

国際バカロレアにおける英語による数学学習に関する考察

—関数分野に焦点を当てて—

要約書

日本大学大学院総合社会情報研究科

博士後期課程 総合社会情報専攻

令和5年度

指導教員 柴山 英樹

71211004 木村 光宏

第1節 研究の背景と目的

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）の影響で、英語による数学学習の実施が広まっている。IBは、国境を超えて教育を受ける生徒の教育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, 2019）。IBの認定を受けた学校は159以上の国・地域で約5700校に及び、日本でも200以上のプログラムが実施されるなど、文部科学省はIBを推進している（文部科学省, 2023）。このIBプログラムのねらいは、地球を共に守る責任を認識した国際的な視野を持った人間の育成であり、その目標を達成するために10の学習者像を設定している（国際バカロレア機構, 2019）。

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広がってきており、日本語と英語で授業を実施する日本語 DP では2科目以上を英語で実施することが義務付けられており、数学の教授言語として英語を採用する学校数は増えてきている。今後グローバル化が進み、教授言語として英語が採用されることが考えられるため、日本語を母語とする生徒にとっての英語での数学学習について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。

IBの教育方法として、探究を基盤とした指導が挙げられる。探究のプロセスでは「探究」「行動」「振り返り」のサイクルが奨励され、各生徒が教室での学習活動に積極的に参加し、生徒と教師、または生徒同士が活発にコミュニケーションをとることとしている。さらに、IBの学びの方法として Approaches to learning（以下 ATL）スキルが設定されており、DPでは「思考スキル」「コミュニケーションスキル」「社会性スキル」「自己管理スキル」「リサーチスキル」の5つが設定されている（国際バカロレア機構, 2020a）。

母語以外で数学を学ぶ (English as a second language: 以下 ESL) 生徒の課題について、数学的な理解をする上で、使用言語の課題は数学的概念へのアクセスと切り離すことはできないと指摘され (Durkin & Shire, 1991)、数学で使用する言語にどれだけ精通しているかが重要な要因となっている。さらに、ESL 生徒は内容や語彙の知識に精通し、数学的なコミュニケーションができるだけでなく、十分な英語の読解力と作文力を持っていなければならない (Essien, 2010) とされている。また、Martiniello (2008) 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、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)。このように、数学のテスト項目の言語的な複雑さは、一般に英語学習者の成績の低さと関連しているようであるが、その理由はまだ完全には解明されていない (Barbu & Beal, 2010)。第二言語として英語を学ぶ ESL 生徒の課題として、英語による数学学習を行う際、特殊な数学用語や記号システムが学生に多くの困難をもたらすことが指摘されていることから、第二言語で数学を学ぶ生徒の支援の必要性がうかがえる。

また、英語による数学学習に関連して、言語教育の文脈で内容言語統合型学習法 (Content and Language Integrated Learning: 以下 CLIL) が知られ、CLIL は母語以外の言語を使って、内容と言語の両方を学習・教育する二つの焦点をもつ教育アプローチと定義されている (Coyle et al., 2010)。また、二五 (2015) は、メタ言語能力が発達し、問題解決の際に自分で修正し、難しい問題にも自信をもって取り組むことができるようになるとしている。

英語による数学学習の内実を捉えるためには、問題解決における課題の側面だけではなく、数学と言語の相互作用によるプロセスに焦点を当て、生徒の解答中の思考やどのように記述をしたかについて迫るような研究が必要であると考えた。

したがって本研究では、対象とする学習領域を多様な表現で表すことができる関数分野に絞り、上記の課題を踏まえ、以下の研究課題を設定する。

研究課題 1：英語による数学学習の実態に関する基礎調査を行い、生徒の考える有効性と課題を同定する。（基礎調査）

研究課題 2：質問紙調査により、英語による関数文章題のつまずきについて調査を行い、課題について明らかにする。（調査①）

研究課題 3：インタビュー調査により、英語による関数文章題における生徒の問題解決のプロセスを捉える。（調査②）

本研究では、上記の 3 つの研究課題を踏まえ、IB における英語による数学学習について、生徒のつまずきと問題解決のプロセスから生徒の学びの実態を明らかにすることを目的とする。

