

【論文】 英語による数学文章題のつまずきの
プロセスに関する考察
—二次関数領域に着目して—

木村 光宏
日本大学大学院総合社会情報研究科

**Study on The Process of Stumbling of Math Word Problems
in English**

— Through the Learning of Quadratic Equation —

MITSUHIRO Kimura
Nihon University, Graduate School of Social and Cultural Studies

In Japan, the International Baccalaureate has become widespread due to globalization. In this study, I focused on stumbling of students who have studied mathematics in English for five months at a public high school in Japan. And also, Modified-Grouped theory approach (M-GTA) was applied to clarify the process of students' stumbling.

From the analysis, it became clear that mistakes in calculation leads wrong reading comprehension, moreover it is possible to lead the correct reading to the wrong reading. Similar stumbling can be found in the mother tongue, but word problems in languages other than the mother tongue are more likely to cause wrong modification in one's own English interpretation. In this way, it became clear that the stumbling of the mathematical process of " the execution process " made it difficult for students to read and it also affect to " the translation process ".

In this study, I focused on learning mathematics in a second language. It is important to clarify specific examples of problems related to mathematics learning in English and to accumulate examples of how to deal with the problems.

1.研究背景

グローバル化が進む世界各国において国際バカロレア (International Baccalaureate ; 以下 IB) の実施の影響で、英語による数学学習の実施が広まっている。IBは越境して教育を受ける生徒の教育の課題を解消するものとして、1968年にヨーロッパを中心に導入された国際的な教育プログラム及び大学入学資格である (国際バカロレア機構, 2014)。IBの認定を受けた学校は140以上の国・地域で約5000校に及び、日本でもIBのプログラムを161校が実施するなど、文部科学省はIBを推進している (文部科学省ホー

ムページ, 2021)。IBの中でも、日本の高等学校の教育段階と対応するディプロマプログラム (Diploma Programme ; 以下 DP) に着目すると、近年公立の高等学校でも実施が始まり、日本語と英語で授業を実施するデュアルラングエッジディプロマプログラムによって教授言語に英語を採用する数学授業の実施も増えてきている。今後グローバル化が進み、越境して教育を受ける生徒が増えることが考えられることため、日本語を母語とする生徒にとっての英語による数学学習に関する課題は今後取り組むべき重要な研究課題であると考えられる。

教授言語についての問題は、第二言語・多言語使用、多文化といった視点から、国際的には広く議論されている (Domínguez, 2011; Barwell, Barton & Setati, 2007)。英語を母語としない生徒の英語の数学文章題への課題に関して Clinton, et al. (2018) は、104 本の論文から研究の成果をまとめ、「言語の難しさ」や「複雑な言語の分量」などの特徴が文章題の解決を困難にすると述べている。その中でさらに母語との関連を含む研究については 4 本のみと指摘され (Clinton et al., 2018), 多くの地域では母語使用が制限されていることが研究の少なさに影響していることが指摘されている (Rivera, Stansfield, Scialdone & Sharkey, 2000, pp.28-29)。日本における研究に関しても、日本語を母語とする生徒の言語の問題が取り上げられることはあまりなかった (中和他, 2021)。このことから今後、英語による数学学習の成果と課題を明らかにする必要があるといえる。

数学文章題の理解について、与えられた文章題を理解し内的表象を形成する「理解過程」と、理解した内容に基づいて計画し演算を実行するという「解法過程」の 2 つの構成過程からなる事が知られている (石田・多鹿, 1993)。本研究では文章題解決過程の枠組みを用いて、英語文章題の生徒の理解について明らかにすることとした。

これらのことから、本研究では、国際バカロレア認定校の英語による数学学習に着目し、日本語を母語とする生徒の文章題解決過程について検討していくこととする。

2. 先行研究

2.1 英語による数学学習に関する先行研究

数学と言語の結びつきについて、Anthony & Walshaw (2007) は、数学は言語との結びつきが強く、数学において成功するには生徒は数学の言語を完全に理解し、使用できなければならないと述べ、数学における言語の影響の大きさを指摘している。また、Kester-Phillips, Bardsley, Bach & Gibb-Brown (2009) は数学の問題を解く際、学習者は英語を理解すると同時に英語と数学用語の情報処理をしないと述べ、数学の文章を読むことは通常よりも負荷がかかる状況を指摘している (pp.470-471)。

