

維持・廃止計画のための多時点最適施設配置モデル

東北大学大学院土木工学専攻	学生会員	吾妻 樹
東北大学災害科学国際研究所	正会員	奥村 誠
埼玉大学大学院理工学部研究	正会員	大窪 和明
東北大学災害科学国際研究所	正会員	金 進英

1. はじめに

我が国のごみ焼却施設は老朽化が進行している。ごみ焼却施設は老朽化が維持管理費用の増加に大きく影響を及ぼすため、今後近い将来、各施設の更新もしくは廃止の決断が必要である。人口減少に伴い、廃棄物発生量は減少することから、ごみ焼却施設の数減らして集約化を図ることが必要になる。実際に、愛知県や長野県では供用年数が長い施設や処理能力が小さい施設を廃止し、施設を集約化することを計画している。このように複数の施設の老朽度合いや施設の処理能力を考慮して、施設の存廃を決めていくことが必要となる。

一方、土木工学の分野では、社会インフラの減耗や老朽化に対し、単独施設を対象とした LCC 最小とする最適補修戦略を扱った研究が多く存在する。しかし、施設間に代替性がある施設の廃止を判断するためには、複数施設を考慮した分析手法が必要である。そこで本研究は、複数施設の LCC 最小化を考慮した維持・廃止計画モデルを構築する。施設の廃止の意志決定には、廃止する施設が賄っていた需要を他の施設に移すための追加費用である、ごみ焼却施設への輸送費用の増加量を踏まえて実施する必要がある。そのため、容量制約付きの最適施設配置モデルとして、LCC と輸送費用を目的関数に含む最適化モデルを構築することが实际的である。このモデルを実際の宮城県南部の廃棄物処理データに適用することで、将来の最適配置案を検討する。

2. 複数施設を考慮した維持・廃止計画モデル

離散的な多時点（多期間）のそれぞれにおいて、複数の需要点から廃棄物が発生し、その廃棄物をごみ焼却施設まで輸送して、各施設の処理能力内で焼却処理する状況を考える。各時点において、各施設をそのまま使用するか、更新するか、もしくは廃止するかを決定する。更新・廃止の変数の設定については Wesolowsky and

Truscott¹⁾の容量制約付きの多時点施設配置モデルを参考にした。更新する場合は更新費用が生じると設定する。また、施設を更新する際には、更新後の施設の規模（処理能力の大きさ）を選択できるように工夫する。

特に、廃棄物処理施設は老朽化が維持管理費用の増加に大きく影響するため、施設の供用年数の増加に対応して維持管理費用が増加すると設定する。施設を廃止した場合は、供用年数がゼロになり、この維持管理費用が生じなくなる様に設定する。

(1)に維持・廃止計画モデルの目的関数を示す。

$$\min_{x_{kj,t}^i, z_{j,t}^i, q_{j,t}^i} \sum_{t \in T} \frac{1}{(1+r)^{t-1}} \left\{ \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} (c_{kj} + w) x_{kj,t}^i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} r_j^i q_{j,t}^i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} f_j^i z_{j,t}^i \right\} \quad (1)$$

$x_{kj,t}^i$:	t 期の k - j 間廃棄物フロー
$q_{j,t}^i$:	t 期の規模 i の施設 j の供用年数
$z_{j,t}^i$:	t 期に施設 j を規模 i に更新するかどうかを表す $\{0,1\}$ 変数
r :	割引率
c_{kj} :	フローあたりの輸送費用
w :	フローあたりの処理費用
r_j^i :	規模 i の施設 j の維持管理費用
f_j^i :	規模 i の施設 j の更新費用

分析の期間 t は整数で設定し、計画期間を $[0,T]$ とする。

廃棄物発生地点を k 、ごみ焼却施設の地点を j で表す。施設の規模を i で表す。提案する多時点施設配置モデルは総費用最小化問題として定式化されており、目的関数の第一項が廃棄物輸送費用、廃棄物処理費用を表す。第二項は維持管理費用を表しており、施設の供用年数と係数 r_j^i を掛け合わせることで表現される。第三項は更新費用を表す。維持管理費用、更新費用の各係数は、施設の規模 i の大きさに準じた値に設定している。なお、廃棄物はストックされないという制約や各施設の容量制約を表す制約条件を付加する。この目的関数が最小となる維持・廃止の戦略を求める線形計画問題を考える。

