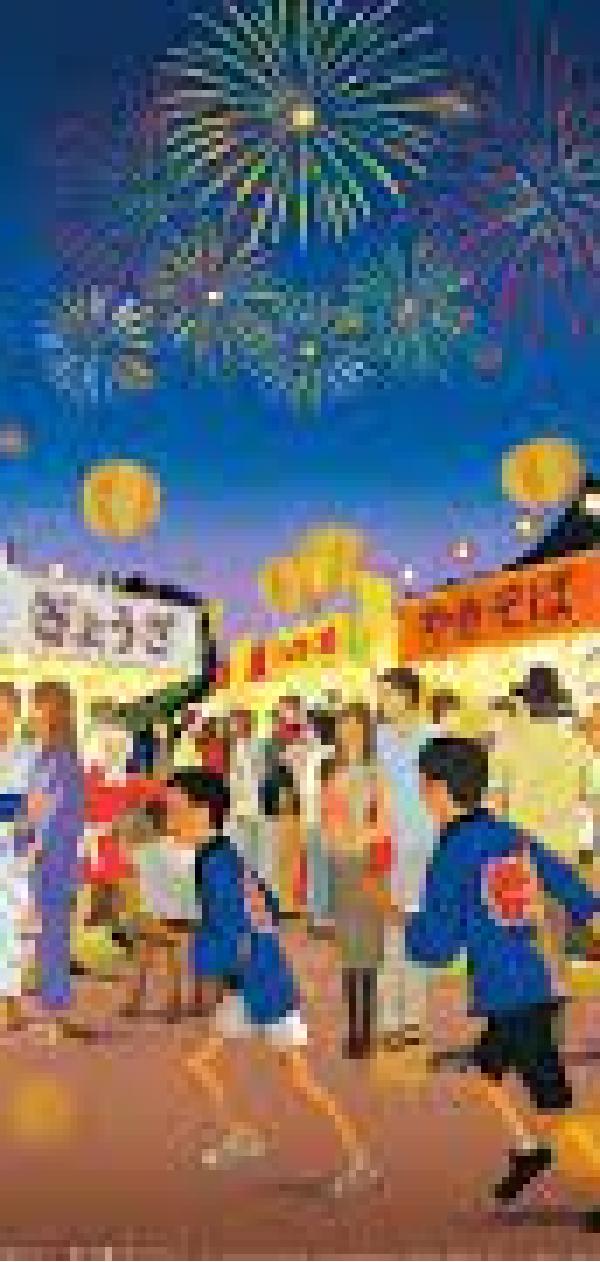


生徒の記述内容から物理的概念 理解度を可視化するツールの開発

M23-8126 松田竜弥



近況

- 自分で壊したエアコンを無料で修理してもらえた
- 非常勤先の高校の授業で、怒れなくて実験がお祭り見たいになった
- 父親が丸くなった

目次



取り組むテーマ



修士研究の流れ



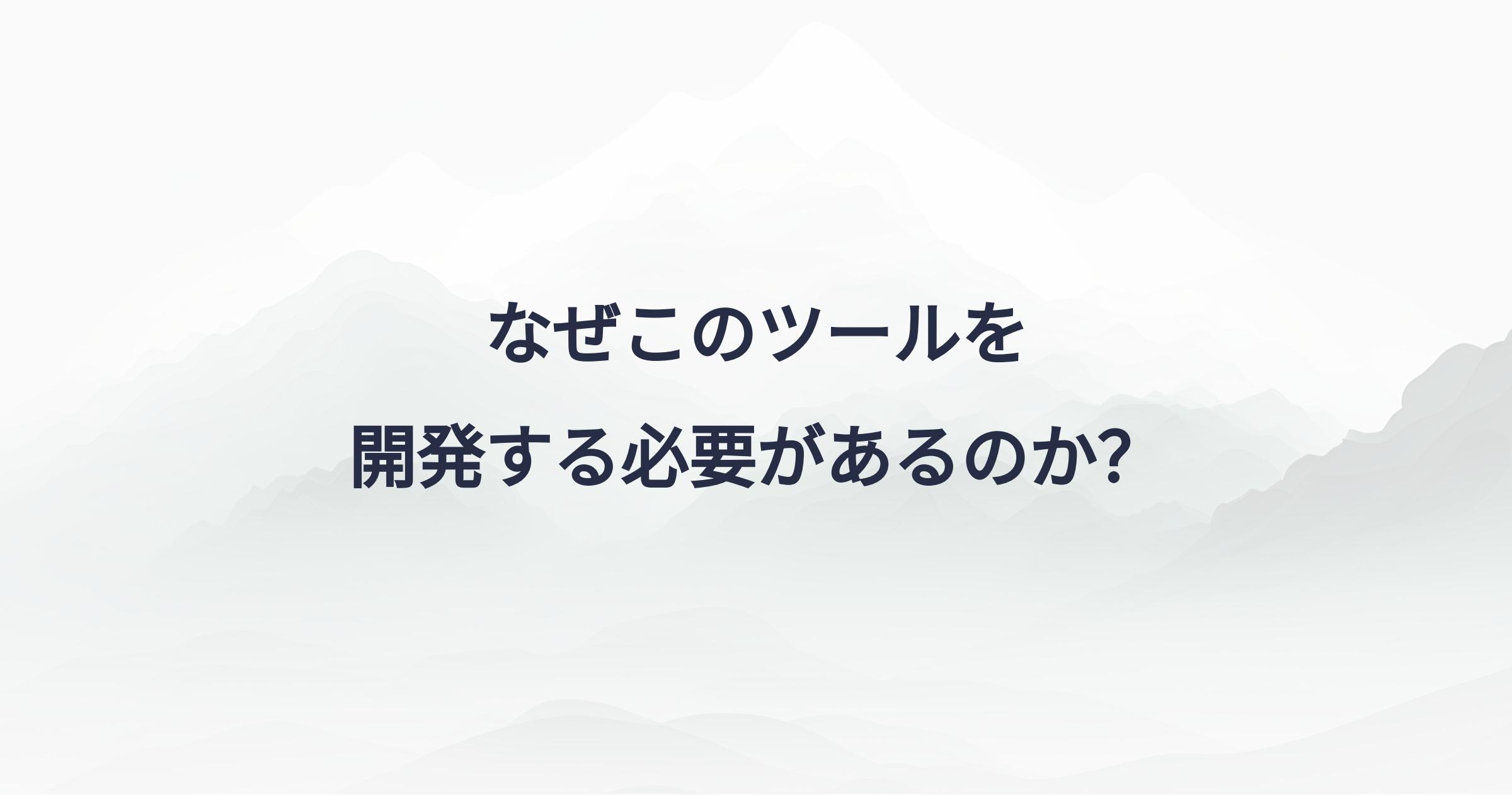
ツール開発内容



課題と展望

～💡取り組むテーマ～

生徒の記述内容から物理的概念
理解度を可視化するツールの開発



なぜこのツールを
開発する必要があるのか?



背景

高等学校で物理の非常勤講師をしている経験から

①一人一人の生徒の理解度把握の可視化が困難

授業中に困難な生徒の発見が難しい

②教師は時間的にも質的にも困難

なるべく授業中に生徒の状況を把握したい

という課題を抱えていた。

状況をイメージするために具体的な話

～ピアインストラクション

