

交通運用管理計画の評価のための均衡論的方法

AN EQUILIBRIUM METHOD FOR ESTIMATION OF TRAFFIC MANAGEMENT SCHEMES AND TRAFFIC OPERATION

井 上 博 司*

By Hiroshi INOUE

To introduce traffic management schemes and traffic operation, influences on traffic flows should be estimated precisely. To this end, a traffic simulation model in urban road networks is proposed in this paper. That is an equilibrium traffic assignment model combined with estimation of junction delays. For each turning flows, junction delays are induced analytically as a function of flows and traffic signal control parameters. Traffic assignment uses an iterative procedure, and flow-delay curves are selected based on latest link flows. In this method, precise modeling of junction flows was enabled and simulation process was sharply promoted in efficiency compared with usual simulation model. Through an application to Kobe city, it was cleared that the model is useful for estimation of traffic management schemes and traffic operation.

1. はじめに

近年、既存の道路施設を有効に活用し、また道路交通需要の抑制を図る交通運用・管理策が注目されている。交通運用・管理策には信号制御や経路誘導等ハードな手段の他、駐車規制やバス専用レーン設定等ソフト面での自動車利用の規制、抑制策があり、それらの方法を適宜組み合わせて実施されていることが多い。交通運用・管理策を導入するに当たっては、それによって道路交通流がどのような影響を受けるかを事前に精密に予測し、代替的手段の合理的・客観的な評価を行う必要がある。このためには多様な条件の変化に対応しうる道路網交通流の解析法が必要である。

従来、道路網上の自動車交通流の解析手法として、交通量配分法が一般的に用いられてきている。し

*正会員 工博 岡山大学助教授 工学部土木工学科 (〒700 岡山市津島中3-1-1)

かし従来の交通量配分法はマクロな性格が強く、道路網全体での流れの把握には適しているが、交差点内の交通流の挙動や信号制御による影響など精密で詳細な分析には必ずしも適しているとはいえない。一方、実際の道路交通条件のもとで、局所的な自動車交通の流れ方を、個別車両の動きを再現して模擬実験するミクロなシミュレーション法がある。この方法では局所的な交通流の挙動をより詳細に分析することが可能であるが、起終点を持つという交通需要の構造が無視されていたり、道路網内での走行経路や交差点での直進、右左折率が固定されている場合が多いなどのため、道路網全体の流れとの関連をとらえることが困難である。

ミクロモデルとマクロモデルの中間的なものに、CONTRAM¹⁾ やTRANSIGN²⁾、SATURN^{3) 4)} などがある。これらは数十交差点程度のネットワークを対象としたシミュレーションと配分とを結合したモデルである。CONTRAM では車のパケットを取り扱い、直接に

リアルタイムの効果をモデル化しているが、交差点の表現があまり詳細ではない。一方SATURNではフロー・プロフィールを取り扱い、交差点の詳細なモデル化を行っているが、均衡配分と交差点遅れを求めるシミュレーションとを反復する複雑な計算方法を採用している。TRANSIGNは交通信号設定を内生化した交通配分モデルである。

ところで交通運用管理策を適正に評価しうるためには、モデルに与えられる交通需要が的確に表現できること、利用者の経路選択を内生化していること、信号交差点の構造を的確に表現できること、交差点遅れが精密に予測しうること等の条件が必要である。本研究においてはこれらの条件を併せもつシミュレーションモデルの構築を行っている。このモデルは均衡配分モデルをベースとして、同時に交差点遅れを全体の交通流との関連において求めるように改良したものである。交差点遅れは進行方向別に交通量や飽和交通流率、信号制御パラメーターなどの関数として解析的に求められており、配分で交通量-遅れ関数として直接に用いられる。このモデルでは交差点の構造を詳細にモデル化することが可能であり、交通需要やネットワーク構造の変化、道路の改良、交通規制、交通制御等道路交通環境の諸条件の変化による交通流への影響を精密に予測・分析するのに用いることが出来るものと思われる。

