

放射線生体リスクにおける学習プログラム開発

前田彩香¹⁾
加藤徹也²⁾

高橋あかり¹⁾
高橋博代³⁾
小林芳枝⁵⁾

杉田克生²⁾
藤井克則⁴⁾
吉本一紀⁶⁾

野村 純²⁾
喜多和子⁴⁾

¹⁾千葉大学・教育学部・学部生
²⁾千葉大学・教育学部
³⁾千葉大学教育学部附属中学校
⁴⁾千葉大学・医学部
⁵⁾千葉県香取市立佐原小学校 現：聖徳大学・心理・福祉学部
⁶⁾千葉市立小仲台中学校

Development of learning programs for radiation biological risks

MAEDA Ayaka¹⁾
NOMURA Jun²⁾
FUJII Katsunori⁴⁾
YOSHIMOTO Kazunori⁶⁾

TAKAHASHI Akari¹⁾
KATO Tetsuya²⁾
KITA Kazuko⁴⁾

SUGITA Katsuo²⁾
TAKAHASHI Hiroyo³⁾
KOBAYASHI Fusae⁵⁾

¹⁾Faculty of Education, Chiba University, Japan; Student

²⁾Faculty of Education, Chiba University, Japan

³⁾Junior-high School of Faculty of Education, Chiba University

⁴⁾Faculty of Medicine, Chiba University, Japan

⁵⁾Sawara primary School, Katori

⁶⁾Konakadai Junior-high School, Chiba

放射線の生体影響を知るための実験講座用学習プログラムを開発した。教材の作製に当って、第一に養護教諭及び養護教諭養成課程の学生を対象に「放射線知識・意識調査」を、理科教員対象に「放射線教育実態調査」を行った。第二に、放射線の生体影響における中学校3年生が使用する理科の教科書を比較した。それらを参考に、生徒自身が実験を行う参加型プログラムを作製し、日常生活では五感でとらえることのできない放射線を可視化させる霧箱を用いた実験、ヒト細胞DNAにX線を照射しコメットアッセイによりDNA傷害ならびに修復を知る実験を行った。本学習プログラム教材は学校教育の隙間となっている放射線の生体影響の理解を高め、さらに放射線のリスクを正しく評価する上で有効と思われる。

キーワード：放射線教育 (Radiation education) 生体影響 (Biological effects)
教材開発 (Developing Materials) リスク評価 (Risk assessment)

I 目 的

2011年3月11日の東日本大震災により、福島第一原子力発電所の事故が発生した。事故当時、メディアからの放射線に関する様々な情報が氾濫し、放射線のイメージは原子力発電所と強く結びついた状態で人々に定着した。同時に、目に見えない放射線に対する恐怖や不安が非常に高まった。そのような中、2008年に学習指導要領が改訂され、新学習指導要領となった。これに伴い、中学校理科では約30年ぶりに放射線が取り扱われることになった¹⁾。

放射線教育の履修が提案される中で、われわれは学習指導要領の改訂に伴う学校での放射線教育実態調査を行った²⁾。その結果として教師からは、自分自身が学習してこなかった放射線教育を実際に行うことへの戸惑い、各生徒・保護者の生活環境への配慮が十分に行えるのか

への不安などが挙げられた。また教育現場の現状として、エネルギー教育に偏った教育、生体影響に関する内容の希薄さ、放射線に対する時間配分が少ないなど課題が明確になった²⁾。

上記のことより、今後教員は放射線が健康に与える影響について生徒・保護者に適切な教育及び説明を行うことが求められるとともに、放射線生体学の専門家などの意見を取り入れた生体影響を学ぶことができる学習プログラムの開発が急務である。さらに、子供たちには膨大な量の放射線に関する情報の中から、正しく情報を選択し、論理的に考え自ら判断し行動することが求められると考える。

本研究では、始めに放射線の生体影響という観点から養護教諭と養護教諭養成課程学生を対象とした放射線の知識及び意識調査した。さらに学習指導要領改訂により平成24年度から理科で放射線が扱われることになったことから、理科教員を対象とした放射線教育の実態調査を実施した。また「放射線生体影響」における日本の教育の現状について中学校3年生が使用する理科の教科書の内

*連絡先著者：杉田克生 sugita@faculty.chiba-u.jp

*Corresponding Author :

SUGITA Katsuo sugita@faculty.chiba-u.jp

容を比較調査した。これらを踏まえて、教育現場での放射線教育について考察し、学童がリスクの本質をとらえることができる効果的な放射線学習プログラムを開発する。

Ⅱ 放射線に対する知識及び意識調査ならびに放射線教育実態調査

1. 放射線に対する知識及び意識調査

(1) 目的

健康という観点から養護教諭が今後、放射線の生体影響を教える立場となることを想定して調査する。第一に放射線の単位・種類といった基礎的な知識、及び健康影響に関する知識をどの程度理解しているのか、第二に放射線教育を行うことへの賛否から、現在の養護教諭の放射線に関する認識を明らかにする。

(2) 対象

千葉大学教育学部養護教諭養成課程の1, 2年生60名(女性60名)
千葉県内の養護教諭75名(女性75名)

(3) 方法

アンケート調査(選択式, 一部記述式)

(4) 実施時期

2013年11月～12月

(5) 実施内容

放射線の知識理解(よく知っている, 聞いたことがある, 知らない), 養護教諭が放射線教育を行うことへの問い

2. 放射線教育実態調査

(1) 目的

学習指導要領改定により理科の授業で放射線教育が扱われることになったことから、理科の授業でどのような内容が扱われているのかを調査する。また、放射線の生体影響を教えている者の教えている具体的内容、放射線教育の課題、保護者への対応について明らかにすることで、現在の理科教育の現状を把握する。

(2) 対象

千葉市内の中学校理科教員54名(男性29名, 女性16名, 無回答9名)

(3) 方法

アンケート調査(選択式, 一部記述)