第二言語で文章題を解くことについて、Martiniello (2008) は数学文章題を解く際の、生徒の困難について研究し、知らない単語の影響は小さく、全体の文章が長い時の方が、生徒のパフォーマンスに影響を与えることを指摘している (pp.366-367)。また、Barbu & Beal (2010) は認知的負荷理論で、ワーキングメモリが容量を超えた場合はエラーの確率が高くなることを述べている (pp.117-118)。ワーキングメモリについては、言語と数学の両方の影響を受けるので評価が難しいとされている (Martiniello, 2008)。さらに、Barbu & Beal (2010) は 4 種類の文章題 (「数学的にも英語的にも易しい」、「数学的に易しく英語的に難しい」、「数学的に難しく英語的に易しい」、「数学的にも英語的にも難しい」) を、アメリカに住む英語を母語としない中学生に出題し、言語的な複雑さは易しい数学にも難しい数学にもパフォーマンスへ影響を及ぼすことを明らかにしている (pp.17-18)。

このように、海外では様々な視点で研究がおこなわれ、第二言語による数学学習について明らかになってきている。しかしながら日本の数学教育においては研究の蓄積が少なく、日本の教室環境において英語で数学を学ぶ生徒の困難性について明らかにする必要がある。

2.2 文章題に関する先行研究

算数・数学の文章題の枠組みについて、石田・多鹿 (1993) は、文章題の解決過程を表 1 の通り述べている。

表 1：理解過程と解法過程の構成要素

理解過程	変換過程 (translation process) 与えられた問題文から文単位に個々に心的表象を構成する過程で、一文ごとに表現されている内容理解のために言語的知識や事実に知識が使われる。
	統合過程 (integration process) 変換過程において構成された文単位の個々の心的表象を統合して、問題状況について意味のある内的表象を作り出す過程であり、どの情報を選択し、どの情報を捨象するかが決定される。
解法過程	プラン化過程 (planning process) 答えを得るための数式を作る過程であり、理解過程で構成した内的表象から適切な数式を作る。
	実行過程 (execution process) プラン化過程で作られた数式を計算する過程であり、計算の手続き的知識が使用される。

出典：石田・多鹿(1993)の説明を元に筆者作成

石田・多鹿（1993）は理解過程の段階に変換過程（translation process）と統合過程（integration process）を区別し、解法過程の段階にプラン化過程（planning process）と実行過程（execution process）を区別し、細分化した4つの過程を表1の通り説明した。

石田・多鹿（1993）はこの枠組みを利用して、生徒の文章題解決について、どの過程で誤りが起こりやすいかを検討している。この枠組みを援用することで、どの過程で、より大きな困難を持っているのかを明らかにすることができる。また、過程ごとの往還についても捉えることができると考えた。

本研究では文章題に注目し、石田・多鹿（1993）の枠組みで生徒の回答の特徴を捉えることとする。

2.3 二次関数に関する先行研究

数学教育の視点から、数学Iにおいて「二次関数」は昭和35年施行の高校学習指導要領数学編から継続して扱われており、高校生に共通に身につけさせたい内容と考えられる。しかしながら、中村（2016）は「二次関数」の学習内容について数学Iの中で最も苦手意識を持っており、式とグラフの関連付けができていないことを指摘し、社会や日常生活との関連を重視した指導の必要性を述べている（p.48）。式とグラフの関連付けについて、植竹（2002）は二次方程式の解の公式の意義について、条件分岐を含むアルゴリズムで、判断機能を含むとし、その必要性を指摘している（p.135）。また、長谷川（2005）は平方完成について複数の領域に関連した素材を用い指導の工夫の必要性について論じている（p.58）。このように、二次関数の学習においては既に問題点が指摘され、さまざまな授業改善が行われていることが分かる。

このようなことから本稿では、社会や日常との関連づけの課題から、文脈のある文章題を扱うこととし、解の公式や平方完成のグラフとのつながりに注目させるような問題を扱うこととした。

2.4 第二言語の習得と読解に関する先行研究

第二言語習得について、Cummins（1981）は相互依存仮説として、第一言語と第二言語の間での能力の転移可能性についての仮説を述べている。例えば、

第二言語（英語など）で数学を理解していく事は、母語（日本語など）で数学を理解する事に貢献していると考えることが出来るという仮説である。この事について、本林（2006）は、相互依存仮説は多くの論文が見られ、支持する結果も多いと述べ、これまでの研究で一定の支持を得ている事を示している（p.26）。さらにCummins（1979）はバイリンガル教育における心理言語学的な理論として「生活言語能力；Basic Interpersonal Communicative Skills（以下BICS）」と「学習言語能力Cognitive Academic Language Proficiency（以下CALP）」の分類を行った。BICSは会話面における言語能力とされ、約2年で学年相当のレベルに達するのに対し、CALPについては学業において使用する言語能力とされ、平均で5年から7年かかるという事が示されている。カミンズはこの2つの発達速度が異なる事から「表面的には流暢に第二言語を操る子ども達が、学業の場面においては困難を示す」という現象を見逃さないよう注意するとともに、教育現場でこれらの言語能力の違いに配慮した教育がなされるべきであると主張している。

