

## トンネル照明 PML が車両速度に与える影響の交通容量要因別分析 Analysis of the Effect of PML with Tunnel Lighting on Vehicle Speed by Factors affecting Expressway Capacity

飯田 克弘<sup>1</sup>, 向井 政晴<sup>2</sup>, 澤田 英郎<sup>3</sup>

Katsuhiro IIDA<sup>1</sup>, Masaharu MUKAI<sup>2</sup> and Hideo SAWADA<sup>3</sup>

近年、渋滞対策として走光型視線誘導システム（MLGS）が注目されており、速度低下抑制効果があることが明らかになっている。しかし、MLGS の速度超過抑制効果について検証した研究は無く、MLGS の効果を交通容量要因別に検討した例は少ない。本研究では MLGS の一種であるトンネル照明灯具を用いたペースメーカーライトを対象に、交通容量要因ごとに条件を分けて MLGS の速度低下抑制・超過抑制効果を検証し、MLGS の効果に影響を与える要因を明らかにすることを試みた。

その結果、走行車線では上り坂で交通量が多く大型車混入率が大きい時に速度低下が抑制され、大型車混入率が比較的小さい時に速度減少の傾向があること、追越車線では大型車混入率が小さい時に速度超過が抑制されることが明らかになり、大型車混入率によって MLGS の効果が変わることを確認した。

**Keywords:** 走光型視線誘導システム, ペースメーカーライト, 大型車混入率

### 1. はじめに

近年、交通混雑の緩和や災害時の道路ネットワーク維持といった観点から高速道路のダブルネットワーク化が進められている。しかし、新たな路線は用地取得等の制約により山間部に建設されることが多く、サグやトンネルなど交通容量が比較的小さい区間が形成される場合がある。このうちトンネルは明かり部に比べて交通容量が小さく<sup>1)</sup>、渋滞の発生とそれに伴う渋滞最後尾への追突事故が懸念されることから、渋滞緩和のための速度低下抑制と追突事故抑制のための速度超過の抑制対策が行われてきた<sup>2)</sup>。

しかし、構造上の制約から既往の対策を実施することが難しい場合がある。また、トンネル内の走行は運転者に正常な速度感覚の喪失<sup>3)</sup>や縦断線形錯視<sup>4)</sup>による勾配の誤認といった影響を与えることが報告されており、トンネル区間の渋滞対策として、運転者の速度調整を支援するソフト対策も併せて求められている。

速度調整を支援し、渋滞を緩和する手法として光を進行方向に連続的に流すことで運転者の速度調整の支援を行う走光型視線誘導システム（Moving Light Guide System, 以下 MLGS）（図 1）が近年注目され、各地で設置とその影響分析が試みられている。

亀岡ら<sup>5)</sup>は東名高速三ヶ日 JCT～宇利トンネル間の MLGS が設置された区間において、システム消灯時にお



図 1 走光型視線誘導システム<sup>5)</sup>

ける渋滞発生直前 30 分間の交通流と、システム点灯時における同交通量の交通流を比較し、システム点灯時に車群の形成が抑制され、車群先頭車両速度の標準偏差が小さくなることを確認した。また、このことが渋滞の緩和につながる可能性を示唆している。遠藤らは、休日を対象に東京湾アクアラインに設置された MLGS の渋滞緩和効果の検証を行った。システムの点灯速度を車両平均速度の+10~+20km/h に設定することで速度低下を抑制し、渋滞流では走行速度を上昇させ、渋滞発生を抑制させる効果があることを示唆している<sup>7)</sup>。また、増本らはトンネルと同様に交通容量が小さく、渋滞の多発するサグ部において、MLGS の渋滞低減効果の検証を行った。阪神高速 3 号神戸線の深江～芦屋間のサグ部に設置された MLGS を対象に、走行環境の変化に応じてきめ細やかに点灯速度を変化させることが渋滞緩和に効果的であることを示唆している<sup>8)</sup>。このように MLGS は速度低下の抑

1 正会員, 博士 (工学), 大阪大学大学院工学研究科  
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 e-mail: iida@civil.eng.osaka-u.ac.jp Phone: 06-6879-7611  
2 正会員, 修士 (工学), 西日本高速道路株式会社  
3 正会員, 修士 (工学), TOE, 西日本高速道路エンジニアリング関西株式会社

制や渋滞の緩和に一定の効果が確認されている。既往研究はいずれも MLGS の速度調整支援による渋滞緩和効果を示唆しているが、交通容量は、道路構造のほかに大型車混入率・平日休日といった要因（以下、交通容量要因）の影響を受ける<sup>9)</sup>。既往研究では、交通容量要因の違いが MLGS の効果に与える影響までは分析していない。そのため、MLGS の渋滞緩和効果が高まる交通流条件が明らかになっていない状況にある。また、先に述べた通り渋滞時には追突事故のリスクが高まることを考えれば、速度低下抑制に加えて、MLGS による速度超過の抑制効果に関して着目する必要がある。

そこで本研究では、交通容量要因ごとに条件を分けて MLGS 点灯時・無点灯時の車両速度を比較することで、MLGS の速度低下抑制効果に加え、速度超過抑制効果を検証し、その効果に影響を与える要因を明らかにすることを目的とする。

