

〔原 著〕

ごみ収集運搬効率に影響する要因の シミュレーション・モデルによる考察

Studies on the factor influent to refuse transport efficiency
by simulation model

藤吉秀昭* 鈴木 均* 野村 寛*

Hideaki FUJIYOSHI, Hitoshi SUZUKI and Hiroshi NOMURA

はじめに

今日の清掃行政がかかえる課題の1つに、清掃事業費の節減がある。特に清掃事業の中でも人件費の占める割合が大きい収集運搬作業の効率化が問題となっている。このような社会的ニーズを背景として、収集運搬作業の民間委託化が進行している。それに伴い民間委託化をめぐる問題について、種々の議論が展開されている。¹⁾²⁾

筆者らは、この問題に関して直営—委託の是非を議論する前に、現状の十分な調査と調査結果の解析に基づく長期的総合的な計画が必要であること、すなわち地域の特殊性を十分考慮した清掃事業の計画的推進が重要であると述べてきた。³⁾

清掃事業の計画的推進にあたっては、現状の十分な調査と解析が今後ますます重要になると考えられる。

ところで、収集運搬作業の実態の調査方法については、タイムモーションスタディ⁴⁾等があるが、その結果得られたデータを、ごみ収集運搬計画に生かしてゆくためには、十分な解析が必要である。

そこで、これら調査結果の解析手法として収集運搬効率に影響する要因の解析・考察に役立つ簡単なシミュレーションモデルを構成し、パソコンで利用できるシステムを考案したので、その概要と適用事例を、以下に示す。

またその結果に基づいて収集運搬業務の委託—直営問題を考察する。

1. 収集運搬モデルの概要

収集運搬効率は単位収集ごみ量当たりの必要経費で表

わす場合が多いが、一定の収集区域を設定し、収集量、一台あたりのクルー構成、1人当たりの人件費等を一定とすると、収集運搬効率は、一定の収集区域のごみを収集するのに必要となる車両台数に反比例することになる。従って、ここでは収集運搬車両の必要台数によって、収集運搬効率を評価することにする。

収集運搬車両の必要台数の試算を行うに当たって以下のようなシミュレーションモデルを構成した。

収集対象区域を現実の収集ブロックに即して分割し、そのブロックごとに次のような試算式により必要車両台数を求めた。

(1) 収集対象ブロックのごみの排出量

各ブロックにおける1日当たりのごみ排出量は、①②③式により算出した。

(2) 各収集ブロックにおける収集必要時間

収集車の1収集運搬工程を図1に示すようにモデル化し、④⑤⑥式により収集必要時間を求めた。

(3) 各収集対象ブロックから清掃工場までの運搬時間

⑦式を用いて算出した。

運搬距離は、各収集対象ブロックの中心地点から清掃工場までの距離とした。

(4) 収集車1車1工程に要する時間

収集車が各対象ブロックに行って、ごみを収集し清掃工場にもどって、ごみを降ろすまでに要する時間は、収集時間、運搬時間及び計量・排出・洗浄の時間の総和となるので⑧式によって算出した。

計量・排出・洗浄に要する時間は10分とした。

(5) 必要車両台数

* (財)日本環境衛生センター環境調査部アセスメント課
Department of Environmental Assessment & Investigation, Japan Environmental Sanitation Center

