発問を軸にした物理概念と日常生活を関連付けるための授業実践

－高校物理のエネルギーに関する単元に着目して－

教育学研究科 教育実践創成専攻 教育実践開発コース 教師力育成分野 東佳吾

1. 研究の背景

1-1. 日本の子供たちの理科学習への意識

IEA 国際数学・理科教育動向調査（TIMSS）の調査によると，我が国の理科教育は高い水準を保っている。調査開始の 1995 年より，加盟国中の小中学校における理科の成績は，常に 5 本の指に入るほどの成績を収めている。最新の 2023 年の調査においても，小学 4 年生を対象にした学習調査では加盟 58 か国・地域中 6 位，中学 2 年生を対象にした学習調査では加盟 44 か国・地域中 3 位の成績を収めている。いずれも，我が国の理科教育の高い水準を示している。

一方で，子供たちの理科教育への興味関心が低下していることが報告されている。図 1 は，TIMSS の 2003 年から 2023 年の日本の理科教科に対しての意識調査をまとめている。日本の小学生で，理科教育について楽しいと感じている生徒，また理科教育を得意であるととらえている生徒は，国際平均を上回っている。しかし，中学生になると両項目とも国際平均を下回っている。さらに，同調査で中学生を対象に，理科を勉強すると日常生活の役に立つか，また将来理科が使うことが含まれる職業に就きたいか，というアンケートが実施された。いずれも日本の中学生の回答は国際平均を下回っている。この結果から，小中学生の理科教科に対しての学習意欲が低下しており，さらに年齢が上がるにつれて理科学習が疎遠になっていることが伺える。理科教科への理解度は，諸各国と比べて高いが，理科学習への興味関心は低い，“ちぐはぐ”な状態に陥っている。

