

直列待ち行列モデルによる産業廃棄物管理型最終処分場における搬入車両の輻輳解析

吉成 昇^{1,†1} 大内 東^{1,a)}

概要 :

本稿は、産業廃棄物管理型最終処分場の運営において主要な業務の一つである廃棄物を搬入する運搬車両の取り扱いについて、受付から廃棄物のダンピング、退去までの挙動を待ち行列モデルにより解析し、処分場の運用に関して有用な情報を得るための解析方法を提案する。また提案方法を実際の処分場に適用してモデルの妥当性を検証する。

解析の要点は、搬入車両の場内滞在時間の考察である。場内滞在時間の観点から、一日に対応可能な車両台数等を算出し、搬入車両の待機場場の設計、作業員の人員計画、受付業務の改善等、管理型最終処分場の建設設計や施設運用に役立てる結果を導く。

キーワード : 産業廃棄物 最終処分場 待ち行列 システム内時間

Tandem queue analysis of congestion of vehicles in industrial waste disposal landfill.

1. はじめに

廃棄物処理、とりわけ産業廃棄物処理は、我が国の工業生産プロセスに必須のプロセスである。生産と廃棄物処理は一体であり、生産プロセスを盛んにするためには廃棄物処理能力を高める必要がある。更に、近年頻発している大規模自然災害の復旧において産業廃棄物処理事業者が果たす役割は大きい。環境省もその事実を踏まえ、2015年に法令改正や省令変更を行い、災害廃棄物処理において、産業廃棄物処理事業者が持つ人材、スキル、施設などの活用を図る方向で進めている。[5][6][7][8]

産業廃棄物の処理は廃掃法によって規定されている許可事業である。排出事業者から委託を受けて産業廃棄物処理の一部あるいは全部を行う事業が産業廃棄物事業である。産業廃棄物事業者となるためには、産業廃棄物収集運搬業や

産業廃棄物処分業などの許可が取扱品目ごとに必要である。更に、産業廃棄物処理施設を設置・改良する場合は、業の許可とは別に「施設設置許可」が必要であり、工事の着手前に必ず設置場所を管轄する行政長の許可を受ける必要がある。

以上のような状況から産業廃棄物処理事業に参画し、経営を行うことは容易ではない。例え、処理施設を建設できたとしても、社会情勢や経済状況の変化など、その運用は難しい。著者らは産業廃棄物処理事業の管理・運営において、科学的方法論の導入を積極的に検討している企業と共同研究を行っている [11]。本論文ではその研究の一つとして、管理型最終処分場の運営において主要な業務の一つである廃棄物を搬入する運搬車両の取り扱いについて、受付から廃棄物のダンピング、退去までの挙動を待ち行列モデルにより解析する方法を提案する。

解析の要点は、搬入車両の場内滞在時間の考察である。場内滞在時間の観点から、一日に対応可能な車両台数等を算出し、搬入車両の待機場場の設計、作業員の人員計画、受付業務の改善等、管理型最終処分場の建設設計や施設運用に役立てる結果を導く。

¹ 吉成総合研究所
001-0021, 札幌市北区北 21 条西 12 丁目北海道大学構内コ
ボほっかいどう内 F ルーム, 011-373-6652 fax:011-374-6653
YOSHINARI RESEARCH INSTITUTE, Kita-Ku, Sapporo
001-0021, Japan

^{†1} 現在, 北海道大学
Presently with Hokkaido University

^{a)} azuma@kdn.biglobe.ne.jp

本論文で応用する待ち行列モデルは、M/M/1 モデルを基本とする直列モデルである。この直列モデルは独立性が成立することから、モデル化及び解析が容易であり、現場担当者にとっても理解や利用が可能である。また、待ち行列ネットワークにおけるジャクソンモデルによっても同様の結果を導出して、より広い観点から問題の理解を深める。

産業廃棄物処理に関する研究は、廃棄物処理関連の学会においてさえ多くはない。更に、管理型最終処分場を対象とした研究は非常に少ないのが現状である。更に、最終処分場における運搬車両の輻輳解析に関する研究は著者の知る限り皆無である。本研究が日常的に行われている業務に対し科学的アプローチの方法を提案し、処分場運営の戦略立案を可能にして産業廃棄物処理事業発展の一助となれば幸いである。

