将来予測値の誤差に対する 廃棄物焼却施設更新・廃止戦略の安定性 —多時点施設配置モデルによる分析—

大窪 和明¹・奥村 誠²・吾妻 樹³

¹正会員 埼玉大学助教 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)
E-mail: okubo@dp.civil.saitama-u.ac.jp

²正会員 東北大学教授 災害科学国際研究所 (〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468-1)
E-mail: mokmr@m.tohoku.ac.jp

³正会員 KDDI株式会社 (〒102-0072 東京都千代田区飯田橋3-10-10)
E-mail: agatsuma.dk@gmail.com

老朽化した社会基盤施設の更新計画を立てる中で、人口や費用などの将来予測に基づいた更新・廃止戦略の策定が求められている。しかし、これらの将来予測値には設定誤差が伴うため、誤差の大きさによっては、更新・廃止戦略が適切性を失ってしまい、実施方針の転換などに大きなコストを伴う可能性がある。そのため、設定誤差に対する更新・廃止戦略の安定性を吟味しておく必要がある。本研究では、施設の更新・廃止タイミングを内生化した多時点施設配置モデルを用いて、宮城県南部に位置する廃棄物焼却施設の最適な更新・廃止戦略を求め、その安定性を分析した。その結果、更新と廃止の順番および更新後の施設規模は設定誤差に対して安定である。一方、更新・廃止の有無とタイミングは変化しうるが、6年程度の廃止戦略は確定できることがわかった。

Key Words : *asset management, renewal and closure strategy, waste management, life cycle cost, multi-period facility location problem*

1. はじめに

社会基盤施設の老朽化が進む中で、より効率的な更新・廃止戦略が模索されている¹⁾²⁾。廃棄物焼却施設も、その例外ではない。我が国の廃棄物焼却施設は、2010年度現在、全国で1258施設(未稼働施設も含む)存在している。それらは、ダイオキシン類対策など環境保全対策が強化された1990年代に供用が開始された施設が大半である。廃棄物焼却施設の供用年数は、施設の置かれた環境によってバラツキがあるが、その多くが20～30年で廃止されている³⁾。今後、多くの廃棄物焼却施設が、ほぼ同じ時期に寿命を迎え、更新か廃止かの決断を迫られることになる。さらに、人口減少に伴う廃棄物発生量の減少が予想される中で、廃棄物処理の施設規模に対する規模の経済性を活かすために⁴⁾⁵⁾⁶⁾、より少数の施設に集約することが必要になる。

このような集約計画は、すでにいくつかの自治体で実施されている。例えば、愛知県では、ダイオキシン類削

減対策やサーマルリサイクル(熱回収)の推進、公共事業のコスト縮減という集約化のメリットを踏まえ、広域ブロックごとに、古い施設や処理能力が小さい施設を廃止し、原則として焼却能力300トン/日以上の施設に集約することとしている⁷⁾。長野市では、周囲の市町村と長野広域連合をつくり、広域ブロック内の5つの焼却施設を約450トン/日の焼却施設と約100トン/日の焼却施設に集約するための計画を作成している⁸⁾。こうした更新・廃止戦略は、今後も多くの自治体において策定されていくことが予想される。その際、より望ましい戦略を立てるための方法論が重要となってくる。

Tabata *et al.*⁹⁾は、廃棄物処理施設の耐用年数について建設・更新費用、維持管理費用や廃棄物の処理費用を合計したLife Cycle Cost (LCC)の評価手法を提案し、名古屋市についてケーススタディを行っている。この評価手法では、耐用年数に達した施設から順に更新・廃止を決めていき、その際に、耐用年数に達した施設を廃止しても、その他の施設で全ての廃棄物を処理するのが可能である

ならば、当該施設を廃止し、そうでない場合には更新すると仮定している。しかし、Tabata *et al.*では当該施設を廃止し、他の施設に輸送することによって追加的に必要になる輸送費用が考慮されていない。廃棄物の処理費用の内、約4割程度が収集・運搬に関する費用であり¹⁰⁾、施設の存廃を決めるためには、施設の老朽度や処理能力に加えて、廃棄物の輸送費用も考慮する必要がある。つまり、特定の施設が廃止された場合に、その施設が受け持っている廃棄物を引き受けることができる代替的な施設を近隣に確保する等の対策を考える必要がある。廃棄物処理における輸送段階でのコストやCO₂排出に関連した研究も行われている^{11), 12), 13)}。しかし、廃棄物の輸送計画も踏まえた上でLCC最小化の観点から施設の更新・廃止戦略を分析した研究は数少ない。

大窪ら¹⁴⁾は、多時点施設配置モデルを基に、施設の供用年数や更新・廃止タイミングを内生化し、廃棄物焼却施設の更新・廃止費用、維持管理費用、廃棄物の輸送と処理にかかる費用を計画期間内で合計したLCCを最小化する更新・廃止戦略を立てるための計画モデルを提案している。施設が複数ある中での更新・廃止タイミングの決定や廃棄物の輸送計画は、膨大な可能性が考えられる中から適切なものを選ぶ必要があるため、計画モデルを用いて効率的に最適解を計算する方法が有用である。

廃棄物焼却施設の更新・廃止戦略を立てる段階では、計画収集人口、廃棄物処理費用、施設の維持管理費用などについて将来の予測値を設定する必要がある。しかし、戦略を立てる段階において、将来の値を完全に予測するのは難しく、当初に設定した将来予測値に誤差(設定誤差¹⁵⁾)が生じる。そうした中で、計画モデルから得られた計算結果を実際の更新・廃止戦略に役立てていく必要があるが、その方法論については十分に検討されていない。一般的に、遠い将来になるほど予測は難しく、設定誤差も大きくなる。この設定誤差が大きい場合には、当初に立てた戦略の見直し、実施方針の転換が必要となり、大きなコストを伴う可能性がある。設定誤差による影響を軽減する上で、廃棄物焼却施設の更新・廃止に関わる費用の実態を把握することは有用である。例えば、大澤ら⁹⁾は岡山県以西の、ごみ焼却施設に対してアンケート調査を行い、焼却施設の稼働開始以降の点検補修費の施設間での差異は、稼働開始年や稼働率よりも、メーカーの違いによるところが大きいことを示している。そのため、点検補修費をメーカーごとに設定することが望ましいと思われるが、点検補修の技術改善や設備の部品が故障する可能性なども考慮した上で、複数の施設の費用を予測することには、やはり大きな不確実性を伴うと考えられる。不確実性下での計画モデルとしては、ファジィ線形計画法を用いたモデルが提案されている。森ら¹⁶⁾は、将来の水需要量に不確実性がある中で、更新費用や破損