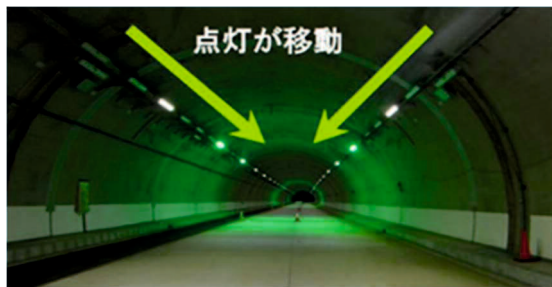


図2 新名神高速道路のPML

具体的な検証対象は、新名神高速道路の宝塚北SA～高槻JCT間に設置されている、MLGS の一種であるトンネル照明灯具を用いたペースメーカーライト（以下、PML）（図2）とする。これは緊急時にトンネル照明の色を変えることができるシステムを転用したものであり、トンネル照明の光を壁面や天井に映し出すことで光が輪として流れるという従来のMLGSとは異なる特徴がある。

## 2. 調査概要

### 2.1 トラカンによる交通流計測調査

#### (1)PML設置区間の状況

新名神高速道路のPML設置箇所を図3に示す。

この区間は上下線ともに片側2車線である。また、トンネル部ではPMLを設置し、明かり部では従来のMLGSを設置している。PMLおよび明かり部のMLGSの点灯時の光の速度は、調査時どちらも80km/hで設定している。

#### (2)交通流調査の概要

2019年12月18日～2020年2月29日の期間において箕面トンネル付近（図4）において車両感知器（以下、トラカン）を用いた交通流計測を行った。調査期間のうち2019

年12月18日～2020年1月17日はPMLおよび明かり部のMLGSを点灯させない条件（以下、無点灯）で、2020年1月19日～2020年2月29日は点灯させる条件（以下、基本点灯）でPMLを運用し、計測を行った。計測にあたって、1分間単位の交通量、平均速度を計測する常設トラカンに加えて、トンネル内に車両1台ごとの通過時刻、速度、車長が計測できる簡易トラカンも設置した。

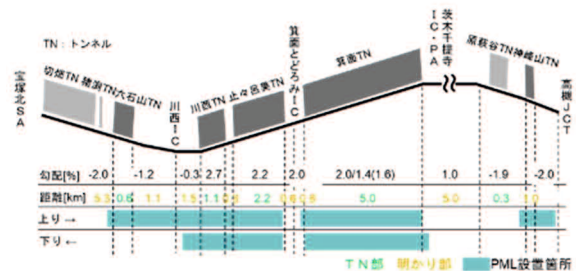


図3 新名神高速道路におけるPML設置箇所

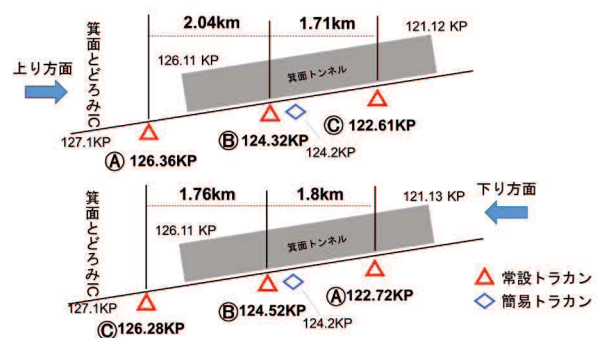


図4 箕面トンネル付近のトラカン設置箇所

### 2.2 高速道路休憩施設でのアンケート調査

PML設置区間を走行した運転者を対象に、PML設置区間直後の高速道路休憩施設でPMLに関するアンケート調査を行った。調査日時は2019年10月20日（日）と2019年10月28日（月）の9時～17時であり、両日ともにPMLの点灯状況は基本点灯であった。また、調査は茨木千提寺PA（上り）と宝塚北SA（下り）で行った。サンプル数を表1に示す。

運転者に対してPMLについて、PMLの画像を見せて説明した上で、表2の質問を行った。

表1 アンケート調査のサンプル数

	茨木千提寺 PA(上り)	宝塚北SA (下り)
10/20(日)	126	167
10/28(月)	93	114

表2 アンケート項目

<b>【運転者属性に関する質問】</b> 車種・性別・年齢・高速道路の運転頻度・新名神の運転頻度
<b>【PMLについての質問】</b> PMLを見たことがあるか・PMLに気が付いたか PMLを直接どの程度見たか・PMLのどこの光を最もよく見たか PMLを見てどのように行動を変えたか PMLの点灯速度はどうだったか PMLによって周囲の車両は光の速度に合わせていたか

### 3. 平均速度の構成比率比較による車両速度への影響

#### 3.1 分析方針

本章では、トンネル内の特定地点での速度を分析するため、常設トラカンより詳細なデータを取得可能な簡易トラカンのデータを使用する。簡易トラカンで計測したデータを5分間ごとに集計し、平均速度と大型車混入率を算出した後、表3のようにデータを分類した。

