

# スピーカーを用いた音声案内による 速度回復情報提供の効果分析

佐藤 久長<sup>1</sup>・西田 匡志<sup>2</sup>・柏木 悠<sup>2</sup>・柴田 賢祐<sup>2</sup>  
櫻井 光昭<sup>3</sup>・青木 隆志<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 中日本高速道路㈱ 八王子支社 (〒192-8648 東京都八王子市宇津木町231)  
E-mail:h.sato.aa@c-nexco.co.jp

<sup>2</sup>非会員 中日本高速道路㈱ 八王子支社 (〒192-8648 東京都八王子市宇津木町231)

<sup>3</sup>非会員 中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京㈱ (〒160-0023 東京都新宿区西新宿1-23-7)

脳機能データの分析から聴覚情報による認知効果の向上が確認され、これを踏まえて、トンネル内におけるスピーカーを用いた音声による注意喚起システムが開発された。今回、このシステムを用いて従来視覚情報で行っていた渋滞時の速度回復情報提供を、国内で初めてスピーカーを用いた音声案内で行った。本文では、システムの概要と小仏トンネルへの適用方法を示すと共に、車両感知器によるデータとETC2.0プローブ情報による走行履歴データを用いて音声情報の有無による効果を検証した。その結果、例えば音声情報が有ることによりボトルネックの渋滞発生時交通量が7%程度増加し、渋滞中の平均速度が9%程度高くなることや、渋滞発生確率が低下することを示した。また音声案内によるボトルネック付近の速度上昇効果が上流側全域に及んでいることが推察された。

**Key Words :** audio device, voice message, traffic capacity, breakdown probability, kobotoke tunnel

## 1. はじめに

中央道上り線小仏トンネル（以下、TN）は、国内有数の渋滞ボトルネック（以下、BN）で、週末を中心に交通集中渋滞が顕在化している。そこで従前より渋滞対策として、小仏TN手前に付加車線を設置し、更にそれを追越車線方式に変更して渋滞直前の車線利用率の平準化を図る<sup>1) 2) 3)</sup> 他、走光型視線誘導システム等を運用し、一定の渋滞削減効果を確認してきた。また、観光施設と連携して滞在時間を遅らせてもらうキャンペーンや、交通混雑期には中央道渋滞減らし隊キャンペーンを実施する等、ピーク時間の需要を減らすTDMも実施してきた。このような状況の中で、近い将来、小仏TN内非常用設備の老朽化更新工事や小仏TN手前の橋梁リニューアル工事により、走光型視線誘導システムやTN手前の付加車線が一時的になくなるため、交通容量の低下から渋滞の著しい悪化が予想された。そのため、新たな渋滞対策が求められていた。他方、弊社の脳機能近赤外線分析測定 (functional near-infrared spectroscopy : fNIRS) を活用した交通安全施設の評価検証<sup>4)</sup> の中で、脳機能データの分析

から聴覚情報による「認知」効果の向上が確認された<sup>5)</sup>。これを踏まえて、スピーカーを用いた音声による注意喚起システムが開発され、小田原厚木道路において工事中運用がなされていた<sup>6)</sup>。

そこで、当該システムを国内で初めて渋滞対策に活用する計画を立案し、2019年GW期間から運用を開始した。本文では、その計画内容と運用開始後の効果検証結果を報告する。

## 2. システムの概要と小仏TNへの適用

### (1) システムの特徴

#### a) トンネル内での反響が少ない指向特性

道路トンネル使用のために欧州で特別に開発されたものであり、スピーカー自体が壁面への反射を抑える形状となっており、TN内での反響が少ない指向特性を持つ(図-1)。

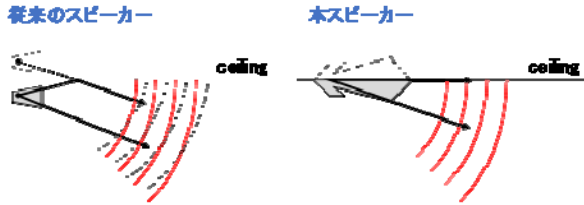


図-1 スピーカー実物と音響反射状況イメージ

b) スピーカー間のディレイによる波面調整

アンプ1台に対して接続可能なスピーカー8台を約50m間隔で設置し、スピーカー間のディレイ（遅延）による波面調整により、受音位置にて同一な音声が聴取可能となる（図-2）。

