

ドライビングシミュレーターによるインターチェンジ流入部における 高齢運転者の運転挙動の研究

森 康男 *

Older Drivers' Behavior in Merging Section of Expressway Interchange: Experiments by Driving Simulator

Yasuo MORI

Abstract: This study aimed to analyze the older drivers' behavior in a merging section of expressway interchange where every driver is asked careful maneuver, and finally to provide useful suggestions for improvement of the design standard about length of acceleration lane and to make it friendly to older drivers. The experiments were carried out on a driving simulator system which had been developed by Department of Civil Engineering at Osaka University. Thirty-seven older drivers and 22 young drivers drove a merging section with a 250-meter-long acceleration lane. Three different levels of traffic were generated on two through lanes and each subject was asked to merge into the outmost lane. Among various data which were acquired and recorded by the simulator, the merging position measured as the distance from the ramp nose was analyzed and discussed in this paper. Many older drivers found that it was difficult to merge safely within the designed acceleration lane when the traffic volume of the through lane was high, but less young drivers did so.

1. 研究の背景

2020年には日本の人口の4分の1が65歳以上という世界でも例を見ない高齢化社会となり、高齢者の運転免許保有者も増加の一途をたどり、2040年頃には約2,000万人に達すると推計されている¹⁾²⁾。免許保有率も年々増加し、2040年には約60%となり、65歳以上の高齢者の免許保有者は全体の20%に達することが推定されている。従って、高速道路を利用する高齢運転者の交通量は現在の2倍以上になるであろうと言われている²⁾。

高齢運転者の運転行動に関しては、ほかの年代に比べ、スピードを出さないなど安全運転を志向しながら、左方向の確認や、方向指示器の出し忘れという、事故惹起危険度を含む兆候が見られることも指摘されている。高齢運転者自身、自己の運転行動をどのように捉えているのだろうか。運転行動の評価に関しては、「自分の能力を他のドライバーに比べ高く評価する傾向」を指摘する結果がその主流をなしており、これに反する研究報告は見あたらない³⁾。しかし、高齢運転者の運転行動に関する自己評価と危険な状況を避けようとする運転行動の方略との関連性については明確にされていない。

* 建設工学科土木環境工学専攻

平成 18 年版の交通安全白書には、昨年度の道路交通事故による死亡者数は約半世紀ぶりに 6 千人台になったと報告されているが、自動車運転者が第 1 当事者となった死亡事故件数は、全体としては減少傾向で推移しているが、65 歳以上の高齢者の事故はほぼ一貫して増加しており、平成 17 年には元年の約 3 倍に増加したと述べられている。ちなみに、16~24 歳の若者の件数は同じ期間に約 3 分の 1 に減少している⁴⁾。

第 8 次交通安全基本計画の「道路交通安全対策の今後の方向」においても、高齢運転者の大幅な増加に対応して「高齢者が事故を起こさないようにするための対策を強化することが喫緊の課題である」と指摘している。しかし、具体的な施策となると、同白書平成 18 年度交通安全施策に関する計画では、「信号灯器の LED 化、道路標識の高輝度化等を推進する」、「・・・高齢運転者講習の内容の充実及び更新時講習における高齢者学級の編成に努めるほか、・・・」が挙げられている他は、これと言った対策は考えられていないように見える。

信号灯器や道路標識だけではなく、これまでの道路本体の構造や道路施設などの設計において、道路環境認知能力や運転能力が低下していると言われる高齢運転者の安全確保が適切に配慮されているであろうか。また、格段に安全性が高められた自動車であるが、高齢運転者の運転特性に十分に対応しているであろうかという疑問が投げかけられている⁵⁾。

このような情勢，すなわち，高齢運転者が第一当事者となる死亡事故が増加しているという情勢に直面しているが，高速道路をはじめとする自動車専用道路においても，高齢運転者に配慮するように設計の改善を図るという動きはまだ顕著ではない。高速道路のサービスエリアやパーキングエリアにおいて，高齢者や身障者に対するバリアーを取り除く努力はされているが，道路線形，道路幅員，標識，照明などの運転者の快適・安全な走行を基本的に保証すべき構造ないしは施設について，高齢運転者の心身機能や反応能力に配慮して再検討し，改善しようとする動きはまだ端緒に着いたばかりである。

たとえば，(財)高速道路調査会において「高齢運転者に優しい高速道路の検討委員会」が筆者らの提唱によって設立され，研究が進められている。この研究会は，現在の高速道路のすべての施設設計，運用方法，維持管理方法とその基礎となる要素を洗い出し，それらが高速道路上の高齢運転者の安全・円滑な運転の担保に対応できているかどうかを照査しようとしている⁶⁾。

