

高速道路における渋滞検出精度の改善に関する研究

A STUDY ON IMPROVEMENT OF CONGESTION DETECTION

岩崎 征人*・越 正 毅**・大 蔵 泉***

By Masato IWASAKI, Masaki KOSHI and Izumi OKURA

1. はじめに

わが国の高速道路における交通流制御は、首都高速道路をはじめとする都市内高速道路や京葉道路などで実施されている。これら現行の交通流制御システムは、車両感知器で収集された情報から作成した状態量（交通量、速度あるいは時間オキュパンシ）によって道路上の交通状況を把握し、交通流の制御（たとえば、規制的控制や交通情報の提供など）を行っている。

しかしながら、現行の交通流制御システムにおける交通状況の把握、ことに渋滞の検出は必ずしも十分精度の高いものとはなっておらず、これが道路利用者に提供される交通情報の精度が十分高くないことの少なくとも一つの大きな理由となっている。これは、主として渋滞流において発生する粗密波現象が、渋滞の検出にとって大きな攪乱要因となっているためである。

現行の交通流制御システムにおける渋滞検出精度の改善は、先に著者らが明らかにした交通流の巨視的状态量の諸特性¹⁾のうち、渋滞流の特性に関する成果の応用対象となる。以下に述べる渋滞検出精度の改善は、渋滞流に関する成果があつて初めて可能となったものである。

2. 渋滞検出の方法と検証のための資料

(1) 渋滞検出の方法

現行の交通流制御システム（首都高速道路、京葉道路）では、道路上のある地点が渋滞状態となったか否かを、あらかじめ設定されている渋滞判定基準値と車両感知器情報から作成した密度あるいは速度と比較すること

によって判定している。同時に、交通流の偶然変動によって生ずる誤判定を小さくするために、同一地点における車線間での相互検定および着目地点をはさむ上下流地点との相互検定を行っている²⁾。

これら現行の交通流制御システムで用いられている渋滞判定基準値は、首都高速道路では“20 km/h に相当する密度”、京葉道路では“25 km/h”である³⁾。

本報文中で用いる渋滞検出の方法は、基本的には上述した現行の交通流制御システムで用いられているものと同じの論理であり、図-1 には渋滞検出の概略フローを示してある。この渋滞判定論理は、首都高速道路および京葉道路とも共通したものである。おのおのの道路の渋滞判定に用いられる渋滞判定基準値は 2 つの値があり、1 つは現行システムで設定されているものであり、他の 1 つは本報文中で新たに提案しようとする渋滞判定基準値である。新たに提案する渋滞判定基準値は、すでに著者らが明らかにした、交通流の巨視的特性から求められた自由流と渋滞流との境界速度¹⁾をよりどころにして、以下の章で詳述する方法によって見出したものである。

なお、首都高速道路の現行の渋滞判定基準値として用いられている密度は、1 ループ式、2 ループ式などのいずれの型式の車両感知器からも直接求めることはできないので、ここでは、“20 km/h に相当する密度”の代わりに“20 km/h”を用いることとする。

(2) 検証に用いた資料

渋滞検出の検証に用いた資料は、首都高速道路 1 号羽田線上り（以下首都高速道路と呼称）および京葉道路上り（以下京葉道路と呼称）の車両感知器から得られた情

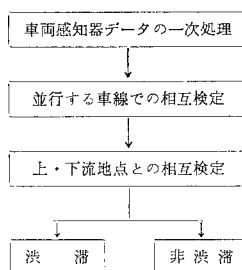


図-1 渋滞検出の概略フロー

* 正会員 工博 武蔵工業大学講師 土木工学科
** 正会員 工博 東京大学教授 生産技術研究所
*** 正会員 工博 横浜国立大学助教授 土木工学科

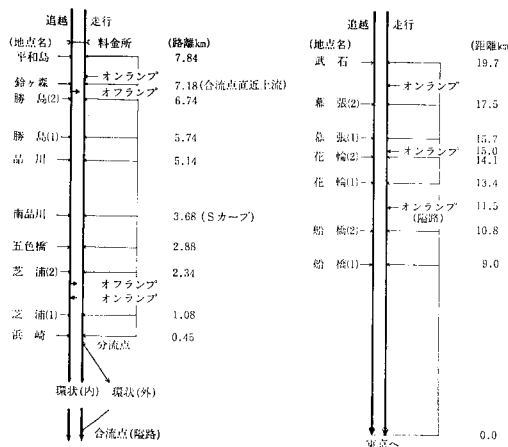
報である(表-1)。図-2には、各路線上の車両感知器配置を示してある。

これら2つの路線における交通容量上の隘路は、首都高速道路では浜崎橋合流部、京葉道路では花輪インターチェンジの合流部(図-2(b)の11.5km地点)であることが知られている。

