

学位申請論文

中等教育学校における放射線学習の現状と問題点に対する一考察

2019年3月

林 壮一

目次

第1章	はじめに	3
第2章	先行研究のレビュー	6
第3章	放射線の学習の経緯	11
3.1	X線の発見とその報告	11
3.2	戦前の学校教育における放射線の記載	11
3.3	学習指導要領における放射線の記録	13
3.3.1	1947(昭和22)年中学校理科と高等学校物理	13
3.3.2	1951(昭和26)年中学校理科と高等学校物理	14
3.3.3	1958(昭和33)年中学校理科と1960(昭和35)年高等学校物理	18
3.3.4	1969(昭和44)年中学校理科と1970(昭和45)年高等学校物理	22
3.3.5	1977(昭和52)年中学校理科と1978(昭和53年)年高等学校物理	23
3.3.6	1989(平成元)年中学校理科と高等学校物理	25
3.3.7	1998(平成10)年中学校理科と1999(平成11)年高等学校物理	25
3.3.8	2008(平成20)年中学校理科と2009(平成21)年高等学校物理	26
3.4	教科書における放射線の記述量の変化	30
3.5	放射線の学習の変遷から考察される問題の所在	32
第4章	本研究の目的	34
第5章	高等学校物理授業における放射線学習の実態調査	36
5.1	調査アンケートの概要	36
5.2	物理実験の実施状況放射線に関する実験の実施状況	37
5.3	放射線に関する学習の実施状況	43
5.4	放射線を学習している高校生の割合	44
5.5	まとめと問題点	46
第6章	中学校理科授業における放射線学習の現状調査	48
6.1	調査アンケートとその結果	48
6.2	放射線の学習の実施状況	48
6.3	放射線に関する基礎知識の調査	50
6.4	放射線に対する情意面の調査	54
6.5	考察	56

6.5.1	放射線の学習の実施状況	56
6.5.2	放射線に関する基礎知識	57
6.5.3	放射線に対する情意面	59
6.5.4	まとめと問題点	60
第7章 中学校3年間を通じて行った放射線の学習の実践・・・・・・・・・・・・・・・・		62
7.1	中学校3年間を通じた放射線の学習カリキュラム	62
7.2	3年間を通じた実践	68
7.2.1	放射線の学習の目標	68
7.2.2	中学1年生に対する実践	69
7.2.3	中学2年生に対する実践	70
7.2.4	中学3年生に対する実践	70
7.3	結果と考察	73
7.3.1	中学1年生の実践に対する結果と考察	73
7.3.2	中学2年生の実践に対する結果と考察	74
7.3.3	中学3年生の実践に対する結果と考察	75
7.3.3.1	中学3年生に対する知識面のアンケートの結果と考察	75
7.3.3.2	中学3年生に対する情意面のアンケートの結果と考察	80
7.3.3.3	中学3年生に対する発展的な学習	82
7.4	まとめと問題点	83
第8章 結論・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・		85
第9章 今後の課題・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・		89
	謝辞	91
	文献	92
	付録	98

第1章 はじめに

平成20(2008)年3月に改訂された中学校学習指導要領(理科)は、ほぼ10年ごとに改訂され、授業時数を減らしてきたそれまでの学習指導要領とは異なり、授業時数を増加させたものとなった。文部科学省も「幼稚園教育指導、小・中学校学習指導要領等の改訂のポイント」³⁸⁾として、中学校では「国語・社会・数学・理科・外国語・保健体育の授業時数を実質10%程度増加」、「週あたりのコマ数を各学年で週1コマ増加」したとしている。その教育内容の主な改善事項の2番目に「理数教育の充実」として、「国際的な通用性、内容の系統性の観点から指導内容を充実〔台形の面積(小・算数)、解の公式(中・数学)、イオン、遺伝の規則性、進化(中・理科)]」、「反復(スパイラル)による指導、観察・実験、課題学習を充実(算数・数学、理科)」を掲げている。このうち、中学校理科の「イオン、遺伝の規則性、進化」の各項目は、平成元(1989)年の学習指導要領⁴⁹⁾までは扱うこととなっていたが、平成10(1998)年改定⁵⁰⁾で削除され、平成20(2008)年改訂^{33, 34)}で10年ぶりに復活した項目である。

このような状況をもう少し長い期間を通じて見直してみたい。戦後の中学校の学習指導要領における国語、社会、数学、理科、外国語の授業時数の推移を図1に示した。



図1 中学校における国語、社会、数学、理科、外国語の授業時数の推移

図1からわかるように、昭和44(1969)年の改訂⁴⁷⁾から、昭和52(1977)年の改訂⁴⁸⁾までは、どの教科も大きく授業時数が削減されている。当時の様子は、学制百二十年史⁴²⁾によると、「昭和四十年代に行われた教育課程の改訂は、科学・産業・文化等の進展に対応し、また、海外における教育の現代化の動向等を考慮して教育内容の充実を図ったものであった。しかし、学習内容の量の増大と程度の高度化が指摘され、児童生徒の側に立って教育内容の見直しをすることが課題」となり、昭和46(1971)年の中央教育審議会答申で改善が指摘された。その指摘は教育課程審議会に諮問され、その結果審議会からの答申を受けて昭和52(1977)年7月に中学校学習指導要領⁴⁸⁾の全面改定がなされた。この改訂では、「1) 道徳教育や体育をいっそう重視し、知・徳・体の調和のとれた人間性豊かな児童生徒の育成を図ること、2) 各教科の基礎的・基本的事項を確実に身につけられるように教育内容を精選し、創造的な能力の育成を図ること、3) ゆとりある充実した学校生活を実現するために、各教科の標準授業時数を削減し、地域や学校の実態に即して授業時数の運用に創意工夫を加えることができるようにすること、4) 学習指導要領に定める各教科の目標、内容を中核的事項にとどめ、教師の自発的な創意工夫を加えた学習指導が十分に展開できるようにすること、などをねらい」として改善された。この改訂は「ゆとりと充実」というキャッチフレーズで有名になったが、各教科の指導内容を大幅に精選し、思い切った授業時数の削減を実施することとなった。

この昭和52(1977)年の改訂⁴⁸⁾によって、理科の授業時数は105時間(3年間で週あたり2時限)削減され、各学年週あたり4時限あった理科の授業は、中学1年と中学2年で、週あたり3時限となった。この時数減に伴って、第1分野の物理に関連した項目だけでも「気体の圧力、熱、光の性質、凸レンズ、直流と交流、二極管、加速度、等加速度直線運動、原子核、放射線」などの項目が学習内容から削除された。しかし、これらの項目のほとんどは、12年後の平成元(1989)年の改訂⁴⁹⁾で復活したが、「加速度、等加速度直線運動、原子核、放射線」の各項目は、削除されたままであった。

さて、このような授業時数の減少は平成10(1998)年の改訂⁵⁰⁾まで続いたのだが、先述したように、平成20(2008)年の改訂^{33, 34)}で各教科の授業時数が増加することとなった。この授業時数の増加は、実質的な選択教科の廃止と、総合的な学習の時間数を各教科に振り分けることで可能になった。特に、理科では、3年間で95時間も授

業時数が増加しており、文部科学省の「10%程度増加」を大きく上回り、30%以上も増加している。この授業時数の増加によって、第1分野の物理に関連した内容として、「力とばねの伸び、重さと質量の違い、水圧、プラスチック、電力量、熱量、電子、直流と交流の違い、力の合成と分解、仕事、仕事率、水溶液の電気伝導性、原子の成り立ちとイオン、化学変化と電池、熱の伝わり方、エネルギー変換の効率、放射線、自然環境の保全と科学技術の利用」など多くの項目が追加された。これらの項目のほとんどは、平成元（1989）年の改訂⁴⁹⁾には記載されていたが、平成10（1998）年の改訂⁵⁰⁾で削除され、10年ぶりに復活した項目であり、「プラスチック」、「化学変化と電池」や「水溶液の電気伝導性」、「自然環境の保全と科学技術の利用」は初出項目である。しかし、「放射線」だけは昭和52（1977）年の改訂⁴⁸⁾で削除されてから、およそ30年もの間、削除され続けていた項目である。

言い換えると、中学校の理科教育における放射線に関する学習は、昭和52（1977）年改訂の学習指導要領（昭和56（1981）年施行）⁴⁸⁾から、平成20（2008）年改訂の学習指導要領（平成24（2012）年施行）^{33, 34)}までのおよそ30年間なされてこなかったことになる。

そこで、中学校理科における放射線の学習に対して、

- A) 放射線が、長期間に渡って、中学校の理科の授業で学習されてこなかったことは、放射線の学習にどのような影響を与えたのか。
- B) 中学校での放射線の学習をどのように展開したらよいか。
- C) 放射線の学習を進める上で、どのような問題点があるか。

の3つの観点に注目して研究を進めることとした。研究の方針として、まず、過去から現在までの中学校と高等学校の学習指導要領を確認し、中学校を中心とした理科の教科書の調査によって、現在の放射線の学習における問題点を抽出し、本研究の目的の明確化を行った。その上で、中学校学習指導要領に放射線が記載されていない時期の高等学校における放射線の学習の状況や、中学校学習指導要領に放射線が記載された後の中学校における放射線の学習の状況を生徒に対するアンケートによって調査した。その後、それらの調査を基にして、中学校3年間を通じた放射線の学習の設計を行い、放射線の学習の実践を実施した。本研究では以上の調査と実践の結果に基づいて考察を行った。

第2章 先行研究のレビュー

これまで、中等教育における放射線の学習に関して、理科の学習指導要領に関する調査研究や授業における放射線の実践など、数多くの研究がなされてきた。

学習指導要領全般²⁹⁾を把握する文献として、文部省の学制百二十年史「明治三年の「大学規則」「中小学規則」以来、我が国の教育制度」の概説⁴²⁾がある。この文献では、これまでの初等中等教育の進展や初等中等教育における教育課程の改善などについて、教育行政の立場から解説されている。

中学校の理科の授業時数に関する研究としては、次のような先行研究があげられる。三輪³¹⁾は、昭和22(1947)年から平成10(1998)年までの中学校学習指導要領(理科)の変遷と改訂の要点を調べ、昭和52(1977)年の中学校学習指導要領では、「学習にゆとりを持たせるのが基本方針となっており、生徒の心身の発達を考慮して基礎的・基本的な事項に精選することを強調している。そのため、時間数の軽減と内容の厳しい精選が行われた。理科の授業時数は、これまでの各学年4単位時間であったものが、第1、第2学年が各3時間、第3学年が4時間となり、全体として37%の減少となった。内容の精選は30%に及んだ。」と放射線に関する学習内容が削除された背景にある学習指導要領の変化について述べている。

また、石井¹⁹⁾は、平成元(1989)年から小学校低学年に生活科が創設されたことについて、それまでの理科のカリキュラムの特徴であった複数の学年で同じ題材を扱い、段階的に学びを積み上げていくスパイラル構造のスタイルが、生活科の導入により理科を4年間で学ぶことになり、学習内容の繰り返しが大幅に減少したことを指摘している。具体例として、中学校の電気、光の学習について、小学校の学習内容のスパイラル構造が崩れていることを示し、重さと質量、力学の分野では、学習内容が理解の順に進んでいないことに触れ、理科学習における問題点を提起している。また、中学校の生徒による実験観察は、半数以上が週に1回以上、6.5%がほぼ毎時間行われているが、生徒が実験の手順を考えたり、実験結果について議論したりする学習はあまり行われておらず、実験といたっても、先生の指示通りに作業する時間になっていると述べている。

さらに、平成10(1998)年の学習指導要領の改訂に対して、高橋⁷⁷⁾は、①学習内容の一律3割削減、授業時間数の減少。②教科書の拘束性、これ以上教えるはならない。教える順序を変えてはならない。③総合学習、選択教科の時間の運用について。の3つ

の問題点を指摘している。さらに、中学生の発達段階が、具象から抽象、総合発展の順に進むのが、学年の進行だけではなく、学習する単元や大きな項目ごとにも進むことや、中学校理科の目標として粒子概念の獲得があるにも関わらず、中学1年生で水溶液や物質の三態の変化を通じて、素朴な粒子概念を教えられる機会があっても、中学2年生までは分子や原子などの粒子概念を扱えないことなど、学習指導要領の改訂における問題点を指摘している。

さて、中学校や高等学校の教科書への放射線の記述に関する先行研究としては、次のような報告がある。渡部⁸³⁾は、旧制中学校の化学の教科書における放射性元素の記述について報告している。渡部は、1896年に発見、報告されたウランが、1898年の池田菊苗、大幸勇吉の教科書に掲載されていることを指摘し、当時の生徒の創造力を育成するためにも、最先端の事実の記載がなされていたものと考えられるとしている。

また、小笠原⁶¹⁾は、昭和33(1958)年から平成20(2008)年までに6回改訂された学習指導要領に伴って作成された5社の出版社の中学校理科の教科書を比較し、原子力や放射線に関する記述や教育の問題点について議論している。その結果、昭和46(1971)年までは、「核分裂」、「ウラン235の放出エネルギー」、「放射線の有用性、危険性」などについて丁寧に学習が展開されていたが、昭和47(1972)年から平成13(2001)年までの間は、十分な教育が行われてこなかったことを示した。

さらに、山根ら⁸⁶⁾は、平成20(2008)年改訂の学習指導要領に基づいて作成された中学校教科書と副読本の放射線の記述について分析を行い、理科教育における放射線の学習に必要な教科書の記述について考察を行い、放射線教育を行う上で効率の良い学習順序を提案している。

平田ら¹²⁾は、昭和22(1947)年の学習指導要領下での中学校理科の教科書から、平成20(2008)年改訂の学習指導要領下での中学校理科の教科書までの放射線に関する記述の変遷を調べ、平成22(2010)年に発行された副読本で扱われている内容の多くが、昭和26(1951)年および、昭和33(1958)年改訂の学習指導要領下での教科書で扱われていた内容と同じであることを指摘している。

具体的な放射線の学習や、放射線をどのように教えれば良いか等についての先行研究も多数存在している。たとえば、小林ら²⁸⁾は、放射線の学習の地域差に注目した研究として、原子力発電所のある福井県敦賀市と徳島県内の中学生や高校生を対象に、「エネルギー・原子力等に関するアンケート調査」を行い、原子力・放射能・放射線に関す

る知識やイメージが地域によって異なっていることを指摘している研究などがある。この研究では、現代社会において最も重要なエネルギー資源は、徳島県の生徒は「火力」と考え、敦賀市の生徒は「原子力」と考えているのに対し、21世紀の社会では両地域の生徒とも「太陽熱・太陽光」が重要であると考えていること、両地域の生徒の多数が、原子力・放射能・放射線についての知識をマスメディアから得ている一方、徳島県の生徒は「中学校」、敦賀市の生徒は「博物館・展示会」、「家庭」からと答えた生徒の割合が高いこと、原子力・放射能・放射線についての知識は、徳島県の生徒は「原子爆弾」に関連したもの、敦賀市の生徒は「原子力施設」や「核燃料」に関連したものが多きことなどから、原子力・放射能・放射線に関する知識の習得は、徳島県の生徒は平和学習から、敦賀市の生徒は自治体や企業による啓発活動からの影響を強く受けているのではないかと指摘している。また、西谷⁵⁹⁾は、大学生284名に対して7項目の放射線の意識調査を行い、小学校6年生の社会科の教科書の広島・長崎の原爆の記述が多く、恐ろしいもの、であると教えられていることを指摘している。また、中学校の社会科の教科書でも、核兵器、第五福竜丸の被ばく、チェルノブイリ原子力発電所の事故など、否定的な記述が多く、放射線に対して危険、恐ろしいものという既成概念がつくられていることを報告している。

一方、中学校理科や高等学校の物理の授業の中での放射線の学習の実践研究としては、次のようなものがある。広井¹³⁾は、高等学校の物理の授業を進める上で、物理学習の全体像を示すことで物理学習の楽しさを伝えることができ、物理学習に対する生徒の意欲を向上させることができると考え、物理の学習を「放射線」から始める方法を提案している。放射線に関わる現象を説明する方法として、運動方程式や運動量保存則、電場中の荷電粒子の振る舞いなどを導入することを提案している。また、鈴木⁷⁶⁾は、平成11(1999)年の改訂において、高等学校で必修化された「理科総合A」の最初の10時間を放射線に関連する項目で展開し、中学校課程から、真空放電、イオンなどが削除されたことによる、粒子概念、ミクロの視点からマクロな現象を理解させる過程の不足を補うことを提案している。また、放射線の学習が粒子概念を定着させるのに格好の素材である、と述べている。

内田ら^{80, 81, 82)}は、中学校における放射線の学習を実施するための予備調査として、文部科学省の委託事業として無償で貸し出しを行っている簡易放射線測定器「はかるくん」の特性を調査し報告している。また、「はかるくん」を用いて中学校内や通学路に

おける自然放射線の測定を行い、学校内でやみくもに測定を行うと、観測値が小さくばらつきが多いことから、混乱を招く可能性を指摘している。校内では、教室などの測定と、花崗岩の使われている場所や硫酸カリ肥料のあるところなどを比較させることや、通学路においては、地下道、トンネル、高層ビル、池などの放射線量に変化が見られる可能性のある場所を測定地点とすることを提案している。

平成 20（2008）年度から導入された放射線の学習に対して、保坂ら¹⁴⁾は、放射線に関する意識調査として、中学生が持っている放射線に対する認識やその学習に対する期待を中学 3 年生 179 名にアンケート形式で行い、放射線の正体はどんなものか、放射線の利用、放射線に関する情報の入手先、放射線に関する基礎的な用語、環境中の放射線の起源、などの 8 項目の調査を行った。その結果、放射線の実体を伝えるための教材の必要性や身のまわりの放射線の観測や具体的な利用例などを適切に指導する必要があると述べている。また、6 割以上の生徒が「放射線の問題点や危険性」、「放射線の性質」、「放射線と健康との関係」をそれぞれ学習したいと述べている一方で、「学習したい内容は特にない」と答えた生徒が 1 割未満であることから、中学生の放射線に対して高い関心を持っているとしている。

森本ら⁵⁷⁾は、中学 2 年生に対して、放射線の授業を 1 時限実施し、授業の中で「霧箱」による放射線の観察をさせ、授業の前後で生徒に「放射線」に対するイメージを聞いた結果として、事前には「有害である」、「危険だ」が上位に答えていたのに対し、事後には「利用価値がある」、「量によって影響がある」、「使い方で効果が変わる」が上位になり、生徒たちの意識に変容が見られたとしている。

別木ら⁴⁾は、島根県内の中学校理科の教員が直面している問題点についてアンケート調査を行った結果、放射線の学習に関する教材の不足という問題を抱えていることを示し、放射線測定器として安価な Pocket Geiger Type 4 の導入を提案し、「はかるくん」の利用ができないような状況でも、放射線を測定することができる方策としての提案を行っている。

石田ら¹⁸⁾は、千葉県内の中学校理科教員と中学 3 年生に対してアンケートを実施し、放射線教育の実施調査や生徒の学習内容の調査を行っている。放射線教育の問題点として、教員経験年数が 10 年以内の教員は、「授業時間数が足りない」と答える割合が 73% と高いことが指摘されている。一方、学習内容としては、「目に見える」、「透過力がある」、「電離能がある」、「種類がある」ことについては、授業のたびに増加するのに対し

て、「人体に影響がある」と答えた生徒は授業を重ねるごとに減少したことを報告している。また、「危険」、「怖い」、「体に害がある」と回答した生徒は、授業を重ねるごとに減少したが、「一概に悪いものとはいえない」、「役だつもの」と回答する生徒が増加したことも指摘している。

また、佐々木ら⁷³⁾は、中学校1年生から3年生までの理科の授業の中で、放射線の学習が可能な単元が複数あることを指摘し、中学3年生の「電気の世界」の単元で放射線の授業を実践し報告している。また、その中で、3年間を見通した放射線の学習の計画について言及している。

この他にも、放射線教育支援サイト「らでい」の授業実践¹⁷⁾や、NPO法人放射線教育フォーラムの放射線教育先生の広場の放射線授業の実践事例紹介⁶⁰⁾、一般財団法人放射線利用振興協会の教員免許状更新講習²⁷⁾など、多数の実践報告がある。

第3章 放射線の学習の経緯

本章では、1895（明治28）年のレントゲンによるX線の発見以降、現在までの日本の中等教育の中で、放射線の学習がどのように位置づけられてきたかについてまとめた。

3.1 X線の発見とその報告

レントゲンは、1895（明治28）年12月28日の論文「放射線の一種について」でX線の発見を報告し、翌1896（明治29）年1月4日に開催されたベルリン物理学会創立50年祭の会場において、この論文とX線写真を展示した。1896（明治29）年1月5日には、オーストリアの新聞でX線の発見が報道され、世界各国に伝えられることになった¹⁾。日本では、長岡半太郎がベルリン物理学会創立50年祭に参加しており、1896（明治29）年3月25日発行の東洋学芸雑誌に「レントゲン氏エキス（X）放散線」を寄稿している。一方、日本の市民に初めて紹介されたのは、1896（明治29）年3月7日付けの時事新報であり、その後多くの新聞で取り上げられた。1896（明治29）年7月9日には、日本におけるX線の再現実験を目指していた村岡範爲博士によって、京都府教育会議で小中学校の教員向けの講演「レントゲン氏 X放射線の話」⁵⁸⁾が実施された。講演の内容は、波動の説明、陰極線の解説、X線写真、X線の本質、X線の電離作用、ベクレルの放射能の発見についてなどであり、小中学校の教員を通して、X線の発見とその応用を正しく知識を伝えることを目的としていた。

3.2 戦前の学校教育における放射線の記載

1900（明治33）年頃の日本では、小学校令によって、義務教育である4年制の尋常小学校と2～4年制の高等小学校が設置されていた。それまで「博物」、「物理」、「化学」、「生理」の4学科構成で実施されていた科学領域の学習は、新科目「理科」に統一されたが、その学習の機会には尋常小学校では与えられず、高等小学校でのみ実施されていた。この頃の就学年齢に対する尋常小学校への就学率は年々増加しており、1900（明治33）年の就学率は、およそ8割程度であった。尋常小学校を卒業した後は、就職する者、高等小学校へ進学する者、旧制中学校に進学する者など、多岐にわたっていたようである。1908（明治41）年には、尋常小学校と2年制の高等小学校とが合併した

形の6年制の義務教育の小学校が設置された。

さて、国立国会図書館に所蔵されているX線発見当時の教科書の中で、X線に関して記述されている最も古いものは、尋常師範学校や中学校向けの教科用書「新撰物理学教科書下巻」⁷²⁾(合資会社 富山房)1896(明治29)年10月4日発行であった。

図3.1にその教科書のX線に関する記述を示した。

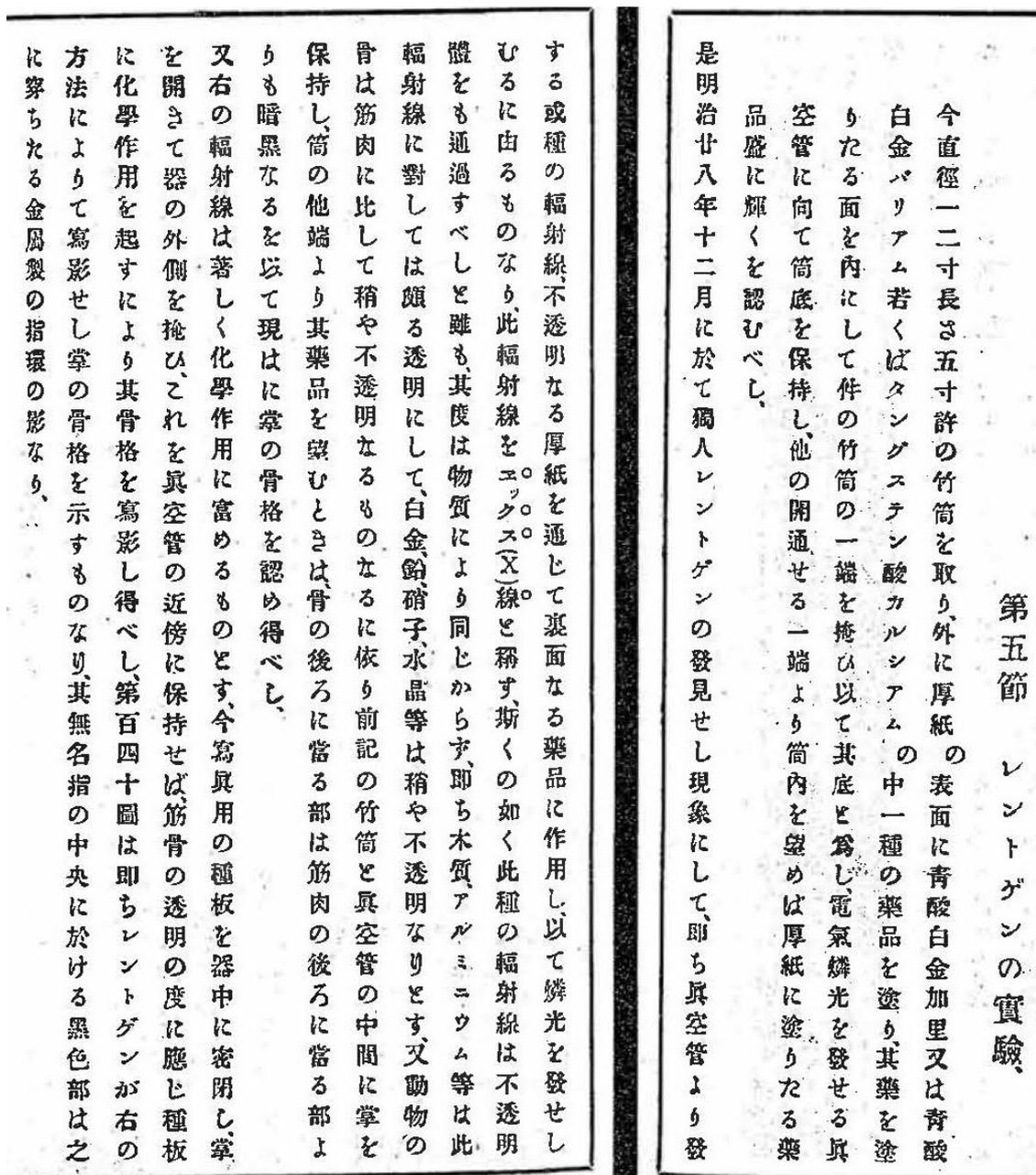


図3.1 酒井佐保編 新撰物理学教科書下巻⁷²⁾ 第七編 中 第七章 第五節 レントゲンの実験 (国立国会図書館デジタルコレクションより転載 (保護期間満了))

当時の中学校の就学年齢は、12歳から17歳の5年間であり、物理は最終学年である第5学年（現在の高等学校2年に相当）で学習することになっていたが、1895（明治28）年の尋常小学校卒業生に対する中等教育機関（中学校や高等女学校、実業学校）に進学した生徒の割合は約4.3%であり、現在の中等教育機関（中学校や高等学校）への進学率とは比べものにならないほど低い数値であった。尋常小学校への就学率をも考慮すると、この時代に学校でX線を学習した人数は全体の約3.4%となり、非常に少なかったことがわかる。

1900（明治33）年の小学校令施行細則に基づいて作られた教育課程は、1907（明治40）年の義務教育の延長（1908（明治41）年実施）、1926（大正15）年の高等小学校の実業教育を重視する教育課程の改善などが実施されたが、1941（昭和16）年の国民学校令が施行されるまでの間、大きな変化はなく基本的には継続されていた。

さて、1942（昭和17）年に国民学校令が施行されると、理科は数学と統合されて理数科という教科となり、理科の授業数はさらに減少していった。この頃の高等学校の物理の教科書には、X線の他に、 α 線、 β 線、 γ 線などの放射線（ベクレル線）が説明されている。ただし、当時の高等学校とは、就学年齢で比較しても現在の大学に相当すると考えられ、現在の高等学校と単純に比較することはできない。これ以降、「皇国ノ道」に基づいた学校が前提とされ、それまでの教科や科目が再編された⁵⁶⁾。

3.3 学習指導要領における放射線の記録

3.3.1 1947（昭和22）年中学校理科と高等学校物理

1947（昭和22）年に、小学校と中学校に対する初めての学習指導要領（試案）⁴³⁾が提示された。理科の学習指導要領（理科編 昭和22年度）では、小学校と中学校を一つまとめにして、第1学年から第9学年までの学習内容を決められていた。この当時の教科書には放射能や放射線といった記述はされていなかったが、「第14章 第9学年の理科指導 単元1（二）指導方法——生徒の活動 16. 宇宙線とは何のことかを書物によって調べる。」と書かれており、「(三) 指導結果の考査 3. 次の事項についての理解の状態を、再生法・真偽法・選択法・判定法等によって考査する。（7）宇宙線について」とされていたが、教科書に具体的な記述を見つけることはできなかった。

また、高等学校学習指導要項（試案） 物理・化学・生物・地学⁴⁴⁾には、理解の

目標と教材一覧が結びつけられて書かれていないため、

2. 理解の目標 5. 物質の性質は、それを作っている分子・原子の性質により、かつそれらの結合または集合の状態によってきまる。

3. 教材一覧 23. 粒子線とふく射線（放電・電子線・エックス線・放射能・スペクトル・結晶構造）

が、放射線に関連している内容であった。

3.3.2 1951（昭和26）年中学校理科と高等学校物理

1951（昭和26）年に、中学校と高等学校に対する学習指導要領（試案）⁴⁵⁾ の中間報告がなされ、1952（昭和27）年3月20日に学習指導要領が発行された。この学習指導要領には、「中学校第3学年 単元Ⅰ 科学の研究は生物の改良にどのように役だつか 学習の範囲と順序、学習活動 2. 人は動物や植物をどのように改良してきたか （3）化学的や機械的な刺激を与えるような人工的な方法で、動植物を改良することができるか 講義 a. X線その他の人為的な刺激によってショウジョウバエのような動物に突然変異をひき起こすことができること」、「単元Ⅱ 天然資源を開発利用し、さらにこれから新しい物資をつくり出すのに科学はどのように役だっているか 学習の範囲と順序、学習活動 1. 金属はどのように採掘され、どのように利用されるか （4）金属はどんな性質をもっているか。また、それはどのように利用されるか 研究と発表、教師の説明 d. 放射性元素の性質と利用」、「単元Ⅲ 科学によって見える世界はどのように広がったか 目標3. 電波やX線が光学器械にどのように応用されているかを理解する。」また、「学習の範囲と順序、学習活動 5. X線によってどのようなことがわかってきたか （1）X線にはどのようなはたらきがあるか （2）X線はどのように利用されているか」、「単元Ⅵ 科学は人生にどのような貢献をしているか 学習の範囲と順序、学習活動 3. われわれの健康を増進し、まちがった健康法を正すために、科学はどのような貢献をしたか （2）社会はそこに住む人々の健康を維持増進するために、科学研究の結果をどのように応用しているか 研究と発表 b. 病気の診断や治療に対するX線の応用」の4つの単元でX線について学習するよう書かれていた。

