

認知特性推定へ向けた
タブレット端末による直線描画タスクの研究

マネジメント工学専攻

井上 大成

目 次

1. はじめに	1
1.1. 研究の背景	1
1.2. 研究の目的	4
1.3. 本論文の構成	6
2. 点群に基づく直線描画タスク	9
2.1. はじめに	9
2.2. 描画タスクと認知特性に関する先行研究と本章の位置付け	10
2.3. 直線描画タスクの概要	13
2.4. 直線描画タスクに用いる点群	14
2.5. 引かれた直線の特徴の指標化方法	16
2.5.1. 引かれた直線から点群の重心までの距離	16
2.5.2. 引かれた直線から点群の端点まで距離の合計	17
3. 日常的な失敗傾向と引かれた線の特徴の関係性	20
3.1. はじめに	20
3.2. 認知特性に関する先行研究と本章の位置付け	22
3.3. 実験方法・分析方法	25
3.3.1. 実験概要	25
3.3.2. 実験参加者	25
3.3.3. 引かれた直線の特徴の指標化方法	26
3.3.4. 失敗傾向質問紙の集計方法	26
3.3.5. 分析方法	27
3.4. 結果	30
3.4.1. 実験参加者によって引かれた線の傾向	30
3.4.2. 失敗傾向の得点によるグループの分類	33
3.4.3. 引かれた線の特徴と失敗傾向の関係性	34
3.4.4. 重回帰分析を用いた引かれた線の特徴の推定	38
3.5. 考察	40
3.5.1. 引かれた線の特徴と失敗傾向の関係性に関する検討	40
3.5.2. 失敗傾向の得点を分類できる点群の特徴	42
3.6. まとめ	42
4. 反応時間と引かれた線の特徴の関係性	45
4.1. はじめに	45

4.2.	認知特性と反応時間に関する先行研究と本章の位置付け	47
4.3.	実験方法・分析方法	50
4.3.1.	実験概要	50
4.3.2.	実験参加者	50
4.3.3.	直線描画タスク	50
4.3.4.	模擬運転作業	51
4.3.5.	反応時間の評価	52
4.3.6.	模擬運転作業における視線情報の評価	58
4.3.7.	分析方法の概要	60
4.4.	結果	61
4.4.1.	反応時間の傾向	61
4.4.2.	視線情報の傾向	65
4.4.3.	引かれた線のばらつきと反応時間の関係性	68
4.4.4.	点群の特徴	70
4.4.5.	引かれた線のばらつきから反応時間のばらつきを予測	70
4.5.	考察	72
4.5.1.	引かれた線のばらつきと反応時間の関係性	72
4.5.2.	反応時間と関係のある点群	74
4.6.	まとめ	75
5.	失敗傾向と関係がある点群の特徴の分析	77
5.1.	はじめに	77
5.2.	分析方法	79
5.2.1.	点群の特徴	79
5.2.2.	分析方法	84
5.3.	結果	85
5.3.1.	実験参加者によって引かれた線の傾向と点群の端点の数の確認	85
5.3.2.	引かれた線の特徴と失敗傾向の相関関係	85
5.3.3.	点群の特徴による点群の端点の数の分類	89
5.4.	考察	94
5.5.	まとめ	95
6.	まとめ	96
6.1.	本研究の総括	96
6.2.	本研究により見込まれる応用	98
6.3.	本研究における今後の課題	100
	参考文献	101

本研究に関する研究発表.....	108
謝辞	110

A Study on a Line-Drawing Task using a Tablet Device for Estimating Cognitive Characteristics

Taisei Inoue

Since human cognitive characteristics are related to behaviors such as accidents and errors, it is expected that examining cognitive characteristics will lead to the prevention of accidents and human error. To estimate cognitive characteristics, such as error proneness, this study proposes a new method using a line drawing task. The structure of this paper is as follows.

Chapter 1 describes the objectives and the structure of this paper.

Chapter 2 introduces the line drawing task. This chapter focuses on the relationship between cognitive characteristic and the drawing tasks.

Chapter 3 examines the relationship between the error proneness and the drawn lines. Based on the experiments with 34 participants, this chapter clarifies the characteristics of drawn lines from participants based on given point clouds is related to the error proneness related to attention.

In Chapter 4, the line drawing task is applied to a different cognitive characteristic, which is the reaction time when the brake light of a car in front glows. Based on the experiments with 23 participants, this chapter identifies the relationship between the variation of the reaction time and the variation of drawn lines.

Chapter 5 investigates the characteristics of point clouds related to error proneness. The chapter clarifies the point clouds with two extreme points and with two kinds of characteristics based on the principal component analysis can be used to predict the error proneness.

Chapter 6 is the conclusion of this study. This study shows that the line drawing task is related to the cognitive characteristics, such as error proneness and the reaction time. The line drawing task is expected to be used to construct a customized environment that fits individual cognitive characteristics, such as a customized layout of the menu screen.

1. はじめに

1.1. 研究の背景

近年、仮想空間であるメタバースや仮想空間と現実空間の融合である Society5.0 など、センサーや情報機器を通じて個人のデータを収集し、利活用する機会が増えてきている。例えば、Society5.0 では、ビッグデータとして様々な分野のデータが共有される（内閣府, 2022）ため、他の分野同士の個人データを共有できることが期待される。また、メタバースでは VR (Virtual Reality) が普及しており、VR 上の空間でヘッドマウントディスプレイやトラッキングのためのトラッカーを付ける（HTC Corporation, 2022）関係から、視線データや骨格データなどを取得することができる。このように、以前よりも個人のデータについて幅広く取得できるようになっているため、これらのデータを有効に活用し、応用することが望まれる。

個人データを活用する場合、履歴データを用いて個人に合わせてシステムをカスタマイズすることが多い。特に EC サイトや検索ブラウザ、スマートフォンアプリケーションの広告などは、個人の購入履歴や検索履歴を利用して行っており、個人の履歴に合わせてシステムをカスタマイズすることで表示する広告が決められている。人は行動をする前に、物事を認知した後に判断を行っており、現在では人の行動の結果を用いてシステムに反映している。人の行動の背景にある認知的な特性（以下、認知特性）を推定し、この特性に合わせてシステムを最適化することで、従来よりもさらに個人の特性にあったシステムを作成できると期待できる。

認知の意味は幅広く、いくつかの文献では次のように記述されている。

・心理学辞典（平凡社, 1981）

「既存の情報に基づいて外界の事物に関する情報を選択的に取り入れ、これらの情報を用いて適切な行為を行うための能動的な情報収集・処理活動の総称」

・八木（1997）

「感覚や知覚だけでなく、注意、記憶、意思決定や動作の遂行（パフォーマンス）を含む広い概念」

・齊藤（2005）

「他の感覚系などからの影響や過去の経験、思考などの効果がより多く考えられる過程を指し、感覚、知覚の概念よりも広い意味に用いられている」
これらのことから、認知とは、その場の情報のみでなく、過去の経験を踏まえて物事を捉え、その物事について判断し、判断したことに基づいて行動することの全体的な流れの全てを指している。

認知特性と関連する言葉には、認知的特性、認知機能特性、認知機能などが実

際に用いられている。例えば、認知特性の広い概念として、宮城県総合教育センターでは、「五感を中心とした感覚器から入ってきた様々な情報を記憶したり、脳の中で理解して表現する能力」としている（宮城県総合教育センター, 2018）。一方で、それよりも狭い認知特性として、西崎らは認知機能として運転行動に関わる可能性のある認知機能について、神経心理学的検査を用いて注意機能などを測定した（西崎, 2013）。また、Tabibi とも認知機能（Cognitive Abilities）を測定するために、課題に対する反応時間を用いて注意機能を測定している（Tabibi, 2015）。これらの研究から、認知特性では特に注意機能を取り扱っていることがわかる。このことから、本研究では「認知特性」について、「情報を得る際の注意に関する認知機能」として扱う。

認知特性と行動の結果の間関係性を調べた研究として、事故やミスと認知特性の関係性を調べた研究がある。自動車事故防止の観点で言えば、事故防止のために運転行動や実際の反応時間と認知特性の関係性を調べている研究が多く報告されている（Allahyari, 2008; Born, 2006; Feng, 2014; Tabibi, 2015; Wallace, 2003）。また、実際の作業におけるミスの回数と関係があるといったことも報告されている（Hohman, 2011）。認知の発達に関する分野では、描画テストの結果が認知の発達度合いや注意特性などと関係していることが報告されている（Duffy, 2007; Jolley, 2013; 加藤, 2015; Kitayama, 2003; Morra, 2010; Morra, 2017; 新妻, 2013）。これらのことから、認知特性と行動の関係性を調べることによって、その後の行動を予測できると期待できる。

質問紙によって得た個人のパーソナリティに合わせて教育の仕組みを変えることで、子供たちの達成感を取得でき、自尊心の向上につながることを報告されている（都築, 2016）。また、一般的なサラリーマンなどの人材的な視点では、経済産業省が作成した未来人材ビジョン（経済産業省, 2022）によれば、2015年には「注意深さ・ミスがないこと」や「責任感・まじめさ」、「信頼感・誠実さ」が人材における重要なスキルとして挙げられている。2050年の予測では、IT技術の急速な発展もあり、「問題発見の能力」、「的確な予測」、「革新性」というスキルが重要であると予測している。こういったスキルを活かすために、働く環境を個人の特性に合わせることでミスなどを防ぐことができると考えられる。これらのことから、個人の特性に合わせたり、個人の能力を発揮させるように環境を変えるようなシステムが望まれる。

認知特性を調べることは、個人の短所を探すことだけでなく、適性を探すことにも繋がる。例えば、認知的失敗について着目すると、認知的な失敗が多い人が事故やエラーを起こしやすい傾向にあることについては、複数の報告がある（Allahyari, 2008; Wallace, 2003）。また、日常生活の認知的失敗の頻度が多い人は、注意が維持しづらいといった傾向がある（篠原, 2007）。一方で、複数の課題

を探索する課題は得意である, 好奇心が強いといったことが報告されている (山田, 1991; 辻, 1998). 山田 (1999) によれば, 認知的失敗が多いのは注意能力が不足しているのではなく, 注意を向ける対象が広いことに起因すると考えられている. これらの報告から, 認知的失敗の傾向が強いことは必ずしも悪いことではなく, 本人の長所が見つかることに繋がることを期待される.

認知特性を調べる手段は, 質問紙による測定法とタスクによる測定法 (簡易的な手法, 専門機器が必要な手法) があり, いずれの測定法も認知関連指標を取得し, この指標から認知特性を推定している. これらの測定法には, それぞれ表 1.1 に示す特徴がある.

表 1.1 従来手法の比較

測定方法	簡便さ	迅速さ	目的の わかりづらさ	取得できる 指標の特性
質問紙による測定法	○	○	○	主観的 尺度
タスクによる測定法 (簡易的な手法)	○	○	×	客観的 尺度
タスクによる測定法 (専門機器が必要な手法)	×	△	△	客観的 尺度

注: 「目的のわかりづらさ」は, 目的がわかりづらいときに○である

質問紙による手法は, 質問項目について回答してもらう形式であるため, 簡便かつ迅速に行うことが可能である. また, Google Form などを用いることで, インターネットへの移行もできる. 質問紙による測定法は, 質問紙の得点などの主観的な尺度を認知関連指標としている. しかし, 本人の主観に基づいて回答する都合上, 質問紙によって得た得点は, 本人の自覚度合いや経験に基づくことが報告されている (Brindger, 2013; 関口, 2017; 清水, 2018; 清水 2019; Winter, 2015).

タスクによる測定法は, 簡易的な手法と専門機器が必要な手法の 2 通りがある. 簡易的な手法は, 簡便かつ迅速にタスクを行え, かつ客観的な尺度を用いて認知関連指標を測定できる (大橋, 1999). 簡易的なタスクは, 一般に, 測定する目的がわかりやすい. 一方で, ドライビングシミュレータなどの専門機器が必要なタスク (自動車技術ハンドブック編集委員会, 2016) は, 機器を用意しなければならず, 簡便に行うことが難しい. これらのタスクによる測定法では, 課題への反応時間やタスク中の行動など客観的な尺度を認知関連指標としている.

本研究で提案する直線描画タスクは, 簡易的なタスクによる測定法に属する

手法である。このタスクでは、認知関連指標を客観的な尺度で取得することができ、目的もわかりづらい手法である。

簡易的なタスクを用いて認知特性を測定する場合、目的がわかりやすいという問題点がある。目的がわかりづらく、認知特性と関係があるタスクとして描画タスクが挙げられる。先述した通り、描画タスクは認知の発達度合いや注意特性などと関係していることが報告されている (Duffy, 2007; Jolley, 2013; 加藤, 2015; Kitayama, 2003; Morra, 2010; Morra, 2017; 新妻, 2013)。これらの研究で扱っている描画タスクは、未完成の絵を完成させるタスク、提示された図形に合わせて線を描くタスクなどが用いられており、全体の傾向としてタスクの目的がわかりづらい。また、描画タスクの結果は集計に時間がかかるが、タブレット端末上に描画を行うことでその場で集計し、新しい簡易的なタスクを用いる手法として認知特性を調べられることが期待できる。

描画タスクを行う際に提示する課題は、図形や絵など様々なものが用いられている。これらの図形や絵は自由に描かせる場合もあるが、多くはある程度描画するものを予測できる課題を与えている。例えば、点群に基づいて直線を描画する際、点群の重心位置などといった点群の特徴や最小二乗法によって求めた直線などといった点群と直線の関係性などについて、線を引く際に考慮すると考えられる。本研究では、与えられた点群について、認知特性の違いによって点群への観察の仕方や引く線の判断方法が異なる可能性がある点に着目した。このことから、タブレット端末の画面内に提示した点群に基づいて線を引くタスク(以下、直線描画タスク)を提案し、直線描画タスクによって、何らかの認知特性が推定することが期待される。

1.2. 研究の目的

本論文の主たる目的は、タブレット端末を用いた直線描画タスクによる認知特性推定のために、「直線描画タスクによって得た引かれた線の特徴と人の認知特性の関係性を明らかにすること」である。

本論文の独自性と新規性は、次の点にある。

- ・直線描画タスクという新しい認知特性推定のためのタスクを提案する。
- ・点群に基づいて線を引くというタブレット端末上で簡便かつ迅速にできるタスクの結果と認知特性の関係性を調べる。
- ・タブレット上で実施が可能であるため、調べた結果をすぐに反映でき、システムとつなげれば認知特性に合わせてシステムを柔軟に変更できることが期待される。

本論文では、簡便かつ迅速に、客観的な尺度を用いて人の特性を調べる手法に向けて、直線描画タスクによって得た引かれた線の特徴から人の認知特性を予

測する。しかしながら，提案手法を用いて人の認知特性を予測するには，次の3つの解決すべき問題点がある（図 1.2）。

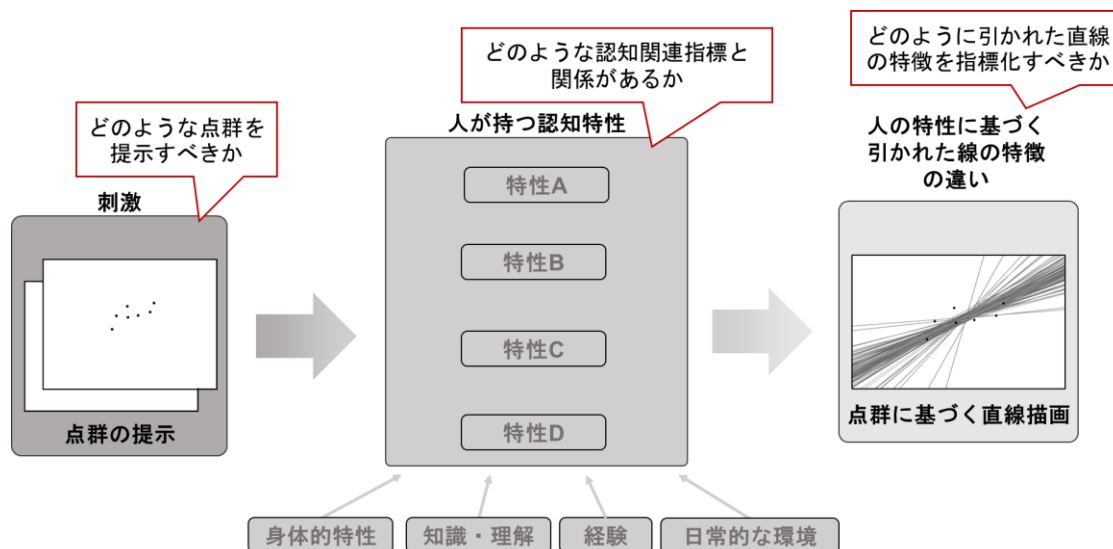


図 1.2 本論文の解決すべき問題点

(a) どのように引かれた直線の特徴を指標化すべきか。

直線描画タスクにおける人により引かれた線の特徴は，直線描画におけるどのプロセスで違いが出るか，引かれた直線の特徴どのように評価した場合に違いが出るか，どういった人の特性と関係性があるのか。

(b) どのような認知関連指標と関係があるか。

直線描画タスクを用いて人の特性を調べるために，どのような特徴を持つ点群を提示すべきか。

(c) どのような点群を提示すべきか。

人が点群を観察する際に点群の形状などといった物理的な特性がどの程度影響するか。

これらの解決すべき問題点について，(a)，(b)は第3章，第4章にて検討を行い，(c)は第5章にて検討を行った。第3章では，日常的な失敗傾向を調べる質問紙の得点との関係性を調べた結果，引かれた線を，点群に基づき引かれた直線と点群の重心までの距離（以下，重心までの距離）もしくは引かれた線と点群の端点までの距離（以下，端点までの距離）で評価した場合に，注意に関する失敗傾向であるアクションスリップ（Action Slip; 以下，AS）の得点の間に関係性があることを明らかにする。第4章では，引かれた線の特徴を，重心までの距離のばらつきで指標化した場合に，模擬運転作業における反応時間のばらつきとの間に関係性があることを明らかにする。第5章では，点群における線を引く際に基

準とする端点の数（以下，端点の数）が 2 点の場合に AS の得点との関係性があることを明らかにする．また，端点が 2 点になる場合は，点群の座標の横方向のばらつきに関する成分が関係していることを示す．

1.3. 本論文の構成

本研究では，タブレット機器を用いて認知特性を調べるため，直線描画タスクにおける引かれた線の特徴と認知特性と関係がある認知関連指標との関係性を調べる．認知関連指標について，日常的な認知的失敗と関係がある失敗傾向，客観的な尺度である反応時間を用いる．それぞれの認知関連指標と引かれた線の特徴の関係性を調べる実験を行うことで，どのような認知特性と関係があるかを明らかにする．2つの実験のデータを総括し，認知特性と関係がある点群の特徴について検討を行う．本論文の構成を図 1.3 に示す．

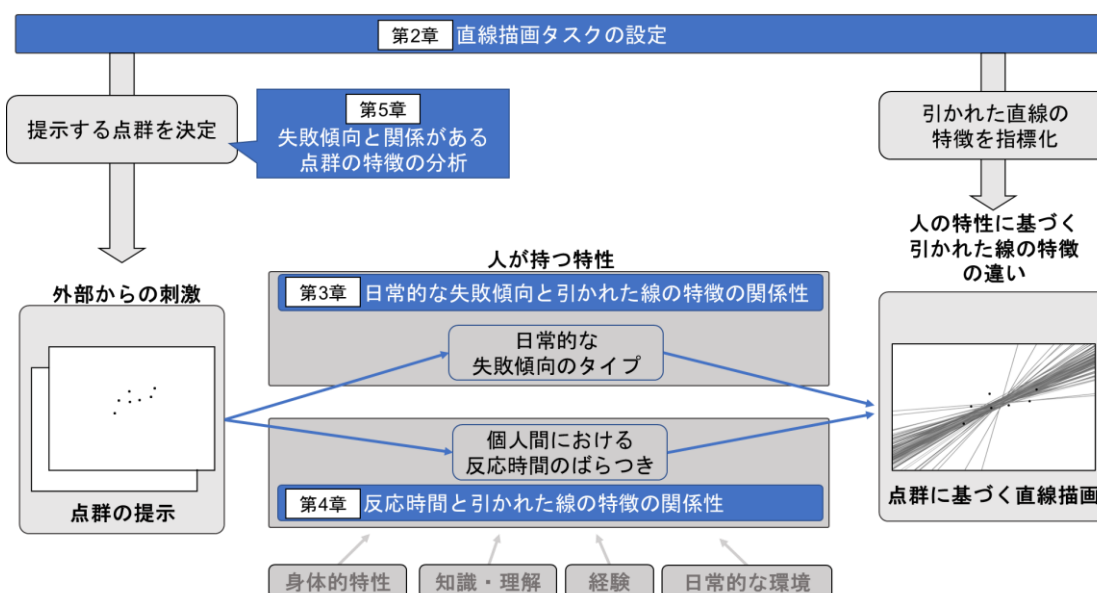


図 1.3 本論文の構成と直線描画タスクのプロセスの関係性

第 2 章「点群に基づく直線描画タスク」では，描画タスクに関する従来研究および，本論文の基礎である直線描画タスクについて述べている．描画タスクに関する従来研究について，認知特性との関係性を調べるものや，タスクに影響を与える物理的な要因について調べるものなど様々な研究について述べている．直線描画タスクの概要では，タスクの流れ，提示する点群と直線の評価方法について示す．点群は座標の相関係数が異なる 10 種類のものを用意する．また，直線の評価方法は，「重心までの距離」もしくは「端点までの距離」を提案している．

重心までの距離は，引かれた線と提示した点群の座標の重心までの垂直距離

として定義する。端点までの距離は、引かれた線と提示した点群の端点までの距離として定義する。このとき、点群の端点は、線を引く際に基準とする端点を示す。端点は、点群の x, y 座標に対して主成分分析を行い、その第1主成分を点群の方向とし、第1主成分の最大値と最小値をそれぞれ点群の端点とする。このことから、点群の端点の数（以下、端点の数）は最小が2点となる。また、実際に線を引かれた線の傾向を検討した結果、定義した2点以外にも端点がある場合は、実験参加者によって引かれた線（図 3.6 および図 5.10 を参照）を基に点群ごとに端点を追加する。

第3章「日常的な失敗傾向と引かれた線の特徴の関係性」では、失敗傾向と引かれた線の特徴に関係があることを34名の実験参加者による実験から示している。各実験参加者に対して、直線描画タスクを3回行い、日常的な認知的失敗の頻度を質問する失敗傾向質問紙（Error Proneness Questionnaire; 以下、EPQ）を実施する。EPQは、いくつかの質問によって、AS、認知の狭窄（Cognitive Narrowing; 以下、CN）、衝動的失敗（Impulsive Failure; 以下、IF）、3種類の失敗傾向を推定する質問紙である。ASとは、うっかりやぼんやりといった不注意による失敗傾向である。CNとは、自身に負担がかかった際に、認知の範囲が狭くなることで失敗する傾向である。IFとは、計画や見通しが苦手である、行動の制御が苦手なことが要因で起こる失敗の傾向である。直線描画タスクでは、10種類の点群について最適な線を引くことを指示した。引かれた線の特徴とEPQの得点の間関係性を調べるために、次の2つの分析を行う。

1つ目は、点群ごとの引かれた線の特徴とEPQの得点の相関関係を調べるために相関分析を行う。相関分析の結果から、特定の点群における「重心までの距離」もしくは「端点までの距離」を用いて引かれた線の特徴を指標化すると、ASと関係があることを明らかにする。2つ目は、提示された点群の特徴や失敗傾向などといった要因が引かれた線の特徴にどの程度影響しているか調べるため、重回帰分析を行い引かれた線の特徴を予測する。重回帰分析の結果から、重心までの距離および端点までの距離を予測するためにASの得点が大きく影響していることを示す。また、ASの得点と関係がある点群は、点群の端点の数が2つで、点群の端点同士を線で結びやすい傾向にある点群であることが示す。

第4章「模擬運連作業における反応時間と引かれた線の特徴の関係性」では、反応時間と引かれた線の特徴に関係があることを23名の実験参加者による実験から示している。各実験参加者に対して、直線描画タスクを3回行い、反応時間を計測するために模擬運転作業を1回実施する。直線描画タスクでは、3章同様、10種類の点群について最適な線を引くことを指示する。模擬運転作業では、前方の3車両に対して、車両のブレーキランプが点灯したら即座に対応するボタンを押してもらい、反応時間を取得する。引かれた線の特徴と反応時間の関係

性を調べるために、次の2つの分析を行う。

1つ目は、点群ごとの引かれた線の特徴と反応時間の相関関係を調べるために相関分析を行う。相関分析の結果から、特定の点群に基づいて線を引いた場合、引かれた線のばらつき（重心までの距離の3回分の標準偏差）と反応時間のばらつきの間に関係性を示す。2つ目は、直線描画タスクから反応時間のばらつきを推定するために重回帰分析を用いる。重回帰分析の結果から、特定の点群における引かれた線のばらつきから反応時間のばらつきを予測できることを明らかにする。

第5章「失敗傾向と関係がある点群の特徴の分析」では、第3章および第4章のデータを用いて失敗傾向と関係がある点群について調べ、失敗傾向と関係がある点群の特徴をデータの分析から示している。分析するデータは、第3章、第4章で収集した実験データの中から、重複した実験参加者を除いた49人分のデータを用いる。引かれた線の特徴とEPQの得点の関係性およびEPQの得点と関係がある点群の特徴を調べるため、次の2つの分析を行う。

1つ目は、引かれた線の特徴の指標とEPQの得点の相関関係を調べるため相関分析を行う。その結果、端点の数が2点になる点群が失敗傾向の得点と関係がある傾向にあることを示す。2つ目は、端点の数が2点になる点群の特徴を調べるため、主成分分析と判別分析を行う。様々な点群の特徴について主成分分析を用いて、主成分分析で寄与率が0.1以上の3つの主成分の主成分得点を算出する。この主成分得点を用いて、端点の数が2点か2点でないかを予測するために判別分析を行う。判別分析を行った結果、端点の数に関係のある点群の特徴は、第1主成分と第2主成分であることを示す。第1主成分は、点群の x 軸方向へのばらつきであり、第2主成分は点群と x 軸との角度と、点群の x, y 座標の相関係数である。

第6章「まとめ」では、本論文の結論を述べる。本論文の結果から、ASの得点、反応時間のばらつきといった注意に関する認知特性と直線描画タスクの引かれた線の特徴の間に関係性があることを示す。また、これらの認知特性と関係のある引かれた線の特徴は、端点の数が2点の場合の点群であることを明らかにする。本論文の応用例として、メニュー画面のレイアウトをカスタマイズする、注意が必要な作業において適切な刺激を提示するなどといった際に、個人の認知特性に合わせたカスタマイズ環境の構築に応用することが期待される。

2. 点群に基づく直線描画タスク

2.1. はじめに

本研究では、「直線描画タスク」に基づき人の認知特性との関連を調べる。本章では、直線描画タスクおよび点群に基づき引かれた直線の特徴の指標化方法など、基本的な情報を述べる。本章の構成を図 2.1 に示す。

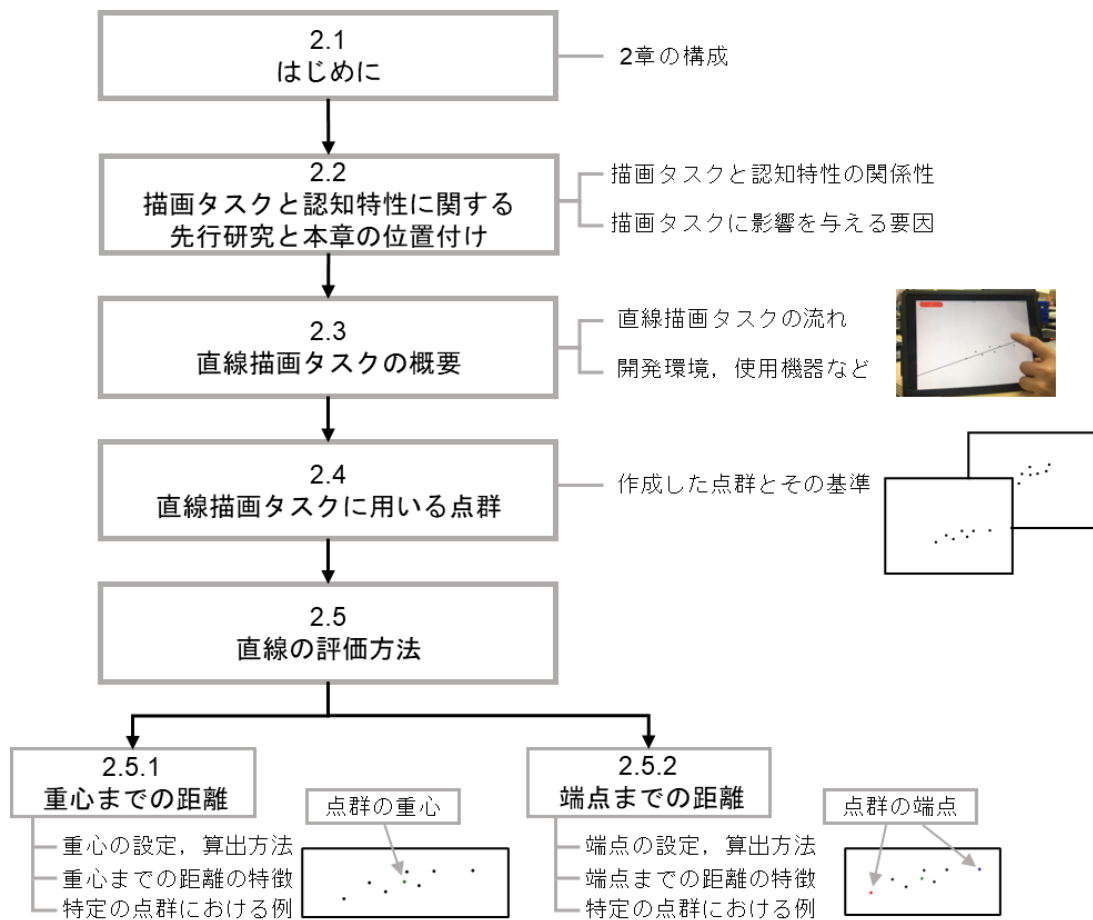


図 2.1 本章の構成

2.2 節では、描画タスクに関連する研究を示し、先行研究を参考にして直線描画タスクにおいて点群を提示する必要性や生成する点群の条件を述べている。2.3 節では、直線描画タスクの具体的な流れについて述べている。2.4 節では、直線描画タスクに用いた点群を示している。また、点群の作成した条件についても同節にて述べている。2.5 節では、直線描画タスクによって引かれた直線の特徴を指標化する「引かれた直線と点群の重心までの距離 (以下、重心までの距離)」と「引かれた直線と、線を引く際に基準とする端点までの距離 (以下、端点まで

の距離)」の2つの方法について述べている。「線を引く際に基準とする端点」は、実験参加者の一部において、点群の端点を結ぶ傾向が見られたため導入する（図3.6および図5.10を参照）。

2.2. 描画タスクと認知特性に関する先行研究と本章の位置付け

描画タスクに関する研究として、描画タスクを用いて認知特性を調べる研究がある。これらの研究は、教育心理学や認知発達分野で扱われることが多い。認知特性の中でも注意戦略の違いや視覚機能をはじめとする認知の発達度合いの違いといった部分に焦点が当てられた研究が行われている。

Morra (2010) や Morra (2017) は、描画課題と認知の発達度合いに関する研究を行っている。Morra (2017) によれば、認知の発達度合いを調べるテスト (Imitation Sorting Task, 以下 IST, Alp, 1994) と描画タスクの間に関係性があることが報告されている。IST はワーキングメモリ能力テストであり、8つのレベルがある模倣ゲームを行い、認知の発達度合いを調べるテストである。このテストに加え、顔、人物、車などの不完全な絵を完成させる描画タスク (Influence of Drawing Completion Task) を実験参加者に与えている。この描画タスクは、完成された絵とビデオデータの両方を観察して評価された。その結果、絵の完成度の得点と IST の得点の間に関係性があることが示され、絵の完成度と認知の発達度合いが関係することが示された。

Jolley (2013) は、別の描画タスクを用いて、認知の発達度合いを調べる研究を行っている。具体的には、子供に自由に絵を描かせたとき、描かれた絵を2名の画家に評価させ、絵の完成度と精神年齢との関係性を調べた。その結果、精神年齢の低い群が未熟な形の絵を描くことが多いことが報告されている。

日本での教育現場における描画テストの活用として、加藤 (2015) や新妻 (2013) などの研究がある。これらの研究では、描画課題と認知特性や性格との関係性について述べている。加藤 (2015) では、人物画を対象とした描画課題は様々な特性と関係があり、人物画の未熟度は認知の未発達度合いを表し、人物画の大きさがコミュニケーション能力と関係があることを指摘している。

上記の研究では描画タスクを用いて認知特性を調べているが、認知の発達度合いや性格など、調べる認知特性の範囲が広い。これらの描画タスクの結果を採点する際、客観性を保証するために専門的な人に依頼したり、複数名で評価を行うことが多い。従って、描画タスクの結果を専門的な人が見て判断する必要があり、集計するのに手間がかかるという問題を持つ。

一方、Kitayama (2003) や Duffy (2007) によれば、日常的に扱う言語の違いが注意戦略に影響を与えることが報告されている。正方形の中に線の長さが正方形の高さの三分の一になるような線が描かれた図形を実験参加者に提示する。

その後、大きさの異なる三角形を提示し、次の2つの課題を与えた。1つは絶対タスク (Absolute Task) で、元の線と同じ長の線を引くように指示された。もう1つは相対タスク (Relative Task) で、あとに提示された正方形の高さの三分の一の線を引くよう指示された。この2つの課題を実施した結果、日本人の子供は相対タスクを得意とし、アメリカ人の子供は絶対タスクを得意とすることがわかった。これら、日常的に使う言語の特性によって注意戦略が変化し、注意の仕方に影響を与えることがわかっている。このことから、言語の違いが認知特性に影響を与えることが示された。これらの研究では、認知の発達度合いなどに比べて狭い認知特性を調べているが、課題の集計が容易である。

上記で示した各研究における描画タスクと集計方法を表 2.1 に示す。表 2.1 より、Kitayama (2003), Duffy (2007) では線同士の長さの差であるため、集計が容易でありかつ客観的な尺度を用いているが、他の研究は集計に手間がかかることがわかる。集計が簡易なタスクは課題の規則性が明確であるため、描画タスクの設定を行う際はある程度規則性があり、客観的な尺度を用いて測定できることが望ましい。

表 2.1 先行研究の各描画タスクと集計方法

著者	描画タスク	タスクの集計方法
Morra (2010) Morra (2017)	Influence of Drawing Completion Task	絵とビデオデータを それぞれ別の人物が評価 (主観的評価)
Jolley (2013)	Free Drawing Task	画家2名による評定 (主観的評価)
加藤 (2015)	描画課題 (人物画)	人物画の大きさを評価 (主観的評価)
新妻 (2013)	指定された図形や言葉に 対する描画課題	美術教員4名, 芸術療法家1名による評定 (主観的評価)
Kitayama (2003) Duffy (2007)	Absolute Task, Relative Task	正解の線の長さ 引かれた線の長さの差 (客観的評価)

描画タスクでは、ある程度規則性があること、客観的な尺度で評価できることが必要である。本研究では、点群に基づいて直線を描画する際、線を引く際の基準として、点群の重心や最小二乗法によって求めた直線など、点群から様々な線の特徴を算出して求められる点に着目した。与えられた点群について、認知特性

の違いによって点群への観察の仕方や引く線の判断方法が異なる可能性がある。しかしながら、提示する点群の規則性をどのようにすれば認知特性による違いがでるのかを考える必要がある。

描画タスクに影響を与える要因について調べた研究の中で、線を引く際の角度や長さや描画タスクの関係性が報告されている。Cai (2007) は、描画能力を予測するために、40人の右利きのデザイン系の学科に所属する学生を対象に角度と描画パフォーマンスの関係性を調べる実験を行った。具体的な実験内容は、 0° から 345° の範囲で 15° ごとに8方向の角度を設定し、各角度で線を引いた際に線がどの程度ずれるかをエラー率として調べている。線を引く角度とエラー率の関係性について調べた結果、 45° が最もエラー率が低く、 135° がもっともエラー率が高い結果を得ている。このことから、右利きの人は、右肩上がりの直線が引きやすく、右肩下がりの直線が引きづらいことが考えられる。

