

<原 著>

数学文章題解答過程に与える弱視の影響と音声読み上げの効果

— 擬似弱視による検討 —

氏間 和仁*・隈川 裕未**

「大学入学共通テスト」では従来のテストから問題形式等に変更が加えられ、特に数学では読解を要する形式へと変更された。弱視の人が読解形式の数学の問題を解決する際の困難を正答得点、刺激再生インタビュー得点、解決時間、読み返し時間の点で実験的に検討した。また、問題文の音声読み上げの効果についても検討した。事前に数学の学力でマッチングされた1組3名の晴眼大学生6組を晴眼群、低視力群、視野狭窄群に割り当てた。低視力と視野狭窄はシミュレーションを施した。見え方要因と音声読み上げ要因の相互作用が有意であり、低視力と視野狭窄条件で音声あり条件は音声なし条件より正答得点が高かった。文章題の解決過程においては、音声なし条件下で統合過程とプラン過程において視野狭窄の正答得点が低かった。これらのことから弱視状態では特に音声読み上げが数学問題の解決に有効に作用し、また音声がないことで特に視野狭窄が統合過程、プラン過程に抑制的な影響を与えており、解答時より多くのスキミングを要する視野狭窄において文章問題形式の数学テスト解答時に影響を受けやすい可能性が示唆された。

キーワード：大学入試 合理的配慮 ロービジョン

I. はじめに

1. 弱視のある人の数学文章題解答上の困難

本邦では2021年度から「センター試験」が廃止され、「大学入学共通テスト」が開始された。試験の出題内容や出題形式、問題数などの点で変更されている。それに伴い、受験上の困難も影響を受けることが考えられる。変更内容として、数学Ⅰ・数学Aの問題は、出題内容や様式が従来のセンター試験と比べると大きく変更されている。本研究では、この大きな変更が行われた数学に焦点をあてて検討する。

数学Ⅰ・数学Aは、問題数や文章量が増加している。問題数や文章量の増加に伴い、ページ数は、ほぼすべての単元で増加している。また、センター試験と大学入学共通テストをページ数で比べると、約10ページ増加している。特に、二次関数については従来のセンター試験のページ数の4倍近くに増加している(Table 1)。問題の内容についても変更され、二次関数の問題を見ると、従来のセンター試験と比べて変更されていることが分かる(Fig. 1)。センター試験では、計算重視の問題の割合が多かった。しかし、大学入学共通テストでは、数学文章題のような思考重視の問題

の割合が増えている。数学文章題を解くためには、数学の知識、計算力のみならず、文章の読解力が重要となってくる。

小林・五十嵐(1993)によると、弱視児者は低視力を補うために視対象に極度に眼を近づける者が多く、実視界の狭さを生み出している。同研究において、晴眼者に白濁フィルタによる視力制限と凸レンズを用いた視距離制限を施し、仮弱視状態にした状態での図形認知への影響を検討した。その結果、短い視距離は図形認知を困難にし、晴眼状態と同等の図形認知パフォーマンスを発揮するには20cm程度の視距離が必要であることを明らかにした(小林・五十嵐, 1993)。この結果から、視野狭窄状態では全体把握の困難が計算に抑制的に影響する可能性が考えられる。そこで、鈴木・氏間(2011)は、「視界の広さが分数の計算に及ぼす影響」について実験的に検討した。実験では、液晶ペンタブレット上に表示した分数の足し算に対して、3段階の窓サイズを設定し、一度に見ることができる情報量を制限した。この実験の結果、一度に入ってくる情報量の制限が解答時間に影響することが明らかとなった(鈴木・氏間, 2011)。佐藤・小林(2020a)は、低視力状態及び視野狭窄状態が数学の計算問題の得点や解答時間に影響を及ぼすことを明らかにした。さらに、佐藤・小林(2020b)は、弱視生徒に指導して

* 広島大学大学院人間社会科学研究所

** 香川県立視覚特別支援学校

いる教員に対して行ったインタビュー調査から、弱視生徒が数学を学習する上での困難について「書き」「スキヤニング（全体像の理解）」「読み」「通常学級の数学教育」の4つの背景因子が導出されたことを述べている。

低視力状態による接近視状態や視野狭窄状態の視界制限状態が、図形認知や計算問題解決において、正答率や解答速度等に抑制的な影響を与えていることは明らかである。このような困難は、図形認知や計算問題を解決する際だけでなく、数学文章題を解決する際にも当てはまることが考えられる。佐藤・小林（2020b）が明らかにした弱視生徒が数学を学習する上での4つの困難から考えると、数学文章題を弱視生徒が解く際、

「読み」「スキヤニング」「書き」の困難が想定される。大学入学共通テストにおける数学文章題では、特に読解力が重要となるが、視界制限状態では「読み」「スキヤニング」に困難が生じる可能性がある。これらに抑制的な影響が出た場合、その後の解決過程にも抑制的な影響が生じる可能性があると考えられる。弱視のある人の数学文章題での解答上の困難について解決過程を踏まえて明らかにすることで、より公正な出題形式や受験環境の構築に寄与できることが想定できる。

2. 数学文章題解決の過程について

数学文章題を解く際、どのような過程で答えを導く

Table 1 過去4年分のセンター試験と大学入学共通テストのページ数比較（通常冊子）

	4年分のセンター試験 (2017～2019年度)	2021年度 大学入学共通テスト
数と式	3～4ページ	2ページ
図形と計量	1～2ページ	3ページ
2次関数	1ページ	4ページ
データの分析	5～7ページ	9ページ
場合の数と確率	2ページ	3ページ
整数の性質	2ページ	3ページ
図形の性質	2ページ	2ページ
合計ページ数	16～19ページ (平均17.5ページ)	26ページ

数学 I ・ 数学 A

(3) c を定数とする。2次関数 $y = x^2$ のグラフを、2点 $(c, 0)$ 、 $(c + 4, 0)$ を通るように平行移動して得られるグラフを G とする。

(1) G をグラフにもつ 2次関数は、 c を用いて

$$y = x^2 - 2(c + \text{ツ})x + c(c + \text{テ})$$

と表せる。

2点 $(3, 0)$ 、 $(3, -3)$ を両端とする線分と G が共有点をもつような c の値の範囲は

$$-\text{ト} \leq c \leq \text{ナ}, \quad \text{ニ} \leq c \leq \text{ヌ}$$

である。

(2) $\text{ニ} \leq c \leq \text{ヌ}$ の場合を考える。 G が点 $(3, -1)$ を通るとき、 G は 2次関数 $y = x^2$ のグラフを x 軸方向に ネ 、 y 軸方向に ハヒ だけ平行移動したものである。また、このとき G と y 軸との交点の y 座標は $\text{フ} + \sqrt{\text{ホ}}$ である。

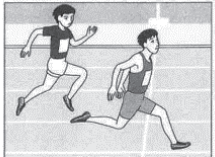
数学 I ・ 数学 A

第 2 問 (必答問題) (配点 30)

(1) 陸上競技の短距離 100 m 走では、100 m を走るのにかかる時間(以下、タイムと呼ぶ)は、1 歩あたりの進む距離(以下、ストライドと呼ぶ)と 1 秒あたりの歩数(以下、ピッチと呼ぶ)に関係がある。ストライドとピッチはそれぞれ以下の式で与えられる。

$$\text{ストライド (m/歩)} = \frac{100 \text{ (m)}}{100 \text{ m を走るのにかかった歩数 (歩)}}$$

$$\text{ピッチ (歩/秒)} = \frac{100 \text{ m を走るのにかかった歩数 (歩)}}{\text{タイム (秒)}}$$



ただし、100 m を走るのにかかった歩数は、最後の 1 歩がゴールラインをまたぐこともあるので、小数で表される。以下、単位は必要のない限り省略する。

例えば、タイムが 10.81 で、そのときの歩数が 48.5 であったとき、ストライドは $\frac{100}{48.5}$ より約 2.06、ピッチは $\frac{48.5}{10.81}$ より約 4.49 である。

