

高速道路工事規制区間における運転者の前方不注視と走行環境・車両挙動との関連性分析*

Analysis of the Relationship between Driver's Distracted and the Driving Environment,
the Vehicles Behavior at the Work Zone of Expressway*

飯田克弘**・小川清香***・Dao QuynhAnh***

By Katsuhiro Iida**・Sayaka Ogawa***・QuynhAnh DAO***

1. はじめに

近年、高速道路の老朽化が進み、維持管理のための補修・補強工事が必要不可欠となっている。一般的に交通量の多い路線では車線規制を伴う集中工事方式が採用されているが、それらの工事により発生する交通円滑性および安全性低下の問題が懸念されている。

交通円滑性低下に対しては、工事前の各種メディアを用いた PR、渋滞予測広報等の情報提供の強化により、発生トリップの抑制や交通の迂回といった利用者の交通需要そのものの抑制効果が報告されている¹⁾。また、交通容量低下そのものに対する対策として、道路管理者による工事規制方式の見直しが始められている²⁾。さらに、ペースカーの運用方法やラバーコーンの配置方法の検討に関する研究^{3,4)}のほか、工事規制の開始位置と交通容量の関係に着目した研究⁵⁾などが見られ、工事運用方法や規制方式を工夫することで交通容量を増加させようとする研究が立ち上がりつつある。

一方で、安全性低下に対する対策としては、工事予告標識や渋滞情報板の設置のほか、注意喚起標識および渋滞末尾警戒標識車両、LED 点滅灯の設置など様々な安全対策施設が見られる。これらの多くは過去の集中工事にて事故が多発した箇所を重点的に対象としたものであるが、一般的な交通事故原因のほとんどが運転者の行動によって占められている⁶⁾ことから、適切な対策を施すためにはまず、工事規制区間における運転者挙動を把握することが必要である。しかしながら、そのような内容を取り扱った研究は希少であり、工事規制区間の走行環境が運転者に与える影響については未解明な部分が多い。

以上の背景から本研究では、集中工事中の交通事故の原因として最も多い前方不注視に着目し、高速道路工事規制区間における運転者の前方不注視と工事規制区間の走行環境、および車両挙動との関連性を把握することを目的とした。

・なお、前方不注視は内在的不注視（漫然運転）と外在的前方不注視（脇見運転）に大別される。本研究は、この2種類の前方不注視をそれぞれ個別に取り扱った。

2. 現場走行実験概要

上記目的遂行のために現場走行実験を行い、工事規制区間を走行する被験者の各種視線データと、被験者運転車両の速度・加速度などの運行状況に関する車両データを取得した。なお、視線データの取得にはナック社製のアイマークレコーダ EMR-8 を、車両データの取得にはデータテック社製のセーフティレコーダ SRcomm を使用した。

実験は、2007年度名神高速道路集中工事のうちの2日（5/23、5/24）の期間で実施した。走行区間は名神高速道路上り線京都南 IC（487.4kp）から京都東 IC（478.0kp）の区間で、被験者は運転免許取得後1年以上の男女17名（社会人5名、学生12名）で、このうちデータの欠損などにより有効サンプルは12名となった。

走行区間の概略図を図-1に示す。図に示す通り走行区間全てにわたり追越車線規制がされているため、走行車線を走行した。なお、今後特に断りがない場合、実際に工事作業が行われている区間を工事区間、車線規制のみで作業が行われていない区間を空規制区間と記述する。走行区間では2種類の工事が実施されていたため、これらの工事区間、空規制区間を区別するべく以下のように区間を定義した。

- ・工事A：橋梁床版補強工事作業区間（487.2kp～484.8kp）
- ・空規制①：1つ目の空規制区間（484.8kp～482.2kp）
- ・工事B：舗装補修工事作業区間（482.2kp～481.6kp）
- ・空規制②：2つ目の空規制区間（481.6kp～478.3kp）

