

ドライバーの視覚情報認知と運転行動

今田 寛典*

Driver's Cognition to Visual Information and Driving Maneuver

Hirofumi Imada*

Driving maneuvers in car following are affected by not only road structure and traffic characteristics, but also drivers' cognition to visual information. The purpose of this paper is to discuss the relation between drivers' cognition and driving maneuvers. In order to accomplish this purposes driving maneuvers are observed by a video recorder set up in a car and a driver is interviewed about the degree of his recognized velocity and traffic density on road. The obtained new knowledge is summarized as follow. Driving maneuver is affected by road and traffic characteristics under congested traffic condition, but under free flow condition driving maneuver is affected by drivers' cognition to visual information such as velocity and traffic density.

Key Words (キーワード)

Driving maneuver (運転行動), Visual information (視覚情報), Cognition to driving velocity (走行速度に対する認知), Cognition to traffic density (交通密度に対する認知)

1. はじめに

交通流に関する研究は、交通密度が比較的低い場合を対象とした確率論的な研究と、交通密度が高い場合を対象とした決定論的な研究に大別できる。特に、後者の場合は交通流を圧縮流体と仮定して交通流の性質を明らかにするものと、前車の影響が後続車にどのように伝播していくかを考察するものがある。確率論的研究や確定論的研究は交通量、交通密度、走行速度、車頭間隔等の物理量を数学的に表現することから始まった。現在までそれらの研究成果は、道路交通の運用及び交通施設の改良などに大きく貢献してきている。しかし、これらの分析方法では説明できない交通現象が多く見られることも事実である。比較的交通量の多い状況で、交通流シミュレーションを実行し

た場合、衝突が生じる「ロックアップ」は大きな問題である。Paul Ross¹⁾はロックアップを避けるため希望速度を交通流解析に取り入れ、より簡単に説得力のある方法論を提案した。さらに、A. Alvarez²⁾は追い越し現象に希望速度を導入し、一層現実的なものに発展させた。同時に、希望速度分布の違いは交通流を変化させることも指摘している。希望速度の導入は、従来の物理量を用いた交通流解析にドライバーの意識特性を導入したものと位置づけられる。

我が国でも過去10年の間に、交通流解析にドライバーの意識・行動を導入する研究が積極的に行われてきている。尾崎³⁾は、計測機器を搭載した自動車を被験者に運転させる走行実験を行い、速度と車間距離の時間的変化を分析し、その法則性を見出している。さらに、ドライバー個人個人の

*呉大学社会情報学部 (Faculty of Social Information Science, Kure University)

意識特性を交通流解析に導入する研究も見られる。大口ら⁴⁾や Nam Gungら^{5, 6)}は、運転行動のあいまいさをファジィ理論によって説明する方法論を提案し、新しい交通流解析の方向を示している。今田ら⁷⁾は被験者が運転する自動車に質問者も同乗し、車線変更時の意識に関するインタビュー調査と運転行動観察を行い、車線変更時の意識を明らかにした。清田ら⁸⁾は低速車に追従を余儀なくされる場合ドライバーの心理的ストレスが閾値を越えると、ドライバーは追い越しを行うと仮定し、その行動をロジットモデルで説明し、モデルの説明力が高いことを実証している。

このように従来の物理量のみによる解析法からヒューマンファクターを取り込んだ解析法が多く提案されてきている。しかし、情報認知の分析、情報認知が行動をどのように規定するのかに関する分析的研究は少ない。たとえば、ドライバーは交通状況をどのように認知しているのか、その認知が運転行動にどのように結び付いているかを把握することが必要である。そこで、本研究は、ドライバーが受ける情報として走行速度と交通密度を取り上げ、それらの物理量をドライバーはどのように認知し、行動をするのかを明らかにする。

2. 研究の方法

ドライバーが運転時に得る主要な情報は視覚から得られるものがほとんどである。本研究の「視覚情報」は、視覚から得られる交通状況、道路構造等である。

運転行動は、道路構造、交通特性、自動車の性能等の因子に大きく制約される。また、運転行動の変動は、(1)観測される平均速度や密度などの変動、(2)ドライバーの個人間の変動、(3)ドライバーの個人内の変動等がある。本研究は道路構造と交通特性を考慮し、変動因子(2)、(3)が運転行動に及ぼす影響を考察する。さらに、因子(2)、(3)はドライバーの潜在的な個人特性と時々刻々と変化する情報に対する認知の影響を受ける。本研究では、潜在的な個人特性の一指標として希望

速度を考慮する。

そこで、本研究は物理量に対する認知として「速度感」および「密度感」を定義する。それらは走行速度および交通密度に関する視覚情報の認知量として取り扱われる。物理量とドライバーの認知量との関係、個人間変動、個人内変動等の分析、またそれらが実際の行動に及ぼす影響等を検討する。基本的には認知の度合いと物理量との関係を回帰分析で明らかにする。また、人間の認知のあいまいさの分析にはファジィ回帰分析を適用する。

3. 走行実験の方法

調査は、被験者が運転する自動車に質問者が同乗し、質問する方法である。さらに、物理量を測定するため、車内に前方の状況と速度計を撮影するビデオカメラを2台設置した。インタビュー内容はビデオに音声として記録される。速度は速度計から簡単に計測できる。視覚密度は、カーブ部分で前車の前を走行している車の台数をカウントし、視覚距離で除したもの(台/100m/車線)と定義する。なお、視覚距離や前車との車間距離 y_L は式(1)によって算出される。

$$y_L = a x_L^b \quad (1)$$

x_L : モニター画面上で測定された車の幅、

または高さ、

ただし、パラメータ a 、 b は予め距離別に車を停車させ、その車を撮影したビデオを再生し、画面上で測定された車の幅、高さ等から求められている。

実験は7人の被験者を対象に、制限速度50km/h(部分的に60km/h)の国道上で、自由流と渋滞流の双方を経験するため、朝のラッシュ時に行われた。走行実験時間はおよそ3時間であった。速度感、密度感は表1に示されるような7ランクの言語表現で回答するようを求めた。質問は定常状態時に行われた。なお、あらかじめ到着予定時刻を想定してもらい、それを目安に運転するよう指示がされた。また、希望速度はインタビュー調査に先立って行われた調査で回答されたものを用

表1 速度感・密度感の7ランクの言語表現とその評点

評点	速度感	密度感
3	非常に速い	非常に低い
2	速い	低い
1	やや速い	やや低い
0	どちらとも言えない	どちらとも言えない
-1	やや遅い	やや高い
-2	遅い	高い
-3	非常に遅い	非常に高い

いた。調査の結果被験者1, 2, 3, 4は比較的低い希望速度であり、被験者5, 6, 7は高い希望速度であった。希望速度の決定については論理的な検討も必要であり、今後の研究課題である。

実験で得られる物理量は、インタビュー時の速度、前方の視覚距離、前方の視覚密度である。さらに、前車の車種、大型車混入率（前方に見える大型車の数／前方に見える車の総数）、車線数、道路の構造（上り・下り勾配、信号数）等である。

4. 視覚情報の認知

(1) 視覚情報とその認知の関係に関する数的把握

Weber-Fechner の法則⁹⁾によると、感覚量 R は刺激値 s の対数に比例する。

$$R = c \log s \quad (2)$$

c ; パラメータ

速度感 y_v は速度 v の対数、密度感 y_k は視覚密度 k の対数に比例すると仮定すれば、それぞれ式(3), (4)で示される。

$$y_v = a + b \log v \quad (3)$$

a, b ; パラメータ

$$y_k = c + d \log k \quad (4)$$

c, d ; パラメータ

(2) 速度と速度感、視覚密度と密度感の関係

ドライバーは自由流と渋滞流の境界を明確に意識していないので、本研究は渋滞流領域から自由

流領域までを一つの交通流として取り扱う。

図1と2は速度・速度感、視覚密度・密度感の実測値を示したものである。速度感に関しては式(3)よりも線形で表わした方が適切である。そこで、表2は、各被験者の速度・速度感の線形回帰分析と視覚密度・密度感の対数回帰分析の結果を示している。いずれの回帰式も危険率1%でF値は有意であった。