1952（昭和27）年から次の改訂までに発行された茅誠司らの東京書籍の教科書^{20, 21, 22, 23)} の記述を図3.2～図3.5に示した。

単元1 見える世界は科学によってどのようにひろがったか

6. X線によってどのようなことがわかってきたか

(1) X線はどのようにして発見され、どのようにして得られるか

X線の発見 ドイツの物理学者であるレントゲンが1895年にこのX線を発見した。(略)

クーリッジ管 私たちがX線を得るのには、X線管球を用いる。(略)

(2) X線にはどのような働きがあり、どのように用いられているか

X線の動き X線は見に見える光や放送の電波と同じ性質のものであるが、ただ波長が非常に小さいだけである。(略)

(a) **透過性** X線は普通の光には不透明のものを透過することができる。(略)

(b) **電離性** X線を物質にあてると電子が放出される。(略)

(c) **化学作用** X線は紫外線と同じように化学作用やシアン化白金バリウムなどにけい光を起こさせる作用を持っている。(略)

(d) **生理作用** またX線は細胞を破壊する作用も持っている。(略)

X線の利用 X線が不透明の物質の中を通ることができる性質を利用して、不透明の物体の中にあるものを見ることが出来る。(略)

図3.2 1952(昭和27)年発行 茅誠司ら 改訂 新しい科学 第3学年用上²⁰⁾

46～51 ページ

X線と放射能 ドイツのレントゲンは陰極線の実験中、1895年にX線を発見した。(略)。フランスのベックレルは、1896年にウランがX線と似て(略)、1898年フランスのキュリー夫人がウランよりも数千倍も強い放射線を出すラジウムを発見した。

その後、この放射線には3種類あることがわかってきた。(略)

図3.3 1952(昭和27)年発行 茅誠司ら 改訂 新しい科学 第3学年用下²¹⁾

146～148 ページ

X線 (略) 骨がどんなに折れているか、そのようなことをX線(レントゲン線)が診断の目的で(略)X線は、がん細胞だけでなく、微生物にも害を与える。だからある種の病気たとえば水虫や丹毒はX線でも治療できる。

ラジウム ラジウムからはX線と同じ性質の一種の放射線(ガンマ線)が出る。(略)

図3.4 1954(昭和29)年発行 茅誠司ら 新編 新しい科学 3年下²²⁾ 132 ページ

VII X線はどのように利用されるか

身体検査のときX線写真をとることがある。(略)

1 X線の発見とX線を出す方法

(1) X線はどのように見つかったか

(略) ドイツのレントゲンは、陰極線の研究をしているうちに、ガラスの壁から目に見えないものが出て、黒い紙に包んでおいた写真の乾板に光が当たったのと同じような作用を起こすことに気がついた。(略)

(2) X線の性質

(1) 物をよく通る (略) 人間の皮膚や肉はよく通るが、骨とか金属などは通りにくい。

(2) 目に見えない (略)

(3) 直進する (略) 物体のすぐ後ろに物体と同じ大きさのフィルムを置き、X線による影絵を写すか、この位置に置いた蛍光板を置いて光らせて見るのである。最近はこの蛍光板の上に見える像を、後からふつうの写真機を使って写真にとる間接撮影の技術が進歩した。それで集団検診のように多人数を診察する場合には、胸部のX線写真を小さなフィルムの上に撮影するようになった。

(4) 細胞をこわす (略)

3 X線の利用

(1) からだや機械の内部を見る (略)

(2) 原子構造の研究や治療に使う (略)

図 3.5 1954 (昭和 29) 年発行 茅誠司ら 新編 新しい科学 2 年下²³⁾

96～99 ページ

また、同学習指導要領 (1951 (昭和 26) 年改訂)⁴⁵⁾ の「第 V 章 高等学校物理の単元とその展開例」には、次のように書かれていた。

単元 VIII 物質構造の研究は、文化の発展にどのように役だってきたか

学習の範囲と順序、学習活動

2. X線をどのように利用しているか

(1) X線はどのようにして発生されるか

発表 X線について経験したことを発表する。

教師の説明 X線管を示して、構造および各部の働きを説明する。

問答 X線管とラジオ用真空管・放電管との構造上の比較を問答する。

自由研究 実用のX線装置について研究し、報告書を提出する。

(2) X線の性質はどのように利用されているか

教師の実験 a. X線を発生させ、種々の物質や手などを透過して蛍光板に写してみみる。

b. 磁界を作用して、X線による影が動くか否かを見る。

c. 箔検電器を用いて電離作用を見る。

話合いと教師の説明 上の観察からX線の性質について話合い、その本性について説明する。

教師の説明 X線によって結晶構造が明らかにされることを、図などを用いて簡単に説明する。

研究と発表 X線が医学や工業上にどのように利用されているかを研究し、発表する。

4. 元素の変換はどのようにして起るか

(1) 放射性元素はどのように変わっていくか

発表 放射性元素について知っていることを発表し合う。

教師の説明 α , β , γ , 三線の性質と本性について説明する。

問答と発表 α , β 崩壊によって元素の原子番号・質量数がどのように変わるかを問答し、放射性系列について調べて発表する。

自由研究 キュリー夫妻の研究について調べて、報告書を提出する。

(2) 元素はどのようにして人工的に他の元素に変えられるか

話合い 元素を人工変換するにはどうしたらよいか、その原理について話し合う。

教師の説明 a. 天然の放射性物質による核反応について簡単に説明する。

b. 陽子・中性子などによる核反応について簡単に説明する。

発表 ラジオ・アイソトープの製法・用途について調べて発表する。

自由研究 次の事項について調べて、報告書を提出する。

a. 原子エネルギーの利用について

b. 粒子の加速装置について

c. 宇宙線について

3.3.3 1958（昭和 33）年中学校理科と 1960（昭和 35）年高等学校物理

1958（昭和 33）年 10 月 1 日に改訂された中学校学習指導要領⁴⁶⁾は、2 年半後の 1962（昭和 37）年 4 月から施行された。改訂の特色として、3 番目の項目に「科学技術教育の向上を図るために、算数、理科の充実を図ったこと」があげられていた。この学習指導要領から、学年毎に第 1 分野と第 2 分野に分けられるようになった。具体的な記述としては、「第 3 学年 第 1 分野 （5）電波が受信できること、および原子の構造の概要について指導する。イ 電波とラジオ （ア）電波 a ラジオの波、光および X 線は、すべて電波であることを知る。 b X 線は、透過力が大きいことを知る。」や「第 3 学年 第 1 分野 （5）電波が受信できること、および原子の構造の概要について指導する。ウ 原子の構造 （イ）原子の構造 b 原子核は、陽子と中性子とからできていることを知る。 c 放射性元素は、放射線を出すことを知る。」で X 線や放射線を学習することとしている。

1961（昭和 36）年から次の改訂までに発行された茅誠司らの東京書籍の教科書^{24、25)}の記述を図 3.6～図 3.11 に示した。具体的な教科書の記述を見てもわかるように、放射線に関する記述が多岐にわたっていることがわかる。

A-5 原子と電流

IV 放射線

1 X 線

わたしたちは、健康診断をうけるときなどに、X 線で写真をとる。この X 線はどのようにして発生させ、また、どのような性質をもっているだろうか。

(1) X 線の発生 X 線を発生させるには、18 図のようなクーリッジ管という真空管が多く使われている。(略)

(2) X 線の性質と利用 X 線は光が通らない物質をも透過する性質がある。(略) 肺や骨折などの診断に利用される。(略) 機械の部分品の中のきずを調べたりするのに用いられる。(略)

X 線は生物の細胞をこわしたり、遺伝子を変化させたりするので、がんの治療や、作物に人工的に突然変異をおこさせることなどに利用されている。また、X 線をとりあつかう人は、不必要な X 線をうけないように、X 線を通さない鉛などの物質でからだを保護する。

2 原子核と放射線 (略)

(1) 原子核

(2) 放射性元素

ふつう、原子核はなかなかこわれない。ところがラジウムの原子核などのように、放射線を出しながら自然にほかの原子核に変わっていくものもある。このような原子核をもった元素を**放射性元素**という。(略)

放射性元素が出す放射線には、**アルファ線**、**ベータ線**、**ガンマ線**の3種類がある。(略)

(3) 原子核の人工変換 (略)

図 3.6 1961 (昭和 36) 年発行 茅誠司ら 新しい科学 3 年²⁴⁾ 150~154 ページ

B-4 天然資源

3 原子力

ウランの同位元素のあるものの原子核に中性子をあてると、こわれて 2 つの新しい原子核となり、このときに多くのエネルギーが出る。これを**核分裂**という。(略)

図 3.7 1961 (昭和 36) 年発行 茅誠司ら 新しい科学 3 年²⁴⁾ 308~309 ページ

A-5 原子と電子

II 原子の構造と放射線

(略) 原子力や放射能などは、みな、原子の世界での物質のふるまいがもとになっているものである。

1 原子の大きさと構造 (略)

2 放射能

黒い紙で包んだ写真乾板の上にウランを含んだ化合物をのせておくと、写真乾板は感光する。これは、黒い紙を通す放射線がウランから出ているからである。そして、ウランの原子核は放射線を出しながら、しぜんにはほかの原子核に変わっていく。

このように、放射線を出す性質を**放射能**という。放射能をもつ原子には、このほかラジウムなどがある。

放射能をもつ原子の出す放射線には、 **α 線**、 **β 線**、 **γ 線**の3種類があり、それらは次のようなものである。

α 線 ヘリウムの原子核の流れ

β 線 原子核の中からとび出した電子の流れ

γ 線 光や X 線より波長の短い電磁波

これらの放射線は、写真のフィルムを感光させたり、けい光物質を光らせたり、物質を透過したりする。また、原子をイオン化したり、生物の細胞を壊したりする性質がある。

3 原子核の人工変換

放射能をもつ原子は、しぜんに放射線を出して、原子核がだんだんこわれてほかの原子核に変わっていく。ふつう、化学変化では、原子の結びつきかたが変わるが、原子核がほかの原子核に変わることはない。しかし、しぜんの放射能をもつ原子以外でも、原子核に中性子や α 線などをぶつけると、ほかの原子核に変わるので、原子核の変換を人工的におこすことができる。たとえば、窒素の原子核に α 線をぶつけると、酸素の原子核に変わり、バリウムに α 線をぶつけると、炭素の原子核に変わる。

▶ 人工放射能 原子核を人工的に変換させたときできた原子核が放射能をもつことがある。このようにして生じた放射能を**人工放射能**という。たとえば、コバルトに中性子をあてると、放射性のあるコバルト 60 となる。これは γ 線を出すので、がんの治療に利用されている。

また、人工放射性リンを肥料にまぜて植物体内に入れると、植物体内におけるリンの動きは、放射線の出るところをさぐることによって知ることができるから、植物体内におけるリンのはたらきを研究するのに役立つ。このように利用される放射性物質をトレーサーという。

▶ 核分裂 ウラン 235 の原子核に中性子をぶつけると、それが 2 つの新しい原子核にこわれる。これを**核分裂**という。(略) このようなエネルギーが一般に、原子エネルギー、または、原子力と呼ばれている。

図 3.8 1965 (昭和 40) 年発行 茅誠司ら 新編 新しい科学 3 年²⁵⁾

133~138 ページ

自然界では、突然変異がおこるのはごくまれであるが、放射線や化学薬品などを使って、人工的に突然変異のおこりかたを多くすることができる。

突然変異したものは、いっばんに、育ちが悪かったり、奇形だったりして、その生物には不利なことが多いが、ときには人間にとって利用価値の高いものができることもある。いずれにしても、突然変異は、遺伝の研究をすすめるうえで、きわめて重要な役割をはたしている。

図 3.9 1965 (昭和 40) 年発行 茅誠司ら 新編 新しい科学 3 年²⁵⁾

B-1 生殖と遺伝 172 ページ

I 地球 (4) 大気

(略) 電離層では、太陽の強い放射線によって、その大気分子が電離してイオンになっていることが多い。(略)

図 3.10 1965 (昭和 40) 年発行 茅誠司ら 新編 新しい科学 3 年²⁵⁾

B-2 天体 185 ページ

2 原子力

燃焼のようなふつうの化学変化では、分子をつくっている原子の結びつきかたは変化しますが、原子核は変化しない。これにたいして核分裂は、原子核がこわれてほかの原子核に変わる変化でこのときに出るエネルギーはきわめて大きい。このようなエネルギーが原子力である。

核分裂によって発生するエネルギーを、熱としてとり出して発電に利用したり、船の動力として利用したりしている。

核分裂を適当な速さでおこなわせて、そのときに出るエネルギーを利用する装置が原子炉である。

核分裂のさいには、たくさんの放射能をもつ物質を生じ、この放射能は人体に有害な影響をおよぼすから、とりあついは、じゅうぶんに注意しなくてはならない。

図 3.11 1965 (昭和 40) 年発行 茅誠司ら 新編 新しい科学 3 年²⁵⁾

B-4 天然資源 287 ページ

高等学校の学習指導要領は、1960 (昭和 35) 年 10 月に改訂⁵¹⁾され、1963 (昭和 38) 年から施行された。この年の理科の科目は、物理 A (3)、物理 B (5)、化学 A (3)、化学 B (4)、生物 (4)、地学 (2) (カッコ内は標準単位数) と変更された。物理 A と物理 B の放射線に関連する具体的な学習項目は、次の通りであった。

【物理 A】

2 内容

原子、原子核 …… 原子核の変換、放射能

【物理 B】

2 内容

電子 …… X 線と結晶 (定性的に扱う。)

原子，原子核 …… 原子核の変換，放射能

3.3.4 1969（昭和44）年中学校理科と1970（昭和45）年高等学校物理

1969（昭和44）年4月に改訂された中学校学習指導要領⁴⁷⁾は，3年後の1972（昭和47）年4月から施行された。この改訂による大きな変化は，それまで学年単位の教科書だったのが，理科第1分野上下と理科第2分野上下の4分冊化されたことである。この学習指導要領では，「第1分野（8）物質と電気 ウ 物質の構造（イ）放射性元素の原子は，放射線を出して，ほかの元素の原子に変わること。」と記されていたが，教科書の放射線に関する記述は大きく減少していた。これまで同様，1972（昭和47）年の改訂によって発行された茅誠司らと蓮沼宏らの東京書籍の教科書^{26, 7)}の記述を図3.12～図3.13に示した。

III 物質の構造

（略）ポロニウムという元素をはりの先につけて霧箱の中に入れると，ポロニウムから放射状に何かが出ている事を白い霧のようすから知ることができる。また，ガイガー計数管をポロニウムに近づけると，それらが計数管にはいったときの音を聞くことができる。これは，原子核からさらに小さな粒が飛び出しているためである。

1 原子の構造はどうなっているか（略）

2 原子核は変化しないか

19世紀の末，ベクレルは偶然の機会から，（略）。放射線には， α 線， β 線， γ 線などがあり，けい光物質を光らせたりする。放射線を出す物質には，このほかに，アクチニウム，トリウム，ポロニウムなどがある。（略）。

また，窒素の原子核に α 線（ヘリウムの原子核の流れ）を当てると，酸素の原子核に変わり，ベリリウムに α 線をあてると，炭素の原子核に変わる。このように，原子核に α 線や中性子などをあて，原子核の変換をおこすことができる。（略）

図3.12 1972（昭和47）年発行 茅誠司ら 新しい科学 第1分野下巻²⁶⁾

104～107 ページ

III 原子の構造（略）

1 原子のつくりはどうなっているのだろうか（略）。

2 原子はまったく変化しないのだろうか

ウラン U の化合物やラジウム Ra のはいっている鉱物を、光を通さないように黒い紙で包んだ写真フィルムの上に置き、その写真フィルムを現像すると、フィルムは感光している。これは、ウランやラジウムなどから、写真フィルムを感光させるはたらきをもつ何か（放射線）が出ているからである。（略）

このように、放射線を出す性質を放射能といい、放射能のある元素を放射性元素という。放射線を出す元素は、ウランやラジウムのほかにもあり、それぞれ、放射線を出しながら、ほかの原子核に変わっていく。（略）

図 3.13 1977（昭和 52）年発行 蓮沼宏ら 新訂 新しい科学 1 分野下⁷⁾

85～89 ページ

翌 1970（昭和 45）年 10 月に改訂された高等学校学習指導要領⁵²⁾は、中学校の実施の翌年である 1973（昭和 48）年 4 月から施行された。前回の学習指導要領では、物理と化学の A・B の 2 科目に対し、生物と地学は 1 科目ずつで、それぞれ単位数も僅かに異なっており、物理・化学と生物・地学に差があった科目配置が、この改訂により、総合科目としての基礎理科（6）と物理，化学，生物，地学の I（3）と II（3）に変更された。各科目における放射線関連項目の取り扱いは次の通りであった。

【基礎理科】

2 内容 (3) 物質の構成 X 線と結晶

【物理 I】

2 内容 (4) 電界と電子 イ 電子と原子 放射能

3 内容の取り扱い (4) ウ (4) のイの「放射能」については、放射線の種類、強さ、作用などを扱い、応用についても簡単に触れること。

【物理 II】

2 内容 (4) 原子の構造 ア波動性と粒子性 X 線

3.3.5 1977（昭和 52）年中学校理科と 1978（昭和 53 年）年高等学校物理

1977（昭和 52）年 7 月に改訂された中学校学習指導要領⁴⁸⁾は、4 年後の 1981（昭和 56）年 4 月から施行された。この中学校の改訂で、放射線に関する記述が削除され

た。学習指導要領には、削除の理由は書かれていないが、「知識偏重」に対する批判と「ゆとりある教育」を背景に、基礎基本を目指して、教育内容の精選がなされ、児童生徒の個性や能力に応じた教育が行われるよう改訂された学習指導要領であった。この改訂では、理科の単元に初めて「原子力」が記載されていた。具体的には、第2分野の最後の単元として、「(7) 人間と社会 ア 人間の生存を支える物質とエネルギー (ウ) 人間が利用しているエネルギー源には、過去及び現在の太陽放射によるもののほか、原子力などがあること。」という項目であった。この項目に対する東京書籍の教科書⁵⁾は、図3.14のような記述であった。これを読むと、放射線という語句の使用を避け、放射能という表現でその危険性や問題点を表現していることがわかる。しかし、全体として曖昧な表現であり、中学生には何となくわかったような気にさせるような記述であった。

〔原子力発電〕現在では、水力発電、火力発電のほか、原子核のエネルギーを利用した原子力発電がおこなわれている。この発電は、ウランという原子の原子核が他の2つの原子の原子核に変わるときに出るエネルギーを利用したものである。原子力発電では、エネルギーが得られると同時に、生物のからだに有害な放射能をもつ物質ができる。そして、1986年ソ連のチェルノブイリでおこった事故などのように、万一原子力発電所で大きな事故がおこると、放射能の汚染が広範囲に広がるので、安全面にじゅうぶんな注意がはらわれなければならない。また、放射能をもった廃棄物の安全な処理方法など、解決しなければならない問題も残されている。

図 3.14 1990 (平成 2) 年発行 近角聡信ら 新訂 新しい科学 1 分野下⁵⁾

174 ページ

高等学校の学習指導要領は、1978 (昭和 53) 年 8 月に改訂⁵³⁾され、その施行は1982 (昭和 57) 年 4 月からであった。理科科目は再び大きく変更され、理科 I (4)、理科 II (2)、物理 (4)、化学 (4)、生物 (4)、地学 (4) となり理科 I が全員必修となった。放射線に関連した項目は、理科 I 「(5)人間と自然 原子力の活用」と物理「(4) 原子 イ原子と原子核 放射能、核エネルギー」だけであった。また、「核エネルギー」に関しては、「原子力の利用とその安全性の問題にも触れること。」と内容の取り扱いで規定されているものの、放射線や X 線という用語についての記載はなかった。

3.3.6 1989（平成元）年中学校理科と高等学校物理

この時の改訂は小学校から高等学校まで同時に行われた。中学校は 1993（平成 5）年 4 月から施行⁴⁹⁾，高等学校は 1994（平成 6）年 4 月からの施行⁵⁴⁾であった。中学校の改訂では，前回の改訂と同様に放射線の記述はなく，第 2 分野「(6) 大地の変化と地球 ウ 地球と人間 (イ)人間が利用している資源やエネルギーには，天然資源，水力，火力，原子力などがあることについての認識を深めること。」とだけ書かれていた。

一方，高等学校の学習指導要領⁵⁴⁾では，再び理科の科目構成が変わり，総合理科(4)と物理，化学，生物，地学の I A (2)，I B (4)，II (2)となった。学習指導要領に記載されている放射線に関連する項目は，総合理科と物理だけであった。

【総合理科】

(3) 人間と自然 ウ科学技術の進歩と人間生活

放射能及び原子力の利用とその安全性の問題にも触れること。

【物理 I A】

(3) エネルギーと生活 エ太陽エネルギーと原子力

原子力については，放射能及び原子力の利用とその安全性の問題にも簡単に触れること。

【物理 I B】

(4) 電流と電子 イ電子と原子 (ウ)放射能

放射能及び原子力の利用とその安全性の問題にも触れること。

3.3.7 1998（平成 10）年中学校理科と 1999（平成 11）年高等学校物理

1998（平成 10）年 12 月に中学校の学習指導要領⁵⁰⁾が改訂され，2002（平成 14）年 4 月に施行された。この学習指導要領では，理科の授業時数はさらに減少し過去最低となった。この改訂から第 1 分野と第 2 分野それぞれの最後にまとめの単元が設置され，放射線に関する記述は，第 1 分野のまとめの単元「(7) 科学技術と人間 ア エネルギー資源」で扱われるように変更された。また，その内容も「人間が利用しているエネルギーには水力，火力，原子力など様々なものがあることを知るとともに，エネルギーの有効な利用が大切であることを認識すること。」と簡潔に書かれるのみであ

った。

高等学校の学習指導要領⁵⁵⁾は、中学校の約3か月後の1999（平成11）年3月に改訂、2003（平成15）年4月から施行となった。また、理科の科目構成が変わり、理科基礎（2）、理科総合A（2）、理科総合B（2）、物理、化学、生物、地学のそれぞれⅠ（3）とⅡ（3）となった。学習指導要領に記載されている放射線に関する項目は、総合理科Aと物理Ⅱだけであった。

【理科総合A】

内容（2）資源・エネルギーと人間生活 ア 資源の開発と利用（ア）エネルギー資源の利用 蓄積型の化石燃料と原子力及び非蓄積型の水力、太陽エネルギーなどの特性や有限性及びその利用などについて理解させる。

内容の取扱い（2）イ 内容の（2）のアの（ア）については、多様なエネルギー資源が発電や熱源に利用されていること及び蓄積型のエネルギー資源の成因、分布、埋蔵量の有限性並びにこれらがエネルギーとして利用できる過程についての概略を扱い、環境への配慮が必要であることにも触れること。その際、羅列的な扱いはしないこと。原子力に関連して、天然放射性同位体の存在や α 線、 β 線、 γ 線の性質にも触れること。

【物理Ⅱ】

内容の取扱い（2）エ 内容の（4）のアの（イ）については、水素原子の構造を中心にスペクトルと関連させて扱うこと。イの（ア）については、放射線及び原子力の利用とその安全性の問題にも触れること。

これまでの学習指導要領の記述を比べると、この学習指導要領からは、「放射能」という表現が削除され、間違いやすい用語の取り扱いに配慮されたように思われた。

3.3.8 2008（平成20）年中学校理科と2009（平成21）年高等学校物理

2008（平成20）年3月に中学校学習指導要領^{33) 34)}が改訂された。この改訂では、基礎的・基本的な知識・技能の習得や思考力・判断力・表現力等の育成のバランスなどを掲げており、理科、数学などの授業時数を増やした。全面実施は、2012（平成24）年からとしていたが、理科と数学は2009（平成21）年から2011（平成23）年までの

3 年間で先行実施を促されていた。先行実施の期間中は、従来の教科書から増えた単元相当の補足教材を配布し、より早い授業内容の移行が求められていた。

この学習指導要領では、放射線に関連した記述は次のように増加（復活）した。「第1 分野 (7) 科学技術と人間 ア エネルギー (イ) エネルギー資源 人間は、水力、火力、原子力などからエネルギーを得ていることを知るとともに、エネルギーの有効な利用が大切であることを認識すること。」また、この内容の取り扱いとして「放射線の性質と利用にも触れること。」と書かれていた。放射線に関連する岡村定矩らの東京書籍の教科書^{62, 66)}の記述を図 3.15 と図 3.16 に示した。

【放射線の性質】原子力発電では、ウランなどの核燃料から放射線^{★1}が発生する。放射線には、宇宙空間から降り注ぐものや、自然界に存在する放射性物質から出るものなどもあり、わたしたちは日常的にある程度の放射線を浴びている。放射線はその透過性を利用して医療に利用されたり、物体内部の検査に利用されたりしている。

一方、人体や作物の内部に入ると悪影響をあたえる場合があるので、原子力発電では災害などに対し万全の備えをして、放射線や放射性物質がもれないよう、安全に配慮しなければならない。＜やってみよう＞放射線測定器や霧箱などを使って放射線について調べてみよう。

★1 放射線には、α線、β線、γ線などの種類がある。

★2 CTはコンピュータ断層撮影（Computed tomography）の略

★3 シーベルト（Sv）は、放射線が人体に与える影響を表す単位。1000mSv=1Sv

図 3.15 2012（平成 24）年 2 月発行 岡村定矩ら 新しい科学 3 年⁶²⁾ 204 ページ

3 放射線の性質と利用

＜レッツトライ＞

身の回りには、レントゲン検査など、放射線を利用している物がある。一方、原子力発電など、事故によって放射線の影響が生じる場合もある。まずは放射線について、知っていることをあげよう。

放射線は地球が誕生する前から宇宙に存在していた。放射線を出す物質を**放射性物質**という。放射性物質が放射線を出す性質（能力）を**放射能**といい、その単位は**ベクレル**（記号 **Bq**）である。

科学が進歩して生活を豊かにするために、人間は自然にある放射性物質を制御してエネルギーを利用したり、人工的に放射線をつくってさまざまな形で利用したりしてきた。しかし、放射線は私たちのからだに影響をあたえることを忘れてはならない。

？ 放射線にはどのような性質があるのだろうか。また、その利用にはどのような課題があるのだろうか。

| 放射線の種類 |

放射線とは、原子核から出る高速の粒子の流れや、**X線**や**γ線**などの電磁波の総称である。

高速の粒子がヘリウムの原子核なら **α線**、電子なら **β線**、中性子なら **中性子線**とよばれる。放射性物質の原子核は不安定で別の原子核に自然に変わっていく。これを、原子核の壊変（崩壊）といい、このときに放射線が出る。放射線は目には見えない。

放射性物質には、ウランなど地下にある物、放射性カリウムのように植物や動物などの中にある物、ラドンのように空気中にある物がある。自然にある放射線を自然放射線という。宇宙からも自然放射線が地球に降り注いでいるが、大部分は地球の大気に吸収される。このほかに人間が人工的につくり出す放射線がある。農業や医療、工業など、現代社会で利用されているのは主に人工放射線である。

<調べよう>

放射線測定器や霧箱などを使って、放射線について調べてみよう。また、身近な放射線量を測定しよう。

| 放射線の性質とその利用 |

放射線には物質を通りぬける性質（透過性）や物質を変質させる性質があり、現代社会ではこれらの性質を利用している。レントゲン検査、CT、PETでは放射線の透過性を利用して、からだを傷つけることなく内部を見ている。また、ジャガイモを長期保存できるように放射線を当てて発芽しないようにすることや、農作物の品種改良などにも放射線が使われている。タイヤのゴムやプラスチックなどに放射線を当てて、よりよい性質の物に変えることも行われている。

｜放射線の人体への影響｜

放射線は、細胞を死滅させたり細胞内の DNA を損傷させたりする。死滅や損傷がわずかなら、人体への影響は小さくてすむ。しかし、短期間にきわめて多量の放射線を受けると人間は死亡する。それほど量の量でなくても、多量の放射線を受けると人体に影響が出る。受けた放射線量の人体に対する影響を表す単位はシーベルト（記号 Sv）である。受けた放射線量と、がんなどの病気の発生率の関係は、特に少量の放射線を長く受け続けたときの影響については、まだ正確にはわかっていない。

放射性物質は厳重に管理して、人が不要な放射線を受けることがないようにしなければならない。放射線から身を守るには、①放射性物質からはなれる、②放射線を受ける時間を短くする、③放射線をさえぎるが3原則である。

<半減期>

右図のように、放射能は時間とともに減っていく。残っている放射能がもとの半分になるまでの時間を半減期といい、放射性物質の種類によってその時間は異なる。

<まとめ>放射線には、物質を通り抜ける性質や変質させる性質がある。多量の放射線を受けると危険なので、放射線の利用には厳重な管理が必要である。

<学びを活かして考えよう>

多量の放射性物質が空气中に広がった場合について、人体への影響を最小限におさえる方法を考えよう。

放射線から身を守るために

私たちが放射線を受ける経路には、外部被ばくと内部被ばくの2つがあります。同じ量の放射線を受けた場合、人体が受ける影響は同じです。内部被ばくは体外に放射性物質が出るまで被ばくを受け続けます。したがって、放射性物質を体内にとりこまないこと、体内から早く排出することが大切です。

