

車両検知器による所要時間傾向表示に関する一考察*

A study on estimation of increment and decrement tendency of travel-time using vehicle detector data *

萩原武司**・吉村敏志**・北澤俊彦***・杉野勝敏****

By Takeshi HAGIHARA**・Satoshi YOSHIMURA**・Toshihiko KITAZAWA***・Katsutoshi SUGINO****

1. はじめに

現在、阪神高速道路では、道路情報板やインターネットなど様々な媒体を通じて、所要時間情報や渋滞情報などの交通情報を道路利用者に提供している。しかしながら、所要時間情報については、特に事故渋滞等の突発的な交通状況の追従が難しいことから、実際にかかりうる所要時間との情報のズレが発生している。この問題は長年に渡って研究や検討がされてきたが具体的な解決策が無いまま、現在でも情報の精度が担保されていない所要時間が提供されている状況にある。その一方で、昨年に実施したアンケート調査からは、阪神高速道路における情報板の利用状況は依然として高く、より質の高いサービスが求められていた。

そこで本研究では、新たなインフラ整備を行うことなく既存の設備を有効活用するという条件の下で、道路利用者に新しい交通サービスを提供するという視点から、所要時間の増減傾向を表示する手法を提案する。なお、所要時間の増減傾向表示に関しては、既に首都高速道路では、割田ら¹⁾により提案された手法を元に実際に情報提供されている。しかし、阪神高速道路では、車両検知器の設置間隔や情報の更新周期などの条件が首都高速道路とは異なっており、同様の手法を取ることが出来なかった。そこで、下記に示す増減傾向算出アルゴリズムを構築し、その情報の精度を検証した。

2. 所要時間傾向算出アルゴリズムの検討

所要時間の増減傾向の把握には、実際の情報提供に合わせて「同時刻和による所要時間」を元に増減判定を行うこととした。その際、渋滞の立ち上がりや解消を出来るだけ早く把握するために、情報板に表示されている補正された所要時間（5分単位に切り上げられた数値）

*キーワード：阪神高速道路、所要時間、傾向表示

**正員、阪神高速道路株式会社 情報システム部

(大阪府大阪市中央区久太郎町4-1-3、

TEL06-6252-8121、FAX06-6252-8433)

***正員、阪神高速技研株式会社

****正員、工博、株式会社都市交通計画研究所

ではなく、補正を行う前の所要時間（秒単位）を用いることとした。ただし、秒単位で計算を行うと、所要時間のわずかな変化に対して増減傾向が敏感に反応してしまう恐れがある。そこで、阪神高速における所要時間情報の更新周期が2.5分単位である点も考慮し、過去2~3周期分（5分前~7.5分前）との差について表-1に示すように所要時間の増減をパターン分けすることで、総合的に増減傾向の判定を行う手法とした。なお、各周期における所要時間差の増減判定は、閾値との大小関係を比較するため、増加傾向と減少傾向でそれぞれパラメータ（ α 、 β ）を設定する必要がある。その設定には、渋滞の種類や路線毎の特性を考慮した値を設定することで、より精度の高い傾向把握が可能になると考えられる。

T_i : i 周期前における同時刻和の所要時間

ΔT_i : 周期 i と周期 $i+1$ の所要時間差

1周期前（2.5分前）との所要時間差： $\Delta T_1 = T_0 - T_1$

2周期前（5分前）との所要時間差： $\Delta T_2 = T_1 - T_2$

3周期前（7.5分前）との所要時間差： $\Delta T_3 = T_2 - T_3$

α : 各周期における増加傾向判定の閾値

β : 各周期における減少傾向判定の閾値

増加 (+) : $\Delta T > \alpha$

減少 (-) : $\Delta T < \beta$

均衡 (\rightleftharpoons) : $\beta \leq \Delta T \leq \alpha$

表-1 所要時間増減の判定パターン

ΔT_1	+									
ΔT_2	+			\rightleftharpoons			-			
ΔT_3	+	\rightleftharpoons	-	+	\rightleftharpoons	-	+	\rightleftharpoons	-	
傾向判定	増	増	増	増	提供しない					

ΔT_1	\rightleftharpoons								
ΔT_2	+			\rightleftharpoons			-		
ΔT_3	+	\rightleftharpoons	-	+	\rightleftharpoons	-	+	\rightleftharpoons	-
傾向判定	増	提供しない						減	

