

# 自動車運転における車両周囲情報の知覚-行動についての共創的考察

## 先行車追従・接近運転場面における知覚-行動～運転支援システム

○近藤 崇之 (東京工業大学), 三宅 美博 (東京工業大学)

### A Study on Perception and Action for the Information of Surrounded Own Vehicle under Driving Environment in aspect of Co-creation: Perception and Action, Driving Assistance Systems on Car-following/Car-closing Situations

○Takayuki KONDOH (Tokyo Institute of Tech.) and Yoshihiro MIYAKE (Tokyo Institute of Tech.)

Abstract: Driving a car would be realized by the mutual relationship between the environment, own car, driver. And a driving support system, which provides more convenience and/or safer driving, should be expected an effect to emphasize such the mutual relationship. This presentation demonstrates the driving mechanism based on experimental verification that considered with the relationship between subjective drivers' feelings and objective information (i.e. environment), and (it might allow us to say) "co-creational" driving support system.

#### 1. はじめに

自動車の運転は、交通環境-自車-ドライバの相互関係から成立すると考えられる。また、この中でドライバに着目すると、車両周囲の環境情報を知覚し、車両特性を考慮し、運転操作判断・操作をリアルタイムに繰り返していると考えられる。一方で、運転支援システムの商品化が加速し、より身近になってきている。この中には、運転操作の一部を代行する機能をもつものもある。運転支援システムは、これらの各プロセス(知覚-認知-判断-行動)に関与し、利便で安全な運転を提供するものである。ユーザへの受容性の高い運転支援システムにするために、ドライバの運転行動を理解し、システム設計に反映することが望ましい。

運転行動理解のため、運転行動のトリガーとなる環境情報と、運転行動の関係を明らかにする試み<sup>1,2)</sup>が行われている。よりよく運転行動を理解するためには、ドライバの内在的な一部が表出する行動のみだけではなく、運転行動の内在的なプロセス(知覚-認知-判断)の各特性とそれらの関連性を明らかにする必要がある。しかし、これらは観察が困難である。そこで、運転に不可欠な環境情報を特定し、その特性を主観的、客観的の両側面で捉えていくことにより、観察が困難である内在的な特性を明らかにできると考えた。

本研究では、先行車追従・接近場面の運転行動の一連の特性を明らかにするために、関連性のある環境情報と考える視角変化に着目し、視角変化と主観的な感覚、あるいは、感覚量との関係を明らかにした。また、ブレーキトリガー特性を明らかにした。さらに、運転支援システムには、ドライバと環境情報の関連性を強くする効果を期待できるものがある。そのシステムについて紹介し、機能的な効果を共創的観点で考察する。

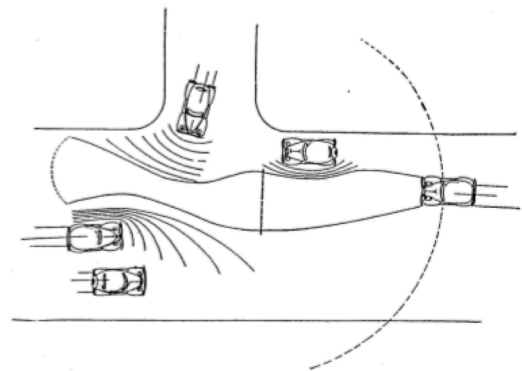


Fig. 1. The Field of Safe Travel<sup>3)</sup>

#### 2. 自動車運転における知覚-行動プロセス

##### 2.1 交通環境-自車-ドライバ

自動車の運転は、自車周囲の交通環境(他車、障害物、道路線形など)、自車の特性(車両特性など)、ドライバ(運転目的、リスク受容性、スキルなど)が依存的、あるいは相互的な関係性をもち、リアルタイムに運転操作がなされていると考えられる。Gibson and Crooks は、周囲の交通環境から、ドライバの運転ストラテジを定性的に表現した概念<sup>3)</sup>(図1)を展開した。これは、障害物の位置や進路から、ドライバはリスクの低い経路を選択して走行する概念であり、Field of Safe Travel と名付けられた。図中では、自車(最も右側の車両)の進路にいる車両や道路形状に対するリスクが等高線で表現されている。ドライバは、この図のように進路上のハザード(他車など)にそれぞれのリスクをリアルタイムに求め、最適な運転ストラテジを立て、運転を行っていると考えられる。

