

博士論文

運転者の通常時ならびに緊急時の行動特性に関する研究

平成 22 年 7 月

宇野 宏

## 目次

第1章	はじめに	1
1.1	日本の道路交通事故の状況	1
1.2	衝突事故に至る過程	4
1.3	運転者の情報処理過程	6
1.4	一般的な運転行動に関する先行研究	10
1.4.1	視認行動	10
1.4.2	反応時間	11
1.4.3	副次課題法による研究例	13
1.4.4	心身状態による影響	14
1.5	通常状況における運転行動	16
1.6	緊急状況における運転行動	18
1.7	加齢による心身機能の変化	20
1.7.1	身体・運動機能	20
1.7.2	知覚・処理機能	21
1.7.3	心理・性格特性	23
1.8	交通事故防止対策	24
1.8.1	道路環境の改善	24
1.8.2	車両の改善	24
1.8.3	交通参加者への啓発	25
1.8.4	従前の対策における課題	26
1.9	問題の所在	28
第2章	視認行動をとみなわない注意分散による情報処理負荷の量的推定	32
2.1	課題	32
2.2	実験1 注意分散による負荷の量的推定	36
2.2.1	目的	36
2.2.2	方法	36
2.2.3	結果	39
2.3	実験2 車線変更走行における注意分散の影響に関する検証	42
2.3.1	目的	42
2.3.2	方法	42
2.3.3	結果	44
2.4	考察	48
2.5	概要	51

第3章 交通状況に起因する情報処理負荷の量的推定	52
3.1 課題	52
3.2 実験3 暗算作業の成績と余裕容量との関係	55
3.2.1 目的	55
3.2.2 方法	55
3.2.3 結果	56
3.3 実験4 ドライビングシミュレータ走行実験による検証	59
3.3.1 目的	59
3.3.2 方法	59
3.3.3 結果	63
3.4 実験5 交通状況から生じる情報処理負荷	67
3.4.1 目的	67
3.4.2 方法	67
3.4.3 結果	69
3.5 考察	75
3.6 概要	79
第4章 緊急状況における余裕時間と回避の成否との関係	80
4.1 課題	80
4.2 実験6 緊急状況における操舵回避の特性	82
4.2.1 目的	82
4.2.2 方法	82
4.2.3 結果	85
4.3 考察	93
4.4 概要	96
第5章 通常状況における高齢運転者の運転行動	97
5.1 課題	97
5.2 実験7 実路走行時の運転行動	100
5.2.1 目的	100
5.2.2 方法	100
5.2.3 結果	103
5.3 実験8 ドライビングシミュレータによる視認行動の詳細調査	109
5.3.1 目的	109
5.3.2 方法	109
5.3.3 結果	112
5.4 考察	119
5.5 概要	122

第6章 緊急状況における高齢運転者の運転行動	123
6.1 課題	123
6.2 実験9 予測状況における高齢運転者の衝突回避行動	125
6.2.1 目的	125
6.2.2 方法	125
6.2.3 結果	129
6.3 考察	136
6.4 概要	139
第7章 総合考察	140
7.1 各章の結果	140
7.2 通常状況と緊急状況における情報処理の特性	142
7.3 交通事故防止対策との関わり	148
7.4 展望と課題	151
各章要約	154
参考文献	159

# 第1章 はじめに

## 1.1 日本の道路交通事故の状況

日本国内では、年間70万件にのぼる道路交通事故が発生しており、5千人近くの尊い人命が失われている。図1-1ならびに図1-2に示すように、1970年前後の「交通戦争」と呼ばれた時期に比べれば、交通事故死者数は1/3に減じ、事故件数、負傷者数も2005年以降は漸減傾向にあるが（交通事故総合分析センター、2008）、交通事故による社会的損失は依然として大きい。

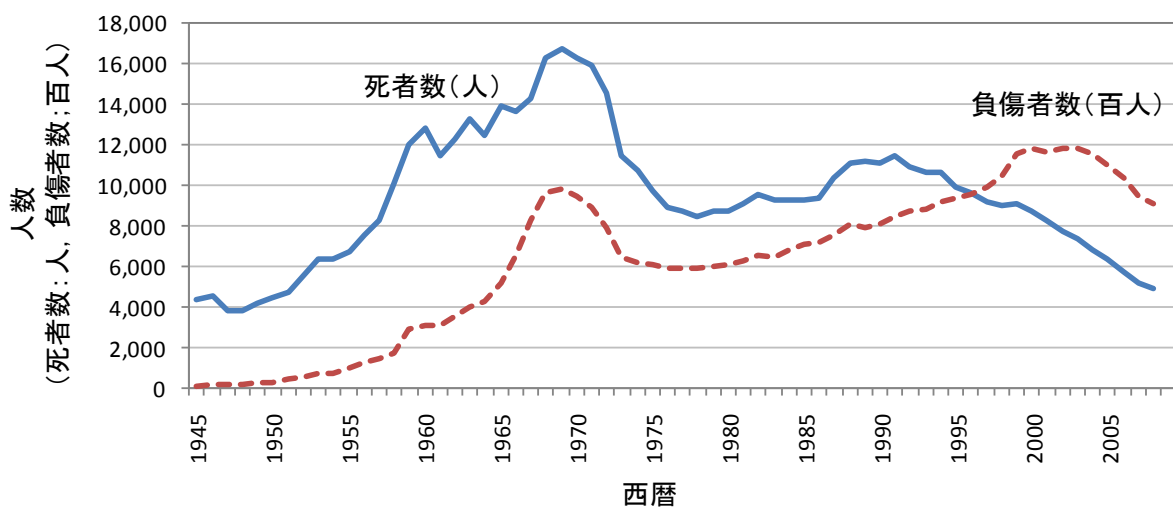


図1-1 日本の道路交通事故死者数ならびに負傷者数の推移

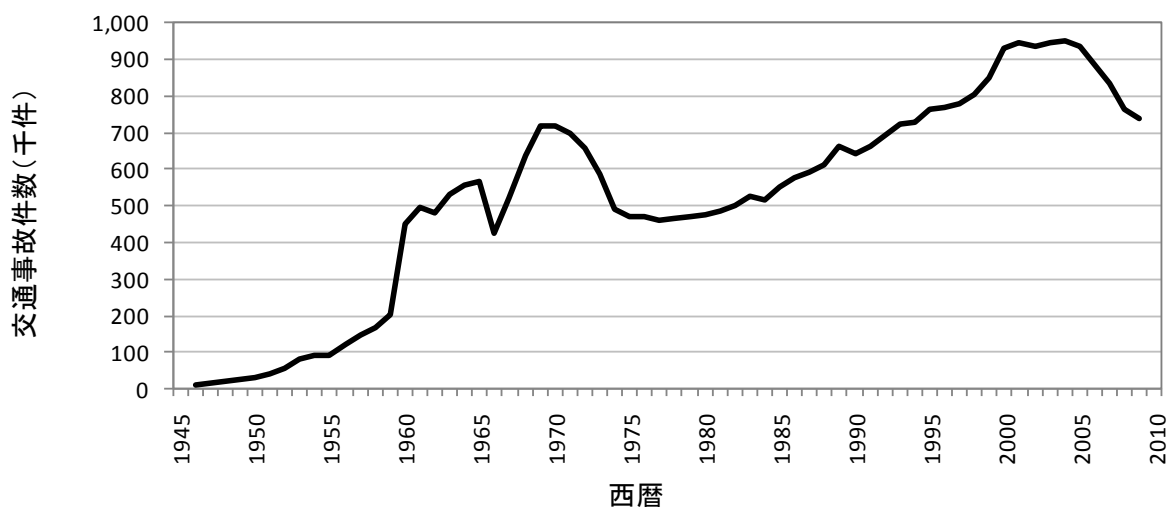


図1-2 日本の道路交通事故件数の推移

事故件数は1970年から1975年にかけていったん減少している。この時期以前には整備が充分ではなかった、歩道と車道の分離、道路標識、横断歩道、信号機、カーブミラーの設置や、交差点周辺の構造改良による交差道路の見通し改善など、道路構造の改善と付帯設備の充実に加え、交通取締りの強化や、運転者、歩行者などに対する啓発活動により、事故件数の減少がもたらされたものである（内閣府、2009）。しかし、1975年以降、運転免許保有者数と自動車保有台数の増加による道路交通量の増大にともなって事故件数は漸増し、2000年から2005年にかけては、年間90万件を越える衝突事故が発生するに至った。なお、近年は、引き続き実施されている安全対策と、社会経済状況の変化を背景とする道路交通量の減少もあり、事故件数も減少傾向に転じている。

一方、交通事故による死者数は、交通事故件数の伸びに比して増加率が小さく、1990年以降の死者数は一貫して減少傾向にある。衝突時の乗員被害を軽減するためのシートベルトやエアバッグなどの保護装置、車両の加害性軽減のための構造改善、事故発生時の救急医療体制の拡充などが奏功したものとみられる。

しかしながら、警察庁交通局の公表資料によると、2009年中の交通事故件数は736,160件であり、「交通戦争」と呼ばれた1970年当事の年間約72万件を上回る衝突事故が現在も発生している。これまでの道路交通事故の対策は、道路側の改善、車両側の改善、交通取締りや交通参加者への教育啓発活動を含む社会的インフラストラクチャの改善によって進められており、相応の効果を上げてきた。ただし、1970年代に道路環境整備が進んだ後も事故件数は増加し、また、1990年代以降に死者数が減じる中で事故件数と負傷者数は増加していた経緯をみると、これまでの道路環境の改善あるいは衝突時の安全性向上を図る車両機構の改善だけでは、安全対策として十分とは言い難い。

日本では人口構成の急激な高齢化が進行中であり、高齢者の運転免許保有者数と交通参加機会の増加により、近年では65歳以上の高齢運転者が交通事故の第1当事者（事故の責任がより大きいと認定された当事者）となる割合が増加している。図1-3に示すように、65歳以上の運転者が第1当事者となった交通事故は、1995年当事には約4万件であったものが、2000年には約7万件となり、2007年には10万件を越えるまで増加している。また、2005年以降、全体としての交通事故件数が減少傾向にあるなかであって、高齢運転者の責任に帰せられる事故は一貫して増加し、24歳以下の運転者による事故件数にほぼ匹敵するまで増している。日本においては、高齢運転者に対する安全対策の重要性も大きい。

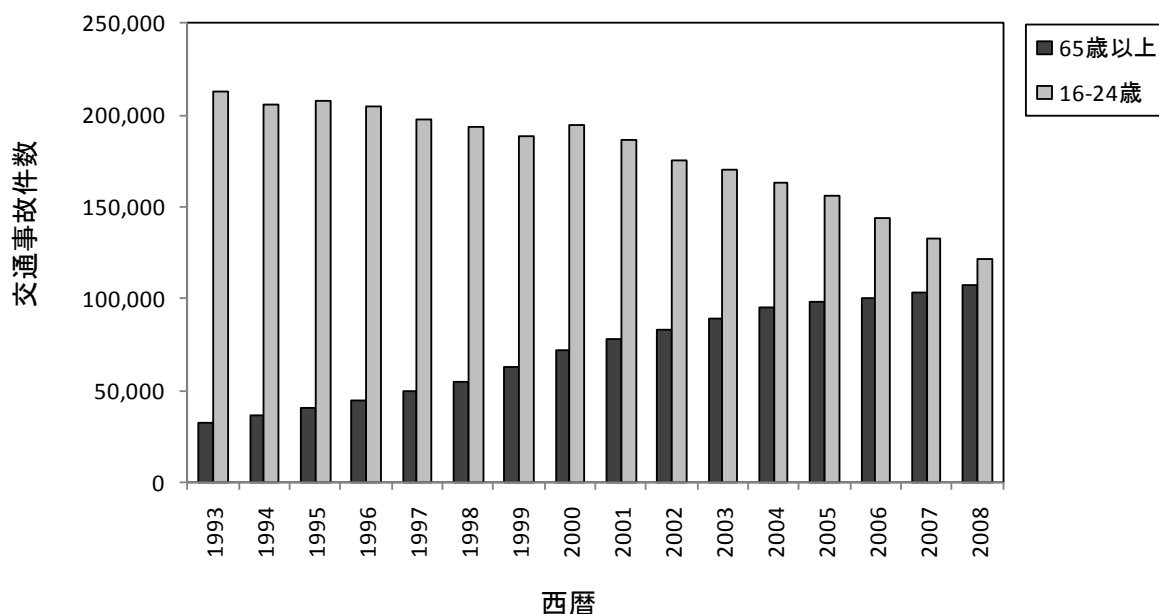


図 1-3 若年運転者と高齢運転者による第 1 当事者年齢層別交通事故件数の推移

自動車の運転とは、人間である運転者による一連の行動の連鎖である。運転者は、車外の状況ならびに自車両の状態を知覚して、適切な操作を選択し、これを迅速かつ的確に実行に移さなければならない。走行時の操縦安定性や制動性能、ハンドルやブレーキペダルの操作力補助機構など、自動車の機構としての改良が既に進んでいるなかで、自動車が安全に走行できるか否かは、専ら運転者の運転行動の適否に規定される。このため、今後の安全対策を講じるにあたっては、運転者の行動特性を正しく理解し、事故の発生につながる不適切な行動を排除することが必要である。とりわけ、対策を講じるべき運転者の行動を抽出し、効果のある対策の具体的な仕様を定めるうえで、どのような交通状況で運転者の負荷が増大するのかを把握し、運転者に行うことのできる運転行動の特性を明らかにすることが重要である。

## 1.2 衝突事故に至る過程

自動車の衝突事故は、単純化して考えると、図 1-4 に示す過程を経て生じると推察される(宇野, 2007)。通常の運転状況において、運転者の行動が適切であれば、他の交通参加者の挙動による状況の変化がない限り、問題なく通常の運転状況が継続する。しかし、運転者に何らかの不適切な行動があった場合には、運転者自身が責を負う衝突の危険性が生じる。ただし、この段階でも、運転者が適切に危険を回避する対応行動をとることができれば、再び通常の運転状況に復帰することができる。

衝突の危険性は、運転者自身の通常時の運転行動に問題がある場合と、他の交通参加者の挙動が原因となって発生する場合とがあるが、いずれの場合もいったん緊急状況が発生すると、運転者は衝突回避のための対応行動をとらなければならない。また、運転者自身に責任が帰せられる衝突事故は、運転者の通常の運転行動と、緊急時の対応行動が、ともに不適切であった場合に相当する。したがって、所与の交通状況における通常時の運転行動の特徴と、危険性が顕在化した緊急時の運転行動の限界をそれぞれ明らかにすることにより、運転者に対処が可能な場合と困難な場合を識別することが可能となり、衝突事故を防止する対策の視点を得ることができる。

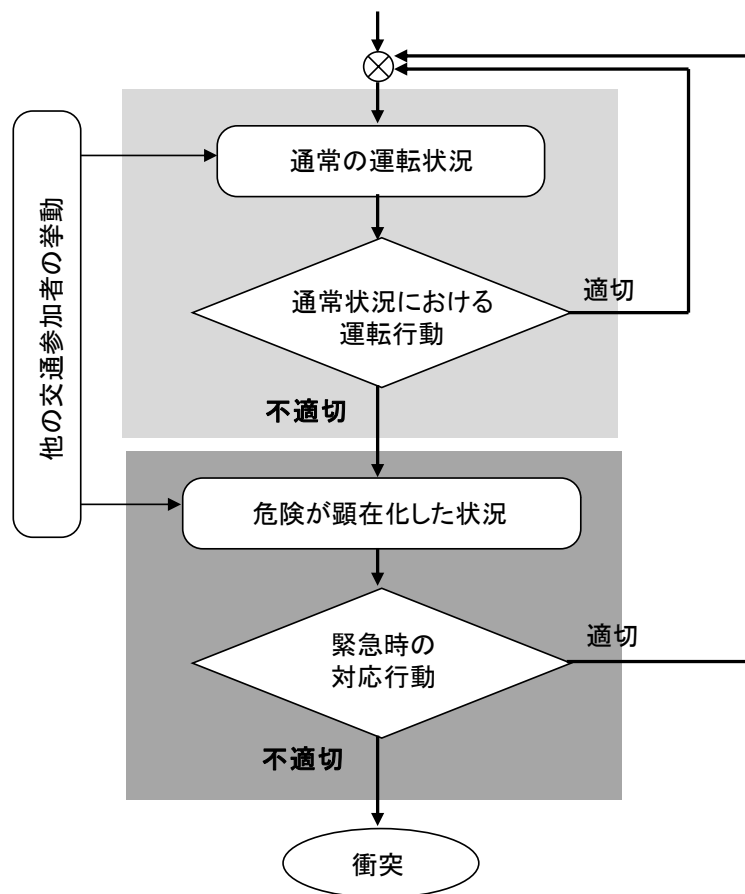


図 1-4 衝突に至る過程



特段の危険性がない通常状況における運転行動は、走行車線内への自車位置の保持や、適正な車速、車間距離の保持、道路構造や信号表示に応じた減速停止などを目的とする行動であり、目標値に対して車両の前後方向位置ならびに横方向位置を制御するトラッキング作業が、運転者にとって主な作業となる。一方、衝突の危険性が顕在化した以降の緊急時における運転行動は、先行車の急減速や、他の交通参加者の飛び出し、割込みなどによる自車線道路への進入など、突発的に生じる車外事象に対して衝突を回避することを目的とする行動であり、事象を迅速に検知して、衝突回避のための適切な対応行動をとる検知反応作業が、運転者にとって重要な作業となる。すなわち、緊急時に運転者が行わなければならないのは、衝突を回避するための行動であり、状況の許す限られた時間的余裕のなかで適切な対応行動をとらなければならないという点が通常時と異なっている。

### 1.3 運転者の情報処理過程

自動車運転状況における運転者の位置づけを図 1-5 に示す (Klebensberg, 1982 蓮花他訳 1990 ; Shinar, 1985 野口他訳 1987). 交差点の有無や道路線形, 歩道, 横断歩道の有無などの道路環境と, 他車両や歩行者, 自転車などの交通参加者の挙動による交通状況の変化を, 運転者は主に視覚情報として入手し, これに基づいてアクセルペダル, ブレーキペダル, ハンドル (ステアリングホイール) で運転操作を行う. 運転者の操作に基づいて, 車両のエンジン回転数やブレーキ制動力, タイヤ実舵角度が変化し, 車両の前後, 左右, 上下方向の併進ならびに回転運動が生じて, 路上での車両位置が変化する. 運転者の乗車する車両の位置が変わることにより, 車外の事物との相対的な位置が変化するため, 運転者はこれを再度, 視覚情報として入手し, 運転行動を継続する. 運転者は, 道路環境のなかで交通状況の把握と運転操作を繰り返すことで, 自動車運転を行っているという理解することができる.

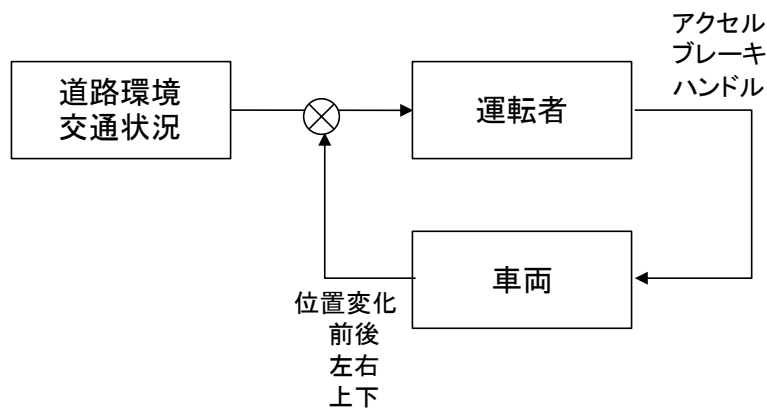


図 1-5 自動車運転状況における運転者の位置づけ

運転者の情報処理過程についてのモデルでは, 図 1-6 に示すように, 運転行動は, 知覚, 処理, 動作の連鎖からなる系を通して発現すると考えられている (Ziedman, 1987). 外界に存する種々の情報は, 目, 耳, 皮膚, 筋などの感覚器官にて受容され, 感覚レジスタと呼ばれるバッファにて 1 秒以下の短時間保持された後, 短期貯蔵や長期貯蔵と呼ばれる既存知識に基づいた処理を受け, 骨格筋などの効果器より反応として出力される. この一連の過程は, 身体的特徴やこれまでの経験, 学習により獲得された処理過程に関する個人特性, ならびに疲労や覚醒度などその時々々の心身状態の影響を受けるとされる.

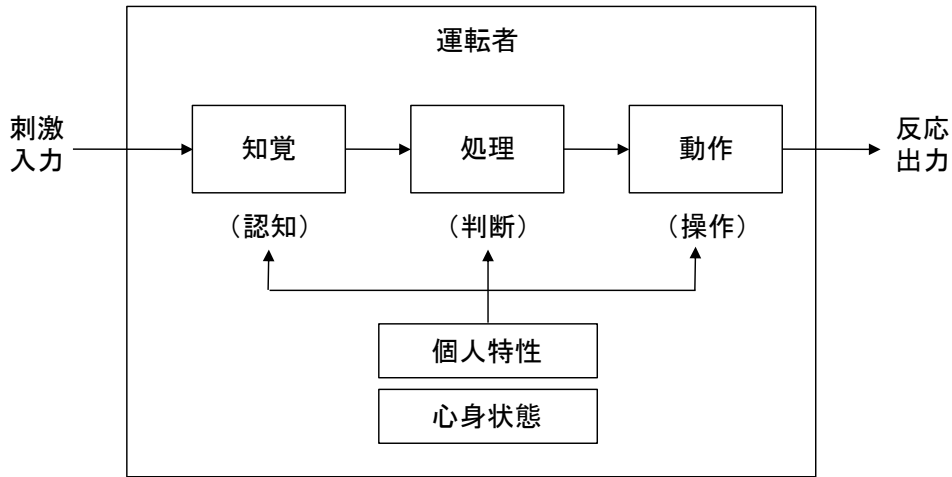


図 1-6 運転者の情報処理過程

Norman & Bobrow (1975) によれば，人間の行動は，入力される感覚情報と処理資源 (resources) により規定されるという．処理資源は，処理の努力 (processing effort) や記憶容量 (memory capacity)，通信経路 (communication channel) などを含むとされており，入力された情報が十分でなければ処理が適切に行われなため行動は劣化し，情報が十分にある場合には，その時点で使用できる処理資源の量が行動を規定すると考えられている．注意の配分についての Kahneman のモデルでは，処理資源には限界があるが覚醒度の影響を受けてその量は変動するとされている (多鹿・川口・池上・山, 1992)．また，入力される情報の感覚モダリティや，言語的処理であるのか空間的処理であるのかという処理のコードなどに応じて，複数の処理資源があるとする多重資源説も提唱されている (Wickens, 1991, 2002) ．

こうした人間の情報処理過程は，自動処理 (automatic processing) と統制処理 (controlled processing) に大別される (Schneider & Shiffrin, 1977)．自動処理は，意識しないままに進められる過程であり，先行経験を通じた学習により形成される．例えば，歩行中の人間には，視覚，聴覚，前庭器官，筋張力受容器，皮膚圧受容器などを介して多種多様な情報が入力されており，これに基づいて身体のバランスをとると同時に下肢や腕を動かしているが，人間は通常これを意識することはない．一方，統制処理は，意識に上った情報に対して人間が「注意」を向けることで進められる過程であり，歩行中に前方に障害物を発見し，意図的に進行方向を変える場合などがこれに相当する．

自動処理は，図 1-7 に示すように，学習によって獲得された刺激－反応マップ (スキーム等と呼ばれる) に基づいて行われ，複数の処理を並列して進めることができるとされる．このため，処理の容量と速度の点に利点がある．ただし，いったん獲得された刺激－反応マップは容易に変更できないため柔軟性に欠け，マップに適合しない情報入力に対しては処理が進められない，あるいは不適切な処理を実行してしまう可能性があると考えられている．一方，統制処理では，処理資源を用いて処理が行われ，この処理資源は種々の用途に使用できるため，状況の変化にも柔軟に対応することができる．ただし，処理資源には容量に限界が

あり、また、処理資源を用いて特定の対象へ注意を向けることで継時的に処理が進められるため、処理速度は自動処理に比して遅く、限られた時間内では十分に情報を処理できないと考えられている。

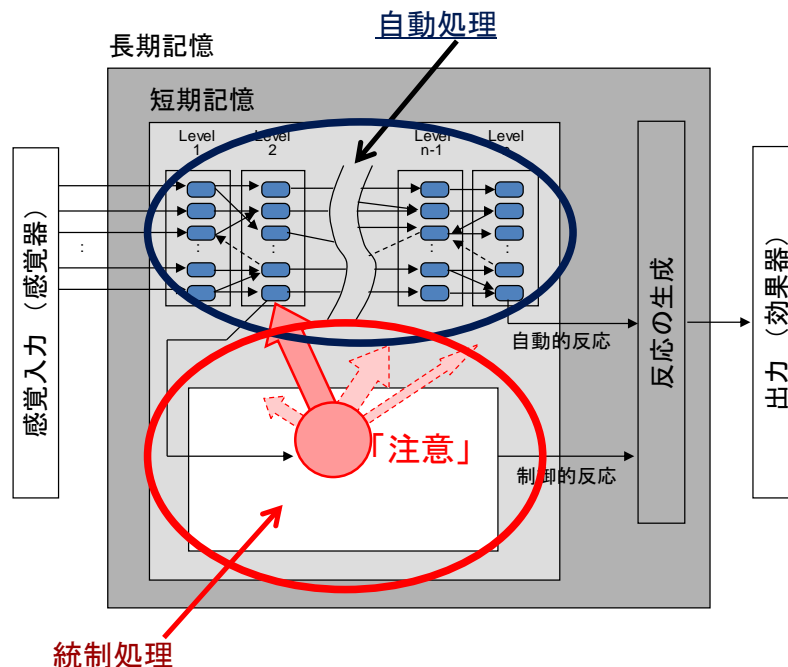


図 1-7 自動処理と統制処理のモデル (Schneider & Shiffrin (1977) より作図)

経験を積んだ運転者であれば、車線区分線と自車横位置との関係や先行車の距離などを常に意識しなくとも、操舵やペダル操作にて適切に運転を続けることができる。このことは、運転行動のトラッキング作業に関わる側面の多くが、自動処理として実行されていることを示唆している。一方、車線変更を行う際や、先行車の急減速、飛び出しなどの状況変化を検知して、これに対して衝突回避のための対応行動をとる検知反応に関わる作業では、当該事象へ注意を向けて回避操作を選択する統制処理が介在する。検知反応作業の側面では主に統制処理が駆動していると予想される。

ただし、トラッキング作業の全てを単一系列の自動処理のみにて実行できるわけではない。自動処理は特定のマップにしたがって進められるため、カーブ曲率が大きく変化する道路の走行や、横風、路面不整などにより、状況から求められる操作の種類や量が変化する場合には、その時点で駆動している自動処理の系列を別の系列へ切り替えて、処理の流れを修正する必要がある。ここで、自動処理を切り替えるためには統制処理における注意の介在が必要である。対象に対して注意を向けるためには処理資源を必要とすることより、その時点で運転者に残されている処理資源に余裕がなければならない。さらに、処理資源に余裕があることとともに、注意を向けるべき対象を、運転者が適切に知覚できることも必要である。これは、Norman & Bobrow (1975) の指摘する処理資源と入力情報の重要性に対応する。すな

わち、運転者の情報処理機能の点から、トラッキング作業を主な内容とする通常時の運転行動が適切であるためには、処理資源に余裕があること、ならびに周辺状況を適切に知覚できることが重要と考えられる。

緊急状況においては、運転者は衝突回避のための対応行動をとらなければならない。切迫した状況が許すわずかな余裕時間のなかで、運転者が適切な操作を実行できれば、衝突を回避することができる。このためには、運転者による知覚、処理、動作の各過程が迅速に実行される必要がある。緊急時の検知反応作業では、適切な回避操作を選択するために、運転者が状況変化に対して注意を向ける統制処理が駆動することが必要と推察される。ただし、統制処理の速度は自動処理に比して遅いため、上述の各過程<sup>1</sup>のなかでも、とくに処理に要する速度が衝突回避のための操作を開始するまでの時間に影響すると予想される。また、回避操作を選択した後に動作として実行する段階でも、統制処理が進められているのであれば、処理に要する速度が、ハンドルやブレーキによる操作の速度や量という回避操作の内容に影響する可能性もある。緊急時における対応行動が、操作を開始するまでの時間と操作内容の点で適切であるためには、統制処理の速度が重要と考えられる。

---

<sup>1</sup> 運転に関連する用語について、次のように使用する。「運転行動」とは運転に関わる行動全体を指す。「対応行動」とは緊急状況での運転行動に限定して使用し、緊急時の反応時間と操作内容（操作量、速度）を含む。「回避操作」とは緊急時の操作内容（操舵やブレーキ操作）を指し、反応時間は含まない。

## 1.4 一般的な運転行動に関する先行研究

自動車の運転行動は、知覚、処理、動作からなる過程の連鎖により構成されている。とくに、外界からの刺激の知覚は、その後の過程を規定する重要な要素である。適切に情報を入力できない場合には適切な処理と動作が行われず、結果として車両挙動が不適切となるからである。自動車の運転時には、運転者は必要な情報の大部分を視覚情報として入手していると言われており、運転者の知覚に関わる研究は、これまでに視認行動の測定を中心として進められている。また、知覚、処理、動作を含めた過程については、運転操作を実行に移す際の反応時間の測定と、副次課題法による研究が行われている。

### 1.4.1 視認行動

運転中に車外状況を適切に知覚するためには、満遍なく注視点を移動する視覚探索を行うことが有利である。ただし、視対象の内容を認識するためには相応の停留時間が必要であるため、限られた時間のなかで注視点を移動できる回数には限界がある。人間の眼球運動における跳躍性運動 (saccade) の速度は極めて大きいとされており (古賀・斎田・本田, 1994), これに要する時間は無視することができる。このため、単位時間中に注視点を移動できる回数は、1ヶ所の注視に要する時間に規定される。大きい車速や混雑した道路の走行時などには、道路、標識、対向車など運転に関係する視対象への注視の停留時間が短縮し、注視点を切り替える頻度が大きくなることが知られているが (Spijkers, 1992 ; Wierwille, Hulse, Fischer, & Dingus, 1988) , Wierwille et al. (1988) によると、その場合でも1つの視対象への停留時間の下限は0.5秒ほどであったと報告されている。すなわち、1秒間あたり運転に関連する視対象へ注視点を切り替えることができるのは高々2回ほどと推定される。また、走行中に言語的あるいは空間的な想起を内容とする作業を行うと、運転者の瞳孔径の増大や停留時間の延長、注視範囲の狭小化などの視覚的な検知に関わる機能低下が生じることが報告されている (Recarte & Nunes, 2000, 2003) 。

人間が単眼で刺激を検知できる範囲は、40歳前後の成人では耳側60°、鼻側40°、上側40°、下側50°とされる (Henderson, 1987)。網膜上の中心部周辺には、色覚を司り高い空間解像度をもつ錐体が分布し、周辺部には明るさ感覚を司り空間解像度の低い桿体が分布する。このため、視野中心部に比して周辺部では視覚刺激の検出感度は低い (Bartlett, Bartz, & Wait, 1962 ; 斎田・苧坂・北原, 1994)。また、視野周辺部では、動きを持つ視対象に対する感度が良好であるのに対して、静止した視対象では感度が劣る (小針・宇野, 2009)。

内田・藤田・片山 (2003) は、見通しの良い交差点にて、ともに一定速度で走行する自車両と交差車両が衝突するコリジョンコースにある場合に、運転者による交差車両の発見が遅れることを報告している。これは、道路の交差角度によらず、コリジョンコース上にある交差車両は、運転者からみて、見えの大きさは徐々に変化するものの、左右方向への移動をともしなわずに視野周辺部の同じ場所に位置しつづけるという、運転者の周辺視野では検知されにくい属性を備えていることによると考察されている。

運転者の視野範囲は固定的ではなく、そのとき置かれている交通状況によって変動する。

例えば視野中心部に検知作業や追従作業を呈示して、視野周辺部の視覚刺激の検知率を調べると、中心部作業の難度が大きいほど周辺部の刺激検知率が低下することや (Moskowitz & Shorma, 1974 ; Williams, 1982, 1985), 騒音条件下では視野周辺部の刺激検知率が低下することなどが知られている (Hockey, 1970). Miura (1986, 1992) は、走行中の運転者の視野範囲を調べるため、自動車のフロントガラス面の複数の位置に小型のランプを設置し、光点の点灯に対する視認行動を測定した。その結果、混雑度の小さい道路を走行する際には、光点を追うための視線移動が始まるまでの反応時間が短く、かつ光点を検知できる有効視野範囲も広がった。一方、混雑度の大きい道路の走行時には、視線移動開始までの時間は長く、有効視野範囲も狭かったと報告している。この研究では、視線移動の反応時間と有効視野範囲面積との積が、いずれの混雑度の条件においてもほぼ一定となることより、この積が視覚情報処理に使用できる運転者の処理資源に相当するとしている。

運転に関係のない車内外の事物を注視する脇見は、当然ながら運転に必要な情報の取得を阻害する。Holahan, Culler, & Wilcox (1978) は、交通状況の撮影画像を実験参加者に観察させる実験にて、交差点近傍の路側広告の数が多い場合や、表示色に赤色が使われている場合には、運転者による停止標識の発見遅れが増すとしている。重大性や緊急性を大きく感じさせる赤色や黄色、あるいは速い明滅などの属性を備える車内外の視覚表示 (宇野・平松・伊藤・渥美・赤松, 2000) は、運転者が車外の交通状況の変化を検知する上で妨げとなる可能性がある。

#### 1.4.2 反応時間

反応時間は「刺激が与えられてから随意反応として効果器による反応が生じるまでの時間」として定義される (長塚, 1985)。したがって、反応時間には、知覚と処理の過程を経て動作が実行されるまでの過程に要する時間が反映される。自動車の運転では、刺激とは、様々に変化する車外の交通状況や自車両の挙動などであり、反応とは、目視による確認動作や、ハンドル、ペダルによる運転操作に相当する。

反応時間は刺激の種類による影響を受ける。例えば、各種刺激の感覚モダリティによる単純反応時間を調べたレビューでは、概ね、触覚、聴覚、視覚、温感、嗅覚、味覚、痛感の順に反応時間が長いとされており (Henderson, 1987)、感覚受容器ならびに神経系の相違に起因するとみられる違いがある。また、反応時間は、行うべき動作の種類と用いられる効果器に依存する。例えば、視標の呈示から眼球を動かして定位するまでの時間は約 0.15 秒、頭部の運動を伴いながら視標を定位するまでであれば約 0.25 秒とされるのに対し (Robinson, Koth, & Ringenbach, 1976)、刺激呈示から手でハンドルを把持するまでの時間は約 0.56 秒、床面から足を動かしてペダルを踏み込むまでの時間は約 0.62 秒などとする例があり (Olson, 1987)、視認行動に比して四肢での反応は総じて時間が長くかかることが知られている。

反応時間には刺激の数や反応の選択肢の多さが影響する。すなわち、刺激と反応の関係が一对一の単純反応に比べて、複数の刺激に対して複数の反応が割り当てられている選択反応では、反応時間が延長する。単純反応の状況では、あらかじめ定められた単一の刺激への反応であるため、反応時間は短い。しかし、選択反応では、刺激の意味を正しく理解し、その

うえで適切な反応を選ぶ必要があるため、結果として反応時間は延長する。例えば、「赤ランプが点灯したらブレーキペダルを踏むように」と指示した場合の、ランプ点灯から足がブレーキペダルに触れるまでの単純反応時間が約 0.45 秒であるのに対し、「右矢印に対してはハンドルを右へ、左矢印にはハンドルを左へ操作するように」と指示すると、正反応までの選択反応時間は約 0.60 秒に長くなる (Olson, 1987)。上述の研究例 (Robinson et al., 1976) のように、手による操作は足による操作に比して、総じて単純反応時間が短いと推定されるのに対し、手による操作であっても、刺激によって異なる操作方向を指示した選択反応を行う場合には、反応時間が延長している。走行時の運転者による操作対象は、アクセル操作、ブレーキ操作、左右へのハンドル操作であり、運転者はこのいずれかを選択して運転を継続していることから、運転行動における反応時間は単純反応の場合よりも長いと推定される。また、選択肢の数による影響として、単純な状況下であれば、反応時間は選択肢数の 2 を底とする対数に比例して延長するという Hick の法則が成立するとされている (大山, 1985 ; Ziedman, 1987)。

ただし、反応時間が発現する過程は、運転者による高次の情報処理過程を含むため、刺激と反応との対応関係の学習による情報処理の自動化や、心身状態の影響を受ける。先行経験により刺激と反応の対応関係が十分に学習されていることで、自動処理が駆動すれば、他に外乱となる刺激が多く存する選択反応の状況であっても、相対的に短い反応時間が期待される (Schneider & Shiffrin, 1977)。一方、覚醒度が低い場合やアルコールの影響下にある場合には、反応時間が延長する (岡本・堀口・石田・畑, 1995 ; Olson, 1987)。他に、疲労や動機づけなど生理的、心理的状态や、作業における刺激強度、弁別性、情報処理の水準などによっても反応時間は異なるとされている (大山, 1985)。したがって、上述の選択肢数と反応時間との関係についての Hick の法則は、刺激の属性や反応の内容に大きな違いがないように統制された単純な設定の選択反応作業において、平常状態の実験参加者が、自動処理が可能なほどには刺激と反応との対応関係を学習していない段階である場合に、限定的に成立するものと考えられる。

運転者の反応時間については、これまでにペダル操作を対象とした研究例が多く行われている。ペダル配置による影響を調べた例では、アクセルペダルからブレーキペダルへの踏み換えを行う際に、2 つのペダルの間隔が離れていても、アクセルペダルを離してからブレーキペダルを踏むまでの時間は概ね 110~200 ms と大きな違いはないが、ペダル間の段差が大きい場合には 300 ms 以上に時間が長くなるとされる (Davise & Watts, 1969, 1970 ; Glencrosse & Anderson, 1976 ; Snyder, 1976)。また、右足だけでペダル操作を行う場合に比して、クラッチペダル付き車両のように両足で同時に操作する場合には、右足によるブレーキペダル操作の反応時間が延長するとする報告もある (Glencrosse & Anderson, 1976)。なお、刺激が呈示されてからブレーキペダルを踏むまでの反応時間には年齢差と性差があり、青年層よりも高齢層で、また男性より女性で、反応時間が長いとされている (Olson, 1987)。



### 1.4.3 副次課題法による研究例

1.4.1 で紹介したように、知覚の過程については、これまでに運転者の視認行動を対象とした研究が進められており、運転に必要な情報の大部分を占める視覚情報の取得に関わる特性が明らかにされている。一方、処理の過程については、視認行動や運転操作などの表出行動、または生理的反応などの指標では直接的に観察することができない。このため、走行中の会話や考え事、あるいは音声入出力機能を備えたカーナビゲーションシステムの操作など、運転者の視認行動をとまなわない注意分散 (attention distraction) による運転行動への影響についても、原因側となる情報処理負荷を計測可能な量として規定することができず、影響評価も定性的な議論とならざるを得ないのが現状である。

Wierwille & Eggemeier (1993) は、実験研究のレビューより、特定の作業や操作にて人間に生じる精神的作業負荷 (mental workload) の測定方法は、主観指標、行動指標、生理指標に大別されるとしている。ただし、これらの指標には一長一短があるため、複数の指標を測定することが推奨されている。例えば、主観指標は、実験条件として設定した作業難度に対する感受性は大きいですが、作業自身による回答であるため主観的な偏りが影響する可能性があり、負荷の源である作業自体の成績を測定する行動指標は、当該作業に特異的な成績を測定するため他の作業との直接的な比較ができない (Hicks & Wierwille, 1979; Wierwille & Connor, 1983)。生理指標は、各種の作業にて同じ指標を測定することで作業相互の比較が可能となる利点があるが、測定のためには特定の装置が必要であることから現実の作業場面への適用が限られる場合がある。また、これらの指標では、負荷の程度を量として評価することは困難であり、相対的な比較に用いられていることが多いとされている。

運転者の情報処理負荷の検討にあたって用いられている方法に、副次課題法 (secondary / subsidiary task method) と呼ばれる方法がある (Ogden, Levine, & Eisner, 1979; 入戸野, 2006)。これは、精神作業負荷の測定方法のなかでは行動指標の一種類として位置づけられる方法であり (Wierwille & Eggemeier, 1993)、負荷を生じる対象である作業を「主タスク」として、これと同時に別の「副タスク」の実行を運転者に求め、このときの副タスクの作業成績を測定することで、主タスクの遂行により生じた情報処理負荷を推定するものである。人間の情報処理容量 (processing capacity) あるいは処理資源量 (resources) には限界があるという前提に立ち、主タスクの実行により資源が優先的に消費されると仮定すると、余裕容量 (spare capacity) が減少することになり、同時実施する副タスクに使用できる資源が減じてこの成績が低下することになる。つまり、副タスクの成績によって主タスクによる情報処理負荷の程度を推定できることになる。

自動車運転状況において副次課題法を用いた研究では、1960年代の Brown らによる研究を端緒として、交通状況の違いや長時間走行により生じる運転者の情報処理負荷が調査されている。すなわち、Brown & Poulton (1961) は、交通量の少ない住宅地と交通量の多い商業地の走行にて、聴覚呈示による暗算作業を副タスクとした実験を行い、住宅地走行の方が商業地走行よりも暗算成績が良好であったことをもって、交通量による運転者の情報処理負荷の違いを副次課題法にて検出できるとし、副タスク成績がその時点で運転者が使用することのできた余裕容量 (spare mental capacity) を反映するとしている。長時間走行の初期と

終期に、聴覚呈示による記憶作業を副タスクとした実験では、長時間の運転の後には記憶作業の成績が低下することを示している (Brown, 1962). MacDonald & Ellis (1975) は、道路の屈曲部の曲率と車速により、副タスクとして設定した追唱作業 (呈示された語を記憶して復唱する作業) の成績が変化するとしており、Wierwille & Gutman (1978) は、ドライビングシミュレータにて車両に横風による外乱を発生させた実験において、横風外乱が大きいほど追唱の成績が低下したと報告している。また、Harms (1991) は、道路曲率や歩道整備の改善前後で、聴覚暗算作業を副タスクとしてその成績を測定し、改善後には走行車速が上昇したにもかかわらず暗算成績は向上したことから、道路の改善により運転者にとっての情報処理負荷が減じたと結論づけている。

以上の研究例は、交通状況や心身状態、車両への外乱により運転者に生じる情報処理負荷の程度を、副次課題法にて把握できることを示している。ただし、副次課題法による推定が可能となるためには、作業者の情報処理容量に限界があるという前提に加え、副タスクよりも主タスクが優先的に処理されること、すなわち、副タスクを同時実施することによって主タスクの成績が低下するなどの影響を生じないことが必要である (Ogden et al., 1979)。この点については、副次課題法を施行する際に、副タスクの成績だけでなく主タスクの成績も測定して、主タスク成績に影響が生じないことを確認する必要がある。

なお、上述の研究例では、他の精神的作業負荷の指標と同様に、情報処理負荷の大小関係を定性的に比較するに留まっている。視認行動を対象とした研究では、注視時間や注視点の分布範囲、視野範囲などを量的に測定できるため、どの程度の視認行動の劣化が運転行動を変化させるのかという点から視覚的な注意分散の影響を検討することにより、安全対策につながる知見が提供されている。これに対し、情報処理負荷については、その程度を量的に記述する方法が明らかにされていないため、運転者の視認行動をとまなわない注意分散による運転行動への影響に関する量的な評価は行われておらず、また交通状況に起因する情報処理負荷の程度についての検討も進められていない。

#### 1.4.4 心身状態による影響

運転者の視認行動は、運転経験や疲労、覚醒度によって変化することが知られている。運転経験について、Mourant らは、熟練運転者と初心運転者の実路走行中の注視点分布を調査し、熟練運転者は注視点の分布範囲が広く、かつより遠方まで注視していること (Mourant & Rockwell, 1972)、直進時と車線変更時ともに車室内ならびに車外ミラーによる間接視をより長く行っていること (Mourant & Donohue, 1977) を報告している。また、欧州における左ハンドル車の走行では、熟練運転者では右カーブの方が左カーブに比して注視持続時間と注視点の移動量が大きいのにに対し、初心運転者では曲線道路のカーブ方向による差がないことから、運転経験により視覚探索方略の形成の程度が異なるとされている (Cohen & Studachi, 1977)

心身状態による影響について、Kaluger & Smith (1970) は、断眠後や長時間運転後の運転者では、道路前方よりも自車位置に近い路肩への注視が増すとしている。これは、通常的心身状態であれば、運転者は、自車速度や進行方向を確認するために近い位置にある視対象

の情報を周辺視機能にて取得しているものが、心身状態の悪化により、注視をともなう直接視にて取得するようになったものと考察されている。運転操作への影響として、10時間程度の長時間運転後に模擬運転装置にてトラック運転者の運転操作を調べると操舵角ならびにアクセル開度の変動性が増し (Stein, Allen, & Haynes, 1990), 一般運転者では4時間程度の連続運転後に操舵の緩徐化が生じる (菅原・古市・原・神谷, 1995) などが報告されている。長時間の運転行動の継続は運転者の主観的負担感を増すとともに覚醒度の低下や運転行動の変化を生じ (石原・福井, 1995 ; 木戸・末富, 1995 ; 守, 1995), 英国の研究例では、12時間以上の連続運転では衝突事故を引き起こすリスクが2倍に増加すると言われている (Brown, 1994)。また、アルコール摂取による影響として、血中アルコール濃度が大きいほど、模擬運転中に呈示された道路標識を識別するまでに長く時間がかかり (Henderson, 1987), 車両横変位量も増すことが知られている (Hara, Kamiya, Furuichi, & Yoshida, 1994)

なお、加齢による心身機能の変化は、運転者の知覚、処理、動作の各々に影響する。運転行動への影響が予想される心身機能の変化については1.7で述べる。

## 1.5 通常状況における運転行動

特段の危険性がない通常状況では、車線内への自車位置の保持や、先行車との適切な車間距離の維持、交差点や停止線での適切な減速停止など、目標値に対して自車位置を制御するトラッキング作業が運転行動の主な内容である。Zwahlen (1985) は、直線道路と曲線道路にて車線を保持して走行する際の運転者の注視点分布が、道路前方に集中することを報告している。これは、自車両前方の道路線形を知覚して目標位置を定め、この目標位置との偏差を許容範囲に収めるよう操舵することで、自車両の横方向挙動を制御するためであると考えられている。

室内台上におけるトラッキング作業では、何秒先の制御対象が見えているのかという予見時間が、制御成績に影響する(平松・宇野, 1994)。トラッキング作業における予見時間は、実路での自動車運転において、何 m 先までの道路線形を運転者が視認できるかという視認距離を、走行車速で除した値に相当する。運転者が必要とする前方の情報について、McLean & Hoffman (1973) は、前方視界を制限して直線道路の走行が可能な視認距離を調べ、運転者が快適かつ適切に車両を制御するためには、車速 50km/h の走行で 20m 以上の前方視認距離が必要であるとしている。また、土屋・原田・加瀬川 (1977) は、テストコース上にセーフティコーンで設定した車線変更コースを通過する実験にて、運転者の注視点が前方 15~30m の範囲に分布するとしている。これらの研究例は、車線内位置を保持して走行するために必要な前方視認距離を示している。

一方、前方の視認における時間的側面について、Senders (1967) は、開閉式のゴーグルにて運転者の視界を断続的に遮断する装置を用いて、テストコース上で走行できる車速を調べている。その結果、直線道路での 30km/h の車速であれば 1 回あたり連続 4 秒間の視界遮断でも走行可能であるが、車速 100km/h での視界遮断可能時間は 2 秒以下であり、曲線道路を走行する際には長くても 0.5 秒の視界遮断までしか許容されないとしている。

