

設置機車待轉區及停等區之直行／右轉 共用車道疏解特性與分析模式

QUEUE DISCHARGE CHARACTERISTICS AND ANALYTICAL MODELS OF SHARED STRAIGHT-THROUGH / RIGHT-TURN LANES WITH LEFT-TURN BOX AND WAITING BOX

張瓊文 Chiung-Wen Chang¹

林豐博 Feng-Bor Lin²

曾平毅 Pin-Yi Tseng³

(96 年 8 月 13 日收稿，96 年 11 月 27 日第一次修改，
97 年 1 月 3 日第二次修改，97 年 8 月 20 日定稿)

摘 要

為了順暢交通的流通，直行／右轉共用車道在停止線下游通常設有機車兩段式左轉待轉區，上游則設有機車停等區。本研究利用在臺北都會區所蒐集之現場資料，以探討機車兩段式左轉待轉區、機車停等區及機車停等區上游車道之停等車疏解特性，並建立分析模式。現場資料顯示，機車兩段式左轉待轉區之每公尺待轉機車數與疏解時間，有統計上顯著的線性關係；而其疏解時間通常很短，故很少影響停止線上游車輛之疏解。從機車停等區能疏解之停等機車數與疏解時間，可利用簡單的模式來估計。機車停等區上游車道之混合停等車輛的疏解行為相當複雜，但可以真實地以一 $8 \times 4 \times 1$ 的類神經網路模式來代表。本研究整合這些分析模式，成為一

-
1. 交通部運輸研究所運輸計畫組研究員(聯絡地址：10548 臺北市敦化北路 240 號 8 樓；電話：02-23496812；傳真：02-25450428；E-mail：changcwn@iot.gov.tw)。
 2. 美國克拉森 (Clarkson) 大學土木與環境工程學系教授。
 3. 中央警察大學交通學系暨交通管理研究所教授。

可用以估計具有機車停等區之直行／右轉共用車道容量的模式。

關鍵詞：混合車流車道；疏解行為；停等區；兩段式左轉待轉區

ABSTRACT

To facilitate traffic movement, a shared straight-through/right-turn lane may have a two-stage left-turn box downstream of the stop line and a waiting box upstream of the stop line for motorcycles. This study uses field data collected in the Taipei metropolitan area to examine and model the queue discharge characteristics of the vehicles in the two-stage left-turn box, the waiting box, and the roadway upstream of the waiting box. The field data reveals that the queue discharge time in the two-stage left-turn box has a statistically significant linear relationship with the number of motorcycles per unit width of the box. The discharge time from the two-stage left-turn box is usually very short and thus rarely affects the discharge of the queuing vehicles at the stop line. The queue discharge time and the number of motorcycles that can be discharged from a waiting box can be estimated from simple models. The queue discharge characteristics of the mixed vehicles upstream of the waiting box are very complex but can be realistically represented by an $8 \times 4 \times 1$ artificial neural network model. This study integrates these models into one to estimate the capacity of a shared straight-through/right-turn lane that has a waiting box.

Key Words: Mixed-flow lane; Discharge behavior; Waiting box; Two-stage left-turn box

一、緒 論

號誌化路口的車道容量及作業績效與停等車之疏解特性息息相關，而停等車之疏解又受幾何設計、號誌控制、車種組成及車輛行進方向等因素所影響^[1,2]。根據車道之使用是否有機車與汽車混合使用之情形，通常可以區分為純汽車流以及混合車流 (mixed flow) 的車道，前者主要包括大車、小車，後者則還有機車混合行駛。國內以往對於混合車流曾有一些研究，從較早期的混合車流特性研究及其對容量影響之探討^[3-7]，以模擬模式應用於號誌時制設計^[8-10]，近來陸續也有特別針對機車在混合車流中之行為分析^[11,12]，車流模擬或是其他模式探討^[13-15]。由於混合車流之車道的車流行為相當複雜，且因常佈設在市區道路右側之車道上，其疏解行為更涉及直行或右轉的不同行進行為，故混合車流行為之探討，需要相當大量的現場資料及較複雜之分析方法。本研究利用交通部運輸研究所 (以下簡稱運研所) 進行市區^[1,2]與郊區^[16-18]號誌化路口車流特性及服務水準分析時，所蒐集之混合車流車道的資料，以分析號誌化路口直行／右轉共用混合車道的疏解特性，並建立分析模式，以作為推估車道容量之基礎，相關成果可提供國內交通界參考。

如圖 1 所示，目前臺灣的直行／右轉共用車道最常佈設在外側車道。在停止線下游通

常設有機車兩段式左轉待轉區 (two-stage left-turn box) (以下簡稱待轉區)，以提供自左側駛來等待左轉的機車等待左轉的空間。在停止線上游則通常設有機車停等區 (waiting box)，以提供當號誌為紅燈時，機車可以緩慢地儘量利用汽車之間的空間移動至停等區等待，當綠燈始亮時，機車可以利用其較高加速率的特性，很快的疏解，而較不會影響停等區上游車輛之疏解。此外，停等區上游車道之停等車輛，在綠燈啟亮後，亦會依序起動而進入路口進行疏解。

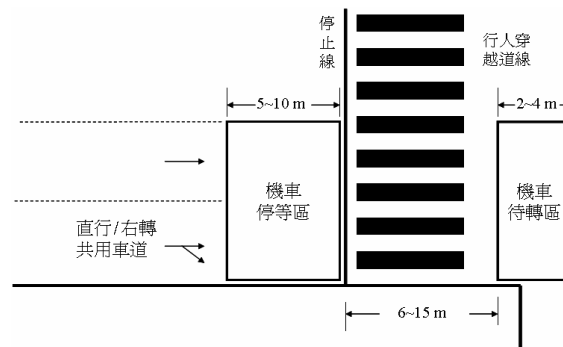


圖 1 直行／右轉共用車道之設施示意圖

關於機車兩段式左轉待轉區之設置，在民國 83 年之「道路交通標誌標線號誌設置規則」修訂版即已納入規範，其第一九一條規定：「機慢車左轉待轉區線，用以指示機器腳踏車或慢車駕駛人分段行駛。視需要設於號誌管制之交岔路口。本標線線型為白色長方形，線寬十五公分。劃設於停止線前方，設有枕木紋行人穿越道者，劃設於枕木紋行人穿越道前方。本標線前緣以不超出橫交道路路面邊緣為原則。」關於機車停等區之設置，最先係由內政部營建署之「市區道路工程規劃及設計規範」研究計畫^[19]提出，其將機車兩段式左轉待轉區定義為：「在禁止機車左轉之交叉口，劃設機車兩段式左轉待轉區，供機車以兩段直進取代直接左轉之待停空間。」而後，在「道路交通標誌標線號誌設置規則」民國 96 年版^[20]之修訂中亦納入規範，在其第一七四條之二規定：「機器腳踏車停等區線，用以指示汽缸總排氣量未滿五百五十立方公分之機器腳踏車駕駛人於紅燈亮時行駛停等之範圍，其他車種不得在停等區內停留。本標線視需要設置於行車速限每小時六十公里以下之道路，且設有行車管制號誌路口之停止線後方。但禁行機器腳踏車或紅燈允許右轉車道不得繪設。機器腳踏車停等區線，線型為白色長方形，橫向(前後)線寬二十公分，縱向(二側)線寬十或十五公分，縱深長度為二點五公尺至六公尺，並視需要於機器腳踏車停等區內繪設機器腳踏車圖案或白色標字。」

機車待轉區通常在停止線下方 6~15 公尺，其縱深一般在 2 到 4 公尺之範圍內。停等區之前端通常緊靠停止線，其縱深多半在 5~10 公尺之間。停等區與待轉區之寬度通常超過一般車道之車道寬。由於此種混合車流之疏解率可能涉及待轉區、停等區及停等區上游

