

# 渋滞運転時の副次課題が ヴィジランス低下防止に与える影響分析

木村 大地<sup>1</sup>・佐野 可寸志<sup>2</sup>・中平 勝子<sup>3</sup>・鳩山 紀一郎<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 非会員 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻(〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)  
E-mail: s183248@stn.nagaokaut.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 長岡技術科学大学教授 環境社会基盤工学専攻(〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)  
E-mail: sano@vos.nagaokaut.ac.jp

<sup>3</sup> 非会員 長岡技術科学大学准教授 情報・経営システム工学専攻(〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)  
E-mail: katsuko@vos.nagaokaut.ac.jp

<sup>4</sup> 正会員 長岡技術科学大学客員准教授 環境社会基盤工学専攻(〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)  
E-mail: kii@vos.nagaokaut.ac.jp

渋滞下では、単調運転や緊張感の減少から覚醒度が低下し、漫然状態に陥りやすくなり、漫然状態ではヴィジランス低下が発生する可能性がある。本研究では、ヴィジランス低下を防ぐ一つの方略として、副次課題に着目し、渋滞時に発生する前方車両のブレーキランプの変化などの軽微な環境変化への運転手の反応と副次課題との関係を生体反応によって分析する。渋滞下を想定した運転手視点の映像に前方車両のブレーキオン・オフを模した視覚刺激を提示し、ブレーキに模した刺激が変化した際にマウスを押下する主課題を与えた。本研究により、副次課題を適切に提供することにより、ヴィジランス低下を防止することが出来ると考えられる。

**Key Words:** traffic congestion, inattentive driving, alertness, secondary task, biometric information

## 1. はじめに

1898年に海外から日本に自動車を持ち込まれて以降、100年以上の年月が経ち、平成8年には自家用乗用車の世帯当たり普及台数が1世帯当たり1台を超え<sup>1)</sup>、我々の生活に無くてはならない存在となった。しかし、自動車の普及に合わせて交通事故も増加し、平成16年には交通事故件数が過去最高の95万件を超えた。近年では、道路の整備や自動車の安全機能の普及などにより交通事故件数は年々減少傾向にあるが、令和3年では30万件を超える交通事故が報告されている<sup>2)</sup>。平成29年度の法令違反別交通安全件数<sup>3)</sup>では、交通事故の原因は安全運転義務違反が73.7%と高い割合を占めている。安全運転義務違反の割合に着目すると、安全不確認や脇見運転、動静不注視が高い割合を占めており、十分な注意を払って運転することにより防止可能なものとなっている。これらの法令違反を引き起こす要因として漫然運転が考えられる。漫然運転とは、運転以外に注意が向いていないにも関わらず、運転に向けるべき注意力が低下している

状態<sup>4)</sup>である。漫然運転自体が事故原因に占める割合は8.3%とそこまで高くはないが、漫然運転により安全運転義務違反を引き起こすと考えられる。そのため、漫然運転を解消することにより、交通事故を減らすことが出来ると考えられる。また、交通事故発生時の交通状況に着目すると、交通事故は渋滞時において多く発生しており、阪神高速道路の調査<sup>5)</sup>によると、渋滞時は自由走行時と比べ約7倍も事故リスクが増加すると報告されている。渋滞運転時においては、必要な運転操作の減少による緊張感の緩和から、覚醒度が低下し漫然運転に陥りやすくなると考えられる。一般的に漫然運転の予防・防止対策として休憩をとることが推奨されているが、渋滞時では簡単に休憩をとることが出来ない。そのため、運転操作を行いながら漫然運転を防止する方法を検討する必要があると考えられる。

漫然運転の危険性としてブレーキ操作が遅れることが挙げられ、この現象はヴィジランス低下であると考えられる。ヴィジランスとは注意の焦点を維持し、長時間にわたって刺激に警戒する生物の能力の事であり<sup>6)</sup>、ヴィジ

ランスが低下すると、反応が鈍くなる傾向がある。このヴィジランスが低下する要因の一つとして覚醒度の低下による覚醒説<sup>7)</sup>が存在する。つまり、覚醒度の低下により、漫然運転になるとヴィジランス低下が発生し、ブレーキ操作が遅れると考えられる。そのため、渋滞運転時の覚醒度の低下を防止することにより、交通事故を減らせると考えられる。一般的に漫然運転の防止対策として、こまめに休憩をとり眠気を解消することが良いとされているが、渋滞運転時においては、休憩活動をとることが出来ないことから、別の手法により漫然運転を解消する必要がある。漫然運転解消を目的とした覚醒度維持手法として、副次課題が着目されており、能動的副次課題を行う事で覚醒度が維持され運転パフォーマンスを向上させる研究結果<sup>8)9)</sup>が存在する。しかし、これらの研究は自由走行時を対象としたものであり、渋滞運転時における副次課題の影響は明らかになっていない。運転時に他の活動を行う事は推奨されていないが、渋滞運転時のような運転タスクが著しく低下する状況においては、副次課題を提供しても運転パフォーマンスを低下させずに、覚醒度を維持させ、ヴィジランス低下を防ぐことが出来るのではないかと考えられる。渋滞運転中における副次課題に着目した研究として、松村ら<sup>10)</sup>の先行研究が存在する。先行研究では、副次課題が渋滞運転中の副次課題が運転手の退屈感やストレスに与える影響を明らかにする目的で室内実験を行い、心理指標を用いた分析を行っている。先行研究は副次課題として、「なにもしない」「音楽鑑賞」といった受動的副次課題と「同乗者との会話」「クイズ問題の回答」といった能動的副次課題を提供した。先行研究での結果として、受動的副次課題と比べ能動的副次課題では、知覚時間が減少し、退屈感を緩和させる働きがあることを明らかにしている。しかし、先行研究では、実験中の覚醒度やヴィジランス低下に関連する調査は行っていない。

