

環境をはかる

パックテストを教材としてどう使うか

名古屋工業大学 増田理子

目次 講義内容

1. パックテストの使用方法
2. 河川水の測定（実験）
3. 環境をはかる（講義）
 1. 生物の浄化能力を知ろう
 2. 下水処理場の浄化能力を知ろう
4. 生物の浄化能力の測定（実験）
5. まとめ

1. パックテストの使用方法

- 水質汚濁に関わる項目
 - 水の安全性について Cd, CN⁻, など
 - 水質の汚濁に関する項目 pH, BOD, 透明度、においなど
- 河川、湖沼、海域に関する環境基準はいくつかの項目に分かれている

河川の基準		1. パックテストの使用方法				
類型	利用目的の適応性	基準値				
		pH	BOD	SS	DO	E-coli
AA	水道1級、自然環境保全およびA以下	6.5以上 8.5以下	1mg/l 以下	25mg/l 以下	7.5mg/l 以上	50M P N /100ml 以下
A	水道2級、水産1級、水浴およびB以下	6.5以上 8.5以下	2mg/l 以下	25mg/l 以下	7.5mg/l 以上	1000M P N /100ml 以下
B	水道3級、水産2級、およびC以下	6.5以上 8.5以下	3mg/l 以下	25mg/l 以下	5mg/l 以上	5000M P N /100ml 以下
C	水産3級、工業用水1級およびD以下	6.5以上 8.5以下	5mg/l 以下	50mg/l 以下	5mg/l 以上	
D	工業用水2級、農業用水、およびE以下	6.0以上 8.5以下	8mg/l 以下	100mg/l 以下	2mg/l 以上	
E	工業用水3級、環境保全	6.0以上 8.5以下	10mg/l 以下	ゴミなどの浮遊が認められないもの	2mg/l 以上	

湖沼の基準

1. パックテストの使用方法

類型	利用目的の適応性	基準値				
		pH	BOD	SS	DO	E-coli
AA	水道1級、水産1級およびA以下	6.5以上 8.5以下	1mg/l 以下	1mg/l 以下	7.5mg/l 以上	50MPN /100ml以下
A	水道2、3級、水産2級、水浴およびB以下	6.5以上 8.5以下	3mg/l 以下	5mg/l 以下	7.5mg/l 以上	1000MPN /100ml以下
B	水道3級、工業用水1級、農業用水およびC以下	6.5以上 8.5以下	5mg/l 以下	15mg/l 以下	5mg/l 以上	
C	工業用水2級 環境保全	6.0以上 8.5以下	8mg/l 以下	ゴミなどの浮遊が認められない	2mg/l 以上	

湖沼の基準

1. パックテストの使用方法

類型	利用目的の適応性	基準値	
		全窒素	全リン
I	自然環境保全およびII以下の欄にあげるもの	0.1mg/l以下	0.005mg/l 以下
II	水道1、2、3級、水産1種、水浴およびIII以下	0.2mg/l以下	0.01mg/l 以下
III	水道3級、およびIV以下	0.4mg/l以下	0.03mg/l 以下
IV	水産2種、およびVの欄にあげるもの	0.6mg/l以下	0.05mg/l 以下
V	水産3種、工業用水、農業用水、環境保全	1mg/l以下	0.1mg/l以下

海域の基準

1. パックテストの使用方法

類型	利用目的の適応性	基準値				
		pH	COD	DO	E-coli	N-ヘキサン抽出物
A	水産 1 級、水浴、自然環境保全および B 以下	7.8以上 8.3以下	2mg/l 以下	7.5mg/l 以上	1000MPN /100ml 以下	検出されないこと
B	水道 3 級、工業用水 1 級、農業用水および C 以下	6.5以上 8.5以下	5mg/l 以下	5mg/l 以上		検出されないこと
C	工業用水 2 級 環境保全	6.0以上 8.5以下	8mg/l 以下	2mg/l 以上		

