

# 英語による数学学習のプロセスに関する考察 ～修正版グラウンデッドセオリーアプローチによる分析～

神奈川県立横浜国際高等学校

早稲田大学教育総合研究所

木村 光宏

# 1-1. 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）の実施により英語による数学学習が広まっている.
  - 日本でもIBプログラムを88校が実施しており（2020年，文科省HP），数学授業が英語で行われるケースが増えてきている.
  - 教授言語についての問題は国際的に広く議論されているが，数学教育において母語との関連を議論している研究は少ない（Rivera, Stansfield, Scialdone, & Sharkey, 2000）.
- 日本の国際バカロレア認定校において，英語による数学学習の内実を明らかにし，どのような困難があるかについて検証していく必要がある.

## 2-1. 英語による文章題の先行研究

- Kester-Phillips, Bardsley, Bach, & Gibb–Brown (2009) は、学習者は英語理解と同時に数学用語の情報処理が必要で、通常よりも負荷がかかる状況を指摘している。
- 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、知らない単語による影響は小さく、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。

## 2-2. 文章題に関する先行研究

- 文章題は数処理，数概念，計算の力が総合的に発揮される問題（竹野, 2016）。
- 石田・多鹿（1993）によると表1の通り理解過程，解法過程があり，図1の通り順番に処理が行われる。

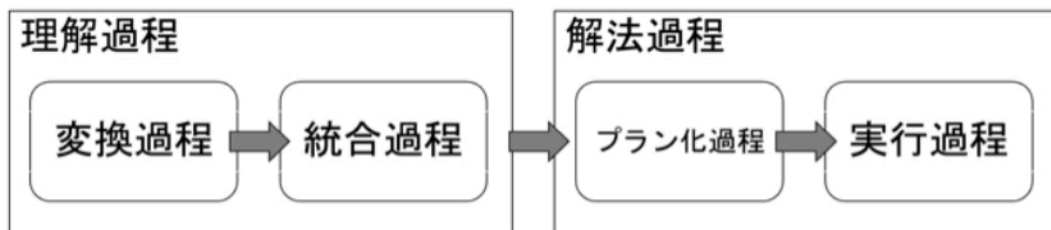


図 1：文章題の解決過程 石田・多鹿(1993)より筆者作成

表 1：理解過程と解法過程の構成要素

理解過程	<b>変換過程(translation process)</b> 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あり、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。
	<b>統合過程(integration process)</b> 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	<b>プラン化過程(planning process)</b> 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。
	<b>実行過程(execution process)</b> 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)より筆者作成

## 2-3. 第二言語習得と読解に関する枠組み

- Cummins (1981)によると生活言語能力 (BICS) , 学習言語能力 (CALP) に分類し, 違いに配慮した教育をするべきと主張している.
- 野村 (2016) は図2の通り, 文章理解にはトップダウン処理とボトムアップ処理があると指摘し, このモデルを使って読解を解釈できるとしている.