～ピアインストラクション（Peer Instruction）は、物理教育において使用される教育手法の一つです。この手法は、アクティブラーニングの形態の1つで、学生同士がグループで協力しながら学び合うことを重視している。ピアインストラクションでは、教師は単に知識を一方的に伝えるだけでなく、学生同士の対話やディスカッションを通じて学習を促進する。

【具体的な手順】

1. 教師は、特定のトピックや問題に関する基礎知識を学生に提供します。
2. 学生は、教師が提供した資料や問題に基づいて個別に考え、解答を用意します。
3. 学生同士がグループに分かれて集まり、各自の解答を共有し合います。
4. グループ内でのディスカッションを通じて、各自の理解を深めたり、誤解を解消したりします。
5. 教師は、グループのディスカッションをファシリテートし、必要な補足説明や質問を提供します。
6. 最後に、学生は再び個別に問題に取り組み、自身の理解度を確認します。
- 7.

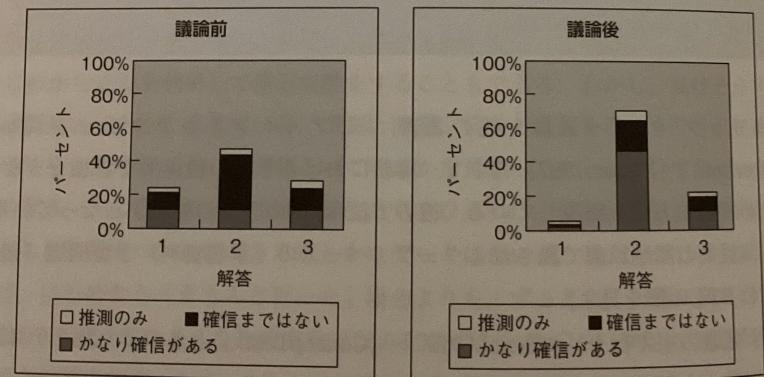
【利点】

- 学生同士の対話やディスカッションによって、理解を深める機会が増える。
- 学生は他の学生の考え方や解釈を知ることができ、複数の視点から学習できる。
- 学生同士の協力や相互サポートが促され、学習の自信やモチベーションが向上する。
- 教師が学生の理解度や誤解を把握しやすくなり、適切なフォローアップや補足説明ができる。