首都高速道路の資料は、すでに公表した論文⁷⁾で用いたもののうちから表-1に示した部分を抽出したものであり、計算によって車線別の1分間交通量、速度および密度が求められている。

京葉道路の資料は、各車両感知器(すべて2ループ式=速度検出型)からの生パルスが収録された磁気テープを用いて、以下に示す処理を行って1分間交通量、速度および密度を求めた。

- 交通量(Q)：1分間ごとのパルス数を集計して求めた。
- 速度(V)：1台ごとの車両感知器上の存在時間(t_i)を用いて以下の計算によって算出した。

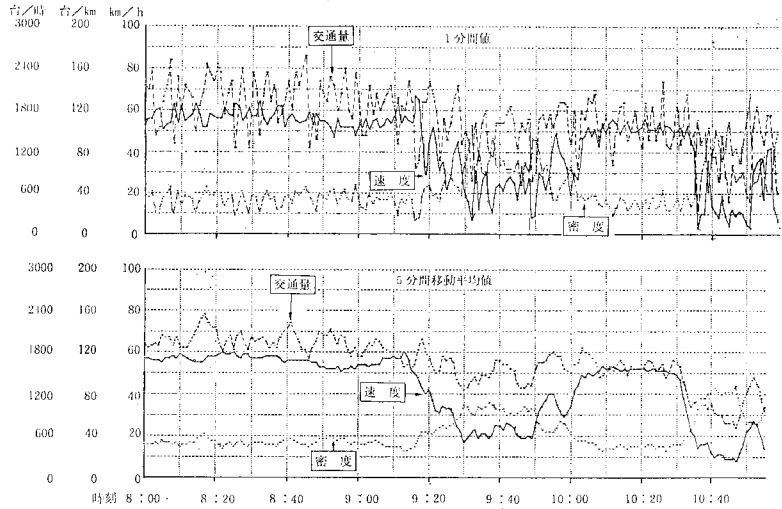


(a) 首都高速道路 (b) 京葉道路

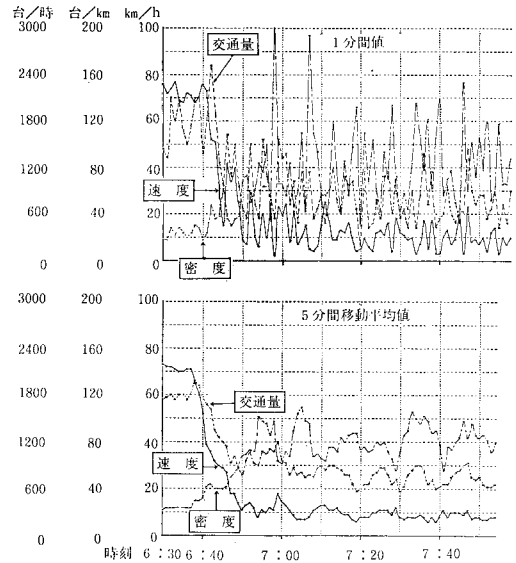
図-2 車両感知器の配置

表-1 検証に用いた資料

資料No.	路線名	対象区間	区間長(km)	車両感知器埋設地点数	データ収集時間(分)	時間長	測定年月日
I	首都高速道路1号羽田線(上り)	平和島→浜崎	7.8	10	1	3時間 8:00~11:00	'75.11.22
II	京葉道路上り	幕張→船橋	8.5	7	1	1.5時間 6:30~8:00	'79.10.24