文部科学省の取り組みとして理工系人材の育成に力を入れているが，先述の通り，学生全体の理科教科に対しての興味関心は高くない。若者

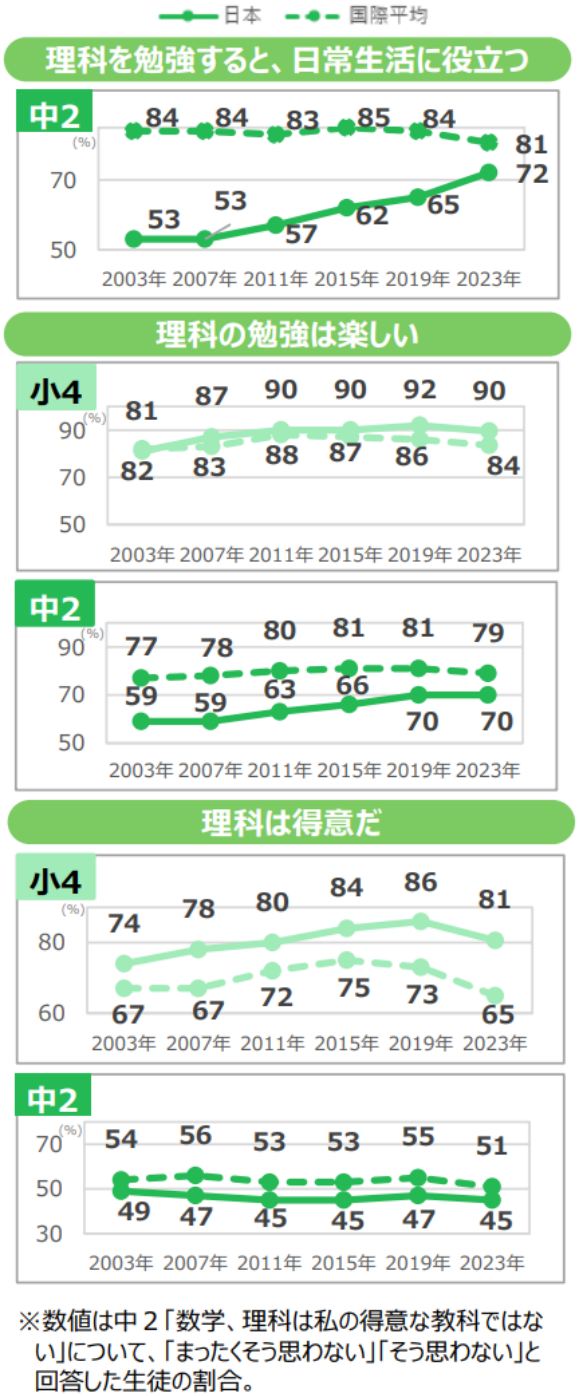

図 1：TIMSS の調査結果

の理科離れは，将来の優秀な技術者が減少する要因になり，日本の経済を支えてきた「ものづくり」の基盤を揺るがすことになる。中山（2003）の先行研究では高等学校理科において，特に物理科目では「難しくて分からない教科」の意識が強いことが述べられている。それらの苦手意識の原因として，大宮・奥村（1994）や八木・加藤・押切（2011）の先行研究では「実際の物理現象や公式が目に見えないこと」，「暗記しなければいけない計算や公式がたくさんあること」，「単元内に出てくる内容や用語が難しいこと」などが挙げられると分析している。また，自身が工学部の学生であった時の学習において，特に電磁気といった分野では，物理事象が目に見えず公式上でしか状態を判断できないため苦手意識を抱いたことを覚えている。

1-2. 学習指導要領からの視点

平成 30 年度学習指導要領では，物理基礎の目標を「物体の運動と様々なエネルギーに関わり，理科の見方・考え方を働かせ，見通しをもって観察，実験を行うことなどを通して，物体の運動と様々なエネルギーを科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。」としている。また，その（1）に「日常生活や社会との関連を図りながら，物体の運動と様々なエネルギーについて理解するとともに，科学的に探究するために必要な観察，実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする。」としている。一方で，物理の目標は，「物理的な事物・現象に関わり，理科の見方・考え方を働かせ，見通しをもって観察，実験を行うことなどを通して，物理的な事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。」としている。

物理学習の入り口である物理基礎と専門学習の物理の目標をそれぞれ比べると，物理基礎は日常生活と社会との関連を特に重視していることが伺える。このことも，まずは多くの子供たちに物理ひいては理科を身近に感じ，興味関心を持たせることが必要であることを示唆している。

2. 課題と研究目的

2-1. 授業の参与観察より

実際に，教職大学院での観察実習中において，生徒が積極的に学習活動を行うタイミングを重点的に，観察を行った。その中で，最も生徒たちの学習活動が盛んにおこなわれたのは，教員による発問を投げかけられた際である。

観察したクラスは，物理選択前の高校 1 学年のクラスであった。単元は物体の運動における，自由落下運動と鉛直投げ下ろし・投げ上げであった。一通りの授業内容を終えた後，学習を深めるための発問として，「鉛直投げ上げした物体から，自由落下する物体を見たとき，自由落下する物体はどのように動いているように見えるか？」という問いを生徒たちに投げかけた。生徒たちは，最初は自身で考えていたが，次第に周りのクラスメイト同士で相談をし始め，席を立ち歩き様々な意見を交換する様子が見られた。最終的に，意見がまとまった生徒が全体に発表し，教員が補足を行い授業が終了した。このクラスは，問題演習の時間などに，周りの生徒と積極的に話し合い活動を行うクラスであったが，一人で黙々と演習に取り組む生徒もいれば，途中で立ち止まってどうしようもなくなる生徒も見られた。そういった，生徒の物理学習への得意不得意や意識の差を感じさせないほど，ほぼすべての生徒が積極的に参加していたのが，この発問活動であった。

2-2. 研究目的

今回の授業観察において，非常に活発な活動が，発問によって行われることが分かった。ここで，授業内における発問による学習活動が，より対話的で深い学びを生み出し，より理科教科の学習への興味関心を引き出すことができるのではないかと考えた。また発問内容を考察することで，学習単元への深い理解や，日常生活と理科を関連付けて考える思考を育てることができるのではないかと考えた。