~ピアインストラクション

水中で二つのレンガをもっているとしよう。レンガAは水面のすぐ下にあり、Bはかなり深いところにある。レンガBを一定の位置に保つために必要な力は、レンガAを一定の位置に保つのに必要な力に比べて

- (1) より大きい
- (2) 等しい
- (3) より小さい



- 多肢選択問題を提示



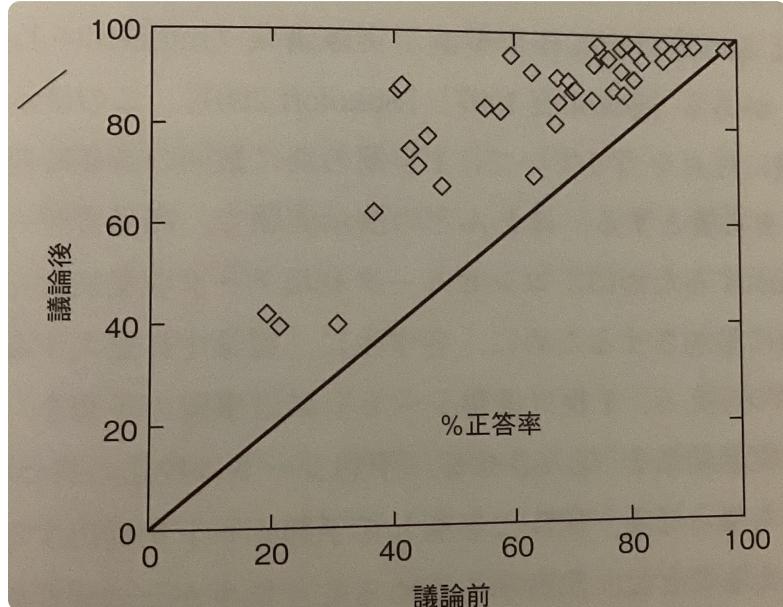
- 数分間、生徒同士が議論する



- 再び、多肢選択問題

参考: Mazur1997

~ピアインストラクション(成果と課題)



