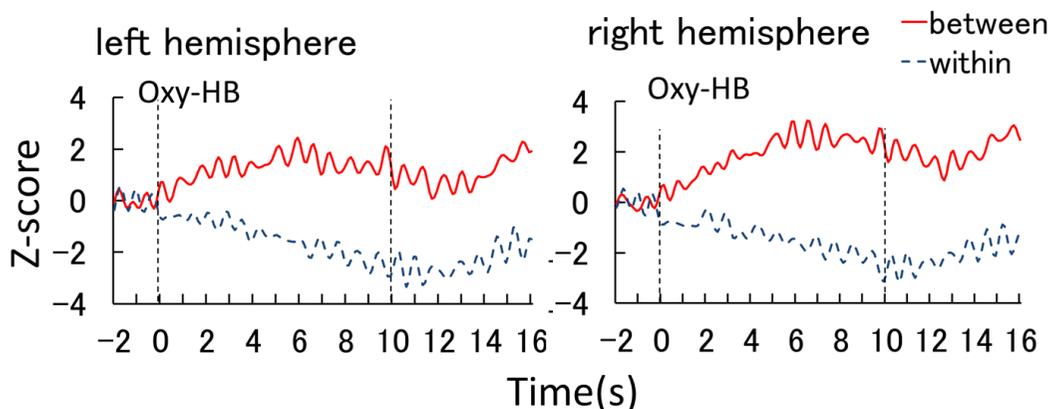


図 5 酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) の時系列変化

## 考 察

実験 1 では、5 - 7 ヶ月児がカテゴリ間とカテゴリ内で交替する図形を観察している時の左右後側頭領域の脳血流反応を比較した。実験の結果、カテゴリ間で交替する図形を観察している時、ベースラインと比べると両側頭の酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) の有意な増加が示された。一方で、カテゴリ内で交替する図形を観察している時に、酸素化ヘモグロビンの増加は示されなかった。先行研究では、行動実験によって言語獲得前の乳児もカテゴリカル色知覚を持つことが示されていたが (Bornstein et al., 1976; Franklin & Davies, 2004; Franklin et al., 2005; Franklin et al., 2008a), 本研究では、色カテゴリ間と色カテゴリ内の情報を処理する時に、乳児の脳血流反応が異なることをはじめて示すことができた。この結果から、乳児にもカテゴリカル色知覚が存在し、カテゴリカル色知覚は言語から独立した生理的な基盤をもつと推測される。

実験の結果から、乳児のカテゴリカル色知覚の処理が、初期視覚野ではなく、後側頭領域に行われると考えられる。この結果は成人実験とサル電気生理実験の結果と一致した。成人 fMRI 実験では、紡錘状回付近の V4v と VO1 領野に、カテゴリカル色知覚と関連する脳活動がみられた (Brouwer &

Heeger, 2013)。サルの研究では、この領域の細胞の色選択性は、ヒトの色カテゴリと類似し (Komatsu et al., 1992), 色のカテゴリ判断課題と色弁別課題を行うときに、発火頻度が課題によって異なることを示した (Koida & Komatsu, 2007)。この結果は、下側頭皮質は色カテゴリ判断に重要な役割を果たしていることを示唆している。

先行研究 (Franklin et al. 2008a; Franklin et al. 2008b) は、乳児のカテゴリカル色知覚の左視野 (右半球) 優位性を示している。しかしながら、実験では、カテゴリカル色知覚における脳機能の左右差は顕著には観測できなかった。統計的な有意差がみられなかった原因として、1) 左視野 (右半球) 優位性はそれほど頑強ではなく、効果量が小さいため、2) 左視野 (右半球) 優位性は課題依存である、3) 条件間の血流変化の差は NIRS に測定できる量よりも小さい、などの可能性も考えられる。

色カテゴリの基盤はどこにあるかという論争が長く続けている。カテゴリカル色知覚には普遍的な知覚制約があるか、あるいは、カテゴリカル色知覚は言語と文化によって生じるかが成人を対象に検討されてきたが、言語の効果を調べるために言語獲得以前の乳幼児を対象とした研究も行なわれている (Bornstein et al., 1976; Franklin & Davies, 2004; Franklin et al., 2005; Franklin et al., 2008a; Franklin et al., 2008b)。これらの研究では、4 - 5ヶ月児はカテゴリカル色知覚を持つことが示されている。言語獲得以前のカテゴリカル色知覚を確認したこれらの結果から、カテゴリカル色知覚は言語によらない普遍的な知覚メカニズムによることが示唆された。さらに、Matsuzawa (1985) はチンパンジーがヒトと類似したカテゴリカル色知覚をもっている可能性を示し、カテゴリカル色知覚はサルやチンパンジーなどを含めた霊長類の共通の知覚であることを示唆した。しかし、カテゴリカル色知覚は言語の影響を受けるという Sapir-Whorf 仮説を支持する研究もある。たとえば、Roberson et al., (2000) は、学習した語彙が色の弁別に影響を与えることをしめした。さらに、Winawer et al., (2007) はロシア語話者と英語話者を対して、色弁別課題を用い、青色に対する知覚差を比較した。英語とは異なり、ロシア語には淡い青と濃い青が2つの異なる言葉に分けられる。実験の結果、ロシア語話者は淡い青と濃い青の弁別にかかる反応時間が英語話者よりも速いことが判明した。これらの研究から、獲得した言語は、生得な色カテゴリの境界に影響し、言語のラベルによって、同じ色を別のカテゴリに分ける可能性が示唆された。すなわち、カテゴリカル色知覚は言語と独立した基盤をもつが、ある言語の獲得により生来の色カテゴリは、強化、変容、あるいは制限されると考えられる (Kay & Regier, 2006)。