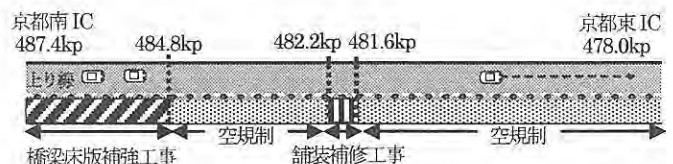


図-1 走行区間概略図

*Keywords：交通管理、交通安全

** 正員、博士(工)、大阪大学大学院工学研究科

〒565-0871 吹田市山田丘 2-1, TEL/FAX : 06-6879-7611/7612

*** 正員、修士(工)、中日本高速道路株式会社金沢支社

*** 学生会員、東京大学大学院工学系研究科

3. 内在的前方不注視について

(1) 分析方針

内在的前方不注視については、覚醒水準の考えを用いて捉えることとした。図2に分析フローを示す。

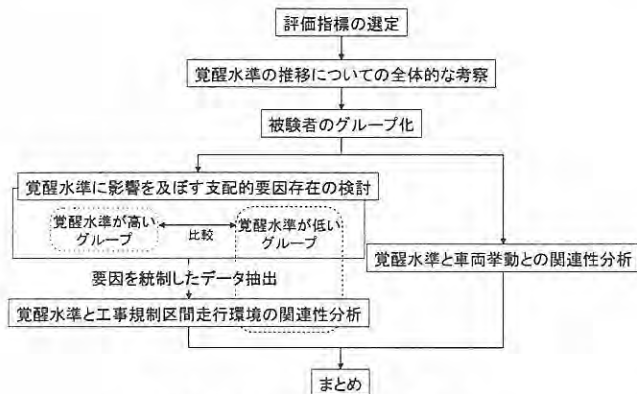


図2 内在的前方不注視分析フロー

(2) 評価指標の選定

覚醒水準とは大脳皮質の活動レベルを示し、内面的・外面的要因により常に変動している。覚醒水準が極端に低下した状態が睡眠である。覚醒水準の低下を引き起こす要因として、生理的リズム、疲労、作業の単調性などが挙げられ、体調がよくても作業内容によっては覚醒水準低下が起こる可能性がある⁷⁾。

この覚醒水準の計測方法としては、脳波⁸⁾⁹⁾、皮膚電位¹⁰⁾¹¹⁾、心拍¹²⁾¹³⁾、眼球運動¹⁴⁾¹⁶⁾、瞬目¹⁷⁾¹⁹⁾などが挙げられる。このうち脳波の信頼度は高いが、計測に頭部の拘束が必要であるため動きのある実験には不向きとされている²⁰⁾。これらの方法の中でも瞬目を計測する方法は、簡易な装置で時系列的に計測でき、運転者への負担が少ない¹⁷⁾。また、瞬目は比較的覚醒水準低下の早期検知の可能性が高い方法とされている²¹⁾²²⁾。本研究で行った実験では、15～20分程度の走行であり、極端な覚醒水準低下が起こる可能性は低いと考えられる。以上より瞬目による評価が適切であると考えた。なお、覚醒水準が低下すると瞬目回数が増加するとされているので、本研究でもその考えのもと分析を行った。ここで、瞬目には個人差があるため、評価指標には各被験者の基準瞬目回数を用いて基準化した瞬目率を使用した。以下に定義を示す。

- ・基準瞬目回数（回/30秒）：本線合流前ランプ部の瞬目回数を30秒間に換算した回数
- ・瞬目回数（回/30秒）：走行中30秒間における瞬目回数
- ・瞬目率：（瞬目回数）/（基準瞬目回数）

(3) 覚醒水準の推移についての全体的な考察

図3に上り線の瞬目率の推移グラフを示す。このグラフは、30秒毎の瞬目率をその間に走行した区間の中央値にプロットしたものである。この図から瞬目率が常に1付近で推移して

おりあまり変化が見られない被験者と瞬目率が1から大きくはなれた状態で大きな変動をしながら推移している被験者が存在していることが見てとれる。よってこれらの被験者を分類することとした。なお、セーフティレコーダのGPSが受信できなかったケースと、視線データが正常に取得できなかったケースについては対象サンプルから除外している。

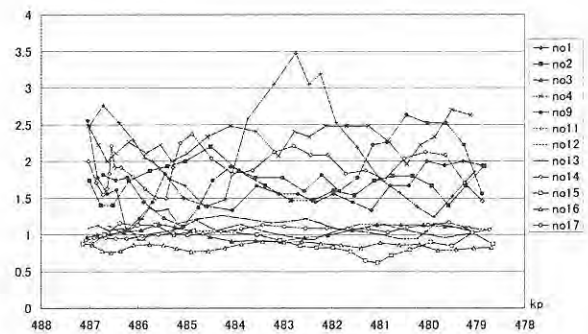


図3 瞬目率の推移（3項移動平均）

(4) 被験者のグループ化

3. (3) より、覚醒水準の程度と変動の大きさの違いにより被験者をグループ化した。方法として、瞬目率の平均値と標準偏差を分類基準として用いてクラスター分析（ウォード法）を行った。その結果を図4に示す。この図の中で、瞬目率が1付近に分布しておりばらつきが小さいクラスターを覚醒水準が平常通りのグループとしてグループ1、もう一つのクラスターを覚醒水準が平常よりも低下しているグループとしてグループ2と定義した。