表-1 変数とパラメータの定義

記号	意味
$x_{kj,t}$	t 期の $k-j$ 間の廃棄物フロー
$y_{j,t}^i$	t 期の規模 i の施設 j の有無を表す{0,1}変数
$z_{j,t}^i$	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
$q_{j,t}^i$	t 期の規模 i の施設 j の供用年数
$v_{j,t}^i$	t 期の規模 i の施設 j の廃止するかどうかを表す{0,1}変数
δ	割引率
c_{kj}	フローあたりの輸送費用
w^i	規模 i の施設でのフローあたりの処理費用
r_j^i	規模 i の施設 j の維持管理費用の増分
f_j^i	規模 i の施設 j の更新費用
$G_{k,t}$	t 期の地点 k での廃棄物発生量
N_j^i	規模 i の施設 j の処理能力
Q_j^i	規模 i の施設 j の初期供用年数
Y_j^i	規模 i の施設 j の初期時点の存在
M	十分大きな正の定数

による被害額を含めた総費用の最小化だけでなく、水需要量の変動に伴う総費用の変動幅も小さくするような管路の更新計画を提案している。そこでは、各期の管路更新の有無が連続変数(管路の延長割合)として扱われているが、本研究では更新に最低限必要な機材や労働力を確保するために固定費用が必要な状況を考え、当該期の更新有無を表す離散変数を制御変数として含むモデルを使用する。また、森らの研究の中でも計画モデルから算出された結果を、戦略の策定に役立てていくための方法論については議論されていない。

設定誤差の存在下で計画モデルの計算結果を用いて更新・廃止戦略を立てる上では、設定誤差に対して安定な戦略とそうでない戦略を感度分析によって判別し、計画策定の段階で確定してしまつてよいものと、後年の情報を用いて再度調整が必要なものを分けておくことが望ましい。廃止戦略が確定できる期間が明らかになれば、廃焼却炉の解体に向けた予算の確保や廃止後の新しい輸送計画に対応するための車両や人員の準備、廃止後の跡地利用に関する計画を他の部署などと調整しながら自治体全体の戦略を効率化することが可能となる。さらに施設を更新する順番を確定することができれば、将来的に必要な費用の目安を設定することができるため、他部門の支出計画との調整による予算の確保や財政需要の平準化などを行うことも可能となる。そこで本研究では更新・廃止戦略が、施設の更新・廃止の有無、更新後の施設規模、順番、タイミング、それらに伴う廃棄物の輸送

計画で構成されるとし、当初に設定した将来予測値の誤差に対して、戦略が安定している期間の長さを明らかにすることを目的とする。より具体的には、大窪ら¹⁴⁾によって提案された計画モデルをツールとして用い、宮城県南部の廃棄物焼却施設に適用し、当初に設定した廃棄物発生量などの将来予測値の誤差に対して、最適解が安定する期間を明らかにするとともに、最適化モデルを用いた更新・廃止戦略の方法論を提案する。

2. 複数施設を考慮した更新・廃止計画モデル

本研究では大窪ら¹⁴⁾で提案された更新・廃止計画モデルを用いる。具体的には、表-1の変数とパラメータを使用し、複数の地点から発生した廃棄物を廃棄物焼却施設まで輸送し、各施設の処理能力内で焼却処理する状況で、LCCを最小とするような更新・廃止戦略を求める次の最適化モデルを用いる。

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

s.t.

$$\sum_{j \in J} x_{kj,t} = G_{k,t} \quad \forall k \in K, \forall t \in T \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} x_{kj,t} \leq \sum_i N_j^i y_{j,t}^i \quad \forall j \in J, \forall t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} z_{j,t}^i \leq \sum_{i \in I} y_{j,t}^i \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (4)$$

$$z_{j,t}^i - v_{j,t}^i = y_{j,t}^i - y_{j,t-1}^i \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (5)$$

$$v_{j,t}^i \leq y_{j,t-1}^i \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (6)$$

$$q_{j,t}^i \geq q_{j,t-1}^i + y_{j,t}^i - M v_{j,t}^i \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (7)$$

$$q_{j,t}^i \geq z_{j,t}^i \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} z_{j,t}^i \leq 1 \quad \forall j \in J, \forall t \in T \quad (9)$$

$$x_{kj,t} \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (10)$$

$$y_{j,t}^i, z_{j,t}^i, v_{j,t}^i \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (11)$$

$$q_{j,t}^i \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (12)$$

式(1)は発生地点から焼却施設までの廃棄物の輸送費用と処理費用(第1項)、供用年数に対して増加する維持管理費用(第2項)、施設の更新費用(第3項)から構成される目的関数であり、計画期間中のLCCを表す。制御変数は、 t 期の廃棄物発生地点 k から施設立地点 j に立地する規模 i の施設への廃棄物輸送量 $x_{kj,t}^i$ (ただし、 $x_{kj,t}^i \in \mathbb{R}$)、 t 期に施設 j を規模 i へ更新することを表す[0-1]変数 $z_{j,t}^i$ 、施設の廃止の有無を表す[0-1]変数 $v_{j,t}^i$ である。 t 期に規模 i の施設 j が存在することは[0-1]変数 $y_{j,t}^i$ で表され、当該地域に規模 i の施設が存在する場合を $y_{j,t}^i = 1$ 、存在しない場合を $y_{j,t}^i = 0$ として表す。この他に、 t 期における規模 i の施設 j の供用年数を表す非負の整数 $q_{j,t}^i$ (ただし、 $q_{j,t}^i \in \mathbb{Z}$)を考える。 $y_{j,t}^i$ と $q_{j,t}^i$ は定式化上は制御変数として扱うが、実際は制約条件を通して値が決まる内生変数である。

