

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*****

by Katsuhiro IIDA, Takeshi IKEDA, Ken KAWAI, Yasuo MORI and Masato YAMAGISHI

1. はじめに

高速道路上で発生する渋滞による時間的、経済的損失は大きい。渋滞の発生箇所としてはサグ、トンネル、インターチェンジ合流部、料金所などが挙げられるが、高速道路サグ部は、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、次々と上流側へ増幅伝播し、渋滞状態に至る」という仮説を提示している²⁾。また、越、大口は、関東近辺の36箇所のサグの道路構造と渋滞発生有無との関係を調査し、サグ部での渋滞の発生を規定する要因として、勾配差、上流勾配区間長、下流標高差、直上流平面半径、上流ボトルネック距離とともに、勾配変化量と勾配変化地点の視認性を挙げ、見通しの良いサグや、縦断曲線半径が小さいサグはドライバーに勾配変化量や勾配変化地点を正確に視認させ、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、個々の運転者に着目した分析を行うことが必要である。その例として、大口は、被験者に対し線形や側壁の条件が異なるサグ部前後のCG動画を提示し、各被験者の勾配変化の認知状況をアンケートにより調査した。そして、縦断曲線半径が小さいほど勾配変化量が大きいと認知すること、および、側壁があると勾配変化の認知が遅れることを示した⁵⁾。また、藤原らは、高速道路上で2台の試験車両を用いて走行実験を行い、先行車と後続車の車頭時間およびそれぞれの車両の速度を測定した。そして、渋滞の起こるサグではフローレート（追従車頭時間の逆数）が低下することを示した⁶⁾。

しかし、各運転者の勾配変化の認知と運転挙動を一連の流れとして調査した例はない。また、既往の研究

3)、4)で示された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、筆者らはサグ部の道路構造と運転挙動の関連を分析することを目的として、中野サグ、猿橋サグを含む、中央自動車道大月I.C.～上野原I.C.区間を対象とし、試験車両を用いて走行実験（以下、実走実験とする）を行い、運転者の速度、アクセル・ブレーキ使用量、注視点変動（以下、運転挙動データとする）および勾配変化を認知した地点を収集した。同時に、運転挙動データ解釈の根拠を得るために、実験後それぞれの被験者に対し実験走行中の前方風景ビデオ映像を提示してヒアリング調査を行い、運転挙動変化（速度低下、アクセル増加）理由の抽出を試みた⁷⁾。この研究の結果、以下の成果が得られた。

- a) ヒアリング調査の結果より、周辺走行車両の影響の有無によってデータを分類することができた
- b) ヒアリング調査の結果より、意識的な減速と無意識の減速を分離することができた
- c) 進行方向の見通しを悪化させる要素への注視時間が長いほど勾配変化の認知が遅れることがわかった

ここに示したa)とb)のように、ヒアリング調査を行うことで運転挙動データのみでは説明することができなかった現象を明らかにしている。しかし、運転挙動変化の理由のみを質問したため、その根拠となる認知内容や、感情内容については被験者によって得られた場合と得られない場合に分かれ、結果を体系的に分類する上では課題が残った。

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⁾。プロトコル法は、心理学の分野では文章読解や文章記述過程、課題解決過程、会話過程などにおける人間の意志や反応の分析に用いられている。また、人間工学の分野では、消費者行動分析や製品のユーザビリティ評価などに頻繁に応用されている。しかし、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・決定過程の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⁾。そして、減速、加速、安全確認の各運転挙動を実行するに至るまでの意志決定過程を明らかにし、道路特性や歩行者の存

キーワード：交通流、道路計画、交通行動分析

* 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

在の有無によって意志決定過程が変化することを示している。

このように、プロトコル法を用いることで、運転者の意志決定過程という新しい側面の情報を体系的に抽出することが可能となる。このことは、先に行った研究⁷⁾の課題の克服に応用できるだけでなく、個々の運転者挙動を分析する際の問題解決にも適用できる可能性がある。例えば、筆者らは渋滞発生箇所であるトンネル部を対象として走行実験により運転挙動データを調査し、相対比較によるトンネル坑口の評価を行ったが、極端な運転挙動データが混在したため、これによって評価が左右されたことを問題として指摘している¹⁰⁾。これに対しプロトコル法の適用により得られる意志決定過程のデータは、上述した極端なデータを解釈する根拠を与えるものと考えられる。

本研究では、サグ部の道路構造改善案の評価を行うために、ドライビングシミュレータを用いた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、プロトコル法によるヒアリング調査を行う。そしてヒアリング調査の結果を用いて分析前に使用するデータを精査する。この上で、得られた結果を分析し、代替案の評価を行う。この際、ヒアリング調査で得られた情報を用いた新しい側面からの評価を試みる。

2. 室内実験の概要

(1) 実験対象区間

実験対象区間は、先に行った研究⁷⁾と同様、中央自動車道上り線 67.50kp-60.72kp とした (図-1)。後述する代替案は渋滞が多発している中野サグ (底部: 61.88kp) に適用した。