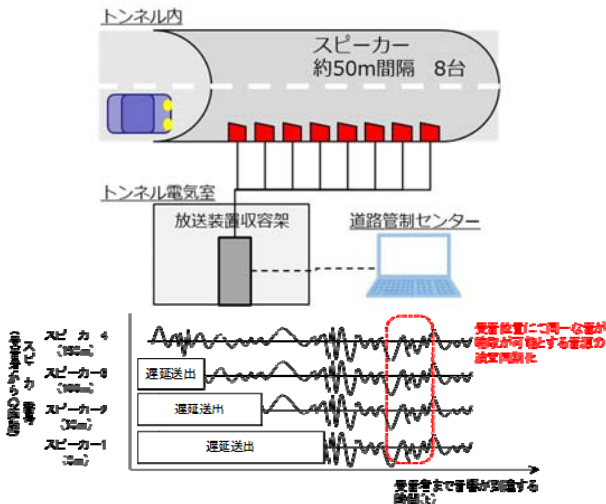
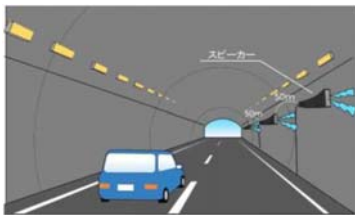


図-2 音声による注意喚起システム概要イメージ図

(2) スピーカーから送出される音圧レベル

TN 内を70km/h 程度で走行した際の車内の暗騒音が70dB であることから、確実に音声を伝えるため暗騒音より5~10dB 程度大きい音圧になるよう、約110dB（スピーカー手前1m）を送出音圧レベルとした。

(3) 運用システムの基本

既に走光型視線誘導システムが車両感知器システムと連動して動的に運用されていた。そのため、運用開始までの時間が限られていることから、本システムも走光型視線誘導システムと同様の車両感知器システムから信号を受信し、BN付近の走行速度に応じて動的に運用することをシステムの基本とした。

なお、走光型視線誘導システムは昨年も今年も引き続きバックグラウンドとして運用している。

(4) スピーカー配置計画と音声案内メッセージの作成

スピーカーは、計画時の国内に現存する台数から16台（2セット）は入手可能であることから、渋滞のBN付近の坑口側に近い第1放送区間と、効果の持続・上乗せを期待して、その後続く上り坂の後半、第2放送区間の2区間に配置した（図-3）。

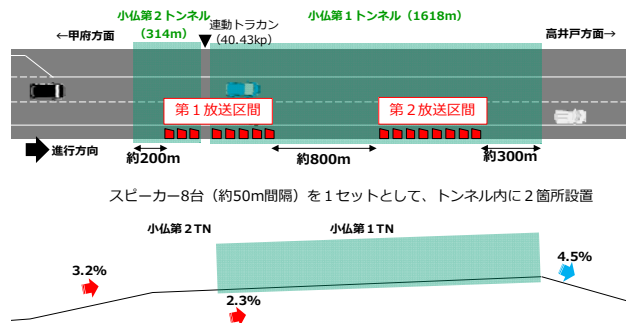


図-3 スピーカー配置イメージ

坑口から第1放送区間の最初のスピーカーまでの距離は、坑口からの音漏れによる周辺民家への影響に配慮し200mを確保した。第2放送区間のスピーカー配置は、第1放送区間との放送内容干渉を回避するために約800mの離隔を確保した。なお、スピーカーを実装する前に、小仏TN の条件を入力した音響シミュレーションを実施し音響環境の最適化を目指すと共に、両坑口からの音漏れが、最寄り民家付近で騒音規制法の最小基準値55dB を下回ることを確認した（理論的音圧）。

次に、上述の通り車両感知器の走行速度に応じて自動で音声案内メッセージを発信することとした。音声メッセージの内容は、LED表示板で提供している短いメッセージを、より分かりやすく口語化したもので、運転者はBNを抜けたことに気付かないため、緩慢な追従挙動をしているという越らの先行研究<sup>7)</sup>を原点としていることは言うまでもない。具体的には、表-1に示す通り第1放送区間では渋滞が発生する直前状態に向けての内容と、渋滞発生後のBNとの位置関係を考慮した二つのパターンを速度閾値に応じて切り替えた。第2放送区間は縦断勾配による速度低下に対する注意喚起をメッセージ内容

とした。

なお、速度閾値については、**図-4**に例示する車両感知器で観測した渋滞時のBN付近の速度変動図から走行速度が70km/hを下回ったら音声情報を開始し、40~70km/hを混雑~渋滞(直前状態)、40km/h以下を渋滞中と設定した(**表-1**)。また周辺地域へ配慮し、深夜時間帯(0時~6時)は原則、音声案内メッセージは放送停止とした。更に、TN区間の速度規制時や事故・故障車等によりTN内の音声が支障となる場合は道路管制センターによる手動で運用を停止することとした。

なお、交通管理者への事前説明での指摘を踏まえて、小仏TNの手前区間に「渋滞時トンネル内音声案内中」という注意喚起看板を2か所設置している。

表-1 音声メッセージ内容

設定区分 速度閾値	第1放送区間	第2放送区間
通常~混雑 70km/h以上	放送停止	放送停止
混雑~渋滞 40~70km/h	速度が低下しています。渋滞防止のため、速やかに速度回復願います。	上り坂が続きます。引き続き速度回復願います。
渋滞中 40km/h以下	渋滞の先頭は抜けました。速やかに速度回復願います。	上り坂が続きます。引き続き速度回復願います。

