



# 医薬品による水環境汚染

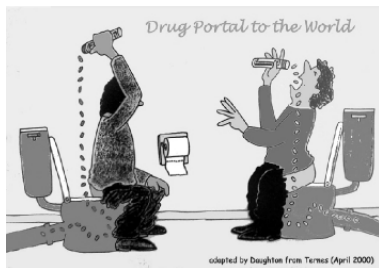
京都大学大学院工学研究科附属  
流域圏総合環境質研究センター  
山下尚之



## OUTLINE

- 水環境中に残留する医薬品問題
- 水環境における医薬品汚染の実態
- 下水処理過程における医薬品の挙動
- 水環境中の医薬品による生態影響

PPCPs (Pharmaceuticals and Personal Care Products)  
= 医薬品や化粧品など我々が日常的に使用している物質

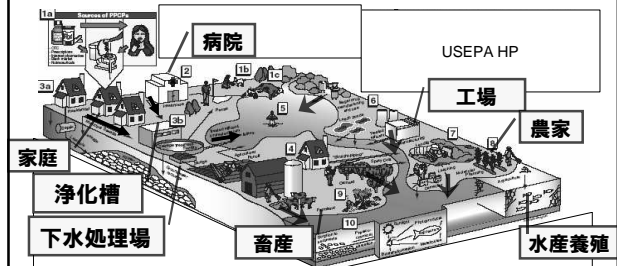


病院・家庭で日常的に使用され、主にし尿で排出

広範囲にわたるPPCP排出源(家庭、病院、工場・・・)

下水処理場・浄化槽を経て水環境へ  
家畜や水産養殖からも

低い生分解性・極性を持つPPCP  
従来型の排水の生物処理では不十分な除去と想定



## 医薬品の種類



- |        |        |
|--------|--------|
| 解熱鎮痛剤  | 不整脈用剤  |
| 抗生物質   | 気管支拡張剤 |
| β遮断薬   | 防虫剤    |
| X線造影剤  | 抗腫瘍剤   |
| 高脂血症用剤 | 消化器官用薬 |
| 抗てんかん剤 | 糖尿病用剤  |
| 精神興奮剤  | etc.   |



