

# 数量概念の獲得状況を評価するアセスメントの開発：線等分課題， Landmark課題，数直線課題，線描画課題に着目して

## Exploring the Promise of a Number Concept Assessment to Identify Students with Number Processing Difficulties: Focus on the Line Bisection Task, Landmark Task, the Number Line Task, and the Line Drawing Task

惠 羅 修 吉<sup>1</sup>

Shukichi Era

### 概要

本研究では、知的障害のある子どもを対象とした数・量概念の獲得状況を評価する検査バッテリーを開発することを目的として、検査に關与する認知機能に関する基礎的検討を行った。知的障害のなかには、一般的知能の水準や神経生物学の特徴など多様な要因により、シンボル数に依拠した数量判断に困難のある児童生徒が存在していることから、シンボル数だけではなく、シンボル数に依存しない数・量概念の評価を含むアセスメントが必要である。そこで、シンボル数に依存しない検査として線等分課題とLandmark課題を、シンボル数に依存する検査として数直線課題と線描画課題を取りあげた。成人を対象として各検査を実施し、検査成績の関連性について分析するとともに、検査中の眼球運動を測定することで課題遂行時に活用される方略について検証した。それぞれの検査について遂行成績の特徴と活用された方略の2つ視点から検証することで、検査の妥当性について考察した。

キーワード：数量概念，眼球運動，課題遂行方略

### 問題と目的

われわれは、日常生活のなかで数や量を処理し、比較し、そして予測する活動を頻繁に行っている。物品やお金を数えたり、物の大きさや長さや重さを比べたり、数・量に関わる活動は、幅広く多様である。何ら数・量を取り扱うことなく過ごせる日は皆無であるといつてよいだろう。数・量を操作する認知的スキルは、日常における多様な活動の効率化、円滑化、そして精緻化を支える極めて重要な認知的基盤であることはおそらく間違いない。このことは、現代社会において、算数・数学教育の充実が重要度の高い教育課題として位置づけられていることにも表れていると言える（National Mathematics Advisory Panel, 2008；日本学術会議数理科学委員会数学教育分科会，2016）。

数概念の理解や数・量を取り扱うスキルの獲得は、知的障害の有無にかかわらず、生活の質の向上させるうえで極めて重要な学校教育における学習課題である。平成29年4月に告示された特別支援学校学習指導要領では、知的障害特別支援学校の小学部・中学部ともに、数量や図形に関する基礎的・基本的な概念や性質の理解と、事象を数理的に処理する技能の習得が教育目標として掲げられている。知的障害のある子どもを対象とした教育では、知能など領域全般的な認知機能の弱さのみならず、領域固有の認知機能の強弱に配慮した、個の特性に応じた支援が求められている。しかしながら、知的障害のある子どもたちの数・量概念の獲得状況を客観的に把握するためのアセスメントについては、開発が進んでおらず、教員による日常的な行動観察や保護者への聞き取りに依拠して判断されていることが

1 香川大学大学院教育学研究科

多い現状にあるといえる。特別支援教育においてよく活用されている標準化された知能検査は、領域全般的な知的機能の発達を評価する上では有用であるものの、数・量概念の獲得状況を把握するものでもなければ、特異的算数困難を鑑別できるものでもない (e.g., Lunardon, Decarli, Sella, Lanfranchi, Gerola, Cossu, & Zorzi, 2023)。また、検査を実施するにあたり、1時間前後のまとまった時間と検査者の専門性が求められることから、クラスワイドで適用することはできない。以上より、特別支援学校（あるいは特別支援学級）で授業の流れのなかで、短い時間で実施可能で、かつ簡便な検査を開発することは意義ある課題であると考え（惠羅, 2022）。

本研究は、知的障害のある子どもを対象として数・量概念の獲得状況を評価する検査バッテリーを開発するための基礎的な検討を行うことを目的とした。これまでわれわれは、知的障害特別支援学校において、数・量を扱う指導の実践研究を実施してきた。小学部児童を対象とした研究では、多様な連続量を等分する課題を実施し、均等配分スキルの習得や改善を促す指導を試みた（横山・細川・鈴木・滝澤・平岡・宮武・小林・山本・惠羅, 2018）。ただし、小学部での授業では、量のみを学習内容として取り上げ、数詞や数字などシンボル数の指導には至らなかった。一方、高等部生徒を対象とした概数能力の活用を促す実践研究では、シンボル数を活用した学習活動を導入することができた（植村・塩田・松本・惠羅, 2018）。特別支援学校には、年齢、知的障害の程度、神経生物学的特徴など多様な要因により、シンボル数に依拠した数量判断に困難のある児童生徒が存在していることから、シンボル数だけではなく、シンボル数に依拠しない数・量概念の評価を含むアセスメントが必要となる。数・量概念のアセスメントについては、定型発達児や発達性計算障害 (developmental dyscalculia) など算数学習困難のある子どもを念頭においた研究は報告されているが（干川, 2020; 海津, 2016; 野田, 2020; 大羽・小枝・前垣, 2019）、知的障害を対象とした研究は、国内外を問わず、数少ないのが現状である（近藤・奥住・平田, 2023）。

そこで本研究では、数・量の理解を評価する検査バッテリーとして、数詞・数字といったシンボル数に依拠しない検査として線等分課題 (line bisection task) とLandmark課題を、シンボル数に依拠した検査として線描画課題 (line drawing task) と数直線課題 (number line estimation task) を取り上げることにした。いずれの検査も検査を実施するうえでの簡便さを考慮し、紙と鉛筆でもって遂行可能であり、小集団で実施可能なものとした。なお、数・量の理解を評価する課題は、当然であるが、ここで取り上げた検査だけではない。そういう点では、以上の検査課題の選択は、恣意的なものである。特に、シンボル数に依拠しない検査については、数覚 (number sense) あるいは概数シス

テムに関する研究でよく使用されているドットの数と比較する課題が有名である (e.g., Halberda, Ly, Wilmer, Naiman, & Germine, 2012)。この課題については、これまで数多くの研究が蓄積されているので、本研究ではこれとは異なる課題を選択することにした。

線等分課題は、紙面上で視覚的に呈示された直線の半分（真ん中）の位置をマーカーで書き記す課題であり、課題の教示ならびに遂行において、数詞・数字の知識を必要としない検査である。線等分課題は、半側空間無視の病態を示す脳損傷患者の空間的注意機能を評価する臨床検査としてよく知られているが（石合, 2014; Karnath & Rorden, 2012）、脳損傷の既往歴のない成人や子どもを対象とした研究においても活用されている (Jewell & McCourt, 2000; Kaul, Papadatou-Pastou, & Learmonth, 2023)。もともとは空間的注意機能を評価する検査ではあるが、「半分」（あるいは「真ん中」）という量的な同等性を評価することを課題としており、検査手続きにおいてシンボル数を使用しないので、本研究では量の判断を求める課題として採用することにした。Landmark課題は、線等分課題と類似した検査である。この課題も脳損傷患者の病態を評価する研究で活用されるとともに (Olk & Harvey, 2002)、脳損傷の既往歴のない者を対象とした研究においても活用されている (Mitchell, Kandt, & McIntosh, 2022; Toba, Cavanagh, & Bartolomeo, 2011)。Landmark課題では、紙面あるいはディスプレイ画面上、直線とそれを分断するマーカーが最初から視覚的に呈示され、参加者はマーカーで分断された左右の線分のどちらが長い（あるいは短い）かを判断することが求められる。線等分課題と比較すると、参加者みずからマーカーを印すといった運動の要因が排除されている点の特徴である。

数直線課題は、子どもの数概念の獲得や数学的認知の発達に関する研究でよく活用される代表的な検査である。developmental dyscalculiaや算数学習困難のある子どもを対象とした研究も報告されている (e.g., Geary, Hoard, Nugent, & Byrd-Craven, 2008; Landerl, 2013; Landerl, Fussenegger, Moll, & Willburger, 2009; Sella, Bertelotti, Martina, Lucangeli, & Zorzi, 2013)。Schneider, Merz, Stricker, De Smedt, Torbeyns, Verschaffel and Luwel (2018) は、先行研究41編を抽出してメタ分析を行い、数直線課題が算数・数学の学力を診断および予測する強固なツールであることを示唆している。数直線課題では、両端点に数字が記された水平直線（例えば、線の左端に“0”、右端に“10”と記載）が視覚的に呈示され、線分上に示されたマーカー（例えば、↓）の位置と該当する数の関連性を判断する (Siegler & Opfer, 2003; Schneider et al., 2018)。この課題には、数から該当する線分上の位置を推定する手順 (number-to-position) と、線分上の位置から該当する数を推定する手順 (position-to-number) の2パターンがある。本研究では、次に説明する

線描画課題が数から量を推定する課題であることから，数直線課題ではその逆パターンとなる量（線分上におけるマーカーの位置）から数を推定する手順を採用することにした。

線描画課題では，紙面あるいはディスプレイ画面上，上下に並んだ1対の数字が呈示され，上段の数字の右側には1本の直線が呈示される。上段の数字（例えば，“1”）と直線の関係を基準として，問題となる下段の数字（例えば，“2”）に見合う線分をフリーハンドで描画する課題である。熊谷（2007）は，通常の学級に在籍する小学1年生と2年生を対象とした基礎的研究を実施した。同じ手続きで，恵羅・中島（2020）は，通常の学級に在籍する小・中学生で算数・数学での学習困難を主訴とした児童生徒を対象として検査を実施し，本課題の臨床的有効性を検証した。また，恵羅・大西（2020）は，知的障害特別支援学校中等部・高等部の生徒を対象として本検査を実施し，知的障害児のなかに定型成人レベルの課題遂行を示したグループと正確性が著しく低減したグループがあることを認めた。

以上のように，線描画課題と数直線課題は，両者ともにシンボル数の知識に依拠するものであるが，前者については数を量に変換する操作が，後者については量を数に変換する操作が求められる点で課題遂行に関わる認知操作に違いがあるといえる。

