

教育学部の物理学実験への放射線教育の導入と実践

宇 藤 茂 憲

福岡教育大学 教育学部

(平成26年9月30日受理)

Introduction and practice of radiation education to physics experiments of the department of education

Shigenori UTOH

Department of Physics, Fukuoka University of Education

キーワード：放射線教育, 霧箱, β 線吸収, 質量吸収係数, 立体角度, 粉末X線回折, 集中法,
格子面間隔, 格子定数

概要

昭和56年の中学校理科学習指導要領から放射線の項目が削減されて以来, 約30年振りに中学校理科で放射線教育が復活したが, 折しもこの時期に東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故が発生し, 放射線の安全や衛生に対する社会的関心が急速に高まり, また小・中・高等学校での教育現場においても放射線教育の重要性とその必要性が改めて見直されている。¹⁾このような状況下, この四半世紀の間, 実験器具の不備や予算などの事情が重なり, 本学のカリキュラムにおいて物理学教室が管理・運営する学生実験で放射線教育の十分な実施ができていなかった。但し, 自然放射線を幾つかの場所で測定する“放射線フィールドワーク実験 [中等教育教員養成課程理科専攻 (以下, 中等理科) 1年生]”, 或いは“放射性鉱物 (例, 燐銅ウラン鉱石) を用いた放射線吸収実験 [初等教育教員養成課程理科選修 (以下, 初等理科) 2年生や中等理科2年生]”の試みはおこなっていたが, 本格的な取組みには至っていなかった。

放射線に関する実験を初等理科, 中等理科および環境教育課程環境教育コース (以下, 環境教育) の学生実験へ導入するにあたり, 初等理科と中等理科専攻の2年生が受講する各学生実験で放射線に関する知識・理解度に関する簡易調査および予備実験をおこなった。調査結果を提示した後, 初等理科および中等理科の2年生および3年生に対して実施する「放射線に関する基礎実験」(表1)の概要を報告する。

1. はじめに

H26年度在学の初等理科2年生 (調査人数51名) と中等理科2年生 (同23名) に対して表2の質問に基づいて放射線に関する基礎知識や理解の実態を調査した。PCタブレットを用いた双方向性情報交換が可能なりリアルタイム調査システム²⁾で実施し, 放射線に関する質問に対して幾つかの項目から単一選択, 或いは複数選択の回答方式で, また記述による解答方式で調査をおこなった。このシステムは調査する集団の回答の分布状態や記述内容をリアルタイムに把握できるため, 状況に応じた質問をその場で設定でき, フレキシブルな調査が実施可能である。

調査した学生の高等学校での理科の履修状況 (問A1) は表3の通りである。調査対象となった学生が高等学校で履修した放射線領域は物理の選択であったため, 物理を履修した全員が放射線に関する内容を学んでいるわけではない。大学に入学後の1年半の期間で, 内容の一部に放射線の課題を含んでいる講義を履修

表1 物理学教室が管理・運営する放射線に関する学生実験

実験番号	1	2	3
実験題目	放射線の基礎と簡易霧箱実験	β 線の吸収実験	放射線の応用実験Ⅰ(粉末X線回折)※2
放射線源	放射性鉍物 (例、燐銅ウラン鉍石とユークセン石)※1	Sr ⁹⁰ (日本アイソトープ協会表示 10kBq)	封入管式(Max0.6kW 出力)
放射線の種類	α 線、 β 線、 γ 線	β 線(含、 γ 線)	X線(CuKa)
検出器	霧箱	GM(ガイガーミュラー)管	半導体1次元位置検出器
放射線防護	放射線源から30cm以上離れて実験をおこなう	遮蔽版(アクリル板、Pb板)	放射線管理区域は装置内のみ(インターロック機能)
実験目的	放射線基礎の修得と霧箱による放射線の観察	放射線基礎の復習と β 線の吸収特性を検証	X線の基礎の修得と周期構造の検証
主要項目	<ul style="list-style-type: none"> 放射線の基礎(放射線の分類、放射線源の区分、放射線測定単位、半減期等) 放射線の人体への影響 身の周りの放射線(自然界での放射性物質の例、生活に関わる放射線など) 放射線の防護について 簡易霧箱による放射線[α線、β線、γ線(間接的)]の観察(可視化) 	<ul style="list-style-type: none"> 放射線の基礎の復習 GM管(ガイガーミュラーカウンター)の原理 Sr⁹⁰アイソトープ(放射性同位体)の取り扱い(安全教育) β線吸収の基本原則(弾性散乱と非弾性散乱および前方散乱と後方散乱) β線測定値と立体角 β線を遮蔽する物質の密度と遮蔽物の厚みの関係 	<ul style="list-style-type: none"> X線の基礎(X線の発生、X線の特長、X線の検出、X線と結晶構造等) 結晶構造の基礎 粉末X線回折の実験方法 X線回折実験のデータ解析
実験所要時間	約60分	約120分	約40分
実験方法	<ul style="list-style-type: none"> 霧箱、放射性鉍物(ユークセン石)、ドライアイス、ドライヤ 摩擦負電荷でイオン除去しながら放射線の飛跡の観察と撮影 ビデオ 	<ul style="list-style-type: none"> 立体角測定 β線源(Sr⁹⁰)からGM管までの距離変化 β線吸収測定 β線源(Sr⁹⁰)からGM管までの距離を一定にして、遮蔽物(Cu、SUS304、Al、PPの中から選択)の厚みを変化させる実験 	<ul style="list-style-type: none"> MiniFlex600の測定原理と操作の修得 2θ/θ反射法で粉末試料を測定
データ解析	<ul style="list-style-type: none"> 放射線の飛跡を撮影 	<ul style="list-style-type: none"> データを汎用表計算ソフト(Excel)で解析 グラフからβ線の質量吸収係数(cm²/mg)をもとめるβ線の最大飛程距離を求め、β線の最大エネルギーを推定 	<ul style="list-style-type: none"> データを汎用表計算ソフト(Excel)で解析 コーエンの関係式に基づいた格子定数の決定(装置付属の解析ソフトの活用)
対応する学生実験	物理学実験Ⅰ(初等理科)、物理学実験ⅡB(中等理科)、物理学実験ⅡC(環境教育)	物理学実験ⅡA(初等理科)、物理学実験Ⅲ(中等理科)、環境情報処理(環境教育)	物理学実験Ⅳ(中等理科)、環境情報処理(環境教育)

したかとの質問(問A2)に対して、1~2回受講した学生の割合は表4の通りである。初等理科で80%以上、中等理科では90%以上の学生が何らかの形で放射線に関する講義を受けていた。学生のこのような学習状況を踏まえて、以下、放射線の基礎知識や理解に関して調査した結果を示す。記述式D回答の解答例は表2に簡略に示している。

[問A3]「放射線のどのような特性が危険なのか、説明できますか」の質問に対して：

A3回答(以下、A回答は単一選択式)では、初等理科の「約39%が説明できる」「約61%ができない」と回答し、中等理科では「約39%が説明できる」「約61%はできない」と回答した。再度、「放射線のどのような特性が危険なのか」をD1回答の記述式で具体的に記載させたところ、放射線が物質を通過するときを生じる「電離作用」の特性が危険であると記述した学生は74名中わずか1名であった。放射線の電離作用で生じる結果として、例えば、「人体の幹細胞の破壊を、また遺伝子の破壊を生じる」と具体的に記述した学生は初等理科で約49%、および中等理科で35%であった。初等理科の約51%および中等理科の61%が「何故、放射線が危険なのか」の理由を説明できなかった[図1(a)(b)]。

[問A4]「おおまかに3種類に分類できる放射線測定の単位を説明せよ」の質問に対して：

A4回答では、初等理科の「約10%が説明できる」「約90%ができない」と回答し、中等理科では「約9%が説明できる」「約91%はできない」と回答した。記述式のD3回答[図2(a)(b)]で確認したところ、初等理科の96%および中等理科の87%が答えることができなかった。

[問D2]「おおまかに3種類に分類できる放射線源を説明せよ」の質問に対して：

説明できなかった学生は初等理科で49%、中等理科では44%であった。放射性同位体など、解答の1つを説明できた学生は初等理科で51%、中等理科では52%であった[図3(a)(b)]。

[問A5]「放射線と放射能の区別が説明できるか否か」の質問に対して：

※1 燐銅ウラン鉍の場合、サーバイメータ[リガク(株)製 Get Smart]と放射性鉍物間の距離を約30cmにして測定した条件で0.066 μ Sv程度であった