2. モデル

本手法は、交差点遅れを内生化した均衡交通配分モデルであるということができる。すなわち、すべてのトリップは時間的に最短の経路を選択するというWardropの第一法則⁵⁾を配分基準としている。30分から1時間程度の時間を対象とするが、対象時間内では需要交通量は時間的に変化せず一定であるとする。本モデルの構造を概念的に表現したものが図-1である。モデルは交差点遅れモデルと配分モデルよりなるが、全体が一つの配分モデルとして機能している。まず遅れモデルではリンク交通量とネットワークデータに基づいて、交差点の進行方向別に適正な交通量-遅れ関数を出力する。関数形は交通量や飽和交通流率、信号制御パラメーターなどの様々な組合せに対応して解析的に求められている。配分は反復計算を用いるが、各反復段階でOD交通量

の一部を最適経路に割り当て、新しいリンク交通量を出力する。交差点での交通量-遅れ関数の選択は、各反復段階で最新の交通量に基づいて行われる。このような演算の繰返しによって交通流を一定の状態に収束させる。この結果、交差点遅れとリンク交通量とが全体の均衡交通配分モデルの出力として得られる。

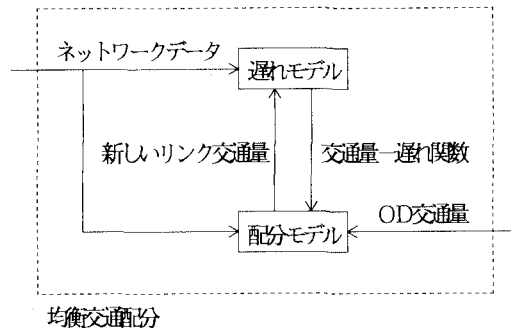


図-1 モデルの概念

道路網のネットワーク表現については、道路網上の交通流を実際の道路交通条件に即して解析するため、詳細なコーディングを行う。すなわち交差点間の一般の道路区間は、方向別に2本の有向リンクにより表現する。交差点は各流入部について、直進、右折、左折の各進行方向別にリンクを設定する。この結果、通常の四差路交差点は図-2に示すように、8個のノードと12本のリンクにより表現される。

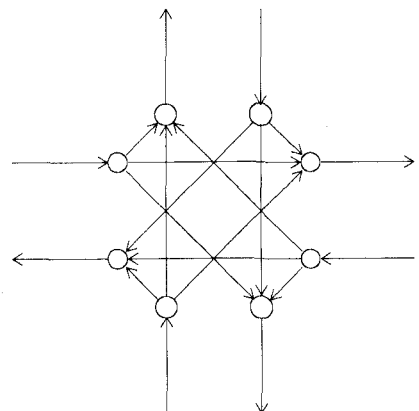


図-2 四差路交差点のネットワーク表現

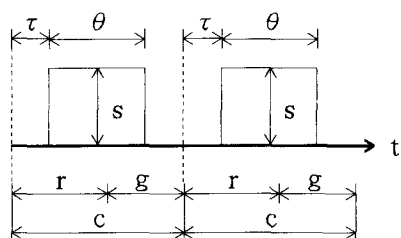
従来の配分理論においてもこのようなネットワーク表現は可能であったが、実際にはほとんど用いられてきていない。なぜならば、このような表現法を実際の道路網に適用すると、ノード数、リンク数が飛躍的に増えるためネットワークが巨大になり、また交差点内のリンクに対する適当な旅行時間関数が求められていなかったためである。

3. 交差点遅れ

(1) 遅れモデル

交差点遅れを求める公式としてWebster の式⁶⁾がよく知られている。しかしこれは孤立した交差点での遅れを表現したものである。交差点間隔が短い実際の都市の道路網では交差点間の干渉があり、オフセットの影響が無視できないため、この公式を用いるのは適当ではない。そこで交通流を時間的に同一パターンを反復する疑似連続流体と見なす遅れモデルを作成し、交差点遅れを解析的に求める。

