

# 持続可能な水資源としての 排水再利用

**Takashi Asano**

**Department of Civil and Environmental Engineering  
University of California, Davis**

# ACKNOWLEDGEMENTS

## ■ TRANSLATION

前島映美; 岡安祐司; 鈴木穰; 吉谷純一

## ■ PHOTO CREDITS

International Water Management Institute (IWMI)  
California Department of Water Resources (DWR)  
Black & Veatch  
Tokyo Metropolitan Government  
San Diego Herald Tribune  
Dr. Shane Snyder  
Orange County Water District, CA  
Du Pont PERMASEP Permeators

# 地球温暖化により起こりうるシナリオ

## 1. 気候パターンの変化

- ・ 平均温度の上昇と異常気温(ヒートウェーブ)の頻度の増加
- ・ 水蒸発量の増大により、干ばつによる水不足と山火事の増加
- ・ 気候システムの変動による異常降雨と洪水の危険性増大

## 2. ひとの健康への影響

- ・ 異常気温(ヒート・ウェーブ)の頻度と強度の増大(熱病死)
- ・ 大気汚染の増大(植生の異常繁殖による花粉症やぜんそく)と熱帯病(デング病など)の拡散異常

# 地球温暖化により起こりうるシナリオ

## 3. 水温の上昇

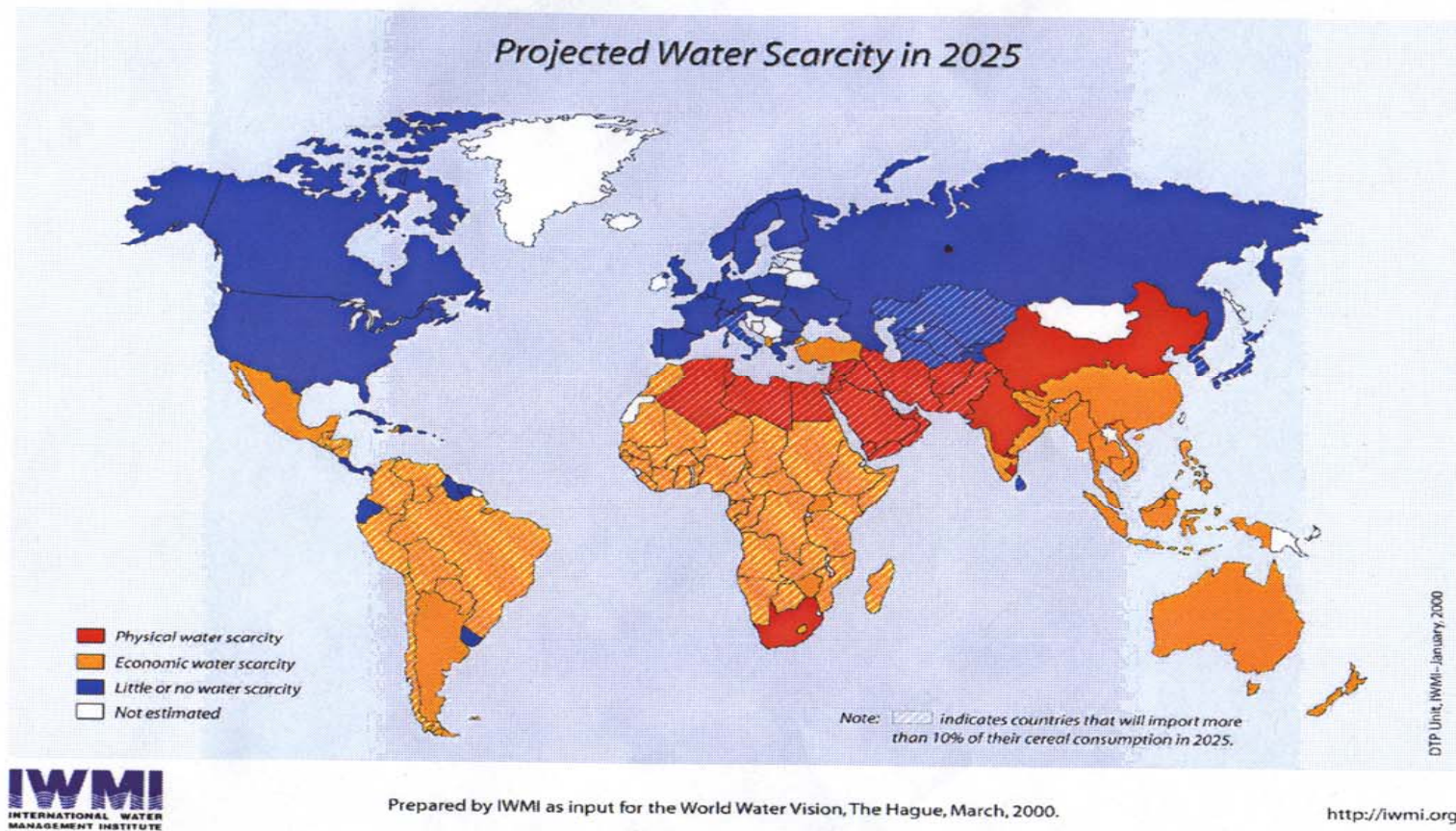
- 強力な危険な台風やハリケーンの出現
- 氷河の融解・氷雪の早期融解
- 海面上昇による海岸地帯の喪失, 海岸地帯の浸水・洪水

## 4. 生態系の崩壊の危機

- 動植物の種の多様性の変化
- アルプス性気候の変化による高山動植物の変化や死滅
- CO<sub>2</sub>量増大により, 海洋pH値の低下によるサンゴ礁などへの影響



# 2025年に予想される水不足：世界の人口の66%にあたる30億人と52の国が干ばつ



# 水再利用の促進要因

- 水の需要
- 飲料用水の保全
- 水質汚染の低減
- 経済的に魅力的
- 確立されたテクノロジー
- 水供給の信頼性
- 成功した実績
- 総合水資源管理における政策

# 水再利用の利点

- 総合水資源管理における重要な要素
- 有益な目的のため水資源として使用
- 排水を川、湖、海辺に流さないことにより表流水と地下水の汚染を低減

# アメリカ合衆国の現状

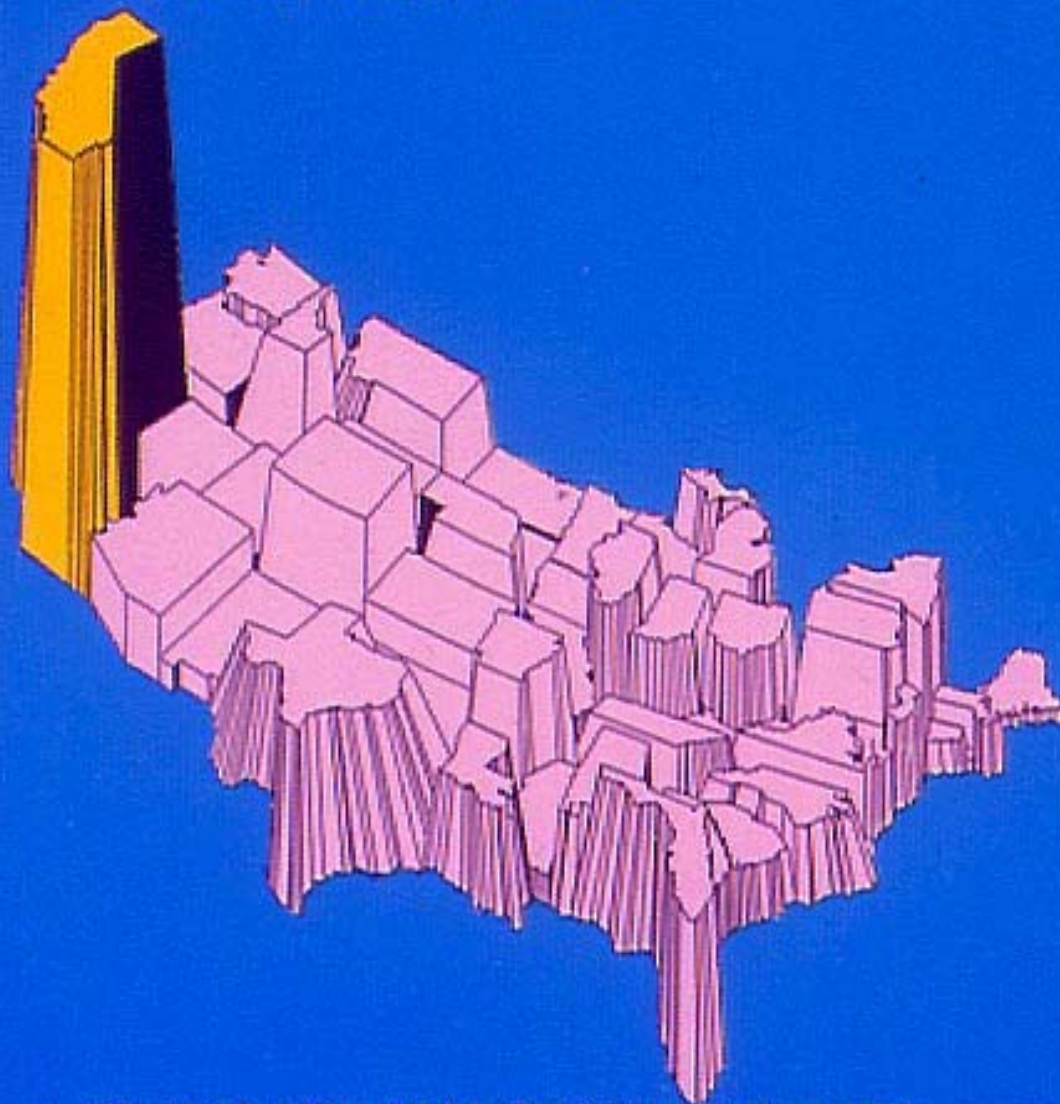
- 約16,400の公共の下水処理施設があり、およそ1億5千5百万  $\text{m}^3/\text{日}$ の下水処理水を排出する
- 約1,500の水再利用施設がある
- 都市排水の6% (1千万  $\text{m}^3/\text{d}$ ) が2005年に再利用され、年間15%増加している
- アリゾナ、カリフォルニア、フロリダ、テキサスの4つの州で水再利用の90%を占めている

# Presentation Outline

- カリフォルニア州の例
  - 人口増加と都市化
- 持続性と水再利用
  - 例にみる水再利用の役割
- 技術開発
  - 再利用の安全性
  - 公衆衛生の保護
  - 市民への働きかけと合意形成



## Comparison of Water Withdrawals, By States, in 1980.

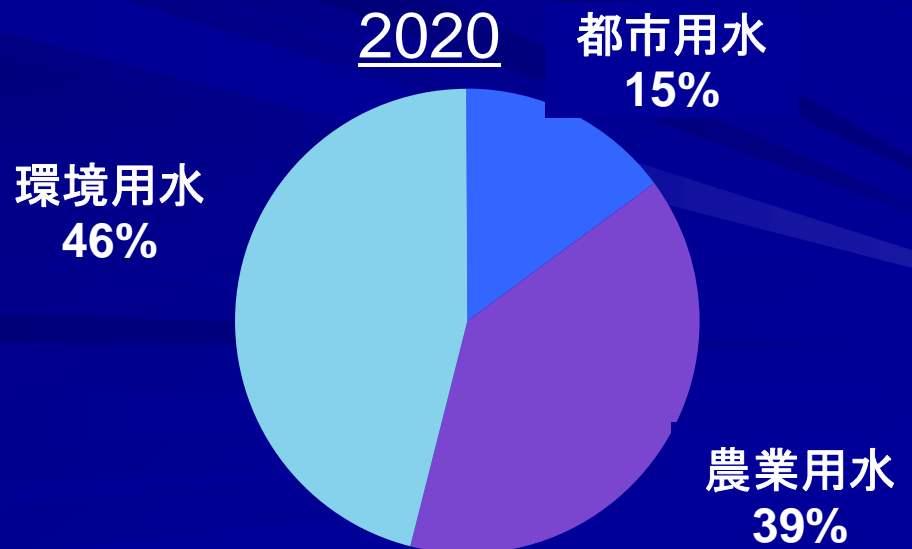
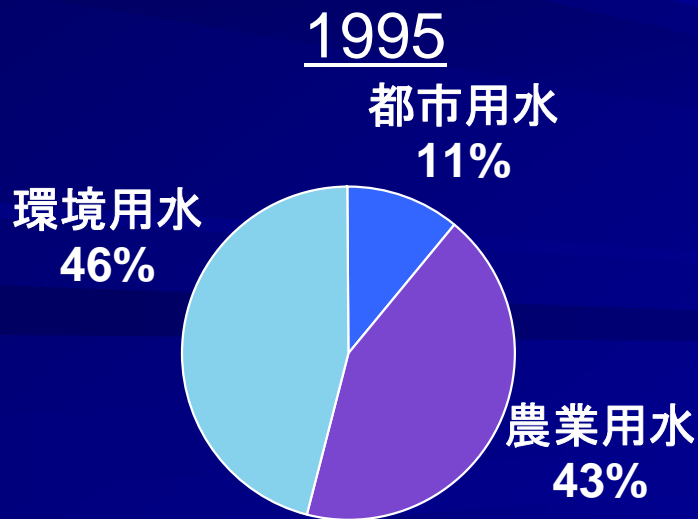


The total national rate of withdrawal of ground and surface water was 450 billion gallons per day.

