

2018年度 環境保全工学概論 早稲田大学創造理工学部 大河内

世界自然保護基金WWF「Paint Cans」

“水に流す” ことはできない！

“水に流す”：過去のわだかまりを
なかったことにする
かつての日本は水が豊富で、汚染
規模も小さかったから出来たことわざ

環境保全工学概論
第3回
水圏



3 2018年度 環境保全工学概論 早稲田大学創造理工学部 大河内

National Geographic 2008年5月

黄河崩壊
水危機が生む“環境難民”

4 水の構造と性質



3 2018年度 環境保全工学概論 早稲田大学創造理工学部 大河内

National Geographic 2008年5月



4 水の構造と性質

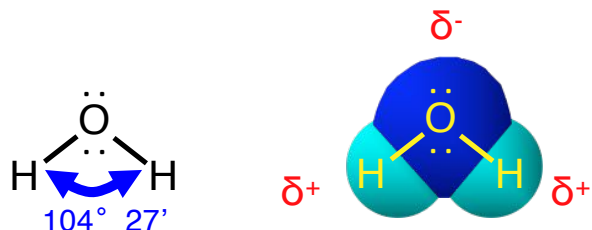




水分子の構造

水分子 H_2O

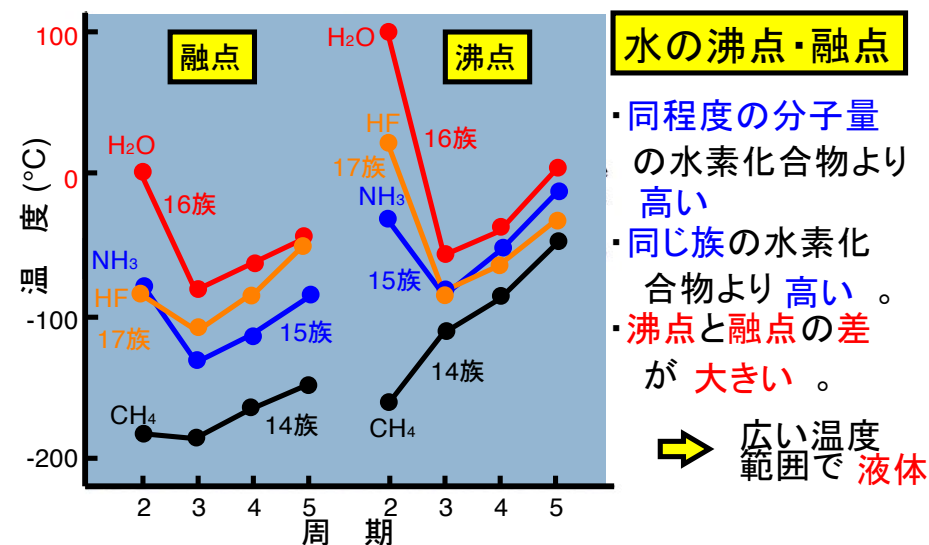
酸素原子1個と水素原子2個が共有結合



- 電気陰性度: 酸素 > 水素
 - 形状: 非対称
- ⇒ 極性分子



水分子の融点・沸点

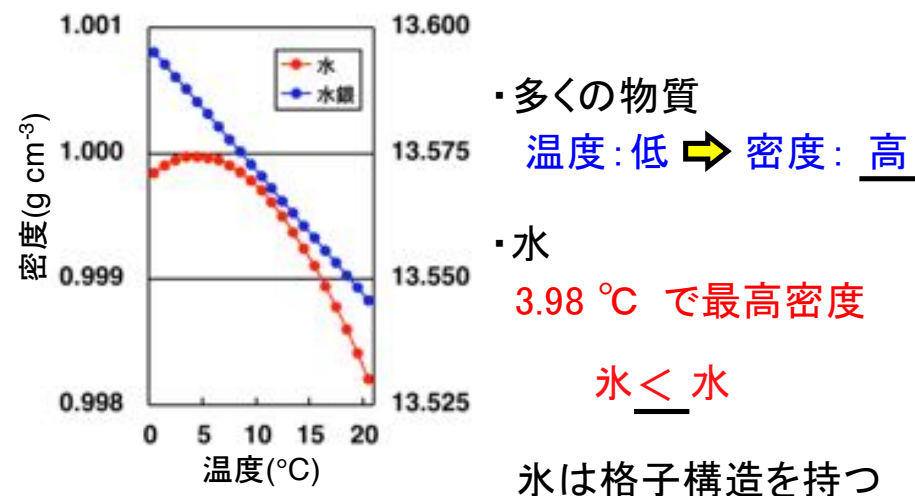


水分子のその他の物性

物 性	特 徴	水が自然界で果たす役割
蒸発熱	液体の中で最大	・大気の運動エネルギー源(凝結) ・体温調節(汗の蒸発)
比熱容量	液体の中で最大	・生物圏の気候緩和
密 度	4°C で最大	・水棲動物のすみか(氷が浮く) ・岩石風化の促進(水凍結による体積膨張)
表面張力	液体の中で最大(液体金属除く)	・土壌中に水が蓄えられる。 ・樹木の枝葉に水が運搬される。
誘電率	液体の中で最大 電解質溶解を	・物質循環・栄養物を輸送。 ・老廃物を体外に排出。



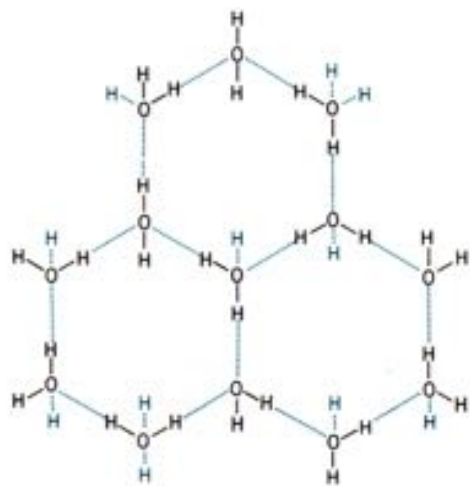
水分子の特異性 密度





水分子の特異性 氷の構造

氷の構造：格子構造 (open lattice structure)



もし氷の密度が水より高かったら....



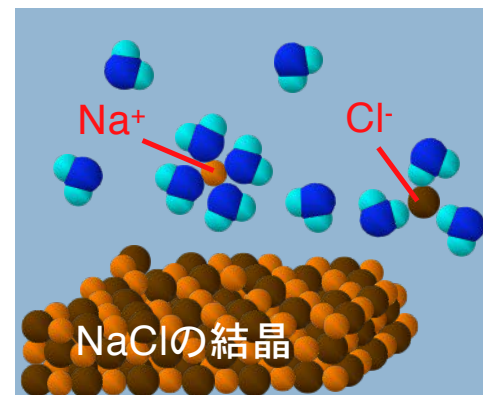
氷は湖底・海底に沈み、
底から上へ凍る



水中の動植物は棲む
場所を追われる。



水は物質を溶かす力が大きい



溶質：NaCl, 溶媒：水

- ・O原子(負電荷)
Na⁺と引き合う
- ・H原子(正電荷)
Cl⁻と引き合う



Na⁺とCl⁻の **クーロン力**
を弱める

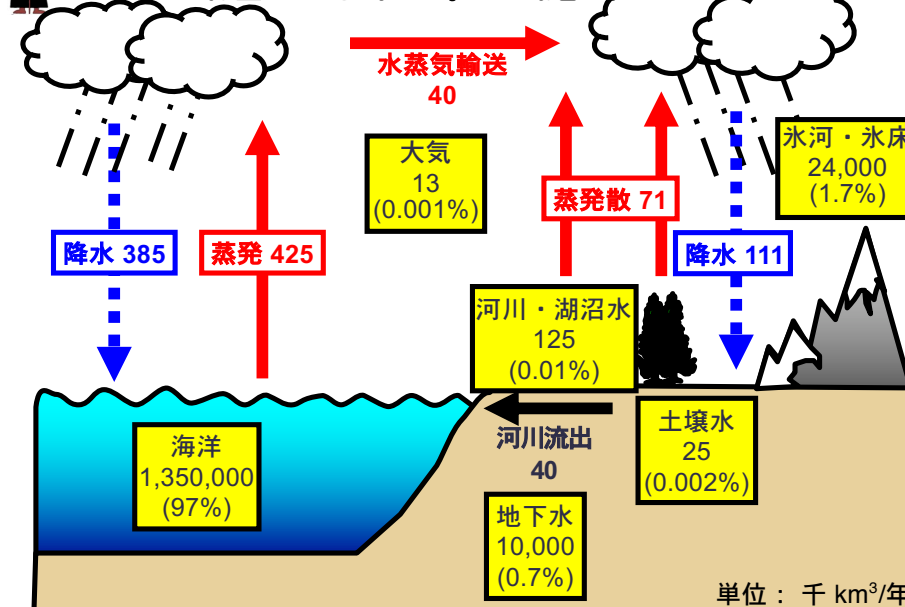


Na⁺とCl⁻は **水和イオン**
として水中に拡散

資源としての水



地球表層の水分布と循環



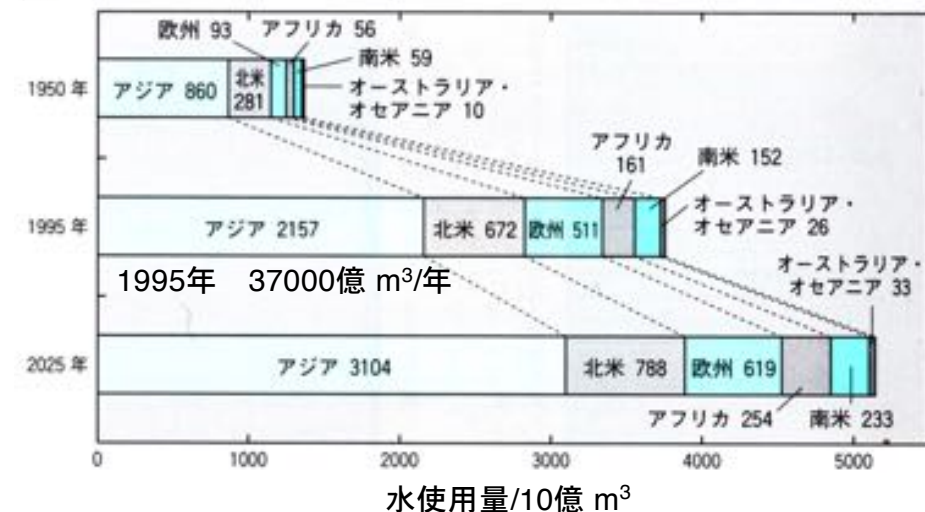


天然水の化学組成：海水，河川水，雨水

単位:mg/L	海水	世界 河川水	日本 河川水	雨水 日本
Na ⁺	10 500	5.3	6.7	1.1
Mg ²⁺	1 300	3.1	1.9	0.36
Ca ²⁺	400	13.1	8.8	0.97
K ⁺	380	1.5	1.19	0.26
Sr ²⁺	8	—	0.057	0.011
Cl ⁻	19 000	6.0	5.8	1.1
SO ₄ ²⁻	2 650	8.7	10.6	4.5
HCO ₃ ⁻	140	51.7	31.0	—
CO ₃ ²⁻	18	—	—	—
Br ⁻	65	—	—	—
F ⁻	1.3	—	0.15	0.089
I ⁻	6×10 ⁻²	—	0.0022	0.0018
SiO ₂ (溶存)	6	10.7	19.0	—
H ₃ BO ₃	26	—	—	—



