

IV-46

ドライビングシミュレータを用いた道路計画の検討
 - 国道274号 石山トンネル登坂車線計画を例として -

北海道開発局 開発土木研究所 下條 晃裕
 同 上 大沼 秀次
 北海道開発コンサルタント(株) 太田 祐司
 同 上 内藤 利幸

まえがき

道路設計等で情報技術の活用が進んでいる分野は測量やCAD等による製図・数量計算の分野である。しかし、CAD等による製図が進んでも設計者には従来通りの図面による情報しか得られないのがおおかたの現実である。数種ある代替案を種々の観点から検討するといっても、図上の情報と現地の地勢・地形情報という限られた静的な情報に限定される。

特に、交通安全の向上を意図する場合には、ほとんど設計者の経験的判断に委ねられることが多いと思われる。英国などでは Transportation Audit (交通安全監査制度) により、過去の経験をベースに道路設計者と第3者によって安全性の観点から設計の是非が審査され、場合によっては安全な方向へ改良案を修正することができる仕組みになっている。

本文では、このように道路交通の安全性を設計段階から評価できることを念頭に、ドライビングシミュレータを用いて、設計段階での安全性評価の有用性について検討する。

1 ドライビングシミュレータによる事前評価

道路設計に関しても、交通工学や車両の進歩と複雑化によって人間と車両と道路環境の相互関係(人間-車両-道路系)を考慮したひとつのシステムループで考慮しなければならない状況になってきている。現状の道路設計では人間・車両の要素が介在してくるのは道路の供用後であって、工事前には図上や模型等によって熟練者の経験や検

討グループの討論を通じて代替案の評価を行うのが通例である。

一方、原子カプラントシステムの運転などでは、設計の意図どおりオペレータが機能するかという観点から、実際またはシミュレーションによってオペレータによるユーザビリティテストを行いシステムの安全性を評価する。その結果、場合によっては操作手順や操作器の位置などを随時変更する。

道路設計の分野でもCGでユーザビリティテストを行うことも可能であるが費用的な制約もあり実行することが難しい。ドライビングシミュレータによる評価方法もユーザビリティテストに該当する。すなわち、運転者(設計者も含む)に乗りしてもらい設計の成否を評価するのである。それによって、さらに考慮すべき事項を設計にフィードバックすることが可能ある。CGベースではこのプロセスが欠けるが、ドライビングシミュレータを用いることによって人間-車両-道路系の評価が可能となる。したがって、設計上で想定していなかった事象の発見や設計の代替案の良否を深く検討できる。

また、評価の過程を記録することや映像に残すことによって、パブリックインボルブメントに転用することも可能であり、これからの道路整備の透明性に寄与するものと思われる。換言すれば、机上の議論に加えて運転者の評価データを織り込んだ設計案は、実際ドライバーでもある住民との対話に対しても評価結果を公開することによって開かれた道路整備の一手法になる可能性がある。

A Study of the Road Design Planning using the Driving Simulator, in the Case Study of the Truck Climbing Lane Planning around the Ishiyama Tunnel in the Route 274. By Shimojo A., Onuma H., Ota Y. and Naito T.

2. ドライビングシミュレータの性能と計測項目

開発土木研究所のドライビングシミュレータは水平視野角：40度、垂直視野角：30度からなるコンピュータグラフィックスを用いた画像表示機能を有し、実車を用いた運転台で実車の環境を再現している。演算周期は15msとリアルタイムシミュレーションを行っており実車にほぼ近い運転感覚を有している。¹⁾ これまでも噴火湾横断トンネルの運転性能評価や運転中の携帯電話使用の評価などの試験^{2) 3)} を行い、ドライビングシミュレータを用いた運転者挙動と道路の関係についての評価手法について検討を実施してきている。

