

国立公衆衛生院 正・田中 勝
名古屋大学 正 辻 喜晴

1. はじめに 生活系廃棄物、事業系廃棄物を問わず廃棄物の処理計画において基礎となるのが処理対象廃棄物量である。廃棄物の保管、収集・輸送、処理・処分のための施設、機材の整備、それに必要な作業員、用地の確保になくしてはならないのが、対象廃棄物の量と質の予測値である。これらの用いられる目的によ、ては、長期にわたる将来予測が必要である。

廃棄物の将来予測を行う場合、何の目的でどのような使われ方をするのか目安をつけて、将来推計の前提条件を決めて推計しなければならないことが多い。廃棄物の将来予測は種々様々な理由目的のために行われる。たとえば中間処理としての焼却処理の場合、発熱量の予測は、焼却炉の性能を決めるものであるが、生活様式の変化と季節により廃棄物の発熱量は大幅に変動するものとい、てよい。粗大ゴミの種類についても同様で、処理量は、破砕機も決めることになるが、正確なデータを集積しなければ、機種などの選定には支障をきたすことになる。焼却工程あるいは破砕工程を経た都市廃棄物が最終的に埋立処分されることになるが、適切な処分量の算出は、最終処分場の用地を確保するうえで、重要である。予測はまたそれらが使われる目的により多少予測幅のどちら側をとるか異なる。すなわち予測値の用いられ方としては、1) 補助金を得るため、2) 処理料金を決めるため、3) 適性な作業フローなどを含めた配置計画を行うため、などが考えられる。1) の場合は、若干大きめに決めるものであるが、2) および3) については、経営と直接結びつくためかなり精度が高い安全側の値が要求される半面、短期予測でもよいといえる。

このように予測目的により、マクロ的予測かミクロ的予測か、要求される精度、予測される数字に幅をもたせてよい、か、何時頃までの将来を予測すべきか等が決められる。また予測される数字としての、安全側の数字は、大きめか、あるいは小さめの数字を採用すべきか等が検討されるべきである。いずれにせよ、廃棄物処理計画において将来予測が行われ、それに基いた具体的な事業計画が行われる。たとえば施設の規模が適切であるかどうかは、これらの将来予測にかか、てるといえる。

ここでは廃棄物処理計画においてこのように重要な廃棄物の将来予測について、少し検討を行、てみる。

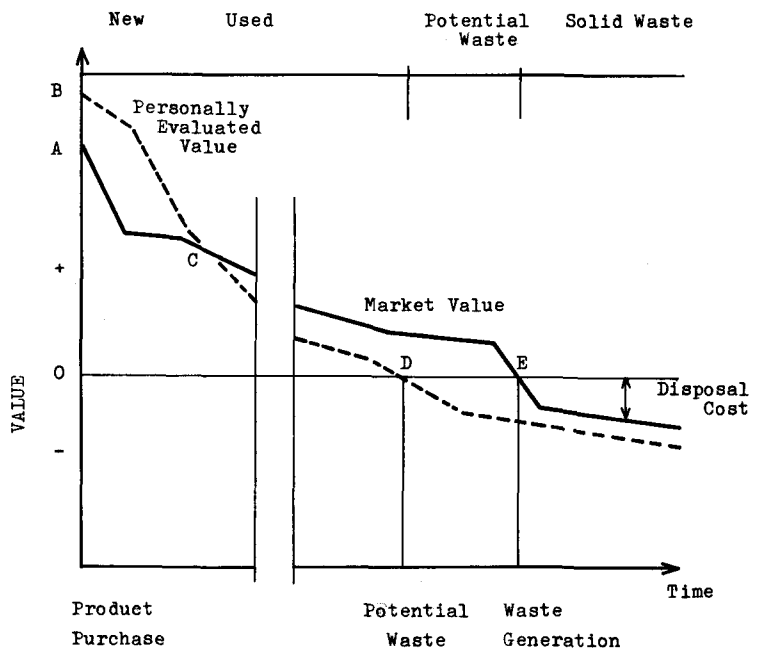


Figure 1. TRANSITION FROM NEW PRODUCTS
TO USED, POTENTIAL WASTE AND SOLID WASTES

2. 廃棄物の発生過程とその予測 廃棄物量の将来予測は、個々の廃棄物発生過程が多岐にわたるため困難をさめめる。これは、種々の商品が生産される過程で廃棄物が生じることと、商品が購入され利用され、消費される種々様々な過程で廃棄物として発生、排出されるためであり、これらはまさしく事業活動および都市生活活動の中から発生する問題である。