なお、小数の形で解答する場合は、解答上の注意にあるように、指定された桁数の一つの桁を四捨五入して答えよ。また、必要に応じて、指定された桁まで②にマークせよ。

(数学 I ・ 数学 A 第 2 問は次ページに続く。)

Fig. 1 2020年度センター試験数学二次関数問題（左図）と2021年度大学入学共通テスト二次関数問題一部（右図）

のであろうか。岡本 (1992) や多鹿 (1995) によると、算数文章題の解決過程は、4つの下位段階に分けられると述べている。算数文章題を理解する過程は、変換段階と統合段階に区分され、問題解決の過程は、プラン段階と実行段階に区分されるとしている。多鹿 (1995) は「変換過程」「統合過程」「プラン化過程」「実行過程」と記述しているが、本研究では、岡本 (1992) を基に、「段階」を用い、「変換段階」「統合段階」「プラン段階」「実行段階」と記述することとする。

変換段階では、学習者は言語的知識及び事実知識を利用して文単位の表象を形成する。つまり、一文毎に表現されている内容を理解するために、算数・数学の事実に関する知識 (例えば、1リットルが10デシリットルであることや、 1 m^2 が 100 cm^2 であること) や言語知識を必要とする。統合段階では、スキーマ知識 (例えば、「速さと距離の問題」や「三角形の面積問題」といった問題形式に関する知識) を利用して問題タイプを判断し、問題文を統合して問題全体の表象を形成する。つまり、どの情報を選択し、どの情報を捨てるかを決定する。プラン段階では、形成された表象に基づいて目標へ至るためのプラン (式) を立てる。つまり、この段階で正解を得るための数式を作る。実行段階は、プラン段階において構成された数式に計算を適用する。

坂本 (1993) は、問題解決過程を上記に示したものと類似した4つの過程と見直しの過程を含めた5つの下位段階に分けて、算数の文章題解決における誤りの原因を調査した。この研究により、文章題特有の難しさの原因の多くは問題理解過程にあり、特に問題文から抽出した必要な数字の関連付けが、つまずきの原因になっていることを示した。また、岡本 (1992) は、結果の予想、問題理解、プラン、実行、結果の評価の5つの下位段階を設定し、段階ごとのメタ認知を、自身の解いた課題用紙を見返しながら行われる刺激再生インタビューにより、その解決時の心的思考を捉える手法で明らかにした。この研究から、算数文章題解決においては、解決に必要な情報をどのようにして見つけるのかというメタ認知や解決のためのプランの立て方に関するメタ認知が効果的な問題解決を導くことが示唆された。

坂本 (1993) や岡本 (1992) の研究から、数学文章題解決には、問題理解の過程である変換、統合の段階及びプランを立てる段階が重要であることが示唆される。本研究では、文章題解決における下位段階について、変換段階、統合段階、プラン段階を取り扱うこととし、それぞれの認知レベルの深さを刺激再生インタ

ビューにより観察する。

前項で、視界制限状態で数学文章題を解く際、「読み」「スキミング」の困難の可能性を述べた。「読み」や「スキミング」は情報を取り込む「変換段階」やそれらの情報を取捨選択する「統合段階」で大きく影響することが考えられる。つまり、弱視のある人が数学文章題解く際、問題理解 (変換段階、統合段階) でつまずきがあり、解決に抑制的な影響が生じることが考えられる。また、「変換段階」「統合段階」でのつまずきが、「プラン段階」にも抑制的に影響するとことも想定できる。

3. 音声読み上げ機能を活用した試験方法

弱視のある人の数学文章題を解く際の「読み」の困難を軽減するためには、どのような配慮が必要となるだろうか。藤芳・南谷・藤芳・青松・澤崎 (2011) は、読字障害者及び重度の弱視者を対象として、文字と音声のマルチモーダル問題の開発を行った。この研究では、文章の意味理解に多くの時間を有する読字障害者や視覚を用いた読書速度がきわめて遅い重度の弱視者にとって、文章の視覚的活用とともに音声活用を行うことの有効性が示された。このような弱視のある人への数学の試験における配慮に関する先行研究は十分でなく、藤芳ら (2011) の研究は、従来の計算問題中心の「センター試験」を想定した実験であり、「大学入学共通テスト」に出題されているような読解を取り入れた数学文章題に対しても、音声読み上げ機能が有用なのかは不明である。音声読み上げ機能が、数学文章題解決段階に与える効果を明らかにできれば、音声読み上げによる支援の理解の推進にも寄与できると考える。

4. 本研究の目的

大学入学共通テストが開始され数学を解く際の負担に変化が生じていることが想定され、弱視のある人の困難について明確にしておくことが求められている。

そこで、本研究では、シミュレーションを施した仮弱視の大学生を対象に弱視状態、特に低視力による実視界の狭小及び視野狭窄が、数学文章題解決の各段階に与える影響を明らかにすること、また、その解決策の一つと考えられる、音声読み上げ機能の活用が、数学文章題解決過程に与える効果を検討することを目的とした。本研究で検討する数学文章題解決過程の下位段階については、数学文章題解決の重要な段階であることが想定される、変換段階、統合段階、プラン段階の3つの下位段階を対象とした。

本研究では仮弱視のある大学生を対象に、特に低視力による実視界の狭小及び視野狭窄といった弱視状態が数学文章題解決段階に与える影響について正答数等の行動レベルと認知の深さから検討することと、音声読み上げ機能の活用が数学文章題解決段階に与える効果を検討することを目的とした。

II. 方法

1. 研究計画

晴眼条件、低視力条件、視野狭窄条件の3条件で数学文章題の解答及び刺激再生インタビューを課した。数学文章題の解決段階は、変換段階、統合段階、プラン段階の3水準であった。解答方法は音声読み上げがある条件（音声あり）と読み上げのない条件（音声なし）の2水準を設定した。独立変数は、見え方の条件、音声の条件、解決段階の3つの要因であった。従属変数は、正答得点、刺激再生インタビュー得点、解決時間、読み返し回数であった。目的に応じて、2要因混合計画又は2要因参加者内計画にて分析を行った。本研究は、本学人間社会科学教育学系プログラム倫理審査合同委員会（承認番号2021057）の承認を受けて実施された。

2. 実験期間及び実験参加者

実験期間は2021年9月24日から2021年11月26日であった。実験は予備実験と本実験で構成され、予備実験期間は2021年9月24日から2021年10月26日であり、本実験期間は2021年11月1日から2021年11月26日であった。

実験参加者は、広島大学に在学する学生18名であった。メールでの依頼に応じて実験に参加した。実験参加者の年齢は18歳から23歳であり、平均年齢は19.5歳 ($SD=1.67$) であった。

3. 実験材料・実験刺激

(1) 実験材料

視力測定には近見視力視標（半田屋商店製）を使用した。晴眼群、低視力群及び視野狭窄群の設定はロービジョンシミュレーションゴーグル（高田巳之助商店製）を用いた。実験で利用する利用眼は、晴眼群ではチップを何も入れず、低視力群は白濁チップと凸レンズ10D、視野狭窄群では視野角5度の視野狭窄チップと凸レンズ10Dを専用ゴーグルに装着した。10Dの凸レンズを加入することで視距離を10cm程度に維持することを狙いとした。他眼は完全遮蔽チップで完全遮蔽した。実験の様子を、ビデオカメラ（Panasonic 製

HC-VX990M）で記録した。解答時間をストップウォッチで計時した。

(2) 問題刺激

予備実験と本実験で使用した数学文章題課題は、二次関数の問題と確率の問題の2つの大問で構成した。問題刺激は河合塾や数研出版、教学社、数スタ（サイト）を参考に作成した（参考文献に記載）。実験参加者1人あたり予備実験で1回、本実験で2回の計3回分の課題が必要であったため、3種類の数学文章題課題を作成した。各大問に岡本（1992）を参考に、数学文章題解決過程の3つの下位段階である変換段階、統合段階、プラン段階を設定した。問題の項目は、1）から3）まで用意し、1）を変換段階についての項目、2）を統合段階についての項目、3）をプラン段階についての項目として作成した。数学文章題課題は、問題の内容を等質のものとする事と、内容の妥当性の検討のため、大学生4名と高等学校教諭免許（数学）をもつ現職教員と共に精査を行いながら作成した。