米国においても 65 歳以上の高齢運転者の人口が増え続けており，2005 年には 3,600 万人，2020 年には 5,000 万人に達すると予想されており，これは米国の運転人口の 1/5 に相当することになる。そこで，米国では 1980 年代から高齢運転者の安全性に対する膨大な調査・研究を行い⁷⁾，その成果として 1998 年には連邦道路局（FHWA）が *Older Driver Highway Design Handbook* を出版し，さらに 2001 年にはこれを補強した *Highway Design Handbook for Older Drivers and Pedestrians* を出版している。このハンドブックには，平面交差点，インターチェンジ，平面・縦断曲線および追越し区間，路上工事区間，踏切（鉄道との平面交差）の 5 種類の道路区間について，高齢運転者の安全性を高めるための，幾何構造設計，標識およびマーキング設計，デリニエーター設計などについて種々の勧告や提案をするとともに，その勧告や提案の基礎や証拠とな

った調査・研究成果をあげている。

このハンドブックは米国の *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways (MUTCD)* および *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (AASHOTO Green Book)* に示された内容を、高齢運転者の安全性を高めるために補強するような形で記述されており、これらのマニュアルと指針と連携がとれるようになっている。

このハンドブックでも、インターチェンジにおける分岐、流入行動は高齢運転者に大きなストレスを与え、衝突事故が発生する可能性が高いことを指摘し、インターチェンジの出口標識、出口ランプノーズのデリニエーター、加速および減速車線の設計、照明設置、逆走などの防止施設の設置などについて勧告や提案を行っている。

2. 研究の目的

筆者らは、高速道路における高齢運転者の運転の安全性と円滑性を向上させるために、道路線形、道路幅員、標識、照明などの運転者の安全・快適な走行を基本的に保証すべき構造ないしは施設の設計について、高齢運転者の心身機能や反応能力に配慮して再検討することが必要であると考へ、種々の改善を提案することを試みてきた。具体的には、筆者らが開発した仮想空間創出技術（virtual reality）を応用したドライビングシミュレーター（図 1 参照、以下DSと言う）による室内走行実験によって、高速道路における高齢運転者の運転挙動の特性を解明し、種々の提案を行ってきた^{8)~11)}。

今回の研究においては、高速道路インターチェンジのランプから加速車線を走行して本線に流入する、いわゆる流入区間に着目した。インターチェンジにおいて本線に流入することは高齢運転者にとって、特に本線の交通量が多いときは、非常に神経を使う挙動である。そこでこの研究では、インターチェンジ流入区間(加速車線)のモデル（設計速度 100km/h に対応するテーパー長を含めた長さ 250m、図 2、3 参照）を DS 内に作成し、被験者が異なった交通量レベルの交通が走行する本線走行車線に流入する走行実験を行って、高齢運転者の流入運転挙動を若年運転者のそれと比較しながら解明し、加速車線の長さなどの評価を行うことを目的とした。

この DS では被験者の運転挙動を表す種々のデータが採取されるが、この実験の第一の



図 1 ドライビングシミュレーターの構成

目的は、本線交通量が多いときに高齢運転者が安全・円滑に本線に流入するには、現在の設計要領で定められた加速車線長が十分であるかどうかを確認することであるので、この報告では運転者の本線に流入した位置に特に着目した分析結果を報告する。他の運転挙動、たとえば流入速度や注視点挙動については別の機会に報告する。

なお、同じDSを用いたインターチェンジ合流部の加速車線長を検討した研究として、参考文献12)、13)の研究がある。これらの研究では、付加車線長および本線交通状況が異なる場面での合流車挙動の変化を把握し、得られたデータから各評価指標について算出した評価値の比較を行い、加速車線長の検討を行っている。合流に選択した車両間隔の分析より、本線交通状況に関わらず、付加車線長を200mから400m、600mに延伸することにより、合流する側から見て選択できる車両間隔の自由度が高まることを見出している。また、評価指標として合流位置分布を用いた分析も行っており、本線交通状況に関わらず、付加車線長を200mから400mに延伸することにより、合流する側から見て設定できる合流位置の自由度が高まること、特に本線交通状況が高密度の場面では、付加車線長400mより600mの方が、自由度が高まることを確認している^{12)~13)}。

