

炭の多孔質構造に着目した教材開発と授業実践

Development and practice of teaching material focusing on the porous structure of charcoal

○福本愛姫^{*1}, 中野雅斗^{*2}, 向平和^{*1}

Fukumoto Aki^{*1}, Nakano Masato^{*2}, Muko Heiwa^{*1}

^{*1}愛媛大学教育学部, ^{*2}愛媛大学大学院教育学研究科

[要約] 本研究は、中学校理科において物質の構造と性質の関係を理解させることを目的に、炭の多孔質構造に着目した教材を開発し、その教育的有効性を検討した。簡易製炭実験、水溶液の浄化実験、気体の脱臭実験を組み合わせ、炭が液体・気体の両方に対して吸着作用を示すことを体験的に理解できる教材を構成した。これを中学生対象のノンフォーマル教育の場で実践し、生徒の発言やワークシートを分析した結果、多くの生徒が炭の働きを多孔質構造と関連付けて説明できるようになり、構造と機能の関係に基づいた理解が深まったことが確認された。また、学習内容を日常生活や環境・防災と結び付けて考える姿も見られた。一方で、多孔質構造の理解を補助する視覚的教材や、学習成果を定量的に評価する方法の充実が今後の課題として示された。

[キーワード] 炭の多孔質構造, 吸着作用, 教材開発, ノンフォーマル教育

I. はじめに

中学校理科においては、身近な自然現象や物質を科学的に捉え、観察・実験を通して理解を深めることが重視されている。しかし、物質の性質や構造といった内容は抽象的になりやすく、生徒にとって日常生活との繋がりを実感しにくいという課題がある。そのため、学習内容を生活経験と関連付け、具体的な事象を通して理解させる授業づくりが求められている。

炭は、浄水器や脱臭剤など、日常生活の様々な場面で利用されている身近な材料である。中学校理科においても、炭は燃料や物質の性質を扱う文脈で取り上げられることがあるが、炭が水や空気を浄化する理由について、構造と性質の関係に着目して学ぶ機会はずしも多くない。炭の浄化作用の背景には、炭が有する多孔質構造とそれに伴う高い吸着性が関係する。

炭を題材として構造と機能の関係を理解することは、中学校理科における物質の本質を学び、科学的な見方・考え方を育成する上で重要であると考えられる。そこで本研究では、中学校理科における学習内容を踏まえ、炭の多孔質構造に着目した教材を開発するとともに、その教材を用いた事業実践を行い、生徒の見方・考え方の変容について検討する。

II. 研究の背景と目的, 方法

1. 研究の背景

中学校理科では、物質の性質や変化を観察・実験を通して理解させることが求められる。だが、実験活動が操作の理解や結果の確認にとどまり、物質の構造と

性質との関係にまで十分に踏み込めていない場合も見られる。このような状況では、生徒が得た知識を別の現象に適用するのは困難であると考えられる。

炭を扱った学習においても同様の課題がある。炭は浄化や脱臭といった身近な用途を持つ材料であるが、その働きの理由について多孔質構造という観点から理解する学習は限定的である。炭の利用例の紹介までで、構造的特徴と吸着減少との関係を実験的に検討する機会は十分とは言えない。

また、炭の吸着性を扱った教材や授業実践の多くは水溶液または気体のいずれか一方かに焦点を当てており、異なる現象を関連付けて扱った実践は多くない。水中と空気中という異なる条件下で同一材料の性質を比較することは、物質の性質をより一般化して理解する上で有効であると考えられる。

中野 (2024) の卒業論文では、愛媛県の製炭業に着目し、炭焼き体験や浄化実験を通して、ESD や環境問題と関連付けた教材開発および授業実践が行われている。地域資源としての炭の価値やカーボンニュートラルの考え方を扱う点において、炭を社会的・環境的文脈で位置づけた意義ある実践である。一方で、炭の性質については主として利用例の理解に重点が置かれており、炭の多孔質構造と吸着現象との関係を物質の科学的観点から系統的に扱う点については十分に検討されていない。

近年、多孔質材料は吸着や分離などの分野において重要性が高まり、その構造と機能の関係はノーベル賞を受賞した研究においても評価されている。このよう

な現代科学の視点に対し、学校理科では構造と性質を関連付けて理解する教材は必ずしも多くない。

そこで本研究では、身近な材料である炭を用い、生徒が物質の性質を一般化して捉えるとともに、現代科学につながる視点を中学校理科に導入することを目指す。

さらに、学校外の学習の場においても炭を用いた体験活動は行われているが、学校教育との接続を意識した教材設計や学習評価については十分に検討されていない。学校教育とノンフォーマル教育の双方で活用可能な教材の在り方を検討することには理科教育の充実という観点から意義がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、炭の多孔質構造に着目した教材を開発し、中学生を対象としたおもしろ理科教室において実践することで、その教育的有効性を検討することである。

また、本研究を通して、液相および気相といった異なる条件下において同一材料の性質を扱うことが生徒の物質観の形成にどのように寄与するのかを検討する。

3. 研究の方法

本研究は、炭の多孔質構造に着目した教材開発、授業実践、評価・考察の三段階で構成した。教材開発にあたっては、炭の多孔質構造と浄化作用との関係を生徒が体験的に理解できることを重視した。開発した教材は中学生3学年を対象とした理科の授業において実践した。授業は3時間構成とし、導入、実験活動、結果の整理、まとめの流れで行った。