之路段，本研究主要利用現場資料以探討有停等區之直行／右轉共用車道之疏解特性，並建立容量分析模式。

二、機車兩段式左轉待轉區之疏解特性

本研究在表 1 所列臺北市 9 個地點蒐集機車兩段式左轉待轉區之停等機車疏解特性資料，現場資料包括：待轉區之寬度及縱深、待轉區被停等機車占滿時第一排機車之車數及待轉區內之機車數、每號誌週期中待轉區內之停等機車數與其疏解時間、及待轉區最後一部機車車尾與待轉區前端之距離。現場調查時，一半車長 (以機車之前輪或後輪完全在區內作為判斷基準) 以上在待轉區之機車，皆視為區內之機車。機車之疏解時間，係以綠燈啟亮後至待轉區內最後一部機車通過基準線 (本研究以待轉區之框線最前緣為基準線) 為衡量基準。待轉區被占滿係指在調查期間待轉區其他機車已無法再進入待轉區時，乃記錄此時之區內所有機車數。估計每公尺寬機車數時，係以區內第一排已經均勻停滿機車而其他機車無法進入第一排位置停等時，記錄其第一排機車數，經由待轉區之寬度計算而得。

表 1 機車兩段式左轉待轉區調查地點

代號	地 點	寬度 (m)	縱深 (m)	與停止線之距離 (m)	調查週期數 (個)
MS1	臺北市八德路 (敦化北路) 往西	7.1	4.2	15.0	70
MS2	臺北市敦化北路 (八德路) 往北	9.1	4.2	9.5	73
MS3	臺北市忠孝東路 (光復南路) 往西	6.7	3.1	9.0	30
MS4	臺北市市民大道 (敦化南路) 往西	6.6	2.3	8.5	30
MS5	臺北市南京東路 (敦化北路) 往西	6.2	3.0	10.2	31
MS6	臺北市復興北路 (南京東路) 往北	8.3	2.0	9.4	32
MS7	臺北市復興北路 (民生東路) 往北	3.0	2.0	6.8	34
MS8	臺北市八德路 (敦化北路) 往東	7.1	4.2	15.0	36
MS9	臺北市市民大道 (敦化南路) 往東	6.6	2.3	7.0	34

註：與停止線距離係指待轉區後端與停止線之距離。

表 1 的資料顯示，這些調查地點之劃設情形均符合現行規定。雖然在左轉機車量很大且是長號誌週期之路口，有可能發生機車兩段式左轉之需求遠大於路口待轉區空間之情形，此時之路口運作就變得相當複雜，本研究係希望結構化分析設有機車待轉區及停等區時之共用車道疏解行為，暫不探討此過飽和情況。

如表 2 所示，待轉區停滿機車時，第一排機車每車所占之平均寬度在 0.94 到 1.09 公尺的範圍。此外，待轉區內每機車平均所占用的面積從 MS8 地點之 1.66 平方公尺增高到 MS1 地點之 2.13 平方公尺，所有調查地點之平均值為 1.87 平方公尺／機車。因為每機車

占用待轉區長度大約為 2 公尺，而且待轉區之縱深 (2 ~ 4.2 公尺) 只能容納大約 2 ~ 3 輛前後排列之停等機車，所以綠燈啟亮後，通常在 6 秒鐘之內，所有機車就可疏解完畢。

表 2 機車兩段式左轉待轉區被占滿時停等機車數與待轉區之關係

待轉區	寬度 (公尺)	縱深 (公尺)	平均 機車數	每公尺寬機車 數 (輛/公尺)	每機車所占面 積 (公尺 ² /輛)	第一排平均 機車數	第一排每機車所占 寬度 (公尺/輛)
MS1	7.1	4.2	14.0	1.97	2.13	6.5	1.09
MS2	9.1	4.2	21.0	2.31	1.82	8.5	1.07
MS3	6.7	3.1	11.8	1.76	1.76	6.7	1.00
MS4	6.6	2.3	8.9	1.35	1.71	7.0	0.94
MS5	6.2	3.0	9.0	1.45	2.07	6.0	1.03
MS6	8.3	2.0	8.5	1.03	1.95	8.0	1.04
MS7	3.0	2.0	3.3	1.10	1.82	3.0	1.00
MS8	7.1	4.2	18.0	2.54	1.66	7.0	1.01
MS9	6.6	2.3	8.0	1.21	1.90	6.3	1.05

根據現場資料，圖 2 顯示停等車疏解時間亦與待轉區之寬度及每公尺寬度內之平均機車數有明顯之關係。這些關係可用下式來代表：

$$T_L = 0.19 + 0.258W + (0.71 + 0.118W) N_L \quad (1)$$

此式中，

T_L = 綠燈啟亮後機車兩段式左轉待轉區之疏解所需時間 (秒)；

W = 機車兩段式左轉待轉區寬度 (公尺)；

N_L = 機車兩段式左轉待轉區每公尺寬度內之機車數 (輛)。

式 (1) 為一非線性迴歸式 (nonlinear regression equation)，衡量此關係式配適度 (goodness of fit) 之主要統計量為標準估計誤差。式(1)之標準估計誤差為 0.37 秒，顯示具有很好的解釋能力。若將 W , N_L , $W \times N_L$ 視為獨立變數 (事實上他們並不是彼此獨立)，則式 (1) 之判定係數 R^2 值為 0.81。

根據現場資料，當待轉區被機車占滿時，平均每單位面積之機車數為 0.56 輛/平方公尺，故此時式 (1) 之 N_L 值，可估計為待轉區縱深之 ($1 \times 0.56 =$) 0.56 倍 (標準估計誤差為 0.17 輛)。所以其相關之疏解所需時間可根據式 (1) 估計如下：

$$T_{L0} = 0.19 + 0.258W + (0.398 + 0.066W) L_L \quad (2)$$

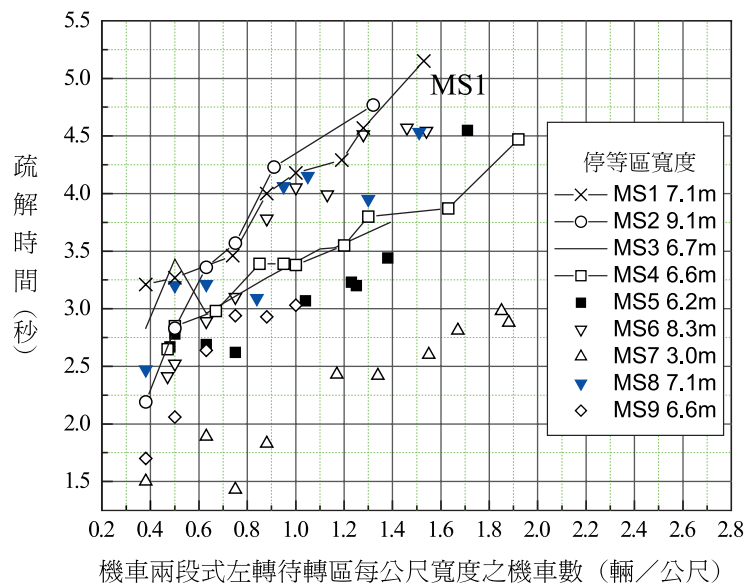


圖 2 待轉區停等機車疏散時間與其寬度及每公尺寬度之機車數的關係

此式中，

T_{L0} = 待轉區被機車占滿時，綠燈啟亮後疏散所有區內機車所需時間 (秒)；

L_L = 待轉區之縱深 (公尺)。

因為在 T_{L0} 秒內能疏散之機車數相當於 $0.56 L_L W$ (輛)，所以待轉區在綠燈啟亮後 T_{L0} 秒鐘內的平均疏散率可估計為 $3,600 \text{ 秒/小時} \times 0.56 L_L W \text{ 輛} \div T_{L0} \text{ 秒} = 2,016 L_L W / T_{L0}$ (輛/小時)。