図1は、商品が廃棄物になる過程を示したものである。商品の市場価格A、より、個人のその商品に対する価値観B、が高い場合には商品を購入しようとする。商品は時間とともに中古品としての価値、市場価格は低下する。点C以後では、市場価格が比較的自分が思うのよりも高いので売却したいと思うようになり、点D以後、Eまでは、商品の所有主は廃棄物と思うが市場があるため取り引きされうる。点E以後は、実質的に廃棄物になり処理するのに処理コストを支払う必要がある。

このように商品から廃棄物排出までの過程は商品によりさまざまである。

廃棄物の将来予測も、個々の物質の排出量とその質も考慮すれば、量的、質的にも出来るはずである。物質によつて生活活動、事業活動から排出される廃棄物は、排出されるまでの期間、質的、量的に変化をうける場合が異なるといえる。

3. 廃自動車の予測モデル ここで自動車が廃車になる場合について廃自動車の発生予測を行つてみる。米国の1972年出版の自動車の登録台数から、1959、1960、1961年型モデルについて数字を追ってみた。1961年型自動車の総購入（販売）数は、1962年の登録数であると仮定して、残存登録台数の割合、廃車になる割合も追ってみた。1959、1960、1961年のモデルについてみると図2、3のとおりである。

廃車になった車の数は次式で求められる。

$$S_{ij} = R_{ij} + N_{ij} - R_{i,j+1} \quad \dots (1)$$

ここで、

S_{ij} : j 年に i 年型の車のうち廃車になる数

R_{ij} : j 年に登録された i 年型の車の数、ただし新車登録は除く

N_{ij} : j 年に始めて登録された i 年モデルの車の数

したがってある年 j に廃車になる車の数は、今まで生産されたモデル年全てについて、 j 年に廃車になる車を合計すれば得られる。

$$S_j = \sum_{i=1}^L S_{ij} = \sum_{i=1}^L R_{ij} + \sum_{i=1}^L N_{ij} - \sum_{i=1}^L R_{i,j+1} \quad \dots (2)$$

図3から使用年数 L 年目に廃車になる分布が分るのでこれを正規分布で近似すれば L 年目に廃車になる確率 $P_i(L)$ は、

$$P_i(L) = \int_{L-1}^L f_i(t) dt \quad \dots (3)$$

で求められる。

ここで、

$P_i(L)$: i 年型が L 年目に廃車になる確率

$f_i(t)$: i 年型が t 年間使用に耐える確率分布: $\frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_i} e^{-\frac{1}{2}(\frac{t-\bar{t}_i}{\sigma_i})^2}$

Table 1. Rates of Automobile Survival (%)

Age Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
59	100 (0)	100 (0.3)	99.7 (1.0)	98.7 (2.5)	96.2 (3.1)	93.1 (7.9)	85.2 (12.4)	72.8 (15.1)	57.7 (15.5)	42.2 (13.1)	29.1
60	100 (0)	100 (0)	100 (0.5)	99.5 (2.2)	97.3 (3.9)	93.4 (7.9)	85.5 (10.7)	74.8 (14.4)	60.4 (15.4)	45.0 (12.0)	33.0
61	100 (0.1)	99.9 (1.0)	98.9 (1.2)	97.7 (1.9)	95.8 (4.6)	91.2 (6.7)	84.5 (10.4)	74.1 (14.8)	59.3 (13.5)	45.8	-
46-66	100 (0.2)	99.8 (0.3)	99.5 (1.3)	98.2 (2.3)	95.9 (3.6)	92.3 (6.6)	85.7 (10.2)	75.5 (13.2)	62.3 (14.0)	48.3 (12.1)	36.2