(4) 実施時期

2013年12月～2014年1月

(5) 実施内容

放射線教育実施の有無, 実施内容, 放射線による健康影響に関する情報の習得場所, 放射線による健康影響についての問い, 放射線教育の課題, 放射線汚染と学校給食における牛乳提供への問い

Ⅲ 「放射線の生体影響」における中学校3年生が使用する理科の教科書比較

(1) 目的

2012年度から中学校3年生の理科で30年ぶりに放射線を扱うことになったが「放射線の生体影響」についてはどのように扱われているのかを明らかにする。加えて

「放射線の生体影響」に関する教科書の内容が教科書会社によってどのように違うのか、またどのような内容が適切なかを明らかにし、学習プログラム開発に活かす。

(2) 対象

教育出版「自然の探求 中学校理科3」, 大日本図書「理科の世界3年」, 啓林館「未来へひろがるサイエンス3」, 東京書籍「新しい科学3年」, 学校図書「中学校科学3」の5社の教科書

Ⅳ 実験教材開発ならびに実験講座

本研究では、実施した実験講座の内容を含めた放射線を聴覚化・視覚化した教員向けのテキストを作成し、放射線教育教材として提示する。科学研究費助成事業の一環として、対象を中学生・高校生・中学校教諭とする下記の放射線実験講座を実施した。

1. 「放射線の生体影響をDNA損傷から観察しよう」

(1) 目的

馴染みのない「放射線の生体影響」という分野への学習において、自分自身で実験の過程に携わることで、生徒の興味・関心を引きつける。また日常生活では五感でとらえることのできない放射線を視覚でとらえさせ、放射線の飛跡を目で確認することにより、放射線が身の回りに存在していることを理解させる。これにより、放射線の「見えない」という不安や価値観を軽減させる。視覚化だけでなく、日常生活では五感でとらえることのできない放射線を、聴覚でとらえる。

以上のことを体験し放射線とは関係ないように思っている物質も放射線を出していることや、生活している空間にも宇宙線が存在していることを理解させる。コメットアッセイや霧箱の原理について学ぶ。知識のみでなく、実験をすることで理解力を高める。

(2) 対象

サイエンススタジオCHIBAより参加を希望した中学生1名, 高校生4名, および当日参加することになった小学生1名

(3) 実施場所

千葉大学教育学部4号棟4306教室及び5号棟P2実験室

(4) 実施時期

2014年8月1日

(5) 講座内容

X線照射によりヒト培養細胞のDNA損傷実験, 霧箱の観察, 身の回りの放射線測定, 放射線の生体影響に関する講義

2. 「放射線の生体影響を調べるための実験講座～放射線によるヒト細胞DNAの傷を観察する～」

(1) 目的

放射線が生体に与える影響とDNA修復システムの理解を深めることを目的とする。普段目に見えず個人差のある生体影響を視覚化することで放射線による生体影響のイメージを掴むとともに、実験を体験することでコメットアッセイの原理を理解するとともに放射線の生体影響への理解力を高めていく。

(2) 対 象

千葉市教育委員会より参加を希望した市内中学校理科教諭 5 名

(3) 実施場所

千葉大学医学部動物実験室及び千葉大学医学部本館 2 階西南セミナー室及び実験室

(4) 実施時期

2014年12月 6 日

(5) 講座内容

X線照射によりヒト培養細胞のDNA損傷実験、放射線教育の現状、放射線による生物影響講話

全体をまとめると、養護教諭・養護教諭養成課程共に、「よく知っている」との答えが最も多かったのは④の外部被ばく・内部被ばくに関する項目（養護教諭65%・養護教諭養成課程の学生60%）であった。反対に「知らない」との答えが最も多かったのは⑧原爆被爆者の二世世代影響に関する項目（養護教諭68%・養護教諭養成課程学生81%）であった。次いで⑩の喫煙と発がんに関する項目（養護教諭61%・養護教諭養成課程学生77%）であった（図1-A、図1-B）。

養護教諭が放射線教育を行うことへの賛成・反対及び理由（養護教諭養成課程・養護教諭）については養護教諭養成課程が放射線教育に対して賛成53名（88%）、反対7名（12%）であるのに対し、養護教諭は賛成12名（16%）、反対56名（75%）、どちらとも言えないが7名（9%）だった（図2）。賛成の理由について養護教諭養成課程の学生、養護教諭共に「健康に関わることであるから」という意見が最も多かった（養護教諭養成課程の学生：類似13例、養護教諭：類似4例）（表2、表4）。

V. 結 果

1. 放射線に対する知識及び実態調査

放射線についての質問を10項目設定し、「よく知っている」「聞いたことがある」「知らない」の3つの選択肢を用意した（表1）。

表1. 放射線知識調査の質問項目

①	放射性物質が放射線を出す能力を表す単位を「Bq：ベクレル」といい、放射線による人体の影響の度合いを表す単位を「Sv：シーベルト」という。
②	放射線にはα線、β線、γ線、X線、中性子線などの種類があり、どれも物質透過する能力を持っているが、その能力は放射線の種類によって異なる。
③	放射性物質は「物理学的半減期」に従った減少と、「生物学的半減期」に従った減少の2つが同時に進むため、例えばセシウム137のように物理学的半減期が30年と長い放射性物質であっても、体内に残存する量は約110日で半減する。
④	体外から放射線を受けることを「外部被ばく」といい、放射性物質が含まれる空気や飲食物を吸ったり摂取したりすることによって、放射性物質が体の中に入り、体の中から放射線を受けることを「内部被ばく」という。
⑤	日常飲んだり食べたりする牛乳、米、昆布などの食品には成分としてカリウムがあるが、その中には放射線を出すカリウムもごく微量に含まれている。
⑥	私達が1年間に受ける自然放射線は2.4mSv。しかし世界にはその10倍の放射線を受ける地域もある。そこで暮らす人が80年生きてても人体に影響は出ないが、80年分を一度に全身に受ければ、脱毛嘔吐等の症状を引き起こす可能性がある。
⑦	人体には修復機能があるため、放射線によってDNAに傷がついても、ほとんどが修復される。
⑧	放射線の遺伝的影響に関する調査では、原爆被ばく者のうち、被ばく後に妊娠した者の二世世代（被ばく者の子ども）に異常は認められていない。
⑨	ヨウ素剤を服用するのは、甲状腺にヨウ素を取り込み蓄積するという機能があるため、放射性をもたないヨウ素を服用することで甲状腺をヨウ素で満たしておくためである。
⑩	喫煙による発がんの死亡リスクは1.6倍と言われているが、これは放射線被ばくの発がんリスクの2,000mSvに相当する（福島では年間10mSvが懸念されている）。

