

9章1節7 物理基礎「等速度運動を学ぶ意義」

1 物理基礎「等速度運動を学ぶ意義」

授業者：杉田俊也 10月17日 4時 クラス 1-1

| | | |
|--------|--|--|
| 本質目標 | 定積分の考え方も交えながら、速度が変化する複雑な運動についても考えることができる。 | |
| 本質的な問い | 「なぜ実現困難な等速度運動が、運動学の最初に学習する具体的な運動なのか」(本時) | |
| 達成目標 | <ul style="list-style-type: none"> ① 英文を読み、速度が変化する複雑な運動も微小時間に分けて考えればほぼ等速度運動をしており、その総和をとることによって物体の変位を求めることができるを見出すことができる。 ② 定積分により微小量の総和をとることができる。 ③ 定積分により、これまでとは違う方法で速度が変化する場合の物体の変位を求めることができる。 | |
| レディネス | 等加速度直線運動までは学習済みであり、発展的な学びとして本授業を位置つける。 | |
| 関連項目 | 変化する力による仕事、変化する力による力積等、定積分を要する発展的な学習内容につながる。 | |
| 扱う内容 | E | 本日学習した定積分の考え方を他の学問や社会等、離れた文脈にも関連付け、新たな見方によって解釈する。 |
| | C | 物理の知識を関連付けながら英文を読解し、等速度運動を学ぶ意義を見いだす。また、定積分により物体の運動に対する理解を再構造化する。 |
| | I | 定積分の計算方法を学ぶ。 |
| 達成の手立て | フレーム構成 | C 1 → C 2 → I → C 3 → E |
| | <p>C 1 : 等速度運動を運動学の最初に学ぶ意義を考える。5分 → センサー器具を用いてリアルタイム計測を行う。代表生徒一人に等速度運動をするよう求め、等速度運動は実現が難しい運動であることを確認させる。</p> <p>C 2 : 速度が変化する複雑な運動も微小時間に分けて考えればほぼ等速度運動をしており、その総和で物体の変位がわかることを英文から見いだす。20分</p> <p>I : 定積分の計算法について学ぶ。20分 → 数学科と連携する場合は微分の学習から始める。</p> <p>C 3 : 速度が変化する物体の変位を定積分を用いて求める。10分</p> <p>E : 本時に学習した定積分の考え方を物理の他の分野や他教科、さらには身近なことへ応用させた場合にどのようなものがあるか考える。【課題】</p> | |
| コア(論点) | 等速度運動は実現しにくい運動だが、それを具体的な運動として最初に学習するのは、ただ単に扱いが簡単であるという点以外に、学問的に深い意味があるのではないか。 | |
| 振り返り | <ul style="list-style-type: none"> ① 数学科との連携、英語科との連携と2パターンで授業を実施し、生徒の様子を観察していたが、いずれも生徒たちにとっては認知的にかなりの負荷がかかった。 ② Eフェーズに到達できたと自己評価する生徒の人数は少なく、知識を汎用的に援用することができるようにするためには、今後も同様の授業実践が必要である。 | |
| デザイン要素 | 新規、意外、刺激、 探究 、使命、 協働 、貢献、身体、面白、 社会 、持続 | |

問いの構造化

| | Ideas | Connections | Extensions |
|---------|---------------------------------------|--|---|
| 導入展開の問い | | ①運動学の最初に学習する具体的な運動が、なぜ実現しにくい等速度運動なのか。あなたの考えを記入しなさい。 | |
| 洞察を促す問い | ③二次関数などの曲線で囲まれる部分の面積を計算するには、どうすればよいか。 | ②等速度運動は実現が困難であるにもかかわらず、具体的な運動として最初に学ぶ意義について、物理の知識を関連付けながら英文を読み見いだしなさい。 | |
| 本質的な問い | | ③定積分の計算を導入し、速度が変化する物体の変位を求めなさい。 | ④本時で学習した定積分の考え方を他の学問や社会のことに応用するとしたら、どのようなものが考えられるか検討しなさい。 |

生徒の変容

| | Ideas | Connections | Extensions |
|-----------------|--|---|---|
| 教科・科目に特有の知識・技能 | <ul style="list-style-type: none"> 辞書を用いながら英文を読解することができる。 数学の定積分の計算をすることができるようになる。 | <ul style="list-style-type: none"> 物理の知識を関連付けながら英文を読み、問いの答えを見いだすことができる。 定積分の計算を物理の変位の計算に応用し、変位を求めることができる。 | <ul style="list-style-type: none"> 定積分の考え方を物理や数学から離れ、他の学問や社会のことに応用することができる。 |
| 教科・科目に特有の見方・考え方 | <ul style="list-style-type: none"> ある物理量が一定の場合や一定の割合で変化する場合の総量の求め方を理解している。 | <ul style="list-style-type: none"> 物理量が変化する場合も微小区間では一定量として捉えることができ、その区間での総和をとることによって総量を求めることができることを理解している。 | <ul style="list-style-type: none"> 物理の文脈を離れ、様々な状況で物事を微量に分けて捉える考え方、そしてその総和をとり、総量を求める考え方を応用することができる。 |
| 汎用的な能力 | <ul style="list-style-type: none"> 新たに学習した概念を学習した文脈で適用することができる。 | <ul style="list-style-type: none"> 新たに学習した概念を既存の概念構造に組み込んで再構造化し、これまで解釈してきた物事を新たな視点から解釈することができる。 | <ul style="list-style-type: none"> 新たに学習した概念を離れた文脈で応用し、課題を解決することができる。 |