水溶液の浄化を扱う教材として、炭を添加することで水溶液の状態が変化する様子を視覚的に確認できるようにし、炭の吸着性を観察できるように構成した。次に、小空間の脱臭を扱う教材として、水溶液の浄化での学習内容と関連付けながら、液体と気体の違いによらず同一材料が浄化作用を示すことを意識させるようにした。

授業実践における生徒の理解の変容を把握するため、授業中の発言、ワークシートの記述内容を分析対象とした。特に、炭の構造と浄化作用との関係についての記述に着目し、理解の深まりを質的に検討した。

Ⅲ. 教材開発に向けた基礎的研究

1. 製炭方法の研究

a. 工業的製炭方法

工業的製炭方法とは、木材などの原料を酸素の供給を制限した条件下で加熱し、安定した品質の炭を大量に生産する方法である。近年では、温度や加熱時間を制御した製炭装置が用いられており、用途に応じた炭の製造が可能となっている。

工業的製炭方法では、原料の乾燥、熱分解、炭化といった工程が段階的に進行する。加熱温度や保持時間は製炭装置によって管理されており、水分や揮発性の成分などの除去、炭素含有量の増加が効率的に行われる。このような工程管理により、炭の品質が均一化せられる点に特徴がある。

工業的に製造された炭は、原材料の有機物が熱分解されることで内部に多数の細孔を有する多孔質構造を形成する。この構造により秘境面積が大きくなり、吸着性に優れた性質を示す。工業的製炭方法では、製造条件が一定に保たれるため、得られる炭の多孔質構造も比較的安定している。

このように、工業的製炭方法によって得られる炭は、多孔質構造と高い吸着性を安定して示す材料である。そのため、炭の性質と多孔質構造を扱う教材においても、再現性の高い実験結果が得られる点で有用である。本研究における教材開発では、このような工業的製炭方法による炭の特徴を踏まえ、生徒が炭の構造と性質との関係を理解しやすい実験材料として炭を用いることとした。

b. 簡易製炭実験

授業で実践可能な規模かつ室内で行うことができる簡易製炭の実験として、宮内(2014)試験管の中で割りばしを燃焼させる乾留の実験を参考にし、実施した。この実験は製炭の上で重要な密閉状態を作り出したうえで、炭化の過程を観察することができるという利点がある。

(準備物)

- ・スタンド ・試験管(大) ・ガラス管 ・ゴム管
- ・ガスバーナー ・マッチ ・炭材(割りばし)
- ・ペトリ皿

①割りばしを約2cmに切り、試験管の中に入れて図1のように設置する。

- ②ガスバーナーを点火し、割りばしのある試験管下部を熱する。この際、発生した液体が逆流することによる試験管の破損を防ぐために試験化の口を下に傾けて設置し、熱する。
- ③試験管から気体が発生しなくなったら、火を止めペトリ皿に中身を取り出す。この際に熱して熱くなっている試験管の取扱いに十分に注意する。



図 1 簡易製炭実験の様子

〈実験の結果と考察〉

本実験では木炭と木酢液が作成できた。試験管内の割りばしは加熱によって次第に黒色へと変化し、最終的には原形を保ったまま炭化した固体となった。加熱中には試験管内で白色の煙が発生し、試験管内の内側には液体が付着する様子が観察された。これらの気体の発生は加熱の進行とともに減少し、最終的にはほとんど確認されなくなった。

本実験では、密閉に近い状態で木材を加熱することで、燃焼ではなく乾留による炭化が起こすことができた。加熱中に観察された気体や液体は、木材中の有機物が熱分解される過程で生成した揮発成分であると考えられる。これらが放出され、炭素を主成分とする固体が残り、炭が生成されたと推察される。

本実験は、簡易な器具を用いながらも製炭に必要な「酸素を遮断した状態での加熱」という条件を視覚的に示すことができる点で、教材として有効であると考えられる。一方で、ガスバーナーや高温の試験管を扱う必要があるため、安全指導を十分に行うことが不可欠である。以上のことから、本実験は製炭の原理や炭の性質を簡潔に理解させる教材として適しており、後

続の炭の吸着実験へと発展させやすい構成であると考えられる。

2. 炭の性質の研究

a. 炭の吸着性

炭は、古くから人々の生活の中で身近に利用されてきた材料である。例えば、飲料水の浄化、冷蔵庫や下駄箱における脱臭、室内空気の改善など、炭の性質を利用した製品は現在でも広く用いられている。このような用途に共通しているのは、炭が周囲の水や空気中に存在する物質を取り込み、環境を改善する働きを持つ点である。本節では、このような日常生活における炭の利用を踏まえ、炭が示す吸着性の原理について実験を行い、考察する。

b. 炭の多孔質構造による水溶液の浄化実験

炭は水中の臭いや汚れなどの不純物を吸着するとともに、炭素繊維の間にいる微生物がそれらを分解することで、水を浄化する効果がある。そこで水質の浄化の変化を可視できるメチレンブルーを使った色素吸着の水溶液での浄化実験を行った。

