

②調査研究報告書

I 要旨

沖縄県は、およそ北緯 24 度から 28 度、東経 122 度から 132 度までに位置し、亜熱帯地域に属している諸島郡である。なかでも沖縄県は、亜熱帯海洋性気候に分類され、砂漠地帯の多い亜熱帯地域では珍しく、熱帯雨林のように豊かな緑に覆われている。そのため、その地固有の生物、独自の生態系が存在し、沖縄県の一部地域は 2021 年 7 月に世界自然遺産に登録された。「奄美大島、徳之島、沖縄島北部及び西表島（奄美・沖縄）」

私たちの学校は県庁所在地的那覇市に位置しているが、近くに「国場川」と呼ばれる、那覇の市街地を通して沖縄の玄関口である那覇港に流れ出る大きな川が通っており、この河川はラムサール条約に指定されている「漫湖」という湿地を通過している。この湿地には、マングローブが分布しており、絶滅危惧種のクロツラヘラサギをはじめとする多種多様な生物の生息地である。しかし、国場川は不法投棄や生活排水による汚染が深刻な状況にあり、水質汚染が問題視されている。このように劣悪な環境でありながら、マングローブ林はその形態を維持している。私たちは、海水の中で生存できるマングローブが持つ、塩分を体外に排出するという特有の機能が関係しているのではないかと考えた。以上から、私たちは、マングローブの機能を利用した「バイオレメディエーション」を提案する。亜熱帯地域の海岸沿いに広く分布するマングローブでバイオレメディエーションが出来るならば、汚染された河川の水が大海に流出するのを防ぐことが可能になる。また、マングローブの付加価値を研究するのは、土地開発などの人為的な活動により減少を続けるマングローブ林に対して、保護をする重要性を高めるという点で必要性があり、研究だけでなく更なる活動にも取り組みたい。

II 目次

- 1 序論
- 2 研究
- 3 実験結果
- 4 考察と限界
- 5 展望
- 6 発表会について
- 7 参考文献

III 報告書で使用する略語および頭文字

なし

IV 謝辞

漫湖水鳥湿地センター様、研究にあたってマングローブの葉などの試料の提供、発表に際してレクチャールームの貸出など度重なるご協力を賜り誠に感謝申し上げます。研究の監督に随時ご協力下さった宜保皓大先生、研究に際して手法論の提供など全てにおいてご指導して下さい、化学教科担当松尾英樹先生、生物教科担当の大城与志仁先生に心から感謝申し上げます。

V 研究報告

メヒルギを用いた
バイオレメディエーション
～地域に根差した価値ある研究のために～



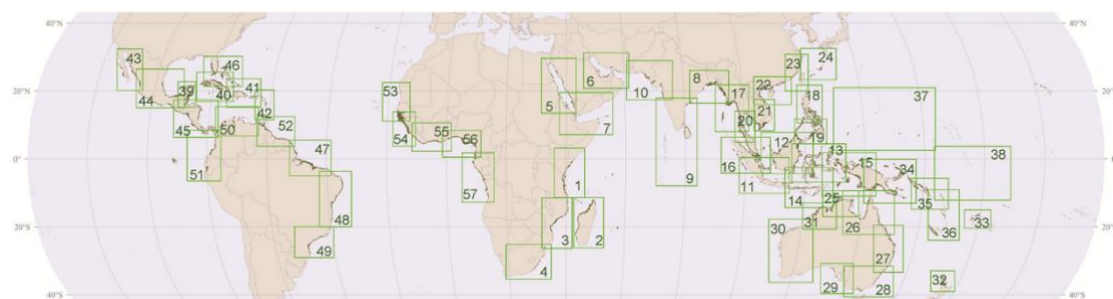
学校法人尚学学園沖縄尚学高等学校

Bi02

Share of domestic wastewater that is safely treated, 2020



「全な水とトイレを世界中に」のターゲット6.3に「2030年までに、汚染の減少、投棄の廃絶と有害物質の最小化、未処理排水の割合半減及び再生利用と安全な再利用の世界規模で大幅に増大させることにより、水質を改善させる。」と掲げられている。



Share of domestic wastewater that is safely treated, 2020

Country	Share (%)
Singapore	100%
Japan	97.82%
Malaysia	87.82%
Saudi Arabia	79.64%
Australia	76.17%
China	64.78%
Mexico	60.09%
Nigeria	48.29%
Philippines	42.95%
Brazil	33.03%
Ecuador	31.11%
India	20.56%
Thailand	24.4%
Guinea-Bissau	21.4%
Bangladesh	16.01%
Ghana	12.13%
Madagascar	9.3%