以上を踏まえ、本研究は渋滞運転時における副次課題が覚醒度およびヴィジランス低下に与える影響を分析することにより、漫然運転を軽減する方策を提言することを目的とする。本研究において、漫然運転状態とは覚醒度が低下し反応が鈍くなる状態と定義する。本研究の仮説として、副次課題を提供することにより、覚醒度が維持され漫然運転を防止することが出来ると考えられる。研究手法としては、先行研究により得られた実験データに加え、新規に実験を計画し副次課題が覚醒度およびヴィジランス低下にあたる影響を分析した。

## 2. 予備解析

### (1) 実験概要

#### a) 被験者及び使用走行映像

予備解析には、事前にインフォームドコンセントを受けた長岡技術科学大学の学生16名(平均年齢 $22.2 \pm 0.73$ )と長岡市在住の8名(平均年齢 $44 \pm 12.7$ )が参加した。また、男女比が同一となる様に被験者数を設定した。使用した走行映像を図-1に示す。本実験では、図-1のような静止画に前方車両のブレーキランプを点灯および消灯することにより、渋滞を再現した。ブレーキランプ変化の間隔は、消灯時から点灯が9~11秒、点灯時から消灯が22~50秒とした。



図-1 実験使用画像(松村ら<sup>10)</sup>の論文より引用)

#### b) 主課題

被験者には図-1示す前方車両のブレーキランプが点灯または消灯する際にマウスを押下するという主課題を与えた。マウスを押下する回数は1回の実験で40回である。

#### c) 副次課題

本実験では、「音楽」「会話」「クイズ」の3種類の課題に加え、主課題のみを実施する「なにもしない」の計4つの副次課題を提供した。「音楽」は被験者の好みの音楽を視聴してもらった。「会話」は同乗者との会話を想定し、被験者の知人を被験者の左隣に座らせ会話をしてもらった。実験は防音室で行ったため、会話の内容を把握していない。「クイズ」はワイヤレスマイクを使用して出題した。クイズの問題は全て3択の択一式とし、回答後にはそのクイズに関する解説を提供した。

1人の被験者に対し行った実験の回数は3回であるため、全ての被験者はいずれか1つの副次課題は実施していない。実施していない副次課題および副次課題を提供する順番は、4つの副次課題が均等になるように8パターンを設定した。

### (2) 計測項目

本研究では、ヴィジランス低下に関する指標として

反応時間、漫然運転に関する指標として覚醒度を使用し、分析を行う。覚醒状態を把握する為の指標として本研究では、被験者に非接触式に覚醒度を推定することが出来る視行動及び瞳孔径を採用した。本研究では、実験中の被検者の覚醒度を測定するためにアイトラッカー (Tobii pro nano) を使用して被験者の視行動及び瞳孔径を計測した。本研究で計測した項目を以下に示す。

a) 瞳孔ゆらぎ(LLFF)

Lowenstein ら<sup>11)</sup>の研究から覚醒水準が低下した際に瞳孔ゆらぎ (LLFF) が発生することが報告されている。本実験では、実験開始時からの瞳孔径の変化を計測し、瞳孔ゆらぎ (LLFF) が発生しているかを調査した。

b) ベースラインおよび瞳孔径変化量

主課題であるマウス押下による覚醒度の変化を得るために、画面変化から3秒間の瞳孔径の変化を計測した。画面変化 500ms 前から画面変化までの瞳孔径の平均をベースラインとし、ベースラインからの変化量を瞳孔径変化量とした。

c) サッケード割合

画面変化から次の画面変化までの各区間におけるサッケードの所要時間が占める割合を計測した。

d) 反応時間

主課題であるブレーキランプが点灯からマウス押下までの所要時間を反応時間として計測した。

(3) 結果

本実験において、視行動を正しく計測できなかった4人の被検者については、分析から除外した。そのため、各副次課題を実施した人数は、「なにもしない」が15人、「音楽」が16人、「会話」が14人、「クイズ」が15人となった。

a) 瞳孔ゆらぎ (LLFF)

全ての実験データを対象に、実験開始時からの瞳孔径変化による瞳孔ゆらぎ (LLFF) が発生しているかを調査した。その結果、3人の被検者で瞳孔ゆらぎを確認することができた。一例を図-2に示す。この瞳孔揺らぎは主に、「なにもしない」や「音楽」といった、受動的副次課題を実施している時に発生し、能動的副次課題を実施している場合には瞳孔揺らぎを確認することはできなかった。このことから、検出できた人数は少ないが、受動的副次課題では眠気が発生し、能動的副次課題には眠気を抑える効果があると考えられる。

b) ベースライン変化

予備解析において、時間経過による500ミリ秒前平均の変化を見るために副次課題ごとの実験経過時間と500ミリ秒前平均との関係を表したものを図-3に示す。図-

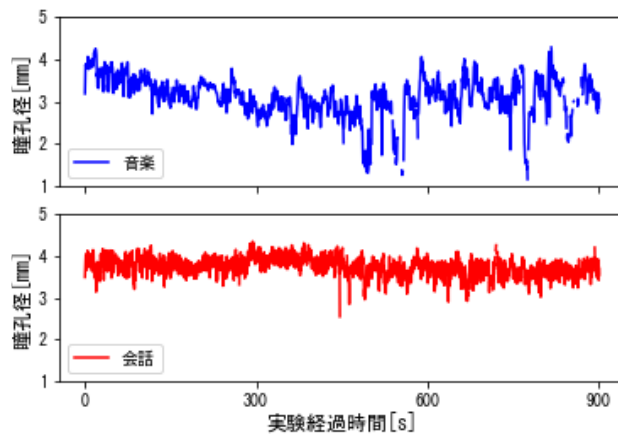


図-2 瞳孔揺らぎ例 (被験者 A3\_右目)

3は副次課題ごとに右目の各画面変化時の500ミリ秒前平均の平均を求めたものである。全体的な傾向として、会話、クイズといった能動的副次課題では、時間経過による500ミリ秒前平均の変化は見られない。一方、なにもしない、音楽といった受動的副次課題では、実験前半で瞳孔径が収縮しており、前述した瞳孔ゆらぎと同様の傾向をしめしている。また、副次課題間の差に着目すると、クイズは終始他の副次課題と比べ高い値を示している。また受動的副次課題では実験開始直後は会話と同程度の値だが、実験が進むにつれて値が減少しており会話と差が生じているように見える。