第 2 節 研究の意義

調査の準備段階として、IB の目指す教育について整理を行う。

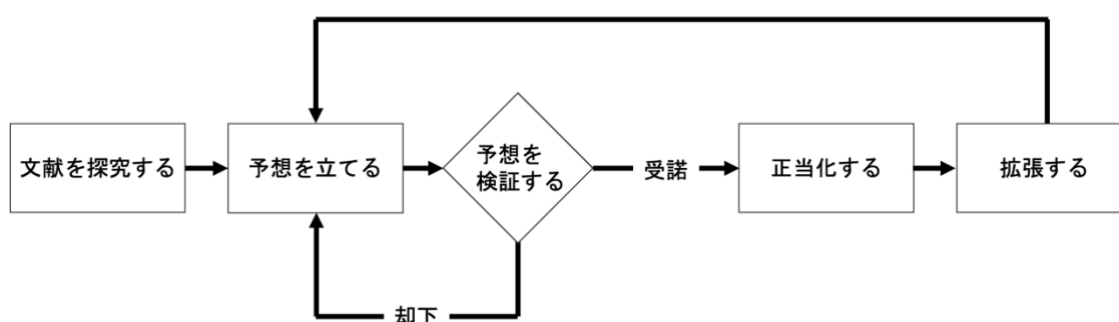
すべての IB プログラムの中で基礎となっている教育上の原則の一つは探究を基盤とした指導とされている。探究のプロセスでは「探究」「行動」「振り返り」のサイクルが奨励され、重要なことは各生徒が教室での学習活動に積極的に参加し、生徒と教師、または生徒同士が活発にコミュニケーションをとることとしている。特に DP は IB の開始当初に導入されたプログラムで、教科学習は 6 つのグループで構成されており、それらの中から 6 科目とコアの履修がディプロマ取得の要件となっている。提供する科目は学校ごとに異なり、基本的に生徒の進路や興味関心に合わせて科目を選択することになっている。IBDP カリキュラムの概要を表 1 に示す。

表1：IBDPカリキュラムの概要

①IBの使命	多様な文化の理解と尊重の精神を通じた、より良い、より平和な世界を築くことに貢献する、探究心、知識、思いやりに富んだ若者の育成	
②IBの学習者像	探究する人、知識のある人、考える人、コミュニケーションができる人、信念をもつ人、心を開く人、思いやりのある人、挑戦する人、バランスのとれた人、振り返りができる人	
③学習の方法 Approaches to Learning (ATL)	思考スキル、リサーチスキル、コミュニケーションスキル、社会性スキル、自己管理スキル、	
④コア ※規定の時間の取組みが必要	課題論文 (Extended Essay: 以下 EE) 知の理論 (TOK: Theory of Knowledge: 以下 TOK) 創造性・活動・奉仕 (Creativity Action and Service: 以下 CAS)	
⑤教科学習 ※DLDP ¹ は2科目以上を英語で履修	グループ1：言語と文学 (母国語) グループ2：言語習得 (外国語) グループ3：個人と社会	グループ4：理科 グループ5：数学 グループ6：芸術
⑥評価	各学校における内部評価：各学校の採点の後、IB機構が最適化を行う IBの試験による外部評価：IB機構の試験官によって採点される	

出所：国際バカロレア機構 (2020a) より筆者作成

DP 数学では、生徒が常に学習活動に能動的に参加することによって「数学」を学ぶべきとし、図1のような数学的探究のサイクルを通して、批判的思考と問題解決スキルの刺激を奨励している。