現実の交通状況における走行中のラジオの選曲操作時などの車内装置への視認持続時間は、長い場合でも 1.5~2.0 秒であり(木村・岸・杉浦, 1993)、通常は 1.0 秒程度であると報告されている(麻生・宇野・野口・川崎, 2002)。すなわち、車線内位置を適切に保持するためには、運転者が前方道路から視線を外すことができる時間は、1 回あたり 1 秒程度とみられる。

麻生他 (2002) は、液晶シャッター付ゴーグルを実験装置として利用して、1.0 秒間の視界遮蔽と 1.5 秒間の視界開放を反復して直線道路を走行する実験にて、全く視界遮蔽のない走行における車両横位置のずれ量を上回らない総視界遮断時間(1 回の視界遮断時間と視界遮断回数積)が 8 秒であったと報告している。これは、前方道路から注視点を逸らすことは、1 回あたりの時間だけでなく、反復による総時間も運転者の車線保持に影響することを示すものである。この実験結果をもとに、自動車製造会社による団体である(社)日本自動車工業会では、「画像表示装置の取り扱いについて 改訂第 3.0 版」を 2004 年に公表し、カーナビゲーションシステムなどの車載情報提供装置への総視認時間を 8 秒以下に規制する自主規準を設けている。

以上のように、通常状況における運転行動特性に関するこれまでの研究例では、視認行動の測定により、運転を継続するために必要な視覚情報の入手についての知見が明らかにされている。また、1.4.2 で述べたように、知覚、処理、動作を含めた過程については、アクセルペダルやブレーキペダル、ハンドルによる操作の反応時間測定による研究が進められている。ただし、一連の過程のなかで、処理の部分は運転者の内部過程であり、この部分を視認行動や運転操作などの表出行動として直接に測定することができないため、運転行動に及ぼす影響についての定量的な検討は進められていない。

## 1.6 緊急状況における運転行動

危険性が顕在化した緊急状況では、車外の交通状況の変化を知覚したうえで、衝突を回避するための適切な操作を選択し、これを迅速に実行する対応行動が必要である。運転者は、時々刻々と変化する交通状況に応じてハンドルやペダルを操作するという反応を継時的に行っている。ただし、現実の交通状況では、緊急状況の発生を必ずしも正確に予測できる場合だけでなく、運転者が予測していない状況変化が生じる場合がある。不測状況での運転者の反応時間については、1960年代後半から1980年代にかけて行われた下記の代表的な研究例がある。

Barret, Kobayashi, & Fox (1968) は、ドライビングシミュレータを利用して、運転者への事前の教示なしに歩行者が飛び出す状況を設定し、回避操作の有無と種類を調べた。その結果、実験参加者の全てがブレーキペダルあるいはハンドル操作による回避を試み、ハンドル操作のみで回避操作を行った者は11名中1名のみであった。他の実験参加者は、ハンドル操作とほぼ同時あるいはハンドル操作に先行してブレーキペダルでの回避を行い、飛び出し発生から概ね0.8~1.4秒でブレーキを踏みはじめたことを報告している。

Johansson & Rumar (1971) は、実車での一般道路走行時に車外から警笛音を呈示して、ブレーキ操作単純反応時間の大規模データ (N=321) を取得し、これに別に測定した不測状況での小サンプルデータ (N=10) を外挿することで、不測状況での反応時間の分布を推定した。その結果、ブレーキ単純反応時間の中央値は0.66秒であったのに対し、不測状況でのブレーキ反応時間の中央値は約0.9秒であり、一般道路における不測状況の分布を推定すると、全体の25%のドライバはブレーキ操作までに1.2秒以上の時間を要するとみられるとしている。

Olson & Sivak (1986) は、実車によるテストコース走行にて、光刺激に対する単純反応時間と、突然出現する障害物への反応時間の分布を比較した。その結果、単純反応での知覚時間(刺激呈示開始から足が動き始めるまでの時間)の分布範囲は概ね0.3~0.9秒、移動時間(足が動き始めてからブレーキペダルに触れるまでの時間)は0.1~0.5秒であるのに対し、不測状況での知覚時間は0.4~1.0秒、移動時間は0.3秒~0.8秒と、ともに延長することを示している。

これらの研究例では、不測状況にて反応時間が延長することが示されているものの、その理由については明確にされていない。不測状況では、衝突の危険性が顕在化するまで運転者は状況変化を予測していないため、危険が発生した以降に、あらためて状況へ注意を向けて処理を進める統制処理を行っていると言及される。一方、状況の変化を予測していた場合には、事前に回避操作の方法や量を見積っておくことで、処理の一部を自動処理として行うことが可能と考えられる。すなわち、不測状況における反応時間の延長は、運転者の統制処理の関与が大きいことに起因していると考えられる。

不測状況での反応時間は、緊急時における回避の成否を左右する重要な要素となる。いったん不測状況が生じると、反応の遅れから衝突を回避できないリスクが高まる。不測状況における反応の遅延は、人間としての運転者の特性であるため、これ自体を改善することは困

難であり、不測状況の発生そのものを抑制するための道路構造の改善や、事前の警報呈示などの先進技術による車両側の対策、あるいは運転者自身に慎重な運転を求める啓発活動が重要である。ただし、上述の研究例では、反応時間ならびに回避操作の内容と衝突回避との関係についての実証的なデータは提供されていない。緊急状況における運転者の対応行動は、衝突回避を目的とするものであり、対応行動を規定する反応時間と操作の内容が、衝突回避の成否とどのように関係しているのかについて、具体的な運転行動と回避の成否に関わるデータをもとに明らかにする必要がある。

## 1.7 加齢による心身機能の変化

運転者の個人特性は、自動車運転に必要な知覚、処理、動作の各過程に影響する。なかでも、加齢による心身機能の変化は、通常時と緊急時の運転行動に影響すると予想される。

日本では人口構成の高齢化が進行中であり、他の先進諸国に比して、急速に進行し、極めて高い高齢化比率に達し、かつ75歳以上の後期高齢者の増加が著しいとされている（全国社会福祉協議会，2006）。公共交通機関が十分に整備されているとは言い難い日本の現状では、体力とくに下肢機能の低下した高齢者の移動手段として、自動車を運転する機会は増加すると予想される。高齢者の運転免許保有者数が着実に増加しつつあるなかで、心身機能は加齢にともない全般的に低下するため、高齢運転者自身の不適切な運転行動を原因とする交通事故の件数を増加させる可能性がある。このため、高齢運転者の情報処理過程と運転行動の特徴を明らかにすることで、交通事故を低減する対策を考えることは重要である。

加齢にともなう心身機能変化のなかで、身体運動の俊敏さや操作力の低下は、情報処理過程の出力に相当する動作の過程に影響し、情報を適切に知覚して処理することができた場合であっても、結果として運転行動を劣化させる可能性がある。知覚や処理あるいは判断の過程に関わる機能低下は、その後の動作の過程に影響するため、これも運転行動を劣化させると予想される。加齢にともない、心理性格特性もより若年の運転者とは異なる様相を示すようになると言われており、また、心身機能の個人差の拡大も加齢による特徴とされている。これまでに知られている加齢による心身機能の変化には、以下のものがある。

### 1.7.1 身体・運動機能

身体運動機能には個人差が大きいものの、加齢による変化が顕著となるのは、概ね60歳以降と考えられている（平山，1973；真島，1990；矢島，1986）。60歳以上の高齢者では、全般的な体力の低下、刺激に対する反応の鈍化、異常状態から正常状態への復帰の鈍化（恒常性維持機能（ホメオスタシス）の低下）、身体損傷に対する補填機能の低下などの、環境に対する適応力の低下が特徴的とされている。

身長、体重、上肢、下肢の長さなどの生体計測値、骨重量、上肢や下肢の筋力とも、加齢により減少する（佐藤，1992）。文部科学省の壮年体力テストに取り上げられている反復横とび、垂直とび、握力、ドリブル、急歩の各項目とも、20歳前後から30歳代半ばにピークを迎えた後、加齢にともない徐々に成績が低下するという（小林・近藤，1985）。このうち、握力などの上肢による動作に比して、垂直とびなどの下肢による動作では、成績の低下が著しい。これは、下肢の筋力の低下によるものであり、例えば高齢者の歩行速度の低下につながると考えられている（林，1990）。また、手によるボタン押し単純反応時間には加齢効果がみられないのに対し（澤田・小口，1987）、ブレーキペダル操作の単純反応時間は、40歳代に比して60歳代では10%ほど遅れるとされており（Olson，1987）、下肢の運動機能の低下が大きいとされている。

ただし、上肢や体幹部の筋力も加齢により低下しており、例えば、肘関節の屈曲力は、20歳代に比して50歳代では約2/3に減退する（佐藤，1992）。上肢、下肢、体幹部の筋力の低



下は、ハンドルやペダルによる操作の速度や操作力に影響すると予想される。

### 1.7.2 知覚・処理機能

高齢運転者の知覚機能は、一般的な運転者に比して大きく減退するとされている。例えば、明るさの感受性は40歳頃より低下しはじめ、70歳以降では顕著に低下する(Burg, 1967)。背景輝度と視対象輝度とのコントラスト閾値は、20歳代に比して60歳では2~3倍、65歳では4倍以上に上昇し、明視を得るためにはよりコントラストの大きい視環境が必要となる(Schieber, Kline, Kline, & Fozard, 1992)。

近い位置の視対象への焦点調節力は10歳前後から低下しはじめ、60歳代では100cmより手前に焦点をあわせることが困難となり、遠近調節に要する時間も加齢により増加する(Schmidt & Connolly, 1966)。一方、遠くの視対象の判読も困難になり、背景と視標との色や輝度のコントラストによっては、高齢者の可読距離は若年者の半分以下となるとされている(Sivak, Olson, & Pastalan, 1981)。

加齢にしたがって暗順応に要する時間が延長するとともに、より明るい視環境でないと順応できなくなる。暗順応機能の低下は30~40歳頃よりはじまり、高齢になるほど機能低下が顕著となる(MacFarland, Ross, Domey, Warren, & Ward, 1960)。

40歳代以降では、加齢にともない比較的小さい照度のヘッドランプの直射、あるいはミラー反射に対して、不快グレアあるいは減能グレアを生じやすくなる(Pulling, Wolf, Vaillancourt, & Dolliver, 1980)。グレアが生じた後の回復に要する時間も、加齢にともなまって延長する(Olson & Sivak, 1984)。

視対象の上下左右および奥行き方向の移動を検知する能力は、加齢とともに低下する。この動体視力は50歳ごろより低下しはじめ、60~70歳代で顕著に低下する(Burg, 1966)。とくに、動きの速い視対象への視力低下が著しく、年齢に対する低下の度合いは、静止視力よりも動体視力の方が先行しかつ著しい(Hills, 1975)。

静的な視野範囲は、加齢にともない狭小化する。とくに65歳以上での狭小化が著しく、75歳では40~50歳の1/3程度の視野範囲しか得られない(Burg, 1968; Wolf, 1967)。模擬運転作業中の高齢者では、左右55°以上の周辺部にある視対象の見落としが増加する(宇野・平松, 1995)。

以上の高齢運転者の視覚機能の低下を考慮して、走行中の視環境を改善する方法が提案されている。例えば、自動車車室内の表示機器の視認性改善について、表示色は黄、オレンジ、白が望ましく、知覚時間短縮のためにはアナログ表示が好ましいこと、昼間の表示輝度には若年者の2倍以上が望ましいこと、より大きいサイズで比較的単純なシンボル等を用いた表示が望ましいことなどが提言されている(Poynter, 1988; 内田・元木, 1998; Yanik, 1988)。また、夜間の走行環境改善について、グレア発生を抑えるための反射率自動切換え式ルームミラーの採用、道路や構築物のコントラストを高めるための夜間照明の拡充、反射率を高めた標識の設置などが提言されている(Olson, 1988; Yanik, 1988)。

なお、視覚に次ぐ情報源となる聴覚情報の取得について、加齢にともない高い周波数の音に対する感受性が低下し、例えば3000Hzの音の60歳での感受性は、20歳に比して20dB

以上低下するとされている (ISO7029, 2000). 車載情報提供装置の警報音などの設計においては, このような高齢運転者の聴覚特性を考慮する必要がある.

知覚された情報に基づいて行うべき運転操作が決定される間には, 運転者による処理あるいは判断の過程が介在する. 自動車運転中の交通状況は時々刻々と変化するため, 運転者には, 状況に応じて注意を向ける対象を切り替えて, 迅速かつ適切に情報を処理し, 処理の結果を運転操作として出力することが求められる.

処理あるいは判断に関わる機能について, 不測状況におけるアクセル離し反応時間は, 高齢運転者で延長する (Olson & Sivak, 1986). また, 後方からの刺激をルームミラーで検知する場合の反応時間の延長が大きい (西山・阿相, 1988). 視覚刺激に対して手指で反応する単純反応時間には加齢による差がみられないのに対し (Olson, 1987), 選択反応時間は単純反応時間に比して加齢による影響が大きく, 60 歳以上の高齢者が 20 歳前後の若年者と同程度の正反応率を維持するためには, より長い処理時間が必要となる (Salthouse & Somberg, 1982). 不測状況や選択反応作業における反応時間の延長は, 高齢運転者の処理に関わる機能の減退を示している.

二種類の記憶作業の同時実施や (Salthouse, Rogan, & Prill, 1984), 中心視刺激と周辺視刺激を同時に検知する作業において (Ball, Beard, Roenker, Miller, & Griggs, 1988; Sekuler & Ball, 1986), 高齢者の成績は若年者よりも低下する. 自動車運転を想定した作業について, 操舵作業と車間距離保持作業 (Korteling, 1994), 経路判断作業と歩行者検知作業 (Flannagan & Harrison, 1994) などの二重課題において, 高齢運転者の成績がより低下することが報告されている. また, 高齢者では無関係な情報を無視する能力が低下し, 必要な情報と無関係な情報との判別に時間がかかることも指摘されている (Kausler & Kleim, 1978; Rabbitt, 1965). これらの研究例は, 複数の作業を同時実施する際に, 注意あるいは処理資源を適切に振り分ける注意の配分に関わる能力が, 加齢により減退することを示している.

右左折時の敢行判断 (gap acceptance) について, 米国の研究例によると, 交差点における左折待機時 (日本では右折待機時に相当) に, 高齢運転者はより若年の運転者に比して, 対向車との距離がより長い場合に左折可能と判断するが, 対向車の接近速度を考慮しない傾向があるとされている (Hall, 1994; Staplin, 1995a). 車線変更時のミラーによる後側方確認においても, 高齢運転者は, 併走車との距離がより大きい場合に車線変更可能と判断する (Staplin, 1995b). 右左折や進路変更の敢行判断にあたり, 高齢運転者は安全側に大きいマージンをとるが, 対向車の速度が大きい場合であっても, 距離のみを手がかりとして右左折の可否を判断する傾向にある. また, 車線変更や合流の可否判断には, 若年運転者の 1.5 倍程度の時間がかかるとされている (von Wolfelaar, 1991).

さらに, 高齢運転者では, 自分が慣れていない車載表示器や制御器を見つけて操作するのに時間がかかり, 若年運転者の 2 倍以上の時間を要することがあると報告されている (Hall, 1994). また, カーナビゲーション装置を搭載した車両では, 高齢運転者のナビゲーション装置を注視する頻度と時間が大きく, 路上への注視が減少する (Pauzie & Marin-Lamellet, 1989). これらの研究例は, 加齢にともなう視覚探索機能の低下とともに, 新規性の高い不慣れな装置や状況における情報処理を, 高齢運転者が苦手としていることを示唆している.

以上のように、高齢運転者の処理あるいは判断に関わる機能について、選択反応時間の延長、判断に要する時間の延長、不慣れな状況への対応の劣化に特徴があり、注意の配分に関わる機能低下とこれに起因する処理速度の低下が窺われる。

### 1.7.3 心理・性格特性

面接調査や各種の性格検査を含む質問紙調査などにより、高齢運転者の心理・性格特性について、次のような点が指摘されている（自動車安全運転センター，1985；西山，1982；西山・阿相，1987）

高齢運転者は、雨天や夜間などの運転や、他の交通参加者の速度が大きく混雑した交通状況で運転することに不安や恐怖を感じる程度が大きい。このため、高齢運転者の運転習慣として、「夜間や悪天効果の運転を避ける」「速度を控えめにする」「対向車に注意する」「市街地の走行を避ける」と回答する者が多い。また、長距離の運転や不慣れな場所を運転するリスクを感じており、「1回あたりの走行距離は短い」「不慣れな場所へは行かない」との回答も多い。高齢運転者自身が自らの心身機能の減退をある程度自覚し、リスクの大きい状況での運転を避ける傾向にあることを示している。

一方、運転可能年齢に関する調査結果によれば（西山，1979）、より高齢の運転者であるほど、運転可能な年齢の上限を高く想定するとされる。75歳以上の後期高齢者の増加にともない、より高齢の運転者が自動車を運転する機会は、今後さらに増加する可能性がある。

高齢運転者では、「せっかち」「ためらい」「自己中心的」「合理化（自分の都合の良いように物事を考える）」「固執性」「一点集中化」など、危険な運転行動につながりかねない心理的特性を持つ者も多いとされる。また、自分の運転技量を過信し、技能の低下を認めない者も多いとされる。この一方で、「慎重」「責任感大」「遵法精神が高い」などの肯定的な心理的特性を持つ者も多く、高齢運転者の一部には、加齢による心身機能の低下を、運転に臨む態度によって補償することで安全を確保しようと努めているとも言われている（長山，1992；西山，1987；矢島，1986）。高齢運転者では、肯定的な心理的特性と否定的な特性の両者が混在しており、これも高齢運転者の個人差の拡大に影響しているとみられる。

上述の研究例は、運転行動に影響すると予想される心身機能の加齢による典型的な変化を示すものである。すなわち、情報処理過程のなかで、知覚に関わる機能の全般的な低下、注意の配分と処理速度の低下、動作の迅速さと操作力の低下がみられることを示している。ただし、これら心身機能の変化を背景として高齢運転者の運転行動にどのような特徴があらわれるのか、あるいは運転行動の特徴が衝突回避の成否とどのように関係しているのかという点を明示的に示すものではない。高齢運転者の安全対策を検討するためには、情報処理過程に関わる機能変化と運転行動との関係を明らかにする必要がある。

## 1.8 交通事故防止対策

交通事故を防止するための対策として、これまでに道路環境の改善、車両の改善、運転者ならびに歩行者など交通参加者に対する教育啓発活動が行われている。

### 1.8.1 道路環境の改善

道路環境の改善については、1.1 で述べたように、1970 年代以降、継続的に実施されている歩車道の分離、道路標識、横断歩道、信号機、カーブミラーの設置や、歩道や路肩の拡幅による交差道路の見通し改善などの対策が行われている。これに加えて、近年では路面表示や高輝度反射材を添加した車線区分線の増設、直進ならびに右折の専用灯火を備える信号機の設置などが進められている（内閣府、2009）。

車線内に自車位置を保持する横方向挙動の制御を適切に行うためには、運転者が自車の走行する車線の道路線形を正しく知覚することが必要である。道路環境側の対策として進められている、路肩や併走車線、対向車線との車線区分線や、ガードレールなどの整備は、自車線の範囲に対する運転者の知覚を改善する点で有用である。また、歩道や路肩を広い面積にわたって着色塗装する路面表示は、運転者にとっての刺激値を増すことで車線の識別を容易にし、細街路の交差点を着色塗装する路面表示も、一時停止義務あるいは注意義務のある交差点の存在を運転者が認識するうえで有用である。夜間の運転では、路側の照明設備に加えて、高輝度反射材を添加した塗材を用いた車線区分線は、運転者の車線の知覚を改善する。右折専用信号灯火は、右折待機中の運転者による進行可否についての判断に要する負荷を減じる。

道路環境側の対策には、運転者の特性をふまえた改善が含まれている。見通しの良い交差点での出会い頭事故が、コリジョンコースにある交差車両を検知しにくいという運転者の周辺視野の特性と関連していることを示した内田他（2003）の研究に基づき、岐阜県警では、出会い頭事故の頻発した交差点の優先通行側交差道路の路側に、複数の植木鉢を断続的に設置することで、非優先通行側の運転者にとって交差車両の見えを変化させる対策をとった（内田・福山・浅野・藤田・片山、2004）。その結果、対策を施した交差点では、出会い頭事故が大きく減少したことが報告されている。道路環境の改善にあっても、運転者の特性に基づく改善を図ることで、交通事故の低減に貢献している。

### 1.8.2 車両の改善

自動車の走行に関わる基本的な車両の機構には、既に改善が加えられている。すなわち、ハンドルのパワーアシストやブレーキ倍力装置などの操作力を補完する機構は、運転者の操作に要する負担の軽減に貢献している。また、駆動系の変速装置をトルクコンバータ化したオートマテックトランスミッションは、クラッチペダルと変速機の操作を不要にしたという点で、運転者の操作負荷を減じている。

既に普及している二輪車の前照灯を昼間に点灯する機構は、四輪車に比べて見えのサイズが小さい二輪車の存在を、他の交通参加者が認識することを改善する。また、車両の前照灯

を高輝度化したディスチャージ式ヘッドランプは、夜間の走行における道路線形や先行車との距離の把握を改善する。

一方、近年では、状況検出や通信、信号処理などに関する先進的な技術を利用した安全運転支援システムが実用化しつつある。例えば、国土交通省の先進安全自動車 (ASV: Advanced Safety Vehicle) プロジェクトでは、追突警報や車線逸脱警報、あるいは衝突時の被害を軽減するための自動ブレーキや車線保持のための自動操舵などについて、自動車が備えるべき要件が検討されている (運輸省自動車交通局先進安全自動車推進検討会事務局, 1999 ; 国土交通省自動車交通局, 2009)。このうち、自動緊急ブレーキシステム (Automatic Emergency Braking System) と車線逸脱警報システム (Lane Departure Warning System) については、国際連合の自動車規準調和世界フォーラムにて、2009年より自動車関係の国際法規化を図る検討が開始されている。

安全運転支援システムを具体化するためには、運転者の実現できる行動の限界や特性に基づいて、仕様を決定することが必要である。衝突を回避するために運転者自身の緊急の対応行動を促す警報システムでは、呈示タイミングを定めるための運転者の反応時間に関する知見が必要である (若杉, 2001 ; 若杉・山田, 2000)。また、危険の発生や衝突を回避するために自動的な制動や操舵を行うシステムでは、運転者の不信や過度の依存を招かないために、運転者に違和感のないタイミングでシステムが操作に介入することが必要である (稲垣, 2000 ; Muir, 1994)。システムによる介入タイミングが遅すぎて衝突を回避できない仕様は、運転者の不信につながる。逆に、介入が早すぎる仕様では、運転者が衝突の危険性を認識する以前の通常走行時に自動的な制動あるいは操舵が開始されるため、システムの故障を疑う不信や、逆に通常状況でもシステムの作動を誤って期待する過度の依存につながる。このため、運転者の通常のブレーキ操作などを調査し、これとの比較から運転者が違和感を覚えないう介入タイミングを探る研究が進められている (大谷・宇野, 2006 ; 佐々木, 2001 ; 鈴木・丸茂, 2002)。

運転者に警報あるいはシステムの作動状態を伝える車載装置の表示インタフェースは、回避のための対応行動をとることの重要性の伝達や、自動制御に対する不信や依存を防ぐうえで重要な役割を果たす。とくに緊急の回避操作が必要とされる交通状況では、提供する情報の種類に応じて、重大性や緊急性を運転者に迅速に伝えなければならない。このため、視覚表示の色輝度、面積、点滅の周期、聴覚表示の音圧、周波数、複合音成分、断続の周期などによって規定される運転者の感じる重大性や緊急性の程度を、一対比較法により間隔尺度として推定した研究が行われており (江部・木村・稲垣・土居, 2001 ; 宇野他, 2000)、車内表示に用いる視聴覚表示の仕様の選択に利用されている。人間の特性を把握して、それに基づくシステムの仕様を定めることが、車両の改善においては重要である。

### 1.8.3 交通参加者への啓発

運転者自身への安全教育として、運転免許更新時の安全講習や、個々の企業や団体に選任されている安全運転管理者を介した教育が行われている。運送事業者にとっては、運行管理者が運転者を指導するとともに、業界団体による安全運転指導の機会も設けられている。運

転者だけでなく歩行者や自転車を対象とした啓発には、政府や自治体による安全運転キャンペーンやメディアを利用した広報活動、小学校で行われる交通安全教育、シルバークラブなどによる危険地点マップ作りや、街頭での交通安全指導などがある。交通安全教育では、単に講義を聴講するだけの座学形式よりも、受講者が自らの意見を表明する小集団討議や、運転の実技講習を内容に含めた形式の方が、総じて効果が大きいといわれている（日本交通心理学会，1982；大森，1983；宇野・平松，1998）。

教育啓発活動においては、どのような内容を運転者あるいは交通参加者に伝えるのかという点が重要である。運転行動に関する実証的なデータを明らかにし、これに基づいて、衝突事故に至らないための具体的な運転方法を運転者に示すことが有用と考えられる。

#### 1.8.4 従前の対策における課題

これまでの交通事故防止対策は、事故の抑制には奏功しているものの、対策による直接的な効果として顕著な事故件数の減少をもたらすには至っていないとみられる。この理由として、個別の交通事故の形態に応じた対策というよりも、むしろ各種の事故に共通する要素である視認性や車両操作性の改善などによる対策が主にとられてきたことがあげられる。

道路環境側の対策であるガードレールや路面舗装、路側照明の拡充は、道路線形や道路形状、先行車や歩行者などの交通参加者に対する視認性を向上する。車両の前照灯の高輝度化や二輪者の昼間点灯も、運転者の視認性を増す。全般的な視認性の向上は、通常時と緊急時の運転者による知覚を改善するうえで有用である。信号機の右折専用灯火や交差点の見通し確保は運転者の処理判断を助けることで、通常時の運転行動を全般に改善する。また、車両の基本的な走行制動性能の改善は、通常時の運転操作に要する運転者の負担を軽減し、操作力を補助する機構は緊急時の回避操作を補う効用も期待される。

しかし、所与の交通状況において、運転者自身あるいは他の交通参加者の挙動に起因する緊急状況が生じた場合には、道路環境側の対策によって運転者の対応行動を改善することは期待できない。また、ブレーキペダルやハンドルの操作力軽減など、車両の操作系に関わる改善にて運転者の動作を補助することはできるが、通常時と緊急時ともに、運転者が行わなければならない情報の知覚と処理の改善については、現行の車両側の対策では担保されない。車両側の対策により運転者の知覚と処理の過程の改善を図るためには、今後の警報システムや自動的に制動や操舵を行うシステムの普及を待たなければならない。運転者を含む交通参加者への啓発については、規制速度の遵守など交通法規に関わる全般的な安全指導が主体であり、具体的な危険場面あるいは個々の地点場所、あるいは事故の形態を示したうえで、とるべき行動を指導するという内容であることは少ない。

交通事故には様々な形態があり、その各々で道路環境と交通状況が異なり、運転者が実行すべき行動も異なる。視認性や操作性の向上は、あらゆる交通状況において普遍的に重要な要素であり、全体としての運転行動を改善するものであるが、衝突の危険性が顕在化した緊急状況と、その状況に至る前段階である通常状況には様々な形態があるため、一律の安全対策では個々の事故への対策として十分とは言えない。個々の衝突事故に関与するのは運転者個人であり、個別の事故形態において運転者が対応しなければならない個々の対象に対して、

知覚と処理の過程を改善する必要がある。すなわち、より効果的な安全対策を講じるためには、人間である運転者の行動特性に関する理解に基づき、交通状況と運転者の認知・行動特性に応じた具体的な対策を検討することが必要と考えられる。

例えば、見通しの良い交差点において、自車両と交差車両がともに一定速度で走行して衝突するコリジョンコースにある場合に、人間の周辺視野の特性から、交差車両が検知されにくいことを示した研究に基づき、事故が多発した交差点の交差道路路側に複数の植木鉢を設置して交差車両の見えを変化させる対策を講じることで、出会い頭事故が減少したことが報告されている（内田他，2004）。これは、「見通しの良い交差点における出会い頭事故」という特定の交通状況と事故形態を対象に、人間の行動特性を分析することにより、効果のある道路環境対策を見出した一例である。

実用化に向けて検討されている安全運転支援システムでは、例えば、自動緊急ブレーキシステムは先行車との追突の回避あるいは被害軽減を目的とし、車線逸脱警報は対向車との正面衝突や路外逸脱の低減を目的とするなど、特定の事故形態に対する安全対策とすることが想定されている。これらのシステムを実用化するにあたり、事故低減効果を確保するためには、回避操作を開始するまでの反応時間などに関する運転者の特性に基づいて、警報呈示や操作介入のタイミングについての仕様を決定する必要がある。また、交通参加者に対する啓発においては、運転者が行いうる行動の特性についてのデータをもとに、安全を確保するために必要な行動を具体的に示すことが重要である。

以上より、効果的な安全対策を講じるためには、運転者の行動特性を具体的に明らかにすることが必要と考えられる。

## 1.9 問題の所在

操縦安定性や制動性能，操作力補助機構など，自動車の基本的な走行性能に関わる改善が進んでいる中で，さらに交通事故を減じるためには，運転者の行動特性を把握し，事故につながる行動を排除する対策を講じる必要がある．衝突事故は，特段の危険性がない通常時の行動と，危険性が顕在化した緊急時の対応行動が，不適切であった場合に生じる．通常時の運転行動は，車両の前後位置や横方向位置の制御に関わるトラッキング作業が運転者の主な作業であり，緊急時の運転行動は，突発的に生じる車外事象を迅速に検知して適切な対応行動をとる検知反応作業が主な作業となる．

運転行動は，知覚，処理，動作の連鎖からなる系から構成されている．通常時の運転行動におけるトラッキング作業に関わる側面の多くでは，この系が自動処理として実行されると予想される．ただし，その全てを単一の系列の自動処理として実行できるわけではなく，状況変化が生じた場合には，そこへ注意を介在させることで，処理の系列を修正する必要がある．対象へ注意を向けるためには，その時点で運転者の処理資源に余裕があること，ならびに，注意を向けるべき対象を知覚できることが必要である．

一方，緊急時の運転行動における検知反応作業では，状況の許す限られた時間のなかで，適切な対応行動をとらなければならない．このためには，知覚，処理，動作の各過程が迅速に実行される必要がある．なかでも，検知反応作業は統制処理にて進められるとみられるため，自動処理に比して処理に時間がかかり，このため処理の過程を進める速度が回避操作を開始できる時期と操作の内容を規定すると予想される．

一連の情報処理過程のなかで，運転者の視認行動については，走行車線内への自車位置保持のために必要となる前方視認距離や前方視界の遮断時間（前方から注視点を逸らすことを許容できる時間）が，量として明らかになっており，車載情報提供装置への総視認時間を 8 秒以下に規制する自主規準などの安全対策に反映されている．しかしながら，運転者による処理の過程は，表出行動として直接に測定することができず，また，これを量的に推定する方法も明らかにされていない．このため，先行研究では，走行中の会話や考え事など，運転者の視認行動をともしない注意分散が運転行動に与える影響について，原因側である注意分散による負荷の程度を量として規定することができず，注意分散作業の有無による定性的な影響が議論されているにすぎない．すなわち，注意分散による負荷を量的に推定する必要がある．

通常状況の運転行動を適切に保つためには，注意の介在を担保する十分な量の処理資源の余裕が残されている必要がある．しかし，これまでのところ，情報処理負荷の程度を量的に推定する方法が明らかでないため，どの程度の余裕があれば運転行動が適切であるのかについての検討も行われていない．また，処理資源の余裕が減じた交通状況では，運転者の運転行動が損なわれる可能性がある．ただし，上述のように，交通状況に起因する情報処理負荷の程度を量として推定する方法が明らかにされていないため，どのような交通状況にて運転者の余裕が減じるのかという点についての検討も進められていない．そこで，交通状況に起因する負荷の量的推定を行う必要がある．



一方、衝突の危険性が顕在化した緊急状況における運転者の対応行動について、これまでに反応時間や操作の速度や量、ならびにこれに影響する性差や年齢差などの個人間差や、覚醒度などの個人内差に関する研究が行われている。ただし、運転者による処理の速度を反映する反応時間や操作内容と、衝突回避との関係についての実証的なデータは提供されていないことから、緊急時の対応行動と回避成否の関係に関して検討する必要がある。

日本では、人口構成の急速な高齢化が進行中であり、高齢運転者が交通事故の第1当事者となる数が年々増加している。加齢は、避けることのできない人間の変化であり、運転行動にも影響を与える。加齢にともなう変化として、知覚や処理に関わる機能の減退が指摘されており、これが通常状況と危険性の顕在化した緊急状況での対応を変性させる可能性がある。しかし、これらの機能減退を背景として、高齢運転者の運転行動にどのような特徴があらわれるのかについては明らかにされていない。また、処理機能の低下とともに身体運動機能の減退による操作の不足が予想されるのに対し、これまでの研究例では、機能減退による緊急状況における高齢運転者の回避操作への影響と回避の成否との関係は明示されていない。そこで、加齢による運転行動特性の変化を明らかにする必要がある。

運転行動が適切であるためには、対象に注意を向けることで進められる統制処理が重要であり、統制処理を担保するには処理資源に十分な余裕があることが必要と予想される。そこで、本研究は、運転者の処理資源における余裕に着目し、情報処理過程と運転行動との関係に関する基礎的な特性を明らかにすることを目的とする。これにより、通常状況と緊急状況における上述の問題を解消するとともに、運転者が実現できる行動の特性を把握することで、交通事故防止に資する知見を得ることができると考えられる。

このため、まず、通常状況における負荷の程度を処理資源の余裕として推定する方法を考案し、視認行動をとまわらない注意分散による運転行動への影響と、情報処理負荷の大きい交通状況を明らかにする。つづいて、緊急状況における運転者の情報処理の特性と、対応行動と衝突回避との関係を示す。また、加齢にともない情報処理機能の低下が予想される高齢運転者の特徴的な運転行動の変化を、通常状況と緊急状況の各々について示す。

人間の情報処理資源の容量を一定と仮定すると、ある作業を行うことにより、その作業の負荷に応じた処理資源が消費されるため、残された処理資源は減じる (Attneave, 1959 小野他訳 1968; Lachman, Lachman, & Butterfield, 1979 箱田他訳 1988; Ogden et al., 1979)。したがって、二種類の作業を同時に実施する状況を想定すると、一方の作業実施により他方の作業に割り当てることのできる処理資源が減じるため、結果として遂行成績は低下すると予想される。一方、選択反応作業では、人間の反応時間は選択肢数の対数に比例して延長するという Hick の法則が知られている (Ziedman, 1987; 大山, 1985)。選択反応作業の各選択肢の生起率が等しければ、2 を底とする選択肢数の対数は情報量 (bits) に相当するため、反応時間は情報量に対して直線的に回帰する (宇野, 2001)。この回帰直線の勾配 (s/bits) は、情報量 1bit の処理に要する時間に相当し、勾配の逆数 (bits/s) は、時間あたりに処理できる情報量に相当するとみなすことができる。これにより、選択反応作業のみを実施する

場合の bits/s 値はその実験参加者の全処理容量に相当し、主タスクとの同時実施で得られる bits/s 値は当該主タスクに処理資源が使用された残余の余裕度を反映すると考えられる。

本研究では、上述の方法で求める bits/s 値を余裕容量 (spare capacity) と呼ぶ。この方法により、運転者の内部過程であるためにこれまで量的に把握できなかった情報処理負荷を推定できると考えられる。また、余裕容量として時間あたりに処理できる情報量を推定することにより、緊急時の対応行動における反応時間や操作内容と処理の速度との関係を分析できると考えられる。

以上の考察より、衝突に至る過程における運転行動と情報処理過程との関係を、図 1-8 に示す。通常状況における運転行動が適切であるためには、注意の介在による修正が必要であり、このためには処理資源の余裕と、注意を向けるべき対象の知覚が必要である。また、緊急状況における運転行動が適切であるためには、迅速な処理に基づく対応行動が行われることが必要である。ここで、運転者の注意分散や情報処理負荷の大きい交通状況、あるいは加齢による心身機能の変化は、所与の状況における処理資源の余裕を減じ、これが通常時の行動に直接影響するとともに、時間あたりに処理できる情報量の減少が処理速度を遅延し、緊急時の行動に影響すると予想される。したがって、通常状況については処理資源の余裕の程度、あるいは適切な知覚ができるか否かを調査し、緊急状況については対応行動を反応時間と操作内容の点から分析することで、運転者の情報処理過程と運転行動の基礎的な特性を明らかにできると考えられる。

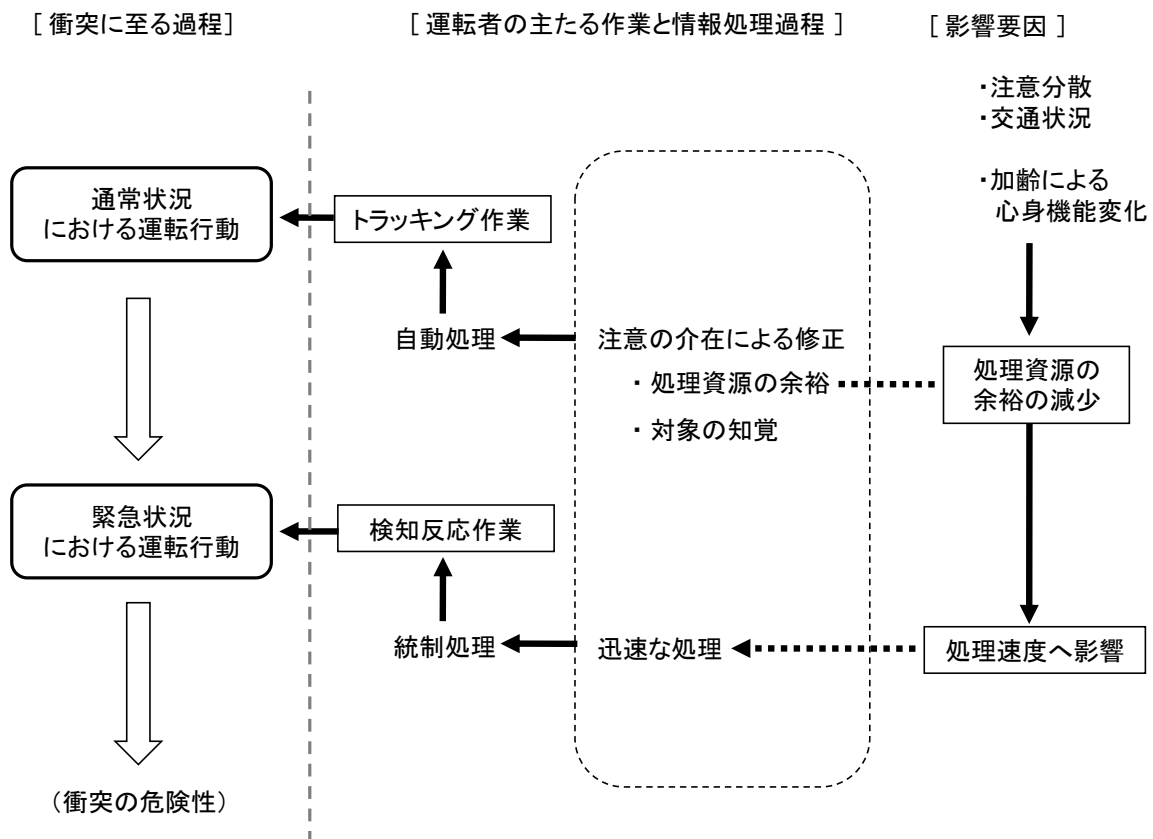


図 1-8 運転行動と情報処理との関係

本研究では、第 2 章にて、運転者の視認行動をともなわない注意分散により生じる情報処理負荷の程度を量的に推定する。すなわち、注意分散作業を主タスクとし、選択反応作業を副タスクとする副次課題法と、選択反応時間が選択肢数の対数に比例して延長するという性質を利用して、注意分散の程度を運転者の余裕容量の減少度として推定し、注意分散時の余裕容量が、車線変更走行中の運転行動や生理的反応と対応することを示す。

第 3 章では、交通状況に起因して運転者に生じる情報処理負荷を、余裕容量の減少度として推定する。すなわち、事前に聴覚暗算作業の成績と余裕容量との関係についてのキャリブレーションデータを取得したうえで、走行中に聴覚暗算作業を副タスクとして実施する副次課題法にて、実路上の各種の交通状況における負荷の程度を余裕容量として推定し、この減少度をもとに、運転者にとって情報処理負荷が大きい交通状況を示す。

第 4 章では、交通状況により規定される運転者にとっての時間的余裕に着目し、緊急状況における余裕時間と運転者が実行できる回避操作をドライビングシミュレータを用いた走行実験にて調べることで、緊急状況における情報処理の特性を推定するとともに、回避の成否との関係を示す。

第 5 章では、実路走行とドライビングシミュレータ走行による実験にて、通常状況における高齢運転者の視認ならびに運転行動を調査することで、加齢にともなう情報の取得と処理に関わる変化を抽出し、危険な状況の発生につながる可能性のある行動を示す。

第 6 章では、衝突の危険性が顕在化した緊急状況をドライビングシミュレータ上に設定して、高齢運転者の情報処理と回避操作の特徴を示すとともに、対策の試みとして、危険発生についての事前警報が高齢運転者の対応行動を改善する効果を示す。

以上により、運転者の情報処理過程と運転行動の基礎的な特性を明らかにし、通常時においては危険性の顕在化につながり、緊急時には衝突回避に失敗するリスクを高める要因を考察する。

## 第2章 視認行動をともなわない注意分散による情報処理負荷の量的推定

### 2.1 課題

自動車の走行中に運転者が不必要な事物へ注意を向けることは、衝突事故の原因のひとつである。平成20年中の法令違反別自動車事故統計によれば、交通事故件数の22%、死亡事故件数では30%が、脇見運転と漫然運転で占められている（交通事故総合分析センター，2008）。ここで、脇見が運転者の視線移動をともなう注意分散（visual distraction）の状態であるのに対し、漫然とは必ずしも視線移動をともなわない注意分散（attention distraction）の状態を指す。死亡事故では、脇見運転の680件を上回る727件が漫然運転による事故であり、視線移動をともなわない場合であっても、運転者の注意分散が重大な事故につながる事が示されている。

視線移動をともなう注意分散では、交通状況に関わる視覚情報取得が一時的に遮断されるため、脇見の頻度や持続時間の長さが運転行動に影響することは自明である。例えば、Wierwille et al. (1988) は、車内機器への注視回数や注視時間に反比例して車外への注視頻度と時間が減じることを示し、Zwahlen & Debald (1986) や麻生他 (2002) は、運転者の車外前方視界が遮断されている時間に比例して車両の横方向変位量が増すことを示している。注視回数や持続時間と車両の横変位などとの量的な関係に関する知見をもとに、Zwahlen (1988) は、運転行動に悪影響を与えない運転者による脇見の回数と持続時間との関係（例えば、1.4秒間の脇見であれば4回を上限とするなど）を提案している。また、麻生他 (2002) の研究に基づき、カーナビゲーションシステムなど車載情報提供装置への総視認時間を8秒以下に規制する自動車製造会社による自主規準が設けられている（日本自動車工業会，2004）。

一方、視認行動をともなわない注意分散が運転行動に与える影響については、これまで定性的な影響が調査されるに留まっている。例えば、Brookhuis, Waard, & Mulder (1994) は、自動車運転中のハンズフリー携帯電話での会話が先行車への追従車間距離を短縮する方向に作用することを示し、Alm & Nilsson (1994) は、ブレーキペダル反応時間の延長や車両横位置の変動性の増大につながることを報告している。ただし、視認行動をともなわない場合には、脇見の回数や持続時間のような量的な指標として注意分散の程度を把握する方法が確立していないため、どの程度の注意分散が運転行動を劣化させているのかという問題を定量的に検討することができない。

注意分散の程度を推定する方法として、副次課題法（subsidiary /secondary task）の手続きを利用することができると考えられる。人間の情報処理資源の容量を一定と仮定すると、図2-1に示すように、ある作業を行うことにより、その作業の負荷に応じた処理資源が消費されるため、残された処理資源は減じることになる（Attneave, 1959; Lachman et al., 1979; Ogden et al., 1979）。ここで、二種類の作業を同時に実施する状況を想定すると、一方の作業実施により余裕容量が減じるため、他方の作業に割り当てることのできる処理資源が減じ、結果として遂行成績は低下すると予想される。

自動車運転中の注意分散とは、運転者が直面している交通状況とは関係のない事物へ注意を向けたために、使用できる処理資源が減じた状態に相当し、残された余裕容量の大きさに応じて運転行動へ影響が生じると予想される。したがって、注意分散を引き起こす作業を実施している最中の余裕容量を量的に把握することが、注意分散による運転行動への影響を理解する上で重要である。

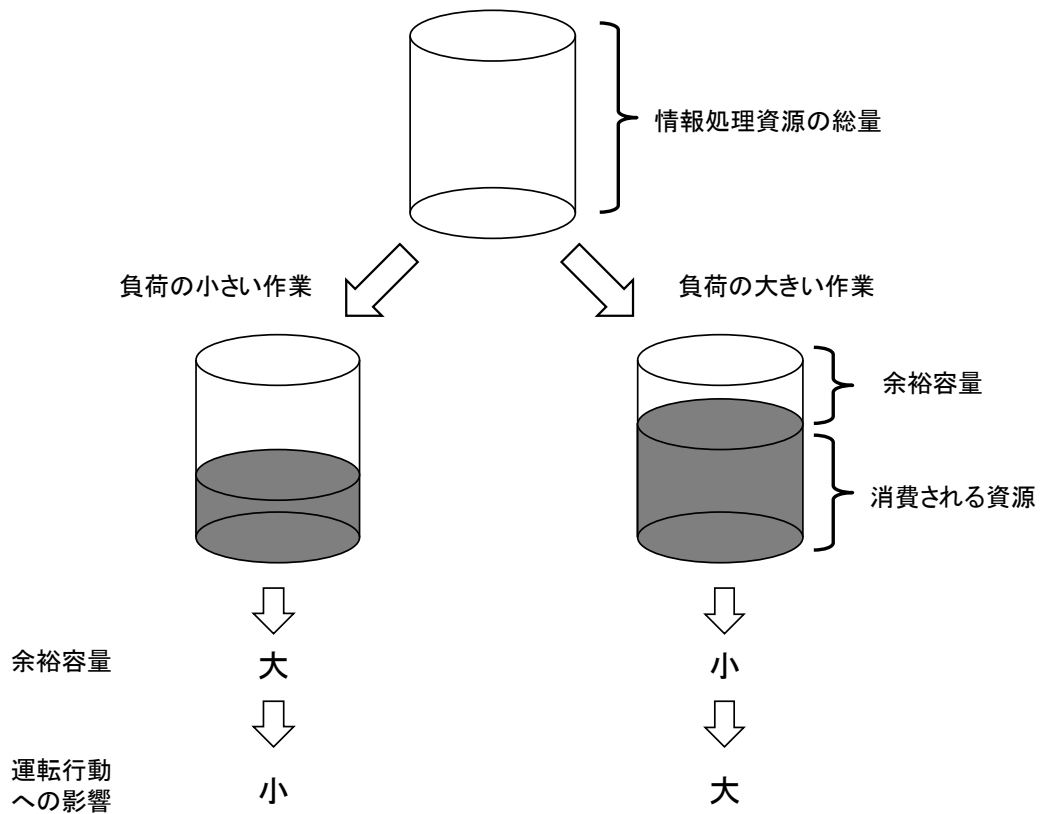


図 2-1 作業による負荷の程度と運転者の余裕容量との関係

一方、選択反応作業では、一般に人間の反応時間は選択肢数の対数に比例して延長するという Hick の法則が知られている (Ziedman, 1987)。例えば、CRT ディスプレイにて視覚的に選択肢を呈示して手指のボタン押しで反応する選択反応作業を設定し、短時間の練習の後に選択肢数が異なるセッション (選択肢数 1~10. 各セッションとも 10 試行を反復) を実施して、1 名の実験参加者を対象に反応時間を測定したところ、図 2-2(a) に例示するように、選択肢数の対数関数様に反応時間は分布した (宇野, 2001)。