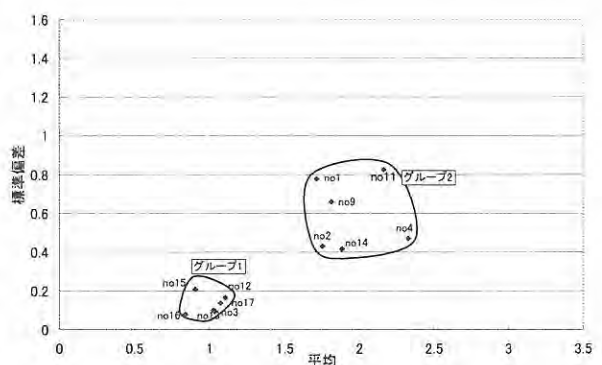


図4 瞬目率のクラスター分析結果

(5) 覚醒水準に影響を及ぼす支配的要因存在の検討

3. (4) におけるグループ形成に関して、覚醒水準の程度に影響を及ぼす支配的要因が存在するならば、それを統制した上で覚醒水準と走行環境との関係について検討すべきである。よって、まずはその要因の存在の可能性を探った。方法としては、要因になり得ると考えられる候補を挙げ、グループ1-2間でその要因候補の影響を比較し、差が見られればそれを支配的要因として考えることとした。

本研究では要因候補として、時間帯および追従状態を挙げ、それぞれに対して分析を行った。

a) 時間帯について

覚醒水準の変動リズムは、約 24 時間を周期とする概日リズム（サーカディアンリズム）に支配されるとされており²³⁾、そのリズムは昼前後（10 時～14 時頃）にピークとなり、その後は若干の上下変動をしながら徐々に低下していく²⁴⁾。こうした知見を考慮し、時間帯により覚醒水準が変動すると考えた。本実験では実験時間を、午前および昼間（以下昼間）と夜間に分けて行ったため、昼間に走行した被験者と夜間に走行した被験者が存在する。よって、覚醒リズムが上昇するとされる昼間と覚醒リズムが下降するとされる夜間の被験者に覚醒水準の程度に差があるかを把握した。

3. (4) で行なったクラスター分析の結果を用い、昼間に走行した被験者と夜間に走行した被験者を図上で区別した。図5にその結果を示す。この図から、昼間および夜間に走行した被験者が特定のグループに偏在していないことが分かる。よって、グループ間に時間帯による明確な違いは無く、時間帯が覚醒水準に影響を及ぼす支配的要因であるとは考えにくい結果となった。

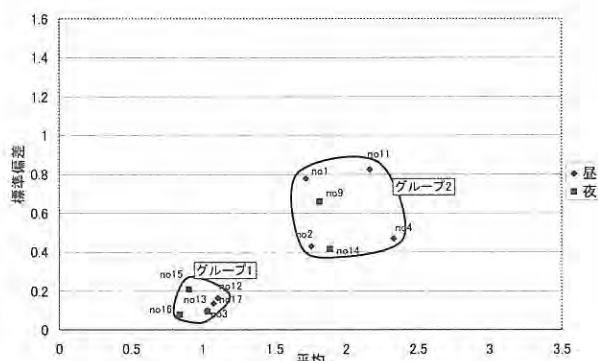


図5 昼間および夜間走行の被験者の分布

b) 追従状態について

疲労や作業の単調性に関して、無意識的な緊張状態が持続されると、疲労感の発生とともに覚醒水準が低下するとされている¹²⁾。この緊張状態は、道路上を運転する際を考えると、追従状態が比較的低速で長く続くような、自分の意思で自由に運転できない状況が一つの候補と考えられる。実際、追従状態での運転疲労が報告されている²⁵⁾。

本実験においては、工事規制により、実験走行区間は 50km/h で速度規制されていることから、全走行区間において比較的低速走行という状況にあり、これに加えて追従状態が続くと覚醒水準が低下する可能性があると考えた。よって、覚醒水準の高いグループと低いグループで追従状態に差が見られるかを把握した。なお、この分析には以下のように定義したものをを用いた。

- ・追従状態：前方車両との車頭時間が 4 秒以下⁶⁾での走行
- ・追従率(%)：(追従状態時間の合計)/(全走行時間)*100

表1 にグループ別の追従率を示す。これから、グループ 2 のほうが追従率が高い傾向にあることが分かる。ここでグループ 1-2 間の追従率の平均値の差を検定 (Wilcoxon の順位和検定) したところ、有意確率 0.149 となり一概に差がないとは判断し難い結果となった。よって、追従状態が覚醒水準に影響を及ぼす支配的要因となり得る可能性が考えられる。

表1 グループ別追従率(%)

グループ1		グループ2	
被験者	追従率	被験者	追従率
No3	59.6	No1	86.9
No12	52.2	No2	84.1
No13	67.9	No4	64.1
No15	58.9	No9	100
No16	97.4	No11	83.2
No17	91.2	No14	100
グループ平均	71.2	グループ平均	86.4

