

「火山岩による水質浄化」 —火山岩の添加と発電菌と脱窒菌の活性化—

早稲田大学本庄高等学院 SSC(スーパーサイエンスクラブ)

2年 周 悠悦・瀬川 知希・田中 萌映子 1年 小玉 朋香・佐久間 紀丞・西杉山 優

1. 背景 (研究の動機)

環境問題の一つである水質汚染は、生態系や人々の健康を脅かす重大な問題である。原因の一つとして、家畜の糞尿や沼地の植物の堆積が有機物を増加させることで水質が悪化し、富栄養化を引き起こしていることが挙げられる。本校校地内の河川や池も水質が悪いため、自然界に存在する材料を利用して浄化し、多様な生態系を維持できる水質に改善できないかと考えていた。

一方、資源の枯渇や地球温暖化への解決手段として再生可能エネルギーの研究が行われているが、その一つに微生物発電がある。近年盛んに研究され始めた発電菌は有機物を分解してエネルギーを獲得する際に発電する。

そこで、発電菌を活用して水質浄化と電気の供給の一石二鳥の効果を期待した。

2. 研究の目的

菌が生息しやすい物理的な環境と、より多くの有機物を分解するための触媒となる物質の探究が本研究の目的である。そこで、火山岩を砕き、有機物を含んだ土に混ぜて使用することにした。これは、火山岩が多孔質であるため生息場所を提供できることと、多くの鉄分を含んでいることにより、発電菌が活性化すると考えられるからである。また、安価で大量に入手可能であることや、環境に負荷をかけないことも考慮に入れた。

3. 活動概要

(1)見学

①日時：平成 30 年 7 月 31 日 (火)

場所：埼玉県環境科学国際センター (CESS)

見学の目的：環境問題についての知見を深めると共に、
埼玉県内の河川の汚染状況と調査結果を知る。



②日時：平成 30 年 9 月 12 日 (水)

場所：理化学研究所 環境資源科学研究センター

見学の目的：微生物の細胞外電子移動能を利用した電力生産について詳しく学ぶ。



(2)研究成果の発表

①日時：平成 30 年 10 月 27 日 (土) 10 時 00 分～15 時 30 分

平成 30 年 10 月 28 日 (日) 10 時 00 分～15 時 25 分

発表の場：稲陵祭 (本学院の学園祭)

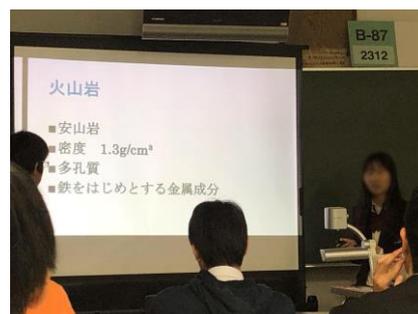
発表題目：「火山岩による水質浄化」

発表形態：ポスター

発表者名：全員



- ②日時：平成 30 年 11 月 18 日（日） 9 時 50 分～13 時 40 分
 発表の場：稲門 Jr.（早稲田大学付属系校の合同発表会）
 発表題目：「発電菌による水質浄化 ー添加物としての火山岩の活用ー」
 発表形態：口頭（パワーポイントを使ったプレゼンテーション）
 発表者名：周悠悦（2 年）、田中萌映子（2 年）



