

プロトコル法を用いた運転者挙動分析結果に基づくサグ部の道路構造改善方針の検討

Study on the Road Structure Improvement of Sags Based on the Results of Analysis of the Drivers' Behavior using the Protocol Analysis

飯田 克弘^{*}・池田 武司^{**}・河井 健^{***}・森 康男^{****}・山岸 将人^{*****}
Katsuhiko IIDA, Takeshi IKEDA, Ken KAWAI, Yasuo MORI, Masato YAMAGISHI

1. はじめに

高速道路サグ部における渋滞は、自然渋滞発生箇所の45%を占める¹⁾。このため、サグ部における渋滞の諸要因を把握し、対策を検討することの必要性は高い。

これまでに越は、サグ部における渋滞発生の過程について、「ドライバーが勾配変化に対して十分なアクセル操作を行わないために、無意識のうちに車両の速度が低下する。これをきっかけとして車群内で減速波が発生し、次々と追従車両に増幅伝播し、渋滞状態に至る」という仮説を提示している²⁾。また、越らや大口は、見通しのよいサグや、縦断曲線半径(以下、 r とする)が小さいサグでは渋滞が発生しにくいという観測例を示し、こうしたサグはドライバーに勾配変化を正確に認知させ、十分なアクセル操作を促すことができるという仮説を示している^{3) 4)}。

このような仮説を検証するためには、個々のドライバーの挙動に着目した分析を行うことが必要である。その例として大口⁵⁾、藤原ら⁶⁾の研究が挙げられるがその数は少なく、既往の研究^{3) 4)}で示されている仮説に基づく道路構造改善案の効果を個々のドライバーの挙動分析を通じて検証した研究はない。

そこで筆者らは渋滞が多発する中央自動車道中野サグ(上り)を対象とし、まず実走実験で運転挙動データを収集し、実験後のヒアリングによって運転挙動変化の理由を調査した⁷⁾。そしてこの結果の分析と既往の研究^{3) 4)}で示されている仮説に基づき、道路構造改善案を考案し、シミュレータを用い

た室内実験を通じてその評価を行った。結果として、改善案の効果は確認できたが、実験結果の中には、縦断曲線区間進入前に速度が低下する場合など、解釈することが困難なデータが存在した。この研究ではこれらを解釈、あるいは棄却する十分な根拠が得られておらず、評価には課題が残った。

ところで心理学の分野では、人の意志を直接的かつ随時抽出することを目的とした手法として、発話データを収集し、これを分析するプロトコル法が研究されている⁸⁾。この手法を運転者挙動分析に用いた例はほとんどなく、唯一吉川らが、一般道路における運転挙動の意志決定過程を1)注視過程、2)主観的評価過程、3)運転行動選択・決定過程に3段階に分け、各段階ごとに1)注視動機、2)認知内容と評価感情経験、3)行動選択・決定理由を質問し、得られた発話を分析している⁹⁾。

本研究では先に行った研究⁷⁾の課題を克服するため、室内実験で運転挙動データを収集すると同時に、運転挙動変化に至る意志決定過程を体系的に抽出し、データ解釈の根拠を得ることを目的として、吉川らの研究を参考としてプロトコル法によるヒアリング調査を行う。そして得られた結果を分析し、サグ部の道路構造改善案の評価を行う。

2. 室内実験の概要

分析に必要なデータは、天候、周辺走行車両等の条件の統一や、道路構造改善案の提示を容易に行うことができる、シミュレータを用いた室内実験により収集した。本研究で用いたシミュレータの構成を図-1に示す。なお筆者らは、高速道路単路部において、各データの変動を示す推移について室内実験の再現性が高いことを確認している¹⁰⁾。以下では実験の概要を示す。

(1) 実験対象区間

実験対象区間は先に行った研究と同様、中央自動車道上り線 67.50kp-60.72kpとし、後述する改善案は

キーワード：交通行動分析、道路計画、交通流

* 正会員 博士(工) 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻

(〒565-0871 吹田市山田丘2-1, TEL/FAX: 06-6879-7611/7612)

