

水田土壌の微生物を用いた発電の研究

山形県立鶴岡南高等学校 科学部生物班

1. はじめに

水田土壌中には数多くの微生物が棲んでおり、中には電気を発生する細菌もいる。この細菌は嫌気状態の土壌中で有機物を分解してエネルギーを得るときに電子を放出するので、陰極を土壌中に、陽極をその上の水中に沈めると、両極間を電気が流れ発電することができる。そこで、水田での微生物を利用した発電が実用化できれば、新たなクリーンエネルギーとして地球温暖化防止などに役立つのではないかと考えた。

2. 研究の内容

実験1 発電微生物の特徴の解明

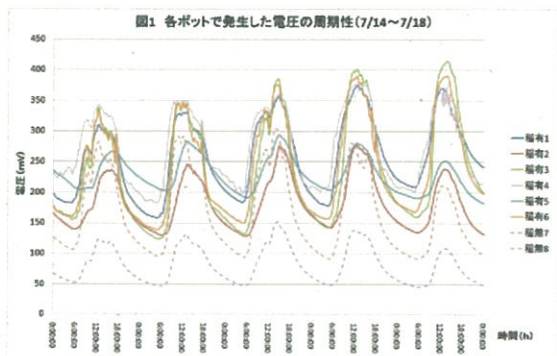
① 実際に水田土壌を用いた発電の実験を行った。

<材料と方法>

実験は、直径21cm、高さ22cmのポットに土壌を入れ複数作成して行った。水田土壌は山形県庄内町添津の水田から採取し、基肥したもので、粘土質である。稲は背丈18cmの苗を植えた。土壌中に埋めた電極が負極、水中に沈めた電極が正極である。電極は、正極、負極ともに厚さ5mmのグラファイトフェルト(総合カーボン)に導線を縫い付け作成した。ポットは8つ作成し、6つには4本ずつ苗を植え、もう2つには苗を植えずに測定した。ポットの電極から伸びた導線を、それぞれ1kΩの抵抗を並列に挟み、データロガにつないで測定した。データの記録はそれぞれ10分間隔で終日行った。

<結果>

水田土壌に棲む微生物による発電は、どちらも昼に電圧が高まり夜に低下する日変化を周期的に示した。



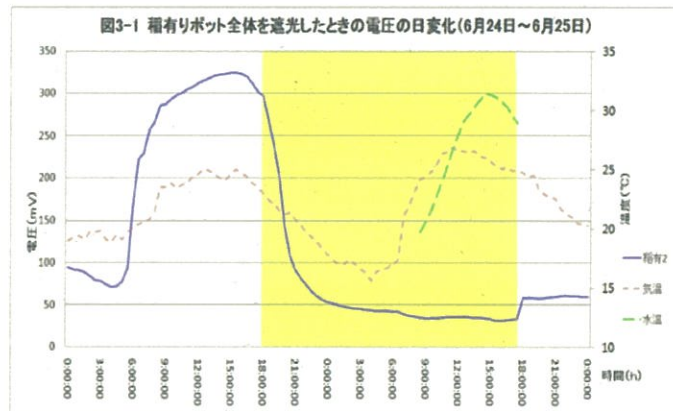
② この日周性は、外部環境のうち、温度か光の強さに影響を受けているのではないかと考え、ポット全体を1日中遮光する実験を行った。

<材料と方法>

実験1①で用いた水田土壌の稲ありポット全体を遮光して、同時に気温と水温も計測した。

<結果>

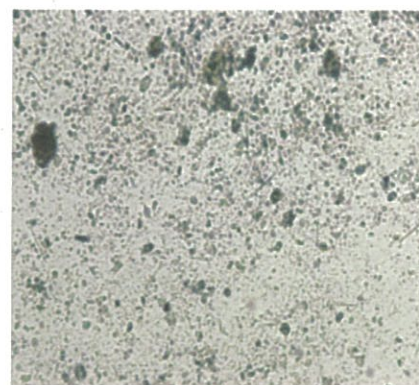
日中、水温が上昇しても電圧は夜の状態から高まらなかった。このことから、発電する電圧の高さに日周期性がみられる主要因は光の強さであることがわかった。



