

4 理科

科学的な思考力・判断力・表現力を高める理科学習の展開

—琵琶湖を取り巻く森林の教材化を軸とした、自然環境保全と資源活用に関する研究—

太田 聡

本論の要旨

滋賀県の琵琶湖を取り巻く環境課題と森林の保全・活用に焦点を当て、探究的な理科学習に適した新たな教材・教具の開発を行った。それにあたり、我が国および滋賀県の実態に即し、エネルギー環境問題に関する系統的な実践事例の開発を本研究の最終的な目標とした。特に、森林を資源と捉える視点から、今後の環境保全のあり方や、エネルギー資源の有効な活用に関して理解を深めさせる実践を進めた。

例年に引き続き、授業での自然体験や直接的な体験の機会の充実を図り、物事を多面的・多角的に捉える学習の場面を重視した。具体的には、①生徒自身が現物を手に取り観察・実験できる機会を確保する、②滋賀の森林を含めたエネルギー資源を主体的に意識させるような効果的な教具・教材の開発を模索する、③教具・教材を活用した探究的な理科学習の展開を図ることである。生徒アンケートや記述内容、協議会参加者の発言の分析等により、課題解決に迫る考察が促されたかについて検証を試みた。

本稿では、科学的な思考力・判断力・表現力の質の向上を目指した実践例や、滋賀県内での木質バイオマス活用の調査、持続可能な社会に向けた資源の活用に関する生徒の意識の変容について述べる。

キーワード 森林、バイオマス、エネルギー環境教育、探究、持続可能な社会

1. はじめに

滋賀県の森林面積は、約 20 万ヘクタールであり、県面積の約 50% (県陸地面積の 60% 近く) にあたる。森林は、琵琶湖の約 3 倍の面積を占め、湖国の景観を支えているだけでなく、森林と琵琶湖が一体となって生態系を形成している。さらに、森林に降った雨のほとんどが琵琶湖に注ぎ込み、滋賀県民はもとより、近畿圏に住む約 1450 万人の生活を支える水源の出発点としても、森林は注目すべき存在である。滋賀県の森林の特徴は、アカマツ、コナラ、ブナ等の 52.9% の天然林と、3.5% の竹林等、残る 43.6% もの森林計画的に植樹された人工林から成り立ち、環境が支えられている点にある。

滋賀県では県の事業として、小学 4 年生向けの森林環境学習「やまのこ」、小学 5 年生向けの水環境学習「うみのこ」、小学中学年から高学年にかけた「たんぼのこ」が、自然体験学習として実施されている。

しかし、小学校段階でのこういった貴重な学習体験の効果が、中学校での学習に、どの程度活かされているかといった検証が十分にされてきたわけではない。また、中学校の理科授業において、我が国が抱えるエネルギー環境問題を、我が国の森林資源や水資源に着目する学習と関連づけ、系統的で効果的な指導を行うにはどうすればよいかについて、十分に議論されてきたとは言い難い。

そこで、本研究の目的は、中学 3 年の「エネルギ

ー資源とその利用」および「科学技術と環境保全」に関して、滋賀県の琵琶湖を取り巻く環境課題と森林の保全・活用にも焦点を当て、我が国および滋賀県の実態に即した、エネルギー環境問題に関する教材・教具および系統的な授業実践事例の開発を最終的な目標としている。

具体的には、効果的なエネルギー変換についての実験や、間伐材やバイオマスエネルギーを活用した体験を学習活動の中に組み入れ、オフグリッド発電の可能性とともに、今後のエネルギー問題を中心に、森林を資源と捉える環境保全のあり方や、自然環境の活用に関する理解を深めさせるよう、新たな教材・教具の開発を目指したいと考えた。

本研究では例年に引き続き、授業での自然体験や直接的な体験の機会の充実と、物事を多面的・多角的に捉える学習の場面を重視した。具体的には、①生徒自身が、現物を手に取り観察・実験できる機会を確保すること、また、その際に②滋賀の森林資源を含めたエネルギー資源を主体的に意識させるような効果的な教具・教材の開発を模索すること、そしてそれらの③教具・教材を活用した探究的な理科学習の展開を行うことを大切にした。

教材化に向け、関連機関への聞き取りや議論を通して、教育目標に沿った適切なエネルギー資源の活用法や、科学的な思考力・判断力・表現力を高める授業展開の改善、および指導・評価の改善のあり方を模索することとした。

2. 研究仮説

滋賀の資源を活用した学習課題の設定により、視点の明確化を促し、結果の比較や考察を引き出しやすい学習環境を構築するとともに、生徒の考察時の学習活動を充実させれば、科学的思考力・判断力・表現力の向上が図れるであろう。

3. 研究方法

次の3つの内容について研究を進めた。

- (1) 滋賀県内での木質バイオマス活用の調査
- (2) 実験のための教具・教材の開発と授業実践
- (3) 授業研究の分析

4. 研究内容

(1) 滋賀県内での木質バイオマス活用の調査

① 滋賀の森林資源の教材化に注目したきっかけ

2014年7月に施行された、水循環基本法の基本理念である「水循環の重要性」や「流域の総合的管理」等で示されているとおり、水は人類共通の財産である。このことを、国民一人ひとりが認識することが重要である。また、森林環境をはじめとする環境保全を通して、水が健全に循環することによってもたらされる恵沢を、我々が将来にわたり享受できるよう、地方公共団体、事業者、そして将来を担う国民一人ひとりが連携・協力することが早急に求められている。

しかし、水資源やエネルギー資源の確保と同様に、森林資源が重要な存在であることを、中学校の理科の授業でほとんど取り上げられていなかったのが現状である。

また、近年では国内企業に限らず、海外資本の企業が、国土の7割を占める日本の森林を中心とする自然環境の囲い込みを進めているという動きも報道されている。これらの動きの根底にあるものは、森林資源の確保が、淡水資源の確保に繋がり、ひいては限られた者が、永続的な利益を得るために断然有利であることを認知しているためである。未だ法整備が充分とは言えない我が国の現状が、水ビジネスの標的とされうることを、我が国の抱える課題として認識することも重要である。

