

トンネル内照度レベル変化に伴う車両挙動に関する研究

A Study on Vehicle Behavior Affected by Change of Illuminance Level in a Tunnel

清宮 広和

指導教授 越 正毅

1 研究の背景と目的

高速道路トンネル部において、渋滞が発生している。その対策としてトンネル照度を上昇させることにより、トンネル進入時の速度低下を防ぐことが挙げられる。東名高速道路・大和トンネルにおいても以上の理由で、渋滞が発生することが懸念され、日本道路公団は大和トンネル内の照度を向上させる照明改良工事を実施した。

そこで本研究では、照明改良工事前(以下、事前)と工事後(以下、事後)の車両挙動を比較することにより、照明改良による挙動の変化を検証すること、および照度レベルの変化が車両挙動に与える影響について検証を行うことを目的とした。また、大和トンネルにおける渋滞発生の可能性について検討を行うことも目的とした。

2 交通流観測調査

東名高速道路・大和トンネル(L=280m)を通過する車両を対象に、事前と事後それぞれにおいて交通流観測調査を実施した。調査は図-1に示すように上下線の各トンネル入口と出口にビデオカメラを設置し、各地点の交通流観測を行った。このような調査を平日と休日別に、自由流を対象にそれぞれ実施した。調査時間は事前で12:00~14:00、事後で10:00~14:10とし、ビデオ画像から解析に必要な車両挙動データ(速度・車頭時間・車頭距離・フローレート)を抽出した。

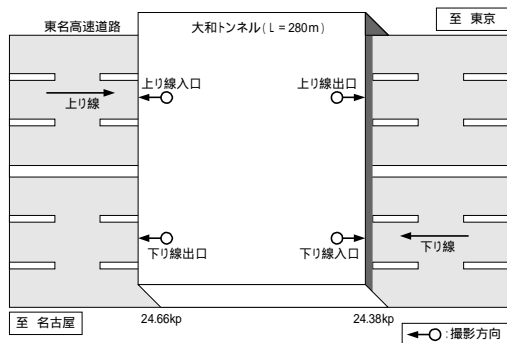


図-1 ビデオカメラ設置状況

3 大和トンネルの概要

大和トンネルでは屋外の輝度(明るさ)に応じて、照度レベルを晴天1・晴天2・曇天1・曇天2と呼ばれる4段階に変化させている。照度は以下の表-1に示すように晴天1が最も高く、以下晴天2、曇天1の順に高く、曇天2が最も低くなる。事前・事後共照度レベルの4分類は変わらないが、事後において照度が向上している。なお、本研究では晴天1(以下、晴天)・曇天1、曇天2の3照度レベルを解析対象とした。

表-1 大和トンネル照度レベル

照度レベル	屋外の明るさ	照度
晴天1	明るい	高い
晴天2		
曇天1		
曇天2	暗い	低い

4 解析項目

本研究では、次の3項目について分析を行った。

(1) 事前・事後比較

同じ照度レベル(晴天)における事前と事後の車両挙動を比較し、照明改良工事による変化を検証した。

(2) 照度別比較

事後における晴天・曇天1・曇天2の3段階の照度レベル別の車両挙動を比較し、照度が車両挙動に与える影響について検証を行った。

(3) 渋滞発生の可能性の検討

大和トンネルの車両挙動データと、渋滞が発生するサグ部(横浜横須賀道路・日野サグ、東名高速道路・綾瀬サグ)の車両挙動データとの比較を行い、大和トンネルにおける渋滞発生の可能性について検討を行った。

5 解析結果と考察

(1) 事前・事後比較

平日下り線の事前・事後別の速度分布を図-2に示す。事前において入口の50パーセンタイル値が約117km/時、出口が約102km/時となり、トンネル通過時に約15km/時の大幅な速度低下傾向が見られた。事後においては入口で約108km/時、出口で約101.5km/時となり、依然として約6.5km/時の速度低下傾向が見られた。

