

# 卒業論文

## クルックス管における放射線被ばくについての研究

平成31年1月29日

京都教育大学 理科領域専攻  
学籍番号 151205

山中 晴登

## 内容

1. 序論.....	1
1.1. はじめに.....	1
1.2. 研究概要.....	2
1.3. 放射線について.....	3
1.3.1. 放射線とは.....	3
1.3.2. 電磁放射線について.....	3
1.3.3. 粒子放射線.....	4
1.3.4. 単位について.....	5
1.4.5. 放射線が及ぼす人体への影響.....	7
1.4. 装置と使用器具について.....	8
1.4.1. クルックス管.....	8
1.4.2. 誘導コイル.....	9
1.4.3. ガンマ線測定器.....	10
1.5. クルックス管について.....	12
1.5.1. クルックス管.....	12
1.5.2. 動作原理.....	12
1.5.3. X線の照射.....	12
2. クルックス管周囲におけるX線線量の測定.....	13
2.1. 計測方法①.....	13
2.2. 電離箱式サーベイメータによる計測.....	14
2.2.1. 測定方法.....	14
2.2.2. 測定結果.....	15
2.3. 計測ポイントの増設.....	16
2.4. GM管式サーベイメータによる計測.....	17
2.4.1. 計測方法.....	17
2.4.2. 測定結果.....	17
2.5. 誘導コイルの電圧低下 誘導コイルの交換.....	18
2.6. シンチレーション式サーベイメータでの計測.....	19
2.6.1. 測定方法.....	19
2.6.2. 測定結果.....	19
2.7. 電離箱式サーベイメータでの計測②.....	20
2.7.1. 測定方法.....	20
2.7.2. 測定結果.....	20
2.8. GM管式サーベイメータでの測定②.....	22

2.8.1.	測定方法 .....	22
2.8.2.	測定結果 .....	22
2.9.	鉛ガラスで遮蔽した状態での電離箱式サーベイメータでの計測.....	23
2.9.1.	測定方法 .....	23
2.9.2.	測定結果 .....	23
2.10.	鉛ガラスで遮蔽した状態でのGM管式サーベイメータによる計測.....	25
2.10.1	計測方法 .....	25
2.10.2.	測定結果 .....	25
3.	考察.....	26
3.1.	現在の中学理科教育での放射線・クルックス管の取り扱いについて .....	26
3.1.1.	学習指導要領・学習指導要領解説について .....	26
3.1.2.	現行指導要領における教科書での取り扱いについて .....	27
3.1.3.	現行指導要領における指導書での取り扱いについて .....	28
3.1.4.	指導要領・教科書の比較からの考察 .....	29
3.2.	クルックス管が放出する放射線についての考察.....	30
3.2.1.	電離箱式サーベイメータを用いた測定について .....	30
3.2.2	GM管式サーベイメータを用いた測定について .....	31
3.2.3	シンチレーション式サーベイメータを用いた測定について .....	31
3.2.4	測定結果をまとめた考察.....	31
3.3.	クルックス管から受ける影響について .....	32
3.3.1.	放射線被ばく線量について.....	32
3.3.2	クルックス管から照射されるX線から受ける影響について .....	33
3.4	クルックス管を授業で用いる場合の生徒への影響の考察 .....	34
4.	まとめ.....	35
5.	謝辞.....	35

## [目次](#)

図 1	研究に用いたクルックス管 .....	8
図 2	放電の様子 .....	8
図 3	2007 年購入 京都教育大学基礎物理学研究室設置 誘導コイル .....	9
図 4	2001 年購入 京都教育大学応用物理学研究室設置 誘導コイル .....	9
図 5	GM管式サーベイメータと動作原理の概念図 .....	10
図 6	シンチレータと動作原理の概念図 .....	11
図 7	電離箱式サーベイメータと動作原理の概念図 .....	11
図 8	クルックス管周囲の計測点 .....	13
図 9	電離箱式サーベイメータを用いた計測結果① .....	15
図 10	計測ポイントを増設した様子 .....	16
図 11	GM管式サーベイメータを用いた計測結果① .....	17
図 12	電離箱式サーベイメータを用いた計測結果② .....	21
図 13	GM管式サーベイメータを用いた計測結果② .....	22
図 14	電離箱式サーベイメータを用いた測定結果③ .....	24
図 15	GM管式サーベイメータによる計測結果③ .....	25
図 16	現行教科書におけるクルックス管を用いた実験での放射線の記述 .....	27
図 17	現行指導書におけるクルックス管を用いた実験の注意書き .....	28
図 18	クルックス管周囲におけるX線線量測定の平均値 .....	30
図 19	実行線量とその影響 .....	32

# 1. 序論

## 1.1. はじめに

近年、原子力や放射線を用いた技術は世界各国ですさまじい開発がすすめられ、あらゆる分野においてその利益を人々は教授している。原子力が生み出すエネルギーは電力の供給源として、比較的少量の燃料から莫大なエネルギーを生み出し、大気汚染の影響もなく低コストで運用できるため、重宝されている。また放射線は医療分野で活躍を見せ、レントゲン写真をはじめとして、放射線治療としてがんの治療にも使われている。

しかし、2011年3月11日、日本を突如襲った未憎悪の大災害・東日本大震災によって引き起こされた東京電力福島第一原子力発電所の事故を機に日本の原子力の在り方が大きく見直される事態となった。発電所から漏れ出した放射性物質は海水を汚染し福島の漁場に壊滅的な被害をもたらしただけでなく、潮の流れによって広範囲に広がり水揚げされる様々な漁獲物に影響を及ぼし、人々は不安に駆られた。海だけでなく、陸地にも放射性物質が飛び散り、農作物はもちろんのことそこで暮らしていた人々も家を捨て、長期の避難生活を余儀なくされた。地震発生から7年が過ぎた今でさえ、福島原子力発電所の廃炉の目途は立っておらず、避難生活を続けている方々はまだまだたくさんおられる。

この出来事をきっかけに脱原発の動きが加速し、人々の原子力をはじめとする放射線への恐怖心は高まっていった。これらの出来事はそれまで大きな事故に直面しなかった日本の油断がもたらしたものであることは間違いない。

しかし、私は今日本で行われている脱原発の運動に疑問を呈する。メディアの過剰な演出や必要以上に原発に対する恐怖心を募らせるもの、この混乱に乗じてよからぬ運動を企てるもの、それらの一端が少なからず私自身感じる部分がある。

中学校理科の教員として教壇に立つ私ができることは、原子力発電をはじめとして、放射線に対する正しい知識を獲得するとともに、その知識を中学生に理解させ、これからの日本にとって原子力や放射線とどのように向き合っていくべきなのかを考えさせることだと考えている。

## 1.2. 研究概要

クルックス管周辺における X 線の照射量を測定し、学校現場においてクルックス管を用いての実験の安全性について評価することが本研究の主な目的である。授業で用いる際に生徒が座る実験台の上で自由に観察・実験させることが可能であるか、はたまた演示実験での使用であれば安全性を確保できるのか、放射線被ばくの観点から中学校での実験にはクルックス管を用いるべきではないのか、実際の教育現場において授業で実験で用いることを想定した測定を行いその危険性を評価していくことを本研究の目的とする。

測定には主に 3 種類の測定器を用いて様々な観点からクルックス管から照射される X 線の大きさや人体への影響を評価していく。また誘導コイルを取り換え、クルックス管の両極にかかる電圧の違いによってどれほど放射線量が変わるのかを調べていく。

## 1.3. 放射線について

### 1.3.1. 放射線とは

放射性物質が放射性崩壊を起こすことで不安定な原子が安定な原子へと構造を変化させる際に粒子または電磁波の形で放出されるものが放射線である。放射線には物質中の原子や分子を電離または励起させる作用を持つ。目に見えず、生物にとっては有害である。放射線は大きく電磁放射線と粒子放射線に分けることができる。