キーワード 廃棄物処理, 施設廃止計画,
容量制約付き施設配置問題
連絡先 仙台市青葉区片平 2-1-1 通研 2 号

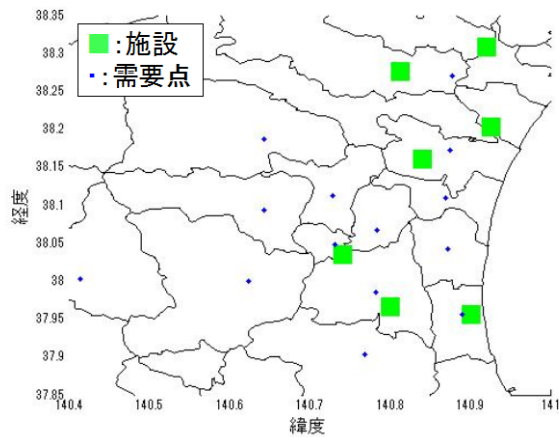


図.1 初期時点のごみ焼却施設と需要点の配置

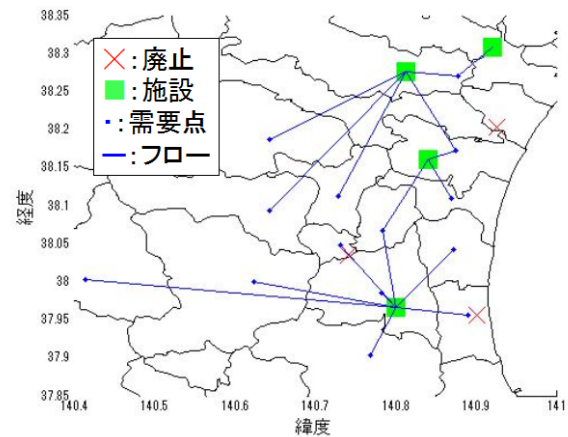


図.2 $t=30$ （最終時点）の施設の存在状況

3. パラメータの設定

計画期間は $T=30$ 年とし、分析対象地域は、宮城県内の仙台市以南の市町村とする。各市町村の人口重心から廃棄物が発生し、この地域に存在する 7 個のごみ焼却施設で全て処理する。初期時点のごみ焼却施設と需要点の配置を図.1 に示す。廃棄物処理施設の処理能力は実データを用いて設定し、廃棄物発生量については、国立社会保障・人口問題研究所による日本の地域別将来推計人口に比例した値を設定している。人口推計では、名取市を除く全ての仙台市以南の市町村で、将来的に人口が減少することが予想されている。 c_{kj} , w , r_j^i , f_j^i については実際の集計データを元に設定した²⁾。

4. 宮城県南部データへの適用

維持・廃止計画の結果として $t=30$ （最終時点）における施設の存在状況を図.2 に示す。また、各費用の累積額（現在価値表示）を図.3 に示す。図.2 を見ると、計画期間の最終期には、計画初期に存在していた 7 個の施設の内、3 個が廃止、4 個が維持されるという解となっている。維持される施設が廃棄物発生地点からのすべてのフローを賄っており、廃止した施設の代替の役割を果たしていることが確認できる。廃止により、廃棄物が長距離輸送となり輸送費用が大きくなるが、維持管理費用を低減することが可能である。

図.3 を見ると、維持・廃止モデルで考慮した総費用に占める、4 種類の費用の構成率はほぼ均等であり、それぞれが総費用に大きく影響を与えている。ただし、輸送費用は維持管理費用に比べ比較的值が小さく、施設廃止のインセンティブが大きくなったと解釈できる。

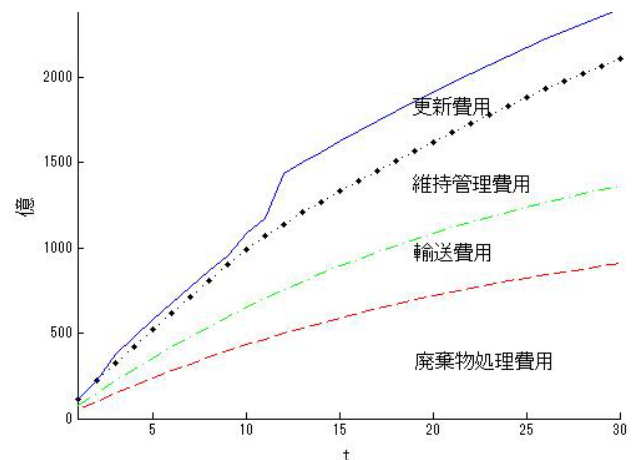


図.3 各費用の累積額（現在価値表示）

5. おわりに

本研究では、複数施設の LCC 最小化を考慮した施設の維持・廃止を計画できるモデルを提案し、宮城県南部を対象とした分析結果から、施設の廃止が最適解として得られることを示した。一方、人口推計には推計誤差が含まれており、その値によって最適解が異なる恐れがある。推計誤差を踏まえた、維持・廃止計画の策定方法については、技術研究発表会にて報告する。

6. 参考文献

- 1). G.O. Wesolowsky, W.G. Tuscott. The multi-period location-allocation problem with relocation of facilities, Management Science, 22 (1) (1975), pp. 57–65
- 2). 奥村誠・大窪和明・吾妻樹, 維持・廃止計画のための多時点最適施設配置モデル, 応用地域学会 2013 年度 第 27 回 研究発表大会報告論文