

将来の持続的な 都市圏水利用システム の実現に向けて

東京大学大学院工学系研究科
附属水環境工学研究センター・都市工学専攻
教授 古米弘明

2020年1月14日(火)@東京大学本郷キャンパス

1

流域水資源と都市自己水源の分類・整理

流域水資源 ……遠隔(リモート)型水資源

表流水(河川水とダム湖水)の評価

流れる水…フロー型、流下に伴う質変化

貯める水…ストック型、滞留に伴う質変化

都市自己水源 ……ユビキタス型水資源

雨水…間欠型、変動性大、滞留に伴う質変化

地下水…ストック型、安定性大、汚染への脆弱性
(浅層)、地盤沈下(深層)

再生水…フロー型、安定性大、水質改善コストとエネルギー

2

気候変動に適応した調和型都市圏水利用システムの開発

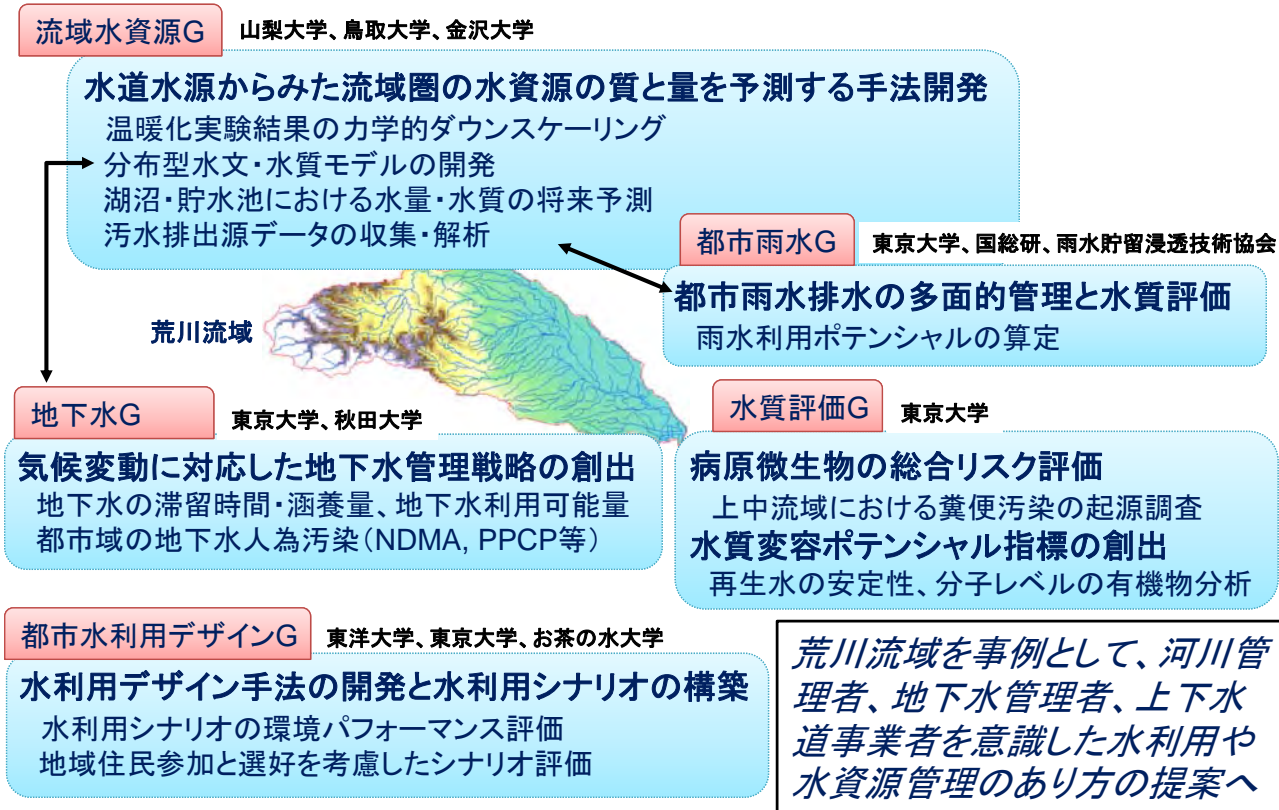
5つのグループによる連携研究

研究代表者：東京大学 古米 弘明

従来の水利用システムを見直し、気候変動に適応可能な新たな都市圏水利用システムを提示する。新たなシステムでは、多様な水資源の量・質と利用用途とのベストマッチを図ることで、需要と供給の調和がとれた水資源の適正配置を目指す。