Wu (2020) や Huang (2022) らは、高齢者を対象に提示された2点を直線で結ぶ描画タスクが行われた。2点を配置する条件として、線を引く方向(トップダウンとボトムアップ)、線を引く角度(0° , 60° , 300°)、線を引く長さ(5.7cm, 11.4cm, 17.1cm)の組み合わせと平均描画速度、エラー率の関係性を調べた。その結果、 60° の場合と線を引く長さが長い場合に平均描画速度が最も速くなった。また、トップダウンで引いた場合はボトムアップで引いた場合に比べてエラー率が大きく、線を引く長さが短い場合もエラー率が大きいことがわかった。このことから、右利きの人は右肩上がりの直線が引きやすく、左肩上がりの直線が引きづらいことが考えられる。また、線を引く長さがエラー率と関係があるため、描画タスクに提示する課題で線の長さを考える必要がある。

本研究では提示する点群について、点群の座標の相関係数を用いてある程度規則性を持たせ、正の相関関係を持つ点群と負の相関関係を持つ点群の両方を設定することで、右肩上がりの直線と左肩上がりの直線の両方を調べることが可能である。

本節で述べた描画タスクと本章の関係性について、図 2.2 に示す。描画タスクの研究は、「描画タスクと認知特性の関連性を調べた研究」と「描画タスクに影響を与える要因に関する研究」に大別される。これらの研究群を参考に直線描画タスクを提案したことが示されている。

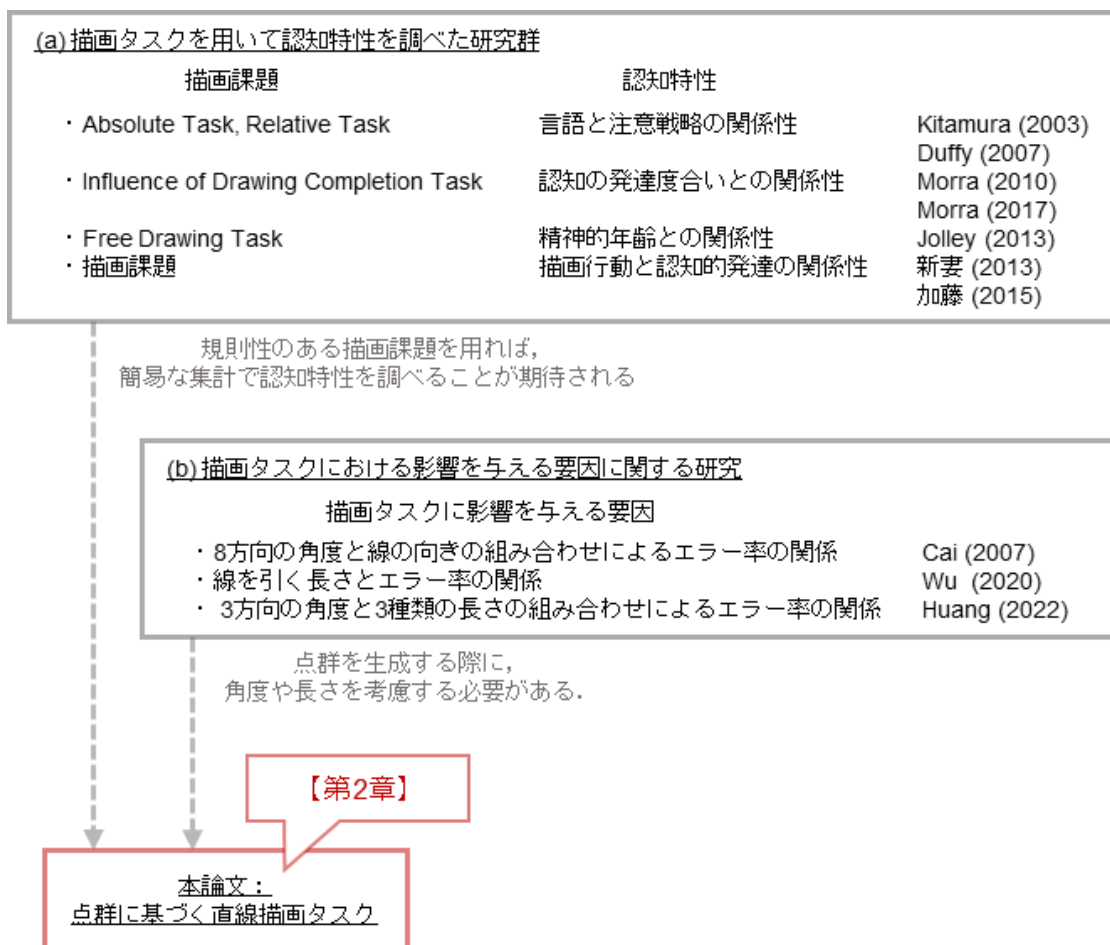


図 2.2 描画タスクに関する先行研究

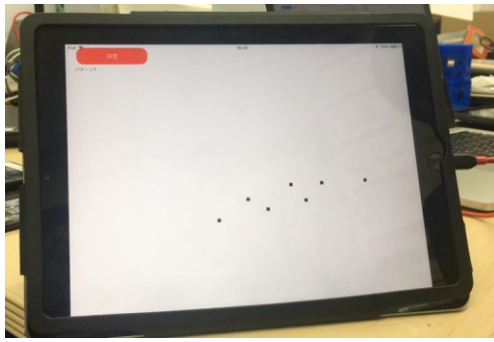
2.3. 直線描画タスクの概要

直線描画タスクの手順を以下に示す。

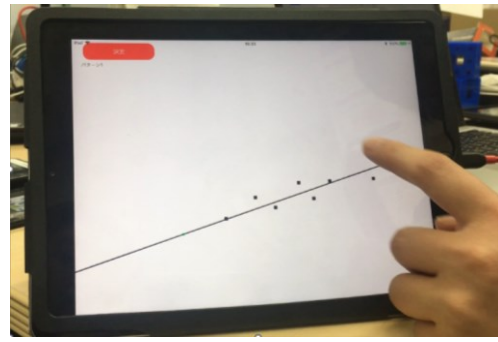
(a) タブレット画面上に点群を提示し (図 2.3(a)), 実験参加者に「点群を見て、自分が最適だと考える線を引いてください。」と伝え、直線を描画してもらう。直線を引く際は、画面上に 2 点 (操作点) を指定し、操作点の間に直線が描画される。描画した直線を修正する場合は、操作点のどちらかをタッチしてドラッグすることで線を修正することが可能である (図 2.3(b))。

(b) 用意したすべての点群 (次節にて詳細を記述) について、(a)の作業を行う。

これらの実験を行うために、実験用ソフトウェアを Swift および Unity を用いて作成した。Swift は、Apple 社が提供する iOS (iPhone, iPad) 向けの開発言語であり (Apple Inc, 2022), iPad を用いて実験を行うためにこの言語を用い。Unity は、Unity Technologies 社が提供するゲーム開発、アプリ開発、シミュレーションといった様々な用途に使用可能な開発エンジンであり (Unity Technologies, 2022), タッチディスプレイを用いるためにこの言語を用いた。



(a) 点群の提示



(b) 直線描画

図 2.3 点群の提示と点群に基づく直線描画

2.4. 直線描画タスクに用いる点群

本節では、実験に用いた点群の条件について記述する。

本実験のタスクで用いる点群は、線を引く際に予測しやすくなりすぎないように、以下に示す3つの条件を満たすように10種類の点群を作成する(図2.4)。また、3つの条件を設定した理由も述べる。

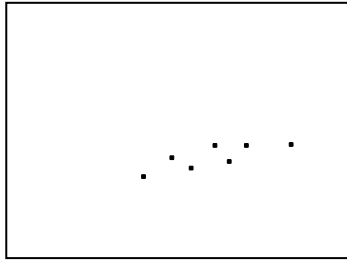
- (1) 点の数は7点とする。
- (2) 点群の座標の相関係数の絶対値が0.5から0.8の範囲になるように設定する。
- (3) 点は画面の縦の長さを直径とし、画面中央が原点である円内に収まるように配置する。

(1)については、奇数であること、点群を図形として近似しづらいといった条件を満たしているからである。点の数を偶数とした場合、点群を2分し、その中心に線を引くことができるため、線を引くことが容易であると考えられる。また、2点であれば点同士を結んで直線を引く、3点以上6点以下であれば、三角形、四角形、五角形、六角形といった図形を点から作成し、その対角線を結んで中心に直線を引くといったことが考えられ、容易に直線を引くことができると考えられる。これらのことから、本研究では点の数は7点が望ましい。

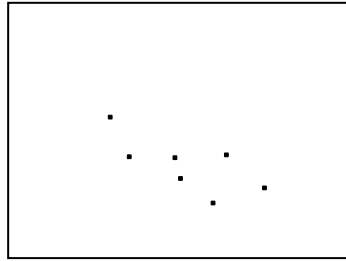
(2)については、線を引く際に一定の規則性が必要であると考えられるからである。相関係数の絶対値が0.5未満の場合は規則性がなく線を引くのが難しい。また、相関係数の絶対値を0.8より上にしてしまうと、線を引くのが容易になると考えることができる。

(3)については、点群を観察する際の視野の範囲を考え、円内に収まるように配置する。

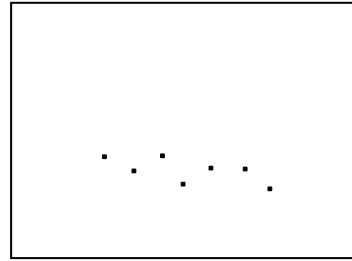
●: 点群



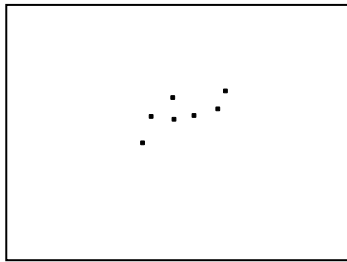
(A, 0.80)



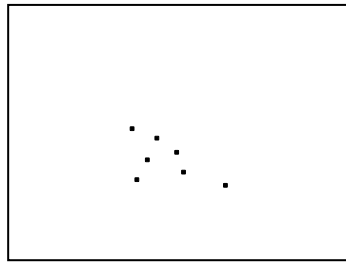
(B, -0.72)



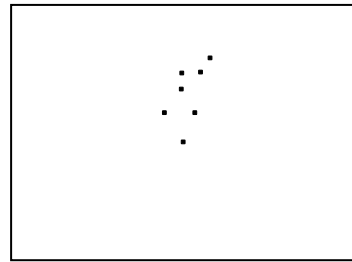
(C, -0.62)



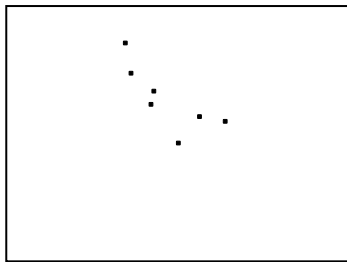
(D, 0.71)



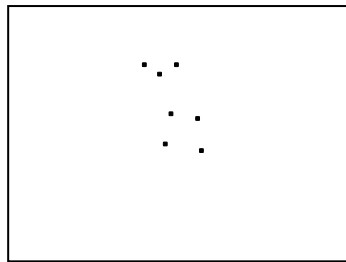
(E, -0.56)



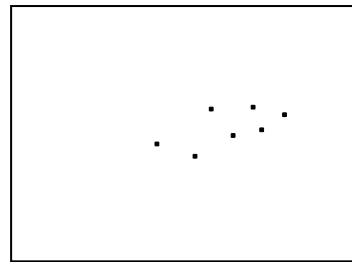
(F, 0.55)



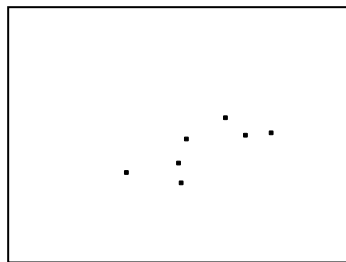
(G, -0.80)



(H, -0.61)



(I, 0.61)



(J, 0.73)

图 2.4 (点群名, 相関係数)

2.5. 引かれた直線の特徴の指標化方法

図 2.4 にて定義した各点群内の 7 点の座標を $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_7, y_7)$ とする. 実験参加者が点群に基づいて引いた直線の特徴を指標化するため, 実験参加者が指定する 2 点 (以下, 操作点) を用いて引かれた直線の直線式を(2.1)式によって定義する.

$$y = ax + b \quad (2.1)$$

(2.1)式から, 引かれた直線から点群の重心までの距離と引かれた直線から点群の端点の距離までの合計を用いて直線の特徴の指標化を行う.

2.5.1. 引かれた直線から点群の重心までの距離

本節では, 「引かれた線から点群の重心までの距離 d_b (以下, 重心までの距離)」の定義, 指標の特徴について述べた後, d_b が小さくなる場合と大きくなる場合の例を示す.

(1) 算出方法

重心までの距離に用いる点群の重心 (x_b, y_b) は, (2.2)式によって求められる.

$$(x_b, y_b) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i, y_i) \quad (2.2)$$

重心までの距離 d_b は, (2.1)式と(2.2)式を用いて, (2.3)式によって求められる.

$$d_b = \frac{|ax_b - y_b + b|}{\sqrt{a^2 + 1}} \quad (2.3)$$

(2) 特徴

この指標は, 値が小さくなるほど, 点群の重心に近い直線となる. 最小二乗法の直線は必ず点群の重心 (標本平均) を通る性質がある. また, 点群の特徴の 1 つである相関係数を出す際にも, 重心 (各軸の平均) を用いる. 点群を二分する線, もしくは点群の中心を通る線を引く場合, 重心を通りやすくなることが予測できる. 点群 A, J における d_b の例を示す (図 2.5).

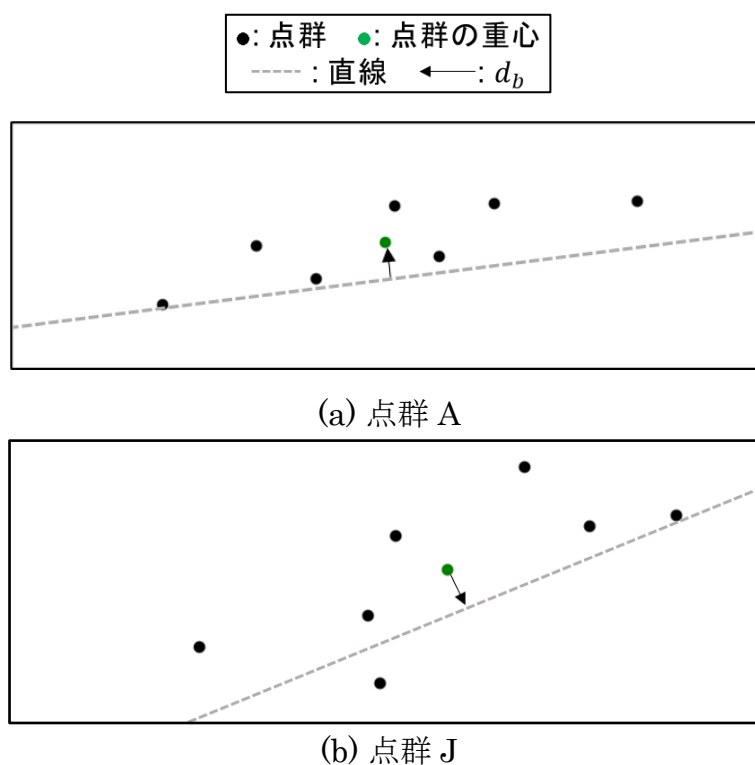


図 2.5 d_b の例

2.5.2. 引かれた直線から点群の端点まで距離の合計

本節では、点群内の端点の設定方法および、「引かれた線から点群の端点までの距離 d_e (以下、端点までの距離)」の定義を示す。

(1) 端点の設定方法と算出方法

点群における線を引く際に基準とする端点であり、点群内の点の中で、点群の方向に対して最小の点と最大の点とする。具体的には、点群の座標に対して主成分分析を行い、第一主成分を点群の方向の軸とし、第一主成分における最小の点と最大の点を端点とした。また、第 3 章、第 5 章の実験参加者によって引かれた線を基に端点を指定した。各点群について、点群の左側の端点を赤、右側の端点を青にして示す (図 2.6)。

端点までの距離 d_e は、(2.1)式と端点の座標を用い、(2.4)式によって求められる。

$$d_e = \sum_{i=1}^n \frac{|ax_i - y_i + b|}{\sqrt{a^2 + 1}} \quad (2.4)$$

このとき、端点は必ず左側の 1 点と右側の 1 点の合計 2 点とし、2 点の間

を通過している場合は 2 点の中間点を端点とした。点群の端点が 2 点, 3 点, 4 点になる場合の d_e を示す (図 2.7).

●: 点群 ●: 点群の重心 ●: 左側の端点 ●: 右側の端点
 —: 最小二乗法によって求めた直線

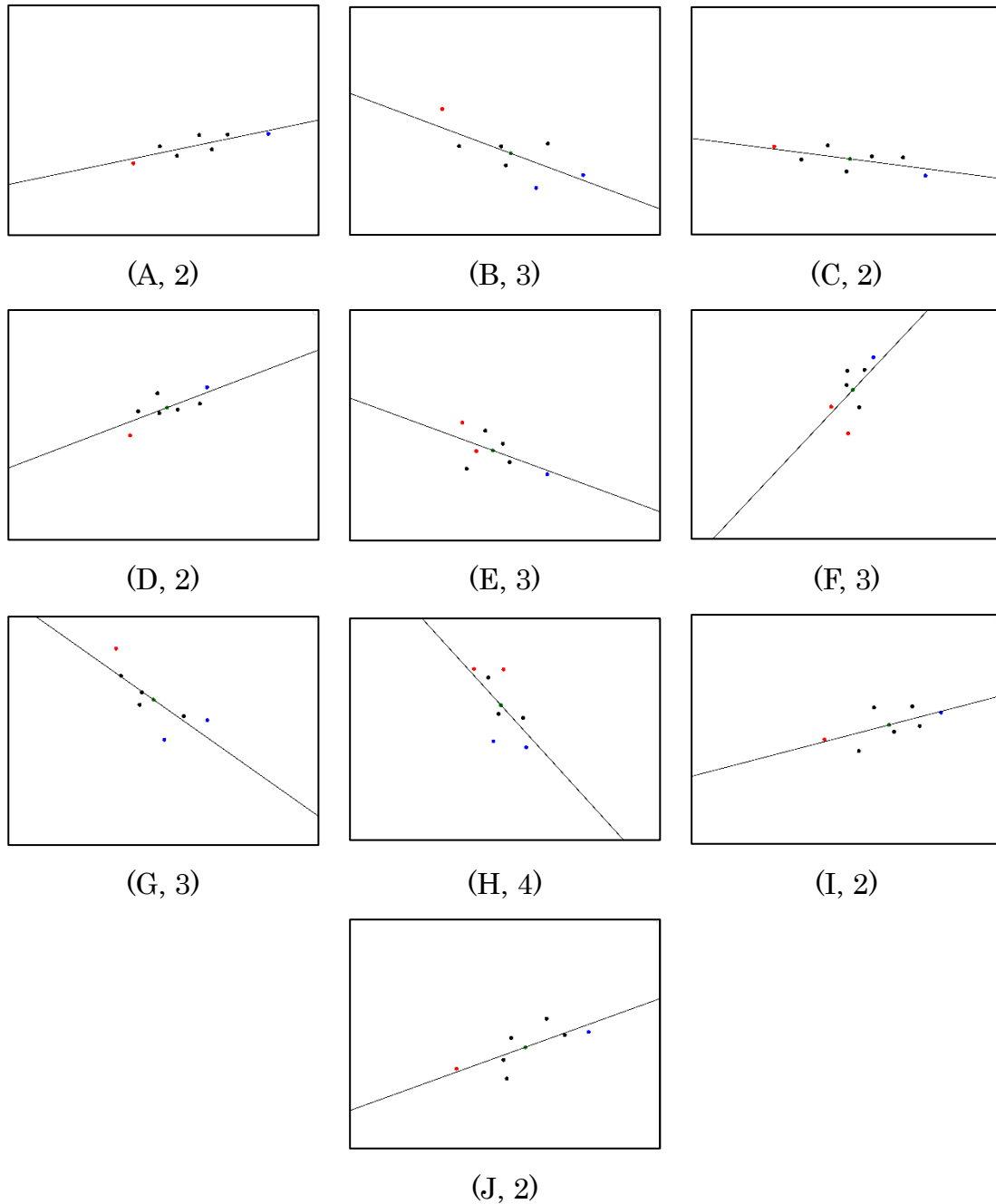
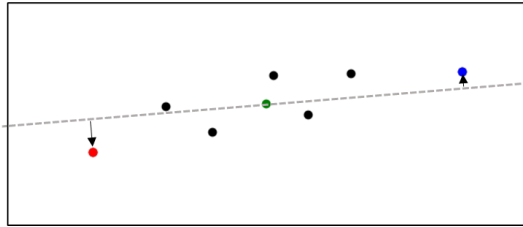
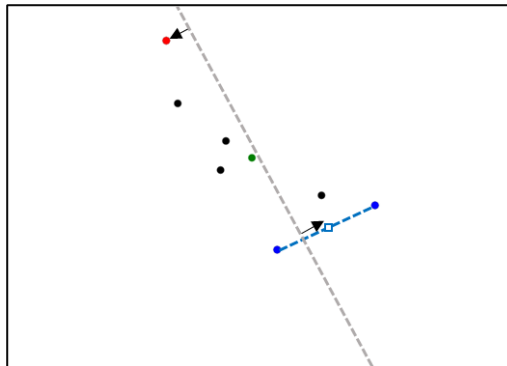


図 2.6 点群と端点の位置 (点群名, 端点の数)

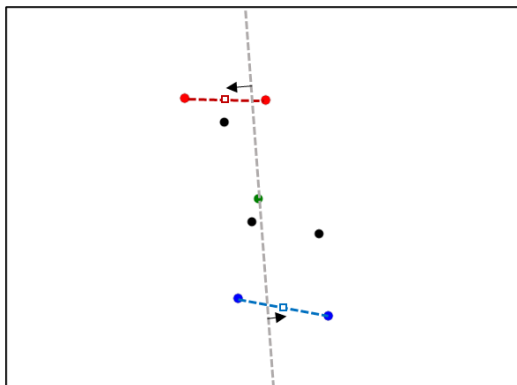
●: 点群 ●: 点群の重心 ●: 左側の端点 ●: 右側の端点
 □: 左側の端点同士の中点 □: 右側の端点同士の中点
 ----: 直線 ←: d_e



(a) 端点が 2 つの場合 (点群 A)



(b) 端点が 3 つの場合 (点群 G)



(c) 端点が 4 つの場合 (点群 H)

図 2.7 d_e の例

(2) d_e 特徴

この指標は、値が小さくなるほど、点群の端点に近い直線となる。そのため、この距離が 0 ならば、端点同士を結んだ線になる。

3. 日常的な失敗傾向と引かれた線の特徴の関係性

3.1. はじめに

本章では、「直線描画タスク」と認知特性である「日常的な失敗傾向のタイプ」の関係性を調べる。本章では、日常的な失敗傾向を調べる方法として、EPQを用いる。また、直線描画タスクに用いる点群として、特徴の異なる10種類の点群を用いる。これらの条件を基に、直線描画タスクと認知特性の関係性について検討を行う。この検討から次の3つのことを明らかにしている。

- ・直線描画タスクにおける引かれた線の特徴と注意に関する失敗傾向の関係性。
- ・失敗傾向の度合いから、引かれた線の傾向を予測できること。
- ・失敗傾向と関係がある点群の特徴。

本章の構成を図3.1に示す。

3.2節では、認知的失敗から起こるヒューマンエラーの観点から、直線描画タスクがどの失敗と関係があるのかを示した。また、認知的失敗に関わる認知特性を調べる手法について述べている。

3.3節では、直線描画タスクとEPQ、本章の分析方法について述べている。3.3節の分析方法、3.4節「結果」および3.5節「考察」では、直線描画タスクと失敗傾向の関係性を明らかにするため、次の3つの分析を行い、それぞれの分析について結果・考察を得る。

- ・直線描画タスクと関係がある失敗傾向、失敗傾向と関係がある点群を明らかにするため、直線描画タスクにおける引かれた線の特徴の指標と失敗傾向の得点について相関分析を行った。この分析から、引かれた線の特徴が注意に関する失敗傾向と関係があることがわかった。
- ・引かれた線の特徴に失敗傾向がどの程度影響するかを調べるため、失敗傾向から引かれた線の特徴の指標を予測した。この予測を行うために重回帰分析を行った。この分析から、特に注意に関する失敗傾向が引かれた線の特徴に影響していることがわかった。
- ・相関分析と重回帰分析から失敗傾向と関係がある点群の特徴について検討を行った。この検討から、点群における端点の数が2つになる、すなわち、線を引く際の基準が明確な点群の方が、失敗傾向の得点と関係がある傾向にあることがわかった。

3.6節では、3章で得た主要な結果と今後の展望について述べている。

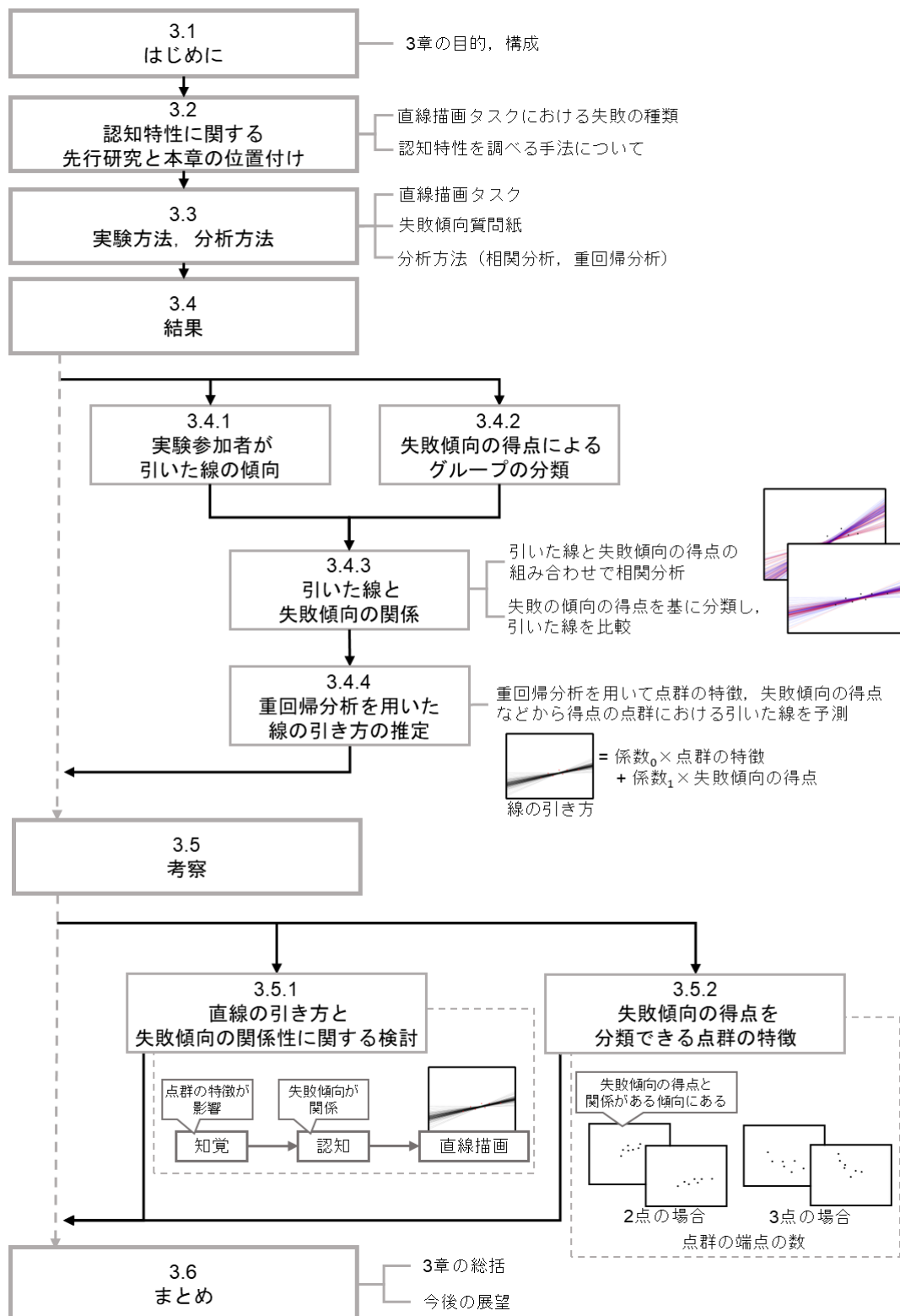


図 3.1 本章の構成

3.2. 認知特性に関する先行研究と本章の位置付け

Reason (1990) によれば、ヒューマンエラーは実行段階での失敗と計画段階での失敗に分類できる。実行段階での失敗は、スリップ (slip) とラプス (lapse) の 2 種類があり、スリップは行為が誤った場合に発生し、ラプスは記憶違いや物忘れにより発生する。また、計画段階での失敗はミステイク (mistake) に分類される。この理論を直線描画タスクに当てはめる。直線描画タスクに伴う作業として、「点群の観察を行う」、「引く直線を決定する」、「点群を見ながら決定した直線を引く」といったプロセスが予測できる。これらのプロセスを Reason らの理論に当てはめると、「点群の観察を行う」および「点群を見ながら決定した直線を引く」はスリップ、「引く線を決定する」はミステイクに当てはまると予測した。このことから、直線描画タスクの失敗した段階を推定するため、スリップ、ミステイクの認知的失敗について調べる必要がある。

スリップ、ミステイクの両方の認知的失敗を調べる手法として、山田 (1999) が提案した EPQ がある。EPQ は、スリップの傾向を調べる Cognitive Failure Questionnaire (以下、CFQ; Broadbent, 1982) を基に作成されており、CFQ の質問項目にミステイクの傾向を調べるための質問項目を追加して作成されている。EPQ は、物忘れや不注意などの傾向がある AS (Norman, 1981)、負担をかけられた際に認知の硬直が起こる傾向がある CN (Robertson, 1985)、計画を立てるのが苦手であるため見通しが悪い傾向がある IF (Dickman, 1990) といった 3 つ失敗傾向を測定することが可能である。この 3 つの失敗傾向の中から、直線描画タスクと関係のある失敗傾向を調べることで、直線描画タスクのどの段階で認知特性による差異があるかがわかる。

EPQ と関係がある人の特性として、実行機能 (関口, 2017) や焦点の当て方に着目した注意機能 (篠原, 2007) が報告されている。また、EPQ の基になった CFQ も同様に、様々な人の特性や行動と関係していることが報告されている。CFQ と関係がある行動として、運転上のミス (Allahyari, 2008)、自動車事故と労働災害 (Wallace, 2003) などがある。また、病気による認知能力の低下とも関係があることが報告されており、抑うつ症状 (Linden, 2005) や燃え尽き症候群 (Hohman, 2011) などが挙げられている。これらのことから、EPQ や CFQ を用いて調べられる認知的失敗は、様々な人の特性や行動と関係していることが報告されている。このことから、人の認知特性と関係がある行動を把握することは、認知特性を調べる上で非常に重要である。

一方で、質問紙による測定法で調べた認知特性が、客観的な尺度と一致しない場合があるといった問題を指摘した論文も存在する。質問紙による測定法は、日常場面での行動を回答してもらうため、自身の認識が影響を与える

ことが報告されている。例えば、直近における認知的失敗の経験（清水, 2018）、職場での責任の大きさ（Brindger, 2013）や自身の認知特性の把握度合い（清水, 2019）との関係性がある。また、職場環境の厳しさが CFQ の得点に影響するといった報告もあるため、本人の自覚度合いが非常に重要であると考えられる。また、一般的に年齢とともに認知機能は低下し、質問紙の得点が増加すると考えられるが、EPQ の得点と年齢の間に相関関係がないこと（関口, 2017）や CFQ の得点と年齢の間に負の相関関係があること（Winter, 2015）が報告されている。これは、年齢によって認知機能が低下しても、経験などによって失敗を解決できると認識していると考えられている。このことから、主観的な尺度を用いて認知特性を調べる場合、経験や記憶に基づくため、客観的な尺度を用いて認知特性を調べるよりも広い範囲の認知特性を調べていると考えられる。従って、客観的な尺度を用いて人の認知特性を調べるのが望ましい。

質問紙を用いた測定法とは別の認知特性を調べる手段として、タスクによる測定法がある。タスクによる測定方法は、専門機器を用いた手法と簡易的なタスクを用いた手法があり、人の認知特性を客観的な尺度を取得することができる。専門機器を用いたタスクは、実際の状況などに近い認知特性が調べられる一方で、専門機器が必要な場合があるために手間がかかる。専門機器を用いたタスクな例として、ドライビングシミュレータを用いて認知特性を測定する方法がある（自動車技術ハンドブック編集委員会, 2016）。簡易的なタスクを用いた手法は、手軽に客観的な尺度を用いて認知特性を調べられるが、目的がわかりやすいといったことが挙げられる。簡易的なタスクを用いた手法の例として、反応すべき刺激と反応してはいけない刺激を用いて反応時間を計測する持続的注意課題（Sustained Attention to Response Task, SART）や注意能力の特性を調べる検査として、複合数字抹消検査（大橋, 1999）などがある。これらの手法は、客観的な尺度を用いて信頼性のある認知特性を取得できるが、質問紙を用いた測定法に比べて狭い範囲の認知特性を調べており、目的がわかりやすい。これは、客観的な尺度を用いて認知特性を調べる関係上、主観的な尺度に比べて調べる認知特性の範囲が狭いことが考えられる。このことから、人の認知特性を客観的な尺度で調べられ、目的がわかりづらい簡易的なタスクを用いるのが望ましい。

認知特性を調べる手法の特徴の違いから、人の認知特性を把握する際に質問紙による測定法のみを用いるのではなく、タスクによる測定法も同時に用いて認知特性を調べた報告もある。例えば、抑うつ症状（Linden, 2005）や燃え尽き症候群（Hohman, 2011）など、本人が自分の状態を評価することが難しい場合は質問紙とタスクの両方を用いて行う。このとき用いたタスクは簡

易的なタスクである。このことから、調べる目的によって用いる手法を決めることが重要であり、特に組み合わせて用いる場合は実験参加者の負担も考え、簡易的なタスクを用いることが望ましい。

これらのことから本研究では、人の認知特性を客観的な尺度で調べられ、目的がわかりづらい簡易的なタスクとして、2章で提案した「直線描画タスク」を用いる。本章では、直線描画タスクと関係がある認知特性を調べるため、引かれた線の特徴の指標とEPQの関係性について検討を行う。

本節で述べた先行研究と本章の関係性について、図3.2に示す。認知特性を調べる手法として、質問紙による手法とタスクによる手法があり、それぞれ問題点がある。本研究では、これらの問題点を解決するために、認知関連指標である失敗傾向と直線描画タスクの関係性を調べることについて示している。

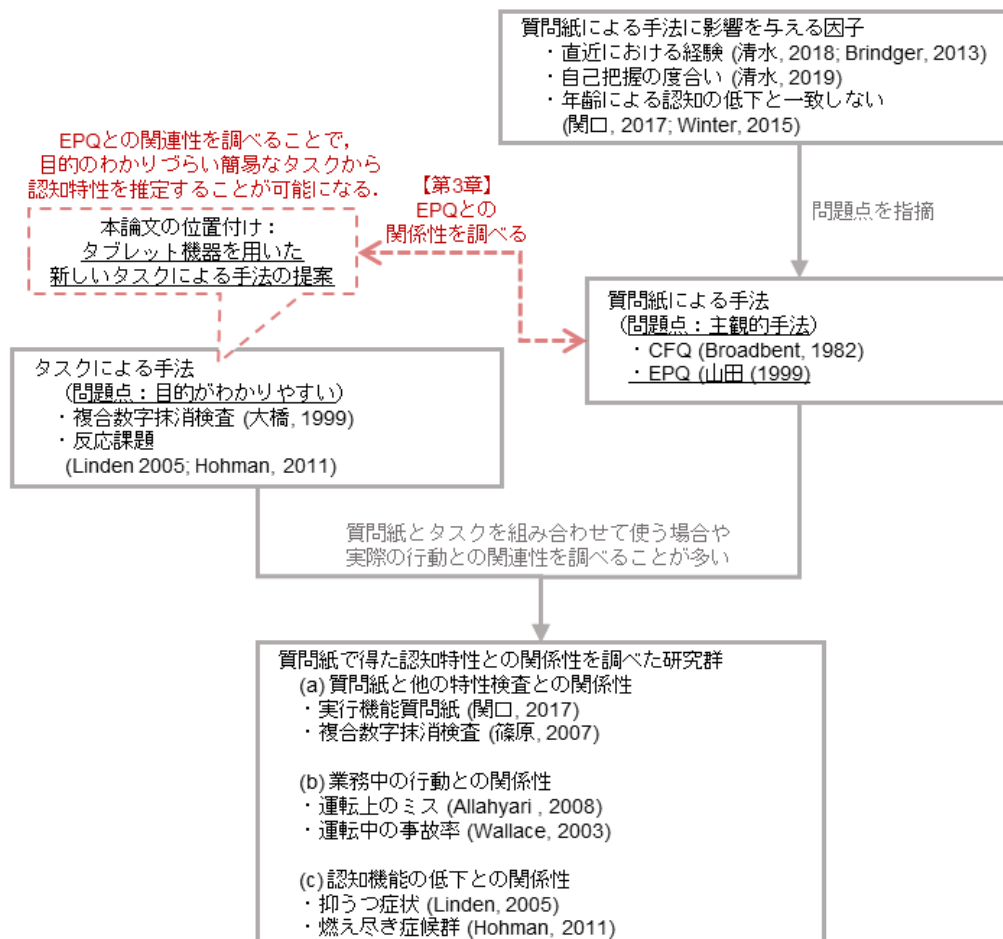


図 3.2 認知特性に関する先行研究と本章の位置付け

3.3. 実験方法・分析方法

本節では、本章で行った実験の基本的な情報について述べた後、直線描画タスクにおける引かれた線の特徴の指標と EPQ の関係性を調べるために行う分析の手順について示す。本章の分析で次の 3 つのことを示した。1 つ目は、直線描画タスクにおける引かれた直線の特徴と関係がある失敗傾向を示す。2 つ目は、失敗傾向の度合いから、引かれた直線の傾向を予測する。3 つ目は、失敗傾向と関係がある点群の特徴を示す。

3.3.1. 実験概要

本章では、以下の手順で実験を行った。

(1) 2.3 節で述べた直線描画タスクについて、実験参加者ごとに 3 回実施する。直線描画タスクに用いる点群は、10 種類の点群を用いる (2.3 節, 図 2.4)。各回の間は 1 日以上日を空ける。直線描画タスクは iPad を用いて実施し、実験用ソフトウェアは、iPad 用のプログラミング言語である Swift で作成したものをを用いる。

(2) 1 回目と 3 回目では、直線描画タスクの際にどのように線を引いたかの主観評価について、聞き取り調査を行う。具体的には、線を引く際のプロセスやどの点に着目したかを質問する。3 回目の最後に、実験参加者の属性を調べるためのフェースシートと EPQ を実施する。

実験に用いるタブレット端末は、点群を観察する際に視覚内に点群が入ること、直線描画を行う際に線が引きやすい大きさであることを考慮して選出する。また、画面の解像度は、タブレットを操作する際に画面の解像度が十分に細かいことを考慮して選出する。実験機器の詳細を以下に示す。

- ・ iPad (第 5 世代)

- 画面サイズ: 9.7inch, ピクセル解像度: 264dpi,
- 縦: 1536pixel, 横: 2048pixel.