ΔT_1	-								
ΔT_2	+			\rightleftharpoons			-		
ΔT_3	+	\rightleftharpoons	-	+	\rightleftharpoons	-	+	\rightleftharpoons	-
傾向判定	提供しない			減	減	減	減		

3. 所要時間傾向算出アルゴリズムの検証

(1) 検証に用いたデータ

阪神高速道路での実所要時間データを元にパラメータの設定などを検討し、本アルゴリズムの精度検証を行った。検証の対象とした路線と区間、及び用いた所要時間データは以下の通りである。

【路線と区間】

11号池田線上り: 加島～環状線合流部(5.5kp⇒0.0kp)
空港料金所～環状線(12.5kp⇒0.0kp)

3号神戸線上り: 尼崎料金所～環状線(8.0kp⇒0.0kp)
京橋～西宮(31.0kp⇒16.5kp)
月見山～西宮(39.6kp⇒16.5kp)

【期間】

2009年9月(1ヶ月分)

(2) パラメータの違いによる判定結果の傾向について

各周期における増加・減少傾向判定の閾値(パラメータ α , β)の違いを把握するために(α , β)=(1分, -1分)、(2分, -2分)、(3分, -3分)について検証を行った。なお、 α , β はそれぞれ独立しているため、実際には(α , β)=(3分, -1分)という組み合わせも可能である。

はじめに、パラメータの大きさの違いがもたらす判定結果の傾向を把握することとした。小規模な渋滞での判定結果を図-1に、大規模な渋滞での判定結果を図-2に示す。これらの図は、ある区間の所要時間と、その時間を元に増減判定を行った結果を重ねて表示している。また、判定結果もまとめて表示しているが、増加と減少のそれぞれを別に見る必要がある。

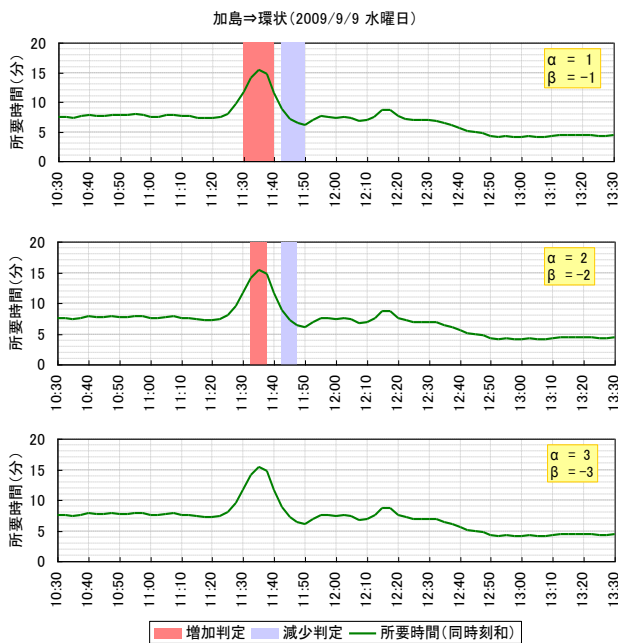


図-1 パラメータによる違い (小規模渋滞)

加島⇒環状(2009/9/15 火曜日)