### 1.3.2. 電磁放射線について

電磁放射線は波長が非常に短い電磁波である。波長が短いので、透過性が強く被ばくの影響を大きく受ける。

#### 1.3.2.1. $\gamma$ 線・X線

電磁放射線における代表的な放射線が $\gamma$ 線とX線である。 $\gamma$ 線は原子核内のエネルギー準位の遷移によって発生する。X線は軌道電子のエネルギー準位の遷移によって発生する。両者の違いは発生機構であり、波長から区別することはできない。飛程が長く電荷は持たない。電磁場によって曲げることが難しく、透過力も高いため、遮蔽することが難しい。遮蔽する際には、原子番号の大きい原子からなる素材を用いると遮蔽しやすい。X線によって電離するとき、その断面積は $\sigma(E) = \sigma_0 Z^2$ となる原子番号が大きいほど単位体積あたりの陽子・中性子・電子が多く、原子軌道上の電子が多いため、電離する際の必要なエネルギーも大きくなるため遮蔽しやすい。X線の電離作用は $\alpha$ 線・ $\beta$ 線に比べると弱い。 $\gamma$ 線は光の中で最もエネルギーが大きく、現在数 TeV の $\gamma$ 線を人工的に作ることが可能となっている。

### 1.3.3. 粒子放射線

質量をもった粒子の運動によって生じる放射線が粒子放射線である。実体として、原子を構成している原子核や素粒子が放出される。

#### 1.3.3.1. $\alpha$ 線

高い運動エネルギーを持つヘリウム4の原子核を $\alpha$ 粒子という。陽子2個と中性子2個からなる。この $\alpha$ 粒子の流れが $\alpha$ 線である。不安定な原子核の $\alpha$ 崩壊に伴って放出される。 $+2$ の電化を帯びており、ローレンツ力によって電場や磁場で屈曲される。速さは核種によって異なるが、おおよそ $1.5\sim 2.0\text{m/s}$ 程度であり、光速に比べると数%にも及ぶ。

電離作用が強く透過力が弱いため、紙や数センチの空気層で遮蔽できる。しかし体内に取り込んだ際にはその電離作用の強さの影響を直に受けるため十分に注意しなければならない。

検出には箔検電器やガイガーカウンター、霧箱が利用されてきたが、近年シンチレーション検出器が利用されることが多い。

#### 1.3.3.2. $\beta$ 線

原子核(中性子)がベータ崩壊する際に高速で放出される電子または陽電子のことを $\beta$ 粒子という。 $\beta^-$ 崩壊によって発生するベータ粒子は負の電荷をもった電子 $\beta^-$ で発生するベータ粒子は正の電荷をもった陽電子である。その他熱電子や光電効果によって放出された電子はベータ粒子と呼ばれない。また加速器によって高速に加速された電子は電子戦と呼ばれる。このベータ粒子の流れをベータ線という。

$\beta$ 線は電子そのものであるため、電子に比べて非常に大きい質量である原子核にはほとんど影響を受けないが、原子核の電場において大きな加速度を受けるため、制動放射が発生する。

その一方、軌道電子には電離作用や励起作用を起こす。しかし $\alpha$ 粒子の電離作用や励起作用に比べると失うエネルギーが少ないため、 $\beta$ 粒子のエネルギーが一気に失われることはない。そのため、遮蔽にも $\alpha$ 粒子に比べて厚い板が必要である。

遮蔽には数mmのアルミ板や1cm程度のプラスチックで遮蔽できる。しかしその際に制動放射によりX線が放射されるため、その遮蔽が必要である。



## 1.3.4. 単位について

### 1.3.4.1. 放射能を表す ベクレル (Bq)

放射線と放射能は区別される言葉であり、放射能とは放射線を出す能力を表す。不安定な原子が崩壊する際に放射線が放出されるが、この崩壊が1秒間に何回起こるかを表す単位がベクレル (Bq) である。

### 1.3.4.2. 照射線量 クローン毎キログラム (C/kg)

電磁放射線には電離作用があり、空气中を電磁放射線が通過したとき発生する電気の量を表す単位がクローン毎キログラム (C/kg) である。

### 1.3.4.3. 吸収線量 グレイ (Gy)

放射線が通過した物質がその放射線からどの程度エネルギーを吸収したのかを表す単位がグレイ (Gy) である。物質1 kgに1 Jのエネルギーが吸収されると1 Gyである。国際単位系ではJ/kgである。

#### 1.3.3.4. 等価線量・実効線量 シーベルト (Sv)

人体における放射線の影響は放射線によって異なり、また同じ放射線から同じエネルギーを受けても臓器の種類、場所によって異なる。よって組織や臓器への被ばく量を正確に表すために考案されたものが等価線量・実効線量シーベルト (Sv) である。

等価線量は放射線を受けた組織・臓器ごとに、放射線の種類やエネルギーを考慮したうえで算出された線量である。線量当量というものがあるが、これは放射線の種類のみを考慮しており、組織・臓器のある一点のみに規定されているものであった。これに対して、等価線量は組織・臓器全体にわたって平均したものと定義されている。確定的影響を評価するために用いられる。

透過線量を  $H[\text{Sv}]$ 、平均吸収線量を  $D[\text{Gy}]$ 、放射線  $R$  の放射線線量係数を  $W_R$  とすると、ある特定の臓器  $T$  における透過線量は次のように定義される。なお、本研究で着目している X 線については放射線線量係数は 1 と定義されている。

$$H_T = D_T \times W_R$$

実効線量は放射線による全身被ばくの量を表すために用いられ、組織・臓器ごとに算出された等価線量に組織荷量係数を乗じて合計したものである。確率的影響を評価するために導入された。

実行線量を  $E[\text{Sv}]$ 、等価線量を  $H[\text{Sv}]$ 、臓器の組織荷重係数を  $W$  とすると、ある特定の臓器  $T$  の実行線量は次のように定義される。

$$E = \sum_T H_T \times W_T$$

## 1.4.5. 放射線が及ぼす人体への影響

### 1.4.5.1. 放射線の人体への影響過程

放射線の人体への影響は、放射線が持つ高いエネルギーが人体を構成する分子に吸収され、分子の構造が変わる、破壊されることによって影響を及ぼす。

人体が放射線にさらされた瞬間、 $10^{-15}$ 秒ほどで物理的影響を受ける。放射線の持つエネルギーが人体を構成する分子の構造に関係なく分子を電離や励起する。遺伝子を構成する核酸やたんぱく質などの生体高分子や水分子に影響が及ぼされると、人体の70%~80%が水分子で構成されている人体に大きな影響を与える。

被爆後 $10^{-12}$ ~1秒ほど化学的影響を受ける。先ほどの電離作用などに引き続き、反応性の高いイオンや自由電子を生成する。

数秒から数十秒でイオンが周囲の分子と反応し、分子の構造異常や機能低下を招く。その後、生体分子の損傷に修復が追い付かなければ細胞・組織・臓器の死や不全から死に至る生物的影響を受ける。

数か月から数十年もの間、後発性障害が発生する可能性を維持することになる。人体に変化が現れるまでに長い期間を要し、数十年経過後に現れる障害もある。

### 1.4.5.2. 確定的影響

放射線を受けた線量によって人体への影響が出ることがわかっているものを確定的影響とされている。確定的影響には被爆後3か月以内に発症する急性障害と半年から1年以降に発症する晩発障害と分けられる。確定的影響の急性障害の例として宿酔、脱毛、皮膚紅斑、潰瘍、白血球減少などがある。

一方で確定的影響の晩発障害には、白内障や肺線維症などが影響としてあげられる。

100mSvの放射線を被ばくすると、確定的影響が現れる。また7Svの放射線を1時間以内に被ばくすると確実に死亡する。

### 1.4.5.3. 確率的影響

放射線に被ばくすることで、その受けた線量によって発症する確率が上昇していくものを確率的影響という。確率的影響には急性障害はなく晩発障害のみとされている。主な症状としてがんや遺伝的影響が取り上げられる。