() : Rates of Retirement

式 (3)を用いて、式 (1), (2) に相当する廃車の台数を求めてみよう。

$$S_{ij} = M_i \times P_i(L) \quad \dots (4)$$

$$S_j = \sum_i \{M_i \times P_i(L)\} \quad \dots (5)$$

$L = j - i$ である。

ここで、 M_i は、 i 年型の総販売数である。このようにしてそれぞれのモデル年毎の総販売台数が分、ているので、 j 年における総廃車数が式 (5) から推定される。ここではそれぞれ i 年型は同じような耐用年数分布を仮定しているが、たとえばメーカーによる車種等によ、て一定の分布があり、またその分布のパラメーター（たとえば正規分布でいえば、平均値と標準偏差）が経年的に変化している場合にも同様の手法で将来の廃車の台数が推定される。

表1は、図2、3のもとの数値であるが、図3からこの分布が正規分布であると仮定すると、それぞれのモデル年を総合して得た分布についての耐用年数の平均値、標準偏差は9.9年、3.2年である。

ここで廃車発生モデルをみてみたが、単品についての耐用年数（廃車になるまでの期間）の分布から全体の廃車数が推定されるわけである。

4. 生活系一般廃棄物の発生量予測

4.1 予測方法 生活系一般廃棄物の排出量やその質は、各種の要素に支配されて異なり、家庭ごみについては、おおむね生活水準、季節、生活様式自治体のごみ収集、処理形態、資源化活動の相違などにより異なる。家庭ごみ発生量の予測には1人1日当りの発生量を予測し、これを原単位として、別に収集計画地域の人口予測をした値との積を発生量又は収集対象量とすることとしている。したがって生活系一般廃棄物の排出量の推定には次の式が用いられる。

$$W = m \times P \times 365 \quad \dots (6)$$

ここで、

W : 当該収集計画区域で収集される生活系一般廃棄物 (kg/年)

m : 1人1日当りの生活系一般廃棄物の排出原単位 (kg/人/日)

P : 当該区域の処理対象人口 (人)

家庭ごみ発生量の原単位は、昭和45年頃までは単調な増加傾向にあるが、それ以後は減少ないしは安定化の傾向にある。ごみの発生原単位も、全国平均でいえば、750~900g/人/日で安定化しているが、各市町村でみると、300~1800g/人/日と幅があり、自治体によ、て大きく異なる。これは自治体の収集対象廃棄物にどこまで事業系一般廃棄物を入れているかによるし、また農村地域で自家処理が可能かどうかとか、フリ紙交換、集団回収まで含めてどの程度まで資源回収、リサイクリング活動が行われ、減量化されているかによる。