選択反応作業の各選択肢の生起率が等しければ、2 を底とする選択肢数の対数は、冗長度を考慮しない場合の情報量 (bits) に相当する。このため、図 2-2(b) に示すように、上記の選択反応作業で測定した反応時間は、情報量に対して直線的に回帰する。この回帰直線の勾配 (s/bits) は、情報量 1bit の処理に要する時間に相当し、勾配が大きいほど情報量あたりの処理時間が延長することを示す。この選択反応作業と注意分散作業との同時実施にて得られる反応時間の勾配は、その注意分散作業により消費された処理資源の残余である余裕容量に対応し、注意分散作業の負荷に応じて勾配は増大すると予想される。

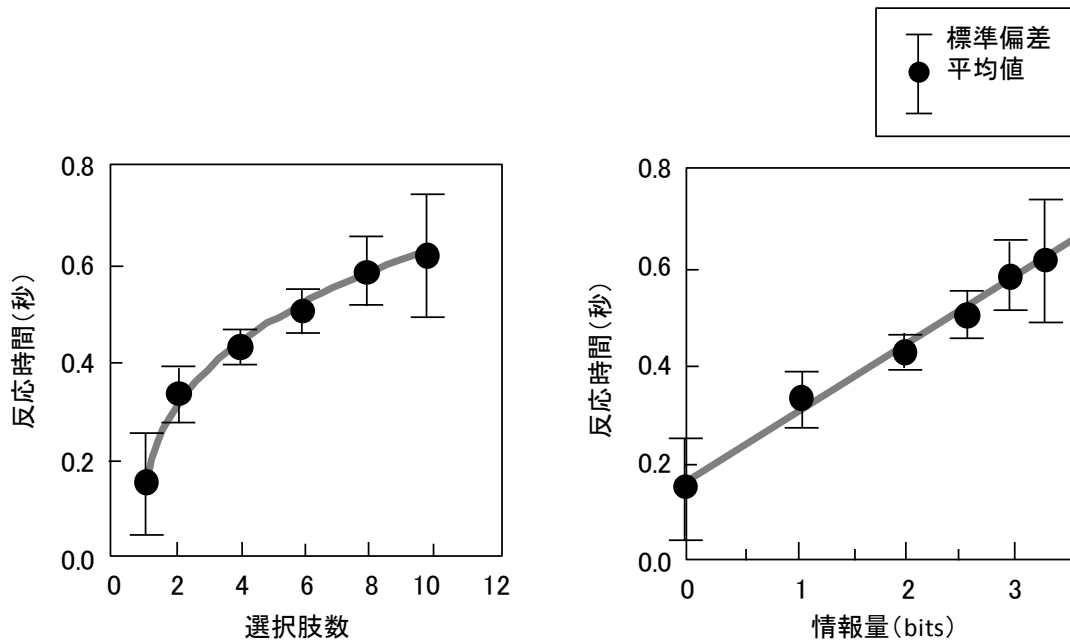


図 2-2 選択反応作業における選択肢数と反応時間の関係例 (宇野, 2001)

ここで、情報量に対する反応時間の勾配の逆数 (bits/s) は、時間あたりに処理できる情報量に相当する。これにより、選択反応作業のみを実施する場合の bits/s 値はその実験参加者の全処理容量に相当し、注意分散作業との同時実施で得られる bits/s 値は当該注意分散作業に処理資源が使用された残余の余裕度を反映すると考えることができる。

ただし、実験参加者が練習を重ねて刺激と反応の関係を十分に学習した場合には、処理の系列が統制処理から自動処理へ移行し (Schneider & Shiffrin, 1977), 反応時間は短縮することが予想される。また、反応時間はアルコールなどの薬物や覚醒度などの影響を受ける (Olson, 1987; 岡本他, 1995)。したがって、刺激と反応との対応関係を学習する以前の段階にある平常状態の実験参加者を対象として、統制した選択反応作業を設定することにより、選択肢数の対数に比例して反応時間が延長するという基本的な関係がみとめられると考えられる。

本研究では、上述の方法で推定する bits/s 値を余裕容量と呼ぶ。余裕容量が運転行動の変化との対応関係を示せば、運転行動に影響する処理資源の余裕を示す指標として利用できる。すなわち、視認行動をともしない注意分散作業において、運転者の処理資源の余裕を量として推定することにより、これまでの研究例では明らかにされてこなかった注意分散の程度と運転行動への影響との関係を把握することができる。

走行中の注意分散は、運転者が対象に注意を向けることで働く統制処理に影響すると予想される。統制処理は自動処理の系列を修正する役割を担うと考えられるため、通常時の走行では車線位置や車間距離、車速の保持などのトラッキング作業に影響する可能性がある。また、注意分散による余裕容量の減少は、限られた処理資源での運転行動を運転者に強いるため、運転者の緊張度を増す可能性がある。さらに、統制処理は継時的に進められるため

(Schneider & Shiffrin, 1977), 一連の運転行動のなかでも時間経過によって関与の度合いが変化する可能性がある。自動車の運転操作には、アクセルペダルあるいはブレーキペダルの操作とハンドルによる操舵があるが、このうち操舵については左右への方向の異なる操作を行うため、時間経過にともなう表出行動の変化を容易に観察することができる。この点から、統制処理の関与の時間的な変化を検討するうえで、運転者が左右への操舵を行う走行条件を設定することが有用と考えられる。

本章では、余裕容量が注意分散作業時の余裕度の推定値として適当であることを検証する。このため、図 2-3 に示すように、実験 1 にて、注意分散の対象とする聴覚暗算作業を主タスクとして位置づけ、これと選択反応作業を同時実施する室内実験を行い、選択反応作業の選択肢数に対する反応時間の分布から、暗算作業毎ならびに実験参加者毎に余裕容量を推定する。これが注意分散による負荷を反映するのであれば、推定した余裕容量は暗算作業の難易度に応じて異なると予想される。この後、実験 2 にて、室内実験で余裕容量を推定した暗算作業を、左右への操舵を必要とする車線変更走行時に実行するよう運転者に求め、暗算作業の成績が室内実験と走行実験にて同等とみなすことができることを確認したうえで、運転行動に関わる指標を測定して、室内実験で推定した余裕容量と運転行動との対応関係を分析する。

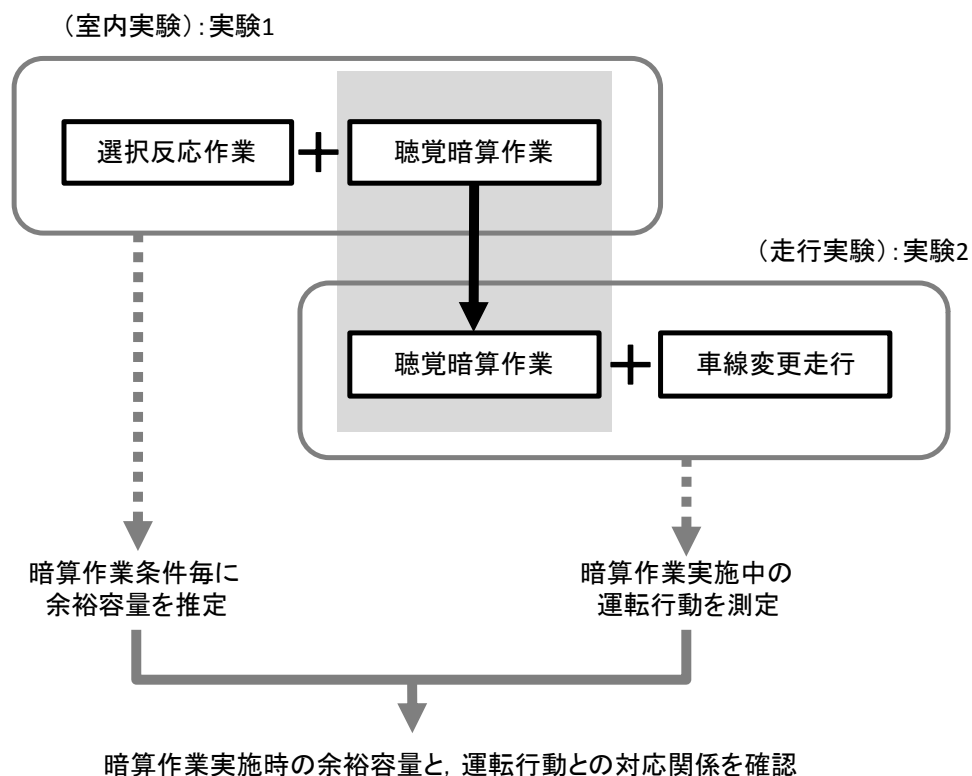


図 2-3 聴覚暗算作業実施時の余裕容量推定の手順

## 2.2 実験1 注意分散による負荷の量的推定

### 2.2.1 目的

視認行動をとまなわない注意分散により運転者に生じる負荷の程度を量的に推定する。このため、注意分散の対象として、聴覚的に加算問題を呈示して運転者に口頭での回答を求める聴覚暗算作業を設定し、これと選択反応作業を同時実施する室内実験にて、注意分散作業による負荷を余裕容量の減少の程度として推定する。ここで、余裕容量が暗算作業を実行することにより消費された処理資源の余裕を反映するのであれば、暗算作業の定性的な難易度に応じて推定した余裕容量は異なると予想される。

### 2.2.2 方法

#### 実験参加者

実験の趣旨と内容を了承した男性運転者 16 名（23～48 歳，運転歴 5～29 年）とした。参加者は、いずれも通勤や買物のために日常的に自動車を運転している者であった。

#### 実験条件

選択肢数に対する反応時間の分布を測定するため、室内実験にて、選択肢数が異なる 4 通りの選択反応作業（選択肢数 1, 2, 4, 8）を設定した。また、視認行動をとまなわない注意分散作業として、定性的な難易度の異なる 3 種類の聴覚暗算作業（易条件，中条件，難条件）を設定した。選択反応作業の 4 水準と、暗算作業の難易度条件に暗算作業なしの条件を加えた 4 水準を組み合わせ、両者を同時実施する実験を行った。

#### 選択反応作業

視覚呈示—手指反応による選択反応作業を設定した。選択肢数の異なる 4 つの実験セッションを 1 つの実験ブロックとし、1 実験セッションは 10 回の試行で構成した。各試行では、実験参加者の前方約 70cm に設置した CRT ディスプレイにて、視覚表示されるカウントダウン（「3, 2, 1」；各 1 秒間表示）に先行される視角約 2.5° の数字一つを呈示し、パーソナルコンピュータ用テンキーボードにて、呈示された数字に対応する数字キーを、テンキー上に待機させた右手第 2 指にて押すものとした。実験参加者には「数字に対応したテンキーを、右手の人差し指にて、できるだけ速くかつ間違えないように押す」よう教示した。正反応時の数字刺激呈示開始からキー押しまでの反応時間を測定した。図 2-4 に、選択反応作業に用いた装置の配置を示す。



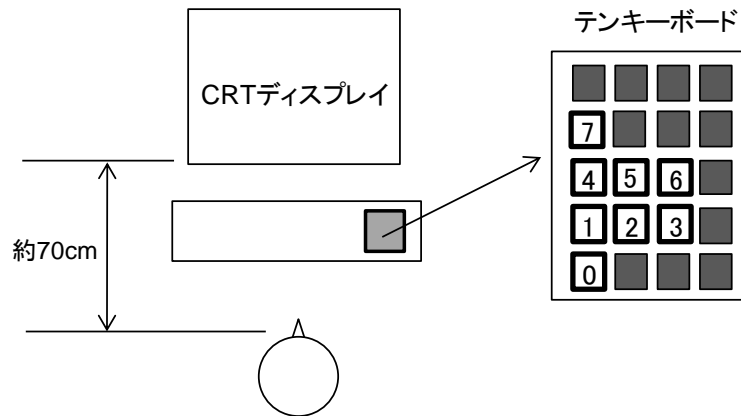


図 2-4 選択反応作業の装置配置

選択肢数は 1 (数字刺激 0 のみを呈示), 2 (同 0, 1 のいずれかを呈示), 4 (同 0~3), 8 (同 0~7) の 4 通りとして, 各々に対応する実験セッションを設定した. 各セッションの開始時には, 当該セッションでの選択肢数と呈示される数字刺激を CRT ディスプレイ上の表示と実験者による教示にて, 実験参加者に明示した. 実験セッション内の各数字刺激は, 等しい生起確率でランダム順に呈示した. 実験セッションの実施順序は, 選択肢数 1, 2, 4, 8 の昇べき順とした. 図 2-5 に, ディスプレイ上の表示例を示す.

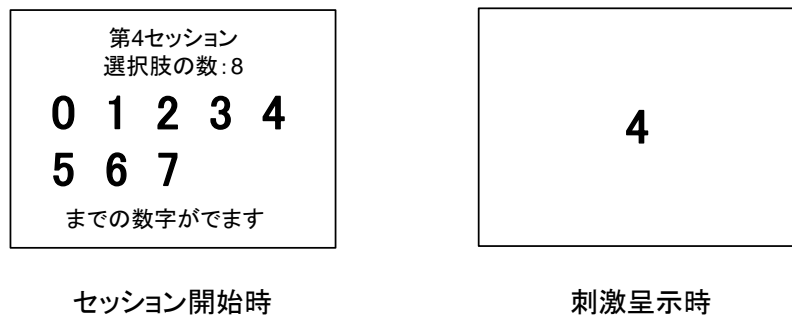


図 2-5 ディスプレイ上の表示例

### 暗算作業

音声にて呈示される 2 つの数字の加算結果を口頭で回答する作業とした. 4 秒間を 1 試行として, 最初の 2 秒間を呈示期間 (「〇たす〇」を音声で呈示), つづく 2 秒間を回答期間とした. 加算問題を呈示する音声は男声とした. この暗算作業では, 実験参加者が回答しないあるいは回答を終えない場合でも, 回答期間が終了した時点で次の試行へ強制的に移行するものとした. 図 2-6 に, 暗算作業の時間構成を示す.

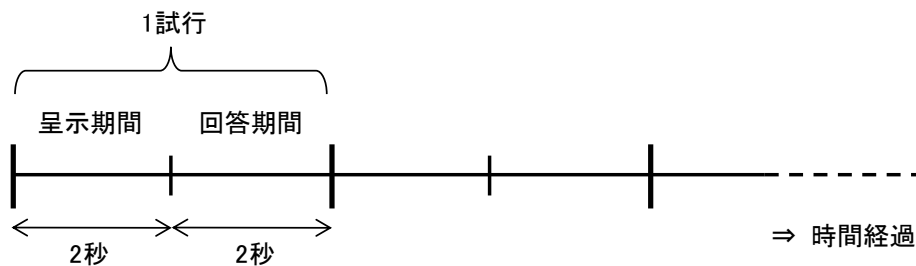


図 2-6 暗算作業の時間構成

暗算作業の定性的な難易度を設定するため、加算問題として呈示する数字の大きさにより、易条件（0～3 の数字 2 個の加算）、中条件（同 0～7）、難条件（同 0～15）の 3 通りを設けた。

### 実験手順

各実験参加者は、短時間の選択反応作業の練習（4 通りの選択肢数にて各 5 試行程度）の後、暗算作業なしで選択反応作業のみを実施する実験ブロックを行った。次いで、暗算作業の練習（3 種類の難易度条件にて各 2 分間）の後、暗算作業なしにて選択反応作業のみを実施し、次いで 3 種類の暗算作業と選択反応作業を同時実施する 3 つの実験ブロックをランダム順に行った。実験にあたり、暗算作業を主タスクと位置づけるため「暗算作業を優先して実施すること」を教示した。各実験ブロックにて実施する暗算作業は 50 試行以上であり、所要時間は 4～5 分であった。選択反応作業と暗算作業を同時実施する実験ブロックの構成を図 2-7 に示す。

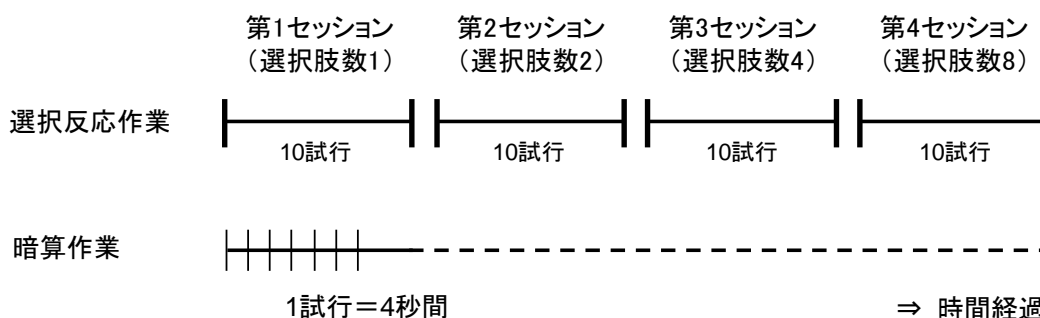


図 2-7 実験ブロックの構成（選択反応作業と暗算作業の同時実施）

選択反応作業は、デスクトップ型パーソナルコンピュータと 14 インチ CRT ディスプレイならびにキーボード付属のテンキーを用いて設定し、暗算作業は別のパーソナルコンピュータに音声入出力インタフェースとマイクロホン付ヘッドホンを接続して設定した。選択反応作業と暗算作業の同期のため、両コンピュータ間を RS232c 回線にて連絡した。図 2-8 に、暗算作業に用いたマイクロホン付ヘッドホンの装着例を示す。

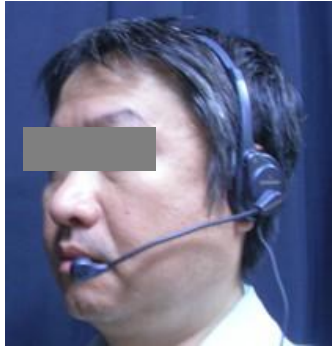


図 2-8 マイクロホン付ヘッドホンの装着例

### 指標

選択反応作業では、数字刺激の呈示開始からキー押しまでの反応時間を記録した。各実験参加者につき、各実験セッションにおける正反応試行の中から、反応時間が最短と最長であった試行を除外し、残る試行を対象として、当該セッションの選択肢数の 2 を底とする対数を情報量とみなして、暗算作業の有無と難易度に対応する実験ブロック毎に反応時間の分布から回帰直線を求め、この勾配の逆数を余裕容量とした。

暗算作業の成績に関わる指標として、無回答と誤回答の合計回数を記録し、選択反応作業において当該選択肢数の条件を実施中の暗算問題呈示数で除した誤回答率を集計した。

## 2.2.3 結果

### 情報量と反応時間の関係例

20 歳代の実験参加者 1 名について、情報量に対する反応時間の分布から求めた回帰直線を図 2-9 に例示する。

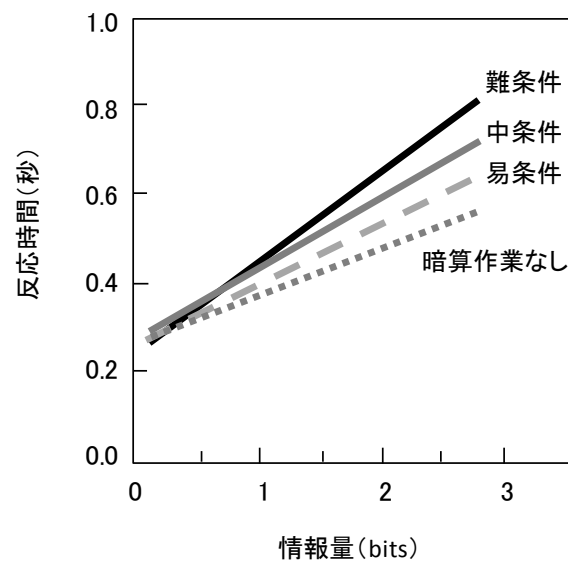


図 2-9 情報量に対する反応時間の回帰直線例 (1 名の実験参加者の例)

この実験参加者では、情報量と反応時間の相関係数は、暗算なし条件で 0.911，易条件で 0.893，中条件で 0.922，難条件で 0.896 であった。同時実施した選択反応作業における選択肢数の対数である情報量に対する反応時間の勾配は、暗算なし<易条件<中条件<難条件の順に大きかった。すなわち、暗算作業の定性的な難易度の条件に応じて、情報量あたりの処理に要する時間が異なっていた。

### 暗算作業の難易度条件別集計

16 名の実験参加者の各々について、選択反応作業における情報量と反応時間との相関係数を調べたところ、暗算なし条件での範囲は 0.815~0.959，易条件で 0.779~0.927，中条件で 0.752~0.948，難条件で 0.786~0.924 であり，Fisher の z'変換のうえ難易度条件間の差を調べると有意差はみられなかった ( $F(3,45)=2.413$ , n.s.)。暗算作業の定性的な難易度によらず，選択肢数の対数である情報量と反応時間との関係は安定しているとみられる。

なお、暗算作業における誤回答（無回答を含む）率の条件別平均値は、易条件で 5.3%，中条件で 3.5%，難条件で 7.2%，全条件の平均値は 5.3%であり，難易度条件間に有意差はみられなかった ( $F(2,30)=2.267$ , n.s.)。この暗算作業の誤回答率は、後述の実験 2 にて、室内実験と走行実験における暗算作業成績の比較に使用する。

情報量に対する反応時間の勾配の逆数を余裕容量とみなして、16 名の実験参加者毎に各暗算作業実施時の余裕容量を推定した。図 2-10 に、推定した余裕容量を全実験参加者について集計した値を示す。

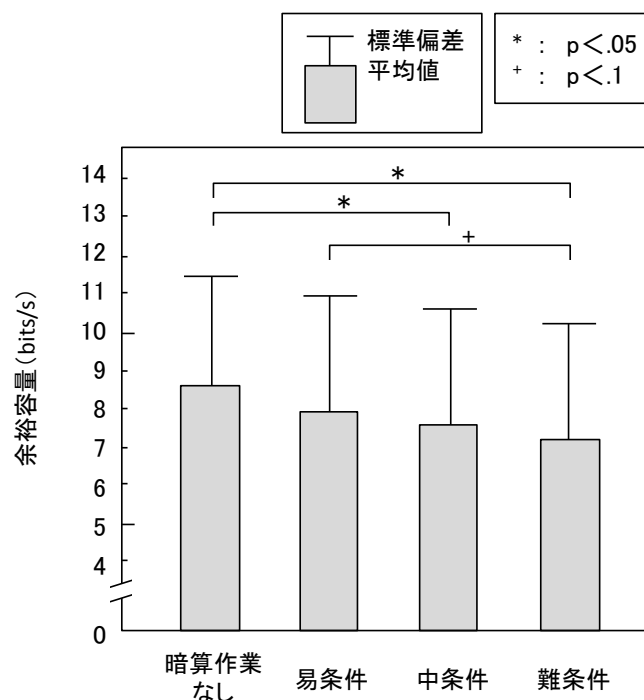


図 2-10 暗算作業実施中の余裕容量

暗算作業の有無ならびに定性的な難易度条件によって、推定した余裕容量の集計値は相応に異なっていた（暗算なし条件と中条件  $t(15)= 2.199, p<0.05$  ; 暗算なし条件と難条件  $t(15)= 2.532, p<.05$ ; 易条件と難条件  $t(15)= 1.967, p<.1$ ). 暗算作業を実施しない場合の余裕容量は、平均値にして約 8.5bits/s であり、これが本章の実験における実験参加者の全処理容量の平均値に相当すると考えることができる。これに対し、難条件の暗算作業実施中には 7.0bits/s 程度まで余裕容量が減じていることから、本章で設定した暗算作業により、条件の平均値としては最大で約 1.5bits/s の情報処理負荷が生じていたと推定される。

選択反応作業の選択肢数と反応時間との関係から推定した余裕容量は、実験設定した定性的な暗算作業の難易度に応じて異なっている。このことから、余裕容量は、同時実施する注意分散作業により減じた処理資源の余裕度を反映して変化していると考えられる。

ただし、暗算作業条件間の余裕容量平均値の差が最大で 1.5bits/s ほどであるのに対して、各条件における標準偏差は 3.0bits/s 程度であり、条件内の変動が大きい。すなわち、同じ難易度として設定した暗算作業であっても、実験参加者間で余裕容量の差が大きい。これは、情報処理能力に個人差が大きいことを示している。注意分散による運転行動への影響を調べるにあたっては、個人差に配慮して、実験参加者の分布を調べるなどの手段を用いて分析を進めることが重要と考えられる。

## 2.3 実験2 車線変更走行における注意分散の影響に関する検証

### 2.3.1 目的

推定した余裕容量の妥当性を確認するため、車線変更走行中に実験1と同じ暗算作業の実行を実験参加者に求め、聴覚暗算作業実施時の余裕容量と、運転行動ならびに生理的緊張度との対応関係の有無を調べる。また、実験1の結果より、余裕容量には個人差が大きいことが示されたため、暗算作業の難易度条件にて個人毎に推定した余裕容量と、運転行動に関する指標との対応関係を分析する。

### 2.3.2 方法

#### 実験参加者

実験1にて余裕容量を推定した16名の男性運転者とした。

#### 実験条件

走行中の注意分散作業として聴覚暗算作業を同時実施する影響を調べるため、暗算作業なし条件ならびに実験1で設定した3種類の暗算作業（易条件、中条件、難条件）のいずれかを実施しながら、車線変更コースを走行する実験を行った。車線変更走行では左右方向への操舵を行うため、時間経過に応じた運転行動への影響の変化を観察できると予想される。

#### 走行状況

(財)日本自動車研究所のテストコースである旋回試験場に、図2-11に示す車線変更コースをセーフティコーンにて設定し、これを60km/h一定車速で通過するものとした。実験車両には排気量1800ccのセダン型乗用車（全長4690mm×全幅1695mm×全高1365mm、フロアセレクトAT（オートマチックトランスミッション）車）を用い、コースを逸脱せずかつ車速を60km/hに維持して通過することを内容とした。実験車両の横幅が約1.7mであるのに対し、コースの車線幅は2.11~2.45mと狭いため、各進路変更における後半過程にて直進に復帰するためには精度の良い車両の横方向位置の制御が必要であり、また、右方向への進路変更の直後に、25mを走行した地点で左方向への進路変更を連続して行わなければならないため、操作のための時間的な余裕も小さい。

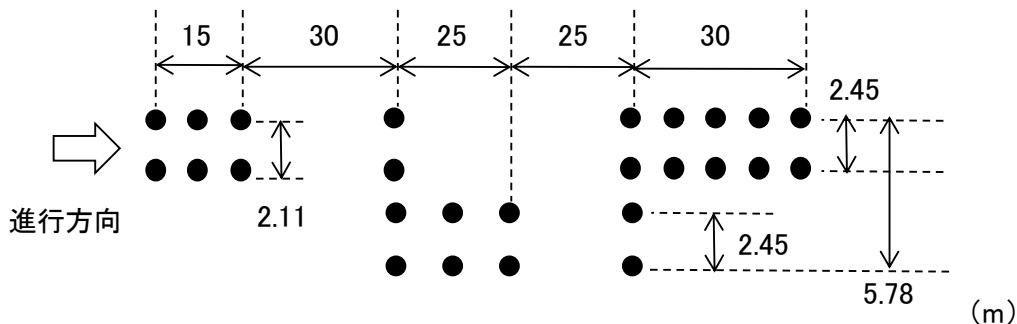


図2-11 車線変更コース

## 暗算作業

聴覚暗算作業として、実験 1 と同じ難易度条件による 3 通り（易条件，中条件，難条件）の加算作業を設定した。

## 実験手順

実験参加者は、心拍測定用電極（胸部導出）を装着した後、実験車両に乗り、閉眼安静状態で瞬時心拍数を 1 分間にわたって記録した。つづいて 3~5 回の練習走行を行った。この後、実験走行として、暗算作業なしで車線変更コースを 1 回走行し、次いで、3 種類の暗算作業のいずれかを行いながら車線変更コースを各 1 回走行するものとした。暗算作業の実施順序はランダム順とした。暗算作業を同時実施する走行では、車線変更コースの入口の手前 200m 地点に設けたスタート地点にて、暗算作業を 30 秒間以上にわたって練習した後、実験参加者による任意のタイミングで車線変更コースに向けて発進し、コース通過終了まで継続して暗算作業を行うものとした。走行にあたり、「セーフティコーンに衝突しないよう、かつ車速 60km/h を維持して走行すること。暗算作業よりも運転に注力すること」を教示した。練習走行を含めた実験参加者あたりの所要時間は約 45 分であった。

## 指標

図 2-12 に、車線変更コース走行時の車両の軌跡と操舵角，ならびに横方向加速度の変化の典型を示す。

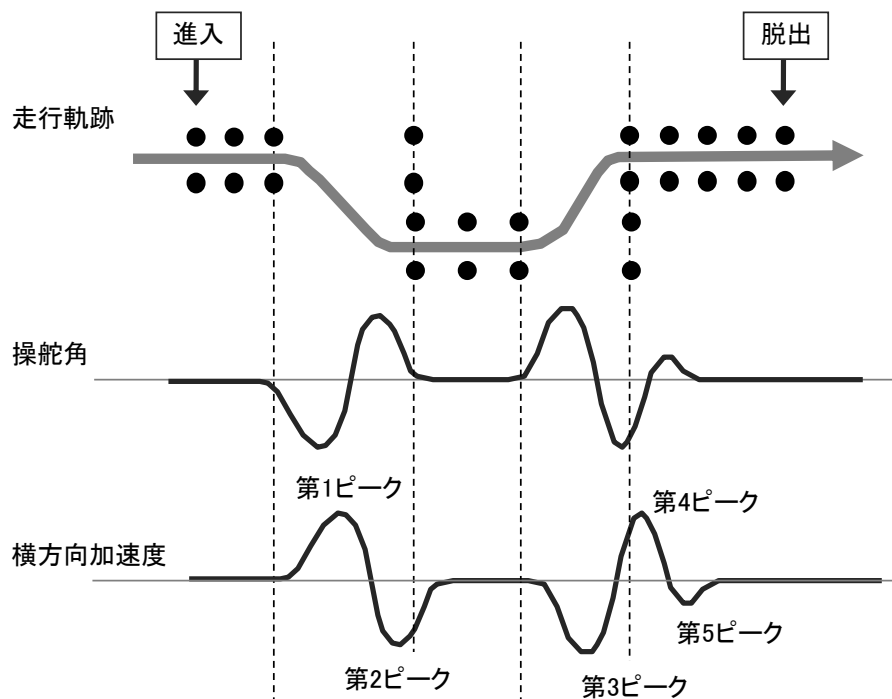


図 2-12 車線変更コース走行時の軌跡，操舵角，横方向加速度の典型

コース通過中の車速コントロールに関する指標として、進入から脱出までの間の車速平均値と車速差（脱出時車速から進入時車速を減じた値）を走行毎に集計した。車両の横方向コントロールに関する指標として、各走行における横方向加速度第 1 ピーク（右への進路変更のための右方向への操舵に対応）、第 2 ピーク（右側区間にて直進に復帰するための左方向への操舵に対応）、第 3 ピーク（左への車線変更のための左方向への操舵に対応）、第 4 ピーク（左側区間にて直進に復帰するための右方向への操舵に対応）、第 5 ピーク（第 4 ピーク後の車両姿勢立て直しのための修正操舵に対応）を集計した。運転中の緊張度に関わる生理的反応として、コース進入から脱出までの間の実験参加者の瞬時心拍数を測定し、走行前の閉眼安静状態における 1 分間の瞬時心拍数の平均値と標準偏差をもとに求めた心拍標準得点（各実験参加者の閉眼安静時における心拍数の平均値を 0、標準偏差を 1 とする標準得点）(宇野・平松・相馬, 1991)について、車線変更コース通過中の平均値を指標とした。

### 2.3.3 結果

#### 暗算作業による負荷の等質性

車線変更コース通過中の暗算作業の誤回答（無回答を含む）率は、易条件で 6.9%、中条件で 6.5%、難条件で 8.5%、全条件平均では 7.5%であり、これらの走行実験における誤回答率と、実験 1 の室内実験における各条件の誤回答率との間に有意差は検出されなかった（易条件  $t(15)=1.584$ ; 中条件  $t(15)=1.743$ ; 難条件  $t(15)=0.883$ ; 難易度条件平均  $t(15)=1.704$ ）。このことより、暗算作業により生じる情報処理負荷は、室内実験と走行実験の間で同等であったと考えることができる。そこで、実験 1 にて推定した各暗算作業における各実験参加者の余裕容量が、走行時にも維持されているとみなし、同じ暗算作業条件下での走行実験で測定した運転行動に関わる指標と、推定した余裕容量との対応関係を分析した。

#### 運転行動と余裕容量との関係

表 2-1 に、設定した暗算作業の難易度条件（3 水準；易条件，中条件，難条件）間の分散分析による有意差検定結果と、各難易度条件ならびに暗算なし条件にて実験参加者毎に推定した余裕容量に対する指標値の相関係数を示す。暗算なし走行を除く暗算作業の難易度条件別集計では、心拍標準得点以外には主効果の有意傾向はみとめられなかった。すなわち、個人差を誤差項として扱う分散分析では、車速や車線変更中の車両の横方向挙動に、暗算作業の難易度に関する定性的条件による差を見出すことはできなかった。なお、コースを規定するセーフティコーンとの衝突は、いずれの暗算作業条件でも観察されなかった。



表 2-1 運転時指標の暗算作業条件別集計と余裕容量との相関係数

指標	暗算作業による主効果 (分散分析, F値)	余裕容量との相関係数 (r値)
車速		
車速平均値	0.945	0.483 **
車速差	1.100	0.606 **
横方向加速度		
第1ピーク値	1.541	0.174
第2ピーク値	0.570	0.438 **
第3ピーク値	1.491	0.163
第4ピーク値	1.964	0.408 **
第5ピーク値	1.622	0.022
心拍		
心拍標準得点	2.896 +	-0.604 **
	自由度: 2, 30	n数: 64

\*\* :  $p < .01$   
+ :  $p < .1$

一方、室内実験にて、実験参加者毎に推定した暗算作業実施時の余裕容量と、各指標値との相関係数を調べると、いくつかの指標で対応関係がみられた。すなわち、車速平均値、車速差、横方向加速度の第2ピーク、第4ピーク、ならびに心拍標準得点の相関係数が有意であった。暗算作業時の余裕容量は、車速のコントロール、一部の車両の横方向挙動、緊張度に関わる生理的反応と対応関係にあることが示された。

なお、横方向加速度の第2、第4ピークのみに対応関係がみられ、第1、第3ピークにみられなかったことは、聴覚暗算作業による注意分散が、左右各々への進路変更の前半過程には影響せず、各進路変更操作の後半過程である直進への復帰時に影響することを示している。

情報処理能力には個人差が大きく、定性的な難易度の区分が同じ暗算作業を行う場合であっても、実験参加者によって、残されている余裕容量は異なる。このため、暗算作業による負荷の大きさを余裕容量として量的に推定したうえで、個人差を含めて各実験参加者の余裕容量に対する運転行動指標の分布を調べることにより、定性的な難易度区分では検出できない注意分散の影響を示すことができたものと考えられる。

### 車速差と余裕容量

図 2-13 に、車速差の暗算作業難易度条件別集計 (図 2-13(a)) と、実験参加者毎に推定した各暗算作業実施時の余裕容量に対する分布 (図 2-13(b)) を示す。車速差は、コース脱出時車速からコース進入時車速を減じた値であり、図中縦軸の値が小さいほど、コース通過中に車速が低下していたことを示す。

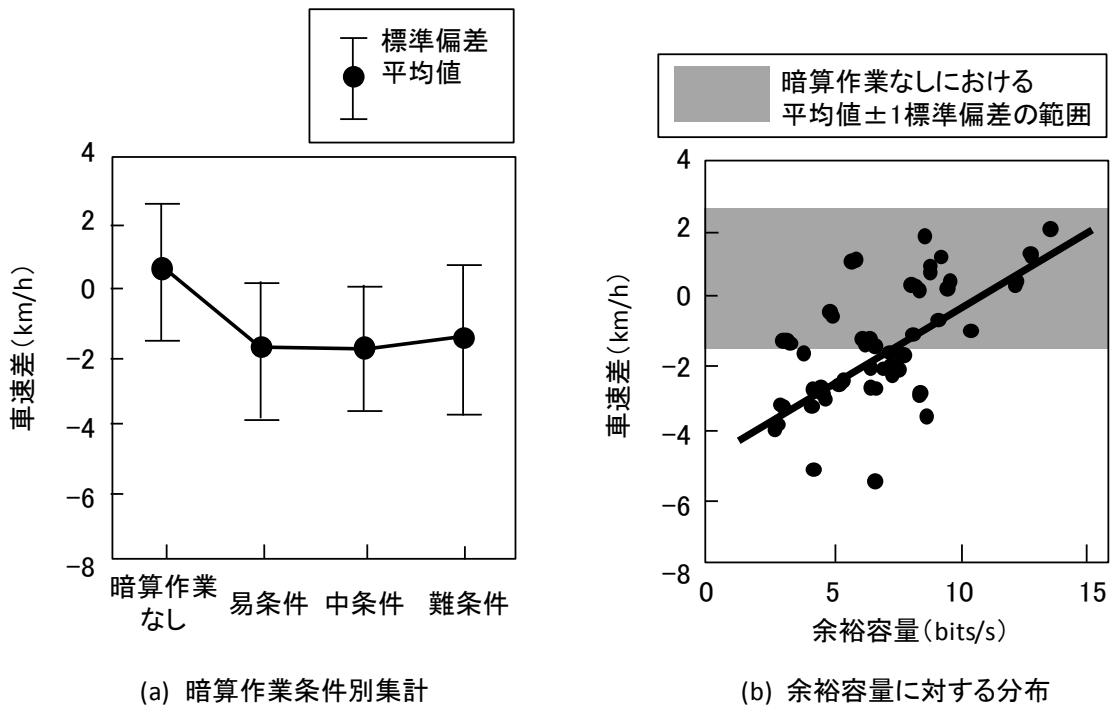


図 2-13 車速差の暗算作業条件別集計と余裕容量との対応関係

図 2-13(a)の難易度条件別集計では、暗算作業なしの場合に比していずれかの暗算作業を実施していると車速の維持が悪化することが示されるのみであり、暗算作業の難易度条件による差は検出できない。一方、図 2-12(b)で個人毎の余裕容量に対する分布を調べると、暗算作業により余裕容量が減っていた場合に車速差が拡大し、進入時よりも脱出時の車速が大きく減っていたケースが多いことがわかる。

どの程度まで余裕容量が減じると運転行動に著しい影響を生じるかを調べるため、負荷のない走行における分布を基準として、暗算作業実施時の車速差を調べた。すなわち、暗算なし走行時の平均値±1 標準偏差の範囲（正規分布を仮定すると、負荷のない走行における約 68%の分布が含まれる範囲）を基準としたところ、余裕容量に対する車速差の回帰直線の交点は約 7bits/s であった。この結果は、暗算作業の同時実施により余裕容量が 7bits/s 以下に減じる注意分散作業時には、無負荷時に比して車速のコントロールが悪化することを示している。

### 心拍標準得点と余裕容量

緊張度に関する生理的指標については、暗算作業の難易度条件間でも差がみられ、図 2-14(a)に示すように、難度が大きい条件であるほど心拍標準得点は大きくなる傾向にあった。暗算作業の難易度条件の違いは、運転行動の差として顕在化するには至らないものの、実験参加者の緊張状態へ影響していることが示されている。また、図 2-14(b)で個人毎の余裕容量に対する心拍標準得点の分布を調べると、余裕容量が小さい場合ほど生理的な緊張度が大きかった。暗算作業により実験参加者の余裕容量を減じる程度が大きい場合には、生理的緊張

度が高まっていたことがわかる。

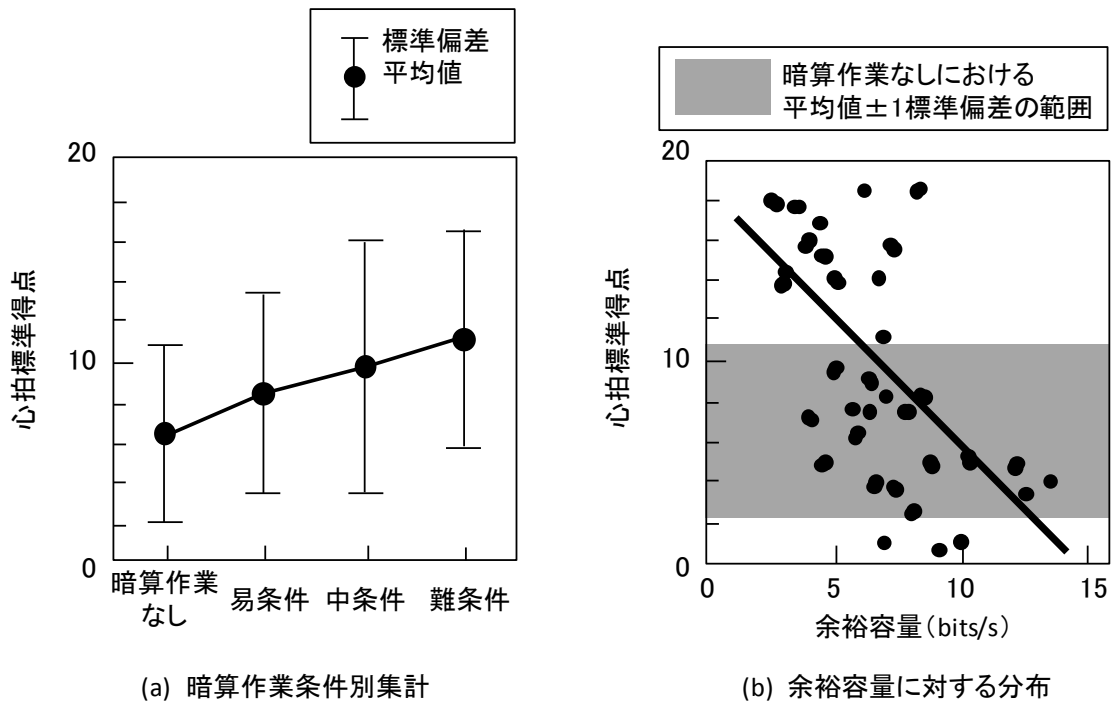


図 2-14 心拍標準得点の暗算作業条件別集計と余裕容量との対応関係

暗算作業なし走行時の分布範囲と、余裕容量に対する心拍標準得点の回帰直線との交点を調べたところ、余裕容量が約 6bits/s 以下となるケースで、暗算なし走行時の平均値±1 標準偏差の範囲を上回った。心拍標準得点では、暗算作業の難易度についての定性的な区分による相違がみられるものの、さらに余裕容量を参照することで、運転者に与える影響の大きさを量的に評価することができると思われる。

## 2.4 考 察

運転者の処理に関わる過程について、処理資源の余裕度は視認行動や運転操作などの表出行動として直接に観察することができないため、これまで視認行動をともしない注意分散による運転行動への影響を定量的に把握することができなかった。そこで本章では、注意分散作業時の余裕度を推定する余裕容量の妥当性を確認することを目的とした。このため、注意分散を導く設定として聴覚暗算作業を用い、同時実施する選択反応作業における反応時間の分布を利用して、情報処理負荷の大きさを余裕容量として推定した。このうえで、テストコース上の車線変更走行時の運転行動との対応関係を調べることで、推定した余裕容量の妥当性を検討した。得られた結果は以下の通りである。

- (1) 推定した余裕容量は、暗算作業の定性的な難易度に応じて異なる。無負荷時の余裕容量に対して、難条件の暗算作業を実施すると平均値にして約 1.5bits/s 減少する。
- (2) ただし、余裕容量は、定性的な難易度条件間の差よりも、条件内の標準偏差が大きい。すなわち、情報処理能力には個人差が大きく、同じ定性的区分の暗算作業であっても、運転者によって生じる負荷の程度は異なる。
- (3) 運転者毎に推定した暗算作業による余裕容量は、車線変更走行時の車速差や、車両の横方向挙動、緊張度に関わる生理的反応と対応関係を示す。
- (4) 無負荷時の分布範囲から推定すると、注意分散作業により余裕容量が 6~7bits/s まで減じると、車速コントロールや生理的な緊張度が悪化する。

### 注意分散による負荷の推定方法

視認行動をともしない注意分散に関する従来の研究例では、運転行動に影響が予想される携帯電話での会話などを定性的な条件として設定した走行実験が行われているが (Brookhuis et al., 1994 ; Alm & Nilsson, 1994), この方法では注意分散の程度を量的に把握することができない。また、例えば聴覚暗算作業や追唱作業を注意分散作業として設定する場合には、本章の実験で作業成績の確認のために用いたような誤回答だけでなく、正答を発話するまでの時間を測定することも手続きとして可能である。ただし、誤回答数の単位は回数であるのに対し、正答発話時間を指標とすると単位は時間であり、異なる単位系のままでは、注意分散による負荷の程度を統一的に記述することができないという問題があった。

これに対し、本研究では、注意分散の対象である聴覚暗算作業の成績を直接に指標とするのではなく、事前の室内実験にて選択反応作業を同時実施し、選択肢数と反応時間との関係を利用した余裕容量として、注意分散作業による処理資源の減少の程度を推定した。実験 1 では、定性的な暗算作業の難易度条件に応じて余裕容量が異なることを示し、実験 2 では、個人毎に推定した注意分散作業時の余裕容量が運転行動と対応することを示した。これにより、視認行動をともしない注意分散により運転者に生じる負荷の程度を、余裕容量という統一の尺度にて推定できることが明らかになったと考えられる。

## 処理資源の余裕の減少による運転行動への影響

実験 2 では、運転者個人毎に推定した余裕容量が、車線変更コース走行時の車速や一部の横方向加速度のピーク値、ならびに緊張度の指標として測定した心拍標準得点と対応した。視線移動をともなう脇見や視認行動をともなわない注意分散によって、運転者の主観的あるいは生理的な緊張度が増し、同時に運転操作や車両挙動が劣化することは既に知られている（麻生他，2002；Brookhuis et al., 1994；Wierwille & Gutman, 1978）。本章の結果は、緊張度と運転行動に関する従来の知見に加え、運転行動の変化に運転者の処理資源の減少が介在していることを示すものである。すなわち、注意分散によりまず処理資源が減少し、これにより交通状況に対して注意を振り向けることができる頻度あるいは処理の深さが減じ（Miura, 1992）、同時に運転者の緊張度を増す。この注意配分の減少が、車線変更コース走行中の車速の維持や、横方向挙動の制御の低下という形で、運転行動の変化をもたらしたものと考えることができる。

## 情報処理過程への影響

実験 2 における車両の横方向挙動に関する指標のなかで、余裕容量との対応関係がみられたのは横方向加速度第 2 ピーク値と第 4 ピーク値であり、他のピークには対応関係はみられなかった。設定した車線変更コースでは、第 1 と第 2 ピークは右方向への進路変更のための操舵であり、第 1 ピークは右方向への操舵の終了に対応し、第 2 ピークは右側車線で直進に復帰するための操舵に対応する。同様に、第 3 と第 4 ピークは左方向への進路変更のための操舵であり、第 3 ピークは左方向への操舵の終了、第 4 ピークは左側車線で直進に復帰するための操舵に対応する。上記の結果は、左右への車線変更のいずれについても、進路変更の前半過程に行われる操舵には注意分散の影響が小さく、後半過程において影響が大きいことを示している。

実験 2 の車線変更コースでは、車速 60km/h での進入後に、まず右方向への進路変更を行い、この直後に 25m を進行して、即座に左方向への進路変更を行わなければならない。右方向ならびに左方向への進路変更における各々の前半過程の操作では、セーフティコーンで規定されたコース形状をあらかじめ視認できるため、運転者は進路変更の開始地点と必要な車両の横移動量を事前に予測することで操舵の量や速度を見積り、これに基づいて、操作を実行する時点では自動処理を駆動して対応していると推察される。一方、後半過程である直進への復帰のための操作では、進路変更のための初期の操舵を終えた時点では車両の姿勢が不安定であるため、あらためて直進路に対する自車の相対位置を把握して操舵の量と速度を定める必要があり、ここでは注意の介在が必要になると推察される。すなわち、統制処理との関わりという点で、各進路変更の前半過程では、事前に定めた操作を自動処理として実行するまでが統制処理の役割であったため関与は小さくて済むのに対し、後半過程では統制処理の関与が大きかったと推察される。進路変更の後半過程において注意分散の影響がみられたことは、時間的に連続した操作の中でも、とくに統制処理が必要とされる部分において、注意分散による影響があらわれることを示していると考えられる。

