

動的インフラに関する研究*

The Research Regarding the Dynamic Infrastructure *

白石智良**・桑原雅夫***・割田博****・田中伸治*****

By Tomoyoshi SHIRAISHI**・Masao KUWAHARA***・Hiroshi WARITA****・Shinji TANAKA*****

1. はじめに

本稿では、需要の時間変化にあわせて動的に姿を変える道路インフラ「動的インフラ」の適用可能性について考察する。

設計段階で想定する需要については、将来の不確定要素や潜在的な需要を推計することの難しさが常について回る。更に、曜日変動、季節変動、時間変動など需要は常に化する。従って、なるべく変動する需要に追従できるように規制、制御を変えることによってインフラの使われ方を変化させること、すなわち「動的インフラ」が必要となる。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は変えられないので、各種の規制表示を時間的に変化させたり、マーキングによってチャネルリゼーション、車線数、停車帯を変えたりするのが現実的である。ここでは、動的なインフラについて、諸外国の事例紹介、我が国における適用場面、複合現実感システムによる利用者の運転挙動への影響分析などについて報告する。

2. 海外での適用事例

海外では、積極的に交通を制御してインフラに使われ方を時間的に変化させている例が見られる。ドイツのアウトバーンでは、ピーク時間帯には路肩を開放して車線数を増やして渋滞緩和を計っている(図1)。約500メートル間隔で設置されている車線ごとの可変表示板によって、車線ごとの

*キーワード：交通容量，交通制御，ITS

**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、首都高速道路公団

(東京都中央区日本橋箱崎町4-3-5、
TEL03-5640-4857、FAX03-5640-4881)

*****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、
TEL03-5452-6419、FAX03-5452-6420)

通行規制、速度規制などが動的に制御されている。



図1 ピーク時間帯の路肩利用

また、ドイツでは門形の大きな可変表示板によって、右左折交通需要の時間変化に併せて右左折のレーン数を変化させている例もある(図2)。



図2 右左折レーン数の変更例



図3 DRMを用いた分流部可変チャネルリゼーション

さらにDynamic Road Marking (DRM)という自動可変のレーンマーキングを用いて高速道路の合流部のチャンネリゼーションを変えるパイロットスタディもドイツ，オランダを中心としたTrans European Road Network (TERN)で始まっている。

図3はドイツのA5/A66の例である。

3. 我が国における適用場面

(1) 首都高速道路における導入実績と可能性

首都高速道路における動的インフラの導入実績では，羽田可動橋のような大規模なものがあげられる。しかしその一方で，JCT合流部においては，実施方法の課題の多さ故に実績がなく，静的（固定的）な区画線の運用変更の実施に留まっているのが現状である。これらの静的な対応は，需要の変動に対してフレキシブルな対応が出来ず，安全性の向上には資するものの，最大捌け交通量の低下を招いていることが指摘されている。¹⁾

ここでは，堀切～小菅JCTに着目して，動的インフラ導入の可能性を検討する。

首都高速道路中央環状線（内回り）の堀切JCT合流部～小菅JCT分流部は，約900mの範囲にJCT合流部，車線減少部，出口分流部，JCT分流部が存在し，多重織込区間となっている。さらにJCTに合流する2方向の交通の主方向がそれぞれ織込交通となっており，必然的に数多くの車線変更が集中して行われる状況となっている（図4参照）。これらが原因となって，当該区間で慢性的に自然渋滞が発生するとともに，車両接触，追突等の事故が見受けられる。

当該区間の交通問題に対する道路構造面からの対策としては，JCTに合流する2方向の交通の主方向がそれぞれ織込交通とならないように分流部の構造を改造すること，若しくは車線減少による容量の低下を避けるために小菅出口～小菅JCT間を拡幅することが考えられる。これらの対策は，円滑面と安全面での大きな効果が期待できる半面，工事の実施にあたって多額の費用がかかること，当該区間の利用を大幅に制限する必要があること等から実現は困難である。

そうした中，道路構造の改造を伴わず，適切な交通誘導により交通の円滑化を図るため，平成16年4月12日（金）から区画線の運用変更を実施し

た。具体的には，図4に示す通り，ゼブラ縮小と車線変更禁止区間の解除による4車線区間の延伸を行ったが，中央環状線と6号向島線からそれぞれ2車線の合計4車線が最終的に3車線に車線減少することになりはならず，渋滞の緩和，車両接触，追突等の事故の減少への寄与は小さかった。

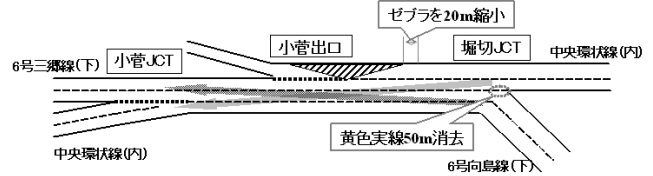


図4 堀切小菅JCT間の車線運用（現況）

当該区間の交通需要を見てみると，織込区間への合流交通量の時間変動が非常に大きく，各合流路線の交通需要は朝の渋滞立ち上がりまでの時間帯（5:30～9:30）においては中央環状線側が相対的に多く，その後朝ピーク解消するまでの時間帯（9:30～13:30）においては6号向島線側が多いなど，大小関係が時間帯により逆転している状況である。このような交通需要の変動に対し，動的な区画線・標識運用の切り替え（可変チャンネリング）を導入することは当該区間の交通渋滞の改善策として有効であると考えられる。対策の一例として，中央環状線の需要が6号向島線と比較して多い時間帯において図5に示すような中央環状線側を主流とした区画線，逆に6号向島線が多い時間帯において現況の運用と同様に6号向島線を主流とした区画線で運用するというように区画線を動的に切り替える方法が考えられる。

