

令和3年度汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ

日 時 令和4年2月17日（木）

13：30～16：30

場 所 WEB会議

○島田室長 それでは、皆様、おそろいでございますでしょうか。

ただいまより令和3年度の汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループを開催いたします。

今回も昨年と同様に、コロナウイルスの影響を鑑みまして、ウェブ会議形式で開催をさせていただきます。

今年度は15回線を結んでの完全オンライン環境での開催となりました。回線数が大変多うございますので、途中お聞き苦しい点や、進行する中でいろいろ問題が発生する可能性もございますが、御容赦のほどよろしくお願いいたします。

それでは、初めに、島根県環境政策課長の松尾のほうから挨拶を申し上げます。

○松尾課長 皆さん、こんにちは。島根県の環境政策課長、松尾でございます。

平成22年8月に立ち上げましたこの会議も、今年度で12年目、延べ回数では17回目の開催となっております。この間、委員の皆様には、専門的な立場からメカニズム解明に向けた様々な調査結果について、多くの助言、指摘をいただいております。改めて感謝を申し上げます。

昨年10月、国土交通省出雲河川事務所の河川巡視により、宍道湖にアオコの発生が確認されました。10月19日には宍道湖湖心でアオコレベル2、3、4が確認されたと報道発表されましたが、レベル4の発生は平成24年以来であり、実に約9年ぶりの発生ということになりました。この後の議事で、県の保健環境科学研究所が撮影したドローン映像なども皆様に御覧いただくこととしております。

本日の議事ですが、保健環境科学研究所から、斐伊川からの流入負荷、湖内の難分解性有機物、アオコの調査結果の報告、そして、今年度から港湾空港技術研究所に委託しております水質シミュレーションモデルの検討結果について報告いただくこととしております。また、環境省から島根県に委託いただいております湖沼水環境適正化対策モデル事業につきまして、保健環境科学研究所のほうから調査結果を情報提供させていただくという予定でございます。皆様には、こうした調査結果について議論をいただくとともに、今後の調

査の方向性についても御助言をいただきたいと考えております。

長時間となりますけれども、本日はどうぞよろしくお願いいたします。

○島田室長 それでは、議事に入ります前に、本日の会議資料の確認でございます。資料 1－1 から 1－5、資料 2－1、参考資料等、皆様、お手元にありますでしょうか。よろしいでしょうか。

それから、本日のオンライン設定でございますけれども、回線への負担を軽くするために、御発言をされるとき以外はマイクとカメラをオフに設定をしていただくようお願いいたします。御発言のときにマイクとカメラをオンにさせていただくということで、対応をお願いしたいと思います。

また、発言をされます際は、どなたの発言なのかが非常に分かりにくいところがございますので、大変お手数でございますが、質疑応答等、発言をされる際には、マイク、カメラをオンにした上で、お名前を最初に申し上げていただくと助かりますので、どうぞよろしくお願いいたします。

それでは、これから議事に入りますので、中村座長様、議事の進行のほうをお願いしてもよろしいでしょうか。

○中村座長 はい、かしこまりました。聞こえておりますでしょうか。

それでは、早速議事を進めてまいりたいと思います。たくさん議事がございますので、要領よくまいりたいと思います。

それでは、早速でございますけれども、1 番、調査・研究の状況で、①から⑤までありますけれども、まず 1 つずついきたいと思います。

①の斐伊川流域のリン負荷調査、資料 1－1 に基づきまして、保健環境科学研究所のほうから御説明よろしくお願いいたします。

○引野研究員 保健環境科学研究所です。それでは、「斐伊川流域のリン負荷調査」と題しまして、引野が発表させていただきます。よろしくお願いいたします。

一般に湖沼において、河川からの流入や溶出によって、リンや窒素が増加します。これにより、右の写真のようなアオコや赤潮などの藻類が増殖し、水環境の悪化が懸念されます。これらの問題は宍道湖においても同様であり、このことから、宍道湖の水質改善につながる上で、リンや窒素による宍道湖の汚濁メカニズムを調査することは重要であると言えます。

これまで島根県では、宍道湖の流入負荷削減のために様々な研究や対策を行ってきてお

ります。具体例といたしましては、工業排水・生活排水の負荷削減、肥料の適正量利用などがあります。左側には、宍道湖に係る湖沼水質保全計画の7期より、全リンの推移を抜粋しております。こちらを見ていただきますと、全リンとしては徐々に減少が見られておりますが、ピンクの自然系に注目していただきますと、自然系については減少していないことが分かります。

ここで、宍道湖に流入する斐伊川の全リンについて注目いたしました。こちらには、2010年から2011年に行いました高頻度採水調査での、斐伊川出水時の全リンのTP上位20日間分のデータをグラフにしております。縦軸にはTPを示しております。凡例といたしましては、ピンクが懸濁態のリン、白が溶存態のリンとなっております。こちらを見ていただきますと、出水時にはTPの大半がピンクの懸濁態リンであるということが分かります。このことから、出水時において河川から流入するリンというのは、主に懸濁態の形、PPで流入するということが分かります。

ここで、懸濁態リン、PPについて説明させていただきます。懸濁態リンは、主に植物プランクトンやバクテリアとそれらの分解産物を中心とした有機物に含まれるリンと、粘土鉱物や金属酸化物などの無機物に結びついたリンがあります。また、この金属酸化物に結びついたリンの中には、鉄と結びついた鉄型リン、アルミニウムと結びついたアルミニウム型リン、カルシウムと結びついたカルシウム型リンがあります。本研究においては、この懸濁態リンのうち無機態リンである鉄型リン、アルミニウム型リン、カルシウム型リンに注目いたしました。

それでは、次に、こちらの形態別無機態リンのリンの溶出がどのような環境で起きるかについて説明させていただきます。先ほどの形態別無機態リンのうちアルミニウム型リンにつきましては、pH4以下の酸性条件下またはpH10以上の塩基性条件下で、カルシウム型リンにつきましては、pH4以下の酸性条件下にてリン酸が溶出するということが分かっております。このことから、環境水中のpHでは、アルミニウム型リンやカルシウム型リンからリン酸はほとんど溶出しないということが分かります。一方、鉄型リンについては、嫌気的環境下において、三価の鉄が二価の鉄に還元されます。この際、下の式のとおり、リン酸が溶出します。また、宍道湖は斐伊川からの淡水と日本海からの海水が入り交じった汽水湖であるため、嫌気的環境下においては、海水由来の硫酸イオンから硫化水素が生成されます。この硫化水素が鉄型リンに反応した際、式のとおり、リン酸を溶出します。このことから、リンの負荷には鉄型リンを把握することが重要であると言えます。

こちらには、過去の研究で行いました、斐伊川本川下流の灘橋における平水時の河床堆積物と、出水時に流れる懸濁粒子の形態別無機態リンの濃度のグラフとなっています。上のグラフは、縦軸に、粒子1グラムに含まれる形態別無機態リンの濃度を示しております。凡例といたしましては、白がカルシウム型リン、グレーがアルミニウム型リン、オレンジが鉄型リン、黒が易溶解性リンとなっております。また、このときのそれぞれの成分割合について、下のグラフに示しております。下の成分割合のほうを見ていただくと分かりやすいと思いますが、河床堆積物と出水時の懸濁粒子を見ていただきますと、成分割合が異なることが分かります。また、懸濁粒子のオレンジの鉄型リンに注目していただきますと、懸濁物のほうが鉄型リンが多く含まれているということが分かります。

ここで、出水時の、斐伊川支川である久野川、三刀屋川、赤川での形態別無機態リンの濃度について検討いたしました。縦軸には、先ほどと同じく、1グラムに含まれる形態別無機態リンの濃度を、横軸には地点を示しております。凡例は、先ほどと同じものを使用しております。このグラフのオレンジの鉄型リンに注目していただきますと、この1グラムあたりに含まれる鉄型リンは、ほかの2つの河川と比べて、赤川で非常に高い濃度になっているということが分かりました。

ここで、次に、出水時における赤川とその支川についての形態別無機態リンの濃度について検討いたしました。縦軸は、先ほどと同じく、懸濁物1グラムに含まれる形態別無機態リンの濃度を、横軸には地点を示しております。左側が上流、右に行くにつれて下流となっております。また、地点で赤く塗られているところが赤川の本川となっております。そのときのオレンジの鉄型リンに注目していただきますと、上流に比べて下流で鉄型リンの濃度が高いということが分かっております。

以上の結果より、出水時には鉄型リンを多く含む粒子が流れているということが分かりました。また、鉄型リンは湖内でのリン酸の増加に寄与します。このことから、鉄型リンを把握することが重要であると言えます。

そこで、本研究の目的といたしましては、宍道湖に流入するリンのうち、実際に宍道湖内でのリン負荷に寄与する鉄型リンの量を把握することを目的に、宍道湖での流入河川である斐伊川本川及び、過去の研究において鉄型リンが高濃度で検出されました赤川下流と下流で合流する支川にて調査を行っております。

調査地点についてです。調査は、斐伊川本川の三代橋、神立橋、灘橋及び赤川本川の春殖橋、前原橋、加茂大橋、また、春殖橋と前原橋の間で合流する支川の地点として岩熊橋、

前原橋と加茂大橋の間で合流する支川の地点として立原橋の計8地点で調査を行いました。

まず、赤川の形態についてです。こちらには、1リットル中に含まれる形態別無機態リンの濃度を示しております。左のグラフは、縦軸に1リットル中に含まれる形態別無機態リンの濃度、横軸は地点となっております。左が上流で、右に行くにつれて下流となっております。また、地点で赤く塗られた部分は赤川本川となっております。また、このときのそれぞれの存在割合を左のグラフに示しております。凡例については、先ほどと同じものを使用しております。

まず、左のグラフの結果を見ていただきますと、赤川本川の前原橋から加茂大橋にかけて、形態別無機態リンの総量とまたオレンジの鉄型リンの濃度は、それぞれ増加していることが分かります。しかしながら、右の存在割合のグラフを見ていただきますと、春殖橋から加茂大橋にかけて、支川を含めて、存在割合の大きな変化は見られませんでした。このことから、鉄型リンの発生源の特定には至っておりません。

次に、斐伊川と加茂大橋の結果についてです。縦軸に1リットルに含まれる形態別無機態リンの濃度を、横軸には調査地点を示しております。また、左から、調査を行った2021年7月5日、7月7日、7月12日となっております。また、7月5日の灘橋については調査を行っておりませんので、N. D. とさせていただきます。凡例は同じものを使用しております。こちらのグラフの7月5日、7月7日、7月12日において、形態別無機態リンの総量またオレンジの鉄型リン、それぞれ増加が見られました。

では、このときの降水量について見ていただきますと、こちらには斐伊川流域の7月3日から7月12日の1日の合計降水量を示しております。縦軸には降水量となっております。また、色を濃く塗っているのは調査を行った日となっております。こちらを見ていただきますと、7月5日から7月7日、7月12日を比べると、降水量としては徐々に増加しているということが分かります。この降水量を踏まえて、もう一度先ほどの結果を見ていただきますと、降水量の増加に伴い、形態別無機態リンの量が増加しているということが分かりました。

このときの存在割合、次に見ていただきます。上から7月5日、7月7日、7月12日となっております。凡例は先ほどと同じものを使用しております。この結果の、特に鉄型リンを見ていただきますと、鉄型リンは7月5日、7月7日、7月12日につれて、徐々に存在割合としては減少しているという結果が得られました。

ここで、鉄型リンの存在割合と流量の関係について検討いたしました。こちらには、神

立橋の2019年から2021年の鉄型リンの存在割合と流量をグラフにしております。また、神立橋の流量につきましては、水門水質データベースの上島の水位の暫定値から、国土交通省出雲河川事務所様より提供していただきましたH-Q式を用いて算出しております。また、斐伊川放水路を使用した際には、分流条件より放水路への分流は考慮しております。

もう一度グラフに戻りますと、横軸に調査日、右の縦軸に鉄型リンの存在割合、左の縦軸に流量となっております。凡例といたしましては、オレンジが鉄型リン、青が流量です。こちらのグラフを見ていただきますと、比較的流量が多くなっているときには、鉄型リンの存在割合としては低くなるという結果が得られました。

こちらは、加茂大橋の結果となっております。また、加茂大橋の流量につきましては、水門水質データベースの町上の水位の暫定値から、先ほどと同様に、提供していただきましたH-Q式を用いて算出しております。加茂大橋の結果を見ていただきますと、先ほどの神立橋の結果と同様に、流量が多くなっているときには鉄型リンの存在割合は低くなっているという結果が得られました。

そこで、鉄型リンの存在割合と流量の関係について、相関により検討いたしました。左が神立橋の結果、右が加茂大橋の結果となっております。横軸には流量を、縦軸には存在割合を、100%を1として計算しております。こちらを見ていただきますと、神立橋においては相関係数がマイナス0.86、加茂大橋については相関係数がマイナス0.83と、それぞれ負の相関が得られました。この結果より、鉄型リンの存在割合と流量には負の相関があるということが分かりました。

次に、斐伊川の神立橋における負荷量について計算いたしました。2010年から2011年に行いました高頻度調査におけるL-Q式の結果を示しております。横軸にはLogの比流量、縦軸にはLogの比負荷量を示しております。こちらの結果に、2019年から2021年の結果を追加したL-Q式がこちらとなっております。また、斐伊川放水路を使用した際には、放水路の分流を考慮しております。

この2010年から2011年及び2019年から2021年のL-Q式を用いて、2021年1月から12月の1年間の年間負荷量を算出しました。算出した結果、斐伊川、神立橋の年間流出負荷量の計算値としては、TPが82 t/yearということが分かりました。また、下の図を見ていただきますと、2019年から2021年の結果より、TPのうちPPの負荷量は75%であるということが分かりました。また、PPの内訳といたしまし

ては、鉄型リンが25%、それ以外の形態別無機態リンが20%、また、そのうち残りの55%が形態別無機態リン以外のPPであるということが分かりました。この結果より、先ほど計算で出しましたTPの82 t/yearのうちのPPといたしましては、62 t/yearであるということが分かりました。また、鉄型リンとしては、15 t/yearであるということが分かりました。以上の計算結果より、2021年1月から12月のTPの年間流出負荷量といたしましては82 t/year、このうち15 t/yearが鉄型リンであるということが計算から得られました。

最後に、まとめです。鉄型リンについては、流量の増加に伴い負荷量は増加したものの、存在割合としては減少するという結果が得られました。しかしながら、形態別無機態リンの調査は、2019年から2021年の計15回のみしか行われておりません。また、2019年から21年の高比流量時を追加したL-Q式を用いて、2021年1月から12月の年間負荷量を算出した結果、TPとしては82 t/year、このうち15 t/yearが鉄型リンであるということが分かりました。

