

自動車運転時のドライバーの意識と行動の分析*

An Analysis on Drivers' Cognition of Traffic Situation and Driving Maneuver

今田 寛典**・中村 隆***・門田 博知****

By Hirofumi IMADA, Takashi NAKAMURA and Hirokazu MONDEN

Driving maneuver is related to the three main factors, which are environmental features of roads, drivers' experience and knowledge, and characteristics of acceleration and deceleration of cars. Here, it is investigated how driver's cognition of traffic situation through his eyes affects his driving maneuver. Various factors which control driving characteristics are searched for through interview survey in the driving experiments.

As a result, the fuzziness of the cognition is largest at boundary area between congested and free flow, and the effect of degree of cognition on driving maneuver is larger than that of features of traffic condition.

1. はじめに

交通流解析の伝統的な方法は次の二つに大別できる。①交通量、平均速度、交通密度等の巨視的狀態量に着目した解析、②車頭間隔、個々の車の速度や加減速度等の微視的狀態量に着目した解析。

道路交通は道路、車、人で構成されるが、交通流解析に人の要因が十分考慮されていないのが現状である。車や道路だけでなく、人の特性を考慮した道路設計、車両の設計、交通管理が必要である。たとえば、インテリジェントカーは単に安全性、走行性

*キーワード：視覚情報、追従、認知、車間距離

**正会員 工博 広島大学助手 環境工学専攻
(〒724 東広島市鏡山1丁目4-1)

*** 正会員 工修 山口県技師 徳山土木建築事務所
(〒724 徳山市毛利町2-38)

****正会員 工博 広島工業大学教授 環境学部
(〒724 広島市佐伯区三宅2-1-1)

にだけ優れていればよいというのではなく、そこには快適性を含めた人の運転行動に即した配慮が必要である。また、道路交通のサービス水準を評価する場合にも、人の特性が反映されるべきであろう。

このように、今後の交通流解析にドライバーの感覚や意識等を組み込むことが重要であると思われる。そのためには、まず時々刻々と変化する交通状況についてのドライバーの認知と、それが運転行動に及ぼす影響を把握することが必要である。

そこで、本研究は、走行速度と混雑状況を取り上げ、それらの物理量とそれに対するドライバーの認知との関係を明らかにするとともにそれらの認知が運転行動に及ぼす影響を調べる基礎的な研究である。

2. 既往の研究と本研究の特徴

(1) 既往の研究

追従行動に限定されるが、これに関する研究は多くなされてきている。

最近では、被験者に車を運転させ、その運転特性が研究されている¹⁾。追従モデルに人間の意識特性を導入しようという研究²⁾もみられる。また、運転行動のあいまいさをファジ理論によって説明するなど、ドライバー個人の特性を取り扱った研究^{3,4)}も多い。さらに、追従特性を交通流シミュレーションで再現しようとする研究^{3,5,6,7)}もある。

さらに、ドライバーの運転時の意識特性をアンケート調査で把握し、意識が運転行動にどのような影響を及ぼしているかを論じている。森、田中ら⁸⁾はカップリングや渋滞情報、日野、西村ら⁹⁾は危険意識、今田ら¹⁰⁾は車線変更について意識調査を伴った走行実験および行動分析を行っている。

(2) 本研究の特徴

本研究は、車を運転する個人の運転特性を測定し、追従時の意識と行動を分析するものである。この課題は運転行動のばらつきを究明することでもある。

ドライバーは、①道路構造、②交通状況、③自動車の性能等の制約を受けながら運転している。また、交通流の変動は、交通流を構成するドライバーの①個人間変動、②個人内変動に起因する。

本研究では制約①、②を考慮しつつ、変動①、②について考えていくことにする。分析の主な特徴は以下のことが挙げられる。

①視覚密度の導入、

運転時の情報のほとんどは視覚からである。視覚情報には直前の車だけでなく、さらに前方の車や隣車線の車等もある。そこで、前方の単位区間内に存在する車の台数(台/100m)を視覚密度と定義する。

②情報認知の検討

交通状況に対するドライバーの認知特性を把握する。自車の走行速度や視覚密度に対する認知特性、認知特性の違いに影響を及ぼす個人差やその他の要因、またそれらが追従行動に及ぼす影響を検討する。

3. 走行実験の方法の概要

追従時、我々は前車だけでなく、さらに前方の車および道路勾配、線形、交差点等様々な交通状況を認知・判断して意志決定をしている。この運転行動に関する意識調査と行動特性を測定する。