③ 光の強さで日周性が見られたことから、ポットの中の水に何か発電に関係しているものがあるのではないかと考え、ポットの水を顕微鏡で調べた。

<結果と考察>

藻類のような水中微生物(光合成微生物)が多量に生息していることがわかった。このことから、土壌中の微生物が発電する電圧が日周性を示すのは稲ではなく、水中微生物の光合成が関係しているのではないかと考えた。



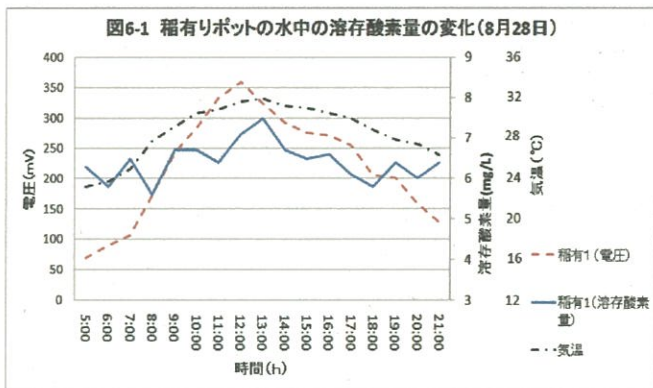
④ 水中微生物の光合成産物としては有機物と酸素が上げられるが、日の出から急激に電圧が上昇することをふまえると、水中で合成された有機物がすぐに土壌中に浸透し、発電微生物の基質になっているとは考えにくい。そこで、水中の酸素の日変化が、電圧の変化に関係しているのではないかと考えた。

<材料と方法>

実験1①で用いた水田土壌中の1日の溶存酸素量の変化を調べた。

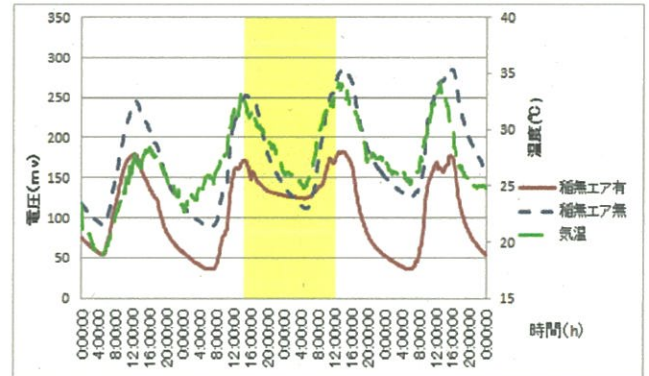
<結果>

稲あり、稲なしポットともに、昼頃に酸素量が高く、朝と夜は低いという結果が得られた。



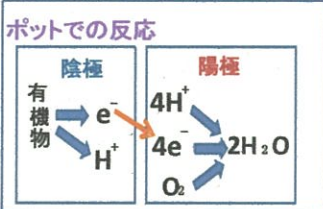
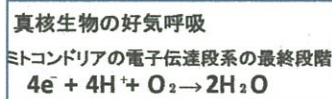
<結果と考察>

エアレーションを行うと夜間も電圧は昼間の状態からあまり下がらず、日周性はみられなくなった。夜間エアレーションすることで電圧が下がらないことから、正極では酸素が使われているのではないかと考えた。



⑤ 真核生物の好気呼吸

では、ミトコンドリアで行われる電子伝達系の最終段階で、電子と水素イオンが酸素と反応して水ができる。水田土壌中は嫌気状態であり酸素がないので、そこに棲む発電微生物(原核生物→細菌)が有機物を分解して取り出した水素の電子を陰極に渡し、その電子が流れるためには電子を陽極で消費しなければならないので、陽極で酸素を使って電子伝達系の最終段階と同じようなことが起きているのではないかと予想した。そのため、水中の酸素量が高まると土壌中の微生物発電の電圧が高まるのではないかと考えた。



<材料と方法>

水田土壌で発電するのは稲による働きではないと考え、稲を用いずに実験を行った。また、ポッドも2Lペットボトルを半分に切断したものを使用した。なお、以後の実験ではすべてペットボトルのポットを用いて実験を行っている。この実験では、金魚の水槽等で使われるパワーポンプとパワーストーンを用いて1日中エアレーションを行った。