(6) 要因を統制したデータ抽出

3. (5) において、追従状態が支配的要因となり得る可能性を示唆する結果となったため、それらを統制したデータを抽出した。具体的には、覚醒水準が低下しているグループ2に着目し、追従状態である場面のみを抽出した。本来は、追従状態でない場面と比較して検討すべきであるが、今回その場面が少ないことから、十分なサンプル数が得られないため、以降では追従状態のみに絞って分析を行った。

(7) 覚醒水準と工事規制区間走行環境との関連性分析

3. (6) で抽出したデータを用いて、2.で定義した区間別の瞬目率平均値を算出した(表2)。これより、瞬目率平均値は工事Aで最も小さく、空規制②で最も大きくなっている。また、瞬目率の大きさを走行経過に沿って見ると、工事Aで小さく、空規制①で上昇し、工事Bで一旦下降し、空規制②で再び上昇するという推移を示している被験者が多く確認できる。ここで、工事区間と空規制区間の瞬目率の平均値の差の検定 (Wilcoxon の順位和検定) を行なったところ、工事A-空規制①間の有意確率が 0.075 となった。

表2 区間別瞬目率平均値

	No.1	No.2	No.4	No.9	No.11	No.14	区間平均
工事A	1.648	1.643	2.254	1.679	2.015	1.853	1.849
空規制①	1.660	1.554	2.505	2.167	2.919	2.062	2.144
工事B	0.796	1.629	2.462	1.967	3.006	2.088	1.991
空規制②	1.860	2.002	2.503	3.234	1.764	1.887	2.208

上記の傾向を考慮し、覚醒水準の変動特性を把握するために、各被験者の 30 秒毎の瞬目率を算出し、その推移傾向を分析した。その結果、全体的に同様の傾向が見られたため、ここでは2つの例を示す。図6、図7にkpを横軸とした被験者No.4 およびNo.11の瞬目率の散布図を示す。ここで分析対象サンプルにおける走行時間が30秒以上で長い場合、瞬目率の

データは時系列的に連続なデータとなる。そのような連続データに当たる部分のみ3項移動平均を求め、図中に曲線として描いた。また、図中の破線は工事区間と空規制区間の境界を示している。この図から瞬目率は、空規制①では上昇傾向にあることが分かる。また、空規制②でも空規制①ほど明確ではないが走行区間最後に行くにつれて上昇する傾向が見られる。一方で、工事Aおよび工事Bではいずれも下降傾向にあることが分かる。

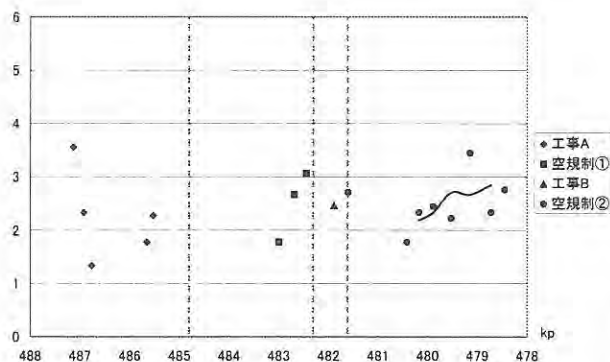


図6 被験者 No.4 瞬目率散布図

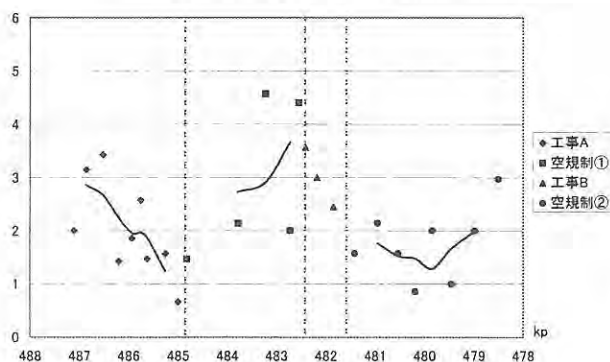


図7 被験者 No.11 瞬目率散布図

以上より、覚醒水準は空規制区間では低く、その推移は下降傾向にあり、工事区間では高く、推移は上昇傾向となる可能性を把握した。空規制区間では単調な走行環境により覚醒水準の低下を招き、一方で工事区間では多くの走行環境要素が混在しているため、それらから何らかの影響を受け、覚醒水準が上昇傾向を示した可能性が推測される。

(8) 覚醒水準と車両挙動との関連性分析

次に、実際に覚醒水準が低下した場合、車両挙動としてはどう現れるかを把握した。覚醒水準が低い場合は、漫然となり、適切なアクセル操作ができない²⁶⁾ことや運転中の反応時間が遅れる²⁷⁾ために急な加減速挙動が多くなることが考えられる。そこで、覚醒水準が高い場合と低い場合における、加減速の状況を把握することとした。

