

令和4年11月4日（金）18:30～20:00 於：オンライン



## 第42回SciREXセミナー

どうする？日本のインフラマネジメント  
～点検データの山から見出す意思決定の道筋～

インフラマネジメント政策の  
評価・効果検証のための方法論の開発

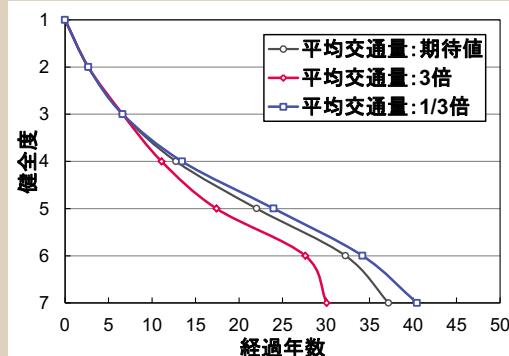
東北大学 大学院工学研究科 土木工学専攻

助教 水谷 大二郎

Email: daijiro.mizutani.a5@tohoku.ac.jp

# インフラマネジメントサイクル

## 【統計的劣化予測】



## 【マネジメント施策最適化】

マルコフ決定過程、動的計画法  
 ライフサイクル費用と劣化リスクに基づきマネジメント施策を最適化



## 【アセットマネジメント計画, 運用, 点検・補修】

このマネジメントサイクル 자체のパフォーマンスは,  
 ライフサイクル費用や劣化リスクに基づき計量し得る  
 →他の評価方法は無いか？

また, 補修効果の事後評価や補修プロファイリング技術の効果の  
 評価方法については, 更なる研究開発の余地がある

# インフラアセットマネジメントシステム

ISO 55001: 2014 Asset management — Management systems —の要求事項

<b>4 組織の状況</b>	2
<b>4.1 組織及びその状況の理解</b>	2
<b>4.2 ステークホルダーのニーズ及び期待の理解</b>	2
<b>4.3 アセットマネジメントシステムの適用範囲の決定</b>	2
<b>4.4 アセットマネジメントシステム</b>	3
<b>5 リーダーシップ</b>	3
<b>5.1 リーダーシップ及びコミットメント</b>	3
<b>5.2 方針</b>	3
<b>5.3 組織の役割、責任及び権限</b>	4
<b>6 計画</b>	4
<b>6.1 アセットマネジメントシステムに関するリスク及び機会への取組み</b>	4
<b>6.2 アセットマネジメントの目標及びそれを達成するための計画策定</b>	4
<b>7 支援</b>	5
<b>7.1 資源</b>	5
<b>7.2 力量</b>	6
<b>7.3 認識</b>	6
<b>7.4 コミュニケーション</b>	6
<b>7.5 情報に関する要求事項</b>	6
<b>7.6 文書化した情報</b>	7
<b>8 運用</b>	8
<b>8.1 運用の計画策定及び管理</b>	8
<b>8.2 変更のマネジメント</b>	8
<b>8.3 外部委託</b>	8
<b>9 パフォーマンス評価</b>	8
<b>9.1 監視、測定、分析及び評価</b>	8
<b>9.2 内部監査</b>	9
<b>9.3 マネジメントレビュー</b>	9
<b>10 改善</b>	10
<b>10.1 不適合及び是正処置</b>	10
<b>10.2 予測対応処置</b>	10
<b>10.3 継続的改善</b>	10

マネジメントサイクルが中核ではあるものの、その他にも多様なプロセスでマネジメントシステムは構成される

インフラマネジメントに関する費用とパフォーマンス（できればリスクも）の観点からマクロ的な政策評価を行うことが望まれる

\*下水処理施設の包括的民間委託導入効果：  
確率的フロンティア分析による費用効率性評価

\*貝戸清之, 竹末直樹, 水谷大二郎, 小林潔司：  
下水処理施設の包括的民間委託導入効果：費用効率性に基づく評価,  
土木学会論文集（投稿中）

# 下水処理施設の包括的民間委託

(平成28年4月時点 国土交通省調査による)