2. 廃棄物処理の概要

2.1 廃棄物の定義

日本における廃棄物処理は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」(略称は「廃掃法」)により規定されている。

「廃掃法」では、廃棄物を一般廃棄物、産業廃棄物などに区分し、それぞれ自治体や排出者の処理責任について規定している他、廃棄物処理業や処理施設に対する規制、環境保全のための様々な措置について定めている。[1][2][3]

2.2 産業廃棄物システム

産業廃棄物の処理は、収集と運搬、中間処理、リサイクル、最終処分の各処理をそれぞれの施設で実行する(図1)[4]。

- 収集と運搬
発生した産業廃棄物は、自社あるいは委託業者の輸送機関により中間処理場や最終処分場へ運ぶ。廃棄物の運搬に特有な車両には、ダンプ車、トレーラー、セミトレーラー、コンテナ専用車、強力吸引車、粉粒体運搬車などがある。
- 中間処理
リサイクルや最終処分を考慮した分別・選別、破碎・切断・圧縮、焼却、溶融、脱水などの適正処理によって、廃棄物の減容化、減量化、無害化、安定化、資源化など目的を行う。
- リサイクル
自社でリサイクル可能な製品は自社で、製品化ができないものは契約企業へ委託してリサイクルする。
- 最終処分
再利用が不可能な中間処理後の残渣等は、最終処分場に埋め立てる。最終処分場は、環境保全の観点から汚水の外部流出、地下水汚染、廃棄物の飛散・流出、ガス発生、そ(鼠)族昆虫の発生等を防止しながら、所要量の廃棄物を安全に埋め立て処分できる構造物で

ある。

最終処分場は、廃棄物処理法によって安定型最終処分場および管理型最終処分場、遮断型最終処分場の三つに分類される、

安定型最終処分場は、廃プラスチック類、ゴムくず、金属くず、カラスくず、コンクリートくず、がれき類などの安定型産業廃棄物を埋め立て処分する。管理型最終処分場は浸出水処理が必要な焼却残渣、汚泥などを埋め立てる処理を行う。遮水工が設けられ、浸出水処理施設も必要になる。遮断型最終処分場は有害な産業廃棄物を埋め立てる。

2.3 我が国における産業廃棄物処理の現状

平成 26 年 4 月 1 日現在の環境省の統計によると、年間に排出される廃棄物のうち、一般廃棄物が約 4,432 万トン、産業廃棄物は約 3 億 9284 万トンである。産業廃棄物処理業の許可件数は約 22 万 2 千件である。そのうち、約 94 % (約 20 万 8 千件) は収集運搬業の許可件数、残りの約 6 % (約 1 万 4 千件) は処分業の許可件数である。また、産業廃棄物処理施設の設置許可件数は、中間処理施設が 18,691 施設、最終処分場が 1,880 施設となっている。最終処分場は、安定型が全体の 60 % (1,120 施設)、管理型 39 % (736 施設)、遮断型 1 % (24 施設) となっている。更に、産業廃棄物最終処分場の残余容量は、約 17,181 万立方メートル、残余年数は全国では 14.7 年と推計されている [2][3]。

3. 応用する待ち行列理論

本論文では、処分場における運搬車両の挙動をシステムを最終処分場とし、客を廃棄物搬送車両として対応させ、N 個の M/M/1 待ち行列を直列に接続した N ステージ直列 M/M/1 モデルとしてモデル化する。待ち行列理論に関してはすでに多くの解説書があるので、本論文に必要な部分

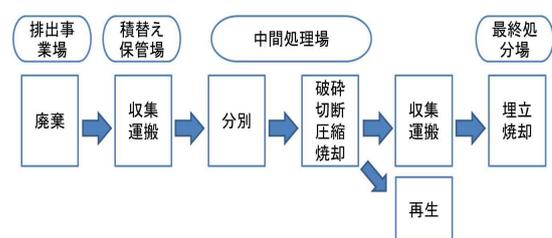


図 1 産業廃棄物の処理

Fig. 1 waste processing of industrial waset

のみをまとめることとする。[9][10]