Source: World Health Organization

A diagram illustrating the process of phytoremediation. A green leaf is shown with a yellow area representing the plant tissue. Inside this yellow area, there are red circles and blue dots. A callout bubble points to these circles and dots, containing the text Na^+ や Cl^- and 重金属イオン (heavy metal ions). A red arrow points from the water at the bottom towards the leaf, and a blue arrow points from the leaf towards the water at the bottom. A label 落葉させ排出 (shed leaves and discharge) points to the leaf.

現在でも、世界には廃水の処理が 50%を下回る国々が存在している。(図 1)

これらの廃水には、工場排水や生活排水、農業排水、畜産排水が含まれており、窒素化合物やリン酸塩等の栄養塩類の過剰供給による河川の富栄養化現象や、重金属汚染などにより水質汚濁の原因となる。水質汚濁は、河川及び海洋汚染、それに伴う生態系の破壊、安全な水の供給を妨げるため、SDGsの6番「安

私たちは、廃水処理率が低い地域とマングローブ生息する地域が一致していることを発見した（図1と図2）。表1には、マングローブが生息している国々の廃水処理率を表示しており、東南アジア、南アジア、アフリカ、カリブ海周辺の国々は処理率が低い傾向にあることがわかる。マングローブ林は河口付近または沿岸地域に生息しているた

め、このマングローブを活用できれば、様々な国において、陸上にある都市などから廃水が海洋へ流れるのを防ぐことができるという新たな手法を見出すことができる。

そこで、私たちはマングローブの一種であるメヒルギを用いたバイオレメディエーションを提案する。(図3) バイオレメディエーションとは、植物を含む生物を活用して汚染物質を浄化するという手法を指す。マングローブは、淡水と海水が混ざり合った水域に生息している

ため、通常の植物の生育を阻害することとなる有害な塩分に対する耐性を持っている。マングローブは特別な構造を持っているため塩ストレス耐性が強く、ヤエヤマヒルギなどは根で塩分を濾過し、ヒルギダマシなどは塩類腺から塩分を排出、オヒルギやヤエヤマヒルギ、メヒルギは体内の塩分を古い葉に集めて落葉させるという機能を持っている。私たちが研究対象としたメヒルギは、塩分を一度体内に取り込んでいる。塩分は水中にナトリウムイオンと塩化物イオンの形で存在しているため、メヒルギにはそれらのイオンが細胞壁を超えて輸送される仕組みを備えていることになる。この構造はナトリウムイオンや塩化物イオン以外のイオンにも応用できると考えられる。加藤茂、矢口行雄、杉二郎ら（1986年）によると、メヒルギは他にも、カルシウムイオンやマグネシウムイオン、カリウムイオンや硫酸イオンを葉に蓄積しているとあった。そこで、私たちは、水質汚染物質の中でも重金属に焦点を当て、重金属イオンの亜鉛イオンと銅イオンについてその貯蓄量を測定した。また、生物は微量ではあるが重金属を必要としているため、既存の含有量を考慮する必要がある。そのため私たちは、組成してまもない新芽（以下「若葉」という。）と、塩分が溜まって黄色に変色した古い葉（以下「黄朽葉」という。）の重金属イオンの含有量の差を根拠に、塩排出の機能が同様に目的のイオンにも働き、バイオレメディエーションにおいての能否を評価することにした。

最後に、私たちがこの研究を行った場所は、学校から約 1.5km 圏内にある「漫湖」と呼ばれる湿地である。この湿地は、1999 年 5 月ラムサール条約に指定されており、広大に広がる湿地は、クロツラヘラサギを始めとする沢山の生き物達の住处であり、地域の人々も関わりの深い場所である。しかし、市街地に囲まれているこの湿地は、そこを通る川の生活排水などによってひどく汚染され、かつては水質汚濁が全国ワースト 4 位に入った過去がある。現在、水質は改善され、県の環境白書でも汚染度は基準値を下回っているが、未だ完全治癒には至らず、不法投棄などのごみ問題も残っている状況にある。また、この湿地に広がるマングローブ林は人工的に植栽で形成されたものであることから、地域住民の中にはマングローブ林の存在意義を疑問視する意見もあがっている。生物の楽園であるこの湿地の美しさを守っていくためにも、本研究でマングローブの新たな付加価値を発見したい。そして、研究のみならず地域を巻き込んだ活動にもつなげていきたい。