導入効果の従来の評価方法：当該自治体に対するアンケート調査



→ 調査結果にバイアスが生じる可能性

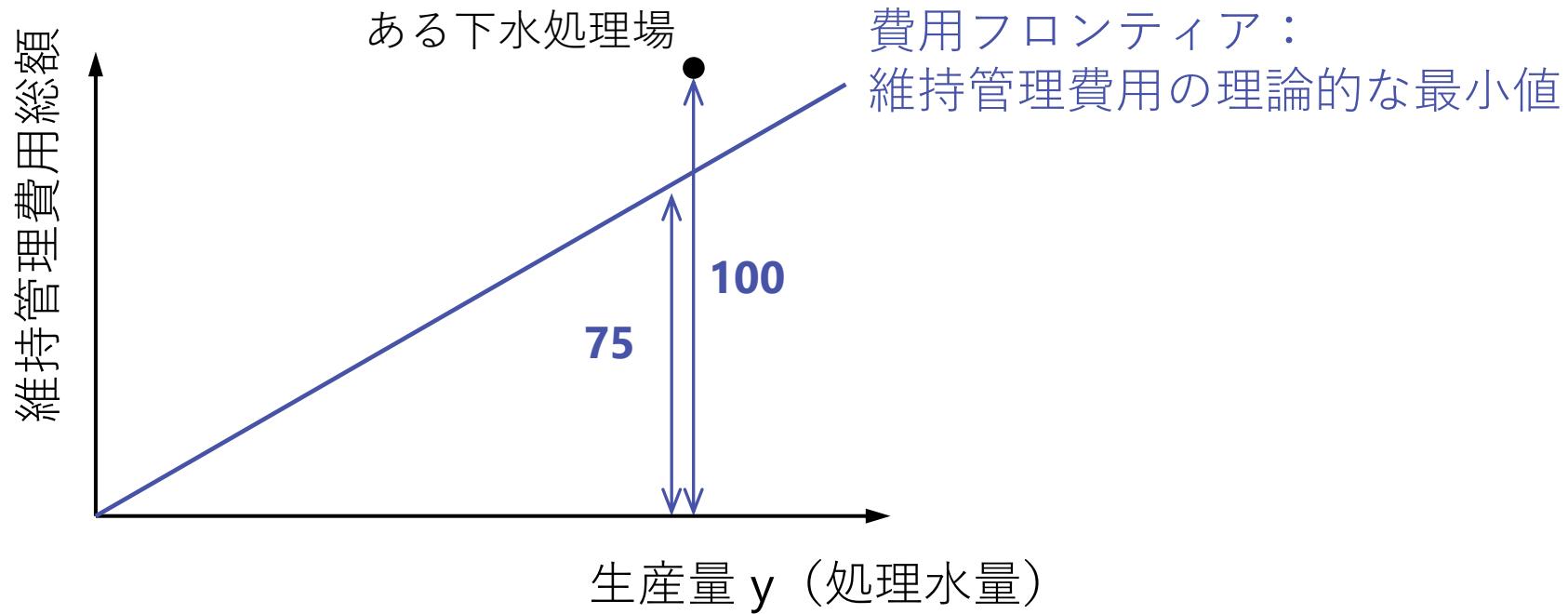
包括的民間委託導入効果の客観的、定量的評価方法論の必要性  
具体的な効率性改善方法の示唆

# 研究目的

政策の導入・変更効果を定量的に評価するための方法論の開発  
→確率的費用フロンティア分析によるアプローチ

下水処理施設の包括的民間委託を事例に、実証分析を実施

# 費用効率性の定義



→ 費用効率性 (SCE) : 0.75

# 確率的費用フロンティアモデル

$$\begin{aligned}
 & \ln E_{t,k} \\
 &= \ln c(y_{t,k}, \mathbf{w}_{t,k}; \boldsymbol{\beta}) + v_{t,k} + u_{\delta_{t,k}, k} \\
 &= \beta_0 + \beta_y \ln y_{t,k} + \sum_{m=1}^M \beta_m \ln w_{t,k,m} \\
 &\quad + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^M \sum_{l=1}^M \beta_{n,l} \ln w_{t,k,n} \ln w_{t,k,l} + v_{t,k} + u_{\delta_{t,k}, k}
 \end{aligned}$$