※2 X線回折実験Ⅰは学部で実施し、X線回折実験Ⅱ(内容は本報告では記載していない)は大学院で実施の予定

表2 調査した回答方式、質問事項、回答項目および解答例

回答方式	質問事項	回答項目
A1	高校在学中、理科でどの科目を学びましたか。	物・化・生・地・総合の組み合わせで回答番号を提示
A2	大学に入学して以来、講義・演習・実験で放射線に関する講義を受けましたか。	【1】受講した(1回のみ) 【2】受講した(2回以上) 【3】受講しなかった
A3	放射線のどのような特性が危険なのか、説明できますか。	【1】説明できる 【2】説明できない
A4	放射線を測る単位は大きく3つに分類できます。これらを説明できますか。単位の固有名詞を説明できなくても構いません。	【1】説明できる 【2】説明できない
A5	放射線と放射能の使い方の区別が説明できますか。	【1】説明できる 【2】説明できない 補足 A5: 放射線は「補足 D0」に記載、放射能は放射線を出す能力
A6	これまでに、霧箱を用いて、放射線の飛跡を観察した経験がありますか。	【1】ある 【2】ない 【3】思い出せない
A7	A6で「【1】ある」と回答した人に尋ねます。霧箱を覗き込んで観察しただけでなく、霧箱を組み立てて、実験条件などを工夫するなどの経験はありますか。	【1】ある 【2】ない 【3】思い出せない
B1	知っている(説明できる)項目に「レ」印をつけよ。	【1】放射性同位元素 【2】核分裂物質 【3】物理的半減期 【4】生物的半減期 【5】 α 線 【6】 β 線 【7】 γ 線 【8】X線 【9】中性子 【10】ニュートリノ
B2	放射線について最も関心のある項目を3つ選択せよ。	【1】放射線の種類 【2】放射線の発生メカニズム 【3】放射線の性質 【4】放射線の人体への影響 【5】自然界に存在する放射線 【6】原子力発電のメカニズム 【7】粒子加速の一般的原理 【8】放射線の材料加工や非破壊検査などの利用 【9】放射線の医療などの活用 【10】放射線の農業への利用
回答方式	質問事項	解答例
補足 D0	放射線は大きく2つに分類できますが、これを説明せよ。	放射線を大きく分類すると、粒子性放射線(例、電子、陽子、中性子など)と波長の短い電磁波(例、X線、 γ 線など)に分けられる
D1	放射線のどのような特性が危険なのかを説明せよ。	放射線が物質を通過(透過力を有する)するとき、直接的に間接的に「物質を電離させる能力(電離作用)を有する」ため(この結果、幹細胞や遺伝子等を破壊する)
D2	放射線源にはどのようなものがあるか、記載せよ。(大きく3つに分類できます)	①放射性同位体 ②核分裂性物質に中性子が衝突して、核分裂が生じるような場合 ③電子などの粒子を加速して高速にすることで放射線が生じる場合 また、これを金属などの物質に衝突させてX線などとして発生する場合
D3	大きく3つに分類できる放射線の単位を説明せよ。単位の固有名詞を省略しても構いません。	①単位時間当たりの崩壊数を示す単位がベクレル ②単位質量あたりに吸収される放射線のエネルギーを示す単位がグレイ ③放射線の生物への影響を考える場合、受けた放射線の種類、放射線を受けた部位などを考慮する必要がある。吸収線量(グレイの値)から計算式を使って示す単位がシーベルト
D4	1本道を歩いていたら、道に放射性物質が落ちていることに気がきました。このとき、あなたはどのような行動をとりますか。とるべき行動を、科学的根拠を述べたうえで記載せよ。但し、必要なものをポケットから取り出してくれるドラエモンと一緒に歩いていただきます。図や文章で記述せよ。幾つ回答しても構いません。	①遮蔽による防御 ⇔ 実験例で確認(例、 β 線吸収) ②距離による防御 ⇔ 実験例で確認(立体角度) ③時間による防御 質問時の注意: 妄想の時間ではありませんので、現実には取り出せません。 例えば、「どこでもドア」「タイム風呂敷」「竹コブター」「放射線完全防御服」はだめです。
D5	α 線(He原子核)は、紙1枚で遮蔽されます。紙に遮蔽された α 線は人体に有害ですか、無害ですか。科学的根拠を示して解答せよ。	高い運動エネルギーをもつ α 線(He原子核)は、電離作用を有するので危険ですが、紙に捕獲された α 線(He原子核)は周辺から電子をもらってHe原子になるので無害である
D6	あなたの日常生活において、身近な放射線の活用例を2から3項目を取りあげて、簡潔に説明せよ。	工業・産業関連、医療機器関連、農業等活用など、具体例を提示する
D7	放射線について疑問と感ずるところ、或いは理解しがたいところを記載せよ。	

表3 調査対象となった学生の高等学校での理科の履修状況

所属	学年	物理・化学履修	物理・生物履修	物理・地学履修	化学・生物履修	化学・地学履修
初等理科選修	2年生	57%	0%	2%	41%	0%
中等理科専攻	2年生	74%	0%	0%	22%	4%

表4 調査対象となった学生の本学入学後の放射線に関する講義の履修状況

所属	学年	1回受講	2回受講	受講していない
初等理科選修	2年生	37%	47%	16%
中等理科専攻	2年生	22%	70%	8%

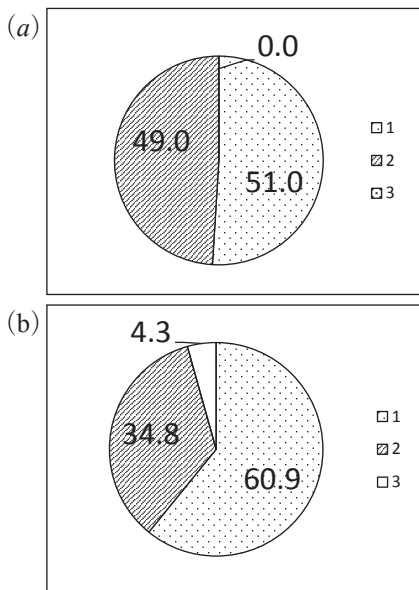


図1 (a)初等理科D1回答, (b)中等理科D1回答。1:説明ができない, 2:「幹細胞や遺伝子の破壊」を説明した, 3:電離作用と解答した。各値は割合(%)を示す。

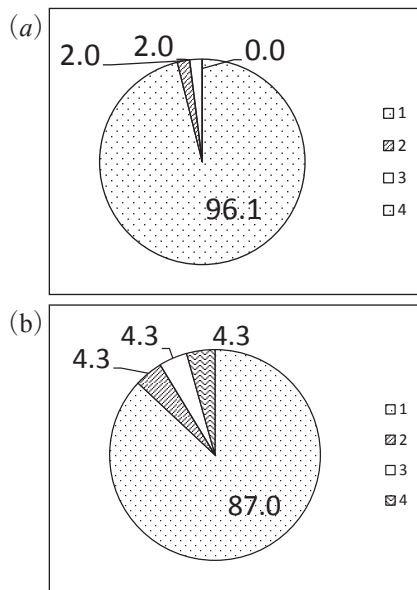


図2 (a)初等理科D3回答, (b)中等理科D3回答。1:説明ができない, 2:1つ解答した, 3:2つ解答した, 4:3つ解答した。各値は割合(%)を示す。

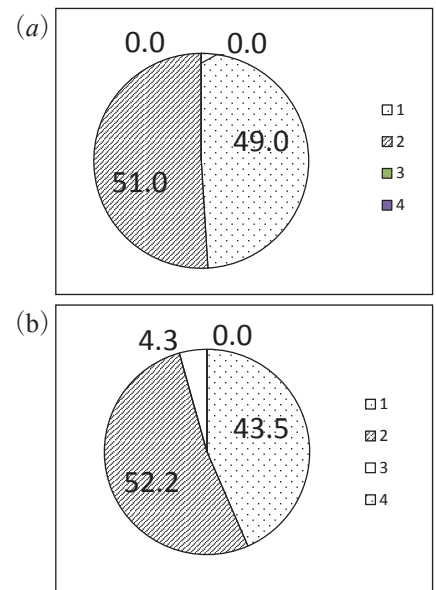


図3 (a)初等理科D2回答, (b)中等理科D2回答。1:説明ができない, 2:1つ解答した, 3:2つ解答した, 4:3つ解答した。各値は割合(%)を示す。

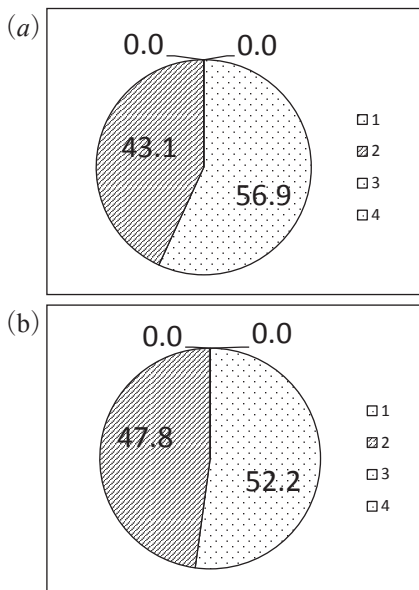


図4 (a)初等理科D4回答, (b)中等理科D4回答。1:説明ができない, 2:1つ解答した, 3:2つ解答した, 4:3つ解答した。各値は割合(%)を示す。

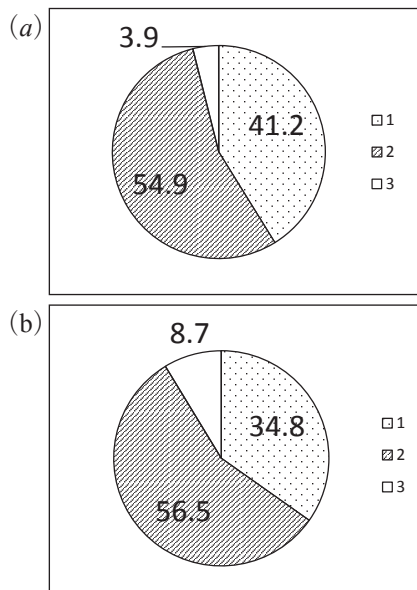


図5 (a)初等理科D5回答, (b)中等理科D5回答。1:有害と回答した, 2:説明できないが無害と回答した, 3:無害と回答して説明できた。各値は割合(%)を示す。

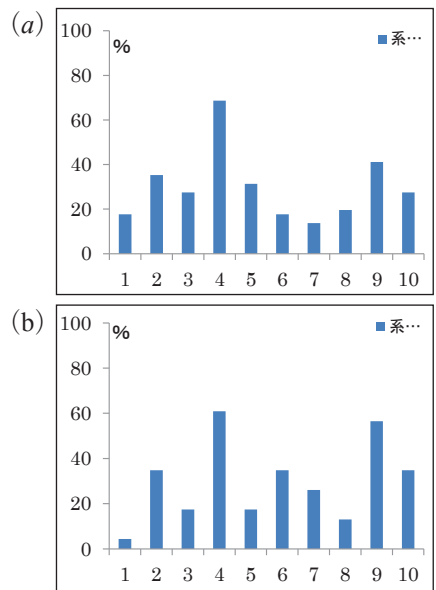


図6 (a)初等理科B2回答, (b)中等理科B2回答。横軸の番号の内容は表2のB2回答項目に記載している。

説明できないと回答した学生は初等理科で77%, 中等理科では52%であった。

[問A6]「霧箱実験の経験があるか」の質問に対して:

