

2018年1月25日

### 博士学位審査 論文審査報告書（課程内）

大学名 早稲田大学  
研究科名 大学院人間科学研究科  
申請者氏名 茂木 正晴  
学位の種類 博士（人間科学）  
論文題目（和文） 探索棒を用いた人の触知覚 —異なる素材の弁別における探索行為の運動的特徴—  
論文題目（英文） Perception of Remote Objects with Rigid Probe: The Nature of Exploratory Movement in Material Discrimination

#### 公開審査会

実施年月日・時間 2017年12月8日・10:00-11:00  
実施場所 早稲田大学 所沢キャンパス 100号館 第1会議室

#### 論文審査委員

	所属・職位	氏名	学位（分野）	学位取得大学	専門分野
主査	早稲田大学・教授	三嶋 博之	博士（人間科学）	早稲田大学	実験心理学
副査	早稲田大学・教授	藤本 浩志	博士（工学）	早稲田大学	ヒューマンインターフェース
副査	早稲田大学・教授	古山 宣洋	Ph. D.（心理学）	シカゴ大学	実験心理学

論文審査委員会は、茂木正晴氏による博士学位論文「探索棒を用いた人の触知覚：異なる素材の弁別における探索行為の運動的特徴」について公開審査会を開催し、以下の結論を得たので報告する。

公開審査会では、まず申請者から博士学位論文について30分間の発表があった。

#### 1 公開審査会における質疑応答の概要

申請者の発表に引き続き、以下の質疑応答があった。

- 1.1 （質疑）触覚的な弁別を行う実験において、6種類の素材（ゴム・ウレタン・プラスチック・木材・コンクリート・鋼材）が知覚すべき対象として選定されている。発表ではこれらの「かたさ」が弁別されているということであったが、果たして本当に「か

たさ」が弁別されているのか。たとえば「擦る」場合には、表面の粗さが情報になっていると推測されるが、もしもそうであるとすれば、「粗さ」は「かたさ」とは異なる性質のものであり、本実験で調べているのは「かたさ」の弁別の能力とは呼べないのではないか。関連して、6種類の素材の縦弾性係数が示されていたが、これらは「かたさ」の指標としては一定の妥当性を持つものと考えられる一方で、本研究で選定された6種の素材の縦弾性係数に等間隔性が認められない。もしも「かたさ」の弁別を課題とするのであれば、本研究で選定された素材は果たして妥当であると言えるのか。

(応答) 発表および論文中において「かたさ」という表現を使用しているが、これは厳密な意味での「硬さ」の意味で使用しているものではなかった(それゆえに「かたさ」と表現していた)。本実験で行われていることは、実際には本実験の条件の下で得られる触覚的情報を総合的に利用した素材の弁別であり、「硬さ」だけではなく素材表面の粗さ等も含んだ評価となっていると考えている。したがって、「かたさ」の弁別という曖昧な表現は修正し、「異なる素材の弁別」を行う課題であるとして、表現を修正したい。

- 1.2 (質疑) 触覚的な弁別を行う実験において、素材の呈示はランダム化されているが、3種の探索行為については、一貫して「振る」-「擦る」-「叩く」の順番で実施されているようである。そのような順番とした根拠は何か。また、いわゆる順序効果の影響についてはどのように考えるのか。

(応答) 油圧ショベルで掘削中に何かに触れた場合、まずバケット先端部を押しつけて振り、擦って、必要であれば確認のために軽く叩くという順番で探索を行うのが通常であると考えられるため、本研究ではその順番を採用した。また、弁別実験の開始前に、視覚も併用しつつ、全6種類の素材について3種類すべての探索行為を用いて、実験参加者自身が納得するまで十分な慣熟セッションを実施し、素材と、その素材から得られる感触との対応づけを行っている。したがって、探索行為の順序による有利/不利は、少なくとも本実験においては発生しない状況になっていると考えられる。

- 1.3 (質疑) 現在のタイトル(「媒体を通じた人の触知覚と効果的な探索行為: 建設作業における触知覚情報の必要性」)からは、「建設作業における触知覚情報の必要性」を主張する論文であると読みとれるが、本研究は建設作業現場での課題を重要な動機としつつも、実際にはそれを心理学的な実験室実験として実施しているのであり、「建設作業における触知覚情報の必要性」を主張するには至っていないのではないかと。より内容に即したタイトルとすべきではないか。

(応答) 本研究は、建設作業現場での触覚情報の重要性が十分に認識されていないという問題意識から実施されたものであり、また、既存建築物の維持・管理がより重要となってくる今後の情勢に鑑みて、それに寄与する研究を行いたいということで当初のタイトルとなった。ただし、指摘の通り、実際の研究の主要な部分は心理学的な実験によるものであるため、より適切なタイトルに変更したい。

