

1. 背景

福島第一原子力発電所事故以来、初・中等教育からの放射線及び原子力分野の学習の重要性が講じられ、学習指導要領にも盛り込まれてきた。近年では、福島第一原発の処理水の海洋放出に関し、水素の放射性同位体であるトリチウム（ H-3 ）について、ニュース等で耳にする機会は増えたものの、トリチウムや放射性同位体について理解できている人は多くない。放射性同位体や放射性壊変について、座学にて学習しても、丸暗記をしようとして壊変の種類と原子番号や質量数、壊変により出てくるものとの関係を覚え間違えてしまったり、1つの放射性同位体が安定同位体になるまでを追っていく場合に途中で間違えた際、誤りに気付くことができなければさらに連鎖的に間違えてしまったりと、放射性壊変の特性上、理解の定着が難しく、苦手意識を持つ生徒がいる。さらに、現在の教育者は当該分野を学んでこなかった世代も多く、指導する上でも難しい分野だといえる。

2. 目的

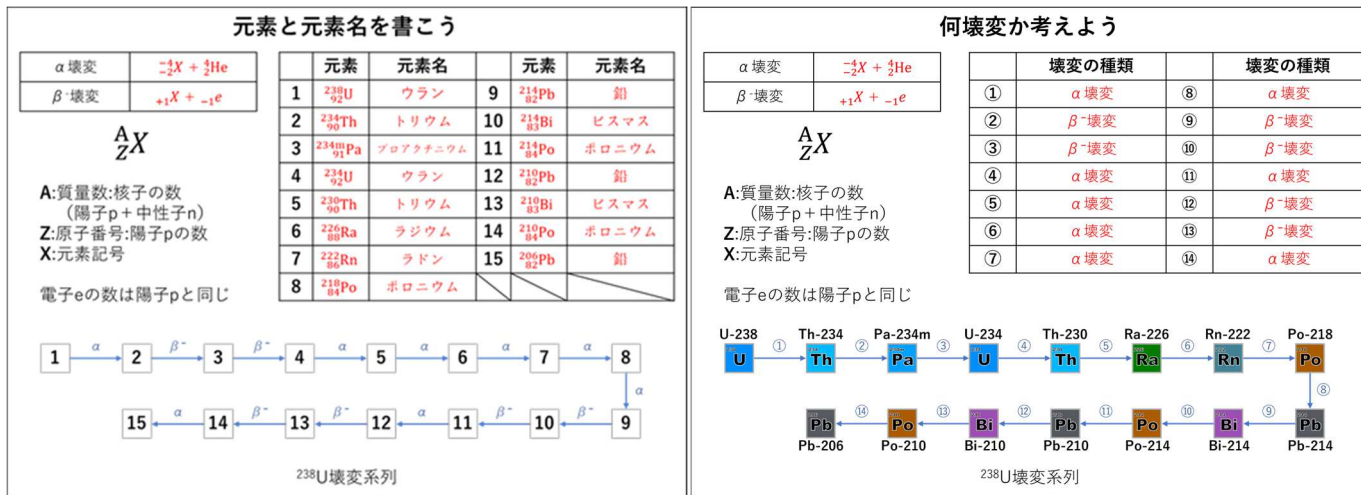
視覚的な表現や誤りにすぐに気付けるしかけを用いることで、1. 背景に示した放射性壊変学習における多くの問題点を補うことが可能であると考え、Microsoft 社『Minecraft』を用いた、生徒や当該分野の知識が浅い大人でも、U-238の放射性壊変の様子を楽しみながら学ぶことのできる教育教材の開発を進めてきた。Minecraftは教育分野でも注目を浴び始めているサンドボックスビデオゲームである。

3. 従来の教材

従来、放射性壊変の様子を学習する際には、学習対象とする放射性同位体についてのワークシートと核図表（一部を抜き出したもの）を使用してきた。図1に、U-238の壊変学習用ワークシート（赤字部分は空白になっており、そこを埋める学習）を示す。

