

様式 8

: 「研究者・研究機関」部門

## 河川基金助成事業

「阿武隈川の微細藻類利用の基礎的な研究～生徒の目線で考える河川調査と微細藻類の有効利用～」

助成番号：2018-5411-002

学校法人 福島成蹊学園 福島成蹊高等学校 自然科学部  
遠藤瑞季（3年） 根本佳祐（2年） 加納清矢（3年）  
顧問 佐藤 広大

平成 30 年度

：「研究者・研究機関」部門

## 1. はじめに

8年前の原発事故をきっかけに、自然科学部の先輩たちは学校近くの茶屋沼（福島市渡利地区）にて微小生物の調査を開始した。その中で、ミカヅキモなどの藻類を自分たちで採集、培養し、その有効活用を目指して研究活動に励んできた。本研究では、調査の範囲を河川に広げ、学校近くの阿武隈川にて藻類の調査を実施し、採集した藻類の培養、有効活用について報告する。

## 2. 阿武隈川の水質調査

### 2.1 調査地点及び調査方法

調査を行った阿武隈川は、福島県を北東から流れる長さ約240 km、流域面積1200 km<sup>2</sup>の河川である。また、調査地点は阿武隈川の福島市黒岩付近（図1, 2, 3, 4）で行った。

調査項目は、水温、電気伝導度、pH、透視度、溶存酸素量、採集された微小生物については、同定し、計数を行った。微小生物採集では、プランクトンネット（41 $\mu$ ）を用いて50Lの河川水をバケツで汲んで濾した。計数では、界線入計数板を用いて試料水100 $\mu$ L中に存在する微小生物の数を調べた。

使用した実験器具：ポータブルpH/導電率計（メトラードレド セブンゴーデュオ SG23-EL）、サイホン式透視度計（宮本理研工業3131-64）、溶存酸素計（株式会社FUSO D0-5519E）



図1 春の採集の様子



図2 夏の採集の様子



図3 秋の採集の様子



図4 冬の採集の様子

2.2 調査結果(2017年12月～2019年4月)

表1 季節ごとの採集された主な微小生物

季節	採集された主な微小生物
春(4月～6月)	クンショウモ ( <i>Pediastrum</i> )、アウラコセイラ ( <i>Aulacoseira</i> )、ホシガタケイソウ ( <i>Asterionella</i> )、サヤミドロ ( <i>Oedogonium</i> )、シネドラウルナ ( <i>Synedra</i> )、ファクス ( <i>Phacus</i> )
夏(7月～8月)	イタケイソウ ( <i>Diatoma</i> )、ミドリムシ ( <i>Euglena</i> )、ヌサガタケイソウ ( <i>Tabellaria</i> )、イカダモ ( <i>Scenedesmus</i> )、クチビルケイソウ ( <i>Cymbella</i> )、コエラストルム ( <i>Coelastrum</i> )、セネデスムス ( <i>Scenedesmus</i> )、クンショウモ ( <i>Pediastrum</i> )、ネンジュモ ( <i>Anabaena</i> )、サヤミドロ ( <i>Oedogonium</i> )、ヒメマルケイソウ ( <i>Cyclotella</i> )、ミカヅキモ ( <i>Closterium</i> )
秋(9月～11月)	クンショウモ ( <i>Pediastrum</i> )、アウラコセイラ ( <i>Aulacoseira</i> )、ヒメマルケイソウ ( <i>Cyclotella</i> )、ネンジュモ ( <i>Anabaena</i> )、サヤミドロ ( <i>Oedogonium</i> )
冬(12月～3月)	クチビルケイソウ ( <i>Cymbella</i> )、スタウラストルム ( <i>Staurastrum</i> )、コエラストルム ( <i>Coelastrum</i> )、タルケイソウ ( <i>Melosira</i> )、ゾウリムシ ( <i>Paramecium</i> )

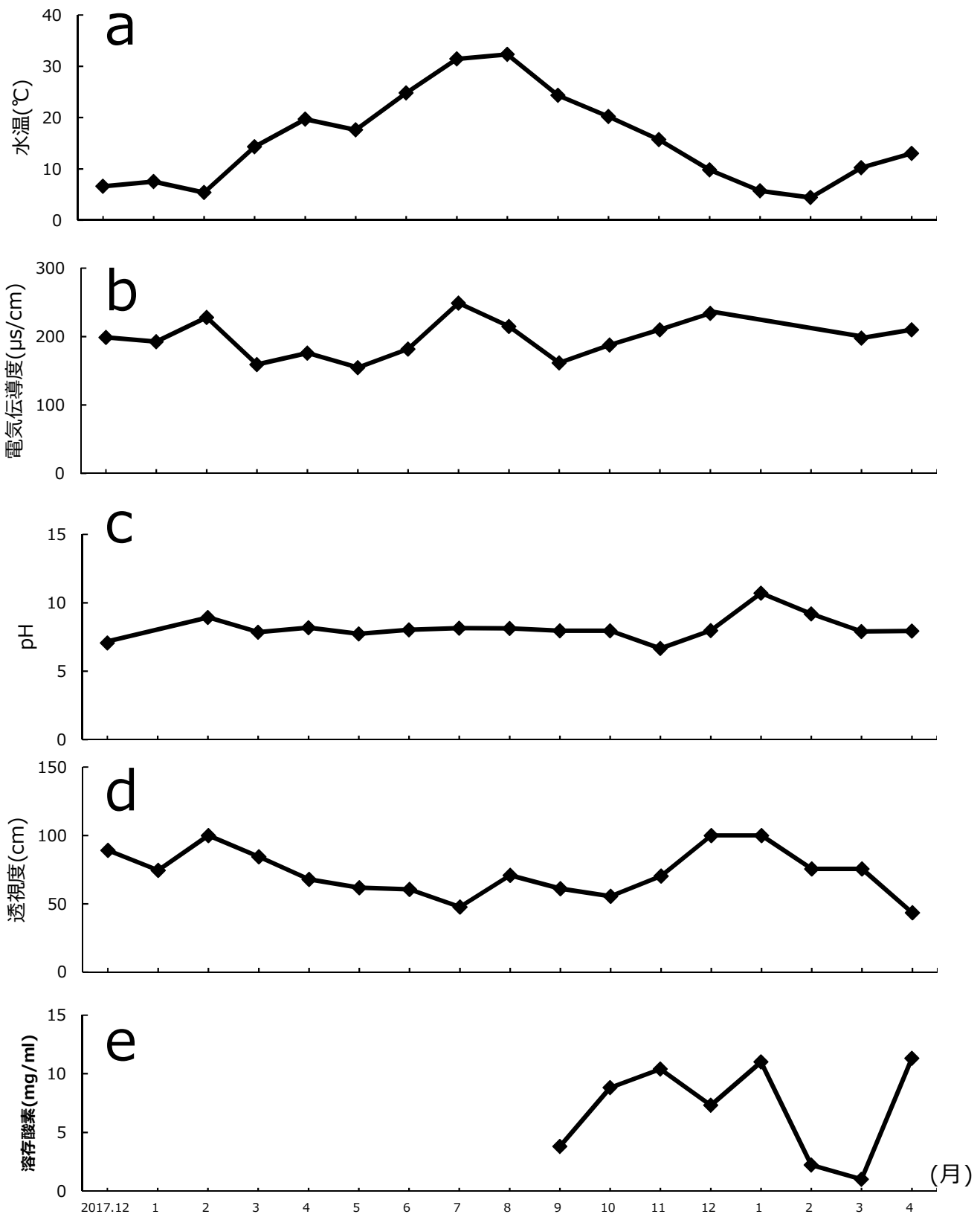


図5 2017年12月から2019年4月までの黒岩の水質変化

a:水温、b:電気伝導度、c:pH、d:透視度、e:溶存酸素

※電気伝導度の2019/1、2019/2、pHの2018/1は機器の故障により、測定不可

溶存酸素は2018/9から測定開始

表 1 より、季節ごとに採集される微小生物に違いがあった。図 5 より、季節による基本的な水質変化の様子が観察できた。

### 2.3 考察

微小生物の調査については、計数測定も実施したが、ばらつきが大きく今後さらに測定回数を増やして実施する必要がある。また、珪藻については、同定も難しかったため、珪藻の同定を正確にできるよう珪藻の特徴についてさらに学習を重ねたい。採集した微小生物の 1 年間の計数の特徴としては、夏に主に緑藻類が増え、冬にかけて珪藻類が増えていった。今後も調査を継続し、阿武隈川の微小生物の出現の変化を明らかにしたい。

