

木材の燃焼時間の密度依存性に着目した小学校理科教材開発

内田 航瑠¹⁾, 鈴木 望²⁾

1) 四国学院大学文学部人文学科 (学部生) w.uchida03030@outlook.jp

2) 四国学院大学文学部人文学科 nsuzuki@sgru.ac.jp

キーワード: 小学校理科, 燃焼の仕組み, 物と重さ

(受付: 2023 年 2 月 22 日)

I. はじめに

「火」は料理, 入浴や暖房設備などに使われ, 日々の生活に欠かすことができない。現行の小学校学習指導要領理科編でも, 第 4 学年「金属, 水, 空気と温度」, 第 5 学年「ものの溶け方」, 第 6 学年「燃焼の仕組み」の単元でガスコンロやガスバーナー, ロウソクを利用する場面がある (文部科学省, 2018)。特に, 第 6 学年「燃焼の仕組み」では, 火を持続して燃焼させる条件や物が燃えるときの気体の働きについて学ぶが, これらの学びは, 「火の利用」の観点だけでなく, 「防災」の観点からも重要である (水谷, 2015)。また, 小学校では, 長年自然体験活動として野外実習などが実施されてきており, その活動の中でもキャンプファイヤーや飯盒炊爨など火を使う場面がある (中村, 2009; 徳田, 2016; 国立青少年教育振興機構, 2021)。しかし, 野外活動では着火や, 近くで火を見る体験にとどまることが多く, 理科の授業と結びつけた燃焼に関する深い学びは実現されていないことが多い様に思われる。そこで, 本研究では野外活動の焚き火に着目した教材開発を行った。

キャンプファイヤーや飯盒炊爨の焚き火に使われる薪の材料は, 大きく「針葉樹」と「広葉樹」の 2 種類に分けられる。一般的に, 針葉樹は密度が低く, 広葉樹は密度が高い (畑, 1961)。このため, 針葉樹は火がつきやすく, 体積あたりの燃焼時間が短いという特徴を持つ一方, 広葉樹は火がつきににくく, 燃焼時間が長いという特徴を持つ。このため, キャンプで行われる焚き火では, 最初に針葉樹で小さな火を大きくして, その後に広葉樹に移すのが一般的である。本研究では, 小学校 6 年生の野外実習やその前後の授業の機会を想定し, 「針葉樹」と「広葉樹」の燃焼実験を児童が観察することで, 材質によって燃焼時間に差があることに気づき, その理由について考える教材を検討した。本稿で提示する授業案を実施することにより, 第 6 学年「燃焼の仕組み」や, 第 3 学年「物と重さ」を結びつける深い学びの実現が期待される。本稿では, まず, 「実際に木材の燃焼時間に密度依存性が確認できるか?」を検証した。II 章ではその検証方法を述べ, III 章では検証結果と考察を述べる。次に, IV 章では, 実験を簡易化して「小学校の現場でどの様に授業展開をするのが適切であるか?」について述べる。そして最後に, V 章では, 本稿のまとめと今後の展望について述べる。

II. 材料・実験方法

学術的な燃焼試験には, コーンカロリメーターを利用した方法があるが, 本実験では, 小学校で実施することを念頭に, より安価で簡便な試験方法を検討した (原田, 2000)。本研究では, キャンプで一般的に使用される薪ではなく, スーパー等で購入することのできる

割り箸を使用した。理由としては、(1) 安価で容易に入手可能であること、(2) 太さや長さがある程度そろえられており、比較しやすいこと、(3) 割り箸は、木材のサイズが小さく、実験時間も短いことがあげられる。割り箸の材質には、「アスペン」、「白樺」、「ヒノキ」、「杉」、「エゾ松」、「竹」を用いた。「竹」は針葉樹にも広葉樹にも分類されない一方、身近な材質であることから検討対象に加えた。材質、広葉樹・針葉樹の別、メーカー、製品名を表1に示す。以後、種々の割り箸は材質で表記する。

表1 用いた割り箸の製品情報

材質	広葉樹/針葉樹	メーカー	製品名
エゾ松	針葉樹	中村	エゾ松利久箸（裸）
杉	針葉樹	吉井商事	吉野杉元禄（YOS-016）
ヒノキ	針葉樹	吉井商事	桧元禄（YOS-011）
白樺	広葉樹	shinwa	白かば丈夫元禄箸
アスペン	広葉樹	スリーキューブ	業務用元禄箸
竹	その他	大和物産	元禄箸 竹