以常見之待轉區尺寸試算，如待轉區寬度 (W) 為 7 公尺、縱深 (L_L) 為 4 公尺，當待轉區均充滿機車時，則在綠燈啟亮後 $T_{L0} = 0.19 + 0.258 \times 7 + (0.398 + 0.066 \times 7) \times 4 = 5.4$ 秒可疏散完畢；縱深 (L_L) 為 3 公尺時，則只需要 4.5 秒。由於機車待轉區通常在停止線下方 6 ~ 15 公尺，與上游停止線之距離 (縱深) 內至少可容納 3 輛以上之機車或 1 輛以上之小車，而待轉區之疏散時間通常很短，故預期待轉區之疏散對於停止線上游車輛之疏散，不會有顯著之影響。

三、機車停等區之疏散特性

本研究原本預計在前一節之地點同時蒐集機車停等區之現場資料，但因為待轉區與停等區之設置條件及規定，並不相同，不見得一定能在相同地點同時蒐集兩機車空間使用之資料。況且，設置機車待轉區時，通常需要很仔細的考量幾何條件與交通需求，尤其不能影響橫向之車流行進效率與安全。因此，本研究在表 3 所列之 17 個臺北市機車停等區蒐

集下列資料：

1. 停等區之寬度、縱深及停等區右側經常有停等機車之路面寬(簡稱側寬)。
2. 停等區被機車占滿時之停等機車數及占用停等區及側寬第一排機車之車數。
3. 每號誌週期在停等區及側寬路面之機車數、其疏解時間及最後一部機車通過停止線(基準線)到停等區上游第一部小車通過停止線之車距(headway)。

於號誌前停等之機車通常的狀況有三：(1) 機車受阻於紅燈而停在停等區；(2) 機車在紅燈時段，利用已經停等的汽車之間或是車道與右側人行道之空間，緩慢向前移動而進入停等區；(3) 如果無法順利進入停等區之機車，則於停等區上游之車道與其他汽車併行而停等(請見第四節之分析)。根據現場之調查顯示，機車停等區並沒有類似待轉區有需求遠大於供給的情形，反而是機車有時候不見得能順利往前移動至停等區。

表 3 機車停等區調查地點

代號	地點	寬度 (m)	側寬 (m)	縱深 (m)	調查週期數 (個)
MP1	臺北市八德路(敦化北路)往西	6.3	0.7	5.2	30
MP2	臺北市敦化北路(八德路)往北	9.1	1.7	4.9	34
MP3	臺北市忠孝東路(光復南路)往西	6.0	0.6	6.0	73
MP4	臺北市市民大道(敦化南路)往西	6.0	1.0	6.0	70
MP5	臺北市中華路(漢口街)往南	6.3	1.0	6.7	35
MP6	臺北市松智路(松壽路)往北	5.7	0.8	7.2	35
MP7	臺北市基隆路(信義路)往南	5.8	1.0	6.1	35
MP8	臺北市松仁路(信義路)往南	5.8	1.6	5.0	35
MP9	臺北市羅斯福路(景福路)往南	6.5	1.2	6.0	35
MP10	臺北三重成功路(集成路)往東	8.5	1.0	6.2	35
MP11	臺北市忠孝東路(松山路)往東	7.2	1.3	6.1	35
MP12	臺北市信義路(松德路)往西	8.7	1.0	6.0	35
MP13	臺北市忠孝東路(松山路)往西	5.2	1.4	6.4	35
MP14	臺北市衡陽路(重慶南路)往西	10.9	2.8	6.3	33
MP15	臺北市松仁路(信義路)往北	2.4	1.1	4.6	35
MP16	臺北市松仁路(松壽路)往南	7.0	1.1	7.2	35
MP17	臺北市重慶南路(市民大道)往南	8.0	1.0	7.0	35

根據現場資料，表 4 顯示停等區被機車占滿時，每部機車所占之面積大約在 1.64 ~ 1.77 平方公尺之間，平均為 1.7 平方公尺／機車；第一排機車每車所占用之寬度約在 0.88 ~ 1.08 公尺之間，平均值為 0.98 公尺／機車。機車有一半車長以上在停等區內時，皆視為停等區內之車輛。尖峰期間內，所有調查地點之停等區很少在每週期皆被機車占滿。各停等區在不同週期內被占用之面積平均在總面積之 73% 以下。如表 4 所示，17 個停等區中有 11 個

之尖峰時期占用率在 40% 以下，最高之占用率只達 72.9%。

表 4 停等區之使用情況

代號	總寬度 (公尺)	縱深 (公尺)	停等區占滿時					尖峰時 停等區 占用率 (%)
			平均最 多車數 (輛)	平均每車 所占面積 (公尺 ² /輛)	平均每公尺 寬度之車數 (輛/公尺)	第一排 平均車數 (輛)	第一排機車所 占平均寬度 (公尺/輛)	
MP1	7.0	5.2	21.86	1.67	3.12	7.38	0.95	69.2
MP2	10.8	4.9	32.00	1.65	2.96	9.75	1.11	47.5
MP3	6.6	6.0	24.22	1.63	3.67	7.25	0.91	70.0
MP4	7.0	6.0	25.00	1.68	3.57	7.29	0.96	63.9
MP5	7.3	6.7	—	—	—	—	—	40.8
MP6	6.5	7.2	—	—	—	—	—	34.7
MP7	6.8	6.1	22.67	1.83	3.72	—	—	72.9
MP8	7.4	5.0	—	—	—	—	—	36.7
MP9	7.7	6.0	—	—	—	—	—	23.0
MP10	9.5	6.2	—	—	—	—	—	29.3
MP11	8.5	6.1	29.50	1.76	3.47	8.33	0.98	28.0
MP12	9.7	6.0	—	—	—	—	—	22.3
MP13	6.6	6.4	—	—	—	—	—	38.4
MP14	13.7	6.3	—	—	—	—	—	9.4
MP15	3.5	4.6	9.25	1.74	2.64	3.33	0.95	19.0
MP16	8.1	7.2	—	—	—	—	—	14.6
MP17	9.0	7.0	—	—	—	—	—	22.0

- 註：1. 總寬度係指停等區之寬度與右側寬度（側寬，指停等區標線與實體分隔設施之距離）之和。
2. 調查期間停等區有被占滿之情形（其他機車無法再進入停等區），以及第一排已經均勻停滿機車而其他機車無法進入第一排位置停等時，調查員會記錄機車數以計算平均每機車所占面積（公尺²/輛）及第一排機車所占平均寬度（公尺/輛）。
3. 停等區占用率係指停等區各週期實際停等機車數與占滿時可停等機車數比率之平均值。由於調查期間均在尖峰時段，故稱之為尖峰小時停等區占用率。