4. 研究の成果

◆研究方法

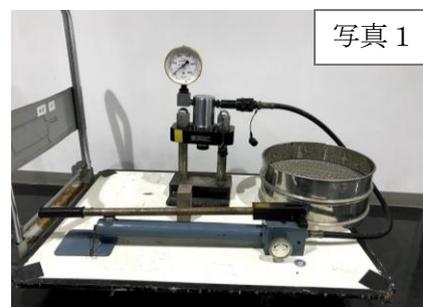
実験 I

【実験に使用するための火山岩の加工】

- ①高圧でのプレスが可能な器具(写真1)を利用して火山岩を破碎する。
- ②目の大きさが異なる3つのふるいを使用し、粒の大きさに応じて分離する。

《粒の大きさ》

- 大：8mm×8mm～ 中：3mm×3mm～8mm×8mm
 小：0.78mm×0.78mm～3mm×3mm 粉：～0.78mm×0.78mm



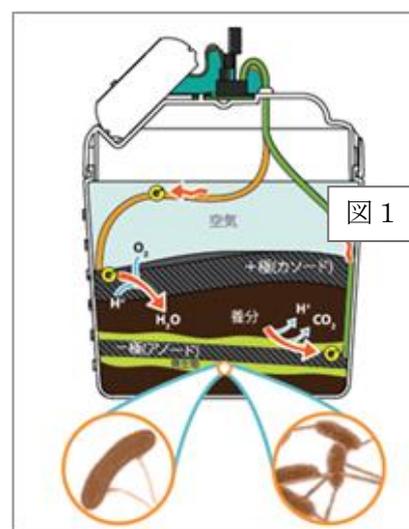
【MudWatt を利用した実験】

発電菌とは有機物を分解する過程で電気を発生する微生物のことである。土壤中で発電菌が有機物を取り込むと余分な電子をもつ分子を体内で生成してしまう。発電菌はこの電子を除去するため導体の電極付近を好む。この性質を利用し、電極を備えた容器に発電菌を含む泥を入れることで発電が可能となる。

MudWatt とは、泥を容器の中に入れ、付属の発光ダイオードの点滅の速度をスマートフォンの専用アプリケーションで計測することで発電量を調べられる市販のキットのことである。実験開始1週間ほどで発電の様子が観察できる。

図1は MudWatt の仕組みを示したものである。菌が有機物を分解する際に余分な電子をもつ分子をつくり、負極から正極へ電子が流れ、発電が行われるとともに、二酸化炭素と水素イオンが発生する。上層の好気環境下で水素イオンは酸素と反応し水が生成される。

基本的な使用方法に準じて実験を行った。



◆研究結果・考察

日	実験目的	ベース	結果	原因
8/27	火山岩の量による発電量の差	腐葉土 水道水	(1)腐葉土のみ (2)腐葉土：火山岩小=2：1 (3)腐葉土：火山岩小=7：2	全て失敗 ・塩素による菌の死滅 ・気泡の混入 ・発芽による電極の接触不良

9/8	原因は水道水か調べる	腐葉土 水道水	(4)カルキ抜き(煮沸)した水道水	失敗	<ul style="list-style-type: none"> ・塩素が原因とも限らない ・有機物の不足 ・発電菌がいない
9/10	川の水の使用と火山岩の有無	腐葉土 川の水	(5)腐葉土のみ (6)腐葉土と火山岩 ^中	共に失敗	<ul style="list-style-type: none"> ・有機物や川の菌ではない ・発芽による電極の接触不良 ・腐葉土
9/18	原因は腐葉土か調べる 鉄分の効果も	水田の土 水田の水	(7)水田の土のみ (8)鉄分を多く含む水	成功 失敗	<ul style="list-style-type: none"> ・水田中に発電菌がいた ・鉄バクテリアによる水田の土に生息する菌の死滅
9/25	火山岩の有無	水田の土 水田の水	(9)水田の土：火山岩 ^中 = 9：1	成功	<ul style="list-style-type: none"> ・火山岩が発電に寄与した

(1)~(6)で発電しなかった原因は腐葉土にあり、水田の土を使用すると成功した。

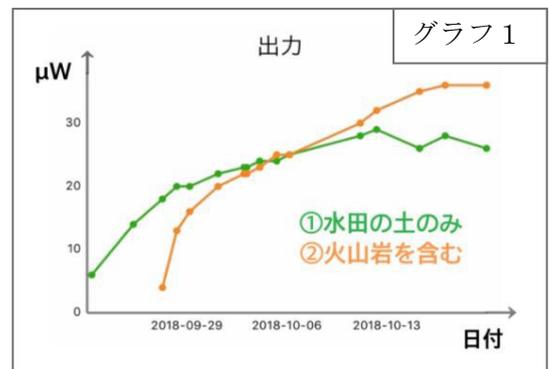
発電に成功したものは発電量を継続的に測定した。

(※グラフ1の①は(7)、②は(9)に対応する)

グラフ1より火山岩を含むものの方が短時間で大幅に発電量を増加させ、上限も高いことが分かる。(グラフの開始点に差が生じているのは作成日及び観測開始日が異なったため)