## PPCPsの生物影響



イラスト: 『化学物質と生態毒性』 若林明子 著 より

- ✦ 「特異的」に作用するため、「低濃度」で人・水生生態系に影響する可能性?
- ✦ しかし、不足が情報

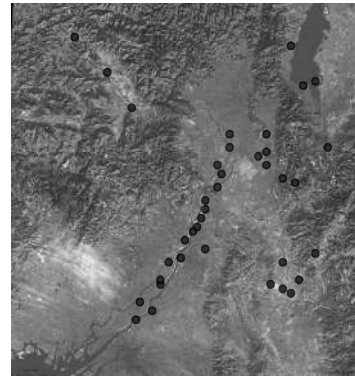
# OUTLINE

- 水環境中に残留する医薬品問題
- 水環境における医薬品汚染の実態
- 下水処理過程における医薬品の挙動
- 水環境中の医薬品による生態影響

7/40

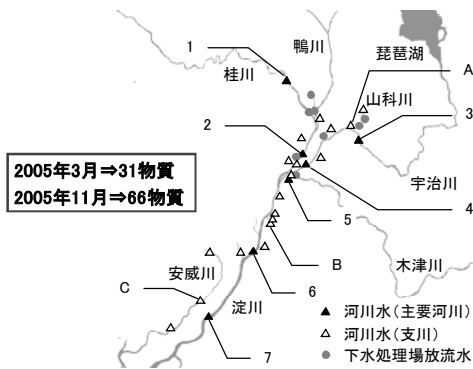
## 琵琶湖・淀川水系

- 水道取水点
- 下水処理場



8/40

## 採水地点



9/40

## 66医薬品の測定(その1)

解熱鎮痛剤 アセトアミノフェン アンチピリン フェブプロフェン イソプロピルアンチピリン フルフェナム酸 エテンザミド メフェナム酸 ナプロキセン メビリゾール インドメタシン ケトプロフェン イブプロフェン シクロフェナク	鎮けい剤 トルヘリゾン スコポラミン  鎮痛, 鎮痒 クロタドン  抗ヒスタミン剤 プロメタジン  強心剤 カフェイン  高脂血症用剤 ベンゾフィアレート  脳循環改善薬 イフェンロシル	不整脈用剤 アテノロール ジソピラミド プロプラノロール メトプロロール  血管拡張剤 ジビリタモール ベラパミル ジルチアゼム  血管強化・止血剤 カルバゾクロム  コレステロール降下剤 クロフィリン酸	鎮咳剤 デキストロトルファン  気管支拡張剤 ハロベリドール テオフィリン  精神神経用剤 クロルプロマジン イミプラミン ハロベリドール スルピリド アミトリプチン 抗てんかん剤 カルバマゼピン プリドニン  鎮暈剤 ジフェンドール
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