出所：国際バカロレア, 2020b より筆者作成

図1：IB 数学における数学的探究のサイクル

¹ 複数言語による授業を展開するデュアルラングエッジディプロマプログラム (Dual Language Diploma Programme) を指す。

DP 数学を対象とした先行研究では、Mayer (1985) の文章題問題解決過程の枠組みを活用し、ESL 生徒の英語による文章題解決のつまずきについて調査を行っている (Essien, 2010)。この枠組みでは文章題の問題解決過程を以下のように 4 つに分類 (変換過程、統合過程、プラン化過程、実行過程) している。

第一に、変換過程では設問から得られる各命題を内的表象に変換することで、この過程では一つひとつの文章から内的表象を形成することが想定されている。

第二に、統合過程では、設問の条件をまとめて図などの一貫した表現することとされ、英語の意味を統合して文やパラグラフなどの大きな単位で捉え、図などの表現に統合する過程であるといえる。

第三に、プラン化過程は、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。

第四に、実行過程は、問題解決者が計算などの操作を実行する過程で、解決手順に関する何らかの知識、すなわちアルゴリズム的な知識が必要で、英語による実行過程については、式の変形過程の説明や、解が成り立つ時の条件などを英語で記載する能力が求められる。

また、英語で教科内容を学ぶアプローチの一つに CLIL が知られている。CLIL は母語以外の言語を使って、内容と言語の両方を学習・教育する二つの焦点をもつ教育アプローチと定義されており、移民が多く狭い地域に多くの異なる言語をもつヨーロッパの状況下で生まれたものとされている (Coyle et al., 2010)。CLIL では内容理解と言語活用だけでなく、文化を同時に理解することなどが強調されており、文章題ではしばしば豊かな文脈が現れることから、生徒の触れる文化的な側面を理解して調査を行うことが必要であると考えられる。

本研究では先述した枠組みを用い、CLIL の視点を踏まえた上で、生徒の英語による数学学習の状況を捉えていくこととした。

第3節 基礎調査

基礎調査はIB認定校における1年次のDP開始前のプログラム(4-12月)の数学Iの授業において、23名(男性5名、女性18名)の生徒を対象に言語と数学の授業内容の把握に関する基礎調査を実施した。授業ではIBプログラムMYPやDPのテキストを活用してきた。入学当初から英語で数学Iの授業を実施しているクラスで、言語の影響を基礎調査するのに適切な時期を考慮し、質問紙は第一回目を2019年5月に第二回目を2019年12月に実施し、言語に関する状況の変化を生徒が記述したアンケートより捉えた。クラスで行われていた授業は基本的に英語で必要に応じて日本語で説明するなどのCLILの手法で行われていた。

質問紙では、「生徒の海外往来歴及び生徒が友達・家族と通常使う言語」、「数学の授業で使われる英語を何割程度把握しているか」、「数学の授業内容を何割程度把握しているか」、「数学の内容を英語で理解するのに、日本語の授業と比べて何倍程度の時間を要するか」を合計4問の選択式でたずね、「授業を英語で受けるメリット・デメリット」について記述式でたずねた。分析については、選択項目は統計的手法を、記述項目はkhcorderで処理したのちテキストマイニングの手法により実施した。

授業外で友達と使う言語および家庭で家族と通常使う言語の状況調査の結果は以下のとおり。

表2：生徒の言語状況調査 (n=23)

	日本語	英語	日英両方	その他
①授業外で友達と通常使う言語	21名	0名	2名	0名
②家庭で家族と通常使う言語	17名	1名	4名	1名

出所：筆者作成

表2から多くの生徒が友達や家族と日本語で会話しており、日本語の活用が主になっている状況がうかがえる。加えて、海外在住歴について期間、場所について表3に結果を示す。

表 3：生徒の海外在住期間 (n=23)

	在住期間	人数 (在住経験のある国)
①海外在住歴のない生徒	なし	14名
②海外在住歴のある生徒	1～3年	4名 (アメリカ 3名、 カナダ 1名)
	4～7年	4名 (アメリカ 3名、 韓国 1名)
	8年以上	1名 (アメリカ)