海域の基準

1. パックテストの使用方法

類型	利用目的の適応性	基準値	
		全窒素	全リン
I	自然環境保全および II 以下の欄にあげるもの	0.2mg/l 以下	0.02mg/l 以下
II	水産 1 種、水浴および III 以下	0.3mg/l 以下	0.03mg/l 以下
III	水産 2 種、および IV 以下	0.6mg/l 以下	0.05mg/l 以下
IV	水産 3 種、工業用水、生物生息環境保全	1mg/l 以下	0.09mg/l 以下

主な水質関係用語

■ アオコ

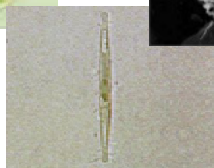
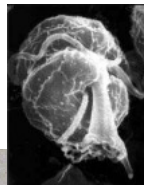
- 富栄養化により湖沼などで藍藻類などの植物プランクトンが急激に増殖し、水面が濃い緑色になる現象



主な水質関係用語

■ 赤潮

- 富栄養化により海などで鞭毛藻類や珪藻類などの植物プランクトンが急激に増殖し、海面が赤色または赤褐色になる現象



主な水質関係用語

- 化学的酸素要求量(COD)
 - 水中の汚濁物質（主として有機物）を酸化剤で化学的に参加するときに必要な酸素量
 - 日本における測定法は過マンガン酸カリウム KMnO_4 を使用することが多いが、欧米ではニクロム酸カリウム KCr_2O_7 を用いることが多い
- 水素イオン濃度(pH)
 - 溶液中の水素イオン濃度を示す尺度で、酸性アルカリ性の度合いを示す

主な水質関係用語

■ 生物化学的酸素要求量(BOD)

- 水中の汚濁物質（主として有機物）が微生物によって、酸化分解されるときに必要なとされる酸素量。

種類	一回に捨てる廃棄量	BOD(mg/l)
天ぷら油	20ml	30
マヨネーズ	15ml	20
牛乳	200ml	16
ビール	180ml	15
みそ汁	500ml	7
米のとぎ汁	100ml	6
煮物汁	100ml	5
中濃ソース	15ml	2
シャンプー	4.5ml	1
台所洗剤	4.5ml	1

主な水質関係用語

- 全窒素
 - 水中に存在する様々な形態の窒素化合物に含まれる窒素の総量。富栄養化の原因の一つ
- 全リン
 - 水中に存在する様々な形態のリン化合物に含まれるリンの総量。富栄養化の原因の一つ。
- 透視度
 - 透視度計に水を入れ、上から底を透視し、標識版の二重十時が見えるようになったときの水面の高さ

主な水質関係用語

- 青潮
 - 海水の底層に分布する極端に酸素の少ない水の塊（貧酸素水塊）が海面に浮上し、水の色が乳白色を帯びた青、または緑色を呈する現象



主な水質関係用語

- 浮遊物質量(SS)
 - 水に溶けない懸濁性の物質のこと。浮遊物質には無機質のものと有機質のものがあり、数値が大きいほど水質汚濁が著しいことを示す。
- 糞便性大腸菌群数
 - 水中で大腸菌群として検出される菌群の中には糞便由来でないものが多いため特に糞便による汚染を示すために用いられる指標で、大腸菌群数よりも高い温度で培養することによって検出する。

主な水質関係用語

- 水の華
 - 淡水域で起こる植物プランクトンによる水の着色現象
- 溶存酸素量(DO)
 - 水に溶けている酸素のことをいう。河川等の水質が有機物で汚染されると、この有機物を分解するために水中の微生物が溶存酸素を消費する。この結果、溶存酸素が不足して魚介類の生存が脅かされることがある。