## 1.4. 装置と使用器具について

### 1.4.1. クルックス管

京都教育大学 基礎物理学研究室に設置されていたクルックス管を用いる。クルックス管の動作原理などについては項目 1. 5 に記述する。



図 1 研究に用いたクルックス管

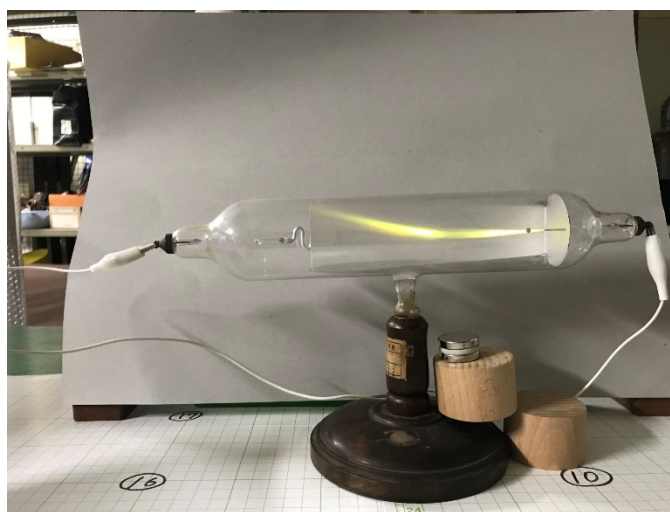


図 2 放電の様子

### 1.4.2. 誘導コイル

京都教育大学基礎物理学研究室に設置されている誘導コイル（島津製作所・2007年購入）を用いた。しかし、途中で出力が落ちたため、京都教育大学応用物理学研究室に設置されている誘導コイル（島津製作所・2001年購入）を用いた。

誘導コイルは低電圧から高電圧パルスを生成する電気トランスである。共通の鉄心の周りにまかれた2つの絶縁電源コイルで構成されている。1次コイルは比較的少ない巻き数で数十から数百巻き程のコイルである。2次コイルは何千巻きもされているコイルとなっている。1次コイルに電流を流すと磁界が発生する。発生した磁界は2次コイルへと結合する。1次コイルに流している電流を突然遮断すると磁界密度が変化し、巻き数の多い2次コイルに大きな起電力が発生する。これを断続的に行うことで2次コイルから高電圧パルスを取り出すことができる。

絶縁破壊電圧が3 kV/mmであることから、2001年に購入された誘導コイルでの放電は5 mmほどあるため、出力は15 kVほどであると考えられる。

なお、2007年購入の誘導コイルでは放電するまでの電圧をかけることができなくなった。



図 3 2007年購入 京都教育大学基礎物理学研究室設置 誘導コイル

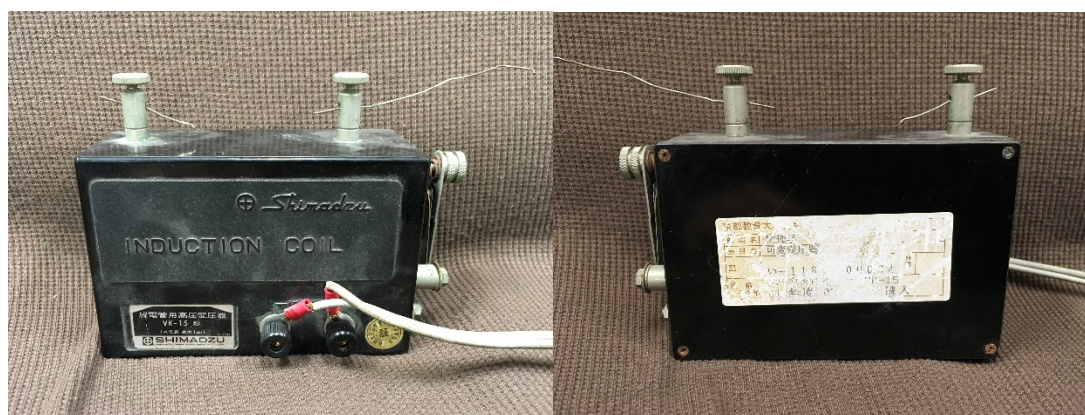


図 4 2001年購入 京都教育大学応用物理学研究室設置 誘導コイル

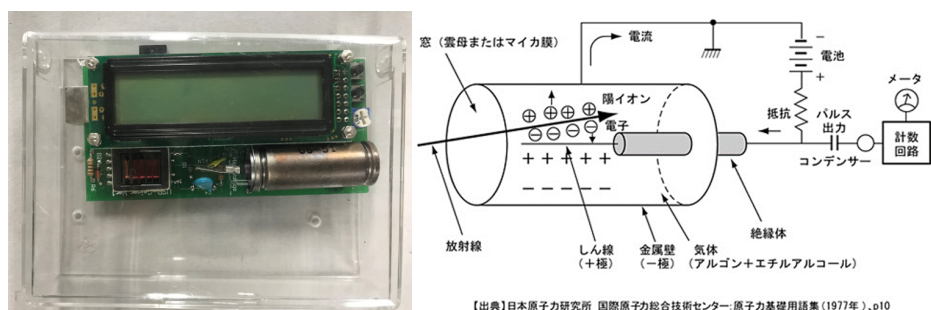
### 1.4.3. ガンマ線測定器

本研究ではクルックス管周囲におけるX線の線量測定が主な研究内容である。そこで、電磁放射線（ガンマ線）を計測するガンマ線測定器を用いて測定を行う。

ガンマ線を直接収集・計測することは容易ではないため、ガンマ線が持つ電離作用によって原子からはじきだされた電子を計測することによって線量を計測する。

#### 1.4.3.1. ガイガーミュラー（GM）管式サーベイメータ

極板間に高い電圧をかけ、そこに放射線が通ると放電する。その放電回数をカウントし、放射線量を算出する。



【出典】日本原子力研究所 国際原子力総合技術センター 原子力基礎用語集 (1977年), p10

図 5 GM管式サーベイメータと動作原理の概念図



### 1.4.3.2. シンチレータ

シンチレータと呼ばれる物質は放射線と反応し、微弱な光（シンチレーション光）を発する。このシンチレーション光を光電子倍增管によって電流として取り出し、放射線量を算出する。