問題の書式は、「大学入学共通テスト」の拡大文字問題冊子を参考に文字サイズ14pt、フォントはMSゴシック体、用紙の大きさB4サイズにした。問題例をFig. 2とFig. 3に示した。

(3) 音声刺激

本実験の音声あり条件では音声読み上げペン「読み上げペンサトシくん」（五大エンボディ株式会社製）を用いた（以下、音声ペン）。これは特殊なコードが組み込まれた専用のシールに任意の音声を録音し、シールをペン先でタッチして読み取ることで、録音した音声を再生できる。藤芳ら（2011）においても同様の仕様の機器が用いられている。本研究で使用した数学文章題課題の問題文や設問項目の左側にシールを貼付した。1～3文程度ごとにシールを貼り、実験参加者が問題文にランダムアクセスできるよう工夫した。シールを貼付した状態の数学文章題課題はFig. 4に示した。実験参加者は、音声ペンの先でシールをタッチし、音声を聞きながら、課題を解答した。また、読み込ませた音声には、音声読み上げソフト「音読さん」を使用した。このソフトを使い、テキストを入力し、音声ファイル（mp3）としてダウンロードし、その音声を音声ペンに録音した。音声は、自然な抑揚付きの合成音声である。音声の読み上げるスピードは、弱視状態で追えることを想定し、1分間に230文字程度に調整した。

(4) カウンターバランス

実験参加者計18名を予備実験の結果で学力をマッチングさせた上で3つのグループに分けた。3つのグ

問題1
あるお店には、1日200人のお客が来店する。そのお店では、ある品物が看板商品となっている。ある品物を1個60円で売ると1日に50個売れる。また、1個の値段を10円上げると1日の売上金額は5個ずつ減るとする。1個の値段をいくらにすれば1日の売上金額が最大になるか。また、その時の売上金額はいくらか。

1)
①「ある品物を1個60円で売ると1日に50個売れる。」の文から式を表わすとすると、どの式が正しいか。
a ある品物の1個の値段(90円) + 1日に売れた個数(50個) = 売上金額
b ある品物の1個の値段(90円) - 1日に売れた個数(50個) = 売上金額
c ある品物の1個の値段(90円) × 1日に売れた個数(50個) = 売上金額
d ある品物の1個の値段(90円) ÷ 1日に売れた個数(50個) = 売上金額

②「1個の値段を10円上げると1日の売上金額は5個ずつ減るとする。」の文を表わしているのはどれか。
a もとの値段+10円 → もとの値段で売れる個数+5個
b もとの値段-10円 → もとの値段で売れる個数-5個
c もとの値段-10円 → もとの値段で売れる個数+5個
d もとの値段+10円 → もとの値段で売れる個数-5個

2) この問題を解くには、どのような数字を使うと考えられるか。現時点の予想で良いので、解く際に使うと思う数字をすべて選び、○で囲む。(複数回答)
選択肢 200, 110, 70, 60, 50, 45, 10, 5, 1, その他 ()

3) 注意*ここから下の問題を解く途中で前の問題の関連性に気づいても戻らず解き進めてください。①この問題を下記の手順で解いていくとき、アークの口に適当な答えを埋めよ。

売上金額をy円とする。yの式を作るには、1個の値段と1日に売れた個数が必要である。まず、1個の値段を \square x円値上げすると考えると、1個の値段は、 $\square + \square$ x円と表せる。このとき、売上個数は、 \square 個減ることになるので、 $\square - \square$ 個と表せる。また、xの範囲は、 $\square \leq x \leq \square$ となる。このyの式のxの範囲の売上金額の最大値とそれときの1個の値段が出る。

②この問題を解くための売上金額yの式を求めよ。始めに式を考える段階の式を書け。
つまり、例 (x+2)(2x+4) のように書く。展開したり、まとめたりしてなくても正答とする。
y =

Fig. 2 二次関数問題の例

問題2
白玉3個、赤玉2個の合計5個の玉が入った箱と硬貨がある。箱から無作為に玉を1個取り出し、硬貨を投げて表が出たら、その玉を手元に残し、裏が出たら箱に戻す試行を行う。試行後に箱の中の玉がなくなったら試行は停止する。また、最初手元に玉はないものとし、この試行は6回まで行える。3回の試行の結果、手元の玉が白玉1個、赤玉1個の計2個になる確率を求めよ。

1) この試行1回目の手順として正しいのはどれか。
ア 硬貨を投げて表が出たら箱から玉を1個取り出した一赤玉が出た
イ 箱から白玉1個取り出した一硬貨を投げると裏が出たら一白玉を箱に戻した
ウ 箱から白玉を1個取り出した一硬貨を投げて表が出たら一白玉を箱に戻した
エ 箱から赤玉1個取り出した一硬貨を投げて表が出たら一赤玉を手元に残した

2) この問題を解くには、どのような数字を使うと考えられるか。現時点の予想で良いので、解く際に使うと思う数字をすべて選び、○で囲む。(複数回答)
選択肢 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 その他 ()

3) この問題をどう解いていくか考えよう。注意*この問題を解く途中で前の問題の関連性に気づいても戻って考え直さないでください。
① 求める確率がどういう場合で起きるか。次の手順で解いていくとき、正しい選択肢を○で囲みながら解け。
3回の試行の結果、手元の玉が白玉1個、赤玉1個の計2個になる確率は、次のように考えられる。
(1) 白玉を取り出し、硬貨の(表・裏)がでる。
(2) 赤玉を取り出し、硬貨の(表・裏)がでる。
(3) 白玉または赤玉を取り出し、硬貨の(表・裏)がでる。
この(1)~(3)の3回の試行のうち、これらの結果が「1回ずつ・順番に」起きる。

②この問題を解くための式をたてよ。式は、問題を計算する際に始めに立てる式を考えている。
つまり、例 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 2 + 5 \times 3$ のように約分をしたり、答えを出さなくてよい。

Fig. 3 確率問題の例

問題1
ある売店で販売している弁当の1日の販売個数を販売価格の関数で表すものとする。弁当1個の仕入れ価格は500円であり、仕入れる個数は620個である。売れ残りは廃棄する。

①販売価格を1個700円にすると1日の販売個数は500個で、販売価格を10円値上げすると販売個数は1日10個の割合で減少する。10円値下げすると販売個数は1日10個の割合で増大する。②利益が最大になるのは、販売価格を何円にしたときか。

1) ①仕入れ総額を正しい式で表わしているのは次のうちのどれか。
a 1個の仕入れ価格-仕入れる個数=仕入れ総額
b 1個の仕入れ価格+仕入れる個数=仕入れ総額
c 1個の仕入れ価格×仕入れる個数=仕入れ総額
d 1個の仕入れ価格÷仕入れる個数=仕入れ総額

②販売価格と販売個数の関係が一番正しいのは次のうちのどれか。
a 販売価格を710円にすると販売個数は510個になる。
b 販売価格を720円にすると販売個数は510個になる。
c 販売価格を690円にすると販売個数は510個になる。
d 販売価格を680円にすると販売個数は510個になる。

2) ①この問題における「利益」を表す式で正しいのを選び。
a 利益=販売個数-売れた個数
b 利益=販売価格-仕入れ総額
c 利益=販売総額-売れた個数
d 利益=販売価格-仕入れ総額

②この問題はどのような数字を使えば、解けるか。現時点の予想で良いので、解く際に使うと思う数字をすべて選び、○で囲む。(複数回答)
選択肢 1, 10, 490, 500, 510, 620, 690, 700, 710, その他 ()