如圖 3 所示，停等區內機車疏解所需的時間與每公尺寬度內之機車數有明顯之關係，此關係可用下式來代表：

$$T_w = 2.14 + 1.73 N_w \quad (3)$$

此式中，

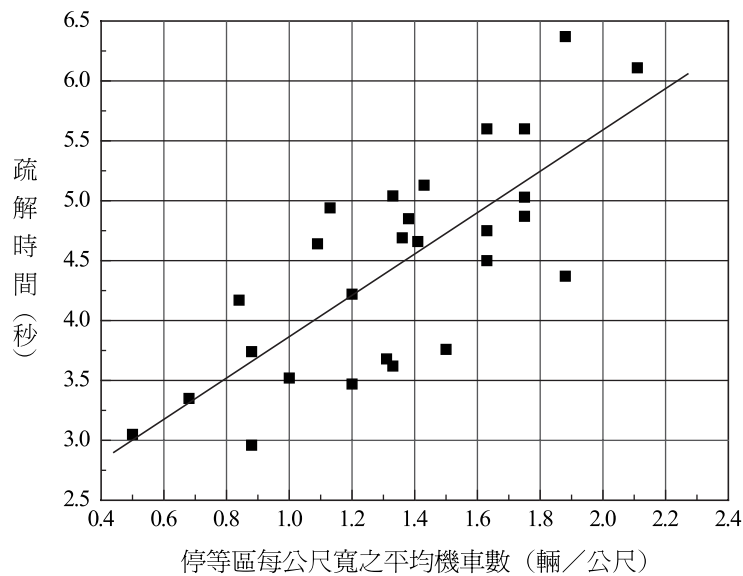


圖 3 停等區之停等機車疏解時間與每公尺平均車數之關係

T_w = 停等區內停等機車之疏解時間 (秒)；

N_w = 停等區 (包括表 3 之側寬) 每公尺寬度之平均機車數 (輛)。

式 (3) 之 R^2 值為 0.58，其標準估計誤差為 0.59 秒， N_w 係數之 t 值為 6.254，式 (3) 在顯著水準 5% 下具有統計顯著性。其對於容量分析而言，在停等區被占滿情況下， T_w 至少在 7 秒之狀況，尚不致於造成太大之誤差。

停等區被占滿時，式 (3) 中之 N_w 值在 2.96 及 3.72 輛之間 (見表 4)。如圖 4 所示，這些每公尺寬度上之機車數與停等區之縱深有關，其關係可用式 (4) 來代表：

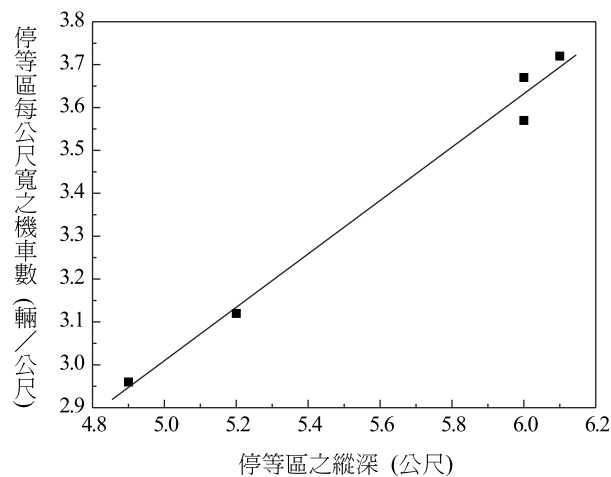


圖 4 停等區被占滿時每公尺寬度上機車數與縱深之關係

$$N_{w0} = 0.62 L_w \quad (4)$$

此式中，

N_{w0} = 停等區被占滿時，每公尺寬度之平均機車數 (輛)；

L_w = 停等區之縱深 (公尺)。

式 (4) 之 R^2 值為 0.98，標準估計誤差為 0.05 輛， L_w 係數之 t 值為 13.636，式 (4) 在顯著水準 5% 下具有統計顯著性。

根據式 (4)，式 (3) 可改成下式以估計停等區被占滿時，疏解所有停等區內停等機車所需之時間 T_{w0} (秒)：

$$T_{w0} = 2.14 + 1.07 L_w \quad (5)$$

如前所述，停等區被占滿之機會很低，尖峰時段內所觀察到之停等區占用率通常在 10% 到 60% 之間，超過 60% 之機率不高。為運用方便，式 (5) 可改成：

$$T_f = 2.14 + 1.07 f L_w \quad (6)$$

此式中，

T_f = 停等區占用率為 f 時，疏解停等機車所需之時間 (秒)；

f = 停等區之占用率 (%)。

根據式 (4)，停等區之寬度為 W_w ，占用率為 f 時，在 T_f 秒內能自停等區內疏解之機車數 N_{GW} 可估計如下：

$$N_{GW} = 0.62 f L_w W_w \quad (7)$$

此式中，

W_w = 停等區之寬度 (公尺)。

如分析之對象為一車道，則式 (7) 之 W_w 代表車道寬度加上側面經常被停等機車占用之寬度。

四、停等區上游路段之疏解特性

4.1 現場資料

為了探討停等區上游路段上停等車之疏解特性，本研究在表 5 所列之 6 個臺北市混合車道蒐集資料。調查資料包括：

1. 調查週期之號誌綠燈開始時間。

2. 停等區內之停等機車數。
3. 停等區最後一部機車之疏解時間。
4. 停等區上游各停等車疏解之順序、車種、疏解時間及與小車或大車併行之機車數。

表 5 臺北市「直行／右轉混合車道」停等車疏解特性調查地點之基本資料

地點代號	調查地點	路 型	車道位置	快車道數	車道寬(m)	路口寬度(m)	速限(kph)
Mix1	中山路(景平路)往南	中央實體／無快慢分隔	第 2	1 直行 1 直右	3.5	25	40
Mix2	南京東路(中山北路)往西	中央實體／無快慢分隔	第 5	2 公車專用 2 直行 1 直右	5.2	30	40
Mix3	承德路(民權西路)往南	中央實體／無快慢分隔	第 5	2 左轉 2 直行 1 直右	3.7	35	40
Mix4	中正路(文林路)往東	中央實體／無快慢分隔	第 3	1 左轉 1 直行 1 直右	3.5	25	40
Mix5	和平東路(新生南路)往西	中央實體／無快慢分隔	第 4	1 左轉 2 直行 1 直右	4.9	37	40
Mix6	南京西路(承德路)往東	中央實體／無快慢分隔	第 3	1 左轉 1 直行 1 直右	3.7	35	40

表 5 臺北市「直行／右轉混合車道」停等車疏解特性調查地點之基本資料(續)

地點代號	停等區縱深(m)	停等區寬度(m)	與下游待轉區之距離(m)	綠燈(秒)	黃燈(秒)	紅燈(秒)	週期(秒)	週期數
Mix1	6.0	6.5	8.0	72	3	75	150	43
Mix2	10.3	7.0	21.1	70	3	127	200	89
Mix3	6.0	7.7	25.0	80	3	117	200	59
Mix4	6.0	7.2	無待轉區	70	3	127	200	112
Mix5	7.0	8.0	2.5	66	4	140	200	128
Mix6	7.0	7.8	5.1	72	3	125	200	91

4.2 初步分析

停等區上游混合車流之疏解受許多因素之影響，所以疏解率與個別影響因素的關係很不容易辨識。以表 5 所列之 Mix4 地點(中正路)為例，停等區機車疏解後能利用綠燈長度為 50 秒時，能疏解之車數與幾個影響因素關係如圖 5～圖 12 所示。