ガンマ線のエネルギーが大きいほどシンチレーション光の光量も多くなる。つまり、エネルギーに応じてパルス電圧も多くなる。

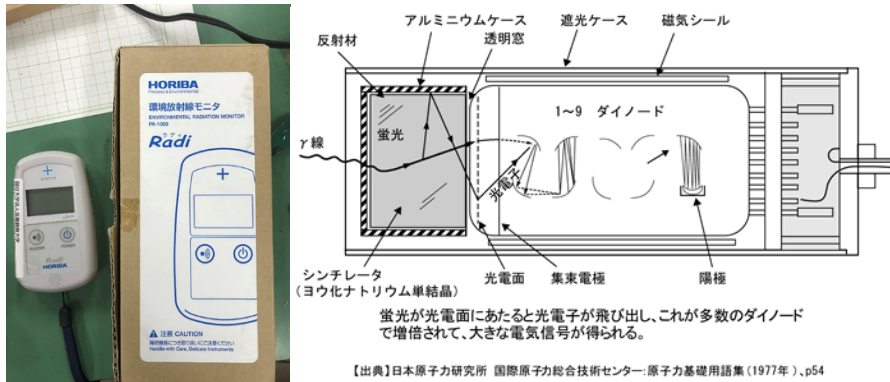


図 6 シンチレータと動作原理の概念図

### 1.4.3.3. 電離箱式サーベイメータ

ガンマ線や X 線が原子に当たると電子をはじき出し（電離）原子をイオン化する。はじき出された電子を中心電極にて収集し、電気信号の強度で放射線量を算出する。

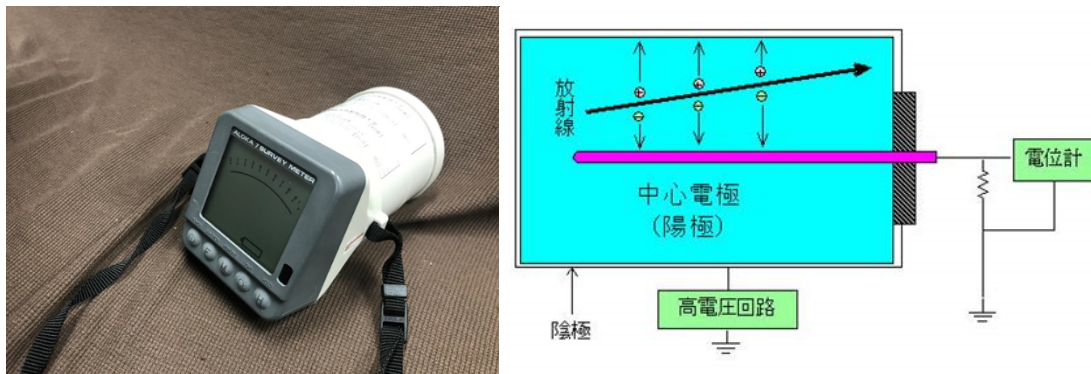


図 7 電離箱式サーベイメータと動作原理の概念図

## 1.5. クルックス管について

### 1.5.1. クルックス管

クルックス管は実験用真空放電管の一種であり、物理学者ウィリアム・クルックスなどによって発明された。ガラス容器の両端に金属板が取り付けられ、内部を約 1 Pa ほどの真空度まで排気されている。金属板間に高電圧が印加されると陰極側から陰極線がまっすぐ飛び出して来る様子が観察できる。

本研究では京都教育大学基礎物理学研究室に設置されていたクルックス管を用いる。

### 1.5.2. 動作原理

クルックス管は冷陰極管の一種である。適度に排気されたクルックス管の内部には自然放射線の電離作用などによりわずかな数の自由電子とイオンが存在する。極板間に高電圧をかけることによって荷電粒子は極板間にかかる電場によって駆動される。電子がほかの気体分子と衝突すると分子内の電子がたたき出されて陽イオンが残る。この過程が連鎖して多数の陽イオンが生じる現象をタウンゼント放電という。生じた陽イオンはすべて陰極に引き寄せられ突入した時に表面から大量の電子をたたき出す。その電子が陰極から斥力を受け陽極に向かって飛んでいくものが陰極線である。

陰極線は目には見えない。しかし軽量の電子は電圧 10 kV に対して  $5.9 \times 10^4$  km/s まで加速されるため、運動量が高まっている状態にあり、ガラス面やスクリーンに衝突するとその原子の軌道電子を上エネルギー準位に押し上げる。励起された電子は元の準位に戻る時そのエネルギー差に相当する光を放出する。これは蛍光というプロセスであり、陰極線をこのようにしてみることができる。

### 1.5.3. X線の照射

クルックス管に加えられる電圧が約  $5.0 \times 10^3$  V 以上の十分高い値であれば陽極やガラス管に衝突した際に X 線を生成するほどの速度まで電子を加速させることができる。高速の電子が X 線を生成する過程は 2 通りある。

1 つ目は正電荷が集中している原子核のそばを電子が通ると電子の軌道が鋭く曲げられその際に X 線を放射する。この過程を制動放射という。

2 つ目は電子が原子と衝突して、原子内の電子のエネルギー準位を押し上げた際、元のエネルギー準位に戻る時に余分なエネルギーを X 線として放射する。これを蛍光 X 線という。



## 2. クルックス管周囲におけるX線線量の測定

### 2.1. 計測方法①

クルックス管の周囲に24個のポイントを打ち、その点におけるX線の線量を3つの測定器を用いて計測していく。

また、クルックス管と測定器の間に鉛ガラスをはさみ、クルックス管からの放射線がどの程度遮蔽できるかを計測していく。

それぞれの測定器の計測方法については別項にて記述する。

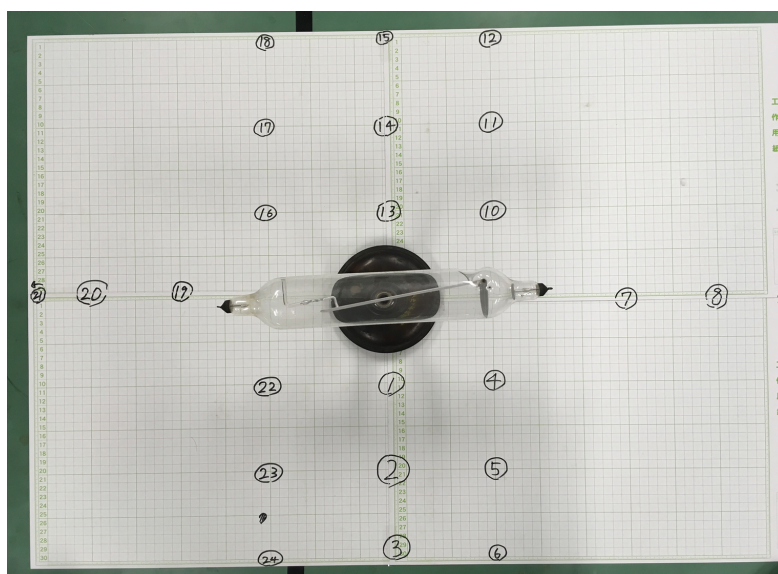


図 8 クルックス管周囲の計測点

電源は家庭用コンセント100Vを用いて直流電源に変換したのち、誘導コイルを通して、クルックス管へとつなげる。誘導コイルは京都教育大学基礎物理学研究室に設置されている誘導コイル（島津製作所・2007年購入）を用いる。

## 2.2. 電離箱式サーベイメータによる計測

### 2.2.1. 測定方法

原子の崩壊は確率的で一定ではないことや、誘導コイルから取り出す電圧はパルス状であり、一定ではないことを考慮すると、クルックス管から照射するX線も一定ではないことがわかる。よって、10回の計測の平均をその地点での線量であることとした。

クルックス管周囲の24のポイントに電離箱式サーベイメータの測定面がクルックス管のガラス面が平行になるように設置した。その後電流を流し、同時にタイマーをスタートさせ、計測時間を記録する。計測開始から10秒後にサーベイメータの値を写真で記録していく。これを1分50秒、10回計測したのち、実験ノートに計測値を記録していく。

## 2.2.2. 測定結果

測定結果を以下の表にまとめる。

回数・測定位置	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
1回目	23.6	9.9	3.9	144.0	44.7	21.7	1.3	0.6	0.2	99.0	30.0	15.4
2回目	23.5	9.4	4.1	161.0	48.9	23.2	0.9	0.8	0.3	119.0	29.5	16.5
3回目	23.0	9.1	3.9	163.0	47.9	17.9	1.1	0.8	0.5	119.0	29.6	16.5
4回目	21.5	9.6	3.9	161.0	53.1	21.0	1.2	0.8	0.4	101.0	30.5	16.6
5回目	21.2	9.1	3.9	152.0	50.5	21.5	1.2	0.6	0.3	108.0	29.4	15.5
6回目	22.9	8.5	3.8	156.0	47.2	21.8	1.2	0.7	0.4	111.0	29.1	13.9
7回目	20.9	8.4	3.9	155.0	47.3	21.4	1.1	0.9	0.4	97.0	29.0	14.5
8回目	20.5	8.4	4.0	157.0	46.6	21.1	1.1	1.2	0.3	107.0	30.0	14.8
9回目	20.1	8.1	4.1	133.0	45.9	21.0	0.9	0.7	0.1	119.0	29.9	14.8
10回目	20.1	8.0	3.7	137.0	46.9	21.1	1.1	0.6	0.3	112.0	28.6	14.1
平均	21.7	8.9	3.9	151.9	47.9	21.2	1.1	0.8	0.3	109.2	29.6	15.3

