

5 サグ部に潜む目の錯覚と『渋滞』



友枝 明保
TOMOEDA Akiyasu

武蔵野大学/工学部数理工学科
JST CREST/准教授

サグによる渋滞は、上り坂で速度が低下し、その影響が後続車へ伝播することで引き起こされる。これには「錯覚」が関係している。なぜ人は錯覚するのだろうか。人の心理を考慮して渋滞軽減に取り組んでいる事例も紹介する。

渋滞はなぜ起こるか？

NEXCO東日本の2013年度の統計¹⁾によると、高速道路で発生する渋滞の約3/4は、交通集中によるものである。その発生場所を見ると、その半分以上が上り坂およびサグ部と呼ばれるところで発生している。サグ部とは、英語のsag (たわみ、落ち込み) という言葉通り、たわんでいるような道路構造、つまり、下り坂から上り坂へと変化するような凹型の構造を持つ場所を指している。このサグ部で生じている渋滞のメカニズムは、数理工学の立場では、「車両密度が高くなると、自由流が不安定化し、安定な渋滞流へと遷移する」と解釈できる。

各車両の振る舞いを記述する数理モデル解析から得られる渋滞形成のメカニズムの共通した解釈は、スムーズな流れであっても、車両密度が高くなる(車間距離が短くなる)と、ある車のちょっとした速度低下がきっかけ

となり、その速度低下の影響が後方に増幅伝播してしまった結果として、渋滞が発生してしまう、ということである。すなわち渋滞の種は、ある車のちょっとした速度低下であり、そのきっかけを作っているのが、サグ部の上り坂というわけである。

サグ部に潜む目の錯覚

サグ部では、上り坂へと傾斜が変化するが、ドライバーはなぜ加速して適切な速度を保つことができないのであろうか。ここでは、その一つの理由として、サグ部の道路構造に潜む目の錯覚によって、ドライバーが上り坂であることを正しく認識できていない可能性について紹介したい。

図1の二つの画像をご覧ください。これは香川県にある屋島ドライブウェイで撮影した写真画像である。



図1 縦断勾配錯視の例：香川県にある屋島ドライブウェイ(協力：屋島ドライブウェイ株式会社)

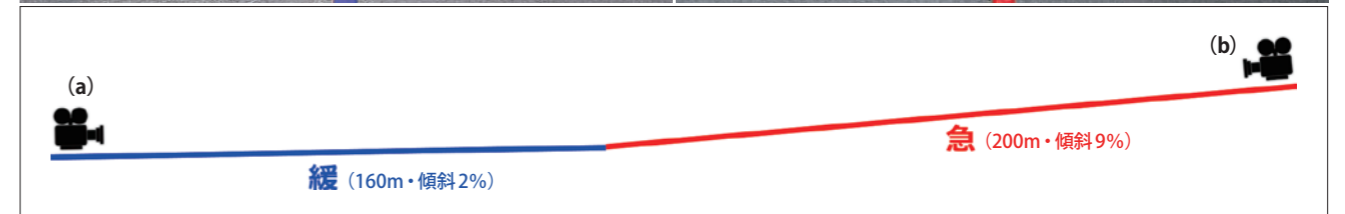


図2 図1の各画像の撮影位置と道路傾斜の関係(道路の断面図)。(a)は坂の下から撮影した画像で、(b)は坂の上から撮影した画像。それぞれの画像内の色は断面図の傾斜に対応する

図1(a)では、近坂(手前の道路)は下っているように見えるが、実際は上り坂である。一方、図1(b)では、遠坂(奥の道路)は上っているように見えるが、実際は下り坂である。つまり、図1(a)の場合は、道路面は画像の上部に行くほど標高が高い道路構造であり、図1(b)の場合は、道路面は画像の上部へ行くほど標高が低い道路構造になっているにもかかわらず、多くの人にはそのようには見えない。

この不思議な現象は目の錯覚によるものであり、「縦断勾配錯視」と呼ばれている。これは傾斜の異なる複数の道路が連なっているときに生じ、日本に限らず、カナダや韓国など海外の道路でも実際に多く観察されている。屋島ドライブウェイの場合、縦断勾配錯視が生じる箇所の道路構造は、長さ約160m・傾斜2%の坂道と、長さ約200m・傾斜9%の坂道からなる凹型の縦断線形で構成されている³⁾(図2)。

縦断勾配錯視の要因はいくつか指摘されているが、その一つは、「近坂と遠坂との対比による要因」と言われており⁴⁾、これは傾斜判断の手がかりとなる正しい水平線が道路上に乏しいことが挙げられる。実際、水平線の手がかりが無い状況としては、図3に示すように、トンネル内部が特に顕著である。トンネル内部では、その建築構造から、道路に平行に入っている線が、実際の



