

航空写真に基づいた交通流解析の一手法について

ON A METHOD OF TRAFFIC DATA ANALYSIS THROUGH AERIAL PHOTOGRAPHY

卷上安爾*・坂本破魔雄**・林 昌親***

By Yasuji MAKIGAMI, Hamao SAKAMOTO and Masachika HAYASHI

This report describes the outline and the results of a traffic survey on a 800 meter section of the Hanshin Expressway making use of areal photographs from a helicopter hovering at an altitude of about 800 meter. The objectives of the study are to record the traffic flow conditions at the time of congestion and to find out the cause of the congestion. The traffic in the study section was photographed by two 35 mm still camera every five second for one hour. All the vehicles recorded in the south bound traffic flow were numbered and traced in order to depict the trajectories in the time and space diagram. The speed and density contour diagrams are depicted making use of the theory of three dimensional representation of traffic flow. The cause and conditions of the traffic congestion are investigated with these diagrams.

1. はじめに

都市高速道路、都市間高速道路のいずれを問わず、東京や大阪などの大都市周辺の高速度路では、膨大な交通需要のために渋滞が頻発している。阪神高速道路においても交通渋滞が頻繁に起こっているが、特に放射線下り方向で発生した渋滞が、しばしば環状線にまで波及して高速道路網全体の機能低下をもたらしかねない状況にまで至っている。本調査研究は、このような渋滞が午前中のピーク時に頻発している阪神高速道路堺線下り方向の西大阪線合流部と津守入路合流部間の約800mの区間を対象として、ヘリコプターからの航空写真撮影、路側ビデオ撮影およびフローティングによる走行時間調査を実施して、調査対象区間における交通流の実態把握を行うとともに、調査対象区間から発生している交通渋滞の発生のメカニズムを追求するため実施された。

2. 調査概要

調査対象区間である阪神高速道路堺線の西大阪線合流

* 正会員 工博 立命館大学教授 理工学部土木工学科
(〒603 京都市北区等持院北町)

** 阪神高速道路公団業務部交通管制課長
(〒541 大阪市東区北久太郎町4-68)

*** 学生会員 立命館大学大学院理工学研究科
(〒603 京都市北区等持院北町)

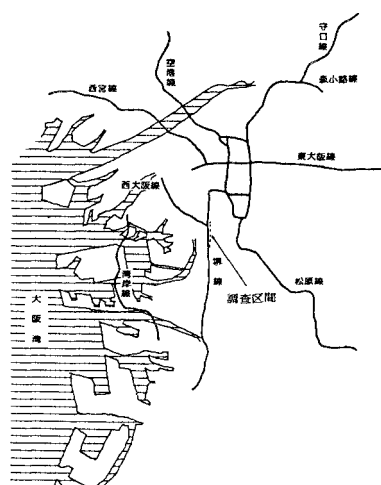


図-1 阪神高速道路概略図

部と津守入路間の高速度路網における位置を図-1に示す。この調査区間は往復分離4車線で延長約800mの区間であるが、午前10時以降この区間から渋滞が発生し、環状線方向へ渋滞が延伸していくため、交通運用上の対策を検討していくうえで渋滞発生のメカニズムを明らかにしていくことが必要となった区間である。本調査研究は上記調査区間を対象にヘリコプターからの上空固

表一 調査概要

| 項目 | 人員・器機 | 方法 | 目的 |
|-----------|--|--|----------------------------|
| ビデオ撮影 | 調査員 3名 ビデオカメラ 1台 ビデオデッキ 1台 バッテリー 2ケ 三脚 1台 タイマー 1式 | ●津守の非常駐車帯より下り走行車輛を撮影 ●撮影時間は9:15～10:15の1時間 | ●車種別、車種別の交通量の観測を行なう |
| フローティング調査 | 調査員 2台 テープレコーダー 1台 カセットテープ 2ケ ストップ・ウォッチ 1ケ 記録用紙 1枚 作業車(公団所有) 1台 | ●100 m毎のキロポスト通過時刻を録音し、平均走行速度の測定を行なう ●3回のフローティング | ●区間速度の分布状況、旅行時間の実測値を得ること |
| 航空写真撮影 | パイロット 1名 撮影技師 1名 ヘリコプター 1機 35 mm スチールカメラ カラー・スライド用フィルム(36枚撮り) 22本 | ●調査区間上空を旋回するヘリコプターから5秒毎に写真撮影 ●撮影範囲は西大阪線合流部～津守ランプ付近までの800 mを確保 | ●密度、速度の分布状況の把握 ●渋滞状況の把握 |

定地点スチールカメラによる航空写真撮影を主に、精度チェックのための路側ビデオ撮影とフローティングによる走行時間調査を実施したものである。各調査の使用器機や調査方法等の調査内容は表一に示すとおりである。調査は昭和57年8月26日(木曜日)午前9時15分から同10時15分までの1時間にわたって実施された。調査当日は、快晴に恵まれ視界、路面状態ともに良好で、交通も通常の状態であつた。しかしやや風が強く、ホバリングをしながら撮影を続けるヘリコプターが気流で流され気味のところがあつたが、以後の解析には支障がなく調査は順調に行われた。

3. 調査と集計の方法

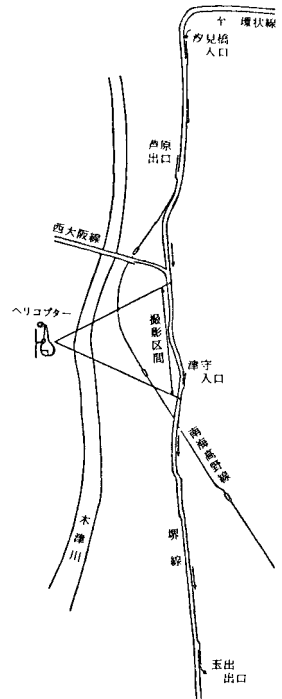
(1) 調査方法

本調査研究のメインとなる航空写真撮影は調査区間西側約1 kmを大阪湾に向かって流れる木津川の上空750 mでホバリングさせたヘリコプターに搭載した35 mm スチールカメラを用いて行われた。使用したカメラは秒単位で撮影時刻が画面上に記録されるようになっており、撮影は5秒間隔で行われ、2台のカメラを用いて9時15分01秒から10時16分43秒までの間に740枚のスライドフィルムの撮影を行うことができた。また調査に先だち3.3 kp, 3.6 kpおよび3.9 kpの3地点の防音壁に黄色の防災シートを張り付けて、フィルム画面上でキロポストの位置が明瞭に識別できるように準備が行われている。