成果

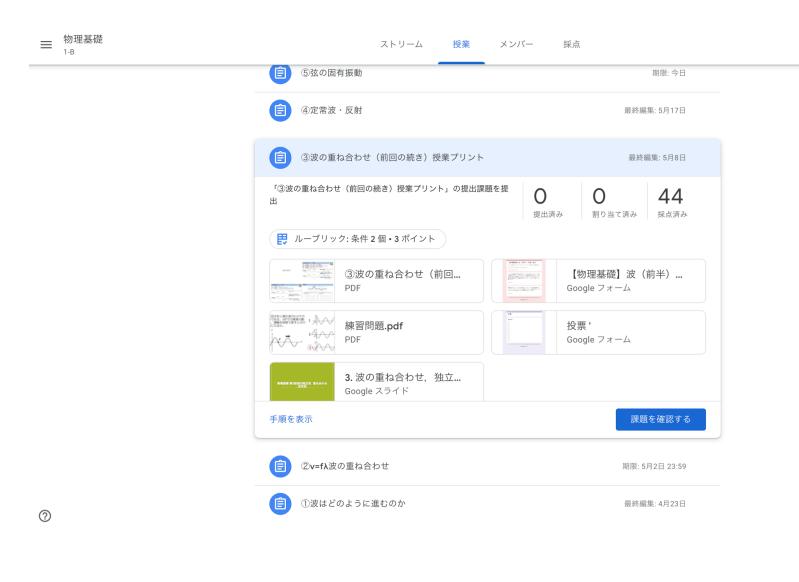
- 生徒の積極的参加
- 議論前より正答率の向上

課題

- 分布を見て正当を予想

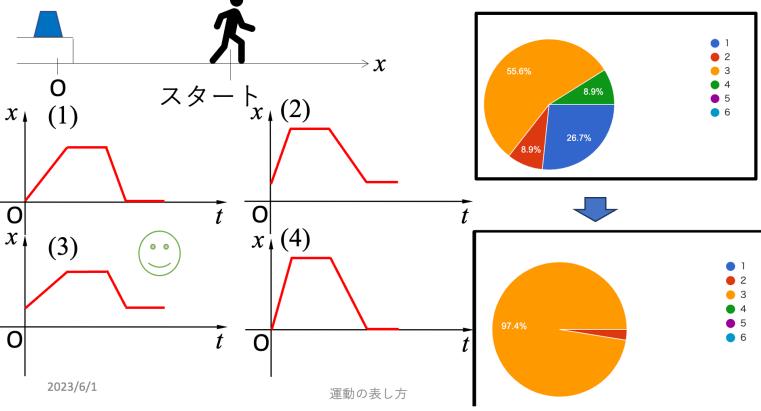
参考: Mazur1997

具体的な授業イメージ



• classroomの活用

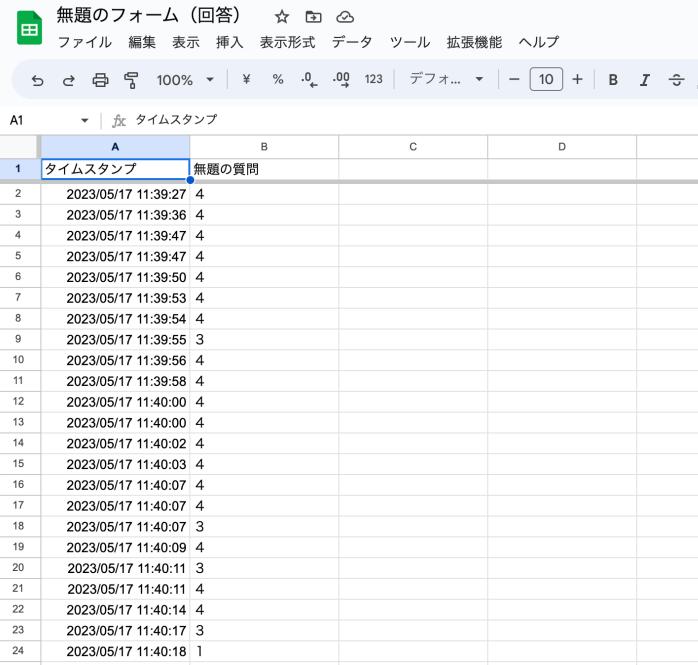
図の位置からスタートし、運動センサからゆっくり一定の速さで遠ざかる。次に、静止する。最後に、遠ざかるときの2倍の速さで元の位置まで戻る。このときの「位置 x 一時間 t 」のグラフはどれか。



• 生徒の選択肢結果をスライドに反映



• Googleフォーム表示



• スプレッドシート表示

→ 【課題】

- 選択式のみの回答 → 記述、説明能力が育成されない
- 分布を見て正当を予想 → データの誤差
- リアルタイムで回答と各生徒が結びつかない

→ 教師が各生徒の習熟状況を把握できない

生徒の記述内容から物理的概念理解度を可視化するツールの開発



修士研究の流れ

～研究のながれ～

1

既存サービスの調査、研究の核を考える

ex)目的や強みなど

2

記述内容の解析、分類システムを作り

ex)そもそも、記述内容から理解度を測ることができるのか

3

システムの精度を評価する

ex)物理教師が分類した場合とシステムが分類した場合など

4

アプリケーションを開発

ex)0-1で作成するのか、既存のサービスに組み込むのか

5

使用場面での評価

ex)実際に授業で使ってみたアンケートなど

この研究の核となる部分は?