経験のない学生は初等理科で90%, 中等理科では96%であった。

[問D4]「放射線を防御する方法を記述せよ」の質問に対して:

防御する方法は, ①遮蔽防御, ②距離による防御, ③被曝時間を短くする, など3通りが考えられるが, 初等理科では説明できなかった学生は57%, これらの内の1つを記載した学生は43%, 2つ或いは3つを記

載した学生はいなかった。中等理科で説明できなかった学生は52%、1つを記載した学生は48%、2つ或いは3つを記載した学生は0%であった [図4(a)(b)]。

[問D5]「遮蔽された α 線の安全性を記述させる」質問に対して：

遮蔽物内で停止した α 線を有害と解答した学生は初等理科が41%で、中等理科が35%であった。理由は説明できないが、無害と答えた学生は初等理科が55%、中等理科が56%であった。理由を添えて解答できた学生は初等理科で4% (1名)、中等理科で9% (2名) であった [図5(a)(b)]。

[問D6]「放射線の活用例を具体的に示す」質問に対して：

何も記載できなかった学生は初等理科で10%、中等理科で4%であった。具体例を1つ提示したのは初等理科で70%、中等理科で26%、また2つ以上記載したのは初等理科選修で20%、中等理科専攻で69%であった。

[問B2]「放射線について最も関心のある項目を3項目選択せよ」の質問に対して：

初等理科および中等理科ともに、「4. 放射線の人体に対する影響」、「9. 放射線の医療などへの活用」、「2. 放射線の発生メカニズム」の順番であった [図6(a)(b)]。ここで、B回答は10項目から複数項目を選択する回答方式である。

以上の結果を踏まえて、

- ・放射線に関する基礎知識や理解が不足している
- ・放射線に対する防御や安全および放射線活用に対する意識は低いといえる
- ・放射線に関する基礎実験の経験が不足している

などの実態を確認することができた。調査対象の学生が中学校および高等学校の段階で放射線に関わる教育をほとんど受けていない実情、或いは本学入学後においても放射線に関する講義・演習・学生実験で体系的に学ぶ経験をしていないなどの理由でこのような結果が出たものと推測する。そこで、(i) 放射線の物理的特性に関する基礎知識・理解の修得、(ii) 放射線の「生体や人体への影響」に関する基礎知識・理解の修得、(iii) 放射線の社会に果たす役割 (医療、産業・工業界、農業等) への理解を促す、(iv) 目に見えない放射線の特性を理解するため、間接的であるが放射線を可視化する実験およびデータを解析する過程で放射線の存在を認識できる実験を体験する必要性、などを考慮して学生実験の課題設定をおこなった (表1)。

2. 実験方法とデータ解析

表1に示す実験を段階的に実施することで、実験を通して放射線の理解を深めていけるように内容を構成した。各実験課題を概説し、測定データおよび解析結果を提示する。

2-1. 実験課題「放射線の基礎と簡易霧箱実験」

(1) 概要

放射線の基礎 [表2の解答例を参照：例、放射線の分類、放射線源の区分、放射線測定単位、(物理的、生物的、実効) 半減期等]、放射線の人体への影響、身の周りの放射線 (自然界での放射性物質の具体例、生活に関わる放射線など)、放射線の防御について概説した後、目に見えない放射線の飛跡を観察する霧箱の原理³⁾を示す。これらの内容はテキスト (図7) や関係資料の配布、および参考書を提示しておこない、また参考ウェブサイトを紹介する。「放射線の基礎と簡易霧箱実験」では5つのホームページ⁴⁾を示した。

霧箱で放射線を観察する原理は次の通りである。霧箱底部にドライアイス (-79℃) を敷き詰めてエ

◇ 放射線の基礎と簡易霧箱実験 ◇

1. 実験の目的

- 放射線の特性や人体への影響の基礎知識を得て、放射線の理解に努める
- 霧箱の原理を理解したうえで、 α 線・ β 線・ γ 線の理解を深める

①の参考資料

<http://www.nirs.go.jp/publication/rs-sci/e-learning/ref/reference.pdf#page=29>
独立行政法人 放射線医学総合研究所 (サイト内 p13~p23, p27~p38)

<http://www.mhw.go.jp/ef/houdou/2/9832000016aw.html> 厚生労働省 (放射線と健康)

http://www.mhw.go.jp/shinsei_fushou/shokuhin.html 厚生労働省 編 (放射線と食品)

http://www.maff.go.jp/j/eyosan/sonmu/saigai/ndf/1_kiso.pdf 農林水産省 編

http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1314251.htm 文部科学省 編 (高等学校教師用解説書)

2. 放射線とは

放射線を大きく分類すると、粒子性放射線 (例、電子、陽子、中性子 など) と波長の短い電磁波 (例、X線、 γ 線 など) に分けられます。何れも共通している性質は、直接または間接に物質を電離する能力を有します。放射線は、①放射線を出す性質を持っている放射性物質の崩壊から生じる場合、②X線や γ 線などの核分裂性物質に中性子が衝突すると核が分裂して生じる場合、③電子などの粒子を加速して高速にすることで放射線となる場合、またこれを金属などの物質に衝突させてX線などとして発生する場合があります。①の放射性物質からの放射線は、放射性元素の放射性崩壊に伴い粒子放射線 (α 線、 β 線) と電磁放射線 (γ 線) に区別できます。今回の物理学実験では、霧箱と放射性鉱物を用いて α 線、 β 線、 γ 線の理解に努めます。

http://www.ref.jp/general/whatis/index.html

図7 放射線の基礎と簡易霧箱実験のテキストの一部

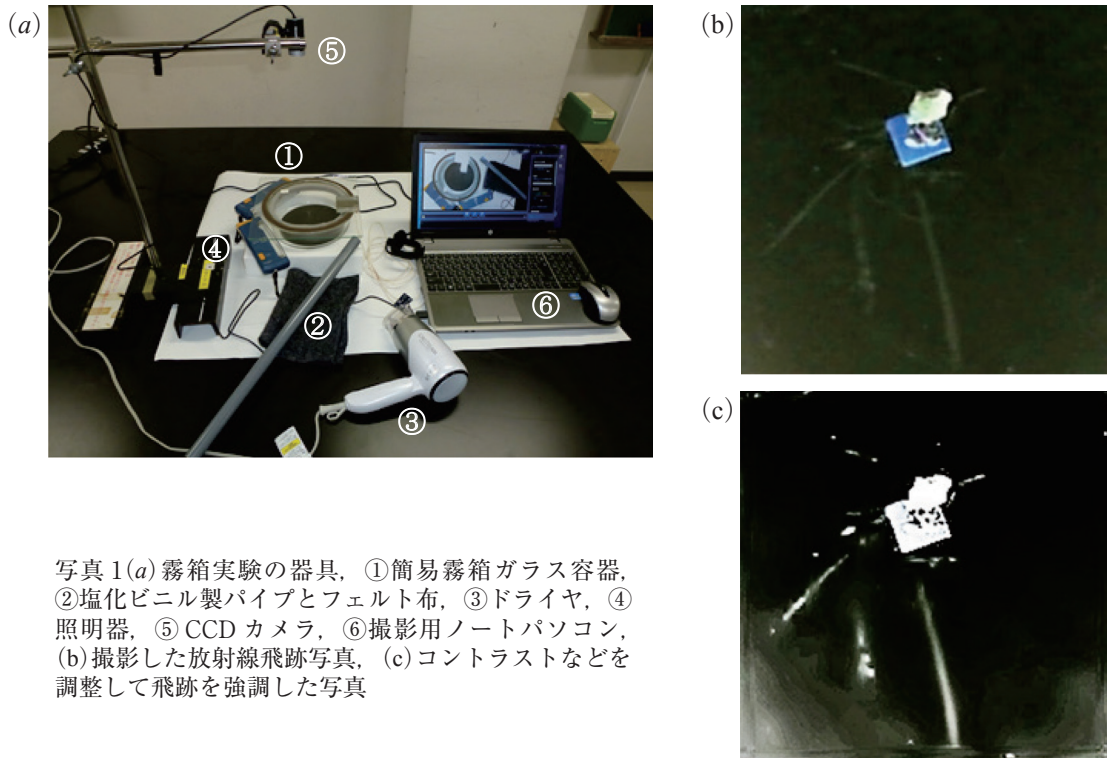


写真1(a) 霧箱実験の器具, ①簡易霧箱ガラス容器, ②塩化ビニル製パイプとフェルト布, ③ドライヤ, ④照明器, ⑤ CCD カメラ, ⑥撮影用ノートパソコン, (b)撮影した放射線飛跡写真, (c)コントラストなどを調整して飛跡を強調した写真

タノールを冷却し, エタノールの過飽和状態をつくる。この雰囲気中を放射線が通過すると, 放射線の電離作用で空気中の分子がイオン化される。このイオンを核としてエタノールが凝結して適当な大きさの粒子が放射線の通過した飛跡に沿って多数形成されて可視光線を散乱するので, 白い線として放射線の通った跡を見ることができる。効率良く観察するには, 霧箱上部(ガラス板蓋)をドライヤで熱して温度勾配を大きくすること, また霧箱内に雑イオンが多く残っていて飛跡が現れにくいときは負電荷をガラス板蓋付近で発生させて霧箱内の雑イオンを除去することが必要である。ここで, 霧箱で観察できるのは物質を直接電離できる粒子性放射線の α 線と β 線であり, 電磁波である γ 線は2次的に生じる電子線の飛跡観察となる。

(2) 実験方法

その1. 霧箱の原理を理解したうえで, 次の手順に基づいて飛跡を効果的に CCD カメラで記録できるように工夫を交えて実験をおこなう [写真1(a)]

- (ア) ドライアイスを細かく砕いて発泡スチロールに平らな状態で敷き, その上に簡易霧箱(ガラス容器)を載せる
注意: 皮手袋を用いてドライアイスの準備をおこなうこと
- (イ) ガラス容器の内側にあるスポンジにエチルアルコールを浸み込ませる
- (ウ) 放射線源の放射性鉍物をガラス容器中央の台上に置く
注意: 放射線源はピンセットでつかむこと
- (エ) ガラス容器のガラス板蓋にドライヤーの熱風をあてて, ガラス容器内の温度勾配を大きくする
- (オ) 負の摩擦電荷を発生させて, ガラス容器のガラス板蓋に近づけて雑イオンを除去する
注意: 塩化ビニル製パイプをフェルト布でこするとパイプに電子が付着する
- (カ) ライトを用いてガラス容器への光の照射を工夫(例, 見る方向から光を照射するなど)して, 放射線の飛跡が見えやすくなるようにする

その2.

