

複合現実感を用いた高速道路の動的レーンマーキングの走行安全性に関する研究*

A Safety Study on Dynamic Lane Marking of Motorways in Mixed Reality*

岩永陽** 本多建*** 田中伸治**** 白石智良***** 桑原雅夫*****

By Akira IWANAGA** Ken HONDA*** Shinji TANAKA****

Tomoyoshi SHIRAIISHI***** Masao KUWAHARA*****

1. はじめに

本研究では、交通需要の変化に応じてサービスレベルを動的に変化させる交通インフラ「動的インフラ」の実用可能性について考察する。

交通需要は時間や曜日などによって動的に変化しているが、その需要をさばく供給側である交通インフラの容量にはある一定の限界がある。この限界を需要がオーバーしたときに渋滞は発生する(図1)。

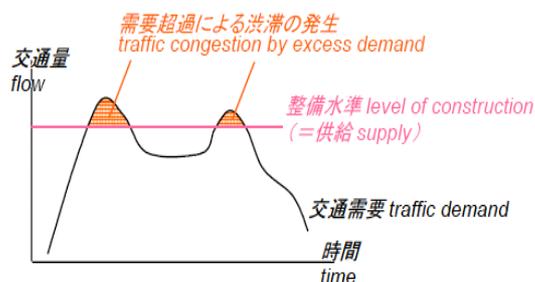


図1. 渋滞発生メカニズム

設計段階で既存の情報から需要を想定し、それを基に供給レベルを決定したとしても、将来の不確定要素や潜在的な需要などがあるために渋滞の発生を回避することは困難である。

*キーワード：交通容量、交通制御、交通管理

**非会員、東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻

(東京都目黒区駒場4-6-1、
TEL03-5452-6418、FAX03-5452-6420)

***正員、工修、東京大学国際・産学共同研究センター

(東京都目黒区駒場4-6-1、
TEL03-5452-6565、FAX03-5452-6800)

****正員、工修、東京大学生産技術研究所

(東京都目黒区駒場4-6-1、
TEL03-5452-6418、FAX03-5452-6420)

*****正員、工修、東京大学国際・産学共同研究センター

(東京都目黒区駒場4-6-1、
TEL03-5452-6565、FAX03-5452-6800)

*****正員、Ph. D、東京大学国際・産学共同研究センター

(東京都目黒区駒場4-6-1、
TEL03-5452-6418、FAX03-5452-6420)

そのため今までは渋滞が発生した場合、その解消のために交通インフラの整備水準を上げる対策が主に採られてきた。しかし、渋滞が発生するのは朝夕のラッシュ時などのごく一部の時間帯に過ぎない。ごく一部の時間帯のためだけに莫大な資金を投資して整備水準を上げるのは効率が悪い。そこで、供給側である道路インフラを需要に応じて動的に変化させることが出来れば、限られた道路資源を有効に利用して、効率的に運用することが可能になると考えられる。ただし、動的に道路インフラを変化させると言っても物理的な形状を変えることは現実的ではない。

また、リバーシブルレーンなど従来の動的に変化する道路では、変化を行う前に一旦交通を排除する必要があるため、時間がかかり無駄が生じていると考えられる。

そこで本研究では、道路空間をより有効に活用するために、レーンマークを変化させることで交通を排除することなく連続的に変化を行うことを想定している。適応例としては、サグ部などの渋滞対策(路肩の利用、車線境界線の変更：車線数変更)、合流部のチャネリング(ゼブラゾーンによる車線数変更)(図2)、路上駐車対策(路上駐車ゾーンの変更)などが考えられる。

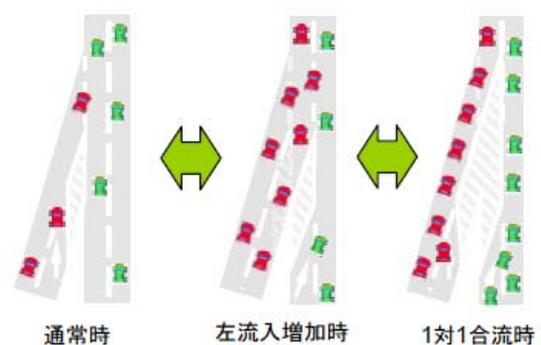


図2. チャネリングへの適応例

このように交通需要に応じてサービスレベルを動的に変化させるインフラを「動的インフラ」と定義し、その実用可能性について、途上の段階ではあるが今後の展望も含めて報告する。