本校学生で従来の教材で学習を提供した際、ワークシート(a)では壊変の種類はわかっているものの、1. 背景で説明したように、元素を途中で誤った際に気付くことが難しく、正しく表を埋められない生徒や途中であきらめてしまう生徒が複数人いた。(b)は(a)に比べると簡単なものの、理解をできていない生徒では埋めることが難しい。またどちらも、紙だけの学習では、 α 壊変ではHeが、 β^- 壊変ではeが出てくること等を意識しながら学習することは難しく、短答テスト（ α 壊変が起こるときに出てくるものはなにか？等）に答えられない生徒が多かった。

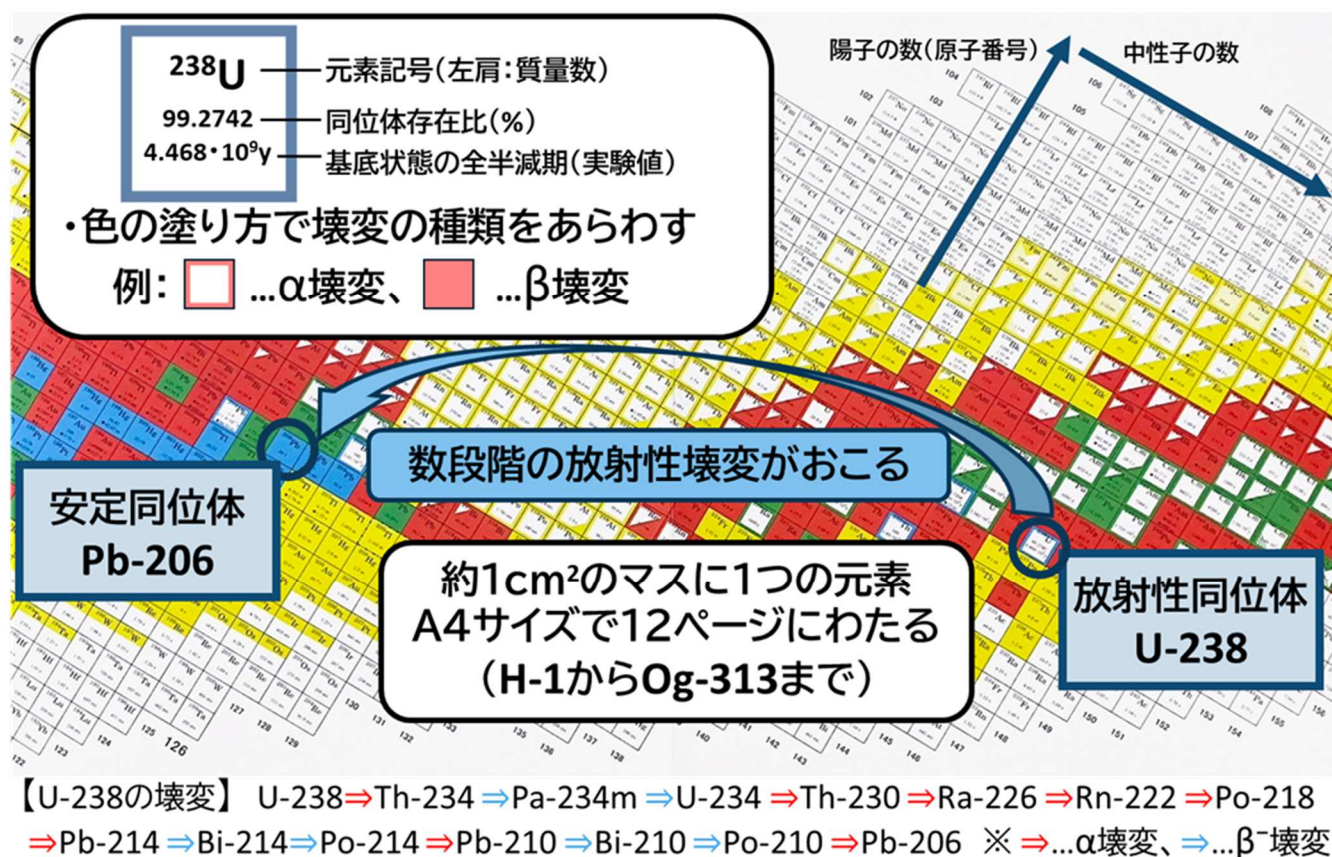
図2に従来の教材である核図表¹⁾の一部に説明を追加したものを示す。この教材でU-238の壊変を追う場合、2種類・14回の放射性壊変を経るが、色の塗り方から読み取った壊変の種類に応じて陽子数や質量数を計算していくうちに間違えてしまうと連鎖的に間違えることとなり、Pb-206にたどりつけない。



