

REHSE「高校生による環境安全とリスクに関する自主研究活動支援事業」

平成28年度 研究活動報告書

<東京都立戸山高等学校放射線班> 「宇宙開発に向けた放射線の防護」

1. 背景（研究の動機、前年度までの成果）

近年宇宙開発技術が進む中で、人類の長期的な宇宙進出の障害になっているものの一つが宇宙線である。地球よりエネルギーの高い放射線を浴びることによって人体や宇宙船への影響が懸念される。このことから私たちは将来的に宇宙開発をしやすいするため、宇宙線の遮蔽というものを研究した。

放射線の遮蔽には鉛などの重い物質が効果的であることが分かっているが、鉛はその重さゆえ宇宙に持って行って宇宙放射線の遮蔽をするには多大なコストがかかる。このことから宇宙線の性質に基づいた実験をして、もっと軽い物質で宇宙線を遮蔽することができないだろうかと考えた。

私たちは今回の実験を行う前に、まずエネルギーの高い γ 線の遮蔽を試みた。水溶液によって屈折させようとしたが、 γ 線の屈折は難しく、思うような結果が出なかった。次に粒子であり、電荷を持つ β 線の遮蔽について試みた。2タイプの遮蔽物を比較したことで、遮蔽物中を通過している時の体積が大きければ大きいほど、遮蔽効果が上がるという確認ができた。

うちの班の研究スタイルとしては、実現不可能そうなことでも思いついたら実験し、仮説に近づけようとするということである。そして今回は以前の2つの研究を経て、放射線の知識を蓄積した上で“放射線による発電ができないだろうか？”ということを目標に実験を試みた。根本としては放射線のエネルギーを電気エネルギーに変えることができれば、実質放射線を遮蔽したことに繋がるのではないかということからである。そこで放射線のエネルギーをうまく変換することはできないだろうかということテーマに研究を進めた。

2. 目的

内容としては、導体・半導体の遮蔽物に電流を流して、電場を形成することにより β 線が捕捉され遮蔽を促すのではないかと考えた。さらに導体・半導体に β 線が捕捉されることで、回路に流れる電子が増え、発電に繋がるのではないかと思った。放射線の遮蔽には鉛などの重い物質が効果的であることがわかっているが、鉛はその重さゆえ、宇宙に持って行って宇宙線の遮蔽をするには多大なコストがかかる。さらに宇宙には必ず持って行くであろう太陽光パネルの利用である。今回は実際に太陽光パネルに使用されているP型半導体というもので、二重に発電することはできないかということ大きなテーマとして仮説を立て、実験へと繋げていった。

3. 活動の内容

3.1 出前講義

①日時：平成28年6月19日（日） 15時00分～18時30分

場所：東京大学駒場キャンパス

講義題目：「4次元を超えるかもしれない宇宙」「ダークマターがつなぐ宇宙」

講師：向山信治（京都大学基礎物理学研究所教授）リサ・ランドール（ハーバード大学物理学教授）

②日時：平成28年11月5日（土） 13時00分～15時30分

場所：東京都立戸山高等学校

講義題目：「量子力学講演会」 講師：平野琢也（学習院大学理学部物理学科）

3.2 見学

①日時：平成28年8月15日（月）～21日（日）

場所：東京大学、福島県被災地、福島高校

期間：8月15日～21日

見学の目的：“Radiation Protection 2016”というプログラムに参加し、福島高校の生徒と一緒に、福島のことについて勉強してきました。初日に東京大学にて、早野先生や多田先生による基礎的な放射線のレクチャーを受けたり、研究についてのアドバイスを多く頂きました。さらに福島滞在中にも測定方法や放射線防護に関する、研究に繋がるような講義を多く聞くことができました。

3.3 その他の活動

PBL (project based learning) という研究に対する考え方について勉強し、研究を効率的に進めたり、進め方に困った時などアイデアを出すのに役立ちました。6月にPBLについての発表もしました。