そこで、エネルギー環境問題と同様に、滋賀の森林の保全と活用に関する重要性に関しても、早急に教材化を進めるべきだと考えた。

② 滋賀県森林政策課への取材から

滋賀県では、平成16年(2004年)4月に、すべての県民が森林づくりに主体的に参画し、長期的な展望に立って森林の多面的機能が持続的に発揮されるよう、滋

賀県森林づくり条例が施行されている。本条例が指す森林の多面的機能とは、水源涵養、県土の保全、木材等の供給等、森林の有するこれらの機能を、持続的に発揮することである。本条例は、森林の担うこれらの機能を通して、琵琶湖の保全および、県民の健康で文化的な生活の確保に寄与するという目的を持つ。

滋賀県では、国有林以外の森林である民有林が、約9割を占め、そのうち、個人所有の森林が約41.6%であるという特徴がある。また、民有林のうち約36.2%が、特に重要な働きをする森林として、保安林に指定され、我々の暮らしを守るため、水源涵養や、山地災害防止等、特に重要な役割を果たしている。

琵琶湖を取り巻く森林が持つ重要な機能のうち、洪水を防ぐとともに、雨水を地下水として蓄え、徐々に川へ、さらには琵琶湖へと水を送り出す「水源涵養機能」の充実を図るため、滋賀県は、民有林保安林の総面積のうち、約43%を水源涵養保安林として指定する等の施策に力を入れている。

また、民有林保安林の総面積のうち、約52.5%を、土砂の流失を防ぐ「土砂流出防備機能」を保つ目的で指定している。

近年、滋賀県の森林が抱える問題については、森林の荒廃の抑制に関することだけではなく、ニホンジカによる森林被害(幼齢木の食害や成木の剥皮被害、下層植生に対する被害、頻発する気象災害等による風倒木、土砂流出等)も見受けられ、森林の取り巻く変化に対応するべく、平成17年(2005年)度から令和2年(2020年)を期間とする琵琶湖森林づくり基本計画は、平成31年(2019年)3月に見直されている。

森林の荒廃防止対策については、滋賀県の森林が成熟期を迎えた林分が多くなっているため、それらを資源として活用しつつ、成長して混み合ってきた立木の一部を間伐し、残すべき立木の生長を促すための利用間伐(搬出間伐)が進められてきている。

また、ニホンジカへの対策については、害獣防止施設の設置や新たな植栽、樹皮へのテープによる保護、直接的なニホンジカの捕獲による、下層植生の衰退の防止等が実施されている。

さらに、頻発する気象災害については、地球温暖化に伴う気候変動によるものと考えられるため、従来に引き続き、地球規模での二酸化炭素などの温室効果ガス削減や、持続可能な社会の実現に向けての対策とともに、人々の省エネルギー行動への働きかけや、再生可能エネルギーや新エネルギー等の普及・開発・活用に向けた行動が世界的に求められているといえる。

そこで、滋賀県が抱えるこれらの諸課題を、森林を取り巻く未解決課題として、生徒たちに投げかけることで、エネルギー環境問題の視点で捉えさせられるの

ではないかと考えた。具体的には、生徒自身が主体となり、割り箸の活用に代表されるような間伐材の資源の活用等の是非をはじめ、限りある資源の有効活用のために科学技術を利用した、今後の地球環境保全に向けた議論の展開をさせたいと考えた。

③いぶきグリーンエナジーバイオマス発電所の取材

滋賀県米原市に、平成25年に経済産業省の再生可能エネルギー固定価格買取制度の設備認定を受け、平成27年に運転を開始した滋賀県初の木質バイオマス発電所のいぶきグリーンエナジーバイオマス発電所(以降、いぶきバイオマス発電所と略す)がある(図1)。この発電所の発電能力は最大出力3550kWであり、地元米原市の一般家庭の約半数にあたる、約6000世帯分の電力をまかなえる電力に相当する。実際には、約500kW分を自社の工場で、木材の乾燥等にも活用されており、残りの電力は、他の電力会社に売電されている。

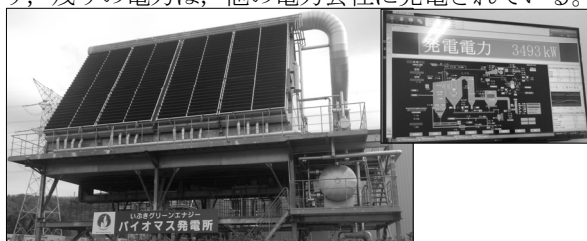


図1 いぶきグリーンエナジーバイオマス発電所

木質バイオマス発電のエネルギー源となる、木質燃料チップの供給元は、同社の親会社が販売を手がける木製パレット等の廃棄物が、原料の2割程度となっている。また、他社製の木製パレットも含めた、使用済・流通後の廃棄された木材も、木質燃料チップの供給源の主流となっている。近年では、家の解体等に伴う木材の産業廃棄物等や河川への流木等も、発電用の原料に用いられている。原料となる木材は、隣接する加工工場乾燥・破砕・選別等の各種工程を経た後、長さ約5cm×幅約2cm程度の木質燃料チップ(図2)に加工され、発電所内に供給される仕組みとなっている。



図2 木質燃料チップ

(2) 実験のための教具・教材の開発と授業実践

①バイオマス発電実験のための教具の準備

バイオマス発電の材料となる木材チップのサンプルは、いぶきバイオマス発電所のご厚意で提供をいただいた。また、バイオマス発電の演示実験には、BioLite 社製 CampStove2(図3)を用い、燃料として、使用済みの割り箸や MDF 板の端材を用いた。この装置は、加熱水蒸気でタービンを回す、いぶきバイオ

マス発電所の実際の仕組みとは若干異なる点がある。木質燃料チップから湯を沸かし、蒸気を発生できるだけでなく、熱エネ



図3 バイオマス発電のモデル実験装置

ルギーから直接電気エネルギーに変換できる仕組みも持ち、LED で発電状況を視覚的にモニターできる。また、本体に付属する蓄電池への充電や USB 端子から電力を取り出す機能を備えており、エネルギーの変換効率を高める具体的な事例として示せる。ただし、木片を燃焼させるため、屋外実験が必須である。