しかし、これらの実験は加速車線の先端を簡易な工事用バリアーで区切って長さを変更し、実際の加速車線の形状とはかけ離れており、またDSの被験者は若年者であり、高齢運転者ではないということで、今回の実験とは異なる。

3. 実験の概要

3.1 ドライビングシミュレーターの概要

大阪大学工学部土木工学科に導入された Onyx Reality workstation, 3次元 projector, および120インチスクリーンを用い、1996年より正面のみのスクリーンと模擬運転台で仮想道路空間を走行体験できるDSの開発を開始した。このDSは被験者に与える視覚情報が正面に限られており、被験者の視野角は67°程度しか確保できなかった。運転中に被験者が注視する正面の風景は忠実に再現することができたが、周辺視の情報は与えることができなかった。周辺視はドライバーが直接注視する視野範囲ではないが、DSにおける周辺視の再現は被験者によりリアルな走行体験を提供できるとともに、より現実に近い速度感を与えることが出来ると考えられた。

1999年には、より高性能な Onyx2 InfiniteReality2 workstation が導入され、室内実験システムを1画面DSから、周辺視を含めた広範囲の視野角が確保できる多画面DS(3面のスクリーン(視野角200°)、2面のドアミラー(液晶ディスプレイ)、およびバックミラー(液晶ディスプレイ))に機能拡張した開発を行った(図1参照)。

われわれが必要とするシステムは、高速道路上における渋滞や事故をはじめとする交通問題に対し、その原因を究明し、あるいは、対策を検討することを目的とする。そのためには、道路や交通状況などの走行環境が運転者挙動にどのように影響するのかを調査できるシステムが必要である。特に、走行環境を再現した視覚情報のリアリティは被験者の運転挙動に最も大きく影響する要素であるため、以下の性能条件をより高い水準で満たすことを目的とした。

- ・道路構造物，附属施設等の道路環境を実走行に近い視覚情報で再現すること
- ・周辺走行車両などの交通状況の再現に柔軟性を持つこと
- ・被験者の運転挙動や車の走行データが記録できること
- ・実験結果は実走実験に近い信頼性を有すること

この種の DS を用いて室内走行実験を行う利点は，①室内実験であるので，どのような身体状態の高齢運転者についても実験は安全に行える，②均一な実験条件のもとで，多数の被験者の実験が行えるので，信頼できるデータが得られる，③道路施設等の設計の段階で多数の代替案を被験者に提示することができる，④運転者の生理的反応（心拍数），注視点，速度，アクセルおよびブレーキ使用度などのデータを採取して，種々の指標を導いて代替案を評価できるなど，従来の実走実験では不可能であった実験を行うことができることである。

最初に，このシステムの再現性の評価をトンネルの連続する高速道路の実走行試験と DS での試験の比較で行い，調査研究に十分な再現性のあることを確認し^{14)~17)}，その後，①トンネル坑口デザインの評価^{18)~19)}，②ジャンクションの案内標識²⁰⁾，③サグ部の渋滞現象の解析²¹⁾，④トンネル内装板の設計検討²²⁾，⑤情報提供システムの有効性評価，⑥インターチェンジ合流車線の長さに関する検討¹²⁾¹³⁾などの検討・研究がこの DS を利用して行われている。

3.2 流入走行実験

この実験は，37 名の高齢被験者と 22 名の若年被験者（被験者の年齢構成は表 2 の通り）に対して，250m（テーパ部 50m を含む）の加速車線を持つ流入部において，本線交通量（本線外側車線交通量）のレベルを 3 種類（表 1 参照）に変えて，ノーズ手前約 110m のランプ上から発進し，流入運転を 3 回行わせた（図 2 参照）。

流入区間は，既往研究¹²⁾，¹³⁾で使われた東名高速道路下り線三好インターチェンジの流入区間の道路モデルを修正して，

図 2，3 に示すように実際の加速車線のようにテーパを付けたモデルとした。

本線外側車線の交通量は三好インターチェンジ付近で観測された交通流を，表 1 のような密度と空間平均速度を持つ交通として DS で再現し，ドアミラーとバックミラーに映写し，かつ右側のサイドスクリーンに本線を走行する車両を映写するようにした。