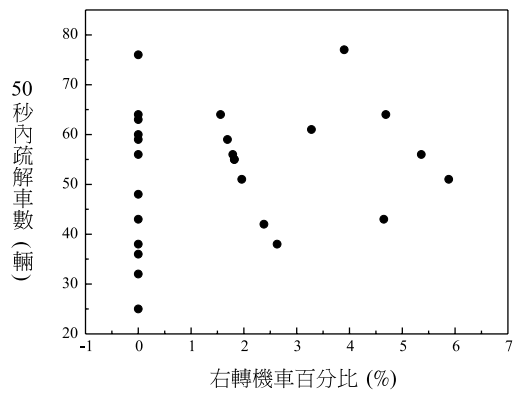


圖 5 剩餘綠燈 50 秒內疏解車數與右轉機車百分比之關係

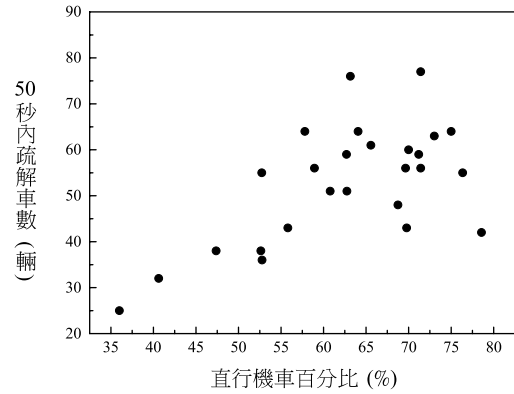


圖 6 剩餘綠燈 50 秒內疏解車數與直行機車百分比之關係

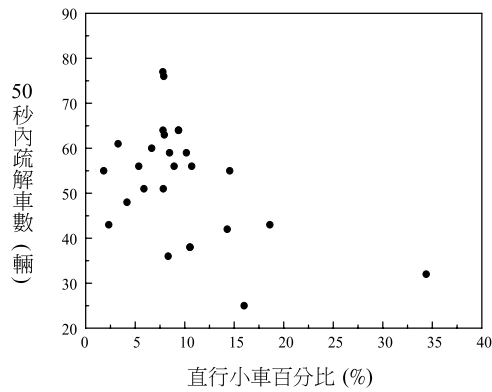


圖 7 剩餘綠燈 50 秒內疏解車數與直行小車百分比之關係

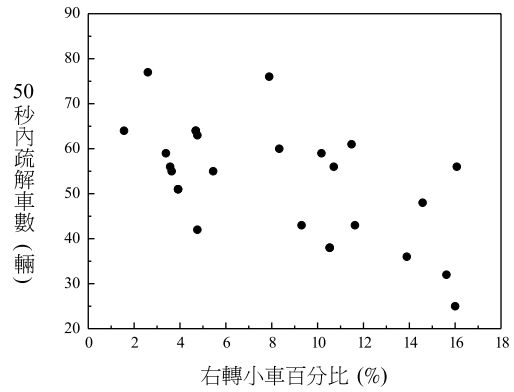


圖 8 剩餘綠燈 50 秒內疏解車數與右轉小車百分比之關係

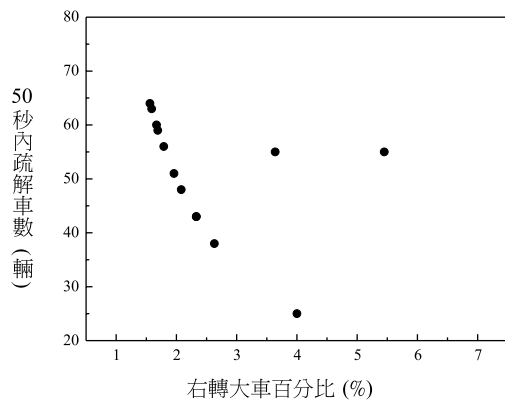


圖 9 剩餘綠燈 50 秒疏解車數與右轉大車百分比之關係

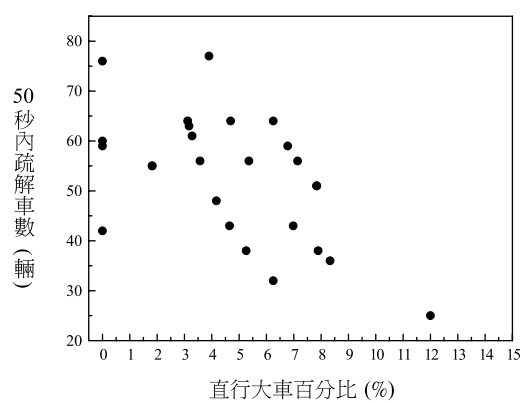


圖 10 剩餘綠燈 50 秒疏解車數與直行大車百分比之關係

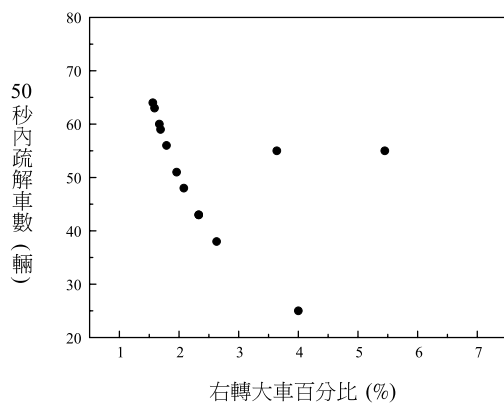


圖 11 剩餘綠燈 50 秒內疏解車數與併行機車百分比之關係

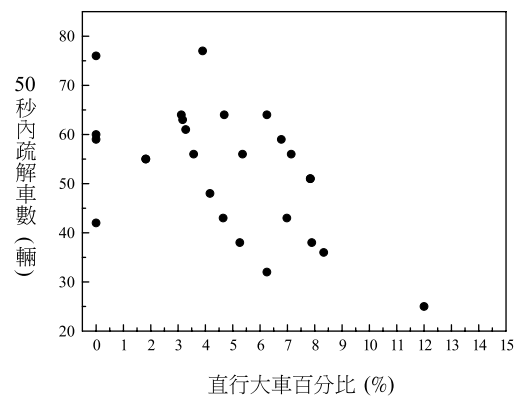


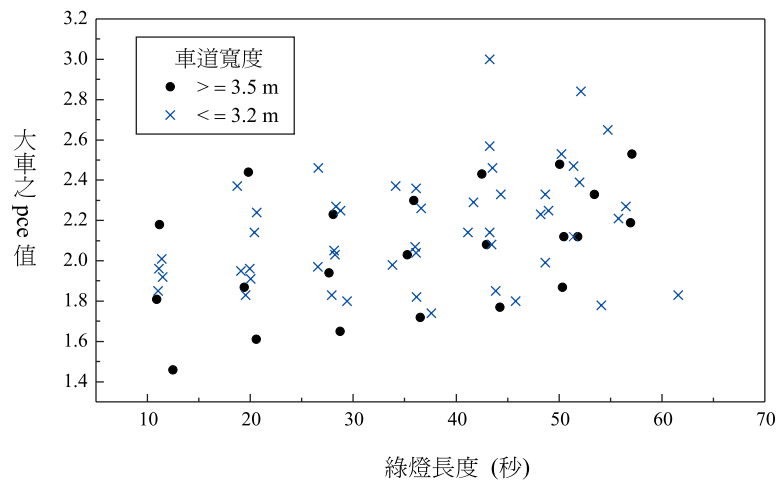
圖 12 剩餘綠燈 50 秒內疏解車數與車道寬之關係

圖 5 ~ 圖 12 顯示右轉機車之百分比、右轉大車之百分比及併行機車之百分比對疏解率之影響不明顯，其他因素 (如直行及右轉小車百分比及車道寬) 則有比較明顯之影響。但疏解率因受許多因素之共同影響，所以其變異性相當大。