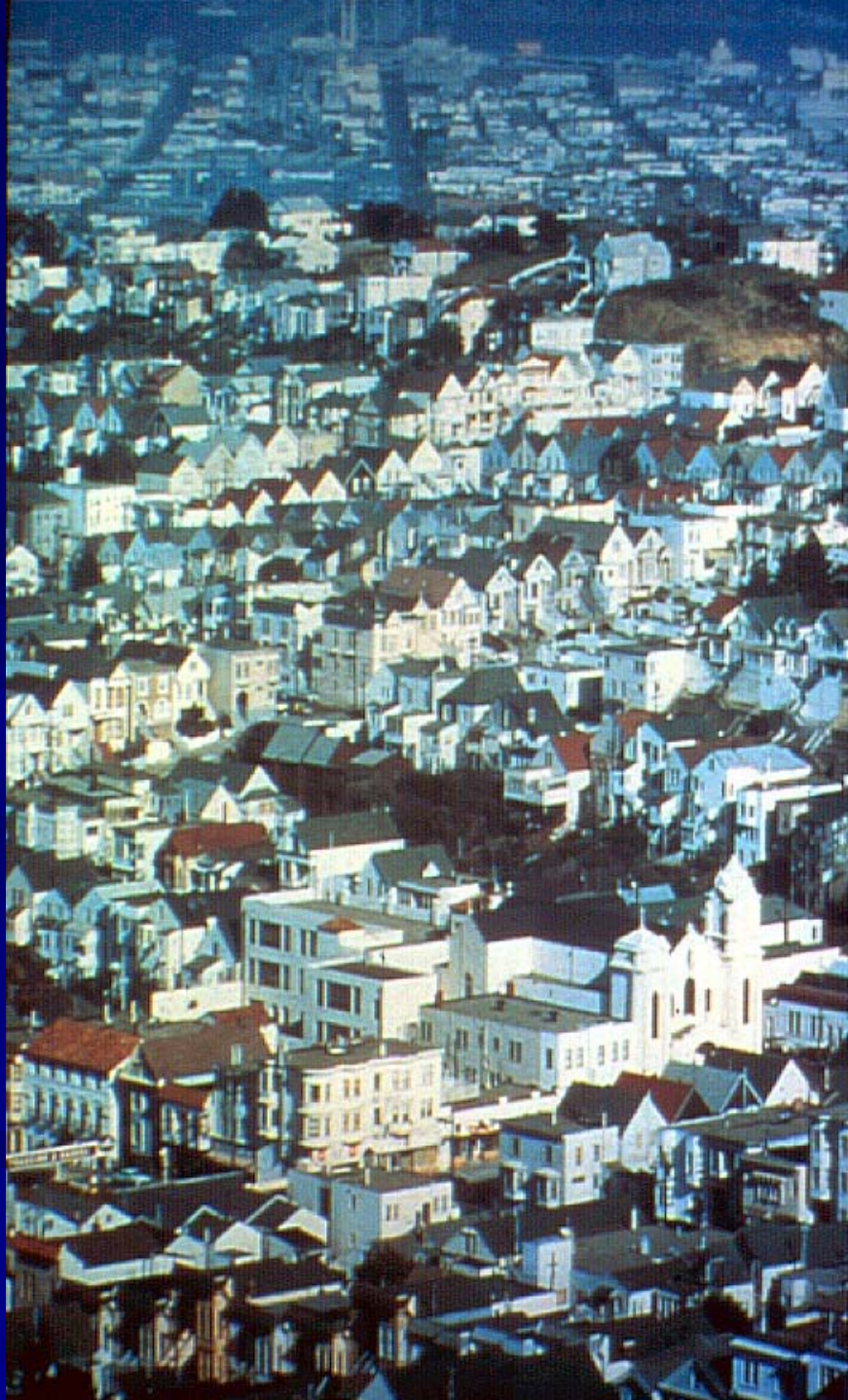
# カリフォルニア州の水の需要増加

## (Water Plan Update 160-98)

	1995	2020 予測	% 変化
人口 (million)	32.1	47.5	+48
穀物灌漑面積 (km <sup>2</sup> )	38,445	37,231	-3.2
都市用水 (Mm <sup>3</sup> )	10,855	14,802	+36
農業用水 (Mm <sup>3</sup> )	41,691	38,854	-6.8
環境用水 (Mm <sup>3</sup> )	45,515	45,638	+0.3



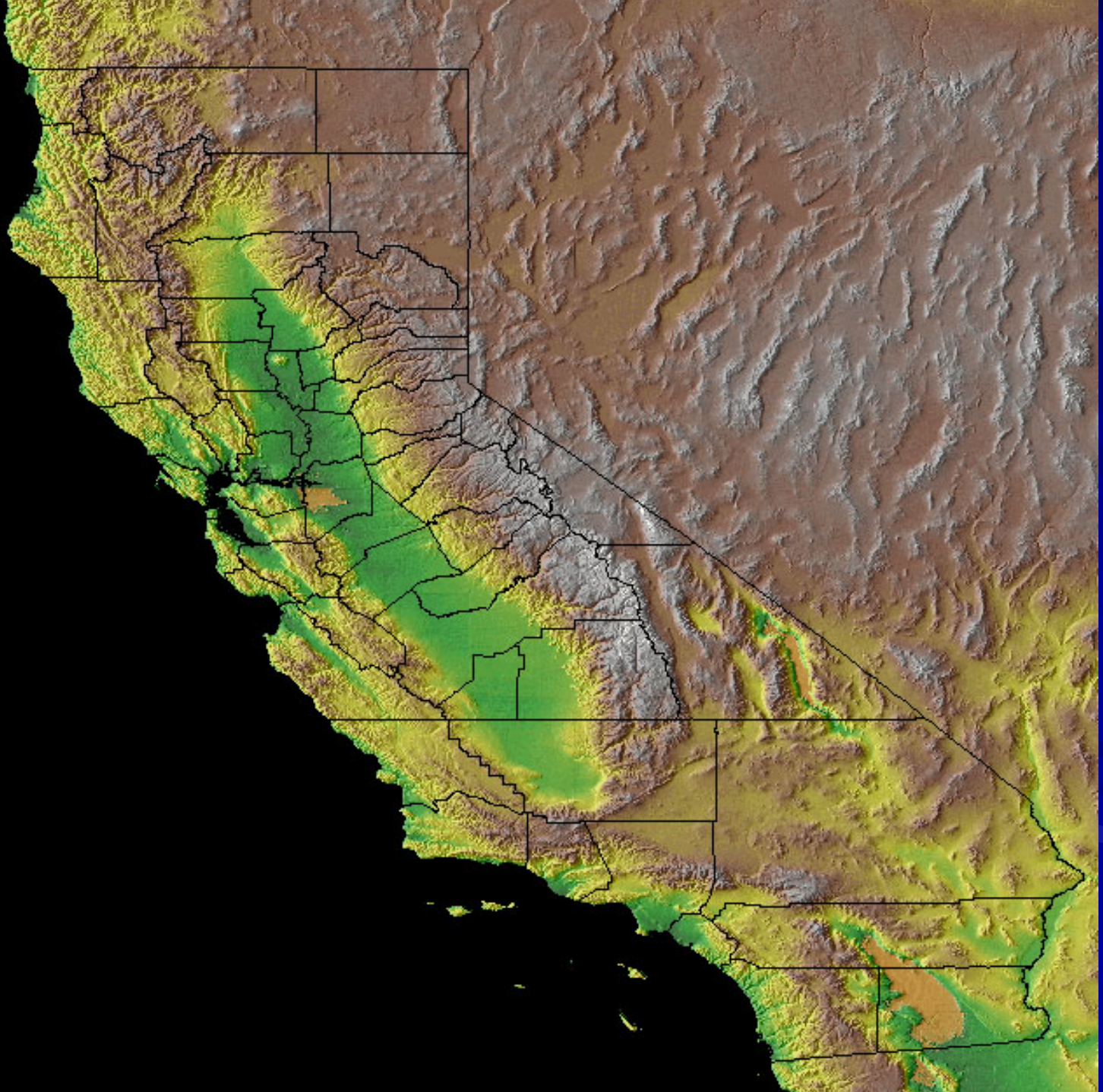
















California and Japan

California's Major Water Projects

















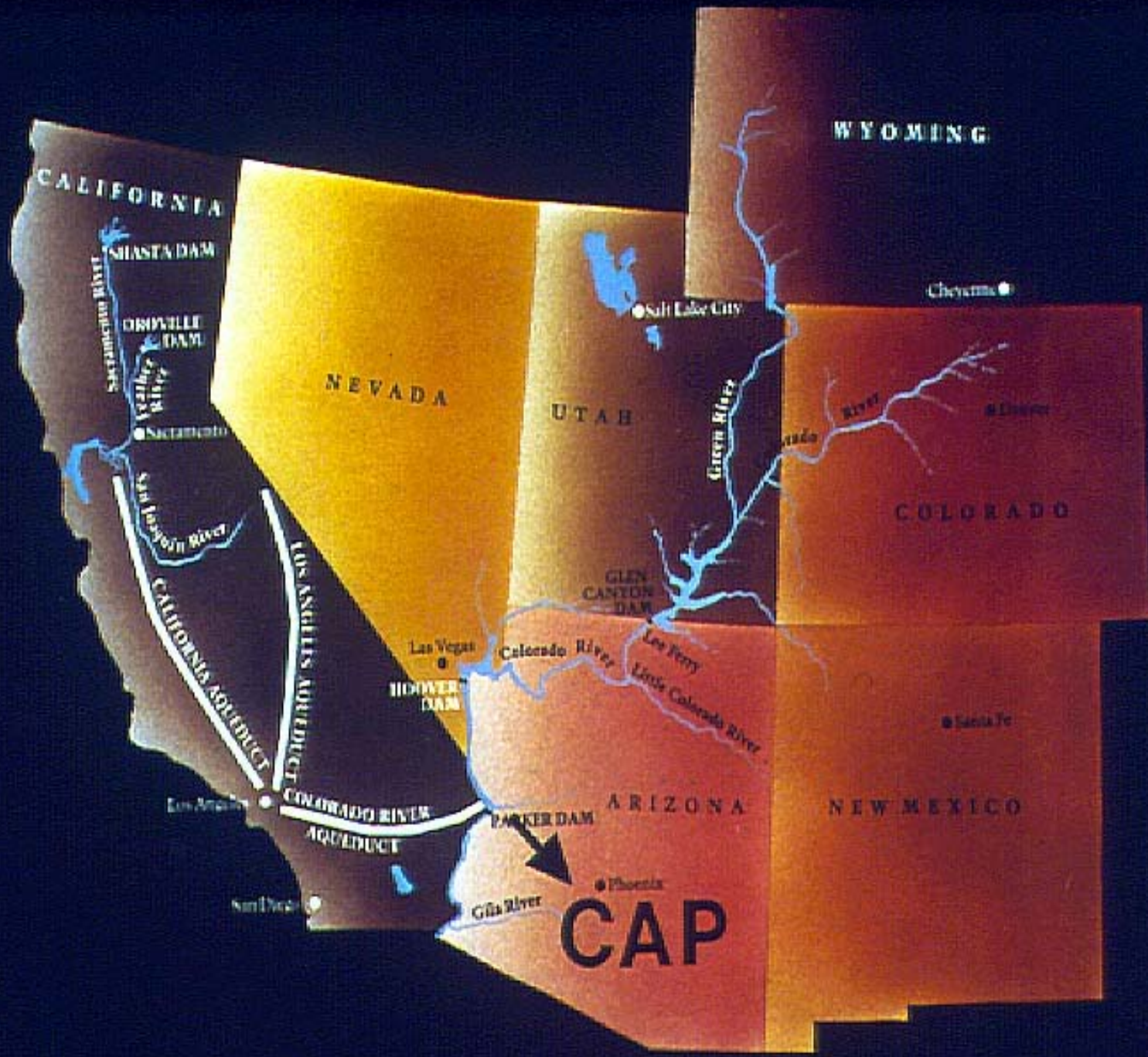


200 commercial crops,  $\frac{1}{4}$  of the nation's table foods, and  $\frac{1}{2}$  of fruits and vegetables













