

1. はじめに

道路のある区間の交通混雑緩和をゆらって、渋滞状況に関連する交通情報とその区間上流で運転者に提供し、別の経路への転換を促進する、という交通制御方式がある。経路推奨とも呼称され、わが国においても、簡単なタイプのものが既に実際に導入されている。しかしながら、代替経路の状況も考慮した情報提供に至っていない点、また現時刻の状況に関する情報提供に留まっている点に課題があり、今後の改良発展の余地が考えられる。

本研究では次のような経路推奨方式を考察する。始終端交差点と共有する2本の並行する経路相互間の、旅行時間予測に基づく情報提供による、経路推奨の方式を考察する。新設バイパスと旧国道とか高速道路と幹線道路のように対もなす経路が対象経路である。また、大阪府下の道路を対象にケーススタディを行い、旅行時間予測精度を検証、推奨の挙動と吟味、制御効果と推定する。

2. 経路推奨の方法

2.1 提供情報

推奨に従うか否かは運転者の選択にまかされるので、経路変更の利益が明確に判断できない情報では推奨に従う車両数の増加は見込めず、推奨の効果は期待できない。対象経路起終点間の旅行時間を予測し、最短経路の方を明示するとか、さらに進んで両経路の予測旅行時間そのものを提供すれば、この判断が容易になろう。前者を「最短時間経路表示法」、後者を「旅行時間表示法」と呼称している。

2.2 制御基準

(1) 最短時間経路表示法の推奨開始・解除基準

推奨開始基準は

- 1) 開始しない場合の両経路の予測旅行時間 T_A, T_B の差が DT_1 以上になること、
- 2) かつ、開始する場合の両経路の予測旅行時間 T'_A, T'_B の大小関係が T_A, T_B のそれと逆転せず、その差がなお DT_2 以上あること、

とする。基準値 DT_1 は交通需要の短時間変動に制御を敏感に反応させないため、 DT_2 は旅行時間の予測誤差を考慮するパラメータである。推奨方向を頻繁に切り替えることと避けるとともに、旅行時間の短い経路から長い経路へ推奨するという誤りを防止することにより、運転者の信頼を獲得することが、方式実装に何よりも重要と考えるからである。

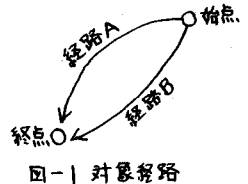
推奨解除基準は

- 1) 継続する場合の1時点先の制御更新時刻の流入車の予測旅行時間 T'_A, T'_B の大小関係が現時刻の流入車の予測旅行時間 T'_A, T'_B のそれと逆転する場合、
- 2) または、継続する場合の現時刻の流入車の予測旅行時間 T'_A, T'_B の差が DT_2 未満になり、かつ解除するとした場合の現時刻の流入車の予測旅行時間 T_A, T_B の差が DT_1 未満の場合

とする。1), 2) 以外の場合は推奨を継続する。

(2) 旅行時間表示法の表示基準

両経路の旅行時間 T_A, T_B を予測し、その表示を考える。ところが、 T_A, T_B を表示すれば経路変更車が出現し、旅行時間が変化する。表示時間と実際の時間の差が大きければ運転者の信用を失うし、表示と実際の大小関係が逆転する場合は表示すべきでない。そこで T_A, T_B を表示した場合の経路変更車を考慮した旅行時間 T'_A, T'_B も予測する。その差 $|T_A - T'_A|, |T_B - T'_B|$ は推奨に従う車両数が皆無であればゼロで多い程大きくなるという推奨の



効果に起因する誤差であるので、システム誤差と称している。まず次の判定を行う。

- 1) T_A', T_B' の大小関係が T_A, T_B のそれと逆転せず、かつシステム誤差 $|T_A - T_A'|, |T_B - T_B'|$ がともに小さく許容限界値 T_G 以下の場合、 T_A, T_B を表示する。

そうでない場合、 T_A, T_B の表示では変更量が多く誤差を大きくしているから、次の表示時間の修正を考える。

- 2) T_A, T_B と T_A', T_B' の平均 $T_A^{(1)}, T_B^{(1)}$ と考える。 $T_A^{(1)}, T_B^{(1)}$ を表示した場合の変更量を考慮した旅行時間 $T_A^{(1)'}, T_B^{(1)'}$ を予測する。 $T_A^{(1)'}, T_B^{(1)'}$ の大小関係が $T_A^{(1)}, T_B^{(1)}$ のそれと逆転せず、かつシステム誤差 $|T_A^{(1)} - T_A^{(1)'}|, |T_B^{(1)} - T_B^{(1)'}|$ がともに小さく T_G 以下の場合、 $T_A^{(1)}, T_B^{(1)}$ を表示する。