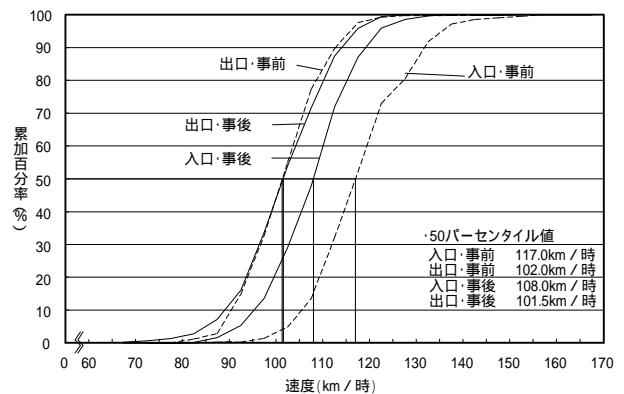


図-2 平日下り線・速度分布(事前・事後比較)

同様の方法により、休日下り線、および上り線についても見る。以下の表-2にその結果をまとめた。

表 - 2 速度分布の事前・事後比較結果

			速度50パーセンタイル値(km/時)		変化量(km/時)
			入口	出口	
下り線	平日	事前	117.0	102.0	-15.0
		事後	108.0	101.5	-6.5
	休日	事前	126.0	125.0	-1.0
		事後	121.0	122.0	+1.0
上り線	平日	事前	110.0	115.0	+5.0
		事後	112.0	115.0	+3.0
	休日	事前	119.0	116.0	-3.0
		事後	115.0	119.5	+4.5

以上より下り線について、平日では事前の大幅な速度低下傾向が事後において改善されたことから、照明改良による効果が得られたと考えられる。休日では事前・事後ともほとんど速度が変化しておらず、トンネルによる車両挙動への影響自体が少なかったことから、照明改良による効果は見られなかったといえる。上り線について、平日では事前・事後とも速度が上昇する傾向が見られたことから、トンネルによる車両挙動への影響は無かったものと考えられる。休日では事前において速度が僅かに低下していた傾向が事後では増加に転じており、照明改良による改善が得られたといえる。

(2) 照度別比較

平日下り線の照度別の速度分布を図 - 3 に示す。各50パーセンタイル値を見ると、全ての照度レベルにおいて速度がトンネル通過時に低下する傾向が見られた。

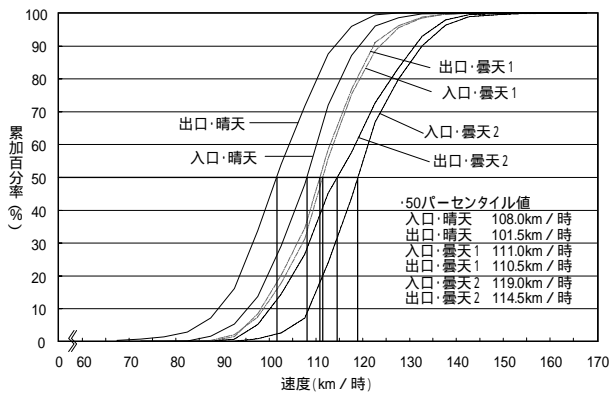


図 - 3 平日下り線・速度分布(照度別比較)

同様の方法により、上り線についても見る。以下の表 - 3 にその結果をまとめた。

表 - 3 速度分布の照度別比較結果

	照度レベル	速度50パーセンタイル値(km/時)		変化量(km/時)
		入口	出口	
下り線	晴天	108.0	101.5	-6.5
	曇天1	111.0	110.5	-0.5
	曇天2	119.0	114.5	-4.5
上り線	晴天	112.0	115.5	+3.5
	曇天1	113.0	113.0	0
	曇天2	117.5	118.0	+0.5

以上より、上り線においても全ての速度でほとんど変わらないか、僅かに上昇する傾向が見られた。従って、上下線共通照度レベル毎に大きな違いが見られなかったことから、照度レベルが車両挙動に与える影響は小さかったものと考えられる。このことから、トンネル屋外の明るさに応じ、トンネル内照明の照度がそれぞれ適切に設定

