

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」

2021年度 研究活動報告書

微生物燃料電池による河北潟干拓地の水循環の改善

～農業排水からのリンとエネルギーの回収～

石川工業高等専門学校 石川高専研究チーム

1. 背景

河北潟干拓地は、水田からの栄養塩や有機物を含んだ排水が潟に流入する水質汚濁や近隣からの無関心といった問題を抱えている。さらに、肥料が含まれる水中の窒素は、お米の食味値を低下させている。また、干拓地の雄大な景色や農業、環境の知名度は低い。

2. 目的

排水中には栄養塩と有機物が含まれ、これらの水処理と資源・エネルギーの回収を試みる。微生物燃料電池は、電極でのリンの回収や、湿地の泥から発電できることが報告されている。本研究では、水田の排出口に微生物燃料電池を設置する。それによる河北潟の水質改善並びに、起こした電力を水位センサに供給し、農業の省力化を検討したい。また河北潟沿岸で有機栽培されている七豊米というお米は、ブランド化を目指しているため、お米の食味値を向上させる必要がある。さらに人々を惹きつける活動を実施し、河北潟の現状の認知に努めることを検討したい。

3. 活動の内容

3.1 出前講義

該当なし

3.2 見学

① 日時：2021年5月17日（月）

場所：河北潟干拓地

目的：河北潟干拓地について知るため

成果：河北潟干拓地の全体を展望し位置関係を学ぶことができた。



図1 干拓地のメタセコイヤ並木

② 日時：2021年6月30日（水）

場所：七豊米水田

目的：リン、窒素分析に用いる水田の水を採取するため



図2 七豊米水田の水採取の様子

- ③ 日時：2021年7月26日（月）
場所：七豊米水田
目的：リン、窒素分析に用いる水田の水を採取するため。



図3 七豊米水田の水採取の様子

- ④ 日時：2021年10月24日（日）
場所：こなん水辺公園
目的：かほくがた自然再生まつり 2021 への参加、実験に用いる泥の採取のため
成果：地元の方々との会話やオリエンテーションへの参加で、新たに河北潟干拓地の生き物や植物について学び、研究に生かすことができた。



図4 かほくがた自然再生まつり

3.3 その他の活動 該当なし

4. 研究の成果

〈研究方法〉

① 河北潟七豊米水田の水質調査

七豊米(しちほうまい)とは河北潟沿岸で有機栽培されているお米であり、その排水は河北潟へと排出されている。環境負荷の小さいと考えられる、有機栽培水田からの負荷量を調査することで、水田全体の負荷量を大きく見積もることができると考えた。有機栽培水田から河北潟への負荷量を調査するため、6月30日と7月26日に七豊米水田の流入口と排出口から採取した水の水質分析(全リン、全窒素、全有機炭素)を行った。全リンの測定はリン酸イオンの数値を元に全リンの数値を求める、簡易測定である TOADKK DRB200 リアクターを用いた過硫酸 PhosVer3 法による分析と、より正確な実験結果を得るために、公定法である JIS K 0102 に倣い、Shimadzu UV-1200 で吸光分析をした。また、全窒素と全有機炭素は Shimadzu TOC-V を使用して、燃焼触媒酸化方式を用いた分析を行った。

② 微生物燃料電池の実験

「微生物が燃料を作る微生物燃料電池！」¹⁾より、ネットで挟み固定したカーボンクロスにニッケル線を巻き付けた電極部で、アノード電極とカソード電極を作成した。アノード電極を河北潟こなん水辺公園の水生動植物観察池から採取した泥、約 150ml に埋め込み、カソード電極を水道水とともに容器に入れた。新しい電極は電位が安定しないので、両方とも約 1~2 日そのままの状態に保存した後、泥が巻き上がらないように、容器に電極を固定させ、1つの簡易的な微生物燃料電池を作成した。



図5 微生物燃料電池実験

③ SNSによる河北潟干拓地の認知度向上

河北潟干拓地の認知度の向上を目的として、10月6日に二つのSNSアカウントを開設した。SNSは今では、一つの情報ツールとして、世界中の人々に利用されている。そのため、多くの人々に河北潟干拓地について知ってもらえることを期待した。また、高校生の視点から河北潟について発信することによって、より多くの関心が集まるのではないかと考えた。