本研究で取り上げる以上の4つの課題のうちLandmark課題を除く3課題については，試行的な先行研究（恵羅・大西，2020）において，知的障害のある子どもたちの数・量概念の評価に有効であることが示唆された。しかしながら，これまでの研究では，課題遂行に関わるプロセスに関する視点から検査に関与する方略などの認知機能について分析がなされていない。よって本研究では，知的障害のない成人を対象として，4つの課題の遂行成績と方略について基礎的な検討を行うことを目的とした。行動指標である遂行成績から使用された方略を検証するのは困難である。方略を探求するために，課題遂行時の眼球運動を測定する研究が近年報告されている（Heine, Thaler, Tamm, Hawelka, Schneider, Torbeyns, De Smedt, Verschaffel, Stern, & Jacobs, 2010; Schneider, Heine, Thaler, Torbeyns, De Smedt, Verschaffel, Jacobs, & Stern, 2008; Sullivan, Juhasz, Slattery, & Barth, 2011; van't Noordende, van Hoogmoed, Schot, & Kroesbergen, 2016）。これらの研究はいずれも数直線課題を取り上げたものであり，その他の課題を取りあげた研究は少ない現状にある。本研究では，眼球運動測定装置を用いて各課題遂行中の方略を分析するとともに，課題間の関連性について明らかにすることを目的とした。さらに本研究では，紙と鉛筆で実施可能な紙版検査とPCを使用したPC版検査の2通りの検査系列を用意した。眼球運動の測定は，頭部と刺激呈示画面の位置関係を固定化しやすい

PC版の検査で実施することにした。

## 方法

### 1. 参加者

日本語を母語とする大学生および大学院生18名（性別：男性2名／女性16名，平均年齢：26.7歳，年齢範囲：20–51歳）が参加した。参加者はいずれも本検査における課題遂行に困難をきたすような視力（矯正視力を含む）ならびに手指操作の困難はなかった。

### 2. 倫理的配慮

すべての参加者に対して，検査実施前に文書ならびに口頭で研究目的と手続き，個人特定回避の保証，結果の開示方法などについて説明し，検査の実施について署名による同意を得た。本研究は，香川大学教育学部・教育学研究科倫理委員会の承認を得て実施した（承認番号：2301）。

### 3. 装置

参加者の眼球運動は，Tobii Technology社製Tobii Pro Grass 3 Eye Tracker 50（サンプリング周波数 50 Hz，正確度 0.6°）を使用して計測した。検査制御用PCにはmouse社製G-Tune P5を使用し，刺激は，外部モニタとして24インチ液晶モニタ（iiyama社製ProLite XUB2492HSN，画面解像度1,920 × 1,080 pixels）を使用し，Microsoft 365 PowerPointのスライドショーにより呈示された。眼球運動データについては，オフラインで分析した。分析にはTobii Technology社製Tobii Pro Lab Analyzer Edition（Version 1.232）を用いた。

### 4. 課題

紙版の3課題とPC版の3課題の計6課題を用意した。課題名が同一になる場合があるので，紙版の課題名の末尾にはP，PC版の課題名の末尾にはDの記号を添えて分類することにした。紙版とPC版のそれぞれ3課題は対応関係にあり，線等分課題PとLandmark課題D，数直線課題Pと数直線課題D，線描画課題Pと線描画課題Dを対とした。

#### 線等分課題P

線等分課題Pは，紙面上で水平方向に描画された直線に対して，その中央点を目測で判断してマーカーを記入する課題である。縦配置のA4用紙3枚からなり，1枚目には本課題の説明と練習問題1問を配置し，2枚目と3枚目にはそれぞれ本試行4問を配置した。本試行における直線の長さは，1枚目が上から120 cm，80 cm，140 cm，100 cm，2枚目は上から110 cm，130 cm，90 cm，150 cmとした。いずれの線分も中央点の位置がA4用紙横幅の中央にならないように中央から左右にわずかにずらして配置した。

参加者は，「直線の半分（真ん中）の位置にマーカーをつけよう」との教示を受けた後，練習問題に取り組んだ。目測の中央点となるマーカーは鉛筆で記入し，消しゴムの使用は認めなかった。参加者が修正を希望した時には再



マーカーを認めることにした。時間制限は設けなかった。

参加者が記入したマーカーの位置について、線分の物理的等分点（中央点）を基点としてマーカー位置とのずれを定規によりmm単位で測定した。右方向へのずれをプラス、左方向へのずれをマイナスとして表すことにした。測定されたずれの長さを線分の正しい等分の長さ（すなわち直線の1/2の長さ）で除して100をかけたものを線等分偏位率として算出した（Hausmann, Ergun, Yazgan, & Güntürkün, 2002；中野・石合・小山・関・平林・稲木, 2002）。

#### Landmark課題D

Landmark課題Dは、PCで制御されたモニタ画面上に視覚的に呈示された水平方向の直線と、それと直角に交わる短い直線（マーカー）をみて、マーカーで分断された水平線の左右どちらの線分が長いかを判断する課題である。試行が始まると、まず画面中央下部に凝視点が出現し、参加者は必ず注視することが求められた。凝視点の呈示時間は2 secとし、凝視点が消失するとともに画面中央上部に直線とマーカーが同時呈示された。刺激の呈示時間は3 secとし、消失と同時に刺激全体を覆い隠す範囲で黒ぬりの長方形がマスキング刺激として呈示された。参加者は、マスキングが呈示された後にマーカーで分離された線分の左右どちらが長いかを強制選択で回答した。線分の長さは、全ての刺激で同一とし、モニタ画面上13 cmとした。マーカー位置は、全ての刺激で異なり、正しい中央点に位置のものが1 試行、中央点の位置から左右に0.5 mmずつ5 mmまでずれたものが左右それぞれ10試行、合計21試行が実施された。

参加者は、課題の説明を受けた後、練習試行を1 回行い、本試行に移行した。試行が始まったら、まず凝視点を注視し、線分刺激が呈示されてから眼を動かすように教示された。左右の判断に躊躇する様子がみられた際には、左右どちらかで回答するよう促した。試行間隔は、参加者の回答の様子から検査者が統御した。いずれの参加者においても5 secから10 sec程度の間隔であった。回答については、正誤で分類してカウントした。

#### 数直線課題P

数直線課題Pは、両端点に数字が記載された水平直線の途中にマーカー（↓）が示され、そのマーカーの位置に該当する数字を回答する課題である。本検査では、縦配置のA4用紙3枚からなり、1枚目に課題の説明と練習問題1問を配置し、2枚目と3枚目にはそれぞれ本試行5問が配置された。1枚目の練習問題と2枚目の本問題ともに10の長さを表す数直線とした（すなわち、線分の左端が“0”，右端には“10”が記された）。3枚目の本問題については、20の長さを表す数直線とした（左端が“0”，右端には“20”が記された）。以下、2枚目の本問題をL10条件、3枚目の本問題をL20条件とする。本問題の線分の長さは、両条件ともに紙面上10, 11, 12, 13, 14 cmの5本とし、線分

の中央点がA4用紙横幅の中央位置と同じにならないようにわずかに左右にずらした。各線分について途中1か所にマーカーが配置された。マーカーの位置は、L10条件では該当する数字が7, 9, 2, 4, 6の順、L20条件では該当する数字が16, 2, 8, 12, 6の順とした。参加者は、「両端が0から10の直線があります。マーカー（↓）の位置は、いくつの数字があてはまりますか？」との教示を受けたのち、練習問題に取り組んだ。回答方法は、マーカー位置への数字の記入とした。練習問題より課題遂行手続きの理解を確認し、本問題を実施した。行動指標として誤答数をカウントし、誤答率を算出した。

#### 数直線課題D

数直線課題Dは、数直線課題Pと基本的に同様の検査とした。モニタ上、両端点に数字が記載された水平直線の途中にマーカーが呈示され、そのマーカーの位置に該当する数字を口頭で回答する課題とした。試行が始まると、まずモニタ画面中央下部に凝視点が2 sec呈示され、参加者は凝視点への注視が求められた。凝視点が消失するとともに画面中央に直線とマーカーが呈示された。直線の長さは、モニタ画面上で20 cmとした。直線とマーカーは、参加者がマーカー位置の数字を回答するまで呈示された。回答と同時に刺激は消失し、数秒間の試行間隔を置いて次の試行が開始された。

数直線課題Pと同様、線分の長さが10とするL10条件と、20とするL20条件を設定した。L10件は、マーカー位置が1から9までの9試行とした。L20条件は、マーカー位置が2, 3, 6, 7, 8, 11, 12, 15, 16, 17の10試行とした。L10条件を先に実施し、次いでL20条件を実施した。各条件内でのマーカー位置の順序は、参加者間でランダムとした。行動指標として誤答数をカウントし、誤答率を算出した。

#### 線描画課題P

線描画課題Pは、紙面に記載された基準となる数とそれを量的に表す水平直線を参照して、問題となる数に見合う長さの線分を引く課題である。熊谷(2007)が実施した「線課題」を踏襲した。

A4用紙縦置き3枚のうち、1枚目に課題の説明と練習問題2問を配置し、2枚目と3枚目にそれぞれ本試行5問を配置した。課題は、上下に配列して記された2つの数字のうち上段の数字の右横にある長さの線分が水平方向に引かれており、参加者はそれを基準として下段の数字に見合う長さの線分を数字の右横に水平方向に引くこととした。下段の数字の右横には黒点（ドット）が記されており、これを始点として鉛筆で右方向に線を引くよう教示した。課題の説明では、1の長さの線を示して、2の長さの線を例示した。参加者は、説明を受けた後、1の線を参照しながら2の線を引く試行と、2の線を参照しながら1の線を引く試行の2つの練習問題を行った。課題の理解を確認した

後，本試行を実行した。本試行で使用した数字対は，A4用紙の上から順に，1枚目は1と3，5と4，4と6，5と6，7と4とし，2枚目は10と14，15と8，18と25，20と10，70と90とした。

参加者が引いた線分の長さは，検査者が定規を用いてmm単位で計測した。指標としては，先行研究（熊谷，2007）と同様，正解となるべき線の長さに対する描画された線の長さの割合を算出した「正解からのずれ率」（以下，ずれ率）と，正解の長さとして参加者が引いた線の長さとの差の絶対値を正解の長さで除した絶対誤差率とした（恵羅・中島，2020）。参加者が正解の長さで線分を引いた場合，絶対誤差率は0となる。絶対誤差率が0に近づけば近づくほど，正解に近い線分を引いたことを意味する。