速度・速度感の関係を寄与率で被験者別に比較したところ、被験者6を除いて各被験者とも寄与率は高く、速度・速度感は線形関係である。

一方、視覚密度・密度感の関係については、全ての被験者で対数回帰式の寄与率が大きく、視覚密度・密度感の関係は Weber-Fechner の法則に従うことがわかる。

(3) 被験者の認知のあいまいさ

人間が構成要素として含まれるシステムが取り扱うデータには人間の主観的判断によるあいまい性が含まれている。

通常の回帰分析では、実測値と推定値との差は観測誤差とみなされるが、ファジィ回帰分析では推定値と実測値との差は入出力関係を表すシステム表現のパラメータにあいまいさがあると考え、パラメータをファジィ数で表す。

本研究における認知量は人間の主観的判断に他ならない。そこで、速度感を速度の線形関数、密度感を視覚密度の対数関数として被験者毎にファジィ回帰により推定する。ファジィ回帰分析と通

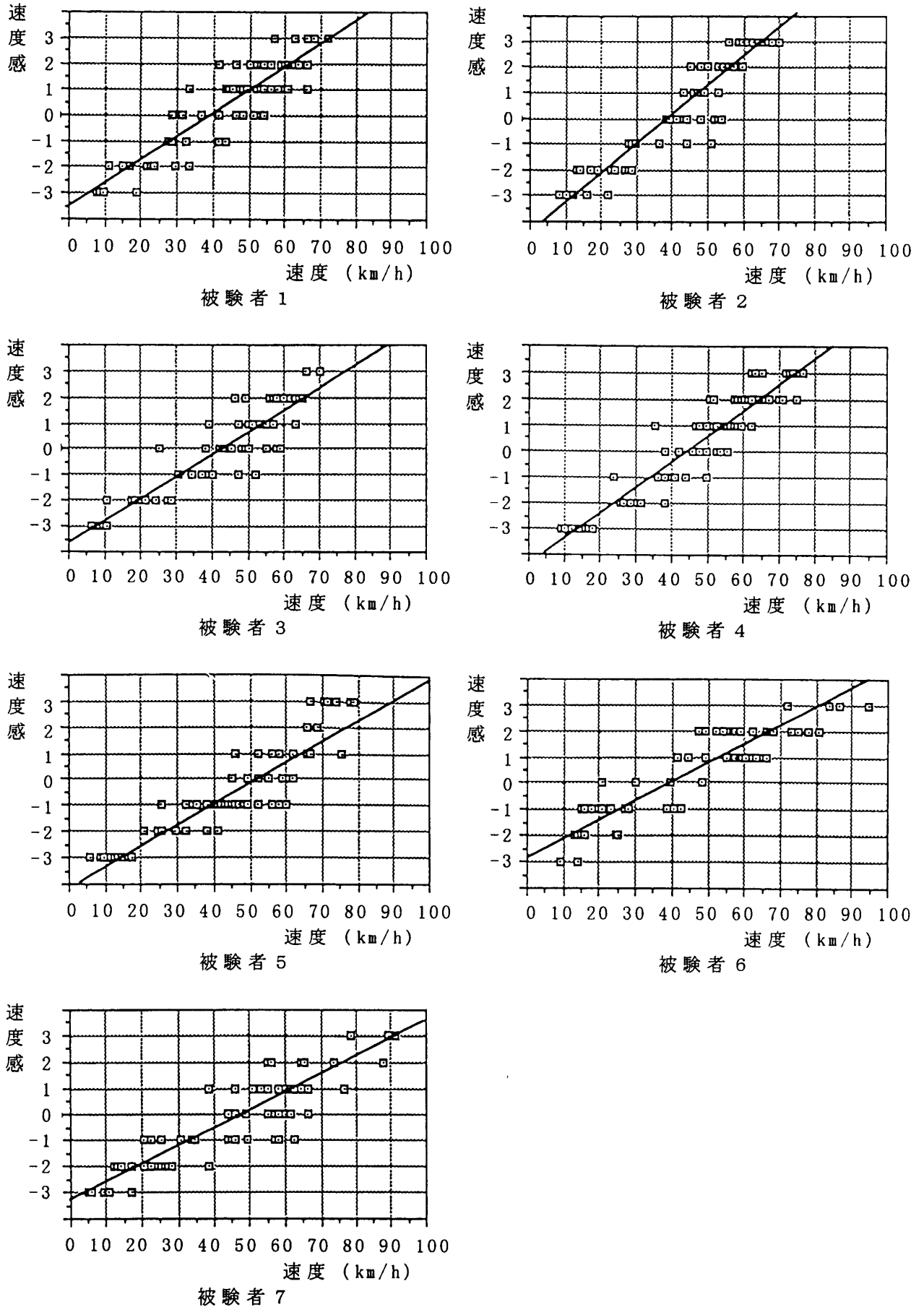


図1 速度・速度感の関係

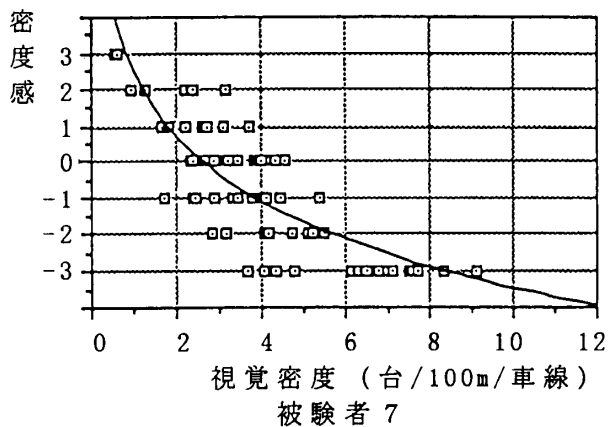
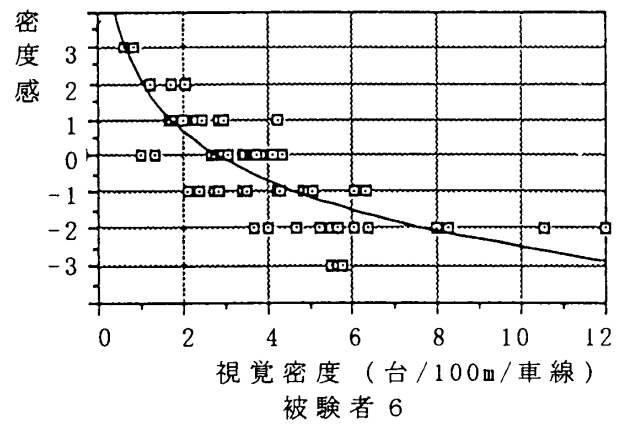
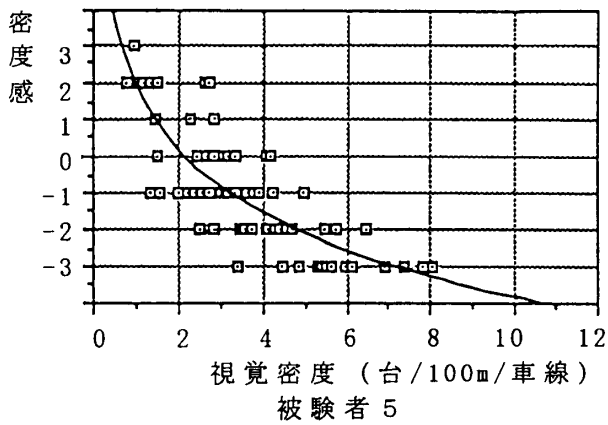
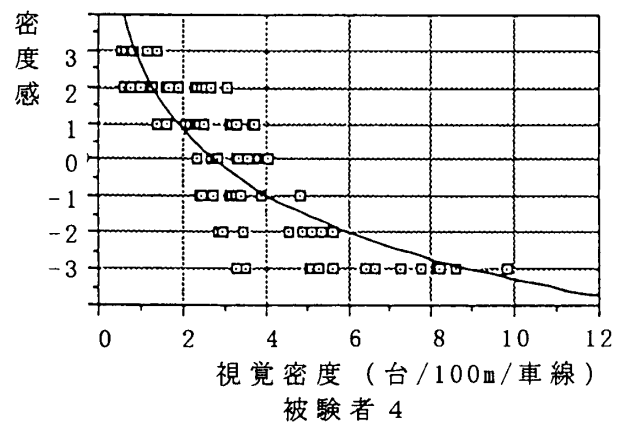
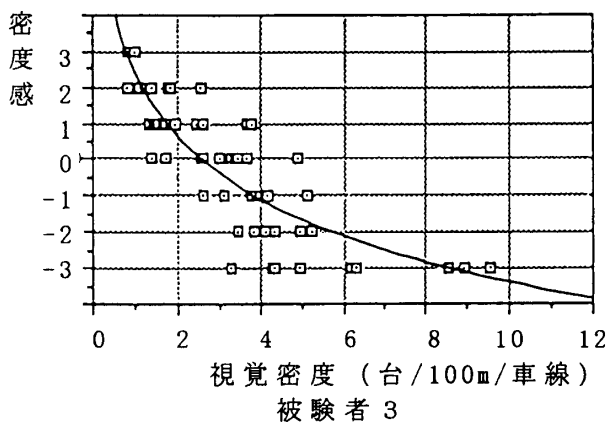
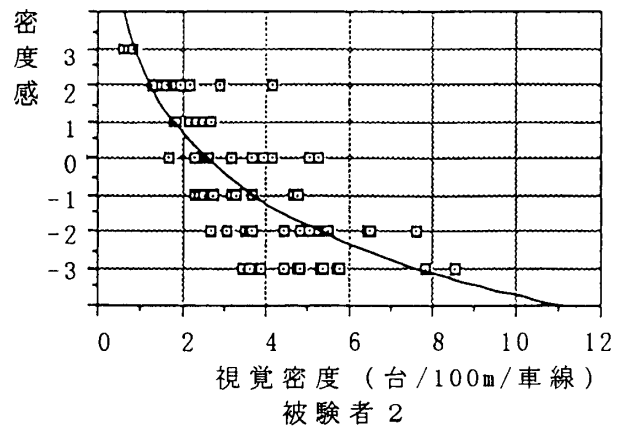
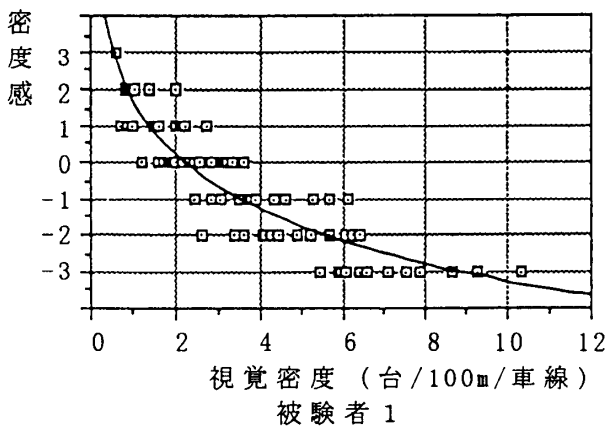


図2 密度・密度感の関係

表2 被験者別速度感および密度感に関する回帰分析

被験者 (データ数)	速度感: $y_v = a + bv$ (t 値)	寄与率	密度感: $y_k = c + d \log k$ (t 値)	寄与率
全被験者 (515)	$y_v = -3.66 + 0.0836v$ (-38.45)** (42.89)**	0.782	$y_k = 2.224 - 2.419 \log k$ (23.40)** (-32.28)**	0.670
1 (83)	$y_v = -3.75 + 0.0937v$ (-17.33)** (20.05)**	0.832	$y_k = 1.714 - 2.155 \log k$ (10.72)** (-16.89)**	0.778
2 (71)	$y_v = -4.38 + 0.1106v$ (-20.30)** (23.08)**	0.885	$y_k = 2.558 - 2.733 \log k$ (8.40)** (-11.32)**	0.650
3 (65)	$y_v = -3.67 + 0.0856v$ (-15.49)** (16.85)**	0.818	$y_k = 2.379 - 2.510 \log k$ (10.63)** (-12.96)**	0.727
4 (80)	$y_v = -4.49 + 0.0996v$ (-20.76)** (24.08)**	0.881	$y_k = 2.613 - 2.565 \log k$ (11.00)** (-13.12)**	0.688
5 (76)	$y_v = -4.23 + 0.0828v$ (-20.00)** (19.19)**	0.833	$y_k = 1.895 - 2.485 \log k$ (6.60)** (-11.07)**	0.623