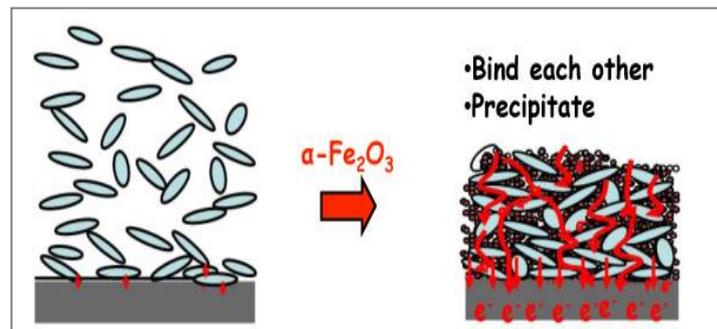
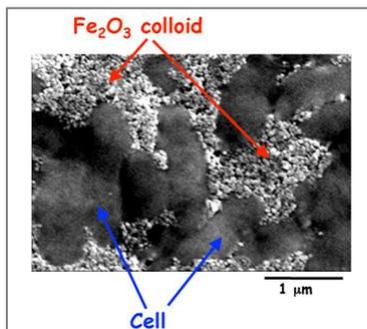
その後も継続的に観測したが、多少の上下変動はある(気温に応じて活性度が異なると考えられる)もののこれ以上の顕著な変化は現れなかった。

火山岩は発電量の増加に大きく寄与することが分かった。火山岩が多孔質であることが菌の棲みかとなり、活性を促進した、あるいは、含まれる金属成分が電子ホッピング反応に寄与した可能性があり、どちらが主であるかを調べた。



《電子ホッピング反応について》

発電菌の1種であるシュワネラ菌は、自然界に存在する不溶性の酸化鉄を電子受容体として利用し、還元することで生命活動に必要なエネルギーを獲得している。 α - Fe_2O_3 ナノコロイドを添加すると、20~40nmの粒形をもつ α - Fe_2O_3 粒子が細胞表面を覆い、細胞同士がコロイドを介して高密度な三次元凝集構造体を自発的に形成し、シトクロムCを介した電子ホッピングが可能となる。これにより電極から遠く離れた菌を電流生成に寄与させる。(図2、3参照)



沈殿して互いに結び付き電子が流れる

②図2：酸化鉄ナノコロイドが菌の周りにまとわりついている様子

③図3：電極から遠く離れた菌を電流生成に寄与させる仕組み

【火山岩の大きさや量による発電量の変化】

(結果はグラフ 2 を参照)

実験Ⅱ

③火山岩^粉：土=7：2

＜目的＞火山岩の効果は多孔質によるものか、含まれる金属成分によるものかを分析する。

＜結果＞発電量は最高 $65 \mu\text{W}$ で①の約 2 倍にまで上がった。持続性も向上し、①が一度発電を停止するまで 45 日経過したのに対し、③は現在も発電を続けている(1

月 18 日現在で 72 日間)。1 月の急激な低下は、実験中の土の一部を COD の実験に使用し、空気が嫌気層まで入ったためである。現在は回復が見られている。

＜考察＞火山岩の効果は多孔質の構造を失った粉の状態でも十分見られたため、金属成分によるところが大きいと考えられる。また、②よりも火山岩が占める体積が大きかったため(粉であるため体積で量る際に隙間が無い)、量の多さも関係していると考え、体積ではなく質量をそろえて実験することにした。



実験Ⅲ

④火山岩 80g

③で火山岩^粉を 80g 使用したため、火山岩^中を同様に 80g 使用した。

＜目的＞火山岩の量が多いほど発電量が増加するか調べる。

＜結果＞発電量は②とほとんど変わらなかった。(※初めの計測値が異常に高いが、これは正極と負極の接続が悪かったためだと考えられる。4 時間程経過すると大幅に下がっていた。)

＜考察＞土の量に比例し、もともとの菌の数と養分が少なかったと考えられる。火山岩と土のバランスが発電量を伸ばすポイントとなると考え、③と比率をそろえて実験した。

実験Ⅳ

⑤火山岩中：土=7：2

＜目的＞火山岩と土の最適なバランスを調べる。

＜結果＞発電量の向上率が非常に悪く、1 月 17 日現在で $3 \mu\text{W}$ である。

＜考察＞失敗した原因は、作成から 2 日間程電極の接続が悪かったためである可能性が高いと考えられる。

【火山岩の多孔質の効果についての考察】

火山岩^粉で高い発電量が見られたのには下記の理由が考えられる。

- 土そのものが多孔質のような構造をしているため、多孔質の構造をもった火山岩を入れてもその効果は薄かった。
- ②の実験後、火山岩を取り出したところ非常に脆くなっていた。微生物にとって火山岩は粉の状態が最適である。(電子ホッピング反応の際、酸化鉄の粒子が細胞表面を覆うため)