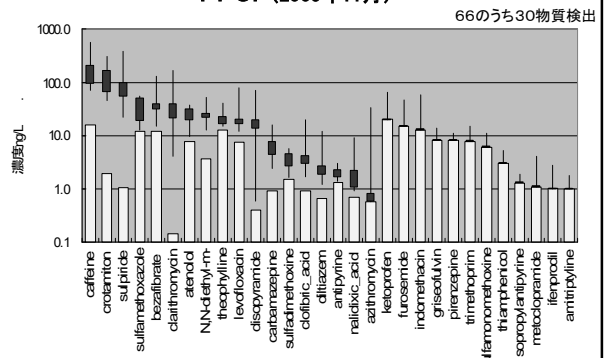
(小西ら, 2006)1040

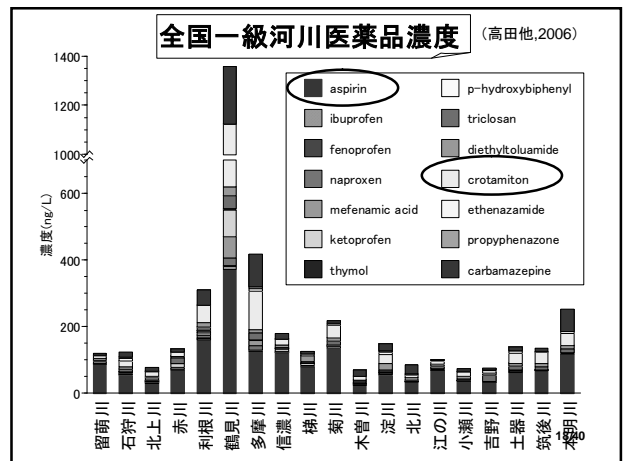
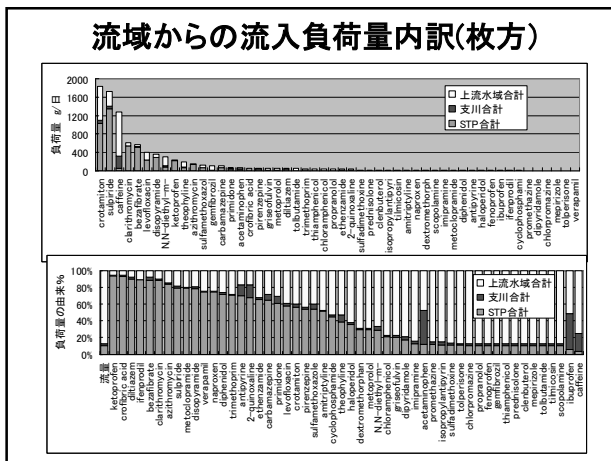
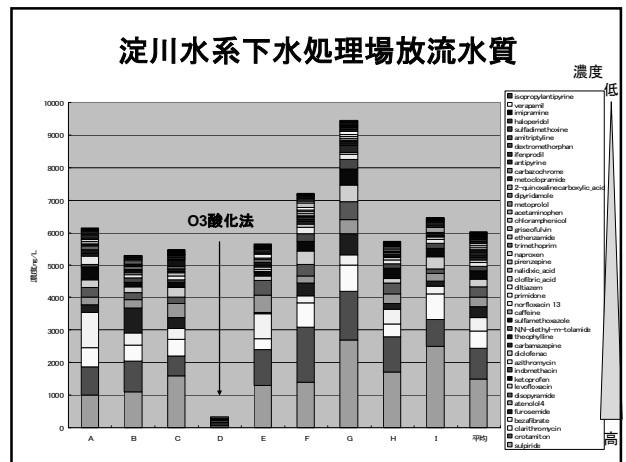
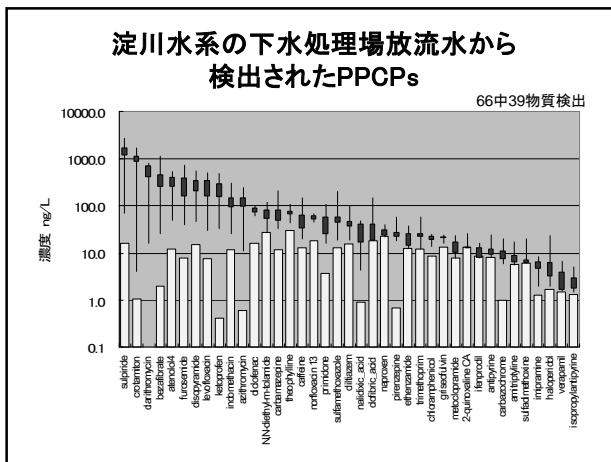
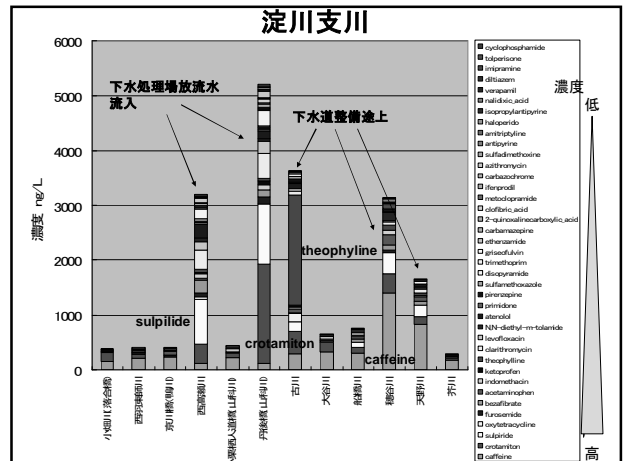
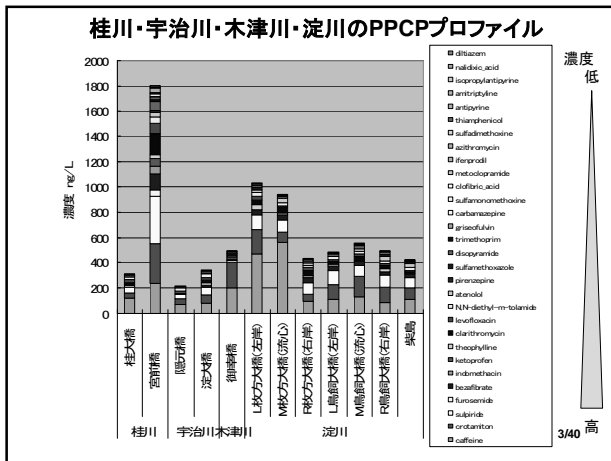
## 66医薬品の測定(その2)

糖尿病用剤 トルブタミド	カルバドックス代謝物 2-キノキサリンカルボン酸	合成抗菌剤 トリメプリム オフロキサシン ノルフロキサシン ナリジクシク酸 チアンフェニコール レボフロキサシン クラリスロマイシン アシスロマイシン  抗菌剤(動物用) ジクラスリル ナイカルバジン チルミコシン	抗腫瘍剤 シクロホスファミド  昆虫忌避剤 N,N-ジエチル-m-トルアミド
利尿剤 フロセミド	抗生物質製剤 グリセオフルビン クロラムフェニコール サルファ剤 スルファジミジン スルファジメキシ スルファメトキシ スルファメキサゾール 抗生物質 ベンジルペニシリン オキシテトラサイクリン テトラサイクリン		

