

風力発電を題材にした教材開発と探究活動の実践

山下 雅文

風力発電を題材にした実験教材を開発し、研究開発に伴い中学校3年に設定した新科目「地球科学と資源・エネルギー」における探究活動として実践した。この教材では、条件によっては再現性の課題があるが、羽根の形や長さなどの条件制御をして生徒が創意工夫を生かせる実験となった。また、探究活動を通して、生徒自身の科学的・論理的思考力や創造性が育っているようすが見られるとともに、科学的探究に対する興味・関心が高まっていることがわかった。

1. 新科目「地球科学と資源・エネルギー」 資源・エネルギー領域の概要

広島大学附属福山中・高等学校では、文部科学省研究開発学校の指定を受け、平成24年度より、開発課題「持続可能な社会の構築をめざしてクリティカルシンキングを育成する、新教科「現代への視座」を柱にしたすべての教科で取り組む中等教育 教育課程の研究開発」に取り組んでいる¹⁾。新教科「現代への視座」として中学校3年に設定した「地球科学と資源・エネルギー」は、地球科学領域と資源・エネルギー領域の2つからなり、地球科学領域では、総合的な視点や防災教育の基礎を養う。一方、資源・エネルギー領域では、資源・エネルギーについて複眼的かつ批判的に分析・考察を行い、持続可能な社会に向けての課題を見いだし、その解決に向けての方策を考えていく基礎的能力・態度の育成をねらいとしている。

資源・エネルギー領域での教材の工夫として、以下の2点が挙げられる。

- ①資源・エネルギーに関連した現代社会の課題を考えるために必要な科学的基礎知識を扱うとともに、科学技術の発展に伴って、社会がどのように変わってきたのか（科学技術の有用性と課題）や、資源・エネルギーの日本の現状（多くを輸入に頼っており、エネルギーの自給率4%）、省エネルギーを進めるために必要な方策（エコポイント制や、民生分野トップランナー制度、再生可能エネルギー固定価格買取制度など）を題材にして、データ（科学的証拠）に基づき課題を発見し身近な生活や未来を考える ESD 教材・単元を開発・実践する。
- ②社会科学的視点の育成に向けては、社会科との連携を行い、新エネルギーやリサイクルが産業として成立して行くにはどのようなことが必要かについて考える単元を取り入れた。

これらの教材の工夫により、理科的内容にベースを置きながら、多面的・総合的に資源・エネルギーを考える科目としての構成ができたと考える。年間計画などの詳

細については、参考文献1) 広島大学附属福山中・高等学校研究開発学校報告書を参照されたい。

2. 「つながり」を感じる探究活動

持続可能な社会の構築をめざした能力・態度の育成において、「教材のつながり」に加えて、「人のつながり」、「能力・態度のつながり」を生徒自身が授業を通して実感することが重要である²⁾。そのため、平成25年は「これらのつながりを授業で感じることを目標に、生徒が協力して主体的に取り組む探究活動となるような風力発電を題材とした実験教材を開発し、試行的に実践した。

(1)実験の概要

①発電機 = XiKIT (サイキット) 社製 夢風車 2

ペットボトルで作った風車で大きな起電力を発生させ、LEDを灯らせることができる発電機であるが、内部抵抗が大きくなっている(約500Ω)。そこで、発電量を測定する実験では、同一起電力で外部での消費電力が最大となるよう、接続する抵抗の抵抗値を510Ωとした。つまり、この抵抗を接続したとき、起電力が一定のままと仮定すると、テスターで測定されるの電圧は、抵抗のないときの約 $\frac{1}{2}$ となる。

②自作のプロペラをつける工夫

- ・ペットボトルの先端部分に発泡スチロール球(直径5cm)をホットボンドでつけ、回転軸とする。
- ・羽根はプラスチック下敷きを切り取って作成し、クリップをのぼして作った金具をホットボンドでつけスチロール球に指す。
- ・これを夢風車に取り付け風車とする。
- ・羽根が回転により飛ぶ場合は、セロテープで羽根を球に固定し補強する。

③その他の条件

測定条件・・・サーキュレーター(強、プロペラと風車までの距離40cm、風速約3.0m/s)

測定量・・・外部抵抗なしでテスターで電圧測定(回転数を測定することになる)

