

物理分野における探究的な学習とその効果

しのはら たかお
篠原 孝雄

抄録：ある物理現象の関係性や規則性を実験を通して見出していくという授業において、生徒の探究的な学習を実現するために、ある指導法（今回の指導法）を実践した。そして、今回の指導法による生徒の探究的な活動によって、どのような力が育成されたのかについて「推論力」や「理解度」、「生徒の発言」という観点から検証した。また、学年を学力別で班編成（習熟度班）した学級とどの班も概ね同じくらいの学力になるように班編成（均一班）した学級とに分けて授業を行い、どちらの班編成の方が探究的な活動をしていく上で効果的なのかも検証した。最後に、実験中の生徒の対話を分析し、教科横断的な学習への可能性について探ってみた。

結果として、推論力や理解度に対する今回の指導法の効果量は小であったが、理解度に対する習熟度班編成の効果量は中であることがわかった。また、生徒の発言から他教科とのつながりを見つけることはできなかったが、探究的な活動を行ったことは確認できた。今後、自由研究やSSH、課題解決学習などに活かされることが期待できる。

キーワード：物理分野、探究的な学習、指導法、班編成、推論力、理解度、効果量、教科横断的な学習

1. はじめに

探究的な学習の教育的な価値が大きいことは、平成 28 年 12 月の中央教育審議会答申にて次の事柄として述べられている。

- 探究的な学習は、学習に対する興味・関心・意欲の向上だけでなく、知識・技能の着実な習得や思考力・判断力・表現力の育成にも期待されている。
- スーパーサイエンスハイスクール（SSH）にて行われている課題研究では、相応の成果が上げられており、その教育的な有効性も広く認められていること。
- 知の創出をもたらすことが可能な人材を育成するためには、そのための基本的な資質・能力を身につけ、数学や理科に関する横断的なテーマに徹底的に向き合い考え抜く力が必要である。

また、国立教育政策研究所（2016）や、市川（2004）は、探究的な活動が知識を活用する場としてだけでなく、知識を習得するための動機づけの場としても有効であることを述べている。

また、文部科学省初等中等教育局教育課程課より出された「STEAM 教育等の教科等横断的な学習の推進について」や中央教育審議会答申（令和 3 年 1 月 26 日）でも、STEAM 教育は「各教科での学習を実社会での問題発見・解決にいかしていくための教科横断的な教育」や「児童生徒の興味・関心等を生かし、教師が一人一人に応じた学習活動を課すことで、児童生徒自身が主体的に学習テーマや探究方法等を設定することが重要である。」など、探究のプロセスが重視されている。

このように、文部科学省は全国学力・学習状況調査などを用いて分析し、探究的な学習の重要性を実証している。しかし、より厳密に指導の効果を測定するためには、指導実施の前後における生徒の変化を見ることや実地調査においてその効果を数値化していくことが有効であると考えられる。

1.1. 研究動機

TIMSS2019 の調査報告では、日本は科学的推論（科学的な証拠から結論を導くために科学的概念や原理を適用して推論する）の問題において国際平均値より正答率は高いが、科学的推論力につまずきを感じている生徒は少なくないと感じている。では、科学的推論力はどのようにしたら身につくのだろうか。そこで、中学校理科の授業において科学的推論力の育成に取り組んでみることにする。中でも本研究で扱う中学校物理分野の単元では、対照実験を行う際に条件制御を行ったり、実験方法を企画するのに推論力が必要となると考える。そのため、このような探究的な学習を設定することによって、推論力が育成されるのかどうか検証

を行う。また、本研究の探究的な場面において、生徒がどの教科の見方・考え方を働かせた対話をしながら問題解決していくのかについても分析してみたい。そのことで、文部科学省が推進するSTEAM教育等の教科等横断的な学習を、探究的なプロセスを踏むものにできる可能性が広がると考えた。

1.2. 研究の目的

生徒の探究的な学習場面を設定するために、ある指導法（今回の指導法）を展開する。そして、その探究的な学習（探究のプロセス）が推論力の育成や理解度を上げるのに有効であるかどうかを統計的に分析する。

また、学力別で班を編成（習熟度班）した学級とどの班も概ね同じくらいの学力になるように班を編成（均一班）した学級のどちらにも今回の指導法を用いて授業を行い、どちらの班編成の方が探究的な活動の中で推論力の育成や理解度を上げるのに効果的であるかも検証する。

探究的な場面において、生徒がどの教科の見方・考え方を働かせた対話をしながら問題解決していくのかを分析し、STEAM教育や教科横断的な学習への可能性を模索する。

以上を本研究の目的とする。

2. 研究方法

2.1. 調査対象者

大阪教育大学附属天王寺中学校3年生 男子72名 女子71名

2.2. 実験手順・分析方法

中学3年生理科「運動とエネルギー」の単元の第2節において、第3学年全4学級のうち2学級で指導書ベースの授業（従来の指導法）を展開し、残り2学級で生徒が探究的なプロセスを踏む授業（今回の指導法）を展開する。従来の指導法では、実験の目的を確認した後、実験の手順や実験器具の使い方を説明する。一方、今回の指導法では、実験器具の使い方は説明するものの実験の手順については説明せず、生徒に考えさせることにする。そのための発問も用意する【資料1】。今回の指導法を展開することで、従来の指導法より探究的な場面を多くつくれるのではないかと考える。

（1）指導法の検証

指導実施前後でTIMSS, CTSRなどの科学的推論力テスト【資料2】や理解度テスト【資料3】を実施し、「推論力と指導法」、「理解度と指導法」の相関・有意差・効果量について調べ、分析する。相関分析とは、2種類のデータ間の関係を数値で記述する分析方法である。相関分析では、相関係数という値を求める。相関係数とは、2種類のデータの関係を示す指標である。相関係数 r は、 $-1 \leq r \leq 1$ であり、 r が1に近いほど強い正の相関関係があり、 r が-1に近いほど強い負の相関関係がある。 r が0に近いと直線的な相関関係は殆どない。正の相関関係とは、一方の値が増えればもう一方の値も増えるような関係のことであり、負の相関関係とは一方の値が増えればもう一方の値が減るような関係のことであり、相関係数と相関の強さの関係については【表1】の通りとする。しかし、相関分析はあくまで線形な関係の指標を調べることにすぎず、因果関係を説明するものでもない。実際、偶然、相関が見られる場合や潜伏変数によって因果関係のない2つの事象間に因果関係があるかのように推測される場合（疑似相関）もある。また、「2つの標本（グループ）の平均値に有意差があるかどうか」を検定する手法としてt検定を用いる。