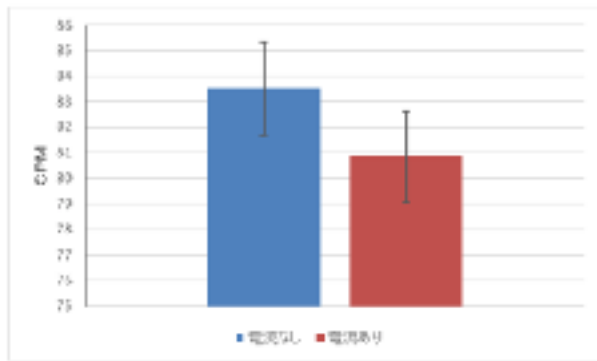
4. 研究の成果

今回は導体の遮蔽物に電流を流して、電場を形成することにより β 線が捕捉され遮蔽を促すのではないかと考え、さらに半導体を使うことによりホールに対して多くの β 線を捕捉することができるのではないかと仮説を立て、実験を進めた。確証できるほどのデータはまだ出せていませんが、電流を流すことにより遮蔽することができたのではないかと考えている。そのデータは下図1で示す。

しかし他の要因も考えられる。なぜなら電流とはほぼ垂直に流れている β 線（電子）が導体・半導体に捕捉されることは難しいのではないかと再度認識し直した。なぜなら、エネルギーを0にしないと半導体に捕捉されないという文献によって見出されたからである。そこで再度検証実験をすることにより、仮説に近づける又は新たな研究へと繋げて行った。そこでCPMが電流を流したときと流さないときで変化したのかということを考えてところ、電流を流したときに生じる電磁場の影響で β 線が曲がり、測定器には入らずに他の方向へ流されたのではないかと再度仮説を立てた。下図2のように電流を流したとき、正面に対して β 線が飛んでくると考えると、電場の影響では正極側に、磁場の影響であれば負極側に曲がる。このことから、 β 線を曲げる影響としてどちらが影響しているのかということを実験した。そのデータは下図3で示す。

捕捉の可能性においても、集まった電子の量を検出しようと試みているものの失敗している。初めは回路自体の電流が増えるのではないかと仮説を立てていたため、電流計で計測したがうまくはいかなかった。次にニクロム線を回路の中に組み込んで、温度を測ってみたがデータに有意差は出なかった。

銅板



半導体

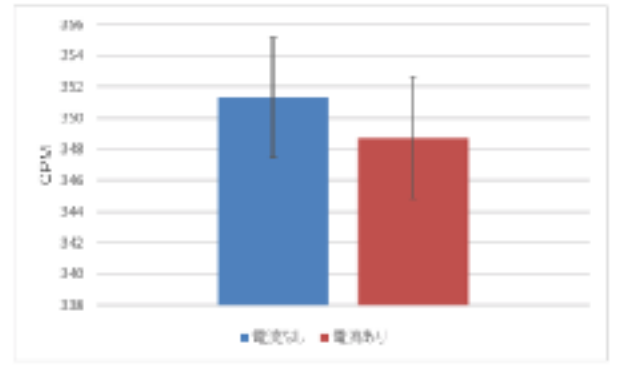


図1 捕捉実験 (グラフ)



図2 電磁場実験 (図)

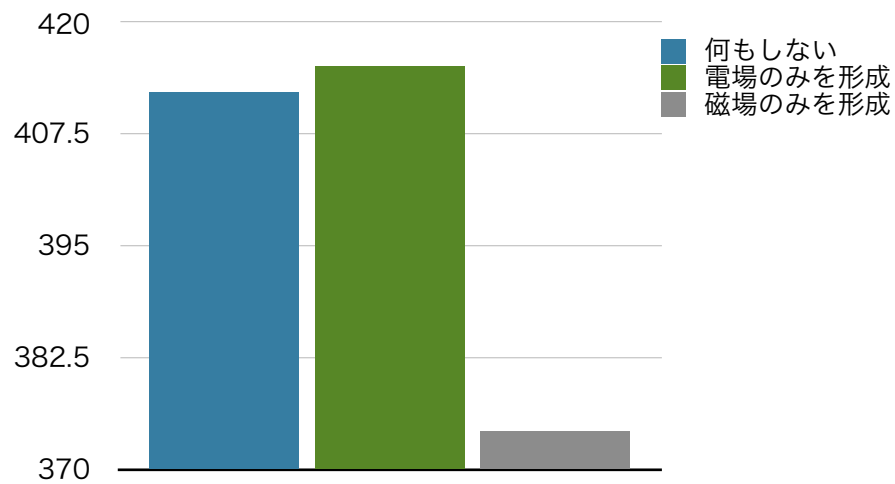


図2 電磁場実験 (グラフ)

5. 研究成果の発表

①日時：平成28年11月20日(日) (予定)

発表の場：科学の祭典

発表題目：「身の回りの放射線」

発表形態：□口頭発表 ■ポスター発表 □その他 ()

発表者名：新藤恒樹 (2年)

②日時：平成28年12月24日(土)