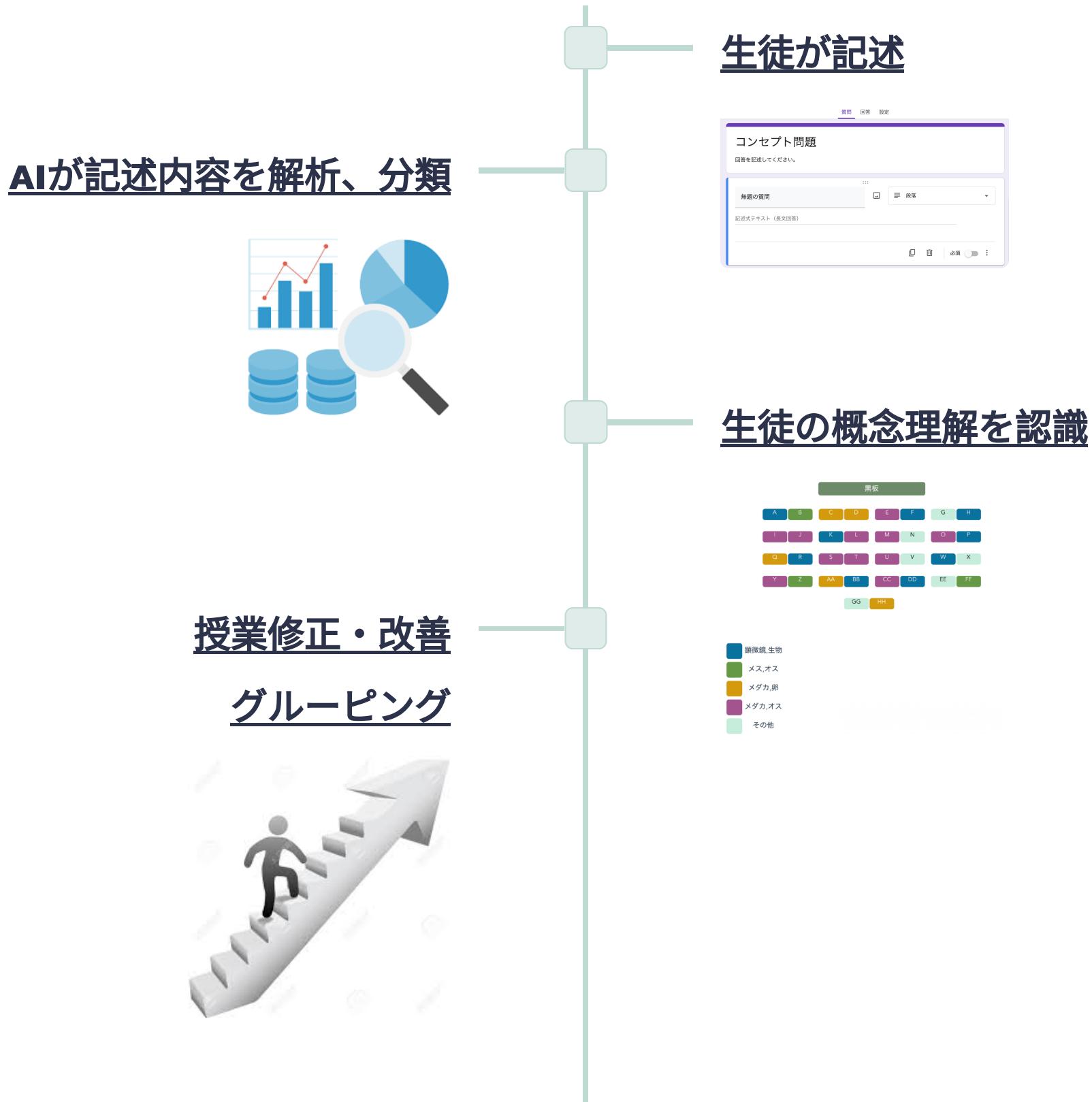
1.研究の核

1. 生徒の文章を物理的概念をもとに分類

2.各生徒の活動をリアルタイムで可視化

○実際のツール使用の流れ

(ピアインストラクションを想定)



2.記述内容の把握分類のためのアプローチ

1 物理教育

生徒の物理概念把握のために物理教育のアプローチから調べる。

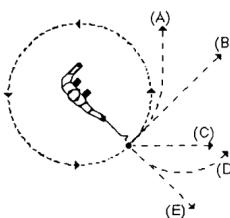
2 自然言語処理

生徒の記述内容を分析するため、自然言語処理のアプローチから調べる。

2.1物理教育アプローチ

Force Concept Inventory

1. Two metal balls are the same size, but one weighs twice as much as the other. The balls are dropped from the top of a two story building at the same instant of time. The time it takes the balls to reach the ground below will be:
 - (A) about half as long for the heavier ball.
 - (B) about half as long for the lighter ball.
 - (C) about the same time for both balls.
 - (D) considerably less for the heavier ball, but not necessarily half as long.
 - (E) considerably less for the lighter ball, but not necessarily half as long.
2. Imagine a head-on collision between a large truck and a small compact car. During the collision,
 - (A) the truck exerts a greater amount of force on the car than the car exerts on the truck.
 - (B) the car exerts a greater amount of force on the truck than the truck exerts on the car.
 - (C) neither exerts a force on the other, the car gets smashed simply because it gets in the way of the truck.
 - (D) the truck exerts a force on the car but the car doesn't exert a force on the truck.
 - (E) the truck exerts the same amount of force on the car as the car exerts on the truck.
3. Two steel balls, one of which weighs twice as much as the other, roll off of a horizontal table with the same speeds. In this situation:
 - (A) both balls impact the floor at approximately the same horizontal distance from the base of the table.
 - (B) the heavier ball impacts the floor at about half the horizontal distance from the base of the table than does the lighter.
 - (C) the lighter ball impacts the floor at about half the horizontal distance from the base of the table than does the heavier.
 - (D) the heavier ball hits considerably closer to the base of the table than the lighter, but not necessarily half the horizontal distance.
 - (E) the lighter ball hits considerably closer to the base of the table than the heavier, but not necessarily half the horizontal distance.
4. A heavy ball is attached to a string and swung in a circular path in a horizontal plane as illustrated in the diagram to the right. At the point indicated in the diagram, the string suddenly breaks at the ball. If these events were observed from directly above, indicate the path of the ball after the string breaks.