本論文で利用する待ち行列モデルに対して次の仮定を置く。車両の到来はポアソン分布でサービス時間に指数分布を仮定する M/M/1 モデルである。待ち行列長の制限や、呼び損は考えない。

3.1 M/M/1 単一ステージ待ち行列

以下の記号を定義する。

T : 一日あたり営業時間

n : 一日あたり到来車両数

λ : 平均到着率 (単位時間に到着する車両数の平均値),

$$\lambda = n/T$$

T_a : 平均到着時間間隔 (= $1/\lambda$)

μ : 平均サービス率 (単位時間あたり受付処理を行う件数の平均値)

T_s : 平均サービス時間 (= $1/\mu$),

ρ : サービス利用率 (= λ/μ)

以上の記号を用いると、待ち行列の諸特性は以下の式で求められる。

$$\text{受付を待つ客の平均数} : L_q = \rho^2 / (1 - \rho) \quad (1)$$

$$\text{システム内の平均数} : L = L_q + \lambda / \mu \quad (2)$$

$$\text{平均待ち時間} : W_q = L_q / \lambda \quad (3)$$

$$\text{システム内平均滞在時間} : W = W_q + 1 / \mu \quad (4)$$

一方、リトルの公式

$$L_q = \lambda \cdot W_q \quad (5)$$

$$L = \lambda \cdot W \quad (6)$$

から以下の関係式を得る。

$$W = L / \lambda = \frac{1}{(1 - \rho)} \frac{1}{\mu} \quad (7)$$

更に、このシステムの出力過程については、次の Burke の定理が有用である。

Burke の定理 到着率が λ の Poisson 分布で、サービス率が μ の指数分布に従う M/M/1 型の待ち行列システムが $\lambda < \mu$ で平衡状態であるときは、その出力過程は到着率が λ の Poisson 過程となる。

3.2 N ステージ直列待ち行列

単一待ち行列が直列に N 個続く待ち行列が N ステージ直列待ち行列である。例として、図 2 に 3 ステージ直列モデルを示す。

ステージ $j, j = 1, \dots, N$ に対し、以下の待ち行列特性を仮定する：

- M/M/1 型の待ち行列である。
- 到着率が λ_j の Poisson 分布で、サービス率が μ_j の指数分布に従うものとする。

- $\rho_j = \lambda_j / \mu_j$ をそれぞれのステージでの利用率とする。
- M/M/1 型の理論により、各ステージが定常状態であるための条件は、 $\rho_j < 1, j = 1, \dots, N < 1$ である。

直列型待ち行列システムで問題になるのは、各ステージへの客の到着分布である。これに関しては上述の Burke の定理が有用である。次のステージへの待ちに制限（ブロッキング）がなければ、ステージ $j, j = 2, \dots, N$ への客の到着はポアソン分布になる。すなわち、

$$\lambda_j = \lambda, j = 1, \dots, N \quad (8)$$

と置くことができる。この場合は、N 個の M/M/1 型の待ち行列システムが直列接続したモデルとして、N 個のステージを切り離して解析することができる。従って、

$$W = \sum_{j=1}^N W_j = \sum_{j=1}^N \frac{1}{(1 - \rho_j)} \frac{1}{\mu_j} \quad (9)$$

$$\rho_j = \frac{\lambda}{\mu_j}, j = 1, \dots, N \quad (10)$$

同様の結果は、開放型ジャクソンモデルにおいても導出できる。[9]

4. 管理型最終処分場における課題

業務担当者との議論から明らかとなった最終処分場における主な課題は以下のようにまとめられる。

- (1) 運営に関する課題： 需要予測と受け入れ計画
- (2) 処分場の状態監視： 安定化状態データの収集と管理
- (3) 運搬車両： 搬入車両の輻輳制御と安全管理
- (4) 浸出水の浄化： 安価な浄化技術の開発

本論文ではこのうち、(3) の搬入車両の輻輳に関する課題を取り上げる。このために詳細な業務内容の調査を行い、最終処分場における運搬車両の処理業務をモデル化し、課題解決の方向を検討する。