これらの交通量パターンは被験者にランダムな順に提示した。250m の加速車線を使っても流入できない

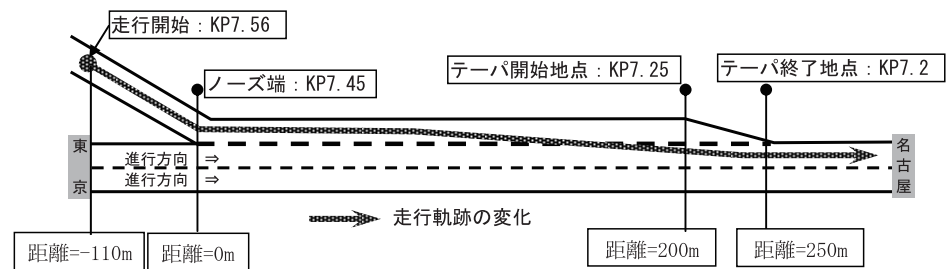


図 2 流入区間概念図



図 3 流入区間道路モデル（テーパ端部分）

場合は、計 3 回まで再試行を許した。それでも流入できない場合は、「流入できない」走行として扱った。表 2 にその構成を示す。被験者は、ランプから加速車線を走行しながらこれらの映像を見て、適当な流入間隔を見つけて流入するようにした。

表 1 本線交通量

交通量パターン	交通密度 台/km	空間平均 速度 km/h	交通流率 台/h/車線
パターン1	40.8	73	2980
パターン2	27.1	79	2140
パターン3	40.8	67	2730

3.3 流入位置の分布

表 2 被験者の年齢構成と実験走行数の内訳

年齢層	被験者数	流入状況	交通量 パターン1	交通量 パターン2	交通量 パターン3	計
年齢層a (60-64)	3人 8%	全走行数	3	3	3	9
		流入できなかった走行	2	0	0	2
年齢層b (65-69)	14人 38%	全走行数	14	14	14	32
		流入できなかった走行	4	0	0	4
年齢層c (70-74)	13人 35%	全走行数	13	13	13	39
		流入できなかった走行	5	0	0	5
年齢層d (75-79)	7人 19%	全走行数	7	7	7	21
		流入できなかった走行	0	0	0	0
高齢者 全体	37人 100%	全走行数	37	37	37	111
		流入できなかった走行	11	0	0	11
年齢層e (20-25)	22人	全走行数	22	22	22	66
		流入できなかった走行	4	0	1	5
全年齢層	59人	全走行数	59	59	59	177
		流入できなかった走行	15	0	1	16

図 4 に、高齢運転者と若年運転者に分けて流入位置の累積度数曲線を、交通量パターン別に示した。加速車線長はテーパーも入れて 250m であるが、この長さ内で流入できなかった被験者は「流入できない」という区分に入れた。累積度数曲線でも 250m 以上の欄外

で流入したとしてグラフを作成している。なお、「流入位置」は、自車両の中心が加速車線と本線外側車線の境界のレーンマークをまたいだ地点としている。

これらのグラフから、次のようなことが言えよう。

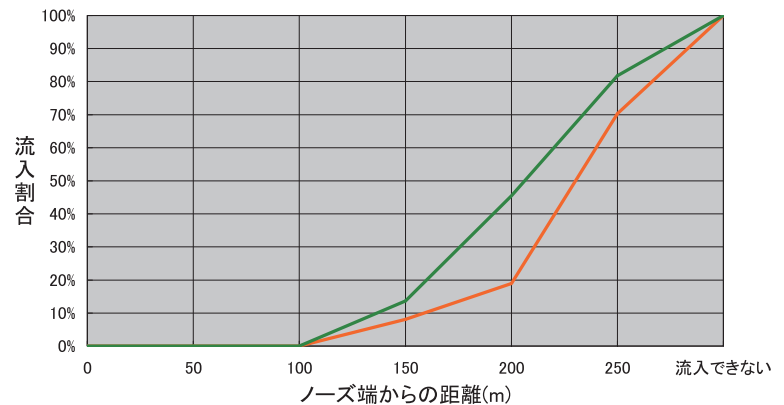
- ① 交通量パターン 1 では、高齢者も若年者も流入できない被験者が、それぞれ 30%と 18%も出ている。このパターンを交通量に換算すると、2980 台/時/車線にも達するもので、非常に高いものである。このような交通量では、用意された加速車線長では若年者といえども完全に流入するのは困難であった。また、高齢者の場合は 50%の被験者が 250m ぎりぎりまで加速車線を走行してから流入していた。交通量パターン 2 では、ほとんどの高齢・若年被験者とも 250m で流入できている。しかし、若年者は 150m までで 30 数パーセント、200m までで 70%余りが流入できているが、高齢者は同じ位置で、それぞれ 20%弱と 54%しか流入できていない。このときの交通量は 2140 台/時/車線で、パターン 1 の 72%である。
- ② 交通量パターン 3 でも、ほとんどの高齢・若年被験者とも 250m で流入できている。しかも、両年齢層の累積度数曲線がほぼ一致している。このときの交通量は、2730 台/時/車線であり、パターン 1 の交通量の 92%である。交通密度は等しいが、速度は 6km/h 低くなっていた。この速度の相違がこのような流入位置分布の相違（パターン 3 の方が円滑に流入している）になったのであろうと推測されるが、複数の検証をしていないで結論は出来ない。
- ③ 高齢者の流入分布パターンは交通量パターン 2 と 3 でほとんど変わっていないが、若年者の流入位置分布は相当に変わっている。すなわち、パターン 3 の方の流入距離が長くなっている。そして、交通量パターン 2 と 3 では、2 の方の交通量が少ないが、3 の速度が 12km/h も低くなっている。