1

Table II. A Taxonomy of Misconceptions Probed by the Inventory. Presence of the misconceptions is suggested by selection of the corresponding Inventory Item.

	Inventory Item
0. Kinematics	
K1. position-velocity undiscriminated	20B,C,D
K2. velocity-acceleration undiscriminated	20A; 21B,C
K3. nonvectorial velocity composition	7C
1. Impetus	
I1. impetus supplied by "hit"	9B,C; 22B,C,E; 29D
I2. loss/recovery of original impetus	4D; 6C,E; 24A; 26A,D,E
I3. dissipation	5A,B,C; 8C; 16C,D; 23E; 27C,E; 29B
I4. gradual/delayed impetus build-up	6D; 8B,D; 24D; 29E
I5. circular impetus	4A,D; 10A
2. Active Force	
AF1. only active agents exert forces	11B; 12B; 13D; 14D; 15A,B; 18D; 22A
AF2. motion implies active force	29A
AF3. no motion implies no force	12E
AF4. velocity proportional to applied force	25A; 28A
AF5. acceleration implies increasing force	17B
AF6. force causes acceleration to terminal velocity	17A; 25D
AF7. active force wears out	25C,E
3. Action/Reaction Pairs	
AR1. greater mass implies greater force	2A,D; 11D; 13B; 14B
AR2. most active agent produces greatest force	13C; 11D; 14C
4. Concatenation of Influences	
C11. largest force determines motion	18A,E; 19A
C12. force compromise determines motion	4C, 10D; 16A; 19C,D; 23C; 24C
C13. last force to act determines motion	6A; 7B; 24B; 26C
5. Other Influences on Motion	
CF. Centrifugal force	4C,D,E; 10C,D,E
Ob. Obstacles exert no force	2C; 9A,B; 12A; 13E; 14E
Resistance	
R1. mass makes things stop	29A,B; 23A,B?
R2. motion when force overcomes resistance	28B,D
R3. resistance opposes force/impetus	28E
Gravity	
G1. air pressure-assisted gravity	9A; 12C; 17E; 18E
G2. gravity intrinsic to mass	5E; 9E; 17D
G3. heavier objects fall faster	1A; 3B,D
G4. gravity increases as objects fall	5B; 17B
G5. gravity acts after impetus wears down	5B; 16D; 23E

FCI(Force Concept Inventory)

アメリカの物理学者であるDavid Hestenesとその共同研究者によって1980年代に作成されました。このテストは、学生が力に関する基本的な概念をどの程度理解しているかを調べるために一連の多肢選択問題で構成されている。

物理教育の研究でよく用いられています。教師はこのテストを使って、授業前後で学生の理解度がどの程度改善されたかを比較することができる。

FCIを使う利点

上記の問題ごとの選択肢に対して、右図のように、学生がどのようなご概念を持っているかの対応関係が整理されている。
→記述内容から理解度や誤概念を判定するのに役立つ

2.2自然言語処理アプローチ

- ChatGPTを上記の問2について用いて試してみた

一事前にFCIの原文を日本語訳し、選択肢ごとにご概念を分類した

あなたはこれから物理教師です。
以下の問い合わせに対して、私の回答を以下の5つの選択肢を基に分類し、私の回答について評価してください。

問い合わせ：2階の窓から石を静かに落とした。この石について、加わる力、速度の変化について書きなさい。

1.落としてすぐに最大の速さに達しその後一定の速さで落ちる。
2.地面に近づくほど地球に強く引きつけられるのでだんだん速くなる。
3.一定の重力がはたらくのでだんだん速くなる。
4.すべての物体は地面にとどまるとする性質があるので、石は落ちる。
5.重力と大気が下に押す力が組み合はさって石は落ちる。

また、
・選択肢1に分類された場合は、力は終端速度に達するまでの加速の原因
・選択肢5に分類された場合は、空気の圧力を利用した重力
・選択肢4に分類された場合は、質量に固有の重力
・選択肢2に分類された場合は、物体の落下について重力は大きくなる
という誤概念を含んでいるとフィードバックしてください。分類する選択肢は複数可です。

では、あなたが問い合わせを投げかけその後に私が回答をし、あなたがフィードバックしてください。

一定の大きさで重力が加わり続ける。また、速度は終端速度に達するまで大きくなる。

あなたの回答は選択肢1「落としてすぐに最大の速さに達しその後一定の速さで落ちる」と選択肢3「一定の重力がはたらくのでだんだん速くなる」の両方に分類できます。

しかし、ここで注意が必要な点は、選択肢1に含まれる概念「終端速度」が登場しています。終端速度とは、物体が自由落下している際に到達可能な最大速度のこと、これは主に空気抵抗によって決まります。しかし、この問題では2階の窓から落とす短い距離では、一般的には終端速度に達しないと考えられます。