- (キ) CCD カメラ (Microsoft LifeCamCinemaHD) と付属のソフトで霧箱の放射線の飛跡の映像および写真を撮影する。フリーソフトの PhotoScape で写真の補正(例, コントラスト調整など)をおこなう [写真1(b)(c)]。

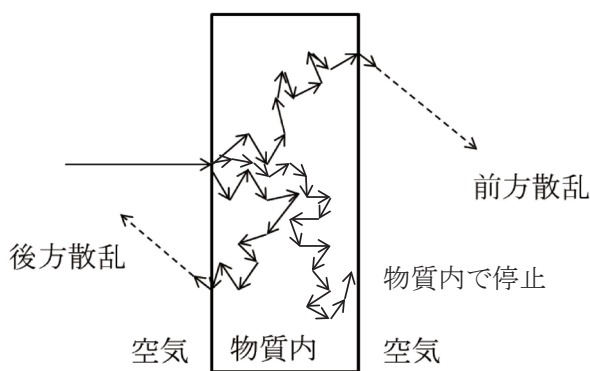


図8 β線の物質内での散乱のようす

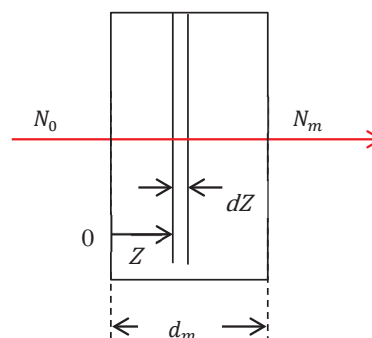


図9 β線の吸収計算の参考図

(3) データ整理とまとめ

- ・霧箱の中で放射線が観察できる基本原理をまとめる。
- ・霧箱で効率よく放射線が観察できるポイント（実験で工夫した具体的内容）を、理由を添えて説明する。
- ・霧箱でのα線、β線の飛跡の特長を説明する。γ線の飛跡を観察する工夫（間接的測定）を説明する。
- ・放射線の基礎（放射線の区分、放射線源の分類、放射線の単位、半減期、自然界および生活における放射線の存在、人体への影響 など）についてまとめる。

2-2. 実験課題「β線の吸収実験」⁵⁾

(1) 概要

物質内をβ線が進行するとき、β線のもつ電荷と物質を構成する原子核や電子の電荷間で力が作用し、弾性散乱^{*3}と非弾性散乱^{*4}が生じる。^{*5}β線が1回の非弾性散乱で失うエネルギーは少ないので、β線は物質内では多数回の散乱を受けて図8に示すように徐々にエネルギーを失って停止する。この過程において、進行してβ線が物質を通過するだけでなく後方に戻ってくる散乱も生じる。前者を前方散乱といい、後者を後方散乱という。あるエネルギー値をもつβ線に着目すると、物質内で停止するまでに移動する距離は一定ではなく、多数回の非弾性散乱や弾性散乱によって統計的変動が生じる。

N_0 個の放射性粒子（以下、β線）が、厚さ d_m の遮蔽板を通過する個数 N_m は、図9に示すように遮蔽板に垂直にβ線が進行したすると、遮蔽板の表面0からの距離 Z で厚さ dZ に吸収されるβ線の数 $N(Z) - N(Z+dZ)$ は $N(Z)dZ$ に比例するので、

$$N_m = N_0 \exp(-\mu_m d_m) \quad (1)$$

で示せる。

- 但し、
- μ_m : 質量吸収係数 (cm^2/mg)
 - d_m : 遮蔽板の密度にその厚みを掛けた値 (mg/cm^2)
 - n_0 : 放射線源以外からのβ線の自然計測数 (cpm)
 - N'_m : 放射線源とGM管の間に厚み d_m の遮蔽板を設置したときのGM管の計測数 (cpm)
 - N_m : N'_m から自然計測数 n_0 を差し引いた値 (cpm) に「数え落とし補正」^{*6}をおこなった値
 - N_0 : 放射線源とGM管の間に遮蔽板なしで測定したGM管の計測数に「自然計測数補正」と「数え落とし補正」をおこなった値

^{*3} β線（電子）と原子核の質量比は1:1800であるので、β線は運動エネルギーを失うことなく進行方向が曲げられる散乱を受ける。これを弾性散乱という。

^{*4} β粒子が原子の近くを通過するとき、電氣的な力を受けて電子を原子から弾き出したり、電子を外側の軌道に移したりするなどしてエネルギーを失うことがある。前者が電離作用であり、後者が励起作用である。何れも非弾性散乱である。

^{*5} 高速の電子は原子核の近傍を通過する場合、原子核の電荷で方向が曲げられて減速され、このエネルギーの差の分を電磁波として放出する。これを制動放射という。但し、本実験ではエネルギー的にみてこの効果は低い。

^{*6} 数え落とし補正 $N_{cor} = N_{exp} / (1 - N_{exp}\tau)$ 但し、 τ : GM管の不感時間 (約95~100 μs)
 N_{cor} : 補正值, N_{exp} : GM管計測数

物質内での最大飛程距離 d_{max} と β 線の最大エネルギー E_{max} の関係は、

$$3\text{MeV} > E_{max} > 0.8 \text{ MeV} \quad : \quad d_{max} = 542E_{max} - 133 \quad (2)$$

$$0.8\text{MeV} > E_{max} > 0.15\text{MeV} \quad : \quad d_{max} = 407E_{max}^{1.38} \quad (3)$$

である。粗い近似においてはすべての物質に適用される。

β 線は原子核内の電子が元素崩壊に伴って大気中に飛び出した電子線で、実験で用いる β 線源として ^{90}Sr を本実験では使用する。壊変系図⁴⁾より、 ^{90}Sr (半減期: 28.74 年) \rightarrow ^{90}Y の過程で 0.54MeV の β 線が、 ^{90}Y (半減期: 64.10 時間) \rightarrow ^{90}Zn の過程で 2.28MeV の β 線が放出されている。

(2) 実験方法

その 1.

- (ア) ガイガーミュラーカウンター (以下, GM 管, 島津製 RMS-60) の電源を入れて印加電圧を 480V に設定する
- (イ) GM 管の計測時間の切り替えを「1min」に設定する (cpm = count per minute)
- (ウ) 自然計測数 n_0 を計 7 回測定して, その平均を求める
- (エ) β 線源を測定棚に設置して測定をおこなう

この測定では, β 線源を測定棚 (島津製 RMS-1) の 30 mm から 40, 60, 80, 90, 100, 120, 150 mm と変化させて測定をおこなう。各 7 回ずつ測定して平均する。データ整理は汎用表計算ソフトでおこなう。GM 管の数え落とし補正をおこなう。

その 2.

- (オ) β 線源を測定棚の 40 mm の位置に設置する。各遮蔽板は測定台の 30 mm の位置において測定する。測定は 7 回ずつおこなって平均する。データ整理は汎用表計算ソフトでおこなう。GM 管の数え落とし補正をおこなう。ステンレス (SUS304) と銅の測定は厚み 0.1 mm の板を, またポリプロピレン (PP) の測定では厚み 0.144 cm の板を積み重ねて測定をおこなう。

(3) データ解析とまとめ

- ・汎用表計算ソフト (Microsoft Excel) を用いて, 実験その 1 と実験その 2 のデータを表にまとめる。
- ・測定結果 (自然計測数補正, GM 管の数え落とし補正済みのデータ) をグラフで表示してまとめる。
- ・ β 線の最大飛程距離を求め, β 線の最大エネルギーを推定する。

予備実験で得たデータを次に示す。

放射線源から GM 管検出器までの距離と立体角の関係を図 10 に示す。図中の右端の S_1 は GM 管窓部の面積を示し, r_1, r_2, r_3 は放射線源から GM 管窓部までの距離を示す。GM 管で測定する幾何学的条件を代入して計算した立体角を \sphericalangle 印で示し, 対応する位置での GM 管測定値を \bullet 印で示している。GM 管の数え落とし補正をおこなっている。何れも値を規格化した。但し, β 線の空気吸収は無視している。

ポリプロピレンの β 線吸収実験用のデータ解析シートを図 11 に示す。最大飛程距離を mg/cm^2 の単位でもとめ, (2) 式より, 測定した β 線の最大エネルギーを MeV の単位でもとめる。遮蔽物として, アルミニウム, SUS304, Cu, ポリプロピレンとしたときの各測定結果を図 12(a) (b) (c) (d) に示す。これらの結果より, 最大飛程距離は約 $1000 \text{ mg}/\text{cm}^2$ となった。アイソトープ便覧改訂 3 版 (1995 年 pp.821) 日本アイソトープ協会編 (丸善) のデータと良い一致を示している。 β 線の最大エネルギーは $E_{max} = 2.09 \text{ MeV}$ となった (図 11 の左下参照)。今回提示したデータから求めた値 E_{max} は文献値と比較して約 8% の違いが生じた。これを実験レポートで考察する。