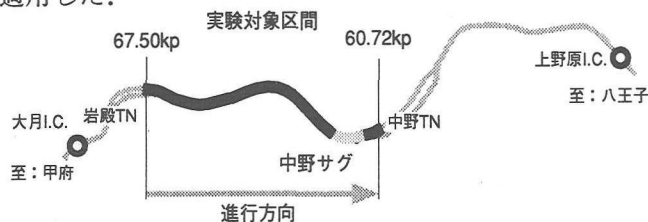


図-1 実験区間周辺の平面図

(2) 実験システム

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、代替案の提示を容易に行うことができる、ドライビングシミュレータを用いた室内実験により収集した。ドライビングシミュレータは、ワークステーション、プロジェクター、スクリーンおよび模擬運転台から構成される (図-2)。このスクリーンにワークステーションで作成された3次元CGが投影され、これに対する運転者の操作が、ハンドル、アクセル、ブレーキの使用量として数値化される。使用量は分解能 1° で検出される。これらのデータがフレームごと (1/66秒間隔) に

ワークステーションに送信され、車両の加速度や速度、走行位置などの車両運動を計算する。なお、加減速度の計算の際は、空気抵抗や路面抵抗、および、縦断線形に応じて自転車にかかる重力加速度の影響も考慮している。これらの車両運動や運転操作の結果は、走行終了時にファイルとして保存される。また臨場感を高めるため、速度とアクセル使用量に応じた走行音を出力している。

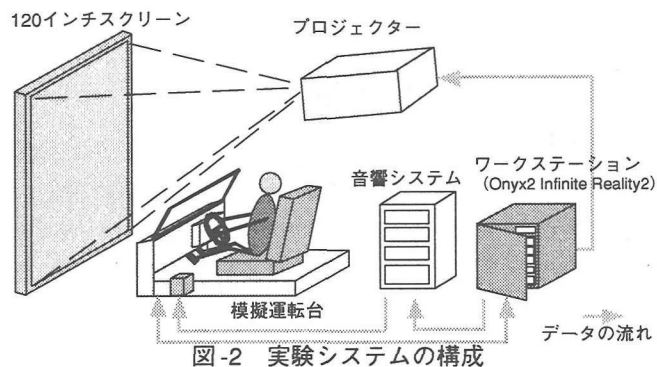


図-2 実験システムの構成

なお、筆者らは本研究で対象とする中央自動車道上り線中野サグ付近 (63.59kp-60.72kp) を対象として、実走実験で得られたデータと室内実験で得られたデータを比較し、速度とアクセル使用量の変動を示す推移の相関係数が高い値を示し、また、速度の区間平均値の母平均が等しいことを確認している⁷⁾。また、筆者らは、北陸自動車道上り線敦賀、杉津、下り小河、曾々木の各トンネルの坑口手前 500m 地点から坑口までの区間を対象として同様の比較を行い、速度とアクセル使用量の推移の相関係数が高い値を示すこと、坑口手前の速度低下位置、アクセル使用量低下割合の母平均が等しいこと、および、20項目からなる対象物に関する注視時間割合の相関係数が高い値を示すことを確認している¹¹⁾。以上より、線形が異なる区間で速度とアクセル使用量の連続的な推移が再現されており、さらに注視状況や局所的な運転挙動が再現されていることから、室内実験の再現性は確保されているものと考えられる。

(3) 被験者

免許取得後1年以上経過している男子学生35名を被験者とした。また筆者らが別途行った研究で、「運転時に速度変化を意識している」とした被験者はアクセルを小刻みに操作していることがわかり、被験者の速度変化に対する態度がアクセル操作に影響をおよぼす可能性があることを確認している¹²⁾。そこで本研究では、事前アンケートにより、各被験者の「速度変化に対する意識」および「速度変化に対するアクセル操作方針」を調査し、これらの属性がばらつかないように考慮した。

(4) 実験の手順

被験者には実験直前に文書と口頭にて実験の目的と手順、および、ドライビングシミュレータの操作方法に関する説明を行うとともに、現地のビデオ映像を提示した。さらに、実験前には実験区間とは異なる区間 (北

陸自動車道下り線42.60kp-44.90kp)を提示し、実験者の指示通りの操作を行うことに習熟するまで練習走行を行わせた。提示順序は被験者ごとにランダムに設定した。また、周辺走行車両は提示せず、追越車線での走行を指示した。なお走行車線の指定以外被験者には速度や操舵などについて特に指示を与えなかった。

(5) 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。これらは実験終了後に kp を軸とする推移図として整理した。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(被験者が縦断線形の下りから上りへ変化したと判断した地点)の調査を行った。また、ヒアリング調査を行い、速度低下およびアクセル使用量増加理由を調査した(詳細については4.を参照)。

3. 道路構造改善案の概要

本研究では既往の研究3)、4)で示された仮説、および、筆者らが先に行った研究7)の成果に基づき、道路構造改善案の検討を行った。その結果、以下の5つの代替案を採用することとした。

(a) 前方視界の改善

中野サグ底部付近では平面線形が左カーブで、左側の法面と遮音壁があるため前方の視界が遮ぎられている。実際、既往の研究7)では勾配変化地点を視認する妨げとなっていることを示している。そこで、視界を改善し、勾配変化地点の認知を促すことを目的として、本研究では、サグ底部付近の隣接する切土法面、山の斜面、および、サグ底部付近の遮音壁 (62.30kp-62.20kpおよび62.00kp-61.80kp)を取り除いた案を採用することとした(以下、視界改善案とする。図-3参照)。