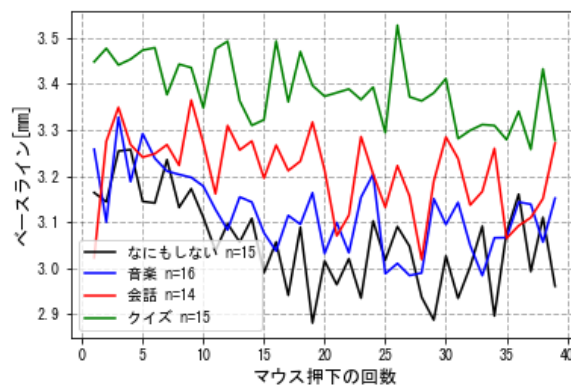


図-3 マウス押下の回数とベースライン変化

c) マウス押下時の瞳孔径変化

主課題であるマウス押下時の瞳孔径変化を見るために、画面変化から3[s]間のベースラインからの瞳孔径変化を実験ごとにまとめた。一例を図-4に示す。図-4は特定被験者に対して主課題のマウス押下40回の画面変化からの瞳孔径の変化を0.05[s]ごとに箱ひげ図で表したものである。マウスを押下した範囲を赤色領域で示している。図-4から、マウス押下時に瞳孔径が拡大する傾向が見られる。この傾向はほぼ全ての実験で見られ、瞳孔径が収縮した実験は存在しなかった。このことから、被験者は画面変化に反応して覚醒度が上昇していると考えらえ

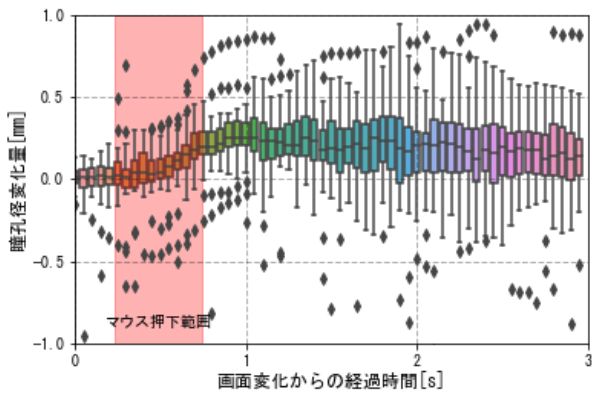


図-4 瞳孔径変化例（被験者 A1\_何もしない\_右目）

る。しかし、瞳孔径変化の度合いは実験ごとに異なり、変化が小さい場合は変化の大きい時と比べ、集中力が低下しており、漫然状態であると考えられる。

次に、漫然状態時には軽微な画面変化に対する反応が減少すると考えられるため、40回の主課題の内、画面変化3[s]間の瞳孔径変化が最大であった時の変化量を最大瞳孔径変化量として計測した。この最大瞳孔径変化時のマウス押下回数と最大瞳孔径変化量との関係を表したものを図-5に示す。マウス押下回数1~20回を前半領域、11~30回を中盤領域、21~40回を後半領域に分類し、瞳孔径変化が最大であったマウス押下回数を副次課題ごとにまとめたものを表-1に示す。表-1から、「音楽」では領域ごとの差は見られなかった。「なにもしない」「会話」の二つの副次課題では、前半に比べ後半の方が瞳孔径変化が最大である被験者が多く見られた。一方、「クイズ」では、実験中盤で瞳孔径変化が最大の被験者が多数を占めている。この結果から、「なにもしない」

表-1 各領域ごとの瞳孔径最大変化の個数

副次課題	前半	中盤	後半
なにもしない	6	7	9
音楽	9	7	7
会話	4	7	10
クイズ	9	11	6

と「会話」実施時は実験後半であっても、画面変化に対する反応が大きいため、集中力が高い状態が維持できていると考えられる。「クイズ」を実施した場合は、後半での反応が低いことから、実験中盤までは集中力が維持されているが、後半になるにつれて、集中力が低下していることが考えられる。次に各実験での最大瞳孔径変化量の値の度数分布を表したものを表-2に示す。表-2では、「なにもしない」「音楽」「クイズ」の副次課題では、最大瞳孔径変化量が0.8mmが最頻値であるが、「会話」は1.0mmである。また、最大瞳孔径変化量の平均でも、「会話」が他の副次課題と比べ「音楽」と「クイズ」とで有意傾向（音楽： $t(23)=2.00, p<0.1$ , クイズ： $t(21)=1.87, p<0.1$ ）、「なにもしない」と5%水準で有意（ $t(19)=2.20, p<0.05$ ）で大きい。このことから、「会話」では他の副次課題と比べ、軽微な画面変化であっても覚醒の程度は大きいと考えられる。

#### d) サッケード割合

視行動を正しく計測できなかった4人に加えサッケード運動を正しく計測できなかった被験者2人は分析から除外した。画面変化から次の画面変化までの期間のサッケード運動を行った時間の割合を副次課題ごとにまとめ