効果量については、サンプルサイズの影響を受けることがない指標であり、【式1】を用いてCohen's d という指標を求める。そして、本研究ではCohen(1988)による、 $d=0.2$ を効果量小、 $d=0.5$ を効果量中、 $d=0.8$ を効果量大とする基準を用いる。ただし、効果量が低いことは必ずしも「実施すべきではない」ということを意味しているのではない(John Hattie, 2018)。

表1 相関係数と相関の強さの関係

相関係数 (r)	相関の強さ
$-1.0 \leq r \leq -0.7$	強い負の相関
$-0.7 \leq r \leq -0.4$	負の相関
$-0.4 \leq r \leq -0.2$	弱い負の相関
$-0.2 \leq r \leq 0.2$	ほとんど相関がない
$0.2 \leq r \leq 0.4$	弱い正の相関
$0.4 \leq r \leq 0.7$	正の相関
$0.7 \leq r \leq 1.0$	強い正の相関

式1 効果量の計算式

$$\text{対応のない場合: } d = \frac{\text{実験群の平均値} - \text{統制群の平均値}}{\sqrt{\frac{\text{実験群の標準偏差}^2 + \text{統制群の標準偏差}^2}{2}}}$$

（2）班編成の検証

令和 3 年 9 月に実施した校内学力診断テストの理科の点数を参考に、4 クラスのうち 2 クラスは学力別で班（習熟度班）を編成し、残り 2 クラスはどの班も概ね同じくらいの学力になるように班（均一班）を編成する。また、固定的役割分担意識（性別による役割意識、固定観念）が班編成より強い影響を示さないように、習熟度班も均一班も同性同士で構成することにする。指導法と班編成の振り分けは、【表 2】の通りとする。指導実施前後で行った TIMSS, CTSR などの科学的推論力テストや理解度テスト、アンケート【資料 4】から、「推論力と班編成」・「理解度と班編成」の相関・有意差・効果量について調べ、分析する。分析方法については、（1）と同様とする。

表 2 中学校第 3 学年における学級別の指導法と班編成

	A 組	B 組	C 組	D 組
指導法	今回の指導法	従来の指導法	今回の指導法	従来の指導法
班編成	均一班	習熟度班	習熟度班	均一班

（3）生徒の発言から教科横断的な学習を探る

従来の指導法と今回の指導法を展開した両授業の実験場面において、生徒がどの教科の見方・考え方を働かせた対話を行い、問題解決していくかを、実験中の生徒の対話を THETA【資料 5】や VOITER【資料 6】の機能を使って録画・録音・文字起こししたものをテキストマイニングにかけて分析を行い、教科横断的な学習への可能性について探ってみる。

3. 研究結果

（1）「指導法」の分析

① 「指導法（今回と従来）」と「推論力」の相関

「今回の指導法」と「推論力」の間の相関係数は次の【表 3】の通りである。推論力テストの指導前後の点数のグラフは【図 1】の通りである。【表 3】と【図 1】より、「今回の指導法」と「推論力」との間では正の相関関係が現れた。ちなみに、「従来の指導法」と「推論力」の間の相関係数は【表 4】の通りとなり、推論力テストの指導前後の点数のグラフは【図 2】の通りである。「従来の指導法」と「推論力」との間でも正の相関関係が現れた。

表 3

相関係数 r	相関の強さ
推論力と今回の指導法 <small>※小数量時以下は四捨五入</small> 0.42	正の相関

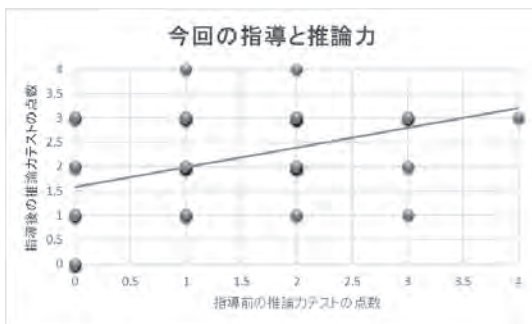


図 1

表 4

相関係数 r	相関の強さ
推論力と従来の指導法 <small>※小数量時以下は四捨五入</small> 0.47	正の相関

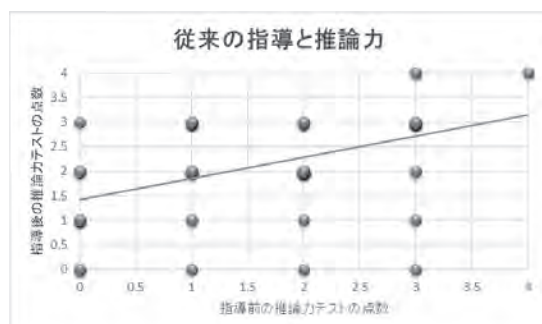


図 2

② 「指導法（今回と従来）」と「推論力」の有意差

「今回の指導法」と「推論力」の有意差について、t 検定を用い調べた。結果は次の【表 5】の通りである。有意水準 5% (0.05) より P 値が小さいので今回の指導法前後の推論力テストの平均値に有意差はあったと考えられる。

ちなみに、「従来の指導法」と「推論力」の間の有意差は次の【表 6】の通りである。有意水準 5% (0.05) より P 値が小さいので従来の指導法前後の推論力テストの平均値に有意差はあったと考えられる。

表 5

t-検定: 一対の標本による平均の検定ツール

	変数 1	変数 2
平均	1.375	2.138888889
分散	1.054577465	0.938184664
観測数	72	72
ピアソン相関	0.428335059	
仮説平均との差異	0	
自由度	71	
t	-6.069044797	
P(T<=t) 片側	2.83883E-08	
t 境界値 片側	1.666599658	
P(T<=t) 両側	5.67765E-08	
t 境界値 両側	1.993943368	

