

以數學模式評估垃圾清運民營化實施成效

江舟峰¹ 施肇芳² 洪瑞敏¹ 方寶國¹

摘要

本研究針對都會區三個不同屬性的委託民營清運地區(住宅區、住商文教區、及商業區)，實施現場跟車，以評估其實施成效。並嘗試建立一個垃圾產生量與清運量的數學質量平衡公式，統計分析跟車期間的違規數據及違規清運量，以驗證契約量與模式量是否相符。研究結果顯示，三個地區之契約量與模式量偏差分別為 6.2%、-4.6%、及 0.8%，雖然地區屬性不同，契約量與模式量尚稱符合。但與單位理論產量 1.3 公斤/人-日比較，單位契約量偏差分別為 8.0%、-31%、及 12%，住宅文教區偏低的原因可能是該地區代清運量較高，或者是其他兩地區於訂定契約量時，以考量市場、學校、商店、及事業廢棄物，使得訂定之契約量偏高，值得進一步探討。

若以單一產源垃圾量大於 40 公斤為違規判定基準，於本研究 6 天 142 車次跟車過程中，種違規次數為 990 次，平均每車次 7.0 次，其中以餐飲店為最多(36.5%)，其次為攤販(28.6%)、工廠(18.8%)、及汽機車修理廠(13.7%)。三區之違規扣除量分別佔該區跟車量之 3.9%、1.6%、及 13.8%。在三區共 16 條清運路線及 1126 個總清運站點中，清運誤點(超過 10 分鐘)亦相當高，為 43-100%。建議利用本研究所發展之模式，廣泛建立全國性之各類管道清運量資料庫，以利掌握地區性垃圾流向，特別是可藉此了解事業廢棄物進入垃圾之管道及清運量。亦建議利用全國清潔隊及民營業成本資料，以經濟學排序(ranking)及供需理論，評估委託民營清運價格之合理性。

關鍵詞：垃圾清運民營化、跟車作業、跟車量、契約量、模式量、單位理論量

當棘手且重要的環保課題 [4]。

一. 前言

近年來台灣地區國民生活水準大幅提昇，所產生的垃圾量也有逐年增加的趨勢，垃圾產生量由 78 年之 0.90 公斤/人-日增加至 87 年之 1.14 公斤/人-日，十年來平均年增率為 2.4 %，但徵收之規費僅為總清理費之 36.3 % [1]。因此，為解決垃圾清運處理的問題，政府乃於民國 82 年起開始推動縣市鄉鎮垃圾清運民營化，以降低垃圾清運成本 [2,3]。但如何評估民營業實施成效及定訂合理之契約量及價格，一直未能建立一個量化的方式，特別是針對都會區較為複雜的各類廢棄物產源及流向，如何藉由資料建檔及理論分析工具之開發，掌握地區性廢棄物流向，尤其是了解事業廢棄物進入垃圾之管道，是各縣市政府目前相

1. 朝陽科技大學環境管理系副教授及專題生
2. 台中市環保局課長

本研究針對都會區委託民營業者清運的三個地區(住宅區、住商文教區、及商業區)，以現場跟車方式及質量平衡數學模式，驗證契約量與模式量，並與單位理論量評比。本研究亦嘗試將現場跟車違規結果，建立量化的指標，以評估委託民營業者之垃圾清運成效 [5]。

二. 研究方法

1. 跟車作業

本研究跟車作業共進行 A 區 2 條，B 區 8 條，

C 區 6 條路線，共 16 條路線。每週以 4 人跟車，每人負責 4 條，依民營業者向環保局核備的路線及時間表，連續跟車 6 天。並於跟車過程中，比對各路線實際與核備之清運路線及抵達時間，必要時並進行拍照。跟車過程查核內容如下：

(1) 統計各路線及各區之過磅量

確認委託民營清運業者依照委託單位核備之收集路線進行收集，紀錄每輛清運車輛每次清運至處理廠的過磅重量，並統計各區清運量。

(2) 進行違規清運及誤點記錄統計查核

跟車過程中分別紀錄誤點及違規清運次數，違規清運認定事項主要包括有：越區清運、事業廢棄物（以每日每戶垃圾量是否大於 40 公斤為判定基準）、攤販廢棄物，並了解是否夾雜有民營業者自行清運廢棄物（如醫療或事業廢棄物）等。