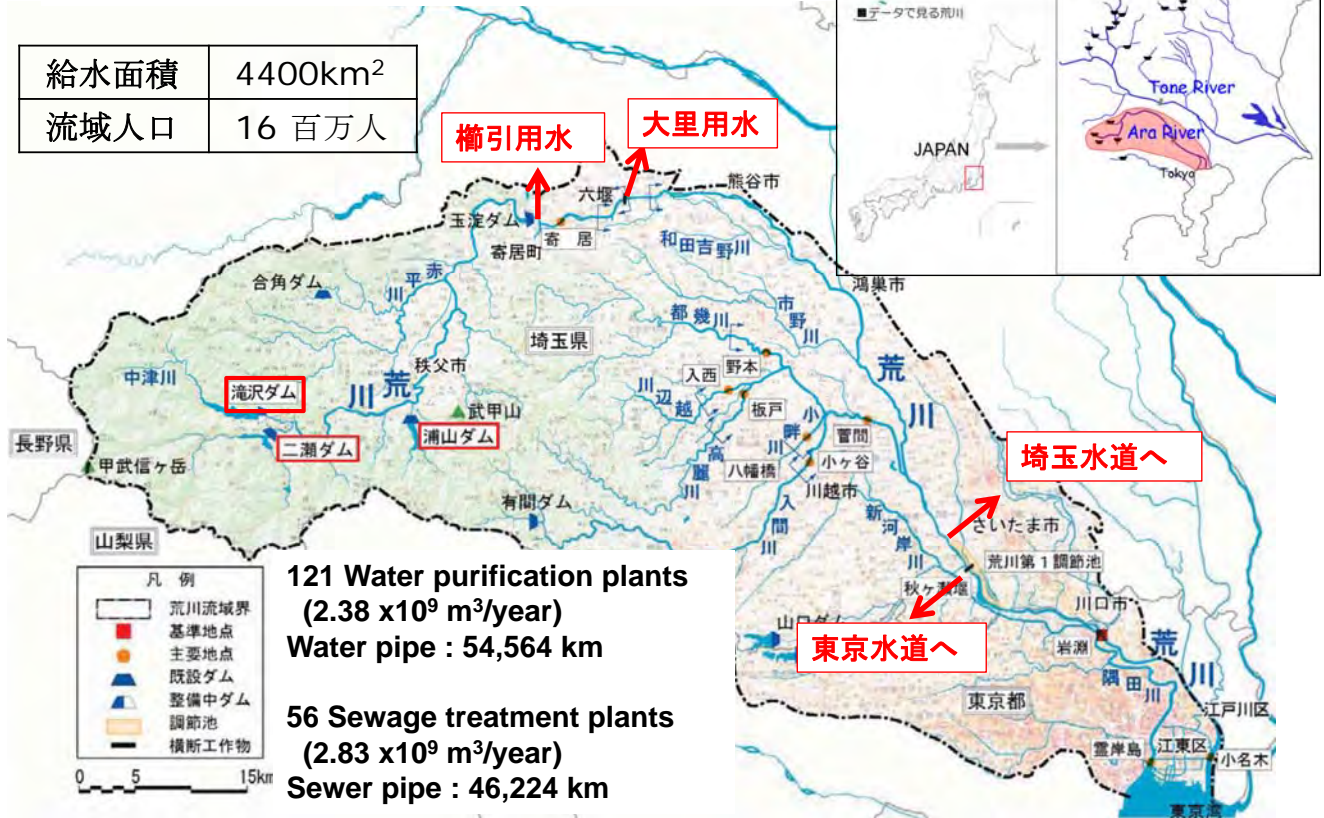


荒川流域都市圏における持続的水利用に向けて

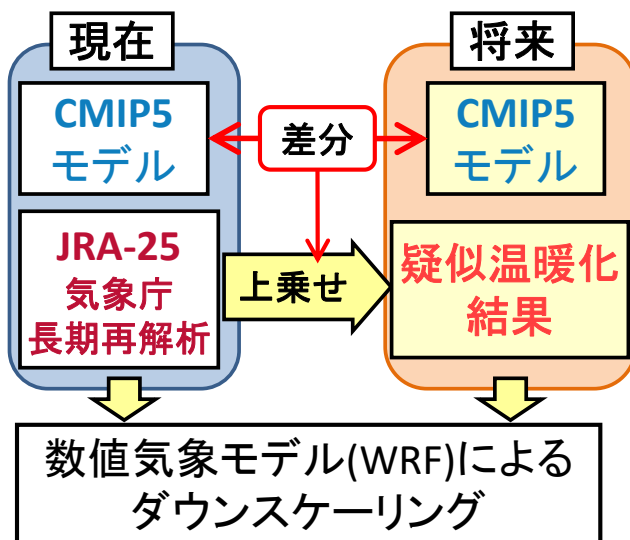


荒川流域における水利用

給水面積	4400km ²
流域人口	16 百万人

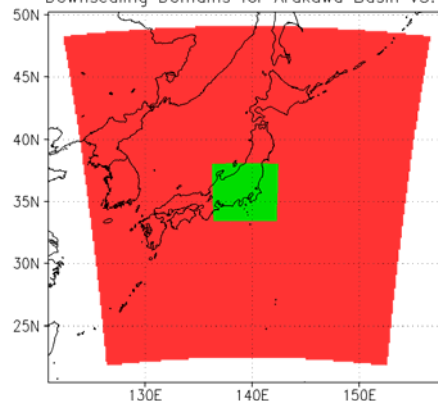


温暖化結果のダウンスケーリングの概要



対象領域と積分間隔

Downscaling Domains for Arakawa Basin V3.1



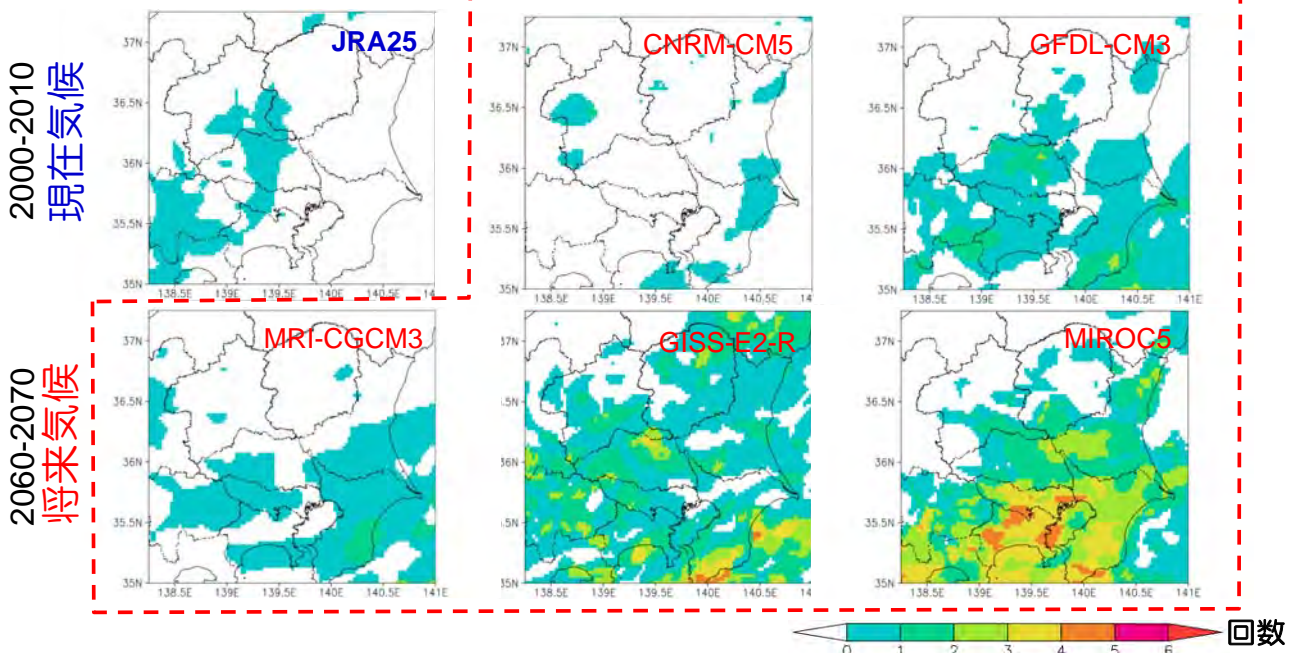
親領域 : 30 km × 30 km, Δt = 120sec.
子領域 : 6 km × 6 km, Δt = 24sec.

- 対象期間
現在気候: 2000–2010 (11年間), 将来気候: 2060–2070 (11年間)
- 疑似温暖化結果の作成手法
現在気候の11年平均場に2060~2070における6時間ごとの偏差を与える
→ 温暖化予測モデルによる日周変化, 季節変化, 年々変動の変化の幅を与えることが可能 (現在5つの温暖化予測結果を用いた計算が完了)

将来における荒川流域での降水量変化

荒川流域周辺での少雨年の発生頻度

対象とした11年のうち年降水量が現在の平均値の75%より少ない年数

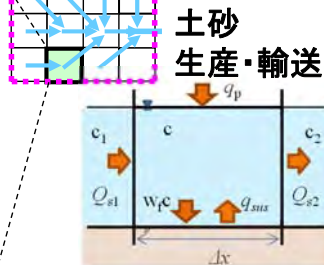
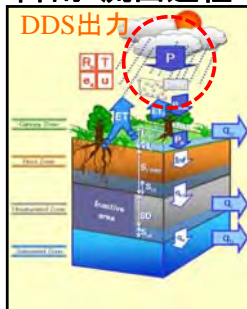