6 (66)	$y_v = -2.60 + 0.0664v$ (-12.63)** (16.95)**	0.817	$y_k = 2.052 - 1.980 \log k$ (8.41)** (-10.84)**	0.646
7 (74)	$y_v = -3.24 + 0.0656v$ (-15.74)** (15.78)**	0.776	$y_k = 2.498 - 2.588 \log k$ (8.70)** (-12.34)**	0.679

注) 括弧内は t 値, **は危険率 1% で有意差が認められる。

常の回帰分析の比較を行うために両者の % RMS 誤差も同時に示す。ファジィ回帰の場合、ファジィ数の中央値を用いて % RMS 誤差を算出した。ファジィ回帰分析は実測値と予測値との差を認めた分析方法であり、% RMS 誤差といった指標を検討するものではないが、通常回帰分析と比較をするための一つの指標として用いる。

(a) 速度・速度感のファジィ回帰分析

表3は、速度・速度感の関係をファジィ回帰、通常の線形回帰で分析した結果を被験者別に示す。パラメータの括弧内は(パラメータの中央値, 幅)を示す。

RMS 誤差から判断する限り、ファジィ回帰と通常回帰の間には大きな差はない。また、各パラメータにも大きな差はない。

被験者別にみると、被験者1, 4, 6の速度のパラメータ幅は0.0である。彼らは速度の影響を直接的に受けている。一方、被験者2, 3, 5,

7は走行速度のパラメータに幅が存在し、速度は速度感に間接的に影響していることを示唆している。また、各被験者の定数項の幅には差がみられる。これは速度以外の影響をすべて含んだあいまいさであると解釈される。

ここで、比較的希望速度が低い被験者1, 中間的な被験者4, 高い被験者5の速度感に対するファジィ回帰結果をそれぞれ図3に示す。図より被験者1, 4についてはどの速度に対しても同様な幅が確認される。つまり被験者内の各速度でのあいまいさはほぼ等しいといえる。一方、被験者5については高速になるほど被験者内でのあいまいさが大きくなっていることが伺える。

(b) 視覚密度・密度感のファジィ回帰分析

表4は、視覚密度・密度感の関係をファジィ回帰分析した結果を被験者別に示している。同時に通常回帰分析のRMS 誤差も示す。

RMS 誤差から判断する限り、ファジィ回帰は

表3 被験者別の速度感に関するファジィ回帰分析

被験者 (データ数)	$y_v = a + b v$	ファジィ回 帰RMS誤差	通常回帰 RMS誤差
1 (83)	$y_v = (-3.457, 1.635) + (0.092, 0.0) v$	0.751	0.712
2 (71)	$y_v = (-4.058, 0.433) + (0.097, 0.028) v$	0.763	0.683
3 (65)	$y_v = (-2.914, 0.608) + (0.071, 0.022) v$	0.760	0.705
4 (80)	$y_v = (-3.212, 1.607) + (0.074, 0.0) v$	0.791	0.646
5 (76)	$y_v = (-3.839, 0.364) + (0.075, 0.022) v$	0.736	0.719
6 (66)	$y_v = (-2.872, 1.323) + (0.075, 0.0) v$	0.711	0.669
7 (74)	$y_v = (-2.523, 1.224) + (0.052, 0.008) v$	0.798	0.738