# 持続可能性と水

## ■パラダイムの転換

- 環境保全と水資源利用の競合
- 水質と水量の相互関係
- すべての給水における高水質への要求
- 技術的に複雑な水問題
- 市民の参加と合意
- 環境の保全と改善

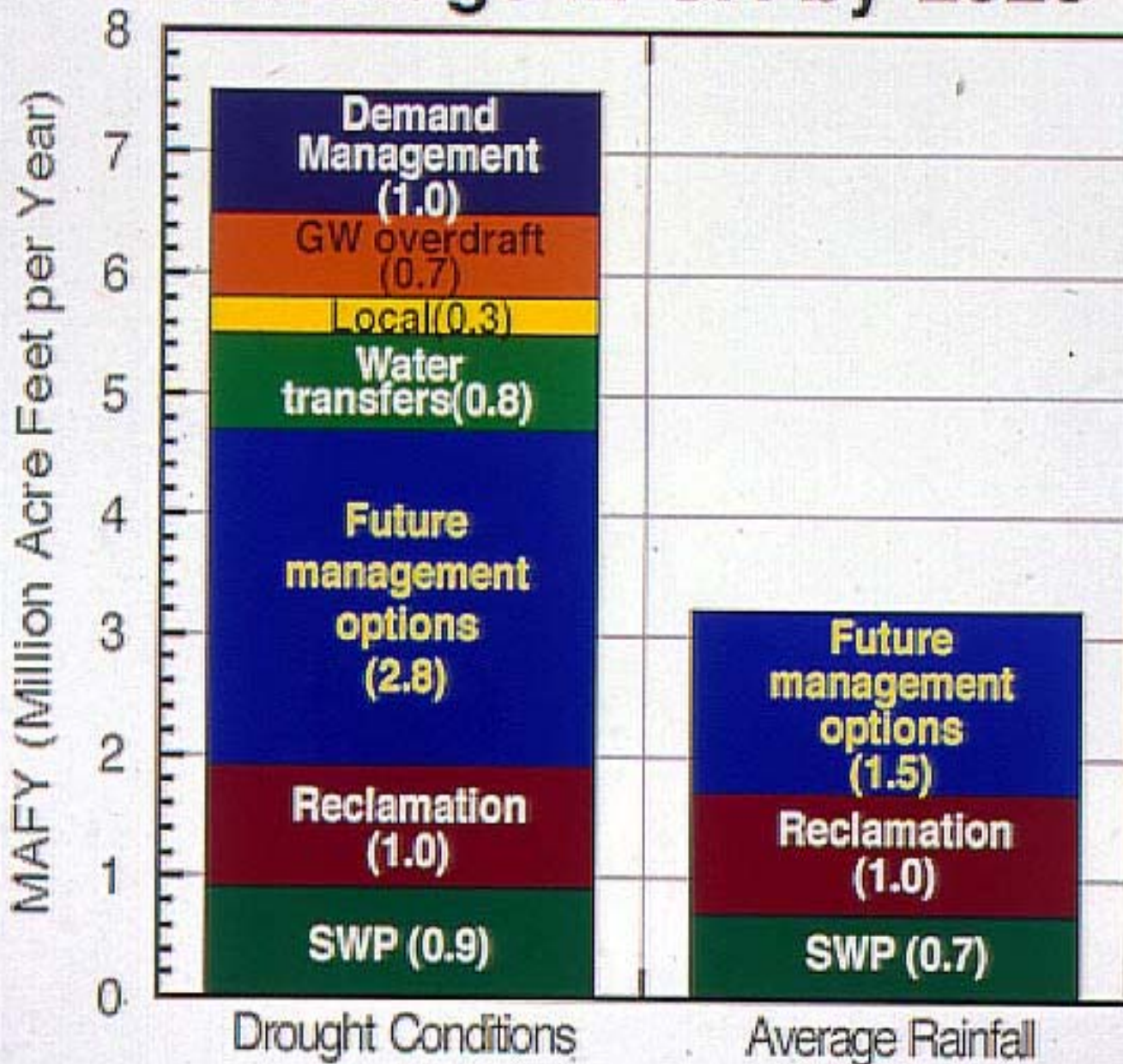
# カリフォルニア州水計画アップデート 2005年

- 効率的な水の使用
- 水質の保全
- 環境を保全・修復できる水の管理

DWR Bulletin 160-05 December 2005

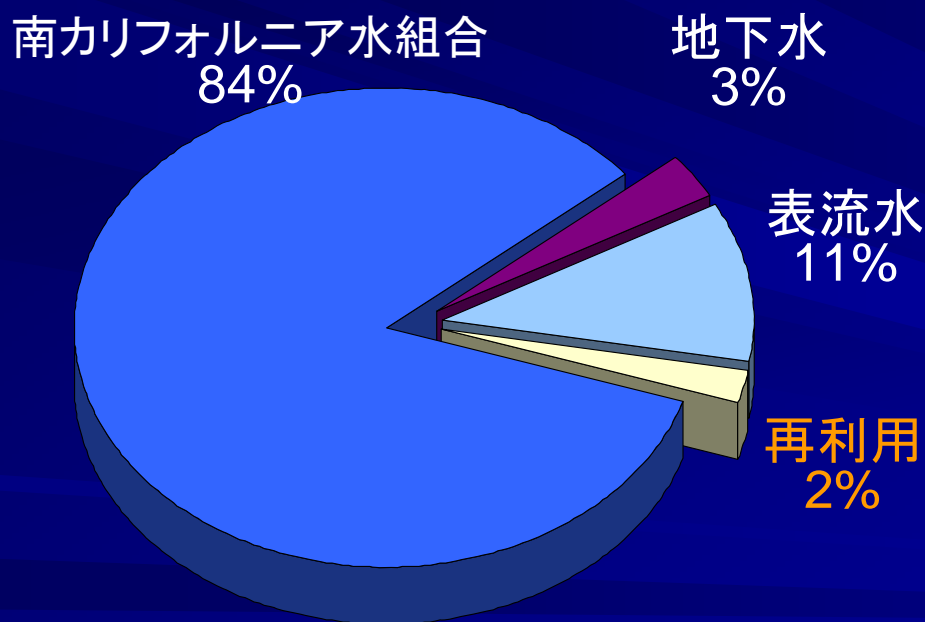


# Meeting Anticipated Water Shortage in CA by 2020

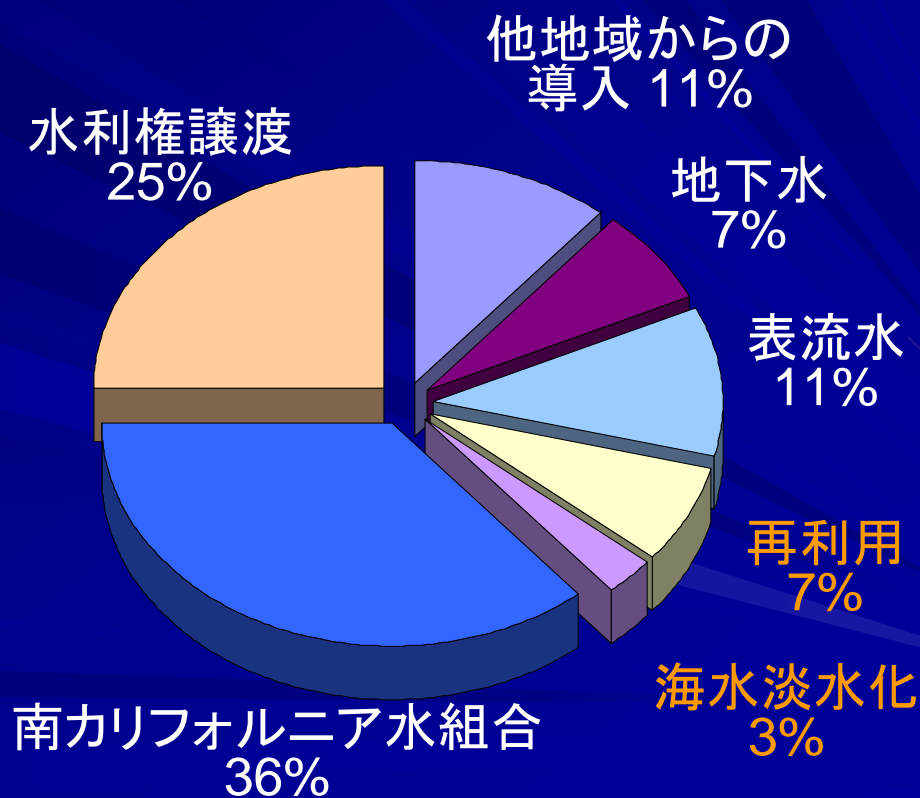


# サン・ディエゴ地域の水資源の比較

2000



2020



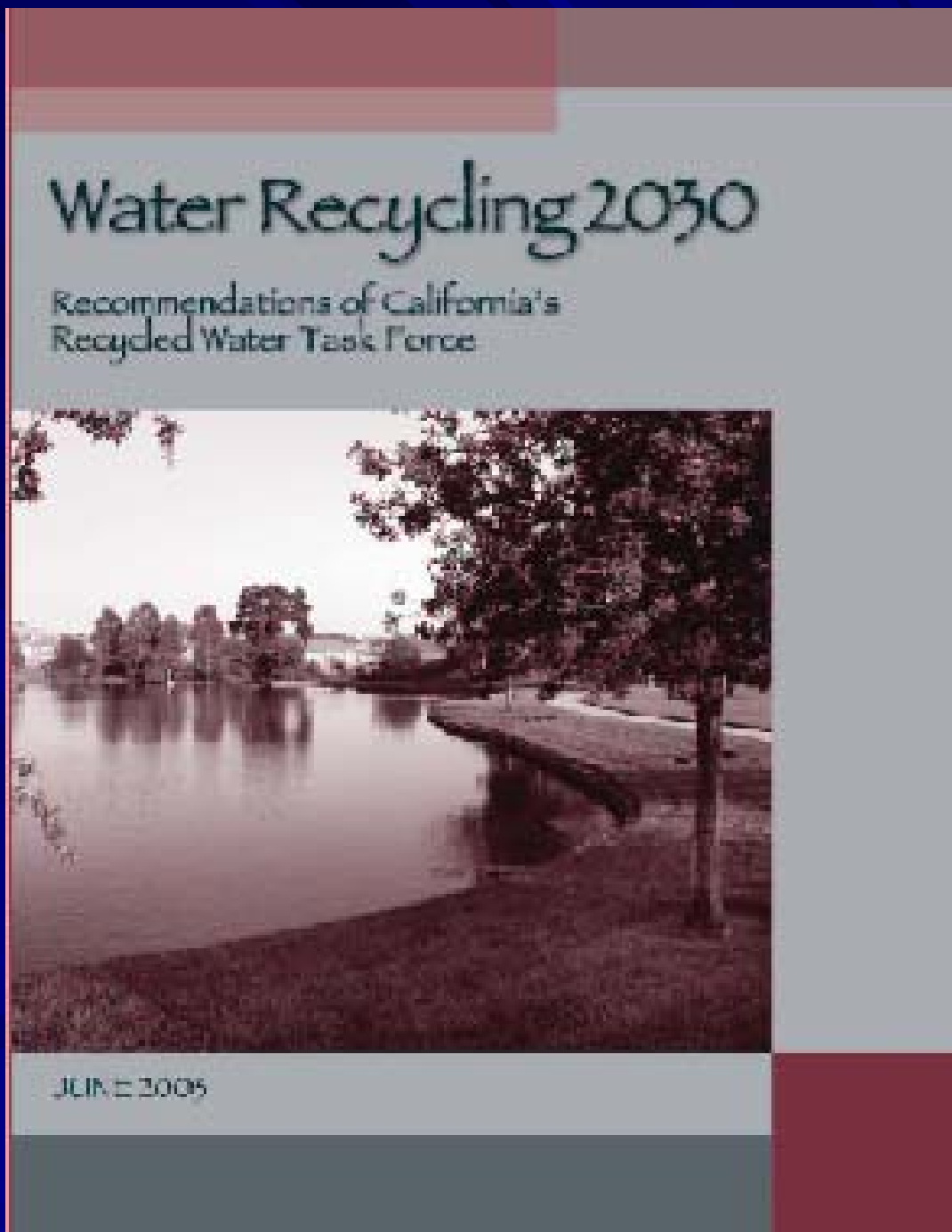
A close-up photograph of a water tap with water flowing out. The word "REUSE" is overlaid in large, bold, orange capital letters across the top half of the image. The background is a dark blue with diagonal lines.