#### 線描画課題D

線描画課題Dは，線描画課題Pと基本的に同じ課題である。モニタ上に2つの数字と1本の直線が呈示され，上段の基準となる数とそれを量的に表す水平直線を参照して，下段に記載された数に見合う長さの線をマウス操作により描画する課題である。

まず，モニタ上，上段に数字の1とその右側水平方向に直線，下段に数字の2と上段の直線の2倍の長さの直線を呈示した状態で，課題の説明がなされた。ついで，練習試行として，上段に数字2と直線，下段に数字4と始点となる黒点（ドット）が提示され，参加者はマウスを使用して，ドットから数字4に見合う線分を水平方向に描画した。練習試行では，マウス操作を確認することを重視し，操作うまく線が引けなかった参加者については複数回引き直しを行い，マウスの動きを確認した。練習試行終了後，本試行を開始した。本試行は12試行であり，刺激呈示後，参加者が描画を完了したことを口頭で報告することで次の試行に移行する手続きとした。本試行で使用した数字対は，1と4，4と7，5と8，4と1，7と4，8と5，8と13，9と14，13と18，13と8，14と9，18と13とした。試行の実施順は，参加者間でランダムとした。参加者がマウスで引いた線分は，デジタルで保存し，アプリ上で線の長さを0.1 mm単位で計測した。行動指標としては，線描画課題Pと同じく，ずれ率と絶対誤差率を算出した。

#### 5. 手続き

検査は，大学構内の静かな心理検査室にて個別に実施された。参加者は，研究に関する説明を受けた後，まず紙版による3つの課題を遂行した。ついで眼球運動を測定する

装置を着用してPC版の3つの課題が行われた。前者については，線等分課題P，数直線課題P，線描画課題Pの固定順で実施した。後者については，検査室の壁面にそって設置された机に向かい椅子に座った。検査者は，参加者の視野に入らないよう後方に位置し，課題の教示と機器の制御を行った。机の参加者側には顎のせ台が設置され，参加者の正面にあたる壁側に刺激呈示用モニタが設置された。顎のせ台で頭部を緩やかに固定した状態で，眼とモニタの距離は約60 cmとした。顎のせ台は，参加者が大きな頭部運動をしないようにするためのものであった。参加者に対しては，顎のせ台は頭部のおおよその位置を確定するものであり，頭部を大きく前後左右に動かさなければ課題遂行上問題はないと教示した。最初に眼球運動測定装置のキャリブレーションを行い，Landmark課題D，数直線課題D，線描画課題Dの固定順で実施した。すべての課題の遂行に要した時間は，30分間から40分間程度であった。

## 結果

眼球運動については，キャリブレーション終了後から全てのPC版課題が終了するまでの測定期間における眼球運動のサンプリング成功率（gaze samples）は，参加者平均93.5%（標準偏差：3.1）であった。Tobii Lab User Manual（v 1.171.1，2021）によれば，瞬目によるデータ消失が5-10%あると記載されていることから，全体的に高いサンプリング成功率が得られたといえる。

以下，紙版とPC版で対となる課題ごとに結果を示す。

### 1. 線等分課題PとLandmark課題

#### 1.1. 線等分課題P

長さの異なる各線分刺激における線等分偏位率の平均と標準偏差を表1に示す。線等分偏位率について繰り返しのある一元配置分散分析を実施したところ，その差は有意であった（ $F(7, 119) = 4.84, partial \eta^2 = .221, p < .001$ ）。Bonferroni法による多重比較を行った結果，“90，110 vs 120”，“90，110，150 vs 140”の比較が有意であった（ $p < .05$ ）。

それぞれの参加者に対して本課題8試行の線等分偏位率の平均値を算出した。平均の範囲は，最小値が-4.7，最大値が3.9であり，平均値は-0.14（標準偏差：2.57）であった。1標本のt検定を行った結果，有意差はなかった（ $t(17) = -.231, n.s.$ ）。

表1 線等分課題Pにおける線分刺激ごとの線等分偏位率（%）の平均と標準偏差

	線分の長さ（mm）								全体
	80	90	100	110	120	130	140	150	
平均	0.42	1.48	-0.56	1.42	-1.76	-0.68	-2.62	1.18	-0.15
標準偏差	5.64	3.14	3.75	3.56	2.94	4.16	2.78	3.39	2.57

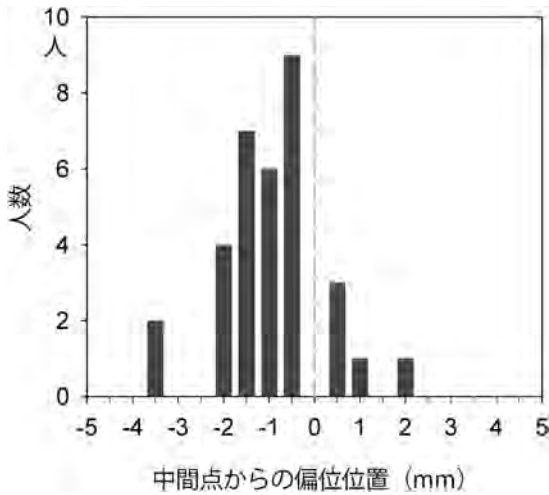


図1 Landmark課題Dにおけるマーカー位置ごとの誤答人数

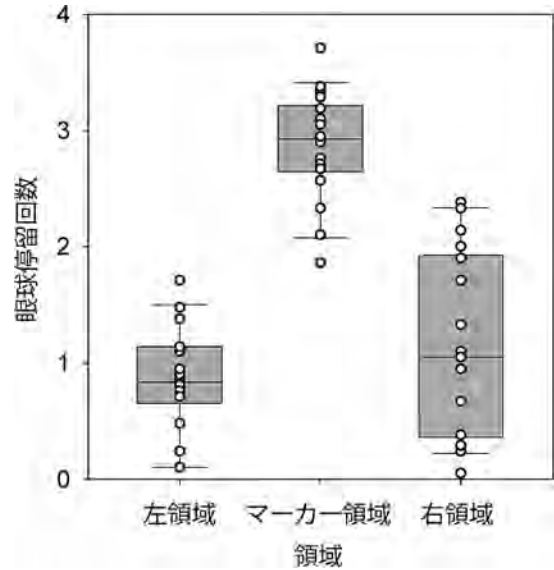


図2 Landmark課題Dにおける領域別の眼球停留回数 (マークは参加者それぞれの眼球停留回数を示す)

## 1.2. Landmark課題D

### 1.2.1. 行動指標

中央点から偏位したマーカー位置ごとの誤答人数を図1に示す。図1では、より中央点に近いマーカーほど誤答人数が多いこと、またマーカーが中央点より右側（プラス方向）にある条件に比べて、左側（マイナス方向）にある条件で誤答人数が多いという偏りがあることが認められた。中央点を基準にして左右空間での誤答人数を合計した数値について二項検定を実施した結果、この差は有意であった ( $p < .01$ )。別の視点から分析すると、マーカーが中央点より左側（マイナス方向）に位置した条件での誤答数は参加者平均1.6回、右側（プラス方向）に位置した条件での誤答数は平均0.3回であった。Wilcoxonの符号付順位検定を行い、誤答数の左右差は有意であった ( $T = 11.5, p = .010$ )。

中央点にマーカーが位置した条件すなわち分離された左右の線分の長さが等しい条件では、課題が左右の強制選択であったことから、統計的にはチャンスレベルの反応が期待されるが、結果は「左」と回答した者が18名中16名と偏りが認められた。つまり、中央位置のマーカーについては、左右の線分の長さが等しいにもかかわらず、「左側が長い」と判断した参加者が全体の88.9%と多数を占める結果であった。

### 1.2.2. 眼球運動

線分刺激の呈示に対応して生じた凝視点からのサッカードは、線分上のマーカー位置に向かうものであった。マーカー位置を第1停留点とした試行回数は、参加者全体で平均19.7回（範囲：最小 16 - 最大 21）であった。マーカー位置より左側への停留は平均0.7回、右側への停留は平均0.6回であり、左右差はなかった。

各試行における眼球停留回数をマーカー領域、マーカーより左側領域（以下、左領域）、マーカーより右側領域（以

下、右領域）の3つの領域に分けてカウントした。結果を図2に示す。参加者の多くがマーカー領域において複数回の眼球停留を行っていた。領域ごとの眼球停留数についてFriedman検定を行ったところ、領域による差は有意であった ( $p < .001$ )。Bonferroni補正による多重比較の結果、マーカー領域と左領域 ( $p < .001$ )、マーカー領域と右領域 ( $p = .005$ ) の差が有意であった。

### 1.2.3. 誤答数と眼球運動の関連

行動指標である誤答数と眼球運動におけるマーカー領域と左・右領域の眼球停留回数について、それぞれPearsonの積率相関係数を求めたところ、どの領域においても誤答数と眼球停留回数に有意な相関はみられなかった（マーカー領域： $r = -.097$ 、左領域： $r = .419$ 、右領域： $r = .145$ ）。

## 2. 数直線課題Pと数直線課題D

### 2.1. 数直線課題P

数直線課題Pの各条件・試行における誤答数（人数）と誤答として回答された数詞を表2に、誤答率による参加者の人数分布を図3に示す。参加者の平均誤答数は2.4回（標準偏差：1.76）であった。L10条件では全問正答した者が11名で参加者の過半数を超えたが、L20条件では全問正答した参加者は2名に留まった。なおこの2名は、L10条件でも全問正答していた。L20条件で誤答として回答された数詞をみると、正答の数よりも小さい数を回答するよりも、大きい数を回答する誤答が多く認められた。誤答数についてWilcoxonの符号付き順位検定を行ったところ、条件間の差が有意であった ( $T = 0.00, p < .001$ )。