しかしながら、高比流量時400 m³/sを超えるデータが少ないことや、鉄型リンが宍道湖に流入した際のリン酸として溶出する量については検討できておりません。そこで、今後の研究、今後の予定といたしましては、高頻度での調査を行い、負荷量の把握、また懸濁粒子中の形態別無機態リンの分析、また、流出する鉄型リンにより、宍道湖湖底にてどの程度リン酸が溶出するかについて、今後検討を行っていきたいと思っております。

御清聴ありがとうございました。

○中村座長 御説明ありがとうございました。

それでは、御質問、コメントございましたら、よろしくお願いいたします。

○神谷委員 よろしいでしょうか。

○中村座長 神谷先生、どうぞ。

○神谷委員 引野さん、ちょっと基本的なところが分からないので、教えてください。

○引野研究員 はい。

○神谷委員 過去の研究②、①でもいいですけど、懸濁態リンの、これ平水時と出水時ですよね。

○引野研究員 はい。

○神谷委員 これを見ると、鉄型リンがすごく多いんだけど、出水時でね。後半の説明では、流量と鉄型リンの存在割合は逆比例するというのがね、そのときの量が非常に少な

いんだけど、ちょっとよく分からなかったんですよ。

○中村座長　いかがでしょうか。

○引野研究員　比較的流量が少ない出水時においては鉄型リンの割合が多いので、このような、7月5日のような形になるんですけども、放水路が開くような7月12日の場合にはだんだんと割合が減ってくるので、形としては、カルシウムとアルミニウムが増えることによって、鉄型リンが割合としては減ってくるというふうに見えるという。

○神谷委員　じゃあ、過去の研究①の例えば灘橋のこれ、平水時ですね。過去の研究②は、久野川、三刀屋川、赤川。赤川なんか見ると、これは出水時ですよ。

○引野研究員　はい。

○神谷委員　このときのリンの鉄態は80から90ぐらい、80ぐらいですか、すごい高いですよ。

○引野研究員　はい。

○神谷委員　後の説明で、流量と鉄型リンの存在割合……。割合だと20%とか、そんなもんですよ。ちょっと違い過ぎて。

○引野研究員　12とかの20パーということですか。

○神谷委員　そうそうそう。

○引野研究員　このときは、恐らく流量が増えたがためにカルシウムとアルミニウムの割合が増えてきたので、鉄型リンの割合としては減少したので、12日のような形では20%ぐらいまで下がっているのだと考えてもいいかと。

○神谷委員　委員　いや、でも、過去の研究の②のところ、カルシウムはアルミニウムより少ない。

○神谷委員　鉄型リンはすごく多いでしょう。これは出水時でしょう。

○引野研究員　これは出水時です。

○神谷委員　それで、80%ぐらい鉄がある。

○引野研究員　はい。

○神谷委員　こういう結果から得られるんでしょう。

○引野研究員　はい。

○神谷委員　それと、あとのこの流量と鉄型リンの……。

○引野研究員　ああ、60%ぐらいずつ。

○神谷委員　90%はないでしょう。

○引野研究員　そうですね。

○神谷委員　ちょっと分からないです。

○引野研究員　恐らくこれはその水位の、流量の違いによっても出てくると思うんですけど、この辺のまだ調査が、数が圧倒的に少ないので、その辺についても今後検討していきたいなと思っております。

○神谷委員　はい、分かりました。ちょっと、80%もあるでしょう。

○引野研究員　あります。

○神谷委員　となると、これは異常値になってしまいます、この相関式取ったのよね。

○引野研究員　はい。

○中村座長　ちょっと座長からよろしいでしょうか。

さきほど議論があった、2019年7月11日の流量はすごく少ないですよ。

○引野研究員　はい。

○中村座長　10ページの記載のミスだろうと思います。出水時というよりも平水時なんじゃないですか。出水時における斐伊川の支川というふうに書いてありますけど、さっきの17ページ、18ページのグラフを見ると、この2019年7月11日というのは流量が少ないですよ。

○引野研究員　はい。

○中村座長　青い色が流量ですから、流量はもうちょっと小さいですよ、神立橋なんかを見ると。

○引野研究員　はい。

○神谷委員　19年の7月11日。

○中村座長　うん、7月11日。

○神谷委員　そうか、そうか、分かりました。

○引野研究員　はい。

○神谷委員　引野さん、出水時じゃなくて、多分現実には平水時だね。ということなら分かる。

○狩野企画幹　すみません、事務局からいいですか。

○中村座長　はい。

○狩野企画幹　すみません、先ほどの神谷さんの御質問ですけれども、中村座長がおっしゃるとおり、スライドでいうと18ページ目のほうがイメージがいいのかなと思います。

一番左側の2019年の7月11日ですね、流量が非常に低い状況でございまして、黄色の鉄型リンの割合が、これが大方が8割近く示しているのかなというふうなグラフになっております。ですので、神谷さんの御指摘ありました、10ページ目の出水時におけるところが、出水ではあったんだろうが、低出水というか、そこまで大きな出水ではなかったというふうに捉えていただくといいのかなと思っております。以上です。

○中村座長 赤川の支川の様子はよく分かりませんが、全体の結果から見ると、出水では全然なかったんじゃないかなと思うんですけどね。むしろ非常に流量が小さいときだったんじゃないかなと思うんですけど、17ページは神立橋の流量だから、ずっと下流ではありますね。それは後でちゃんと確認してください。

○引野研究員 後で確認させていただきます。

○中村座長 ほかにはいかがでしょうか。

○清家氏 清家です。

○中村座長 清家先生、どうぞ。

○清家氏 すみません、オブザーバーで参加しているんですけど、少しだけ発言させてください。

ここに関連してなんですけども、恐らく鉄型リンというのは粒子径が小さくて、それからアルミニウム型リン、カルシウム型リンというのは粒子径が大きいというふうに考えられるんじゃないかと思ってます。ですので、流量が小さいときには軽いものだけ、則ち、粒子径の小さいものが巻き上がって、それで鉄型リンの存在割合が増えるんじゃないかと。一方、流量が大きくなると粒子径の大きいものまで巻き上がってしまうので、アルミ型とかカルシウム型の存在量が増えるというように考えれば、つじつまが合うのかなという気がしています。コメントです。

それから、引野さん、汽水湖の場合、硫化水素の影響で鉄型リンから溶出するという話がありました。

○引野研究員 はい。

○清家氏 それで、理論的にはそれでいいんですが、恐らく島大で実験的にも確かめたデータがあるはずなんですけど、それをもしお持ちだったら、ちょっと説明していただけますか。

○引野研究員 ちょっとお待ちいただいてもよろしいでしょうか。

○清家氏 はい。

○引野研究員　こちらが、島根大学の江川助手、菅原講師より提供いただいた、宍道湖湖底堆積物を用いた室内実験の結果です。見ていただきたいのが、下から鉄型リン、白がアルミニウム型リン、一番上がカルシウム型リンとなっております。丸が硫化水素です。この硫化水素の増加に伴い、この鉄型リンが減少しており、減少した分がリン酸として溶出しているということが分かります。一方で、アルミニウム型リンとカルシウム型リンについてはほとんど変わらないという結果が得られていることから、硫化水素があることで鉄型リンからリンが溶出しているという結果が、室内実験からも分かると思います。

○清家氏　ありがとうございます。

それから、もう1点だけ、スライドの24番をちょっと開けてみてください。

○引野研究員　お待たせいたしました。

○清家氏　これですね。それで、鉄型リン（25%）と、その他の無機態リン（アルミニウム型リンとカルシウム型リン）（20%）、併せて45%で、その他のP P（55%）ということは、恐らく鉄型リン、アルミニウム型リン、それからカルシウム型リンの各分析手法を考えると、硫化水素にも影響しないし、アルカリや酸でも溶出しないものがその他のP Pなので、恐らく有機態のリン（POP）が主じゃないかなと思うんですけどね。

○引野研究員　はい。

○清家氏　それで、その流量によって、このその他のP P（POP）が変化しないかなという気もしてて、だから、その辺の関係も今後検討いただきたいなと。

○引野研究員　はい。

○清家氏　このPOPの存在割合が流量によって変わってくるのか。鉄型とその他の無機態リンの存在割合が変わってくるのか。その他のPOPについても同じような検討をしていただけますか。

○引野研究員　はい。

○清家氏　そうすると、新たに何か見えてくるものがあるんじゃないかなと思います。

最終的には、宍道湖の湖底から溶出されるリンの起源として、流入してきた無機態リンのうち、今のところ、鉄型リンが一番影響が大きいというふうに考えられますが、もし有機態リンとして入ってくるものが多ければ、当然、それも分解・溶出する可能性があります。結果（図）をみるとPOP存在割合が結構大きいので、そこも検討しておく必要があるという気がします。

○引野研究員　ありがとうございます。

○清家氏 これはコメントです。

○引野研究員 今後検討していきたいと思います。

○清家氏 ありがとうございます。以上です。

○中村座長 コメントありがとうございました。前半の御指摘は、鉄型のリンの存在割合がやっぱり流量に逆比例しているという点です。どちらかという、小さな粒径あるいは比重の小さい粒子に存在しており、比較的少ない流量でもすぐ巻き上がって移送されると。そのほかのカルシウム型リンとかのものは、どちらかという大きな、あるいは比重の大きい粒子で構成され、なかなか巻き上げにくいと、そういう御指摘だったというふうに思います。そうすると、かなりメカニズム的にも、うまく整合性をもって整理できそうだなというふうに思いました。ありがとうございました。

ほかにはいかがでしょうか。

私のほうから1点、ちょっと確認をしたいところなんですが、宍道湖のほうで嫌気的な環境で溶出するリン、これがもともと川から運ばれてきて、鉄と結びついていたリンが剥がれて出てくるというふうな、そういう御説明というように考えました。一方で、鉄を中心に考えると、河川流域の中で必ずしもリンに結合してない形態の鉄があって、それが湖の湖底の中で、嫌気的な状況で二価鉄になったり、あるいは酸化的な状況で三価になると。そういうふうにくるぐる循環している中で、湖沼環境中あるいは底泥中で二価から三価に変わったものというのは、アモルファスな形態でリンを吸着しやすい、そういう性質があるんじゃないかなと思うんですよね。そうすると、ここの御発表のイメージだと、もともと鉄とリンがくっついていたものが、湖底の解析物の中で嫌気環境あるいは好気的な環境でくっついたり離れたりというイメージなんだけども、それ以外に、必ずしもリンと結合してない鉄が運ばれてきて、それがまた二価になったり三価になったりするところで、リンと型の結合したり離れたりというところがあるんじゃないかなと思うんですけど、その辺りはいかがでしょうかね。

○引野研究員 出水時の斐伊川の濁水については、鉄型リンだけではなくて、全鉄と溶存鉄も測っているので、その辺のあたりも併せて検討していきたいと思っております。

○中村座長 ありがとうございます。鉄も測られているのであれば、鉄そのもののLQ式みたいなものと、それからリンと結合しているタイプの存在割合というふうなものも考えてもらって、どちら側の寄与がどれぐらいの大きさなのかというところも併せて検討いただけるかなというふうに思います。

○引野研究員 ありがとうございます。

○中村座長 よろしく願いいたします。

ほかにはいかがでしょうか。

○中田委員 すみません、中田ですけれど。

○中村座長 中田先生、どうぞ。

○中田委員 よろしいですか。今の中村先生のお話と関係するんですけれども、鉄の負荷というのは非常に関心があって、特に鉄自身は、リンも出すということはあるんですけども、硫化水素が湖底から溶出することを防ぐ役割も持っているので、鉄のいろんな形態別に、川からどれぐらい入ってくるのか、それが湖の中で、どういう分布をしてるかということが非常に重要な情報になるんじゃないかなというのはあるので、ぜひお願いしたいということ。

もう一つは、藍藻の、特にアオコのマクロキスティスみたいなものというのは、非常に増殖するときに鉄をたくさん必要とするということと言われておりまして、特にアオコが発生することと鉄の量というのは非常に関係があり、藍藻が増えることと鉄との関係というものを、これから調べていく必要があるんじゃないかなとは思ってるんですけど、その辺はいかがなんでしょうか。

○神門部長 保環研、神門です。お世話になっております。ありがとうございます。

アオコの関係について、今のところ鉄との関連というのは調べておりませんが、今後いろいろな課題の中の一つとしてやっていきたいと思います。ありがとうございます。

○中村座長 ありがとうございます。

ほかにもあるかもしれませんが、ちょっと時間が押しておりますので、次に一応進めたいと思います。また、全体を振り返って何かございましたら、そのときにお伺いしたいと思います。

○引野研究員 ありがとうございます。

○中村座長 どうもお疲れさまでした。

それでは、②番の難分解性COD調査の御説明を、やはり保環研のほうからよろしくお願いいたします。

○高見主任研究員 保健環境科学研究所水環境科の高見が難分解性COD調査についてお話しさせていただきます。

先に、宍道湖・中海の現状についてお話しします。宍道湖及び中海では、湖沼水質保全

計画に基づき、下水道整備や事業場規制等の各種発生源対策を実施することにより、流入負荷が削減されております。各種の発生源対策により流入負荷が減っても、CODがほとんど改善しておりません。こちらのグラフがCODの経年変化になります。緑が宍道湖、黒が中海です。このように、特に宍道湖でCODが減少していない原因の一つとして、難分解性有機物の存在が考えられております。

難分解性有機物とは、生物学的に分解されにくい有機物のことで、フミン酸など多様な物質が含まれ、一般的に機器分析等で成分分析を行うことは困難です。また、難分解性有機物そのものを直接表す指標はありません。そこで、比較的簡易な方法として、100日間の生分解試験法、100日分解法というものがあります。この方法は、採取した検体の100日間の生分解試験を実施し、その前後の有機物濃度を測ることで、難分解性有機物の濃度を把握する方法です。

ここから、当所で行った調査の内容説明に移ります。この調査は令和元年度から取りかかっており、以前の研究を改善した実験方法の確立と、難分解性有機物の評価を目的としております。令和元年度には、容器内壁への付着物による影響や大気中からの汚染の低減、温度管理方法の検討を行いました。令和元年度に検討された試験方法を用いて、引き続き令和2年度から3年度は難分解性有機物の調査を行い、試験方法の妥当性の評価や難分解性有機物の季節変動、地点間変動の追跡を行いました。調査地点は図に示すとおりで、斐伊川の神立橋、宍道湖湖心S3の上層と、さらに湖心N6の上層と下層です。調査は2か月に1回行いました。

具体的な100日分解試験の操作方法を簡単に御説明します。洗浄した250ミリリットルのポリカーボネート製NALGENボトルに、宍道湖、中海、斐伊川の検体と、操作ブランク測定用の超純水を100ミリリットルずつ入れます。それを黒色のビニール袋に入れて、水平振盪機にセットします。20度の暗所で100日間生分解を行います。100日後、原水のCOD、TOC、DO、pHを測定します。また、GF/Cでろ過を行い、CODとTOCを測定します。

