

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

東京大学 ○赤司 泰義 1*
Kangwon National Univ. 林 鍾衍 2**
東京大学 陳 薇安 3***

脱炭素 エネルギー需要 エネルギー創出
下水熱利用 予測モデル

1. 研究の目的

二酸化炭素排出量の削減が強く求められている中、建築・都市における高度なエネルギー利用が期待されている。しかし、エネルギー需要（以下、需要）と再生可能エネルギー導入によるエネルギー創出量（以下、創エネ）は必ずしも一致しない。本研究は「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」と題して、地域規模で需要と創エネを精度よく予測し、需要特性に即した創エネを導入することで脱炭素化を図ることを最終目的とする。

需要と創エネは時間的に非定常であり、その変動成分には周期性がある。また、空間的には偏在も生じる。両者のマッチングを図るには、それぞれの時空間モデルが必要である。本研究はそのための2つの課題に取り組んだものである。

- 1) 高度な統計モデリングにより地域特性を加味したエネルギー需要予測
- 2) 再生可能エネルギーの中で、下水熱利用に着目し、その利用ポテンシャル評価

以下ではそれぞれの研究内容及び成果について述べる。

2. 研究の内容及び成果

2.1 エネルギー需要の予測

2.1.1 概要

効率的なエネルギー利用計画を策定するためには、エネルギー需要構造の把握が先決課題である。しかし、地域内すべての建築エネルギー需要量を直接測った情報は公開されていなく、匿名化された統計データを加工した推定値（例えば、用途別平均エネルギー消費量）の情報が使用される場合が多い。しかし同一用途の建築の中でもエネルギー消費パターンのばらつきが大きく、このような推定手法には改善の余地が十分にある。

本検討はそのばらつきは（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、（3）立地という3つ因子に影響されるというスタンスをとっており、これらを地域のエネルギー需要予測モデルに組み込むことにより推定精度向上を図る。

2.1.2 モデル作成の及びモデルパラメータの推定

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を使用（1205件）し、建物名、延床面積、用途別床面積割合（一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）の情報を抽出した。さらに建物の空間情報（立地や最寄駅規模等）と消費原単位の関係性を予測モデルに組みこくため、Google Geocoding API を用いて建物名から住所及び最寄駅規模（乗降客数：人数/日）を特定した。

データ処理過程を経て得られた予測モデルは次のとおりである。

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

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

前述の1205件のデータの内、2012年度から2015年度のデータを予測モデルのパラメータ推定を行った。モデルパラメータの推定にはマルコフ連鎖モンテカルロ法（以下、MCMC: Markov Chain Monte Carlo method）を用いた。全てのモデルパラメータの無情報事前分布として設定した上、ギブスサンプリングによりモデルパラメータの事後分布を求めた。

2.1.3 提案モデルの有効性検討

モデルパラメータの推定値を取り入れた予測モデルを2016年度のデータ（22件）に適用し、提案モデルの有効性について検討した。その一例を図1に示す。

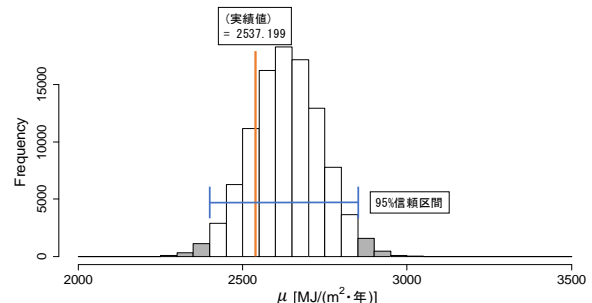


図1 予測結果の一例
(延床面積9,383m²、ホテル用途85%、店舗・飲食用途15%の)

実績値が予測結果の 95%信頼区間に収まっていることが確認できる。しかし、他のテストデータも同様に比較したところ、実績値が信頼区間に収まったものが3件、信頼区間下端より小さいものが15件、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。

2.2. 下水熱利用ポテンシャルの予測

2.2.1 概要

再生可能エネルギーの中で、下水熱利用に着目し、その熱利用可能性を評価するとともに、下水熱利用可能量を定量化することを目的とする。そのために、下水熱利用システムの普及を想定した上、下水流れの解析モデルを組み込んだ都市下水状態予測モデルを提案した(図2)。また、下水流れの解析モデルの精度検証のため、実際のエリア(大阪市の一部)の測定値との比較検証(下水流量・温度)を行い、提案モデルの有効性を確認した。