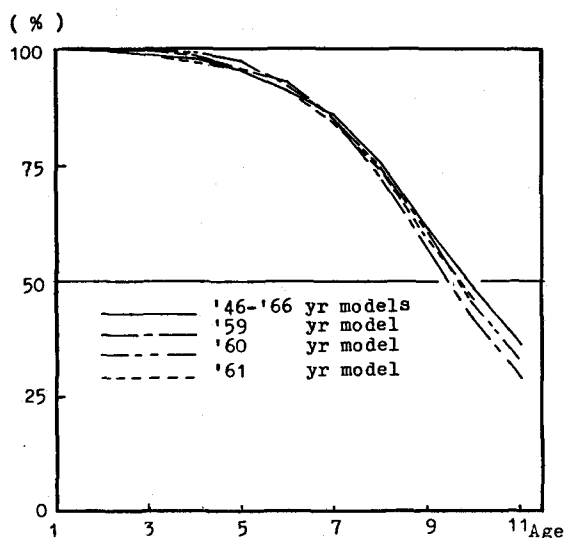


Figure 2. Rate of Automobile Survival

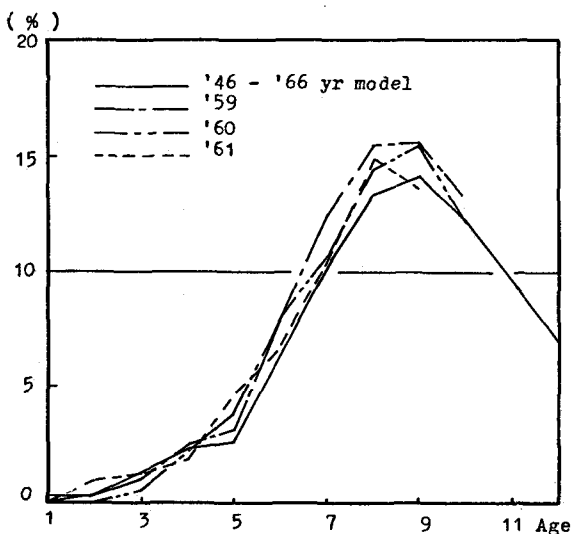


Figure 3. Rate of Automobile Retirement

ごみ発生量には季節的な変動があり、例えば年末年始などには、3〜5割程度増加することがある。

廃棄物の発生は、年間、季間、月間、週間により、変動が著しいから、処理施設の規模を決めるに際してはこの変動量を考慮しなければならない。

計画処理施設の規模並びに設置数を具体的に決定するため、また施設の設計のためには計画月最大変動係数、計画日最大処理量、計画ごみ質を決定しなければならない。

粗大ごみについては、その発生が特定の時期に集中する傾向が多い。入学・転勤などの多い3月〜4月、集団住宅の場合、入居時などがその例である。このような特殊時期以外は耐久製品の耐用度により、ある時間後に発生することになる。

事業系一般廃棄物の発生については、売場面積、床面積、従業員、販売額などについてのごみの種類別原単位を用いて発生量の予測が行われる。

4.2 人口予測 人口予測の場合は、おおむね次の手法が用いられる。

(1) 推定曲線による方法

一般に時系列資料をもとにして推定曲線のあてはめが広く用いられる。推定曲線に用いられる曲線の種類には、

多項式曲線（一次傾向線、二次傾向線など）

指数曲線（一次指数曲線、二次指数曲線、修正指数曲線など）

成長曲線（ロジスティック曲線、ゴンベルツ曲線、ハイオーダー曲線など）

があげられる。それぞれの特徴は次のとおりである。

1) 多項式曲線 一次傾向線による表現は計算が簡単で、その解釈が比較的容易である。一次傾向線で表現できない場合は、二次、三次と曲線の次数を上げることができるが、次数が高いほど将来予測は正しい予測をしているとはいえない。一般には次式が用いられる。

$$\text{一次傾向線: } y = at + b \quad \cdots (7) \quad \text{二次傾向線: } y = at^2 + bt + c \quad \cdots (8)$$

2) 指数曲線 時系列の傾向が等比級数的に動いている場合は、指数曲線があてはめやすい。指数曲線は一定成長率を仮定しているので、理論的成長曲線と似ている。一般には次式が用いられる。

$$\text{一次指数曲線: } y = ab^t \quad \cdots (9) \quad \text{二次指数曲線: } y = a \cdot b^t \cdot c^{t^2} \quad \cdots (10)$$

$$\text{修正指数曲線: } y = a - bC^t \quad \cdots (11)$$

3) 成長曲線 成長過程にあるデータの定式化にしばしば用いられるものとして成長曲線がある。これは理論的傾向線とも呼ばれ、人口増加の法則の研究が発端になっている。成長曲線は、最初のうちは時刻 t がたつにつれて増加速度は増大するが、ある時刻 t_0 以後は減少し、最後には一定の極限値に接近していく曲線である。

人口増加傾向をマルサスの人口論では、「人口の増加速度はその時の人口の大きさに比例するが、同時にその時の人口の大きさに関する抵抗を受ける」と説明しているが、これを定式化したものが、ロジスティック曲線である。