以上より，本研究は，授業内の発問による学習活動に工夫を取り入れることによって，生徒たちに対話的で深い学びを保証し，理科学習への

興味関心を引き出すことを目的とする。

2-3. 発問フレームワーク

発問による学習活動を行うにあたって，ただ発問を投げかけるだけでは，十分な効果得られないと考えたため，先行研究による発問の枠組みを利用する。

Walsh & Sattes（2005）は，質の高い発問が教室を変えるという考えのもとで，効果的に発問活動を組織化した QUILT（Questioning and Understanding to Improve Learning and Thinking）フレームワークを開発した。このフレームワークは，発問による学習活動の，発問，思考，理解の 3 つの段階を重視し，学習者の学習内容の深化と拡充を目的とした教授方略の構成要素としたものである。また，授業前の教材研究から，授業後の分析までを 5 つのステージに分けて系統化したものである。系統化した内容を表 1 に示す。ただし，この QUILT フレームワークは，教育全般のものであり，理科固有の発問フレームワークではない。そのため，理科授業でこれを利用するには，適した形に変換をする必要がある。

山岡・松本（2015）は，QUILT フレームワークでの 5 つのステージ要素を取り入れた，理科固有の発問フレームワークの開発を，先行研究で行っている。QUILT フレームワークから，より実践的な理科授業モデルを開発することを目標に，フレームワークの再編を行っている。また，山岡・松本は，様々な教授方略を組み合わせることによって，理科授業固有の発問フレームワークによる授業設計を行っている。

2-3. 教授方略

(1)Think-Pair-Share

授業は，教師主導，生徒中心の一方向ではなく，教師と生徒や生徒同士の対話的な交流を果たしていく必要性がある。文部科学省は，主体的で対話的で深い学びを実現するために，子供たちの協働，教職員と生徒との対話を通じて，自己の考えを広げ深めることが大切であると述べている。Walsh & Sattes（2011）や Pope（2013）では，Think-Pair-Share という方略を紹介している。Think-

表 1：QUILT フレームワーク

Stage	具体的内容
Stage1：発問の準備	教授内容を確認，コア概念の決定，認知レベルの選択
Stage2：発問の提供	解答形式の提示，発問，解答者の選択
Stage3：生徒の返答に対する刺激	教師の発問後に 3〜5 秒のわずかな待ち時間“Wait time1”，生徒の返答後に 3〜5 秒のわずかな待ち時間“Wait time2”
Stage4：生徒の返答に対する処理	適切なフィードバックの提供，正答への発展や活用，返答への質問の引き出し
Stage5：発問の思案	発問の分析，生徒の返答パターンの評価

Pair-Share とは，図 2 に示す通り，より授業中での発問に学習活動を，段階的に深化させるための方略である。まずは，発問における解答を自身の中で考え，次にパートナーとの交流を通じて考えを深め，最終的にクラス全体で考えを共有し合うことで，より対話的な活動にする。

(2)Wait time

教師による発問後，また生徒の返答後に 3〜5 秒間の待ち時間を確保し，生徒たちの思考活動を行うための待ち時間を確保することを，Rowe

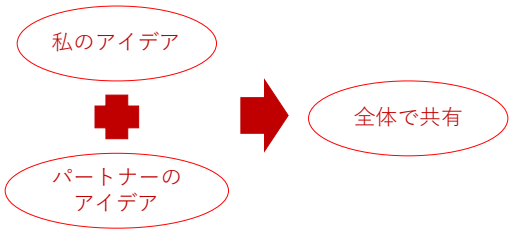

図 2：Think-Pair-Share

（1986）は，“Wait time”と名付けている。それぞれ，教師による発問の直後の待ち時間を“Wait time1”，生徒に返答の直後の待ち時間を“Wait time2”としている。

3．研究内容

3-1．授業計画

発問による学習活動を通した学習の深化を目指して，県内の公立高校にて授業実践を行った。対象は文理選択前の第一学年である。教科は物理基礎のエネルギーに関連した分野である。授業時間と取り扱った内容についての概略を表 2 に示す。また 3 時間のうち，前 2 時間は，通常通りの座学授業を行い，最後の 1 時間で，発問を軸とした実践授業を行った。前 2 時間は，実践校での授業進度を進めることと，実践授業に向けて，実践クラスとの関係構築を重視して授業を展開した。