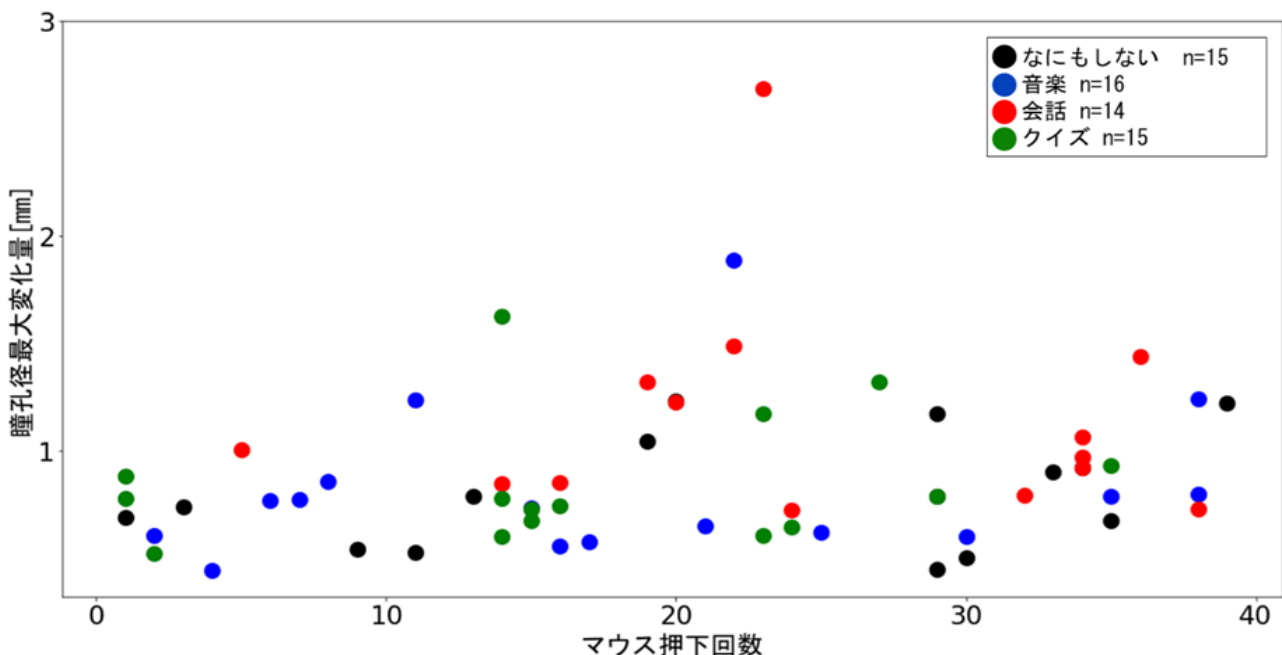


図-5 各実験での最大瞳孔径変化量

表-2 最大瞳孔径変化量の度数分布表

データ区間 [mm]	なにもしない	音楽	会話	クイズ
0.2	0	0	0	0
0.4	0	0	0	0
0.6	4	3	0	1
0.8	5	8	3	9
1.0	2	2	4	2
1.2	2	0	2	1
1.4	2	2	2	1
1.6	0	0	2	0
1.8	0	0	0	1
2.0	0	1	0	0
平均[mm]	0.81	0.82	1.15	0.86

たものを図-6 に示す。Chiew ら<sup>12)</sup>の研究では、運転手が漫然運転状態に陥ると、周辺環境の認知行動が緩漫となりサッケードの発生頻度が低下すると述べている。しかし、本実験では、被験者に画面に映る前方車両を注視するように指示したため、サッケード運動が多い事は主課題に集中できていない、つまり、漫然状態にあると考えられる。図-6 から、「会話」「クイズ」の能動的副次課題は「なにもしない」「音楽」の受動的副次課題と比べ、サッケード運動が占める割合が高いことが分かる。このことから、能動的副次課題実施時は、受動的副次課題と比べ、主課題に集中できていないと考えられる。次に、時間経過によるサッケード運動の変化に着目し、実験全体およびマウス押下回数 20 回までの前半、20 回以降の後半それぞれの区間で回帰分析を行った。この結果を表-3 に示す。表-3 から、実験全体では、「何もしない」「クイズ」「音楽」で時間経過により、サッケードの割合が増加しており、この3つの副次課題と比べると、「会話」はあまり変化していないことが分かる。「何もしない」では、前半の傾きは小さく、後半の傾きが大きいことから、実験後半において、集中力が低下していると考えられる。一方、「音楽」と「会話」では、前半の傾きが大きく、後半は傾きが小さいことから、「なにもしない」と比べ実験後半での注意力の低下は小さいと考えられる。「クイズ」では前半の傾きが他の副次課題と比べ大きく、後半でも前半よりも傾きが小さいが傾きが大きい事がわかる。このことから、「クイズ」実施時は時間経過によって集中力が低下していると考えられる。

e) 反応時間

時間経過による反応時間の変化を副次課題ごとにまとめたものを図-7 に示す。図-7 は各マウス押下における反応時間の中央値を求めたものである。図-7 から実験序盤に反応時間が短縮していることが分かる。これは、主課題への慣れであると考えられる。しかし、実験経過時間が 500 秒を越えるあたりから反応時間が増加しているこ

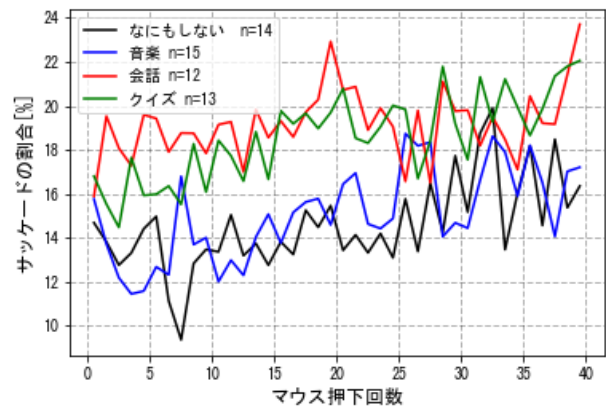


図-6 サッケード割合

表-3 回帰分析の結果

		なにもしない	音楽	会話	クイズ
前半	傾き	0.06	0.11	0.14	0.21
	決定係数 R <sup>2</sup>	0.061	0.165	0.324	0.604
後半	傾き	0.185	0.040	0.06	0.12
	決定係数 R <sup>2</sup>	0.275	0.020	0.042	0.206
全体	傾き	0.11	0.12	0.05	0.13
	決定係数 R <sup>2</sup>	0.375	0.434	0.125	0.602

とが見て取れる。これらの傾向は、全ての副次課題で同様の傾向を示している。また、図形の出現時と消失時を比較しても同様の傾向である。このことから、単一の副次課題を実施している場合では、時間経過によりヴィジランス低下が発生すると考えられる。