それでは、実験結果をお話しします。まず、生分解性試験方法の評価ということで、容器の汚染等の影響を確認するため、操作ブランクのCODとTOCを測定しました。こちらも、グラフに示すように、COD及びTOCともにおおむね0.2mg/L以下で、汚染を抑えた生分解試験が実施できていました。

次に、宍道湖の検水の100日分解試験の結果をお話しします。右のグラフは、点線が

100日分解の前のCOD、塗り潰した部分が100日分解後の難分解性CODを表しています。黒の塗り潰しは懸濁態のCOD、青の塗り潰し分は溶存態のCODを表しています。溶存態のCODについては、原水を100日分解後にろ過してCODを測定しております。難分解性COD濃度は2.1から3.1mg/Lで、平均は2.6mg/Lでした。夏から秋頃に高い傾向を示していました。また、難分解性CODは、青の塗り潰しで示している溶存態の割合が高いことが分かりました。

次に、中海上層の結果をお話しします。難分解性CODは1.7から2.9mg/Lで、平均は2.1mg/Lでした。こちらも、宍道湖上層と同様に、夏から秋頃にかけて高くなる傾向が見られました。また、難分解性CODは、青の塗り潰しで示している溶存態のCODの割合が高いことが分かりました。

次に、中海下層の結果をお話しします。難分解性CODは1.4から2.9mg/Lで、平均は1.9mg/Lでした。季節変動は特に見られず、おおむね横ばいでした。中海下層も、難分解性CODは溶存態の割合が高くなりました。

最後に、斐伊川の測定結果をお話しします。難分解性CODの濃度は1.1から1.9mg/Lで、平均が1.4mg/Lでした。季節変動は特に見られませんでした。難分解性CODの割合は、他の地点ほどではないですが、溶存態のほうが高かったです。

TOCの測定も行いましたので、各地点のCODとTOCの測定結果を並べました。上がCOD、下がTOCになります。左から斐伊川、宍道湖上層、中海上層、中海下層になります。各地点ともにTOCはCODと似たような傾向を示し、宍道湖上層及び中海上層においては、夏から秋にかけて高い傾向がありました。

次に、各地点の難分解性CODをまとめたグラフが、こちらになります。青線が斐伊川、緑が宍道湖上層、黒が中海上層、赤が中海下層になります。難分解性CODは、宍道湖上層が最も高く、次に中海上層、中海下層が高く、斐伊川が最も低くなりました。

この研究のまとめですが、引き続き汚染を抑えた生分解試験を行うことができました。2019年9月から2021年9月までの生分解試験の結果、宍道湖・中海の上層では、難分解性有機物濃度が夏から秋にかけて高くなりました。本調査による難分解性CODは以下のとおりでした。平均値は、宍道湖上層で2.6、中海上層で2.1、中海下層で1.9、斐伊川で1.4mg/Lでした。

ここから、昨年度の指摘事項に関連した実験を行いましたのでお話しさせていただきます。

まず、1つ目に、昨年度試験的に行ったろ液の分解実験に関しまして、100日分解前にろ過したものと100日分解後にろ過したものを比べると、前者のほうがCODが高くなっていることについて、ろ過操作を最初にやることによって分解者そのものが減少したために、100日分解後のCODがあまり下がらなかったのではないかという御指摘をいただきました。それについて、今年度も追加でろ液の100日分解試験を行いましたので、結果についてお話しします。その後、ろ液の生分解性に関するBOD実験を行いましたので、内容をお話ししたいと思います。

2つ目に、有機物分解試験で、ゼロ日と100日だけでなく、途中も測定することで分解速度が求められるのではないかという御指摘をいただきましたので、TOCの経時変化について測定し、反応速度式についても検討を行いました。

まず、1つ目のろ液の分解実験について御説明します。先ほどまで2年余りの難分解性COD調査結果をお話ししていましたが、難分解性CODの溶存態の量は、原液を100日分解した後にろ過操作を行い、CODを測定することで求めておりますが、このように、原液を100日分解した後にろ過したもののCODをD-COD100日とします。それに対して、ろ液の100日分解試験では、100日分解後にろ過するのではなく、検体採取日にろ過をしたろ液を用いて100日分解後のCODを測定しました。この100日分解後のろ液のCODを、ろ液COD100日とします。昨年の発表で、ろ液COD100日は、100日分解後にろ過したD-COD100日と比べてCODが高くなったことに関して、ろ液COD100日は、ろ過により分解者が減った状態で100日分解を行うからCODがあまり下がらないのではないかという御指摘をいただきました。ろ液の100日分解試験を2020年7月以降で計5回実施しましたので、結果をグラフに示します。オレンジの四角でプロットしているのが、ろ液を100日分解した後のCODです。また、青の塗り潰しで示しているのが100日分解後にろ過したD-COD100日です。比較すると、オレンジ色でプロットしたろ液COD100日が5回ともそれより少し高い値になりました。検体採取日にろ過することで、ろ液のほうが原液に比べてCODが低くなりまして、もともとのCODが低い分、100日分解後は青の塗り潰しより、オレンジのプロットが低くなってもよさそうなんですけれども、結果は5回ともそうはなりませんでした。

昨年、御指摘のあったとおり、この要因としてろ過により有機物の分解者を減少させてしまっていることが考えられました。

そこで、ろ液の生分解性がどの程度か確認するための実験を行いました。今回、BODの工場排水試験方法を参考に実験を行いました。BODの試験方法を簡単に御説明します。CODの工場排水試験方法では、試料を希釈水で希釈し、20℃で5日間放置ときに消費された溶存酸素の量からBODを計算します。その際、試料中に好気性の微生物及び細菌が存在しない場合には、植種希釈水で希釈することになっております。その植種希釈水というのは、有機物を分解する種を含む植種液を希釈水で適切に希釈して調整したものです。この有機物を分解する種を含む植種希釈水の活性度の確認をする際に、グルコース・グルタミン酸混合標準液のBODを測定して、 $220 \pm 10 \text{ mg/L}$ であることを確認します。グルコース・グルタミン酸混合標準液は、以下、標準液とさせていただきます。有機物を分解する種を含む宍道湖湖水のろ液を植種希釈水としまして、植種希釈水の精度の確認方法を用いて、宍道湖湖水のろ液の生分解性の確認を行うことにしました。

実験の流れを御説明します。植種希釈水を宍道湖湖水のろ液としまして、フラン瓶に植種希釈水及び植種希釈水に標準液を添加したものをそれぞれ入れます。それぞれのDOを測定しまして、密栓して培養させます。5日後に取り出してDOを測定し、標準液のBODを計算しました。結果は、標準液のBODが189という結果になりました。先ほどお話ししましたが、工場排水等のBOD測定に使用する植種希釈水は、標準液のBODが $220 \pm 10 \text{ mg/L}$ のものを使用しており、それよりやや低いんですけども、範囲内にはありました。ろ過の際の分解者の減少というのは否定できないんですけども、ろ液にも生分解能がかなりあることを確認できました。

続きまして、有機物濃度の経時変化について調べました。一度に100日分解できる検体数は限られておりますので、少量の検体量で測定できるTOCを用いて有機物濃度の変化を調査しました。100日分解において、5日目、14日目、28日目、57日目、100日目に検体を取り出しTOCを測定し、ろ過をしてTOCを測定しました。測定結果はこのようになりました。宍道湖・中海では、黄緑色で示しましたPOCはゼロから28日までに急激に低下、ほぼゼロに近い値になっております。このことから、約1か月の間に懸濁態の分解はほぼ完了することが分かりました。また、青い線で示しておりますDOCは、黄緑色で示したPOCに比べると緩やかに低下しております。斐伊川については、もともとの濃度が低いこともあり、特に懸濁態ではほぼ変化が見られませんでした。

先ほどの測定結果を基に反応速度式に関する考察も行いました。一次反応の場合の一般的な式がこちらになります。微分をしましたこちらの式に濃度と時間のデータを入れると、

回帰直線の傾きと接点から、反応物の初濃度と速度定数Kが求められます。そこで、宍道湖上層のTOC濃度の検体数を縦軸に取りまして、日数を横軸にとるとこのようなグラフになりました。直線ではなく曲線を描くようなプロットになってしまいました。そこで、TOCの分解性により式を分けて考えることにしました。分解しにくいTOCを準難分解性TOCとしまして、SR-TOCと表します。速やかに分解するTOCを易分解性TOCとしまして、L-TOCと表します。イメージでいうとこちらの図のようになります。オレンジ色の部分が準難分解性TOCであるSR-TOC、緑色の部分が易分解性TOCであるL-TOCとします。それらを分けて反応速度式を求めることにしました。

まず、急激な濃度の減少が見られたゼロから14日目までにL-TOCが分解し、急激な濃度変化が見られない28日から100日には、SR-TOCの分解が行われるという仮定で速度式を求めました。SR-TOCの濃度の対数グラフはこのようになり、L-TOCの濃度の対数グラフはこのようになりました。それぞれ回帰直線の傾きと接点から反応速度式を求めました。SR-TOCについては、このように濃度= $1.93e^{-0.019t}$ となり、L-TOCについては濃度= $1.09e^{-0.1955t}$ となりました。グラフにそれぞれ表すとこのようになります。先ほど求めたSR-TOCとL-TOCの反応速度式を足し合わせることで、トータルのTOC濃度の量が出ました。こちらになります。この式はフル3Dモデルの水質計算に使う生態系モデルに入っているマルチGモデルとよく似た形をしていました。グラフ上に表すと、こちらの青い線のようにになります。このグラフ上に黒い点で実測値を乗せました。6点しかないものの計算値とほぼ一致しました。また、濃度が半分になる半減期を計算すると、SR-TOCでは366日、L-TOCでは3.4日という結果になりました。同様に、中海上層、中海下層、斐伊川でトータルのTOC濃度について反応速度式を求めたところ、こちらのようにになりました。それぞれ測定値と求めた反応速度式の計算値はよく一致しました。半減期の計算結果はこちらの表のようになります。SR-TOCについては、宍道湖で366日、中海上層で295日、中海下層で728日、斐伊川で2,225日、約6年という結果になりました。L-TOCについては、宍道湖で3.5日、中海上層で4.4日、中海下層で5.7日、斐伊川で5.5日という結果になりました。

今回は1回の実験結果からつくったものなのですが、このようなものを水質予想モデルに取り込むことができるかもしれないと思っています。

以上で発表を終わります。ありがとうございました。

○中村座長 どうもありがとうございました。

それでは、御質問、コメント、よろしくお願いいたします。

大変苦勞の多い、時間のかかる実験で、しかしながらシミュレーションモデルでは、極めて重要なパラメーターがここでまとまったんじゃないかなというふうに思います。

御質問いかがでしょうか。

○中田委員 中田でございます。

○中村座長 中田先生、どうぞ。

○中田委員 いいでしょうか。非常に、モデル屋からすると、非常に重要な情報が得られて、いい実験結果が出てきたなという感想を持ちました。

もう一つ、ちょっとお願いしたいのは、宍道湖・中海とも、比較的、難分解性の有機物が、DOCが割と季節的に少し変化はするけども、コンスタントにあるということなので、河川からのDOCの分析はやられてるんですけども、いわゆる処理場から出てくる溶存態の有機物は、一易分解性と難分解性のどういう割合なのかなというのが非常に興味があるんですけども、特に宍道湖でこういう具合にコンスタントに残ってるというのは、かなりそちらの寄与が大きいんじゃないかなという感じがするんですけども、いかがでしょうか。

○高見主任研究員 処理場等からのTOCの割合とかそういったところについては、今の段階で検討できませんでしたので、今後の課題とさせていただきたいと思います。

○中田委員 よろしくお願ひします。

○高見主任研究員 ありがとうございます。

○中村座長 ありがとうございます。

この12ページの図を今見せていただいているんですが、この特に青い色の線を通して見ると、川から入ってくる濃度は若干低めで、宍道湖で一挙に上がって、中海になるとまたちょっと減ってるんですよね。中海でも上層のほうは若干下層よりも高めかなと。この辺りを比べると、負荷としてまだ捉えられてないものが入ってるのか、あるいは湖水の中で生産、特に宍道湖で生産をしているのか。この辺りがどうなのかなというふうに思うわけですけども、例えば、季節変化は少ないんですけども、クロロフィルの季節変化と比べると、青色で示した季節的な変動がそれと連動してるのか全然違う変動パターンなのか、その辺りはいかがでしょうか。

○高見主任研究員 調査期間中のクロロフィルの値では、今出しました下のグラフのよう

になっております。黒の線はもともとのCOD、100日分解していないCODを表して
いまして、黄緑の線がクロロフィルの値を示しているんですけども。

○中村座長 ありがとうございます。

これを見ると、やっぱり若干関連性がありそうな形ですね。

○高見主任研究員 はい。

○中村座長 この辺はいろいろと議論があるところだと思うんですけども、この辺りから
少し内部生産、湖水の内部生産として出てきてる、そういう報告も霞ヶ浦なんかではあつ
たというふうに思いますし、あとは底泥から溶出してくるものが寄与はどうか、中海
だけを見ると下層のほうは濃度が低いので、溶出した寄与は少なそうには見えるんですけ
れどもどうかなと。今後、こういうところがさらに深まってくると、湖沼の管理において、
今、CODの変化について定量的な説明ができないような現象が湖でも沿岸海域でも起こ
ってるので、少しでもその解明につながるようなデータ、あるいは調査になるんじゃない
かなというふうに思いました。ありがとうございます。

○中田委員 よろしいでしょうか。

○中村座長 どうぞ。

○中田委員 今、中村先生のお話を引き継ぐようで申し訳ないんですけど、植物プランク
トン、モデル上では、細胞外分泌でDOCを出すようになってるわけですが、それが珪藻、
緑藻、それから藍藻によって、その細胞外分泌で出されるDOCのうち藍藻性のものの割
合がどうなのかっていうのは非常に興味があるところで、なかなか実験は難しいかと思う
んですけども、そういったことも将来考えていただければなとは思いますが、いかが
でしょう。

○神門部長 現時点でそこまでできていないところはありますけれども、これ、いろんな
優先順位ありますけれども、いろいろあるうちの1つとしては温めておいて、どっかのタ
イミングでやっていきたいなというふうに思います。ありがとうございます。

○中村座長 中田先生、よろしいでしょうか。

○中田委員 ええ、どうもありがとうございました。

○中村座長 ありがとうございます。

ちょっと私の進行が不手際で、大分時間が超過しております。まだあるかもしれませんが
けれども、一旦ここで終わりにさせていただければと思います。ありがとうございました。

○高見主任研究員 ありがとうございました。

○中村座長 それでは、3番目の調査研究の状況として、プランクトン調査、アオコに関する調査研究、資料1－3に基づいて御説明を。これも保環研のほうからよろしく願います。

○野尻主任研究員 保健環境科学研究所の野尻です。それでは、こちらのタイトルで発表させていただきます。

まず、早速なんですけども、こちらが今年度発生したアオコを顕微鏡で観察したときの写真になります。今年度は約10年ぶりにアオコの大量発生が確認されましたので、御報告をさせていただきたいと思います。