具体的には、実用化に向けてこのレーンマークの動的な変化が走行車両の安全性にどのような影響を与えるの

か以下の視点から検証する。

- ①前方視界で認識していない変化を受けたドライバーの反応
- ②レーンマークの変化の仕方によるドライバーへの影響の変化
- ③周辺車両の影響（単独走行と追従走行でのドライバー反応の差異）

2. ドライバーの運転挙動への影響分析

前述の通り、動的インフラによる施策は、交通を排除することなく実施することを想定している。しかし、実際の道路を使って動的インフラの実験を行うには、安全性が確認されておらず危険であると考えられるので、本研究では、動的インフラがドライバーの運転挙動に与える影響を分析し安全性を評価するため、ドライビングシミュレーター（図3）による実験を行うこととした¹⁾。

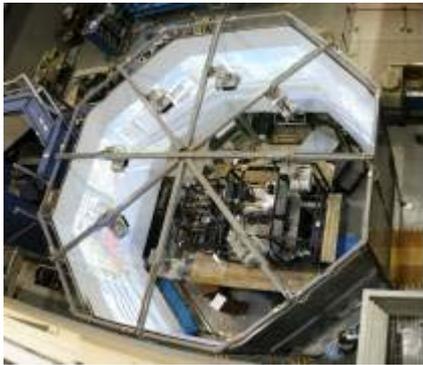


図3. ドライビングシミュレーター

実験環境として、単純な直線で平坦な片側3車線道路を設定した。まずは、連続的に変化する交通流の中で、レーンマークを動的に変化させることで交通需要に対応した道路運用を実現する場合の路面の変化がもたらすドライバーへのストレスを計測するために、車線境界線の変更とゼブラゾーンの変更という2つのレーンマークについて、それぞれ3種類の変化パターン（緩やかな変化・急激な変化・曖昧な変化）を用意した。これらの変化がドライバーの運転操作（速度変化やステアリング角度、左右加速度など）にどのような影響を及ぼすか、今回は自車以外には他に車が存在しない状態で6人の被験者に

実験コースを走行（図4, 5）してもらい、そのデータを取って安全面の評価を行った。

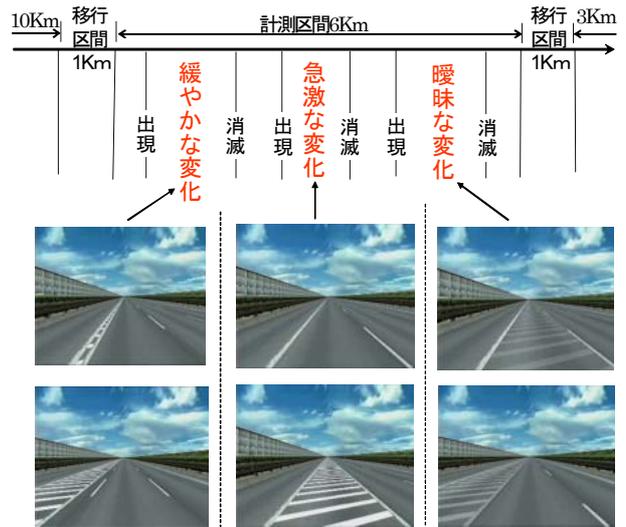


図5. 実験コースのDS画面（ゼブラ）

得られたデータ（図6）と実験後のアンケートの結果（表1）から、ゼブラを変化させる実験において急激なゼブラの発生は、他のパターンに比べ大きなハンドル操作を引き起こし、被験者全員が危険を感じていることがわかった。しかし、逆にゼブラの消滅においては急激な変化でも特に危険性は指摘されなかった。