制約条件式(2)-(12)の概要を以下に示す。式(2)は各期において、廃棄物発生地点 k から輸送される全ての廃棄物の合計が廃棄物発生量 $G_{k,t}$ に等しいというフロー保存条件である。式(3)は地点 j の施設に輸送される総廃棄物量が施設の処理能力 N_j^i を超えないことを表す。式(4)は、施設を更新するには同じ期に施設を廃止することが必要であることを表す。

式(5)、(6)は施設の更新 $z_{j,t}^i$ ・廃止 $v_{j,t}^i$ と施設の存在 $y_{j,t}^i$ との関係、式(7)、(8)は施設の更新 $z_{j,t}^i$ ・廃止 $v_{j,t}^i$ と施設の存在 $y_{j,t}^i$ との関係を踏まえた上での供用年数 $q_{j,t}^i$ の設定を表す。例えば、今年度も施設が存在($y_{j,t}^i = 1$)する中で、施設の廃止がない場合($v_{j,t}^i = 0$)には、式(7)より、前年度の供用年数 $q_{j,t-1}^i$ に1年だけ加えたものが今年度の供用年数 $q_{j,t}^i$ となる。また、今年度に更新する場合($z_{j,t}^i = 1$)には、施設を廃止してから、すぐに更新されるものとして今年度の供用年数は1年となる。この場合、前年度と今年度の両方に施設が存在($y_{j,t}^i = y_{j,t-1}^i = 1$)し、更新する($z_{j,t}^i = 1$)ために、式(5)より、一度施設を廃止する($v_{j,t}^i = 1$)必要がある。したがって式(7)の左辺は負の値となり、結果的には式(8)によって供用年数は1年に設定される。なお、施設の廃止後すぐに新しい施設に更新できない場合は、更新までに必要な期間を正の定数 τ で与え、式(4)の右辺と式(5)の左辺の $v_{j,t}^i$ を $v_{j,t-\tau}^i$ で置き換えればよい。これにより、施設が廃止されてから更新されるまでの間の処理を他の施設に代替させるローテーション計画も選択肢の一つとして考慮した更新・廃止戦略の策定が可能になる。

式(9)は t 期に施設を更新する際に、どれか1つの規模しか選べないことを表す。式(10)~(12)は各制御変数の定義域である。計画開始時における各施設の供用年数 $q_{j,0}^i$ と存在有無 $y_{j,0}^i$ は、現在の状況などに応じた外生的な初期条件を設定し、 $q_{j,0}^i = Q_j^i$ 、 $y_{j,0}^i = Y_j^i$ とおく。最適解の導出にはIBM社のCPLEX Optimizerを用いる。

3. 宮城県南部地域におけるケーススタディ

(1) 分析対象地域

宮城県南部に位置する仙台市、白石市、名取市、角田市、岩沼市、蔵王町、七ヶ宿町、大河原町、村田町、柴田町、川崎町、丸森町、亘理町、山元町の14市町を対象とする。全ての廃棄物は各市町の人口重心から発生すると仮定し、14地点から発生する一般廃棄物を、これらの市町に存在する7つの廃棄物焼却施設で処理する状況を考える。

(2) パラメータの設定

a) 計画期間 t

焼却施設の寿命が、約 20~30 年であることを踏まえ、現存する施設について更新・廃止の必要性の有無を調べるため、少なくとも一回は更新または廃止の意志決定をするのに十分な期間をとり、西暦 2010 年を初期時点とした 30 年後までを設定する。30 年よりも長い計画期間をとることも可能であるが、30 年後の廃棄物焼却施設を取り巻く経済的、社会的な環境は現在と大きく異なっていると考えられ、その状況に応じて計画を見直す必要は自明であり、今回は計画期間を 30 年と設定した。

$$t \in \{1, 2, \dots, 30\} \quad (13)$$

b) 割引率 δ

割引率は、公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針(共通編)¹⁷⁾を参考に 4%を用いて次のように設定する。

$$\delta = \frac{1}{1+0.04} \approx 0.96 \quad (14)$$

c) 施設の初期供用年数 $q_{j,0}^i$

施設の初期供用年数は一般廃棄物処理実態調査結果¹⁸⁾に公表されている 2010 年現在の供用年数を用いた。

d) 施設の規模 i

図-1 に分析対象地域における初期時点の廃棄物焼却施設と廃棄物発生点の配置を示す。ただし、地図中の数字は施設の番号を示している。また、表-2 には本研究で対象とする各廃棄物焼却施設の番号と更新時に選択可能な 1 日当たりの日処理能力(トン/日)、計画初期時点における供用年数をまとめたものを示す。環境省による廃棄物処理の広域化計画¹⁹⁾では、安定的な燃焼状態および余熱利用の推進の観点から、処理能力 300 トン/日以上(最低でも 100 トン/日以上)の施設への集約を推奨している。実際に愛知県²⁰⁾や長野市²¹⁾では実際に処理能力 300 トン/日以上の施設に集約する計画を発表している。ここでは、将来的な人口の減少と、総廃棄物発生量の減少が予想されているため、更新後の施設規模として、現状の規模が推奨されている最小の規模(300 トン/日)が選

図-1 初期時点の廃棄物焼却施設と発生点の配置

表-2 各施設の初期供用年数と処理能力

番号 j	初期供用年数	日処理能力($i=s$)	日処理能力($i=l$)
1	15	300	600
2	25	300	600
3	6	300	600
4	17	75	300
5	27	120	300
6	18	120	300
7	14	100	300

択できると仮定する。

一般廃棄物処理実態調査結果¹⁸⁾によると、図-1 中の 7 個の施設のうち、仙台市近傍の施設 ($j=1,2,3$) は日処理能力が 600 トン/日であり、その他の施設 ($j=4,5,6,7$) は約 100 トン/日前後となっている。施設 1~3 は既存施設の規模が 600 トン/日であるため、縮小という選択肢が考えうる。よって、更新時に規模が更新前と同等の 600 トン/日の施設に更新する場合を $i=l$ 、既存施設の半分の規模 (300 トン/日) の施設に更新する場合を $i=s$ と表す。これに対して、施設 4~7 は現在の処理能力の大きさを踏まえると、これらの施設をさらに縮小することは望ましくなく、規模の拡大と集約が望まれる。そこで、施設 4~7 は、更新時に既存施設と同じ規模の施設に更新する場合を $i=s$ 、更新時に処理能力 300 トン/日の施設に拡大する場合を $i=l$ と表す。最適化問題を解くことによって、各施設の更新時にこれらの大小 2 種類の施設規模のうち LCC を最小にするような規模が 1 つだけ選ばれることになる。なお、廃棄物焼却施設の日処理能力を 1 年当たりの処理能力に換算するため、年間稼働日数を 280 日と仮定する。この値は、廃棄物処理施設整備費国庫補助金交付要領に記載されている実稼働日数 280 日を用いており、年間 365 日から年間停止日数 85 日(整備補修期間 30 日+補修点検 15 日×2 回+全停止期間 7 日+(起動に要する日数 3 日×3 回+(停止に要する日数 3 日)×3 回))を引いた日数である。