なお上記ヘリコプターからの航空写真撮影に併せて調査区間の中間点にある津守の非常駐車帯から路側ビデオ撮影を行うとともに、調査区間を含む汐見橋入口から玉出出口の間で調査時間内に3回のフローティング走行を主として追越車線沿いに実施し、100 m ポストの通過時

調査時刻表(フローティング、ビデオ撮影)

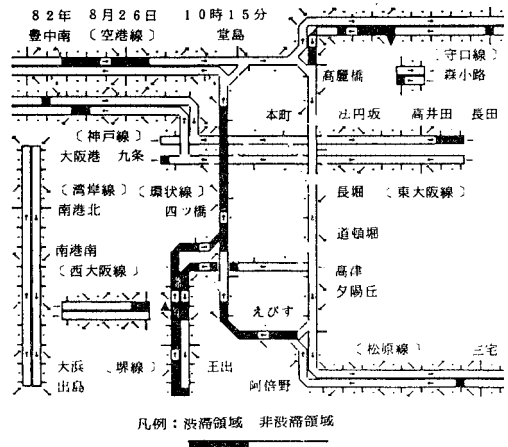
| フローティング区間 | 時刻 | 時刻 |
|--------------------------|--------------|---------------------------|
| 汐見橋入口(1.8kp)～玉出出口(5.4kp) | 第1回 | 9時15分43.47秒～9時19分50.78秒 |
| | 第2回 | 9時36分31.35秒～9時41分05.98秒 |
| | 第3回 | 10時02分53.57秒～10時09分22.32秒 |
| ビデオ撮影時刻 | 9時15分～10時15分 | |



図一 フローティングコースおよび調査時刻表

刻をテープレコーダーに録音している。これら2つの補助的調査は航空写真撮影の解析結果の精度を確かめると同時に調査時の道路状況を全般的に把握するために実施されたものである。その実施状況を図一に示す。

またこれらの実態調査に併せて、阪神高速道路交通管制システムを通じて車両検知器からの5分間交通量や渋滞状況等の検知情報を入手している³⁾。図一に調査終了



図三 調査終了時刻における渋滞長データ

時刻の渋滞状況を示す。同図は交通管制システムからのハードコピーであり5分ごとのアウトプットも入手している。

(2) 集計方法とその結果

渋滞状況データによると調査当日午前9時45分から堺線下り方向において津守入口を頭とする延長約500mの渋滞が発生し、10時5分には西大阪線に渋滞が及んでいることが示されている。以下に述べる航空写真からのデータ集計に多大の時間を要することが予想されたので、航空写真の解析対象時間を30分間とし、上記の渋滞状況から判断して午前9時40分から10時10分の30分間について集計を行った。

集計作業に入る前に、航空写真フィルムのスライド投影画面の大きさを定め、この拡大率に合わせたプリントを用意し、この画面にキロポストの位置を示す防災シートやレーンマーク、道路構造を目印にキロポストの位置を明示したものを用意した。集計作業は航空写真フィルムをスライドで投影し、プリントのキロポストを参考にスライド画面に100mポストを設定し、画面上に映された下り車線上を走行する全車両の撮影時刻毎の存在位置を画面上にマークするとともに、計測対象となった車両について車線別に調査区間への流入順に番号を付し、撮影時刻とそのときの存在位置および車種を逐次記録用紙に記入して行った。ただし存在位置の確定はスクリーンに用いた白紙を撮影フレームごとに用意し、マークしたキロポストを基準に、プロットされた各車の位置をスケールで読み取りm単位で計測して求めたものである。集計結果の例を表-2に示す。この集計表では走行・追越の各車線に対して60台分の記録スペースが用意されている。各スペースの上段に観測区間への流入時に走行していた車線の区分と車両番号を、下段に撮影時刻における当該車両の存在位置をキロポストに対応させてメートル単位で記録されている。なお車種については別途車

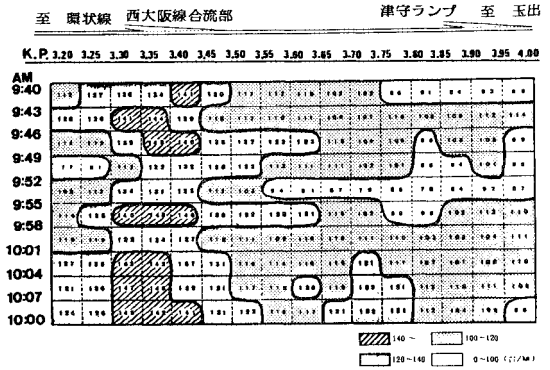


図-4 実測値による密度コンター図

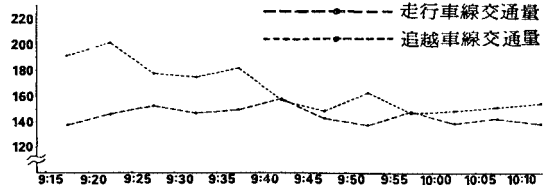


図-5 ビデオ撮影調査地点における5分間交通量変動図

両番号に対応させて集計表が用意されている。以上の計測作業の結果を直接集計して解析対象時間帯について50mごとの交通密度を求め交通密度コンター図を作成した。結果を図-4に示す。図から解析時間帯のほとんどの部分で、西大阪線合流部に相当する3.3kpから3.5kpにかけて50mの測定区間内の存在台数が車線当たりで7台以上、kmあたりに換算して140台/km/2車線という高い交通密度となっており、西大阪線からの流入交通による超過需要が、調査区間を頭とする渋滞の主な原因ではないかと推測された。

なお路側ビデオ撮影の再生画面から直接通過車両台数の計測を行っている。結果を図-5に示す。図によれば、

表-2 車両存在位置計測集計表(例)