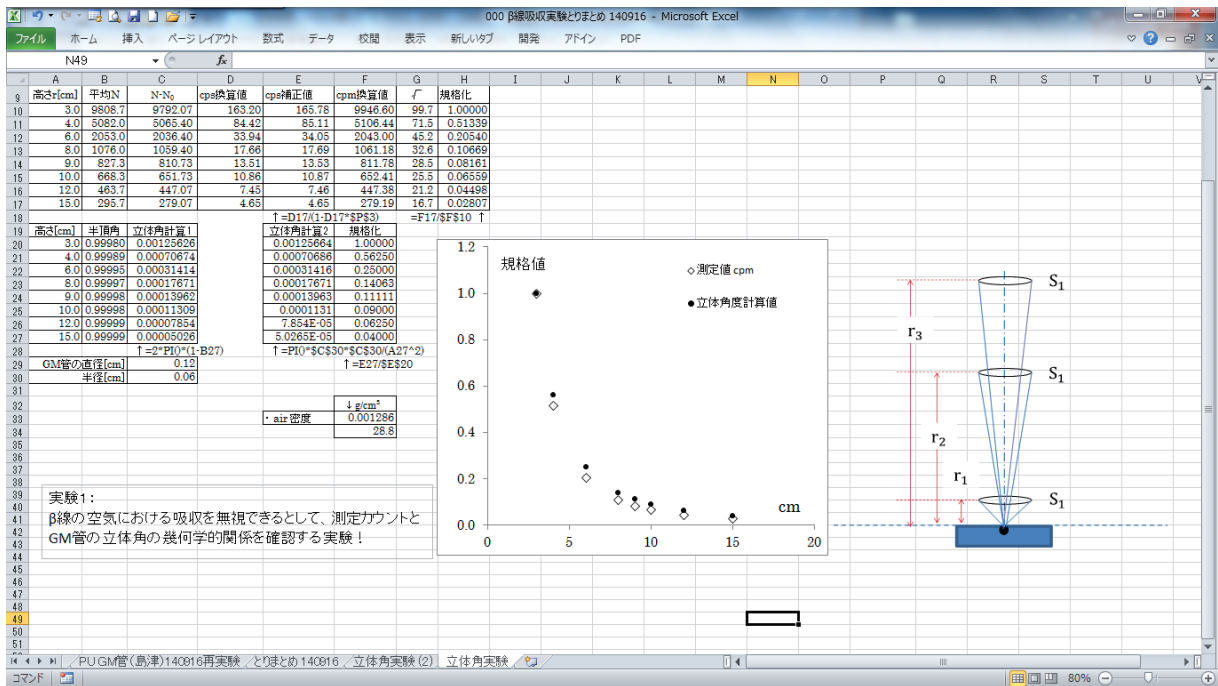


図 10 汎用表計算ソフト (Microsoft Excel) ワークシートでのデータ (立体角実験) 解析

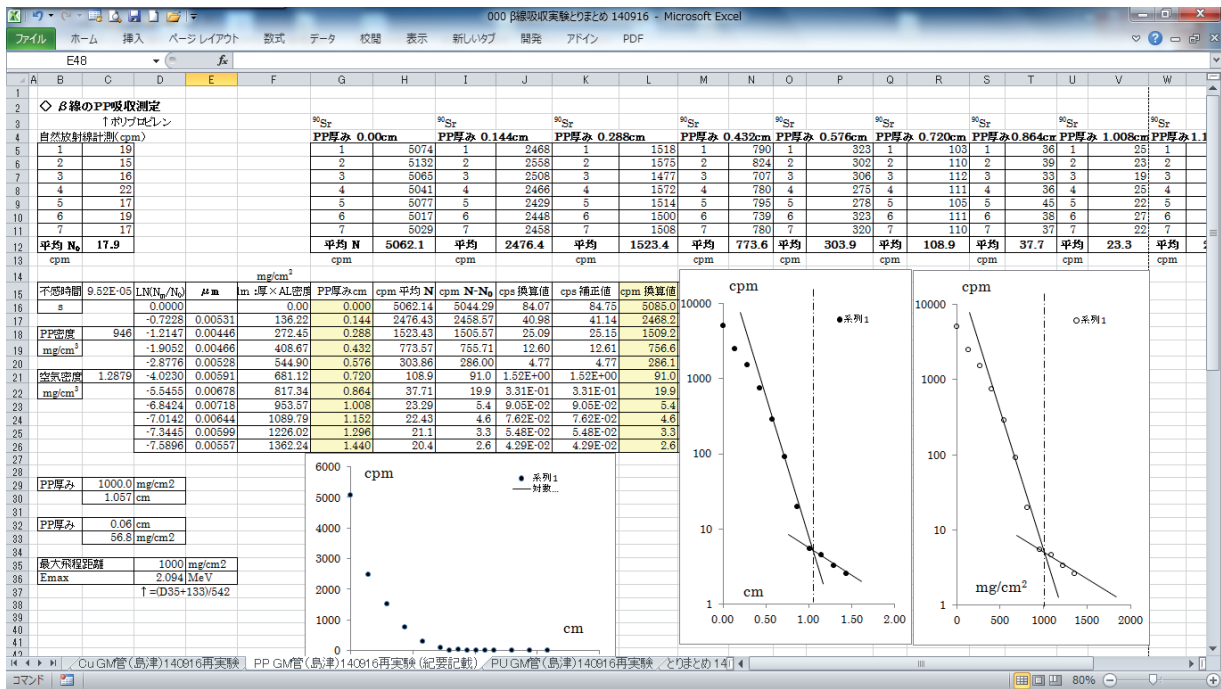


図 11 汎用表計算ソフト (Microsoft Excel) ワークシートでのデータ (β線吸収実験) 解析

2-3. 実験課題「放射線の応用実験 I (粉末 X 線回折)」⁶⁾

(1) 概要

(i) X 線の発生

高真空引きした封入管内部の陰極のフィラメントから放出した熱電子を高電圧 (30 ~ 50 kV) に印加した陰極と陽極 (対陰極金属) 間で加速して対陰極金属に衝突させると、連続的に波長が分布する連続 X 線と対陰極金属に固有な特性 X 線 (線スペクトル) が発生する。加速された電子が対陰極金属に衝突すると、金属原子内殻の電子が原子外にたたき出され、その空となった状態へ高い準位から電子が落ちてポーア (振

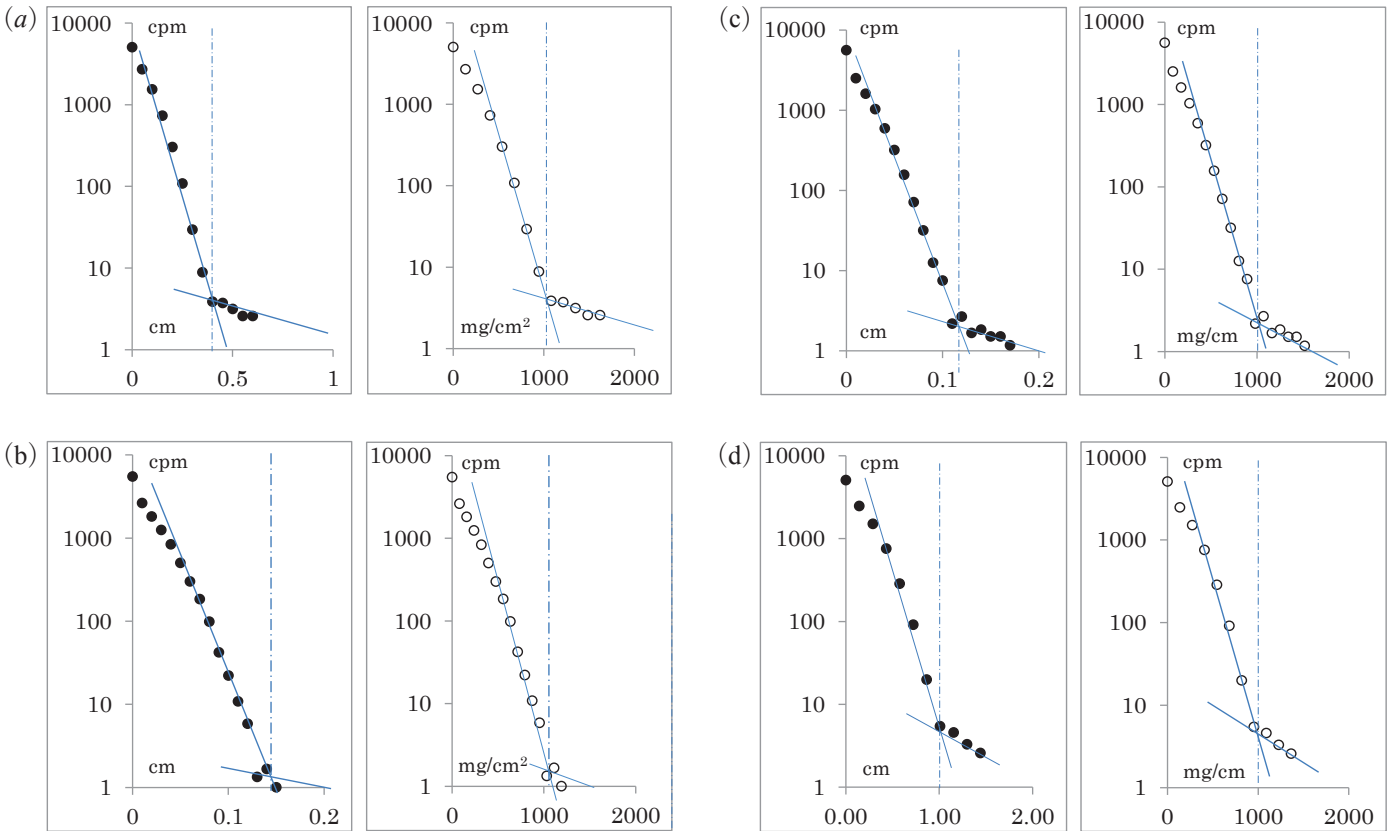


図 12 β 線吸収実験結果，縦軸はいずれも cpm を単位とする対数表示。各遮蔽板の左図の横軸の単位は cm で，同右図の横軸の単位は mg/cm^2 である。(a) アルミニウム，(b) SUS304，(c) 銅，(d) ポリプロピレン