# REUSE

Recovering  
Sustainable Water  
from Wastewater



Task Force Report to the Legislature  
(June 2003)



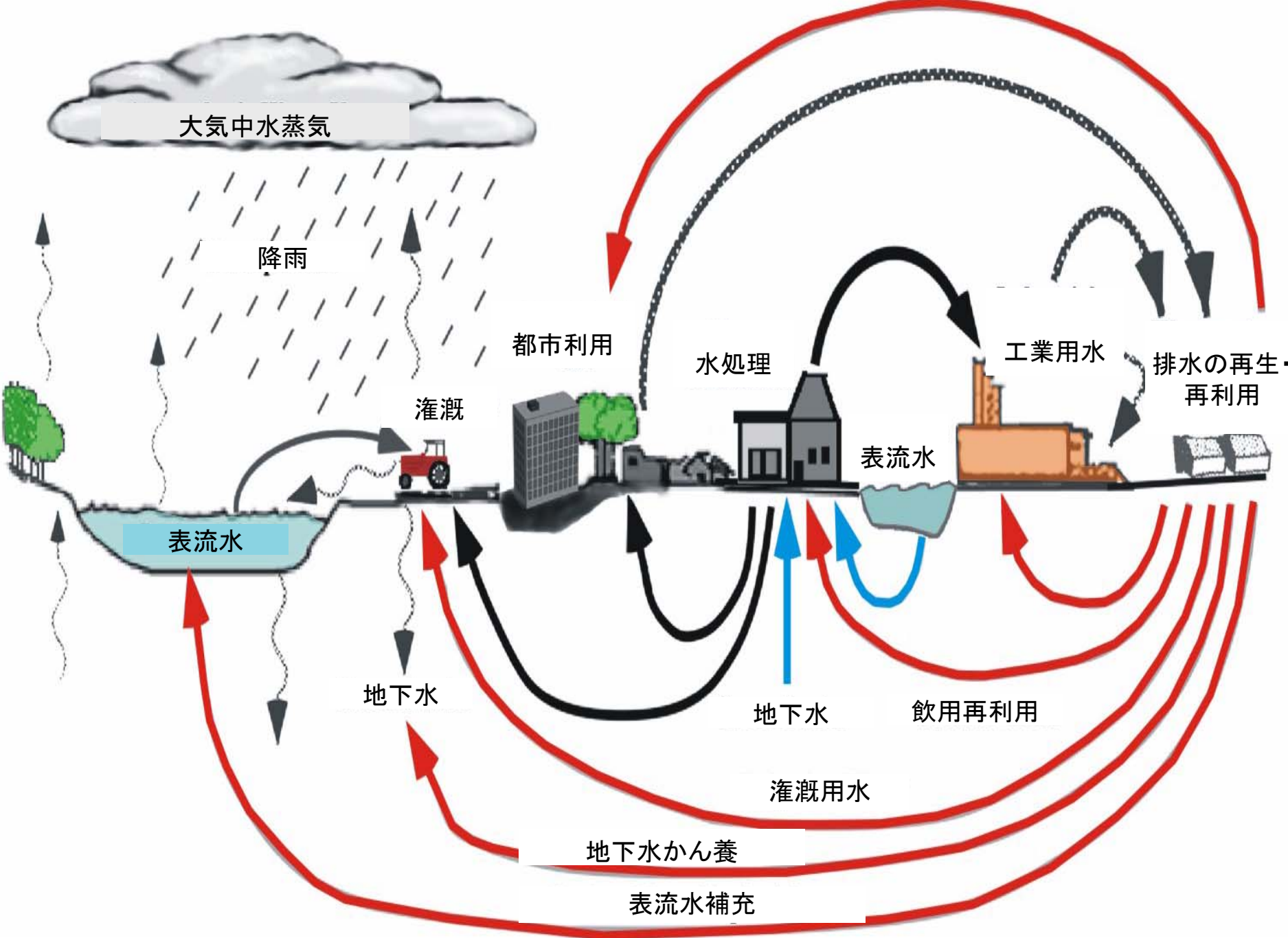
# 水再利用の定義

- 排水 – 家庭、職場、都市から排出された使用後の水 (都市下水)
- 水の再生 – 排水を再利用できるようにするための処理・過程
- 水の再利用 – 農業用水や冷却水として有益に使用されるために処理された、排水の利用

# City of Los Angeles Hyperion Wastewater Treatment Plant $1.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ (450 mgd)