出所：筆者作成

表 3 から海外の在住経験のない生徒が多く、在住歴のある生徒の中ではアメリカ在住経験がある生徒が多いことがわかる。

数学の理解状況について、2回の基礎調査を実施した。表 4 にその結果のまとめを示す。生徒の言語状況を把握するため、理解度の割合をパーセントポイント (以下%pt) に変換して処理を行った。

表 4：数学の理解状況分析項目の平均値 (n=23)

	第一回 基礎調査	第二回 基礎調査	t 検定結果 p 値
①数学授業中の 英語の理解 (単位：%pt)	M:68.7 SD:21.6	M:80.4 SD:13.6	$t(22) = -2.287$ $p = 0.016$
②数学内容の理解 (単位：%pt)	M:76.5 SD:21.4	M:75.4 SD:11.4	$t(22) = 0.245$ $p = 0.404$
③日本語に比べ英語の理解にかかる時間 (単位：倍)	M:1.79 SD:0.57	M:1.61 SD:0.54	$t(22) = 1.534$ $p = 0.07$

表 4 より「①数学授業中の英語の理解」において、第二回基礎調査結果の方が高い結果が得られたことから、入学後 8 ヶ月程度で授業中の英語の理解については改善されることが明らかになった。

以下に生徒記述回答のテキストマイニングにより、本研究で明らかになった生徒の考える英語による数学学習のメリットとデメリットをまとめた。

表 5：生徒記述からみられた英語で数学を学ぶメリットとデメリット

英語で数学を学ぶメリット	英語で数学を学ぶデメリット
学び始めて 8 ヶ月後の結果では、授業中の英語理解が進んだ 将来、大学などで、英語で数学を説明する際に有効 英語を好む生徒が数学に前向きになる CALP や BICS をもつ生徒との協働による言語運用能力の向上 8 ヶ月後の言語不安の軽減 英語の方が理解しやすい（英語が得意な生徒）	学び始めた時期は数学における独特な表現を身につける必要があり、言語的な理解に課題がある 理解にかかる時間は 1.6～1.8 倍の時間がかかり 8 ヶ月後も大きな改善はみられない 自身の理解が 100%正しいのかわからない 英語でのアウトプットに困難がある クラスでの発言における言語不安 将来、日本語で数学をする際の不安

出所：筆者作成

上記のようにメリットとデメリットを挙げると、英語で数学を学ぶ課題が多いようにも見えるが、コードスイッチングのように言語間の境界を前提とするのではなく、トランスランゲージングのように母語を活用して両言語を伸ばす指導により課題を改善することができると考えられる。トランスランゲージングを踏まえた指導により、デメリットで挙げられた課題を解決するだけでなく、言語的な成長と内容の理解を同時的に進めることができると考えられる。ここで挙げられたデメリットは、英語による授業が解決できない問題ではなく、今後の指導方略を検討する際に考慮すべき点として捉え、母語の活用をすることでどのように英語の能力を伸ばすかについての検討が必要であると考えられる。

基礎調査では、英語による数学学習の有効性と課題について同定した。有効性はメリットの側面に、課題はデメリットに挙げられ、母語を活用しながら課題を解決していくようなアプローチが有効であると考えられる。また、基礎調査では生徒がどのように思考し、英語の運用が行われているかという点については記述が見られなかったため、本調査でより詳細な質問紙やインタビューによる調査で明らかにすることとした。

第4節 本調査

調査①では、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、あらかじめ文章題を解くのに必要な数学の知識を持っていることを事前調査で確認した上で、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6点満点で提示した。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。

調査①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。

<p>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の高さの建物から玉を投げました。t秒後の玉の高さは $h = -\frac{1}{2}t^2 + t + 5$ 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.)</p> <p>問1 2秒後の玉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.)</p> <p>問2 玉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.)</p> <p>問3 玉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.)</p>

図2：調査における質問紙内容（括弧内は英語記述）

得られたデータは、M-GTA（木下, 2007）を用いて分析を行なった。本研究では、M-GTAの再文脈化による描写から、生徒の捉えるつまずきとそのプロセスを示すことができると考えた。

