

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07046

研究課題名(和文)サルにとっての素材感とは？視覚と触感の連合による素材知覚の神経メカニズムの研究

研究課題名(英文)What is the material perception due to visual and haptic information in primates?

研究代表者

伊藤 南 (Ito, Minami)

東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・教授

研究者番号：20311194

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：物体識別の手掛かりとして素材感や質感の表現が果たす役割が注目されている。素材知覚の獲得に触感情報は欠かせないが、触感との関わりを含む素材感知覚の神経メカニズムはよく分らない。本研究ではニホンザル3頭を触感と視覚を組み合わせた素材識別課題に習熟させた。96新素材の5つの素材カテゴリー(木、金属、絨毯、毛皮、ゲルシート)への分類には整合性があったが、個別の素材について個体差が見られた。レバー位置の視認により触感と視覚情報を連合させると素材識別に影響が生じた。以上の結果は、サルの素材知覚が未熟で習熟課程にあり、電気記録実験との比較対照に際しては記録個体の素材知覚を考慮する必要性を示す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

素材知覚の神経メカニズムの研究では、サルは同一個体において知覚特性とニューロンレベルの電気活動の関連性を明らかにする機会を与える重要なモデル動物である。しかし、サルがヒトと同様の素材識別を行うかどうかは自明でない。本研究の意義は、モデル動物において脳の電気活動に対応する素材知覚の特性を明らかにし、モデル動物による電気記録実験とヒト被験者の行動実験との間をつなぐ重要なピースとなることである。本研究の成果は、サルにおける素材知覚がヒトのそれとくらべて未熟ないしは新規に獲得されるような知覚作業であり、サルを用いた電気記録実験においては記録対象の認知能力を見極めることの必要性を示している。

研究成果の概要(英文)：Materials perception provides us a powerful clue to understand object recognition. Though the material perception might be dependent on secondary haptic sensation and experiences, their properties are not well understood in primates used for physiological studies. Thus, we have trained three macaque monkeys with the material categorization task into 5 reference materials (metal, wood, fabric, gel-sheet, and fur). After intensive training over several months under the haptic-alone condition, responses to 96 new objects were rather consistent, but the way of categorization was unique for each animal. They showed difficulty to improve the task combined with visual inspection of the response levers. In conclusion, material categorization of the primate subjects was largely consistent with human subjects, but showed some difficulty and peculiar way of error making. Thus, it is necessary to see properties of the material perception in individuals, before interpreting physiological data.

研究分野：神経科学

キーワード：素材知覚 霊長類 視覚 触感

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

物体識別の視覚的手掛かりは、輪郭線や境界が表す物体の形状と、色やテクスチャーなどが表す物体表面の情報とに大別される。近年、これとは別に物体表面の素材や質感の表現が物体識別に果たす役割が注目されている。日常のナチュラルな素材感や質感は、その見た目だけではなく、触った感じ、持ち上げた感じ、音などの複合的な情報によりもたらされる。視覚情報だけでもかなり正確に物体表面の素材感や質感を判別することができるが、これをある種のテクスチャー弁別として理解することは誤りである。触感などの様々な感覚情報との組み合わせにより成り立つと考えるべきである。仮に視覚情報のみを頼りに物体識別を行うにしても、ベイズ推定のような仕組みを通して過去の経験や知識により補完されていると考えられる。触感の一次情報は体表での圧力や振動の検出による体性感覚によりもたらされる。これに対して、素材感の表現は粗滑、硬軟、温冷、乾湿といった二次的な触感情報の表現に依存しており、そうした高次の知覚情報の脳内表現のメカニズムはよく分かっていない。

機能的MRI法の導入によりヒトの脳のある領域が特定の機能に関与すること、その機能に関連した電気活動の広がりや明らかにすることが可能になった。しかし、ヒト被験者による心理物理実験で調べた知覚特性と、動物実験による電気記録実験で調べたニューロンレベルの神経メカニズムの知見をつなぐには、同一個体(動物)において質感や素材感の見えをニューロンの電気活動に直接関連付けることが必要となる。動物実験で素材識別や質感知覚を扱うにあたり、いくつかの留意すべき点がある。(1) 実験動物がヒトと同様の視知覚をもつという仮定は自明ではない。(2) 素材識別には曖昧な要素が多く、個人差が大きい。(3) ヒトにおける質感のカテゴリーには金属、プラスチック、紙といった人工的な素材が含まれる。サルはヒトに匹敵する知覚能力を有するとされるが、従来の電気生理学的な研究では、質感表現の神経メカニズムとして2次元のテクスチャーに対する応答特性の研究に重点が置かれてきた。しかし、素材知覚に必要な情報が反映されていることを示すことができても、実際に動物がその情報を利用し、質感を知覚しているかは分からない。結果として、素材知覚の神経メカニズムを研究できているのかという疑問が残ってしまう。また質感知覚による素材識別がヒトに固有のものか、あるいは後天的に学習を通して獲得される性質なのかという疑問も残る。従って、これらのモデル動物が質感の情報を知覚し利用することを示すことは不可欠なステップである。