3.3.2. 実験参加者

20 歳以上の大学生および大学院生 40 名に実施し、有効なデータを得られた 34 名を分析の対象とした。具体的には、点群に対して直角に直線を引く場合や点群の外に直線を引く場合は他の被験者に比べて線を引く際の法則性がないため、分析の対象外とした。実験参加者には、本研究の概要を文書とともに口頭で説明し、インフォームドコンセントを実施した後に実験に参加してもらった。分析対象となった実験参加者の属性は、男性 30 名および女性 4 名、右利き 30 名および左利き 4 名であった。

3.3.3. 引かれた直線の特徴の指標化方法

実験参加者によって引かれた直線は、2.5 節で述べた「重心までの距離 d_b 」と「端点までの距離 d_e 」を用いて特徴を指標化する。2つの直線の特徴の指標化方法におけるの算出方法や特徴などは、2.5.1 節および 2.5.2 節で述べているが、簡単な概要を下記に示す。

(a) 重心までの距離 d_b

点群の x, y 座標における重心を点群の重心とする。引かれた線と点群の重心までの垂直距離を「重心までの距離 d_b 」とする (図 3.4)。この指標が 0 に近いほど、引かれた線が重心に近いという意味がある。

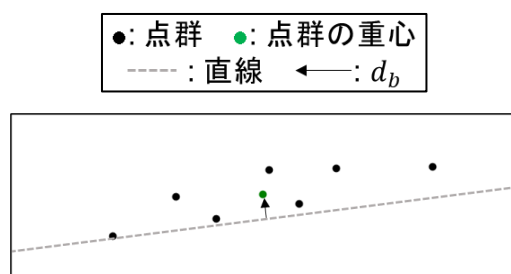


図 3.3 重心までの距離 d_b の例

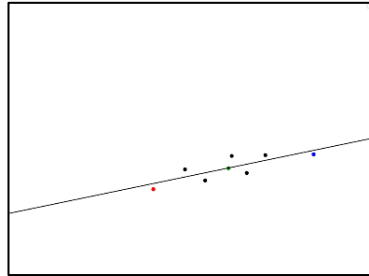
(b) 端点までの距離 d_e

点群の x, y 座標について主成分分析を行い、第 1 主成分が最大の点と最小の点を点群の端点とする。実際に実験参加者によって引かれた線を観察し、端点の追加が必要な場合は実験参加者によって引かれた線に基づいて端点の追加する。引かれた線と点群の端点までの垂直距離の和を「端点までの距離 d_e 」とする (図 3.4)。この指標が 0 に近いほど、引かれた線が端点に近いという意味がある。

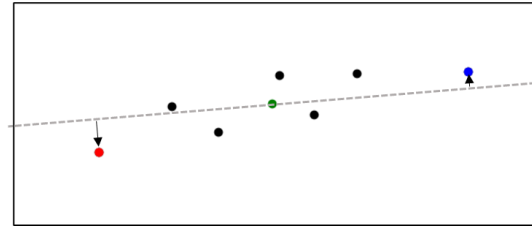
今回の実験では、引かれた線の特徴の指標の代表値として、3 回引かれた線の d_b もしくは d_e の平均を用いる。

3.3.4. 失敗傾向質問紙の集計方法

EPQ は、表 3.1 に示すような質問項目を用いる。質問項目は、「4. 非常によくある」、「3. かなりある」、「2. 時々ある」、「1. あまりない」、「0. まったくない」の 5 段階で回答してもらう。質問項目の点数について、1 から 10 までの項目の合計を AS, 11 から 19 までの項目の合計を CN, 20 から 25 までの項目の合計を IF の得点として集計を行う。



(a) 点群の端点



(b) 端点までの距離

図 3.4 端点までの距離 d_e の例

3.3.5. 分析方法

本章では、重心までの距離 d_b または端点までの距離 d_e を直線の特徴の指標化方法とし、引かれた線の特徴 (d_b , d_e) と失敗傾向の得点 (AS, CN, IF) との関係性を調べた。関係性を調べる具体的な方法を次に示す。なお、統計的な分析において有意水準は 5% に設定した。

- (1) 点群ごとの引かれた線の特徴 (d_b , d_e) の特徴について検討を行うため、 d_b , d_e の分布を示す。
- (2) 実験参加者における各失敗傾向の特徴について検討を行うため、失敗傾向質問紙の得点の分布を示す。また、失敗傾向の間の相互関係を調べるため、各失敗傾向の得点について相関係数を算出する。
- (3) 引かれた線の特徴 (d_b , d_e) と関係がある失敗傾向を調べるため、直線の特徴の指標と失敗傾向の得点について相関分析を行う。相関分析に用いる相関係数は、直線の特徴の指標の平均値と失敗傾向の得点の組み合わせで、6 通りの組み合わせについて算出する (図 3.5)。6 通りの相関係数は点群ごとに算出した。直線の特徴の指標は、代表値として、1 回目から 3 回目の平均を用いる。

直線の特徴の指標化方法		失敗傾向質問紙の得点
d_b	×	AS
d_e		CN
		IF

図 3.5 相関係数を算出した組み合わせ

(4) 引かれた線の特徴に影響を与える点群の特徴や失敗傾向について調べるため、重回帰分析を用いて直線描画タスクにおける引かれた線の特徴 (d_b , d_e) を推定する。説明変数は点群の特徴、線を引く際の主観評価、失敗傾向質問紙の得点を用いる (表 3.2)。重回帰分析は変数減少法を用いる。重回帰分析の対象は、(3)の相関分析で引かれた線の特徴と失敗傾向の得点の相関係数が有意であったデータを対象に行う。また、点群の特徴として点群の x, y 座標の相関係数 (図 2.4 参照) を用いる。線を引く際の主観評価は、直線描画タスクを行った際に聞き取りを行い、点群内の参考にした点の数を用いる。

表 3.2 説明変数の設定

分類	変数名
点群の特徴	点群の x, y 座標の相関係数
失敗傾向質問紙の得点	AS CN IF
線を引いた際の主観評価	参考にした点の数

表 3.1 失敗傾向質問紙の質問項目 (山田 1999 より引用)

番号	失敗傾向	質問項目
1	AS	手に持っていたものをなげなくそこに置き、後になってどこにおいたか思い出せなくなる.
2		何か用事があってその部屋に行ったのに、何をするためだったのか思い出せない.
3		何かを思い出そうとして、喉まで出かかっているのに、どうしても出てこない.
4		何かを買いにその店に来たかが、とっさに思い出せない.
5		人の名前を思い出せない.
6		物をなくしてしまう.
7		スーパーマーケットに行くと、ほしい品物が目の前にあるのにしばらく見つけられない.
8		何かを聞いていなければならない時にぼんやりと他のことを空想してしまう.
9		本や新聞を読みながらぼんやりしてしまい、内容を理解するためにもう一度読み直す.
10		何か1つのことをしている時に、つい他のことがしたくなってしまう.
11	CN	早く決めるように急がされると、よく考えずに決めてしまい後で後悔する.
12		早く決めるように急がされると、かえって迷って決められなくなってしまう.
13		責任の重い仕事を任されると、緊張してふだんの力が出せない.
14		細かいことにこだわりすぎて、物事の全体的な局面を見過ごしてしまう.
15		ささいなことに気がなると、かんじんなことを感るのに集中できない.
16		決心するまでに、あれこれ迷ってしまう.
17		テストや面接の時にあがってしまい、落ち着いていたらもっとうまくできたのと思う.
18		状況が変わっているのに、自分の考えや態度を柔軟に変えられない.
19		ある考えが頭に浮かぶと、それ以外の可能性について考えられなくなる.
20	IF	その日の予定が空いているかどうか、確かめないで約束してしまう.
21		残りのお金のことはよく考えないで、買い物する.
22		駅のホームに駆け上がり、行き先を確かめずにちょうど来た電車に飛び乗ってしまう.
23		買い物に行くと、どれを買おうか迷ってしまい、結局いい加減に決めてしまう.
24		もう少し待てば増えるとわかっているのに、つい目先の利益を選んで損をする.
25		コンピュータやワープロが突然動かなくなり、原因を確かめる前に慌てて電源を切る.

3.4. 結果

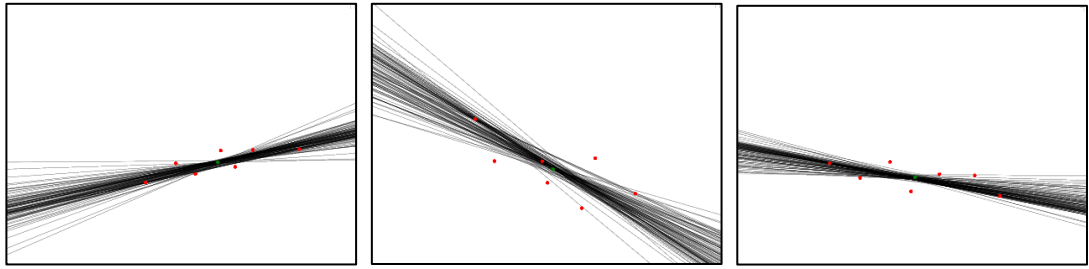
本節では、実験参加者によって引かれた線の傾向、EPQの得点などといった基本的な事項を示す。その後、引かれた線の特徴とEPQの得点の間の相関係数を計算し、相関係数が有意であった点群について、実際に実験参加者が引かれた線を比較する。また、相関係数が有意であった場合の引かれた線の特徴を目的変数に重回帰分析を行う。

3.4.1. 実験参加者によって引かれた線の傾向

本節では、10種類の点群に基づいて実験参加者によって引かれた線の特徴について、 d_b および d_e を用いて指標化した。実験参加者によって引かれた線の傾向を点群ごとに検討するため、実験参加者によって実際に引かれた線を図3.6に示す。また、引かれた線の特徴の指標の傾向がわかるよう、 d_b , d_e の分布について箱ひげ図を用いて示す(図3.7)。このとき、×印は平均を示し、エラーバーはそれぞれ最大、最小を示し、箱ひげと箱ひげ内にある線は上から第3四分位数、第2四分位数、第1四分位数を示し、プロットしてある点は外れ値を示す。また、箱ひげ図は相関係数が高い順に並べて示した。

図3.6および図3.7より、点群B, E, F, Gは、他の点群に比べて外れ値が多いため、引かれた線がばらつきやすい点群であることがわかる。点群E, Fは、点群の x, y 座標の相関係数の絶対値から、他の点群に比べて相関関係が弱いことがわかる。また、点群B, Gは負の相関係数が高い点群であるため、こういった点群がばらつきやすいことがわかる。図3.7(c)より、点群A, J, Hは外れ値が大きく、点群I, Jのばらつきが他の点群に比べて大きい傾向にあった。

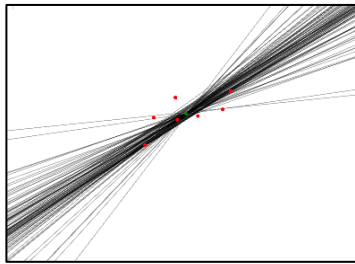
●: 点群 ●: 点群の重心 —: 実験参加者が引いた線



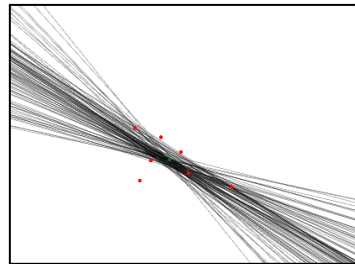
(a) 点群 A

(b) 点群 B

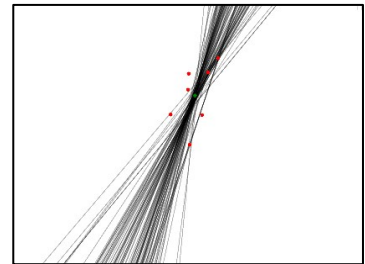
(c) 点群 C



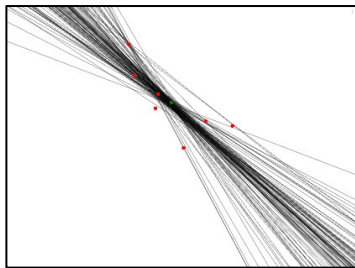
(d) 点群 D



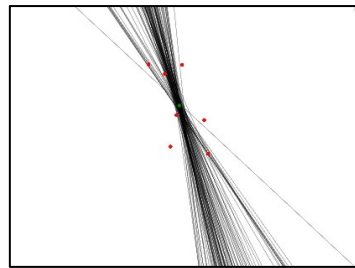
(e) 点群 E



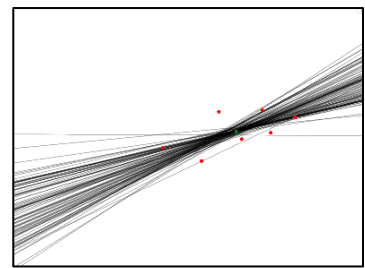
(f) 点群 F



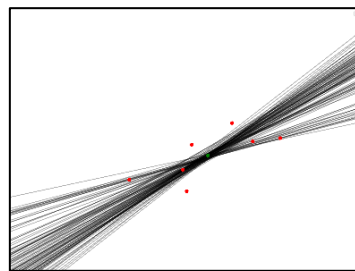
(g) 点群 G



(h) 点群 H

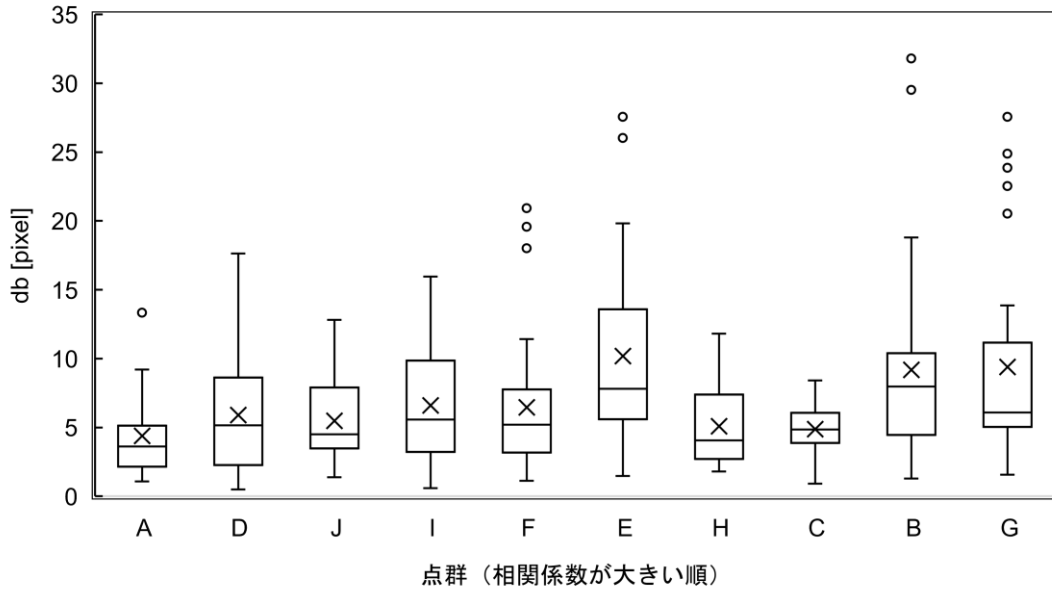


(i) 点群 I

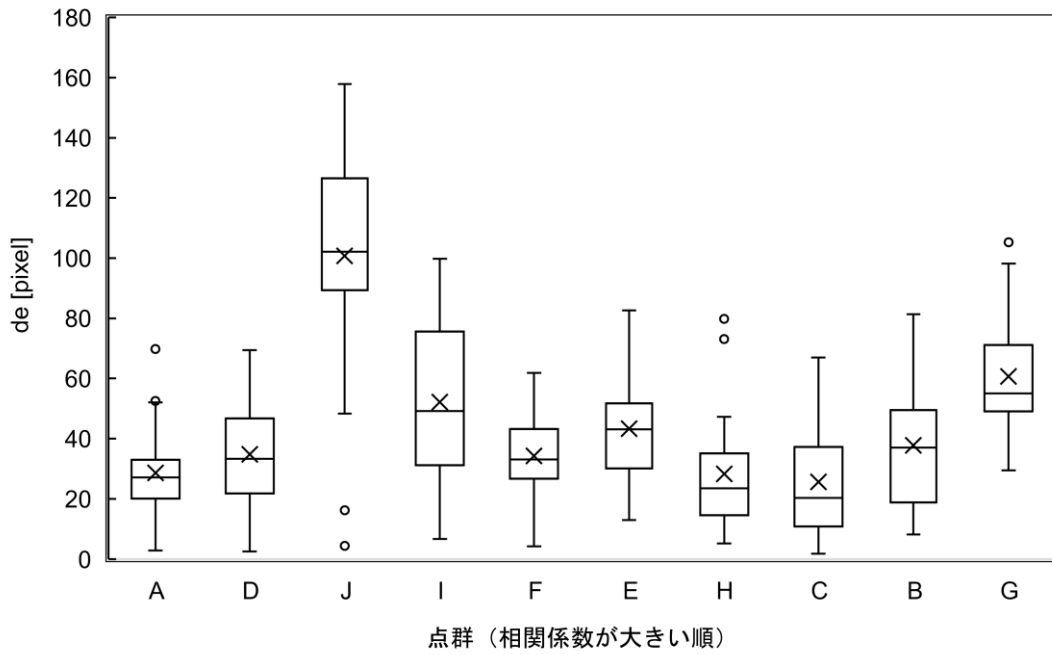


(j) 点群 J

図 3.6 10 種類の点群に基づいて実験参加者によって引かれた線



(a) 点群ごとの d_b の分布

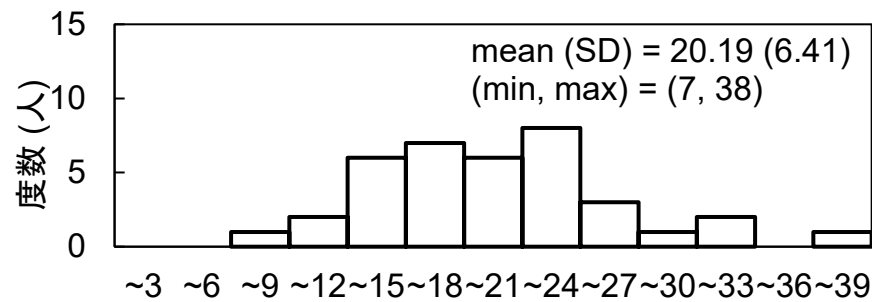


(b) 点群ごとの d_e の分布

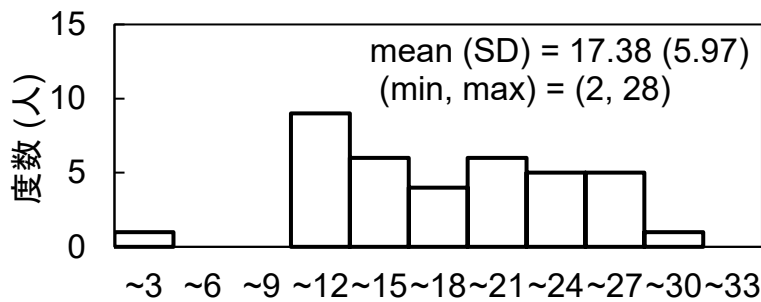
図 3.7 点群ごとにおける引かれた直線の特徴の指標の傾向

3.4.2. 失敗傾向の得点によるグループの分類

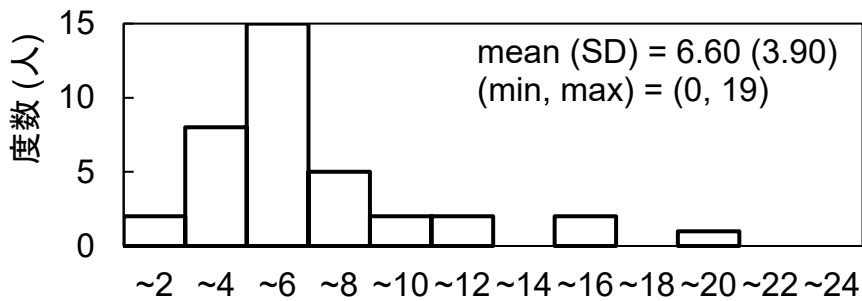
本節では、EPQの得点分布について記述する。EPQでは、アクションスリップ(AS)、認知の狭窄(CN)、衝動的失敗(IF)の度合いを、それぞれ最大40点、36点、24点の得点として測定した。34名の実験参加者のAS、CN、IFの得点分布、平均、標準偏差および得点範囲を図3.8に示す。得点分布の階級は、EPQ作成時のもの(山田, 1999)を用いた。各失敗傾向の得点間の相互関係(相関係数)は、ASとCNの間に0.23、ASとIFの間に0.48、CNとIFの間に0.47であり、山田(1999)とほぼ同様の傾向であった。



(a) アクションスリップ



(b) 認知の狭窄



(c) 衝動的失敗

図 3.8 失敗傾向の得点分布

3.4.3. 引かれた線の特徴と失敗傾向の関係性

本節では、引かれた線と失敗傾向の得点の関係性について相関分析を行った結果、点群の端点の近くに線が集中するような傾向にある点群において、AS の得点と関係性があることを示す。

実験参加者によって引かれた直線の特徴と失敗傾向の関係性について調べるため、「線を 3 回引いたうちの直線の特徴の指標の平均」と「失敗傾向質問紙の得点」の相関係数を計算した (表 3.3)。表 3.3 より、相関係数が有意であった組み合わせは、AS と IF の得点との組み合わせのみであった。AS の得点を含む組み合わせで相関係数が有意であったのは、点群 A, D, H における d_b 、および点群 A, C, D, G, I, J における d_e であった。また、IF の得点を含む組み合わせで相関係数が有意であったのは、点群 C における d_e であった。

相関係数が有意であった組み合わせの 1 回目から 3 回目の相関係数を表 3.4 に示す。本論文は相関係数の算出回数が多く、相関係数が偶然有意となる組み合わせが存在する可能性も考慮し、ある程度相関係数が見られることが見られることを基準として、線を引いた 3 回分のうち、2 回分の相関係数が有意または有意傾向 ($p < 0.10$) になる組み合わせを分析の対象とした。表 3.4 より、各回数の d_b と AS の得点の相関関係を見たところ、点群 A, D は 3 回分とも有意傾向であったが、点群 H は 1 回分のみ相関係数が有意であり、他の回数に対しては有意でなく、有意傾向でもなかった。このことから、点群 H における d_b は偶然に相関関係が有意になったと考えられるため、分析の対象外とした。

d_b と同様、相関係数が有意であった点群について、各回数の d_e と AS の得点との相関関係を見たところ、すべての回数で有意であったのは点群 J、2 回分が有意であったのは点群 A, C、1 回分のみ有意であったのが、他の回数分が有意傾向であったのが点群 D, I、1 回分のみ有意であったが、他の回数分の相関係数に相関関係がないのが点群 G であった。相関係数が有意であった点群について、各回数の d_e と IF の得点との相関関係を見たところ、点群 C は 1 回分のみ有意であったのが、他の回数で有意傾向がみられた。これらのことから、点群 A, C, D, I, J を分析の対象とした。

表 3.3 引かれた線の特徴の指標と失敗傾向の得点の相関関係

(a) d_b と失敗傾向の得点の相関関係

点群	算出した相関係数の組み合わせ (相関係数)		
	d_b と AS	d_b と CN	d_b と IF
A	0.57 **	-0.25	0.04
B	0.16	-0.06	-0.07
C	0.09	-0.10	-0.03
D	0.39 *	-0.29	-0.13
E	0.19	-0.13	-0.06
F	0.27	-0.19	-0.20
G	0.24	-0.14	-0.04
H	0.36 *	-0.09	0.15
I	-0.20	-0.20	-0.02
J	0.08	-0.13	-0.23

(b) d_e と失敗傾向の得点の相関関係

点群	算出した相関係数の組み合わせ (相関係数)		
	d_e と AS	d_e と CN	d_e と IF
A	-0.61 **	0.00	-0.26
B	-0.18	0.06	-0.23
C	-0.38 *	-0.08	-0.34 *
D	-0.48 **	0.08	0.23
E	0.09	-0.05	0.11
F	-0.05	0.01	-0.21
G	-0.35 *	-0.13	-0.07
H	0.17	-0.28	-0.16
I	-0.37 *	-0.07	-0.13
J	-0.52 **	0.01	-0.07

相関係数の p 値: ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

表 3.4 各回数の直線の特徴の指標と失敗傾向質問紙の得点の相関係数

算出した相関係数の組み合わせ	直線描画タスクを行った回数 (相関係数)		
	1回目	2回目	3回目
点群 A における d_b と AS	0.44**	0.49**	0.41*
点群 D における d_b と AS	0.36*	0.30+	0.30+
点群 H における d_b と AS	n.s.	0.47**	n.s.
点群 A における d_e と AS	-0.31+	-0.55**	-0.59**
点群 C における d_e と AS	n.s.	-0.35*	-0.36*
点群 D における d_e と AS	-0.33+	-0.45*	n.s.
点群 G における d_e と AS	n.s.	n.s.	-0.45**
点群 I における d_e と AS	-0.51**	n.s.	-0.30+
点群 J における d_e と AS	-0.52**	-0.36*	-0.38*
点群 C における d_e と IF	-0.37*	-0.33+	n.s.

相関係数の p 値: ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, + $p < 0.10$;

引かれた直線の特徴の指標と失敗傾向の得点の関係性について検討を行うため、相関係数が有意であった中から分析対象となった点群 A, C, D, I, J について、実験参加者によって引かれた線を失敗傾向の得点が高い群と低い群に分類し、それぞれ赤い線と青い線を用いて描画した (図 3.9)。失敗傾向の得点が高い群と低い群への分類は平均を基準とし、山田 (1999) の平均を用いた。AS の得点により分類したものを図 3.9(a)から(d)、IF の得点による分類したものを図 3.9(e)に示す。また、実験参加者 1 人につき 3 回直線描画を行っているため、点群ごとの線の本数は 99 本である。

実際に引かれた直線を比較して失敗傾向の得点による引かれた直線の特徴の違いを比較した結果、AS の得点が高い群や IF の得点が高い群は、端点付近に線を引く傾向にあるという結果が得られた。

AS の得点の違いによる引かれた直線の特徴について比較を行う。図 3.9(a)から(e)より、AS の得点が高い群によって引かれた線は、点群の端点近くにある傾向であることがわかる。特に点群 A, C, D はこの傾向が強く、引かれた線が点群 I, J に比べ、より端点の近くに分布している。AS の得点が高い群によって引かれた線は、両側の端の点を 1 点ずつ結んだような 2 点で作られた線が多くある。一方で、低い群によって引かれた線は、両側の端の点を 2 点ずつ取り、2 点の間を通して結んだような 4 点で作られた線が多くある。このことから点群の性質によって、選択する端点が変わる傾向にあることがわかった。

一方で, AS の得点が低い群によって引かれた線は, 点群の重心を中心に広がるように分布していることがわかる.

次に, IF の得点の違いによる引かれた線の特徴の違いについて比較を行う. 図 3.9(f)より, IF の得点が低い群によって引かれた線は, 点群の端点に線が集まっている傾向にあることがわかる. しかしながら, AS の得点の違いに比べると大きな差はなかった.

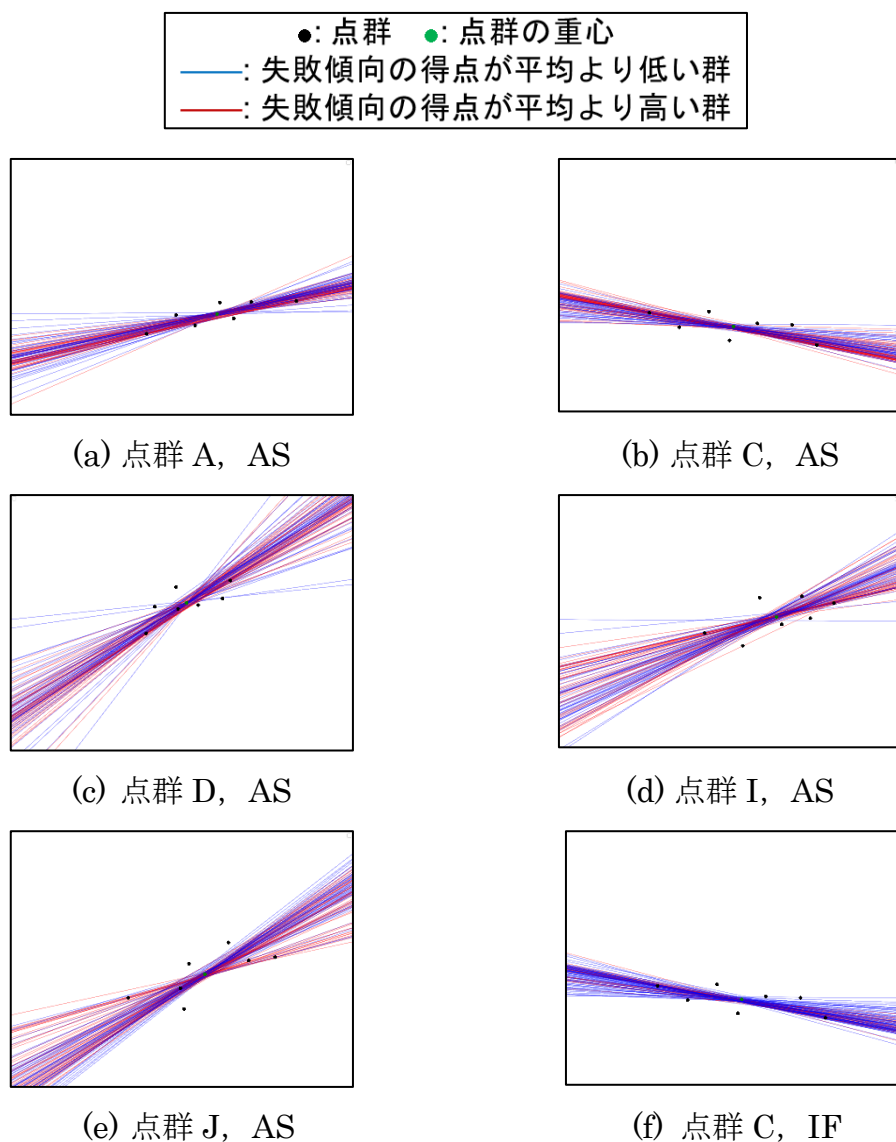


図 3.9 失敗傾向得点と相関係数が有意となった点群に基づいて
 実験参加者により引かれた線
 (点群名, 分類に用いた失敗傾向)

3.4.4. 重回帰分析を用いた引かれた線の特徴の推定

本節では、引かれた直線の特徴に影響する失敗傾向や点群の性質を調べるため、引かれた直線の特徴を予測するために重回帰分析を行った結果、AS や CN の得点や点群の x, y 座標の相関係数が影響を与えていることを示す。

引かれた直線の特徴に影響する失敗傾向や点群の性質を調べるため、 d_b もしくは d_e を目的変数に重回帰分析を行った。失敗傾向と関係のない可能性の高い指標を除くため、相関係数が有意であった点群における d_b と d_e のみを分析の対象とした。また、 d_e の場合、図 3.6 より、他の点群に比べて傾向が異なるため、点群 J 除いた場合の重回帰分析も行った。重回帰分析を行う際のデータ数は相関係数が有意となった点群の数×実験参加者の人数となるため、 d_b を目的変数にした場合が 66 個、 d_e を目的変数とした場合が 165 個、点群 A, C, D の d_e を目的変数とした場合が 99 個、点群 I, J の d_e を目的変数とした場合が 66 個である。説明変数は表 3.1 に示したように、「点群の x, y 座標の相関係数」、「AS の得点」、「CN の得点」、「IF の得点」、「線を引く際に参考にした数」を用いた。これらの条件で重回帰分析を行った結果を表 3.5 に示す。

d_b を目的変数とした重回帰分析の結果は、AS の得点、CN の得点、点群の x, y 座標の相関係数が影響を与えることを示す。表 3.5 の d_b における説明変数の標準偏回帰係数に着目すると、AS の得点、CN の得点、点群の x, y 座標の相関係数が有意であった。AS の得点が高いほど d_b が大きくなり、CN の得点や点群の x, y 座標の相関係数が高いほど d_b が小さくなることがわかった。また、標準偏回帰係数の絶対値より、AS の得点、CN の得点、点群の x, y 座標の相関係数の順に d_b に影響を与えていることがわかった。また、決定係数が 0.35 であることから、重回帰分析により作られた回帰式の予測値と実測値の相関関係が 0.59 であり、 d_b の関係性を表していると言える。

d_e を目的変数とした重回帰分析の結果は、点群 A, C, D の場合は AS の得点、参考にした点の数が影響を与え、点群 I, J の場合は AS の得点、点群の x, y 座標の相関係数が影響を与えることを示す。

d_e については、3つのパターンで重回帰分析を行ったため、それぞれのパターンについて述べた後、最後にパターン間での比較や共通点について述べる。表 3.5 の d_e （点群 A, C, D, I, J）における説明変数の項目に着目すると、AS の得点、点群の座標の相関係数が有意であった。また、標準偏回帰係数の値から点群の座標の相関係数が高いほど d_e が大きくなり、AS の得点が高いほど d_e が小さくなることがわかる。また、標準偏回帰係数の絶対値より、AS の得点、点群の x, y 座標の相関係数の順に d_e に影響を与えている。決定係数に着目すると、 d_e の決定係数は有意であるが 0.16 と非常に低く、予測精度は低いことがわかる。 d_e の予測精度が低い理由については、3.5.2 節にて考察を行う。