外部抵抗を付けテスターで電圧測定
(これより電流が求まり、電力を下式
で計算する。)

$$[\text{電力}] = [\text{電圧}] \times [\text{電流}]$$

$$= [\text{電圧}]^2 \div [\text{抵抗}]$$

(2) 探究活動のねらい

従来の理科授業で行う実験は、教科書で扱う事物・現象について、規則性・法則性を見いだしたり、確認するために行うことが多く、生徒の創意工夫を生かした実験にはなりにくいものである。これに対してこの探究活動では、風車の形状を変えることで生徒の意見を活かした様々な実験を行うことが可能である。条件制御を行った実験計画の立案や、科学的に分析し考察することなどの理科の特性を活かしつつ、「唯一の解がない（すぐに答えが出ない）課題」に対して、創意工夫した実験を行って粘り強く取り組む活動や、互いに結果を吟味・議論して結論を導く活動、既習の知識を活用して多面的に考察する活動などが期待できる。一方、実験で得られた風力発電装置の特徴は、実際の自然環境を利用した風力発電装置とは大きく異なる。実験室で一定の向き・風速の条件で行う実験と比べて、自然では地表付近の風と上空での風の違い、地形による風の違い、風速と向きの時間変化などを考慮する必要がある。例えば、結果はサーキュレーターの羽根の大きさにも依存し、本実験に限られた前提条件でのものであることに気づくことができるであろう。この視点は、「科学の本質」とも関連するものである³⁾。

また、中間発表会を設定し、自分たちの実験結果と比較しての意見やアドバイスを述べあったり、クリティカルシンキングを発揮して、実験の方法や結果の分析について議論したりする展開を図る。そのためにアドバイスシートを導入し、意見交換と相互評価を行った。

これらの活動を通して、「人のつながり」を意識させるとともに、実験室と実際の自然環境の違いを比較・考

察することなどを通して、「地球科学」との関連をはじめとする「実社会とのつながり」や「教材のつながり」、「能力・態度のつながり」を感じることができると考えた。

(3) 授業展開過程

1時 ペットボトル風車による発電体験

- 各自1つずつペットボトルで風車を作り、サーキュレーターで風を当て、発電電圧をテスターで測定（興味付けを行うとともに、どんな条件が発電に関係するか予想させる。）

2時 実験の条件についての話し合い

- 風力発電の特性を考えるため、どのような条件を変えて調べたいか。
→「教室内の実験で、より性能のよい風力発電にするにはどうしたらよいだろうか」

生徒の意見

- A. 羽根の長さを変える
- B. 羽根の角度を変える
- C. 羽根の枚数を変える
- D. 羽根の厚さ（質量）を変える
- E. 羽根の大きさ（幅）を変える
- F. プロペラの形を変える

- それぞれの班で上記の条件を分担して調べる。その際、主テーマ（4種程度条件条件を変えて特徴を調べる）と副テーマ（2種類程度条件を変えた実験で傾向を知る）を決めて実験を行う。