表 6

t-検定: 一対の標本による平均の検定ツール

	変数 1	変数 2
平均	1.611111111	2.111111111
分散	1.142410016	0.945226917
観測数	72	72
ピアソン相関	0.475890662	
仮説平均との差異	0	
自由度	71	
t	-4.047791421	
P(T<=t) 片側	6.50361E-05	
t 境界値 片側	1.666599658	
P(T<=t) 両側	0.000130072	
t 境界値 両側	1.993943368	

③ 「今回の指導法」と「推論力」の効果量

「今回の指導法」が「推論力」にもたらす効果を、効果量としてあらわした結果は、 $d=0.02$ となり、Cohen の基準を用いると、「今回の指導法」が「推論力」にもたらす効果は小さかった。

④ 「理解度」による「指導法（今回と従来）」の有意差

t 検定を用いた「理解度テスト」による「今回の指導法」と「従来」の指導法との間の有意差は右の【表 7】の通りである。有意水準 5% (0.05) より P 値が大きいので、「理解度」による「従来」の指導法と「今回の指導法」には有意差はなかったと考えられる。

表 7

	変数 1	変数 2
平均	76.13487	77.29911
分散	411.2632	434.8451
観測数	69	69
プールされた分散	423.0541	
仮説平均との差異	0	
自由度	136	
t	-0.33247	
P(T<=t) 片側	0.370022	
t 境界値 片側	1.656135	
P(T<=t) 両側	0.740045	
t 境界値 両側	1.977561	

⑤ 「今回の指導法」と「理解度」の効果量

「今回の指導法」が「理解度」にもたらす効果を、効果量としてあらわした結果は、 $d=0.06$ となり、Cohen の基準を用いると、「今回の指導法」が「理解度」にもたらす効果は小さかった。

(2) 「班編成」の分析

① 「班編成（習熟度班と均一班）」と「推論力」の相関

「習熟度班」と「推論力」の間の相関係数は次の【表 8】の通りである。推論力テストの指導前後の点数のグラフは【図 3】の通りである。【表 8】と【図 3】より、「習熟度班」と「推論力」との間では弱い正の相関関係が現れた。ちなみに、「均一班」と「推論力」の間の相関係数は【表 9】の通りとなり、推論力テストの指導前後の点数のグラフは【図 4】の通りである。「均一班」と「推論力」との間では比較的強い正の相関関係が現れた。

表 8

習熟度班と推論力	相関係数 r	
	0.31	弱い正の相関

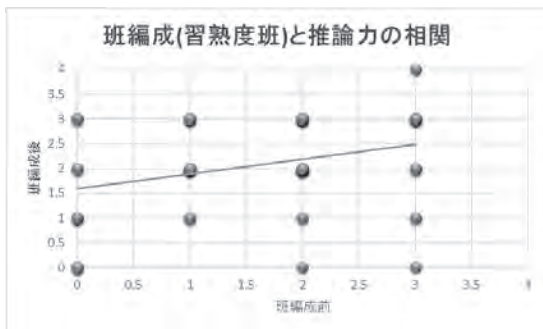


図 3

表 9

均一班と推論力	相関係数 r	
	0.57	比較的強い正の相関

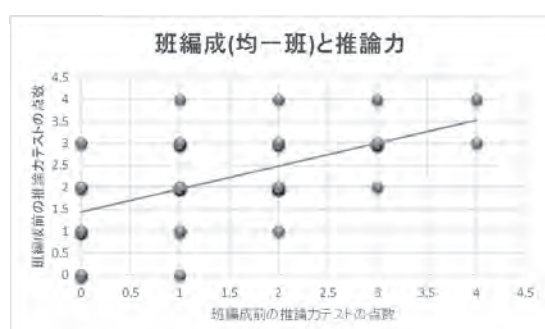


図 4

② 「班編成（習熟度班と均一班）」と「推論力」の有意差

習熟度班と推論力の有意差について、t 検定を用い調べた。結果は、【表 10】の通りである。有意水準 5% (0.05) より P 値が小さいので習熟度班編成前後の推論力テストの平均値に有意差はあったと考えられる。

また、「均一班」と「推論力」の間の有意差は次の【表 11】の通りである。有意水準 5% (0.05) より P 値が小さいので均一班編成前後の推論力テストの平均値にも有意差はあったと考えられる。

表 10

t-検定: 一对の標本による平均の検定ツール

	変数 1	変数 2
平均	1.541666667	2.055555556
分散	1.040492958	0.89827856
観測数	72	72
ピアソン相関	0.318080179	
仮説平均との差異	0	
自由度	71	
t	-3.78994415	
P(T<=t) 片側	0.00015652	
t 境界値 片側	1.666599658	
P(T<=t) 両側	0.000313039	
t 境界値 両側	1.993943368	

表 11

t-検定: 一对の標本による平均の検定ツール

	変数 1	変数 2
平均	1.444444444	2.194444444
分散	1.179968701	0.975743349
観測数	72	72
ピアソン相関	0.574635325	
仮説平均との差異	0	
自由度	71	
t	-6.625765115	
P(T<=t) 片側	2.82965E-09	
t 境界値 片側	1.666599658	
P(T<=t) 両側	5.6593E-09	
t 境界値 両側	1.993943368	

③ 「習熟度班」と「推論力」の効果量

「習熟度班」が「推論力」にもたらす効果を、効果量としてあらわした結果は $d = 0.14$ となり、Cohen の基準を用いると、習熟度班が推論力にもたらす効果量は小さかった。

④ 「理解度」による「習熟度班」と「均一班」の有意差

理解度テストによる習熟度と均一の班編成の有意差について、t 検定を用い調べた。結果は、【表 12】の通りである。有意水準 5% (0.05) より P 値が小さいので、理解度テストによる習熟度班と均一班に有意差はあったと考えられる。

表 12

t-検定: 等分散を仮定した2標本による検定

	変数 1	変数 2
平均	83.15565032	71.96162047
分散	287.108059	421.0164391
観測数	67	67
プールされた分散	354.0622491	
仮説平均との差異	0	
自由度	132	
t	3.443253934	
P(T<=t) 片側	0.000385284	
t 境界値 片側	1.65647927	
P(T<=t) 両側	0.000770568	
t 境界値 両側	1.978098842	