回数・測定位置	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	クルックス管なし
1回目	2.2	1.0	0.3	0.9	0.6	0.4	0.1	0.1	0.2	3.8	1.5	0.8	0.0
2回目	1.8	0.7	0.6	1.7	0.6	0.6	0.1	0.0	0.0	2.0	1.4	1.9	0.0
3回目	1.8	0.0	0.6	1.2	0.6	0.2	0.1	0.1	0.1	2.0	1.4	1.8	0.0
4回目	1.8	0.9	0.5	0.8	0.6	0.2	0.1	0.1	0.0	1.8	1.6	1.4	0.0
5回目	1.8	2.3	0.6	1.0	0.5	0.4	0.3	0.3	0.0	1.8	1.4	1.3	0.0
6回目	1.9	0.9	0.4	0.9	0.6	0.3	0.4	0.2	0.0	1.0	1.5	0.8	0.0
7回目	2.2	0.7	0.5	0.8	0.5	0.2	0.2	0.0	0.0	1.7	1.4	0.8	0.0
8回目	2.0	0.6	0.5	1.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.0	2.1	1.5	1.1	0.0
9回目	1.9	0.8	0.5	0.9	0.5	0.2	0.7	0.0	0.0	2.1	1.4	0.8	0.0
10回目	2.0	1.0	0.4	0.7	0.4	0.4	0.0	0.1	0.0	1.5	1.5	1.0	0.0
平均	1.9	0.9	0.5	1.0	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	2.0	1.5	1.2	0.0

図 9 電離箱式サーベイメータを用いた計測結果①

( $\mu\text{Sv/h}$ )

### 2.3. 計測ポイントの増設

GM管式サーベイメータの計測を始める際にクルックス管の両極部分の計測ポイントが少ないと思い、計測ポイントの増設を行った。あらたにガラス面に鉛直方向に10cm間隔に3つ4方向にあわせて12のポイントを増設し、計36のポイントで測定することとした。

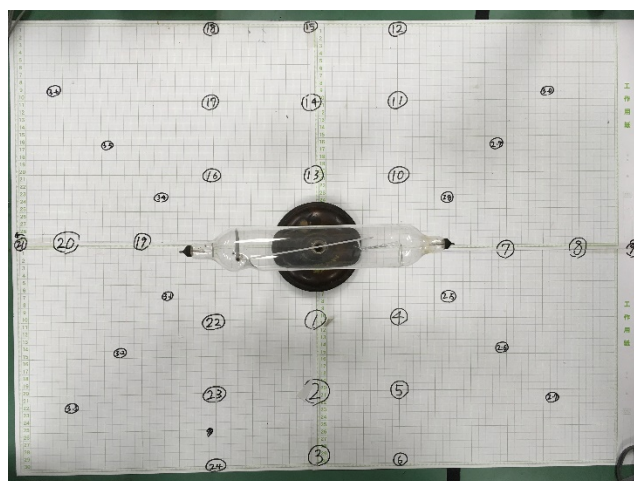


図 10 計測ポイントを増設した様子

## 2.4. GM管式サーベイメータによる計測

### 2.4.1. 計測方法

電離箱式サーベイメータを用いての計測と同様に、クルックス管周囲の36のポイントでの線量の計測を行う。GM管をポイントの真上に設置し、GM管がクルックス管のガラス面と並行になるように設置する。その後、クルックス管に電流を流すと同時に、タイマーを作動させ、計測時間を記録する。電流を流し始めてから10秒後に写真で測定値を記録する。次に70秒後に同様に写真で測定値を記録したのち、その差を算出して1分間に放電した数をカウントしたものが、その地点での計測値とする。

### 2.4.2. 測定結果

測定結果を以下の表にまとめる。

位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
70"	5155	5050	5030	4901	4881	4586	4952	4730	2696	4843	5011	4969
10"	647	589	632	520	500	531	551	496	237	375	566	561
count/m	4508	4461	4398	4381	4381	4055	4401	4234	2459	4468	4445	4408

位置	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
70"	5007	4953	4941	5022	5068	4997	5026	4984	4763	5032	5041	5054
10"	530	482	495	576	605	546	578	556	549	604	567	593
count/m	4477	4471	4446	4446	4463	4451	4448	4428	4214	4428	4474	4461

位置	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	クルックス管なし
70"	5006	4952	2585	5027	4998	4146	4965	4919	4581	4965	5013	4673	0
10"	534	599	245	573	603	454	541	527	491	519	577	458	0
count/m	4472	4353	2340	4454	4395	3692	4424	4392	4090	4446	4436	4215	0

図 11 GM管式サーベイメータを用いた計測結果①

(係数/分)

## 2.5. 誘導コイルの電圧低下 誘導コイルの交換

シンチレーション式サーベイメータの計測を行おうとしたところ、クルックス管に投影される陰極線がほとんど見えず、明らかに電流が弱まった。電離箱式サーベイメータで観測してもほとんどX線が観測できず、データの比較ができなくなってしまったため、誘導コイルを交換した。本研究室である基礎物理学研究室には変わりとなる誘導コイルがなかったため、同じ京都教育大学応用物理学研究室に設置されていた誘導コイルを借り、測定をやり直した。

## **2.6. シンチレーション式サーベイメータでの計測**

### **2.6.1. 測定方法**

2.4.1.と同様に36のポイントの上で計測を行い、10回の測定の平均をその地点での計測値とする。

### **2.6.2. 測定結果**

計測を試みたが、クルックス管周囲においても値が一定に定まらず、測定することが困難であった。

## 2.7. 電離箱式サーベイメータでの計測②

### 2.7.1. 測定方法

2.2.1.と計測方法は同様にして行う。今回は36のポイントの上で測定を行う。

### 2.7.2. 測定結果

測定の結果を以下の表にまとめる。

回数／位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1回目	4.6	2.2	1.0	27.9	12.0	3.5	0.6	0.3	0.0	43.9	11.7	5.7
2回目	4.3	2.0	0.5	28.2	11.0	3.5	1.0	0.2	0.3	41.2	10.8	6.2
3回目	4.6	2.3	0.6	28.4	10.5	3.5	1.6	0.3	0.0	44.2	9.9	5.1
4回目	4.5	2.0	1.0	28.8	9.6	3.4	0.9	0.0	0.5	41.2	9.6	5.1
5回目	4.6	2.1	1.0	29.5	10.2	3.4	0.4	1.1	0.1	38.1	9.4	5.2
6回目	4.7	2.1	0.9	29.7	10.2	3.2	0.7	0.8	0.1	39.2	9.4	4.7
7回目	4.7	1.9	1.0	26.9	10.2	3.2	0.8	0.7	0.0	36.3	9.4	5.2
8回目	4.8	1.9	0.5	27.0	9.9	3.2	0.9	0.5	0.0	38.7	8.9	5.3
9回目	4.7	1.8	0.8	26.7	10.2	3.0	1.0	0.3	0.1	41.0	9.5	5.3
10回目	4.9	1.6	0.7	26.3	10.5	3.6	1.6	0.2	0.4	38.7	9.2	5.2
平均	4.6	2.0	0.8	27.9	10.4	3.4	1.0	0.4	0.2	40.3	9.8	5.3