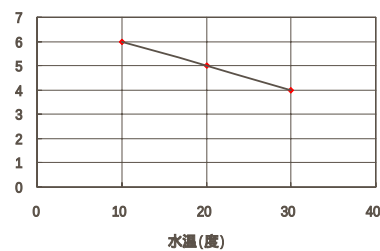
1. パックテストの使用方法

パックテストを使ってみよう

■ 使う道具

- パックテスト(pH, COD, NO_3 , PO_4)
- 基本的な使い方はほぼ同じ
- pH 反応時間は20秒
- COD 反応時間は温度で異なる

温度と反応時間



1. パックテストの使用方法

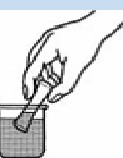
パックテストを使ってみよう



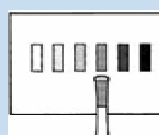
チューブ先端に付いている栓を引き抜きます



2. 穴が上になるように持ち中の空気を抜きます



3. チューブをつぶしたまま先端を水につけて半分ほどまで水を吸い込みます



5, 6 回ほどチューブを振り標準色と比べます

2. 河川水の測定

- 堀川の水を測定してみましょう。
- 測定項目
 - pH, COD, NO₃, PO₄,
- 測定材料
 - 堀川河川水 新港橋付近

2. 河川水の測定

測定結果

測定項目	p H	COD	NO ₃	PO4
実験前				
実験後	ヨシ			
	アサリ			
	放置			
水道水				

3. 環境をはかる

- 生物の浄化能力を知ろう
 - 実験の時間の関係から先に測定からはいってしまいましたが、本講義の目的は生物の浄化能力を体験してもらうことです。
 - パックテストを使うことによって、いろいろな水質の汚れを測定することが出来ますが、それでは教育的効果には結びつかないのが微妙なところです。

生物の浄化能力

3. 環境をはかる

- パックテストは測定方法です。ではどのようにしたら教育的効果がもたらされることになるのでしょうか？
- 近年、環境問題が盛んに取り上げられています。自然環境の重要性については様々なメディアで取り上げられています。
- そこでなぜ自然環境が大切なのかについて体験してもらうため、川の汚れを生物がどのように浄化しているのかについて実際に体験するのにパックテストをつかうことが出来ます。

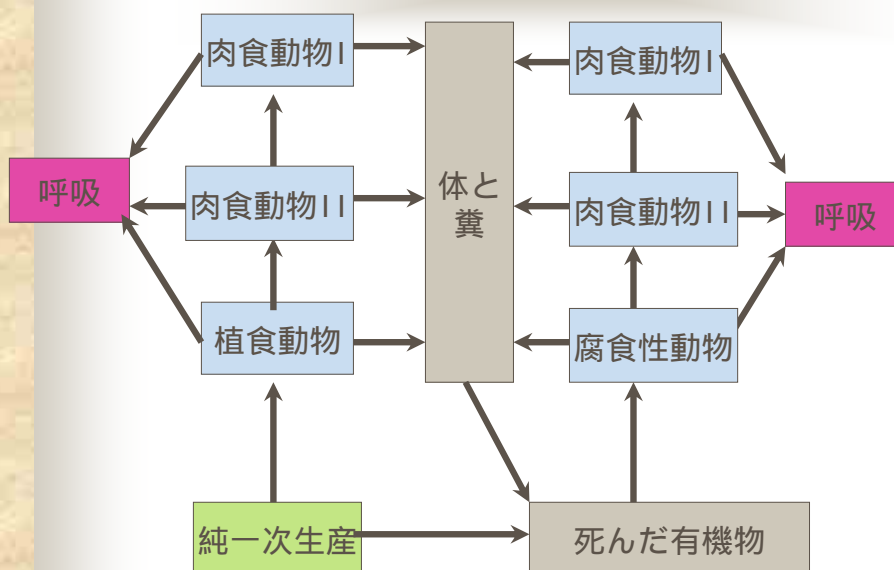
生物の浄化能力

3. 環境をはかる

- 水質が悪いというのはどういうことでしょうか？
 - 川の汚れは一般的にはCOD，BODなどの指標で表されます．
 - これは，河川水に含まれる有機物の量の指標です．
 - 具体的な物質の量を示しているわけではありません
 - この値が大きいと言うことは水中に含まれる有機物の量が多く，その有機物を餌とする細菌類がこれらを分解して増殖するため悪臭などが発生するということになります．