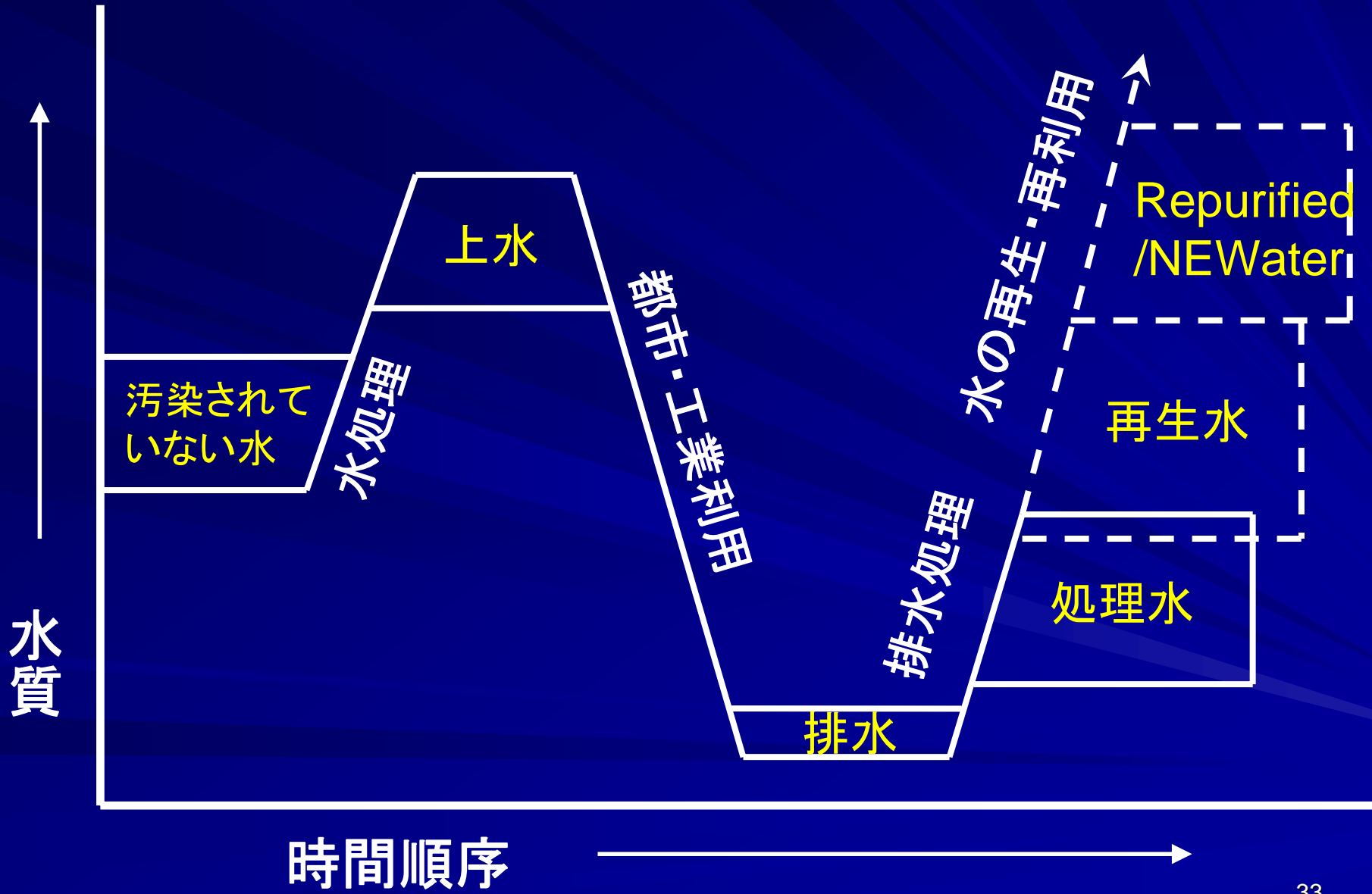




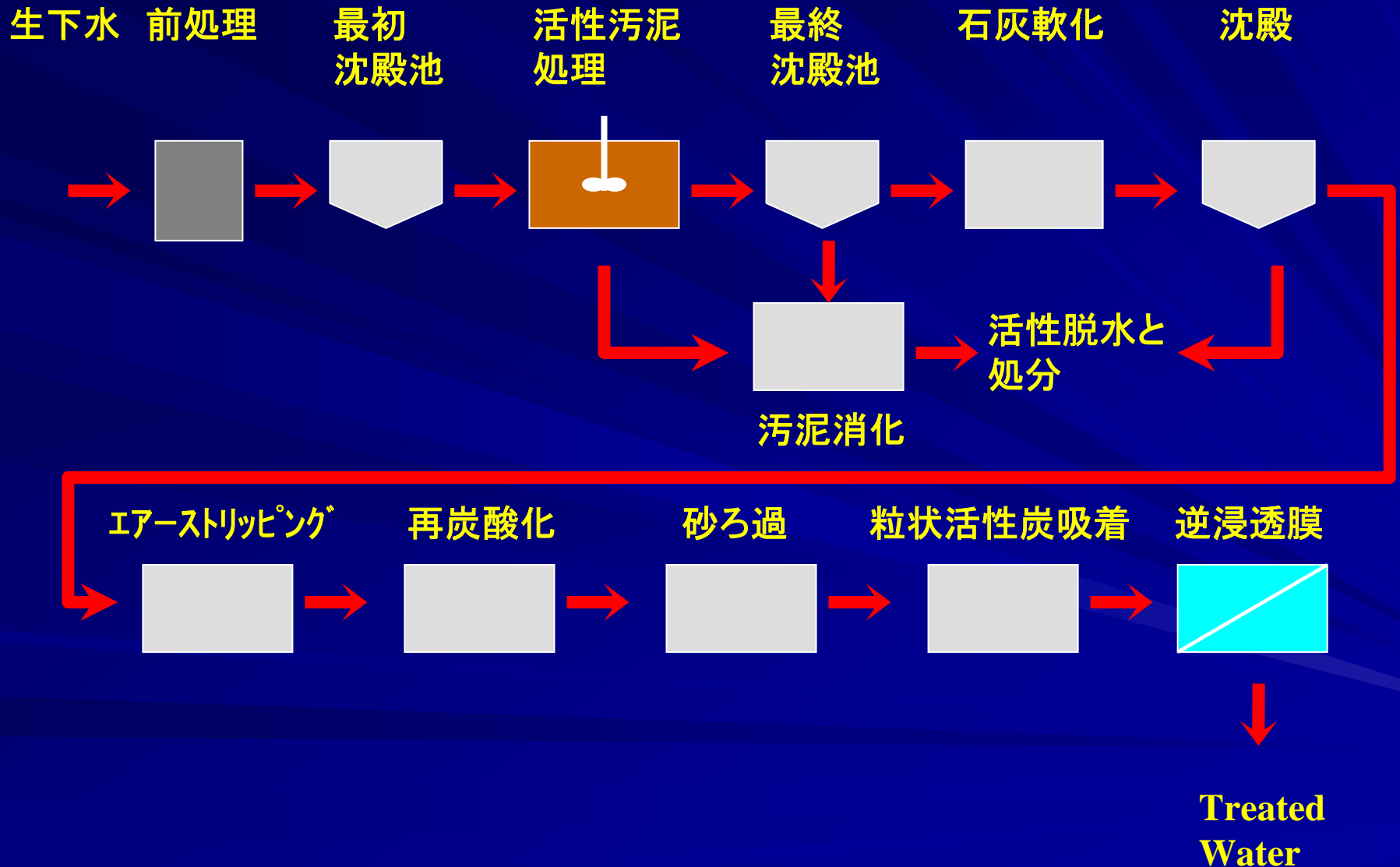




# 使用過程における水質の変化

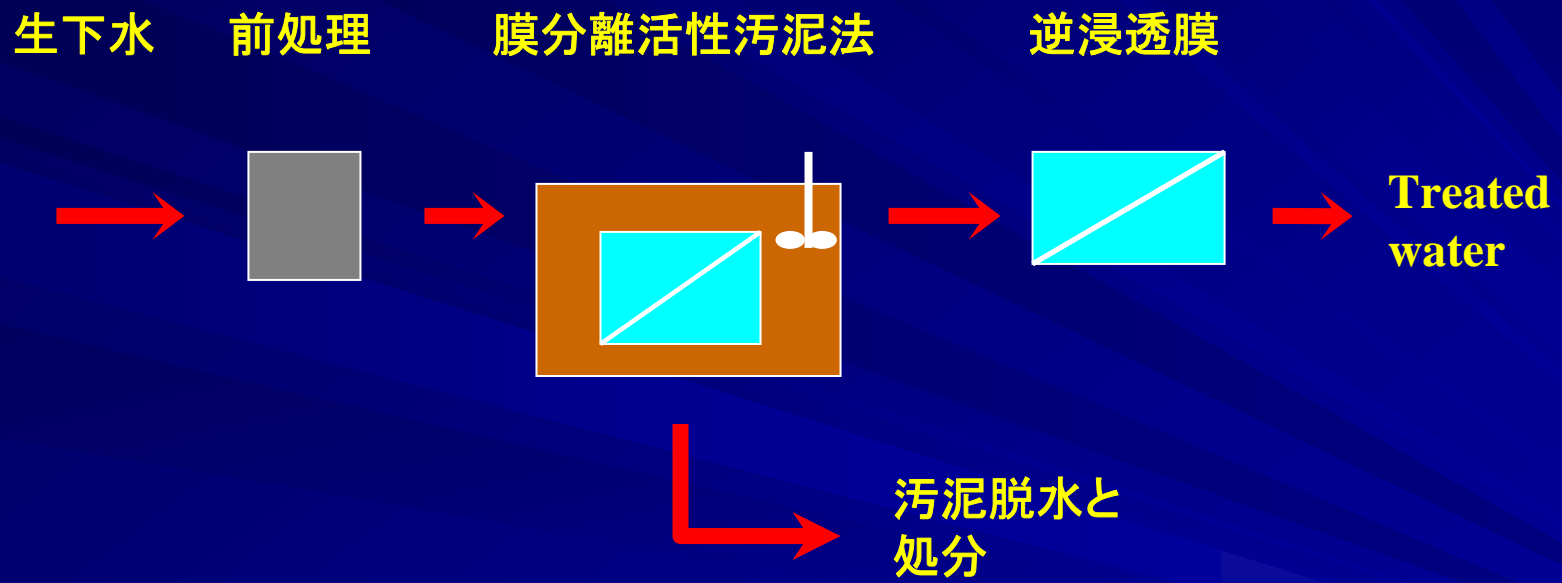


# 従来の高度排水処理





# 浸漬型膜分離活性汚泥法と逆浸透膜



# 水再利用の役割

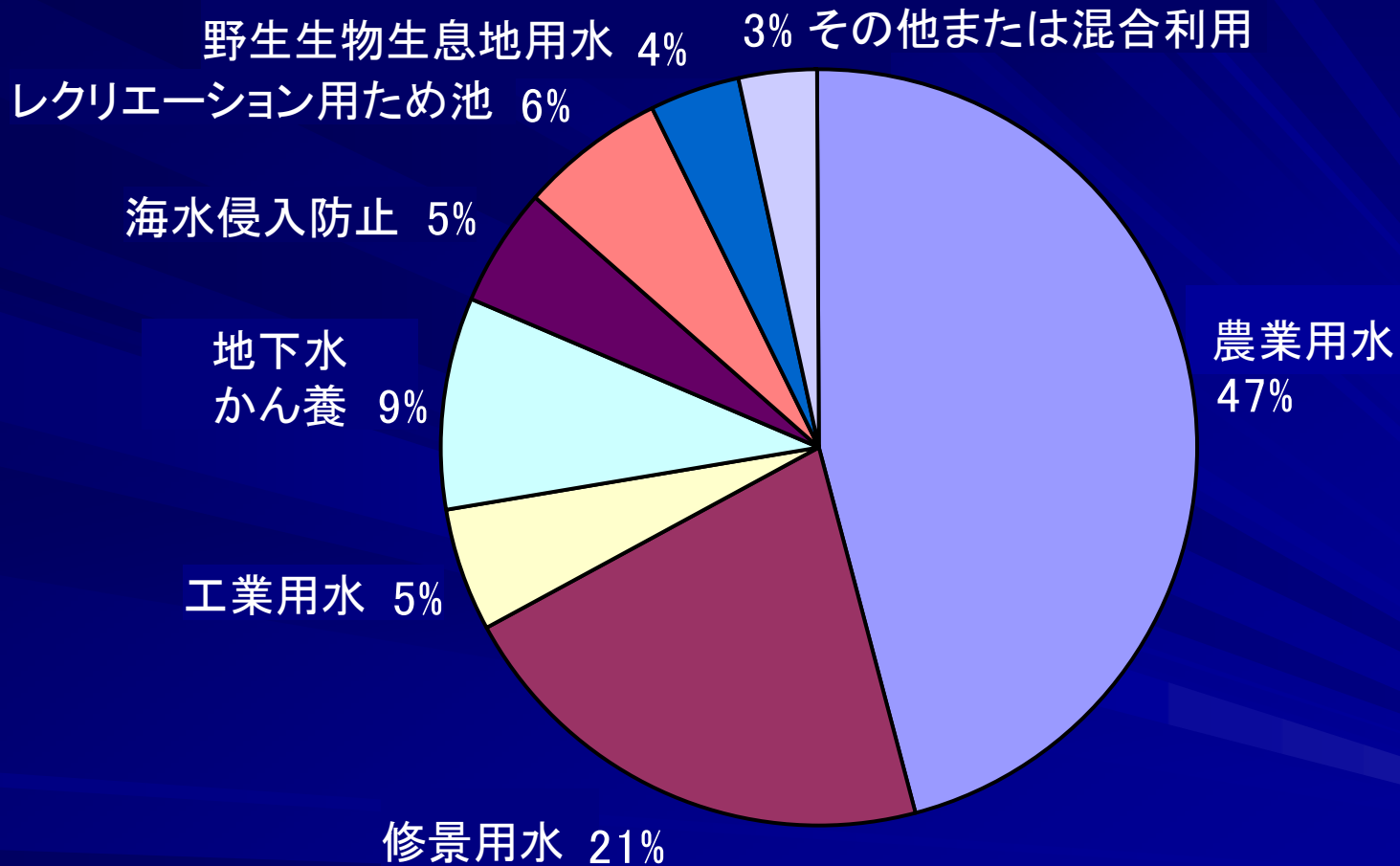
- 水再利用の7つのカテゴリー
- 処理技術とプロセスの信頼性
- 水再利用の安全性
- 将来の展望 – 生態系との調和



# 再利用のカテゴリー

1. 農業用水
2. 景観灌漑
3. 工業用水
4. レクリエーション利用と環境
5. 飲用以外の都市再利用
6. 地下水かん養
7. 飲用としての再利用

# 排水再利用



2001年のカリフォルニア州における再利用量: 6億5千万m<sup>3</sup>





# Costa Brava, Spain









*Donald C. Tillman*  
*Water Reclamation Plant*  
6100 Woodley Avenue



the  
Japanese  
garden

水  
茅  
園







# 大阪城







# 工業再利用

- 冷却水
- ボイラー供給
- 工程での使用水
- 大規模建築





# 飲用以外の都市利用

- 防火
- 空調
- 水洗トイレ用水

























# 都市における灌漑利用のための州の規則

州	水質基準	必要な処理
アリゾナ	糞便性大腸菌群不検出/100 mL 2 NTU	二次ろ過消毒
カリフォルニア	2.2 大腸菌群/100 mL 2 NTU	二次凝集ろ過消毒
フロリダ	糞便性大腸菌群不検出/100 mL 20 mg/L BOD 5 mg/L TSS	二次ろ過消毒
テキサス	20 糞便性大腸菌群/100 mL 5 mg/L BOD 3 NTU	Not specified

# 飲用以外の水再利用に対する市民 の合意

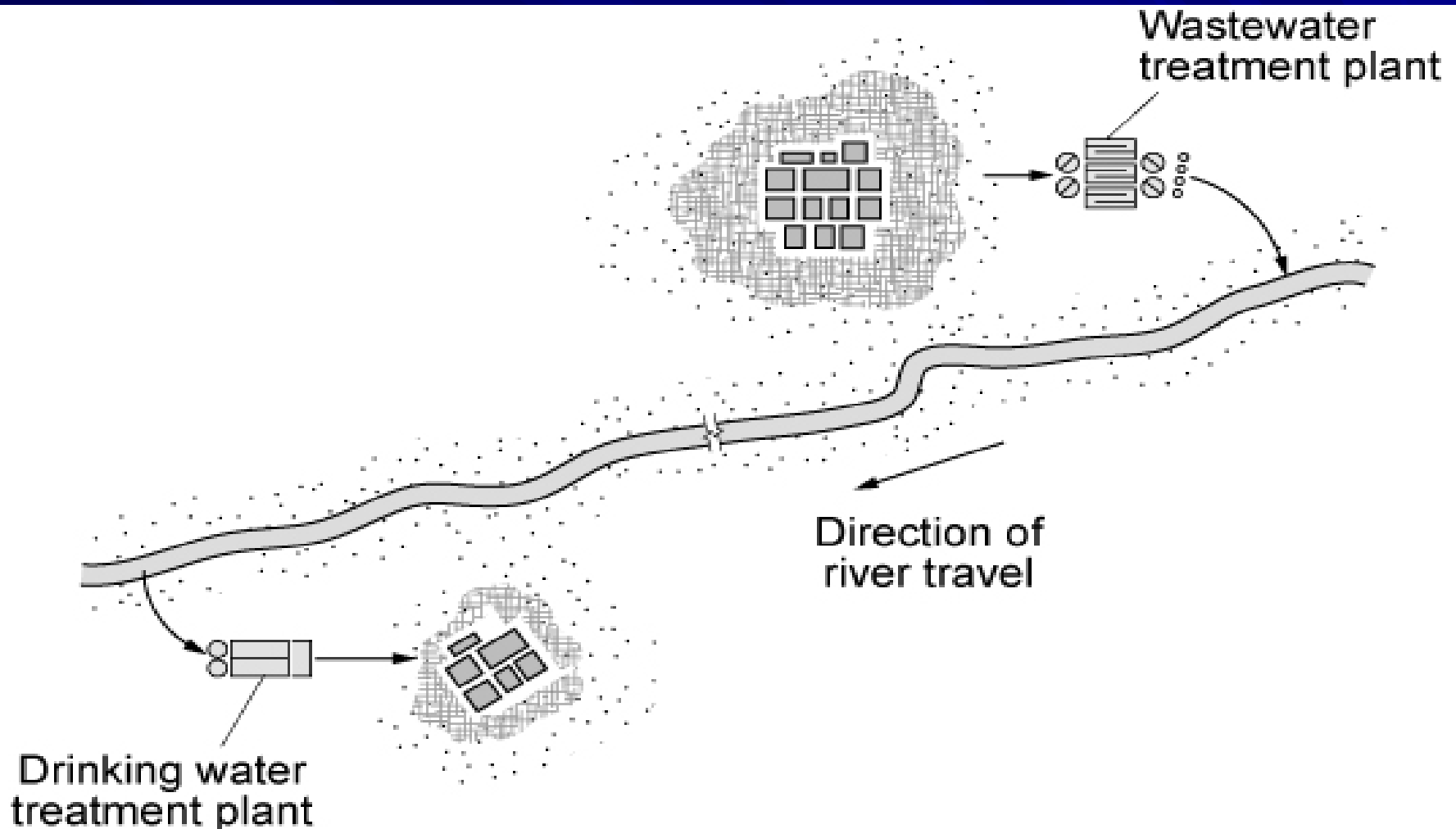
- 飲用以外の水再利用を市民は強く支持している
- 主な懸念は、費用と公衆衛生の保護
- 再生水への接触が抑制されていることが好まれる (例えば、灌がい用水)
- 再利用に関する知識と社会的受容 (例えば、高度な処理、市民教育と参加)