Cummins（1979）の言語能力の分類の活用は、どの程度の言語能力を持った集団かということ捉えるのに有効であると考えられる。

第二言語の読解について、備瀬らは実際の生徒の方略使用において、大きくトップダウン方略とボトムアップ方略の2つに分けることができるとして、Carrellの主張を踏まえながら両者の特徴を捉えている（備瀬他, 2017）。トップダウン方略とは、概要や背景知識に着目し、テキスト構造などの知識経験を基に読解していく方略である。一方のボトムアップ方略とは、単語の意味や文法、テキスト内容の詳細に着目し、逐語訳をしながら読解していく方略であるとされている（Carrell, 1989）。

トップダウン・ボトムアップ方略の理論は、生徒がどのように読解を進め、どのような困難があるかを検討するのに活用できると考えられる。

以上を踏まえて本研究では、公立高等学校において、①英語で数学授業を受ける生徒の「英語文章題」と日本語で授業を受ける生徒の「日本語文章題」のテスト結果の比較を通して、英語の文章題は生徒のパフォーマンスにどのような影響を与えるか、②英

語文章題においてどのようなプロセスでつまずきが起るか、について考察することを目的とする。

3. 研究方法

生徒の言語の違いによるパフォーマンスの差を見るため、予備調査と本調査の2回のテスト結果から英語文章題のつまずきを分析することとした。

予備調査は2020年8月に国際バカロレア認定校1年次における英語で数学を学ぶIB生徒21名と日本語で数学を学ぶ普通科生徒22名の生徒を対象に、解の公式と平方完成を行う課題で構成された2問を提示した。問題の文章は対象生徒の母語である日本語で表記した。また、英語で数学を学んだ経験について記述させた。

本調査については、予備調査の直後に実施し、同様のクラスそれぞれIB生徒24名、普通科生徒26名に対し、文章題による課題を3問提示した。IB生徒には英語文章題を、普通科生徒には日本語文章題を提示し、各問の採点については理解過程1点、解決過程1点、合計2点の配点で行った。全て解答できるまでの時間を記録させ、問題回答後に英文理解とつまずきに関する記述欄に振り返りを記述させた。

3.1 調査対象生徒状況の概要

調査の対象としたIB生徒は、全員が日本語による入試を経て高校に入っており、5年以上の期間日本語で学習してきたことから予備調査回答に十分な日本語力を有していると考えられる。また、英語力については3名が5年以上英語圏での学習経験があり、CALP程度の英語力を有していると考えられ、8名は2年以上5年未満の英語圏での学習経験があり、BICS程度の英語力を有していると考えられる。残りの13名は2年未満の英語圏での学習経験があった。このことから、IB生徒は日本での学習期間が長い生徒が多いといえる。

さらにIB生徒は、6科目のIBにつながる科目のうち4科目を日本語、2科目を英語で受講し、数学については英語で授業を受けている。数学の授業の板書、教員の説明及び生徒の発表が基本的に英語で実施されているが、隣同士での話や授業での議論、理解を助ける場面、国内進学を見据えた生徒の指導

のために必要と認められる場合には日本語を含めながら授業が行われている。授業は通常12名ずつに分けて実施されている数学I（プレDP講座）である。

また、比較対象とした普通科生徒は英語以外の授業は全て日本語で行われている。2名の生徒は小学校の時に海外で3年間程度英語による数学学習の経験があるが、全ての普通科生徒が中学校では日本語で数学を学び、日本語の入試を経て入学していることから予備調査及び本調査の記述に十分な日本語運用能力をもつと考えられる。クラスの人数は26名で数学Iの授業が行われている。

IB生徒および普通科生徒は、2020年4月～7月の期間でオンライン授業が実施され、調査までは授業時間短縮で実施された。

予備調査および本調査は、数学Iにおける2次関数の単元を終了した後に実施された。

3.2 予備調査質問紙の内容

予備調査の質問紙については、2問で構成した。本調査の問題で使う数学的処理である解の公式と平方完成を問題に含めた。図1に予備調査の質問紙の内容を示す。

1 次の式の解を式変形や解の公式を用いて求めよ。

$$x^2 + 2x - 4 = 0$$

2 次の式を平方完成して頂点の座標を求めよ。

$$y = x^2 + 2x - 4$$

図1：予備調査質問紙の内容

上記の問題で、基礎的な二次関数の知識を確認することとした。

3.3 本調査質問紙の内容

本調査における質問紙については3問で構成した。Haese et al. (2014) の例題を参照して、文脈と数式を変更した問題を作成した。図2に質問紙の問題を示す。

IB生徒には英語のみ質問紙、普通科生徒には日本語のみの質問紙を配布した。問1は $t=2$ を代入して高さを求める問題とした。問2は地面につくということをも $h=0$ と考え、解の公式などで t の値を求める

問題とした。問 3 は高さが最も高くなるときを求めさせる問題で平方完成するなどして高さを求めることが期待される。

ある神社では土でできた玉を地面のくぼみへ投げ入れ願掛けを行なっています。

(To pray at a certain shrine, a ball made of soil is thrown into a hollow of the ground.)