## 余裕容量の個人差

実験1にて、注意分散作業がない場合であっても、推定した余裕容量には実験参加者間の差が大きいことが示された。この余裕容量における個人差は、個人に固有の情報処理特性を反映していると考えられる。

人間の情報処理能力を研究する手法のひとつに、記憶セット課題 (memory set task) と呼ばれる方法がある (Lachman et al., 1979)。これは、まず記憶セットとして事前に複数の刺激を呈示して記憶することを求め、次いで、後に呈示するプローブ刺激が記憶セット中に含まれていたか否かの判断を求めることで、正誤や回答までの反応時間を手がかりとして短期貯蔵へのアクセス量や速度を推定する方法である。この記憶セット課題を用いた研究例のレビューによれば (Hunt, 1978)、成人健常者のアクセス速度は10~12ms/項目であるのに対し、高齢者や脳炎疾患患者では速度が大幅に低下することから、個人に固有の特性によりアクセス速度は異なるとされている。処理資源は、処理の努力、記憶容量、通信経路を含むと考えられており (Norman & Bobrow, 1975)、実験参加者に固有の特性による短期貯蔵へのアクセス速度の違いは、処理資源の差に対応する。

本研究における余裕容量の推定は、選択反応作業における反応時間の分布を利用している。反応時間は、個人固有の情報処理特性だけでなく、覚醒度、疲労、作業への動機づけなどの一時的な生理的、心理的状态の影響を受けるとされているが (大山, 1985)、実験1では、連続した実験ブロックの実施時間は高々4~5分間であり、この間に覚醒度や疲労、動機づけの大きな変化があったとは考え難い。また、実験2で測定した走行時の運転行動指標が、実験1で推定した余裕容量と対応関係を示したことは、余裕容量の個人差が実験1における覚醒度や動機づけによる一時的な状態変化によるものではないことを示唆している。以上より、余裕容量の個人差は、実験参加者に固有の情報処理の特性を反映していると推察される。

## 負荷推定にあたっての留意点

本章では、室内実験と走行実験の間で暗算作業の誤回答率に有意差が検出されなかったことより、車線変更という運転作業による暗算作業への影響はないと仮定し、暗算作業の実行により使用される処理資源の量は室内実験と走行実験の間で同等とみなした。この前提のもとで、事前に推定した暗算作業中の余裕容量を用いて、注意分散が運転行動に与える一方向の影響を分析した。ただし、交通量の多い交差点での右左折など、運転者にとっての情報処理負荷が大きい交通状況にて自動車を運転する場合には、暗算作業の成績は交通状況による影響を受けることが報告されている (Harms, 1991)。これは、注意分散作業による情報処理負荷の程度が、同時に実施する運転作業のために変化することを意味する。したがって、作業間に相互作用が想定される場合には、室内実験で推定した注意分散作業時の余裕容量を、一定不変の値として走行時に適用するのは適当でない。この場合には、あらかじめ誤答率や発話開始時間などの注意分散作業の成績と余裕容量との関係を調べたうえで、走行実験を実施することが必要である。そのうえで、走行中の注意分散作業の成績を測定し、成績をもとに推定したその時々々の余裕容量と、運転行動との関係を調べることで、注意分散による影響を評価できると考えられる。

## 2.5 概要

本章は、余裕容量が、視認行動をとまなわない注意分散作業時における処理資源の余裕度を推定する値として適当であることの検証を目的とした。注意分散を導く設定として聴覚暗算作業を用い、同時実施する選択反応作業における反応時間の分布を利用して、情報処理負荷の大きさを余裕容量として推定し、車線変更走行時の運転行動との対応関係を調べた。その結果、無負荷時の余裕容量に対して、難条件の暗算作業を実施すると、余裕容量は平均値にして約  $1.5\text{bits/s}$  減少した。情報処理能力には個人差が大きく、同じ難易度条件の暗算作業であっても、運転者によって生じる負荷の程度は異なっていた。そこで、実験参加者毎に推定した暗算作業時の余裕容量との関係を調べると、車線変更走行時の車速コントロールや、車両の横方向挙動、緊張度に関わる生理的反応と対応関係がみられた。無負荷時の分布範囲から推定すると、注意分散作業により余裕容量が  $6\sim 7\text{bits/s}$  まで減じると、車速コントロールや生理的な緊張度が悪化すると推定された。

注意分散作業である暗算作業の定性的な難易度によって、推定した余裕容量が異なることから、余裕容量は運転者の処理資源の減少を反映するとみられ、また、暗算作業実施時の運転者毎の余裕容量が走行中の運転行動に関する指標値と対応したことから、処理資源の減少が運転行動に影響することを確認した。以上より、推定した余裕容量は、注意分散作業時の余裕度の推定値として適当であることがわかった。

## 第3章 交通状況に起因する情報処理負荷の量的推定

### 3.1 課題

運転行動の適否は運転者の情報処理過程に依存する。このため、情報処理負荷が大きい交通状況では運転者の余裕容量が減少し、ここで緊急の対応行動を必要とする事態が生じると、適切な運転操作を行うことができない可能性がある。また、負荷の大きい交通状況にて、カーナビゲーションシステムなどの車載情報提供装置により情報を提供すると、その情報を運転者が有効に活用できないだけでなく、車載装置に対する注意分散により運転行動が不適切となり、衝突の危険性を惹起する可能性もある。各種の交通状況にて生じる運転者の情報処理負荷の程度を点検し、どのような交通状況で情報処理負荷が増大するのかを明らかにする必要がある。

交通状況に起因する情報処理負荷の推定にあたり、第2章で述べた方法を援用することができると考えられる。第2章では、副次課題法の手続きと選択反応作業における選択肢数と反応時間の関係を利用して、室内実験にて聴覚暗算作業実施時の余裕容量を推定し、同じ暗算作業を同時実施するテストコース上の走行実験にて、余裕容量が運転行動と対応関係にあったことから、処理資源の余裕度についての推定値として適当であることを示した。ただし、第2章の実験では、室内実験での暗算作業の誤回答率とテストコース走行時の誤回答率に差が検出されなかったことより、室内実験で推定した暗算作業実施時の情報処理負荷が走行時にも維持されているものとみなし、運転者毎に推定した余裕容量が運転行動と対応することを示した。

Brownらをはじめとする先行研究は、交通状況による負荷が大きい場合には、走行中の副タスクの成績が低下することを示している(Brown, 1962; Brown & Poulton, 1961; Harms, 1991; MacDonald & Ellis, 1975; 宇野, 2001; Wierwille & Gutman, 1978)。交通状況の違いによって副タスク成績が変化するのであれば、走行中に副タスク成績を測定することで、交通状況から生じる情報処理負荷の程度を、処理資源が消費された残余の余裕容量として推定できると考えられる。このためには、あらかじめ副タスクの成績と余裕容量との対応関係を把握することが必要である。そのうえで、走行中に副タスクの実行を運転者に求めることにより、現実の交通状況における副タスク成績から、その交通状況における情報処理負荷の程度を余裕容量の変化として推定できると予想される。

第2章で示したように、同じ作業を行う場合であっても余裕容量は運転者によって異なっており、情報処理能力には個人間の差が大きい。また、覚醒度が低い場合には処理資源の量が減じるなど(箱田, 1992; 多鹿他, 1992)、個人内差も指摘されている。しかし、十分な情報が入力される状況下での平均的な負荷を推定するのであれば、さほど問題はないと考えられる。十分な情報が入力されている場合には、処理資源の減少は作業成績の低下をもたらすと考えられることより(Norman & Bobrow, 1975)、処理資源の差は余裕容量とそれを反映する作業成績にあらわれ、余裕容量が小さくなると作業成績も低下すると予想されるか



らである。したがって、走行中の副タスクとする作業を対象として、この作業と選択反応作業を優先度の大小を設けずに同時実施すると、選択反応作業から推定する余裕容量が小さい場合には作業成績も低下すると予想される。

この余裕容量と作業成績の変動を利用することで、走行中に副タスクとする作業の成績と余裕容量との関係を把握できる可能性がある。すなわち、運転者を区別せずに副タスクの作業成績を測定し、副タスク成績の区分毎に余裕容量を推定することにより、特定の副タスク成績と余裕容量との関係を把握できると考えられる。この手続きにて、副タスク成績と余裕容量が共に変化するという対応関係を示せば、副タスク成績にて走行中の余裕容量を推定するためのキャリブレーションデータとして利用できると期待される。交通状況から生じる平均的な負荷の程度を推定する目的であれば、全体的な関係をもとにしたキャリブレーションデータは有用と考えられる。

なお、情報処理負荷を副次課題法にて推定するにあたり、副タスク成績は主タスクによって影響されることが必要であり、逆に主タスク成績は副タスクによる影響を受けてはならない。Ogden et al. (1979) は、主タスクの違いに対して感受性のある副タスクであることとともに、作業者が本来行うべき主タスクの成績に対する干渉が極力小さく、主タスクに比して優先度の低い副タスクを選択することが必要であるとしている。これは、主タスクである運転作業が、副タスクを実行することで変化する場合には、作業者の処理資源が主タスクの遂行により優先的に消費され、その残余にて副タスクが遂行されるという、副次課題法が成立するための前提が満たされないことになるからである。また、主タスク成績が変化する場合には、そのときに行われていた主タスクの処理が本来の処理内容から変性している可能性があるため、評価対象とする主タスクの負荷を正しく推定できない恐れがある。

運転行動は運転者による視覚入力と手足による操作を中心とする作業であるため、運転行動を主タスクと位置づける場合には、視覚入力と手足の操作に干渉する副タスクは適切でない。聴覚呈示ー口頭回答の暗算作業を副タスクとすることで、感覚モダリティと身体運動の点で干渉を低減するよう配慮することはできる。ただし、この場合でも、現実の交通状況における調査に先立って、副タスクを実行することによる運転行動への干渉が小さいことをあらかじめ確認する必要がある。

本章では、交通状況に起因する情報処理負荷を量的に推定し、負荷の大きい交通状況を抽出する。このため、走行中に成績を測定する副タスクとして聴覚暗算作業を位置づけ、図 3-1 に示すように、まず、実験 3 として、室内実験にて暗算作業成績と余裕容量との対応関係を調査したうえで、余裕容量を暗算作業成績から推定するためのキャリブレーションデータを取得する。すなわち、暗算作業の成績として、正答時の発話開始までの時間、ならびに誤回答あるいは無回答を想定し、その各々が走行中に観察された場合の余裕容量を推定するためのデータを得る。次いで、実験 4 にて、副次課題法としての前提が満たされているか否かを確認するため、交通状況を統制できるドライビングシミュレータを利用して、設定した交通状況の違いに対する感受性と、暗算作業による運転行動への干渉の有無を調べる。このうえで、実験 5 にて、実路走行における実車走行実験にて余裕容量の変化を推定し、運転者の余裕容量が低下しやすい交通状況を明らかにする。

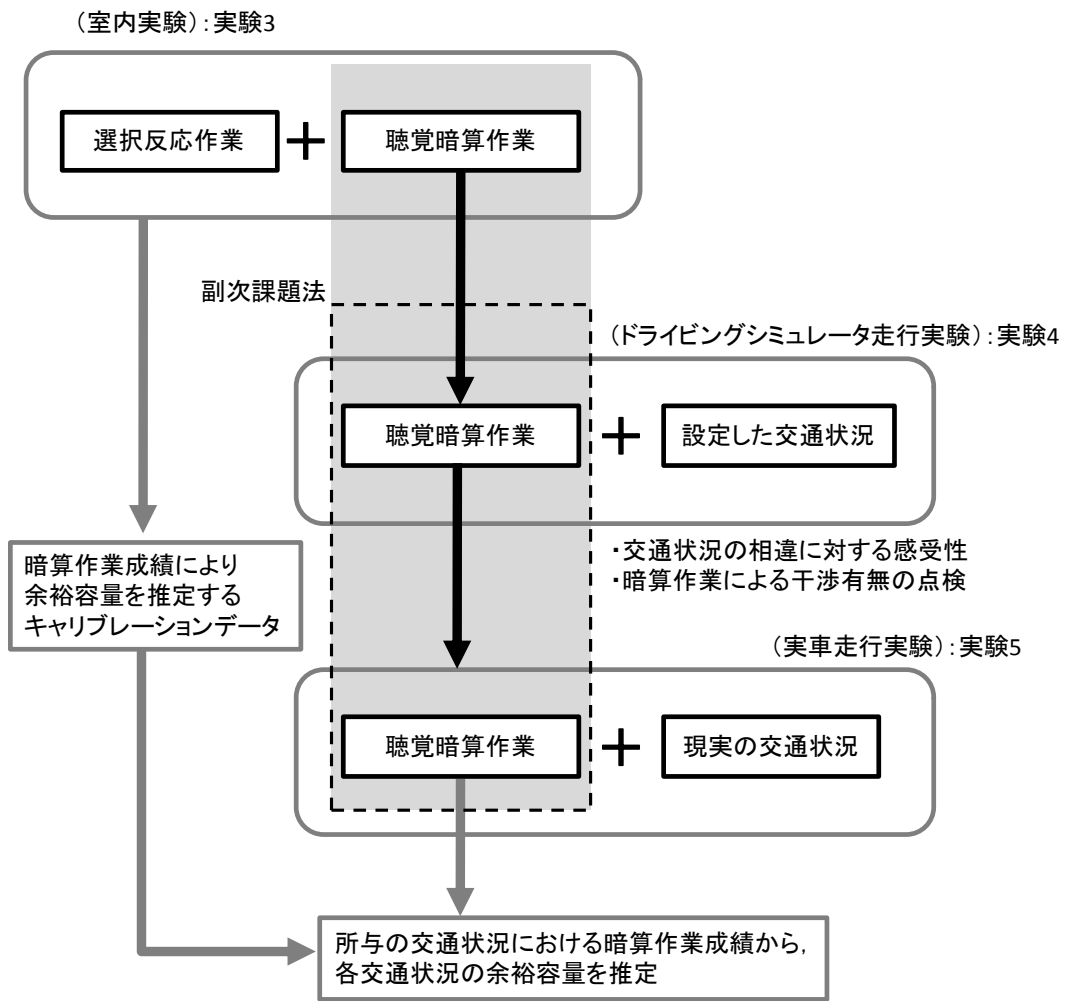


図 3-1 交通状況により生じる情報処理負荷の推定手順

## 3.2 実験3 暗算作業の成績と余裕容量との関係

### 3.2.1 目的

走行中に運転者が副タスクとして実行する聴覚暗算作業の成績をもとに、交通状況に起因する余裕容量の減少の程度を推定するため、まず、作業の優先度を設けずに暗算作業と選択反応作業を同時実施する室内実験にて、暗算作業成績と余裕容量との対応関係を調べる。ここで、処理資源は作業成績を規定すると考えられることより、余裕容量が小さい場合には暗算作業成績も低下すると予想される。暗算作業成績と余裕容量との間に対応関係がみとめられた場合には、これを走行時に余裕容量を推定するためのキャリブレーションデータとする。

### 3.2.2 方法

#### 実験参加者

実験の趣旨と実施内容を了承した男女運転者 25 名（男性 21 名，女性 4 名，年齢 25～58 歳，運転歴 7～40 年）とした。参加者は、いずれも通勤や買物のために日常的に自動車を運転している運転者であった。

#### 実験条件

聴覚暗算作業を実施中の選択肢数に応じた反応時間の分布を測定するため、選択肢数の異なる 4 通りの選択反応作業（選択肢数 1, 2, 4, 8）を設定し、室内実験を実施した。

#### 選択反応作業

第 2 章の実験 1 と同様の設定とした。

#### 暗算作業

実験 1 の手続きにおける 0～15 までの数字同士の加算作業とした。

#### 実験手順

はじめに、暗算作業のみ（50 試行）を行い、暗算作業成績を測定した。この後に、短時間の選択反応作業のみの練習（4 通りの選択肢数にて各 5 試行程度）を実施し、次いで暗算作業と選択反応作業を同時実施してデータを取得した。選択反応作業の実施順序は昇べき順とした。本実験は、余裕容量に対応する暗算作業成績のキャリブレーションが目的であるため、暗算作業と選択反応作業の優先関係は指定せず、「暗算作業と選択反応作業の両方に等しく注力すること」を実験参加者に教示した。実験の所要時間は約 30 分であった。

#### 指標

選択反応作業については、実験 1 と同じ手順で反応時間を記録した。

暗算作業の成績の指標として、7kHz のサンプリング周波数で記録した音声データから、正答、誤った数字を答える誤回答、回答期間中に回答できない無回答を分別して記録した。正

答時には、加算問題の呈示終了から発話開始までの時間を暗算作業の成績として記録した。

本実験では、走行中の余裕容量の変化を推定するため、走行中に実施する暗算作業を対象に、成績と余裕容量との関係を調べる。このため、個人毎に余裕容量を推定するのではなく、複数の実験参加者における平均的な余裕容量を、副タスクである暗算作業の成績毎に推定した。すなわち、暗算作業の成績区分として、正答時の発話開始時間を 0.1 秒間隔で区分し、各区分の発話開始時間ならびに誤回答または無回答が観察された際の全実験参加者の選択反応時間から、その暗算作業成績の区分における余裕容量を推定した。ここで、第 2 章と同様に、反応時間は選択肢数の対数に比例して増加するという性質と、2 を底とする選択肢数の対数は冗長度を考慮しない場合の情報量単位に相当することから、暗算作業成績の区分毎に、選択反応課題における選択肢数の対数に対する反応時間の増加勾配 (s/bits) を求め、この逆数 (bits/s) を当該暗算作業成績に対応する余裕容量とした。

### 3.2.3 結果

#### 暗算作業成績の分布

図 3-2 に、25 名の実験参加者を区別せず、正答時の発話開始時間の区分に対する分布、ならびに誤回答と無回答の構成率を集計した結果を示す。ただし、発話開始時間が短い 0.3 秒未満、ならびに開始時間が長い 1.5 秒以上では、構成率が小さかったため、0.1~0.3 秒ならびに 1.5~2.0 秒の区間を区分とした。

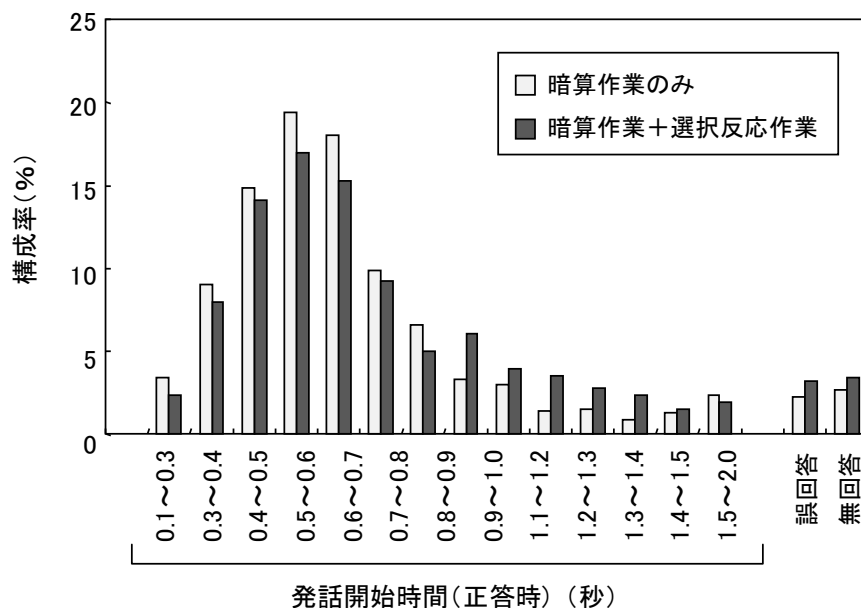


図 3-2 暗算作業成績の構成率

正答時の発話開始時間は 0.1 秒から 2.0 秒までに分布し、最頻値は 0.5~0.6 秒の範囲であった。また、誤回答や無回答も観察された。なお、参考に選択反応作業の有無による暗算成績の相違を調べると、暗算作業のみを実施した場合に比して、選択反応作業を同時実施した場合には、正答時の発話開始時間が延長する傾向にあり、誤回答、無回答の構成率も若干増

加するが、 $\chi^2$ 検定の結果より、正答時の発話開始時間の区分毎の構成率、誤回答率、無回答率の構成率に有意差はみられなかった ( $\chi^2(13)=15.945$ )。

### 暗算作業成績と余裕容量との関係

図 3-2 に示した暗算作業成績の区分毎に、実験参加者を区別せずに選択反応作業における選択肢数と反応時間を集計し、余裕容量を推定した。すなわち、ある暗算作業成績の区分（例えば、発話開始時間 0.1～0.3 秒）であった場合の選択反応作業における個々の反応時間データを全実験参加者について抽出し、選択肢数の対数に対する反応時間の分布から回帰直線の勾配を求め、この逆数を当該暗算成績に対応する余裕容量とした。

暗算作業成績の区分毎に、選択反応作業のデータ数、選択肢数の対数に対する反応時間データの分布に関する目安としての相関係数、ならびに推定した余裕容量を、表 3-1 に示す。相関係数はいずれも有意であり、選択肢数の対数と反応時間は対応関係にあった。個々の反応時間データは、実験参加者を区別せずに抽出したものであるため、分布には個人差が含まれている。しかし、この反応時間が情報量単位に相当する選択肢数の対数と対応関係を示したことより、分布をもとに推定した暗算作業成績の区分毎の余裕容量は、本実験の参加者全体の平均的な値を示していると考えられる。

表 3-1 暗算作業成績の区分毎のデータ数、相関係数、余裕容量推定値

暗算作業成績の区分	データ数	選択肢数の対数との相関係数 (r値)	余裕容量の推定値 (bits/s)	
正答時の発話開始時間	0.1～0.3	20	0.871 **	14.75
	0.3～0.4	69	0.729 **	12.21
	0.4～0.5	122	0.779 **	10.07
	0.5～0.6	147	0.571 **	8.68
	0.6～0.7	132	0.559 **	8.54
	0.7～0.8	80	0.628 **	7.88
	0.8～0.9	44	0.604 **	8.97
	0.9～1.0	52	0.649 **	8.20
	1.0～1.1	34	0.605 **	6.70
	1.1～1.2	30	0.638 **	6.80
	1.2～1.3	24	0.721 **	6.68
	1.3～1.4	20	0.637 **	5.45
1.4～1.5	13	0.623 *	6.08	
1.5～2.0	16	0.602 **	4.53	
誤回答	27	0.651 **	7.96	
無回答	29	0.680 **	5.49	

\*\* :  $p < .01$   
\* :  $p < .05$

なお、実験参加者毎の選択肢数の対数と反応時間の相関係数は、0.714～0.942 の範囲にあり、表 3-1 中の暗算作業成績の区分毎の相関係数 (0.559～0.871) よりも総じて大きかった。個人毎の反応時間は一貫性が大きいのに対し、暗算作業の成績区分毎の反応時間には個人間差が含まれているため、相関係数が相対的に小さくなったものと推定される。また、個人毎

の余裕容量を参考に推定すると、本実験における 21 名の男性参加者の範囲は 4.45~13.78 bits/s であり、4 名の女性参加者の余裕容量は 6.52~12.09bits/s であった。データ数が少ないため直接検定を行うことはできないものの、余裕容量の範囲はほぼ一致しており性別による違いはないとみられる。

各暗算作業成績における余裕容量を、図 3-3 に示す。暗算作業の発話開始時間に対して、推定した余裕容量は直線状に分布し、暗算作業に正答するまでの時間が長いほど余裕容量は減少した。すなわち、走行時の副タスクとする暗算作業の成績は、推定した余裕容量と対応関係にあり、発話開始時間に対する余裕容量の回帰直線より、暗算作業の発話開始時間の 0.1 秒の延長は、余裕容量が約 0.55bits/s 減じたことに相当すると推定される。また、誤回答時の余裕容量は約 8.0bits/s、無回答時は約 5.5bits/s と推定される。

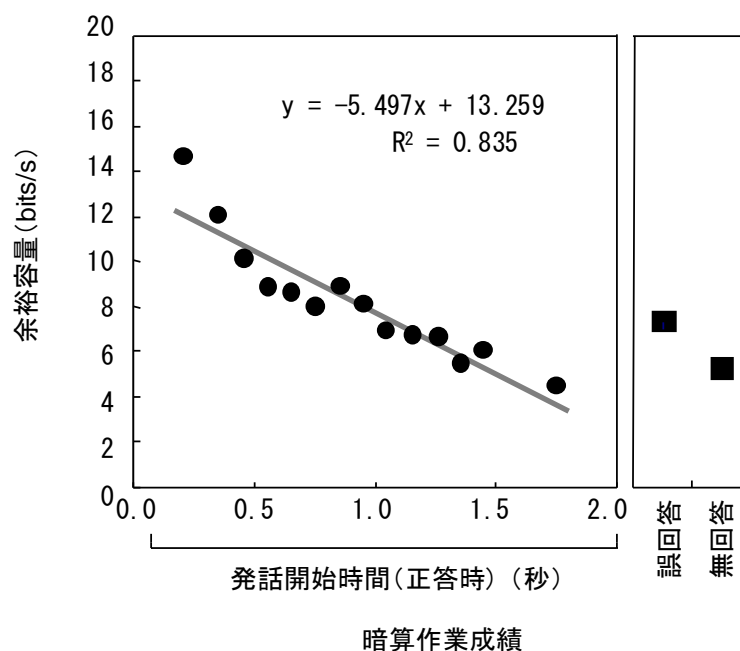


図 3-3 暗算作業成績と余裕容量との関係

この結果は、25 名の実験参加者全体としての暗算作業成績と余裕容量との関係を示している。すなわち、処理資源が作業成績を規定することを反映して、余裕容量が小さい場合ほど暗算作業成績が低下している。また、個々の暗算作業成績区分における相関係数は、個人差を考慮しない分布であっても反応時間は選択肢数の対数と対応関係にあることを示している。このことから、暗算作業成績毎の余裕容量の推定値は、実験参加者全体の代表値としては妥当と推定され、上述の結果は、暗算作業成績と余裕容量との平均的な関係を記述しているとみなすことができる。そこで、図 3-3 に示した発話開始時間と余裕容量との関係を示す回帰直線、ならびに誤回答時と無回答時の余裕容量をキャリブレーションデータとして利用し、走行中に運転者が実行する暗算作業の成績をもとに、その時々々の交通状況における余裕容量を推定することにした。

### 3.3 実験4 ドライビングシミュレータ走行実験による検証

#### 3.3.1 目的

本実験では、統制した交通状況にて、上述のキャリブレーションデータを用いて推定する余裕容量が交通状況によって異なること、ならびに副タスクとして設定した暗算作業が運転行動へ大きく影響しないことを確認する。推定する余裕容量が、交通状況に起因する運転者の処理資源の減少の程度を反映するのであれば、交通状況の違いに応じて余裕容量は変化すると予想される。また、主タスクに対して処理資源が優先的に使用されるという副次課題法的前提が満たされているのであれば、副タスクとする暗算作業を運転者が走行中に実行しても、運転行動に大きな影響は観察されないと予想される。

#### 3.3.2 方法

##### 実験参加者

実験の趣旨と実施内容を説明し、参加を了承した男女運転者12名（男性10名、女性2名、年齢25～54歳、運転歴7～34年）とした。参加者は、いずれも通勤や買物のために日常的に自動車を運転している者であった。また、全員が、暗算作業成績と余裕容量の関係についてのキャリブレーションデータを取得した実験3に参加した運転者であった。

##### 実験条件

異なる交通状況を設定するため、条件統制が可能なドライビングシミュレータにて市街地を走行する実験を行い、交通状況による余裕容量の違いと、走行中の副タスクとして設定した暗算作業による運転行動への影響を調べた。交通状況の負荷の程度を変化させるため、負荷が大きい設定として、交差点での飛び出し車両の有無を設け、また、負荷の小さい設定として、歩道上の横断歩行者の有無を設けた。実験参加者は、これを組合せた4通りの走行条件にて暗算作業を実施しながら走行した。仮に、主タスクである運転行動よりも暗算作業が優先的に処理されているのであれば、運転者による注意の介入を必要とする飛び出し車両への対応行動などに暗算作業の有無による差があらわれる可能性がある。

##### 暗算作業

実験3と同じ暗算作業を設定した。

##### 走行状況

シミュレータ上に、交差点の連なる市街地道路を設定し、走行中に上記の暗算課題を行うよう求めた。300mの加速区間につづく1600mの片側1車線、車線幅3.5m、対面通行の市街地道路を設定し、これを実験区間として40km/hにて走行するものとした。市街地道路には80m間隔で横断歩道を備える無信号交差点を計20ヶ所設け、交差点周辺には幅1mの歩道の先に建物を配して、交差道路の見通しが悪い設定とした。

交通状況に関わる走行条件として、交差点周辺の歩道上の歩行者の有無と、左側交差道路

からの飛び出し車両の有無を組合せた 4 通りの運転シナリオを設定した。歩行者は、視対象数が多い交通状況を想定する目的で設定され、交差点四隅の横断歩道に接する歩道上に静止歩行者を配置した。飛び出し車両は、運転者による回避操作を必要とする状況を想定する目的で設定され、路側の建物を利用して、運転者の運転する車両が交差点手前 40m に達した時点で左側交差道路上の車両が可視となるように配置した。運転者から可視となった後、交差車両は減速しながら進行し、交差点中央で停止するものとした。実験区間を通して、対向車線の通行はないものとした。図 3-5 に、交差点近傍の設定を示す。

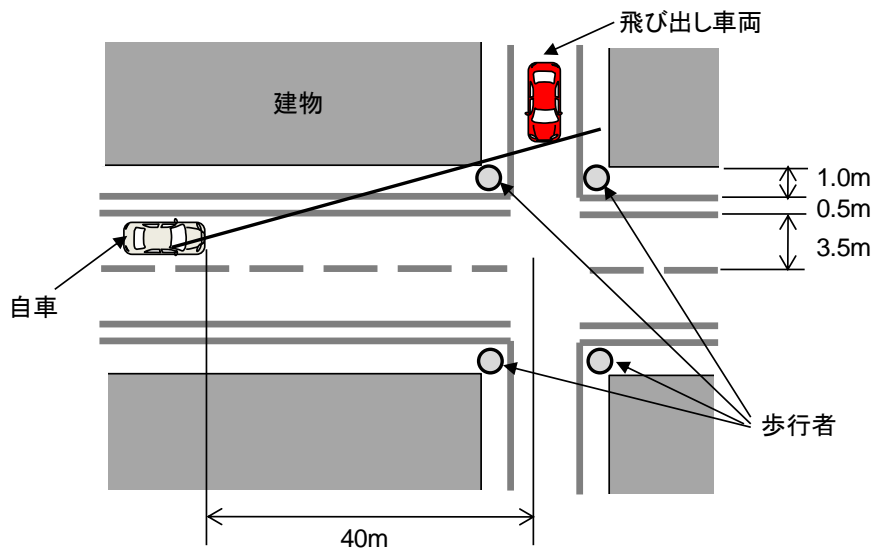


図 3-5 交差点近傍の設定

20ヶ所の交差点のうち、歩行者と飛び出し車両を配する 5ヶ所の交差点の位置を、図 3-6 のように定めた。本実験では、歩行者と飛び出し車両の有無を組合せた条件を設定したため、図中の 5ヶ所の交差点では、走行条件によって、歩行者と飛び出し車両がともにある場合、歩行者のみの場合、飛び出し車両のみの場合、両者ともに存在しない場合があった。なお、20ヶ所の交差点の景観は全て同じとし、歩行者と飛び出し車両を配置した交差点の位置を運転者が識別できないよう配慮した。

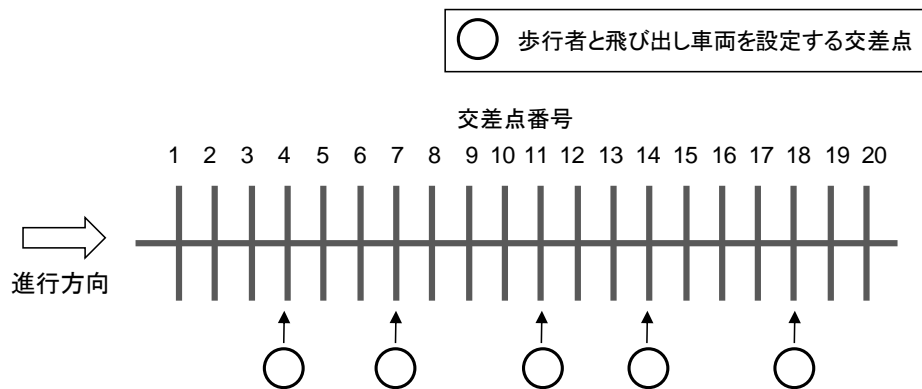


図 3-6 歩行者ならびに飛び出し車両を設定した交差点の配置



## 実験装置

(財)日本自動車研究所が保有する動揺機構付きドライビングシミュレータ（佐藤・平松・宇野・相馬・若杉・沖山，1994；相馬・平松・佐藤，1995；宇野・平松・佐藤，1996）を実験に用いた．この装置は，油圧アクチュエータによる運転席の可動機構を備え，ドライバの運転操作を検知して操作反力を発生する運転席部，運転操作をもとに車両運動を実時間で演算する計算機部，アイポイントから見える直接視界をコンピュータグラフィックスとして表示分解能  $0.045^\circ$  で再現するビジュアルシステム，走行音などを模擬する音響システムから構成されている．なお，シミュレータの模擬対象車両は，排気量 1800cc のセダン型乗用車（全長 4650mm×全幅 1700mm×全高 1400mm．フロアセクタ AT 車）とした．図 3-4 にドライビングシミュレータの外観と運転席を示す．

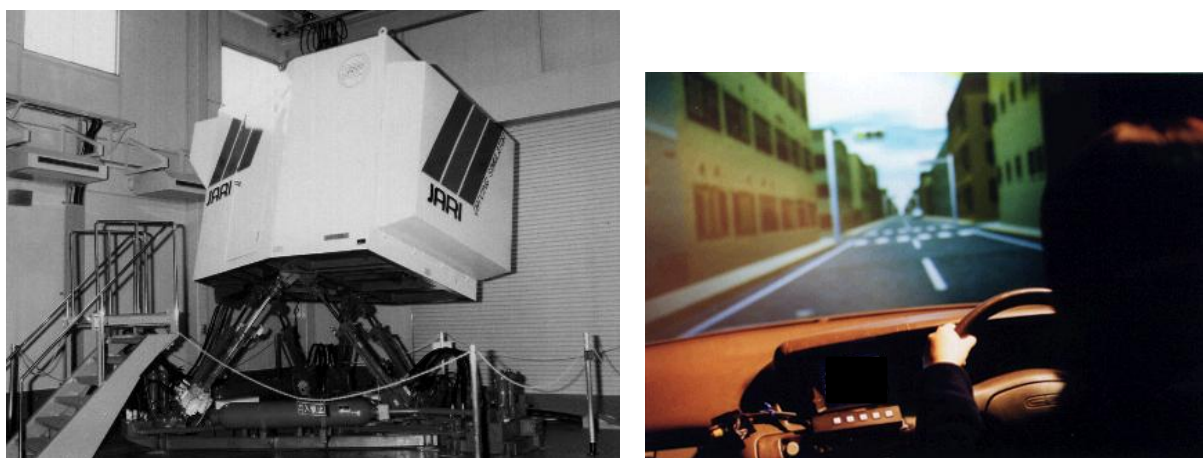


図 3-4 ドライビングシミュレータ

## 実験手順

歩行者の有無と飛び出し車両の有無を組み合わせた 4 通りの運転シナリオにつき，各 1 回の実験走行を実施した．まず，暗算作業なしにて「歩行者あり/車両あり」の運転シナリオにおける練習走行の後，暗算作業を行いながら，ランダム順に 4 通りの運転シナリオでの実験走行を実験参加者に求めた．走行にあたり，「通常の運転のつもりで，車速を 40km/h に維持して走行すること．車両の飛び出しがあった場合にはこれを回避すること．暗算作業よりも定められた方法で運転することを重視すること」を実験参加者に教示した．実験参加者あたりの所要時間は約 60 分であった．図 3-7 にシミュレータ上の風景例を示す．

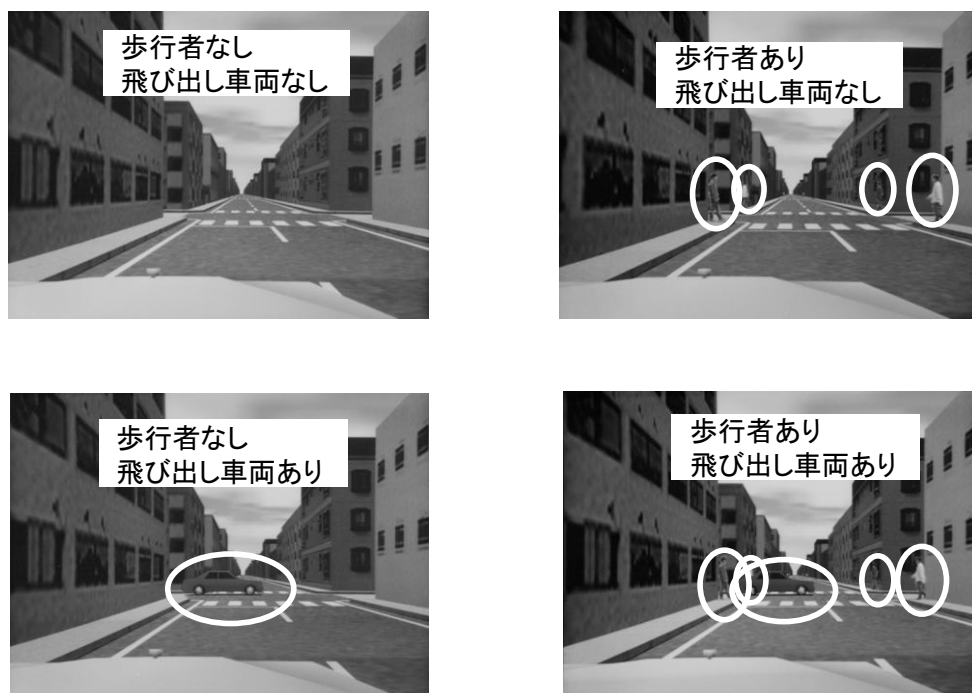


図 3-7 ドライビングシミュレータの風景例

### 指標

暗算作業成績の指標として、正答の発話開始時間、誤回答、無回答を記録し、実験 3 にて得たキャリブレーションデータと照合して余裕容量を推定した。

運転行動に関わる計測項目として、操舵角、アクセル開度、ブレーキ踏力、車速、横方向加速度を測定した。計測項目のうち、走行中に暗算作業を実施することが運転行動に与える影響の有無を調べるため、車速標準偏差と操舵反応時間を指標とした。車速標準偏差は、注意分散の影響を調べた実験 2 にて車速コントロールに影響がみられたことから選択した指標であり、歩行者と飛び出し車両を配する 5ヶ所の交差点各々について、交差点中央の前後 40m の計 80m 区間における車速の標準偏差を集計した。また、暗算作業が、主タスクである運転行動よりも優先的に処理されているのであれば、運転者の統制処理を反映する反応時間に影響が生じる可能性が予想されるため、運転者から飛び出し車両を視認できるようになった時点から操舵を開始するまでの操舵反応時間を指標とした。

### 3.3.3 結果

#### 交通状況の違いに対する感受性

交通状況に起因する情報処理負荷の程度を推定するためには、まず主タスクである運転行動を行う交通状況の違いに応じて、副タスク成績が変化することが必要である。「歩行者なし/車両あり」条件における1名の実験参加者の運転操作と車両挙動の推移を、図3-8に例示する。5ヶ所の交差点にて、飛び出し車両を回避するための操舵と、これにともなう横方向加速度の変化、ならびにアクセルペダル操作が観察された。ここで、飛び出し車両のいない交差点の通過時に比して、飛び出し車両のある交差点では、暗算作業の発話開始時間が延長することが多く、また2つ目と5つ目の交差点通過直後には、無回答や誤回答が生じた。すなわち、副タスクである暗算作業の成績が飛び出し車両の有無によって変化していたといえる。

暗算作業の1試行(4秒間)毎に得られた運転中の暗算成績をもとに、実験3で得たキャリブレーションデータを参照して余裕容量を推定したところ、図中最下段に示すように、車両回避のための操舵が行われるタイミングの前後で、余裕容量が減少していたと推定された。

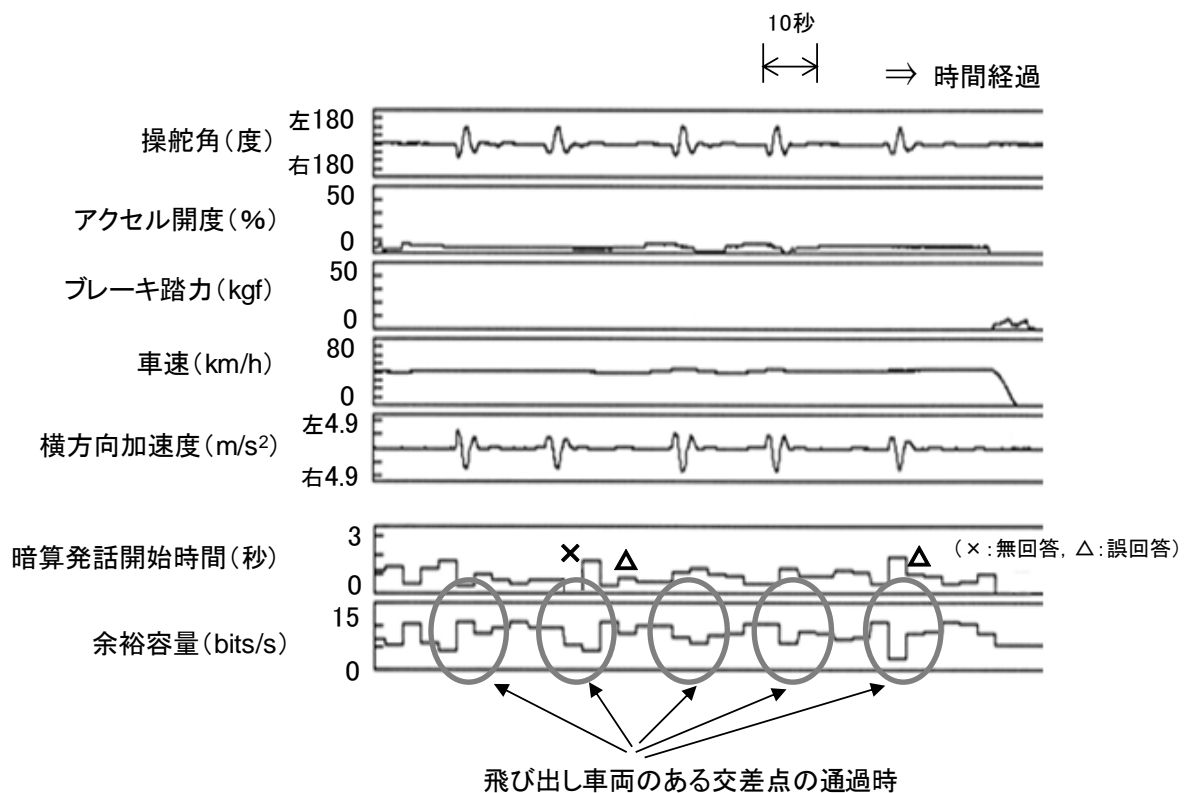


図 3-8 シミュレータ走行実験における運転行動と余裕容量の推移例  
(歩行者なし/車両ありの条件)

歩行者と飛び出し車両を設定した5ヶ所の交差点を対象に、4通りの走行条件において、交差点中央部を通過した時点の前後の暗算作業2試行(8秒間)における各運転者の余裕容量の平均値を求め、全運転者について集計した結果を図3-9に示す。

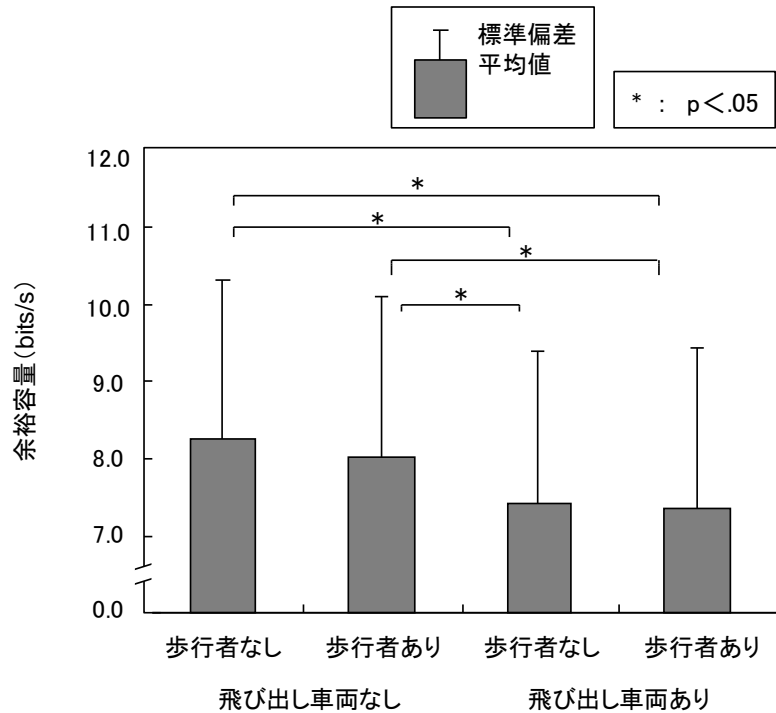


図 3-9 走行条件による交差点通過時の余裕容量

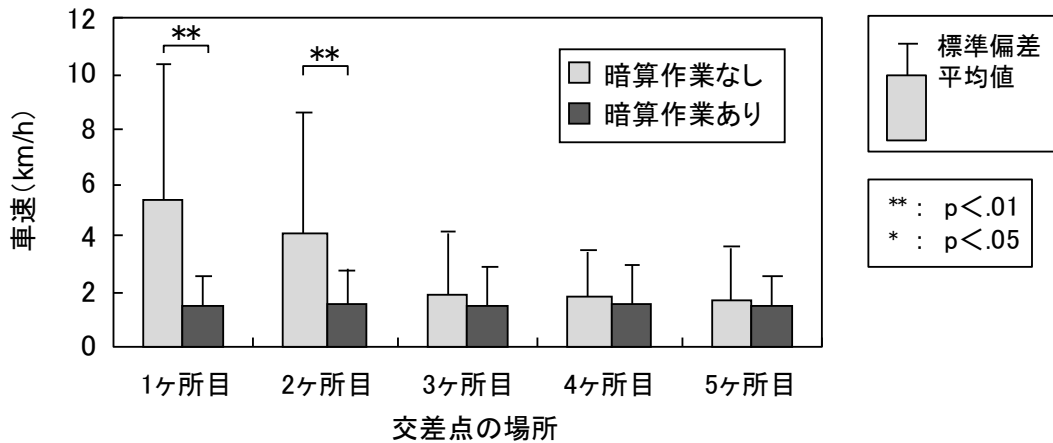
飛び出し車両がある交差点を通過する際の余裕容量は減少しており、t 検定の結果から、飛び出し車両の有無による有意差がみとめられた（「歩行者なし/車両なし」と「歩行者なし/車両あり」 $t(59)=2.196, p<.05$ ；「歩行者なし/車両なし」と「歩行者あり/車両あり」 $t(59)=2.100, p<.05$ ；「歩行者あり/車両なし」と「歩行者なし/車両あり」 $t(59)=2.146, p<.05$ ；「歩行者あり/車両なし」と「歩行者あり/車両あり」 $t(59)=2.079, p<.05$ ）。また、有意差は検出されないものの、歩行者がある交差点を通過する際には余裕容量が若干低下する傾向にあった。

