

地域の脱炭素に向けた需要-創エネのマッチングモデルの開発

2021年10月29日

赤司泰義 (東京大学, 教授)

林 鍾衍 (Kangwon National Univ., Assistant Professor) *1

陳 薇安 (National Cheng Kung Univ., Researcher) *2

*1: 当時、東京大学, 助教

*2: 当時、東京大学, 博士課程3年

1

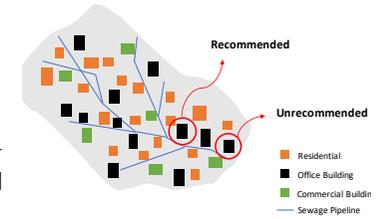
背景と目的

■ 背景

- 建築・都市分野における脱炭素化の強い社会的要請
- 省エネ (需要) や創エネ (供給) の高度なエネルギー利用の計画と導入
 - 省エネと創エネにはそれぞれ時間的・空間的な偏りがある。
 - 高度なエネルギー利用の計画と導入には、省エネと創エネのマッチングを図る必要がある。

■ 目的

- 地域規模の建物のエネルギー需要と創エネ賦存量の予測に基づいた、創エネ利用可能量の最大化を図るための手法の開発
- ここでは、その第一段階として、予測モデルの開発
 - ① 高度な統計モデリングにより地域特性を加味した建物のエネルギー需要予測
 - ② 都市に広く賦存し、検討が未だ不十分な下水管における下水熱利用ポテンシャル予測
 - ✓ 下水管での下水熱利用は、ある場所での利用がその下流域に影響を与えるという意味で、大規模な最適化問題に相当



一般財団法人 大成学術財団 第3回 研究成果発表会(2021.10.29)

2

本研究で開発したモデル

■ 建物のエネルギー需要の予測モデル

- モデルの説明変数に建物規模や用途別床面積割合、立地条件を取り上げ、それらのパラメータに確率分布を導入した確率的予測モデル

■ 下水熱利用ポテンシャルの予測モデル

- 網目状に敷設された都市部の下水配管を対象に、雨水と建物排水を考慮した下水量と下水温度の時空間変化の予測モデル

地域の脱炭素に向けた需要-創エネマッチングモデルの開発

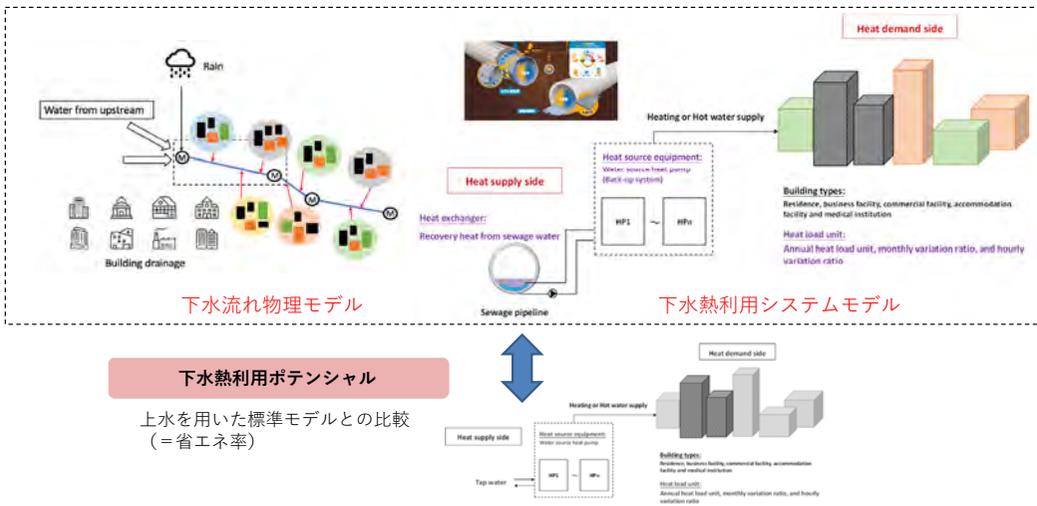
(1) 建物のエネルギー需要の予測	(2) 下水熱利用ポテンシャルの予測
<ul style="list-style-type: none">• データ整備• 推定モデルの構築• モデルパラメータの推定• 推定結果・提案モデルの有効性検討	<ul style="list-style-type: none">• 下水流れの解析モデル推定モデルの構築• 都市下水状態予測結果• 下水熱利用システムモデルの構築• 下水熱利用ポテンシャルのシミュレーション結果