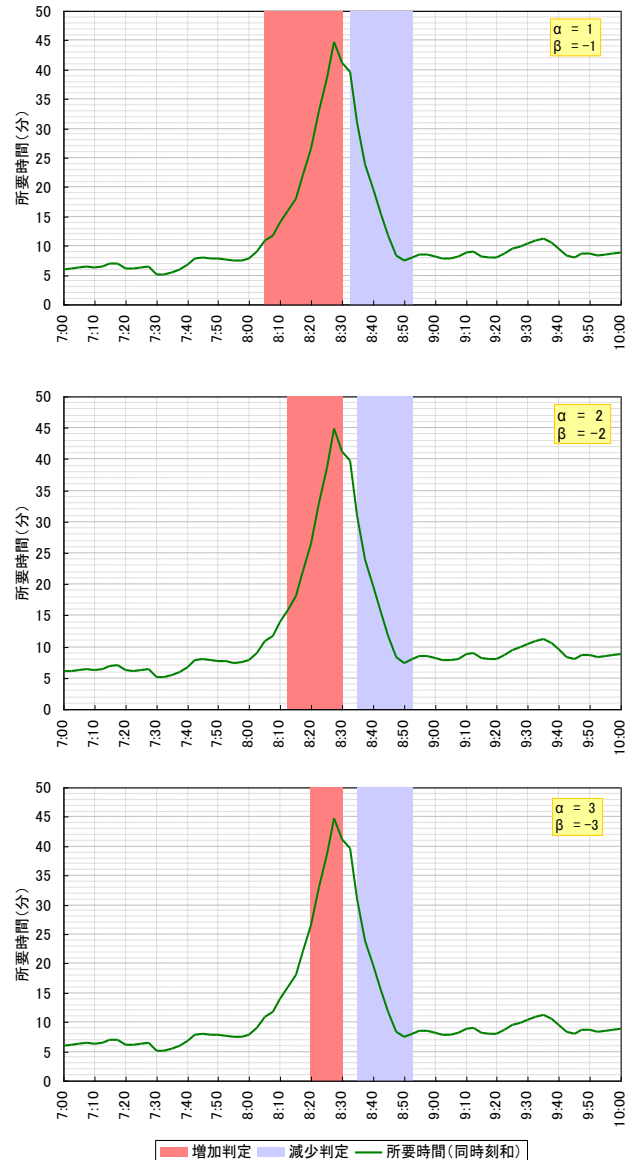


図-2 パラメータによる違い (大規模渋滞)

まず、増加判定(図中の赤の帯)について着目すると、小規模な渋滞の場合は、 $\alpha=1\sim 2$ のみ増加判定されているが、 $\alpha=3$ では増加判定されていない。また、大規模な渋滞で立ち上がり急激に伸びている場合は、どのパラメータでも増加判定されていたが、それぞれの判定開始時刻が異なり、パラメータを大きくすると判定時刻が遅くなる傾向が現れた。ただし、これは同時刻和と所要時間の傾きに依存するため、今回の例よりもさらに急激な増加の場合は、パラメータの大きさに関係なく同じ時刻で増加判定されるということも確認された。次に、減少判定(図中の水色の帯)については、小規模な渋滞では $\beta=-1\sim -2$ のみ減少判定され、 $\beta=-3$ では減少判定されていない。ただし、これも解消時の所要時間の傾きに依存するため、大規模渋滞の場合に急激に渋滞が解消するようなときはパラメータの大きさに関係な

く減少判定されている。また、減少判定に関しても、判定開始時刻が異なっていることも確認された。これらの結果から、大まかな傾向として、 $\alpha=1$, $\beta=-1$ では所要時間の変動に敏感に反応するが、 $\alpha=3$, $\beta=-3$ とすると反応がかなり鈍くなる（判定されない or 判定が遅い）ことが分かった。

さらに、本稿で掲載している区間以外についても調べたところ、提供対象となる区間長、つまり表示する元々の所要時間の大きさが異なっても、同じパラメータを用いて同様の結果になることが分かった。これは本アルゴリズムが周期毎の所要時間差を元に増減判定を行っているためであり、ベースとなる区間長や所要時間に関係なく同じパラメータを一律使用することが出来るという長所と言える。

(3) タイムスライス所要時間との関係

現在提供している所要時間は、その周期（2.5分単位）の区間所要時間を足し合わせて算出（同時刻和）しているため、特に事故などの突発的な事象において、ドライバーの実際の所要時間と大きく異なることが分かっている。そのような状況の下で所要時間情報と併せて増加・減少傾向を表示した場合、情報を受け取るドライバーの視点から正確な増減結果が表示されているかどうかという評価が必要となる。

具体的には、図-3に示すように、タイムスライス所要時間（≒ドライバーが実際に経験する所要時間）と同時刻和所要時間（≒情報板の表示時間）の違いに対して増減判定の組み合わせがある。その組み合わせに対するドライバー視点からの評価は表-2の様にとめることができ、ドライバー自身の感覚と比較した場合に情報の矛盾（A, C, D）が発生する。この“増減表示内容と実際とのズレ”問題は、増減判定を同時刻和で行う現在のアルゴリズムの限界であり、実際の渋滞状況で増減判定を行った場合に、どの程度発生するのかも併せて検証することとした。