ここで、覚醒水準が高い場合を3. (4) でクラスタリングしたグループ1、低い場合をグループ2としてグループ間の加

減速挙動を比較した。なお、本研究では加減速以外に、加減速なし（以下、一定）という概念も加えて分析を行なった。加減速および一定に関しては以下のように定義したものをを用いた。

- ・加速（減速）：1km/h以上の速度低下（上昇）を含まない、5km/h以上の速度上昇（低下）
- ・一定：上記の加速、減速挙動以外で、速度変化が5km/h未満の状態が30秒以上継続する場面
- ・加速or減速or一定率(%)：(加速or減速or一定状況の継続時間) / (全走行時間)

表3にグループ1, 2における加速率、減速率、一定率の平均とグループ1-2間における各指標の平均値の差の検定結果（Wilcoxonの順位和検定）を示す。これから、グループ1とグループ2の間で加速率、減速率、一定率ともに統計的に有意差が生じていることが分かる。このことから、覚醒水準が低下すると、車両挙動として加減速が多くなり、安定した速度での走行が少なくなることが示された。

表3 加速・減速・一定率の平均と平均値の差の検定結果

	加速率	減速率	一定率
グループ1	31.6	19.4	22.5
グループ2	44.9	26.0	4.13
グループ1-2間 有意確率	0.025**	0.015**	0.041**

注）**：有意水準5%で有意

4. 外在的前方不注視について

(1) 分析方針

外在的前方不注視については、脇見時間を指標に用いて分析を行った。なお、脇見とは前方以外に視線を向ける行為であり、脇見時間とは前方以外に視線を向け始め、再び前方へ視線を戻すまでの時間とした。

(2) 過度な脇見の抽出

4. (1) で定義した脇見の中には、周囲の状況確認や危険検知のためなど、安全運転に必要な挙動が含まれていることが予想される。本研究では中でも、必要以上に脇見をしていると見なせるもののみを問題視することとした。そのような必要以上の脇見を「過度な脇見」と定義し、以降ではそれらに着目して分析を行った。なお、「過度な脇見」の定義は、Katja Kircherの研究²⁸⁾で2秒以上の脇見は長く危険な状況であることが報告されており、本研究でもこれに準拠することとした。

この過度な脇見を抽出した結果、本実験では計20回発生しており、被験者数では6名が過度な脇見を起こしていた。その発生状況を表4に示す。この表から、20回起きている過度な脇見のうち14回、被験者6人中4人の過度な脇見が工事A

または工事Bの工事区間で発生している。また、空規制①区間では全被験者を通して過度な脇見は一度も起きていないことが分かる。右側への過度な脇見に着目すると、ほぼ全てが工事Aまたは工事Bで起きており、空規制区間ではほとんど起きていない。今回は追越車線規制がされていることから、右側への脇見は当然規制車線内を見ていることになる。

表4 過度な脇見の発生状況

被験者	走行区間	脇見方向	脇見時間(s)	kp
No1	工事A 487.4-484.8	右側	2.17	487.2-487.2
			2.70	486.6-486.5
			2.57	486.5-486.5
			3.17	486.2-486.2
	工事B 482.2-481.6	右側	2.40	482.2-482.1
			2.07	482.1-482.1
			2.10	482.0-482.0
			2.17	481.8-481.8
			3.17	481.7-481.7
	空規制② 481.6-478.0	右側	2.73	479.1-497.1
			2.47	479.0-478.9
No2	工事B 482.2-481.6	左側	2.30	482.0-482.0
No9	工事A 487.4-484.8	右側	2.93	486.8-486.7
			2.53	486.6-486.6
			2.17	485.4-485.4
No13	空規制② 481.6-478.0	左側	2.33	479.0-479.0
No14	空規制② 481.6-478.0	左側	2.13	479.2-479.2
No15	工事A 487.4-484.8	右側	4.50	487.2-487.2
		右側	2.57	481.2-481.2
	空規制② 481.6-478.0	左側	2.33	478.9-478.9

(3) 過度な脇見と工事規制区間走行環境との関連性分析

各区間における過度な脇見の特徴を把握するために、過度な脇見中の視線軌跡および注視時間に着目し分析を行った。注視については、眼球運動速度が10deg/s以下の状態が165ms以上続いたとき²⁹⁾と定義した。

まず視線軌跡図を作成して特徴を把握したところ、全体的な傾向として区間によって視線軌跡の違いが見られた。図8にその一例を示す。なお、図中の直線が視線移動を、黒丸が注視を示す。これらの図から分かるように、工事Aでは過度な脇見中の注視点および視線が広い範囲に分布している。一方、空規制②では注視点および視線は狭い範囲に集中していることが分かる。