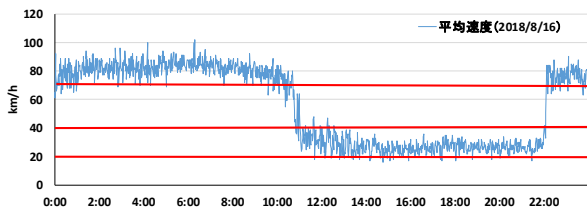


図-4 渋滞時のBN付近の速度変動図例 (40.43KP)

(5) 運用後の音圧確認

音声による注意喚起システム設置後、走行車両の窓を閉じた状態で聴、各部音圧の測定、坑口からの音声漏れの確認及び外部への影響判断、並びに各種自動制御の確認を行った。そのうち、**図-5**に示す音圧測定方法による測定結果の一部を**表-2**に示すが、走行車内での暗騒音が概ね想定どおりであることを確認した。また音声の放送と次の放送までの無音時間は設定区分に応じて、1放送区間で聞こえる回数を基に、情報提供の確実性とドライバーの受容性に配慮して2~3秒に設定した。

表-2 音圧測定結果 (小仏TN上り線38.768~40.770KP)

設定区分 (h/h)/速度閾値	スピーカー前音 (減衰量,無音時間)	トンネル内 ※1	走行車内 (観測時走行速度)
混雑~渋滞発生直前 (40~70km/h)	11.0dB (増減量,無音2秒)	94.3dB	74dB (70km/h)
渋滞 (20~40km/h)	10.7dB (A.3dB,3秒)	89.3dB	72dB (50km/h)
停滞 (20km/h以下)	10.5dB (A.5dB,3秒)	84.3dB	61dB (20km/h)

※1: 測定ポイントは下図の音圧測定方法による

なお、圏央道愛川TNで実施した実道実験では、本シ

ステムによって音や音声案内が聞こえた方が96%、そのうち内容まで全て聞こえた方が89%という一般ドライバーからのアンケート調査結果(被験者57名)を得ている。

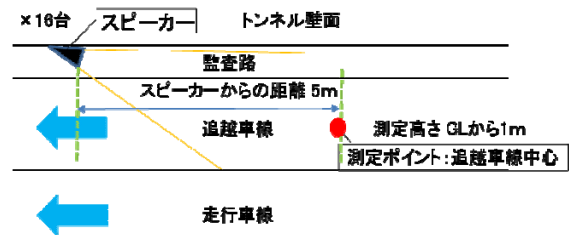


図-5 音圧測定方法

3. 運用後の効果検証

(1) 車両感知器による効果検証

音声案内による速度回復情報提供による効果を確認するために、渋滞BN(小仏TN坑口)付近の車両感知器(40.43KP)による交通容量と渋滞中の平均速度を音声情報の有無で比較した。なお比較期間は、a)~b)はGW後半(5/3の16時)~8月末までの約4か月間、d)~e)は5月1日~6月末までの2か月間とする。またc)は、GWで最も日交通量と渋滞量が多かった日の渋滞図を基に、音声情報の有無による渋滞発生状況の違いを比較した。

なお、交通量は同時期の比較を目的とするため、大型車の混入による影響に配慮した乗用車換算台数ではなく実台数を使用した。ちなみに当該区間のGW期間における大型車混入率は日渋滞中平均で4%~8%程度である。同様に、渋滞巻き込まれ時間も考慮していない。これは、後述する渋滞の中抜け状態における渋滞巻き込まれ時間の算定に関して知見を持たないことも理由の一つである。

a) 交通容量

交通容量を比較した結果を**図-6**、**図-7**に示すが、音声情報が有ることにより渋滞発生時交通量が約7.5%、渋滞発生後捌け交通量が約4.0%有意に大きくなった( $p<0.01$ )。

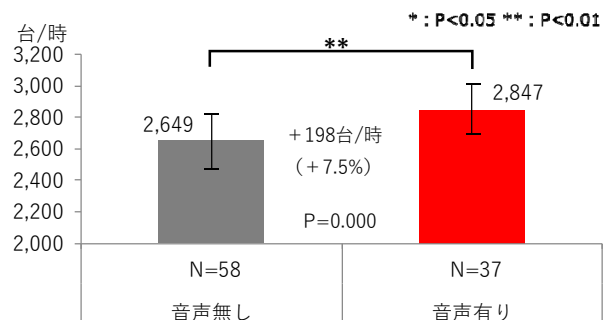
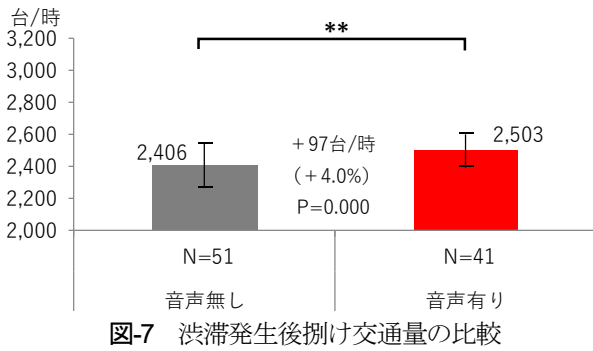
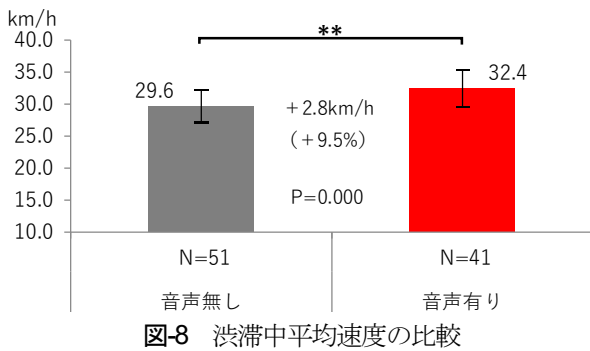