調査は、被験者が運転する車にインタビュアーが同乗し、各種のインタビュー調査を行う。同時に、

表-1 速度と視覚密度の認知と言語表現

ランク	評点	速度の認知	視覚密度の認知
1	3	非常に速い	非常に低い
2	2	速い	低い
3	1	やや速い	やや低い
4	0	どちらとも言えない	どちらとも言えない
5	-1	やや遅い	やや高い
6	-2	遅い	高い
7	-3	非常に遅い	非常に高い

速度、前車との車間距離および前方の交通状態を調査する。車内に2台のビデオカメラを設置し、1台は前方の交通状況を、他の1台は自車の速度メータを撮影した。同時にインタビュー調査の回答をビデオに音声入力した。走行実験終了後、ビデオを再生してデータを得た。

なお、自由流と渋滞流が運転意識や行動に及ぼす影響を知るため、両方の状況が得られる朝のラッシュ時に実験を行った。実験中の速度および密度に対する認知を7ランクの言語表現で回答を得た(表-1参照)。質問は信号交差点部での加減速時を極力避け、ほぼ定常状態と思われる時に行った。

視覚情報とは、ドライバーが視覚から得られる交通状況、道路構造等を指す。具体的には次のような物理量である。走行速度、前方の視覚距離(ドライバーの視認できる距離)、前方の視覚密度、前車の車種(大型車と一般車)、大型車混入率(前方に見える車の中での大型車の割合)、車線数(単車線、多車線)、車間距離である。

被験者は21~25歳の男子学生7人である。彼らは自分の車を所有し、ほぼ毎日運転している。

4. 視覚情報の認知が車間距離に及ぼす影響

(1) 速度および交通密度に対する認知

ドライバーの速度および密度の認知は周辺の交通状況の認知と密接に結びついていると考えられる。

自車の速度と自車周辺の交通混雑状況に対する認知は走行速度や視覚密度等の物理情報に対するものである。認知量と物理量との間に Weber-Fechner の法則が成立するとすれば、それぞれの認知量は式(1)、(2)のように求められる。

$$Y_v = a + b \log v \quad (1)$$

$$Y_k = c + d \log K \quad (2)$$

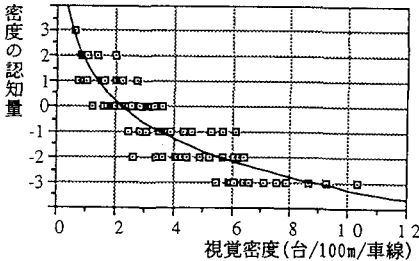
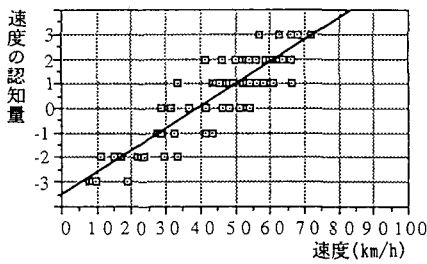


図-1 速度と視覚密度の物理量とそれらの認知量との関係

ただし、 Y_v は速度に対する認知量、 v は走行速度、 Y_k は密度に対する認知量、 K は視覚密度、 a 、 b 、 c 、 d はパラメータである。

上述の基本式に、7人の被験者別の認知量と物理量とを当てはめて回帰分析で確かめた。

図-1は被験者1に限定しているが、視覚密度および速度に対する認知量とそれぞれの物理量との関係を示している。

ただし、速度に対する認知量は Weber-Fechnerの法則よりも、物理量に正比例していると考えた方が妥当であろう。このことは、いずれの被験者にもあてはまった。関係式の寄与率は0.776~0.885の範囲にあった。

一方、密度に対する認知量は Weber-Fechnerの法則が成り立つことは明かである。他の被験者についても同様であった。関係式の寄与率は0.623~0.778の範囲にあった。