さらに、図9に工事A(図中A)および空規制②(図中②)における過度な脇見中の注視対象および注視時間を示す。この図の棒グラフ1本が1度の過度な脇見に相当する。これから、工事Aでは1度の脇見に短時間の注視対象が複数存在しており、空規制②では特定の対象を長時間注視していることが分かる。

以上より、工事Aでは複数の注視対象への視線移動の蓄積により、空規制②ではある対象への長い注視時間により過度

な脇見となっていることが分かった。工事区間では、さまざまな走行環境要素が存在しているために視線移動が蓄積され、空規制区間では単調な走行環境に、ある対象が急に現れるといった視環境の急変により視線を強く引かれ、過度な脇見を誘発した可能性がうかがえる。

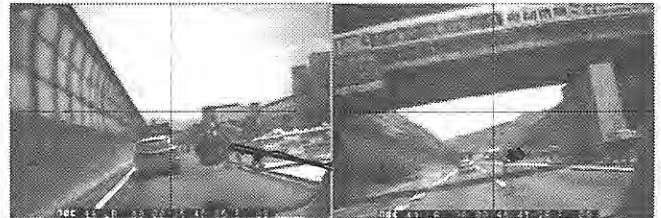


図8 視線軌跡図(左:工事A, 右:空規制②)

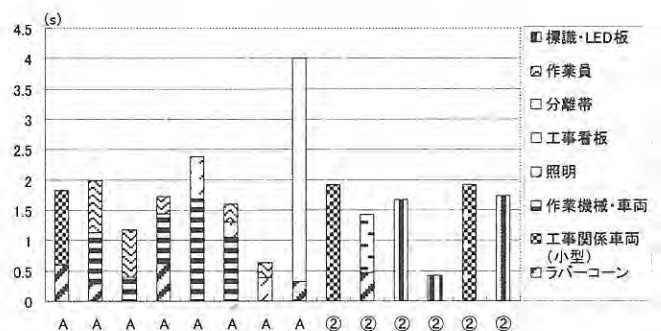


図9 過度な脇見中の注視対象および注視時間

(4) 過度な脇見と車両挙動との関連性分析

次に、過度な脇見をすると車両挙動としてどう現れるかを把握した。脇見中は、言うまでもなく自車速度の状況や前方車の動きを確認することができない。したがって、自車速度が不安定になる、また前方車への追突の危険性が高まるなどといった状況となる可能性が推測される。よって、そこで、過度な脇見中の速度変動および前方車との追突危険性の変動を把握した。

a) 過度な脇見と速度変動との関連性について

過度な脇見それぞれに対して脇見中、脇見前2秒間および脇見後2秒間における速度の分散を比較した。この比較には、等分散性の検定を行った。以下にその手順を示す。

- 正規性の検定を行う。具体的には、脇見前・脇見中・脇見後の各指標が正規分布に従うことを帰無仮説として、有意水準5%のもとでKolmogorov-Smirnov検定を行う。
- i. で正規性が示された場合、各指標の母分散が等しいことを帰無仮説として、有意水準5%(10%)のもとでF検定を行う。
- i. で正規性が示されなかった場合、各指標の母分散が等しいことを帰無仮説として、有意水準5%(10%)のもとでMood検定を行う。

それぞれの比較の際の対立仮説を以下に示す。

- ・ 脇見中-脇見前：脇見中の速度の分散は脇見前の速度の分散よりも大きい
- ・ 脇見中-脇見後：脇見中の速度の分散は脇見後の速度の分散よりも大きい
- ・ 脇見前-脇見後：脇見前の速度の分散は脇見後の速度の分散と等しくない

図-10 に脇見前・脇見中・脇見後の速度分散の検定結果を示す。図中の数字は過度な脇見の回数を示す。この図から、脇見中-脇見前および脇見中-脇見後において、速度の分散に有意に差が見られるものが多く、脇見前-脇見後ではほとんど有意な差は見られない。このことから、脇見前、脇見後と比較して脇見中は速度のばらつきが大きく、あまり安定していないことが分かる。