3) 下の問題を解いていく途中で、1) 2) の問題の関連性に気づいても戻らず解き進めてください。①この問題を解くために、下記の考え方で解く。アロ~カロの中に適当な数字や記号を入れよ。
②利益をyとおく。y=販売個数 - \square × \square の式で考える。販売価格を円、販売個数をn個とする。
③販売個数nを販売価格xで表す式を作ると、n = \square (x - \square) + \square となる。nの範囲は、 $n \leq \square$ の範囲で利益の最大値を求める。

④この問題を解くための式を口の中に書け。式は問題を解く際に初めに立てた式でよい。
つまり、例 $5 [x + 2 \times 3] + 3 \times 4$ のように、計算できるところやまとめられるところを、計算したり答えを出さずに書いても正解とする。
y =

Fig. 4 音声つき問題の例

ループは、晴眼群、低視力群、視野狭窄群であった。全実験参加者は、音声あり問題と音声なし問題の両方に解答した。問題は、問題Aと問題Bの2種類を作成した。問題A、Bと音声の有無の組み合わせ、大問1と2の出題順、及び音声の有無の出題順は、カウンターバランスがとられた。

3. 実験状況

予備実験と本実験は、同じ部屋で行った。実験者は解答行動や解答時間を測定した。実験の様子を利用側からビデオカメラで録画した。実験室の見取り図をFig. 5に示した。

4. 実験手続き

実験は個別に行われた。実験の手続きの概略をFig. 6に示した。実験参加者1人の1回の試行は60分程度を要した。コロナ感染症対策として、入室直後に実験参加者の検温、手指消毒を行った。

(1) 説明と同意

予備実験と本実験の開始前、研究の目的、方法、倫理的配慮、結果処理、辞退により不利益が生じないこと、辞退の自由について実験者から書面と口頭により説明した。書面により同意を示した者が実験に参加した。

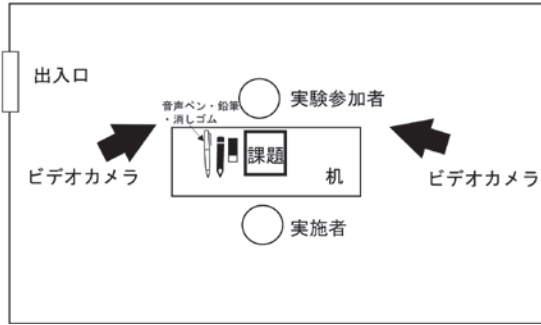


Fig. 5 実験室の見取り図

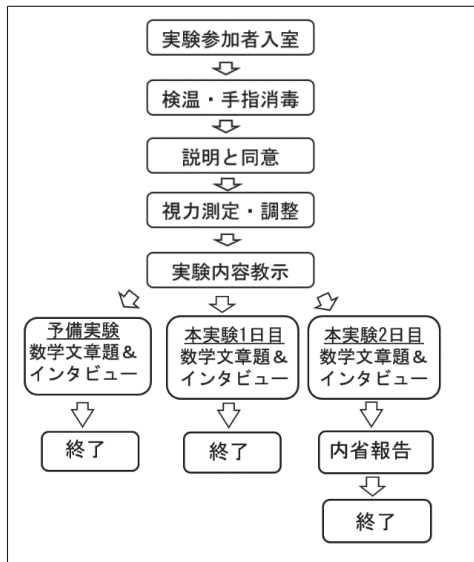


Fig. 6 実験手続きの概略

(2) 視力測定・調整

3グループそれぞれの見え方の条件を統制するため、視力測定、視力の調整を行った。グループのそれぞれの見え方は「実験材料」で示した方法で調整した。晴眼群は検査距離30cmで利用眼の視力を測定し、低視力群と視野狭窄群は視標のピントが合う視距離とランドルト環のギャップを認識できる最小の視標を実測し視力値に換算した。晴眼群の視力は、小数視力0.7から1.0 ($M=0.88, SD=0.11$) であり、低視力群の換算した視力は小数視力で0.1から0.18 ($M=0.13, SD=0.03$) であった。14ptの文字を認識可能な視距離は8cmから10cm ($M=9\text{cm}, SD=0.8$) であった。視野狭窄条件は、1.0の視標が視距離7cmから12cm ($M=7.9\text{cm}, SD=0.8$) で視認できた。14ptの文字を認識可能な視距離は10cmから18cm ($M=14.7\text{cm}, SD=3.1$) であった。低視力群より視距離が長いのは視野狭窄チップによる

ピンホール効果の影響であると考えられる。

(3) 教示

予備実験では、実験参加者が刺激課題の数学文章題を解答する前に、「問題を1)から順番に、鉛筆で書き込みながら、解き進めてください。もしわからないところがあれば飛ばしてください。時間制限はないので解き終わったら鉛筆を置き、教えてください。」と説明した。実験参加者は、問題に解答し、その後刺激再生インタビューを受けた。刺激再生インタビューでは、実験参加者が解いた課題を一問一問見返しながら、「この問題は、どのように考えて、答えを選びましたか。」と質問し、解決の思考過程を捉えた。

本実験では、予備実験で説明した内容に加えて、実施者の「問題かっこ○まで解いてください。」の後の「スタート。」という合図で、指定された問題を解答するように指示した。また、指定された問題が解答し終わるごとに実験参加者に「はい。」と答えるよう指示し、「スタート。」の合図から実験参加者の「はい。」の合図までの時間をストップウォッチで計測した。音声あり条件の実験では、音声ペンの使い方を説明した。読む箇所は必ず音声ペンを使うよう指示し、読み返す場合も同様に音声ペンを使うよう指示した。本実験でも、予備実験と同様に刺激再生インタビューを行った。

(4) 予備実験

実験参加者は、数学文章題課題に解答し、その後刺激再生インタビューを受けた。実験が終了後、実験者は数学文章題の解答を採点し、また録画したビデオカメラを確認しながら、刺激再生インタビュー得点を算出した。正答得点と刺激再生インタビュー得点を足した合計得点を算出した。その後、実験参加者は学力が同等になるようマッチングされ、3つのグループに分けられた。グルーピングの適切性を検討するため、予備実験で実施した数学文章題の合計得点を従属変数、グループを要因とした1要因参加者間分散分析を行った。その結果、3グループの合計得点に有意差はなかった。二次関数問題、確率問題のそれぞれを従属変数として検討した結果においてもグループ要因は有意ではなかった。

(5) 本実験

本実験は個別で実施され、2日間にわけて行った。音声なしと音声ありの条件で各日に渡り実施され、数学文章題課題に解答した。各条件での解答が終了した後、刺激再生インタビューを実施した。実験参加者は課題解答時、目に負担がかかると考えられたため、課題解答終了後は、休憩を設けるよう促した。また、課

題解答中であっても、眼の疲れを訴えた時は、各段階の間の計時を行っていない時間に休憩を取るようにした。

(6) 内省報告

本実験2日目終了後、実験参加者に対して、「音声なし条件と音声あり条件を比べて、音声があるほうがよかったかどうか。その理由は何か。」について質問した。

5. 得点化

(1) 数学文章題の採点方法

問題刺激は、1)を変換段階についての項目、2)を統合段階についての項目、3)をプラン段階についての項目で構成されていた。問題の内容や解決段階によって、問題量は異なっていた。例えば、予備実験の二次関数文章題では、変換段階の項目1)に①と②の2つの問いが用意されているが、予備実験の二次関数文章題の統合段階の項目2)には問いが1つだけ用意された。また、プラン段階では、解決方法が1つとは限らないので、数字や記号、式を実験参加者の考え方で答えられるよう、書き込み形式にした。これらの各段階の解答の項目数は異なっているため、そのまま正答数を得点化して比較できない。そこで、正答数を基準として、統一の採点基準から正答得点を算出した。各解決段階について4段階評定として採点した。0点は、解答していない、又はすべて誤った解答であるもの、1点は正答数が半分より少ないが一部正答しているもの、2点は正答数が半数のもの、3点は正答数が半分より多いが一部不正答であるもの、4点はすべて正答であるものとした。各段階の問いに①②で2つあるところは①②をまとめて採点した。