## 3. 藻類を活用した Sr<sup>2+</sup>の吸収について

### 3.1 研究の背景・動機

8 年前の 3 月 11 日に起きた東日本大震災により、福島第一原子力発電所の事故が発生した。この事故で放射性ストロンチウム等を含む人体に悪影響を及ぼす恐れのある放射性物質が拡散された。これをきっかけに先輩方が、学校近くの茶屋沼で微小生物調査を行っていたところ、ミカヅキモ (*Closterium moniliferum*, 図 6) を発見した。論文<sup>1)</sup>の中に、ミカヅキモの末端空胞部分に Ba<sup>2+</sup>や同ジアルカリ土類金属である Sr<sup>2+</sup>を分離固定する仕組みが記述されていた。また、島根大学の 大谷修司先生にいただいた、ミカヅキモの種の中で最も大きな細胞を持つミカヅキモ (*Closterium lunula*, 図 7, 8) も Sr<sup>2+</sup>を吸収するのではないかと考えた。そこで、*C. moniliferum* と *C. lunula* を利用し、福島第一原子力発電所に大量に存在する汚染水や未だ除染されていないため池の汚泥の除染活動に活用することで福島の復興に少しでも貢献したいと思い、先輩方から引き継ぎ研究を進めている。

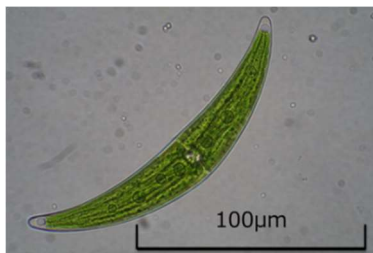


図 6 *C. moniliferum*



図 7 *C. lunula*

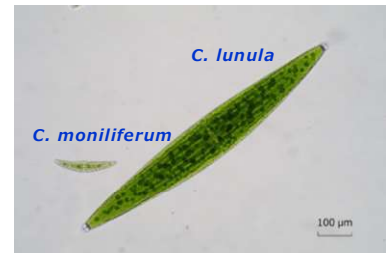


図 8 *C. moniliferum* と  
*C. lunula*

### 3.2 研究の目的

本研究ではミカヅキモがより効率よく Sr<sup>2+</sup>を吸収する条件を検討したいと考えた。まず初めに、吸光度計 (ウシオ電機株式会社 PiCOSCOPE® (ピコスコープ)・PAS-110) を用いて自ら検量線を作成した。作成した検量線を基に、ミカヅキモ (*C. moniliferum*, *C. lunula*) を、植物インキュベーター内 (20°C ± 3°C) において赤色 (640 nm)、白色、青色 (450 nm)、緑色 (525 nm) の 4 色の LED の照射距離を変えて照射し、それぞれの Sr<sup>2+</sup>吸収量の定量を吸光度計 (ピコスコープ) で行い、どの波長の影響で最も Sr<sup>2+</sup>を吸収するのか明らかにした。また、Sr<sup>2+</sup>吸収量の定量では、SrCl<sub>2</sub>aq のみをコントロール、SrCl<sub>2</sub>aq にミカヅキモを投入したものをサンプルとし、コントロール中の Sr<sup>2+</sup>の濃度からサンプル中の Sr<sup>2+</sup>の濃度を差し引いて、ミカヅキモが吸収した Sr<sup>2+</sup>量を間接的に定量した。さらに、ミカヅキモが細胞内に Sr<sup>2+</sup>をどのくらい吸収しているのか確認するため原子吸光度計 (Shimadzu AA-6300 フェーネス) を用いて Sr<sup>2+</sup>の吸収量を直接的に定量した。実用化に向け、低濃度の SrCl<sub>2</sub>aq (0.10 mmol/L) 中からもミカヅキモが Sr<sup>2+</sup>を吸収するのか検証した。

### 3.3 先行研究 高分解能走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察

末端空胞部分に Sr<sup>2+</sup>を吸収するのか確かめるため、ミカヅキモ (*C. moniliferum*,

*C. lunula*)をそれぞれ SrCl<sub>2</sub>aq(10 mmol/L)に 24 時間投入し福島大学に依頼し、高分解能走査型電子顕微鏡(SEM)で観察を行った(平成 26 年 8 月~28 年 3 月)。

<実験・観察方法>

- ① *C. moniliferum*, *C. lunula* をそれぞれ SrCl<sub>2</sub>aq(10 mmol/L)に 24 時間投入した。
- ② メンブランフィルターで *C. moniliferum*, *C. lunula* をそれぞれろ過し、純水で数回洗った。
- ③ ②のフィルターを時計皿にのせ、シャーレの中に入れ乾燥機(40~50 °C)で十分乾燥させた。
- ④ 白金でコーティングし、高分解能走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した。

<結果・考察>

*C. moniliferum*, *C. lunula* はどちらも末端空胞部分から Sr が検出され、*C. lunula* の場合は側面からも Sr が検出された。観察から *C. moniliferum* は末端空胞部分で、*C. lunula* は細胞全体で Sr<sup>2+</sup>を吸収している可能性が高まった。

### 3.4 本研究

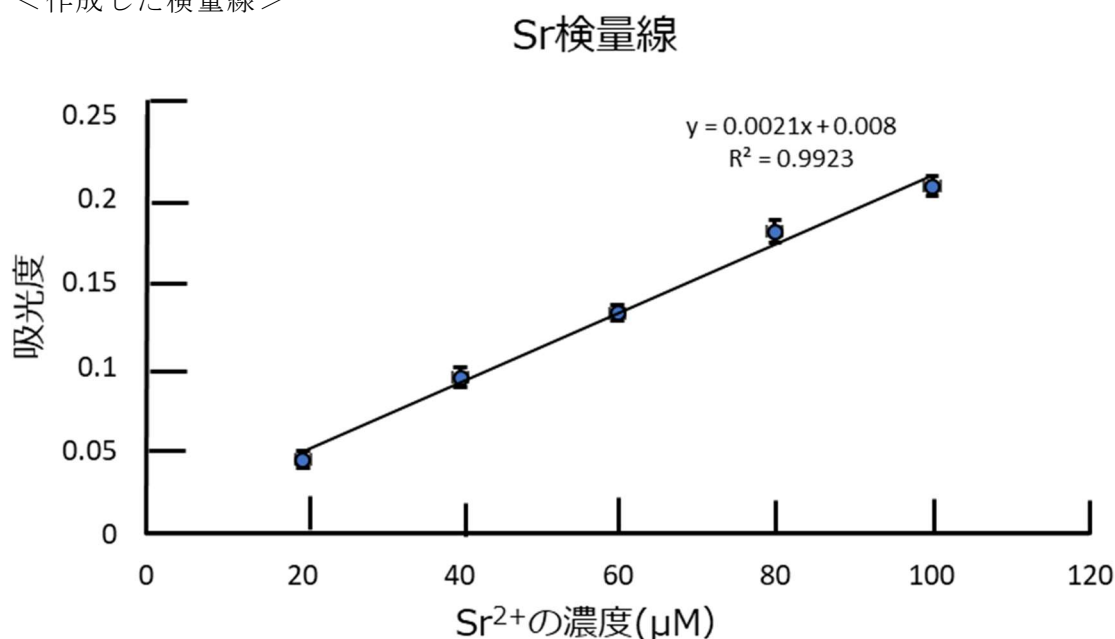
#### 3.4.1 吸光度計(ピコスコープ)を用いた検量線作成

本研究では、先行研究同様に吸光度計(ピコスコープ)を用いた Sr<sup>2+</sup>吸収量の定量を行った。吸収量の定量をするにあたり、PC(3,3'-Bis[N,N-bis(carboxymethyl)aminomethyl]-o-cresolphthalein)を指示薬としたキレート滴定の原理を用いて、縦軸に吸光度、横軸に Sr<sup>2+</sup>の濃度を表す検量線(図 9)を作成した。<sup>2)</sup>

<作成方法>

- ① SrCl<sub>2</sub>aq (10 mmol/L)を作成し、そこから 50 mL のメスフラスコに 1.0 mL 量り取りメスアップし、SrCl<sub>2</sub>aq (0.20 mmol/L)を作成した。
- ② 10 mL のメスフラスコを 6 つ用意し、PC 指示薬 1.0 mL、濃アンモニア水 2.0 mL の順に投入した。
- ③ ②のメスフラスコのうち 1 つをコントロールとし、残りの 5 つそれぞれに SrCl<sub>2</sub>aq (0.20 mmol/L)を 1.0 mL, 2.0 mL, 3.0 mL, 4.0 mL, 5.0 mL と加え、純水でメスアップした。
- ④ ③で作製した 6 つの溶液の吸光度を測定した。

<作成した検量線>



## 図9 作成した検量線

### 3.4.2 ミカヅキモ (*C. moniliferum*, *C. lunula*) を用いた LED の波長の違いによる Sr<sup>2+</sup> 吸収量の比較

作成した検量線(図9)を基に、ミカヅキモ (*C. moniliferum*, *C. lunula*) をそれぞれ SrCl<sub>2</sub>aq (10 mmol/L) に投入し、吸光度計(ピコスコープ)を用いた Sr<sup>2+</sup> 吸収量の定量を行った。ミカヅキモはクローン培養を行ったミカヅキモの中で、特に培養速度の速かった細胞を使用した。