②バイオエタノールの利用を想定したエネルギー変換実験のための教具の準備

エタノールの持つ化学エネルギー変換の可視化をはかる実験装置を自作し、授業に活用した。具体的にはフィルムケース、1辺約6cmの正方形のMDF



図4 エネルギー変換実験装置

板(レーザーカットしたもの、のこぎり等による切断も可、アクリル板も代用可)、ホットボンド、金属ゼムクリップ、導線、圧電素子着火装置を用いて教具を作製し、授業に活用した。この装置の作製方法(図4)は、①土台となる板を用意し、②板とフィルムケースのふたに2か所キリで穴を開け、③一端を伸ばしたゼムクリップを穴に通し、ふたにホットボンドを塗布する、④MDF板とふたをしっかりと貼り付けたのち、圧電素子の火花がうまく飛ぶようにゼムクリップの先端をラジオペンチ等で少し折り曲げ、調整する、⑤フィルムケース内にエタノールを1滴だけ垂らし、ふたを上からかぶせるように取り付け、着火装置に接続すれば装置の完成となる。実験上の注意として、エタノールを入れすぎないようにし、火気に注意する。また、フィルムケース上空や周囲に、ガラス器具や照明器具等がないかを充分確認し、生徒を教卓から3m程度遠ざける。大きな音が伴うので、部屋を密閉せず窓を少し開けておく。実験結果については、五感で感じ取らせる必要があるため、落ち着いた雰囲気の中で観察するように、事前に注意喚起を行うよう留意した。

③職員研修を通じた教具・教材の紹介

本校では、大津市教育委員会より、教職経験2年次・3年次研修を受け入れている。また、筆者の所属する滋賀県教育研究会理科部会においても、例年、県内の理科教員が各自研究を深める教具・教材について持ち寄り、互いの教育実践の交流を行う「気軽にシンポジウム」に参加している。これらの研修は、次世代を担う理科教員にとって、「自分も、明日の授業に活かしてみよう」というきっかけを得る、重要な職員研修の場であると考えている。

そこで、本年度の両研修では、本研究に関連する基本的なエネルギー変換実験の体験ブースを設け(図5)、大津市内・県内の理科教員を対象に、自作教具・教材の紹介を行い、参



図5 エネルギー変換実験の体験ブース

④具体的な2つの授業実践

第2学年では、電気がエネルギーをもつこと、化学変化には熱の出入りが伴うこと、第3学年では、運動エネルギーと位置エネルギーが相互に移り変わることを、化学エネルギーが電気エネルギーに変換されていることについてすでに学習している。生徒の現状としては、日本は食料を含めたエネルギー資源が乏しいことを知識として知っていながらも、日常生活での一例として、給食の残食量が少ないとはいえず、食料をはじめとして、地球規模のエネルギー資源を大切にしていこうとする姿が十分に育っているとは言いがたい側面を持っている。

授業では、これらの学習との関連を図りながらエネルギー変換に関する観察、実験などを行い、日常生活や社会で様々なエネルギーを変換して利用していることを、エネルギーの保存やエネルギーを利用する際の効率と関連づけながら理解させる。また、我々人間が、水力、火力、原子力、太陽光など、多様な方法でエネルギーを得ていることを、エネルギー資源の特性やエネルギーの変換の方法と関連付けて理解させることや、エネルギーを有効かつ安全に利用する重要性を認識させることがねらいである。

エネルギー変換については、身の回りに生じている具体的な事象を取り上げ、光や音、熱などを発生させる実験を行い、それぞれの現象をエネルギーの変換という視点から捉えさせることが重要である。また、日常生活や社会においてエネルギーを適宜変換し、人間の活動に利用しやすいように工夫してい

る具体例に触れさせ、実感させることも大切である。

これらをもとに、様々な形態のエネルギーが相互に変換されることや、変換の前後でエネルギーの総量は保存されることを理解させる。電力量や仕事についても同じエネルギーの単位であるJ(ジュール)を用いることから、数量的な結果の比較や事象を分析して解釈させることが重要となる。また、エネルギーの総量は保存しながらも、エネルギーの一部が利用目的以外のエネルギーとなり、無駄が生じることを実感させ、利用効率を高める方法を意識させる。

日本のエネルギー資源に関して、これらの安定した確保が大きな課題であることや、化石燃料には長い年月の間に太陽から放射されたエネルギーが蓄えられていること、そしてその大量使用が環境に負荷を与えたり、地球温暖化を促進したりすることなどから、省エネルギーの必要性を認識させ、エネルギーを有効に利用しようとする態度を育てたい。さらに今後、環境への負荷がなるべく小さいエネルギー資源の開発と利用が課題であることを認識させるとともに、風力、地熱、バイオマスなどの再生可能エネルギー資源の利用や、燃料電池や新たなエネルギーの開発の現状や課題についても触れながら指導を行いたいと考えた。

その際、本校独自に実施している、理科・社会科・技術・家庭科の合科学習である「科学技術の時間」と理科での一連の学習を連動させる中で、実社会に生きてはたらく実践的な科学的思考力を付けさせたい。授業では、自作教具や思考ツール、ICT等を活用させ、科学的な概念や用語を用いて論理的に表現する機会を確保し、意見交流や考察の深化を図る。

○単元の学習目標

エネルギー変換に関する観察、実験を行い、エネルギー変換の方法とエネルギーの特性とを関連付けて理解し、様々な形態のエネルギーが相互に変換されることや、変換の前後でエネルギーの総量は保存されることを身の回りの事象を捉えて説明でき、エネルギー資源を有効、安全に利用することの重要性を認識する。

○単元の評価規準

知識・技能	思考力・判断力・表現力	主体的に学習に取り組む態度
①エネルギーの変換とエネルギー保存の法則との関わりについて、エネルギーの特徴をもとに理解している。	②エネルギーの変換の特性や、エネルギー保存の法則との関係を見出し、身の回りの事象を説明することができる。	③エネルギー変換についての実験に意欲的に取り組んでいる。また、多様なエネルギーの移り変わりについて、日常生活と関連付け、エネルギー資源を有効で安全に活用しようとしている。