(2) 刺激再生インタビューの得点化

刺激再生インタビューは、問題解決中の解決思考を捉えるものであった。岡本(1992)を参考にして、刺激再生インタビューも統一の評定基準を設け、得点化した。各段階の設問項目に対して5段階の評定法で採点することとし、評定0、1、2、3、4とした。評定0は、「わからない」「勘で解いた。」など、すべての解決に不十分な解決反応が見られるもの、評定1は、やや不十分な解決反応が見られるものであり、一部分は正しい解決反応を示しているが、大部分は誤った解決反応が見られるもの、評定2は、概ね十分な解決反応が見られるものであり、一部誤った解決反応が見られるもの、評定3は、かなり十分な反応が見られ、一部曖昧な解決反応があるもの、評定4はすべて正しい解決反応が見られるものとした。各段階の問いに①②で2つあるところは①②をまとめてカテゴリー化し

た。評定0～4を0点～4点に割り当てて得点化した。

6. 分析方法

独立変数は見え方の条件3水準(参加者間)、解決段階過程3水準(参加者内)、音声の有無2水準(参加者内)であった。また従属変数は正答得点、刺激再生インタビュー得点、解答時間、読み返し回数であった。目的ごとに、2要因混合分析や2要因参加者内分析、1要因参加者間分析を行った。分析には、js-STAR XR release 1.1.8j及びR version 4.5.1を使用した。有意水準は5%とした。効果量は η_p^2 を用いた。多重比較はHolm法を用いた。

(1) 正答得点の分析

段階ごとに採点した。得点の平均点と標準偏差を算出し、分散分析を行った。見え方(3水準)×音声(2水準)の2要因混合分析、見え方(3水準)×解決段階(3水準)の2要因混合分析、解決段階3水準×音声2水準の2要因参加者内分析を行った。それぞれの分析において、交互作用及び主効果を検討し、交互作用がみられた場合は単純主効果及び多重比較を行った。主効果がみられた場合は多重比較を行った。

(2) 刺激再生インタビュー得点の分析

見え方の条件別に刺激再生インタビュー得点の平均点、標準偏差を算出し、分散分析を行った。解決段階(3水準)×音声(2水準)の2要因参加者内分析を行った。

(3) 解決時間の分析

段階別の解決時間を測定し、平均時間と標準偏差を算出した。見え方の条件別に解決段階(3水準)×音声(2水準)の2要因参加者内分析を行った。解決時間は問題解決の総合的なパフォーマンスを反映しているものと捉えた。

(4) 読み返し回数の分析

問題文を見返した回数を測定し、その回数から分析を行った。平均回数と標準偏差を算出し、分析を行った。見え方の条件別に解決段階3水準×音声2水準の2要因参加者内分析を行った。読み返し数は記憶の影響を反映しているものと捉えた。

III. 結果

1. 正答得点の結果

二次関数問題と確率問題の正答得点を見え方別に算出し、見え方要因や音声要因、解決段階要因の各要因が正答得点に与える影響を検討した。二次関数問題の合計得点の平均点と標準偏差の結果をTable 2、二次関数問題の各解決段階の平均点と標準偏差の結果を

Table 3に示した。確率問題の合計の平均点と標準偏差の結果を Table 4、確率問題の各解決段階の平均点と標準偏差の結果を Table 5に示した。

見え方要因と音声要因が数学文章題を解く際に正答得点に与える影響を検討するために、見え方要因（3水準）×音声要因（2水準）の2要因混合分散分析を行った。従属変数は、合計の正答得点（12点満点）であった。

二次関数問題の得点について、見え方の主効果は有意であった ($F(2, 15) = 3.87, p < .05, \eta_p^2 = .34$)。多重比較の結果、視野狭窄条件の得点が晴眼条件よりも、視野狭窄条件の得点は、低視力条件の得点よりも有意に低かった。音声要因の主効果は有意ではなかった。見え方要因と音声要因の交互作用は有意であった ($F(2, 15) = 5.70, p < .05, \eta_p^2 = .43$)。晴眼条件における音声の単純主効果は有意ではなく、低視力条件 ($F(1, 15) = 4.90, p < .05$) 及び視野狭窄条件 ($F(1, 15) = 8.28, p < .05$) のそれぞれにおける音声要因の単純主効果は有意であった。音声要因の各条件における見え方要因の効果については、音声なし条件における見え方の単純主効果は有意であり ($F(2, 15) = 7.17, p < .01$)、多重比較の結果、視野狭窄群の得点は晴眼群の正答得点より有意に低かった。音声あり条件における見え方の単純主効果は有意ではなかった。

確率問題の得点について、見え方の主効果、音声の

主効果、見え方要因と音声要因の交互作用も有意ではなかった。

見え方要因と解決段階要因が正答得点に与える影響について検討した。見え方の要因（3水準）×解決段階（3水準）の2要因混合分散分析を行った。

二次関数問題の正答得点について、音声なし条件において、解決段階の主効果は有意でなく、見え方の主効果は有意であった ($F(2, 30) = 15.78, p < .01, \eta_p^2 = .51$)。多重比較の結果、正答得点の大小関係は、晴眼群 > 低視力、晴眼 > 視野狭窄、低視力 > 視野狭窄で有意であった。見え方と解決段階の交互作用は有意傾向であり ($F(4, 30) = 2.22, p < .10, \eta_p^2 = .23$)、変換段階の見え方の単純主効果は有意ではなく、統合段階における見え方の単純主効果 ($F(2, 30) = 9.78, p < .01$)、プラン段階における見え方の単純主効果 ($F(2, 30) = 9.91, p < .01$) は有意であった。多重比較の結果、統合段階において、視野狭窄群は、晴眼群よりも正答得点が有意に低かった。プラン段階において晴眼 > 視野狭窄、低視力 > 視野狭窄で有意であった。音声ありにおける解決段階の主効果は有意であった ($F(2, 15) = 4.29, p < .05, \eta_p^2 = .36$)。多重比較の結果、プラン段階の正答得点は変換段階の正答得点より有意に低かった。見え方の主効果、交互作用は有意ではなかった。

確率問題の正答得点についても同様の分析を行っ

Table 2 二次関数問題の合計平均点と標準偏差

群	N (人数)	音声なし条件		音声あり条件	
		MEAN	SD	MEAN	SD
晴眼群	6	11.00	1.00	9.83	1.46
低視力群	6	9.17	1.57	10.83	1.34
視野狭窄群	6	7.33	1.86	9.50	1.38

単位 (点)

Table 4 確率問題の合計平均点と標準偏差

群	N (人数)	音声なし条件		音声あり条件	
		MEAN	SD	MEAN	SD
晴眼群	6	10.33	1.80	11.00	1.15
低視力群	6	9.67	1.89	10.33	1.37
視野狭窄群	6	10.17	2.03	11.00	0.82

単位 (点)

Table 3 二次関数問題の平均点と標準偏差(解決段階別)

	音声なし条件			音声あり条件		
	変換	統合	プラン	変換	統合	プラン
	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)
晴眼群 (N=6)	3.67 (0.75)	4.00 (0.00)	3.33 (0.94)	3.67 (0.75)	3.67 (0.47)	2.50 (0.96)
低視力群 (N=6)	3.33 (0.94)	3.17 (0.69)	2.67 (1.49)	4.00 (0.00)	3.33 (0.75)	3.50 (0.76)
視野狭窄群 (N=6)	3.33 (0.94)	2.33 (1.11)	1.67 (1.37)	3.67 (0.75)	3.17 (0.69)	2.67 (0.75)

単位 (点)

Table 5 確率問題の平均点と標準偏差 (解決段階別)