<本研究の実験サンプル>

コントロール: SrCl<sub>2</sub>aq (10 mmol/L) 1.7 mL、純水 0.30 mL を混合

ミカヅキモあり: SrCl<sub>2</sub>aq (10 mmol/L) 1.7 mL

ミカヅキモ (*C. moniliferum*) 約 2000 細胞を含む培養液 0.30 mL を混合

ミカヅキモ (*C. lunula*) 約 200 細胞を含む培養液 0.30 mL を混合

<先行研究の実験サンプル>

コントロール: SrCl<sub>2</sub>aq (10 mmol/L) 18 mL、純水 2.0 mL を混合

ミカヅキモあり: SrCl<sub>2</sub>aq (10 mmol/L) 18 mL

ミカヅキモ (*C. moniliferum*) 約 20000 細胞を含む培養液 2.0 mL を混合

ミカヅキモ (*C. lunula*) 約 2000 細胞を含む培養液 2.0 mL を混合

先行研究として先輩たちはキレート滴定を用いて Sr 吸収量の定量を行った。本研究では吸光度計を用いたことで、以前と比較し *C. moniliferum* を約 20000 細胞から約 2000 細胞、*C. lunula* を約 2000 細胞から約 200 細胞と 1/10 にミクロスケール化したため、サンプル数を多くこなし、信憑性を高めることができた。

<実験方法>

- ① サンプルをよく攪拌しパスツールピペットで溶液を取り、シリンジの先にフィルター(ADVANTEC, ディスポーザブルメンブレンフィルターユニット)を付けたものに入れてろ過した。
- ② ろ液を 1.5 mL 量り取り、濃アンモニア水 0.30 mL と PC 指示薬 0.15 mL 入れよく攪拌した。
- ③ ②の溶液から 0.20 mL 量り取り、そこに純水 0.60 mL を入れ攪拌した。
- ④ ③の溶液の吸光度計(ピコスコープ)を用いて測定した。
- ⑤ ④で出た値を検量線の式に代入し吸収量を求めた。

<実験条件>

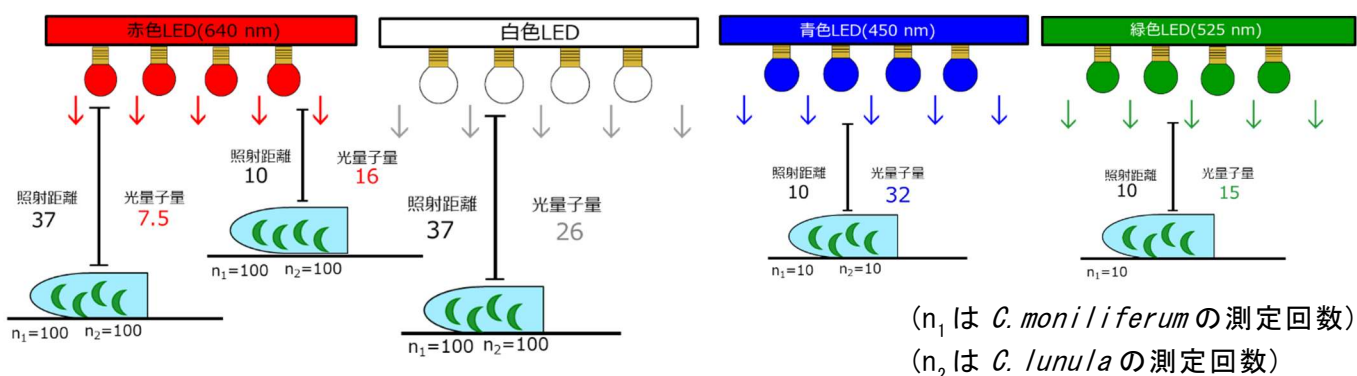


図10 照射したLEDの色と照射距離(cm)と光量子量(μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

先輩たちは SrCl<sub>2</sub>aq に投入したミカヅキモに白色 LED を照射すると細胞状態が悪化していくが、赤色 LED を照射することでミカヅキモを SrCl<sub>2</sub>aq に投入しても細胞状態が悪化しにくいという現象を発見した。そこで、私たちは *C. moniliferum*、*C. lunula* それぞれに赤色 LED、白色 LED、青色 LED、緑色 LED (*C. moniliferum* のみ緑色照射) を照射し定量を行った。投入後の経過時間 24 時間、48 時間、72 時間で Sr<sup>2+</sup> 吸収量の定量を行った。さらに LED