フィルム番号, 626, 撮影時刻: 10時7分39秒

| 車線 | No | S1596 | S1597 | F1023 | S1598 | G1281 | S1599 | S1600 | S1601 | G1288 | G1282 | S1602 | S1603 | S1604 | G1285 | S1605 |
|------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | kp | 3.983 | 3.966 | 3.955 | 3.943 | 3.927 | 3.903 | 3.875 | 3.861 | 3.830 | 3.815 | 3.803 | 3.792 | 3.782 | 3.770 |
| 走行車線 | No | G1284 | S1606 | S1607 | S1608 | G1287 | S1609 | S1610 | G1288 | S1611 | G1286 | S1612 | S1613 | G1289 | S1614 | G1290 |
| | kp | 3.751 | 3.729 | 3.718 | 3.710 | 3.688 | 3.668 | 3.648 | 3.623 | 3.609 | 3.595 | 3.573 | 3.548 | 3.532 | 3.522 | 3.508 |
| | No | S1615 | G1291 | S1616 | S1617 | S1618 | G1292 | S1619 | S1620 | S1621 | S1622 | S1623 | S1624 | S1625 | S1626 | S1627 |
| 追越車線 | kp | 3.490 | 3.481 | 3.458 | 3.437 | 3.425 | 3.414 | 3.406 | 3.384 | 3.366 | 3.354 | 3.345 | 3.337 | 3.327 | 3.316 | 3.306 |
| | No | S1628 | S1629 | S1630 | S1631 | S1632 | S1633 | S1634 | M1850 | M1851 | M1852 | M1853 | M1854 | M1855 | M1856 | M1857 |
| | kp | 3.296 | 3.285 | 3.272 | 3.260 | 3.240 | 3.226 | 3.215 | 3.845 | 3.825 | 3.811 | 3.792 | 3.759 | 3.738 | 3.722 | 3.706 |
| 走行車線 | No | M1858 | M1859 | M1860 | M1861 | M1862 | M1863 | M1864 | M1865 | M1866 | M1867 | M1868 | M1869 | M1870 | M1871 | M1872 |
| | kp | 3.696 | 3.681 | 3.661 | 3.640 | 3.617 | 3.605 | 3.584 | 3.569 | 3.549 | 3.534 | 3.517 | 3.500 | 3.486 | 3.475 | 3.464 |
| | No | M1873 | M1874 | M1875 | M1876 | M1877 | M1878 | M1879 | M1880 | M1881 | M1882 | M1883 | M1884 | M1885 | M1886 | M1887 |
| 追越車線 | kp | 3.452 | 3.439 | 3.424 | 3.407 | 3.391 | 3.368 | 3.336 | 3.325 | 3.315 | 3.297 | 3.289 | 3.274 | 3.261 | 3.245 | 3.232 |
| | No | M1888 | M1889 | M1890 | | | | | | | | | | | | |
| | kp | 3.223 | 3.212 | 3.204 | | | | | | | | | | | | |

車NO 頭部の記号 S: 観測区間へ流入時の走行位置が走行車線であった車両 G: 西大阪線合流部から流入した車両
M: 観測区間へ流入時の走行位置が追越車線であった車両 F: 津守ランプから流入した車両

渋滞が始まる 9 時 40 分以前は追越車線の交通量が走行車線のそれよりも 30 台～60 台/5 分も多いが、9 時 40 分以降の渋滞発生以降は頭打ちとなり走行・追越両車線ともに、150 台/5 分程度で安定した値を示すのが目立っている。

4. 交通流の総合解析

(1) 交通流の 3 次元立体モデル

以下に筆者の一人が文献 3) ですでに公表している交通流の 3 次元表示法について、その概要を示す。まず、道路上を走行する車両に流入順に番号をつけていき、道路上のある点からの距離を x 、時間を t にとった時間・空間平面に各車両の走行軌跡をプロットして、走行軌跡図を求めることができる。いまこの走行軌跡図に第 3 番目の座標軸として累積台数 n を加えることにより、交通流を 3 次元の立体的な表面として表現することが可能である。ただし現実の交通流では個々の車両の走行速度が異なり追越が頻繁に起こる。すなわち図-6 の点線に示されるように速度の異なる車両の軌跡は時空平面上で勾配が異なり、軌跡がいずれかの地点で交わり合ひ上流端で流入順に番号をつけても、下流側ではその順番が前後し、立体的な表面を想定するのに無理が生ずる。そこで、追越が生じたとき、すなわち時空平面上で走行軌跡が交差するたびに追越した車が追越された車と流入順に付けられた番号を交換できるものとする。すなわち、いま流入番号 i の車のとき t における道路上の位置を $x_i(t)$ とすれば常に下記の関係が成り立つものとする。

$$x_{i+1}(t) \leq x_i(t) \dots \dots \dots (1)$$

図-6 で実線で示す走行軌跡は式 (1) に従って描いた軌跡図である。このような考えに従えば、どのような交通流に対しても、時間軸 t 、距離軸 x および累積台数軸 n を与えることにより、図-7 に示すような交通流の 3 次表示を考えることが可能となる。すなわち、等高線 $n(x,t) = i$ が軌跡 $x_i(t)$ である表面 $n(x,t)$ を交通表面と考えるわけである。いま道路のある地点 $x = x''$ を想定すると、 $x = x''$ と交通表面、 $n(x,t)$ との交わりは、図-7 で一点鎖線で示されるように地点 x'' における累積交通量を示す。したがって地点 x'' における交通量は階段状の累積台数の頂点を結ぶ曲線の傾きで表わされることになる。同様に任意の時刻 t'' における交通表面との交わりの傾きが交通密度を与える。

ここで図-7 で示したような階段状の 3 次元表面を各走行軌跡を滑らかに摺りつけて得られる、連続した交通表面を想定する。いま図-8 に示すような任意の時間帯と区間で定められる時空平面上の領域 A_n を考える。 A_n に対応する 3 次元交通平面を A とする。ここで