放射性物質が皮膚や衣服、住居や土地に付着した状態を汚染といいます。付着した放射性物質がとり除かれるまで、人体に影響を与えます。汚染された土や樹木の表面の放射性物質をとり除く除染作業を行うことで、放射線量を低減することにつながります。

<学んだことをつなげよう>

貴重な資源やエネルギー，科学技術を次の世代に引き継いでいくために，私たちが意識していくべきことは何だろうか。

図 3.16 2016（平成 28）年 2 月発行 岡村定矩ら 新編 新しい科学 3 年⁶⁶⁾

280～283 ページ

高等学校の学習指導要領は，2009（平成 21）年 3 月に改訂³⁷⁾され，2012（平成 24）年から数学と理科で先行実施，2013（平成 25）年から全面実施された。これまで同様，理科の科目構成が変更され，科学と人間生活（2）の他に，物理基礎（2），化学基礎（2），生物基礎（2），地学基礎（2）と，物理（4），化学（4），生物（4），地学（4）が設定された。学習指導要領に記載されている放射線に関する項目は，科学と人間生活と物理基礎，物理だけであった。

【科学と人間生活】

- 3 内容の取扱い イ 内容の（2）のアの（ア）については，光の波としての分類や性質，電磁波の利用に関して，観察，実験などを中心に扱うこと。その際，「電磁波の利用」については，電波やX線にも触れること。

【物理基礎】

- 3 内容の取扱い イ 内容の（2）のエの（ア）については，電気エネルギーへの変換を中心に扱うこと。「原子力」については，関連して放射線及び原子力の利用とその安全性の問題にも触れること。

【物理】

- 3 内容の取扱い エ 内容の（4）のアの（イ）については，光電効果，電子線回折などを扱い，X線にも触れること。

3.4 教科書における放射線の記述量の変化

前節までで，放射線に関係した学習指導要領の記載の変遷と，東京書籍の教科書の具体的な記述についての調査結果をまとめた。なお，調査対象を東京書籍の教科書としたのは，戦後から現在まで中学校と高等学校の理科の教科書の出版を継続している出版社だったからである。本節では，戦後の中学校の理科教科書の放射線に関連した

内容が書かれているページ数の変化を比較する。

図 3.17 に、1952（昭和 27）年から 2016（平成 28）年までの東京書籍の教科書に記載されていた放射線についてのページ数の変化を示した。放射線に関する教科書の記述の量や質は、1952（昭和 27）年の教科書の記述が最も多かったが、1954（昭和 29）年に半減していた。しかし、そこから再び増加し、1965（昭和 40）年をピークに、それ以降再び半減していた。

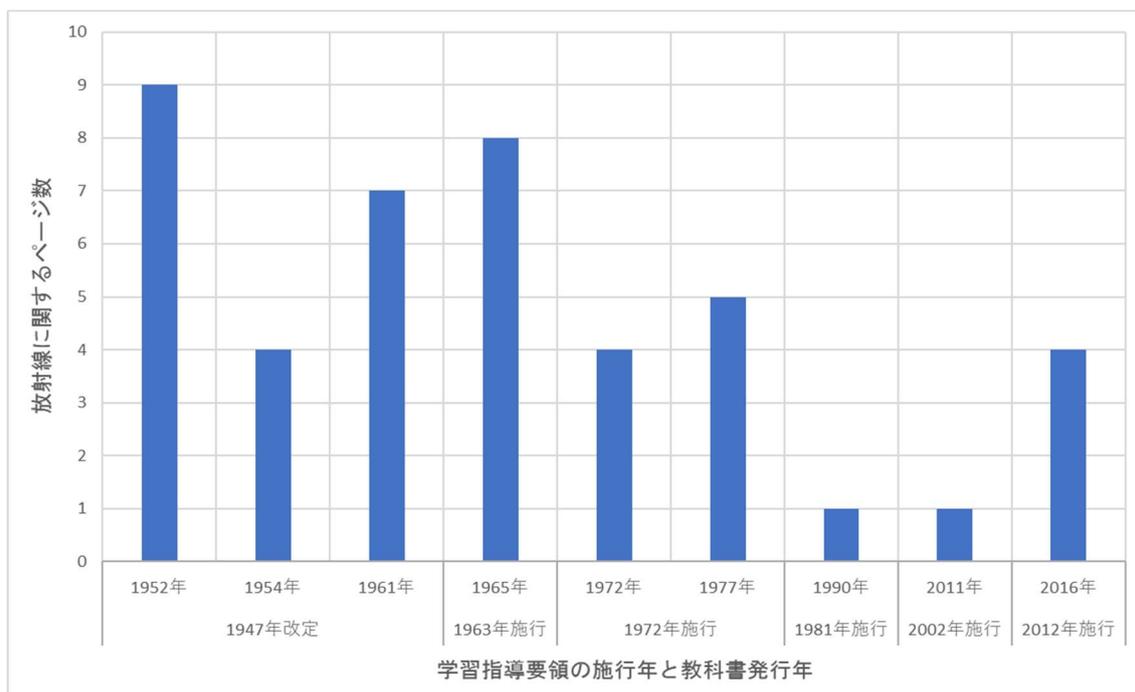


図 3.17 東京書籍の教科書発行年と放射線に関する記述のページ数の変化

1952（昭和 27）年のページ数が多い理由は、複数の学年に渡って、放射線や X 線の発見の歴史に関する記述がなされていたためであった。1977（昭和 52）年の学習指導要領の改訂で放射線の記載はなくなったが、教科書には「放射能」という語句が掲載（図 3.14 を参照）されていたため 1 ページとした。一方、2011（平成 23）年の改訂で、学習指導要領に放射線の記載が戻ってきたにも関わらず、記載ページ数が 1 ページしかなかったのは、30 年間も記載されてこなかった内容をどのように取り上げれば良いか、悩んでいたように見える。

表 3.1 に 2011（平成 23）年の改訂後の各社の教科書の放射線に関するページ数と記載されているキーワード（教科書の太字）をまとめた。また、学習指導要領の改訂から約 5 年後の教科書内容の見直し（教科書改訂）による放射線関連の記載ページ数を

2016（平成 28）年の欄に載せた。表 3.1 からわかるように、現在の学習指導要領の改訂の当初は、放射線の記述を実施してはみたものの、各社ともその内容は控えめであり、教科書各社で様子を見合っているような状況であった。しかし、2016 年には、各社とも記載ページが大幅に増加し、キーワードの数も劇的に増えていた。これは、2011 年に東北地方太平洋沖地震で発生した津波による東京電力福島原子力発電所の事故によって、放射線に関する知識や学習が足りないのではないか、という社会からの要請の結果だと思われる。

表 3.1 現行の学習指導要領における教科書の放射線に関する記述

		東京書籍 ^{62,66)}	大日本図書 ^{2,3)}	教育出版 ^{15,16)}	啓林館 ^{78,79)}	学校図書 ^{74,75)}
2011年 ページ数		1	3	1	1	1
太字	放射線	○	○	○	○	
2016年 ページ数		4	4	2	2	3
太字	放射線	○	○	○	○	○
	放射能	○				○
	放射性物質	○				○
	X線	○			○	
	α線	○			○	
	β線	○			○	
	γ線	○			○	
	中性子線	○			○	
	シーベルト	○				○

3.5 放射線の学習の変遷から考察される問題の所在

今からおよそ 120 年前のレントゲンによる「何でも透過してしまう未知の光線」である X 線の発見は大きな社会問題となり、その正しい理解のためにも学校教育でも早くから学習されてきたことを確認することができた。その後、日本では広島、長崎に原子爆弾が降下され、放射線による影響も含め多大な被害を受けた。当時は、放射線に対する知識も、放射線が生物に与える影響の研究なども少ない時代であった。当時の市民にとって、原子爆弾は放射線であり、恐怖で危険なものという図式ができあがってしまうことは容易に想像できる。

本来なら、その後の研究によって放射線について得られた知見を広く提示し、その危険性と安全性や有用性などを、学校教育や社会教育を通じて伝える必要があったと

考えられる。しかし、学校教育における放射線の学習は、そのようにはなされてこなかった。

1960年代には、原子力発電所の建設や放射線を用いた様々な科学・技術の発展があり、社会における放射線の正しい知識や理解の要請は増加したと考えられるが、学校教育、特に義務教育では、授業時数や学習内容の大幅削減を理由に、放射線に関する学習の単元は削除されてしまった。基礎科学をはじめとする多くの分野で、放射線を用いた様々な実験や研究、開発がなされているにも関わらず、その基礎となる放射線の学習については、高校で物理を選択した生徒に対してしか、学習する機会が与えられなくなってしまったのである。

そこで、中学校の学習指導要領において放射線の学習が行われてこなかった約30年の間に、高等学校では放射線の学習をどのように実施していたのかについて、調べる必要があると考えた。

一方、この約30年の間は、高校の理科も選択制が進み、結果的に放射線について全く触れることがないまま、大学に進学したり、教員になったり、社会人になるのが普通であるという状態が続いていた。しかし、2008（平成20）年の学習指導要領³³⁾の改訂で、再び中学校で放射線に関する基礎知識やその利用について学習することになった。このように30年もの間、学習単元から削除されていた単元に対する授業を、現在の中学校の理科の授業では、どのように実施されているのであろうか。また、そのような授業を受けた生徒は、放射線に対してどのような意識を持つのであろうか。

今後、中学校で展開される放射線の学習をどのように展開することが望ましいのかを考えるために、上述した問題について整理し、それらの問題を解決するための糸口を見いだすことが重要であると考え、本研究を進めていくこととした。

第4章 本研究の目的

第3章では、日本の中等教育における学習指導要領での放射線の学習についての記述と、中学校の教科書における放射線の学習に関する記述の変遷をまとめ考察を行い、義務教育、特に中学校での放射線の学習に関連する問題点について触れた⁹⁾。第1章で述べたように、中学校理科の放射線の学習における3つの観点

- A) 放射線が、長期間に渡って、中学校の理科の授業で学習されてこなかったことは、放射線の学習にどのような影響を与えたのか。
- B) 中学校における放射線の授業をどのように展開したらよいか。
- C) 放射線の学習を進める上で、どのような問題点があるのか

に基づいて、第3章で言及した放射線の学習に関する問題点を次のように整理した。

- ①中学校で放射線の学習が行われなくなってから約30年間の間に、高等学校では放射線の学習はどのように実施されていたのか。
- ②2008（平成20）年の中学校学習指導要領の改訂で、放射線に関する基礎知識やその利用についての学習を行うように変更されたが、実際に授業は実施されているのか。
- ③2008（平成20）年の中学校学習指導要領の改訂で変更された放射線の学習によって、どのような知識が得られるのだろうか。
- ④2008（平成20）年の中学校学習指導要領の改訂で変更された放射線の学習によって、生徒の意識はどのように変化するのだろうか。
- ⑤中学校の理科学習の中で、放射線の学習をどのように位置づけることができるか。
- ⑥中学生が放射線の学習を進める上で、どのような問題点があるのか。

本研究では、これらの点を明らかにするために、次のようなアンケート調査を実施し、その結果について考察を行った。

まず、放射線の学習に関して学習指導要領に記載されていなかった30年間の影響を調べるために、2011（平成23）年以前に中学生であった大学生を対象としてアンケー

トを実施した。このアンケートは、被験者が高等学校に在学中の物理の授業で実施された実験に対する調査であり、放射線の学習を含む演示実験や生徒実験の実施状況を調査し、その結果から、放射線に関する実験の実施状況を調べた⁸⁾ (第5章)。

次に、2011(平成23)年の中学校学習指導要領改訂後に、中学校を卒業し高校に進学した生徒を被験者として、中学校に通っていたときに実施された放射線の授業の実施、及びその内容や時期について、アンケート調査を行った(第6章)。

それらの結果を基礎として、2011(平成23)年の学習指導要領の改訂では、中学生が放射線の学習を行うことになったが、その際の授業の進め方について再検討を行い、3年間を通じて放射線を学習する授業モデルを提案した。そのモデルに基づいて、中学生に対して放射線の授業を実施し、その知識面の効果と情意面の効果について調査を行った¹⁰⁾ (第7章)。

以上の結果より、中学校における放射線の学習の実態を把握し、その改善のための提案の検証を行い、中学生に対するより効果的な放射線の学習を提案することが本研究の目的である。

第5章 高等学校物理授業における放射線学習の実態調査

この章では、中学校で放射線学習が行われてこなかった1981（昭和56）年中学校学習指導要領施行／1982（昭和57）年高等学校学習指導要領施行から、2012（平成24）年中学校施行、2013（平成25）年高等学校施行までの約30年の間に、高等学校では、どのように放射線の学習が行われていたかについて明らかにする。ここで、高等学校の放射線学習の状況に注目したのは、それまでは中学校で学習されていた放射線の内容が、1981年施行の中学改訂で高等学校の理科Ⅰに移行され、1994（平成6）年施行の高等学校改訂で理科総合、物理ⅠA、ⅠBに、2003（平成15）年施行の高等学校改訂では理科総合A、物理Ⅱに移行された経緯があるからである。

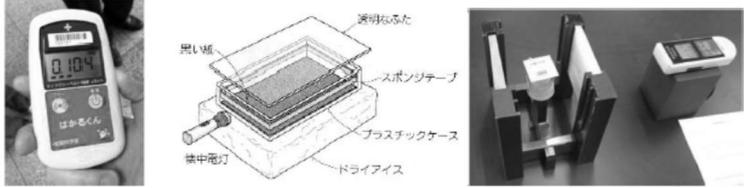
ここでは、山崎ら^{87, 88)}と同様の方法で、大学生に対する高等学校での物理実験や放射線の授業や実験の実施について、アンケート調査を行った。なお、今回の調査対象とした大学生も山崎らが調査対象とした大学生も、高等学校に通っていた時期は2005～2012年度であるため、前学習指導要領（高等学校：2003（平成15）年施行）の対象学年である。一方、山崎らの調査は、この学習指導要領が変更された直後とその3年後のものであり、林ら⁸⁾の調査（以下、本調査）は、この学習指導要領の終盤の結果である。

5.1 調査アンケートの概要

アンケートは、2014年度の東京都内の2つの大学の理系学部の理科教育法の講義内で実施した。調査対象の合計97名にアンケートを行い、高等学校で物理Ⅰと物理Ⅱを履修していた62名を集計対象とした。調査アンケートの用紙には、山崎らが用いた当時の教科書に掲載されている42の実験項目に放射線に関する2項目（遮蔽実験と測定実験）を加えた44項目を掲載した。調査アンケートでは、山崎らの方法と同様に、項目ごとに、生徒実験と演示実験の実施の有無と、印象に残っている生徒実験と演示実験と、放射線に関して印象に残っている実験や講義を回答させるものであった。図5.1に放射線に関する調査アンケートを示した。

調査アンケートは、山崎らと同様に、生徒実験、演示実験それぞれ別々に集計を行い、それぞれの実施の割合を比較した。

E. 放射線



	① 放射線計測実験	② 霧箱	③ 遮蔽実験
生徒実験			
演示実験			

<中略>

3. あなたの学んだ高校物理授業で、放射線に関する講義や実験・実習はありましたか。あった場合には、授業で印象に残っていることや、印象に残った実験を教えてください。

あった ・ なかった （どちらかに○印を）

印象に残っていること（講義など）

印象に残っている実験

図 5.1 調査アンケート用紙（放射線に関する質問）

5.2 物理実験の実施状況と放射線に関する実験の実施状況

本調査と、山崎らが実施したアンケート調査^{87), 88)}の結果を図 5.2～5.5 に示した。山崎らの調査では、2006 年と 2009 年の実験の実施の傾向に大きな差は見られなかったとしているので、ここでは、本調査の実施状況と山崎らの 2009 年の調査⁸⁸⁾の結果との統計的な比較を行った。

図中には、それぞれの実験項目ごとの割合と、2014 年の実験項目の実施の割合と 2009 年の実験項目の割合を χ^2 検定によって統計的に調査し、1 % 水準で有意差が認められた場合には ** を、5 % 水準で有意差が認められた場合には * を、有意差が認められない場合には n.s. をグラフ中に記した。

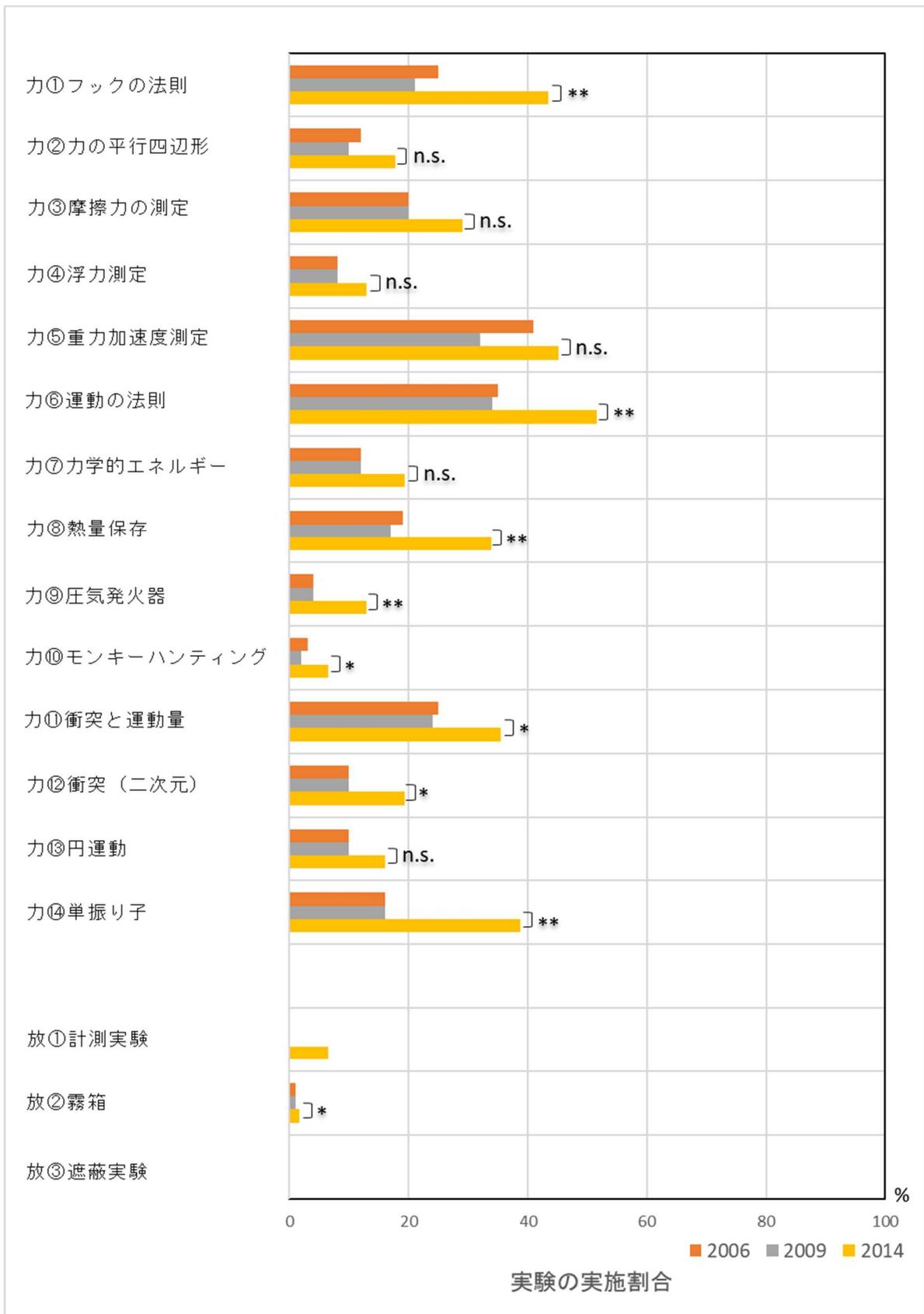


図 5.2 生徒実験で行った項目 (力学・放射線)

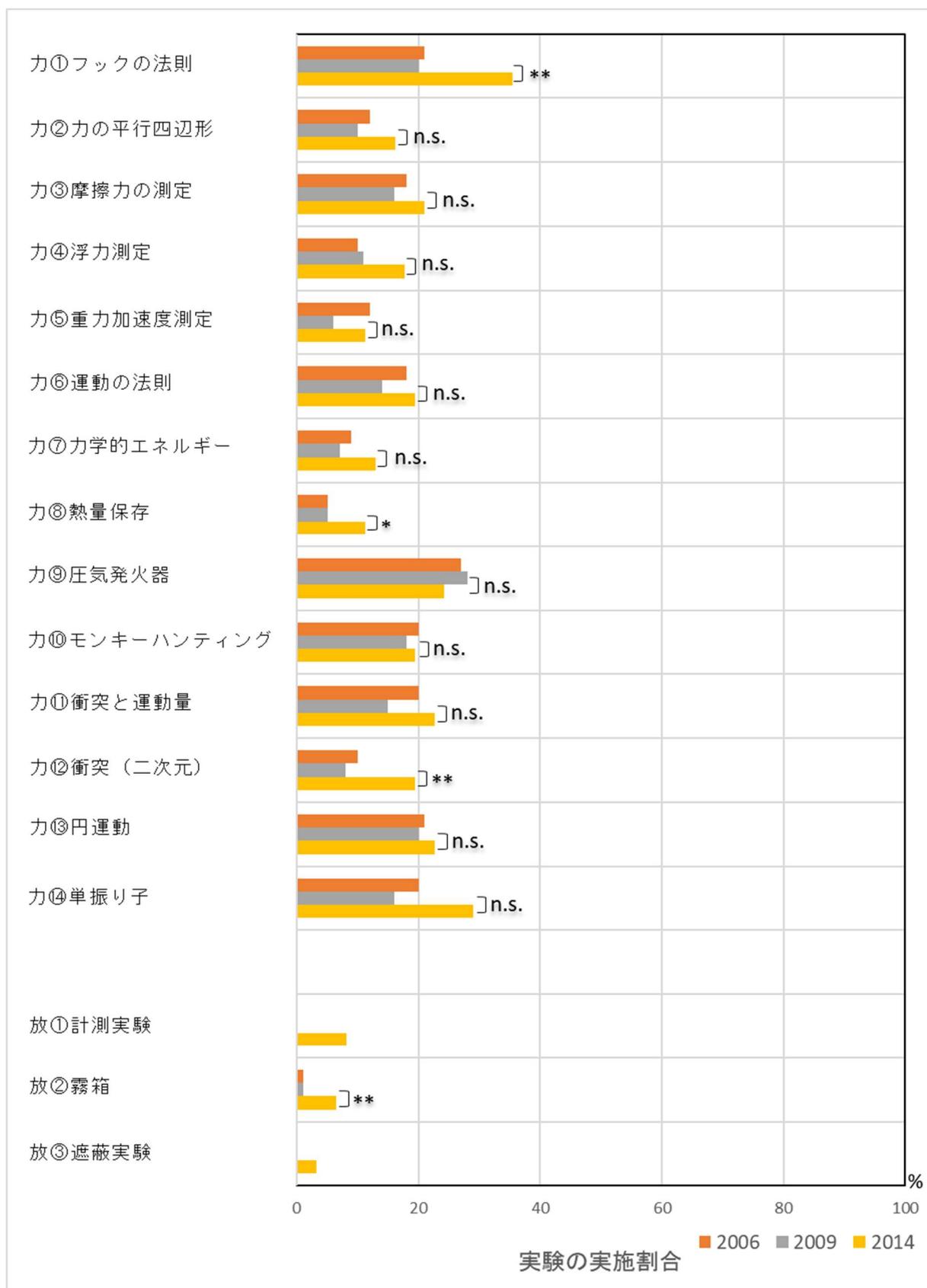


図 5.3 演示実験で行った項目（力学・放射線）

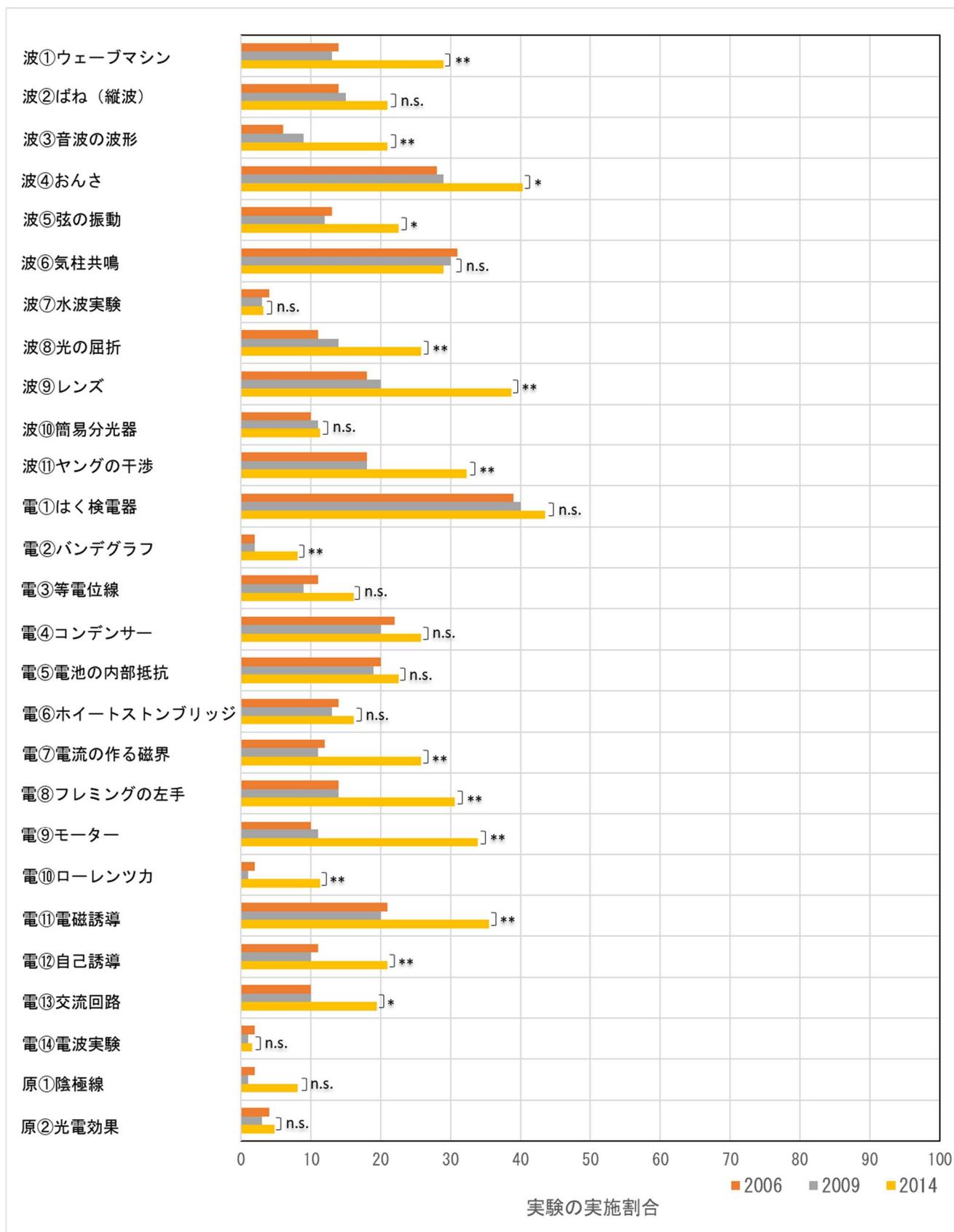


図 5.4 生徒実験で行った項目（波動・電磁気・原子）

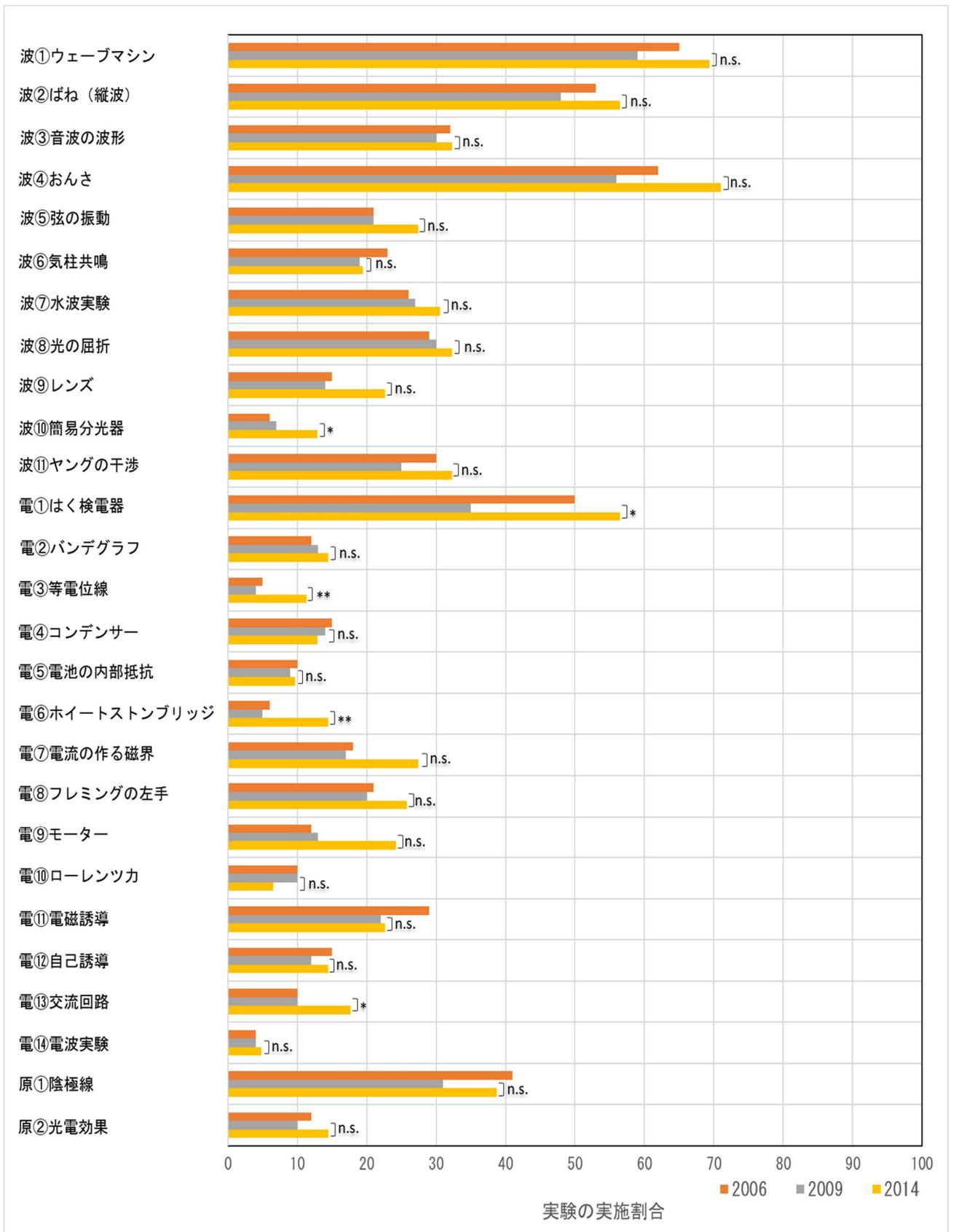


図 5.5 演示実験で行った項目 (波動・電磁気・原子)