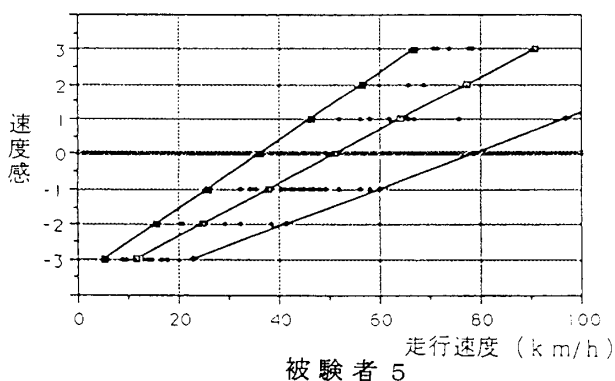
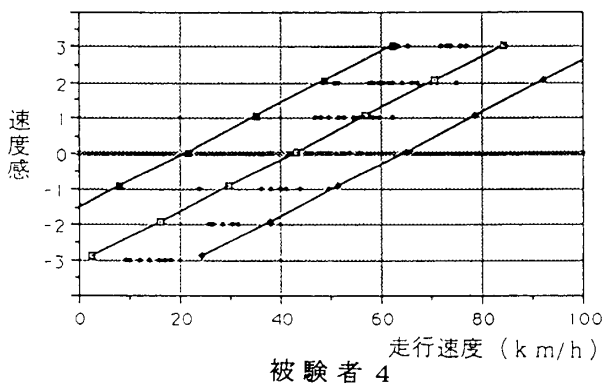
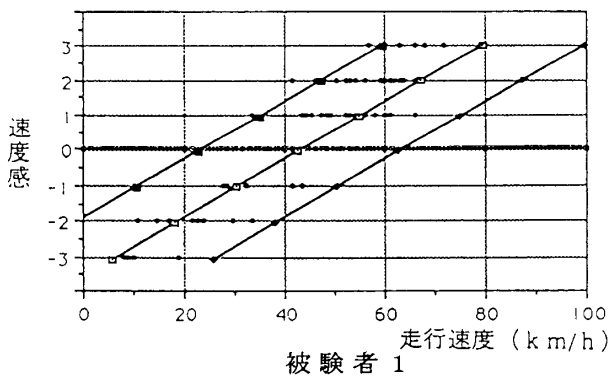


図3 安全を重視した被験者の速度・速度感のファジィ回帰分析結果

通常の線形回帰と大きな差はない。パラメータにも大きな差はみられない。

被験者別にみると、被験者1, 5, 7については密度のパラメータ幅は0.0である。彼らは密度の影響を直接的に受けている。一方、被験者2, 3, 4, 6は密度のパラメータに幅が確認される。特に、被験者2, 4のあいまいさが大きく、彼らは密度の影響を間接的に受けていることがわかる。

速度感の場合と同様に被験者1, 4, 5の密度感に対するファジィ回帰結果をそれぞれ図4に示す。図より3人の各被験者とも高密度になるに従って幅が大きくなっており、混雑してくると全体の密度以外の要因が認知量のあいまいさを大きくしていると考えられる。

物理量の影響を直接的に受ける者と、間接的に受ける者がいることが示唆される。

(4) 道路構造, 交通特性によるファジィ回帰分析

前節では速度の認知を速度感で表わし、両者の関係を考察した。また、交通混雑に対する認知を密度感で表わし、両者の関係も考察した。しかし、それぞれの認知は速度や視覚密度の情報だけではなく、他の要因にも影響を受けていることが予想される。

(a) 付加する変数

速度, 視覚密度の物理量と同時に以下に示す要因も分析に組み込み、速度と密度に対する認知量

表4 被験者別の密度感に関するファジィ回帰分析

被験者 (データ数)	$y_k = a + b \log k$	ファジィ回 帰RMS誤差	通常回帰 RMS誤差
1 (83)	$y_k = (1.949, 1.681) + (-2.362, 0.0) \log k$	0.741	0.730
2 (71)	$y_k = (2.124, 0.747) + (-2.071, 1.458) \log k$	1.175	1.073
3 (65)	$y_k = (2.832, 1.668) + (-3.080, 0.489) \log k$	0.931	0.865
4 (80)	$y_k = (1.959, 1.459) + (-2.103, 0.838) \log k$	1.127	1.076
5 (76)	$y_k = (1.913, 2.261) + (-2.174, 0.0) \log k$	1.038	0.952
6 (66)	$y_k = (1.500, 1.500) + (-1.572, 0.183) \log k$	0.871	0.837
7 (74)	$y_k = (2.695, 2.292) + (-2.597, 0.0) \log k$	0.999	0.982

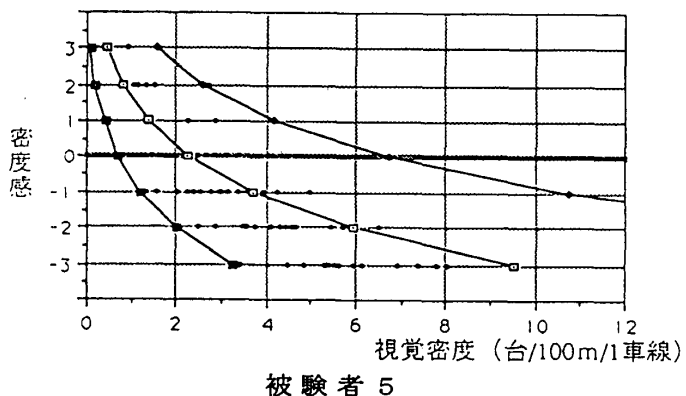
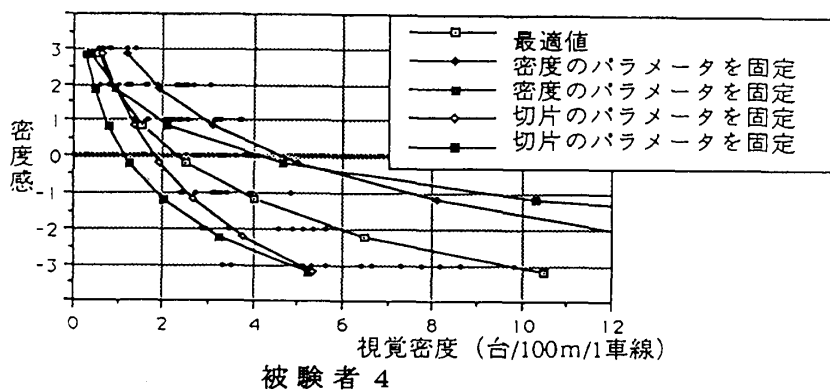
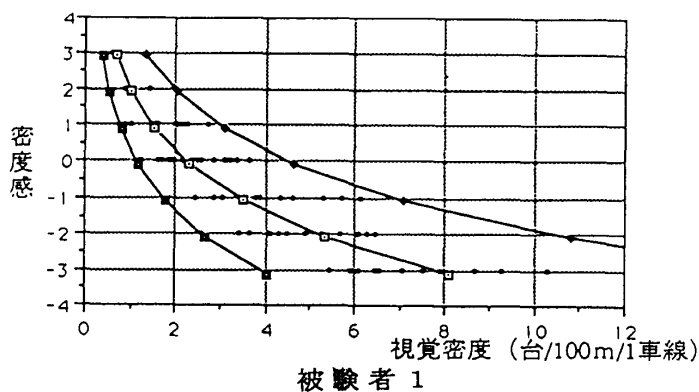