このような運転ストラテジ、および、行動を理解するためには、図2のような交通環境-自車両-ドライバの関係性やドライバ特性を明らかにする必要がある。

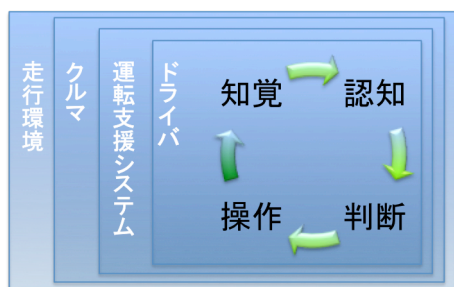


Fig. 2. Overview of the Relationship between Traffic Environment, Vehicle, Driver Support System, and Driver

## 2.2 ドライバの知覚-認知-判断-操作

ドライバの運転は、知覚-認知-判断-操作の繰り返しであるといわれている。一方で、先行研究の多くは実験上、観察可能な行動に着目してきた経緯がある。このため、内在的な知覚、認知、判断のプロセスを明らかにし、体系的に捉えた研究は多くはない。内在的なメカニズムを明らかにするために、本研究では、①先行車追従場面における知覚-行動に関して不可欠な指標を特定し、②その指標を用いて客観量と主観量（主観量が表出する行動）を整合させる試みを行っている。

ドライバの先行車接近の知覚-行動のメカニズムを明らかにする上で、ドライバにとって何が接近知覚の入力指標になっているかを明確にすることが肝要と考える。Gibson は、この指標を“Ecological Physics”と表現している<sup>4)</sup>。すなわち、先行車が自車に接近する場合、その接近度合は2つの車両の車間距離や相対速度、あるいは相対減速度などで表現されることが一般的であるが、これらの指標はヒトが直接的に捉えられる知覚指標とは言いがたい。この際にドライバが視覚から直接的に捉えられる指標は、視角や視角変化であると考えられる。本研究ではドライバの視覚入力である視角変化を“Ecological Physics”として視覚刺激の入力量と定義することが妥当と考えた。視角変化 $\dot{\theta}/\theta$ は、(1)式のように表現可能であり、 $\tau$ の逆数(inverse of  $\tau$ )と等価である。さらに、相対速度と車間距離のみで幾何学的に表現可能である。

$$\frac{\dot{\theta}}{\theta} = \frac{1}{TTC} = \frac{1}{\tau} = \frac{Vr}{D} \quad (1)$$

ここで、 $\tau$ および TTC は衝突余裕時間、 $\theta$  は対象に対する視角、 $\dot{\theta}$  は単位時間の視角速度、 $Vr$  は相対速度、 $D$  は車間距離を示す。

$1/\tau$ や  $1/TTC$  は、追従場面におけるドライバのリスク感の研究<sup>2)</sup>、ブレーキ操作特性<sup>5, 6)</sup>や運転支援システムの制御指標<sup>7, 8)</sup>として、自動車分野において幅広く使わ

れている。この $\tau$ は、自車と先行車が接近状況（相対速度がある場合）に用いられる指標であるが、一方で、相対速度がゼロの場合にも先行車へのリスク感は存在する。筆者らは、 $1/THW$  がそのリスク感を表現する指標として提案（後述 3.1, または文献 2）しており、 $1/THW$  も  $1/\tau$  同様、視角の指標であり、Ecological Physics と考えている<sup>9)</sup>。また、 $1/THW$  は以下(2)式で表現できる。 $V$  は自車速度、 $D$  は車間距離を示す。

$$\frac{1}{THW} = \frac{V}{D} \quad (2)$$

以上の  $1/THW$  と  $1/\tau$  の特性や、客観的な刺激強度と主観的な刺激強度の関係について明らかにする。

## 3. 先行車追従・接近場面の知覚-行動

ドライバの先行車追従場面のリスク感を定量化するにあたり、以下、先行車追従・接近時のリスク感や、接近度合の定量化、それに伴う運転行動について、著者らが実験的に行った結果について紹介する。これらは、参考文献 2, 6 から引用した。