表3 交通容量要因ごとの集計データ分類方法

交通容量要因	分類方法
平日休日	平日と休日（土日祝）の2パターン
大型車混入率	0%から100%を5%区切りで21パターン

平日休日・大型車混入率・車線でデータを分類し、無点灯・基本点灯それぞれのQV図を作成する。作成した各QV図を5分間交通量20台間隔で区切り、それぞれ区切られた縦一列を交通量帯と定義する。次に、交通量帯それぞれにおいて、平均速度を62.5km/h~122.5km/hまで5km/hごとに区切ったものを領域と定義する。

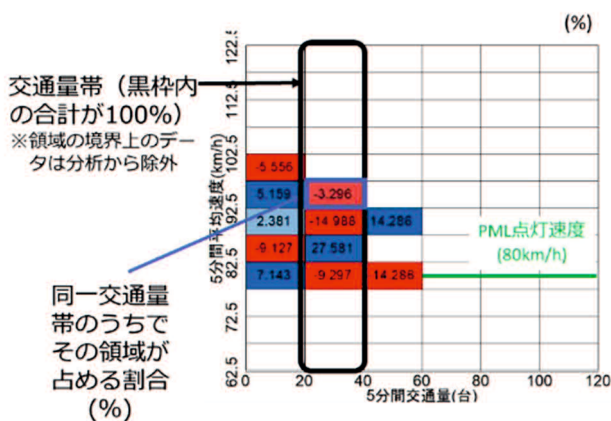


図5 領域の構成比率

各領域について、領域が属する交通量帯が持つデータ数の合計に対して、各領域が持つデータ数の構成比率を算出した（図5）。この構成比率が無点灯と基本点灯で有意差 ( $p < 0.05$ ) もしくは有意傾向 ( $p < 0.1$ ) があるかをZ検定で調べることで、各交通量帯におけるPMLの速度低下抑制効果・速度超過抑制効果を検証した。さらに、有意

差もしくは有意傾向が見られた領域（以下、有意な変化が見られた領域）を含む交通量帯について、無点灯と基本点灯の構成比率の違いを記号で示し、PMLの効果を表現することとした。

#### 3.2 構成比率の検証結果を示す記号の定義

交通量帯における無点灯と基本点灯の構成比率の違いを示す記号は、有意な変化が見られた領域の速度を示す文字と、速度の変化や構成比率の変化を示す文字の2種類の文字の組み合わせからなる。

まず、領域の速度を表す文字を表4のように定義する。102.5km/hより速い速度は、普通車の制限速度100km/hを越えることからHigh(H)、82.5~102.5km/hの速度はNormal(N)、77.5km/h未満の速度はLow(L)と定義する。また、77.5~82.5km/hの速度はPML点灯速度付近であることからPの文字で表すこととする。

表4 領域の速度を示す文字

文字	定義
H	102.5km/h~
N	82.5~102.5km/h
P	77.5~82.5km/h
L	~77.5km/h

次に無点灯と基本点灯の構成比率の違いを示す文字を定義する。

1つの交通量帯に、無点灯に対して基本点灯の構成比率が有意に小さい領域と有意に大きい領域の両方が存在する場合、構成比率の大きい領域の速度が小さい領域に比べて速ければ、基本点灯時に速度が上昇したとみなせるため、upの文字を用いる。逆の場合は速度が低下したとみなせるためdownの文字を用いる。そして記号は、①基本点灯時に構成比率が小さい領域の速度の文字、②基本点灯時に構成比率が大きい領域の速度の文字、③無点灯と基本点灯の構成比率の変化を示す文字の3つの文字を組み合わせる（図6）。

図6の5分間交通量0~20台の場合、基本点灯時にHの領域の構成比率が小さいため、1文字目にHの文字を、Nの領域の構成比率が大きいため、2文字目にNの文字を、構成比率の大きい領域の速度が小さい領域の速度に比べて遅いことから、速度が低下したとみなし、3文字目にdownの文字を用いる。3つの文字を組み合わせるとHNdownの記号とする。

一方、1つの交通量帯で、無点灯に対して基本点灯の方が有意に構成比率が小さい、もしくは大きい領域が1つしかない場合には、構成比率の増減を示す文字を定義する。たとえば、基本点灯時に構成比率が有意に大きくなった場合には、incの文字を用い、逆の場合にはdecの

文字を用いる。記号には、

- ④構成比率に有意な変化が見られた領域の速度の文字、
- ⑤構成比率の増減を示す文字

の2つの文字を組み合わせて記号とする（図6）。

図6の5分間交通量40~60台の場合、無点灯と基本点灯を比較するとNの速度の構成比率に有意な変化が見られるため、1文字目にNの文字を、基本点灯の方が構成比率が有意に大きいことから2文字目にincの文字を用いる。2つの文字を組み合わせてNincの記号とする。

また、効果の違いをより分かりやすく表現するため、記号を表5のように色分けして示すこととした。具体的には赤色系が基本点灯時に速度上昇したことを、青色系が速度低下したことを示す色合いとした。