図4 安全を重視した被験者の密度・密度感のファジィ回帰分析結果

のあいまいさを考察する。

- ①被験者個人の特性を表す指標として希望速度、
- ②道路構造の代表値として車線数・上り下り勾配・信号交差点数の多さ、
- ③大型車混入率、
- ④直接的な視覚の影響として前車の車種。

まず、全変数を用いてステップワイズにより重回帰分析を行い、説明変数を選択したところ、速度感に対しては速度と希望速度の変数が、密度感に対しては視覚密度、車線数、大型車混入率の変数が有意となった。そこで、それらの変数を用いてファジィ回帰分析を行い、パラメータのあいまいさを考察する。

まず、回帰式の妥当性や安定性を検討する、さらに、実際の交通流は多様なドライバーから構成されているという理由から、全サンプル515中から約80サンプルずつランダム抽出し、5ケースについて分析を行うことにした。速度の認知については式(5)、視覚密度の認知については式(6)で検討する。

$$y_v = a_1 v + a_2 v_f + b \quad (5)$$

v_f ; 希望速度, a_1, a_2, b ; パラメータ

$$y_k = c_1 k + c_2 s + c_3 o + d \quad (6)$$

s ; 車線数ダミー, o ; 大型車混入率,
 c_1, c_2, c_3, d ; パラメータ

(b) 速度感のファジィ回帰分析

表5は、速度感のファジィ回帰分析結果と比較のため通常の回帰分析結果も示している。

ファジィ回帰分析と通常の回帰分析で求めたパラメータ間には大きな差は認められないが、RMS誤差で両者を比較すれば、ファジィ回帰分析の精度が若干高い。

速度に関するパラメータのあいまいさはケース3と5で0.0である。他のケースの場合にはあいまい性が認められる。しかし、そのあいまい性は小さく、全体的には速度は速度感に直接的な影響を及ぼしていると考えられる。

一方、希望速度に関するパラメータの幅はケース4を除いてすべて0.0であった。このことから個人の希望速度が速度感に大きな影響を及ぼしていると解釈される。

なお、大型車混入率や前車の車種といった説明変数でも同様な分析を行ったが、それらのパラメータのあいまいさはかなり大きく、速度感への直接的な影響は小さいと考えるのが妥当である。

表5 ケース1～5別速度感に関するファジィ回帰分析

ケース	$y_v = a_1 v + a_2 v_f + b$	RMS誤差
1	$y_v = (0.0719, 0.0146) v + (-0.0182, 0.0) v_f + (-1.745, 1.009)$	0.828
	$y_v = 0.0827 v - 0.0280 v_f - 1.541$	0.840
2	$y_v = (0.0804, 0.0294) v + (-0.0243, 0.0) v_f + (-1.800, 2.311)$	0.878
	$y_v = 0.0880 v - 0.0286 v_f - 1.667$	0.918
3	$y_v = (0.0778, 0.0) * v + (-0.0116, 0.0) v_f + (-2.357, 1.594)$	0.810
	$y_v = 0.0890 v - 0.0318 v_f - 1.441$	0.967
4	$y_v = (0.0813, 0.0283) * v + (-0.0122, 0.0045) v_f + (-2.635, 0.0)$	0.928
	$y_v = 0.0872 v - 0.0292 v_f - 0.023$	1.106
5	$y_v = (0.0687, 0.0) v + (-0.0217, 0.0) v_f + (-1.196, 1.921)$	1.261
	$y_v = 0.0863 v - 0.0326 v_f - 1.360$	1.353

注) 上段はファジィ回帰の結果、下段は通常の回帰分析の結果

表6 ケース1～5別密度感に関するファジイ回帰分析

ケース	$y_k = c_1 \ln k + c_2 s + c_3 o + d$	RMS誤差
1	$y_k = (-2.626, 0.626) \ln k + (-0.94, 0.0) s$ $+ (-0.689, 1.018) o + (2.889, 0.77)$	0.841
	$y_k = -2.651 \ln k - 0.833 s + 2.792$	0.844
2	$y_k = (-2.885, 0.0) \ln k + (-0.820, 0.03) s$ $+ (-0.803, 0.294) o + (3.507, 1.891)$	1.041
	$y_k = -2.475 \ln k + 2.206$	1.074
3	$y_k = (-3.246, 0.02) \ln k + (-0.845, 0.0) s$ $+ (-0.774, 0.0) o + (3.770, 1.456)$	0.799
	$y_k = -2.875 \ln k - 0.74 s - 0.886 o + 3.458$	0.765
4	$y_k = (-3.184, 0.0) * \ln k + (-0.837, 0.0) s$ $+ (-0.65, 0.141) o + (3.811, 1.923)$	1.029
	$y_k = -2.791 \ln k - 0.967 s - 1.297 o + 3.358$	0.844
5	$y_k = (-2.71, 0.0) \ln k + (-0.785, 0.0) s$ $+ (-0.57, 0.535) o + (3.288, 1.589)$	0.862
	$y_k = -2.437 \ln k - 0.509 s - 0.842 o + 2.709$	0.813

注) 上段はファジイ回帰の結果, 下段は通常回帰分析の結果

定数の幅に関しては, ケース4は0.0であり, あいまいさはないが, ケース4以外の全ケースに関してはいずれもあいまいさを含んでいた。

結局, 速度の認知は速度とドライバーの希望速度に影響されていることがわかる。

(c) 密度感のファジイ回帰分析

表6は, 密度感のファジイ回帰分析結果を示す。ファジイ回帰分析と通常回帰分析を比較すると, パラメータ間に大きな差は認められないが, RMS誤差で比較すると, ケース3, 4, 5に関しては通常回帰分析の方が良い精度であった。

視覚密度に関するパラメータのあいまいさはケース2, 4, 5で0.0であり, 他のケースの場合もあいまいさは小さく, 視覚密度は密度感に大きな影響を与えていることがわかる。

一方, 車線数はケース2以外はすべて0.0であり, 車線数が密度感に強い影響を及ぼしていると解釈できる。

大型車混入率はケース3, 4では直接的な影響が認められたが, あいまいさが非常に大きいケー

スもあり, 一意的な考察は困難である。

さらに, 希望速度や前車の車種といった説明変数に関するパラメータのあいまいさは大きく, それらが密度感に直接的な影響を及ぼすと解釈することは適切ではない。

密度感とは, 視覚密度, 道路構造や交通状況などの外的な物理量により影響されていることが分かる。

5. 視覚情報の認知が車間距離に及ぼす影響

(1) 概 説

追従状態の場合, 速度は前車によって制限され, ドライバーは前車に衝突しないよう車間距離を保って運転をする。

速度・速度感の関係は線型回帰で, 密度・密度感の関係は対数回帰で表される。また, 密度と車頭間隔は逆数の関係であるので, 密度は前方の車の平均車頭間隔と線形関係であり, 密度の認知量は前方の車の平均車頭間隔に対する認知量と同等

であると考えられる。認知量と物理量の関係は式(7), (8)のように示される。

$$y_v = a + b v \quad (7)$$

y_v ; 速度感

v ; 走行速度, a, b ; パラメータ

$$y_L = f + g \log L \quad (8)$$

y_L ; 他車の平均車頭間隔に対する認知量

($y_L =$ 視覚密度に対する認知量 y_k)

