【文部科学大臣賞】

第18回 日本水大賞

福島原発事故後の茶屋沼の環境と微小生物

~微小生物による汚染水から放射性物質の除去の可能性~

福島成蹊高等学校 自然科学部

調査の背景・目的

原発事故後、先輩たちは身近な環境の変化を調査し たいと平成23年度に財団法人放射線計測協会と連携 をとり、原発事故後の生活環境中の放射線量について 調査した。調査後、先輩たちは放射線の影響を受けや すいのは、小さな生き物ではないかと考え、自分たちの 目線で考えることのできる水田の微小生物の調査をしよ うと試みる。しかし、当時、学校近くの水田の空間放射 線量が高く、作付け制限もあり、水がはられていなかっ たため調査はできなかった。そこで、学校近くの空間放 射線量が比較的高かった渡利地区にある茶屋沼(図1) の環境調査 (空間放射線量や水質) と茶屋沼の微小生 物を採集し、その種類と計数を月ごとに調べ、原発事故 後の茶屋沼の環境を継続して観察することと採集した 微小生物に異常があるかどうかを調査することを目的と し活動を開始した。平成24年8月より、茶屋沼の環境調 査と微小生物の採集を開始し、微小生物の計数につい ては平成25年5月より本格的に調査を開始した。



図1 茶屋沼の全体写真(2012/08/01)

▋調査ポイント及び主な調査結果

調査ポイントとして選んだ茶屋沼は福島市でも比較 的高い空間放射線量の値を示している渡利地区にあ り、本校から1.4 km福島第一原発からは約60km離れ

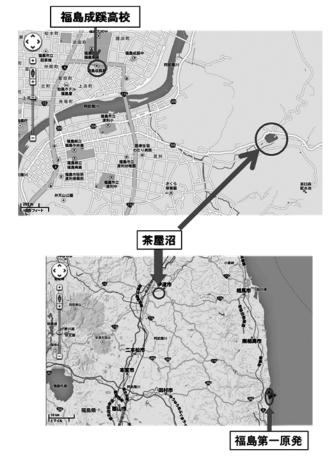


図2 茶屋沼、福島第一原発、福島成蹊高校の位置関係(Google マップ参照)

たところに位置している(図2)。茶屋沼では平成24年8 月から月一回、午前10時から11時の間に図3の3か所 で調査を行った。主な調査内容は、

①水温②pH③電気伝導度④透視度⑤空間放射線量⑥プランクトンネットを使用し、微小生物採集⑦微小生物計数値測定である。ここでは、ポイント1の①~④(図4),ポイント1~3の⑤(図5)を示す。空間放射線量については、除染後大きく空間放射線量が低下していることがわかる。しかし、原発事故前の福島県平均放射線量0.038μSv/h(平成18年9月文部科学省(財)放射線計測協会「はかるくん」による放射線測定一実習テキストーより)と比べると依然として高い値を示している。原発事故前の本校の値は、0.036μSv/h

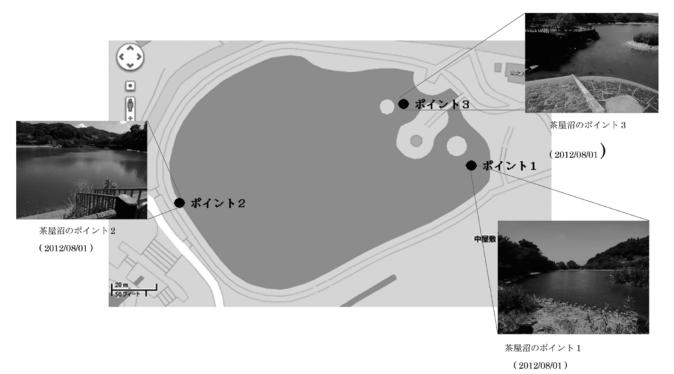


図3 茶屋沼での調査ポイント(Google マップ参照)