※この副テーマは、他班との比較や議論をする上で有効と考えた。

3, 4時 風車の作成, 実験

- 作り方の指導と各班の風車の設計
- 条件制御を行った実験
- 発表原稿作成

（時間が必要な場合、放課後などを利用）

5, 6時 中間発表

7時 追加実験と報告書の作成

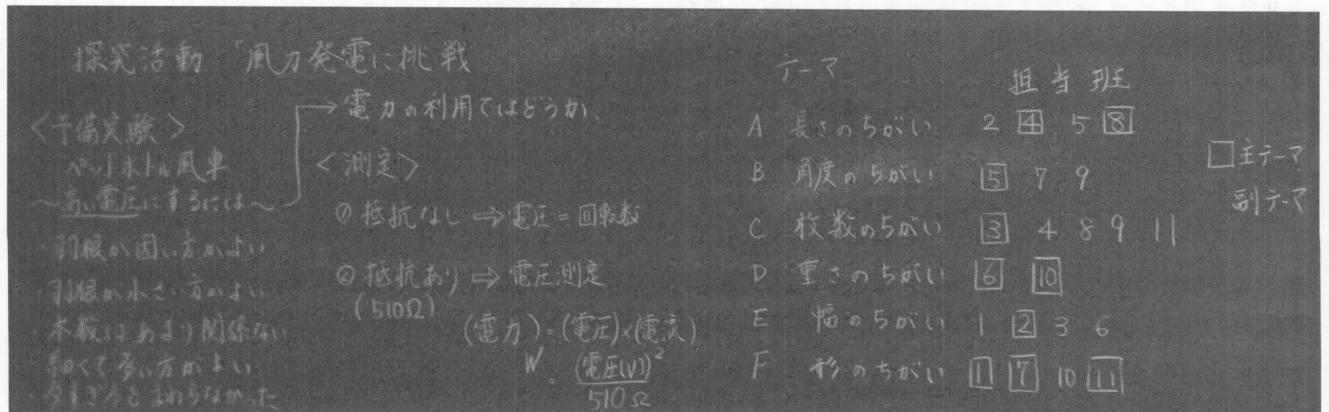


図1 2時での板書

3. 探究活動での生徒の様子

探究活動は、中学校3年生3クラスで実施した。そのうち1クラスは、5、6時の中間発表会を実施しなかった。各段階での生徒の様子をまとめる。

【課題設定について】

第1時でペットボトル風車による予備実験を行っているので、どのような要素を変えると発電量が変わるかについて活発に意見が出た(図1)。また、予備実験から羽根が小さいほど大きな電圧が発生したので、発電量も羽根が小さいほどよいだろうと予想していた。これらの意見から、本実験装置で可能な課題を整理して分担を決めた。その際、本実験では多くの変数が関係しているので、一つの条件(変数)を変えるとき、他の条件(変数)をどのように設定しておくかが重要となる。そこで、大きく影響を与えそうな条件について「副テーマ」としてあらかじめ調べ、条件を整えた上で「主テーマ」に取りかかること、加えて複数の班が一つの課題を調べるので、互いに相談して行うことなどを指示した。副テーマの設定は、後の中間発表で活発な議論を生むことにつながった。

【実験について】

電力については、単にはやく回して高い電圧を作ることが大きな電力発生とイコールではないことに気づいていった。実験結果から風に対してプロペラ面が75°程度のときが大きな電圧と電力を発生できることがわかった。逆に、30°や45°付近では、角度のずれが測定値に大きく影響する。羽根の付け方のずれによる再現性の問題が実験場の課題となっていた。それに対しては、角度の線を作図したセロテープを回転軸に貼付けて実験するなどの工夫も見られた。実験の様子を図2~4に示す。