x_i ; 領域 A_n における i 番目の車の走行距離

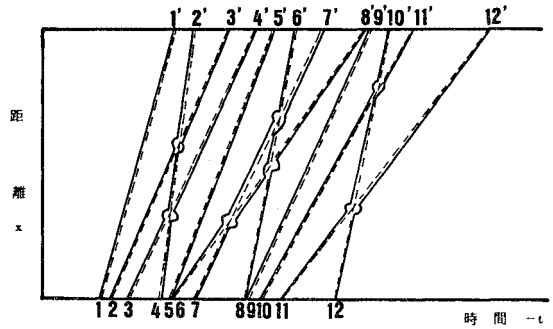


図-6 $x-t$ 座標上の各車の軌跡

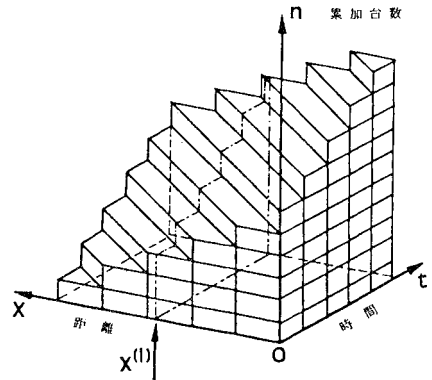


図-7 距離、時間、累積台数 3 次元表示

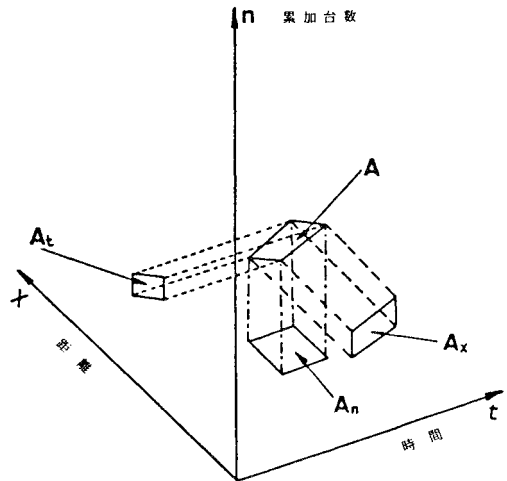


図-8 3 次元投影図

t_i ; 領域 A_n における i 番目の車の走行時間
 とすると、領域 A_n における交通量 q 、密度 k 、速度 v の平均値は

$$\left. \begin{aligned} q &= \sum x_i / A_n \\ k &= \sum t_i / A_n \\ v &= \sum x_i / \sum t_i \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

で示される。いま地点 $x \sim (x+dx)$ の間を1時間を通しての台数を q とすれば、この場合の A_n は1(時間) $\times dx$ でありすべての通過車両のこの領域内の走行距離は dx であるので、この場合式(2)の平均交通量に関する定義式に上記を代入すれば、

$$\Sigma x_i / A_n = q \cdot dx / dx = q$$

となり、地点 x における交通表面 A の傾きが交通量を与えるとした図-7の定義と一致することになる。密度についても同様の関係の導くことが可能である。

さて、図-8に示すように、交通表面 A の $n-x$ 平面上への投影を A_x 、 $n-t$ 平面上への投影を A_t とする。いま i 番目の車の軌跡の $n-x$ 平面への投影は長さ x_i 、高さが1の長方形であり、 $n-t$ 平面への投影は長さ t_i 、高さが1の長方形であると考えられる。したがって、

$$q = A_t / A_n, \quad k = A_x / A_n, \quad v = A_t / A_x \dots\dots\dots (3)$$

3.(2)で示した航空写真からの計測結果から各車両の走行軌跡をプロットしていくことは可能であるが、上記の式(2)または(3)を用いて密度や速度のカウンター図を作成していくことが可能となるわけである。

(2) 演算論理

3.(2)の集計方法で示したとおり約5秒間隔で撮影された航空写真からおのおののスライドフィルムごとに、その撮影時刻とその時刻における車両の走行位置と車種が、車線ごとに整理集計されている。各車両には調査区間へ流入してきた順に従って番号が付けられており、それぞれの車両番号ごとにフィルムの撮影時刻を追って走行位置を追跡していけば走行軌跡を描くことが可能である。このような基礎資料から式(2)および(3)を利用して、調査区間の速度や密度の変動状況を追跡していく電算プログラムの概要を以下に示す。

まず調査区間を等しい長さの区間に分割し、上流側から区間1、区間2、……区間 N と番号付けを行う。区間境界を測点とし、これも測点1、測点2、……測点 N のように番号付けを行う。また解析時間帯を等時間の時間帯に細分し、距離軸と同様に時間帯1、時間帯2、……時間帯 M と番号付けを行う。時間帯の境界を時刻点とし、時刻点0、時刻点1、……時刻点 M と番号付けを行う。このようにして定めた区間 j および時間帯 k で定められる時空平面上の領域を領域 (j, k) と定義づける。以下に領域 (j, k) の平均交通量、平均密度、平均速度の計算方法を示す。

なお、この領域 (j, k) の時空平面上での広がり、具体的には区間長と時間帯の幅をどのような値にとるべきかについては、調査の目的や調査区間の特徴によって異なってくるものと考えられる。しかし本研究では解析手法の開発を1つの目的としているので、先に示した交通密度の集計単位に合わせ、区間長を50m、時間帯幅

を3分にとっている。

さて

f_n : n 番目のフィルム番号

t_n : 開始時刻からフィルム番号 n までの時間

t_d : フィルム番号 f_n と f_{n-1} の時間間隔

$y(j)$: 測点 j の位置

$t(k)$: 開始時刻から時刻点 k までの時間

$z f_n(i)$: フィルム番号 f_n のときの i 番目の車の位置

$x(j, k)$: 領域 (j, k) 内の i 番目の車の走行距離

$t_i(j, k)$: 領域 (j, k) 内の i 番目の車の走行時間

$\xi(j, k)$: i 番目の車の領域 (j, k) への進入位置

$\xi'(j, k)$: i 番目の車の領域 (j, k) からの流出位置

$\tau_i(j, k)$: i 番目の車の領域 (j, k) への進入時間

$\tau'(j, k)$: i 番目の車の領域 (j, k) からの流出時間

とし、図-9の①および②で示す2つのケースについて考える。

1) 車両が領域内を時刻点を越えずに通過する場合(ケース①)、領域 (j, k) 内の i 番目の車の走行距離は、測点間の距離となる。よって

$$x(j, k) = y(j+1) - y(j) \dots\dots\dots (4)$$

いま、 $z f_{n-1}(i) < y(j) \leq z f_n(i)$ となるフィルム番号 f_n を選定し、領域 (j, k) への進入時間 $\tau_i(j, k)$ の計算を次式で行う。

$$\tau_i(j, k) = t_{n-1} + \frac{y(j) - z f_{n-1}(i)}{z f_n(i) - z f_{n-1}(i)} \cdot t_d \dots\dots\dots (5)$$

同様に、 $z f_{n-1}(i) < y(j+1) \leq z f_n(i)$ となるフィルム番号 f_n を選定し、領域 (j, k) からの流出時間 $\tau'(j, k)$ の計算を式(5)で行う。

よって走行時間は次のようになる。

$$t_i(j, k) = \tau'(j, k) - \tau_i(j, k) \dots\dots\dots (6)$$

2) 時刻点を越えて通過する場合(ケース②)

i) 領域 (j, k) について

領域 (j, k) への進入時間 $\tau_i(j, k)$ は式(5)と同様に計算される。また、流出時間 $\tau'(j, k)$ は時刻点 $(k+1)$