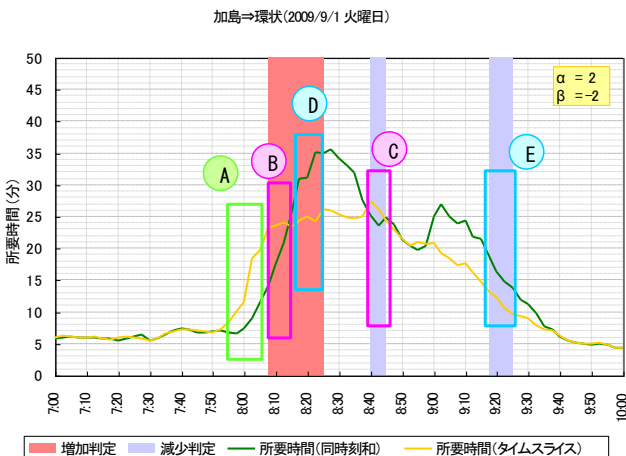


図-3 タイムスライス所要時間との関係

表-2 増減判定とドライバーの感覚との関係

記号	所要時間の関係	判定結果	ドライバーからの視点
A	タイムスライス > 同時刻和 (実際) (表示)	なし	× 増加表示がないのに増加している
B		増加	○ 判定結果と感覚は一致する
C		減少	× 判定結果と感覚は一致しない
D	タイムスライス < 同時刻和	増加	× 判定結果と感覚は一致しない
E		減少	○ 判定結果と感覚は一致する

(4) 渋滞の種類別による判定結果

阪神高速道路で発生したいくつかの渋滞を対象として、渋滞の種類やその程度により増減判定の結果がどの程度変化するかを整理した。以下に、大規模な事故渋滞と大規模な交通集中渋滞における判定結果を示す。

【ケース①】 事故渋滞時（大規模）

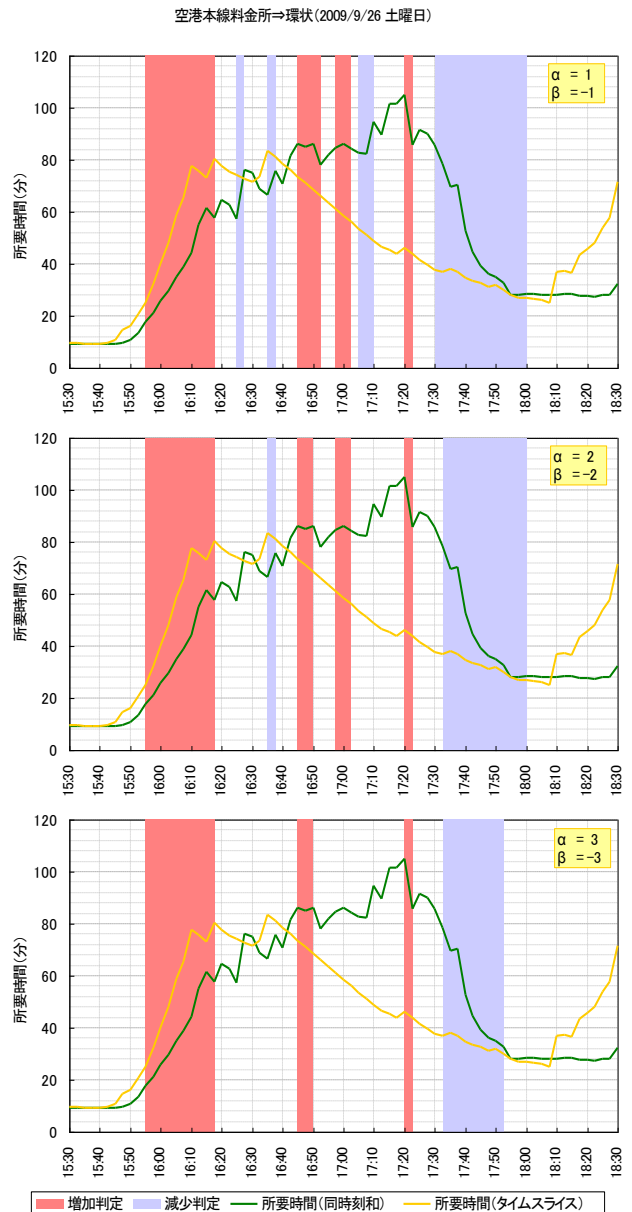


図-4 【ケース①】 大規模な事故渋滞

大規模な事故渋滞における増加判定については、事故渋滞の立ち上がりはどのパラメータでも判定できてお

り、判定の開始時刻も同時刻だった。減少判定については、事故渋滞の解消が急激に起きるため、どのパラメータでも同じ様な判定結果となっていたが、判定の開始時間が異なっていた。また、立ち上がりと解消の途中段階では、パラメータを小さくするとちょっとした増加や減少に反応してしまい、判定結果が頻繁に入れ替わるという問題が確認された。