ドライビングシミュレータによる計測機能は大別して以下の3種類がある。

1) 車両運動と運転状況（車両・道路環境）

ドライバーの操作によって変化する車両の運動を道路区間毎に記録できる。代表的な指標としては、走行速度、加速度、道路上の位置、他車との車間距離等である。

2) 車内の車両機器の操作量（人間）

ハンドル、アクセル、ブレーキの操作量など。

3) 運転者の主観的評価（人間）

走行後に運転者にアンケートやヒアリングを実施して走行感覚や負担の割合を検討する資料とする。

3 検討事例による実験

3.1 検討事例の概要と事故との関連

国道274号石山トンネルは幅員が狭小でかつ前後に厳しい縦横断線形がある。このため、トンネルの日勝峠側の坑口付近と清泉覆道間にかけて正面衝突事故が多発している区間である。特に、上り勾配の右カーブを走行する車両が第一当事者となる場合が多く、この区間の過去7年の事故発生件数12件中10件と突出したものとなっている。また、事故の多くは小型車が第一当事者であるが、大型車が関係する事故が多く死亡事故3件すべてが大型車との事故になっているのが特徴的なことである。要因としては、日勝峠側のトンネル坑口が大きく右に屈曲しかつ縦断勾配が厳しい。通常の走行でもトンネルから坑口先の線形が確認

できないとともに、大型車同士はトンネル内ですれちがうことができない状況になっている。ことから、見通し視距が急激に低下するため、運転者が道路環境の変化に難しい対応を迫られることが大きな要因の一つであると思われる。

3.2 改築計画の概要と課題

前述のように石山トンネル付近の事故が集中していることから、別線で上り車線側に新トンネルを掘削してトンネルを上下線1車線ずつのセパレート形式の運用として、同時にトンネル付近まで登坂車線を延長する計画になっている。この新トンネルによってこれまで多発していた石山トンネル付近の事故はほぼ物理的に発生を抑制できる効果が期待される（図-1）。

登坂車線の設置は、峠の1合目付近からこまで約8km近くとなり、低速車との車線が分離されることで、走行の安全性と円滑性の向上が期待できる。一方、当区間が日勝峠における帯広側の登坂車線の端部になることから、適切な位置で登坂車線を終了させなければならない。そのため、以下の課題について深慮することが必要である。

1) 上り勾配のまま登坂車線をうち切るので大型車が速度を回復しないまま合流する。

2) 道路環境が登坂付断面-登坂車線合流-上下線の分合流-トンネルアプローチ車線-石山トンネル-覆道と短い区間で大きく変わる点である。特に、登坂車線の合流点と上下線の分合流点の距離を適切にとる必要がある。

3.3 試験コースの概要

試験コースは、縮尺1/1,000の平面図及び横断図を元にドライビングシミュレータ用のデータを作成した。なお実験の都合上、検討区間に所定の速度まで加速できるようにダミー直線の区間を設けた。試験コースの作成はドライビングシミュレータに付属する「データベース作成装置」を用いている。

3.4 代替案の設定

代替案は3案設定した。また、合流区間の位置および設計パラメータは図-1に記されている。

台渡点のすり付けパラメータ

線形	設計速度 50km/h	すり付け		すり付け率		望ましいすり付け率	
		幅	長さ	長さ	率	長さ	率
線形1	50km/h	3.00m	82.26m	0.036	90m	0.033	望ましいすり付け率
線形2			97.60m	0.030			
線形3			95.07m	0.032			

※すり付け基礎幅値: $L=0.68V^2$ (V:設計速度, W:すり付け幅)
 ※すり付け率標準値: 地方部設計速度50kmの場合
 <c.f.「改訂 路面表示設置の手引」(社)交通工学研究会>

