II-342 都市ごみサンプリングにおける4分法のモデル化

京都大学工学部　正員　　寺島　泰
京都大学工学部　正員　　浦辺真郎
京都大学工学部　学生員○吉川克彦

1．はじめに　都市ごみ性状を把握することは、現在のごみ処理装置の維持・管理あるいは将来のごみ処理装置の計画・検討等を行うために、必要不可欠である。　現行の都市ごみサンプリングには、4分法が用いられているが、4分法により得られた試料の信頼性については、過去の研究によって完全に把握されているとは言い難い。演者等は試料ごみの一次試料重量と4分法における縮分回数とから対象成分の初期組成からの乖離度（相対誤差）を与える式を2項分布を用いた確率論的モデル化により導入し、その妥当性を実際のデータへの適用により検討を行ったので報告する。

2．縮分のモデル化　4分法における縮分は混合の有無によらずマクロに見れば1つの集団を2つに分けるという行為である。いま、縮分の対象となるごみが、等重量の要素からなるとし、全要素数をN、そのうち注目する組成、たとえば紙の要素数をnとする。縮分により重量比で1／2ずつ2区画に分けた一方をA区画、他方をB区画とし、A区画に存在する紙の要素数をrとする。　紙がA区画に行く確率をPとすると、rは

$$h(r) = {}_nC_r \cdot p^r \cdot q^{(n-r)} \qquad (1)$$

の2項分布に従うと考えられる（p+q=1）。　nが大きい場合、rはN（np, npq)の正規分布をすることから、以下この正規分布を基本に考察を進める。　縮分による組成の相対誤差（縮分前組成基準）は、

$$y = (r/(N/2) - n/N)/(n/N)$$
$$= (2r - n)/n \qquad (2)$$

と表わせる。N(np,npq)に対して（2）の変数変換を行うと相対誤差yはN(2p-1,4pq/n)の正規分布に従うことになる。　ここで、各ごみの要素が、A、B両区画に確率的に均等に移動するとすれば（p=q=1/2）、相対誤差yはN(0,1/n)の正規分布をすることになり、また$y\times\sqrt{n}$という変数を考えると、これは標準正規分布をすることになる。　いま、ごみ1Kg当りの紙の要素数をn1，縮分を行うごみの重量をWiとすれば、相対誤差の平均は0であるから、分散の計算式から　$\Sigma(y_i\sqrt{W_i n_1})^2/M=1$　（3）　の関係が得られる。　これより、ある重量における縮分による相対誤差yiを与えれば（この場合M点）、n1が求まり、さらにごみ重量に対する相対誤差の分布N(0,1/n)を求めることが可能となる。　一方、4分法の一次試料重量をW1,縮分回数をjとすると、相対誤差yの分散S^2は1回の縮分により重量が半分になると仮定したから、

$$S^2 = 1/W_1n_1 + 2/W_1n_1 + \cdots + 2^{(j-1)}/W_1n_1$$
$$= (2^j - 1)/W_1n_1 \qquad (4)$$

となる。

3．モデルの適用と妥当性　以上のモデルを演者等が昨年、各地の都市ごみを対象として行った4分法実験の結果に適用する。　実験を行った各都市の特徴、ごみ組成を表－1に示す。1回の縮分による縮分前後の組成の相対誤差$y = (B_j - B_{j-1})/B_j$を求めたものの一例が図－1である（ただし、Bj

表－1　実験を行った都市の特徴

	A市	B町①	B町②	C市	D市①	D市②
実験日	4月24日	5月26,27日	11月5～11日	7月8,9日	10月15日	11月18日
都市の特徴	農村地帯	新興住宅地		地方中心都市	大都市	
ごみ収集方式	燃えるごみ、燃えないごみの分別収集				一括収集	
収集袋	ビニール袋			紙袋	ビニール袋	

表-2　組成分析結果（各都市間の比較）

トシメイ　シリョウメイ	スイブン	カミ	プラスチック	チュウカイ	センイ	クサ.キ	ゴム	ヒカク	ザツカネン	キンゾク	ガラス	トウジキ	ドシャ	ザツフネン
A	56.38	35.82	16.73	31.67	6.54	2.68	1.09	0.02	0.53	1.64	0.49	0.12	2.00	0.67
B1	51.83	44.06	18.52	21.18	6.06	4.62	0.90	0.11	0.05	2.00	0.67	0.76	0.04	1.04
B2	53.86	43.32	15.91	17.67	7.47	7.27	1.57	0.04	0.14	3.21	0.76	0.11	1.97	0.57
C	58.85	47.98	9.66	18.89	4.86	14.02	0.26	0.01	0.00	1.93	0.40	0.09	1.55	0.34
D1	40.93	39.53	12.98	13.69	6.55	6.31	1.98	1.63	0.55	6.55	6.67	1.42	1.86	0.27
ヘイキンチ	52.37	42.14	14.76	20.62	6.30	6.98	1.16	0.36	0.25	3.07	1.80	0.50	1.49	0.58
ブンサン	38.29	17.18	9.71	36.46	0.73	14.83	0.35	0.40	0.06	3.33	5.96	0.28	0.55	0.08
ヒョウジュンヘンサ	6.19	4.14	3.12	6.04	0.85	3.85	0.59	0.63	0.24	1.82	2.44	0.53	0.74	0.27
ヘンドウケイスウ	11.82	9.84	21.11	29.28	13.52	55.17	50.78	175.69	94.14	59.51	135.80	105.00	49.73	47.45
D2 WET		25.27	11.33	39.94	4.37	15.72	0.14	0.22	0.06	1.71	0.16	0.30	0.00	0.80