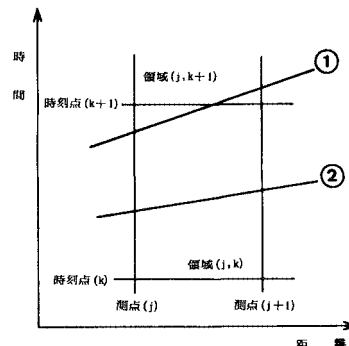


図-9 走行軌跡に基づく演算論理

での時間となる。よって走行時間 $t_i(j,k)$ は次のようになる。

$$t_i(j,k) = t(k+1) - \tau_i(j,k) \dots\dots\dots (7)$$

次に、領域 (j,k) への進入位置 $\xi_i(j,k)$ は測点 (j) の位置となる。また、 $t_{n-1} < t(k+1) \leq t_n$ となるフィルム番号 f_n を選定し、領域 (j,k) からの流出位置 $\xi_i(j,k)$ の計算を次式で行う。

$$\xi_i(j,k) = z_{f_n}(i) - \{z_{f_n}(i) - z_{f_{n-1}}(i)\} \frac{t_n - t(k+1)}{t_d} \dots\dots\dots (8)$$

よって、領域 (j,k) 内の走行距離は次のようになる。

$$x_i(j,k) = \xi_i(j,k) - y(j)$$

ii) 領域 $(j,k+1)$ について

領域 (j,k) からの流出時間 $\tau_i(j,k)$ および流出位置 $\xi_i(j,k)$ が、領域 $(j,k+1)$ への進入時間 $\tau_i(j,k+1)$ および進入位置 $\xi_i(j,k+1)$ となる。

また、領域 $(j,k+1)$ からの流出時間 $\tau_i(j,k+1)$ は、式 (5) により計算され、流出位置 $\xi_i(j,k+1)$ は測点 $(j+1)$ の位置となる。

よって、走行時間および走行距離は次のようになる。

$$t_i(j,k+1) = \tau_i(j,k+1) - \tau_i(j,k+1)$$

$$x_i(j,k+1) = y(j+1) - \xi_i(j,k+1)$$

以上の①、②の場合の計算を全車について行い、領域 (j,k) の総走行距離 $\sum_i x_i(j,k)$ と総走行時間 $\sum_i t_i(j,k)$ を求める。

3) 交通量 q 、密度 k および速度 v の計算

前節で述べた式 (2) より、次式のように計算を行う。

$$q(j,k) = \sum_i x_i(j,k) / A_n(j,k)$$

$$\bar{k}(j,k) = \sum_i t_i(j,k) / A_n(j,k)$$

$$\bar{v}(j,k) = \sum_i x_i(j,k) / \sum_i t_i(j,k)$$

(3) 演算結果とその評価

(a) 入力データ

9時40分から10時10分間の撮影フィルムに記録された車両についてのすべてのデータは、表一2に例示されているように集計表の形に整理されている。前章で示した演算論理に従って電算を進めるにあたって、すべてのデータはダイレクトパンチを用いて直接磁気テープに集録された。その手順は次のとおりである。まず表一3の入力データ一覧表のフィルム・車線データ欄のフォーマットに従ってフィルム番号、撮影時刻および車線区分をテープに入力し、その直後に車両60台分の記録スペースを用意し、当該車線に存在する車両について、調査区間進入時点で走行していた車線の区分、車両番号、車種および車両の存在位置が、表一3の車両データフォーマットに従って入力される。当該車線のすべての車両データが入力し終わった後は、残余の記録スペース

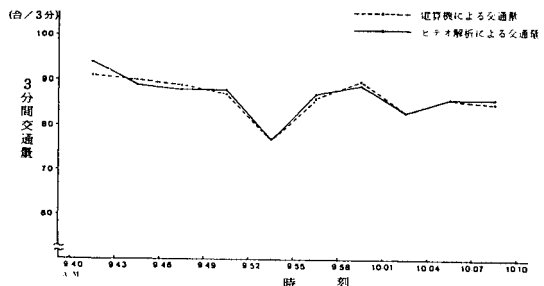
はブランクとし、次の車線へ移り同様に入力が続いていく。このようにして全フィルムの記録を磁気テープに集録を終えた後、演算論理に従って電算処理が進められるわけであるが、表一3のフォーマットから計算すると1枚の航空写真から得られる情報量は走行と追越の両車線分のみを取り上げても、80欄のIBMデータカードにして184枚分の情報量に相当したことになる。

(b) 交通量の比較照合

図一10にビデオ撮影地点における走行車線の3分間交通量の計測値の変動状況を示す。実線は再生ビデオ画面から直接計数器を用いて目視計測した3分間交通量を示し、鎖線は航空写真から集計した車両の走行位置データを前節の演算論理に従って電算処理して得た値である。初期値設定上誤差の生ずる可能性のある最初の3分間を除き、上記2種類の計測結果の差は±1台であり、航空写真の解析結果が非常に精度のよいものであることが示されている。なお追越車線については、ビデオが路側からの撮影であり、走行車線に大型車が走行した際の計測ミスも考えられるので、この種の比較照合には適さないものと考え、同様の検討は行っていない。交通量の変動特性については、3.(2)集計方法とその結果(図一4)で述べたとおりである。

表一3 入力データ一覧表

| データ区分 | 項目 | 変数名 | フォーマット | 内容 |
|------------|------------------|---------|--------|---------------------------------|
| フィルム・車線データ | フィルム番号 | N F | I3 | フィルムに付けられた通し番号 |
| | 時 | N H | I2 | 撮影時刻の「時間」部分 |
| | 時刻表分 | N M | I2 | 撮影時刻の「分」部分 |
| | 秒 | S | F5.2 | 撮影時刻の「秒」部分 |
| | 車線区分 | NKU | I1 | 1:走行, 2:追越, 3:合流の各車線 |
| 車両データ | 調査区間進入時に走行していた車線 | MKO (J) | I1 | 1:走行, 2:追越, 3:合流 4:津守ランプの各車線 |
| | 車線番号 | MN (J) | I4 | 計測区間への進入順につけられた車両番号 |
| | 車種 | NSU (J) | I1 | 1:大型車, 2:普通貨物, 3:普通乗用 4:軽トラ |
| | 車両の存在位置 | AKP (J) | F6.3 | キロポストを基準に小数点3位まで (メートル単位) |