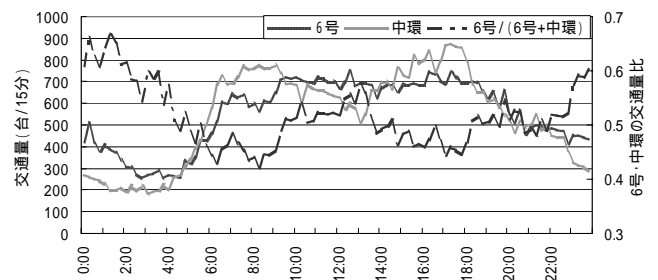


図5 堀切JCTに合流する交通需要の時間変動（平成16年9月9日（木））

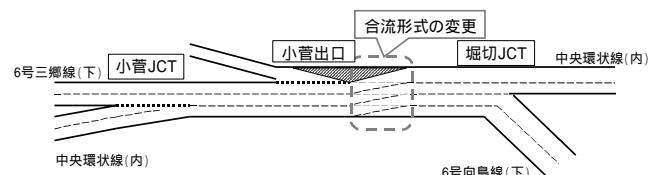


図6 合流形式変更のイメージ（中央環状線優先）

(2) 一般街路における路上駐車帯

a) 概要

一般街路において動的インフラを活用する場面として、動的な路上駐車帯の確保が考えられる。都市内の一般街路における無秩序な路上駐車は道路容量の数十%を削減しており、渋滞の主要な原因の一つである。その一方で、物流をはじめとする様々な経済活動は路上駐車に大きく依存していることも事実であり、これを全面的に禁止し、全ての駐車を路外に移動させる事は現実的ではない。一般街路の場合、信号交差点においては青時間の間だけしか交通を処理できないのに対して、信号交差点間の単路部では100%の時間を交通の処理に利用できる。これは言い換えると、交差点間の単路部は交通処理能力に余裕があり、一部を路上駐車用に転換できる可能性があることを意味する。

そこで、オフピーク時など需要がそれほど大きくない時間帯において、単路部に可変の路面標示や標識を用いて一時的に路上駐車帯を確保することを考える。これを模式的に示したのが図7である。これにより、路上駐車を必要とする様々な活動に対して駐車の手間を減らすことが可能になる。また、現在無秩序に停められている駐車車両を集約することで、空間利用効率を向上させることにつながる。さらには駐車帯を明示的に示すことにより、現状と比べて安全性も向上することが期待される。



図7 動的な路上駐車帯

b) 路上駐車帯の設定方法の検討

このような動的な路上駐車帯を設置する場合、通過交通を考慮して時間的・空間的に適切な設定をすることが重要である。その一端として単路部のどの区間に駐車帯を設定すべきかについて、以下に示す。

信号交差点における処理能力を最大にするためには、青時間の間飽和交通流率が維持されるように交差点付近の駐車を排除すべきである。この原則に従い、交差点から駐車帯まで必要な理論上のクリアランス距離を以下に求める。まず交差点上流部においては、信号交差点の有効青時間を G_1 、交通容量を μ_1 、車両密度を k_1 、車線数を m_1 、必要クリアランスを L_1 とすると、青時間の間停止線側流側の車両が飽和状態で流れるためには、

$$\mu_1 \cdot G \leq m_1 \cdot k_1 \cdot L_1$$

が必要であり、これより

$$L_1 \geq \frac{\mu_1 \cdot G}{m_1 \cdot k_1}$$

となる。

一方下流側では、駐車帯部の交通容量を μ_2 、車両密度を k_2 、車線数を m_2 、必要クリアランスを L_2 とすると、駐車帯からの行列の伝播速度 X は

$$X = \frac{\mu_1 - \mu_2}{k_2 \cdot m_2 - k_1 \cdot m_1}$$

と表せる。これが青時間の間に交差点まで達しないためには、交差点部と駐車帯部の速度を v_1 、 v_2 とすると

$$\frac{L_2}{v_1} + \frac{L_1}{X} \geq G$$

が必要である。これを整理すると

$$L_2 \geq G \cdot \left(\frac{\mu_1}{\mu_2} - 1 \right) \left/ \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right) \right.$$