2 研究

(a) 研究材料

(1) 試料の定義

本研究では、ラムサール条約登録湿地である沖縄県豊見城市所在の漫湖に植生するマングローブの一種であるメヒルギの若葉と黄朽葉を研究対象として用いた。

数あるマングローブの中からメヒルギを選定した理由としては、漫湖水鳥湿地におけるメヒルギの分布が、オヒルギやヤエヤマヒルギなどの他のマングローブの種より広いため、漫湖湿地におけるメヒルギの役割の影響範囲が広いということである。

メヒルギから採取する葉の選定方法として、メヒルギの白い花が確認された個体から、若葉は最も先端の節から生えていることと明るい黄緑色であることを条件に、黄朽葉はま



図 4メヒルギの若葉 図 5メヒルギの黄朽葉

だ落葉していない黄色がかっているものを条件に採取を行った。この時、採取する葉は葉身と子葉柄約 3cm 以内のものと定義する。（図 4、図 5）



図 6 衛星写真

(2) 採取場所の定義

本研究では、試料であるメヒルギの葉の採取を、漫湖湿地を管理している漫湖水鳥・湿地センターから許可を得た木道付近で行った。（図 6）採取は木道の上から手の届く範囲で行ったが、試料の個体差を少なくするために、全長約 200m ある木道の全ての地点でランダムに採取した。

(b) 研究方法の検討

研究方法の根拠と結果に繋がるまでの経緯について明記する。

序論で述べた通り、植物は一定の亜鉛を生育に必要としているため、亜鉛は生体内に元来存在している。そのため、本来の亜鉛含有量を考慮した上で実験を行わなければ、亜鉛イオン、銅イオンの貯蓄特性の有無は特定できない。結果的に、若葉と黄朽葉の亜鉛イオン、銅イオン含有量を比較するという方法のみが、それらの重金属イオンの貯蓄を確認できる手段であった。

また、本研究ではその実験方法から葉本体を必要とせず、葉に含まれる水分のみ、つまり葉の抽出液を実験サンプルとしている。そのため、実験サンプルの作成において抽出液に希釈などの操作を加えるためには、葉内の水分の割合をあらかじめ調べる必要がある。

これらの前提を考慮すると、実験方法として次のような手順を踏む。

1. まず初めに若葉と黄朽葉を定温乾燥機にかけ、その前後の重量の差をもとに含水量を求める。
2. この結果を元に、葉を粉碎する際に加える蒸留水の量を計算し、それらをミキサーにかける。
3. 希釈された状態の抽出液をサンプルとし、吸光光度計 DR3900 を用いて亜鉛イオン濃度と銅イオン濃度を測る。

これらの過程を経て、黄朽葉の亜鉛イオン、銅イオン濃度が若葉より高いという結果が出れば、メヒルギには葉の生育の過程で亜鉛イオン、銅イオンを葉に蓄積する特性があると断定でき、そうでなければ亜鉛イオン、銅イオンに対する貯蓄の性質はないと分かる。

(c) 研究手順

①メヒルギの若葉・黄朽葉の採取

「(a) 研究材料」で述べた条件に基づいて、メヒルギの若葉、黄朽葉を採取する。

②サンプル作成

—作成手順

1. 若葉と黄朽葉にそれぞれ蒸留水を加え、ミキサーにかける。
2. 1 で得た溶液を減圧濾過にかけ、液体のみを抽出する。
3. 2 で得た抽出液を希釈し、サンプルを作成する。

—手順の説明

・手順 1 について

葉から抽出液を作るにあたって若葉と黄朽葉をミキサーにかける際、葉本体のみをミキサーにかけるだけでは液状にならないため、一定量の水を加えてミキサーにかける必要がある。この時、事前研究で求めた葉の含水量を元に、最終的に得られる抽出液が 5 倍希釈になるように計算された水量を加えた。