以上のように、暗算作業の成績をもとに推定した余裕容量は、シミュレータ上に設定した走行条件の違いに対応しており、交通状況の違いに起因する運転者の処理資源の減少に対して感受性があると考えられる。

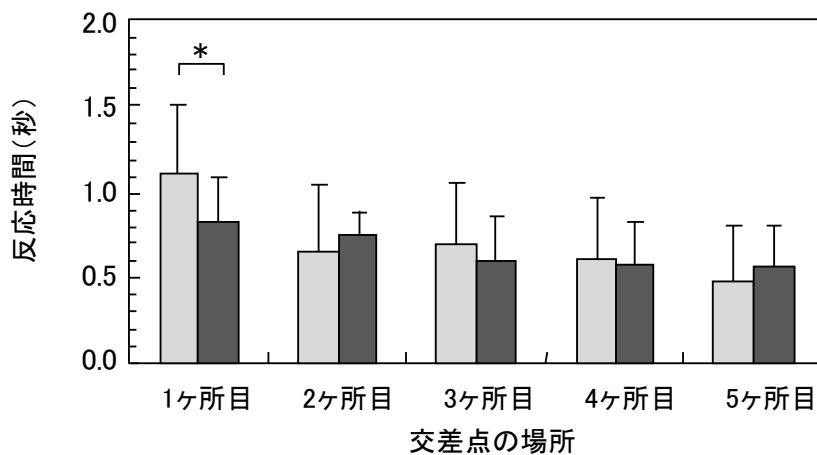
### 運転行動への影響

副タスクの実行が主タスクの処理に干渉しないことが副次課題法的前提条件である。すなわち、副タスクを実行することで、運転者の主タスクである運転行動が大きく影響を受ける場合には、主タスクの処理が副タスクによる影響を受けていることを意味するため、副次課題法による正しい情報処理負荷の推定は期待できない。そこで、副タスクとして設定した暗算作業を実行することによる運転者の運転行動への干渉の有無を調べるため、シミュレータへの乗車直後に、練習走行として実施した暗算作業なしでの「歩行者あり/車両あり」条件と、暗算作業を行いながら同じ条件を走行した場合とを比較した。

運転行動の指標として、交差点前後 40m 範囲における车速標準偏差と、飛び出し車両が可視となってから操舵を開始するまでの反応時間を図 3-10 に示す。



(a) 車速標準偏差



(b) 操舵反応時間

図 3-10 暗算作業の有無による車速標準偏差と操舵反応時間

車速標準偏差は、交差点通過中の車速の変動性に対応し、値が大きいほど車速コントロールが劣化していたことを示す。暗算作業なし条件は練習走行として実施したため、走行方法に対する運転者による習熟の過程が含まれている。このため、飛び出しのある交差点の2つ目までは、練習走行である暗算なし条件の方が「歩行者あり/車両あり」の条件よりも、車速標準偏差が大きかった（1ヶ所目  $t(11) = 3.474, p < .01$ ；2ヶ所目  $t(11) = 3.190, p < .01$ ）。ただし、指標値の平均値が概ね安定する3つ目の交差点以降については、図 3-10(a)にて車速標準偏差を調べると、暗算作業なし条件で平均値が若干大きいものの、t検定の結果から、暗算作業の有無による有意差はみられなかった（3ヶ所目  $t(11) = 1.446$ ；4ヶ所目  $t(11) = 1.265$ ；5ヶ所目  $t(11) = 1.395$ ）。

操舵反応時間についても、図 3-10(b)に示したように、1ヶ所目のみ練習走行である暗算なし条件が大きいが（ $t(11) = 2.525, p < .05$ ）、2つ目の交差点以降では暗算作業の有無による有意差はみられなかった（2ヶ所目  $t(11) = 1.091$ ；3ヶ所目  $t(11) = 0.728$ ；4ヶ所目  $t(11) = 0.378$ ；5ヶ所目  $t(11) = 1.331$ ）。

1ヶ所目ないし2ヶ所目の交差点における指標値の差は、練習走行として実施した暗算作業なしの条件にて車速コントロールや反応時間が劣化することを示しており、これはシミュレータでの走行に関する習熟が不十分であったことによると考えられる。一方、これ以降の交差点では、暗算作業の有無による差はみられない。すなわち、走行の開始直後には、シミュレータという装置による運転に対する習熟が不十分であったが、練習走行における1~2ヶ所の交差点通過による習熟を経た後であれば、本章で設定した副タスクの有無による影響は無視できる水準に至ると予想される。したがって、余裕容量の推定のために副タスクとして設定した暗算作業は、交差点前後の区間における車速のコントロールや、車両飛び出しに対する反応時間に大きく影響することはないと推察される。このことから、本章で設定した暗算作業であれば、副タスクと同時実施しても主タスクに対して処理資源が優先的に使用されるところの副次課題法的前提は成立しているとみなすことができる。

以上より、推定した余裕容量は交通状況に起因する処理資源の減少を反映し、また、副タスクである暗算作業を同時実施しても主タスクである運転行動に対して優先的に処理が進められているとみられることから、暗算作業を副タスクとして走行中の余裕容量を推定することは適当と考えられる。

## 3.4 実験5 交通状況から生じる情報処理負荷

### 3.4.1 目的

実路走行時に、副タスクとして聴覚暗算作業の実行を運転者に求め、現実の交通状況にて生じる情報処理負荷を余裕容量の変化として推定する。これにより、余裕容量が交通状況の違いと対応することを実路走行において確認するとともに、運転者の余裕容量が減じやすい状況を抽出する。

### 3.4.2 方法

#### 実験参加者

実験の趣旨と実施内容を説明して参加を了承した男性運転者 11 名（年齢 25 歳～56 歳，運転歴 7～38 年）とした。参加者は、いずれも通勤や買物のために日常的に自動車を運転している者であった。また、全員が暗算作業成績と余裕容量の関係に関するキャリブレーションデータを取得した実験 3 に参加しており、1 名を除いて実験 4 のドライビングシミュレータによる走行実験に参加した運転者であった。

#### 実験条件

一般道路に走行経路を設け、これを暗算作業を行いながら走行する実験を行った。ここで、定性的な交通状況の違いによる余裕容量の差を比較するため、道路環境と交通状況の異なる 3 通りの実験区間（区間 1，区間 2，区間 3）を設けた。

#### 暗算作業

実験 3 と同じ暗算作業を設定した。

#### 走行状況

茨城県つくば市の（財）日本自動車研究所から、隣接する土浦市駅前までの走行経路を設定し、この間の往路にて 3 つの実験区間を定めた。各区間の走行中に暗算作業の実行を運転者に求めた。

図 3-11 に実験区間を示す。区間 1 は比較的交通量の少ない市街地を右左折通行する区間（約 2.5km，片側 2 車線，車線幅約 3.0m，信号交差点 9 ヶ所（直進 2 ヶ所，右折 4 ヶ所，左折 3 ヶ所），規制速度 40～60km，全区間に歩道あり），区間 2 は交通量の多い地方幹線道路を道なりに走行する区間（約 4.5km，片側 2 車線，車線幅約 3.0m，信号交差点 4 ヶ所（いずれも直進），規制速度 60km/h，全区間に歩道あり），区間 3 は交通量の多い煩雑な駅前商業地区を周回する区間（約 3.0km，片側 1 車線，車線幅約 2.5～3.0m，信号交差点 13 ヶ所（直進 8 ヶ所，右折 3 ヶ所，左折 2 ヶ所），規制速度 30～40km/h，区間中の一部のみ歩道あり）とした。

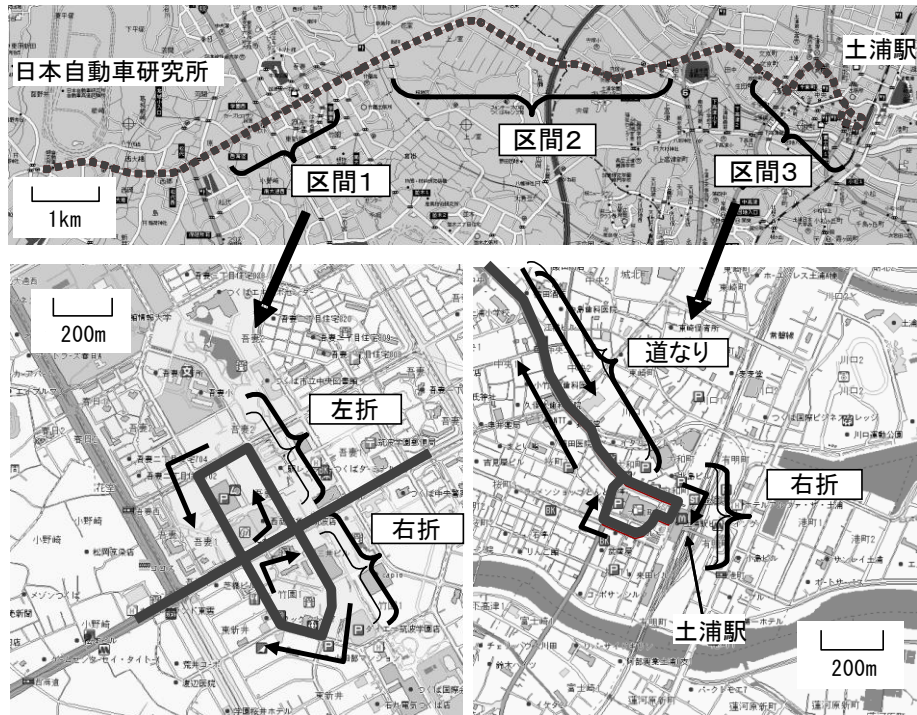


図 3-11 実車走行実験の実験区間

実験車両は排気量 2500cc のセダン型乗用車（全長 4500mm×全幅 1700mm×全高 1435mm. フロアセクタ AT 車）とした. 車外風景の記録のため, 助手席に 4 基の CCD カメラを設置し, 前方 180° 以上の風景を撮影した. 運転行動についての計測項目として, アクセル開度, ブレーキペダル踏力, 操舵角, 車速, 前後加速度, 横方向加速度, ウィンカ操作, ならびにレーダ式測距装置にて前方車間距離を記録した. 暗算作業の装置は, 実験 3 ならびに実験 4 と同じとし, 加算問題の音声呈示と口頭回答の収録には, マイクロホン付ヘッドセットを用いた.

### 実験手順

実験の趣旨と実施内容の説明の後, 参加を了承した実験参加者に対し, 実験車両に乗車を求め, 出発地点である (財) 日本自動車研究所の交差点を含む構内道路にて, 10~15 分間の走行練習を行った. 次いで, 暗算課題の練習の後, 走行実験を開始した. 走行にあたり, 「交通法規を遵守して安全運転に努めて走行すること. 暗算作業の実行よりも安全に運転することを重視すること」を教示した. 走行経路の往復に要した時間は, 90~120 分であった.

### 指標

実験 4 と同様に, 暗算作業成績の指標として, 正答の発話開始時間, 誤回答, 無回答を記録し, 実験 3 にて得たキャリブレーションデータと照合して余裕容量を推定した.

また, 車外風景画像をもとに, 暗算作業の 1 試行である 4 秒毎に交通状況を区分した.



### 3.4.3 結果

#### 事例

図 3-12 に、区間 1 における交通状況の事例について風景画像を示す。この地点には、自車の左方（対向車線からは右方）の路側に立体駐車場の建物があった。運転者が交差点にて信号変化待ち後に左折を開始したところ、自車の左折終了の間際に、対向車線より駐車場へ右折進行を開始する対向車があり、これが自車両前方を横断した事例である。



(a) 交差点左折中

(b) 対向車が自車の前方を右折

図 3-12 区間 1 における事例

図 3-13 に、この事例におけるデータ測定例と、暗算反応時間ならびに余裕容量の推定例を示す。対向車線から自車両前方を横断する車両に対応するため、運転者はいったんアクセルペダルを離して減速操作を行っており、つづく前方車間距離の減少（図中 24 秒目）と、その後のアクセルペダル離し（26 秒目）が観察された。また、対向車の自車両前方横断に同期して暗算反応時間の延長が観察されており、余裕容量の減少が推定された。この例は、他の交通参加者の挙動による交通状況の変化に起因して、余裕容量が減少した事例とみなすことができる。

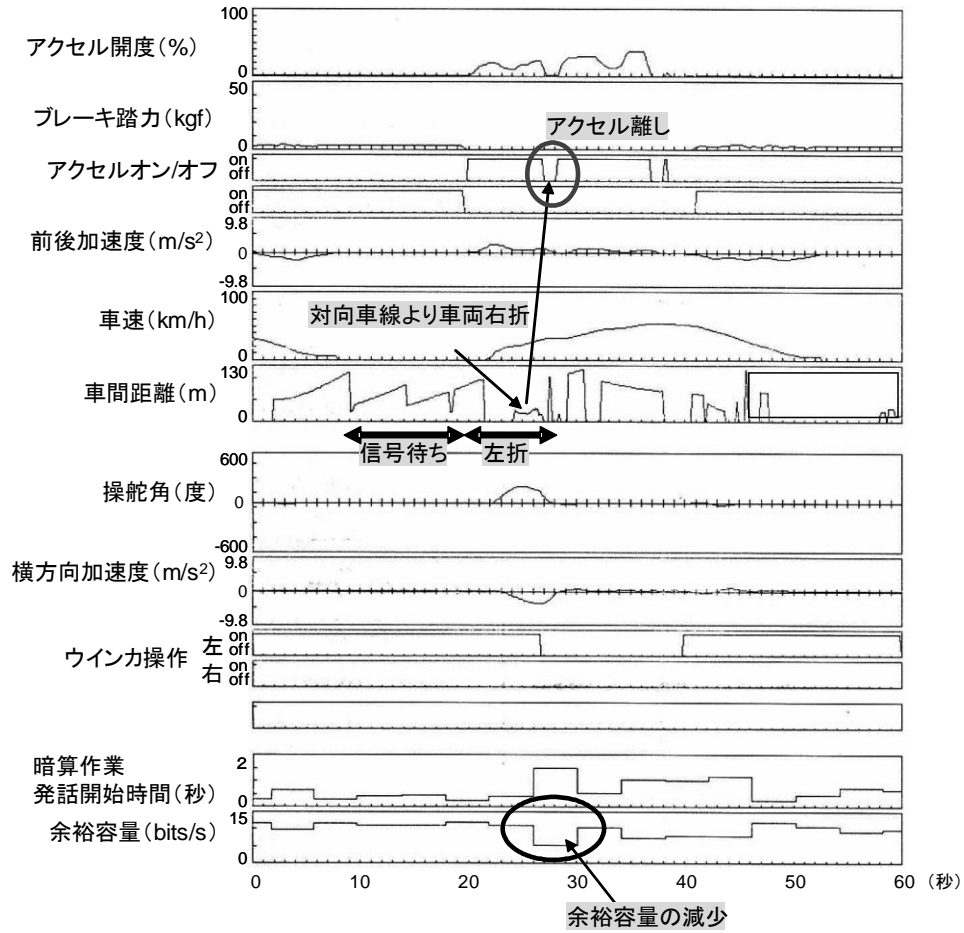


図 3-13 実路走行時の運転行動と暗算作業の発話開始時間、余裕容量の推移例

### 走行中の余裕容量推定

実路走行実験では、区間 1 にて 1560 ヶ所、区間 2 にて 1016 ヶ所、区間 3 にて 1884 ヶ所、3 つの実験区間をあわせて 4460 ヶ所について余裕容量を推定した。図 3-14 に、実験区間を区別せずに余裕容量を示す。走行中の余裕容量は 4bits/s から 15bits/s の範囲に分布した。分布は余裕容量の大きい方向へ歪んでおり、実験区間全体の最頻値は 13bits/s であった。なお、余裕容量 7~8bits/s 区分で頻度が大きいのは、実験 3 の結果より、暗算作業にて誤回答が生じた場合の余裕容量を約 8bits/s として計数したことによる。

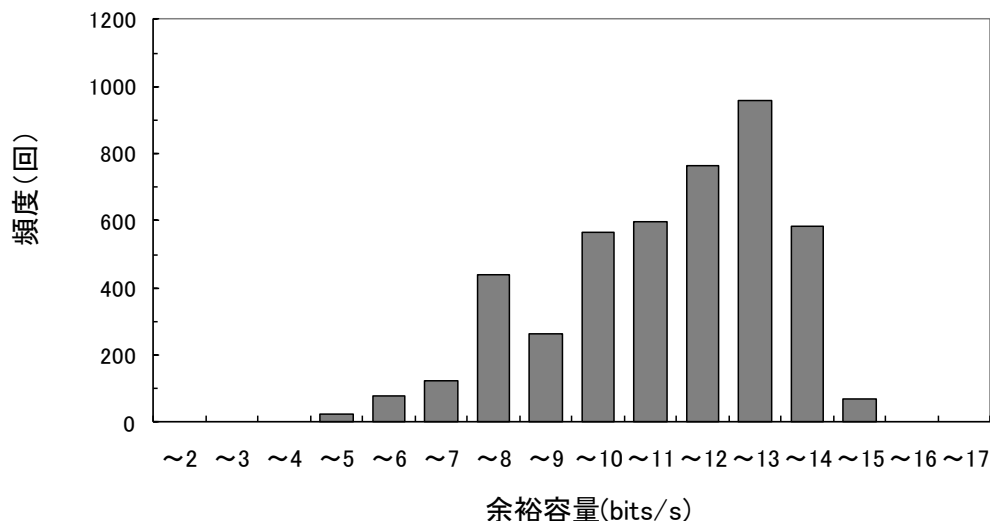


図 3-14 走行中の余裕容量の分布（実験区間全体）

### 実験区間別の余裕容量

図 3-15 に、各実験区間における余裕容量の構成率を示す。各区間間で余裕容量の構成率に有意差がみとめられた（区間 1 と区間 2  $\chi^2(10) = 35.700, p < .01$ ；区間 1 と区間 3  $\chi^2(10) = 45.556, p < .01$ ；区間 2 と区間 3  $\chi^2(10) = 128.722, p < .01$ ）。すなわち、全体的に見ると、余裕容量は、区間 2、区間 1、区間 3 の順に大きい。例えば、余裕容量が大きい 14~15bits/s である構成率は、区間 2 が最も大きく、次いで区間 1 であり、区間 3 では構成率が小さい。逆に、余裕容量が相対的に小さい 9~10bits/s である構成率は、区間 3 が最も大きく、次いで区間 1、区間 2 の順である。なお、区間 3 と区間 1 では、区間 2 に比して暗算作業の誤回答が相対的に多く生じていたため、7~8 bits/s 区分の構成率が相対的に大きかった。

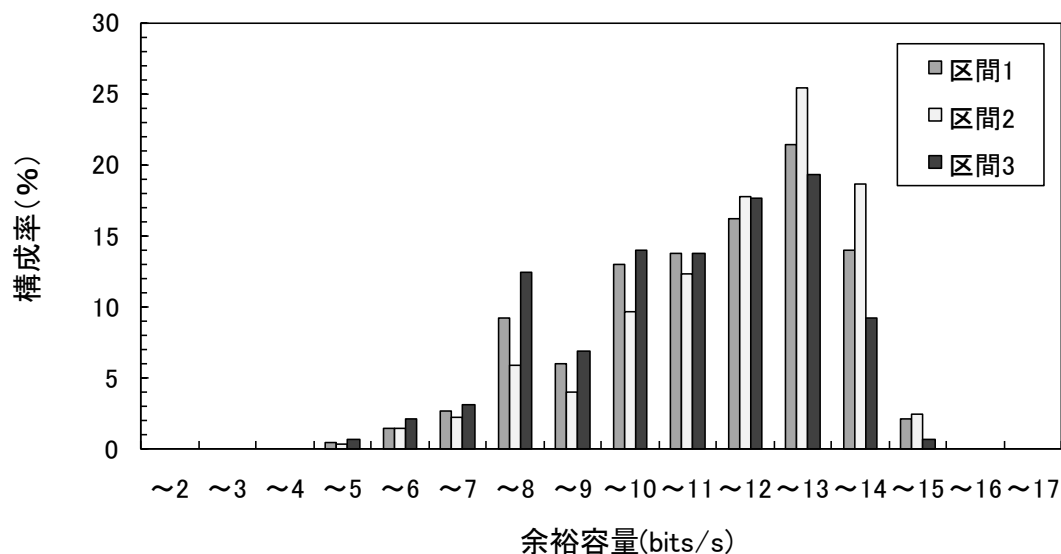


図 3-15 実験区間別の余裕容量構成率

キャリブレーションデータとした前掲図 3-3 より、本実験で設定した暗算作業の誤回答は、余裕容量にして約 8bits/s に相当する。したがって、余裕容量が 8bits/s 以下の場合には、その運転者は簡単な暗算にさえ正答できない状態にあったと推定される。余裕容量が 8bits/s 以下になった割合を集計したところ、全区間計で 551 場面が該当した。3 つの実験区間毎の構成率は、区間 1 では 11.6%、区間 2 では 7.9%であったのに対し、区間 3 では 15.4%であり、3 つの区間の間で有意差がみとめられた (区間 1 と区間 2  $\chi^2(1)=9.394, p<.01$ ; 区間 1 と区間 3  $\chi^2(1)=10.384, p<.01$ ; 区間 2 と区間 3  $\chi^2(1)=33.523, p<.01$ ) すなわち、区間 3 では余裕容量が減少するケースが多く、区間 2 では余裕容量の減少は相対的に少なかった。

区間 3 は、煩雑な駅前商業地区を周回する経路であるため、走行中の余裕容量が減じる場合が多かったものと推察される。区間 1 は、市街地を右左折通行する経路であり、通行量は比較的小さいものの、上述の事例のような状況の変化も生じるため、区間 3 に次いで余裕容量が減じやすかったものとみられる。これに対し、区間 2 は、地方の幹線道路を道なりに走行する経路であるため、商業地区や市街地の走行に比して、余裕容量が減じる場合が少なかったと推定される。

以上より、推定した余裕容量は、実路走行においても交通状況の相違に応じて異なっており、交通状況に起因する処理資源の減少を反映していると考えられる。

### 余裕容量の減じる交通状況

交通統計における事故類型や行動類型を参考に、撮影した風景画像をもとに全実験区間 4460 ヶ所の交通状況を区分した。このうえで、余裕容量が 8bits/s 以下に減少した計 551 場面を点検し、交通状況毎に総遭遇回数に対する構成率を求めた。表 3-2 に、実験区間毎の交通状況区分への総遭遇回数と構成率を示す。ただし、「その他」の区分には、信号灯が黄色表示に変化した直後の交差点進入や、側道からの車両飛び出しなどの突発的な状況変化を含め

て計数した。

表 3-2 遭遇回数に対する余裕容量が 8bits/s 以下に減じた事例の構成率

交通状況区分	遭遇回数	余裕容量が8bits/s以下に減じた場合	
		回数	遭遇回数に占める構成率(%)
車線変更(左へ)	44	18	40.9
車線変更(右へ)	35	15	42.9
左折	121	49	40.5
右折	137	56	40.9
減速する先行車へ接近	170	55	32.4
停止中の先行車へ接近	198	29	14.6
先行車に続いて徐行進行中	261	29	11.1
減速中(停止するための場合も含む)	541	34	6.3
発進(右左折の場合を除く)	40	10	25.0
加速中	503	14	2.8
右折帯へ進行	75	23	30.7
交差点内で右折待機	127	17	13.4
駐車車両の横を通過	113	40	35.4
渋滞中車列の横を通過	7	5	71.4
歩道上の歩行者自転車の横を通過	2	0	0.0
車道上の歩行者自転車の横を通過	19	9	47.4
車両・歩行者等が自車両前方を横断	24	13	54.2
信号停止中(自車両が先頭)	480	24	5.0
車列中で停止中(先行車の後ろで停止)	738	44	6.0
道なり走行中(加減速操作なし)	802	46	5.7
その他	23	21	91.3
合計	4460	551	100.0

 : 構成率40%以上

表中の構成率は、当該交通状況への遭遇回数あたり、どの程度の割合で運転者の余裕容量が低下したかを示す値となる。余裕容量が 8bits/s 以下に減じた構成率が 40%を越える交通状況をあげると、「右左折時」、「車線変更時」、「渋滞車列の横を通過する場合」、「歩行者や自転車が自車の前方を横断する場合」、「車道上を進行する歩行者や自転車の横を自車が通過する場合」であった。なお、「その他」の交通状況には、黄色信号への変化直後の自車の交差点進入や、側道からの車両飛び出しなど、遭遇回数が小さい危険場面が含まれており、これらについては運転者の余裕容量の減少が顕著であった。また、上述の状況に次いで、「駐車車両の横を通過する場合」、「減速する先行車に接近する場合」、「右折帯に進行する場合」、「発進時」にも、余裕容量の減少が比較的多く生じていた。以上の交通状況では、情報処理負荷が大きく、運転者の処理資源が減少しやすいことが示されている。

ただし、負荷が必ずしも大きくないと予想される「停止中」や「道なり走行中」、「減速中」にも、6%程度の構成率ではあるものの、余裕容量の減少が観察された。これらは本実験における走行中の遭遇回数がそれぞれ約 500 回以上であり、通常走行時に頻繁に遭遇する交通状況である。同様に遭遇回数が 500 回を越える交通状況である「加速中」では余裕容量が 8bits/s 以下に低下した構成率は 2.8%と小さかったのに対し、「減速中」では 6.3%、「車列中で停止中」では 6.0%、「道なり走行中」では 5.7%の構成率であり、「加速中」の構成率との間に有意差がみとめられた（「減速中」 $\chi^2(1) = 47.061$ ,  $p < .01$  ; 「車列中で停止中」 $\chi^2(1) = 61.655$ ,  $p < .01$  ; 「道なり走行中」 $\chi^2(1) = 67.826$ ,  $p < .01$ ）。以上の結果は、走行中に遭遇することが多く、しかも一般に負荷は必ずしも大きくないと予想される交通状況のなかにも、余裕容量が低下する場合があることを示している。

### 3.5 考 察

危険性が顕在化していない通常の交通状況であっても、情報処理負荷が大きい場合には処理資源の余裕度が減じ、運転行動が阻害される可能性がある。本章では、情報処理負荷が増大する交通状況を明らかにすることを目的とした。交通状況に起因する負荷を量的に推定するため、室内実験にて聴覚暗算作業を用いた副次課題法における暗算作業成績と余裕容量との関係を調査し、走行中の余裕容量を推定するためのキャリブレーションデータを得た。この暗算作業により推定した余裕容量は、交通状況の違いに対する感受性があり、また暗算作業の実行が運転行動に大きい影響を与えないことを、ドライビングシミュレータによる走行実験にて確認した。そこで、運転中に暗算作業を同時実施する走行実験において、さまざまな交通状況で生じる情報処理負荷を余裕容量の変化として推定した。得られた結果は以下の通りである。

- (1) 市街地と幹線道路の走行中の余裕容量は4～15bits/sの範囲に分布し、最頻値は13bits/sと推定される。
- (2) 余裕容量の減少が著しい交通状況は、右左折時、車線変更時、渋滞車列あるいは車道を進行する歩行者や自転車の横を自車が通過する場合、歩行者や自転車が自車の前方を横断する場合などである。
- (3) ただし、停止中や道なり走行中など、一般には情報処理負荷が小さいと予想される交通状況においても、余裕容量の減少が観察されることがある。

#### 余裕容量推定の妥当性

本章で用いた方法にて、ドライビングシミュレータで設定した仮想的な交通状況だけでなく、現実の交通状況の違いにも関連する余裕容量が得られた。自動車の運転では視認行動と手足による操作が中心であるため、感覚モダリティと操作の干渉が小さい聴覚呈示一口頭回答の暗算作業を副タスクとし、これが運転行動に大きな影響を与えないことを確認した。成績を測定する副タスクとして設定した聴覚暗算作業が運転行動に大きく影響しないことから、副タスクを同時実施しても主タスクである運転行動に対して優先的に処理資源が使用されるという副次課題法が成立する前提 (Ogden et al., 1979) は満たされているとみられる。また、推定した余裕容量は、交通状況の違いに対して感受性を示したことから、交通状況に起因する処理資源の減少を反映して変化するとみられる。以上より、本章で用いた交通状況に起因する情報処理負荷の推定方法は妥当と考えられる。

#### 走行時の情報処理負荷

選択反応作業の成績より、無負荷時の人間の余裕容量を約16bits/sと推定した研究例がある (Kleibelsberg, 1982)。この値と実験5の実路走行で得た走行時の余裕容量の最大値 (15bits/s) あるいは最頻値 (13bits/s) との差分である1～3bits/sが、特段の対応行動の必要がない通常走行時に運転者に生じる情報処理負荷と推察される。

これに対し、実路走行中には余裕容量が8bits/s以下に低下する頻度が大きい交通状況が存

在した。上記の最頻値 13bits/s を通常状況における余裕容量とみなすと、余裕容量 8bits/s は、処理資源の残余が通常の運転状況の 2/3 に減じていることになる。使用できる処理資源が減少することは、通常状況にあっては、それまで駆動していた自動処理の系列を別の系列に切り替えるために注意を状況に向けることを阻害し、走行中の注意分散作業による影響と同様に (Brookhuis et al., 1994 ; Wierwille & Guttman, 1978), 車間距離や車線保持を劣化させる可能性が大きいと予想される。また、緊急の対応行動が必要とされる状況が生じた場合には、処理資源の減少により処理を十分に進めることができず、回避操作を開始するまでの時間の遅れや不適切な操作内容の実行につながる可能性がある。余裕容量の低下する頻度の大きい交通状況では、安全対策を講じる必要性がとくに大きいといえよう。

### 交通状況の負荷によらない余裕容量の減少

運転者の余裕容量が減じやすい交通状況では、重点的に安全対策を講じるが必要と考えられる。ただし、実路走行を行った実験 5 の結果から、交通状況から生じる負荷が大きい場合だけでなく、一般に負荷が低いと予想される停止中や道なり走行中、減速中という状況でも、余裕容量の減少が推定される場合があった。これは、交通状況に起因する情報処理負荷の増大によるものではなく、運転者の処理資源そのものの縮小による可能性がある。状況によって人間の覚醒水準は変動することが知られており (西村・小坂・常光・吉沢・南雲, 1987), 負荷が大きくない交通状況では運転者の注意レベルは一時的に低下し、その時点で使用可能な処理資源の総量が縮小することで、いわば効率的に運転場面に臨むことがあると推察される。また実験 5 では、運転者は走行中に暗算作業を行っているため、これに加えて考え事などの内在的な注意分散が生じていた可能性は小さいと推察される。したがって、負荷の小さい交通状況において余裕容量が減少した事例は、処理資源自体の縮小に起因して観察された可能性がある。

これらの交通状況は、走行中に遭遇する頻度が大きい状況であった。ただし、遭遇頻度の大きい交通状況のなかでも、余裕容量が減じる割合には違いがあり、加速中に余裕容量が 8bits/s 以下に低下したと推定された構成率が 2.8%であったのに対し、停止中、道なり走行中、減速中では、加速中に倍する約 6%の構成率であった。自車を加速するという行為は、車速を増すことで、同じ距離の余裕がある場合でも対応行動に許される時間的余裕を減じることに繋がる。また、車速が増すことで運動エネルギーが増大するため、万一、衝突が生じた場合には被害と加害の程度も増すことになる。運転者は加速という行為にともなうこれらのリスクをあらかじめ認識していると予想され、このために処理資源の総量を縮小することが相対的に少なかったものと考えられる。

一方、停止中は、自車が動いているわけではないため、運転者自らが対応行動をとらなければならない状況が生じる可能性は極めて小さい。道なり走行中では、交通状況に極端な変化はなく、また、それまでの車速を概ね維持した走行が継続されるため、運転者は、自らが対応行動をとらなければならない状況の発生や衝突の危険性を予測してない可能性がある。停止中や道なり走行中には、このような運転者の予測による状況の危険性に関する評価が、処理資源の縮小につながっている可能性がある。また、減速中の運転者は、車速を減じ



ていることにより、対応行動をとらなければならない事態の発生や、衝突時の被害あるいは加害のリスクを、減速操作を始める以前よりも小さく予測している可能性がある。定常走行中には道路形状や先行車などの自車の走行に関係する対象に向けられていた視線方向が、ブレーキペダルによる減速操作を始めた後では、路側の建物など運転に関係の薄い事物へ向けられるようになるとの報告もあり（内田・平尾・小林，2001），減速中は積極的に交通状況を確認する視覚探索が減じることが示唆されている。減速時の危険性を小さく見積ることは、視覚探索だけでなく情報処理に用いることのできる処理資源自体の量を縮小させている可能性がある。

### 性別による影響

実験 3 にて、4 名の女性参加者の余裕容量は男性参加者を含めた 25 名全体の余裕容量の範囲内にあったことから、情報を処理する速度に性別による差はないとみられる。女性運転者では、全般に走行距離や運転頻度が男性運転者よりも小さく、経験の量が少ないことが運転行動に影響していると考えられている（垣本，1993）。例えば、運転頻度や自動車利用の範囲が男女間で差のない地域では、事故の発生件数や事故形態に男女運転者による差はないことから、経験量が等しければ運転行動に違いはないとされている（大森，1982）。本章の結果は、余裕容量にも性別による違いがないことを示唆しており、運転行動に見かけ上の性差がみられる場合であっても、これは経験や習慣の違いに起因する個人差の問題と捉えることが適当と考えられる。

### 余裕容量推定の限界

本章の実験 4 では、暗算作業を同時実施することによる運転行動への影響はみられなかった。一方、第 2 章の実験 2 では、暗算作業の同時実施にて運転行動に変化がみられた。2 種類の作業を同時に行う際の成績には注意の配分が影響するため、いずれの作業の優先度を高く設定するかという点についての実験参加者に対する教示が影響すると予想されるが（Klebersberg，1982；大谷・宇野・麻生・飯星・丸中，2007），実験 2 と実験 4 では、ともに運転行動を優先するように教示しているため、この点に原因を求めることはできない。実験 2 と実験 4 における暗算作業による影響の違いは、走行条件によって必要とされる運転行動の精度と時間的余裕が異なることに由来すると考えられる。

実験 2 では、セーフティコーンで規定した車線幅 2.45m の狭い車線変更コースを車速 60km/h で走行するものとした。この設定では、コースへ接近する時点でコース形状を視認することができるが、コース進入後に右方向への進路変更を行い、この直後に 25m を進行して、即座に左方向への進路変更を行わなければならない。すなわち、車速 60km/h で 25m を走行する 1.5 秒間で素早く直進へ復帰し、直後の左方向への進路変更と左側車線への進入に備えなければならない。第 2 章で考察したように、コース形状をあらかじめ視認できるため、進路変更の前半の過程については、運転者が操舵の開始地点と必要な横移動量を事前に見積ることで自動処理が働いていると推察されるのに対し、後半過程では、狭い車線幅の直進へ復帰する操作を精度よく行うために、前半過程における操舵を終えた時点であらためて自車

位置を把握する必要がある、ここには注意の介在による統制処理が必要となる。実験 2 の設定では、統制処理を限られた時間のなかで行わなければならない状況であったことが、暗算作業の同時実施による注意分散の影響を生じた理由と考えることができる。すなわち、時間的余裕が小さく、かつ統制処理の関与が大きいため、副タスクの実行による注意分散の影響があらわれたものと推察される。

一方、実験 4 では、白線で規定した片側車線幅 3.5m の対向車線の通行のない市街地相当の 2 車線道路にて、80m 間隔で交差点を設定し、これを車速 40km/h で走行するものとした。交差車両の飛び出しがある場合には、運転者はこれを回避する必要があるが、飛び出しが生じること自体はあらかじめ運転者に告げている。このため、運転者は、必要な横移動量を事前に見積ることで、飛び出しが発生した時点で迅速に自動処理を駆動することが可能であり、これにより回避操作の初期において右方向への操舵を終えるまでの間には、暗算作業の影響がみられなかったものと推察される。

また、実験 4 では、対向車線の通行がないため、飛び出し車両を回避するための右方向への操舵の後は、次の交差点に達するまでの 80m の区間を車速 40km/h で走行する 7.2 秒の間に左側車線へ復帰すればよい。すなわち、右方向への進路変更の後に、左方向への進路変更を行うまでの時間を長くとることができる。さらに、実験 2 の走行条件に比して車線幅が広いことから、進路変更のための操作に高い精度は要求されない。実験 4 でも状況に対して注意を向ける統制処理が必要であるが、飛び出し車両を回避した後の運転行動には時間的な余裕が大きく、必要な操作の精度も粗いため、暗算作業を同時実施した影響があらわれなかったものと考えられる。

以上より、聴覚暗算作業は、交通状況の時間的余裕が大きい場合には運転行動に影響しないが、時間的余裕が小さい場合には運転行動に影響する可能性が予想される。したがって、時間的余裕が小さい状況では、主タスクである運転行動により処理資源が優先的に消費されるとする副次課題法的前提が成立しない場合があると考えられる。このことから、本章で用いた方法は、交通状況の時間的余裕が比較的大きい状況における情報処理負荷の推定に利用できる方法であると限定的に考える必要がある。

### 走行時の負荷推定における留意点

本章の結果は、負荷が大きく、運転者の余裕容量の低下しやすい交通状況を明らかにするとともに、交通状況に起因する情報処理負荷の増大だけでなく、運転者の情報処理資源の総量の減少によっても余裕容量が減じることを示唆するものである。交通状況の負荷は小さくとも、運転者の余裕容量減少は、車外状況に対する情報処理の低下を招き、衝突の危険性を増大させる可能性がある。運転者の処理資源自体の縮小と、これを引き起こす要因ならびに交通状況については、停止時や道なり走行時、あるいは減速時を対象として、状況に対する運転者による予測の内容と、運転行動との関係を走行実験にて調査するなどの検討が必要と考えられる。また、時間的に余裕のない状況では、副次課題法的前提が満たされない場合があると予想されるため、本章で用いた推定方法は時間的に余裕のある交通状況において適用可能な方法であると考えられる。

### 3.6 概要

情報処理負荷が大きい交通状況を明らかにすることを本章の目的とした。このため、室内実験により暗算作業成績と余裕容量との関係を調査し、暗算作業を副タスクとする副次課題法にて走行中の余裕容量を推定するためのキャリブレーションデータを得た。この暗算作業により推定した余裕容量は、交通状況の違いに対する感受性があり、また暗算作業の実行が運転行動に大きい影響を与えないことを、ドライビングシミュレータによる走行実験にて確認した。そこで、運転中に暗算作業を同時実施する走行実験にて、交通状況にて生じる情報処理負荷を余裕容量の変化として推定した。その結果、市街地と幹線道路の走行中の余裕容量は4~15bits/sの範囲に分布し、最頻値は13bits/sと推定された。余裕容量の減少が著しい交通状況は、右左折時、車線変更時、渋滞車列あるいは車道を進行する歩行者や自転車の横を自車が通過する場合、歩行者や自転車が自車の前方を横断する場合などであった。以上より、現実の交通場面のなかで、運転者にとって情報処理負荷の大きい交通状況を明らかにした。一方、停止中や道なり走行中など、一般には情報処理負荷が小さいと予想される交通状況においても、余裕容量の減少が観察されることがあった。

本章で用いた方法は、副タスクを同時実施しても主タスクである運転行動に対して優先的に処理資源が使用されるという副次課題法が成立する前提を満たしているとみられることより、推定した余裕容量は、交通状況に起因する処理資源の減少を反映していると考えられる。ただし、時間的に余裕のない状況では、副次課題法的前提が満たされない場合があると予想されるため、この推定方法は時間的に余裕のある交通状況において適用可能と考えられる。

実路走行中には、通常時の余裕容量が大きく低下する交通状況があり、これらについては重点的に対策を講じる必要がある。また、負荷が大きいと予想される交通状況以外でも余裕容量の減少が推定されており、運転者の余裕容量の減少は、処理資源の総量が縮小することによっても生じるとみられ、運転者が交通状況の危険性を小さく予測することの影響が推察される。

## 第4章 緊急状況における余裕時間と回避の成否との関係

### 4.1 課題

衝突の危険性が顕在化した緊急状況にて、車両や歩行者などとの衝突を避けることができるか否かは、運転者の対応行動の適否にかかっている。運転行動は情報処理過程を経てあらわれ、緊急時の対応行動の適否は統制処理に依存すると予想される。第2章と第3章で検討した余裕容量は、統制処理を進めるために必要となる運転者の処理資源の残余を量として推定する試みであるが、緊急状況における処理資源の変化を余裕容量として直接に推定することは難しい。すなわち、第3章で考察したように、緊急の対応行動が必要とされる状況では、時間的な余裕が少ないため、副タスクを同時実施する方法では主タスクである運転行動に副タスクによる影響が生じる可能性がある。この場合には、主タスクである運転行動に処理資源が優先的に使用されるとする副次課題法的前提が満たされないため、この方法では緊急状況における情報処理の特性を検討することができない。

緊急状況では、運転者は、衝突の危険性に対してこれを回避しなければならない。見通しの悪い交差点での車両とび出しや、渋滞中車両陰からの歩行者とび出し、あるいは脇見による障害物の発見遅れなど、対応の緊急性の大きい状況では、危険事象の発生を知覚して回避操作を開始するまでに要する反応時間や、ブレーキペダル踏力、操舵の速さなどの操作の内容が回避の成否に影響する。緊急時の対応行動における反応時間や回避操作の内容は、運転者の情報処理過程を反映すると予想されることから、これを分析することで緊急状況における情報処理の特性と処理資源の役割を明らかにできると考えられる。

反応時間研究の歴史は長く(大山, 1985), 刺激の感覚モダリティや刺激-反応の選択肢数, 生理心理的状态による反応時間の変化や, 反応時間と正確さの補償関係などの基礎的特性が明らかにされている。一方, 自動車運転については, 主に操作具の設計仕様に反映させる目的から運転者の反応時間や操作力などの分布が調査されている (Sens, 1989)。ただし, 従前の実車走行による実験調査では, 危険管理の問題から運転者に自発的な緊急回避操作をとらせる具体的状況設定が困難であったため, ランプ点灯や警笛音などを刺激として用い, 測定が比較的容易なブレーキペダル操作を対象とした反応時間研究が多く行われてきた (例えば, Barrett et al., 1968; Glencrosse & Anderson, 1976; Johansson & Rumar, 1971; Olson & Sivak, 1986; Snyder, 1976)。近年では, ドライビングシミュレータやビデオカメラなどの利用により, 現実の走行に近い状況設定や, 刺激呈示から操作開始までの時間を精度よく計測することが可能となったため, 障害物のとび出しに対する操舵の反応時間なども調査されるようになってきている (名切・土居・武井・水野, 1994; 筒井・米川, 1995)。また, 走行時の測定値から推定した最大ブレーキ踏力の下限値や (Eaton & Dittmeier, 1970; Mortimer, 1974), 障害物回避時の最大操舵角, 操舵角速度なども例示されている (筒井・米川, 1995)。

これらの研究例は, 例えばブレーキ反応時間が 0.3~2.0 秒に分布するなど (Johansson &

Rumar, 1971), 時間, 速度, 変位量, 操作力の点で運転者の行動に大きな幅があることを示しており, このばらつきが緊急状況における回避の成否にも影響すると予想される. ただし, 運転行動の差異の原因について, 従来は年齢差などの個人間差 (Olson & Sivak, 1986 ; Mortimer, 1974), あるいは覚醒水準や慣れなどの個人内差との関係が主に検討されているものの (名切他, 1994 ; 筒井・米川, 1995), 走行環境自体の違いに着目した検討は少ない. 緊急状況における運転者の運転行動は走行環境に対する対応行動であり, 道路線形や自車の車速, 衝突対象車両の挙動や相対位置などに依存して変化すると考えられることより, 道路環境や交通状況に関わる条件の違いと運転行動との関係を明らかにする必要がある.

運転者の回避操作には制動と操舵の 2 種類があるが, 車速が大きい場合には, 制動のみによる回避よりも操舵のみによる回避の方が有利である (交通事故総合分析センター, 1996). しかし, 制動中に操舵を行うと車両挙動が不安定となって運転者に制御不能となる可能性もある. この点より, まず単純な状況にて, 操舵のみによる回避の特性を明らかにすることが重要と考えられる. また, 第 2 章で述べたように, 操舵を行う走行条件では時間経過による操作内容の変化を観察できる利点がある.

操舵トラッキング作業では, 何秒先の目標信号が見えているのかという予見時間が作業成績を規定する (平松・宇野, 1994). ここで目標信号の予見時間が短い場合には, 操舵の速度を高めることで作業成績を保とうとする傾向が強まり, 操舵の困難さについての主観評価も悪化する. 緊急状況においても, 回避操作開始から障害物位置に達するまでの時間が短い場合に操舵角速度が増大するとされる (筒井・米川, 1995). これらの結果は, 時間的な余裕のない状況では, 運転者が自らの能力の上限に近い操舵特性をあらわすことを示しており, 運転者の情報処理能力が最大限に発揮された対応行動が観察されると予想される.

ただし, 状況の許容する余裕時間が極端に短い場合には, 処理資源に規定される処理能力を越える対応行動が必要となるため, 運転者の操作では回避に成功できないと考えられる. また, 本研究で推定した余裕容量は, 時間あたりに処理できる情報量に対応するため, これが緊急時の反応時間を規定している可能性がある. 運転者が実行可能な対応行動の限界や, 回避に成功するために必要な最小限の時間的余裕を明らかにすることは, 運転者に対する安全意識向上のための教育指導の素材となるとともに, 実用化が進められている各種の警報システムにおいて, 警報の有効性を確保する適切な呈示タイミングを検討するうえでも重要な知見となる. この点から, 余裕時間の長短による回避操作の変化と回避成否との関係を直接検討する必要がある.

緊急状況における回避操作には, 運転者が危険事象の発生を予測していたか否かも影響する. 障害物の出現を全く予測していない場合にはブレーキや操舵の反応時間が延長し (Olson & Sivak, 1986 ; 名切他, 1994), 心拍数を指標とした生理的な緊張度も増すことが報告されている (宇野・平松, 1995). 現実の走行時には, 運転者は常に危険発生を予測して運転に携わっているわけではなく, ときとして不測の危険に直面することがある. 運転者の予測の有無による情報処理過程と対応行動の差異を明確化することは, 実験データとして得られた知見の現実場面への適用を図るにあたり重要な要件となると考えられる.