(b) 縦断曲線の変更

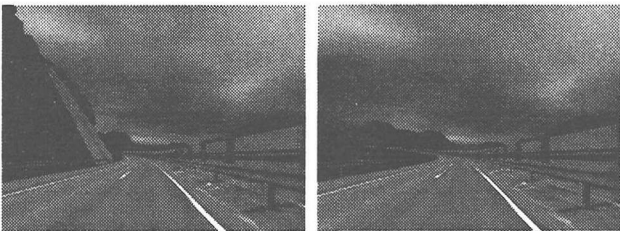


図-3 サグ底部付近 (62.18kp) の前方風景

現状の中野サグは縦断曲線半径 $r=11,594\text{m}$ である。これに対し、本研究では、縦断曲線半径を小さくし、勾配変化を視認しやすくすることを目的に、勾配差を現状のまま、縦断曲線半径を道路構造令による最小値である $r=2,000\text{m}$ (設計速度 80km/h)¹³⁾とする案を採用することとした。ただし、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文献13)で指摘されている。したがって、 $r=6,000\text{m}$ とする案の評価も行う(以下、これらを勾配差現状案とする)。また、勾配差現状案では、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、路面高現状案の縦断線形は、現状の縦断曲線にサグ底部で接するように新しい縦断曲線を描き、この新しい縦断曲線とサグ前後のクレスト部分の縦断曲線の両方に接するような直線を引くことによって作成している。サグ底部付近における各代替案の縦断図を図-4に示す。

4. プロトコル法を用いたヒアリング調査概要

ヒアリング調査は室内実験の走行直後、別室で行った。まず、被験者に走行時の様子を思い出させるため、走行中に録画された走行風景映像を提示した。次に、 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、それぞれの発生理由を質問した。この際、被験者には速度とアクセル使用量の推移図を提示して速度やアクセル使用量の変化状況を把握させ、各地点付近の走行風景映像を提示してその場面を思い出させながら質問を行った。なお、この走行風景映像には被験者の注視点が重ねて表示されており、参考とさせた。質問の項目は吉川らの研究⁹⁾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・決定理由とした。ここで、運転挙動変化に至るまでの流れは、1) から4)の順であると考えられるが、被験者が容易に発話できるように、被験者にはまず、質問項目4)、すなわち速度低下(アクセル増加)が発生した理由の報告を求め、自由に発話させた。得られた発話内容には質問項目1)から3)の内容も含んでおり、分類して推移図上に記入した後、不足している項目について随時質問した。