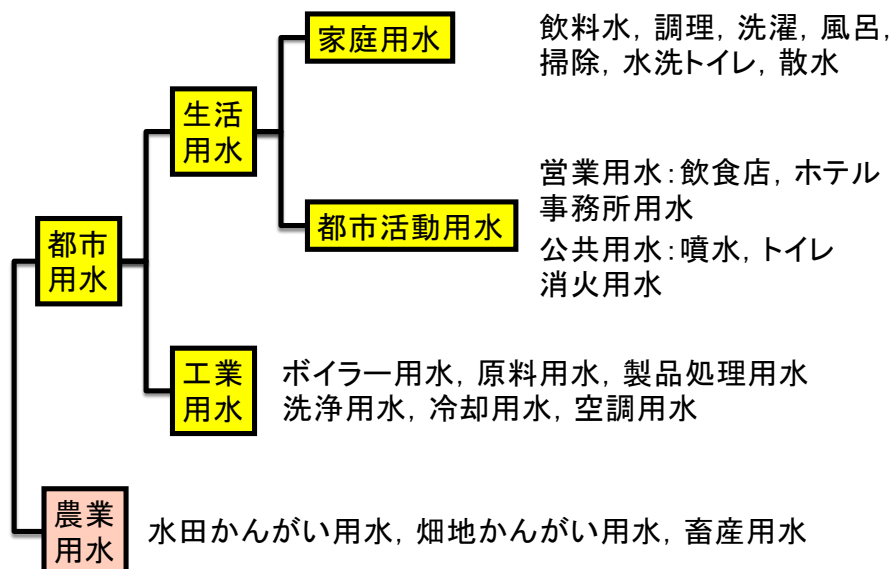
急増する水需要



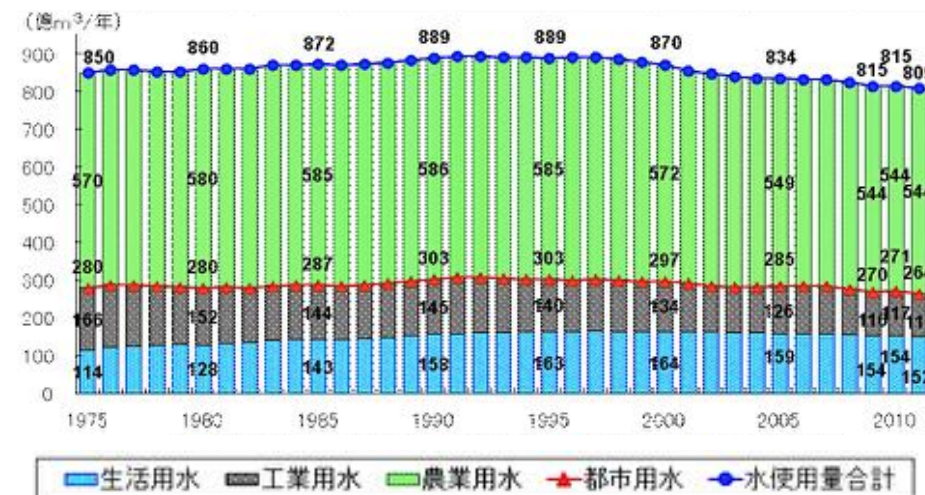
アジアで水需要が急増！



水資源と水利用



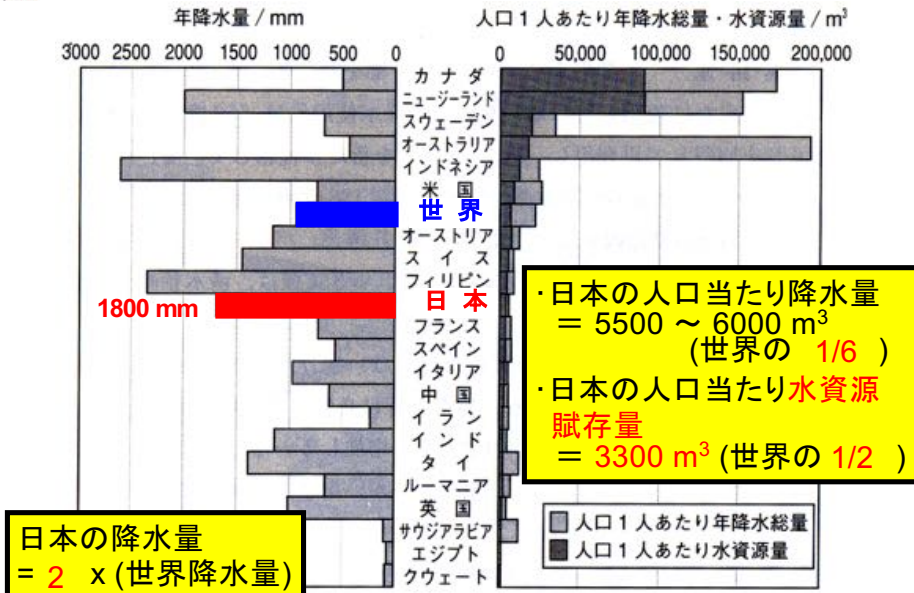
日本全国の水使用量の推移



工業活動 三大使用業種：化学，鉄鋼，パルプ・製紙



日本と世界の降水量と水資源



仮想水 (バーチャルウォーター)

穀物・畜産物の生産: 大量の淡水資源を消費

農産物・畜産物の輸入 = 生産に要する水の輸入

仮想水 (A.アラン教授)

例) コーヒー1杯 : 140 L = 英国人の1日飲用・家事

ハンバーガー1個: 2400 L 米国人 6000 L/日/人

品目	仮想水基準値/m ³ t ⁻¹	品目	仮想水基準値/m ³ t ⁻¹
牛肉	20 600	米	3 700
豚肉	5 900	スパゲティ	2 000
鶏肉	4 500	そば	4 600
鶏卵	3 200	とうもろこし	434
バター	13 200	大豆	2 500
チーズ	3 200	かぼちゃ	309
牛乳	550	オレンジ	628
生クリーム	3 554	パイナップル	376



水資源賦存量 (みずしげんふそんりょう)

利用可能な水資源量

- 地球表層のうち利用可能な水: 淡水
3.4 × 10⁷ km³ (地球上の水の 2.4 %)
- 淡水の源: 降水
ただし、降水量 ≠ 水資源賦存量

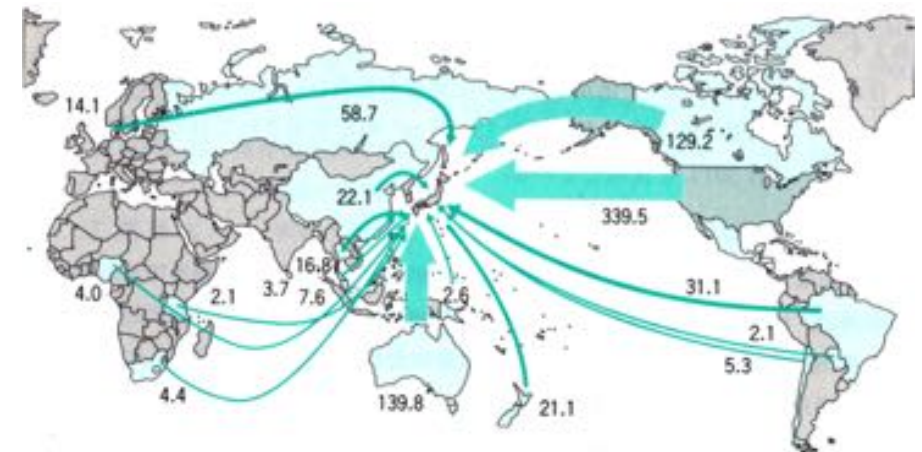
水資源賦存量 = (降水量 - 蒸発散量) × 地域面積



日本: 仮想水の輸入状況

2005年 輸入仮想水量: 800億 m³

2005年 年間水使用量: 834億 m³





エネルギーとしての水：水力発電

- ・ 初期投資は大きいですが、運用後は設備の補修だけ
- ・ CO₂の発生しない**クリーンエネルギー**

国	単位: 100万kWh	割合(%)
1 中国	585,187	16.7
2 カナダ	382,580	60.6
3 ブラジル	369,556	83.8
4 アメリカ合衆国	281,995	6.6
5 ロシア	166,711	17.6
6 ノルウェー	140,522	95.7
7 インド	114,337	11.9
8 ベネズエラ	86,841	72.8
9 日本	83,295	7.2
10 スウェーデン	69,211	48.2
世界	3,287,659	