# The Dreaded Sewage Molecule!



# *De Facto* indirect potable reuse is a well established practice





# 飲用水に医薬品残留

## 直ちに健康影響なし

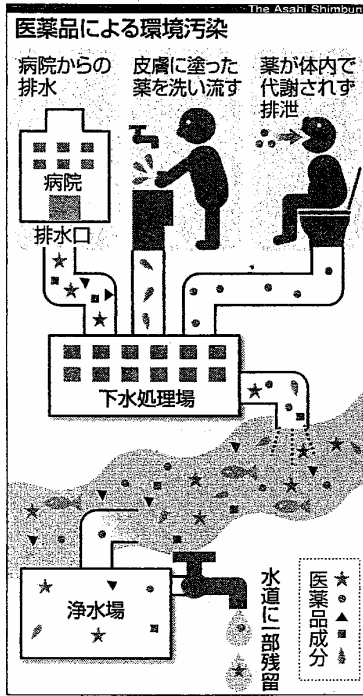
### 厚労省、7浄水場調査

大都市圏の浄水場の水から少なくとも25種類の医薬品が検出され、一部は飲用水にも残留していることが、厚生労働省の調査で分かった。環境省の研究班も、利根川、淀川で、医薬品50〜60種類を確認した。研究者らは、飲用水への混入はごく微量で、人の健康に直ちに影響はないとしながら、生態系への影響を懸念している。国内で飲用水への医薬品残留が明らかになるのは初めて。厚労省はさらに3年かけて、詳しく調査する。

(石田勲、小堀龍之)

## 除去・分解へ技術開発

医薬品は、人や家畜から下水を通して環境中に排泄され、医療機関の排水からも流出している。厚労省水道課や国立保健医療科学院などは06年2月と今年1月に、関東、関西地方の7浄水場の水で、約60種類の医薬品成分を対象に残留の実態を調べた。この結果、各浄水場から、抗生物質、X線造影剤、抗アレルギー剤など、あわせて25種類が検出された。浄



## 生態系へ影響懸念

医薬品の環境汚染に詳しい高田秀重・東京農工大教授(環境化学)の話、日本では飲用水への医薬品残留が確認されたのは初めてだろう。水道水を通じて、単一の成分を生体、飲み続けても、微量なので、まず影響はないだろう

厚労省は、現時点では「直ちに対応が必要な濃

度ではない」管理室」とし

水処理の過程で、残留濃度は下がったが、3浄水場では、抗高脂血症剤、解熱鎮痛剤、抗てんかん剤の3種類が、飲用水にも残留していた。残留濃度は6〜30ppt(1pptは1兆分の1)で、単一なら、体重50kgの成人が70年飲み続けても、健康への影響はまず心配ない値だった。ただ、大半が、欧州連合(EU)が環境への影響評価を義務付けている10pptを超えていた。

一方、環境(班長、田中教授)は05年11月まで4回調査した。淀川の下流、放流水や支流、抗精神病薬、抗精神薬、抗がん剤、それぞれ54種類と、医薬品を検出。00pptの濃

# De facto indirect potable reuse



Courtesy City of San Diego



# 間接的な飲料水としての再利用

- 水質
- 処理の信頼性
- 未確認の微量有機物質
- 健康影響に対するデータの不足
- 市民の認識と合意

# 市民の認識と合意

- 50%の人が反対しているとの調査結果
- 多数の人に心理的に不快だと感じさせる  
再生水利用 (Yuck factor; toilet-to-tap)
- 微量有機物質の長期的な健康への影響
- いくつかのプロジェクトは、市民や政治による反対、環境への配慮のために中止