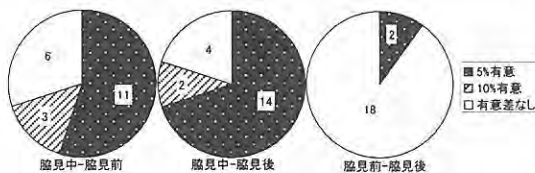


図-10 脇見前・脇見中・脇見後の速度分散の検定結果

b) 過度な脇見と追突危険性との関連性について

過度な脇見中の追突危険性の変動を把握した。今回、前方車との追突危険性を示す指標として代表的な TTC (Time to Collision) を使用した。TTC は、ある車両が先行車に追従走行している場合で、その2台の車両が回避行動を行わずに、その時点での速度と角度でそのまま進行したときに何秒後に衝突するかを表す指標であり、直接的な追突危険性を評価することができる。TTC の値が小さいほど危険な状態を示す。以下に定義を示す。

$$TTC (s) = (2 \text{ 台の車間距離}(m)) / (2 \text{ 台の相対速度}(m/s))$$

ここで、計 20 回起きている過度な脇見のうち、14 回が脇見中単独走行もしくは前方車両との車間距離が大きい状態であり、残り 6 回が追従状態であった。単独走行または前方車両との車間距離が大きい場合は、追突危険性を検討することができない。よって、今回過度な脇見中追従状態にあった 6 サンプルを対象として TTC の変動を把握した。その結果、6 サンプル中 3 サンプルにおいて、TTC の値自体はさほど小さくないが、TTC の急減少が見られた。それらの TTC、走行速度、前方車との相対速度および車間距離の統合図を図-11 に示す。サンプル数の不足から明確な傾向は読み取ることが困難であるが、場合によっては過度な脇見中に追突危険性が高まる可能性がうかがえる。

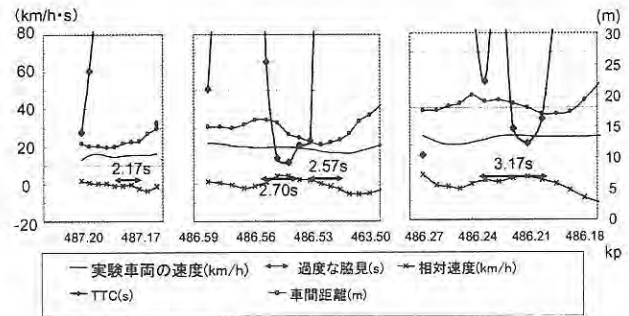


図-11 TTC 急減少が見られた場面の統合図

5. まとめ

本研究では、現場走行実験のデータより工事規制区間における2種類の前方向不注意状況を捉え、走行環境、車両挙動との関連性を分析した。そして、覚醒水準に影響を及ぼす支配的要因となり得るものとして追従状態を特定した。

追従走行下にあるデータを分析したところ、覚醒水準は空規制区間にて低く、工事区間にて高くなっていることが分かった。また、覚醒水準が低下すると加減速が多くなることが知見として得られた。

脇見については区間によって過度な脇見の特徴が違ふという知見を得た。工事区間においては、個々の対象の注視時間は短いものの、その蓄積が過度な脇見に繋がっていること、また空規制区間では、視環境の急変により特定の対象への注視が長くなり、過度な脇見となっている可能性が示唆された。さらに、過度な脇見が生じた時の速度変動について、脇見前後と比較して脇見中は速度が安定していないことが確認できた。

本研究で得られた覚醒水準についての知見は、ほぼ追従状態における結果であることから、まずは大きな対策として工事規制区間における車両の低速走行および追従状態の継続を緩和することが必要であると考えられる。このために効果的な対策としては、空規制区間における部分開放が考えられる。部分開放により、運転者は積極的にアクセル・ハンドル操作を行うことが可能になるため、覚醒水準の向上が期待される。また、空規制区間にて強く脇見を誘発する対象が存在したという問題に対しても、部分開放を行うことでそのような対象が存在する余地がなくなるため、空規制区間での外的前方向不注意の悪化も緩和できると考えられる。ただし、部分開放に伴う接触事故増加も懸念されていることから、この両面からの検討が必要である。現状では開放区間が設けられない空規制区間については、工事看板等を計画的に設置し、視線を分散させることなどが今後の工事運用の際の1つの方向性と考えられる。