- 3) 以下同様の手順で、 $T_A^{(2)}, T_B^{(2)}$ の表示を判定する。

2.3 旅行時間予測法

旅行時間には経路途中の交通状態とくに渋滞状況が大きい影響を与えるので、旅行時間を予測するためには経路上の交通状態を予測しなければならない。街路の場合経路途中にいくつかの交差点が存在し、また思わぬ事故の発生・集中もあることから、交通状態の変化が複雑である。したがって理論的方法は適用しにくく、交通状態予測はシミュレーションによらざるを得ない。シミュレーションの方法もいろいろある。例えば追越し禁止規制の事故防止効果の評価が目的であれば、追従・追越現象のシミュレートが必要で、車1台ごとに区別のつくシミュレーションを行わなければならないだろう。また信号制御の評価が目的であれば、周期・現示・オフセットと政策変数としてモデルに組み込まなければならない。このように目的に応じてシミュレーションのモデルの構造を考えなければならない。本研究では2地点間の旅行時間が予測出来ればよいから、交通状態の変化がマクロに予測できれば十分で、車1台1台を区別する必要はなく、信号制御の条件は交差点の交通容量およびその付近での流路の特性の変化という指標で取り入れればよい。しかし旅行時間に大きい影響を与える渋滞の発生・拡大・激減・解消を表現しうるモデルでなければならない。この目的にかなうモデルとして、車の流れを流体として扱うシミュレーションモデルを検討することにした。

対象経路への流入出交通量の無視できない主要交差点により経路を「区間」に分割する。区間をさらに原則として200mの長さの「単位区間」に分割する。全ての単位区間で5分ごとに現在の交通密度が把握もしくは推定できるものとする。連続式と平均流速式（交通密度～平均流速関係式）を使用し、単位区間から単位区間への車の移動量・単位区間交通状態の推移を、現在時刻（初期状態）より始めて必要時刻までシミュレートする。必要時刻とは現在時刻に経路起点に進入した車が終点に到着する時刻のことで、シミュレーションにより内容的に定まる。このシミュレーションの結果得られる区間の流入、流出交通量を使用して旅行時間を推定する。すなわち、第1区間流入時刻 t_0 における初期存在台数に等しい台数が第1区間より流出する時刻 t_1 を求めれば、第1区間の旅行時間は $t_1 - t_0$ により与えられる。次に第2区間流入時刻 t_1 における第2区間の存在台数 n_1 と、 t_0 における初期存在台数に $t_1 - t_0$ 間の流入量、流出量を加減して求め、この存在台数 n_1 が第2区間より流出し終る時刻 t_2 を求めれば第2区間の旅行時間は $t_2 - t_1$ により与えられる。同様の計算を下流区間に向って順次継続すれば、最終区間流出時刻 t_n を推定できる。経路全体の旅行時間は $t_n - t_0$ により求めることができる。

3. 対象経路の選定方法

起終点を共有し並行して位置するというネットワークの条件の他に、次の交通条件を考慮して対象経路を選定すれば、上述の経路推奨方式のよりよい効果を期待できよう。

- 1) 対象経路の起点から終点まで完走する台数が多ければ、推奨により経路変更する台数も数多く見込まれ、大きい効果を期待できよう。経路調査とか交差点の右左折直進率調査等のデータを使用して、経路完走台数を把握する。
- 2) 両経路の旅行時間がアンバランスであればある程、推奨に従う経路変更台数も多く見込め、効果を期待できよう。旅行時間調査により把握する。

4. ケーススタディ

4.1 一般道路網の経路推奨

(1) 対象経路

大阪府下の旧国道（経路A）とそのバイパス道路（経路B）を対象に推奨の効果を検討する。延長はそれぞれ7.4, 8.0 kmである。朝のラッシュ時にAの渋滞が激しく、約10分時間が多くかかるので、午前7:30～10:00を対象時間に取り上げ、推奨によるAの渋滞緩和を図る。