地面から 5m の高さの建物からボールを投げました。t 秒後のボールの高さは $h = -\frac{1}{2}t^2 + t + 5$ の式で表されます。

(A ball is thrown into the air from the edge of a building, 5m above the ground. The equation $h = -\frac{1}{2}t^2 + t + 5$ can be used to model the height of the ball after t seconds.)

問 1 2 秒後のボールの高さを求めましょう。解法を詳細に示すこと。

(Q1. How high is the ball above the ground after 2 seconds? Show all working.)

問 2 ボールが地面につくまでの時間を求めよ。解法を詳細に示すこと。

(Q2. State the time for the ball to hit the ground. Show the process of the calculation in detail. Show all working.)

問 3 ボールが最も高くなる位置を求めよ。解法を詳細に示すこと。

(Q3. State the highest position of the ball. Show the process of the calculation in detail. Show all working.)

図 2：本調査質問紙内容（括弧内は英語記述）

配点については表 2 に示した「理解過程」と「解法過程」の分類を元に、各問 2 点満点で採点を行った。問 1～3 における「理解過程」と「解法過程」の対応は表 2 のように決定した。

表 2：本調査の理解過程・解法過程の対応

問 1	
理解過程 (1 点)	t=2 を代入できるか
解法過程 (1 点)	正しく処理し解答を導くことができる
問 2	
理解過程 (1 点)	h=0 を代入できるか
解法過程 (1 点)	正しく処理し解答を導くことができる
問 3	
理解過程 (1 点)	図や式から高さを求めようとしている
解法過程 (1 点)	正しく処理し解答を導くことができる

3.4 つまづきに関する振り返りの分析方法

テスト実施直後、IB 生徒は言語的側面と自身のつまづきについて振り返りを行った。振り返りについては日本語記述を基本とし、英語で書きたい生徒については英語で記述させた。質問は①分からない単語や分からない表現と、②何につまづいたか、について記述を行うように指示をした。振り返りは誤答になった生徒だけでなく、正答を得た生徒にもつまづきを回答させている。

得られたデータは、修正版グラウンデッド・セオリー・アプローチ（以下 M-GTA, 木下, 2007）を用いて分析を行なった。M-GTA 分析では、既存の理論や帰納的手法により生成されたカテゴリーのコーディングを行い、カテゴリー同士の関連づけの後、現象の再分脈化を行う手法である。このとき、コーディングはデータの解釈から直接概念を生成する方法をとっており、「データ→概念生成」に加え、「概念→カテゴリー」も同時に考える推測的、包括的思考により作業を行った。M-GTA の手法が活用された研究に角南（2013）が知られ、M-GTA の再文脈化を通して教師と生徒の関わりについて状況把握を行い、教育現場における問題場面への応用の手がかりとするなど、教育学研究でも未知の現象の把握や理解に M-GTA の手法を応用している (p.323)。本研究では、M-GTA の再文脈化による描写から、生徒の捉えるつまづきとそのプロセスを示すことができると考えた。

また、分析の際には膨大な文字データの中で、何度も繰り返される定性的コーディングによるテキストの比較や分類を補助するため、MAXQDA ソフト

を使用した。MAXQDA では、注目するデータにコードをふるコーディングと、作成したコードの整理を行い、プロトコルデータのコードとコードが振られたデータ部分、そして元データを常に紐づけして把握を行った。さらに、コードから対応するデータおよびそのデータが元々埋め込まれていた全体のデータを表示することや、コード名がデータの文脈を反映しているかの確認を行いながら作業にあたった。本研究では、生徒の振り返りから作成したプロトコルデータを表 3 の手順に沿って分析を行った。

分析はプロトコルデータをソフトに読み込み、それを意味のまとまりで区切り、意味内容ごとのデータを抽出した。そして、先行研究を参考にそれに対応する概念を生成し、類似する概念をまとめながら、カテゴリーの生成を行った。広く共通するカテゴリーについてはコアカテゴリーとし、その他をサブカテゴリーとしている。分析の途中で、新たな概念が生成される可能性があった場合には、これまでの概念との関係性を再度吟味し、カテゴリーとの関係を改めて確認していった。