○単元の学習計画（全3時間）

「多様なエネルギーとその移り変わり」(実践事例①)

第1次 エネルギーの変換・・・2時間(本時1/2)

第2次 エネルギーの変換の効率と熱の伝わり方・・・1時間

○本時の目標

エタノールに関するエネルギーの移り変わりについて、関係するエネルギーの性質をもとに説明できる。【科学的な思考・判断・表現】【評価規準②】

○本時の学習過程

	学習内容・活動	○指導・支援 ◆評価(☆評価方法) ★主体的に課題を見出す方策
導入	<p>1. エネルギーの定義について想起する。</p> <p>2. 力学的エネルギー以外の、身の回りのエネルギーの存在について知る。</p> <ul style="list-style-type: none"> 手で温めると、液体が上昇したことから、熱はエネルギーの一種である。(熱エネルギー) 移り変わり・・・熱エネルギー→運動エネルギー→位置エネルギー <p>3. 他の主なエネルギー名について知る。</p>	<p>○仕事をする能力について、具体的に確認する。</p> <p>★手で温めた容器(フランクリン沸騰器(右図))内の液体が上に昇る装置の様子から、体の熱が液体を動かしたことを根拠に、エネルギーのひとつといえることを、視覚的にイメージさせる。</p> <p>○熱エネルギーが、他のエネルギーに移り変わった様子を実例として、ノートに記録させる。</p> <p>◆様々な種類のエネルギーについて意見を出している。</p> <p>【主体的に学習に取り組む態度】(☆ノートへの記述・発言)</p> <p>○他のエネルギー名についても、概略を示す。</p> <p>フランクリン沸騰器</p>
	課題：たった一滴のエタノールも、エネルギーを持つといえるでしょうか？ ～エネルギーの移り変わりを説明しよう～	
展開	<p>4. 本時の課題を知る。</p> <ul style="list-style-type: none"> フィルムケースに注がれる、エタノールの一滴に注目する。 <p>5. 調べる方法を知り、結果を予想する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 仕事をしたかどうかを判断する。 燃える。(→熱や光) 化学変化が起こる。 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ <p>6. 起こる変化の予想をもとに、観察すべき視点を共有する。</p> <p>7. 実験を観察する。</p> <p>8. 結果を整理する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 起きた現象について、結果をまとめる。 <p>9. 考察を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> 実験結果を振り返り、何のエネルギーがどの順に変換されていたか、ノートに整理する。 その他のエネルギーを事例をもとに区別し、様々なエネルギーの種類の存在について知る。 エネルギーカード・ホワイトボードを用いて、移り変わりや繋がりを整理する。 <p>10. エネルギー保存の法則について知る。</p> <p>11. 学習のまとめ</p>	<p>○フランクリン沸騰器の例などから、エネルギーは、他にも同様に、互に移り変わる可能性があることを意識させる。</p> <p>○実験器具を提示し、結果として何が起こりそうかを予想させる。</p> <p>★エタノールをたった一滴だけ入れることを確認し、放電により電気を流した後の装置の変化について予想させる。</p> <p>○実験の際、生徒の安全を確保するため、実験装置との距離をしっかりとらせる。</p> <p>○教材提示装置・モニターを用い、変化に注目させる。</p> <p>★目前で起こった現象を、具体的な表現で記録させる。</p> <p>★実験結果をもとに、順を追って考察するように助言する。</p> <p>○化学エネルギーについて、定義する。</p> <p>○力学的エネルギー以外のエネルギーについても教科書の写真の情報から、10種類に区別していることを伝える。</p> <p>○反応のきっかけとして、電気エネルギーを与えたことを伝えておく。</p> <p>★カードを活用させ、エネルギー変換の流れについて意識させる。</p> <p>◆生じた現象について、関係するエネルギーの性質と関連づけ、エネルギーの移り変わりの様子を説明している。【思考・判断・表現】</p> <p>(☆ノートへの記述・ホワイトボード等を活用した説明・発表)</p> <p>エネルギーカード</p> <p>実験・観察</p> <p>発表</p> <p>予想</p> <p>考察</p>
まとめ	<p>まとめ：エタノールの持つ化学エネルギーは、他のエネルギーと同様に移り変わることができ、その総量は保存される。(エネルギー保存の法則)</p>	
	<p>12. 本時の振り返りをする。</p> <ul style="list-style-type: none"> 私たちの食料も、化学エネルギーを持っているといえる。 <p>(次時への疑問)</p> <ul style="list-style-type: none"> エネルギーの総量は保存されるというが、好きな時に必要なエネルギーを取り出せるか？ 	<p>★身の回りの例として、私たちの体が動くのも、食べ物から得た物質の化学エネルギーの移り変わりであることに目を向けさせ、その大元となるエネルギー源は、太陽の光(核)エネルギーによるものであることの繋がりを意識させるように、学習を振り返らせる。</p>

○単元の学習計画（全9時間）

「エネルギー資源とその利用」(実践事例②)

- 第1次 生活を支えるエネルギー・・・1時間
 第2次 エネルギー利用上の課題・・・1時間
 第3次 放射線とは何か・・・5時間
 第4次 エネルギーの有効利用・・・2時間(本時2/2)

○本時の目標

持続可能な社会の構築に向け、木質バイオマス発電の利点・欠点について分析し、炭素の循環、エネルギーの変換効率の視点から、森林の保全とともにバイオマス等の資源の有効利用について考察している。
 【科学的な思考・判断・表現】 【評価規準②】