〈準備物〉

- ・メチレンブルー水溶液 (0.001%) 50ml
- ・ろうと台
- ・ろうと
- ・乳鉢
- ・乳棒
- ・ビーカー
- ・ろ紙
- ・木炭 5g

- ①木炭 5g を乳鉢で砕き、メチレンブルー水溶液に入れる。
- ②時々軽く振って、5分間放置する。
- ③放置後、ろ過し、変化を観察する。

〈実験の結果と考察〉

以上の実験の結果は図2のようになった。炭の吸着効果によってメチレンブルー水溶液の色素を吸着し、溶液の着色が減少することが確認された。このことから、本実験は炭が水溶液の浄化に寄与していることを示唆できるといえる。炭によるメチレンブルーの除去は炭が有する多孔質構造と比表面積の大きさに起因すると考えられる。炭の表面や細孔内にメチレンブルーの分子が物理吸着されることで、水溶液中の色素濃度が低下したと推測される。

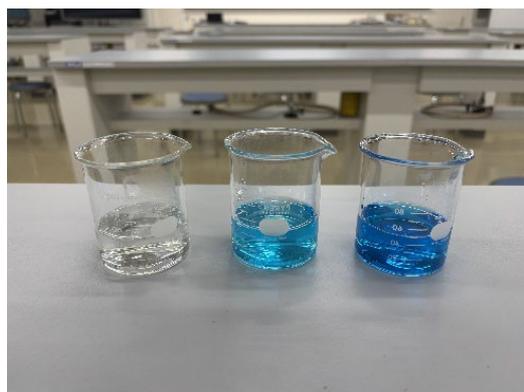


図 2 浄化実験の結果

一方で、本実験ではろ過操作にろ紙を使用しており、ろ紙自体によるメチレンブルーの僅かな吸着の可能性も考慮する必要がある。ろ紙は主成分がセルロースであり、表面に存在する水酸基などの影響により、メチレンブルーが弱く吸着される可能性がある。そのため、ろ過後の溶液の着色低下は、炭による吸着効果とろ紙による吸着効果の双方が寄与している可能性がある。しかし、炭を入れない条件と比較として、炭を入れた条件ではより顕著な着色の減少が観察されたことから、主な要因は炭による吸着であると考えられる。ろ紙による影響は補助的で、実験結果の本質を大きく左右するものではないと判断できる。

以上より、本実験において炭はエチレンブルー水溶液の浄化に有効であることが示された。一方で、ろ紙による吸着という要因も存在するため、ろ紙を用いない分離方法を用いることで、炭単独の吸着効果をより正確に評価できると考えられる。

c. 炭の多孔質構造による小空間の脱臭実験

炭の多孔質構造による小空間の脱臭実験の検討にあたって、バークによるアンモニア吸着および脱臭特性に関する実験的研究(2)を参考にした。この研究では繊維構造かつ細孔を持つ天然多孔質構造である樹皮のバークが接触初期に急激なアンモニア濃度の低下をもたらし、高い吸着性能があることが示されている。アンモニアは極性分子であるため、多孔質材料に存在する微細孔内に拡散し、物理吸着されるのである。また、バークの有機成分との反応や微生物作用によって、吸着したアンモニアはアンモニア態窒素から亜硝酸や硝酸態窒素へと変換される。この研究から、バークと同様の多孔質材料である木炭においてもアンモニアの物理吸着が期待できるのではないかと推測し、木炭に置き換えてアンモニアの脱臭実験を検討した。バークに見られるアンモニアの硝化や脱窒といった

化学反応と微生物反応は木炭では期待できないと想定した。主として木炭表面の官能基との相互作用や細孔内の物理的固定によってアンモニアが除去されると考えられる。

本研究ではアンモニア水を使用し、簡易的な炭による小空間の脱臭実験を実施した。

〈準備物〉

- ・ 蓋付きの透明な容器
- ・ 木炭 (250 g)
- ・ アンモニア水 (0.08%)
- ・ 気体検知管
- ・ 気体採取器

①容器内にアンモニア水を滴下した小皿を設置し、その後 10 分間放置することで容器内

の小空間を気化したアンモニアで満たす。

②気体検知管で容器内のアンモニア濃度を測定し、その値をはじめの数値とする。

③2 分間隔でアンモニア濃度を測定し、濃度変化を調べる。

〈実験の結果と考察〉

以上の実験の結果が表 1、図 3 である。始めの 2 分でアンモニア濃度は半減し、その後も徐々に僅かではあるが、アンモニア濃度の低下が見られた。この結果から、木炭によるアンモニアの脱臭効果は比較的短時間で高い効果が得られることが明らかとなり、アンモニアが速やかに多孔質材料表面に吸着されることを示した。

表 1. 脱臭実験の結果

時間 [分]	濃度 [ppm]
0	50
2	23
4	19
6	18
8	16
15	14
20	12

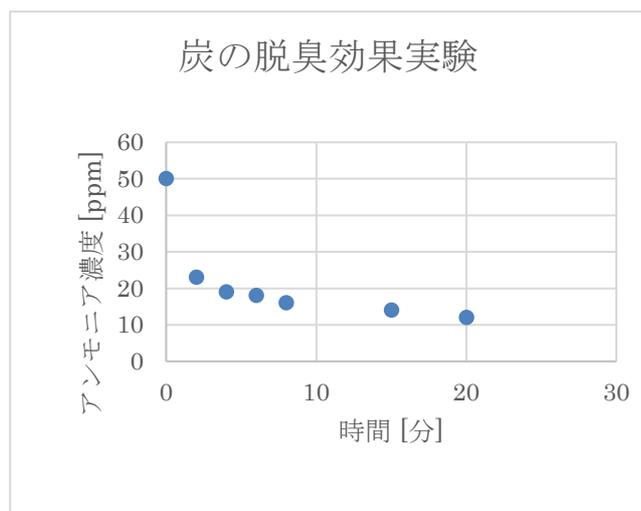


図 3. 脱臭実験の結果

3. 炭に着目した多孔質構造の教材の提案

本研究では、簡易製炭実験、水溶液中のメチレンブルーの浄化実験、ならびにアンモニアを用いた小空間の浄化実験を行った。これらの実験はいずれも対象や方法は異なるものの、炭が示す吸着性という共通の性質に基づいている。