(a) 首都高速道路, 芝浦(1) 追越車線



(b) 京葉道路, 幕張(1) 走行車線

図-3 交通流の時間変動

$$V = l \cdot Q / \sum_{i=1}^Q t_i$$

ここに、
 l ：車両感知器の感知領域(m)
 Q ：1分間交通量
 である。

密度(K)：交通量と速度から、式($K=Q/V$)によって算出した。

1分間交通量、速度および密度をもとにして、1分間値および1分ごとの2分間から5分間までの移動平均値について、地点別・車線別の時間変動図を作

成した。図-3は、首都高速道路の芝浦(1)追越車線、京葉道路の幕張(1)走行車線について、1分間値と5分間移動平均値との時間変動を示すものである。

(3) 資料収集時の渋滞の発生と解消の時刻推定

図-4は、京葉道路での車両感知器による交通流観測と同時に実施されたヘリコプタによる渋滞末尾位置の観測結果を示したものである⁹⁾。渋滞の末尾位置は、花輪インターチェンジの合流部を先頭として発生した渋滞を、ホバリング状態にあるヘリコプタに搭乗した観測者が、車両の走行状態および車頭距離の状態などを目視することで確認したものである。ここに示されているのは、20秒ごとに撮影された観測区間を50mごとの細区間に分割し、各50m区間における車両存在台数を読み取った結果である。図中、濃部は高密度状態(約80台/km/車線以上)を、淡部は低密度状態(約80台/km/車線以下)をおよび無印は撮影範囲外を意味している。各時間ごとに密度観測区間が変化しているのは、渋滞末尾を追跡する目的でヘリコプタが移動したために、撮影範囲が変化しているためである。

しかし、ヘリコプタに搭載されたカメラの視野の制約や渋滞末尾位置の伸縮する速度にヘリコプタが追従しきれなかったなどのために、必ずしもすべての撮影時間にわたって渋滞末尾を捕捉できたとはいえない。

図-4に示した観測区間内には、図-2(b)に示されている花輪(2)と幕張(1)の車両感知器が含まれている。図-4で明らかなように、撮影開始時(A.M. 6:45)には、花輪(2)地点ではすでに渋滞末尾が通過していたため渋滞末尾の到着時刻を知ることはできない。一方、幕張(1)は、走行車線ではほぼ6:46に、追越車線ではほぼ6:51に高密度状態が到着し、その後は両車線ともに渋滞状態に遷移したことが知られる。

実現象でみられるこのような交通流の状態変化は、図-3(b)に示した車両感知器情報からも読み取ることができる。図-3(b)でみられる渋滞末尾到着時での特徴は、速度や交通量の急激な低下および密度の急激な上昇である。

ここでは、このような写真観測結果と車両感知器情報との対応関係を参考にして、2つの路線上の各地点における資料収集時の渋滞の発生と解消の時刻を求めた。

表-2には、2つの路線の地点別・車線別の渋滞の発生と解消の時刻を示してある。

図-4および表-2でもわかるように、地点によっては車線別の渋滞の発生と解消の時刻が同一でないところもある。このような地点については、並行する車線の時刻を比較して、便宜上、発生時刻については2つの車線のうちどちらか早い時刻を、解消時刻についてはどちらか遅い時刻をもって、その地点の渋滞の発生と解消の時

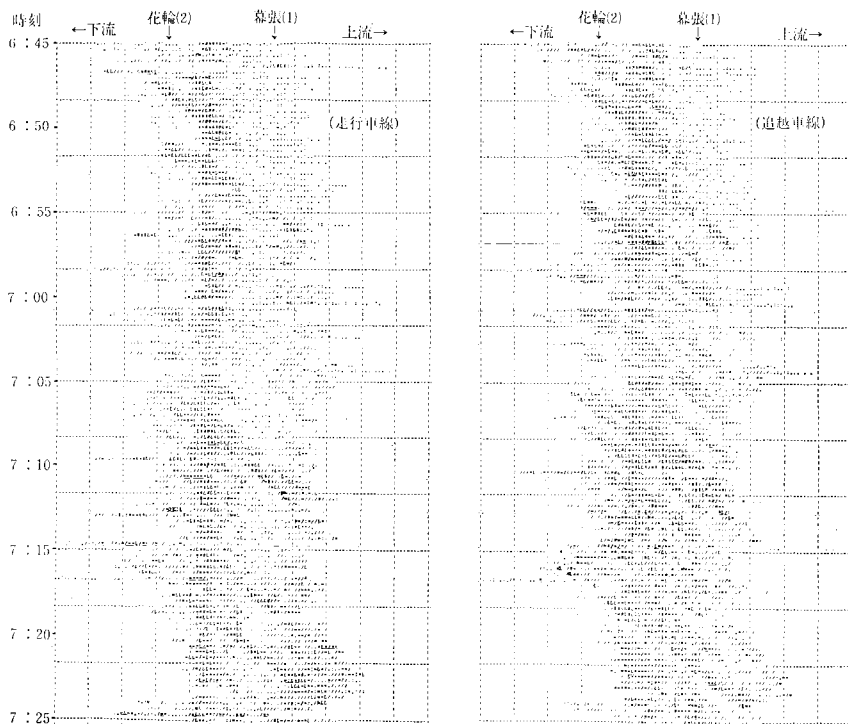


図-4 航空写真による20秒ごとの50m区間密度の時間-距離図(京葉道路)

