

ため池の水が秋口に一夜にして濁る謎を追う

熊本県立宇土高等学校 科学部物理班

要旨

一昨年の秋、溜め池が一夜で白濁・異臭がしたという騒ぎを聞き、水採取したが原因は特定できなかった。しかし過去2年間だけでも福島や福岡などで原因不明の異臭騒ぎが起っており、しかも秋に集中していた。さらに調べた結果、気温が下がった降雨後に発生しているという共通点を見つけた。この原因不明の白濁等は、水が循環・対流し、水温が全体的に均一になる「レイクターンオーバー現象」が引き起こしたと当初は考えたが、この現象と異臭騒ぎとの関係性は示されておらず、この現象自体、不明な点も多いことがわかった。そこで今回は、白濁等の原因は対流以外の要因が大きいことから、溜め池のような小規模でのターンオーバーの仕組みを解明し、さらに異臭騒ぎの原因を突き止めることを目的とした。

溜め池の水の動きを詳しく調べるため、水温測定容器の釣り投げ式に加え、Arduino モニタリング装置を自作し、冷たい雨(下層部水温以下)、やや冷たい雨(中層部水温程度)、冷たくない雨(上層部水温より上)、晴れの4パターンで気温・水温の測定を行った。その結果、「冷たい雨」が降らなければ溜め池は温度勾配が維持されることがわかった。これは、**溜め池の規模でも積極的な対流は起こっていない**ことを意味している。そこで、秋の溜め池を再現して温度勾配をつけた水槽で調べた結果、「冷たい雨」のときは温度差による沈みやすさが加わり一気の下層部まで到達することがわかった。その際、サーモカメラの映像から、**まとまった「冷たい雨」**は簡単に温度上昇せずに下層部まで達し、その後も**対流せずに下層部に留まる**こともわかった。さらに、冬の溜め池再現実験では、どの注水温度(4℃を除く 2℃~6℃)でも**下層部には達しない**ことを発見した。これは温度差、つまり、密度が大きく関わっているためで、「冷たい雨」が降ると白濁・異臭の原因となる**劇的なターンオーバーは秋口に起こりやすい**が、冬には起こりにくいことを突き止めた。

動機、目的

研究のきっかけ

一昨年の9月末に宇土市五色山にあるため池のひとつが一夜にして、異臭・白濁したという不安の声を聞いた。



水の採取・地域住民に聞き取り調査:
→いくつかの溜め池の水を採取
・何かほかの物質が混ざった痕跡がない
・故意的要因が考えにくい



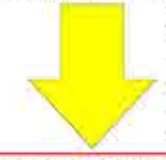
過去や他の地域で、同様のことが起こっていないか調べた

過去2年間だけでも、福島県や福岡市などで原因不明の異臭騒ぎが起っていた!

福島県: 溜め池付近。硫化水素を検知、数日で解消したものの原因は特定できず
福岡県: 水路付近。異常物質検出できず、極臭が原因とするも火山活動は無し

「異臭騒ぎ」の共通点を発見!
・どちらも**秋**に集中している
・気温が**一気に下がった**ときに雨が降っていること

もしかして、水の循環を伴うターンオーバー現象が原因??



水深のある湖でのターンオーバーの先行研究はあるが、溜め池など小規模でのターンオーバーについての先行研究はない

今回は小規模でのターンオーバーのメカニズムを解明し、**原因不明の異臭騒ぎがなぜ秋に多いのか**の謎を解き明かすことにした。

昨年の実験

- ▶水温測定装置を釣り竿で投げて、水温を測定
→降雨後は、水温が均一になるときやならないときがあった
- ▶降雨の水温測定
→高温のシャワーを3M瓶下させると、気温の温度と同じになった
- ▶ため池の泥を沈めた水槽実験
「かけ流しで注水を行ったり、風を水面に強く当てる」
→勢いよく注水しなければ泥が巻き上がらない、つまり、原因不明の白濁等は**何らかの要因**が加わって沈殿物を巻き上げることで発生している!

溜め池の上層部と下層部の**水温変化を連続して観測**する必要性が出てきた!

実験1 / 方法

＜今年の実験1＞ ●プログラミングは全て自作

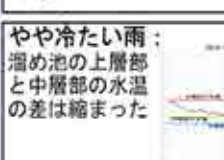
Arduino溜め池モニタリング装置による水温観測



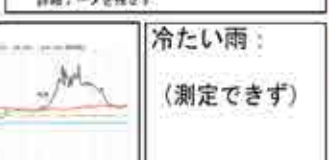
結果1

結果1 (Arduino測定)

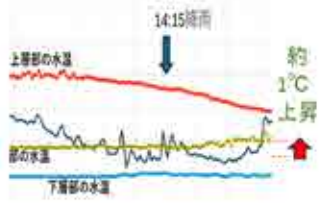
晴れた日: 春の晴れた日(今年6月)は、水温変化はあるものの、上層部と下層部はある程度の温度差が保たれることがわかった。



冷たくない雨: 温度変化は多少あるが、温度勾配を保ったまま(去年9月)



「やや冷たい雨」が降った際、溜め池の上層部と中層部の水温の差は縮まった。しかし、**下層部の温度変化はなく、白濁等も見られなかった。**



水の循環、レイクターンオーバーが起こったと考えられるが、白濁等がみられなかったのはなぜ? レイクターンオーバーだけでは白濁等は起こらないの?