⑤ 「習熟度班」と「理解度」の効果量

「習熟度班」が「理解度」にもたらす効果を、効果量としてあらわした結果は $d = 0.59$ となり、Cohen の基準を用いると、習熟度班が理解度にもたらす効果量は中であつた。

⑥ アンケート結果

同性同士の班を編成したことについて、本節の授業実施後、生徒にとつたアンケート【資料 4】の結果は【図 5～図 8】である。

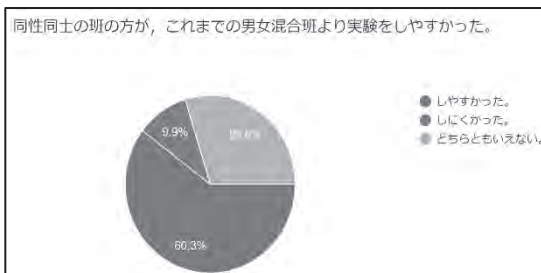


図 5

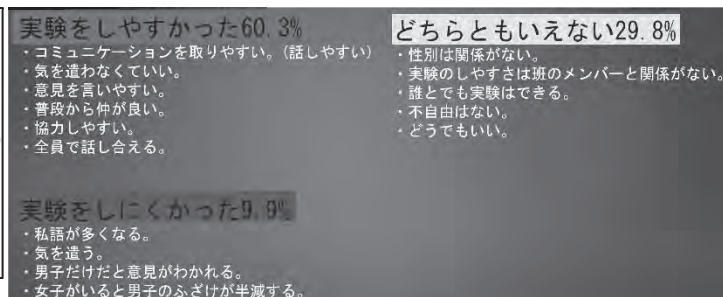


図 6 主な回答理由

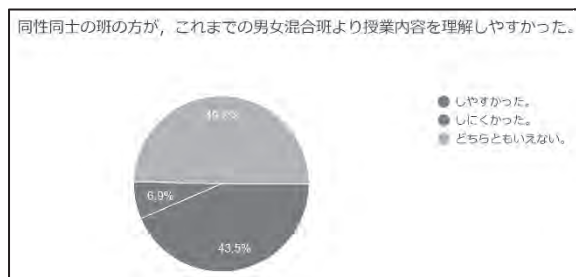


図 7

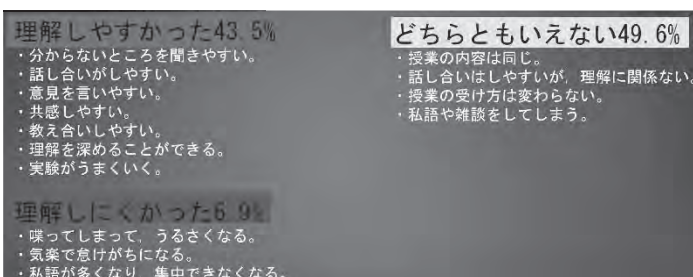


図 8 主な回答理由

(3) 「生徒の発言」の分析

① 均一班における「今回の指導法」と「従来の指導法」との比較

同じ均一班で編成された A 組（今回の指導法）と D 組（従来の指導法）において、実験中の生徒の対話を録音・文字起こししたものをテキストマイニングにかけ、比べた結果【表 13】である。

表 13

A組(今回の指導法)にだけ出現	A組(今回の指導法)によく出る	両方によく出る	D組(従来の指導法)によく出る	D組(従来の指導法)にだけ出現
すいません 言う スタート いや 思う 調べる 最初 2cm ミリ 最後 比例 打つ 持つ 比べる 0.2cm 0.4cm 10g 2.6cm 40cm からだ かん なんぼ 変化 方法 誰か 大きい 軽い える かく かる	おもり 落とす 違う とく 動く 大丈夫	いい 30cm 10cm オッケー 関係 こっち エネルギー 下 ちやう 質量 0.9cm 全部 一緒 くれる	あかん ありがとう 高さ 合わせる さっき 1回 ゼロ すぎる おかしい わかる 20cm くださる 終わる 100g ー ちゃん 測定	すみません いける 戻す 待つ 固定 やり直す 下がる 分かる 変える 戻る 落ちる 上 共有 いく 作る 合わす 締める 緩める 行く 見せる 緩い 1cm 200g グラム 意味 結果 重り あげる いきる ささる

② 習熟度班における「今回の指導法」と「従来の指導法」との比較

同じ習熟度班で編成された C 組（今回の指導法）と B 組（従来の指導法）において、実験中の生徒の対話を録音・文字起こししたものをテキストマイニングにかけ、比べた結果【表 14】である。

表 14

C組(今回の指導)にだけ出現	C組(今回の指導)によく出る	両方によく出る	B組(従来の指導)によく出る	B組(従来の指導)にだけ出現
あかん 無理 エネルギー いく こっち 変わる 傾斜 w ー 当たる くない らいいん 折れる 大きい 一緒 全部 関係 うごく そろえる つける 分かれる 合わせる 行ける ほんまや 一定 終了 重さ 金属 おおきい こわい	速さ 動く ゼロ わかる 使う 書く 測る 大丈夫 すげる そつ 質量 高さ 怖い 重い	いい ちやう 球 なるほど 速い 思う すぎる あく はやい いける まつ 変える 距離 ちがう とる 早い 高い	ー 直す うい グラム ビー玉 軽い 行く あげる すごい あげる 白い	ありがとう 木片 ありがとう ありがとうごさいます うわー はいはい まあまあ 作る やばい もらう えぐい 痛い ケガ 指 時速 移動 つく 通す ちい パソコン メモリ 先生 秒速 あれる ずれる たつ もどる わすれる 付く 入れる

③ 習熟度班における「今回の指導法」と「従来の導法」との比較

今回の指導法を実施したC組（習熟度班）とB組（従来の指導法）において、実験中の生徒の対話を録音・文字起こししたものをテキストマイニングにかけ、比べた結果【表15】である。