表 3：M-GTA 分析の手続き

STEP	分析
0	予備的分析 分析視点の整理意識化、プロトコルデータ化、MAXQDA で読み込み
1	概念化 教員の関わりを意味のまとまりで区切り、抽象的な概念へと変換
2	カテゴリー生成 前ステップを踏まえ、概念からカテゴリーへ統合
3	カテゴリー化確認 分析の途中経過を研究者 1 名に報告し実践場面との適合から分析の見直しを行う
4	概念とカテゴリーの修正 確認作業での相違点を踏まえ、見直しを行う
5	カテゴリーの確認 研究者 1 名によるカテゴリーの最終確認
6	再分脈化 概念、カテゴリーの関係から再分脈化を行う

出典：原田(2004) より筆者作成

カテゴリーの対応確認のために、研究者 1 名と 2 回の確認作業を行なった。以下、文中の《 》はコアカテゴリー、< >はサブカテゴリー、[]は概念、「」は振り返りの記述を表している。

4.結果と考察

4.1 予備調査の結果と考察

予備調査について結果を分析したところ、IB 生徒、普通科生徒それぞれおおむね理解している状況が見られた。表 4 にその結果を以下に示す。

2 つの集団の平均点の差について t 検定を行ったところ、「解の公式を含む問題」、「平方完成を含む問題」、「合計を含む問題」に関して、IB 生徒と普通科生徒の間に有意な差は見られなかった。

表 4：予備調査正答率の比較と t 検定結果

	普通科 (n=22)	IB (n=21)	t 検定 p 値
解の公式を含む問題	81.8% SD:0.39	95.2% SD:0.21	$t(41)=-1.3$ $p=.1781$
平方完成を含む問題	95.4% SD:0.22	81.0% SD:0.40	$t(41)=1.5$ $p=.1448$
合計	88.6% SD:0.21	88.6% SD:0.22	$t(41)=.08$ $p=.9350$

解の公式と平方完成の基礎は中学校で学習していることや、2 つの集団は同じ期間で二次関数を学習していることから、本調査で活用する数学的知識については同程度理解している集団と考えて本調査の分析を行うこととした。

4.2 解答時間の結果と考察

普通科生徒の解答にかかった時間の平均は 11.7 分であるのに対し、IB 生徒の解答にかかった時間の平均は 15.3 分という結果となった。結果について t 検定を行ったところ、有意差が認められ IB 生徒の方がおよそ 1.3 倍の時間がかかるという状況が確認された。この結果から、英語文章題を解くことは生徒に認知的な負荷があり、解答時間が日本語の時に比べかかってしまうという状況が考えられる。回答の時間がかかったことの影響についての考察はつまずきに関する振り返りの分析で後述する。

4.3 生徒の解答の結果と考察

本調査において、それぞれの間に対する結果の平均 (M) と標準偏差 (SD) を算出し、2 つの集団の結果について t 検定を行った。結果を表 5 に示す。

表5：本調査の日英テスト比較と t 検定結果

	普通科 (n=26)	IB (n=24)	t 検定 p 値
問1 2点満点	M:1.85 SD:0.37	M:1.75 SD:0.53	$t(48)=1.7$ $p=.2289$
問2 2点満点	M:0.81 SD:0.90	M:0.54 SD:0.66	$t(48)=1.2$ $p=.1202$
問3 2点満点	M:0.85 SD:0.97	M:0.42 SD:0.83	$t(48)=1.7$ $p=.0499^*$
合計 6点満点	M:3.5 SD:1.58	M:2.71 SD:1.55	$t(48)=0.040$ $p=.0401^*$

* $p < .05$; M: 平均, SD: 標準偏差

それぞれの問の t 検定結果から、問3と合計で有意差がみられた ($p < .05$)。これらの項目について、予備調査では差がなかったにもかかわらず、普通科生徒の得点がより高かったことから、IB生徒は問題の状況を把握できていないことによる誤答があったのではないかと分析した。また、「平方完成を含む問題」については、英語読解による認知的負荷に加え、本調査では x^2 の係数が負の分数となっており、予備調査に比べ式変形の困難があったことから、英語読解と式変形の複合的な困難が、得点が低くなった原因ではないかと考えられる。

次に、どの過程でつまずきが起こっているのかを明らかにするため生徒の振り返りの分析を行った。

4.4 生徒のつまずきに関する振り返りの分析結果

英語文章題におけるつまずきに関する M-GTA による振り返りの分析では、《理解過程》、《解法過程》の2つのコアカテゴリーから<変換過程>、<統合過程>、<プラン化過程>、<実行過程>の4つのサブカ