・手順 2 について

ミキサーにかけて液状になった溶液を減圧濾過にかけ、固形部を取り除き、液体のみを抽出した。この時、抽出液は 5 倍希釈である。

・手順 3 について

それぞれの 5 倍希釈の抽出液に蒸留水を加え、若葉は 50 倍希釈と 1000 倍希釈、黄朽葉は 100 倍希釈と 2000 倍希釈のサンプルを作成する。若葉の 50 倍希釈、黄朽葉の 100 倍希釈のサンプルを銅イオン濃度測定用とし、若葉の 1000 倍希釈と黄朽葉の 2000 倍希釈のサンプルを亜鉛イオン濃度測定用とする。

③亜鉛イオン濃度、銅イオン濃度の測定

若葉、黄朽葉のそれぞれのサンプルを吸光光度計にかけ、亜鉛イオン濃度、銅イオン濃度を計測した。

(d)事前研究

①メヒルギの若葉・黄朽葉の含水率の推定

メヒルギの若葉、黄朽葉の含水量を調べる目的として、本研究で作成する実験サンプルは葉本体ではなく葉に含まれる水分の亜鉛イオン、銅イオン貯蓄の有無を調べることから、葉の重量に対する含水率を求める必要がある。

それぞれ約 10g の若葉、黄朽葉を 105° C で 2 時間、定温乾燥機にかけて葉の水分を蒸発させた。乾燥前から乾燥後の葉の重量の推移より、元々の葉に含まれている水分量を求め、これらから含水率を導いた。

	乾燥前の重量(g)	乾燥後の重量(g)	含水量(g)	重量あたりの含水率		乾燥前の重量(g)	乾燥後の重量(g)	含水量(g)	重量あたりの含水率
1回目	9.90	3.31	6.59	66.56%	1回目	10.03	3.22	6.81	67.90%
2回目	9.75	3.22	6.53	66.97%	2回目	9.54	3.17	6.37	66.77%
3回目	9.66	3.28	6.38	66.04%	3回目	9.58	3.31	6.27	65.45%
4回目	9.64	3.18	6.46	67.01%	4回目	9.44	3.23	6.21	65.78%
5回目	10.04	3.25	6.79	67.63%	5回目	9.82	4.62	5.20	52.95%
平均	—	—	—	66.84%	平均	—	—	—	63.77%

表 2 若葉の含水率

表 3 黄朽葉の含水率

②漫湖湿地の水質調査

この研究は、メヒルギが水中から銅イオンや亜鉛イオンを吸収して貯蓄することを調査している。そのため、これらのイオンが水中に存在していることが前提となる。そこで、実験に使用したメヒルギの葉を採取した場所に近く、私たち生徒でも採取可能な湿地の水を採取し、本実験と同じ吸光光度計と試薬を使用し

(mg/L)	銅濃度	亜鉛濃度
1回目	0.0075	0.0075
2回目	0.45	0.0075
3回目	0.47	0.0025
4回目	0.38	0.0075
5回目	0.288	0.005
平均値	0.3191	0.006

て、水の分析を行った。この際、不純物を取り除くため表 4 湿地の水に含まれる銅イオンと亜鉛イオンに濾紙を使って濾過した。また、採取した水に含まれる銅イオン・亜鉛イオンは元の濃度が薄く、検出されなかったため 4 倍濃縮して測定を行った。その結果、銅イオンは平均約 0.3191mg/L、亜鉛イオンは平均約 0.006mg/L が検出された。（表 4）

(e)測定方法

亜鉛イオン濃度、銅イオン濃度は、東亜 DKK の吸光光度計 DR3990 を用いて測定した。また、亜鉛イオンは HACH 社の亜鉛試薬セットを、銅イオンは同社の銅試薬（CuVer2）（PP）を用いた。