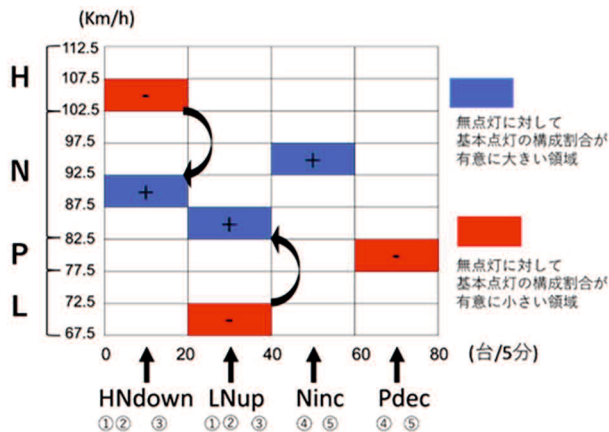


図6 記号の定義

### 3.3 分析結果

上り線下り線別に、平日休日・大型車混入率・車線でデータ分類し、分析した結果を以下に示す。

#### (1)上り走行車線（表6）

平日は5分間交通量40~60台で大型車混入率が大きい時、無点灯に比べて基本点灯のLの構成比率が有意に小さくなる場合がある（LPup, Ldec）。上り線は上り坂であり、交通量が多く、かつ大型車混入率が高い状況は、速度低下が発生しやすい条件だと考えられることから、基本点灯時に速度低下が抑制されていることが伺える。

また平日の5分間交通量20~40台の交通量帯で、大型車混入率0.2~0.35の時、PML点灯速度よりやや速い速度領域で有意な速度低下が見られる（NPdown）。大型車混入率が大きくなるにつれてNPdownがNdecへ変化する。

表5 記号の色分け

評価記号	色分けの定義
Hinc NHup	無点灯に比べて基本点灯のHの構成比率が大きい (速度超過助長の可能性)
Ldec LPup LNup	無点灯に比べて基本点灯のLの構成比率が小さい (速度低下抑制の可能性)
PNup NNup	PML点灯速度以上、制限速度以下で速度上昇
Linc PLdown	無点灯に比べて基本点灯のLの構成比率が大きい (速度低下助長の可能性)
Hdec HNdown HPdown	無点灯に比べて基本点灯のHの構成比率が小さい (速度超過抑制の可能性)
NNdown NPdown	PML点灯速度以上、制限速度以下で速度低下
Pinc,Pdec Ninc,Ndec	N・Pの割合が変化
	基本点灯・無点灯どちらかのサンプル数が10未満 (分析対象外)

表6 上り走行車線・上り追越車線 平日休日別の評価

大型車混入率 (lvr)	平日			休日			平日			休日		
	5分間交通量(台)			5分間交通量(台)			5分間交通量(台)			5分間交通量(台)		
	0~20	20~40	40~60	0~20	20~40	40~60	0~20	20~40	40~60	0~20	20~40	40~60
lvr = 0												
0 <lvr ≤ 0.05												
0.05 <lvr ≤ 0.1												
0.1 <lvr ≤ 0.15												
0.15 <lvr ≤ 0.2												
0.2 <lvr ≤ 0.25												
0.25 <lvr ≤ 0.3												
0.3 <lvr ≤ 0.35												
0.35 <lvr ≤ 0.4												
0.4 <lvr ≤ 0.45												
0.45 <lvr ≤ 0.5												
0.5 <lvr ≤ 0.55												
0.55 <lvr ≤ 0.6												
0.6 <lvr ≤ 0.65												
0.65 <lvr ≤ 0.7												
0.7 <lvr ≤ 0.75												
0.75 <lvr ≤ 0.8												
0.8 <lvr ≤ 0.85												
0.85 <lvr ≤ 0.9												
0.9 <lvr ≤ 0.95												
0.95 <lvr ≤ 1												

\*p<.10 \*p<.05

この変化の要因を確かめるため、Pの構成比率を確認した。その結果、大型車混入率が0.35を超えると、無点灯時であってもPの構成比は0.3を超えていることが分かる（図7）。一つの可能性として、速度リミッターの付いた大型車の増加によって、無点灯においてもPの速度の構成比が大きくなったため、大型車混入率が低い場合と比べて、有意な変化が生じにくくなったと思われる。

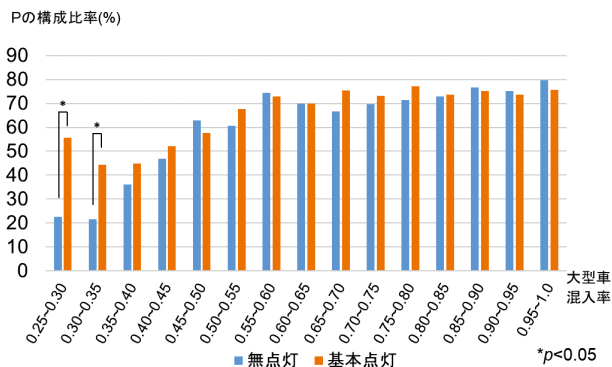


図7 5分間交通量20~40台時のPの構成比率  
(上り走行車線, 平日)

休日は5分間交通量20~40台, 40~60台の時, 大型車混入率が0.1~0.35の範囲で有意な速度低下が確認できる(NNdown, NPdown). 休日は平日に比べて普通車の台数が多く, 大型車混入率が小さい場合のサンプル数が多かったことから有意な変化が生じやすかったと思われる。

