

プラズマを学校教育現場の教材として活用するには？

福山 隆雄（数理情報講座）

工藤 哲洋（数理情報講座）

1. はじめに

プラズマとは原子核と電子が解離した状態のことであり、初等中等教育の理科と結びつく諸概念を多く含むため、電磁気学をはじめとした分野において、先端科学を初等中等教育の内容にリンクさせる魅力的な教材として活用できる可能性を秘めている[1][2].

筆者らは、理科と技術がかかわるエネルギーを中心とした分野において「学校現場における授業の指導内容に関する教材研究に、物理学の専門性を活かす」という方針に基づいて、本実践を実施している。

物質にエネルギーを加えていくと、固体から液体、液体から気体へと相転移を起こして状態が変化する。これら基本的な3つの状態を物質の3態という。さらにエネルギーを加えていくと電離が起こり、多数の正イオンと電子が発生して、それらが動き回っている状態が出現する。このような物質の状態のことをプラズマと呼び、固体、液体、気体に対してプラズマは物質の第4の状態といえる。プラズマは地球上では比較的まれではあるが、宇宙の物質の99%はプラズマ状態にあるといわれており、宇宙では非常に普遍的な状態である[3].

私たちの身のまわりを見わたすと、照明、半導体開発、空気清浄、アーク溶接合、医療、滅菌、遺伝子操作など、多岐にわたってプラズマが利用されてきている。また、国際的な協力のもとで核融合発電を実現する機運が高まっており、そのためにもプラズマの制御に関する理解が必要とされている。さらに、波動現象や非線形・非平衡現象、宇宙プラズマ、可視化のためのシミュレーションなど、プラズマが基礎的な科学に与える影響も大きい。このようにプラズマが活用されている現代、学校教育の例えば理科や技術の授業においてプラズマを活用して、科学技術の魅力を伝えることができれば素晴らしい。プラズマを学校教育において活用することで、児童生徒の科学技術に対する興味関心を引き出すことができるものと考えている。さて、学校教育の中でプラズマそのものについて取り扱うことはほとんどないものの、プラズマを構成するプリミティブな概念は、初等中等教育の理科学習内容の中に、エネルギー、粒子、生命、宇宙・地球に関係する形で、いろいろな文脈（カリキュラム）において組み込まれている。

ここで、プラズマ実験を専門とする物理学教室の福山、および、プラズマ理論を専門とする天文学教室の工藤は、実験物理学と理論物理学の両方の立場から、プラズマを学校教育における教材として活用できる可能性に着目し、学校教育においてプラズマを活用する方法を検討してきている。

2. 中学生を対象としたプラズマに関する知識調査

小学校から中学校にかけて、プラズマに結びつく諸概念は取り扱われるものの、プラズマという言葉・内容は学習しない。このような状況を鑑みて、ある中学校においてプラズマに関する知識を調査した。

以下に、質問内容と回答について述べる。

調査場所：長崎市内の中学校 調査時期：2015年11月～12月

調査数：1年生34人，2年生34人，3年生34人 合計102人

【質問】あなたは、自然科学（理科）に興味がありますか？

	中1	中2	中3	全体
とてもある	31.3%	21.2%	45.5%	32.7%
ある	53.1%	63.6%	45.5%	54.0%
ない	15.6%	15.2%	9.0%	13.3%
全くない	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

上記の結果より概ね、生徒は理科に興味を持っていることが分かる。中学校2年生では、若干興味が低くなる傾向が見られる。これは、「電流の働き」の単元で抽象的な電気の概念を扱うことにも一因があるのではないかと考えられる[4]。

【質問】「プラズマ」という言葉を、聞いたことがありますか？

	中1	中2	中3	全体
ある	63.6%	72.7%	88.2%	75.0%
ない	36.4%	27.3%	11.8%	25.0%

上記の結果より、過半数の生徒がプラズマという言葉を知ったことがあり、その割合は学年が進むとともに上昇するということが分かる。

【質問】上記の質問で「ある」を選んだ人は、「いつごろ、どこで、初めて聞いたか」、覚えている範囲で教えてください

上記について多数を占める回答は、「時期」については、小学生のころ、「どこで」については、ゲーム、アニメ、家電のCMで聞いたことがある、というものである。ただし、少数ながら学校現場や大学等の科学イベントで、プラズマという言葉を知った（学習した）という生徒も存在する。