それぞれの実験項目毎に比較すると、44項目中19項目で生徒実験を行う割合が有意に増加し、10項目で演示実験を行う割合が有意に増加しており、全体的には生徒実験が増加していることがわかった。表5.1に、生徒実験、または、演示実験の経験の多い項目をまとめた。

表 5.1 実験経験の多い上位5項目の実験

2014年			2009年
順位	分野	実験名	順位
1	波動	おんさ	1
2	波動	ウェーブマシン	3
3	電磁気	はく検電器	2
4	波動	ばね（縦波）	4
5	力学	運動の法則	5

表5.1より、本調査が、東京都内という限定された地域を対象としており、山崎らの調査から5年経過しているにも関わらず、実験経験の多い項目の順位が、ほぼ変化していないことがわかる。図5.2～5.5と比較すると、これらの項目のうち、おんさ、ウェーブマシン、はく検電器、ばね（縦波）の4項目は、演示実験の割合が非常に大きく、運動の法則は生徒実験の実施の割合が大きいことがわかる。4項目の演示実験が多い理由として、実験準備や実験の実施が容易であり、教員が演示中に失敗することの少ない項目であることが考えられる。一方、本調査の生徒実験の項目として、運動の法則の実験や重力加速度の実験の割合が高くなっており、どちらも半数近くの生徒が実施していた。これらの実験は、紙テープを使った実験であり、どちらも標準的で基本的な実験である。

一方、生徒実験、または、演示実験で実施されていない項目5つを表5.2にまとめた。放射線の遮蔽実験や放射線の測定実験は、山崎らの調査項目にないので、2009年の順位については空欄にしてある。

表 5.2 実験経験の少ない下位5項目の実験

2014年			2009年
順位	分野	実験名	順位
44	放射線	遮蔽	
43	電磁気	電波実験	41
42	放射線	霧箱	42
41	放射線	放射線測定	
40	電磁気	ローレンツ力	40

実験経験の多い上位 5 項目と同様に、実験経験の少ない下位 5 項目も、2014 年の調査と 2009 年の調査の順位ではほぼ同じであった。実験経験の少ない項目は、測定装置や実験装置、あるいは線源などの事前の準備に手間のかかる実験であることがわかる。

5.3 放射線に関する学習の実施状況

アンケート用紙には、「あなたの学んだ高等学校物理授業で、放射線に関する講義や実験・実習はありましたか。」という質問を実施した。回答は、「あった・なかった」の二者択一であった。この回答の集計結果では、物理Ⅱを履修した 62 名中「あった」と答えたのが 24 名(39%),「なかった」と答えたのが 38 名(61%)であった。この結果は、物理Ⅱを履修したとしても、履修者の半分以下の生徒しか、放射線の授業を受けていなかったことを示している。

また、放射線に関する「授業で印象に残っていることや、印象に残った実験を教えてください。」という自由記述の回答として、「学校内を放射線量をはかりながら歩いた」、「実験はなかったがテレビなどのメディアが放射線についての知識が思ったよりいいかげんに語っているのに驚いた」、「放射線計測実験：地震が起こり放射能の問題が世間に広がり、それが身の回りでどれほど存在するのかを実際に知ることができた」(原文)などの意見があった。

当時の学習指導要領(1999(平成 11)年改訂, 2003(平成 15)年施行)⁵⁵⁾では、物理Ⅱの内容として、(1)力と運動、(2)電気と磁気、(5)課題研究については、「全ての生徒に履修させること」とされている一方、(3)物質と原子、(4)原子と原子核については、「生徒の興味／関心等に応じていずれかを選択することができる」とされていた。つまり、放射線が書かれている(4)原子と原子核の学習を選択しない学校で学んだ生徒は、放射線の学習を行うことがなく、その割合が約 6 割であったことがわかる。ただし、調査対象の学生が高校生だった時期が、東北地方太平洋沖地震の直後でもあったため、学校によっては単元を飛び越えてトピックスとして講義や実験を行っていることも想定され、山崎らの調査による割合より高めになっている可能性がある。

放射線の実験である霧箱の実施状況を、山崎らの 2009 年の論文⁸⁸⁾に記載されている調査結果と比較すると、生徒実験、演示実験ともに 1%程度であった実施状況は、2014 年には、生徒実験で 1.6%、演示実験で 6.5%と大きく上昇していた。 χ^2 検定を行うと、生徒実験で 5%の有意水準、演示実験で 1%の有意水準で差があることを確認す

ることができた。また、放射線に関する実験（霧箱，放射線計測，遮蔽実験）を演示実験で見た，あるいは，生徒実験で体験したという経験のある人数の割合は18%であった。これらの数値を鑑みると，大きく見積もっても物理Ⅱの履修者の約2割の生徒しか，放射線に関する実験を自分自身の目の前で確認する，あるいは，放射線の測定を体験するという経験を持っていないことがわかる。日本学術会議「提言 これからの高校理科教育のあり方」⁴¹⁾によると，当時の物理Ⅱの履修率は，約15%であるので，その約4割，つまり，高校生全体の約6%しか物理Ⅱの授業の中で放射線を学習しておらず，さらにその半分の約3%しか放射線の実験を体験していないことになる。

5.4 放射線を学習している高校生の割合

本調査は，2003（平成15）年に施行された学習指導要領⁵⁵⁾下での高校生の実態調査であったが，他の学習指導要領下での放射線の学習状況についても以下にまとめる。

表5.3は，高等学校の学習指導要領で規定されている理科の各科目とその選択方法である。表からわかるように，1963（昭和38）年施行の学習指導要領⁵¹⁾では，物理，化学，生物，地学の4科目必修であったが，1973（昭和48）年⁵²⁾以降は，理科の履修に関しては，一部の必修科目と選択必修科目から構成されている。

さて，1981（昭和56）年から施行された中学校の学習指導要領⁴⁸⁾から，放射線に関する単元が削除されたが，この単元は，1982（昭和57）年から施行された高等学校の理科Ⅰの科目の中に，「放射能」や原子力の利用やその安全性とともに移動されていた。文部科学省の当時の資料では，高等学校への進学率は約90%であるので，同年齢の約9割は，中等教育の中で放射線の学習に触れたことになるが，前章でも触れたとおり，理科Ⅰでは放射線やX線といった用語には触れられていなかった。なお，理科Ⅰに続く科目である物理では，放射線という用語を学習することになっていたが，先述の「提言 これからの高校理科教育のあり方」⁴¹⁾によると，この時期の物理の履修率は約3割であった。

改訂／施行年	必修科目	必修選択	選択	履修の条件（最低履修科目）
1947(昭和22)年改訂・施行		物理(5)		国民は5単位（大学進学の場合は10単位）
		化学(5)		
		生物(5)		
		地学(5)		
1956(昭和31)年改訂・施行		物理(3)または(5)		2科目選択（すべての生徒に履修させる科目）
		化学(3)または(5)		
		生物(3)または(5)		
		地学(3)または(5)		
1960(昭和35)年改訂		物理A(3)またはB(5)		普通科は、4科目必修
1963(昭和38)年施行		化学A(3)またはB(4)		普通科以外は、2科目選択
		生物(4)		
		地学(2)		
1970(昭和45)年改訂		基礎理科(6)		基礎理科1科目、または、Iを2科目
1973(昭和48)年施行		物理I(3)	物理II(3)	
		化学I(3)	化学II(3)	
		生物I(3)	生物II(3)	
1978(昭和53)年改訂	理科I(4)			理科I 全員必修
1982(昭和57)年施行			理科II(2)	
			物理(4)	
			化学(4)	
			生物(4)	
1989(平成元)年改訂		総合理科		総合理科、IAまたはIB、の5区分から2区分
1994(平成6)年施行		物理IA(2)		
		物理IB(4)	物理II(2)	
		化学IA(2)		
		化学IB(4)	化学II(2)	
		生物IA(2)		
		生物IB(4)	生物II(2)	
		地学IA(2)		
		地学IB(4)	地学II(2)	
1999(平成11)年改訂		理科基礎(2)		理科基礎、理科総合A、Bより1科目と
2003(平成15)年施行		理科総合A(2)		
		理科総合B(2)		
		物理I(3)	物理II(3)	
		化学I(3)	化学II(3)	
		生物I(3)	生物II(3)	
		地学I(3)	地学II(3)	
2009(平成21)年改訂		科学と人間生活(2)		科学と人間生活と基礎を付した科目2科目 または、基礎を付した3科目
2013(平成25)年施行		物理基礎(2)	物理(4)	
		化学基礎(2)	化学(4)	
		生物基礎(2)	生物(4)	
		地学基礎(2)	地学(4)	

次の1989（平成元）年の改訂⁴⁹⁾（1994（平成6）年施行）での放射線の学習は、中学校では削除されたままであったが、高等学校では総合理科と物理ⅠA、ⅠBで触れることになっていた。「提言 これからの高校理科教育のあり方」⁴¹⁾の当時の高等学校の履修率を見ると、総合理科3.6%、物理はⅠAとⅠBをあわせても49%である。文部科学省の「学校基本調査」^{32a)}によると、1994（平成6）年から2002（平成14）年の高等学校への進学率が約97%であることを考慮すると、同年齢の約半数の生徒しか、放射線の学習に触れていない計算になる。なお、この数値は、アジア原子力協力フォーラム（FNCA）の原子力広報プログラムが2002年に高等学校2年生1156名を対象に実施したアンケートの「放射線や放射能の学習の経験がある 51.6%」（FNCA ニュースレター⁶⁾）の数値とも一致していた。

1999（平成11）年の改訂⁵⁵⁾（2003（平成15）年施行）では、その履修パターンが複雑化しているため、科目の履修の実態を把握することが難しく、放射線の学習の状況を把握することは難しい。たとえば、当時の理科総合Aでは、放射線の学習をすることになっており、「提言 これからの高校理科教育のあり方」⁴¹⁾によると、その履修率は80%を超えている。つまり、物理ⅠやⅡを履修していなくても、約8割の生徒が放射線の学習をしていることが予想される。しかし、2014年のアンケート調査で物理ⅠとⅡを履修しなかった35名について調べてみると、放射線の学習をした生徒は6名しかおらず、その割合は約2割である。一方、前節で触れたように、物理Ⅰと物理Ⅱを履修した生徒については、約4割の生徒が放射線の学習をしていた。

5.5 まとめと問題点

この章では、1999（平成11）年に改訂⁵⁵⁾（2003（平成15）年施行）された学習指導要領による高等学校物理を履修した生徒を対象に、高等学校の物理Ⅰと物理Ⅱの授業内で受講した物理実験、特に放射線に関する実験の実施状況や、放射線の学習の実態調査の結果についてまとめた。

山崎らの2回の調査は、学習指導要領⁵⁵⁾（2003（平成15）年施行）が変更された直後とその3年後に実施されており、林らの調査は、現行学習指導要領³⁷⁾（2013（平成25）年施行）の直前に実施されたものである。これらの物理実験の実態調査の結果としては、よく実施される実験やあまり実施されない実験など、項目よる実験の頻度の

順位は、学習指導要領改訂直後でも次の改訂直前でもほぼ同じであることや、学習指導要領の改訂終盤になると、項目によって差は見られるが、全体的な実験の実施の割合が増加することを指摘できた。このことは、実施の頻度の少ない項目は、実施の頻度が低いままであることを意味しており、その項目には、放射線に関する実験が含まれていた。

さらに、放射線の学習に対して行った本調査によると、放射線の授業を受講した経験を持つ者の割合は、物理Ⅱを履修した生徒のうちの約4割であり、高等学校生全体の約6%であることを示すことができた。一方、物理Ⅱの履修に関わらず、放射線の学習の経験のある生徒の割合は8割程度であることが期待されたが、実態としては約2割しかいないことを示せた。このことは、戦後から1981（昭和56）年中学校学習指導要領⁴⁸⁾の施行前年までは、義務教育下で全員が放射線の学習に触れる機会があったにも関わらず、この学習指導要領が施行されて以後、2012（平成24）年中学校学習指導要領³³⁾施行／2013（平成25）年高等学校学習指導要領³⁷⁾施行の前年までの約30年の間は、放射線の学習を行う生徒の割合が低いままであったことを示すことができた。

しかし、2008（平成20）年の中学校学習指導要領の改訂³³⁾（2012（平成24）年中学校施行）で、再び全員が放射線の学習に触れることとなったため、中等教育で放射線の学習をする生徒の割合は、大きく変化していると考えられる。

そこで、2012年から施行されている学習指導要領³³⁾で学習している中学生は、どのような放射線の学習を受けているのか、また、放射線の学習は、どの学年のどの時期に実施されているのか等の実態調査を行うことにした。調査方法は、山崎らや林らと同様に、高等学校に入学した生徒に対してアンケートを実施し、卒業した中学校で受講した放射線の学習内容やその時期などについての回答を集計した。次の章では、それらの結果を報告する。

第6章 中学校理科授業における放射線学習の現状調査

前章では、1981（昭和56）年に施行された中学校学習指導要領⁴⁸⁾（理科）から、放射線の学習に関する項目が削除されたことによって、中等教育での放射線の学習や放射線に関連した実験に触れる機会が減少したことを示した。しかし、2008（平成20）年に中学校学習指導要領が改訂^{33, 34)}され、2012（平成24）年から中学校の理科の教科書に放射線の学習が再び記述されたことによって、生徒全員が放射線の学習に触れることとなった。このことは、中学校の理科教員にとっては、約30年もの長い間、学習活動の中では行われてこなかった放射線に関する内容を、通常の授業の中で生徒が学習するように変更されたことを意味しており、そのため、放射線に関する内容の授業を初めて行う理科教員が多いのではないかと予想された。そこで、放射線の学習が、中学校のどの学年のどの時期に、どのような内容で実施されているか等について、実態調査を行うこととした。本章では、中学校で行われている放射線の学習の実態調査の結果について、議論する。

6.1 調査アンケートとその結果

調査は、2016年4月と2017年4月に2年連続して行った。調査対象は、首都圏にある私立A高等学校の新入生、それぞれ約130名ずつである。対象となる新入生の多くは首都圏の公立中学校の卒業生であり、受験して入学を許可された生徒である。また、上記の新入生が卒業した中学校は各年およそ110校であり、同じ中学校を卒業した生徒は、最大でも3名であった。調査の実施時期は、2016年は入学直後のガイダンス期間（4月11～12日）、2017年は理科の最初の授業（4月13～19日）であった。

なお、調査対象の生徒が中学校に入学したのは2013年4月と2014年4月である。小学校や中学校では、学習指導要領の変更に伴う移行は、施行年に全学年一斉に行うため、調査対象の生徒は、2008（平成20）年改訂／2012（平成24）年施行の中学校学習指導要領^{33, 34)}への完全移行から2年目と3年目の学年である。そのため、各中学校における授業者も、授業の内容を把握している時期であると考えられる。

6.2 放射線の学習の実施状況

卒業した中学校における放射線の学習の実施状況に関する質問項目は、表6.1に示

す (1) ~ (3) の 3 点であった。

表 6.1 放射線の授業の実施状況の質問項目

1. 該当するものを○で囲んでください。
(1) 中学何年生の理科の授業で放射線の授業や学習はありましたか。
① 3 年生 ② 2 年生 ③ 1 年生 ④ 全学年 ⑤ やっていない
(2) 理科以外の授業で、放射線に関する授業や学習をしましたか。
① していない ② した
→どの教科ですか ()
(3) 放射線の授業で印象に残っていることがあれば、教えてください。

質問項目 (1) に対する回答を図 6.1 にまとめた。2016 年入学生より 2017 年入学生の方が、放射線の授業を実施した割合が増えていたため t 検定を行ったところ、5 % 水準で有意差が認められた ($P(T \leq t) = 0.017$)。しかし、どちらの年度についても、中学校で放射線の学習内容が必修になっているにもかかわらず、放射線の学習が実施されている割合は、48 % と 63 % しかなかった。また、放射線の学習をした学年は中学 3 年生のみだった、と答えた割合は、94 % (2016 年) と 100 % (2017 年) であった。

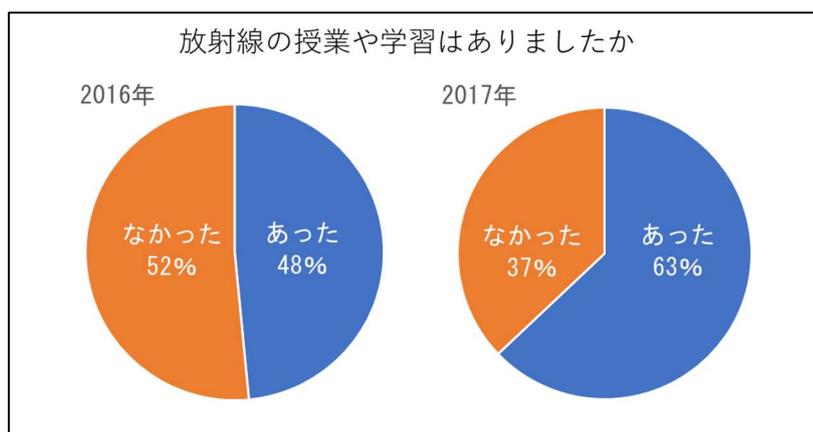


図 6.1 放射線の授業の実施状況

質問項目 (2) の、「理科以外の授業で、放射線に関する授業や学習をしましたか」については、6 % (2016) と 8 % (2017) の生徒が実施した経験があると答えた。教科

としては、社会科が最も多く、他に国語、総合、市民科、などの回答もあった。

質問項目(3)の「放射線の授業で印象に残っていることがあれば、教えてください」は自由記述であったが、何らかの回答を書いている割合は、17%(2016)と29%(2017)であった。回答の内容によって、次の1)から4)のグループに分類することができた。それぞれのグループの後に代表的な意見を記してある。

1) 放射線の負の面について触れている回答

危険。3.11以降の放射線被害／チェルノブイリ／大量の放射線を浴びて死んでしまった人がいること

2) 放射線の応用面について触れている回答

放射線が色々な技術に生かされていること／ガンマナイフという治療方法がある

3) 放射線の基礎知識について触れている回答

身近なところに放射線は存在していること／たくさん種類があり、通さないものがそれぞれ違うこと／半減期がすごく長いこと／霧箱の実験で放射線というものを実感することができたこと

4) 授業に対する不満について触れている回答

基礎的なことしかやっていないので、そんなに印象に残っていません／すぐ終わってしまった／あまり授業で触れなかったと思う／印象にない

6.3 放射線に対する基礎知識の調査

放射線に対する基礎知識の質問項目を表6.2にまとめた。

表 6.2 放射線の基礎知識に関する質問項目

- | |
|---|
| <p>2, 書いてある内容が正しいと思う場合には○, 誤っていると思う場合には×を書いてください。</p> <p>(1) 自然界にも放射線はあるから、放射線をどんなに浴びても心配する必要はない。</p> <p>(2) どんなに視力が良くても、肉眼で放射線を見ることはできない。</p> <p>(3) 放射線は、α線, β線, X線の3種類だけである。</p> <p>(4) 自然界にある放射線と人工的な放射線を比べると、同じ種類で同じ量であっても、異なる影響や効果をもたらす。</p> <p>(5) 放射線の存在を確かめるためには、測定器が必要である。</p> |
|---|

(6) 3.11 の津波による福島原子力発電所の事故が、世界で初めての原子力発電所での事故である。

(7) 次の放射線の単位の読みを () 内にカタカナで書いてください。

① Sv () ② Bq ()

(8) 放射線の量の大きい方を○で囲んでください。

① 1 μ Sv 0.1 μ Sv ② 10 μ Sv 0.1 mSv ③ 100 mSv 0.01 Sv

(9) 次の中から、中学校の授業で行ったことのある放射線に関する実験を○で囲んでください。

①放射線量の測定実験 ②霧箱 ③遮蔽実験 ④他

これらの質問項目は、文部科学省 科学技術政策研究所の「科学技術に対する国民意識の変化に関する調査」⁴⁰⁾にある設問「人は日常生活の中でも自然界から放射線を受けている」や、ウィメンズ・エナジー・ネットワークが実施した「くらしと放射線」のアンケート項目^{84, 85)}にある設問「私達は宇宙や大地，食物などから自然放射線とよばれる放射線をうけている」，「放射線にはエックス線，アルファ線，ベータ線，ガンマー線，中性子線，電子線などの種類がある」，「人体への影響は受けた放射線の種類や量によるが，人体が受けた量をシーベルトという単位であらわす」，「人工的に作られた放射線と自然界にある放射線は種類が同じなら性質に変わりがない」などを参考に作成した。

表 6.2 の質問項目に対する，2016 年入学者の放射線の授業を受けた生徒（2016 年 授業あり）と受けていない生徒（2016 年 授業なし）と，2017 年入学者の放射線の授業を受けた生徒（2017 年 授業あり）と受けていない生徒（2017 年 授業なし）の正答率を図 6.2 に示した。また，図 6.2 には，それぞれの質問項目について，放射線の授業を受けた経験の有無による正答率の違いについて χ^2 検定を行い，その結果に応じて，1% 水準で有意差が認められる場合には ** を，5% 水準で有意差が認められる場合には * を，10% 水準の傾向差を示した場合には † を，有意差が認められない場合には n.s. をグラフ中に記した。

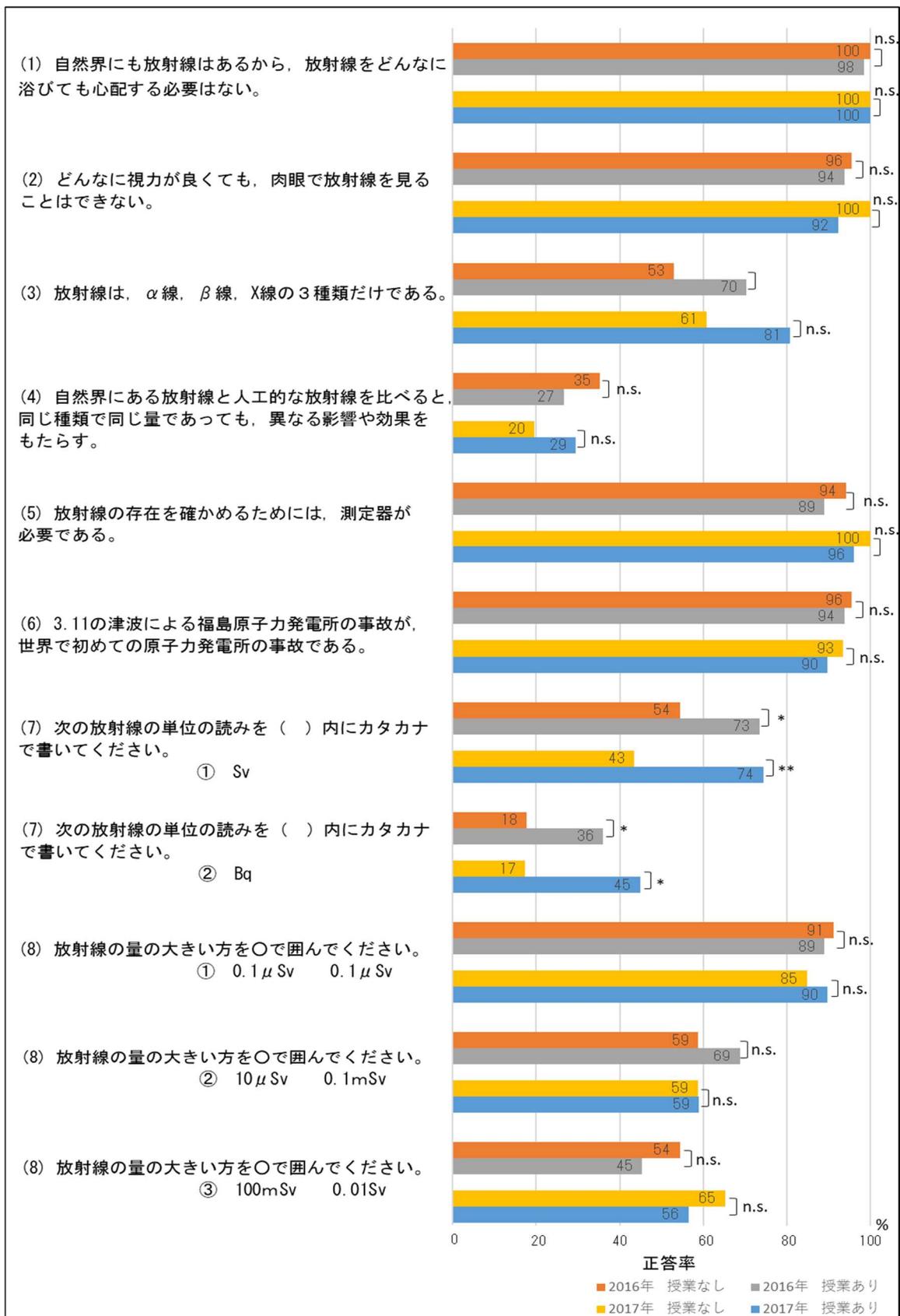


図 6.2 放射線の基礎知識の正答率

両年度の結果に共通していることは、次の A) ～D) の 4 点であった。

- A) 「(1) 自然界にも放射線はあるから、放射線をどんなに浴びても心配する必要はない。」、「(2) どんなに視力が良くても、肉眼で放射線を見ることはできない。」、「(5) 放射線の存在を確かめるためには、測定器が必要である。」、「(6) 3.11 の津波による福島原子力発電所の事故が、世界で初めての原子力発電所での事故である。」は、放射線の授業の経験の有無に関わらず (χ^2 検定によって両者に有意差は認められなかった)。正答率は 80 ～ 90 % 以上の高い値を示していた。
- B) 「(3) 放射線は、 α 線、 β 線、X 線の 3 種類だけである。」、「(7) 次の放射線の単位の読みを () 内にカタカナで書いてください。」の 2 項目については、授業を受けた生徒の方が、授業を受けていない生徒よりも正答率が高かった。なお、2017 年の(3)の回答についての χ^2 検定では $p(3.69) = .055$ であり、有意な傾向が認められた。
- C) 「(4) 自然界にある放射線と人工的な放射線を比べると、同じ種類で同じ量であっても、異なる影響や効果をもたらす。」は、放射線の授業の経験の有無に関わらず (χ^2 検定によって両者に有意差は認められなかった)、正答率は 20 ～ 30 % と他の設問の正答率よりも低い値を示した。
- D) 「(8) 放射線の量の大きい方を○で囲んでください。」では、単位の読み方はわからなくとも、同じ単位 (μSv) 同士であれば 80 % 以上の正答率になる。しかし、 μSv と mSv の比較や、 mSv と Sv の比較などでは全体に正答率が下がったが、放射線の授業の経験の有無による有意差は認められなかった。

また、「(9) 中学校の授業で行ったことのある放射線に関する実験」について、実験の経験のある生徒の人数の割合を表 6.3 に示した。放射線の授業を経験している生徒の約 2 割が線量測定の実験を経験しており、それ以上の生徒が霧箱の実験を経験していることがわかる。中学校の授業で放射線に関する実験を経験している生徒の割合は、生徒全員に対して、18 % (2016 年) と 24 % (2017 年)、放射線の授業を受けた生徒に対して、38 % (2016 年, 2017 年) であった。

表 6.3 中学校の授業で放射線に関する実験を行ったことのある人数の割合

	2016年 (132人)		2017年 (124人)	
	授業あり(64人) に対する割合	全員に対する 割合	授業あり(78人) に対する割合	全員に対する 割合
線量測定	17% (11人)	8%	19% (15人)	12%
霧箱	19% (12人)	9%	23% (18人)	15%
遮蔽実験	6% (4人)	3%	0% (0人)	0%

6.4 放射線に対する情意面の調査

放射線に対する情意面の質問項目を表 6.4 にまとめた。これらの質問項目は、(社)日本原子力産業会議(現 一般社団法人 日本原子力産業協会)が 2002 年に実施した「FNCA 各国高校生の放射線についての知識、関心等に関する合同アンケート調査」¹¹⁾(以下、「FNCA 調査」)の設問「あなたは、「放射線」に対してどのようなイメージを持っていますか 1 危険である 2 将来性がある 3 身近である 4 管理できる 5 危険なものである 6 不思議な力を持つ 7 気味が悪い」を参考にして作成した。

表 6.4 放射線に対する情意面の質問項目

<p>3. それぞれ点数をつけて () に記入してください。</p> <p>5: すごく思う 4: まあ思う 3: どちらとも言えない 2: あまり思わない 1: 全く思わない</p> <p>A: () 放射線は役に立つ</p> <p>B: () 放射線には将来性がある</p> <p>C: () 放射線は身近である</p> <p>D: () 放射線は危険である</p> <p>E: () 放射線は不思議な力をもつ</p> <p>F: () 放射線は気味が悪い</p>

これらの質問項目に対して、中学校で放射線の授業を受けた生徒と受けていない生徒の評定尺度の平均値を図 6.3 に示した。図 6.3 には、それぞれの質問項目について、放射線の授業を受けた経験の有無による評定尺度の違いについて *t* 検定を行った。