世界最大の水力発電所

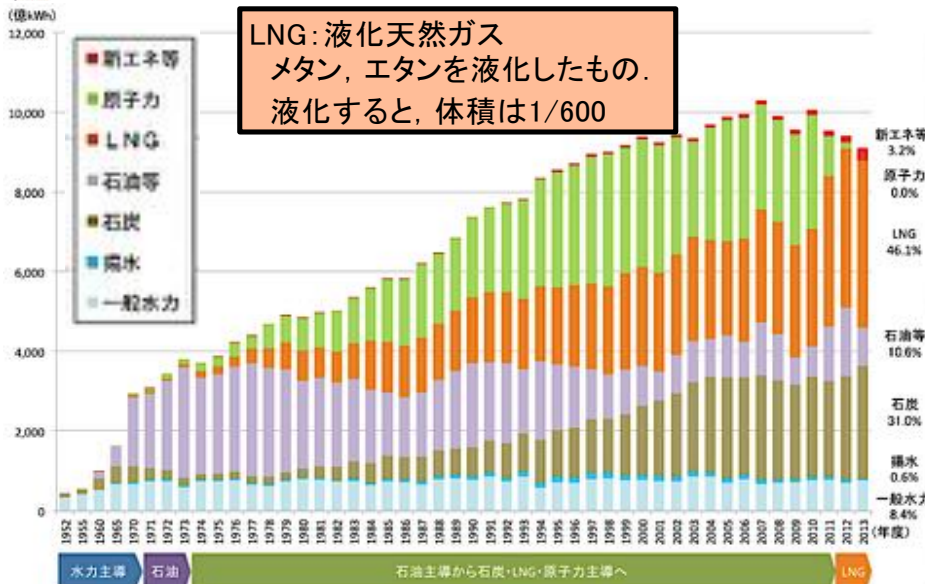
中国長江 三峡ダム水力発電所（2009年に完成）

発電設備容量: 2250万kW

原発の16基分に相当



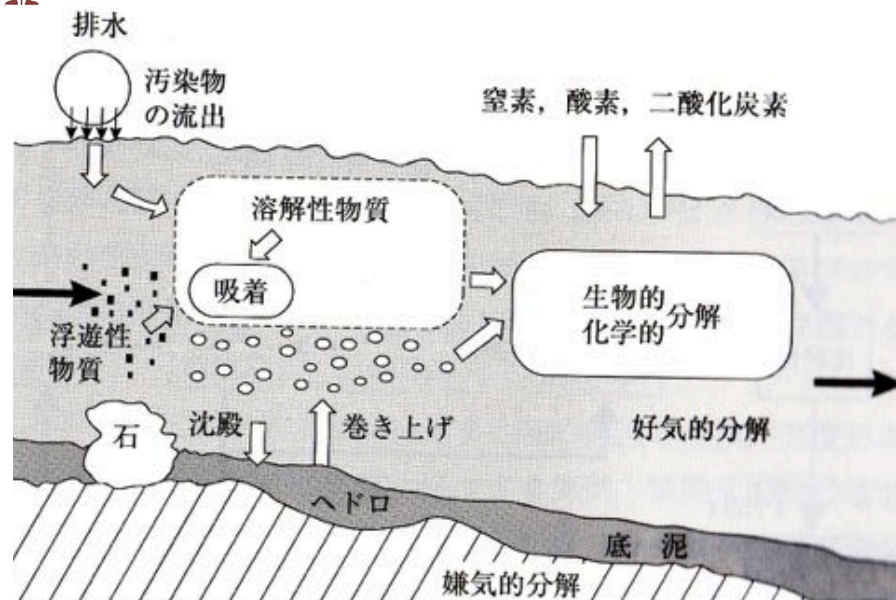
参考：日本のエネルギー・発電の供給量



河川水質汚濁の実態と原因



河川の汚染と自然浄化



化学物質による水質汚濁：産業排水

水質汚濁項目	産業の種類
BOD	醸造所、食品工場、蒸留工場、洗濯工場、パルプ工場、織物工場
浮遊物質(SS)	醸造所、缶詰工場、選炭場、コークス工場、蒸留工場、製紙工場
油脂	洗濯工場、金属仕上工場、油田、石油精製、缶詰工場
酸	化学工場、製鉄所、鉱山、織物製造、電池製造
アルカリ	生綿の煮沸、羊毛洗浄、洗濯工場
シアン化物	ガス製造、メッキ工場
クロム	メッキ工場、クロム鞣皮
鉛	電池工場、鉛鉱山、ペイント製造
ニッケル	メッキ工場
カドミウム	メッキ工場
亜鉛	亜鉛メッキ、ゴム製造、金属鉱山、ビスコースレーヨン工場
銅	銅メッキ、銅アンモニアレーヨン製造
フェノール類	ガス・コークス製造、合成樹脂製造、織物工場、
トリクロロエチレン	機械工場、メッキ工場、洗濯業

化学物質による水質汚濁：重金属

事件名	場所	原因物質	詳細
足尾銅山 鉱毒事件	渡良瀬川 (栃木県)	銅 SO ₂	魚の大量死(1878年～) 森林の枯死 汚濁水洪水による農業被害
イタイイ タイ病	神通川 (富山県)	カドミウム	骨軟化症 腎臓機能障害 日本初の公害病認定(1968)
水俣病	水俣湾 (熊本県) 阿賀野川 (新潟県)	有機水銀 水俣:1956年, 阿賀野川 :1965年	神経障害(運動・言語機能) 患者数:水俣周辺 2204名 (1991) 阿賀野川 685名 生物濃縮による蓄積

四大公害病: 水俣病, 第二水俣病, イタイイタイ病, 四日市喘息

化学物質による水質汚濁：有機溶剤

➤ 有機塩素系溶剤による地下水汚染

有機塩素系溶剤: 溶剤, 洗浄剤 として使用

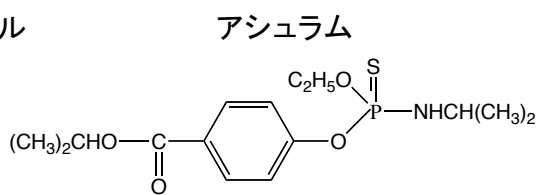
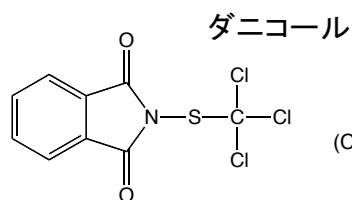
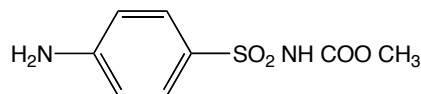
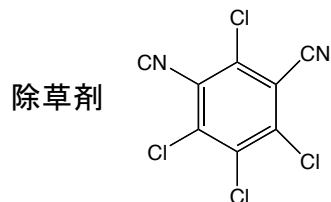
➡ 漏出により地下水を汚染

井戸水中の有機塩素系溶剤濃度

採水場所	トリクロロエチレン (mg/l)	テトラクロロエチレン (mg/l)	1,1,1-トリクロロエタン (mg/l)
メッキ工場の井戸水	0.48	<0.0005	0.014
メッキ工場から200mの井戸水	0.09	0.104	<0.0005
機械工場の近くの井戸水	0.023	<0.0005	<0.0005
産業廃棄物埋立地の井戸水	<0.002	<0.0005	<0.0005
東京都葛飾区の井戸水	<0.002	<0.0005	<0.0005
柴又帝釈天の井戸水	<0.002	<0.0005	<0.0005