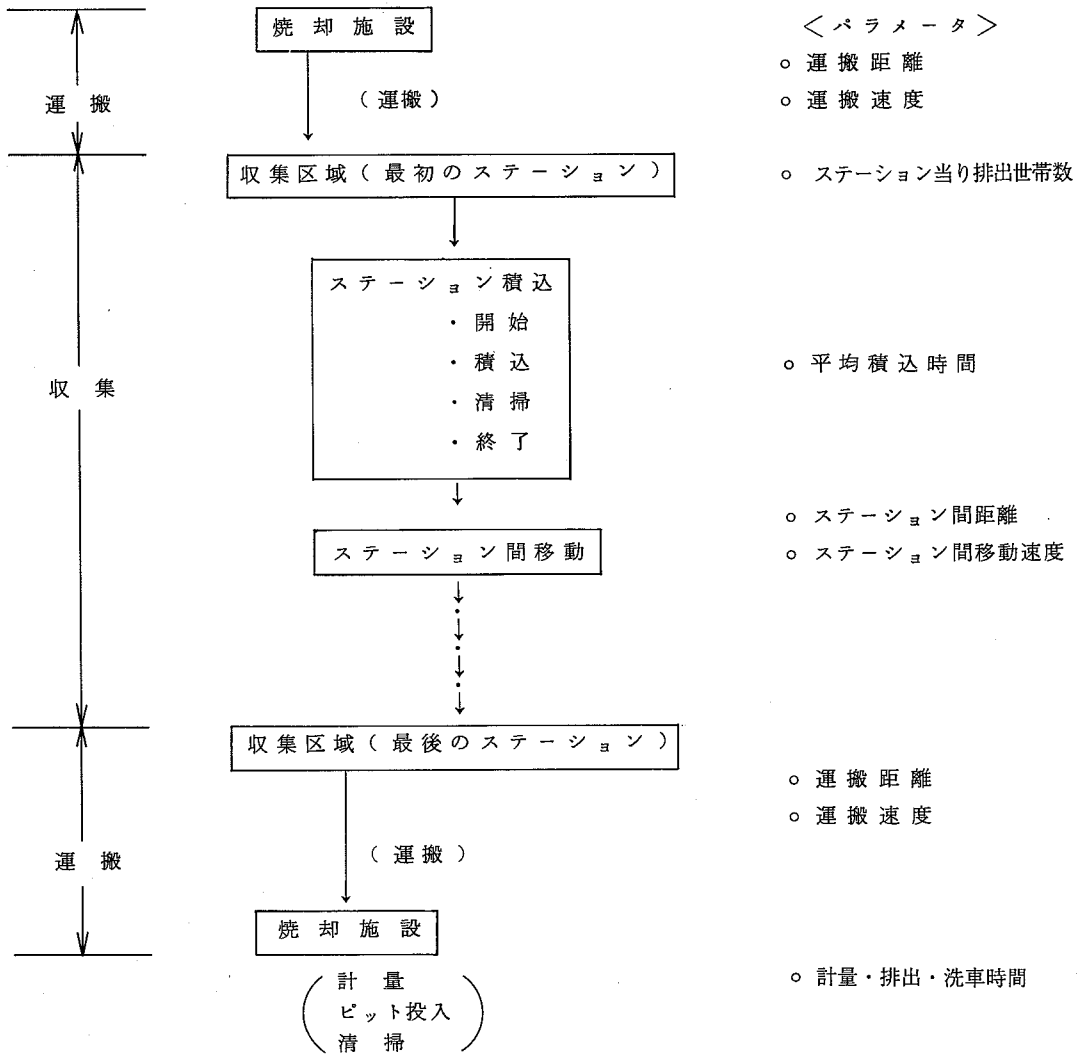


図1 収集運搬工程(1サイクル)のモデル

必要車両台数は、⑨式に示すようにブロック別延必要台数と収集車1台の往復可能回数より求めた。

収集車1台の往復可能回数は、昼食時間帯をさんだ午前、午後の作業を連続化させるか、それぞれで完結するようにするかで変わってくるので次の2つのケースに分けて試算した。

<ケースⅠ>

午前中3時間で何往復可能かを計算し(あまりは切りすてる)それを2倍して、午前・午後合わせた1日の可能往復回数とする。午前中3時間で1往復できない場合は、1日の可能往復回数は、1回とした。(⑩式)

<ケースⅡ>

午前・午後合わせた作業時間6時間(360分)で何往復可能かを計算した。あまりは切捨てた(⑪式)