### 2.2. 数直線課題D

#### 2.2.1. 行動指標

数直線課題Dにおける誤答数と誤答として報告された数詞を表3に、誤答率による参加者の人数分布を図3に示



表2 線直線課題Pにおける試行ごとの誤答数（人数）ならびに誤答として報告された数詞

正答の数	L10条件					L20条件				
	7	9	2	4	6	16	2	8	12	6
誤答数	6	1	0	1	1	7	6	5	7	10
誤答の数字 (人数)	8 (6)	8 (1)		3 (1)	7 (1)	15 (1)	1 (1)	7 (2)	11 (3)	5 (2)
						17 (2)	3 (3)	9 (3)	14 (2)	7 (6)
						18 (4)	4 (2)		15 (1)	8 (2)
									16 (1)	

表3 数直線課題Dにおける試行ごとの誤答数（人数）ならびに誤答として報告された数詞

正答の数	L10条件									L20条件									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2	3	6	7	8	11	12	15	16	17
誤答数	3	7	8	0	0	4	3	2	0	7	8	11	13	11	6	7	8	9	11
誤答の数字 (人数)	2 (3)	3 (7)	4 (8)			7 (4)	8 (3)	7 (1)		3 (5)	4 (6)	5 (1)	8 (13)	6 (1)	10 (2)	11 (3)	14 (3)	15 (2)	15 (1)
							9 (1)			4 (2)	5 (2)	7 (7)		9 (10)	12 (4)	13 (3)	16 (2)	17 (6)	16 (4)
												8 (2)				14 (1)	17 (3)	18 (1)	18 (5)
												9 (1)							19 (1)

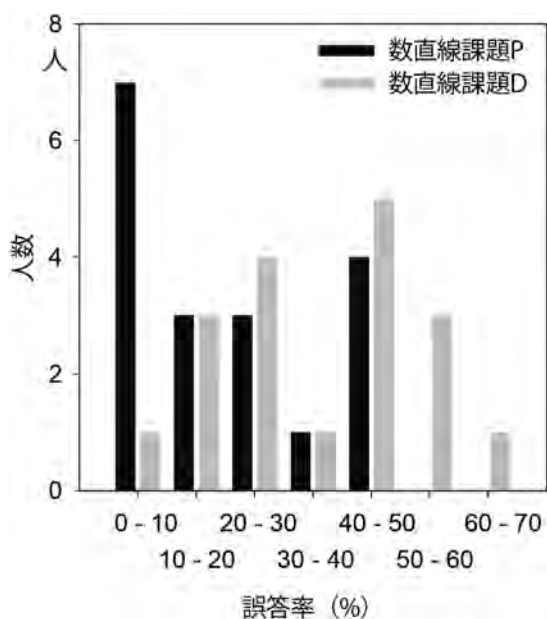


図3 数直線課題Pと数直線課題Dにおける誤答率による参加者の分布

す。参加者の平均誤答数は6.6回（標準偏差：3.31）であった。L10条件における全問正答者は5名であったが、L20条件では全問正答者はいなかった。誤答の数詞をみると、両条件ともに正答の数よりも大きな数を回答することが多く認められた。誤答数についてWilcoxonの符号付き順位検定を行ったところ、条件間の差は有意であった ( $T=0.00$ ,  $p<.001$ )。

### 2.2.2. 眼球運動

線分刺激の呈示に反応して生じた凝視点からのサッカードは、ほぼ線分上のマーカー位置に向かうものであった。L10条件，L20条件のいずれにおいても、全参加者の全試行においてマーカーへの眼球停留が認められた。

眼球停留位置を線分の左端，中央，右端の3領域に区切り，線分刺激呈示中における眼球停留の有無を計測した（領域内において複数回の眼球停留が確認されても1とカウントした）。結果を図4に示す。L10条件，L20条件ともに、左・右端に比して中央への眼球停留が最も多く出現した。条件（L10条件，L20条件）×領域（左端，中央，右端）の繰り返しのある2要因分散分析を行った結果，2つの主効果および両者の交互作用が有意であった（条件： $F(1, 17) = 6.916$ ,  $partial \eta^2 = 0.289$ ,  $p = .018$ ；領域： $F(2, 17) = 21.090$ ,  $partial \eta^2 = 0.554$ ,  $p < .001$ ；条件×領域： $F(2, 34) = 10.732$ ,  $partial \eta^2 = 0.387$ ,  $p < .001$ ）。交互作用が有意であったのでBonferroni法による多重比較を行った結果，中央においてL10条件に比べてL20条件における眼球停留数の増加が有意であった ( $p < .001$ )。L10条件の眼球停留数は左端<右端≒中央，L20条件では左端<右端<中央であった（いずれも $p < .001$ ）。多くの参加者の眼球運動パターンは，中央とマーカー位置を見比べるものであったが，中央よりも右端とマーカー位置を見比べるパターンを示した参加者が3名ほど認められた。3名とも誤答数は8回であり，成績との関連を示すものではなかった。

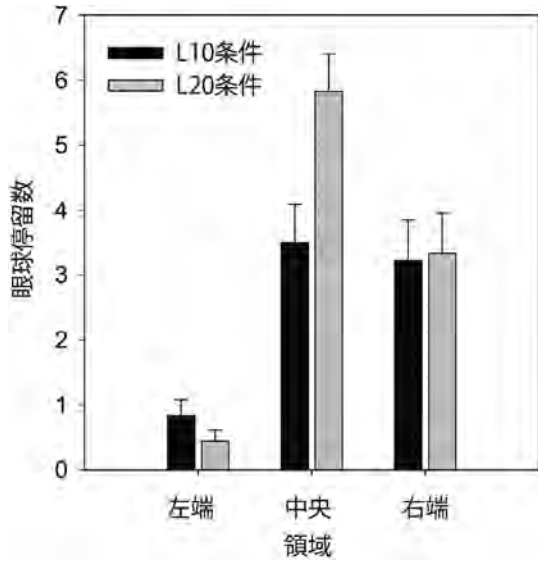


図4 数直線課題DのL10条件とL20条件における領域別眼球停留数

2.2.3. 誤答数と眼球運動の関連

行動指標である誤答数と眼球運動における領域別眼球停留数について、それぞれPearsonの積率相関係数を求めたところ、L20条件の誤答数と中央領域での眼球停留数の相関が有意であった ( $r = -.470, p < .05$ )。それ以外に有意な相関はなかった。

3. 線描画課題P／線描画課題D

3.1. 線描画課題P

先行研究（惠羅・中島, 2020；熊谷, 2007）と対比するため、問題別のずれ率と絶対誤差率を表4Aに示す。ずれ率の範囲は、0.95-1.10であった。参加者ごとの平均絶対誤差率の分布を図5Aに示す。絶対誤差率の全参加者平均は0.071（標準偏差：0.031）であった。

3.2. 線描画課題D

3.2.1. 行動指標

線描画課題Pと同様、問題別のずれ率と絶対誤差率を表4Bに示す。ずれ率の範囲は、0.96-1.05であった。参加

表4 線描画課題Pと線描画課題Dの各問題における正解からのずれ率と絶対誤差率

A. 線描画課題P

問題	基準数	要求数	倍率	種類	正解からのずれ率		絶対誤差率	
					平均	標準偏差	平均	標準偏差
P1	1	3	3.00	拡大	1.03	0.08	0.06	0.06
P2	5	4	0.80	縮小	0.96	0.05	0.04	0.04
P3	4	6	1.50	拡大	0.95	0.06	0.06	0.04
P4	5	6	1.20	拡大	1.04	0.05	0.05	0.04
P5	7	4	0.57	縮小	1.03	0.13	0.11	0.07
P6	10	14	1.40	拡大	1.00	0.08	0.06	0.04
P7	15	8	0.53	縮小	1.04	0.10	0.08	0.06
P8	18	25	1.39	拡大	1.10	0.10	0.11	0.09
P9	20	10	0.50	縮小	1.01	0.05	0.04	0.03
P10	70	90	1.29	拡大	1.09	0.09	0.10	0.08

B. 線描画課題D

問題	基準数	要求数	倍率	種類	正解からのずれ率		絶対誤差率	
					平均	標準偏差	平均	標準偏差
D1	1	4	4.00	拡大	0.96	0.10	0.09	0.05
D2	4	7	2.33	拡大	1.02	0.10	0.08	0.07
D3	5	8	1.60	拡大	1.02	0.06	0.06	0.03
D4	4	1	0.24	縮小	1.00	0.14	0.11	0.09
D5	7	4	0.57	縮小	1.00	0.10	0.07	0.06
D6	8	5	0.63	縮小	1.00	0.09	0.07	0.06
D7	8	13	1.63	拡大	1.02	0.13	0.10	0.08
D8	9	14	1.56	拡大	1.03	0.11	0.09	0.07
D9	13	18	1.38	拡大	1.05	0.08	0.07	0.06
D10	13	8	0.62	縮小	1.05	0.13	0.10	0.09
D11	14	9	0.64	縮小	1.03	0.07	0.06	0.05
D12	18	13	0.72	縮小	0.97	0.08	0.06	0.05