発表の場：サイエンスキャッスル関東大会

発表題目：「宇宙開発に向けた放射線の防護」

発表形態：□口頭 ■ポスター □その他（ ）

発表者名：新藤恒樹（2年）

②では賞をいただきました。

「宇宙開発に向けた宇宙線の防護」（株式会社リバネス）リバネス特別賞（平成28年12月24日）

6. 「環境安全とリスク」に関する意見と感想

この研究において難しいことは多くありました。放射線という高校生の力では扱いにくいようなものを、夢物語であっても班員で実験することにより答えを出すところまでいかななくても、近づけることが体験できました。うちの班独自の測定方法などを話し合いで導いたので多くの失敗を経て、研究の基本をみんなで勉強することもできました。さらにこのプログラムの理念でもあるように”何事にもチャレンジできる”という精神で研究できるということに救われたことが多かったです。

7. 今後の課題

データをさらに多く出すことによって仮説を確証までに持っていくということをしたい。特にデータにおいて不確定な要素が多いものが並んでしまっているため、今回の実験では5分間の測定を繰り返したのですが、長時間（1日）における測定に変え、回数を増やしデータ量を増やすことによって、データを仮説に近づけていきたい。電子についてももっと勉強し、検出方法についても熟考していきたい。今回は12月24日の発表の時にヒントをもらった、回路に傾斜をつけて貯めていく方法という意見をいただいたので、実践していきたいと思う。

8. まとめ

今回の成果発表までに大きく2つの実験を行いました。1つ目の基本となる補足の実験では確固たるデータとは言えないのかもしれませんが、CPMを下げることができました。1つ目の実験を経て、2つ目の実験を行ったのですが、β線（電子）に対する電磁場の影響を洗い出すことができ、他の影響に対する研究の優位性の整理をすることができました。

実験としてはしっかりとした答えまでを導くことができなかったものの、高校生らしいテーマの研究に対する熱意や勤勉さを注ぐことができたのではないかと自負しています。

これから宇宙開発というものはメジャーになってくると思うので、高校生ならではの視点を忘れることなく研究に邁進していきたいと思えます。

<TAYMEST>

「持続可能な微生物燃料電池の開発」

1. 背景（研究の動機、前年度までの成果）

地球温暖化が進行しているといわれているのにも関わらずなお、日本を含む世界各国では石油などの化石燃料を使用することで膨大な電力を生み出し、そしてそれらを私たちは日々の生活の中で消費しています。また、原子力発電といった一度暴走すると人間の手では手に負えないような危険性をもったエネルギー源を福島原子力発電所での事故が起こるまで多く用いていました。そんな日

本が抱える電力に関する課題について、どうすれば解決することができるのだろうと私たちなりに考えてみたところ、クリーンで安全なエネルギー源を新たに自分たちの手で作るというのはどうだろうかと思いました。その方法を模索したところ、微生物の活動を利用して発電する方法に至りました。

2. 目的

微生物の活動を利用することで、安全で持続的に発電でき、且つ二酸化炭素を排出しないクリーンなエネルギーである微生物燃料電池を作ること为目标としています。そして、その微生物燃料電池を世界に広めることで、環境問題の改善に貢献できれば良いと思っています。

3. 活動の内容

3.1 出前講義

なし

3.2 見学

①平成28年10月11日

場所：東京薬科大学 〒192-0355 東京都八王子市堀之内1432-1

見学の目的：渡邊一哉教授に微生物燃料電池についての基礎知識を教わるため。

②平成28年12月26・27日

場所：東京薬科大学 〒192-0355 東京都八王子市堀之内1432-1

見学の目的：渡邊一哉教授に私たちが制作した装置を見ていただいて、今後の研究に関するアドバイスをもらうため。また、渡邊教授が行っている「田んぼ発電に関する知識を教わるともに、簡易的な田んぼ発電の実験を行って、実験を行うにあたっての注意点などを指摘していただきました。

3.3 その他の活動

・電話にて、京都大学大学院生命科学研究科遺伝子動態学分野の白石英秋教授に私たちの研究について説明をさせていただくとともに、シアノバクテリアの一種であるスピルリナという生物について教えていただきました。

4. 研究の成果

微生物班、有機物班、細菌班に分かれてそれぞれ研究を行った。

〈微生物班〉

私たちはこの発電システムをつくるにあたってシアノバクテリアという微生物に関する研究を行いました。

具体的には、シアノバクテリアの培養・増殖、そして活動量の調査などです。

まずシアノバクテリアの培養と増殖ですが、今回はシアノバクテリアの研究者のかたにAnabaenaという種を分けていただき、それを私たちが学校で培養し、増やすことに成功しました。シアノバクテリアを増やすときには液体培地を作り、そのなかに菌を移して培養し、増やしました。