化学物質による水質汚濁：レジャー

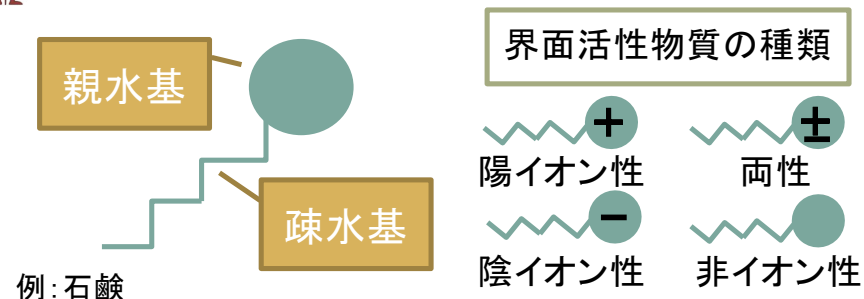
- ・キャンプ場：界面活性剤
- ・ゴルフ場：除草剤，殺虫剤などの農薬



殺菌剤 キャプタン

殺虫剤 インフェホス

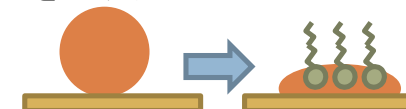
界面活性剤とは？



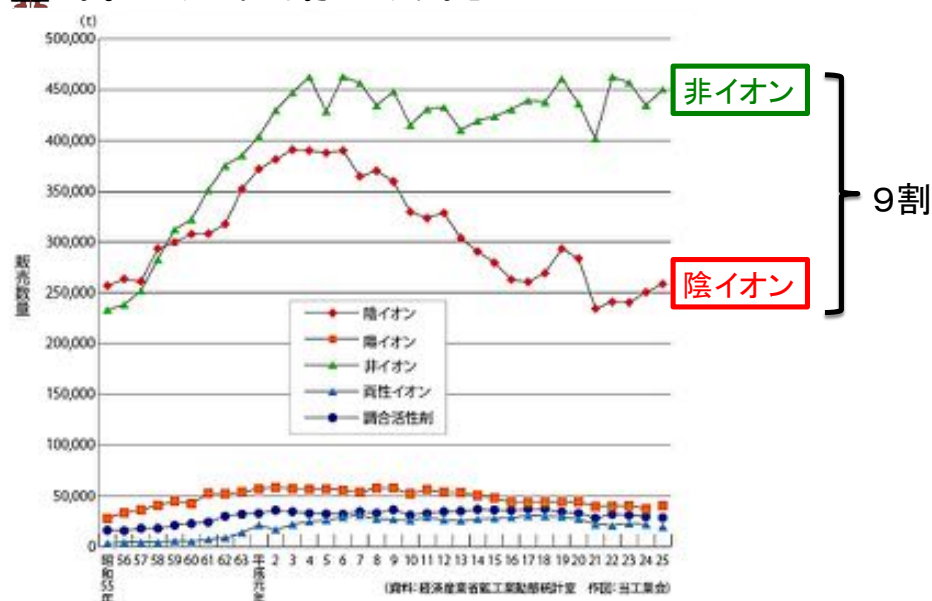
乳化作用
浸透作用

本来混ざらない疎水性の物質と親水性の物質を混合

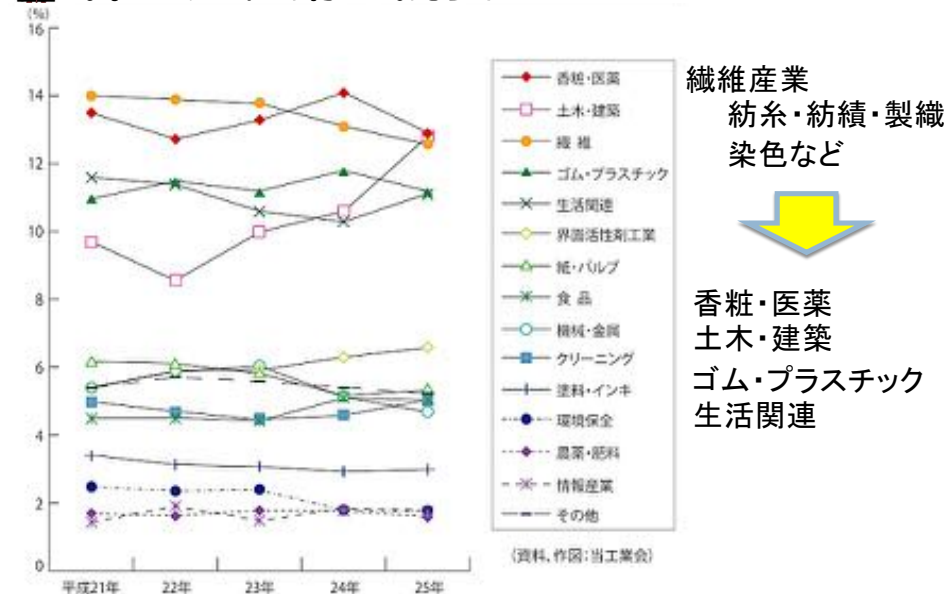
表面張力を下げる



界面活性剤の販売量



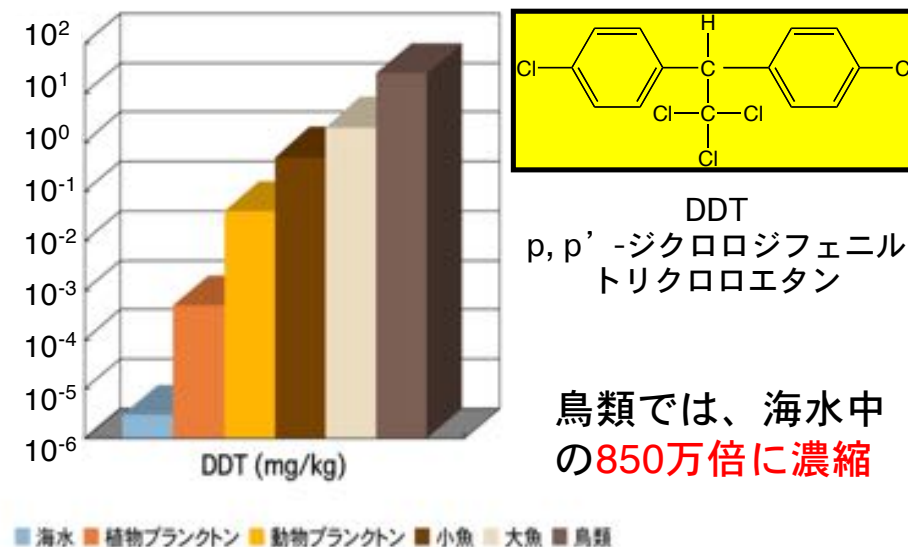
界面活性剤の需要



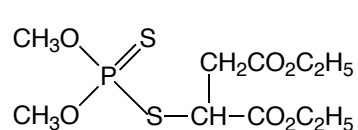
化学物質による水質汚濁：農業排水

- 1) 施肥された**化学肥料**の流出
過剰の**窒素**が流出し、**富栄養化**の原因
- 2) 散布された**農薬**の流出
 - a. 主な**有機塩素農薬**
HCH: ヘキサクロロシクロヘキサン
DDT: p, p'-ジクロロジフェニルトリクロロエタン
残留性, 毒性が高いので使用禁止
 - b. 主な**有機リン系農薬**
マラチオン、メチルパラチオン、スミチオン、パラチオン

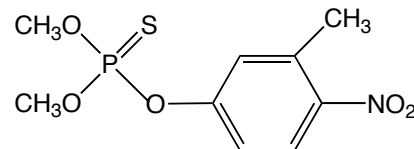
DDTの生物濃縮



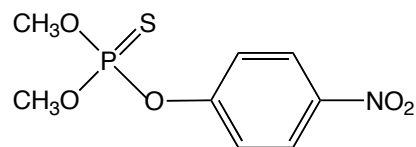
主な有機リン系農薬の構造



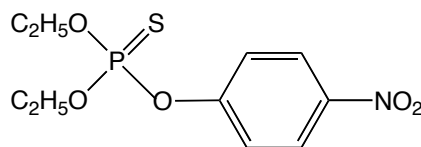
マラチオン



スミチオン



メチルパラチオン



パラチオン

化学物質による水質汚濁：POPs

➤**残留性有機汚染物質 (POPs)** Persistent Organic Pollutants

- ・ **難分解性**：環境中で分解しにくい。
- ・ **高蓄積性**：食物連鎖により生物体内に蓄積
- ・ **長距離移動性**：大気や水により長距離移動
- ・ **毒性**：人体や生態系に対して有毒

➡ 地球規模の水質汚染

2001年 **ストックホルム条約** (通称POPs条約)

12物質が規制対象 + 9物質 (2009年)

1. 製造・使用の原則禁止、
2. 製造・使用の原則制限
3. 非意図的物質の排出削減



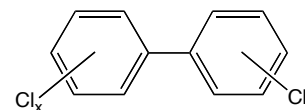
POPs対象物質

ストックホルム条約で規制対象となった物質

対象物質	用途・発生源
DDT	殺虫剤(原則制限: マラリア対策のみ可)
トキサフェン	殺虫剤(原則禁止)
クロルデン	殺虫剤(原則禁止)
ヘプタクロル	殺虫剤(原則禁止)
エンドリン	殺虫剤(原則禁止)
アルドリン	殺虫剤(原則禁止)
マイレックス	殺虫剤(原則禁止)
ディルドリン	殺虫剤(原則禁止)
ヘキサクロロベンゼン	殺菌剤・非意図的にも発生(原則禁止)
PCB	絶縁油、熱媒体(排出削減)
ダイオキシン類	ゴミ等の焼却で非意図的生成(排出削減)
フラン類	ゴミ等の焼却で非意図的生成(排出削減)

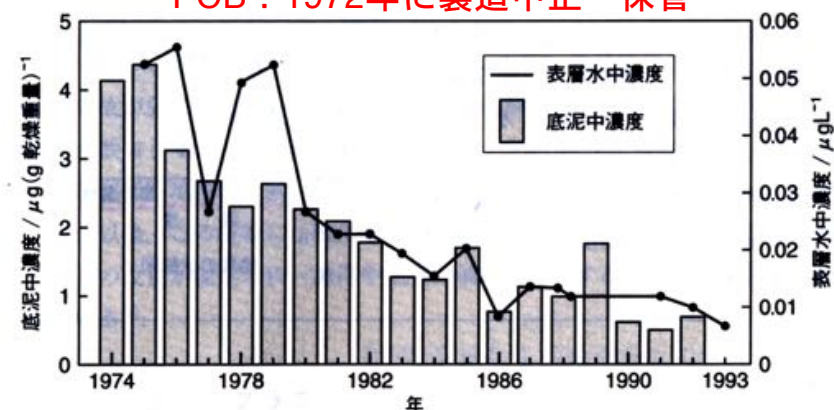


PCBの残留性



ポリ塩化ビフェニル
ポリクロロビフェニル

PCB: 1972年に製造中止・保管



大阪湾河口域の表層水と底泥中PCB濃度の推移



朝日新聞 2012年11月14日

PCBの無害化処理期限、10年余延長 環境省方針

環境省は、有害物質ポリ塩化ビフェニル(PCB)の無害化処理期限を、現行の2016年7月から27年3月へと大幅に延長する方針を決めた。40年前に製造や使用が禁じられた後も工場などに大量に保管され、処理が進まず問題になっている。同省は13日、期限を変更した政令改正案について市民からの意見募集を始めた。

PCBは絶縁油として蓄電器(コンデンサー)や変圧器(トランス)に多く使われたが、PCBが混入した食用油によるカネミ油症事件などが発生し、1972年に禁止された。2001年によく特措法を制定し、04年に無害化処理を始めたものの、処理に手間取り、今春には期限より7年ほど遅れる見込みとなった。ところが、こうした高濃度PCBを含む機器数十万台の処理に加え、PCB使用禁止後に製造された蓄電器や変圧器の一部にも、製造工程で付着するなどしていたPCBが微量に混入し、これらの機器計160万台の処理に15年程度かかることが分かったという。

PCBはストックホルム条約で28年末までの処理が求められている。環境省は「国際的な約束として政令改正による期限延長をさらに延ばす事態は絶対避けたい」としている。



環境ホルモン

➤環境ホルモン: 外因性内分泌攪乱化学物質

人間や野生動物の内分泌作用を攪乱し、生殖機能障害や悪性腫瘍などを引き起こす物質





環境ホルモン

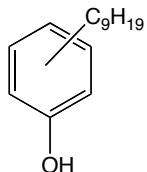
➤環境ホルモン: **外因性内分泌攪乱**化学物質

人間や野生動物の **内分泌作用を攪乱し**, **生殖機能障害**や**悪性腫瘍**などを引き起こす物質

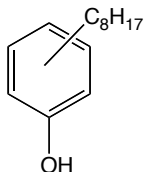
分類	河川中で検出された物質	主な用途
アルキルフェノール類	4-n-オクチルフェノール 4-t-オクチルフェノール ノニルフェノール	界面活性剤 油脂性フェノール樹脂
フタル酸エステル類	フタル酸ジ-2-エチルヘキシル フタル酸ブチルベンジル フタル酸ジ-n-ブチル	プラスチック可塑剤 (多くの合成樹脂に含まれる)
アジピン酸類	アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル	耐寒用可塑剤 潤滑油
ビスフェノールA	ビスフェノールA	樹脂の原料
スチレン	スチレンモノマー	プラスチック原料