数量概念の獲得状況を評価するアセスメントの開発：線等分課題，Landmark課題，数直線課題，線描画課題に着目して

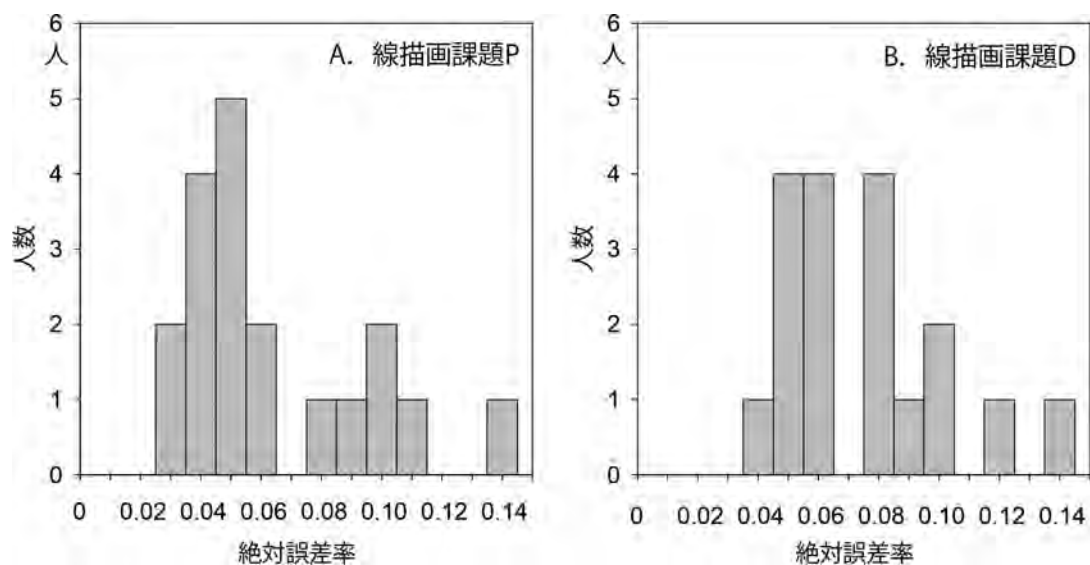


図5 A.線描画課題PとB.線描画課題Dにおける絶対誤差率の人数分布

表5 事前期，実行期，事後期における眼球停留位置による条件別出現回数（人）

A. 事前期

	拡大条件							縮小条件						
	D1	D2	D3	D7	D8	D9	平均	D4	D5	D6	D10	D11	D12	平均
BR	6	4	5	3	5	6	4.8	1	1	0	1	1	1	0.8
BT	0	0	0	1	1	0	0.3	13	14	9	9	3	3	8.5
TR	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0.0
TBR	0	0	0	0	1	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0.0

B. 実行期

	拡大条件							縮小条件						
	D1	D2	D3	D7	D8	D9	平均	D4	D5	D6	D10	D11	D12	平均
BR	9	12	12	11	11	13	11.3	0	0	0	0	0	0	0.0
BT	1	3	0	1	1	0	1.0	13	11	12	10	11	12	11.5
TR	6	10	7	9	8	7	7.8	4	5	5	5	7	6	5.3
TBR	0	1	3	1	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0.0

C. 事後期

	拡大条件							縮小条件						
	D1	D2	D3	D7	D8	D9	平均	D4	D5	D6	D10	D11	D12	平均
BR	9	12	11	11	7	6	9.3	0	0	1	2	1	1	0.8
BT	0	0	0	0	1	0	0.2	0	6	6	2	5	4	3.8
TR	7	8	8	10	8	6	7.8	6	5	6	7	5	6	5.8
TBR	1	0	2	1	4	2	1.7	0	0	0	0	0	0	0.0

BR：上段基準線の右端，BT：上段基準線の途中あるいは延長線上，TR：下段描画線の右端

TBR：下段描画線上における基準線の右端に相当する位置

表6 各参加者の事前期, 実行期, 事後期における領域別眼球停留数

参加者	事前期		実行期				事後期			
	BR	BT	BR	BT	TR	TBR	BR	BT	TR	TBR
sub01	0	1	0	0	12	0	1	0	4	1
sub02	2	4	3	4	0	0	6	1	8	1
sub03	4	4	1	2	1	0	3	0	4	0
sub04	2	5	5	8	0	1	2	1	1	0
sub05	4	3	5	7	0	0	9	2	6	0
sub06	4	4	6	4	2	0	6	2	10	0
sub07	2	1	0	0	0	0	3	1	3	1
sub08	1	3	4	7	4	0	4	2	3	0
sub09	0	1	5	4	3	0	2	1	3	0
sub10	0	1	4	4	2	0	6	4	6	2
sub11	1	0	5	5	6	0	5	3	8	1
sub12	1	3	6	7	0	0	0	0	0	0
sub13	2	4	6	6	8	0	4	2	6	0
sub14	4	6	5	6	7	0	4	4	10	0
sub15	0	3	1	1	11	1	0	0	2	1
sub16	0	2	0	0	12	3	0	0	0	2
sub17	0	2	6	4	6	0	1	0	3	1
sub18	7	6	6	6	5	0	5	1	5	0

表7 それぞれの課題間における相関関係

	線等分課題P	数直線課題P	線描画課題P	Landmark課題D	数直線課題D	線描画課題D
線等分課題P	-					
数直線課題P	-0.258	-				
線描画課題P	-0.184	0.323	-			
Landmark課題D	-0.192	-0.065	-0.014	-		
数直線課題D	-0.368	<b>0.511</b>	0.209	-0.004	-	
線描画課題D	-0.077	0.106	<b>0.478</b>	-0.066	-0.053	-

5%水準で有意(両側)であったものを太字の数値で表す。

者ごとの平均絶対誤差率の分布を図5Bに示す。絶対誤差率の全参加者平均は、0.080(標準偏差:0.028)であった。

### 3.2.2. 眼球運動

モニタ上に刺激が呈示されてからマウス操作による描画が始まるまでの時間帯を事前期, 描画中の時間帯を実行期, 描画を終えてから参加者が完了の合図を発するまでの時間帯を事後期とする3つの時間帯を設定し, それぞれの時間帯における眼球停留位置を分析した。関心領域として, モニタ画面上の上段にあたる基準線の右端(以下, BRとする), 基準線の途中あるいは延長線上で描画到達位置に相当する領域(以下, BTとする), 下段描画線の右端(以下, TRとする), 下段描画線上における基準線の右端に相当する位置(TBRとする)を設け, 眼球停留回数と領域間のサッカードについて評価した。眼球停留回数は, 同

一参加者で同じ領域内で複数回の眼球停留が生じた際にも1回にカウントした。よって, 眼球停留回数は人数を表している。

事前期では, 刺激呈示直後に, まずは凝視点より数字に向かうサッカードが生じた。その後の描画を開始するまでの時間に生じた眼球運動を表5Aに示す。事前期の眼球運動のほとんどは, 基準線上で認められた。拡大条件では, BRが多く, BTはわずかしかなかった。一方, 縮小条件では, BRは少なく, BTが多くみられた。4領域以外の領域への眼球運動としては, 数は少ないが基準線の中央点周辺への眼球停留を示した参加者が認められた。参加者全体で出現したのは12回であり, いずれも縮小条件であった。

実行期における領域ごとの眼球停留数を表5Bに示す。

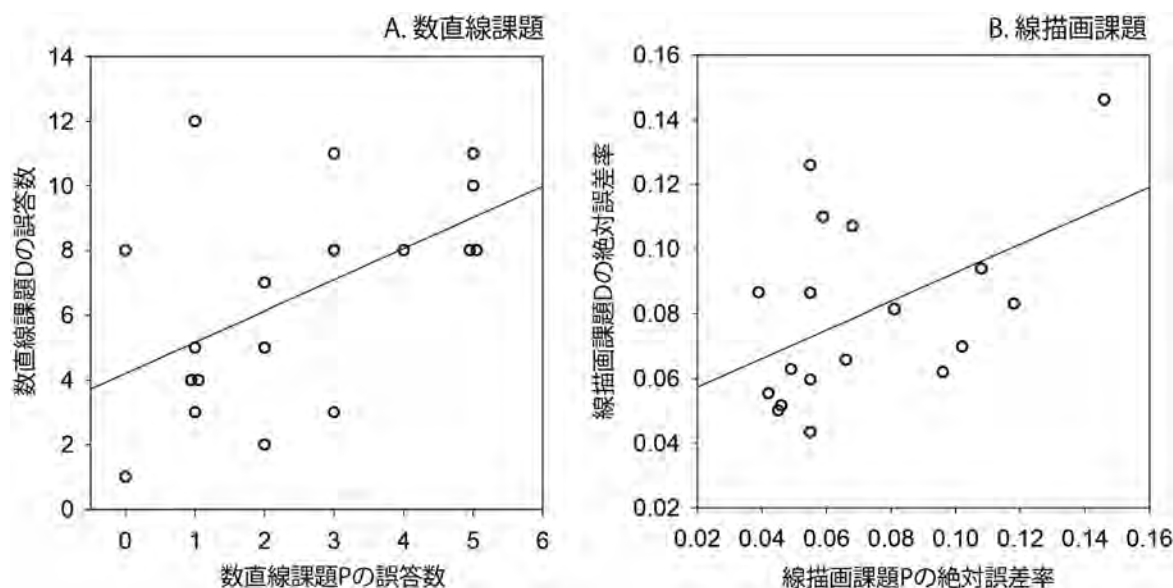


図6 数直線課題と線描画課題における紙版検査とPC版検査の相関：

A) 数直線課題Pと数直線課題Dの誤答数の相関， B) 線描画課題Pと線描画課題Dの相関

拡大条件ではBRとTRへの眼球停留数が多く，縮小条件ではBT，TRの順で眼球停留数が多いという特徴が認められた。4領域以外では，基準線の中央点周辺への眼球停留が縮小条件において8回みられた。

事後期については，正確な時間測定はできていないが，数秒間の短いものが多かった。事後期における領域ごとの眼球停留数を表5Cに示す。実行期と同様，拡大条件ではBRとTRへの眼球停留数が縮小条件ではTRとBTへの眼球停留が比較的多く認められた。4領域以外では，基準線の中央点周辺への眼球停留は，縮小条件のD4のみで7回みられた。

### 3.2.3. 行動指標と眼球運動の関連

参加者ごとの眼球停留数について区間別に集計したものを表6に示す。表を見る限りでは，個人差が大きく，全体としての傾向性は認め難かった。区間別，領域別の眼球停留数と行動指標である絶対誤差率についてSpearmanの順位相関係数を求めたところ，全ての組み合わせで相関は有意ではなかった（いずれも $|r| < 0.4$ ）。

## 4. 相関分析

線等分課題Pにおける線等分偏位率，数直線課題Pにおける誤答率，線描画課題Pにおける絶対誤差率，Landmark課題Dにおける誤答数，数直線課題Dにおける誤答率，線描画課題Dにおける絶対誤差率を対象としてPearsonの積率相関係数を求めた。結果を表7に示す。数直線課題Pと数直線課題D，線描画課題Pと線描画課題Dの相関がそれぞれ有意であった（ $p < .05$ ）。有意な相関が認められた数直線課題Pと数直線課題Dの誤答数の関連を図6Aに，数描画課題Pと数描画課題Dの絶対誤差率の関連を図6Bに示す。なお，線等分課題PとLandmark課題の相関は低く，有意には至ら