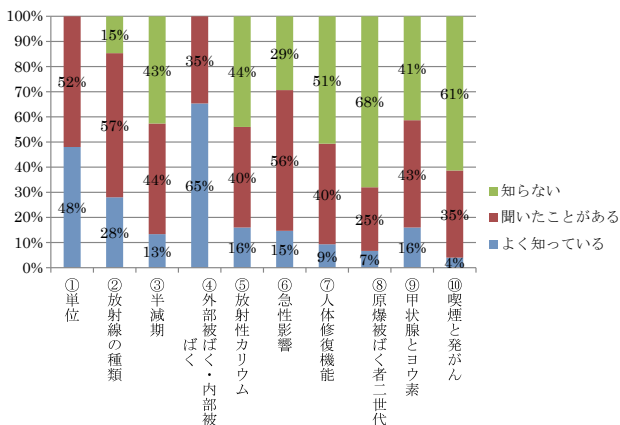


図1-A. 養護教諭における放射線の知識理解

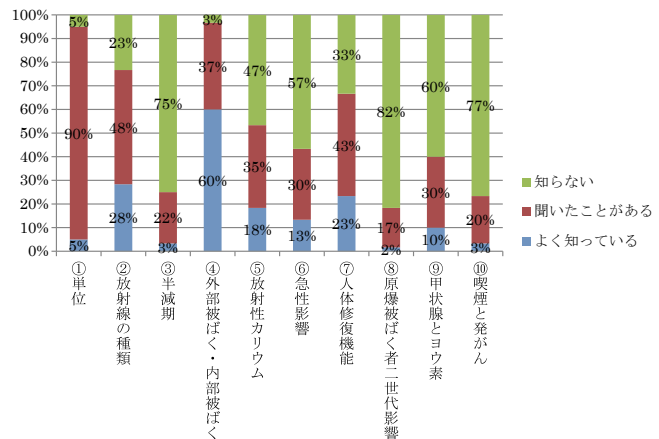


図1-B. 養護教諭養成課程学生における放射線の知識理解

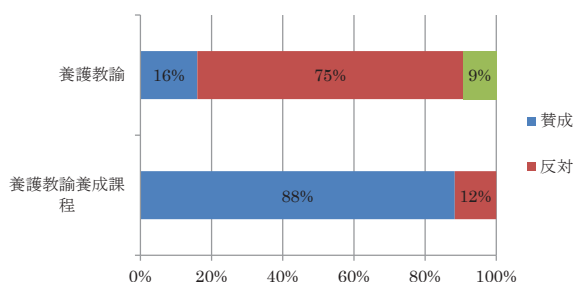


図2. 養護教諭が放射線教育を行うことへの賛否

表2. 養護教諭養成課程における養護教諭が放射線教育を行うことに賛成する理由

健康教育に関わることだから。	類似13例
様々な情報が氾濫しており、子どもに正しい知識を教える必要があるから。	類似11例
保護者が聞いてくるかもしれないから。	類似5例
学校で一番専門的に教えられるから。	類似5例
他に説明する人がいないから。	類似2例
自身が知識として身につけておくべき。	1例

表3. 養護教諭養成課程における養護教諭が放射線教育を行うことに反対する理由

専門的な知識を身につけるのが難しい。	類似2例
世の中が敏感になっている話題に深く関わるのが怖い。	1例
専門家にやってもらいたい。	1例
放射線について学ぶ機会が少ない。	1例

表4. 養護教諭における養護教諭が放射線教育を行うことに賛成する理由

健康教育にかかわることだから。	類似4例
条件が揃えばやりたい(知識・研修・時間・校内体制・教材)。	類似2例
子どもに正しい知識を教える必要がある。	類似2例
養護教諭が中心となったほうが保護者が受け入れやすいのでは。	1例
特別に養護教諭に限ったわけではないが必要性を感じる。	1例

表5. 養護教諭における養護教諭が放射線教育を行うことに反対する理由

専門的な知識を身につけるのが難しい。	類似24例
必要ならば教科内、教科担任が行うべき。	類似8例
専門家にやってもらいたい。	類似7例
家庭により考え方が様々で、絶対に大丈夫だという保障ができない。	類似3例
手が回らない。	類似3例
マニュアルや教材がない。	類似2例
放射線について関心が薄れており、優先度が低い。今の状況では必要ない。	類似2例
責任が持てない。	1例

表6. 養護教諭が放射線教育を行うことにどちらともいえない理由

知識がなく、賛成反対かも分からない。	1例
放射線は何かを語れても、安全性は保障できない。個人の価値観や政治的なことを持ちだしていいのかわからない。	1例
知識を身につけるのが難しいが、学習内容が市内で検討されたら可能。	1例

反対の理由については両者とも「知識を身につけるのが難しい」という意見が最も多かった(養護教諭養成課程: 類似2例, 養護教諭: 類似24例)。また、養護教諭から「必要ならば教科担任が行うべき」(類似8例), 「専門家が行うべき」(類似7例)という意見も多く見られ、学習内容として扱うことの難しさが露呈している(表3, 表5)。どちらとも言えないという意見が養護教諭から出たが、「放射線は何かを語れても、安全性は保障できない」「個人の価値観や政治的なことを持ちだしていいのかわからない」など、学校で放射線に関する問題に対応する困難さを訴える声が挙がった(表6)。