$E$  : 年間維持管理費用総額（修繕費除外）

$y$  : 年間処理水量

$w_1$  : 運転管理委託費単価

$w_2$  : 汚泥等処分委託費単価

$w_3$  : ユーティリティ消耗品費単価

$w_4$  : その他費用単価

- 実データから費用フロンティア（費用関数）を統計的に推定
- 包括的民間委託導入の有無に応じた費用効率性の差異を定量化

# 費用効率性評価方法

## 観測データ

$E$ ：年間維持管理費用総額（修繕費除外）

$y$ ：年間処理水量

$w_1$ ：運転管理委託費単価

$w_2$ ：汚泥等処分委託費単価

$w_3$ ：ユーティリティ消耗品費単価

$w_4$ ：その他費用単価



## MCMC法によるパラメータのベイズ推定（サンプリング）

費用関数のパラメータベクトル  $\beta$ , 各処理施設の包括的民間委託導入前後の費用効率性指標（SCE）の標本を各9,000個獲得



## 費用効率性評価：マクロ評価

- 処理施設ごとのSCEの平均値のヒストグラムを比較
- ノンパラメトリック検定（Wilcoxonの符号付き順位検定）により、包括的民間委託導入前後の管理効率性の変動に関する全体的な傾向を定量化



## 費用効率性評価：個別評価

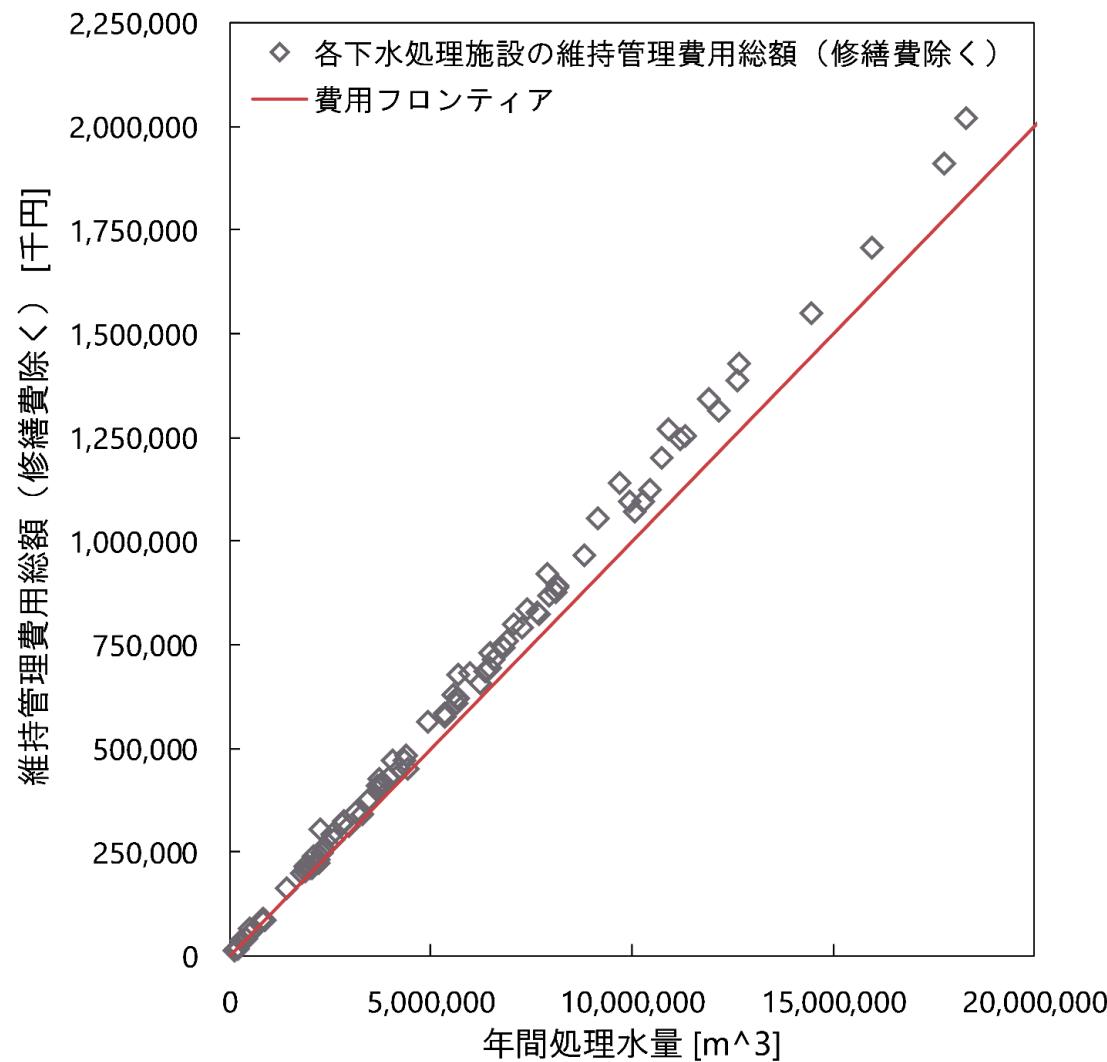
- 処理施設ごとに、包括的民間委託導入前後の各9,000個のSCEのヒストグラムを比較
- ノンパラメトリック検定（Wilcoxonの符号付き順位検定）により、処理施設ごとの包括的民間委託導入前後の管理効率性の変動を詳細に評価