(小西ら, 2006)1140

## 桂川・宇治川・木津川・淀川で検出されたPPCP(2005年11月)





# OUTLINE

- 水環境中に残留する医薬品問題
- 水環境における医薬品汚染の実態
- 下水処理過程における医薬品の挙動
- 水環境中の医薬品による生態影響

19/40

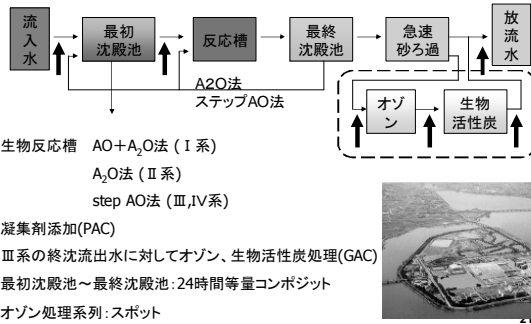
## 下水処理での汚染物質の挙動

- 疎水性の大きい物質
  - 汚泥に吸着して水から除去される
- 揮発性の大きい物質
  - 曝気槽からガスに排出され除去される
- 生分解性の大きい物質
  - 生分解され除去される
- 生分解が低く、揮発性も低く、極性が高い場合
  - > 処理水に残留する可能性

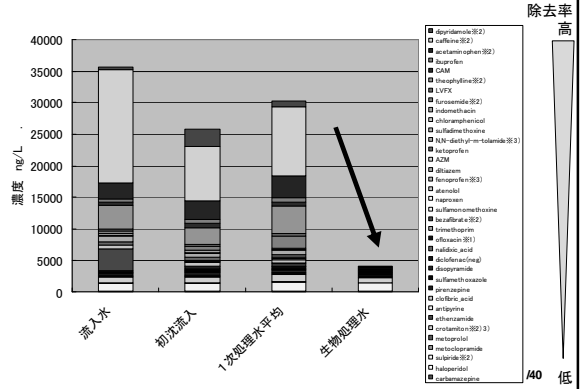
医薬品はある程度水に溶け、すぐには分解しにく設計

医薬品は下水処理では除去されないのか？

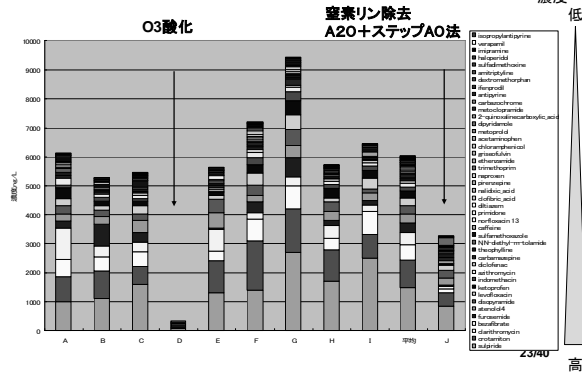
## 生物学的窒素りん除去法を用いた下水処理場での調査



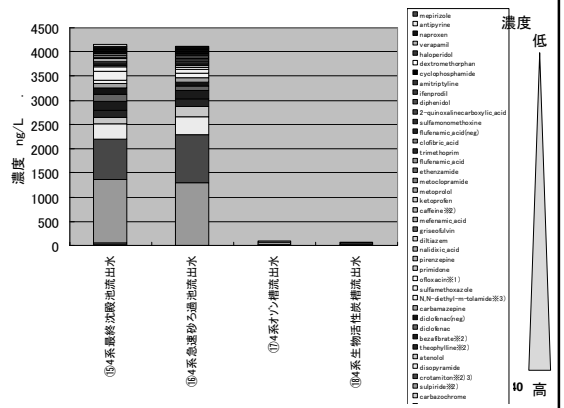
## 生物学的窒素りん除去高度処理での除去



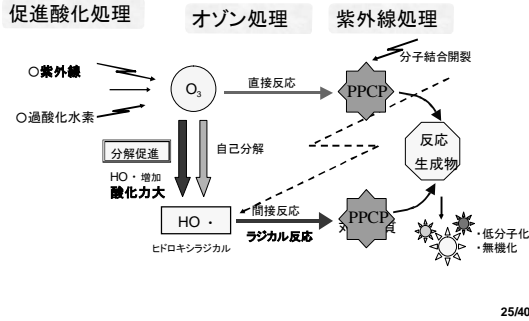
## 2次処理と窒素りん除去高度処理の処理水質の相違



## 生物処理後のオゾン・生物活性炭処理



## —PPCPの酸化除去技術の検討—



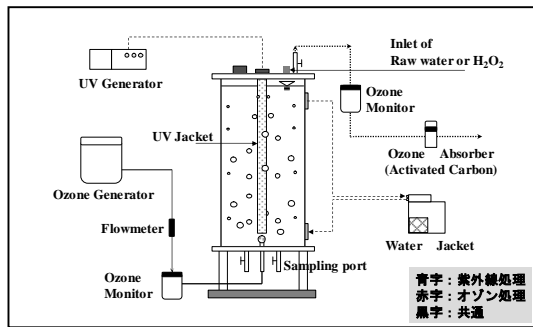
## 1. 処理対象物質

日本、アメリカおよびヨーロッパで検出が報告されている物質を中心に、測定可能な物質30種を選定