2. 学校での放射線教育実態調査

1) 放射線教育の機会(複数回答)

放射線教育の機会については「授業中」が45名と回答者の内全員が理科の授業内で放射線教育を行っていることが分かった。授業以外に「HR」(4名), 「道徳」(1名)の時間においても放射線教育を行っていた(図3)。

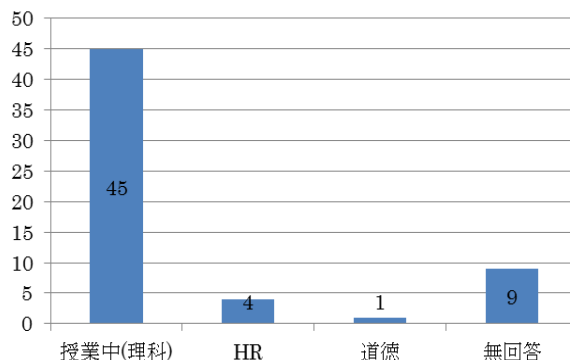


図3. 中学校理科教員が実施している放射線教育の機会

2) 放射線教育で教えている項目

放射線教育で教えている項目については、「原子と原子核」が最も多く36名で、67%が教えていることが分かった。次いで「放射線の利用」が28名(52%)であった。健康に関する事項である「放射線の健康影響」「外部被ばくと内部被ばく」「放射線から身を守る方法」については、「放射線の健康影響」が27名(50%)と半数が教えている一方、「外部被ばくと内部被ばく」が13名(24%), 「放射線から身を守る方法」11名(20%)と20%程度であった(図4)。

3) 放射線教育の情報源(複数回答)(放射線の健康影響について教えている27名)

放射線教育の情報源は「インターネット」が21名(78%)

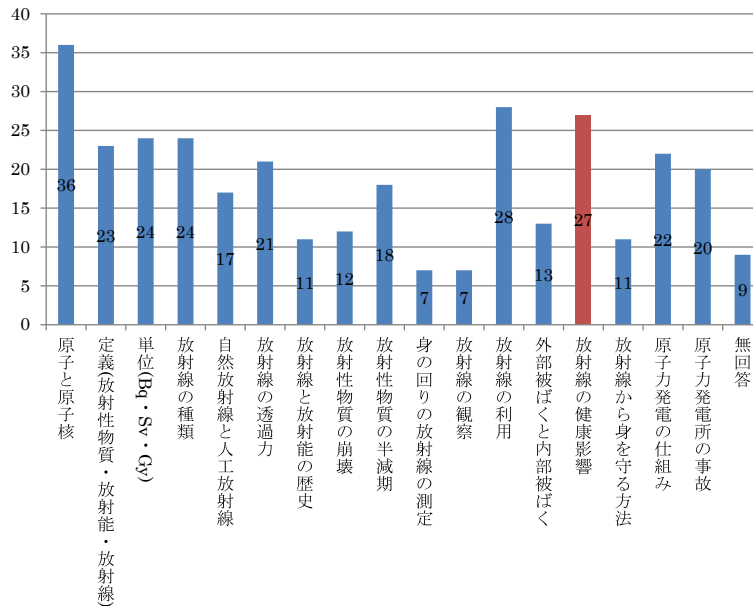


図4. 中学校理科教員における放射線教育で教えている項目 (複数回答可)

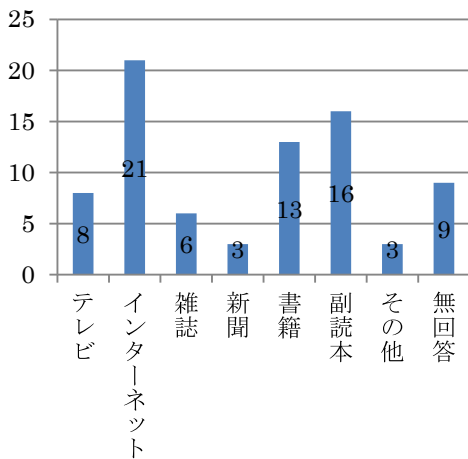


図5. 中学校理科教員における放射線教育の情報源 (複数回答可)

と最も多く、次いで「副読本」16名(59%)、「書籍」13名(48%)であった。その他の内訳に「放医研」との回答があり、放射線医学総合研究所との連携をしている者もいることが分かった(図5)。

4) 放射線の健康影響について教えている項目(放射線の健康影響について教えている27名)

放射線の健康影響について教えている項目については「身体的影響(晩発影響・急性影響)」が16名(59%)と最も多く、次いで「遺伝的影響」15名(56%)、「放射線はDNAなどの生体分子を傷つけること」15名(56%)であった。⑧の放射線汚染と学校給食における牛乳の問いに関連する「甲状腺ガン」や「甲状腺ガンとヨウ素」については教えている者が「甲状腺ガン」6名(22%)、「甲状腺ガンとヨウ素」3名(11%)と少ないということが分かった(図6)。

5) 放射線教育の課題(放射線の健康影響について教えていない18名)