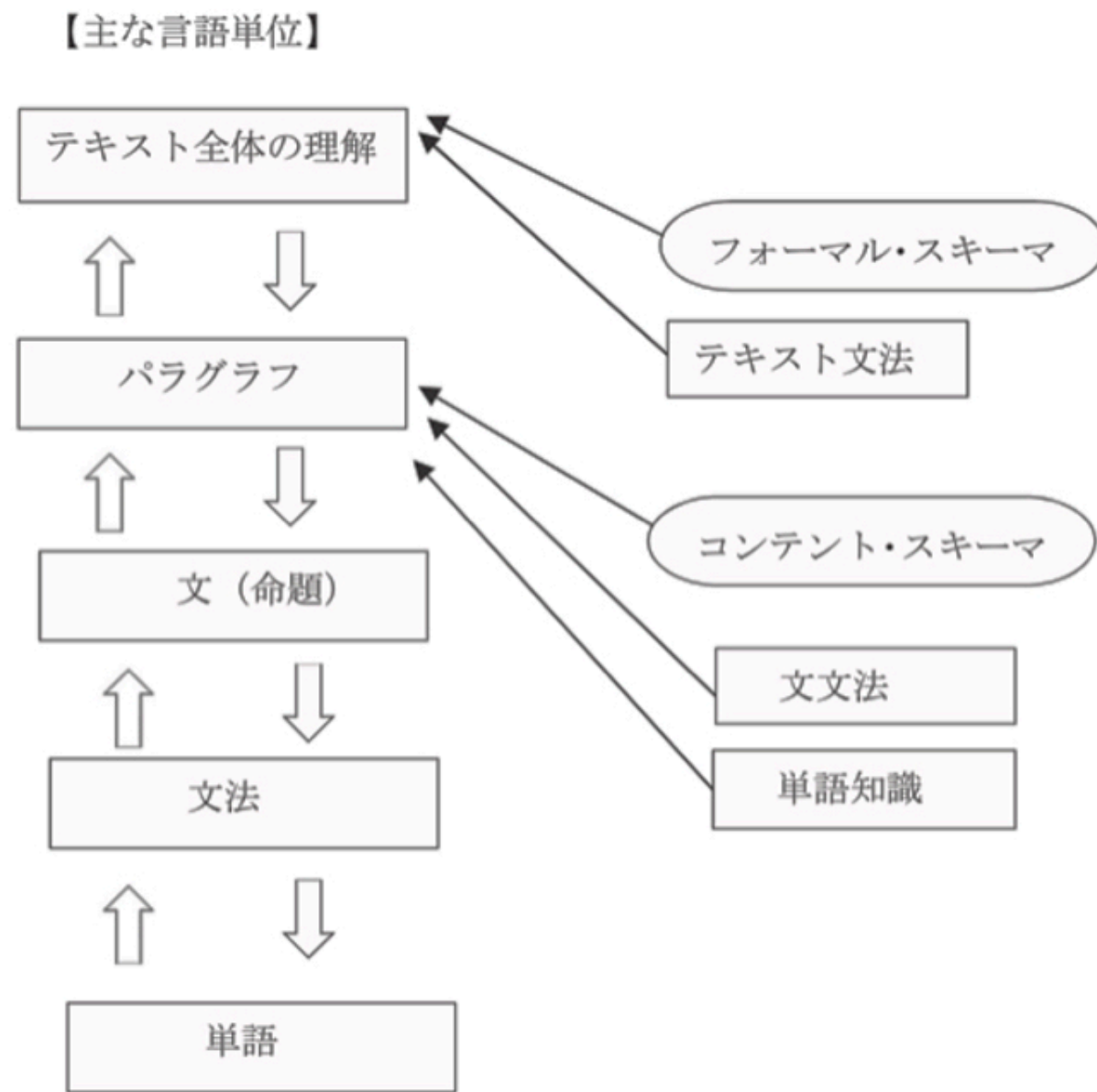


図 2 : 英文読解のプロセス (野村,2016)

## 2-4. 修正版グラウンデッドセオリーアプローチ (M-GTA) について (木下, 2007)

- グラウンデッドセオリーアプローチ (以下**GTA**) はデータに密着した分析から理論を生成する研究法
- データに基づいた分析であり、その結果が独自の理論となる
- 木村 (2007) など、教育学研究でも教師の感情と認知等の生起のプロセスを描写し、モデル生成を行うなど、**GTA**が活用されている。
- 修正版は**GTA**の基本特性はおさえつつ、意味のまとまりで区切るなど、コーディングの方法は独自の方法をとっている。
- 演繹的、帰納的にコーディングが行われる。