○本時の学習過程

	学習内容・活動	○指導・支援 ◆評価(☆評価方法) ★主体的に課題を見出す方策
導入	<p>1. いぶきグリーンエナジーバイオマス発電所の写真と木質チップから、何を用いて発電する発電所かを想起する。 ・木質チップの実物を見る。</p> <p>2. 木質チップから電気エネルギーを得るには、どんな方法がとれそうか予想する。 ・微生物により分解させているのでは？ ・火をつけて燃やしているのでは？</p> <p>3. 木質チップから電気エネルギーを得るための方法を整理する。 ①燃やし水を沸騰させ水蒸気でタービンを回す(直接燃焼方式) ②燃やし発生するガスでタービンを回す(熱分解ガス化方式) ③発酵する際にできるバイオガス(メタン・水素等のガス)でタービンを回す(生物化学的ガス化方式(バイオガス発電))</p> <p>4. バイオマス発電所の基本的なしくみは、火力発電と同様であることを知り、本時の課題を捉える。</p>	<p>○バイオマスについて定義し、実物を示す。 ・バイオマス・・・(くり返し生産が可能な)生物資源 ◆様々な電気エネルギーの取り出し方について、意見を出している。【主体的に学習に取り組む態度】(☆ノートへの記述・発言)</p> <p>★木質燃料チップを提示し、視覚的にエネルギー源をイメージさせる。 ○木質燃料チップは、古くなった木製パレットや、倒木、木造住宅等の廃材、木くず等から専用の機械で作られることを示す(破砕機の動画提示)。</p> <p>○バイオマス発電は、燃料を燃やして出る水蒸気やガスを使って、タービンを回すことで発電すること気付かせる。 ★①の直接燃焼方式について、燃焼装置(右図)のモデル実験を示し、実際に木片をくべさせる体験を行いバイオマス発電の実感を持たせる。 ○生徒の安全を確保する。</p>
展開	<p>5. ①の直接燃焼方式に注目し、発電の際の利点・欠点・疑問点について考察する。 (利点) 安定的に発電できる 燃料資源が国内の林業から供給できる(再生可能エネルギーである) (カーボンニュートラルである) (欠点) コストがかかる(材料集め・運搬等) 燃焼温度が低く、発電だけでは効率が悪い 木材資源の取り合いが懸念される (疑問点) 木を燃やすと二酸化炭素が増えないか？ 木を燃やすことで、緑は減らないのか？</p> <p>6. 疑問点について、整理する。 ・木を燃やすと、二酸化炭素が増えないか？ →バイオマスを燃やした場合は、大気中の二酸化炭素の増加の原因とならない。 ・木を伐採したり、燃やしたりすると、緑が減らないのか？ →滋賀の森林は、琵琶湖の面積より大きく、琵琶湖の面積の約3倍、陸地面積の約6割ある。 →緑(森林(里山・人工林))を保つために、間伐など、人間による手入れが必要である。</p> <p>7. 資源である森林を守りつつ、活用するために必要なことは、どんな工夫が必要かを考察する。 ・日本では、割り箸は、主に間伐材から作られていること(有効利用の知恵)を知る。</p>	<p>★長所・短所・疑問点を、各自のノートに表でまとめさせる。 ★個人での思考後、黒板・教材提示装置・モニターで意見交流を行い、他者との考えの違いや、共通点に注目させ、考察を深めさせる。 ◆木質バイオマス発電の利点・欠点・新たに生じた疑問点を、環境への負荷や発電効率、物質の循環等の視点と関連づけて書いている。【思考・判断・表現】(☆ノートへの記述・発言) ○再生可能エネルギーについて再確認させる。 ・・・自然現象を利用し、減少することがないもの(例：水力・風力・太陽光・地熱など、バイオマスも含める)。 ⇒ 枯渇性エネルギー(化石燃料・ウラン)</p> <p>○炭素循環を図(植物・木材・二酸化炭素の循環図)で整理させる。 ・カーボンニュートラル・・・光合成によって植物が吸収する二酸化炭素の量と、その植物を燃料として使った時に放出される二酸化炭素の量は等しいので、大気中の二酸化炭素は増加も減少もしないという考え。 ○日本の「森林飽和」という言葉について示す。 ・日本の森林は、かつてエネルギー資源の役割があったことを示す。 ・歴史上、建材・薪などの燃料・肥料等用に、木材の争奪戦も起こった。 →しかし、近年以前に比べ森林は増えたが、木の需要が減った。 →いったん人の手が入った、森林(里山・人工林)が放置されだした。</p> <p>○人の手をいったん入れた以上、「森林を守る」ためには、木を放置せず、間伐のような伐採、植栽、枝刈り等といった人の手による世話が今後も継続して必要であることを示す。 ○安価な木材があっても、原生林からの切り出しが考えられる。 →これなら、新たな自然破壊を引き起こす可能性もある。</p>

ま と め	8. 考察について意見交流をする。	◆持続可能な社会の実現に向け、炭素循環、変換効率、自然環境の保全の視点から、資源の有効利用について考察している。【思考・判断・表現】（☆ノートへの記述・発言・論述(テスト)）
	9. 学習のまとめをする。	
	まとめ： バイオマス発電はカーボンニュートラルであり、CO ₂ を増加させないと考えられ、廃棄木材のもつ化学エネルギーを有効活用し、発電に利用できる。(ただし、発電コストや効率等には、課題が残る。) また、持続可能な社会を実現するため、一度人間の手が入った森林は、放置せず責任をもって守り育てるとともに、再生可能な資源を活用する工夫も重要である。	
	10. 本時の振り返りをする。 ・滋賀県内の森林の状況被害図を見て、森林に現れた環境問題と、従来の化石燃料を中心としたエネルギー消費との関係を知る。	★地球温暖化による影響も関連すると考えられる、滋賀県の自然環境の変化の実例(ニホンジカによる幼齢期の食害や成木の剥皮被害、下層植生の衰退状況の分布図)を示し、身近に迫る環境問題を自分事として実感させ、学習を振り返らせる。

(3) 授業研究の分析

研究実践事例 Ⅱ「エネルギーの変換」について、①課題意識の形成、②帰納的推論・演繹的推論による仮説形成、③科学事象の理解、④科学事象への興味・関心、⑤学習後の充実度の5つの観点に基づく生徒の意識調査の結果を表1に示す。

質問紙調査は、中学3年3学級の欠席者を除く生徒114名を対象として実施した。質問項目は、4段階評価（肯定を4、否定を1）とし、評価の数値は3学級の平均値を表した。