なかった。紙版の3課題間，PC版の3課題間については，それぞれ相関は低く，有意ではなかった。

## 考察

本研究では，成人を対象として，線等分課題，Landmark課題，数直線課題，線描画課題を実施し，それぞれの課題における成績と方略について検討した。紙版検査とPC版検査の2タイプの検査バッテリーを組み，PC版では眼球運動を測定して課題遂行に関連する方略について分析した。紙版とPC版は，線等分課題PとLandmark課題D，数直線課題Pと数直線課題D，線描画課題Pと線描画課題Dを対としたことから，まず対ごとに考察し，最後に全体的な考察を行うことにする。

### 1. 線等分課題PとLandmark課題D

#### 1.1. 行動指標

行動指標について，線等分課題Pの成績では，参加者全体として空間的な偏りはみられなかった。一方，Landmark課題Dでは，実際のマーカーが中央点あるいは中央点より左側に配置されているにもかかわらず，左側が長いと判断する誤答が目立って出現した。2つの課題を比較した先行研究のなかでは，2つの課題成績に有意な強い相関を認めた研究もあれば（Varnava, Dervinis, & Chambers, 2013），有意であっても低い相関あるいは有意ではない相関を報告した研究もあり（成人を対象とした研究：Learmonth, Gallagher, Gibson, Thut, & Harvey, 2015; Strappini, Ben-Nun, & Pecchinenda, 2023；子どもを対象とした研究：Dellatolas, Coutin, & De Agostini, 1996），現在のところ確定的な知見には至っていない。線等分課題PとLandmark課題Pは，類



似した課題ではあるものの、手指による運動反応の有無、区切り線（マーカー）の生成と受容などの違いがあり、施行方法により差異となる要因の影響が強くなることで異なる傾向が出現した可能性が考えられる。なお、両課題間の相関の低さは、紙版かPC版かの違いにより生じている可能性も考えられる。Rolfе, Hamm, and Waldie (2008) は、ADHD児を対象として、同じ線等分課題を紙版とPC版で実施し、紙版とPC版で異なる反応傾向があることを報告している。よって、線等分課題PとLandmark課題Dの差異なのか、それとも紙版とPC版の差異なのか、現時点では確定することは困難である。

先行研究では、強固なエビデンスとはいえないが、両課題ともに左側空間をわずかではあるが大きくとらえる傾向（言い換えれば「右側空間への軽微な無視」であり、pseudoneglectと呼ばれている）を示すことが報告されている（Jewell & McCourt, 2000; Strappini et al., 2023）。本研究では、Landmark課題Dでこの傾向が出現しやすいことが明らかになった。ただし、Mitchell et al. (2022) は、online版でLandmark課題を実施して参加者の反応に空間的な偏りを認めておらず、本研究の結果とは一致していない。

知的障害のある子どもを対象とした先行研究（惠羅・大西, 2020）では、線等分課題において、線等分偏位率の全参加者平均が $-0.35\%$ であり（ $n=35$ ）、本研究の線等分課題Pの結果（表1）とほぼ同等の結果であった。しかしながら、知的障害では個人差が大きく、本研究での成人の範囲から大きく逸脱する線等分偏位率を示す知的障害生徒が複数認められた。このことから、知的障害のある子どものなかには、知的障害のない成人レベルで課題遂行が可能な者から成人レベルから大きく逸脱した者まで、幅広い個人差があることが明らかとなった。このことから、線等分課題は、領域一般的な知能には依拠しない領域特異的な量判断能力を反映する検査として有効であることが示唆された。

## 1.2. Landmark課題Dにおける眼球運動

呈示された線分上での眼球停留数をカウントした結果、図2に示した通り、マーカー領域の眼球停留数が線分の左右端点にあたる左・右領域に比べて有意に多かった。参加者によっては、マーカー領域にしか眼球停留を示さない者が認められた。以上より、Landmark課題Dでの一般的な遂行方略は、マーカー領域に視線を留めた状態で左右の線分の長さを比較することであると推察される。ただし、本研究で使用した線分刺激は、視角でいえば $12^\circ$ から $13^\circ$ 程度の大きさであったことから、それ以上の大きさの線分を対象とした場合には異なる眼球運動の特徴（異なる方略）が出現する可能性がある。Thomas, Loetscher and Nicholls (2012) は、線分が長い条件で左空間へのバイアスが強くなることを指摘している。よって、少なくとも視角 $12^\circ$ 程度の線分を用いたLandmark課題では、マーカー領域に視線を留めて周辺視でマーカー位置から線端までの長さを比

較する方略が一般的に用いられる、といったほうが正確であろう。また、誤答数と領域ごとの眼球停留回数の相関が有意ではなかったことから、線分端点を中心窩で捕捉することが、遂行成績に影響を及ぼす方略的な行動にはなっていないことが示唆された。ただし、誤答数と左領域の眼球停留数の相関は $r=.419$ と比較的高く、有意水準は $.082$ であった。サンプル数を増やした場合には有意な相関が得られる可能性があることから、この点については更なる検討が必要である。

## 2. 数直線課題Pと数直線課題D

### 2.1. 行動指標

行動指標については、数直線課題P、DともにL10条件に比べてL20条件において誤答が増加した。多くの先行研究において、0-10の直線よりも0-100さらには0-1000など線分の長さが表わす数が増大するにつれて課題難度は高くなることが認められている（e.g., Ashcraft & Moore, 2012; Booth & Siegler, 2006; Reeve, Paul, & Butterworth, 2015; Siegler & Opfer, 2003; Slusser, Santiago, & Barth, 2013）。本研究では、知的障害を対象とした検査を開発することを念頭においているので、0-100や0-1000など桁数の大きな数を回避し、0-10と0-20の2条件を設定した。知的障害のない成人を対象として、L10条件とL20条件の誤答数にこれほど顕著な差が生じることは、事前に予想していなかった結果であった。おそらく、10を基準にして何かを分割することは日常経験のなかで比較的頻繁に生じる認知活動であるが、日常のなかで20を基準して何かを分割することが要求される活動はほとんどないであろう。20を基準とすることは10を基準とすることに比べて頻度が低いことが影響していると推察される。検査開発として重要な点は、知的障害あるいは算数学習困難を対象とした場合、L20条件を設ける意義はあるか、あるとすればどのような意義があるか、ということである。われわれが実施した先行研究（惠羅・大西, 2020）では、L10条件のみの検査を実施した。L20条件を設定することで、L10条件の正答率/誤答率と比較して、新たな解釈が可能となることが期待できる。たとえば、L10条件の誤答率がL20条件の誤答率と同等である場合には、10を基準とした分割という認知スキルが獲得されていないことが推定できるのではないだろうか。逆に、本研究の参加者と同様にL20条件に比べてL10条件の誤答率が低い場合は、10を基準とした分割方略を獲得していると評価できるのではないか。この点については、今後さらに検討してみる価値がある課題であると考えられる。

数直線課題における反応の特徴として、誤答数や誤答率、反応時間が使用された数系列によりM字型を示すことが先行研究で報告されている（Ashcraft & Moore, 2012; MacKay, Germeyns, Van Dooren, Verswaffel, & Kuwel, 2020; Reinert, Huber, Nuerk, & Moeller, 2015）。表3をみると、L10条件では中央にあたる4と5には誤答がなく、両端の

1や8、9の誤答も少ない、やや不格好ながらもM字型に近い誤答数を示しているといえる。一方、L20条件では、中央に近い8あるいは11の誤答数も多く、誤答率はM字型にみえそうにない。このことから、L10条件での課題遂行では中央点を意識した方略がとられているが、L20条件ではそのような方略が活用されていない（あるいは機能していない）と推察される。このことについては、本研究においては問題として設定していないL20条件の中央点にあたる10を問題に加えることにより明確な傾向が確認できるかもしれない。

2つの課題の誤答率による人数分布（図3）をみると、数直線課題Pに比べて数直線課題Dで誤答率が高い傾向がみられる。数直線課題Pでは、全体での誤答率が10%を切る参加者が多く存在するが、一方で誤答率40-50%といった半分近く誤答している参加者も比較的多く存在していた。このことから、数直線課題Pについては比較的正確に遂行できる者と困難な者に分かれる可能性が考えられる。一方、数直線課題Dでは、そのような傾向はみられず、全体として誤答率が増加方向にシフトしていた。数直線課題Pと数直線課題Dは、相関分析で有意な相関関係があったことから共通性の高い課題であるといえるが、この相違点についてはさらに分析する必要がある。

## 2.2. 数直線課題Dにおける眼球運動

数直線課題Dにおける課題遂行中の眼球運動は、マーカー位置と中央領域すなわち線分の中央点を見比べる動きが特徴的であった。課題が難しくなるL20条件では、その傾向がより顕著に認められた。L10条件に比べて、L20条件で有意に眼球停留数が増加したのは中央領域のみであった（図4）。以上より、数直線課題において、マーカー位置と線分中央点との比較が一般的な課題遂行方略であり、個の方略は難度の高い条件でより強く出現することが示唆された。このような方略については、先行研究においてbenchmark方略あるいは比率推理（proportional reasoning）方略として既に指摘されている（Barth & Paladino, 2011; Cohen & Blanc-Goldhammer, 2011; Cohen & Sarnecka, 2014; Peeters, Verschaffel, & Luwel, 2017; Slusser et al., 2013; Sullivan et al., 2011）。本研究では眼球運動を測定することで、これを支持する結果が得ることができた。この他の特徴として、左端に比べて右端で眼球停留数が多いことがあげられる。筆者の知る限り、この傾向を指摘した先行研究はなく、考察の材料に乏しい状況である。おそらく、左端の“0”は確認する必要はないが、右端の“10”あるいは“20”は確認する必要があったからではないかと考えられる。なお、難易度による差はないので、方略的な行動ではないことが推察される。

L20条件の誤答数と中央領域での眼球停留数の間には有意な負の相関関係があった。難度の高いL20条件で有意な相関が認められたことから、線分の中央点とマーカー位置

を比較することが有効な方略であることを示唆している。すなわち、評価することが難しい条件の場合、中央点をbenchmarkとして頻繁に参照する者ほど誤答を少なく抑えることができているといえる。