図-6 渋滞発生時交通量の比較



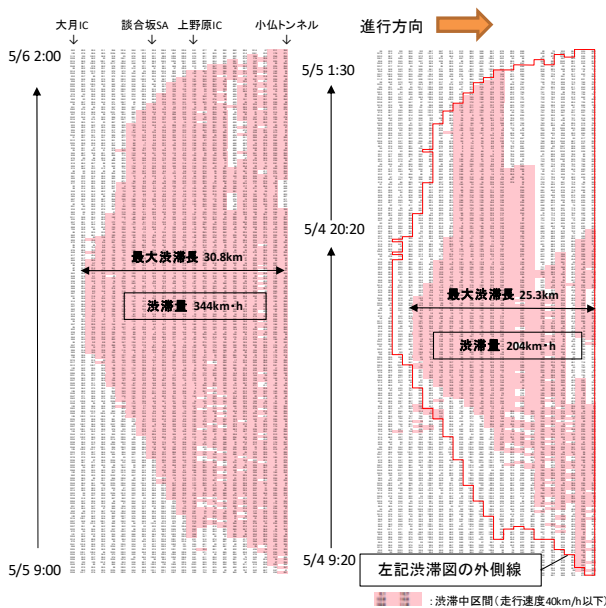
b) 渋滞中平均速度

渋滞中の走行車両の平均速度を比較した結果を図-8に示すが、音声情報が有ることにより平均速度が約9.5%有意に高くなった ( $p<0.01$ )。



渋滞発生後捌け交通量が約4.0%大きくなったことからすると、走行速度が高くなったことが交通容量を大きくした要因であることが明確になった。これは、音声案内のメッセージ内容が速度回復を促していることから期待通りの効果が発現したと言える。

c) 渋滞図による渋滞発生状況と渋滞削減効果



(左 : 2018/5/5~5/6 右 : 2019/5/4~5/5)

GWで最も交通量と渋滞量が多かった2019年5/4(土)~5/5(日)にかけての渋滞図を、昨年同曜日と比較した。なお、両日の当該上り線区間の日交通量は、2019年が47,820台/日で2018年の45,588台/日より約5%多かった。

渋滞図を比較した結果を図-9に示すが、着色された走行速度40km/h以下の渋滞区間が大きく縮小しており、20時を過ぎた後半では渋滞の先頭が上流側に遷移していることが分かった。また渋滞量も約41%と大幅に削減していた。

d) 交通流率—密度—平均速度関係

小仏TNの渋滞BNにおける車両感知器の5分間データを利用して、交通流の基本特性である交通流の基本図 (Fundamental diagram) を比較して効果を検証する。

まずQV図を比較した結果を図-10に示すが、音声情報が有ることにより臨界領域のデータが増加しており、交通流率が増加していることが分かった。更に渋滞流領域の速度分布が高い側にデータが増加していることが分かった。これらは、上述した車両感知器による平均値の比較結果を5分間の個別データが裏付ける結果となった。加えて、音声情報が無い昨年のQV図にはほとんど見られなかった自由流領域と渋滞流領域に挟まれた内側部分にデータが集合していることが分かった。これらは、時間的・空間的に自由流と渋滞流の両交通流状態が混在する混合流<sup>9)</sup>が発生したと考えられる。

なお、音声情報が有る場合でも放送停止区分の70km/h以上のデータが存在している。これは、本システムが1分間平均速度で5回連続70km/hを下回らなければ停止しないロジックを採用したことから、5分間平均速度で70km/h以上が観測された場合でも音声情報が提供されている時間があるためである。

次にQK図を比較した結果を図-11に示すが、QV図で見られた臨界領域や混合流領域の増加に加えて、高い交通流率領域で密度が上昇していることが分かった。これは、音声情報が有ることにより、交通量が増加してきた段階でもドライバーが車間距離を開けずに前車に活発に追従している、すなわち追従挙動が活性化していることが推察された。