それでは、初めに、本調査の目的なんですけども、平成22年度から24年度にかけて、宍道湖ではアオコの大量発生が3年連続して観測されました。このときには景観の悪化ですとか、ガスのような異臭が発生するといったような問題を引き起こしました。このアオコの対策について検討する必要があるんですけども、このためには、まず、アオコの発生メカニズムを解明しなければなりません。このメカニズム解明に向けました課題といたしまして、いつ、どのような条件になるとアオコが発生するのか。どこで発生して、どのように全域に広がっていくのか。また、アオコの起源はどこなのかといった課題があります。

これまでの調査の成果なんですけども、過去のデータを統計解析した結果、宍道湖でアオコが発生する条件は、表層の塩化物イオン濃度が低くて、前月の水温が高いときであるということが分かりました。このときに作成したアオコ判別式がこちらでして、このZ2がプラスになると、1か月後にアオコが発生するという予測をする式になります。こちらのように水質計などで比較的簡単に測れる項目を入れることによって、事前にアオコの発生の予測ができるようになったというところがこの式のいいところになります。

続いて、今年度のアオコ調査の計画です。アオコの発生メカニズムを解明するためには、アオコ発生前から詳細な現場調査を行う必要があるということで、先ほどのアオコ判別式を用いました。まず、先ほどの判別式を使って、1か月後にアオコが発生するかどうかを予測します。次に、この判別式がプラスになって1か月後にアオコが発生するかもしれないと予測されたところで、一、二週間に1回の頻度で調査を行うこととしました。今年度は国土交通省さんの水文水質データベースを使用することができませんでしたので、当所で各種調査に出かけたときのデータを用いています。塩化物イオン濃度は分析の効率化を図るためにECから換算して行いました。

それでは、こちらが今年度のアオコ判別式、Z 2の結果になります。この丸で示したのがZ 2で、青が水温、グレーがEC、塩分になります。今年度は高めの塩分で推移していたんですけども、7月のここの辺りですね、記録的な大雨が降りました。そこで一気にECが下がったことによって、この7月の中旬、判別式がプラスになりました。このため8月頃にアオコが発生するかもしれないということで、この7月14日から調査を開始しました。結果からお話ししますと、7月14日にアオコ調査を開始しまして、予測されていた8月にはアオコの発生はなくて、結局10月4日にアオコの全域発生を確認しました。さらに、この10月下旬頃になってきますとアオコの大量発生を観測しておりまして、冒頭の御挨拶でもありましたけども、この大量発生は平成24年以来9年ぶりのこととなります。

それでは、ここで本年度のアオコの様子を御紹介したいと思います。動画になりますので、通信の具合でうまく映らないかもしれません。御了承ください。

こちらが10月24日、アオコの大量発生が観察され始めたぐらいのドローンの映像です。場所は宍道湖南岸の玉湯町沖から西の方向、出雲の方向に向かって撮影をしたものです。アオコが湖面全体に広がってまして、画面の中央あたりは膜状に覆われているのが確認できます。このところどころ亀裂が入ったように見えますのは、鳥が通った跡になります。こちらの映像、先ほどの続きになるんですけども、ほぼ同じ場所から、今度は北側の松江市街方面に向かってぐるっと全体が映るように撮影をしたものです。先ほどのように膜状になってる部分は少ないんですけども、濃いところと薄いところがありまして、何層も筋状に広がっていることが確認できます。

続いて、本年度のアオコがどのように発生していたのか、アオコの発生状況の推移を表したものです。国土交通省さんがホームページで公表されているものを引用させていただきました。まず、10月4日にアオコが全域で確認されまして、10月の下旬には少し画像の濃い部分、アオコレベルの4になるんですけども、膜状のアオコが確認されるようになりました。先ほどの映像が10月24日のものなので、この辺りになるんですけども、色の濃い部分が一定ではなくて、日によって場所が動いていることが分かります。通常ですとアオコは風下に吹き寄せられますので、沿岸部でたくさん見られるということが多いんですけども、本年度の傾向としては、沿岸部よりも沖合のほうでたくさん見られるという特徴がありました。ですので、今年度、大量発生はしたんですけども、幸い10年前にあったような景観の悪化ですとか悪臭の発生といった問題はあまり耳にしませんでした。

本年度発生しましたアオコは、この10月の下旬から11月くらいにかけてピークを迎えまして、この後少しずつ落ち着いてきました。

では、本年度発生しましたアオコなんですけども、一体どのようなものが出現していたのか、顕微鏡で観察を行いました。こちらがアオコ調査の期間全体を通して観察しましたアオコ形成種の主なものになります。画面の左3分の2ぐらいがミクロキスティス属、右3分の1ぐらいが細長い糸状体をつくりますユレモ・ネンジュモ目になります。

これらのアオコは、基本的に淡水の種類になるんですけども、汽水湖である宍道湖であっても図鑑に載ってるような代表的なミクロキスティスというのは、ほとんどどの種類も見られるということが分かりました。

時間の都合上、1つずつの説明ができないんですけども、例えば、以前から宍道湖のアオコの原因と言われていたこのミクロキスティス・イクチオブラベ。こちらについて見てみますと、同じイクチオブラベとして整理したものの中でも、この左のように群体が袋状で細胞の濃淡があまりはっきりしないものであったり、この真ん中のように、逆に細胞の濃淡がはっきりしてるものだったり、この右のようにスポンジ状で、いかにも図鑑に載ってそんな典型的な形のものであったりと、系統の異なるものが見られました。このいずれの系統にも、イクチオブラベの特徴であります粘質がほとんどないですとか、細胞が3〜4 μm であるとか、色が赤茶色っぽい、といった特徴は一致をしておりました。ほかにも別種として整理したものであっても、お互いに似通った部分があったりとか、形が崩れてしまっていて、きっちりと分類することが非常に難しいんですけども、こちらのようミクロキスティス属を6グループに分けてまして、これらに入れることが難しかったものを、さらにミクロキスティス spp. としまして、ミクロキスティス属を合計7グループ、ユレモ・ネンジュモ目は1グループにまとめて観察を行いました。こちらいろんな種類は出ているんですけども、今回このミクロキスティス・アエルギノサと、ミクロキスティス・イクチオブラベ、こちらを覚えておいていただければと思います。

こちらがアオコ出現種の推移になります。本年度も、僅かな量のアオコでも捉えることができるようにプランクトンネットを用いました。目合い40 μm のプランクトンネットを使用しまして、約3,000倍に濃縮した試料1 mL中の群体数を数えました。この群体数は、群体のサイズが大きくても小さくても1群体としてカウントしております。縦軸に日付を取っておりまして、アオコ判別式がプラスになった7月14日から、アオコが全域発生する直前の9月29日までの出現種をまとめたものです。左から順に、西側から、S

ー6、Sー4、3、2、1で並べています。折れ線がEC、塩分を表しておりまして、7月と8月に大雨が降って塩分が下がってるんですけども、このときに、少し見にくいんですけども、茶色で示しましたユレモ・ネンジュモ目が僅かに流入してきたと思われます。このユレモ・ネンジュモ目は9月以降は出現を確認していません。その後、8月の下旬になりますと、この水色のミクロキスティス・イクチオブラベが明らかに増えてきましたので、このままミクロキスティス・イクチオブラベのアオコが来るのかと思っていたんですけども、この辺りで一旦減少します。この後、今度はこのミクロキスティス・アエルギノサが明らかに増え始めました。

次に、こちらが翌週の10月4日以降の分も含めました全期間の結果になります。いろんな種類のミクロキスティスが出てるんですけども、主には先ほどの、一つ前のスライドで増え始めましたミクロキスティス・アエルギノサ、これを中心とするアオコがこの10月4日、宍道湖全域で観察されました。すると、この翌週には、今度ピンクのアエルギノサが減りまして、今度はまたこの水色のイクチオブラベが増えてきました。この10月の下旬から11月にかけてこの辺り、今度はイクチオブラベを主な原因としますアオコの大量発生が起きました。

ここで、今年度発生しましたアオコの主な原因種が、こちらのミクロキスティス・アエルギノサとイクチオブラベということで、この2種に絞って推移を見てみることにしました。今回は、横軸に日付、縦軸にはアオコの増減が分かりやすいように群体数を対数で示しております。そうしますと、多少の地点差はあるんですけども、押しなべて右のイメージのように3つの山があるように整理しました。まず1つ目としまして、8月の下旬にイクチオブラベが増加して、一旦減少した1つ目の山。次に、9月の中旬に、今度はアエルギノサが増え始めて、10月の中旬にピークを迎えた2つ目の山。続いて、増え始めたアエルギノサを追うようにしてイクチオブラベが増え始めて、10月の下旬に大量発生となりました3つ目の山。

それでは、これらの3つの山を気象や水質と比較して検討してみたいと思います。こちらは宍道湖湖心におけるアオコの推移と水質、気象データを並べたものです。今回は地点間で明らかな差が見られませんでしたので、代表として湖心の結果を載せております。右上に宍道湖湖心の表層と湖底上50cmのアンモニア、硝酸、リン酸を表したグラフ、下に松江の気象、降水量と最大風速のデータ、さらにその下に国交省出雲河川事務所さんから御提供いただきました宍道湖湖心底層の溶存酸素と電導度を表したグラフになります。ま

ず、7月14日にアオコ判別式がプラスになりまして、1か月後の8月頃アオコが出るかと予測されたんですけども出なかった。これは8月の9日に台風がやってきてまして、ここでもかなりの量の雨と強風が観測されました。この台風の後もずっと大雨が続いてまして、降水量が多い分、日射量も抑えられていました。このように日射量が抑えられていたり、ほかにも滞留時間が短くなったり、アオコが拡散されて集積しにくくなったりといったようなアオコを形成しにくい状況がこの頃は続いていたと。そのため8月にはアオコが発生しなかったのではないかと推測されました。また、この一番下のグラフを見ていただきますと、この台風、8月9日の前に、下に潮が入ってきてまして、溶存酸素が低下してるのが見えるんですけども、これによって、ここでアンモニアやリン酸の溶出があった。ここでピーク1についてなんですけども、8月上旬から降り続いていた雨が落ち着いてきて、日照が回復し始めたこの8月下旬頃に、8月の頭に供給されていた栄養塩を使ってアオコが増えたのではないかと考えられました。それから、このピーク1のイクチオブラベの山は、9月7日に一旦下がるんですけども、この9月7日に落ち込んだ原因としましては、この日にアンモニアとリン酸が表層とか上も下もなくなってまして、これはほかの地点でも同じ傾向が見られてました。なので、ここでも増えかけたアオコがアンモニアとリン酸がここで枯渇してしまったことによってアオコの発生には至らなかったのではないかと考えられました。その後もこの9月12日ですとか、ところどころ塩分が入ってる様子が見られまして、どれが直接影響してるかは分からないんですけども、供給されたアンモニアですとかリン酸ですとか、あと硝酸もかもしれないんですけども、これらを使って再び徐々にアオコが増え始めて、ピーク2やピーク3につながったのではないかと考えました。それから、アオコが全域発生した10月4日には、特に表層で栄養塩の枯渇が見られまして、この後もアオコが大量に発生し続けているのに、10月4日以降あまり栄養塩がないように見えます。これは、この時点でもうアオコがかなりの量増えてまして、栄養塩が溶出とかアオコの分解とかで供給されてるとは思うんですけども、すぐに使われてしまうために検出されないといえますか、量的に少なくなったように見えるのではないかと考えています。

続いて、ピーク2とピーク3で、アオコの主な種がアエルギノサからイクチオブラベに移った点について考察します。8月に大雨が降って以降、ずっと低いところで推移をしておりましたECが、10月13日以降上がり始めました。こちらの下に、過去に行われたミクロキスティス・アエルギノサとイクチオブラベの室内実験の結果を載せておりまして、

この左が塩分耐性実験になるんですけども、こちら、右に行くほど塩分が高くなるんですけど、ピンクのアエルギノサは、この水色のイクチオブラベに比べると明らかに塩分に弱い。この実験の結果と完全に一致してるわけではないんですけども、やっぱりイクチオブラベは塩分に強いということで、この塩分の上がり始めた10月13日以降優勢になったのではないかと思います。さらに10月26日以降、水温も17℃とか13℃とか20℃を切ってきてまして、この辺りになるんですけども、ここでアエルギノサもイクチオブラベもそのまま増えにくくなって終息に向かったのではないかと考えています。

それでは、今年度のアオコのまとめです。汽水湖である宍道湖でも様々なアオコ形成種が出現していることが分かりました。そして、10月上旬に宍道湖全域でミクロキスティス・アエルギノサによるアオコの発生を確認しました。さらに10月下旬には、ミクロキスティス・イクチオブラベによるアオコの大量発生が起きました。これは、最終的に塩分に強いイクチオブラベが塩分の上昇に伴って優勢になったためであると考えられました。

次に、この発生が予測より遅れたことについて、アオコ判別式から、8月にアオコが発生すると予測されたんですけども、10月上旬の発生となりました。これは、アオコが遅れた要因の一つとして、8月上旬から荒天が続いたことによってアオコの発生が抑制されたと考えられました。その後、9月の中旬になりますと、アオコ発生の条件、高水温で低塩分が続いていたところに、アンモニアやリン酸などの供給、日射量の回復といった条件がそろってきたことを契機に増加を始めたのではないかと推測されました。

サンプリング手法については、プランクトンネットを用いて濃縮倍率を上げたことによって、アオコ発生前の僅かな量のアオコ形成種でも観察することができました。大量発生時には目詰まりを起こしてしまうこともあるんですけども、プランクトンネットの使用は、アオコの発生前からアオコの発生初期のモニタリングにとっては非常に有効な手法であるということが分かりました。

最後に、今後の予定です。来年度以降も引き続きアオコ判別式による発生予測を行いまして、アオコ発生前からの宍道湖の水質調査を実施していく予定です。また、アオコ判別式についても、直近のデータを追加するなどして精度の向上を図っていきたいと考えています。以上です。

○中村座長 どうも御説明ありがとうございました。大変興味深い、いいデータだと思います。

それでは、質問、コメント、よろしくお願いいたします。

○大谷委員 島根大学の太谷です。

○中村座長 太谷先生、どうぞ。

○大谷委員 平成22年から24年にかけても相当大発生して、これも越冬するぐらい長い間でましたけれども、今回の結果と、9年前とおっしゃいましたけど、そのときと似たような環境が、何か、あるいは出現種についても皆さん御存じないと思うので、そういったところもちょっと御紹介していただきたいなと思うんですが、いかがでしょうか。