刻とした。このような過渡的なデータは、首都高速道路では全 1 260 分・地点(7 地点×180 分)のうち 23 分・地点(1.8%)、京葉道路では 340 分・地点(4 地点×85 分)のうち 7 分・地点(2.1%)であった。

表-3 には、路線別・地点別の資料収集時間での渋滞時間と非渋滞時間とを示してある。

表-3 路線別・地点別の渋滞時間

(a) 首都高速道路1号羽田線上路

	浜 崎 0.45 km	芝浦 (1) 1.08 km	芝浦 (2) 2.34 km	五色橋 2.88 km	南品川 3.68 km	品川 5.14 km	勝 島 6.74 km
延滞時間(分)	164	145	70	39	29	8	6
延滞非滞時間(分)	16	35	110	141	151	172	174

(b) 京葉道路上路

	花輪 (1) 13.35 km	花輪 (2) 14.73 km	幕張 (1) 15.74 km	幕張 (2) 17.50 km
延滞時間(分)	85	85	71	47
延滞非滞時間(分)	0	0	14	38

3. 境界速度の渋滞判定基準値としての妥当性

(1) 京葉道路における交通量-密度相関特性

図-5 は、花輪合流部上流約 6 km 地点(幕張(2))での交通量-密度相関図である。資料収集時には、花輪合流部で発生した渋滞がこの地点まで延伸していたことが知られており⁹⁾、この地点での車両感知器情報から作成した時間変動図にも渋滞時の交通流変動の特徴を示す速度の急激な低下が明瞭に現われている。図-5 には、このときの交通流の状態遷移を示すために、15 分程度

にわたるデータの時系列推移を記入してある。この地点での渋滞へ遷移した後の速度変動は、偶然変動によって生じたと考えられる少数の 45 km/h 以上の状態を除いて、ほとんどのデータは 45 km/h 以下となっていることが知られた。図-5 の巨視量の相関図においてもこの状態は明瞭であり、ほぼ 45 km/h が渋滞流の上限速度とみなせそうである。

図-6 は、花輪合流部の上流約 1.8 km 地点(花輪(1))における交通量-密度相関図である。観測記録によれば、この地点は観測開始(A.M. 6:30)以前から渋滞しており、この渋滞状態は観測終了(A.M. 8:00)までの間継続していた⁹⁾。このように、観測時間中の交通状態はすべて渋滞流であったにもかかわらず、図-6 から明らかなよう

表-2 渋滞の発生と解消の時刻

(a) 首都高速道路1号羽田線上路

地点名	走行車線		追越車線		地 点	
	発生	解消	発生	解消	発生	解消
浜 崎 0.45 km	8:14	10:23	8:14	10:24	8:14	10:24
	10:27	11:00 以後	10:27	11:00 以後	10:27	11:00 以後
芝浦 (1) 1.08 km	8:21	8:52	8:22	8:54	8:21	8:54
	8:59	10:18	8:56	10:18	8:56	10:18
	10:31	11:00 以後	10:31	11:00 以後	10:31	11:00 以後
芝浦 (2) 2.34 km	9:19	10:04	9:20	10:04	9:19	10:04
	10:36	11:00 以後	10:36	11:00 以後	10:36	11:00 以後
五色橋 2.88 km	9:37	9:42	9:34	9:42	9:34	9:42
	9:47	9:56	9:47	9:56	9:47	9:56
	10:39	11:00 以後	10:39	11:00 以後	10:39	11:00 以後
南品川 3.68 km	9:42	9:44	9:38	9:44	9:38	9:44
	—	—	9:54	9:58	9:54	9:58
品川 5.14 km	10:45	11:00 以後	10:42	11:00 以後	10:42	11:00 以後
	10:53	11:00 以後	10:53	11:00 以後	10:53	11:00 以後
勝島 (1) 5.74 km	10:56	11:00 以後	10:55	11:00 以後	10:55	11:00 以後