### 3.1 先行車追従場面のリスク感<sup>2)</sup>

ドライバの先行車追従場面のリスク感をドライビングシミュレータ (DS) 実験から、定量化した。本実験の先行車追従場面は相対速度がないシーンであり、一定の車間距離を維持したまま追従運転する場面である。

実験は、直線と緩いカーブで構成される片側 2 車線の高速道路上で、先行車に追従するシーンで行い、車線変更は禁止した。また、道路上には先行車のみ走行させ、運転者の注意を引くと思われるそれ以外の移動物体は表示しないようにした。

実験は 10 名の成人男性が実験に参加した。全ての実験参加者は実験参加への同意をインフォームドコンセント提出により示している。実験は、マグニチュード推定法 (ME 法: Magnitude Estimation method)<sup>10)</sup>による一対比較を行い、参加者に先行車追従時の先行車に対するリスク感を見積もらせた。ME 法は、人間の知覚した感覚の大きさを直接的に表現させ、刺激強度に対する人間の知覚の関係を定式化する方法である。具体的には、以下の手順を繰り返した。

- 1) 標準刺激の追従シーンで、所定時間、追従運転させる (10 秒)
- 2) 2 秒間、先行車が消える (ブランク画面)
- 3) 次に比較刺激の追従シーンで 1) 同様に追従運転させる
- 4) 1) の標準刺激と比べ、3) の比較刺激のリスク感が何倍に感じるかを参加者に口頭で報告してもらう

Table1. Experimental Conditions of Quantification of Risk Feelings on Car-following situations

THW	Comparative Stimulus									
	3.50	3.00	2.50	2.00	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	
Standard Stimulus	3.50	✓	✓	✓	✓					
	3.00	✓		✓	✓					
	2.50	✓	✓		✓	✓				
	2.00	✓	✓	✓		✓	✓			
	1.50			✓	✓		✓	✓		
	1.25				✓	✓		✓	✓	
	1.00					✓	✓		✓	✓
	0.75						✓	✓		✓
	0.50							✓	✓	

実験条件は、表 1 に示す組み合わせ(実験で行った組み合わせは✓で示す)で対比較を行った。実験 1 では、車間距離の影響、追従速度の影響を調べるため下記の 2 種類の実験を実施した。なお、基準とする追従速度は 28m/s (100km/h)、車間距離は 20m に設定した。

① 車間距離を変化させた場合の対比較実験

例えば、1/THW=0.5 と 1/THW=1 を比較する場合は、同じ追従速度 28m/s (100km/h) で走行し、車間距離だけを変えて 56m と 28m のリスク感を比較する

② 追従速度を変化させた場合の対比較実験

例えば、1/THW=0.5 と 1/THW=1 を比較する場合は、同じ車間距離 20m で走行し、追従速度だけを変えて 10m/s (36km/h) と 20m/s (72km/h) のリスク感を比較する

車間距離、追従速度を変化させた場合、それぞれ参加者が見積もったリスク感をキューリクセン(H. Gulliksen)の方法<sup>11)</sup>を用いて解析を行った。なお、キューリクセンの方法は、不完備である対比較の結果(表 1 に示すような全ての組み合わせがない場合)に心理尺度を構成する方法である。

Fig. 3 に全ての実験参加者の平均値による結果と近似曲線、相関係数を示す。図中のプロットは、横軸 1/THW に対する、上記の方法から導かれたドライバーのリスク感を示す。なお、実験における最も小さい刺激 1/THW = 0.29(THW=3.5) が、リスク感の概算値 1 付近を示す。これより、車間距離、追従速度のいずれを変化させた場合も 1/THW が大きいほど、ドライバーのリスク感が大きいことが示されている。この結果は、同じ追従速度の場合、車間距離が短いほどリスク感は大くなり、また同じ車間距離では追従速度が高いほどリスク感が大きいことを示す。また、両者の近似曲線は、同様の結果が示され、いずれもおおよそ 1 の冪指数である。つまり、車間距離、追従速度を変化させた場合でもリスク感 は 1/THW に比例することが分かった。