表 15

C組(習熟度別)にだけ出現	C組(習熟度別)によく出る	両方によく出る	A組(均一班)によく出る	A組(均一班)にだけ出現
速さ 無理 球 いく なるほど 速い 変わる 傾斜 あく w ー いける まつ 変える 当たる くない らいいん すげる 折れる はやい 怖い 重い うごく そろえる ちがう つける 分かれる 行ける ほんまや わからん	あかん 動く エネルギー ちやう こっち すぎる わかる 使う ー 書く 測る そつ	いい 思う 大丈夫 高さ ゼロ 関係 合わせる 質量 一緒 全部 大きい 重さ 遅い すごい	落とす 言う 違う 調べる オッケー とく かん 軽い	すいません おもり スタート ありがとう いや 10cm 30cm 最初 2cm ミリ 下 最後 比例 打つ 持つ 比べる 0.2cm 0.4cm 0.9cm 10g 1回 2.6cm 40cm からだ なんぼ 変化 方法 誰か える かく

④ 習熟度班における「今回の指導法」と「従来の指導法」との比較

従来の指導法を実施したB組（習熟度班）とD組（均一班）において、実験中の生徒の対話を録音・文字起こししたものをテキストマイニングにかけ、比べた結果【表16】である。

表 16

B組(習熟度班)にだけ出現	B組(習熟度班)によく出る	両方によく出る	D組(均一班)によく出る	D組(均一班)にだけ出現
木片 ありがと ありがとうございます うわー なるほど はいはい まあまあ 思う ピー玉 球 はやい やばい 軽い もらう えぐい 痛い 速い ケガ 指 時速 移動 距離 あく つく まつ 置く 通す 速さ すごい ちい	ー ちやう 直す グラム うい とこ	ありがとう いい すぎる 作る 変える 行く あげる とる もどる 重い 高い	いける 高さ ゼロ さつき 固定 わかる 戻る 共有 質量 くださる 違う 測定	あかん すみません 戻す 待つ 合わせる おかしい 1回 30cm 10cm 20cm オッケー 関係 やり直す 下がる 分かる 落ちる 100g おもり こっち エネルギー 上 下 いく 合わす 終わる 締める 緩める 見せる 緩い 0.9cm

⑤ THETA【資料5】で録画した映像から見られた生徒の様子

1回目の実験で、B・C組（習熟度班）では、一人の生徒が主導で積極的に実験をすすめ、A・D組（均一班）では、全員で協力し合いながら実験をすすめる様子が見られた。しかし、2回目の実験からは、B・C組（習熟度班）も全員で協力し合いながら実験をすすめていた。

また、A・C組（今回の指導法）では、対照実験をするために、どのように条件制御すればよいかという話し合いがなされていた。

C組（習熟度班・今回の指導法）では、本研究前の授業（実験）と比べて、普段はあまり発言しない生徒が活発に発言している様子が見られた。

4. 考察

(1) 「指導法」の考察

生徒の発言から、今回の指導法により、生徒は探究的な活動を行っていたのではないかと考えられる。しかし、「今回の指導法」と「推論力」には正の相関や有意差はあったものの、効果量は小さかつ

たことから、探究的な活動で「推論力」はあまり育成されないのか、それとも短期間で推論力を育成するのは難しいことが考えられる。また、「今回の指導法」と「理解度」についても、有意差はなく、効果量も小さかったことから、「推論力」と同様のことが考えられる。

（2）「班編成」の考察

「習熟度班」と「推論力」には正の相関や有意差はあったが、効果量は小さかったことから、「習熟度班」が「推論力」にあまり影響を及ぼさないのではないかと考えられる。また、「習熟度班」と「理解度」には有意差や効果量も中くらいあったことから、「習熟度班」は「理解度」に一定の効果があることが考えられる。文部科学省は、平成19年度全国学力・学習状況調査追加分析結果より習熟度別・少人数指導について、「習熟度別・少人数指導が、生徒の学力の底上げと関連しており、習熟の早いグループへの発展的指導も生徒の学力を伸ばすことに関連があると考えられる。」という見解を示しているが、それに相応する結果が得られたと考えている。また、同性同士の班編成について、生徒の大半は“実験のしやすさ”を感じているものの、“理解のしやすさ”はそれほど感じていないことがわかった。このような結果になった要因としては、固定的役割分担意識と男女の人間関係の2点が考えられる。

（3）「生徒の発言」の考察

「生徒の発言」から数学的な知識を活用したことは窺えるが、理科は数学のヘビーユーザーであるため、この結果は当然とも言えるかもしれない。しかし、本研究における探究のプロセスは、中学3年生数学の単元である関数 $y=ax^2$ の学習へとスムーズにつなげることを可能にするのではないかと考える。また、どのように条件制御すれば対照実験が行えるのかという探究的な活動を行ったことも「生徒の発言」から確認できた。

5. 今後の課題

「今回の指導法」により、生徒が探究的なプロセスを踏んだということは確認できたが、「推論力」や「理解度」への効果は小さかった。今後も継続して、他教科や他の分野や単元において、生徒が探究的なプロセスを踏むことができるようなカリキュラムを実施していき、その効果を数値化し、統計分析していきたい。一般的に「形式的推論力」の育成は難しいと言われ、「形式的推論力」の育成には、ピアジェは「具体物を用いることによる科学的な推論の支援」を、ヴィゴツキーは「周囲の大人や仲間からの支援」の重要性を示唆している。このことから、「推論力」の育成は、個の活動よりも「教師と生徒」や「生徒同士」などによる他者の関りが大切であると考えている。

また、「生徒の発言」から、生徒が理科や数学以外の教科の見方・考え方を働かせた対話を行ったということは確認できなかったが、理科の授業において探究的な活動を通して培われた力は、今後、理科以外の教科や本校の自由研究やプルーフ、SSHに活かされることが期待できると考えている。

（謝辞）

本研究を遂行するにあたり、仲矢 史雄先生（大阪教育大学教育 教育イノベーションデザインセンター 教授）には、授業を見学していただいたり、種々のご指導を賜りました。この場をお借りして、御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 西川純 (1999). 『実証的教育研究の技法—これでできる教育研究—』 大学教育出版
- 2) 『未来へひろがるサイエンス3』 啓林館
- 3) 小林雄一郎・濱田彰・水本篤 (2020). 『Rによる教育データ入門』 Ohmsha
- 4) ジョン・ハッティ 著・山森光陽 監訳 『教育の効果—メタ分析による学力に影響を与える要因の効果の可視化』 図書文化
- 5) 篠塚拓也 (2020). 「理数探究における問題解決過程に関する一考察」『群馬大学教育実践研究』 (37), 61-70.
- 6) 国立教育政策研究所 編 『TIMSS2019 算数・数学教育／理科教育の国際比較—国際数学・理科教育動向調査の2019年調査報告—』 明石書店