(2) 視覚情報の認知と運転行動

平均車頭間隔は密度の逆数になるので、車間距離の認知は視覚密度の認知と同様に Weber-Fechnerの法則が成り立つ⁴⁾と考えられ、物理量に対する認知量は (3) 式のように示される。

$$Y_L = f + g \log L \quad (3)$$

なお、 Y_L は前車との車間距離に対する認知量、 L は前車との車間距離、 f 、 g はパラメータである。

ところで、一般に、速度が速くなれば、車間距離は長くなり、遅くなれば、短くなる。したがって、速度の認知量 Y_v と前車との車間距離の認知量 Y_L の時間的変化は互いに比例関係にあるとすれば、

$$dY_v/dt = \alpha dY_L/dt \quad (4)$$

で示される。なお、 α はパラメータである。

そこで、式 (4)に式 (1)と (3)を代入すると、

$$L = A_c \cdot \exp(B_c \cdot V) \quad (5)$$

$$A_c = \exp((a - \alpha f - \beta) / \alpha g)$$

$$B_c = b / \alpha g$$

のように整理できる。ここで B_c は、

$$B_c = \frac{\text{速度に対する感度}}{\text{前車との車間距離に対する感度}}$$

を示しており、走行速度と視覚密度のどちらに対する感度が相対的に高いかを判断することができる。式 (5)は実際の物理量と認知量の関係に基づいた交通状況の認知式であると解釈できる。

(3) 認知を基にした車間距離と速度の関係

追従状態を取り扱うため、車間距離の上限を考慮した。図-2の速度-車間距離の分布図から判断し、60km/hでの車頭時間6秒¹⁾を基準にした。全被験者とも車間距離100m以内のデータ (494サンプル)を取り扱った。

まず、走行速度と車間距離のそれぞれの物理量 V と L の関係を式 (5)の形式に従って推定した。さらに、認知過程を考慮した関係式の推定結果も同時に示す。

物理量を用いた結果、

$$L = 6.032 \cdot \exp(0.037V)$$

$$\text{RMS誤差}=19.34 \quad \% \text{RMS誤差}=54.6.$$

認知量を用いた結果、

$$L = 11.681 \cdot \exp(0.022V)$$

$$\text{RMS誤差}=16.79 \quad \% \text{RMS誤差}=47.4.$$

これらの結果を図-2に示す。

% RMS 誤差で判断する限り、認知過程を考慮した場合と、考慮していない場合では大きな差はなかった。しかし、若干曲線の傾きが異なることから、推定誤差の影響や認知過程において他の因子の影響があると思われる。

(4) 道路構造・交通状況が車間距離及ぼす影響

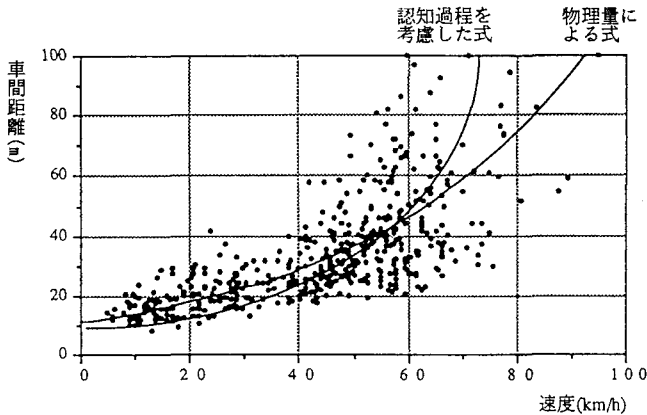


図-2 車間距離と速度の関係

図-2に示されるように同じ走行速度でも車間距離には大きな散らばりがみられる。それは個人間だけでなく個人内にも認められる。散らばりの主な要因としては速度、被験者の差、車の性能、道路の線形、勾配、車線数、交差点、視覚密度、大型車混入率、渋滞前後の交通状況、前車の車種、また、それらに対する被験者の認知の違いがある。

速度および被験者の影響は前述した通りである。いま車の性能が被験者特性に含まれるとすれば、交通状況の認知の違いの影響が考えられる。

そこで道路線形、交通状況、前車の車種、交通状況の認知が車間距離に及ぼす影響について考察する。

速度や被験者が車間距離に及ぼす影響は大きいので、この二者の影響を取り除いて、道路構造や交通状況に対する認知の影響を検討する。まず、式(5)を用いて被験者別に車間距離の散らばりを基準化し、次に、速度の影響を取り除く。たとえば、被験者*j*の速度 V_{ij} における推定車間距離 L'_{ij} を求め、実際の車間距離 L_{ij} との差を式(6)のように基準化した車間距離指標 L_{stij} を分析に用いる。

$$L_{stij} = (L_{ij} - L'_{ij}) / L'_{ij} \quad (6)$$

このような手続きを経た車間距離指標 L_{stij} がプラスの方向の場合は車間距離を長く取り、マイナスの方向の場合は短く取るように規定する要因が存在することになる。