- 現在気候では生じないほど降水量の少ない年が複数生じる可能性も。

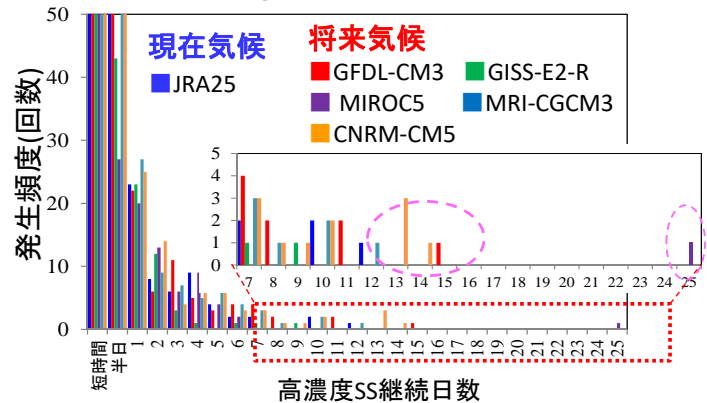
気候変動等に伴う水量・水質(土砂流出)の変化

分布型水文モデル

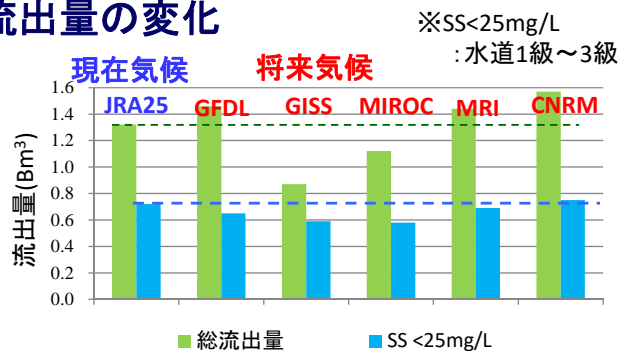
降雨・流出過程



高濃度SS(>25mg/L)発生頻度の変化



年流出量の変化



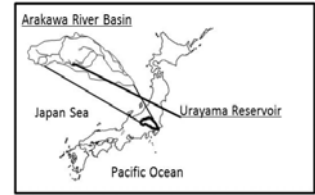
流域水資源量の将来予測

- 水道利用に適した河川水量(SS < 25mg/L)減少の可能性
- 濁水(SS > 25mg/L)継続時間長期化の可能性

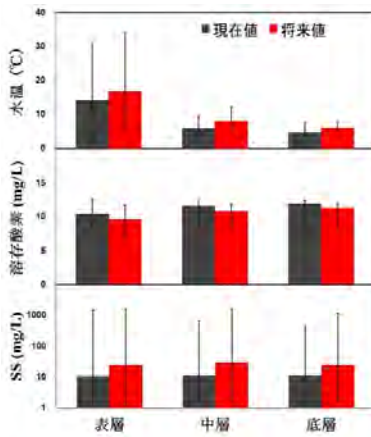
温暖化に伴う貯水池の水量・水質予測

主要対象貯水池：東京首都圏に重要な水ガメである浦山ダム

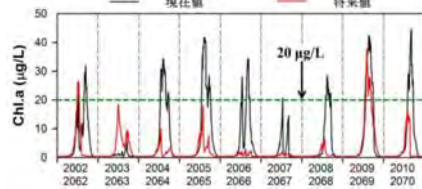
- ◆ 気象モデル＋流出予測モデル＋貯水池水質予測モデルの連携手法の確立
- ◆ 将来の貯水池内およびダム下流河川での水温・Chl.a・DO・濁度の変化予測
- ◆ 将来のダム附帯設備の弾力的運用による水質保全対策の検討



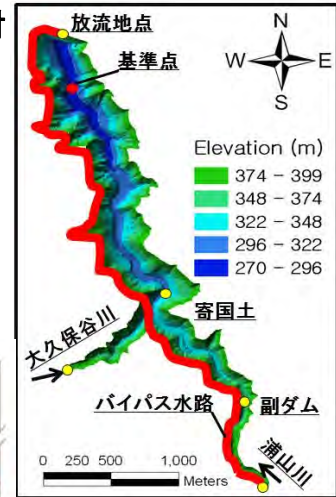
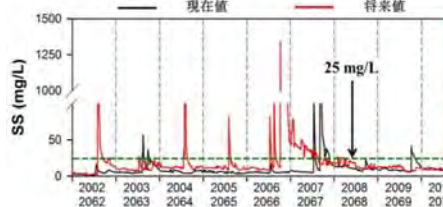
湖内における現在と将来の水質変化



貯水池内のChl.a評価



濁水放流の評価



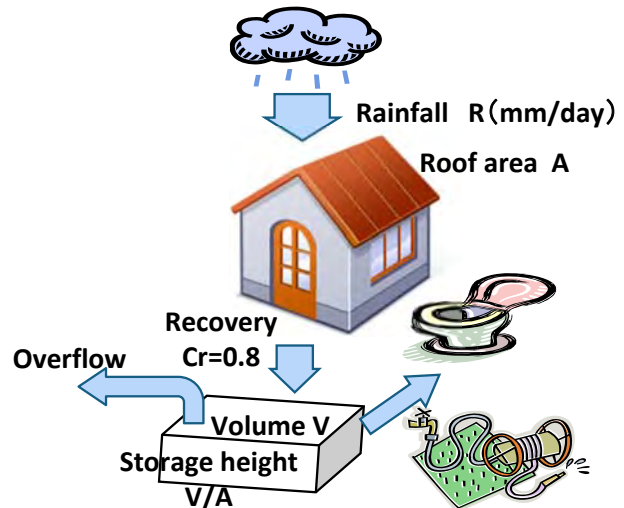
雨水利用量の算定

仮定

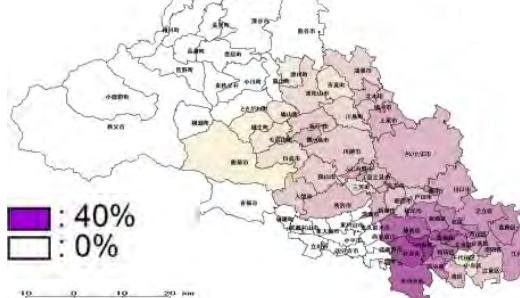
- 1) 住宅系・非住宅系の建物屋根面積に対し貯留高20mm, 50mm規模の貯留槽を設置
- 2) 住宅系で屋根面積に対し日最大4.4mm(トイレ)、非住宅系9.3mm(トイレ・散水)の雨水利用を行う

雨水利用可能量

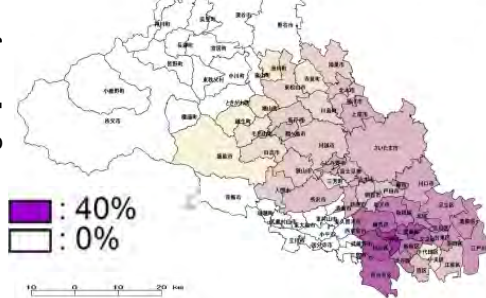
- 1) 荒川流域で年間66～100mm利用
- 2) 水道水使用量の14～21%に相当



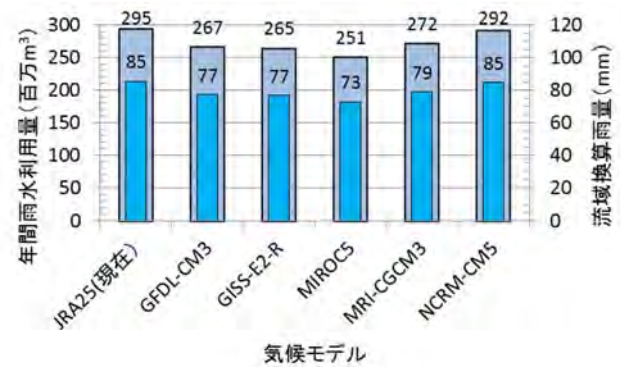
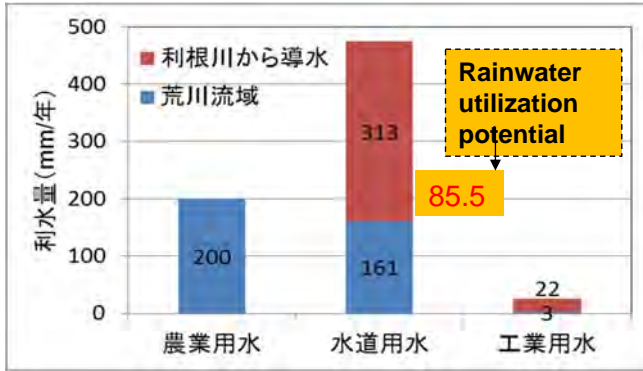
住宅系の建物屋根面積率



非住宅系の建物屋根面積率

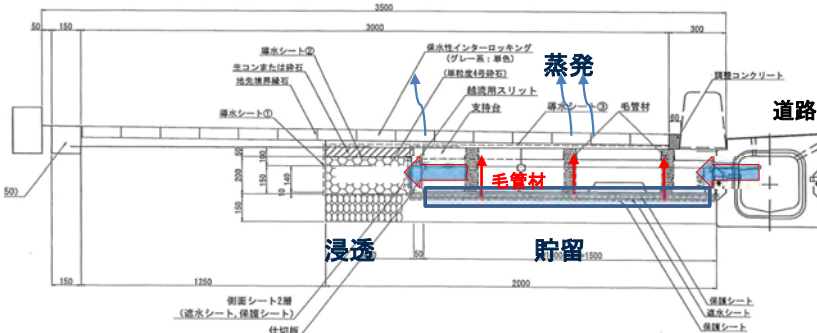


荒川流域における雨水利用ポテンシャル



最少降水年を対象 現況:2000~2010年 将来:2060~2070年	現況気候モデル	将来気候モデル					
	JRA25	GFDL-CM3	GISS-E2-R	MIROC5	MRI-CGCM3	NCRM-CM5	平均
雨水利用可能量(百万m³/年)	295.3	266.8	264.9	251.1	272.3	292.4	269.5
雨水利用可能高(mm/年)	85.5	77.2	76.7	72.7	78.8	84.7	78.0
荒川の水のみ水道用水 (161.1mm/年)に占める割合	53.1%	48.0%	47.6%	45.1%	48.9%	52.6%	48.4%
利根川からの導水を含む水道用水 (474.3mm/年)に占める割合	18.0%	16.3%	16.2%	15.3%	16.6%	17.8%	16.5%
雑用水需要高(194.3mm/年) に占める割合【充足率】	44.0%	39.8%	39.5%	37.4%	40.6%	43.6%	40.2%

