

数学教師の認知的活性化は数学不安を低減しうるか？

清水 優 菜

キーワード：数学不安，認知的活性化，社会経済的地位，早生まれ

1. はじめに

我々が数学に不安や恐怖といった負の感情 (emotion) を抱くのは、現代において普遍的な現象である。経済協力開発機構 (Organisation for Economic Cooperation and Development: OECD) が実施している PISA (Programme for International Student Assessment) 2022 調査の結果、OECD 加盟国の 59.8%、日本の 68.8% の 15 歳児が「数学の授業についていけないのではないかとよく心配になる」(I often worry that it will be difficult for me in mathematics classes), ならびに OECD 加盟国の 64.9%、日本の 68.6% の 15 歳児が「数学でひどい成績をとるのではないかと心配になる」(I worry that I will get poor marks in mathematics) に「まったくその通りだ」あるいは「その通りだ」と回答している (OECD, 2024)。このような、数学に対する不安や恐怖は、Gough (1954) の「数学恐怖」(mathemaphobia) に関する研究、ならびに Dreger & Aiken (1957) の「数不安」(number anxiety) に関する研究を嚆矢として、数学における情意 (affect) 研究の中核であり続けている (Batchelor et al., 2019)。

数学に対する不安や恐怖は、「数学不安」(math anxiety) という心理的構成概念として数多の研究が行われてきた。そもそも、数学不安は、日常生活や学業状況という様々な状況において、数の演算や数学的問題解決を阻害する緊張や不安などの感情と定義される (レビューとして、Ramirez et al., 2018)。数学不安は、「一般的不安」(general anxiety) や「テスト不安」(test anxiety) と類似した概念ではあるものの、これらと共通する遺伝要因と非共有環境要因の寄与は小さく (それぞれ、約 9% と約 4%; Wang et al., 2014)、かつ外的基準変数との相関パターンの相違 (Hembree, 1990) から、数学に特有の感情と考えられている。そもそも、双生児法による行動遺伝学的研究に依拠すれば、数学不安の全分散の約 40% が遺伝要因、残りの約 60% が非共有環境要因により説明される (Lukowski et al., 2019; Wang et al., 2014)。

数学不安が数学の学習や成績と負に関連することは、非常に頑健な知見である。メタ分析において、数学不安は学習動機づけ (自己効力 $r = -.42$, 興味価値 $r = -.41$, 獲得価値 $r = -.29$, Li et al., 2021), 高校数学の学習範囲 ($r = -.31$, Hembree, 1990), 数学と関連する大学への入学 ($r = -.32$, Hembree, 1990), 数学の成績 ($r = -.28$, Barroso et al., 2021; $r = -.27$, Ma, 1999) と有意な負の相関を示している。また、パネルデータ分析においても、数学不安は数学の学習や成績と負に関連することが示されてきた (Ahmed et al., 2012; Ma & Xu, 2004; Gunderson et al., 2018)。例えば、Ahmed et al. (2012) は、オランダの 7 年生の数学不安と自己概念に関するパネルデータを構造方程式モデリングで分析し、数学不安は自己概念を負に予測するとともに、自己概念も数学不安を負に予測することを示した。また、Ma & Xu (2004) は、アメリカの 7 年生から 12 年生までの数学不安と数学の成績のパネルデータを構造方程式モデリングで分析し、数学不安は数学の成績を予測すること、ならびに数学の成績も数学不安を予測することを明らかにしている。このような知見から、数学不安は数学の学習や成績の主たる阻害要因として考えられてきたのである。

数学不安が数学の学習や成績の阻害要因であることを鑑みれば、これを低減する要因を解明することが、数学教育、ひいては教育において極めて肝要である。調査研究や介入研究を通して、数学不安の低減要因として、男性であること (e.g., Hembree, 1990; OECD, 2024), 恵まれた社会経済的地位 (e.g., OECD, 2024), 高い自己概念 (e.g., Ahmed et al., 2012;), 増大的知能観 (e.g., Gunderson et al., 2018), 高い数学の成績 (e.g., Ma & Xu, 2004), 権威的・自由放任的・権威主義的ではない親の養育態度 (e.g., Macmull & Ashkenazi, 2019), 教師によるサポートの多さ (坂本・加藤, 2003), 認知的活性化 (e.g., Zuo et al., 2024), 認知的チュータリング (e.g., Supekar et al., 2015), 認知的再構成 (e.g., Hembree, 1990), 筆記開

示法の利用 (e.g., Park et al., 2014), 脳に対する非侵襲的な刺激 (e.g., Sarkar et al., 2014) などが機能することが示されてきた。これらの要因は、大きく「社会文化的要因」(男性であることなど)、「心理的要因」(高い自己概念など)、「精神医学的介入要因」(認知的再構成など)、「教育的環境要因」(教師によるサポートの多さなど)に分けることができるが、学校教育における数学不安への介入・改善という観点に立てば、教育的環境要因を考究することが希求されよう。

