

第27回日本水環境学会シンポジウム

QMRAがもつ本質的な特徴と抱えている課題

京都大学大学院工学研究科
伊藤 禎彦・安井 碧

岩手大学上田キャンパス
2024年9月11日

講演構成

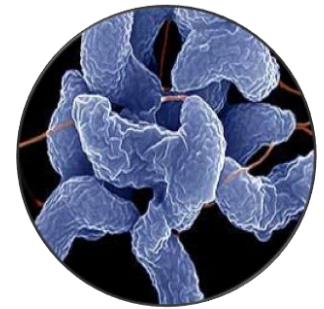
1. QMRAの意義
2. QMRAの重要な制約
3. 年間感染確率の定量下限を設定する必要性
4. リスク認知上の特性と許容リスクレベル
5. 余談：下水処理水再利用におけるよくある勘違い

QMRAの意義

World Health Organization: Quantitative microbial risk assessment: application for water safety management. Geneva. 187p., 2016.

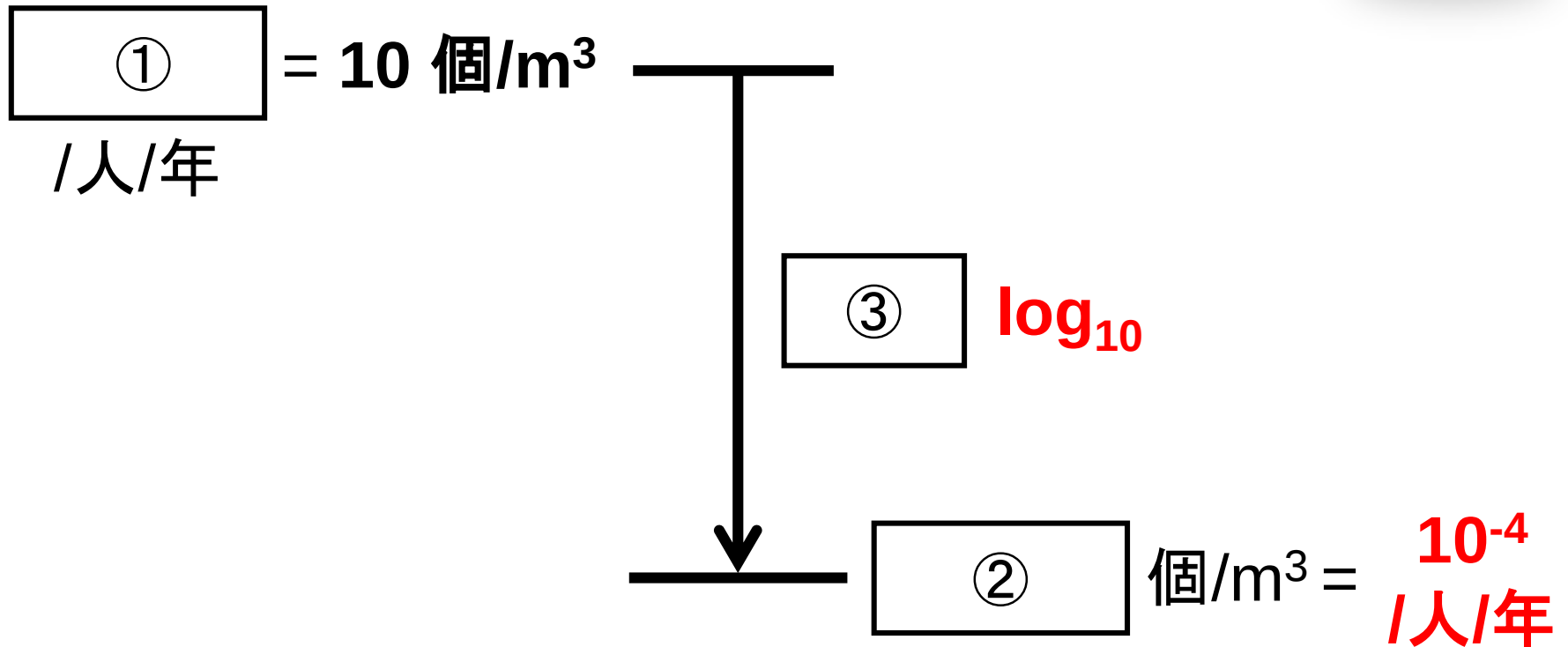
国立保健医療科学院:定量的微生物リスク評価-水安全管理への適用-, 235p, 2020.