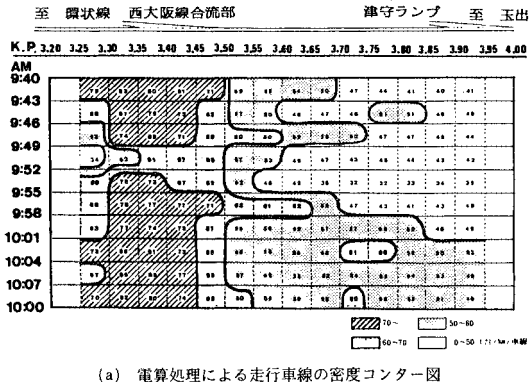


図一10 走行車線の3分間交通量変動図

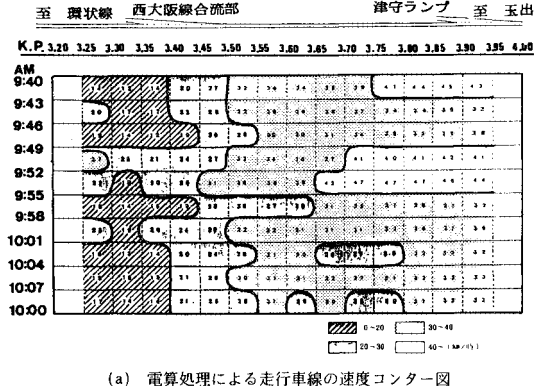
c) 密度・速度コンター図

図-11に航空写真からの集計値を電算処理して得た交通密度のコンター図を走行車線、追越車線および両車線合計について示す。いずれのケースも区間と時間帯の区分けは図-3の実測密度コンター図に一致させている。まず図-3に対応する図-11(c)の両車線合計値に注目すると、どの時間帯・区間も航空写真から直接求めた実測と比べて、ほとんど同じ値を示し、その差はあつ

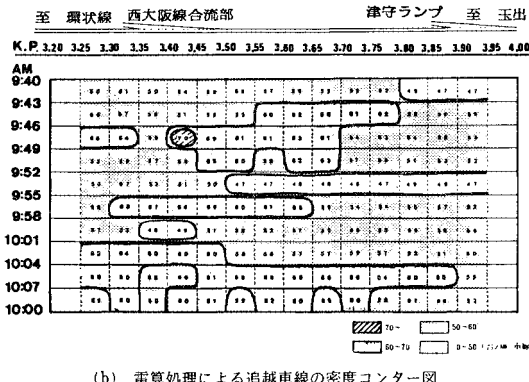
ても5ないし7台/km/2車線程度であり、したがってコンター図の形状もほぼ類似している。式(4)から(8)にかけての演算は、撮影時刻ごとに計測された車両の存在位置を直線でつないでいくことによって、各車両の走行軌跡を追跡するものであった。したがって定常な交通流においては問題はないものの、撮影時刻の間に速度が急変していくような非定常状態の場合は、多少の誤差が生じてくる可能性もあるのではあるが、50mの区間を