表 3.5 の d_e (点群 A, C, D) における説明変数の標準偏回帰係数に着目すると、AS の得点、参考にした点の数が有意であった。AS の得点が高く、参考にした点の数小さくなるほど d_e が小さくなることを示している。点群 I, J のデータを除いた場合、決定係数が上がったため、点群 I, J は点群 A, C, D とは違う性質を持つということがわかる。

表 3.5 の d_e (点群 I, J) における説明変数の標準偏回帰係数に着目すると、AS の得点、点群の x, y 座標の相関係数が有意であった。AS の得点が高く、点群の x, y 座標の相関係数が小さくなるほど d_e が小さくなることを示している。

d_b および d_e を目的変数とした重回帰分析の共通点として、どの条件であっても、必ず AS の得点があり、直線描画タスクを行う上で非常に重要な因子であることがわかる。また、条件によって有意になる因子が異なる点においては、3.5.1 節、3.5.2 節で考察を行う。

表 3.5 重回帰分析の結果

変数	標準偏回帰係数 (偏回帰係数)			
	d_b n=66	d_e		
		点群 A, C, D, I, J n=165	点群 A, C, D n=99	点群 I, J n=66
点群の x, y 座標の 相関係数	-0.21* (-16.91)	0.30** (20.22)	n.s.	0.60** (404.73)
AS の得点	0.53** (0.29)	-0.29** (-1.60)	-0.45** (-1.15)	-0.36** (-2.21)
CN の得点	-0.38** (-0.22)	n.s.	n.s.	n.s.
IF の得点	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
参考にした 点の数	n.s.	n.s.	0.26** (2.07)	n.s.
定数項	16.11*	71.35**	43.32**	-150.39
決定係数	0.35**	0.16**	0.27**	0.48**

相関係数の p 値: ** p<0.01, * p<0.05

3.5. 考察

本節では、「引かれた線の特徴と失敗傾向の関係性に関する検討」と「失敗傾向の得点を分類できる点群の特徴」についての考察を行う。「引かれた線の特徴と失敗傾向の関係性に関する検討」は、重回帰分析の結果を中心に、直線描画タスクの知覚・認知のプロセスと影響を与えている要因について考察を行う。「失敗傾向の得点を分類できる点群の特徴」は、EPQ と関係がある点群の特徴について、結果で述べた内容と「引かれた線の特徴と失敗傾向の関係性に関する検討」を踏まえた上で検討を行う。

3.5.1. 引かれた線の特徴と失敗傾向の関係性に関する検討

本節では、3.4.4 節で示した重回帰分析の結果の解釈を行い、直線描画タスクを行う際の知覚・認知モデルを提案する。

表 3.5 より、 d_b では AS の得点、CN の得点、点群の x, y 座標の相関係数、 d_e (点群 J を除いた場合) では AS の得点と参考にした点の数が有意であった。有意であった説明変数について考察を行う。

AS の得点は、 d_b と d_e の両方で有意であった。AS は注意制御の苦手さに関係していることがいくつかの研究で報告されている。篠原 (2007) や山田 (1993) によれば、AS の得点が高いと、全体に注意を向ける能力は容易であるが、注意の焦点を絞るような部分的に注意することが難しいことがいずれの報告でも指摘されている。また、AS の得点と注意の維持が負の相関関係にあることもわかっている (関口, 2017)。AS の得点が高いと d_e が小さく、 d_b が大きくなることは、AS の得点が高いほど点群の端点から近く、重心から離れているような直線が引かれている。つまり、注意制御が苦手な人は、端点に近く、重心から遠いような線を引きことがわかる。引かれた線の特徴の違いを AS の傾向を踏まえて解釈すると、点群全体を認識したときに、端点を予測する場合は点群全体の特徴として容易に捉える一方で、重心を予測する場合は点群内の各点に焦点を合わせる必要があると考えられる。

CN の得点は d_b の場合に有意であったが、同じ EPQ の因子でも CN の得点は逆の作用となった。すなわち、CN の得点が高い (認知の狭窄の傾向が強い) と d_b が小さくなり、重心により近い線を引きしている。山田 (1999) は、CN の傾向が強いと内外の情報が多いと処理できないといったネガティブな側面があるとされているが、今回はポジティブな効果として現れている。この解釈だが、CN は外向性—内向性との相関があり、CN が高いと内向性傾向にあることが指摘されている。内向性は、内面の活動に沈潜する特徴があるため、自分の内外に興味・関心が集中する傾向にある。このことから、CN が高いと自分の内側に集中する特性があるため、線を引く課題への注力に繋がったと

考えられる。

点群の x, y 座標の相関係数は、相関係数が高いと d_b が小さくなる傾向にある。点群に法則性が強い方が点群内の各点に向ける注意の量は減ると考えられることから、相関係数が高いと重心が予測しやすいことがわかる。参考にした点の数は、点の数が多いと d_e が小さくなる傾向にある。先述した通り、点群全体の特徴を端点としていることが考えられるため、重心を予測するために特徴的な点を選択できていないと参考にした点の数が多くなると考えることができる。

これらのことから、「直線描画タスクにおける知覚・認知モデル」を図 3.10 に示すようなモデルとして提案する (図 3.10)。

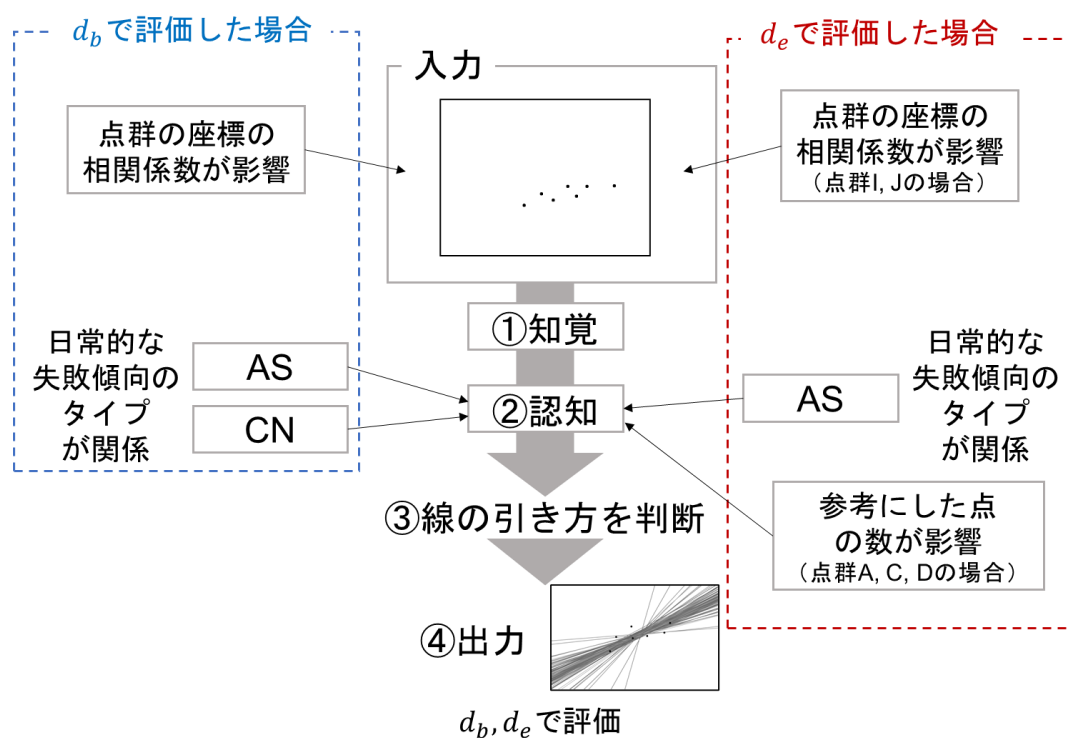


図 3.10 直線描画タスクの知覚・認知モデル

直線描画タスクの知覚・認知モデルにおける点群の提示から直線描画までの過程は次の通りである。

- (1) 入力として点群を受け取った際、点群の配置などから点群を知覚する。この時、 d_b および点群 I, J における d_e の場合は点群の x, y 座標の相関係数が影響する。
- (2) 日常적인失敗傾向のタイプが認知と関係する。AS の得点は、点群のどのように把握するか (線を引く際に、点群全体をみるか、全体を観察し

た後に焦点を当てるか) に関係すると考えられる。 d_b を考慮する場合、CN の得点は、点群を丁寧に観察しているかどうか、全体をよく観察しているかに関係すると考えられる。 d_e を考慮する場合、点群 A, C, D の場合、参考にした点の数が影響し、参考にした点の数が少ないほど端点のみを見ていると考えられる。

(3) 認知の結果から線の引き方を判断する。

(4) 様々な要因によって線が引かれ、引かれた線の特徴を d_b , d_e を用いて指標化することによって日常的な失敗傾向のタイプの違いを把握できる。

3.5.2. 失敗傾向の得点を分類できる点群の特徴

本節では、失敗傾向の得点と関係のある点群の特徴について考察を行う。

表 3.5 より、点群 A, C, D, I, J のデータをすべて入れた場合、 d_e の決定係数が 0.16 と低かった。しかし、点群 A, C, D, 点群 I, J と分けた場合、それぞれの決定係数は 0.27, 0.48 と高くなった。

また、点群 A, C, D, I, J の d_e のそれぞれの平均は、28.6pixel, 25.7pixel, 34.8pixel, 52.1pixel, 100.7pixel であった。点群 I, J の d_e の平均が点群 A, C, D と比べて高いことから、点群 A, C, D と点群 I, J は端点の性質が異なることがわかる。点群 I, J を除いた場合、 d_e の平均値は点群 C, A, D の順に低く、点群の x, y 座標の相関係数はそれぞれ -0.61, 0.81, 0.71 であり、相関関係が見られないため、 x, y 座標の相関係数を用いて点群の端点の引きやすさを表現することが難しいことがわかる。

これらのことを踏まえ、実際に実験参加者によって引かれた線を基に、端点の数のパターンを以下の通りに分類することができる。

- ・ 2 点の場合：点群 A, C, D
- ・ 3 点の場合：点群 B, E, F, G
- ・ 4 点の場合：点群 H
- ・ 2 点と 4 点の両方が考えられる場合：点群 I, J

また、 d_e と d_b は AS の得点との相関関係が逆であることから、 d_e と d_b はトレードオフの関係である考えることができる。そのため、点群ごとに d_e と d_b のどちらが優先されているかといった指標についても重要であると考えることができる。

3.6. まとめ

本章では、33 名を対象に実験を行い、点群に基づく引かれた線の特徴の引き方と日常的な失敗傾向のタイプの関係性について相関分析や重回帰分析を用いて調べた。最も主要な結果として、引かれた線の特徴と失敗傾向の得点

の間に関係性があることを明らかにした。このとき、引かれた線の特徴は、「重心までの距離」および「端点までの距離」を用いて指標化した。また、失敗傾向の中では、注意に関する失敗傾向である AS と特に関係があった。この知見を支持する結果を含む、本研究の主要な結果と考察を以下に示す。

- ・引かれた線の特徴と AS の得点の相関関係

相関分析を行った結果、点群 A, D における d_b は AS の得点と、点群 A, C, D, I, J における d_e と AS の得点が有意であった ($r=0.39\sim 0.57, -0.61\sim -0.37, p<0.05$)。このことから、特定の点群に基づいて引かれた線の特徴と AS の得点の間に相関関係があった。

- ・引かれた線の特徴に影響を与える EPQ の因子

重回帰分析を行った結果、EPQ の得点、参考にした点の数を用いることで、 d_b および d_e が予測可能であることがわかった (決定係数 $=0.27\sim 0.48$)。 d_b と d_e のどちらを目的変数にした場合でも、AS の得点が説明変数として有意になった。このことから、AS の得点は直線描画タスクを行う上で非常に重要な因子であることがわかる。また、 d_e において、点群 A, C, D と点群 I, J が別の傾向にあった。

- ・EPQ の得点と関係がある点群の特徴

引かれた線の特徴の指標と EPQ の得点の相関係数が有意であった点群 (A, C, D, I, J) は、点群の端点が 2 点の傾向にあり、端点が予測しやすいと考えられる点群の際に端点を基準に線を引くことを明らかにした。また、点群 A, D は d_b と d_e の両方と関係があることから、点群の x, y 座標の相関係数が高い点群は重心も予測しやすく、端点を基準に引く人と重心を基準に引く人に傾向があることが示唆された。

今後の展望として、自己改善につなぐことができると考えられる。点群を提示し、線を引くだけで AS の得点の傾向がわかるため、このタスクを実施してもらうことで、本人に自身の特性を把握してもらい、自己改善を促すことができると考えられる。

しかしながら、本章で得たこれらの知見を生かすために、次の 2 つの課題について、検討を行う必要がある。

- ・引かれた線の特徴と客観的な認知特性の関係性

失敗傾向の得点は主観的な経験を基にしているため、課題成績などといった客観的な認知特性との関係性を調べる必要がある。3.2 節でも述べた通り、EPQ をはじめとする質問紙による測定法は経験や自己認識の度合いなどの個人の主観に依存する。このため、人の客観的な認知特性との関係性も合わせて調べ、どのような特性が行動との間に関係があるのかを追加で調べる必要がある。この課題は、前方の 3 車両のブレーキランプを観

察する課題である模擬運転作業中の反応時間との関係を検討する（第 4 章）.

- 点群の端点と関係する点群の特徴

点群の x, y 座標の相関係数では，点群ごとの端点の数や場所の特定が困難であるため，点群の端点の種類と関係がある点群の特徴を明らかにする必要がある．解決策として，複数の点群の特徴を主成分分析によってまとめ，まとめられた特徴から点群の端点の性質を予測する．また，実験人数を追加した状態で分析を行う（第 5 章）.

これらの課題について，4，5 章において検討を行う．

4. 反応時間と引かれた線の特徴の関係性

4.1. はじめに

本章では、「直線描画タスク」と、認知特性について客観的な尺度を用いて評価した「反応時間」の関係性を調べる。本章では、反応時間を調べる方法として、ディスプレイ上で前方の3車線を走る車両を観察し、前方車両のブレーキランプに応じて反応する課題（以下、模擬運転作業）を用いる。3章と同様に直線描画タスクに用いる点群として、特徴の異なる10種類の点群を用いる。これらの条件を基に、直線描画タスクにおける引かれた線の特徴と反応時間の関係性について検討を行う。この検討から、次の3つのことを明らかにしている。

- ・直線描画タスクにおける引かれた線の特徴と反応時間の関係性。
- ・引かれた線の特徴から、反応時間を予測できること。
- ・反応時間と関係がある点群の特徴。

本章の構成を図4.1に示す。

4.2節では、認知的失敗と事故の関係性、反応時間と運転行動の関係性、反応時間と個人特性の関係性を示す。

4.3節では、直線描画タスクと模擬運転作業の概要について述べている。4.3.7節の分析方法、4.4節「結果」および4.5節「考察」では、直線描画タスクと失敗傾向の関係性を明らかにするため、次の2つの分析を行い、それぞれの分析について結果・考察を得る。

- ・直線描画タスクと関係がある反応時間の評価方法、反応時間と関係がある点群を明らかにするため、直線描画タスクにおける引かれた線の特徴と反応時間について相関分析を行った。この分析から、実験参加者によって引かれた線にある程度ばらつきがないような点群に基づいて引かれた線の特徴が反応時間と関係があることがわかった。

- ・引かれた線の特徴から反応時間を予測するため、重回帰分析を行った。この分析から、特定の点群について引かれた線のばらつきが反応時間の予測に影響することがわかった。この結果から、引かれた線から反応時間の特徴を推定できることがわかった。

4.6節では、4章で得た主要な結果と今後の展望について述べている。

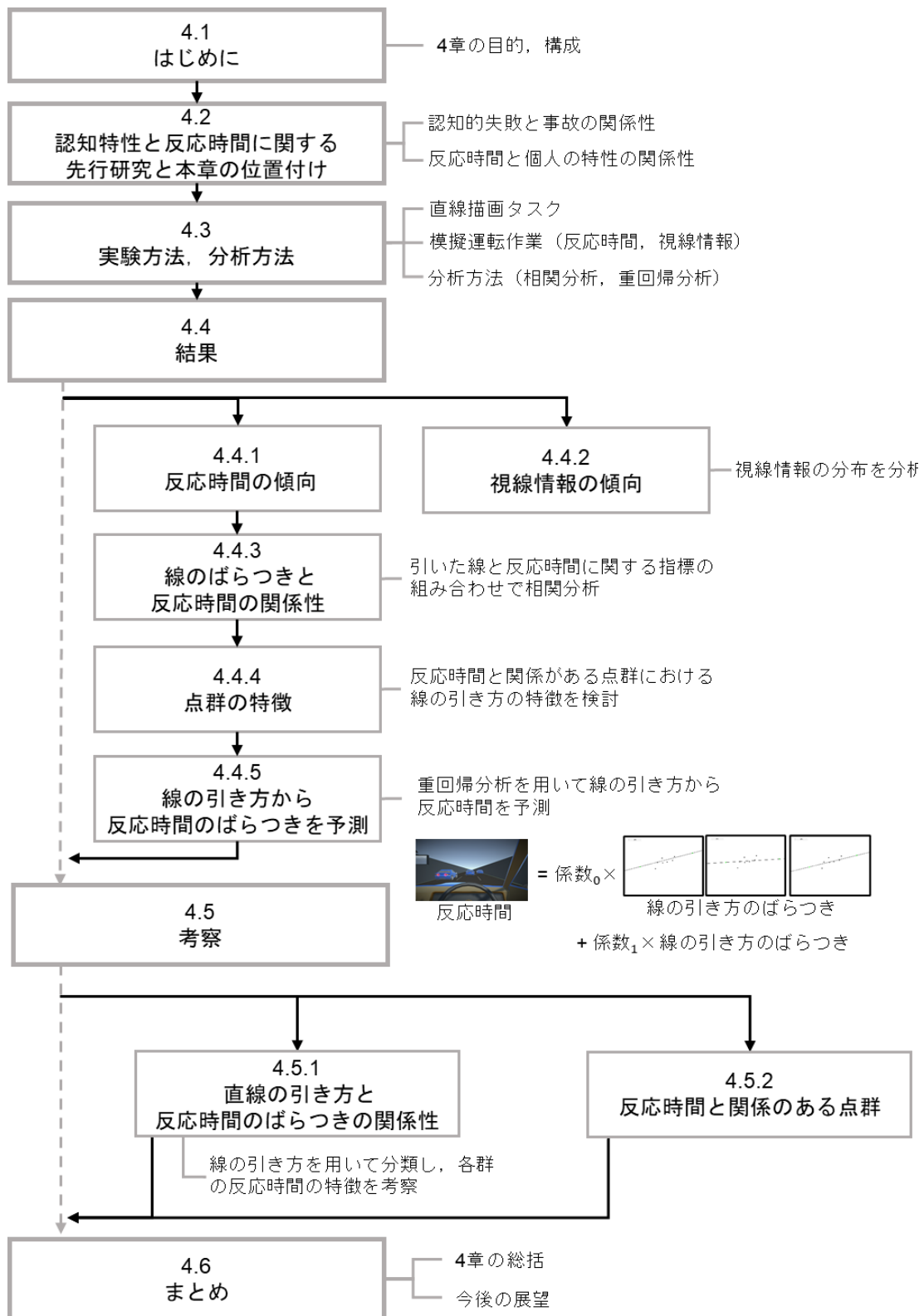


図 4.1 4章の構成

4.2. 認知特性と反応時間に関する先行研究と本章の位置付け

近年発生している事故のうち、全体の約 5 割が認知エラーによる事故である。警視庁 (2022) によれば、2011 から 2022 年における日本国内の交通事故の原因のうち、「安全不確認」、「前方不注意」、「漫然運転」は常に 5 割以上の割合を占めている。こういった運転を起こしやすい特性として、認知的失敗との関連性が多く報告されている。自動車運転時における事故は認知的失敗と関係があり、認知的失敗を把握することによって事故を減らすことが期待できる。

例えば、認知的失敗は **Cognitive Failures Questionnaire** (以下、**CFQ**; Broadbent, 1982) と呼ばれる質問紙で測定されることが多い。また、注意散漫運転や運転中のミスといった運転中の行動と **CFQ** の得点の間に関係性があることが報告されている (Allahyari, 2008; Born, 2006; Feng, 2014; Wallace, 2003)。一方で、運転行動と神経症などといった性格特性との間に関係があること (Niranjan, 2022) や持続的注意との関係性があること (Ledesma, 2010) も報告されている。また、客観的な尺度として反応時間を取得し、反応時間と運転行動の間に関係性があることも報告されている (Tabibi, 2015)。これらの報告については、注意の持続力といった点について言及されることが多い。これらのことから、認知的失敗を知ることで、その後の行動や個人特性を推定することが可能であるため、運転行動と認知的失敗の関係性を調べることは非常に重要であることがわかる。

アンケートにより得た認知的失敗は、本人の主観に影響するといったことが報告されているため、客観的に調べた認知特性と合わせて比較することが望ましい。清水 (2018) や清水 (2019) によれば、直近における認知的失敗の経験や自己認知の度合いが **CFQ** の得点に影響することが報告されている。また、**CFQ** の得点は期間が空いても安定しているが、職場環境における責任や負担と関係があるといった報告もされている (Brindger, 2013)。また、認知特性の低下と **CFQ** の得点の関係性で言えば、加齢とともに認知特性は低下するにもかかわらず、年齢と **CFQ** の得点の間に正の相関関係はないことが報告されている (関, 2017; Winter, 2015)。これらのことから、認知的失敗を主観的な評価のみで得るのではなく、客観的な評価も合わせて調べる必要があることがわかる。

本人の認知特性を客観的に調べる方法として、タスクから反応時間を用いて調べる手法が挙げられる。反応時間を用いて人の特性などの関係性を調べる場合、反応時間の平均とそのばらつきに対して様々な要因が影響を与えることがわかっている。

運転と反応時間の関係性を調べた研究では、個人の特性を調べる研究より、

年齢や状況別での反応時間の平均の比較が多い (Young, 2015). 例えば, 年齢や性別による反応時間の違い (Der, 2006), 道路状況における反応時間の違い (牧下, 2002) や携帯操作時の反応時間の違い (牧下, 2005) が報告されている. 他にも, 運転状況と反応時間の違いの関係性を調べた研究はある (Cantin, 2009; Horry, 2008; Muller, 2021; Yuda, 2020). これらの報告の多くは, 反応時間の平均に焦点が当てられている.

一方で, 個人パフォーマンスを調べる場合は, 反応時間の平均よりも, 反応時間の標準偏差や反応時間の変動係数, 反応時間の分布に着目することが望ましいといった研究が報告されている. 具体的には, 反応時間の平均を用いて個人の特性を調べる場合, 重要な分散を容易に隠してしまうこと (Hekki, 2000) や突発的な遅れこそが事故につながる可能性があること (牧下, 2002) が指摘されている. このことから, 反応時間を用いて個人の特性を調べる場合, ばらつきにも着目する必要がある.

反応時間のばらつきと個人特性との関係性として, 相対的な標準偏差である反応時間の変動係数は, 持続的注意力と関係があることが報告されている (Flehmig, 2007; Ode, 2011; Steinborn, 2008). 前述したとおり, 運転行動についての報告では注意の持続力との関係性が述べられている. また, 1.1 節で述べたが, 認知に関する特性を調べる際, 注意を必要とする課題を用いることが多い. このことから, 認知や行動を調べる際, 注意力を調べることが可能な指標は望ましい.

また, 反応時間の分布が正規分布にならないことから, 歪度が正のような左に偏ったような特定の分布に近似して分布を評価する研究もある. 標準偏差はデータのばらつきが正規分布であることを前提にしているため, 標準偏差のみでは反応時間の分布を評価することが難しい.

特定の分布に近似して反応時間を調べる研究は, 分布のパラメータと個人の特性の関係性に着目しており, 分布のパラメータが持続的注意や神経症傾向が分布のパラメータと関係があることを報告している (Bresin, 2006; Matzke, 2009; Saville, 2011). 反応時間のばらつきと同様, 注意と関係があることは認知や行動との関係性を調べる上で非常に重要である. このことから, ばらつきを調べる際は, 標準偏差なども考えられるが, 標準偏差のみでなく, 別の指標も検討することが望ましい.

反応時間のばらつきを調べるような簡易なタスクは, 目的がわかりやすいといった点が挙げられる. 本研究では目的がわかりづらい簡易なタスクとして, 第 2 章で提案した「直線描画タスク」を用いる. 直線描画タスクの関係性と反応時間の特徴の関係性を調べることで, 目的がわかりづらい簡易なタスクから反応時間の特徴を推定できることが期待される.

これらのことから本章では、反応時間の平均やばらつきと直線描画タスクによって得た引かれた線の特徴の関係性を調べることで、引かれた線の特徴から個人の認知特性（反応時間の特徴）を推定する。また、推定する際に提示すべき点群の特徴や、推定可能な反応時間の平均やばらつきに関する指標を検討する。

本節で述べた先行研究と本章の関係性について、図 4.2 に示す。

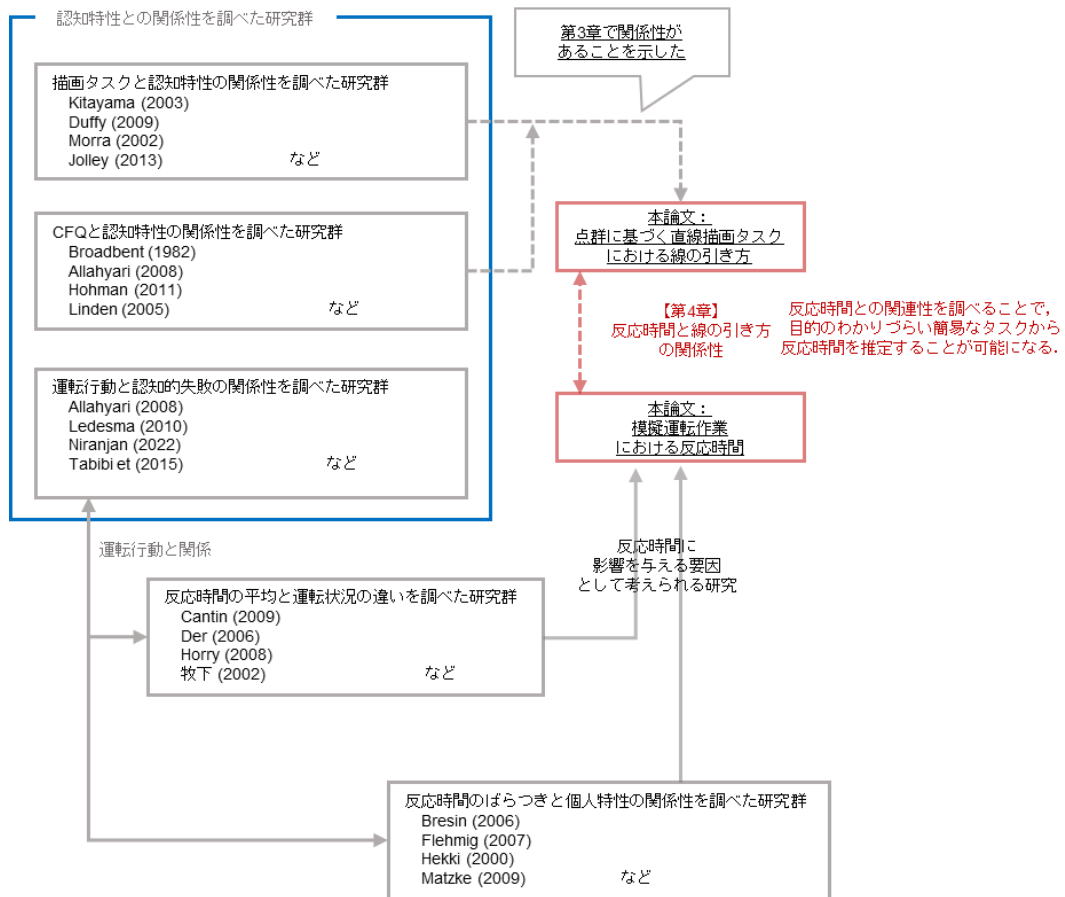


図 4.2 反応時間に関する先行研究と本章の位置付け

4.3. 実験方法・分析方法

本節では、本章で行った本章で行った実験の基本的な情報について述べた後、直線描画タスクにおける引かれた線の特徴と模擬運転作業における反応時間の評価方法について述べる。最後に、関係性を調べるために行う分析の手順について示す。

4.3.1. 実験概要

本章では、以下の手順で実験を行う。

(1) 2.3 節で述べた直線描画タスクについて、実験参加者ごとに 3 回実施する。直線描画タスクに用いる点群は、10 種類の点群を用いる (2.3 節, 図 2.4)。各回の間は 1 日以上日を空ける。直線描画タスクはタッチディスプレイを用いて実施し、実験用ソフトウェアはゲーム開発やシミュレーションソフト作成に用いられる Unity (Unity Technologies, 2022) で作成したものをを用いる。

(2) 3 回目の終了後、模擬運転作業を行う。

4.3.2. 実験参加者

20 歳以上の大学生および大学院生 26 名に実施し、有効なデータを得られた 23 名を分析の対象とした。具体的には、点群に対して直角に直線を引く場合や点群の外に直線を引く場合は他の被験者に比べて線を引く際の法則性がないため、分析の対象外とした。実験参加者には、本研究の概要を文書とともに口頭で説明し、インフォームドコンセントを実施した後に実験に参加してもらった。分析対象となった実験参加者の属性は、男性 16 名および女性 7 名、右利き 18 名および左利き 5 名であった。

4.3.3. 直線描画タスク

実験参加者によって引かれた直線は、反応時間と関係があった「引かれた線のばらつき s_{d_b} 」を用いて特徴を指標化する。引かれた線のばらつき s_{d_b} は、2.5 節で述べた「重心までの距離 d_b 」の標準偏差である。重心までの距離 d_b の算出方法や特徴などは、2.5.1 節および 2.5.2 節で述べているが、簡単な概要を下記に示す。また、そのあとに s_{d_b} の特徴についても示す。

- ・ 重心までの距離 d_b

点群の x, y 座標に対する重心を点群の重心とする。引かれた線と点群の重心までの垂直距離を「重心までの距離 d_b 」とした (図 4.3)。この指標が 0 に近いほど、引かれた線が重心に近いという意味がある。

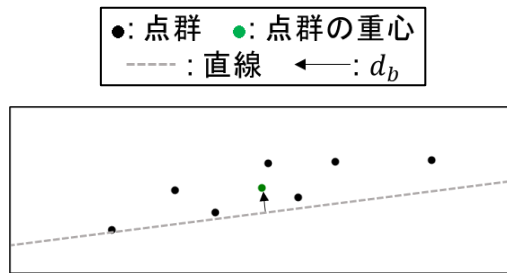


図 4.3 重心までの距離 d_b の例

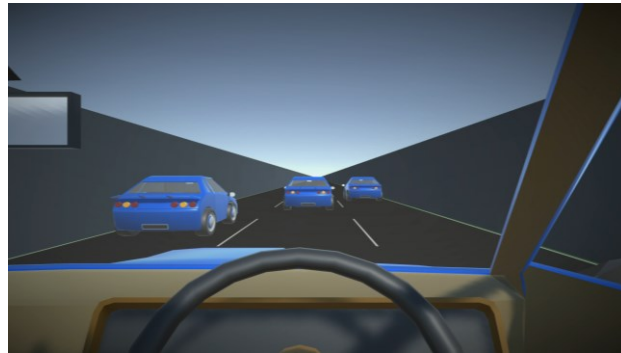
- ・ 引かれた線のばらつき s_{d_b}

直線描画タスクによって引かれた 3 回線が引かれた際の重心までの距離 d_b の標準偏差を「引かれた線のばらつき s_{d_b} 」とする. この指標が 0 に近いほど, 線を引いた際の重心の離れ具合が一定であり, 重心に対して一定の基準で線を引いているという意味がある.

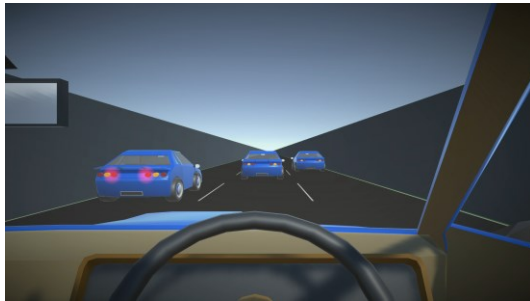
4.3.4. 模擬運転作業

模擬運転におけるパフォーマンスを調べるため, 3 車線道路の中央車線を直進する場面で, 前方車へのブレーキ反応課題 (以下, 模擬運転作業とする) を設定する (図 4.4). この課題は運転支援が普及して運転中の監視タスクの割合が高まっている状況を模したもので, ペダルやハンドル操作は含めなかった. 模擬運転作業では 3 車両のうちのいずれかのブレーキランプをランダムに点灯させ, ランプが光ったらすぐに車両に対応するボタンを押してもらう. この「ある車両におけるブレーキランプ点灯時からボタンを押すまでの反応時間 (以下, 反応時間)」を測定する. また, 模擬運転作業中の視線情報の計測も行った. 実験中の詳細な条件を次に示す.

- ・ 実験中は常に中央の車両を観察してもらう.
- ・ 車両を点灯させるタイミングは実験参加者の間で統一する. このとき, 左が 13 回, 中央が 11 回, 右が 13 回点灯するよう設定する. また, 2 回連続で同じ場所の車両が光らないようにする.
- ・ 実験機器は, 視線情報を十分に測定する画面の大きさと解像度を考慮し, 27inch (横: 2560pixel, 縦: 1440pixel) のディスプレイを用いる. 模擬運転作業に用いる実験ソフトウェアは, Unity を用いて作成した.
- ・ 視距離は 550 ± 50 mm の範囲に収まるように設定した. このとき, 左の車両から右の車両のブレーキランプまで 182mm であった. このため視角は 18.8 から 22.9 度であり, 頭を動かさずにブレーキランプの観察が可能であると判断した.



(a) どの車両も点灯していない状態



(b-1) 左の車両が点灯



(b-2) 中央の車両が点灯



(b-3) 右の車両が点灯

図 4.4 模擬運転作業の様子

4.3.5. 反応時間の評価

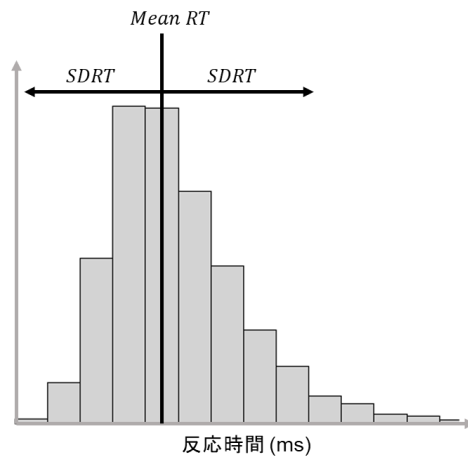
本節では、4章で用いる模擬運転作業における反応時間の評価方法について、定義や評価方法の特徴などを具体的に示していく。反応時間は平均 (Mean of the Reaction Time; 以下, *Mean RT*), 標準偏差 (The Standard Deviation of the Reaction Time; 以下, *SDRT*), 平均における標準偏差の割合である変動係数 (The Coefficient of Variance of the Reaction Time; 以下, *CVRT*) を用いて分析を行う。しかしながら、反応時間のばらつきは正規分布でないことが報告されており、反応時間のばらつきは左に山が寄っている分

布であることがわかっている (綾部, 2019). *Mean RT*, *SDRT*, *CVRT*はそれぞれデータのばらつきが正規分布であることが前提とされているといった問題点があることから, 本来の分布に近いと思われる平均とばらつきを算出するため, 最速の反応時間のうちの 5%の平均 (以下, RT_{base}) を基準に反応時間を評価する反応遅れ RMS (The Root Mean Square of the Reaction Delay; 以下, *RMSRD*; 石橋, 1998) を用いて評価する. また, 反応時間のばらつきに形状が近いとされる分布の中から最も利用されている混合正規分布 (以下, *exGaussiann* 分布) への近似を行い, そのパラメータについての分析も行う. また, 実験参加者の反応時間の分布を適切に評価するため, ランプが点灯した際に押し忘れおよび反応できなかったタイミングはデータを除いて分析を行う.