為分析方便起見，容量分析工作常利用各種車輛之當量值將一混合車流轉換成單一車種之對等車流 (equivalent flow)。這種分析方法雖然簡化分析工作，但應用於直行／右轉共用車道之分析時，有幾個困難的地方。第一，如圖 13 所示，大車之小車當量會隨分析之綠燈長度而改變^[17]。第二，不同車輛之當量會隨停等車在車道上的位置而變化。例如在接近停等區之路段通常有較多的機車，因此分析之綠燈時段如果不長，則停等區上游被分析之停等車應多數為機車，分析之綠燈一增長，機車之比例會下降。在這種情形之下，如果用固定的當量來分析，會產生大的誤差。第三，機車之小客車當量也會隨車道寬而變化。例如車道寬增大時，可併排而行之停等機車會增加，因此其小車當量會減少。即使綠燈長度及車道寬之影響可不考慮，表 6 顯示直行／右轉共用車道上車種及行進方向之組成太多^[2]。每種組成又必須有現場資料來估計其相關平均車距，然後用平均車距來訂定各組成之當量。在這種情形下，當量之估計及應用皆不易，所以本研究不用當量而是利用類神經網路 (artificial neural network, ANN) 模式以估計在剩餘綠燈中能疏解之車數。

4.3 分析模式

在此情況下，本研究利用一類神經網路模式以估計每週期平均疏解車數。此模式所考慮之影響因素如表 7 所示。這些因素包括剩餘綠燈時間、車道寬及不同車種、行進方向之比例。因併行機車比例 (X_9) 等於 1.0 減掉其他車種及行進方向百分比 ($X_2, X_3, \dots, X_7$) 之和，所以併行機車之比例 (X_9) 沒有直接用於建立模式。

圖 13 直行大車之 pce 值^[17]表 6 直行／右轉共用之混合車道的平均車距^[2]

行進方向		混合車道之車道寬			
車種	前車車種	3.5 ~ 3.7 公尺		4.9 ~ 5.2 公尺	
		平均車距 (秒)	樣本數	平均車距 (秒)	樣本數
直行小車	直行小車	2.17	171	1.88	206
直行小車	右轉小車	2.14	162	1.95	265
右轉小車	直行小車	2.27	154	2.11	231
右轉小車	右轉小車	2.43	206	2.27	419
直行小車	直行機車	1.32	583	1.13	586
直行小車	右轉機車	1.39	70	1.34	84
右轉小車	直行機車	1.45	596	1.49	718
右轉小車	右轉機車	1.57	102	1.47	131
小 車	大 車	3.00	108	2.90	54
直行機車	直行機車	0.58	5,937	0.49	3,918
直行機車	右轉機車	0.55	413	0.51	423
右轉機車	直行機車	0.59	477	0.55	454
右轉機車	右轉機車	0.72	94	0.70	96
直行機車	直行小車	0.88	606	0.86	600
直行機車	右轉小車	1.11	558	1.06	677
右轉機車	直行小車	0.99	47	0.87	99
右轉機車	右轉小車	1.37	62	1.17	80
機 車	大 車	1.57	351	1.46	121
大 車	機 車	2.80	331	2.33	134
大 車	小 車	3.97	154	3.63	43
大 車	大 車	4.39	75	3.54	11

表 7 停等區上游停等車疏解之影響因素及觀察值之範圍

影響因素		觀察值	
代號	定 義	範 圍	平均值
X ₁	停等區內最後一部停等機車疏解完後之剩餘綠燈長度 (秒) 除以 200	剩餘綠燈：9.9 ~ 80.1 X ₁ = 0.05~0.40	—
X ₂	直行小車之比例	0.016 ~ 0.459	0.099
X ₃	右轉小車之比例	0.014 ~ 0.365	0.112
X ₄	與小車或大車無併行之直行機車比例	0.131 ~ 0.805	0.571
X ₅	與小車或大車無併行之右轉機車比例	0.000 ~ 0.204	0.057
X ₆	直行大車之比例	0.000 ~ 0.076	0.017
X ₇	右轉大車之比例	0.000 ~ 0.152	0.017
X ₈	車道寬 (公尺) 除以 10	車道寬：3.2 ~ 5.2 X ₈ = 0.32~0.52	—
X ₉	與小車或大車併行之機車比例	0.026 ~ 0.229	0.126

建立模式之主要現場資料取自表 5 所列之臺北市區之 6 個車道。這些車道之資料缺少機車比例在 40%之樣本，所以本研究將這些資料與運研所在桃園縣龜山鄉忠義路三段^[17]所蒐集之直行／右轉共用車道的疏解資料加以整合，如圖 14 所示，雖然表 5 所列之車道地點在市區內，而忠義路三段之車道屬於郊區車道，由圖 14 可知兩者之資料趨勢特性大致相符，兩者之疏解特性可用單一模式來代表。根據此了解，本研究將上述郊區與市區之資料整理成每 10 週期之移動平均值 (moving average)，然後利用一半的市區資料 (247 樣本) 及所有的郊區資料 (152 樣本) 以建立一 3 層 (8×4×1) 之類神經網路模式。此模式可用下列之公式來代表：

$$N_{GR} = \frac{140}{1 + e^{-Y}} \quad (9a)$$

$$Y = -\frac{2.4821}{1 + e^{-S_1}} - \frac{1.7453}{1 + e^{-S_2}} - \frac{8.000}{1 + e^{-S_3}} + \frac{10.848}{1 + e^{-S_4}} - 8.0618 \quad (9b)$$

$$S_i = \left[\sum_{j=1}^8 A_{ij} X_j \right] + A_{i9} \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (9c)$$

此式中，

N_{GR} = 停等區之停等機車疏解完之後在剩餘綠燈中能疏解之車數 (輛)。

X_j ($j = 1, \dots, 8$) = 在表 7 所列之影響因素。

式 (9c) 中 A_{ij} 之值表列於表 8 中。

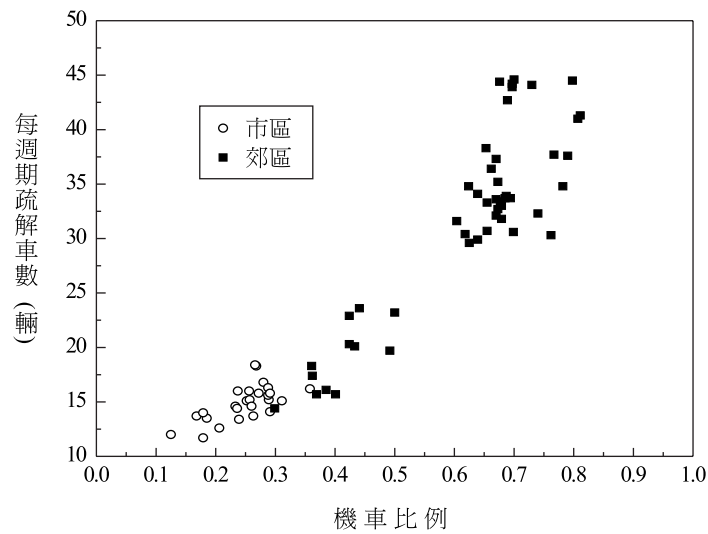


圖 14 每週期現場資料疏解車數與機車比例之關係

表 8 式 9c 之 A_{ij} 值

i	j								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-10.3662	-7.4780	10.0622	-4.9091	-2.6276	4.0137	16.7725	-2.4488	6.7251
2	-3.9968	11.9171	4.8885	4.2207	3.9261	16.9102	9.8529	0.8874	-3.4774
3	8.1240	9.9444	-12.8915	5.6626	-2.6309	5.8782	-4.4776	-9.9450	-5.4153
4	12.6029	0.1187	-0.8793	0.4917	0.7862	0.5457	-1.2116	0.8437	0.7231

利用市區道路另一半的資料 (247 樣本) 測試上述模式的結果顯示均方根誤差 (root mean squared error, RMSE) 為每週期 1.38 輛。如將模式用以估計忠義路三段之疏解數，其均方根誤差為 1.09 輛。圖 15 及圖 16 比較不同狀況下現場觀察值與模式之估計值。