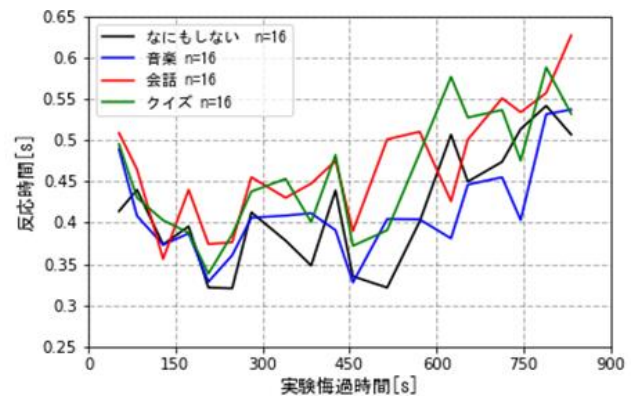


図-7 反応時間 (予備解析)

(4) 考察

a) 覚醒度

予備解析における覚醒度の分析結果をまとめたものを表-4 に示す。先行研究では、受動的副次課題を実施した場合で瞳孔ゆらぎの発生を確認でき、眠気を自覚するほどの覚醒度低下が発生した。一方、能動的副次課題を実施した場合には、瞳孔ゆらぎは確認されなかった。500 ミリ秒前平均では、受動的副次課題実施時では、タ

表-4 分析結果（予備解析）

	なにもしない	音楽	会話	クイズ
瞳孔ゆらぎ	発生あり	発生有	発生無し	発生無し
500 ミリ秒前平均	低い	低い	高い	とても高い
最大瞳孔径変化数	変化なし	変化なし	後半	中盤
散大瞳孔径変化量	小さい	小さい	大きい	小さい
サッケード割合	低い	低い	高い	高い

スク序盤に瞳孔径が収縮する傾向が見られたが、能動的副次課題を実施した場合には瞳孔径の収縮は見られず、タスク全体を通した平均値も高い結果となった。これらのことから、受動的副次課題は覚醒度が低下し、能動的副次課題は覚醒度維持に効果があると考えられる。

主課題による瞳孔径変化では、ほぼ全ての被検者において主課題のマウス押下後に瞳孔径が散大する傾向が見られた。この瞳孔径の散大は予備実験と同様にマウスの押下という能動的な活動によるものであると考えられる。しかし、漫然状態時にはこの軽微な画面変化に対する反応が減少すると仮定すると、最大瞳孔径変化量変化量の分析から会話の副次課題と比べその他の副次課題実施時は、最大瞳孔径変化量が小さく漫然状態に近いと予想される。

先行研究では、被験者に画面を注視するように指示したため、主課題に集中できていないとサッケード割合が増加すると予想していたが、覚醒度が高い状態を示した能動的副次課題実施時は受動的副次課題実施時よりも高いサッケード割合を示していた。これは、副次課題の特性によるものであると考えられる。時間経過によるサッケード割合の変化に着目すると、なにもしない、音楽、クイズの副次課題で時間経過によりサッケード割合が増加していた。このことから、同一の副次課題を続けることにより主課題への集中が低下し、サッケード割合が増加したと考えられる。

#### b) ヴィジランス低下

予備解析の結果から、全ての副次課題実施時においてヴィジランス低下が発生することが明らかになった。この理由として、どの副次課題においても、その環境に馴化してしまう為であると考えられる。ヴィジランス低下の要因として、覚醒説の他に注意資源の枯渇による資源説が存在する。覚醒度の分析を考慮すると、能動的副次課題実施時においては、この資源説によりヴィジランス低下が発生したと考えられる。一般的にヴィジランス低下防止には注意の開放が良いとされており、副次課題を変更し環境を変えることで、ヴィジランス低下を防止することが出来ると予想される。

### 3. 本実験

#### (1) 実験概要および計測項目

##### a) 被験者および使用走行映像

本実験には、事前にインフォームドコンセントを受けた大学生 18 人（男性 11 名、女性 7 名）が実験に参加した。本実験ではより実際の運転環境にちか d 受けるために図-8 に示すような渋滞時の運転を想定した映像を使用した。ブレーキランプ点灯及び消灯のタイミングは、消灯時から点灯が 4.5 秒から 13 秒、点灯時から消灯が 12.5 秒～58 秒である。

##### b) 主課題

本実験では、より実際の運転操作を再現するために、前方車両のブレーキランプが点灯している間、マウスを長押しするという主課題を与えた。一回のタスクにおけるマウスを長押しした回数は 20 回とした。

##### c) 副次課題

本実験では、「ニュース」「音楽」「会話」「クイズ」の 4 種類を提供した。「音楽」「会話」「クイズ」の 3 種類の副次課題は、先行研究と同様に提供をおこなった。「ニュース」の副次課題では、あらかじめ録音したニュース記事をスピーカーで放送し、視聴してもらった。副次課題の提供方法は、先行研究で実施していない「ニュース」の副次課題を各被験者の最初のタスクで実施した。その後のタスクでは、副次課題を変更した場合の影響を調べるため、実験開始 450 秒前後で副次課題を変更した。提供した副次課題の前半と後半の組み合わせは動的副次課題と受動的副次課題の組み合わせがかぶらないように設定し、4 パターン用意した。

##### d) 計測項目

本実験において計測した項目は、予備解析と同様である。

#### (2) 実験結果

##### a) 瞳孔ゆらぎ

本実験において瞳孔ゆらぎの分析を行った結果、ニュースと受動\_受動のタスクを行った場合で瞳孔ゆらぎが確認された。一例を図-9 に示す。一方、能動的副次課



図-8 実験使用映像

題を実施したタスクでは瞳孔ゆらぎは確認されなかった。この結果は、先行研究と同様である。また、受動\_\_能動のタスクを行った場合に、実験前半は瞳孔径が収縮したが、副次課題を変更後に瞳孔径が散大する傾向が見られた。一例を図-10に示す。このことから、受動的副次課題を実施している状態では、覚醒度が低下するが、能動的副次課題に副次課題を変更したことで、覚醒度が向上すると考えられる。