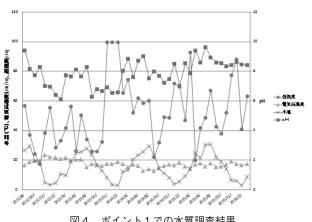


図4 ポイント1での水質調査結果

(平成18年12月12日、「はかるくん」による測定) とほぼ 福島県の平均放射線量と同じであったが、除染を行い 震災後5年経過した現在の値は0.094µSv/h (平成28 年4月22日)である。原発事故前の値には、まだ戻らな い状態にある。

採集された微小生物については、藍藻類: ミクロキス ティス、ネンジュモなど、珪藻類:ハネケイソウ、ハリケ イソウ、フナガタケイソウ、タルケイソウ、イタケイソウ など、鞭毛藻類:ケラチウム、ウチワヒゲムシなど、緑藻 類:ミカヅキモ、ユードリナ、アオミドロ、ボルボックス、 ヒトヅノクンショウモ、フタヅノクンショウモ、スタウラ ストルム、イカダモなど、動物プランクトン:カメノコウ ワムシ、ツボワムシ、ネズミワムシ、ハネウデワムシ、ケン ミジンコ、ゾウミジンコ、ミジンコなどが観察された。

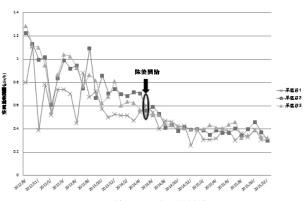


図5 茶屋沼の空間放射線量

調査から研究へ

ミカヅキモによる放射性物質除去の可能性

1. 研究の動機と背景

茶屋沼の微小生物の調査の中で、ポイント1でミカヅ キモ (Closterium moniliferum 図6)を発見した。ミカ ヅキモの文献でミカヅキモの末端空胞部分でバリウム イオンを分離固定する仕組みがあり、同じアルカリ土 類金属であるストロンチウムイオンも分離固定すると いう記述を見つけた。

そこで、採集したミカヅキモを塩化ストロンチウム水 溶液に投入すると、塩化ストロンチウム水溶液の電気 伝導度を低下させる現象を発見し、ミカヅキモを用い て将来、汚染水中の放射性Srを除去することに応用で きないかと考え、平成24年9月より研究を開始した。

2. 先行研究

塩化ストロンチウム水溶液の電気伝導度を低下させた溶液中のミカヅキモの元素分析を先輩たちが福島大学に依頼し、高分解能走査型電子顕微鏡観察を行った。

【観察サンプル】

塩化ストロンチウム水溶液 (0.01mol/L) に浸したミカヅキモ (*Closterium moniliferum*)

【実験方法】

- ①メンブランフィルターで観察サンプルをろ過し純水で数回洗う。
- ②①のフィルターをシャーレに入れ、乾燥機 (40~50℃) で十分に乾燥させる。
- ③白金でコーティングし、電子顕微鏡観察を実施。

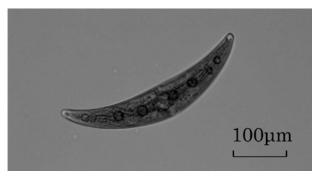


図6 採集されたミカヅキモ (Closeterium moniliferum)



図7 ミカヅキモ (Closterium monliferum)の電子顕微鏡写真

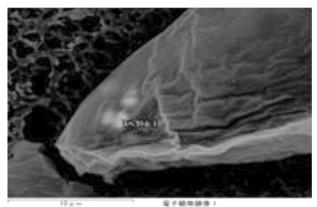


図8 図7 の拡大写真

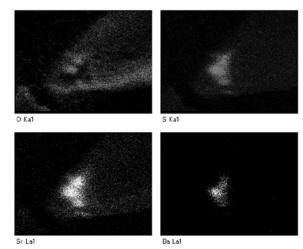


図9 図8の元素分析による各マッピングデータ

【実験結果】

図7にミカヅキモ全体の電子顕微鏡写真を、図8に図7のミカヅキモの末端空胞部分を拡大した写真を示す。図8より末端空胞の中央に結晶が観察され、図9のマッピングデータより、Ba、Sr、S、Oは結晶部に集中しているのが確認できた。ミカヅキモの表面を十分洗浄して観察しているので、BaSO4、SrSO4となって細胞内に固定している可能性が高まった。また、ミカヅキモの細胞内にClが取り込まれていないことも明らかとなり、このことから電気伝導度が低下した原因がSr²⁺の吸収によることだと結論づけられた。