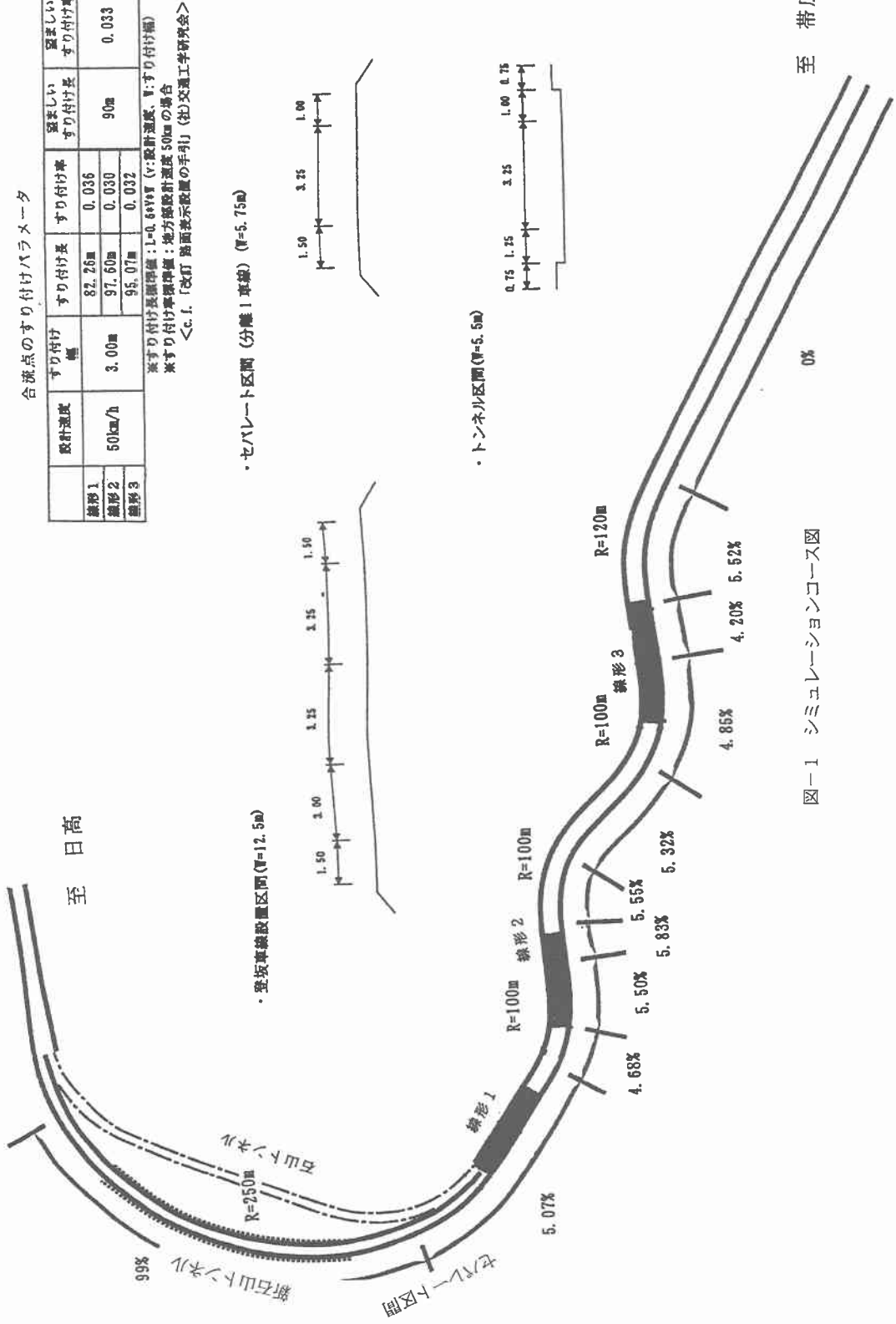


図-1 シミュレーションコース図

(1) 共通事項

- ・可能なかぎり登坂車線を最大限確保する。
- ・設計速度：50km/h
- ・合流する大型車の速度：25km/h（満載荷重）
- ・すり付け位置：合流時にハンドルを右にきることから、左カーブの後の直線区間
- ・沿道地形：設計図より法面のみを再現

(2) 各代替案の主要な着目点（図-1参照）

- ・線形1：登坂車線を最大限活用して円滑性を確保する。セパレート区間にノーズがくる。
- ・線形2：線形1に比べて余裕を持ってトンネルに車両を導入する。線形1よりも約100m手前で合流を終了させる。