以上の結果から、一定速追従シーンにおけるドライバーの主観的なリスク感 は、客観的な指標 1/THW で定式化できることがわかった。

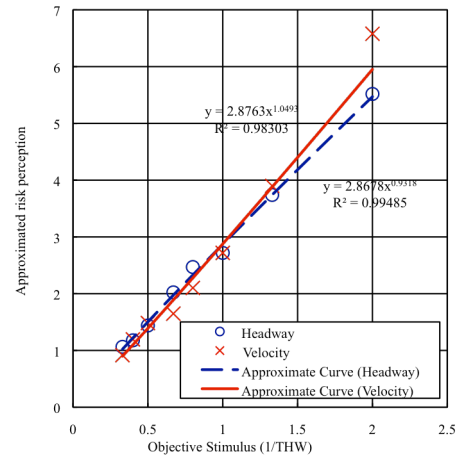


Fig. 3. The Relationship between Subjective Risk Feelings and Objective Stimulus on Car-Following Situations

3.2 先行車接近場面の先行車接近の知覚特性<sup>6)</sup>

先行車減速開始のドライバーの接近知覚について実験的に検証した。先行車に一定車間距離で追従運転(相対速度ゼロ)後、先行車を一定減速度で接近させ、ドライバーが先行車接近(減速)を知覚した際の視角変化(inverse of  $\tau$ )を計測した。また、接近知覚したタイミングを算出するため、各実験参加者の反応時間を差し引き、知覚したタイミングを計測できるように試みた。

実験は、高速道路上で、先行車に追従するシーンで行い、車線変更は禁止した。8名の成人男性(平均年齢 26.0 歳、標準偏差 11.0 歳)が実験に参加した。実験内容説明後に、インフォームドコンセントを提出している。表 2 に実験条件を示す。実験参加者は、高速道路を模擬した道路上を一定の車速 27.8m/s (100km/h) で走行し、

Table2. Experimental Conditions of Perceivable Closing on Car-closing situations

Parameters	Conditions
Initial Following Velocity (m/s)	27.8
Initial Distance Headway (m)	20, 30, 40, 60
Lead Car Deceleration (m/s <sup>2</sup> )	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

表 2 に示す一定の車間距離で先行車に追従運転した。その後、先行車が一定の減速度で減速し、実験参加者は先行車の減速あるいは接近を知覚したら、速やかにブレーキを踏んだ。実験参加者には、ブレーキ操作がすぐにできるように走行中に右足をブレーキペダルの上に置くように教示した。なお、自車の車速制御は、実験参加者がブレーキペダルを踏むまで DS のホスト PC で制御した。また、実験では、実験条件をランダムに行い、各実験条件につき 5 試行ずつデータ計測した。

解析では、先行車接近を知覚したタイミングを推定している。別の実験で得られた各実験参加者の反応時間を、ブレーキペダルを踏んだタイミングから差し引

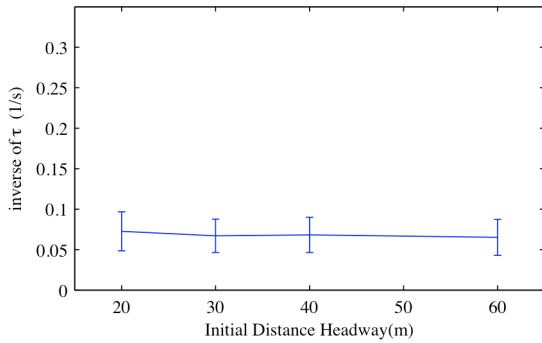


Fig.4 Change in Visual Angle on Perception of Onset of Lead Car Deceleration (Overall of All Participants)