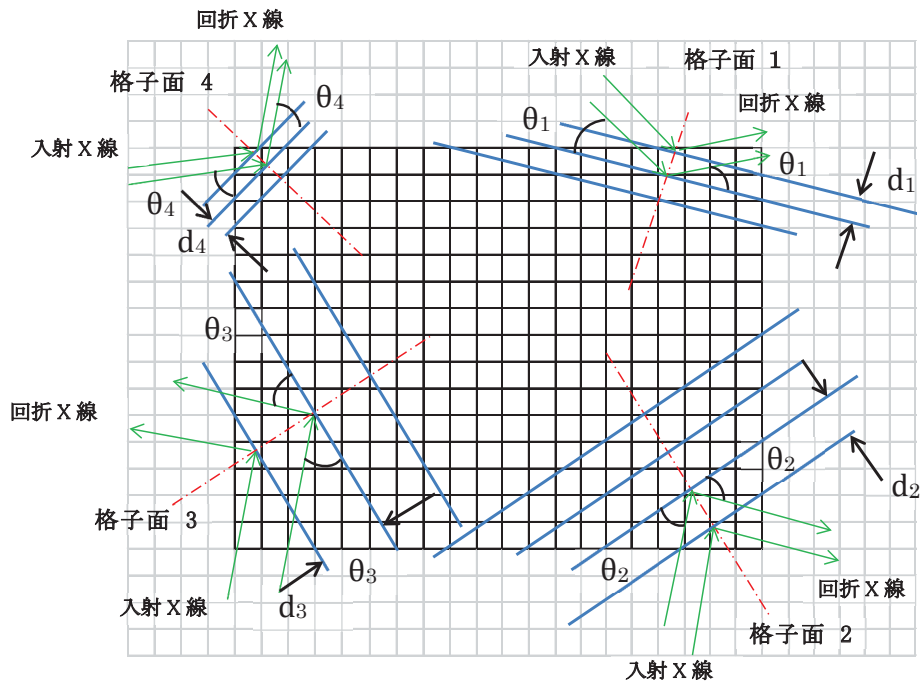


図 13 単位繰返し（2次元）構造と X 線の回折の概念図。各格子面を斜線で示している。

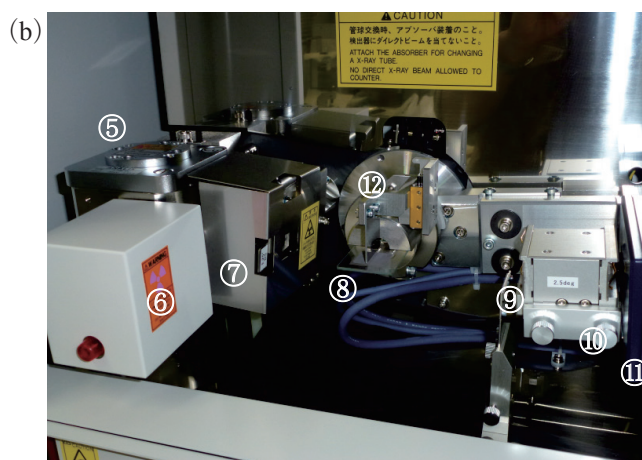
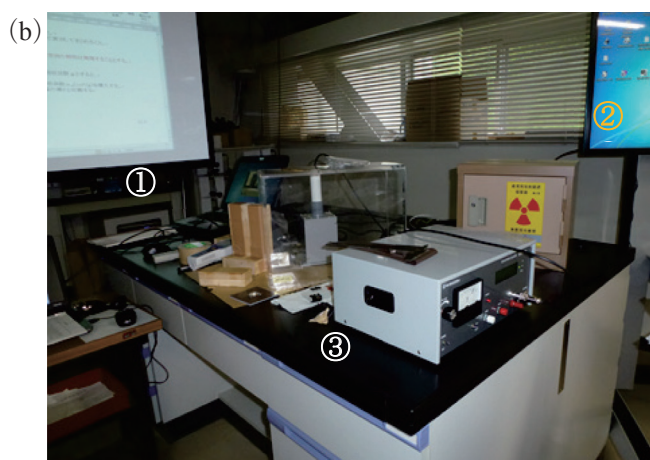


写真 2(a) β 線吸収実験のようす ①説明用スクリーン, ②放射線測定部の拡大テレビ映像, ③ β 線吸収実験器具など。 β 線吸収実験は役割を分担して測定する, (b) 測定器具周辺の拡大写真 [各番号は (a) と同じ]

写真 3(a) Miniflex600 の縦型ゴニオ方式の測定システム ① Miniflex600 本体, ②制御および解析パソコン, ③冷却装置 (④の下部), ④プリンター, (b) Miniflex600 の測定部 ⑤封入管, ⑥電動シャッター, ⑦入射用ソーラスリットと長手制限スリット, ⑧粉末試料台 (ガラス製), ⑨受光スリットと受光ソーラスリット, ⑩ Ni フィルター, ⑪ 半導体 1 次元位置検出器, ⑫ 可変ナイフエッジ

動数) 条件に従った振動数 ν の特性 X 線が発生する。この特性 X 線は波長の短い方から K, L, M 系列と名付けられており, 粉末 X 線回折の測定では K 系列 (強度順に $K\alpha_1$, $K\alpha_2$, $K\beta$) の $K\beta$ は除去され, 精度の良い実験では $K\alpha_1$ から生じる回折データを解析で用いる。ここで, X 線回折は弾性散乱である。

(ii) 粉末 X 線回折の基礎

図 13 に示すように, 周期的繰り返し構造を有する単結晶を固定し, この単結晶にさまざまな方向から X 線を入射すると, 各格子面に対するブラッグ回折条件 $\lambda = 2d \sin \theta$ (d : 格子面間隔, λ : X 線の波長, θ : 結晶面と X 線のなす角度) を満足すれば, 回折ピークを検出できる。単結晶に X 線をあらゆる方向から照射させるには, 或いは照射する X 線を固定して単結晶をあらゆる方向に回転させるには, 技術的に装置が大掛かりとなり複雑である。そこで, 単結晶を微細に砕いて単結晶があらゆる方向を向いている状態にした試料に, 一定の方向から X 線を照射して X 線回折をおこなう方法が広くおこなわれており, これを粉末法という。粉末試料は多くの微小な単結晶粒がランダムな方向に向いているので, 格子面間隔 d が X 線の入射方向と θ をなす結晶粒が必ず存在し, それによる回折線が入射 X 線に対して 2θ の方向に現れる。 $2\theta/\theta$ 反射法では, 試料が入射 X 線に対して角度が θ 傾いているとき検出器は 2θ の位置にあり, ブラッグの回折条件が満足されるたびに検出器に回折線が現れる。粉末 X 線回折では赤道方向の回折線を測定することと

なる。ここで、 2θ を回折角度とよぶ。

(iii) 結晶構造と X 線回折強度

原子の集合した単位構造が規則的に配列している結晶を考えると、この単位構造内の任意の原子が周期的に繰り返している 3次元空間を空間格子という。この空間格子の格子点の1つを原点とし、これに隣接する独立なベクトルを \vec{a} , \vec{b} , \vec{c} で示す。空間格子でつくる平面が \vec{a} , \vec{b} , \vec{c} 軸とそれぞれ $|\vec{a}|/h$, $|\vec{b}|/k$, $|\vec{c}|/l$ の3点で交わる場合、この面を格子面 (hkl) で表示し、 h , k , l をミラー指数または面指数と呼ぶ。但し、 h , k , l の値は整数で表示される [図 14 では (243) を示す]。この面に平行な格子面の間隔 d は、例えば立方晶系 ($\vec{a} = \vec{b} = \vec{c}$, および各軸が互いに直交する) の場合、幾何学的証明により、

$$1/d^2 = (h^2 + k^2 + l^2)/a^2 \quad (4)$$

で示せる (代表的な結晶系^{*7}の関係式は参考文献⁶⁾ 参照)。ここで、 a は立方晶の格子定数である。粉末 X 線のブラッグ回折条件

$$\lambda = 2d \sin\theta \quad (5)$$

と組み合わせると立方晶では、

$$\sin^2\theta = \lambda^2 (h^2 + k^2 + l^2) / 4a^2 \quad (6)$$

の関係式を得ることができる (他の結晶構造の場合は参考文献参照)。

X 線の回折強度 I は結晶構造因子 $F(h, k, l)$ を用いて、

$$I(h, k, l) \propto |F(h, k, l)|^2 = \left| \sum_{n=1}^N f_n \exp\{2\pi i (hx_n + ky_n + lz_n)\} \right|^2 \quad (7)$$

で示すことができる。ここで、 N : 単位格子内の原子の数、 f_n : n 番目の原子の原子構造因子、 x_n, y_n, z_n : 原子の座標である。回折条件を満たしていても、この強度式の h, k, l がある条件を満たすとき結晶構造因子が 0 となり、回折が起こらない場合が生じる。例えば、実験をおこなう Si の立方晶系ダイヤモンド構造の場合、 $(x_1, y_1, z_1) = (0, 0, 0)$, $(x_2, y_2, z_2) = (1/2, 1/2, 0)$, $(x_3, y_3, z_3) = (1/2, 0, 1/2)$, $(x_4, y_4, z_4) = (0, 1/2, 1/2)$, $(x_5, y_5, z_5) = (1/4, 1/4, 1/4)$, $(x_6, y_6, z_6) = (1/4, 3/4, 3/4)$, $(x_7, y_7, z_7) = (3/4, 1/4, 3/4)$, $(x_8, y_8, z_8) = (3/4, 3/4, 1/4)$ に原子が存在する。これを結晶構造因子に代入すると、

$$F = f \{1 + e^{\pi i(h+k)} + e^{\pi i(k+l)} + e^{\pi i(l+h)}\} \{1 + e^{(\pi i/2)(h+k+l)}\} \quad (8)$$