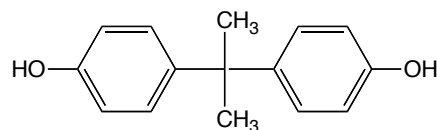
主な環境ホルモンの構造①



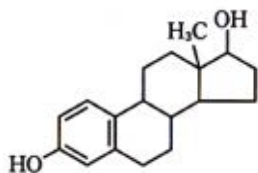
ノニルフェノール



オクチルフェノール

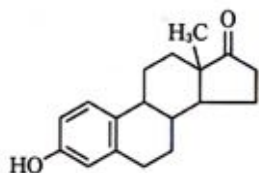


ビスフェノールA



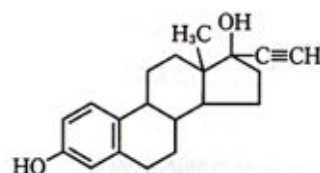
17β-エストランジオール
(E2)

女性ホルモン



エストロン
(E1)

女性ホルモンから生成



17α-エチニルエストランジオール
(EE2)

避妊薬ピルの成分



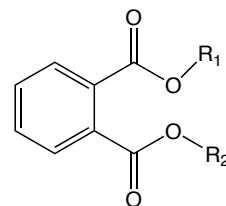
環境ホルモンによる河川汚染状況

国土交通省による河川中環境ホルモンの調査結果
(平成14年11月から平成15年2月)

物質名	検出率 (%)	最大濃度 (μg/L)
4-t-オクチルフェノール	14	0.067
ノニルフェノール	33	1.7
ビスフェノールA	37	2.1
エストロン	37	0.030
17β-エストランジオール	0	0
フタル酸ジ-n-ブチル	4	0.20
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	25	1.5
アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル	13	0.038



主な環境ホルモンの構造②



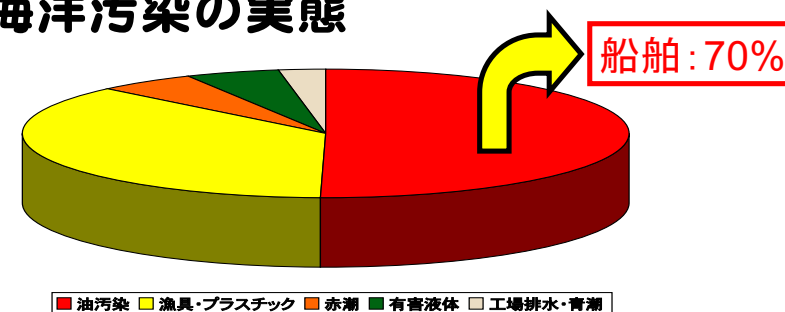
フタル酸エステル

化合物名	略称	R ₁	R ₂
フタル酸ジ-n-ブチル	DBP	n-C ₄ H ₉	n-C ₄ H ₉
フタル酸ブチルベンジル	BBP	n-C ₄ H ₉	n-C ₆ H ₅
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	DEHP	-C ₂ H ₄ (C ₂ H ₅) C ₄ H ₉	-C ₂ H ₄ (C ₂ H ₅) C ₄ H ₉
フタル酸ジイソノニル	DINP	-C ₉ H ₁₉	-C ₉ H ₁₉
フタル酸ジイソブチル	DIBP	-C ₄ H ₉	-C ₄ H ₉
フタル酸ジエチル	DEP	-C ₂ H ₅	-C ₂ H ₅

海洋汚染の実態と原因



海洋汚染の実態



主要な石油流出事故

	年	事故名	場 所	推定量(t)
1	1979	アトランティック・エンプレス号	トリニダード・トバゴ沖	287,000
2	1991	ABTサマー号	アンゴラ 700マイル沖	260,000
3	1983	カストロ・デ・ベルバー号	南アフリカ ケープタウン70マイル沖	252,000
4	1978	アモコ・ガディス号	フランス ブルターニュ沖	223,000
5	1991	ヘブン号	イタリア ジェノバ	144,000
6	1988	オデッセイ号	カナダ ノバ・スコシア 700マイル沖	132,000
7	1967	トリニ・キャニオン号	英国 シリー諸島	119,000
8	1972	シースター号	オマーン オマーン湾	115,000
9	1980	イレネス・セレーネ号	ギリシャ ナポリ湾	100,000
10	1976	ウルキオラ号	スペイン コルーニャ港	100,000
-	1991	湾岸戦争によるクウェート油田破壊	クウェート・ペルシャ湾	1,600,000



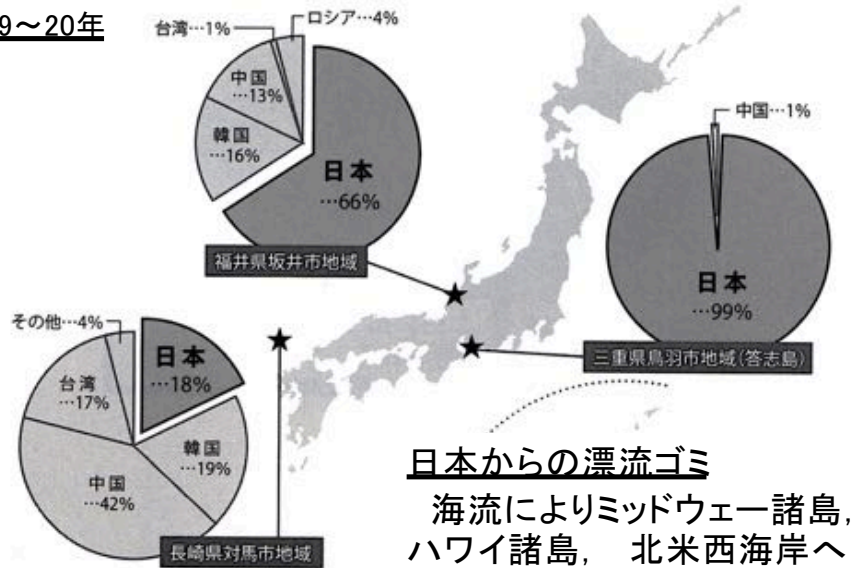
油流出事故時の対応

- 1) **オイルフェンス**
流出油が広範囲に拡散することを防止するためのフロート付きのフェンス
- 2) **油吸着材**
ポリプロピレン, ポリウレタンなどの油吸着材を流出油の表面に散布し、油を吸着回収
- 3) **油処理剤**: 界面活性剤と溶剤の混合物
油を乳化分散または拡散させて自然浄化
- 4) **油ゲル化剤**
水面上に流出した油に散布し、攪拌することにより急速に凝固させ回収



海洋汚染：漂着ごみ(ペットボトル)

H19～20年



太平洋ゴミベルト

The Great Pacific Garbage Patch (GPGP)

5つのプラスチック集積場所のうち最大
約8万トンのプラスチックを集積：**日本30%**

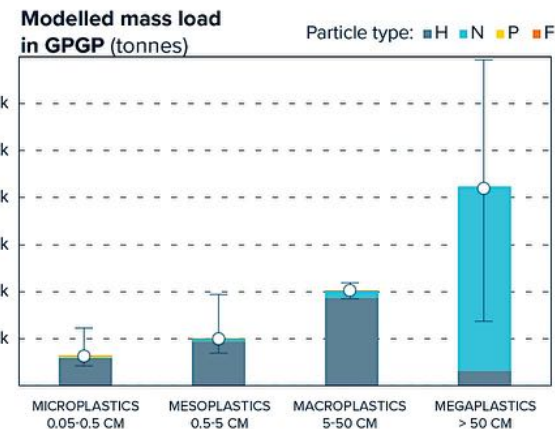


プラスチック海洋汚染をどうするか？



太平洋ゴミベルト

- ・マイクロプラスチック (Microplastics) : 0.05 - 0.5 cm
- ・メソプラスチック (Mesoplastics) : 0.5 - 5 cm
- ・マクロプラスチック (Macroplastics) : 5 - 50 cm
- ・メガプラスチック (Megaplastics) : 50 cm以上



Type H : Hard plastic, plastic sheet or film
Type N : Plastic lines, ropes and **fishing nets**;
Type P : Pre-production plastics (cylinders, spheres or disks)
Type F : Fragments made of foamed materials