は4分法をj回行ったごみの組成百分率を示す)。

同図にこれらのデータと式(3)から求められる $1/\sqrt{W_1}n_1$ を示した。 また、式(4)より求めた一次試料重量と縮分後重量に対する誤差の関係を図－2に示す。 どの組成についても、ごみ量が少なくなるほど1回の縮分による組成の変動が大きくなる様子がよくわかる。 またここで求めたごみ1Kg当りの各組成の要素数n1の値を組成重量百分率に対して図示したのが図－3である。 組成が少なくなるほどn1が少なくなることがわかる。 実線はごみがすべて等重量の要素からなり、しかも完全混合を行った場合の要素数n0である。各プロットはおおよそこの実線に沿って分布している。 実線より上方の物質は1要素当りの重量が小さい、ごみ中に均等に分布している、混合されやすい物質と考えられ、実線より下方の物質はその逆と考えられる。 そこで、要素数n1を従属変数とし、1要素当りの重量を表わすものとしてふるい残留径の重量平均径D4、分布の均等さを表わすものとして各組成のエントロピーH（これは、ごみの山を48区画に分け、各区画に存在する注目物質、たとえば紙の紙全体にたいする割合を P_i とし、$H=-\Sigma P_i \log P_i$ で求めた）および、各組成の重量百分率の3変数を独立変数として重回帰分析を行った。ただし、エントロピー計算はB町の一部、重量平均径はA市の一部のデータを用いたものである。

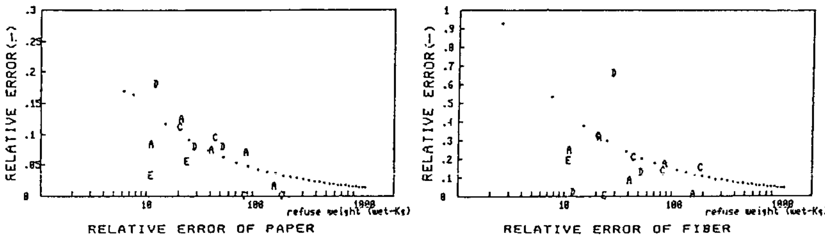

図-1　1回の縮分による相対誤差

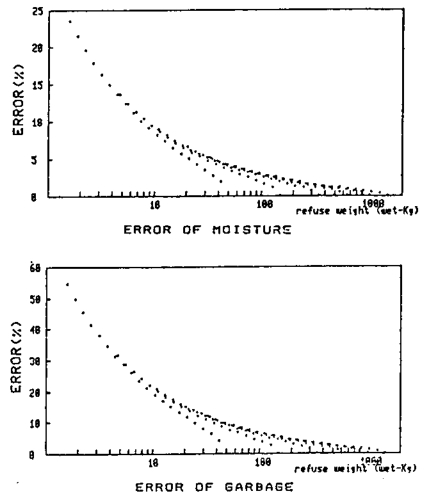

図-2　4分法における一次試料重量と縮分による誤差(1ｼｸﾞﾏ)

表－3に結果を示すが、要素数n1はほとんど各組成の重量百分率で表わされ、一部はエントロピー、つまり各組成のばらつきの程度により表現されると言える。

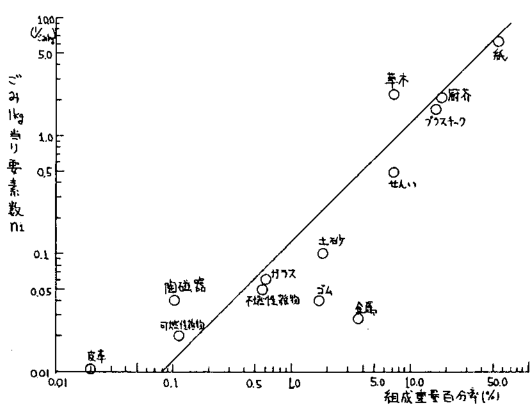

図-3　組成重量百分率とごみ1kg当り要素数 n_1

4．まとめ　4分法の精度（相対誤差）を2項分布を適用した確率論的モデルにより表現することを試みた結果、実際のごみの動きを十分に表現できることがわかった。 また、モデル化の際導入した各組成のごみ1Kg中の要素数n1は組成重量百分率および一部はエントロピーにより表わせることが判明した。 今後は、ごみの大きさ（粒径）、比重等の形状が混合に与える影響をさらに把握することから4分法の構造をより詳しく解明していく方針である。

表－3　重回帰分析結果

	重相関係数R	R^2	寄与率	相関係数	偏回帰係数	標準偏回帰係数
重量百分率(%)	0.950	0.902	0.902	0.950	0.108	0.881
エントロピー	0.954	0.909	0.007	0.872	0.107	0.122
重量平均径	0.955	0.911	0.002	0.164	-0.030	-0.043
定数					-0.152	