3. 本研究

3.1 ミカヅキモ(*Closterium moniliferum*)のストロンチウムの吸収量測定

【実験方法】

①25mLのコンテナに塩化ストロンチウム水溶液 (0.005mol/L) を18mLと純水2mLを混合し、ブランクとした。

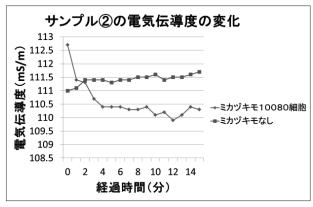


図10 ミカヅキモ(*Closterium moniliferum*)を投入後の塩化ストロンチウム水溶液の電気伝導度の変化

②25mLのコンテナに塩化ストロンチウム水溶液 (0.005mol/L) を18mLとミカヅキモを含む培養 液2mLを混合し、サンプルを準備した。

【実験結果】

図10のように時間が経過するにつれて、電気伝導度が低下する現象が見られた。

塩化ストロンチウム水溶液の濃度に対して電気伝導度を測定し、検量線(図11)を作成した。作成した検量線を元に、ブランクとサンプルの電気伝導度の値より、ストロンチウム濃度を求め、そこからミカヅキモが吸収したストロンチウム量を求め、表1にまとめた。

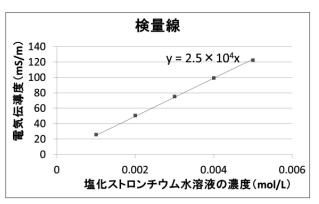


図11 塩化ストロンチウム水溶液の濃度と電気伝導度の関係

表1 ストロンチウムの吸収量

	サンプル① 7670細胞	サンプル② 10080細胞	サンプル③ 10920細胞	サンプル④ 12670細胞	サンプル⑤ 14560細 胞
Srの吸収量 (mg)	0.28	0.11	0.89	0.46	0.68
1細胞あたり の Sr の 吸 収 量 (µg)	0.04	0.01	0.08	0.04	0.05

細胞数が多いほど全体の吸収量は多くなると思ったが、サンプル⑤よりも数の少ないサンプル③の方が多く吸収していることが分かる。また、1細胞あたりの吸収量はどれも同じくらい吸収すると予想したが、ばらばらの値になった。サンプル②で一番電気伝導度が低下したが、吸収量は一番少なかった。この原因として考えられるのは、ミカヅキモの状態(末端空胞の部分が明確に観察されない状態では吸収しにくい)に問題があると思われる。サンプル③の一番ストロンチウムの吸収量が多いのはその投入した細胞数が適していた可能性もあるので今後、再実験し確かめたい。そしてサンプル数を増やし、再現性を高めていきたい。

今回の結果を用いて、汚染水中に含まれるストロン チウムをすべて吸収するにはどれくらいのミカヅキモ が必要になるかを予想することにした。東京電力の汚 染水処理設備のストロンチウムの値が0.0189ppm (平成27年7月13日) だったので、すべて吸収するには、約500万細胞必要であることが分かり、時間的には、約10分で吸収できることが予想された。

3.2 ミカヅキモ *(Closterium lunula)* の顆粒の顕微鏡観

ミカヅキモ(Closterium moniliferum)の約3倍の大きさで淡水で1番大きいミカヅキモ(Closterium lunula 図12)の方が細胞が大きいため、より効率よく吸収するのではと考え、最初に光学顕微鏡での観察を行った。