き、ドライバが先行車の減速したことを知覚した際の視角変化を推定した。また、実験参加者の単純反応時間は、実験参加者によるが、およそ 0.45 秒程度である。図 4 に先行車の接近を知覚した際の視角変化 (inverse of  $\tau$ ) と初期車間距離の関係を示す。横軸の初期車間距離は、追従していた車間距離であり、先行車はこの車間距離から一定の減速度で減速する。図中のプロットは、参加者ごとの反応時間を差し引いた平均値であり、縦軸のエラーバーは標準偏差を示す。この図より、先行車の初期車間距離によらず、視角変化が一定になっていることがわかる。これより、先行車接近知覚の閾値は、車間距離に依存せず、0.07 程度である。

### 3.3 先行車接近場面の接近度合の知覚特性<sup>6)</sup>

ドライバの先行車接近の主観的な接近度合と客観的な接近刺激の関係を理論的に導出 (詳細は文献 6 参照方) し、ドライバが知覚する接近度合について DS 実験により 定量化を試みた。

実験は、8 名の成人男性 (平均年齢 22.7 歳、標準偏差 0.87 歳) が実験に参加した。全ての実験参加者は、実験に十分な視力を有している。また、実験内容の説明後に、インフォームドコンセントを各人から得ている。

実験は、① 相対速度条件と、② 減速度条件の 2 種類の接近条件を行った。相対速度接近の条件は、自転車と先行車が一定速度 27.8m/s (時速 100km) で追従走行し、ある瞬間に先行車が一定相対速度で接近するシーンでドライバの主観的な接近度合を定量化した。一方で、減速度条件は、自転車と先行車が一定車速 27.8m/s (100km/h) で追従走行し、ある瞬間に先行車が一定の減速度で接近するシーンでドライバの主観的な接近度合を定量化した。表 3、表 4 に相対速度条件、および、減速度条件の実験条件を示す。以下に実験手順を示す。

#### ① 相対速度を変化させた場合の対比較実験

例えば、相対速度条件、標準刺激 16.7m/s と比較刺激 22.2m/s を比較する場合は、同一の車間距離から先行車が接近し、標準刺激 16.7m/s に対する比較刺激 22.2m/s

Table3. Experimental Condition of Constant Relative Velocity

Parameters	
Initial Following Velocity (m/s)	27.8
Initial Distance Headway (m)	40, 80, 120, 160, 200
Relative Velocity (m/s)	5.6, 11.1, 16.7*, 22.2, 27.8

\* Marked in this table is standard stimulus

Table4. Experimental Condition of Lead Car's Deceleration

Parameters	Conditions
Initial Following Velocity (m/s)	27.8
Initial Distance Headway (m)	40, 80, 120, 160, 200
Deceleration of Lead Car (m/s <sup>2</sup> )	1, 3, 5*, 7, 9

\* Marked in this table is standard stimulus

の接近度合を比較し、標準刺激に対して比較刺激の大きさ何倍の接近度合に感じたか口頭で答えさせる。

#### ② 先行車減速度を変化させた場合の対比較実験

例えば、減速度条件、標準刺激 5m/s<sup>2</sup> と比較刺激 7 m/s<sup>2</sup> を比較する場合は、同一の車間距離から先行車が接近し、標準刺激 5 m/s<sup>2</sup> に対する比較刺激 7 m/s<sup>2</sup> の接近度合を比較し、標準刺激に対して比較刺激の大きさ何倍の接近度合に感じたか口頭で答えさせる。

これら、比較対それぞれを 3 試行ずつ行った。

客観的な刺激強度を定義するため、刺激強度を視角変化から理論的に導出を行った。ME 法では、基準刺激と比較刺激の相対比較を行っている。客観的な刺激強度も同様に、標準刺激の実験条件と比較刺激の実験条件の刺激強度を視角変化の相対的な大きさで定義した。接近刺激を視角変化で定義すると、相対速度条件の場合は刺激対の比、減速度条件の場合は刺激対の比の 0.5 乗になることが理論的に導出された。