されていた、と言える。また、上下線共通に速度が曇天2、曇天1、晴天1の順で高くなる傾向が見られた。つまり、トンネル内の照明が明るいほど速度が低くなる傾向があるということになる。これは屋外の輝度とトンネル内の輝度の差が、曇天2において最も小さかったため、トンネル進入時の心理的圧迫感が軽くなり、速度が高くなったものと考えられる。しかし、そのことを裏付けるデータは得られず、推測の域を出ない。

(3) 渋滞発生の可能性の検討

これまでの解析結果より、平日下り線において、トンネル通過時に大幅な速度低下が見られたことから、渋滞発生の可能性を否定できない。しかし、平日下り線以外では、速度が上昇、あるいはほとんど変化が見られず、渋滞発生の可能性は無いものと考えられる。そこで平日下り線の事前、および事後の3照度(以下、晴天・曇天1・曇天2)の計4パターンについて渋滞発生の可能性について検討を行った。

) 平均値による比較

大和トンネルの4パターン、日野サグ、および綾瀬サグにおける速度と車頭距離の各平均値を図 - 4 に示す。

大和トンネル通過時では、いずれにおいても速度が低下し車頭距離も縮まる傾向が見られた。また、データが、フローレーンを表している原点からの直線(以下、フローレーン直線)に沿って変化しており、トンネル通過時にフローレーンがほとんど変化しない傾向が見られた。日野サグ、および綾瀬サグの各始終点でも速度が低下し、車頭距離も縮まる傾向が見られた。また、データも、フローレーン直線に沿って変化しており、サグ通過時にフローレーンがほとんど変化しない傾向が見られた。

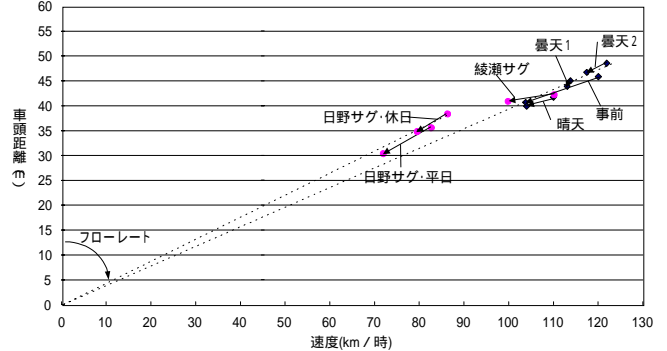


図 - 4 速度と車頭距離の関係

以上より、大和トンネルと渋滞が発生するサグとの間に共通の傾向が見られた。従って、大和トンネルにおいて渋滞が発生する可能性を否定出来ない。しかし、これらはあくまで平均値による議論に過ぎない。トンネル部やサグ部を通過する全ての車両が共通にフローレーンを低下させるといった、平均的な挙動を示すことで渋滞が発生するとは限らない。しかし、本解析ではそのような傾向は見られなかった。つまり、ごく一部の車両が特異な挙動を示し、フローレーンを低下させることによって、

渋滞が引き起こされるという可能性を、平均値の議論のみで判断するのは困難であるものと考えられる。

） 起因車の抽出

一部の車両の特異な挙動による渋滞発生の可能性について検討を行った。渋滞は車群がトンネル部やサグ部に差し掛かると僅かに速度を低下させたことによって発生する減速波が後続車に増幅・伝播し、やがて車群後方の車両は完全停止を強いられ、これが原因となって発生するとされている¹⁾。そこでこのように特異な挙動を示し、速度とフローレートの低下を引き起こした車両を起因車と定義し、大和トンネルと日野サグ、綾瀬サグにおいて起因車の抽出を行った。抽出はトンネル部、およびサグ部通過時における各車の速度と車頭距離の変化から行った。大和トンネル事後の晴天における速度と車頭距離を時間軸上に示した図(S-V-T図)と各車のフローレート変化量(FR-T図)を図-5に示す。