図-2 計画最終期における廃棄物の輸送(中位仮定値)

図-3 施設規模と更新・廃止タイミング(中位仮定値)

e) 将来の廃棄物発生量 $G_{k,t}$

将来時点における各期の一般廃棄物の発生量は、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²⁰⁾を用いて設定する。この推計人口は死亡率、出生率それぞれについて中位仮定・上位仮定・下位仮定を設定して算出されたものが公表されている。以下、これらの推計人口に2010年度の一般廃棄物処理実態調査¹⁸⁾から各市町の1人当たりの一般廃棄物排出量を掛け合わせ、将来の廃棄物排出量を設定し、中位仮定値、上位仮定値、下位仮定値と呼ぶ。ただし、資料から5年ごとの将来推計人口しか得られなかったため、一次関数で近似し、その近似式を用いて1年ごとの人口を補間した(なお、仙台市、名取市は将来人口の予測値が非線形であったため、決定係数の高い二次関数で近似した。).

f) 単位輸送費用 c_{kj} と処理費用 w^i

単位輸送距離・単位廃棄物量当たり 1.0(千円/km・トン)の輸送費用が生じると設定した。ここでは、廃棄物を収集しながら輸送するため、既存研究²⁰⁾よりも高い数値を設定した。廃棄物発生地点から廃棄物焼却施設までの輸送距離は2点間の直線距離を用いた。また各施設の処理費用は一般廃棄物処理実態調査結果¹⁸⁾から2010年度の宮城県全体の廃棄物処理費用を直接焼却量で割った値 $w^i = 27.8$ (千円/トン)を用いる。ただし、ここでは施

図-4 総廃棄物発生量と年間総処理能力(中位仮定値)

設の規模に関わらず同一の値を設定する。

g) 更新費用 f_j^i

計画時に設定する将来の更新費用は施設の建設費用と等しいと考える。環境省による廃棄物焼却施設設置費用調査結果²⁰⁾より、1999 または 2000 年度に市町村などが発注・契約し、国庫補助を受けて新設または更新された施設の平均値が処理量 1(トン/日)当たり約 5 千万円であった。したがって一日当たりの処理能力 N_j^i と $\alpha = 5.0 \times 10^4$ (千円/トン・日)との積で更新費用を表現する。

$$f_j^i = [f_j^s, f_j^l] = [\alpha \times N_j^s, \alpha \times N_j^l] \quad (\text{千円}) \quad (15)$$

h) 単位供用年数あたりの維持管理費用 r_j^i

ごみ焼却施設長寿命化計画作成の手引き(ごみ焼却施設編)³⁾では、廃棄物焼却施設の供用年数の増加に伴い建設費用の何%が維持管理費用として生じるのかを示した実績値が掲載されている。大窪¹⁴⁾では、供用年数に対する点検補修費用の割合を線形近似し、供用年数が1年伸びるごとに点検補修費用は建設費用の0.3054%だけ増加することを示した。ただし、ここでの点検補修費用は、定期的な点検整備・補修費、突発的な補修・修理、予備品消耗品費や法廷点検費を含んでいる。本研究では、この結果と式(15)を用いて、供用年数に対する維持管理費用の増分 r_j^i (千円/年)を下式のように設定し、係数 β の標準値を $\beta = 1.5 \times 10^2$ と設定する。

$$r_j^i = \frac{0.3054}{100} \times f_j^i = \frac{0.3054}{100} \times \alpha \times N_j^i \\ \approx (1.5 \times 10^2) \times N_j^i \equiv \beta \times N_j^i \quad (16)$$

(3) 計算結果(中位仮定値)

廃棄物発生量を中位仮定値とした場合の最適な更新・廃止戦略を算出した。計画期間の最終期での施設の存在状況と廃棄物の輸送計画を図-2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施設の内、3施設が廃止され、4つの施設が運用されている。すなわち、中位仮定値の下では4つの施設だけで地域内

図-5 各仮定値における総廃棄物発生量と中位仮定値での年間総処理能力

図-6 上位仮定値の下での更新・廃止タイミング

図-7 下位仮定値の下での更新・廃止タイミング

の全ての廃棄物が処理可能であることを示している。各施設の更新・廃止タイミングを図-3 に示す。施設 1 は、初期の規模($i=l$)から、12 期に同じ規模の施設($i=l$)に更新されている。施設 2(初期供用年数 25 年)は 7 施設中 2 番目に古く、1 期に廃止されて、それ以降は近隣の施設(1, 3, 5)が施設 2 の処理を代替する。施設 3 は、比較的新しい(初期供用年数 6 年)こともあり、更新されずに処理を続ける。施設 4(初期供用年数 17 年)は、14 期に廃止となっている。これは、人口減少による廃棄物発生量の減少に伴い、施設 4 の処理していた地域の廃棄物が施設 6 のみによって全て処理可能になったためである。施設 5, 6 は、それぞれ 3 期と 10 期に同じ規模の施設に更新さ

れる($i=s$)。施設 7 は 29 期まで運用され、廃止される。

以上の結果では、計画初期において最も古い施設 5 は更新されている。これは、施設 5 の処理を代替できる施設が近隣になく、廃止による輸送費用の増大を避けたためである。一方、2 番目に古い施設 2 は近隣に大きな施設があるため処理を代替しやすく、廃止されたと考えられる。すなわち、初期供用年数の古い順に従って施設を更新または廃止するのではなく、施設の位置関係も考慮することによって LCC が最小化できることが示された。