漁網：全質量の46%

野生生物への影響



ハワイ島でプラスチックゴミに
囲まれた海鳥

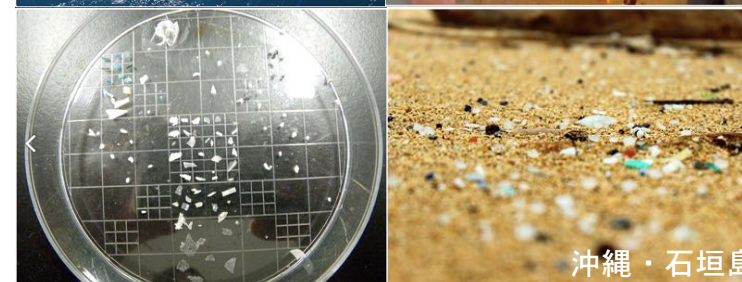


業網に絡まると泳げなくなり
溺れて死んでしまう

海洋汚染：マイクロプラスチック汚染



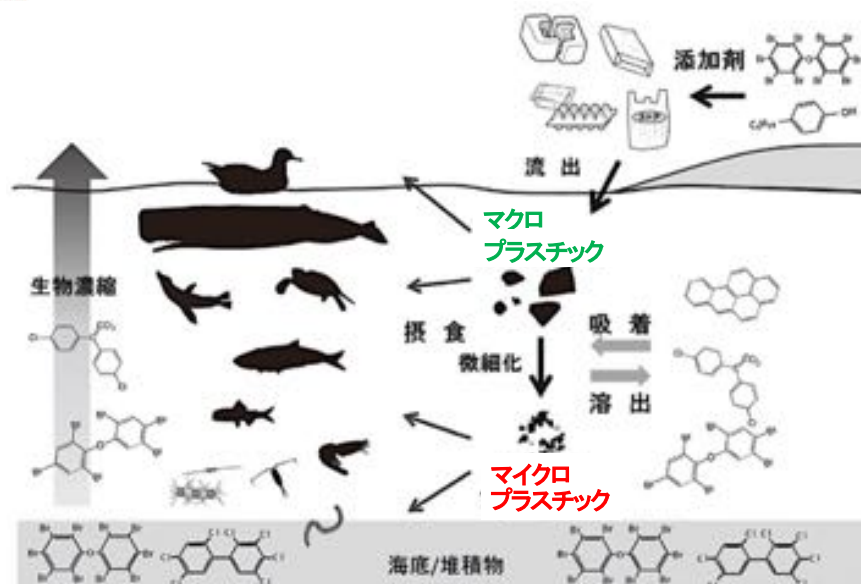
日本海山陰沖



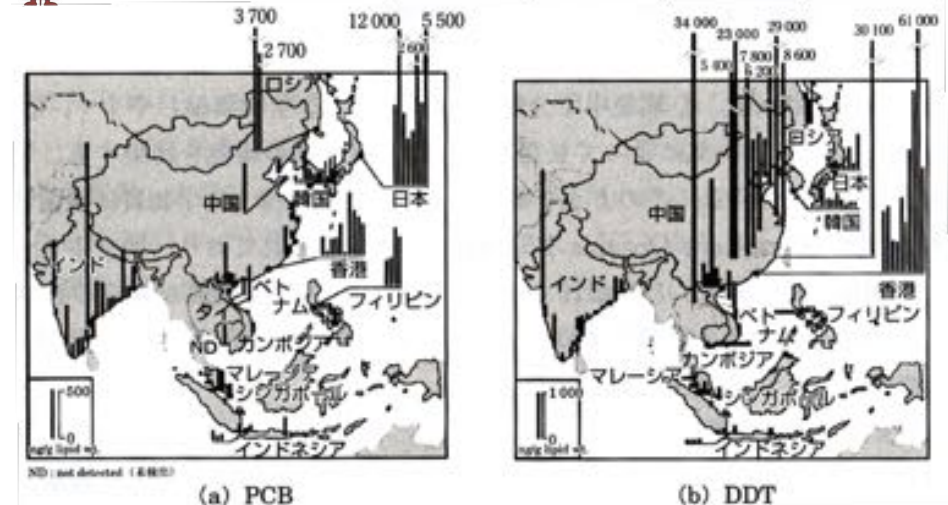
沖縄・石垣島

<http://www.oa.u-tokyo.ac.jp/learnocean/news/0003.html>

海洋汚染：マイクロプラスチック汚染



POPsによる海洋汚染



アジア沿岸域における二枚貝イガイのPOPs汚染
PCB: 日本・ロシアで高い **DDT**: 熱帯・亜熱帯で高い

富栄養化に関連した水質汚濁：有機汚濁

富栄養化：自然状態の水圏で徐々に有機物が堆積し生態系が変遷する現象

工場＆家庭排水など人為起源の有機物質

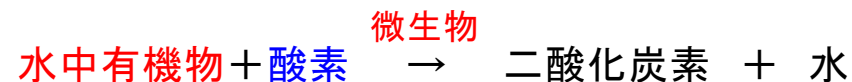
栄養塩類(N, P)流入による藻類の異常増殖

有機物が増加

水質悪化 赤潮・青潮の発生

なぜ有機汚濁が問題となるのか？

微生物による有機物の分解は酸素を消費する。



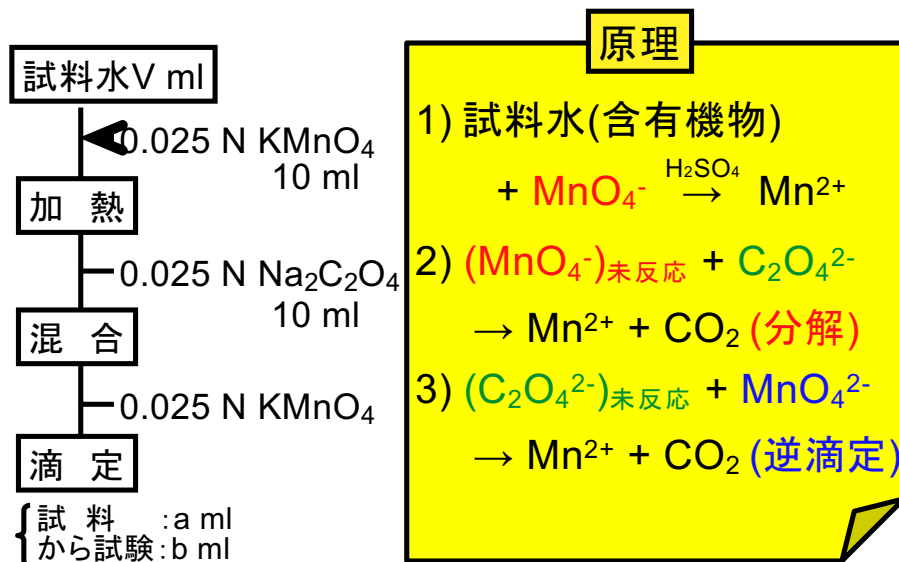
➤BOD (Biochemical Oxygen Demand)

試料水に含まれる有機物が、好気性微生物によって分解される間に消費される酸素量

➤COD(Chemical Oxygen Demand)

試料水中の被酸化性物質(主に有機物)が酸化剤によって酸化される時、酸化剤消費量をそれに相当する酸素量で表現したもの

COD測定の実験



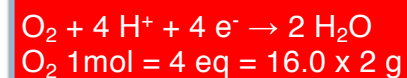
CODの計算方法



試料水の KMnO_4 滴定量を a ml, 空試験の KMnO_4 滴定量を b ml, 試料水の KMnO_4 消費量を x, 空試験の KMnO_4 消費量を y (meq)とすると、

$$x \text{ (meq)} = 0.025 \times (10+a) - 0.025 \times 10$$

$$y \text{ (meq)} = 0.025 \times (10+b) - 0.025 \times 10$$



$$\text{COD}(\text{O}_2 \text{ mg/L}) = (x - y) \text{ meq} \times 8.00 \text{ g/eq} \times \frac{1000}{V}$$

赤潮と青潮

有機物総量 (毒性は関係ない) による水質汚染

『炭素を含む物質のうち、炭素単体(C_n), 一酸化炭素(CO), 二酸化炭素(CO_2)などを除いたもの』

❖ **赤潮**: 植物プランクトンが大増殖・集積した結果として湖沼や海域が着色する現象。

原因: 主に**栄養塩類(窒素とリン)**が河川水からの過剰流入。護岸工事による干潟の減少も。

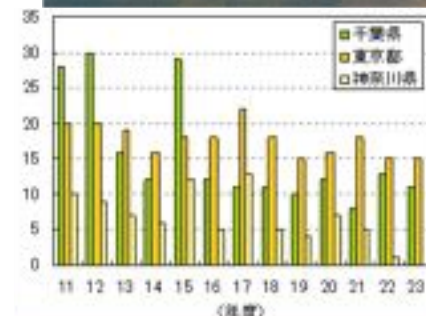
❖ **青潮**: 沿岸域で**酸素の少ない水**ができ、その海域の酸欠により水域が着色する現象。

原因: 赤潮により増殖した植物プランクトンの死骸の堆積と微生物分解による酸素過剰消費

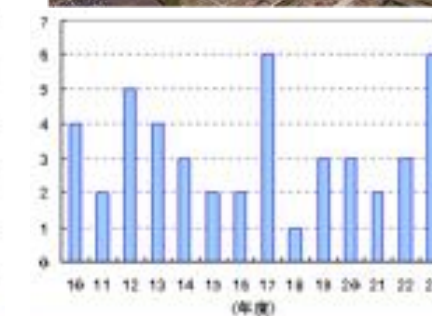
東京湾の赤潮と青潮

資料: 東京湾の環境について

東京湾の赤潮



東京湾の青潮

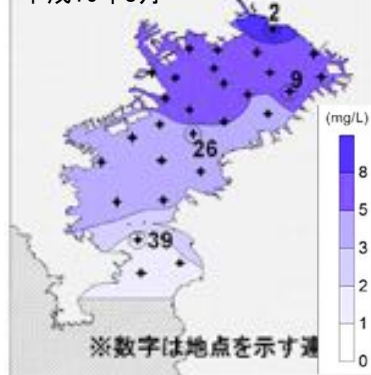


東京湾のCOD濃度

資料: 東京湾の環境について

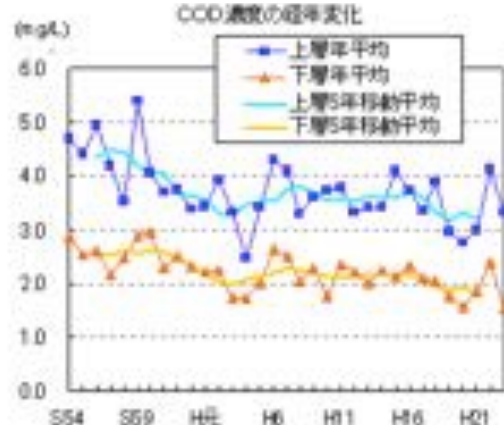
東京湾上層のCOD分布

平成16年8月



湾奥部(地点2) : 9.3 mg/L
湾中央部(地点26) : 3.8 mg/L
内湾湾口部(地点39) : 1.6 mg/L

東京湾上層のCOD経年変化



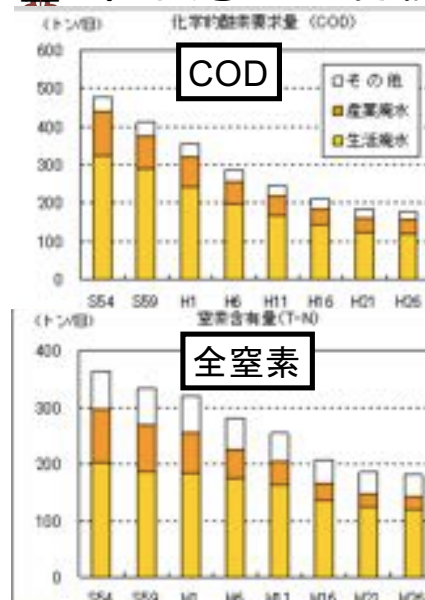
・20年間全体: **減少傾向**
・平成6年以降に顕著な減少なし

東京湾への有機汚濁負荷量

資料: 東京湾の環境について

東京湾流域の汚濁負荷量
(平成21年度実績)