5. 管理型最終処分場における運搬車両の処理業務

5.1 最終処分場の構成施設

管理型最終処分場は図 3 のような施設であり、外部搬入

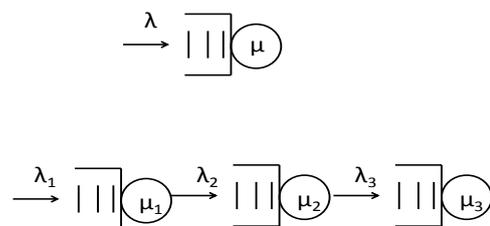


図 2 単一ステージ M/M/1 モデルと 3 ステージ M/M/1 モデル
 Fig. 2 Single M/M/1 model and 3-sages M/M/1 model

路, 受付待機場, 受付, トラックスケール, ダンプینگヤードまでの往復移動路, ダンプینگヤード, タイヤ洗浄施設などの設備から構成される. その規模は事業者により様々である. 代表的な例を挙げると, 埋め立て面積で5万 m^2 , 容積で120万 m^3 程度であり, よく引き合いに出される東京ドーム容積1個分と考えてよい. また, 営業日・時間は, 受け入れ曜日: 月曜日 ~ 金曜日
 受け入れ時間: 9:00 ~ 11:30, 13:00 ~ 16:00
 休業日: 土曜日及び日曜日, 祝祭日, 12/29 ~ 1/3
 が一般的である.

5.2 運搬車両の処理業務フロー

運搬事業者は, ほぼ1カ月前に搬入日, 搬入内容等を申請して許可を得る. 一般的な手続き内容は, 事前処理, 当日処理, 後日処理に分けられる. 本論文における解析の主要点は, 当日における搬入車両の場内滞在時間の短縮を目指すものである. この観点から各設備における当日業務について説明する.

搬入車両の当日作業フロー

- (1) 受付待機駐車場: 運搬車両は処分場入口から進入し, 待機駐車場において受付の順番を待つ
- (2) トラックスケール: 順番が来るとトラックスケールに乗り, 搬入物を積んだ実車重量を計測する. 最近では計量と同時に放射線量の計測も行う
- (3) 受付: マニフェスト, 伝票等必要な受付事務を行う
- (4) 移動: 受付処理が終わると, 処分場内にある実際に埋め立てを行うダンプینگヤードまで移動する
- (5) ダンプینگ待機場: そこでダンプینگの順番を待つ
- (6) ダンプینگ: ダンプینگを行う. 必要に応じてダンプینگ後に車台の清掃なども行う
- (7) 移動: 再び受付へ戻る
- (8) 終了処理: 受付で, 必要な作業終了手続きを終え,

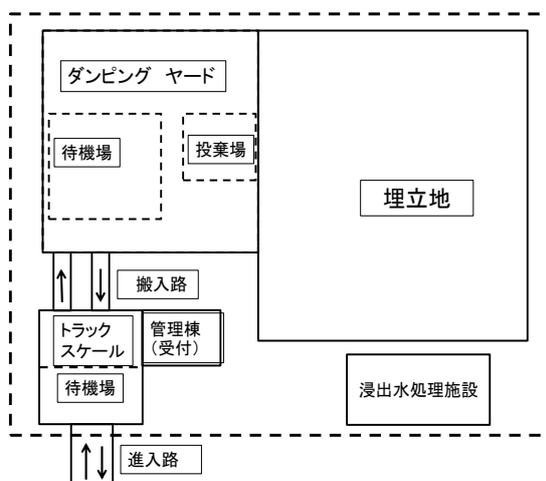


図3 最終処分場の施設

Fig. 3 Facilities in final disposal landfill

処分場から退去する

6. 運搬車両の待ち行列モデル

最終処分場の運搬車両の挙動を3ステージ直列待ち行列としてモデル化する.

6.1 3ステージ直列 M/M/1 モデル

待ちが発生すると思われる3か所の施設をステージ1 (S1), ステージ2 (S2), ステージ3 (S3) としてモデル化する.

S1: 受付待機場と受付窓口から構成する. 受付窓口は1つである. 受付待ちまでの待機時間, 受付事務処理にかかる時間を考察対象とする. S1における滞在時間を W_1 とする.

S2: ダンプینگ待機場とダンプینگヤードから構成する. ダンプینگヤードは1か所とする. ダンプینگの順番を待つ時間, ダンプینگの時間を考察対象とする. S2における滞在時間を W_2 とする.