【資料1】

理科学習指導案

(1) 単元名 : 運動とエネルギー（使用図書は、教科書：未来へひろがるサイエンス）

(2) 単元・本章・本節の目標

単元（運動とエネルギー）の目標

ア 物体の運動とエネルギーを日常生活や社会と関連付けながら、力、圧力、仕事、エネルギーについて理解するとともに、それらの観察、実験などに関する技能を身に付けること。

イ 運動とエネルギーについて、見通しをもって観察、実験などを行い、その結果を分析して解釈し、力のつり合い、合成や分解、物体の運動、力学的エネルギーの規則性や関係性を見いだして表現すること。また、探究の過程を振り返ること。

本章（3章 仕事とエネルギー）の目標

仕事の定義を理解させ、仕事の原理を見いださせる。また、仕事をする能力としてエネルギーを定義し、位置エネルギーや運動エネルギーの大きさと、物体の高さや質量、速さとの関係を見いださせる。摩擦や空気の抵抗がなければ、力学的エネルギーが保存されることを理解させる。

本節（2節 エネルギー）の目標

エネルギーの定義を理解させ、位置エネルギーと運動エネルギーの大きさが何で決まるかを見いださせる。

(3) 教材観

「運動とエネルギー」の単元では、物体の運動の規則性やエネルギーの基礎について理解させること、さらにそれらを日常生活や社会と関連付けて運動とエネルギーの初歩的な見方や考え方を養うことを目的としている。ここでは、力学的エネルギーに関する実験を行い、仕事の概念を導入してエネルギーについて理解させる。また、生活の中の事象と結び付けて、エネルギーの見方や考え方を養っていく。さらに、発表を適宜行わせることで思考力・表現力を育成することもできる。実験の目的を明確にするために、杭打ちやボウリングについての発問をする。多くの生徒たちが体験したことがある題材を導入に用いることで日常生活と関連付けたい。また、発問を解決するためにはどのような実験の手順を踏めばよいかや実験から得た考え方によって、最終的に発問の答えがどうなるのかについて考える時間を設定し、それを発表することで思考力・表現力を育成できると考えた。

運動エネルギーの実験では、適切な実験装置を用いることで、定量的な実験が可能である。しかし、測定誤差は必ず生じる。中学校学習指導要領解説理科編 p.33 では「測定値には誤差が必ず含まれていることや誤差を踏まえた上で規則性を見いださせるように指導し、誤差の扱いやグラフ化など、測定値の処理の仕方の基礎を習得させることが大切である」とある。そこで、今回の実験では Google スプレッドシートを用いることで、自動的に誤差を考慮してグラフを作成できるようにした。グラフを手作業で作成することも大切だが、今回の実験の場合、1時間ではデータの処理までできなくなる。そこで、データ入力によって、実験と同時進行でデータを集計することにより、グラフ作成の時間を短縮し、グラフを見て規則性を考えるところまで1時間で到達できるようにした。ICTの即時性を生かして、データ収集、分析を効率よく進めることで、授業の最終的な目的である「運動の規則性やエネルギーの基礎」に気付かせることができる。

(4) 生徒観

本学年の生徒は、理科への興味や関心が高く、授業や実験にも積極的に参加している。1年生のときから基本的な用語を使って自分の考えを説明したり、それを発表したりする活動に段階的に取り組んできた。また、討論形式の授業にも取り組み、学級の多くの生徒が、自らの考えを進んで発表することができるようになった。また、3年生になり、科学的な事象について根拠をもって説明することができるようになってきている。一方で数値やグラフなどのデータに基づいて考察したり、計算した結果に基づいて説明したりすることは、まだまだ不十分である。そこで、グラフを基に、位置エネルギーや運動エネルギーについて説明する授業を仕組むことで、データ等に基づいて考察し表現する力を高めることができると考えた。

（5）単元の評価規準

知識・技能	思考・判断・表現	主体的に学習に取り組む態度
物体の運動とエネルギーを日常生活や社会と関連づけながら、力のつりあいと合成・分解、運動の規則性、力学的エネルギー、エネルギーの変換を理解しているとともに、それらの観察、実験などに関する技能を身につけている。	運動とエネルギーについて、見通しをもって観察、実験などを行い、その結果を分析して解釈し、探究の過程を振り返って、力のつりあい、合成や分解、物体の運動、力学的エネルギーの規則性や関係性を見いだして表現している。また、日常生活や社会で使われているエネルギーについて、見通しをもって観察、実験などを行い、その結果を分析して解釈している。加えて、それらの探究の過程を振り返っている。	運動とエネルギーやエネルギー変換に関する事物・現象に進んで関わり、見通しをもったり振り返ったりするなど、科学的に探究しようとしている。

（6）単元計画（全28時間）

区分	内容	時数
第1次	力の合成と分解	7
第2次	物体の運動	10
第3次	仕事とエネルギー ① 仕事（3） ② エネルギー（4）・・・授業 ③ 位置エネルギーと運動エネルギー（1）	8
第4次	多様なエネルギーとその移り変わり	3

（7）授業の展開

過程	従来の指導（生徒の活動）	今回の指導（生徒の活動）	評価規準
第1時	エネルギーとは何か 1 ハンマーでくいを打つとき、どうすれば深く食いこませられるかを考える。 2 エネルギーの大きさの表し方や、単位について理解する。 3 物体のもつエネルギーと高さや質量の関係について調べる実験を行う。 実験1 ・スプレッドシートを使い、結果からグラフを作成する。	エネルギーとは何か 1, 2と同じ活動を行う。 3 実験1 の実験器の使用方法的説明を聞き、物体のもつエネルギーの大きさと高さや質量の関係について調べるための実験方法を班で話し合いながら実験を行う。 ・スプレッドシートを使い、結果からグラフを作成する。	エネルギーについて理解する。（知） 他者とかかわりながら、位置エネルギーの大きさと高さや質量の関係について探究する。（主） 実験を正確に行い、記録を取っている。（技）
第2時	第2時 位置エネルギーの大きさは何に関係しているか 1 実験の結果を確認する。 2 物体のもつ位置エネルギーと基準面からの高さや質量の関係について理解する。		位置エネルギーの大きさと高さや質量の関係を考察することができる。（思） 位置エネルギーについて理解する。（知）