教育的環境要因の中でも、数学教師の日常的な指導を射程とする概念として、「認知的活性化」(cognitive activation) があげられる。認知的活性化とは、教師が学習者に構成的かつ内省的な高次な思考を促進することである (Baumert et al., 2010)。数学教育における認知的活性化の要素として、(1) 教師は学習者の知識を活性化させ、概念理解を促す必要がある、(2) 教師は学習者により高次な認知を求める問題を提供する、(3) 教師は議論や説明などへの参加と相互作用の質を高めることがあげられる (Lipowsky et al., 2009)。この3要素は、Piagetの構成主義的学習理論やVygotskyの社会的構成理論に呼応するとともに、学びのICAP (Interactive, Constructive, Active, Passive) モデル (Chi, 2009) における能動的な活動状態 (A, C, I) を重視するものである。

管見の限り、その数は少ないものの、認知的活性化は数学不安と負に関連することが示されてきた。例えば、Zuo et al. (2024) は、中国国内の91校、8年生17112人を対象として、認知的活性化、自己効力、数学不安の関連を構造方程式モデリングにより検討したところ、認知的活性化は直接的だけではなく、自己効力を媒介して間接的に数学不安と負に関連することを示した。また、Liu et al. (2021) は、中国国内の4年生3088人と教師57人を対象として、認知的活性化と数学不安の関連をマルチレベル分析により検討したところ、認知的活性化は直接的に数学不安と負に関連することを示した。研究の数は少ないものの、これらの知見を踏まえれば、認知的活性化は数学不安の低減要因であると考えられる。

しかしながら、先行研究には、主に以下3点の課題が残されている。

第一に、認知的活性化が数学不安と負に関連するという知見は、中国人を対象としたデータから導出されたものであるため、我が国の生徒に対してどの程度まで適用可能なか定かではない点である。教育方法と学習の関連には国により差異があること (e.g., Liu et al., 2022) を踏まえると、我が国の生徒を対象として、認知的活性化と数学不安の関連を検討することは、学術ならびに教育実践において深い意義を有する。

第二に、数学不安に対する認知的活性化の曲線効果が検討されていない点である。認知的活性化は数学の成績に対して負の曲線効果、換言すれば、数学教師が認知的活性化をするほど、生徒の数学の成績は高くなる傾向にあるが、この傾向は認知的活性化の使用が増えるにつれて弱くなることが示されている (Caro et al., 2016; Nachbauer, 2024)。つまり、生徒の数学学習には適度な認知的活性化が最も有効であることが示唆されている。数学不安が数学の学習や成績の阻害要因であることを踏まえると、認知的活性化は数学不安に対して正の曲線効果、言い換えれば、数学教師が認知的活性化をするほど、生徒の数学不安は低くなる傾向にあるが、この傾向は認知的活性化の使用が増えるにつれて弱くなると想定できる。

第三に、「社会経済的地位」(Socio-Economic Status: SES) による認知的活性化の効果の相違が検討されていない点である。認知的活性化は学習者の知識や認知により高い水準を求めるため、その学力に対する効果は社会経済的地位が恵まれている学習者ほど大きいことが示されている (Caro et al., 2016)。また、我が国でも、社会経済的地位が恵まれている中学生においてのみ、「技術が社会に与える影響について学ぶ」や「学んだことを日常生活に結びつける」など、単なる聴講型授業よりも知識や認知の要求水準の高い「社会日常型授業」が学力と正に関連することが示されている (須藤, 2007)。これらを踏まえると、認知的活性化と数学不安の負の関連は、社会経済的地位が恵まれているほど、強くなると想定できる。

以上を踏まえ、本研究の目的は、曲線効果ならびに社会経済的地位を考慮して、認知的活性化が数学不安に及ぼす影響を検討することである。この目的について、本研究の仮説をまとめると、次の3点になる。

- 仮説1：認知的活性化は数学不安と負に関連する。
- 仮説2：認知的活性化と数学不安は正の曲線関係にある。

- 仮説3：認知的活性化と数学不安の負の関連は、社会経済的地位の高い場合に強くなる。

なお、仮説1はLi et al. (2021)とZuo et al. (2024)の追試、仮説2と3は本研究のオリジナル仮説である。

2. 方法

2.1. 使用データ

本研究では、OECDが公開しているPISA 2022のデータセットのうち、日本のデータ（有効回答：182校（学科）、5760名）を用いた。PISAは、義務教育修了段階の15歳の生徒が持っている読解力、数学的リテラシー、科学的リテラシーを測定することを目的とした国際的な学力調査であり、これらのリテラシーと生徒や学校が持つ様々な特性との関連を検討するために質問調査（生徒質問調査、ICT活用調査（生徒対象）、学校質問調査）も実施している（文部科学省・国立教育政策研究所、2023）。日本では、「高等学校本科の全日制学科、定時制学科、中等教育学校後期課程、高等専門学校」の1年生のうち、国際的な規定に基づき抽出された学校（学科）から調査対象者が選出されている（文部科学省・国立教育政策研究所、2023）。