** 学生会員 修士(工) 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻

*** 学生会員 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻

**** フェロー 工博 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻

***** 正会員 日本道路公団試験研究所交通環境研究部交通研究室

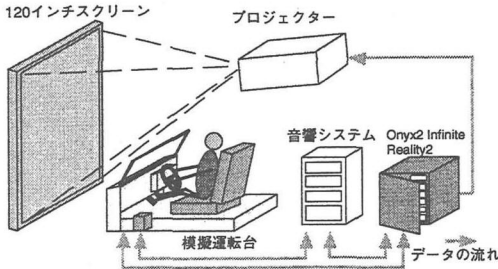


図-1 シミュレータの構成

中野サグ底部 (61.88kp) に適用した。

(2) 調査項目

実験の際は、走行速度 (km/h)、アクセル・ブレーキ使用量 (%) の各データを収集した。これらは1/60秒ごとにワークステーションに記録され、後にkpを軸とする推移図として整理した (図-2参照)。同時に、アイマークレコーダーを用いて視線座標を収集し、走行時の前方風景を録画した。また、実験直後に、録画された前方風景映像を提示しながら、勾配変化認知地点 (定義は後述) の調査を行った。

(3) 被験者

サンプル数を考慮し、被験者の社会属性がばらつかないように、免許取得歴1年以上の男子学生35名を被験者とした。また、筆者らが別途行った研究により、被験者の運転に対する態度がアクセル操作に影響を及ぼす可能性があることがわかった¹¹⁾。そこで、事前に被験者の属性を調査し、被験者の運転に対する態度についてもばらつかないように考慮した。

(4) 道路構造改善案の概要

(a) 視界改善案

筆者らが先に行った研究により、隣接する切土法面および山の斜面を取り除いた視界改善案の効果が確認されている⁷⁾。しかし、サグ底部付近の遮音壁によって、なお視界が遮られている状況がアイマークレコーダーの記録から確認された。そこで本研究ではさらに視界を改善することを目的として、62.25kp-62.00kpに設置されている遮音壁を撤去することとした (以下、法面遮音壁撤去案とする)。

(b) 縦断曲線改善案

現状の中野サグは $r=11,594\text{m}$ である。これに対し、筆者らが先に行った研究⁷⁾では勾配差を現状のまま、縦断曲線半径を設計要領の最小値 ($r=2,000\text{m}$) とする案を採用した。しかし極端に縦断曲線半径が小さいと急に折れ曲がって見えるため望ましくないことが道路構造令で指摘されている¹²⁾。したがって、 $r=2,000\text{m}$ 案に加え、本研究では、 $r=6,000\text{m}$ 案を評価する (以下、これらを勾配現状案とする)。しかし勾配現状案では、道路設計における基本的な諸元であるサグ底部の路面高が低下する。そこで、サグ底部の路面高を現状維持とし、 $r=2,000\text{m}$ 、 $r=6,000\text{m}$ である案 (以下、路面高現状案とする) を評価対象に追加する。なお、改善案の提示順序は被験者ごとにランダムに設定した。