S3: 終了受付待機場と終了受付窓口から構成する. 受付窓口は1つである. 終了処理待ち時間, 処理時間を考察対象とする. S3における滞在時間を W_3 とする.

ステージ間の移動時間: S1とS2の移動距離を d_1 Km, S2とS3の移動距離を d_2 Km とし, それぞれの間の移動速度を時速 s_1 Km, s_2 Km とすると, 移動時間はそれぞれ, d_1/s_1 時間, d_2/s_2 時間となる. 往復の動時間 W_4 は,

$$W_4 = d_1/s_1 + d_2/s_2 \quad (11)$$

時間となる.

営業時間: 到着率やサービス率は1日の営業時間に依存する. 営業時間を T 時間とする.

1日到来車両数: 営業時間 T 内に到来する車両台数を n とする.

到着率: 到着率は $\lambda = n/T$ となる.

場内滞在時間: 場内滞在時間は各ステージにおける滞在時間 (9式) において $N = 3$ として, 往復移動時間 (11式) を加えて求める. すなわち,

$$W_T = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \quad (12)$$

M/M/1型の理論により, 各ステージが定常状態であるための条件は, $\rho_1 < 1, \rho_2 < 1, \rho_3 < 1$ である.

7. 計算結果

5章のモデルに基づき, 待ち行列の特性量を計算する. 計算に際して, 実際の現場の状況を反映するため, 仙台環境開発株式会社の協力を得て, 実際の処分場におけるデータを提供して頂き, 現場担当者と議論を重ねた. その結果を基に設定したパラメータセット (表1) を用いて計算を

実行した。

表 1 計算実験のパラメータセット

Table 1 Set of parameters

n	50, 60, 70, 80, 90, 100, 110
T	8, 9, 10, 11, 12
$1/\mu_j$	$1/\mu_1 = 5min, 1/\mu_2 = 5min, 1/\mu_3 = 2min$
d, s	1 Km, Km/h

例として、1日到着台数が70台の場合の詳細を表2示す。この場合、S1とS2は、平均待ち台数2台、平均待ち時間13分、S3は待ち台数、待ち時間はほぼ0であり、S1, S2, S3の滞在時間に往復移動時間を加えた場内滞在時間は $19+19+2+6=46$ 分となる。

図4には $T=8$ の場合、 $n=50, 60, 70, 80, 90$ 台に対して、場内滞在時間の変化を示す。括弧内は $\lambda = n/T$ の値である。

表 2 $T=8, n=70$ の計算例

Table 2 Computational result in case $T=8, n=70$

Sj	λ	μ	ρ	L_q	W_q (分)	W (分)
S1	8.75	12.00	0.73	1.96	13.20	18.60
S2	8.75	12.00	0.73	1.96	13.20	18.60
S3	8.75	30.00	0.29	0.12	0.06	2.40

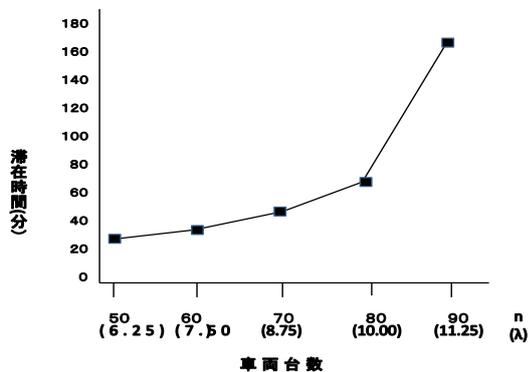


図 4 車両台数と場内滞在時間の関係

Fig. 4 Relationship between number of vehicle vs total system time

8. 研究成果の考察

データを提供して頂いた現場担当者に対し、モデルと計算結果を提示し、処分場運営に対する提案を行うと同時に、現場の意見をヒアリングした。それらの一部を紹介する。

8.1 理論的 maximum 受け入れ台数

通常営業においてこの処分場で取り扱うことが可能な最大車両台数を求める。各ステージに定常状態が存在するための条件は、 $\rho_1 < 1, \rho_2 < 1, \rho_3 < 1$ である。S1のサービス利用率が $\rho_1 < 1$ であるためには、 $\lambda_1 = n/T, \lambda_1/\mu_1 < 1$ である。 $T=8, \mu_1=12$ とすると、 $n < 96$ 。この場合は、