図 5 に標準刺激に対する先行車接近の客観的な刺激強度とドライバの主観的な接近度合を示す。この図は、全実験参加者、全実験条件の合算データである。図中のデータは、○が相対速度条件、また×が相対減速度

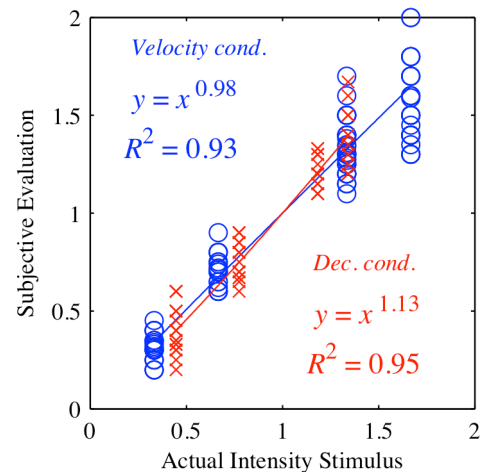


Fig.5 Approximation of Intensity as Change of Visual Angle

条件を示す。相対速度条件の近似曲線を青線、相対減速度条件の近似曲線を赤線で示す。図中の横軸は、視角変化で定義した刺激強度にしたものを示す。例えば、減速度条件の場合に、標準刺激  $5\text{m/s}^2$  で比較刺激  $9\text{m/s}^2$  の条件の場合に、刺激強度は  $1.3 (= (9/5)^{0.5})$ 、図中、赤線の右端プロット) となる。この図より、視角変化で定義した刺激量に対して相対速度条件、減速度条件ともにほぼ 1.0 の冪指数関数が算出された。すなわち、客観的刺激量に対して、主観量がリニアな特性をもつことが分かった。

### 3.4 先行車接近場面のブレーキ操作特性<sup>6)</sup>

ドライバの先行車接近時のブレーキ操作特性を視角変化から明らかにした。3.2 と同様、内在的なブレーキトリガーを計測する試みをしたため、先行車の接近に対するブレーキ操作から、各実験参加者の反応時間を

Table5. Experimental Conditions of Brake Trigger on Car-following Situations

Parameters	Conditions
Initial Following Velocity (m/s)	27.8
Initial Distance Headway (m)	20, 30, 40, 60
Lead Car Deceleration ( $\text{m/s}^2$ )	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

差し引いている。

車速を一定にした実験は、3.2 と同じシナリオを用いて行った。ここでは 3.2 との差異について記述する。3.2 では、実験参加者は、先行車の接近を知覚したら速やかにブレーキペダルを踏むように求められた。本節の実験では、先行車の接近に対して、追突を回避するために普段と同じタイミングでブレーキ操作をしてもらい、その操作タイミングからブレーキトリガーの特性を明らかにした。

図 6 に先行車が減速後、ドライバが普段のブレーキ操作タイミングでブレーキを踏んだ際の視角変化について初期車間距離ごとにドライバの平均値を示す。縦軸のエラーバーは実験参加者間の標準偏差を示す。この結果は、実験参加者ごとに反応時間を差し引いたあとの視角変化である。これより、初期車間距離 30-60m

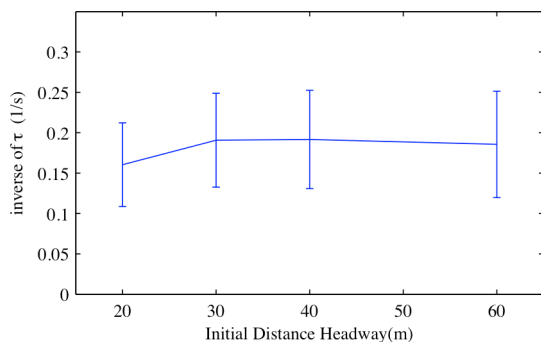


Fig.6 Change in Visual Angle on Braking of Onset of Lead Car Closing (Overall of All Participants)