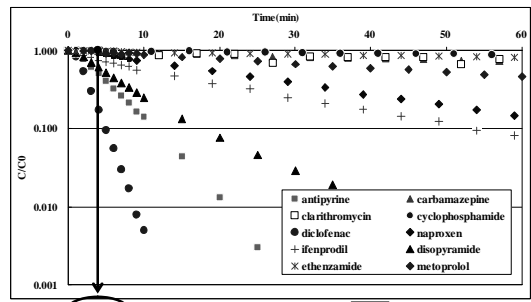
No.	物質名	用途	No.	物質名	用途
1	アセトaminofen	解熱鎮痛剤	16	オキシトラサイクリン	抗生物質
2	アンチピリン	解熱鎮痛剤	17	シクロホスファミド	抗生物質
3	カルバマゼピン	抗てんかん剤	18	シクロプロロール	不整脈用剤
4	クラリスロマイシン	抗生物質	19	セフェゾフル	抗生物質
5	ルンプロロール	気管支拡張剤	20	クロルシタサイクリン	抗生物質
6	クロロキシリン	鎮痛、消炎剤	21	エチンザミド	鎮痛、消炎剤
7	シクロホスファミド	アルキル化剤	22	メトプロロール	鎮痛、消炎剤
8	シクロホスファミド	解熱鎮痛剤	23	2-メチルシロキサン酸	カルバマゼピンの代謝物
9	N,N-ジエチル-m-トルアミド	防虫剤	24	スルファミン	合成抗菌剤
10	ジクロロメチル	不整脈用剤	25	スルファミン	合成抗菌剤
11	エチンザミド	解熱鎮痛剤	26	スルファミン	合成抗菌剤
12	アミノプロフェン	解熱鎮痛消炎剤	27	スルファミン	合成抗菌剤
13	イブプロフェン	鎮痛剤	28	ナプロキセン	抗生物質
14	インドメタシン	解熱鎮痛剤	29	イブプロフェン	解熱鎮痛消炎剤
15	メフェナム酸	解熱鎮痛剤	30	ケトプロフェン	鎮痛、消炎剤

26/40  
⇒ これらの混合溶液(各医薬品の濃度:約10~100 μg/L)を実験原液(精製水で製造)とした。

## 実験装置



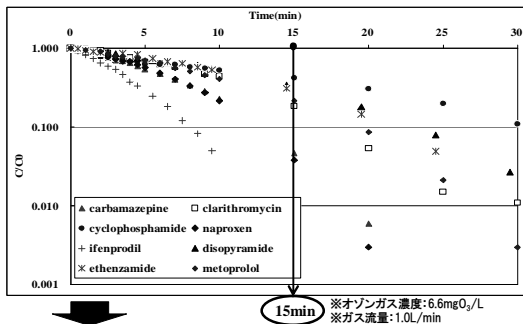
## 1. UV(254nm)単独処理



※ 4logのBacteriaの除去に必要な照射量(約100mJ/cm<sup>2</sup>)が得られる反応時間  
※ 照射強度:0.65mW/cm<sup>2</sup>