実験2 微生物発電の仕組みの解明

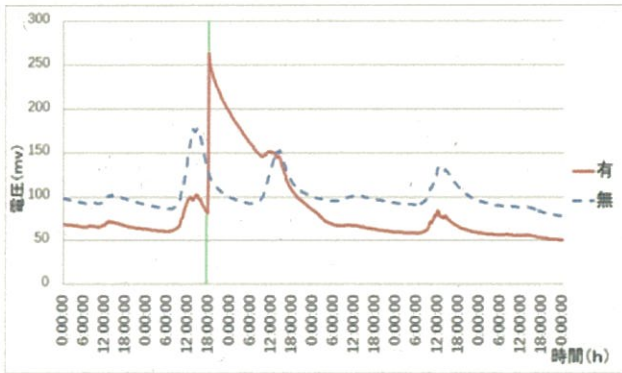
- ① 水田土壌の微生物発電では正極に流れた電子に対して水中の酸素が酸化剤として作用し、正極活性物質になることで発電が起きていると考え、他の酸化剤でも同様のことが起こると予想した。

<材料と方法>

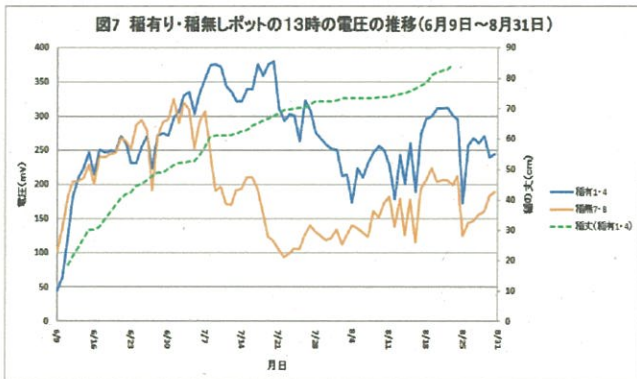
この実験では2種類のポットを使った。正極が浸っている水を取り除き、1つのポットには10mmol/Lのフェリシアン化カリウム水溶液50mLを、もう1つのポットには比較のため蒸留水50mLを流し込んだ。

<結果と考察>

フェリシアン化カリウム水溶液を入れると急激に電圧が上昇した。その後も高い電圧を維持し、蒸留水を入れたポットと大きな差がみられた。また、電圧は徐々に下がり始め、約36時間後に入れる前と同じになった。私たちは、酸化剤であるフェリシアン化カリウム水溶液を加えることによって発電が高まったことから、酸素は正極側で酸化剤として働いていると結論付けた。このことから、「発電の日変化が水中微生物の光合成で発生した酸素に由来する」という私たちの仮説を裏づけることができた。



② 稲有りポット、稲無しポットにおける13時の電圧の推移で、実験開始から6月下旬まではほとんど差はなかった。



これは、どちらも発電微生物が土壌中に元からあった有機物を基質としていたからであると考えた。そして、稲有りが稲無しを上回り7月上旬からはその差が広がったのは、稲の成長に伴って根が伸びてきて陰極のグラファイトフェルトに達したため、根から出ている有機酸(根酸)が発電微生物の基質として使われたと考えた。その後、稲有り、稲無しともに発電する電圧が減少したのは土壌中に元からあった有機物が消費されて減少したためであると考えた。そこで、負極に根から分泌されている有機物を注入することによって発電が高まると予想し、実験を行った。

<材料と方法>

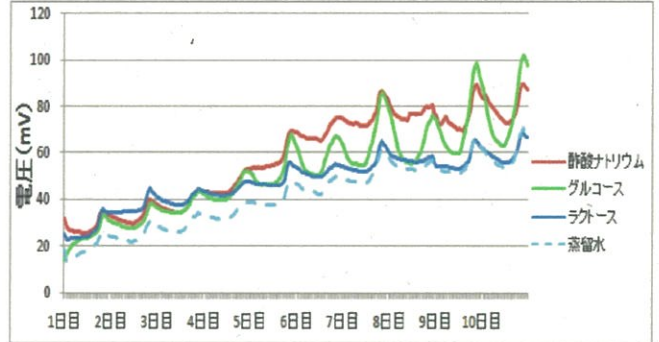
稲の根からは酢酸塩、次いでグルコースが多く分泌され、ラクトースは全く分泌されていないという報告があるので、有機物として酢酸ナトリウム、グルコース、ラクトースを用いた。