を照射する距離も検討した(図 10)。

<結果・考察>

## *C.lunula*

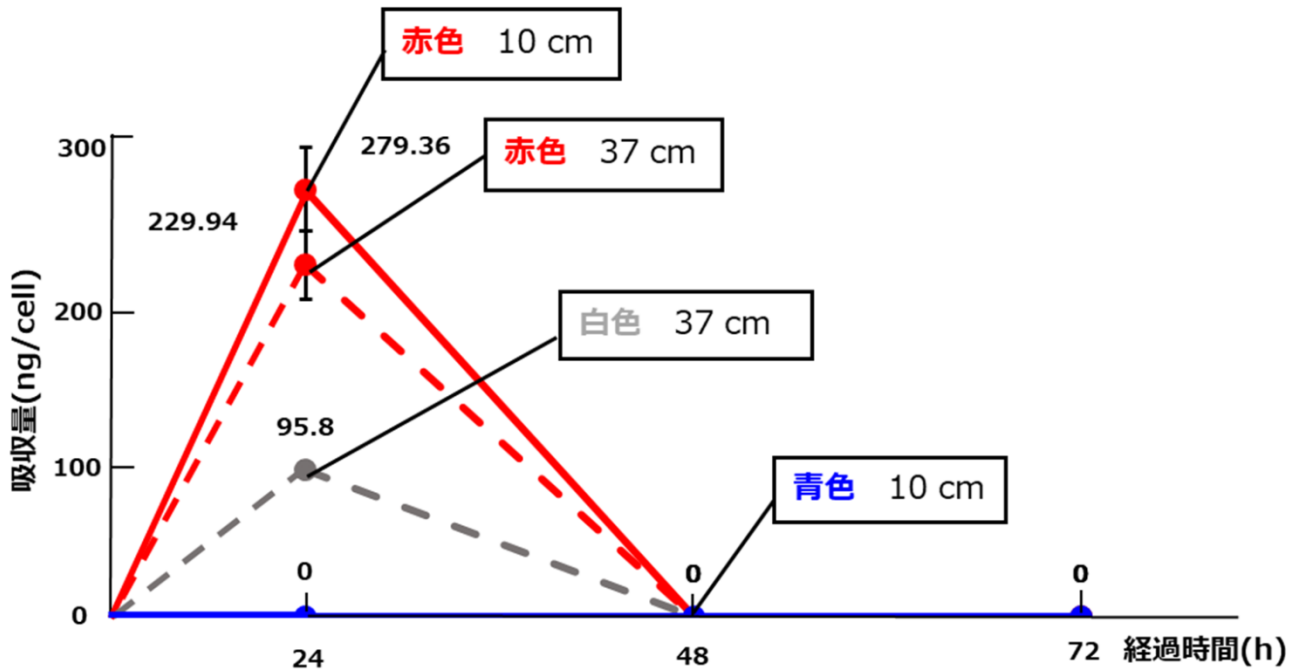


図 11 *C. lunula* の Sr<sup>2+</sup> 吸収量

## *C.moniliferum*

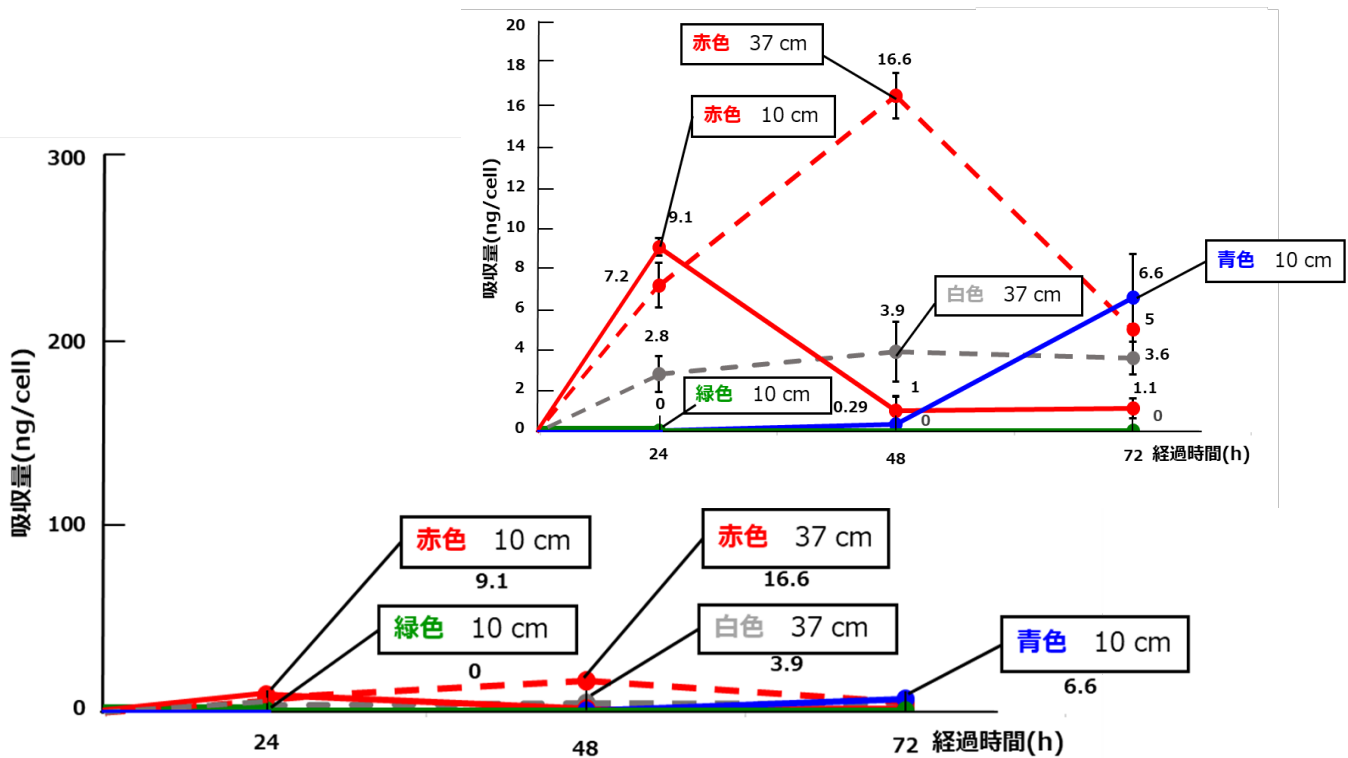


図 12 *C. moniliferum* の Sr<sup>2+</sup> 吸収量



*C. lunula*, *C. moniliferum* の吸収量を同じスケールのグラフで比較したところ、赤色と白色においては *C. moniliferum* に比べ *C. lunula* の方が吸収量が多いことが分かった(図 11, 12)。また、*C. lunula* は赤色の 10 cm が 24 時間で吸収量が  $279 \pm 27 \text{ ng/cell}$  と最大となり(図 11)、*C. moniliferum* では、赤色の 37 cm が 48 時間で吸収量が  $16 \pm 1.1 \text{ ng/cell}$  と最大となった。(図 12)。また、*C. moniliferum* では青色と緑色、*C. lunula* では青色でほとんど吸収量は見られなかった(図 11, 12)。しかし、*C. moniliferum* の青色の 10 cm は 72 時間以降に吸収量が最大となる可能性が高まった(図 12)。

考察として、多くの  $\text{Sr}^{2+}$  吸収には赤色の波長が関係し、さらに、同じ波長でも照射距離によって吸収量に違いが見られた。このことから、光量子量が影響していると考える。また、1 細胞あたりで  $\text{Sr}^{2+}$  吸収量を比較した際、*C. moniliferum* よりも *C. lunula* の方が  $\text{Sr}^{2+}$  吸収量が多いのは、元素分析の結果より *C. lunula* が細胞全体で吸収を行っているからだと考えられる。

### 3.4.3 Shimadzu AA-6300 ファーネス原子吸光光度計<sup>3)</sup>を用いた Sr 吸収量の定量

実際に、ミカヅキモの細胞内にどのくらい Sr を吸収しているかを直接的に定量するため、名古屋市立大学の櫻井宣彦先生に依頼し、Shimadzu AA-6300 ファーネス原子吸光光度計(グラファイトチューブ: プラネットフォーム型チューブ)を用いた Sr 吸収量の定量を行った。今回は、ミカヅキモ(*C. moniliferum*, *C. lunula*)を用いて、(2)の実験を基に、最も多く  $\text{Sr}^{2+}$  吸収を行っていた条件で、 $\text{SrCl}_2\text{aq}$  (10 mmol/L) に投入した(図 13, 14)。また、低濃度 (0.10 mmol/L) でも  $\text{Sr}^{2+}$  を吸収するのか検証した。

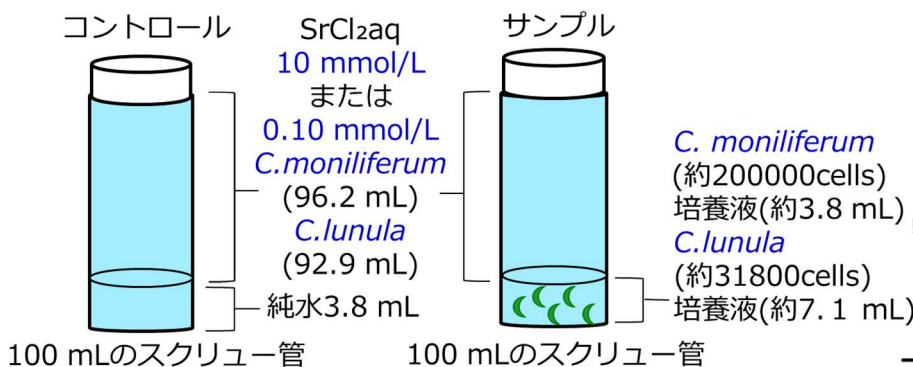


図 13 実験に使用したコントロールとサンプル

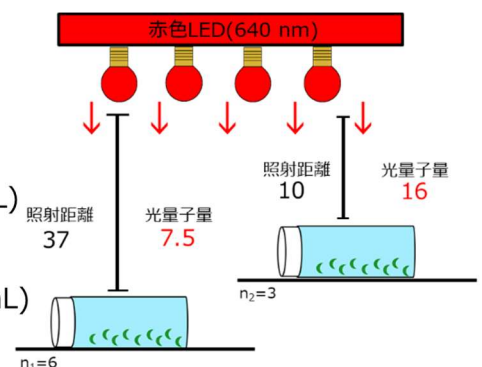


図 14 実験条件

#### < 試料液の作製方法・手順 >

- ①  $\text{SrCl}_2\text{aq}$  に投入後の *C. moniliferum*, *C. lunula* をメンブランフィルターでろ過した(図 15)。
- ② ろ過した *C. moniliferum*, *C. lunula* を電気炉内で灰化した(図 16)。
- ③ 資料<sup>4)</sup>の分析センターの方法を参考に、測定用の試料液を作製した(図 17)。
- ④ 名古屋市立大学の櫻井宣彦先生に依頼し、Shimadzu AA-6300 ファーネス原子吸光光度計(グラファイトチューブ: プラネットフォーム型チューブ)を用いて Sr 吸収量の定量を行った(図 18)。



図 15 ろ過の様子

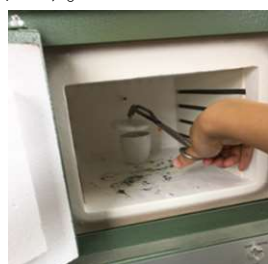


図 16 灰化の様子

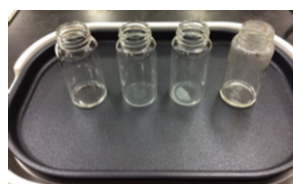


図 17 試料液作製の様子



図 18 Shimadzu AA-6300  
ファーネス原子吸光光度計

<結果・考察>

表 2 吸光度計（ピコスコープ）と原子吸光光度計を用いて定量した *C. moniliferum*, *C. lunula* 1細胞当たりの Sr 吸収量の比較

細胞を投入した SrCl <sub>2</sub> aqの濃度 (mmol/L)	1細胞当たりのSr吸収量(ng/cell)		溶液中の Sr回収率(%)
	吸光度計を用いた定量	原子吸光光度計を用いた定量	
<i>C.moniliferum</i> 10	0.57	0.24	0.059
<i>C.moniliferum</i> 0.10	—	0.092	2.1
<i>C.lunula</i> 0.10	—	1.9	2.5