＜定義の確認＞レイクターンオーバーとは「水が循環し、水温が全体的に均一になる現象」のこと

日射時間が増えて水温が上昇した**春頃**と、気温の低下とともに徐々に表層水面の水温が低下する**秋頃**に起こりやすいとされている。

しかし、詳細な観測データはほとんど公表されておらず、不明な点も多い。

実験2 - ① / 方法

“冷たい雨”による変化

昨年は、天気の関係で、秋口の**“冷たい雨”**が降らず、Arduino観測はできなかった。

そこで

今年の秋口の**“冷たい雨”**を待つ間、水槽実験で詳しく調べることにした。

方法

・秋口の溜め池と同じように、水槽の水に温度勾配をつけて**“冷たい雨”(下層部以下の8℃)**をゆっくり注ぐ。(水槽: 水深24cm)
・サーモカメラを用いて、注水の温度変化や対流の有無を観察する。



結果①

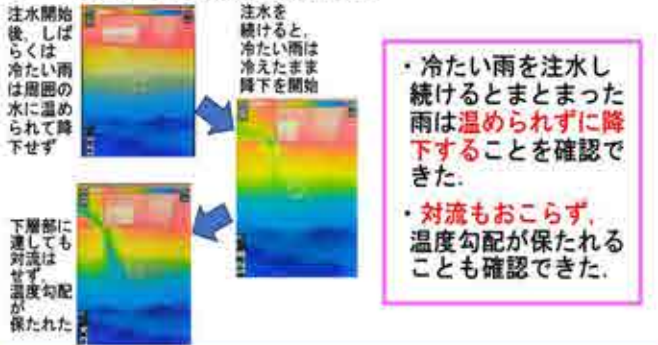
冷たい雨(下層以下の8℃の水)を注ぐ

上層部の温度は変化なし

下層部まで達することが確認でき、**下層部の温度が上昇した。**(10℃→15℃→11~12℃)



サーモカメラによる観測結果:



・冷たい雨を注水し続けるとまとまった雨は**温められずに降下**することを確認できた。
・対流もおこらず、温度勾配が保たれることも確認できた。

実験2 - ② / 方法

急激に下層部に達する**“冷たい雨”**であれば、泥を巻き上げる可能性あり!

でも**“冷たい雨”**だけで、泥の巻き上げが起こるの!?

一般的な「レイクターンオーバー」と、泥が巻き上がるターンオーバーと区別する必要もでてきた。そこで、泥が巻き上がる「**劇的なターンオーバー**」を「**ターボ型ターンオーバー**」と呼ぶことにした。

以下の条件を変えての水槽実験

- A.注水量
- B.深さ
- C.形状
- D.水面にシャワーの雨
- E.温度差

結果②

A.注水量 (注水速度は一定: 5cc/s)

注水量	50cc	500cc	1000cc
上	○	○	○
中	×	○	○
下	×	×	○

○...下層部に達した

注水温度 8℃
水深 8cm
上 20℃
下 10℃

B.深さ (注水速度は一定: 0.5cc/s)

注水量	8cm	24cm
上	○	○
中	○	○
下	○	×

○...下層部に達した

注水量 25cc
注水温度 5℃
上 20℃
下 5℃
8cmまたは24cm

C.形状 (注水速度は一定: 10cc/s)

形状	半球型水槽	ボックス型水槽
上	○	○
中	○	○
下	○	×

○...下層部に達した

水深 8cm
注水温度 8℃
水温 上 20℃/下 10℃

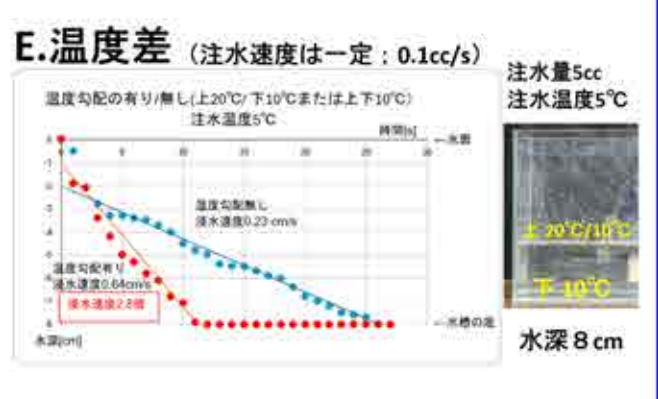
D.水面にシャワーの雨 (シャワー流量速度: 5cc/s)