(b) 京葉道路上路

地点名	走行車線		追越車線		地 点	
	発生	解消	発生	解消	発生	解消
花輪 (1) 13.35 km	6:30 以前	8:00 以後	6:30 以前	8:00 以後	6:30 以前	8:00 以後
花輪 (2) 14.73 km	6:35	8:00 以後	6:34	8:00 以後	6:34	8:00 以後
幕張 (1) 15.74 km	6:46	8:00 以後	6:51	8:00 以後	6:46	8:00 以後
幕張 (2) 17.50 km	7:09	8:00 以後	7:09	8:00 以後	7:09	8:00 以後

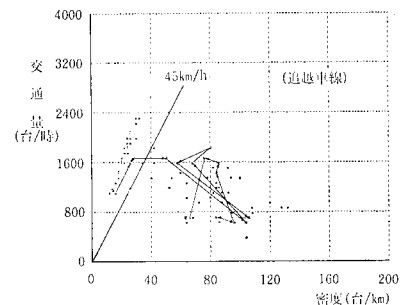
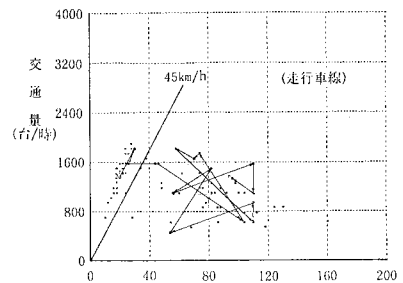


図-5 合流部上流約 6 km 地点での1分間交通量-密度相関(感知器データ、幕張(2))

に、45 km/h 以上の速度領域にプロットされているデータも少なくない。この点については以下のように考えることができる。

花輪(1)は合流部に比較的近い(約 1.8 km)上流地点であるから、本線交通流は合流相手のランプからの交通量の変動に依存して変動する特性をもっている。それゆえ、渋滞時においてもランプからの交通量が少ない場合には、本線交通流は時として自由流領域の流れに移行する場合も考えられる。その結果、図-6 に示されているような 45 km/h 以上の速度状態が出現したものといえる。

これら 図-5 および 図-6 においては、データ数の少ない(85 分)こともあって、首都高速道路での交通量-密度相関図でみられたほぼ 45 km/h 付近での不連続性や食い違い⁶⁾は明瞭でない。

(2) 妥当性の評価基準と境界速度

ここでは、新たな渋滞検出の判定基準値を設定するために、自由流と渋滞流との境界速度(ほぼ 45 km/h)を中心値として ± 5 km/h の速度範囲(40 km/h から 50 km/h)の 1 km/h 刻みの値について、渋滞判定基準値としての妥当性を検討する。

妥当性の評価には、a)「誤検出率 I」

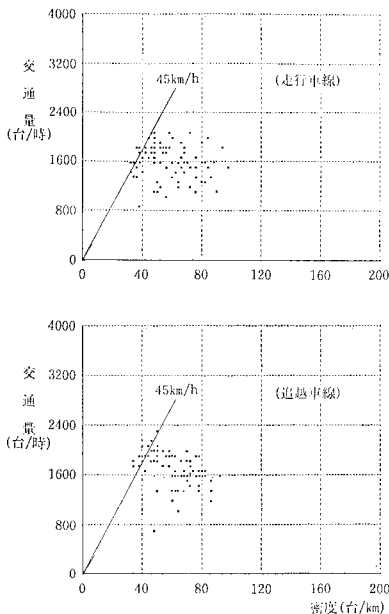


図-6 合流部上流約 1.8 km 地点での 1 分間交通量-密度相関(感知器データ、花輪(1))