なお、被験者が発話できない場合、走行風景映像を繰り返し提示して自発的な発話を待ち、それでもなお発

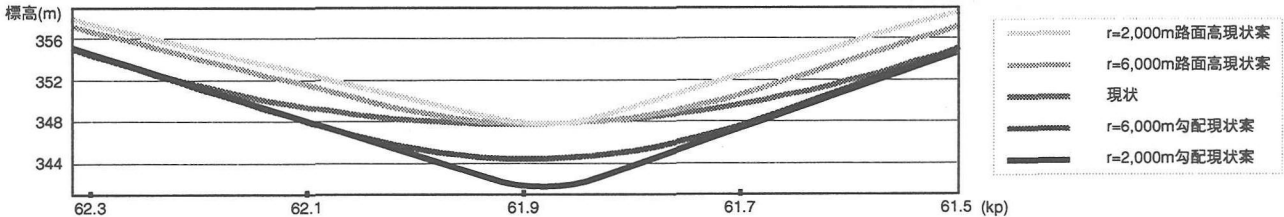


図-4 縦断曲線代替案

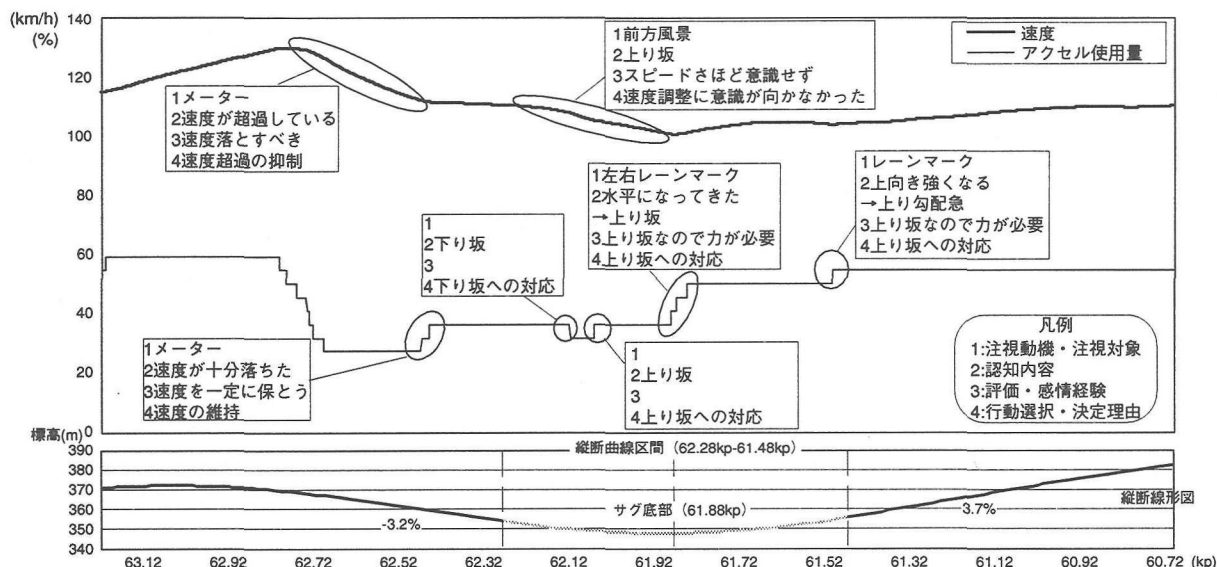


図-6 調査結果統合図

表-1 ヒアリング調査により得られた発話

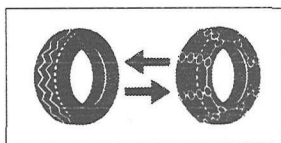
1) 注視動機・注視対象	メーター、レーンマーク、ガードレール、看板、前方遠景
2) 認知内容	勾配（上り坂・下り坂・変化）、速度、カーブ（向き・大きさ）
3) 評価・感情経験	速度落とすべき、アクセル踏む必要ない、速度回復しよう、速度上げよう、上りなので力がある、不安、圧迫感、安心
4) 行動選択・決定理由	前方状況わからないので、速度超過の抑制、下り坂への対応、カーブへの対応、速度調整に意識が向かなかった、無意識
	速度低下
	アクセル増加



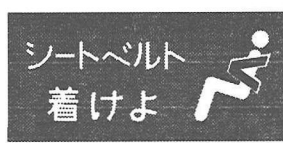
看板1 (現状)
(r=2,000m勾配現状案に適用)



看板2 (たばこ投げ捨て禁止)
(r=2,000m路面高現況案に適用)



看板3 (タイヤチェーン交換所)
(r=6,000m勾配現状案に適用)



看板4 (シートベルト着用喚起)
(r=6,000m路面高現況案に適用)

図-5 看板変更状況

話できない場合でも、実験者が被験者の発話内容を意図的に誘導しないように留意した。

また、吉川らの研究と異なり、本研究では現状の線形と5つの代替案を連続して走行した後にヒアリング調査を行う。ここで、視界改善案については風景が大きく異なるが、縦断曲線を変更した代替案については各案の差を視認した上で記憶することが困難であるため、ヒアリングに際して被験者が走行場面を特定することができない可能性がある。そこで、縦断曲線を変更した代替案についてはこれらの区別を行う補助として、中野サグ手前の看板(63.22kp)を代替案ごとに変更した。用いた看板を図-5に示す。なお、事前に行った予備実験では、看板と実験補助員に告げられる走行順序により、被験者が全ての走行を特定できること、および、看板を変更したことによる悪影響が運転行動に現れていなかったことを確認している。

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、ヒアリング調査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-6に示す。また、得られた発話のうち主なものを表-1に、ヒアリング調査時の風景を図-7に示す。

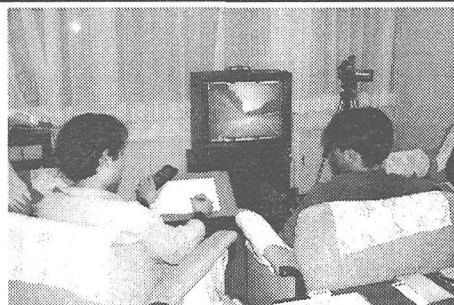


図-7 ヒアリング調査時の風景

5. 使用データの精査

ヒアリングで得られた発話内容と運転挙動データの推移を合わせて精査したところ、以下に示すようなケースが存在した。

- 1) サグ底部付近の「ここから上り坂」の看板(61.58kp)がわかりづらかったために、看板を凝視しようと意識した結果、アクセル操作への意識が低下し、サグ底部を過ぎて上り坂区間に進入しているにもかかわらずアクセルを減少させている(4被験者9ケース、図-8参照)
- 2) サグ部手前の看板が変更されているため、サグ底部付近の「ここから上り坂」の看板も変更されていると考え、看板を確認する時間を確保するために速度を低下させている(1被験者6ケース、図-9参照)
- 3) 代替案の数が多く運転に疲れたため、上り坂に進入してしばらく経過して速度が安定しているにも関わら