3. まとめと考察

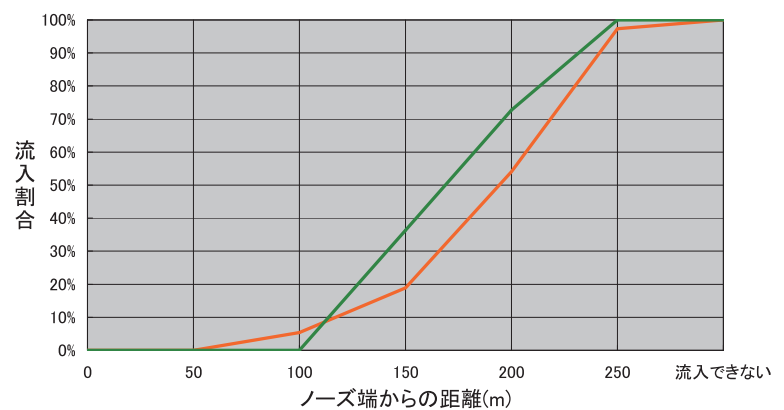
今回の実験では、1 種類の加速車線長のモデルしか実験が出来なかったことと、本線の交通量パターンも既往研究のものを利用したので、高齢運転者のインターチェンジ流入区間における運転挙動について、狭い範囲での知見しか得られなかった。ここでは、高齢運転者と若年運転者の流入位置の分析から以下のような推論と課題を記しておく。

- 1) 高齢運転者の方が若年運転者よりも流入挙動が緩慢であると推測される。特に、本線の交通量が非常に多いとき、または速度が高いときに流入しにくくなっていると推測される。
- 2) 本線交通量のパターンによって流入の困難性が大いに左右されると推測される。ただし、同じ交通量でも、その速度と密度のどちらに大きく影響を受けるのかは、確定できなかった。今回の実験では速度の変化が大きく影響するのではないかと推測された。
- 3) 高齢運転者にとっての加速車線の適切な長さについては、この実験では求めることは出来なかった。加速車線長は交通量パターンによっても左右されることが明らかなので、適切な数の加速車線長と交通量パターンを組み合わせた走行実験を行って、考察する必要がある。