(a)壊変をヒントに元素を答える

(b)元素から壊変を答える

図1 U-238の壊変学習用ワークシート（赤字は正答）

図2 核図表^[1]の一部と説明

4. 1. 本教材の概要

MODを開発することのできるツール『MCreator』を用いて、Java言語にて、図3中に示す独自のアイテムやブロックが登場するワールドを作成した。

ワークシート(B)の空欄を埋める学習を例とする。学習者は、核図表とワークシートを見て、元素ブロックに対して正しいと思う壊変を予測し、3種類の壊変ツールから選んだ1本をキャラの右手に装着し、ブロックを攻撃し、次のブロックでも繰り返していくことで、ワークシートを埋める。ここで、誤った操作ではブロックを破壊できずにキャラがダメージを受け、正しい操作でのみ次のブロックが出現して次に進める。このブロックと壊変ツールの関連付けや、ダメージを与える・次のブロックを出現させるといった特殊効果も、独自に作成した機能であり、本教材の特色である。壊変が進んで安定同位体(例:U-238は最終的にPb-206)となった場合に、『はなまる』のメダルを出現させることで、学習者が学習が終わったとだとわかるようにした。

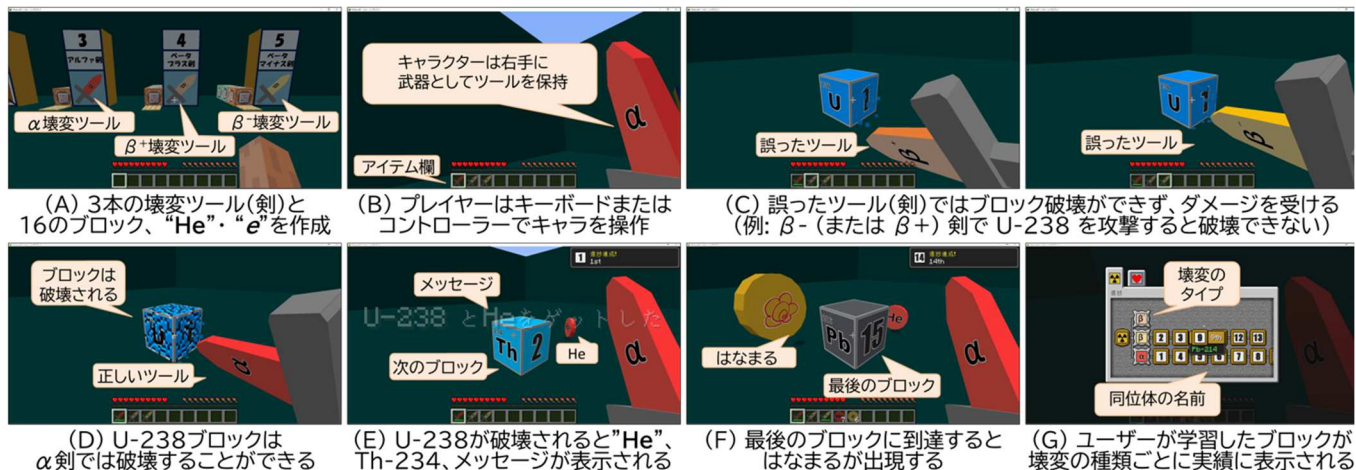


図3 Minecraftを用いた独自教材での学習の様子

U-238 が α 壊変を経て α 線である He を放出して Th-234 になる様子を図 3 の(C)～(E)に示す。U-238 ブロック（1 番）を誤った β^- 壊変及び β^+ 壊変ツールで攻撃するとダメージを受け、正しい α 壊変ツールでは Th-234 ブロック（2 番）とアイテム”He”が出現する。