COD : 183 トン/日
全窒素 : 185 トン/日
全リン : 12.9 トン/日





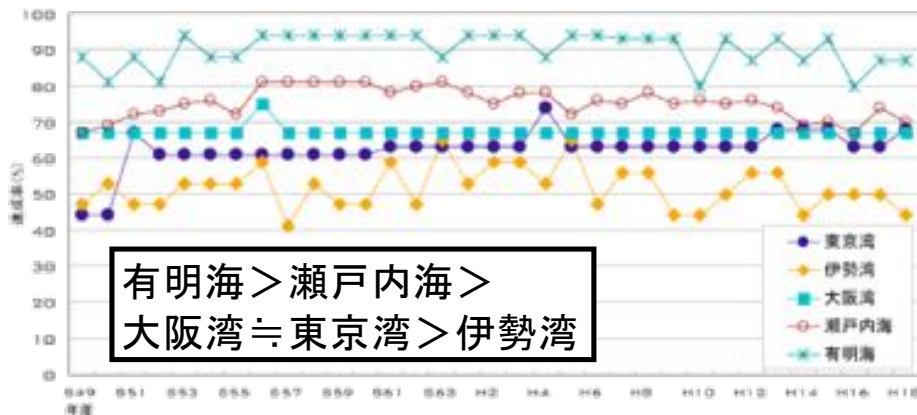
CODの環境基準達成率

資料: 東京湾の環境について

・CODの環境基準(海洋)

自然環境保全 : $< 2 \text{ mg/L}$

環境保全(不快感を感じない限度) : $< 8 \text{ mg/L}$



66

水質保全に関する法規制



水環境の評価基準① 環境基準

➤水質環境基準

公共用水・地下水の汚濁防止のための目標値

- 健康項目 : 人の健康に関する項目(27項目)
 重金属: 鉛, 水銀, クロム, カドミウム
 有機塩素化合物(ジクロロメタンなど), PCB
 単環芳香族炭化水素: ベンゼン
 農薬: チウラム、シマジンなど
- 生活環境項目 : 生活環境の保全(16項目)
 pH
 生物化学的酸素要求量 (BOD)
 化学的酸素要求量 (COD)

項目	基準値	項目	基準値
カドミウム	0.01 mg/L以下	1,1,2-トリクロロエタン	0.0006 mg/L以下
全シアン	不検出	トリクロロエチレン	0.03 mg/L以下
鉛	0.01 mg/L以下	テトラクロロエチレン	0.01 mg/L以下
六価クロム	0.05 mg/L以下	1,3-ジクロロプロペン	0.002 mg/L以下
ヒ素	0.01 mg/L以下	チウラム	0.006 mg/L以下
総水銀	0.0005 mg/L以下	シマジン	0.003 mg/L以下
アルキル水銀	不検出	チオベンカルブ	0.02 mg/L以下
PCB	不検出	ベンゼン	0.01 mg/L以下
ジクロロメタン	0.02 mg/L以下	セレン	0.01 mg/L以下
四塩化炭素	0.002 mg/L以下	硝酸性窒素および亜硝酸性窒素	10 mg/L以下
1,2-ジクロロエタン	0.004 mg/L以下	フッ素	0.8 mg/L以下
1,1-ジクロロエチレン	0.02 mg/L以下	ホウ素	1 mg/L以下
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.04 mg/L以下	1,4-ジオキサン	0.05 mg/L以下
1,1,1-トリクロロエチレン	1 mg/L以下		



水質環境基準・BOD（河川水）

項目類型	利用目的の適応性	基準値
AA	水道1級 自然環境保全およびA以下に掲げるもの	1 mg/L以下
A	水道2級 水産1級 水浴およびB以下に掲げるもの	2 mg/L以下
B	水道3級 水産2級およびC以下に掲げるもの	3 mg/L以下
C	水道3級 工業用水1級およびD以下に掲げるもの	5 mg/L以下
D	工業用水2級およびE以下に掲げるもの	8 mg/L以下
E	工業用水3級 環境保全	10 mg/L以下



水質環境基準・COD（湖沼）

項目類型	利用目的の適応性	基準値
AA	水道1級 水産1級 自然環境保全およびA以下に掲げるもの	1 mg/L以下
A	水道2, 3級 水産2級 水浴およびB以下に掲げるもの	3 mg/L以下
B	水産3級 工業用水1級 農業用水およびC以下に掲げるもの	5 mg/L以下
C	工業用水2級 環境保全	8 mg/L以下



水質環境基準・COD（海域）

項目類型	利用目的の適応性	基準値
A	水道1級 水浴 自然環境保全およびB以下に掲げるもの	2 mg/L以下
B	水道2級 工業用水およびC以下に掲げるもの	3 mg/L以下
C	環境保全	8 mg/L以下



水環境の評価基準② 要監視項目

要監視項目:26項目

- ・人の健康の保護に関連
 - ・直ちに環境基準する必要性はない
 - ・引き続き知見の集積に努めるべき
- 物質

設定:平成5年3月

改定:平成11年2月, 平成16年3月, 平成21年11月

例)

有機塩素化合物:クロロホルムなど
単環芳香族炭化水素:トルエン, キシレン
全マンガン, ウランなど



水道水質基準 (厚労省)：水質基準項目

水質基準項目と基準値 (51項目)

項目	基準	項目	基準
一般細菌	1mlの検水で形成される集落数が100以下	総トリハロメタン	0.1mg/L以下
大腸菌	検出されないこと	トリクロロ酢酸	0.2mg/L以下
カドミウム及びその化合物	カドミウムの量に関して、0.01mg/L以下	ブロモジクロロメタン	0.03mg/L以下
水銀及びその化合物	水銀の量に関して、0.0005mg/L以下	プロモホルム	0.09mg/L以下
セレン及びその化合物	セレンの量に関して、0.01mg/L以下	ホルムアルデヒド	0.08mg/L以下
鉛及びその化合物	鉛の量に関して、0.01mg/L以下	亜鉛及びその化合物	亜鉛の量に関して、1.0mg/L以下
ヒ素及びその化合物	ヒ素の量に関して、0.01mg/L以下	アルミニウム及びその化合物	アルミニウムの量に関して、0.2mg/L以下
六価クロム化合物	六価クロムの量に関して、0.05mg/L以下	鉄及びその化合物	鉄の量に関して、0.3mg/L以下
シアン化物イオン及び塩化シアン	シアンの量に関して、0.01mg/L以下	銅及びその化合物	銅の量に関して、1.0mg/L以下
硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	10mg/L以下	ナトリウム及びその化合物	ナトリウムの量に関して、200mg/L以下
フッ素及びその化合物	フッ素の量に関して、0.8mg/L以下	マンガン及びその化合物	マンガンの量に関して、0.05mg/L以下
ホウ素及びその化合物	ホウ素の量に関して、1.0mg/L以下	塩化物イオン	200mg/L以下
四塩化炭素	0.002mg/L以下	カルシウム、マグネシウム等(硬度)	300mg/L以下
1,4-ジオキサン	0.05mg/L以下	蒸発残留物	500mg/L以下
1,1-ジクロロエチレン	0.02mg/L以下	陰イオン界面活性剤	0.2mg/L以下
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.04mg/L以下	ジェオスミン	0.00001mg/L以下(注)
ジクロロメタン	0.02mg/L以下	2-メチルイソボルネオール	0.00001mg/L以下(注)
テトラクロロエチレン	0.01mg/L以下	非イオン界面活性剤	0.02mg/L以下
トリクロロエチレン	0.03mg/L以下	フェノール類	フェノールの量に換算して、0.005mg/L以下
ベンゼン	0.01mg/L以下	有機物(全有機炭素(TOC)の量)	5mg/L以下
塩素酸	0.6mg/L以下	pH値	5.8以上8.6以下
クロロ酢酸	0.02mg/L以下	味	異常でないこと
クロロホルム	0.06mg/L以下	臭気	異常でないこと
ジクロロ酢酸	0.04mg/L以下	色度	5度以下
ジブロモクロロメタン	0.1mg/L以下	濁度	2度以下
臭素酸	0.01mg/L以下	—	—

74

水質汚染対策と水の浄化



上水道と下水道

➤ 上水道(水道)

導管およびその他の工作物により、水を人の飲用に適する水として供給する施設の総体をいう

水道の三要素

- ・衛生的に安全な水：水質
- ・必要なだけの水：水量
- ・安定した供給・利用：水圧

➤ 下水道

下水排除のための管路施設、処理施設、ポンプ施設
その他の補完施設の総体



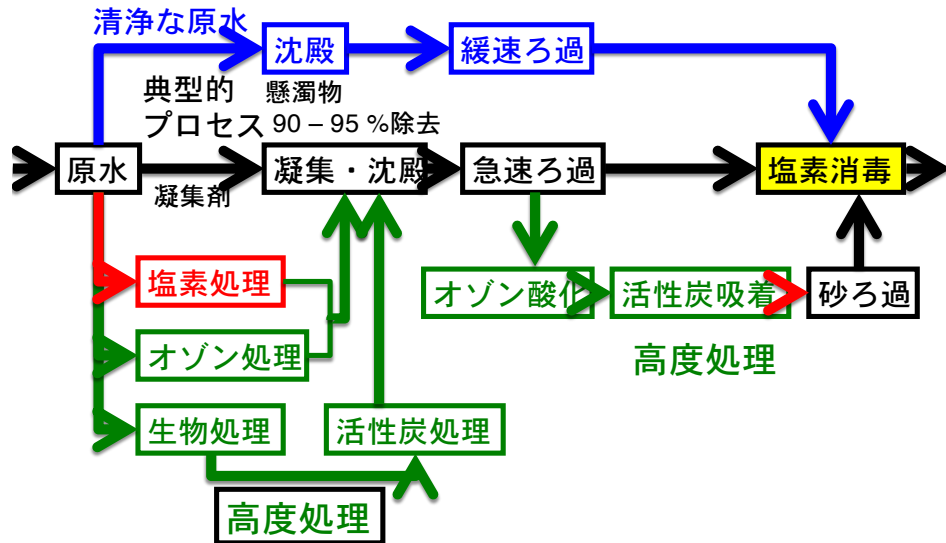
上水道：浄水処理

飲料水に適する上水を得るための処理

処理法	方法	説明
浄水処理	急速ろ過法	凝集剤(電解質)を加え、粒子間の反発を弱めて沈殿除去
	塩素酸化法	塩素の酸化力を利用して殺菌
高度浄水処理	微生物処理	微生物付着のろ過材に原水を繰り返し通して空気を吹き込み有機物を分解
	活性炭処理	活性炭により汚染物質を吸着除去
	オゾン処理	塩素よりも酸化力が強いO ₃ により、殺菌、脱色、有機物を分解
	膜ろ過処理	原水を加圧して膜により微細な懸濁物、コロイド粒子、細菌を除去