## 4.2 実験 6 緊急状況における操舵回避の特性

### 4.2.1 目的

道路環境と交通状況が規定する時間的余裕に注目し、対応行動における反応時間と回避操作の内容を分析することで、緊急状況における運転者の情報処理の基本的な特性と、回避の成否との関係を明らかにする。このため、単路走行中に静止障害物が進行方向前方に突然出現する単純な状況をドライビングシミュレータ上に設定し、障害物出現時の自車と障害物との距離および車速を統制することにより余裕時間を違えた走行条件を設け、操舵による回避操作を対象に回避成否との関係を分析する。さらに、正確な出現位置は予測できないもののいずれかの地点で障害物が出現することを運転者が予測している条件と、出現そのものを全く予測していない条件を比較して情報処理の特性を調べる。

### 4.2.3 方法

#### 実験参加者

衝突回避のための運転行動を調べる実験である趣旨と実施内容を了承した男女運転者 25 名（男性 20 名，女性 5 名，年齢 21～55 歳，運転歴 3～36 年）とした。いずれも，通勤や買物のために日常的に自動車を運転する運転者であった。

#### 実験条件

衝突回避のための対応行動をとることができる余裕時間を統制するため，シミュレータにて設定した走行コース上に 6 ヶ所の障害物出現位置を設け，突然に出現する静止障害物を操舵により回避する実験を行った。ここで，障害物の出現位置は不明であるものの障害物が出現することを運転者が予測している「予測条件」と，障害物の出現自体を全く予測しない「不測条件」を設定した。障害物出現時の自車と障害物の距離を出現距離と呼ぶことにし，予測条件では，3 通りの車速（40，60，100km/h）と 6 通りの出現距離（60，50，40，35，30，20m）を組み合わせ，余裕時間の異なる実験条件を設定した。車速の水準は，一般道路の規制速度の上限が通常は 60km/h であり，高速道路では 100km/h であることを参考に設定した。なお，現実の環境では，道路上の交通参加者や路側設備など多くの情報があり，仮にいずれの地点でも自車周辺にある情報量が等しければ，車速が大きいほど運転者が処理しなければならない時間あたりの情報量は増すことになる。

#### 走行状況

第 3 章と同様に，（財）日本自動車研究所が保有する動揺機構付きドライビングシミュレータを用いて実験を行った。予測条件では，車速と出現距離を組み合わせ，余裕時間を違えた実験条件を構成した。すなわち，3 水準の指定車速（40，60，100km/h）と，各障害物位置に割り当てた 6 水準の出現距離（60，50，40，35，30，20m）により，表 4-1 に示すように，出現距離を車速で除した余裕時間が 0.72～5.40 秒となるよう設定した。予測条件では，実験参加者にあらかじめ障害物が出現することを知らせた上で，3 水準の車速条件ごとに実

験走行を行った。6ヶ所の障害物出現位置について、コースの手前から順に障害物の出現距離は短くなるように設定し（1つ目障害物=60m, 2つ目=50m, ..., 6つ目=20m）、走行コースに復帰できないほどの著しい路外逸脱により実験参加者が走行継続を断念した場合にも、それ以前の出現距離における回避操作の指標を収集できるようにした。

表 4-1 車速と出現距離による余裕時間の設定

出現距離	60m	50m	40m	35m	30m	20m	
車速 40km/h	5.40	4.50	3.60	3.15	2.70	1.80	
車速 60km/h	3.60	3.00	2.40	2.10	1.80	1.20	
車速 100km/h	2.16	1.80	1.44	1.26	1.08	0.72	(秒)

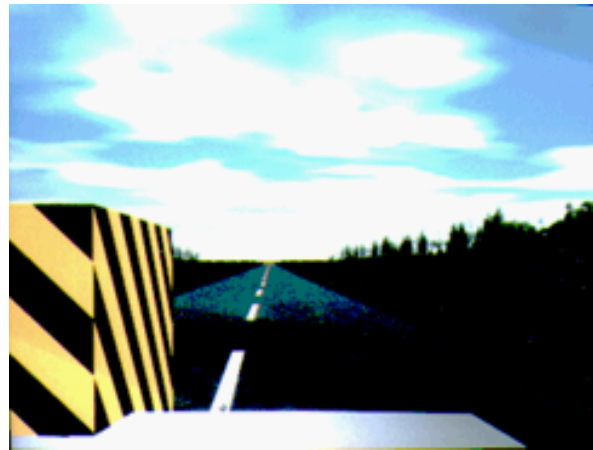
不測条件では、車速を60km/hとし、6ヶ所の障害物のうち初めの5ヶ所は出現距離を300mとして、障害物設置位置に達するはるか以前（余裕時間18秒）から障害物が見えるように設定した。一方、最後の1ヶ所を不測障害物とし、出現距離を40mに設定して余裕時間を2.4秒とした。実験参加者には最後の障害物が突然出現することを一切知らせないまま実験走行を行った。この不測条件は、予測条件に先行して1走行のみ実施した。

走行コースは、片側1車線、車線幅3.5m、交差点のない対面通行の直線単路とし、路面には車線区分線を、路側には幅0.5mの路側帯とこれにつづく木立を設置した。コース全長は2.5kmとし、助走区間(300m)、実験区間(2000m)、減速停止区間(200m)から構成され、実験区間中に6ヶ所の障害物位置を設けた。障害物は1辺1350mmの立方体を横に2つ並べたものであり、左側車線を塞いで障害物の右端が車線区分線に接するよう配置した。障害物位置の間隔は250~350mの間でランダムとし、いずれの障害物位置とも周囲の風景を均質にすることで、予測条件、不測条件とも障害物の正確な出現位置を知られないよう設定した。衝突発生時には、シミュレータ画面の明滅と衝突音により運転者にフィードバックした。走行コース上には自車以外の車両などは設定せず、障害物が突然出現する以外は単純な状況とした。シミュレータの模擬対象車両は、実験4と同様のセダン型乗用車とした。

図4-1に障害物出現後の前方視界の例を示す。



(a) 障害物手前30m



(b) 衝突時

図 4-1 ドライビングシミュレータにおける前方風景例

### 実験手順

実験参加者に、障害物回避時の運転操作を調べる実験である旨を説明し、実験参加の了承を得た上で、以下の手順により走行実験を実施した。

実験参加者に対する教示として、左側車線走行を原則とし、障害物は右側車線への車線変更により回避すること。操舵のみで回避操作を行い、実験区間ではブレーキ操作を行わず指定車速を維持して走行することを指示した。この後、練習走行と称して車速 60km/h を維持して走行するよう教示し、不測条件を実施した。次いで、走行中の 6 カ所の地点で障害物が突然出現することを告げ、40, 60, 100km/h のいずれかの車速を指定して、予測条件の 3 走行を実施した。車速条件の実施順序はランダム順とし、実験参加者全体で順序効果を低減するよう配慮した。なお、走行中に指定値から 3km/h 以上車速が増減した場合には、実験者よりアクセル操作を指示して走行車速の修正を求めた。実験参加者あたりの所要時間は約 60 分であった。

### 指標

本章では操舵による回避操作を対象とするため、運転行動に関わる計測項目として操舵角を測定し、これを時間微分した操舵角速度も指標に加えた。また車両重心点軌跡を測定し、コース形状と障害物位置と対照して回避の成否と衝突の対象を判定した。

障害物回避時の操舵角変化の典型を、図 4-2 に示す。本実験の設定では、障害物出現の後に操舵が開始され、障害物を回避するための右方向への操舵と、右側車線を逸脱しないための左方向への操舵が順にあらわれて、左右への 2 つのピークが観察される。そこで、障害物出現から操舵開始までの反応時間、操舵角第 1、第 2 ピーク値、および各ピークに達するまでの最大操舵角速度を指標として分析することにした。



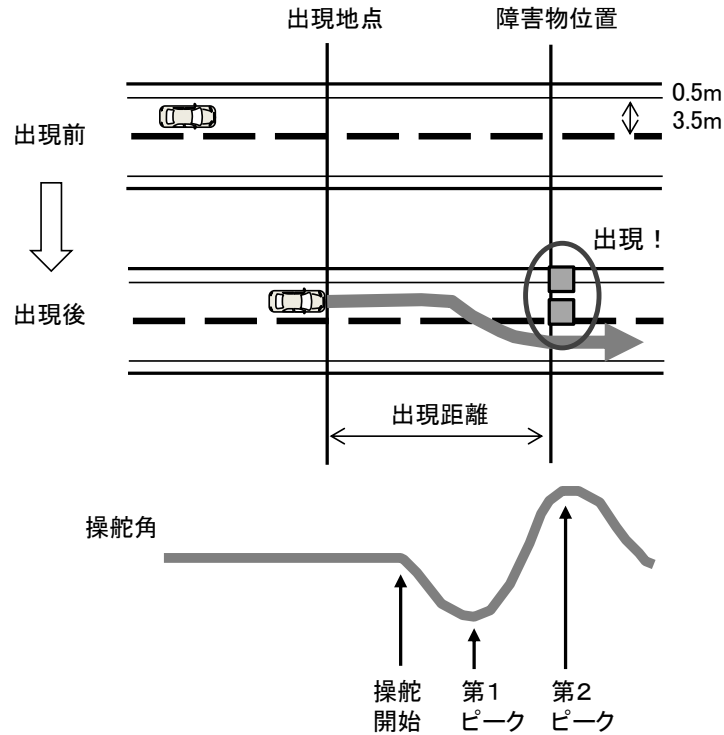


図 4-2 回避の状況と操舵角の典型

#### 4.2.3 結果

##### 回避成功率

障害物への衝突あるいは路外逸脱（路側の木立への衝突）がともに生じなかった場合を回避成功として、回避の成否を集計した。ただし、走行コースに復帰できないほどの著しい路外逸脱により実験参加者が走行の継続を断念した場合には、これを走行放棄として計数した。なお、障害物出現から障害物位置に達する間の車速平均値は、全実験参加者とも指定値 $\pm 3\text{km/h}$ の範囲内にあり、指定車速は概ね守られていた。図 4-3 に、車速条件と出現距離条件別に回避成否の構成率を示す。

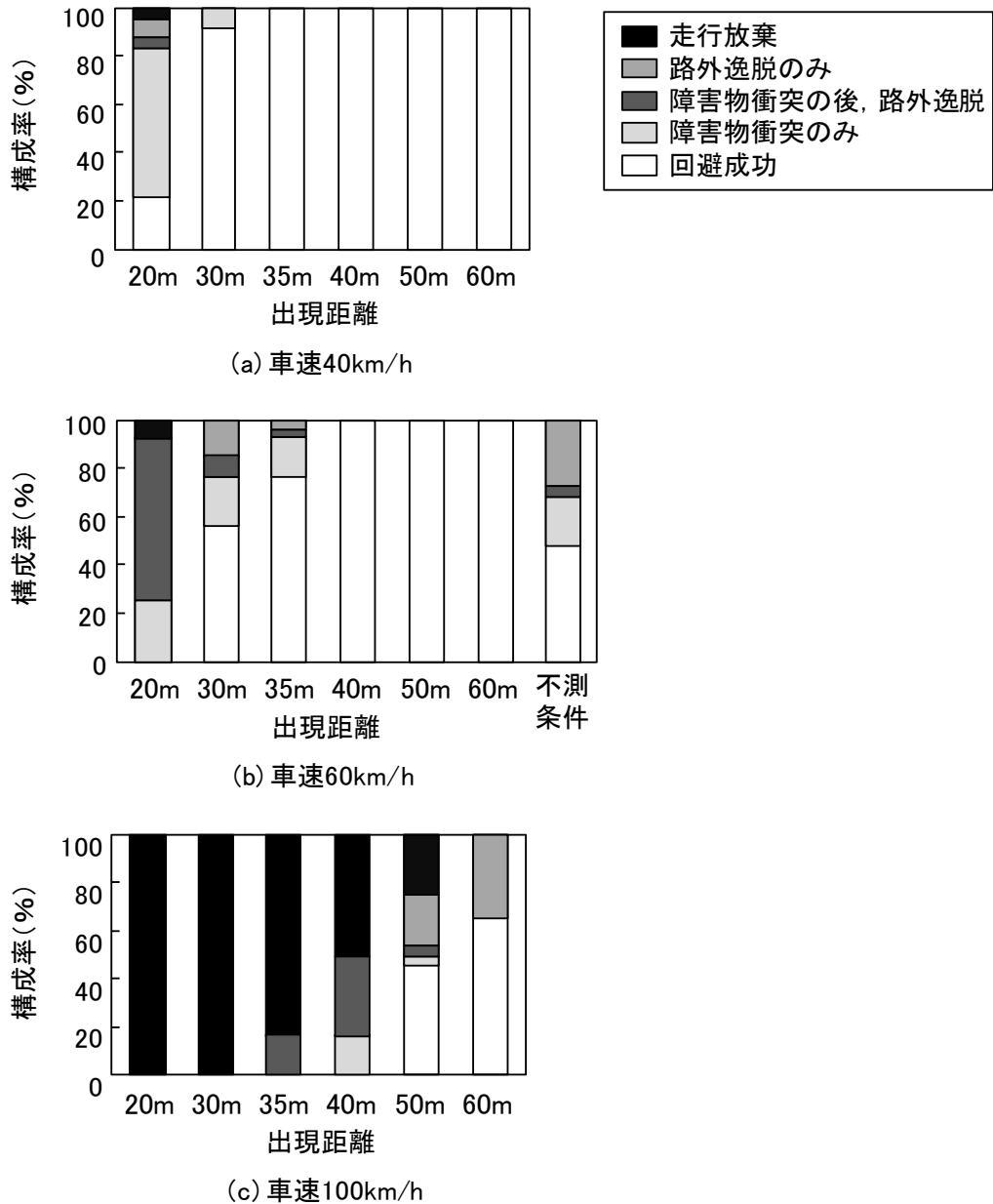


図 4-3 回避成否の構成率

予測条件では、車速が大きいほど回避成功に必要な出現距離は延長し、全実験参加者が回避に成功するには、車速 40km/h で 35m 以上、60km/h で 40m 以上の出現距離が必要であった。車速 100km/h では 60m の出現距離でも回避に失敗する実験参加者があり、出現距離が短いほど路外逸脱のため以降の走行を断念する実験参加者が増した。

図 4-2(b)にて不測条件の構成率を調べると、25 名中過半数の 13 名が回避に失敗した。同じ車速 (60km/h) と出現距離 (40m) の予測条件では全実験参加者が回避に成功している点と対照的であり、障害物の出現を予測しないことが回避の成績を低下させることを示している。

回避失敗の内容を調べると、車速が 40km/h あるいは 60km/h の場合には、出現距離が短縮するにつれて、まず障害物衝突があらわれるのに対し、車速 100km/h では路外逸脱が先にあらわれている。一般に車速が増すと操舵に対する車両の横方向の挙動が大きくなるため(安部, 1992)、車速 100km/h 条件では、障害物の回避には成功できても、その後の車両姿勢の立て直しに失敗するケースが増大したものと考えられる。

上述のように、車速が大きいほど回避に成功できる出現距離は長くなった。一方、出現距離を車速で除した余裕時間に対して回避成功率を整理すると、図 4-4 のようであった。予測条件では回避成否の境界となる余裕時間は接近しており、車速の違いによる差は小さかった。すなわち、余裕時間 1.2 秒以下では全実験参加者が回避に失敗するのに対し、3.0 秒以上の余裕時間であれば全員が回避に成功していた。この結果は、操舵による緊急回避では、交通状況の許す余裕時間の長短が、回避成功率を規定することを示している。

図 4-4 より、予測条件における操舵回避成否の境界は、余裕時間にして 1.2~3.0 秒の間にある。ただし、不測条件では回避に成功できる余裕時間が延長しており、不測条件では予測条件における走行よりも長い余裕時間が必要とみられる。

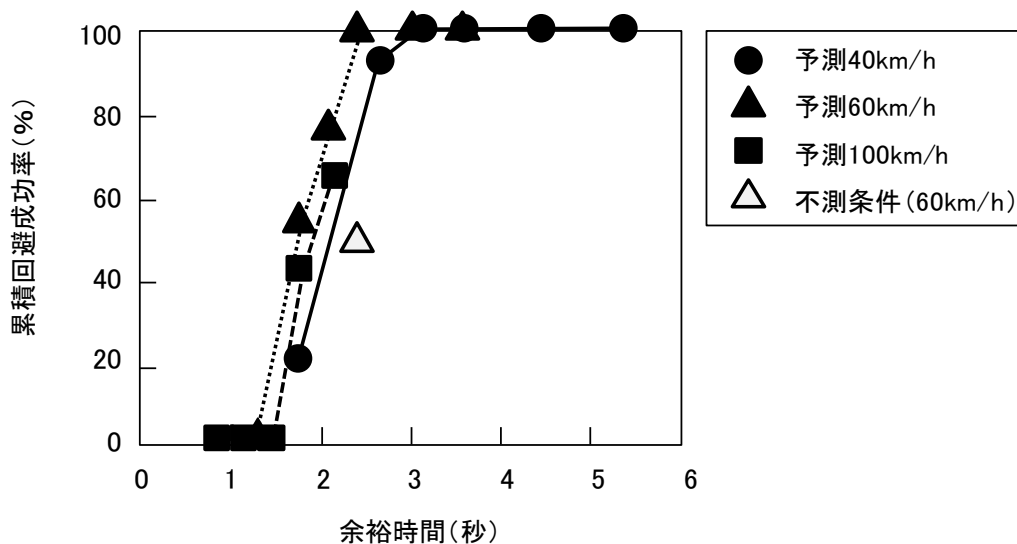


図 4-4 余裕時間と回避成功率

### 予測条件における操舵回避の特徴

障害物出現から操舵開始までの反応時間、操舵角第1、第2ピーク値、および各ピークに達するまでの最大操舵角速度を集計した。ただし、前掲図 4-3(c)に示したように、車速 100km/h では出現距離の短縮につれて著しい路外逸脱が増え、出現距離 35m 以下の走行条件では走行継続が断念されるケースが大半となったため、車速 100km/h の出現距離 35m, 30m, 20m の各条件を分析対象から除外した。

図 4-5 に、予測条件について余裕時間に対する各指標の集計値を示す。操舵反応時間は余裕時間が短いほど短縮し、実験参加者間のばらつきも縮小する傾向にあった。一方、各ピーク値と操舵角速度は余裕時間が短いほど増大し、個人間差も拡大した。余裕時間の減少にとともなう反応時間の短縮とより大きく速い操舵は、時間的な余裕が減じるにつれて、運転者がより大きい対応能力を発揮して、回避操作を行うようになることを示している。

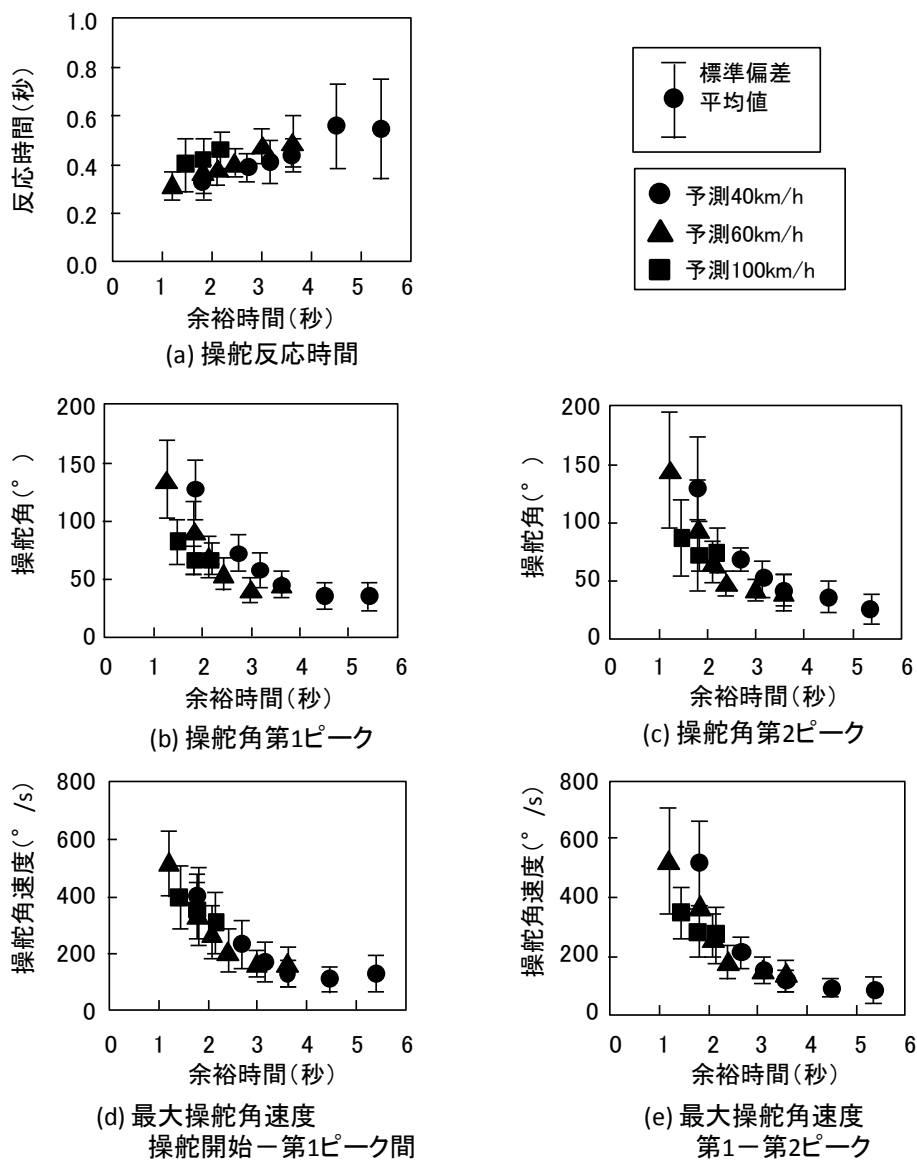


図 4-5 余裕時間に対する操舵指標値の変化

余裕時間が 1.2 秒と短く、全実験参加者が回避に失敗していた車速 60km/h／出現距離 20m の条件には、運転者が回避操作に最善を尽くした結果として実行できる最大の特性が反映されていると予想される。この条件について、操舵反応時間と最大操舵角速度を平均値±1 標準偏差の範囲として例示すると次のようになる。

- ・操舵反応時間（秒） : 0.32 ± 0.05
- ・操舵開始～第 1 ピーク間最大操舵角速度（° /s）  
: 515 ± 116
- ・第 1～第 2 ピーク間最大操舵角速度（° /s）  
: 525 ± 182

障害物が出現する正確な位置を知らされていないものの、障害物出現そのものを予測している場合には、危険事象の発生から操舵開始までの反応時間が最短で約 0.3 秒、操舵角速度の上限が約 500° /s と推定される。

#### 不測条件における操舵回避の特徴

表 4-2 に、車速 60km/h、出現距離 40m で設定した不測条件（25 名中 13 名が回避失敗）と、同じ車速と出現距離における予測条件（全実験参加者が回避成功）における操舵反応時間と各ピークまでの最大操舵角速度の集計値を示す。操舵反応時間 ( $t(24)=7.890, p<.01$ ) と第 1～第 2 ピーク間の操舵角速度 ( $t(24)=5.536, p<.01$ ) には有意差がみとめられたが、操舵開始～第 1 ピーク間の操舵角速度には差はなかった ( $t(24)=0.255$ )。不測条件では予測条件に比して反応時間が平均値にして約 0.25 秒遅延し、障害物の存在を予測していなかったことの影響が反応時間の延長として観察されている。

表 4-2 予測条件と不測条件における操舵回避特性

※ 車速 60km/h、出現距離 40m

指標	予測条件	不測条件
操舵反応時間（秒）	0.41 (0.08)	0.66 (0.17)
最大操舵角速度 操舵開始～第1ピーク間（° /s）	214 (72)	208 (91)
最大操舵角速度 第1ピーク～第2ピーク間（° /s）	184 (57)	320 (123)
n数	25	25

( )なし: 平均値  
( )内 : 標準偏差

また、前述のように予測条件では運転者は最大で約 500° /s の角速度で操舵を行うことが可能と推定されるのに対し、不測条件の操舵開始～第 1 ピークまでの角速度は約 200° /s に

すぎない。すなわち、反応時間の延長により、回避に成功するためにはより速い操舵が必要であるにもかかわらず、不測条件の回避操作開始直後の操舵角速度は予測条件と同程度に小さい。後続する第1ピーク～第2ピークまでの間では300°/s以上のやや速い操舵を実行できている点と比較すると、不測条件では、とくに回避操作の開始直後における操舵速度が抑制されているとみられる。

### 回避の成否を規定する要因

操舵回避の成否を規定する対応行動の要因を調べるため、車速60km/h条件にて回避の成功事例と失敗事例が混在していた出現距離条件（予測条件の30, 35m, 不測条件の40m）を対象に、操舵反応時間、操舵開始～第1ピーク間最大操舵角速度、第1～第2ピーク間最大操舵角速度の3者を説明変数として、回避の成否を判定する判別関数を求めた。

得られた判別関数の係数を、表4-3に示す。係数の有意性を示すF値を調べると、予測条件では、出現距離30mと35mの場合とも操舵反応時間のF値が大きく、回避の成否は操舵開始までの反応時間の長短に依存していた。一方、不測条件では操舵角速度のF値も大きく、反応時間とともに操舵の速度も回避の成否に寄与していた。

表4-3 回避成否の判別関数

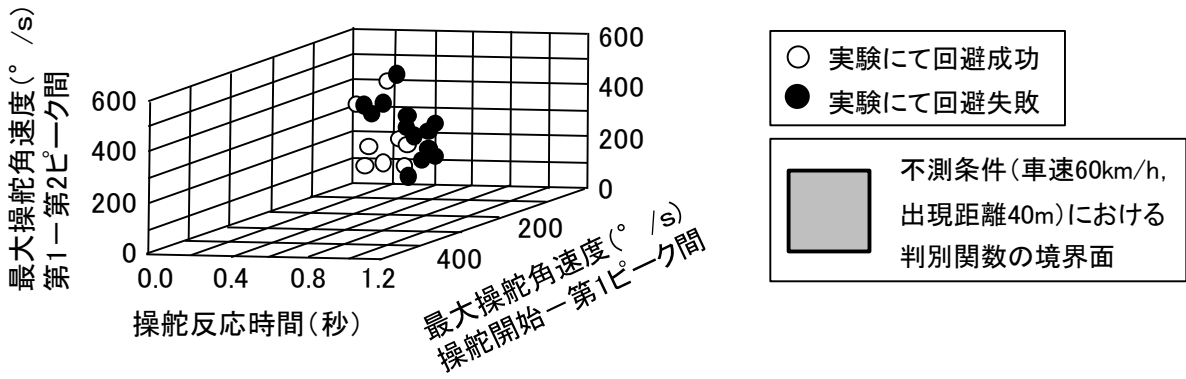
※ 車速 60km/h

	回避成功率	判別関数の係数			定数	正判別率
		操舵反応時間	最大操舵角速度 操舵開始～ 第1ピーク間	最大操舵角速度 第1ピーク～ 第2ピーク間		
予測条件 出現距離30m	56%	-18.977 (3.69*)	0.007 (1.69)	-0.008 (1.71)	7.228	72%
予測条件 出現距離35m	76%	-14.786 (2.17)	0.009 (1.32)	0.003 (0.12)	2.758	68%
不測条件 出現距離40m	48%	-9.713 (4.81*)	0.021 (4.46*)	-0.009 (3.08+)	4.722	76%

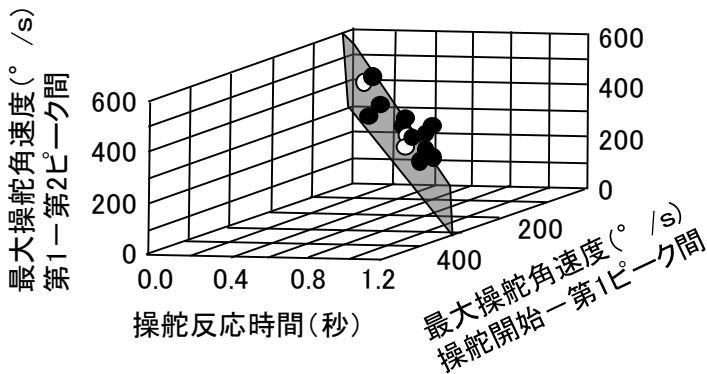
( )内:F値

\* : p<.05  
+ : p<.1

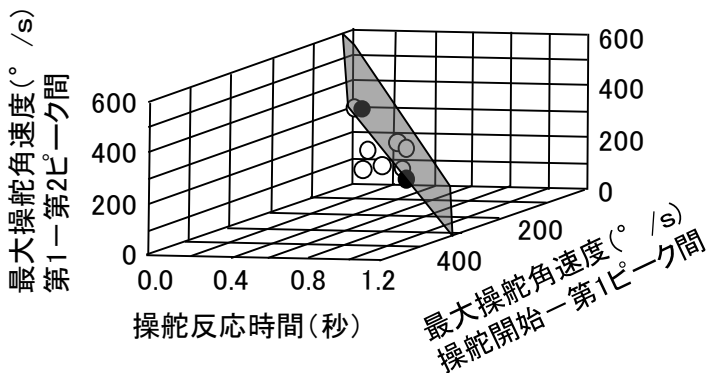
図4-6(a)に、不測条件（車速60km/h, 出現距離40m）における25名の実験参加者の分布を、さらに図4-6(b)(c)に、判別関数から得られる境界面と回避失敗と判定された実験参加者（境界面上方に配置）、ならびに回避成功と判定された実験参加者（境界面下方に配置）の分布を示す。図中の各データは、実験走行にて回避に成功した場合と回避に失敗した場合を識別して表示しており、正判別率は76%であることから、走行における回避の成否と判別関数による推定結果が異なる参加者がある。



(a) 不測条件での回避成否の分布



(b) 回避失敗と判定されたデータ(不測条件)



(c) 回避成功と判定されたデータ(不測条件)

図 4-6 不測条件における回避成否の分布と判別関数

判別関数の係数から不測条件における回避成否との関係を調べると、反応時間が短く回避操作の開始直後の操舵角速度が大きいほど回避に成功できる割合が大きい。また、第1～第2ピーク間の操舵角速度は小さいほど回避成功の割合が大きく、回避操作の後半における右側車線を逸脱しないための操舵は、むしろ穏やかである方が回避成績は良好である。すなわち、不測条件において、反応時間の短い実験参加者であれば、その後の回避開始直後の操舵速度がある程度遅くても、また車線逸脱を避けるための操舵が急激であっても、回避に成功できるのに対し、反応時間の長い実験参加者では、回避開始直後の操舵が速く、かつ回避後に右

側車線の逸脱を避けるための操舵が穏やかでないと回避に成功できない。

参考に、上述の不測条件と同じ車速 60km/h，出現距離 40m における予測条件（全実験参加者が回避成功）の分布を，不測条件における判別関数とともに，図 4-7 に示す。

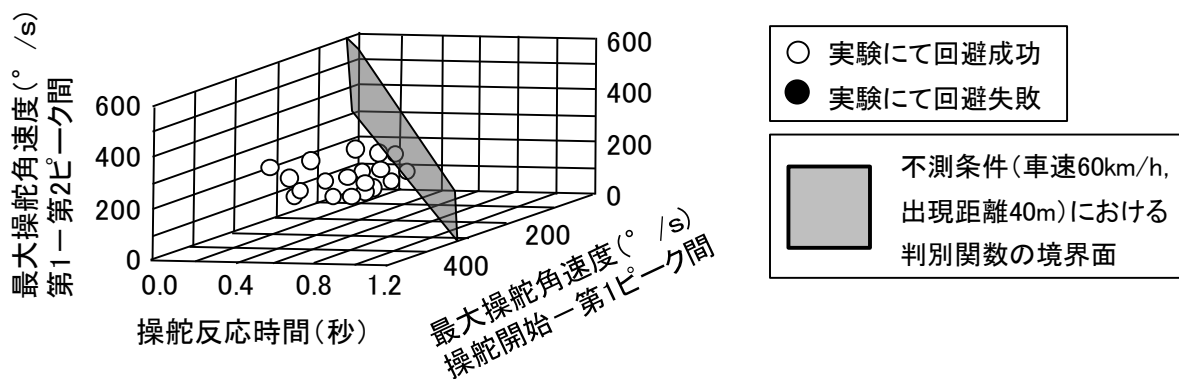


図 4-7 予測条件における回避成否の分布と不測条件における判別関数

予測条件では，不測条件の判別関数が回避成功と判定する領域に全実験参加者が分布している．これは主に，予測条件では全般に反応時間が短いことに起因しており，不測条件のように反応時間が長い実験参加者がいないため，全員が回避に成功できたものと考えられる．



### 4.3 考 察

本章では、道路環境と交通状況が規定する時間的余裕に着目し、対応行動における反応時間と回避操作の内容を分析することで、緊急状況における運転者の情報処理の特性を明らかにすることを目的とした。衝突の危険性が顕在化した緊急状況における余裕時間と対応行動ならびに回避の成否との関係を分析するため、現実の交通場面では道路環境と交通状況から規定される余裕時間を実験的に設定した。すなわち、ドライビングシミュレータ上に静止障害物が突然出現する状況を設定し、車速と出現距離で規定される余裕時間の異なる状況にて、操舵による緊急回避の特性と、回避の成否を規定する要因を調べた。あわせて、運転者が障害物の出現を予測しない不測条件を設定して、運転者の予測の有無による回避操作の特徴を調べた。得られた結果は以下の通りである。

- (1) 車速が大きいほど全運転者が回避に成功できる最小の出現距離は延長する。これを余裕時間に換算すると、40～100km/h の車速であれば、1.2～3.0 秒が回避成否の境界と推定される。
- (2) 障害物出現から障害物位置に達するまでの余裕時間が短いほど、操舵開始までの反応時間は短縮し、操舵角ピーク値と操舵速度は増大して、運転者は自らが実行できる最大限の対応行動を行うようになる。
- (3) 障害物出現を予測していない不測状況では、回避成功率が低下する。この状況では反応時間が延長され、回避操作初期の操舵角速度が抑制される。
- (4) 障害物出現を予測している場合の回避成否は、主に反応時間の長短に依存する。これに対し、障害物を予測していない場合には、反応時間だけでなく後続する操舵の速度による影響を受ける。

#### 緊急状況の対応行動

正確な出現位置は知らされていないものの、障害物が出現すること自体を運転者が予測している場合には、車速と障害物の出現距離から定まる余裕時間の関数として、運転者の回避操作の内容が変化した。すなわち、交通状況で許される余裕時間が短く、状況の緊急性が大きいほど、反応時間は短縮し、操舵角と操舵角速度は増大した。これは、運転者は自らが実現できる最大の情報処理能力を発揮して、状況に対応することを示していると考えられる。ただし、余裕時間が極端に短い 1.2 秒以下の条件で回避に成功できる運転者はなく、この余裕時間で回避に成功するために必要な回避操作は、運転者が実行できる情報処理とこれに基づく対応行動の範囲を超えていると推察される。

#### 緊急状況における運転者の情報処理

実験 6 の結果から、運転者が実行できる最短の反応時間は、平均値にして約 0.32 秒であり、実行できる最大の操舵角速度は平均値にして  $500^{\circ}/s$  以上であった。ただし、これらの値は予測条件にて得られた値であり、運転者の自動処理が駆動することによって実現されたものと推察される。

本実験の予測状況では、運転者はいずれかの地点で障害物が出現することを予測している。また、走行道路は単路であり、車線幅や、自車以外には対向車や併走車が存在しないことも承知している。このため、第3章の実験4と同様に、衝突回避に必要な自車の横移動量をあらかじめ見積ることで、障害物の出現を知覚した時点で迅速に自動処理を開始することが可能であり、回避操作の初期であっても  $500^{\circ}/s$  以上の操舵角速度を実行することができたものと推察される。ここで、統制処理による注意の介在は、予測されている障害物の出現を知覚するための状況への注意と、これを知覚した時点で自動処理を開始するまでの部分で済むため、処理資源の消費は小さかったものと推定される。また、上述のように、余裕時間が短いほど運転者は大きい情報処理能力を発揮するとみられるため、本章の予測状況で観察された最短の反応時間である 0.32 秒は、運転者が処理資源を最も効率的に使用した場合に実現できる時間であると考えられる。

不測状況における操舵反応時間の平均値は 0.66 秒であり、予測状況における最短の反応時間よりも 0.34 秒長い。この延長は、不測状況に置かれた運転者による状況の認識と対応行動の要否判断、ならびに回避操作の選択に関わる統制処理に要した時間とみなすことができる。ここで、第3章の実験5の結果から得られたように、通常状況における余裕容量の最頻値である 13bits/s が、運転者の余裕容量であったと仮定すると、上記の不測状況における状況の認識から対応行動の選択に至るまでの間に、 $0.34 \text{ 秒} \times 13 \text{ bits/s} = 4.42 \text{ bits}$  の情報が処理されていたと推定される。一方、この間に処理された情報項目は、状況の認識（障害物有、無）、対応行動の要否判断（必要、不要）、回避方法の選択（制動、操舵）、操舵回避の操作方向の選択（右、左）の4項目であったと推察される。この各々が 1bit の情報処理に相当すると仮定すれば情報量は計 4bits となり、反応時間の延長と通常時の余裕容量から推定した情報量と概ね整合する。不測状況における反応時間の延長は、不測の緊急状況が発生した場合に、運転者が処理しなければならない情報量を反映していると考えられる。

走行中に運転者が行う回避操作の選択肢は、主に制動と操舵の2種類であるため、上記の情報処理項目のなかで、後半の過程にあたる対応行動の要否判断から、回避方法の選択、操舵回避の操作方向の選択に至るまでの 3bits に相当する情報量は、いずれの緊急状況においても大きく変えることはないと予想される。これに対し、前半の過程にあたる状況の認識に関わる情報量は、交通状況によって変化する。本章の実験では、単路の直線路にて、対向車や併走車、歩行者などのいない単純な状況を設定したため、状況の認識に関わる情報量は小さかったものと推察される。一方、自車以外の交通参加者が多く存在する煩雑な交通状況では、処理しなければならない情報量は増加する。このため、煩雑な交通状況にて緊急状況が生じた場合には、状況の認識に要する統制処理の時間は、本章の不測状況よりもさらに延長すると予想される。

なお、不測状況では、上記の反応時間のなかで統制処理が完了しているわけではないとみられる。予測状況では、操作開始直後から操舵角第1ピークに至る間に、操舵角速度  $500^{\circ}/s$  以上の速い操舵が可能であることから、操作開始以前に自動処理の系列が用意されていたと推察される。一方、不測状況では、初期の操舵角速度は  $200^{\circ}/s$  ほどにすぎないことから、この時点では自動処理は十分に機能しておらず、未だ統制処理にて処理が進められていたも

のと推察される。ただし、操舵角第 1 ピーク以降では、不測状況でも  $300^{\circ}/s$  以上の操舵角速度を実行できていることから、これ以降では自動処理が駆動し、統制処理の関与は減少したものと考えられる。

以上より、緊急状況では、状況の認識から動作の選択に至る過程を統制処理にて行うため、反応時間は余裕容量と情報量により規定され、交通状況中の情報量が多い場合には反応時間が延長すると推察される。また、不測状況では、回避操作の初期にも統制処理の関与が大きいため、操作の速度を大きくできないと推察される。したがって、統制処理の働きを担保する処理資源が減じている場合には、反応時間の延長と回避操作の内容の劣化が生じると予想される。

### 回避の成否を規定する対応行動の要因

これまでの研究例では、余裕時間が小さいほど操舵角と操舵角速度を増して運転者は回避操作をとることは報告されているが（筒井・米川，1995；森山・米川，1995），回避成否との関係は示されていない。これに対し、本章では、操舵の指標値による回避成否の判別関数から、予測状況では反応時間の寄与が優勢であるのに対し、不測状況では反応時間と操舵角速度がともに回避の成否に関係することを示した。予測状況では、自動処理が駆動するため、仮に回避操作を開始するまでの反応時間が延長した場合であっても、回避操作の開始直後から速い操舵角速度を実行できると推察される。このため、回避の成否は専ら反応時間により規定されるという結果が得られたものと考えられる。一方、不測状況では、統制処理による注意の介在が必要であるため、反応時間が延長し、さらに回避操作を開始した直後の操舵角速度を速くできない場合がある。このため、反応時間と操舵角速度の両者が回避の成否に影響したものと考えられることができる。

現実の交通状況で生じる緊急状況は、不測状況であることが多いと予想されるため、衝突回避に成功するためには、第一義的には反応時間が短いことが重要であり、反応時間が長くかかった場合には、大きい操作速度が必要となる。反応時間は、運転者の余裕容量とその時点で処理しなければならない情報量に規定される。緊急状況における回避成功率を高めるためには、まず運転者の知覚と処理を改善し、処理資源の余裕を減じないための対策を講じることにより、統制処理に要する時間を短縮して、短い反応時間を実現することが重要と考えられる。

#### 4.4 概要

状況が許容する時間的余裕に着目し、対応行動における反応時間と回避操作の内容を分析することで、緊急状況における運転者の情報処理の特性を明らかにすることを本章の目的とした。現実の交通場面では道路環境と交通状況から規定される余裕時間を実験的に設定して、操舵による反応時間と操作内容を調べるドライビングシミュレータの走行実験を行った。その結果、車速が大きいほど全運転者が回避に成功できる最小の出現距離は延長し、これを余裕時間に換算すると、40～100km/hの車速であれば、1.2～3.0秒が回避成否の境界と推定された。障害物出現から障害物位置に達するまでの余裕時間が短いほど、操舵開始までの反応時間は短縮し、操舵角ピーク値と操舵速度は増大して、運転者は自らの最大限の情報処理能力を発揮して回避操作を行うようになった。ただし、障害物出現を予測していない場合には、反応時間は延長し、回避初期の操舵速度は抑制され、回避成功率が低下した。

予測状況における最短の反応時間 0.32 秒と不測状況における反応時間 0.66 秒との差は、不測の緊急状況にて運転者が行わなければならない状況の認識、対応行動の要否判断、動作の選択に要する情報量に対応すると推察され、余裕容量と反応時間から推定した情報量と概ね整合することを示した。このうち、状況の認識に要する時間は、現実の運転場面では、交通状況の煩雑さによってさらに増加すると予想される。なお、不測状況では第一義的には反応時間が、次いで操舵角速度が衝突回避の成否を規定するため、まず反応時間の改善を図る対策が重要である。

## 第5章 通常状況における高齢運転者の運転行動

### 5.1 課題

日本では、人口構成の高齢化が進行中であり、65歳以上人口は、2000年時点の約17%から、2050年には約32%に増加すると推計されている（全国社会福祉協議会，2006）。高齢者の社会参加機会の増加と、運転免許保有者数の増加、都市部を除いて公共交通機関の整備が十分でない状況を背景として、高齢者自らが自動車運転に携わる機会が増加しつつあり、これにともない、高齢運転者が第1当事者となった交通事故件数は年々増加している（交通事故総合分析センター，2009）。日本の高齢化は、他の先進諸国に比して極めて速い速度で進行し、かつ高い高齢化水準に達すると予測されており、高齢運転者の関わる交通事故を低減するための対策の重要性は大きい。

加齢にともない、運転に関わる心身機能に変化する。例えば、運転中に刺激を検知できる範囲の狭小化や複数作業の同時実施成績の低下（宇野・平松，1995）、先行車ブレーキランプ点灯への反応遅れ（西田，1998；Olson & Sivak，1986）、対向車速度を軽視し相対距離のみに依存した右折可否の敢行判断（gap acceptance）の傾向（Staplin，1995a；1995b）などが知られている。これらの知見は、円滑な運転を継続するために必要な情報処理に関わる機能が減退することを示している。

交通状況に注意を向けることで進められる統制処理は、通常状況においては、状況の変化に応じて適切な自動処理の系列へ切り替える役割を担い、緊急状況においては、少なくとも動作の選択までの処理過程を担うと考えられる。高齢運転者の交通事故への関与の増加は、心身機能のなかでも統制処理に関わる機能の低下により、適切な自動処理の系列を選択できないあるいは選択が遅れることに起因している可能性がある。

高齢運転者が第1当事者となった交通事故は、若年の運転者に比して、交差点での出会い頭事故がとくに多い（交通事故総合分析センター，2009）。これは、高齢運転者では、緊急時の対応行動だけでなく、通常時の運転行動にも問題があることを疑わせる。すなわち、第4章で示したように、自車の前方に生じる緊急状況に対して衝突を回避できるか否かは、運転者の反応時間と操作速度に依存する。一方、反応の遅延は加齢にともなう特徴的な心身機能の変化であるため（西山・阿相，1988；Olson & Sivak，1986；Olson，1987；澤田・小口1987）、緊急状況における対応行動のみが問題であるならば、高齢運転者はあらゆる形態の事故への関与が多くなければならない。しかし実際には、高齢運転者に責任のある事故には、出会い頭事故という特定の形態が多い。この事実は、危険性が顕在化した後の対応行動だけでなく、交差点を通過する際の通常時の運転行動のなかに、危険性を招来する要素が含まれていることを示唆している。この点から、高齢運転者の通常状況における運転行動の特徴を明らかにすることが必要である。

第3章にて示したように、右左折時には運転者の余裕容量が低下する割合が多い。対向車や併走車だけでなく交差車両や横断歩行者、信号機の表示変化などもある交差点では、単路

に比して、運転者が処理しなければならない情報が多く存在するため、情報処理に要する負荷は総じて大きいとみられる。高齢運転者では、統制処理に関わる機能の減退により、多くの情報を処理しなければならない状況を不得手としている可能性がある。

ここで、適切に情報を処理するためには、交通状況中の情報を適切に入手することが必要であり、情報を取得できない場合にはその後の処理も期待できない。運転行動に必要な情報の大半を運転者は視覚情報として入手していることより、交通状況に対する視覚探索に関わる視認行動の特性を明らかにする必要がある。加齢にともない、視野範囲や動体視力などが低下することが知られており (Burg, 1966, 1967 ; Wolf, 1967 ; Hills, 1975), 視知覚に関わる心身機能が減退した高齢運転者が、広い範囲に対する視覚探索行動をとらない場合には、状況中の情報を適切に取得できないリスクを増すと推察される。すなわち、高齢運転者の視認行動の方向や頻度、注視の停留時間などに偏りがある場合には、情報処理が適切に行われな可能性が高まる。

また、情報を入手することができた場合でも、その後の処理に関わる機能そのものが減退していれば、適切な処理を進めることはできない。室内実験において、高齢運転者では選択反応時間が延長し (Salthouse & Somberg, 1982), 二種類の作業を同時に行う際の成績が低下することが知られており (Sekuler & Ball, 1986 ; Ball et al., 1988 ; 宇野・平松, 1995), 注意の配分に関わる統制処理の機能が全般に低下していることが示されている。このような処理機能の減退がそのまま実路における運転行動に反映されているならば、交通状況に対応するための操作の遅れなどの運転行動の変化があらわれると予想される。また、処理資源の減少により注意配分に関わる統制処理の働きが低下しているのであれば、第2章で設定したような注意分散作業を走行中に実施すると、高齢運転者では若い年齢層の運転者よりも影響を大きく受けると予想される。

一方、高齢運転者のなかには、自らの心身機能の低下を、運転時の行動によって代償しようとする補償的な態度をとる者もいるとされる (矢島, 1986 ; 長山, 1992)。聴き取り調査の結果から、幹線道路に進入する際の左右の確認や早めのブレーキ、速度を控えめにするなど、高齢運転者は自らの心身機能の衰えを自覚して慎重な運転態度にて機能の低下を補うという補償的な運転行動をとろうとされているが (西山, 1987), この点を運転行動として確認した研究例はみられない。補償的運転行動とは、自らの機能低下を補う行動であり (長山, 1992), 例えば、視知覚機能が低下した運転者が視覚探索のためにより頻繁に視線方向を切り替える、あるいは処理機能が低下した運転者が交差点への接近時に早期に減速を開始するなどの慎重な行動が観察されれば、補償的運転行動を確認することができると考えられる。ただし、このような行動は、上述の視知覚機能や処理機能の減退から予想される運転行動の変化と相反するものであり、現実の交通状況においていずれの行動が優勢であるのかについては明らかにされていない。

本章では、通常交通状況において高齢運転者の運転行動を調査し、高齢運転者の情報処理に影響する特性を明らかにする。視覚探索行動に偏りがある場合にはその後の処理は適切に行われず、状況変化に対する行動の遅れや注意分散による影響が大きい場合には処理そのものの機能低下が示唆される。高齢運転者では交差点での出会い頭事故が多いことより、交

差点通過時の運転行動に着目し，実験 7 では市街地における実路走行にて交差点近傍での視認行動と運転行動を測定し，実験 8 ではドライビングシミュレータにて視環境を統制して視認行動の詳細を調べることで，高齢運転者の特徴を抽出する．

## 5.2 実験7 実路走行時の運転行動

### 5.2.1 目的

市街地の実路走行において、右左折する交差点近傍での高齢運転者の視認行動と運転行動を測定し、非高齢運転者と比較することによって、通常走行における特徴を抽出する。ここで、視線方向の偏りがみられた場合には、通常状況における情報処理に必要な情報の取得が損なわれていることが示唆され、状況に対応する行動に遅延がみられた場合には、処理そのものの機能が低下していることが示唆される。また、運転者の動体視力、視野範囲、情報処理能力に関わる指標を事前に測定し、心身機能と運転行動との関係を分析する。

### 5.2.2 方法

#### 実験参加者

実路走行時の運転行動を調べる実験であることを説明し、参加の了承が得られた65歳以上の男性運転者9名（年齢69～81歳、運転歴51～60年。以下、高齢群と呼ぶ）、60歳未満の男性運転者16名（年齢29～55歳、運転歴11～37年。以下、一般群と呼ぶ）とした。いずれも、通勤や買物、通院などのために日常的に自動車を運転している者であった。