2.2. 使用変数

2.2.1. 男性ダミー

属性変数として、ジェンダーを生徒に尋ねた1項目を使用した。教示文は、「あなたの性別はどちらですか。あてはまるものを一つ選んでください。」であり、「女（1）」、「男（2）」の2件法にて回答を求めている。本研究では、女性に0、男性に1とする「男性ダミー」変数として使用する。

2.2.2. 早生まれダミー

属性変数として、生年月それぞれを生徒に尋ねた2項目を使用した。教示文は、「あなたの生年月日を西暦で入力してください。年、月、日はそれぞれプルダウンメニューから選んでください。（平成18年は2006年、平成19年は2007年です。）」であり、「年」の選択肢は「2006年」と「2007年」、「月」の選択肢は「1月」から「12月」であった。本研究では、2006年4月から2006年12月までに生まれたケースを0、2007年1月から2007年4月に生まれたケースを1とする「早生まれダミー」変数として使用する。

2.2.3. 社会経済的地位

社会経済的地位の指標として、ESCS（index of Economic, Social and Cultural Status）スコアを用いた。ESCSは、生徒が回答した親の教育年数、職業的地位、家庭の所有物のデータから指標化されたものである。ESCSスコアは、OECD加盟国の平均値が0、標準偏差が1になるように標準化されたものであり、その値が大きいほど、生徒が経済、社会、文化的に恵まれていることを意味する。

2.2.4. 認知的活性化

数学授業における認知的活性化の指標として、OECD（2023）が認知的活性化に関する18項目（付録参照）の回答から項目反応理論により算出した数学的推論に関する認知的活性化（以下、認知的活性化（数学的推論））スコア（COGACRCO）、ならびに数学的思考に関する認知的活性化（以下、認知的活性化（数学的思考））スコア（COGACMCO）を使用した。

2.2.5. 数学不安

数学不安の指標として、OECD（2023）が数学不安に関する6項目（付録参照）の回答から項目反応理論により算出した数学不安スコア（ANXMAT）を使用した。数学不安スコアは、OECD加盟国の平均値が0、標準偏差が1になるように標準化されたものであり、その値が大きいほど、生徒が数学に対して不安を抱えていることを意味する。

2.3. 分析方法

第一に、本研究の使用変数の集団的な傾向を把握するために、記述統計量（平均値と標準偏差）を算出した。

第二に、認知的活性化と数学不安の関連を検討するために、ランダム切片モデルによる分析を行った（最

尤推定法)。具体的なモデル式を以下に示す。

レベル 1 (生徒レベル) :

$$ANX_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j} \times (\text{Male}_{ij} - \overline{\text{Male}}_{.j}) + \beta_{2j} \times (\text{Early}_{ij} - \overline{\text{Early}}_{.j}) + \beta_{3j} \times (\text{SES}_{ij} - \overline{\text{SES}}_{.j}) + r_{ij}$$

$$r_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$$

レベル 2 (学校レベル) :

$$\beta_{0j} = \gamma_{00} + \gamma_{01} \times (\overline{\text{CogC}}_{.j} - \overline{\text{CogC}}_{..}) + \gamma_{02} \times (\overline{\text{CogM}}_{.j} - \overline{\text{CogM}}_{..}) + \gamma_{03} \times (\overline{\text{CogC}}_{.j} - \overline{\text{CogC}}_{..})^2 + \gamma_{04} \times (\overline{\text{CogM}}_{.j} - \overline{\text{CogM}}_{..})^2 + u_{0j}$$

$$\beta_{1j} = \gamma_{10}$$

$$\beta_{2j} = \gamma_{20}$$

$$\beta_{3j} = \gamma_{30} + \gamma_{31} \times (\overline{\text{CogC}}_{.j} - \overline{\text{CogC}}_{..}) + \gamma_{32} \times (\overline{\text{CogM}}_{.j} - \overline{\text{CogM}}_{..}) + \gamma_{33} \times (\overline{\text{CogC}}_{.j} - \overline{\text{CogC}}_{..})^2 + \gamma_{34} \times (\overline{\text{CogM}}_{.j} - \overline{\text{CogM}}_{..})^2$$

$$u_{0j} \sim N(0, \tau_{00})$$

レベル 1 について、 ANX_{ij} は学校 j に属している個人 i の数学不安を表し、 Male_{ij} は男性ダミー、 Early_{ij} は早生まれダミー、 SES_{ij} は社会経済的地位である。 β_{0j} は数学不安に関する学校 j の切片、 β_{1j} は学校 j における生徒レベルの男性ダミーの偏回帰係数、 β_{2j} は学校 j における生徒レベルの早生まれダミーの偏回帰係数、 β_{3j} は学校 j における生徒レベルの社会経済的地位の偏回帰係数である。そして、 r_{ij} はレベル 1 の変量効果を表す誤差変数であり、学校内での生徒間変動を示している。なお、 r_{ij} は平均 0、分散 σ^2 の正規分布に従うと仮定している。