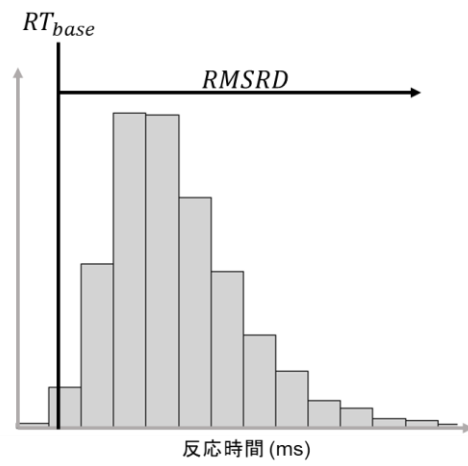
反応時間の評価方法の概要を表 4.1 に示す. また, 反応時間の分布を用いた各指標の特徴を図 4.5 に示す.

表 4.1 反応時間を評価する各指標の特徴

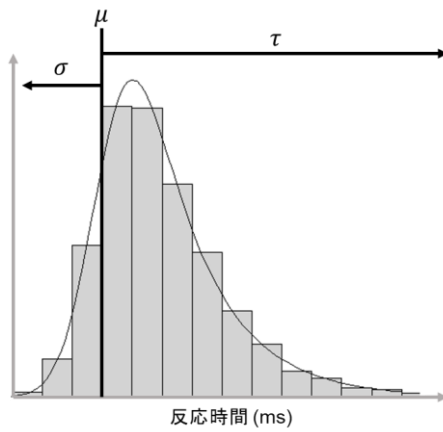
反応時間を評価する指標	指標の特徴
<i>Mean RT</i>	全反応時間の平均. 正規分布を前提.
<i>SDRT</i>	全反応時間の標準偏差. 正規分布を前提.
<i>CVRT</i>	正規分布を前提.
RT_{base}	全反応時間のうち, 最速の反応時間の 5%
<i>RMSRD</i>	RT_{base} に対するばらつき.
<i>exGaussian</i> 分布	正規分布を前提としておらず, 分布の左側と右側を別のパラメータとして扱う.



(a) *Mean RT, SDRT*



(b) RT_{base} , *RMSRD*



(c) exGaussian 分布

図 4.5 各指標の違い

反応時間の評価方法の詳細を下記に示す。

(a) *Mean RT*

平均反応時間（以下、*Mean RT*; Mean of Reaction Time）は、各実験参加者の反応時間の平均である。

(b) *SDRT*

反応時間の標準偏差（以下、*SDRT*; Standard Deviation of Reaction Time）は、次の式で定義される。

$$SDRT = \sqrt{\frac{\sum(RT_i - Mean RT)^2}{N}} \quad (4.1)$$

この指標は、個人の反応時間のばらつきを示すが、*Mean RT*が大きくなると*SDRT*も大きくなる傾向にある。

(c) *CVRT*

反応時間の変動係数（以下、*CVRT*; Coefficient of Variation of Reaction Time）は、次の式で定義される。

$$CVRT = SDRT / Mean RT \quad (4.2)$$

この指標は、*SDRT*と同様に反応時間のばらつきを示す指標である。*CVRT*は平均あたりの標準偏差の割合のため、*Mean RT*の大きさの影響を受けずに個人内のばらつきを示す。

(d) *RMSRD*

反応遅れ Root Mean Square（以下、*RMSRD*; Root Mean Square of Reaction Delay）は、実験参加者の最速のパフォーマンスに対するばらつきの度合いを示す（石橋, 1998）。この時、最速のパフォーマンス RT_{base} は、全反応時間のうち、速い順から 5% の反応時間の平均とする（図 4.3）。 RT_{base} を用いて *RMSRD* は次の式で定義される。

$$RMSRD = \sqrt{\frac{\sum(RT_i - RT_{base})^2}{N}} \quad (4.3)$$

この指標は、 RT_{base} からのばらつきを計算しているため、反応遅れがあった際にその遅れが大きく影響する。そのため、反応遅れが多いと指標が大きくなる。

(e) exGaussian 分布を用いた分析

指数正規混合分布 (Exponentially modified Gaussian distribution; 以下, exGaussian 分布) は, 単純なタスクにおける反応時間の分布と形状が似ていることから, 反応時間を exGaussian 分布に当てはめることで, 平均や標準偏差などよりも詳細に個人による反応時間の特性を分析する指標として用いられている (Balota, 2011; Brown, 2003; Heathcote, 1991). この分布は μ, σ, τ のパラメータを持っており, 指数分布 (exponential distribution) における歪度 τ , 正規分布 (Gaussian distribution) における平均 μ , 標準偏差 σ から作られる分布である. この時, 式を簡潔にするために τ は $\lambda (= 1/\tau)$ に置き換え, 指数分布は次の式となる (式 4.4).

$$f(x; \lambda) = \begin{cases} \lambda \exp(-\lambda x) & (x \geq 0) \\ 0 & (x < 0) \end{cases} \quad (4.4)$$

また, 正規分布は, 2つのパラメータ μ, σ をもつ正規分布を用いる. この時の正規分布は次の式となる (式 4.5).

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (4.5)$$

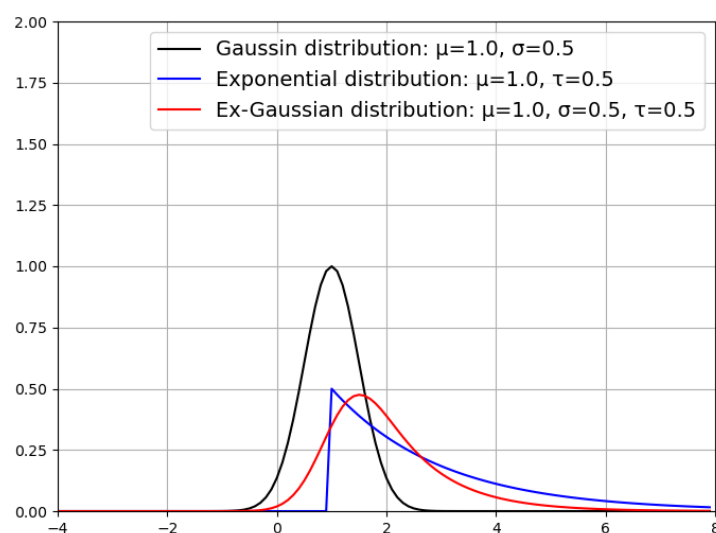
式(4.4)と式(4.5)を足した exGaussian 分布は次の式で求められる (式 (4.6)).

$$f(x) * g(x) = h(x; \mu, \sigma, \lambda) = \frac{\lambda}{2} e^{\frac{\lambda}{2}(2\mu + \lambda\sigma^2 - 2x)} \operatorname{erfc}\left(\frac{\mu + \lambda\sigma^2 - x}{\sqrt{2}\sigma}\right) \quad (4.6)$$

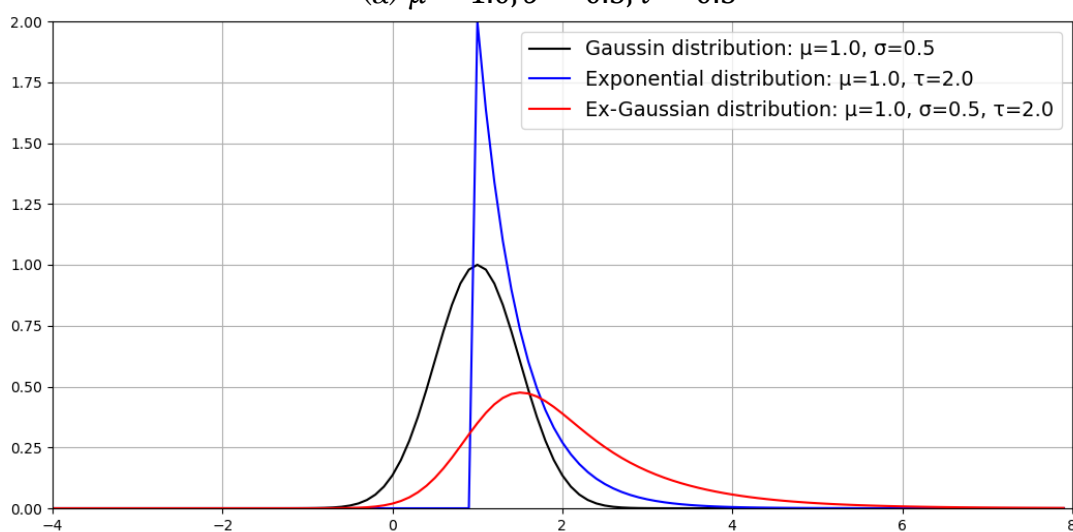
このとき, erfc は次の式によって定義される (式(4.7)).

$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt. \quad (4.7)$$

また、測定された分布から exGaussian 分布を求める際、最尤法やモーメント法、階層ベイズモデリングなどがあるが、今回はデータ数が少なくとも精度が高いモーメント法を採用する。また、 σ と同じく値が大きくなるとばらつきも大きくなるよう、 λ でなく $\tau (= 1/\lambda)$ を用いる。また、指数分布と正規分布、exGaussian 分布の関係性を図 4.6 に示す。図 4.6 より、 τ が大きくなると、exGaussian 分布の横幅も横に大きくなるのがわかる。また、 μ が exGaussian 分布の頂点より左に常にあることも確認することができた。



(a) $\mu = 1.0, \sigma = 0.5, \tau = 0.5$



(b) $\mu = 1.0, \sigma = 0.5, \tau = 2.0$

図 4.6 exGaussian 分布の例

4.3.6. 模擬運転作業における視線情報の評価

本節では、模擬運転作業で得た視線情報について、実験参加者が注視している点（以下、停留点）を算出する。また、注視している範囲が画面全体に向いているかを調べるため、停留点のばらつき（以下、視線のばらつき）も計算した。

・停留点

視線の動きは、本人が意図していない視線の揺らぎや視線の移動も記録されてしまうため、どこを観察しているかを確認するためには、本人が注視しているタイミングを抽出する必要がある。本章では、「停留点」と「視線の揺らぎや視線の移動」を区分するため、一定時間に同じ範囲にとどまっていた視線の集まりを停留点として評価した。停留点は、視線の集まりにおける重心によって算出される（図 4.6）。停留点の時間と範囲は、nac 社の視線解析装置（EMR-dStream2）の設定を参考に、0.1 秒の間に半径 50pixel の円にとどまる範囲とした。また、視線座標が画面外にある場合は、測定機器のエラーであることも考慮し、エラーデータを除いて分析を行った。

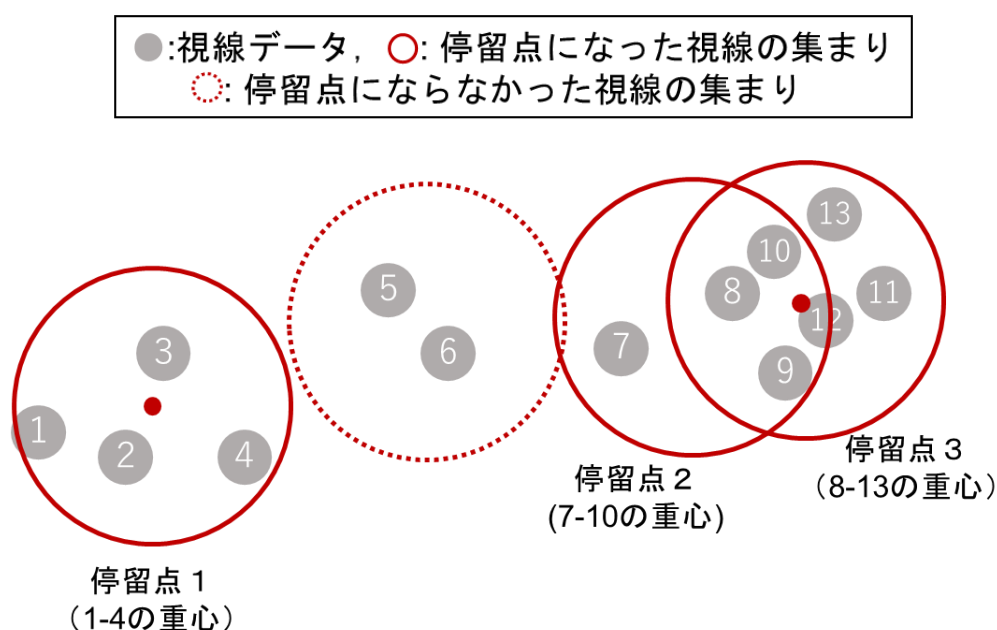
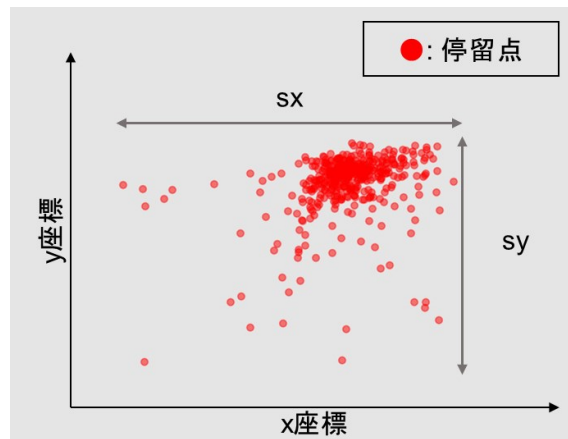


図 4.6 停留点の算出方法の例

・視線のばらつき

視覚情報が重要であるタスクでは、画面全体をしっかりと観察できているかを調べる必要がある。停留点がどの程度の範囲に分布しているかを指標化するため、停留点のばらつきの縦横比 sx/sy を計算した (図 4.7)。このとき、 sx は停留点の x 軸のばらつき、 sy は停留点の y 軸のばらつきを示す。

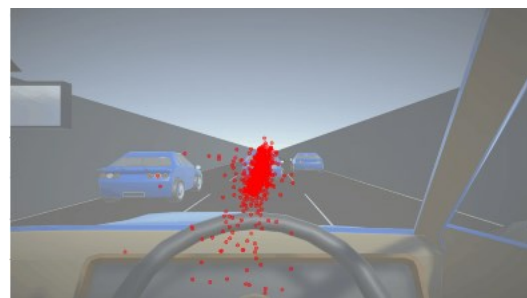
sx/sy は、この指標が 1 より大きいほど停留点は横に広がるような分布をし、1 より小さいほどは縦に広がるような分布を示すといった特徴を持っている。模擬運転作業は横方向に 3 車両が配置されていることから、 sx/sy は大きい方が望ましいと考えられる。



(a) 視線のばらつきの計算例



(b) sx/sy が 1 より大きい例



(c) sx/sy が 1 より小さい例

図 4.7 視線のばらつきの算出方法

4.3.7. 分析方法の概要

本章では、直線描画タスクと模擬運転作業の関係性を調べるため、「引かれた線のばらつき s_{db} 」を直線の特徴の指標化方法とし、 s_{db} と反応時間に関する指標（表 4.1）との間の関係性を調べた。反応時間に関する指標は、反応時間に対する平均やばらつきを示す指標として、反応時間の平均である *Mean RT*、反応時間の標準偏差である *SDRT*、平均に対する標準偏差の割合である *CVRT* を用いた。反応遅れを示す指標として、反応時間の速いパフォーマンスのみを抽出して平均化した RT_{base} 、 RT_{base} と反応時間の偏差の二乗和から平方根をとった *RMSRD* を用いた。また、反応時間の分布について、exGaussian 分布を用いて近似した。 s_{db} と反応時間に関する指標の関係性を調べる具体的な方法を次に示す。なお、統計的な分析において有意水準は 5% に設定した。

(1) 反応時間の特徴や exGaussian 分布の当てはまり具合について検討を行うため、反応時間の分布を示す。

(2) 各実験参加者の視線情報の特徴や傾向について検討を行うため、停留点のプロットと視線のばらつき s_x/s_y を示す。

(3) 引かれた線のばらつき s_{db} と関係がある反応時間に関する指標を調べるため、引かれた線のばらつきと反応時間に関する指標について相関分析を行った。相関分析の際に算出した相関係数は、引かれた線のばらつきと反応時間に関する指標の組み合わせで、8 通りの組み合わせについて算出した。8 通りの組み合わせは点群ごとに算出した。

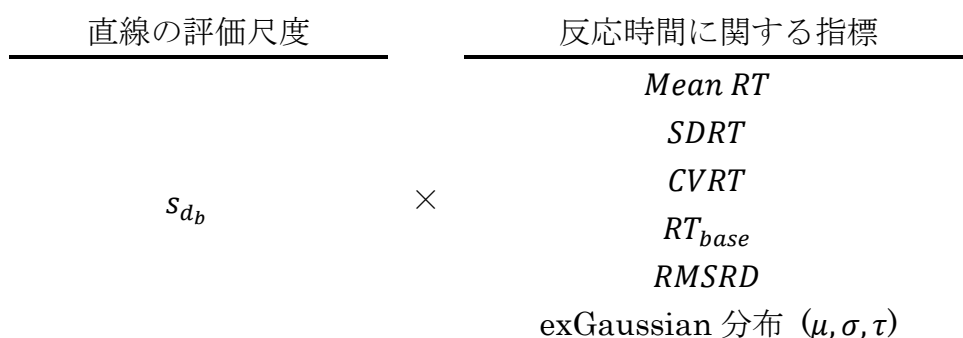


図 4.8 相関係数の組み合わせ

(4) 反応時間と関係がある点群の特徴を明らかにするため、実験参加者によって引かれた線の傾向から点群の特徴を検討した。

(5) 反応時間に影響を与える各点群における引かれた線のばらつき s_{db} について調べるため、重回帰分析を用いて反応時間に関する指標を推定した。説明変数は、(3)の相関分析で相関係数が有意となった点群における引かれた線のばらつき s_{db} を用いた。重回帰分析は変数減少法を用いた。

4.4. 結果

本節では、反応時間の分布などといった基本的な事項を示す。その後、引かれた線のばらつき s_{d_b} と反応時間に関する指標の間の相関係数を計算し、相関係数が有意であった点群について、実際に実験参加者によって引かれた線を比較する。また、相関係数が有意であった場合の反応時間に関する指標を目的変数に重回帰分析を行う。

4.4.1. 反応時間の傾向

本節では、反応時間に関する評価指標について、算出した結果を示す。

(a) 反応時間の分布

本実験で得た各実験参加者の反応時間をプロットした (図 4.9)。ブレーキランプが提示されたにも関わらず反応していな場合は、次のランプまでの最大秒数である 1.5 秒とした。図 4.8 より、p01, p13, p14, p16, p25 の実験参加者が反応できなかった場合があることがわかる。また、反応時間は各実験参加者の早い時間の付近に集まっているが、いくつか反応が遅れた反応時間がある場合があった。

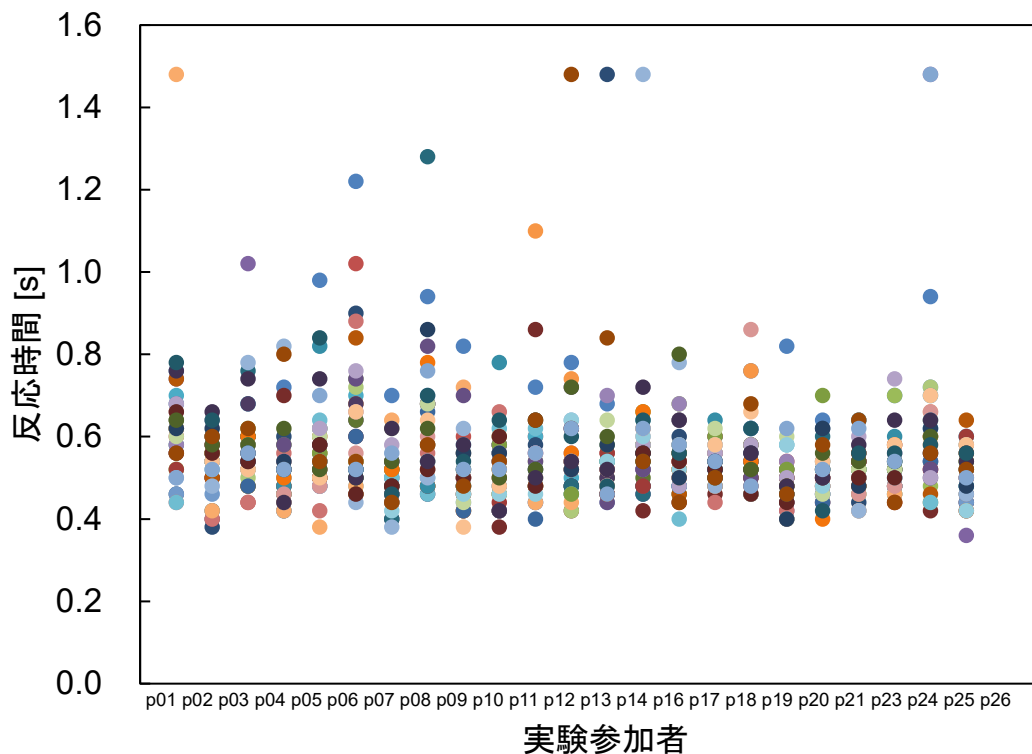
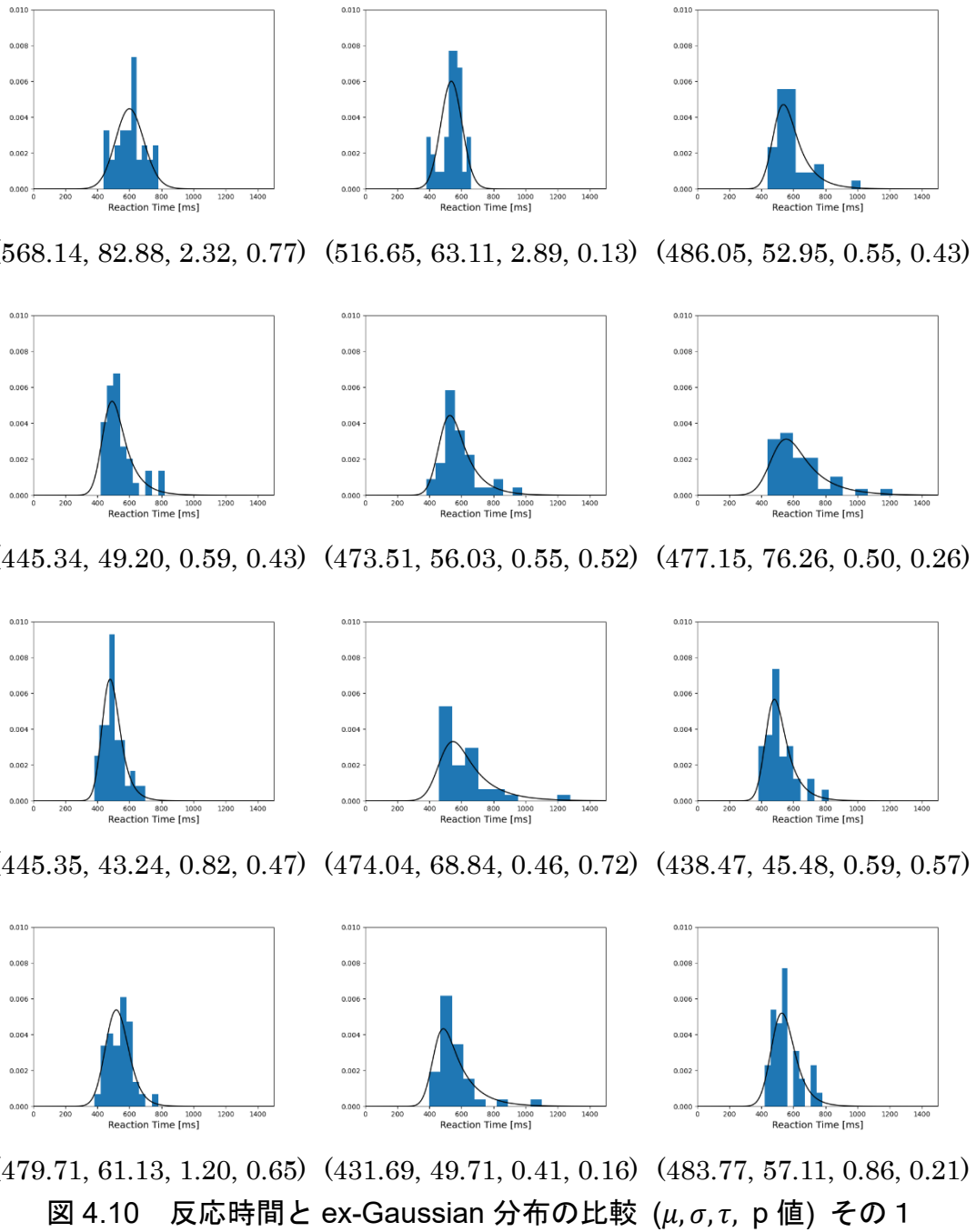


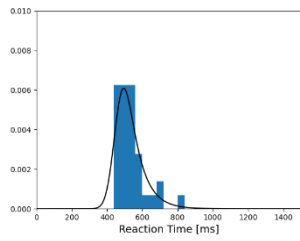
図 4.9 実験参加者の反応時間の分布

(b) exGaussian 分布

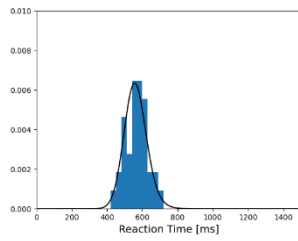
各実験参加者の反応時間について、exGaussian 分布をフィッティングさせたものを図 4.10 に示す。このとき、反応できなかった時間を分布に含んでしまうと適切なフィッティングが行えないため、反応できなかった時間を除いてフィッティングさせた。exGaussian 分布のパラメータ μ, σ, τ とコルモゴロフ-スミルノフ検定の結果における p 値も示す。しかし、コルモゴロフ-スミルノフ検定は分布とデータの間には統計的な差があるかどうかを調べる検定であり、2 つの分布が同様であることを示す検定ではない。そのため、実際のデータと算出された exGaussian 分布を一緒に図示し、フィット具合を確認する。

図 4.9 より、コルモゴロフ-スミルノフ検定の結果から、モーメント法によって求められた exGaussian の分布が各実験参加者の反応時間の分布と有意な差がないことがわかった。このことから、2 つの分布の間に差がないことがわかる。また、exGaussian の分布と実際のデータの分布について比較すると、反応時間の分布が exGaussian の分布に沿っている実験参加者の方が多い。

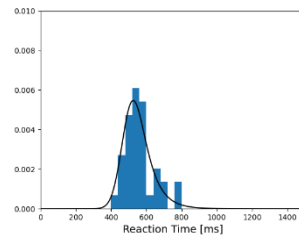




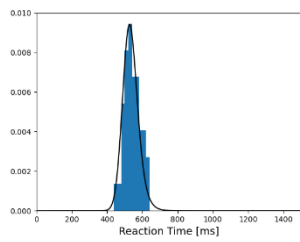
(454.89,41.92,0.58,0.41)



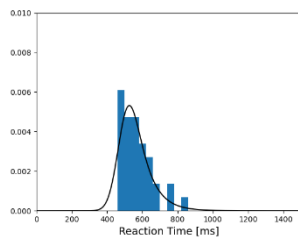
(529.59,55.96,1.71,0.60)



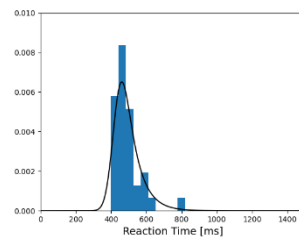
(482.65,52.05,0.76,0.86)



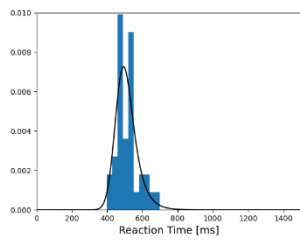
(506.28,35.54,1.28,0.61)



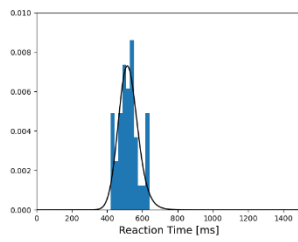
(481.25,50.34,0.65,0.76)



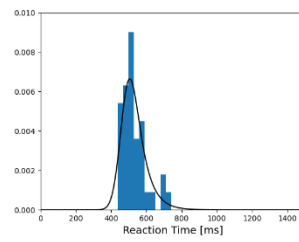
(423.59,38.60,0.56,0.45)



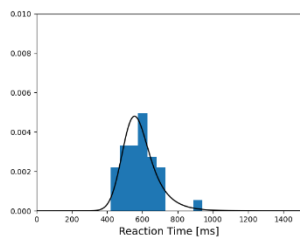
(461.78,40.40,0.82,0.64)



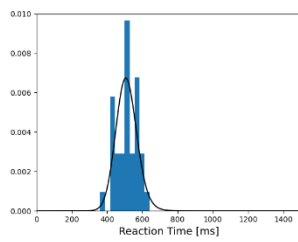
(488.54,46.64,1.39,0.70)



(470.59,41.89,0.72,0.64)



(506.60,58.38,0.73,0.82)



(480.81,52.79,1.73,0.71)

図 4.10 反応時間と ex-Gaussian 分布の比較 (μ, σ, τ, p 値) その 2

(c) 反応時間に関する指標同士の相関関係

本節では、反応時間に関する指標の間における関係性について調べるため、指標間における相関行列を作成した（表 4.2）。

表 4.2 より、反応時間の平均に関する指標は、相互に影響しあっている指標が多いことがわかった。その中で、exGaussian 分布における μ は他の指標に比べて相関係数が有意になっている指標が少ないことがわかった。

表 4.2 反応時間に関する指標間の相関行列

		Mean RT	SDRT	CVRT	RT _{base}	RMSRD	exGaussian 分布		
							μ	σ	τ
Mean RT		1.00							
SDRT		0.74**	1.00						
CVRT		0.62**	0.98**	1.00					
RT _{base}		0.61**	0.47**	0.40	1.00				
RMSRD		0.63**	0.92**	0.92**	0.31	1.00			
exGaussian 分布	μ	0.39	0.15	0.09	0.32	0.41*	1.00		
	σ	0.77**	0.67**	0.58**	0.22	0.72**	0.58**	1.00	
	τ	-0.09	-0.30	-0.33	-0.24	-0.01	0.72**	0.34	1.00

相関係数の p 値: ** p<0.01, * p<0.05

4.4.2. 視線情報の傾向

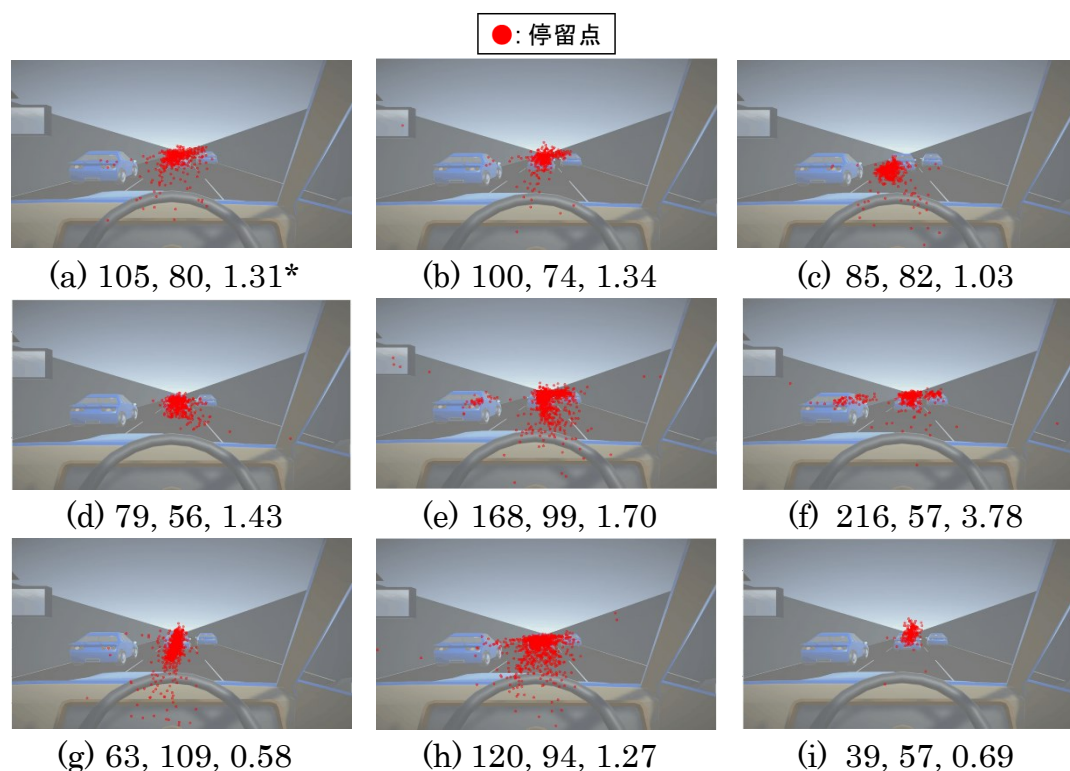
本節では、実験参加者ごとの模擬運転中に測定された視線情報の傾向について記述する。各実験参加者における停留点の分布、横方向の視線のばらつき s_x 、縦方向の視線のばらつき s_y 、視線のばらつきの縦横比 s_x/s_y 、を図 4.10 に示す。また、反応できなかったタイミングのあった実験参加者も示す。

視線情報は直線描画タスクによって得た引かれた線の特徴や反応時間に関する指標との間に関係性が見られなかったが、停留点に着目すると次のような特徴がみられた。

図 4.11 より、多くの実験参加者は中央車線にある車両を中心に停留点が集まっている。実験参加者の視線の分布として、「中央車両周辺に停留点が集まっている分布」、「中央車両を中心に左右の車両にも停留点が集まっている分布」、「中