## (2)上り追越車線 (表6)

上り追越車線;は上り走行車線に比べて, 平日休日ともに大型車混入率の小さいデータが多く得られたが, 一方で大型車混入率の大きいデータは少なかった. 平日の5分間交通量0~20台を見ると大型車混入率が0.2以下の時に無点灯に比べて基本点灯のHの構成比率が小さく(HNdown, HPdown, HLdown) になっている. アンケート調査結果を確認したところ, 「PMLを見てどのように行動を変えたか」の質問に回答した被験者のうち, 普通車の運転手は大型車に比べてPMLを見て光に速度を合わせたと答えた割合が大きく, Z検定を行ったところ有意差 ( $p < 0.01$ ) が見られた (表7). 次に, 休日の5分間交通量0~20台, 大型車混入率0という普通車に限定した時の速度の分布を見ると, 80km/h付近の割合が無点灯に比べて基本点灯の方が大きかった (図8). 以上のことから, 上述したHの構成比率が小さくなっていることは, PMLにより普通車の速度超過が抑制された結果だと考えられる。

5分間交通量が20~40台となっても0~20台の時と同じく速度超過の抑制傾向が見られたが, 0~20台の時と比べると大型車混入率が小さい場合 (0.15以下) に限定されている. 同じ大型車混入率でも交通量が増加したことによって, 大型車の台数が増加し, 普通車の速度が大型車の

速度の影響を受けやすくなったためだと思われる。

表7 「PMLを見てどのように行動を変えたか」質問に「光に速度を合わせた」と回答した割合

	「PMLを見てどのように行動を変えたか」の質問に対する有効回答数	「光に速度を合わせた」の回答数	「光に速度を合わせた」と答えた割合
普通車・二輪車	277	63	22.7%
大型車	96	5	5.2%

\*\* $p < 0.01$

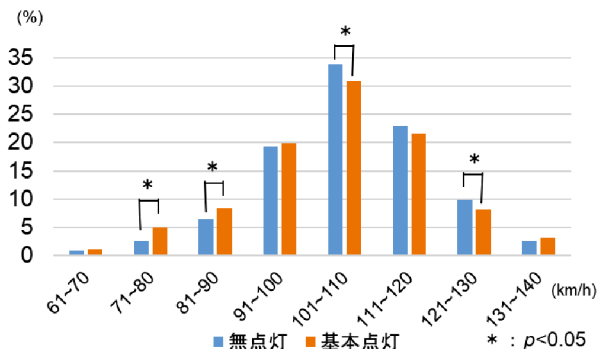


図8 5分間交通量0~20台・大型車混入率0時の速度分布  
(上り追越車線, 休日)

また, 休日の5分間交通量0~20台, 20~40台の大型車混入率0.2以下の時も, 平日と同様, 無点灯に比べて基本点灯時のHの構成比率が有意に小さくなっている (HNdown, HPdown, HLdown) ことが確認できる。

## (3)下り走行車線 (表8)

平日・休日ともに5分間交通量20~40台で大型車混入率が0.45以下の時, 無点灯に比べて基本点灯の速度が低下している傾向 (NPdown) が多く見られた. 上り走行車線の結果と比較すると, 下り走行車線では大型車混入率がより大きい場合でも速度低下の傾向が見られる. 下り線は下り坂であるため, 大型車であっても自然と速度が上昇することを考えると, 大型車が多い状況でもPMLにより速度が抑制された可能性が伺える. また, アンケート調査結果を確認したところ, 「PMLを見てどのように行動を変えたか」の質問に対して, 「PMLの点灯速度に合わせた」と答えた普通車・二輪車の割合が, 上り線では15.1%なのに対し, 下り線では26.2%であり, Z検定の結果, 有意差 ( $p < 0.05$ ) が見られた. このことから下り線では, PMLの点灯速度と自車の走行速度に差があり, 意識的に減速を行った運転手が多かったことが伺える (表9).

## (4)下り追越車線 (表8)

平日, 休日とも交通量に関わらず, 大型車混入率が0.15より小さい時, 無点灯に比べて基本点灯のHの構成比率が小さくなる傾向が確認された (HNdown, HPdown, HLdown). 法定速度を超える速度の車両も多い (図9) ことから, 走行車線と同様, PMLにより普通車の速度超過が抑制された結果だと考えられる。