生物の浄化能力

3. 環境をはかる



陸上群集における栄養構造とエネルギーの流れのモデル

生物の浄化能力

3. 環境をはかる

■ 有機物だけ？

- 有機物以外にも細菌類を増殖させる要素がある．
- 田畑，家庭排水から流出するリン，窒素は細菌を増殖させる重要な要素となる．

家庭排水

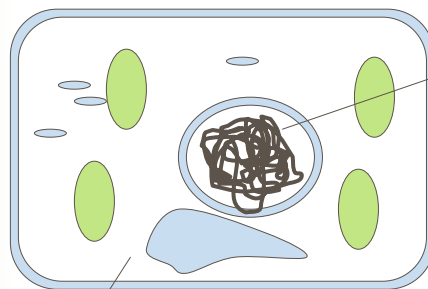
洗濯洗剤，食器用洗剤など
多くの洗剤類はリンを含む

田畑

作物に与える肥料はリン，
窒素を多く含む

生物の浄化能力

3. 環境をはかる



DNAはデオキシ
リボ核酸で
DNAをつくる
ためにはリン
が必要

生物の細胞は様々な酵素によって，動いている
酵素を作るためには窒素が必要

生物の浄化能力

3. 環境をはかる

光合成



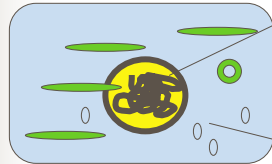
なぜリンと窒素なのか？



糖

生物を動かすエネルギー

細胞



核 DNA 生物の設計図
デオキシリボ核酸
C, H, O, P



タンパク質（酵素）を作る
アミノ酸
C, H, O, N

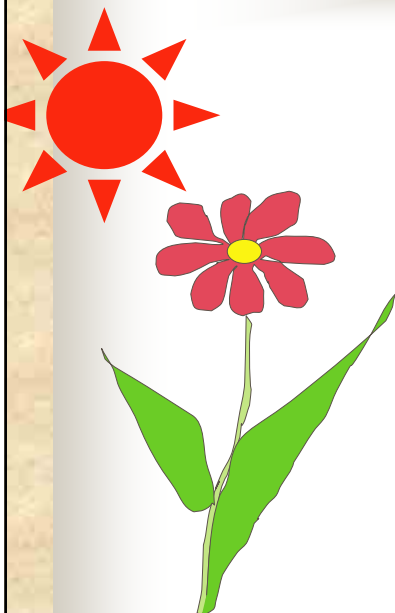
生物の浄化能力

3. 環境をはかる



生物の浄化能力

3. 環境をはかる



植物が生長するためには
日光，水，CO₂，リン，
窒素が必要



植物を植えればリン，窒素は
除去してくれる．

生物の浄化能力

3. 環境をはかる

- 琵琶湖をはじめとした富栄養化の進む水域では植物を用いた水質浄化が進みつつあります．これは植物の窒素，リンを固定する能力を利用したものです．しかし，これらの浄化実験が実現性を持っている場合はほとんど無いという意見も多いです．

生物の浄化能力

3. 環境をはかる

- 干潟の生物による浄化能力については非常に有名な諫早湾の例があります。諫早湾の干拓において浄化能力が低下したため、のり、タイラギガイの生産量が大きく低下したことは有名です。
- どうして、干潟は浄化する能力があるのでしょうか？
- 干潟の浄化能力は生態系の食物網を利用した窒素、リン、炭素の生物地球化学的循環を利用したものです

生物の浄化能力

3. 環境をはかる

- 生物地球化学的循環とは何でしょうか？
 - 陸上植物は光合成の炭素源として気圏の二酸化炭素を利用するが植物は水に溶解した炭酸塩を利用します。呼吸作用は光合成産物として固定された炭素を気圏や水圏に戻す働きとなります。このように生物の中を通じて炭素、窒素、リンなどの物質が地球上を循環する作用のことを指します
 - つまり、水中の汚れである、有機物をバクテリアが分解し、それを濾過性動物が食べ、それを鳥類などが補食し、河川から除外します。また、植物プランクトンが窒素、リンなどを固定し、動物プランクトン、魚類、鳥類という流れで除去されることもあります。
 - 干潟ではこのシステムが非常に効率よく働き水中に残された汚れを除去しているのです。