## 3. 線描画課題P／線描画課題D

### 3.1. 行動指標

ずれ率については、線描画課題Pと線描画課題Dともに、同程度の範囲であった。もう一つの行動指標である絶対誤差率についても、線描画課題Pと線描画課題Dとも同程度であった。尾崎（2012）が実施した大学生を対象とした研究（恵羅・中島, 2020）では、ずれ率の範囲は0.92-1.05、絶対誤差率の平均（標準偏差）は0.062（0.019）であり、本研究の結果もほぼ同じ水準であった。このことから、線描画課題は、成人を対象とした場合、紙版・PC版に関わらず比較的安定した結果が得られる検査であるといえる。

図5の絶対誤差率により人数のヒストグラムをみると、線描画課題Pでは0.05あたりにピークが、線描画課題Dでは0.06あたりにピークがあり、両課題ともに右側にすそ野が広がる分布になっている。このことから、線描画課題は、紙版・PC版に関わらず、絶対誤差率が高い（すなわち、遂行成績が低い）参加者を検出する検査として活用できるのではないかと考える。この活用可能性を明確にするには、本研究ではサンプル数が少ないので、サンプル数を増やした研究を行う必要がある。

### 3.2. 線描画課題における眼球運動

刺激呈示から描画開始までの時間帯である事前期では、刺激左端に呈示された数字を確認するため、まず凝視点から数字へのサッカードが生じた。全体としては、数字を確認した後すぐに描画に移行するケースが多かった。すぐに描画を始めなかった試行を分析すると、拡大条件と縮小条件で眼球運動のパターンが異なっていた（表5A）。拡大条件では、基準線右端に眼球停留して描画線末端位置を推測する方略がとられていたと推察される。一方、縮小条件では、基準線上の描画線末端相当位置を推測する方略がとられていたと考えられる。また、頻度は少ないが、基準線の中央点を参照する方略を使用していた者が認められた。以上より、事前期に時間をかけて描画線末端位置を推測することは比較的少なく、推測した場合には拡大条件と縮小条件で方略が異なるといえる。事前期でみられる方略は、全体的な傾向を示すものではなかった。

描画中の実行期は、事前期でみられた眼球運動パターンである「拡大条件では基準線右端に、縮小条件では基準線上の描画線末端相当位置に眼球停留が生じる」が強調された状態にあるといえる（表5B）。このことは、参加者が事前期から実行期にかけて描画線末端位置を推定する活動を行っており、その方略は描線を実行しながら使用されることが多いことを示唆している。事前期と異なる点は、事前期には有り得ない描画線右端への眼球停留である。参加者は、



基準線右端あるいは基準線上の描画末端相当位置を参照しながら描画線末端と見比べる方略を使用していたと考えられる。ただし、基準線に比べて、描画線右端へ眼球停留を行う回数は少ないので、基準線の参照が基本的な方略であるといえよう。描画線右端については、基準線上に眼球停留した状態で周辺視により確認していたか、あるいは描線活動に伴う体性感覚的情報により位置を把握していたのではないかと推察される。関心領域以外では、縮小条件で基準線の中央点付近への眼球停留を示したケースがあった。事前期同様に頻度は少ないが、縮小条件での課題遂行では、基準線の中央点を参照する方略が使用される場合があることが示唆された。

描線を終えてから参加者が完了の合図を発するまでの事後期の拡大条件では、基準線右端と描画線右端への眼球停留回数が多く、この2つの点を見比べることが確認方略になっていたと考えられる。一方、縮小条件では、全体として眼球停留回数が少なく、確認行動が乏しかった。描画線右端への眼球停留については、遂行終了時に最終位置に視線移動しただけで、なんらかの確認方略を反映するものではないかもしれない。

まとめると、事前期、実行期、事後期に関わらず、全体的には、拡大条件では基準線右端を、縮小条件では基準線上の描画末端相当位置を参照する方略が比較的多く使用されていたといえる。参加者は、条件に即して、参照すべき基準線上の位置を選択していたと考えられる。以上より、線描画課題Dにおいては、課題条件が拡大か縮小かによって、異なる参照点を設定することが主要な方略となることが示唆された。ただし、行動指標と眼球停留回数との関連をみると個人差が大きく、全体としての傾向を確認することは難しい。必ずしも方略の使用が課題遂行成績に関連するものとはなっていない可能性がある。また、検査の手続き上の問題も関与している可能性が考えられる。線描画課題Dでは、マウスによる描線を参加者に求めたが、参加者の多くはマウスを用いて線を引くという操作を日常的に行っているわけではないであろう。不慣れな操作をすることが遂行成績や眼球運動に影響を及ぼしていたと可能性があり、手続きの改善が必要であると考えられる。

#### 4. 課題間の関連性

紙版とPC版で相当する対では、数直線課題Pと数直線課題D、線描画課題Pと線描画課題Dの成績に有意な相関関係がみられた。このことから、紙版とPC版でプラットフォームは異なるが、課題遂行に関与する認知的要因には共通性があるといえる。よって、PC版での眼球運動の分析から推定された方略は、紙版でも使用されている可能性が高いといえる。なお、線等分課題PとLandmark課題の関連については、弱い相関にとどまったことから、この2つの課題が異なる認知的要因が関与している可能性が想定されるが、その差異については今後の課題として残った。

紙版の3課題間ならびにPC版の3課題間の関連性については、いずれも組み合わせも低い相関であり、統計的に有意ではなかった。このことから、紙版、PC版ともに、3つの課題が異なる認知機能を反映する検査の組み合わせとして有効であると考えられる。知的障害のある生徒を対象とした惠羅・大西(2020)の研究では、数直線課題と線描画課題の成績に有意な相関関係が認められた。この2つの課題に関与する認知的要因が複数存在するとして、定型発達成人(本研究)ではそれぞれの要因の課題遂行における貢献度が低いことから弱い相関となり、一方、知的障害のある生徒(惠羅・大西, 2020)では2つの課題の両方に関与する強い要因が存在することで比較的強い相関を示したのではないかと考えられる。研究蓄積が多い数直線課題では、課題遂行の成績やパタン(例えば、対数関数的反応から一次関数的反応への変化)に発達的な変化があることが明らかになっている(e.g., Ashcraft & Moore, 2012; Booth & Siegler, 2006; Laski & Siegler, 2007; Sella, Berteletti, Lucangeli, & Zorzi, 2015; Siegler & Booth, 2004; Siegler & Opfer, 2003)。惠羅・大西(2020)の参加者は、本研究の参加者に比べ、知的障害があり、かつ年齢的にも若く、集団として大きな違いがある。これらのことから、惠羅・大西(2020)で認められた数直線課題と線描画課題の成績に有意な相関は、年齢ならびに知的発達の弱さ等の影響により、課題遂行に少数の要因が強く関与していたのではないかと考えられる。もしそうであるとするならば、どのような要因が強く関与しているのかが今後の検討課題となる。

#### 今後の課題

本研究では、知的障害のある子どもを対象として数・量概念の獲得状況を評価する検査バッテリーを開発することを念頭におき、検査課題の心理学的分析を行った。知的障害においては、一般的知能の水準や神経生物学的特徴など多様な要因により、シンボル数に依拠した数量判断に困難のある児童生徒が存在していることから、シンボル数だけではなく、シンボル数に依存しない数・量概念の評価を含むアセスメントが必要である。そこで本研究では、シンボル数に依存しない検査として線等分課題とLandmark課題を、シンボル数の獲得状況を評価する検査として数直線課題と線描画課題を取りあげて、遂行成績と活用された認知方略に関して分析し、一定の知見を得ることができた。しかしながら、本研究での検査課題の選択は、先行研究に依拠しつつもなお恣意的なものであり、これらの検査課題が最適な検査バッテリーになるとは考えていない。数・量概念に関わるあらゆる課題について科学的に検証することは現実的ではないが、異なる視点から数・量概念の評価する課題を本研究で取り上げた課題に組みあわせて、よりよい検査バッテリーを構築することが今後の課題である。



本研究では，単に各課題の成績について分析するものではなく，課題遂行に関わる方略を分析するために課題遂行中の眼球運動を測定した。近年，眼球運動測定が技術的に容易になってきたことで，学習や教育に関わる領域において眼球運動測定を活用した研究が増加してきている（Lai, Tsai, Yang, Hsu, Liu, Lee, Lee, Chiou, Liang, & Tsai, 2013）。算数・数学教育に関わる研究においても眼球運動測定が活用されており，学習のプロセスを検証するうえで価値ある研究手法となっている（Strohmaier, MacKay, Obersteiner, & Reiss, 2020）。眼球運動では評価できない認知プロセスがあることは勿論であるが，眼球運動から推定される方略を明らかにすることは，検査課題について結果だけではなくプロセスを評価する視点を付加することになると期待される。本研究における眼球運動による分析は，まだまだ洗練されておらず確固とした知見を得るには不十分であるが，今後とも，検査バッテリー開発の方向性として結果だけではなく方略など認知プロセスについて分析することが重要であると考えられる。