また、以下には、割り箸の密度測定（実験1）と燃焼時間測定（実験2）の方法を述べる。実験2の方法はプラスチックの難燃性を等級で表すUL規格UL94V0-V2の試験方法を参考にした。

実験1）割り箸の密度の測定

実験器具：割り箸、メスシリンダー、はかり、ハサミ、分銅、ピンセット、雑巾

実験手順：

- (1) 割り箸1膳を半分の長さに切断し、質量を計測する。
- (2) 切断した割り箸を蒸留水 35.0 mL の入った 50 mL メスシリンダーに入れ、割り箸の体積を求める。このとき、割り箸の密度は水よりも低く、浮いてしまうため、体積や質量が既知の分銅を重石として利用し、水に沈める。

実験2）割り箸の燃焼時間の測定

実験器具：割り箸、ムッフ、スタンド、ダブルクリップ、ライター、バット、針金、バケツ

実験手順：

- (1) 図1の様に実験装置を組み立て、割り箸を吊るす。
- (2) 割り箸の下端に、ライターの火の先端を近づけて、10 秒間加熱する。
- (3) 燃焼時間と燃焼後の割り箸の質量を測定する。

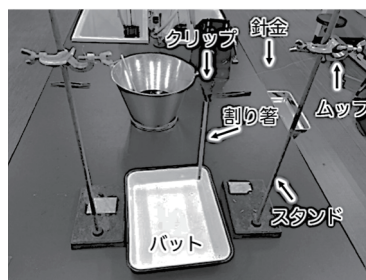


図1 燃焼試験用の実験装置

Ⅲ. 実験結果・考察

密度の測定結果を表 2 に示す。密度が小さいものから順に、エゾ松、杉、アスペン、ヒノキ、白樺、竹となった。密度に着目して木材を分類すると、密度の高い白樺と竹（グループ 1）、密度の比較的低いそれ以外の材質（グループ 2）に分類することができる。密度が比較的低かったグループ 2 の材質のうち、アスペンのみが広葉樹で、それ以外は針葉樹に分類されるが、密度は、針葉樹と広葉樹の区別に関係なく同程度であった。アスペンが広葉樹であるにも拘わらず密度が低い点については、アスペンが早生樹の一種であることが要因として考えられる。

燃焼時間の測定結果を表 2 と図 2 にまとめた。まず、図 2a には、質量あたりの燃焼時間を棒グラフで示す。材質ごとに質量あたりの燃焼時間は異なるものの、その違いは実験誤差の範囲内であり、有意な差はみられなかった。このことは、質量が同じであれば、燃える長さは材質によらずに一定であることを示唆している。図 2b には、材質ごとの体積あたりの燃焼時間を棒グラフで示した。針葉樹とアスペン（グループ 2、灰色）の値は誤差の範囲内で一致した一方、白樺と竹（グループ 1、白）は誤差を考慮しても体積あたりの燃焼時間は有意に大きかった。このことは、グループ 1 とグループ 2 から材質を一つずつ選び、同じ体積の割り箸を使って燃焼実験を行えば、有意な燃焼時間の差が観測できることを示している。燃焼時間によるグループ分けは密度ごとのグループ分けと一致し、燃焼時間と密度の間に相関があることが示された。アスペンは広葉樹に分類されるのにも拘らず、密度が低く、針葉樹から作られた割り箸と燃焼時間が変わらないことも明らかになった。このことから、燃焼時間はあくまでもその木材の密度に依存し、一概に針葉樹・広葉樹という概念だけでは燃焼時間について言及することはできないことが今回の実験から明らかになった。

表 2 各種割り箸の密度の測定結果（実験の繰返し回数 $N = 5$ ）

材質	広葉樹/針葉樹	密度 (g/cm ³)	質量 (g)	体積 (cm ³) ^a	燃焼時間 (s)
エゾ松	針葉樹	0.42±0.03	1.99±0.04	4.75±0.09	87±4
杉	針葉樹	0.45±0.03	1.63±0.32	3.62±0.72	75±8
ヒノキ	針葉樹	0.48±0.03	2.05±0.02	4.23±0.04	94±9
アスペン	広葉樹	0.45±0.02	1.50±0.10	3.33±0.22	69±7
白樺	広葉樹	0.70±0.11	2.13±0.20	3.04±0.28	118±20
竹	その他	0.71±0.07	2.05±0.02	2.87±0.03	97±17