表1 学習についての質問紙結果

観点	質問項目	評価
① 課題意識	本時の課題を意識した	3.6
② 仮説形成	問いに対して、根拠を持って自分の意見を持てた	3.4
	友達の意見をよく聞き、自分の意見を比べながら考えを深めることができた	3.5
③ 科学事象の理解	問いや課題について分析し、関わる情報を整理できた	3.6
	実験で明らかになったことを、筋道立てて説明することができた	3.1
④ 科学事象興味・関心	これからの授業に向け、新たな課題を見つけることができた	3.0
⑤ 学習後の充実度	この時間の内容をしっかりと理解できた	3.6

調査結果から、生徒は授業に課題意識を持ち、自分と他者との考えを照らし合わせながら仮説を立て、学習内容を理解していたことがうかがえる。また、「問いに対して、根拠を持って自分の意見を持てたか」や「問いや課題について分析し、関わる情報を整理できたか」という質問項目に対し、肯定的に回答した割合が、他の質問項目より高い傾向にあった。これは、生徒が実際に目にした現象について、考えの整理の際に、エネルギーの名称を示したカード(エネルギーカード)を、ホワイトボードとともに活用させたことで、予想や観察結果をもとにした考察が、グループとして円滑に進められた成果だと考えられる。

しかし、「実験で明らかになったことを、筋道立

てて説明できたか」の質問項目に関しては、低い傾向が見られた。この要因は、短時間のうちに4人グループ毎に小型のホワイトボードを用いて議論させる学習形態をとったため、生徒にとって、結果から考察した個々の考えを説明する際に、物理的に不便さを生じさせたのではないかと分析する。

「これからの授業に向け、新たな課題を見つけることができた」に関連する質問への記述回答には、

・エタノール1mLだけで、あれだけ飛ぶとは思わなかった。
・どのくらいのエネルギーがつまっていたのか？
・このエネルギーは、自分たちの生活にどのように活かされているのか？

等が見られ、今後の数量的な視点や、実社会での課題解決につなぐ視点の基礎を育成できたと考える。

次に、「授業を通し、身についた力は何か」の問いに対する、生徒の主な記述内容を以下に示す。

・エネルギーとは、どういうものか分かった。小さい物でもエネルギーを持つことが分かった。
・化学エネルギーなど、様々なエネルギーが世界中にはあり、それらを使って、自分たちが生活できていることをについて学び、どのようなエネルギーになっても、量が変わらないことが分かった。

また、近年の社会問題となっている食品ロスとエネルギーの関係をテーマとして論議させたところ、今後の生活における生徒自身の行動の変容について、以下のような、エネルギーの変換に関連づけた記述が見受けられた。

・食品ロスをエネルギーとして考えたことは無かったけれど、化学エネルギーはありとあらゆるものに形を変えられて、それを活用すると、食品(やゴミ)から新しいエネルギーを作ったりできると思う。偏食は自分にとっても良くないことなので、食品ロスを防ぎ、自分の管理もできればよい。
・今までは、もったいないという考えしか無かったけれど、この学習を通して、たくさんのエネルギーを捨てていることが分かった。これから、エネルギーを捨てないためにも、食品ロスを減らすべ

きだと思ふ。化学エネルギーは色んな形に変わるので、処分されるエネルギーを有効活用したい。

次に、研究実践事例②「エネルギー資源とその利用」について、生徒の意識調査を図6に示す。質問紙調査は、中学3年3学級の欠席者を除く生徒(事前調査104名、事後調査91名)を対象として実施した。質問項目は、4段階評価とし、対象生徒全体に占める割合として棒グラフに表し、授業前後で比較した。

授業前の調査結果から、本校生徒は、小学校での自然体験学習のうち、小学5年生で実施されている琵琶湖上で1泊2日の宿泊体験を中心とした滋賀県独自の教育活動である「うみのこ」での学習内容に関し、よく覚えていると回答した者の割合が高いこ

とが分かった。続いて、小学4年生で実施されている森林環境学習「やまのこ」、農業体験学習「たんぼのこ」の順に、生徒の記憶に残っている傾向が見られた。また、このうち、森林環境学習「やまのこ」で、「最も記憶に残っている、印象深い思い出は何か」について、記述形式でさらに問うたところ、最も高い割合で、木の間伐体験を挙げる結果となった。

質問②・④・⑤の結果にあるように、小学校段階で、「森林のはたらきについて詳しい」と考える生徒は3割にも満たない。しかし、実際に一本の木を仲間と協力して切ったという体験を中心に、森林についての関心が高められている傾向が読み取れた。

また、質問①・②・③・④・⑨の結果から、エネルギーの概念を活用

し、中学校での理科学習をはじめ、「科学技術の時間」やBIWAKO TIME(以下BTと略称する)での学習を進めていくなかで、滋賀県の抱える環境問題についての課題意識が高められ、これまでの各々の学習経験との繋がりについて実感を持たせられているという傾向が見られた。

研究実践②「エネルギー資源とその利用」の成果としては、授業後の質問①や⑩に見られる傾向から、バイオマス発電のしくみについて、知識・理解面を高められたといえる。また、質問⑦に関しては、自然界における原生林の数量がもつ重要性について理解し、8割の生徒が原生林の保護をはじめとする、自然環境の保全について肯定的な回答をする結果となった。これは、生