どれくらいの人が干拓地に関心を持ってくれたのかを検証するために、メタ・プラットフォームズが運営するInstagramと、オブビアス社(現:Twitter社)が開始したウェブサービスであるTwitterを開設した。双方ともrehse_inctというアカウント名で、多くの人から干拓地に関心を持ってもらえるように投稿を行っているということ、かほくがた自然再生祭りやオープンカレッジで紹介した。

Instagramでは、自らが撮影した干拓地のメタセコイヤ並木やひまわり村などの風景や、微生物燃料電池の実験の様子、研究の活動状況などの写真に関連するようなハッシュタグを付けて、1月15日までに27回投稿した。また、Instagramのインサイトという集計機能で、「いいね!」の件数やアカウントのプロフィールへのアクセス数のデータを取得し、Instagramによる知名度向上の効果を分析した。Twitterは中間報告までの検証より、Instagramほど多くの関心を得ることができなかつたため、10月11日以降はInstagramでのみ発信した。そのため、分析はInstagramのみ行った。

〈研究結果〉

① 河北潟七豊米水田の水質調査

分析結果を表1に示す。どの測定項目も流入口より排出口の値が大きく、それぞれの値の変動の様子に差がみられた。全有機炭素は、植物の光合成により空気中の二酸化炭素を吸収して土壤中に堆積されたため、全窒素は、土壤中の微生物により酸化分解され、水に溶出しやすい硝酸態窒素に変化するため、大きく変動したと考えた。全リンは、土壤に吸着されやすく水中に溶出しにくい

め、値が大きく変動しなかったと考えた。排出口では、全リン、全窒素の値が「生活環境の保全に関する環境基準」²⁾全窒素1mg/L,全リン0.1mg/L以上の値であった。全有機炭素の値から、流入口よりも多くの有機物を含んでいるため水質が悪化していると分かった。これらの理由として、七豊米水田で施肥している有機肥料に含まれるリン、窒素の溶出が考えられる。また、溶出した栄養塩を利用し藻類が増殖する事で、有機物が生産され、汚濁につながったことも考えられる。そのため、水田中の藻類の発生を抑え、河北潟の水質改善を目指すには排水中のリン、窒素を減らすことが必要である。

リンにおいては微生物燃料電池による回収を考えている。岐阜大学の研究において、微生物燃料電池は、エアカソードへの析出した塩の乾燥重量あたり16%(5.17mmol・g⁻¹)のリンを回収できることが報告されている。³⁾また、「生活環境の保全に関する環境基準」より、全リン0.1mg/Lの値を目標にし、回収すべきリンの量を考える。本研究の中で測定した一番大きな値は0.27mg/Lであった。その値から0.17mg/L回収し、環境基準に近づける。一方、窒素削減についても2つの観点からも重要性を考えてはいる。窒素を過剰に含む水がしみ込んだ土壌は地球温暖化の一因ともなる。土壌中では微生物が窒素を硝化、脱窒し、窒素ガスまで分解している。しかし、その過程で、温室効果ガスである一酸化二窒素が多く生成され大気中へ放出されてしまう。国内で2020年度に排出された一酸化二窒素約1,930万トンの内47.0%が農業から排出⁴⁾された物であり、地球温暖化の緩和の為にも窒素の除去が必要である。さらには、七豊米は稲作を通して生態系を保全するという理念のもと栽培されているが、ブランド米化するためには、美味しさの追及がより必要である。窒素は米にとってタンパク質をつくる元になり生育に必要な栄養分だ。しかし、タンパク質含有量が高まると食味が低下する⁵⁾ことが明らかになっている。

そのため、用水の清澄さと環境の観点から河北潟流域の水質改善が求められる。

表 1 七豊米水田各分析項目の結果(mg/L)