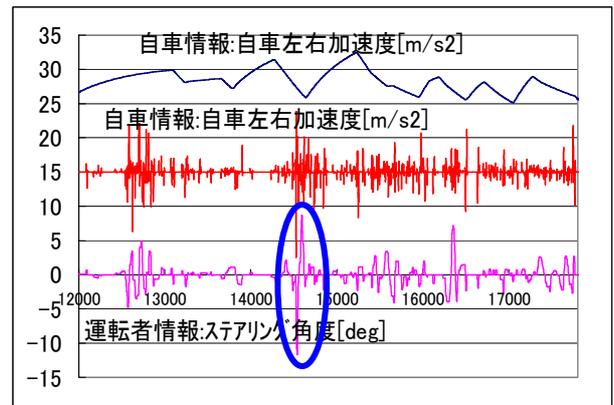


図6. データの一例（ゼブラ）

表1. ゼブラの変化の安全性評価

状況	緩やかな変化 (出現)	緩やかな変化 (消滅)	急激な変化 (出現)	急激な変化 (消滅)	曖昧な変化 (出現)	曖昧な変化 (消滅)
危険を感じた			6			
違和感がある	2	1		2	3	1

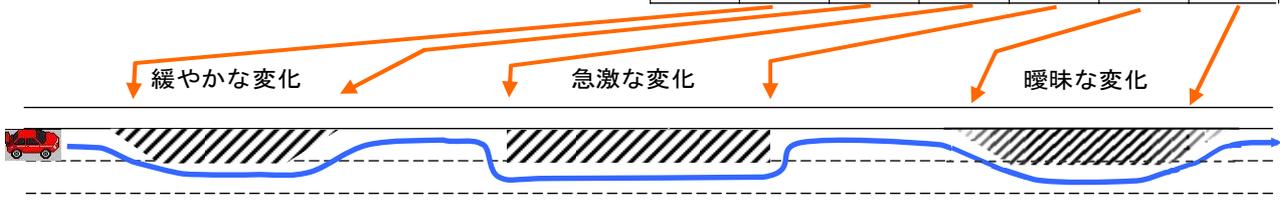


図4. 実験コースと走行軌跡（ゼブラ）

また、車線境界線を変化させ3車線から4車線に車線数を増やす実験においても、同様に急激なレーン変化では他のパターンに比べて大きなハンドル操作を引き起こし、危険を感じる被験者が多いことがわかった(表2)。また、意外なことに緩やかな車線境界線の変化であっても誘導なしで車線が消滅するような変化については危険を感じている被験者もいた。しかし、この緩やかな変化で車線が消滅する場合については、矢印などできちんと誘導することで対応することができるものと考えられる。

表2. 車線境界線の変化の安全性評価

状況	緩やかな変化 (出現)	緩やかな変化 (消滅)	急激な変化 (出現)	急激な変化 (消滅)	曖昧な変化 (出現)	曖昧な変化 (消滅)
危険を感じた		②	③	1		
違和感がある	2	1	1	1	3	1

今回の実験では、車線境界線、ゼブラのいずれにおいても、レーンマークの動的な変化を起こした場合、被験者が危険とは感じないまでも違和感を感じる場合が多いことがアンケートで指摘されている。これは、車線の変化に伴い強制的に移動しなければならないというこれまで体験したことのない運転への不慣れさが原因であると考えられると同時に、ドライバーの速度感覚とレーンマークの変化が対応しない場合があるためと考えられる²⁾。今後、レーンマークの変化速度を交通流の速度とあわせて、従来のすりつけ区間長に対応した変化が体感できる仕組みの導入や、変化区間の手前で、情報版などで変化を予告するなどの対応を加えてよりよい運用手法の検討を行うことが必要と考えられる。

レーンマークの変化において、急激な変化は被験者が危険と感じていることから実現の可能性は低くこれからの実験に組み込む必要がないことがわかった。また他のパターンに関しては、データを見る限りでは単独走行の場合、通常車線変更とハンドルの操作量はほとんど変わらずプラスマイナス5度以内に収まっており、危険はないと考えられる。