3 実験結果

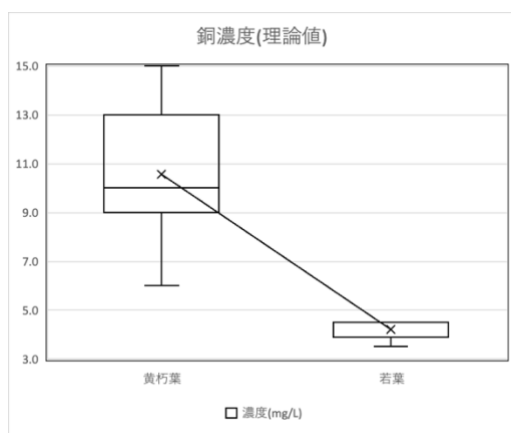


図 7 若葉と黄朽葉の銅濃度

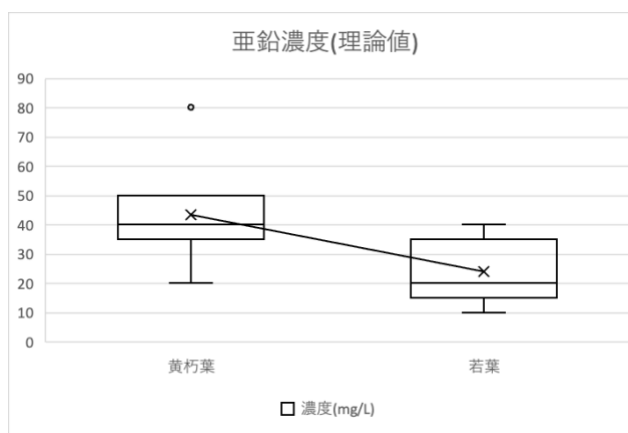


図 8 若葉と黄朽葉の亜鉛濃度

図 7 は、若葉と黄朽葉から得た抽出液を吸光光度計で測定した値である。抽出液そのものの色素と吸光光度計の測定可能範囲を考慮した上でそれぞれ 10 検体用意し、若葉は 50 倍希釈、黄朽葉は 100 倍希釈して測定を行った。個々の検体から実験で得られた値を原液の濃度になるように算出した。

若葉の銅イオン含有量は平均で約 4.2mg/L、標準偏差は 0.422 となった。これは、メヒルギの葉が本来もつ銅イオンの含有量を指していると考えられるため、黄朽葉との比較の際の基準値になる。

黄朽葉の銅イオン含有量は平均で約 10.6mg/L、標準偏差は 2.744 となった。

若葉と比較すると、黄朽葉のほうが約 6.38mg/L ほど銅イオンの含有量が多いことがわかる。よって、メヒルギの塩耐性機構が同様に銅イオンにも働いていると言える。

図 8 は、若葉と黄朽葉から得た抽出液を吸光光度計で測定した値である。銅の測定と同様に抽出液そのものの色素と吸光光度計の測定可能範囲を考慮し 5 検体用意、若葉は 50 倍希釈、黄朽葉は 100 倍希釈して測定を行った。個々の検体から実験で得られた値を原液の濃度になるように算出した。

若葉の亜鉛イオン含有量は平均で約 24mg/L、標準偏差は 11.40 となった。これは、メヒルギの葉が本来もつ亜鉛イオンの含有量を指していると考えられるため、黄朽葉との比較の際の基準値になる。

黄朽葉の亜鉛イオン含有量は平均で約 43.3mg/L、標準偏差は 19.66 となった。若葉と比較すると、黄朽葉のほうが約 19.3mg/L ほど亜鉛イオンの含有量が多いことが判明した。よって、メヒルギの塩耐性機能が同様に亜鉛イオンにも働いていると言える。

4 考察と限界

実験結果より、銅イオンと亜鉛イオンの含有量について若葉と黄朽葉で有意差が見られた。このことから、メヒルギの塩耐性機能を他のイオンにも活用できることが確認され、重金属イオンなどによって汚染された水の浄化におけるバイオレメディエーションにメヒルギを用いることが可能だと言えることが明らかになった。

考察として、図 8 に示されているように、黄朽葉と若葉の亜鉛含有量が重複する部分があることについて、若葉は組織が形成されて間もないため、成長段階にあるため細胞分裂が盛んであり、そのために必要な亜鉛の含有量は成長が終わった黄朽葉より多かったと考えた。

また、この研究にはいくつかの限界がある。

一つ目は、実験手法による限界だ。今回私たちは、銅イオンや亜鉛イオンを吸光光度計で測定したが、この手法は公定法外であるため、実験値の信憑性が不確かな部分が存在することだ。改善案としては、JIS の工場排水試験法や環境省の河川調査で用いる分析法のイオンクロマトグラフィー、または原子吸光といった装置を用いて測定することが挙げられる。

二つ目は、メヒルギの葉の抽出液の色と、銅イオンと亜鉛イオンを吸光光度計で測定する際の波長の範囲に重なりがあることだ。今回使用した試薬は、銅イオンの波長を 560nm、亜鉛イオンを 620nm として特定しており、同じ吸光光度計で実際のサンプルと同じ希釈率の黄朽葉抽出液を使って吸光度を測定したところ、図 9 のようになった。