L ; 他車の平均車頭間隔, f, g ; パラメータ

まず速度の認知量 y_v と他車の平均車頭間隔の認知量 y_L は時間的変化に対して、遅れ時間 T を伴う線形関係にあるとすれば、式(9)が仮定される。

$$dy_v/dt = \alpha dy_L/d(t-T) \quad (9)$$

α ; パラメータ

速度が高くなると、遅れ時間を伴って平均車頭間隔も広くなる。逆に、速度が低くなると、平均車頭間隔は狭くなる。このことは車間距離にもあてはまる。しかし、本研究では、短時間における定常状態を議論するので、 $T = 0$ として、式(7), (8), (9)のパラメータ $a, b, f, g, \alpha, \beta$ を求める。さらに、式(9)に式(7)と(8)を代入し、展開すると、式(10)となる。式(10)は物理量と認知量の関係に基づいた交通の状態方程式である。

$$L = A_c \exp(B_c v) \quad (10)$$

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

$$B_c = b / \alpha g$$

B_c は、「速度に対する感度/他車の平均車頭間隔に対する感度」を示しており、速度と視覚密度のどちらに対する感度が高いかを判断する一指標である。なお、 α は補正係数と位置づけられる。さらに、速度 v と実際に取った車間距離 L_m の関係式(11)

$$L_m = A_m \exp(B_m v) \quad (11)$$

A_m, B_m ; パラメータ

を求めれば、被験者別に認知と行動との関係を比較できる。

(2) 視覚情報の認知と行動との比較

(a) 認知を基にした車間距離・速度の関係

村田¹⁰⁾は、速度・車間距離の分布から60km/h時の車頭時間6秒を追従状態の判断基準としている。本研究もこれを参考にして車間距離が100m以内のデータを取り扱った。なお、前章において通常の線形回帰とファジィ回帰のパラメータ間の差が小さいことより以下では通常の線形回帰を分析に用いる。

まず、式(10)の妥当性を検証するため、速度と平均車間距離との関係を示す式(12)を推定し、前節の認知過程を経た式(10)の結果と比較する。

$$L = A_e \exp(B_e v) \quad (12)$$

式(11)の結果は、

$$L_m = 6.032 \exp(0.0369)$$

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

一方、式(12)の結果は、

$$L = 11.681 \exp(0.0219)$$

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

である。これらの推計値と実測値を図5に示す。

%RMS 誤差で判断する限り、認知過程を考慮した関係と、考慮していない関係では大きな差はなく、認知過程を考慮した $L_m \cdot v$ 関係は従来の $L \cdot v$ 関係も十分説明できる。

(b) 認知パラメータ感度と行動

被験者別に式(7), (8), (9)を推定した。回帰式のF値、説明変数のt値はいずれも危険率1%で有意であった。表7はパラメータ b, g, α, B_c , および式(11)を示している。

被験者1, 2, 3, 4, 5の感度パラメータ B_c は全データから求めた B_c よりも大きい。希望速度が中間的もしくは低い被験者1, 2, 3, 4はこれに属す。このことは速度の情報に対する感度が視覚密度(および他車の平均車頭間隔)情報に対する感度よりも相対的に高いことを示す。一方、希望速度が大きい被験者6, 7の B_c は全デー

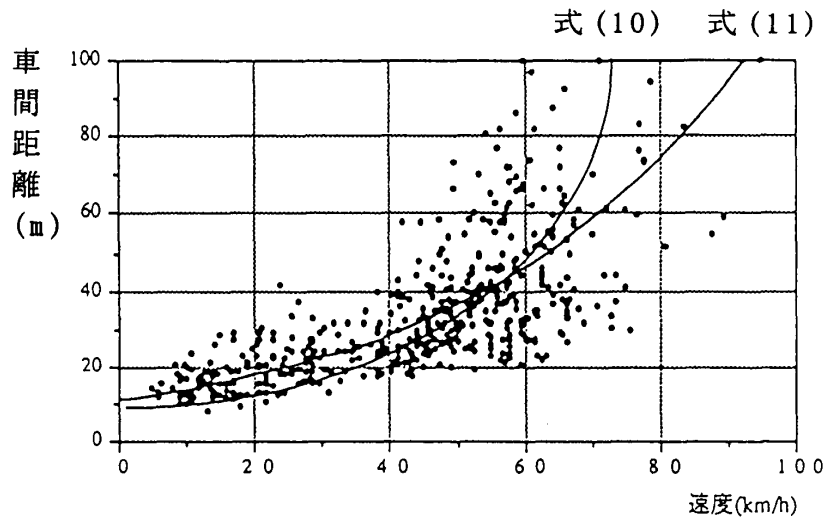


図5 物理量および認知量を基に算出した速度・車間距離関係

表7 認知パラメーターの感度と車間距離のモデル式

被験者	b	g	α	B_0	$L_m = A_m \exp(B_m v)$
全体	0.083 (0.772)	-2.486 (0.635)	0.904 (0.849)	0.037	$L_m = 7.171 \exp(0.024 v)$ (0.518)
被験者1	0.092 (0.825)	-2.135 (0.744)	1.029 (0.797)	0.042	$L_m = 5.441 \exp(0.03 v)$ (0.659)
被験者2	0.110 (0.878)	-2.895 (0.584)	0.940 (0.647)	0.040	$L_m = 7.057 \exp(0.029 v)$ (0.518)
被験者3	0.086 (0.817)	-2.538 (0.728)	0.902 (0.834)	0.037	$L_m = 7.599 \exp(0.03 v)$ (0.726)
被験者4	0.100 (0.880)	-2.723 (0.667)	0.879 (0.790)	0.042	$L_m = 6.032 \exp(0.03 v)$ (0.707)
被験者5	0.080 (0.820)	-2.440 (0.591)	0.796 (0.489)	0.041	$L_m = 5.652 \exp(0.025 v)$ (0.670)
被験者6	0.067 (0.803)	-2.101 (0.616)	1.026 (0.788)	0.031	$L_m = 1.888 \exp(0.023 v)$ (0.603)
被験者7	0.064 (0.753)	-2.800 (0.644)	0.834 (0.856)	0.027	$L_m = 10.773 \exp(0.01 v)$ (0.168)

注) 括弧内はそれぞれの推定された回帰式の寄与率を示す。

タから求めた B_0 より小さい。被験者6, 7は走行速度の変化よりも他車との平均車頭間隔の認知に重点をおいた運転行動であり、走行速度に見合った車間距離より、周りの車の動きを重視して車間距離をとっているといえよう。

図6は被験者別の車間距離と速度の関係を示し

ている。比較的希望速度が低い被験者1, 2, 3, 4は高速になると、広い車間距離をとっている。これは感度項 B_0 が他の被験者よりも大きく、大きいほど車間距離は広い。逆に、被験者5, 6, 7の B_0 は他の被験者に比べて小さく、速度に応じた車間距離を取っていないことがわかる。特に、