3. 今後の実験計画

前述の通り、緩やかな変化と曖昧な変化に関して単独走行であれば、安全に走行することが出来ると言える。しかし、現実には高速道路を単独で走行する場面は極めて少なく、先行車や後続車両など複数の車に囲まれて走ることが大部分である。そこで今後の実験では、先行車や後続車両を配置するなどして、安全な運用基準を検討することも必要である。また、サグ部に応用するために

は道路の勾配を変化させて実験を行う必要もある。そして、もちろん実際の高速道路の走行データとの比較により、複合現実感システム自体の検証を行うことも必要不可欠である。先行車の影響については、今回のように単独走行で得られた走行軌跡を基にドライビングシミュレーターで仮想車両を生成し、その後を被験者に追従走行させてその挙動を収集することが考えられる。また、後続車の影響については先行車の影響で把握した後続車両の挙動を基にマイクロシミュレーションモデル(KAKUMO)を改良し、その結果をドライビングシミュレーターの後続車両に適用することで実験を行うことが考えられる。

現在準備が進められている実験では、左右に後続車を配置し、ドライバーの運転操作(後続車の確認、車線変更までの時間など)にどのような影響を及ぼすのかを調べる。今回の実験と同様に、レーンマークを変化(車線数変化とゼブラ変化)させるが、アンケートの結果から危険と判断された急激な変化は行わず、緩やかな変化と曖昧な変化の2パターンを実施する予定である。

具体的にはまず、レーンマーク変化なしで自由走行を行い、被験者の運転操作の基本データを採取する。実験環境として、自車の最高速度は最高100kmまでに設定し、60kmで走っている車を数台追い越す。このとき左右後方には100kmで走っている後続車があり、その後続車に現実の走行と同様に注意しながら車線変更をしてもらう。次に、レーンマーク変化ありの単独走行を行い、基本データと比較するためのレーンマーク変化時の挙動データを採取する。この場合も左右後方に後続車が100kmで走っている。最後に、レーンマーク変化ありの追従走行を行い、先行車が存在するときのレーンマーク変化時の挙動データを採取し、基本データと比較する。先行車と左右後続車のいずれも100kmで走っており、事前に走行軌跡を収集し、一部手修正しKAKUMOで再生する。いずれの場合も車線変更時には必ずウインカーを出してもらう。採取するデータとしては、全車両の位置・速度・ハンドル操作量・横加速度などとビデオ(ドライバーの視線を確認)、アンケート(運転していて危険を感じたか等)を採取する予定である。実験人数は、運転頻度、高速道路運転経験等を考慮しつつ約50人を予定している。

このようにして、採取したアンケートの結果やデータと実走行での車線変更のデータとの比較から、レーンマークの緩やかな変化と曖昧な変化のより現実に近い環境での安全性を検討する。

4. まとめ

動的インフラは、道路インフラの有効活用、

事故や工事の場合の交通運用など幅広い応用が考えられ、日本のような狭い道路空間における次世代道路のひとつの方向であることは間違いないであろう。また、ドイツやオランダなどの諸外国では、レーンマーキングをダイナミックに変更させることによって、車線数や可変チャネルリゼーションを変化させる、路肩を利用するなどといった運用がされ始めている。ただし、交通を排除することなく動的に道路インフラを変化させる方法は、筆者の知る限りではどこの国でもまだ実用には至っておらず、安全性、利用者受容性については全くの未知数である。

そこで今後は、ドライビングシミュレーターによる実験を通じて、動的インフラを導入することによる効果を検証するとともに、そのデメリットであるレーン変化が運転に及ぼす影響（危険性）も抽出し、実用化に向けて十分に検討を進めていかなければならない。

参考文献

- 1) 本多建、池内克史、桑原雅夫、須田義大、影澤政隆、白石智良、大貫正明：トラフィックシミュレータとドライビングシミュレータを連携した「複合現実感交通実験スペース」の構築、第54回理論応用力学講演会、2005. 1
- 2) 白石智良、桑原雅夫、割田博、田中伸治：動的インフラに関する研究土木計画学研究・講演集、No3 1、2005. 6