SrCl<sub>2</sub>aq(0.10 mmol/L)では0.092 ng/cell、SrCl<sub>2</sub>aq(10 mmol/L)では0.24ng/cellと、実際に *C. moniliferum* の細胞内から Sr が検出された。また、溶液中の Sr 回収率を求めた結果、低濃度の方が2.1%と回収率が高かった。考察として、低濃度の方が回収率が高かったのは、*C. moniliferum* の細胞状態が、SrCl<sub>2</sub>aq(10 mmol/L) に投入した *C. moniliferum* よりも良好だったからだと考える。また、SrCl<sub>2</sub>aq(0.10 mmol/L)において、*C. lunula* の方が *C. moniliferum* より Sr の吸収量が多く回収率も高かったため、より多くの Sr を回収できると予想される。さらに、光学顕微鏡を用いて SrCl<sub>2</sub>aq(0.10 mmol/L)に投入前と投入後の *C. moniliferum*, *C. lunula* の細胞状態の観察も行った(図 19, 20, 21, 22)。その結果、SrCl<sub>2</sub>aq(0.10 mmol/L)に投入していた *C. moniliferum*, *C. lunula* の末端空胞部分にヨウ素溶液に染色されない顆粒が確認された(図 20, 22)。

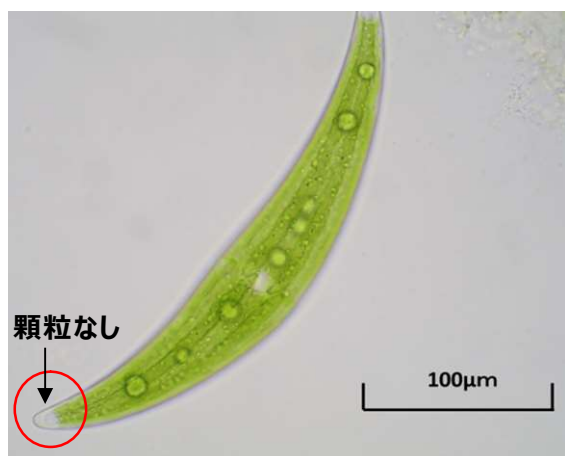


図 19 SrCl<sub>2</sub>aq(0.10 mmol/L) 投入前の *C. moniliferum*

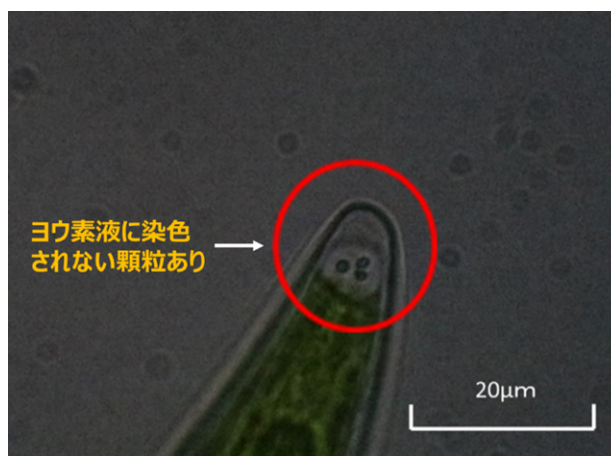


図 20 SrCl<sub>2</sub>aq(0.10 mmol/L) 投入後 48 時間後の *C. moniliferum*

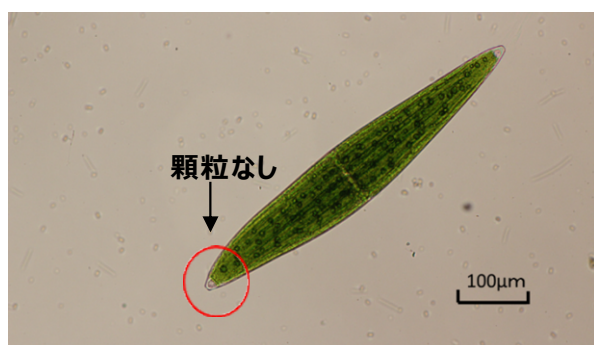


図 21 SrCl<sub>2</sub>aq(0.10 mmol/L) 投入前の *C. lunula*

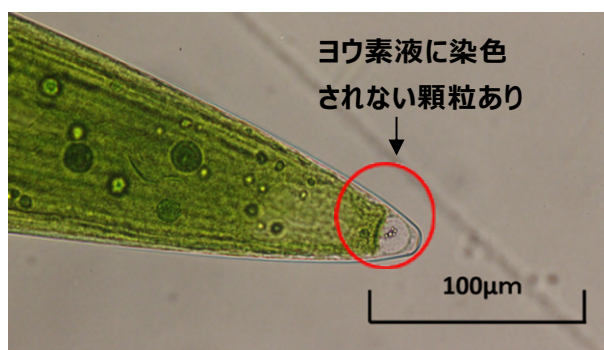


図 22 SrCl<sub>2</sub>aq(0.10 mmol/L) 投入後 24 時間後の *C. lunula*

### 3.5 結論

結論として、ミカヅキモは細胞内に Sr を吸収している。また、ミカヅキモが効率の良い Sr を吸収するには、赤の波長(640 nm)が効果的であるといえる。

### 3.6 今後の課題・展望

今回の実験結果を基に、より効率の良い吸収条件を明らかにするため、まずは光の波長だけでなく、光量子量がどのくらい影響をしているのか検討したい。また、Sr<sup>2+</sup>の吸収に光合成が関係しているのか検証するため、光合成阻害剤を用いて Sr<sup>2+</sup>の吸収が見られるのか確認したい。

ミカヅキモ(*C. moniliferum*, *C. lunula*)だけでなく、学校近くの茶屋沼から採集された緑藻類であるアミミドロ(*Hydrodictyon reticulatum*, 図 23)やアオミドロ(*Spirogyra*, 図 24)からも顆粒が確認されており、元素分析の結果、Sr を含んでいることが明らかとなった。アミミドロは他の緑藻類と比較し、長期的に SrCl<sub>2</sub>aq に投入していても細胞状態が良好であることや、アオミドロを SrCl<sub>2</sub>aq に投入していると徐々に十字型の結晶(図 24 の赤丸)が増えていくという現象が観察された。これらの点から、ミカヅキモ(*C. moniliferum*, *C. lunula*)同様に、効率良く Sr<sup>2+</sup>を吸収する可能性があるため、今後他の緑藻類を用いた研究も進めていきたい。

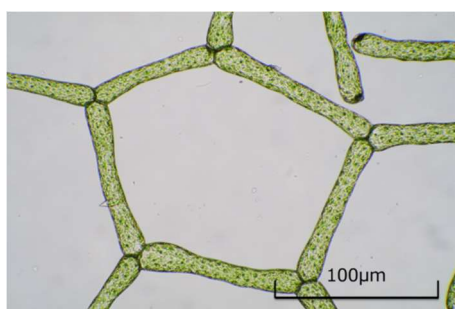


図 23 *Hydrodictyon reticulatum*

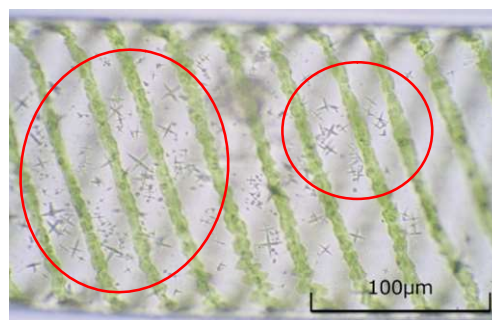


図 24 *Spirogyra*

実用化に向けて、今後も原子吸光光度計を用いて *C. moniliferum* の Sr 吸収量の定量を

行う。そのために、ミカヅキモ (*C. moniliferum*, *C. lunula*) を大量に培養可能な方法について検討する。また、 $\text{Sr}^{2+}$  以外のイオンが混ざった状態で、ミカヅキモが  $\text{Sr}^{2+}$  を選択的に吸収するのか検証する。さらに、資料<sup>5)</sup>によると、7/31 水源@高温焼却炉建屋 (M402 運転) 入口の  $^{90}\text{Sr}^{2+}$  の濃度が  $1.6 \times 10^4 \text{ Bq/cc}$  ( $1.12 \times 10^{-9} \mu\text{mol/L}$ ) と、非常に濃度が薄いことがわかった。また、朝日新聞の記事より、東京電力は汚染水処理後もタンク内の 8 割超の放射線物質が放出基準値を超えていることを明らかにした<sup>6)</sup>。原発事故から 7 年が経過したとはいえ、まだまだ汚染水処理問題が解決されないことから、今後も汚染水中からの放射性物質除去を行っていく必要がある。そのため、より効率の良い回収方法を検討することを念頭に、 $\text{SrCl}_2\text{aq}$  の低濃度における実験を進めていきたい。

#### 4. 藻類を活用し海水中の有用な金属イオンの回収を試みた基礎的な研究

##### 4.1 研究の背景・動機

震災後に、先輩方が茶屋沼で採取したアミミドロ (*Hydrodictyon reticulatum*, 図 25) を汚染水処理に活用しようと研究を行っていた。その際に、福島大学に依頼し、 $\text{SrCl}_2\text{aq}$  (0.010 mol/L) に 1 日投入したアミミドロの元素分析を行ったところ、アミミドロの細胞内から Sr の他に Mg が確認されたため、アミミドロは Mg を吸収する可能性が高まった。