# 2-5. M-GTAのコーディングと再分脈化のプロセス

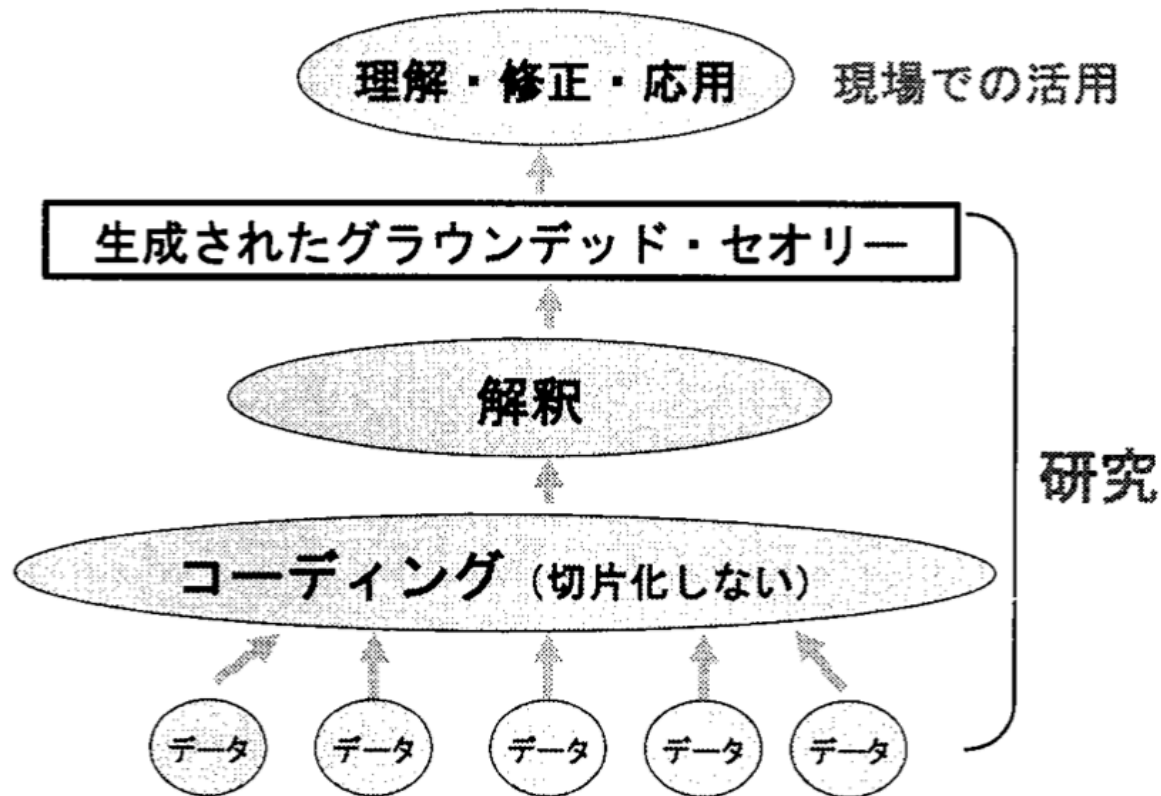


図3 : M-GTAのグラウンデッド・セオリー生成の流れ  
出典 : 松戸 (2008)

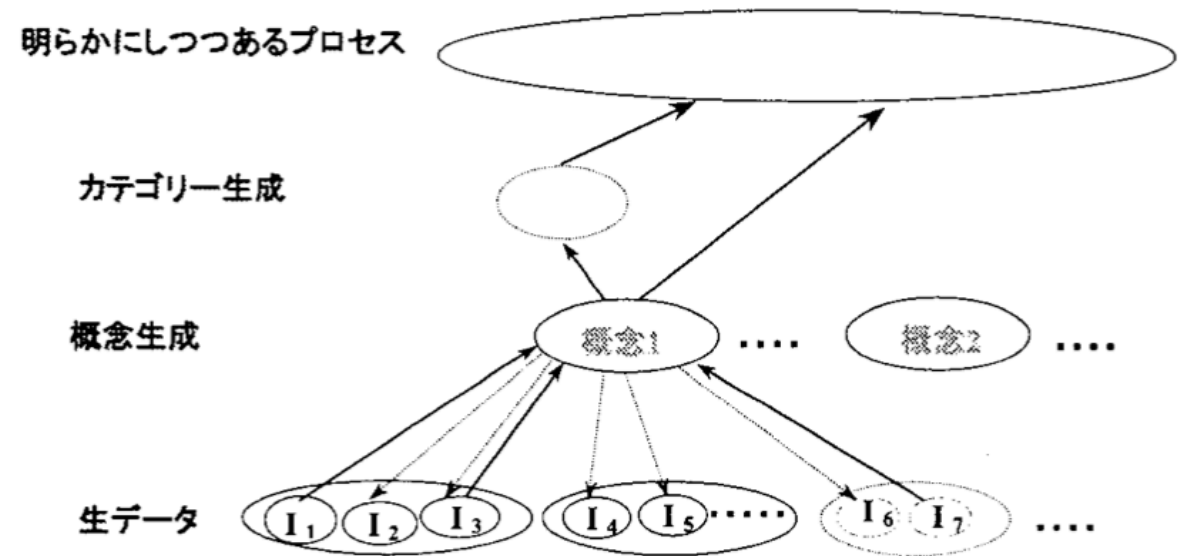


図4 : M-GTAによるプロセス描写の流れ  
出典 : 木下 (2003)

## 2-4. 研究目的

国際バカロレア認定校の公立高等学校において、英語で授業を受けるIB生徒と日本語で授業を受ける普通科生徒について、それぞれ「英語文章題」と「日本語文章題」の記述の比較を通して、

①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つまずきが起こるか、  
について考察することを目的とした。



## 3-1. 研究方法

- 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名の生徒を対象に実施
- 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。
- 数学授業は、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。