図3 トンネル内部。壁面のラインを水平線であるかのように認識してしまい、道路面も水平だと錯覚してしまう。実際は上り坂である(阪和自動車道)

水平線とは異なるにもかかわらず、あたかも水平線であるかのように見えてしまい、道路面が水平であると錯覚してしまうのである。その結果として、適切な走行速度を保つことが難しくなり、速度低下につながってしまうと考えられる。

目の錯覚という現象は、思い込みや勘違いとは異なり、理性で正解がわかっているにもかかわらず、同様の錯覚現象が再び生じる、という特徴がある。つまり、実際の傾斜を知っていても、目の錯覚が再び生じてしまい、傾斜の認識を誤ってしまうのである。そのため、高速道路の設計

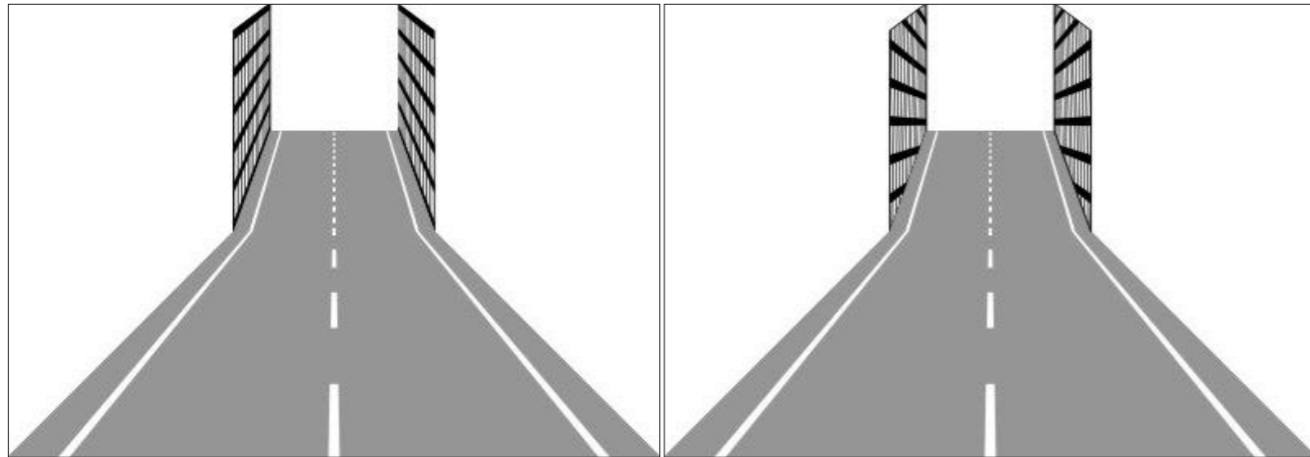


図4 ストライブパターンの例と傾斜認識の変化。左図では被験者の8割が遠坂を平面と回答。右図では被験者の9割が遠坂を上りと回答

においては、このような道路構造をなるべく避けて設計することが重要となる。

縦断勾配錯視を軽減する方法

一方で、既存の道路で生じる縦断勾配錯視を取り除くためには、どのようにすればよいのであろうか。縦断勾配錯視に影響する一つの要因として、側壁パターンの傾きが報告されている⁵⁾。そこで著者らは、縦断勾配錯視を取り除き、正しく道路傾斜を認識させる方法として壁面のストライブパターンに着目したアイデアを検討している。

仮想的ではあるが、図4に示すような二種類の道路環境を考える。道路面は、サグ部に対応する凹型の道路構造を考え、遠坂に二種類の側壁パターンを導入する。これらの画像を一枚ずつ被験者（延べ162名）に提示することで、道路の傾斜認識がどのように変化しているかを検証した。実験の測定は5項目の間隔尺度（急な下り、下り、平ら、上り、急な上りの選択）を用いて行った。その回答結果から、道路の傾斜認識において、ストライブ線を水平面と認識する傾向が強く見られた。さらに、近坂の傾斜は、遠坂の傾斜に対する相対的な判断の結果として得られることも確認された。つまり、ストライブ線によって、水平面の認識が変化し、結果として道路傾斜の認識も変化しようということが明らかとなった。

道路傾斜の認識変化をもたらすストライブ線を用いた方法は、壁面へのペイント等で実現できるため、サグ部のみならず、傾斜誤認が生じる図3のようなトンネル内部でも容易に施工でき、渋滞予防の方策の一つとなりうると思う。現在、静止画では道路傾斜の認識の変化に効果があることが示されたが、ドライビングシミュレーターを利用した高速走行時の動環境では、顕