3

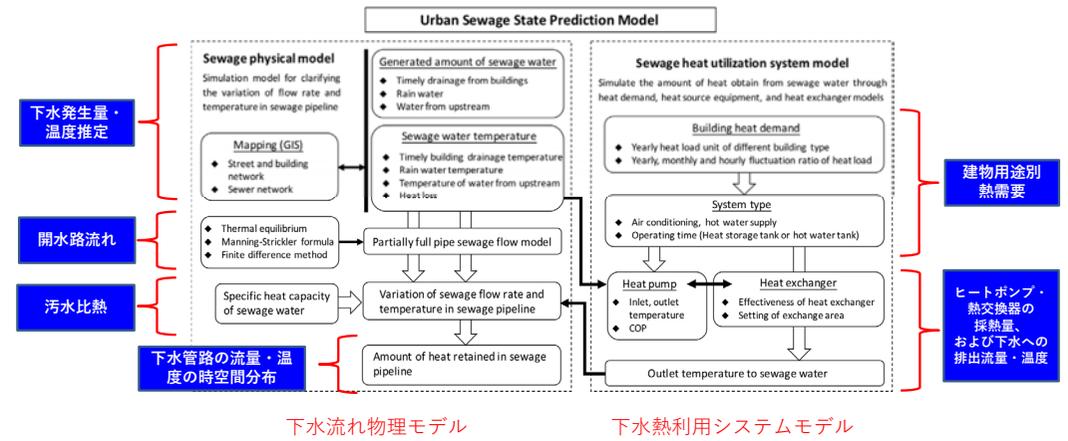
下水熱利用ポテンシャルの予測

4

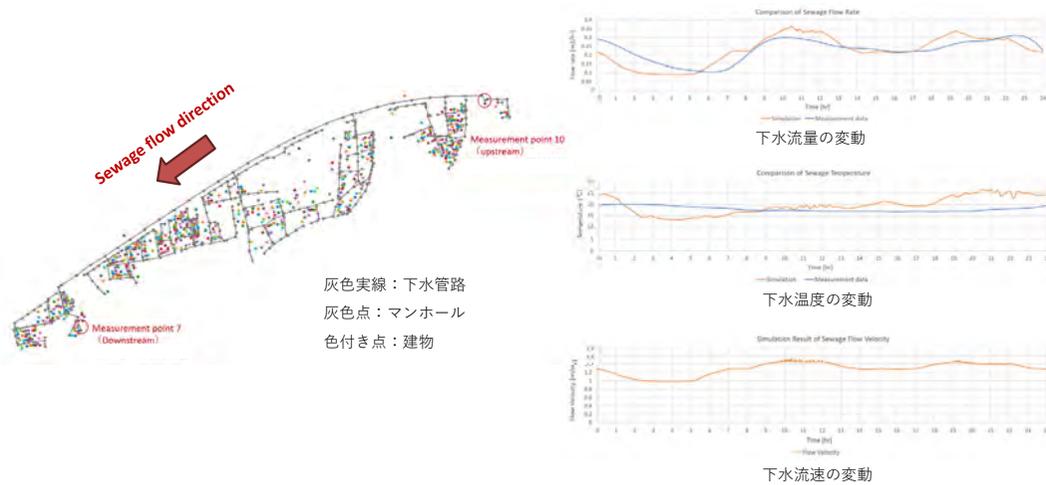
下水流れ/下水熱利用システムと下水熱利用ポテンシャル



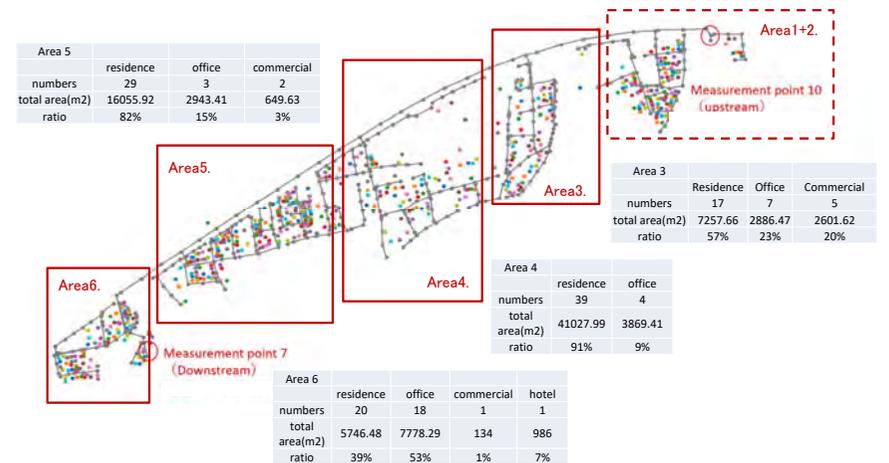
予測モデルの概要



予測モデルの検証



検討対象地域



ケーススタディ (1)

■ Area3: 建物規模と下水熱導入率

- 下水熱利用の有効性を確認（特に大規模建物への導入）。
- Case NとCase Pから、必ずしも全ての建物で下水熱利用すれば良いわけではないことが示唆。下水熱利用による下水温度低下でHP性能も低下。

Case	Area 3-A-HP	Area 3-L-HP	Area 3-M-HP	Area 3-N-HP	Area 3-O-HP	Area 3-P-HP
Utilization rate of large-scale buildings	0%	100%	50%	100%	0%	100%
Utilization rate of small-scale buildings	0%	0%	100%	50%	100%	100%
Sewage heat utilization potential	Standard case	9.91%	10.54%	11.87%	4.16%	10.29%