テゴリーを割り当てた。さらに<変換過程>からは[単語の読み取り]、[文章の読み取り]、[テキスト全体の読み取り]が抽出され、<統合過程>からは[思い込みによる誤答]、[数式の読み取り]が抽出された。次に、<プラン化過程>では[当てはめて解く方法]、[間違えた方法を適用]、[思いつかないケース]が抽出され、<実行過程>からは[思い込みによる誤処理]、[計算間違い]が抽出された。加えて、統計的に有意差のあった《問3に関する記述》をコアカテゴリーとし、<理解過程のつまずき>と<解法過程のつまずき>を割り当てた。カテゴリーとそれに関連する概念および概念の内容を表6に示す。

表6の結果より問3において、[理解過程のつまずき]で5つ、[解法過程のつまずき]で1つの概念が抽出された。《問3に関する記述》だけでは十分な数の概念が得られなかったため、生徒の振り返り全体の《理解過程》と《解法過程》のつまずきについて、再文脈化を行い、つまずきのプロセスを分析することとした。その結果を表6に示す。

4.4.1 変換過程におけるつまずきとそのプロセス

[文章の読み取り]について、「Q2, Q3の問題の意味が分からなかった」と問いを理解できない生徒がいたが、「表現や単語は見返すと分かった」と見直し、じっくり読むことが意味理解につながる事例が挙げられた。また、[テキスト全体の読み取り]については「英語の問題文だと内容を掴みにくかった」、「一度読むだけでは意味が上手く理解できませんでした」

表6：コアカテゴリーとサブカテゴリー及び概念とその抽出数

コアカテゴリー	サブカテゴリー	概念	概念の内容
理解過程 (40)	変換過程 (34)	◆単語の読み取り (15)	英単語の読み取りのつまずき
		◆文章の読み取り (7)	英語文章の読み取りのつまずき
		◆テキスト全体の読み取り (12)	テキスト全体の読み取りによるつまずき
	統合過程 (6)	◆思い込みによる誤理解 (2)	思い込みによって誤った理解をしてしまうことによるつまずき
◆数式の読み取り (4)		数式から問題状況の読み取りができないことによるつまずき	
解法過程 (10)	プラン化過程 (5)	◆当てはめて解く方法 (1)	当てはめによる方法で解こうとする
		◆間違えた方法を適用 (2)	間違えた方法で解こうとする
		◆思いつかないケース (2)	計算方略を思いつかない
	実行過程 (5)	◆思い込みによる誤処理 (2)	思い込みによる誤った処理
		◆計算間違い (3)	計算間違いによるつまずき
問3に関する記述 (6)	◆理解過程のつまずき (5)	問3における理解過程のつまずき	
	◆解法過程のつまずき (1)	問3における解法過程のつまずき	

など、読解に苦勞している状況がみられた。このような問いについては、何度か読むことでテキストを理解しようとしたことから、本調査の英語文章題については回答時間がかかったと考えられる。さらに、[単語の読み取り]について、生徒は「問題には直接関係ないけど、soil と hollow は分からなかった」と述べ、他にも「State」「calculation」「Edge, pray」を分からない単語として挙げた。しかしながら、「分からない単語は多くありましたがだいたい分かった」など、単語につまずきながらも問題を解くことができる生徒がいる状況が見られた。その一方で「一つ分からないと意味が取れなくなってしまう」と述べる生徒もおり、知らない単語によるつまずきの影響が生徒によって異なる状況が明らかになった。

4.4.2 統合過程におけるつまずきとそのプロセス

[思い込みによる誤理解]については、「5m 下がったら 0 になるのではと考えてしまった」、「Hight の最大値が 5m だと思っていました」など自身の解釈をふくめたことによるつまずきが見られた。また、[数式の読み取り]については「5m 足す必要があるのか悩みました。」、「どういう風に投げるのか文章を読んだだけでは分からなかった」など、数式の解釈に関するつまずきが見られた。

4.4.3 解法過程におけるつまずきとそのプロセス

<プラン化過程>では「数を当てはめてやるしかなかった」という[当てはめて解く方法]の活用が見られた。また、「問題文の 5m の建物から投げるのを見逃していたので地面から投げていると思っていた」など、[間違えた方法を適用]してしまう事例や、「Q3 はそもそも求め方を思い出せなかった」など、計算方略を[思いつかないケース]が抽出された。