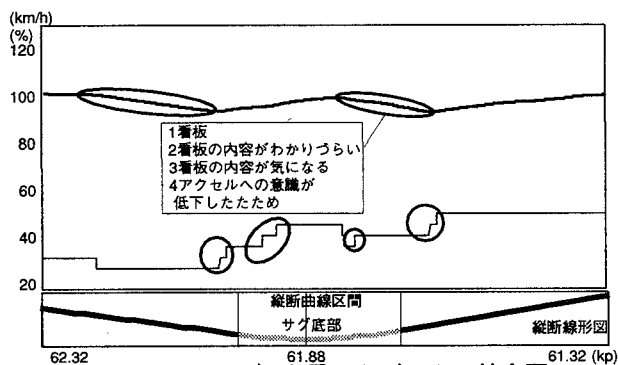


図-8 ケース1)を示したデータの統合図

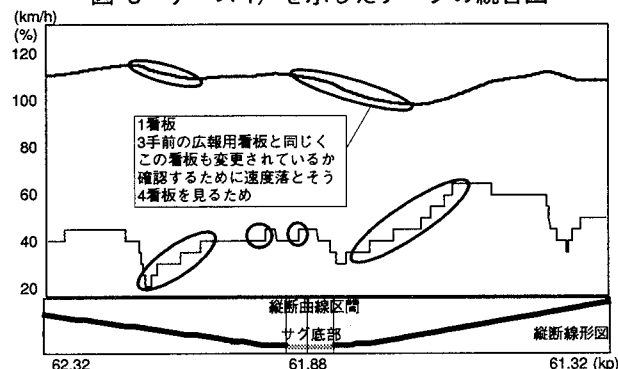


図-9 ケース2)を示したデータの統合図

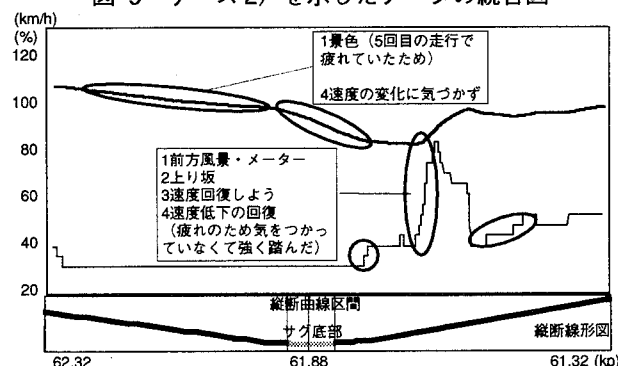


図-10 ケース3)を示したデータの統合図

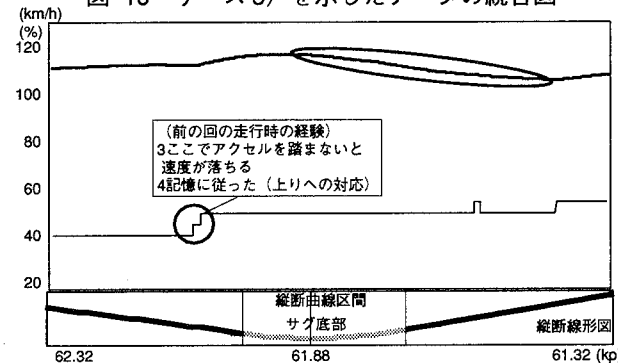


図-11 ケース4)を示したデータの統合図

ず急激にアクセルを増加させている(1被験者1ケース、図-10参照)

4) 1回目の走行で勾配変化地点を記憶し、2回目以降はその記憶でまもなく上り坂であると判断し、縦断曲線区間進入前にアクセルを増加させている(1被験者5ケース、図-11参照)

これらの運転挙動はいずれも室内実験の実施方法に帰因する問題の影響で発生したと考えられ、実験ではない通常の走行では現れない挙動であると判断し、分析対象から除くこととした。なお、このようなデータの発生は室内実験を行う上で避けることができない問題

であり、これが特定できたことも、ヒアリング調査を行う意義を示していると考えられる。

なお、データ除外の妥当性の検討については次章で述べる。また、これ以外に、調査時に不備があったケース(1被験者2ケース)、および、分析対象区間で常に150km/hを超える速度で走行していたケース(1被験者6ケース)を分析から除外している。

6. 代替案の評価

(1) 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。本研究では、まず1)2)の観点からの評価は勾配変化認知地点、アクセル使用増加開始地点を用いることとする。一方、3)の観点からは、速度低下量を用いた評価も考えられるが、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、サグ底部上流側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(図-12参照)。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、速度に関する指標としては、運転挙動の状況によらず一意に特定できることを念頭に置き、最低速度、最低速度地点を用いることとした。各指標の定義を表-2に示す。

なお、勾配変化認知地点、アクセル使用増加開始地点については、サグ底部に近づくほど正確に勾配変化を

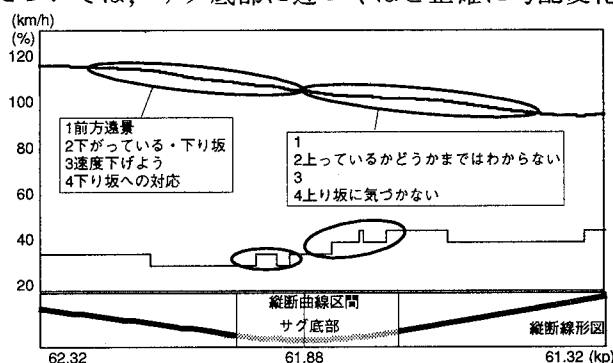


図-12 下り坂で速度調節が生じているデータの統合図

表-2 評価指標の定義

勾配変化認知地点
被験者が縦断線形の下りから上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(km, 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とし、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(km, 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のサグ底部を原点とした相対的距離(km, 下流側を正)