一般財団法人 大成学術財団 第3回 研究成果発表会(2021.10.29)

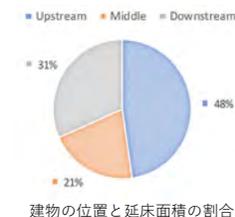
9

ケーススタディ (2)

■ Area3: 建物位置と下水熱導入率

- 下水熱利用の場所を上流、中流、下流で検討。
- 下水熱を広く利用することでより大きい省エネが期待できるが、Case QとCase Sから、下水熱利用の場所によって下水熱利用ポテンシャルが異なる可能性（ただし、以下は延床面積の違いがある）。

Case	Area 3-A-HP	Area 3-Q-HP	Area 3-R-HP	Area 3-S-HP	Area 3-P-HP
Utilization rate of upstream	0%	100%	0%	0%	100%
Utilization rate of middle	0%	0%	0%	100%	100%
Utilization rate of downstream	0%	100%	100%	100%	100%
Sewage heat utilization potential	Standard case	9.49%	4.43%	7.35%	10.29%



一般財団法人 大成学術財団 第3回 研究成果発表会(2021.10.29)

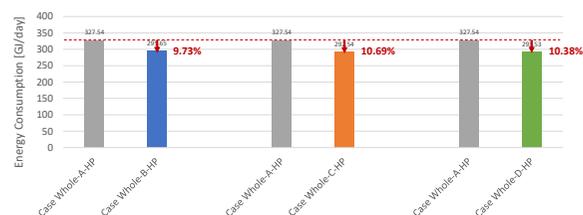
10

ケーススタディ (3)