4. 2. 本教材の効果

学習者が 1 人で学習を行う際、本教材ではダメージで自らの誤りにすぐに気付くとともに、別の壊変ツールを試すことで元素が修正されるため、連鎖的誤りを防げる。”He”や”e”の出現についても、ブロックの破壊と同時にアイテムがドロップされ、視覚的にわかりやすく、記憶に残り、定着すると考える。また、図 3(G)のような、学習した元素とその壊変について一覧で表示できる機能によって、あとから見た際にもすぐにわかるようになっている。当てずっぽうで答えたとしても、最終的に安定同位体にとどりついてしまうが、誤るとダメージが増え、体力がなくなるとゲームオーバーとなり、最初からやり直しとなってしまうため、学習者はダメージを受けないように予測をたてて学習することが期待できる。さらに、体力の残数を見ることで教師は生徒の誤った回数がわかるため、生徒がどの程度理解できていたかを把握することができる。

5. 1. 本校での授業事例の実施体制

本校の本科 3～5 年生（3 年生は高校 3 年生、4 年生は大学 1 年生、5 年生は大学 2 年生に相当）の計 38 人に対して、教育効果の測定を兼ねた模擬授業（2024 年 6 月 21 日、6 月 26 日、7 月 17 日、7 月 19 日の 4 回に分けて実施）を行った。

各回で、まず全員に対して、①放射線や放射性壊変について学ぶ重要性、②放射性同位体とはなにか、③放射性壊変の種類と原子番号がどうなるか・出てくるもの、④U-238 系列の 1 つめの壊変（ α 壊変で He が出てくる）、⑤④を Minecraft 上で操作するとどうなるか、について図 4 の資料を用いて説明した。説明資料、図 5 に示す下部を追加したワークシート、Hg-203～Pu-241 の範囲の核図表を配布した。

表 1 に示す 4 つのグループに分けてそれぞれの学習を進めてもらった。グループ I の学生は Minecraft を使用し、できる限り次の元素予測をしながら進めるよう呼びかけた。グループ II の学生は Minecraft を使用し、できる限り壊変を予測をしながら進めるよう呼びかけた。グループ III・IV の学生は Minecraft を用いず、核図表のみを使用した。

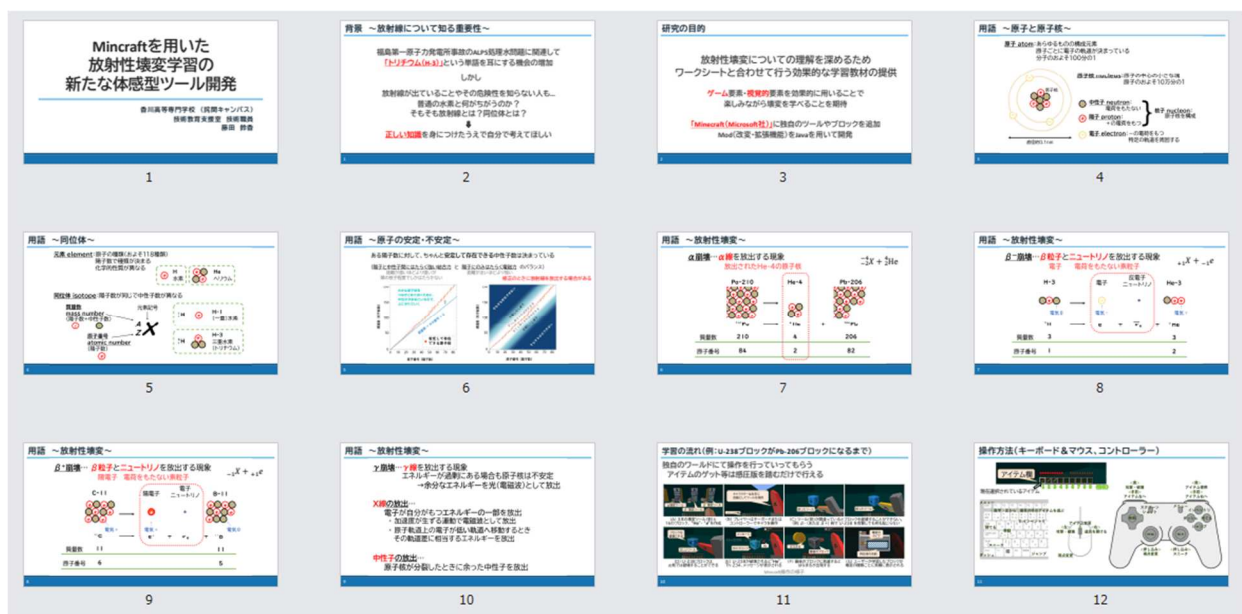


図 4 説明に用いた資料（各自 1 枚ずつ配布。ワークシート下部の回答時には回収）

表 1 模擬授業のグループ (N=38)