簡易製炭実験により得られた炭は、木材の構造を保持したまま炭化しており、内部に多数の細孔を有する多孔質構造を形成していることを示した。水溶液および小空間の浄化実験では、この多孔質構造に由来する表面積の大きさが、物質の吸着に寄与していると考えられる。

以上の実験結果を踏まえ、本研究では炭の多孔質構造を中心概念とした教材の構成を提案する。本教材では、「炭はなぜ浄化できるのか」という問いを軸に、炭の生成から性質、利用へと学習を段階的に展開する。具体的には、製炭実験を通して炭の生成過程を理解させた後、水溶液および気体の浄化実験を行うことで、炭の多孔質構造が吸着性を生み出していることを実感的に理解させる構成とする。このように、異なる状態の物質に対する浄化作用を比較することで、炭の性質をより包括的に捉えることが可能となる。

本教材は、中学校理科における物質の性質や化学変化の学習内容と関連付けて扱うことができると考える。特に、物質の構造と性質の関係を考察する活動は、理科における思考力・判断力の育成につながる。

また、身近な材料である木材や炭を用いることで、日常生活との関連を意識した学習が可能となる点も特徴である。さらに、学校外においても炭は浄水器や

脱臭材などとして利用されており、本教材はノンフォーマル教育との接続も図りやすいと考えられる。

以上のことから、炭の多孔質構造に着目した本教材は、学校教育と日常生活、さらにはノンフォーマル教育をつなぐ教材として有効であるといえる。

IV. 炭の多孔質構造に着目した教材開発の授業実践

1. 実施記録

炭の多孔質構造に着目した教材開発の有効性を検討するため、2025年11月22日に県内の中学生を対象とした「おもしろ理科教室」（参加人数14名、授業時間3時間）において教材の実践を行った。本授業は「炭のちから～においを消す秘密～」を単元名とし、炭の製造過程や性質を実験を通して理解させることを目的とした。

授業は実験活動を中心として構成し、炭の製造方法を扱う簡易製炭実験、炭の浄水効果を調べるメチレンブルー水溶液を用いた水溶液実験、ならびに炭の脱臭効果を調べるアンモニアを用いた気体実験の3段階で実施した。本授業のねらいは、第一に炭の作られ方や炭が持つ性質について、実験を通して理解を深めることである。第二に、実験結果をもとに炭の働きについて考察し、その内容を表現する力を育成することである。第三に、炭に関する学習を主体的に行うことで、身近な生活とのつながりを見出し、科学への興味・関心を高めることである。

3つの実験を通して、生徒が「炭の表面には小さな孔が多数存在する」「その孔によって表面積が大きくなり、物質を吸着する」という構造と機能の関係を理解できるよう教材を設計した。また、最終的には炭以外の多孔質材料として2025年のノーベル化学賞を受賞した金属有機構造体(MOF)を紹介することで、学習内容を現代科学や社会的課題と関連付け、学びの広がりを持たせることをねらいとした。

以下、授業実践の様子と教材の教育的効果について記載する。

〈1. 簡易製炭実験〉

まず、炭の働きの根拠となる「多孔質構造」に着目し、炭の製造過程から性質の理解へと段階的につなげる教材構成を行った。まず、簡易製炭実験を通して、木材を空気の少ない状態で加熱することにより炭が生成される過程を観察させ、木(薪)との違いを明確にした。この実験により、炭が単なる黒い物質ではなく、

製造条件によって性質が変化する物質であることを理解させることをねらいとした。

授業の導入として、炭と木の違いについて問いかけ、現時点での生徒の炭に関する認識を確認した。下の表3が生徒の回答である。

表 2 生徒別の既有知識に関する回答

生徒A	炭は木を燃やしたもの。
生徒B	含む炭素の量の違い。炭の方が多く含んでいる。
生徒C	炭は一度焼いてそれを乾燥させているもの。
生徒D	薪が燃えたら炭になる。薪だけではなく、肉とかも燃えすぎたら炭になる。

表3より、多くの生徒が炭は一度加熱されているものだと認識していた。また、炭素の含有量に目を向け、成分の観点で炭と木の違いを捉えている生徒や製炭方法について部分的に知っている生徒がいた。そこで、木と炭の成分の違いを問いかけたところ、解凍は「木に含まれている余分な成分がなくなった」といった程度で具体的な名称までは出てこなかった。これらの生徒の既有知識をもとに簡易製炭実験を行い、結果を考察した。

・生徒A

ワークシート①
炭を作ってみよう

結果



<結果>

- ・果物が腐った匂い
- ・軽い力で壊れる
- ・茶色の液体が出てきている(ネバネバ)

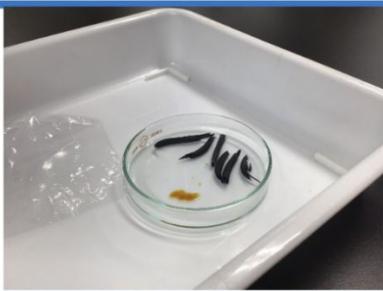
<考察> 空气中で燃やした時とどんな違いがあるだろう？
発生した物質はどんな成分を含んでいるだろう？