- 1.4 (質疑) 探索行為の運動に関する時系列データのうち、解析対象として採用する部分を切り出すために行っている前処理の方法がわかりにくい。

(応答) よりわかりやすく記述を修正したい。

## 2 公開審査会で出された修正要求の概要

### 2.1 博士學位論文に対して、以下の修正要求が出された。

- 2.1.1 論文の章立てに関して、結論となる部分に向けての流れがわかりやすくなるように修正することの検討を求める。
- 2.1.2 タイトルについて、実際の主要な研究内容である心理実験により即したものとすることの検討を求める。
- 2.1.3 タイトルと同じく、研究の目的の記述がやや幅広いものとなっているため、より限定的で具体的なものにすることを求める。本研究は、建設現場での課題を発端としたものではあるが、主要な心理実験の内容と対応させることが望まれる。
- 2.1.4 運動の評価指標として採用されている再帰性定量化解析について、それを採用する理由の妥当性がわかるように本文の記述を増補することを求める。
- 2.1.5 探索行為の運動に関する時系列データから解析対象となる部分を切り出す際の手順について、より詳細なものとするを求める。
- 2.1.6 実験で使用された6種の素材の特性に関するデータを、縦弾性係数以外にも掲載することを求める。
- 2.1.7 図表のタイトルを、個々の図表の内容に即した具体的な表現とすることを求める。
- 2.1.8 図表の目次が付されることが望ましい。

### 2.2 修正要求の各項目について、本論文最終版では以下の通りの修正が施され、修正要求を満たしていると判断された。

- 2.2.1 全体の構成が見直され、章立てが変更された。
- 2.2.2 タイトルが修正され、より実際の研究内容に即したものとなった。
- 2.2.3 研究目的に関する記述が修正され、より内容に即したものとなった。
- 2.2.4 再帰性定量化解析に関する記述が補完された。
- 2.2.5 探索行為の運動に関する時系列データから解析対象となる部分を切り出す際の手順について、流れ図を用いた記述が追加された。
- 2.2.6 実験で使用された6種の素材について、横弾性係数、摩擦係数、重量、素材表面の顕微鏡写真が追加された。
- 2.2.7 図表のタイトルについて見直しが行われた。
- 2.2.8 図表の目次が追加された。

## 3 本論文の評価

- 3.1 本論文の研究目的の明確性・妥当性：本研究は、土木現場で掘削等の建設作業を安全かつ効率的に遂行する上で必要となる機材の開発に寄与することを将来的な目標として定めつつ、現実の建設作業現場において生じている触覚的な弁別課題（建設機械のアームや操作レバー等を介して得られる触感覚による地中埋設管の発見・同定等）を実験室的な心理実験として再構成することで、触覚的な課題に直面した人間が行う