近年、金属の中でも比較的重量が軽い Mg を車や航空機などに活用することが考えられていた。しかし、耐熱性と強度に弱いという欠点があり、そのような利用が難しかった。この問題を解決しようと、熊本大学先進マグネシウム国際研究センターで耐熱性と強度を強化した不燃性 Mg 合金が開発されている。また、海水と資源に関する文献の<sup>1)</sup>を調査していたところ、海水中には最有望資源である Mg や Br, Sr などが含まれていることが分かった (図 26)。さらに、海水を淡水化する際に放流される濃縮海水中には、 $\text{Mg}^{2+}$  などの有用な金属イオンが含まれている。このことから私たちは、アミミドロを用いて将来有効活用が期待される Mg を低コストで海水中から回収することで、資源の乏しい日本に貢献したいと考えた。

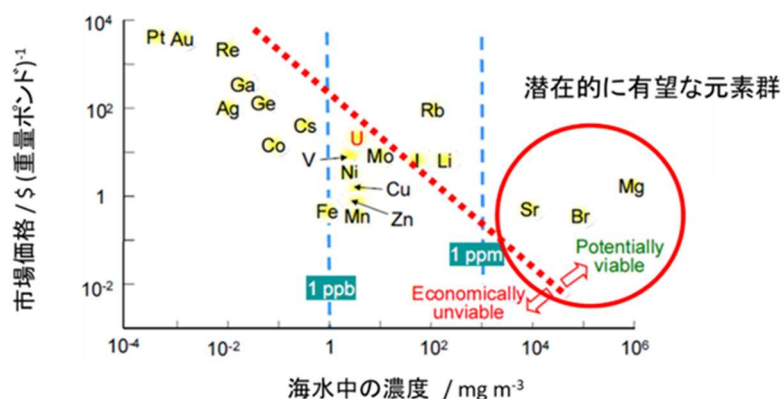
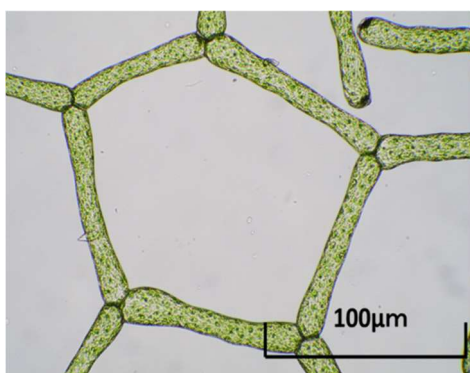


図 25 アミミドロ (*Hydrodictyon reticulatum*) 図 26 海水成分回収の経済性予測

##### 4.2 本研究の目的

本研究では、アミミドロは淡水藻類であるため、海水耐性があるのか検証した。また、自ら作成した検量線を用いて、アミミドロの Mg 吸収量の定量を行った。

##### 4.3 先行研究 走査型電子顕微鏡 (SEM) によるアミミドロの元素分析

$\text{SrCl}_2\text{aq}$  (0.0050 mol/L) に数日間投入したアミミドロで炎色反応を行ったところ、Sr 特有の紅色の炎色反応が見られた。このことから、Sr を吸収している可能性が高まったため福島大学に依頼し、走査型電子顕微鏡 (SEM) によるアミミドロの元素分析を行った。

(実験方法)

1. アミミドロを塩化ストロンチウム水溶液 (0.010 mol/L) に 1 日投入した。

2. メンブランフィルターでアミミドロをろ過し、純水で数回洗った。
3. 2 のフィルターを時計皿にのせ、シャーレの中に入れ乾燥機(40~50℃)で十分乾燥させた。
4. 白金でコーティングし、電子顕微鏡で観察した。

〈結果・考察〉

元素分析の結果から、アミミドロの細胞内に小さく丸い結晶が確認され、そこから、 $Mg \cdot Sr \cdot P \cdot O$  が検出された。このことから、アミミドロは Mg を吸収している可能性が高まった。

〈アミミドロの培養〉

先輩方は、茶屋沼で自分たちが発見したアミミドロの培養を試みたが、培養が困難で死滅してしまった。そこで、私たちは、国立環境研究所から少量株分けして頂いたアミミドロ (NIES-295) で培養に挑戦した。培養条件としては、炭酸ガス発生剤と滅菌されたプラスチック容器、C培地で培養した。その結果、炭酸ガス発生剤を使用したことで、培養が促進された。(図 27, 28, 29)

また、県内にある藻類の培養を行っている施設に見学する機会があり、攪拌しながら藻類の大量培養をする様子を目にした。そこで、見学した施設を参考に、そうめん流し器を使用して流れをつくり、アミミドロの大量培養を試みた。結果は、アミミドロの大量培養に成功し、そうめん流し器を使用したことで静置培養よりも、太く色の濃いアミミドロが培養できた(図 30, 31)。