まず前提として、対象地域では交通信号制御のサイクルが共通であり、このため交通流は時間的に同一パターンをサイクリックに反復しているものとする。任意の交差点流入部への交通流の到着は、図-3に示すようにサイクリックな飽和矩形波であると仮定する。



s : 飽和交通流率

θ : 飽和交通流継続時間

τ : 赤現示開始時間と車群到着時間との差

c : サイクルタイム

g : 青現示時間

r : 赤現示時間

図-3 交差点への交通流の到着パターン

実際には交差点への到着車群の後尾は上流側交差点での右左折交通よりなり、必ずしも飽和している

とは限らない。このように到着車両の車群が分散する場合には、飽和矩形波への近似によって交差点遅れは若干過少評価されるものと考えられる。なお交通量が少ない場合や、サイクルが共通でない場合には、飽和矩形波への近似が成立し難いので、交差点遅れを別途求める必要がある。

単位時間当たりのリンク交通量を x_a とすると、飽和交通流継続時間 θ は、 θs が1サイクル当たりの交通量に等しいことから

$$\theta = \frac{c x_a}{s} \quad (1)$$

となる。

交差点流入部への到着車両を飽和矩形波と仮定しているので、直進、右折、左折各進行方向別の到着パターンも矩形波となる。当該流入部における i 番目の進行方向の単位時間当たり交通量を x_i 、到着密度を λ_i とすると、

$$\lambda_i = s \frac{x_i}{x_a} \quad (2)$$

となる。

ここで当該進行方向の赤現示開始時間と車群到着時間との差 τ_i は、直近上流交差点とのオフセット差、およびリンク内の旅行時間より次式で与えられる。

$$\tau_i = \text{mod} (f_a + t_a - f_i - g_i, c) \quad (3)$$

f_a : 直近上流交差点の直進方向絶対オフセット

f_i : 当該進行方向の絶対オフセット

t_a : 直近上流交差点と当該交差点間の旅行時間

g_i : 当該進行方向の青現示時間

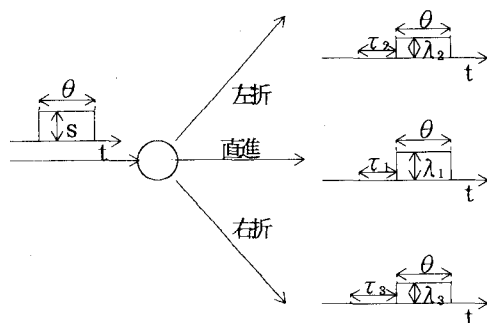


図-4 進行方向別の到着パターン

こうして得られる交差点各流入部の進行方向別の到着パターンを $h(t)$ で表わす。

$$h(t) = \begin{cases} \lambda & (\tau \leq t \leq \tau + \theta) \\ 0 & (t < \tau, t > \tau + \theta) \end{cases}$$

車両の交差点への到着時間を t_1 、交差点からの出発時間を t_2 とし、 t_1 と t_2 の関係を図-5のように表わすと、1サイクル当たりの遅れ時間の総和は図の斜線部の面積に比例し、したがって1台当たりの遅れ時間の期待値は、

$$w = \frac{1}{Q} \int_0^c (t_2 - t_1) h(t_1) dt_1 \quad (4)$$

Q : 1サイクル当たりの交通量 ($= \lambda \theta$)
となる。

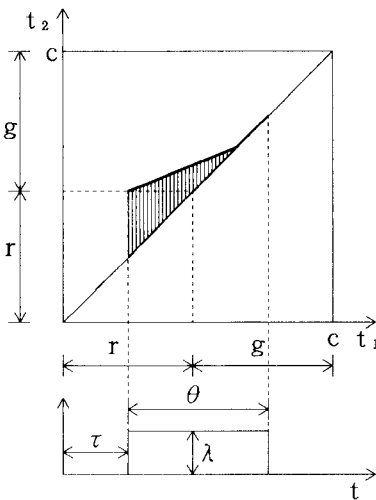


図-5 交差点遅れの期待値

(2) 交差点遅れ関数の誘導

式(4)の積分は、車群の到着パターンや信号制御パラメーターなどの組合せによっていろいろなケースが考えられるので、各ケースに対して積分を計算し、交差点遅れ関数を誘導する。この際前提条件として、交通流が疑似定常であることを仮定する。すなわち渋滞車両がサイクルごとに累加し、遅れが無限に大きくなることはないとする。このためには交通量が処理可能交通量を上回らないことが必要であり、したがって