となる。ここで、

右辺の $\{1 + e^{\pi i(h+k)} + e^{\pi i(k+l)} + e^{\pi i(l+h)}\}$ は、 h, k, l に奇数と偶数が混在するとき、0 となる。 h, k, l が全て奇数、或いは全て偶数のとき、4 となる。
 右辺の $\{1 + e^{(\pi i/2)(h+k+l)}\}$ は、 $h+k+l=4m$ のとき、8 となる。 $h+k+l=4m \pm 1$ のとき、 $4(1 \pm i)$ となる。
 $h+k+l=4m+2$ のとき、0 となる。

このように、構造因子 $F=0$ となって回折線が特定の指数で測定できない場合が生じ、これを消滅則という。

(iv) コーエンの方法による格子定数の求め方

本実験では、試料として粉末 Si (立方晶) を用いて、 $2\theta=20^\circ \sim 90^\circ$ の回折角度範囲の反射法で回折ピークを測定し、入射 X 線 $K\alpha_1$ からの回折ピークのみをデータ解析する。(6)式より、 x 軸を $h^2+k^2+l^2$, y 軸を $\sin^2\theta$ として、最小自乗法を汎用表計算ソフト (Microsoft Excel) でおこなって求めた 1 次関数の傾きの値 m が $\lambda^2/4a^2$ に等しいので、

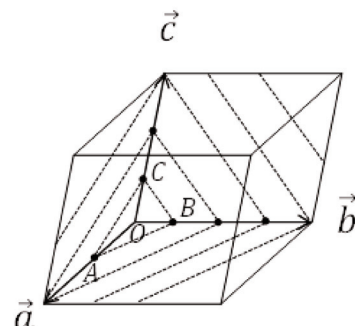


図 14 格子面の面指数 (hkl) とすると、 $\overline{OA} = |\vec{a}|/h$, $\overline{OB} = |\vec{b}|/k$, $\overline{OC} = |\vec{c}|/l$ である。図の面指数は (243) である。

*7 結晶系は 7 種類に分類でき、更に対称操作 (並進, 回転, 反転, 鏡映) によって存在可能な空間格子は 14 種類にまとめることができる。この 14 種の格子を「ブラベー格子」⁶⁾ という。結晶系およびブラベー格子の概説は学生実験時間内でおこなうが、結晶学の演習実験でないため、詳細な説明は地学の鉱物結晶学に譲るものとする。本実験では、立方晶系に限定して実験をおこなって、X 線回折パターンから格子面間隔がどのように決定でき、この格子面間隔の指数付けの情報から、Si 立方晶系 (ダイヤモンド構造) の格子定数を決定する一連の実験およびデータ解析で、波動性および物質への透過性を有する X 線の回折・干渉現象の検証例として取りあげる。

$$a = \sqrt{(\lambda^2/4m)} \quad (9)$$

で Si の立方晶の格子定数を求めることができる (図 16)。

(2) 実験方法

リガク(株)製 Miniflex600⁷⁾ を粉末 X 線回折装置として学生実験に用いた [写真 3(a)]。X 線の発生は封入管式 (1.5kW 規格 Cu 製対陰極の管球) で、装置の最大出力は 0.60kW である。専用配電盤を設置する必要もなく家庭用の单相 100V (15A) コンセントへの接続で使用できる卓上型装置である。しかし、X 線検出器 (半導体 1 次元位置検出器) の性能の向上や光学系の工夫で、かつての最大出力 2.0kW レベルの封入管式粉末 X 線回折装置以上の機能を有している。以下、X 線回折装置の概要を示す。

(i) 入射 X 線の試料照射について

封入管式 (最大出力 0.6kW) から放出された X 線は、2.5° 入射ソーラスリット^{※8} と幅 10mm の HIS (長手制限スリット) と 1.25° DS (発散スリット) を経て、2θ/θ スキャン反射式試料台に設置したサンプルに照射される。ソーラスリットの角度を狭めること (例、0.5°) によって分解能を高めることができるが、散乱強度は減少する。

(ii) 散乱光軸系と X 線検出器 [写真 3(b)] について

散乱光軸系側にも 8.0mm の SS (散乱スリット) と受光ソーラスリット 2.5° を設置して、角度分解能を高めている。また、Ni フィルター (厚み: 0.015 mm の 1/100 減衰) で散乱 X 線から CuK_β を除去しているため、検出する散乱 X 線は CuK_α である。但し、CuK_{α1} と CuK_{α2} の分離はできていない。半導体 1 次元位置検出器 (D/teX Ultra : 100μm × 128 channels) で散乱 X 線を検出する。縦型ゴニオメーターム (半径 150 mm) の 2θ 角度が変化するたびに 1 次元位置検出器の 128ch がそれぞれの散乱角度に応じた X 線を検出するので、従来のシンチレーション検出器と比較して 100 倍 [株] リガク公表値] 以上の検出効率を高めている。

図 15 に示す集中円上にある X 線源から発した X 線が試料に入射した後、試料から回折した X 線が集中円上の点に集中するように設計された光学系が Bragg-Brentano の集中法である。⁷⁾ 集中円は X 線源、ゴニオメータの回転中心 (試料表面の中心位置)、受光スリットの 3 点を通る仮想的な円でその半径は回転角 2θ によって変わる。この集中法の光学系に 1 次元位置検出器を併用することで、計測効率の高い X 線検出が可能となる。試料測定時間の短縮や高強度の回折 X 線データの収集に優れている。

写真 3(b) の⑫に示す可変ナイフエッジを用いて低角度側の散乱を極めて小さくすることができ、バックグラウンドを低減させている。これは回折角度 2θ に依存して移動するので、高角度側の強度減衰もなく、低角度側から高角度側までの高い PB 比 (ピーク to バック)

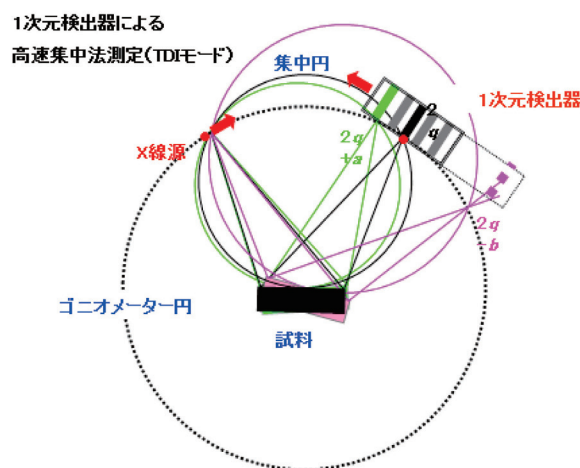


図 15 X 線検出器に半導体 1 次元位置検出器を設置した場合の集中法の概念図。但し、図は縦型ゴニオメータおよび試料水平ゴニオメータで示している。

※8

- ・入射 & 受光ソーラスリット：薄い金属板を互いに接近して平行に重ねて作られたスリットで、一定方向以外の X 線を遮断することができるため、X 線のラインの平行方向の拡がりを制限する
- ・HIS (長手制限スリット)：入射 X 線の幅を制限する
- ・DS (発散スリット)：X 線のラインの垂直方向の拡がりを制限して試料への照射面積を決める
- ・SS (散乱スリット)：空気などからの散乱をカットする役割を果たす
- ・RS (受光スリット)：シンチレーションカウンターで X 線を検出する場合に用いる。回折強度は弱まるが分解能は高まる。本測定では、1 次元位置検出器のため用いていない。

クグラウンド比) 測定が可能である。

(iii) 測定制御および解析プログラムについて

冷却水操作およびX線回折装置の「ON」「OFF」は手動であるが、X線回折装置の「X線発生」「測定」「データ解析」はコンピュータ制御である。実験手順は次の通りである。

- (ア) 冷却水循環器電源「ON」、MiniFlew600の電源「ON」、制御用パソコン電源「ON」の手順でシステムを起動する
- (イ) システム制御用ソフト「Guidance」を立ち上げて測定条件を入力する
- (ウ) 学生実験で使用する粉末試料を試料台に設置する
- (エ) 試料台をゴニオヘッド(2 θ / θ スキャン反射測定)に取付ける
- (オ) インターロック機能を「ON」にして、測定を開始する
- (カ) 測定終了後、保存したデータを汎用表計算ソフト(Microsoft Excel)に出力する
- (キ) 学生用ノートパソコンにデータをコピーして、解析をおこなう

(iv) X線防御および安全性について

装置そのものが完全密閉キャビネット構造をしているので、試料をゴニオヘッドに装着するとき以外、インターロック機能によりX線を照射したまま装置のドアを開くことはできない。X線管理区域が装置内部だけとなるため、X線回折装置の使用に関しては、X線作業主任者の資格を取得することなく、学生実験でも学生による使用が可能である。また、計測中は橙色警告灯が点灯して、キャビネット内でX線が発生していることを表示する。

(3) データ解析とまとめ

次の手順でデータ解析をおこなう。

- ・ Excelで開いたデータをグラフ表示し、また各散乱角度領域で散乱ピークを拡大表示する(図16の①から⑥)
- ・ 拡大表示した各ピークは入射X線のCuK α_1 とCuK α_2 によって分離しているが、低角側のCuK α_1 のピークの方にポインターをあてて、ピークの回折角度2 θ の値を求める
注意：回折強度(面積強度)は解析専用ソフトでも求めることができる。これらの値は図16の表に示している
- ・ 各回折ピークのミラー指数値を表に記入する(ミラー指数を消滅則で確認する)
- ・ $\sin^2\theta$ の値とミラー指数の関係をグラフ表示し、1次関数の傾きを最小自乗法でもとめてコーエンの方法で格子定数を決定する(図16右上のグラフ参照)。