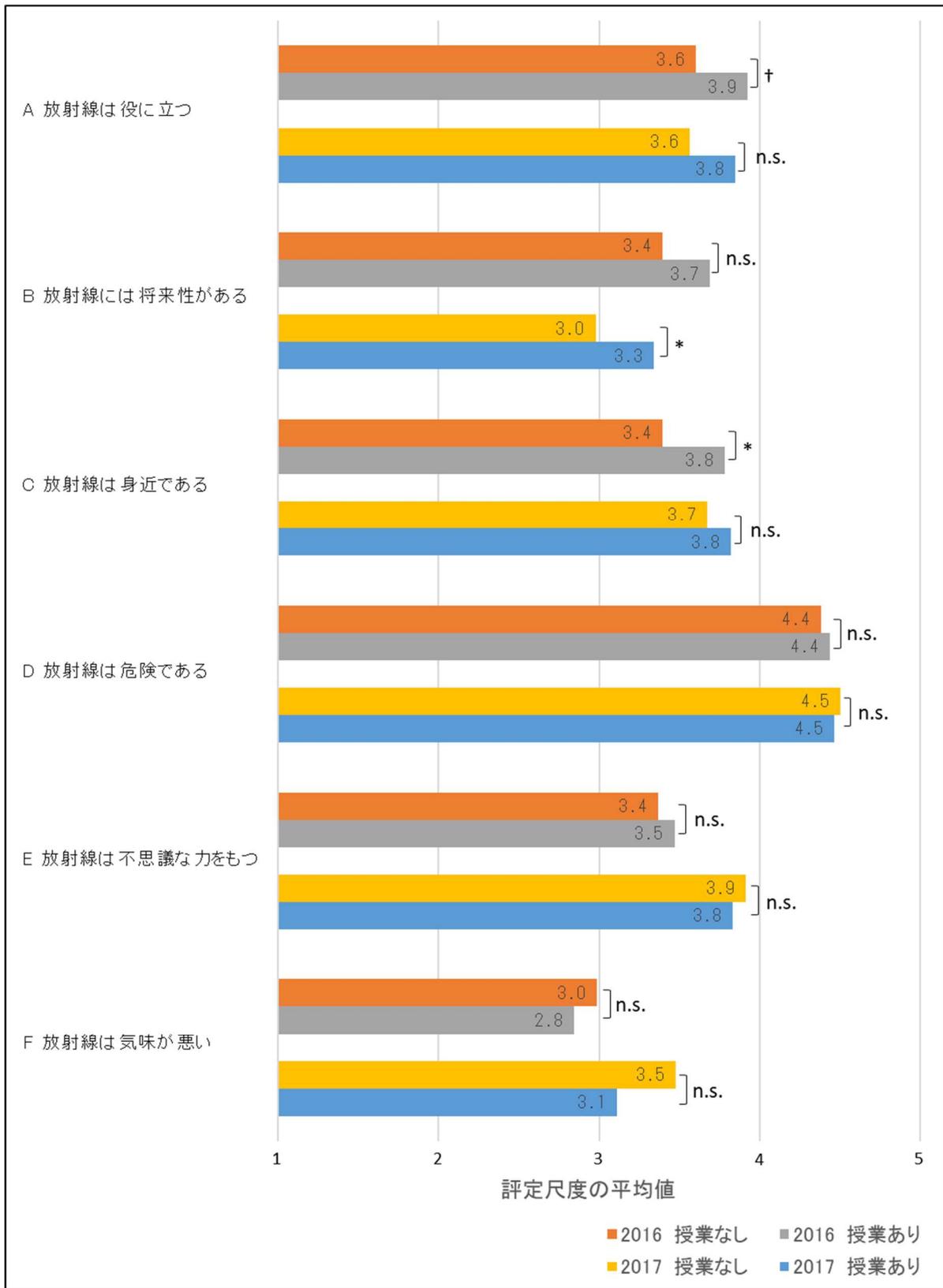


図 6.3 情意面における評価尺度の平均値

2016 年、2017 年ともに、授業の経験の有無に関わらず、「D 放射線は危険である」の評定尺度が最も大きく、4.4～4.5 の値を示していた。また、「A 放射線は役に立つ」、「B 放射線には将来性がある」、「C 放射線は身近である」の評定尺度は、放射線の授業を受けた経験のある生徒の評定尺度は、経験のない生徒の数値よりも大きく（2016 年の「C 放射線は身近である」、2017 年度の「B 放射線には将来性がある」については、5% 水準で有意差が認められた）、また、「F 放射線は気味が悪い」では、検定による有意差は認められないものの、授業を受けた生徒の評定尺度の方が小さな値を示す傾向であった。

6.5 考察

放射線の学習の実施状況、放射線に関する基礎知識、放射線に対する情意面、の 3 つの観点について、それぞれ考察を行う。

6.5.1 放射線の学習の実施状況

首都圏の中学校における放射線の学習の実施の割合は、5～6 割程度であった。その理由として、次の 3 点について考察した。まず、第 1 に、学習指導要領³³⁾³⁴⁾における放射線の記述が、「(7) 科学技術と人間生活 ア (イ) エネルギー資源」にあり、どの教科書でも、最後の単元に書かれていることがあげられる。教科書の最後の単元に書かれているため、①中学校の授業時数では放射線の単元まで学習が進まなかった、②高校受験のために生徒が欠席している時期に重なってしまい、放射線の授業の実施ができなかった、などにつながっている可能性がある。アンケートの自由記述にも、「すぐ終わってしまった」や「あまり授業で触れなかった」などがあり、授業の時間がたりなかったことを反映していると思われる。

また、第 2 として、高校入試ではあまり出題されない分野であるため授業を行わなかったという点がある。高校入試のため中学校の学習があるわけではないので、入試問題に放射線を出すようにすることは主客転倒ではあるが、中学校での放射線の学習が軽んじられている一因になっている可能性は否めない。

第 3 としては、教える教員が放射線を教えた経験がない、あるいは、自分自身が放射線を学習した経験がないという点が考えられる。中学校の教科書から放射線の学習が削除された 1981 (昭和 56) 年施行当時、中学校で新任だった教員 (22 歳) は、2016

年に 57 歳になっており、中学生だった場合には、2016 年に 50 歳を迎えている。学校教員統計調査^{32b)}（平成 25 年度）を用いて計算すると、1981 年に教員だったと思われる 55 歳以上の理科教員の全理科教員に対する割合は 19%，また、当時中学生以上の年齢である理科教員の割合は 46% であった。

6.5.2 放射線に関する基礎知識

6.3 では、放射線に関する基礎知識の正答率の結果について、A) から D) の 4 つの点にまとめた。以下、それぞれの項目について考察する。

A) 「(1) 自然界にも放射線はあるから、放射線をどんなに浴びても心配する必要はない。」、「(2) どんなに視力が良くても、肉眼で放射線を見ることはできない。」、「(5) 放射線の存在を確かめるためには、測定器が必要である。」、「(6) 3.11 の津波による福島原子力発電所の事故が、世界で初めての原子力発電所での事故である。」の各項目は、放射線の授業の経験の有無に関わらず高い正答率であった。つまり、中学校の授業で学習しなくても、生徒の普段の生活、つまり、家庭内や学校での会話、マンガやニュースなどから獲得できる知識であると解釈できる。「(1) 自然界にも放射線はあるから、放射線をどんなに浴びても心配する必要はない。」（誤答）、「(2) どんなに視力が良くても、肉眼で放射線を見ることはできない。」（正答）、「(5) 放射線の存在を確かめるためには、測定器が必要である。」（正答）と回答した生徒が多いということは、違う見方をすると「放射線は危険である」という先入観や、放射線に出会った記憶がないから、「身のまわり（自分の近く）に放射線はない（はずだ）」という生活体験に基づいて構築された素朴概念である、ということもできる。

「テレビや携帯電話の電磁波は見えないけれど身近にある」と同じように、「放射線も見えないけれど身近にある」という妥当な概念を獲得する必要がある。

B) 「(3) 放射線は、 α 線、 β 線、X線の3種類だけである。」、「(7) 次の放射線の単位の読みを（ ）内にカタカナで書いてください。」の中学校での放射線の学習によって、有意に正答率が上昇した2項目について考える。これらの設問は、どちらも知識を問う項目であり、これらの項目では、放射線の学習の効果を確認することができた。アンケート結果から、放射線の学習の時期が、高等学校に進学する直前の1月頃と回答しているものが多かったので、学習の直後だったのでまだ覚えていた、という生徒も混ざっていると思われる。今後は、放射線には性質によって種類があることや、放

放射線はある／なしの2値ではなく、多い少ないという量があることなどについて、実感を持って理解できているかを問う必要がある。

次に、C)「(4) 自然界にある放射線と人工的な放射線を比べると、同じ種類で同じ量であっても、異なる影響や効果をもたらす」について考察する。この設問は、中学校での授業の経験の有無に関係なく正答率の低い項目であった。学習指導要領には、自然放射線や人工放射線について書かれていないが、中学校の教科書には、「自然界にある放射線を自然放射線という。宇宙からも自然放射線が地球に降り注いでいるが、大部分は地球の大気に吸収される。このほかに人間が人工的に作り出す放射線がある。農業や医療、工業など、現代社会で利用されているのは主に人工放射線である」(東京書籍 新編新しい科学 3⁶⁶), 280~281 ページ)との説明がある。しかしどの教科書にも、自然放射線も人工放射線も、放出されている放射線が同じなら、同じ性質を持つことについては説明されていなかった。ある教科書には、「私たちは自然放射線をつねに受けながら生活しているが、量が少ないので問題はない。しかし、一度に大量の放射線を受けると、細胞やその中の遺伝子が傷つけられ、がんの原因になったり、死に至ることもある。」(学校図書 中学校科学 3⁷⁵), 262 ページ)との記述もあった。この表現も、「自然放射線は・・・問題ない。しかし、(つねに受けていない放射線＝人工的な放射線)・・・問題がある」という誤認識を誘発する表現であると思われる。この表現を、「私たちは自然放射線をつねに受けながら生活している。自然放射線でも人工放射線でも量が少なければ問題はないが、一度に大量の放射線を受けると、・・・」と修正するだけでも、自然放射線と人工放射線が与える影響は同じであることを示唆できるのではないだろうか。

最後に、D)「(8) 放射線の量の大きい方を○で囲んでください。」の項目である。この設問の結果から、m(ミリ)や μ (マイクロ)などの補助単位の換算を苦手とする生徒が半分程度いることが示唆された。私たちの身のまわりには、長さの換算(1mは何cmか)や重さ(質量)の換算(1kgは何gか)には馴染みがあるが、他の単位を使って換算する場面は少ない。このような補助単位の換算は、放射線の問題ではなく、他の単元でも異なる補助単位を使って表現できることを紹介して、慣れていく必要があるだろう。

また、放射線に関する実験の実施状況としては、放射線の授業を受けた生徒のおよそ4割、生徒全体に対しても、2~3割の生徒が、放射線に関する実験を体験している

ことがわかった。前章で述べたように、高等学校の物理授業で実施されている実験の調査⁸⁾によると、放射線に関する実験（霧箱、放射線計測、遮蔽実験）を演示実験、あるいは、生徒実験で体験したという生徒は、物理Ⅱを履修した生徒の約2割であった。一方、物理Ⅱの履修率は高校生の約15%なので、放射線に関する実験を、演示実験あるいは生徒実験で体験したことのある生徒の割合は約3%であったため、これは大きな変化であると考えられる。放射線の学習で、直接目で見ることのできない放射線の存在を実感するためにも、線量の測定や霧箱などの実験を体験し、放射線の存在をイメージできるよう学習を進める必要があるだろう。

6.5.3 放射線に対する情意面

図 6.3 より、「A 放射線は役に立つ」、「B 放射線には将来性がある」、「C 放射線は身近である」の3項目は、放射線の学習を経験すると評定尺度が上昇することがわかる。特に、2016年の「C 放射線は身近である」や2017年の「B 放射線には将来性がある」では、有意な差を確認することができた。一方、「F 放射線は気味が悪い」では、放射線の学習の経験によって、有意差は認められなかったが、評定尺度が減少していることも確認できた。視点を変えると、情意面でのこのような項目の変化は、放射線の学習の効果の有無を測定する指標となる可能性があることを示唆している。

また、2002年に行われたFNCA調査¹¹⁾による評定尺度と2016年と2017年の項目毎の評定尺度を表6.5にまとめた。ただし、2016年と2017年で、授業ありと授業なしの群間に有意差が確認できなかった項目については、評定尺度の平均を示した。表6.5より、「C 放射線が身近である」の今回の数値は、FNCA調査よりも約1段階増加しているが、その他の項目については、ほとんど違いが認められなかった。

表 6.5 情意面における評定尺度の比較

	FNCA 調査	本調査					
		2016			2017		
		平均	授業なし	授業あり	平均	授業なし	授業あり
A 放射線は役に立つ	3.5	3.8	3.60	3.92	3.7	3.57	3.85
B 放射線には将来性がある	3.3	3.5	3.40	3.69	—	2.98	3.34
C 放射線は身近である	2.6	—	3.40	3.78	3.7	3.67	3.82
D 放射線は危険である	4.4	4.4	4.38	4.44	4.5	4.50	4.47
E 放射線は不思議な力をもつ	3.7	3.4	3.37	3.47	3.9	3.91	3.83
F 放射線は気味が悪い	3.0	2.9	2.99	2.84	3.3	3.48	3.11

この「C 放射線は身近である」の評定尺度のみが、約 1 段階上昇していることは、非常に興味深い。もしも、2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震による福島原子力発電所の事故の影響だけであれば、その他の項目に変化、たとえば、「放射線は危険である」の評定尺度の増加や、「放射線は役に立つ」や「将来性がある」の評定尺度の減少など、が見られると考えられるが、本調査では、他の項目には変化が見られなかったからである。福島原子力発電所の事故がきっかけとなり、「身のまわりには放射線が存在していることや、放射線の危険性と有用性について考えながら、放射線と上手に付き合う必要がある」という知識が一般的になったのであれば、社会全体の科学リテラシーが向上したことの証左になっているのかもしれない。

6.5.4 まとめと問題点

2008（平成 20 年）年に改訂された中学校学習指導要領^{33, 34)}が、2012（平成 24）年に施行され、中学校でも放射線の学習が行われるようになった。本研究では、2016（平成 28）年と 2017（平成 29）年の 2 年間に渡って、首都圏の約 110 校の公立中学校を卒業した高校 1 年生の生徒に対してアンケートを行い、中学校で受講した放射線の学習の実施状況についての調査を行った。その結果、放射線の学習が 5～6 割の中学校でしか実施されていないことを確認することができた。

参考として、福島県の 2017 年の高校 2 年生 84 名に対しても、同様の調査を行った（林、未発表）が、やはり、中学校の理科の授業で放射線を学習したと答えた生徒の割合は 64%であり、首都圏の中学校と同程度の割合であることが確認できた。その理由として、中学校の総合の時間や社会科、ホームルームの時間に放射線の授業が行われ、福島県の農業や風評被害などの問題を扱ったと答えた生徒が目立っていた。なお、アンケート用紙には、「基礎の基礎の基礎しか教えてくれなかったイメージ、福島なのに」や「それなりに身近だと知った」などのコメントが印象的であった。

さて、本研究で実施した知識面のアンケートでは、放射線の学習の経験の有無に関係なく、正答率の高い項目や低い項目があることや、放射線の学習によって正答率が上昇する項目などを確認できた。さらに、情意面のアンケートでは、放射線の学習によって、「放射線が役に立つこと」、「放射線には将来性があること」、「放射線が身近であること」の評定尺度が上昇し、「放射線は気味が悪い」という評定尺度が低下する可能性を示すことができた。このような効果を期待できるにも関わらず、約半数の中学

校では放射線の学習が実施されていないことは、残念である。

一方、この調査の回答の中に、3年間を通じて放射線の学習を行ったと回答した生徒が2016年に1名、1年生と2年生で放射線の学習を行ったと回答した生徒が2016年に1名おり、複数の学年に渡って、放射線の学習を積極的に行っている学校の存在も確認できた。

ところで、2017（平成29）年3月に改訂された新学習指導要領解説³⁶⁾には、(3) 電流とその利用 (ア) 電流 ㊸静電気と電流 で「真空放電と関連させてX線にも触れるとともに、X線と同じように透過性などの性質をもつ放射線が存在し、医療や製造業などで利用されていることにも触れる。」という項目が増えており、今後は、従来通りの3年生での放射線の学習に加え、中学2年生の電流の単元でも、放射線について触れられるように変更される。

そこで、次の章では、中学校3年間の理科の授業を通じて放射線を学習する授業実践についての報告を行い、知識面や情意面、放射線に関する発展的な学習の事例等について検討する。

第7章 中学校3年間を通じて行った放射線の学習の実践

2008（平成20）年の中学校学習指導要領の改訂^{33, 34)}で、放射線の学習は、第1分野の最後の単元「(7) 科学技術と人間」の中の学習項目として、1981（昭和56）年以来、約30年ぶりに中学校で学習するように変更された。この単元は、先の中学校学習指導要領では、「自然環境の保全と科学技術の利用の在り方について多面的、総合にとらえ、科学的に考察し、適切に判断する態度を養う」ことをねらいとして、中学3年生の理科学習のまとめに置かれている。前章の調査によると、首都圏の公立中学校では、48%（2016年）、または、63%（2017年）で実施されていることがわかり、また放射線の学習は3年生で行われたと回答した生徒は、放射線の学習をした生徒の94%（2016年）と100%（2017年）であった。

一方、同調査では、複数の学年で放射線の学習を行ったと回答した生徒を2名（2016年）確認することができた。また、2021年から施行される次の学習指導要領^{35, 36)}では、現在の学習指導要領に記載されている中学校3年生の「(7) 科学技術と人間」の単元に加え、中学校2年生の「(3) 電流とその利用 (ア) 電流 ⊕ 静電気と電流」の単元でも学習するように変更され、複数の学年で放射線の学習を行うようになる。そこで、複数の学年での放射線の学習の実施が、生徒の放射線に対する知識面や情意面に与える影響についての調査が必要であると考えた。

ここでは、中学校3年間を通して放射線の学習の授業実践を行い、その実践が生徒の放射線に対する知識面や情意面、放射線の学習に対する取り組みについて報告する。

7.1 中学校3年間を通じた放射線の学習カリキュラム

中学校の各学年の学習内容の中から、放射線の学習に関連のある単元を抜き出し、表7.1にまとめた。また、1年間の授業の中で、放射線の学習を行える授業時数をそれぞれ、1年生で3時間、2年生で1時間、3年生で4時間と設定した。

これらの条件を元に、理科の授業担当者間で相談を行い、放射線の学習に相応しい学習順序と難易度、生徒の発達段階や理解度等を総合的に判断し、上記授業時数で展開することが可能になるような各学年の単元を検討した。以上を図7.1の放射線の学習カリキュラムとしてまとめた。

表 7.1 放射線の学習に関連させることのできる単元とその内容

学年	単元	放射線の学習との関連
中学1年	大地の変化	地殻には放射線を放出する鉱物が含まれるため、絶えず放射線が放出されている。しかし、放射線の量は人体に害を及ぼすような量ではないことに触れる。
	身近な現象	光には、目に見えない可視光線と目に見えない紫外線や赤外線がある。その他、目に見えないX線やγ線などの放射線も光の仲間であることを示す。
中学2年	化学変化と原子・分子	化学変化とは、物質を構成する原子の組みかえであり、原子に含まれる電子が関係している。原子の中心には原子核があり、原子核の内部の陽子や中性子の数が変化するとき、放射線を放出することを示す。
	電流	電流とは、導線の中を移動する電子である。導線のないところで電子が移動する現象が放電であり、放電とは電子が離れたところに飛ぶ現象である。β線は、原子核から放出される電子であることを示す。
中学3年	化学変化とイオン	水溶液中の陽イオン、陰イオンを学習した後に、陽子線や重粒子線のような陽イオンや陰イオンが空間を飛ぶ粒子線（放射線）の存在を示す。
	地球と宇宙	地球には宇宙から宇宙線という放射線が降り注いでいる。地球の磁気や空気によって、地表に降り注ぐ放射線の量は人体に害のない程度に減少していることを示す。
	科学技術と人間	原子力の利用方法として、原子力発電や医療分野での放射線の平和的な利用を示し、放射線の人体に与える影響と人類が放射線を活用してきたことを提示する。

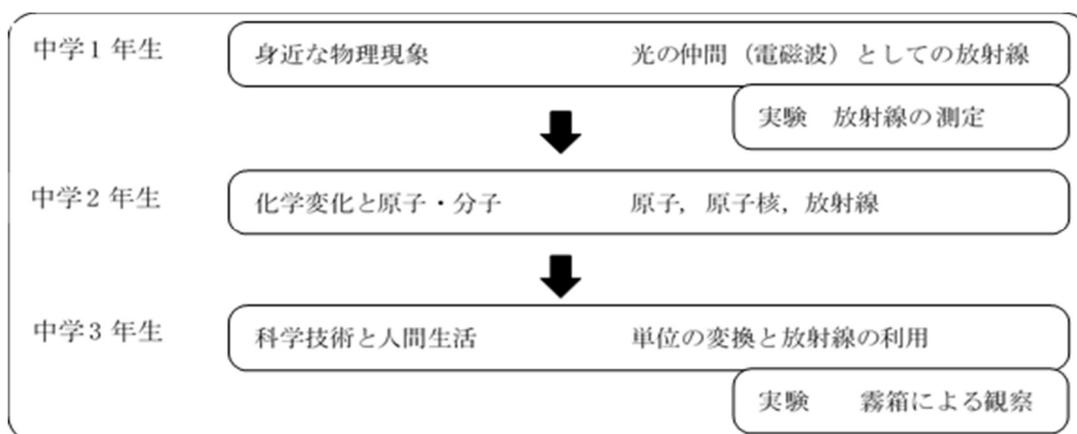


図 7.1 3年間を通じた放射線の学習カリキュラム

各学年で実施する放射線の学習の内容の基本的な考え方は、以下の通りであった。まず、中学1年生の「身近な物理現象」で「光」には目に見える赤色から紫色までの可視光線と、目に見えない赤色の外側（波長が長い）の赤外線や紫色の外側（波長の短い）の紫外線やX線、 γ 線などが存在することを紹介することで、放射線の導入を行った。赤外線や紫外線から導入することにしたのは、中学校1年生に入学した直後の生徒は、「光が目に入ると見えるが、目に入らないと見えないこと」を学ぶが、紫外線や赤外線のような、目に入っても見えない種類の光があることを伝えなかったからである。続けて、赤外線や紫外線のような「目に見えない光を観測するためには測定器（カメラやフィルム、検出器など）が必要であること」や、「目に見えない光を放出する器具」などを提示し、赤外線や紫外線を可視光と比較させた。続いて、目に見えない光には、赤外線や紫外線の他にX線や γ 線などの放射線があることを紹介し、放射線の存在を理解できるようにした。その後、放射線には、 α 線、 β 線、 γ 線などのいろいろな種類があるが、それは肉眼では見えないことやそれぞれの放射線の概要を紹介することにした。また、放射線はどこにあって、どこから飛んでくるのか、放射線はなぜ危険だ、といわれているのか、など漠然とした生徒達の疑問に答えられるような内容とした。

授業の最後には、学校の敷地内の γ 線の測定を行うこととした。測定の目的は、放射線が身のまわりに存在していることを実感させること、放射線の単位に慣れることとした。測定は、簡易放射線測定器「はかるくん」を使わなくても可能になるよう、エステー株式会社の家庭用放射線測定器エアカウンター（AIR COUNTER）を用いることとした。

中学2年生の「化学変化と原子・分子」では、物質が変化する際には、物質を構成する原子の組合せの変化である「化学変化」と、原子そのもの（原子核）が変化する「核反応」があることを理解させることを目的とした。ここで、化学変化とは、それぞれの原子が変わるのではなく、原子同士の組み合わせが変わることであると示し、一方、核反応とは、原子そのものが変わってしまうので、核反応では、原子の名称も変わってしまうことを示した。また核反応によって原子の内部、つまり原子核にある「もの」が外に出てきたのが、放射線（粒子線）であることを示すとした。また、核反応は、原子核の変化であることから、原子核にも構造があることに気付かせ、陽子や中性子の存在や、異なる種類の原子では陽子や中性子の数が異なること、陽子や中性子

の数が変わるとエネルギーが放出され、それが放射線であることにも触れるとした。
 なお、この学年の化学分野の学習で、初めて化学変化を学ぶため、化学反応と核反応とが混乱しないよう、注意して授業を展開することとした。

最後の中学3年生の「科学技術と人間生活」では、教科書を使いながらこれまでに学習した、放射線の種類や単位、放射線の性質、原子の構造や原子番号、質量数、いろいろな放射線があること、などの放射線に対する基礎知識を復習した。さらに、人工放射線や自然放射線、透過作用や電離作用、単位時間あたりの放射線量から1年間あたりの放射線量への単位の変換、放射線の利用などを解説し、それらのまとめとして、ランタンのマンテルを利用した手作りの霧箱を用いて、 α 線の軌跡を観察する実験を行うこととした。各学年の放射線の授業の流れを、図7.2～7.4に示した。

中学1年生に対する放射線の授業の流れ		
時間	授業展開	指導上の留意点
1 時 限 目	50 分	
	<p>本時のねらい 光には、目に見える光（可視光）と見えない光（赤外線や紫外線）があることを学習する。</p> <p>光の特徴のまとめ（図や実験、用語の確認、復習） 反射（鏡を用いて、入射角、反射角を復習） 屈折（レンズで実験したこと（焦点、実像、虚像、倒立像など）を復習） 波の特徴（音の大きさや音の高さは振幅や振動数と関係する） 波の振動数と波長には、関係がある（波長が短いと振動数は大きい） 光は、波の性質を持ちながら伝わる。 光の色は、波長（振動数）に関係している。 虹の写真 → 色の順に並ぶ（赤橙黄緑青藍紫のスペクトルを提示紹介） 赤は波長が長く、紫は波長が短い 赤よりも色の外側を赤外線、紫よりも外側を紫外線という 赤外線も紫外線も目には見えない</p> <p>イメージ：紫外線は、振動数が大きいので激しく動いている 振動数が大きい = エネルギーが大きい = 大きなダメージを与える 紫外線で日焼けする = 細胞がつくる黒い色素が細胞を守る 紫外線には殺菌作用がある（殺菌灯などの紹介） 紫外線よりも波長の短い光は、X線やγ線 紫外線より波長が短い = 強いエネルギー = 危険 = 管理が必要 X線はさらに波長が短いので、身体の分子の間をすり抜ける（透過性） X線やγ線を放射線という</p>	<p>行った実験 （鏡、レンズ）</p> <p>光の発展として放射線を導入</p>

2 時 限 目	50 分	本時のねらい 目に見えない光であるX線やγ線などの放射線と、その他の放射線（α線やβ線）を学習する	復習と導入 座学中心なので イメージを大切に する 大きさを想像させる
		X線やγ線は放射線である 他の光よりも大きな振動 = エネルギーが大きい <全てのものは、原子からできている> 物質の階層性 細胞-分子-原子-原子核-陽子(+)や中性子(±0) → (もっと小さいもの) 電子 → (もっと小さいもの) 原子の大きさ シャープペンの芯の 100 万分の1程度 原子の種類 116 種類 (理科便覧)・日本人が見つけたのは1 つだけ <原子の種類によって、壊れ方が違う> 身の回りには、自然に壊れる (崩壊) 原子 (核) がある 崩壊するとき、原子 (核) の破片やエネルギーが飛び出る・・・放射線 <放射線の種類> α線, β線, γ線, X線, (中性子線) がある (それぞれ, 特徴を紹介) <放射線の測り方> X線やγ線は、目で (肉眼で) 見ることができない = 測定器が必要 次回 放射線を測定してみよう	
3 時 限 目	50 分	本時のねらい キャンパス内のγ線を実際に測定し放射線の存在を確かめる。また、放射線の性質について学習する。	周囲の放射線量が、0でない ことを実感させる
		放射線の測り方 放射線は、1時間あたり何 μSv (マイクロシーベルト) という単位で表わす 測定実験の説明 (キャンパスマップを配布し、グループごとに2箇所測定して帰ってくる) 事前に教室の放射線量を測定し、その数値 (およそ 0.05 μSv/h) を板書する 各グループのキャンパスマップの数値と比較させる 放射線量は、0 ではない キャンパス内は、どこでも 0 のところはなかった = 危険でしょうか? この数値は、福島原子力発電所の事故以前と同じ程度の数値 = 自然界からの放射線量 空気や岩石、宇宙から放射線が飛んでいる 生物に放射線が与える影響 放射線によって原子や分子 (DNAやタンパク質) に傷がつく → 私達の身体が怪我を治すように、細胞には傷を治す仕組みがある 少ない量の放射線を受けた場合は、傷も少なく、傷を治すことができる 一気に大量に放射線を受けた場合は、傷を治すスピードが間に合わない → 放射線を大量に浴びると危険である	

図 7.2 中学校 1 年生に対する放射線の授業の流れ

中学 2 年生に対する放射線の授業の流れ			
1 時 限 目	30 分	本時のねらい 全ての物質が、原子からできていることや、原子にも構造があることを学習する	生徒の理解に応じて、 クォークも紹介する 階層性がどこまで続くか、と いう問いがある場合は、現在 も研究や実験が続いているこ とを紹介するに留める
		原子・分子と放射線 (プリントを用いる) 1) 物質の階層性 身の回りの物質は、すべて原子からできていることを提示する 原子も原子核と電子からできており、原子核もさらに小さな粒子 (陽子や 中性子) が集まってできている 2) 核反応と化学反応 核反応 原子核の中の陽子や中性子の組み合わせ方が変化すること 組み合わせ方が変わるとき、陽子や中性子やエネルギーを放出する 放出されるものを総称して『放射線』という 化学反応 原子の組み合わせが変化すること 核反応に比べると、エネルギーが小さい	