	音声なし条件			音声あり条件		
	変換	統合	プラン	変換	統合	プラン
	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)
晴眼群 (N=6)	4.00 (0.00)	3.33 (0.75)	3.00 (1.41)	4.00 (0.00)	3.33 (0.75)	3.67 (0.47)
低視力群 (N=6)	4.00 (0.00)	3.17 (1.07)	2.50 (1.12)	4.00 (0.00)	3.00 (1.00)	3.33 (0.94)
視野狭窄群 (N=6)	4.00 (0.00)	3.00 (1.00)	3.17 (1.21)	4.00 (0.00)	3.67 (0.47)	3.33 (0.94)

単位 (点)

た。音声なし条件の解決段階の主効果、見え方の主効果及び音声なし条件の見え方と解決段階の交互作用は有意ではなかった。音声あり条件の解決段階の主効果、見え方の主効果、見え方要因と解決段階要因の交互作用は有意ではなかった。

2. 刺激再生インタビューの結果

二次関数問題と確率問題の問題別に、刺激再生インタビュー得点を算出し、音声、解決段階の要因が数学文章題を解く際の解決思考の深さに与える影響を検討した。ここでは3つの見え方それぞれにおいて、音声要因と解決段階の交互作用について確認することを目的とするため、見え方別に、音声要因と解決段階の分散分析を実施した。二次関数問題と確率問題の刺激再生インタビュー得点の平均点と標準偏差を Table 6、Table 7に示した。

晴眼群の結果は、音声の主効果は有意ではなかった。解決段階の主効果は有意であった($F(2, 10) = 5.88, p < .05, \eta_p^2 = .54$)。多重比較の結果、刺激再生インタビュー得点の大小関係は、変換段階>プラン段階、統合段階>プラン段階であった。音声要因と解決段階要因の交互作用は有意ではなかった。

低視力群の結果は、音声要因の主効果は有意であった($F(1, 5) = 8.57, p < .05, \eta_p^2 = .63$)。解決段階要因の主効果及び交互作用は有意ではなかった。視野狭窄群では、音声要因の主効果は有意ではなかった。解決段階要因の主効果は有意であった($F(2, 10) = 4.33, p < .05, \eta_p^2 = .46$)。交互作用は有意ではなかった。

確率問題の刺激再生インタビュー得点について二次関数問題と同様の分析を行った。晴眼群の結果は、音声要因の主効果は有意でなく、解決段階要因の主効果($F(2, 10) = 6.09, p < .05, \eta_p^2 = .55$)は有意であった。多重比較の結果、刺激再生インタビュー得点の大小関係

は、変換段階>統合段階で有意であった。交互作用は有意ではなかった。低視力群の結果は、音声の主効果は有意ではなく、解決段階要因の主効果($F(2, 10) = 4.53, p < .05, \eta_p^2 = .48$)は有意であった。多重比較の結果、刺激再生インタビュー得点の大小関係は、変換段階>統合段階で有意差がみられた。交互作用は有意ではなかった。視野狭窄群の結果は、音声要因の主効果、解決段階の主効果、交互作用は有意ではなかった。

3. 解決時間の結果

二次関数問題と確率問題別に、各解決段階の解決時間を算出し、見え方、音声、解決段階の要因が数学文章題を解く際の解決時間に与える影響を検討した。この分析も見え方別に、各見え方内での音声及び解決段階の効果を検討した。二次関数問題と確率問題の解決時間の平均時間と標準偏差を Table 8、Table 9に示した。

二次関数問題の解決時間に解決過程要因及び音声要因が与える影響を検討した。晴眼群の結果は、音声要因の主効果($F(1, 5) = 25.98, p < .01, \eta_p^2 = .84$)、解決段階要因の主効果($F(2, 10) = 36.12, p < .01, \eta_p^2 = .88$)は有意であった。多重比較の結果、解決時間の大小関係は、プラン段階>変換段階、プラン段階>統合段階で有意であった。交互作用は有意ではなかった。

低視力群の結果は、音声要因の主効果は有意ではなく、解決段階要因の主効果($F(2, 10) = 22.23, p < .01, \eta_p^2 = .82$)は有意であった。多重比較の結果、解決時間の大小関係は、プラン段階>変換段階、プラン段階>統合段階で有意であった。交互作用は有意ではなかった。

視野狭窄群の結果は、音声要因の主効果は有意ではなく、解決段階要因の主効果($F(2, 10) = 114.48, p < .01, \eta_p^2 = .96$)は有意であった。多重比較の結果、解決時間の大小関係は、統合段階>変換段階、プラン段階>変換段階、プラン段階>統合段階で有意であった。交

Table 6 二次関数問題の刺激再生インタビュー平均点と標準偏差

	音声なし条件			音声あり条件		
	変換	統合	プラン	変換	統合	プラン
	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)
晴眼群 (N=6)	3.67 (0.75)	4.00 (0.00)	3.00 (1.41)	3.83 (0.37)	3.67 (0.47)	2.67 (1.11)
低視力群 (N=6)	3.33 (0.94)	3.17 (0.69)	2.33 (1.70)	4.00 (0.00)	3.50 (0.76)	3.33 (1.11)
視野狭窄群 (N=6)	3.33 (0.94)	2.83 (0.69)	1.83 (1.57)	3.50 (0.76)	3.33 (0.47)	2.50 (0.96)

単位 (点)

Table 7 確率問題の刺激再生インタビュー平均点と標準偏差

	音声なし条件			音声あり条件		
	変換	統合	プラン	変換	統合	プラン
	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)
晴眼群 (N=6)	4.00 (0.00)	3.00 (1.00)	3.17 (1.21)	4.00 (0.00)	3.00 (1.00)	3.50 (0.50)
低視力群 (N=6)	4.00 (0.00)	3.00 (1.00)	2.83 (0.90)	4.00 (0.00)	3.00 (1.00)	3.67 (0.75)
視野狭窄群 (N=6)	4.00 (0.00)	3.00 (1.00)	3.33 (0.94)	4.00 (0.00)	3.33 (0.94)	3.50 (0.76)

単位 (点)

相互作用は有意ではなかった。

確率問題の解決時間について、二次関数問題と同様に分析を行った。晴眼群の結果、音声の主効果 ($F(1, 5) = 68.28, p < .01, \eta_p^2 = .93$)、解決段階要因の主効果 ($F(2, 10) = 44.81, p < .01, \eta_p^2 = .90$) は有意であった。多重比較の結果、解決時間の大小関係は、プラン段階 > 変換段階、プラン段階 > 統合段階で有意であった。交互作用も有意であった ($F(2, 10) = 5.21, p < .05, \eta_p^2 = .51$)。変換段階における音声の単純主効果 ($F(1, 5) = 12.57, p < .05$)、プラン段階における音声要因の単純主効果 ($F(1, 5) = 18.73, p < .01$) が有意であった。

低視力群の結果は、音声要因の主効果は有意でなく、解決段階要因の主効果 ($F(2, 10) = 68.48, p < .01, \eta_p^2 = .93$) は有意であった。多重比較の結果、解決時間の大小関係は、プラン段階 > 変換段階、プラン段階 > 統合段階で有意差であった。音声要因と解決段階要因の交互作用は有意でなかった。

視野狭窄群の結果は、音声の主効果は有意ではなかった。解決段階の主効果は有意であった ($F(2, 10) = 106.59, p < .01, \eta_p^2 = .96$)。多重比較の結果、解決時間の大小関係は、プラン段階 > 変換段階、プラン段階 > 統合段階

で有意差がみられた。交互作用は有意ではなかった。

4. 読み返し回数の結果

解決段階と音声の要因が、数学文章題解決における読み返し回数に与える影響を検討するため、読み返し回数を見え方別で音声要因 (2水準) × 解決段階 (3水準) の2要因参加者内分析を行った。この結果を Table 10、Table 11に示した。