○野尻主任研究員 ありがとうございます。

まず、出現種についてなんですけども、10年前の3年間、あのときの写真載せればよかったんですけど、すみません、持ってきてなくて申し訳ないです。写真を確認してみたんですけども、こちらに載せてますミクロキスティス・イクチオブラベ、この真ん中、中央とよく似たものがこのときには多くて、ただ、左のものも確認してまして、この真ん中と左の種類が多かったように見えました。ただ、この右の通常の典型的なイクチオブラベも見えてまして、でもメインはこちら真ん中と左であったと記憶してます。それでさらに、大量発生しなかった2018年、全域発生の年なんですけども、そのときには典型的なミクロキスティス・イクチオブラベが多かったと記憶しています。

ほかの大発生の年と似た部分があるかどうかについてなんですけども、ほかの年というデータを比較してみたんですけども、明らかな共通点といいますか、例えば栄養塩でいくと、この黒い線が今年度になります。これがアンモニアの、過去の発生した年としなかった年と比べたもの。アンモニアだったり、硝酸は今年、雨が大分入って高かったのでもちよっと突出してるんですけど、ほかにもリン酸などと比べてみたんですけども、どうもほかの大量発生した年とは傾向が違っていて、共通点っていうのをあまり見つけることが正直できませんでした。

○大谷委員 難しいですね、なかなか。

○野尻主任研究員 そうですね。今年はECがやっぱり低いっていうのはもちろんあると思うんですけど、特別ほかの年と比べて、こっちは発生してない年になるんですけど、ほかにはっきりとした共通点がなかったことと。あと、日射量についてもほかの年と比較をしてみたんですけど、過去10年間で大量発生した年が、この濃い緑色に着色した箇所になりまして、大体アオコが発生した時期がこのぐらいで、それより前1か月ぐらいの総和日射量を足してみたんですけども、2010年から2012年は確かに多そうだったん

ですけど、10月発生の2021年については、特別光が強かったという印象はなくて、ほかの発生していない年とどうだろうかと比較してみたときに、これが2021年、本年度になるんですけど、特別光が強ければ多く発生していたとか、そういう共通点もちょっと見つけられなくて、日射量については、ある一定程度以上あれば増えられるのかなという印象を受けました。答えになってなかったらすみません。以上です。

○大谷委員 過去、平成22から24年頃は、私がちょっと調べた結果では日射量が強いというのがあったんですが、これだけたくさんのデータを並べられてみて傾向性がないってことは、本当に予測とか、何で大発生するのが予測が難しいなというのを身につまされて私も今、分かりました。ありがとうございました。

○野尻主任研究員 ありがとうございます。

○中村座長 大谷先生、ありがとうございました。

ほかにはいかがでしょうか。

○神谷委員 すみません、お願いします。

○中村座長 神谷先生、どうぞ。

○神谷委員 野尻さん、今後のことなんですが、式の改良みたいな。その場合に、ここ何かパラメーターがありそうな気が、今の説明でしたんですけど、どんなですかね。例えば、底のリン酸の濃度とか天気状態とか、今まで入れてないので、パラメーターに。

○野尻主任研究員 底のリン酸、下層のことですかね。

○神谷委員 とか酸素濃度とかね。

○野尻主任研究員 そうですね、ちょっとパラメーターについて、実際どれを入れようかっていう検討はまだしてないんですけども。

○神谷委員 ぜひしてください。

○野尻主任研究員 ありがとうございます。検討させていただきます。

○神谷委員 不十分なのは分かってたんでね。今までの、9割は当たるけどあと1割は外れてるんでね。

○野尻主任研究員 この10年を振り返っても、なかなか発生する年っていうのが少なくて、久しぶりの発生にもなったので、この辺りのデータも入れてみたときに、どういう式がまた出てくるのかっていうのは。

○神谷委員 ぜひ改良して、いい式になるといいですね。

○野尻主任研究員 そう思います。ありがとうございます。

○神谷委員 よろしくお願ひします。

○野尻主任研究員 ありがとうございます。

○神門部長 すみません、神門です。1点補足させてください。

予測式ということですので、現実的には、後から検証するためですといろんな栄養塩とか入れて検証できるんですけども、事前の予測ということになると使える項目が実は限られてくるという部分もありますので、検証ということで、当然各種栄養塩というのは入れていく必要があると思いますけども、予測という部分でいくと、事前にすぐに結果が出るもので何とか。例えばリン酸とかアンモニアについていけば、塩分が入ったときに、下層に入ったときにDOが低下して溶出するというような話もあろうかと思ひますんで、そういう関係性を使いながら、これはなるべく事前に分かる、事前というかな、リアルタイムで分かるようなデータで予測できるようにしていきたいなと思ひています。以上です。

○中村座長 補足説明、ありがとうございました。

どういう項目で予測ができるかっていうのは少し後に置いておいて、今回かなり密にデータ取られていますから、それ自体がどれぐらいアオコの発生を説明できるものか。説明因子をきちんとここで抽出できれば、じゃあそれがリアルタイムに本当に測定できるかどうかっていうのは後で議論できればいいので、今の段階では、今回取られたデータでもって、できれば種の交代なども含めて、うまく現象が説明できれば、また一歩進むことになるんじゃないかなというふうに思ひました。

○野尻主任研究員 ありがとうございます。

○清家氏 中村先生、一つよろしいでしょうか。

○中村座長 清家先生、どうぞ。

○清家氏 野尻さん、栄養塩に関してなんですけど、窒素については、植物プランクトンには利用優先順位があつて、アンモニアをまず利用して、それが少なくなってくると硝酸を利用すると言われてひます。さっきアンモニアで説明しておられたけど、硝酸は多いんですね。

○野尻主任研究員 多いですね。

○清家氏 なので、ここではリン制限というか、それを中心に見たほうがいいのかなと。

○野尻主任研究員 そうですね、今回アンモニアとリン酸がかなり似た挙動を示してしまつていたので。

○清家氏 それは、アンモニアは恐らく底泥起源は底泥起源なので、それでリン酸と非常

に似たパターンを取ると思うんです。

○野尻主任研究員 はい、なので……。

○清家氏 なので、窒素栄養塩としては、硝酸態窒素も加味して、アンモニア態窒素＋硝酸態窒素（T I N）としてみたほうがいいのかと思います。そうすると窒素のほうは十分にあるので、やっぱりリンが枯渇することで、植物プランクトンの増殖が抑制され、リンが溶出してくるとまた増殖するという観点から見直してみられるといいのかなと思いました。

○野尻主任研究員 今回リン制限になっているのは、もう間違いなさそうだったので、ちょっとそれも含めて考えてみたいと思います。ありがとうございます。

○清家氏 よろしくをお願いします。

○中村座長 ありがとうございます。

一つだけお願いしたいことがありますけれども、今、このページで気象データを整理されているんですが、日射量もこの同じページに並べて示していただけると、その実際の大小っていうのが分かるかなと。さっきちらっと見せていただいたもので結構です。

○野尻主任研究員 分かりました。

○中村座長 議論のためには、そこも併せて載せていただけると、影響因子が栄養塩なのか、光なのか、温度なのか、塩分なのか、それがもう1ページの中でばっと分かったら、そういうグラフになると思うんですね。

○野尻主任研究員 ありがとうございます。

○中村座長 よろしくをお願いします。

○大谷委員 あと、1点よろしいでしょうか。

○中村座長 はい、大谷先生、どうぞ。

○大谷委員 アオコがどのように全域に広がっていくのかということで、今回もドローンのすばらしい映像を見せていただいたんですが、衛星写真を私何枚も今まで見せていただく機会がありまして、やっぱり衛星から見てらっしゃる研究者と共同でやられると、まずどこから広がっていくんだとか、あと国土交通省調査の巡回データと現場の3点合わせていくと、ここもだんだん解明されていくのではないかと思いますので、何かまた共同する機会があれば実施していただければと思いました。以上です。

○野尻主任研究員 ありがとうございます。

○中村座長 どうもありがとうございました。

ほかにもあるかもしれませんが、どうぞ、中田先生。

○中田委員 すみません。先ほどのアオコの推移と水質というところで、アオコが発生した後、ずっと栄養塩は枯渇しているにもかかわらず、アオコが増え続けているというお話がありましたけれども、図でも分かりますが、これはアオコがcell quotaを持ってるかどうかということが関係しているかなと思ってのんです。cell quotaがあるとする、水質での栄養塩はなくとも、ずっとそのまんま現存量を維持できるという、これは計算でやるとそういう結果が出てきますので、cell quotaについても少し情報がもし得られるのであれば取っていただければと思います。以上です。

○野尻主任研究員 ありがとうございます。はい。

○中村座長 よろしいでしょうか。チャット機能がありますので、ほかにコメントのある方はぜひチャットにいただいて、研究の参考にしていただけるようにしていただければと思います。

○中村座長 それでは、次の議事ですけれども、宍道湖・中海に係る水質シミュレーションモデルの構築でございます。1－4、今年度からこの業務を引き継いでいただいております港湾空港技術研究所の井上さんに発表、報告よろしくお願いいたします。

○井上委員 それでは始めたいと思います。前年まで中村先生がされておりましたシミュレーションを引き継いで検討しております。基本的には前年度までの計算を踏襲して、水質シミュレーションに入っていくということを予定しておりますけれども、今年はその一つ前の段階として、流動について、水の流れについて少し気になっていたところがありましたので、そこを確認したということについて報告させていただきたいと思います。

まず、今日お話しさせていただくのは流動に関する検討なんですけれども、一つは大橋川だけのシミュレーションをやってみましたというのを前半にお話しさせていただいて、2つ目は宍道湖のシミュレーションについて、特に鉛直混合で少し気になったところがありましたので、そこを検討してみたという2つのトピックをお話しさせていただきたいと思います。

まず、大橋川のシミュレーションのお話から始めたいと思います。宍道湖・中海連結系での計算を想定いたしますと、やはりできれば計算コストを考えると、200メートルメッシュ程度のやや粗い計算をやってみたいというのが正直あります。例えば宍道湖とか中海全体を見てみると、これちなみに100メートルメッシュで、下の図が200メートルのメッシュで切った図を上から見たものなんですけれども、こんな感じになりまして、

宍道湖、中海についてはおおむねその形状は再現できてるかと思うんですけども、大橋川っていうのはやっぱりこんなふうに太いがたがたの線で表すような感じになってしまいます。ちなみに、この上の図が50メートルのメッシュで切ったときなんですけども、こういったものであればおおむね大橋川の形状もそこそこ伝わってるのかなというようなイメージではあるんですけども、やはりこのメッシュサイズで計算するとなると、今の計算機だとかなり厳しいなというところですので、何とかこういう表現で適切な計算結果を出せないかというのが今日のお話のポイントです。

一番重要だというふうに認識しておりますのは、やはり宍道湖への塩水塊の侵入ですね、中海から宍道湖に向かう塩水塊の流量、量ですね、それがやっぱり一番大事じゃないかなというところで考えまして、特に流量っていうところを意識した計算を行いました。繰り返しになりますけれども、今回は大橋川だけの計算をやっております。どのような計算かと言いますと、大橋川の上流と下流で、国交省さんが水位もしくは流量等、あとは水温、塩分の鉛直分布なんかを測定されておりますので、そういったものを利用させていただいて両端の境界条件といたします。その境界条件を使って、この中だけの計算をするということです。

先ほども見ていただきましたけれども、この国交省さんの測量データの緯度、経度と水深の関係から機械的にメッシュを作成するとこんな感じになります。50メートルでいくとこんな感じ。200メートルで機械的に作成すると、こんな感じになります。こういった粗いメッシュで、こういった地形の計算が本当にできるのかというのが疑問点であります。

まず、とにかくやってみましたっていう感じなんですけども、その試計算の結果をちょっと一度見ていただきたいと思います。横軸が2012年の7月の1か月間の大橋川上流、松江の観測所での流量の観測結果の時系列です。縦軸、プラスになっておりますのが宍道湖から中海へ向かう側の流れ、マイナスになっておりますのが逆に中海から宍道湖に向かう流れです。緑色とマイナスのほうは黄色っぽく示してるのが大橋川の観測された流量です。こんな感じで変動しているということなんですけども、試計算で行った結果を見てみますと、計算結果は青い線と赤い線のコンビネーションになってまして、こんな感じでかなり過小に流量を評価しているということが分かりました。この原因、もしくはその解決策というのをこれから考えていきます。

その数値モデルのほうを考える前に、まず観測値が妥当な値なのかというのを一応確認

してみました。宍道湖の全体としての塩分濃度の変動というのを、この観測した大橋川の流量と塩分濃度で再現できるかというのを念のため確認しました。こういったボックスモデルを考えます。左から斐伊川の淡水が入ってきます。宍道湖内は一様にもう混ざっているというふうに仮定します。混ざってる水が大橋川を通って下流に流れていくと、中海からは観測されてる塩水の濃度で塩水の量が入ってくるというような計算をしたものです。緑色が宍道湖湖心表層の塩分の時系列の観測です。青い線がこのボックスモデルで求められた計算された宍道湖の塩分ということで、こんな感じでほぼ問題なく追従しているということで、観測そのものは問題ないだろうというふうに判断しました。

まず、先ほどの試算の結果、ちょっとおさらいなんですけれども、こちらは水温、塩分が時系列のグラフです。1月1日から7月の末までかな、の計算結果と観測結果の比較です。左側2つが表層の時系列、右側2つが底層のグラフです。上が塩分、下が水温になっています。こんな感じで水温とか塩分というのを時系列というような再現という意味では、そこそこの再現結果が出ているのかなというふうに感じるんですけれども、先ほど見ていただいたように、流量はこんなふうに過小評価しているというような問題点が見つかっておりました。メッシュのほうをもう1回見てみますと、機械的につくったメッシュですと、この辺りが1つのセルしかないんですけれども、そういうところでところどころ浅いところが、周りに比べて浅いところが出てきます。文字どおりボトルネックになっているところと判断しまして、ここの3つの水深を少し深くするという操作をしてみました。そうしますと、流量、水温、塩分の再現性もそうですけれども、流量もかなり合ってくるというような結果となりました。ここの測量結果を見てみますと、こんなふうにすごく、この辺りですけれども、すごく複雑な地形をしておりまして、やはりこういったところの地形を粗いメッシュで再現するっていうためには、それなりの修正が必要なのかなというふうに判断しています。

ちなみになんですけれども、50メートルメッシュでも計算してみたんですが、これぐらいの細かいメッシュを切っても、やはり結果は同じように過小評価するというような結果というふうになってまして、大橋川の計算をするということに限っていえば、恐らくメッシュを細かくして精緻な計算をするという方向性の改善というのはかなり無理があるだろうという、現状では恐らく無理だろうというふうに判断しました。恐らく50メートル程度であっても、数メートルオーダーのメッシュで区切らないといけないだろうというふうに今んとこ判断しています。