	Minecraft	ワークシート	男	女	3 年生	4 年生	5 年生
I	使用	(a) 壊変から元素を答える	8 人	2 人	7 人	1 人	2 人
II	使用	(b) 元素から壊変を答える	10 人		9 人		1 人
III	未使用	(a) 壊変から元素を答える	9 人		7 人	1 人	1 人
IV	未使用	(b) 元素から壊変を答える	8 人	1 人	6 人	2 人	1 人

- 放射性同位体という言葉を知っていましたか？
→(A)意味も知っていた (B)言葉を聞いたことはあった (C)知らなかった
- 放射性壊変という言葉を知っていましたか？
→(A)意味も知っていた (B)言葉を聞いたことはあった (C)知らなかった
- α壊変が起こったあと、原子番号はどうなりますか？→(○:2減少 △:数字 or 増減間違い)
- α壊変が起こったあと、出てくるものはなんですか？→(○:ヘリウム(He))
- β⁻壊変が起こったあと、原子番号はどうなりますか？→(○:1増加 △:数字 or 増減間違い)
- β⁻壊変が起こったあと、出てくるものはなんですか？→(○:電子(e) △:ニュートリノ)
- β⁺壊変が起こったあと、原子番号はどうなりますか？→(○:1減少 △:数字 or 増減間違い)
- β⁺壊変が起こったあと、出てくるものはなんですか？→(○:陽電子(e⁺) △:ニュートリノ)
- Minecraft で遊んだことはありましたか？→ (A)ない (B)ある→()版
- Minecraft での学習により意欲は高まりましたか？
→(A)そう思う (B)まあそう思う (C)どちらでもない (D)あまりそう思わない (E)そう思わない
- Minecraft により、楽しく学習できましたか？
→(A)楽しかった (B)ふつう (C)紙だけよりは楽しそう (D)楽しくなかった
- 壊変の種類から、次のブロックの予測はたてられましたか？
→(A)たてられなかった (B)たてられた→()番目の壊変から
- こんな機能があったらいいなどあれば→()

- 放射性同位体という言葉を知っていましたか？
→(A)意味も知っていた (B)言葉を聞いたことはあった (C)知らなかった
- 放射性壊変という言葉を知っていましたか？
→(A)意味も知っていた (B)言葉を聞いたことはあった (C)知らなかった
- α壊変が起こったあと、原子番号はどうなりますか？→(○:2減少 △:数字 or 増減間違い)
- α壊変が起こったあと、出てくるものはなんですか？→(○:ヘリウム(He))
- β⁻壊変が起こったあと、原子番号はどうなりますか？→(○:1増加 △:数字 or 増減間違い)
- β⁻壊変が起こったあと、出てくるものはなんですか？→(○:電子(e) △:ニュートリノ)
- β⁺壊変が起こったあと、原子番号はどうなりますか？→(○:1減少 △:数字 or 増減間違い)
- β⁺壊変が起こったあと、出てくるものはなんですか？→(○:陽電子(e⁺) △:ニュートリノ)
- Minecraft で遊んだことはありましたか？→ (A)ない (B)ある→()版
- Minecraft での学習により意欲は高まりましたか？
→(A)そう思う (B)まあそう思う (C)どちらでもない (D)あまりそう思わない (E)そう思わない
- Minecraft により、楽しく学習できましたか？
→(A)楽しかった (B)ふつう (C)紙だけよりは楽しそう (D)楽しくなかった
- 次の元素を見ることで壊変の予測はたてられましたか？
→(A)たてられなかった (B)たてられた→()番目の壊変から
- こんな機能があったらいいなどあれば→()