### 2. 研究の目的

物体識別の視覚的手掛かりとして、輪郭線の形状や色やテクスチャーなどが表す物体表面の情報とは別に、素材感や質感の表現が物体識別に果たす役割が注目されている。しかし、その神経メカニズムはよく分かっていない。物体識別における触感などの非視覚性情報が本来果たす役割を明らかにし、より高次の視覚情報処理の神経メカニズムを探る。触感と連合した視覚弁別課題を開発してサルに行わせ、サルにおける質感や素材感の知覚を心理物理学的手法を用いて評価する。課題遂行中のサルの腹側視覚路より単一細胞記録を行う。同一個体において、ニューロンレベルの電気活動と課題遂行中のサルの知覚判断との関連性を解析して、触感と連合した視覚情報処理の神経メカニズムを明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### <サルを用いた行動実験>

触感と連合した視覚弁別課題を開発してサルを訓練し、課題遂行中に高次視覚領野の電気活動を記録する。サルには質感サンプル(実物体、画像刺激)を金属、布、樹皮、ゲルシート、毛皮を指標とする5つの質感に分類させる。3頭のニホンザル(メス、6.7、7.0、6.6kg)を長期間(36、30、18か月)訓練、記録した。訓練前に飼育および測定環境に馴致させた。サルは専用のモンキーチェアに座り、頭部を固定した状態で課題を遂行する。刺激物体として、多種多様な質感サンプル(竹井機器工業 T.K.K.2108a)50ヶ(5cmx5cm 平面状)および実物体51ヶ(平面状5cmx5cm)を用意する(木、スウェード布、紙やすり、人工芝、和紙など)。5つ参照刺激(金属、布、樹皮、ゲルシート、毛皮)以外をテスト用刺激とし、日常の訓練では使用しないようにした。これとは別に飼育ケージ内に細かく仕切った餌箱を用意し、仕切り内に参照刺激と同じ素材を貼り付け、えさを取り出す際に素材に触れることにより、視覚、触覚、聴覚を通して素材の違いを動物に学習させた。開始レバーおよび5個の回答レバーに金属、布、樹皮、ゲルシート、毛皮を貼り付けた。サルが開始レバーに続いて、同じ素材の回答レバーを押すと報酬としてジュースを1滴与えた。弁別課題は週5日実施し、週に1日は自由に摂水させる。実験期間中は課題遂行中に必要な水分を補給できるように配慮し、体重、食事状況、排便排尿を継続的に観察する。サルの身体状況により、課題を休止して体調維持に努める。課題1では開始レバーを遮蔽して、触感のみで判断させるようにする。課題2では回答レバーの位置を変更して目視下で回答レバーの位置を探させる課題で訓練した。この課題では回答レバーの素材を視覚的に識別させることで、触感と視覚情報を連合させる。開始レバーを回転台に設置して試行毎にテスト刺激を交換できるようにした。訓練フェーズの成績が95%以上で安定したら、訓練用刺激にテスト用刺激を混用して弁別させる。テスト刺激は全試行の10%以下とした。テスト用刺激に対する10試行の結果をもとに素材スコア(参照刺激との類似度、金属、布、木材、ゲルシート、毛皮)を定めた。

#### <ヒト被験者による心理物理実験>

サルを用いた心理物理学の実験と併行して、ヒト被験者による対照実験を行った。同様の課題を用いてヒト被験者（男性7名、女性8名、年齢21 - 57）で調べた。101種類のテスト刺激(5X5cm)に対して、9ヶのスコアを5段階で評価させた；質感スコア（粗滑、硬軟、温冷、乾湿）、素材スコア（参照刺激との類似度、金属、布、木材、ゲルシート、毛皮）。主成分分析、多次元尺度法による解析、重回帰分析によりヒト被験者の成績を解析した。