■ Area3-6: 下水熱の広域利用と導入率

- 下水熱利用の過度な導入は下流の下水温度を下げ、下水熱利用ポテンシャルの期待した増加につながらない可能性。

Case	Whole-A-HP	Whole-B-HP	Whole-C-HP	Whole-D-HP
Utilization rate of Area 3	0%	50%	80%	100%
Utilization rate of Area 4	0%	50%	80%	100%
Utilization rate of Area 5	0%	50%	80%	100%
Utilization rate of Area 6	0%	50%	80%	100%
Sewage heat utilization potential	Standard case	9.73%	10.69%	10.38%



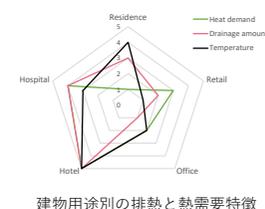
一般財団法人 大成学術財団 第3回 研究成果発表会(2021.10.29)

11

ケーススタディ (4)

■ Area3-6: 建物用途の特性と配置、導入率

- 建物用途における下水熱利用上の特性
 - 住宅は他用途の建物よりも数が多く（地域による）、かつ温度の高い排水と安定的な排水量をもつ。
 - ホテルや病院は熱需要が大きく、排水温度も高い。売店とオフィスは熱需要が小さく、排水温度も低い。



	Residential		Retail		Office		Hotel		Hospital		Sewage heat utilization potential
	Up*	Down*	Up	Down	Up	Down	Up	Down	Up	Down	
Case T	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	Standard case
Case U (Proposal case)	0%	100%	0%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	8.6%
Case V (Contrary case)	100%	0%	100%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	3.7%

*Up means upstream, Down means downstream

一般財団法人 大成学術財団 第3回 研究成果発表会(2021.10.29)

12

まとめと今後の課題

■ まとめ

- ▶ 地域規模の建物のエネルギー需要と創エネ賦存量の予測に基づいた、創エネ利用可能量の最大化を図るためのモデルを開発した。
 - 建物のエネルギー需要の予測モデル
 - 下水熱利用ポテンシャルの予測モデル
- ▶ 下水熱利用ポテンシャルの予測モデルによるケーススタディを通じて、下水熱利用システムの計画と導入に対する一定の知見を得た。

■ 今後の課題

- ▶ 今回開発した両予測モデルの改良と連携
- ▶ 他の創エネに対する本研究の考え方の適用と展開
- ▶ 個々の建築の集合体としての地域への総合的な創エネ導入計画立案の方法論

備考

(建物のエネルギー需要の予測)

予測モデルの概要

■ 方針

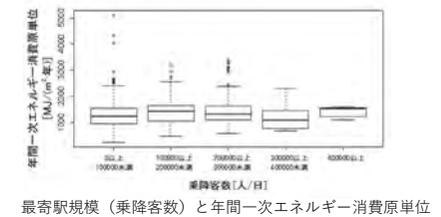
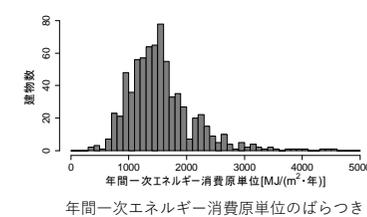
- ▶ 従来の統計データを加工した用途別エネルギー需要の推定手法には改善の余地がある。
- ▶ 同一用途の建物でもエネルギー消費のばらつきが大きく、その原因の仮説として、1) 実建物のほとんどは多用途施設であること、2) 建物規模による影響があること、3) 都心と郊外といった立地に影響されること、を想定し、これらの3つの因子を建物のエネルギー需要予測に組み込むことを考えた。

■ データ

- ▶ 日本ビルエネルギー総合管理技術協会による建築エネルギー消費量調査のデータ、特にデータ数の多い省エネ地域区分6で住所が特定できるもの
 - 2012～2015年度：学習データ、2016年度：テストデータ
 - 建物名、延床面積、用途別床面積割合（1つの建物内における事務所、デパート、店舗といった複数用途の床面積割合）、年間エネルギー消費量（電力、ガス等）