そこで、分散分析で、道路構造や交通状況等が車間距離指標に及ぼす影響を調べる。

表-2 前車の車種が車間距離に及ぼす影響

カテゴリー	偏差	重相関係数
平均値	0.02	0.140**
普通車・軽自動車	-0.04	1%で有意
ワゴン車・中型トラック	0.05	
大型トラック・バス	0.10	

表-3 車線数が車間距離に及ぼす影響

カテゴリー	偏差	重相関係数
平均値	0.02	0.128**
単車線	0.05	1%で有意
多車線	-0.06	

速度については、渋滞流と自由流の境界値として35km/hの2水準に分けた場合、20km/h毎の5水準に分けた場合ともに危険率5%で有意性が棄却された。被験者7人についても同様に棄却された。したがって、基準化した車間距離指標は速度や被験者の影響を除くことができる。

速度および密度の認知が車間距離指標に及ぼす影響について7ランクの言語水準で分析した結果、両者ともに危険率5%で有意な差は認められたが、多重分類分析MCA (Multiple Classification Analysis)の結果によると7水準間には規則性がなく、どのような意識がどのように車間距離に影響しているかは確定できなかった。

以下は、道路が車間距離指標に及ぼす影響について検討した。勾配(2水準)、車線数(2水準)、交差点数(2水準)、視覚密度(5水準)、大型車混入率(2水準)、渋滞の前後(2水準)、及び前車の車種(3水準)等について検討した。

要因別の分散分析によると前車の車種、車線数に危険率1%で有意な差が認められたが、その他は5%危険率で棄却された。表-2に前車の車種、表-3に車線数の結果を示す。

表-2からドライバーは普通車、ワゴン車や中型トラック、大型トラックやバスの順に車間距離を長く取る傾向にある。これはドライバーの前方の視覚に対する反応の表れであると考えられる。

表-3からドライバーは同じ速度でも単車線より多車線の方が車間距離を短く取っている。こ

表-4 渋滞時、車線数が車間距離に及ぼす影響

カテゴリー	偏差	重相関係数
平均値	0.08	0.318**
1車線(交差点多い)	0.12	1%で有意
2車線(交差点少ない)	0.01	
2車線(交差点多い)	-0.21	
3車線(交差点多い)	-0.05	

表-5 3要因での分散分析結果

速度 km/h	速度 速度感	密度 密度感	前車の車種 前車の車種
20	(4) 0.758 (3) 2.002	(8) 3.688** (2) 1.800	(2) 3.054 (2) 1.907
30	(4) 0.614 (3) 1.791	(4) 3.123* (3) 1.102	(2) 0.937 (2) 0.734
40	(4) 1.019 (4) 0.787	(4) 3.148* (5) 0.909	(2) 2.429 (2) 0.177
50	(4) 2.107 (3) 1.702	(4) 3.382* (4) 0.234	(2) 7.112 (2) 4.563+
60	(4) 1.546 (4) 5.499++	(4) 4.722** (5) 5.498++	(2) 1.634 (2) 4.942++
70	(4) 0.588 (3) 0.591	(3) 12.928** (5) 4.900++	(2) 1.731 (2) 3.042

注) 括弧内は自由度、特性値は車間距離、
*, +; 5%で有意、**, ++; 1%で有意

れは、多車線の方が希望速度が高いこと、自由流の「抑えられながら」走る正圧の流れ³⁾の動きが強いこと、多車線では横からの車の割り込みを意識していることが考えられる。

そこで、車線変更の少ない渋滞中のデータを対象に、車線別に分析した。結果を表-4に示す。データの制約上表中のように4水準に分類した。なお、渋滞の定義は、35km/hを目安とした。

渋滞中でも車線数が多いほど車間距離を短く取る傾向にある。しかし、同じ2車線で比較的交差点の多い所と少ない所を比較すると、前者の方が短い傾向であった。これも、横からの車の割り込みに対する意識と考えられる。

以上より、基準化した車間距離指標を用いることにより、ドライバーが取る車間距離には前車の車種、車線数及び交差点数が影響していることが分かった。

なお、別の観測で得た一般車の車間距離に関する

データを用いて分散分析を行ったところ、大型車混入率(0.5で2水準)の違いが危険率1%で認められた。混入率の高いほど、車間距離が長い。これは、前述の前車の車種の影響と合致しているものと判断される。