図-4 には全地域の廃棄物発生量を合計した総廃棄物発生量と全施設の年間処理能力を合計した年間総処理能力の経年的推移を示している。図-4 では施設 2, 施設 4, 施設 7 が 1 期, 14 期, 29 期に、それぞれ廃止されるにつれて年間総処理能力が下がっており、各廃止タイミングでは年間総処理能力と総廃棄物発生量が、ちょうど等しくなっている。つまり、全ての廃棄物を処理するのに十分な処理能力が確保できるという条件が整った時点で廃止されており、廃止のタイミングは総廃棄物発生量からの影響を強く受けることが確認できた。なお、総廃棄物発生量と年間総処理能力を等しくするような施設の規模、更新・廃止タイミングの組み合わせは膨大であり、量的な一致は最適解の必要条件に過ぎない。その中から LCC を最小化する組み合わせを見つけるためには、本研究で用いたような計画モデルによる計算が必要である。

4. 設定誤差を踏まえた更新・廃止戦略の策定

(1) 廃棄物発生量に関する感度分析の考察

計画時に将来の廃棄物発生量として中位仮定値を設定した前章の更新・廃止戦略と、実際の発生量が多いとした場合(上位仮定値)と、少ないとした場合(下位仮定値)に対する最適な更新・廃止戦略をそれぞれ求め、安定性を議論する。各仮定値の下での総廃棄物発生量と先の中位仮定値に対する最適解での年間総処理能力の推移を図-5 に示す。計画期間の後半になるにつれて、廃棄物発生量の各仮定値間の差異が大きくなるように設定されていることが確認できる。

上位仮定値、下位仮定値に対してモデルから求められた施設の最適な更新・廃止タイミングを図-6, 7 に示す。まず、図-6 に示す上位仮定値の下での廃止の順番に着目すると、中位仮定値のケースと同様に施設 2, 4 の順番で廃止されている。ただし、廃止タイミングは、それぞれ 1 期と 23 期になっており、施設 4 の廃止タイミングが中位仮定値より遅くなっている。これは上位仮定値の下では、総処理能力が余剰となるタイミングが遅くなるためである。また中位仮定値の下で廃止された施設 7 は、上位仮定値では廃止されない。一方、図-7 に示す下位

図-8 更新費用が小さい場合の更新・廃止タイミング
($\alpha=3.0 \times 10^4$)

図-11 維持管理費用が小さい場合の更新・廃止タイミング
($\beta=1.0 \times 10^2$)

図-9 更新費用が大きい場合の更新・廃止タイミング
($\alpha=7.0 \times 10^4$)

図-12 維持管理費用が大きい場合の更新・廃止タイミング
($\beta=2.0 \times 10^2$)

図-10 α と施設の更新費用, 更新タイミングとの関係

図-13 β と施設の更新費用, 更新タイミングとの関係

仮定値の場合は施設 2, 4, 7 の順番で廃止され, そのタイミングは 1, 7, 23 期となっており, 中位仮定値の場合よりも早く廃止される。下位仮定値の下では, 総廃棄物発生量が少なく, 早い段階で施設を廃止しても全ての廃棄物を処理できるため, 廃止タイミングが早くなった。

以上の結果から, 廃棄物発生量の仮定値の違いが, 廃止タイミングに影響を与えるのは, 中位仮定値において遅い時期に廃止される施設 4 と 7 であった。これは, 各仮定値間での発生量の差異は期末に近づくほど大きくなる(図-5 参照)ため, 後半に廃止される施設ほど, 仮定値間での違いが出やすかったためである。したがって, 人

口仮定値に設定誤差が生じて, 廃止する施設の順番と 6 期までに廃止される施設とそのタイミングは, 変わらず安定している。7 期以降は, 総廃棄物発生量が下位仮定値であった場合に施設 4 が 7 期に廃止される。また, 施設 7 は総廃棄物発生量が多かった場合に計画期間内に廃止しないという戦略に変化することがあり得る。これらのことから, 廃止タイミングが計画期間の後半にある施設は, 廃止の順番は変わらないものの, 当初の戦略で廃止の有無やタイミングを確定することはできない。ただし, 図-5 に示すように, 廃止タイミングは総廃棄物発生量に大きく影響されるため, 総廃棄物発生量の経年

的推移に注意すれば、事前対応できる可能性がある。

次に、更新する施設の順番は、どの仮定値を設定しても施設 5, 6, 1 の順番で、それぞれ 3, 10, 12 期に更新される。ただし、下位仮定値では施設 7 の廃止タイミングの影響を受けて施設 6 の更新が 1 期だけ早まり 9 期に更新される。また、上位仮定値では上述の 3 施設(5, 6, 1)に加えて施設 7 が 13 期で更新されるという結果となった。さらに、どの仮定値の下でも、各施設は同規模の施設に更新された。同じ規模への更新は、各地域への廃棄物の輸送量に影響しないため、廃棄物発生量の仮定値の違いが反映されなかった結果であると考えられる。

以上から更新戦略は、人口仮定値に設定誤差が生じても施設を更新する順番と更新後の規模は計画期間中、安定であるといえる。また、更新タイミングは、施設 6 の更新が 1 期だけ異なることを除けば、人口仮定値を変えても 12 年程度の更新戦略は変わらず、安定している。

(2) 更新費用に関する感度分析の考察

次に更新費用の設定を変えたときの更新・廃止戦略を比較し、最適解の安定性を分析する。ここでは廃棄物発生量を中位仮定値に固定した状況下で更新費用の係数 α (千円/トン・日)の実績値 $\alpha = 5.0 \times 10^4$ に加え、それを上下に大きく変動させた値($\alpha = 3.0 \times 10^4, 7.0 \times 10^4$)に、それぞれ設定したときの最適解を計算して比較する。実際の更新費用は、ほぼこの間に収まると考えられる。

最初に、図-8 に示す更新費用が小さい場合の廃止戦略についてみると、1 期に施設 2 が廃止され、14 期に施設 4 が、29 期に施設 7 が廃止される結果となり、実績値($\alpha = 5.0 \times 10^4$)を設定した場合(図-3)と同様の順番とタイミングで廃止される。また、更新費用が大きい場合(図-9)にも廃止する施設の順番とタイミングは実績値を設定した場合(図-3)と変わらなかった。したがって、更新費用に設定誤差が生じて、廃止戦略は極めて安定しており、当初の戦略で計画期間中の廃止戦略を確定することができることがわかった。