3. プロトコル法を用いたヒアリング調査概要

調査は、室内実験での走行後、走行中に録画され

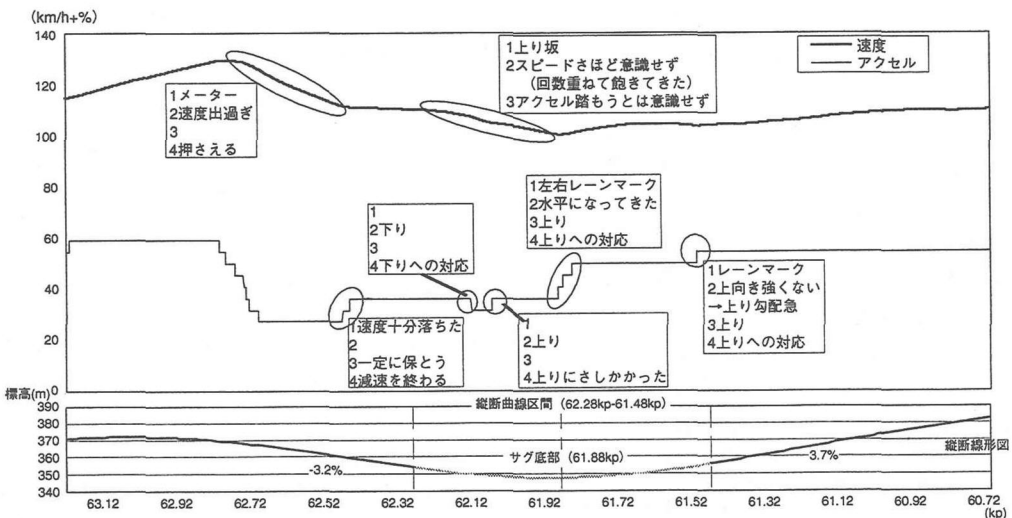


図-2 調査結果統合図

た走行風景映像、および速度とアクセル使用量の推移図を被験者に提示しながら行った。被験者には、5km/h以上速度が低下した地点、および5%以上アクセル使用量が増加した地点における、速度低下およびアクセル使用量増加発生理由を質問した。この際、質問の項目を吉川の研究⁸⁾を参考に、1) 注視動機・注視対象、2) 認知内容、3) 評価・感情経験、4) 行動選択・決定理由とし、被験者が容易に発話できるよう4)から遡って質問を行った。ここで、被験者が発話できない場合でも、実験者が被験者の発話内容を誘導しないように留意した。得られた発話は推移図上に上述の1)から4)の順に整理して記入を行うとともに、状況を記録したビデオ映像に基づき後日確認・修正を行った。この結果の例を図-2に示す。また、得られた発話のうち主なものを表-1に示す。なお、被験者が混乱せず走行場面を特定することを補助する目的で、改善案ごとに中野サグ手前の広報用看板を変更し、さらに実験時には何回目の走行かを明示している。ヒアリング調査時の風景を図-3に示す。

表-1 ヒアリング調査により得られた発話

1) 注視動機・注視対象	メーター、レーンマーク、ガードレール、看板、前方遠景
2) 認知内容	勾配(上り坂・下り坂・変化)、速度、カーブ(向き・大きさ)
3) 評価・感情経験	速度落とすべき、アクセル踏む必要ない、速度回復しよう、速度上げよう、上りなので力がある、不安、圧迫感、安心
4) 行動選択・決定理由	前方状況わからないので、速度超過の抑制、下り坂への対応、カーブへの対応、速度調整に意識が向かなかった、無意識
	速度低下
	アクセル増加

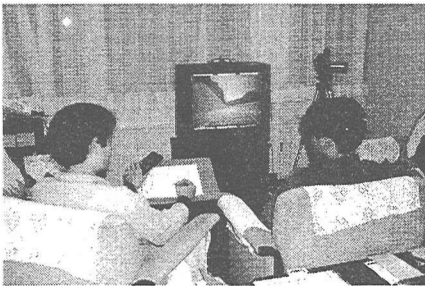


図-3 ヒアリング調査風景

4. 分析結果

(1) データの除外

ヒアリング調査結果から、室内実験の実施方法に帰因する問題の影響が見られ、分析対象から除くこ

とが適当であると判断されるデータを除外した。具体的なデータ除外の理由を表-2に示す。

表-2 データ除外の根拠

- ・サグ底部付近の「ここから上り坂」の看板を必要以上に凝視し速度が低下したため(4被験者9ケース)
- ・広報用看板を変更した影響で速度が低下したため(1被験者6ケース)
- ・代替案の数が多く運転に疲れたという発話を得られたため(1被験者1ケース)
- ・最初の走行場面を記憶し、それに基づいて走行したという発話を得られたため(1被験者5ケース)