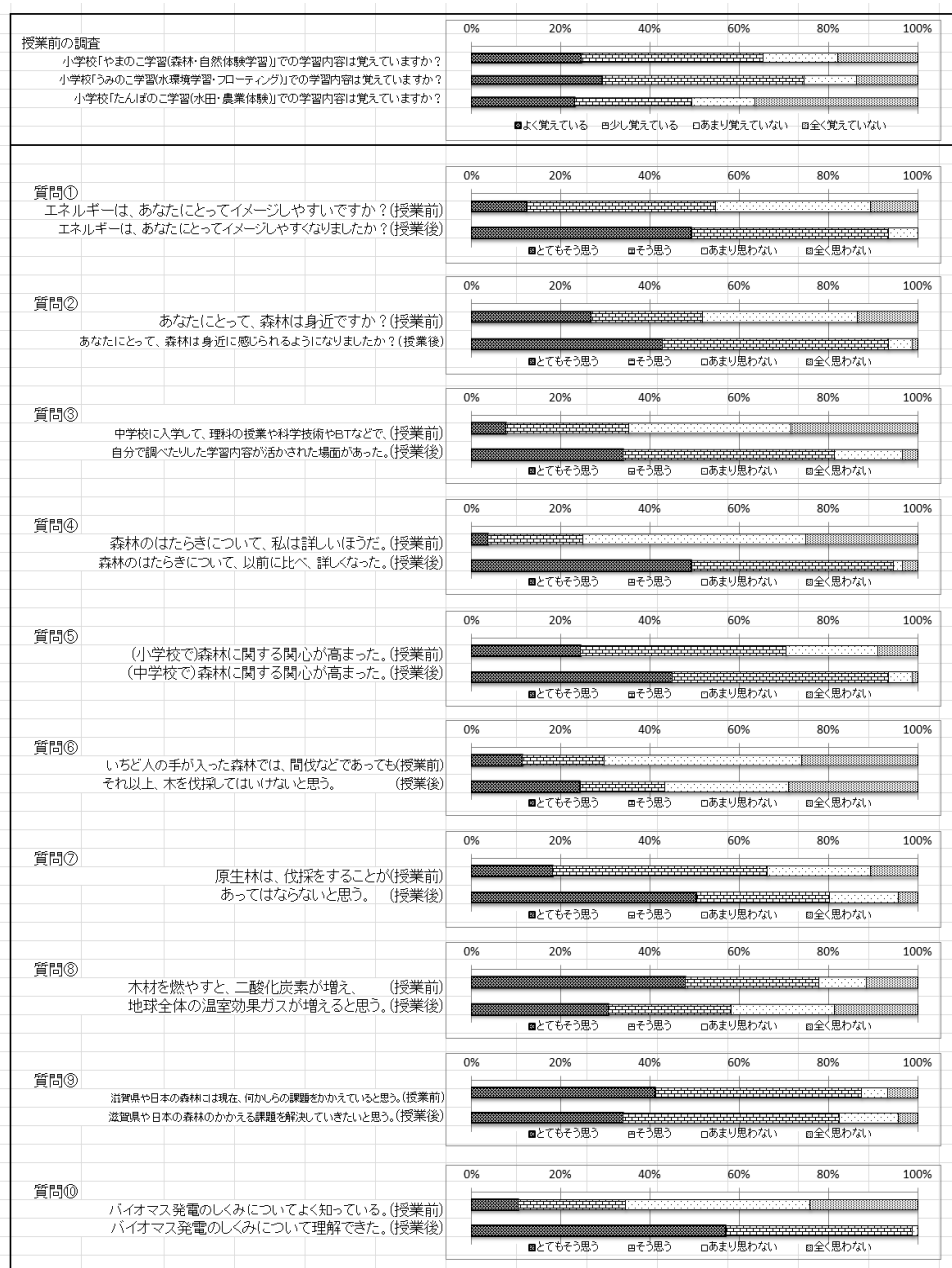


図6 「エネルギー資源とその利用」についての生徒の意識調査

態系における生物の数量バランスについて、すでに学習していたことから、自然界で生態系の土台を築く原生林に対し、人為的に手を加えることのリスクを関連づけて考察できたためであろう。

一方で、本研究から見えてきた課題としては、質問⑥や⑦に見られるように、小学校での「間伐の体験は楽しかった」という貴重な学習経験と、「木は伐採してはいけない」という漠然とした知識とが、うまく繋がっていない傾向が見られた。これは、原生林と人工林・里山との意味の違いや、現在の実社会において森林が担っている役割について、明確化する学習場面を、事前に設定しておくべきであったと反省する。

また、質問⑧の結果から読み取れるように、カーボンニュートラルの考え方に関しては、一定の理解はできているものの、「全体としてみると、二酸化炭素が増えはしないが、減りもしない」という点に疑問を持つ生徒が多いことが読み取れる。授業では、森林・木材製品・大気中の二酸化炭素のモデル図を用いて、生徒自身に炭素の物質循環について説明をさせるとともに、授業者が化石燃料の燃焼による不可逆的な二酸化炭素の増加のしくみとの違いを補助的に図示し、両者の特徴を対比させるようにした。

しかし、一定量の木質燃料チップを燃焼させる際の二酸化炭素の排出量の具体的な数値や、一本の木が成長するまでに、どれだけの二酸化炭素を吸収・固定するのかといった具体的な数値を扱わなかった。以上の点に、理解不足の一因があると考えている。そこで、例えば「杉の木1本が1年間に吸収できる二酸化炭素の量は約14kgである」といったような具体的な数値を示し、森林を取り巻く物質循環への数量的なイメージを促すとよかったのではないかと分析する。

最後に、一連の学習を終えた後、「持続可能な社会をつくるために、我々人間には、どんな工夫が求められているか。現在開発されている工夫の実例を1つ挙げながら、論述しなさい。ただし、文中に『環境への負荷』、『限りあるエネルギー資源』、『エネルギーの変換』という言葉必ず用いること。』という課題で、中学3年3学級の欠席者を除く生徒102名に論述させた結果、約48%が充分満足できる回答で、約44%が概ね満足できる回答、約8%がさらに指導を要する回答が得られた。次に、充分満足できる回答例を示す。

・現在行われている風力発電や地熱発電など、二酸化炭素を排出しない、環境への負荷がないものによって、ウランや石炭・石油など限りあるエネルギー

資源を守る発電を増やしていき、エネルギーの変換の際、化学エネルギーを用いて二酸化炭素を排出する火力発電などは、減らしていくことが求められている。また、今は放置された森林が多く、生態系が崩れていたり、その森林からよい木材を得られなくなったりしている。私たちが森林を手入れしたら、動物たちのすみかとなったり、そこから得られた木材から、カーボンニュートラルの取り組みなども行えたりすることができる。このように、自然を守りながらも、効率の良い発電を行う工夫が求められている。

・科学技術の発展によって、人間はより多くのエネルギーを必要とし、そのせいで環境への負荷が大きくなっている。そのため、限りあるエネルギー資源を大切にすることが必要である。例えば、エネルギーの変換の効率を上げる工夫である。環境に良いとされているバイオマスでの発電は、発電できる電気エネルギーが小さいのが難点である。エネルギーの変換効率を上げれば、それを主力のエネルギー源にできるかもしれない。