^a 質量と密度の情報から算出

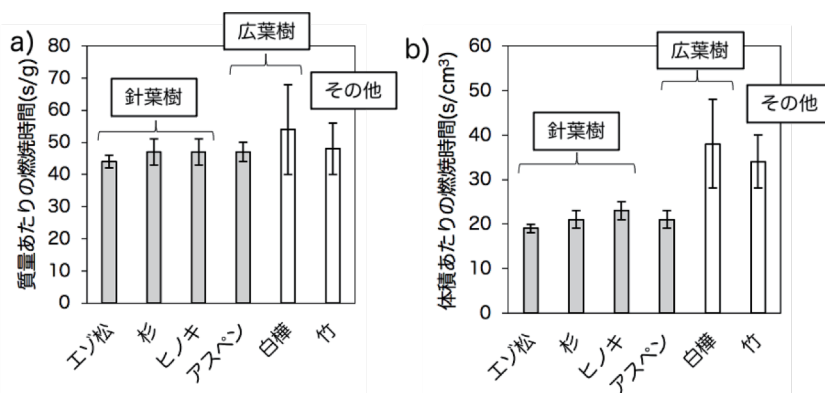


図2 燃焼実験の結果
(a) 材質ごとの質量あたりの燃焼時間
(b) 材質ごとの体積あたりの燃焼時間

IV. 指導案の検討

実験結果に基づき、指導案について検討する。実験結果からは密度と燃焼時間の相関が見られたものの、小学校では授業時間の制約から密度測定（実験 1）を実施することは困難であると思われる。代替案として、大きさが概ね等しい割り箸を使うなどして体積を一定にして燃焼時間を比較するべきであろう。今回行った実験では燃焼前後の質量を計測したが、燃焼後の質量は値が小さく、燃焼時間に大きく影響しないと考えられるため、児童が行う際はこの手順も省いて簡易化すべきであると思われる。今回利用した割り箸は、長さは概ね同一であるものの、その体積にはばらつきがあった。広葉樹と針葉樹を比較するために体積に近い材質を選ぶのであれば、広葉樹の白樺、針葉樹の杉の組み合わせで燃焼時間を比較することが適切であると思われる。体積はやや杉の方が大きいものの燃焼時間は白樺が有意に大きく、燃焼時間に差が出ることが期待できる。

表 3 に野外実習後の指導案を示す。まず、野外実習で火を扱った状況を想起させ、その後、教員が手本として広葉樹と針葉樹の 2 種類の割り箸の燃焼実験を行う。この時、燃やす割り箸については特に説明せず、割り箸 A と割り箸 B のように呼称する。割り箸 A と B の燃焼時間や燃焼の様子に違いが見られるので、児童に問題を見出させる。燃焼性の違いを説明する仮説を立てる段階では、重さが分かりやすい同じ大きさの針葉樹と広葉樹の木材や、袋詰の割り箸を観察したり、手に持ったりして重さの感じ方から密度の違いに着目させる。児童の中には割り箸の僅かな長さや形の違いに着目する者も想定されるので、その場合にはハサミなどで同じ大きさになるように加工させてもよい。実験の実施にあたっては、燃焼実験中に煙が発生するため、理科室で行い、換気が必要である点に留意する。火に近づき過ぎないことや、消火の手順なども予め確認する。