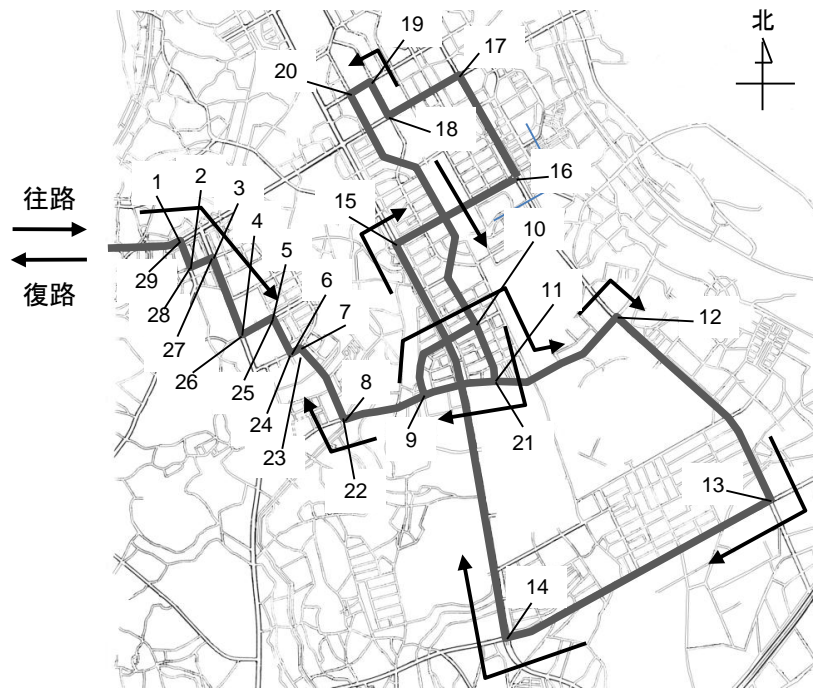
#### 実験条件

高齢運転者では、処理しなければならない情報が多くある交通状況にて行動の変化が観察される可能性が予想されることより、交差点で右左折を行う状況を対象としてデータを収集した。すなわち、29ヶ所の右左折する交差点を含む走行経路を設定し、走行中の運転者の視線方向と運転操作に関わる指標を測定した。また、高齢運転者の心身機能と運転行動との関係を調べるため、走行実験に先立ち、動体視力、視野範囲、情報処理能力に関わる指標を測定した。

#### 走行状況

茨城県つくば市内の市街地道路にて、右折15カ所、左折14カ所の交差点からなる走行経路を設定した。図5-1に走行経路を示す。経路中には幹線道路、商業地区、住宅地区を含み、幹線道路は片側2車線、商業地区ならびに住宅地区は片側1車線のいずれも対面通行道路であった。規制速度は、幹線道路が60km/h、商業地区と住宅地区は40km/hであった。15ヶ所の右折交差点は、無信号交差点が3ヶ所、3灯式信号交差点が10ヶ所、右折専用灯火（右折矢印灯火）を備える信号交差点が2ヶ所であった。左折交差点は、無信号交差点が3ヶ所、3灯式信号交差点が9ヶ所、常時左折可の3灯式信号交差点が2ヶ所であった。





※ 図中の番号は、右左折する交差点を示す

図 5-1 走行経路

## 車両

日常の自然な運転行動を観察するためには、運転に十分に慣れていない車両での走行が望ましい。とくに、高齢者は新しい装置の習熟に時間がかかるとされており、慣れていない車両を運転すると、操作に不慣れであるための影響を受け、日頃の運転における行動特性を測定できない可能性がある。このため、高齢運転者が自ら所有し、日常的に運転している自家用車にて上記経路を走行することとした。実験に使用した車両は、排気量 1000～2000cc のセダン型あるいは 2 ボックス型の乗用車（全長 3805～4410mm，全幅 1620～1695mm，全高 1380～1470mm，フロアセレクト AT 車）であった。なお、実験車の全高の違いにより、運転者のアイポイント高さが 90mm 程度異なることになるが、この範囲の乗用車であれば直接視界の範囲は大きくは変化しないとされている（日本自動車研究所，1993）

## 実験手順

事前に走行実験の内容と自家用車に計測装置を設置することを連絡したうえで、参加の了解を得た実験参加者を対象に、実験当日に、走行開始地点である（財）日本自動車研究所へ自家用車にて来所を求めた。来所後に、運転者の個人特性である心身機能の項目として、動体視力、視野範囲、重複作業反応成績を測定し、この後、走行経路を解説するとともに「普段と同じように運転すること」を教示した。また、この間に、実験参加者の自家用車に計測装置を設置した。

この後、実験参加者の運転する車両の助手席に実験者が同乗し、交差点の右左折を適宜実

験参加者へ指示しながら径路を走行した。心身機能の測定と車両への計測装置の設置に要した時間は約 60 分、各実験参加者の走行時間は約 60 分であった。

## 指標

各々の車両に、複数の小型 CCD カメラを設置して、視認行動と運転行動を記録した。ダッシュボード上の運転席正面に設置したカメラにて運転者の顔を撮影し、運転者の眼球ならびに頭部の動きをもとに、前方視、頭部の回転移動のない右方視あるいは左方視、頭部移動をともなう右方視あるいは左方視に分けて、視線方向を判別した。視線方向の判別は、概ね左右 30° の範囲を前方視と識別する訓練を受けた観察者によるものであり、視線方向が 5 つのカテゴリ間で移動した場合を 1 回の視線移動として計数した。このうえで、視線方向の切替回数と、各方向に視線を向けた時間を視認行動の指標とした。

運転席の足元に設置したカメラによりペダル操作を記録して、各々の開始タイミングを判別した。運転操作の指標として、アクセルペダルとブレーキペダルの踏み変え回数、信号停止後に信号の青表示への変化からブレーキペダルを離すまでの反応時間を集計した。また、交差点手前 100m 地点に達した以降で最初に観察されたアクセルペダル離し操作時の交差点までの距離を集計した。

なお、車両と交差点との相対距離は、加速度計により測定した車両の前後加速度をもとに推定した。すなわち、あらかじめ交差点までの距離を調査した各交差点手前の構築物を目印とし、実験走行時に当該構築物の横を車両が通過したタイミングを同乗した実験者が記録した。このタイミングを基準として、前後方向加速度を 2 階積分処理して求めた距離相当値と照合することで、交差点手前 100m 地点から交差点を通過するまでの時間経過と停止線までの距離との関係を推定した。これを上記の視線方向ならびにペダル操作のタイミングと照合して、視線方向の変化あるいはペダル操作が行われた時点の交差点との距離を求めた。

動体視力の測定には興和オプチメド製動体視力計 AS-4C を用いた。視野範囲の測定には竹井機器製視野計 TKK101、情報処理能力の指標としての重複作業反応成績の測定には竹井機器製重複作業反応検査器 TKK1112 を用いた。

動体視力の指標として、上記の動体視力計にて、ランドルト環視標による両眼動体視力（前方より接近する視標間隙の最小弁別域、5 回測定の平均値）を測定した。視力の測定は、運転者の自動車運転免許証に記載されている免許条件にしたがって、眼鏡等を着用した状態で行った。視野範囲の指標として、上記の視野計を用いて、約 200lux 照度下で左右の単眼にて正面注視時に、黒色背景中の白色円視標の存在を識別できる最大の視野範囲を上下方向ならびに左右方向で測定し、上下方向と左右方向の最大視野角の積を求め、さらにこの視野角の積を全実験参加者の平均値と標準偏差により標準得点化した値を指標とした。この指標化は、視野計の左右方向の測定範囲が各 90° までであるのに対し、これ以上の視野範囲を持つ実験参加者があるため、左右方向の測定値だけでは属性を適切に反映しないとみられることによる。情報処理能力の指標として、上記の重複作業反応検査器にて、選択反応と記憶保持の二重作業における成績を測定した。選択反応は青ランプが右手、黄ランプが左手、赤ランプが右足に対応し、またランプ点灯と同時にブザー音が呈示された場合には反応を抑制する作業

であり、16 試行から構成されている。記名保持作業は、16 試行中の各色ランプの点灯回数を記憶し、全試行終了後にこれを報告する作業である。この作業の指標として、重複作業反応検査器に付属する使用手引きに従い、正反応時の反応時間平均値に誤反応数から求めた係数（誤反応 1 回あたり 0.4 を係数に加算）を乗じた値を用いた。

### 5.2.3 結果

装置不調による計測不適を除き、延べ 648 地点でデータを取得した。各々の交差点における停止線手前 100m 地点から停止線に到達するまでの間を「交差点接近時」、停止線通過から右左折挙動を終えるまでの間を「交差点通過中」に区分し、運転者毎に全ての交差点の平均値を求めてこれを代表値とした。これを設定条件ならびに年齢群毎に集計し、高齢群の視線方向とペダル操作を一般群と比較することで特徴を抽出した。

#### 視認行動

28ヶ所の全交差点における視線方向の切替回数を集計した結果を、図 5-2 に示す。t 検定の結果から、停止線以前の交差点接近時には、視線方向の切替回数に年齢群間差はみられなかった ( $t(23) = 0.914$ , n.s.)。一方、停止線通過以後の交差点通過中では、高齢群の切替回数が一般群に比して有意に少なかった ( $t(23) = 7.270$ ,  $p < .01$ )。

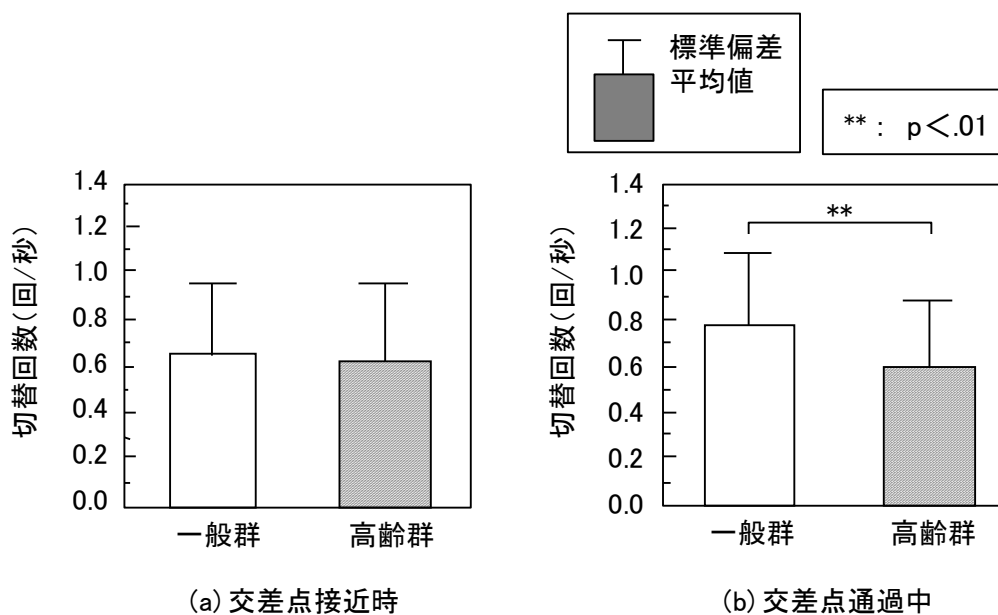


図 5-2 視線方向の切替回数

視線を向けた方向別に時間構成率を集計した結果を、図 5-3 に示す。この結果は、運転者毎に全交差点における視線方向の時間構成率の平均値を求め、これをもとに年齢群毎の平均値を算出したものである。

交差点接近時は、右折時と左折時ともに、高齢群では一般群に比して右方向へ視線が向け

られている時間が大きかった（頭部移動をともなう右方視の左折時  $t(23)=1.942, p<.1$ ；同右折時  $t(23)=1.726, p<.1$ ；頭部移動のない右方視の左折時  $t(23)=3.130, p<.01$ ；同右折時  $t(23)=2.510, p<.05$ ）。高齢群では、対向車線方向の状況把握のための視認行動に相対的に長い時間を費やしていた。また、交差点通過中の視線方向は、高齢群では一般群に比して、左折時には左方向へ、右折時には右方向へ、頭部移動をともなって視線を向けている時間の構成率が大きかった（左折時の頭部移動をともなう左方視  $t(23)=2.342, p<.05$ ；右折時の頭部移動をともなう右方視  $t(23)=3.171, p<.01$ ）。高齢群では、自らの進行方向へ視線を向ける時間が、一般群よりも長いことが示されている。

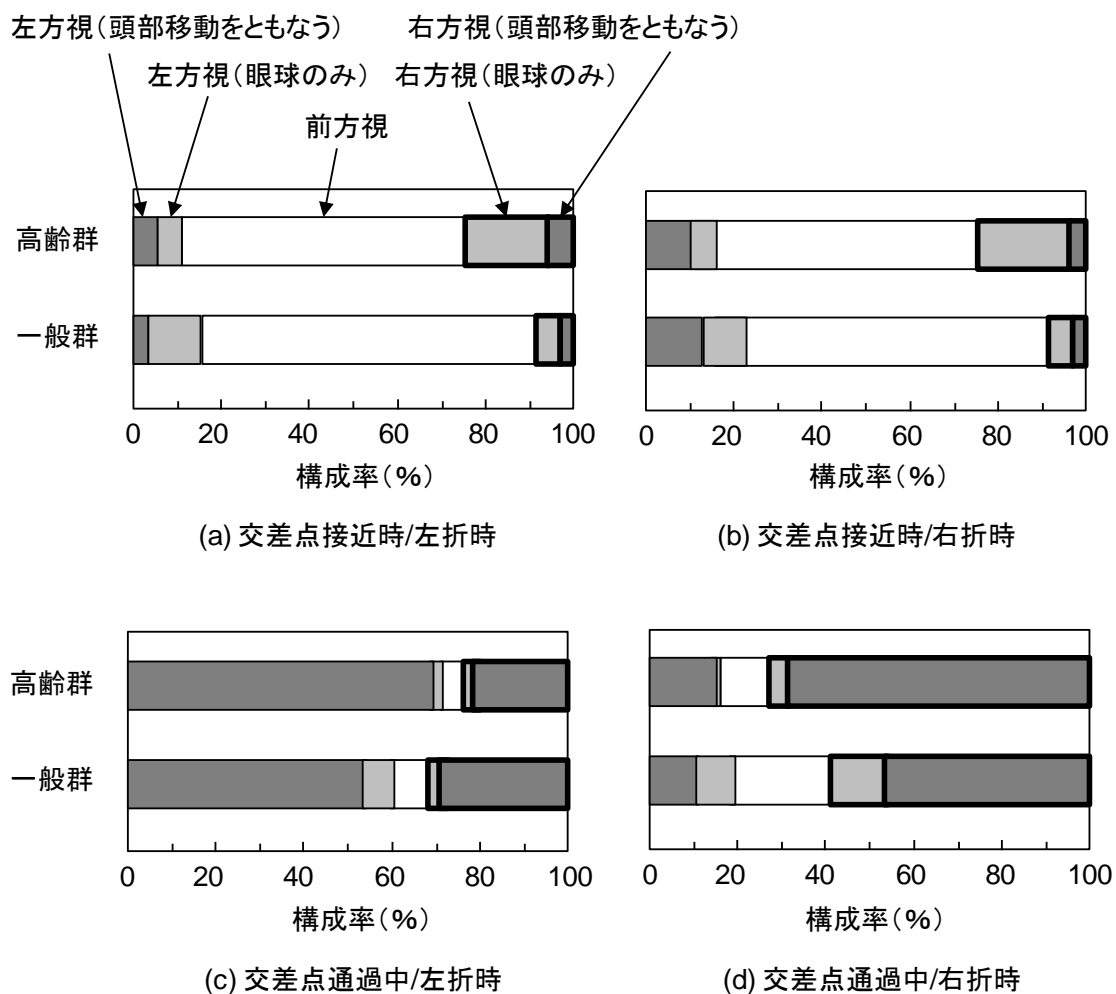


図 5-3 視線方向の時間構成率

交差点への接近時に対向車線方向へ視線を向けることは、対向車の車線変更や右折などによる自車線への逸脱をいち早く検知するという点では有利である。ただし、衝突の危険性は、歩道からの歩行者の飛び出しなど、自車線道路の左側にも生じうるため、高齢運転者の視線方向が道路右側へ偏ることは適切とは言えない。むしろ、一般群の運転者では、右側よりも左側への視線方向の時間構成率がやや大きく、積極的な視認行動によって自車線道路の

左側の交通状況に関わる情報を取得しようとしていることが示唆されている。

交差点通過中の視線方向が自車の進行方向に偏ることも、周辺の交通状況を把握するうえで適切ではない。右左折時には、交差道路の横断歩道上を歩行者や自転車が通行するため、自車の進行方向の周辺部についても交通状況を確認する必要がある。心身機能としての視野範囲が狭小化した高齢運転者で、視線方向の偏りがあることは、自車進行方向とは異なる方向から接近する交通参加者に気づかない危険性を引き起こす。

以上より、高齢運転者の視認行動には偏りがみられ、処理の対象とすべき情報の取得が損なわれる可能性が非高齢運転者よりも大きいとみられる。

### ペダル操作

全ての交差点を対象に、交差点接近時にアクセルペダルとブレーキペダルを踏み変える回数を集計したところ、一般群の平均 1.4 回に対して高齢群では 1.8 回であり、高齢群のペダルを踏み替える回数が多かった ( $t(23)= 3.253, p<.01$ )。高齢運転者では、交差点へ接近する際に、進行可否の判断に躊躇しがちであることが窺える。また、信号待ちで停止した後に、信号の青表示変化に対する発進操作開始までのブレーキ離し反応時間は、一般群の平均 0.7 秒に対して高齢群では 0.9 秒であり、高齢群は 0.2 秒ほど延長していた ( $t(23)= 1.973, p<.1$ )。信号変化時の発進のための操作が、高齢運転者では遅れる傾向にある。信号変化に対する対応行動の遅れと交差点接近時のペダル踏み変え回数の増加は、処理機能そのものの減退を示唆している。

ただし、交差点接近時の減速操作（アクセルペダル離し始め）は、図 5-4 に示すように、高齢群の方が一般群に比して、交差点からより離れた地点で早期に開始していた ( $t(23)= 3.737, p<.01$ )。交差点での確実な減速停止を期するために、高齢運転者は、全体としては、慎重な運転行動をとる傾向にあることが示されている。

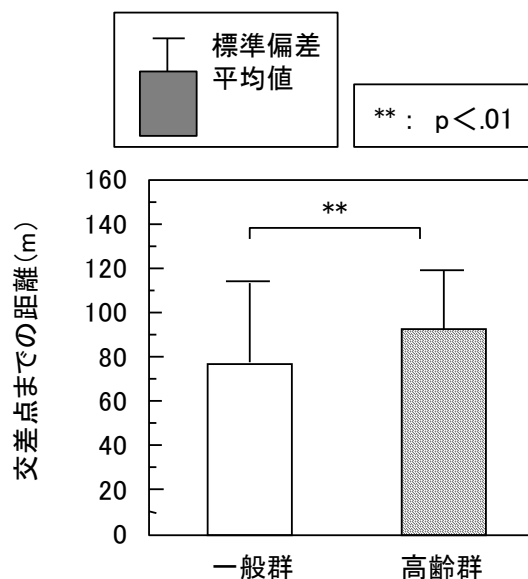


図 5-4 アクセルペダル離し時の交差点停止線までの距離

### 心身機能と運転行動との対応

心身機能に関わる個人特性と、運転行動との関係を調べた。なお、動体視力の指標は、交差点への接近時ならびに通過時の視認行動や運転操作との明瞭な対応関係を示さなかったため、視野範囲と重複作業反応との対応関係を述べる。

図 5-5 に、各運転者における全ての交差点通過中における視線方向切替回数の平均値と、視野範囲指標値との分布を示す。視野範囲に関する指標値は、左右方向と上下方向の視野の広さの積を、高齢群と一般群をあわせた全実験参加者について標準得点化（平均値 0 点、標準偏差 1 点）した値である。なお、一般群では左右方向視野の測定値が  $173\sim 180^\circ$ 、上下方向が  $101\sim 134^\circ$  であったのに対し、高齢群では左右方向が  $128\sim 180^\circ$ 、上下方向が  $71\sim 113^\circ$  であり、いずれの方向についても高齢群では一般群に比して視野範囲が狭かった（左右方向  $t(23)=3.500, p<.01$ ；上下方向  $t(23)=5.041, p<.01$ ）。全実験参加者について視野範囲の指標値と視線方向の切替回数との対応関係を調べると、視野範囲の狭い運転者であるほど、時間あたりに視線方向を切り替える回数が少なかった（ $r(25)=0.664, p<.01$ ）。

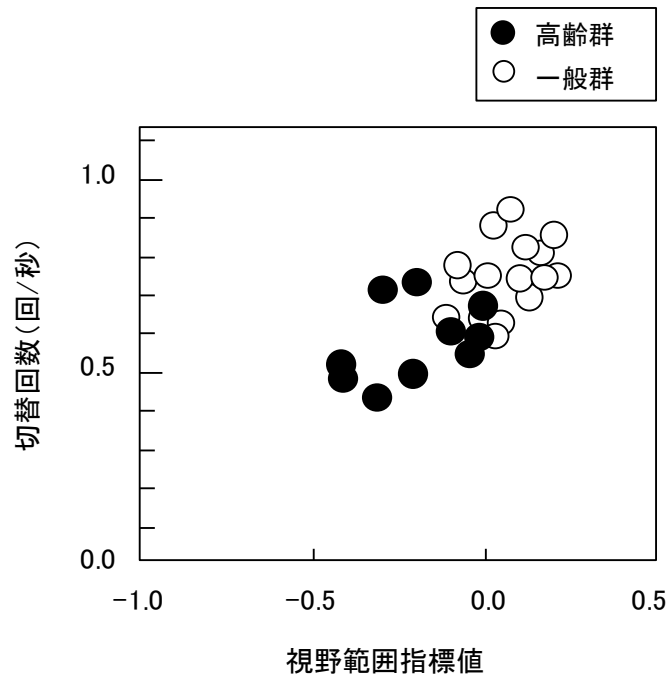


図 5-5 視野範囲指標値と交差点通過中の視線方向切替回数

心身機能の変化としての視野範囲の狭小化を補うためには、自らの視線方向を頻繁に切り替えることで、外界の情報をより網羅的に取得する視覚探索行動をとることが有利と予想される。しかしながら、加齢にともない視野範囲は狭小化する傾向にあり、これとともに視線方向の切替回数は減少するという、予想に反した結果が得られた。すなわち、視認行動については、加齢による全般的な減退がみられるのみであった。

視線方向の切替回数について、心身機能の低下を行動で補うという補償的行動が優勢であるならば、視野範囲の狭い運転者で視線方向の切替回数が減るという関係がみられてはなら

ない。これに反して上述の結果は、自らの機能減退を補償する行動は行われていないことを示している。すなわち、高齢運転者では総じて視野範囲が狭小化していることに加え、視覚探索のための視認行動の点でも不利である。

重複作業反応成績の指標値は、手足による選択反応作業における正反応時の反応時間に誤反応数に基づく係数を乗じた値であり、値が大きいほど反応が正確かつ迅速であることを示す（稲葉，1988）。この指標値の平均値は、一般群の0.42に対して高齢群では1.53であり、高齢群で大きかった（ $t(23)=3.813, p<.01$ ）。高齢運転者ではこの指標値にばらつきがあり、選択判断に時間がかかる、あるいは誤反応の多い運転者がいた。すなわち、一般群では反応時間平均値は0.56～1.15秒、誤反応数は0～4回であったのに対し、高齢群では反応時間平均値は0.78～1.74秒、誤反応数は0～7回であった。

反応の正確さや迅速さと慎重な運転行動との関係を調べるため、重複反応作業成績の個人差が大きい高齢群を対象に、重複作業反応成績と交差点接近時の減速開始タイミング（アクセルペダルを離し始めた時点の交差点までの距離）との関係を、図5-6に示す。高齢群では、重複反応作業成績とアクセル離し時の交差点までの距離との間に有意な相関がみられた（ $r(9)=0.685, p<.05$ ）。

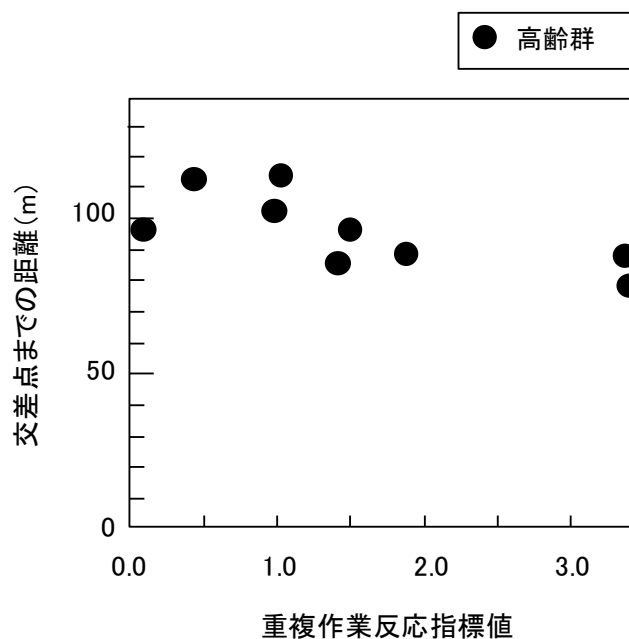


図5-6 重複作業反応指標値とアクセルペダル離し時の交差点停止線までの距離

判断の正確さや迅速さの低下を補うためには、交差点の接近時においては、より早いタイミングで減速操作を開始することが有利と予想される。しかし、図5-6より、高齢群のなかでも重複作業反応成績の劣る運転者では、アクセルペダルを離し始める交差点までの距離が短く、むしろ減速を開始するタイミングが相対的に遅れている。すなわち、高齢運転者のなかでも、反応時間の延長あるいは誤反応の増加がみられる者では、前掲図5-4で示した慎重な運転行動（交差点での確実な減速停止のための早めの減速開始）が薄れる傾向にある。

前述のように，交差点接近時の減速開始タイミングについて，高齢群では一般群よりも早期にアクセルペダルを離すという点で，慎重な運転行動がみられる．ただし，高齢運転者のなかでもより選択判断の正確さや迅速さが劣る運転者では，この行動が減じている．高齢運転者全体としては，早期の減速操作が行われる傾向にあるものの，情報処理機能がより低下しているとみられる運転者ではこの傾向が薄れている．



## 5.3 実験8 ドライビングシミュレータによる視認行動の詳細調査

### 5.3.1 目的

通常状況における高齢運転者の視認行動の詳細を明らかにする。このため、交通状況の統制が可能なドライビングシミュレータと注視点計測装置を用いて、交差点通過時の視認行動を測定する。また、注意分散作業による影響の大きさをもとに、処理機能の低下の有無を検討する。ここで、注視点の偏りがみられた場合には、処理に必要な情報の取得が損なわれていることが示唆され、注意分散による影響が非高齢運転者に比して大きい場合には、処理機能の低下が示唆される。

### 5.3.2 方法

#### 実験参加者

実験の趣旨と内容について了承を得た65歳以上の男性運転者12名（年齢65～83歳，運転歴46～60年，以下，高齢群と呼ぶ）と，60歳未満の男性運転者12名（年齢24～59歳，運転歴6～41年，以下，一般群と呼ぶ）とした。いずれも，通勤や買物，通院などのために日常的に自動車を運転している者であった。

#### 実験条件

交通状況中の視対象数を統制して運転者の視認行動を調べるために，信号機の有無（2水準；なし，あり），歩道上の歩行者数（3水準；なし，交差点手前の左右に各1名の計2名，各交差点端に各1名の計4名），交差車両の数（3水準；なし，交差道路左側，交差道路両側）の組合せにより，視対象数が0個～7個となる18通りの交差点を設けた。また，運転者の処理に関わる機能を推定するため，注意分散作業として定性的な難易度の異なる暗算作業（易条件，難条件）を設け，これに暗算作業なし条件を加えた3水準を設定した。

#### 走行状況

第3章，第4章と同様に，（財）日本自動車研究所が保有する動揺機構付きドライビングシミュレータを用いて実験を行った。シミュレータに設定した道路の形状は，第3章の実験3と同じとした。すなわち，300mの加速区間につづいて1600mの片側1車線，車線幅3.5m，対面通行の市街地道路を設定した。市街地道路には80m間隔で横断歩道を備える交差点を計20ヶ所設け，交差点周辺には幅1mの歩道の先に建物を配して，交差道路の見通しが悪い設定とした。20ヶ所の交差点のうち，終末の2ヶ所を除く18ヶ所に後述の視対象を設定し，市街地道路への進入から18ヶ所の交差点を通過するまでの間を実験区間とした。

信号機の有無（2水準；なし，あり），歩道上の歩行者数（3水準；なし，交差点手前の左右に各1名の計2名，各交差点端に各1名の計4名），交差車両の数（3水準；なし，交差道路左側，交差道路両側）の組合せにより，視対象数が0個～7個となる18通りを設け，上記の交差点にランダム順に配置した。

信号機を設置した交差点では，自車線道路に対する表示は常時青とした。交差車両は，実

験参加者の車両が交差点手前 50m に接近した時点で視認できる位置に配した。ただし、この交差車両は交差点に進入することではなく、交差点直前の交差道路上で停止したままとした。他に常設の視対象として、交差点、横断歩道、速度規制の各路側標識と、交差点手前 15m 地点で離合する対向車を設定した。シミュレータの模擬対象車両は、実験 4 と同様のセダン型乗用車とした。

図 5-7 に、交差点周辺の視対象の配置に関する設定を示す。また、図 5-8 に、歩行者 4 名と両側に交差車両を視対象として配した交差点の風景例を示す。

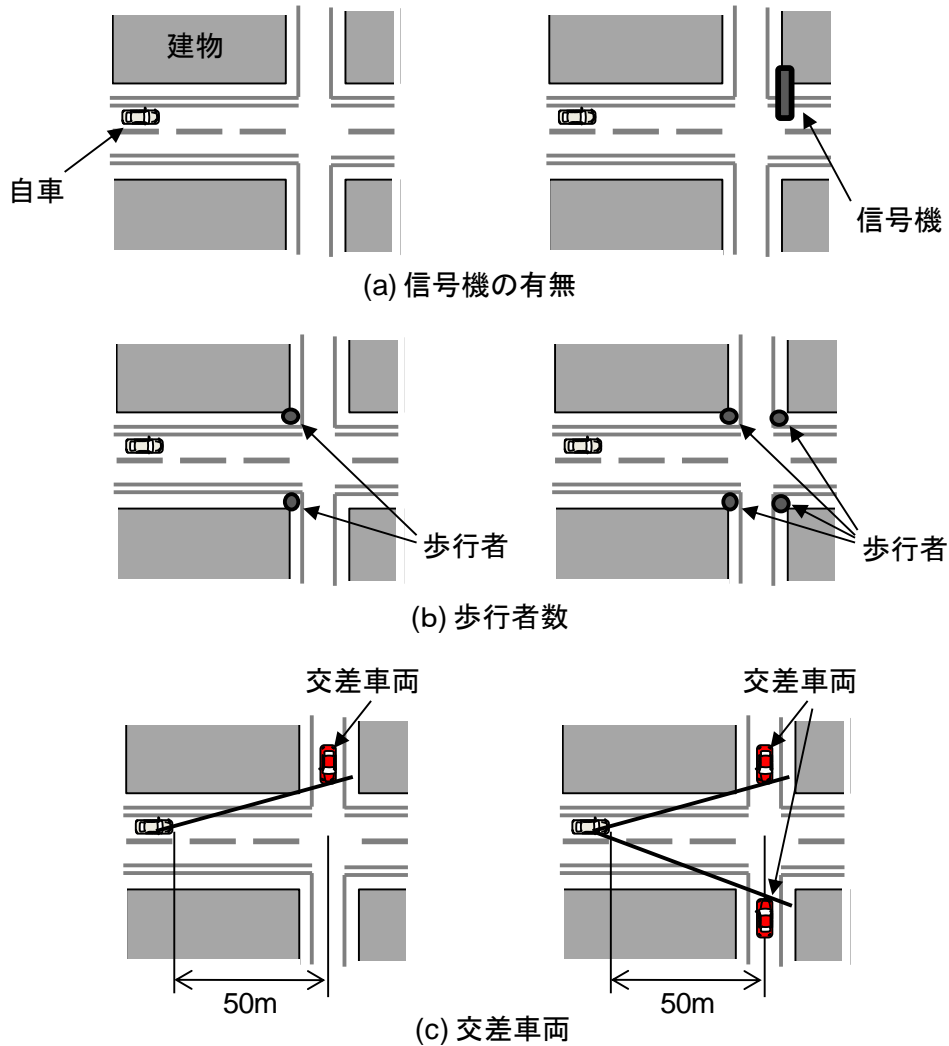
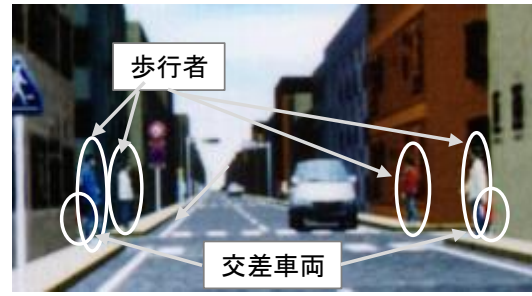


図 5-7 視対象の設定



(a) 交差点手前40m地点



(b) 交差点周辺を拡大

図 5-8 前方風景例（歩行者 4 名，両側に交差車両）

### 暗算作業

運転者の注意分散対象として，第 2 章と同様の手続きにて，聴覚呈示される加算問題を口頭で回答する暗算作業を設定した．加算問題は，2 秒間の呈示期間とつづく 2 秒間の回答期間からなる 4 秒間の試行とし，実験区間の走行中にわたってこれを連続して実施した．暗算作業の難易度に関わる条件として，易条件（0～3 範囲の数字 2 個の加算）と難条件（0～15 範囲の数字の加算）を設けた．

### 実験手順

実験走行の開始前に，運転者の視野範囲を測定した．次いで，「交差点の連なる市街地道路を 40km/h を維持して，普段と同じように運転する」よう教示し，注視点計測装置を実験参加者が装着した後，暗算作業なしでコースの練習走行を 1 回行った．その後，暗算作業用のヘッドセットを装着し，暗算なし条件，易条件，難条件の 3 条件をランダム順に実施した．実験参加者あたりの所要時間は 60～90 分であった．図 5-9 に，ドライビングシミュレータ運転席における走行実験の様子を例示する．



図 5-9 実験風景例

## 指標

注視点計測装置としてアイマークレコーダ (NAC 社製 EMR-8) を用い、空間分解能  $0.2^\circ$  にて 30Hz のサンプリング周期で注視点を測定した。各交差点手前 80m 地点から交差点に達するまでの間を注視点の分析区間とし、この間の道路座標系における注視点の位置と、注視点を切り替えた回数、ならびに 1 回の注視あたりの持続時間を、当該交差点における視認行動の指標とした。ここで、注視点が  $1^\circ$  以上移動した場合を、注視点が切り替えられたものとして識別した。

心身機能に関わる指標として、実験 7 にて視認行動との関係がみられた視野範囲を、同じ装置を用いて測定した。ただし、視野計で測定できる左右方向視野範囲 (左右計  $180^\circ$ ) を実験参加者の視野範囲が超えている場合があったため、本実験では上下方向の視野角最大値を実験参加者の代表値とした。

### 5.3.3 結果

#### 注視点分布

高齢運転者の注視点は、非高齢運転者に比して中心部に偏りがちであった。前方風景に対する全実験参加者の注視点分布を、図 5-10 に示す。これは、各交差点の分析区間における注視点について、上下方向ならびに左右方向に各々  $2^\circ$  幅のセルからなる分布範囲を想定し、実験区間の走行中に 33.3ms 単位で記録した前方風景上の注視点位置の分布を運転者毎に求め、視対象数条件を区別せずに、年齢群別ならびに暗算作業条件別に集計し、全注視時間に占める各セルへの注視時間の構成率を求めたものである。

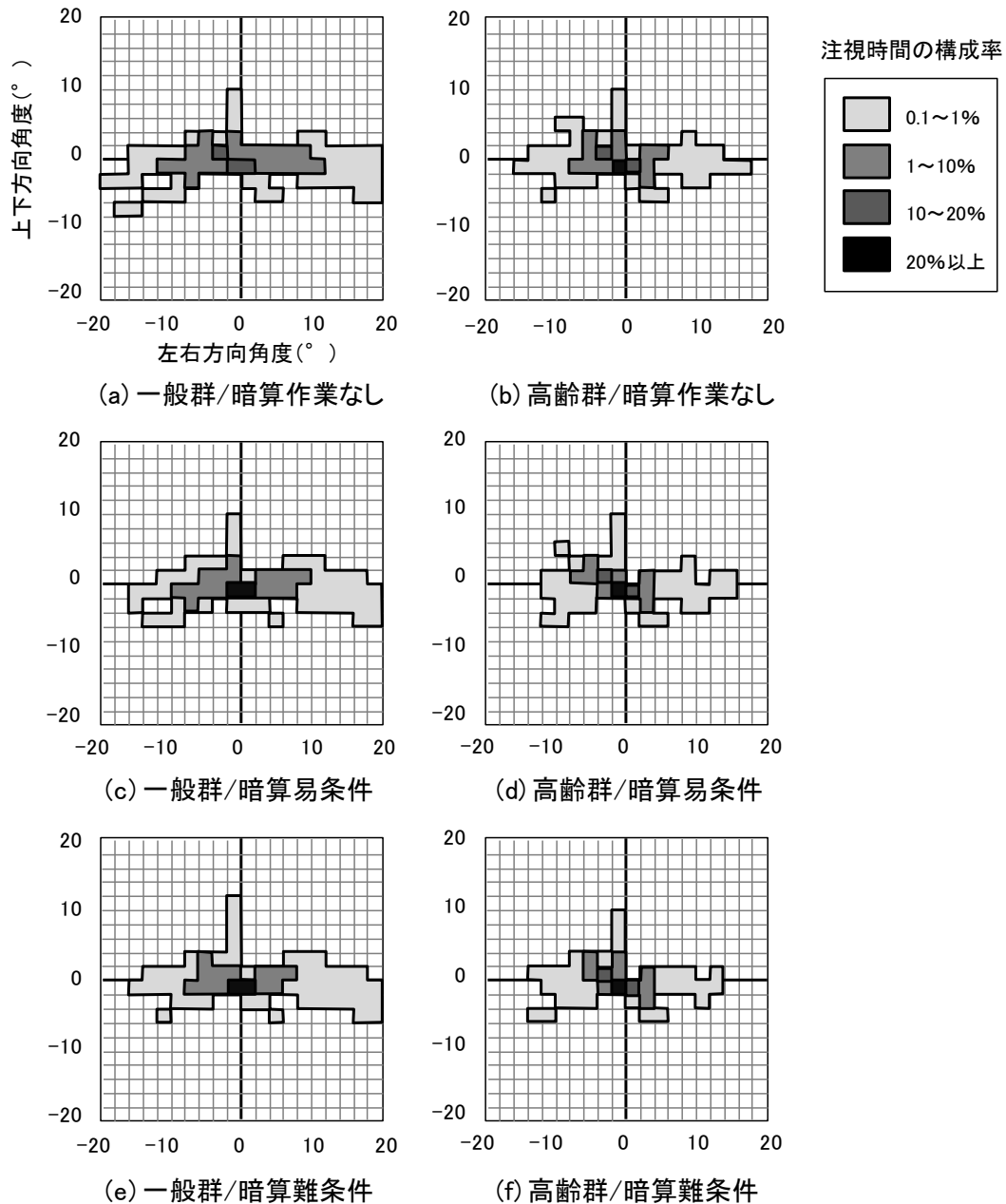


図 5-10 道路座標系における注視点の分布

本実験の測定範囲にて、時間構成率 0.1%以上の注視点分布がみられる領域は、左右方向とも 20° まで、上方向 10°，下方向 8° までであったことより、この範囲に対する各条件における注視点分布範囲の比を求め、 $\chi^2$ 検定により比較した。

その結果、暗算なし条件では、0.1~1.0%の注視点分布の範囲 ( $\chi^2(1)= 3.750, p<.1$ ) と 1~10%範囲 ( $\chi^2(1)= 3.040, p<.1$ ) に年齢群間差がみられた。また、図 5-10 の分布図にて比較すると、暗算なし条件にて、全注視時間の 1.0%以上の時間にわたって注視されていた領域は、一般群の左 12°~右 12°に対し、高齢群では左 8°~右 6°と狭い。一般群では注視時間の構成率が 20.0%を越える領域がないのに対し、高齢群では進行道路の正面への構成率が

20.0%を越えている。高齢群では、進行道路の周辺部に比して中心部の方が、より長くかつより頻繁に注視されているとみられる。

暗算作業を同時実施すると、一般群、高齢群とも、注視点分布範囲が狭小化した。0.1~1.0%の注視点分布の範囲を比較すると、一般群では、暗算なし条件に対して易条件 ( $\chi^2(1)=2.858, p<.1$ ) と難条件 ( $\chi^2(1)=3.750, p<.1$ ) で、高齢群でも暗算なし条件に対して易条件 ( $\chi^2(1)=3.752, p<.1$ ) と難条件 ( $\chi^2(1)=4.300, p<.05$ ) で各々差がみとめられた。また、図 5-10 の分布図にて比較すると、一般群では、暗算作業の同時実施により 1.0%以上の注視範囲が左右 8°程度まで減少するとともに、正面方向への注視時間構成率が 20.0%を越えている。高齢群ではさらに注視点分布が狭小化し、1.0%以上の注視範囲が左 8° ~ 右 4° に低下している。暗算作業の実施による運転中の注意分散は、運転者の年齢によらず、注視点の分布を正面方向へ偏重させる方向に作用している。

高齢群で暗算作業を同時実施すると、一般群よりもさらに注視点が正面近傍に偏り、0.1~1.0%の注視点分布の範囲は、易条件 ( $\chi^2(1)=5.305, p<.05$ ) と難条件 ( $\chi^2(1)=4.253, p<.05$ ) にて、年齢群間に差がみとめられた。高齢群では、一般群よりも注意分散による影響を大きく受けている。

### 注視点の切替回数

各交差点の分析区間にて運転者が注視点を切り替えた回数を集計した。視対象数条件を区別せずに、暗算作業条件と年齢群により集計した結果を、図 5-11 に示す。

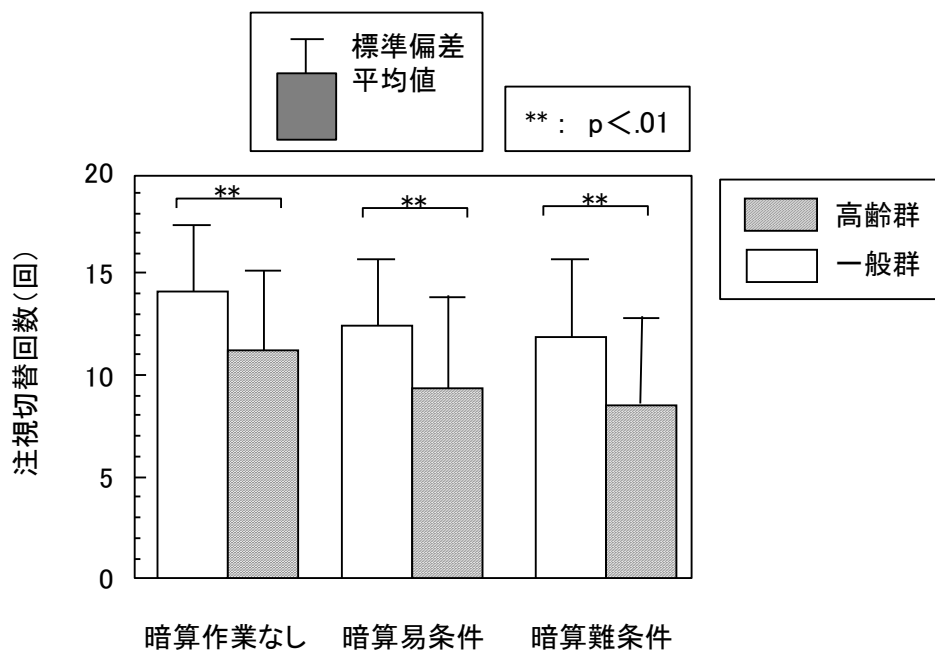


図 5-11 注視点の切替回数

いずれの暗算作業条件とも、t検定にて年齢群間の有意差がみとめられており（暗算作業なし条件  $t(22)=8.378, p<.01$ ；易条件  $t(22)=7.823, p<.01$ ；難条件  $t(22)=9.084, p<.01$ ），高齢群の注視切替回数は一般群より少なかった。また，暗算作業を行いながら走行する場合には，暗算なし条件に比して注視切替回数が減少していた（一般群の易条件  $t(11)=5.413, p<.01$ ；同難条件  $t(11)=6.508, p<.01$ ；高齢群の易条件  $t(11)=4.223, p<.01$ ；同難条件  $t(11)=6.301, p<.01$ ）。なお，一般群では差はみられないものの（ $t(11)=1.282$ ），高齢群では暗算作業の易条件よりも難条件にて注視切替回数が減少する傾向にあった（ $t(11)=1.897, p<.1$ ）。注視切替回数についても，高齢群では一般群に比して，注意分散による影響が大きいとみられる。

### 注視持続時間

各交差点の分析区間につき，自車線と対向車線の道路上を「正面」，左側歩道より外側を「左側」，右側歩道より外側を「右側」，シミュレータ運転席内部を「車内」に区分して，各方向に対する1回の注視における注視持続時間を集計した。視対象数条件を区別せずに，暗算作業条件と年齢群により集計した結果を，図5-12に示す。年齢群間の差を調べると，左方（暗算作業なし  $t(22)=2.671, p<.05$ ；易条件  $t(22)=5.253, p<.01$ ；難条件  $t(22)=5.358, p<.01$ ），正面（暗算作業なし  $t(22)=6.176, p<.01$ ；易条件  $t(22)=6.964, p<.01$ ；難条件  $t(22)=6.489, p<.01$ ），右方（暗算作業なし  $t(22)=4.592, p<.01$ ；易条件  $t(22)=9.114, p<.01$ ；難条件  $t(22)=2.773, p<.05$ ）の各々で有意差がみられ，車内への注視持続時間についても，暗算なし条件を除いて年齢群間差がみられた（暗算作業なし  $t(22)=1.503$ ；易条件  $t(22)=4.432, p<.01$ ；難条件  $t(22)=5.997, p<.01$ ）。

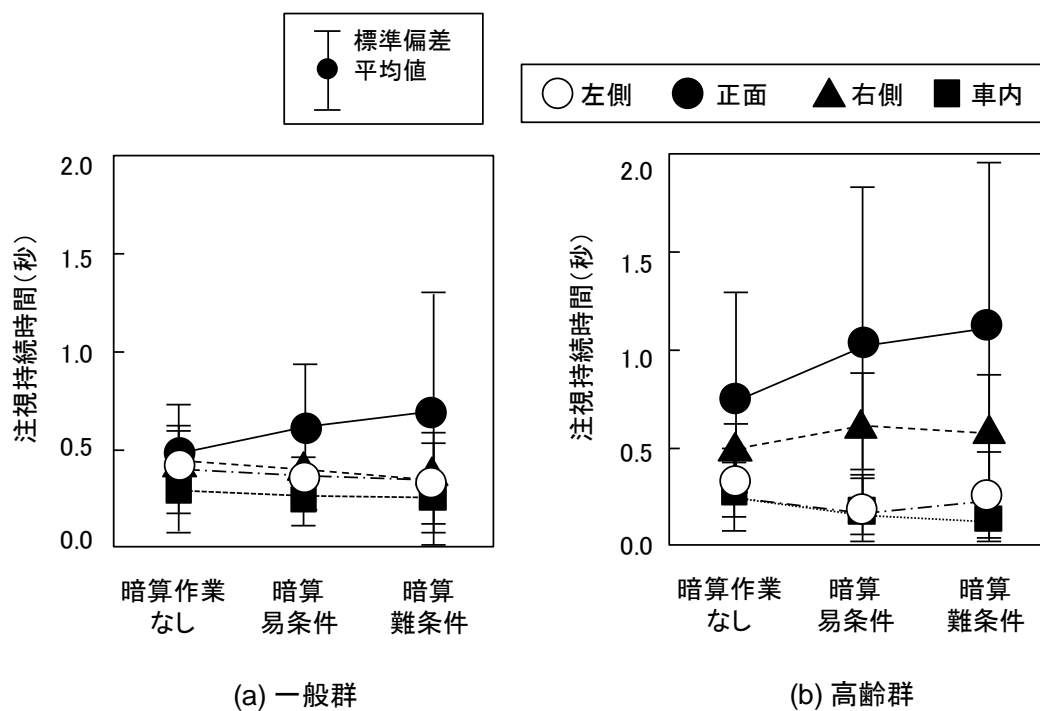


図5-12 1回の注視における注視持続時間

高齢群では、全般に注視持続時間が長く、とくに正面方向にある視対象を長い時間にわたって注視していた。前掲図 5-11 に示した高齢運転者における注視切替回数の減少は、主に 1 回あたり注視持続時間が長いことに起因すると推察される。また、本実験では、交差点を直進通過する設定としたため、正面方向は自車の進行方向である。高齢群で正面方向への 1 回あたり注視持続時間が相対的に長いことを示す結果は、交差点の右左折時に自車の進行方向へ視線方向が偏ることを示した実験 7 における実車走行の結果と整合している。