中央車両とその下のハンドルの上に停留点が分布」するという3つの傾向があることがわかった。

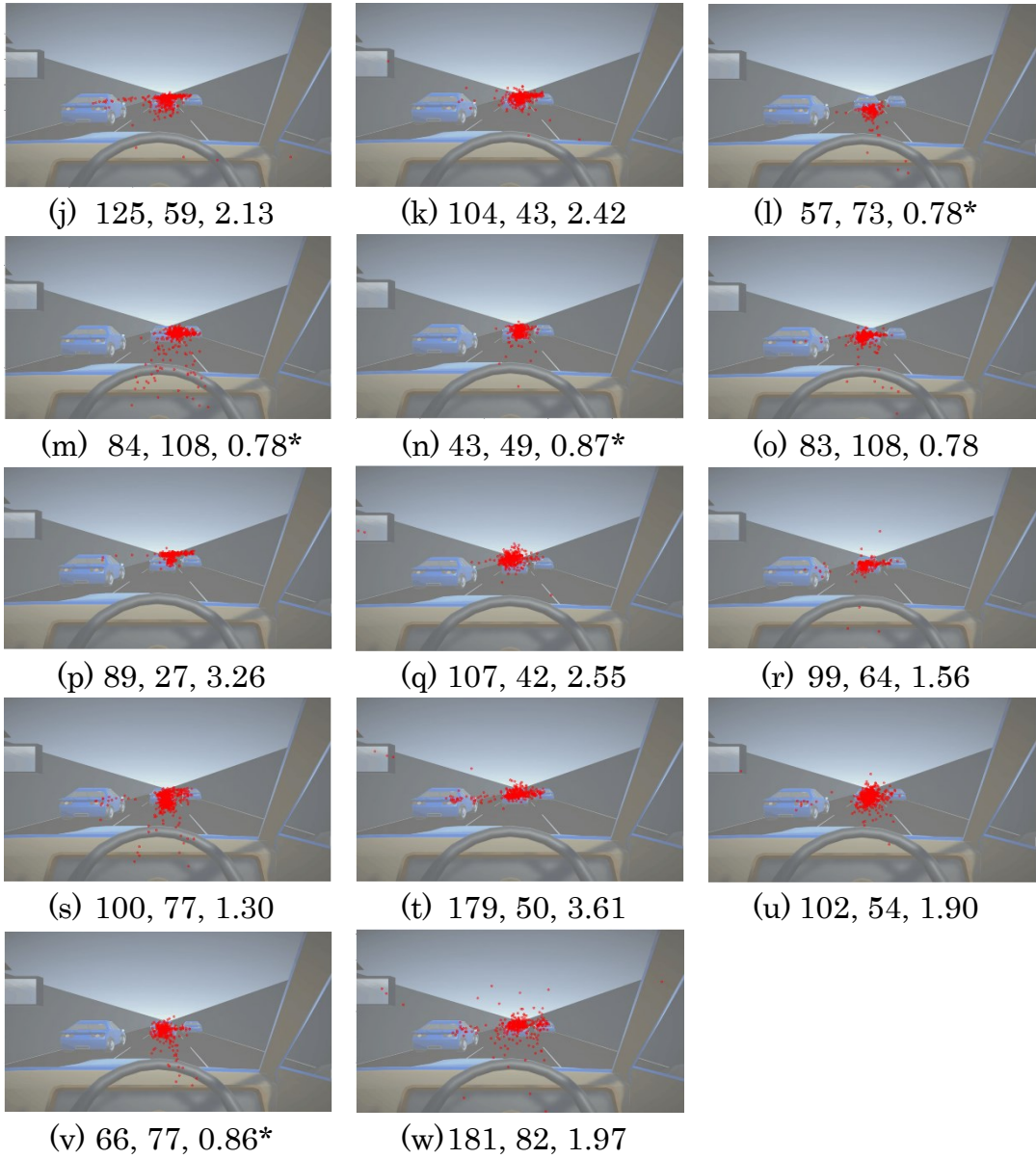
反応できないタイミングのある実験参加者は s_x/s_y が1より小さく、縦方向に視線がばらついている傾向にあり、「中央車両とその下のハンドルの上に停留点が分布」である傾向にあった。実験参加者の停留点に着目すると、車両のハンドルやミラーといった、観察対象と関係のないオブジェクトに停留点があることが確認できた。特にハンドル部分に停留点がある場合が多く、ハンドル部分に停留点がある実験参加者に着目すると、 s_y が高い可能性があることが示唆された。しかしながら、なぜそこに視線が行ったかは実験参加者本人から聞く必要があるため、今後はどこに目が行ったかなどの聞き取り調査を行い、視線が誘導されやすい模擬運転作業内のオブジェクトや主観的な注意の持続の傾向などについての質問項目を設けることが必要である。



*: 反応できなかったタイミングがあるデータ

図 4.11 停留点の分布と視線のばらつき (s_x , s_y , s_x/s_y) その 1

●: 停留点



*: 反応できなかったタイミングがあるデータ

図 4.11 停留点の分布と視線のばらつき (sx, sy, sx/sy) その 2

4.4.3. 引かれた線のばらつきと反応時間の関係性

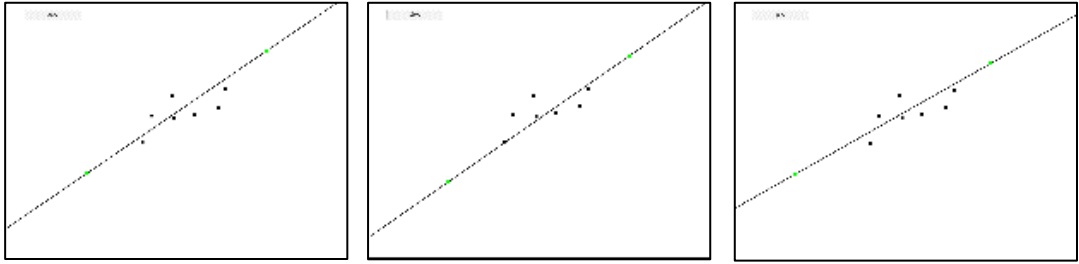
本節では、特定の点群における引かれた線のばらつきが反応時間と関係していることを示す。10種類の点群における引かれた線のばらつき s_{d_b} と反応時間に関する指標の間における相関係数を算出した。その結果、点群DとJで相関係数が有意であった(表4.3)。点群Dは、*SDRT*、*CVRT*、*RMSRD*、*exGaussian*分布における μ および τ との間で相関関係が有意であった($p < 0.05$)。また、点群Jは、*Mean RT*、*SDRT*、*CVRT*、*RMSRD*、*exGaussian*分布における τ との間で相関関係が有意であった($p < 0.05$)。このことから、点群D、Jにおける s_{d_b} が大きいと、反応時間が遅くなったり、ばらつきが大きくなることがわかる。

表 4.3 各点群における s_{d_b} と反応時間に関する指標の関係性

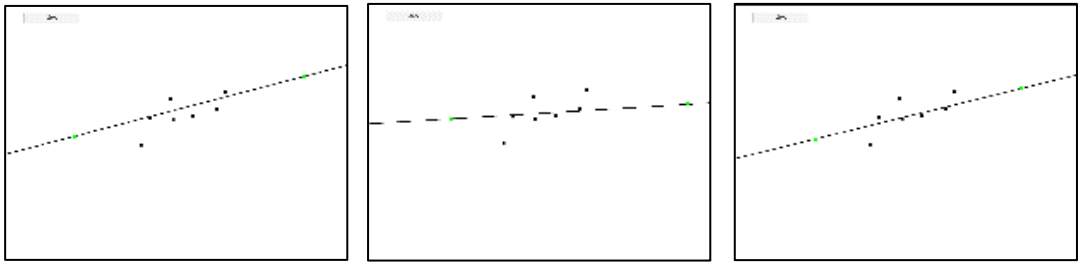
反応時間に関する指標	s_{d_b}	
	点群 D	点群 J
<i>Mean RT</i>	n.s.	0.49*
<i>SDRT</i>	0.47*	0.53**
<i>CVRT</i>	0.45*	0.53**
<i>RT_{base}</i>	n.s.	n.s.
<i>RMSRD</i>	0.54**	0.48*
exGaussian 分布		
μ	0.44*	n.s.
σ	n.s.	n.s.
τ	0.42*	-0.58**

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

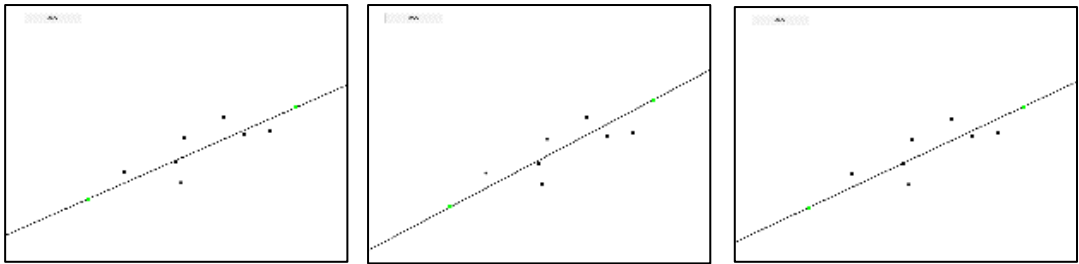
点群D、Jにおける s_{d_b} の違いを調べるため、実際に実験参加者によって引かれた線を図4.12に示す。図4.12より、点群D、Jの両方において、 s_{d_b} が大きい人は小さい人に比べて引く線が変わる傾向にあり、一貫性がないことがわかる。このことから、線を引く際に一貫性がない人は、反応時間が遅くなったり、ばらつきが大きくなったりする傾向にあることがわかった。



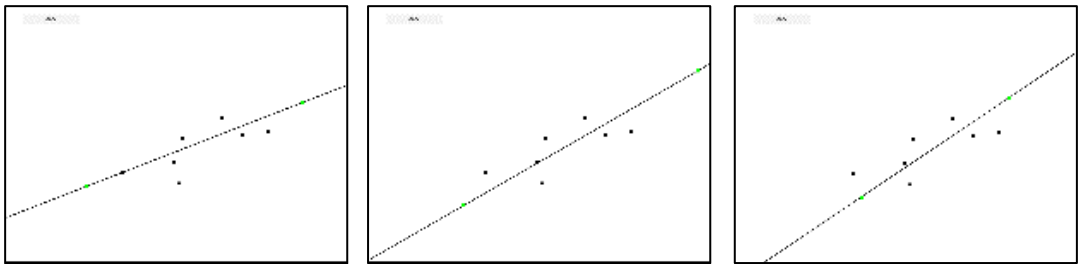
(a) s_{d_b} が小さい実験参加者の例 (点群 D)



(b) s_{d_b} が大きい実験参加者の例 (点群 D)



(c) s_{d_b} が小さい実験参加者の例 (点群 J)



(d) s_{d_b} が大きい実験参加者の例 (点群 J)

図 4.12 s_{d_b} の違いによる引かれた線の違い
(左から 1 回目, 2 回目, 3 回目)

4.4.4. 点群の特徴

本節では、直線描画タスクに提示した点群ごとの特徴を比較するため、各点群における全実験参加者の重心までの距離 d_b の平均 $Mean d_b$ とその標準偏差 SDd_b を算出した。また、点群内のばらつきを基準化するため、平均あたりの標準偏差である変動係数 CVd_b も算出した（表 4.4）。

表 4.4 より、 CVd_b が低いのは、点群 C, D, J であることがわかる。 CVd_b が低いと相対的なばらつきが小さいため、ある程度安定した線を引くことができる。

$Mean d_b$ の平均を算出すると、相関係数が正の点群（A, D, J, F, I）は 6.67pixel であり、相関係数が負の点群（B, C, E, G, H）は、9.57pixel であった。このことから、負の相関関係にある点群の方が、重心近くに線を引くことが難しいことがわかる。これらのことから、 CVd_b が 0.42 程度でかつ正の相関関係にある点群が、安定して線を引くことができ、反応時間と関係があることがわかる。

表 4.4 点群の特徴

点群	$Mean d_b \pm SDd_b$ (pixel)	CVd_b	点群の x, y 座標の 相関係数
A	5.67±3.65	0.64	0.80
B	13.21±10.44	0.79	-0.72
C	5.68±2.34	0.41	-0.62
D	7.51±3.17	0.42	0.71
E	11.80±7.65	0.65	-0.56
F	7.42±5.23	0.70	0.55
G	9.46±5.55	0.59	-0.80
H	7.72±5.03	0.65	-0.61
I	6.49±3.57	0.50	0.61
J	6.28±2.61	0.42	0.73

4.4.5. 引かれた線のばらつきから反応時間のばらつきを予測

本節では、引かれた線のばらつきから反応時間の特性を予測するため、重回帰分析を用いてモデルを作成した。具体的には、反応時間に関する指標を目的変数、反応時間と相関関係があった点群における引かれた線のばらつき s_{d_b} を説明変数とし、重回帰分析を行った。目的変数に用いる反応時間に関する指標は、単回帰分析になるためこ、点群 D, J の相関係数がともに有意であるものを用いた。重回帰分析は変数減少法を用いて実施した。標準偏回帰係

数, 偏回帰係数, 決定係数 R^2 を表 4.5 に示す.

表 4.5 より, R^2 の値が exGaussian 分布における τ , $RMSRD$, $SDRT$, $CVRT$ の順で大きかったことから, この順番で予測の精度が高いことがわかる. また, 標準偏回帰係数に着目すると, $RMSRD$ は点群 D の方が高く, $SDRT$, $CVRT$ は点群 J の方が高い. また, exGaussian 分布における τ については, 点群 D と点群 J の標準偏回帰係数が逆の関係性を示しており, トレードオフの関係にあると言える. これらのことから, 直線描画タスクにおける引かれた線のばらつき (s_{d_b}) から, 反応時間に関する指標を予測することができた. 「点群 D および点群 J の標準偏回帰係数がトレードオフの関係になった原因」は, 4.5.1 節にて考察を行う.

表 4.5 重回帰分析の結果

反応時間 に関する指標	s_{d_b} 標準偏回帰係数 (偏回帰係数)		定数	R^2
	D	J		
$SDRT$	0.42** (0.014)	0.48** (0.012)	n.s.	0.40**
$CVRT$	0.40* (0.015)	0.50** (0.018)	n.s.	0.39**
$RMSRD$	0.50** (0.011)	0.43** (0.012)	0.076	0.48**
exGaussian 分布				
τ	0.48** (0.154)	-0.63** (-0.196)	1.220**	0.53**

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

点群 D, J と反応時間に関する指標の関係性を明確にするため, 点群 D および点群 J における s_{d_b} について, それぞれの軸に対して s_{d_b} が平均より低い群, 高い群で分類を行った. その結果, 点群 D かつ点群 J における s_{d_b} が平均より低い群 (L/L 群, 6 名) 点群 D は平均より高いが点群 J は平均より低い群 (H/L 群, 5 名), 点群 D は平均より低い点群 J は平均より高い群 (L/H 群, 9 名), 点群 D および点群 J の両方が兵器により高い群 (H/H 群, 4 名) の合計 4 群に分類できた (図 4.13). 図 4.13 から, 点群 D および点群 J における s_{d_b} が両方大きい人は少なく, どちらかの点群における直線描画で引かれた線にばらつきがある傾向にある.

それぞれの群の特徴を捉えるため、各群における反応時間に関する指標の平均を算出した (表 4.6). $Mean RT$ および RT_{base} については、各群間での差異がみられなかったため、省略した。

表 4.6 より、点群 J における s_{db} の違いに着目すると、 $SDRT$, $CVRT$, $exGaussian$ 分布における τ の項目において、L/L 群, L/H 群と H/L 群, H/H 群の間に大きな差があった。一方で点群 D における s_{db} の違いに着目すると、 $exGaussian$ 分布における τ では差異があったが、 $RMSRD$ などでは、L/L 群と H/H 群の間に明確な差があったが、L/H 群と H/L 群の間に明確な差はなかった。また、 $exGaussian$ 分布における τ のみは点群 D および点群 J の大きさを大きく受け、群分けした際に 4 つの傾向があることを確認できた。点群 D および点群 J のにおける s_{db} から、反応時間に関する指標との関係性を確認することができた。表 4.6 の各群の特徴については、4.5.1 節に述べる。

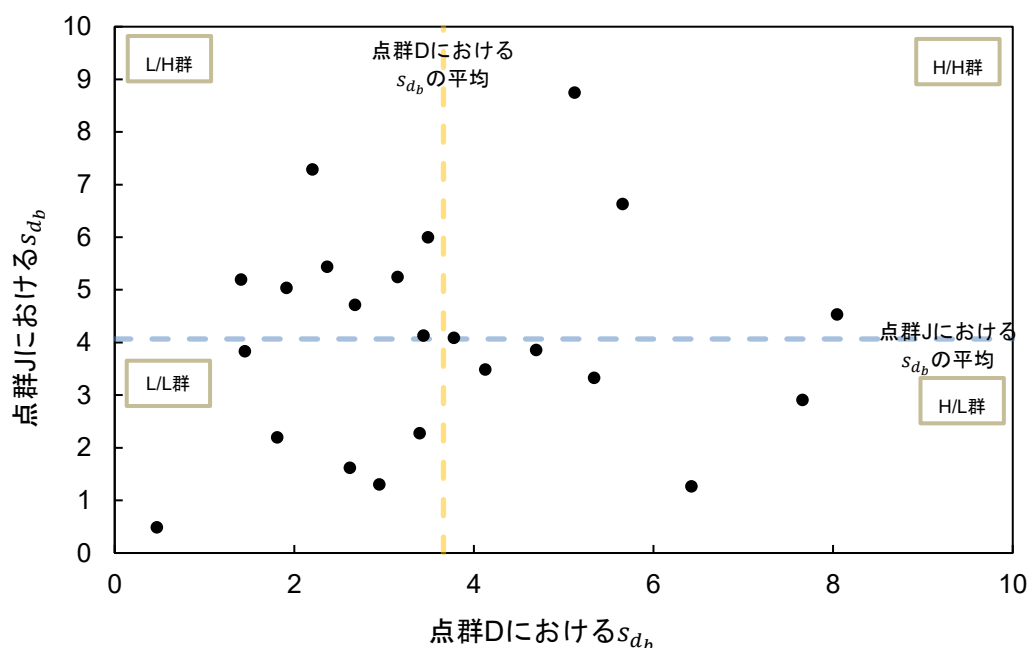


図 4.13 点群 D および J における s_{db} による分類

4.5. 考察

本章で得た結果について、「引かれた線のばらつきと反応時間関係性 (4.5.1 節)」と「反応時間と関係のある点群 (4.5.2 節)」に着目して考察を行った。

4.5.1. 引かれた線のばらつきと反応時間の関係性

本章の結果から、点群 D および点群 J においては、両方とも反応時間と関

係があるが、それぞれ少し異なる性質を持っていることが示唆された。表 4.5 より、点群 J は点群 D に比べて *SDRT* および *CVRT* における標準偏回帰係数が高かった。また、表 4.3 より、点群 J は *Mean RT*, *SDRT*, *CVRT* との相関係数が有意であった。一方で、点群 D は *SDRT*, *CVRT* との相関関係が有意であるものの、*Mean RT* との相関係数が有意でなかった。*RMSRD* は最速の反応時間 RT_{base} からのばらつきであり、これは突発的な遅れを表していると考えることができる。それに対し、*SDRT* および *CVRT* は平均に対するばらつきであるため、慢性的な遅れを示している。このことから、点群 D における引かれた線のばらつきは突発的な遅れと関係があり、点群 J は慢性的な遅れと関係があると考えることができる。

表 4.6 s_{db} により分類した群と反応時間に関する指標の関係性

D/J の分類	<i>SDRT</i>	<i>CVRT</i>	<i>RMSRD</i>	exGaussian 分布		
				μ	σ	τ
L/L 群	73.99	0.14	130.63	475.86	48.23	1.04
H/L 群	70.92	0.13	176.70	509.66	58.37	1.83
L/H 群	105.90	0.19	178.40	463.99	51.11	0.58
H/H 群	109.78	0.19	227.44	472.78	57.79	0.66

表 4.5 より、exGaussian 分布における τ の標準偏回帰係数は、点群 D における s_{db} が正の相関関係であり、点群 J が負の相関関係であった。exGaussian 分布における τ は分布の後半の伸びと関係している。つまり、点群 D における s_{db} が大きいほど分布の後半が長くなり、点群 J における s_{db} が大きいほど分布の後半が短くなる。こういった関係が起こる要因として、点群 D が *RMSRD* との関係が強いこと、点群 J が *SDRT*, *CVRT* との関係が強いことが考えられる。exGaussian 分布は、平均 μ を基準として前半の分布の伸びを σ が、後半の伸びを τ している。*SDRT* もしくは *CVRT* が大きくなることは、分布全体の幅が大きくなるが、*RMSRD* のみが大きくなることは μ が速くなることと関係しており、*RMSRD* のみが大きい人は、 μ が速くなり、山が左に偏っている分布になっていることが示唆される。

上記の考察を踏まえ、表 4.6 の各群の特徴をまとめる (表 4.7)。

L/L 群は、どの反応時間のばらつきの指標も小さい傾向にあるため、慢性的な遅れや突発的な遅れがなく、反応が安定していると考えられる。

H/L 群は、*SDRT*, *CVRT* が小さいが *RMSRD* が大きい傾向にあり、exGaussian 分布における τ が最も大きかった。このことから、反応時間の分布の山がかなり左に寄っており、突発的な遅れが発生しやすいと考えられる。そのため、

本人が普段感じている反応と実際の反応時間の間に差があると考えられる。

L/H 群は、*SDRT*、*CVRT*、*RMSRD*が大きい傾向にあり、exGaussian 分布における τ は小さかった。このことから、反応として慢性的な遅れが発生しやすいと考えられる。*RMSRD*は*SDRT*が大きいと大きくなる傾向にあるため、この場合は*SDRT*が大きい点に着目した。この群に分類される実験参加者は、慢性的な遅れが多く、運転時には注意が必要であると考えられる。

H/H 群は、*SDRT*、*CVRT*、*RMSRD*が大きい傾向にあり、exGaussian 分布における τ は小さかった。指標の大小関係であれば L/H 群と同様であるが、数値に着目すると時に*SDRT*、*CVRT*、*RMSRD*が最も大きい傾向にあった。このことから、慢性的な遅れが発生しやすく、その際の遅れのばらつきが最も大きい群であると考えられる。この群に分類される実験参加者には、本人への注意を促すのみでなく、環境のサポートなどが追加で必要な可能性があると考えられる。

これらのことから、点群 D, J における s_{d_b} を用いることで、反応時間のばらつきの特徴を調べることを示唆できた。

表 4.7 s_{d_b} により分類した群と各群の特徴のまとめ

D/J の分類	特徴
L/L 群	反応時間のばらつきが小さい傾向にあり、 反応が安定している。
H/L 群	<i>RMSRD</i> が大きい傾向にあるため、 突発的な遅れが発生しやすい。
L/H 群	<i>SDRT</i> 、 <i>CVRT</i> が大きい傾向にあるため、 慢性的な遅れが発生しやすい。
H/H 群	最も反応時間のばらつきが大きい ため、注意する課題を行う際は本人が考慮する必要がある可能性がある。

4.5.2. 反応時間と関係のある点群

表 4.4 より、反応時間のばらつきと関係があった点群 D, J に着目すると、共通の指標として、点群の座標の相関係数が 0.7 程度であること、 CVd_b が 0.4 程度であることが挙げられる。 CVd_b が 0.4 程度だと点群 C も含まれるが、Cai (2007) によれば、8 方向に直線を引く際、135 度の場合に一番エラー率が高いことが挙げられている。このことから、負の相関関係を持つ点群は線を引くことが難しいと考えられることができる。これらのことから、「引かれた線のばらつき」を用いて直線描画タスクによって得た引かれた直線の特徴を指標化する場合、点群の x, y 座標の相関係数が高いような点群を用いること

が望ましいと考えることができる。

4.6. まとめ

本章では、23名を対象に実験を行い、引かれた線のばらつきと反応時間のばらつきの関係性を調べた。最も主要な結果として、引かれた線のばらつきが一定になるような点群(D, J)における個人の引かれた線のばらつきを調べることで、反応時間のばらつきを予測できることを示した。この結果を含む本研究の主要な結果と考察を以下に示す。

- ・引かれた線のばらつきと反応時間のばらつきの相関関係

相関分析を行った結果、点群Dにおける s_{d_b} とSDRT, CVRT, RMSRD, exGaussian分布における μ , τ との間の相関係数が有意であった($r=0.42\sim 0.54$, $p<0.05$)。また、点群Jにおける s_{d_b} とMean RT, SDRT, CVRT, RMSRD, exGaussian分布における τ との間の相関係数が有意であった($r=0.48\sim 0.53$, $r=-0.58$, $p<0.05$)。このことから、反応時間に関する指標の中でも特に反応時間のばらつきに関する指標と関係があることがわかる。

- ・引かれた線のばらつきから反応時間のばらつきを推定

重回帰分析を行った結果、点群D, Jにおける s_{d_b} を用いることで、SDRT, CVRT, RMSRD, exGaussian分布における τ が推定できることがわかった(決定係数 $=0.39\sim 0.53$, $p<0.01$)。また、重回帰分析により得た標準偏回帰係数の値から、点群DはRMSRDといった突発的な遅れと関係が強く、点群JはSDRT, CVRTといった慢性的な遅れと関係があることがわかる。また、点群D, Jにおける s_{d_b} を用いて実験参加者の分類を行い、どのような線を引く人がどのような反応時間の特徴があるかを明らかにした。具体的には、点群D, Jともに安定した線を引く傾向にある人は反応時間のばらつきが小さく、点群Dのみで安定した線を引く傾向にある人は慢性的な遅れが多い傾向があると考えられる。また、点群Jのみで安定した線を引く傾向にある人は突発的な遅れが多い傾向があり、点群D, Jともに安定していない線を引く傾向にある人は、反応時間のばらつきが大きく、特に注意する必要があると考えることができる。

- ・反応時間のばらつきと関係のある点群の特徴

線を引いた際の点群ごとの点群の座標の相関係数や変動係数 CVd_b といった点群の特徴を比較することで、点群の座標の相関係数が0.7程度かつ CVd_b が0.4程度の点群が反応時間のばらつきと関係があることがわかった。

今後の展望として、事故の未然防止や自己改善に繋ぐことができると考えられる。反応時間の正確な分布を得るには長時間の実験が必要であるため、直線描画タスクが反応時間の正確な分布と関係があるならば、3回線を引いてもらうだけでばらつきが推定できるため、実験参加者の負担の少ないタスク

クを提供することができると考えられる。負担の少ないタスクがタブレット端末を用いて実施できるため、気軽に自身の特性を把握することに繋がると考えられる。

今後の課題として、検討する点群の数が少ないことや反応時間の評価方法が適切であるかを検討する必要があることが挙げられる。点群 **D** や **J** のような点群であれば反応時間のばらつきと関係があることを示したが、点群 **D** や **J** が持つ物理的な特徴は不明な部分が多いため、直線描画を行う際の視線情報や引かれた線の特徴と視線情報の関係性を調べることで明らかにしていく必要がある。また、今回の分析では試験的に個人特性の分析において多く用いられていた **exGaussian** 分布での近似を行ったが、分布が必ずしも **exGaussian** 分布に基づくとは限らない可能性がある。そのため、平均や標準偏差は共通して用いつつも、分布の特徴によってグループを分類したり、より詳細な分布を得るために反応時間の取得回数を増やしたりしていき、直線描画タスクが推測できる認知特性を明らかにしていく必要がある。

5. 失敗傾向と関係がある点群の特徴の分析

5.1. はじめに

実際の現場などで直線描画タスクを用いて認知特性を推定するにあたって、提示する点群が失敗傾向と関係性がある必要がある。5.3.2 節の結果より、失敗傾向と関係のある点群は、線を引く際の基準である点群の端点の数（以下、端点の数）であるという結果が得られている。そのため、端点の数が 2 点である点群の特徴を明らかにすれば、すべての点群について直線描画タスクと認知特性との関係が得られると期待できる。このことから、端点の数が 2 点である点群の特徴を調べることは、認知特性を推定する上で非常に重要である。

本章では、「直線描画タスク」に用いる点群について、認知特性と関係がある点群を作成するため、端点の数が 2 点であるとその特徴を明らかにする。端点の数が 2 点である点群が失敗傾向と関係があるかを検討するため、第 3 章および第 4 章の重複した実験参加者のデータを除いた 49 人分のデータから、引かれた線の特徴と点群の特徴の関係性を明らかにする。重複した実験参加者のデータを除いた理由は、特定の実験参加者の傾向が強くてしてしまうことを避けるためである。様々な点群の特徴と端点の数が 2 点である点群の関係性について検討を行う。この検討から、次の 2 つのことを明らかにしている。

- ・端点の数が 2 点である点群が失敗傾向と関係があるかを再度検討。
- ・点群の特徴から失敗傾向と関係がある点群を予測。

本章の構成を図 5.1 に示す。

5.2 節では、8 種類の点群の様々な特徴について述べている。5.2.1 節の分析方法、5.4 節「結果」および 5.5 節「考察」では、点群の特徴と失敗傾向と関係のある点群の関係性を明らかにするため、次の 3 つの分析を行い、それぞれの分析について結果・考察を得る。

・失敗傾向と関係がある点群を明らかにするため、引かれた線の特徴と失敗傾向の得点について、相関分析を行った。この分析から、端点の数が 2 点である、つまり、線を引く基準が比較的容易である点群が失敗傾向と関係があることがわかった。

・点群の特徴間で関係のある指標をまとめるため、8 種類の点群の特徴について、主成分分析を行った。この分析から、「点群の x 軸方向への広がり」、「点群の x 軸との角度、点群の相関係数」、「点群がまとまっている方向へのばらつき」の 3 つの主成分で点群の特徴がまとめられることがわかった。

・点群の特徴から端点の数が 2 点の点群（失敗傾向と関係がある傾向にある点群）を予測するため、上記の 3 つの主成分を用いて判別分析を行った。この分析から、端点の数が 2 点の点群は、「点群の x 軸方向への広がり」、「点群の x 軸との

角度，点群の相関係数」の2つの主成分から予測できることがわかった。
 5.5節では，5章で得た主要な結果と今後の展望について述べている。
 上記で述べた各節の対応関係について，図5.1に示す。

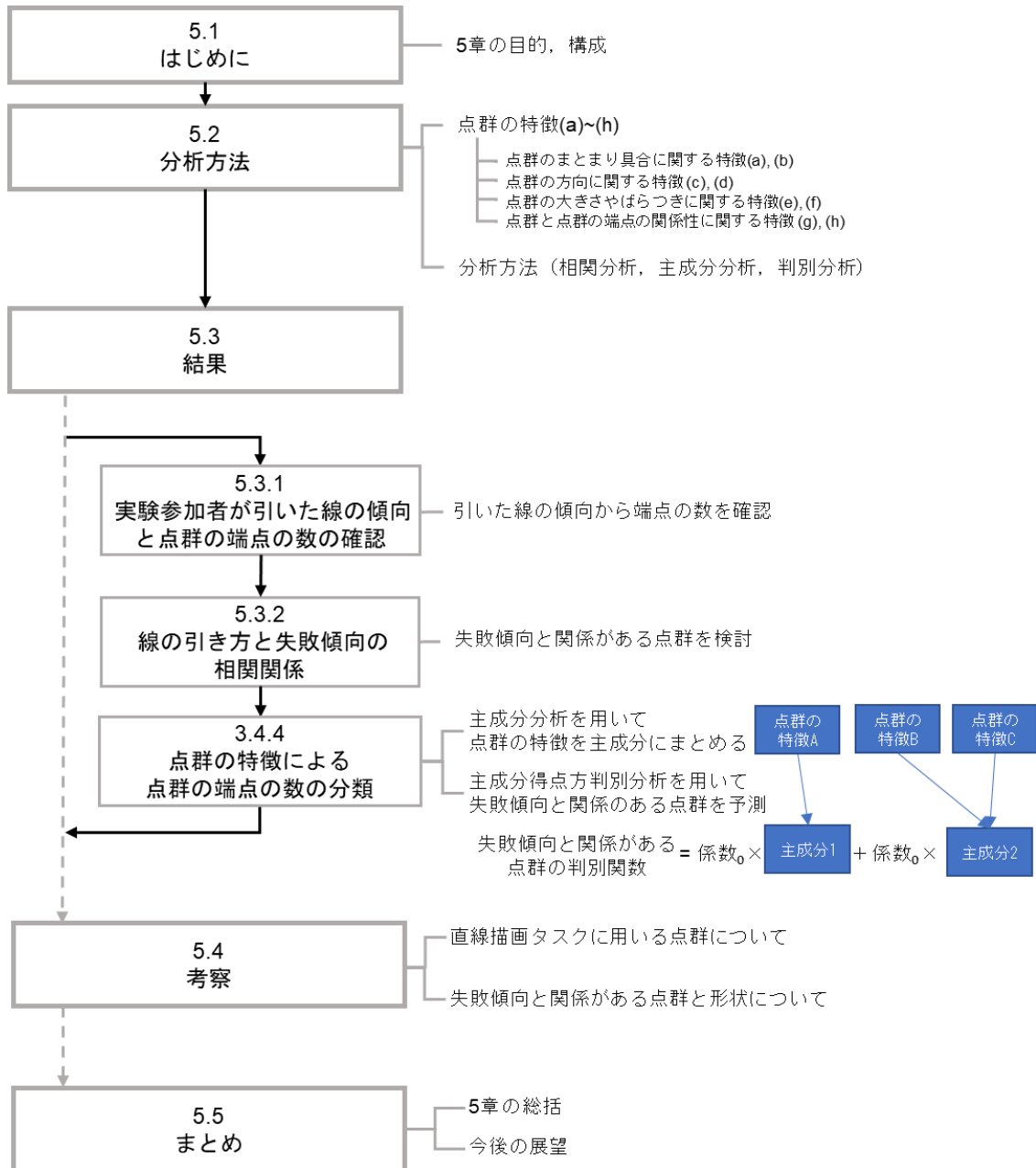


図 5.1 5章の構成

5.2. 分析方法

本章では、8種類の点群の特徴について述べる。その後、失敗傾向と関係がある点群と点群の特徴の関係性を調べるために行う分析の手順について示す。

5.2.1. 点群の特徴

本節では、本章の分析で用いる点群の特徴を示す(図5.2)。点群の特徴は、次の8種類を利用する。

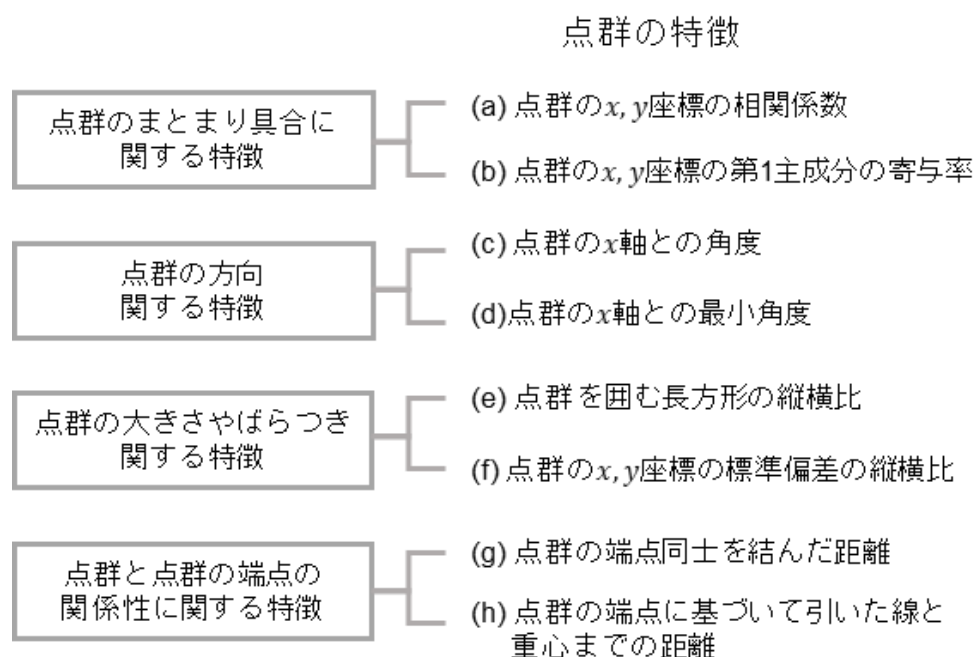


図 5.2 点群の特徴

・点群のまとまり具合に関する特徴

点群のまとまり具合に関する特徴を設定する際、点群の右方向、左方向が関係する「(a) 点群の x, y 座標の相関係数」と点群の方向に依存しない「(b) 点群の x, y 座標の第1主成分の寄与率」を用いる。

・点群の角度に関する特徴

点群の方向に関する特徴を設定する際、点群の右方向、左方向が関係する「(c) 点群の x 軸との角度」と点群の方向に依存しない「(d) 点群の x 軸との最小角度」を用いる。

・点群の x, y 方向への広がり具合やばらつきに関する特徴

点群のばらつきに関する特徴を設定する際、点群のシルエットでの大きさについて示す「(e) 点群を囲む長方形の縦横比」と点群内のばらつきも考慮した縦

横の大きさについて示す「(f) 点群の縦横のばらつきの比」を用いる.

・点群と点群の端点の関係性に関する特徴

点群と点群の端点の関係性に関する特徴を設定する際, 点群の長さを示す「(g) 点群の端点同士を結んだ距離」と, 端点を基準に線を引いた際の重心近くの線の引きやすさを示す「(h) 点群の端点に基づいて引いた線と重心までの距離」を用いる.

(a) 点群の x, y 座標の相関係数

点群のまとまり具合を算出するため, 「点群の x, y 座標の相関係数」を用いる (図 2.4) この指標の絶対値が大きくなると, 点群のばらつきが点群の方向に対して小さくなる. また, 相関係数が 0 より大きいと右肩上がりの点群になり, 相関係数が 0 より小さいと右肩下がりの点群になる傾向にある.