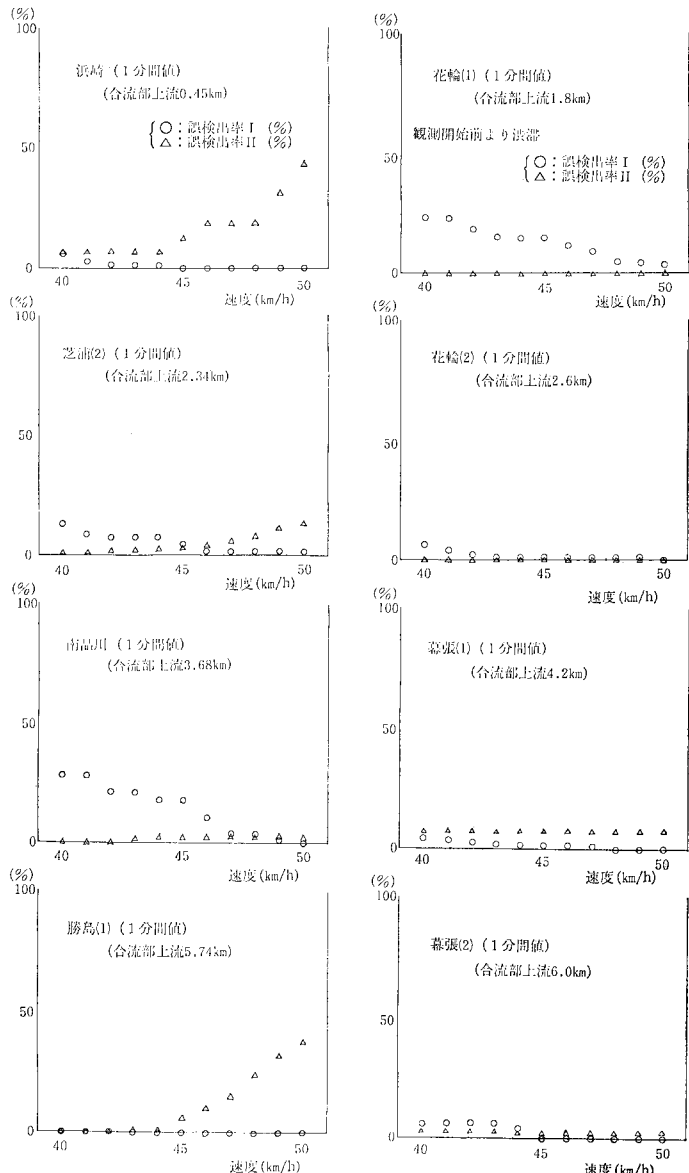


図-7 速度に対する各指標の変化(首都高速道路, 1 分間データ)

図-8 速度に対する各指標の変化(京葉道路, 1 分間データ)

と b)「誤検出率 II」との 2 つの指標を用いている。これらの評価指標を算出するために用いたデータは、図-3 に例示した 1 分間速度および 1 分ごとの 2 分間から 5 分間までの速度の移動平均値の変動である。なお、以下の定義中に述べる「渋滞時」、「非渋滞時」とは、表-2 に示した各地点における観測時間帯での渋滞と非渋滞の時間長のことである。「誤検出率 I」(「誤検出率 II」)の算出に用いた「非渋滞状態」(「渋滞状態」とは、上に述べた 40 km/h から 50 km/h の速度値を上回る(下回る)速度状態が出現したデータ数を意味するものであ

る。次に各指標の定義を述べる。

- a) 「誤検出率Ⅰ」:「渋滞時」に「非渋滞状態」を検出する割合。

これは、表—2 に示した各地点の渋滞時間中に、渋滞でないと判定されたデータの数を渋滞時間長で除したものである。この値が大きくなることは、渋滞しているにもかかわらず、渋滞でないとする誤判定が増大することを意味する。

- b) 「誤検出率Ⅱ」:「非渋滞時」に「渋滞状態」を検出する割合。

これは、表—2 に示した各地点の非渋滞時間中に、渋滞であると判定されたデータの数を非渋滞時間長で除したものである。この値が大きくなることは、渋滞していないにもかかわらず、渋滞であるとする誤判定が増大することを意味する。

図—7 と 図—8 は、首都高速道路と京葉道路との車両感知器データを用いて算出した各速度に対する評価指標の値を示したものであり、ここで示したものはデータ集計時間1分間の結果である。

- a) 首都高速道路 (図—7)

「誤検出率Ⅱ」(図中○印)は、全地点・全集計時間ともに、速度が大きくなるほど小さくなる傾向を示している。これは、渋滞判定基準の速度が高くなれば、渋滞時において非渋滞状態を検出する割合が低下することになるのであるから、当然の傾向であるといえよう。

「誤検出率Ⅰ」(図中△印)は、最下流の浜崎と最上流の勝島(1)とを除いては、各地点ともに零%から13%程度(1分間値の50 km/hによる判定)となっており、45 km/h付近では最大でも8%程度である。浜崎の「誤検出率Ⅰ」が約45 km/h以上の領域で急激に増大しているのは、非渋滞時間が全180分中16分間と少なかったこと、さらには本線交通流が合流交通流(この場合は環状線内回り)の影響を受けて比較的速度の低い自由流領域の流れであったことなどが原因であろう。勝島(1)は資料収集時において渋滞末尾付近であったため、比較的速度の低い自由流状態を渋滞状態と判定したためと思われる。