$$\lambda < s g / \theta \quad (5)$$

であるとする。

赤現示の間滞留していた車両は、青現示により順次単位時間当たり飽和交通流率に等しい割合で発進していくものとする。その際、交通量と飽和交通流率の大小関係、および滞留が当該青時間中に解消するかどうか等を考慮に入れてケース分けを行い、到着時間と出発時間の関係を求める。

a) $\tau \leq r$ 、 $\theta + \tau \leq c$ 、かつ

$$\lambda \leq s (\theta - r + \tau) / \theta \quad \text{のとき}$$

このときには到着車両は赤現示により滞留しているが、青現示により順次発進し、車群後尾到着までに滞留が解消する。以後車群後尾までは遅れなく交差点に進入できる。よって

$$t_2 = \begin{cases} r + \lambda (t_1 - \tau) / s & (\tau \leq t_1 \leq t^*) \\ t_1 & (t^* \leq t_1 \leq \tau + \theta) \end{cases}$$

ただし、

$$t^* = \tau + s (r - \tau) / (s - \lambda)$$

積分を計算すると、

$$w = \frac{s (r - \tau)^2}{2 \theta (s - \lambda)} \quad (6)$$

b) $\tau \leq r$ 、 $\theta + \tau \leq c$ 、かつ

$$\lambda \geq s (\theta - r + \tau) / \theta \quad \text{のとき}$$

このとき到着した車群は赤現示により滞留後、青現示により順次発進していくが、車群後尾到着までに滞留が解消しない。したがってすべての車両は一旦停止後交差点に進入するが、当該青現示中に処理される。よって、

$$t_2 = r + \lambda (t_1 - \tau) / s \quad (\tau \leq t_1 \leq \tau + \theta)$$

となるから、積分を計算すると、

$$w = r - \tau - \frac{\theta}{2 s} (s - \lambda) \quad (7)$$

c) $\tau \geq r$ 、 $\theta + \tau \leq c$ 、かつ $\lambda \leq s$ のとき

このとき、すべての車両は停止することなく交差点に進入できるので、 $w = 0$ である。

d) $\tau \geq r$ 、 $\theta + \tau \leq c$ 、かつ

$$s \leq \lambda \leq s (c - \tau) / \theta \quad \text{のとき}$$

このとき到着した車両は一旦停止するが、青現示中にすべて交差点に進入できる。よって、

$$t_2 = \tau + \lambda (t_1 - \tau) / s \quad (0 \leq t_1 \leq \tau + \theta)$$

このケースは b) で r を τ に置き換えればよいから

$$w = \frac{\theta}{2s} (\lambda - s) \quad (8)$$

e) $\tau \geq r$ 、 $\theta + \tau \leq c$ 、かつ

$\lambda \geq s(c - \tau) / \theta$ のとき

この場合には到着した車両はすべて一旦停止し、一部は当該青現示中に交差点に進入するが、残りは次の青現示中に処理される。したがって、

$$t_2 = \begin{cases} \tau + \lambda(t_1 - \tau) / s & (\tau \leq t_1 \leq t^*) \\ c + r + \lambda(t_1 - t^*) / s & (t^* \leq t_1 \leq \tau + \theta) \end{cases}$$

ただし、

$$t^* = \tau + s(c - \tau) / \lambda$$

積分を計算すると、

$$w = r - \frac{rs}{\lambda\theta} (c - \tau) + \frac{\theta}{2} \left(\frac{\lambda}{s} - 1 \right) \quad (9)$$