次に更新戦略について見ると、更新費用が小さい場合(図-8)には、施設 5 が 1 期に更新され、その後、6 期に施設 6、9 期に施設 1 と 7 が更新され、15 期に施設 3 が更新される。更新費用が大きくなると(図-9)、更新される施設の数減少し、施設 5 のみが先のケースよりは遅い 7 期に更新される。これは更新費用が大きくなることによって、割引率を与えているモデルの都合上、一度に莫大なコストがかかる更新のタイミングをできるだけ先送りすることで、LCC の現在価値をより小さくするように最適更新・廃止戦略が修正されるためである。

図-10 には、 $\alpha = 4.0 \times 10^4, 5.0 \times 10^4, 6.0 \times 10^4, 7.0 \times 10^4$ の各設定の下での、施設の更新タイミングと更新費用の

累積値の経年推移を示している。図中の更新費用の累積値が不連続に変化している所が、施設の更新タイミングである。図-10 から、どの設定でも施設 5 が最初に更新されていることがわかる。更新費用が小さい場合($\alpha = 4.0 \times 10^4$)には施設 5, 6, 1, 7 の順に更新されていく。更新費用が大きくなると($\alpha = 5.0 \times 10^4$)、更新される施設の順番は変わらないが、施設 7 が更新されなくなる。更新費用がさらに大きい場合($\alpha = 6.0 \times 10^4$)には施設 1 が更新されなくなり、最終的($\alpha = 7.0 \times 10^4$)には施設 6 も更新されなくなる。このように、更新費用の設定値が大きくなることによって更新タイミングが遅くなるものの、更新する施設の順番は安定していることがわかった。

(3) 維持管理費用に関する感度分析の考察

供用年数に対する維持管理費用の増分を表す係数 β (千円/トン・日)を変えたときの更新・廃止戦略を考える。これは計画時の予想よりも、施設で実際に起きた故障の回数や程度が異なる状況や長寿命化対策によって維持管理費用が下がった状況に相当する。ここでも前節と同様に、実績値($\beta = 1.5 \times 10^2$)を上下に大きく変動させた値($\beta = 1.0 \times 10^2, 2.0 \times 10^2$)の下での最適解を比較する。

まず供用年数に対する維持管理費用の増分が小さい場合($\beta = 1.0 \times 10^2$)の施設規模と更新・廃止タイミングを図-11 に示す。廃止の順番とタイミングは、 β の設定によって変わらず、施設 2 から始まり、施設 4、施設 7 の順に、それぞれ 1, 14, 29 期に廃止される。すなわち、維持管理費用の設定によって、廃止の順番とタイミングに差異が生じないことがわかった。更新戦略に着目すると、9 期に施設 5 が更新されるのみで、その他の施設は更新されない。これは、供用年数に関して維持管理費用が増加しにくくなったことによって、維持管理費用の増大を避ける必要性が小さくなったためである。

次に供用年数に対する維持管理費用の増分が大きい場合($\beta = 2.0 \times 10^2$)の廃止戦略について見ると、図-12 に示すように、廃止の順番とタイミングは実績値を設定した場合(図-3)と維持管理費用の増分が小さい場合(図-11)と比較して変化していない。したがって、更新費用に設定誤差が生じた場合と同様に、維持管理費用に設定誤差が生じても廃止戦略は極めて安定しており、当初の戦略で計画期間中の廃止戦略を確定することができる。

維持管理費用の増分が大きい場合の更新戦略に着目すると、1 期に施設 5、8 期に施設 6、その後、10 期に施設 1 と 7 が更新され、時期が早まっている。これは供用年数に対して維持管理費用が大きくなったため、施設の更新が促された結果である。ここで、 β の 3 つの設定値の下での更新費用の累積値と更新タイミングを図-13 に示す。 β が小さくなるにつれて更新される施設の数減少

なくなる。また β が大きい場合には、更新タイミングが早くなり計画期間内で更新される施設数が増加する。つまり、維持管理費用の増加が著しい場合、維持管理費用を小さく抑えようとして早めに更新が実行されることになる。したがって、更新される施設の順番は、どの β の値に対しても施設 5, 6 の順に更新され、その後に施設 1 と 7 が続く。このように施設を更新する順番は維持管理費用の設定誤差に対しても安定しているといえる。

(4) 設定誤差が更新・廃止戦略に与える影響のまとめ

本研究では、以上に加えて割引率 δ が異なる場合の更新・廃止戦略を求めた。その結果、更新や廃止のタイミングは費用の設定によって異なるが、施設の更新や廃止の順番は設定誤差に対して、安定的であることがわかった。また、輸送費用の設定を変えた場合には、施設 7 の更新・廃止の意志決定のみが異なることがわかった。

以上をまとめると、廃止戦略は施設を施設 2, 4, 7 の順番に廃止するという戦略が設定誤差に対して安定していることがわかった。特に、更新費用や維持管理費用に設定誤差が生じた場合でも、各施設の廃止の有無とタイミングも含めた廃止戦略は計画期間中、安定であり、当初に立てた廃止戦略で確定することができる。人口仮定値の設定誤差に対して廃止タイミングが大きく変化することを考慮しても、6 年程度までに施設 2 を廃止するという戦略を確定できる。ただし、施設 4 の 7 年目以降の廃止タイミングは変化しうること、施設 7 の廃止の有無とタイミングは総廃棄物発生量に応じて変わることを当初の戦略で考慮した上で、総廃棄物発生量の経年的推移に注意しながら準備を進めていく必要がある。

次に、更新戦略について見ると、更新する施設の順番と更新後の施設規模は設定誤差に対して安定であり、施設 5, 6, 1, 7 の順番に現状と同じ規模の施設に更新することが安定的である。施設の更新の有無とタイミングも含めて考えた更新戦略は、人口仮定値の設定誤差に対して 12 年程度安定しているが、更新費用と維持管理費用の設定誤差に対しては不安定であり、9 年以内に施設 5 を同規模の施設に更新する、という戦略しか確定することができない。このとき、付録に示すように、更新費用が小さくなる、または維持管理費用が大きくなる方向の設定誤差が発生すると、施設の最適更新タイミングが早まるだけでなく、施設を更新する価値が高まるため、施設の更新を行うという判断自体に変更は生じない。他方、それらの費用が逆に変化した場合には更新が不要になることが起こりうるが、当初の戦略において更新の価値が高く、更新タイミングが早い施設ほど、更新をするという戦略は安定である。そのため、当初の更新戦略においては、更新する施設の順番を施設 5, 6, 1, 7 に確定しておき、まずは施設 5 のみを更新した上で、更新費用や維持