- b) 京葉道路 (図—8)

「誤検出率Ⅱ」は、首都高速道路と同様、速度が大きくなるほど低下する傾向がみられ、合流部に近接した花輪(1)の1分間値を除いては零%から6%程度となっている。合流部に近接した花輪(1)の1分間値の「誤検出率Ⅰ」が他の地点に比べ高い値となっているのは、すでに3.(1)で述べたように、渋滞時に生ずる自由流領域の速度状態によるものと思われる。

「誤検出率Ⅰ」は、全地点・全集計時間にわたって零%から6%程度である。これは、非渋滞時に出現する

交通流の下限速度が、ここで設定した速度範囲(40 km/hから50 km/h)の上限値よりも高くなる場合が多いことによるものである。

以上のように、首都高速道路では、合流部直近上流地点(浜崎)および渋滞末尾付近(ここでは勝島(1))における45 km/h以上での「誤検出率Ⅱ」の増大傾向、ならびに速度の増大に伴う「誤検出率Ⅰ」の45 km/h以上の領域での値などを考慮して、渋滞判定基準値として45 km/hが妥当なものであると考えた。

一方、京葉道路については、ここに示した2つの評価指標は、合流部近傍上流の花輪(1)の「誤検出率Ⅰ」を除いては、速度によってもほとんど変化せず、かつ値そのものも低くなっている。この結果からみるならば、京葉道路での渋滞判定基準値としては、40 km/hから50 km/hの範囲であればどの速度を用いても問題はないといえそうであるが、合流部近傍上流花輪(1)の「誤検出率Ⅰ」の速度の増加に伴う低下の傾向、さらには3.(1)で述べた隘路から十分離れた幕張(2)での巨視量の相関図(図—5)での渋滞流の上限速度ならびに首都高速道路で選定した値などを勘案して、京葉道路についても便宜上45 km/hを採用することとした。

4. 渋滞の検出と結果の検討

図—9 と 図—10 とは、首都高速道路と京葉道路との車両感知器データに、首都高速道路については20 km/hと45 km/hとを、京葉道路については25 km/hと45 km/hとを、それぞれ適用して渋滞の検出実験を行った結果を示したものである。これらの図は、横軸にデータ集計時間をとり、各集計時間ごとに算出した「誤検出率Ⅰ」(○, ●印)と「誤検出率Ⅱ」(△, ▲印)とをプロットしたものである。図中、実線は20 km/hと25 km/hとによる判定結果を、破線は45 km/hによる結果を表わしている。

図—9 で、南品川、品川および勝島(1)での「誤検出率Ⅰ」が大きく変動しているのは、これらの地点の渋滞時間が、表—3 で示されているように、これより下流の他の地点に比べて短いためであるといえる。

- a) 首都高速道路 (図—9)

20 km/hによる渋滞の検出は、渋滞時に「非渋滞状態」を検出する割合が高くなっている。データ収集時間に占める渋滞時間の大きい浜崎(180分中164分)および芝浦(1)(180分中145分)では、図—9 にみられるように、「誤検出率Ⅰ」が高い値(最小65%:1分間値, 最大88%:5分間移動平均値)となっている。「誤検出率Ⅱ」は、「誤検出率Ⅰ」とは逆に、渋滞判定基準値が低い(20 km/h)のために、非渋滞時に「渋滞状態」を検