さらに、同時刻和とタイムスライスによる所要時間に着目すると、渋滞が解消し始める時刻が大きく異なり、同時刻和では17:20頃から解消しているが、タイムスライスではその40分前の16:40頃から減少し始めており、“増減表示内容と実際とのズレ”の問題が確認された。

【ケース②】交通集中渋滞時（大規模）

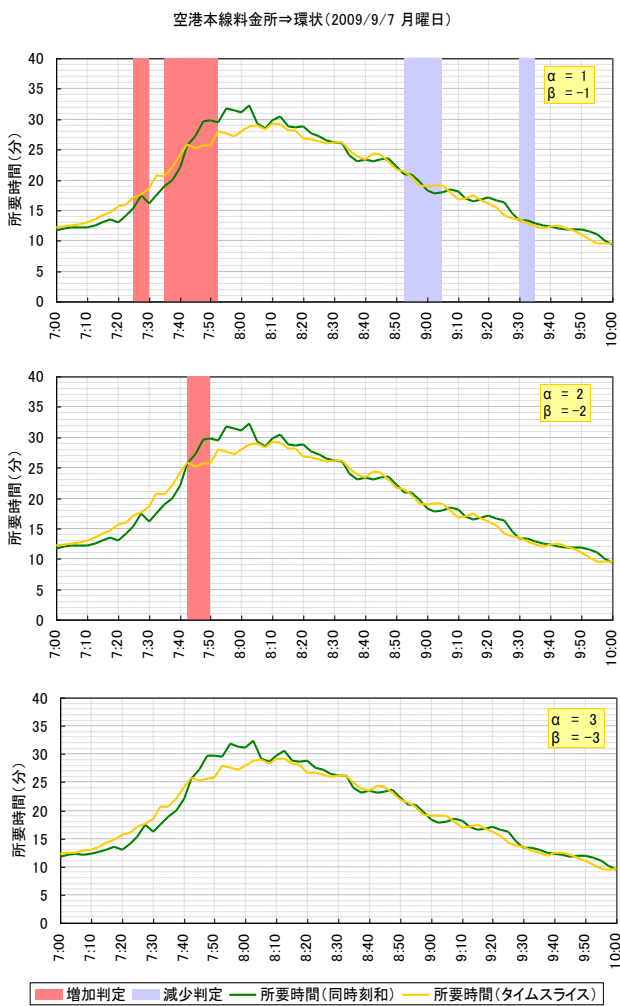


図-5 【ケース②】大規模な交通集中渋滞

大規模な交通集中渋滞における増加判定については、事故渋滞に比べて渋滞の立ち上がりが緩やかであるため、パラメータにより判定が大きく異なり、 $\alpha=3$ にすると判定されなかった。しかも、 $\alpha=1$ では、途中で増加判定が途切れるという問題が判明した。一方、減少判定については増加の時よりもさらに解消が緩やかであるため、

$\beta=-1$ の一部の時間帯のみ減少判定されている。

また、今回の交通集中について、同時刻和とタイムスライスによる所要時間に着目すると、どちらもほぼ同じ所要時間を示していることが分かった。この状況について、他の交通集中について確認したところ、渋滞が緩やかに発生・解消する場合は、このケースと同様の結果となり、実際と表示の所要時間そのもののズレがほとんど見られないため、増加・減少を表示した場合でも情報の矛盾はないと考えられる。

(5) タイムスライス所要時間との比較分析

前述した“増減表示内容と実際とのズレ”の発生状況を調べるために、渋滞の種類に関係なく2009年9月全体を通して、パラメータの違いがどのような傾向となるのかを整理することとした。ただし、情報の矛盾Aについては、実際に増加傾向を表示する必要がないケースもあり、それを区別して検証できないため、矛盾CとDの発生頻度について調べることにした。なお、表示される所要時間情報は5分単位に丸められた数値であるため、タイムスライスと同時刻和の差が±5分以内については検証から除外することとした。タイムスライスと同時刻和の分布に対する増減判定結果の一例を図-6に示し、この結果について全区間の結果をまとめたものを表-3に示す。