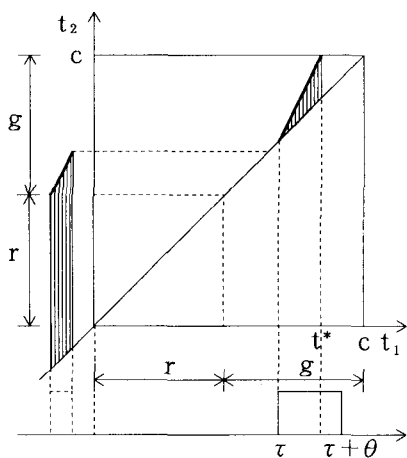


図-6 到着時間と出発時間の関係 e)

f) $\tau \leq r$ 、 $\tau + \theta \geq c$ のとき

この場合には赤現示中に到着した車両は滞留していくが、青現示になって順次発進し、青現示終了までに滞留が解消する。したがって、

$$t_2 = \begin{cases} r + t_1 \lambda / s & (0 \leq t_1 \leq \theta + \tau - c) \\ r + \lambda(t_1 - c + \theta) / s & (\tau \leq t_1 \leq t^*) \\ t_1 & (t^* \leq t_1 \leq c) \end{cases}$$

ただし、

$$t^* = \{rs + \lambda(\theta - c)\} / (s - \lambda)$$

積分を計算すると、

$$w = \frac{1}{\theta} (\theta + \tau - c) (c - \theta) + \frac{s(\theta - g)^2}{2\theta(s - \lambda)} \quad (10)$$

g) $\tau \geq r$ 、 $\theta + \tau \geq c$ 、かつ

$\lambda \leq s$ 、 $\lambda \leq s(\tau - r) / (\theta - \tau - c)$

のとき

このとき赤現示中に到着した車両の滞留は青現示後車群到着までに解消し、以後青現示終了までに到着する車両は遅れなく交差点に進入できる。よって

$$t_2 = \begin{cases} r + t_1 \lambda / s & (0 \leq t_1 \leq \theta + \tau - c) \\ t_1 & (t_1 \geq \tau) \end{cases}$$

積分を計算すると、

$$w = \frac{r}{\theta} (\theta + \tau - c) + \frac{1}{2\theta} \left(\frac{\lambda}{s} - 1 \right) (\theta + \tau - c)^2 \quad (11)$$

h) $\tau \geq r$ 、 $\tau + \theta \geq c$ 、かつ

$\lambda \leq s$ 、 $\lambda \geq s(\tau - r) / (\theta + \tau - c)$

のとき

このとき赤現示中に到着した車両は滞留するが、青現示により順次発進し、青現示終了までに滞留が解消する。これはf)の場合と同じであるから、

$$w = \frac{1}{\theta} (\theta + \tau - c) (c - \theta) + \frac{s(\theta - g)^2}{2\theta(s - \lambda)} \quad (12)$$

i) $\tau \geq r$ 、 $\tau + \theta \geq c$ 、かつ $\lambda \geq s$ のとき

このとき車群到着後車両は滞留していき、一部は当該青現示中に交差点に進入できるが、残りの滞留車両は次の青現示中に処理される。これはe)のケースと同じであるから、

$$w = r - \frac{rs}{\lambda\theta} (c - \tau) + \frac{\theta}{2} \left(\frac{\lambda}{s} - 1 \right) \quad (13)$$

4. 計算法

前節で導出した交差点遅れは、信号の切替えにより交通流が一時的に滞留することによって生じる遅れ時間の期待値を表わしている。すなわちこれは信号交差点で生じる遅れ時間のランダム成分の期待値に等しい。この交差点遅れは、当該進行方向の交通量、飽和交通流率、信号制御パラメーター等の関数であり、信号のサイクル長を越えない。一方実際の