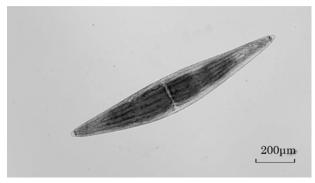


図12 ミカヅキモ (Closterium lunula)

【観察手順】

- ①塩化ストロンチウム水溶液 (0.005mol/L) にミカップキモ (*Closterium lunula*) を1日浸す。
- ②光学顕微鏡で観察を行う。
- ③ヨウ素液を垂らす。

【観察結果】

観察したところ白い顆粒のようなものが多く見られた。これはミカヅキモのピレノイド(図13)の成長過程のものか、それともストロンチウムイオンを吸収してできたものなのかを調べるためにヨウ素液で染めることにした。ミカヅキモにあるピレノイドという部分には周囲にデンプンができるのでヨウ素液を垂らすと青紫色に染まる。このことを利用して観察を行った

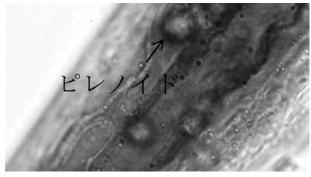


図13 ミカヅキモ (Closterium lunula)のピレノイド

図14より、ピレノイドが染まっているのが分かるが、 〇で囲まれた部分の白い顆粒のようなものは染まっていないことが分かる。したがって、この顆粒はピレノイドの成長過程のものではなくストロンチウムイオンを吸収してできたものだと予想される。

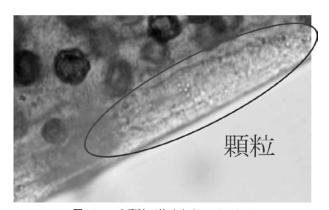


図14 ヨウ素液で染めたClosterium lunula

3.3 ミカヅキモ(*Closterium lunula*)の走査型電子顕 微鏡での観察

3.2で観察された顆粒のようなものはストロンチウムを吸収して出来ているのではないかと考え、塩化ストロンチウム水溶液に浸したミカヅキモの走査型電子顕微鏡観察を行った。

図15のように測定ポイントを決めた。ポイント001は 白い結晶部分に、末端空砲から離れたところにポイント002、003を置いた。表2の元素分析の結果を見る と、ポイント001からはBaと共にSrが検出されており、 ミカヅキモ(*Closterium moniliferum*)同様、Baが検 出される部分にSrが吸収している可能性が高まった。

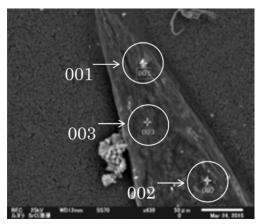


図15 塩化ストロンチウム水溶液投入後のミカヅキモ(Closterium lunula)

表 2 元素分析結果

	0	S	Sr	Ва
001	25.77	2.97	1.31	13.22
002	32.13	1.02	2.63	_
003	25.57	0.33	_	_

また、末端空砲から離れたポイント002から多くのSrが検出された。この結果より、末端空胞以外でも吸収していることが明らかとなった。また、この白い結晶のような部分が細胞全体に分布していることから、Closterium lunulaは細胞全体でストロンチウムを吸収している可能性が高まった。

Closterium moniliferumは末端空胞にストロンチウムを吸収するのに対して、末端空胞以外では吸収が見られなかったことから、Closterium moniliferumよりもClosterium lunulaの方がより多くのストロンチウムを吸収することができるのではないかと期待される。

アミミドロによる放射性物質除去の可能性

1. 研究の動機と背景

ミカヅキモが放射性ストロンチウムを吸収する可能性が高まり、ミカヅキモと同様緑藻類に着目し、ミカヅキモ以外の微小生物についても調査を開始したところ、筑波大学の自岩善博先生の論文の中にサヤミドロなどの藻類が放射性物質であるストロンチウムやセシウムを吸収するという論文を見つけた。そこで、茶屋沼で採集されたアオミドロ(図16)、茶屋沼近くの公園内の池で採集されたアミミドロ(図17)を用いて研究を行うことにした。しかし、研究途中で、アオミドロの採集が困難となったため、アミミドロのみを用いて研究を継続した。