I. Minecraft 使用・壊変から元素を答える

- 放射性同位体という言葉を知っていましたか？
→(A)意味も知っていた (B)言葉を聞いたことはあった (C)知らなかった
- 放射性壊変という言葉を知っていましたか？
→(A)意味も知っていた (B)言葉を聞いたことはあった (C)知らなかった
- α壊変が起こったあと、原子番号はどうなりますか？→(○:2減少 △:数字 or 増減間違い)
- α壊変が起こったあと、出てくるものはなんですか？→(○:ヘリウム(He))
- β⁻壊変が起こったあと、原子番号はどうなりますか？→(○:1増加 △:数字 or 増減間違い)
- β⁻壊変が起こったあと、出てくるものはなんですか？→(○:電子(e) △:ニュートリノ)
- β⁺壊変が起こったあと、原子番号はどうなりますか？→(○:1減少 △:数字 or 増減間違い)
- β⁺壊変が起こったあと、出てくるものはなんですか？→(○:陽電子(e⁺) △:ニュートリノ)
- 核図表を見たとき、どんな印象を持ちましたか？(難しそう、など)
→()
- 紙だけの学習はどうでしたか？
→(A)楽しかった (B)Minecraft の方が楽しそう (C)ふつう (D)楽しくなかった
- Minecraft で遊んだことはありますか？→ (A)ない (B)ある→()版
- 壊変の種類から、次のブロックの予測はたてられましたか？
→(A)たてられなかった (B)たてられた→()番目の壊変から
- 感想がなにかあれば→()

II. Minecraft 使用・元素から壊変を答える

- 放射性同位体という言葉を知っていましたか？
→(A)意味も知っていた (B)言葉を聞いたことはあった (C)知らなかった
- 放射性壊変という言葉を知っていましたか？
→(A)意味も知っていた (B)言葉を聞いたことはあった (C)知らなかった
- α壊変が起こったあと、原子番号はどうなりますか？→(○:2減少 △:数字 or 増減間違い)
- α壊変が起こったあと、出てくるものはなんですか？→(○:ヘリウム(He))
- β⁻壊変が起こったあと、原子番号はどうなりますか？→(○:1増加 △:数字 or 増減間違い)
- β⁻壊変が起こったあと、出てくるものはなんですか？→(○:電子(e) △:ニュートリノ)
- β⁺壊変が起こったあと、原子番号はどうなりますか？→(○:1減少 △:数字 or 増減間違い)
- β⁺壊変が起こったあと、出てくるものはなんですか？→(○:陽電子(e⁺) △:ニュートリノ)
- Minecraft で遊んだことはありましたか？→ (A)ない (B)ある→()版
- Minecraft での学習により意欲は高まりましたか？
→(A)そう思う (B)まあそう思う (C)どちらでもない (D)あまりそう思わない (E)そう思わない
- Minecraft により、楽しく学習できましたか？
→(A)楽しかった (B)ふつう (C)紙だけよりは楽しそう (D)楽しくなかった
- 壊変の種類から、次のブロックの予測はたてられましたか？
→(A)たてられなかった (B)たてられた→()番目の壊変から
- こんな機能があったらいいなどあれば→()

III. Minecraft 未使用・壊変から元素を答える IV. Minecraft 未使用・元素から壊変を答える

図 5 U-238 の壊変学習用ワークシート下部 (赤字は正答)

5. 2. 本校での授業事例の実施結果

図 6・7 に、放射性同位体・放射性壊変についての基礎知識についてアンケートした結果を示す。「意味も知っていた」と答えた学生は、放射性同位体と放射性壊変のどちらもを知っていた 1 人のみであった。他の学生については、言葉を聞いたことはあった学生が放射性同位体では 29%、放射性壊変では 13%で、知らなかった学生が多数であった。

図 2 のワークシート(a)の元素を答える部分、(b)の壊変を答える部分について、どのグループの学生も全問正答であった。これは、高専の 3 年生以上で、化学の知識をある程度持っていることと、説明の直後であったため、正答率が高かったのだと考えられる。しかし、Minecraft の残り体力数 (図 8) から算出した学習中に途中で間違えた回数 (図 9) に示すように、グループ I・II の学生で 1 回以上間違えた学生は 20 人中 13 人であり、この学生が核図表だけで学習した場合には、自ら誤りに気付くことは難しく、その元素からあとの部分については連鎖的に間違えてしまったということであり、この結果より、Minecraft を用いた本教材の使用により正答率が向上したといえる。