ちょっと飛ばさせていただきます。先ほど見ていただいたように、これを少し修正すると流量が合うということなんですけれども、先ほど来見ていただけてますように、太い線で大橋川を再現してることになります。つまり、この状態で流量が合ってるっていうことは、断面積そのものは過大に評価しているような地形で計算しておりますので、流速を過小評価してるっていうことになります。その、なぜ流速を過小評価しているのかっていうところがちょっと疑問だったので検討してみました。最初、例えば抵抗になるような係数とか、境界条件の問題とか、もしくはメッシュの配置、こうしてジグザグになっているから抵抗になってるんじゃないかとかいろいろ考えたんですけど、そうではなさそうでした、結論から言いますと、見た目の形状を再現するためにこういうふうになってるんですけれども、実際の流下方向の距離を検討してみると、地図上で見るとこの距離っていうのは大体7キロぐらいになりそうなんですけど、実際計算ではその道のりが40メッシュ分あったと。1メッシュ200メートルですので、計8キロの道のりになってたということで、結果としては見た目の形状を合わせるためにこういうふうな配置にしたメッシュによって、結果として道のりが長くなってしまったっていうことで流速が遅くなってしまった、水面勾配が小さくなって流速が遅くなってしまったという結果でした。試みでこの辺りのメッシュを少しまびいてやりまして35メッシュでの計算条件でやってみますと、今度は流速が合うようになってきましたので、やはり結論としてはそういうことだったんだろうというふうに判断しました。

最後に、観測値との比較を行って計算結果を確認しました。昔の石飛さんたちの観測結果を示された論文で、こういった流速と水面勾配との関係式というのを示されています。先ほど来申し上げてますように、本計算は流量は合ってるけども流速は過小評価してるというような状況で計算しておりますので、この式に両辺に断面積を掛けて流量の式に変換して、石飛さんたちの結果と計算結果を比較してみました。そうしますと、こういった指数が文献値ではこのぐらいの値になりまして、今回の我々の解析ではこういった値になって、この範囲内に入っているということで、流量についてつじつまが合ってる計算にはなってるだろうというふうに判断しました。計算結果は流速を過小評価してるということになりますので、問題点としては、例えば水温とか塩分の応答が実際の観測よりも遅れて現れるという可能性があるかと思うんですけれども、計算してみたところ、そういった時間遅れは、まず最大で3時間から4時間ぐらいだろうというふうな試算結果になりましたので、こういった変動を表現する、塩分とか水温の変動を表現するときに数時間の遅れとい

うのはそれほど大きな問題にはならないだろうということで、繰り返しになりますけれども、流速の再現性には目をつぶって流量の再現性を優先させた計算ということで、今後はこの200メートルメッシュの計算を進めていきたいというふうに考えているところです。ここまでが前半の話になります。

後半が流動シミュレーション、宍道湖の中の流動シミュレーションになります。主に鉛直方向の混合について検討してみました。また繰り返しになりますけれども、宍道湖のメッシュ構造はこんなふうになっておりまして、先ほど来申し上げている200メートルメッシュでの計算を行っております。縦方向なんですけれども、縦方向には10センチ刻みで切っておりまして、上から下まで10センチの箱が並んでいるというような状況の計算です。ここに計算の基本的な条件というのを書いているんですけども、今日メインでお話ししたいのは、この鉛直拡散に関わるところでして、これ、このUっていうのは風速なんですけど、風が吹くと水面をこする力が上がる、その水面をこする力によって水を鉛直方向にかき混ぜるんですけども、そのかき混ぜる力っていうのは、水表面で与えられたこすられる力によって水表面で一番大きな値を取ってまして、水深が深くなるごとにその力が弱まっていくというような、基本的にはそういった仕組みになってます。密度躍層がありますと、その分だけ混ざりにくくなるという効果をこういった式で表現してまして、この中に入っているということです。この水で混ざりにくくなるっていう効果の中に、 α と β と γ っていう係数がありまして、今回はこれに特に着目しています。

試算幾つか行った結果、 α 、 β 、 γ の中で特に α の変更が一番計算結果に大きく影響を与えるということが分かりましたので、今回はこの α について幾つか試してみたということです。文献値を調べた結果、この α っていうのは大体1から最大50ぐらいまでの間でいろんな方が採用されてるようですので、今回はその間でくくってみました。このケース1っていうのが、我々が通常海で計算するときに使っている値です。すみません、ちょっと申し遅れましたけれども、 α 、 β 、 γ のセットが2つありますけれども、こちらが水温に関する α 、 β 、 γ 、右が塩分に関する α 、 β 、 γ です。そういった我々がよく使っているもので計算してみた結果がこの結果になります。先ほどと同様に上の段が塩分、下の段が水温、左が表層、右が底層の値、宍道湖湖心での値です。赤い線が計算結果、青い線が観測結果です。このように通常我々がよくやってるようなパラメーター使いますと、特に夏場の塩分が過少に評価される、つまりこの時期鉛直方向に混ざり過ぎてるという計算結果になりました。そこで、この α というのを調整して、特にこの辺りの塩分躍層がうま

く再現できるかどうかというのをトライ・アンド・エラーで計算してみました。最終的には、ケース4と書いているところの結果を採用したいというふうに考えています。その結果がそんな感じでして、多少この辺りがもう少し曲がってほしい、この辺りがもうちょっと曲がらないでほしいというような結果になってるんですけども、今のところこの程度のパラメーターチューニングで今後の計算を進めていきたいなというふうに考えているところです。

一つだけちょっと注意点といいますか、特異なこと、トリッキーなことをやっていますのが、通常この α 、 β 、 γ っていう数字は、水温も塩分もどちらも両方とも同じ値を使うっていうのが通常の計算なんですけれども、今回はあえてここを合わせこむために、 α は1のまま据置きして塩分の α だけを大きくしたというような操作を行ってるというのが、ちょっと今回の我々の提案のトリッキーなところです。

あくまで、これは定量的な根拠ということにはならないんですけども、言い訳の一つといたしまして、宍道湖でたまに見られる不安定成層を上げてみたいと思います。これが宍道湖湖心の表層と底層の水温と塩分のグラフです。皆さん御存じのように、水温が低くて塩分が高いほうが密度は高くなって、水温が高くて塩分が小さければ密度が低いということになるんですけども、例えばちょっとこの辺り、緑色の点線が表層の水温、赤い点線が底層の水温なんですけれども、こんなふうに表層のほうが水温が低くて、底層のほうが水温が高いというようなことになることが宍道湖では間々見られます。こういったときには、多少、密度躍層が不安定になって、それが鉛直拡散に効くようなときもあるだろうということで、宍道湖においては先ほど見ていただいたような水温と塩分で α を変えろというようなこともあり得ることではないかっていうのを、ちょっとあまり根拠のない根拠として上げながら、このデータを進めていこうかなというふうに考えているところです。

そのパラメーターでイベントもちゃんと再現できるだろうということを表現するために、最後こういった計算を行いました。よく出てくる2012年9月青潮のときのイベントなんですけれども、このときの水塊の動きがちゃんと計算できているかどうかいうのを計算したのが、このアニメーションです。これは9月の17日、台風が来る前に宍道湖湖心に底層にあった塩水塊が、19日のお昼頃に青潮となってこの辺りで湧昇してきたときを再現した計算なんですけれども、こんな感じで最初底層にあった水塊が西風によって底層が西側に運ばれていって、このタイミングで湧昇して、表層に上がった粒子が逆に流れていくというような、ちょっと平面図だけでは説明しづらいですけども、そのときの起

こっていたであろう青潮現象っていうような特異な形状的な現象も、この計算結果では再現できているので、この計算を進めていってもいいだろうというふうに考えましたという図でした。

まとめなんですけれども、今回は宍道湖・中海連成系でのシミュレーションを行うっていうことを最終的な目標として置いておりますので、それを表現するために粗いメッシュでの大橋川の計算というのを見直してみました。これぐらいの粗いメッシュを使っても、おおよそ少なくとも流量レベルで見た再現計算というのはできるだろうというふうに判断しました。それから、宍道湖のほうなんですけれども、モデル定数のアルファというのを調整することで、鉛直乱流拡散を調整するという操作を行いまして、精度の向上を図っています。こういったモデルでは、いわゆる水温とか塩分の時間変化、時系列だけでなく、イベント的な現象の再現化もやったので、今後はこの辺りの知見を基にした計算で水質計算に入っていこうというふうに考えているところです。以上です。

○中村座長 ありがとうございます。

それでは、御質問をお受けしたいところなんですけれども、中田先生、まずよろしくお願ひしたいと思うんですが。

○中田委員 私もちっとよく分からないところはあるんですけども、この α をいろいろ調整するということは、つまり温度拡散と塩分拡散で塩分拡散のほう鉛直に混合しにくいというようなことを表現するということで、サルトフィンガーなんかのシミュレーションをやるときに、結構塩分拡散と温度拡散の違いを使うときがあったような気がするんですけど、そういう研究の結果と比較して α 1.8というのが割ともしっかりしている具合に考えられるのかなということをちょっとお聞きしたいのと、あと、1キロ違うっていうのはどういうメッシュの切り方なのかなっていうのは、ちょっと1キロ違うっていうのはあんまりないなと思ったんですけども、大橋川の長さを、取り方をどこからどこまで取ったら1キロの違いが出てきたのかなっていうのは、ちょっとその辺がちょっと気になったんですけども。すみません。

○井上委員 すみません、2つ目のほうからお話しさせていただきます。結果としては、こういった配置になってるんですけども、やはり、そうですね、どこがどう効いてるかという全部となくはいえないか、この辺りでやっぱりジグザグになってるところで道のりをくってるように思うんですね。

○中田委員 結構1キロって大きいですからね、いや、そんなに違うかなと思ったんです

ね、50と200で。

○井上委員 やっぱこの左から順番に数えていくと、どうやっても40メッシュ分はあるんですよね。グーグルマップなんかで測ってみるとやっぱり7キロなので、やっぱり5メッシュ分多いなっていう。それで、ちょっと繰り返しになりますけど、ここの5メッシュをちょっとはしょって計算してみると、今度はやっぱり流速がちゃんと合ってきて、先ほど石飛さんたちの論文のケース比較をしましたけど、あれにもぴたりと合ってくるんですよね。

○中田委員 分かりました。非常に参考になる話で、ありがとうございました。

○井上委員 何だろう、もう学部の授業で習うような水面勾配のことをすっかり飛ばして、計算やってたのですごく恥ずかしいなと思いました。

それから、2つ目なんですけれども、中田先生おっしゃるように、 α を大きくすることで塩分の拡散を抑える方向の操作をしています。フィンガーの文献とかを見て、ちょっとさすがに、何ていうか、この湖沼レベルの拡散係数とやっぱり直接比較できるような文献っていうのはちょっと見つけれなかったんですけれども、定性的には、方向としてはそれを説明できる内容になるかなと思います。ただ、本来はそういったところ、密度不安定みたいのところでは、例えば係数を動的にいじるとか、もしくはそういったフィンガーみたいな現象を表せるようなモデル化を本来はしないといけないのかなというふうに思ってるんですけれども、ちょっとまだそこまではできておりませんで、そこはちょっと今後の課題にさせていただきたいなと思っていますとこです。

○中田委員 どうもありがとうございました。

○井上委員 もしその辺ができるようになったら、この辺り、ちょっと6月頃は拡散が少なく、8月、9月あたりは拡散が大き過ぎるっていうところを、もうちょっとうまく再現できないかなというふうに思ってるとこです。

○中田委員 ありがとうございました。

○中村座長 ありがとうございます。

ほかにいかがでしょうか。

じゃあ、私のほうから一つだけ。最後のほうに青潮イベントの計算をしていただいたんですけれども、この図ですね。動画で見てる平面っていうのは、これは底層だけ抜き出してるんですか。

○井上委員 赤とか緑のコンターは底層の塩分の分布です。粒子は全層の部分が全部見え

るようなアニメーションになってまして。

○中村座長 なるほど。

○井上委員 一段最初は一番低いところ、底層に配置してます。なので、今見ていただいている瞬間はほとんど底層で、これが左側に流されていって、湧昇してくると今度は反対側に動く粒子が出てくると思うんですけれども、これは表層に湧昇したものが東側に流されてるっていう粒子を表してます。

○中村座長 ありがとうございます。ちなみに、青潮が観測された川の河口っていうのは、この図でいくとどの辺なんですかね。

○井上委員 増木さんたちが論文で書かれているのはこの辺りです。宍道湖の南西辺りといえますか。

○中村座長 そうすると、観測場所ですっかり水が上がっているような計算になってました。

○井上委員 さっき見ていただいた α とか、あと水表面の抵抗係数なんか変えると、この粒子が上がる場所が北側に寄っていったり南側で現れたりとかってして、そういう意味でも先ほど見ていただいた定数っていうのはリーズナブルなのかなというふうに思ってます。

○中村座長 なるほど、面白いですね。ありがとうございました。

ほかによろしいでしょうか。大変ベーシックなところをきちんと計算し直して、流動についてはほぼ技術的な問題は片づいたと言ってもいいぐらいじゃないかというふうに思いますので、今後水質、生態系のほうに力点をシフトしていただくのを期待しております。ありがとうございました。

○井上委員 ありがとうございました。

○中村座長 それでは、次の議事に移りたいと思います。⑤の来年度以降の調査について、資料1－5ですね、まず、保環研のほうからお話いただけるのでしょうか。

○織田調整監 保環研、織田です。よろしくお願いいたします。それでは、時間もございませんので簡単に説明をさせていただこうと思います。先ほど3題ほどこちらのほうから研究結果を発表させていただきましたけれども、それを思い出していただきながらなんですけれども、まず、リン負荷の調査結果の説明のときにもお話をしておりましたけれども、保環研ではこれまで定期的に斐伊川の負荷量調査を実施してきました。ですけれども、最新の高頻度の調査っていうのは2010年から2011年に実施したものでありまして、その後に建設されました斐伊川放水路などの影響を加味した調査っていうのは現状できて

おりません。そのため、令和4年度からは保環研の取組として、おおよそ14年ぶりに斐伊川の高頻度調査を行って、現状に沿った負荷量を把握するという予定にしております。また、この高頻度調査に併せまして、引き続きリンの挙動についても調査を行う予定にしております。

さらに、近年の課題として、アオコの発生とそのメカニズムの解明っていうのがありますので、これについても今年は秋にやってから全域発生するっていう未解明の部分が多いと考えておりますので、引き続き調査研究を進めたいと考えております。

取り急ぎ、以上です。

○狩野企画幹 そうしますと、環境政策課、狩野です。よろしくお願いいたします。画面に出ております、ちょっとA4縦長になってるんで見にくいかもしれませんが、お手元にお配りしております資料1-5の2ページ目、裏面のほうで御説明をさせていただきます。