選択肢3の部分はあなたの回答が正確で、地球の重力は一定であり、それが物体を引きつけるため、物体の速度は増加し続けます（空気抵抗を無視すると）。

したがって、選択肢1に関連する「力は終端速度に達するまでの加速の原因」という誤概念を持っている可能性があります。物体が自由落下しているとき、終端速度に達するまでは物体の速度は一定ではなく、増加し続けます。そして、この増加は地球の重力による一定の加速度（約9.8m/s²）によって引き起こされます。

→意外とうまくいった

- GoogleスプレッドシートでのChatGPT

The screenshot shows a Google Sheets document with the following content:

E4: あなたはこれから物理教師です。
以下の問い合わせに対して、私の回答を以下の5つの選択肢を基に分類し、私の回答について評価してください。

問い合わせ：同じ大きさの2つの金属球がある。一方の重さは他方の2倍である。2階の窓から、2つの金属球を同時に落とすとき地面に着くまでの時間はどうなる。

1.重い方が軽い方の半分くらいの時間で着く。
2.軽い方が重い方の半分くらいの時間で着く。
3.ほぼ同時。
4.重い方が先に着くが軽い方の半分の時間とは限らない。
5.軽い方が先に着くが重い方の半分の時間とは限らない。

また、選択肢1に分類された場合は、重い物体の方が遅く落ちるという後概念を持っているとフィードバックしてください。

では、あなたが問い合わせを投げかけその後に私が回答をするので、あなたがフィードバックしてください。

2: 物理教師：同じ大きさの2つの金属球がある。一方の重さは他方の2倍である。2階の窓から、2つの金属球を同時に落とすとき地面に着くまでの時間はどうなる。
私：ほぼ同時に着くと思います。

3: 物理教師：なぜそう思うのですか？
私：重い方が軽い方の2倍の重さを持っているため、重力の影響を受ける力も2倍になります。しかし、重さが2倍であっても、球の大きさは同じであるため、空気抵抗の影響は同じだと考えられます。

物理教師：正解です。重さが2倍であっても、球の大きさが同じであるため、空気抵抗の影響は同じです。そのため、2つの球は同じ速度で落下し、ほぼ同時に地面に着きます。重い物体の方が遅く落ちるという後概念は誤りです。

The right side of the screen shows the "GPT for Sheets™ and Docs™" sidebar, which is in BETA. It includes sections for "GPT functions", "Google Sheets assistant", and links for "Help", "Feedback", and "Examples". A message at the bottom of the sidebar says "This sidebar is free while in BETA".

→GPT 4 のAPI申請をする必要があることがわかった。
プロンプトをもう少し工夫してみるのも1つ。



課題と展望



現時点で考えられる課題と展望

- 既存サービスとの差別化(school Tactなど)
- 記述内容の分析をchatGPTで行っていいのか（生成系AIの扱い）
- 事前に選択肢を与えなくても分類してくれるのが理想
→FCIの誤概念判定の裏付けがなくなる懸念もある
- 問題文の作成（FCIの扱い）
- 文章の解析分類に重点orパッケージとして評価に重点
- 自分が今欲しいものベースで研究のインパクトとして小さくないか

参考文献

• FCIとは何か

と顕著な不整合を示すものは「誤概念」と呼ばれることが多い。この誤概念を上手に乗り越えさせない限り、力学を理解させることは困難であることが、近年の物理教育研究によって明らかにされてきた²⁾。

米国では、学生の持つ誤概念を調査するためのテスト問題が、いくつか開発されている。その中でも最も普及しているのが、Hestenesらの開発したForce Concept Inventory (FCI、力学概念指標)である³⁾。最近、日本でもFCIの実施に关心がもたれるようになり、複数のグループによって和訳版が作成されている。それらを統一しようという動きもあり、東京理科大グループのものと東京学芸大グループのものを統一した和訳版が作成された⁴⁾。なお、この統一誤の作成に参加したのは、梅田洋一・栗原昌広・高橋春美・舟崎春彦および筆者らである。

加速度と速度の区別	29
等加速度による物体軌道	12,14
等加速度による速度変化	22
ベクトルとしての速度の加法	9

1. 第1法則	
力が加わっていない場合	6,7,8
速度の向きが一定	23
速さが一定	10,24
力が打ち消し合う場合	17,25

2. 第2法則	
慣性	8,9
一定の力は一定の加速度をもたらす	21,22,26

3. 第3法則	
慣性の場合	4,28
連続的な力の場合	15,16

4. 重ね合わせの原理	
-------------	--



PDF file

FCIとは何か.pdf

1020.8 KB



• FCI原文

Very student begin physics with a well-established system of common sense beliefs about how the physical world works derived from years of personal experience. Over the last decade, physics education research has established that these beliefs play a dominant role in introductory physics. Instruction that does not take them into account is almost totally ineffective, at least for the majority of students.