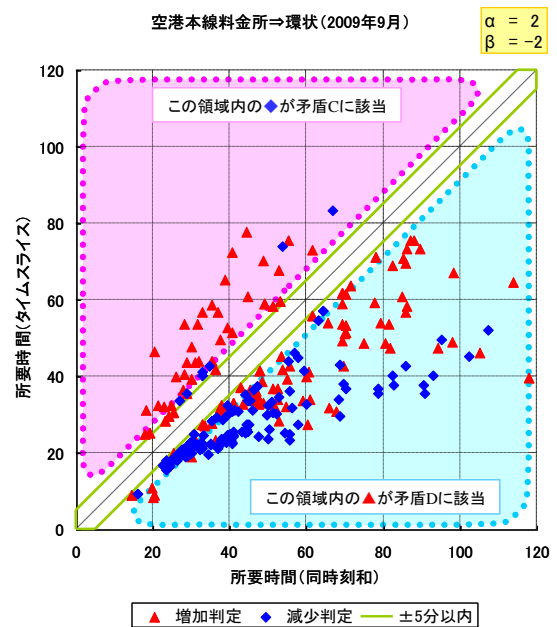


図-6 二種類の所要時間と増減判定の関係（一例）

表-3 ドライバーの感覚と一致しない判定数

		矛盾C			矛盾D		
		$\beta=-1$	$\beta=-2$	$\beta=-3$	$\alpha=1$	$\alpha=2$	$\alpha=3$
池田線	空港料金所→環状線	7	7	3	104	82	56
	加島→環状線	6	6	4	46	48	43
神戸線	月見山→西宮	17	7	3	180	112	61
	京橋→西宮	2	1	1	38	30	19
	尼崎料金所→環状線	4	4	2	53	40	27

表-3から、ドライバーの感覚と一致しない判定は、矛盾Cよりも矛盾Dの方が圧倒的に多いことが分かった。さらに、パラメータ α の影響も大きく、 $\alpha=1$ と3で3倍程度の違いが見られる区間も存在した。

これについては、現在の所要時間提供が同時刻和で算出される限り、実際の所要時間とのズレが発生してしまうが、そのズレが発生している状況でさらに増減傾向を提供するとドライバーが余計に混乱することが予想される。ドライバーの心理面から考えると、 ± 5 分以内（傾き 45 度）の周辺に分布しているものは、まだ許容範囲と見なせるかもしれないが、それ以外の分布で、特に「矛盾 D」を減らすことが重要であると言える。これについては、図-6の分布を見ると、特に同時刻和が大きい領域でばらつく傾向にあることから、例えば、運用時に一定の所要時間以上では増加傾向を表示しないという対策を講じることで情報の矛盾を減らすことは可能であると思われる。

4. アルゴリズムの課題整理と改良案の検討

実際に所要時間増減傾向の情報提供を行うにあたって、これまでの課題を整理すると、

- ① 特に事故渋滞の立ち上がり時に、タイムスライス所要時間の増加より数周期遅れてから増加傾向が表示される”増減表示内容と実際とのズレの問題”
 - ② 増加途中で判定が途切れる”判定の安定性の問題”
- この2点が特に重要であると考えられる。そこで、これらの問題を解決するためにアルゴリズムの改良を行った。まず、課題①については、出来るだけ早い段階で増加傾向を検出するために、表-4に示す判定パターンの改良を行った。その結果、図-7に示す様に、ほぼ全てのケースにおいて増加判定が早くなることが確認できた。