(2) 評価指標の概要

既往の研究^{3) 4)}で示されている仮説に基づくと、サグ部の評価は、1) ドライバーの勾配変化認知、2) 勾配変化に対応したアクセル操作、3) 分析対象区間内の速度変化という観点から行うべきであると考えられる。そこで本研究では、表-3に示す指標を用いて評価を行った。ただし、ヒアリング調査で、サグ底部で勾配変化に気づかず速度が低下する前に、サグ底部手前の下り坂で速度調節を行うため速度が低下した被験者が散見された。サグ部の評価を行う上では、前者の理由による速度低下のみを分離して分析すべきであるが、一連の挙動として現れている場合分離することが困難である。したがって、速度に関する指標を検討する際、運転挙動の状況によらず一意に特定できる指標であることを念頭に置いた。

表-3 評価指標の定義

- 勾配変化認知地点：被験者が縦断線形の上りから下りへ変化したと判断した地点のサグ底部を原点とした相対的距離(下流側を正)
- アクセル使用増加開始地点：サグ底部直近で速度が連続的に5km/h以上低下したものを速度低下し、速度低下後にアクセルを連続的に5%以上増加した場合をアクセル使用増加として、その開始地点のサグ底部を原点とした相対的距離(下流側を正)
- 最低速度：分析対象区間内の最低速度(km/h、ヒアリング調査の結果より明らかに分析対象外となる場合を除く)
- 最低速度地点：最低速度が発生した地点(kp)
- 61kp速度：縦断曲線区間を過ぎ上り勾配に入り、状態が安定したと考えられる地点の速度(km/h)

(3) 代替案の評価

分析で用いる指標の算定値を表-4に示す。まず、縦断曲線改善案について勾配変化認知地点を見ると、すべての改善案で、現状よりも平均値がサグ底部に近く、分散が小さくなっており、勾配変化地点の認知を促す傾向があることが確認できた。特に、r=6,000m勾配現状案で顕著な傾向が確認された。アクセル使用増加開始地点については算定値から効果

表-4 評価指標の算定値

	勾配変化認知地点		アクセラ使用増加開始地点		最低速度地点		最低速度		61kp速度	
	平均値 (km)	分散	平均値 (km)	分散	平均値 (kp)	分散	平均値 (km/h)	分散	平均値 (km/h)	分散
現状	-0.31	0.11	0.11	0.06	61.50	0.03	96.67	128.36	102.30	88.29
法面遮音壁撤去	-0.08	0.10	-0.05	0.09	61.56	0.07	95.66	96.68	102.14	62.78
r=2,000m (勾配現状)	-0.09	0.04	0.01	0.04	61.61	0.02	95.38	71.43	103.63	70.41
r=2,000m (路面高現状)	-0.08	0.04	0.07	0.02	61.62	0.03	95.24	111.20	105.32	68.75
r=6,000m (勾配現状)	-0.04	0.05	0.07	0.03	61.55	0.01	96.44	54.00	104.01	35.76
r=6,000m (路面高現状)	-0.08	0.06	0.02	0.03	61.50	0.02	96.06	61.93	104.00	55.30

を読みとることが難しいため、ヒアリング調査で得られたアクセラ使用増加開始の行動理由に着目した(図-4参照)。その結果、「上りへの対応」を理由としている被験者の値はばらつきが小さく、かつサグ底部付近に分布していることがわかった。特に、r=2,000m案で顕著な傾向が確認された。一方、「メータを見て速度が低下していたので」を理由とした被験者の値はばらつきが大きく、その分布はサグ底部より下流であることが確認された。以上のことから、ドライバーに勾配変化、特に上り坂を認識させることが道路構造改善方針として妥当であることが再確認できた。また、最低速度地点はサグ底部より上流側であることが、速度低下区間が短くなることを示すと解釈できる。したがって、すべての案で効果が見られたと考えることができる。