微生物リスクの制御と必要技術の考え方 (カンピロバクターの例)



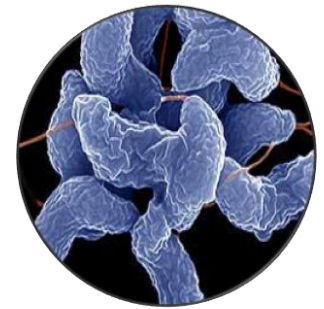
Campylobacter

水道原水



用量-反応モデル $\gamma=0.686$
非加熱飲料水消費量 0.3 L/日

微生物リスクの制御と必要技術の考え方 (カンピロバクターの例)



Campylobacter

水道原水

$$5.3 \times 10^{-1} \text{ /人/年} = 10 \text{ /m}^3$$

$3.9 \log_{10}$

必要な水処理
技術導入へ

$$1.3 \times 10^{-3} \text{ /m}^3 = 10^{-4} \text{ /人/年}$$

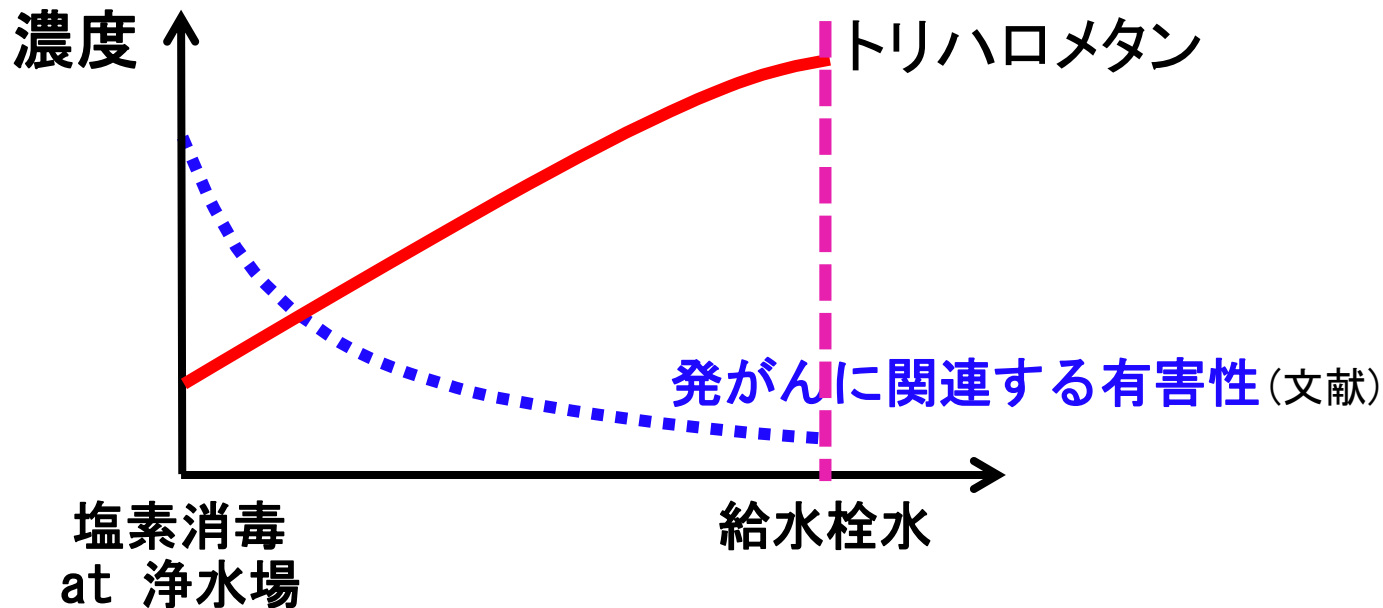
飲料水

用量-反応モデル $\gamma=0.686$
非加熱飲料水消費量 0.3 L/日

QMRAの重要な制約

QMRAの対象：浄水場で生産された水 (Finished water)

水道水質基準：給水栓水で満たすべきもの



文献：Itoh, S., Gordon, B. A., Callan, P., Bartram, J.: Regulations and perspectives on disinfection by-products: importance of estimating overall toxicity, J. Water Supply: Res. and Technol.—Aqua, 60(5), 261-274, 2011.