3-2．実践授業

3 時間目に，発問を軸とした授業実践を行った。内容は保存力と非保存力に関連したものであった。

実践授業は，発問として，

①「なぜジェットコースターを高い地点へ運ぶ装置が必要なのだろう」

②「なぜ，地球上はエネルギーが枯渇しているのだろう」

の二つを用意した。発問を通して，生徒たちに日常生活や社会との関連性を図りながら，エネルギーについて理解を深めることをねらいとした。授業の内容としては，最初にここまで勉強した力学的エネルギーは，現実では非保存力の干渉によって，完全に成り立つことは難しいことを気付かせる意図で発問①を提示した。この際，

表 2：3 時間の授業内容

時間	取り扱う内容
1	位置エネルギー
2	力学的エネルギー保存
3	保存力・非保存力（実践授業）

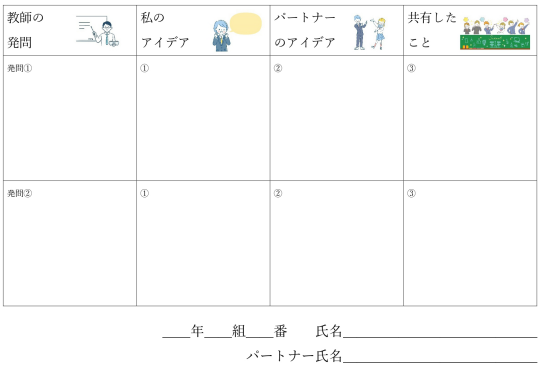

図 3：Think-Pair-Share シート

山梨県の特色として，遊園地でのジェットコースターの映像を提示することによって，具体的なイメージを想起させた。その後，ジェットコースターを例にとったように，エネルギーの変換を利用しているものを生徒たちに考えさせ，力学的エネルギーの変換だけでなく，様々なエネルギーの変換に対して意識を向けさせた。最後に，発問②を提示し，エネルギーが様々な形で循環していることを気付かせることと，エネルギー二大しての社会問題への関心を引き出し，授業を終えた。

今回の実践授業では，教授方略として Think-Pair-Share を活用した。発問による学習活動を行う際，教師からの発問の提示後，生徒一人での思考活動の時間を設けた。その後，隣の生徒との対話の時間で考えを深め，最後にクラス全体へ意見を共有し合い，様々な意見を交流し合わせた。また，Think-Pair-Share による対話的な活動を促進する補助教材として図 3 の Think-Pair-Share シートを導入した。

また Wait time に関して，山岡・松本の先行研究において，待ち時間が生徒たちにプレッシャーを与えている結果を示唆されていた。そのため，今回の実践授業では活用せず，Think-Pair-Share による活動に重点を置いておこなった。