【質問】「プラズマ」という言葉を聞いて、思いつくことを自由に書いてください

- ・ 電気に関する概念 回答数 55
- ・ 雷，稲妻などの言葉 回答数 14
- ・ 生物に関するもの 回答数 13（「マイコプラズマ肺炎」など）
- ・ 電化製品に関するもの 回答数 11
- ・ 光などの言葉 回答数 9（「青い光」など）
- ・ ゲームやアニメ等に関するもの 回答数 4（アニメに登場する名称など）

上記の結果より，多くの生徒はプラズマに対して電気や雷などの概念を持っていることが分かる．これは，本来のプラズマの概念からかけ離れてはいないものの，これまでの質問内容と併せて考えると，特定のアニメによって形成されたことが考えられる（アニメの具体的な名称については割愛する）．

これまでの結果より，「6割から8割の中学生が，ゲームやアニメの影響でプラズマという言葉を知ったことがあり，電気に関連するイメージをもっている」ということができよう．

続いて，プラズマと一体として扱う「核融合」に関する知識調査を行った．例えば，専門分野の学会も「プラズマ・核融合学会」として，プラズマと核融合を一体として扱う（核融合を起こすとき，粒子はプラズマ状態にあるため）．

【質問】「核融合（かくゆうごう）」という言葉を知っていますか？

	中1	中2	中3	全体
ある	12.1%	36.4%	50.0%	32.8%
ない	87.9%	63.6%	50.0%	67.2%

プラズマの場合と比べて「聞いたことがある」と回答した生徒は少ないものの，プラズマに関する質問と同様に，その割合は学年が進むとともに上昇することが分かる．

【質問】上記の質問で「ある」を選んだ人は，「いつごろ，どこで，初めて聞いたか」，覚えている範囲で教えてください

上記について多数を占める回答は，「時期」については，小学生から中学生まで幅広く（記載がないもの，時期を忘れたという回答も多い），「どこで（どのような場面で）」については，東日本大震災のときテレビで，原爆資料館にて，プルトニウム爆弾のしくみを学んだとき，ウラン235に中性子を核融合させるのが原子力，などの，いっけん核分裂との区別がついていない回答がある一方，理科の授業中に初めて聞いた，最近インターネットでエネルギーについて調べていたとき，

原子と原子をぶつけてあたらしいものをつくる，などの回答も見られる．

【質問】「核融合」という言葉を聞いて，思いつくことを自由に書いてください

- ・ 核と核が合体する現象（細胞を含む） 回答数 35
- ・ 核兵器，核爆弾，戦争などの言葉 回答数 27
- ・ 原子力発電 回答数 14
- ・ 太陽，エネルギー生成などのイメージ 回答数 5
- ・ 危険というイメージ 回答数 4
- ・ その他，重水素，染色体，使い方が正しければ素晴らしいもの，薬，太陽の内部，など

上記の結果より，多くの生徒は動物植物の細胞を含む「核」が合体するというイメージを有することが分かる．また「核」という言葉が持つイメージからか，核兵器などの回答も目立った．一方では，太陽，エネルギー生成，重水素，などの本来の核融合に結びつく回答もあるものの，プラズマと核融合は，完全に別物として考えられてしまっているということが分かる．

3. 中学生を対象としたプラズマを活用した授業の実践

小学校から中学校にかけて，プラズマに結びつく諸概念は取り扱われるものの，プラズマという言葉・内容は学習しない．授業で科学的に取り扱われてこそ初めて，プラズマは学校教育においても活躍することができる．ここで，特別な枠組みやプログラムを準備しなくてもプラズマは学校教育の一定の範囲内（すなわち通常授業）でも活用が可能である．

2015年には長崎大学教育学部附属中学校の3年生を対象として，理科の正課中に「物質の第4の状態としてのプラズマ」というテーマで，既習の状態変化と天体の学習内容を深化させる目的で授業を実践した．

対象は3年生であり，これまでの理科授業において天体の学習を済ませている．太陽については，地球に光や熱を届けること，黒点の数が多いほど活動が活発であること，活動が活発であるとオーロラが盛んに見られること，などを学習してきた．授業の導入段階では，このことを踏まえて，それから後は状態変化や電気分野などの様々な学習と関連付けて授業を進めた．以下，授業の流れに沿って，実践内容を説明する．