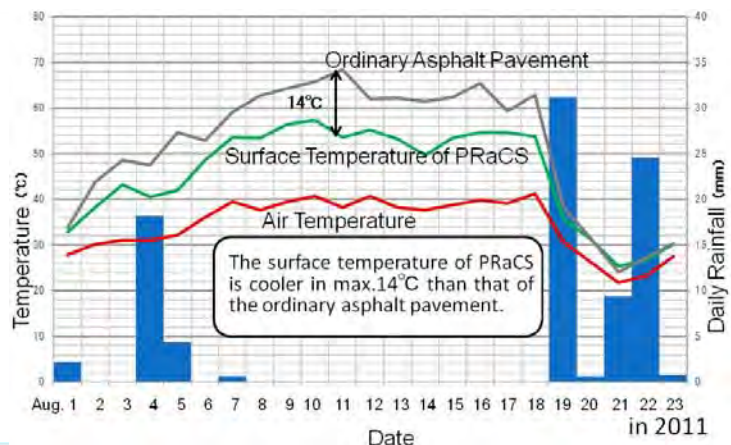
路面排水を対象とした貯留浸透施設の水質モニタリング



ポイント
 路面排水も初期雨水をカットして、貯留槽内に導水することにより、貯留水の水質悪化を防止する。透水性カラムにより、毛管現象で路面に貯留水を供給

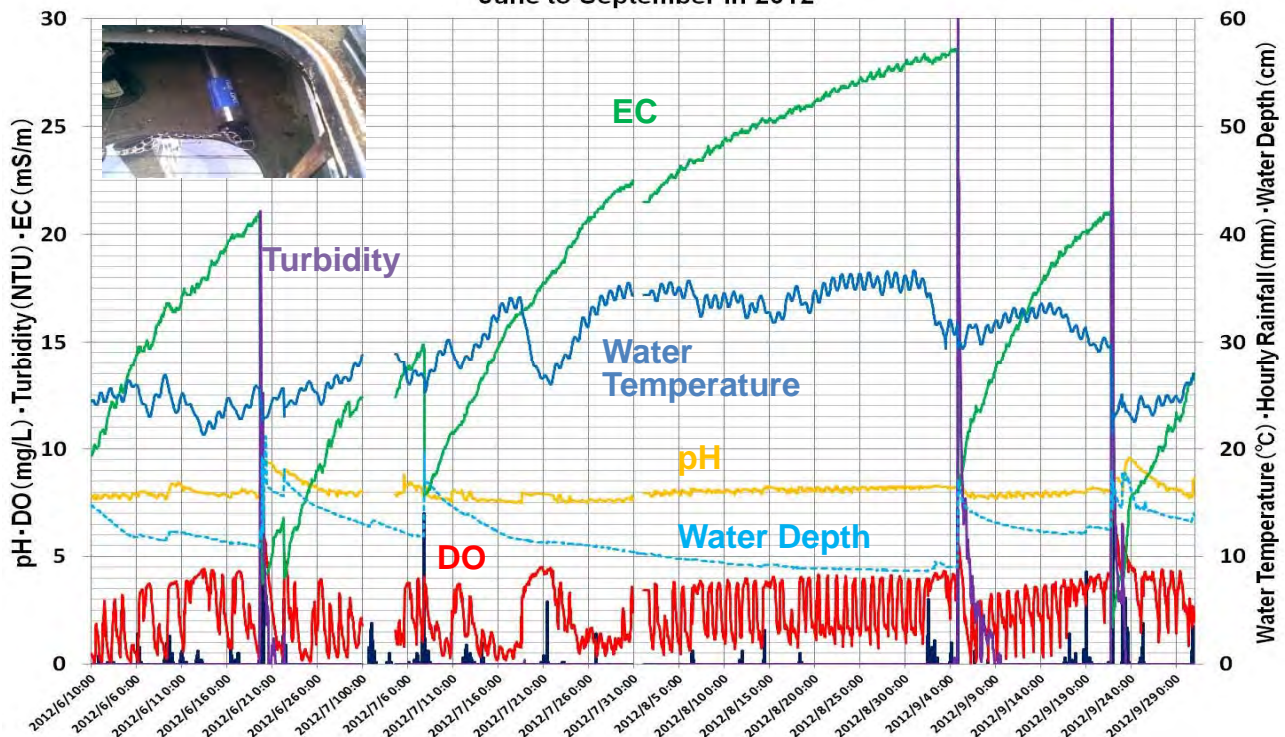


雨水の流出抑制と雨水を活用した地表面温度の低減



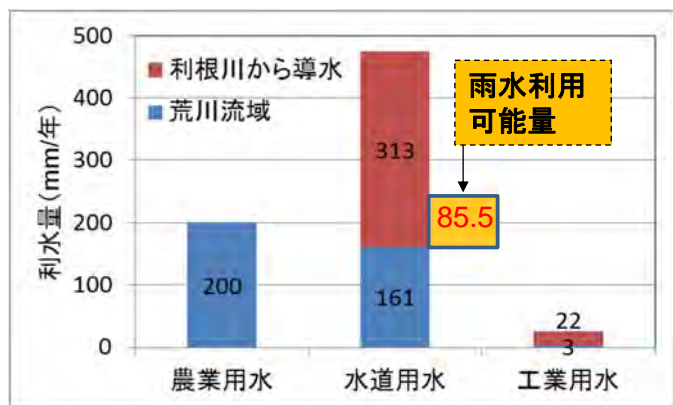
路面排水貯留槽内の水質変化 (2012年7月から9月)

June to September in 2012



荒川流域の雨水利用ポテンシャル

- 住宅系・非住宅系の建物全てに、それぞれ貯留高20mm, 50mm規模の貯留槽を設置して、住宅系で日最大4.4mm (トイレ)、非住宅系で9.3mm (トイレ・散水)の雨水利用を行うとした場合、荒川流域において、年間**85.5mm**の雨水利用が可能であり、これは現在の水道水使用量の**18%**に当たる。
- 将来の雨水利用ポテンシャルは、少しだけ減少する傾向がみられた。

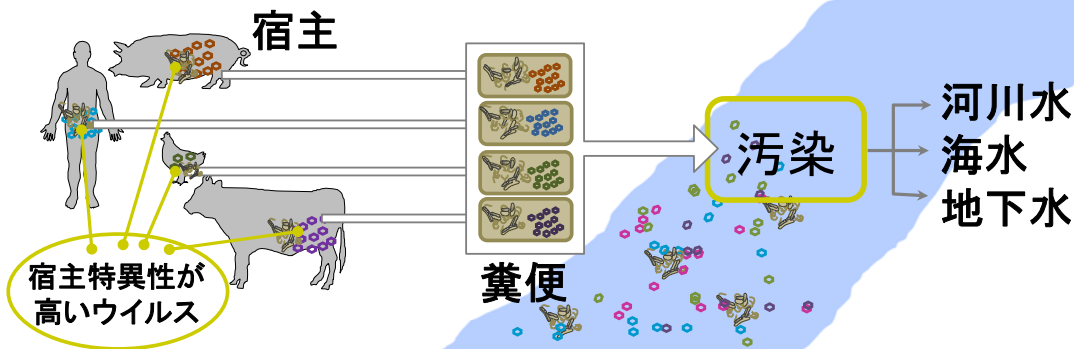


荒川流域における現在の利水状況と雨水利用ポテンシャル

最少降水年を対象 現況:2000~2010年 将来:2060~2070年	現況気候モデル		将来気候モデル				
	JRA25	GFDL-CM3	GISS-E2-R	MIROC5	MRI-CGCM3	NCRM-CM5	平均
雨水利用可能量(百万m ³ /年)	295.3	266.8	264.9	251.1	272.3	292.4	269.5
雨水利用可能高(mm/年)	85.5	77.2	76.7	72.7	78.8	84.7	78.0
荒川の水のみ水道用水 (161.1mm/年)に占める割合	53.1%	48.0%	47.6%	45.1%	48.9%	52.6%	48.4%
利根川からの導水を含む水道用水 (474.3mm/年)に占める割合	18.0%	16.3%	16.2%	15.3%	16.6%	17.8%	16.5%
雑用水需要高(194.3mm/年) に占める割合【充足率】	44.0%	39.8%	39.5%	37.4%	40.6%	43.6%	40.2%