## 3-2. 調査対象生徒概況

- IB生徒の英語力について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、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14名は2年未満の英語圏での学習経験であったことから、多くの生徒が日本語を中心に学習してきたと考えられる。
- 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おり、2名の生徒は小学生の時に三年間程度英語で数学を学んだが、全ての生徒が5年以上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十分な日本語運用能力があると考えた。

### 3-3. 予備調査の内容

- 基礎的な二次方程式の知識を確認する問題として以下を設定した。

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 3：調査①質問紙の内容

- 予備調査で解の公式と平方完成についての理解を確認したところ、t検定による結果の差はみらず同程度の学習を行ってきたことから。本研究では、IB生徒と普通科生徒は数学理解において、同程度の集団とみなして本調査を行った。

## 3-4. 本調査の内容

- 本調査の問題は右のように構成した。IB生徒には英語のみの質問紙を，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。

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



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  $h = -\left(\frac{1}{2}\right)t^2 + t + 5$  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  $h = -\left(\frac{1}{2}\right)t^2 + t + 5$  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. )

# 3-5. M-GTAによるつまずきの分析方法

表 3 : M-GTA 分析の手続き (原田, 2004 を改変)

- 分析対象の生徒振り返り記述について、「①分からない単語や分からない表現」と、「②何につまずいたか」、について記述を行うように指示をした。
- 生徒の記述をプロトコルデータ化し、右の手順で概念とカテゴリーを生成し、再分脈化の作業を行った。

STEP	分析
0	<b>予備的分析</b> 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	<b>概念化</b> 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	<b>カテゴリー生成</b> 前ステップを踏まえ, 概念からカテゴリーへ統合
3	<b>カテゴリー化確認</b> 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	<b>概念とカテゴリーの修正</b> 確認作業での相違点を踏まえ, 見直しを行う
5	<b>カテゴリーの確認</b> 研究者1名によるカテゴリーの最終確認
6	<b>再分脈化</b> 概念, カテゴリーの関係から再分脈化を行う

## 4-1. t 検定分析結果と考察

- 本調査テストにおいて英語文章題の解答はおよそ1.3倍の時間がかかり、認知的負荷があることが示唆された。
- t検定の結果から問3と合計で有意差が見られた ( $p < .05$ ) .
- 平方完成を含む問題は英文読解と式変形の複合的な困難から得点が低いと考えられる。
- 合計点での差については、英語文章題のつまずきが起こっていることが示唆される。

表 5 : 本調査の日英テスト比較と  $t$  検定結果

	国際科	IB	$t$ 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

# 4-2. MAXQDAによる定性的コーディング

The screenshot displays the MAXQDA software interface. At the top, a navigation bar includes tabs for Home, Import, Codes, Memos, Variables, Analysis, Mixed Methods, Visual Tools, Reports, Stats, and MAXDictio. Below this is a toolbar with icons for MAXMaps, Code Matrix Browser, Code Relations Browser, Code Map, Document Map, Document Comparison Chart, Document Portrait, Codeline, and Word Cloud.

The main workspace is divided into several panes:

- Left Pane (Code System):** A hierarchical tree structure of coding categories. A red bracket on the left labels this as "概念・カテゴリーのラベル" (Concept/Category Labels). The categories include: 理解過程 (Understanding Process), 変換過程 (Transformation Process), 統合過程 (Integration Process), 解法過程 (Solution Process), プラン化過程 (Planning Process), 実行過程 (Execution Process), and Q3に関する記述 (Description related to Q3).
- Top-Right Pane (Document Browser):** Titled "Document Browser: 質的コーディング分析用テキスト (58 Paragraphs)". It shows a list of paragraphs with associated codes. A blue bracket on the right labels this as "プロトコルデータとラベルの対応" (Correspondence between Protocol Data and Labels). The text in this pane includes: "かった。", "1507", "分からない単語は多くありましたが、問題の趣旨は分かりました。", "Q2で解の公式を使うのに気づかず、因数分解をしてしまいました。", "1508", "1507", "投げる軌道のイメージはできていた。", "1508", "最初に前提として「5 m」という記述があるのに答えに前提の5 mを足してしまった。"
- Bottom-Right Pane (Retrieved Segments):** Titled "Retrieved Segments" and "2 coded segments (from 1 document, 1 document group)". It lists specific segments with their codes and positions. A green bracket on the right labels this as "ラベルに紐づくデータの一覧" (List of Data Linked to Labels). The segments are: "5 m下がったら0になるのではと考えてしまった。" (Code: 統合過程 > 思い込みによる誤理解 (0), Pos. 49) and "Hightの最大値が5 mだと思っていました。" (Code: 統合過程 > 思い込みによる誤理解 (0), Pos. 50).