#### 4. 研究成果

##### (1) ヒト被験者における素材識別

ヒト被験者の質感スコアをもとに主成分分析をおこなったところ、第一主成分と第二主成分により85%の分散が説明できること、その2次元空間中に101ヶの素材が広範囲に分布すること、5つの参照刺激（金属、布、樹皮、ゲルシート、毛皮）が4象限に分かれて分布することが示された。比較しやすいように、4つの参照刺激がそれぞれに2次元空間の4象限の中央に表示されるように条件をつけた多次元尺度法を適用し、知覚空間を表した。素材スコアをもとに素材カテゴリーを定めると、各素材カテゴリーに属する素材が、二次元の知覚空間内で局在しており、素材カテゴリーがよく表現されていることが示された。また、重回帰分析より、線形モデルにより素材スコアより質感スコアをよく予想できることが示された( $p < 0.001$ )。ヒト被験者においては、個人差、実験条件（触感のみ、視覚刺激のみ、触感と視覚刺激の組み合わせ）によらず、素材のカテゴリー分類が安定しており、素材感がよく確立されていることが示された。

##### (2) サルを被験者とする素材識別

視覚弁別課題と異なり、触感を利用した弁別課題の習得に非常に時間がかかることが判明した。数ヶ月にわたる訓練期間を経て5つ参照刺激に対する正答率が95%を超えるようになった。訓練途中のエラー内容はヒト被験者のそれと異なっていた。2頭のサルで新規素材96ヶに対する反応を調べた。新規素材に対してはレバー押しをためらうことが多かったが、回答レバーの選択にはかなり一貫性があった。ヒト被験者のデータをもとに作成した2次元素材空間に、動物によるカテゴリー分類を表すと、首尾一貫したカテゴリー分けがみられた。しかし、カテゴリーの境界は各動物により異なった。ヒト被験者の重回帰分析で得られた線形モデルを適用して、サルの質感スコアを推定したところ、ヒト被験者の験者の材料スコアと一致した( $p < 0.001$ )。結論として、サル被験者の素材弁別はヒト被験者人間の被験者のそれと整合性を示す一方、個体に特有のエラーが明らかになった。従って、各動物の生理学的データを解釈するには、物質的知覚の特性を確認する必要があることを示している。

(3) 当初、触感と連合した視覚弁別課題を遂行中の覚醒サルにおいて、市販電極(16ch ミシガンプローブ)を利用して高次の腹側視覚路(V4野、TEO野、TE野)から多細胞同時記録ないし局所電場電位の記録を行いことを計画した。動物の行動課題の成績の向上に予想以上時間がかかり、継続課題となった。特に課題2の習熟に時間を要し、サルが課題の継続を忌避する傾向があり、動物にとって課題が難しいことを示している。今後、電気記録を継続する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Minami Ito, Hatta Chisaki, Yoshida Sakie
2. 発表標題 Behavioral study of haptic material perception in macaque monkeys
3. 学会等名 The 41st Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Minami Ito, Chisaki Hatta, Sakie Yoshida, Kanoko Katsube, Yuka Morisue, Tensei Iwata
2. 発表標題 Surface materials are recognized by the visual and haptic cues in non-human primate subjects
3. 学会等名 Society for Neuroscience 2018 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Minami Ito, Chisaki Hatta, Sakie Yoshida, Kanoko Katsube, Yuka Morisue, Tensei Iwata
2. 発表標題 Haptic material perception in macaques monkeys, estimated by the material discrimination task
3. 学会等名 The 9th Federation of the Asian and Oceanian Physiological Societies Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Minami Ito, Fumihiro Hamano, Kento Mitsuhashi
2. 発表標題 Multi-dimensional scaling analysis of the material perception due to visual and haptic inspections.
3. 学会等名 第40回日本神経科学大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 舟木大登、本間達、若松秀俊、伊藤南
2. 発表標題 実験装置を基礎にした選択式脳低温療法のための臨床用温度管理装置の設計
3. 学会等名 日本臨床検査学教育学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤 南、甘楽 明穂、佐々木 睦美、濱野 文博、三橋 健斗、八田 千咲、吉田 咲絵
2. 発表標題 サルにおける手触り感による素材感評価を探る
3. 学会等名 視覚科学フォーラム2017 豊橋 第21回研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Minami Ito, Akiho Tsuzura, Mustumi Sasaki, Fumihiro Hamano, Kento Mitsuhashi
2. 発表標題 The simple material discrimination task examined haptic evaluations of material objects in human and possibly non-human primate subjects.
3. 学会等名 Society for Neuroscience 2017 Annual Meeting, USA (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	本間 達  (Honma Satoru)  (60361721)	東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・助教    (12602)	