ウイルス指標による糞便汚染起源追跡

各動物種由来ウイルスによる評価



水中から各動物種に特異的なウイルスの検出

検出された動物由来
糞便汚染を正確に評価

病原微生物の感染リスク

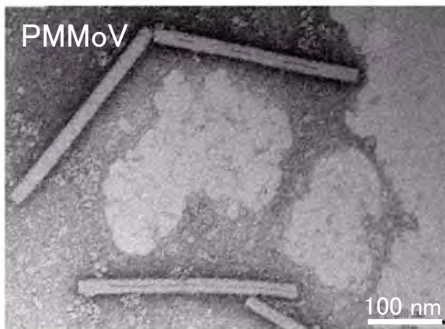
ヒト由来ウイルス → 腸管系ウイルス

ウシ由来ウイルス → クリプトスポリジウム

15

ウイルス指標の候補:

PMMoV (Pepper Mild Mottle Virus)



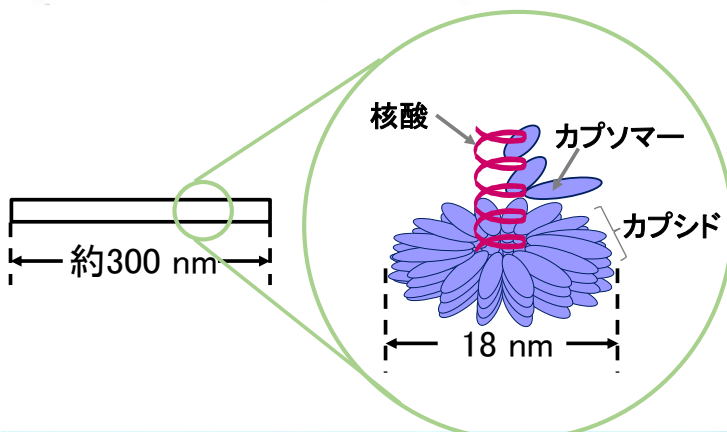
分類; トバモウイルス属

形状:らせん管状

遺伝子; 一本鎖RNA

直径; 約18 nm

長径; 約300 nm



植物ウイルス

16

PMMoVのウイルス指標としての可能性

1) Hamza et al., 2011; 2) Rosario et al., 2009

ヒト糞便および水環境中に最も大量に存在する^{1),2)}

糞便中のPMMoVは食物に由来すると考えられる

検出が容易である

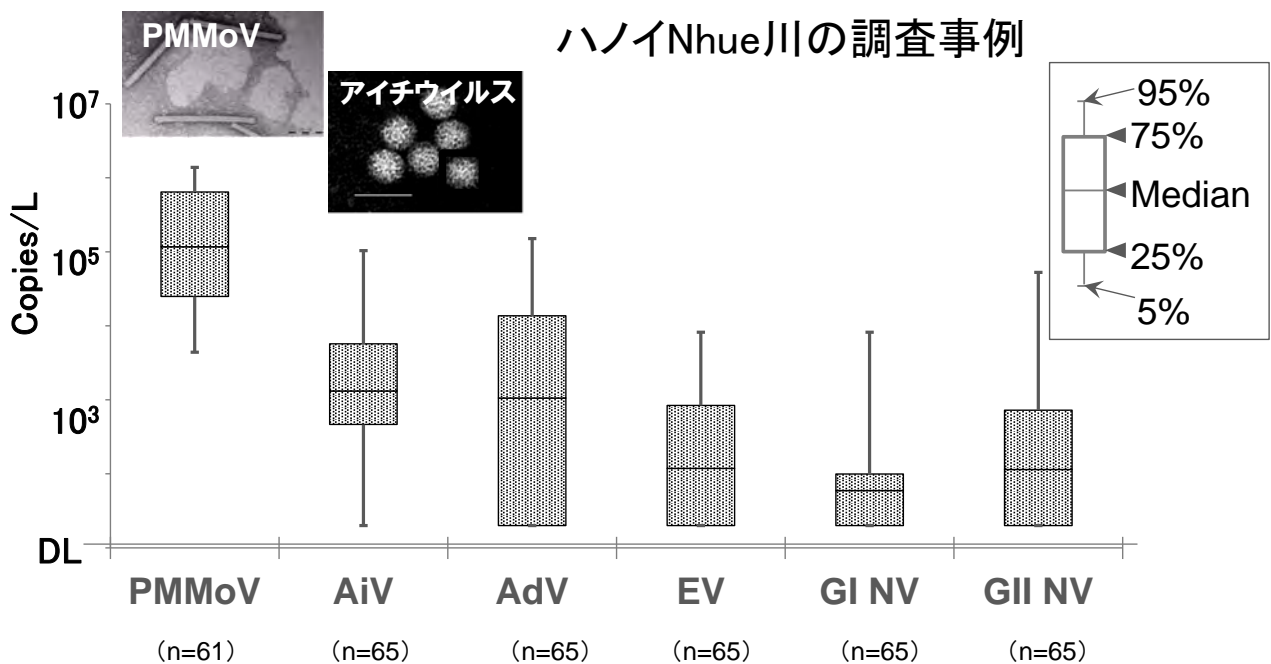
ヒト糞便汚染の有無を評価することが可能

PMMoVはヒト糞便汚染の有無を推定する指標として有効である可能性が高い

但し、水環境に存在するPMMoVの由来が明らかでない

17

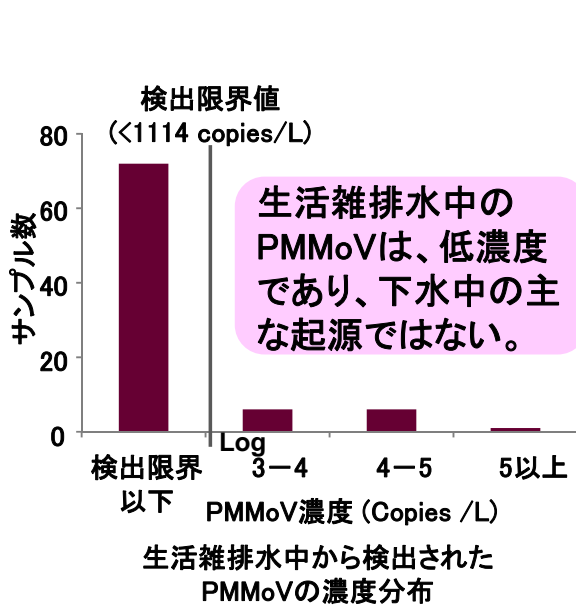
新規ウイルス指標を用いた水質評価法



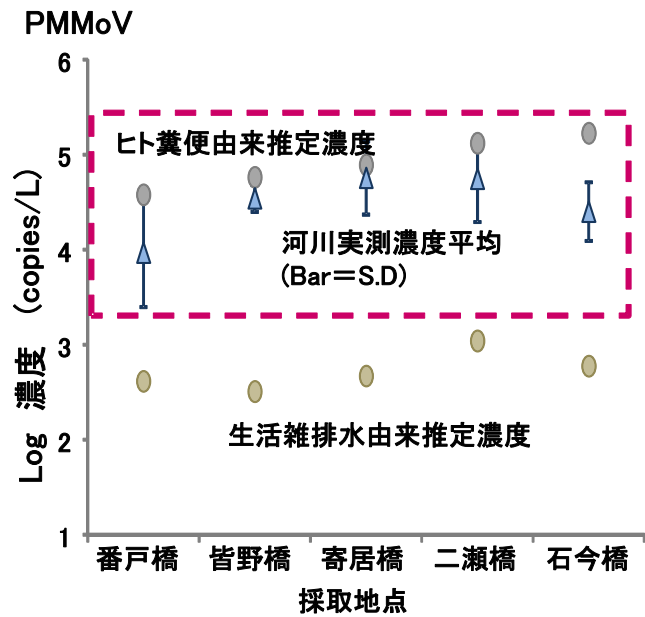
AiV(アイチウイルス)およびPMMoVは、AdVを含めたほかの腸管系ウイルスに比べ、安定かつ高濃度で水環境中に存在していることから、ヒト糞便汚染を表すウイルス指標として有望である。