表8 下り走行車線・下り追越車線 平日休日別の評価

大型車混入率 (lvr)	下り走行						下り追越					
	平日			休日			平日			休日		
	5分間交通量(台)			5分間交通量(台)			5分間交通量(台)			5分間交通量(台)		
	0~20	20~40	40~60	0~20	20~40	40~60	0~20	20~40	40~60	0~20	20~40	40~60
lvr = 0							H <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down	H <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down		H <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down	H <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down	H <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down
0 <lvr ≤ 0.05								H <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down H <sup>+</sup> P <sup>+</sup> down	H <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down		H <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down	H <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down
0.05 <lvr ≤ 0.1					N <sup>+</sup> inc	N <sup>+</sup> inc	H <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down H <sup>+</sup> L <sup>+</sup> down N <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down N <sup>+</sup> P <sup>+</sup> down N <sup>+</sup> L <sup>+</sup> down	H <sup>+</sup> dec N <sup>+</sup> dec	H <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down	H <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down	H <sup>+</sup> dec	
0.1 <lvr ≤ 0.15					N <sup>+</sup> inc	N <sup>+</sup> inc	H <sup>+</sup> P <sup>+</sup> down H <sup>+</sup> L <sup>+</sup> down	H <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down N <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down	N <sup>+</sup> dec	H <sup>+</sup> dec	N <sup>+</sup> dec	
0.15 <lvr ≤ 0.2					N <sup>+</sup> inc		N <sup>+</sup> P <sup>+</sup> down	L <sup>+</sup> dec	N <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down	H <sup>+</sup> dec N <sup>+</sup> dec	N <sup>+</sup> dec	
0.2 <lvr ≤ 0.25					N <sup>+</sup> dec		N <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down P <sup>+</sup> N <sup>+</sup> up	N <sup>+</sup> dec		L <sup>+</sup> inc		
0.25 <lvr ≤ 0.3		N <sup>+</sup> P <sup>+</sup> down N <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down			N <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down	P <sup>+</sup> dec	L <sup>+</sup> inc	N <sup>+</sup> inc		N <sup>+</sup> L <sup>+</sup> down		
0.3 <lvr ≤ 0.35		N <sup>+</sup> P <sup>+</sup> down			N <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down			N <sup>+</sup> inc L <sup>+</sup> inc			N <sup>+</sup> P <sup>+</sup> down	
0.35 <lvr ≤ 0.4		N <sup>+</sup> dec		N <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down	N <sup>+</sup> dec		N <sup>+</sup> dec					
0.4 <lvr ≤ 0.45		N <sup>+</sup> P <sup>+</sup> down	N <sup>+</sup> P <sup>+</sup> down	N <sup>+</sup> N <sup>+</sup> down	P <sup>+</sup> inc		N <sup>+</sup> dec L <sup>+</sup> dec					
0.45 <lvr ≤ 0.5					N <sup>+</sup> P <sup>+</sup> down							
0.5 <lvr ≤ 0.55												
0.55 <lvr ≤ 0.6	N <sup>+</sup> P <sup>+</sup> down		L <sup>+</sup> inc		N <sup>+</sup> P <sup>+</sup> down							
0.6 <lvr ≤ 0.65		L <sup>+</sup> inc										
0.65 <lvr ≤ 0.7			L <sup>+</sup> inc									
0.7 <lvr ≤ 0.75				P <sup>+</sup> inc	N <sup>+</sup> inc							
0.75 <lvr ≤ 0.8	L <sup>+</sup> inc	N <sup>+</sup> P <sup>+</sup> down	N <sup>+</sup> dec									
0.8 <lvr ≤ 0.85		L <sup>+</sup> inc	P <sup>+</sup> dec		N <sup>+</sup> dec							
0.85 <lvr ≤ 0.9		L <sup>+</sup> inc										
0.9 <lvr ≤ 0.95	L <sup>+</sup> inc		P <sup>+</sup> L <sup>+</sup> down									
0.95 <lvr ≤ 1		N <sup>+</sup> dec										

†p<.10 \*p<.05

表9 普通車・二輪車のうち  
「光に速度を合わせた」と回答した割合

	サンプル数	「光に速度を合わせた」の回答数	「光に速度を合わせた」と答えた割合
上り方面	86	13	15.1%
下り方面	191	50	26.2%

\*p<0.05

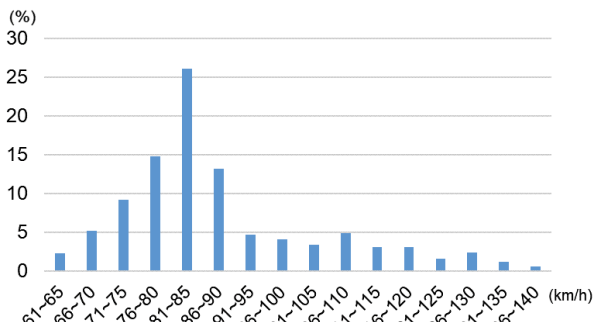


図9 5分間交通量0~20台・大型車混入率0.10~0.15  
時の速度分布（下り追越車線，平日，無点灯）

(5)まとめ

平日の走行車線では，上り坂・大型車混入率大・交通量多という速度低下が発生しやすい条件において，Lの構成比率が小さくなる傾向が見られたことから，基本点

灯時に速度低下が抑制されている可能性が伺える。

また，走行車線では，上り下り，平日休日に関わらず大型車混入率が比較的小さい（0.2~0.35）時，100km/h以下の速度域での速度低下の傾向が確認された（NNdown, NPdown）。一つの可能性として，3.3(2)で述べた通り，普通車がPML点灯速度に合わせた結果と考えることができる。

追越車線では上り下り，平日休日に関わらず，大型車混入率が小さい（0.15以下）時にHの構成比率が小さくなる傾向が見られた。3.3(2)で述べた通り，アンケートの結果で，普通車はPMLに速度を合わせたと回答した割合が大きいことが確認されていることから，PMLに速度を合わせようと意識的に速度を下げた普通車が存在したことで，速度超過が抑制されたと考えられる。

4. 複数地点の平均速度比較による平均速度推移の分析

4.1 分析方針

本章では，3章でPMLによる速度変化が確認された車両（時刻）を対象に，複数の地点のデータを用いてPML点灯時に，点灯区間を走行する間の速度推移の変化を分析し，無点灯と基本点灯時の速度推移に差があるかを検証する。具体的には，箕面トンネル周辺に設置した常設