2. 數學模式量推估

為探討無法藉由跟車作業而得到潛在垃圾量資料，針對委託民營業者清運地區之垃圾產生量與清運量間建立一個質量平衡模式，以推估合理契約量，公式如下所示：

$$G_t = T_{EPB} + T_c + T_n = (T_a + T_{na} + T_l + T_g + T_r) + T_c + T_n \quad (1)$$

其中 G_t 表示委託民營清運地區之總垃圾產生量 (total rate)； T_{EPB} 表示環保局委託民營清運量； T_c 表示民間業者自行代清運量 (contract rate)； T_n 表示未清運量 (non-transportation rate)； T_a 表示跟車清運量 (audit rate)； T_{na} 表示未跟車車輛之清運量 (non-audit rate)； T_l 表示大宗廢棄物 (large waste rate)； T_g 表示巨大廢棄物 (giant amount waste rate)； T_r 表示資源回收量 (recycling rate)，公式之單位可視情況需要為公噸/月或是公噸/日。

三. 結果與討論

1. 清運量查核

表 1 為跟車期間每日清運量統計表。各路線在 6 天中每日清運量標準偏差值在 0.16~2.92 公噸，變異係數為 3.2~31.6%，顯示各清運路線個別差異極大，是否針對區域特性，有固定的週期變化趨勢，值得進一步探討，例如住商文教區於週一顯現較高的清運量，而住宅區及商業區每天之清運量則較為固定。這些跟車清運量將代入公式(1)之 T_a ，作為建立數學模式之依據。

表 1 跟車期間每日清運量統計分析表

	空車重量 (公噸)	日期 車輛	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	平均量 (T/d)	標準偏差 (T/d)	變異係數 (%)
A 區	4.28	A-1	5.24	4.64	4.46	4.34	4.54	3.72	4.49	0.45	10.0
	7.85	A-2	7.64	4.71	4.93	4.45	4.53	4.05	5.05	1.19	23.5
B 區	6.28	B-1	13.92	5.70	7.80	7.78	8.37	7.92	8.58	2.53	29.5
	6.40	B-2	11.14	6.40	6.70	6.31	6.36	6.40	7.22	1.76	24.4
	8.55	B-3	12.86	9.44	11.19	11.40	10.46	12.12	11.25	1.10	9.8
	7.65	B-4	8.58	6.42	6.90	7.02	6.44	6.42	6.96	0.76	11.0
	8.19	B-5	5.53	3.83	3.75	4.39	3.65	3.71	4.14	0.67	16.01
	6.73	B-6	6.09	6.55	4.31	4.91	5.17	7.82	5.81	1.16	20.0
	6.68	B-7	15.64	7.60	8.08	8.68	8.48	6.96	9.24	2.92	31.6
	7.06	B-8	5.68	2.66	3.14	3.10	4.64	2.62	3.64	1.13	31.1
C 區	8.80	C-1	3.76	3.00	4.28	3.84	3.58	3.94	3.73	0.39	10.5
	8.04	C-2	1.98	1.96	2.62	4.06	3.12	3.16	2.82	0.73	26.0
	6.94	C-3	1.74	1.72	1.84	3.12	2.64	3.02	2.35	0.60	25.5
	7.17	C-4	2.55	1.93	2.09	3.13	3.57	2.85	2.69	0.57	21.2
	8.63	C-5	2.21	1.79	1.69	1.75	1.71	1.55	1.78	0.20	11.5
	4.59	C-6	5.18	5.00	5.10	5.00	5.12	4.68	5.01	0.16	3.2

2. 違規清運查核

本研究於跟車期間並記錄各路線實際清運情況，統計違規清運次數如表 2。若以單一產源垃圾量大於 40 公斤為違規判定基準，於 6 天 142 車次跟車過程中，總違規次數為 990 次，平均每車次 7.0 次，其中以餐飲店為最多(佔 36.5%)，其次為攤販(28.6%)、工廠(18.8%)、及汽機車修理廠(13.7%)。在全部 1121 清運點中，誤點(超過 10 分鐘)相當高，佔 43-100%。其它為越區清運、事業廢棄物、醫療單位廢棄物、流動攤販、私有市場及民營業者自行承接之代清運業務。表 3 為違規清運量推估統計表，三區之違規扣除量分別佔該區跟車量之 3.9%、1.6%、及 13.8%。