配水過程におけるリスク評価研究例

J. H. M. van Lieverloo, E. J. M. Blokker, G. Medema: Quantitative microbial risk assessment of distributed drinking water using faecal indicator incidence and concentrations, J. Water Health, 5, 131-149, 2007.

配水管に侵入する汚染水：下水、表流水、土壌水または浅層地下水の3種類に分類。それぞれに含まれる病原微生物に由来するリスクを推定。

オランダ国内で起きた水道水の汚染事故50例（1994年～2003年）による影響人口を延べ185, 000人と推定。

M. Prevost, M. C. Besner: Application of QMRA to distribution systems, American Water Works Association Water Quality Technology Conference, Washington State Convention & Trade Center, Seattle, Washington, USA, November 15-19, 2009.

配水過程にQMRAを適用するため、現象をモデル化。その可能性と課題を論じた例。

オランダ：
2005年に塩素消毒を全面廃止

配水過程での微生物的安全性問題はレジオネラ問題にすり替わる

Dick van der Kooijら

“飲料水の安全性を本当に扱っているのは自分たちだ！”

文献：伊藤禎彦：オランダにおける塩素を使用しない水道システムの管理，水道協会雑誌，79(10)，12-22，2010.



生物膜生成試験装置（KWR所有）

レジオネラ増殖ポテンシャル (Legionella Growth Potential)を調べている。生物膜生成能(Biofilm Formation Potential; BFP)とは区別される。

年間感染確率の定量下限を設定する必要性

QMRAの実施例などに対し、

水道事業体の立場：

「低確率であっても、配水している水道水にリスクがあるということはできない。お客様に説明できない。」



「プロフェッショナルとしてなすべきことと、お客様とのコミュニケーションとは分けて考えるのが良い。

お客様とのコミュニケーションが困難だからプロフェッショナルとしてすべきことをしないのはプアである。」

QMRAでは、 10^{-8} 、 10^{-12} といった低確率がいとも簡単に算出

化学物質の場合 . . .

基準値濃度の1/10未満は測定対象とならない。リスクも算定されない。

10^{-5} 発がんリスク増分を根拠に基準値が設定されている物質の場合、1/10未満である $\bigcirc \times 10^{-7}$ レベルであると算定されることはない。

研究者側の課題

感染確率の算定下限を設定する課題が存在

微生物

年間感染確率

安全側： $P_{y,j}$ の
最小値をリス
ク0とみなす

$$0 \doteq P_{y,j,\min}$$

$$0 \doteq P_{y,j}$$

$$\begin{aligned} DALYs &= \sum_j DALYs_j \\ &= \sum_j f(P_{y,j}) \end{aligned}$$

$$0 \doteq$$

とみなす

**DALYs
(微生物による
健康影響)**

リスク認知
の特性

根拠? →

$$\times 1/10$$

急性影響

化学物質

生涯発がんリスク

$DALYs_1$
 $DALYs_2$
 $\vdots$
 $DALYs_n$

$$P_L = 10^{-5} >$$

疫学調査
等
動物実験

最小のDALYs値を
与える物質を選択
(安全側)

**DALYs
(化学物質による
健康影響)**

リスク0レベル
根拠妥当?

$$10^{-6} \doteq 0$$

許容リスク
レベルの
設定

$$\doteq 0$$

総和に配慮必要

$$\begin{aligned} DALYs &= \sum_i DALYs_i \\ &= \sum_i f(P_{L,i}) \end{aligned}$$