また、<実行過程>では[思い込みによる誤処理]として、「答えとして書く必要に気づかず消してしまった」、「答えが整数か小数にしかないと考えていた」などの回答が得られた。このように思い込みによるつまずきは、<統合過程>でもみられたことから、解決過程の分類にかかわらず起こる可能性があるといえる。また、[計算間違い]については「単純に計算ミス」、「土を間違えてしまった」のほか、「解いてか

ら一度答えが出なかつただけで、自分の読み取りが間違っているとあっていた読解を違った意味にとろうとしてしまいました」というように、<実行過程>のつまずきが、<変換過程>で誤った読解を導いてしまう状況が指摘された。

4.4.4 生徒のつまずきに関する振り返りの考察

<変換過程>におけるつまずきとそのプロセスでは単語一つが分からないと意味が取れなくなってしまうことがある可能性が指摘された。このことについて、Martiniello (2008) は知らない単語の影響は小さいという結果を示しているが、単語が分からなくても読解できる場合と読解できない場合があるなど、生徒の状況によってつまずきが異なると述べている。本研究での事象と照らし合わせて検討すると、単語のつまずきが文章理解へのつまずきに繋がっており、基本的にボトムアップ方略に基づく読解力が行われていることがわかる。一方、他の生徒の中には、同じ単語が分からなくても正答を得ている例があり、ボトムアップ方略とトップダウン方略を相互作用的に使って読解を行っている事例もみられた。これらのことから、一つの単語が分からず、テキスト全体の理解に結びつかなかつた生徒については、ボトムアップ方略に頼りすぎない読解指導が求められる。与えられた数式からも問題文の表す状況を把握できるので、英文だけでなく数式も活用したトップダウンによる状況把握も有効な手段であると考えられる。ただし、[思い込みによる誤理解]の事例も挙げられたことから、トップダウン方略も適切に行われる必要がある。

また、《解法過程》におけるつまずきとそのプロセスでは、計算が合わないことで自身の英文理解を疑い、正しい解釈を変更した結果、誤答を導いてしまう問題が指摘された。母語でも同様のつまずきは考えられるが、母語でない言語による文章題の方が、認知的負荷の影響から自身の英文解釈の誤った変更を引き起こしやすいと考えられる。このように《解法過程》の数学的処理のつまずきが生徒の読解を困難にし、《理解過程》にまで影響を与えてしまうことが明らかになった。

5.まとめ

本研究では、①英語文章題は生徒のパフォーマンスにどのような影響を与えるか、②英語文章題においてどのようなプロセスでつまずきが起こるか、について考察を行った。

第一に、英語文章題の生徒のパフォーマンスへの影響について、本調査のテストにおいて、英語文章題の回答時間は日本語文章題に比べおよそ 1.3 倍の時間がかかったことが明らかになり、英語文章題の認知的負荷がより大きいという可能性が指摘された。さらに、生徒の得点の比較において、 t 検定からは「テスト合計点」および「平方完成を含む問題」で、英語文章題の方がつまずきが起こりやすい傾向が見られた。「平方完成を含む問題」では、読解と式変形の複合的な困難によって英語文章題でより多くのつまずきが起こったのではないかと考えられる。

第二に、どのようなつまずきが起こるかについて M-GTA を用いた分析から、生徒のつまずきのプロセスの再文脈化とその考察を行なった。記述の分析から、変換過程、統合過程、解法過程の 3 つの観点から 10 の概念に分類されるつまずきの状況を描写した。本研究で新たに表出したつまずきは、単語の理解が全体の読解を困難にしてしまう事例と、計算処理の間違いが正しい読解を誤った解釈に導く事例である。授業の中でこれらのつまずきに対処するため、トップダウン方略とボトムアップ方略を活用し、正確な英文読解を促す必要がある。このようにつまずきの分類を行うことで、それへの対処のパターンも同時に検討することが可能となる。今後これらのつまずきへの対処の具体例を増やしていくことが必要であると考えられる。

本研究は、第二言語での数学実施という事に焦点をあて研究を行った。研究の限界として、今回の調査は国際バカロレア認定校において、英語で行われている数学 I の学習内容について議論を行なったが、国際バカロレアにおける学びの方法の違いや英語による授業が生徒のつまずきに影響していることは考えられる。

今後、国際バカロレア認定校が増えるにつれて、数学を英語で実施する学校が増えてくると考えられる。また、世界に目を向けると母語以外で数学を学

習する生徒は増えていくことが考えられる。今回のように、英語で数学を解くことに関する課題の内実を個別的・具体的に明らかにし、これから課題への対処の事例を積み重ね、教育のグローバル化について検討していくことが必要であると考えられる。