トラカン(図4)で取得した平均速度分布の比較からA, B, Cの地点間の速度推移を検証する。なお、上下線とも車両の進行方向の上流からA, B, Cの地点と設定している。分析手順として、まず、3.3で構成比率の変化が見られたデータと同条件で計測された平均速度を地点Bの常設トラカンから抽出する。次に、地点A-B間, B-C間は100km/hで走行した場合、およそ1分かかるため、地点Aは地点Bの1分前の平均速度, 地点Cは地点Bの1分後の平均速度を抽出する。これにより、概ね同一車群の平均速度を比較していると考えられる。最後に、抽出した1分間平均速度をもとに、速度帯で集計し、各速度帯が占める割合（平均速度出現割合）を算出する。A, B, Cそれぞれの地点で無点灯・基本点灯それぞれの平均速度の速度帯の出現割合を比較し、有意差 ( $p<0.05$ ) があるかZ検定で検証した。

## 4.2 平均速度の出現割合の分析

### (1)上り走行車線

3.3でPMLによる速度低下抑制効果（Lの構成比率が小さくなる傾向）が見られた平日の5分間交通量40~60台で大型車混入率0.45~0.8の時のA, B, C地点の無点灯時と基本点灯時の平均速度出現割合を図10に示す。

トンネル内で比較すると、B地点と比べて、C地点では無点灯・基本点灯ともに、77km/h以下の出現割合が有意に大きいことから、B-C間で速度低下が発生していることが分かる。ただし、基本点灯時、C地点では77km/h以下の出現割合がB地点に比べて大きいものの、C地点で見ると無点灯と比較して出現割合が有意に小さいことから、基本点灯時は、区間下流側において速度低下の発生が抑制されている状況が確認できる。

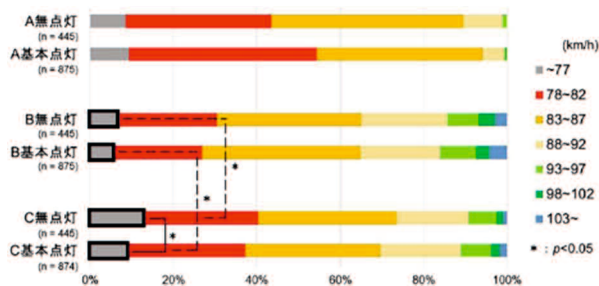


図10 5分間交通量40~60台・大型車混入率0.45~0.8時の平均速度出現割合（上り走行車線, 平日）

次に、3.3で速度低下の傾向が見られた休日の5分間交通量20~40台で大型車混入率0.3~0.35の時のA, B, C地点の無点灯時と基本点灯時の平均速度出現割合を図11に示す。全ての地点で93km/h以上の出現割合が無点灯より基本点灯の方が有意に小さいことから、区間上流の明かり部であるA地点から速度低下の傾向があり、その傾向がトンネル内のB, C地点においても維持されていることが

伺える。一方で78~82km/hの出現割合を見ると、C地点でのみ無点灯に比べて基本点灯の方が有意に大きいことから、B-C間を走行中にPML点灯速度に近い速度で走行する車両が増加していることが伺える。

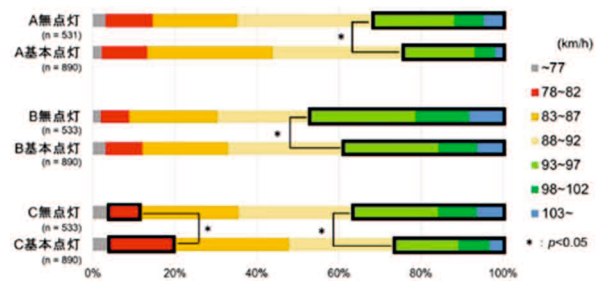


図11 5分間交通量20~40台・大型車混入率0.3~0.35時の平均速度出現割合（上り走行車線, 休日）

### (2)上り追越車線

3.3でPMLによる速度超過抑制効果（Hの構成比率が小さくなる傾向）が見られた平日の5分間交通量20~40台で大型車混入率0の時の無点灯時と基本点灯時の平均速度出現割合を図12に示す。A地点では無点灯に対して基本点灯の102km/h以下の出現割合が有意に大きいことから、区間上流のA地点から基本点灯時は速度超過が抑制されていることが分かる。また、B, C地点でもA地点と同様の傾向が確認され、速度超過の抑制が走行中も維持されていることが伺える。B, C地点では無点灯に対して基本点灯の82km/h以下の出現割合が有意に大きいことから、その効果は伺える。