生物の浄化能力

3. 環境をはかる



生物の浄化能力

3. 環境をはかる

- 今回の実験では実際に植物がどの程度、窒素、リン、有機物を除外するのか、濾過性動物がどの程度汚れを除去するのかについてパックテストを用いて体験してもらうことにしました。
- この30分ほどの時間にどれだけの窒素、リン、CODが減少するでしょうか？

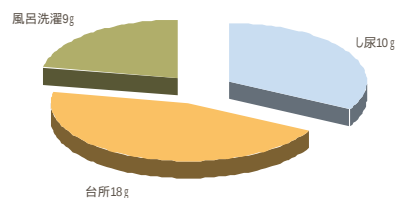
下水処理場の浄化能力を知ろう

- 普段の生活の中でインフラ設備の重要性を知ることとは非常に難しいです。しかし、私たちが一日に出している廃水进行处理し、自然環境に優しい条件にして排出しているのが下水処理システムです。

下水処理場の浄化能力を知ろう 3. 環境をはかる

- 私たちはどのくらいの生活排水を出しているのでしょうか？

BODで計算すると以下のようになっています



下水処理場の浄化能力を知ろう 3. 環境をはかる

- どのくらいの面積の干潟が必要でしょうか？
 - 全国39箇所の干潟浄化量データより、一日あたりの浄化量は約0.5g/m²
 - つまり、一人あたり干潟が80m²必要と考えられます
 - 名古屋市は220万ですから17600km²の干潟があれば処理できます（ナゴヤドーム3700個分）
- 下水処理場ではどのくらいの処理をどのくらいの値段でやっているのでしょうか？
 - 町によって異なります。また処理方法によっても異なりますが、たとえば神奈川のF町では毎日約200円のコストをかけて処理しています。つまり、日々出される汚濁物質の処理の維持だけでかなりのコストがかかっているわけです。

下水処理場の浄化能力を知ろう 3. 環境をはかる

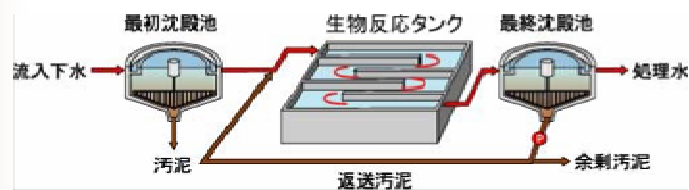
BODやODで表される有機性の汚濁物質は、標準活性汚泥法と呼ばれる一般的な下水処理法によってほとんどが取り除かれます。

下水処理場の浄化能力を知ろう 3. 環境をはかる

標準活性汚泥法

流入下水中の有機物を活性汚泥により酸化分解するための反応タンクと、活性汚泥を重力分離するための沈殿池とを組合わせたものです。

反応タンクには好気性微生物の混合と分解反応に必要な酸素を供給しています。



下水処理場の浄化能力を知ろう 3. 環境をはかる

富栄養化の原因物質である窒素（N）やリン（P）などは、標準活性汚泥法では十分に取り除くことができません。

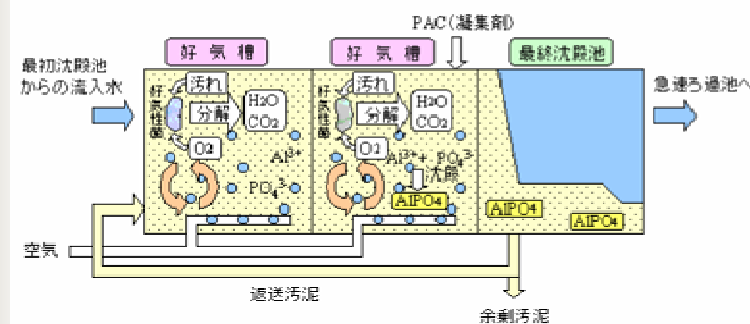
この標準活性汚泥法では十分に取り除けない窒素やリンを取り除くことを、「高度処理」といいます。（目に見えないような浮遊物質（S）を取り除くことも高度処理といえます。）