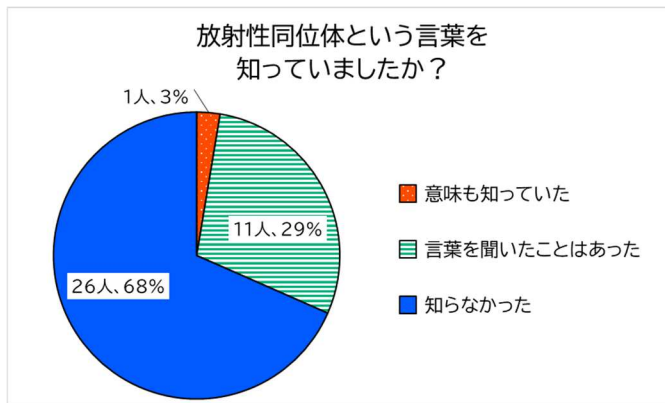


図 6 放射性同位体についての基礎知識

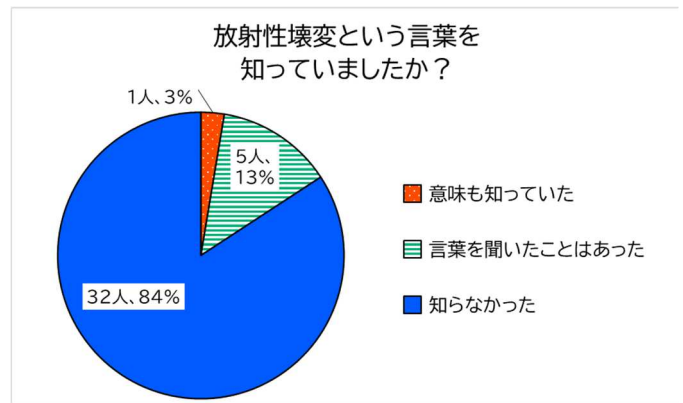


図 7 放射性壊変についての基礎知識

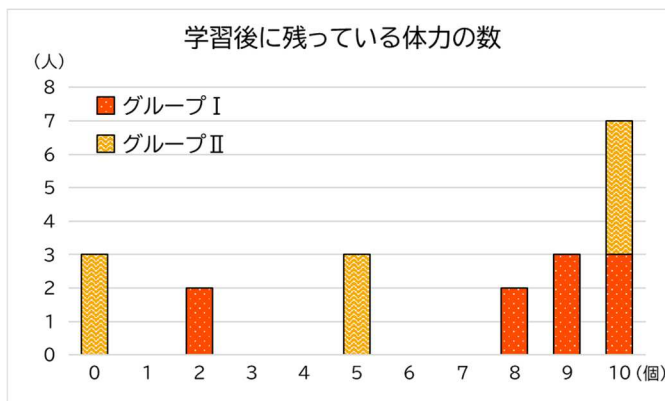


図 8 学習後の体力数 (I・II)

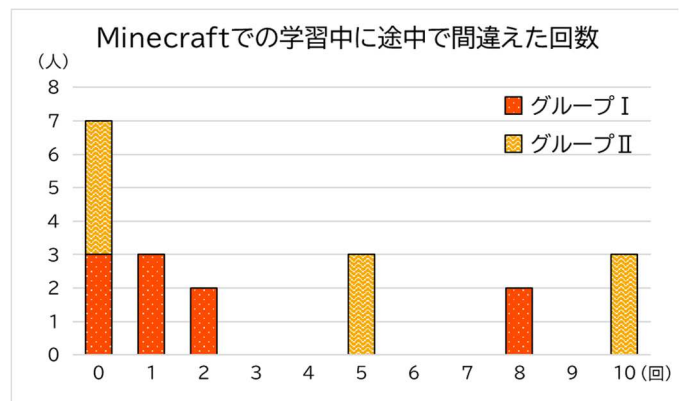


図 9 学習中に間違えた回数 (I・II)