18

PMMoVの起源推定(荒川調査)



出典: 1) Hamza et al., 2011; 2) Rosario et al., 2009



ヒト糞便、生活雑排水、水環境中のPMMoVの比較

水環境中のPMMoVは主にヒト糞便に由来し、PMMoVがヒト糞便汚染指標として有効なウイルス指標であることが示唆された。

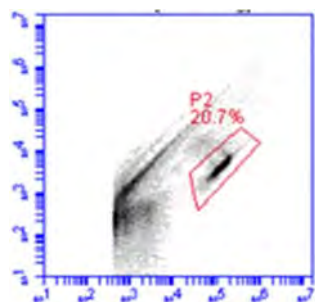
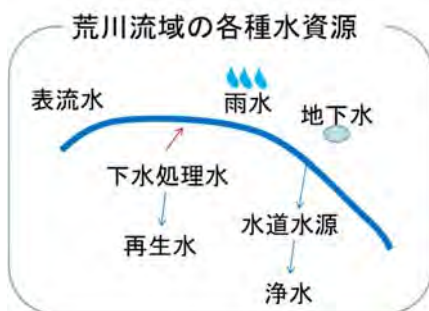
再生水を意識した新規水質指標の創出

1. 水質変容ポテンシャル→水質の時間的変容性

- 水質の時間的な変容性(細菌再増殖特性)
- AOCによる生分解性有機物の定量
- BGF(Bacterial Growth Fingerprint)による定性・定量評価・・・再生水を対象

2. 水の履歴に関する情報(Water CV)

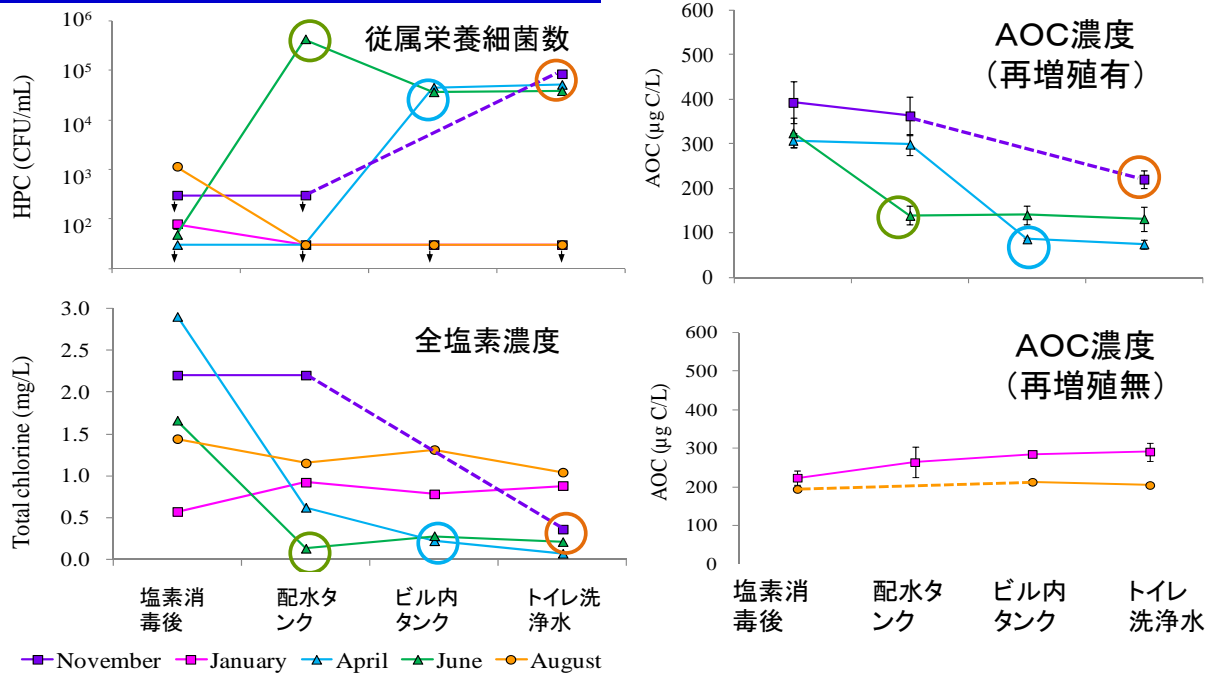
- FTMSにより、DOMの組成を化合物レベルで網羅的に評価
- 各種水資源に含まれる特徴的なDOM成分
- 荒川におけるDOMの変遷と水利用との関係



FTMS

再生水の安定性評価: 水質変容ポテンシャル

再生水における微生物再増殖現象



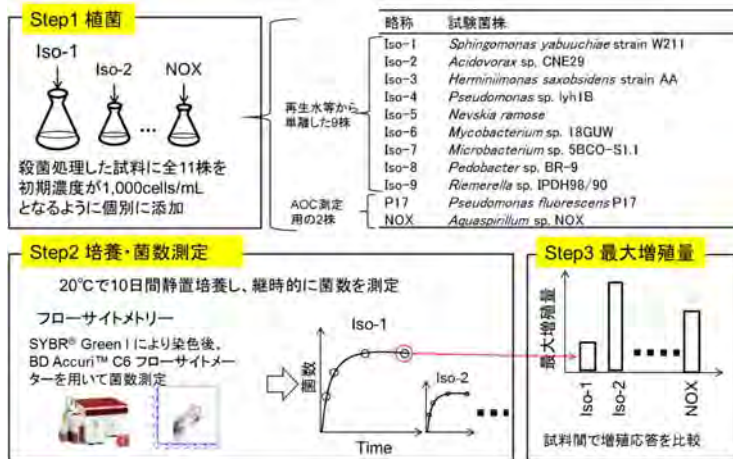
再増殖は、残留塩素が低下した時、AOCの消費を伴って起こっている

再生水の安定性評価: 水質変容ポテンシャル

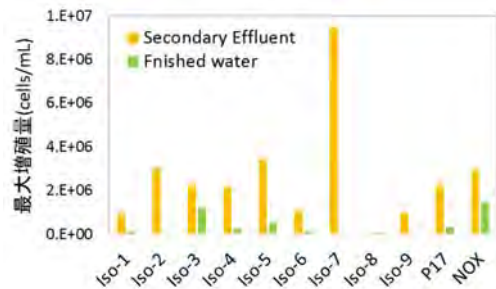
水質変容ポテンシャル評価法の開発

水質の時間的変容性を評価するために、細菌再増殖特性に関する新たな指標を開発した。

BGF (Bacterial Growth Fingerprint)



BGFの手順



二次処理水及び再生水のBGFの比較 (再生水処理施設A)

- 再生水の水質変容性を評価するBGFを新規に開発し、細菌再増殖に寄与するBOMの特性評価を可能にした。
- 工程水をBGFで解析することで、細菌再増殖に影響を及ぼす成分の動態を初めて明らかにした。

Major achievements

- Thayanukul et al. Water Res, 47, 225-232, 2012.
- Thayanukul et al. WST, 68, 1556-1565, 2013.
- 栗栖ら, 土木学会論文集 (印刷中).