S2, S3 においても平衡条件は満たされている。ゆえに1日処理台数はおよそ90台 ($n=90$) までが限度である。この場合、理論値を計算すると、S1, S2, S3の車両待機場には平均して14台の車両が待機しており、場内滞在時間はおよそ3時間となる。

この結果は、現実的には受け入れられない。以下に考察する対策が必要となる。

8.2 場内滞在時間の短縮に関する方策

(a) 窓口サービス時間の短縮 サービス時間の短縮のために最初に考えられる対策は、受付窓口のサービス時間の短縮である。しかしながら、今回の計算ではS1におけるサービス時間は5分で設定しており、これ以上サービス時間を短縮することには無理があるように思われる。

(b) 窓口数の増加

待ち行列理論によれば c 個の窓口を持つ M/M/c モデルでは、サービス利用率 ρ は、 $1/(c\rho)$ となり、待ち行列長や待ち時間は $1/c$ 以下になることが知られている。 $c=2$ の場合は、 ρ は窓口が1つの場合の $1/2$ となり、これから計算される待ち時間や待ち行列長は窓口が1つの場合の半分以下に短縮される。待ち行列理論の観点からは窓口数の増加は待ち時間解消に貢献する。

(c) 営業時間の延長

一日受け入れ台数を減らさずに、滞在時間を短縮するためのもう一つの方法は、到着率の軽減である。到着率は到来車両数 n 、営業時間 T から $\lambda = n/T$ として定まる。 T が長ければ車両の到来は分散し、輻輳は緩和される。逆に、 T が短ければ、車両の到来が集中して輻輳は増幅される。従って、営業時間の延長は到着率の軽減につながる。

通常の待ち行列解析においては、到着率の制御は難しい場合が多い。しかし、本モデルの場合は、当日の到来車両数は数週間前に把握できることから、営業時間を適切に設定することにより、到着率を制御できる。従って、到来車両数予測に応じて営業時間を延長することが可能であれば、混雑解消のための現実的な対応方法になると考えられる。

図5は $n=50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, T=8, 9, 10, 11, 12$ と変化させた場合の場内滞在時間である。 $n=100$ 台の場合は $T=9, 10, 11, 12$ の場合のみ定常状態が存在し、 $n=110$ の場合は $T=10, 11, 12$ に対してのみ定常状態が存在する。例えば、滞在時間を1時間以内にするためには $n=90, 100, 110$ に対し、それぞれ $T \geq 10, T \geq 11, T \geq 12$ が必要であることが図5から読み取れる。

(d) 駐車場スペースの削減

運搬車両の場内滞在時間は待機場の必要面積に影響

響する。産業廃棄物の運搬車両は10トンダンプが多い。10トンダンプの車両寸法は、全長7,605mm、全幅2,490mm、全高3,200mmが標準である。従って、駐車場としてのスペースは1台あたりおおよそ $10m \times 5m = 50m^2$ が必要となる。14台分を確保すると $14 \times 50 = 700^2$ のスペースが必要となる。

処分場の面積は、建設時に許可された限られた面積であり、可能な限り埋め立てに利用するという立場からは、待機場のために広いスペースを取ることは望ましいことではない。輻輳を解消することにより、待機場のスペースを可能な限り小さく収めることも可能になる。

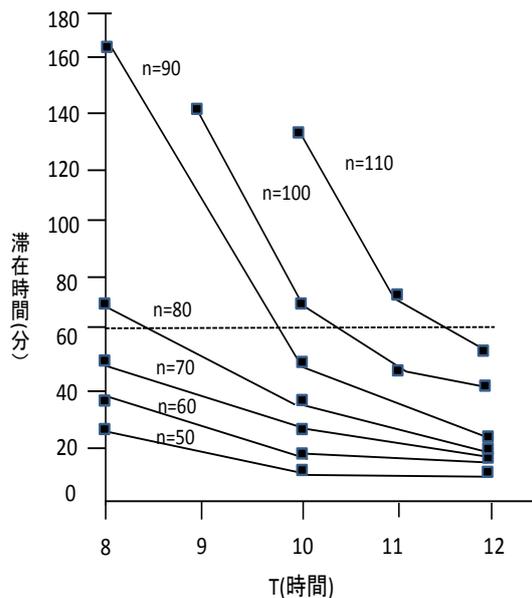


図5 営業時間と場内滞在時間の関係 (n パラメータ)