表-4 増減パターン分けの改良案①

ΔT_1	+								
ΔT_2	+		≡		-				
ΔT_3	+	≡	-	+	≡	-	+	≡	-
傾向判定	増	増	増	増	増	提供しない			

ΔT_1	≡								
ΔT_2	+		≡		-				
ΔT_3	+	≡	-	+	≡	-	+	≡	-
傾向判定	増	増	提供しない						減

ΔT_1	-								
ΔT_2	+		≡		-				
ΔT_3	+	≡	-	+	≡	-	+	≡	-
傾向判定	提供しない			減	減	減	減	減	減

○ : 増判定への変更パターン

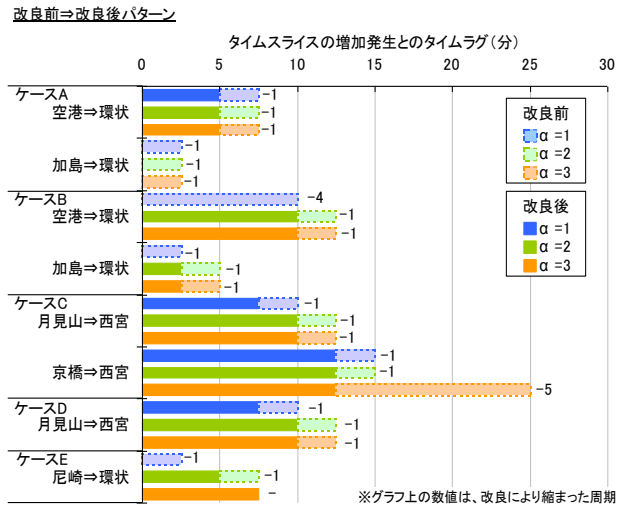


図-7 タイムスライスとのタイムラグ (改良案①)

しかし、改良案①では、図-8に示すように逆に所要時間のわずかな増加に敏感に反応してしまい、改良前（図-4）と比較して、短い増加判定が繰り返されるというデメリットが発生した。

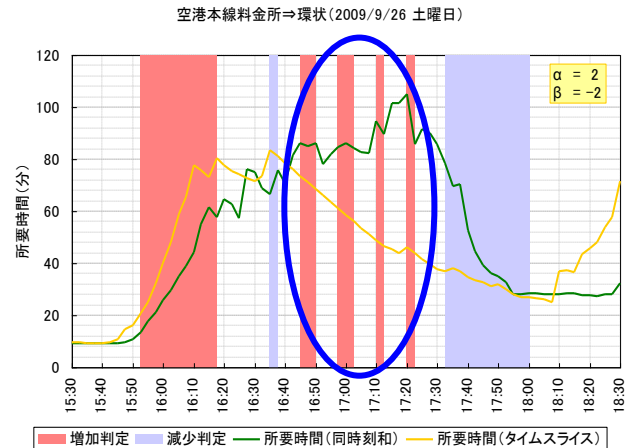


図-8 事故渋滞時の判定結果 (改良案①)

一方、課題②については、増減判定を行う所要時間を、同時刻和所要時間から下記の移動平均所要時間に置き換えるという改良案②を施すこととした。これにより、期待通り増加や減少が頻繁に入れ替わる箇所や途切れる箇所は減少することが確認できたが、図-9に示すように増加判定が遅くなってしまいうデメリットが発生した。

\bar{T}_i : i 周期前における同時刻和の所要時間の移動平均

$$\bar{T}_i = (T_i + T_{i+1} + T_{i+2}) / 3 \quad (\text{ex. 3 周期})$$

ΔT_i : 周期 i と周期 i+1 の所要時間差

1 周期前 (2.5 分前) : $\Delta T_1 = \bar{T}_0 - \bar{T}_1 = (T_0 - T_3) / 3$

2 周期前 (5 分前) : $\Delta T_2 = \bar{T}_1 - \bar{T}_2 = (T_1 - T_4) / 3$

3 周期前 (7.5 分前) : $\Delta T_3 = \bar{T}_2 - \bar{T}_3 = (T_2 - T_5) / 3$

通常所要時間⇒移動平均所要時間

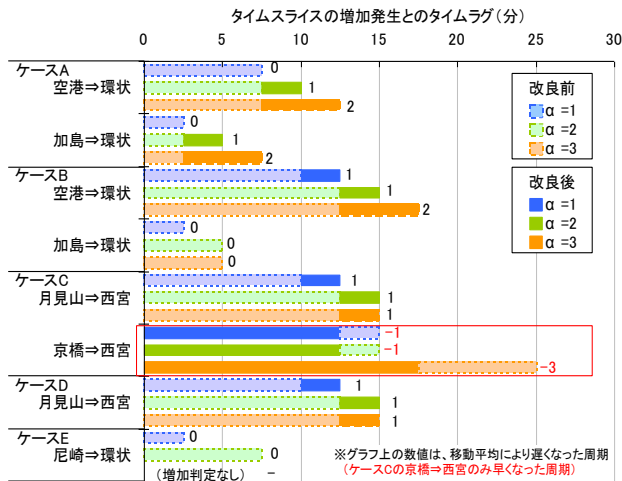


図-9 タイムスライスとのタイムラグ (改良案②)