こうしてシアノバクテリアを増殖させるのと同時並行で、活動量の調査も行いました。活動量の調査を行った理由は、実際に電池にする際にどのような環境にすれば最も効率よくなるかを調べるためです。シアノバクテリアは、最も適切なおりにいると活発に増殖しますが、そうすると死ぬのも早くなってしまおうという話をきいたため、どの環境なら長くかつ活発に増殖するのかを調べるた

めにこの研究を行いました。どのように行ったかという、いくつかの温度・光の強さで場合分けして、様々な環境で培養します。そして一定の間隔おきにそのシアノバクテリアの培養液に含まれている酸素の量を計り、その変化によって活動量をだす、というものです。一回目に行ったときは間隔が短すぎてしまい、思ったようなデータや安定したデータを得られませんでした。なので、今、一回目の反省を生かして二回目の測定を行っている最中です。

また、活動量は蓄積されるかということについても同じような方法で調べています。

〈細菌班〉

私たちは微生物電池の開発の中でも特に要な研究である、電流発生菌と発酵分解菌について研究を行いました。電流発生菌や発酵分解菌の単体培養をしてそれらの基礎研究を行うのが私たちの目標だったのですが、私たちの高校でそれらを単体培養するのは設備的に難しいため一時的に断念しました。そして、現在は高校の近くにある戸山公園の土を採取してきて、どれほど電流発生菌が身近な土の中にいて、電流を発生させるのかということ調べています。田んぼ発電という、電流発生菌を用いた研究で知られる東京薬科大学の渡邊一哉教授にもご協力いただき、数か月に一度大学を訪問させていただいて、研究が行き詰ったところなどにアドバイス研究を進めてきました。

戸山公園の土を用いて行った、簡易的な微生物電池の実験では、土を滅菌させたものを使用したり、土に有機物(電流発生菌は電流を発生させる際、有機物を用いる)を加えたものを使用したりして、比較実験を行いました。結果としていえることは2つあります。一つ目は、有機物を加えたものは一時的には電流の値が大きくなるけれども、時間がたつとほぼ電流を発生させなくなるということです。このことから、有機物を過剰に与えると、急激に菌が増殖して一時的には電流の量が増加するが、その後菌が減少することで電流も下がっていくのではないかと考えました。二つ目は、滅菌しても少し電流は流れるということです。これは私たちが予想していた結果とは異なってしまったのですが、おそらく、オートクレーブで滅菌をした際に土の中で何らかの化学反応が起こって電流が発生した、もしくは、今回実験装置でしようとしたリード線が腐食し電流が流れてしまったのではないかと思います。

エポキシ樹脂で電極とリード線の間をふさいだのですが、いくつかのリード線の先端がさびてしまっていたため、今後実験を行う際は気を付けたいと考えています。

この実験を通して、戸山公園の土でも電気を発生するということがわかりました。今後はいかに安定した電流を取り出すのか、どうすればより大きい電流を取り出すことができるのかなどを調べていきたいと思います。また、発酵分解菌についてまだ文献調査などしかできていないため、今後はいっと精力的に調べていきたいと思います。

〈有機物班〉

私たちの班は、「有機物を土の中に届ける」というテーマで研究を業いました。私たちの最終目標である微生物燃料電池は、土の中に有機物を消費する菌を住まわせ、発電を行わせます。そのため、土の中に有機物を届け、発電させる必要があります。行った実験として、具体的には、水の上から有機物を溶かした水を垂らし、下に落ちた水の中に有機物が含まれているかどうかを調べ、それによって土を通過したかどうかを判断する、という実験を行いました [図Iを参照]。この装置は、土や土に挟んでいたろ紙のビウレット反応を見る計画が失敗したためこのような形になりました。有機物が下に落ちたかどうかについては、下に落ちた水をビウレット反応にかけました。使用したのは、有機物が含まれていない土を細かく砕いたもの、有機物として市販のプロテイン粉末、2Lペットボトルを切ったものと穴を開けたものです。ビウレット反応には、水酸化ナトリウム水溶液と、硫酸銅(II)水溶液を用いました。以下は補足として今までに行った実験について記してあります。今