4．結果・考察

4-1．Think-Pair-Share シートによる分析

生徒の Think-Pair-Share シートの抜粋を図 4 に示す。この生徒が，Think-Pair-Share シート上で

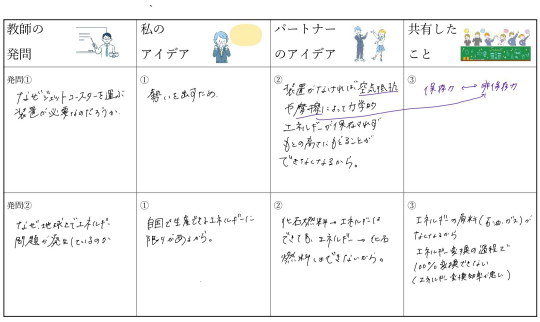

図４：生徒 I の Think-Pair-Share シート

教員からの発問を受けて自身で考えた内容と，Think-Pair-Share のペア活動を通して，単元で学習した用語を使った解答に触れることができたことが示唆されている。発問①を受けて，自身は「勢いを出すため」と，簡潔かつ単純な解答をしている。ここでの“勢い”が示すものは，ジェットコースターの速度のことを指すことが考えられるが，本単元ではエネルギーに関連した内容を学習した。そのため，この場合は，「ジェットコースターに運動エネルギーを与えるため」と解答すると，より本単元での学習を生かした解答の形になる。ここでパートナーのアイデアに注目すると，“空気抵抗”や“摩擦”といった科学用語が出現しているうえ、「エネルギーが保存されず」という記載がある。これは，本単元で学習した，力学的エネルギーの保存則に基づく考えであることから，自身の考えとパートナーの考えを交流することで，素朴概念から学習した内容を活用した思考活動に発展していることが伺える。

4-2. 発問と Think-Pair-Share によるレディネス形成

今回の発問①を生徒に投げかける上での授業中でのやり取りを示す。

（ジェットコースターがリフトで上昇していく場面を見せながら）
T「先生がこの動画でどこに注目してほしいかというとこれ！（リフトを指指しながら伝える）この装置！」
T「ジェットコースターはわざわざ高いところに押し上げてあげる必要があるよね」
T「皆さん力学的エネルギーの保存を学んだからわかると思うけど，どんな風にアップダウンしても力学的エネルギーが保存されるなら，元の位置に戻ってくるはずじゃん？」
T「なのに，わざわざこのリフトは一体なんのためにあるんでしょうか？ということで，力学的エネルギーについての勉強をしたうえでこちらを考えてみてください（発問①を板書する）」

以上のやり取りをし，生徒に Think-Pair-Share による活動を促した。その後に，代表生徒に話し合った意見の共有を求めた。以下に，その際の教師と生徒とのやり取りを示す。

T「ここで話し合った内容を教えてくれる人？（発言を求める）」
T「（Think-Pair-Share で活発に話し合いをしていた生徒を指し）じゃあ…生徒 A くん、どうでしょう？」
A「えっと…問題の中だと摩擦とか空気抵抗とかを無視してるけど，現実だと摩擦とか空気抵抗を考えなきゃいけないから，最初に高い位置に…から元に戻ることができないから，（高いところに）持っていく装置が必要。」
T「はいはいはい…。これ前回の授業で少し触れた内容ではあるんですけども…摩擦とか空気抵抗みたいな力が働くと，勢いがなくなってしまうんじゃないかな？と。」
T「なので，一番高いところからグッと降りたとしても，元の高さまで戻ってくることができませんよ，ってことなんじゃないかなと。」

発問①を投げかけるまでに，教師は前時まで，力学的エネルギーについて学習をしたこと，その観点をもって思考することを促すことで，レディネス形成を図っている。その後，実際に生徒 A は解答として，「ここまでの学習は保存力による影響のみを考えれば問題なかったが，現実世界では様々な非保存力による影響を鑑みると，力学的エネルギーが保存されないため，力学的エネルギーを加えるための装置が必要であ

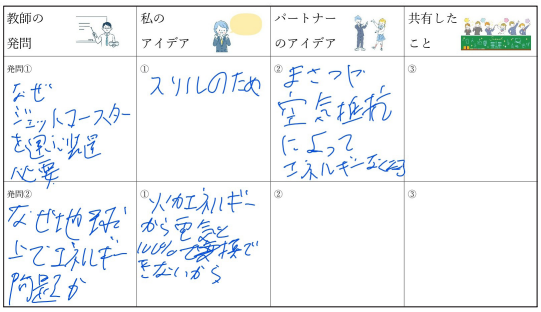

図５：生徒 A の Think-Pair-Share シート

る」と発言している。

次に図 5 の生徒 A の Think-Pair-Share シートを確かめると，発問①に対して，自身の考えの時点では「スリルのため」と解答をしている。この時点での解答は，ここまでの学習内容や科学知識を活用したものではないことが伺える。しかし，Think-Pair-Share での，パートナーとの意見交換を通して，“摩擦”や“空気抵抗”といった要因で，力学的エネルギーが損失されることを認識し，全体での共有も論理的に解答してみせた。以上の結果より，発問は発問だけでなく，Think-Pair-Share といった他の教授方略を上手く組み合わせることで，効果的にレディネス形成を行うことができることが示唆された。