用いた機器	全リン		全窒素	全有機炭素
	DRB200 リアクター	Shimadzu UV-1200	Shimadzu TOC-V	
6/30 七豊米水田流入口	0.21		0.90	2.11
6/30 七豊米水田排出口	0.27		2.64	8.35
6/30 七豊米水田流入口		0.06	1.09	3.94
6/30 七豊米水田排出口		0.10	1.23	4.90
7/26 七豊米水田流入口		0.11		
7/26 七豊米水田排出口		0.11		

② 微生物燃料電池の実験

微生物燃料電池は、アノード電極が微生物の排出した電子を受け取り、カソード電極で酸素に電子を渡すことで電子が流れ、発電することが分かっている。作成した微生物燃料電池の電圧を測定した結果を表 2 に示す。実験では、0.140V の最大電圧を測定した。当初は微生物燃料電池で発電した電力を用いて水位センサを設けようと試みていた。しかし、水位センサの稼働には、12~30V 必要⁶⁾である。そのため、水位センサの稼働には少なくとも 285 個の微生物燃料電池を設置し、電力を供給しなければならないことがわかった。また、今の段階では微生物燃料電池で発電した電気を水位センサに用いることは困難であった。

表 2 測定した電圧値(V)

使用した土	発電した電力(V)
七豊米水田	0.042
七豊米水田	0.040
七豊米水田	0.040
水生動植物観察池	0.140
浅地水田	0.089

③ SNS による河北潟干拓地の認知度向上

河北潟干拓地の認知度の向上を目的として情報発信をした Instagram のインサイトの結果によると、ユーザーがその投稿に対して好意的な見方をしたときにつけられる、「いいね！」の反応をした人は、どの投稿にもいたことがわかった。また、「いいね！」の数が多い投稿は、干拓地内で実際に撮影した写真を使ったものが多く、一投稿につき、約 6.5 の「いいね！」が付いた。そし

て、私たちのアカウントのプロフィールを見てくれた人も数人いることがわかった。私たちが Instagram を利用する際は、投稿を見た時に大きな興味や関心を持たない限り、その投稿をしたアカウントのプロフィールを見ることはあまりない。そのため、その投稿内容や我々の活動や干拓地の環境や農業について関心を持った人がいたと考えられる。

また、1月15日現在、29人のフォロワーがいる。フォロワー数は、投稿したその日ではなく、投稿をして2、3日が経った日に増加する傾向にある。フォロワーが増加した日に近い投稿を見ると、そのほとんどが干拓地で実際に撮影した風景の写真を使用したものが多かった。フォロワー数の累計を図6に示す。投稿開始から29日たったころからフォロワーがそれ以前に比べ、伸びていないことがわかる。そのことについて、表3に示す投稿内容含め分析をすると、投稿した写真が直近のものではなかったため、フォロワーが伸びなかったのだと考えられる。

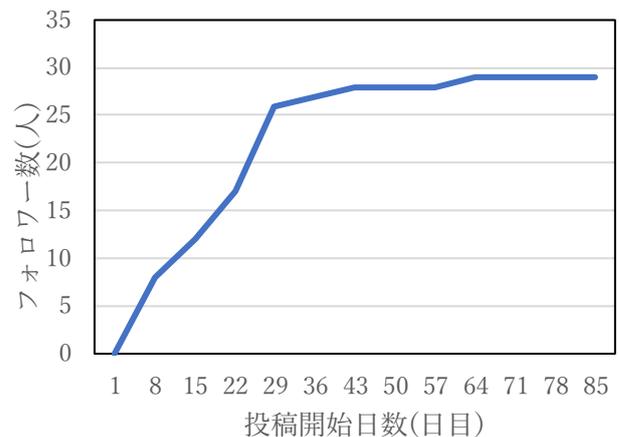


図 6 Instagram のフォロワー数累計

表3 Instagram投稿状況1(1月15日現在)