図 7.3 中学校 2 年生に対する放射線の授業の流れ

中学3年生に対する放射線の授業の流れ			
1 時 限 目	50 分	<p>本時のねらい 放射線の種類や性質，単位の扱いについて学習する</p> <p>放射線の性質と利用（教科書 第5章） <放射線の種類> 光の仲間（電気をもたない，質量を持たない） X線（電子が何かに衝突して放出する），γ線（原子核から放出する） 原子核から飛び出す粒子（質量がある，大きさがある） α線（電気を持つ：ヘリウムの原子核），β線（電気を持つ：電子） 中性子線（電気を持たない，止めるのが難しい）</p> <p><放射線の量> ベクレル（Bq） 1秒間あたり何個の原子核が放射線を出して壊れたか シーベルト（Sv）放射線が人体に与える影響の度合い $1\text{ Sv} = 1000\text{ mSv}$，$1\text{ mSv} = 1000\text{ }\mu\text{Sv}$ の換算ができるように 1時間あたりを1年間あたりに換算する $1\text{ 年間} = 365 \times 24 = 8760\text{ 時間}$ 1時間あたり \rightarrow 約 10000 倍すると，1年間あたりに換算できる $0.05 \sim 0.1\text{ }\mu\text{Sv/h} = 0.5 \sim 1\text{ mSv/y}$ になる。 現在の教室内の放射線量を測定し，1年間あたりに換算する</p>	<p>中学1年次の学習の内容確認</p> <p>普段あまり触れる機会がないので，思い出せるように小さなヒントを提示しながら進める</p> <p>単位の換算 1時間あたりから，1年間あたりの換算が容易にできるように</p> <p>計算の例題を示す</p>
2 時 限 目	50 分	<p>本時のねらい 原子の表し方や被ばくについて学習する</p> <p><放射性物質> 放射線を出す物質を放射性物質という <原子の構造> 原子番号，質量数，原子の表し方 陽子の数 = 原子番号，中性子の数 = 質量数 - 原子番号 <放射線の種類> 自然放射線と人工放射線 <放射線による被ばく> 自然界からの被ばく量 年間に約 1 mSv 程度 医療等による被ばく量 1回 0.05 ~ 6.9 mSv 程度 1年間に 100 mSv 被ばくすると，がんによる死亡率が0.5%上昇する この数字の解釈は，様々ある \rightarrow リスクとベネフィットについて</p>	<p>次回 放射線の飛跡を見てみよう <霧箱の実験の予告></p>
3 時 限 目	50 分	<p>本時のねらい 霧箱を作成して，放射線の飛跡を観察する</p> <p><霧箱の実験>実験の説明（実験プリント） ランタンのマントルには，Th（トリウム：α線源）が含まれていること α線やβ線が通った後に飛行機雲のような線が見えること（飛行機雲のような筋ができる理由を，中2既習項目「雲のでき方」と併せて解説） 実験器具 シャーレ，黒い紙，スポンジ，LED 懐中電灯，ドライアイス エタノール，ランタンのマントル ※ドライアイスの扱いに十分，注意すること 考察：各自が観察したこと，実験でわかったことを書くように指示した</p> <p><放射線の利用> 医療分野：滅菌，診断，治療，など 農業分野：食品，品種改良，害虫駆除，など 工業分野：新素材，非破壊検査，など その他：年代測定，絵画等の調査，など</p>	<p>解説・注意の確認</p>
4 時 限 目	50 分	<p>本時のねらい 放射線についてのまとめ</p> <p><実験プリント返却>α線の飛跡が見えていたことを解説 プリントの考察 放射線が通った後に飛行機雲のような筋ができる理由の解説（資料配付） <放射線の利用>前回の授業までで，終わらなかった部分の補足，復習など</p>	

図 7.4 中学校3年生に対する放射線の授業の流れ

7.2 3年間の実践

首都圏にある私立 B 中学校の 2013 年 4 月入学の中学 1 年生全員を対象とし、2013 年、2014 年、2015 年の 3 年間の理科の授業で図 7.2～7.4 の放射線の学習カリキュラムに基づいた放射線の学習を行った。生徒数は 203 名で 6 クラス編成であった。授業担当者は、2013 年度は著者を含む 2 名、2014 年度は著者を含む 3 名、2015 年度は著者を含む 2 名であった。なお、B 中学校は各学年の進級時にクラス分けを行っていたため、学習内容の継続性を維持するために、普段から授業担当者間で共通の授業ノートを作成して、事前の打ち合わせを行い、授業で扱う内容や用語、実験の手順などを共有していた。この放射線の学習についても、授業ノートを共有し、内容やその扱いが共通になるよう配慮した。また、B 中学校の週あたりの理科の時間は、1 年生で 3 時間、2 年生で 4 時間、3 年生で 5 時間であった。使用した教科書は、東京書籍『新しい科学 1』⁶³⁾、『新しい科学 2』⁶⁴⁾、『新しい科学 3』⁶⁵⁾ であった。また、各学年の放射線の学習の時期は、それぞれ以下の通りであった。

1 年生：2013 年 10 月中旬に 2 時限の講義と 1 時限の実験

2 年生：2014 年 7 月の 1 学期の最後の 1 時限に授業

3 年生：2016 年 2 月中旬に 3 時限の講義と 1 時限で実験とまとめ

7.2.1 授業実践における放射線の学習の目標

B 中学校における 3 年間を通した放射線の学習の目標を①～⑥と設定した。

- ①放射線を知ることによって、放射線に対する嫌悪感や恐怖感を取り除くこと。
- ②放射線は身のまわりに存在しており、完全に避けることはできないことと、受ける放射線の量に応じて危険の度合いが異なることを知ること。
- ③適切な対処ができれば、放射線は私たちの生活にとって便利で有益だが、対処を間違えると、放射線は危険でリスクを伴うことを知ること。
- ④放射線に関する実験を行い、放射線に関連する現象についての実体験を持つこと。
- ⑤放射線を科学的な探究の対象とし、科学技術や私達の生活との関わりを深めること。
- ⑥放射線の学習を各学年の学習内容に沿って配することで、理科の総合的な学習とその理解に繋げること。

なお、これらの項目によって、中学校学習指導要領^{33, 34)}の理科に記載されている「自然の事物・現象に進んで関わり、目的意識をもって観察、実験を行い、科学的に

探究する能力の基礎と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め、科学的な見方や考え方を養う」という目標を実現できると考え、実践を行った。

7.2.2 中学1年生に対する実践

2013年の実践を行う前に、表7.2の授業前アンケートを実施した。

表7.2 中学1年生に対して実施したアンケート

<p>中学1年生 物理分野【光、音、力】</p> <p>今学期は、物理分野を中心に学習を進めます。授業を開始するにあたり、以下の問いに答えてください。なお、結果は成績には影響しませんが、みなさんの授業の内容や進め方などを考える参考にしますので、真剣に答えてください。</p> <p>【光について】</p> <p>Q1. 光の性質や特徴について、あなたの知っていることを教えてください。</p> <p>Q2. 光の仲間にはどのようなものがありますか。</p> <p>Q3. 小学校時代に、光についてどのようなことを習いましたか。</p> <p>【音について】</p> <p>Q4. 音の性質や特徴について、あなたの知っていることを教えてください。</p> <p>(以下略)</p>

Q2.やQ3.の回答の中に、放射線に関する記述を期待していたが、紫外線や赤外線と書いた生徒は2名いたが、その他に放射線に関連するような記述はなかった。そのため、計画通りの授業の実践を行うこととした。

また、この学年では「放射線を測定しよう」という生徒実験を行った。実験は、次の通りに実施した。なお、生徒実験のプリントを付録7.1に示した。実験プリントには、 γ 線の線量の単位 Sv (シーベルト) の説明と、測定の手順を示している。実験の目的は、正確な γ 線の線量を測定することではなく、学校の敷地内のどこでも γ 線の線量が0にならないことや、場所によって γ 線の線量が異なることを確認することであった。用いた測定器は、ホームセンターなどでも販売されており、価格も5千円程度と比較的安価で購入しやすいものであった。しかし、1地点の線量の測定に最大5

分程度の時間を要するため、生徒にとっては長い待ち時間が発生してしまう。そのため、測定は4人1組で行い、実験プリントに描かれた学校の敷地の地図から、2地点の γ 線の量を測定させ、敷地の地図上に記録させた。実験を終えて教室に戻った後、測定した値を報告させて黒板に記録した。

実践では、教員、生徒ともに支障なく、計画通りに展開することができた。授業後のアンケートについては、教員間で相談したが、定期試験の直前であったことと、授業前アンケートで放射線について触れられていなかったことから、調査を実施しなかった。生徒(A君)の授業ノートを付録7.2に示した。なお、実践した中学校では、毎年クラス変更を実施していたが、3年間連続して著者が理科を担当した生徒であり、実践した学校の中では、真面目で標準的な生徒であった。

7.2.3 中学2年生に対する実践

中学2年生に対しては、授業の時数に余裕がなく、授業の展開に不安を感じた教員がいたため、授業形態をプリント学習に変更した。しかし、扱う内容としては、計画通りに実践を行った。授業の中では、物質の階層性を説明しながら原子の構造にまで話を広げたり、化学反応と核反応を比較して、さらに原子核と放射線の関係などに触れたりした。授業後に、授業担当者に授業の展開について聞いたところ、従来の単元にある化学反応に対して誤った解釈をさせてはいけないという気持ちがあり、あまり踏み込んだ話をすることはできなかったという感想であった。後日、生徒にも聞き取りを行ったが、2年次の放射線の学習の印象や記憶は薄かった。

生徒(A君)の授業ノートを付録7.3に示した。

7.2.4 中学3年生に対する実践

中学3年生の放射線の学習に入る前(2016年1月25日~2月1日)に、3年生全員を対象とした無記名の放射線に対する知識面と情意面の事前アンケートを行った。事前アンケートの質問項目を表7.3に示した。

表 7.3 中学3年生に対して実施したアンケート（事前・事後）

放射線に関するアンケート【中学3年生】

以下のアンケートに協力してください。アンケートの結果は、成績には関係ありません。

1. 正しく書いてある文には○を、間違っている文には×を（ ）内に書いてください。

- ①（ ）放射能に汚染された牛乳は、沸騰させれば安全である。
- ②（ ）全ての放射線は、人工的に作られたものである。
- ③（ ）どんなに視力が良くても、肉眼で放射線を見ることはできない。
- ④（ ）放射線には、 α 線、 β 線、X線の3種類しかない。
- ⑤（ ）自然界にある放射線は、人工的に作られた放射線とは、異なるものである。
- ⑥（ ）3.11の津波による福島原子力発電所の事故が、世界で初めての原子力発電所事故である。
- ⑦（ ）電子の大きさは、原子の大きさよりも小さい。

2. 放射線の量の大きい方を○で囲んでください。

（同じ大きさの場合は、問題番号に×をつけてください）

ア 1 μSv 0.1 μSv イ 10 μSv 0.1 mSv ウ 0.5 $\mu\text{Sv/h}$ 6 $\mu\text{Sv/day}$

3. 本校の教室内で放射線を測定すると、どのくらいの値になりますか。次の中から選び、○をつけてください。

A : 0 $\mu\text{Sv/h}$ B : 0.05~0.1 $\mu\text{Sv/h}$ C : 1~5 $\mu\text{Sv/h}$

D : 50~100 $\mu\text{Sv/hm}$ E : 1000~5000 $\mu\text{Sv/h}$

4. 次のイメージに対して、それぞれ点数をつけて（ ）に記入してください。

5 : すごく思う 4 : まあ思う 3 : どちらとも言えない 2 : あまり思わない 1 : 全く思わない

A : () 放射線は役に立つ

B : () 放射線には将来性がある

C : () 放射線は身近である

D : () 放射線は危険である

E : () 放射線は不思議な力をもつ

F : () 放射線は気味が悪い

その後、授業計画に基づいて実践を行った。教科書改訂の直前であったため、授業の中で改訂後の教科書の記述を紹介しながら、3回の講義を行った。講義では、これまでに学習した放射線の種類や単位、原子核の構造と崩壊、自然放射線と人工放射線、被ばく、放射線の利用を予定通り実践した。4回目の授業では、「放射線の飛跡を調べる」という霧箱の生徒実験を行った。

実験で用いた実験プリントを付録 7.4 に示した。実験の内容は、以下の通りであった。まず、シャーレ、黒い紙、スポンジを使って観察槽を作成させた。次に発泡ポリスチレンの容器に、砕いたドライアイス置いて、スポンジにエタノールを含ませてから、シャーレのふたを閉め、ドライアイスの上に乗せて簡易型の霧箱とした。放射線の飛跡の観察は、シャーレの中央付近に放射線源を置いて観察させた。放射線源としては、パール金属株式会社製 CAPTAIN STAG (キャプテン スタッグ) No.M-7910 マントル<M>3 枚組 (ガスランタン<M> M-7907 用) を一辺 2 cm 程度の正方形に切ったもの 2 ~ 3 片を用いた。実験プリントでは、線源から放射線が出ている様子を観察させるために、スケッチと飛跡の特徴を説明するように指示した。また、シャーレのふたを開けるとすぐに、内部に霧のような雲ができることに気付かせ、シャーレ内が過飽和状態であることを確認させた。過飽和の現象を見ることで、2年生の気象の単元「雲の発生」の実験を思い出させ、シャーレ内部は、雲が発生する直前の状態であることを示した。実験後に、「霧箱」について自宅で調べさせ、発展的な学習につなげられるようにした。生徒 (A 君) の授業ノートを付録 7.5 に示した。

また、放射線の授業を終えた後にも、同じ項目の事後アンケートを行った。なお、知識面に関する質問項目は、「科学技術に関する意識調査」³⁹⁾にある「放射能に汚染された牛乳は沸騰させれば安全だ」、「全ての放射線は人工的につくられたものである」、「電子の大きさは原子の大きさよりも小さい」や、「科学技術に対する国民意識の変化に関する調査」⁴⁰⁾にある「人は日常生活の中でも自然界から放射線を受けている」、ウィメンズ・エナジー・ネットワークが実施した「くらしと放射線」のアンケート⁸⁴⁾にある「私達は宇宙や大地、食物などから自然放射線とよばれる放射線をうけている」、「放射線にはエックス線、アルファ線、ベータ線、ガンマ線、中性子線、電子線などの種類がある」、「人体への影響は受けた放射線の種類や量によるが、人体が受けた量をシーベルトという単位であらわす」、「人工的に作られた放射線と自然界にある放射線は種類が同じなら性質に変わりがない」などの質問項目を参考にして作成し

た。

また、情意面に関する質問項目は、(社)日本原子力産業会議が実施した「FNCA 各国高校生の放射線についての知識、関心等に関する合同アンケート調査」¹¹⁾(以下、「FNCA 調査」)の「あなたは、「放射線」に対してどのようなイメージを持っていますか 1 危険である 2 将来性がある 3 身近である 4 管理できる 5 危険なものである 6 不思議な力を持つ 7 気味が悪い」を参考にして作成した。

7.3 結果と考察

7.3.1 中学1年生の実践に対する結果と考察

付録 7.2 の生徒のノートでは、光の学習の最後に、赤外線や紫外線の解説に続いて、X線や γ 線の説明から始まっていることが確認できる。その後、放射線で飛んでくる粒子の大きさを知るために、物質の階層性や原子の崩壊、放射線の特徴や生物に与える影響へと学習が続いており、授業の計画通りに進んでいることが記録されている。

この実践からは、次のような点を確認することができた。まず、中学校1年の生徒にとっては、放射線の種類や性質などを理解するための、周辺の知識が不足していることである。例えば、原子や電子などの粒子を説明するためには、事前に物質の階層性についてある程度の理解が必要だが、生徒にとっては、階層性という説明が初めてであり、階層性を理解した上で、放射線の理解に到達できたのかという点について不安が残った。また、初めて聞いた放射線に対する、生徒の「なぜ?」、「どうして?」という素朴な疑問や、家庭やテレビなどで話題になった事柄に対する質問を次々と投げかけてくることは理解できるが、授業者としては、「その疑問や質問に答えるためには、前提となる説明から始めないといけないが、最後まで説明を理解できるだろうか」という葛藤を感じた。生徒のノートからは、教員ができるだけ正確に説明しようとしていることが読み取れるが、解説の割合が多くなっているように思われる。

この実践より、中学1年生で行う放射線の学習としては、粒子線の扱いを避け、電磁波としての放射線(X線、 γ 線)を可視光との比較の中で紹介する範囲にとどめるのが良いと思われた。この時期の生徒が最も知りたいと思っているのは、放射線が生物、特に人体に与える影響についてである。この点については、X線や γ 線の影響の範囲にとどめ、 γ 線による滅菌などに触れながら、生物が大量の放射線(X線や γ 線)を浴びると死に至ること、他の放射線(α 線や β 線など)も生物にとっては危険な場

合もあることを伝えるところまでを学習範囲にするのが良いと思われた。一方、生徒の反応としては、放射線についてもっと知りたい、という欲求や希望が強かった。以上より、中学1年生の理解に応じた、部分的な放射線の学習の導入を検討する必要があると思われた。

また、実験については、1地点の放射線の計測に時間がかかりすぎるために生徒が遊んでしまう、という点が問題となった。現在は「はかるくん」の貸し出しが停止されているため、測定時間の短い安価な装置が求められる。

7.3.2 中学2年生の実践に対する結果と考察

付録7.3の生徒のノートからは、この授業内で行ったことが、簡単な復習に終わっているように見える。プリント学習にしたため、板書や口頭で説明したことや図などをプリントの空所やノートに記載するように指示したつもりだったが、生徒はそれに対応できていないことがわかる。また、化学反応と核反応の違いについては、模式的な図によって理解させようと考えていたのだが、残念ながらこのプリントからは、学習の深度を読み取ることはできなかった。

一方、これらの反応の説明にはエネルギーという用語が必要である。エネルギーは、中学3年生の教科書で説明する内容であるが、マンガやアニメ、ゲームの世界でも頻繁に使われており、中学1年生の理科で学習する光合成でも、「葉緑体では、光のエネルギーを使い、二酸化炭素と・・・」との説明（東京書籍『新編 新しい科学 1』⁶⁷⁾（2017）、39ページ）もあるので、エネルギーについての学習順序を考慮しなくてもよいと思われた。

なお、中学1年生の考察でも触れたように、中学1年生では、光の単元に続ける形で、電磁波としての放射線を学習することとし、中学2年生で、原子や分子と比較する形で、粒子線としての放射線を学習することで、放射線にはさまざまな種類があることについて、理解を深めることができると考えて学習内容を設定した。しかし、学習指導要領で設定されている中学2年生の内容から考えると、原子の内部構造についての理解はまだできておらず、粒子線の導入や放射線が原子核から放出されることへの理解に対する困難についても検討する必要がある。化学反応と核反応の違いについては、感覚的には理解していると思われたが、この学年での放射線の学習の導入については、更に慎重に検討する必要がある。

7.3.3 中学3年生の実践に対する結果と考察

付録 7.5 の中学 3 年生の授業ノートと付録 7.2 の中学 1 年生の授業ノートを比較すると、ほぼ同様の内容であることが確認できる。先述したように、中学 1 年生に対しても放射線全般についての説明を行ったために、内容が広範囲に渡ってしまい、結果的には、中学 1 年生にとっては難しい内容の授業となってしまったと推測された。以下、中学 3 年生全員を対象とした放射線の学習の事前・事後のアンケートの結果を比較して、知識面、情意面の変容とその考察と、放射線の実験に興味を持った中学 3 年生のインタビューや自主的に行った実験について報告する。

7.3.3.1 中学3年生に対する知識面のアンケートの結果と考察

知識面における事前・事後アンケートの結果を図 7.5 に示した。集計結果は、事前・事後アンケートの正答数に対して χ^2 検定を行い、1 % 水準で有意差が認められた結果については ** を、5 % 水準で有意差が認められた結果について * を、有意差が認められなかった結果について、n.s. を記した。

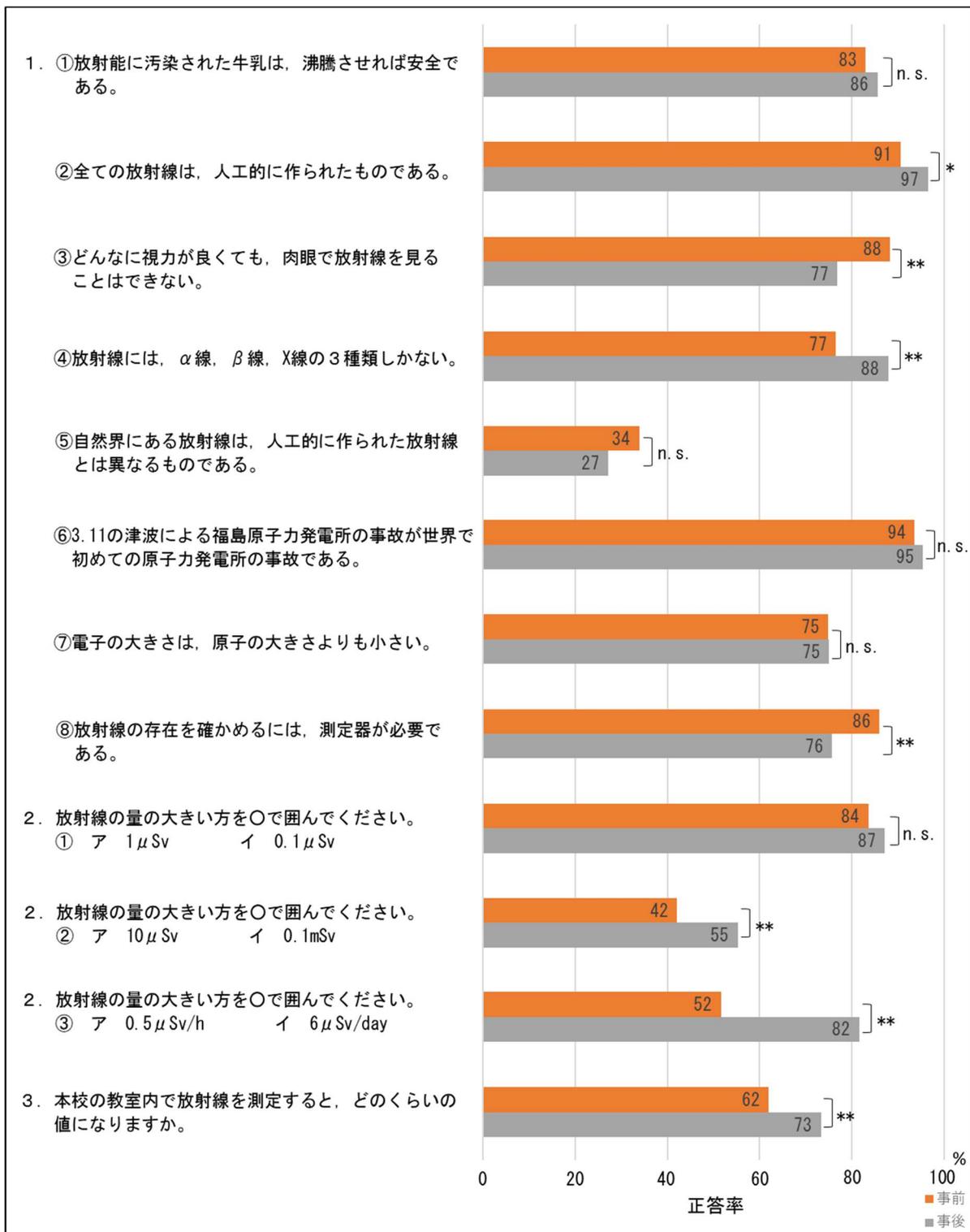


図 7.5 知識面に関する事前・事後アンケートの正答率

この知識面の事前・事後の変容の結果を、(A)～(D)の4つに分類した。

(A) 事前・事後ともに正答率が高く有意差の認められない項目

1. ①放射能に汚染された牛乳は、沸騰させれば安全である。(誤)
1. ⑥3.11の津波による福島原子力発電所の事故が、世界で初めての原子力発電所事故である。(誤)
1. ⑦電子の大きさは、原子の大きさよりも小さい。(正)
2. ア $1\ \mu\text{Sv}$ $0.1\ \mu\text{Sv}$ の比較

(B) 事前よりも事後の正答率が有意に高くなった項目

1. ②全ての放射線は、人工的に作られたものである。(誤)
1. ④放射線には、 α 線、 β 線、X線の3種類しかない。(誤)
2. イ $10\ \mu\text{Sv}$ $0.1\ \text{mSv}$ の比較
2. ウ $0.5\ \mu\text{Sv/h}$ $6\ \mu\text{Sv/day}$ の比較
3. 本校の教室内で放射線を測定すると、どのくらいの値になりますか。

(C) 事前・事後ともに、正答率が低いままである項目（有意差のないもの）

1. ⑤自然界にある放射線は、人工的に作られた放射線とは、異なるものである。(誤)

(D) 事前より事後の方が有意に正答率が低下した項目、つまり、放射線の学習によって、逆の効果が現れた項目

1. ③どんなに視力が良くても、肉眼で放射線を見ることはできない。(正)
1. ⑧放射線の存在を確かめるためには、測定器が必要である。(正)

上記(A)については、中学1年生や2年生の放射線の学習までで得た知識で回答できる内容で、中学3年生の放射線の学習では知識が増えなかったことを意味している。たとえば、文部科学省 科学技術政策研究所の「科学技術に関する意識調査」³⁹⁾によると、「⑦電子の大きさは、原子の大きさよりも小さい」という設問に対する全国の18歳以上2146人の正答率は30%（わからない48%）であるので、本調査の正答率75%で変化を確認できなかった可能性がある。

上記(B)の結果については、中学3年生の放射線の学習の効果であると考えられる。特に、補助単位の換算や、1時間あたりから1日あたりへの換算など、中学3年生の学習の内容と合致している。また、②や④の項目については、学習前でも8割から9割の正答率を更に5～10ポイント押し上げており、学習の定着を更に高める効果

があったと思われる。

上記 (C) と (D) については、慎重な考察が必要である。「⑤自然界にある放射線は、人工的に作られた放射線とは異なるものである」の正答率は学習の経験に関係なく 3 割程度であった。前の章でも、同様の設問「自然界にある放射線と人工的な放射線を比べると、同じ種類で同じ量であっても、異なる影響や効果をもたらす」(誤) の正答率も 3 割程度であり、「くらしと放射線」のアンケート調査結果報告書⁸⁴⁾ の「人工的につくられた放射線と自然界に存在する放射線は種類が同じなら性質が変わりがない」という事実を「知っている」、あるいは「聞いたことがある」と答えた割合も 32% であった。

そこで、このような質問項目に対する正答率が約 3 割であるという点を確認するために、学生数約 2 万人の総合大学の教養科目として開講されている「物理学入門」を履修している非理系大学生 82 名に対して、2018 年の春学期の初回授業で無記名のアンケートを実施した。アンケートの質問項目は「(1) 自然界にある放射線と人工的な放射線を比べると、同じ種類で同じ量であっても、異なる影響や効果をもたらす」(誤) と「(2) 人工放射線は危険だが、自然放射線は安全である」(誤) であった。設問に対するそれぞれの正答率は「(1) 26%」と「(2) 88%」であり、(1) に対する正答率は約 3 割であった。

以上の結果から次のような考察を行った。まず、多く (約 7 割) の人は「同じ種類で同じ量の自然界にある放射線と人工的な放射線の影響は異なっており、「人工放射線は安全だが、自然放射線は危険」だと考えているか、「人工放射線も自然放射線も量によって安全か危険かが決まる」と考えているかのどちらかであることがわかる。これに、情意面の「放射線は危険だ」の評定尺度の平均が高いこと、自然界にある放射線が身のまわりに存在しているなら安全でなければ困ること、胸部 X 線写真などで人工的な放射線を浴びること、などをあわせて考えると、多くの人が放射線に対して持っているのは、「自然放射線は量に関係なく安全だが、人工放射線は量に応じて安全か危険かが決まる」という概念であることが導かれる。このような概念は、「放射能泉は数少なく、大変貴重な温泉といえます。入っても、飲んでも、吸い込んでも体にいいという・・・」(温泉部⁶⁸⁾) や「全国各地にラジウム温泉は存在しますし、それぞれの温泉によって放射線量は異なりますが、毎日入っても被爆しないどころか、・・・」(ラジウム温泉ドットコム⁷¹⁾) などの背景にあるようにも思われる。

また、(D) の内容「③どんなに視力が良くても、肉眼で放射線を見ることはできない」と「⑧放射線の存在を確かめるためには、測定器が必要である」は、中学3年生で放射線の学習を受けると正答率が下がるということを意味している。具体的には、中学3年生の放射線の学習前にそれぞれ 88 % (③), 86 % (⑧) であった正答率が、放射線の学習後には 77 % (③), 76 % (⑧) に有意に減少していた。この正答率の減少の原因として、中学校3年生の学習の中で実施した霧箱の実験が考えられた。霧箱の実験では、飽和蒸気中を放射線が通過すると雲状の筋ができ、放射線の飛跡を肉眼で観察することができる。この雲状の筋を放射線であると思ってしまう可能性があったからである。

そこで、6章の結果についても再集計を行い、中学校で放射線の学習を行った2016年64名、2017年78名の生徒に対して、霧箱の実験経験のある群(12名(2016年), 18名(2017年))と経験のない群(52名(2016年), 57名(2017年))に分けて、関連した設問「(2) どんなに視力が良くても、肉眼で放射線を見ることはできない」と「(5) 放射線の存在を確かめるには、測定器が必要である」に対する正答率と検定結果を表7.4にまとめた。

表 7.4 霧箱の実験の経験の有無と設問 (2) と (5) の正答率と χ^2 検定の結果

	(2) どんなに視力が良くても、肉眼で放射線を見ることはできない			(5) 放射線の存在を確かめるには測定器が必要である		
	霧箱の実験		χ^2 検定	霧箱の実験		χ^2 検定
	なし	あり		なし	あり	
2016年	92%	100%	n.s.	92%	75%	p=0.083
2017年	95%	83%	p=0.10	98%	89%	p=0.068

表 7.4 より、調査年による違いはあるが、霧箱の実験を行った経験があると、放射線を肉眼で見える、もしくは、測定器がなくても放射線の存在を知ることができる、と理解してしまう傾向があることを確認した。