表 2 跟車清運路線違規清運統計表(次/日)

		確定違規清運點數	疑似違規清運點數
A 區	A-1	13.0	0.0
	A-2	69.2	0.0
B 區	B-1	0.0	53.0
	B-2	21.2	25.3
	B-3	21.0	5.2
	B-4	2.0	8.0
	B-5	16.0	16.2
	B-6	0.0	0.0
	B-7	3.0	10.7
	B-8	2.0	45.5
C 區	C-1	22.0	0.5
	C-2	3.5	39.7
	C-3	27.8	0.0
	C-4	7.5	24.7
	C-5	24.7	0.0
	C-6	25.2	0.0

A 區	1	6	63	12	27	24	8	25	28	9	16	55	8	8	51	11	5	58
B 區	98	56	390	70	37	367	47	78	447	73	29	362	66	27	423	25	38	480
C 區	37	27	48	18	37	71	18	37	86	23	11	90	18	18	95	22	35	55

根據表 4 的跟車誤點查核紀錄，可依時距作成圖 1 的誤點情況分佈圖，圖中可發現 B 區的誤點情況最為嚴重，誤點超過 30 分鐘的比例約佔 80.9%，A 區及 C 區的比例分別為 67.2% 及 64.2%，可能因 B 區清運路線較長且清運點較多，特別是本次誤點所採記的方式，為針對每個清運點的誤點記錄，為對其較不利情況。因此針對誤點次數所作統計分析僅做為一項服務品質的參考指標，若要更確切的知道其誤點的情況，應考量其清運點的總數，以相對百分比表示較具客觀性。

表 3 跟車路線違規清運扣除量統計表

清運區	日期 車牌	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	違規清運總量 (公噸)	每日違規清運量 (公噸/日)
A 區		0.20	0.20	0.30	0.20	0.30	0.20	1.40	0.23
		0.15	0.10	0.15	0.10	0.15	0.20	0.85	0.14
B 區		0.10	0.10	0.20	0.10	0.20	0.10	0.80	0.13
		0.10	0.15	0.10	0.15	0.10	0.10	0.70	0.12
		0.20	0.15	0.10	0.15	0.15	0.10	0.85	0.14
		0.15	0.20	0.10	0.15	0.15	0.20	0.95	0.16
		0.10	0.20	0.10	0.10	0.20	0.10	0.80	0.13
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.15	0.10	0.10	0.15	0.10	0.10	0.70	0.12
		0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.60	0.10
C 區		0.10	0.20	0.25	0.20	0.20	0.15	1.10	0.18
		0.12	0.15	0.14	0.20	0.20	0.16	0.97	0.16
		0.10	0.10	0.10	0.25	0.20	0.20	0.95	0.16
		0.10	0.10	0.10	0.15	0.20	0.10	0.75	0.13
		0.05	0.10	0.05	0.15	0.10	0.10	0.55	0.09
		1.80	1.70	2.00	1.90	1.80	1.70	10.90	1.82