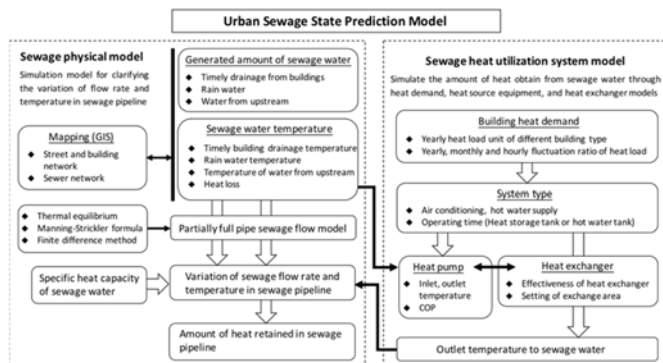


図2 都市下水状態予測モデルの構成

下水流れの解析モデルは、配管サイズの変化や流体の物理的特性、また下水管路の特性を考慮できるように組み込んでいる。また、想定する下水熱利用システムの仕様に基づいて、建物の熱需要量や熱源機器(ヒートポンプやガスボイラー)の性能、また下水熱の利用による下水温度への影響を考慮しながら下水流れの空間分布と時間変動を再現することができる。詳細は研究報告書を参考されたい。

2.2.2 提案モデルの有効性検討

実際下水管路に対するシミュレーションを行い、測定値(下水の流量・温度)との比較検証を行うことで提案モデルの有効性を検討した。紙面の都合上、下水流量の比較結果のみを示す。図3に下流側のマンホールにおける下水流量の比較結果を示す。下水道の設計流速(0.6m/s~3m/s)の範囲からみると精度の良い解析

結果と考えられる。ただし、解析結果の方が流速を過大評価している時間帯が多い。提案モデルでは下水管路に汚泥、堆積物などの流れに対する抵抗が考慮されていないことが原因の一つとして考えられる。

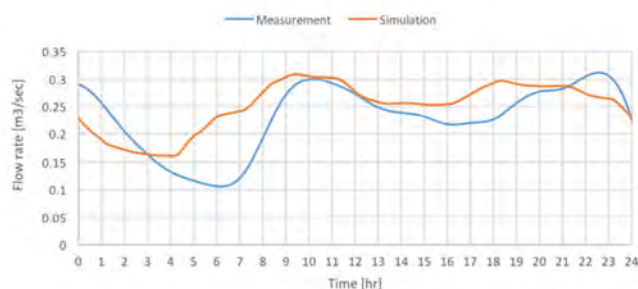


図3 下水流量の時間変動

3. 今後の予定

エネルギー需要予測に建物規模や用途別床面積割合、また立地条件を組み込むことで予測の詳細化が可能になった。しかし、適用できる建物属性が限定されたほか、調査年によって生じる差異を考慮する必要性が確認された。今後、実績データのボリュームを増やすとともに、情報の詳細化と図る必要があると考えられる。

下水熱を対象とした創エネ予測では、区域特性(建物用途と分布、熱利用システム種類と特徴)による排熱量と採熱量の時空間分布特性に関する検討が必要と考えられる。その結果に基づき、従来の熱利用システムとの比較検討を行うことで下水熱の利用ポテンシャルマッピングを作成する予定である。

さらに、これらをマッチングする手法を提案する。多数の対象地域に対して、需要と創エネの時空間情報を作成し、最適な下水熱利用システム設置案および利用計画を提案し、その脱炭素への寄与分を定量的に評価する。

コスト問題が蓄エネシステムの普及を遅らせている中で、創エネと需要の時空間変動考慮した創エネ導入計画立案を支援するモデル構築に取り組むことが本研究の意義であり、さらなる脱炭素化に貢献することが期待される。

謝辞

本研究は大成学術財団 2019 年度研究助成の支援より実施された。ここに謝意を表す。

* 東京大学大学院工学系研究科・教授
 ** Kangwon National Univ. (Korea) / Assistant Professor (申請当時) 東京大学大学院工学系研究科・助教
 *** 東京大学大学院工学系研究科・大学院生

* Professor / School of Engineering, The Univ. of Tokyo
 ** Assistant Professor / Kangwon National Univ. (Korea)
 *** Graduate student / School of Engineering, The Univ. of Tokyo