ブロック別の往復可能回数と必要延台数より⑫式により必要台数を求め(少数点以下1位まで示す)、全ブロックについて合計し合計必要車両台数を求めた。(⑬式)

$$\textcircled{1} \text{ 1人1日当たりごみ排出量 (l/人・日) } = \frac{\text{1人1日当たりごみ排出量 (kg/人・日)}}{\text{〈ブロック別平均〉 1000 (kg/l)}}$$

$$\textcircled{2} \text{ 1世帯1日当たりのごみ排出量 (l/日・世帯) } = \text{1世帯当たりの人数 (人/世帯)} \times \textcircled{1} \text{ (l/人・日)}$$

$$\textcircled{3} \text{ 収集対象ブロックごみ排出量 (m}^3\text{/日) } = \frac{\text{収集対象ブロックの人口 (人)}}{10^3} \times \textcircled{1} \text{ (l/人・日)}$$

$$\textcircled{4} \text{ 1車1工程当たり収集可能世帯数 (世帯数/台・回) } = \frac{\text{収集車1台当たりの積載量 (m}^3\text{/台・回)} \times \text{積載率 (0.9)}}{\textcircled{2} \text{ (l/日・世帯)} \times \text{家庭内での貯留日数 (日)}} \\ \times 10^3 \times \text{収集車圧縮比}$$

$$\textcircled{5} \text{ 1車1工程当たり収集可能ステーション数 (ヶ所/台・回) } = \frac{\textcircled{4} \text{ (世帯数/台)}}{1 \text{ ステーション当たり世帯数 (世帯数/ヶ所)}}$$

$$\textcircled{6} \text{ 1車1工程当たり収集時間 (分/台・回) } = \textcircled{4} \text{ (世帯数/台回)} \times \text{1世帯当たり収集に要する時間 (分/世帯)} \\ + (\textcircled{5} \text{ (ヶ所)} - 1) \times \frac{\text{ステーション間 距離 (km)} \times 60}{\text{ステーション間 移動速度 (km/時)}}$$

$$\textcircled{7} \text{ 運搬時間 (分/台・回) } = \frac{\text{運搬距離 (km/台・回)} \times 2 \text{ (往復)} \times 60}{\text{運搬平均速度 (km/時)}}$$

$$\textcircled{8} \text{ 収集車1工程に要する時間 (分/台・回) } = \textcircled{6} \text{ (分/台・回)} + \textcircled{7} \text{ (分/台・回)} + \text{計量・排出・洗浄の時間 (分/台・回)}$$

$$\textcircled{9} \text{ 必要な収集車両延台数 (台/日・回) } = \frac{\textcircled{3} \text{ (m}^3\text{/日)} \times \text{貯留日数} \times \text{ごみ排出の変動係数 (1.0)}}{1 \text{ 台当たりの積載量 (m}^3\text{/台)} \times \text{積載率 (0.9)} \times \text{圧縮比}}$$

$$\textcircled{10} \text{ 収集車1車当たり1日の作業回数 (回/日) } = \frac{\text{午前の稼働時間 (分/日)}}{\textcircled{8} \text{ (分/台・回)}} + \frac{\text{午後の稼働時間 (分/日)}}{\textcircled{8} \text{ (分/台・回)}}$$

$$\textcircled{11} \text{ 収集車1車当たりの1日の作業回数 (回/日) } = \frac{\text{午前・午後合わせた稼働時間 (分/日)}}{\textcircled{8} \text{ (分/台・回)}}$$

$$\textcircled{12} \text{ ブロック別必要車両台数 (台) } = \frac{\textcircled{9} \text{ (台/回・日)}}{\textcircled{10} \text{ or } \textcircled{11} \text{ (回/日)}}$$