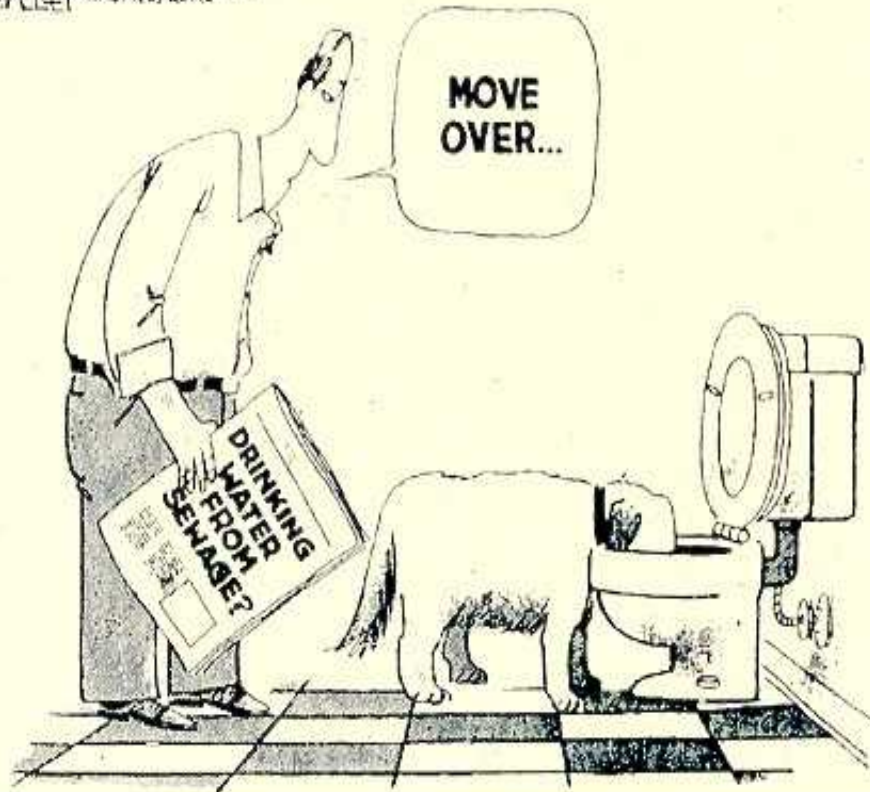


# REPURIFIED WATER

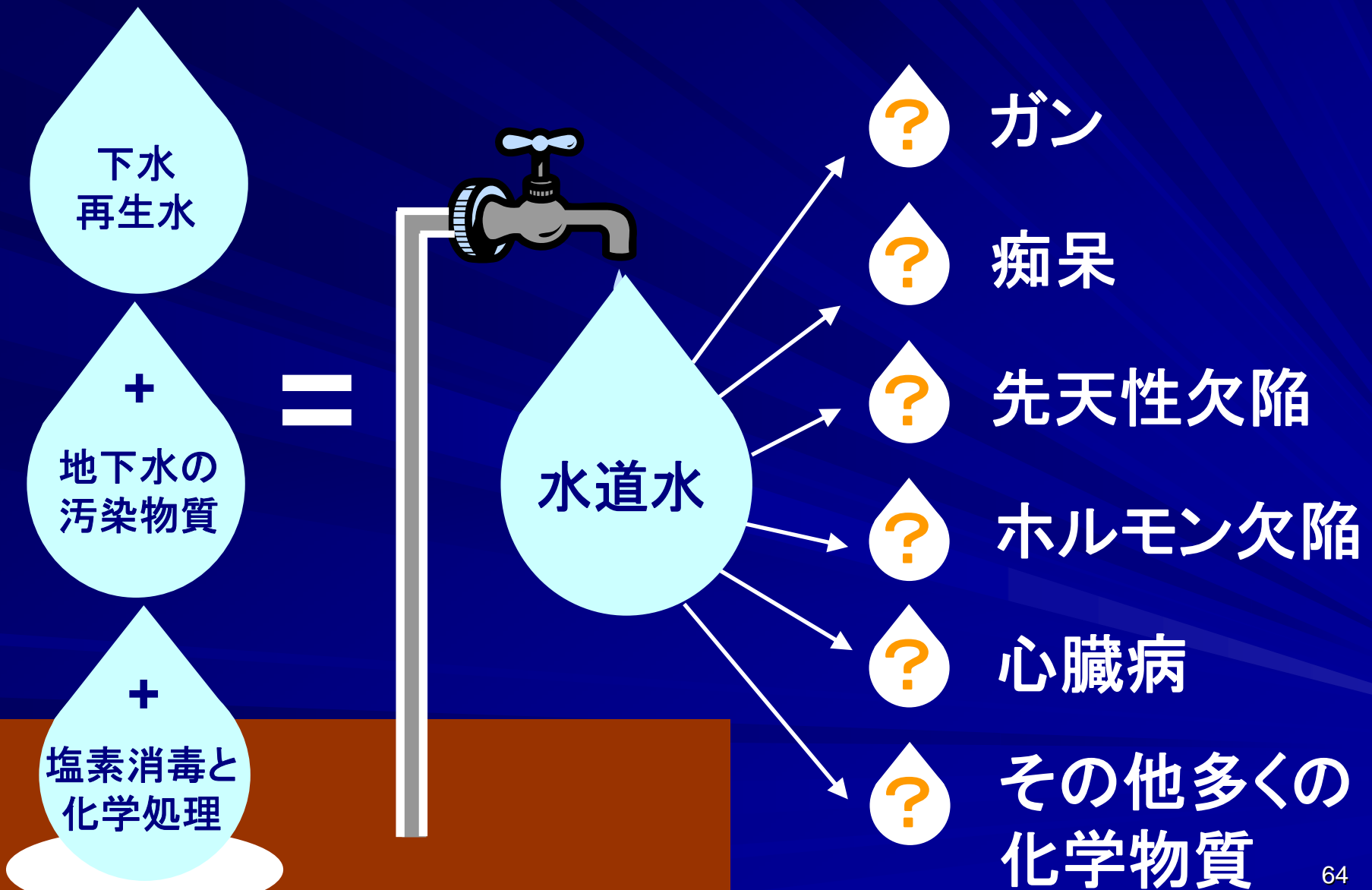
SAN DIEGO UNION-TRIBUNE

Tuesday, April 5, 1994

SKELLEY From San Diego Union-Tribune  
Copyright 1994 Skelley



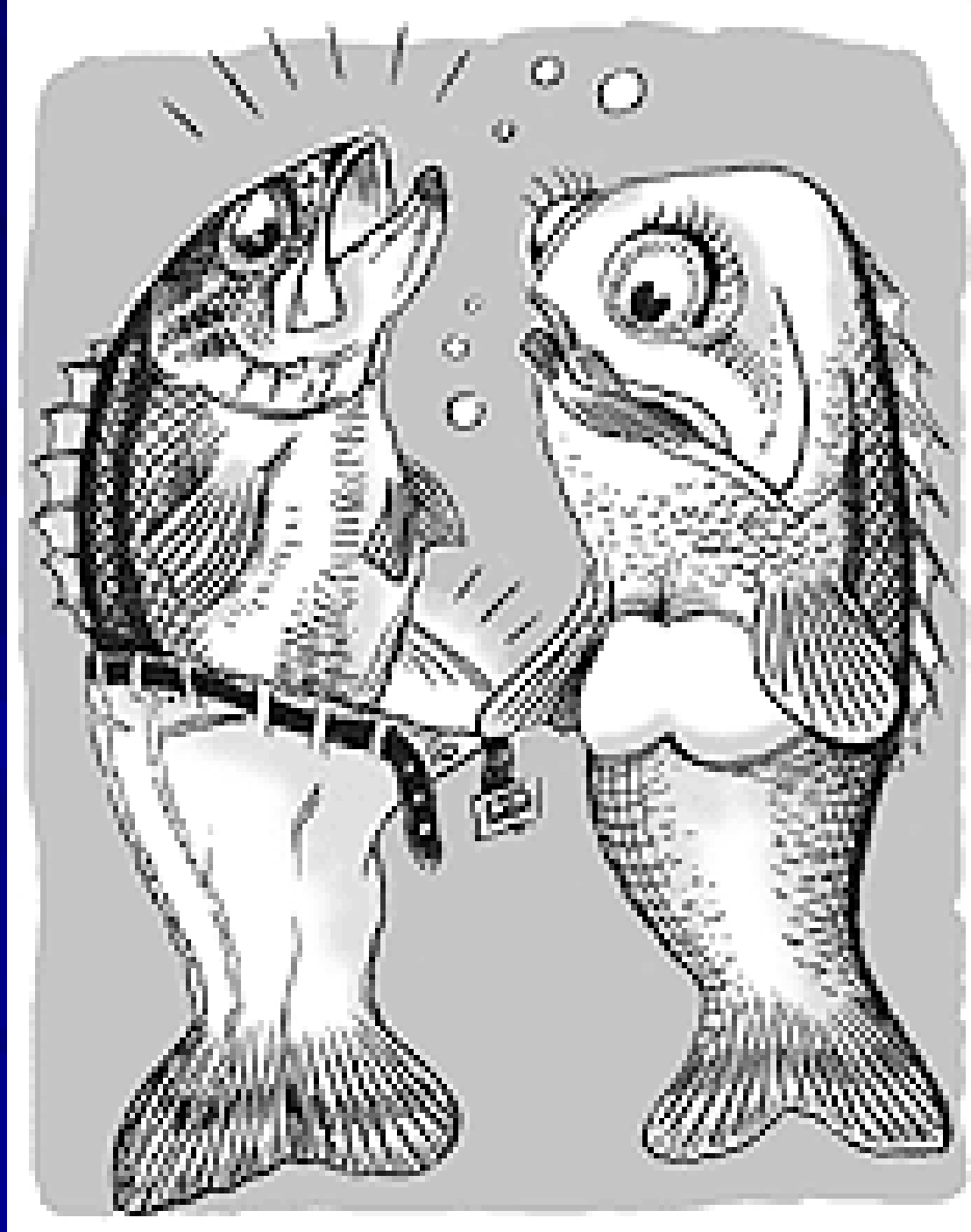
# トイレと水道水直結の連想

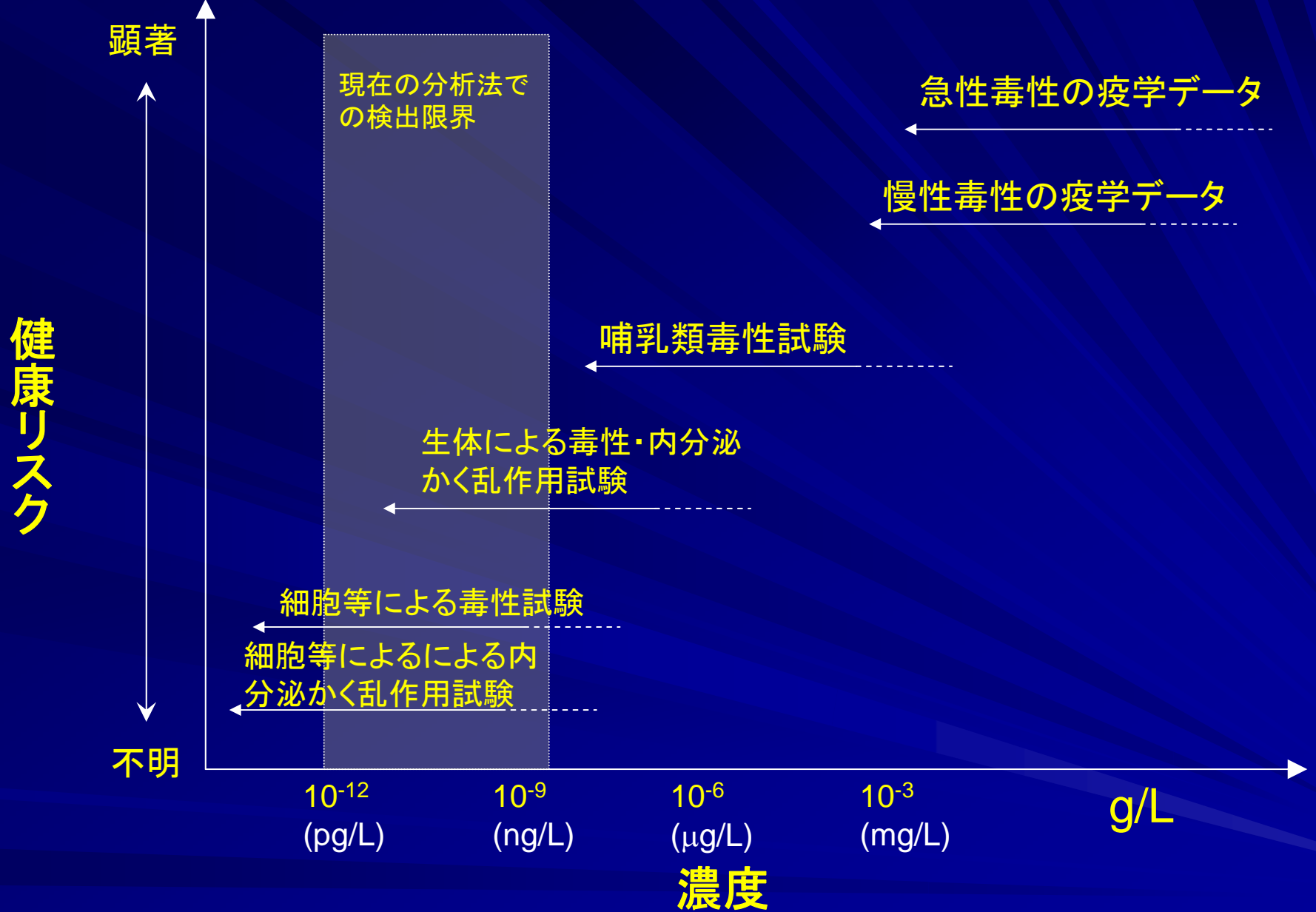




- ❑ 内分泌かく乱物質 (EDCs)
- ❑ 薬学的な活性化合物 (PhACs)
- ❑ 医薬品と日常ケア製品 (PPCPs)

Courtesy of  
Dr. Shane Snyder,  
Southern Nevada Water Authority





微量な有機化合物の様々な分析評価方法と人間の健康リスクへの重要性



# 水再利用の安全性

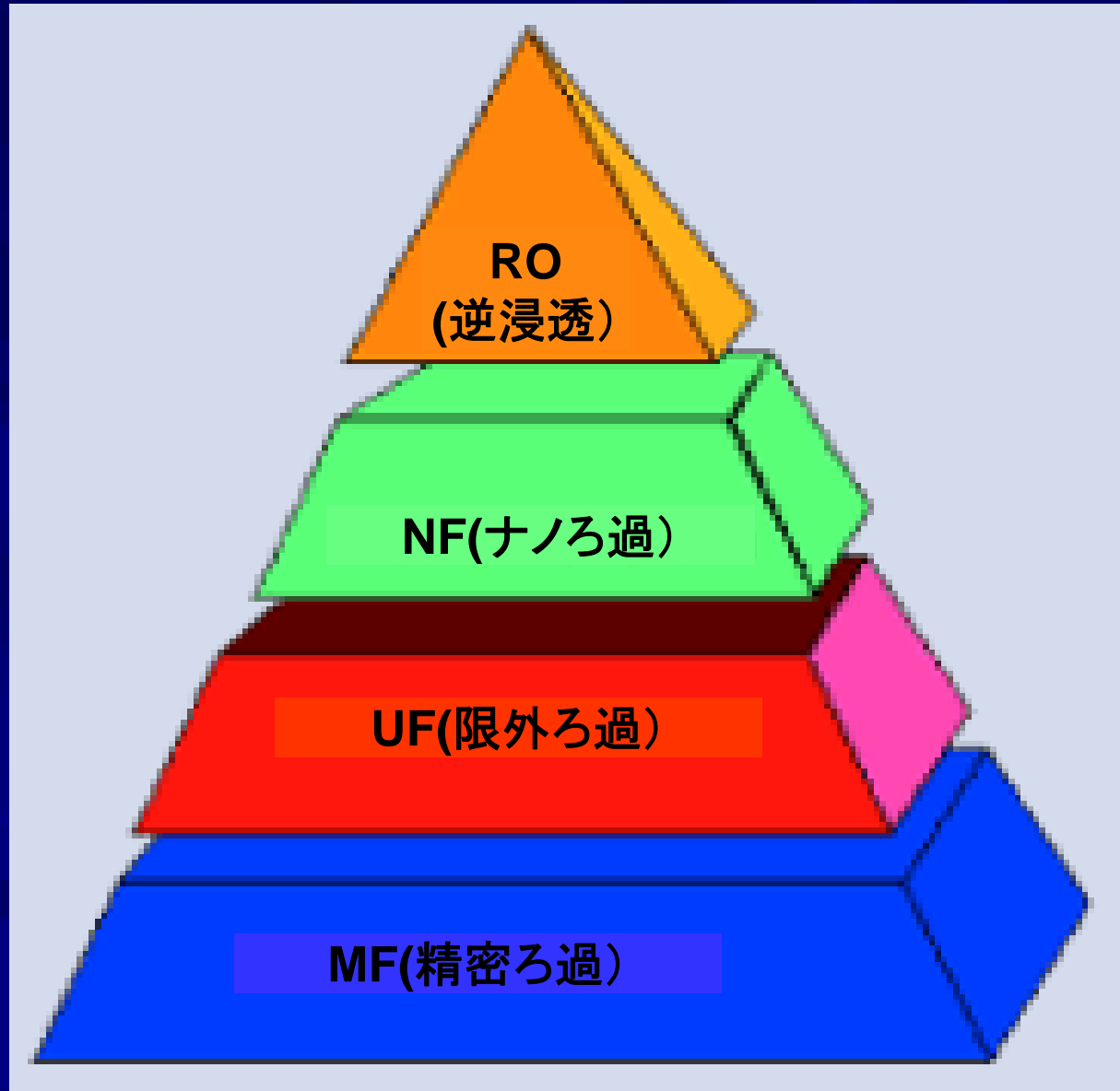
- 健康リスクの許容範囲の議論
  - 絶対的リスクか相対的リスクか
- 微生物学的なリスク評価
  - 処理技術による腸管系ウイルス管理
  - 規制による監視
- 化学物質曝露のリスク評価

# 近年の処理技術の向上

- よりよい膜処理技術
- 低い操作圧力
  - エネルギーコストの低減
- 目詰まりの低下（洗浄間隔の長時間化）
- 長寿命
- 安定したろ過水質
- 比較的安価



# 膜のタイプ



# Orange County Water District

<http://www.ocwd.com/>

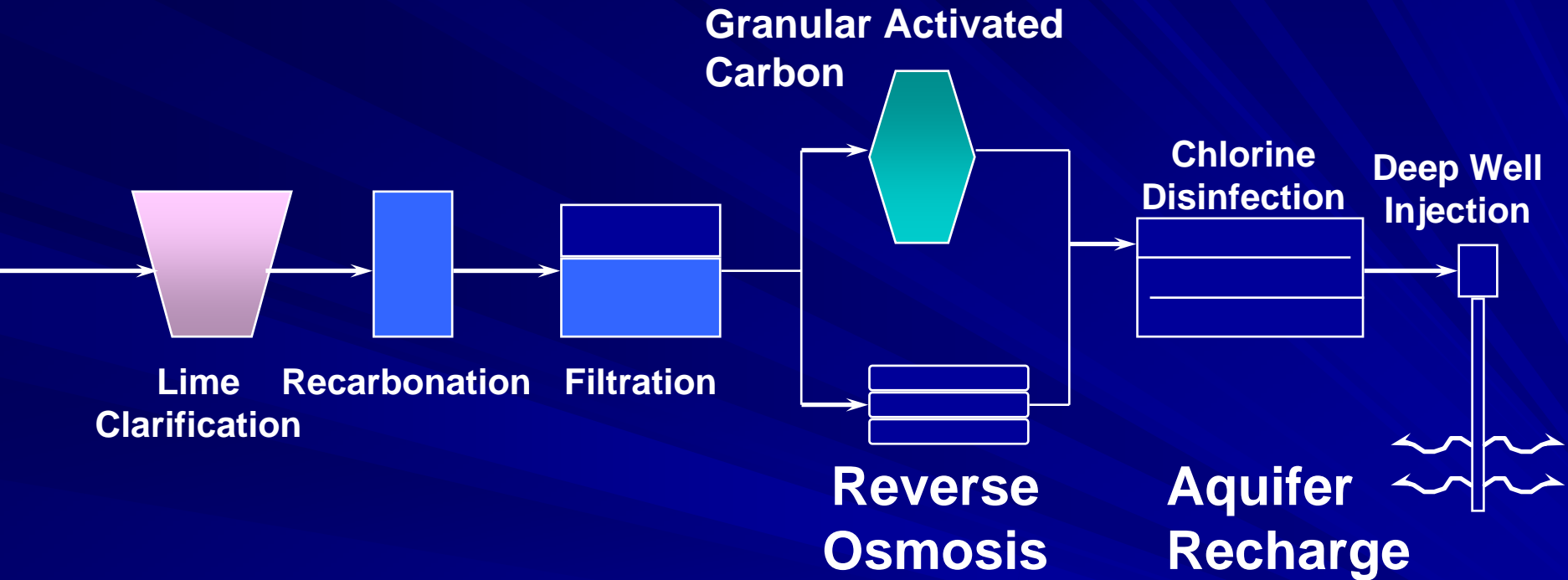
- サンタアナ川の水権利保護のために、1933年に設立
- 20の都市と200万人の居住者に供給する地下水の管理
- 地下水かん養水源: サンタアナ川、コロラド川、SWP(オロビルダム)、再生水
- Water Factory 21 (1976年より): 5千7百万m<sup>3</sup>/日
- 地下水かん養システム (GWRS), 2007  
4億8千7百万ドル プロジェクト; O&M 年間コスト \$2千6百万ドル