放射線の健康影響について教える上で困難な点として

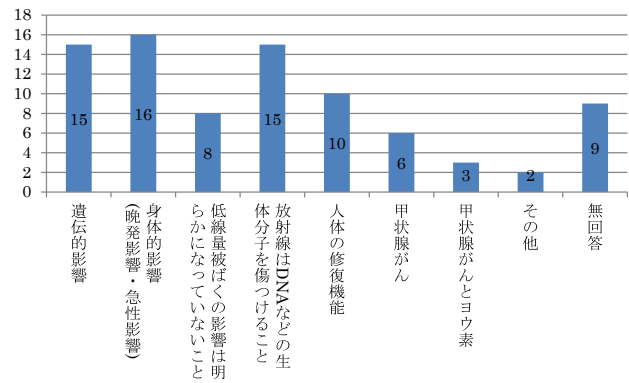


図6. 中学校理科教員が放射線の健康影響について教えている項目

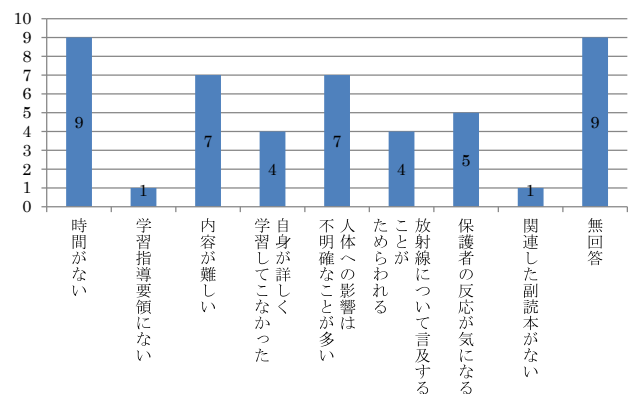


図7. 中学校理科教員が考える放射線教育の課題

「時間がない」が9名(50%)で最も多く、次いで「内容が難しい」7名(39%)、「人体への影響は不明確なことが多い」7名(39%)であった(図7)。

6) 放射線汚染と学校給食における牛乳提供への問い
「具体的なデータをもとに安全性を説明した後、保護者の判断に任せる」という回答に類似したものが13例と多く、全体的にも保護者の意向を優先するといった回答

が多かった。また、データをもとに安全性を説明するという回答に類似したものが5例あった。具体的には「千葉市の乳牛からつくられている」「人体の修復機構について説明する」等の内容であった(表7)。

表7. 中学校理科教員における牛乳停止を求める保護者への対応と説明

内 容	例数
具体的なデータをもとに安全性を説明した後、保護者の判断に任せる。	類似13例
保護者の判断に任せる。	類似7例
データをもとに安全性を説明する。(千葉市内の乳牛から作られており、安全基準大幅に下回っている、人体の修復機構について説明等)	類似5例
学校全体で相談。管理職に相談。	類似4例
説明できない。	2例
保護者には特に何も言わないが、生徒には放射線に関して指導したい。	1例
牛乳の線量を調査する。	1例
無回答	13名

VI. 「放射線の生体影響」における中学校3年生が使用する理科の教科書比較

1. 教科書における放射線の取り扱いについて

教育出版「自然の探求 中学校理科3」、大日本図書「理科の世界3年」、啓林館「未来へひろがるサイエンス3」、東京書籍「新しい科学3年」、学校図書「中学校科学3」の5社の教科書の比較を行った「現在の理科教育における放射線の取扱いの研究2」³⁾を参考に以下に提示する。

表8. 教科書会社別による内容比較³⁾

	啓林館	東京書籍	学校図書	教育出版	大日本図書
放射線の人体影響	放射線はひじょうに大きなエネルギーをもって、大量に浴びると生物や人体に異常を引き起こすので危険である。そのため、とりあつかいには細心の注意が必要となる。	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。	私たち人間もつねに浴びながら生活していますが、量が少ないので問題はありません。しかし、一度に大量の放射線を浴びると、細胞やその中の遺伝子が傷つけられ、死に至ることもあります。	生物の細胞に影響をあたえるなどの問題があるため、放射線を放出する物質のあつかいには十分な注意が必要である。	一方で、大量の放射線を浴びると、やけどのような症状が出たり、細胞中の遺伝子が傷ついて(注。放射線には原子をイオンにする能力があるため、遺伝子の本体であるDNAを変化させることがある。)がんが発生しやすくなったりする(国際放射線防護委員会(ICRP)では、浴びる放射線量が大きくなるほどがんの発生する危険性が高くなり、放射線量が小さくても影響があると考えて対策を立てるべきであると指摘している)ので、放射線の利用には十分な注意が必要である。
身近にある放射線	放射線は原子力発電所や病院、研究所のような特殊な施設だけにあるのではなく、わずかではあるが、身のまわりや自然界のあらゆる所に存在している(※2:放射線が人体に与える影響を表すときの単位として、ミリシーベルト(mSv)が用いられる。通常、わたしたちは1年間に、世界平均では約2.4ミリシーベルト、日本平均では約1.4ミリシーベルトの自然放射線を受けている)。	原子力発電では、ウランなどの核燃料から放射線が発生する。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、わたしたちは日常にある程度の放射線をあびている。	自然界にはもともと放射線があり、私たち人間もつねに浴びながら生活していますが、量が少ないので問題はありません。	放射性物質は天然に存在し、宇宙や大地、空気などから放射線が放出されているため、わたしたちは日常的に放射線を浴びている。しかし、その量はわずかであり、人体に害はないと考えられている。	放射線には、クルックス管で発生させるX線のよう人工的につくられるもの(人工放射線)と、自然界に存在するもの(自然放射線)とがある。図)は、わたしたちが1年間に受ける自然放射線のうちわけを表している。自然放射線のおもな原因は、岩石などに微量にふくまれるウランや、大気に微量にふくまれるラドンなどである。わたしたちは年間2.4ミリシーベルト程度の自然放射線を浴びている(注。2.4ミリシーベルトは、世界平均の値。地域によって異なる)。

(1) 放射線の生体影響

すべての出版社が放射線の生体影響について扱っていることがわかる。主な内容は放射線に被曝することで人体や細胞に悪影響があるということについて説明しているが、DNAが損傷する機構について扱っているのは1社のみである。機構についてはかなり詳しい記述がなされており科学的に理解することが可能であるといえる。また放射線の生体影響について確定的影響と確率的影響があるということが知られているが記載がない。1社のみがICRPの提示しているLNTモデルについて解説している。LNTモデルについては現段階では議論がなされているということを注釈など入れる必要がある。