利用式 (9) 估計 N_{GR} 之前必須先估計各車種及其行進方向之比例 ($X_2, X_3, \dots, X_7$)，這些比例隨車道地點之變化可能很大，所以最好能根據現場資料以訂定適用值。在無現場資料之情況下，可參考表 7 所列之觀察值。此外，估計與小車或大車無併行之右轉及直行機車比例時，亦須考慮併行機車占總車輛數之比例；此數值可從每週期之總車數及每週期之併行機車數來估計。每週期在停等區上游之併行機車數與剩餘綠燈時間、機車占總車數之比例及車道寬有關。根據表 5 市區車道及龜山鄉忠義路三段^[17]之資料，可建立一 3 層 ($3 \times 4 \times 1$) 之類神經網路模式，以估計每週期小車及大車併行之機車數，此模式可用下列之公式來代表：

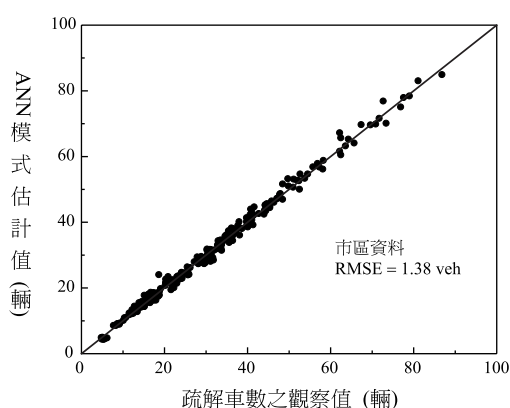


圖 15 臺北市區直行／右轉共用車道每週平均停等疏解車數之觀察值及模式估計值

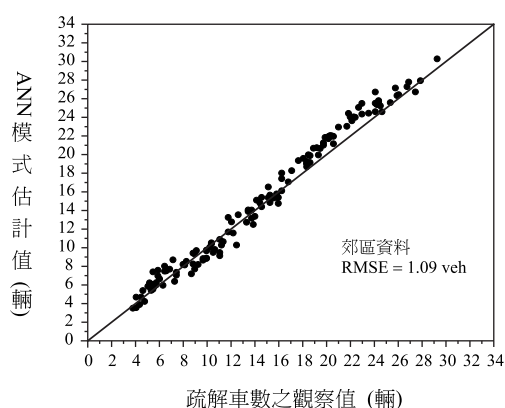


圖 16 龜山鄉忠義路三段直行／右轉共用車道每週期平均停等疏解車數之觀察值及模式估計值

$$M_p = \frac{25}{1 + e^{-Y}} \quad (10a)$$

$$Y = -\frac{2.7083}{1 + e^{-S_1}} + \frac{4.2891}{1 + e^{-S_2}} - \frac{0.6807}{1 + e^{-S_3}} - \frac{6.0287}{1 + e^{-S_4}} - 0.5592 \quad (10b)$$

$$S_i = \left[\sum_{j=1}^3 A_{ij} X_j \right] + A_{i4} \quad i=1, 2, 3, 4 \quad (10c)$$

此式中，

M_p = 每週期與小車或大車併行之機車數 (輛) ；

X_1 = 剩餘綠燈時間 (秒) 除以 200 ；

X_2 = 機車占總車數之比例 ；

X_3 = 車道寬 (公尺) 除以 10 ；

式 (10c) 中之 A_{ij} 如表 9 所示。圖 17 比較現場之觀察值及從上述模式所估計之 M_p 值。模式估計值之均方根誤差為 1.12 輛／週期。

表 9 式 10c 之 A_{ij} 值

i	j			
	1	2	3	4
1	-14.5837	1.7622	-4.9659	2.4420
2	10.2588	20.2087	39.5742	-40.4805
3	22.7326	-43.2438	-19.5331	35.8220
4	-9.5373	-11.8525	-1.4459	5.1304

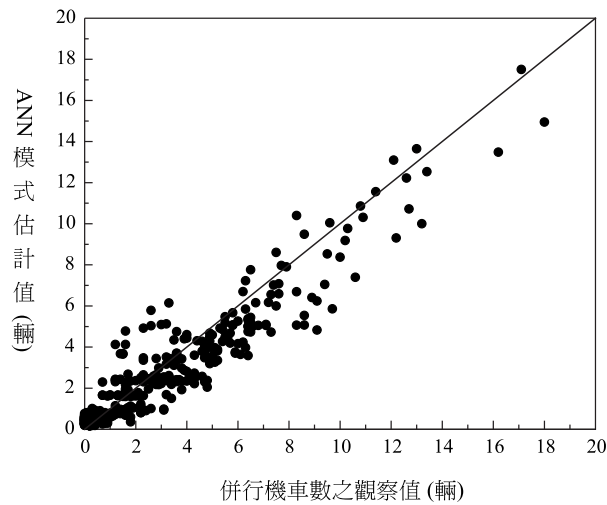


圖 17 每週期停等併行機車之疏解車數現場觀察值及模式估計值之比較

五、直行／右轉共用混合車流車道容量之估計

5.1 容量估計模式

本研究所指混合車流車道之容量，指能從停止線持續疏解最少 15 分鐘之最高流率的期望值。此容量只包括從停止線疏解之車數，而不包括機車兩段式左轉待轉區之車輛。

在一特定時相內，直行／右轉共用混合車流車道之容量可估計如下：

$$c = \frac{3600}{C} (N_{GW} + N_{GR} + N_Y) \quad (11)$$

此式中，

c = 車道容量 (輛／小時)；

C = 號誌週期長度 (秒)；

N_{GW} = 從停等區疏解之停等機車數 (利用式 (7) 估計)；

N_{GR} = 停等區內停等機車疏解完後，利用剩餘綠燈能疏解之停等車數 (利用式 (9) 估計)；

N_Y = 燈號轉換時段內能疏解之停等車數 (輛)。

估計 N_{GR} 時須先利用式 (6) 估計疏解 N_{GW} 所需時間 T_f 。如實際綠燈時段之長度為 G 秒，則剩餘綠燈之長度為 $(G - T_f)$ 秒。此外，綠燈時段結束後，停等車輛會利用數秒之黃燈時

段 ΔG 繼續進入路口，所以 N_Y 可與 N_{GR} 合併，而車道容量可估計如下：

$$c = \frac{3600}{C} (N_{GW} + N_{GY}) \quad (12)$$

此式中，

N_{GY} = 利用剩餘綠燈時間等於 $(G - T_f + \Delta G)$ 秒時，從式(9)所估計之疏解車數(輛)。

目前沒有現場資料以正確估計 ΔG 之值，但預期其值應在3到4秒之範圍內，在無現場資料狀況下，可用建議值3.5秒。

5.2 數值演算例

以下舉例說明前述分析方法之應用。如圖18所示，某一號誌化路口北上路段有三個車道，號誌控制狀況為：週期長度(C)120秒，綠燈時段60秒，燈號轉換時段(包括黃燈時段及全紅時段)6秒。幾何狀況為；三個車道之車道寬均為3.2公尺，中央實體分隔。第1車道為汽、機車混合使用之直行/右轉共用車道，其尖峰小時流率狀況如表10所示；車道1及車道2停止線上游設置了一寬度6公尺、縱深3.2公尺之機車停等區($L_w = 3.2$, $W_w = 6$)。在尖峰時，停等區之平均占用率(f)為60%。試估計第1車道之容量(c)。