一定量を噴出できる電動シャワー器を使用
・水深24cm
・水量200cc

冷たい雨を降らせても下までとどきにくい

シャワー 16℃
上 24℃
下 16℃

電動霧吹きで冷たい雨を降らせたときの様子



ここまでのまとめ

- 冷たい雨を注入する実験
→冷たい雨が降ると下層部に到達する
- 温度差の実験
→温度差が大きいほど下層に沈みやすい
- ※様々な条件によって多少のため池内の変化が起こる

冷たい雨がカギになる!
ため池内の**温度差**がカギになる!

追加実験・結果

新たな謎
冷たい雨は冬でも降るのに、なぜ冬にターボ型ターンオーバーは発生しないのか?

追加実験
冬のため池を想定し、温度勾配のある半球型水槽を用意
・注水温度 2~6℃(1℃毎)
水槽の下層部に到達するかを調べる

仮説
注水温度が 2~4℃のときは水槽の下層部まで到達するが、5~6℃のときは下層部まで到達しない

結果
仮説に反し、注水温度 2℃のときは水槽内の水が 7℃付近の層に留まり、注水温度 3℃のときは 5℃付近の層に留まった。また、4℃のときは下層部(4℃)付近まで到達した。

下層部の水温よりも低いにもかかわらず、なぜ 2℃、3℃のときは下層部まで到達しないのか?!

考察

水槽内の**水の温度差(密度差)**が関係しているのでは?

追加実験より、**水の温度における密度**を理科年表を使って調べた

・理科年表をもとに 0℃~20℃までグラフ化
→3.98℃を頂点とした二次関数 (近似曲線)
 $7.01 \times 10^{-5} \times t^2 + 0.0009999 \times t + 0.999997$ で表せることができた。
1℃と2℃、2℃と3℃、3℃と5℃の組み合わせのように、 **$\alpha + \beta = 8^\circ\text{C}$** (α, β: 0~8.1℃)のとき密度が等しくなることがわかった。

水の密度表

温度(℃)	密度(g/ml)
0	0.9998425
1	0.9998999
2	0.9999274
3	0.9999321
4	0.9999172
5	0.9998865
6	0.9998352
7	0.9997675
8	0.9996873
9	0.9995978
10	0.9995012
11	0.9993997
12	0.9992953
13	0.9991892
14	0.9990826
15	0.9989766
16	0.9988723
17	0.9987698
18	0.9986692
19	0.9985706
20	0.9984751

水の密度は**3.98℃**のとき最大(密度 0.99997g/ml)で、**0℃と8.1℃**のとき**密度が同じ**(0.99984g/ml)であることがわかった。

ターボ型ターンオーバーが起きやすい条件

- ある一定の注水量や注水速度があるとき、
- ・上層部と下層部の温度差が大きい
- ・下層温度が8.1℃以上のとき、雨や注水の温度が下層以下
- ・下層温度が4.0℃~8.1℃のとき、雨や注水温度がα+β=8℃を満たす

結論

- ・レイクターンオーバーとターボ型ターンオーバーを区別する必要がある
- ・レイクターンオーバーでは、泥の巻き上げが起こりにくい
- ・ため池の温度と雨の温度から、ターボ型ターンオーバーは**秋に集中しやすい**
- ・ターボ型ターンオーバーが起こらなければ、異臭騒ぎは起こらない
- ※条件が合わなければ起こらない場合もある

展望

いくつかの条件を満たしやすくする**秋口の冷たい雨**がターボ型ターンオーバーのトリガーになりやすいことを突き止めた

原因不明の白濁・異臭騒ぎの糸口と、ターボ型ターンオーバーの発生予測が可能になったと考える

白濁・異臭発生を知らせるAIアプリが開発できると考えている

参考文献・謝辞

- 「Lake Turnover Phenomenon」
<https://agupubs.org/journal-phenomenon/>
 - 「美しい山地湖における大気-水-地質環境に関する研究」
<https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/123491/3/ykogr03927.pdf>
 - 「ニュース記事 福岡市 汚物のようなにおい 鹿児島火山?」
<https://news.kbc.co.jp/news/articles/NID202212216272>
 - 「福岡県・平下山地内における異臭発生事業に係る対応経過について」
<https://www.city.ikawaki.lg.jp/www/contents/1664238133651/files/tatoukenka1012.pdf>
- 謝辞
本研究にあたりご助言を下された福岡県、東城大学様、宇土市上松山区の皆様にご協力いただき感謝申し上げます。