放射線のDNA損傷における応答としては、①修復、②アポトーシス、③損傷の固定の3つが知られているが、①修復、②アポトーシスがあることが説明されていない。放射線に被曝するとDNA損傷が固定するというイメージが定着する可能性がある。子供たちの放射線に対する不安を軽減することが出来ず課題が残るといえる。

(2) 身近にある放射線

すべての教科書で、身近にある放射線について説明されている。自然界に放射線が存在しているということが説明されているが、具体的な存在場所について記載があるのは1社のみであり明確化されていない。また人体からも放射線を出しているということの記述があればより身近に感じることができる。「放射線をゼロにしたい」という考えが福島原発の事故以降みられるが、身近に放射線があるということを知ることによって極端な考えを減らすことができる(表8)。

以上のような背景には学習指導要領の取扱いについての指示に要因があると思われる。

放射線教育はエネルギー資源の項目の1部として扱われており放射線のみ時間に時間を割くということが難しい状

況である。また物理や化学としての放射線の側面が強く、生体影響について扱う余裕がない。さらに「放射能」という単語がなく、教科書でも扱われていない。そのため放射線と放射能の違いがわからず、メディアのように誤った使い方が正されない。さらに一番子どもたちの関心の強い「放射線の生体影響」について学習指導要領で触れられていない。そのため教科書でも扱いに差がある。

VII. 実験教材開発及び実験講座

1. 「放射線の生体影響をDNA損傷から観察しよう」, 「放射線の生体影響を調べるための実験講座～放射線によるヒト細胞DNAの傷を観察する～」の2つ実験講座より、放射線の生体影響について効果的な放射線教育を行うための教材を作製した。

(1) 放射線の基礎知識

① 物質の構成について

- ・すべての物質は原子の集合からできている。人も動物も液体も見た目は全然違うけど、どんどん分解していくとみんな原子からなる。
- ・原子は原子核とその周りを回る電子からできている。電子がサッカーボールの大きさだとしたら原子核はサッカーグラウンド場くらいの大きさの違いがある。

② 放射線ってなんだらう

- ・放射性物質：放射線を出す物質のこと。
- ・放射能：放射線を出す能力のこと。
- ・放射線：ぶつかった原子の軌道電子を弾き飛ばすことで、原子を陽イオンと電子に分離する作用（これを電離作用という）を持つ、粒子や電磁波のこと。

放射線は「光の仲間である波長の短い電磁波」と「高速で動く粒子」の2種類に分けることができる。

③ 放射線の単位（表9）

④ 放射線に被曝するとどうなるのか

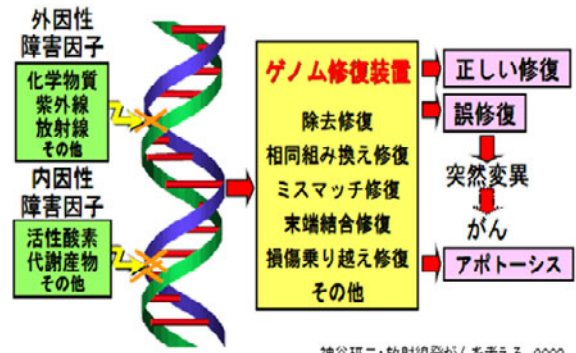
放射線だけでなくDNAは様々な要因で損傷する。放射線に被曝してもすぐがんになるわけではない。体にはケガをした時にかさぶたができるように修復する機構が備わっている。損傷の仕方により様々な修復方法で修復を行うが、修復できない場合はアポトーシスが起きる。また修復の過程でミスが起きるとそれが突然変異となりがん化するという仕組みである（図8）。

100mSv以下の低線量被曝では、放射線被曝をしていない人の発がん率との差が明確でなくなるため、がんの

表9. 放射線の単位⁴⁾

	単位	説明
放射線の量に関する単位	シーベルト Sv	人が放射線を受けたときの影響の程度を表す単位 (SvはGyに放射線の種類や人体の性質ごとの係数をかけたもの)
	グレイ Gy	放射線のエネルギーが物質(人体)にどれだけ吸収されたかを表す単位 (1Gyは物体1kgあたり1Jのエネルギー吸収があるときの線量)
放射能の単位	ベクレル Bq	放射線を出す能力を表す単位 (1Bqは1秒間に1個の原子核が崩壊すること)

ゲノムのキズを修復するシステム



神谷研二:放射線発がんを考える 2003

図8. 修復システム⁵⁾

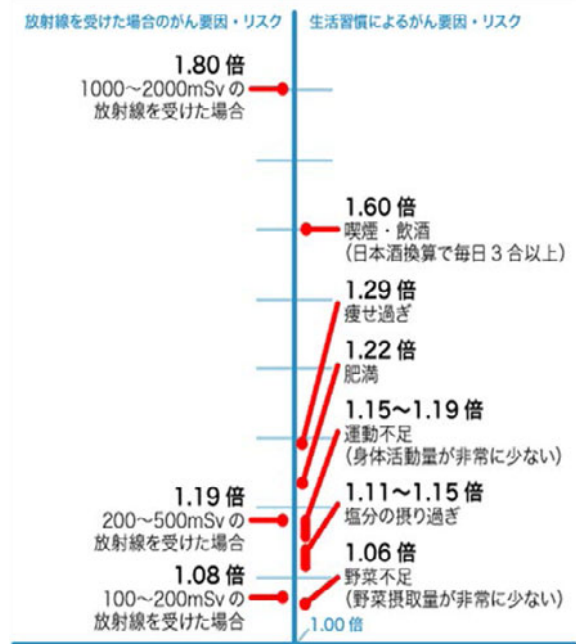


図9. がんになるリスク⁶⁾

発生を気にする必要はないと考えられている。科学的な視点で見れば、放射線以外の理由による発がん（食事、生活習慣、喫煙や飲酒など）の方がずっと多くある中で、被曝の影響による発がん率の微妙な増加があったのかなかったのかを確認することが非常に難しいと言える（図9）。