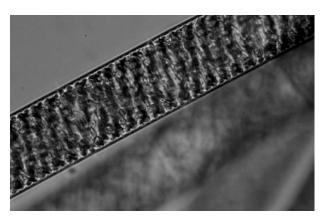


図16 茶屋沼で採集したアオミドロ

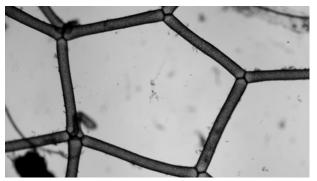


図17 茶屋沼で採集したアミミドロ

2. 研究内容と結果

2.1 アミミドロによる塩化ストロンチウム水溶液中の電気伝導度変化

0.0050mol/Lの塩化ストロンチウム水溶液を用意し、アミミドロを投入したものと投入していないものをつくり、1分間隔で15分間、電気伝導度を測定した。結果は図18のようなグラフとなり、アミミドロを投入したものの電気伝導度が低下した。このことから、アミミドロが水溶液中のストロンチウムイオンか塩化物イオンのどちらかのイオンを吸収していることが明らかとなった。

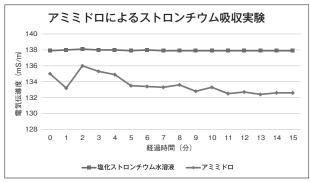


図18 アミミドロによる塩化ストロンチウム水溶液中の電気伝導度変化

2.2 モール法による塩化物イオンの定量

2.1の実験で使用した塩化ストロンチウム水溶液に 硝酸銀水溶液で滴定し、塩化ストロンチウム水溶液に 残っている塩化物イオンを定量する。結果は、使用した 塩化ストロンチウム水溶液に残った塩化物イオンの量 はほとんど変化が見られなかった。つまり、アミミドロ がストロンチウムを吸収している可能性が高まった。

2.3 アミドロの栄養環境を変化させての塩化ストロンチウム水溶液中の電気伝導度変化

純水に1,2,3日間放置したアミミドロを用いて2.1と 同様の実験を行った。図19,図20,図21のように、投入 した日数を追うごとに電気伝導度の変化が大きくなっ た。このことから、栄養が少ない環境下で育てたアミミ ドロの方が電気伝導度の変化が大きくなることが分 かった。

グラフでも分かるように、アミミドロを投入した塩化 ストロンチウム水溶液では電気伝導度を測定し始めた 際に一度電気伝導度が上昇している。その原因として、 アミミドロが細胞内の代謝物を出していることが考え られる。この原因は実験を重ね、明らかにしていきた い。

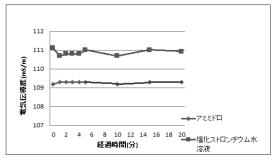


図19 電気伝導度(純水投入1日間)

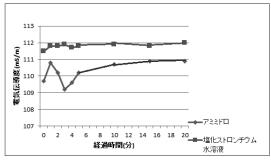


図20 電気伝導度(純水投入2日間)

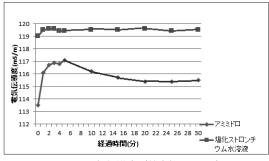


図21 電気伝導度(純水投入3日間)

2.4 炎色反応

塩化ストロンチウム水溶液に投入したアミミドロと投入していないアミミドロを純水でよく洗った後、火の中に入れて炎色反応を観察した。投入していないアミミドロはなにも変化がみられなかった。しかし、投入したものは紅色の炎色反応が見られた。紅色の炎色反応はストロンチウム特有のものである。