表3 本研究の指導案

	学習活動	児童の意識の流れ	指導上の留意点
導入 10分	1. キャンプで火を扱った時の様子を想起させる。	・最初は小さい火で徐々に火は大きくなった。 ・うちわで扇ぐと火が激しく燃えた。 ・しばらくすると火は弱くなり、灰になった。	・発問「キャンプで火を燃やした時、木材はどんな様子でしたか？」 ・「今日は木材が燃える様子を詳しく見てみましょう。」
	2. 燃焼実験の演示 (1) 針葉樹と広葉樹の割り箸を見せる。		・密度の異なる2種類の割り箸（白樺と杉）を用意する。
	(2) 燃焼実験の実演 (3) 見出した問の共有	・煙の色が違った。 ・燃える時間に違いがあった。 ・燃え殻の形が違った。	・木材の名称は伝えず、2種類の割り箸を同時に燃やして、燃え方の違いに気づかせる。 ・「燃え方にどのような違いがありましたか？」
問題：なぜ木材の種類によって燃える時間がちがうのだろうか？			
展開 30分	3. なぜ燃える時間が異なるのかを予想する。	・色が違う。 ・割り箸の形は似ているけど少し違う。 ・同じ見た目でも燃える時間は変わるのかな。 ・杉の板の方が白樺の板よりも軽い気がする。	・二種類の割り箸を木材の名称を明示して児童に渡し、観察させ、どのような違いがあるか、どちらが長く燃えそうか、理由も含めて考える。割り箸を各班に袋ごと渡すか、同じ大きさの白樺と杉の板を割り箸と一緒に渡す。
	4. 割り箸の燃焼実験を行う	・杉の方が白樺より、早く燃え尽きた。	・器具の組み立て方を確認する(図1)。 ・ライターでの加熱時間をクラスで統一する。 ・各種3回ずつ、6回行い、平均値をとる。
	5. 実験結果の確認	・なぜ軽いと燃え尽きるのが早いのかな？	・種類ごとの燃焼時間を発表させる。その際、種類の取り違えないよう注意する。
まとめ 5分	6. まとめ ・密度の概念について簡単に説明する。	・見た目は同じでも、重さはわからない。 ・大きさが同じように見えても、重さや燃える時間は変わってくるんだね。	・同じ大きさの白樺と杉の板の重さを量ってみせることで、同じ大きさでも重さが異なることを示し、重い木材の方が長く燃えることを説明する。 ・キャンプファイヤーなどでは木材を使い分けしていることなどを伝える。

V. まとめ

本稿では野外活動において、用いられる焚き火の薪に焦点を当てて、教材化することを検討した。野外活動のように学校外に出て授業を行うことは児童の記憶に残りやすく、深い学びに繋がると考えられる。本指導案を実施することで、キャンプファイヤーでどのような木材を燃やしているのか、もし違う木材を燃やすとどのように変化するか、などといったこ

とに疑問をもつなど、理科への関心の高まりが期待できる。

今回の実験では、表面積については言及することができなかったが、割り箸を加工してフェザースティックにしたものとしていないもので燃焼時間を比較することで、表面積も燃焼時間に大きく寄与することに気づかせる授業展開も考えられる。また、キャンプファイヤーや焚き火により近い形で燃焼時間を調べる方法として、空き缶内で割り箸を燃焼させる方法などが報告されているので、この様な方法を検討することも考えられる(野上・木村, 2013)。

文献

- 原田寿郎 2000. 木材の燃焼性および耐火性能に関する研究. 森林総合研究所研究報告, 378, 1-85.
- 畑 幸徳 1961. 広葉樹パルプを使用せる紙の印刷適性. 紙パ技協誌, 15, 105-108.
- 国立青少年教育振興機構 2021. 集団宿泊活動サポートガイド (5年間のまとめ), <https://www.niye.go.jp/supportguide.html>
- 水谷好成・小野寺泰子・鶴川義弘・福井恵子 2015. 屋外体験型研修とものづくりを組み合わせた防災教育. 教育復興支援センター紀要, 3, 107-115.
- 文部科学省 2018. 小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編. 東洋館出版社, 東京, 167pp.
- 中村正雄 2009. 学校教育における野外活動と自然体験活動の動向. 野外教育研究, 13, 3-27.
- 野上聖児・木村憲喜 2013. よく燃える最適の条件をさがそう! -身近な空きカンを使った実験から- (ヘッドライン: 市民として必要な基礎・基本の化学Ⅶ -身近な疑問と化学「もえる」をどう教えているか?). 化学と教育, 61, 172-173.
- 徳田真彦・伊原久美子・飯田 輝・久田竜平・高橋宏斗・土屋裕睦 2016. 小中学生を対象としたキャンプ活動が生きる力に及ぼす影響 -性別, 学校段階, キャンプ満足度に着目して-. 大阪体育学研究, 54, 1-18.