2. 実験講座

(1) 放射線の存在を実感する

霧箱の観察

1) 意義

日常生活では五感で捉えることのできない放射線を視覚で捉える。放射線の飛跡を自身の目で確認することができるため、放射線が身の回りに存在していることを理解させる。これにより、放射線の性質である「見えない不安」を軽減させる。

2) 原理

放射線そのものではなく、飛跡の視覚化を利用する。
・高速荷電粒子放射線が物質の内部に入ると、通過する道筋にある原子から電子を弾き飛ばすため、荷電粒子が通

過した道筋にそって陰イオンと陽イオンを生成する。

- ・不安定な過飽和層の中では、発生した陰イオン・陽イオンを核とする霧が生じ、放射線の通過経路に沿って目に見える程度のものに成長するため、放射線の通過した後に飛跡が残る。

3) 講座内容

昨年度は霧箱の簡易キットを使用せず一から霧箱の作成を行った。準備に時間がかかるとともに、作る個人個人によって霧箱の出来がかわり上手く飛跡の観察を行うことができなかった。そのため今年度は霧箱の簡易キットを使用した。簡易キットを用いることにより飛跡の観察精度が上がるだけでなく、作成に時間がとられないため観察の時間も多くとることができた。

今年度はアニメーションを含むパワーポイントを用いて、どうして飛跡が見えるのかの説明を行った。見えるという現象だけでなく、原理を大切にすることで放射線に対する関心を高めることができた。

(2) X線照射によるヒト培養細胞のDNA損傷観察

1) 意義

目に見えない放射線による生体影響を、ヒト培養細胞(HeLa細胞)にX線を照射し、DNA損傷・回復の様子を comet assay として視覚化することで理解させる。

2) 原理

損傷の入ったDNAをアガロースゲル内に固定した後、電気泳動で移動させ、染色することで蛍光顕微鏡下では細胞が彗星(Comet)のように見える。これは、損傷が入ったDNAは鎖がほどけた構造になり、より早く陽極側に移動しテール部分となり、核領域に残ったDNAは頭部を形成するためである(図10)。

3) 講座内容

8月1日実施では、中高生を対象に「X線照射によりヒト培養細胞のDNA損傷実験」を実施した。学校では普段使用しない、ピペット、セルスクレーパー、アスピレーターなどの実験器具を駆使しての実験は難しく感じた受講生が多くいた。時間の制約があり実験をすべて行うことは難しく、一部のみの参加とした。実際にDNA損傷を comet assay として見ることができ放射線による細胞障害に対して理解を深めることができた。

12月6日実施では、今年度は細胞の観察、セルスクレーパーによる細胞の回収、遠心分離、アガロースゲル内への固定について受講者に参加してもらい実際に実験

を行ってもらった。観察のみよりも、実際に自分自身で実験に参加することにより、興味・関心が高まることが明らかになった。また実験手順も理解しやすくなり、 comet assay の原理について理解を深めることができる。結果として実験に参加することにより質疑応答も活発になり、理解を深めることができた。

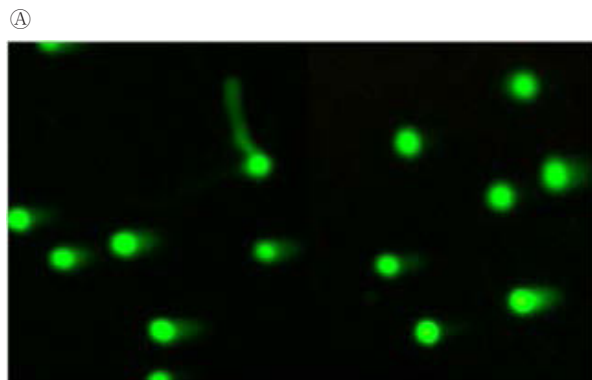
Ⅷ. 考 察

養護教諭・学生を対象とした放射線知識及び意識調査で、放射線の知識については、放射線の健康影響について知っている者が非常に少ないことがわかった。特に、養護教諭において「⑦人体修復機能」「⑧原爆被ばく者二世世代影響」「⑩喫煙と発がん」の3項目は「知らない」者が半数以上であった。各10項目への回答のうち、養護教諭・学生共に「よく知っている」との回答半数を超えたのが④の「外部被ばく・内部被ばく」のみであった。このことから放射線の及ぼす生体影響のみならず、放射線そのものの知識を習得している者が少ないということがわかった。

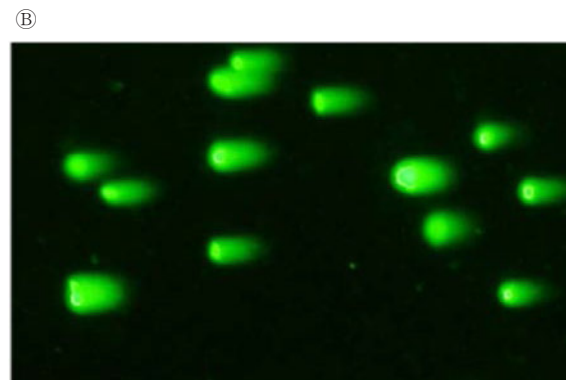
さらに、「放射線汚染が心配だから学校給食の牛乳を止めたい」と申し出る保護者への説明と対応について、「具体的なデータをもとに安全性を説明する」という回答が多く出された。しかしながら具体的な牛乳の安全性を証明するデータ(例:「ヨウ素131の半減期は8日であり、現在では安定した物質に変わっていること」「生物学的半減期」「DNA修復機構」)を説明している回答はなかった。つまり、現段階で放射線の生体影響について説明できる者は非常に少ないのではないかと考える。