各班の実験結果を総合して、今回の風力発電の特徴としてわかった内容を表1に示す。

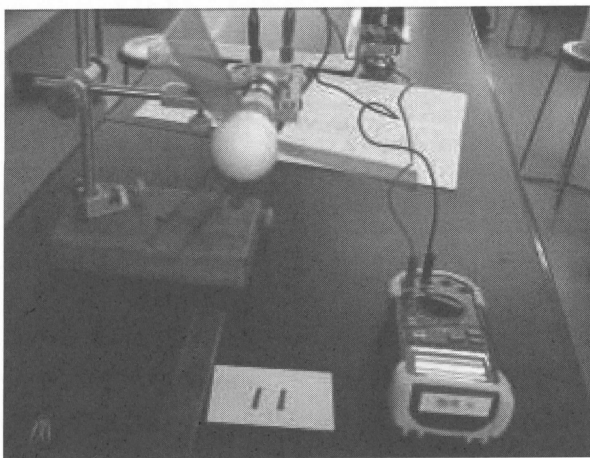


図2 実験風景

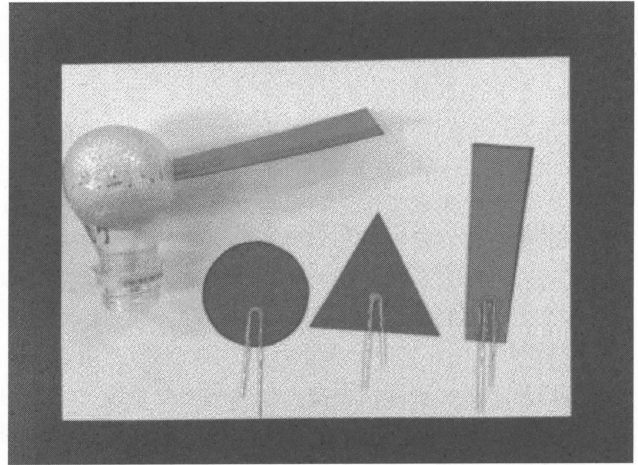


図3 いろいろな羽根

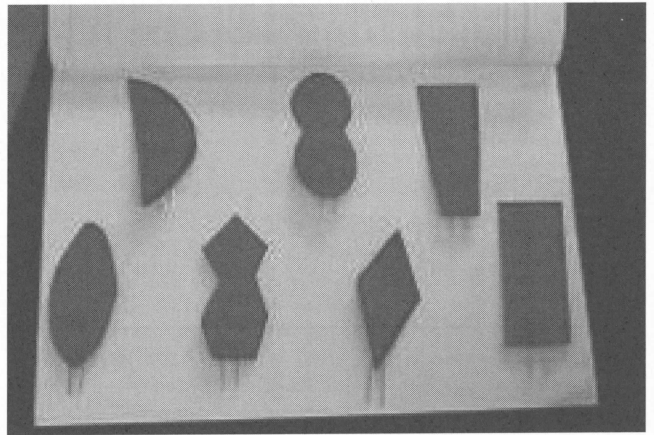


図4 羽根の形を変える

表1 探究活動からわかった風力発電の特徴

- 羽根の角度は風の進行方向に対して、プロペラ面が75°以上のときがよいが、90°では回らない。
- 同じ長さ・面積の羽根なら、軽い方が大きな電力を発生できる。
- 長さに関しては、サーキュレーター羽根の大きさ程度まででは長い方がよいが、それ以上の長さでは発電量の増加につながらない。風を受ける面積が重要となっている。
- 電圧を発生させるだけなら、羽根が短い方がよいが、抵抗を接続して電力を取り出すには、大きな羽根の方が良い。前者は「質量が小さいほど動きやすいことに関係」し、後者は「風のエネルギーを受けるために羽根の長さが必要」という点に関係しているだろう。
- 羽根の重なりをなくして、風がうまく通過するようにつけると発電量が大きくなった。風が通り抜けるということも大切な要素のようだ。

発電量は、多くの班で数mW～20mW程度であるが、75°の角度、8cmの長さで幅3cmの羽根を6枚使った班が最大電力34mWを発生させた。

【中間発表について】

中間発表の形式は「発表時間3分・質疑応答3分」を基本とした。発表では、結果をグラフや表でまとめること、結果と考察は異なるのでその点をしっかり分けて発表することなどを注意している。生徒の発表は、その点をふまえて行われ、わかりやすいものとなった。

考察は「エネルギー」と「力」の混同や、「遠心力」という用語の不正確な使用など、科学的な正確さに課題があるが、各班の仮説に基づき、それぞれの根拠を推測して定性的に説明しようと努力して意見をまとめることができていた。

質疑応答では、「実験の仕方が適切だったか」、「データの見方について」、「実験の考察について違う見方でもできるのでは」、「自分たちの班の結果と比較して」などの観点で質問やアドバイスが行われ、質問に対する応答も自信を持って行う様子が見られた。各班で副テーマの実験も行っているためか、質疑応答でそれぞれのテーマについて議論を深めることができた。

考察の例を、図5、6に示す。

No.4

考察

 ～なぜ75度が一番よく回るのか～

風車の回転力を生かす鍵

||

羽が風から受けるエネルギー + 効率的に回転力に変換すること

<1 羽が風から受けるエネルギー>

A (90度) B (45度) C (0度)

<2 効率的に回転力に変換する>

上から見た図

A

90度

B

45度

C

0度

図6 考察の例2

No.5

～ 2つの力に注目～

1 風力と羽の面積の関係

2 回す力と角度の関係

* 風の流れは目で見えないので、どこか回す効率がよいのか分からないので、どこか回す効率がよい点があるはず

～まとめ～

75°は1と2の両方の条件とクリアした最も回転数が多い角度

図5 考察の例1

中間発表会では、図7、8のようなアドバイスシートを活用した。アドバイスシートの上部は相互評価シートとなっており、4つの観点について4段階で評価する。また、発表の内容について独自性が感じられ、「なるほど」と感心した場合、3点満点で数値を記入するようになっている。相互評価では、それぞれ高い評価をつけていた。下部は、発表会で直接質問ができなかったことや、実験についてのアドバイス、発表の感想などを自由記述するようになっている。

A 羽根の枚数を変える () 班

実験・発表についての評価	4 (とても良い) - 3 (良い) - 2 (普通がある) - 1 (かなり問題がある)
◆目的が明確な実験か	④ -- 3 -- 2 -- 1
◆条件が整った実験か	④ -- 3 -- 2 -- 1
◆発表はわかりやすいか、的確か	④ -- 3 -- 2 -- 1
◆資料はわかりやすいか、的確か	4 -- ③ -- 2 -- 1
◆工夫や独自性のある実験か	3点満点で (3)