引用および参考文献

- 石田淳一・多鹿秀継 (1993) . 「算数文章題解決における下位過程の分析」. 日本科学教育学会誌『科学教育研究』, 第 17 巻, 第 1 号, pp.18-25.
- 植竹恒男 (2002) . 「2 次方程式の解の公式-その現代における教育的意義」. 東京理科大学『理学研究科雑誌』, 44(2). p. 136.
- 木下康仁 (2007) . 「修正版グラウンデッド・セオリー・アプローチ(M-GTA)の分析技法」. 『富山大学看護学会誌』, 第 6 巻, 第 2 号, pp.1-10.
- 国際バカロレア機構 (2014) . 『国際バカロレア (IB) の教育とは ?』. 国際バカロレア機構.
- 角南なおみ (2013) . 「子どもに肯定的変化を促す教師の関わりの特徴-修正版グラウンデッド・セオリー・アプローチによる仮説モデルの生成-」. 『教育心理学研究』, 61, pp.323-339.
- 中村好則 (2016) . 「高校における数学学習のつまずきと支援に関する研究~『二次関数』の学習内容の理解に焦点を当てて~」. 『数学教育学会誌』, Vol.57, No.1, pp.39-50.
- 中和渚, 渡邊耕二, 木村光宏 (2021) . 「日本の公立校の国際バカロレアディプロマプログラム準備段階における生徒の英語による統計学習についての考察-生徒のアイデンティティと統計問題の正答率に焦点を当てて-」. 関東学院大学理工学部建築・環境学部教養学会『科学/人間』, 50, pp.171-193.
- 長谷川順一 (2005) . 「2 次方程式の図的解法-中学校 3 年生を対象として-」. 『香川大学教育実践総合研究』, 10, pp.47-58.
- 備瀬美香・伊藤智子・鈴木雅之 (2017) . 「英文読解方略の指導と動機づけの関係」. 『日本教育工学会論文誌』, 41, pp.105-108.
- 本林響子 (2006) . 「カミンズ理論の基本概念とその後の展開 : Cummins "Language, Power and Pedagogy" を中心に」. お茶の水女子大学日本語文化学会『言語文化と日本語教育』, 31, pp.23-29.
- 文部科学省ホームページ (2021) . 「IB とは」 . <<https://ibconsortium.mext.go.jp/about-ib/>>

- (2021.12.1 最終確認)
- Anthony, A., & Walshaw, M. (2007). Effective pedagogy in mathematics/ pangarau. *Best Evidence Synthesis Iteration [BES]*, Wellington, New Zealand: Ministry of Education.
- Barbu, O. C., & Beal, C. R. (2010). Effects of linguistic complexity and math difficulty on word problem solving by English learners. *International Journal of Education*, 2(2), pp.1-19.
- Barwell, R., Barton, B., & Setati, M. (2007). Multilingual issues in mathematics education: introduction. *Educational studies in mathematics*, 64, pp.113-119.
- Carrell, P. L. (1989). Metacognitive Awareness and Second Language Reading. *The Modern Language Journal*, 73(2), pp.121-134. <https://doi.org/10.2307/326568>
- Clinton, V., Basaraba, D., & Walkington, C. (2018) . English Learners and Mathematical Word Problem Solving: A Systematic Review. *Educational Foundations and Research Faculty Publications*, University of North Dakota UND Scholarly Commons, pp.1-32.
- Cummins, J.(1979[2001]). Linguistic inter-dependence and the educational development of bilingual children, *Review of Educational Research*, 49, pp.222-51.
- Cummins, J.(1981). The role of primary language development in promoting educational success for language minority students, *California State Department of Education, Schooling and Language nationality Students*, pp.3-49.
- Domínguez, H. (2011). Using what matters to students in bilingual mathematics problems. *Educational studies in mathematics*, 76, pp.305-328.
- Haese, M., Haese, S., Humphries, M., Kemp, E., Vollmar, P., (2014). *Mathematics for the International Student: Mathematical Studies SL*. Adelaide: Haese Mathematics.
- Kester-Phillips, Bardsley, Bach, & Gibb-Brown. (2009). "But I Teach Math!" the Journey of Middle School Mathematics Teachers and Literacy Coaches Learning to Integrate Literacy Strategies into the Math Instruction. *Education*, v129, n3, pp.467-472.
- Martiniello, M. (2008). Language and the performance of English-language learners in math word problems. *Harvard Educational Review*, 78, pp.333-368.
- Rivera, C., Stansfield, C. W., Scialdone, L., & Sharkey, M. (2000). *An analysis of state policies for the inclusion and accommodation of English language learners in state assessment programs during 1998-1999*. Washington, DC: Center for Equity & Excellence in Education, The George Washington University.
- (Received: January 21,2022)
- (Issued in internet Edition: February 4,2022)