$$\textcircled{13} \text{ 合計必要車両台数 } = \sum \textcircled{12} \\ \text{全ブロック}$$

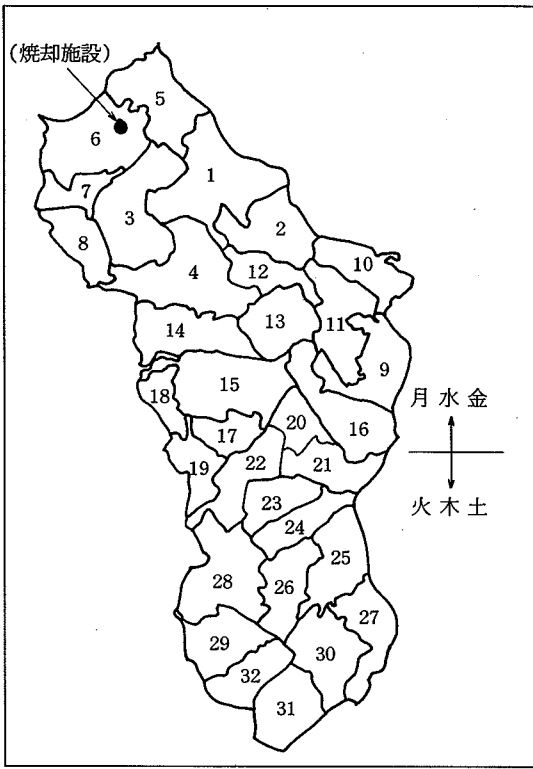


図2 収集ブロック分割図

2. モデル地域及びパラメータの設定

モデル地域として図2に示す32の収集ブロックをもつ地方都市（人口約25万人）を設定した。ごみ収集は1～19までのブロックを月・水・金、20～32までのブロックを火・木・土に収集している。ここでは1～19までのブロックを対象として、月曜日（3日間貯留）の場合を再現するようモデル化した。

1～19までの各収集ブロックの収集対象人口、ごみ発生原単位、収集ブロックの中心から焼却施設までの距離、ステーション間距離は、表1に示すとおりである。

ごみの見掛比重、ステーション間移動速度、運搬速度、積込み時間については、表2、表3に示すように当市等における実態調査（タイム・モーションスタディー）を参考にして設定した。

このようにパラメータを設定したのち、パソコンにより図3に示す手順で計算を行い、モデルの再現性を確認した。

3. 各種要因の収集運搬効率への影響度の試算

(1)各種影響要因の設定

収集運搬効率に影響を与える要因を人口の集中度等の

表1 ブロック別の諸条件

ブロック No.	可燃ごみ発生原単位 (g/人・日)	人 口	ステーション間距離 (m)	焼却処理施設までの距離 (km)
1	268.9	3,800	98.9	3.15
2	312.9	6,310	85.9	4.95
3	252.0	839	104.5	3.00
4	278.2	5,199	96.0	6.00
5	265.6	2,136	100.0	0.75
6	260.8	2,310	101.5	3.00
7	376.9	4,582	70.0	3.90
8	446.6	9,395	55.5	6.00
9	305.6	5,871	88.0	8.10
10	291.1	2,920	92.1	7.40
11	376.5	11,784	70.1	7.50
12	338.3	4,185	79.2	5.90
13	301.7	4,695	89.1	6.80
14	312.0	6,849	86.2	7.20
15	588.4	33,262	31.8	9.80
16	310.7	7,255	86.5	9.80
17	333.7	5,502	80.4	9.60
18	350.3	7,606	76.3	10.8
19	648.9	11,289	23.4	9.6

都市形態に関する要因, 施設位置に関する要因, 収集運搬システムに関する要因及び勤務体制に関する要因に分けて体系的に示すと図4のようになる。

このような要因の構造を考慮して, ステーション間距離, ステーション間移動速度, 収集車の種類, 運搬距離, 積込み時間, 管理体制等の変化が収集運搬効率にどの程

度影響するか試算した。(収集頻度や分別の程度が収集効率にどの程度影響するかについては, 考察の対象からはずしている。)

現状を再現するのに用いたパラメータを表4に示すように変化させた場合の, 収集運搬効率(=必要車両台数)を計算した。

表2 タイム・モーションスタディー調査結果

時間	ブロック			再現 設定値
	A ブロック	B ブロック	C ブロック	
1 サイクル積載量 (t)	2 m ³ 車 2.50	4 m ³ 車 1.01	8 m ³ 車 2.40	7 m ³ 車 2.21
ごみの見掛け比重 (t/m ³)	0.21	0.17	0.19	0.2
1ステーション当り 世帯数	25	30	25	25
ステーション移動速度 (km/h)	4	10	5	7
平均運搬速度 (km/h)	2.4	3.2	2.6	3.0
積込み時間 (秒/世帯)	2.2	1.2	1.2	1.5

表3 シミュレーション用設定パラメータ(ブロック共通パラメータ)