#### 付記

本研究は，JSPS科研費21K02707の補助を受けた。本論文に関して，開示すべき利益相反関連事項はない。

#### 引用文献

- Ashcraft, M. H., & Moore, A. M. (2012) Cognitive processes of numerical estimation in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111, 246-267.
- Barth, H. C., & Paladino, A. M. (2011) The development of numerical estimation: Evidence against a representational shift. *Developmental Science*, 14, 125-135.
- Booth, J. L., & Siegler, R. S. (2006) Developmental and individual differences in pure numerical estimation. *Developmental Psychology*, 42, 189-201.
- Cohen, D. J., & Blanc-Goldhammer, D. (2011) Numerical bias in bounded and unbounded number line tasks. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18, 331-338.
- Cohen, D. J., & Sarnecka, B. W. (2014) Children's number-line estimation shows development of measurement skills (not number representations). *Developmental Psychology*, 50, 1640-1652.
- Dellatolas, G., Coutin, T., & De Agostini, M. (1996) Bisection and perception of horizontal lines in normal children. *Cortex*, 32, 705-715.
- 恵羅修吉 (2022) 算数・数学でつまずきのある児童生徒に対するアセスメントと指導 発達障害研究, 43, 378-386.
- 恵羅修吉・大西祥弘 (2020) 知的障害特別支援学校の中学部と高等部の生徒を対象とした数量概念の評価に関する試行的研究 発達障害支援システム学研究, 19, 123-129.
- 恵羅修吉・中島栄美子 (2020) 算数・数学の学習困難を主訴とする小・中学生を対象とした数概念の評価方法に関する検討 香川大学教育学部研究報告, 3, 49-56.
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Nugent, L., & Byrd-Craven, J. (2008) Development of number line representations in children with mathematical learning disability. *Developmental Neuropsychology*, 33, 277-299.
- Halberda, J., Ly, R., Wilmer, J. B., Naiman, D. Q., & Germine, L. (2012) Number sense across the lifespan as revealed by a massive internet-based sample. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109, 11116-11120.
- Hausmann, M., Ergun, G., Yazgan, Y., & Güntürkün, O. (2002) Sex differences in line bisection as a function of hand. *Neuropsychologia*, 40, 235-240.
- Heine, A., Thaler, V., Tamm, S., Hawelka, S., Schneider, M., Torbeyns, J., De Smedt, B., Verschaffel, L., Stern, E., & Jacobs, A. M. (2010) What the eyes already 'know': Using eye movement measurement to tap into children's implicit numerical magnitude representations. *Infant and Child Development*, 19, 175-186.
- 干川隆 (2020) プロGRESSモニタリング尺度としての算数のカリキュラムに基づく尺度 (CBM) の標準化の試み LD研究, 29, 229-236.
- 石合純夫 (2014) 半側空間無視と右半球症状の検査 神経心理学, 30, 125-134.
- Jewell, G., & McCourt, M. E. (2000) Pseudo-neglect: A review and meta-analysis of performance factors in line bisection tasks. *Neuropsychologia*, 38, 93-110.
- 海津亜希子 (2016) 算数につまずく可能性のある児童の早期把握：MIM-PM算数版の開発 教育心理学研究, 64, 241-255.
- Karnath, H.-O., & Rorden, C. (2012) The anatomy of spatial neglect. *Neuropsychologia*, 50, 1010-1017.
- Kaul, D., Papadatou-Pastou, M., & Learmonth, G. (2023) A meta-analysis of the line bisection task in children. *Laterality: Asymmetries of Brain, Behavior, and Cognition*, 28, 48-71.
- 近藤みゆき・奥住秀之・平田正吾 (2023) 知的障害児・者における心的数直線の発達についての文献検討 東京学芸大学紀要 総合教育科学系, 74, 296-302.
- Lai, M.-L., Tsai, M.-J., Yang, F.-Y., Hsu, C.-Y., Liu, T.-C., Lee, S. W.-Y., Lee, M.-H., Chiou, G.-L., Liang, J.-C., & Tsai, C.-C. (2013) A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012. *Educational Research Review*, 10, 90-115.
- Landerl, K. (2013) Development of numerical processing in children with typical and dyscalculic arithmetic skills: A

- longitudinal study. *Frontiers in Psychology*, 4: 459. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00459
- Landerl, K., Fussenegger, B., Moll, K., & Willburger, E. (2009) Dyslexia and dyscalculia: Two learning disorders with different cognitive profiles. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103, 309-324.
- Laski, E. V., & Siegler, R. S. (2007) Is 27 a big number? Correlational and causal connections among numerical categorization, number line estimation, and numerical magnitude comparison. *Child Development*, 78, 1723-1743.
- Learmonth, G., Gallagher, A., Gibson, J., Thut, G., & Harvey, M. (2015) Intra- and inter-task reliability of spatial attention measures in pseudoneglect. *PLoS ONE*, 10: e0138379. doi:10.1371/journal.pone.0138379
- Lunardon, M., Decarli, G., Sella, F., Lanfranchi, S., Gerola, S., Cossu, G., & Zorzi, M. (2023) Low discriminative power of WISC cognitive profile in developmental dyscalculia. *Research in Developmental Disabilities*, 136 : 104478. doi.org/10.1016/j.ridd.2023.104478
- MacKay, K. J., Germeys, F., Van Dooren, W., Verschaffel, L., & Kuwel, K. (2020) Comparing eye fixation and mouse cursor response modes in number line estimation. *Journal of Cognitive Psychology*, 32, 827-840.
- Mitchell, A. G., Kandt, P. O., & McIntosh, R. D. (2022) On line bisection: Validity and reliability of online measures of pseudoneglect. *Laterality: Asymmetries of Brain, Behaviour, and Cognition*, 27, 443-466.
- 中野直美・石合純夫・小山康正・関啓子・平林一・稲木康一郎 (2002) 左半側空間無視患者の線分二等分試験結果に与えるフレームと線分配置の影響 神経心理学, 18, 200-207.
- National Mathematics Advisory Panel (2008) *Foundations for success: The final report of the National Mathematics Advisory Panel*. U.S. Department of Education. Washington, DC. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED500486.pdf> (2024.4.10閲覧)
- 日本学術会議数理科学委員会数学教育分科会 (2016) 初等中等教育における算数・数学教育の改善についての提言 日本学術会議. <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t228-4.pdf> (2024.4.10閲覧)
- 野田航 (2020) 小学生用算数のカリキュラムに基づく尺度(算数CBM)の開発と信頼性・妥当性の検討: 基礎的な算数スキルに着目して LD研究, 29, 45-56.
- Olk, B., & Harvey, M. (2002) Effects of visible and invisible cueing on line bisection and Landmark performance in hemispatial neglect. *Neuropsychologia*, 40, 282-290.
- 大羽沢子・小枝達也・前垣義弘 (2019) Dyscalculiaのスクリーニングにおける数的基礎力検査の検討 小児の精神と神経, 59, 199-206.
- Peeters, D., Verschaffel, L., & Luwel, K. (2017) Benchmark-based strategies in whole number line estimation. *British Journal of Psychology*, 108, 668-686.
- Reeve, R. A., Paul, J. M., & Butterworth, B. (2015) Longitudinal changes in young children's 0-100 to 0-1000 number-line error signatures. *Frontiers in Psychology*, 6: 647. doi:10.3389/fpsyg.2015.00647
- Reinert, R. M., Huber, S., Nuerk, H.-C., & Moeller, K. (2015) Strategies in unbounded number line estimation? Evidence from eye-tracking. *Cognitive Processing*, 16 (Suppl 1), S359-S363.
- Rolfe, M. H. S., Hamm, J. P., & Waldie, K. E. (2008) Differences in paper-and-pencil versus computerized line bisection according to ADHD subtype and hand-use. *Brain and Cognition*, 66, 188-195.
- Schneider, M., Heine, A., Thaler, V., Torbeyns, J., De Smedt, B., Verschaffel, L., Jacobs, A. M., & Stern, E. (2008) A validation of eye movements as a measure of elementary school children's developing number sense. *Cognitive Development*, 23, 409-422.
- Schneider, M., Merz, S., Stricker, J., De Smedt, B., Torbeyns, J., Verschaffel, L. and Luwel, K. (2018) Associations of number line estimation with mathematical competence: A meta-analysis. *Child Development*, 89, 1467-1484.
- Sella, F., Berteletti, I., Lucangeli, D., & Zorzi, M. (2015) Varieties of quantity estimation in children. *Developmental Psychology*, 51, 758-770.
- Sella, F., Bertelotti, H., Martina, B., Lucangeli, D., & Zorzi, M. (2013) Number line estimation in children with developmental dyscalculia. *Learning Disabilities: A Contemporary Journal*, 11, 41-49.
- Siegler, R. S., & Booth, J. L. (2004) Development of numerical estimation in young children. *Child Development*, 75, 428-444.
- Siegler, R. S., & Opfer, J. E. (2003) The development of numerical estimation: Evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological Science*, 14, 237-243.
- Slusser, E. B., Santiago, R. T., & Barth, H. C. (2013) Developmental change in numerical estimation. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142, 193-208.
- Strappini, F., Ben-Nun, A., & Pecchinenda, A. (2023) A comparative study on line bisection and landmark task performance using a hybrid online setting. *Symmetry*, 15: 729. doi.org/10.3390/sym15030729
- Strohmaier, A. R., MacKay, K. J., Obersteiner, A., & Reiss, K. M. (2020) Eye-tracking methodology in mathematics education research: A systematic literature review. *Educational Studies in Mathematics*, 104, 147-200.
- Sullivan, J. L., Juhasz, B. J., Slattery, T. J., & Barth, H. C. (2011) Adults' number-line estimation strategies: Evidence from eye movements. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18, 557-563.

- Thomas, N. A., Loetscher, T., & Nicholls, M. E. R. (2012) Central fixations with rightward deviations: Saccadic eye movements on landmark task. *Experimental Brain Research*, 220, 29-39.
- Toba, M.-N., Cavanagh, P., & Bartolomeo, P. (2011) Attention biases the perceived midpoint of horizontal lines. *Neuropsychologia*, 49, 238-246.
- 植村伊裕・塩田友亮・松本美加・恵羅修吉 (2018) 知的障害特別支援学校高等部における概数理解を促す「数学」授業の開発 発達障害支援システム学研究, 17, 19-28.
- van't Noordende, J. E., van Hoogmoed, A. H., Schot, W. D., & Kroesbergen, E. H. (2016) Number line estimation strategies in children with mathematical learning difficulties measured by eye tracking. *Psychological Research*, 80, 368-378.
- Varnava, A., Dervinis, M., & Chambers, C. D. (2013) The predictive nature of pseudoneglect for visual neglect: Evidence from parietal theta burst stimulation. *PLoS ONE*, 8:e65851. doi:10.1371/journal.pone.0065851
- 横山依子・細川典子・鈴木弘恵・滝澤健・平岡千明・宮武ちか子・小林孝洋・山本泰司・恵羅修吉 (2018) 知的障害特別支援学校小学部における等分理解を促す「算数科」の授業開発 香川大学教育実践総合研究, 37, 47-56.