照射強度0.65mW/cm<sup>2</sup>を持つ紫外線単独処理では、反応開始3分で、殆どの物質の除去率が90%以下。

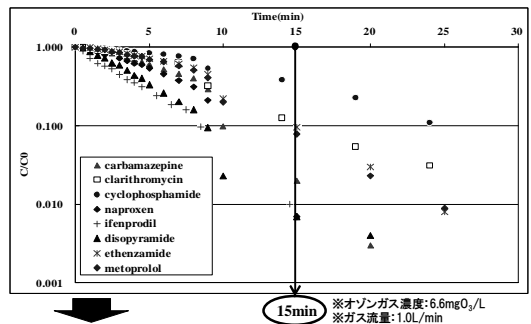
## 2. オゾン単独処理



※オゾンガス濃度:6.6mgO<sub>3</sub>/L  
※ガス流量:1.0L/min

- 0.3mgO<sub>3</sub>/L/minのオゾン注入率で、15分間オゾン処理した場合、30種の医薬品中その除去率が90%以下であった物質はCyclophosphamideなど12種。

## 3. オゾン/UV処理

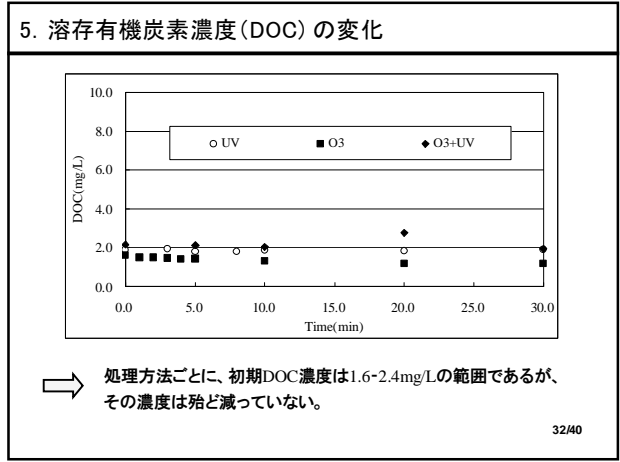


※オゾンガス濃度:6.6mgO<sub>3</sub>/L  
※ガス流量:1.0L/min

- オゾン(0.3mgO<sub>3</sub>/L/min)と0.65mW/cm<sup>2</sup>の平均照射強度を持つUVランプを併用した促進酸化処理では、30種の医薬品中Cyclophosphamide、Clarithromycinなど4種だけが除去率が90%以下。

### 4. 結果のまとめ

区分	UV単独	オゾン単独	UV+H2O2	オゾン+UV
比較運転条件	- UV照射量： 117mJ/cm <sup>2</sup> - 接触時間：3min	- オゾン注入率： 0.3mgO <sub>3</sub> /L/min - 接触時間：15min	- UV照射量： 585mJ/cm <sup>2</sup> - 接触時間：15min - H2O2添加量：約 5ppm	- オゾン注入率： 0.3mgO <sub>3</sub> /L/min - UV照射量： 585mJ/cm <sup>2</sup> - 接触時間：15min
除去率90%以上	1種(ketoprofen など)	18種 (oxytetracycline, tetracycline, chlorotetracycline, sulfadimethoxime, sulfadiazine, sulfamonomethoxine, diclofenac, ifenprodil, carbamazepineなど)	25種(ketoprofenな ど)	26種(ketoprofenな ど)
除去率90%以下	29種	12種	5種 (acetaminophen, clarithromycin, cleftbuterol, cyclophosphamide, mefenamic acid)	4種 (2-quinosaline carboxylic acid, clarithromycin, cyclophosphamide, N,N-diethyl-m-toyamide)



- ## OUTLINE
- 水環境中に残留する医薬品問題
  - 水環境における医薬品汚染の実態
  - 下水処理過程における医薬品の挙動
  - 水環境中の医薬品による生態影響