<結果>

注入して5日後から電圧の差がみられ始め、6日後以降からその差が顕著になった。グルコース、酢酸ナトリウムを注入したものは電圧が高まり、ラクトースを注入

したものは蒸留水とほとんど変わらなかった。

稲の根から分泌されていると報告のある有機物を注入すると電圧が高まり、分泌されていない有機物ではあまり高まらなかった。このことから、稲の根から分泌される有機物がこの水田土壌に棲む発電微生物の基質として有効であると分かった。



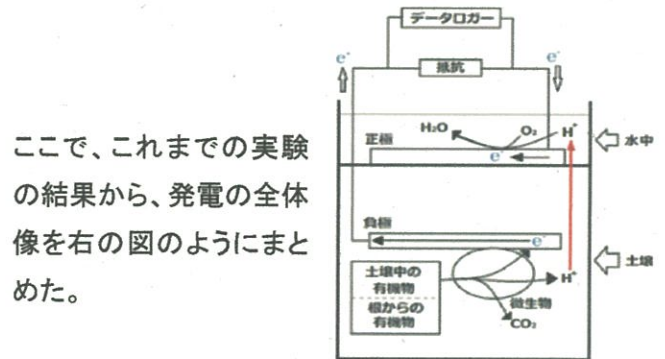
③ 負極側から何らかの陽イオンが正極に流れることで、発電の回路となっており、ラップで負極から正極へのイオンの流れを断つと発電せず、陽イオン交換膜で仕切ると発電すると考えた。

<材料と方法>

土壌と正極の境をラップまたは陽イオン交換膜で仕切り、その後、発電するかどうか調べた。

<結果>

結果、ラップで仕切った場合は発電せず、陽イオン交換膜で仕切った場合、発電した。負極側から正極側へ陽イオンが流れることで発電の回路になると考えた。酸素を酸化剤としていることから、水素イオンが負極側から流れているのではないかと考えた。



ここで、これまでの実験の結果から、発電の全体像を右の図のようにまとめた。

実験3 発電効率を上げる実験

① 最近の研究テーマのコンセプトとして“廃棄物の有効利用”の傾向があったことや、研究で、稲から分泌される有機物などを投与すると微生物の基質として使われ、発電効率がよくなることがわかってきた。そこで、発電効率を高める実験を行い、廃棄物を加

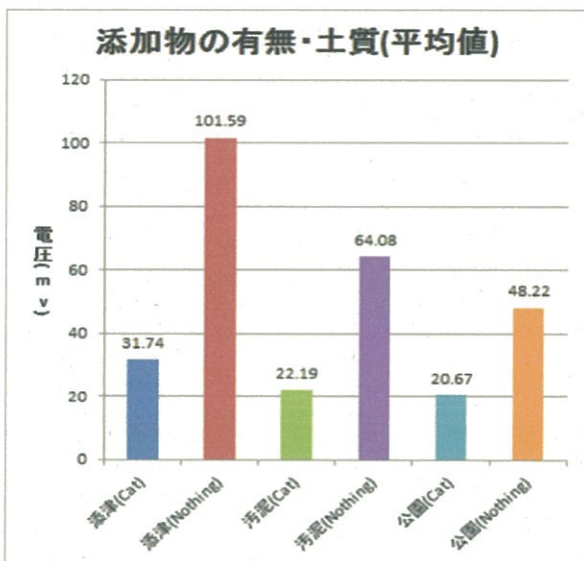
えると電圧が上昇するか、発電効率を高めるにはどうしたらいいか、また、長期的な栄養源になりうるの何かを調べた。まず、生ごみの投下の実験を行った。

<材料と方法>

ポッドに生ごみのモデル実験として、栄養素が均一で多様に含まれ、計量しやすく、ばらつきがないという理由から、キャットフードを加えて電圧を測定した。

<結果と考察>

キャットフードを入れたポットよりも、何も入れなかったポットのほうの電圧が高かった。このようになった原因として、キャットフードに含まれる油脂を餌として雑菌が増殖したために、酸化剤である酸素が奪われ正極に回らなかったことや、正極に油脂が形成され空気中からの酸素供給を妨げたことが考えられる。