回数／位置	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1回目	0.5	0.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.5	0.5	0.2
2回目	0.3	0.4	0.1	0.8	0.3	0.0	0.4	0.0	0.0	0.7	0.2	0.5
3回目	0.6	0.4	0.2	0.6	0.2	0.0	0.0	0.6	0.0	1.0	0.2	0.2
4回目	0.4	0.4	0.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.9	0.6	0.5
5回目	0.4	0.1	0.4	0.8	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3	0.5	0.7
6回目	3.2	0.5	0.4	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.4	0.5
7回目	0.4	0.5	0.7	2.3	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	1.0	0.4	0.5
8回目	0.8	0.2	0.4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.4	0.5
9回目	0.5	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.8	0.4	0.2
10回目	0.6	0.3	0.3	0.6	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.7	0.5	0.0
平均	0.8	0.4	0.3	0.8	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.7	0.4	0.4



回数／位置	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	クルックス管なし
1回目	22.1	6.7	2.9	20.5	6.4	3.1	0.6	0.3	0.0	0.2	0.1	0.2	0.0
2回目	20.1	6.4	3.3	16.4	6.7	2.9	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
3回目	19.8	6.6	3.1	19.6	6.6	3.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
4回目	23.7	6.5	3.0	19.0	6.6	3.1	0.3	1.7	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0
5回目	22.1	6.9	3.0	18.6	6.7	3.0	0.4	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0
6回目	20.8	7.9	3.0	17.0	6.3	2.9	0.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
7回目	20.5	6.5	3.1	17.8	6.8	3.1	0.4	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
8回目	19.3	6.0	2.8	18.3	6.5	3.2	0.4	0.0	0.0	0.0	1.8	1.0	0.0
9回目	21.6	6.0	3.2	19.2	6.4	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0
10回目	18.9	6.3	3.1	18.9	6.6	3.7	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
平均	20.9	6.6	3.1	18.5	6.6	2.9	0.3	0.2	0.0	0.1	0.2	0.2	0.0

図 12 電離箱式サーベイメータを用いた計測結果②

( $\mu$  Sv/h)

## 2.8. GM管式サーベイメータでの測定②

### 2.8.1. 測定方法

2.4.1.と同様の測定方法で行う。誘導コイルは応用物理学研究室に設置されていた誘導コイル（島津製作所・2001年購入）を用いる。

### 2.8.2. 測定結果

測定結果を以下の表に示す。

計測時間\位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
70"	5509	4814	4119	5497	4249	3828	4267	3249	371	4453	3855	1941	
10"	621	507	486	516	536	410	469	396	30	529	478	96	
count/m	4888	4307	3633	4981	3713	3418	3798	2853	341	3924	3377	1845	
計測時間\位置	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
70"	4264	3807	2263	3885	3586	735	265	141	27	3458	4671	3906	
10"	475	454	217	594	464	53	21	7	3	345	481	437	
count/m	3789	3353	2046	3291	3122	682	244	134	24	3113	4190	3469	
計測時間\位置	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	クルックス管なし
70"	5096	3636	2175	5051	3714	287	4871	4127	3117	919	29	32	23
10"	533	170	142	600	460	25	453	500	332	46	1	8	4
count/m	4563	3466	2033	4451	3254	262	4418	3627	2785	873	28	24	19

図 13 GM管式サーベイメータを用いた計測結果②

(係数/分)

## 2.9. 鉛ガラスで遮蔽した状態での電離箱式サーベイメータでの計測

### 2.9.1. 測定方法

2.4.1 と同様の測定方法で行う。ただし、クルックス管から 5 c m の位置に鉛ガラスをクルックス管のガラス面と並行になるように設置し、X線を遮蔽した状態で測定を行う。

### 2.9.2. 測定結果

測定結果を以下の表にまとめる

回数\位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1回目	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.2	0	0
2回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0
3回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0.1
4回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0
6回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0
7回目	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0.1	0
8回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.1	0
9回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0
10回目	0	0.1	0.3	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0
平均	0.04	0.01	0.03	0	0	0	0.01	0	0	0.46	0.03	0.01

回数\位置	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
4回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5回目	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
平均	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0

回数\位置	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	クルックス管なし
1回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2回目	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3回目	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4回目	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
平均	0.01	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図 14 電離箱式サーベイメータを用いた測定結果③

( $\mu$  Sv/h)

## 2.10. 鉛ガラスで遮蔽した状態でのGM管式サーベイメータによる計測

### 2.10.1 計測方法

2.4.1.と同様の測定方法で行う。2.9.1.と同様にクルックス管から5 cmの位置に鉛ガラスを設置し、X線を遮蔽した状態で測定を行う。

### 2.10.2. 測定結果

測定結果を以下の表にまとめる。

時間\位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
70"	4857	4092	3859	4884	4072	3554	3987	3671	592	4584	3791	438	
10"	557	527	479	508	488	256	345	392	62	488	435	41	
count/m	4300	3565	3380	4376	3584	3298	3642	3279	530	4096	3356	397	
時間\位置	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
70"	4181	3726	1315	3597	3264	393	30	25	14	4409	3928	3835	
10"	483	459	39	411	371	33	4	1	3	512	429	423	
count/m	3698	3267	1276	3186	2893	360	26	24	11	3897	3499	3412	
時間\位置	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	クルックス管なし
70"	4563	3973	2787	4586	3777	860	4909	3946	3037	2919	170	16	25
10"	520	489	111	511	395	94	530	436	323	281	11	2	14
count/m	4043	3484	2676	4075	3382	766	4379	3510	2714	2638	159	14	11

図 15 GM管式サーベイメータによる計測結果③

(Count/m)

### 3. 考察

#### 3.1. 現在の中学理科教育での放射線・クルックス管の取り扱いについて

##### 3.1.1. 学習指導要領・学習指導要領解説について

平成31年度から施行される新学習指導要領において (3) 電流とその利用 ア(ア) 電流 ○エ 静電気と電流 「異なる物質同士をこすり合わせると静電気が起こり、帯電した物体間で空間を隔てて力が働くこと及び静電気と電流に関係があることを見いだして理解すること。」とされている。

また、ア(ア) ○エ 「電流が電子流れに関係していることを扱うこと。また、真空放電と関連付けながら放射線の性質と利用にも触れること」と記載されている。

この中で、真空放電と関連づけながら放射線の性質と利用にも触れること」という文言は現行の指導要領にはなかった部分である。

また、学習指導要領解説には、「雷も静電気放電現象一種であることを取り上げ、高電圧発生装置(誘導コイルなど)放電やクルックス管などの真空放電の観察から電子存在を理解させ、電子流れが電流に関係していることを理解させる。その際、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。」と記載されている。

### 3.1.2. 現行指導要領における教科書での取り扱いについて

本研究の研究対象であるクルックス管が取り扱われている教科書での範囲や記述内容・放射線についての記述の有無を比べた。

啓林館と東京書籍が出版している教科書では「電流の正体」の範囲においてクルックス管が取り扱われ、同時に放射線について、レントゲンが発見したX線の経緯がコラムの欄にて紹介されている。

大日本図書と学校図書が出版されている教科書にも同様に「電流の正体」の範囲においてクルックス管が取り扱われている。そこでは放射線に関する記述は見られなかった。だが、3年生の現代のエネルギーの分野において放射線を取り上げ、クルックス管から放出される放射線についても記述されている。

教育出版社が出版している教科書も同様に「電流の正体」において扱われているが、放射線に関する記述は見当たらなかった。

出版社	放射線の記述	
啓林館	あり	電流の正体のコラム欄に記載
東京書籍	あり	電流の正体のコラム欄に記載
大日本図書	なし	3年生で放射線について触れる
学校図書	なし	3年生で放射線について触れる
教育出版社	なし	記載なし

図 16 現行教科書におけるクルックス管を用いた実験での放射線の記述

### 3.1.3. 現行指導要領における指導書での取り扱いについて

教師向けに出版されているそれぞれの教科書についての授業の道筋や注意事項が記載されている指導書についてもクルックス管から発生する放射線の記述の有無を比べた。

啓林館が出版している指導書にはクルックス管から放出される放射線についての注意喚起が示されている。1 mの距離をとれば人体への影響はなしとされているが、演示は行わず、写真などのみでの説明にとどめるように記載されている。