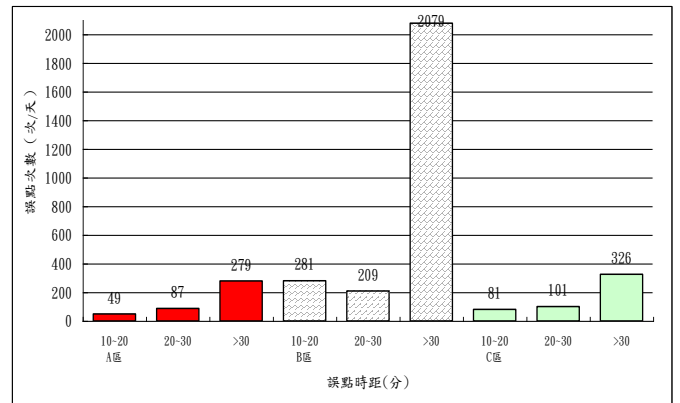


圖 1 跟車期間各區每天誤點情況分佈圖

3. 清運誤點分析

為評估委託民營清運的成效，清運時間的誤點情況亦應考量，本研究於跟車過程紀錄各清運車輛誤點情況，以 10-20、20-30、>30 分等 3 個時距作統計分析，結果如表 4 所示。顯示一般而言，誤點情況非常嚴重，可能與該市實施「強制垃圾分類」[6]有關，建議重新檢討核備委託民營業者之清運路線及時間表。

表 4 跟車清運路線誤點統計分析表

時距 路線	星期一			星期二			星期三			星期四			星期五			星期六		
	10-20 分	20-30 分	>30 分	10-20 分	20-30 分	>30 分	10-20 分	20-30 分	>30 分	10-20 分	20-30 分	>30 分	10-20 分	20-30 分	>30 分	10-20 分	20-30 分	>30 分
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4. 清運量與違規次數相關性分析

表 5 為扣除違規量後之淨清運量統計分析，可以發現各路線在扣除違規量後標準偏差值與變異係數值與原先表 1 中的值變化不大。而根據圖 2 顯示，違規清運次數多並不表示其清運量變化就會增大，而違規次數少清運量變化也沒有減少。所以，清運量變化主因並不是在於民營業者的違規清運，兩者的相關性並不明顯。進一步由跟車過程記錄深入探討，可以發現清運路線上的產源特色及民營業者的經營方式，對於清運量的變化有相當重要的影響。

上述情況可由路線 C-6 的違規扣除量很高，即其違規相當嚴重，然其清運量變化卻不明顯，探究其原因，該路線為委託民營業者再次發包清運，使得該路線清運自有業務的違規清運情況嚴

重，但清運量變化卻不顯著。因此，探討清運量與違規清運，需考量此等特殊情形，此亦為目前委託民營清運時最難釐清的問題。

表 5 扣除違規量之淨清運量統計分析表

(單位：公噸/日)

區別	清運量 車牌	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	平均	總計	標準偏差	變異係數 (%)
A	A-1	5.04	4.44	4.16	4.14	4.24	3.52	4.26	9.17	0.45	10.56
	A-2	7.49	4.61	4.78	4.35	4.38	3.85	4.91			
B	B-1	13.82	5.60	7.60	7.68	8.17	7.82	8.45	55.94	2.54	30.08
	B-2	11.04	6.25	6.60	6.16	6.26	6.30	7.10			
	B-3	12.66	9.29	11.09	11.25	10.31	12.02	11.10			
	B-4	8.43	6.22	6.80	6.87	6.29	6.22	6.81			
	B-5	5.43	3.63	3.65	4.29	3.45	3.61	4.01			
	B-6	6.09	6.55	4.31	4.91	5.17	7.82	5.81			
	B-7	15.49	7.50	7.98	8.53	8.38	6.86	9.12			
	B-8	5.58	2.56	3.04	3.00	4.54	2.52	3.54			
C	C-1	3.66	2.80	4.03	3.64	3.38	3.79	3.55	15.84	0.39	10.91
	C-2	1.86	1.81	2.48	3.86	2.92	3.00	2.66			
	C-3	1.64	1.62	1.74	2.87	2.44	2.82	2.19			
	C-4	2.45	1.83	1.99	2.98	3.37	2.75	2.56			
	C-5	2.16	1.69	1.64	1.60	1.61	1.45	1.69			
	C-6	3.38	3.30	3.10	3.10	3.32	2.98	3.20			

量，可計算求得淨清運量(Ta)。配合環保局提供大宗廢棄物(Ti)、巨大廢棄物(Tg)及資源回收量(Tr)資料，如表 6 及表 7 所示。將以上數據資料代入數學模式中之公式 2，則可推估委託民營的清運量，如表 8 所示。

表 6 委託民營大宗及巨大廢棄物清運量比較表

(單位：公噸/月)