調査①の結果について、合計点に関してはt検定を行い、普通科とIB生徒の差の検討を行った（表6）。

表 6：調査①の日英テストの合計における平均点と標準偏差

	普通科 (n=26)	IB (n=24)	t 検定 p 値
合計 6 点満点	M:3.5 SD:1.58	M:2.71 SD:1.55	$t(48)=0.040$ $p=.0401$

t 検定結果から、合計で有意差がみられた ($p < .05$)。これらの項目について、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。さらに、回答時間について t 検定を行ったところ、英語文章問題は日本語文章題に比べ統計的に有意に時間がかかり ($p < .01$)、およそ 1.3 倍長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。

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》、《問 3 に関する記述》の 3 つのコアカテゴリーを割り当てた。その他サブカテゴリーと概念は以下の通り。

表 7：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

表 7 のコーディングの結果を踏まえて、Mayer の問題解決過程の枠組みに合わせて再文脈化を行った。生徒の解答の分析から、下線等の付記、図・グラフの描画、母語の付記などの意識化を通して、英語による問題の読解の工夫がみられた。しかしながら英語で解答する際のパフ

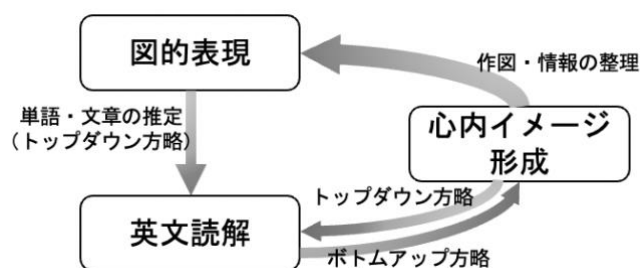
パフォーマンスは母語の集団に比べて低く、認知的負荷が起こっている状況が示唆された。認知的負荷の影響が表出した場面として、単純な計算のミス、解答の吟味の課題、与えられた数式から正確に情報を読み取ることの課題などが挙げられた。

調査②では、生徒 12 名を対象に調査①と同じ問題を解かせた後、インタビュー調査を実施した。高校入学までの英語による学習経験年数はそれぞれ、4 年（2 名）、2 年（1 名）、0 年（7 名）で、どの生徒も日本の教育経験の方が長く、全員が授業外及び家庭では主に日本語を使うと回答した。

得られたデータは佐藤（2008）のコーディングに従って分類を行い、その後インタビュー結果と生徒の回答記述を踏まえて再文脈化を行い、生徒の文章題解決のプロセスの検討を行った。

結果と考察については、第一に、問題文への書き込みについては「区切って読む手法」と「日本語を付記する手法」がみられた。「区切って読む手法」について、土居・隅田（2004）は母語と構造の異なる外国語の習得に有効で、英文を元の語順のまま理解する能力を身につけることができるとしている。IB の授業を通して、英語で読み、英語で考え、英語でコミュニケーションを取ることができるようになれば、様々な分野のグローバル人材育成に貢献できると考えられる。その一方で、問題文に日本語を付記する生徒がいたことから、日本語を介して問題内容を理解している生徒がおり、英文のまま理解する能力についてはまだ発展途上であるといえる。第二に、問題文のイメージを作図することに関して、生徒は問題状況を理解するために、イメージを活性化させる心内イメージ法（Mental Imagery）の活用が確認された。心内イメージ法については心理学の分野でも外国語読解の議論が行われており、文章題の変換過程において問題状況をイメージすることは作図の手がかりを得るのに有用であるだけでなく、英語の文章理解を促す手法でもある（Lesgold et al., 1975; Pressley, 1976）。