探索行為の特徴を明らかにしようとするものである。その研究目的は明確であり、また、学術的・社会的な観点からも妥当であると考えられる。

- 3.2 本論文の方法論（研究計画・分析方法等）の明確性・妥当性：本研究では、現実の建設作業で建設機械の操作者が直面する触覚的な弁別課題について、それを実験室的な実験として再構成する方法を用いている。まず、本研究の対象とする建設作業現場での課題と研究目的について定義し（第1章～第3章）、次に、実験室的に再構成された触覚課題（複数の素材に対して探索棒を介して触れることで触覚的に弁別する課題）において、建設現場で典型的にみられる素材の弁別能力について知覚的・運動的パフォーマンスの両面から検証することで、本研究の方法論的妥当性を検証している（第4章：研究1）。これらを踏まえ、続く研究2（第5章）において、研究1と同様の課題を採用しつつ、課題遂行時に見られる探索行為の運動に関わる変数（ひずみや加速度の時系列）を詳細に分析することで、触覚課題遂行にともなう探索行為の運動的特徴を定量的に評価することを試みている。研究2においては、非線形性の強い時系列データを分析する手法として再帰性定量化解析を採用することにより、多様で複雑な人の探索行為を分類・分析することに成功していると評価できる。なお研究2においては、実際に建設現場で建設機械の遠隔操作に従事しているオペレータを実験参加者とすることで、課題の生態学的妥当性を高める努力を行っている。また、その選出に際しては、実際に建設機械を用いて作業するモデルタスクの結果を踏まえて、安定した技量をもつ参加者を選定している。本論文で実施した実験の手続きについては、早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を取得し（2015-125）、実験の前には参加者に対して実験内容についての十分な説明を行い、インフォームドコンセントが得られた上で実施したとしており、倫理的な配慮が十分になされていると評価した。
- 3.3 本論文の成果の明確性・妥当性：本研究の結果、1)探索棒（ABS樹脂製）を介した間接的な接触により、建設現場に典型的に存在する6種の素材（ゴム・ウレタン・プラスチック・木材・コンクリート・鋼材）の触覚的な弁別が可能であること、1)「振る」（探索棒の先端を素材に接触させ、先端は移動させずに持ち手側を動かす）、「擦る」（素材の表面に対して探索棒の先端を持続的に接触させながら移動させることで擦る）、「叩く」（探索棒の先端を素材表面に当てたり離したりすることを繰り返す）の3種の探索方法を比較すると、総合的には「擦る」行為での弁別成績がよいこと、ただし探索行為の種類毎に、弁別しやすい／にくい素材が異なり、素材によっては「叩く」ことも有効であること、3)弁別の成績が高い実験参加者と低い実験参加者では探索行為の性質が異なり、成績上位者の探索行為において見られる運動は非定型的で複雑であること、4)弁別が成功した試行での探索行為においては、その運動から得られた時系列データに高い複雑性が見られる（再帰性定量化解析の評価変数である最大線長と決定率の値が相対的に小さい）ことが明らかとなった。これらの結果は定量的な裏付けの下に示されていると考えられ、妥当であると判断される。
- 3.4 本論文の独創性・新規性：本論文は、以下の点において独創的である。
- 3.4.1 媒体を介した素材の触覚的な弁別において、素材の種類と探索方法の種類に適

切な組み合わせ（その素材を見分けやすい探索行為の組み合わせ）がある可能性を実証的に示唆した点で独創的であると判断される。

- 3.4.2 触覚的な探索行為において、弁別の成績との関係で、有効な探索行為とそうでない探索行為の運動的な特徴を定量的に記述した点で独創的であると判断される。
- 3.4.3 現実の建設現場における課題を、実験室的な心理実験として再構成し、生態学的な妥当性が失われないための配慮を行いつつ、可能な限りの統制をもってデータを収集し、分析を行っている点で独創的であると判断される。
- 3.5 本論文の学術的意義・社会的意義：本論文は以下の点において学術的・社会的意義がある。
  - 3.5.1 従来より、「受動触」よりも「能動触」において触覚的な弁別の成績が高くなることは知られていたが、能動的に動いているようでも知覚に成功する場合と失敗する場合があります、それらの違いを定量的に評価することは難しかった。しかし本研究で行われた解析により、有効な能動触と有効でない能動触を区別する方法の端緒が示された点で学術的な意義が高いと判断される。
  - 3.5.2 建設機械の遠隔操作の分野においては、視覚以外の情報をいかにして操作者に伝達するかが模索されている。本研究は、建設機械の遠隔操作において有効な触覚情報がいかなるものであるかを示す基礎データとなり得るという点で、社会的な意義が高いと考えられる。
  - 3.5.3 建設現場において利用されている触覚知覚について心理学的に評価を行う研究は少なく、建設現場での施工技術を支える知覚技能の研究として学術的な価値が認められる。また、そのような知覚技能に頼る作業の技術向上に貢献する可能性があるという点で、社会的な意義があると考えられる。
- 3.6 本論文の人間科学に対する貢献：本論文は、以下の点において、人間科学に対する貢献がある。
  - 3.6.1 本研究は、土木作業現場において建設機械を操作する際の触覚情報の利用について明らかにしようとするという動機に基づくものであり、土木、建設、機械工学および心理学の融合的研究であるという点で、人間科学に対する貢献があると判断される。

4 本論文の内容（一部を含む）が掲載された主な学術論文・業績は、以下のとおりである。

（申請要件となる論文）

茂木 正晴・油田 信一・藤野 健一（2014）. 油圧ショベルの遠隔操作による作業の効率評価のためのモデルタスクの提案, 建設機械施工, 66(8), 71-79.

茂木 正晴・藤野 健一・三嶋 博之（2016）. 無人化施工による破砕・解体作業時における触覚情報の必要性と実態：媒体を通じた人の触覚知覚の実態, 建設機械施工, 68(8), 64-73.

(その他の論文)

茂木 正晴・油田 信一・藤野 健一 (2015). 無人化施工におけるヒューマンインタフェースの作業効率評価, 日本ロボット学会誌, 33(6), 426-429. (解説論文)

## 5 結論

以上に鑑みて、申請者は、博士（人間科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

以 上