下水処理場の浄化能力を知ろう 3. 環境をはかる

凝集剤添加活性汚泥法

活性汚泥に空気を送り込みながらかき混ぜ（エアレーション）、好気性の微生物のはたらきによって汚れ（主に有機物）を分解し、さらに凝集剤を加えて化学的にリンを取り除く方法です。エアレーションによって、下水中のリンのほとんどはリン酸イオン（ PO_4^{3-} ）になります。この中に凝集剤のポリ塩化アルミニウム（PAC）を加えると、リン酸イオンはアルミニウムイオン（ Al^{3+} ）と反応して、リン酸アルミニウム（ AlPO_4 ）となって沈殿します。この沈殿物を、余剰汚泥として最終沈殿池から引き抜くことで、リンを除去します。

下水処理場の浄化能力を知ろう 3. 環境をはかる



下水処理場の浄化能力を知ろう 3. 環境をはかる

嫌気無酸素好気法（A₂O法）

「嫌気槽」，「無酸素槽」，「好気槽」の3槽からなる生物反応槽で，窒素とリンを同時に取り除く方法です。嫌気槽と無酸素槽はエアレーションを行わず，攪拌（かくはん）だけを行います。

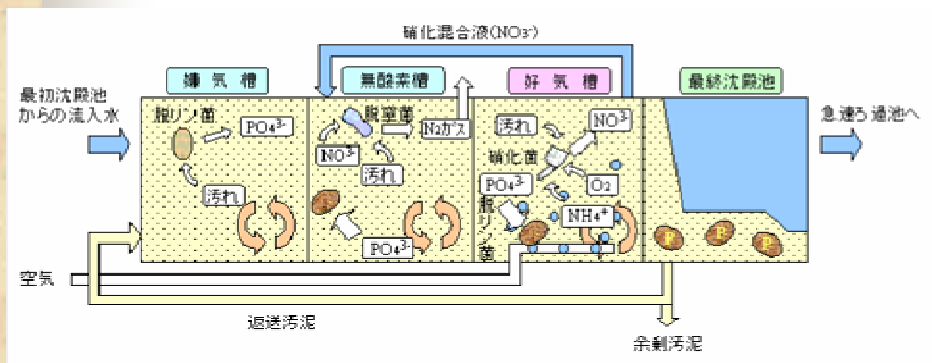
汚泥の中には，利用できる酸素（O）がない環境（嫌気槽）におかれると，体内からリンをはき出す微生物（脱リン菌）がいて，この微生物は，酸素がある環境（無酸素槽，好気槽）にもどされると，吐き出した量以上のリンを取り込むという性質を持っています。このリンをたっぷりと含んだ脱リン菌を，余剰汚泥として最終沈殿池から引き抜くことで，リンを除去します。

下水処理場の浄化能力を知ろう 3. 環境をはかる

また，下水の汚れの中の有機性窒素（タンパク質）やアンモニア性窒素（ NH_4^+ ，主に尿由来）は，嫌気槽と無酸素槽をそのまま通り抜け，エアレーションされた好気槽の中で，酸素や微生物（硝化菌）のはたらきにより，硝酸性窒素（ NO_3^- ）に変えられます。

この水（硝化混合液）を無酸素槽に送ると，脱窒菌のはたらきで硝酸性窒素（ NO_3^- ）は無害な窒素ガス（ N_2 ）に変えられ，大気中へと放出されます（私たちが吸っている空気の7割は，窒素ガスです）。この反応には，下水中の汚れ（有機物）も利用されるので，汚れの除去にも有効です。