レベル 2 について、 $\overline{\text{CogC}}_{.j}$ は認知的活性化（数学的推論）の学校 j の平均値、 $\overline{\text{CogC}}_{..}$ は認知的活性化（数学的推論）の全体平均値を表し、 $\overline{\text{CogM}}_{.j}$ と $\overline{\text{CogM}}_{..}$ は認知的活性化（数学的思考）の学校 j の平均値と全体平均値である。また、 $(\overline{\text{CogC}}_{.j} - \overline{\text{CogC}}_{..})^2$ は認知的活性化（数学的推論）の 2 乗項、 $(\overline{\text{CogM}}_{.j} - \overline{\text{CogM}}_{..})^2$ は認知的活性化（数学的思考）の 2 乗項を意味している。この 2 乗項をモデルに含むことで、認知的活性化が数学不安に及ぼす曲線効果を検討することができる。 β_{0j} において、 γ_{00} は数学不安の全体平均、 γ_{01} は認知的活性化（数学的推論）の偏回帰係数、 γ_{02} は認知的活性化（数学的思考）の偏回帰係数、 γ_{03} は認知的活性化（数学的推論）の 2 乗項の偏回帰係数、 γ_{04} は認知的活性化（数学的思考）の 2 乗項の偏回帰係数、 u_{0j} は数学不安の学校間変動である。 β_{3j} において、 γ_{30} は生徒レベルの社会経済的地位の偏回帰係数、 γ_{31} は認知的活性化（数学的推論）と社会経済的地位の交互作用項の偏回帰係数、 γ_{32} は認知的活性化（数学的思考）と社会経済的地位の交互作用項の偏回帰係数、 γ_{33} は認知的活性化（数学的推論）の 2 乗と社会経済的地位の交互作用項の偏回帰係数、 γ_{34} は認知的活性化（数学的思考）の 2 乗と社会経済的地位の交互作用項の偏回帰係数、換言すれば、 γ_{31} から γ_{34} は認知的活性化の調整効果を表すパラメータである。

なお、本研究の分析には、ソフトウェアとして R (ver. 4.4.1) および RStudio (ver. 2024.09.1+394)、パッケージとして intsvy (ver. 2.9)、BIFIEsurvey (ver. 3.6-6) を用いた。

表 1 使用変数の記述統計量と相関係数

| | <i>M</i> | <i>SD</i> |
|---------------|----------|-----------|
| 男性ダミー | 0.497 | 0.500 |
| 早生まれダミー | 0.244 | 0.429 |
| 社会経済的地位 | -0.007 | 0.709 |
| 認知的活性化（数学的推論） | 0.001 | 1.077 |
| 認知的活性化（数学的思考） | -0.346 | 1.045 |
| 数学不安 | 0.326 | 1.120 |

3. 結果

3.1. 使用変数の記述統計量

本研究の使用変数の記述統計量を表1に記した。主たる結果として、次の2点が得られた。

第一に、認知的活性化(数学的思考)の平均値(M)は、OECD加盟国の平均値0を下回る水準であった。それゆえ、OECD加盟国平均と比較して、日本の高校生は数学教師が数学的思考に焦点を当てた認知的活性化を行っていないと認識している傾向にあることが示された。

第二に、数学不安の平均値もOECD加盟国の平均値0を上回る水準であった。それゆえ、OECD加盟国平均と比較して、日本の高校生は強い数学不安を有している傾向にあることが示された。

3.2. ランダム切片モデル

数学不安を従属変数としたランダム切片モデルの結果を表2に記した。以下では、生徒レベル、学校レベル、クロスレベル交互作用の順に結果を整理する。

第一に、生徒レベルの結果についてである。一つ目に、男性ダミーは数学不安と負に関連することが示された。つまり、女性と比較して、男性は数学不安が低い傾向にあることが示された。二つ目に、早生まれダミーは数学不安と負に関連することが示された。つまり、早生まれの高校生は相対的に数学不安が低い傾向にあることが示された。三つ目に、社会経済的地位は数学不安と負に関連することが示された。つまり、社会経済的地位が恵まれている高校生ほど、数学不安は低い傾向にあることが示された。

第二に、学校レベルの結果についてである。一つ目に、認知的活性化(数学的推論)は数学不安と有意な関連を示さなかったものの、その2乗項は数学不安と有意な負の関連を示した。つまり、一定程度まで数学的推論に焦点を当てた認知的活性化が使用されるほど、高校生の数学不安は高くなる傾向にあるが、この認知的活性化がより使用されるほど数学不安は低くなる傾向にあることが示された。二つ目に、認知的活性化(数学的思考)は数学不安と有意な負の関連を示したものの、その2乗項は数学不安と有意な関連を示さなかった。よって、数学的思考に焦点を当てた認知的活性化が行われている学校の高年生ほど、数学不安は低くなる傾向にあることが示された。