本研究におけるインタビューでは、英文読解で生成した心内イメージを拡張することで文脈を予想し（トップダウン方略）、さらに読み進めることで予想した文脈を修正しながら新たな心内イメージを構成するという心内イメージを踏まえて英文を読むこと（ボトムアップ方略）の往還が確認された。その上で心内イメージを図的表現に変換し、図の情報を踏まえて単語・文章を推定（図を踏まえたトップダウン処理）するなど図3に示すように「英文読解」「心内イメージ形成」「図的表現」の3つの要素の相互作用が Mayer（1985）の理解過程のプロセスで起こっていることが確認された。このように図的表現の活用は英文読解に有効であることから、英文読解は心内イメージを膨らませながら、図を書く手法は正確に読解し図を構成するのに効果的であると考えられそのプロセスは図3の通り表される。



出所：筆者作成

図3：英文読解と図的表現の相互作用

このように図的表現のプロセスを意識的に指導に取り入れることで、トップダウン・ボトムアップ方略を踏まえた読解が進み、英語による認知的負荷が軽減される可能性が考えられる。

第5節 研究のまとめ

本研究では、基礎調査と調査①及び②で研究課題1～3までについてそれぞれ検討を行った。以下にそれぞれの研究課題ごとに総合的考察を行う。

研究課題1：英語による数学学習の実態に関する基礎調査を行い、生徒の考える有効性と課題を同定する。（基礎調査）

基礎調査では、IB生徒を対象に質問紙調査を行い、多くの生徒が日本語で生活し、日本語で数学を学習してきた期間が長いことが明らかになった。このことから英語による数学の問題を解く際には言語的な課題があることが示唆された。英語による数学学習について生徒は概ね肯定的に捉え、英語に対する前向きな姿勢が数学学習の態度へ波及している状況が、生徒の記述回答から明らかになった。大学へ進学してから英語で科学的な議論をすることにつながると考える生徒も多い一方で、国内進学を希望する場合は日本語によるサポートの必要性についてもニーズがあり、指導場面では日本語で用語を教えることの必要性が示唆された。

授業における英語の理解については、英語による数学学習が始まって1ヶ月後は理解に困難が挙げられたが、担当教員の話す英語や授業の進め方への慣れなどの効果で、8ヶ月後では授業中の英語の理解が改善されている状況が確認された。

さらに2回の基礎調査結果の記述からメリットとデメリットの把握を試みた。メリットとして、「授業中の理解の改善」「将来、大学などで、英語で数学を説明する際に有効」「英語を好む生徒の態度が向上」「生徒同士の協働による言語運用能力の向上」「言語不安の軽減」

「英語の方が理解しやすい」、デメリットとして「独特な表現の理解に時間がかかる」「数学の理解は時間がかかり、統計的に有意な改善はみられなかった」「自分の理解が正しいのか分からない」「英語でのアウトプットの困難」「発言における言語不安」「将来の学習への接続についての不安」が挙げられた。このように、生徒にとって数学と英語を同時に学ぶ機会になっており、英語力の伸びも感じている一方で、デメリットとして時間がかかることや生徒の問題を解く際の不安が挙げられた。

英語で学ぶことには負荷が認められるものの、全人的能力の育成につなげるために、それぞれの教科を独立で学ぶのではなく、統合しながら学ぶことが必要であるといえる。さらに IB の概念型学習の理論における相乗的思考による学習方法を踏まえると、日本語だけで行う概念的なつながりによる理解に加え、英語でも概念的なつながりを形成できれば、より多くのつながりを形成することにつながり、知識の保持が強化されるのではないかと考えられる。複数の言語とつながりを形成することでより多くの手がかりにより知識を捉え、さらには複数の文脈で応用できる知識にすることで学習内容の応用可能性がより高まると考えられる。

このようなクラスの状況を踏まえて、英語による影響が特に大きいと考えられる数学文章題の問題解決について、Mayer (1985) の文章題の問題解決過程の枠組みを用いて二つの調査で生徒の状況を捉えた。

研究課題 2：質問紙調査により、英語による関数文章題のつまずきについて調査を行い、課題について明らかにする。（調査①）

調査①では、英語による問題回答後に記述式の質問紙により生徒のつまずきを調査した。その結果、問題を読むだけでは分からなかった玉の軌跡の概形を、問題を解くことにより情報を更新して描き直すなどの状況がみられた。