実験Ⅴ

【かき混ぜることによる発電の再開】

発電が停止したものについては、酸素不足または電極付近の有機物の不足が原因であると予想し、嫌気環境は変えず、下層のカーボンフェルトより上部分の土をかき混ぜた。

<結果>グラフ 3 参照

①発電を再開

②発電はしばらくせず、再開したものの非常に不安定

<考察>

①は電極付近の発電菌のみが発電して養分を使うため、かき混ぜることで未使用の養分を補給できたが、②は火山岩が電子ホッピング反応を助け、電極から離れた菌が電流生成に寄与したことにより容器内全域の養分が使用されたと考えられる。②で突発的に上がった理由は解明できていない。



実験VI

【パックテスト】

発電の際、有機物が消費されているかを確認するためにパックテストを行った。

[方法]手を加えていない水田の土と③の火山灰を混ぜて発電を続けている土を使用した。それぞれ土 5g を水道水 350mL で薄め、COD のパックテスト(共立理化学研究所(株)の商品を使用)の結果を比較した。

[結果]手を加えていない水田の土(右、8に相当)よりも、発電した後の③の土(左、6に相当)で有機物が減っていることが分かる(写真 1)。

※写真では色の違いが見づらいが、肉眼では明らかに色が異なっていた。

[考察] 発電菌が有機物を消費しながら発電していることが確かめられた。そのため、水質浄化にも効果が発揮できると考えられる。

写真 2



【水質浄化装置への応用】

縦 12cm×横 12cm×高さ 13.4cm(内側の体積)の木の箱の側面に、高さ 9.5cm の中央部分と対面の高さ 3cm の中央部分に穴を空け、チューブを通し、フィルターとろ紙で土の流出を防ぎ、川の水が少しずつ流れ出ていく水質浄化装置を作成した。現在最も発電量の高い火山岩粉のタイプを発電兼浄化部分(木箱の内部)に使用した。発電がまだ開始されていないため、現段階では作成のみにとどまっている。今後実験及び改良を重ねる必要がある。

写真 3



6. まとめ

校内の山の腐葉土を使用した実験では発電しなかった。よって、腐葉土には発電菌が生息しておらず、無酸素環境の湿地でのみ発電菌が生息していると考えられる。

発電に成功した実験の観察結果より、火山岩は発電量の増加に大きく寄与することが分かった。火山岩は粉の状態が最適であり、これは電子ホッピング反応により発電効率が高まるためであると考えられる。火山岩の添加により有機物を広範囲で分解できるため、土をかき混ぜる必要がなくなり、水質浄化装置の作成が容易になった。作成した装置を使用して今後も実験を継続していきたい。

7. 「環境安全とリスク」に関する意見と感想

水質浄化をはじめとする環境問題の研究へのアプローチには様々なものがあるが、化学製品を使用した人工的な方法では使用した薬品が研究者の身体へ有害であることや環境への負担となることがある。

本研究は自然物を使用しており、薬品は添加せず、自然状態での菌の活性化を図るもので、環境にも研究者にも無害であり、安全な実験現場であった。

8. 今後の課題

発電量の増加が有機物の効率的な分解を意味するため、最適な火山岩の量や種類を追究したい。火山岩(火山灰)の種類は、鉄を多く含むものが良い可能性が高いと考える。

水質浄化装置はまだ作成段階にあり、実際に発電可能な装置であり、有機物も除去されていることを確かめる必要があるため、今後も実験と改良を重ねていくつもりである。

現在、硝酸態窒素の増加も深刻な水質汚染問題の一つとなっていて、硝酸態窒素の脱窒に寄与させるために、小さな生態系を組み込む等の方法も探りたい。

9. 結びに

本研究を進めるにあたり、REHSEの研究助成をいただき、理化学研究所への見学や稲門 Jr.での研究発表など貴重な機会に恵まれたことに感謝いたします。

本年度からの研究であるため、初期段階では模索の日々が続き、最終的に得られた成果もまだ小さなものですが、地道な観察と多角的な考察の大切さを学ぶことができました。

水質汚染をはじめとする環境問題の解決は急務であり、本研究の意義を改めて確認するとともに、様々な分野で研究が盛んに行われ、一刻も早く解決することを願います。

10. 参考資料（画像等）

<http://www.go2park.net/photo/kankyo.html>

<http://www.riken.jp/pr/visiting/>

<https://waseda-honjo.jp/topic/2017/08/20170828091458.html>

<https://nenryoudenchisenmonten.jp/products/detail/4>

スマートフォン用アプリケーション MudWatt Explorer

<http://archive.wiredvision.co.jp/blog/yamaji/200909/200909091702.html>