- ・線形3：S字カーブ等为避免、安全性を重視する。線形1よりも約470m手前で合流させ、その後は2車線で運用。中央分離帯スペースを確保。

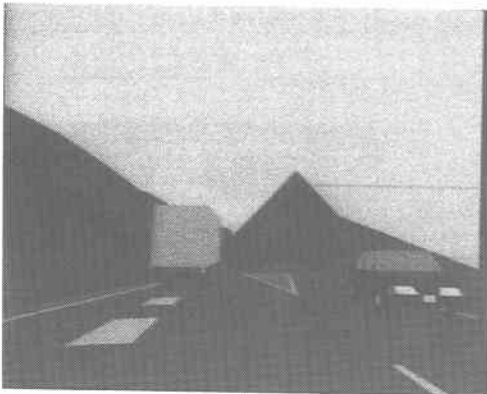


写真-1 線形1の合流点の様子

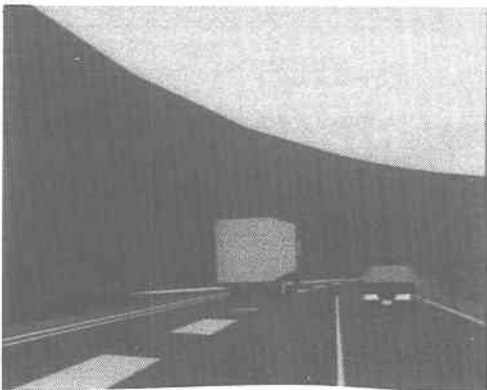


写真-2 線形2の合流点の様子
線形1と比較してトンネルの抗口が見えない

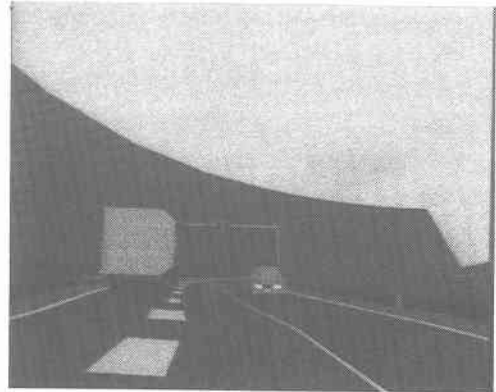


写真-3 線形3の合流点の様子

3. 5 実験計画

以下の条件でシミュレータ実験を行い、データの記録及び実験中の挙動をビデオ録画した。

- (1)道路構造：線形1～3までの3種類
- (2)走行速度：50km/h
- (3)他車の制御：合流車のほかに合流地点で対向車両を発生させる。
- (4)被験者：運転経験を10年程度持つ社会人20名
- (5)実験方法：各被験者を最初に各線形を他車のない状態で自由走行させ、その後指定した走行速度で走行する。線形ごとに繰り返して行う。

4. 実験結果

4. 1 自由走行状態での走行感覚

登坂車線の合流部において線形1の走行速度が上昇しており、他案にはその傾向がみられない。線形1の結果は急激な道路断面の変化を運転者が認識でき早くこの区間を通過したいという心理を反映しているように受け取れる。また、2番目のカーブ区間である右カーブ（図-1、R=100m）では減速が著しかった。他のカーブにはそのような傾向は見あたらない。この地点は縦断勾配が緩和曲線区間で一旦緩かになりまた徐々に縦断勾配が大きくなっている。運転者の反応遅れを考慮すれば、車両が加速する感じをうけ、減速した結果が反映されていると解釈できる。

セパレート区間や新トンネルでは各案ともに速度が変わらない、すなわちセパレート区間や良好に走行できることが作用していると思われる。

4. 2 指定速度走行実験の結果

4.2.1 合流部の走行選択

各走行実験が開始する前に合流部の合流映像を被験者に提示して、大型車に追従するか追抜くかをあらかじめ把握して実験を行った。

表-1 実験前後の行動形態 (単位:人)