第三に、クロスレベル交互作用の結果についてである。一つ目に、社会経済的地位×認知的活性化(数学的推論)の2乗の交互作用項は、数学不安と正に関連することが示された。つまり、一定程度まで数学的推論に焦点を当てた認知的活性化が使用されるほど、社会経済的地位が恵まれている高校生は数学不安が低くなる傾向にあるが、この認知的活性化がより使用されるほど数学不安がより高くなる傾向にあることが示された。二つ目に、社会経済的地位×認知的活性化(数学的思考)の2乗の交互作用項は、数学不安と負に関連することが示された。よって、一定程度まで数学的思考に焦点を当てた認知的活性化が使用されるほど、社会経済的地位が恵まれている高校生は数学不安が高くなる傾向にあるものの、この認知的活性化がより使用されるほど数学不安は低くなる傾向にあることが示された。

4. 考察

本研究の目的は、曲線効果ならびに社会経済的地位を考慮して、認知的活性化が数学不安に及ぼす影響を検討することである。この目的について、本研究では、OECDが公開しているPISA 2022のデータセットのうち、日本のデータをランダム切片モデルにより分析することで、以下3つの仮説を検証した。

- 仮説1：認知的活性化は数学不安と負に関連する。
- 仮説2：認知的活性化と数学不安は正の曲線関係にある。
- 仮説3：認知的活性化と数学不安の負の関連は、社会経済的地位の高い場合に強くなる。

表 2 数学不安を従属変数としたランダム切片モデルの結果

| | <i>B</i> | <i>SEB</i> | <i>p</i> |
|--|----------|------------|----------|
| 〈固定効果〉 | | | |
| 切片 (γ_{00}) | 0.037 | 0.010 | 0.000 |
| 生徒レベル | | | |
| 男性ダミー (γ_{10}) | -0.333 | 0.013 | 0.000 |
| 早生まれダミー (γ_{20}) | -0.066 | 0.016 | 0.000 |
| 社会経済的地位 (γ_{30}) | -0.031 | 0.013 | 0.021 |
| 学校レベル | | | |
| 認知的活性化 (数学的推論) (γ_{01}) | 0.011 | 0.032 | 0.741 |
| 認知的活性化 (数学的思考) (γ_{02}) | -0.102 | 0.033 | 0.002 |
| 認知的活性化 (数学的推論) の 2 乗 (γ_{03}) | -0.245 | 0.070 | 0.000 |
| 認知的活性化 (数学的思考) の 2 乗 (γ_{04}) | 0.030 | 0.077 | 0.689 |
| クロスレベル交互作用 | | | |
| 社会経済的地位 × 認知的活性化 (数学的推論) (γ_{31}) | 0.020 | 0.043 | 0.646 |
| 社会経済的地位 × 認知的活性化 (数学的思考) (γ_{32}) | -0.012 | 0.045 | 0.787 |
| 社会経済的地位 × 認知的活性化 (数学的推論) の 2 乗 (γ_{33}) | 0.541 | 0.092 | 0.000 |
| 社会経済的地位 × 認知的活性化 (数学的思考) の 2 乗 (γ_{34}) | -0.259 | 0.104 | 0.013 |
| 〈変量効果〉 | | | |
| 切片分散 (σ^2) | 0.029 | | |
| 個人残差 (τ_{00}) | 1.206 | | |
| 〈決定係数〉 | | | |
| 生徒レベル | 0.023 | | |
| 学校レベル | 0.139 | | |
| 全体 | 0.026 | | |

注：推定値は、W_FSTUWTとW_SCHGRNRABWTを用いた80回のリプリケートにより得られた。

注：太字の係数は、5%水準で有意であることを意味する。

4.1. 認知的活性化と数学不安の関連

認知的活性化と数学不安の関連に関する知見として、以下の2点が得られた。

第一に、一定程度まで数学的推論に焦点を当てた認知的活性化が使用されるほど、高校生の数学不安は高くなる傾向にあるが、この認知的活性化がより使用されるほど数学不安は低くなる傾向にあることが示された。この結果は、数学的推論に焦点を当てた認知的活性化について、仮説1と2を支持しないものであるが、この認知的活性化をより多く使用することが数学不安を低減する可能性を示すものである。この結果の背景として、数学的推論、すなわち演繹・帰納・アブダクションに焦点を当てて、高校生に構成的かつ内省的な高次な思考を促すことは、認知的負荷が大きいものであるため、その使用の程度を高くし、認知的負荷を下げなければ、数学不安の心理的要因である自己概念や数学の成績の向上・改善につながらず、むしろ数学不安が増強してしまうのだと考えられる。