交通現象ではこのほかに定常的な遅れが存在し、両者の和が実際の遅れ時間となる。定常的な遅れは、交通量が交通容量に到達したとき、車両がリンク内に定常的に貯留されることによって生じるものである。定常遅れ時間は、道路網全体での交通均衡によって決まってくる。著者はこのときのリンク交通量と定常遅れ時間とを、交通均衡条件によって決定する方法を明らかにしている^{7) 8)}。これは次のような数理計画問題として定式化されている。

$$\begin{aligned} \min F(\mathbf{h}) &= \sum_a \int_0^{x_a} \{ f_a(x) + p_a(c_a, x) \} dx \\ \text{sub. to} \\ x_a &= \sum_{i,j,k} h_{ijk} \delta_{ijk} \\ \sum_k h_{ijk} &= D_{ij} \\ h_{ijk} &\geq 0 \end{aligned}$$

ここに、

h_{ijk} : i から j への経路 k 上のフロー

x_a : リンク a 上のトータルフロー

c_a : リンク a の交通容量

D_{ij} : i から j への需要交通量

$f_a(x)$: リンク a の旅行時間関数

$p_a(c_a, x)$: $x < c_a$ のとき $p_a \ll 1$ であり、 $x \rightarrow c_a$ のとき $p_a \rightarrow \infty$ となるペナルティー関数

均衡交通量は上の問題の解 $(\mathbf{h}, \mathbf{x})$ であり、一方定常遅れ時間はペナルティー関数 $p_a(c_a, x)$ により求められる。

交差点内の直進、右折、左折各リンクの旅行時間には、前節で求めた交差点遅れ関数を用いる。ただし到着密度 λ を、

$$x = \lambda \theta / c$$

により単位時間当たりの交通量に変換する。

交差点内のリンクの交通容量は、

$$c_a = s g / c$$

である。ここに s 、 g は進行方向別の飽和交通流率および青現示時間である。

交差点遅れ関数は、既に述べたように車群の到着パターンや信号制御パラメーター等の組合せにより関数形が異なる。そこで交通量配分で反復計算を行う際、その都度最新のリンク交通量に基づいて該当

ケースを検索し、関数形を選択する。こうして何回かの反復の後、交通量が一定の状態に収束するなら、最終的に選択されている関数が適正な遅れ時間を与える。

5. 適用例

本手法を神戸市東部地区道路網の交通流解析に適用した事例を示す。神戸市東部地区では、六甲アイランドの都市開発によって、大阪方面および神戸都心部との間の交通量が飛躍的に増大することが予想されている。このため阪神間の幹線道路である国道43号線および阪神高速道路と六甲アイランドとの連絡をいかに増強するかが課題となっている。そのため幾つかの対策案が検討されているが、ここではそれらの効果を比較・評価したケース・スタディーについて述べる。

(1) 対象道路網

対象とした道路網は、六甲アイランドへのアクセス道路である港湾幹線、立体改良線と国道43号線、阪神高速道路との接続部を中心としたほぼ東灘区の範囲の幹線道路網からなる。この範囲の道路網はすでに述べた方法によって詳細にコーディングを行い、またその外側についてもバッファー・エリアとして、大阪－神戸間の道路網を簡略的にコーディングした。この結果、231 ノード、440 リンクからなるネットワークが作成された。OD表は昭和62年度に行われた実測調査の結果より、平成4年度末時点に対する将来予測を行った。信号制御パラメーターは実測値を用いた。なおシミュレーションは8時から9時までの朝の通勤時間帯を対象としている。



図－7 対象道路網

(2) 再現性の検討

対象道路網における平成元年度の交通流状態をシミュレーションし、この結果と観測値とを比較して再現性の検討を行った。図-8は交通量および旅行時間について、計算値と観測値との比較を示したものである。用いたデータがテストデータであり、十分に吟味されたものではないので、若干の数値の乖離が見られる。特に周辺部での乖離が大きい。これは対象道路網の外部をバッファ・ネットとして単純化し、交通量非依存としたため、バッファ・ネットの方に逃げるフローが出たためと考えられる。このような現象を避けるためには、対象道路網をかなり広めにとればよい。その他の部分ではOD交通量がやや過少であったため、計算交通量が観測値よりもやや小さいものの、全体的な交通流動の傾向は比較的良好と判断される。