(2) 旅行時間の予測精度

表-1に予測値と実測値の比較を示す。13例中11例が誤差5分以下であり、非常に良好な結果が得られた。ただしこのケースでは、実際には必要な経路外よりの流入需要量の予測を行わずに実績量を使用したため、若干割引いて評価しなければならない。

(3) 推奨のシミュレーション

今回に関する交通実態調査^{*}、アンケート調査^{*}の結果から、A利用率中22.2%, B利用率中27.4%の車が最短時間経路表示の推奨に従うとした。またアンケート調査^{*}の結果「今回による短縮時間の旅行時間に対する比」という回答の間に高い相関がみられたので、線形回帰式をあてはめ、旅行時間表示に従う車の割合とした。

図-2に旅行時間の推移を示す。旅行時間は平準化している。とくに旅行時間表示法は著しい。

(4) 推奨の効果

表-2に結果を示す。意図しているAの求能改善は著しい。反面Bの悪化も著しく、合計でみた場合渋滞・総旅行時間の減少効果はほとんどない。Bも既にAと大差のない渋滞が起っており、わずかの需要増に対して敏感に状態を悪化させてしまうからである。

しかし、もしAが人口密集地、Bが非密集地を通過しているとするれば、沿道環境の観点からこの推奨の効果はきわめて大きいといえるのではなかろうか。

表-2 推奨の効果

項目	方式	経路A	経路B	A+B
渋滞の量 (km時)	無	1.98	1.98	3.96
	I	1.78 (-9.9)	2.13 (+7.6)	3.91 (-1.2)
	II	1.57 (-20.9)	2.37 (+19.8)	3.94 (-0.5)
総旅行時間 (台時)	無	335.0	366.9	701.9
	I	233.7 (-30.3)	435.8 (+14.2)	689.5 (-1.8)
	II	234.7 (-24.0)	425.5 (+16.0)	680.1 (-3.1)

(注1) 方式: 「無」は制作者を導入しない場合、「I」は最短時間経路表示法、「II」は旅行時間表示法

(注2) 渋滞の量: 時間-距離図上の渋滞部分の面積、集計時間は8:00～8:30

(注3) 総旅行時間: 時間-距離図上で方式Iの開始時刻(7:53)の流入車の導入と解除時刻(8:20)の流入車の軌跡で囲まれる領域を走行する全の車についての集計

(注4) ()内は「無」の場合と比べた増加・減少率(%)

表-1 旅行時間の予測値と実績値の比較

経路A (旧国道)			経路B (バイパス道路)		
流入時刻	予測値	実測値	流入時刻	予測値	実測値
7:35	42.25 [*]	58分	7:30	36.00 [*]	41 [*]
7:45	42.25	44	7:45	34.50	37
8:05	40.75	47	8:10	27.00	29
8:20	35.25	40			
8:35	29.00	31	8:30	23.50	22
8:55	26.50	25	8:55	17.00	12
9:35	22.50	19	9:35	13.50	14

(注) 実測値は建設省大阪国道工事管理所の調査、1978年11月

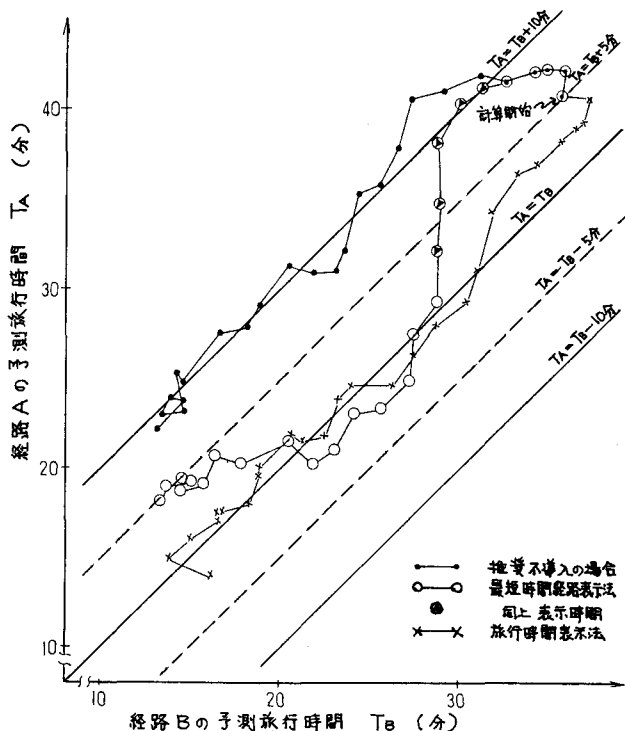


図-2 5分間ごとの予測旅行時間の推移

4. 2 一般道路と高速道路間の経路推奨

(1) 対象経路

都市高速道路の放射線を含む経路(経路C)とそれに競合する一般道路(経路D)を取り上げる。延長はそれぞれ12.5(内高速部9.6)、10.6 kmである。

旅行時間調査*によれば両経路は既に等時間近くになっているのであるが、このケースは一方の経路が有料道路であるので、料金負担を考えるとバランスしているとは言えず、推奨の効果も否定できない。