慢性影響

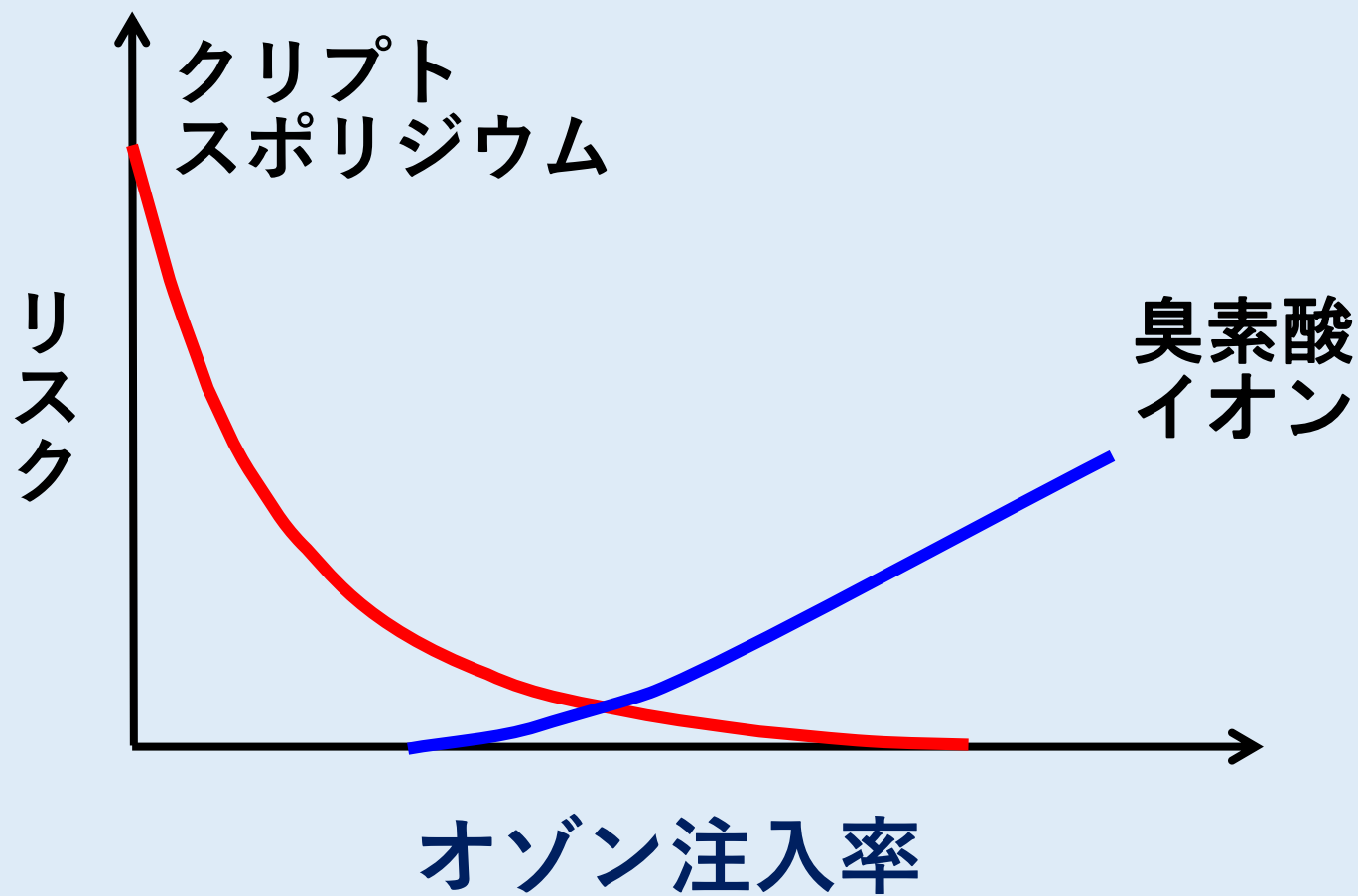
留意点

- ・ 年間感染確率 10^{-4} は平均値
- ・ 対象はFinished water

- ・ 生涯発がんリスク 10^{-5} , 10^{-6} は上限値
- ・ 対象はTap water

リスク認知上の特性と許容リスクレベル

伊藤禎彦：下水処理水の飲用再利用におけるリスクの取り扱いについて，
水環境学会誌，39(6)，187-196，2016.