(5) 速度別にみた視覚情報認知の影響

車間距離分布に影響を与える要因が幾つか認められた。しかし、それらの要因がどのような状態で車間距離に影響を及ぼしているのかは明確ではない。そこで、各速度別に分割したデータを用いて車間距離に影響を及ぼす要因を検討する。

速度が20、30、40、50、60、70±5km/hの範囲に入るデータを6に分類した。

前の4節では、ある速度範囲での車間距離のばらつきは道路構造の影響と同時にドライバー個人に関係する要因の影響が強いことが示された。そこで、以下のような要因を分析の対象とする。

- ①被験者：7人の被験者で7水準、
- ②走行速度：各範囲とも2.0km/h毎に5水準
- ③速度感：7ランクの言語表現の7水準
- ④視覚密度：0、1、2、……、10(台/100m/車線)の11水準
- ⑤密度感：7ランクの言語表現の7水準
- ⑥前車の車種：普通車・ワゴン、中型トラック・バス、大型トラックの3水準

- ⑦車線数：単車線、多車線の2水準

速度と速度感及び視覚密度と密度感とはそれぞれ物理量とその認知との関係である。

まず、②、④、⑥、⑦の物理量を用いた分析の結果、⑦の車線数の影響はいずれの速度範囲でも棄却された。したがって、影響の大きい要因は①から⑥であろうと判断される。

次に、物理量と認知量では影響要因としてどのような違いがあるかを調べる。そこで、主に物理量を扱ったものとして速度と密度と前車の車種の3要因による分析と、主に認知量を扱ったものとして速度感と密度感と前車の車種の3要因による分析の比較を行った。結果を表-5に示す。

物理量を扱ったものでは、視覚密度は全ての速度に対して危険率5%または1%で有意であった。しかし、走行速度や前車の車種についてはどの走行速度の範囲でも有意ではなかった。

表-6 4要因での分散分析結果

速度 km/h	被験者 被験者	速度 速度感	密度 密度感	前車の車種 前車の車種
20	(6) 0.837 (6) 1.592	(4) 0.959 (3) 2.778	(8) 2.716* (2) 1.167	(2) 2.090 (2) 1.432
30	(6) 0.969 (6) 1.821	(4) 0.291 (3) 2.122	(4) 2.621 (3) 1.330	(2) 0.041 (2) 0.312
40	(6) 2.317* (6) 1.711	(4) 1.073 (3) 0.374	(4) 2.491 (2) 1.275	(2) 0.412 (2) 0.428
50	(6) 5.749** (6) 4.446++	(4) 3.302* (3) 0.850	(4) 3.188* (4) 0.252	(2) 1.755 (2) 1.018
60	(6) 3.760** (6) 4.164++	(4) 1.633 (4) 6.198++	(4) 3.140* (5) 4.809++	(2) 0.987 (2) 1.858
70	(6) 0.555 (6) 0.902	(4) 0.626 (3) 1.208	(3) 8.765** (5) 4.798++	(2) 1.344 (2) 2.674

注) 括弧内は自由度、*, +; 5%で有意、**, ++; 1%で有意
特性値は車間距離

表-7 60km/h時の車間距離を規定する要因(特性値は車間距離)

要 因	水 準	デー タ	偏 差	相 関 比	修正偏差	偏相関比
被験者	1	17	2.13	0.49	4.49	0.39
	2	12	-10.45		-7.54	
	3	15	12.05		-8.89	
	4	22	10.14		9.91	
	5	18	13.30		13.58	
	6	23	-18.22		-12.63	
	7	14	-9.65		-1.64	
速度感	-1	6	-12.36	0.52	0.07	0.44
	0	20	-7.17		-0.38	
	1	36	-6.60		-6.00	
	2	46	-0.31		-3.97	
	3	13	36.12		31.22	
密度感	-2	4	-6.25	0.56	-9.26	0.35
	-1	17	-11.55		-3.94	
	0	30	-6.93		-1.02	
	1	39	1.08		-1.24	
	2	27	4.01		-0.08	
	3	4	69.71		46.96	
前 車	普通車	82	-2.61	0.18	-1.37	0.13
	中型貨物	11	12.50		10.49	
	大型貨物	28	2.74		-0.11	
平 均		37.55		重 相 関 係 数		0.750

一方、認知量を扱ったものについては、50km/hの範囲まではいずれの要因とも有意な差が認められなかった。密度や速度に対する認知は60km/h時で、密度に対する認知は70km/h時で危険率1%で有意であ