最後に、KV図を比較した結果を図-12に示すが、QV図やQK図で見られた領域の増加に加えて、渋滞中の密度の変化が無いことが分かった。これは、渋滞中の走行速度の上昇に応じて車間距離が調整されているものと推察された。なお、結果的に渋滞発生後捌け交通量の増加は走行速度の上昇が要因であることがここでも明確になった。

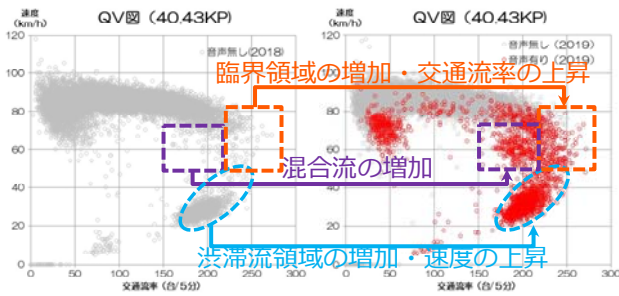


図-10 QV図の比較 (40.43KP)

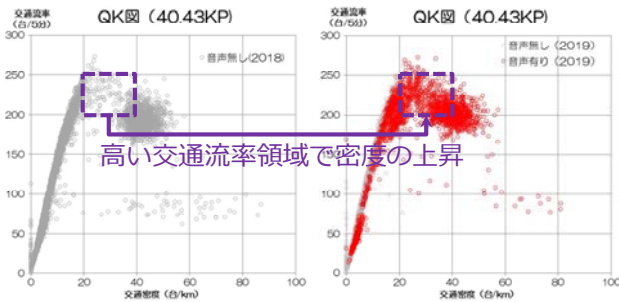


図-11 QK図の比較 (40.43KP)

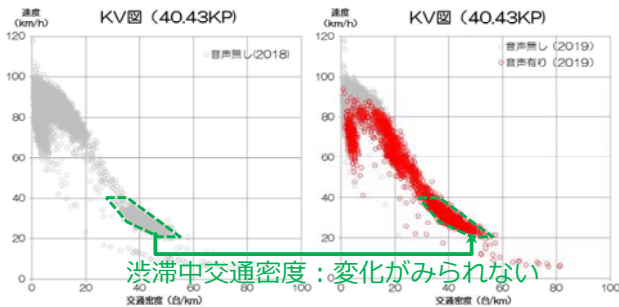


図-12 KV図の比較 (40.43KP)

e) 渋滞発生確率分布

図-9に示す渋滞図の比較を見ても分かる通り、小仏TNの渋滞BNにおける交通容量が大きくなったことから、小仏TNを先頭とする渋滞発生状況が著しく変化してきている。そこで、XINGらの先行研究<sup>9)</sup>を準用して、15分間フローレートにより音声情報の有無別の渋滞発生確率分布を推定し比較した。

渋滞発生確率の推定方法は最尤推定法を用いて、非渋滞時の交通量データも考慮して交通容量分布 $F_c(q)$ の推定を行った。最尤推定法では、以下の尤度関数の対数 $\ln(L)$ を最大化するように交通容量分布のパラメータを推定するものであり、過去に観測された交通量ランク別の渋滞発生頻度と非渋滞発生頻度を用いて、事前に仮定した交通容量の確率分布関数のパラメータを推定するパラメトリック法である<sup>9)</sup>。

$$L(x_i) = \prod_{i=1}^n f_c(q_i)^{\delta_i} [1 - F_c(q_i)]^{1 - \delta_i} \quad (1)$$

ここで、

$f_c(q)$ : 交通容量  $c$  の確率密度分布関数(PDF)

$F_c(q)$ : 交通容量  $c$  の累積確率分布関数(CDF)

$n$ : 交通量ランク数

$\delta_i$ : 1 (渋滞が発生した場合)

$\delta_i$ : 0 (渋滞が発生しない場合)

$x_i$ : 分布関数の未知パラメータ

なお、 $F_c(q)$ にはワイブル分布を用いた。

$$\text{PDF: } f(q) = \alpha \beta^{-\alpha} q^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{q}{\beta}\right)^\alpha} \quad (2)$$

$$\text{CDF: } F_c(q) = 1 - e^{-\left(\frac{q}{\beta}\right)^\alpha} \quad \alpha, \beta > 0 \quad (3)$$

ここで、 $\alpha$ 、 $\beta$ はそれぞれワイブル分布の形状パラメータ、スケールパラメータである。形状パラメータ $\alpha$ が大きくなるほど、分布の傾きが急になり、分布の範囲が狭くなる。また、スケールパラメータ $\beta$ は概ね横方向である交通量軸における分布の位置を示すが、 $\beta$ の値が小さくなるほど、分布の傾きがやや急になり、それにより分布の範囲がやや狭くなる<sup>9)</sup>。