表-3 評価指標の算定値

	サンプル数	除外後のデータを用いた指標												除外前のデータを用いた指標							
		勾配変化認知地点			アクセル使用増加開始地点			最低速度地点			最低速度			勾配変化認知地点		アクセル使用増加開始地点		最低速度地点		最低速度	
		正規性	平均値 (km)	標準偏差	正規性	平均値 (km)	標準偏差	正規性	平均値 (km)	標準偏差	正規性	平均値 (km/h)	標準偏差	平均値 (km)	標準偏差	平均値 (km)	標準偏差	平均値 (kp)	標準偏差	平均値 (km/h)	標準偏差
現状	32		-0.13	0.32	○	0.01	0.24	○	0.38	0.19	○	96.67	11.33	-0.12	0.33	0.00	0.26	0.38	0.18	97.06	11.08
視界改善	31	○	-0.08	0.31	○	-0.05	0.30		0.32	0.27	○	95.66	9.83	-0.07	0.32	-0.05	0.29	0.33	0.27	96.53	10.05
r=2,000m (勾配差現状)	28		-0.09	0.19		0.01	0.20	○	0.27	0.13	○	95.38	8.45	-0.09	0.18	0.01	0.19	0.28	0.12	94.93	8.88
r=2,000m (路面高現状)	31		-0.08	0.21	○	0.07	0.14	○	0.26	0.17	○	95.24	10.55	-0.09	0.20	0.08	0.14	0.26	0.17	95.60	10.35
r=6,000m (勾配差現状)	30	○	-0.04	0.23	○	0.07	0.17	○	0.33	0.11		96.44	7.35	-0.04	0.23	0.05	0.19	0.30	0.16	97.01	8.07
r=6,000m (路面高現状)	29		-0.08	0.25	○	0.02	0.18	○	0.38	0.12	○	96.06	7.87	-0.07	0.23	-0.01	0.25	0.31	0.25	96.68	9.23

認知して操作を行っていることを示し、最低速度地点については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。一方、被験者によって指標のばらつきが大きいと、交通流を乱し渋滞発生のきっかけとなりうると推測できる。

(2) 代替案の評価

室内実験で得られたデータをもとに、(1)で示した指標を各被験者ごとに算出し、現状の線形および5つの代替案それぞれで全被験者の平均値と標準偏差を算出した。そして、以下の手順で検定を行った。

- 1) 現状の線形および5つの代替案それぞれで、各データが正規分布に従うことを帰無仮説としてコルモゴロフ-スミルノフ検定（有意水準5%）を行う。
- 2) 各代替案それぞれで、現状の線形と各指標の母平均が等しいことを帰無仮説として、1)で正規性が棄却された場合はウィルコクソンの符号付き順位検定、正規性が示された場合はt検定（対応のある場合）を行う（有意水準5%）。

表-3に、指標の平均値と標準偏差を示す。また、母平均差の検定で帰無仮説が棄却された項目については網掛けを行っている。

ここで、参考として5.で述べた除外を行う前のデータを用いて評価指標を算出（表-3参照）したところ、除外を行った場合と比べ標準偏差が大きくなる傾向があることがわかった。すなわち、除外対象となった被験者の挙動は他の被験者と比較して外れていると判断できる。

(a) 縦断曲線の変更効果

まず勾配変化認知地点を見ると、すべての代替案で、現状よりも平均値がサグ底部に近く、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 勾配差現状案、r=6,000m 路面高現状案ではこの傾向を統計的に検証することができた。また、すべての代替案で標準偏差が小さくなっている。

一方、アクセル使用増加開始地点については、表に示した値からは効果を明確にすることができなかった。そこで、ヒアリング調査で得られたアクセル使用増加開始理由に着目し、各被験者のアクセル増加開始地点を理由別の散布図として表すとともに、理由別の指標の平均値と標準偏差を算出した（図-12、表-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。一方、「メーターを見て速度が低下していた」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、運転者に勾配変化、特に上り坂

表-4 理由別のアクセル使用増加開始地点算定値

理由	メーターを見て			上りへの対応			カーブの影響			その他・除外
	サンプル数	平均	標準偏差	サンプル数	平均	標準偏差	サンプル数	平均	標準偏差	サンプル数
現状	13	0.03	0.24	7	-0.04	0.21	4	0.16	0.40	11
r=2,000m (勾配差現状)	14	0.09	0.23	8	-0.06	0.13	0			13
r=2,000m (路面高現状)	12	0.17	0.10	13	-0.02	0.11	0			10
r=6,000m (勾配差現状)	14	0.15	0.16	8	0.04	0.16	5	-0.05	0.15	8
r=6,000m (路面高現状)	12	0.03	0.15	6	-0.05	0.13	4	-0.09	0.12	13