4-3. 発問②の発散的発問

発問②に対しては，「エネルギーのもとになっている物体（石油や天然ガス）が少なくなっている」，「いろんなエネルギーを人間が使えるエネルギー（電気エネルギー）に変換する際，100%変換することができない（ロスしてしまう）から」などの解答が見られた。この発問において，力学的エネルギーを例に，エネルギーは原則的にエントロピーが増大する方向にしか変換することができない点から，人間に活用できるエネルギーが減少していることを解答させたかったが，発問内容が発散的であった点と，物理基礎レベルではエントロピーについて学習しない点から，生徒のレベルにあっていなかった点が挙げられる。しかし，力学的エネルギーを超えて，様々な形のエネルギーを日常生活や社会問題と関連付けて思考することができた解答が多く見られたため，発問の内容と発問レベルの吟味が重要であることが示唆された。

5. まとめ・課題

今回の研究では，発問を軸にした授業展開を通して，物理学習への興味関心を引き出すことを目指した。実践授業の成果として，発問による学習活動が対話的な学習時間を生み出し，より深い学びをもたらすことが確認できた。また，単純な発問のみの学習活動では，十分なレディネス形成を保証することが難しいが，Think-Pair-Share といった他の教授方略を組み合わせて授業を展開することで，レディネス形成を補助する効果があることが示唆された。

今回の研究では，発問の内容自体に対して，発散的発問によって，生徒たちの自由な思考活動を保証しようとしたが，授業のレディネス形成に弊害を与えることも考えられた。そのため，発散的発問と収束的発問を場面によって上手く設定することが課題として挙げられる。

今後の展望として，今回の研究で明らかになった課題点から，授業設計や発問内容について，さらに吟味を行う必要がある。また，今回取り入れた教授方略以外にも，様々な教授方略を組み合わせた授業を展開し，その効果を検討する必要がある。

参考・引用文献

I. 国際教育到達度評価学会（IEA）(2019)，「国際数学・理科教育動向調査（TIMSS2019）のポイント」
II. 文部科学省（2018)，「学習指導要領（平成 30 年告示)」，pp. 103-112
III. 中山敬也（2000)，「高等学校物理における生徒の学習意欲を高める指導方法の研究-生徒が物理を好きになる授業の在り方を探る-」
IV. 大宮輝雄・奥村清（1994)，「高等学校における物理嫌いの要因についての一考察」，科学教育研究 Vol.18 No4
V. Pope, G （2013)，“Questioning Technique Pocketbook”，Teachers’ Pocketbooks，p. 12

VI. Rowe, M. B（1986），“Wait time: Slowing down may be a way of speeding up”, Journal of Teacher Education, pp. 43-50
VII. Walsh, J. A., Sattes, B. D（2005），“Quality Questioning Research-Based Practice to Engage Every Learner”，Corwin Press，pp. 53-54
VIII. Walsh, J. A., Sattes, B. D（2011），“Thinking Through Quality Questioning; Deeping Student Engagement”，Corwin Press，pp. 169-170
IX. 八木一生・加藤由佳・押切志郎（2011），「物理を強くして理科の苦手意識を克服する試み-体験好きの学生が「理科得意」になりにくい理由-」，岩手大学教育学部研究年報第70巻，pp. 103-117
X. 山岡武邦・松本伸示（2015），「中学校第１学年理科「状態変化」における QUILT フレームワークに基づく発問フレームワークの開発と実践― ３つの教授方略“Think-Pair-Share，Wait time，Puzzling picture”に焦点化して―」，科学教育研究 39 巻 3 号，pp. 252-263
XI. 山岡武邦・松本伸示（2018），「QUILT フレームワークに基づく実践的理科授業モデルの開発」，日本科学教育学研究会研究報告第28巻 6 号，pp. 1-6