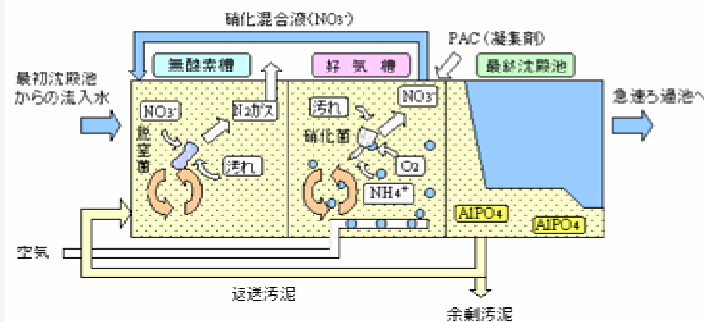
下水処理場の浄化能力を知ろう 3. 環境をはかる



下水処理場の浄化能力を知ろう 3. 環境をはかる

凝集剤併用型循環式硝化脱窒法

この方法は、嫌気無酸素好気法（A₂O法）の2，3槽目と同じつくりになっており，下水に含まれるいろいろなたちをした窒素分を，無害な窒素ガスに変えて取り除く方法です。また，凝集剤を添加してリンも取り除いています。

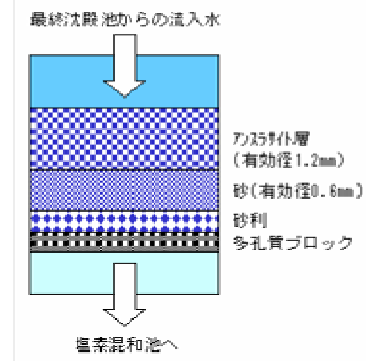


下水処理場の浄化能力を知ろう

3. 環境をはかる

急速ろ過法

砂などのろ材を用いて、水中のSSを除去する方法をろ過法といいます。急速ろ過法は、ろ過速度を大きくする方法で、短時間に大量の水を処理する方法です。急速ろ過池は、上からアンストラサイト層（60cm）、砂層（40cm）があり、これらを砂利層（20cm）が支えています。最終沈殿池から送られる水は上部から流入し、粒径の異なるろ材をとおりながら、SSがろ材にくっついていたり引っかかったりして取り除かれます。