ロジスティック曲線と同じ種類の成長曲線にゴンベルツ曲線がある。これはゴンベルツが生命表の調整に利用したもので、「人間の身体の高化作用に対する抵抗力は年齢とともに減少するが、この抵抗力の減少の割合は、そのときなお残存している抵抗力の強さに比例する」という理論を定式化したものである。

成長曲線にはその他ハイオーダー曲線があるが、それらの曲線は次のように表わされる。

$$\text{ロジスティック曲線: } y = \frac{C}{1 + b \cdot e^{-at}} \quad \cdots (12)$$

$$\text{ゴンベルツ曲線: } y = C - a \cdot b^t \quad \cdots (13)$$

$$\text{ハイオーダー曲線: } y = a \cdot t^b \quad \cdots (14)$$

(注) 以上の式のうち、 a 、 b 、 C は係数で、各々の時系列資料から決定される。 y は基準年後 t 年の時の人口である。

(2) 要素分析による方法 (Component Method)

人口の変動には色々な要素があり、それらについて解析する方法である。それらの要素としては、出生、死亡、人の転入・転出等が考えられる。したがって予測した数字の正確さが影響する。

$$P_t = P_0 + B - D + I - O \quad \cdots (15)$$

ここで、 P_t : 基準時から時間 t 後における人口 P_0 : 基準時における人口

B, D, I, O : 基準時から時間 t の間の出生数、死亡数、転入数、転出数

(3) 年令構成別要素分析による方法 (Cohort-Survival Method)

この方法は、(2)のComponent Method と余り変わらないが、各年令毎に将来の出生数、死亡数、純転入数を予測して将来の人口を予測する方法である。

(4) 比例法 (Ratio Method)

人口予測をしている場所の人口と、それを含む大きな地域(将来の人口がすでに推定された広域地区)の人口の比が将来どのようにになるかをまず推定する。すでに予測されている広域地区の人口に、推定されたその比を当てはめて、その中の小区域の人口を推定する方法である。

2つの地区の人口比 R が変っているとすれば、これは単純な数式

$$(1+r)^n = \frac{R_1}{R_0} \quad \cdots (16)$$

を用いて、 r を推定し、予測をしなければならない年の R を求める。その時の広域の人口に R を掛けて広域の中の一部である区域の人口を求める。

ここで、 r : 人口比の変化の年平均

n : 2つの基準年の間の年数

R_0, R_1 : 2つの基準年における2つの地区の人口比

4.3 排出原単位の予測

ここで、原単位 m の予測方法の主なものを次にあげる。

① 過去のごみ量を特定の地域について、その変化傾向からこれを延長させる方法。

② 実質住民総支出、住民所得とい、 T に経済指標の関数として求める方法。

③ 生産物質、消費物質とい、 T に物質の流通や消費量の関数として求める方法。

などがある。一般的には①及び②の方法によ、て原単位を求める方法がとられている。

①の方法には時系列データに直線を当てはめる場合と指数関数などの曲線をあてはめる場合があり、過去のデータの変化傾向によ、てどちらかを選択する。

②の方法は住民総支出額や所得額が、人間活動の総合的指数としてふさわしいものであるとの判断にもとづいている。とくに昭和35年くらいから昭和47年くらいまでのこれらの経済指標とごみ量との間に相関関係が深いことが多くの調査であきらかにされている。したが、てこれら経済指標の伸び率は、経済企画庁が発表する国民総生産の伸び率を参考にして計算されることが多い。

③の方法については、生産物質と廃棄物質(ごみ)をごみ発生のプロセスに関連させて予測しようとするもので、物質のフローをかなりマクロ的にみているものである。

ごみの性状を主体にみていくことになるので物質ごとに製品量などの統計値を使用して蓄積廃棄量の変化と実質国民総支出との関係から相関関係を調べ、将来の蓄積廃棄物の動態を予測し、更にごみ発生量の予測を行うものである。

4.4 ごみ質の予測

家庭ごみの質の把握はごみ処理を適正に実施する上できわめて重要なことである。ごみ質の標示方法としては水分、可燃分、元素組成、灰分、発熱量とい、 T に燃焼特性を主体にした化学的組成と、