これまでメカニズムワーキング、冒頭、課長の挨拶にもありましたけれども、第5期の湖沼計画策定時に富栄養化の発生機構の解明に向けた調査、発生抑制のための対策についての検討ということをやっております、平成22年度にこのワーキンググループを設置いたしまして、第1回のワーキンググループ会議、実施しております。その後、保環研のほう、それから島根大学さんのほうの御協力等もいただいて各種調査をまいりまして、平成26年度に一度報告書を作成しております。お手元、別添の参考資料ということで、概要版ですけれども、平成26年8月に第1回の報告書を作成しております。その後、また残された課題について継続して調査をしていっております、主なものでいいますと、プランクトンの脂肪酸の調査であるとか、今日御報告をさせていただいております難分解性有機物の調査とか、アオコ発生の条件解析、それから斐伊川の濁水調査、リンの挙動の調査、それからシミュレーションモデルの構築と、こういったところをその後も進めてまいっておりますのでございます。この間、湖沼計画自体も5期、6期過ぎまして、現在7期が令和5年度までということで実行中ということになっておりまして、この次、第8期計画という、これが令和6年度に策定するということになりますけれども、ここへ向けて一度、今までやってきた調査結果の取りまとめ、こういったものを行っていければなというふうに考えております。

下のほう、スケジュールの大まかな案というところがございますけれども、来年度、先ほど保環研のほうから報告ありましたように、斐伊川の総合的な調査をやりまして、それからアオコ調査、シミュレーションモデル、この辺は継続してやっていくということと同

時に、今までやってきた調査の取りまとめを行いつつ、報告書の素案、ストーリー的なところも含めて素案をつくっていききたいなというふうに考えております。それから、令和5年度には令和4年の積み残しの調査、そういったものをやりつつ最終的な取りまとめというところで、報告書については令和5年度の末というところを目指して作っていききたいなと。それを受けまして令和6年、第8期の湖沼計画というところで何か新しいメニュー的なもの、そういったものが取り込めないかなというところで進めていきたいと思っておるところでございます。以上です。

○中村座長 御説明ありがとうございました。

何か御質問ありますか。よろしいでしょうか。

○神谷委員 すみません、お願いします。

○中村座長 神谷先生、どうぞ。

○神谷委員 この斐伊川流入負荷実態把握調査イメージで、これ具体的にどんな調査をするかというのはいつ頃決まるんですかね。

○狩野企画幹 すみません、環境政策課です。当然、予算が絡む話になりますので、このたびの議会が始まっておりますけれども、当然来年度の予算審議ということがありますので、これで一応我々のほうでこういう調査をやっていききたいということのイメージは、ここで示してるような形で持っております。議会の承認が得られて、予算が決定したということになれば、改めてこの調査を組んでいききたいなというふうに考えております。

○神谷委員 かなりの作業量、仕事量だと思いますけど。

○狩野企画幹 今のところ、4月ドンでということになると当然かなりの作業量になりますので、スケジュール的なところは少し年度初めから準備をしていきまして、梅雨前には調査を始めるといいのかなというふうに考えております。

○神谷委員 これにあれですかね、意見言ってもいいということでしょうかね、この調査計画。

○狩野企画幹 それはどういう。

○神谷委員 つくられた計画。

○狩野企画幹 当然それはこちらの仕様というのがありますので、仕様についてそれは御質問とかあれば調整させていただきながらということになります。これやりたいというそちらからの御提案も、やってほしいというところもあるかもしれませんが、予算の範囲内でできることはやっていきたいと思いますが、予算以上のことは残念ながらできない

ということも当然ございます。

○神谷委員 それはよく分かりますが、調査の（１）－ ii と調査の（２）－ i、これは多分保環研と島大と一緒にやったほうがいいような感じですね。

○狩野企画幹 そうですね。その辺りは実際に今ここで委託先を限定するわけにはいかないですけれども、受託していただけたところとどういうやり方がいいかというのは、あらかじめ当然協議はさせていただきながらというふうに思っております。

○神谷委員 分かりました。

○中村座長 ありがとうございます。これまで何回か調査の御経験がおありですし、また、やり方とか項目とか、この間の新たな知見もあったり、それから放水路ができたりということもありますので、私としましてはできる限り事前の調整ができれば、意見交換ができた上で調査ができればいいなと思いました。これは無理のないところで御検討ください。

それでは、次の大きな議事ですけれども、令和３年度湖沼水環境適正化対策モデル事業、この御報告を保環研からお願いしたいと思います。よろしくお願いいたします。

○木戸主任研究員 すみません、島根県保健環境科学研究所の木戸です。湖沼水環境適正化対策モデル事業の実施ということで御報告のほうさせていただきます。よろしくお願いいたします。

まず、事業を行っている背景についてになりますが、宍道湖では平成２４年以降、こちらの図の赤で示しておりますとおり、湖岸付近で水草やシオグサ類が急速に繁茂エリアを拡大しております。

その繁茂エリアが拡大しているために、従来見られなかった浅い水域での貧酸素化や、それに伴う硫化水素の発生などのリスクが高まっており、水産の重要なヤマトシジミへの影響も懸念がされるような状況になっております。また、貧酸素に伴う栄養塩の溶出や枯れた水草が腐ることによって悪臭が発生する、こういったことも危惧される状況になっております。

このような水草等の繁茂についてですが、琵琶湖や諏訪湖など、全国のほかの湖沼においても課題となっているような湖沼があり、このような課題に対応するために環境省では、水草の大量繁茂に関する影響の要因を分析して、湖沼の水質改善に向けた効果的な水質保全対策の検討に資するモデル事業を地方公共団体に委託して実施する、湖沼水環境適正化対策モデル事業を行っております。

本県ではこの事業の委託を受けておりまして、宍道湖において水草等の繁茂により影響

が予想される底層の溶存酸素量の現状の把握と、効率的な保全対策手法の確立を目的に、試験的な水草等の除去を行っております。この効率的な保全対策手法の内容としましては、除去を行う際の水草の長さを0.5mで行う区域と1mで行う区域を設けて、除去後の水草の繁茂量や水質や底生生物等のデータから効率的に水草の除去を行うにはどの時期がよいか、こういったことの検討を行っております。

こちらが事業を行った場所になります。事業はこちらの図の宍道湖の秋鹿沖で行いました。この秋鹿沖については、沖合の水深3.5mよりも深いエリアでは水草等の繁茂はほとんど見られませんが、そこから1m程度のかけ上がりがあって、浅くなっている水深2.5mよりも浅い水深で水草等の繁茂が見られる地点になっております。

次に、対策事業の内容になります。水草等の繁茂初期に、幅50m、長さ50mの範囲の湖底を漁具でかき、水草等の除去を行っております。この水草等の除去は、水草等の長さが0.5m程度となる時期に行うB区画と、1m程度となる時期に行うC区画に分けて行っております。また、両区画の間には約50m幅の緩衝区域を設けております。

こちらが実際の除去の状況になります。除去には、通常湖底耕うんに用いるマンガという漁具を用いて、こちらの写真のように、ちょっと写真では分かりにくいんですが、船からマンガを引いて、マンガのこのかぎの部分に絡まった水草を船上に回収する、このような形で水草の除去を行っております。除去は、0.5m程度での除去を想定したB区画では6月9日と19日に、C区画では6月30日と7月13日に行っております。

こちらが除去作業の内容をまとめたものになりますが、計4回作業を行っており、湿重量になりますが、B区画では合計850kg、C区画では合計1,400kgの水草の除去を行っております。除去した水草の種類としましては、当初はほとんどがシオグサとなっておりますが、その後リュウノヒゲモが徐々に徐々に増加しており、最後に除去を行った7月13日の時点では、リュウノヒゲモが7割を超えるような状況になっておりました。例年ですと、宍道湖ではオオササエビモやツツイトモの繁茂が見られますが、今年度行った調査に関してはそれらの水草は回収時にはほとんど見ることはできませんでした。また、こちらには作業を行っていただいた漁師さんのコメントを掲載しておりますが、6月30日、C区画で除去を行った際には、水草等の成長が進んでおりまして、作業中の船のスクリーンに水草が巻きついて操船が困難になるなど、作業に係る技術的な困難が増したということが分かるようになっております。

今回の対策事業による効果と課題としてますが、今回、対策事業によってB区画では8

50 kg、C区画では合計1,400 kgの除去を行うことができましたが、除去直後の水中写真、こちらが除去直後の6月30日の状況で、こちらが除去前のものになりますが、この水中写真からも取り残しがあることが分かり、また水草が成長してしまってから除去をするということになると作業に支障に出るということで、効率的な除去が難しいということが分かり、ある程度水草等が1 m程度の短いうちに除去を行うと作業の効率化につながるのではないかとということが期待されました。

こちらが対策事業の効果を検証するために行った調査地点の配置になります。調査地点は、除去を行ったB地点、C地点に加えて、水草の繁茂のない水深、約4 mの地点Aと、水草繁茂域内で除去を行っていない地点Dで調査を行いました。この調査地点についてですが、水草の除去を行わなかった場合の状況を把握するために地点Dを設けていましたが、この位置が実際調査を始めてみると、水草の繁茂するエリアと繁茂しないエリアの境界付近に当初は位置しており、実際6月と7月に繁茂量を調査したところ、除去を行った地点よりも、この除去を行っていない地点Dのほうが少ないということが分かり、水草の繁茂する地点の対照区としては不適当かなということが考えられましたので、8月4日に調査地点を岸側に数十m移動させております。

ただ、調査項目にもよりますが、調査はこちらに示したとおりいろいろな項目の調査をしてきとるんですが、今回の項目の中では赤字で示した部分、水温、電気伝導度、溶存酸素の連続観測の結果と、B地点では観測を行っておりませんが、それ以外の地点で行った流速の連続観測結果、また水草のコドラート調査の結果と、こちらも地点Bでは行っておりませんが、底生生物のコドラート調査の結果、これらの結果について御報告をさせていただきます。

調査期間と調査頻度についてですが、連続観測については昨年の6月9日から11月9日までの期間行っており、水草の繁茂状況等を調査する潜水調査は6月から10月の間に月1回、合計5回の調査を行っております。なお、台風の接近や強風が予想された際は連続観測の機器を回収して観測を中止していますので、調査期間中、3回の連続観測を一時停止した時期というのがありますので、あらかじめ御了承いただければと思います。

ここからが調査結果になります。まず、水草の繁茂状況の結果について。水草の繁茂状況につきましては、30 cm四方のコドラートを用いて各地点で2か所ずつ水草の採取を行っています。事前にお配りした資料の順番を変えておりますので、申し訳ありません。

水草の繁茂のない地点Aについては、6月の調査日にツツイトモが僅かに確認されまし

たが、それ以外では水草は確認されませんでした。水草の繁茂する地点では、各地点とも今年度はシオグサとリュウノヒゲモが多く見られ、除去作業時の状況もそうでしたが、これまでに多く見られたオオササエビモやツツイトモは少ないという特徴が見られました。また、調査位置の変更のところでも述べましたが、今回B区画では6月9日と19日、C区画では6月30日に水草の除去を行っておりますが、6月、7月の水草の調査結果を見ると、除去を行っているB地点の繁茂量が少ないという結果が得られたために、調査B地点の変更を行っております。この調査地点変更後に行った8月の水草の繁茂量調査の結果を見てみますと、地点B、Cの繁茂量が地点Dの半分程度となっており、除去により、水草を除去したことによって一定の繁茂量が抑えるという、そういった効果が現れたのかなということが示唆される結果となっております。

次に、水草の除去を行った地点Bと地点Cを比較しますと、7月は少しBのほうが多いですが、どちらかというと地点Cのほうが多いのかなという傾向が得ることができております。特に、6月30日の調査結果、これは地点Cでその日に600kgの水草の除去を行った直後であるにもかかわらず繁茂量がかなり多くなっており、かなりの取り残しがあったのかなということで、スクリュウに絡んだりっていう話がありましたが、なかなか効率的に除去が行われていなかったのかなということが、こちらの結果からも推測されました。

月ごとの水草の繁茂の傾向としましては、8月、こちらの月で水草等の繁茂量が最も多くなっておりまして、このとき地点Bで最大約2,400g/m²ということの水草の繁茂量となっております。この繁茂量を見てみますと、令和2年の夏にも繁茂量の調査をしているんですが、このときには約6,000g/m²の繁茂量が確認されておりましたので、それでいくと半分以下の、今年は繁茂量が少なかったのかなということがうかがえました。また、ここの繁茂量が少なかったということが影響したのかもしれませんが、例年に比べて少なかったということもあって、パッチ状に水草が繁茂しておりまして、そのパッチ状に繁茂した水草を採取しておりますので、同一地点間でも繁茂量にばらつきが結構大きかったなということで、今年の調査結果となっております。

溶存酸素濃度の結果になります。今回、機器や測定の不具合を除いて各地点でおおむね3,000時間以上の観測を行っております。今回の測定結果からは、各地点とも日周変動による増減を繰り返しておりますが、連続してDOが2mg/L未満の、いわゆる貧酸素となるような時間は比較的少なく、特に10月以降については、水草繁茂域である地点BからDにおいては、Dのほうが2mg/L未満のようなことはほとんどありませんでした。湖底

直上20センチでDOが2mg/L未満の、いわゆる貧酸素となった時間は、割合で見ますと、地点Aで7.6%、地点Bで2.3%、地点Cで5.6%、Dで6.3%となっておりました。また、8月中旬と9月中旬の2回、地点Dで特異的に貧酸素が継続する時期が確認されております。これについては、また後ほど詳細を説明させていただこうと思います。

次、こちらが各月のDOが2mg/L未満の貧酸素だった時間の出現頻度をまとめたものになります。まず、調査地点の変更を行った8月以降の結果を見ていただきますと、水草の除去を行った地点B、Cでは、水草の除去を行っていないD地点よりも貧酸素の出現頻度が少なくなっておりまして、このことから水草の除去により一定の効果が現れているということが考えられました。また、水草の除去を行った地点BとCを比較していただきますと、地点Cのほうが同じか、それよりも貧酸素の時間が長いという傾向が見てとれまして、この結果からも水草の効率的な除去がこの地点Cではあまり行われていなかったのかなということが示唆される結果となっております。水草の繁茂域よりも沖合に設定した地点Aにつきましては、7月後半や9月以降、ほかの地点よりも低い値を示すことがありましたが、これは地点Aの水深がほかの地点よりも深く、湖盆部に存在した湖底付近の貧酸素水塊の影響を受けたためと考えられました。

次に、流向・流速の観測結果になります。調査期間中における平均流速は、地点Aで2.7cm/s、地点Cで1.9cm/s、地点Dで2.4cm/sと、各地点ともにほとんどの時間帯で3cm/s以下の流速となっておりました。また、地点Aよりも、水草帯である地点C、Dのほうが流速が低い傾向にありました。こちらは各地点の流向の出現頻度を表したものになりますが、地点Aでは東西方向の流れが多く発生しておりましたが、水草帯である地点C、Dについては地点Aとは異なって、どちらかというと地点Aよりも南北方向の流れが多く出ているのかなということで、地点Aとは異なる傾向が見られました。

次、こちらは参考としてですが、出雲空港で測定されている風速と風向の調査期間中の状況となっております。期間中の平均値は風速で3.8m/s、最大値としましては、台風9号の影響がありました8月9日に北北西の風、21.1m/sということが観測されております。