となる。駐車帯の設置に際しては、これらの値を参考に設計することが必要である。

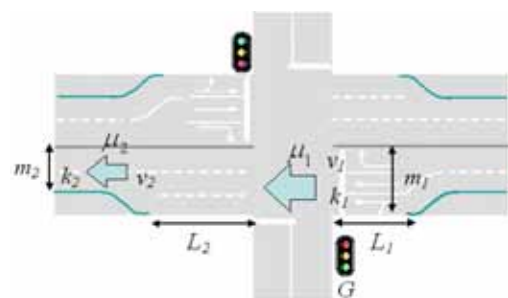


図8 必要クリアランスの算出

c) 適用のためのその他の検討事項

動的な路上駐車帯を設置するためには、以上の空間的な検討に加えて、交通需要の時間変動を考慮した適切な運用時間帯の設定が必要である。その上で、これを実効性のあるシステムとして機能させるためには、短時間駐車を促進し長時間駐車は路外へ誘導する累進的な料金設定や、適切な取締り方法が不可欠である。また、幅員の増減を伴う、定常的ではないシステムのため、安全性については別途慎重に検討されるべきである。

4. 利用者の運転挙動への影響分析

これらの動的インフラによる施策は、交通の遮断を行わずに実施することを想定する。この時にドライバの運転行動に与える影響を分析し安全性を評価するため、シミュレータによる基礎的実験を行うこととした。ここでは、ドライビングシミュレータ(DS)と交通流シミュレーション(TS)を統合した複合現実感システムを利用する³⁾。このシステムの特徴は、複雑な周辺環境との相互作用を含む交通環境をDSの被験者挙動や実際の観測データから抽出されるヒューマンファクタを考慮したドライバモデルを組込むことで現実に近い環境を再現することが可能な仕組みを備えている所である。実験環境には図9のような単純な直線・平坦な片側3車線道路を設定した。

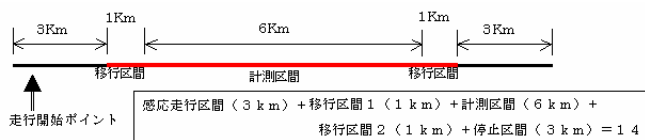


図9 ドライバへの影響評価用実験コース

実験では、以下のサービスを考慮する。

- ・ 高速道路の路肩を開放して1車線増加し交通容量を確保するサービス

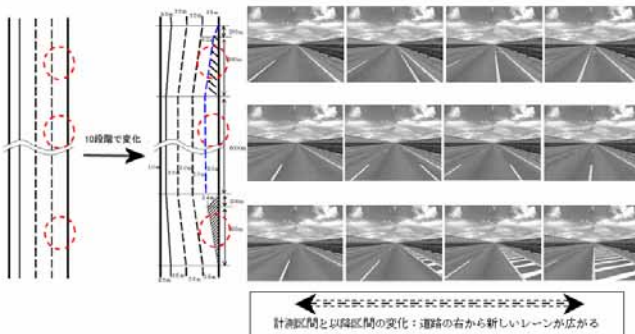


図10 レーンの変化パターン例(緩やかな変化)

- ・ 都市高速道路の合流部において合流比率の主従

関係に応じて車線数を制御するサービス

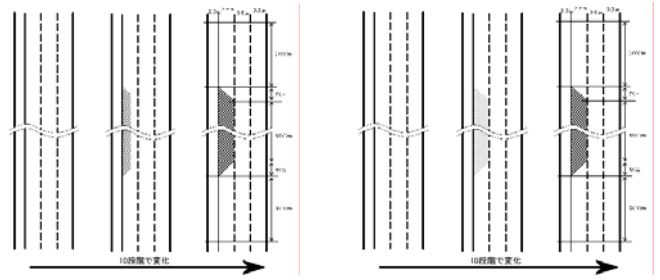


図11 ゼブラの変化パターン(緩やかな変化・曖昧な変化)

実験では、それぞれ3種類の変化パターンを用意し、これらの施策がドライバの運転操作にどのような影響を及ぼすかを安全面から評価する。この時、ドライバの運転操作に影響する要因として以下のことを考慮する。

- ・ レーンマークやゼブラの変化パターン
- ・ 先行車の有無
- ・ 左右後続車両の有無

実験ケースとしては と の組合せが考えられる。具体的には、操舵や速度変化、周辺車両との距離等からパターン毎に安全性の評価を行う。

5. まとめ

このように動的に道路インフラを変化させる道具立ては着々と考案されており、もはや夢物語ではなくなっている。このような道具立てをどこに活用するのが適切であるのか、導入した場合の運転者への影響はどのようなものか、維持管理にどの程度の費用が必要かなど、効率性、安全性、維持管理の各方面からの検討が必要であることは言うまでもない。しかしながら、このような道具立ては道路インフラの有用利用、災害・事故・工事の場合の交通運用などに幅広い応用が考えられ、次世代道路のひとつの方向であることは間違いない。

今後は、シミュレータによる実験を通じて施策に潜んでいる危険性を十分に抽出し、実用に向けた検討を進めていく。

参考文献

- 1) 大谷修: 気象条件を考慮した交通現象に関する研究、日本大学修士論文
- 2) 田中伸治、新井寿和、川口高志、桑原雅夫: 交差点下流の路上駐車が交通流に与える影響の分析、土木計画学研究・講演集、No30、2004.11
- 3) 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