紙類、プラスチック類、厨芥類、せんい類、金属類、土砂類などとい、 T に物質組成による標示方法がある。物質組成の構成比は地域や季節、消費性向、生活モラルなどによ、て若干の相違はあるが構成比の順位は大体決ま、ており、乾ベースでは紙類、ガラス陶磁器くず、プラスチック類、厨芥類、木竹類、金属類などの順位が普通で

ある。化学的組成はこの物質組成の構成比と水分とによ、て決ま、てくる。

このような発生ごみは排出される時点では、地方自治体のごみ処理形態に応じて若干変化することがある。すなわち、プラスチックや金属、ガラスなどの分別収集を実施していれば、それらは別の種類のごみとして取り扱われることになる。

ごみ質の変化を予測する的確な手法は現在のところないが、過去10年程度の推移をみると、

- ① プラスチック類の混入率が増加している。
- ② 季節的な変動があるにしても発熱量は上昇している。
- ③ 水分は徐々に低下している。

といった傾向がみられる。したがって、このようなトレンドを延長してごみ質予測をする方法が一般的にはとられているが、今後の消費性向の変化などを考慮すると必ずしも的確な予測方法とは言えない。

ある時点におけるごみの物質組成とこれに関係すると予測される要素を説明変数として、人口関係要素、産業構造関係要素、景気変動関係要素、経済指標関係要素などから数多くの関係変数を選び、ごみ組成とそれぞれの相関関係を計算して、その関係からごみ質予測を行う方法も試みられている。

いずれにしても、ごみを適正に処理する面からは、質的に変動幅の小さい方がよいことはいうまでもない。

5. 都市廃棄物の予測事例 現在の都市廃棄物の処理処分問題は、立地条件が厳しく、用地の確保も含めて非常に困難な状態にある。このようななかで、都市廃棄物の最終処分地を広域的見地から確保することの緊急な課題となっている。ここでは広域的な地域（たとえば首都圏とか近畿圏）から発生する都市ごみの発生量、その基礎となる各自自治体の発生量を将来（たとえば、昭和60年、65年）にわたって予測する問題を考えてみよう。次に紹介する予測事例は、一つのやり方として首都圏のごみ発生量、又、その中にある各自自治体のごみ発生量の推定をしたものである。

5.1 人口推計について 人口推計は「オ三次全国総合開発計画」（以下「三全総」とする）にある圏域毎の人口を、厚生省人口問題研究所、「都道府県別将来推計人口：1975～2000年（5年ごと）」に示された都府県の前値を用いて各々配分した。

次に、都府県別のフレーム値の特別区、市、町、村への配分方法には、都府県の人口の動向と、特別区、市、町、村の人口の動向が対応していると仮定し、都府県の人口 X_t と、特別区、市、町、村 i の人口 $X_{t,i}$ との間には、式(16)が成り立つとする。すなわち、

$$R = \frac{X_{t,i}}{X_t} \quad \text{とすれば} \quad (1+t)^n = \frac{R_1}{R_0} \quad \dots\dots (17)$$

の関係があるとして t を求める。ここでは、 $n=49, 52$ （この場合 $n=3$ ）の R を R_0, R_1 として t の値をそれぞれ自治体 i について求める。

都府県の将来たとえば昭和60、65、75年のフレーム値 X_{60}, X_{65}, X_{75} に対応する特別区、市、町、村の将来値 $X_{60,i}, X_{65,i}, X_{75,i}$ を求める。一般的には、 $X_t \approx \sum X_{t,i}$ であるため誤差の修正として、補正值 $X_t / \sum X_{t,i}$ を用いる。したがって、修正値としては、 $X_{t,i} \cdot X_t / \sum X_{t,i}$ を用いる。

5.2 原単位の推計方法 一般廃棄物の排出量原単位については、従来までは総量推計が多か、たが、ここでは広域的に収集されたデータの都市規模ごとの傾向を把握し、将来推計はこれらの分析値をもとにして行った。