図-5を見ると、7以降の車両に大きな車群が形成されているのがわかる。この車群について見ると、まず10の車両が車頭距離を広げ、フローレートを2,000台/時低下させた。続く11の車両もその影響で僅かに速度を低下させたことにより、車頭距離を広げてしまった。この速度低下が後続の12以降の車両に増幅・伝播し、最大で約30km/時の速度低下が見られた。従ってこの10と11の車両が起因車となって、速度低下が発生したと考えられるが、減速波となって上流地点に増幅・伝播されず、その後渋滞発生にまでは至らなかった。

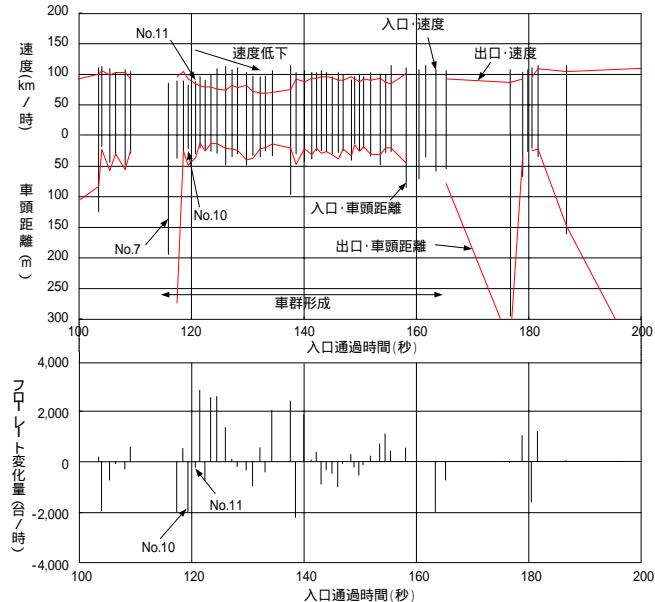


図-5 S-V-T図とFR-T図(大和・事後晴天)

同様の解析を大和トンネルの他のケース、日野サグ、および綾瀬サグについて行った。その結果、いずれにおいても起因車の存在による速度低下が確認され、綾瀬サグではこの速度低下がきっかけとなり、渋滞が発生したことが確認できた。つまり実際に渋滞を引き起こす原因とな

る起因車の存在と速度低下が大和トンネルにおいても確認され、このことから大和トンネルにおいて渋滞が発生する可能性を否定出来ない。しかし、起因車が存在し速度低下が発生すると必ず渋滞に至るとは限らない。つまり、そのような挙動によって渋滞に至るか否かは、起因車に後続する車群の大きさ、および車頭時間が影響しているものと考えられる。

） 起因車後続車群の解析

起因車に後続する車群に着目し、各車の挙動を分析することにより、渋滞が発生する挙動、および発生しない挙動の違いを明らかにする。これより大和トンネルにおける渋滞発生の可能性について再度検討を行った。

大和トンネル(事前)における、各車の速度変化量、車頭時間変化量、および通過台数の時間変動図を図-6~8に示す。速度変化量について見ると、ほとんどの車両で速度を低下させる傾向が目立つ。車頭時間変化量について見ると、ほとんどの車両が車頭時間を広げずに走行していることがわかる。通過台数の時間変動について見ると、非常に密な車群が存在する一方で、車群に大きな切れ目も存在していることがわかる。

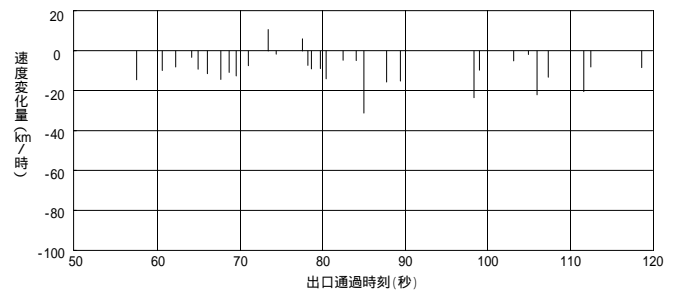


図-6 速度変化量の時間変動(大和・事前)