これらの結果から改良案①および②のメリット・デメリットを整理すると、表-5の様に相反する性質を持つ事が分かった。

表-5 改良案のメリット・デメリット

	渋滞の立ち上がり判定	所要時間の細かな変動を無視
改良案① (判定パターンを変更)	やや早い	できない
改良案② (移動平均による計算)	やや遅い	できる

これらの結果を受け、改良案双方のメリットを生かしつつ判定処理を行う手法として、図-10のように、それぞれの改良を施した増減判定を独立して行い、その結果に基づいて、どちらかが増加・減少ならその結果を採用するという融合的な手法を検討した。結果の一例を図-11に示す。

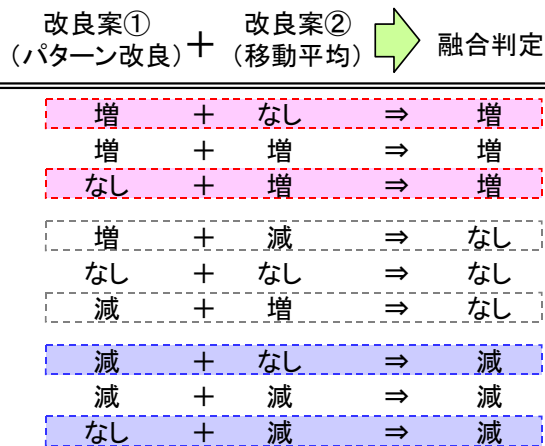


図-10 融合判定手法の考え方

空港本線料金所⇒環状 (2009/9/26 土曜日) <融合判定結果>

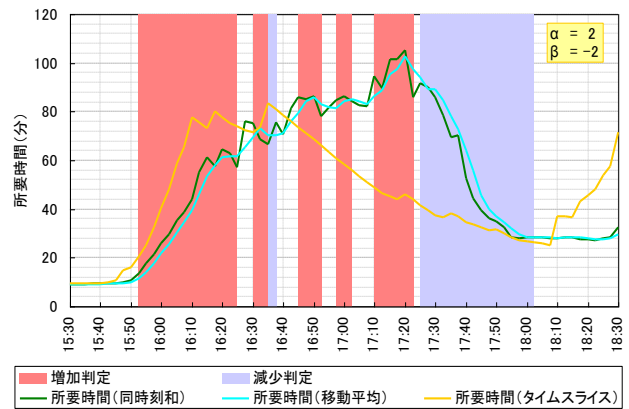


図-11 事故渋滞時の融合判定による判定結果

融合判定の結果とこれまでの判定結果 (図-4や図-8) とを比較したところ、渋滞の立ち上がり判定が早くなり、タイムスライス所要時間との増加発生時のズレが改善されていた。また、判定が1周期分 (2.5分) だけで消えるような状況がなくなり、判定の安定性が向上している箇所が見られた。図-11の結果の他にいくつかの渋滞ケースで試算したところ、同様の結果が得られ、融合型判定の有効性が確認できた。ただし、図-11の16:35頃のように、増加判定の後すぐに減少判定となる箇所がいくつか発生した。この場合、情報の切り替わる瞬間をドライバーが見ることで混乱する可能性があるが、内容の異なる傾向情報を提供する場合は1周期分の空白を設けるなどの処理で対応可能であると考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究では、既存の設備を有効活用しつつ、新しい交通サービスを提供するという視点から、所要時間の増減傾向を表示する手法を提案した。提案したアルゴリズムを検証した結果、渋滞の種類に関係なく、パラメータの調整次第で増加・減少ともに十分な判定ができていたことが確認された。ただし、渋滞途中で判定結果が頻繁に入れ替わる問題や情報の矛盾などの問題が発生したため、2種類のアルゴリズムの改良を行った。さらに、改良の結果、それぞれ相反する性質を持つことが判明したため、それらの改良を融合的に判定する手法の試算を行い、一定の有効性が確認できた。

今後は、今回検討した手法の定常的な精度を確認するとともに、更なるアルゴリズムの改良等を行い、実際の運用に向けて検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 割田ほか：「渋滞時所要時間情報における変動傾向提供理論の導入」, 第26回交通工学研究発表会論文報告集, pp.161-164, 2006.