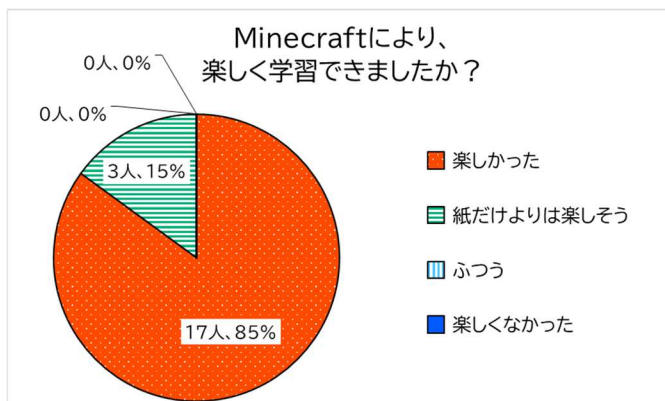


図 10 楽しんで学習できたか？ (I・II)

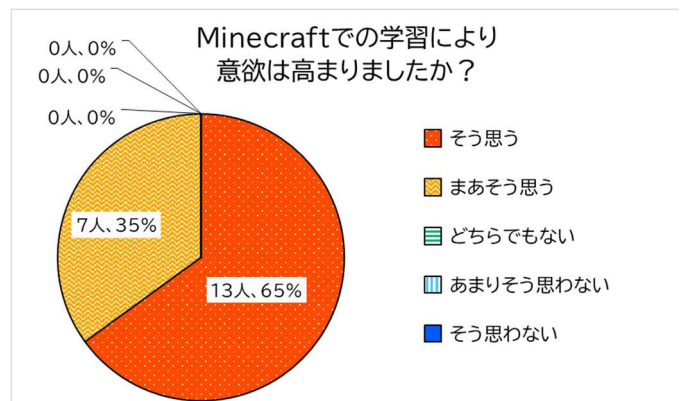


図 11 意欲は高まったか？ (I・II)

図 10・11 に、グループ I・II の学生に対して、Minecraft により楽しく学習できたか？ (図 10)、Minecraft での学習により意欲は高まったか？ (図 11) をアンケートした結果を示す。この結果から、Minecraft のゲーム要素・視覚的要素を用いたことにより、放射性壊変の学習における意欲を高め、楽しみながらの学習を提供する効果があったといえる。また、自由記述欄で「最初は難しそうだったがやってみるとそんなに難しくはなかった」や「(今回の U-238 の壊変では出てこなかった) β^+ 壊変もやりたかった」との意見があり、元素がたくさん並んだ核図表を見たときの難しそう・苦手だという後ろ向きな意識から、わかった・もっとやってみたいといった前向きな意識への変化が期待できる。

6. まとめと今後の展望

学習者が1人で放射性壊変の学習をする際に用いることのできる、説明用資料、ワークシート及びMinecraftの壊変Modデータの作成を行った。

本校の本科3～5年生（3年生は高校3年生、4年生は大学1年生、5年生は大学2年生に相当）の計38人に対して、教育効果の測定を兼ねた模擬授業を行った。

模擬授業の結果より、放射性同位体や放射性壊変に対する予備知識がない学生でも、Minecraftを用いた学習によって、放射性同位体や放射性壊変の学習を楽しみながら行えるという効果が確認できた。ゲーム的な効果の利用として、アイテムの取得や使用が視覚的にわかりやすいこと、間違えた際にダメージを与えること、体力ゲージの減少によって、少ないダメージで学習を終えようとする効果が期待できること等があげられる。

なお、今回の模擬授業では、数回に分けて行ったこと、教育効果の測定のために、Minecraftを用いないグループを用意したことから、一度に使用するMinecraftのライセンスは2つであった。しかしながら、実際の授業で運用する場合には、ライセンスの問題と中～高スペックなPCも複数台必要となる問題が生じる。

しかし、1人1人に対して使うことができなくても、例えば、教室で全生徒相手に座学形式の指導を行う際にも、板書と合わせてMinecraftの操作画面を共有することで、学習者の興味関心をひき、より質の高い教育を提供できると考える。

今回、U-238の壊変の様子について再現を行ったが、他の放射性同位体の壊変の様子についても実装していきたい。

参考文献

[1]:小浦寛之ら.核図表 2018.日本原子力研究開発機構原子力データセンター,2019.3 版