生徒の記述回答の質的分析からは、単語が分からないことが全体の読解を困難にしてしまうこと、計算過程での間違いにより正しい読解を誤った読解に変更してしまう課題がみられた。また、生徒の理解に対する自信のなさが解釈を変更して、誤った読解を引き起こしている原因となっている可能性が示唆された。IB プログラムでは教科内容を教えるだけでなく、生徒を育成する際にアイデンティティを肯定しながら、それぞれの生徒の言語的な背景を踏まえた指導が必要であり、英文読解においても自信を持たせるような工夫が必要と考えられる。

これらの課題を踏まえて研究課題3ではインタビューの結果を元に生徒の問題解決のプロセスに着目することとした。

研究課題3：インタビュー調査により、英語による関数文章題における生徒の問題解決のプロセスを捉える。（調査②）

調査②では、調査①で挙げられた解法についてインタビューを通して、生徒の問題解決過程における認識をより詳細に捉えた。変換過程では英語の方が日本語の時よりも手がかりを得ようとするため、多くの視覚的表現を構成することが示された。日本語を付記する生徒もおり、英語のまま処理して解答するのには時間がかかるかもしれないが、視覚的表現を活用しながら読解をしていることが語られた。

統合過程では生徒が図的表現をヒントに読解を進めることもあるという語りがあったことから、英文読解・心内イメージ・図的表現の間には相互作用によりトップダウン方略による読解が促進されている事例がみられた。このことから図的表現は数学の問題解決においてのみ有効なのではなく、第二言語の読解に対しても有効であり、図を描くことで、予測しながら理解するトップダウン処理が活性化されていることがインタビューから明らかになった。

さらに、情意的な側面への負荷については、解が整った数にならないことで不安になった生徒がみられた。一方で、「より注意深くなり、慎重に計算する」「英語だと図を頼りにする」などの語りがあり、問題を解く際の言語不安はネガティブな側面だけではないと考えられる。IBのATLに位置付けられるATLの中には自己管理スキルがあり、不安になったときなども冷静に考え、処理するスキルを身につけることも重要であると考えられる。このように調査②の結果からは、「英文読解」「心内イメージ」「図的表現」が相互作用的に影響しあっている状況がみられた。

また、英語で取り組む問題解決方略の視点からは、イメージや図式化に関する認識が語られ、「イメージは日本語も英語も一緒に図さえ描ければ解ける」といった問題解決過程のメタ認知がインタビューを通して行われていた。この一般化の過程において、生徒の英語による数学学習に対する認識を統合すると、概念を活用した一般化が行われていることがわかる。このように生徒が振り返りを行う機会を十分に設け、学びのプロセスに着目させる活動も有効であると考えられる。

本研究における問題文は、英文読解だけでも数学的な理解だけでも、状況がイメージしづらい問題であったと考えられるが、数学と英語の教科横断の授業で扱う問いとしてはどちらかの知識だけに偏るのではなく、両方の知識の活用が求められるような問題の方が、それぞれの教科の趣旨を踏まえた実践に繋げることができるのではないかと考えられる。

おわりに

日本の公立高校で IB が拡大している中で、重要なことは教員が IB の探究的な手法や生徒の協働的な手法を他の一般的な文部科学省のカリキュラムにも波及させていくことであると考えられる。

IB の知見を活かし、公教育の言語的な選択肢を増やす方法としては、大学の教員養成課程においても、意欲の高い教員は英語で教えることもできるようにするなど、教師の能力を活用しながら、特色ある教育の実践がしやすいように制度を変更していくことで、よりグローバル人材が育つ教育を提供できるのではないかと考える。

本稿では IB カリキュラムにおける英語による数学学習について検討を行なった。今後の日本における教育改革において IB に限らずさまざまな先進的なカリキュラムを踏まえてより良い教育を次世代のために提案し、開発することが求められる。