二次方程式問題における晴眼群の結果は、音声の主効果は有意であった ($F(1, 5) = 14.42, p < .05, \eta_p^2 = .74$)。解決段階の主効果は有意であった ($F(2, 10) = 18.71, p < .01, \eta_p^2 = .79$)。多重比較の結果、解決段階における読み返し回数の大小関係は、プラン段階 > 変換段階、プラン段階 > 統合段階で有意差がみられた。交互作用は有意でなかった。低視力群の結果、音声の主効果は有意であった ($F(1, 5) = 35.07, p < .01, \eta_p^2 = .88$)。解決段階の主効果及び交互作用は有意ではなかった。視野狭窄群の結果、音声の主効果 ($F(1, 5) = 11.90, p < .05, \eta_p^2 = .70$)、解決段階の主効果 ($F(2, 10) = 11.06, p < .01, \eta_p^2 = .69$) は有意であった。多重比較の結果、解決段階における読み返し回数の大小関係は、統合段階 > 変換段階、プ

Table 8 二次関数問題の平均解決時間と標準偏差

	音声なし条件			音声あり条件		
	変換	統合	プラン	変換	統合	プラン
	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)
晴眼群 (N=6)	109.83 (79.49)	50.33 (18.41)	445.17 (246.53)	167.67 (107.03)	126.50 (58.51)	664.83 (143.66)
低視力群 (N=6)	160.83 (135.00)	80.50 (61.46)	489.83 (197.41)	213.83 (106.43)	129.33 (54.25)	578.50 (179.91)
視野狭窄群 (N=6)	205.67 (97.13)	120.67 (37.06)	671.50 (107.62)	308.00 (131.30)	113.83 (64.69)	768.83 (190.46)

単位 (秒)

Table 9 確率問題の平均解決時間と標準偏差

	音声なし条件			音声あり条件		
	変換	統合	プラン	変換	統合	プラン
	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)
晴眼群 (N=6)	37.83 (13.97)	25.33 (9.29)	212.00 (60.29)	75.00 (15.53)	41.50 (20.47)	297.17 (84.66)
低視力群 (N=6)	44.67 (21.26)	36.00 (18.01)	288.17 (91.16)	90.33 (50.25)	55.83 (42.42)	310.17 (65.38)
視野狭窄群 (N=6)	98.33 (71.33)	55.83 (14.09)	361.83 (164.95)	91.83 (42.92)	51.67 (20.25)	398.17 (90.35)

単位 (秒)

Table 10 二次関数の読み返しの平均回数と標準偏差

	音声なし条件			音声あり条件		
	変換	統合	プラン	変換	統合	プラン
	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)
晴眼群 (N=6)	0.33 (2.67)	2.67 (1.80)	7.17 (3.39)	0.50 (0.76)	0.67 (0.47)	4.00 (2.16)
低視力群 (N=6)	0.67 (0.75)	0.33 (0.75)	1.00 (1.15)	0.67 (0.75)	3.67 (1.89)	2.83 (2.11)
視野狭窄群 (N=6)	1.17 (0.47)	1.33 (1.63)	1.00 (1.34)	0.67 (0.69)	4.00 (0.75)	3.17 (0.82)

単位 (回)

Table 11 確率の読み返しの平均回数と標準偏差

	音声なし条件			音声あり条件		
	変換	統合	プラン	変換	統合	プラン
	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)	MEAN (SD)
晴眼群 (N=6)	0.67 (1.11)	2.17 (2.54)	1.83 (2.03)	0.00 (0.00)	0.67 (0.94)	0.17 (0.37)
低視力群 (N=6)	0.33 (0.47)	0.83 (1.46)	0.33 (0.47)	0.17 (0.37)	0.67 (0.75)	0.50 (0.50)
視野狭窄群 (N=6)	0.33 (0.47)	0.67 (1.11)	0.50 (0.76)	0.17 (0.37)	0.33 (0.47)	0.50 (0.50)

単位 (回)

ラン段階>変換段階で有意差がみられた。交互作用も有意であった ($F(2, 10) = 5.13, p < .05, \eta_p^2 = .51$)。統合段階における音声の単純主効果 ($F(1, 5) = 10.00, p < .05$)、プラン段階における音声の単純主効果 ($F(1, 5) = 6.76, p < .05$) は有意であった。音声あり条件における解決段階の単純主効果は有意であった ($F(2, 10) = 9.39, p < .01$)。多重比較の結果、解決段階における読み返し回数は、統合段階>変換段階、プラン段階>変換段階で有意差がみられた。

確率問題における読み返し回数の分析も二次関数問題等同様に行った。晴眼群の結果は、音声の主効果、解決段階の主効果、交互作用は有意ではなかった。低視力群の結果は、音声の主効果、解決段階の主効果、交互作用は有意ではなかった。視野狭窄の結果、音声の主効果、解決段階の主効果、交互作用は有意ではなかった。

5. 内省報告の結果

内省報告では、数学文章題を解く際に「音声がない場合とある場合で、どちらが解きやすいと感じました

か。」と質問した。また、その理由についても質問した。回答結果を Table 12、Table 13に示した。低視力群は6人中4人、視野狭窄群は、6人中5人が、音声がある方がよいと答えた。晴眼群は6人中4人が、音声がない方がよいと答えた。また、音声がある方がよいと回答した人の理由(11件)で最も多かったのは、「音声がある方が、読み返ししやすい」という意見(6件)であった。次に多かった理由は、「音声がある方が、理解がはやい、理解に役立つ」(3件)であった。

IV. 考察

1. 見え方の条件が数学文章題解決段階に与える影響

本研究では、低視力接近視による実視界の狭小及び視野狭窄が数学文章題解決に及ぼす影響及び音声付加の影響を検討した。

二次関数問題及び確率問題のそれぞれの正答得点に与える見え方要因と音声要因又は見え方要因と解決段階要因について検討する。二次関数においては見え方要因と音声要因の交互作用は有意であり、低視力条件

Table 12 内省報告の回答

群	音声がある方がよい	変わらない	音声がない方がよい
晴眼群(N=6)	0人	2人	4人
低視力群(N=6)	4人	0人	2人
視野狭窄群(N=6)	5人	0人	1人

Table 13 内省報告での回答理由と回答件数

群	内省報告(理由)	件数(件)
晴眼群	(音声がない方がよいと回答した人の発言)	
	・音声がある方が解きにくい	3
	・音声がある方が逆に時間がかかる	1
低視力群	(音声がない方がよいと回答した人の発言)	
	・耳で聞くのが大変・文章を覚えづらい	2
	・読み落としは怖いので、あった方がよい部分もあった	1
	・音声を読み上げるスピードが遅い	2
	(音声がある方がよいと回答した人の発言)	
・読み返しが楽	2	
・耳でも理解できるので理解が速い	1	
・読み落としや見落としがない	1	
視野狭窄群	(音声がない方がよいと回答した人の発言)	
	・文章が長く、結局目に頼ってしまう	1
	・見づらいところはあってもよかった	1
	(音声がある方がよいと回答した人の発言)	
・読む負担、読み返しの負担が少ない	4	
・理解に役立つ、聞きながら考えられる	2	
・音声がないと目が入ってくる情報が少ないので、耳からも情報を得られてよい	1	

及び視野狭窄条件では音声がある条件で音声がない条件よりも正答得点が高く、晴眼条件では両者に有意差は認められなかった。また音声なし条件では、晴眼条件は視野狭窄条件よりも正答得点が高かった。音声付加は晴眼条件では正答得点に影響しないが、低視力や視野狭窄では、音声付加がある状態において正答得点が高くなったことから、音声付加は特に弱視の状態にとって効果がみられることが明らかとなった。見え方と解決段階の分析結果は音声なしにおいて、有意傾向ではあったが交互作用が認められ、単純主効果は有意であった。それによると統合段階では晴眼>視野、プラン段階では晴眼>>視野、低視力>視野で有意差がみられた。一方、音声ありの条件ではこれらの有意差はみられなかった。これらのことから、音声のない状態で二次関数問題に取り組む際、弱視の状態が正答得点を下げ、その内容は統合段階やプラン段階で、弱視の中でも視野狭窄において、認められることが明らかとなった。解決過程の順序性から考えて変換段階・統合段階を経てプラン段階に至る（岡本，1992）ため、文章題の解決段階が進むにつれて見えにくさの影響が大きくなるのが影響したと考えられる。また、変換段階は文章の内容を別の表現に変換するが、統合ではそれらの情報を組み合わせて思考し、プランニングでは統合段階の知見を効率的に解決する方略を検討する（岡本，1992）。岡本（1992）は、文章題解決の方略についての知識や文章題解決の計画を立案するプランニング能力が重要であると述べていることからプランニングは総合的な知識を要する。その際、文章内に散在している情報を効率的に収集するうえで視覚、特に視線の効率的な配分能力の役割が重要であることは疑う余地もなく、視野狭窄状態はこの能力に最も抑制的に作用したことが考えられる。またこれらの結果が二次関数問題みられ確率問題で確認されなかったことについては、二次関数問題は定型的な解答方略の型がある確率問題とは異なり、高度な知識とプランニング能力を用いて思考しなければならないことが一因として考えられるが、本研究では問題の種類を要因としないため今後の研究が待たれる。