最尤推定法により推定された音声情報の有無別の交通容量のワイブル分布と形状パラメータ ( $\alpha$ ,  $\beta$ )、尤度関数の対数 $\ln(L)$ を図-13に示す。ここで、音声無しのワイブル分布形状が渋滞発生割合に近似していないのは、サンプル数が少ないことが理由の一つと推察される。小仏TNの渋滞BNにおける交通容量のワイブル分布のパラメータ $\alpha$ ,  $\beta$ は音声情報無しが25と2,930、音声情報有りが31と3,070であり、先行研究<sup>9)</sup>における小仏TNのパラメータ $\alpha$ ,  $\beta$ が34と3,010であることから、形状パラメータが当時(2010年発行)より小さくなり分布の範囲が拡大していることが分かった。

図-13に示すワイブル分布と形状パラメータによる渋滞発生確率分布を比較した結果、音声情報が無しより有りの方が $\beta$ が大きく、分布図が右に位置していることから、音声情報が有る方が無い方より渋滞発生確率が低いことが分かった。これは、上述した交通容量や交通流の基本図の比較結果とも整合する内容で、音声情報が有ることによって、大きな渋滞発生の抑制効果が得られたと言える。

また、上述した車両感知器による渋滞発生時交通量が音声情報無しでは約2,650台/h、音声情報有りでは約2,850台/hであるが、渋滞発生確率分布を見ると各々1割程度の渋滞発生確率であることが分かる。これは先の先行研究<sup>9)</sup>が示した、渋滞発生時のみのデータに基づく渋滞発生時交通量より非渋滞時のデータも取り入れた観測値に基づく渋滞発生時交通量の方が小さいことと一致する結果となった。

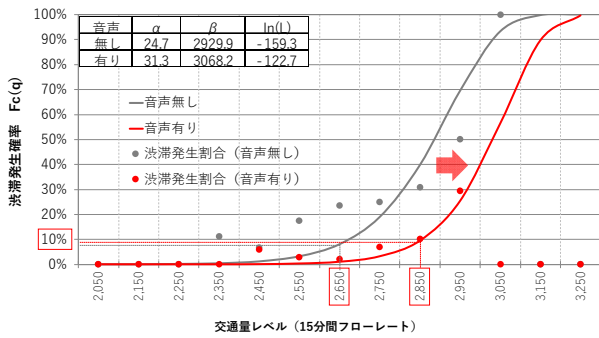


図-13 渋滞発生確率分布の比較 (40.43KP)

(2) ETC2.0プローブ情報による効果検証

次に、車両感知器による集合データでは捉えられない個車データの状況をETC2.0プローブ情報の走行履歴データ（以下、ETC2.0プローブデータ）を用いて検証する。なお効果検証に当たり、音声情報の提供状況や事故・工事イベント等を考慮し、対象日を設定した。

a) 速度コンター図

まず、GW翌週の日曜日を対象にしてETC2.0プローブデータによる速度コンター図を音声情報の有無で比較した。図-14を見ると、音声情報が有ることにより小仏TNの坑口付近の個車の速度が高くなり、その影響が上流側に伝播しているかのように付加車線の3車線から2車線への絞り込み区間の速度も高くなり、渋滞時間帯の後半では絞り込み区間の渋滞が解消し、上流側に向けて渋滞の中抜け状態が発生していることが分かった。

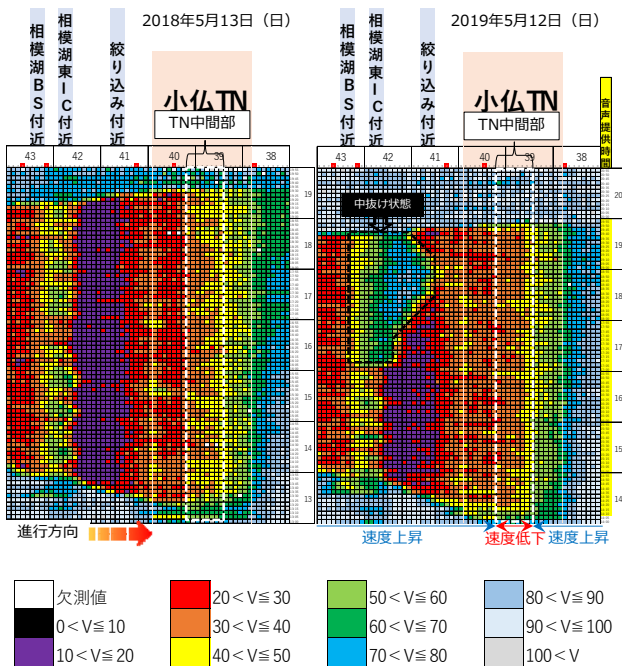


図-14 小仏TN前後速度コンター図の比較  
(左：2018/5/13(日) 右：2019/5/12(日))

更に詳細に見ると、TN内の中間部分では速度が低下

し、出口に向けての後半では逆に高くなっていることが分かった。これは、音声情報がTNの前半と後半の2区間で提供されていることから音声情報にリニアに反応した結果と推察できる。