	銅 (波長560nm)	亜鉛 (波長620nm)
黄朽葉サンプル	0.391	0.003
若葉サンプル	0.02	0.002

図 9 抽出液サンプルによる吸光度

このように吸光度が重なると、抽出液の色が求めたい銅イオンや亜鉛イオンの値に影響する可能性がある。私たちは、できる限りその影響を抑えるために、色の濃い黄朽葉は 1000 倍以上希釈するなどして、抽出液をできる限り無色透明になるまで希釈したが、少なからず影響していることが考えられる。

三つ目は、私たちが優位差を特定できたのは亜鉛イオンと銅イオンのみであるため、実際に他の重金属にも同じように結果が得られるかはまだ不明であることだ。亜鉛イオンと銅イオンは指定物質ではあるが、有害物質の重金属イオンの方が浄化の必要性は高い。し

かし、規制が強い有害物質が調査した湿地の水中に含まれているとは考えにくく、その値も微量と考えられるため、この研究では取り扱わなかった。この問題の解決案としては、鉛やカドミウムなど有害物質に指定されている重金属を溶かした水溶液で浸した水槽で、メヒルギを栽培するという方法が挙げられる。この方法だと、実際にメヒルギが有害物質指定の重金属を蓄積しているかどうかに限らず、その濃度と蓄積率の相互関係なども確認できるだろう。

四つ目は、この研究が漫湖水鳥・湿地センターの木道近くに生息するメヒルギという種のみを調査したため、結果的に地域や場所が限定されてしまったことだ。この理由としては、沖縄にあるマングローブ林の中でも漫湖が地理的に便利であったことや、マングローブは沼地に生息しており足場が不自由であるために木道の近くに生息するものを調査することになったからである。汚染度とマングローブの葉の汚染物質の貯蓄率の相互関係などを明らかにして、より正確で普遍性のある値を出すにはさらに大規模な調査が必要である。

5 展望

実験結果より、メヒルギには亜鉛イオンを葉に蓄積する特性があることが分かった。そこで、この結果を踏まえたメヒルギの機能の活用法を3つ推察した。

第一に、通常のバイオレメディエーションよりも自然界に配慮した水質浄化ができることだ。研究結果より、メヒルギ本来の機能を活用すれば生活排水に指定されている亜鉛イオンを自然界から回収することができる。具体的には、まだ落葉していないメヒルギの黄朽葉を採取し、黄朽葉が落葉して土壌に還る前に回収することで、メヒルギが吸収し貯蓄していた亜鉛イオンが自然界に戻ることを防ぐことができる。また、通常のバイオレメディエーションは、目的の汚染物質を吸収した生物らは個体ごと回収され、自然界に戻すことなく処分されるが、本手法は、回収した葉を粉碎し、それらを濾過して内容液を抽出するため、親水性である亜鉛イオンは抽出液と共に葉から分離される。そのため、濾過した際に分離された固形部は自然界に戻すことができ、葉を回収することで起きる生態系への影響を可能な限り削減できる。これは生態系の循環の仕組みを崩さず、自然の力を利用して水質浄化を行うため、環境面への配慮も十分になされた水質浄化法だと言える。

第二に、メヒルギの特性の汎用性が高いということである。生物の仕組みに則れば、生物は、取り込んだ物質を生体内に貯蓄する場合、特定の器官や組織に貯蓄、もしくは細胞内に輸送し貯蓄している。メヒルギには、亜鉛イオンや銅イオンなどの重金属イオンを貯蓄する器官が存在せず、この前提と本研究の結果を加味すると、メヒルギは亜鉛イオンを細胞内に貯蓄していると考えられる。本研究では、エンドサイトーシスや輸送タンパク質などがいかにして取り込むのか、それを貯蓄する細胞内の部位、器官の特定など詳細の解明には至っていない。しかしながら、メヒルギが亜鉛イオンを細胞内に貯蓄しているという仮説が正しければ、メヒルギの細胞が他の重金属イオンの吸収・貯蓄にも対応している可能性がある。つまり、水中の亜鉛イオンを貯蓄するメヒルギの機能には高い汎用性があると考えられる。

第三に、水質改善における費用対効果が高いという点が挙げられる。人工的に水質浄化作業を行う場合、人件費や機械投資、維持費やエネルギー代など、コストパフォーマンス

が悪いという一面をもつ。それに対してバイオレメディエーションには低コストで運用できるという利点がある。本研究で分かったメヒルギの機能を活用する場合、初期投資も大幅に削減でき、エネルギー代や人件費、維持費に関してはそのほとんどを必要としない。つまり、メヒルギを用いることで人工的な手段よりも比較的安価での水質浄化が実現可能なのである。