一方、視界改善案はいずれの指標でも分散が大きく、縦断曲線改善案に見られた効果が見られなかった。ここで、既往文献11)では、大きな視線移動は速度低下の一因となるとしている。2回目以降の走行で視界改善案が提示された場合、それ以前の走行

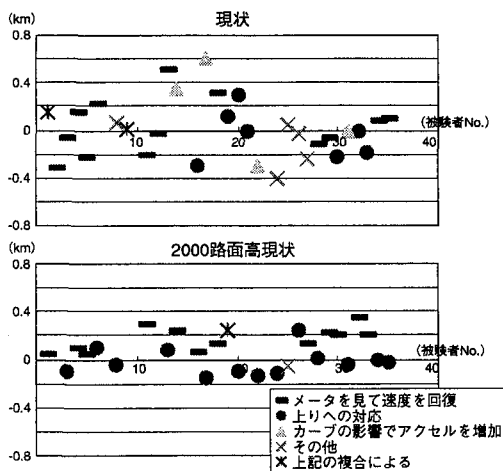


図-4 アクセラ使用増加開始地点理由別散布図

と比較して視界が広がり、視線移動の範囲が広がるため、評価が悪化した可能性がある。今後は、提示順序による視覚的效果を考慮に入れて分析を行うことが課題となる。

5. まとめ

本研究では室内実験で運転挙動データを収集し、その運転挙動データ解釈の根拠を得るために、プロトコル法によるヒアリング調査を行った。このヒアリング調査の結果を考慮し、本研究で用いた評価指標に基づいて分析したところ、縦断曲線改善案について効果があることを把握することができた。

謝辞 本研究を実施するにあたり、数々のご助言をいただいた東京都立大学大口敬助教授に紙上を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路公団ホームページ: <http://www.japan-highway.go.jp>
- 2) 越正毅: 高速道路のボトルネック容量, 土木学会論文集, 第371号, pp.1-7, 1986.
- 3) 越正毅・大口敬: 高速道路サグにおける渋滞とその対策, 道路, pp.65-69, 1995.
- 4) 大口敬: 高速道路サグにおける渋滞の発生と道路線形との関係, 土木学会論文集, No.524IV-29, pp.69-78, 1995.
- 5) 大口敬: 高速道路サグの道路構造と視認性, 高速道路と自動車, 第35巻第11号, 1992.
- 6) 藤原寛史・越正毅: 首都高速道路のサグ部および曲線部におけるドライバーの運転挙動に関する研究, 第17回交通工学研究発表会論文報告集, pp.85-88, 1997.
- 7) 飯田克弘・三木隆史・森康男・大口敬・松本見一: 実走実験とドライビングシミュレータを用いた室内実験によるサグ部の運転挙動分析, 土木計画学研究・講演集 No.22(2), pp.967-970, 1999.
- 8) 海保博之・原田悦子: プロトコル分析入門, 新曜社, 1993.
- 9) 吉川聡一・高木修: プロトコル法による運転行動の意志決定過程の研究, 社会心理学研究 第14巻第1号, pp.31-42, 1998.
- 10) 飯田克弘, 森康男, 金鍾旻, 池田武司, 三木隆史: ドライビングシミュレータを用いた室内実験システムによる運転者行動分析-実験データの再現性検討と高速道路トンネル抗口の評価-, 土木計画学研究・論文集, No16, pp.93-100, 1995.
- 11) 河井健・飯田克弘・森康男・山岸将人・野口雅弘: 室内実験によるサグ部の運転者挙動分析結果に基づく道路構造改善方針の検討, 土木学会年次学術講演会講演集, 2000. (投稿中)
- 12) (社) 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, 1983.
- 13) 牛生属 (平尾牧): 歩行者 人車道 道, 三栄書房, 1995.