次に、同日の速度コンター図を上流側全体に渡って比較した。その結果を図-15に示すが、速度コンター図を比較して見ると、音声情報が有る方が小仏TN坑口付近だけではなく、上流側全体に速度が高くなっている区間が点在しており、最終的には本線が3車線から2車線に減少する上野原ICより上流側にも同様の傾向が見えた。これにより、坑口付近の速度上昇の影響が上流側の全区間に及んでいると推察された。

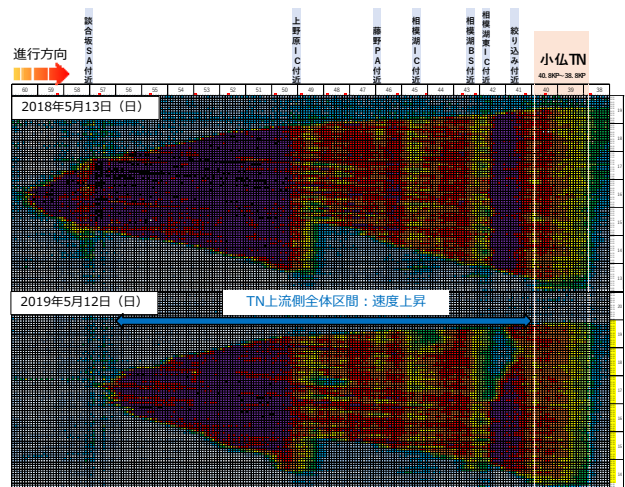


図-15 渋滞区間速度コンター図の比較  
(上：2018/5/13(日) 下：2019/5/12(日))

なお、当日の需要交通量を比較するために、渋滞の影響が及んでいない直近上流の車両感知器の5分間交通量の変動パターンを図-16に示す。5分間交通量の変動パターンによる交通量のピークは音声情報が無い昨年の方が早く出現するものの、需要交通量の分布としては昨年と同程度であることが分かる。日平均交通量でも、音声情報が有る今年の方が3%多い結果であった。

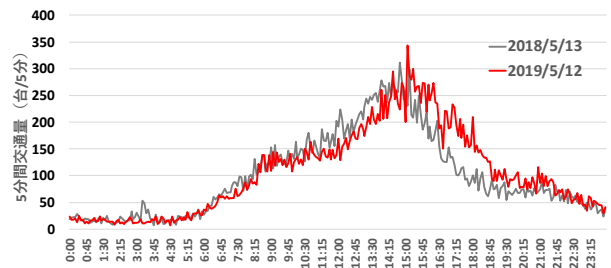


図-16 5分間交通量パターン比較 (63.9KP)

b) 速度プロファイル

小仏TN坑口付近の速度上昇の影響が上流側に及んで

いるか検証する意味でも、ETC2.0プローブデータによる渋滞中の速度プロファイルの空間平均値を音声情報の有無別に比較した。なお、集計期間は5月1日～6月末までの2か月間とする。図-17を見ると、TN内での音声情報により放送区間外を除けばTN内の速度が上昇しているが、少なくとも今回検証した区間である上流側3km範囲までは、概ね速度が高くなっていることが分かった。上述した速度コンター図による推察を裏付ける結果となった。なお、この現象がどのようなメカニズムで発生しているのか解明することは今後の課題である。

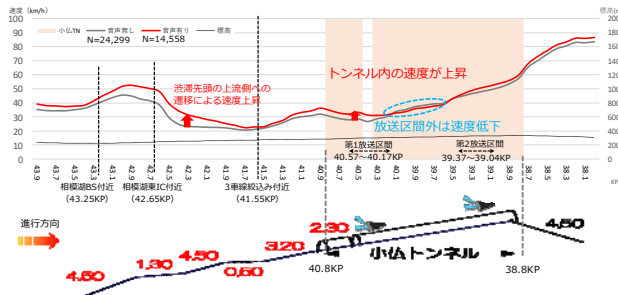


図-17 速度プロファイルの比較

#### 4. おわりに

本研究では、脳機能データの分析から聴覚情報による「認知」効果の向上が確認されたことから開発された音声による注意喚起システムを、国内で初めて渋滞対策に用いた。具体的には中央道上り線小仏TNの上流側と下流側の2区間において、車両感知器の平均速度に応じてメッセージ内容を動的に切り替えながら、音声案内による速度回復情報提供を実施した。今回その結果を、車両感知器やETC2.0プローブデータを用いて効果検証した。得られた知見を以下に示す。

まず車両感知器による効果検証の結果、音声情報が有ることにより渋滞発生時交通量が約7.5%、渋滞発生後捌け交通量が約4.0%有意に大きくなった ( $p<.01$ )。渋滞中の平均速度は、約9.5%有意に高くなった ( $p<.01$ )。渋滞図の比較からも、音声情報が有ることにより渋滞区間が大きく縮小し渋滞先頭が上流側に遷移している日があることが分かった。