次、こちらも参考として、出雲空港での降水量の観測データになりますが、去年は7月と8月に大雨がありまして、7月には約400mm、8月には約350mmの雨が2週間程度の間に降っておりました。

次、こちらが電気伝導度の結果になります。調査期間中のECの範囲はおおむね2から

12 mS/cmの範囲で推移しておりましたが、7月前半の大雨と8月前半の大雨の影響によって、それぞれ顕著にと低下しております。その後、10月以降につきましては、徐々にECがまた上昇していたという状況が見てとれます。また、地点Aはやはり水深が深いということもあって、特に秋以降に見られますが、突発的に電気伝導度が高くなる期間がありました。

こちらが水温の観測結果になります。水温は日周変動を繰り返しながら、ここで大雨の影響で一旦下がっておりますが、8月の豪雨まで上昇を続けておりまして、8月の大雨の影響によって25℃まで急激に低下して、その後同じような25から27℃ぐらいの間で9月中旬まで推移した後、10月以降、17℃まで低下するという季節変動を示しておりました。

こちらが、次、溶存酸素のところで少し触れさせていただいた、8月中旬と9月下旬に観測された、水草帯で特異的に貧酸素水塊が発生していたときの状況について少し御説明させていただきます。一般的に宍道湖では夏場、湖心付近の水深が深い水域の成層では貧酸素水塊が発生しており、この水塊が風の影響等で地形に沿って差し込むことで浅場でも貧酸素というものが確認されますが、このときはほかの水草帯よりも水深が深い地点Aでは貧酸素にはなっていないような状況になっておりました。ですが、この水草が生えている、特に地点Dでは1週間程度、貧酸素の状態が発生していたということで観測がされています。

この貧酸素化が見られた期間の流向、流速を示したものがこちらになります。こちらが地点A、地点Dになりますが、地点Dでは期間中の流速の平均が1.1 cm/sで、地点Aでは平均3.3 cm/sありましたので、水草帯のほうで3分の1程度の流速しかないような状況になっておりました。また、松江地方気象台の観測データから日照時間を確認しますと、この期間の日照時間は1週間の間で合計で7.8時間とほとんど日照がないことが確認されており、水草帯のほうでは水の動きがほとんどなく、光合成による酸素の供給ということも少なかったと考えられ、これらの影響によって水草帯で貧酸素が発生したと考えられました。

次、こちらは9月下旬の状況ですが、このときも地点Aでは酸素がありますが、水草帯の、特に地点Dでは貧酸素が発生しております。このときの流向、流速の状況ですが、9月下旬には水草の量が減っていましたので、8月のときほど流速に大きな違いはありませんでしたが、やはり地点Dのほう流速が低く、また貧酸素化が見られた9月23日から

29日の間、日照がほとんどない日も見られ、やはり貧酸素には低い流速と日照不足が影響していると考えられました。

今回、流れが影響して水草帯の中で貧酸素が発生していたということもあって、この沿岸域での流れということに着目をしました。こちらの図は、中村先生が1997年に発表された論文からそのまま使わせていただいておりますが、今回の調査地点と同じ宍道湖の秋鹿沖で調査をされて、特に夏場、対流を伴った鉛直循環流が、シジミの餌である植物プランクトンを供給するために重要であるということを報告をされております。このときはまだ水草等がありませんでしたので、今はこちらのほうで大量に水草が繁茂するようになっておりまして、この対流を伴った流れが減水している可能性が考えられましたので、この対流を伴った鉛直循環流に着目して少し検討を行っております。

まず、この対流を伴った鉛直循環流について簡単に説明させていただきますが、夏場の夜間、沿岸部と沖合の水面冷却速度の差によって、夜間から早朝にかけて先に沿岸部のほうの表層が冷えますので、その冷えたものが底に沈み込む、これを補償する形で表層の水が入ってくる。また、昼間はその逆で、岸近くが先に温められますので、岸寄りの流れが起きて表層水が沖へ流れる、これが鉛直循環流になっております。中村先生は1996年の8月1日から8月3日にかけて調査を行われておりますが、このときには対流を伴った鉛直循環流が大変よく現象として捉えられております。

今回、検討した内容としましては、まず、中村先生方が調査された期間とほぼ同じ時期の風向と風速について確認を行いました。こちらは秋鹿沖と同じく宍道湖北岸にある、こちらの保健環境科学研究所の敷地内にある大気の測定を行っている測定所での風向、風速の状況を示したものになります。この期間の、特に、ちょっとこちらで色をつけています7月28日に着目していただきますと、特に夜間については北向きの弱い風が吹いており、またその後には南寄りの弱い風が吹くという湖陸風の特徴を示しておりました。また、風速は非常に低かったという状況になっております。このときの流向、流速の結果になります。こちらは地点A、少し、水草が生えていない深い水深での結果になっております。こちらを見ていただきますと、結論としては、風の弱い7月28日の地点Aにおいては、ちょっと南西、南寄り、西南西側の流れで、ちょっと鉛直循環流の兆候なのかな、どうかなというふうなところがあるんですが、なかなかはっきりとその現象として、鉛直循環流が出現しているという、断定できるような状況ではありませんでした。また、ほかの水草の生えている地点のものも確認してみましたら、水草帯のほうではさらにそのような傾向が

分からないというふうな状況になっており、やはり水草の繁茂によって流速が小さくなっているために、こういった現象がうまく捉えられない可能性があるんじゃないかということが考えられました。これら、先ほどの貧酸素であったり、この対流を伴った鉛直循環流の低下の関係から、今後湖水の流動を考慮して効果的に水草の除去を行うと、水草帯の中でも水の動きが確保して湖底環境の効率的な改善につながるのではないかとということが考えられました。

次に、底生生物の生息状況についての結果になりますが、今回の6月から10月にかけての調査期間中23種の底生生物を確認しております。調査期間を通して最も個体数が多かったのは、こちらのカワグチツボ、次いでヤマトシジミ、その次がクロイサザアミの順番になっておりました。最も種数が確認されたカワグチツボは、貧酸素耐性が高い種として知られており、宍道湖では湖棚から湖盆まで広く分布する種になっております。また、地点別で見ますと、地点Aが最も多く、地点C、Dはこの3分の1程度となっております。なお、こちら種数で示しておりますが、重量ベースで見ますと、やはり最も多いのは圧倒的にヤマトシジミという結果になっております。

次、こちらがそのヤマトシジミの生息状況になっております。ヤマトシジミは6月には地点間であまり大きな差というものは見られませんでした。7月には水草の繁茂しているC、Dの地点で大きく減少して、それ以降ずっと低い値が続いていた。一方、水草がない地点Aについては、一旦8月で減るんですが、その後回復する、こういった状況となっております。この原因についてなんですが、7月については地点Dは水草が少ないエリアで調査しておりますし、水草が何か影響したというよりも、その直前に大雨が降ったり、湖自体の環境が大きく変わっていますので、そういったところで少し影響が出たんじゃないかなというふうに考えております。

事業のまとめになります。本年度の事業のまとめになりますが、本事業では水草等の繁茂により影響が予想される底層溶存酸素量の現状の把握と、効率的な保全対策手法の確立を目的に、試験的な水草等の除去を実施しております。まず、事業を通して水草帯で貧酸素が発生している事象を確認しました。また、対策事業の効果としましては、最も水草が繁茂する8月には除去を行った区画の繁茂量が対照区の半分程度に減り、貧酸素化する時間も短かったということで一定の効果を得ることができました。また、効率的な除去方法としましては、除去する時期が1mを超えない時期での対策を行うことが望ましいと考えられました。また、参考までに、今回の対策費用としましては、100m²当たり約1万8,

400円の費用がかかっております。

最後、来年度以降の検討課題となりますが、やはり水草の繁茂場所、時期をどのように予測し、調査地点を設けるかということは、これ、今までも課題ではあったんですが、引き続きの課題となると考えております。また、今年度水草の繁茂量が少なく、大量繁茂時にどのような水質に影響があるかということは引き続き検討していきたいと考えております。また、最後、今年度の結果を踏まえて、水草帯の中での流れが一つポイントになるというふうに考えておりますので、今後水草帯の中で湖水の流動をどのように確保するか検討できればと考えており、現在、来年度の事業に応募をしております、無事に採択となれば引き続き検討をしていきたいと考えております。以上です。

○中村座長 御説明ありがとうございました。

それでは、御質問、コメントございましたらよろしく願いいたします。

では、皮切りに、私のほうからコメントですけれども、調査地点A、B、C、Dの中のDで、これは途中で場所を変えられてますよね。ですから、私としては同じDという表記ではなくて、どっちかをDプライムなんかにして、区別したほうがいいと思います。御検討ください。

○木戸主任研究員 ありがとうございます。

○中村座長 ほかにはいかがでしょう。

○井上委員 すみません、井上です。

○中村座長 はい、どうぞ。

○井上委員 ちょっとここで質問するような内容じゃないのかもしれないんですけど、今年は少なめだったというようなお話だったと思うんですが、アオコとの関係とかで何かお考えみたいなことがあったらお聞かせ願えないかなと思ひまして。

○木戸主任研究員 ちょっとそのアオコが繁茂して増えた減ったというところの検討はできてないというところが正直あるんですが。

○井上委員 そうですね。

○木戸主任研究員 今年度少なかった理由としましては、最も繁茂が多かったような時期というのはオオササエビモやツツイトモで、繁茂していた水草の種類が違っていたということがありまして、オオササエビモやツツイトモと今回リュウノヒゲモとシオグサで違ってたんですけど、それには電気伝動でEC、塩分が効いてるんじゃないかということがある程度これまでの結果から分かってきてまして、その種が変わったから繁茂量が少なかった

んではないかというふうに考えております。

○井上委員 塩分の影響が大きいんじゃないかという理解でよろしいですか。

○木戸主任研究員 そうです。塩分の影響で繁茂する水草の種類が違って、量としては少なくなったというふうに考えます。

○井上委員 ありがとうございます。

○神門部長 すみません、補足ですけど、あと発生の時期が、アオコが、先ほど発表がありましたけども、実際増えてきたのが10月になってからというのがあります。水草が一番多かったのが大体8月ということで、アオコが出てくる時期が少し後というところですので、直接の関係はない、間接的には分かりませんが、直接アオコが多いと水草が一番多いというのは一つ原因になるところがあると思います。

○井上委員 すみません。アオコが判別時期よりは遅れて発生したっていうお話があったと思うんですけども、何かそういうところと関係とかまだあまりなさそうですか。

○神門部長 そこはちょっと、まだ両方絡めての検討というのをやっておりません。

○木戸主任研究員 ちょっと今後考えて進めます。すみません。ありがとうございます。

○中村座長 ありがとうございます。

ほかにいかがでしょうか。

神谷さん。

○神谷委員 すみません、お願いします。

酸素のグラフありますよね。貧酸素が結構続いたのが8月と9月、結構続きますね。これはかなり底生生物に影響を与える時間があるように思うんですが、いかがなものでしょう。これはやっぱり影響ありますか。

○木戸主任研究員 こちらが8月のときの結果になりますが、ずっとなかったというよりは、やはり多少なりとも日が照ったときと光合成によって供給はあるということで、絶えず無酸素ではなく、上がり切らずにまた下がっていくというふうなことかなと思ってるんですが、底生生物への影響という意味では、今年のシジミ、これが8月なんですが、シジミも既に7月のときに個体数が激減しておりまして、また特にシジミについてということになってしまいましたが、それとは別の要因で減ったのではないかというふうに考えています。

○神谷委員 シジミは貧酸素十何日でしたかね。

○木戸主任研究員 1週間ぐらいです。

○神谷委員 シジミは貧酸素でも大丈夫なんだけど、ほかの河口湖（カワグチツボ）とかいろいろありますよね（シジミ以外のベントスという意味）。あれらはやっぱり影響はありますよね。

○木戸主任研究員 種によっては影響は出てくるものと。

○神谷委員 意外と長いなと思って見てみたけど、影響あるだろうなと思って。感想です。よろしいです。

○木戸主任研究員 ありがとうございます。

○中村座長 ありがとうございます。貧酸素はやはり、例えばですけれども、2ミリグラムパーリットルを切る継続時間が底生生物にとっては非常に重要な要素になると思うんですよね。この前の手法で1か月の頻度で調査を整理されてますけれども、それではよく分からない。1日で必ずDOが回復してる時の頻度と、何日も継続してる、そのときの頻度、頻度としては同じ値であっても、底生生物のリスクにとっては全然違った量になると思いますので、そういう整理のほうがいいんじゃないかなというふうに思いました。

○木戸主任研究員 ありがとうございます。またちょっと今度そういった視点でまとめてみたいと思います。

○中村座長 ぜひお願いします。

ほかにもあるかもしれませんが、申し訳ございません。会議の終了予定まであと、の表示が出てきまして、一応ここで締めたいと思います。

予定の議事、（１）、（２）は一通り終わりましたけれども、時間が迫ってるんですが、何か全体を通して言い忘れたというのがありましたらお受けしたいと思いますけれども、よろしいでしょうか。

特にお声がないので、では、3番のその他ですけれども、事務局から何かありますでしょうか。

○狩野企画幹 事務局のほうからは特にございませんので。

○中村座長 そうしましたら、今日オブザーバーで清家先生、まだ残っておられますか。昨年度まで副座長として、長期間このワーキンググループに継続して貢献をいただきました。今日はオブザーバーということではありますけれども、ワーキンググループの委員は退任をされたというところですので、この機会に一言御挨拶いただければと思います。

先生、よろしくお願いいたします。

○清家氏 中村先生、ありがとうございます。

それでは、最初にお詫びからなのですが、本来なら中村先生、それから中田先生には事前にお断りしとかなければいけなかったのですが、事後報告になってしまって申し訳ありません。私も長くこの委員を務めさせていただいたんですが、もうそろそろバトンタッチしたいなと思っていたときに、神谷さんが引き継いでいただくということになりましたので、私以上の経験を持っておられますから、安心して神谷さんにお任せして退任させていただくことにした次第です。これまで本当にお世話になりました。ありがとうございました。

それで、保環研の委員についてはもう少し務めさせていただくことになっていますので、そちらのほうでは助力できるところはしていきたいと思っております。汚濁メカについては今日で最後ですが、これまで本当にありがとうございました。

中村先生、中田先生、本当にお世話になりました。ありがとうございました。簡単ですが、挨拶に代えさせていただきます。

○中村座長 清家先生、どうもありがとうございました。改めて感謝申し上げたいと思います。

では、全ての議事を一通り終えましたので、事務局に進行をお返ししたいと思います。

○島田室長 中村先生、ありがとうございました。清家先生につきましても大変ありがとうございました。

本日は、予定の時間を超過しての開催になりましたけれども、長時間ありがとうございました。

次回、新年度の開催につきましては、また座長の先生と御相談の上で決定をさせていただきますので、よろしくお願いいたします。

以上をもちまして、令和3年度汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループを終わらせていただきます。本日はどうもありがとうございました。