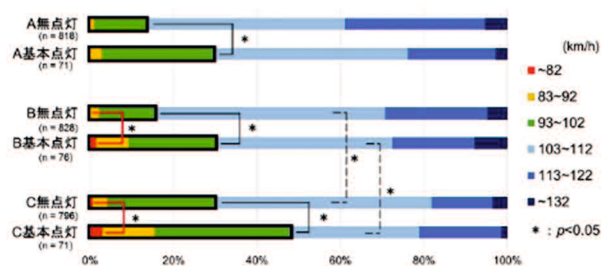


図12 5分間交通量20~40台・大型車混入率0時の平均速度出現割合（上り追越車線, 平日）

### (3)下り追越車線

3.3(4)でPMLによる速度超過抑制効果（HNdown, HPdown, HLdown）が見られた平日の5分間交通量20~40台で大型車混入率0の時の無点灯時と基本点灯時の平均速度出現割合を図13に示す。A地点とB地点を比較すると、無点灯では103km/h以上の出現割合に有意差が見られないのに対して、113km/h以上の出現割合はA地点に比べてB地点の方が有意に大きい。このことから、無点灯時は下り坂という道路条件もあって、もともと速度超過している車両の速度がA-B間走行中も上昇する傾向にあること

が分かる。逆に、基本点灯時はA-B間で113m/h以上の出現割合に有意差は見られなかったことから、PMLにより速度超過車両の速度上昇が抑制されていることが伺える。

また、A地点では無点灯に比べて基本点灯の102km/h以下の出現割合が有意に大きいことから、基本点灯では区間上流のA地点から速度超過が抑制されていることが分かる。B、C地点でも同様の傾向が確認され、速度超過の抑制がA-B-C間を走行中も維持されていることが伺える。また、C地点では無点灯に対して基本点灯の82km/h以下の出現割合が有意に大きいことから、上り追越車線と同様に意識的に速度を下げた普通車の存在が示唆される。

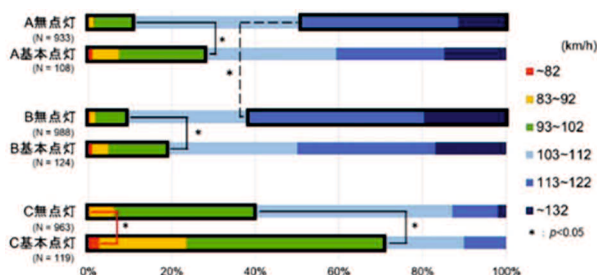


図13 5分間交通量20~40台・大型車混入率0時の平均速度出現割合（下り追越車線，平日）

## 5. 結論

本研究ではトラカンで計測した PML 無点灯時と基本点灯時の平均速度を交通容量要因ごとに条件分けして比較し、PML の効果の検証を行った。その結果、平日の走行車線では上り坂・大型車混入率大・交通量多という、速度低下が発生しやすい条件において速度低下が抑制されていることが示唆された。また、複数地点での平均速度の比較から、区間下流部で発生する速度低下が PML 点灯時に抑制されていることが確認された。

走行車線では上り下りに関わらず大型車混入率が比較的小さい(0.2~0.45)時に、速度低下の傾向が確認された。追越車線では、平日休日問わず、大型車混入率が小さい時、速度超過が抑制されることが示唆された。また、複数地点での平均速度の比較から、区間上流部で速度超過が抑制される傾向が見られ、その傾向が下流部まで維持

されることが確認された。また、これらの結果から、大型車混入率が PML の効果に大きく影響するほか、平日休日・交通量・勾配といった要因も少なからず PML の効果に影響を与えていることが示唆された。

今後の課題として、大型車運転手の PML に対する反応を精査すること、PML 点灯速度を変更した場合の効果を検証することが挙げられる。

## 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, No.458, p.65-71, 1993.1
- 2) NEXCO 東日本: 高速道路の渋滞対策, [https://www.nexco.co.jp/activity/safety/detail\\_07.html](https://www.nexco.co.jp/activity/safety/detail_07.html),
- 3) 加藤 正明: 高速道路の事故分析—トンネル内の事故原因について—, 人間工学, Vol.16, No.3, pp.99-103, 1980.11
- 4) 計算錯覚学の構築チーム: 道路の錯視とその軽減対策, <http://compillusion.mims.meiji.ac.jp/pdf/roadillusions.pdf>, 2013.7
- 5) 阪神高速道路: 阪神高速の取り組み, [https://hanshin-exp.co.jp/company/torikumi/anken/jutai/enkatsu\\_fukae.html](https://hanshin-exp.co.jp/company/torikumi/anken/jutai/enkatsu_fukae.html)
- 6) 増本 裕幸, 飛ヶ谷 明人, 兒玉 崇, 北澤 俊彦, 鈴木 健太郎, 友枝 ゆかり, 李 竜煥: 阪神高速道路における速度回復誘導灯の効果検証と効率的な運用方法について, 交通工学論文集, Vol.4, No.3, p.B\_1-B\_9, 2018.4
- 7) 遠藤 元一, 中川 浩, 深瀬 正之, 橋本 弾: 東京湾アクアラインの渋滞対策について, 交通工学論文集, Vol.1, No.4, p.B\_1-B\_8, 2015.4
- 8) 亀岡 弘之, 小根山 裕之, 渡部 義之, 櫻井 三昭: 走光性を活用した路面発光体の動的点滅制御による渋滞緩和の効果検証, 交通工学研究発表会論文集, Vol.33, p.185-188, 2013.9
- 9) 米川 英雄, 森 康男, 飯田 克弘: 高速道路単路部における交通容量影響要因の基礎的研究, 土木計画学研究論文集, No.17, p.915-926, 2000