- ・燃やす前は硬いけれど燃やした後はポロポロ
- ・液体が出てきている(水分が出た?)
- ・手で潰すと炭が手につく

・生徒B

ワークシート①
炭を作ってみよう

結果



<結果>

燃やすと割り箸から煙が発生し、黒く変化した。
火を当てている場所の煙は黒っぽい但是当てていない場所は白っぽい。
出してみると舌い臭い匂いの液体が出て来た。その液体は焦げた。

<考察> 空气中で燃やした時とどんな違いがあるだろう？
発生した物質はどんな成分を含んでいるだろう？

空气中で燃やすと火がついて燃えるなるが、この方法だと火はつかずに煙だけ出る。空气中だと液体は出ない。
発生した液体は焦げるので水ではない。
発生した物質と液体は少し香ばしいが臭い匂いがする。

・生徒C

ワークシート①
炭を作ってみよう

結果



<結果>

燃やしていたときに白い気体と水ができていた。そして、燃やし終わったときにはほぼ炭になった。燃やしたときにどろっとした液体が発生した。1つだけ燃えたところと燃えなかったところがあった。

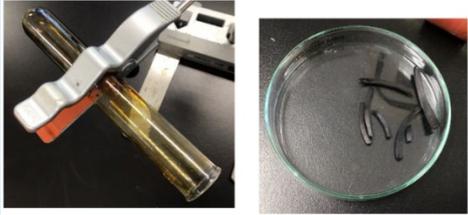
<考察> 空气中で燃やした時とどんな違いがあるだろう？
発生した物質はどんな成分を含んでいるだろう？

空气中で燃やした時は炎をあげてけむりを出して燃えるけれど、ガラス管で熱したときは炎はあがらず
水ができて白いけむりを少しあげて燃えた。
物を燃やしやすい成分を含んでいると思った。

・生徒 D

ワークシート①
炭を作ってみよう

結果



<結果>
気が燃え始めた時に発生した気体の臭いがキツかった。炭を作るとに発生した水分が油のようなものだった。空气中で燃やした時より、炭を作るときにできた煙の色が少し違っていました。普通に木を燃やした時より煙の量が少なかったです。

<考察> 空气中で燃やした時とどんな違いがあるだろう？
発生した物質はどんな成分を含んでいるだろう？
空气中で燃やした時と炭を作るときに燃やした時では、煙が少し違った。ので、燃やしたときに発生する気体のなかに含まれている成分が違うと思います。

図 4 生徒別結果考察シート

生徒からは「果物が腐ったような匂いのする液体が出てきた」「燃やす前は硬かった木片が、加熱後はボロボロになり、手が触ると黒くなった」といった観察が見られた。また、「煙が白っぽい」「空气中で燃やすと火が出るが、この方法では火はつかず、煙だけが出ている」といった発言から、通常の燃焼との違いに気づく様子が確認された。



図 5 簡易製炭実験の様子

さらに、発生した液体について「焦げたにおいがす

るため、水ではないと思う」「白い気体と液体が同時に発生している」といった意見が出され、複数の物質が生成されていることを捉えようとする姿が見られた。これらの観察の結果は、空気量を制限して加熱することで、木材が完全に燃焼せず、炭へと変化していく過程を理解する手がかりとなった。

実験後の考察では、空气中で燃焼させた場合との違いに着目し、「火が出ないこと」や「煙や液体が発生すること」を根拠として、炭がどのような条件で作られるのかについて整理する様子が見られた。

〈2. 炭の浄化実験〉

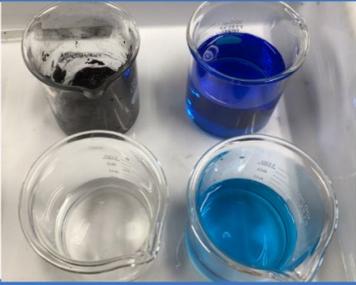
炭の浄水効果について、メチレンブルー水溶液を用いた実験を行った。実験では、炭を入れた条件と入れない条件を設定し、水溶液の変化を比較させた。水溶液の色の変化は視覚的に捉えやすく、炭が水中の物質を除去する働きを持つことを生徒が実感的に理解できる教材である。さらに、ろ過操作を伴う実験とすることで、中学校の授業で実践した技能を活かす機会とすることができると考えた。そして、単なるろ過との違いに気づかせ、炭特有の働きに意識を向けさせる工夫を行った。

炭の浄水実験を行い、生徒が記録、作成したワークシートが図5である。

・生徒 A

ワークシート②
炭の浄水作用を調べよう

結果



<結果>
炭を入れている方では、黒色から全く違う無色透明になりましたが、炭を入れていない方では、色が少し薄くなっただけでした。

<考察> 炭がどのようにして浄水したのだろう？
この炭の力をどのように活かすことができるだろう？

このような結果で、炭には汚い水をろ過して浄水することがわかりました。この炭を使って無人島などにある汚いお水も炭があれば綺麗なお水に変わると思いました。

・生徒 B

ワークシート②
炭の浄水作用を調べよう

結果



<結果>

炭を入れたものは明らかに薄くなった

<考察> 炭がどのようにして浄水したのだろう？
この炭の力をどのように活かすことができるだろう？

炭が青い物質を吸収、または吸着した可能性が高い。

ろ過に使用した炭から、ろ過した物質を取り出せるのではないか。

炭には小さい穴が無数に空いていると聞いたことがある→それが関係？

・生徒 D

ワークシート②
炭の浄水作用を調べよう

結果



<結果>

- 炭を入れたものは一番薄い水色になった。
- ろ過したメチレンブルー液はろ過をしていないものより青色が薄くなった。(ろ紙に色を吸い取られた?)