② 生ごみの実験の結果から、油脂分のないものであれば電圧が上昇するのではないかと考え、古紙を加えた実験を行った。

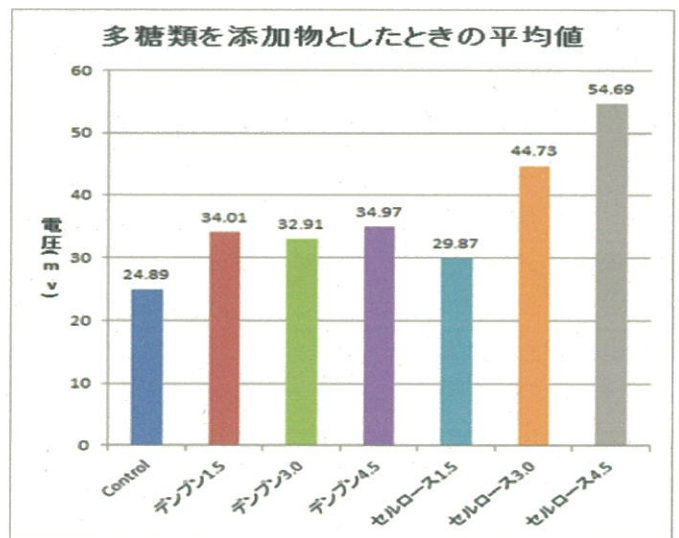
<材料と方法>

古紙のモデルとして、多糖類のセルロース(β 結合)を主成分とするろ紙を破碎処理したものと、比較のために、結合の仕方の違う多糖類であるデンプン(α 結合)をそれぞれ 1.5g 3.0g 4.5gと濃度別にして土壌に均一に加えた。

<結果>

何も入れなかったものより多糖類を加えたほうの電圧が高かった。また、デンプンには量的相関がみられなかったがセルロースにはみられた。また、日変化のグラフから、デンプンはセルロースに比べ比較早く電圧が上昇し、比較早く電圧が下降した。(ピークが早い。)このこと

から、セルロースを含んでいる紙ごみが発電の持続性を高め得ることが判明した。



3. まとめ

これまでの実験を通して、水田の中にいる光合成微生物は、光合成によって有機物と酸素を生産し、これによって発生した有機物、また、稲の根から放出された有機物を発電微生物(嫌気性細菌)が水素イオンと電子に分解する。これらの働きによって発生した水素イオンや電子と、酸素が化合して水を発生する段階で発電を行うということがわかった。

4. 将来の実用化に向けて

私たちは、水田や休耕田、水路の一部を利用することにより、農耕中心の集落全体の電力をまかなう、電力の自給自足が可能と考えている。また、廃棄物を用いた発電に於いては、紙ごみや刈った草や枯葉などを継続的に投与し、バッテリーに蓄電することで、災害時の非常電源として、また、嫌気環境下ではメタン生成菌も活動できるので、メタンガスを生成させて、災害時のエネルギー源として利用できると考えている。だが、今の段階では、実用化するために必要な発電量には程遠い。これからの研究では、電池の基本的な仕組みや有機物を投与する実験などの、発電効率を向上させるための研究を行っていきたいと考えている。

5. 参考文献一覧

- Nobuo
Kaku, Natsuki Yonezawa, Yumiko Kodama, Kazuya
Watanabe: Plant/microbe cooperation for
electricity generation in a rice paddy
field. Appl Microbiol Biotechnol (2008) 79:43-49
- 微生物が田んぼを電池に変える: WIRED
VISION 2009年9月9日付記事
[archive.wiredvision.co.jp/blog/yamaji/200909/
200909091701.html](http://archive.wiredvision.co.jp/blog/yamaji/200909/200909091701.html)
- eco 環境ビジネス最先端「田んぼが発電所に
—微生物の不思議な力」: 独立行政法人科学
技術振興機構橋本光エネルギー変換システ
ムプロジェクトテレコムフォーラム 2009年12
月付記事
[http://www.jtua.or.jp/telecomforum/PDF/091
2/200912eco.pdf](http://www.jtua.or.jp/telecomforum/PDF/0912/200912eco.pdf)

6. 謝辞

この研究を行うにあたり、多大なご指導を賜り、計測
機器等を使わせていただきました山形大学農学部生物
資源学科の加来伸夫先生に深く感謝申し上げます。