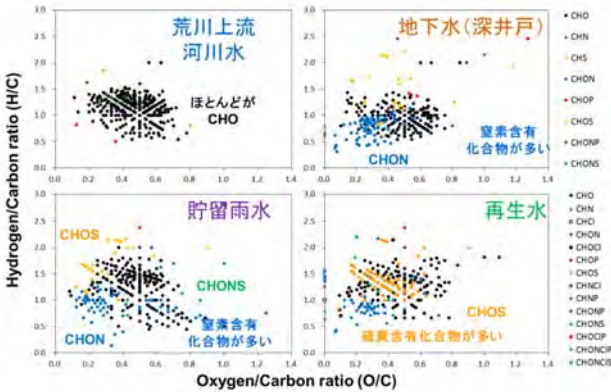
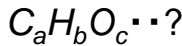
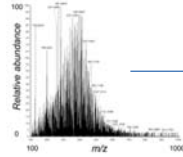
水の履歴 (Water CV) の評価

化合物レベルでのDOM分析

フーリエ変換質量分析 (FTMS)

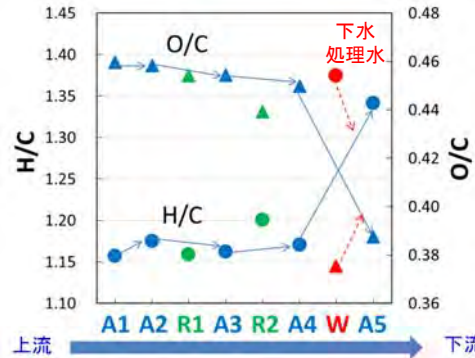


高精度な精密質量分析により、DOMを構成する分子の分子式を決定



多様な水資源のDOMの組成解析

DOMの組成を化合物レベルで網羅的に解析することにより、水の履歴 (Water CV) を解明した。



荒川流下過程における平均DOM分子元素組成の変化

- 荒川における下水処理水の影響を、DOMの分子レベルで初めて明らかにした。
- Water CVのマーカースとして、各水資源を特徴づけるDOMの分子組成を明らかにした。

Major achievements

- Urai et al., WST: Water Supply, 14, 547-553, 2014.
- Kasuga et al., IWA NOM Conference, 2013.