東京書籍が出版している指導書にはクルックス管から放出される放射線についての注意喚起の記述がある。1 m以上離れる。観察時間は10秒以内など具体的な実験の運営方針が示されている。

大日本図書が出版している指導書にはクルックス管から放出される放射線についての注意喚起がある。1 m以上生徒を近づけないことが記述されている。

学校図書が出版している指導書にはクルックス管から放出される放射線についての記述はない。

また教育出版社が出版している指導書は出版を確認することができなかった。

出版社	放射線の記述	
啓林館	注意書きあり	演示しない。
東京書籍	注意書きあり	1 m以上離れること
大日本図書	注意書きあり	1 m以上離れること
学校図書	記述無し	
教育出版社		出版未確認

図 17 現行指導書におけるクルックス管を用いた実験の注意書き



#### 3.1.4. 指導要領・教科書の比較からの考察

中学校において、平成31年度から施行される新学習指導要領をみると放射線への関心がより高まっていることがうかがえる。しかし、現行の指導要領をもとに作成された教科書や指導書では、出版社によってクルックス管を実際に用いて実験を演示するのか、生徒に実験させるのかは統一されておらず、教員自身もクルックス管を用いての実験を経験したことがない可能性をも考えられる。新学習指導要領に対応するべく、教員自身がクルックス管を用いた実験について、その危険性を考慮したうえで行える知識を蓄え、実践することがもとめられている。

## 3.2. クルックス管が放出する放射線についての考察

本研究の中核となるクルックス管周囲における放射線の線量測定の結果を比較し、考察をしていく。

### 3.2.1. 電離箱式サーベイメータを用いた測定について

2.2.より、はじめに行った2007年に購入した誘導コイルを用いた時、陰極10cmのところでは150  $\mu\text{Sv/h}$ を超える値が検出された。しかし、高い値が観測されたところは陰極周辺であり、陽極側に向かうにつれて値も小さくなっている。さらに、陰極の金属板の延長面で放射線の照射が広がっていることが観測される。

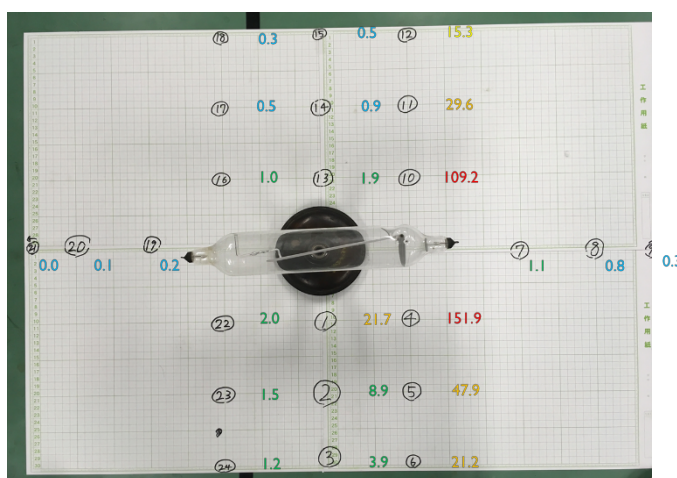


図 18 クルックス管周囲におけるX線線量測定の平均値 ( $\mu\text{Sv/h}$ )

この結果から、クルックス管からのX線照射は陽子が陰極に引き寄せられ、陰極版から電子がたたき出される瞬間にX線を照射すると主に推測する。陰極線がスクリーンやガラス管に照射することで発生する蛍光X線は少ないのではないかと考えられる。

しかしその後2

007年購入の誘導コイルの電力が下がってしまったため、2.7より2001年購入の誘導コイルを用いて同様に測定を行った。線量の強度の割合は同じような結果が得られることができたが、一番大きなところでも27.9  $\mu\text{Sv/h}$ の値であり、かなり線量に差が生じた。

ここで、2007年購入の誘導コイルに比べて、2001年購入の誘導コイルは陰極線の明るさがやや暗いことから、電圧は低いと考えられる。今回誘導コイルから得られる電圧を測定することはできなかったが、誘導コイルの性能によって、高い電圧をかけるほど線量の大きいX線が照射されることが確認できた。

また、2.9.よりクルックス管を鉛ガラスで遮蔽して測定をした時を見るとほとんどの測定ポイントでX線はほとんど観測できなかったため、鉛ガラスでほとんど遮蔽できることがわかる。

### 3.2.2 GM管式サーベイメータを用いた測定について

GM管式サーベイメータを用いた 2.4 の結果からこの測定器を用いた場合はそれぞれの測定ポイントではあまり差が見られない。この測定器の仕組みとしては、その地点に到達したガンマ線のエネルギーの大きさに関係なく、極板間で放電するだけのエネルギーを持つガンマ線・X線が通過した回数を数えている。この点を考慮すると、クルックス管周辺には様々なエネルギーのX線がそれぞれの方向に隔たりなく照射していると考えられる。

一方 2.8.の測定結果では、電離箱式サーベイメータと同様に距離を置くにつれて放電回数が減少している。これより 2.4 で用いた電圧の高い誘導コイルでは放射線の減衰が測定範囲では認識できないほどの透過力のあるものが発生していたと考えられる。しかし、一方で距離を置けば、X線そのものも認識できないほどに減衰することがわかる。

次に 2.10 の測定結果を見ると、鉛ガラスで遮蔽した場合と遮蔽しないで測定した結果を比較しても明確な違いが見られない。X線そのものは鉛ガラスで遮ることはできず、そのまま透過してきていることがわかる。

### 3.2.3 シンチレーション式サーベイメータを用いた測定について

シンチレーション式サーベイメータで測定する場合、放射線のエネルギーが蛍光のエネルギーに変換される変換効率が高いこと、発生した蛍光の透過度が高いこと、蛍光の減衰時間が短いこと、蛍光の波長が光電子増幅管合うことが要求される。つまり、シンチレータを発光させるために、ある程度のエネルギーを持った電磁波が通過する必要がある。しかし、X線のもつエネルギーは低く、高い電磁波ではないため、シンチレータが反応することはなく、測定器にも反応しなかったのではないかと推測できる。

### 3.2.4 測定結果をまとめた考察

放射線を測定する際には、放射線の線そのものがどの程度の量照射しているか、という観点と、放射線が持つエネルギーの大きさを掛け合わせた測定が必要であることが分かった。電離箱式サーベイメータの測定結果から、クルックス管の陰極板に近いところほど人体に影響を与えるエネルギーを持ったX線が照射していることがわかる。さらにそのエネルギーを持った放射線は陰極板面上に広がっていることが発見できた。しかし、放射線が持つエネルギーを考慮せず、X線そのものが照射する範囲は広く、距離による減衰は比較的しにくいということがわかる。また、鉛ガラスによってX線が持つエネルギーをカットし、人体への影響は少なくすることはできるが、X線そのものを遮れるわけではなく、X線という電磁波そのものは鉛ガラスを透過していることが推測できる。

### 3.3. クルックス管から受ける影響について

#### 3.3.1. 放射線被ばく線量について

放射線被ばく線量によってどれほどの影響が出るのか、またどの程度のものなのかを人体の影響と原子力発電の事故当時の線量など具体例を表しながら以下の表にまとめた。今回の研究の測定はすべて  $\mu\text{Sv/h}$  で計測しているため、できるだけそろえている。