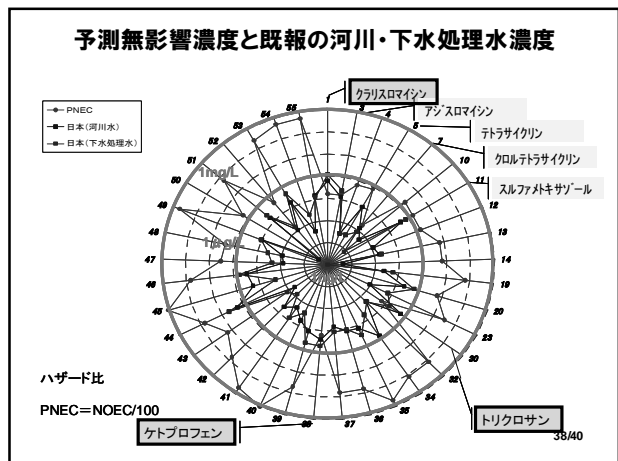
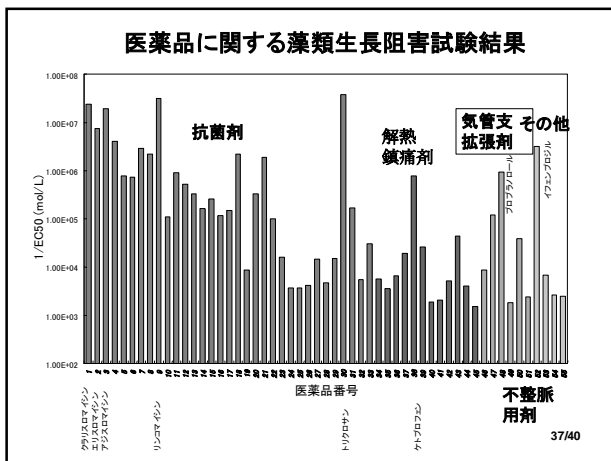


### 生態毒性試験

- ◆ マイクロトックス試験  
細菌類: *Vibrio fischeri*  
(luminescent marine bacteria)
- ◆ 藻類生長阻害試験  
藻類: *Pseudokirchneriella subcapitata*
- ◆ ミジンコ急性遊泳阻害試験  
ミジンコ: *Daphnia magna*
- ◆ 魚類急性毒性試験  
魚類: メダカ (*Oryzias latipes*)

### 藻類生長阻害試験の対象医薬品

医薬品番号	種類	医薬品名	医薬品番号	種類	医薬品名
1	抗菌薬	オキシテトラシクリン	35	天然醸造剤	ワカロシ
2		トリメロキシム	36		インドメタシン
3		アムロジピン	37		プロピフェノール
4		5αD3	38		シロロキサトプラム
5		サリチル酸塩	39		ナゾロシ
6		オキシテトラシクリン塩酸塩	40		ワカシロ
7		5αD3-β-D-Galactopyranoside	41		アムロシ
8		トリスチル酸塩	42		アムロシ
9		リコメチン塩酸塩	43		プロピフェノール
10		チアゾリジン	44		イブプロフェン
11		スルファメトキサゾール	45		アムロシ
12		スルファメトキサゾール	46		アムロシ
13		スルファメトキサゾール	47	不飽和剤	アムロシ
14		スルファメトキサゾール	48		アムロシ
15		スルファメトキサゾール	49		アムロシ
16		スルファメトキサゾール	50	気管支拡張剤	チアゾリジン
17		スルファメトキサゾール	51		アムロシ
18		スルファメトキサゾール	52	その他	アムロシ
19		トリメロキシム	53		アムロシ
20		5αD3	54		アムロシ
21		5αD3	55		アムロシ
22		5αD3	56		アムロシ
23		アムロシ	57		アムロシ
24		アムロシ	58		アムロシ
25		アムロシ	59		アムロシ
26		アムロシ	60		アムロシ
27		アムロシ	61		アムロシ
28		アムロシ	62		アムロシ
29		アムロシ	63		アムロシ
30		アムロシ	64		アムロシ
31		アムロシ	65		アムロシ
32		アムロシ	66		アムロシ
33		アムロシ	67		アムロシ



- ### 今後の課題 何が問題なのか？
- 多様性、サロゲート・標準物質が入手困難
  - 汚染実態がようやく少しわかってきたが、まだ情報不足。Fatelはどうか？
  - 低濃度暴露による人への毒性は？水生生物への影響は？複合影響は？
  - 環境濃度と毒性データの比較
  - 抗菌剤・抗生物質については耐性菌の問題もあり
  - 排水処理技術
    - 生物処理である程度除去、しかし残留の物質もあり
    - オゾンや紫外線などの有効性(副生物、残留物？)
  - どこまで削減する必要があるか？費用対効果？
- 39/40

Thank you for your attention.

PPCPs

40/40