2. 刺激再生インタビューの結果

刺激再生インタビューは、文章題を解決する際の思考の深さを検討するために用いられる（岡本，1992）。晴眼条件では音声の効果はなく、変換段階と統合段階がプラン段階よりも深い思考がされている結果となった。これは岡本（1992）が示した結果とも一貫してお

り、高校レベルの文章題においても、解決段階が進むにつれて深く考えることの困難さが高まることが確認できた。低視力条件と視野狭窄条件では音声の効果は認められ、解決段階の効果は認められなかった。弱視の状態では活字からの文字の取り込みの効率が低下する（鈴木・氏間，2011）ため、音声で確認できることにより文章題の解決過程における思考活動についても音声の付加が促進的に作用することが確認できた。

3. 見え方条件別の解決時間、読み返し回数について

晴眼状態では、二次関数問題・確率問題の両方で、解決時間は音声ありで延長し、低視力、視野狭窄ではそれが認められなかった。晴眼状態では音声を聞くよりも目で見て読む方が効率的であることが、弱視条件では音声と同程度の読速度で処理していることが反映された結果であると考えられる。解決段階については、いずれの見え方、問題の種類においてもプラン段階が最も長時間となった。プラン段階は変換、統合の段階で得られた情報を総合的に処理する過程であるため（岡本，1992）、最も時間を要する段階であることが示された。一方で、読み返し回数に着目すると、二次関数問題において、晴眼では音声なしの方が読み返し回数が多い結果であった。Table 10、Table 11から晴眼状態では統合段階、プラン段階での音声なし条件で増えているため、例えば、二重符号化理論（Dual-Coding Theory）（Paivio, 1990）のように無意識下においても、視覚情報に伴い聴覚情報が提示されることで記憶に残りやすいため、特に負荷の大きい段階である統合とプランニングで音声付加が記憶の定着に貢献したことで読み返しが少なくなったことが考えられる。一方で、弱視条件では、逆の大小関係を示した。弱視条件では読み返すことが億劫になるため記憶で解決を目指そうとするが、音声が付加されることで記憶だけでなく目視による確認を促したものと考えられる。Table 10に示された通り、読み返し回数は、音声がないと、晴眼条件では多く、弱視条件では少ないが、音声を付加することで晴眼条件では回数が減り、弱視条件では回数が増え、お互いの回数が接近している様子が見られる。

4. 今後の展望

本研究は、弱視状態が「大学入学共通テスト」の数学の読解形式に及ぼす影響を明らかにすることの影響を明らかにすることを目的としており、その過程で解決段階への影響、音声の付加の影響を確認できた。一

方で、次の点を踏まえておく必要がある。二次関数と確率の問題を1回ずつ解答して求められた結果に基づいている。また、参加者は各見え方条件で6名ずつである。また、読み返し回数や解決時間などの分析では見え方要因を考慮していないため、これらの点については見え方の効果が明確には示されていない。今後はこれらの点を踏まえた研究を進めることで弱視の人々の受験上の困難の解明に迫ることができると考えられる。

謝辞

本論文は、共同著者である隈川裕未氏の卒業論文の結果を再構成、再分析し、新たな考察を行なった。データを提供いただいた隈川裕未氏に感謝申し上げます。本研究の分析に際し、科学研究費補助金 基盤研究 (B) (課題番号25K008220A) の助成を受けた。また、本研究は益財団法人日本教育公務員弘済会、令和3年度日教弘本部奨励金 (課題番20A2-018) (研究代表者：今津麻衣) の助成を受けて実施された。

文献

- 藤芳 衛・南谷和範・藤芳明生・青松利明・澤崎陽彦 (2011) 読字障害者および重度の弱視者のための文字と音声のマルチモーダル問題の開発. 大学入試研究ジャーナル (21), 181-190.
- 小林秀之・五十嵐信敬 (1993) 弱視児の図形認知に関する実験的研究—提示条件と認知の正確性との関連を中心にして—. 心身障害学研究, 17, 11-21.
- 岡本真彦 (1992) 算数文章題の解決におけるメタ認知

の検討. 風間書房, 1-35.

- Allan, P. (1990) *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford University Press, UK.
- 坂本美紀 (1993) 算数文章題の解決過程における誤りの研究. 発達心理学研究, 4(2), 117-125.
- 佐藤優子・小林秀之 (2020a) 弱視生徒が数学の計算問題を解く際の困難—弱視シミュレーションによる検討—. 障害科学研究, 44, 111-121.
- 佐藤優子・小林秀之 (2020b) 教員から見た弱視生徒の数学学習上の困難とそれに対する配慮及び指導の工夫. 弱視教育, 58(3), 8-15.
- 鈴木麻央・氏間和仁 (2011) 視野の広さが分数の計算に及ぼす影響. 弱視教育, 49(1), 9-12.
- 多鹿秀継 (1995) 算数問題解決過程の分析. 愛知教育大学研究報告, 44 (教育科学編), 157-167.

参考文献

- 河合塾数学科 (編) これからの大学入試に必要な数学の「思考力」を鍛える問題集. 河合出版, p46-47, p68-69, p138
- 教学社編集部 (編) 2022版共通テスト赤本シリーズ共通テスト過去問研究数学 I A / II B. 教学社, p93
- 数研出版編集部 (編) 2021実戦 数学重要問題集—数学 I II III A B (理系). 数研出版株式会社, p22
- 数スタ (サイト). ニューアクション β より二次関数売上金額の最大 <https://study-line.com/nijikan-bunsho/> (2022年1月23日閲覧)

(2025. 12. 13受理)

The Effect of Low Vision on the Mathematical Word Problem Solving Process and the Effect of Text-to-Speech: A Study of Using Simulated Low Vision

Kazuhito UJIMA

Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University

Yumi KUMAGAWA

Kagawa Prefectural School for Students with Visual Impairments

The “Common Test for University Admissions” introduced changes to the format of the questions from the conventional test, particularly in mathematics, where questions were switched to a story-based problem format requiring reading comprehension. The difficulty for people with low vision in solving math problems presented in the format was experimentally investigated in terms of correct scores, stimulated-recall interview scores, solution time, and re-reading time. We also investigated the effect of having the questions read aloud. Six groups of three normally-sighted university students, matched by their mathematical ability, were assigned to the normally-sighted group (NS), the low visual acuity group (LV), and the constricted visual field group (CV). Participants assigned to LV and CV conditions underwent a simulation. The two-way ANOVA revealed a significant interaction between the visual condition factor and the text to speech factor. Specifically, in the LV and CV conditions, the with text-to-speech condition yielded a significantly higher correct answer score than in the without audio condition. The correct score for the CV condition was low in the integration and planning processes under the without audio condition during the problem-solving process for word problems. From these findings, it is evident that for individuals with low vision, text-to-speech effectively aids in solving word problem-style mathematics tests, and conversely, the absence of text-to-speech has an inhibitory effect on the integration and planning processes under conditions of CV constriction. It was suggested that individuals are susceptible to being affected when solving word problem-style mathematics tests under the CV condition that require scanning.

Keywords: university entrance examination, reasonable accommodation, low-vision