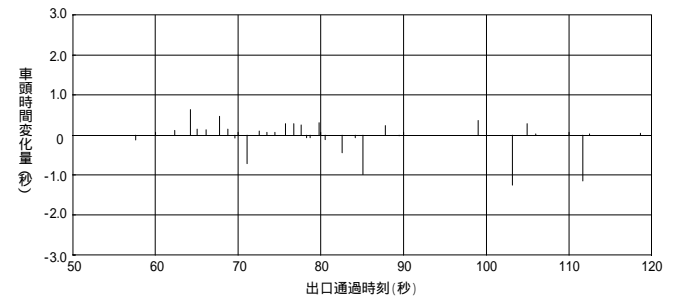


図-7 車頭時間変化量の時間変動(大和・事前)

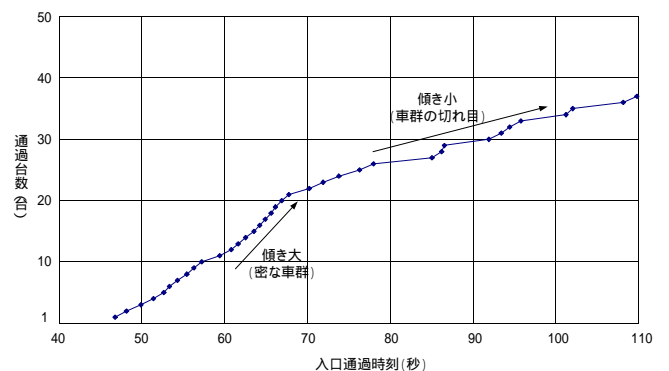


図-8 通過台数の時間変動(大和・事前)

綾瀬サグについても同様の図を図 - 9 ~ 11に示す。速度変化量について見ると、ほとんどの車両で速度を低下させる傾向が見られた。車頭時間変化量について見ると、非常に密な車群内において大幅な増加が目立つ。特に No. 17の車両と No. 33の車両は1秒以上も車頭時間を広げていることから、これらも起因車と考えることが出来る。これら起因車は、ほぼ同じ挙動を示したにも関わらず、No. 33に後続する車群において渋滞のきっかけとなる大幅な速度低下が見られた。通過台数の時間変動について見ると、全体的には非常に大きく、密で切れ目がない車群が存在していることがわかる。また、No. 17と No. 33の車両の後続の車群を見ると、No. 17の後続車群はやや疎になり、No. 33では非常に密になっている。

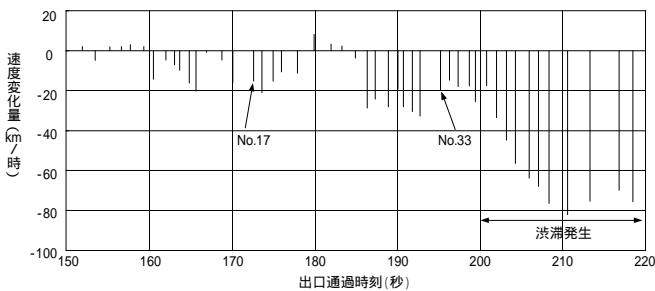


図 - 9 速度変化量の時間変動(綾瀬サグ)

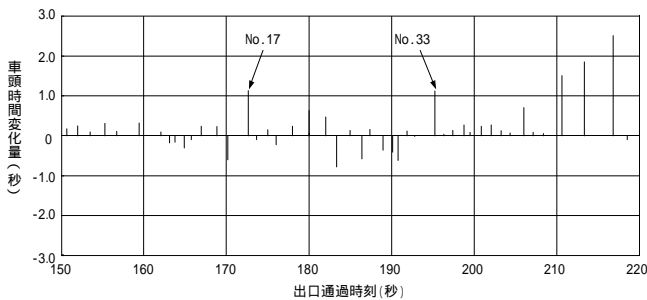


図 - 10 車頭時間変化量の時間変動(綾瀬サグ)