最後に、本研究では、覚醒水準についてその上昇要因の存在の示唆にとどまっているため、その特定が今後の課題であると考えられる。

参考文献

- 1) 藤田素弘・雲林院康宏・杉浦裕幸・野田宏治：都市高速道路の集中工事に伴う道路ネットワークの交通状況と評価に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.21，No.4，pp.933-940，2004.
- 2) 高速道路技術センター：東名・名神高速道路集中工事のあり方に関する検討業務報告書，2004.
- 3) 飯田克弘・小川清香・高橋秀喜・和田謙一：高速道路工事車線規制中の車群挙動に関する考察，第26回交通工学研究発表会論文報告集，pp.33-36，2006.
- 4) 飯田克弘・東佳史・小川清香：高速道路工事規制区間における車群先頭車両の挙動に影響を及ぼす要因に関する検討，土木計画学研究・講演集，No.36 (on CDROM)，2007.
- 5) 古賀浩樹・菅野寛政・深井靖史：首都高速3号渋谷線における集中工事時の交通容量分析，第27回交通工学研究発表会論文報告集，pp.37-40，2007.
- 6) 交通工学研究会：交通工学ハンドブック，技報堂出版，1984.
- 7) 荳坂直行（編者）：脳と意識，朝倉出版，1997.
- 8) 岸篤秀・岡本宜久・阿部智行・石橋基範・石田健二：ドライバーの覚醒度評価方法について，自動車技術 Vol.46，No.9，pp.17-22，1992.
- 9) 黒田 幸男・吉田 倫幸：脳波ゆらぎから覚醒度を推定するニューラルネットの作成，自動車技術，Vol.49，No.9，pp.91-96，1995.
- 10) 平田輝満・屋井鉄雄・飯島雄一：都市内地下道路における意識水準低下に関する分析，土木計画学研究・講演集，Vol.28，VII(212)，2003.
- 11) 平田輝満・屋井鉄雄・馬原崇史：MOVIC-T4を活用した都市内地下道路の走行安全性に関する基礎的研究，土木計画学研究・論文集，Vol.23，No.4，pp.797-804，2006.
- 12) 宇野宏：覚醒水準低下の検知方法に関する一考察，自動車研究，Vol.25，No.8，pp.17-20，2003.
- 13) 平田輝光・飯島雄一・屋井鉄雄：都市内地下道路における運転者の意識水準低下に関する分析，土木計画学研究・論文集，Vol.21，No.4，pp.915-924，2004.
- 14) 植野彰規・大田義久・高瀬守一郎・南谷晴之：視覚誘発サッケードと内部誘発サッケードにおける覚醒水準依存性，電気情報通信学会論文誌，D-II Vol.J81，no.6，pp.1411-1420，1998.06
- 15) 吉野裕次郎・淀川英司：眼球運動による覚醒水準の推定法，電気情報通信学会信学技報，HIP96-29，pp.25-30，1997.
- 16) 立山剛・植野彰規・高瀬守一郎・南谷晴之：サッケード動特性の変化と覚醒水準の関係－モデルシミュレーションによる検討－，電気情報通信学会信学技報，MBE98-151，pp.77-83，1999.
- 17) 桶谷哲哉・加藤光博・高野博史・中村清実：瞬きと脳波および皮膚電位との相関解析による居眠り判定基準，電気情報通信学会信学技報，MBE2007-5，2007.
- 18) 福岡秀行・渡辺貴宏・矢頭ゆう介・二宮理喜・船田真理子：単調作業時の覚醒状態と眼球運動の関連について，人間工学，Vol.33，特別号，pp.204-205.
- 19) 山本恵一・樋口伸一：小特集 安全運転とひと大型トラックの長時間運転時の覚醒度評価の検討，自動車技術，Vol.46，No.9，pp.23-28，1992.
- 20) 保坂良資・渡辺瞭：まばたき発生パターンを指標とした覚醒水準評価の一方法，人間工学，Vol.19，No.3，1983.
- 21) 石原利員：自動車運転中の覚醒度の検出，自動車技術会学術講演会前刷集，951，No.9534405，1995.
- 22) 中野倫明・杉山和彦・水野守倫・山本新：画像による瞬目計測と居眠り検知への応用，テレビジョン学会誌，Vol.50，No.12，pp.1949-1956，1996.
- 23) Czeisler C.A, Weitzman E.D, Moore-Ede M.C, Zimmerman J.C, Knauer R.S: Human Sleep: Its Duration and Organization Depend on Its Circadian Phase, Science, 210, pp.1264-1267, 1980.
- 24) 橋本邦衛：ヒューマンエラーと安全設計 大脳生理学からの提言，人間工学，Vol.17，No.4，pp.149-156，1981.
- 25) 上田誠・近藤光男・松本博次・早川晴雄・中田隆現：追従走行実験における心理的・生理的反応に基づく運転疲労の定量化に関する研究，土木計画学会研究・論文集，Vol.22，No.4，pp.805-814，2005.
- 26) 宇野宏：覚醒水準低下の検知方法に関する一考察，自動車研究，Vol.25，No.8，pp.17-20，2003.
- 27) 増田智志・林和史・平田輝光・屋井鉄雄：地下道路における覚醒水準と運転挙動，土木計画学研究・講演集，Vol.36 (on CDROM)，2007.
- 28) Katja Kircher : Driver disatration, A review of the literature, * VTI rapport 594A.
- 29) 福田亮子・佐久間美能留・中村悦男・福田忠彦：注視点の定義に関する実験的検討，人間工学，Vol.32，No.4，pp.197-204，1996.