図-14 最適な更新タイミング ($\delta=0.96, T=30, r=1, t_0=15$)

図-15 更新の価値 ($\delta=0.96, T=30, r=1, t_0=15$)

管理費用に関する追加的な情報を下に、施設 6 以降の更新時期を調整していく方法が考えられる。

5. おわりに

本研究では、施設の供用年数、更新・廃止タイミングを内生化した多時点施設配置モデルを用いて、宮城県南部に位置する廃棄物焼却施設の最適な更新・廃止戦略を算出した。また、計画時にモデルで設定した将来予測値と実際の数値が異なることを考慮し、廃棄物発生量や各費用について感度分析を行い最適解の安定性を分析した。

その結果、30年間という計画期間の設定誤差に対して、廃止または更新する施設の順番と更新後の施設規模は、計画期間中で安定であることがわかった。しかし、計画期間中での更新・廃止の有無、タイミングは、どの設定値に設定誤差が生じるかによって安定性が異なる。廃止戦略は、更新費用や維持管理費用の設定誤差に対しては

計画期間中、安定である。しかし人口仮定値の設定誤差に対して廃止タイミングが大きく影響されるため、最初の6年間の廃止戦略を確定した上で、廃棄物総発生量に注意を払いつつ、焼却炉の解体に必要な予算の確保や施設の跡地利用計画など関連する分野との調整を進めることが可能である。また、更新の有無とタイミングは、人口仮定値の設定誤差に対しては最初の12年間は安定的であるものの、更新費用や維持管理費用の設定誤差に対して安定なのは7年程度である。

以上を踏まえて、まず計画初期時点でのモデル分析結果から最初の6年程度の施設の廃止・更新の順番、更新後の施設規模を確定し、7年目以降の更新・廃止のタイミングについては、時間経過に合わせて得られる、より確かな情報を使い、設定誤差の発生を見極めて再度、最適な更新・廃止戦略を算出し直し、逐次的にタイミングを調整していく方法が有効であると考えられる。

謝辞：本研究は日本学術振興会・科学研究費補助金（課題番号：24760405）の助成を受けたものである。

付録 施設の更新の有無の安定性

維持管理費用や更新費用のパラメータの変化が施設の更新の有無にもたらす定性的な影響を調べる。ここでは、ある単一の施設の更新に着目し、施設の規模と場所を表すインデックス i, j を省略して表記する。また、解析的な取扱いを容易にするため連続時間として扱う。

t 期の施設更新による総費用の減少分を、更新の価値 $V(t)$ と定義する。第3章と第4章の計算結果より、更新による施設規模の変更は見られなかったため、更新の有無による輸送計画の差異は無いものと考え、更新の価値 $V(t)$ を次の様に定義する。

$$V(t) = \int_t^T \delta^{(T-\tau)} r(\tau + t_0) d\tau - \int_t^T \delta^{(T-\tau)} r(\tau - t) d\tau - \delta^{(T-t)} f \quad (\text{A-1})$$

式(A-1)は、施設を更新しない場合の t 期から T 期までの維持管理費用の現在価値(第1項)から、施設を更新した場合の維持管理費用(第2項)と更新費用(第3項)を引いたものである。式(A-1)を整理すると、

$$V(t) = \frac{r(t+t_0)}{\ln \delta} \left(\delta^{(T-t)} - \delta^{(T-t)} \right) - \delta^{(T-t)} f \quad (\text{A-2})$$

となる。更新の価値 $V(t)$ を極大にするような更新タイミング t^* が満たすべき条件は、 $dV(t)/dt = 0$ であり、この条件式は式(A-2)から、次のように書ける。

$$\delta^{(T-t^*)} = 1 + \left(t^* + t_0 \right) \ln \delta + \frac{f}{r} (\ln \delta)^2 \quad (\text{A-3})$$

式(A-3)の左辺と右辺を、それぞれ更新タイミング t の関数 $L(t)$, $R(t)$ として図示すると図-14 のようになり、最適な更新タイミング t^* は $L(t)$ と $R(t)$ との交点で決まる。 $L(t)$ は t に関して増加する非線形な関数で、全ての施設について共通の関数である。図-14 中には、維持更新費用と更新費用を現状のものに設定した場合 ($r/f = 3.1 \times 10^{-3}$) と、相対的に更新費用を大きく設定した場合 ($r/f = 1.5 \times 10^{-3}$) と、小さく設定した場合 ($r/f = 6.2 \times 10^{-3}$) の $R(t)$ を示す。また図-15 には各設定の下での更新の価値 $V(t)$ を示している。図-14 の $L(t)$ と $R(t)$ との交点 t^* での更新の価値 $V(t^*)$ が正 ($V(t^*) > 0$) であれば、更新による維持管理費用の減少効果が更新費用を上回るため更新し、負であれば更新しないことが最適な戦略となる。ただし、計画最終期 ($t = T$) で更新する場合、計画期間内での維持管理費用の減少分は得られないため、 $V(T)$ は必ず負になる。

式(A-3)から、初期供用年数、維持管理費用と更新費用の違いは $R(t)$ の切片にのみ影響する。例えば、当初の計画よりも実際には維持管理費用が大きい、または更新費用が小さいという設定誤差が生じれば、設定誤差に対して $R(t)$ は下方に移動し、更新タイミングは早くなる(図-14 中、 $r/f = 6.2 \times 10^{-3}$ 参照)。この移動が大きくなり $R(0)$ が $L(0)$ よりも下に移動した場合には更新をすぐさま実施することが最適解となり、更新を行うという判断は変化しない。さらに、この方向での設定誤差の発生は、図-15 中の $V(t)$ を左上にシフトさせ、更新の価値を高め、当初の計画よりも維持管理費用が大きい、または更新費用を小さいという設定誤差の下では、施設を更新するという戦略は安定である。