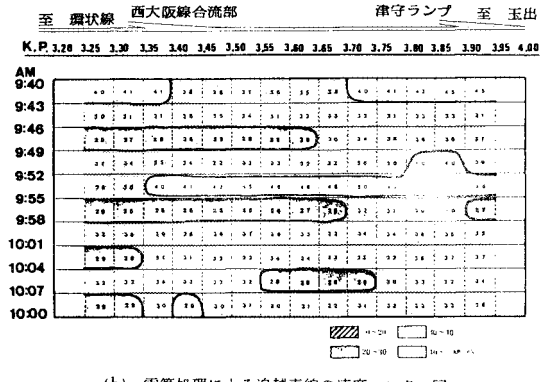
(a) 電算処理による走行車線の密度コンター図



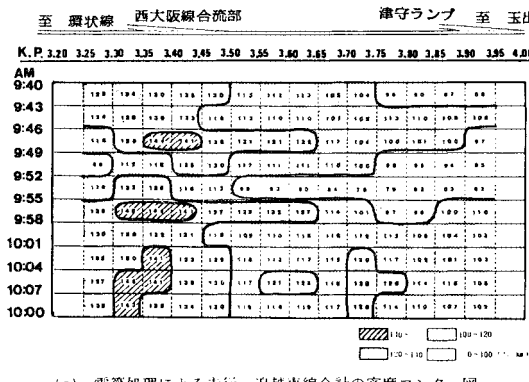
(a) 電算処理による走行車線の速度コンター図



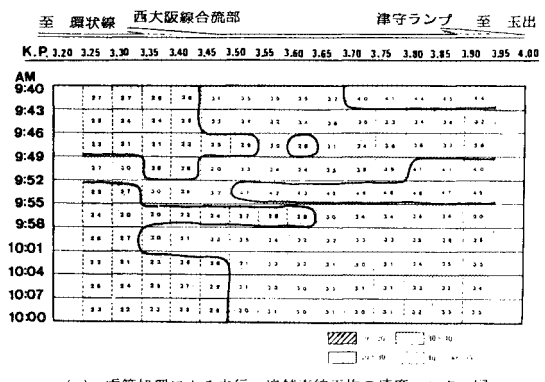
(b) 電算処理による追越車線の密度コンター図



(b) 電算処理による追越車線の速度コンター図



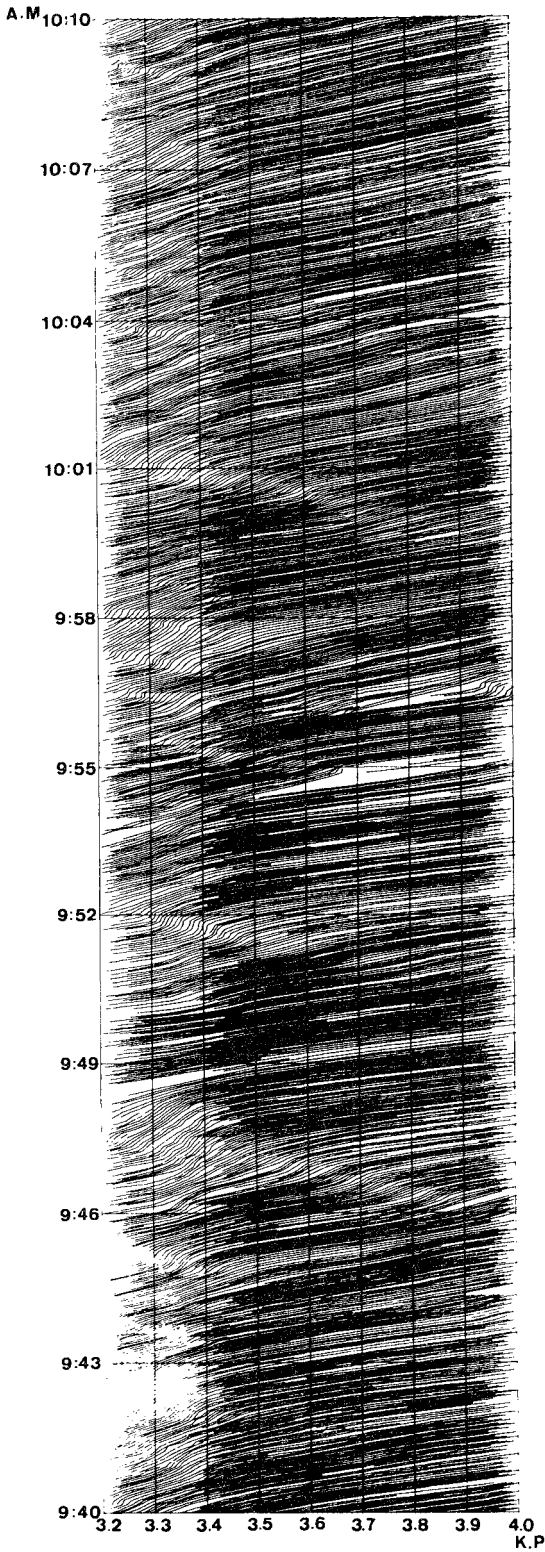
(c) 電算処理による走行・追越車線合計の密度コンター図



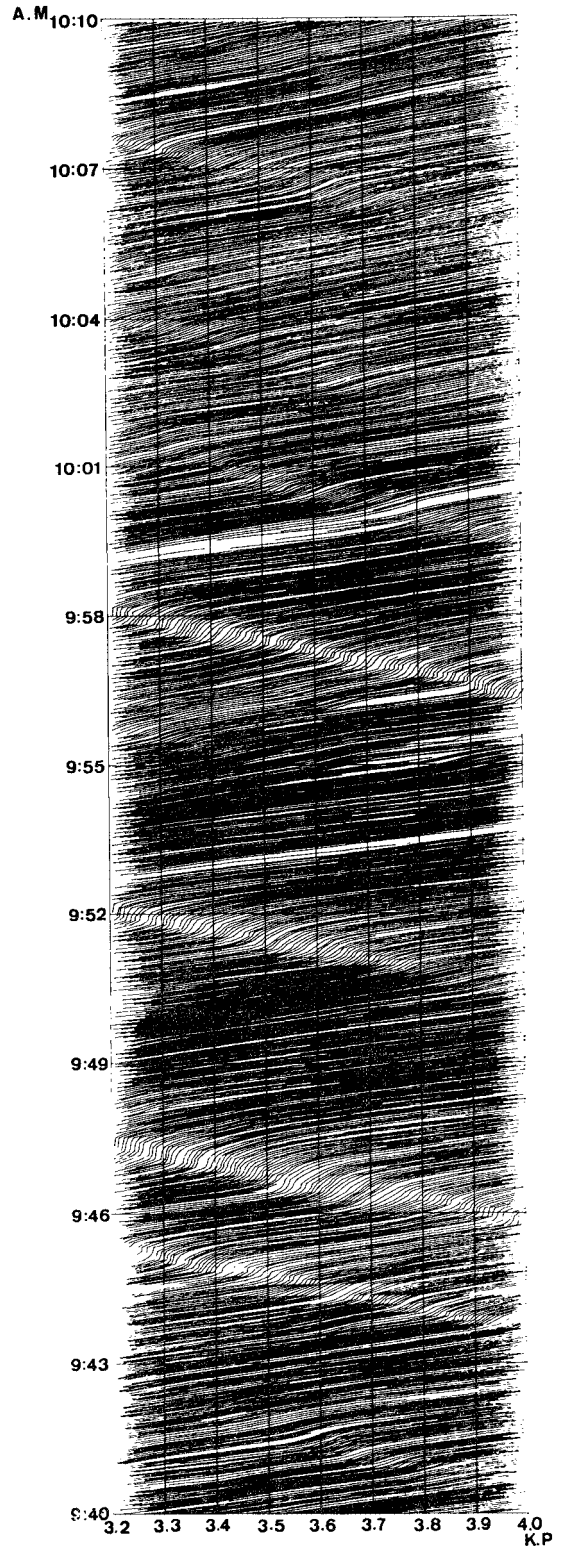
(c) 電算処理による走行・追越車線平均の速度コンター図

図-11

図-12



図一13 走行車線における走行軌跡



図一14 追越車線における走行軌跡

3分にわたって平均した場合は、それほど問題とするような差異もなく、妥当な結果が得られている。

一方車線別の密度の変動状況を見ると、追越車線は50台/km/車線以上の比較的高密度の領域がほとんどを占めているのに対し、走行車線の交通密度は西大阪線からの合流部の上流で70台/km/車線以上の値となり、それより下流側は60台/km/車線以下となっている。明らかに合流車両が加わり走行車線で超過需要が発生し、渋滞が上流側へ伝播している状態である。一方この合流部上流へ延伸した渋滞領域からは、追越車線へ安定した飽和交通流を送り込む結果を得ているものと考えられる。以上のことは、図-12に示す速度コンター図でも同様に指摘することができる。特に追越車線の速度コンター図で、ほとんどの領域で30~40 km/hの平均速度となっており交通容量よりも少々少ない交通量ではあるが安定した交通流が得られていることが示されている。なお、追越車線上で9時52分~55分にかけての高速度・低交通密度、およびそれに続く密度の上昇と速度の低下現象は、9時52分から55分にかけて作業車が路側ビデオ撮影地点付近の走行車線上に停車し、交通を堰止めた影響であると考えられる。

d) 走行軌跡図

図-13および図-14に、走行車線および追越車線の時空平面における全車両の走行軌跡を示す。航空写真解析上、軌跡は車が写真に初めて現われた地点から最後に見えなくなるときまでが示されている。また車線変更は軌跡が途中で始まるか、途中で終わるかによって示される。これらの軌跡に異常なものが見当たらないことにより、本調査研究の集計方法と演算処理に大きな誤りはなかったものと考えられる。走行軌跡図を全般的にみると、流れがスムーズなときは均一で薄暗い領域が広がっているのに対して、速度の低下した部分では軌跡が立ち上がるため空白部分が目立つようになってくる。速度・密度の両コンター図とは逆の陰影となっているが、渋滞領域の変動状況はよく一致している。