(2) 旅行時間の予測精度

表-3に予測値と実測値の比較を示す。10例中5例が誤差5分以下である。本ケースは経路外よりの流入需要量を指数平滑法により予測して与えたので、前ケースに比べ少し精度の低下がみられた。(ちなみにこれを前ケースと同一条件にすれば、10例中8例が誤差5分未満となる)もう少し改良を考えていきたい。

(3) 推奨のシミュレーション

高速道路が対象となる場合最短時間表示法は無意味である。“Cの方が早く終点到達できる”という情報は、高速道路の方が早くて当然であるから、価値をもたない。運転者は各人の時間価値観に従って節約時間と料金の総合判断を行い、経路を選択するだろう。したがって、“Cの方が何分早く到達できるか”が意味のある情報であり、推奨の方式は旅行時間表示法に限られる。

旅行時間表示によりCからDへ、および逆にDからCへの経路変更が同時に起りうる。この変化する交通量は、交通ルート選択調査*による経路変更率を使用して推定する。

図-3に両経路の旅行時間の推移を示す。非導入時には高速道路の方が多くの時間がかかるのに料金を払って高速道路を利用するという現象がみられるが、旅行時間を表示すれば高速利用を取り止める車両が出てきて、高速経由の方が早く終点到達できるようになる。この節約時間が料金負担に対する見返りであり、推奨導入により料金負担と矛盾のない正の節約時間が実現することになる。つまり、料金負担の考慮された両経路のバランス化に寄与しており、本推奨が利用のめく方のアンバランスを正に有効に機能するといえよう。

表-3 旅行時間の予測値と実測値の比較

経路C(含高速道路)			経路D(一般道路)		
流入時刻	予測値	実測値	流入時刻	予測値	実測値
7:50	36.25 ^分	37.00 ^分	7:40	28.50 ^分	37.00 ^分
			8:00	29.00	35.50
			8:25	29.75	31.75
8:35	33.75	31.25	8:40	29.00	30.00
			8:55	33.25	25.50
9:10	25.25	29.50	9:20	27.00	28.75
			9:40	23.25	25.75

(注)実測値は建設省大阪国道工事事務所の調査
1980年10月

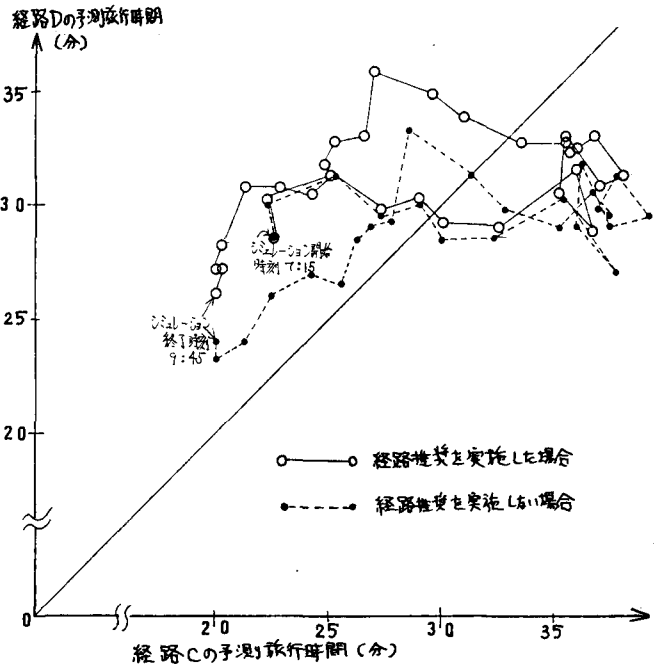


図-3 5分間ごとの予測旅行時間の推移

表-4 推奨の効果

項目	方式	経路C	経路D	C+D
渋滞の量 (km時)	無	5.90	1.81	7.71
	Ⅱ	5.01 (-15.0)	2.82 (+55.9)	7.84 (+1.7)
総旅行時間 (台時)	無	3412	1722	5134
	Ⅱ	3102 (-1.9)	1903 (+10.5)	5005 (-2.5)
料金の総額 (台時)	Ⅱ	+4	-99	-94
合計時間 (台時)	Ⅱ	3106 (-9.0)	1805 (+4.8)	4911 (-4.3)