開設日数	<投稿日> 投稿内容(写真)	投稿内容(文章)	いいね！ アクセス	
			件数	件数
0	10月8日 メタセコイヤ並木	初投稿の報告	9	28
2	10月10日 おにぎり	おにぎりアクションについて	14	26
3	10月11日 水田	6月の水田の様子	8	6
4	10月12日 ひまわり村	ひまわり村の紹介	9	10
10	10月18日 学校から見える河北潟	かほくがた再生まつりの紹介	3	32
13	10月21日 報告書作成の様子	研究活動について	3	5
16	10月24日 かほくがた再生まつり	農産物や行った活動の紹介	22	37
27	11月4日 オープンカレッジでの発表の様子	研究発表をしたことの報告	6	14
38	11月15日 河北潟桜街道	桜街道の紹介	4	4
39	11月16日 第1回 利き米おにぎり	利き米実施の報告	10	5
40	11月17日 メタセコイヤ並木(雨の日)	メタセコイヤ並木の紹介	10	24
41	11月18日 河北潟ホリ牧場	河北潟ホリ牧場の紹介	2	2
42	11月19日 湖北大橋	湖北大橋の紹介	5	5
45	11月22日 微生物燃料電池	微生物燃料電池の紹介	10	3
49	11月26日 第2回 利き米おにぎり	利き米実施の報告	11	23
53	11月30日 勉強中の様子	環境システム工学の紹介	6	13
75	12月22日 第3回 利き米の様子	利き米実施の報告	5	7
77	12月24日 干拓地の蓮根畑	蓮根畑の紹介	7	2
79	12月26日 七豊米水田	水田について	2	3
81	12月28日 河北潟 ホリ牧場	ホリ牧場のソフトクリームの紹介	6	6
81	12月28日 リン分析の様子	リン分析実施の報告	1	1
82	12月29日 漁業に関するジオラマ	河北潟の昔の漁業について	5	1
89	1月5日 七豊米のチラン	七豊米の田植えの紹介	4	1

5. 研究成果の発表

日時：2021年11月3日(水)

9時20分～16時20分

発表の場：オープンカレッジ

発表題目：「REHSE 研究発表」

発表形態：■口頭 □ポスター ■その他
(スライド)

発表者名：河合理絵(2年)、寺井萌華
(2年)、正木菜々美(1年)

発表概要：本校で行われたオープンカレッジで、
中学3年生を対象に、私たちが行った
微生物燃料電池の実験やSNSの活動
などについてPowerPointのスライド
や、自作した微生物燃料電池を用いて
発表した。



図7 オープンカレッジでの研究発表の様子

6. 「環境安全とリスク」に関する意見と感想

河北潟干拓地の水田では、近隣の河川や河北潟から灌漑した後に河北潟に戻しているため、潟の水を有用に利用できていると考える。しかし、河北潟では水質汚濁が発生している。この水質汚濁の発生の原因物質である窒素とリンは河北潟干拓地内の水循環の悪化だけでなく、生活環境を保全することが困難になることや、地球温暖化への影響があることがわかり、衝撃を受けた。この問題を解決するために、今回の研究ではそれらの物質を回収することを目的としたが、そこにはリスクもあると考えられる。例えば、水田に微生物燃料電池を置くことは、人工物を水田に設置することになるため、生態系に悪影響を及ぼすことになる可能性がある。周囲への影響も考えることが必要である。

7. 今後の課題

今回の活動では、窒素の除去の検討・実験まで、微生物燃料電池で発電した電気を実際に活用するためには 285 個の燃料電池が必要であったため、難しかった。しかし、SNS においては、少数であっても、「いいね！」などの反応を獲得することが出来た。このことを踏まえ、これからも出来る限りの投稿を行い、伝えきれていなかった、河北潟の現状や生態系への悪影響などの発信に努めていきたい。