特に注目したいのは追越車線上、下流側から上流へ向かう一過性のショックウェーブである。9時51分頃3.8kp付近から発生したショックウェーブは車間距離が異常に小さくなりブレーキをかけた車から後続して発生したものと考えられる。また9時44分、同46分および同57分下流端から発生したショックウェーブは、調査区下流側にある津守ランプから合流車を避けるため、追越車線に割り込んだ車の影響等で発生した局部的な停滞が原因と考えられる。いずれにせよ追越車線が飽和状態であるため、ショックウェーブは最上流にまで波及してはいくものの乱は一過性で、調査区間全体が長時間停滞してしまうまでには至っていない。ただし、この区間

の追越車線を走行している運転者がこのショックウェーブに出会うと、どこからこの渋滞が発生しているのか、わからなくなってしまうのであろう。

5. 結論と今後の課題

(1) 結論

本調査研究は渋滞の頻発する阪神高速道路堺線の西大阪線合流部・津守入り下り区間において、ビデオ撮影、フローティング調査およびヘリコプターによる上空固定位置からのスチールカメラ撮影の3種類の調査を主とする交通実態調査を行い調査対象区間の交通流の実態把握を行うとともに、当該区間から発生すると考えられていた交通渋滞の発生のメカニズムを追求することを目的としたものである。調査対象区間は700mを越える延長を有しており、個々の車両の動きを詳細に追跡していくには延長があり過ぎて、通常のビデオ撮影あるいはメモーションカメラによる調査は困難であり、ヘリコプターからの上空固定地点スチールカメラ撮影を主にし、調査を進め、ビデオ撮影によって精度をチェックする方法を取らざるを得なかった。調査は調査技術上および渋滞原因の追求の両面からみて、非常に良好な結果をもたらしていると結論づけることができる。以下に結論を両観点に分けて示す。

調査技術上からみた結論

(1) 秒単位の時刻を記録したヘリコプターからの上空固定地点スチールカメラ撮影による35mmスライドフィルムから各フィルムごとに車線別に各車両の走行位置を読み取り、この結果を3次元立体交通モデルの理論に基づいて解析した本調査の解析手法は調査対象区間の任意の地点における交通量の計測を十分な精度で行うことができることを示した。これは航空写真の解析結果と路側ビデオ撮影の計測結果を比較照合した結果、初期値設定上誤差の見込まれる初めの3分間以外は両者の計測数の差は±1台であることから確かめられたことである(図-10参照)。

(2) 航空写真の計測結果に上記理論に基づいて電算処理を加え、走行・追越の各車線、および両車線合計の3種類の密度コンター図を作製し、これと航空写真から直接作製した密度コンター図と比較した結果、電算処理結果は実測値と非常によく類似した結果を示した(図-4および図-11(c)参照)。

(3) 航空写真の計測結果から調査区間へ流入した全車両の時空平面上における走行軌跡を電算処理によってプロットさせた結果、合流部における速度の低下状況や追越車線上での衝撃波の伝播状況等を明瞭に図示することができた(図-13参照)。

上記の調査結果から本調査区間内から発生する渋滞の

原因と調査区間における交通流の特徴は次のとおりである。

(1) 本調査区間から発生する渋滞の原因は西大阪線合流部からの合流交通である。西大阪線から来る車両と堺線の走行車線を走行してきた車両が合流して合流区間上の走行車線が過飽和状況となり合流部での速度低下上流への渋滞の伝播という事態をまねていることは、密度コンター図(図-11(a)), 速度コンター図(図-12(a)) および走行軌跡図(図-13, 14)からみても明らかである。

(2) 上記に示した西大阪線からの合流による渋滞は、合流部の上流に渋滞領域を延伸させていき、この渋滞領域からは調査区間の追越車線へ安定した飽和交通流を送り込む結果となっている。したがって下流側の津守入路付近で合流車を避けるため追越車線へ割り込んだ車の影響等で局所的な停滞が発生すると、飽和交通流であるために一過性の衝撃波となり上流側へ伝播していく事態が頻発している。津守～西大阪線合流部の間で位置が確定しがたい渋滞が発生しているといわれていたのは、この一過性の衝撃波を指していると考えられる。

(2) 今後の課題

上述したように本調査研究において、調査技術の面から、また渋滞原因追究の面からも新たな知見を得たわけであるが、今後さらにこのような課題に取り組んでいく際の残された問題点としては次のようなことが挙げられよう。

(1) 解析時間帯の拡大

今回の解析時間帯である午前9時40分から午前10時10分の間では、すでにその前で渋滞は始まっており、さらに混雑していく傾向にあると考えられる。したがって、渋滞の動きを明確にしていくためには、さらに前後に時間を拡張して解析を続けていく必要があると考えられる。

(2) 交通流特性の追究

今回の解析では、密度・速度のコンター図と走行軌跡図の作成に主眼が置かれたが、磁気テープにインプットされたデータをもとに、さらに $Q-V$ 特性や $K-V$ 特性、あるいは渋滞の発生と車線変更の関係等多様な解析も可能であり、この方面での解析手法の開発も望まれるところである。

(3) 解析手法の能率化

ヘリコプターから撮影した35mmスライドフィルムの解析には非常に長い時間を要し、わずか30分の解析に2か月余りの期間を費やすことになった。上記(2)で述べたように、さらに解析を深めていくためにも、航空写真フィルムからの集計作業の能率化を考えていく必要があるものと考えられる。

最後に本調査研究を進めていくうえで多大の援助とご協力をいただいた阪神高速道路公団に心からの謝意を表したい。

参考文献

- 1) Allen, B. L. and May, A. D. : System Evaluation of Freeway Design and Operations, The Institute of Transportation and Traffic Engineering, University of California, July, 1969.
- 2) Cyra, D. J. : Traffic Data Collection Through Aerial Photography, Highway Research Record No. 35, pp. 28~29, 1971.
- 3) Makigami, Y. and Newell, G. F. : Three-Dimensional Representation of Traffic Flow, Transportation Science, Vol. 5, No. 3, pp. 302~313, August, 1971.
- 4) 阪神高速道路公団：阪神高速道路の交通渋滞対策に関する調査研究報告書, (社)交通工学研究会, 昭和56年3月。
- 5) 首都高速道路公団：首都高速道路6号線二期及び葛飾川線の部分供用に伴う交通状況調査に関する報告書, 昭和56年3月。
- 6) 巻上安爾・林 昌親：航空写真による交通流の計測方法について, 第38回土木学会概要集, 昭和58年9月。

(1983.11.28・受付)