どちらのアミミドロも純水で十分洗浄していたため、 アミミドロの表面に吸着したものではなく、ストロンチウムを細胞内に吸収していると考える。

2.5 塩化ストロンチウム水溶液の電気伝導度を低下させた溶液中のアミミドロの元素分析

2.1~2.4の実験の結果を踏まえ、福島大学に依頼し元素分析を行った。すると、アミミドロの細胞内から白い顆粒 (図22) が観察された。図22の中央の○の部分にハッキリ丸い結晶が2つ見られ、拡大したものが図23である。図23のマッピングデータを図24に示す。酸素、リン、ストロンチウム、マグネシウムが分布している

ことが分かる。このことから、この白い部分はリン酸ストロンチウム、リン酸マグネシウムの結晶である可能性が高まった。また、マグネシウムが吸収される部分にストロンチウムを吸収する可能性が高まった。

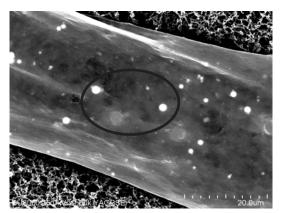


図22 アミミドロ (Hydrodiction Spirogyra) の電子顕微鏡写真

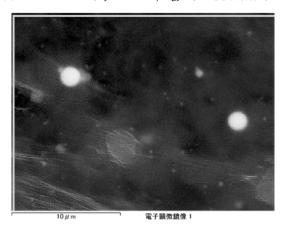


図23 図22の○の部分の拡大写真

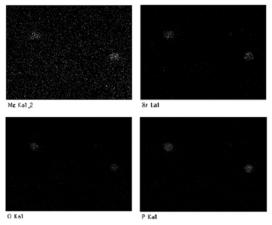


図24 図23の元素分析による各元素のマッピングデータ

今後の計画

平成26年4月から茶屋沼の除染も実施され、放射線量も大きく低下し、問題はないと言われるが、現在も本校のモニタリングポストの値と比較すると高い状態が続いている。私たちとしては、この問題が風化されないよう継続して調査し、地域住民に安心を与える活動に

なるよう取り組みたいと考えている。また、現在も福島 第一原発では大量の汚染水が発生しているので、その 処理に利用できる微小生物の調査することは重要であ る。処理した汚染水の一部を海に放出するという計画 があるが、トリチウム等の放射性物質が残ったままで ある。漁業関係者の不安を解消するためにも汚染水の 問題を解決することは大切である。

また、茶屋沼で発見されたミカヅキモなどの微小生物で汚染水中の放射性ストロンチウムを効率よく回収することができれば、汚染水を処理する選択肢を増やすことができる。福島で採集した微小生物なので生態系等に及ぼす影響も少ないと考える。現在までに、ミカヅキモ、アミドロ以外に、アオミドロ(Spirogyra)がストロンチウムを細胞内に吸収する可能性があること、茶屋沼周辺の水田の土の中から、シャジクモ(Chara braunii)を発見し、シャジクモの表面に塩化ストロンチウム水溶液中のストロンチウムを吸着する作用があることを確認した。

福島以外の地域では、原発の再稼働も実施され、福島における原発事故の問題を風化させないためにも調査・研究を継続することは意味があると考える。

謝辞

私たちの研究は、震災後、福島のために何かできないかと先輩たちが今の研究の基礎を作り、現在までの部員たちが代々その意思を引き継ぎ、一歩一歩発展させてきました。また、福島大学の難波謙二先生、島根大学の大谷修司先生には、研究当初から様々な助言をいただき、大変感謝致しております。国立研究開発法人科学技術振興機構における「中高生の科学部活動振興プログラム」や「中高生の科学研究実践活動推進プログラム」等の支援がなければこのような研究を進めていくことは難しかったと考えています。本当に今まで支えて下さったすべての人に心から感謝致します。

福島成蹊高等学校 自然科学部

菅野 諒 西坂 観月

二宮 晴香 清水 遥翔

池上 実那 伊藤 希

佐藤 亜美 深田 遥奈

坂下 風海