<考察> 炭がどのようにして浄水したのだろう？
この炭の力をどのように活かすことができるだろう？

- 断水の時に綺麗な水を作ることができる
- 混ぜて黒くなった時に色を吸収した？

・生徒 C

ワークシート②
炭の浄水作用を調べよう

結果



<結果>

濾過していないもの	濃い青
濾過	青
濾過+炭	うすい青

<考察> 炭がどのようにして浄水したのだろう？
この炭の力をどのように活かすことができるだろう？

炭が汚れと結びついた？

図 6 結果・考察シート

実験結果について、生徒からは「炭を入れたものは明らかに色が薄くなった」「炭を入れたものは黒色から全く違う無色透明になったが、入れない方は色が少し薄くなっただけだった」といった発言が見られた。また、「少しろ過に色を吸い取られたのではないか」といった意見も出され、単なるろ過と炭の働きとの違いに目を向けようとする姿が確認された。



図 7 浄水実験の様子

考察の場面では、炭がどのようにして水を浄化したのかについて、生徒はさまざまな観点から考えを述べていた。「炭が汚れを結び付いたのではないか」「炭には浄水する力がある」といった意見に加え、「炭には小さな穴が無数にあいていると聞いたことがあり、それが関係しているのではないかと、炭の構造に着目し

た考察も見られた。

さらに、この炭のちからをどのように生活に活かすことができるかという問いに対しては、「断水の時にきれいな水を作ることができる」「無人島生活などで安全な水を確保する仕組みに関係していると思った」といった、日常生活や非常時を想定した発想が示された。また、「吸着した炭から、吸着した部室を取り出すことができるのではないかと。炭の再利用や機能の可逆性に関わる視点を持つ生徒もあり、炭の浄水効果を多面的に捉えようとする様子が見られた。

これらの考察から、生徒は水溶液の色の変化を根拠として、炭が水中の物質を吸着する働きを持つことに気づき、炭の構造と機能との関係について理解を深めていったと考えられる。

〈3. 炭の脱臭実験〉

炭の脱臭効果を扱うため、アンモニアを用いた気体実験を実施した。実験では、炭を用いた条件におけるアンモニア濃度の時間変化を測定し、空気中の物質に対する炭の働きを調べた。水溶液中だけでなく、気体中においても炭が物質を吸着することを数値の変化として捉えることで、炭の働きが特定の条件に限られたものではないことを理解させることを意図した。水溶液と気体という異なる対象を扱うことで、多孔質構造が持つ汎用性について考えさせることができると考えた。

以下、炭の脱臭実験を行い、生徒が記録、作成したワークシートが図7である。

・生徒A

ワークシート③
炭の脱臭作用を調べよう

結果

時間 (分)	0	4	8	12
アンモニア濃度 (%) 写真				
アンモニア濃度 (%)	25%	4%	4%	1%

<結果>
空気中の大気汚染やにおいも炭は浄化することができる。

<考察> 炭がどのようにして脱臭したのだろう？
この炭の力をどのように活かすことができるだろう？
空気中の汚れやにおいも炭に吸着した。
少しだけなら大気汚染も綺麗にできるかもしれない

・生徒B

ワークシート③
炭の脱臭作用を調べよう

結果

時間 (分)	0	4	8	12
アンモニア濃度 (%) 写真				
アンモニア濃度 (%)	20	2	0	0

<結果>
4分の時点でだんだんと減っていた。8分から0になった。

<考察> 炭がどのようにして脱臭したのだろう？
この炭の力をどのように活かすことができるだろう？
炭に空いている小さな穴がアンモニアの匂いを吸収した

・生徒C

ワークシート③
炭の脱臭作用を調べよう

結果

時間 (分)	0	4	8	12
アンモニア濃度 (%) 写真				
アンモニア濃度 (%)	25%	4%	4%	1%

<結果>
炭を使うと21%程4分間の間に減り、アンモニアの濃度が非常に低く保たれた

<考察> 炭がどのようにして脱臭したのだろう？
この炭の力をどのように活かすことができるだろう？
出来る。ただし炭の一個単位には限界がある。

・生徒 D

ワークシート③
炭の脱臭作用を調べよう

結果				
時間 (分)	0	4	8	12
アンモニア濃度 (%) 写真				
アンモニア濃度 (%)	35%ぐらい	5%未満	5%	5%
<結果>				
炭によってアンモニア濃度が下がった				
<考察> 炭がどのようにして脱臭したのだろうか？ この炭の力をどのように活かすことができるだろうか？				
炭は気体でも液体と同じように吸着することができる				
ガスマスクに利用できると考えられる				

図 8 結果・考察シート

実験結果について、生徒からは「空気中の汚染やにおいも炭は浄化できる」という発言が見られた。また、測定結果をもとに、「4分の時点でだんだんと濃度が減っていき、8分からは0になった」「炭を使うと、4分間で濃度は2.1%減り、アンモニアの濃度が非常に低く保たれた」といったように、数値の変化を根拠として結果を捉える様子が確認された。これらの発言から、生徒が時間の経過と濃度変化の関係を意識しながら実験結果を整理していることがうかがえた。