# 評価のためのデータ

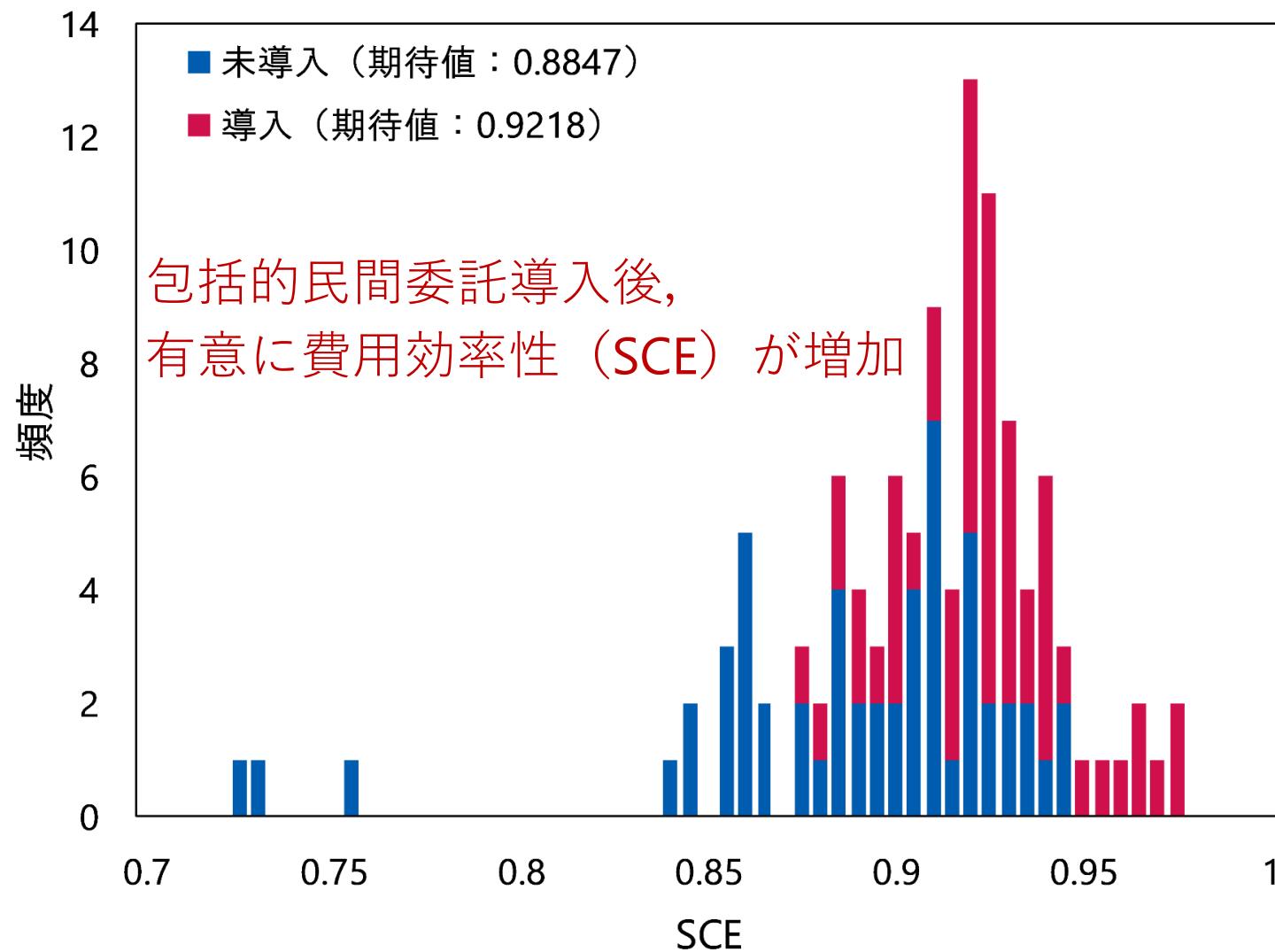
(公社) 日本下水道協会の「下水道統計」に基づきデータを整理

下水処理施設数	1,322
包括的民間委託導入前後のデータがある下水処理施設数	55 (以降は、これらの処理施設を重点的に評価)
サンプル取得年度	2008年 - 2013年
分析に必要なデータ (処理施設ごとに必要)	年間処理水量、維持管理費用総額、運転管理委託費、汚泥等処分委託費、消耗品等費用、人件費、その他費用