評価

| | Ideas | Connections | Extensions |
|--------|-------------|-------------|-------------|
| 知識・技能 | A・B・C・D [] | A・B・C・D [] | A・B・C・D [] |
| 見方・考え方 | A・B・C・D [] | A・B・C・D [] | A・B・C・D [] |
| 汎用的能力 | A・B・C・D [] | A・B・C・D [] | A・B・C・D [] |

2 等速度運動を学ぶ意義について（物理基礎：関連付ける力の育成）

キーワード：ICEループリック、関連付ける力、クロスカリキュラム、合科的な学習

1 授業の概要

授業の最初に「運動学の最初に学ぶ具体的な運動が、なぜ実現が難しい等速度運動なのか」という問いを扱い、主体的な学びへの誘因とする。ICEモデルではCフェーズの本質的な問いに位置する。等速度運動を運動学の最初に学ぶ意義を考えることを題材にし、物理－数学－英語の教科横断的な学びをする中で、それぞれの知識を関連付けながら探究的な学習を進める過程でイノベータに必要な資質・能力である「関連付ける力」を育成する。

2 本授業でのICEモデルの導入と授業の構成について

本時で育成する「関連付ける力」に係るICEループリックは以下の通り。

| Iフェーズ | Cフェーズ | Eフェーズ |
|-------------------------|------------------------------|--|
| 物理・数学・英語の知識がそれぞれ独立している。 | 物理・数学・英語の学習した知識を関連付けることができる。 | 定積分を他の学問や社会にも関連付け、解釈の枠組みを再構造化することができる。 |

また、本授業のICEモデルのフレーム構造は次の図の通り（ $C \rightarrow C \rightarrow I \rightarrow C \rightarrow E$ ）。



本授業は上のフレーム構造に従い、試行錯誤をしながら以下の2つのパターンで実施した。

△「数学－物理」のクロスカリキュラムであり、物理と英語・物理と数学の合科的な授業

◇「英語－物理」のクロスカリキュラムであり、物理と数学・物理と英語の合科的な授業

なお、「クロスカリキュラム」と「合科的な学習」の概念規定は、静岡県総合教育センターで提示されているもの [1] がわかりやすいため、それに沿っている。以下、それぞれの授業の内容について簡単に説明する。

△「数学－物理」のクロスカリキュラムであり、物理と英語・物理と数学の合科的な授業

本授業の展開と担当は以下の通り。

①「関連付ける力」に関するICEルーブリックの提示と説明を行う。【物理基礎担当】

②等速度運動を運動学の最初に学ぶ意義に対する問いを提示する。【物理基礎担当】

授業の最初にセンサー器具の前で等速度運動をするよう指示をしてリアルタイム計測をし、「なぜ運動学の最初に実現が困難な等速度運動を学ぶのか？」という問いの生起を促した。「問い」の生起が学習内容に対する主体的な関わりを促す。

③英文から等速度運動を学ぶ意義を見いだす【物理基礎担当、物理基礎と英語の合科的な指導】

英文から、速度が変化する複雑な運動も微小時間で考えるとほぼ等速度運動であり、物体の運動の様子は微小時間の間の変位を足し合わせるにより求まることを見いださせた。この探究的な活動は4人1組で実施した。

④定積分の計算法の学習【数学担当、物理と数学の合科的な指導】

微分→不定積分→定積分の順に学習させ、定積分の基本的な計算方法について学習させた。その際、等加速度直線運動の速度-時間の式を定積分すると、変位-時間の式が導出されることも説明した。

⑤変位の計算への定積分の適用【物理基礎担当】

これまで $v-t$ グラフの面積を計算して求めていたものについて、定積分を用いて捉え直させ、物体の運動に対する解釈の枠組みの再構造化を促した。

⑥離れた文脈での定積分の考え方の適用【課題】

本時に学習した定積分の考え方を物理の他の分野や他教科、さらには身近なことに応用する場合、どのようなものが考えられるか、課題にして考えさせた。

◇「英語—物理」のクロスカリキュラムであり、物理と数学・物理と英語の合科的な授業

①、②、⑤、⑥は「数学—物理」のクロスカリキュラムと同様の内容であるため、③、④のみ記載する。

③英文から等速度運動を学ぶ意義を見いだす【英語担当、物理と英語の合科的な指導】

最初に本文に登場するこの領域特有のイディオムのチェックをさせた。その際、新出単語の意味も英語で説明した。次いで英文を読み取らせ、「速度が変化する運動の場合も微小時間で捉えればほぼ等速度運動である」様子を $v-t$ グラフで表現させた。そして最後のセンテンスから等速度運動がなぜ運動学の最初に学習する具体的な運動なのかを考えさせた。一連の活動はペアワークで行わせた。