第二に、数学的思考に焦点を当てた認知的活性化されるほど、高校生の数学不安は低くなる傾向にあることが示された。この結果は、数学的思考に焦点を当てた認知的活性化について、仮説2を支持しないものの、仮説1を支持するものである。数学的思考、換言すれば、様々な事象を数理的に捉え、数学の問題を見出し、それを解決しようとすることに焦点を当てて、高校生に構成的かつ内省的な高次な思考を促すことは、数学的推論に焦点を当てることよりも、数学不安の心理的要因である自己概念や数学の成績の向上・改善につながりやすいため、数学不安を低くすることができるのだと推察される。

以上から、生徒の数学不安を低減させるという観点において、数学教師はまず数学的思考に焦点を当てた認知的活性化を使用することが有効であると考えられる。数学的推論に焦点を当てた認知的活性化を使用する場合、その使用の程度が十分でない場合、数学不安が高くなる恐れがあるため、可能な限り多く使用することが重要であると考えられる。ただし、本研究の使用変数による数学不安の説明率は高々2.6%に過ぎ

ないため、そもそも数学不安を低減させる教育方法として、数学的推論ならびに数学的思考に焦点を当てた認知的活性化は十分な効力を持たない可能性がある。

4.2. 社会経済的地位による認知的活性化と数学不安の関連の相違

社会経済的地位による認知的活性化と数学不安の関連の相違に関する知見として、以下2点が得られた。

第一に、一定程度まで数学的推論に焦点を当てた認知的活性化が使用されるほど、社会経済的地位が恵まれている高校生は数学不安が低くなる傾向にあるが、この認知的活性化がより使用されるほど数学不安がより高くなっていく傾向にあることが示された。この結果は仮説3と整合するとともに、社会経済的地位が恵まれている高校生にとって、数学的推論に焦点を当てた認知的活性化を多く使用することは、数学不安を高くするリスクがあることを示唆する。この背景として、社会経済的地位が恵まれている高校生は、数学の知識や認知の水準が高い(OECD, 2024)がために、より高度な数学的推論に焦点を当てた認知的活性化が行われることによって、自己概念などの数学不安の心理的要因が低下し、その結果として数学不安が増強してしまう可能性が考えられる。

第二に、一定程度まで数学的思考に焦点を当てた認知的活性化が使用されるほど、社会経済的地位が恵まれている高校生は数学不安が高くなる傾向にあるものの、この認知的活性化がより使用されるほど数学不安は低くなる傾向にあることが示された。この結果は仮説3と整合しないものであるが、数学的思考に焦点を当てた認知的活性化が数学不安を低減する効果は、生徒の社会経済的地位を問わず認められるものの、社会経済的地位が恵まれている生徒の方が大きいことを意味している。つまり、数学的思考に焦点を当てた認知的活性化は、数学不安の教育格差を拡大させる教育方法である可能性が示唆された。この結果の背景として、社会経済的地位が恵まれている高校生は、数学の知識や認知の水準が高い(OECD, 2024)がために、数学不安の心理的要因である自己概念や数学の成績の向上・改善につながりやすい、数学的思考に焦点を当てた認知的活性化が数学不安をより低減させる作用が大きいものと推察される。

上記の考察はいずれも推測の域を出ないものの、認知的活性化という教育方法が数学不安の教育格差を拡大・維持・縮小するのかという検討課題を提起する点に意義があるだろう。

4.3. 早生まれによる数学不安の相違

本研究の副次的な知見ではあるものの、早生まれの高校生は相対的に数学不安が低い傾向にあることは興味深い。同じ学年に属する子供の実年齢差が学業成績などに与える影響は「相対的年齢効果」(Relative Age Effect: RAE)と呼ばれ、相対的に年齢の若い子供、換言すれば早生まれの子供が学業において不利なことは頑健な知見である(e.g., Crawford et al., 2014; 川口・森, 2007; 植村, 2019)。対して、本研究の知見は、ジェンダーや社会経済的地位、認知的活性化を統制した場合に、数学不安という数学の学習や成績の阻害要因において、早生まれの高校生の方が有利なことを示す結果である。推測の域は出ないものの、この結果の背景として、早生まれを克服するような教育的支援(例えば、通塾やそろばんなど)により、自己概念や数学の成績などの数学不安の低減要因が高まった可能性があるだろう。

4.4. 今後の課題

本稿の締めくくりとして、今後の課題を2点示したい。

第一に、本研究では、多重共線性の観点から、社会経済的地位と認知的活性化のクロスレベル交互作用しか検討していないことである。数学不安にジェンダーギャップがあることを踏まえると、数学不安に対する認知的活性化の効果は、ジェンダーにより異なる可能性があるだろう。ゆえに、今後の研究では、社会経済的地位と認知的活性化のクロスレベル交互作用だけでなく、ジェンダーと認知的活性化のクロスレベル交互作用なども検討することが望まれるだろう。