【意見およびアドバイス】

絵、グラフがとても分かりやすかった。

9枚の時口ふしかいたが、12枚から6→3と変えていく方法はすごいと思えた。

図7 アドバイスシートの例1

D 羽根の大きさ（幅）を変える（□）班

実験・発表についての評価	4 (とても良い) - 3 (良い) - 2 (普通がある) - 1 (かなり悪いがある)
◆目的が明確な実験か	4 - 3 - 2 - 1
◆条件が整った実験か	4 - 3 - 2 - 1
◆発表はわかりやすいか、的確か	4 - 3 - 2 - 1
◆資料はわかりやすいか、的確か	4 - 3 - 2 - 1
◆工夫や独自性のある実験か	3 点満点で (3)
【意見およびアドバイス】	
<p>とても分かりやすかった。 風力発電の羽はあまり幅が広くないので意外だった。 もししたら風力発電は上空で風が実験よりかなり強いのから耐久性に問題が出てくるかなと思った。</p>	

図8 アドバイスシートの例2

中間発表の後、アドバイスシートを記述者の名前を消した状態で各班へフィードバックし、それらも参考にして最終レポートの作成を行った。

4. 探究活動に対する生徒の反応

中間発表後に以下の5つの設問（4段階の評定尺度）および自由記述によるアンケート調査を行った。

問1	探究活動に興味を持てたか
問2	探究活動に主体的に取り組めたか
問3	いろいろな知識や技能を活用して取り組んだか
問4	班のメンバーと議論して深められたか
問5	他の班との比較や議論は有益なものとなったか
4 (大変そう思う) - 3 (そう思う) - 2 (そう思わない) - 1 (大変そう思わない)	

中間発表会を実施した2クラス（81名）の結果は図9の通りである。

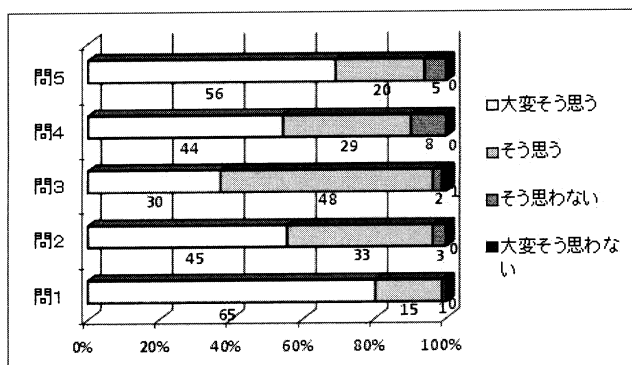


図9 探究活動に対するアンケート結果

各設問での平均値と標準偏差は表2の通りで、問3を除いて、天井効果を示しており、ほぼ全員が、興味を持

って主体的に取り組めていることがわかる。しかし、知識の活用について1名「大変そう思わない」がいる。その生徒の記述は以下の内容であり、他の発表や議論を聞

自分の考察が他の班の1/10にも満たないレベルで、授業が終わった後とても空しくなった。もっと深い考察ができないはずはなかったのに...追加実験もできなかったと痛感。

き、自分自身の足りなさを感じて評価していることがわかる。この感想からは、生徒の前向きな態度が感じられ、良い意味で「人のつながり」が大きな刺激を与えたことがわかる。その他の設問の「そう思わない」も、同様に自身の活動を振り返り反省している記述がなされていた。

表2 各設問の平均値と標準偏差（中間発表会あり）

設問	問1	問2	問3	問4	問5
平均値	3.79	3.52	3.32	3.44	3.63
標準偏差	0.44	0.57	0.59	0.67	0.60

表3 各設問の平均値と標準偏差（中間発表会なし）

設問	問1	問2	問3	問4	問5
平均値	3.70	3.38	3.15	3.60	3.45
標準偏差	0.46	0.74	0.58	0.55	0.64

表3は、中間発表会をしなかったクラス（40名）のアンケート結果であるが、こちらも問3を除いて天井効果を示している。問3については中間発表会を行ったほうが、高い値になっているように感じる。