④定積分の計算法の学習【物理担当、物理と数学の合科的な指導】

定積分の計算法の指導に焦点化し、 t^0 の面積計算、 t^1 の面積計算を経て、 t^2 の面積計算について考えさせ、そして、 t^n の面積計算を考えさせて一般化されたものを考えさせた。最後に線形性について指導をする、という流れで行った。

以上のような授業をクロスカリキュラム、あるいは合科的な指導で実施する必要性は以下の通り。

◆物理—英語

最大のポイントは英文から等速度運動を学ぶ意義を見いださせることにより、探究の過程を授業に導入することができる点にある。隠されたカリキュラムとして、scienceは万国共通の学問であることを実感させる機会にもなる。また、勤務校は医学科への進学を希望する生徒が多く、科学英語特有の言い回し、専門用語などには少しずつ慣れさせる必要がある。

◆物理—数学

本時で扱う速度が変化する運動のほかに、変化する力による仕事、変化する力による力積、そしてコンデンサーの極板間に蓄えられた静電エネルギーなどは、きちんと公式を導出するプロセスから学ぶのであれば、定積分の考え方が必要である。1年の2学期に定積分を学習することは、今後、定積分を用いて微小量を足し合わせる解釈まで踏み込んで学ぶことを考えると、非常に有益であると考えている。

3 成果と課題

本授業の活動の自己評価、および他者評価（教員評価）を行ったものは右の表の通り。

クロスカリキュラムによる授業、そして「関連付ける力」の育成は今回が初めてであったため、生徒たちにとっては慣れないことばかりで、かなりの認知的な負荷がかかったことは、容易に想像ができる。また、生徒を主体的な学びへと促す、問いかけの仕方にも課題があった。「運動学の最初に学ぶ具体的な運動が、なぜ実現が難しい等速度運動なのか」と問うよりも、「等速度運動は実現が難しい運動にもかかわらず、最初に学習する具体的な運動であるが、それによりどんなメリットがあるか」と問う方が生徒の思考を促し、積極的な関与を促すことができた。問いかけの仕方についても今後は検討する必要があると感じている。

今回はまずクロスカリキュラムの授業に慣れること、そしてクロスした科目どうしの知識を関連付け、離れた文脈への応用の可能性を考える経験を積むことが重要であると考えた。右の表からは、教員評価でIフェーズ以降に位置する生徒は約43%であった。「関連付ける力」はイノベータに一番重要なスキルであり、1年の段階ではIフェーズ以降のフェーズへより多くの生徒たちが移行できればと考えている。

Eフェーズへ到達できたかどうかの判断は、ICEルーブリックで提示した通り、学習した知識を社会や日常生活といった離れた文脈へ応用できたかどうかで行った。Eフェーズに到達したと判断した例は以下の通りである。

- 時間ごとの降水量の変化から降水量の総量を求める。電流の変化に伴う電圧の変化から、電力を求める。
- 定積分、あるいは微分の「細かく区切って小さな部分を解析する」という考え方は、芸術における作品の形や線などをデジタル化して、それらを上のように解析することで、線の形、面積などの人との「美」に関する共通点や何かしらの相関が見つかるのではないかと。

上の2つ目の事例は「美」に対する人間の認識にまで言及しており、視野が広く、物理や数学からは大分離れた文脈まで学習した知識を応用させている様子が見える。それに対し、Iフェーズ、あるいはCフェーズと自己評価をした多くの生徒の応答の特徴は以下の通りである。

- 面積、体積の言及のみ（顔の面積、体積等、定積分で単純に計算できるもの）。
- 物体の複雑な運動に関わるもの（本時で登場した話）。
- 学習の文脈から離れた文脈への応用の例を挙げようとしているが、抽象的で具体性に欠け、内容が浅い。

| | | 教員評価 | | |
|------|---|------|----|---|
| | | I | C | E |
| 自己評価 | I | 68 | 28 | 0 |
| | C | 64 | 69 | 2 |
| | E | 4 | 2 | 2 |

学習した知識を学習の文脈から離れた文脈へ拡張することに苦慮している様子がかがえる。

クロスカリキュラムのように、複数の科目の知識を関連付けながら課題に取り組む経験は、今後も様々な場面で導入し、スパイラルに「関連付ける力」の育成を図って、授業・カリキュラムデザインを行っていく。

《参考資料》

- [1] 静岡県総合教育センター．“横断的・総合的な学習に関する用語の定義・意味”．静岡県総合教育センター．2004-08-07．
<http://web.thn.jp/ninjinhouse/j-sougou-teigi.pdf> (参照 2020-05-03)