5分間交通量データによる交通流の基本図を用いて効果検証した結果、QV図からは、臨界領域や混合流領域のデータが増加し、交通流率が上昇していることが分かった。QK図からは、高い交通流率領域で密度が増加していることが分かった。これにより音声情報が有ることにより追従挙動が活性化されていることが推察された。KV図からは、渋滞中の密度の変化が無いことが分かった。これにより、渋滞発生後捌け交通量の増加は走行速度が要因であることが明確になった。

15分間フローレートによる渋滞発生確率分布を推定して音声情報の有無による効果を検証した結果、音声情報が有ることにより渋滞発生確率が低くなっていることが分かった。また、同時に車両感知器で観測された渋滞発生時交通量の渋滞発生確率が1割程度であることが分かった。

次に、ETC2.0プローブデータによる効果検証の結果、速度コンター図の比較から音声情報が有ることにより、TN坑口付近の速度の上昇にとどまらず、上流側全域に速度上昇区間が点在していることが分かった。これは速度プロファイルの比較からも、TN坑口付近の速度上昇効果が上流側全域に伝播していることが推察された。

以上をまとめると、音声案内による速度回復情報提供によってドライバーの追従挙動が活性化し、それが渋滞区間の全体に影響を及ぼすことで大きな渋滞削減効果が発現したものと見える。脳機能データの分析から聴覚情報による認知効果の向上を反映した結果となった。

今後は、更なる音声情報による注意喚起システムの改善を目指して、走行速度に加え、交通密度による制御の具体的検討を進める予定である。

#### 参考文献

- 1) 中日本高速道路(株)八王子支社交通チーム：中央自動車道小仏トンネル手前登坂車線延伸効果について、高速道路と自動車、第52巻、第7号、pp.38-41、2009。
- 2) 森山陽一、三橋正彦、平井章一、大口敬：中央道小仏トンネル付近における右付加・左絞込み付加車線形態の運用実験、第30回交通工学研究会論文集、pp.29-32、2010。
- 3) 庄司宏臣、石黒雅実：中央自動車道小仏トンネル渋滞削減に向けた取組み-右側付加・左側絞込方式による車線運用実験の報告-、高速道路と自動車、Vol.55、No.1、pp.41-44、2012。
- 4) 世界初！高速道路走行中の脳活動の可視化に成功～脳科学の視点から交通安全対策を進めます～、NEXCO 中日本 ニュースリリース、[http://www.c-nex-co.co.jp/corporate/pressroom/news\\_release/3460.html](http://www.c-nex-co.co.jp/corporate/pressroom/news_release/3460.html)、2014.03.27。
- 5) Yamamoto, K., Yazawa, H., Takahashi, H., Sugimachi, T., Suda, Y. : System Development Using Audible Information to Prevent Entry into a Tunnel, In Proc. 25<sup>th</sup> World Congress on ITS, Copenhagen, 2018.
- 6) スピーカーを用いた『音声』による注意喚起システムの導入～交通事故防止に向けた取り組み～、NEXCO 中日本 ニュースリリース、[http://www.c-nex-co.co.jp/corporate/pressroom/news\\_release/4302.html](http://www.c-nex-co.co.jp/corporate/pressroom/news_release/4302.html)、2018.05.24。
- 7) 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、土木計画学論文集、No.458、IV-18、pp.65-71、1993。
- 8) 兵頭知、吉井稔雄、高山雄貴：車両感知器の5分間

データを利用した交通流状態別事故発生リスク分析,  
土木計画学論文集 D3 (土木計画学), Vol.70, No.5  
(土木計画学研究・論文集第 31 卷), I\_1127-I\_1134,  
2014.

究・論文集, Vol.27, no.5, 2010.

- 9) Jian XING, 宇佐見純二, 福島賢一, 佐藤久長: 潜在的ボトルネック交通容量の推定及び交通容量の確率分布を用いた年間の渋滞予測検討, 土木計画学研

## Quantifying the Impact of Speed Recovery Information by Voice Guidance Using Audio Devices

Hisanaga SATO, Tadashi NISHIDA, Yu KASHIWAGI, Kensuke SHIBATA,  
Mitsuaki SAKURAI and Takashi AOKI

From the analysis of brain function data, it is confirmed that auditory information improves the cognitive effect. Based on this observation, a voice alert system using special audio devices in a tunnel was developed. It is the first time in Japan that we use this system to provide speed recovery information during traffic flow breakdown and congestion, which was previously done with visual information. In this report, we first showed the outline of the system and the method that was applied in the Kobotoke tunnel, and then we examined the effect by the presence or absence of voice guidance by using the data collected from the vehicle detectors and the ETC2.0 probe data. As a result, by providing the audio speed recovery information, it is found that the traffic volume near the bottleneck when traffic congestion occurs increased by about 7% and average speed during traffic congestion by about 9%, and consequently traffic flow breakdown probability was decreased. In addition, it was inferred that the effect of speed increase near the bottleneck by voice guidance lasted over the entire upstream section.