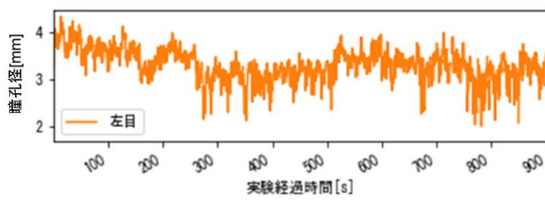


図-9 瞳孔ゆらぎ例（ニュース）

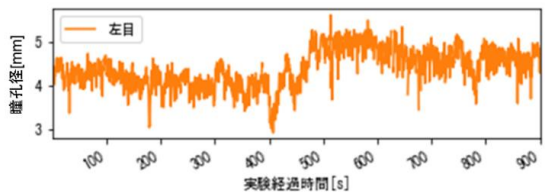


図-10 瞳孔ゆらぎ例（受動\_\_能動）

#### b) 500ミリ秒前平均

本実験においてタスクごとの時間経過による500ミリ秒前平均の変化の傾向を見るために、タスクごとの実験経過時間と500ミリ秒前平均との関係を表したものを図-11に示す。図-11はタスクごとに右目の各画面変化時の500ミリ秒前平均の平均を表したものである。タスク開始から450秒までの前半に着目すると、タスク前半に受動的副次課題を実施したタスクでは、500ミリ秒前平均が減少する傾向にあり、能動的副次課題を実施したタスクではその傾向が見られず、先行研究と同様の傾向を示している。副次課題を変更した実験開始450秒以降に着目すると、前半に受動的副次課題を実施したタスクにおいて、副次課題を変更していないニュースのタスクと

くらべ、副次課題を変更した受動\_\_能動と受動\_\_受動のタスクでは、500ミリ秒前平均が増大していることが分かる。このことから、副次課題を変更することにより、低下した覚醒度を向上することができると考えられる。また、前半に能動的副次課題を実施したタスクのうち能動\_\_受動のタスクでは、副次課題を変更した450秒ごろから、500ミリ秒前平均がやや減少しているようにみえる。一方、能動\_\_能動のタスクでは、副次課題を変更しても500ミリ秒前平均の減少は見られない。この結果から、受動的副次課題には覚醒度を低下させる働きがあるため、副次課題を変更することにより、覚醒度を維持し続けることが可能だと考えられる。

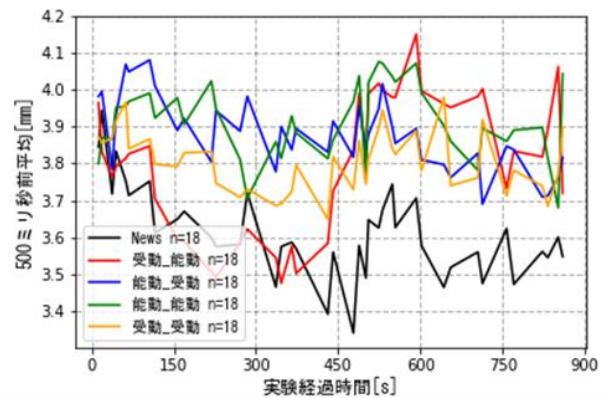


図-11 500ミリ秒前平均（本実験）

#### c) 最大瞳孔径変化量

本実験の実験結果における、マウス押下回数と瞳孔径最大変化量との関係を表したものを図-11に示す。また、各領域の瞳孔径最大変化の個数をまとめたものを表-5に示す。表-5において、受動\_\_能動と能動\_\_受動の副次課題タイプを変更した場合に着目すると、どちらも、能動的副次課題を実施した場合で瞳孔径変化が最大になる被験者が多いことが分かる。次に本実験における最大瞳孔径変化量の度数分布表を表したものを表-6に示す。先行研究と比較して、本実験ではすべてのタスクにおいて、最大瞳孔径変化量が1mm以上と大きく変化していることがわかる。また、タスクに着目すると、能動\_\_能動のタスクが1.39mmと他のタスクと比較して大きく変化していることがわかる。