・ プラズマとは？

以前の授業で学習した状態変化に関する内容を思い起こさせて，気体にさらにエネルギーを加えるとどうなるのか，ということを導入として授業を開始した．そして，分子原子は常に安定ではなく，エネルギーを加えていくと電離が起こりプラズマ状態になることを説明した．

- ・ 人工オーロラ（プラズマ）観測

天文の単元で学習した太陽風とオーロラに関する理解を深化させることを目的として、人工的にオーロラを発生させて実験室内で観測させた。

- ・ 真空とは？

主にオーロラが発生するのは、真空に近い希薄な大気中である。そこで、小学校、中学校を通して学習してきた宇宙空間および大気圧に関する理解を深化させることを目的として、真空という概念について説明した。

- ・ 炎はプラズマ！？

燃焼火炎は原子核と電子が解離して、わずかに電気的な性質を帯びた弱電離プラズマの状態にあるため、通常の大気よりも格段に電気を通しやすく、さらに外部から印加した強力な電磁場の影響を受けるといった性質がある。炎・燃焼と電気現象は、いっけん関係が無いようだが、強力な電場中という「極限状態」では炎が隠しもっている電気的な性質が顕在化する。このように関係ないように見える要素（炎・燃焼現象）と要素（電気現象）を関連付けて学習することで、学習者の認知的な葛藤を引き起こし、電気や燃焼、原子構造等の知識の深化に結びつくことを期待して、本内容について取り扱った。

- ・ プラズマに、さわってみよう！

プラズマは、工学、農学、医学などの分野へ幅広く応用されている。そのなかでも、大気圧プラズマ[5]は空気中で発生させることができ、また産業への応用も豊富である。今回、大気圧プラズマを実際に発生させて授業で活用した。ここで電子温度は 5000 K 程度あるものの電離度は非常に低く、中性粒子とイオンの温度も低いため、短時間であれば手で触れることが可能である。全ての生徒に大気圧プラズマを触ってもらうという体験を、授業に取り入れた。

最後に、全体のまとめを行った。下の図は、プラズマを用いた授業実践の様子である（個人が特定されないように写真を加工しています）。



図：プラズマを用いた授業実践の様子

4. まとめ

プラズマを学校教育における教材として活用することを目指して、本実践研究を実施した。

まず、長崎市内のある中学校において、生徒を対象としたプラズマに関する知識調査を行った。結果として、「6割から8割の中学生が、ゲームやアニメの影響でプラズマという言葉を知ったことがあり、電気に関連するイメージをもっている」ということが分かった。また、プラズマと比べて核融合については聞いたことがない生徒が多く、プラズマと核融合は完全に別物として意識されているということが分かった。

続いて、長崎大学教育学部附属中学校の3年生を対象として、理科の正課中に「物質の第4の状態としてのプラズマ」というテーマで、既習の状態変化と天体の学習内容を深化させる目的で授業を実践した。このように、特別な枠組みやプログラムを準備しなくてもプラズマは学校教育の一定の範囲内（すなわち、通常授業）でも活用が可能であるが、全国的に万遍なく学校教育においてプラズマが活用されるためには、理科の教科書にプラズマが掲載されることが望まれる。

本実践にあたりまして、長崎大学教育学部附属中学校理科の松本 浩二 先生、鶴田 浩一 先生、横田 亮 先生には、懇切なお力添えを賜りました。また、長崎大学教育学部教授の赤羽 良一 先生には、附属校との共同研究「教材の先進化による授業の革新」に際しまして、本実践にも活用できる様々なアドバイスを賜りました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 門 信一郎, プラズマ・核融合学会誌 91, 99-106 (2015)
- [2] 福山 隆雄 他, 愛媛大学教育学部紀要, 58, 95-100 (2011)
- [3] 「プラズマ物理入門」F. F. Chen (著), 内田 岱二郎 (訳)
- [4] 国立教育政策研究所 教育課程研究センター, 平成 15 年度
教育課程実施状況調査 質問紙調査結果 ー理科ー, 111-114, 127-128 (2003)
- [5] 北野 勝久, 谷口 和成 他, プラズマ・核融合学会誌 84, 19-28 (2008)