目次

序章 本研究の目的

第一節 本研究の課題-先行研究における本研究の位置付け-

第二節 本研究の目的と方法

第一章 国際バカロレアにおける数学学習

はじめに 国際バカロレア教育の概要

第一節 国際バカロレアカリキュラムにおける英語による数学学習の位置付け

第二節 国際バカロレア数学の先行研究と関数分野の特徴

おわりに

第二章 数学文章題に関する先行研究

はじめに 数学文章題の解法に着目する意義

第一節 数学文章題理解に関する先行研究

第二節 関数分野における先行研究

第三節 第二言語による文章題理解に関する先行研究

おわりに

第三章 第二言語による学習に関する先行研究

はじめに 第二言語による学習に着目する意義

第一節 第二言語による読解に関する先行研究

第二節 教授言語に関する先行研究

第三節 CLILに関する先行研究

おわりに

第四章 言語状況に関する質問紙調査（基礎調査）

はじめに 基礎調査対象校概況

第一節 基礎調査について

第二節 基礎調査結果と考察

おわりに

第五章 英語で数学を学ぶ生徒のつまずきに関する調査（調査①）

はじめに 生徒のつまずきに着目する意義

第一節 研究方法

第二節 研究結果と考察

第三節 調査①まとめ

おわりに

第六章 英語で数学を学ぶ生徒の問題解決プロセスに関する調査（調査②）

はじめに 生徒インタビューから問題解決プロセスを検討する意義

第一節 研究方法

第二節 研究結果と考察

第三節 調査②まとめ

おわりに

終章 総括と展望

はじめに 英語による数学学習の実践への応用と今後の課題

第一節 総合的考察

第二節 実践への応用可能性の検討

第三節 残された課題と展望

おわりに

文献

- Barbu, O. & Beal, C. R. (2010). Effects of Linguistic Complexity and Math Difficulty on Word Problem Solving by English Learners. *International Journal of Education*, 2, 1-19.
- Coyle, D., Hood, P., & Marsh, D. (2010). *CLIL: Content and language integrated learning*. Cambridge University Press.
- Durkin, K., & Shire B. (1991). *Language in Mathematical Education: Research and Practice*. Milton Keynes: Open University Press.
- Essien, A. (2010). “Investigating Proficiency in the Language of Instruction as Means of Improving Mathematical Proficiency in a Multilingual Classroom.” *Education as Change*, 14 (2), 169–85.
- Haese, M., Haese, S., Humphries, M., Kemp, E., Vollmar, P., (2014). *Mathematics for the International Student: Mathematical Studies SL*. Adelaide: Haese Mathematics.
- Lesgold, A. M., McCormick, C., & Golinkoff, R. M. (1975). Imagery training and children’s prose learning. *Journal of Educational Psychology*, 67, 663-667.
- Martiniello, M. (2008). Language and the performance of English-language learners in math word problems. *Harvard Educational Review*, 78, 333-368.
- Mayer, R. E. (1985). Mathematical ability. In Sternberg, R. J. (Ed.), *Human abilities: An information processing approach*. New York: Freeman, 127-150.
- Pressley, M. (1976). Mental imagery helps eight-year-olds remember what they read. *Journal of Educational Psychology*, 68, 355-359.
- 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 卷, 第 2 号, 1-10.
- 国際バカロレア機構 (2019) 『国際バカロレア (IB の教育とは?)』. 国際バカロレア機構.
- 国際バカロレア機構 (2020a) 『DP : 原則から実践へ』. 国際バカロレア機構.
- 国際バカロレア機構 (2020b) 『「数学:解析とアプローチ」指導の手引き』. 国際バカロレア機構.
- 佐藤郁哉 (2008) 『質的データ分析法原理・方法・実践』. 新曜社.
- 文部科学省 (2023) 「IB 教育推進コンソーシアムホームページ」
(<https://ibconsortium.mext.go.jp/ib-japan/authorization/>) (2023 年 1 月閲覧)