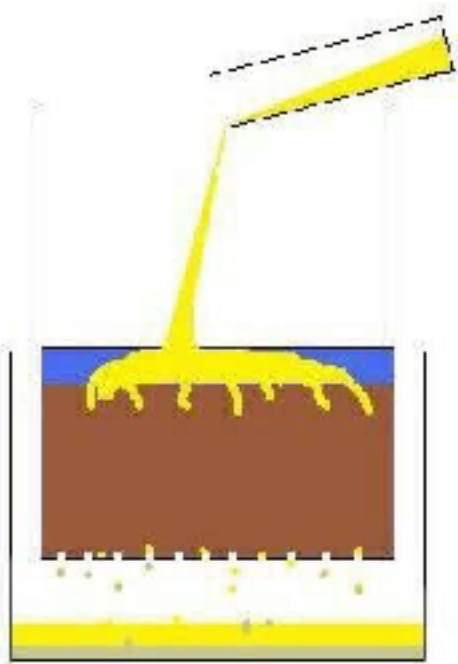
までに行った実験は、(1) 基本の確認実験、(2) 土に対する水の量の比較、(3) プロテインの濃度の比較、(4) 微生物燃料電池の電極(グラファイトフェルト)を使用したものです。

(1) では、プロテイン溶液が土を通ることと、ビウレット反応が出るかどうかを確認しました。結果としてただのプロテイン溶液と落ちてきた水の両方ともビウレット反応があったので、有機物が土を通過したことがわかりました。

(2) では、(1) で土が乾いていたため、プロテイン溶液が下に落ち始めるまで時間がかかったので、土に対する水の量を比較しました。土200gに対して、はじめに入れる水の量を100mlと200mlにして実験しました。この実験から、水が多いほうが有機物の移動が大きいのだと考えました。

(3) は、最初に使っていたプロテイン溶液が濃すぎたので薄めて実験しました。今回は濃度による違いはわかりませんでした。これから濃度をさらに細かく変えたり、ほかの条件と組み合わせたりして、比較実験をしていきたいと思えます。

(4) では、私たちの最終目標である微生物燃料電池の電極を1枚土にはさんで実験を行いました。今回はほとんど水が落ちてこなかったため、これから最初に水を土に加えたり、土の量を変えたりして有機物がどれだけ移動するのかを見たいと思えます。



(図1)

5. 研究成果の発表

① 日時：平成28年12月17日(土)

発表の場：生物工学会

発表題目：「持続可能な微生物電池」

発表形態：ポスター発表

発表者名：若枝匠(1年)、河口祐葵(1年)

田之畑愛紗(1年)、小袖靖二(1年)

6. 「環境安全とリスク」に関する意見と感想

地球温暖化という大規模な環境問題をかかえ、化石燃料の枯渇という大きなリスクに犯されている

ため、新たなクリーンエネルギーを作っていくことは非常に大切だと考えます。よって、私たちの研究が功をなすことで社会貢献ができると思います。

7. 今後の課題

- ・電流発生菌を単体培養するのか、それとも土の中にいる電流発生菌を用いて実験を行うのかどうか、決定する。

→単体培養するにあたって、菌の入手先はどうするのか。

- ・シアノバクテリア、電流発生菌、発酵分解菌をひとつの容器の中で強制させることはできるのか。

→いくつか試作品を作ってみてそれぞれの量の最適なバランスを見つけ出す。

- ・電流発生菌は有機物を加えると急激に増殖し、一時的には電流発生量が大幅に増えるが、一定期間がたつと菌の量が減少し、電流が下がってしまうので、何か工夫をすることでこれを改善する。

- ・電流発生量が安定しない状態が続いているが、何が原因で電流が大きく変化するのか、また、どうすればこれを改善できるのかを究明する。

8. まとめ

安全で且つクリーンなエネルギー源の開発を目標に掲げて今まで活動を行ってきましたが、研究を行うにあたって私たちが学校で習ったことのない専門知識を必要とする場面が多々あり、そのつどメンバーで話し合っ意見を出し合ったり、時には高校や大学の先生にアドバイスをいただいたりなどしてきました。また、私たちにとって身近であり、そしてとても大切なものであるこの地球の環境がこれからどうなっていくのか、そして私たちは今後どうしてはいけないのか、といったことを改めて考えさせられる良い機会でした。私たちの研究が進むことで、地球環境の改善に貢献していくことができらうれしいです。現在もいくつかの課題に直面している私たちですが、それらを解決すべくこれからも7人のメンバー全員で協力して活動を行っていきます。