<p>第 3 時</p>	<p>物体の速さとエネルギーの関係について調べる</p> <p>1 ボウリングの写真を見て、物体のもつエネルギーの大きさが何に関係しているか、予想を立てる。</p> <p>2 実験2の実験器の使用方法和物体のもつエネルギーと速さや質量の関係について調べる実験の手順を聞き、実験を行う。</p> <p>・スプレッドシートを使い、結果からグラフを作成する。</p>	<p>物体の速さとエネルギーの関係について調べる</p> <p>1 ボウリングの写真を見て、物体のもつエネルギーの大きさが何に関係しているか、予想を立てる。</p> <p>2 物体のもつエネルギーの大きさと速さや質量の関係について調べるための実験方法を班で話し合いながら実験を行う。実験2</p> <p>・スプレッドシートを使い、結果からグラフを作成する。</p>	<p>他者とかかわりながら、運動エネルギーの大きさと速さや質量の関係について探究する。(主) 実験を正確に行い、記録を取っている。(技)</p>
<p>第 4 時</p>	<p>運動エネルギーの大きさは何に関係しているか</p> <p>1 実験の結果を確認する。</p> <p>2 物体のもつ運動エネルギーと物体の速さや質量の関係について理解する。</p> <p>3 位置エネルギーは、基準面からの高さや質量が大きいほど大きく、運動エネルギーは、物体の速さや質量が大きいほど大きくなることを確認する。</p>	<p>運動エネルギーの大きさと速さや質量の関係を考察することができる。(思)</p> <p>・運動エネルギーについて理解する。(知)</p>	

(8) 授業プリント

従来の指導法
中3理科 エネルギー①

①(エネルギー)・・・ある物体が別の物体に仕事をする能力

②ある物体が他の物体に対して仕事ができる状態にあるとき、
→その物体はエネルギーをもっているという。

考えてみよう
くいが地面に深く食いこむようにするには、どのようにすればよいか、考えてみよう。



実験 1
【目的】
【準備物】力学的エネルギー実験器、おもり、Chromebook
【方法】

ステップ 1 くいの移動距離を調べる

① 力学的エネルギー実験器の調節ねじを適度にしめ、くいにはたらく摩擦力を調節する。
② 決められた基準面からの高さから、おもりを落下させてくいに当て、くいの移動距離を調べる。移動距離が大きすぎたり小さすぎたりするときは、調節ねじのしめどあいを変えて調節する。

ステップ 2 おもりの高さや質量を変えて調べる

③ くいをもとの位置にもどし、同じ質量のおもりを、基準面からの高さを変えて落下させてくいに当て、くいの移動距離をはかる。
④ くいをもとの位置にもどし、基準面からの高さを同じにして、質量が異なるおもりを落下させてくいに当て、くいの移動距離をはかる。くいにはたらく摩擦力は一定にしているので、移動距離を比べることではエネルギーの比較をしたことになる。



【結果】

1. おもりの質量が同じ場合と、高さが同じ場合に分けて、表に記録する。
<①おもりの質量が同じ場合> おもりの質量: _____ g

おもりの高さ[cm]	くいの移動距離[cm]

<②おもりの高さが同じ場合> おもりの高さ: _____ cm

おもりの質量[g]	くいの移動距離[cm]

2. それぞれの結果をスプレッドシートを使ってグラフに表す。

【考察】

1. 表やグラフから、おもりの高さや質量と、おもりがもつエネルギーの大きさは、
どのように変わっていると考えられるか。

2. おもりがもつエネルギーは、どのようなときに大きくなるといえるか。

まとめ
(位置エネルギー)・・・高いところにある物体がもっているエネルギー。
(位置エネルギー)の大きさを決めるもの

- ・基準面からの高さ
- ・物体の質量

今回の指導法

中3理科 エネルギー①

- ①(エネルギー)・・・ある物体が別の物体に仕事をする能力
 ②ある物体が他の物体に対して仕事ができる状態にあるとき、
 ⇒その物体はエネルギーをもっているという。

考えてみよう

くいが地面に深く食いこむようにするには、どのようにすればよいか、考えてみよう。



実験1 物体のもつエネルギーと高さや質量の関係

【目的】エネルギーの大きさと、物体の高さや質量との関係を調べる。

【準備物】力学的エネルギー実験器、おもり、Chromebook

【方法】



【結果】

1. ① エネルギーの大きさとおもりの高さについての結果を表に示さない。

おもりの高さ[cm]	

② エネルギーの大きさとおもりの重さについて調べた結果を表に示さない。

おもりの質量[g]	

2. それぞれの結果をスプレッドシートを使ってグラフに表す。

【考察】

1. 表やグラフから、おもりの高さや質量と、おもりがもつエネルギーの大きさの関係は、

どのようになっていると考えられるか。

2. おもりがもつエネルギーは、どのようになるときに大きくなるといえるか。

まとめ

()・・・
 ()の大きさを決めるもの

従来の指導法

中3理科 エネルギー②

考えてみよう

ボーリングの球がピンをたおすときの衝撃の強さは何と関係しているのか、考えてみよう。



実験2 物体のもつエネルギーと速さや質量の関係

【目的】エネルギーの大きさと、物体の速さや質量との関係を調べる。

【準備物】レール、速さ測定器、いろいろな質量の小球、木片、Chromebook

【方法】

ステップ1

① 小球の速さを変えて、木片に小球を当て、木片の移動距離を調べる。

ステップ2

② 質量の異なる小球に変えて、①と同様に木片の移動距離を調べる。このとき、速さ測定器が同じ速さを示すように小球を転がす。



横から見た様子

【結果】

1. 小球の質量が同じ場合と、速さが同じ場合に分けて、表に記録する。

<①小球の質量が同じ場合> 小球の質量: g

小球の速さ[m/s]	木片の移動距離[cm]