図 9 脱臭実験の様子

考察の場面では、炭がどのようにして脱臭したのかについて、「炭は気体でも液体と同じように吸着する

ことができる」「炭に空いている小さな穴がアンモニアの臭いを吸着した」といった意見が出され、浄水実験での学びを踏まえて、吸着作用の共通の仕組みとして捉えようとする姿が見られた。

また、この炭のちからをどのように活かすことができるかという問いに対しては、「ガスマスクに利用できると考えられる」「少しだけなら大気汚染もきれいに行えるかもしれない」といった応用に関する発想が示されていた。一方で、「脱臭はできるが、炭の一個単位には限界がある」といった意見も見られ、炭の働きの有効性だけでなく、量や条件による制約に目を向ける様子も確認された。

これらの考察から、生徒は炭が気体中の物質に対しても吸着作用を示すことを理解し、水溶液実験との共通点を見出しながら、炭の多孔質構造と脱臭効果との関係について理解を深めていったと考えられる。

V. おわりに

1. 多孔質構造の教材としての効果

本授業実践を通して、炭の多孔質構造に着目した教材は、生徒が炭の働きを構造と機能の関係から理解する上で有効であったと考えられる。簡易製炭実験、浄水実験、脱臭実験を段階的に行うことで、生徒は炭がどのように作られ、どのような性質を持ち、その性質がどのような場面で発揮されるのかを一連の流れとして捉えることができた。

成果の一つとして、実験結果を根拠として考察しようとする姿が多く見られた点が挙げられる。簡易製炭実験では、煙や液体の発生、木片の状態変化といった観察結果から、空気の量によって燃焼の仕方が異なることに気づく生徒が見られた。浄水実験では、炭を用いた条件と用いない条件を比較し、色の変化の違いから炭の働きを説明しようとする姿が確認された。さらに脱臭実験では、アンモニア濃度の数値変化を根拠として、炭が気体中の物質にも作用することを捉える生徒が見られた。このように、観察や測定結果をもとに考察を行う活動を通して、科学的に考える力の育成につながったと考えられる。

また、多くの生徒が炭の働きを「吸着」という共通の仕組みで説明しようとし、水溶液と気体という異なる対象に対しても、同じ構造が機能していることに気づいていた点は重要な成果である。特に、「炭には小さな穴が無数にあいている」「その穴が汚れやにおいを取

り込む」といった発言から、多孔質構造と炭の性質とを結びつけて理解している様子が見られた。

さらに、生徒は炭に働きを日常生活や非常時の場面に結びつけて考えており、断水時の浄水や脱臭剤、ガスマスク、大気汚染対策など、炭の活用可能性について主体的に発想する姿が見られた。このことから、本教材は理科の学習内容を生活や社会と関連付ける点においても有効であったと考えられる。

一方で、課題も明らかとなった。多孔質構造そのものは目に見えないため、生徒によっては理解が概念的な説明にとどまる場面も見られた。そのため、図や模式、拡大図などの視覚的な教材を併用することで、より具体的な理解を促す必要があると考えられる。また、脱臭実験においては、「炭の量には限界がある」といった意見も見られたことから、条件を変えた追加実験を行うことで、炭の働きの限界や条件依存性について、より深い理解につなげる余地がある。

以上のことから、炭の多孔質構造に着目した本授業実践は、生徒が炭の性質を暗記的に学ぶのではなく構造と機能の関係から理解することを可能にする教材であったといえる。今後は、教材の改良や実験条件の工夫を通して、より一層理解を深める授業実践へと発展させていくことが課題である。

2. 炭に関する意識や知識の変化

本授業を通じて、生徒の炭に対する意識や知識には大きな変化が見られた。授業前の炭に対するイメージは「バーベキューで使うもの」「燃料」「消臭剤として使われているもの」など、生活の中で断片的に触れている知識にとどまっていた。しかし、簡易製炭実験、浄水実験、気体の脱臭実験という一連の体験的な学習を通して、炭の働きを構造的・化学的に捉え直す姿が多くの子に見られるようになった。

授業後のワークシートには、「炭には小さな穴が無数にあいていて、そこに粒子やにおいがくっつくことで、水や空気をきれいにできる」「多孔質構造によって液体や気体中の汚れを吸着できる物質である」といった記述が多く見られ、炭の性質を“多孔質構造”と関連付けて理解していることがうかがえた。これは、単なる結果の理解にとどまらず、現象の背後にある仕組みへと生徒の思考が発展していることを示している。

また、「断水時にきれいな水を作ることができる」「無人島生活や災害時に役立つ」「ガスマスクや消臭

剤に使える理由が分かった」など、炭の働きを日常生活や災害対策、環境問題と結びつけて捉える記述も多く見られた。これらの記述から、生徒が炭を単なる実験材料としてではなく、社会や生活と深く関わる有用な材料として認識するようになったことが分かる。

さらに、「教科書には載っていないことを実験で確かめられた」「学校の理科ではここまで深堀しない内容で楽しかった」「実験が多く、他の生徒と意見を比べながら考えられた」といった感想からは、体験を重視した授業構成が生徒の主体的な学びや探究心を高めたことが示唆される。炭という身近でありながら奥深い教材を用いたことで、「自分で確かめ、考え、生活と結びつける教科」として捉え直すきっかけとなったと考えられる。