(b) 点群の x, y 座標に対する主成分分析を行った第 1 主成分の寄与率

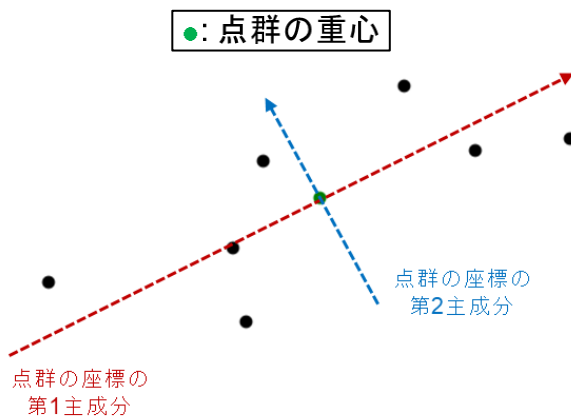
点群の x, y 座標に対して主成分分析を行い, その結果から得た第 1 主成分の寄与率を算出する (図 5.3). 主成分分析は, 分散幅が最大になるような軸を第 1 主成分として求め, 2 番目に分散が多くなる軸を第 2 主成分として算出する. このとき, 主成分の軸がデータ全体をどの程度表しているかが寄与率として算出される. 寄与率が高いほどその軸にデータが偏っていることを示すため, この指標が大きくなると, 点群の方向に関係なく点群のばらつきが小さくなる. また, 今回は 2 変量 (x 座標, y 座標) を用いて主成分分析を行っているため, 第 1 主成分のみで評価を行う.

(c) 点群の x 軸との角度

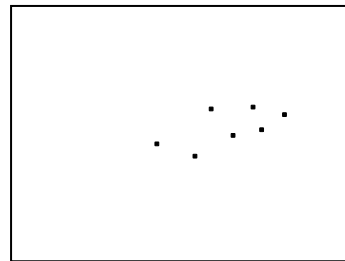
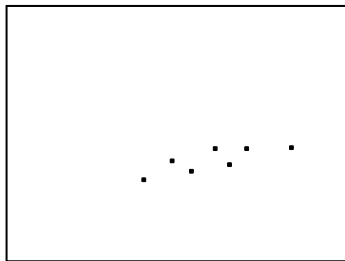
点群の x, y 座標に対して最小二乗法によって求められた直線と x 軸の角度を算出する (図 5.4 赤い円弧). この指標が 0 から 90° だと正の相関関係になり, 90 から 180° だと負の相関関係になる. また, 点群のばらつきに関係なく角度が算出される.

(d) 点群の x 軸との最小角度

「(c) 点群の x 軸との角度」を用いて, x 軸との角度が小さい方の角度を算出する (図 5.4 青い円弧). 「点群の x 軸との最小角度」は, 「点群の x 軸との角度」が 90 度未満の場合は「点群の x 軸との角度」に一致し, 90 度以上の場合には, $180 -$ 「点群の x 軸との角度」となる. この指標は, 大きくなるほど, x 軸に対してどの程度角度が急であることを表し, 点群の方向の影響は受けない.

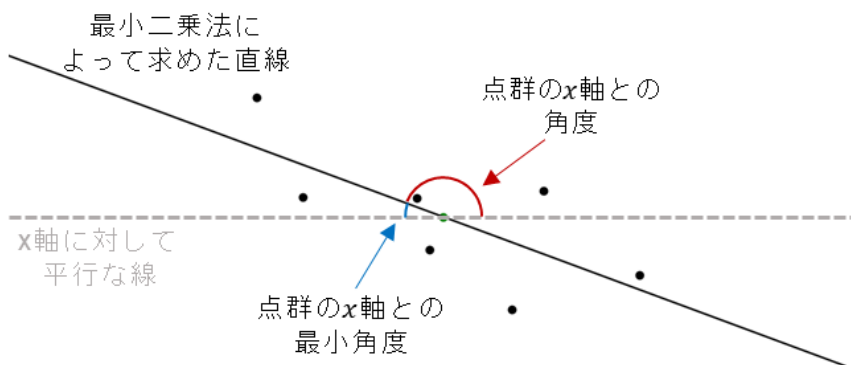


(a) 第1主成分, 第2主成分の例 (点群 J, 第一主成分の寄与率 0.86)



(b) 第1主成分の寄与率が高い点群 (点群 A, 第一主成分の寄与率 0.90) (c) 第1主成分の寄与率が低い点群 (点群 I, 第一主成分の寄与率 0.80)

図 5.3 点群の x, y 座標の第1主成分の寄与率の例
(点群名, 点群の x, y 座標の第1主成分の寄与率)



点群の x 軸との角度, 点群の x 軸との最小角度
(点群 B, 159° , 21°)

図 5.4 点群の方向に関する特徴の例
(点群名, 点群の x 軸との角度, 点群の x 軸との最小角度)

(e) 点群を囲む長方形の縦横比

点群を囲む座標軸に平行な最小の長方形を作成し，その長方形の辺の縦横比（横の辺の長さ / 縦の辺の長さ）を「点群を囲む長方形の縦横比」とする（図 5.5）. この指標は，1 の場合は縦と横の長さが均等になり，1 より大きいほど点群は横に長く，1 より小さいほど縦に長いことを示す.

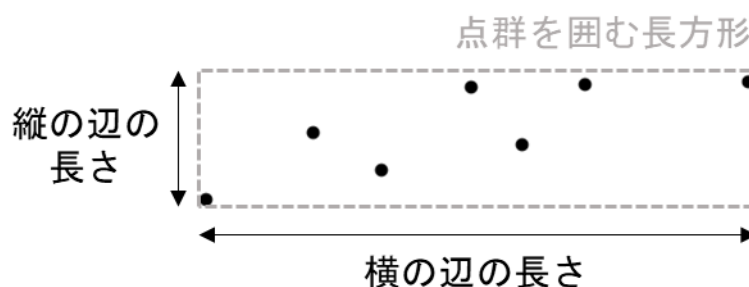


図 5.5 点群を囲む長方形 (点群 A)

(f) 点群の x, y 座標の標準偏差の縦横比

点群の座標の x, y 座標それぞれに対して標準偏差を算出し， x 軸方向の標準偏差， y 軸方向の標準偏差とする（図 5.6）. 点群の x, y 座標の標準偏差の縦横比は， x 軸方向の標準偏差 / y 軸方向の標準偏差を用いて算出する. この指標が 1 より大きくなるほど点群は横に長く，1 より小さいほど縦に長いことを示す. また，座標のばらつきを計算しているため，点群の縦横比と比べて外れ値の影響を受けやすいといった特徴がある.

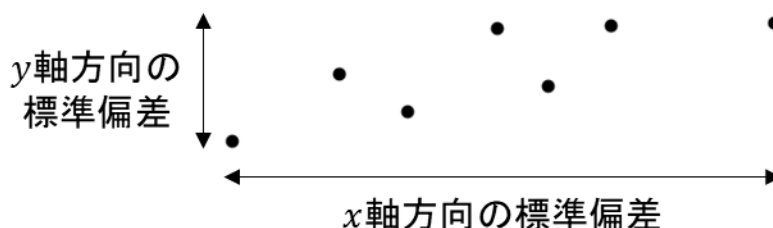
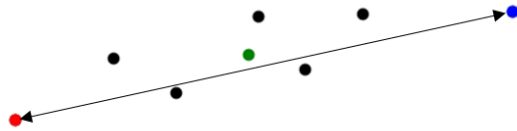
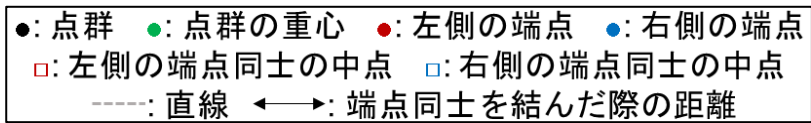


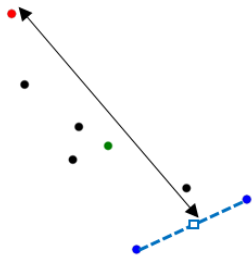
図 5.6 x 軸方向の標準偏差， y 軸方向の標準偏差の例

(g) 点群の端点同士を結んだ距離

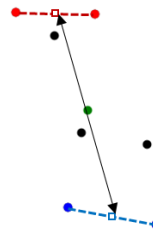
点群の端点同士を結んで作成した線分の距離を「点群の端点同士を結んだ距離」として算出する. 図 5.7(b), (c)に示すように，片方の端点が 2 点以上ある場合はその平均を端点とする.



(a) 端点が 2 点の場合 (点群 A)



(b) 端点が 3 点の場合 (点群 G)

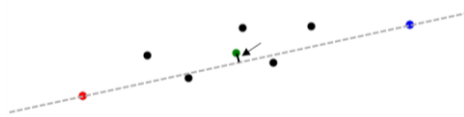
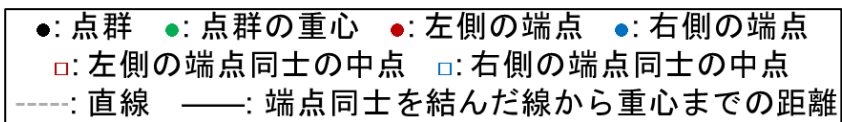


(c) 端点が 4 点の場合 (点群 H)

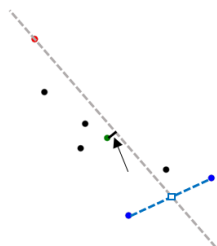
図 5.7 端点同士を結んだ際の距離の例

(h) 点群の端点に基づいて引いた線と重心までの距離

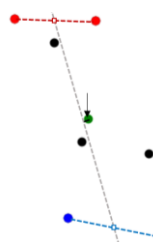
「点群の端点同士を結んで引かれた線と点群の重心までの垂直距離 (以下, 点群の端点に基づいて引いた線と重心までの距離)」を算出する.



(a) 端点が 2 点の場合 (点群 A)



(b) 端点が 3 点の場合 (点群 G)



(c) 端点が 4 点の場合 (点群 H)

図 5.8 端点同士を結んだ線から重心までの距離の例

5.2.2. 分析方法

本章では、失敗傾向と関係性がある傾向にある点群を点群の特徴から予測する。まず失敗傾向と関係性がある点群を調べるため、失敗傾向の得点と関係がある直線描画タスクにおける引かれた線の特徴の関係性を調べる。この関係性から、点群の端点の数（以下、端点の数）が2点である点群、すなわち、線を引く基準がわかりやすい傾向にある点群が失敗傾向と関係があることを明らかにする。これらの分析について、具体的な方法を次に示す。なお、統計的な分析において有意水準は5%に設定した。

- (1) 点群における端点の数や引く線の傾向が第2章や第3章と差異がないか確認するため、実験参加者によって引かれた線の傾向を示し、検討を行う。具体的には、第2章の図2.6にて設定した端点の数や、第3章の図3.6における実験参加者の引かれた線の特徴の傾向と比較する。
- (2) 失敗傾向と関係がある点群を調べるため、49名分のデータについて、2.5節にて提案した引かれた線の特徴 (d_b , d_e) と失敗傾向の得点の関係性を調べる。具体的には、各点群における引かれた線の特徴と失敗傾向の得点について相関分析を行う。相関分析の際に算出した相関係数は、直線の評価尺度の平均値と失敗傾向の得点の組み合わせで、6通りの組み合わせについて算出する。6通りの相関係数は10種類の点群ごとに算出した。直線の尺度は、代表値として、1回目から3回目の平均を用いる。
- (3) 5.2.1節にて述べた8種類の点群の特徴(a)~(h)について、主成分分析により次元削減を行う。主成分の寄与率が10%以上のものを分析の対象とする。また、各主成分の解釈を主成分負荷量と点群の特徴の関係性から行う。
- (4) 点群の特徴と端点の数の関係性を調べるため、主成分分析で得た点群の特徴をまとめた主成分から端点の数を予測する。端点の数を予測するため、判別分析を行う。説明変数は、主成分分析より得た3つの主成分を用いる。判別分析は、変数減少法を用いて行う。目的変数は、端点の数が2つの場合を0、2つ以外の場合を1として分類を行う。

5.3. 結果

49名の実験参加者によって引かれた線の傾向と、第2章における線を引く際に基準とする端点の数（以下、端点の数）や第3章における実験参加者によって引かれた線の傾向を比べて差異がないかを検討する。実験参加者が参考にしてしまうと考えられる端点や引かれた線の傾向について検討し、引かれた線の特徴と失敗傾向の得点との関係性を相関分析によって調べ、失敗傾向と関係がある点群がどのような点群であるかを明らかにする。相関分析から、端点の数が2点の点群が失敗傾向と関係があることを示す。端点の数に影響を与える点群の特徴について調べるため、点群の特徴に関する指標を対象に主成分分析を行い、その結果を用いて判別分析を行う。

5.3.1. 実験参加者によって引かれた線の傾向と点群の端点の数の確認

49人分のデータにおける引かれた線の特徴の傾向をみるため、実験参加者によって引かれた線および端点の数を図5.9に示す。

図5.9より、点群の端の部分に着目した場合、点群A, C, D, I, Jに基づいて引かれた線は、点群の端の1点に集中することが多かった。このことから、点群の左端、右端の点は各1点ずつを基準として線を引く傾向にあることがわかる。従って、点群A, C, D, I, Jは端点の数が2点であるといえる。

一方で、点群B, E, F, G, Hに基づいて引かれた線は、2点の間を通ることが多い。このことから、点群の左端、右端のどちらかについて、点群B, E, F, Gは2点を基準に線を引く傾向にあることがわかる。従って、点群B, E, F, Gは端点の数が3点であることがわかる。点群の左端、右端の両方について、点群Hは4点を基準に線を引く傾向にあることがわかる。

これらのことから、各点群の端点の数が2.5.2節および図2.6にて定義した端点の数と同様であった。

5.3.2. 引かれた線の特徴と失敗傾向の相関関係

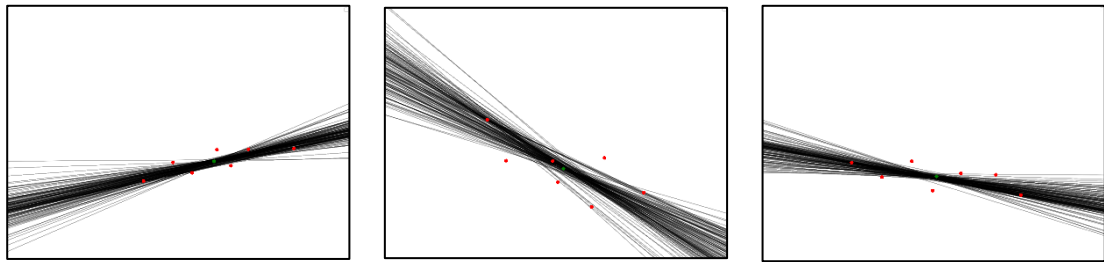
本節では、引かれた線の特徴と失敗傾向の得点の関係性について相関分析を用いて調べた結果、線を引く際の基準が比較的容易である点群（点群A, C, D, I, J）が失敗傾向のASやIFの得点と関係があることを示す。

直線の評価尺度と失敗傾向の得点について調べるため、「線を3回引いたうちの直線の評価尺度の平均」と「失敗傾向質問紙の得点」の相関係数を計算した（表5.1）。表5.1より、相関係数が有意であった組み合わせは、ASとIFの得点との組み合わせのみであった。ASの得点を含む組み合わせで相関係数が有意であったのは、点群A, F, Hにおける d_b 、および点群A, C, D, G, I, Jにおける d_e であった。また、IFの得点を含む組み合わせで相関係数が有意であった

のは、点群 C であった。これらのことから、点群 A, C, D, G, I, J が失敗傾向と関係のある点群であることがわかる。

失敗傾向と関係のあった点群の端点の数に着目すると、点群 A, C, D, I, J が 2 点、点群 G が 3 点である。このことから、点群 G を除いた点群が端点の数が 2 点である点群、つまり、線を引く際の基準が比較的容易である点群が失敗傾向と関係があることがわかった。5.3.3 節では、端点の数が 2 点の点群（点群 A, C, D, I, J）とそれ以外の点群を予測する。

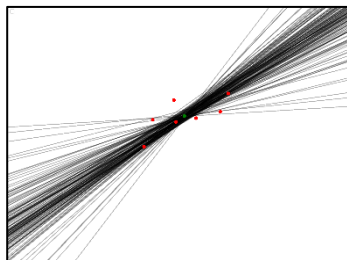
●: 点群 ●: 点群の重心 —: 実験参加者が引いた線



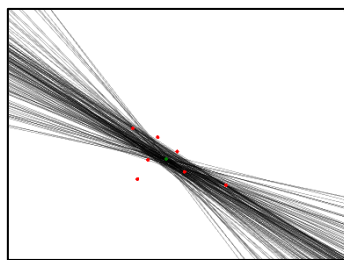
(a) 点群 A, 2

(b) 点群 B, 3

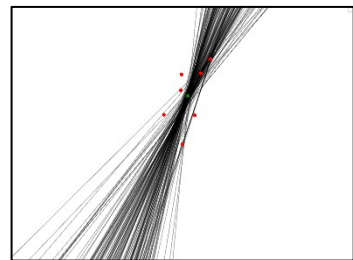
(c) 点群 C, 2



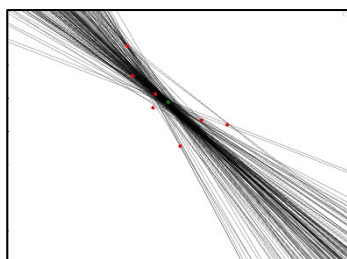
(d) 点群 D, 2



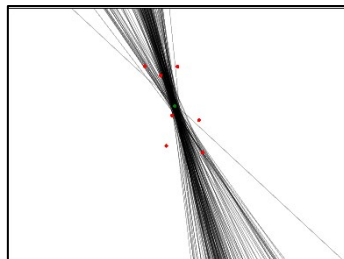
(e) 点群 E, 3



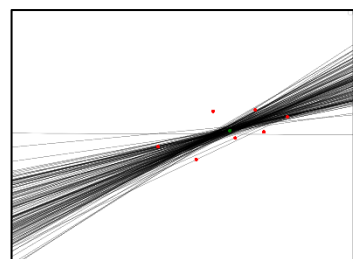
(f) 点群 F, 3



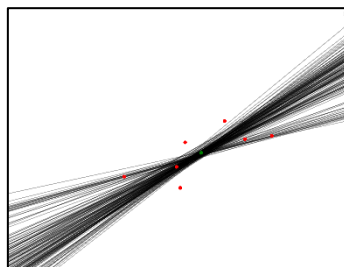
(g) 点群 G, 3



(h) 点群 H, 4



(i) 点群 I, 2



(j) 点群 J, 2

図 5.10 実験参加者によって引かれた線
(点群名, 端点の数)

表 5.1 引かれた線の特徴と失敗傾向の得点の相関関係 (n=49)

(a) d_b と失敗傾向の得点の相関関係

点群	算出した相関係数の組み合わせ (相関係数)		
	d_b と AS	d_b と CN	d_b と IF
A	0.33 **	-0.18	-0.06
B	0.21	0.09	-0.12
C	-0.00	-0.16	-0.03
D	0.28	-0.15	-0.10
E	0.20	0.01	-0.01
F	0.29 *	0.02	-0.09
G	0.26	0.00	0.04
H	0.29 *	0.02	0.14
I	-0.08	-0.09	-0.11
J	0.18	-0.01	-0.11

(b) d_e と失敗傾向の得点の相関関係

点群	算出した相関係数の組み合わせ (相関係数)		
	d_e と AS	d_e と CN	d_e と IF
A	-0.39 **	0.04	-0.20
B	-0.24	0.06	-0.23
C	-0.34 *	-0.16	-0.32 *
D	-0.42 **	0.10	-0.07
E	0.06	-0.05	-0.03
F	-0.10	0.09	-0.12
G	-0.32 *	-0.12	-0.01
H	0.14	-0.11	-0.06
I	-0.32 *	-0.10	-0.16
J	-0.36 *	0.04	-0.12

相関係数の p 値: ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

5.3.3. 点群の特徴による点群の端点の数の分類

10 種類の点群について、1.2.1 節にて述べた(a)から(h)の点群の特徴値を算出した結果を表 5.2 に示す。

表 5.2 各点群における点群の特徴

点群	点群の特徴							
	(a)	(b)	(c) [°]	(d) [°]	(e)	(f)	(g) [pixel]	(h) [pixel]
A	0.80	0.90	12	12	4.57	3.87	456.04	12.90
B	-0.72	0.86	159	21	1.79	1.93	455.15	36.50
C	-0.61	0.81	173	7	5.00	4.72	506.68	7.21
D	0.71	0.86	20	20	1.58	1.86	296.86	13.02
E	-0.56	0.78	160	20	1.63	1.52	284.68	26.32
F	0.55	0.77	47	47	0.55	0.51	236.09	29.97
G	-0.78	0.89	145	35	1.00	1.33	354.85	56.55
H	-0.61	0.81	132	48	0.66	0.55	258.93	8.09
I	0.61	0.80	15	15	2.60	2.32	395.87	1.42
J	0.73	0.86	20	20	2.19	2.01	453.09	7.23

- (a) 点群の x, y 座標の相関係数, (b) 点群の x, y 座標の第 1 主成分の寄与率,
(c) 点群の x 軸との角度, (d) 点群の x 軸との最小角度,
(e) 点群を囲む長方形の縦横比, (f) 点群の x, y 座標の標準偏差の縦横比,
(g) 点群の端点同士を結んだ距離,
(h) 点群の端点に基づいて引いた線と重心までの距離

表 5.1 に示した点群の特徴を用いて主成分分析を行った (表 5.3). 主成分分析を行う際、すべての変数に対して標準化を行った。主成分分析の結果を示す際、主成分内の点群の特徴の関係性がわかりやすいよう、主成分 1 から 3 まで、主成分負荷量の大きい順に点群の特徴を並び替えた。主成分分析を行った際、主成分の寄与率が 0.1 以上のものを解釈の対象とした。また、主成分分析に用いた変数のうち、主成分負荷量の絶対値が 0.6 以上のものを解釈した。このとき、各主成分の解釈に含まれる点群の特徴を黄色で示す。

表 5.3 を用いて、主成分負荷量から各主成分の解釈を行った。主成分 1 は、「(e) 点群を囲む長方形の縦横比」、「(f) 点群の x, y 座標の標準偏差の縦横比」、「(g) 点群の端点同士を結んだ距離」、「(h) 点群の端点に基づいて引いた線と重心までの距離」、「(d) 点群の x 軸との最小角度」の順に主成分負荷量が高かった。主成分負荷量が正の値であったのは、点群の特徴(e), (f), (g)であった。点群の特

徴(e), (f)は、点群の形が縦に長い横に長いを示した指標であり、この指標が大きいと横方向に長い点群になる。点群の特徴(g)は、点群の大きさを示した指標であり、この指標が大きいと端点を基準とした際の点群の大きさが大きくなる。点群の特徴(e), (f)と(g)の特徴から、点群が横方向に長いことは、点群の端点を基準とした点群の大きさが大きくなることと関係があることがわかる。このことから、主成分負荷量が正の点群の特徴で解釈を行った場合、主成分1の得点が高いほど「点群のx軸方向の広がりが大きい」と解釈できる。

一方で、第1主成分の主成分負荷量が負の値であったのは、点群の特徴(d), (h)であった。点群の特徴(d)は、点群の傾き度合いと関係があり、この指標が小さいと点群の傾きが小さくなる。点群が横方向に長いと点群の傾き度合いは小さくなるため、点群の特徴(d)の主成分負荷量が負の値になったことがわかる。点群の特徴(h)は、端点に基づいて引いた線と重心までの近さを示した指標である。このことから、主成分1の得点が高いほど、「点群の端点に基づいて線を引いた際に、点群の重心から距離が近い線になりやすい傾向にある」と解釈できる。

以上より、主成分1の得点が高いほど「点群のx軸方向の広がりが大きく、端点に基づいて引かれた線と点群の重心のとの距離が近くなる」と解釈できる。

主成分2は、「(c) 点群のx軸との角度」, 「(a) 点群のx,y座標の相関係数」の順に主成分負荷量が高かった。点群の特徴(c)は、主成分2における主成分負荷量が正の値であった。よって、主成分2の得点が高いほど「点群の角度が大きくなり、x軸方向に長い点群になる」と解釈できる。点群の特徴(a)は、主成分2における主成分負荷量が負の値であった。そのため、主成分2の得点が高いほど、「点群のx,y座標の相関係数が低くなるため、左肩上がりで直線に近い点群になる」と解釈できる。これらの解釈をまとめると、主成分2の得点が高いほど「左肩上がりで直線に近く、x軸方向に長い点群」と解釈できる。

主成分3は、「(b) 点群のx,y座標に対する主成分分析を行った第1主成分の寄与率」のみ因子負荷量が高かった。点群の特徴(b)は、点群x,y座標に対して主成分分析を行った際、第1主成分への偏り具合を示した指標である。そのため、主成分3の得点が高いほど「第1主成分の寄与率が高くなり、点群のある一定方向へのばらつきが少ない」と解釈できる。

各主成分の解釈をまとめると次の通りになる。

- ・主成分1が高いと、「点群のx軸方向の広がりが大きく、端点に基づいて引かれた線と点群の重心のとの距離が近くなる」
- ・主成分2: 「左肩上がりで直線に近く、x軸方向に長い点群」
- ・主成分3: 「第1主成分の寄与率が高くなり、点群のある一定方向へのばらつきが少ない」

表 5.3 主成分分析の結果

点群の特徴	主成分負荷量 (各主成分の寄与率)		
	主成分 1 (49.5%)	主成分 2 (29.6%)	主成分 3 (14.8%)
(e)	0.95	0.11	-0.09
(f)	0.94	0.19	-0.06
(g)	0.83	0.31	0.23
(c)	-0.11	0.96	-0.25
(b)	0.29	0.10	0.94
(a)	0.16	-0.97	0.13
(h)	-0.70	0.58	0.38
(d)	-0.91	-0.10	0.12

該当部分を黄色で示す。

- (a) 点群の x, y 座標の相関係数, (b) 点群の x, y 座標の第 1 主成分の寄与率,
(c) 点群の x 軸との角度, (d) 点群の x 軸との最小角度,
(e) 点群を囲む長方形の縦横比, (f) 点群の x, y 座標の標準偏差の縦横比,
(g) 点群の端点同士を結んだ距離,
(h) 点群の端点に基づいて引いた線と重心までの距離

各点群における主成分の特徴を検討するため、端点の数および主成分得点を表 5.4 に示す。判別分析では端点の数を基準に分類を行うため、点群は端点の数の順に並び替えた。

表 5.4 より、主成分 1 の得点に着目すると、端点の数が 2 つの点群は、点群 D を除いて主成分 1 の得点が高いことがわかった。このことから、端点の数が 2 つになる傾向にある点群は、横方向に大きい点群であることがわかる。

また、主成分 2 の得点に着目すると、点の数が 2 つの点群は、点群 C を除いて主成分 2 の得点が高いことがわかった。このことから、端点の数が 2 つになる傾向にある点群は、点群の方向は右肩上がりであり、正の相関関係を持つ点群であることがわかる。

表 5.4 の主成分得点を用いて、端点の数が 2 つかそれ以外かの分類を予測するために判別分析を行った。判別分析を行う際は、変数減少法を用いた。判別分析により得られた関数と相関比 η^2 を表 5.5 に示す。このとき、主成分 3 は変数から除外された。また、定数項は指定せずに判別分析を行った。

表 5.4 各点群における主成分得点

点群	端点の数 [個数]	主成分得点		
		主成分 1	主成分 2	主成分 3
A	2	2.90	-0.73	1.08
C	2	2.80	1.91	-1.54
D	2	0.07	-1.51	0.58
I	2	1.06	-1.44	-0.81
J	2	1.11	-1.23	0.57
B	3	-0.11	1.84	0.68
E	3	-1.19	0.89	-1.16
F	3	-2.60	-1.49	-0.39
G	3	-1.63	1.80	1.84
H	4	-2.42	-0.04	-0.85

表 5.5 判別分析の結果

説明変数	判別係数 (標準判別化係数)
主成分 1 の得点	-1.33** (-1.49)
主成分 2 の得点	0.90** (1.28)
定数項	0.00
相関比 η^2	0.90**

p 値: ** p<0.01, * p<0.05, n.s. not significant;

表 5.5 より, 主成分 1 の得点, 主成分 2 の得点が有意であり, 主成分 1, 2 の得点が端点の数を判別するのに影響を与えることがわかった. また, 標準化判別係数の絶対値に着目すると, 主成分 1 の方が大きく, 点群の方向に長い点群が端点の数が 2 つになりやすいことが示唆された.

また, 表 5.5 から端点の数によって分類を行うための式が次のように得られた. また, 判別関数の数値による端点の数の分類も同時に示す.

$$\text{判別関数} = -1.33 \times \text{主成分 1 の得点} + 0.90 \times \text{主成分 2 の得点} \quad (5.1)$$

(判別関数 < 0 → 端点の数が 2 点, 判別関数 > 0 → 端点の数が 3, 4 点)

式(5.1)を用いて, 10 種類の点群を予測し結果を図 5.10 に示す. 図 5.10 より, 10 種類の点群の端点の数は, すべて正しく予測された. このことから, 作成された判別関数を基に点群を生成することで, 端点の数が 2 点である点群を作成

することができると思えることができる。

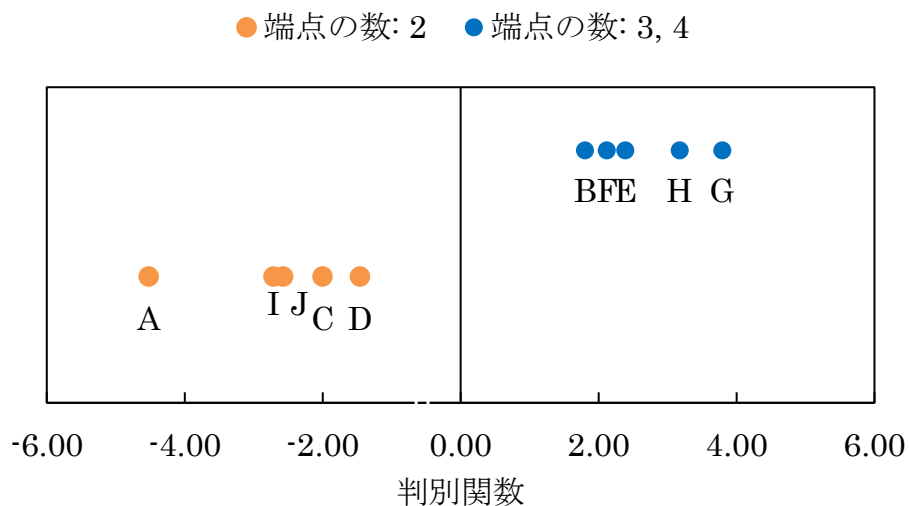


図 5.10 各点群による判別関数を用いた予測

判別関数における各主成分と点群の関係性について調べるため、横軸に主成分 1 の得点、縦軸に主成分 2 の得点をプロットした (図 5.11)。図 5.11 より、点群 A, D, I, J が近い位置にあり、点群 C が離れていることがわかる。また、主成分 1 の得点のみで分類を行った場合は点群 B が含まれてしまうが、一方で主成分 2 の得点のみで分類を行った場合は点群 C を同一グループに入れることが難しいことがわかった。

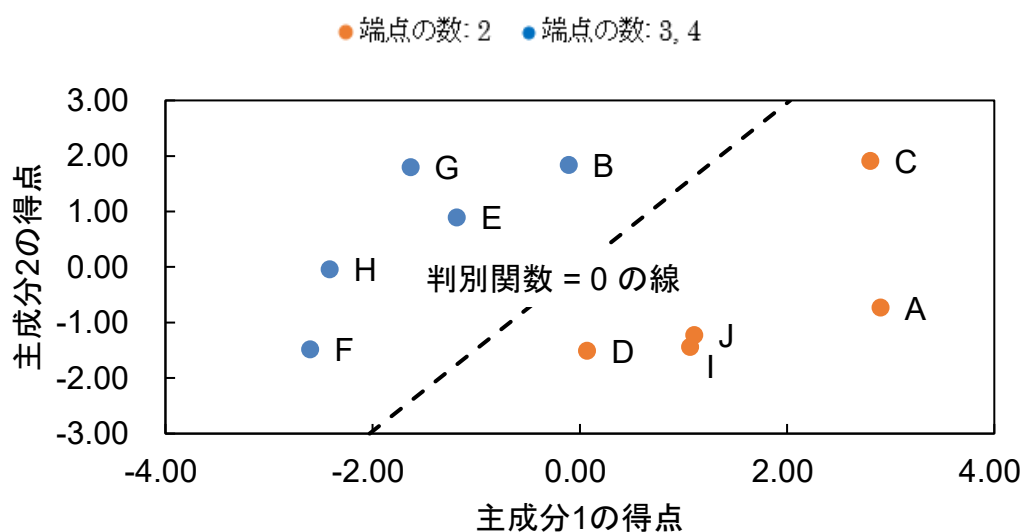


図 5.11 10 種類の点群における主成分 1 の得点と主成分 2 の得点の関係性

5.4. 考察

本節では、 x 軸方向に長い点群が端点の数が2点の点群になるが、点群の x, y 座標の相関係数が負の相関係数になると、正の相関係数に比べて x 軸方向に長い点群である必要があることを示す。また、 x 軸方向に長い点群は、凹凸が少ないために端点の数が2点になりやすいことを示唆する。

判別関数について考察を行う。主成分1の得点が高いほど、点群は x 軸方向に長くなる。また、主成分2の得点が高いほど、点群の x 軸との角度が大きくなり、点群の x, y 座標の相関係数が負の相関係数になる。判別関数では主成分2に0.90がかかっており、主成分2が高い、すなわち、点群の x, y 座標の相関係数が負の相関係数になると、端点の数が2点になりづらいことがわかる。線を引く際に、 135° であると正解の線からの差が大きくなるという報告 (Cai, 2007) から、点群の x, y 座標の相関係数が負になると正の場合に比べて端点が見つけづらいつと考えることができる。このことから、点群の x, y 座標の相関係数が負の場合、 x 軸方向に長く、端点の位置がより明確である必要がある。

端点の数が2点である点群の形状について考察を行う。物体の印象についての研究はいくつかされており、図形認知やパターン認知の分野では、視覚に強い影響を与える点や部分を強いエネルギーを持つとして計算を行うポテンシャルエネルギー (長石, 2003) といった概念がある。このとき、物体印象の評価指標は、文字そのもの以外にも図形や画像認識で用いられており、例えば文字の印象評価の分野では、主観的な重心が文字の可読性に関して最も重要であり、文字の物理的な性質から主観的な重心に最も近いような指標を計算するといった試みがされている (小谷, 2004; 小谷 2006)。

これらの研究では、文字の計算上の重心、文字のシルエットの重心、文字のポテンシャルエネルギーを用いて計算した重心を比較した結果、ひらがなの場合、文字のポテンシャルエネルギーが最も主観的な重心とのずれが少ないといった知見を得ている。視覚に与える影響が強い部分のエネルギーを強く計算するため、物体のシルエットの端に存在する点の影響を受けやすくなる。また、これらの研究群では、シルエット内の凹凸が複雑になるほど複雑度が高いといったことが報告されている。

凹凸の少ない点群の形状として、端点の数が2点である点群は、 x 軸方向に長い点群が多く、凹凸が少ない形状であることがわかる。今回の実験では点群が7点に固定されているため、端点が2点の点群の方は、端点が3点の点群に比べて凹凸が少ない形状になりやすく、その形状が線の引きやすさに繋がったと考えることができる。

5.5. まとめ

本章では、第3章および第4章の重複した実験参加者を除いた56人分のデータを用いて点群の特徴について検討を行い、失敗傾向の得点と関係のある点群は端点が2点の場合が多く、端点が2点の点群は点群の横幅が大きいという特徴があることを明らかにした。本章の主要な結果と考察を以下に示す。