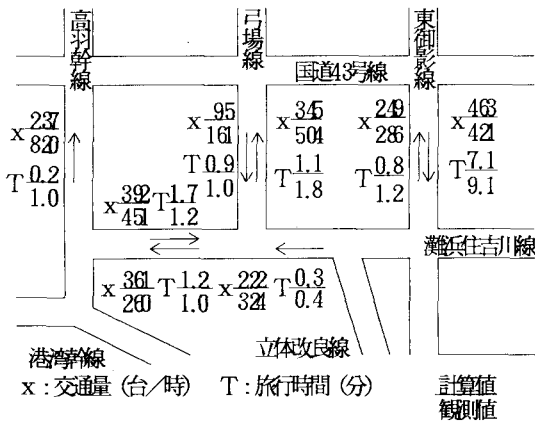


図-8 モデルの再現性

(3) 対策案の効果の予測

六甲アイランドアクセス道路と国道43号線との連絡を改善するための対策として検討されている幾つかの対策案について、それらが実施された場合の交通流状態をシミュレーションし、効果の予測を行った。

a) 東御影線の拡幅

東御影線は現在片側2車線になっており、国道43号線との東御影交差点では、そのうちの1車線が右折専用に当てられている。しかしこの車線の容量不足が東御影線の北行の疏通を悪くしている。そこで東御影線北行を1車線増やして3車線とし、東御影

交差点ではそのうちの2車線を右折専用として混雑緩和を図る。この場合のシミュレーションは、東御影線北行の交通容量を増加させることにより実施した。この結果、他の箇所での影響は比較的小さかったが、東御影線東御影交差点での右折時の遅れが、対策を実施しない場合の3.0分に対し、対策実施により2.2分となり、東御影線北行の疏通をかなり改善できることが予測された。

b) 立体改良線の一方通行化

立体改良線は現在往復2車線で六甲アイランドと結ばれているが、灘浜住吉川線との立体改良交差点での右折が禁止されているため、大阪方面へは多少遠回りになっている。このため対策案を実施しない場合には御影本町3丁目交差点での右折時の遅れが6分にもなっている。そこで立体改良線を六甲アイランド方面からの一方通行2車線とし、立体改良交差点では右折・左折各専用車線を設けることにより、御影本町3丁目交差点での混雑の解消を図る。この場合のシミュレーションは、立体改良線および立体改良交差点のネットワークを部分的に組み換えることにより実施した。シミュレーション結果は、対策案を実施することにより御影本町3丁目交差点での遅れを2.3分程度短縮できるが、一方立体改良交差点からの右折車両により東御影線の交通量が増加し、東御影線東御影交差点での右折時の遅れが2.5分程度増加するということが予測された。この対策案は局所的な混雑緩和には貢献するものの、他の箇所の混雑を助長する可能性のあることが示唆される。

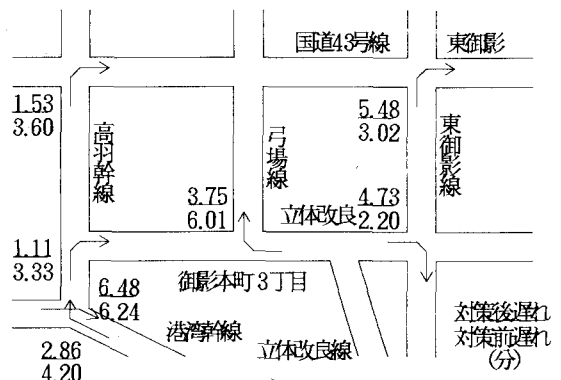


図-9 立体改良線の一方通行化の結果

c) 信号現示方式の改良

現在東御影交差点、御影本町3丁目交差点および住吉浜町交差点では、六甲アイランド方面からは直進・右折併用現示になっており、このため右折車両に対して十分のスプリットが確保されていない。そこでこれらの交差点において右折専用現示を設け、他に影響の生じない範囲でスプリットの改良を図る。この場合のシミュレーションは、信号制御パラメーターを変更することにより実施した。結果は東御影交差点での右折はあまり改良されなかったが、御影本町3丁目交差点では4分近く、また住吉浜町交差点では6分以上右折時の遅れが短縮されるということが予測された。このことは交差点での信号制御方式の適性化を図ることによってかなりの混雑緩和効果を期待することができることを示唆するものといえよう。