〈培養時の様子〉

〈炭酸ガス発生剤  
――  
炭酸ガス発生剤無〉

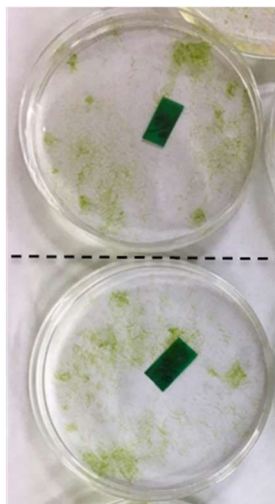


図 27 アミミドロの培養

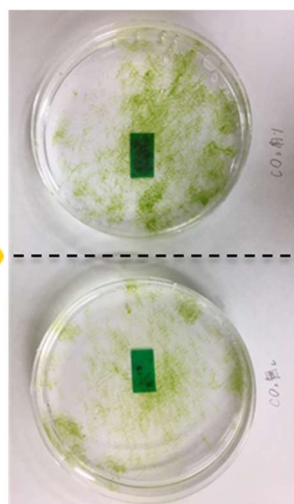


図 28 アミミドロ培養

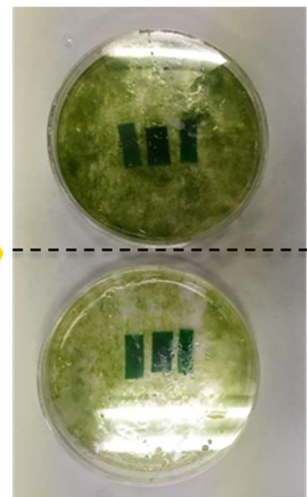


図 29 アミミドロ培養  
開始から 28 日目



図 30 アミミドロを入れた直後の様子  
※○はアミミドロを表す

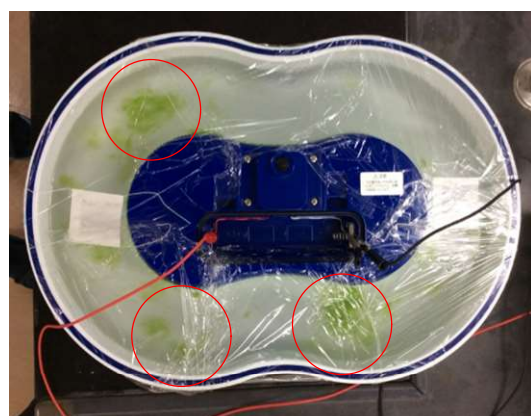


図 31 13 日後のアミミドロの様子

#### 4.4 本研究

本研究ではアミミドロの海水耐性実験と、自ら作成した検量線を用いてアミミドロの  $Mg^{2+}$  の吸収量の定量を行った。

##### 4.4.1 海水での耐性実験

〈実験方法〉

1. 海水をメンブランフィルターでろ過した。
2. ろ過した海水を1倍、10倍、100倍、1000倍に希釈し、投入直後、7日目、14日目に観察を行った。

〈結果・考察〉

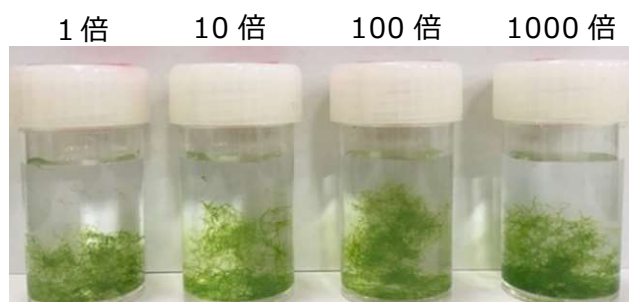


図 32 海水 0 日目

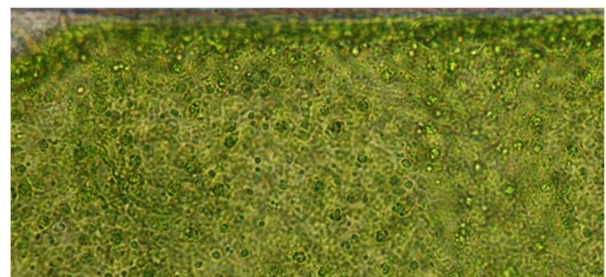


図 33 海水 0 日目 アミミドロの細胞状態



図 34 海水 14 日目  
※○は、14 日目まで状態が良好だったアミミドロを表す。

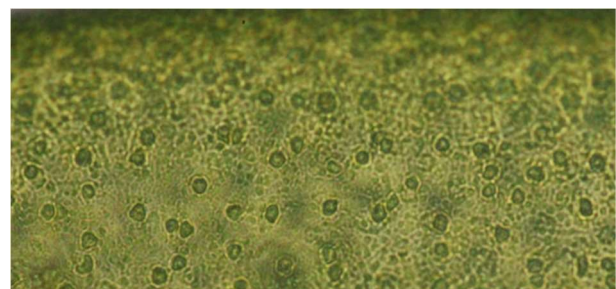


図 35 海水 10 倍希釈 14 日目 アミミドロの細胞状態○

結果として目視の場合、海水の1倍に希釈したものは7日目で状態が悪化した。また、1000倍に希釈したものは、14日目で細胞の状態が悪化し、10倍に希釈したものが14日目まで状態が良好だった(図 32, 33, 34, 35)。

海水の1倍が7日目で状態が悪化したのは、海水の塩分濃度が濃いため状態が悪化し、1000倍は海水の塩分濃度は薄い、アミミドロに必要な栄養分が足りず状態が悪化したと予想される。また、海水の10倍希釈がアミミドロに耐性があるのは、アミミドロを培養しているC培地とpHがほぼ一致していたことも原因の可能性はある。

##### 4.4.2 濃縮海水耐性実験

〈実験方法〉

1. 福岡地区水道企業団海水淡水化センターから頂いた濃縮海水(表3)をろ過した。
2. 1倍、10倍、100倍、1000倍に希釈し、投入直後、7日目、14日目に観察を行った。

表3 濃縮海水中の成分（福岡地区水道企業団海水淡水化センターの濃縮海水試験結果集計）

$\text{Cl}^-$	45,915 mg/L
$\text{Na}^+$ 及びその化合物	25,155 mg/L
$\text{SO}_4^{2-}$	6,503 mg/L
$\text{Mg}^{2+}$	3,016 mg/L
$\text{Ca}^{2+}$	962 mg/L
$\text{K}^+$	922 mg/L
$\text{Br}^-$	151 mg/L
B 及び化合物	8,4 mg/L

〈結果・考察〉

1倍 10倍 100倍 1000倍

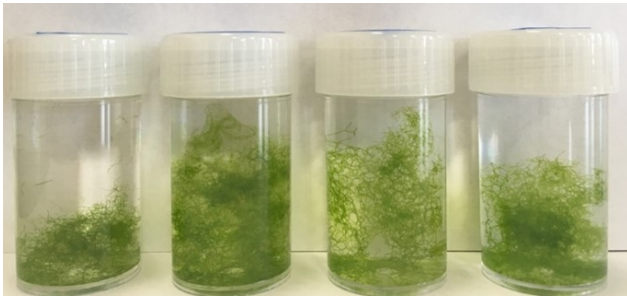


図36 濃縮海水 0日目

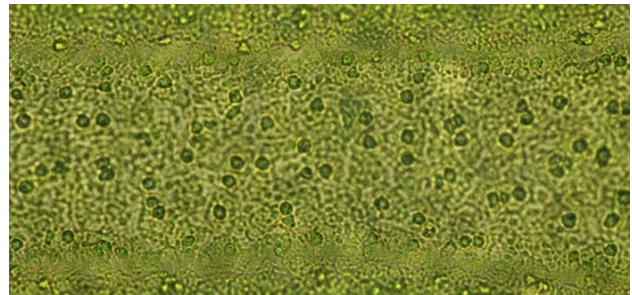


図37 濃縮海水 0日目  
アミミドロの細胞状態

1倍 10倍 100倍 1000倍

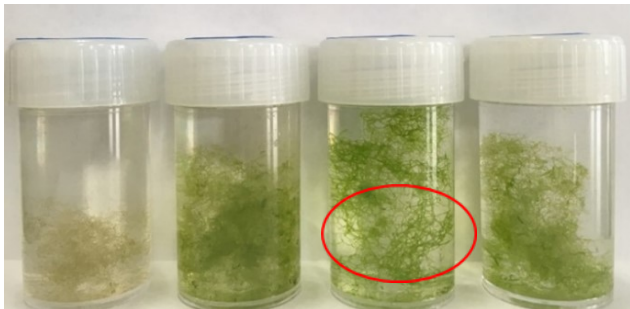


図38 濃縮海水 14日目

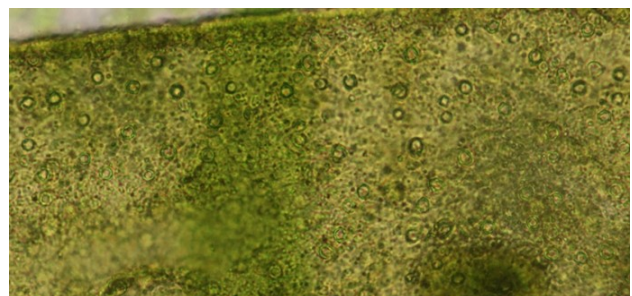


図39 濃縮海水 100倍希釈 14日目  
アミミドロの細胞状態○

観察の結果、14日目で状態が悪化していた10倍希釈では、葉緑体が抜けていたため細胞状態が悪化していることが明らかとなった。また、14日目まで状態が良好だった100倍希釈は、海水に投入する前の状態と変化がなかった(図36, 37, 38, 39)。このことから、濃縮海水の場合アミミドロは、100倍希釈で耐性があるといえる。濃縮海水の100倍希釈がアミミドロに耐性があるのは、アミミドロを培養しているC培地と塩分濃度がほぼ一致していたことも要因の一つと考える。

#### 4.4.3 アミミドロによるMg吸収量の定量

〈Mgの検量線作成〉

本研究では、アミミドロによるMg吸収量の定量を行うために、吸光度計(ピコスコープ)を用いてBT(2-Hydroxy-1-(1-hydroxy-2-naphthylazo)-6-nitro-4-naphthalenesulfonic acid, sodium salt)を指示薬とし横軸にMg<sup>2+</sup>のモル濃度、縦軸に吸光度を表す検量線を作成した(図40)。

【作成方法】

1. MgCl<sub>2</sub>aq (10 mmol/L) から 1 mL をとり、50 mL のメスフラスコに入れ純水でメスアップした。(200 μmol/L の MgCl<sub>2</sub>aq を作製)
2. 10 mL のメスフラスコを 6 本用意し、それぞれに BT 指示薬を 1 mL 入れた。
3. 2 に塩化アンモニウム・アンモニア緩衝液(pH10)を 2 mL 加えた。
4. 3 で作製したもののうち 1 本をコントロールとし、残りのメスフラスコには、それぞれ 1 mL、2 mL、3 mL、4 mL、5 mL の 1 で作製したものを加えた。
5. 4 で作製した溶液を、吸光度計で測定した