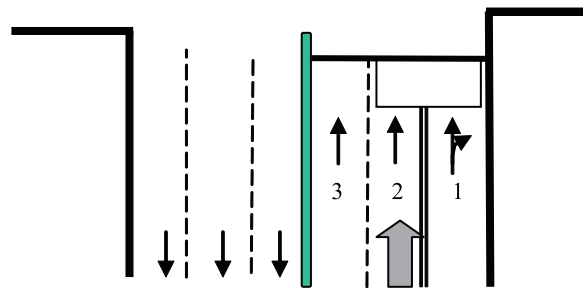


圖 18 例題示意圖

表 10 例題之尖峰流率狀況

資料項目	數值	資料項目	數值
流率(輛/小時)	600	右轉機車比例	0.20
直行小車比例	0.20	與小車或大車併行之機車比例	0.02
右轉小車比例	0.10	直行大車比例	0.02
直行機車比例	0.43	右轉大車比例	0.03

分析：

- 第 1 車道屬於直行／右轉共用車道，暫不考慮機車兩段式左轉待轉區之車輛。

- 從停等區疏解之停等機車數 (N_{GW})

$$N_{GW} = 0.62 f L_w W_w = 0.62 \times 0.6 \times 3.2 \times 6 = 7.14 \text{ 機車 (式 7)}$$

- 停等區占用率為 f 時，疏解停等機車所需時間 (T_f ，秒) 為：

$$T_f = 2.14 + 1.07 f L_w = 2.14 + 1.07 \times 0.6 \times 3.2 = 4.2 \text{ 秒 (式 5)}$$

- 停等區內最後一部停等機車疏解完畢後之剩餘綠燈長度 $= G - T_f + \Delta G = 60 - 4.2 + 3.5 = 59.3 \text{ 秒}$

- $X_1 \sim X_8$ 等變數值：

$$X_1 = 59.3/200 = 0.2965$$

$$X_2 = \text{直行小車比例} = 0.20$$

$$X_3 = \text{右轉小車比例} = 0.10$$

$$X_4 = \text{直行機車比例} = 0.43$$

$$X_5 = \text{右轉機車比例} = 0.20$$

$$X_6 = \text{直行大車比例} = 0.02$$

$$X_7 = \text{右轉大車比例} = 0.03$$

$$X_8 = \text{車道寬}/10 = 3.2/10 = 0.32$$

- 利用剩餘綠燈時間等於 $(G - T_f + \Delta G)$ 秒時，從式 9 所估計之疏解車數 (輛) $N_{GY} = 55.43$ 輛 (式 9a)

$$\begin{aligned} \text{• 容量 } c &= \frac{3600}{120} \times (7.14 + 55.43) \\ &= 1,877 \text{ 輛/小時 (式 12)} \end{aligned}$$

六、結 語

機車兩段式左轉待轉區之每公尺待轉機車數與疏解時間，有明顯之線性關係。由於機車加速性能與機動性較高，可以很快的疏解，因此對於其上游車道之車輛 (大車、小車、機車) 的疏解，並無明顯之影響。在左轉機車量很大且是長號誌週期之路口，的確可能發生機車兩段式待轉之需求遠大於路口待轉區空間之情形。此狀況之路口運作就變得相當複雜，本研究並沒有特別蒐集此情況之資料，故分析方法亦無法運用於此一狀況。由於本研究僅為一初步的分析研究，尚無法涵蓋目前機車待轉區之所有尺寸或車流狀況，故機車待轉區之調查地點的劃設情形，除均符合法令規定外，並無很特殊 (例如太大、太小、太狹長等) 的尺寸，建議後續研究再詳細探討。

在機車停等區部分，由於停等區之機車疏解完畢後，停等區上游的停等車輛才能依序

疏解，故有需要估計停等區機車數與疏解時間之關係，以及停等區機車疏解完畢後所剩餘的綠燈時間。本研究發現機車停等區之機車疏解時間與區內每公尺寬度之機車數有明顯之線性關係，每公尺寬度之機車數又與停等區之縱深有線性關係。這些關係可用以估計停等區之疏解容量與疏解時間。

在停等區上游之混合車道部分，雖然交通界常利用各種車輛之當量值將一混合車流轉換成單一車種之對等車流，以簡化容量分析工作，此方法應用於直行／右轉共用車道之分析時，有幾個困難的地方。第一，大車之小車當量會隨分析之綠燈長度而改變。第二，不同車輛之當量會隨停等車在車道上的位置而變化，如用固定的當量來分析會產生大的誤差。第三，直行／右轉共用車道上車種及行進方向之組成太多，當量之估計及應用皆不易，所以，本研究不用當量而是利用 ANN 模式以估計在剩餘綠燈中能疏解之車數，所建立之分析模式均方根誤差每週期約 1.09 ~ 1.38 輛。本研究並利用現有的各項資料建立分析直行／右轉共用車道之容量分析方法，雖然尚未考量坡度、公車站、路邊停車、衝突行人等調整因素，但其對於此類車道之分析有正面之貢獻。

混合車道之資料蒐集與整理相當耗時耗力，但其為臺灣地區常見之車道使用特性，不論就學理研究或是實務應用而言，均有必要進行深入之研究。因此建議未來仍有需要多蒐集現場資料，以進一步了解在臺灣地區常見之混合車道使用狀況。

誌 謝

作者感謝交通部運輸研究所提供「市區號誌化路口容量分析及服務水準之研究^[1,2]」之相關資料。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所，市區號誌化路口容量分析及服務水準之研究(1/2)，95-113-1235，民國九十五年。
2. 交通部運輸研究所，市區號誌化路口容量分析及服務水準之研究(2/2)，96-113-1244，民國九十六年。
3. 蔡嘉霖，「混合車流狀況下交叉路口特性之調查及模擬模式之研究」，臺灣大學土木研究所碩士論文，民國七十一年。
4. 張學孔，「混合車流狀況下右轉流動特性及容量分析」，臺灣大學土木研究所碩士論文，民國七十二年。
5. 吳作炯，「混合車流特性調查分析及右轉車當量模擬之研究」，臺灣大學土木研究所碩士論文，民國七十二年。
6. 顏上堯，「混合車流狀況下市區號誌交叉口車流運轉特性及容量參數之研究」，臺灣大學

- 土木研究所碩士論文，民國七十六年。
7. 許鉅秉，「混合車流在圓環交叉路口模擬模式之建立」，臺灣大學土木研究所碩士論文，民國八十年。
 8. 傅耀南，「以混合車流模擬方法設計單一交叉路口號誌時制之研究」，臺灣大學土木研究所碩士論文，民國七十七年。
 9. 謝銘鴻，「以混合車流模擬方法設計幹道續進號誌系統之研究」，臺灣大學土木研究所碩士論文，民國七十八年。
 10. 黃月貞，「模擬微觀混合車流下幹道號誌連鎖策略之研究」，交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，民國九十二年。
 11. 劉力銘，「機車在號誌化路口混合車流中之疏解特性研究」，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國九十三年。
 12. 張家峰，「號誌化路口機車車隊等候長度對混合車道容量影響之研究」，交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，民國九十四年。
 13. 王博慶，「尖點型突變理論在混合車流上的適用性與模式之研究」，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國八十七年。
 14. 李佩蓉，「混合車流下機車車流混沌模式之構建及分析」，臺灣大學土木研究所碩士論文，民國九十二年。
 15. 張瓊文，「以模糊推論系統與細胞自動機方法探討混合車流環境下機車行進行為」，交通大學交通運輸研究所博士論文，民國九十三年。
 16. 交通部運輸研究所，臺灣地區多車道郊區公路容量及特性研究（一），92-33-1202，民國九十二年。
 17. 交通部運輸研究所，臺灣地區多車道郊區公路容量及特性研究（二），93-59-1212，民國九十三年。
 18. 交通部運輸研究所，臺灣地區多車道郊區公路容量及特性研究（三），94-78-1221，民國九十四年。
 19. 許添本，「市區道路工程規劃及設計規範之研究」，內政部營建署委託研究，民國九十年。
 20. 交通部、內政部，道路交通標誌標線號誌設置規則，民國九十六年。