・限りあるエネルギー資源を将来の世代に残していくとともに発展していくためには、環境への負荷を配慮し、エネルギーの変換から出る無駄なエネルギーを減らす工夫が必要だと思う。現在、開発が進んでいるのは、燃料電池車がその一例である。水素と酸素の化学エネルギーから、直接電気エネルギーを取り出しているため、エネルギーの損失も少なく、排出されるものは無害なただの水であるため、二酸化炭素を排出しない。エネルギーを最大限に活用し、環境への負荷が少ない燃料電池の車は、今後、様々な環境問題の解決の足がかりとなるだろう。

以上のように、今後のエネルギーや環境問題に関して、3年間の理科学習に基づく論述が得られた。

一方で、「概ね満足できる回答をした生徒」の回答例の中には、エネルギーの変換効率の向上の工夫についてふれられていない傾向が見られ、「さらに指導を要する生徒」の回答例の傾向としては、バイオマス発電が二酸化炭素の割合の増加の原因となるといった誤った記述、バイオマス発電の際に全く二酸化炭素を排出しないといった誤った記述、具体的な事例が示されていないものや、エネルギーの変換効率の向上に関して述べられていないものが中心的に見られた。

これらのことから、今後の授業改善に向けて取り組む際に留意すべき点の一端が明らかになった。それは、小学校での間伐等の体験学習と、中学校での森林やエネルギー資源の活用についての学習を関連

づける際に、「小学校で体験した間伐が、森林(人工林)にとってなぜ重要だったのか」について、中学校での学習に入るまでに問うておき、課題意識を持たせる必要があると考えられる。具体的には、原生林と人工林・里山との持つ意味の違いについて、また、実社会においての森林が担う大まかな役割について扱う事前学習が重要であると考えられる。

また、質問③の結果で示されたように、地域に関する探究学習のBT、今後の社会の新エネルギー開発を扱う探究学習の「科学技術の時間」と、本実践事例²で示した学習課題とを並行して取り組ませることにより、生徒は自分自身で調べた学習内容が活かされた実感している。この質問に、肯定的に答えた生徒の割合が9割を越えていることから、BTや科学技術の時間の学習が、理科の学習活動にも相乗効果をもたらしていると考えられる。

5. 成果と課題

研究実践¹では、自作教具によるエネルギー変換の授業研究を行うとともに、滋賀県内、大津市内の教員研修においても広く紹介することができた。

大津市内の2, 3年次の理科教員からは、

・理科で授業をする際に一番気をつけるべき点は、日常生活にいかに関連づけるかを考える必要がある点だと考えた。また、単元ごとに発展的な課題を設け、考えさせていく必要があると思う。

・同僚とも協力し、実験・観察のネタを集めてどんどん実践したい。授業の中には、生徒が意見交換をできる場を必ずつくりたい。

・知識と知識の繋がりから、深い学びになるという内容が印象的でした。授業をしていく中で、今後はこの“繋がり”を意識して教材研究を行っていききたいです。

という意見が見られた。本研究で用いた教具作りを通して、実社会と理科との繋がりへのヒントとなる授業づくりを、共有できたのではないだろうか。

また、校内研究会での、授業に関する意見として、

・目で見えないエネルギーを、視覚的に補助しながら展開されていたため、分かりやすかった。

・生徒を引きつける場面が複数回あり、教具の提示等は、効果的だった。

・必要な言葉がけ、見る視点の提示がなされていた。

という肯定的な意見が挙げられた。

また、今後の課題や、授業改善案として、

・見えないものを説明するため、指導者側の言葉が増える傾向にある。生徒自身にノートに書かせる時

間、考察させる時間の確保が、課題となる。導入の場面での時間短縮をはかることも検討されたい。

・生徒にとって、学習課題が分かりやすいものとなっているか、常に検討することが重要である。

との意見をいただいた。今後の授業に活かしたい。

研究実践²では、新たな教材作りのために、実際にバイオマス発電プラントに足を運び、取材を通して、滋賀の森林資源を活用した新エネルギー開発の実態について調査できた。また、具体的な発電の現場の映像資料の作成や、バイオマス発電のモデル実験を実施し、授業に反映させることができた。今回、研究実践²については、公開授業を伴う授業研究会の機会を持つことはできなかったが、授業前後の生徒の意識調査の変容や、論述の記述内容から、理科だけでなく、BTや科学技術とも連動して、エネルギー環境教育を推進できたことは、意義深いものになったと考えている。

今後も引き続き、持続可能な社会の実現に向けて、滋賀をとりまく森林や水環境などの環境の変化を自分事として捉え、自然事象に直接的に問いかける生徒の育成をめざして、今後も新たな教材研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) 滋賀県「琵琶湖森林づくり基本計画 2005～020(H17～R2) [2019.3 改訂] 概要版」、滋賀県琵琶湖環境部森林政策課, 2019
- 2) 滋賀県「目で見る森林・林業 -滋賀県森林・林業統計要覧(平成30年度)概要版-」、滋賀県琵琶湖環境部森林政策課, 2019
- 3) 滋賀県「琵琶湖森林づくりガイド ～琵琶湖森林づくり県民税を活用した取り組み～2019年度」、滋賀県琵琶湖環境部森林政策課, 2019
- 4) 滋賀県「あおい琵琶湖(中学校編) 六訂版」、滋賀県教育委員会, 2011
- 5) 太田猛彦「森からみる地球の未来 水と土をはぐくむ水」、文研出版, 1996
- 6) 太田猛彦「森林飽和 国土の変貌を考える」、NHK出版, 2012
- 7) 丸山徳次、宮浦富保「里山学のまなざしと森のある大学」から、昭和堂, 2009
- 8) 鈴木啓三「木の国ニッポン」、グラフ社, 2008
- 9) 山本良一「1秒の世界」、ダイヤモンド社, 2003

※本研究の一部は、平成31年度科学研究費助成事業(科学研究費補助金)奨励研究「琵琶湖を取り巻く森林の教材化を軸とした、自然環境保全と資源活用に関する研究」(19H00220)の助成を受けて行った。