(注1)方式:「無」は制序を導入しない場合、「Ⅱ」は旅行時間表示法

(注2)7:15および9:40の流入車の車隊で囲まれた領域内で走行する車に付いた算計

(注3)()内の「無」の場合と比べての増加減少率

(4) 推奨の効果

渋滞の量の他に、高速道路料金を等価な旅行時間に換算して考慮に入れた総旅行時間比効果を評価する。阪神高速道路公団によれば、昭和55年の時間評価値は1台1分当り40.1円と算定されている。当時の料金は350円であるから、料金の等価時間は8.73分となる。つまり、350円の料金負担と8.73分の時間節約が等価値をもって11と表えるのである。

さて、表-4に結果を示す。全体としてみた場合、総旅行時間ではほとんど効果があが、料金を考慮に入ればかなりの効果で期待できる。

4.3 緊急時における本方式の挙動

本推奨方式は平常時の自然渋滞を主対象として考案したものであるが、事故発生等の緊急時にもどのように作動するかを吟味しておく必要がある。そこで、比較的容量に余裕のある一般道路(程路E, 延長9.7km)と、渋滞の激しい一般道路(程路F, 延長9.8km)を対象に、事故渋滞に対して最捷時間経路表示法がどのように効果するのかを検討してみた。

いくつかの事故条件(発生地点、内塞度、内塞時間)を設定して推奨のシミュレーションを行った結果、次のような性質がみられた。

- 1) 事故が内塞側の程路(E)で起り、う回程路(F)側に余裕のない場合は、推奨は開始されることが多く(最捷経路が迂回する)、開始されても全体としてはむしろ渋滞の量は悪化の傾向にある。ただし、渋滞の均質化には役立っている。
- 2) 逆に事故が混雑側(F)で起り、う回程路(E)に余裕のある場合は、推奨は開始されることが多く、また渋滞の量、平均速度はいくらか改善される。
- 3) 程路の下流で起るほど、推奨による改善効果は大きい。

5. おおむね

一般道路間では、すでに等時間に近い状況になっており、本方式のような推奨はあまり有効とはいえない。一般道路と高速道路間では、旅行時間が料金と時間の総合判断の有力な情報となると、推奨の効果も期待でき、導入の可能性がある。渋滞の量と総旅行時間で見ると、一方の程路は大きく改善されるが、他方の程路は逆に大きく悪化して、全体としてはあまり変わらないことがある。旅行時間予測についてはかなり良好な精度が得られると思う。

今後の課題としては次のような事項がある。システムが効果を上げれば両程路はバランスしていか、運転者に学習効果が現われ、システムが不要になるのではないかと。この点の見通し。長期固定式のハード導入とにより、事故が容易にシステムという観点からの検討もいるのではないかと。推奨の目的と運転者便益の向上という側面からのみでは、程路沿道の環境という観点からみてもよいこと。両程路の沿道と地利用が極端に相違する場合、また、推奨の評価がなされるのではないかと。

なお、ケーススタディで利用したデータ(本文中右肩太字印で表示)は建設省大阪国道工事と協同で調査されたものを利用させていた。また本文は最近2-3年間に、土木学会年次学術講演会で発表した内容を中心にまとめたものである。以下に発表経緯を挙げておく。

- 1) 井上・坂東・今井：渋滞シミュレーションによる街路の旅行時間予測、昭和55年度土木学会関西支部年次学術講演会報告書
- 2) 加藤・井上・坂東：並行する2街路間のう回推奨による渋滞の緩和、" 年次学術講演会報告書
- 3) 井上・決田・内藤：旅行時間予測に基づく並行する街路、高速道路2程路間の経路推奨、昭和56年度土木学会関西支部年次学術講演会報告書
- 4) 決田・井上・中島：経路推奨のためのシミュレーション、" 年次学術講演会報告書
- 5) 井上・決田・戸澤：旅行時間予測に基づく経路推奨に関するシミュレーション、昭和57年度土木学会関西支部年次学術講演会報告書