- ・ 失敗傾向の得点と関係のある点群の特徴

相関分析を行った結果、点群 A, F, H における d_b は AS の得点と、点群 A, C, D, G, I, J における d_e と AS の得点が有意であった ($r=0.29\sim 0.33$, $-0.42\sim 0.32$, $p<0.05$)。このことから、特定の点群における引かれた線の特徴と AS の得点の間に相関関係があった。点群の端点の数が2つの点群 (図 5.12) が失敗傾向の得点と関係している場合が多かったため、点群の端点が重要な要素であることがわかる。

- ・ 点群の端点と点群の性質の関係性

主成分分析と判別分析を行った結果、点群の特徴が主成分1「点群のx軸方向の広がり」、主成分2「点群のx軸との角度」、主成分3「点群がまとまっている方向へのばらつきの少なさ」に分類され、特に主成分1が端点の数に影響を与えることがわかった。物体の印象における先行研究から、物体の端にある要素は大きな影響を与えることがわかっているため、直線を引くうえで端点が最も影響を与えることは妥当であると考えられる。

今後の展望として、点群の端点が特に影響していることがわかったため、直線描画タスクに用いる点群を増やすために、点群の主観的な重心や端点と点群の物理的な性質を関連付けることが挙げられる。そのため、主観的な印象と物理的な性質の関係性を考えることが挙げられる。

6. まとめ

本論文では、タブレット端末を用いた直線描画タスクによる認知特性推定のために、引かれた線の特徴と認知特性の関係性について、様々な視点から検討を行った。主要な結果として、直線描画タスクは注意に関する認知特性と大きく関係していることを明らかにした。本論文の新規性、有用性をまとめると次の通りである。論文の新規性の詳細については 6.1 節にて述べ、有用性の詳細については 6.2 節にて述べる。

[新規性]：

- ・新しい認知特性推定手法である直線描画タスクの提案を行った。
- ・特定の点群に基づいて引かれた線について、「重心までの距離」もしくは「端点までの距離」を用いて特徴を指標化すると、注意に関する日常的な認知的失敗の傾向であるアクションスリップと関係があることを明らかにした (第 3 章)。
- ・特定の点群に基づいて線を引いた場合、「重心までの距離」のばらつきから反応時間のばらつきを予測できることを明らかにした (第 4 章)。
- ・点群における端点の数は、点群の横幅の大きさに大きく影響することを明らかにした (第 5 章)。

[有用性]：

- ・タブレット端末を用いた直線描画タスクを行うことで、アクションスリップの傾向や反応時間のばらつきを予測できることで、自己改善やエラーの未然防止につなげることが期待される。

6.1. 本研究の総括

以下に、第 2 章から第 5 章における概要と特徴を章ごとに総括する。

(a) 第 2 章「点群に基づく直線描画タスク」

第 2 章では、従来にない新たな認知特性推定手法である直線描画タスクの提案を行った。

先行研究では、描画タスクと認知特性との関係性を調べた報告が多く、タスクの成績の傾向と認知特性の特徴や発達度合いとの関連性を報告していた。いずれの報告でも、直線描画タスクと類似しているタスクはなく、新たなタスクであることを示した。

直線描画タスクは点群を提示してタスクを行うが、用いる点群は、人の特性によって引く線に違いがでるようになるため、点群の x, y 座標の相関係数の絶対値が 0.55 から 0.8 程度になるよう作成し、10 種類の点群を示した。

直線描画タスクによって引かれた線と認知特性の関係性を明らかにするため

には、引かれた線の特徴を指標化する必要がある。実際に実験参加者が引いた線を参考にし、「重心までの距離」と「端点までの距離」を定義し、引かれた線の特徴を指標化した。

(b) 第3章「日常的な失敗傾向と引かれた線の特徴の関係性」

第3章における主要な結果として、特定の点群における「重心までの距離」もしくは「端点までの距離」を用いて引かれた線の特徴を指標化すると、注意に関する失敗傾向であるアクションスリップと関係があることを明らかにした。

人の認知特性によって引かれた線の特徴に違いがある場合、直線描画タスクにおける直線描画までのどのプロセスで違いがあるかを調べる必要がある。失敗傾向は、失敗傾向質問紙を用いて調べることが可能な日常的な認知的失敗の傾向のタイプであり、実際の行動や計画などのどの段階で認知的失敗を調べることが可能である。失敗傾向と引かれた線の関係性を調べることで、直線描画タスクがどのような認知特性と関係を明らかにできる。

引かれた線の特徴と失敗傾向の関係性を明らかにするため、重心までの距離または端点までの距離と、失敗傾向の得点の組み合わせについて相関分析を行った。その結果、点群の x, y 座標の相関係数が0.7より大きい特定の点群において、アクションスリップの得点が高いほど、重心までの距離が大きくなった。また、点群の端点の数が2点になるような点群において、アクションスリップの得点が高いほど、端点までの距離が小さくなった。

引かれた線の特徴に影響する要因を明らかにするため、重回帰分析を用いて、点群の特徴や失敗傾向の得点を説明変数に、引かれた線の特徴を予測した。その結果、重心までの距離と端点までの距離は説明変数から予測することが可能であり、どちらを予測する際にもアクションスリップの得点に影響を与えていることを明らかにした。

(c) 第4章「反応時間と引かれた線の特徴の関係性」

第4章における主要な結果として、特定の点群に基づいて線を引いた場合、「重心までの距離」のばらつきから反応時間のばらつきやその特徴を予測できることを明らかにした。

反応時間は、客観的な尺度であり、反応時間が認知特性と関係があることや、反応時間のばらつきが個人の特性と関係があることが報告されている。反応時間と直線描画タスクの関係性を調べることで、反応時間を計測するタスクと全く関係のないタスクを用いて反応時間を推定することが可能である。

引かれた線の特徴と反応時間の関係性を明らかにするため、引かれた線のばらつきと反応時間に関する指標の組み合わせで相関分析を行った。その結果、点群の x, y 座標の相関係数が0.7程度かつ、ある程度一貫した線を引きやすい点群において、引かれた線のばらつきが高いほど、反応時間のばらつきに関する指

標が大きくなった。

直線描画タスクから反応時間のばらつきを予測するため、引かれた線のばらつきを説明変数に、反応時間のばらつきに関する指標を予測した。その結果、引かれた線のばらつきから反応時間のばらつきに関する指標を予測でき、各指標についてそれぞれ予測できるため、反応時間のばらつきの特徴も予測できることを示唆できた。

(d) 第5章「失敗傾向と関係がある点群の特徴の分析」

第5章における主要な結果として、失敗傾向と関係がある点群は、端点の数が2点の場合が失敗傾向と関係があることを明らかにした。また、端点の数が2点の点群は、「点群の x 軸方向への広がり」と「点群の x 軸との角度、点群の x, y 座標相関係数から判別できることを示した。

端点の数は実験参加者が引いた直線に基づいて定義しているため、点群を持つ特徴から端点の数が2点の点群を予測することができれば、全ての点群において端点の数を予測することが可能である。端点の数と関係がある点群の特徴を明らかにするため、8つの点群の特徴を定義し、指標化した。

点群の特徴について、それぞれの特徴をまとめて解釈しやすくするため、8つの特徴に対して主成分分析を行った。その結果、点群の特徴は「点群の x 軸方向への広がり」、「点群の x 軸との角度、点群の x, y 座標の相関係数」、「点群がまとまっている方向へのばらつきの少なさ」の3つの成分にまとまった。

点群の特徴から端点の数を予測するため、判別分析を用いて、3つの主成分から端点の数を予測した。その結果、「点群の x 軸方向への広がり」、「点群の x 軸との角度、点群の x, y 座標の相関係数」から点群の端点の数を予測できた。

6.2. 本研究により見込まれる応用

タブレット端末を用いた直線描画タスクを行うことで、ASの傾向や反応時間のばらつきを予測できるため、エラーの未然防止や自己改善につなげることが期待される。本論文の具体的な応用分野として、自動車事故や業務上の事故における未然防止や教育現場や作業環境における改善といったことが挙げられる。

(a) 労務管理での応用

労務管理での応用例として、直線描画タスクで推定した認知特性を用いて、適切な人員配置や人材へのフォローが考えられる。

適切な人材配置をするために、どのような認知特性を持っているかわからない人に対し、SPIなどの特性を調べる検査に加えて直線描画タスクを行うことが考えられる。直線描画タスクで推定した認知特性の結果も加味することで、本人の性格と合わせて、実務の能力と関係がある認知特性を考慮して適切なチーム配置を行うことが期待される。

人材へのフォローをするために、直線描画タスクによって認知特性を推定することで、ASの得点が高い人材や反応時間のばらつきが大きい人材に対しても事前に注意を促すことができ、自己改善や職場環境のフォローに繋げることが期待される。

(b) 自動車事故や業務上の事故に対する未然防止

事故と認知的失敗の関係性は、多くの研究で報告されている (Allahyari, 2008; Born, 2006; Feng, 2014; Hohman, 2011; Tabibi, 2015; Wallace, 2003)。近年は情報技術の発達により、システムを用いて作業を行うことが多いため、認知特性に合わせてシステムの変更を行うことで、事故を未然に防止することに繋がると考えることができる。

自動車運転に関する分野では、事故防止のため、高齢者に向けた視覚刺激提示による安全運転への効果 (榎本, 2020) やヘッドアップディスプレイと認知特性の関係性 (石橋, 2016; 大門, 2016; 三浦, 2016)、ドライバーの特性と運転支援の関係性 (大門, 2011) などを述べた研究がある。現在では、ドライバーとのやり取りの機会が増えていることから、注意喚起や表示システムと直線描画タスクの結果を組み合わせることで、認知的失敗が多い人に対して適切な表示を行い、事故の未然防止に繋がる。

例えば、ヘッドアップディスプレイを表示する際に、直線描画タスクからASの得点を推定し、ASの得点の高低によって表示方法を変えるなどが考えられる。具体的には、ASの得点が高い人は注意が苦手な傾向があるため、経路案内の際の周辺地図や、しばらく速度が維持されている場合の速度計など、必要以外の情報は最低限に伝えることで快適に運転ができるシステムを作成できることが期待される。

(c) 教育現場や作業環境における改善

個人の特性に合わせた授業を行うことで、勉強に対する達成感が上がることや自尊心の向上につながる事が報告されている (都築, 2016)。近年、GIGAスクール (文部科学省, 2022) の実現や大学でのPCの積極的な活用により、学生が1人1台のPCを持っていることが多くなってきている。また、高齢者の認知特性に合わせた教育システムも研究されており (三井, 2020)、認知特性に合わせた教育システムは非常に重要であることがわかる。これらのことから、学内で使う学習用のシステムや事故防止のシステムの仕様と直線描画タスクによって得た認知特性を関連付けることで、効率的な教育や本人が自覚した上で自己改善に繋げることが期待される。

例えば、教育システムを運用する際、直線描画タスクからASの得点を推定し、ASの得点の高低によって、学習方法を変えることなどが考えられる。具体的には、ASの得点が高い人は、注意が苦手であるため、ケアレスミスなどが多

い可能性があるため、問題の解答後に見直しを促し、習慣づけさせることが考えられる。一方で、好奇心が高いといった特徴も持つため、様々なニュースを推薦したりして、本人の適性が高い分野を探すきっかけに繋がると考えられる。

6.3. 本研究における今後の課題

本論文の結果を実用化するための観点でいえば、実験参加者の属性を考慮して検討していく必要があると考えられる。本論文で行った実験では、20代前半の理系の大学生および大学院生を対象にしているため、グラフや散布図を授業などで学習した学生が多いため、点群を与えられた際にある程度近似された線を引くことや点群に沿うような線を引くように考える可能性が高い。しかしながら、グラフや散布図への知識が少ない人を対象とした場合、点群に沿うような線を引いたもらうことが難しいため、一般化するにあたって、実験の指示などを変える必要があると考えられる。

描画タスクは利き手や性別に影響することも考えられるため、本論文のデータにおいては、ほとんどが右利きの男性であったことから、今後は左利きや女性の実験参加者のデータを収集し、実験参加者の属性の影響を考慮する必要がある。これらについて検討を行うことで、本論文の結果をより活用できることが期待される。

また、引かれた線の特徴と関係があった反応時間について、反応時間の取得方法を検討していく必要があると考えられる。反応時間は、実際の作業とシミュレーションやテストによる作業では、反応時間が異なるということが報告されている。このことから、VR (Virtual Reality) 上のより現実に近い中で反応時間を取得し、実際の作業における反応時間と近づけることで実社会に活用できることが期待される。

反応時間のばらつきは、注意の持続力や神経症と関係することが報告されている (Flehming, 2007; Ode, 2011; Steinborn, 2008)。一方で、反応時間のばらつきを正確に取得するためには、100回程度の反応時間を計測することが必要であるため、反応時間の取得回数を増やして正確な分布を求めることで、より信頼した結果を得ることが期待される。

直線描画タスクにおける直線描画の認知的なメカニズムの観点でいえば、引かれた線の特徴と視覚機能の関係性を検討することが挙げられる。描画タスクは特に視覚機能と関係していることが報告されている (Thomson, 2021)。視覚の特性については、中心視、有効視、周辺視といった視線の範囲により違いが存在するため、これらの視覚機能と引かれた線の関係性を検討することで、身体的特性との関係性を明らかにすることが期待される。

参考文献

- [Allahyari 2008] T. Allahyari, G. N. Saraji, J. Adl, M. Hosseini, M. Iravani, M. Younesian, S. J. Kass, Cognitive Failures, Driving Errors and Driving Accidents, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 14(2), pp.149-158, 2008.
- [Alp 1994] I. E. Alp, Measuring the Size of Working Memory in Very Young Children: The Imitation Sorting Task, *Internal Journal of Behavioral Development*, 17(1), pp. 125-141, 1994.
- [Apple Inc 2021] Apple Inc, iPad (第5世代)-技術仕様, Apple ホームページ, https://support.apple.com/kb/SP751?locale=ja_JP, (閲覧日: 2022-06-15).
- [Apple Inc 2022] Apple Inc, Swift, Apple ホームページ, <https://www.apple.com/jp/swift/>, (閲覧日: 2022-06-15).
- [綾部 2019] 綾部早穂, 井関龍太, 熊田孝恒; 心理学, 認知・行動科学のための反応時間ハンドブック, 勁草書房, 2019.
- [Balota 2011] D. A. Balota, M. J. Yap, Moving Beyond the Mean in Studies of Mental Chronometry: The Power of Response Time Distributional Analyses, *Current Directions in Psychological Science*, 20(3), pp.160-166, 2011.
- [Born 2006] S. A. Bone, J. C. Mowen, Identifying the traits of aggressive and distracted drivers: a hierarchical trait model approach, *Journal of Consumer Behaviour*, 5(5), pp.454-464, 2006.
- [Bresin 2011] K. Bresin, M. D. Robinson, S. Ode, C. Leth-Steensen, Driven, Distracted, or Both? A Performance-Based Ex-Gaussian Analysis of Individual Differences in Anxiety, *Journal of Personality*, 79(5), pp.875-904, 2011.
- [Brindger 2013] R. S. Brindger, S. A. K. Johnsen, K. Brasher, Psychometric properties of the Cognitive Failures Questionnaire, *Ergonomics*, 56(10), pp.1515-1524, 2013.
- [Broadbent 1982] D. E. Broadbent, P. F. Cooper, P. FitzGerald, K. R. Parkes, The Cognitive Failures Questionnaire (CFQ) and its correlates. *British Journal of Clinical Psychology*, 21(1), pp.1-16, 1982.
- [Broadbent 1986] D. E. Broadbent, M. H. Broadbent, J. L. Jones, Performance correlates of self-reported cognitive failures and of obsessiveness, *British Journal of Clinical Psychology*, 25, pp.285-299, 1986.
- [Brown 2012] D. Brown, A Comparison of Drivers' Braking Responses across

- Ages, East Carolina University, Doctor Thesis, 2012.
- [Cai 2007] D. Cai, Association of Stability of Line Drawing and Drawing Performance, *Perceptual and Motor Skills*, 105(3), pp.1099-1108, 2007.
- [Cantin 2009] V. Cantin, M. Lavalliere, M. Simoneau, N. Teasdale, Mental workload when driving in a simulator: Effects of age and driving complexity, *Accident Analysis and Prevention*, 41(4), pp.763-771, 2009.
- [大門 2011] 大門樹, ドライバー特性に基づいた自動車の情報化・運転支援, *Panasonic Technical Journal*, 57(3), pp.39-43, 2011.
- [大門 2016] 大門樹, 伊藤祐也, 望月誠, 江村恒一, ヘッドアップディスプレイ利用時のドライバの反応時間, 煩わしさに関する基礎的研究, *自動車技術会論文集*, 47(4), pp.967-972, 2016.
- [Der 2006] G. Der, I. J. Deary, Age and sex differences in reaction time in adulthood: Results from the United Kingdom Health and Lifestyle Survey, *Psychology and Aging*, 21(1), pp.62-73, 2006.
- [Dickman 1990] S. J. Dickman, Functional and dysfunctional impulsivity: personality and cognitive correlates, *Journal of Personality and Social Psychology*, 58(1), pp.95-102, 1990.
- [Duffy 2009] S. Duffy, R. Toriyama, S. Itakura, S. Kitayama, Development of cultural strategies of attention in North 4 American and Japanese children, *Journal of Experimental Child Psychology*, 102(3), pp.351-359, 2009.
- [Eknoyan 2012] D. Eknoyan, R. A. Hurley, K. H. Taber, The Clock Drawing Task: Common Errors and Functional Neuroanatomy, *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 24(3), pp.260-265, 2012.
- [榎本 2020] 榎本恵, 関根道昭, 田中健次, 長谷川浩, 視覚の誘導場による感性評価, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, 22(3), pp.341-350, 2020.
- [Feng 2014] J.Feng, S. Marulanda, B. Donmez, Susceptibility to Driver Distraction Questionnaire: Development and Relation to Relevant Self-Reported Measures, *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2434(1), pp.26-34, 2014.
- [Flehmig 2007] H. C. Flehmig, M. Steinborn, R. Langner, A. Scholz, K. Westhoff, Assessing intraindividual variability in sustained attention: reliability, relation to speed and accuracy, and practice effects, *Psychology Science*, 49(2), pp.132-149, 2007.
- [Golay 2013] P. Golay, D. Fagot, T. Lecerf, Against coefficient of variation for estimation of intraindividual variability with accuracy measures,

- Tutorials in Quantitative Methods for Psychology, 9(1), pp.6-14, 2013.
- [Heathcote 1991] A. Heathcote, S. J. Popiel, D. J. Mewhort, Analysis of response time distributions: An example using the Stroop Task, *Psychological Bulletin*, 109(2), 340-347, 1991.
- [Huang 2022] K. -C. Huang, W. -T. Chang, Effects of Drawing Direction and Angle on Stability of Point-To-Point Drawing Task Varying Length of Drawing for the Elderly. *International Journal for Applied Information Management*, 2(3), pp.18-25, 2022.
- [藤島 2005] 藤島寛, 山田尚子, 辻平治郎; 5 因子性格検査短縮版 (FFPQ-50) の作成, *パーソナリティ研究*, 13(2), pp.231-241, 2005.
- [Hohman 2011] T. J. Hohman, L. L. Beason-Held, S. M. Resnick, Cognitive Complaints, Depressive Symptoms, and Cognitive Impairment: Are They Related?, *Journal of the American Geriatrics Society*, 59(10), pp.1908-1912, 2011.
- [Horry 2008] W. J. Horrey, M. F. Lesch, A. Garabet, Assessing the awareness of performance decrements in distracted drivers, *Accident Analysis & Prevention*, 40, pp.675-682, 2008.
- [HTC Corporation 2022] HTC Corporation. VIVE Pro 2, <https://www.vive.com/jp/product/vive-pro2-full-kit/overview/>, (閲覧日 2022-12-23).
- [井上 2002] 井上毅, 佐藤浩一; 日常認知の心理学. 北大路書房, 2002.
- [石橋 1998] 石橋基範, 石田健二, 畑秀二, 単調運転模擬作業時の覚醒低下特性に関する実験的検討, *自動車技術会論文集*, 29(3), pp.135-140, 1998.
- [石橋 2016] 石橋基範, 松尾純太郎, 島田高志, 森重領介, 田中松広, 視野特性に基づいたコンバイナ型ヘッドアップディスプレイのレイアウトに関する研究, *ヒューマンファクターズ*, 21(1), pp.16-23, 2016.
- [自動車技術ハンドブック編集委員会 2016] 自動車技術ハンドブック編集委員会, 自動車技術ハンドブック人間工学編<第3分冊>, 自動車技術会, pp.68-69, 2016.
- [Johansson 1971] G. Johansson, K. Rumour, Drivers' Brake Reaction Times, *Human Factors*, 13(1), pp.23-27, 1971.
- [Jolley 2013] R. P. Jolley, R. O'Kelly, C. M. Barlow, C. Jarrold, Expressive drawing ability in children with autism, *The British Journal of Developmental Psychology*, 31(1), pp.143-149, 2013.
- [加藤 1999] 加藤孝義, TAIS * (注意・対人スタイル診断テスト)の特徴と応用ーストレス対処法としての注意のタイプ別自己診断テストー, 現代行動科

- 学学会誌, 15, pp.9-19, 1999.
- [加藤 2015] 加藤大樹, 鈴木美樹江, 教育現場における描画テストの活用に関する研究の動向, 金城学院大学論集. 人文科学編, 11(2), pp.32-pp.39, 2015.
- [警視庁 2022] 警察庁, 原付以上運転者 (第 1 当事者) の法令違反別交通事故件数の推移. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00130002&tstat=000001027457&cycle=7&year=20210&month=0>. (2022). 閲覧日: 2022-06-27.
- [経済産業省 2021] 経済産業省, 仮想空間の今後の可能性と諸課題に関する調査分析事業」の報告書を取りまとめました, <https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210713001/20210713001.html>, (閲覧日: 2022-12-25)
- [経済産業省 2022] 経済産業省, 未来人材ビジョン, 経済産業省ホームページ, <https://www.meti.go.jp/press/2022/05/20220531001/20220531001-1.pdf>, 2022-05-31, (閲覧日: 2022-09-30).
- [Kitayama 2003] S. Kitayama, S. Duffy, T. Kawamura, J. Larsen, Perceiving an object and its context in different cultures: A cultural look at new look, *Psychological Science*, 14(3), pp.201–206, 2003.
- [金城 2013] 金城光, 井出訓, 石原治, 日本版成人メタ記憶尺度 (日本版 MIA) の構造と短縮版の開発, *認知心理学研究*, 11(1), pp.31-41, 2013.
- [小谷 2003] 小谷章夫, 朝井宣美, 中村安久, 文字輪郭を用いた重心位置評価手法の一検討, *情報処理学会研究報告*, 115, pp.63-70, 2004.
- [小谷 2006] 小谷章夫, 種村嘉高, 密山幸男, 朝井宣美, 中村安久, 尾上孝雄, ポテンシャルエネルギーを用いた文字重心位置取得手法, *画像電子学会学会誌*, 35(4), pp.296-305, 2006.
- [Ledesma 2010] R. D. Ledesma, S. A. Montes, F. Poo, M. L. Ramon, Individual Differences in Driver Inattention: The Attention-Related Driving Errors Scale, *Traffic Injury Prevention*, 11(2), pp.142-150, 2010.
- [Linden 2005] D. V. D. Linden, G. P. J. Keijsers, P. Eling, R. V. Schaijk, Work stress and attentional difficulties: An initial study on burnout and cognitive failures, *An International Journal of Work, Health & Organisations*, 19, pp.23-36, 2005.
- [牧下 2002] 牧下寛, 松永勝也, 自動車運転中の突然の危険に対する制動反応の時間, *人間工学*, 38(6), pp.324-332, 2002.
- [牧下 2005] 牧下寛, 松永勝也, 心理的負荷が運転中の反応時間に与える影響, *人間工学*, 41(4), pp.228-236, 2005.
- [Marulanda 2015] S. Marulanda, H. Y. W. Chen, B. Donmez, Test–Retest

- Reliability of the Susceptibility to Driver Distraction Questionnaire, *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2518(1), pp.54-59, 2014.
- [Matzka 2009] D. Matzka, E. J. Wagenmakers, Psychological interpretation of the ex-Gaussian and shifted Wald parameters: A diffusion model analysis, *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(5), pp.798-817, 2009.
- [三井 2008] 三井達郎, 岡村和子, 高齢者の認知特性を考慮した運転者教育, *安全工学*, 47(6), pp.369-377, 2008.
- [三浦 2016] 三浦弘雅, 青柳宗一郎, 佐藤晴彦, 山木善規, 綿貫啓一, 松宮 信之, 侯磊, 楓和憲, 自動運転車両を考慮したヘッドアップディスプレイ (HUD)に対する近周辺視野を含むドライバ認知特性, *自動車技術会論文集*, 47(2), pp.509-514, 2016.
- [宮城県総合教育センター 2018] 宮城県総合教育センター, 宮城県総合教育センターH30年度研究成果物 (特別支援教育研究グループ) <特性理解編> 認知特性と授業, 宮城県総合教育センターホームページ, http://www.educ.pref.miyagi.jp/midori/tokushi/tomomanabi/tokuseirikai/tokusei_all.pdf (閲覧日: 2022-12-23)
- [文部科学省 2022] 文部科学省, GIGA スクール構想の実現について, 文部科学省ホームページ, https://www.mext.go.jp/a_menu/other/index_00001.html, (閲覧日 2022-10-19).
- [Morra 2010] S. Morra, On the Relationship between Partial Occlusion Drawing, M capacity and field independence. *The British Journal of Developmental Psychology*, 20(3), pp.421-438, 2010.
- [Morra 2017] S. Morra, S. Panesi, From Scribbling to Drawing the Role of Working Memory. *Cognitive Development*, 43, pp.142-158, 2017.
- [Muller 2021] A. L. Muller, N. Fernandes-Estrela, R. Hetfleisch, L. Zecha, B. Abendroth, Effects of non-driving related tasks on mental workload and take-over times during conditional automated driving, *European Transport Research Review*, 13(1), 2021.
- [長石 2003] 長石道博, 視覚の誘導場による感性評価, *認知科学*, 10(2), pp.326-333, 2003.
- [新妻 2013] 新妻悦子, 児童の描画特性に関する認知的・発達的研究—描画課題を用いた描画行動の個人差に着目して—, *東北教育心理学研究*, 13, pp.31-41, 2013.
- [西崎 2013] 西崎友規子, 永井聖剛, 河原純一郎, 佐藤稔久, 根本 英明, ドライバの認知機能特性に基づく運転行動分析, *自動車技術会論文集*, 44(4),

- pp.1059-1065, (2013).
- [Niranjan 2022] S. Niranjan, J. Gabaldon, T. G. Hawkins, V. K. Gupta, M. McBride, The influence of personality and cognitive failures on distracted driving behaviors among young adults, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 84, pp.313-329, 2022.
- [Norman 1981] D. A. Norman, Categorization of action slips, *Psychological Review*, 88(1), pp.1-15, 1981.
- [Ode 2011] S. Ode, M. D. Robinson, D. M. Hanson, Cognitive-emotional dysfunction among noisy minds: Predictions from individual differences in reaction time variability, *Cognition and Emotion*, 25(2), pp.307-327, 2011.
- [大橋 1999] 大橋智樹, 行場次朗, 大槻孝介, 守川伸一, 複合数字抹消検査による全体・部分情報に対する注意配分特性, 平成 11 年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, pp.65-68, 1999.
- [大山 1985] 大山正, 反応時間の研究歴史と現状, *人間工学*, 21(2), pp.57-64, 1985.
- [関口 2017] 関口理久子, 山田尚子; 実行機能質問紙 (Executive Functions Questionnaire) の開発. *関西大学心理学研究*, 8, pp.31-48, 2017.
- [清水 2018] 清水寛之, 日常生活場面における認知的失敗行動の自己評価と時間的展望—認知的失敗傾向質問紙 (CFQ) とジンバル度—時的展望尺度 (ZTPI) の関係—, *神戸学院大学心理学研究*, 1(1), pp.33-41, 2018.
- [清水 2019] 清水寛之, 日常生活場面における認知的失敗傾向と記憶自己効力感の関係—認知的失敗質問紙 (CFQ) と成人用メタ記憶尺度 (MIA) の因子間の相関分析—, *神戸学院大学心理学研究*, 2(1), pp.21-29, 2019.
- [篠原 2007] 篠原一光, 山田尚子, 神田幸治, 臼井伸之介, 日常生活における注意経験と主観的メンタルワークロードの個人差. *人間工学*, 43(4), pp.201-211, 2007.
- [篠原 2013] 篠原一光, 中村隆宏, 心理学から考えるヒューマンファクターズ——安全で快適な新時代へ. 有斐閣, 2013.
- [Reason 1990] Human error. England: Cambridge University Press.
- [Romanwich 2020] P. Romanwich, Q. Chen, S. Xu, Relationships between Driver Errors and Delay Discounting in a Simulated Driving Task, *Perspectives on Behavior Science*, 43, pp.487-500, 2020.
- [Robertson 1985] I. T. Robertson, Human information-processing strategies and style, *Behaviour & Information Technology*, 4(1), pp.19-29, 1985.
- [齊藤 2005] 齊藤勇, 図説 心理学入門, 誠信書房, 2005.

- [Steinborn 2008] M. B. Steinborn, H. C. Flehmig, K. Westhoff, R. Langner, Predicting school achievement from self-paced continuous performance: Examining the contributions of response speed, accuracy, and response speed variability, *Psychology Science Quarterly*, 50(4), pp.613-634, 2008.
- [Steinborn 2016] M. B. Steinborn, R. Langner, H. C. Flehmig, L. huestegge, Everyday Life Cognitive Instability Predicts Simple Reaction Time Variability: Analysis of Reaction Time Distributions and Delta Plots, *Applied Cognitive Psychology*, 30(1), pp.92-102, 2016.
- [Summala 2000] H. Summala, Brake Reaction Times and Driver Behavior Analysis, *Transportation Human Factors*, 2(3), pp.217-226, 2000.
- [Tabibi 2015] Z. Tabibi, H. H. Borzabadi, D. Stavrinou, A. Mashhadi, Predicting aberrant driving behaviour: The role of executive function, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 34, pp.18-28, 2015.
- [辻 1997] 辻平治郎, 藤島寛, 辻斉, 夏野良司, 向山泰代, 山田尚子, 森田義宏, 秦一士; パーソナリティの特性論と5因子モデル: 特性の概念, 構造, および測定, *心理学評論*, 40(2), pp.239-259, 1997.
- [辻 1998] 辻平治郎; 5因子性格検査の理論と実際, 北大路書房, 1998.
- [都築 2016] 都築繁幸, 神山忠, 吉田優英, 木全祐子, 認知特性から考える授業づくり—小学校・算数の指導を中心に—, *障害者教育・福祉学研究*, 12(3), pp. 109-119, 2016.
- [Unity Technologies 2022] Unity Technologies. Unity Labs. Unity Software 社ホームページ. <https://unity.com/labs>, (閲覧日 2022-03-19).
- [Velazquez 2021] E. M. Velazquez, M. Mouloua, Understanding Aggressive Driving: The Role of Personality and Individual Differences, *Proceedings of the 2021 HFES 65th International Annual Meeting*, 65(1), pp.972-976, 2021.
- [Wallace 2003] J. C. Wallace, S. J. Vodanovich, Can Accidents and Industrial Mishaps Be Predicted? Further Investigation into the Relationship Between Cognitive Failure and Reports of Accidents, *Journal of Business and Psychology*, 17, pp.503-514, 2003.
- [Winter 2015] J. C. F. de Winter, D. Dodou, P. A. Hancock, On the paradoxical decrease of self-reported cognitive failures with age, *Ergonomics*, 58(9), pp.1-16, 2015.
- [Wu 2020] C. C. Wu, K. C. Huang, Effects of line length, orientation angle, and drawing direction on the straight-line drawing performance of

elderly Taiwanese adults during iPad use, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 30(2), pp.140-146, 2020.

[八木 1997] 八木 昭宏, 知覚と認知 (現代心理学シリーズ), 培風館, (1997).

[山田 1991] 山田尚子; CFQ (Cognitive Failures Questionnaire) に関する検討(1), 甲南女子大学大学院心理学年報, 9, pp1-20, 1991.

[山田 1993] CFQ (Cognitive Failures Questionnaire) とターゲットに対する探索・注意の焦点づけ方略との関係, *心理学研究*, 63(6), pp.414-418, 1993.

[山田 1999] 山田尚子; 失敗傾向質問紙の作成および信頼性・妥当性の検討, *教育心理学研究*, 47(4), pp.501-510, 1999.

[吉田 1981] 吉田正昭, 認知, *心理学辞典*, 平凡社, pp.657-959, (1981).

[Young 2015] M. S. Young, K. A. Brookhuis, C. D. Wickens, P. A. Hancock, State of Science: Mental Workload in Ergonomics, *Ergonomics*, 58(1), pp.1-17, 2015.

本研究に関する研究発表

・原著論文

[井上 2022] 井上大成, 吉田典正, 石橋基範, 直線描画タスクにおける引かれた線の特徴と失敗傾向の関係性, *ヒューマンファクターズ*, 27(1), pp.27-34, 2022.

・国際会議

[Inoue 2019] T. Inoue, N. Yoshida, M. Ishibashi, Point Cloud Analysis for the Classification of Error Proneness, The 6th IEEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC 2019), Aug. 24, 2019.

[Inoue 2021] T. Inoue, N. Yoshida, M. Ishibasi, The Relationship between the Variation in Line Drawing and the Reaction Delay RMS in a Simulated Driving Task. The 7th IEEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC 2021), Sep.10, 2021.

・国内学会

[井上 2018] 井上大成, 吉田典正, ウィンドウ内における 2 直線の類似度. 情報処理学会. 第 80 回全国大会講演論文集 2019, 80(4), pp.201-202, 2018.

[井上 2019a] 井上大成, 吉田典正, 石橋基範; 点群に基づく直線描画の特徴

と失敗傾向の関係の検討. 情報処理学会. 第 80 回全国大会講演論文集 2019, 1, pp.221-222, 2019.

[井上 2019b] 井上大成, 吉田典正, 石橋基範; 点群への直線描画タスクにおける点群特徴と失敗行動の関係, 人間工学会関東支部第 49 回大会, Dec. 8, 2019.

[井上 2020a] 井上大成, 吉田典正, 石橋基範, 直線描画タスクと模擬運転作業における注意制御の関係, 第 15 回日本感性工学会春季大会, Mar. 5, 2020.

[井上 2020b] 井上大成, 吉田典正, 石橋基範, 直線描画タスクに用いる点群の特徴の解明に向けて, 映像表現・芸術科学フォーラム 2020, Mar. 13, 2020.

[井上 2020c] 井上大成, 吉田典正, 石橋基範, 重回帰分析を用いた直線描画タスクにおける引かれた線の特徴の推定, 第 48 回画像電子学会年次大会, Dec. 4, 2020.

[井上 2021a] 井上大成, 吉田典正, 石橋基範, 直線描画タスクにおける引かれた線の特徴と模擬運転作業における反応時間の関係性の検討, 映像表現・芸術科学フォーラム 2021, Mar. 8, 2021.

[井上 2021b] 井上大成, 吉田典正, 石橋基範, 点群に基づく引かれた線の特徴のばらつきと模擬運転作業における反応遅れ RMS および反応時間の関係性, 第 49 回画像電子学会年次大会, Jun. 24, 2021.

謝辞

本研究は、著者が日本大学大学院生産工学研究科後期博士課程在学中に、同大学生産工学部吉田典正教授の指導のもとに行ったものです。

本論文の執筆にあたり、主査の吉田典正教授、副査の石橋基範教授、豊谷純教授、鳥居塚崇教授には、大変お世話になりました。特に吉田典正教授と石橋基範教授には、それぞれの専門分野の情報工学および人間工学の立場から様々な意見を長期間の間にいただき、大変有益なご指導をいただきましたことに感謝いたします。

自身が所属している研究室のメンバーたちとは、どの代の方とも研究室において日々切磋琢磨することで、本論文をここまで発展することができました。自身の研究以外の事柄について話し合うことは、コミュニケーション能力の重要性を学ぶとともに、未知の分野を知る楽しさを学ぶことができました。研究室以外の学生に関しても、気軽に実験に協力していただいたり、他分野同士の研究について話し合ったりすることは非常に助かりました。

最後に、私を陰ながら支えてくれた家族一同に感謝します。