図5 首都高速道路に使われているオプティカルドットシステム（提供：韓 亜由美氏（スタジオ ハン デザイン代表取締役 / 公立前橋工科大学教授））

著な検証結果はまだ得られておらず、今後の検討課題である。

渋滞を軽減するための“心理的”対策

サグ部の上り坂では、気づかないうちに速度が下がってしまい、それがきっかけとなって交通集中の渋滞が生まれていることから、各道路では色々な対策が施されている。ここでは、その中の心理的な方策についていくつか紹介したい。

・オプティカルドットシステム*1

図5に示すシークエンスデザイン®オプティカルドットシステム（Optical Dot System: ODS）は、首都高速道路埼玉大宮線の美女木JCT付近で施工されている。ODSによる視覚的情報提供には次の二つの側面がある。一つ目は、ドット列の配置感覚を縮小したり拡大したりすること（パースペクティブの配置）で、錯覚を起こさないよう実際の正しい勾配を可視化し、ドライバーが線形を自然に認知しやすいようガイドすることで、「勾配を知覚



図6 エスコートライト。壁面の緑のライトが進行方向に流れる（提供：首都高速道路株式会社）

させる」ことである。二つ目は、道路の形に反するだましのテクニックを使うわけではなく、例えば下り坂の場合、同じ速度で走行しても時間軸で「加速度を徐々に強めに知覚させるOptical Flow（視覚的リズム/ペース）」を形成させることで、「速度を知覚させる」ことを実現しているデザインである。このODSは、ドットパターンが意味を持たないニュートラルなデザインであるため、道路面にだまし絵を描くイメージハンブのように、時間が経つと慣れてきて効果が落ちるといったことはなく、効果が持続するといわれている⁶⁾。

・エスコートライト

図6に示すエスコートライトも首都高速道路3号渋谷線下りの池尻付近で施工されている。この付近では約3%の上り勾配があり、無意識の速度低下が生じている。そのため、エスコートライトを壁面に設置し、60km/h程度で進行方向に順次点灯することにより、無意識の速度低下を防ぐというものである⁷⁾。エスコートライトの設置により、渋滞損失時間が減少するとともに、所要時間が平均3分短縮したという報告がある⁸⁾。

道路環境に潜む錯覚現象

本稿では、縦断勾配錯視と呼ばれるサグ部で観察される目の錯覚現象が、渋滞のきっかけを作っている可能性について、屋島ドライブウェイの例とともに解説した。さらに、側壁パターンが縦断勾配錯視に影響する一つの要因であることから、錯視を軽減し道路傾斜を正しく示す方法について提案するとともに、実際の速度低下対策として導入されている事例について紹介した。

様々な対策が施されているが、縦断勾配錯視については、異なる傾斜の道路が複数連なっている場合に生じるため、建設時になるべくこのような道路構造を避けて設計することが重要である。

最後に、交通渋滞とは外れるが、目の錯覚が引き起こす交通事故の可能性についても触れたい。図1(b)に示すように、下り坂が上り坂に見えてしまう場合、それは速度低下ではなく、速度超過につながる目の錯覚と言える。前述したとおり、目の錯覚は、理性で答えがわかっても同様の錯覚現象が再び生じる、という特徴を持つ。そのため、ドライバーの見落としや、速度超過が原因で事故が多発している地点では、道路環境が作り出す目の錯覚がドライバーの判断を誤らせている可能性もある。

本稿を通じて、道路環境に潜んでいる錯覚現象を体験していただくことで、交通渋滞や交通事故が少しでも軽減されれば幸いである。

*1 オプティカルドット:登録第4956228号 株式会社スタジオ ハン デザイン、首都高速道路株式会社の共同特許。シークエンスデザイン:登録第5281648号 株式会社スタジオ ハン デザインの登録商標。

<参考文献>

- 1) NEXCO 東日本、道路管理運営事業ホームページ
http://www.e-nexco.co.jp/activity/safety/detail_07.html
- 2) 「計算と社会」岩波講座 計算科学6、岩波書店、2012
- 3) 「錯視完全図解一脳はなぜだまされるのか? (Newton別冊)」、ニュートンプレス、2007
- 4) P. Bressan, L. Garlaschelli and M. Barracano, Psychological Science, 441-449, 2003
- 5) 「坂道の傾斜知覚の研究」對梨成一著 風間書房、2013
- 6) 韓 亜由美、玉木 真、小野 晋太郎、佐々木 正人、須田 義大、池内 克史、東京大学生産技術研究所、生産研究、64巻2号、p.297, 2012
- 7) 首都高速道路株式会社（平成27年2月12日）
http://www.shutoko.co.jp/company/press/h26/data/02/12_escortlight/
- 8) 首都高速道路株式会社（平成27年3月5日）
http://www.shutoko.co.jp/updates/h26/data/03/05_escortlight/