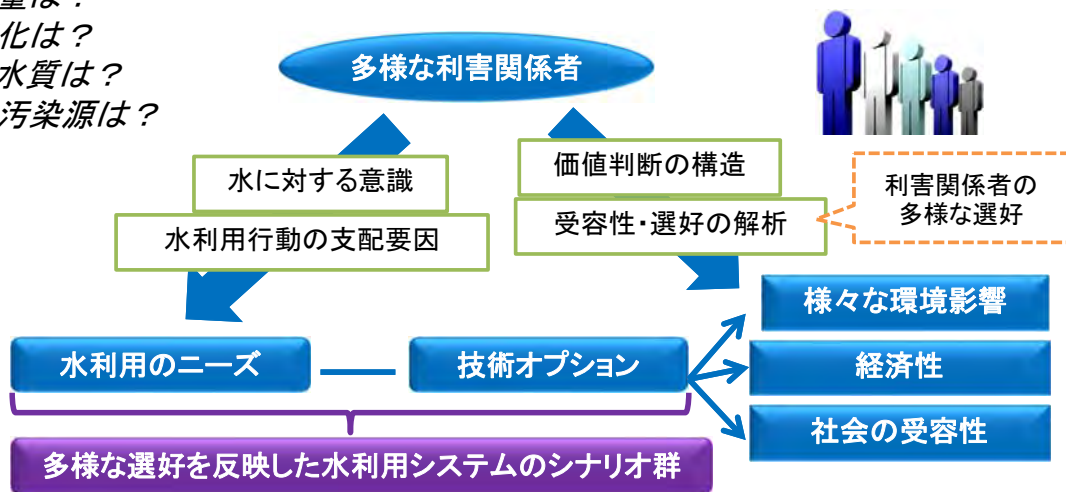
都市圏水利用デザインの手法論の提示

＜流域の水資源に関する知見＞

- 将来の流域降水量変化は？
- 河川流量は？
- 濁度変化は？
- ダム湖水質は？
- 表流水汚染源は？

＜雨水利用に関する知見＞

- 雨水の水質は、活かし方？
- 雨水利用ポテンシャル？



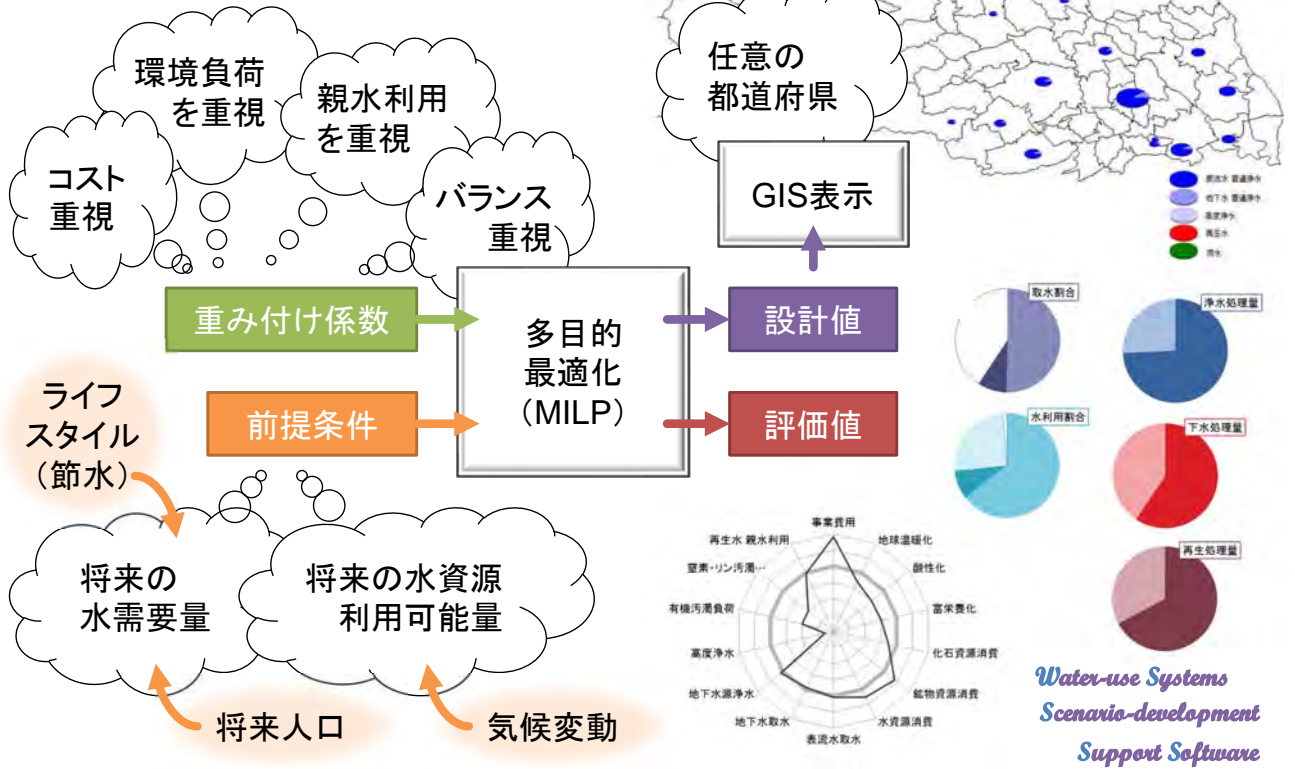
＜再生水利用に関する知見＞

- ウイルス指標は？
- 再生水の安定性？
- 再生水の消毒処理は？

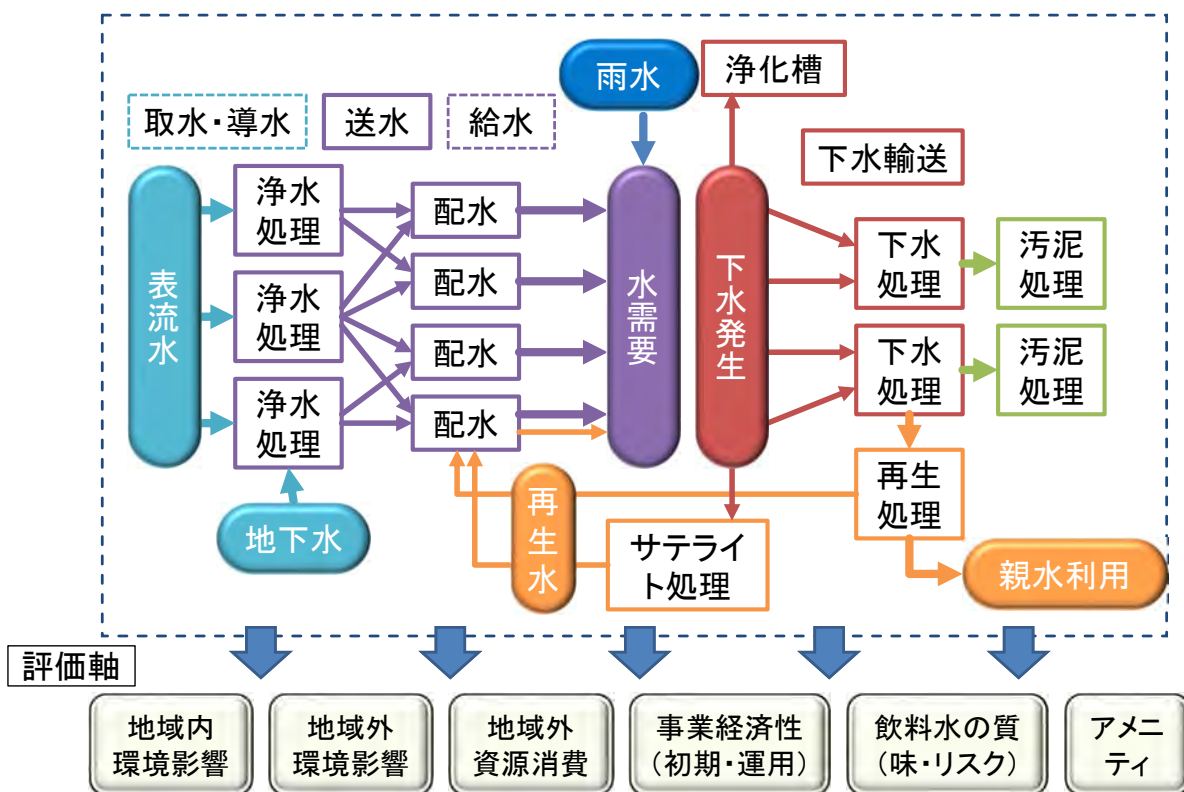
＜地下水利用に関する知見＞

- 地下水涵養量は？
- 利用可能量は？
- 地下水汚染の見える化？

水利用システムシナリオ生成 支援ソフトウェア *W4S*



水利用シナリオの範囲と要件

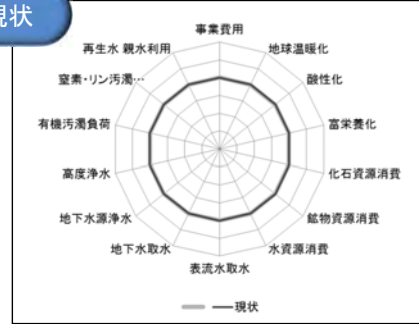


シナリオの現状との比較

コスト最小化



現状



安全性重視



地盤沈下回避



シナリオ表示例：費用最小化

各浄水処理施設からの配水量



取水割合



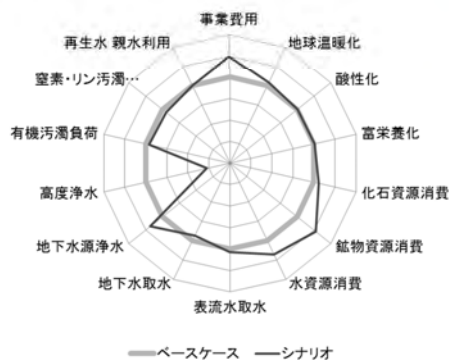
下水処理施設への収集下水量



水利用割合



現状との相対比較



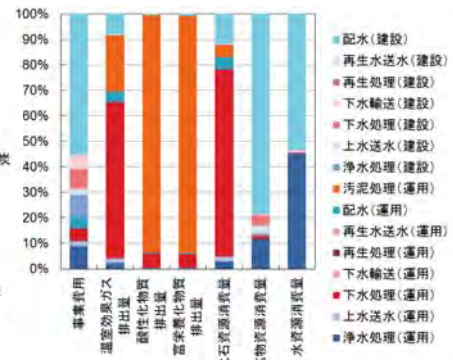
浄水処理能力



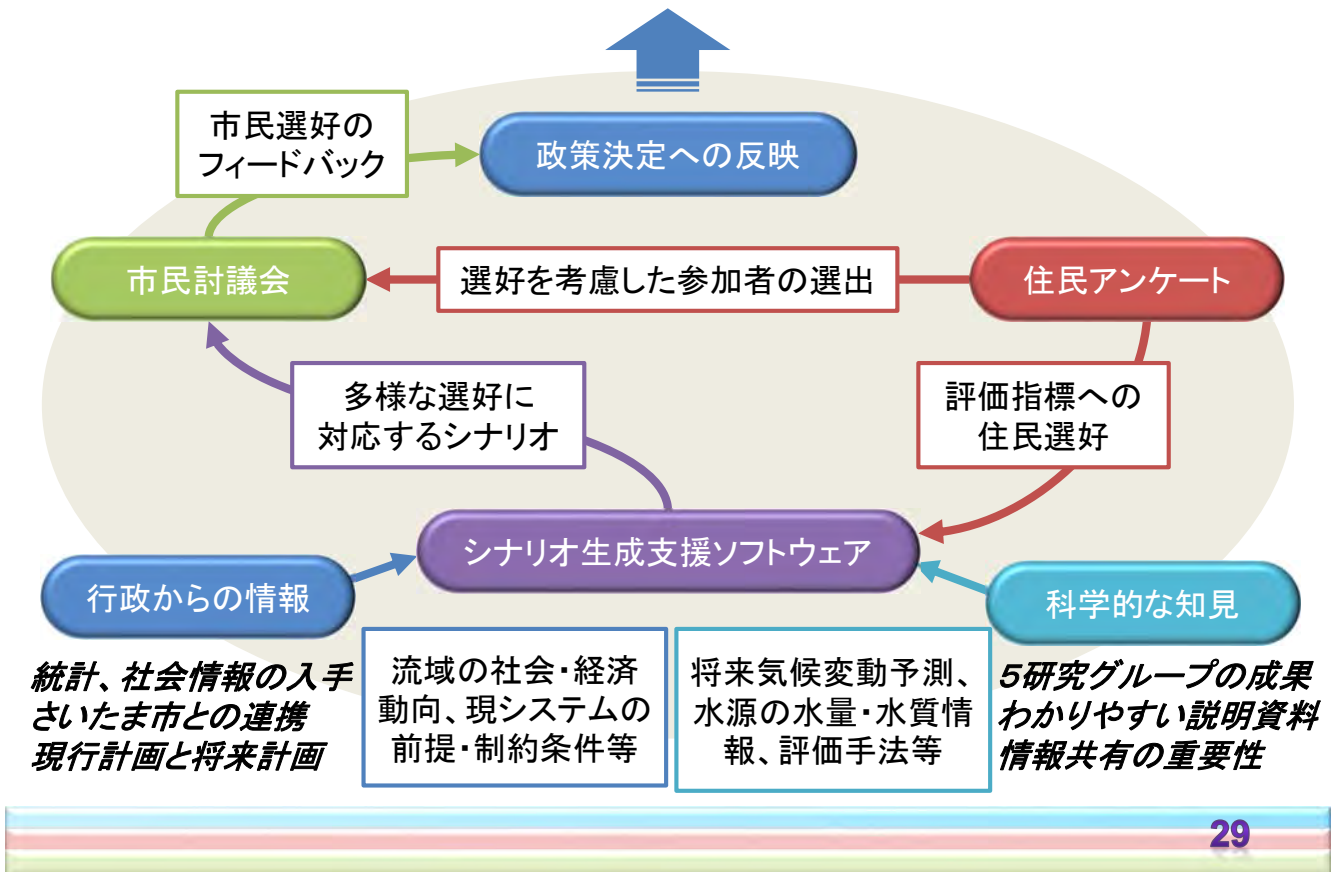
下水処理能力



プロセスごとの寄与度



中長期的な水利用システムのデザイン手法



ご静聴、ありがとうございました。

プロジェクトHP : <http://www.recwet.t.u-tokyo.ac.jp/crest2009/>

一般向け研究成果
紹介冊子



ハノイ国際シンポジウム



2012.11.7 (Hilton Hanoi Opera Hotel)

第2回荒川ワークショップ



2014.11.11 (東大: 山上会館にて)

Google Mapを活用した
雨水・再生水利用
施設等データマップ
WEB掲載