表-5 各領域の瞳孔径最大変化の個数（本実験）

	前半	中盤	後半
ニュース	5	8	13
受動__能動	6	7	12
能動__受動	13	13	5
能動__能動	7	13	11
受動__受動	5	11	13

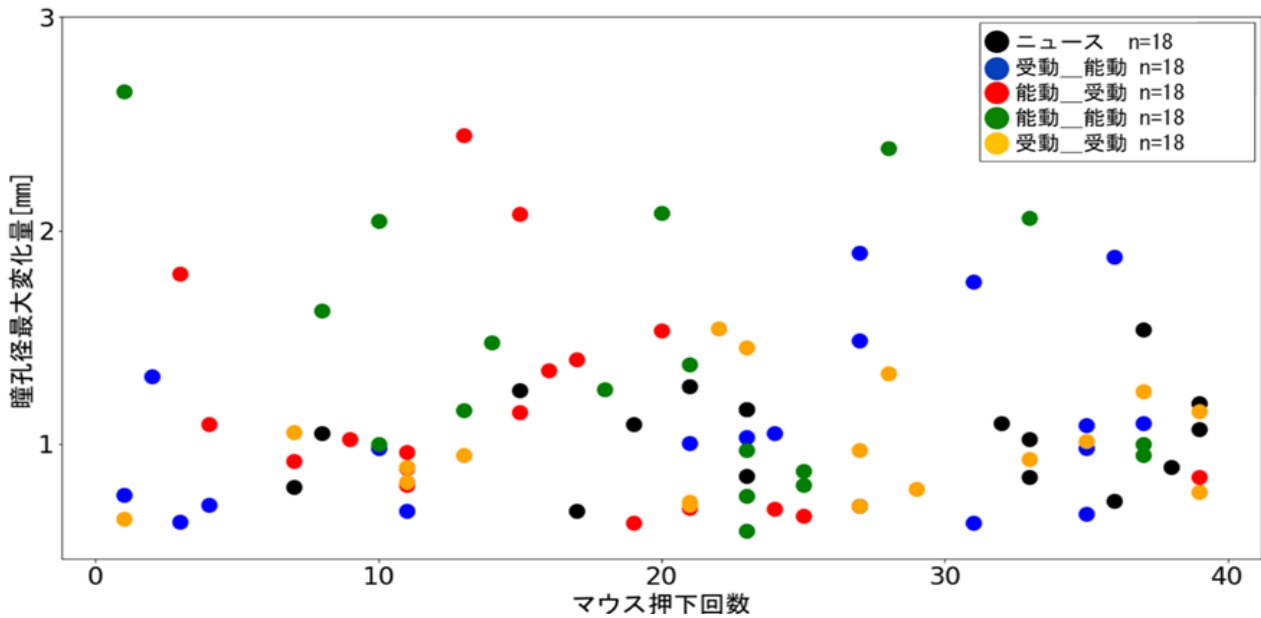


図-11 各実験での最大瞳孔径変化量

表-6 最大瞳孔径変化量の度数分布表

データ区間 [mm]	ニュース	受動_能動	能動_受動	能動_能動	受動_受動
0.2	0	0	0	0	0
0.4	0	0	0	1	0
0.6	4	6	4	1	6
0.8	3	2	5	5	5
1	8	5	3	2	3
1.2	2	1	2	2	2
1.4	1	1	1	1	2
1.6	0	1	1	1	0
1.8	0	2	0	0	0
2	0	0	1	3	0
2.2	0	0	0	1	0
2.4	0	0	1	0	0
2.6	0	0	0	1	0
2.8	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
平均 [mm]	1.02	1.09	1.16	1.39	0.98

d) サッケード割合

本実験において時間経過によるサッケード割合の変化を副次課題ごとにまとめたものを図-12に示す。図-12はブレーキランプ変化から次のブレーキランプ変化までの区間のサッケード運動を行った時間の割合を副次課題ごとに平均を求めたものである。図-7と比較すると、全体的な傾向として、サッケード割合が高いことが分かる。この理由としては、先行研究の静止画に対して、本実験では渋滞を想定した映像を使用したため、視点が頻繁に変化したためであると考えられる。副次課題ごとの傾向としては、受動\_能動と能動\_受動のタスクで副

次課題変更後にサッケード割合が大きく変化していることが分かる。また、いずれも能動的副次課題実施中の方がサッケード割合が高く、先行研究と同様の傾向を示している。また、受動\_受動と能動\_能動のタスクで比較しても、能動\_能動の方が、サッケード割合が高い傾向であった。実験前半と実験後半で同じ副次課題タイプを実施したタスクでは、副次課題タイプを変更したタスクと比較して、サッケード割合の変化は小さいことが分かる。

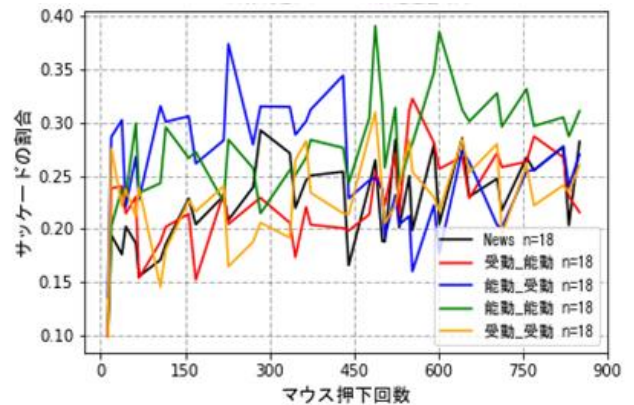


図-12 サッケード割合 (本実験)

e) 反応時間

本実験において時間経過による反応時間の変化を副次課題ごとにまとめたものを図-13に示す。図-13は各マウス押下時における反応時間を副次課題ごとに中央値を求めたものである。全体の傾向として、予備解析のような時間経過による変化は見られず、タスク間の差も見られないことがわかる。このことから、本実験において、ヴィジランス低下は発生しなかったと考えられる。



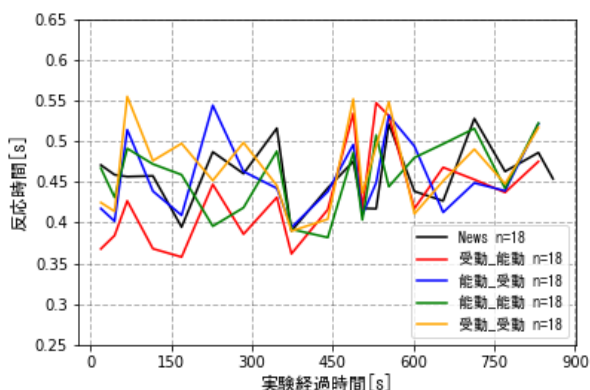


図-13 反応時間 (本実験)

(3) 考察

a) 覚醒度

本実験では、先行研究で実施しなかったニュース視聴に加え、タスクの途中で副次課題を変更した実験を実施した。本実験で得られた結果をまとめたものを表-7に示す。ニュース単一のタスクを行った場合では、瞳孔ゆらぎの発生例に加え、500ミリ秒前平均もタスク序盤に減少するといった先行研究の受動的副次課題と同様の傾向を示した。一方、前半に受動的副次課題を実施した場合は、先行研究の受動的副次課題と同様にタスク序盤で瞳孔径が収縮する傾向が見られたが、副次課題変更後は、瞳孔径が散大する傾向がみられた。このことから、副次課題を変更することにより、覚醒度を維持することが可能だと考えられる。

次に、サッケード割合では、副次課題タイプを変更したタスクでは、能動的副次課題実施時の方が高いサッケード割合を示しており、先行研究と同様の傾向であった。また、副次課題タイプが同一のタスクとニュースのタスクでは、実験後半が高いサッケード割合を示していた。先行研究の結果を踏まえると、副次課題を変更しても、同一の副次課題タイプにおいては、主課題への集中が低下すると考えられる。

b) ヴィジランス低下

ヴィジランス低下を予防する方法として、一般的に注意の開放が効果的であると言われている。そこで、本

実験において、タスクの途中で副次課題を変更し反応時間に与える影響を調査した。本実験では、全てのタスクにおいて、時間経過による反応時間の変化は見られず、タスク前半とタスク後半の間でも反応時間の差は見られなかった。このことから、副次課題を変更することにより、反応時間を一定の水準で維持することが可能だと考えられる。