第二に、PISA2022は1時点の横断調査であるため、独立変数が従属変数よりも時間的に先行している

という因果関係の必要条件を満たしていないため、厳密な因果関係を言及できないことである。今後、本研究の使用変数をパネル調査で収集し、交差遅延パネルモデル（Cross-Lagged Panel Model：CLPM）や、相対的に時間によって不変な変数を測定した上で、ランダム切片交差遅延パネルモデル（Random Intercept-Cross-Lagged Panel Model：RI-CLPM）にて検討することが重要である。

付記

- 本研究に関して、開示すべき利益相反事項はない。
- 本研究で用いた PISA 2022 のデータは、以下のサイトから取得した。

<https://www.oecd.org/en/data/datasets/pisa-2022-database.html>

参考文献

- Ahmed, W., Minnaert, A., Kuyper, H., & van der Werf, G. (2012) Reciprocal relationships between math self-concept and math anxiety. *Learning and Individual Differences*, 22 (3), 385–389.
- Barroso, C., Ganley, C. M., McGraw, A. L., Geer, E. A., Hart, S. A., & Daucourt, M. C. (2021) A meta-analysis of the relation between math anxiety and math achievement. *Psychological Bulletin*, 147 (2), 134-168.
- Batchelor, S., Torbeyns, J., & Verschaffel, L. (2019) Affect and mathematics in young children: an introduction. *Educational Studies in Mathematics*, 100 (3), 201-209.
- Baumert, J., Kunter, M., Blum, W., Brunner, M., Voss, T., Jordan, A., Klusmann, U., Krauss, S., Neubrand, M., & Tsai, Y.-M. (2010) Teachers' mathematical knowledge, cognitive activation in the classroom, and student progress. *American Educational Research Journal*, 47 (1), 133–180.
- Caro, D. H., Lenkeit, J., & Kyriakides, L. (2016) Teaching strategies and differential effectiveness across learning contexts: Evidence from PISA 2012. *Studies in educational evaluation*, 49, 30-41.
- Chi, M. T. (2009) Active - constructive - interactive: A conceptual framework for differentiating learning activities. *Topics in cognitive science*, 1 (1), 73-105.
- Crawford, C., Dearden, L., & Greaves, E. (2014) The drivers of month - of - birth differences in children's cognitive and non-cognitive skills. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)*, 177 (4), 829–860.
- Dreger, R. M., & Aiken, L. R., Jr. (1957) The identification of number anxiety in a college population. *Journal of Educational Psychology*, 48 (6), 344-351.
- Gough, M. F. (1954) Why failures in mathematics? Mathemaphobia: Causes and treatments. *The Clearing House*, 28 (5), 290–294.
- Gunderson, E. A., Park, D., Maloney, E. A., Beilock, S. L., & Levine, S. C. (2018) Reciprocal relations among motivational frameworks, math anxiety, and math achievement in early elementary school. *Journal of Cognition and Development*, 19(1), 21-46.
- Hembree, R. (1990) The nature, effects, and relief of mathematics anxiety. *Journal for Research in Mathematics Education*, 21 (1), 33-46.
- 川口大司, 森啓明 (2007) 誕生日と学業成績・最終学歴. *日本労働研究雑誌*, 569, 29-42.
- Li, Q., Cho, H., Cosso, J., & Maeda, Y. (2021) Relations between students' mathematics anxiety and motivation to learn mathematics: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 33 (3), 1017–1049.
- Lipowsky, F., Rakoczy, K., Pauli, C., Drollinger-Vetter, B., Klieme, E., & Reusser, K. (2009) Quality of geometry instruction and its short-term impact on students' understanding of the Pythagorean Theorem. *Learning and Instruction*, 19 (6), 527–537.
- Liu, X., Valcke, M., Yang Hansen, K., & De Neve, J. (2022) Does school-level instructional quality matter for school mathematics performance? Comparing teacher data across seven countries. *Sustainability*, 14 (9), 5267.
- Liu, Y., Wang, C., Liu, J., & Liu, H. (2021) The role of cognitive activation in predicting mathematics self-efficacy and anxiety among internal migrant and local children. *Educational Psychology*, 42 (1), 83–107.
- Lukowski, S. L., DiTrapani, J., Rockwood, N. J., Jeon, M., Thompson, L. A., & Petrill, S. A. (2019) Etiological distinction across dimensions of math anxiety. *Behavior Genetics*, 49 (3), 310–316.