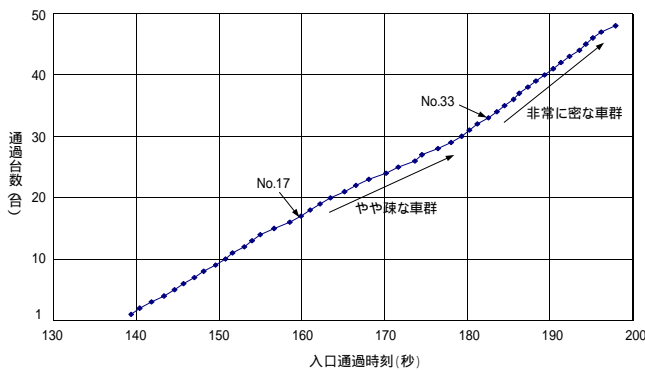


図 - 11 通過台数の時間変動(綾瀬サグ)

以上より渋滞を引き起こす条件として、起因車の存在、後続する大きく密な車群の存在、の2項目が挙げられる。つまり、33の起因車の後のように、大きく密な車群が存在すると、車群内の車両が車頭時間を広げることにより、渋滞が発生するものと考えられる。大和トンネルにおいては起因車が存在することにより、速度低下が発生し、の条件を満たしていたものの、の条件

が満たされず、その速度低下が減速波となって後に増幅・伝播されなかった。従って、現状の大和トンネルにおいて、渋滞が発生する可能性は低いものと考えられる。

ここで、本研究の解析対象時間に、偶然のような車群が到着しなかったことより、このような結果を得たとも考えられる。しかし、これまで大和トンネルにおいて渋滞が発生した事例が存在しないことから、現状ではの条件を満たすことはないものと考えられ、大和トンネルにおいて渋滞が発生する可能性は極めて低いものと考えられる。しかし、将来上流のボトルネックが改良されると、ような車群が到着する可能性が高まり、渋滞が発生することも考えられる。

6 結論

本研究において以下のことが明らかになった。

(1) 事前・事後比較

下り線においては事前に見られた大幅な速度低下の傾向が事後で緩和され、上り線においては事前に見られた速度低下の傾向が事後で上昇に転じたことから、上下線とも照明改良による効果が見られたものと考えられる。

(2) 照度別比較

下り線においては全ての照度レベルに速度低下の傾向が見られ、上り線においても速度が殆ど変わらないが、僅かに上昇する傾向が見られ、照度レベル毎に大きな違いが見られなかった。よって上下線ともに照度レベルが車両挙動に与える影響は小さいものと考えられ、照明の照度が適切に設定されていたといえる。

(3) 渋滞発生可能性の検討

渋滞が発生する条件として、起因車・後続する大きく密な車群、が挙げられた。大和トンネルにおいて、は満たすものの、の現象が見られなかったことと、これまでに大和トンネルにおいて渋滞が発生した事例が無いことから、現状において渋滞が発生する可能性は極めて低いものと考えられる。

7 今後の課題

本研究で得られた結果は、長さ280mという比較的小さい大和トンネルにおいて当てはまる仮説に過ぎず、他のトンネル部において必ずしも当てはまるとはいえない。今後、より長いトンネル部等において同様の解析を行い、本研究の結果と比較・検討を行う必要がある。

8 謝辞

本研究を行うにあたり、調査にご協力いただいた日本道路公団東京第一管理局と横浜管理事務所の方々には深く感謝いたします。

9 参考文献

1) 越正毅・桑原雅夫・赤羽弘和：高速道路のトンネル、サグにおける渋滞現象に関する研究、土木学会論文集、458, pp. 65 - 71, 1993年1月。