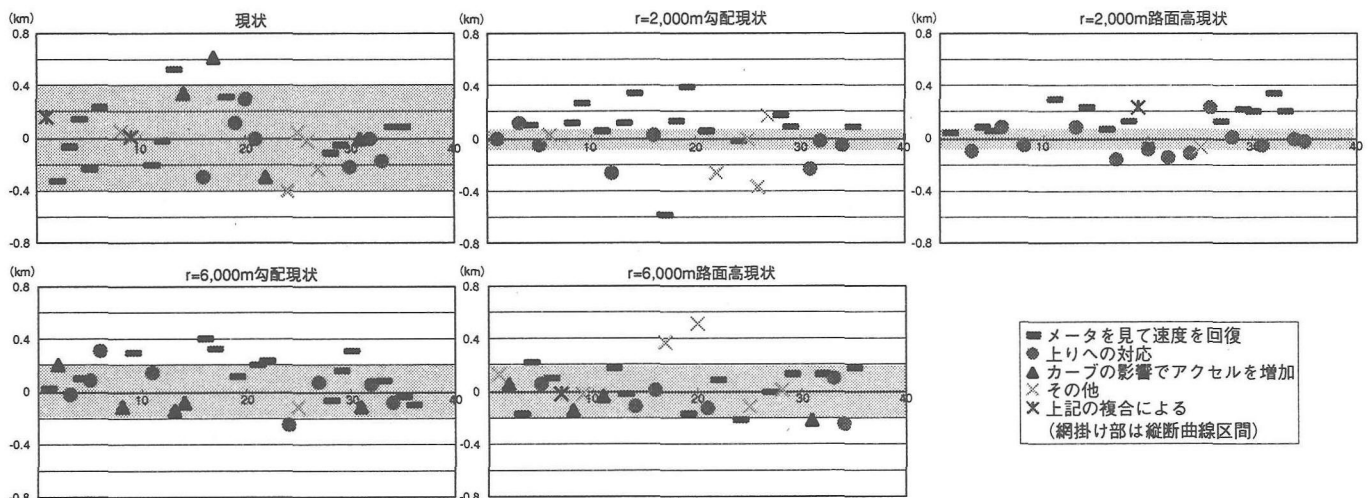


図-13 アクセル使用増加開始地点理由別散布図

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確認できた。また、現状と比較して $r=2,000\text{m}$ 勾配差現状案、 $r=2,000\text{m}$ 路面高現状案、 $r=6,000\text{m}$ 勾配差現状案では「上りへの対応」を理由とした被験者の人数が増加し、運転者に上り坂を認識させる傾向があることが確認できた。

最低速度地点を見ると、すべての代替案で現状よりも平均値が上流側となっており、速度低下区間が短くなる傾向が見られたと考えることができる。特に、 $r=2,000\text{m}$ 勾配差現状案、 $r=2,000\text{m}$ 路面高現状案ではこの傾向を統計的に検証することができた。

最後に、最低速度については、現状と比較して有意な差は認められなかった。道路構造が変化しても、サグ区間の最低速度はそれほど変化しないといえる。

(b) 視界の改善効果

視界改善案では、現状よりも勾配変化認知地点の平均値がサグ底部に近くなっており、最低速度地点の平均値が上流側となっているが、有意な差は認められなかった。また、いずれの指標でも標準偏差が大きくなっている。すなわち、縦断曲線を変更した代替案に見られた効果が見られなかった。ここで、文献14)では、水平方向への大きな視線移動は速度低下の一因となっている。つまり2回目以降の走行で視界改善案が提示された場合、それ以前の走行と比較して視界が広がり、視線移動の範囲が広がるため、効果が見られなかった可能性がある。そこで、1回目の走行で視界改善案が提示された被験者のデータのみを用いて各指標を算出(表-4参照)し、視界改善案の評価を行った。

表-5 評価指標の算定値
(視界改善案を1回目に提示した被験者: サンプル数6)

	勾配変化認知地点		アクセル使用増加開始地点		最低速度地点		最低速度	
	平均値(km)	標準偏差	平均値(km)	標準偏差	平均値(km)	標準偏差	平均値(km/h)	標準偏差
現状	-0.08	0.27	0.17	0.28	0.50	0.06	93.82	7.85
視界改善	0.04	0.28	-0.15	0.16	0.21	0.22	89.41	9.37

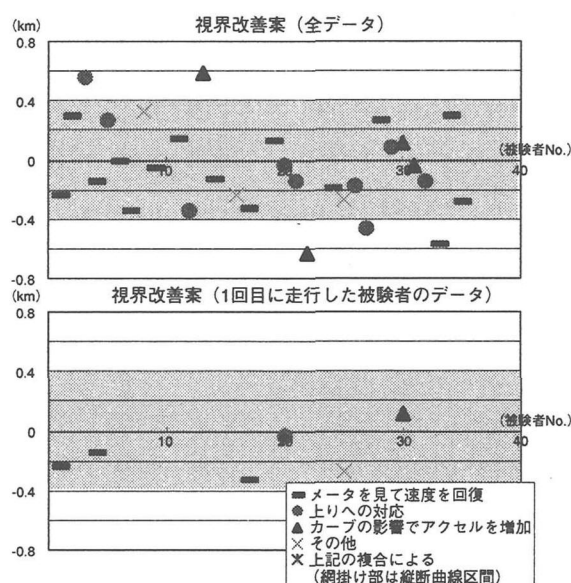


図-14 アクセル使用増加開始地点理由別散布図
(視界改善案)

まず勾配変化認知地点は、現状よりも平均値がサグ底部に近くなっている。また、アクセル使用増加開始地点は、現状よりも平均値がサグ底部に近くなっており、標準偏差が小さくなっている。さらに、最低速度地点の平均値は現状より上流側となっている。以上より、視界改善案の効果を確認することができた。また、アクセル使用増加開始地点については、アクセル使用増加開始理由にも着目した(図-14参照)が、「上りへの対応」を理由とした被験者は1名のみで、運転者に上り坂を認識させる傾向は判別できなかった。

7. まとめ

(1) 結果のまとめ

本研究ではサグ部における道路構造改善案の評価を行うために、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。そして、ヒアリング調査で得られた結果、および既往研究で示されている仮説を考慮し、代替案を評価するための指標を作成し、算出した各指標に基づいて代替案の評価を行った。本研究で得られた成果を以下に示す。