# Water Factory 21



# Orange County Water Factory 21



1976 - 2000

2千1百万 $m^3$ /年



# オレンジ郡への水供給に必要なエネルギー量

<u>水源</u>	<u>エネルギー必要量,</u> <u>kWh/m<sup>3</sup></u>
淡水化	3.5 – 4.0
州水プロジェクト	2.62
コロラド川	1.82
地下水かん養システム(GWRS)	1.19

# 地下水かん養システムの概要

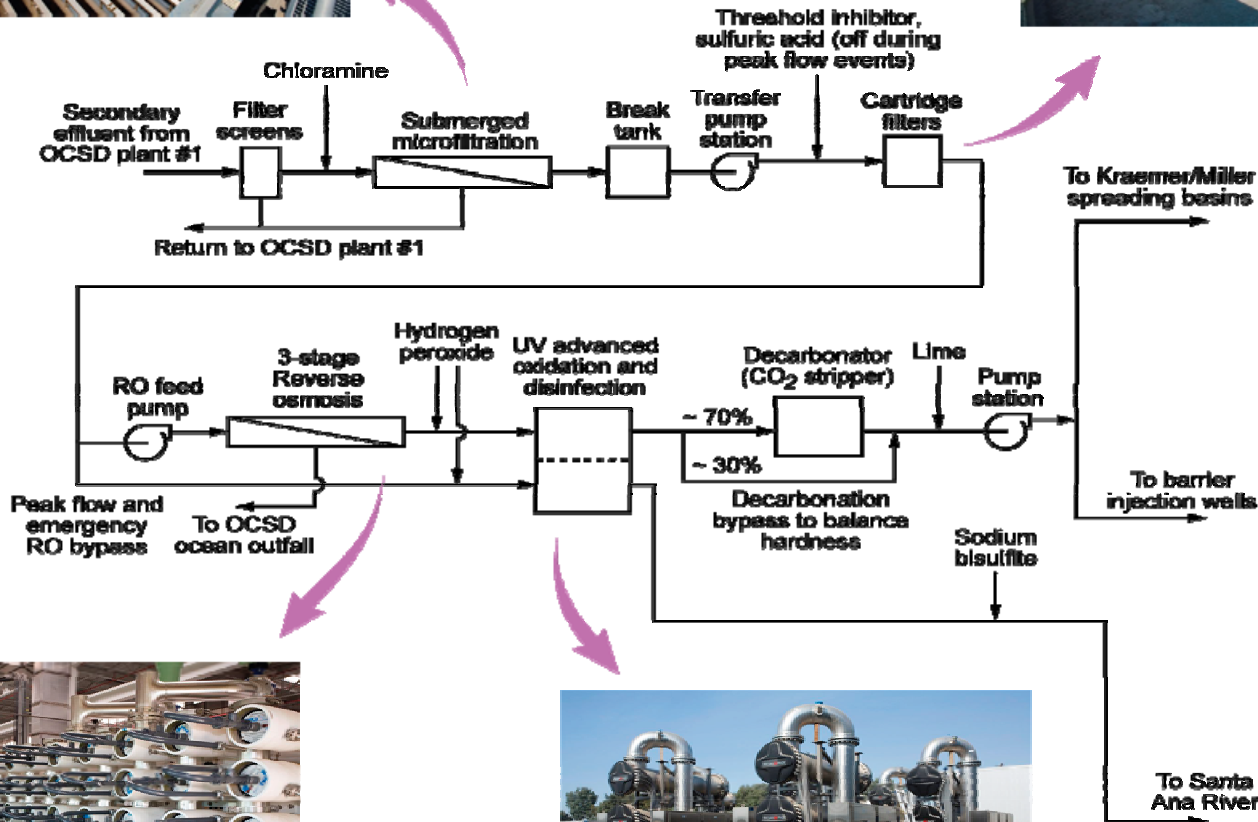
- 間接的な飲用水再利用プロジェクト
  - Phase I – 23万6千 m<sup>3</sup>/日
  - 最終目標 – 43万8千 m<sup>3</sup>/日
- 水処理方法: 100% MF, RO & UV + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
- 再生水の50%は、海水の侵入防止のため地下滞水層へ直接注入
- 残りの50%は、地表散布による地下のかん養
- OCWDとOCSDの共同プロジェクト



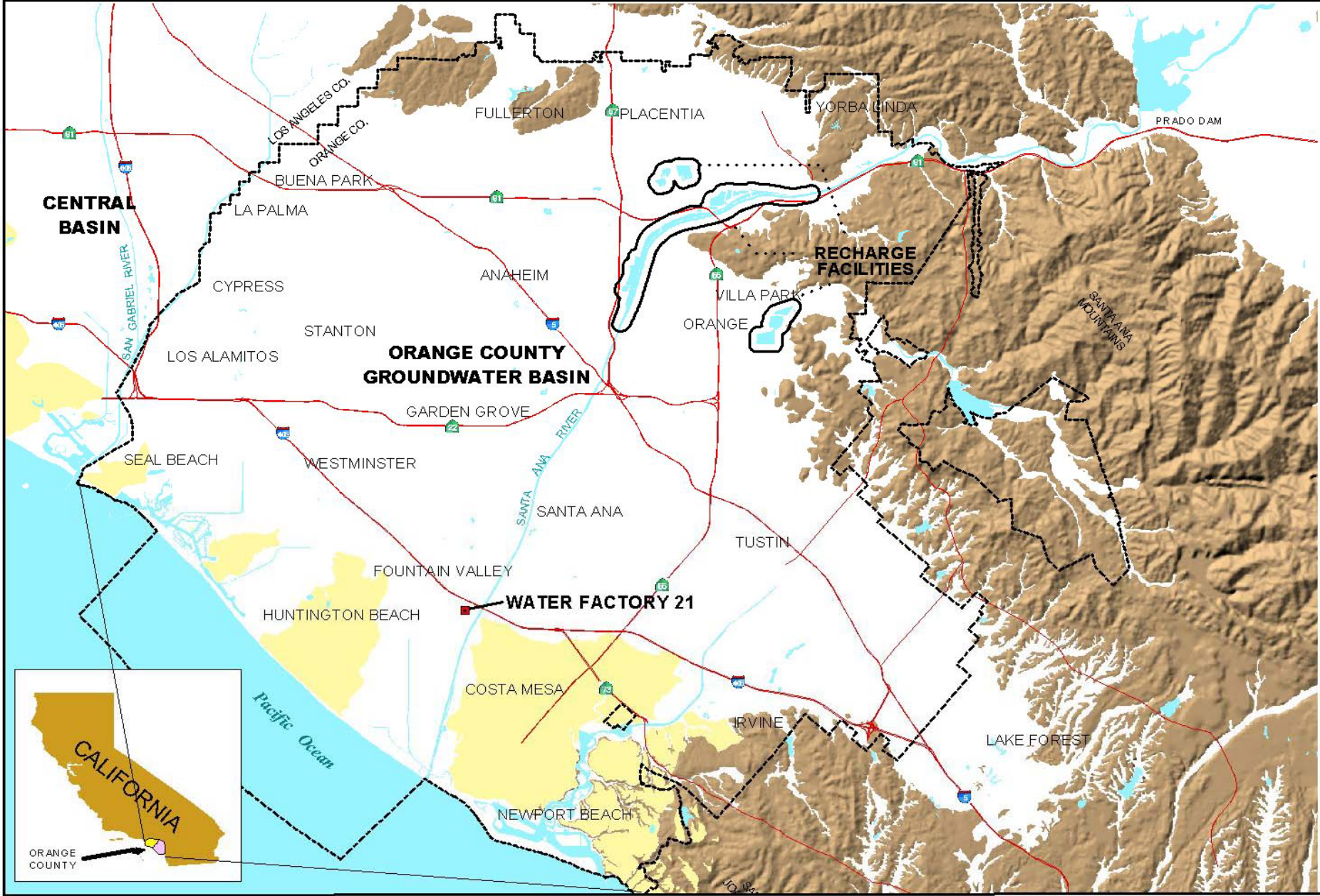
# 地下水かん養システムの地域的利点





- 地域への信頼性の高い水供給
- 水質の改善
- 渇水に強いオレンジ郡の水供給
- 海水の侵入からの地下水の保護
- 価値ある水資源の再利用
- 海域の排水汚染の減少

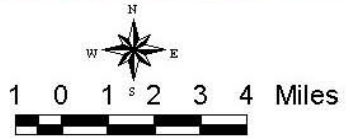
# 地下水かん養システム







-  MAJOR HIGHWAYS
-  OCWD BOUNDARY
-  MESA
-  NON-WATER BEARING FORMATIONS



Reproduced with permission granted by THOMAS BROS. MAPS®.  
© Thomas Bros. Maps. All rights reserved.

# 間接的な飲用水再利用

- 信頼されている機関:
  - 上水部局は下水部局より信頼される
- 水質改善の強調
- 再利用は環境によい
- リサイクルされた水は”下水再生水ではない”
- すべての水はリサイクルされた水である



# 間接的な飲用再利用実施上の問題点

- 新しい水の必要性が重要視されている
- 非飲用再利用は、経済的に限度に達する
- 間接的な飲用再利用 は将来的な水再利用の選択肢といえる
- 間接的な飲用再利用の技術は成熟している
- コスト的には競争力がある
- しかし、市民からの合意は確実ではない
- 価値、利益、代替手法についてのコミュニケーションが重要である

# 間接的な飲用再利用の失敗の例

## ■ サン・ディエゴの水再利用計画

– 政治的な民衆扇動

■ 環境に対する不平等の問題

■ The “Yuck” Factor: “Toilet-to-Tap”

## ■ ロス・アンジェルス イーストバレーの水再利用

– 政治的な民衆扇動による悪影響

– 市民の参加／知識の不足

## ■ リバモア市の水再利用プロジェクト

– 都市化に対する反対

– 新しく未知の薬品・微量有機物の健康上の懸念



# 結論

- 新しい水資源としての重要性は認識されている
- 非飲用水の再利用 (例えば灌がい) は経済的に限界に達している
- IPRは将来的な水再利用の選択肢といえる
- IPRの技術は成熟している
- コスト的には競争力がある
- **しかし、市民からの同意は確実でない**
- 価値、利益、代替手法についてのコミュニケーションが重要である
- ステークホルダーの参加と協力が必要である

# 水再利用の将来

- 統合的な地域に基づいた水資源計画
- 二元的な給水システム
- 地域循環(サテライト)による水再利用システム
- 間接的な飲用再利用
- 紫外線消毒の普及
- 膜プロセスの採用(精密ろ過と逆浸透)
- 微生物と医薬品のリスク評価
- 衛生基準の研究と適用
- 市民の理解と支持の研究





Adapted from Du Pont PERMASEP Permeators