線量	単位	出来事・影響
0.114	$\mu\text{Sv/h}$	1年間に自然放射線以外で浴びてよいとされる放射線量の1時間平均
0.171	$\mu\text{Sv/h}$	日本の1年間の自然放射線量の1時間平均
0.273	$\mu\text{Sv/h}$	世界の1年間の自然放射線量の1時間平均
0.809	$\mu\text{Sv/h}$	2011年3月15日 東京都内で観測された放射線量
1.14	$\mu\text{Sv/h}$	放射線量作業従業員が1年間さらされてよい放射線量の1時間平均
1.222	$\mu\text{Sv/h}$	2011年3月15日 さいたま市内で観測された放射線量
5	$\mu\text{Sv/h}$	原子力施設の通報基準
5.575	$\mu\text{Sv/h}$	2011年3月15日北茨城市役所で観測された放射線量
44	$\mu\text{Sv}$	成田からシカゴに向かう途中にうける放射線量
500	$\mu\text{Sv/h}$	原子力施設の緊急事態の基準
200~5000	$\mu\text{Sv}$	エックス線検査1回
2500~7000	$\mu\text{Sv}$	CT検査1回
10000~50000	$\mu\text{Sv/h}$	原子力安全委員会における屋内退避基準
50000	$\mu\text{Sv/h}$	1時間受けると健康への深刻な影響が懸念される基準
100000	$\mu\text{Sv/h}$	1時間受けると健康に明らかな影響がでる基準
200000	$\mu\text{Sv/h}$	1時間受けると急性の臨床的症状
250000	$\mu\text{Sv/h}$	1時間受けると白血球の減少
400000	$\mu\text{Sv/h}$	2011年3月15日11時福島第一原発3号機付近
500000	$\mu\text{Sv/h}$	1時間受けるとリンパ球の減少
1000000	$\mu\text{Sv/h}$	1時間受けると急性放射線障害、吐き気、嘔吐、水晶体混濁
2000000	$\mu\text{Sv/h}$	1時間受けると5%致死量
3000000~5000000	$\mu\text{Sv/h}$	1時間受けると50%致死量
7000000	$\mu\text{Sv/h}$	1時間受けると100%致死量

図 19 実行線量とその影響

### 3.3.2 クルックス管から照射されるX線から受ける影響について

3.3.1 で示した表をもとに、今回の測定結果を分析していく。

今回の測定で最も高い値を出した、基礎物理学研究室に設置されていた誘導コイルを用いた時、陰極付近で観測された  $151.9 \mu\text{Sv/h}$  という値に着目すると、原子力施設の通報基準の30倍、1年間に受けてよいとされる放射線量の約15%、およそ55日分を一度に被ばくすることになる。

今回の測定で用いた2つの誘導コイルでは最も大きな線量が観測された地点で比較するとおおよそ6倍の差が出ていることから、用いる誘導コイルによってはかなり大きなX線が照射される可能性がある。

長時間の観測で確定的影響を受ける可能性は低いが確率的影響を受ける可能性は十分にあると考えられる。

### 3.4 クルックス管を授業で用いる場合の生徒への影響の考察

授業でクルックス管を用いる際に今までに述べたような影響を踏まえ、また測定結果を踏まえながら運用する必要があるが、以上の結果を踏まえる上で注意点がいくつかある。

まず、 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ という単位での計測であることについてである。この単位の意味するところは1時間その場にいた場合に受ける放射線の影響を数値化したものである。つまり、放射線にさらされ続け、1時間後にどれだけの影響がでる量の放射線を合計で吸収したかという積算値である。測定器は数秒～数分で数値を表示するが、その瞬間に表示されているだけの放射線を浴びているわけではないことに留意しなければならない。

授業を理科室で行うことを想定し、4人班につき1つのクルックス管を生徒自身に目の前で実験させる場合を考える。この時陰極付近に座っている生徒が50分間至近距離で観察し続けた場合、吸収線量は $150\sim 200\mu\text{Sv}/\text{h}$ を超え、低レベル放射線被ばくを受けることが考えられる。実際には50分観察し続けることはないと考えられるが、自由に観察させる場合、授業50分の間にクルックス管に電流を流し続けることは避けなければならない。

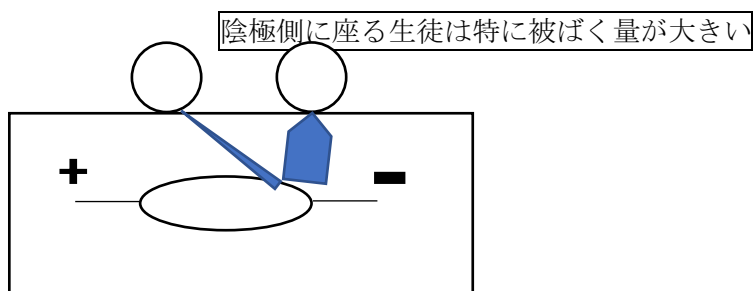


図 3.5 実験台での生徒への被ばく

ここで、生徒への被ばくのリスクを回避する指標として、1年間に被ばくしてもよいとされる $1\text{mSv}$ を換算した値、 $0.117\mu\text{Sv}/\text{h}$ 以下であれば、安全であると仮定する。

クルックス管を鉛ガラスで遮蔽することができれば、それは生徒への被ばくのリスクを大幅に減らすことが期待できる。鉛ガラスでX線自体を遮蔽することは難しいが、実行線量は大幅に下げることができることを本研究でも証明できる。測定結果から、どの地点においても実行線量は $0.1\mu\text{Sv}/\text{h}$ 以下まで抑えられており、1時間の授業の中ではX線の影響を受けないと考えられる。

鉛ガラスがない場合を考える。陰極付近では $30\text{cm}$ 離れても $20\mu\text{Sv}/\text{h}$ を越える値が計測されている。この場合はやはり $1\text{m}$ 以上離れること、観察時間を短くすることが必要であると考えられる。特に、陰極線を磁石によって曲げることができる実験を行う際はクルックス管に接近せざるを得ないため、素早い観測が求められる。それぞれの観測は1分以内を目標に行い、全体の実験の流れを統一させながら実験を行う必要がある。

## 4. まとめ

平成31年度施行学習指導要領より放射線教育への重要度が高くなる。教師自身が放射線への正しいリスクを知るとともに、生徒を安全に実験させられるよう、また指導できるようクルックス管についての教材研究を十分に行い、クルックス管から放出される放射線について十分に把握するべきである。

## 5. 謝辞

本研究は、多くのご協力のもとで行われました。お忙しい中、時間の都合をつけていただくとともに、ご指導いただきました京都教育大学、基礎物理学研究室の高嶋隆一教授をはじめ、ご協力・ご助言をいただきました京都教育大学理科領域専攻の各教授の皆様、本研究に携わっていただきましたすべての皆様に、心より感謝申し上げます。

平成31年度1月29日  
基礎物理学研究室 山中 晴登

## 6. 参考文献

大阪府立大学 放射線研究センター HP

(<http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/index.htm>)

啓林館 未来へ広がるサイエンス (著：吉川 弘之 他 58 名／平成 27 年 3 月 6 日検定)

東京書籍 新しい科学 (著：岡村 定矩 他 49 名／平成 27 年 3 月 6 日検定)

大日本図書 新版理科の世界 (著：有馬 朗人 他 62 名／平成 27 年 3 月 6 日検定)

学校図書 中学校科学 (著：霜田 光一 他 29 名／平成 27 年 3 月 6 日検定)

教育出版 自然の探求 中学校理科 (著：岡村 定矩 他 49 名／平成 27 年 3 月 6 日検定)

放射線の測定について—一般社団法人日本医学物理学会

([www.jsmp.org/wp-content/uploads/2013/03/m-radiation.pdf](http://www.jsmp.org/wp-content/uploads/2013/03/m-radiation.pdf))

放射線の単位—放射能と放射線 電気事業連合

(<http://www.fepec.or.jp/nuclear/houshasen/houshanou/tani/>)

実行線量

(<https://ja.wikipedia.org/wiki/実効線量>)

等価線量

(<https://ja.wikipedia.org/wiki/等価線量>)

放射線の人体への影響

(<http://www.fepec.or.jp/nuclear/houshasen/eikyou/>)

放射能と人体 暮らしの中の放射線 (渡利一夫, 稲葉次郎編 ; 今井靖子 著)

放射線計測 (加藤貞幸 著)