# 各下水処理場の費用効率性推定結果



# 包括的民間委託導入効果：マクロ評価



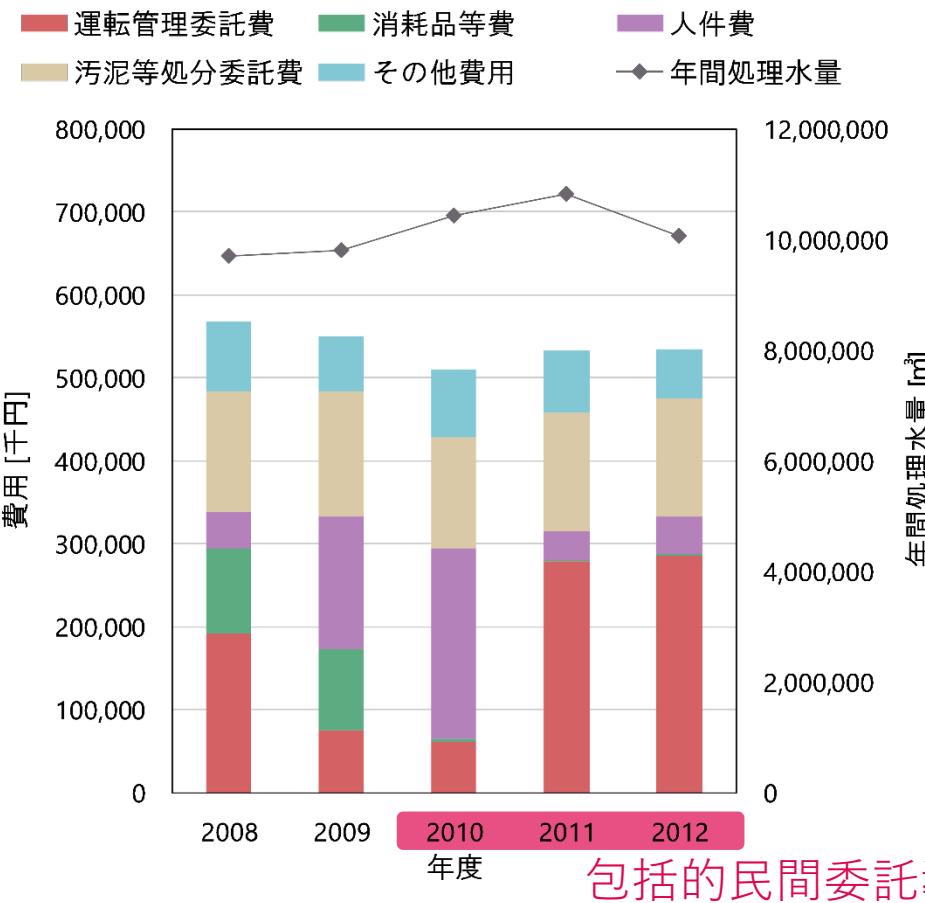
# 包括的民間委託導入効果：個別評価

処理施設数	
帰無仮説が棄却され, 検定統計量 $Z$ が正 (SCE 指標が増加)	39
帰無仮説が棄却されず (SCE 指標の増減なし)	0
帰無仮説が棄却され, 検定統計量 $Z$ が負 (SCE 指標が減少)	16