この理由は、霧箱で見えた放射線の飛跡が放射線そのものである、と思ってしまうためなのではないかと考えている。霧箱の実験の準備段階や、実験後の解説では、中学2年生の気象の学習での「雲ができるときには、元になる『何か』(核)が必要であること」を説明し、「放射線が通ったことによって、飛行機雲のような筋ができる」

ことを強調して解説を行った。さらに、実験プリントの副題には「放射線の飛跡を調べる」と記載し、放射線が見えるのではないことを強調したが、教員側の意図は伝わらなかったように思われる。

この点について、中学3年生の期末試験終了後に、霧箱の実験に興味を持った16名の生徒を集めて、改めてインタビューを行った。その中の一人が「間違えた生徒は、授業の解説をきちんと聞いていない」と発言し、別の生徒も「2年生のときの雲を理解していない」ことを指摘していた。そこで、上記2名以外の生徒にも確認したが、この2名に対する反対意見はなかった。また別の生徒は「霧の粒の様子をきちんと観察すれば、飛行機雲のような筋が放射線でないことがわかるはずだから、観察を十分に行っていないのではないか」とも話していた。実験後に返却した実験プリントの解説で、「飛行機雲のような線」や「線のような」、「筋のような」という表現を使ったが、この表現を「霧の粒が、放射線が通った後に一列に並んであらわれる」などに変更すれば、誤った認識を導きにくいことを確認できた。

現象を正しく理解できる段階になってから、それぞれの発達に応じた適切な実験や学習内容等を提示することが望ましいので、中学2年生で気象の学習を終えてから、霧箱の実験を行うことが適切であることを示している。

7.3.3.2 中学3年生に対する情意面のアンケートの結果と考察

アンケート用紙の後半で、6項目の情意面の質問を行った。質問項目は、「A 放射線は役に立つ」、「B 放射線には将来性がある」、「C 放射線は身近である」、「D 放射線は危険である」、「E 放射線は不思議な力をもつ」、「F 放射線は気味が悪い」であった。これらの項目に対して、「5：すごく思う」、「4：まあまあそう思う」、「3：どちらとも言えない」、「2：あまりそう思わない」、「1：全くそう思わない」の5段階で回答させた。先述したように、これらの項目は、FNCA調査¹¹⁾を参考に作成した。

情意面における事前・事後アンケートの結果とFNCA調査の結果を図7.6に示した。また、図中には、中学3年生の事前と事後の評定尺度の平均値についての t 検定の結果を記した。なお、FNCA調査の母集団の数は1156名、本調査の母集団の数は203名であった。

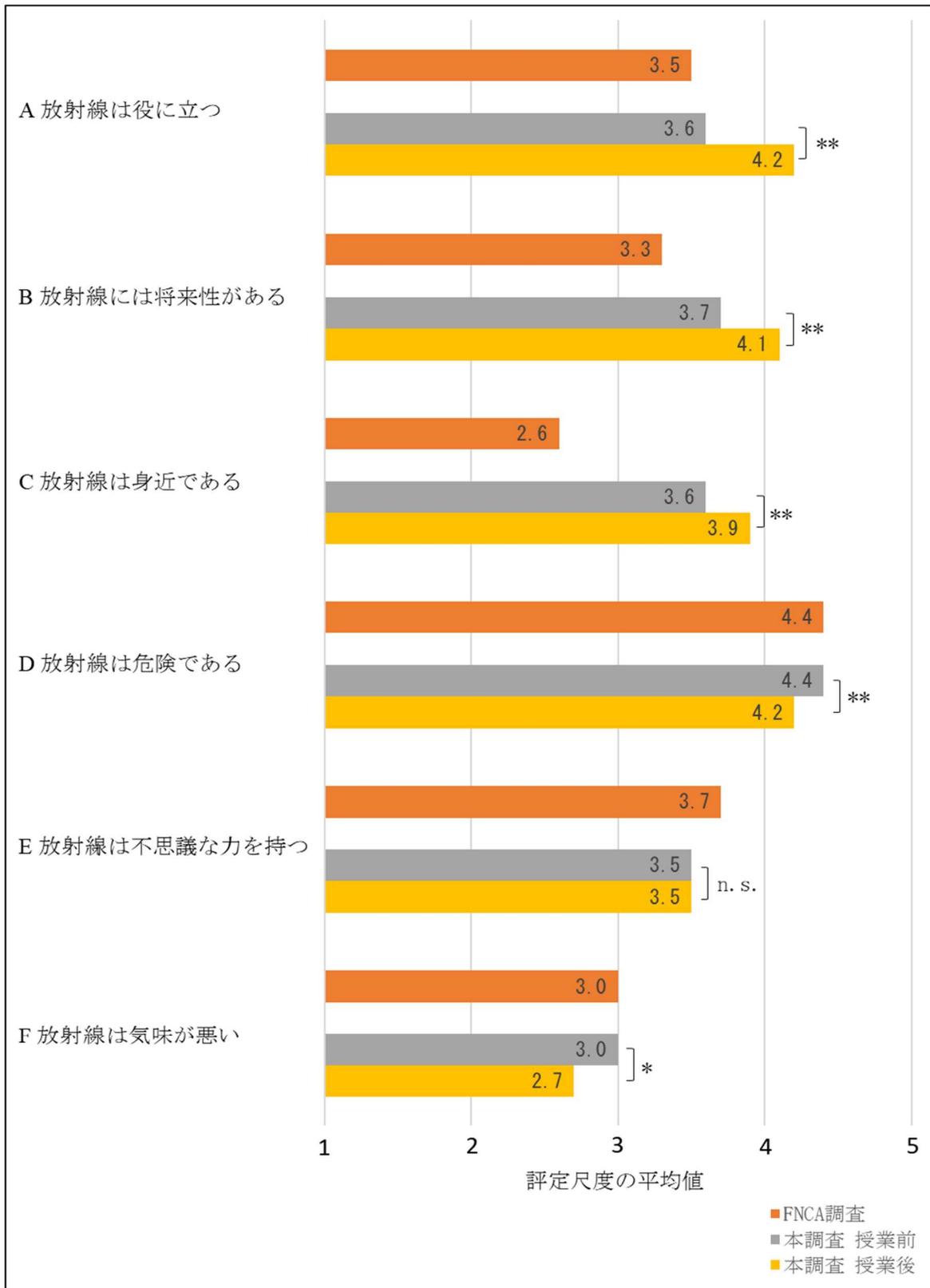


図 7.6 情意面における評定尺度の平均値

まず、FNCA 調査の結果と本調査の授業前の評定尺度の平均を比べると、「C 放射線は身近である」が、約 1 段階高い数値を示していた。この評定尺度の差は、前章の差ともほぼ同じ値であるため、「C 放射線は身近である」について評定尺度は、FNCA 調査時（2002（平成 14）年）よりも上昇していると考えてよいと思われる。

一方、本調査の事前と事後の評定尺度を比較すると、「A 放射線は役に立つ」、「B 放射線には将来性がある」、「C 放射線は身近である」という、放射線に対して良い印象の項目については、授業後には有意に増加していた。一方、「D 放射線が危険である」や、「F 放射線は気味が悪い」は有意に減少していた。6 章での結果（表 6.5）もあわせると、中学校 3 年生で放射線の学習を経験すると「A 放射線は役に立つ」、「B 放射線には将来性がある」、「C 放射線は身近である」の評定尺度が上昇し、「F 放射線は気味が悪い」の評定尺度は下降することが結論できる。

7.3.3.3 中学 3 年生に対する発展的な学習

さて、7.3.3.1 の後半で説明した霧箱の実験に興味を持った中学 3 年生 16 名に対して、上記のインタビューの後に、中学 3 年生の放射線の学習に関する自由討論と実験を行わせた。自由討論では、「ベクレルとベクトルは、言葉として間違いやすい」、「Sv（シーベルト）という単位は、新聞や報道などでたくさん聞いたから何となく覚えてしまった」、「m（ミリ）と c（センチ）、d（デシ）などの単位の変換は混乱しやすく難しく感じてしまう」、「補助単位の μ （マイクロ）は馴染みがなく、使いこなすのが難しい」などが話題になっていた。これらの意見の中には、中学生が放射線の学習をする上で感じる、困難や問題点を含んでおり、今後の放射線の学習を考える上で重要な要素であると思われた。

その後、生徒達を 2 人で 1 グループとして、ドライアイスやシャーレなどの霧箱の実験道具を用意し、自由に実験を行ってよいと伝えた。生徒達は、試験前に授業の中で行った霧箱の操作を覚えており、各グループとも 5 分程度でマントルから放出される α 線の飛跡の観察を行うことができていた。 α 線の飛跡を 2~3 分も観察していると、「違う実験をやってみたい」という声があがり、「 α 線は紙で止められるから、紙で覆いをつくってみよう」とシャーレ内のマントルの周囲を紙で囲んだり、ティッシュペーパーをマントルの上から被せたりして、飛跡を見ることができなくなることを確認していた。また、他のグループは、(株)ナリカの「放射能鉱物標本（5 種）」を見つ

け出し、それをシャーレの中に入れて、飛跡を観察していた。

このように、放射線に関する実験器具を揃えただけで、理科系のクラブに所属していない生徒が、自分たちで考えた実験を自由に行っている様子を見るのは、初めてだった。また、放射能鉱物標本を扱う際には、「線量を測りたいので、測定器を貸して欲しい」と申し出て、放射線の量を測定してから実際に実験するなど、放射線が目で見えないこと、線量が大きければ危険であること等、放射線の基礎を理解していることも確認できた。

特に、この「線量を測りたい」と申し出た生徒について考察してみると、「自ら放射線量を測定し、その結果を見ながら、自分なりに判断を行い、これまでに得た知識に基づいて、新しい条件を設定して観察や実験を行うこと」ができていた。このような意識は、学習指導要領（理科）^{33, 34)}にある「自然の事物・現象に進んでかかわり、目的意識をもって観察、実験などを行い、科学的に探究する能力の基礎と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め、科学的な見方や考え方を養う」という目標と合致しており、学習指導要領の趣旨に沿った学びができていた、と評価することができる。

この事例から、放射線の学習は、中学校の理科における探究を伴う教材として相応しいものであり、中学校の理科の学習目標を達成するのに、効果的な教材であることを示すことができたといえる。一方、中学生にとって、放射線という題材はこれまでに学習したことのない未知の現象であり、新聞やテレビで何となく知っている「ちょっと怖くてちょっと遠い存在」であろう。その放射線について、中学生が実験を計画したり、実験で確かめたりできることは、初めて科学的に対応すべき事象であるといえる。

7.4 まとめと問題点

この章では、中学校3年間を通した放射線の学習の実践について報告し、その結果について考察を行った。まず、放射線以外の単元との関連や生徒の発達段階、理解度などを考慮して3年間の放射線学習のカリキュラムを計画した。しかし、低学年の学習では、内容を正しく教えようとしたり、あるいは、生徒の疑問や質問に答えようとすると、他の科目や未習項目の説明が必要になる、という問題点を確認することができた。しかし、中学3年生の知識面の調査によると、中学3年生の放射線の学習前の

段階でも基礎的な知識の正答率は高く、前章の中学3年生で放射線の学習をしたと回答した群の正答率に近い数値を示していた。

一方、情意面ではこのような傾向は確認できなかったが、中学3年生の放射線の学習によって、「放射線が役に立つ」、「放射線には将来性がある」、「放射線が身近である」の3項目は有意に評定尺度が上昇し、放射線は「気味が悪い」の評定尺度は下降することを確認した。

更に、中学3年生では、放射線を題材とした発展的な学習も可能であることが示され、中学校における理科学習で放射線を題材として扱うことによって、「科学的に探究する能力の基礎と態度を育てる」ことや「科学的な見方や考え方を養う」という中学校の理科学習の目的を達成する可能性を確認することができた。

第 8 章 結論

第 4 章で提起した 2012（平成 24）年から施行された中学校学習指導要領^{33, 34)}（理科）で実施されることに変更された放射線の学習に関する問題点を明らかにするために、第 5 章で、高等学校では放射線の実験や学習がどの程度行われているかについての実態調査を報告し、第 6 章で、2012（平成 24）年の学習指導要領施行後に、公立の中学校で行われている放射線の学習についての調査、第 7 章で、中学校 3 年間を通して放射線の学習を行う実践による生徒の変容についての調査を行い、それぞれに対する結果と考察を議論してきた。以下、本研究の目的に対する結論をまとめる。

- A) 放射線が、長期間に渡って、中学校の理科の授業で学習されてこなかったことは、放射線の学習にどのような影響を与えたのか。
- ① 中学校で放射線の学習が行われなくなってから約 30 年間の間に、高等学校では放射線の学習はどのように実施されていたのか。

中学校の学習指導要領から放射線の単元が削除されたのは、1981（昭和 56）年施行の中学校学習指導要領⁴⁸⁾からである。翌 1982（昭和 57）年には、高等学校の学習指導要領⁵³⁾が施行され、新設された必修科目「理科 I」で放射線についての学習が行われることになった。しかし、実際には原子力の利用や「放射能」には触れるが、放射線や X 線といった用語は扱われなくなった。次の 1994（平成 16）年に施行された高等学校学習指導要領⁵⁴⁾では、選択科目である物理でしか放射線が扱われず、物理を履修した約 50 % の生徒しか、放射線を学習する機会がなくなってしまった。更に 2003（平成 15）年に施行された高等学校学習指導要領⁵⁵⁾では、高校生の約 8 割が履修している理科総合 A で放射線を扱うことになっていたが、山崎ら^{87, 88)}や第 5 章で論じた調査によると、理科総合 A の授業では約 2 割でしか放射線の学習が行われていなかった。また、物理 II を履修していても、その約 4 割の生徒に対してしか放射線の学習が行われておらず、放射線の実験を体験している割合はその半分だけであった。物理 II の履修率 15 % を考えると全体の 2 割程度の生徒しか放射線を学習していなかった。つまり、1981（昭和 56）年の学習指導要領⁴⁸⁾の施行以降、学習指導要領が改訂される度に、放射線の学習は物理の授業だけで行われ、放射線の学習をする生徒の割合は減少していった。

②2008（平成 20）年の中学校学習指導要領の改訂で、放射線に関する基礎知識やその利用についての学習を行うように変更されたが、実際に授業は実施されているのか。

第 6 章（56 ページ）で考察したように、2016 年と 2017 年の首都圏の高等学校の新入生に対して行った調査では、およそ 5 割、または、6 割の中学校でしか放射線の学習が実施されていないことを明らかにできた。理由としては、放射線の単元が教科書の後半に記載されていること、高校入試の問題として出題されていないこと、放射線を学習した教員が少ないことなどが考えられた。

B) 中学校における放射線の授業をどのように展開したらよいか。

③2008（平成 20）年の中学校学習指導要領の改訂で変更された放射線の学習によって、どのような知識が得られるのだろうか。

第 6 章の 2016 年と 2017 年の首都圏の高等学校の新入生に対して行った調査では、放射線の授業の経験の有無によって、放射線の種類「放射線は、 α 線、 β 線、X 線の 3 種類だけである」や放射線量の単位「次の放射線の単位の読みを（ ）内にカタカナで書いてください。Sv（ ），Bq（ ）」については、正答率が有意に上昇することを確認でき、これらが、中学校の学習によって得られた知識であることを確認できた。

しかし、放射線の量と安全性「自然界にも放射線はあるから、放射線をどんなに浴びても心配する必要はない」（誤）、放射線が不可視であること「どんなに視力が良くても、肉眼で放射線を見ることはできない」（正）、放射線は身体で感じられないこと「放射線の存在を確かめるためには、測定器が必要である」（正）、原子力発電所の事故「3.11 の津波による福島原子力発電所の事故が、世界で初めての原子力発電所の事故である」（誤）などは、放射線の学習の有無によらず正答率が高かった。これらの項目の知識は、第 7 章（p.77～80）で論じたように、学校の学習で得られる知識というよりも、「放射線は危険だ」という先入観や、「身のまわり（自分の近く）に放射線はない（はずだ）」という素朴概念によって説明できることを示唆した。

④2008（平成 20）年の中学校学習指導要領の改訂で変更された放射線の学習によって、生徒の意識はどのように変化するのだろうか。

情意面のアンケートでは、第6章、第7章のどちらの調査でも、「A 放射線は役に立つ」、「B 放射線には将来性がある」、「C 放射線は身近である」の3項目の評定尺度は、放射線の学習を行うと上昇することが確認できた。また、「C 放射線は身近である」の評定尺度は、放射線の学習を経験していなくても、2002年のFNCA調査¹¹⁾時よりも2015～2016年の調査結果の方が、約1ポイント上昇していた。一方、「F 放射線は気味が悪い」の評定尺度は、放射線の学習を経験によって低下することを確認した。

⑤中学校の理科学習の中で、放射線の学習をどのように位置づけることができるか。

2012（平成24）年に施行された中学校の学習指導要領^{33, 34)}の理科の目標は、「自然の事物・現象に進んでかかわること」、「目的意識をもって観察・実験などを行うこと」、「科学的に探究する能力の基礎と態度を育てること」、「自然の事物・現象についての理解を深めること」、「科学的な見方や考え方を養うこと」の5つとされている。第7章の最後の生徒は、学習した知識を使って実験・観察を立案し、その計画に基づいた実験・観察を行い、科学的な知見を確かめることができたことから、中学校の理科の学習の目的に達している、とすることができる。つまり、学習の題材としての放射線は、生徒が得た科学的な知識や考え方を活用することができ、その結果、放射線を教材として用いることで発展的な学習をも行うことができることを確認した。

C) 放射線の学習を進める上で、どのような問題点があるのか

⑥中学生が放射線の学習を進める上で、どのような問題点があるのか。

③でも述べたように、放射線を学習の有無に関わらず、正答率の高い質問項目があることから、「放射線は怖い」という先入観や「放射線は身のまわりにはない」という概念を有している可能性が高いことが示された。また、第7章で論じたように、「自然界にある放射線は量に関係なく安全だが、人工的な放射線は、量に応じて安全か危険かが決まる」という概念を有していることを確認することができた。このことは、放射線の学習の有無に関わらず、「自然界にある放射線は、人工的に作られた放射線とは異なるものである」（誤）や「自然界にある放射線と人工的な放射線を比べると、同じ種類で同じ量であっても、異なる影響や効果をもたらす」（誤）の正答率が低いことと関連し

ており，従来の放射線の学習の方法では，上記の概念を科学的に妥当な概念に変容させることが難しい可能性を示唆している。

さらに，第7章の考察では，霧箱の実験を経験することによって「肉眼で放射線を見ることが出来る」，もしくは，「測定器がなくても放射線の存在がわかる」と思ってしまう可能性について言及した。

第9章 今後の課題

2017（平成29）年3月に改訂された学習指導要領の解説（理科編）³⁶⁾では、第1章 総説 2 理科改訂の要点 (4) 内容の改善の要点 ①学習内容の改善について として、○改善・充実した主な内容 [第1分野]・第3学年に加えて、第2学年においても、放射線に関する内容を扱うことと、放射線の学習に関して大きな変更をしている。具体的な記述としては、(3) 電流とその利用 (ア) 電流 ④静電気と電流 の内容として、「真空放電と関連させてX線にも触れるとともに、X線と同じように透過性などの性質をもつ放射線が存在し、医療や製造業などで利用されていることにも触れる。」と、これまでの「原子力」との関係の中で学習してきた放射線を、初めて原子力から切り離された単元で学習されることになり、「理科においては、放射線について科学的に理解すること」(p.65)が一層求められるようになると考えられる。

さらに、2021年4月から、中学2年生の授業の中で放射線の学習が始まるが、現行学習指導要領のように、3年生の最後の単元だから授業時数が不足している、あるいは、受験の時期と重なってしまう、などの問題がなくなるため、放射線の学習を行った経験のある生徒が増加すると予想される。

しかし、そのような授業の枠組みを作成しても、そこで教える学習内容や学習の展開などは、教科書会社や教育現場の教員に委ねられている。第7章で示したように、生徒の既習事項とこれから学習しようとする内容をうまく噛み合わせなければ、説明中心の授業展開になってしまったり、説明のための説明が必要になったりすることで、かえって学習の混乱を招く可能性がある。真空中の電子の流れとしての真空放電と、真空放電によって発生した電子がターゲットに衝突することで発生するX線と、原子核から放出される γ 線を同列で扱うことや、透過性という繋がりだけで粒子線を導入することなど、次期学習指導要領の授業の流れでは、生徒の理解を混乱させる可能性のある配置になっているのではないだろうか。既習事項や学習順序、学習者の発達段階などを考慮しながら、生徒の「知りたい」という知的欲求に沿った学習内容を展開できるように、放射線の学習に関するカリキュラムの修正と精緻化が必要である。

一方、放射線の実験についても検討が必要である。本研究で検証できたように、霧箱の実験を中学2年生の電流の学習の中で行うことは、今以上に誤概念を誘発する可能性がある。それは、「電流とその利用」の単元が「気象とその変化」の単元の前に置かれ

ているからである。雲の発生について学習した後に、霧箱の実験を行う学習順序にするような配慮が必要である。

また、生徒や教員にとって、放射線の学習や実験を実施しやすくする工夫も必要であろう。授業の進み具合や深度によっては、放射線の学習を特定の学年にまとめて実施できるようなカリキュラムや、逆に他の理科の単元と組み合わせながら少しずつ学習を進めるカリキュラムなど、学校や生徒の状況、あるいは、学校周辺の環境などに合わせて柔軟に対応できるカリキュラムの研究も興味深い。逆に、放射線の学習をすることによって、他の分野の学習に困難を来す可能性について明らかになれば、積極的に放射線の学習を行うことの弊害について見積もることができるようになり、今後の学習の方向性を決定できるようになるだろう。

さらに、これまでの教科書では、放射線の学習は、原子力発電や核兵器、私たちの社会と安全性などの STS 教育、あるいは STEM 教育の中で扱われることが多かったが、新学習指導要領の中学 2 年生では、応用面や活用面ではない物理現象としての放射線を扱っている。学習を進める上でのアプローチの違いについての研究も必要だろう。

最後に、本研究では解決の方策の提案と検証までには至らなかったが、自然放射線と人工放射線という表現の違いに対する素朴概念や、霧箱の実験を行うことで生じる誤まった認識、放射線は身のまわりには存在しないだろうという思い込みなどについて、次の学習指導要領の実施時期に合わせて、早急に提案していく必要があると感じている。

なお、放射線の学習における素朴概念に対するアプローチとして、放射線学習の国際比較も有効な手段であると思われる。たとえば、放射線に関する教科書の記述を比較すると、英国の National Curriculum である GCSE Physics の教科書^{30, 70)}では、全体の 5～10% ものページが割かれている。また、放射線に対する素朴概念の研究としても、Thomas Plotz による学生が放射線に対して持っている概念の研究⁶⁹⁾なども参考になると思われる。これらの放射線の学習に関する国際比較を通じて、日本の生徒や学生が持つ放射線に対する素朴概念を明らかにすることで、科学的に妥当な放射線概念を獲得するために有効な教授法や実験、カリキュラムの開発を進めていかなければならないと考えている。一方で、放射線の学習と社会情勢（政治、兵器開発、エネルギー資源、など）とは、国の施策と絡みついているという側面もある。我々が生きる社会の中で科学が持つ役割や責任を考えることについても、念頭に置く必要があろう。

謝辞

本研究を進めるにあたり、東京理科大学教授川村康文氏に多大なるご指導をいただきましたこと、心より感謝申し上げます。川村康文氏には、初歩的なアンケート調査方法や、教育統計、論文作成の指導にいたるまで、貴重なお時間を割いていただきご指導していただきました。また、本研究以外の実験や書籍などの教材作成の方法など、多岐にわたって、物理教育研究の基礎から応用にいたるまで、多くのことを学ばせていただきましたこと、ありがたく思っております。

また、東京理科大学教授小川正賢氏には、博士課程入学当初より副査をお引き受けくださり、研究上のご指導と温かい励ましの言葉をかけていただきました。研究の方向を見失いそうな時には道を照らし、研究に足りない部分があれば優しく指摘していただくなど、研究の模範を示してくださり、多くのことを学ばせていただきましたこと、感謝申し上げます。東京理科大学教授北原和夫氏には、博士課程入学当初は副査として多くのご指導をいただきましたが、私の研究の歩が遅いことから、御定年までの期間に終わることができなかつたことが悔やまれます。この場を借りてお礼申し上げます。副査をお引き受けいただいた伊藤稔氏には、陰に陽に励ましの言葉とお気遣いいただけましたことを励みに、論文提出まで到達することができましたこと、感謝申し上げます。井上正之氏、太田尚孝氏には、お忙しい時間の中、拙文をご指導いただきましたこと、感謝申し上げます。

前勤務先である立教新座中学校・高等学校の渡部智博氏には、科学教育研究への道を示していただくとともに、大変多くのことを学ばせていただきました。この場を借りてお礼申し上げます。また、前勤務先の諸先生方や卒業生を含む多くの生徒達、また、現在の勤務先である福岡大学理学部物理科学科の平松信康先生はじめ諸先生方と、榎本紗英さん他の学生の諸君からいただきました温かい励ましと応援に、感謝申し上げます。

また、本論文の作成にあたり、投稿論文の査読をしていただき、的確にご指導いただいた諸氏にも、感謝いたします。

最後に、本研究のために励ましてくれた家人には、言葉にはできない感謝の意を表します。

文献

- 1) 青柳泰司：レントゲンと X 線の発見，恒星社厚生閣，2000.
- 2) 有馬朗人，他：理科の世界 3 年，大日本図書株式会社，2011.
- 3) 有馬朗人，他：新編 理科の世界 3 年，大日本図書株式会社，2015.
- 4) 別木政彦，森川奈緒，塚田真也，秋重幸邦：放射線教育に対する教員の意識の調査と教材，島根大学教育臨床総合研究 12，pp.43-51，2013.
- 5) 近角聡信，他：新訂 新しい科学 1 分野下，東京書籍株式会社，1990.
- 6) FNCA ニュースレター No.7，社団法人日本原子力産業会議 アジア協力センター，p.2，2003 年 9 月.
- 7) 蓮沼宏，他：新訂 新しい科学 1 分野下，東京書籍株式会社，1977.
- 8) 林壮一，川村康文：大学生に対する高校物理実験および放射線学習の現状調査，物理教育，第 63 巻 第 3 号，pp.191-196，2015.
- 9) 林壮一，川村康文：中学校教科書にみる放射線教育の歴史，放射線教育，Vol.19,No.1，pp.3-12，2016.
- 10) 林壮一，川村康文：中学校 3 年間を通じた放射線授業の実践に基づく一考察，エネルギー環境教育研究，第 12 巻 第 1 号，2018.
- 11) 平成 14 年度「近隣アジア諸国における原子力安全調査事業」FNCA 原子力広報 (PI) プロジェクト：「FNCA 各国高校生の放射線についての知識，関心等に関する合同アンケート調査」報告書，(社)日本原子力産業会議 (現 一般社団法人 日本原子力産業協会)，平成 15 (2003) 年 3 月 (2018 年 11 月 1 日確認).
https://www.fnca.mext.go.jp/pi/intro_img/j_draft_report.pdf
- 12) 平田昭雄，青戸優花：戦後日本の理科教科書における「放射線の性質と利用」の扱いについて，日本科学教育学会研究会研究報告，Vol.31 No.5，pp.51-56，2012.
- 13) 広井禎：放射線から始める物理の展開，理科の教育，平成 10 年 12 月号，pp.34-36，1998.
- 14) 保坂学，藤田静作：放射線に関する中学生の認識と学習に対する期待—秋田県中部の中学校 3 年生に対するアンケート調査をもとにして—，日本科学教育学会研究会研究報告，Vol.26，No.3，pp.107-110，2011.
- 15) 細谷治夫，他：自然の探求 中学校理科 3，教育出版株式会社，2011.
- 16) 細谷治夫，他：自然の探求 中学校理科 3，教育出版株式会社，2015.
- 17) 放射線教育支援サイト らでい (2018 年 11 月 1 日確認).
<https://www.radi-edu.jp/>
- 18) 石田菜摘，杉田克生，高橋博代：学習指導要領改訂に伴う中学校での放射線教育の実態調査，千葉大学教育学部研究紀要，第 62 巻，pp.361-366，2014.
- 19) 石井恭子：小・中学校学習指導要領における物理領域の変遷と実態，物理教育，第 62 巻 第 2 号，pp.98-102，2014.

- 20) 茅誠司, 他: 改訂 新しい科学 第3学年用上, 東京書籍株式会社, 1952.
- 21) 茅誠司, 他: 改訂 新しい科学 第3学年用下, 東京書籍株式会社, 1952.
- 22) 茅誠司, 他: 新編 新しい科学 3年下, 東京書籍株式会社, 1954.
- 23) 茅誠司, 他: 新編 新しい科学 2年下, 東京書籍株式会社, 1954.
- 24) 茅誠司, 他: 新しい科学 3年, 東京書籍株式会社, 1961.
- 25) 茅誠司, 他: 新編 新しい科学 3年, 東京書籍株式会社, 1965.
- 26) 茅誠司, 他: 新しい科学 第1分野下巻, 東京書籍株式会社, 1972.
- 27) 教員免許状更新講習, 一般財団法人 放射線利用振興協会 (2018年11月1日確認).
<http://www.rada.or.jp/kenshu/menkyo.html>
- 28) 小林丈芳, 跡部紘三, 松川徳雄, 福岡登: 中学生・高校生の原子力・放射線に対するイメージの地域による差に関する基礎調査, 理科教育学研究, Vol.41 No.3, 2001.
- 29) 国立教育政策研究所: 学習指導要領データベース (2014年12月26日: 最新訂正) (2018年11月15日確認).
<https://www.nier.go.jp/guideline/>
- 30) Millar, R., Swinbank, E., Sang, D., Tear, C. TWENTY FIRST CENTURY SCIENCE GCSE physics THE UNIVERSITY of York, OXFORD UNIVERSITY PRESS, 2011
- 31) 三輪洋次: 中学校理科学習指導要領の変遷と改訂の要点, 地学教育, 第54巻 第4号, pp.157-180, 2001年7月.
- 32) 文部科学省: e-Stat 政府統計の総合窓口 統計で見る日本
<https://www.e-stat.go.jp/>
- 32a) 学校基本調査/年次統計/総括表/進学率 (昭和23年~), 2018年8月2日18時 (公開) (2018年11月14日確認).
https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&query=%E9%80%B2%E5%AD%A6%E7%8E%87&layout=dataset&toukei=00400001&tstat=000001011528&stat_infid=000031741053
- 32b) 学校教員統計調査/平成25年度/第1部 高等学校以下の学校及び専修学校, 各種学校の部/教員異動調査/総括 (高校以下), 2015年3月27日18時 (公開) (2018年11月14日確認)
https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&query=%E5%AD%A6%E6%A0%A1%E6%95%99%E5%93%A1%E7%B5%B1%E8%A8%88%E8%AA%BF%E6%9F%BB%E3%80%80%E5%B9%B3%E6%88%9025%E5%B9%B4&layout=dataset&stat_infid=000028981388
- 33) 文部科学省: 中学校学習指導要領 (平成20年3月 平成22年11月一部改正), 2010 (2018年11月15日確認).
<https://www.nier.go.jp/guideline/h19j/index.htm>
- 34) 文部科学省: 中学校学習指導要領解説 (理科編), 平成20年7月, 2008 (2018年11月15日確認).