區別-公司別	月份		
	七月	八月	九月
A 區	141	118	84
B 區	155	167	263
C 區	130	134	205

表 7 委託民營資源回收量比較表

(單位：公噸/日)

資源回收量	區域		
	A 區	B 區	C 區
88/7 及 88/8 每日平均資源回收量	2.81	2.63	1.35

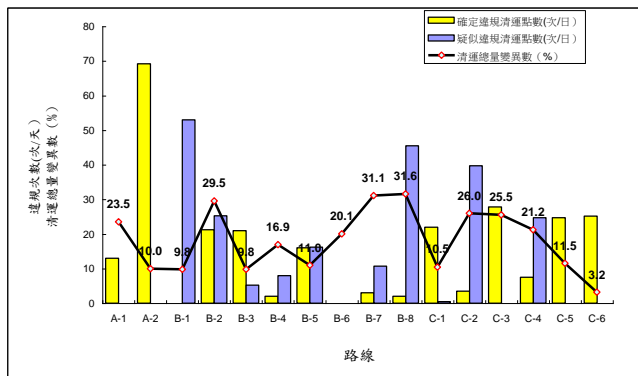


圖 2 違規清運次數與清運量變異係數趨勢圖

5. 數學模式清運量推估

由公式 1 可以看出，本次跟車工作中所得的清運量主要為 Ta 部分。其中，未跟車車輛之清運量(Tna)、大宗廢棄物 (Ti)、巨大廢棄物 (Tg) 及資源回收量 (Tr)、代清運量 (Tc) 均未考量，故理論上應可進一步探討其它各類產源或清運管道之清運量。因本次研究係針對環保局委託之民營業者清運量部份進行評估，公式 1 之數學模式可簡化為：

$$T_{EPB} = T_a + T_{na} + T_i + T_g + T_r \quad (2)$$

將表 1 中跟車清運量扣除表 3 中之違規清運

表 8 委託民營數學模式清運量推估表

(單位：公噸/日)

區別 項目	A 區	B 區	C 區
Ta	9.17(33.6%) ¹	55.94(87.5%)	15.84(44.3%)
Tn	11.00(40.3%) ²	0.00(0.0%) ²	14.13(39.6%)
T _i + T _g	4.32(15.8%)	5.37(8.4%)	4.40(12.3%)
Tr	2.81(10.3%)	2.63(4.1%)	1.35(3.8%)
T _{EPB}	27.30(100%)	63.93(100%)	35.72(100%)
資源回收率(%)	3.7	4.1	3.8

註：1.()內數值表示各項目佔委託民營清運量的比例。

2. 本路線全部進行跟車，並無未跟車清運量。

6. 模式量與契約量及理論量差異分析

表 9 比較每人每日數學模式清運量 (公斤/人-日)。A 區單位垃圾產生量為 1.41 公斤/人-日，而最高的地區則為 C 區 1.45 公斤/人-日，已超出每人每日之契約清運量及理論值。而 A 區清運量與契約清運量偏差值為 6.2%，B 區為-4.6%，C 區為 0.8%。由資料顯示，以跟車作業推估清運量，可能忽略了某些潛在未清運的垃圾量，例如自行代清運量 (Tc) 或者是拾荒者的資源回收量等數據，此點可由 B 區的理論清運比偏低獲得印證。而相反的，此亦說明 A 區及 C 區有可能因為民營業者自行代清運量，而高估契約量，值得進一步檢討。

與模式量比較，除 B 區契約量較高外，A 及 C 區均較低，主要原因可能在於未跟車清運量所造成的誤差，A 區未跟車清運的數據(佔模式量 40.3%)係由業者提供資料，其可信度較低，而 C 區的未跟車清運量(佔模式量 39.6%)係由環保局進行跟車所取得，較可信賴。另違規清運的認定與扣除量的判定亦會影響模式量的準確性，因考量 C 區為商業區，此誤差仍應可接受。然而，由環保局提供之委託民營清運地區垃圾清運量月報表，顯示實際清運量均以契約量之上限值計載，報表數據顯然無法反應實際清運量，對於評估清運民營化實施成效將造成失真的情況，因此如何有效要求業者據實回報，將有助於評估民營業者之實施成效。