〈作成した検量線〉

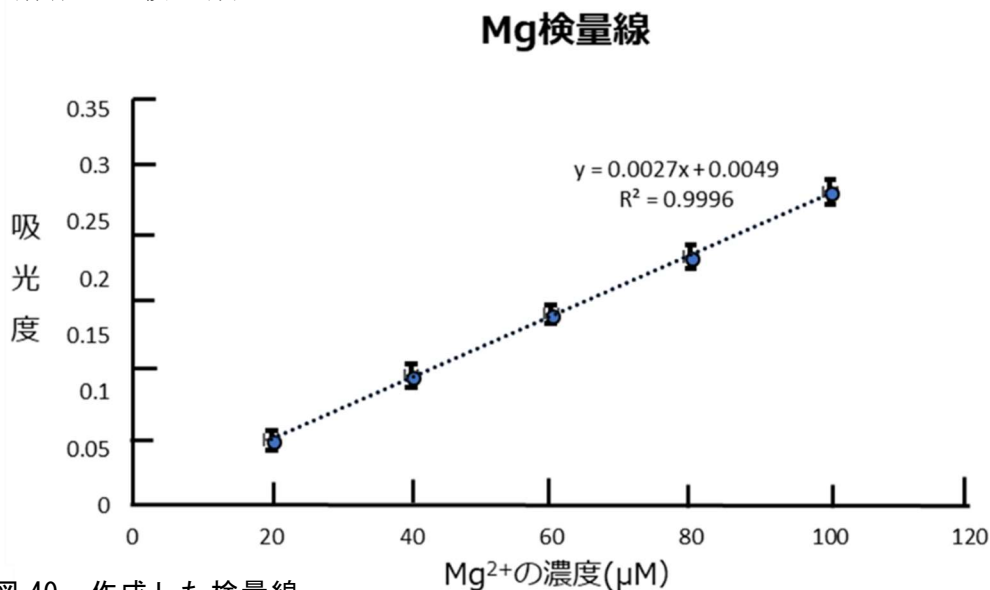


図 40 作成した検量線

〈アミミドロを用いたMg吸収量の定量〉

本研究では、自ら作成した検量線を基にして、コントロールとサンプルに白色LEDを照射しMg吸収量の定量を行った(図41, 42)。

〈実験方法〉

コントロール:塩化マグネシウム水溶液(10 mmol/L) 10 mL

サンプル :塩化マグネシウム水溶液(10 mmol/L)10 mL にアミミドロ約 0.40 g を投入した。

- ① 溶液の上澄みを 2 mL のチューブに 0.010 mL 取った。
- ② ①に純水を 0.49 mL 加えた。



- ③ ②の溶液をチューブに0.10 mL取り、pH 10 塩化アンモニウム・アンモニア緩衝液、BT 指示薬の順で加えた。
- ④ ③の溶液を希釈し、吸光度計で、吸光度を測定した。(A 530 nm)
- ⑤ 検量線から吸収量を求めた。

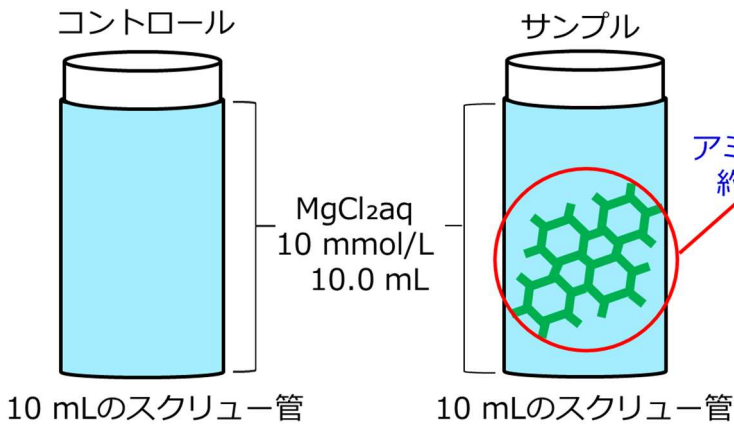


図 41 実験に使用したコントロールとサンプル

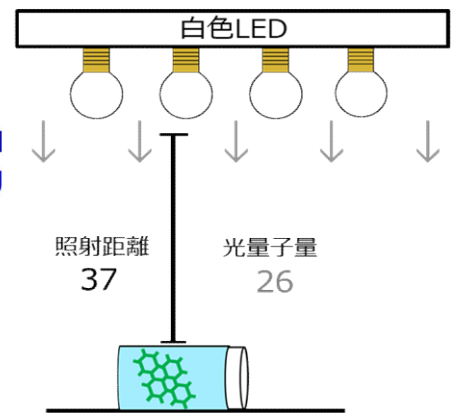


図 42 実験条件

〈結果・考察〉

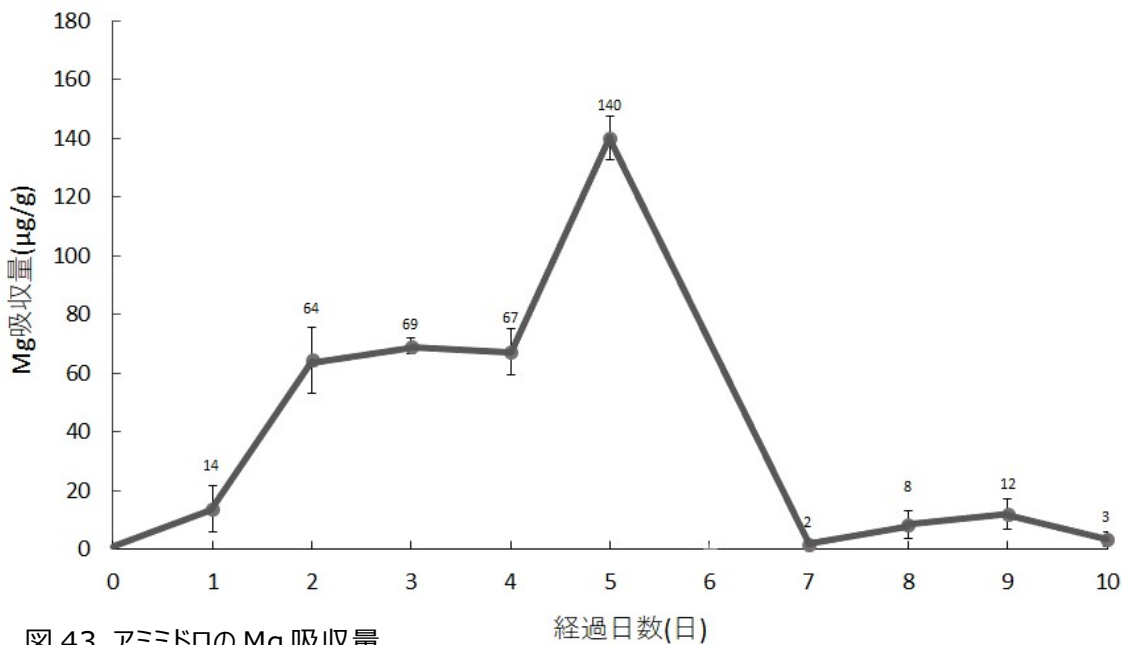


図 43 アミドドロの Mg 吸収量

結果より、5 日目で吸収量が 140μg/g と最大となり、7 日目で吸収量が低下した(図 43)。考察として、5 日目で吸収量が最大だったのは、アミドドロが溶液の環境に慣れるのに時間が必要だからだと考えられる。また、吸収量が 7 日目で低下したのは、Mg<sup>2+</sup>を細胞内に吸収しても、結晶として細胞内に固定できていない可能性が高まった。

#### 4.5 結論

結論として、アミドドロは希釈した海水に対して耐性があり、Mg を細胞内に吸収するが、細胞内に結晶として固定できていない可能性が高まった。

#### 4.6 今後の課題

今後は、アミドドロが Mg を細胞内に吸収後、細胞外に放出しているのかを確認し、Mg

の効率の良い吸収条件について検討する。また、アミミドロを  $\text{NaCl}_{\text{aq}}$  を海水と見立て  $\text{MgCl}_{2\text{aq}}$  と混合した水溶液に投入し、Mg を選択的に吸収するのか究明したい。

## 5. 謝辞

本研究の一部は、公益財団法人 河川財団の河川基金の助成を受けて実施されました。また、福島大学の難波謙二先生、高瀬つぎ子先生、兼子伸吾先生、島根大学教育学部の大谷修司先生、名古屋市立大学の櫻井宣彦先生、東京薬科大学の都筑幹夫先生、国立環境研究所の微生物系統保存施設の方々、株式会社リバネスの方々、自然科学部の顧問である山本剛先生に、ご指導をいただきました。これらのご支援、ご指導に対して厚く御礼申し上げます。

## 6. 参考文献

- 1) Krejci et al. J. Struc. Biol. 176, 192 (2011)
- 2) Ba, Sr の直接滴定 (株)同仁化学研究所ホームページより  
[http://dominoweb.dojindo.co.jp/FAQkoukai.nsf/View\\_Display/851b35fc57f89e5049256e9e002db1a5?OpenDocument](http://dominoweb.dojindo.co.jp/FAQkoukai.nsf/View_Display/851b35fc57f89e5049256e9e002db1a5?OpenDocument)
- 3) Access to your success SHIMADZU 「AA-6300 Shimadzu Double Atomic Absorption Spectrophotometer」 URL <http://www.shimadzu.com>
- 4) 新潟県放射線監視センター年報 第5巻 2007 「安定ストロンチウム測定法の比較検討」
- 5) 平成30年9月6日 東京電力ホールディングス株式会社 「第三セシウム吸着装置設置の進捗状況について」
- 6) 平成30年9月29日 朝日新聞朝刊
- 7) 『掘らない資源』として海水から資源を回収する技術について-電気透析法と逆浸透膜法とイオン選択吸着剤の組み合わせ Journal of the JIME 日本マリンエンジニアリング学会誌 第50巻 第5号
- 8) 海水からマグネシウムの電解回収技術  
Electro-winning of magnesium from metal using the diamond coating electrode  
佐賀大学総合分析実験センター 池田進
- 9) 福岡地区水道企業団海水淡水化センターの濃縮海水試験結果集計表