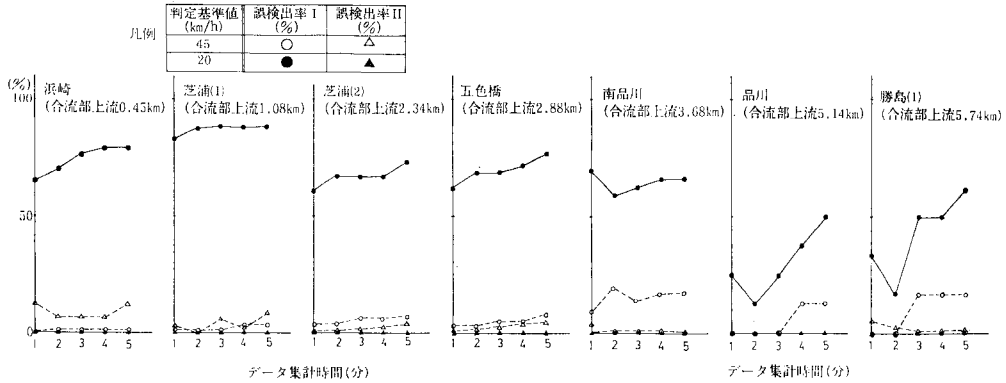
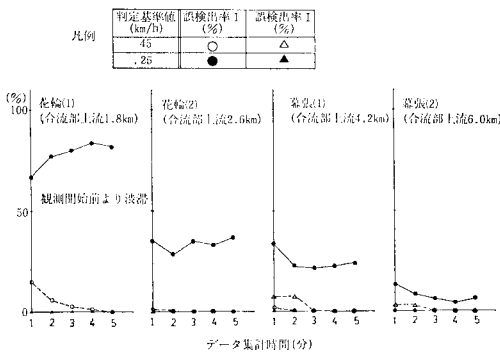


図 9 2つの判定基準値による渋滞検出の状態比較（首都高速道路）



図一10 2つの判定基準値による渋滞検出の状態比較（京葉道路）

出することはなく全地点・全集計時間にわたって零%となっている。

一方、45 km/h による判定結果では、浜崎および芝浦(1)の両地点でも「誤検出率 I」は零%から3%程度までであり、20 km/h での判定結果に比べ渋滞状態の検出精度は大幅に改善されるといえる。「誤検出率 II」についても、全地点・全集計時間にわたって実用上ほとんど問題はなさそうである。

b) 京葉道路（図一10）

25 km/h と 45 km/h とによる「誤検出率 I」の差は、首都高速道路の場合と同様に明白であり、渋滞判定基準値として 45 km/h を用いることによって、渋滞状態の検出精度は大幅に改善されることがわかる。「誤検出率 II」は、25 km/h および 45 km/h の判定結果ともに低い値となっており、特に 45 km/h についてみるならば、実用上ほとんど問題は無いといえそうである。

このように、現行の交通流制御システムで用いられている渋滞判定基準値は、首都高速道路および京葉道路ともに、低い値が設定されているため、渋滞時において「非渋滞状態」を検出する割合が高くなることがわかった。また、現行の渋滞判定基準値は、合流部などの隘路直近上流で生ずる渋滞状態や渋滞末尾付近での比較的速

度の低い自由流状態（非渋滞状態）を識別するには不適切であるといえる。

一方、本報文中で提示した 45 km/h による渋滞検出は、2つの路線ともに、渋滞時に「非渋滞状態」を検出する割合および非渋滞時に「渋滞状態」を検出する割合ともに低い値を示しており、45 km/h が渋滞と非渋滞とを良好に区別し得る渋滞判定基準値であるといえる。

5. まとめ

現行の交通流制御システムによる渋滞検出の精度は、本報文中で提案した渋滞判定基準値（45 km/h）を用いることによって、大幅に改善できる可能性がある。

今後の課題としては、さらに多くの路線のデータを用いて、45 km/h による渋滞検出の状態を検証するとともに、この値を現在稼働中のシステムに適用した実験を試みる必要がある。

データの集計時間については、現行システムでの最小時間が1分間（首都高速道路）であることから、本報文中でも便宜上この値を用いたのであるが、今後の検討課題としては、可変情報盤の情報更新時間や検出遅れを少なくするという側面からの検討も必要であろう。

最後に、本研究を遂行するにあたって貴重なデータを快く貸与していただいた首都高速道路公団ならびに日本道路公団の関係各位に深謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 越 正毅・岩崎征人・大蔵 泉・西宮良一：渋滞時の交通流現象に関する研究，土木学会論文報告集，No. 306，pp. 59~70，1981-2.
- 2) たとえば，(社)交通工学研究会：首都高速道路における交通管制の実施手法に関する研究，p. 58，1970-2.
- 3) (財)高速道路調査会：広域交通情報システムの運用手法と機器構成のあり方に関する研究，pp. 32~35，1979-3.
- 4) 前掲 1)，p. 61.
- 5) (財)高速道路調査会：新東京国際空港関連道路における交通管制に関する研究，1980-3.
- 6) 前掲 1)，pp. 64~67.

(1981.10.20・受付)