下水処理場の浄化能力を知ろう

3. 環境をはかる

名古屋市の下水処理システム

標準活性汚泥法が採用

高度処理が行われているところはほとんど無い

リン、窒素が処理できていない

三河湾の汚れにつながる

高度処理の処理場への転換が進行中

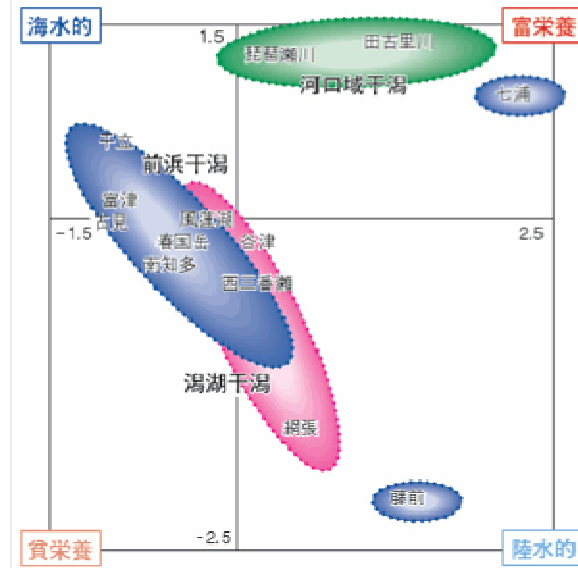
4. 生物の浄化能力の測定

- パックテストを用いて、植物のバケツ、アサリのバケツでどの程度の浄化が起こったのか調べてみましょう

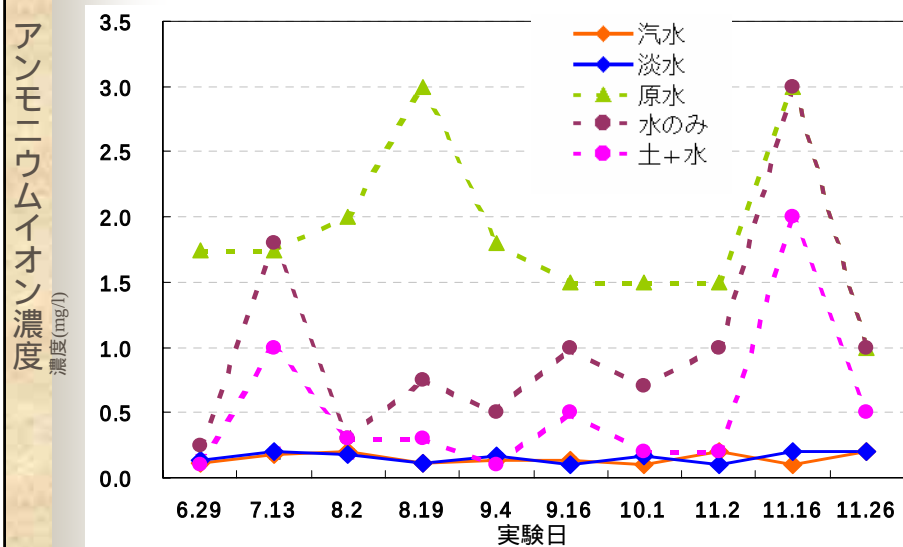
4. 生物の浄化能力の測定

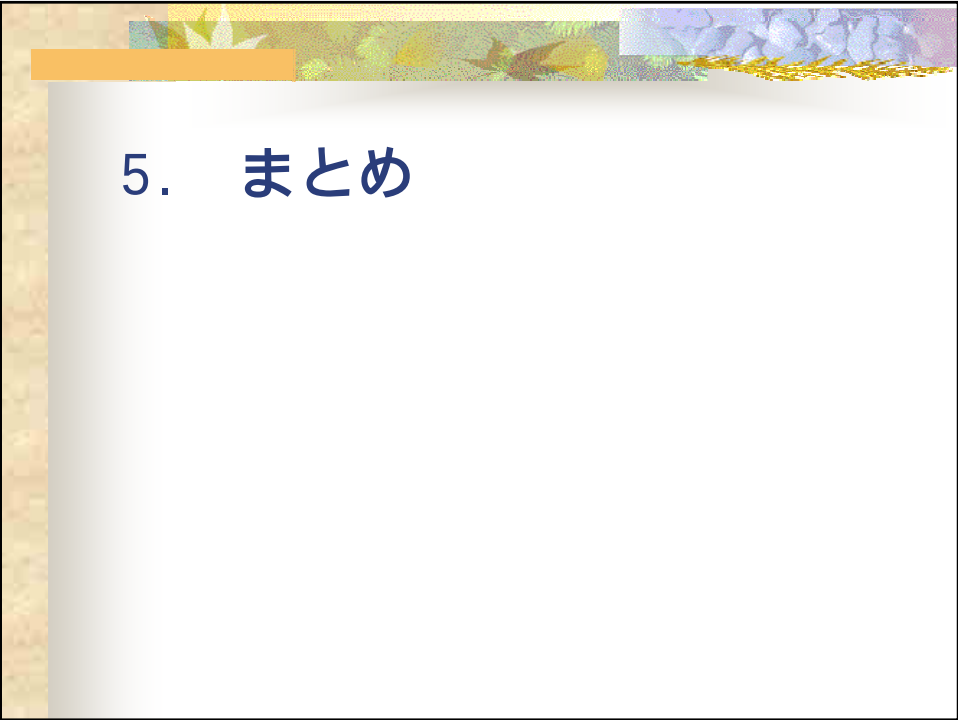
測定項目		p H	COD	NO ₃	P04
実験前					
実験後	ヨシ				
	アサリ				
	放置				
水道水					

4. 生物の浄化能力の測定



4. 生物の浄化能力の測定





5. まとめ