1) ヒアリング調査で得られた発話内容と運転挙動データの推移を合わせて精査したところ、室内実験の実施方法に帰因する問題の影響で発生した挙動、すなわち実験でない通常の走行では発生しない挙動が存在していることがわかり、分析対象から除外した。このようなデータの発生は室内実験の手法を用いる上で避けることができない問題であり、これが特定できたことはヒアリング調査を行う意義を示していると考えられる。

2) アクセル使用増加開始地点とヒアリング調査で得られたアクセル使用増加開始理由の關係に着目すると、「メーターを見て速度が低下していた」を理由としている被験者と比較して、「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、サグ底部付近に分布していることがわかり、運転者に勾配変化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を再確認できた。このように、ヒアリング調査の結果を用いて、収集した運転挙動データを新しい側面から分析することが可能となった。

3) 縦断曲線を変更した代替案の評価を行ったところ、現状と比較して $r=2,000\text{m}$ 案、 $r=6,000\text{m}$ 勾配差現状案では「上りへの対応」を理由とした被験者の割合が高く、運転者に上り坂を認識させる傾向があることを確認できた。また、勾配変化認知地点に基づいて分析したところ、すべての代替案で勾配変化の認知を促す傾向があることがわかった。特に $r=6,000\text{m}$ 案ではこの傾向を統計的に検証することができた。さらに、最低速度地点に基づいて分析したところ、すべての代替案で速度低下区間が短くなる傾向が認められた。特に $r=2,000\text{m}$ 案ではこの傾向を統計的に検証することができた。以上

のことから、現状より縦断曲線半径を小さくすることの効果が確認できた。

4) 視界改善案の評価では、全被験者のデータを用いて算出した評価指標では改善効果が見られなかった。しかし、1回目の走行で視界改善案が提示された被験者のデータのみを用いると、改善効果を確認することができた。これは、2回目以降の走行で視界改善案が提示された場合、それ以前の走行と比較して視界が広がり、視線移動の範囲が広がるため、効果が見られなかったと考えられる。

(2) 今後の課題

本研究では被験者によるばらつきが大きいと交通流を乱して渋滞発生のきっかけとなるという推測に基づいて評価を行ってきた。しかし、被験者によるばらつきが交通流、特に後続の追従車両に与える影響や、渋滞状態に至るメカニズムについて検証は行われていない。このような検証を行うためには、本研究で行ったような単独走行時の運転挙動を分析するだけでは十分でなく、追従走行時の運転挙動の分析も必要である。筆者らは別途、今回の室内実験システムを用いた追従実験の可能性も検討しており¹⁵⁾、今回の結果をふまえた追従実験を行うことを課題と考えている

一方、本研究ではアクセル使用増加開始地点の増加理由に着目し、上り坂を認識している被験者のばらつきが小さくなることを確認している。しかし、被験者によって上り坂を認識している場合と認識していない場合に分かれた。このような点に対応するには、今回得られた意志決定過程のデータおよび個人属性と運転挙動の関連を精査し、被験者の特性の違いを把握する必要があると考えられる。

加えて、本研究では縦断曲線半径を2,000m および

6,000mとした代替案の評価を行ったが、これを端緒として、縦断曲線半径と運転者挙動との関係もさらに分析する必要がある。また、視界改善案の評価を行ったが、1回目に視界改善案を提示した被験者は少なく、今後視界改善案のみを提示した実験を行い、サンプル数を増やすことが必要である。

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・松本晃一: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) 池田武司・飯田克弘・森康男:運転者の挙動と心理を考慮したトンネル坑口形状評価,第20回交通工学研究発表会論文報告集, pp.37-40, 2000.
- 11) 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坑口の評価-,土木計画学研究・論文集, pp.93-100, 1999.
- 12) 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,土木学会第55回年次学術講演会講演概要集, 2000.
- 13) (社)日本道路協会:道路構造令の解説と運用, 1983.
- 14) 牛生扇(平尾牧):歩行者 人車道 道,三栄書房, 1995.
- 15) 金子哲也・大口敬・飯田克弘・渡邊亨:ドライビング・シミュレータを用いた追従挙動特性の研究,土木計画学研究・講演集 No.23(2), pp.801-804, 2000.

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

飯田 克弘・池田 武司・河井 健・森 康男・山岸 将人

本研究ではサグ部の道路構造改善案の評価を行うために、ドライビングシミュレータを用いた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、プロトコル法によるヒアリング調査を行った。そして、ヒアリング調査の結果を考慮して、分析で用いる運転挙動データの吟味を試みた。さらに、縦断曲線半径を小さくした案、前方視界を改善した案の評価を試みた。この際、運転挙動データとともにヒアリング調査の結果を用いることで、新しい側面からの評価を試みた。

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

by Katsuhiko IIDA, Takeshi IKEDA, Ken KAWAI, Yasuo MORI, Masato YAMAGISHI

The data of drivers' behavior at sag section were collected with driving simulator. And in order to make clear the decision making process of drivers' behavior, the present study used "protocol analysis". The main result of protocol analysis is that the grounds to exclude the data were obtained and it was found out that rousing drivers to recognize the change of inclination is important. Analysis results of the data of drivers' behavior revealed the effectiveness of the alternative proposed for improvement of radius of vertical curves and frontal visibility.