表 9 委託民營淨清運量、模式量與契約量比較表

清運區別		A區	B區	C區
a	淨清運量(公噸/日) ¹	9.17	55.94	29.97
b	模式清運量(公噸/日) ²	27.30	63.94	35.72
c	契約清運量(公噸/日)	29.00	61.00	36.00
d	設籍人口數(人)	19,340	72,146	24,647
	單位淨清運量 (公斤/人-日) = a/d	0.47	0.78	1.22
	單位模式清運量 (公斤/人-日) = b/d	1.50	0.84	1.46
	單位契約清運量 (公斤/人-日) = c/d	1.41	0.89	1.45
	清運量偏差(%) ³	6.2	-4.6	0.8
	理論清運比 ⁴	1.08	0.69	1.12

註：1. 淨清運量為跟車路線實際過磅量扣除違規清運量後之數值。

2. 模式清運量為以數學模式推估之 T_{EPR} (表 7)。

3. 清運量偏差 = (契約量-模式量)/模式量。

4. 理論清運比 = 單位契約量/理論產生量 (1.3 公斤/人·日)。

四. 結論與建議

本研究以現場跟車方式，針對都會區內三個委託民營業者清運之地區，進行成效評估，並嘗試建立地區性垃圾產生量與清運量之質量平衡數學模式，以驗證清運量與契約量是否相符，並將違規清運情形進行量化之探討，結論與建議如下：

1. 三個委託民營地區契約量與模式量偏差分

別為 6.2%、-4.6%、及 0.8%。雖然三個地區屬性不同，分別為住商文教區、住宅區、及商業區，契約量與模式量尚稱符合。

- 與單位理論產量 1.3 公斤/人-日比較，三個地區之單位契約量偏差分別為 8%、-31%、及 12%。住宅區偏低的原因可能是代清運量較高，亦可能是其它兩區(住宅文教區及商業區)於訂定契約量時，已考量容許之市場、學校、商店、及事業廢棄物，使得訂定之契約量較高，值得進一步探討。
- 若以單一產源垃圾量大於 40 公斤為違規判定基準，於 6 天 142 車次跟車過程中，種違規次數為 990 次，平均每車次 7.0 次，其中以餐飲店為最多(佔 36.5%)，其次為攤販(28.6%)、工廠(18.8%)、及汽機車修理廠(13.7%)。
- 三區之違規扣除量分別佔該區跟車量之 3.9%、1.6%、及 13.8%。但未跟車清運量分別佔模式量 40.3%、0%、及 39.6%，故事業廢棄物夾雜進入委託民營業者清運垃圾之比例仍有待進一步研究。
- 在 1120 清運點中，清運誤點(超過 10 分)相當高，佔 43-100%。可能與該地區實施「強制垃圾分類」有關，建議重新檢討調整委託民營業者之清運路線及時間表。
- 建議利用本研究所發展之模式，廣泛於全國建立地區性之各類垃圾清運管道及清運量資料庫，以利掌握區域性垃圾流向，特別是了解事業廢棄物進入垃圾之管道與清運量。
- 建議利用全國清潔隊及民營業成本資料，以經濟學排序(ranking)及供需理論，評估委託民營清運價格之合理性。

參考資料

- 行政院環保署，87 年度公務統計報表-垃圾水肥清運處理現況。
- 中興工程顧問社，台灣地區垃圾清理業務民營化先期規劃，期末報告，行政院環保署委託，

2000 中華民國環境工程年會，廢棄物清理技術研討會

民國 79 年 12 月。

3. 魏玉麟，垃圾清運民營化輔導研究計畫，期末報告，台灣省環保處委託，民國 87 年 7 月。
4. 江舟峰、孫世勤、劉偉裕，台灣地區事業廢棄物總量推估調查及處理體系規劃，第六屆廢棄物處理技術研討會，環境工程年會，民國 82 年 12 月。
5. 江舟峰，加強推動資源回收儲存、清運回收實施計化，期末報告，台中市環保局委託，民國 89 年 8 月。
6. 台中市環保局，台中市推動強制垃圾分類制度執行作業方式及績效考核辦法，民國 88 年 7 月。