交通量パターン1



交通量パターン2



交通量パターン3

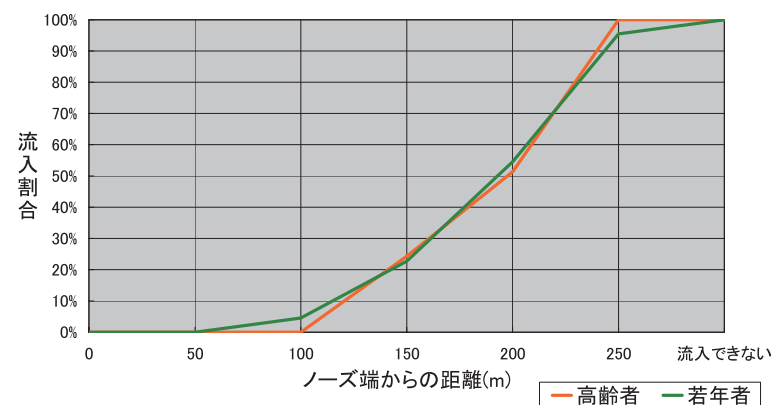


図4 流入位置分布の累積度数曲線

謝辞

この論文は、平成17年度～18年度 福井工業大学学内特別研究費および三井住友海上福祉財団研究助成金による研究の一部を報告したものである。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 太田博雄：交通安全学，高齢運転者の安全教育，交通安全教育のための理論と実践，第3部，pp.296-308，(株)企業開発センター，2000.2
- 2) 木村一裕・清水浩志郎：高齢運転者と運転能力と走行環境評価に関する研究，土木学会論文集，No.518，IV-28，pp.69-77，1995.7
- 3) 宇野宏・平松金雄：高齢運転者の緊急回避特性，自動車研究，Vol.22，No.3，pp.23-25，2000.3
- 4) 内閣府：平成18年度交通安全施策に関する計画，平成18年版交通安全白書，pp.153-154，2006.7
- 5) 森 康男：時評：高齢運転者の安全対策，「高速道路と自動車」，Vol.49，No.11，p.13，2006.11
- 6) (財)高速道路調査会：高齢運転者に優しい高速道路に関する研究報告書，2008.3
- 7) たとえば，Special Report 218 *Transportation in an aging Society*, Transportation Research Board 1988
- 8) 森 康男：仮想空間創出技術による高齢運転者に配慮した道路標識設計基準の改善に関する研究，平成15年度～平成16年度科学研究補助金（基盤研究（B）(2)）研究成果報告書，2005.3
- 9) 森 康男・安時亨・英恵司：ジャンクション分岐部における標識設計と高齢運転者の運転挙動の関連についてードライビング・シミュレーターによる走行実験分析ー，交通科学，Vol.35，No.1，pp.50-57，2004.
- 10) Mori, Y., A. Iida, and S. An: Aged Drivers' Behavior at Diverging Guide Signs: Experiments by Driving Simulator, *Proceedings of The 10th International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled Persons (TRANSED)*, (CD-ROM), 2004.
- 11) Mori, Y and S. An: Experiments by Driving Simulator to Find Older-Driver-Friendly Diverging Guide Signs at Expressway Interchanges, *Proceedings of The 11th International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled Persons(TRANSED)*, (CD-ROM), 2007
- 12) 河井健・飯田克弘・安時亨・大口敬：ドライビング・シミュレータを用いた合流部走行実験の現況再現性，第23回交通工学研究発表会論文報告集，pp.81-84，2003.11
- 13) 飯田克弘・隅本雄一・巽義知・安時亨：VR技術の適用による合流部付加車線延伸効果の検討，土木計画学研究・論文集，Vol22，2005
- 14) Mori, Y., K. Iida, and J. Kim: Development of the Laboratory Test System using Virtual Reality Simulation; Investigation of Reproducibility at the Entrance of Tunnel on Expressway," *Proceedings of 21st World Road Conference*, C4-04-08 (CD-ROM), 1999
- 15) 金 鍾旻：ドライビングシミュレーターの再現性検証と高速道路走行環境評価への適用に関する研究，大阪大学学位論文，2000.12
- 16) 池田武司：運転者の認知ー挙動過程に着目した高速道路走行環境評価に関する研究，大阪大学学位論文，2001.12
- 17) Mori, Y, and K. Iida: A New Tool for Improvement of Expressway Design and Operation: Development of A Driving Simulator by Application of Visualization Techniques, *Proceedings of 14th International Road Federation*, S.00409 (CD-ROM), 2001
- 18) Iida, K., Y. Mori, K. Matsumoto, and A. Hayama: Analysis of The Driver's Behavior at The Entrance of Tunnel, *Proceedings of the 8th World Conference on Transport Research*, Vol.3, pp.391-406, 1998
- 19) 松本晃一・野口雅弘・森 康男・飯田克弘・池田武司：交通機能面から見た坑口のあり方に関する研究，交通工学，Vol. 35，No.1，pp. 28-37，2000.1
- 20) 飯田克弘・森 康男・金 鍾旻・小池 淳：ドライビングシミュレーターを用いた室内実験によるジャンクション案内標識の評価，土木計画学研究・講演集，No. 22(2)，pp. 967-970，1999.11
- 21) Katsuhiko IIDA, Yasuo MORI, and Takashi OGUCHI : Study on the Road Structure Improvement of Sags Based on the Results of Analysis of the Drivers' Behavior, *Proceedings of the 9th World Conference of Transport Research*, Topic Area C3, Paper Number 3302 (CD-ROM), 2001.7
- 22) Katsuhiko IIDA, Takeshi IKEDA, Sihyoung AN, and Yasuo MORI: A Study on Desirable Design Of Tunnel Cladding Panel for Expressway Tunnels with Large Cross Section by Virtual Reality Driving Simulator, *Proceedings of the 9th World Conference of Transport Research*, Topic Area C3, Paper Number 3313 (CD-ROM), 2001.7

(平成21年3月31日受理)