## 引用文献

- Bornstein, M. (1975). Qualities of color vision in infancy. *Journal of experimental child psychology*, 19(3), 401-419.
- Bornstein, M., Kessen, W., & Weiskopf, S. (1976). Color vision and hue categorization in young human infants. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2, 115-129.
- Brown, A. M., & Lindsey, D. T. (2013). Infant color vision and color preferences: A tribute to Davida

- Teller. *Visual neuroscience*, 30(5-6), 243-250.
- Brouwer, G. J., & Heeger, D. J. (2013). Categorical clustering of the neural representation of color. *The Journal of Neuroscience*, 33(39), 15454-15465.
- Franklin, A., & Davies, I. R. L. (2004). New evidence for infant colour categories. *British Journal of Developmental Psychology*, 22, 349-377.
- Franklin, A., Pilling, M., & Davies, I. R. L. (2005). The nature of infant colour categorisation: Evidence from eye-movements on a target detection task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91, 227-248.
- Franklin, A., Drivonikou, G. V., Bevis, L., Davies, I. R. L., Kay, P., & Regier, T. (2008a) Categorical Perception of color is lateralized to the right hemisphere in infants, but to the left hemisphere in adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 3221-3225.
- Franklin, A., Drivonikou, G. V., Clifford, A., Kay, P., Regier, T., & Davies, I. R. L. (2008b). Lateralization of categorical perception of color changes with color term acquisition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 47, 18221-18225.
- Gilbert, A. L., Regier, T., Kay, P., & Ivry, R. B. (2005). Whorf hypothesis is supported in the right visual field but not the left. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103, 489-494.
- Harnad, S. (1987). *Psychophysical and cognitive aspects of categorical perception: A critical overview*. In S. Harnad (Ed.) *Categorical Perception: The Groundwork of Cognition*. Cambridge University Press, New York.
- Kay, P., & Regier, T. (2006) Language, thought and color: Recent developments. *Trends in Cognitive Sciences*, 10, 51-54.
- Koida, K., & Komatsu, H. (2007). Effects of task demands on the responses of color-selective neurons in the inferior temporal cortex. *Nature neuroscience*, 10(1), 108-116.
- Komatsu, H., Ideura, Y., Kaji, S., & Yamane, S. (1992). Color selectivity of neurons in the inferior temporal cortex of the awake macaque monkey. *Journal of Neuroscience*, 12(2), 408-424.
- Matsuzawa, T. (1985) Color naming and classification in a chimpanzee (*Pan troglodytes*). *Journal of Human Evolution*, 14, 283-291.
- Regier, T., Kay, P., & Cook, R. S. (2005). Focal colors are universal after all. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102, 8386-8391.
- Roberson, D., Davies, I. R. L., & Davidoff, J. (2000). Color categories are not universal: Replications and new evidence from a Stone Age culture. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129, 369-398.
- Siok, W. T., Kay, P., Wang, W. S. Y., Chan, A. H. D., Chen, L., & Luke, K.-K., (2009). Language regions of brain are operative in color perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 8140-8145.

内川恵二 (1998). 色覚のメカニズム 朝倉書店

Whorf, B.L. (1956) *The relation of habitual thought and behavior to language*. In: *Language, Thought and Reality: Essays by B.L. Whorf*. J.B.Carroll (ed.) Cambridge: M.I.T. Press.

Winawer, J., Witthoft, N., Frank, M., Wu, L., Wade, A., & Boroditsky, L. (2007). Russian blues reveal effects of language on color discrimination. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104 .7780-7785.

Zemach, I. K., & Teller, D. Y. (2007). Infant color vision: Infants' spontaneous color preferences are well behaved. *Vision Research*, 47(10), 1362-1367.

## 謝 辞

本研究の実施にあたって、ご支援をいただいた公益財団法人発達科学研究教育センターに心より御礼申し上げます。ご参加して下さった多くの赤ちゃんやご家族の方々、乳児実験を実施するうえで協力いただいた、中央大学の山口研究室の皆様にご感謝いたします。なお本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費（18300090，21243041：研究代表者，山口真美先生），同特別研究員奨励費（23・2049：研究代表者：楊嘉楽）からご支援を頂きました。ここに記して感謝いたします。