アンケートの記述部分（中間発表会あり）を一部紹介する。

- 今回の探究活動はとてもよいものになったと思う。各班それぞれ実験し、その考察をすることぐらいは予想できたが、質疑応答であんなに盛り上がると思わなかった。質問をする生徒は一部の人間だけだったが、議論をしていくうちに本題が明らかになっていったのはおもしろかった。
- 答えが何かわからなくて手探りの状態で答えを見つけるといのは、いつもの実験のような教科書にだいたい答えが書いてあったり予想が容易につくのと違い、楽しかったし新鮮であった。
- この活動を通して考察する力が少しは身に付いたと思います。また、4人で1班の研究だったので、自分の意見を伝えるだけでなく友達の見聞も開けてより充実した活動になりました。今までの実験や夏の自由研究での自分の考察があらためて浅いとわかったので、これからは今回の活動で学んだ

ことを活かしているいろいろ考えたいと思いました。

- 私たちの班は角度について実験した。実験の正確さの重要性を学んだ。5°、10°の追加実験はとても有益だったと思う。8班の考察はとても分かり易かったし、私たちの考えを越えていた。○班は条件をいろいろ工夫していてとても良かった。結果からなぜそうなるのかを考える力がついた。
- 自分たちでプロペラを作って試行錯誤して良い結果を得られたときの達成感がとてもうれしかった。私は探究活動というとなかなか自分にはできないわけないかと思っていたが実際にしてみると様々なアイデアが浮かんで楽しいものになった。他の班の考察が広いスケールでの話で驚いたし興味深いと感じた。
- いつもは実験の手順や最終目標を与えられていたのであまり深く考えずに行っていたが、自分自身で考えることによって論理的に考えている実感がわいたし、他の人の意見も普段より心に響いた。

探究活動を通して、生徒自身の科学的・論理的思考力や創造性が育っているようすが見られるとともに、探究に対する興味・関心高まっていることがわかった。また「人とのつながり」を通して、大きな刺激を受け自身を振り返っている様子もみられた。

5. まとめ

理科の授業では、計画された実験を進めると、ある変数を大きくすると測定値が大きくなる（または小さくなる）一方向の変化となる結果が多い。しかし、今回の実験では、ある値で最高値となり、それ以上変数の値を大きくすると逆に効果が望めない場合がある。複雑な事象の考察を通して、このような特徴があることを理解することは、リスクとベネフィットの視点をはじめ持続可能な社会を構築する上で重要であると考えられる。

この探究活動を通して、創意工夫して課題に取り組む姿や、失敗をしても粘り強く取り組む姿もあった。持っている知識を活用し、いろいろな事象と関連づけたりして、言語化して互いに議論する姿も見られた。「資源・エネルギー」第1章で行った探究活動として、知識や能力を活用して多面的に考察する活動となり、創造性を発揮し、科学的に探究して考察する一つのプロセスを体験することができ、このような科学的探究に対する興味・関心が高まったと考える。この活動は、このあと扱う科学と社会のつながりやクリティカルシンキングの活用、科学的証拠に基づき論証しようとする態度の育成にも有効な活動になるのではないだろうか。

教材の課題としては、ある範囲で羽根の角度のずれが

結果に大きな影響を与えるため、再現性の難しさがあった。また、今回得られた風力発電装置の特徴は、実際の自然環境を利用した風力発電とは大きく異なる。実験室で一定の向き・風速の条件で行う実験と比べて、自然では地表付近の風と上空での風の違い、地形による風の違いなどや、安全性と採算性を考慮する必要がある。このように、試行錯誤の中で条件を見つける今回の探究活動のアプローチの仕方は、風力発電の実際の研究開発の方法との違いを含んだものといえる。

新科目「地球科学と資源・エネルギー」ではこのような自然環境の利用について、探究活動の後に「地球科学」領域と関連づけて説明する予定である。

最後に、探究活動は生徒の主体的かつ創造的学びを、協働的に進める有効な活動であるが、十分な時間をかける必要があり、本探究活動でも7時間程度の多くの時間をかける結果となった点は課題である。

参考文献

- 1) 文部科学省研究開発学校 研究開発実施報告書 平成25年度（第2年次）
- 2) 国立教育政策研究所教育課程研究センター「ESDの学習指導過程を構想し展開するために必要な枠組み」 www.p-sed.go.jp/top.html
- 3) 山下雅文他、広島大学 学部附属共同研究機構研究紀要第42号、pp. 85-94、2014年