予備実験で得たデータ解析を次に示す。

図16のA列(2 θ)とB列(回折強度:cpm)にX線回折実験で得たデータの数値を示している。この2列のデータから、2 θ =8~90°領域の回折パターンを図16の左上にグラフ表示している。①から⑥の各回折角度領域の拡大図を図16の右側に個別に示している。何れもピーク分離しているが、低角側の回折ピークが入射X線CuK α_1 によるものである。データ解析では、CuK α_1 による回折ピークにポインターをあててその角度を記録する(グラフ下部のD列からM列の29行から44行に示している表は、X線回折装置の解析ソフトから得た基本データである)。R列からX列および31行から44行に表示している表は、コーエンの方法による格子定数を最小自乗法でもとめるデータで、 $\sin^2\theta$ を縦軸に、 $h^2+k^2+l^2$ を横軸に表示したグラフを図16の右上に表示している。この傾きより、(9)式を用いて図16の(S,27)のセルに格子定数の値を得ることができる。Si立方晶系の格子定数が5.43Åと決定できた。精度の高い値を得ることができた。(W,32)から(W,44)のセルに示す値は、個々のピークから(6)式を用いて格子定数を算出したものである。

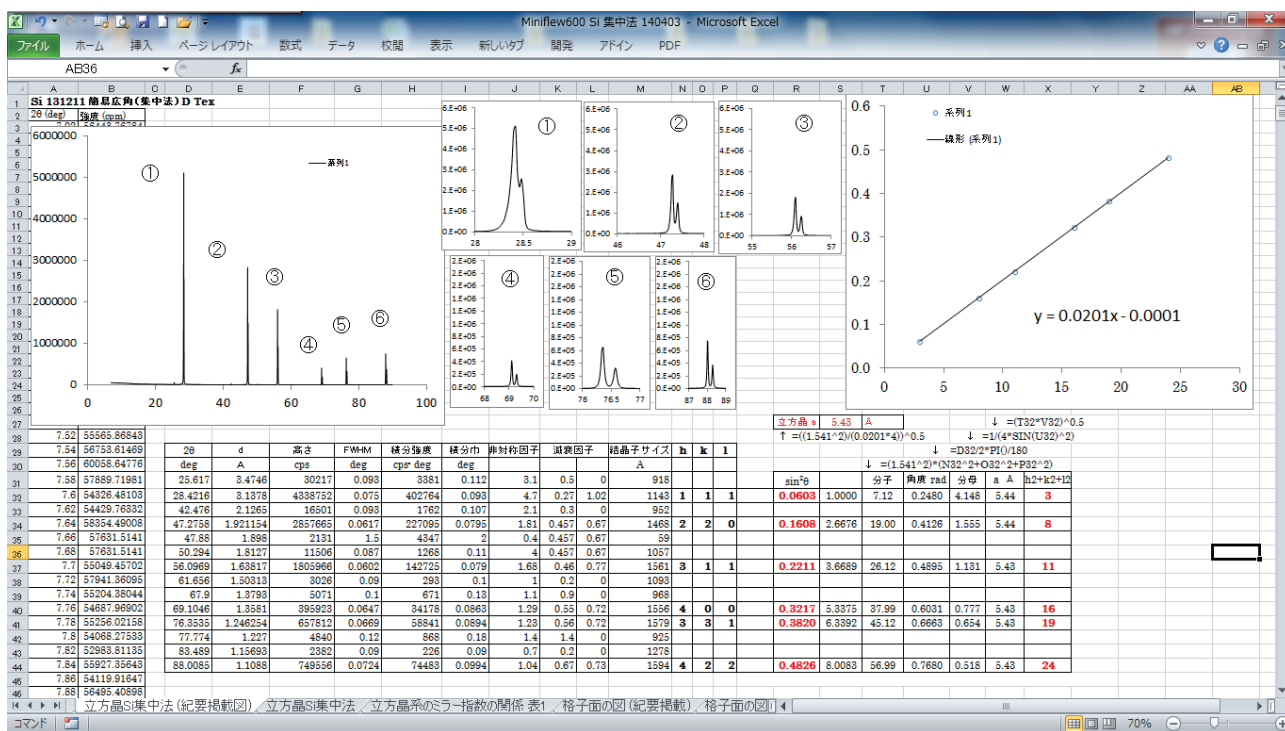


図 16 汎用ソフト (Microsoft Excel) ワークシートでのデータ (粉末 X 線回折実験) 解析

表 5 放射線関連の学生実験課題と実施形態

実験課題	放射線の基礎と簡易霧箱実験	β線の吸収実験	放射線の応用実験Ⅰ (粉末 X 線回折)
講義内容	(ア) 放射線の物理的特性に関する基礎知識・理解 (イ) 放射線の「生体や人体への影響」に関する基礎知識・理解 (ウ) 放射線の社会に果たす役割 (医療、産業・工業界、農業等) (150分)	(ア) データの統計処理に関する基礎知識・理解 (イ) 放射線計測の基礎知識・理解 (ウ) 放射線の吸収に関する基礎知識・理解 (100分)	(ア) X線の発生に関する基礎知識・理解 (イ) 結晶構造に関する基礎知識・理解 (ウ) X線回折に関する基礎知識・理解 (160分)
実験内容と実施形態	本文参照 (60分) 班別実験 (例, 45名受講の場合, 5班×2回で実施)	本文参照 (120分) 全体で集中実験	本文参照 (40分) 班別で実施
演習・データ解析内容	本文参照 (60分)	本文参照 (50分)	本文参照 (70分)

3. まとめ

初等理科および中等理科の2年生を対象に放射線に関する基礎知識や理解度を調査して、放射線の学習実態の把握をおこなった後、実験を通して放射線の特徴を理解するため、間接的であるが放射線を可視化する実験およびデータを解析する過程で放射線の存在を認識できる実験課題を設定し、各実験の概要と汎用表計算ソフトを用いたデータ解析を提示した。β線の吸収実験や粉末 X 線回折実験は理学部や工学部でおこなわれている一般的な実験課題であり、毎週おこなう学生実験の1課題として位置付けられる基本的な実験である。本学教育学部のカリキュラムの構成上、霧箱実験とβ線吸収実験は初等理科および中等理科の2年生を対象に、粉末 X 線回折実験は同3年生 (前期) を対象に実施することとなり、放射線や物性に関する講義や演習を受講していない時期での実施となる。また初等理科、中等理科および環境教育は物理学の専門を履修できる範囲 (例, 取得単位数) がそれぞれ異なり、また、段階を踏んで専門を履修するので学ぶ範囲の広さも専門の深さも異なってくる。例えば、同じ初等理科の学生でも卒業研究に物理・化学・生物・地学や理教 (理科教育の方法等) のどの領域を選択するかによって物理の専門の必要度が異なるため、知識・理解度が著しく広く分布した受講生を対象とした学生実験となる。理学部や工学部のように受講前の学生の学習履歴がほぼ同じ学生を対象とする学生実験とは異なり、教育学部では実験を教授する仕方に工夫が必要となる。このため、本報告で示した放射線に関する各実験は実験枠 (135分/1枠) の2回分で実施し、「講義」

→「実験」→「演習およびデータ解析」で受講生全員を対象とした集中的な実施形態とならざるを得ない。写真2(a)に β 線吸収の予備実験をおこなったときのようすを示している。実施例として、表5に実施内容とその時間配分を示している。

将来の科学・技術を担う小・中学校期の児童・生徒たちから理系の人材を育てることも小学校教師や中学校理科教師に課せられた重要な社会的責任である。教育学部の卒業生が、小・中学校の理科教育においてその力量を十分に発揮できるように、また教育学部で教師としての科学力と教育力を培えるように、物理学に留まらず化学・生物学・地学の各領域の教育学部での学生実験のより一層の充実が急務であり、必要と考えている。

謝辞

PCタブレットを用いた双方向情報交換システムでの調査にあたって、理科教育講座教育工学教室の古川健一氏の協力に感謝致します。尚、文部科学省平成24年度国立大学法人施設設備費補助金「質の高い理科教育支援システムの整備」の補助を受けておこなったものである。

参考文献

- 1) 例えば、文部科学省 編 (小学校, 中学校, 高等学校教師用解説書)
http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1314251.htm 他
- 2) 古川健一, 大後忠志, 宇藤茂憲, 福岡教育大学紀要第63巻, 第3分冊 (2013) pp.21 ~ 34
- 3) 例えば, JAXA 科学実験ホームページ
<http://www.yac-j.com/labo/list/pdf/5.Experiment/5-17.pdf> など
- 4) 独立行政法人 放射線医学総合研究所 編 (サイト内 pp.13 ~ p23, pp.27 ~ p38)
http://www.nirs.go.jp/publication/rs-sci/e_learning/ref/reference.pdf#page=29
 厚生労働省 (放射線と健康)
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000016gsw.html>
 厚生労働省 編 (放射線と食品)
http://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/shokuhin.html
 農林水産省 編
http://www.maff.go.jp/j/syouan/soumu/saigai/pdf/1_kiso.pdf
 文部科学省 編 (高等学校教師用解説書)
http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1314251.htm
- 5) 例えば, 実験物理学講座 26 放射線, 山崎文男 編, 共立出版
 共立全書 原子核・放射線の基礎, 真田順平 著, 共立出版 など
- 6) 例えば, カリティ X 線回折要論 松村源太郎 訳, (株)アグネ
 粉末 X 線解析の実際 第2版, 中井泉, 泉富士夫 編集, 朝倉書店
 X 線結晶解析の手引き, 桜井敏雄 著, 裳華房
 専門課程 物理学実験, 高野良紀, 植松英穂, 浅井朋彦, B.Zulkoskey 編, 裳華房 など
- 7) リガク(株)サイト
<http://www.bunseki.cstm.kyushu-u.ac.jp/F/116.pdf>