一般廃棄物量の排出量原単位の将来予測については、次のようなステップで求めた。

ステップ1 —— 特別区、市、町、村を人口規模別（すなわち100万以上、100～60万人、60～10万人、10万人以下の4段階）に分類し、年度別（すなわち昭和49年、50年、51年、52年）に各年々での原単位の平均 m_t および標準偏差 S_t を算出する。

ステップ2 —— 人口規模別の平均値 m_t および標準偏差 S_t の時系列分析を行う。用いる式は一次傾向線とし、各々の係数を決定する。 m_t および S_t は次式で与える。

$$M_t = a + bt \quad \dots\dots (18) \quad S_t = C + dt \quad \dots\dots (19)$$

ステップ3 — 市町村 i の現況の原単位 $y_{t,i}$ は、ステップ1で求めた該当する人口規模別の平均値 M_t 、標準偏差 S_t を用いて次の式で表わすものとする。

$$y_{t,i} = M_t + t_{i,i} \cdot S_t \quad \dots\dots (20)$$

係数 $t_{i,i}$ は、最新のデータ $t=52$ の値を用いて求める。

ステップ4 — 式(18)(19)(20)を用いて、特別区、市、町、村 i の昭和九年時点での原単位 $y_{t,i}$ は次式のようになる。

$$y_{t,i} = M_t + t_{i,i} \cdot S_t = (a + bt) + t_{i,i}(C + dt) \quad \dots\dots (21)$$

分析結果によると、首都圏域では、人口規模別の傾向はおおむね同じようにのびている。しかしこの方法によると標準偏差 S_t がだんだん小さくなっていく場合も考えられ、この方法が問題がないわけではない。

6. おわりに 廃棄物に関するデータは、ばらつきが大きいのが特徴である。廃棄物の発生量についても例外ではない。その理由には測定方法、データ整理の仕方あるいは対象廃棄物の範囲が自治体によって異なることなどが挙げられる。ここでは事業系廃棄物について詳しくはふれなかった。事業系廃棄物の将来予測には、それぞれの事業の出荷額を予測し、また単位出荷額当りのそれぞれのタイプの廃棄物についての発生原単位も予測して、両者を掛け算する方法が一般的である。すなわち、事業活動による将来の出荷額のベクトルと、それぞれの事業活動から発生する色々な廃棄物の種類毎の発生原単位のマトリックスをかけることにより廃棄物の種類毎の発生量が予測されるわけである。ここではもちろんこの発生原単位が将来どのように変化するかを予測しなければならない。事業系廃棄物の発生原単位は、事業所により大きく異なり、その違いは数百倍にも達する。今までのところ必ずしも事業所ごとに廃棄物が同一の分類で分別されてはおらず、また重量をスケールで測定しないで目分量で測定したり、湿基準、乾基準等まちまちで表示されているのが現状である。今後、将来予測の基礎となるより正確なデータの集積が望まれる。またこれらのデータの集積に付随する条件、解析方法等を統一していかなければならない。

オイルショック後の廃棄物の将来予測は非常に困難になってきている。予測する目的に応じて分析法を検討されなければならない。最近色々な所で廃棄物の将来予測、統計処理が試みられていることは喜ばしいことである。廃棄物の適性な処理計画実施のために今後この分野のデータの積み重ねと研究が強く望まれる。

この研究は、厚生省水道環境部広域処分対策室の調査に関連して行、た研究の一部であり、また昭和54年度厚生科学研究補助金の交付を受けて行、た「産業廃棄物回収保証金制度に関する研究」の成果の一部であることを付記して関係各位に謝意を表したい。

参考文献

1. “都市ごみ処理ガイドブック” 環境技術研究会, 昭和54. 5.
2. “1972 Automobile Facts and Figures” Motor Vehicle Manufacturers Association of the U. S., Inc.
3. Sterm, Helman I., “Regional Interindustry Solid Waste Forecasting Model,” Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, Dec, 1973.
4. “The Automobile Cycle: An Environmental and Resource Reclamation Problem,” U. S. E.P.A. (S.W.-80ts. 1) 1972.
5. Zitter, Meyer “Population Projections for Local Area,” Public Works, June, 1957.