① 収集車1車当りの積載量		
4 t 車 — 8 m ³ — 18台	平均	7.13 = 7 m ³ - 2.3台
2 t 車 — 4 m ³ — 5台	積載率	9割 = 6.3 m ³
② 圧縮比	1.75	
③ ごみ比重	0.20	t/m ³
④ 一世帯構成人員	3.2	人/世帯
⑤ ごみ貯留日数	月	3日
⑥ 1ステーション当り世帯数	25	世帯/ステーション
⑦ ステーション間移動速度	7	km/h
⑧ 積込み時間	1.5	秒/世帯
⑨ 運搬速度	3.0	km/h
⑩ 収集車計量排出時間	1.0	分
⑪ 月変動係数	1.0	

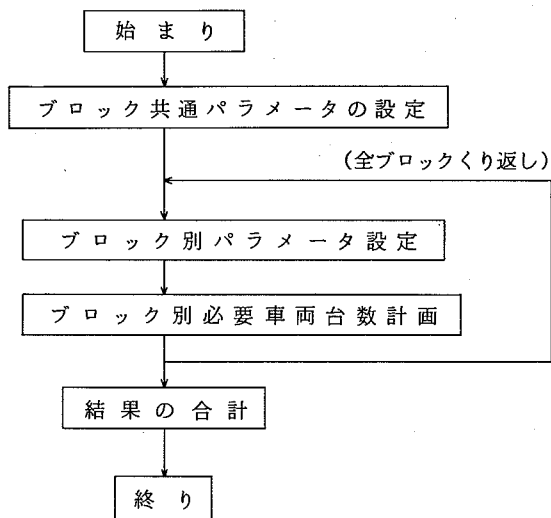


図 3 計 算 フ ロ ー

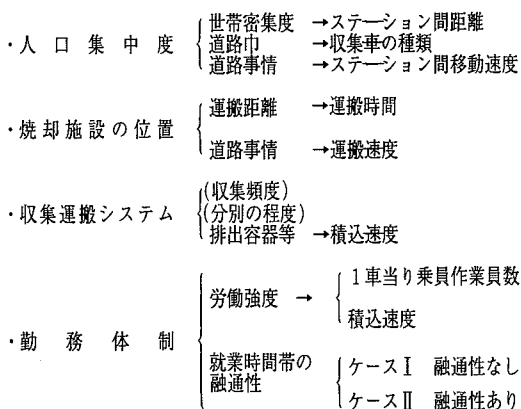


図 4 収集、運搬効率に影響する要因の構造

(2)シミュレーション結果

シミュレーション結果は図 5 及び以下に述べるとおりである。

ア. 運搬速度

運搬速度が30km/hから20km/hに落ちると、必要車両台数は、ケースⅠの場合は23台から29台へ増え、ケースⅡの場合は19台から24台に増加する。逆に運搬速度が道路網の整備等で、40km/hまで速くなると、必要車両台数はケースⅠで22台へまたケースⅡで17台に減少する。

イ. 運搬距離

運搬距離が現状より5km遠くなると、必要車両台数は、ケースⅠの場合23台から30台に増え、ケースⅡでは19台から25台に増加する。逆に運搬距離が短くなると(5km以上の地区を5kmとする)必要車両台数は、ケースⅠで23台から19台に減り、ケースⅡでは19台から16台に減少する。

ウ. ステーション間移動速度

ステーション間移動速度を7km/hから5km/hに落とすと、必要車両台数はケースⅠで23台から21台へ増える。更に3km/hまで落とすと必要車両台数は、ケースⅠで28台に増え、ケースⅡでは23台まで増加する。逆に10km/hまで速くすると、ケースⅠで21台、ケースⅡで18台に減少する。

エ. 積載容量

積載容量を7m³から4m³に小さくすると、必要車両台数は、ケースⅠで23台から28台に増え、ケースⅡでは19台から26台に増加する。逆に10m³車になると、必要車両台数は、ケースⅠで21台に減少しケースⅡでは16台に減少する。

オ. 積込み時間

積込み時間に関しては、ケースⅠの場合の必要車両台

表 4 シミュレーションパラメータの変化条件

要 因	再現条件	変 化 条 件	
運搬速度 (km/h)	30	20	40
運搬距離 (km)	別表	5km頭打ち	+5km
ステーション間移動速度 (km/h)	7	3.5	10
積載容量 (m ³)	7	4	10
一世帯当り積込み時間 (秒/世帯)	1.5	1.0	2.3
勤務体制	ケースⅠ	ケースⅠ	ケースⅡ