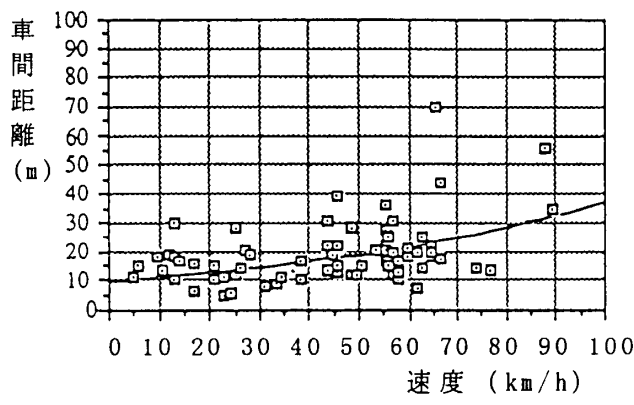
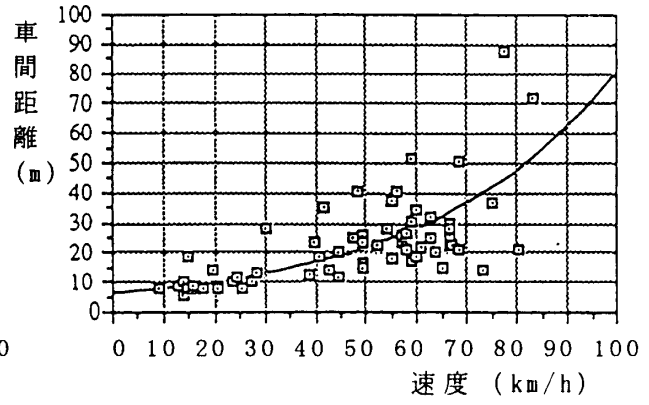
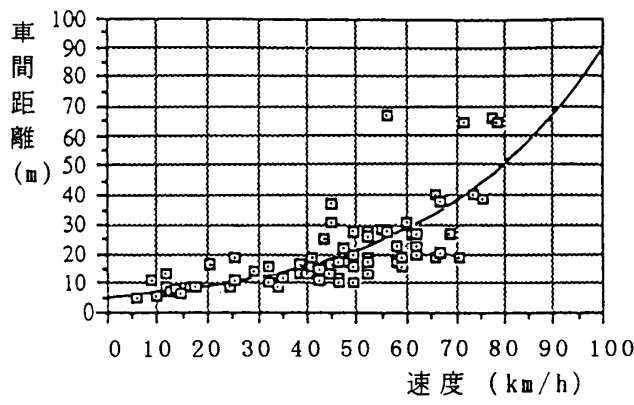
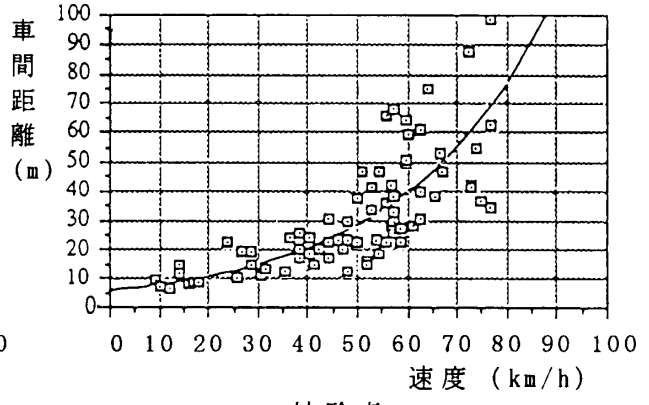
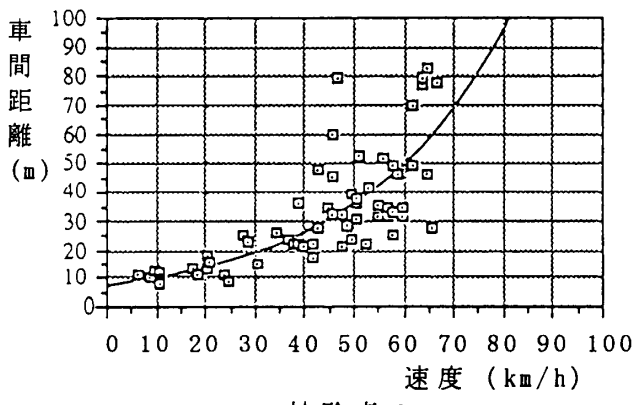
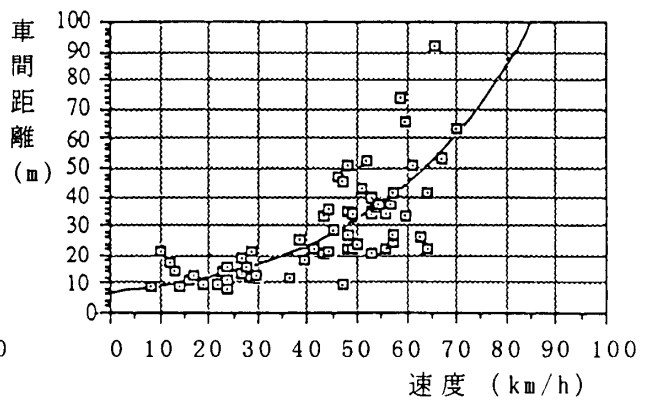
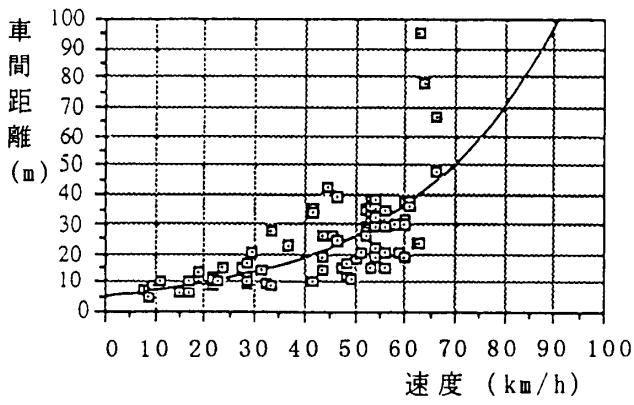


図6 車間距離・速度の関係

被験者7はそれが顕著に表れている。

(3) 道路構造・交通状況が車間距離、車間時間に及ぼす影響

(a) 方法

車間距離には散らばりが存在している。その要因は速度、被験者の個人間変動等であるが、その他に車の性能、被験者の認知、道路要因、交通状況の違い、前車の車種等がある。

そこで道路線形、交通状況、前車の車種について分析をする。分析では被験者の車間距離を目的変数として分析を行うが、速度と個人間の変動が車間距離に及ぼす影響をできるだけ小さくして道路構造や交通状況の影響を考察する。

まず、式(10)を用いて $L \cdot v$ 関係を同定し、個人間変動を消去する。次に、速度による変動を小さくするため、被験者 j が速度 v_{ij} をとった場合、式(11)から求められる推定車間距離を L'_{ij} 、実際にとった車間距離を L_{ij} とすると、下記の式で基準化した車間距離指標 L_{stij} が算出される。

$$L_{stij} = (L_{ij} - L'_{ij}) / L'_{ij} \quad (13)$$

L_{stij} が正の時は車間距離を広くする方向に、負の時は狭くする方向に働く要因が存在すると考えられる。 L_{stij} を目的変数として道路構造、交通状況による影響を分散分析で調べる。なお、車間時間(車間距離/走行速度)が極端に長い場合、または短い場合には分析目的に合致しないため、それに該当するデータは分析から除去されている。

(b) 分散分析の結果

速度に関しては、 $35\text{km/h}^{(1)}$ 以下の渋滞流と 35km/h 以上の自由流の2水準に分割した場合、 20km/h 毎の5水準に分割した場合ともに危険率5%で有意性は棄却された。また個人間変動として被験者別に分析したところ同様に有意性は棄却された。基準化した車間距離指標は速度および個人間変動を消去している。

その基準化した指標を基に、速度感や密度感が車間距離に及ぼす影響を分散分析で検討する。速

度感、密度感を7水準にして分析を行った結果、両者とも危険率5%で有意性が認められたが、多重分類分析(Multiple Classification Analysis, 以降MCAと略す)を行ったところ、7水準間には規則性は認められなかった。

さらに、道路構造や交通特性の影響を考察する。取り上げた要因とその水準は、道路勾配の2水準(上り、下り勾配)、車線数の2水準(単車線、複数車線)、交差点数の2水準(多い、少ない)、視覚密度の5水準、大型車混入率の2水準(高い、低い)、渋滞度の2水準(渋滞時、非渋滞時)、前車の車種の3水準(普通車、中型貨物車程度の大きさ、大型貨物車程度の大きさ)である。これらの要因に関して一元配置の分散分析を行ったところ、前車の車種と車線数の要因が危険率1%で有意な差が認められた。その他の要因の有意差は危険率5%で棄却された。表8は前車の車種、表9は車線数についての分散分析結果とMCA結果を示す。MCAで用いた値は式(11)から算出された値である。

表からドライバーは普通車、中型貨物車程度の大きさ、大型貨物車程度の大きさの順に車間距離を広くする傾向がある。また、同じ速度の場合、単車線より複数車線の方がより車間距離を短くする傾向が強い。

(4) 速度別の視覚情報認知の影響

(a) 速度別の分散分析

速度を 20 ± 5 、 30 ± 5 、 40 ± 5 、 60 ± 5 、 $70 \pm 5\text{km/h}$ に6分割し、その分割毎に分散分析を行う。さらに、MCAでその影響を検討する。