の場合に、ドライバはある一定の視角変化でブレーキ操作を行っている。しかしながら、初期車間距離が 20m のときは、他の条件と比べ視角変化が小さい傾向を持つ。この結果は、車間距離が長い場合にはブレーキトリガーは視角変化で説明可能であるものの、短い車間距離は、視角変化単独では十分な説明にならないことを示唆する。

### 3.4 先行車追従・接近場面のリスク認知指標<sup>2)</sup>

先行車追従・接近場面は、運転操作の連続性の観点からみると、ひとつの場面として考えられる。先行車追従場面における指標は、 $1/THW$  であり、一方で、先行車接近場面は、 $1/\tau$  (視角変化) である。これらの指標は、追従場面、接近場面において主要な指標であり、主観量と客観量の関係が明らかになっている。それぞれ潜在的なリスクと顕在的なリスクとして意味付けられている。筆者らは、この 2 つの指標を用いて先行車追従接近場面のリスク式 ((3)式) を提案している。

$$RiskFeelings = \frac{a}{THW} + \frac{b}{\tau} \quad (3)$$

このリスク式は、主観量が反映された客観的な指標となっているため、汎用性が高いと考えられる。また、このリスク式は、実車実験におけるブレーキ操作限界などで妥当性が検証されている。

## 4. 共創的運転支援システムの考え方

運転支援システムは、車両周囲、自車両、ドライバの情報をセンサ (レーダーやカメラなど) で捉え、ドライバに情報呈示、車両制御などにより運転支援をするシステムである。運転支援システムの中には、協調運転<sup>12)</sup> などという概念もあり、ドライバとシステムが協調運転することで運転を達成していくという共創的な側面をもっている。また、運転という行為そのものも、ドライバと環境という関係性から、共創的な場があると考えられる。

日産自動車から運転支援システムに対して”Safety Shield”という概念が提案<sup>13)</sup>され、走行状況に応じて自車の全周囲方向<sup>14)</sup>に運転支援システムが展開されている。運転支援システムは様々なシーンで機能的な効果を有していると考えられるが、運転行動 (認知-判断-操作) のプロセスの中で、運転支援システムはどのように作用しているのだろうか。

たとえば、赤外線カメラを用いて暗い車両前方を映し出すナイトビジョンシステムは、認知支援をしていると考えられる。車線逸脱警報 (Lane Departure Warning: LDW) は、自車両が自車の走行車線から逸脱しそうになると、その状態を警報で知らせる機能を有する。これは認知・判断支援していると思われる。また、前方

車両接近警報(Forward Collision Warning: FCW)は、前方車の接近状態からブレーキ操作を促すことから、認知・判断支援といえる。さらに、車間維持支援システム(Distance Control Assist: DCA, または Intelligent Pedal)<sup>15)</sup>は先行車との接近度合に応じてブザーとアクセルペダルに反力を付加し、ブレーキ制御をすることから認知・判断・操作支援という見方ができる。このDCAは、詳細な考察を以下に記述する。このように運転支援システムは、支援といいつつも、実態は様々なアプローチで周囲環境との関係性を強める効果があると解釈することができる。

運転時の情報の9割は視覚情報から取得している<sup>16)</sup>といわれている。一方で、DCAは他チャンネル(聴覚, 触覚, 体勢感覚)から周辺情報を効果的に伝達していることが考えられる。特にアクセルペダルからの反力(触覚)と自動ブレーキ制御(体勢感覚)の組み合わせは、①ペダル反力から先行車との接近状況を知覚・認知させ、②アクセルペダルからブレーキペダルへの踏み替えをペダル反力により支援、③ブレーキ制御(g)によりシステムの作動状況が容易にわかると考えられるため、直感的でインタラクティブなインタフェースのひとつのかたちと考えられる。このような機能から結果として、DCAはドライバー-走行環境のインタラクティブ性を強固にすることで、安全性や利便性の向上が期待できるシステムと考えられる。