数は、1秒/世帯で20台、1.5秒/世帯で23台、2秒/世帯で24台、3秒/世帯で30台と増加し、ケースⅡでは1秒/世帯で18台、3秒/世帯で18台、1.5秒/世帯で19台、2秒/世帯で20台、3秒/世帯で23台と増加する。

4. 考察

個別の要因の収集効率への影響の程度は上に述べた通

りであるが、現実には具体的な地域の条件がこれらの要因に複雑に関係して、収集効率を決定している。

例えば人口の集中度は、各世帯の集中によりステーション間距離を短くするが、同時に交通事情の悪化を招きステーション間移動速度をおそくする場合もある。また場合によっては、道路幅が狭くなり、収集車の種類(小さい車種へ)を変えなければならないこともある。

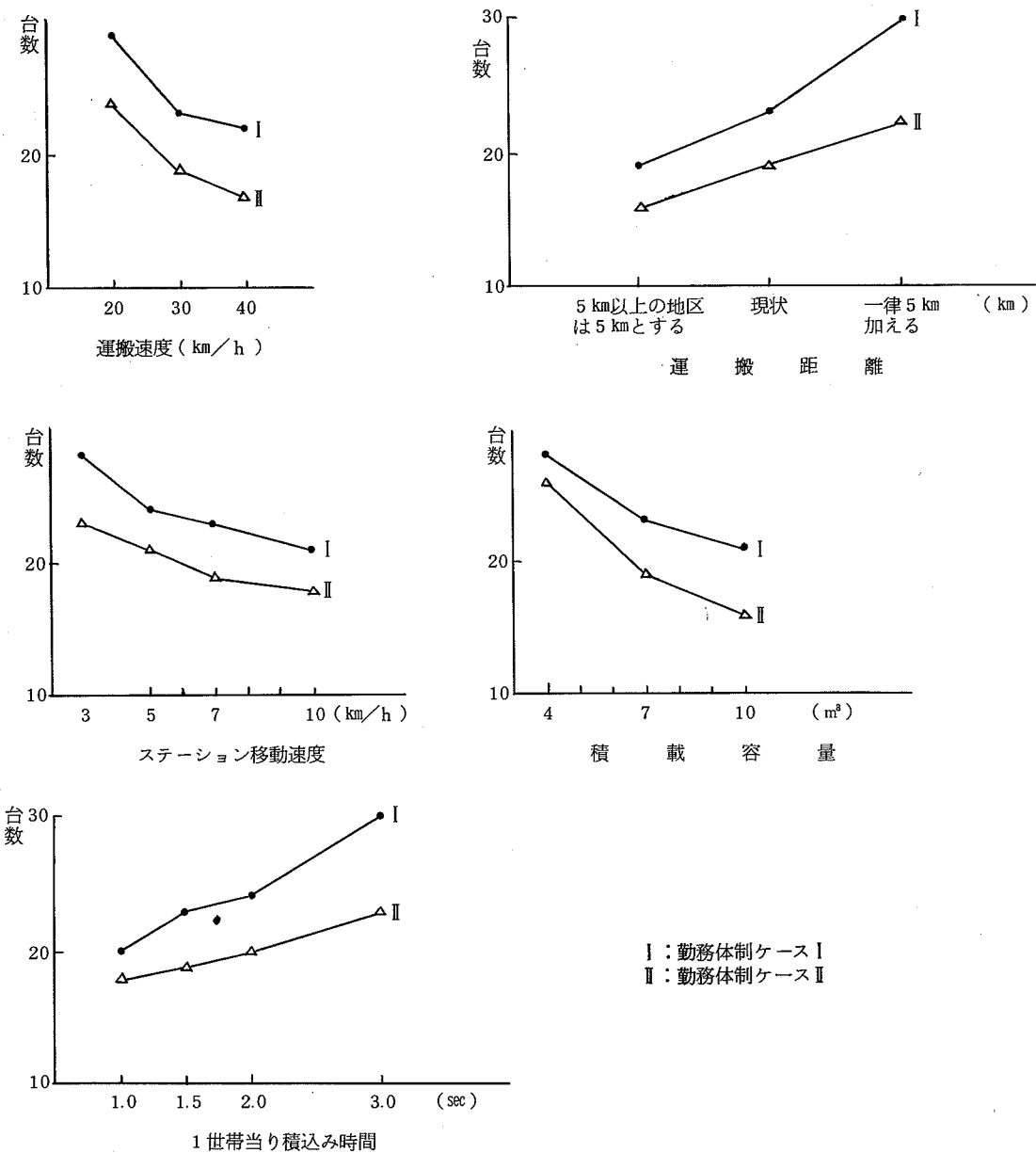


図5 シミュレーション結果

従って人口の集中した都市と比較的ゆったりした都市とを比較するとステーション間距離、ステーション間移動速度、収集車の種類に対して、それぞれの都市の特性がどのように影響するかによって効率はよくもなれば悪くもなると考えられる。

次に焼却施設の位置は、収集効率に大きく影響するといわれており実際施設の適地選定においても重要な評価項目となっている。しかし、効率への影響の仕方はそう単純ではない。

市街化した地域に焼却施設を建てると運搬距離は短くなるが、交通事情等により運搬速度が極端に落ちてかえって効率は悪くなる場合も考えられる。多少遠い所でも道路、交通条件の良い所の方が運搬速度が速くなり、収集効率は高くなる場合もある。

更に、勤務体制のあり方も効率に大きく影響する。ごみの積込み時間は収集運搬効率に大きく影響することは、すでに示したとおりである。収集作業員の年齢や慣れ、労働強度、あるいは排出容器の種類、さらには住民のごみを出すマナー等がごみ積込み時間に影響し全体の収集効率に影響することになる。

また、勤務時間の融通性や業務の効率化の追求により無駄な収集待機時間をなくすことも、全体の効率に大きく影響する。

このモデルでは昼食時間を挟んで作業を午前・午後で完結させる場合（ケースⅠ）と、連続させる場合（ケースⅡ）に分けて、勤務体制の効率性の影響を試算した。