Specifically, it has been established that (1) commonsense beliefs about motion and force are incompatible with Newtonian concepts in most respects, (2) conventional physics instruction produces little change in these beliefs, and (3) this result is independent of the instructor and the mode of instruction. The implications could not be more serious. Since the students have evidently not learned the most basic Newtonian concepts, they must have failed to comprehend most of the material in the course. They have been forced to cope with the subject by rote memorization of isolated fragments and by carrying out meaningless tasks. No wonder so many are repelled! The few who are successful have become so by their own devices, the course and the teacher having supplied only the opportunity and perhaps inspiration.

Malcolm Wells has been a high school physics teacher for three decades. In 1986 he received the Presidential Award for Excellence in Education. In 1987 he completed a doctorate in physics education research. He is currently collaborating with Hestenes on an NSF grant for educational research and teacher enhancement (Marcos de Niza High School, Tempe, AZ 85281).

Gregg Swackhamer has taught high school physics for 19 years. He has a S and M.A. degree from Indiana University. He is currently teaching physics at Glenbrook North High School (Northbrook, IL 60062) from which he took sabbatical leave in 1989-90 to study at Arizona State University and work on this project.



PDF file

Hestenes PhysTeach30 141 (1992) Force concept...

2.9 MB



• 誤概念診断ツールとしてのFCI

成績を評価してはならない。特にこの点は重要である。

FCIの開発以来、その設問および選択肢の妥当性に関する多くの研究が現在まで蓄積されてきた結果、その信頼性は十分に担保されている。勝手な設問、選択肢の変更ができるないはもちろんあるが、学生に調査目的以外の場面で問題を開示することは許されない。世界の初等力学クラスに共通する尺度としての役割を考えれば、これは当然であろう。その信頼性が長年にわたる物理教育研究によって蓄積してきたFCIは、いわば物理教育界全体の共有財産でもあることを十分に認識しなければならない。

現在流通しているFCIは、文献(2)を基にしてIbrahim Halloun, Richard Hake, Eugene Moscaらによって1995年に改定された版であり、rv95と呼ばれているものである。日本語を含めて23カ国に翻訳されており、Webから入手することが可能である⁵⁾。しかし上記した理由と著作権保護の観点により、問題文は適切に管理されているので、教員が調査・研究のために入手するためであっても、一定の手続きが必要となる。

同じFCIをコース開始時とコース終了時に2度実施することにより、そのコースによる学生の概念的理得度の変容を調べることができる。前者をFCI(pre)、後者をFCI(post)と呼ぶ。



PDF file

誤概念診断ツールとしてのFCI.pdf

2 MB



• 素朴概念の分類

1.はじめに

生徒は、物理学が前から、物体がどのように運動するかを予測し得る程度に、運動の範囲を認識している。だからこそ、キャラクターをしたり自己尊重をといだりできるのである。認知科学によると、それは個別の運動規則に関する知識ではなく、経験を通じて獲得された知識がまとめていき、「概念となる」。たとえば「力を加え続ける限り、物体はやがて止まる」というよく知られた素朴概念⁶⁾は、おもちゃを動かしたり自転車とともに捨ててみられ⁷⁾。結果は自分の知識範囲に基づく素朴概念だけを維持することになる。換言すると、力学を本当に理解するために、生徒が素朴概念を書き上げる根柢となつた現象や経験事実を、力方によつて一貫性のある形で整理叙述され、力学の運動法則の方より合意のつたばかりであることを絶対させなければならないのである。このような知識体系の統一をもたらすような教育は、知識を持たない白紙の状態の生徒に何かを教えるよりも困難な作業である。

この、困難な作業としての物理教育を成功させるためには、生徒がどのような素朴概念を持つているかを教師がよく知っていることが必要条件となる。実際、長年教えてきた物理教師は、それらを経験的に知っているのが普通である。しかし、授業で自分がたりうることに、生徒の持つ素朴概念がある程度知られておることは、物理教員を鼓舞する学生や着手困難になつてお困りであろう。そこで本論では、力方に關する素朴概念を、分類表としてまとめた形で示すことを試みる。

2.素朴概念の先行研究



PDF file

素朴概念の分類.pdf

787.1 KB



• 松原さんの研究

ル生が「百人一首」に入手するまでの流れについて

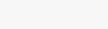
インタフェースの提案と開発



PDF file

松原未和_本論_提出版.pdf

3.5 MB



ありがとうございました