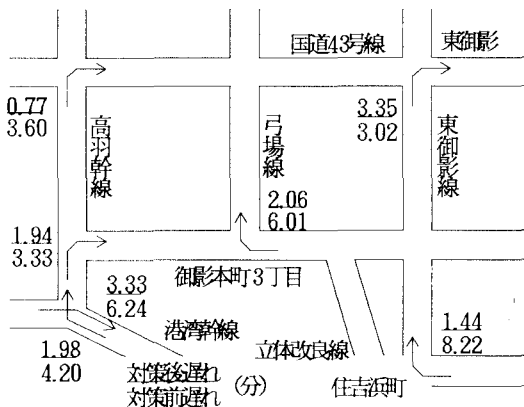


図-10 信号制御方式の改良の結果

6. おわりに

本研究においては、交通運用管理計画の評価のための道路網交通流解析モデルの提案を行った。このモデルでは道路網の構造、特に交差点の構造を詳細にモデル化し、交差点遅れを的確に予測することに主眼が置かれている。交差点交通流のモデル化により交差点遅れが解析的に求められており、シミュレーションを用いて求める従来の方法に比べて、計算の効率が大幅に向上した。また実際の適用結果から、各種の交通運用管理手段の実施の効果を予測し、それら进行评估するのに使用しうる可能性のあること

が示された。ただし本手法によって予測される交通量や遅れ時間等については、必ずしも十分の信頼度があるとはいえないが、代替案の比較評価を行うための的確な情報となりうるものと考えられる。ところで本手法では交通流が疑似定常であることを前提としており、交通渋滞形成の過渡的な過程等非定常な現象には対応できない。このため非定常な現象に対応できるようなモデルの改良が今後の課題の一つである。また本モデルでは信号制御パラメーターが外生的に与えられるものとして取り扱っているが、交通状態によって応答的に現示を切り換えていくような制御方式の場合には、制御ロジックをモデルの中に組み込み、制御パラメーターを内生化する必要がある。

本研究を行うにあたり、京都大学工学部佐佐木綱教授、同飯田恭敬教授より鼓舞激励をいただいた。厚く謝意を表したい。

参考文献

- 1) Leonard, D. R., Tough, J. B. and Baguley, P. C. : CONTRAM- A traffic assignment model for predicting flows and queues during peak periods, TRRL Report LR841, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, 1978.
- 2) Charlesworth, J. A. : A control and routing in a road network, Traffic Engineering & Control, Vol. 20, No. 10, pp. 460~466, October, 1979.
- 3) Hall, M. D., Vliet D. Van. and Willumsen, L. G. : SATURN-A simulation-assignment model for the evaluation of traffic management schemes, Traffic Engineering & Control, Vol. 21, No. 4, pp. 168~176, April, 1980.
- 4) Vliet, D. Van : SATURN-A modern assignment model, Traffic Engineering & Control, Vol. 23, No. 12, pp. 578 ~581, December, 1982.
- 5) Wardrop, J. G. : Some theoretical aspects of road traffic research, Proceedings, Institute of Civil Engineers, Part2, 1952.
- 6) Webster, F. V. : Traffic signal settings, Road Res. Tech. Paper 39, Road Research Laboratory, London, 1958.
- 7) 井上博司: 混雑した道路網における交通均衡およびその数値解法: 土木学会論文集、第365号 / IV-4、pp. 125~133、1986年1月。
- 8) 井上博司: 渋滞した流れを有する道路網における均衡交通配分法: 土木計画学研究・論文集、No. 3、pp. 177~184、1986年1月。