その結果は、他の要因の設定値により多少異なるが、必要車両台数は全体的にケースⅡの方がケースⅠより4台ほど少なくなっている。また、ケースⅡの方が、他の要因の変化に対して効果が直線的に変化している。

一般的に委託の方が作業員1人当たりのごみ収集量が多い傾向にあり、労働強度も高くなる傾向にあると言われている。これは主に車1台当たりのクルーが2人（直営の場合3人が多い）であることが主な原因であるが、同時に昼食時間をはさんだ作業の連続化や効率的配車計画等事業運営のフレキシビリティも委託の方が高いことも寄与している。

しかしながら、ごみの積込み作業の迅速化や収集労働

を受けることを考慮して、対象都市の具体的条件に即して委託化により大きく変化すると期待できる要因とその影響度を、それ以外の要因の影響度と比較する必要がある。更にそれぞれの要因に関係した対策の現実性等も十分検討することが重要である。

者への労働強化のみが全体の収集効率を高める方策ではないはずである。収集運搬効率を高める上でもっとも障害となっているものは、各都市によってかなりちがっているし、収集効率に影響している主要因とその構造もちがっていると考えられる。

従って、ごみ収集運搬作業の委託一直営問題を考える場合には、このように多くの要因により収集効率が影響

まとめ

①収集運搬効率を収集必要車両台数で表わすシミュレーション・モデルを作りパソコンで簡単に試算できるシステムを作った。

②このシステムにより具体的に地方中都市をモデルとして収集運搬効率に影響する要因の定量的解析を行った。

③運搬速度、運搬距離、ステーション間移動速度、収集車の積載容量、積込み時間、勤務体制等の要因がどの程度収集運搬効率に影響するかを定量的に示した。

④③の結果を基に収集運搬作業の委託一直営問題を考える際の留意点について論じた。

参考文献

- 1) 植田和広：ごみ収集事業の民間委託について
都市清掃37(141)：11～15, 1984
- 2) 中杉修身：ごみ処理事業における直営・委託の実態
都市清掃37(141)：16～22, 1984
- 3) 藤吉秀昭：ごみ収集運搬作業の民間委託に関する考察
日本環境衛生センター所報
VoL12.13合併
87～95, 1986
- 4) 一般廃棄物の収集運搬事業者セミナー・テキスト
(財)日本環境衛生センター