前節より、ある速度範囲での車間距離のばらつきは道路構造と個人間変動等の影響が強いと考えられる。したがって、以下のような要因とその水準を設定した。なお、対象とするデータ集合により水準は若干異なっている。

要因①(被験者): 7人の被験者で7水準

要因②(走行速度): 各ランクとも5水準

要因③(速度感): 7ランクの言語表現の7水準

要因④(視覚密度): 0, 1, 2, ..., 10(台/

表 8 前車の車種による分散分析と MCA 分散分析

分 散	平方和	自由度	F 値
主効果	1.507	2	4.900**
誤差変動	75.854	490	

MCA			
要 因	偏差	重相関係数	
Grand Mean	0.02	0.140	
普通車	-0.04		
中型貨物車程度の大きさ	0.05		
大型貨物車程度の大きさ	0.10		

表 9 車線数による分散分析と MCA 分散分析

分 散	平方和	自由度	F 値
主効果	1.268	1	8.198**
誤差変動	76.124	492	

MCA		
要 因	偏差	重相関係数
Grand Mean	0.02	0.128
単車線	0.05	
多車線	-0.06	

100m/車線)の11水準

要因⑤(密度感):7ランクの言語表現の7水準

要因⑥(前車の車種):普通車・中型貨物車程度
の大きさ・大型貨物車程度
の大きさの3水準

要因⑦(車線数):単車線,多車線の2水準

要因②と③,要因④と⑤はそれぞれ物理量とその認知という関係である。そこで,物理量で示される要因②,④,⑥,⑦による分析を行ったところ,要因⑦(車線数)の有意性はどのランクの速度でも棄却された。したがって,要因①から⑥による

分析を行う。

物理量で示される速度と密度と前車の車種の3要因による分散分析と,認知量で示される速度感,密度感と前車の車種の3要因による分散分析の2種類を行った。表10は各要因のF値を示している。

物理量を用いた分析からは,視覚密度の有意性が5%または1%の危険率で認められた。しかし,走行速度や前車の車種についてはどの走行速度範囲でも有意性は認められない。MCAによると視覚密度が高いほど車間距離も短くなる。これは,被験者が車の混み具合に応じて車間距離をとることを示している。

一方,認知量を用いた分析によれば,50±5km/h以下の範囲では有意な要因は認められない。60±5km/hの場合密度感,速度感ともに有意性が認められた。70±5km/h時には密度感に有意性が認められた。また,前車の車種は50±5,60±5km/hの場合有意であった。MCAによれば,速度感が低いほど,また密度感が高いほど,前車の車種の大きさが小さくなるほど車間距離も短くなる。

次に個人間変動を考慮し,被験者,速度,密度,前車の車種の4要因を用いた分散分析と,被験者,速度感,密度感,前車の車種の4要因を用いた分散分析の比較を行った。

表11は分析結果の比較を示している。上記の要因が被験者のとった車間距離を説明できる度合いの大きいものは,物理量を扱った分析では速度が50±5km/h,認知量を扱った分析では速度が60±5km/hの場合である。低速時と高速時の説明力は必ずしも高くはないが,およそ50km/hより低い場合には物理量が,およそ60km/hより高い場合にはドライバー認知量の方の説明力が高い。

特に,60±5km/h時の車間距離を認知量を主とした4つの要因によるMCAの結果を表12に示す。相関比は,1つの要因によって説明される分散の比率を表す。偏相関比は相関比と同様な指標であり,その要因の相対的貢献度を表す。MCAの相関比および偏相関比によれば,個人間変動と速度感,密度感の説明力が大きい。希望速

表10 3要因による車間距離の分散分析

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

注) 括弧内は自由度, *, +; 5%危険率有意,
**, ++; 1%危険率有意

表11 4要因による車間距離の分散分析

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

注) 括弧内は自由度, *, +; 5%危険率有意,
**, ++; 1%危険率有意

表12 4要因による60km/h時における車間距離のMCA

要因	水準	データ数	偏差	相関比	修正偏差	偏相関比
個人間変動	被験者 1	17	2.13	0.49	4.49	0.39
	被験者 2	12	-10.45		-7.54	
	被験者 3	15	12.05		-8.89	
	被験者 5	22	10.14		9.91	
	被験者 6	18	13.30		13.58	
	被験者 8	23	-18.22		-12.63	
	被験者 9	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	
前車車種	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

注) 中型貨物・大型貨物：中型貨物車程度の大きさ，大型貨物車程度の大きさ

度が高い被験者 2, 6, 7 は負の重み係数であり，車間距離を狭くする傾向が強い。また，速度感の低いほど，密度感が高いほど，そして前車の車種が普通車の時，車間距離を狭くする傾向がある。比較的速い速度で走行しているドライバーは，速度や密度に対する認知量を基準に加速，減速をしているといえる。

6. 結 論

(1) 速度の認知および密度の認知について，

Weber-Fechner の法則を基にしたファジィ回帰分析を被験者ごとに行い，パラメータのあいまいさを比較した結果，速度，視覚密度の影響を直接的に受ける被験者と間接的に受ける被験者がいることが確認できた。

(2) 認知のあいまいさの要因を調べるために，ファジィ回帰分析を行った。その結果，速度の認知には速度とドライバー個人の希望速度が影響している，密度の認知には視覚密度と車線数や大型車混入率という外的な物理量が影響していることが分かった。

(3) 速度と密度の認知式を基にした速度・車間距離の関係は、指数型関数で表される。そして、車間距離を長くする傾向のある被験者は、他車の密度情報よりも速度情報に関する認知を重視する。一方、車間距離を短くする傾向のある被験者は、認知の段階で速度に対する認知そのものが小さい者と、認知はしているもののそれが行動に結びついていない者が存在している。

(4) 実際の車間距離に影響を及ぼす要因は、速度、個人間変動が顕著であった。認知量の影響としては、速度感が低いほど、また密度感が高いほど車間距離を短くとる傾向にある。これは渋滞流の時よりも自由流の領域、特に60km/h前後で顕著に現れる。

(5) 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、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大きな影響を及ぼしていることが示唆される。

今後に残された課題も多い。以下に主なものを示す。

(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、という個人内変動に関してはさらに研究を進めて行かなければならない。

(2) 本研究では短時間の定常状態を扱ったが、実際にはそれ以前の状態や、対象道路の走行経験の影響なども含まれている。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) 本研究は認知と行動の関係を分析するための方法論的研究であった。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) Paul Ross, Mclean, VA22101, U.S.A.; Traffic Dynamics, Transportation Research B, Vol. 22B, No.6, 1988, pp. 421-435
- (2) A. Alvarez, J.J. Brey and J.M. Casado; A Simulation Model for Traffic Flow with Passing, Transportation Research Board, Vol. 24 B, No. 3, 1990, pp. 193-202
- (3) 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)，1991，pp. 375-380
- (4) 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. 13，1990，pp. 221-228
- (5) Moon Nam Gung, 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)，1991，pp. 359-366
- (6) Moon Nam Gung；都市幹線道路の交通流特性解析へのファジィ理論と知識工学の適用に関する研究，広島大学学位論文，1991
- (7) 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回年次学術講演会概要集IV，1992，pp. 348-349
- (8) 清田勝，角知憲，沖本洋人，田上博：低速走行を強えられる一般ドライバーの追い越し行動，土木学会論文集，No. 569/IV-36，1997，pp. 43-51
- (9) 田中良久：心理学測定法，東京大学出版，1987，pp. 143-144
- (10) 村田隆治：自動車運転の車間距離認知，交通工学，Vol. 22，No. 6，1987，pp. 21-29
- (11) 田村洋一，樗木武；自由車・追従車構成に着目した車頭時間分布モデルに関する研究，土木学会論文報告集，第336号，1983，pp. 159-168