4. 結論

本研究により、渋滞運転において能動的副次課題を提供することにより覚醒度を維持させることが明らかになった。また、単一の副次課題のみを提供した場合は、能動的副次課題を提供したとしてもヴィジランス低下が発生し反応時間が長くなるため、副次課題を適宜変更することが好ましい事が得られた。運転中に実施可能な副次課題として、鳩山ら<sup>13)</sup>の研究では、会話や音楽を聴く、ラジオ視聴などが一般的であり、1人で運転している場合は、本研究で実施した会話やクイズのような能動的副次課題を簡単に行う事は難しいと考えられる。しかし、近年では技術の発達によりGoogle社のGoogle homeやAmazon社のAlexaなどのAIスピーカーが登場しており、本研究で実施したクイズのような副次課題を行うことも可能となっている。また、Amazon社では、Alexa Autoという車内での使用を目的としたAIスピーカーも存在する。これらの機器を使用することでクイズ以外にも「ウミガメのスープ」のような水平思考ゲームや音声通話を使用した対戦ゲームなどの様々な活動を行う事が可能になると考えられる。しかし、これらの活動は本研究で実施した会話やクイズの様な簡単な活動と比較して、運転手への負荷が高いと予想され、これらの活動を行うことによる運転パフォーマンスの低下は考慮する必要がある。本研究の結果から、能動的副次課題で種類を変えて適宜変更することが好ましい結果となったが、同じ副次課題タイプを続けた場合にサッケード割合が増加したことなどから、時折受動的副次課題を提供する必要があると考え

表-7 分析結果 (本実験)

	ニュース	受動_能動	能動_受動	能動_能動	受動_受動
瞳孔ゆらぎ	発生有	発生無し	発生無し	発生無し	発生有
500ミリ秒前平均	前半：減少 後半：低い	前半：減少 後半：高い	前半：高い 後半：減少	前半：高い 後半：高い	前半：普通 後半：普通
最大瞳孔径変化数	後半	後半	前半	後半	後半
散大瞳孔径変化量	低い	低い	低い	高い	低い
サッケード割合	前半：低い 後半：低い	前半：低い 後半：高い	前半：高い 後半：低い	前半：高い 後半：高い	前半：低い 後半：低い

られる。また、その際受動的副次課題を実施する時間は、運転手の覚醒度が低下したタイミングが好ましいため、運転手の覚醒度を推定する手法が必要であるとかんがえられる。近年では、トヨタ紡織株式会社の眠気抑制シートシステム<sup>14)</sup>など人の顔をカメラで撮影し眠気を推定するシステム等が開発されている。これらの技術と AI スピーカーとを組み合わせることにより、渋滞運転だけでなく、運転手の覚醒度に合わせた副次課題を提供することが可能であると考えられる。

謝辞：

モスクワ州立大学心理学部の Faniya SULTANOVA 上級講師と Valentina BARABANSHCHIKOVA 教授には研究の初期段階で有益な助言を頂き、ここに謝意を表したい。本研究の一部は科研費（研究課題番号 19K12246）の助成を受けて行われた。

#### 参考文献

- 1) 一般財団法人自動車検査登録情報協会「自家用乗用車の世帯普及台数」<https://www.airia.or.jp/publish/statistics/mycar.html> (2022年2月7日時点)
- 2) 警察庁「交通事故の発生状況について」<https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/toukeihyo.html> (2022年2月7日時点)
- 3) 三井住友海上「交通事故の発生状況」[https://www.ms-ins.com/special/rm\\_car/accident-data](https://www.ms-ins.com/special/rm_car/accident-data) (2022年2月7日時点)
- 4) 富田浩行ほか：瞳孔検出システムを用いた漫然運転検知技術の開発,自動車技術,2010,Vol.64, No.12, p.61-66
- 5) 阪神高速道路ドライバーズサイト「阪神高速の渋滞とその対策」<https://www.hanshin-exp.co.jp/drivers/driver/column/column06.html> (2022年2月7日時点)
- 6) Warm J S, Parasuraman R, Matthews G: Vigilance Requires Hard Mental Work and Is Stressful, *Human Factors*, 50 (3), 433-441, 2008.
- 7) Hebb, D. O.: Drives and CNS (conceptual nervous system), *Psychological Review*, Vol.62, pp.243-254, 1955.
- 8) 小川洋明, 石田 健二, 大須賀美恵子：ドライバの能動的行動に基づく覚醒維持手法に関する研究, 自動車技術会論文集, 44 巻, 6 号, p. 1459-1464, 2013
- 9) 久米 拓弥, 内藤 貴博, 石田 健二, 河合 政治, 松永 真也, 西井 克昌, 北島 洋樹：車載装備を利用した漫然状態の検出および解消手法の開発, 自動車技術会論文集, 45 巻, 3 号, p. 567-572, 2014
- 10) 松村 翼, 鳩山 紀一郎, 木村 大地, 佐野 可寸志, Faniya SULTANOVA, Valentina BARABANSHCHIKOVA, 渋滞下の副次課題がドライバーの精神疲労・知覚時間・注意レベルに及ぼす影響, 交通工学論文集, 2021, 7 巻, 4 号, p. A\_1-A\_7
- 11) Lowenstein, O., Feinberg, R., Loewenfeld, I.E. (1963): Pupillary movements during acute and chronic fatigue, *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 2(2), pp.138-157.
- 12) Chiew Xin Yi, 三宅 哲夫, 章 忠, 秋月 拓磨：運転環境下におけるサッケード計測, 自動制御連合講演会講演論文集, 59 巻, 第 59 回自動制御連合講演会, セッション ID ThC3-6, p. 444-447, 2016
- 13) Hatoyama, Kiichiro & Nishioka, Masaya. (2018). Drivers' Activities in Cars during Serious Traffic Congestion Toward the Development of ICTs for Enjoying Traffic Congestion
- 14) トヨタ紡織「トヨタ紡織、「眠気抑制シートシステム」で中部国際空港で行われる自動運転実証実験に参画」, <https://www.toyota-boshoku.com/jp/news/11381.html>, 2022年2月5日時点