った。また、前車の車種は50および60km/h時で有意であった。

次に、個人差を考慮し、被験者、速度、密度、前車の車種の4要因の分散分析と、被験者、速度感、密度感、前車の車種の4要因の分散分析の比較を行った。結果を表-6に示す。

物理量を用いた分析の場合、もっともよく説明された速度は50km/h時で、認知量を用いた分析の場合では60km/h時であった。したがって、比較的自由流領域では車間距離への影響は物理的要因よりもドライバー側の要因が大きいと考えられる。ここで、特に60km/h時の車間距離を認知の4要因で行ったMCAの結果を表-7に示す。

相関比および偏相関比によれば、被験者の差と認知量が顕著である。また、速度感が低いほど、密度感が高いほど、そして前車の車種が普通車の時、車間距離も短くなる傾向にあると言う結果を得た。速度および密度の認知量はドライバーの車間距離に大きな影響を与えている。

5. 結論

(1) 交通混雑に対する認知量は、ドライバーの交通量に対する視覚情報量対して Weber-Fechnerの法則が成立するが、速度に関する認知量は自車の走行速度と比例関係であることがわかった。

(2) 速度と視覚密度の認知を基に求めた速度-車間距離の関数は指数関数で表されることが認められた。

(3) 実際の車間距離に及ぼす影響要因は、速度の他に個人差が最も顕著であった。認知量の影響としては、速度に対する認知が低いほど、また密度に対する認知が高いほど、車間距離を短くする傾向にあった。自由流の領域、特に60km/h前後で顕著に現れることが明らかになった。

(4) ドライバーの認知のあいまいさは自由流と渋滞流の境界35~40km/h付近で最も大きい。Q-V-K関係でいわれる最大交通量を流す付近での交通量の乱れやばらつきは、単に物理的な影響のみならず、

ドライバーの意識のあいまいさも運転行動に影響を及ぼしていることが示唆される。

本研究は基礎研究であるため、問題点も多く指摘された。今後検討すべきことを簡単に示す。

(1)個人差による認知・行動の違いは明らかになったが、どのような交通状況の変化によって認知がどう変化するのか、またそれが交通流全体にどの程度影響を与えるのか、という点についてさらに研究を進めて行かなければならない。

(2)短時間の定常状態を扱ったものであり、実際にはそれ以前の状態や対象道路での運転経験の影響等も含まれているにちがいない。これらを考慮し、よりドライバーの意識過程に沿ったアプローチをする必要がある。

(3)結果を一般論として述べるためにはより多くの階層の被験者を対象とした調査が必要である。

参考文献

- 1) 尾崎晴男：自動車の追従走行に関する研究、土木計画学研究・講演集、No.14(1)、pp.375-380、1991.11
- 2) 長瀬龍彦：交通流理論における意識尺度の導入に関する研究、土木計画学研究・論文集、No.7、pp.267-274、1989
- 3) 大口徹、越正毅、桑原雅夫、赤羽弘和：ファジィ推論を用いた車両の追従モデル、土木計画学研究・講演集、No.13、pp.221-228、1990
- 4) 南宮攻、門田博知、今田寛典：運転者のあいまい性を考慮した運転行動の解析法に関する基礎研究、土木計画学研究・講演集、No.14(1)、pp.359-366、1991
- 5) 大口徹、赤羽弘和、桑原雅夫、越正毅：トンネル部と単路部における車両の追従挙動の比較、土木計画学研究・講演集、No.12、pp.75-80、1989
- 6) 山田稔、鈴木徹：街路の走行実験における速度と車間距離の変動に関する研究、土木計画学研究・論文集、No.10、pp.87-94、1992
- 7) 大口徹、赤羽弘和、桑原雅夫、越正毅：トンネル部と単路部における車両の追従挙動の比較、土木計画学研究・講演集、No.12、pp.75-80、1989
- 8) 橋本尚哲、田中聖人、森康男：高速追従時の車種配列とカップリングについて、土木計画学研究・講演集、No.14(1)、pp.381-386、1991
- 9) 神頃明、西村昂、日野泰雄：運転行動の危険意識に関する一考察、土木学会第47回年次学術講演会、pp.230-231、1992
- 10) 今田寛典、湊克美、門田博知、中村隆：車線変更における運転者の意識・行動、土木学会第47回年次学術講演会、pp.348-349、1992
- 11) 村田隆治：自動車運転の車間距離認知、交通工学、Vol.122、No.6、pp.21~29、1987