Fig. 5 Relationship between T vs total system time with n

8.3 現場運営の観点からの考察

現場担当者からは実際の運営の観点から以下のような意見が出された。

- (a) 日常業務のモデル化 日常の業務がこのようなモデルで考察できることは、今後の処分場運営の観点から大変参考になった。
- (b) 計算結果の妥当性 通常の到来車両数の場合、日常業務で得られる場内滞在時間は30分から1時間であり、計算結果は、この感覚とよく一致している。
- (d) 費用対効果分析 事業経営の観点からは、多くの車両を受け入れることが望ましい。理論的観点からの提案はよく理解できる。しかしながら、以下のような分析を行い、費用対効果の面から根本的な改善の検討を行う必要があると考えられる。
 - 窓口を倍に増やすことによるトラックスケールなど

の機材、受付情報システムの整備、職員数の増加などの費用増

- 営業時間を延長するための人材確保、人件費増

これらの意見から、提案モデルは現場からも受け入れられるものであり、計算結果も妥当であると考えられる。

9. おわりに

本論文では最終処分場内における運搬車両の輻輳について考察し、基本的な待ち行列モデルが適用できることを確かめた。本研究の結果は管理型最終処分場を運営中の事業者、あるいは現在管理型最終処分場を計画中の事業者に対して、業務の見直しや規模の設計に有効であると考えられる。検討すべき処分場の課題は多い。今後、実際の現場の状況を取り入れて、課題解決の研究をおこなってゆく計画である。これらの研究成果については、稿を改めて報告したい。

謝辞 本研究に際し、現場での貴重なご意見をお聞かせ頂き、データを提供して頂いた仙台環境開発株式会社の関係諸氏に対し感謝する。

参考文献

- [1] 環境省 廃棄物の処理及び清掃に関する法律：入手先 (<http://www.env.go.jp/recycle/waste/laws.html>) (参照 2017-1-20)
- [2] 環境省 産業廃棄物の排出及び処理状況等について：入手先 (<http://www.env.go.jp/recycle/waste/sangyo.html>) (参照 2017-1-20)
- [3] 環境省 産業廃棄物処理施設の設置、産業廃棄物処理業の許認可に関する状況について：入手先 (<https://www.env.go.jp/press/101858.html>) (参照 2017-1-20)
- [4] 公益財団法人 日本産業廃棄物処理振興センター 学ぼう産廃：入手先 (www.jwnet.or.jp/waste/knowledge/manifest.html) (参照 2016-12-05)
- [5] 吉成 昇, 大内 東, 災害復旧における産廃物処理事業者のインテリジェンス活動～東日本大震災の事例を通じて～, コンペティティブ・インテリジェンス学会, p27-42, Vol.3, No.1 (2011)
- [6] Yoshinari Noboru, Ohuchi Azuma, Sugawara Yoshio, Waste Management Data Collection during Disaster Recovery-A Case Study of Great East Japan Earthquake -, Progress in Competitive Intelligence (2012), 華夏出版社, p74-106, 2012
- [7] 吉成 昇, 大内 東, 東日本大震災から学ぶ災害廃棄物処理における諸課題, 日本OR学会春季究発表会 (東京) (2013) .
- [8] Noboru Yoshinari1, Yukihiro Oyanagi, Azuma Ohuchi, Masahito Yamamoto, Analyses of a Waste Management Company Activities in the Great East Japan Earthquake, The 3rd 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Hanoi (2016)
- [9] ORWiKi : 日本 OR 学会
入手先 (WWW.orsj.or.jp/wiki/) (参照 2016-12-05)
- [10] 高橋幸雄, 森村英典, 混雑と待ち, 朝倉書店 (2007) .
- [11] 仙台環境開発株式会社ホームページ：入手先 (<http://sendaikankyo.co.jp/>) (参照 2017-1-20)