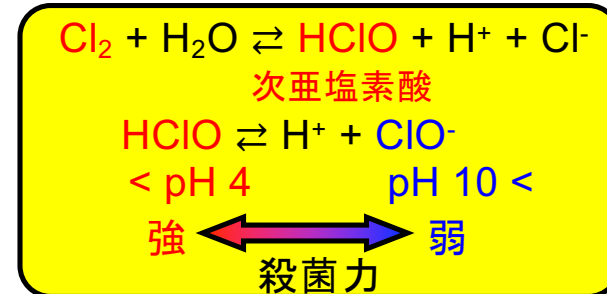


上水処理プロセス



塩素酸化法

塩素の強い酸化力を利用した殺菌法



消毒剤

- ・水道水: 液体塩素、次亜塩素酸ナトリウム
- ・下水・浄化槽・プール:
次亜塩素酸ナトリウム、次亜塩素酸カルシウム

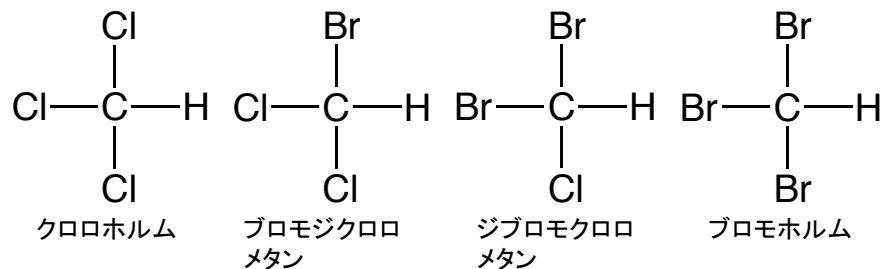


浄水過程における問題

➤ トリハロメタンによる水道水汚染



*メタン(CH₄)の水素原子のうち3つが塩素や臭素などのハロゲン原子と置き換えられた化合物



発ガン性、環境ホルモン作用が疑われている



トリハロメタンによる水道水汚染

多摩川の水に 10 mg/l の塩素を加える前と後とのトリハロメタンと有機塩素化合物の差異

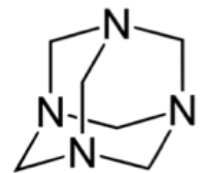
採水地点	トリハロメタン (μg/l)		有機塩素化合物 (μg/l)	
	前	後	前	後
上流 万年橋	2	26	34	146
長田橋	4	26	35	323
日野橋	2	47	45	361
是政橋	5	96	31	324
多摩水道橋	4	89	35	326
丸子橋	2	75	38	417
下流 大師橋	4	90	45	344

数値は 7 回の採水の平均値



利根川水系ホルムアルデヒド検出事件

日付	事柄
5月15日	庄和浄水場: ホルムアルデヒドの異常 を発見。利根川水系の浄水場へ報告
5月17日	行田浄水場: 浄水後のホルムアルデヒド濃度が基準値の2倍 (0.168 mg/L).
5月18日	埼玉県・千葉県: 取水・送水停止
5月19日	千葉県: 5市, 約36万世帯で断水
5月20日	早朝にほとんどの浄水場で取水再開。断水解除
5月24日	厚生労働省の研究機関: 原因物質が ヘキサメチレンテトラミン(HMT) であることを解明
5月25日	埼玉県・群馬県: 県内でHMTを扱っている事業所5箇所に立ち入り検査
6月1日	埼玉県: DOWA/ハイテックが群馬県の産業廃棄物業者に委託した HMT廃液が原因 と発表
6月7日	埼玉県・群馬県: 高崎金属工業で 中和処理したが十分に処理されず河川に放流 と結論
6月14日	環境省, 厚労省, 国交省, 埼玉県, 群馬県: 検討会

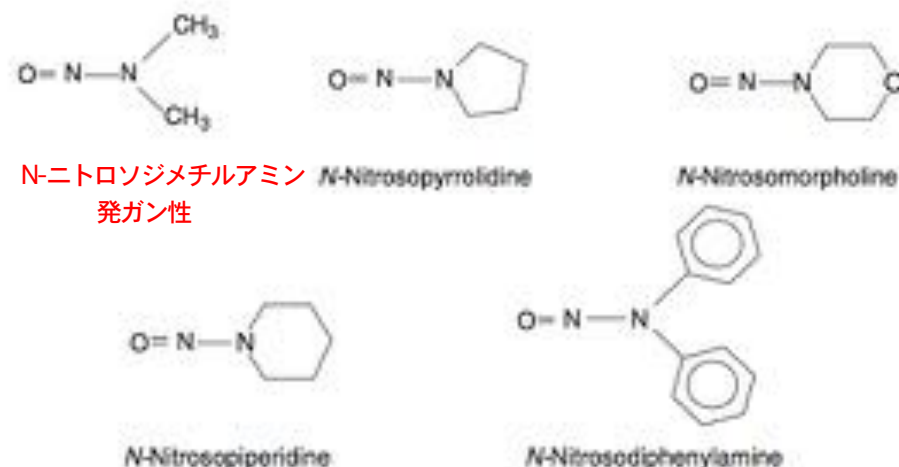


ヘキサメチレンテトラミン

用途: 合成樹脂の促進剤、発泡剤
ゴム加硫促進剤、医薬品
生態リスク: 不明



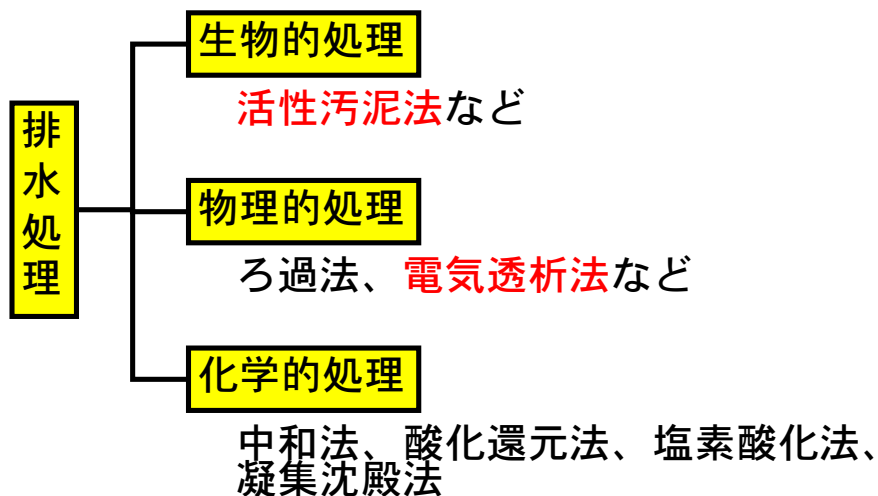
HMTの塩素殺菌によって生成する副生成物



ニトロソアミン (ニトロサミン)

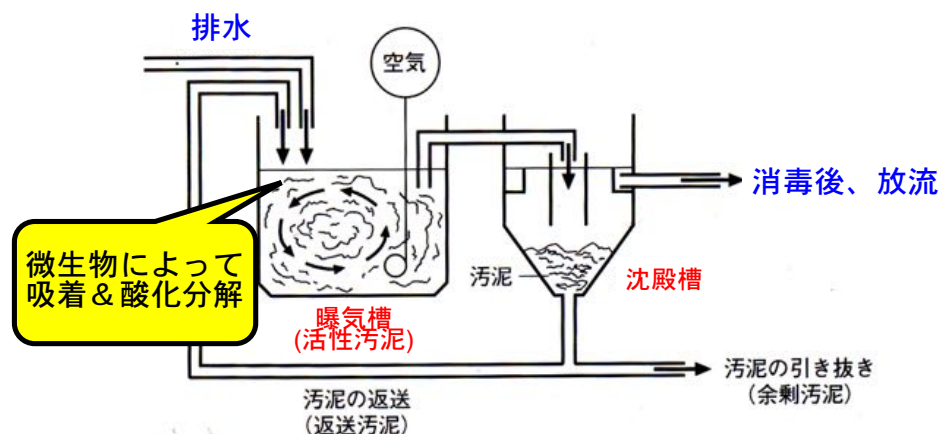


様々な排水処理法



生物処理：活性汚泥法

活性汚泥：微生物を多く含む汚泥





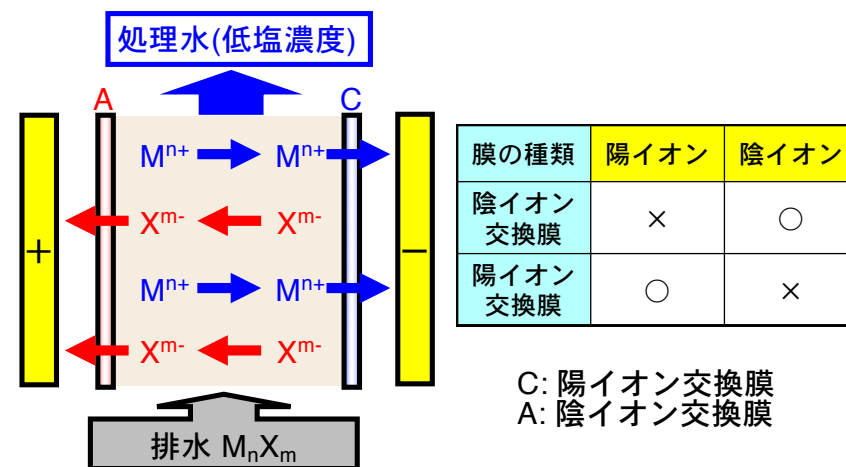
物理処理の種類と除去対象

粒径	処理法	主な除去対象
大	スクリーニング 沈殿分離 油水分離	浮遊物(糞塊など) 浮遊物 油類
小	ろ過 吸着	浮遊物、濁度 有機物、濁度、色、臭気
極小	イオン交換 限外ろ過 逆浸透 電気透析	塩類、重金属 濁度、塩類 濁度、塩類、色 塩類、重金属



物理処理：電気透析法の原理

電気透析法：電解質の除去に有効



化学処理の種類と除去対象

方法	操作	主な除去対象
中和	pH調整	酸、塩基 (酸として H_2SO_4 、塩基として NaOH 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を利用)
酸化還元	酸化、還元	シアン、六価クロム
塩素消毒	滅菌	細菌
凝集沈殿	凝集、沈殿	浮遊物、重金属、リン、色