以上より、本授業実践は、生徒の炭に対する理解を表面的な知識から科学的・構造的な理解へと深化させるとともに、環境問題や防災、日常生活との関連を意識させる点で有効であったといえる。

3. 授業実践を踏まえたノンフォーマル教育の教育的効果と検討

今回、学校教育の枠組みの中で行われる教育とは異なる「おもしろ理科教室」というノンフォーマル教育の場で授業実践を実施した。ノンフォーマル教育は、学習指導要領に厳密に縛られない柔軟な学習形態をとることができ、学習者の興味・関心や主体性を重視した学びを実現しやすいという特性を持つ。本研究においても、この特性を活かした授業構成が、生徒の理解や学習意欲に影響を与えたと考えられる。

まず、教育的効果の一つとして体験的な学習を十分に確保できた点が挙げられる。本授業では、簡易製炭実験、浄水実験、脱臭実験の三つの実験を連続して行い、生徒が自ら観察・操作・考察を行う時間を多く設定した。ワークシートの記述には、「学校の授業ではここまで深く実験を行うことがない」「教科書に載っていない内容を実験で確かめることができた」といった感想が多く見られ、十分な実験時間の確保が、生徒の理解の深まりや満足感につながったことが推測される。

次に、学習内容と生活や社会との結び付けが容易であった点も、ノンフォーマル教育ならではの効果である。炭の浄水・脱臭効果を、断水時の水の確保や災害対応、消臭剤、環境問題と関連付けて扱うことで、生徒は学習内容を自分事として捉えるようになった。ワー

クシートには、「災害時に役立つ」「環境問題に関係している」「家で使っている消臭用の炭の仕組みが分かった」といった記述が見られ、理科の学習が生活や社会と直結していることを実感している様子が確認された。

また、学校や学年の異なる生徒が協力して学習に取り組む環境も、学習に肯定的な影響を与えたと考えられる。生徒同士が意見を比較したり、異なる視点に触れたりする中で、自身の考えを再構築したり、理解を深めたりする姿が見られた。このような学び合いの場は、固定された学級集団では得にくい経験であり、ノンフォーマル教育の場ならではの価値である。

一方で、ノンフォーマル教育としての課題も考えられる。自由度が高い反面、学習内容や到達度の評価が難しく、学びの成果をどのように可視化するかという点には検討の余地がある。また、時間を十分に確保できる一方で、内容が高度になりすぎると、生徒によって理解に差が生じる可能性もある。そのため、学習内容の段階性や補助資料の工夫など、理解を支える支援の在り方については今後の課題である。

以上のことから、本授業実践は、ノンフォーマル教育の特性を活かすことで、生徒の主体的な学びや科学への興味・関心を高め、理科の学習を生活や社会と結び付ける上で高い教育的効果をもつことが示唆された。今後は、学校教育との接続を意識しながら、ノンフォーマル教育の強みを理科教育にどのように取り入れていくかを検討していく必要があると考える。

4. まとめと今後の課題

本研究では、炭の多孔質構造に着目した教材開発、ノンフォーマル教育の場における授業実践、その教育的効果についての検討をし、論じた。簡易製炭実験、浄水実験、脱臭実験を通して、生徒は炭の働きを結果として捉えるだけでなく、その背景にある構造や仕組みを考察する姿を見せた。特に、多孔質構造と吸着作用を関連付けて理解しようとする記述が多く見られ、構造と機能を結び付けた学習が促進されたといえる。

また、炭の性質を日常生活や災害対策、環境問題と関連付けて捉える生徒の姿から、本教材が理科の学習を社会や生活と結び付ける点で有効であり、さらにノンフォーマル教育の特性を活かし、十分な実験時間や自由な意見交換の場を確保したことが、生徒の主体的な学びや科学への興味・関心を高める要因となった。

一方で、本研究は限られた時間と条件のもとで行われた実践であり、学習成果を定量的に評価する点には課題が残る。今後は、理解度調査や事前・事後比較を取り入れることで、教材の有効性をより客観的に検証する必要がある。また、多孔質構造をより直感的に理解させるためのモデル教材や視覚的資料の充実も検討課題である。

以上より、炭の多孔質構造に着目した本教材は、生徒の科学的理解を深めるとともに、理科を生活や社会と結び付ける学習を実現する教材として、今後の理科教育において活用可能性の高いものであると結論づけられる。

付記

「おもしろ理科教室」において本実践に参加してくれた生徒の皆さん、ならびに実施にあたりご協力いただいた関係者の皆様にも、厚く御礼申し上げます。

最後に、所属研究室の皆様には、多岐にわたるご助言、ご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

本報告は中野（2024）および福本（2026）を総合して加筆・修正して発表している。

文献

- 福本愛姫（2026）：炭の多孔質構造に着目した教材開発と授業実践，愛媛大学教育学部令和7年度卒業論文。
- 樋口隆哉（2008）：パークによるアンモニア吸着および脱臭特性に関する実験的研究，におい・かおり環境学会誌，39巻，1号，p17-23。
- 宮内卓也（2014）：閉鎖系における木炭の燃焼，化学と教育，62巻，6号，p292-293。
- 中野雅斗（2024）：ESDに資する炭づくりを中心とした市域教材の開発，愛媛大学教育学部令和5年度卒業論文。