各処理施設での包括的民間委託導入効果の有無を評価

# データ蓄積に関する課題

## ある下水処理施設Aの費用内訳



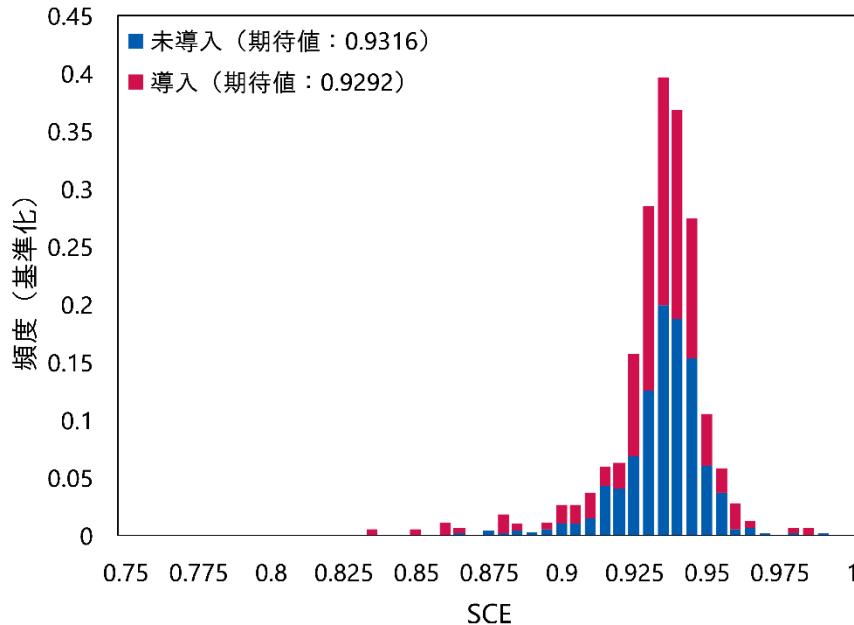
包括的民間委託導入前のSCE : 0.8516  
 包括的民間委託導入後のSCE : 0.9284

導入効果が見込まれるが、維持管理費の低減のみではなく、年間処理水量の増加による効果も含まれると推察される  
 →年間処理水量のデータ記録方法は統一されているか？

2010年度とそれ以降で、人件費の記録体制が統一されていない可能性がある  
 (そもそも、データ整備の段階で、欠測データも多かった)

# 研究開発に関する課題

## 包括的民間委託の導入あるいは未導入のみの処理施設も含めた分析結果



包括的民間委託導入後のSCEの  
増加が有意ではない

有意な増加が見られない理由として、例えば、費用効率性の低い下水処理施設に対して、  
包括的民間委託が導入される傾向があるというサンプル取得バイアスが考えられる

→実際の下水処理施設における包括的民間委託導入理由を調査するとともに、  
因果推論やデータ融合といった手法により、サンプル取得バイアスを除去する  
ようなアプローチが今後必要

# 終わりに

## 研究成果の概要

- 確率的費用フロンティア分析に基づき、政策の効果を費用効率性として定量的に評価するための方法論を提案
- 下水処理施設の包括的民間委託を対象とした実証分析を実施
- データ整備に関する実務的課題を整理

## JST-RISTEXプロジェクト内での提案方法論の位置付け

- 劣化予測モデルやそれに関連する技術の導入の有無に応じた政策の評価手法であると位置付けられる
- 下水処理施設の包括的民間委託以外の事例への横展開も考え得る

## 若手研究者としての研究活動の意義

- 社会実装に近い研究分野であるものの、学術的新規性も十分にある研究テーマを取り扱っていると考えている。
- 今後の研究活動として、データ整備のためのアセットマネジメントシステム構築に関する議論、データ欠測時の統計的な補完方法の研究開発、の両輪を見据えている。