逆に、当初の計画に比べて維持管理費用が小さく、更新費用が大きいという設定誤差が生じると $R(t)$ は上方に移動し、更新タイミングが遅くなる(図-14 中、 $r/f = 1.5 \times 10^{-3}$)。さらに更新タイミングが遅くなると維持管理費用の減少効果が得られる期間が短くなり、図-15 中の $V(t)$ は右下にシフトする。その結果、 $0 < t < T$ の範囲内で $L(t)$ と $R(t)$ に交点 t^* が存在しても、極大値 $V(t^*)$ が負になると更新は行われない。

当初の戦略において初期供用年数が短い、維持管理費用が小さい、更新費用が大きいなどの特徴を持つ施設は、交点 t^* が大きく、更新タイミングが遅いため、上述したような設定誤差の影響を早く受けてしまう。逆に、初期供用年数が長い、維持管理費用が大きい、更新費用が小さいことによって、当初の戦略での更新タイミングが早い施設は、 $V(t^*) > 0$ という条件が維持されやすいため、更新の有無は設定誤差の影響を受けにくい。

次に更新タイミングの安定性をチェックする。図-14 において、 $L(t)$ は t に関して単調に増加する下に凸の

関数である。そのため、より小さい t で $L(t)$ と $R(t)$ が交わっているほど、維持管理費用と更新費用の変化に対する交点の t 軸方向の変化が大きい。すなわち、当初の計画における更新タイミングが早い施設ほど、維持管理費用と更新費用の設定誤差に対する最適な更新タイミングの変化は大きいことがわかる。

参考文献

- 1) 細井由彦, 岩崎翔志, Dagnachew Akalog, 増田貴則: 人口減少が進む水道事業体における持続的移行を考慮した配水管の更新, 土木学会論文集 G(環境), Vol. 67, No. 6, pp. II_105-112, 2011.
- 2) 谷本圭志, 杉本泰亮, 宮本慎也, 灘英樹, 細井由彦: 集散的維持管理方策に関するモデル分析—道路舗装と下水道管路を対象として—, 土木学会論文集 G(環境), Vol. 67, No. 6, pp. II_83-91, 2011.
- 3) 環境省大臣官房: 廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課, 廃棄物処理施設長寿命化計画作成の手引き(ごみ焼却施設編), 2010.
- 4) Callan, S. and Thomas, J. M.: Economies of scale and scope: a cost analysis of municipal solid waste services, *Land Economics*, Vol. 77, No. 4, pp. 548-560, 2001.
- 5) 大澤正明, 相良敏正, 島岡隆行, 中山裕文: ごみ焼却施設における定期補修費の実態と評価, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol. 20, No. 3, pp. 171-179, 2009.
- 6) 松藤敏彦, 大原佳祐: 一般廃棄物最終処分コストの分析および標準費用モデルの作成, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol. 21, No. 1, pp. 30-43, 2010.
- 7) 愛知県: 第2次愛知県ごみ焼却処理広域化計画(平成20年度~29年度), 2009.3.
- 8) 長野地域広域連合: ごみ処理広域化基本計画, 2011.2. (2013.3 一部修正)
- 9) Tabata, T., Imura, H. and Mi, D. M.: Life-cycle evaluation of municipal solid waste management system by considering renewal and maintenance patterns of treatment facilities, *Journal of Environmental Information Science*, Vol. 37, No. 5, pp. 83-90, 2009.
- 10) 環境省: 日本の廃棄物処理, 平成22年度版, 2012.
- 11) 西村正志, 大澤義明: ごみ焼却によって発生するダイオキシン類と収集車が出す排ガスに着目したごみ処理広域圏, 日本都市計画学会第37回学術研究発表論文集, pp. 1069-1074, 2002.
- 12) 川中子敬至: ゴミ・ステーションを巡回する収集車の経路問題, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 47, No. 11, pp. 737-742, 2002.
- 13) 溝本剛志, 塚井誠人, 奥村誠: ネットワーク型施設配置モデルによる廃棄物リサイクル施設計画の分析, 都市計画論文集, No. 39-3, pp. 565-570, 2004.
- 14) 大窪和明, 奥村誠, 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, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol. 70, No. 5, pp. I_211-I_220, 2014.
- 15) 奥村誠: 土木計画学, コロナ社, 2014.
- 16) 森正幸, 稲貝とよの, 小泉明, 渡辺晴彦, 荒井康裕, 西澤常彦: 将来水需要量の不確実性を考慮したファジィ線形計画法による管路更新計画モデル, 土木学会論文集 G(環境), Vol. 67, No. 6, pp. II_113-II_119, 2011.
- 17) 国土交通省: 公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針(共通編), 2010. <http://www.mlit.go.jp/tec/hy-ouka/public/090601/shishin/shishin090601.pdf>
- 18) 環境省: 一般廃棄物処理実態調査結果, http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/
- 19) 環境省: ごみ処理の広域化計画について, <http://www.env.go.jp/hourei/syousai.php?id=11000138>
- 20) 国立社会保障・人口問題研究所, 日本の将来推計人口, <http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Mainmenu.asp>
- 21) 加用千裕, 石垣智基, 山田正人, 大迫政浩, 立尾浩一: 東日本大震災で発生した災害廃棄物の広域処理に関する一考察(第一報), 生活と環境, Vol. 57, pp. 36-42, 2012.
- 22) 環境省: 廃棄物処理施設設置費用調査結果, http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/setti/

(2014. 11. 27 受付)

THE STABILITY OF RENEWAL AND CLOSURE STRATEGY OF MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION PLANTS, BASED ON MULTI-PERIOD MULTI-PLANT LOCATION MODEL

Kazuaki OKUBO, Makoto OKUMURA and Tatsuki AGATSUMA

Deterioration of Municipal Solid Waste Incineration Plants (MSWIPs) is becoming a significant social issue in Japan, especially considering decrease of population, and some plants can be renewed or closed under some circumstances. To make a scheduling for renewal or closure of MSWIPs, we apply the multi-period multi-plant location model by Okubo *et al.*, to the south part of Miyagi prefecture. We examine the stability of the timings and priority of renewals and/or closures against the changes in population prediction, maintenance cost of plants, reconstruction cost, and so on. As a result, under realistic parameter changes and error of population forecasting, renewal and closure strategy are very stable at least first 6 years. On the otherhand, the closure decision and timing of the MSWIPs having later year closure plan may vary due to the parameter change.