	実験前		実験後		追抜 失敗
	追従	追抜き	追従	追抜き	
線形1	15	5	19	1	4
線形2	10	10	14	6	4
線形3	13	7	15	5	6

合流位置がトンネルに近い位置ほど追従する人数が多くなっている。追抜き実際失敗した率は線形3、線形1、線形2の順に高い。また線形3では当初「追従」から「追抜」へ行動が変化しただのが4名で当初どおり追抜けたのは1名と他の線形では見られない特徴を示している。

4.2.2 合流部の走行状態

合流部の概要を表-2にまとめた。各線形ともに大型車が視認でき合流部終端までの判断時間はほぼ同一といってよい。事故につながりかねない危険な状況は線形1が高いような傾向にある。共通事項としては、追抜き時に対向車線にはみ出す例もあり中央側の安全対策の必要性を伺える結果となった。また、追抜きの位置が線形2を除き合流部の終端にあることは、前後の線形の関係はあるものの、事故のリスクが高くなる傾向を示すものと考えられる。追従走行の場合は走行位置がセンターラインから十分はなれており、各案ともに問題はないと思われる。

表-2 合流部の走行結果概要

	線形1		線形2		線形3	
	追従	追抜き	追従	追抜き	追従	追抜き
判断時間	16sec		15sec		12sec	
欺減速	5件	-	2件	-	3件	-
対向車線	-	1件	-	2件	-	4件
加減速区間	始端	終端	終端	中間	始端	始端
加減速度	-0.7	0.4	-0.5	0.2	-0.5	-0.7
走行位置	0.9m	0.2m	1.1m	0.5m	1.1m	0.7m
追抜位置	-	終端	-	中間	-	終端

(注) 加速度の単位は m/s^2

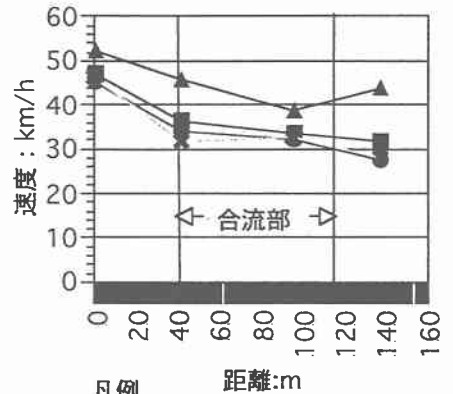
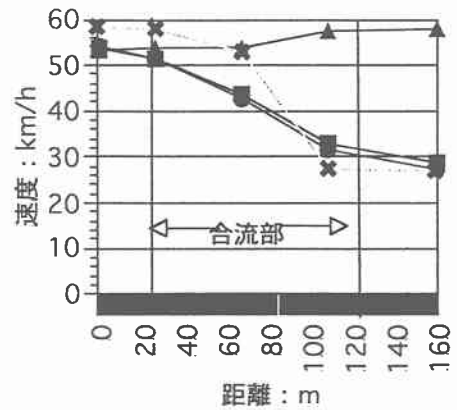
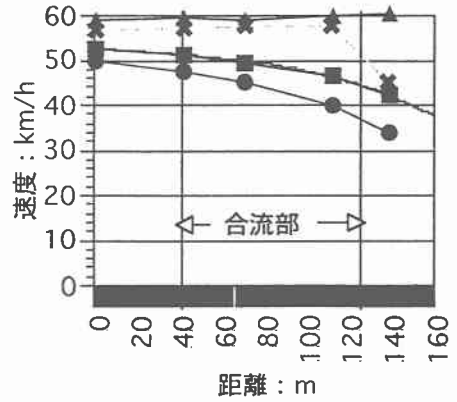


図-2 走行速度の変化 (上から線形1,線形2,線形3)

4.2.3 速度変化

合流時の速度変化を図-2にまとめた。線形1

及び線形3については追抜き失敗した例をのぞいてほぼ同一の進入速度である。線形2は追抜きと追従で進入速度に差がみられる。同様に追従走行の場合は線形1では合流部内、線形3では合流部手前で大きく減速している。一方、線形2は追抜き事例はほぼ定速で通過し、追従は緩い減速を行っている。