しかしながら、マングローブの過剰な増加は生態系に影響をもたらすため、水質浄化の目的だとしても無分別に繁殖させるべきではない。水質浄化の側面では自然環境に優しいと言えるが、生態系保全の側面におけるリスクは捨て難い。そのため、今回のようなメヒルギの性質を活用した水質浄化は、専用の施設の設定や区域の指定など、ある程度の規定や資金も必要となる。

今後の課題として、メヒルギが具体的にどのような条件でどの程度の亜鉛イオン、銅イオンを貯蓄するのか、他の重金属イオンや有害物質も貯蓄するのか、また他のマングローブの種にも同様な性質があるのか、という疑問点などを追求し、実現の可否について吟味する必要がある。

6 発表会について



図 10 発表会の様子

本研究は、地域と関係の根深い漫湖について、その保全も念頭において研究を行ったため、学校内だけでなく地域の方々にもこの研究について知って欲しいという思いから、漫湖水鳥・湿地センターから協力を得て、施設内で研究の報告発表会を実施した。中学生以上を対象としたセンターの職員の方を含めて 10 人以上のさまざまな職業や

年齢の方が参加して下さいました。質疑応答では、参加者の方から沢山の新しい発想や提案を頂き、意義深い発表会になった。今後は、今回見つけた課題点を克服し、研究を発展させ、より多く幅広い地域の方々とこの研究を通じて交流し、漫湖の水質の改善と理解を深めていきたい。

7 参考文献 (『タイトル』, 閲覧日)

- (1) 沖縄県 『沖縄の自然環境』, 2022 年 9 月 16 日
- (2) 沖縄県 『さあ、世界へ目指せ世界遺産』, 2022 年 9 月 16 日
- (3) 環境省 『遺産地域の特徴』, 2022 年 9 月 16 日
- (4) 沖縄県 『2018 年 沖縄の位置』, 2022 年 9 月 16 日
- (5) 沖縄県 『平成 20 年 国場川水系河川整備計画』, 2022 年 9 月 16 日
- (6) 田村正行 2016 年マングローブの面積変化を衛星画像で見る, Journal of The Remote Sensing Society of Japan Vol. 36 No. 4 (2016) pp. 407-409, 2022 年 9 月 16 日
- (7) 国際熱帯木材機関 『マングローブ林』, 2022 年 9 月 16 日
- (8) 国立環境研究所 『2007 マングローブと環境問題』, 2022 年 9 月 16 日

- (9) 岡崎健治, 山崎秀策, 倉橋稔幸, 榊原正幸『2016 重金属を吸収する植物による排水の浄化実験 土木学会論文集 G (環境), Vol. 72, No. 7, III__179III__185』, 2022 年 9 月 30 日
- (10) WHO 『2022 World Health Statistics』, 2022 年 9 月 27 日
- (11) 『Our World in Data 2022 Share of domestic wastewater that is safely treated』, 2022 年 9 月 27 日
- (12) 農林水産省 『第一章富栄養化現象』, 2022 年 9 月 27 日
- (13) United Nations Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development, 『Goal6 Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all』, 2022 年 9 月 27 日
- (14) 日本光合成学会 『2020 塩ストレス』, 2022 年 9 月 27 日
- (15) 環境省 『水質汚濁防止法改正関係 Q & A』, 2022 年 9 月 27 日
- (16) 漫湖水鳥・湿地センター 『漫湖のマングローブの歴史』, 2022 年 9 月 30 日
- (17) 漫湖水鳥・湿地センター 『ラムサール条約』, 2022 年 9 月 30 日
- (18) 加藤茂, 矢口行雄, 杉二郎 『1986 各種マングローブ葉のイオン組成 日本海水学会誌 第 40 巻 第 1 号』, 2022 年 7 月 15 日
- (19) 岡山大学 『2013 年 亜鉛の行き先を決める遺伝子を発見』, 2022 年 9 月 30 日
- (20) 公益社団法人日本薬学会 『エンドサイトーシスについて』, 2022 年 9 月 30 日
- (21) 漫湖水鳥・湿地センター 『漫湖のマングローブ植物』, 2022 年 9 月 30 日