8. まとめ

河北潟干拓地内では悪循環が起こっている。原因の一つとして、河北潟に流入する外部からの水質汚濁を考えた。そこで、河北潟沿岸で水田の水質調査を行ったところ、排出口で全リン、全窒素の値が環境基準以上であった。流出した栄養塩のリン、窒素を利用し藻類が増殖する事で、有機物が生産され汚濁につながったと考えられる。この排水が河北潟に流れ、干拓地農地で揚水され利用後に河北潟に戻る悪循環が起こる。過剰な窒素には、お米の食味値が変化する、地球温暖化が進行してしまうという問題もあり、水田への流入を阻止したいと考えたが、窒素除去実験までは至らなかった。リン除去については微生物燃料電池に着目した。発電と同時にリンを回収することができるとの報告から、水田土壌での実験を行い、発電を確認した。しかし、起電力が小さかったため、干拓地内の水田の排出口に微生物燃料電池を設置し、農作業省力化のために水位センサを稼働することは厳しいことがわかった。悪循環のもう一つの原因として、近隣からの無関心が考えられた。そこで、Instagram で発信を行ったところ、投稿に対して好意的な見方をしたときにつける、「いいね！」の数が多い投稿は、干拓地内で実際に撮影した写真を使ったものが多かった。フォロワーを獲得することで干拓地の環境や農業などについて周知でき、悪循環解除の一助とできた。

(図 8)

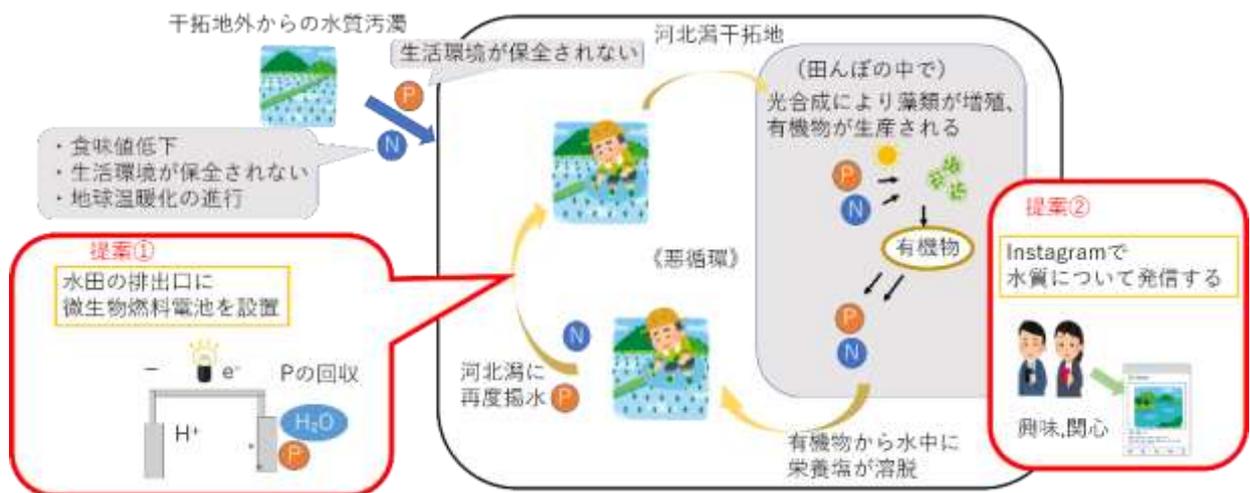


図 8 河北潟干拓地における水循環の課題と解決策の提案

<参考文献>

- 1) 広島大学 工学部
「微生物が燃料を作る微生物燃料電池！」
<https://www.miraikougaku.jp/laboratory/pages/181012.php>
- 2) 環境省
「水質汚濁に係る環境基準 別表2
生活環境の保全に関する環境基準（湖沼）
1 河川」
<https://www.env.go.jp/kijun/wt2-1-2.html>
- 3) 市橋修 山本希 廣岡佳弥子
「畜産排水を用いた微生物燃料電池における発電と微生物群集構造」
水環境学会誌 Vol. 35 No. 1 P19-26 (2012)
- 4) 環境省
2020年度（令和2年度）の温室効果ガス排出量（速報値1）について
各温室効果ガス（3）一酸化二窒素（N₂O）
<https://www.env.go.jp/press/110272.html>
- 5) 株式会社アスク
お米のおいしさ タンパク質
<http://www.okomemo-tawaragura-ask.jp/taste/03.html>
- 6) 株式会社 佐藤商事
「河川用水位センサ + デジタル表示器 MJ-PM-WL60-10」
<https://satosokuteiki.com/item/detail/3779>