- Ma, X. (1999) A meta-analysis of the relationship between anxiety toward mathematics and achievement in mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education*, 30 (5), 520–540.
- Ma, X., & Xu, J. (2004) The causal ordering of mathematics anxiety and mathematics achievement: a longitudinal panel analysis. *Journal of Adolescence*, 27(2), 165–179.
- Macmill, M. S., & Ashkenazi, S. (2019) Math anxiety: the relationship between parenting style and math self-efficacy. *Frontiers in Psychology*, 10, 1721
- 文部科学省・国立教育政策研究所(2023) OECD生徒の学習到達度調査PISA2022のポイント。Retrieved December 12, 2024, from https://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/pdf/2022/01_point_2.pdf
- Nachbauer, M. (2024) How schools affect equity in education: Teaching factors and extended day programs associated with average achievement and socioeconomic achievement gaps. *Studies in Educational Evaluation*, 82, 101367.
- OECD (2023) PISA 2022 Results (Volume I): The State of Learning and Equity in Education, PISA, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>.
- OECD (2024) , PISA 2022 Results (Volume V) : Learning Strategies and Attitudes for Life, PISA, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/c2e44201-en>.
- Park, D., Ramirez, G., & Beilock, S. L. (2014) The role of expressive writing in math anxiety. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 20, 103.
- Ramirez, G., Shaw, S. T., & Maloney, E. A. (2018) Math anxiety: Past research, promising interventions, and a new interpretation framework. *Educational Psychologist*, 53 (3), 145–164.
- 坂本美紀, 加藤奈美(2003) 小中学生における算数・数学不安と教師のサポートとの関連. 愛知教育大学研究報告. 教育科学編, 52, 137-145.
- Sarkar, A., Dowker, A., & Cohen, K. R. (2014) Cognitive enhancement or cognitive cost: Trait-specific outcomes of brain stimulation in the case of mathematics anxiety. *The Journal of Neuroscience*, 34, 16605–16610.
- 須藤康介(2007) 授業方法が学力と学力の階層差に与える影響—新学力観と旧学力観の二項対立を超えて—. 教育社会学研究, 81, 25-44.
- Supekar, K., Iuculano, T., Chen, L., & Menon, V. (2015) Remediation of childhood math anxiety and associated neural circuits through cognitive tutoring. *Journal of Neuroscience*, 35, 12574–12583.
- 植村理(2019) 早生まれの影響—小4から中3の日本の子ども達の相対的年齢効果—. *Keio SFV Journal*, 19 (1), 180-216.
- Wang, Z., Hart, S. A., Kovas, Y., Lukowski, S., Soden, B., Thompson, L. A., Plomin, R., McLoughlin, G., Bartlett, C. W., Lyons, I. M., & Petrill, S. A. (2014) Who is afraid of math? Two sources of genetic variance for mathematical anxiety. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 55 (9), 1056-1064.
- Zuo, S., Huang, Q., & Qi, C. (2024) The relationship between cognitive activation and mathematics achievement: mediating roles of self-efficacy and mathematics anxiety. *Current Psychology*, 1-12.

付録：PISA 2022 における認知的活性化と数学不安の質問項目

- 認知的活性化（数学的推論）
 - 先生は私たちに、計算のない数学的な問題を解くように言った
 - 先生は私たちに、数学の問題をどのように解いたかを説明するように言った
 - 先生は私たちに、数学の問題を解くときにどのような仮定をおいているのかを説明するように言った
 - 先生は私たちに、数学の問題を解くときにその筋道を説明するように言った
 - 先生は私たちに、数学の問題の答えが正しいことを示すように言った
 - 先生は私たちに、いままでに学習した事柄といま学習している事柄がどのように関連しているかを考えるように言った
 - 先生は私たちに、授業で示されたものとは違う解き方を考えるように言った
 - 先生は私たちに、数学の課題で難しさを感じた場合でも挑戦し続けるように言った
 - 先生は私たちに、やり方を暗記して数学の問題を解くのにそのやり方を用いるように教えた
- 認知的活性化（数学的思考）
 - 先生は私たちに、新しく学んだ数学の知識で解決できる日常生活の問題とはどういうものかを考えるように言った

- 先生は私たちに、日常生活で数学がどのように役立つかを示してみせた
 - 先生は私たちに、「数学的に考える」ように勧めた
 - 先生は私たちに、新たな状況に取り組む時に数学的な論理をどう用いるかについて教えた
 - 先生は私たちに、数の表し方を理解することで、難しそうにみえる問題をどのようにすればより簡単に解決できるかを示した
 - 先生は私たちに、数に関わる日常生活の問題をあたえて、その状況に関して判断をするように言った
 - 先生は私たちに、様々な話題がより大きな数学的な考えとどのように関係しているかをたずねた
 - 先生は私たちに、日常生活の問題を数学を用いてどのように解決できるかについて考えるように言った
 - 先生は、様々な数学的な考えがより大きな現象とどのように関係しているかを説明した
- 数学不安
- 数学の授業についていけないのではないかとよく心配になる
 - 数学の宿題をやるとなると、とても気が重くなる
 - 数学の問題をやっているといらいらする
 - 数学の問題を解くとき、手も足も出ないと感じる
 - 数学でひどい成績をとるのではないかと心配になる
 - 数学で失敗することに不安を感じる