このような現象については線形1ではトンネルの坑口部が見えるので早く通過したい意識が作用した結果であると思われる。それが、追抜き失敗の事例に反映されている。線形2ではトンネルまで比較的余裕があるせいか手前のカーブを過ぎてから追従と追抜きの判断をしているものと思われる。したがって、追抜き失敗事例は合流部の終端まで追抜き事例と同じように走行している。線形3では合流部の速度自体が他の案に比較して遅いが、これはカーブとカーブの中間に合流位置が設置されたためであると思われる。すなわち、カーブを曲がり終えると合流部が見えその先の右カーブも同時に認識するために合流部で速度変化が少なく、むしろ最初のカーブがにきつく感じたため、合流部までに減速を行ったものと考えられる。

4.2.4 主観的メンタルワークロード

NASA-TLXを用いて主観的メンタルワークロードの平均値を算出した。全体的に追抜き失敗したケースでメンタルワークロード値が高い傾向にある。総合的にメンタルワークロードが低いのは線形2である。線形1では追抜きのメンタルワークロード値が高くなり合流部に関しての

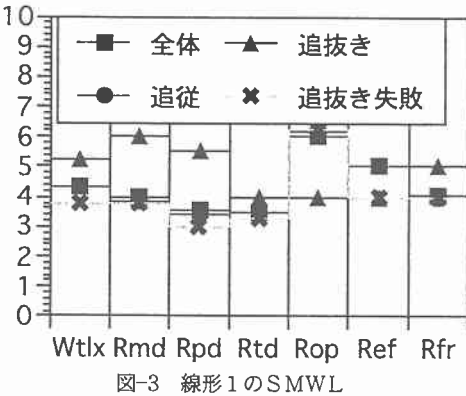


図-3 線形1のSMWL

適性に疑問が生じる。また、線形3では精神的負荷(Rmd)や達成感(Rop)が他に比べて高く、カーブとカーブに挟まれた合流位置での操作の難しさを暗示していると思われる。

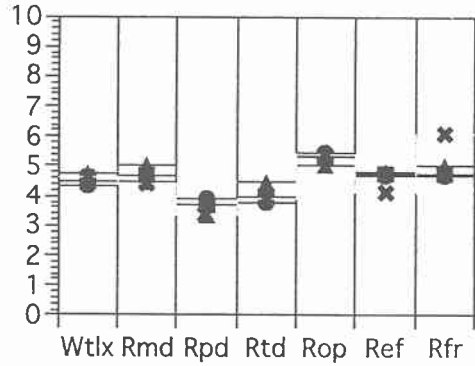


図-4 線形2のSMWL

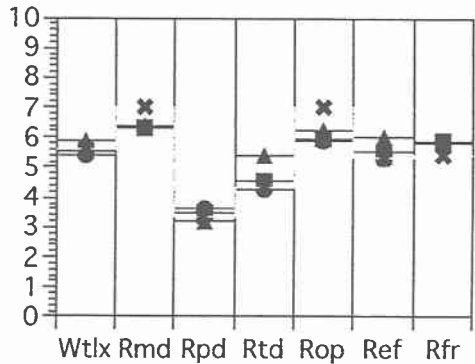


図-5 線形3のSMWL

おわりに

ドライビングシミュレータを用いることにより、道路設計上最も望ましいとされる静的な3次元評価のみならず、運転者挙動を活用しながら評価項目の充実が図られることを提示できた。この箇所では線形について精査をされているので、適切な登坂車線の構造及び位置を決定することが必要である。本論をまとめるにあたり帯広開発建設部ならびに帯広道路事務所の方々には詳細な設計資料を提供していただき、代替案の位置や方法を議論していただいたことに深謝する。

参考文献

- 1) 下條ら;ドライビングシミュレータの開発について,開発土木研究所月報.No492,1994年5月.