DALYs
ターゲット
レベル

10^{-6} DALYs/人/年

感染確率

10^{-4} /年

<

発がん確率

10^{-5} /生涯

||

||

約 10^{-7} DALYs/人/年

約 10^{-6} DALYs/人/年

(クリプトスポリジウムによる罹患)

(臭素酸イオンによる腎細胞がん)

急性影響

慢性影響

人々のリスク認知・受容の観点から妥当

発がんリスク
微生物リスク



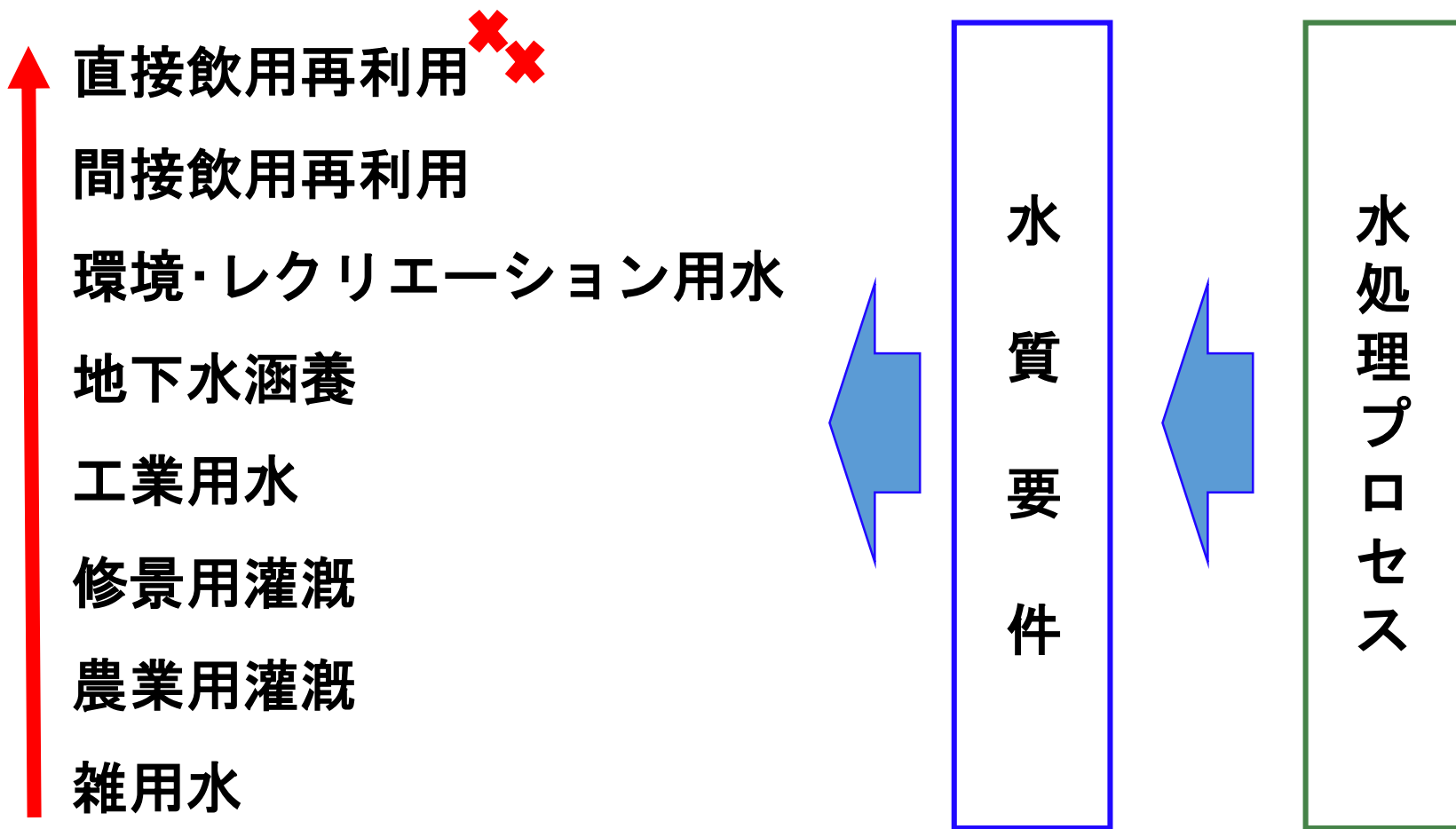
許容レベル：別々に検討が
進められてきたもの

人々の**リスク認知上の特性**を暗黙のうちに取り込んだものになっているのかも。

許容リスクレベルを議論する場合、**リスク認知上の特性**も考慮する必要があるかもしれない。

余 談：
下水処理水再利用におけるよくある勘違い

再 利 用 先



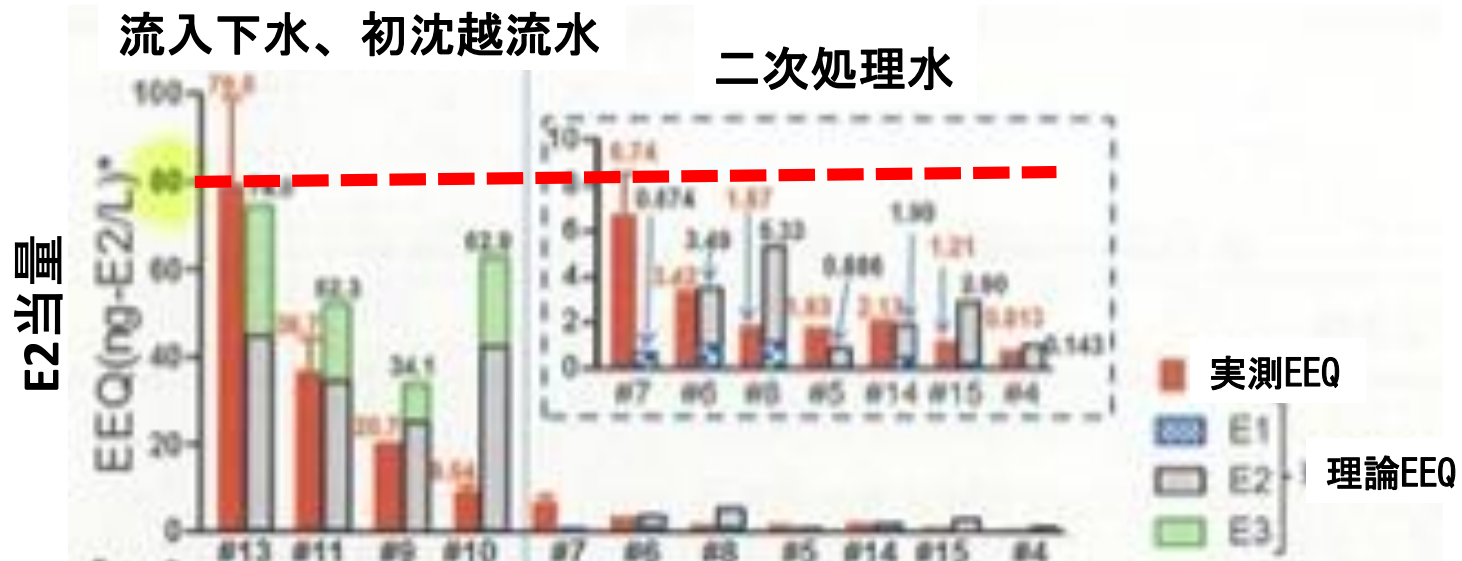
17-β-エストラジオール(E2)

水道水質基準体系
要検討項目
目標値(暫定値)

0.00008 mg/L = **80 ng/L**

魚 類
ビテロジェニン生成誘導
(エストロゲン様作用の指標)

10 ng/Lレベル



下水と処理水中：E2当量として数～数十ng-E2/L程度のエストロゲン様作用物質が多種類含まれている。

濃度レベルは**80 ng/L**よりもはるかに低い**が**、*in vivo*試験系において**生殖・発生毒性発現が実証**されている。

出典：国立研究開発法人土木研究所：土木研究所資料「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する研究調査報告書, ISSN0386-5878, 土木研究所資料第4313号, 2016.0

	水道水質基準体系	環境基準 河川および湖沼 水生生物の保全の観点
ノニルフェノール	0.3 mg/L 要検討項目 目標値(暫定値)	0.0006～0.002 mg/L (類型による)
亜鉛	1 mg/L 基準項目 基準値 (しかも健康項目 ではなく性状項目)	0.03 mg/L

ヒトよりも魚類をはじめとする水生生物の方が感受性が高いことに由来。

ヒトの飲用に供する水よりも、水生生物が曝される水の方を高品質にする必要があることを意味する。