<②小球の速さが同じ場合> 小球の速さ: m/s

小球の質量[g]	木片の移動距離[cm]

2. それぞれの結果をスプレッドシートを使ってグラフに表す。

【考察】

1. 表やグラフから、小球の速さや質量と、小球がもつエネルギーの大きさの関係は、

どのようになっていると考えられるか。

2. 小球がもつエネルギーは、どのようになるときに大きくなるといえるか。

まとめ

(運動エネルギー)・・・運動している物体がもっているエネルギー。

(運動エネルギー)の大きさを決めるもの

・物体の速さ

・物体の質量

今回の指導法

中3理科 エネルギー②

考えてみよう

ボウリングのボールがピンに当たったときのピンのたおれ方は、何と関係しているのか、考えてみよう。



実験2 物体のもつエネルギーと速さや質量の関係

【目的】 エネルギーの大きさと、物体の速さや質量との関係調べる。

【準備物】 レール、速さ測定器、いろいろな質量の小球、木片、Chromebook

【方法】



横から見た様子

【結果】

1. ① エネルギーの大きさと小球の速さについて調べた結果を表に示さない。

② エネルギーの大きさと小球の重さについて調べた結果を表に示さない。

2. それぞれの結果をスプレッドシートを使ってグラフに表す。

【考察】

1. 表やグラフから、小球の速さや質量と、小球がもつエネルギーの大きさの関係は、どのようになっていると考えられるか。

2. 小球がもつエネルギーは、どのようになるときに大きくなるといえるか。

【まとめ】

(運動エネルギー)・・・運動している物体がもっているエネルギー。

(運動エネルギー)の大きさを決めるもの

・物体の速さ

・物体の質量

【資料2】推論力テスト

① たろうさんは、同じ量の砂糖をすばやく水にとかす方法を調べています。たろうさんは3種類の実験装置を用意しました。各ビーカーの水の量を同じにすることが大切なのは、なぜか、説明しなさい。



② 下の操作をしたときに、メスシリンダー2の水面の位置はどうか。

2つの球の大きさは同じ。鉄球はガラス球よりずっと重量がある。
ガラス球を1に沈める
鉄球を2に沈める



- A 1と同じ位置
- B 1より高い位置
- C 1より低い位置

③ 試験管にハエ 20匹を入れ、左の2本は一部を黒く覆う。赤い光を当てたときのハエの分布は下の図の通り。ハエは何に反応しているのだろうか。



- A 赤い光
- B 重力
- C 赤い光と重力の両方
- D どちらにも反応しない

④ 表面が母音のとき、裏面が奇数であることを確認するには、何枚のカードを裏返せばよいか。



- A: 1枚
- B: 2枚
- C: 3枚
- D: 4枚

【資料3】理解度テスト

授業で学んだことをふまえて下の問いに答えよ。

1. 右図のような力学的エネルギー実験器を使って行った実験では、
①エネルギーと（ ）の関係と
②エネルギーと（ ）の関係について調べた。
①、②の（ ）にあてはまる言葉をそれぞれ書け。

2. 1の①、②の関係について調べる実験をしたときに、何をエネルギーに見立てたか。

3. 1の①、②の関係について調べる実験をしたときに、それぞれ一定にしたものがある。
③と④にそれぞれ答えよ。
①の関係について調べる実験 ⇒ ③（ ）を一定にした。
②の関係について調べる実験 ⇒ ④（ ）を一定にした。

4. 3のように③と④を一定にしたのはなぜか。

5. 1の①、②の関係について調べる実験をした結果、どんなことがわかったか。



6. 下図のような実験器を使って行った実験では、
①エネルギーと（ ）の関係と
②エネルギーと（ ）の関係について調べた。
①、②の（ ）にあてはまる言葉をそれぞれ書け。

7. 6の①、②の関係について調べる実験をしたときに、何をエネルギーに見立てたか。

8. 6の①、②の関係について調べる実験をしたときに、それぞれ一定にしたものがある。
それぞれについて、③と④に答えよ。
①の関係について調べる実験 ⇒ ③（ ）を一定にした。
②の関係について調べる実験 ⇒ ④（ ）を一定にした。

9. 8のように③と④を一定にしたのはなぜか。

10. 6の①、②の関係について調べる実験をした結果、どんなことがわかったか。

←上から見た様子

【資料4】アンケート

① 同性同士の班の方が、これまでの男女混合班より実験をしやすかった。

しやすかった。

しにくかった。

どちらともいえない。

② ①でそう答えた理由を教えてください。*

記述式テキスト（長文回答）

③ 同性同士の班の方が、これまでの男女混合班より授業内容を理解しやすかった。

しやすかった。

しにくかった。

どちらともいえない。

④ ③でそう答えた理由を教えてください。*

記述式テキスト（短文回答）

【資料5】

THETA (RICOH)



360° カメラ

【資料6】

AI ライティングレコーダー VOITER (iFLYTEK)



Wi-Fi 接続時、画面上に文字起こしをリアルタイムで表示することができる。

Investigating learning in the physical field and its effect

SHINOHARA Takao

Abstract: In a class where students discover relationships and regularities in physical phenomena through experiments, a certain teaching method (the present teaching method) was practiced in order to realize students' inquisitive learning. In order to realize students' inquisitive learning, we implemented a certain teaching method (the present teaching method), and examined what kind of skills were developed through students' inquisitive activities using the present teaching method in terms of "reasoning ability," "level of understanding," and "students' comments. In addition, we divided the class into two groups: one grouped according to academic ability (proficiency group) and the other grouped so that all groups had roughly the same academic ability (uniform group), and examined which grouping was more effective in conducting exploratory activities. Finally, we analyzed the students' dialogues during the experiment to explore the possibility of cross-curricular learning.

As a result, we found that the effect of this teaching method on reasoning ability and comprehension was small, but the effect of the proficiency grouping on comprehension was medium. In addition, although we could not find any connection with other subjects from the students' comments, we could confirm that they engaged in exploratory activities. In the future, it is expected that the results will be utilized for free research, SSH, and problem-solving learning.

Key Words: the physical field, investigating learning, method of teaching, group organization, the inference power, the intelligibility, the effect amount and subject crossing learning