At the bottom of the interface, a status bar shows "Simple Coding Query (OR combination of codes)".



## 4-3. M-GTAによるつまずきの分析

- 以下の通り、3つのコアカテゴリーと4つのサブカテゴリーと12の概念を分析から抽出した。抽出した概念の数に合わせて3つの再分脈化を行った。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。

表5：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)	単語の読み取りのつまずき
		◆文章の読み取り (7)	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)	間違った方法で解こうとする
		◆思いつかないケース (2)	計算方略が思いつかない
	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	



## 4-4. 変換過程でのつまずき記述の再分脈化

- [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」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。
- [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「1つ分からないと意味が取れなくなってしまう」と述べる生徒もあり, 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ことがわかる。

## 4-5. 統合過程でのつまずき記述の再分脈化

- [思い込みによる誤理解]については、「Hightの最大値が5 mだと思っていた」など自身の解釈を含めたことによるつまずきがみられた。
- [数式の読み取り]については「5 m足す必要があるのか悩みました。」，など，数式の解釈に関するつまずきが見られた。

## 4-5. 解法過程でのつまずき記述の再分脈化

- <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。
- <実行過程>では[思い込みによる誤処理]として、「答えが整数か小数にしかならないと考えていた」などの回答が得られた。思い込みによるつまずきは統合過程でもみられ、過程の分類にかかわらず起こる可能性があると言える。
- [計算間違い]については「単純に計算ミス」などのほか、「解いてから一度答えが出なかっただけで、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>での正しい読解を誤った読解に修正してしまう状況が指摘された。

## 5. まとめ

- 英語文章題の解答時間分析から、認知的負荷が起こる状況が確認された
- t検定から「数値を代入する問題」と「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。
- <変換過程>のつまずきでは、単語1つが分からないと意味が取れないなどボトムアップ処理に基づく読解が行われているが、同じ単語が分からなくてもトップダウン処理による読解により正答を得ている事例もみられた。これらのことから、ボトムアップ処理に頼りすぎない読解指導が求められるといえる。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、トップダウン処理も適切に行われる必要がある。

## 5. まとめ

- 自身の正しい英文理解を疑い、修正した結果、誤答を導いてしまうとい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、認知的負荷の考え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。

# 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』, 17巻1号, pp. 18-25.
- 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.
- 本林響子（2006）「カミンス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言語文化学会『言語文化と日本語教育』, 31, 23-29.
- 文部科学省ホームページ（2020）「IBとは」(<https://ibconsortium.mext.go.jp/about-ib/>)
- 多鹿秀継・石田淳一（1989）「子どもにおける算数文章題の理解・記憶」『教育心理学研究』, 37, 126-134.
- 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.
- 樋口耕一（2014）「内容分析から計量テキストの計量テキスト分析へ-継承と発展を目指して」, 『社会調査のための計量テキスト分析』, ナカニシヤ出版, pp.1-16.
- 野村幸代（2016）「読解過程モデルに基づく高校英語の授業分析」. 『教授学習心理学研究』第12巻 第2号 pp. 32-43.
- 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・2 pp. 39-50.
- Anderson, J.R. (2005). *Cognitive psychology and its implications*. NY, Worth Publisher.
- Barwell, R., Barton, B., & Setati, M. (2007). Multilingual issues in mathematics education: introduction. *Educational studies in mathematics*, 64, 113-119.
- Cummins, J. (1979[2001]) Linguistic interdependence and the educational development of bilingual children, *Review of Educational Research*, 49, 222-51.
- Cummins, J. (1981) The role of primary language development in promoting educational success for language minority students, California State Department of Education (ed.), *Schooling and Language Nationality Students*; 3-49, Los Angeles: Evaluation, Dissemination and Assessment Centre, California State University.
- Domínguez, H. (2011). Using what matters to students in bilingual mathematics problems. *Educational studies in mathematics*, 76, 305-328.
- Kintsch, W., Greeno, J.G., "Understanding and Solving Word Arithmetic Problem" *Psychological Review*, 92-1, pp.109-129, (1985)
- 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 p467-472.
- Martiniello, M. (2008). Language and the performance of English-language learners in math word problems. *Harvard Educational Review*, 78, 333-368. doi: 10.17763/haer.78.2.70783570r1111t32.
- Neokleous, G. (2017). Closing the gap: Student attitudes toward first language use in monolingual EFL classrooms. *TESOL Journal*, 8(2), 314-341. <https://doi.org/10.1002/tesj.272>

ご静聴ありがとうございました