運転という行為そのものは、元来、共創的な要素を含んでいる。一部の運転支援では、ドライバと周囲の運転環境とのつながりが希薄になる可能性をもつシステムもある。一方で、DCAなどはドライバと先行車のつながりにとどまるものの、その関係性を強固にする効果が期待でき、共創の概念の一部を体現していると考えられる。共創らしさを求めると、先行車以外の環境情報、他車の意図など考慮する必要がある。今回の事例は、共創はドライバー-先行車間だけの関係であり、限定されたシーンではあるが、運転の本来の目的である安全、そして、快適に移動することが達成できよう。

## 5. 結論

以上のことから以下のことが示唆される。

- 先行車追従・接近場面におけるドライバの主観的な感覚指標と環境から得られる客観指標の関係性を解く鍵は、2つの視角変化指標( $1/\tau$ ,  $1/THW$ )である
- 運転支援システムは、システム設計次第で、共創的な概念を取り入れられることができ、環境とのつながりをより強固なものにする可能性がある

最後に、本発表は著者らの研究(参考文献 2, 6)を考察など追記し、共創的観点で書き下ろしたものである。

実験方法などの詳細については文献を参照されたい。

## 参考文献

- [1] K. Morita. Factors with the greatest influence on drivers' judgment of when to apply brakes; In Proceedings of SICE-ICASSE International Joint Conference 2006, Korea, 2006.
- [2] T. Kondoh, T. Yamamura, S. Kitazaki, N. Kuge, and R. E. Boer. Identification of visual cues and quantification of drivers' perception of proximity risk to the lead vehicle in car-following situations; Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, 1(2), 170-180, 2008.
- [3] J. J. Gibson, and L. E. Crooks. A theoretical field-analysis of automobile-driving. American Journal of Psychology, 51(3), 453-471, 1938.
- [4] J. M. Flach, and R. Warren. Active psychophysics: The relation between mind and what matters. In J. Flach, P. Hancock, J. Caird, & K. Vicente (Eds.), Global perspectives on the ecology of human-machine systems, 193-195, 1995. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- [5] 北島, 丸茂, 平岡, 伊藤: 先行車に対する追突リスク認知の評価指標の比較・検討; 自動車研究, 30(9), 495-498, 2008.
- [6] T. Kondoh, N. Furuyama, T. Hirose, T. Sawada, and Y. Miyake. Drivers' visual trigger to control braking in closing situation, In Proceedings of the First International Symposium on Future Active Safety Technology toward Zero-traffic-accident (FAST Zero '11), Tokyo, Japan, 2011.
- [7] D. Lee. A Theory of Visual Control of Braking Based on Information about Time-to-collision. Perception, Vol.5, 437-459, 1976.
- [8] T. Sawada, T. Hirose, N. Kasuga, and M. Zeniya. Study on Evaluation of Collision Mitigation Brake System; IATSS Review, 33(4), 2008.
- [9] T. Kondoh, N. Furuyama, Y. Akatsu, and Y. Miyake. A study on driving behavior from an ecological approach in car-following situations, Studies in Perception and Action XI, International Conference of Perception and Action 16, Ouro Preto, Brazil, 213-217, 2011
- [10] S. Stenves. On the psychophysical law; Psychological Review, 64(3), 153-181, 1957.
- [11] H. Gulliksen. A least squares solution for paired comparisons with incomplete data, Psychometrika, 21(2), 123-134, 1956.
- [12] 古川, 阿部. 環境情報の知識とオンボード・ドライバモデルを用いた協調運転支援制御システム, 日本機械学会交通・物流部門大会講演論文集 2000(9), 65-68, 2000.
- [13] 日産自動車, Safety Shield: <http://www.nissan-global.com/JP/SAFETY/INTRODUCTION>
- [14] 日産自動車, 全方位運転支援システム: <http://www.nissan-global.com/JP/NEWS/2008/STORY/0811-01-j.html>
- [15] 日産自動車, DCA, インテリジェントペダル: <http://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/OVERVIEW/dcas.html>
- [16] M. Sivak. The information that drivers use: is it indeed 90% visual?, Perception, 25(9), 1081-1089, 1996.