放射線教育を行うことへの賛否については、学生が放射線教育に対して賛成53名(88%)、反対7名(12%)であるのに対し、養護教諭は賛成12名(16%)、反対56名(75%)であった。このことから、学生の段階では放射線教育を行う考えがあったとしても、現場に出た場合に放射線教育を行う難しさを感じるということが現状として明らかになった。

一方、中学校理科教員を対象にした放射線教育の実態調査で放射線教育の機会について回答者全員が理科の授業で行っていることから、新学習指導要領に沿った放射線教育がされていることが推測される。しかしながら、具体的な放射線教育で教えている項目について調査した



④: コントロール



⑤: X線10Gy照射直後

図10. X線非照射(コントロール)のHeLa細胞DNA

結果、「放射線の健康影響」について教えている者は半数程度に留まった。

また、放射線の健康影響に関して教えている27名に、具体的に教えている内容を調査した結果、「遺伝的影響」「放射線はDNAなどの生体分子を傷つける」ということに関しては教えている者が半数以上であるのに対し、「人体の修復機能」に関しては教えている者が3割程度であった。このことから、放射線とDNAの関係についてはリスクを中心に扱うことが多いと予測される。

一方、放射線の健康影響について教えていない18名に放射線教育を行う上で困難と感じる点について調査した結果、「時間がない」ことが放射線教育の課題であるという回答が最も多かった。このことから、放射線教育は大半が理科の授業内で行われるため、時間数が限られており、学習指導要領に示されている内容を教えるに留まることが考えられる。

そこで、このような放射線生体影響における教育の現状を明らかにするため、理科の教科書内容比較を行った。同じ中学校3年生が使用している教科書であるが出版社によって内容は様々であり、使う教科書によって知識に差が出るのではないかと推測できる。またこの出版社も放射線の生体影響については内容が不十分であるといえる。その理由としては、放射線に被曝した時の生体反応は①修復、②アポトーシス、③変異の固定の3つがあるにも関わらず、すべての出版社が③変異の固定のみを扱っている。本来であれば修復もしくはアポトーシスがおき、それらがうまく働かないときのみ変異の固定がおきるにも関わらず、放射線に被曝すると必ずDNAに損傷が残ってしまうというイメージを定着させかねない。

このような学校現場での指導が福島第一原発の事故から3年半たった今でも過度な不安が解消されない背景の一要因であると推測する。また放射線の扱いについてもエネルギー資源としての側面が多く、放射線とはいったいなにかということもわかりにくい。メディアで毎日使われていた放射線の単位についても扱っていない教科書会社もあり、社会とのギャップを感じざる得ない状況である。

今回の調査を踏まえて独自に放射線の生体影響を教えるための学習プログラムの開発を行った。放射線の生体影響について学ぶ上では、放射線の基本的な知識が必要であると考えた。放射線に関する情報についてはメディアなどから見聞きしていることが想定され、理解している気になっているが、基礎や根本を学習しなければ正しい理解には至らない。また見聞きしているメディアの情報が誤っていることも少なくなく（例：放射能汚染などの間違った用語の使用）、放射線に関する間違った知識や歪んだイメージを払拭するためにも基礎知識を学習できるようにした。

次に、放射線のイメージに関しては、マイナスイメージが定着しやすい理由の一つに、放射線の存在を五感でとらえることができず、知らないうちに放射線に被曝し、気付いたら生体は影響を受けていたということがあげられる。実態がつかめないということから過度に不安を感じる人も多くこれを払拭するために、放射線の可視化を

図ることで、身の回りに放射線が存在しているということを実体験させた。自分自身で霧箱を作成して放射線の飛跡を雲としてみることで、メディアなどの受動的な情報とは違い反応がよく、興味関心を高めることができた。霧箱キットは安価であり作成にも時間がかからず授業内で扱うことも可能である。

放射線教育に求められるものとしては、放射線の正しい知識の教育だけでなく、放射線の性質、リスク、暮らしとのかかわりを理解させることが重要だといえる。特にリスクについての正しい理解は重要である。福島第一原子力発電所の事故以降、過度な不安から胸のレントゲン撮影を拒否する人がいると報道されている。これは正しいリスク判断ができていない実例で、レントゲン撮影によって放射線に被曝することと、レントゲン撮影をして病気の有無を調べることの二つを天秤にかけた場合、メリットとデメリットを正しく判断できる能力がなく感情などで決めてしまう場合がある。メリットとデメリットをどのように考えるのか、またデータや資料を読み取る力についても身に付けさせていくことが必要だと言える。

放射線教育で根本的な課題となるのが、教師、保護者、生徒と教育に携わるすべての者が放射線に対するイメージを学習前から持っているということである。またそのイメージは原子力発電所の事故と結びついている例が多く、マイナスなイメージを持っている状態から教育が行なわれている点が他の学習分野とは大きく異なるところである。

また、放射線の生体影響に関する領域は、学習指導要領に明示されていないことから学校教育において隙間の部分となっている。よって、生体影響に関する知識を正しく伝える理科教員の養成に加え、理科教員と健康に関する専門的知識を持つ養護教諭がティーム・ティーチングの指導形態で放射線教育を行うことが望ましいと考える。いかに理科教員に一任せずに学校全体で学習内容以外の障害を取り除き、時代に応じた放射線教育を授業として成立していくかについては今後の課題である。

Ⅸ. 文 献

- 1) 文部科学省「新学習指導要領のポイント・実施スケジュール等」
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/idea/
- 2) 石田菜摘・杉田克生・高橋博代(2014)「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, p361-366
- 3) 山根悠希・松崎昌之(2013)「現在の理科教育における放射線の取扱いの研究」『福岡教育大学研究紀要』第63号, 第3分冊, p44-45
- 4) 東京電力ホームページ「放射線の単位」
<http://www.tepco.co.jp/>
- 5) 放射線による発がん <http://www.snap-tck.com/>
- 6) 国立がん研究センターホームページ:「がんのリスクの大きさ〈何倍程度大きいか〉」
<http://www.ncc.go.jp/jp/>