年間一次エネルギー消費原単位のばらつき

■ データ分析



■ 予測モデル

▶ モデル式

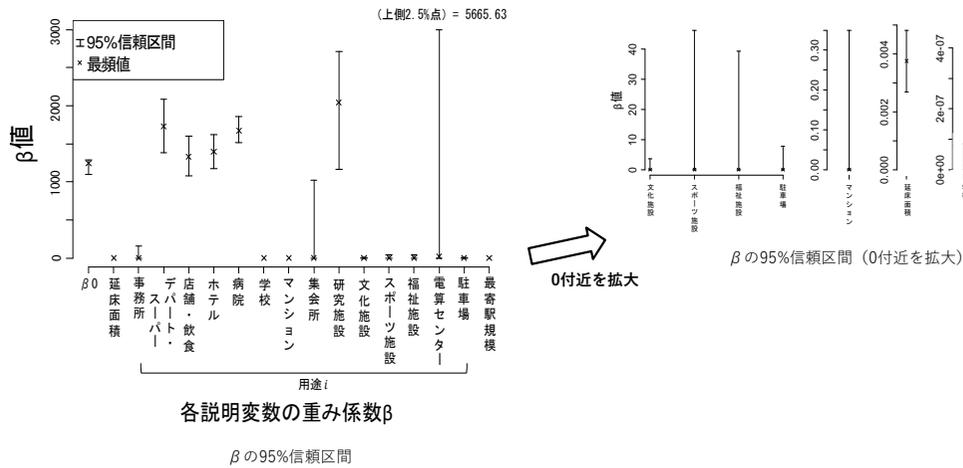
$$\mu = \beta_0 + \beta_a x_a + \sum_i \beta_i x_i + \beta_n x_n$$

ここで、 μ ：消費原単位の期待値[MJ/(m²・年)]、 β_0 ：切片、 β_a ：延床面積の重み係数、 x_a ：延床面積[m²]、 β_i ：用途別床面積割合の重み係数、 x_i ：用途別床面積割合[-]、 β_n ：最寄駅規模の重み係数、 x_n ：最寄駅規模[人数/日]、 i ：用途別床面積割合の建物用途

▶ モデルパラメータの推定

- β の事前分布を無情報事前分布として設定し、 β に対してマルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC法)によりサンプリングを行うことで β の事後分布を推定した。

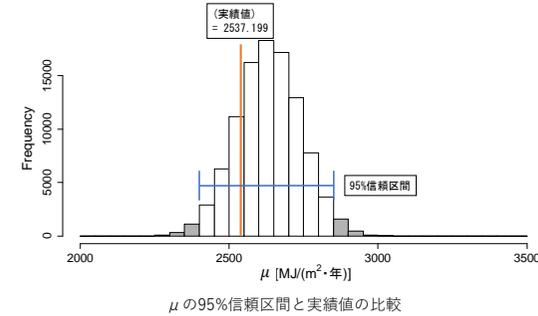
モデルパラメータの推定



17

予測モデルの有効性

- βが収束した前述の変数のみで構成される**テストデータ22件**に限定
 - 最寄駅規模は事後分布の形状が得られずβ値も極めて小さいためβn=0
- βの事後分布から乱数を発生させてβの組み合わせを100,000セット生成し、**各データにおける期待値μのヒストグラム**を作成した。



このデータでは実績値が推定モデルの95%信頼区間に収まっていることが確認できた。

しかし、95%信頼区間に収まっているケースが3件、信頼区間下端より小さいものが15件、信頼区間上端より大きいものが4件となった。

半数以上のテストデータで信頼区間が実績値よりも高く推定されたのは、消費原単位が極めて大きいデータが切片を引き上げたためであると考えられる。

一般財団法人 大成学術財団 第3回 研究成果発表会(2021.10.29)

18