- http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2011/01/05/1234912_006.pdf
- 35) 文部科学省：中学校学習指導要領（平成 29 年告示），2017（2018 年 11 月 15 日確認）。
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2018/05/07/1384661_5_4.pdf
- 36) 文部科学省：中学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説（理科編），平成 29 年 7 月，2017（2018 年 11 月 15 日確認）。
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2018/06/12/1387018_5_2_2.pdf
- 37) 文部科学省：高等学校学習指導要領（平成 21 年 3 月），2009（2018 年 11 月 15 日確認）。
<https://www.nier.go.jp/guideline/h20h/index.htm>
- 38) 文部科学省：幼稚園教育指導、小・中学校学習指導要領等の改訂のポイント，2011 年 3 月 30 日（2018 年 11 月 9 日確認）。
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2011/03/30/1234773_001.pdf
- 39) 文部科学省 科学技術政策研究所：科学技術に関する意識調査 2001 年 2～3 月調査，pp.36-39，2001（2018 年 11 月 15 日確認）。
<http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/612/1/NISTEP-NR072-FullJ.pdf>
- 40) 文部科学省 科学技術政策研究所：科学技術に対する国民意識の変化に関する調査—インターネットによる月次意識調査および面接調査の結果から—，2012 年 6 月（2018 年 11 月 1 日確認）。
<http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/1156/2/NISTEP-RM211-FullJ.pdf>
- 41) 文部科学省科学者委員会・科学と社会委員会合同 広報・科学力増進分科会：提言—これからの高校理科教育のあり方，日本学術会議，平成 28 年（2016 年）2 月 8 日（2018 年 11 月 10 日確認）
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t224-1.pdf>
- 42) 文部省：学制百二十年史 第三章 初等中等教育第二節 教育内容・方法の改善—教育課程の改訂—1992 年 9 月 30 日（2018 年 11 月 9 日確認）。
http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/others/detail/1318313.htm
- 43) 文部省：学習指導要領理科編（試案）（昭和 22 年度（1947）），1947（2018 年 11 月 15 日確認）。
<https://www.nier.go.jp/guideline/s22ejn/index.htm>
- 44) 文部省：高等学校学習指導要領（試案） 物理・化学・生物・地学（昭和 22 年），1947（2018 年 11 月 15 日確認）。
<https://www.nier.go.jp/guideline/s22hex/s22hex.htm>

- 45) 文部省：中学校・高等学校学習指導要領理科編（試案改訂版）（昭和 26 年改訂版），1951（2018 年 11 月 15 日確認）。
<https://www.nier.go.jp/guideline/s26jhn/index.htm>
- 46) 文部省：中学校学習指導要領（昭和 33 年改訂版），1958（2018 年 11 月 15 日確認）。
<https://www.nier.go.jp/guideline/s33j/index.htm>
- 47) 文部省：中学校学習指導要領（昭和 44 年 4 月），1969（2018 年 11 月 15 日確認）。
<https://www.nier.go.jp/guideline/s44j/index.htm>
- 48) 文部省：中学校学習指導要領（昭和 52 年 7 月），1977（2018 年 11 月 15 日確認）。
<https://www.nier.go.jp/guideline/s52j/index.htm>
- 49) 文部省：中学校学習指導要領（平成元年 3 月），1989（2018 年 11 月 15 日確認）。
<https://www.nier.go.jp/guideline/h01j/index.htm>
- 50) 文部省：中学校学習指導要領（平成 10 年 12 月），1998（2018 年 11 月 15 日確認）。
<https://www.nier.go.jp/guideline/h10j/index.htm>
- 51) 文部省：高等学校学習指導要領（昭和 35 年 10 月 15 日），1960，（2018 年 11 月 15 日確認）。
<https://www.nier.go.jp/guideline/s35h/index.htm>
- 52) 文部省：高等学校学習指導要領（昭和 45 年 10 月），1970，（2018 年 11 月 15 日確認）。
<https://www.nier.go.jp/guideline/s45h/index.htm>
- 53) 文部省：高等学校学習指導要領（昭和 53 年改訂版），1978，（2018 年 11 月 15 日確認）。
<https://www.nier.go.jp/guideline/s53h/index.htm>
- 54) 文部省：高等学校学習指導要領（平成元年 3 月），1989，（2018 年 11 月 15 日確認）。
<https://www.nier.go.jp/guideline/h01h/index.htm>
- 55) 文部省：高等学校学習指導要領（平成 11 年 3 月），1999，（2018 年 11 月 15 日確認）。
<https://www.nier.go.jp/guideline/h10h/index.htm>
- 56) 水原克敏，学習指導要領は国民形成の設計図 その能力観と人間像の歴史的変遷，東北大学出版会，2010 年 6 月 30 日。
- 57) 森本弘一，松本郁弥：中学校における放射線教材を用いた授業実践とその評価，理科教育学研究，Vol.53 No.1，pp.147-153，2012。
- 58) 村岡範爲馳：レントゲン氏 X 放射線の話，京都府教育会議，1896。
- 59) 西谷源展：放射線に対する意識と学校教育の影響，日本放射線技術学会雑誌，11，pp.1555-1563，2004。
- 60) NPO 法人放射線教育フォーラム 放射線学習支援資料，（2018 年 11 月 15 日確認）
<https://ref.or.jp/download1.html>
- 61) 小笠原豊：日本の中学校理科教育は，原子力，放射線をどのように扱ってきたか—教科書に見るその変遷—，現代教育学研究紀要，第 6 号，pp.1-13，2013。

- 62) 岡村定矩, 他: 新しい科学 3 年, 東京書籍株式会社, 2012.
- 63) 岡村定矩, 他: 新しい科学 1 年, 東京書籍株式会社, 2013.
- 64) 岡村定矩, 他: 新しい科学 2 年, 東京書籍株式会社, 2014.
- 65) 岡村定矩, 他: 新しい科学 3 年, 東京書籍株式会社, 2015.
- 66) 岡村定矩, 他: 新編 新しい科学 3 年, 東京書籍株式会社, 2016.
- 67) 岡村定矩, 他: 新編 新しい科学 1 年, 東京書籍株式会社, 2017.
- 68) 温泉部 (2018 年 11 月 6 日確認).
<https://onsenbu.net/8011>
- 69) Plotz, T.: Student' conceptions of radiation and what to do about them *Phys, Edu.* 52, pp.1-6, 2017.
- 70) Pople, S. Complete Physics for Cambridge IGCSE SECOND EDITION, OXFORD UNIVERSITY PRESS, 2007
- 71) ラジウム温泉ドットコム (2018 年 11 月 6 日確認).
<http://ラジウム温泉.com/%E3%83%9B%E3%83%B3%E3%83%88%E3%81%AB%E3%83%A9%E3%82%B8%E3%82%A6%E3%83%A0%E6%B8%A9%E6%B3%89%E3%81%A3%E3%81%A6%E5%AE%89%E5%85%A8%E3%81%AA%E3%81%AE%EF%BC%9F/>
- 72) 酒井佐保 編: 新撰物理学教科書下巻, 富山房, pp.202-203, 1896.
 国立国会図書館デジタルコレクション (2018 年 11 月 9 日確認).
<http://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/830188>
- 73) 佐々木敏紘, 渡邊直美, 木幡大河, 長島康雄: 中学校理科における放射線を扱う学習機会の可能性に関する検討, 仙台市科学館研究報告, 第 23 号, pp.31-37, 2014.
- 74) 霜田光一, 他: 中学校科学 3, 学校図書株式会社, 2011.
- 75) 霜田光一, 他: 中学校科学 3, 学校図書株式会社, 2015.
- 76) 鈴木亨: 教師自身がつくる殻を打ち破るには—放射線から始める理科総合 A の実践を通じて—, 理科の教育, 平成 15 年 9 月号, pp.18-20, 2003.
- 77) 高橋和光: 中学校の理科教育 過去, 現在, 未来, 物理教育, 第 50 巻 第 1 号, pp.42-51, 2002.
- 78) 塚田捷, 他: 未来へ広がるサイエンス 3, 新興出版社啓林館, 2011.
- 79) 塚田捷, 他: 未来へ広がるサイエンス 3, 新興出版社啓林館, 2015.
- 80) 内田由美子, 重松宏武: 中学校理科「放射線」に関する学習・指導のための基礎研究 I —簡易放射線測定器「はかるくん」の特性及び測定方法—, 山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要, 第 33 号, pp.113-123, 2012.1.
- 81) 内田由美子, 松永武, 西山桂, 重松宏武: 中学校理科「放射線」に関する学習・指導のための基礎研究 II —簡易放射線測定器「はかるくん」を活用した測定例—, 山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要, 第 33 号, pp.125-134, 2012.1.

- 82) 内田由美子, 松永武, 重松宏武: 中学校理科「放射線」に関する学習・指導のための基礎研究Ⅲ—教育現場における自然放射線測定—, 山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要, 第34号, pp.47-56, 2012.9.
- 83) 渡部智博: 明治時代の化学の教科書に見る放射線教育, 放射線教育, VOL.3 NO.1, pp.35-42, 1999.
- 84) ウィメンズ・エネルギー・ネットワーク (WEN), 「くらしと放射線」アンケート調査結果報告書 WEN「くらしと放射線プロジェクト」, 平成14(2002)年3月.
- 85) ウィメンズ・エネルギー・ネットワーク (WEN), 第2回「くらしと放射線」アンケート調査結果報告書, 平成18(2006)年3月.
- 86) 山根悠希, 松崎昌之: 現在の理科教育における放射線の取扱いの研究, 福岡教育大学紀要, 第63号第3分冊, pp.35-46, 2014.
- 87) 山崎敏昭, 井上賢, 谷口和成, 内村浩: 高校物理実験の実態～2006年度大学新入生からの分析～物理教育, 第55巻 第1号, pp.33-38, 2007.
- 88) 山崎敏昭, 井上賢, 谷口和成, 内村浩: 高校物理実験の実態～2009年度大学新入生調査の分析～物理教育, 第59巻 第2号, pp.101-107, 2011.

実験 《 放射線を測定しよう 》

【放射線の単位】

放射線が人体に与える影響を基準にしてつけた単位・・・ Sv (シーベルト)

1 時間あたりにどれだけの放射線を浴びたか で測る。

実用的な単位 $\mu\text{Sv/h}$ (マイクロシーベルト (=0.000001Sv) パワー)

↑ (1 時間=1hour)

【何を測定できるか】

この測定器は、放射線の中の γ (ガンマ) 線 を測定することができます。

測定器の裏面の「センサー位置表示」の部分が、 γ 線を測定する場所です。

このセンサー部分を下に向けて、測定します。

また、測定器に強い衝撃があると、測定値が狂ってしまったり、測定器の故障の原因になるので、扱いには十分注意してください。

測定器：エステー化学 エアカウンター

【測定の方法】

■ 本体



■ 画面



- ① 電源を入れる
- ② その場所で動かさないようにじっと待つ
 - 測定中 の表示が出ている間は、動かさない
 - 測定完了 の表示が出るまで待つ (最大 5 分程度)
- ③ 電源ボタンを長押しすると、電源が切れる。

【測定の目的】

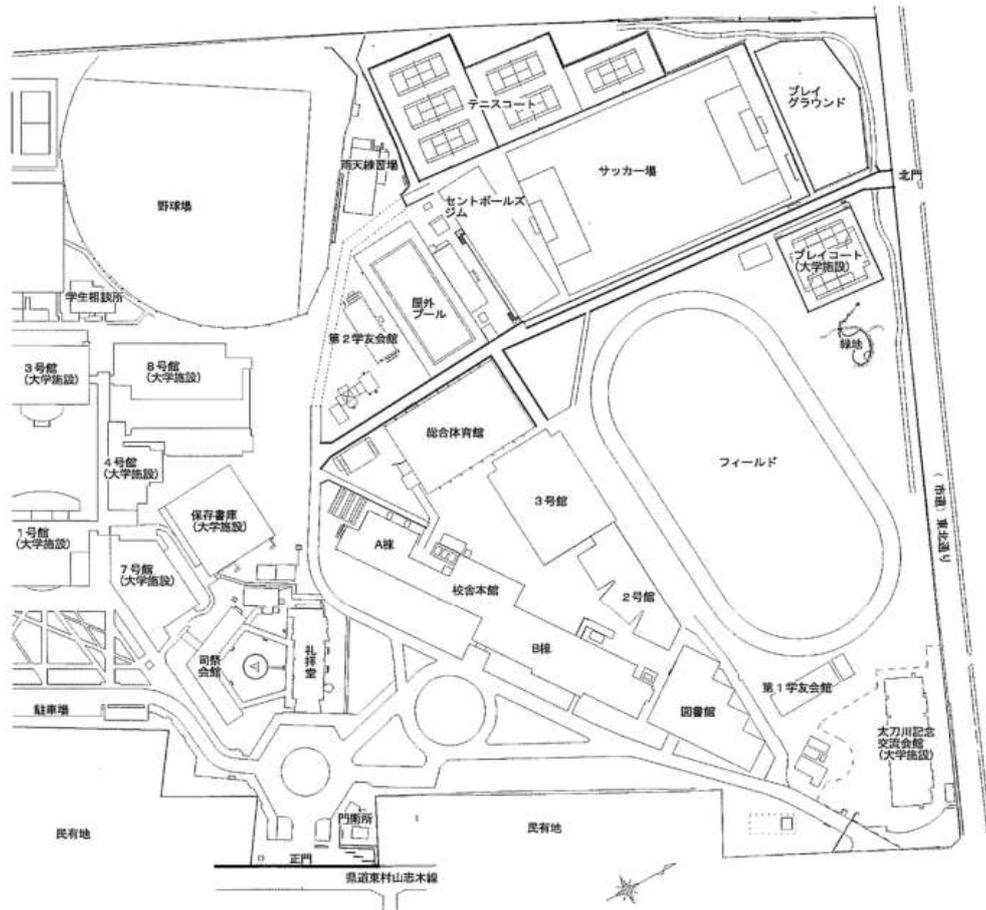
学校内のいろいろな場所 (2カ所以上) で、 γ 線を測定する。

【結果】

下の図に測定した場所に①と② (以上) の記号を書いて、その点で測定した γ 線の値を表に記録すること。

20 年 月 日

地図中に①～④（以上）の数字を入れる。



場所	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
γ線の量 [μ Sv/h]							

考察：測定を通じて、わかったことなど。

1年 組 番 氏名 _____

この実験プリントは、著者が作成し実際の授業で用いたものである

No. _____
Date _____

$380\text{nm} = 0.00000038\text{m}$ で紫色に見える (短)
 $780\text{nm} = 0.00000078\text{m}$ で赤色に見える (長)
⑤ 赤、橙、黄、緑、青、藍、紫(短)

赤より波長の長い光を **赤外線 (IR)**
もっと波長の長い光を **電磁波 (電波)**

紫より波長の短い光を **紫外線 (UV)**
波長が短い光ほど **エネルギー** がある
(生物に有害)

X線 } 放射線
γ線 }
(ガンマ)

No.

Date

放射線

1. 放射線とは何か

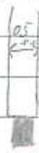
① 全てのものは原子からできている

ヒト → 組織 → 細胞 → 核 → 分子 → 原子 → 原子核 + 陽子 + 中性子

電子

ATOM (アトム) (10¹⁰ くらい) 100億分の1くらい

レーザーの芯 (0.5mm)



0.5mm の中に
約100万個並んでいる

この原子が組み合わさって
全てのものをつくっている

全部で116種類
CHON
炭水酸塩

原子の中に原子核がある
原子核が壊れて、原子核の素材の粒子
が放出される → 放射線という

崩壊

② 原子の種類によって、壊れ方がちがう (116種)

身のまわりにある多くの原子は
自然には壊れることがない
(放っておくと勝手に)

割合は少ないが自然に
壊れてしまう原子もある
(放射性同位体の原子)

炭素 (C) 1兆分の1の割合で壊れる炭素がある
(10¹⁴個)

電子を放出して 窒素の原子になる

カリウム (K) 1万分の1の割合で壊れるカリウムがある
(10¹⁴個)

電子を放出して カルシウムの原子になる
Ca

電子を放出する ⇒ 放射線となる

No.
Date

③放射線の種類

α線 (アルファ)

β線 (ベータ) 電子が放出

γ線 (ガンマ)

X線

α線 (アルファ) : 陽子2個と中性子2個が結合したものが
→ (原子核の中にある) 飛んてくる放射線

重い粒子の放射線

(空気中では、数cm程度しか飛べない)

紙1枚で止めることができる

生物への影響は大きい

(人体)

β線 (ベータ) : 電子が飛んてくる放射線

(10)

軽い粒子の放射線

(空気中では、数m程度飛ぶことができる)

(アルミニウム/m²/cmで止めることができる)

γ線 (ガンマ) : 重さはない

光や電磁波の一種

(波長の短い)

(空気中では、数km飛ぶ)

鉛や厚い鉄の壁

厚いコンクリートの壁などで止めることができる

生物への影響はある

(人体)

(少なか)

X線 : γ線と同じように光や電磁波の一種

中性子線 : 中性子(10)が飛んてくる放射線

原子の一部の原子核が壊れて崩壊

放射線を放出する

(C (炭素) → N (窒素))
(K (カリウム) → Ca (カルシウム))

No. _____
Date _____

④放射線の測り方

ベクレル(Bq) ... 何個の原子核が壊れたかを表す

シーベルト(Sv) ... どの位人間に影響があるかを表す

mSv (ミリシーベルト) $\frac{1}{1000} Sv$

μSv (マイクロシーベルト) $\frac{1}{1000000} Sv$ (百万分の1)

1時間あたりの場合 $\mu Sv/hour$ (マイクロシーベルトパーアワー)

1年間あたりの場合 mSv/year (ミリシーベルトパーイヤー)

$\downarrow 24 \times 365 \times 25$
 $\approx 8700 \text{ (日)}$
 $\approx 9000 \text{ (時間)}$

$1 (\mu Sv/hour) \rightarrow 9 (mSv/year)$
年間 $100 mSv$ を上限とする

3. 放射線による影響(効果)

①物質に与える影響

・物質中の電子をはじき飛ばす

→物質はちがう物質に変わる

タイヤ(柔らかいゴムが硬くなる)

・物質が光やX線を放出する

蛍光(紫外線があたって、可視光線を出す)

・物質の中を透過する

非破壊検査で利用する

②生物に与える影響

・タンパク質を変性する)放射線が

・遺伝子を破壊する)大量の場合

少ない場合には破壊された部分を

治すことができる

(修復)

年間 $100 mSv$ を上限とする

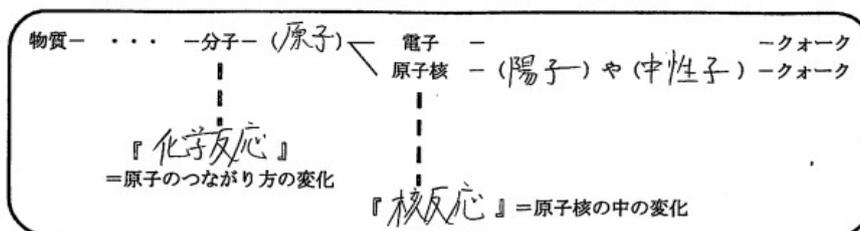
$0.02 \mu Sv/h$.. 教室

No.
Date

中学 2 年 プリント 「原子・分子と放射線」

1) 物質の階層性 (復習)

私たちの身のまわりのすべての物質は、(原子) でできている。



2) 核反応 (核分裂や核融合) と化学反応 (化学変化)

核反応

原子核の変化 (原子核の分裂) によって、放射線 (α線, β線, γ線 など) を放出する。

放射線を放出すると、(原子) は異なる (原子) に変化する。

核反応では、(大きなエネルギー) が関係している。

化学反応

化学反応 (原子と原子の結びつきの変化) では、(熱) を放出したり吸収したりする。

(熱) の出入りがあると、原子の組み合わせが変化して、異なる分子などになる。

化学反応では、核反応に比べると (小さなエネルギー) が関係している

化学反応では、原子は変化しない。エネルギーが小さいので原子は (壊れない)。

化学反応に関係するのは、『電子』である。

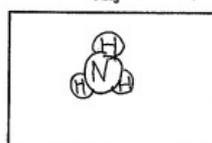
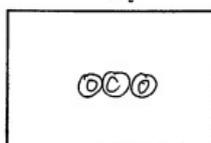
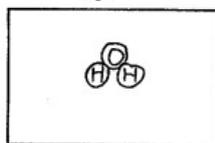
【参考】

化学式は、原子と原子の結びつきを表している。

H₂O

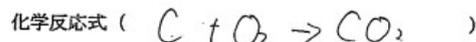
CO₂

NH₃

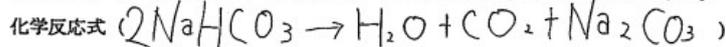


反応式 (化学反応をあらわす式) は、原子と原子の結びつき方の変化 → 原子の数は変わらない。

例 1) 炭素が燃えて二酸化炭素が発生する。



例 2) 炭酸水素ナトリウムを加熱すると、炭酸ナトリウムと二酸化炭素と水が発生する。



2 年 (E) 組 (B) 番 氏名 後藤 龍星

年 月 日 曜日

【霧箱（放射線の飛跡を調べる）】

【目的】簡単な拡散型霧箱を製作して、放射線の飛跡を見る。

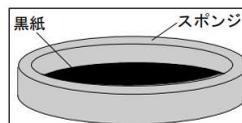
【実験器具】シャーレ、黒紙、スポンジ、ドライアイス、発泡スチロール板、
エチルアルコール、ランタン用マントル、懐中電灯

【実験方法】

(1) シャーレの大きさに黒紙を切り、シャーレの底に敷く。

(2) シャーレの内壁にスポンジを密着させる。

剥離紙は、はがさなくてよい。



(3) スポンジと底にエチルアルコールをかけて、黒い紙を底に密着させふたをする。

※エチルアルコールが底にたまるほどかけてはいけない。

(4) 机の上に、発泡スチロール板、ドライアイス、シャーレの順に重ねておく。

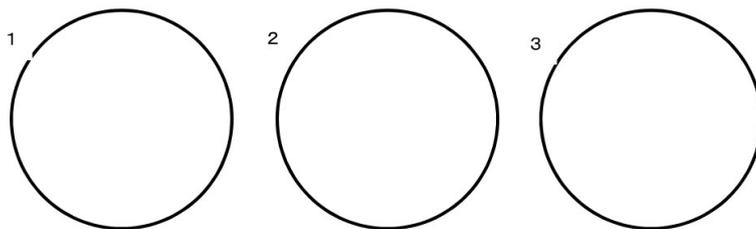
(5) 切ってあるマントル（2片程度）、シャーレのほぼ中央においてふたをする。

(6) 部屋を暗くして、シャーレを懐中電灯で照らし、内部に光をあてる。

(7) シャーレの底付近にあらわれた数センチほどの白い飛跡を観察する。

【実験結果】

○シャーレの中に見られた、飛跡の様子をスケッチしよう。



○線の特徴（長さ、太さ、あらわれ方、消え方、どこからどこに向かったか、線の曲がり方、など）、どんなことでも気付いたことを書きだす。

.....

.....

.....

.....

【その他の観察】

①シャーレのふたを開けて、再び閉めると、シャーレの中はどのようなになるか。

②シャーレの中の気体は、どのような状態になっているか、考えてみよう。

Hint : 飛行機雲のようなものが見える = 雲ができています = 雲ができる条件は？

③放射線の飛跡は、 α 線や β 線が通った跡です。

A. なぜ、 α 線や β 線が通ると飛跡ができる（ γ 線では飛跡ができない）のか？仮説を立てよ。

B. α 線と β 線は、どのようにしたら見分けられるだろうか？仮説を立てよ。

【調べてみよう】

①霧箱では、 α 線や β 線が通った後にどうして飛跡ができるのか、調べ自分の言葉で表現すること。

※wiki, 知恵袋等以外の web または、書籍等で調べること。参考にしたページをきちんと書く。

②霧箱に似た装置や、霧箱の発明者、霧箱がどのような研究につながったか、など、霧箱に関係したことを調べて、関連するキーワードを探して、できるだけたくさん、書き出してみよう。

3年 組 番 氏名

No. _____
Date _____

第5章 放射線の性質と利用

~放射線の種類~

① 光の仲間 (電磁波の一種) $\left\{ \begin{array}{l} \text{電気をとれない} \\ \text{質量をとれない} \end{array} \right.$

X線(エックス): 7L管や7-ツング管から出る
(高速の電子が衝突すると光る)

γ 線(ガンマ): 原子核から出る

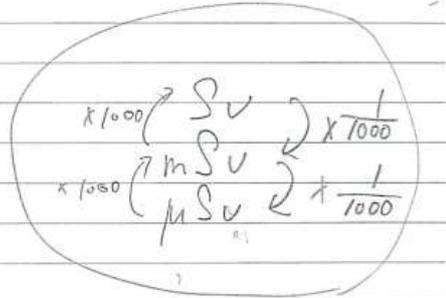
鉛や鉄などの厚い壁(板)で止められる

② 原子核から飛び出す粒子 $\left\{ \begin{array}{l} \text{質量がある} \\ \text{大きさがある} \end{array} \right.$

α 線: ヘリウム⁺の原子核が飛んてくる
(+電気)

β 線: 電子の流れ
(-電気) アルミニウムなどの薄い板で止められる

中性子線: 中性子の流れ
透過しやすい
大量の水やコンクリートで止められる



~放射線の量(単位)~

i) 1秒間あたり何個の放射線が放出されるか

Bq (ベクレル) ... 1秒間に1個 ... 1Bq

ii) 人体に与える影響の度合いを表す

Sv (シーベルト)

* 教室内
学校の近く } の放射線の量

0.05 ~ 0.1 μ Sv/h
2700 ~ ベルト

1年間 $\Rightarrow 24 \times 365 = 8760$ 倍

5m Sv/year

$$\mu = \frac{1}{10^6} = 10^{-6}$$

No.

Date

~ 放射性物質 ~

放射線を出す物質を放射性物質という

↓
物質中にある原子から放射線が出る
原子核が壊れて放射線を出す
大きな原子が小さな原子に分子

原子には (原子番号) が決められている
(質量数)
(原子量)

原子番号: 小さい原子から順にアケられている
原子核の中の陽子の数と同じ
 $(+) \text{数} = (-) \text{数} = (\text{電子数})$

質量数: 原子核の中の陽子 + 中性子の数
(原子量)

~ 種類 ~

・自然界にある放射線を自然放射線という

- ・宇宙線
- ・太陽からふってくる
- ・岩石、空気中のプトン

・人工的に作る放射線を人工放射線という

- ・原子力発電所、原爆 など
- ・コバルトに中性子をぶつけて ^{60}Co (C.60) を作る
医療に使う

No.
Date

~ 被ばく ~

放射線をあびると... 被ばく $\left\{ \begin{array}{l} \text{爆 (爆弾で)} \\ \text{曝 (せらこる, 受ける)} \end{array} \right.$

自然界からの被ばく量 ... 約 1mSv/year
医療であびる量 1回 ... $0.05\text{mSv} \sim 6.9\text{mSv}$

↓
年間 100mSv あびるとがんによる死亡率が 0.5% 増える

通常の許容量: 20mSv/year とされている

~ 放射線が役に立つ例 ~

・医療分野: 滅菌 (注射器, 手術道具 など)
診断 (X線, 血管造影 など)
治療 (がんの治療 など)

・農業分野: 食品 (発芽防止, 寄生虫の駆除 など)
品種改良 (突然変異の誘発)
害虫駆除 (不妊のメスを作って駆除する)

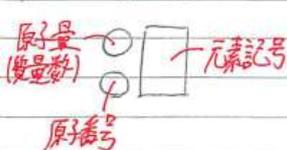
・工業分野: 新素材 (ゴムやプラスチック など)
非破壊検査 (壊さずに内部を調べる)
厚さ計 (ものの厚さを測る)

・その他: 年代測定, 絵画の下絵の調査 など

~ 放射能 ~

・放射線を出す能力を放射能という

・原子のあそびかた



例)	$^{12}_6\text{C}$	陽子 6 中性子 6 電子 6	$^{197}_{79}\text{Au}$	陽子 79 中性子 118 電子 79
	$^{239}_{102}\text{No}$	陽子 102 中性子 157 電子 102		

主論文を構成する論文と参考論文

本博士論文は、以下の論文をもとに内容を再構成した。

主論文を構成する論文

1. 大学生に対する高校物理実験および放射線学習の現状調査
林 壮一, 川村康文, 村上聡
日本物理教育学会誌 第 63 巻 第 3 号 pp.191-196 (2015 年 9 月)
2. 中学校 3 年間を通じた放射線授業の実践に基づく一考察
林 壮一, 川村康文
エネルギー環境教育研究 第 12 巻 第 1 号 pp.19-31 (2018 年 1 月)

参考論文

1. 中学校教科書にみる放射線教育の歴史」
林 壮一, 川村康文
放射線教育 第 19 巻 第 1 号 pp.3-12 (2016 年 3 月)