なお、暗算作業を同時実施すると、一般群でも正面方向への注視持続時間の延長がみられるようになるが、延長の度合いは高齢群に比して小さい。また、高齢群で暗算作業を行うと、一般群以上に正面方向への注視持続時間が延長しており、ここでも注意分散の影響を大きく受けることが示されている。

運転中に暗算作業を行うことにより、一般群、高齢群とも、注視点の切替回数が低下するとともに、正面方向への注視持続時間が増加している。すなわち、視認行動をとらなわなない聴覚的な注意分散は、第 2 章で示した車速コントロールや生理的反応への影響だけでなく、運転者の視認行動にも影響しており、正面方向への注視の偏重を生じさせる。この注意分散による視認行動の偏りは、高齢運転者で大きい。

### 道路環境中の視対象数の効果

条件設定した視対象数に対する注視切替回数の平均値を、暗算作業条件と年齢群について集計した結果を、図 5-13 に示す。視対象数が多い交差点であるほど、一般群、高齢群とも注視点を切り替える回数が増した。環境中にある視対象の数に応じて、頻繁に注視点を切り替え、注視する方向を増すことで、運転者はより多くの情報を取得しようとするが示されている。

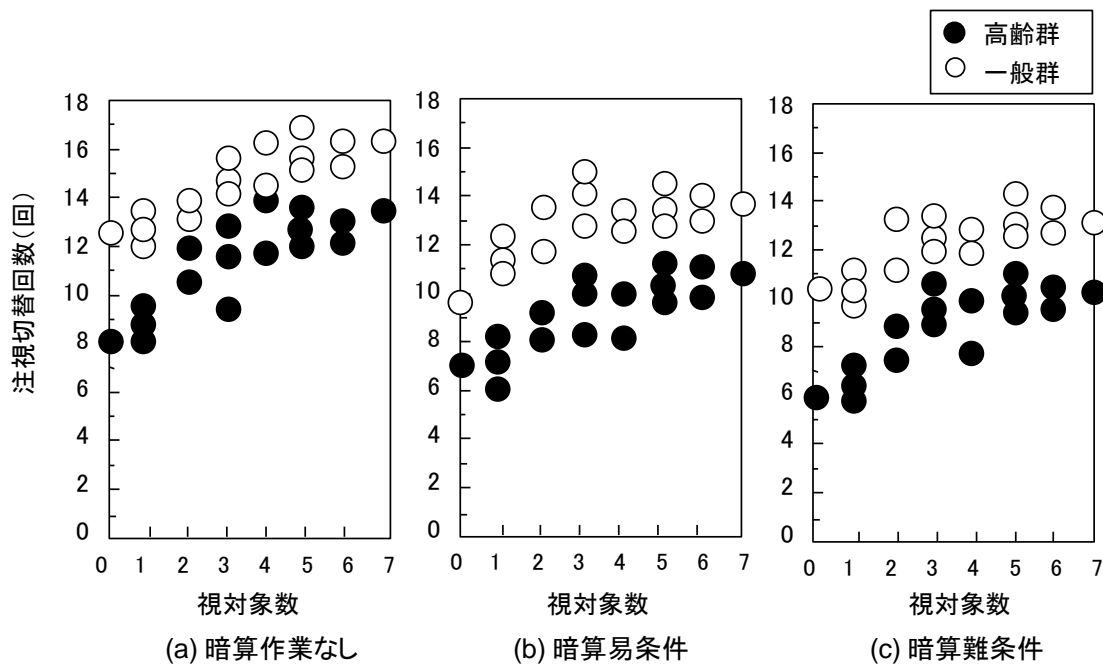


図 5-13 視対象数による注視点の切替回数



ただし、注視切替回数は視対象数の対数関数として増加しており（暗算なし条件一般群  $y = 1.86\ln(x)+12.27$ ,  $R^2=0.727$ ；暗算なし条件高齢群  $y = 2.05\ln(x)+9.10$ ,  $R^2=0.693$ ；易条件一般群  $y = 1.44\ln(x)+11.63$ ,  $R^2=0.554$ ；易条件高齢群  $y = 1.88\ln(x)+7.34$ ,  $R^2=0.700$ ；難条件一般群  $y = 1.45\ln(x)+10.64$ ,  $R^2=0.691$ ；難条件高齢群  $y = 1.96\ln(x)+6.58$ ,  $R^2=0.786$ ），視対象数が多い場合であっても、一定の限度以上には注視する回数を増すことはできないことが示されている。また、本実験では、一般群は15～16回、高齢群は13～14回が上限であり、高齢運転者の方が注視切替回数が少なかった。高齢運転者では、注視すべき視対象の多い交通状況にあつては、十分に注視点を切り替えて情報を取得することができない可能性がある。

注視切替回数の上限は、交差点通過までの時間と各視対象への注視持続時間に規定される。例えば、本実験の設定（交差点間隔 80m, 車速 40km/h）では、分析区間とした交差点間の通過時間は約 7.2 秒である。一方、前掲図 5-12 に示したように、1 回の注視あたりの注視持続時間は、高齢運転者では全般に長いため、所与の通過時間中に注視対象を切り替える回数は相対的に減少せざるをえなかったものと推察される。

なお、高齢群、一般群とも、注視切替回数の上限值は、暗算作業の同時実施により減じており、注意分散による影響がみられる。

### 交差点への注視を打ち切る地点

交差点を直進通過する際には、運転者は自車が交差点を通過する時点まで交差点を注視しつづけるわけではなく、交差点にある程度接近した時点で当該交差点を注視することを止め、より遠方へ注視点を移す。暗算なし条件において、視対象数条件を区別せずに、接近中の交差点を最後に注視した地点の交差点までの距離の累積頻度を、図 5-14 に示す。高齢群は一般群に比して、より交差点から離れた地点で交差点への注視を終了する傾向にあつた。

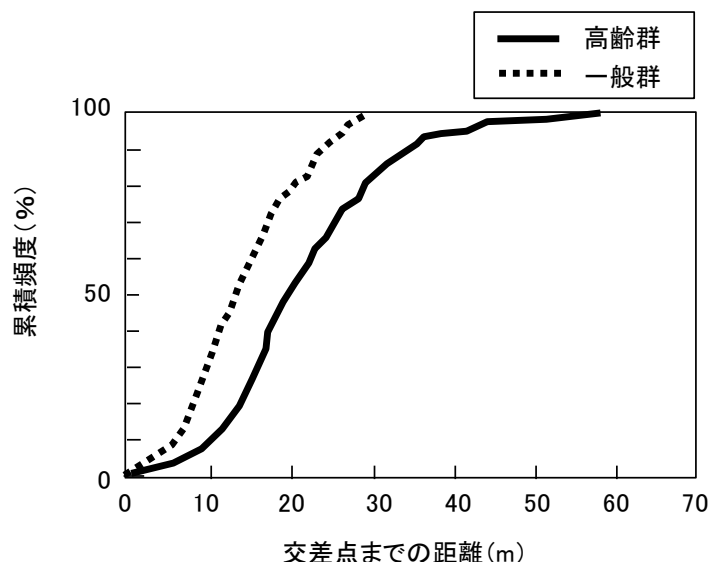


図 5-14 交差点への注視を終了する地点

一般群では、交差点の手前 30m よりも遠い地点で交差点への注視を打ち切る者はいないのに対し、高齢群の 2 割ほどの運転者は 30m よりも遠い地点で注視を打ち切っており、交差点に到達する 40~50m 以前の地点で既に交差点への注視を止めている者もある。

高齢運転者では注視をより早期に打ち切るため、自らが交差点へ接近した時点で交差車両や歩行者などの交差点への進入があっても、これを検知できない可能性がある。

### 心身機能と視認行動との関係

図 5-15 に、全ての設定条件における注視切替回数の運転者毎の平均値と、上下方向視野角との分布を示す。実験 7 の実路走行実験と同様に、シミュレータ走行実験においても、静的状況下で測定した心身機能が注視点の切替回数と対応していた。すなわち、上下方向の視野範囲が狭い運転者ほど注視点を切り替える回数が少ない傾向にあった ( $r(24) = 0.608, p < .01$ )。

交差点を右左折する場合だけでなく、直進で通過する場合にも、視野範囲の狭小化した運転者では周辺の交通状況を確認するための視認行動が少ないことが示されている。

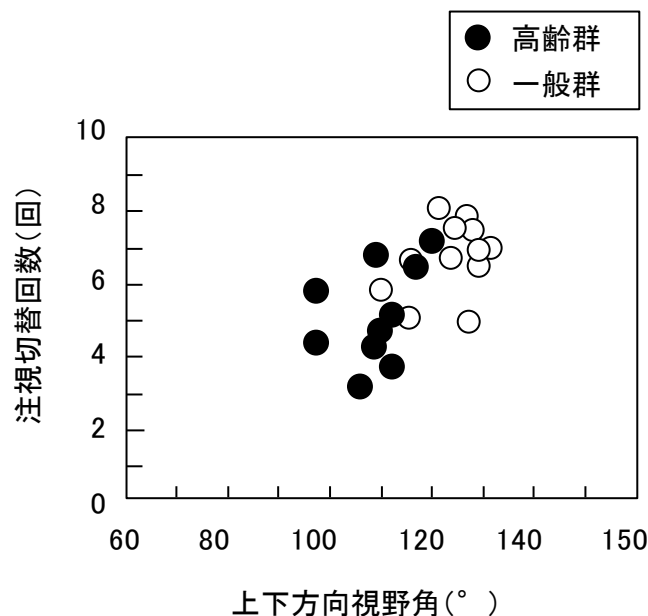


図 5-15 心身機能と注視切替回数

## 5.4 考 察

本章では、通常の交通状況にて高齢運転者の運転行動を調査し、情報処理に影響する特性を明らかにすることを目的とした。このため、交差点通過時を対象に、実車による実路走行実験と、ドライビングシミュレータによる走行実験を行い、視認行動と運転操作の特徴を調べた。また、心身機能と運転行動との関係を分析した。高齢運転者の運転行動の特徴について、得られた結果は以下の通りである。

- (1) 右左折中の視線方向の切替回数が少ない。視線の向きに偏りがみられ、右左折する交差点への接近時は対向車線方向の視認が重視され、右左折操作中には自らの進行方向へ視線を向ける時間が長い。
- (2) 運転操作の円滑を欠く傾向があり、ペダル踏み替え回数が多くなりがちである。また、信号変化に対する反応時間も若干延長する。
- (3) 右左折する交差点への接近時には、高齢運転者では非高齢運転者よりも、アクセルペダルを早めに離すことで、早期に減速を開始する。
- (4) ただし、高齢運転者のなかでも、心身機能がより低い者では、補償的な視認行動（視線方向を頻繁に切り替える）や慎重な運転行動（より交差点の手前から制動操作を開始する）をとらない傾向にある。
- (5) 高齢運転者の注視点分布は非高齢運転者に比して狭小化しており、注視対象を切り替える回数も少ない。注視方向と1回あたり注視持続時間は、進行方向正面に偏重する傾向がある。
- (6) 環境中の視対象が増すと、運転者は注視切替回数を増すことでより多くの情報を取得しようとする。ただし、注視切替回数の上限は、交差点通過までの時間と視対象あたりの注視持続時間に規定されるため、視対象が多くても一定限度以上には注視切替回数は増さない。高齢運転者では、1回あたり注視持続時間が全般に延長するため、注視切替回数の上限は、非高齢運転者に比して小さい。
- (7) 交差点への接近時に、当該交差点への注視をより早期に打ち切る。
- (8) 運転中の注意分散により、注視点分布の狭小化と注視回数の減少、注視持続時間の延長が生じる。この注意分散の影響は、高齢運転者で大きい。

### 高齢運転者の情報処理特性

高齢運転者では、視線方向と注視点分布に偏りがあり、1回あたりの注視持続時間の延長に起因して注視切替回数が減少していた。また、交差点の直進通過時には、その交差点への注視を早期に終了していた。これらの視認行動は、運転に必要な情報の取得を阻害し、適切な処理を行えない可能性を増すと考えられる。

また、信号変化に対する操作は遅れ、非高齢運転者に比して注意分散による影響を大きく受けていた。信号変化に対する操作は注意の働きを必要とする検知反応作業であり、注意分散の影響が大きいことは処理資源を使用する注意配分に関わる機能低下を示唆することから、高齢運転者では統制処理の機能が減退しているとみられる。以上の結果は、情報の入手と処

理機能の両者がともに低下していることを示している。

統制処理は、通常状況の走行時にあっては、状況の変化に対して注意を向けて適切な自動処理の系列へ変更する役割を担うと予想される。したがって、この機能が低下すると、車線内の位置保持や適切な車間距離の保持などに影響を生じる。たとえば、麻生・飯星（2003）は、実路走行時の自車横方向位置を実験にて調査し、60歳以上の運転者では非高齢運転者に比して、横位置の変動性が大きいことを報告している。これは、高齢運転者における統制処理の働きの低下を反映する運転行動の一例と考えられる。

### 心身機能と運転行動

運転者の年齢によらず、視野範囲の狭い運転者では視線方向の切替回数が少ないという結果は、視知覚に関わる機能が低下した運転者では、視覚探索行動の点でも不利であることを示している。また、高齢運転者は、右左折する交差点への接近時に、比較的早期にアクセルペダルから足を離すことで、確実な減速停止を期する行動をとる傾向にあるが、この傾向は、高齢運転者のなかでも情報処理機能がより低下しているとみられる運転者では薄れていた。すなわち、視知覚あるいは情報処理に関わる機能が低下した運転者では、視覚探索や慎重な運転行動も損なわれる傾向にある。

運転者自身への聴き取り調査の結果からは、心身機能の低下した高齢運転者は、自らの機能低下を補うために、慎重な態度で運転に臨むことがあるとされているが（西山，1987）本章の実験からはこれを証する運転行動は観察されず、むしろ単に心身機能の低下と運転行動の劣化が共変関係にあることを示す結果が得られた。この結果は、高齢運転者自らに自発的な運転行動の改善を期待することが難しいことを示唆しており、運転免許更新時の講習などの機会を利用した啓発活動による行動改善の働きかけが必要と考えられる。

### 高齢運転者の余裕容量推定の試み

実験8では、実験1の設定と同じ聴覚暗算作業の一部を注意分散作業として設定し、この同時実施を運転者に求めて視認行動を測定した。その結果、1回あたりの注視持続時間に、一般群と高齢群ともに注意分散の影響がみられた。注視持続時間は、1回の注視点の停留にて情報を取得するのに要する時間に相当するとみられることから、注意分散による情報処理負荷の程度を反映すると予想される。そこで、試みとして、実験8にて得た正面方向への注視持続時間の平均値（図5-12）と、実験1における暗算作業実施中の余裕容量推定値（図2-10）を対照して、高齢群の余裕容量を推定した。すなわち、一般群では、暗算なし条件での注視持続時間は約0.45秒で余裕容量は約8.5bits/s、難条件での注視持続時間は約0.7秒で余裕容量は約7.0bits/sであったことより、この関係を利用して、高齢群の余裕容量を推定した。その結果、高齢群では、暗算なし条件で注視持続時間は0.75秒のため、余裕容量は約6.7bits/sとなり、一般群よりも1.8bits/s減じていると推定された。高齢運転者の処理資源の残余を反映する余裕容量は、注意分散の負荷がない通常状況であっても、非高齢運転者に比して減じていると推察される。

この推定値は、第2章と第3章で用いた余裕容量の推定方法によるものではなく、実験参

加者の異なる実験 1 と実験 8 の一般群のデータを用いて，実験 8 における注視持続時間を参照して推定した値にすぎない．また，高齢運転者では注視持続時間の個人差が大きい．ただし，総じて，高齢運転者の通常時の注視点分布範囲や注視切替時間は，注意分散条件下の非高齢運転者と同程度あるいはそれ以下であったことから，高齢運転者の情報処理能力は低下し，時間内に処理できる情報量はより限定されているのが実情と推察される．

## 5.5 概要

通常交通状況にて高齢運転者の運転行動を調査し、情報処理に影響する特性を明らかにすることを本章の目的とした。交差点通過時を対象に、実車による実路走行実験と、ドライビングシミュレータによる走行実験を行い、視認行動と運転行動の特徴を調べたところ、65歳以上の高齢運転者では、視覚探索における視線方向あるいは注視点が自車の進行方向へ偏り、1回あたりの注視持続時間の延長に起因して注視切替回数が減少し、交差点への直進通過時には交差点への注視を早期に打ち切っていた。これらの視認行動は、運転に必要な情報の取得を阻害し、適切な情報処理を行えない可能性を増す。また、信号変化に対する対応は遅れ、60歳未満の運転者に比して注意分散による影響を大きく受けることから、情報を処理する機能自体の減退が示唆された。

情報の入手と処理機能の減退により、高齢運転者では通常状況における車線内位置や車間距離の保持などに影響が生じると予想される。また、試みに通常状況における高齢運転者の余裕容量を推定したところ、非高齢運転者に比して低下しており、時間内に処理できる情報量が限定されていることが示唆された。

## 第6章 緊急状況における高齢運転者の運転行動

### 6.1 課題

反応時間の延長は加齢にともなう特徴のひとつとされている (Olson & Sivak, 1986; Olson, 1987; 澤田・小口 1987; 西山・阿相, 1988). 反応時間は, 衝突の危険性が顕在化した緊急状況において, 回避の成否を規定する要素であり, 高齢運転者では回避操作を開始するまでの反応時間が延びることにより, 緊急状況にて回避に成功できないリスクが高まると予想される. また, 室内の運転席モックアップを用いた実験にて, 加齢による操舵の追従性の低下 (小口・澤田, 1987) や, ステップ操舵の緩慢化 (澤田, 1988) などが報告されており, 操作内容の変化も高齢運転者による緊急状況での回避成否に影響すると予想される. しかしながら, これらの研究例は, 交通状況とはかけ離れた室内実験として行われており, 高齢運転者による衝突回避のための対応行動にどのような特徴があり, その結果として衝突を回避できたか否かについての知見は提供されていない. 具体的な危険場面にて, 高齢運転者の対応行動の特徴と, 回避の成否との関係を明らかにする必要がある.

緊急状況では, 回避操作を開始するまでの反応時間と, 操作内容である操作の速度と量が, 回避の成否を規定する. すなわち, 第4章にて示したように, 操舵による回避操作を行う場合には, 反応時間が回避の成否を規定する第一義的な要素であり, 次いで操舵速度が重要である. このうち, 反応時間は, 交通状況の変化を知覚して処理し, 動作を選択するまでの間における, 統制処理に要する時間を反映すると考えられる. ここで, 第5章の結果より, 高齢運転者では統制処理に関わる情報の入手と処理の機能が劣化していると推定される. したがって, 緊急状況においても, 高齢運転者では, 統制処理に関わる機能低下に起因して反応時間が延長し, これが回避の成否に影響すると予想される.

一方, 高齢運転者による操作の内容の変化が, 統制処理に関わる機能低下に起因するのか, あるいは身体運動機能の低下による寄与が大きいのかという点は明らかでない. これを調べるためには, 時間的に切迫した予測状況にて, 回避操作の内容を高齢運転者と非高齢運転者で比較することが有用と考えられる. すなわち, 操舵回避の特性を調べた実験6の結果より, 時間的な余裕が少ない状況では, 運転者は自らが実行できる最大の対応能力を発揮するとみられる. また, 不測状況における初期の操舵回避は統制処理にて進められると予想されるのに対し, 予測状況では自動処理の系列をあらかじめ用意できるため, 統制処理が行われるのは危険事象の発生を知覚して自動処理を開始するまでの間であり, その後の操舵の内容に統制処理は大きくは介在せず, 運転者の身体運動能力を最大に活用した自動処理による操作特性が反映されると予想される. したがって, 操舵の緩慢化などの高齢運転者の操作内容の変化が主に身体運動機能の減退によるのであれば, 時間的余裕の少ない予測状況における操舵の速度や量は, 非高齢運転者に比して劣ると予想される. 逆に, 操作内容の変化が主に統制処理の機能低下によるのであれば, 予測状況での操舵の内容に年齢による大きな差はみられないと予想される. 緊急状況における高齢運転者の操作内容の変化が, 専ら処理に関わる機

能低下に起因するのであれば、交通状況に対する情報の取得と処理の負荷を軽減する安全対策が重要となる。身体動作機能の減退の寄与が大きいのであれば、処理機能の低下を補う対策だけでなく高齢運転者の操作そのものを補う車両側の対策が重要となる。

なお、第4章にて考察したように、予測状況においても、状況変化を知覚して対応行動を開始するまでの過程には統制処理の働きが必要である。したがって、高齢運転者の統制処理に関わる機能の減退は、予測状況の反応時間にも影響すると予想される。ここで、先進技術を利用して交通状況中の危険発生を警報するシステムは（国土交通省自動車交通局，2009）、運転者による状況変化の知覚と対応行動の要否に関する判断を助けると予想されることから、走行時の警報機能が普及すれば、統制処理の低下した高齢運転者であっても、処理に要する時間の短縮により回避成功率を改善する効果を期待できる。

現実の交通状況における回避操作には、操舵による回避だけでなく制動による回避も含まれる。第4章の実験では、車速が大きい領域では、制動のみによる回避よりも操舵のみによる回避の方が有利であり（交通事故総合分析センター，1996）、また、制動中に操舵を行うと車両挙動が不安定となって運転者に制御不能となる可能性があることから、操舵のみによる回避を対象として運転者の対応行動の特徴を調べた。しかし、回避方法を指定せずに緊急状況を設定すると、制動と操舵をともに行う回避操作をとる運転者が半数以上であったとする報告があり（筒井・米川，1995）、実路上では制動と操舵がともに行われることも多いと推察される。この点から、操舵による回避だけでなく、制動と操舵を行う場合についても、運転者の対応行動の特性を明らかにすることが重要である。



## 6.2 実験 9 予測状況における高齢運転者の衝突回避行動

### 6.2.1 目的

時間的に切迫した予測状況における高齢運転者の対応行動を分析することで、情報処理過程の特徴と衝突回避との関係を明らかにする。ここで、反応時間に次いで回避の成否を規定する要因である操作内容の変化が、処理に関わる機能低下によるものであるのか、あるいは身体運動機能の減退による寄与が大きいのかを検討する。このため、具体的な危険場面として、高齢運転者が関与することの多い出会い頭事故の状況を想定し、ドライビングシミュレータ上に見通しの悪い交差点で交差車両が進入する場面を設定して、時間的余裕の少ない予測状況における対応行動を、非高齢運転者と比較する。加えて、高齢運転者に対する安全対策の試みとして、危険発生の直前に聴覚刺激による事前警報を呈示する効果を検討する。

### 6.2.2 方法

#### 実験参加者

実験の趣旨と内容について了承を得た 65 歳以上の男性運転者 12 名（68 歳～81 歳、運転歴 50～60 年。以下、高齢群と呼ぶ）、60 歳未満の男性運転者 20 名（26 歳～57 歳、運転歴 8～39 年。以下、一般群と呼ぶ）とした。いずれも、通勤や買物、通院などのために日常的に自動車を運転している者であった。

#### 実験条件

ドライビングシミュレータでの市街地道路の走行中に、左側交差道路から車両が飛び出す危険場面を設定した。ただし、飛び出し車両があることをあらかじめ実験参加者に告げる予測状況とした。回避方法の違いによる影響を調べるため、運転者にブレーキペダル操作と操舵の両者を許す「制動＋操舵」条件と、操舵のみによる回避を求める「操舵のみ」条件を設けた。走行車速は 40km/h と 60km/h とした。運転者は、回避方法（2 水準；制動＋操舵、操舵のみ）と車速（2 水準；40km/h, 60km/h）を組合せた計 4 条件にて、各 1 回ずつ走行するものとした。時間的余裕の違いを設定するため、飛び出し車両が運転者から可視となる交差点までの距離を出現距離と呼ぶことにし、1 回の走行中に出現距離（5 水準；50m, 40m, 30m, 20m, 15m）の異なる交差点を設定して、これと車速を組みあわせることで異なる余裕時間を設けた。

加えて、事前警報の効果を調べるため、操舵のみの回避方法における車速 60km/h 走行にて、警報音を呈示する条件を設けた。

#### 走行状況

第 3 章、第 4 章、第 5 章と同様に、(財)日本自動車研究所が保有する動揺機構付きドライビングシミュレータを利用して走行条件を設けた。シミュレータ上に設定した道路の形状は、第 3 章、第 5 章と同じとした。すなわち、300m の加速区間につづいて 1600m の片側 1 車線、車線幅 3.5m、対面通行の市街地道路を設定し、これを実験区間とした。市街地道路には 80m

間隔で横断歩道を備える無信号交差点を計 20 ヶ所設け、交差点周辺には幅 1m の歩道の先に建物を配して、交差道路の見通しが悪い設定とした。

20 ヶ所の交差点のうち 5 ヶ所にて、左側交差道路から赤色のセダン型乗用車が飛び出すものとした。各交差点の景観は同一とし、交差車両の飛び出しが生じる交差点の配置をランダムに変更することで、危険場面の発生する交差点を運転者が予測できないよう配慮した。ただし、飛び出し車両のある交差点は、交差点 2 つ (160m) 以上の間隔を設けた。

図 6-1 に示すように、建物による隠蔽を利用して、飛び出し車両の初期位置を制御することにより、運転者から飛び出し車両が見えはじめる位置を設定した。飛び出し車両が見えはじめる位置から衝突予想地点までの出現距離が異なる危険場面（飛び出しのある交差点）を設定した。実験区間において飛び出しが生じる 5 ヶ所の交差点は、進行方向順に、出現距離が順次短くなるように、50m, 40m, 30m, 20m, 15m の 5 水準を設定した。

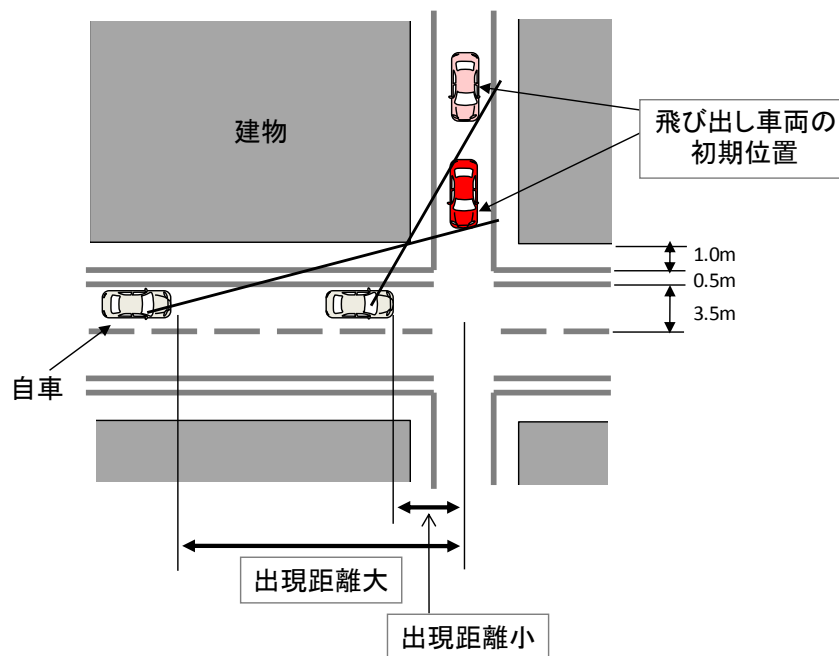


図 6-1 出現距離の設定方法

飛び出し車両は、左側交差道路に配置し、運転者から可視となった後に減速しながら交差道路を進行し、交差点の中央で停止することにした。この設定により、運転者の進行する道路の左側車線が塞がれるため、運転者は減速あるいは車線変更による回避操作を行う必要がある。シミュレータの模擬対象車両は、実験 4 と同様のセダン型乗用車とした。図 6-2 に走行コースの景観例を示す。



(a) 交差車両可視の直後



(b) 交差車両への接近時

図 6-2 ドライビングシミュレータにおける前方風景例

### 警報の設定

事前警報の効果を調べるため、「回避方法：操舵のみ」の「車速：60km/h」条件にて、飛び出しのある交差点の手前 50m 地点を自車両が通過した時点から交差点到達までの間に、連続的に警報音を呈示する条件を設けた。車速 60km/h での走行中に 50m 手前からの警報音を呈示することにより、仮に運転者が減速操作をとらない場合には、交差点中央の衝突予想地点へ到達する 3 秒前から警報が呈示されることになる。この警報呈示タイミングの設定は、予測状況における静止障害物に対する回避成功に必要な余裕時間が、一般の運転者では最大で 3 秒であること示した第 4 章の結果に基づくものであり、衝突予想地点に到達する 3 秒前から警報を呈示することで、多くの運転者は衝突回避に成功することが期待できる。

警報音には、音刺激の物理的な属性と人間の印象評価との関係に関する研究例（宇野他，2000）に基づき、運転者が重大性と緊急性を大きく感じるとみられる音圧 75db(A) の 1000Hz 純音を、時間率（単位時間中で音信号を呈示する時間の割合）70%、周期 0.2 秒の断続音として呈示した。警報音は、飛び出しのある交差点で必ず呈示するものとし、誤警報あるいは不警報は生じない設定とした。

### 実験手順

実験参加者に趣旨と走行条件を説明して参加の同意を得たうえで、ドライビングシミュレータに乗車して走行実験を行った。実験参加者への教示として、「いずれかの交差点にて出現する飛び出し車両との衝突を回避すること。左側車線を指定車速を保って走行することを原則とすること。ただし、車両の飛び出しを回避する場合はこの限りではないこと。回避操作は各走行前に指定する方法にて行うこと」を伝えた。加えて、警報条件における走行では、車両飛び出しの直前に警報が呈示されることを教示した。まず、車速 40km/h の条件にて練習走行を 1 回行った後、40km/h あるいは 60km/h のいずれかの車速条件にて、制動＋操舵条件、操舵のみ条件の順に実験試行を実施した。車速条件の実施順序はランダム順とした。この後、車速 60km/h にて警報条件を実施した。実験参加者あたりの所要時間は約 60 分であった。

## 指標

運転行動に関わる計測項目として、操舵角、アクセル開度、ブレーキ踏力を測定した。車速 60km/h 走行にて制動+操舵での回避操作を指定した条件における運転行動の測定例を、図 6-3 に示す。操舵角には、左側から進入する飛び出し車両を避けるための右方向への第 1 ピークと、回避直後に自車両の姿勢を立て直して直進へ復帰するための第 2 ピークが、全運転者に共通して観察された。そこで、操舵角については、飛び出し車両出現（建物陰から飛び出し車両が可視となった時点）から操舵開始までの反応時間、操舵角の第 1、第 2 ピーク値、ならびに第 1、第 2 ピークに至る間の最大操舵角速度を指標とした。減速操作については、飛び出し車両出現からアクセルペダル離しまでの反応時間と、ブレーキペダル踏みまでの反応時間を分析の対象とした。なお、操舵のみ回避の条件ではブレーキペダル操作を禁じているが、全運転者がアクセルペダルから足を離す操作までを行ったため、アクセル反応時間を集計した。また、衝突の有無と衝突対象を集計した。

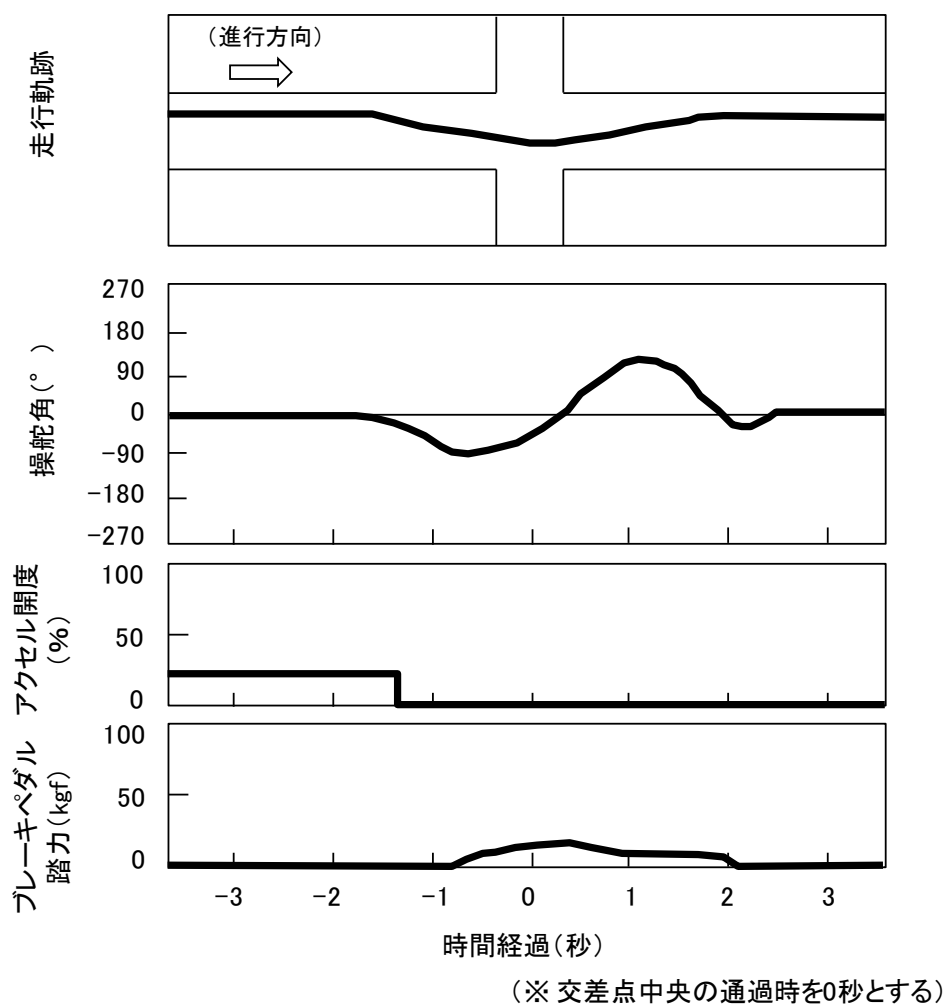


図 6-3 回避操作の測定例（車速 60km/h 走行）

### 6.2.3 結果

#### 反応時間

操舵反応時間，アクセル反応時間，ブレーキ反応時間について分散分析を行ったところ，年齢群（操舵反応時間  $F(1,564)=34.923, p<.01$ ；アクセル反応時間  $F(1,564)=6.304, p<.05$ ；ブレーキ反応時間  $F(1,279)=7.750, p<.05$ ），回避方法（操舵反応時間  $F(1,564)=13.468, p<.01$ ；アクセル反応時間  $F(1,564)=5.854, p<.05$ ），出現距離（操舵反応時間  $F(4,564)=23.729, p<.01$ ；アクセル反応時間  $F(4,564)=5.467, p<.01$ ；ブレーキ反応時間  $F(4,259)=3.891, p<.05$ ）に主効果がみられた．ただし，車速による差はみられなかった（操舵反応時間  $F(1,564)=1.931$ ；アクセル反応時間  $F(1,564)=0.136$ ；ブレーキ反応時間  $F(1,259)=0.304$ ）．図 6-4 に，車速 60km/h 走行を対象に，反応時間に関する指標値の平均値を例示する．

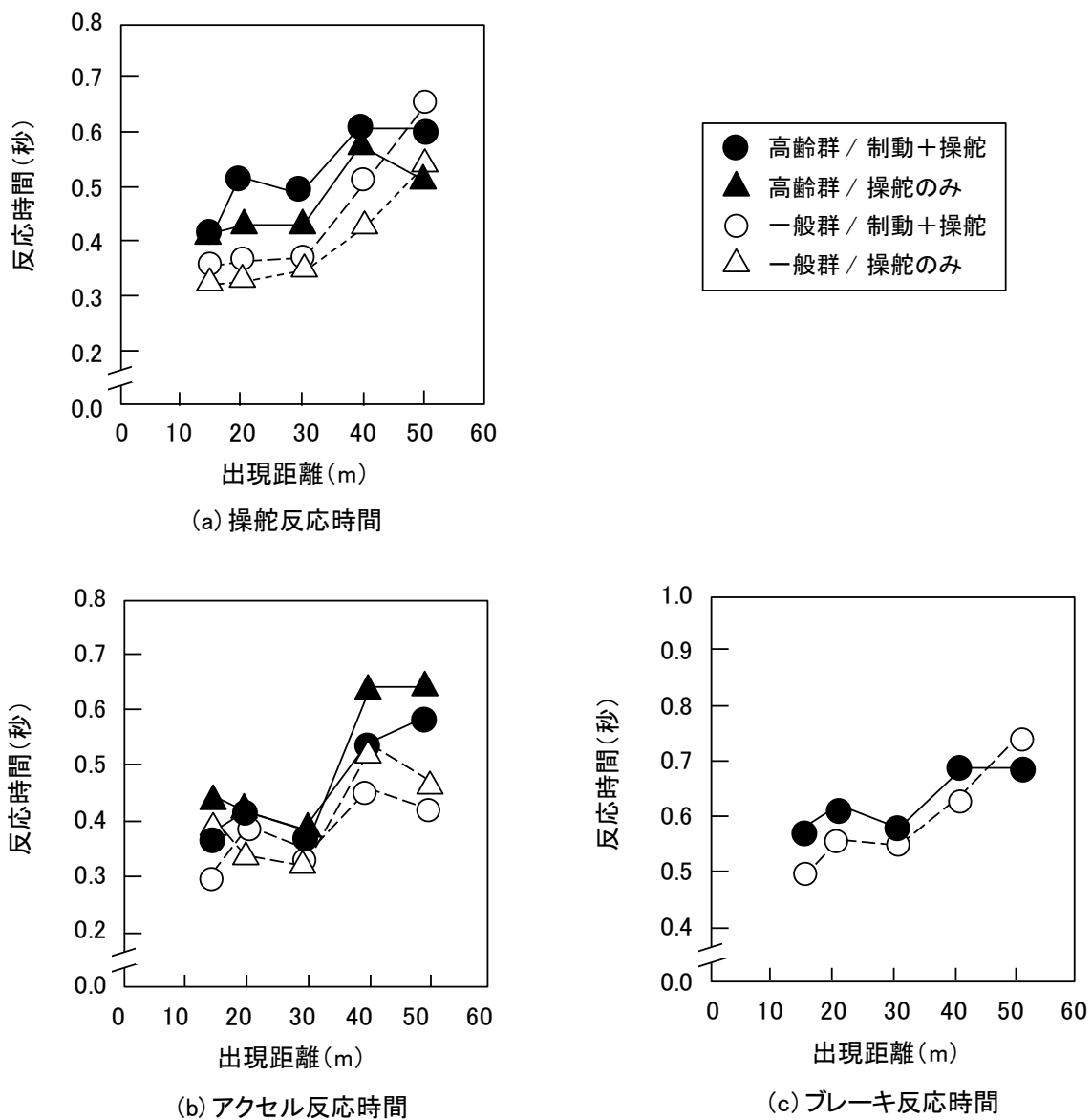


図 6-4 反応時間の指標（車速 60km/h 走行）

運転者の年齢にかかわらず、操舵、ペダル操作ともに、出現距離が短いほど反応時間は短縮した。時間的余裕が小さい状況であるほど、運転者はより素早く回避操作を開始することで危険場面に対応することが示されている。ただし、一般群、高齢群とも、操舵あるいはペダルによる反応時間には下限があり、また、高齢運転者が実現できる反応時間は、非高齢運転者よりも延長した。例えば、最短の操舵反応時間は、一般群の 0.32 秒に比して、高齢群では 0.42 秒であり、約 0.1 秒間延長した。

### 回避操作の内容

操舵の指標について分散分析を行ったところ、操舵角については、年齢群（第 1 ピーク値  $F(1,564)=144.399$ ,  $p<.01$ ；第 2 ピーク値  $F(1,564)=55.049$ ,  $p<.01$ ）、出現距離（第 1 ピーク値  $F(4,564)=130.929$ ,  $p<.01$ ；第 2 ピーク値  $F(4,564)=62.221$ ,  $p<.01$ ）の主効果がみられたが、回避方法（第 1 ピーク値  $F(1,564)=0.016$ ；第 2 ピーク値  $F(1,564)=2.252$ ）と車速（第 1 ピーク値  $F(1,564)=0.031$ ；第 2 ピーク値  $F(1,564)=1.745$ ）による差はみられなかった。

操舵角速度については、年齢群（第 1 ピークまで  $F(1,564)=130.316$ ,  $p<.01$ ；第 2 ピークまで  $F(1,564)=106.105$ ,  $p<.01$ ）、出現距離（第 1 ピークまで  $F(4,564)=115.533$ ,  $p<.01$ ；第 2 ピークまで  $F(4,564)=109.773$ ,  $p<.01$ ）に差がみられたが、回避方法（第 1 ピークまで  $F(1,564)=1.932$ ；第 2 ピークまで  $F(1,564)=2.204$ ）と車速（第 1 ピークまで  $F(1,564)=1.392$ ；第 2 ピークまで  $F(1,564)=2.223$ ）による差はみられなかった。図 6-5 に、操舵のみ条件における車速 60km/h 走行を対象に、操舵角と操舵角速度の平均値を例示する。

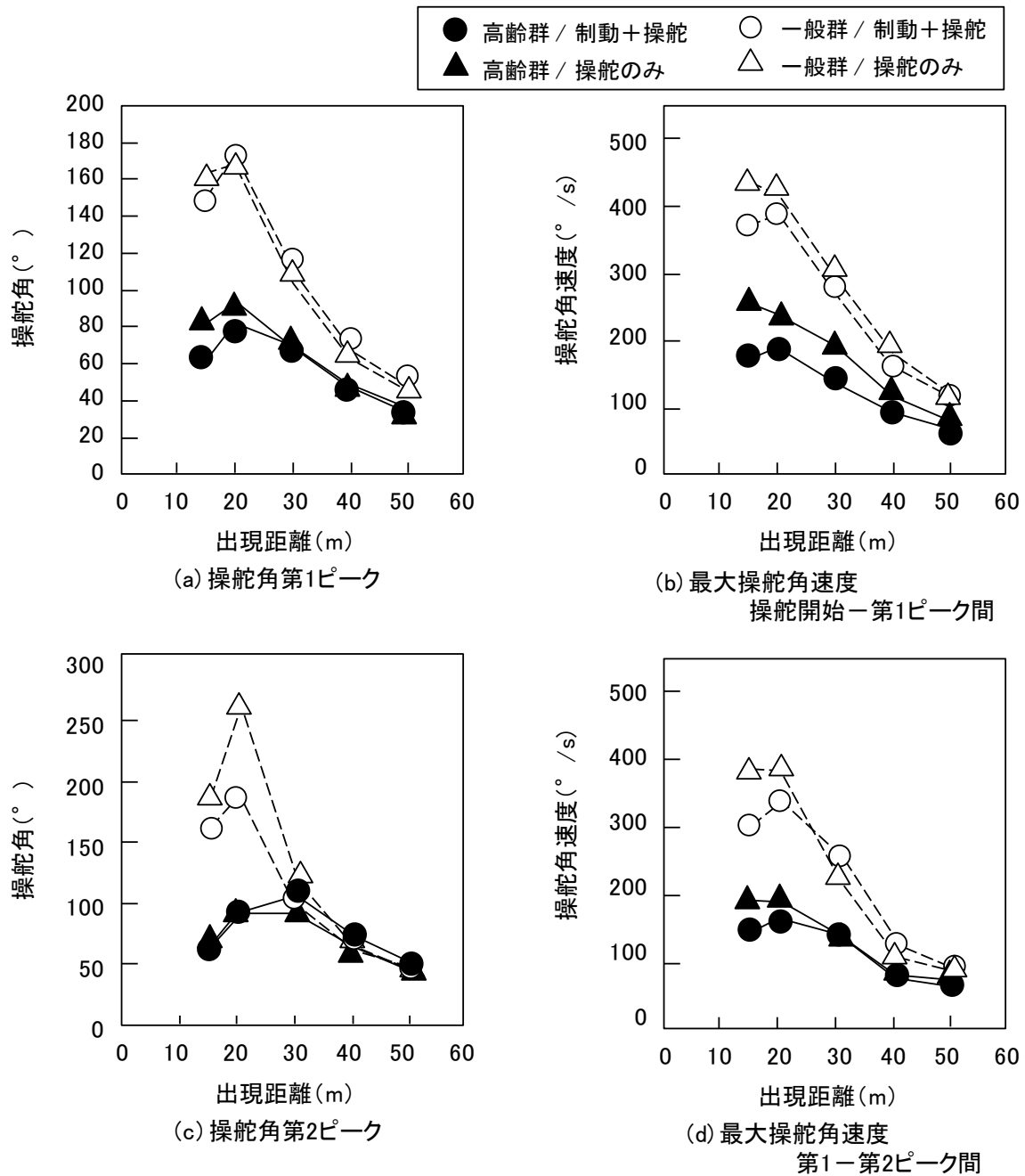


図 6-5 操舵角と操舵角速度の指標 (車速 60km/h 走行)

出現距離 20m 以上の範囲では、操舵角ならびに操舵角速度ともに出現距離が短いほど増加した。ただし、出現距離 15m の条件では、出現距離 20m の条件よりも操舵角、操舵角速度ともに減っていた。すなわち、出現距離が極端に小さい場合には、操舵角と操舵角速度は増加しなかった。

出現距離が 20m 以上の場合には、時間的により切迫した状況であるほど、大きくかつ速い操舵が行われている。ただし、反応時間の指標値と同様に、実現できる操舵角と操舵角速度には上限があり、また、高齢運転者が実現できる操舵角の速度と量は、非高齢運転者よりも

小さかった。例えば、高齢群の操舵角第1ピーク値の平均値は約 $100^\circ$ ，第1ピークまでの操舵角速度平均値は約 $250^\circ/\text{s}$ が上限であり，ともに一般群の半分程度に留まっていた。高齢群で実現できる操作の量と速度が一般群に比して小さいという現象は，操舵角第2ピーク値ならびに第2ピークまでの操舵角速度にも観察された。

第4章の実験6における静止障害物を回避する状況と同様に，時間的余裕が小さい状況であるほど，反応時間は短縮し，速く大きい操作が行われており，運転者は自らの最大限の対応能力を発揮している。この特徴は，運転者の年齢によらず観察される。しかしながら，高齢運転者が実行できる対応行動は，反応時間や操舵特性の点で，非高齢運転者よりも限定されている。

### 回避成功率

出現距離を車速で除した余裕時間と，回避成功率との関係を調べた。本実験で設定した出現距離と車速から，余裕時間は $0.9\sim 4.5$ 秒の範囲となる。図6-6の余裕時間に対する回避成功率の累積頻度図に示すように，一般群の全員が回避に失敗する余裕時間は1.2秒であり，2.4秒以上では全員が回避に成功していた。一方，高齢群では，回避の成否を分かち境界の余裕時間は $1.3\sim 2.7$ 秒であり，一般群に比して延長していた。

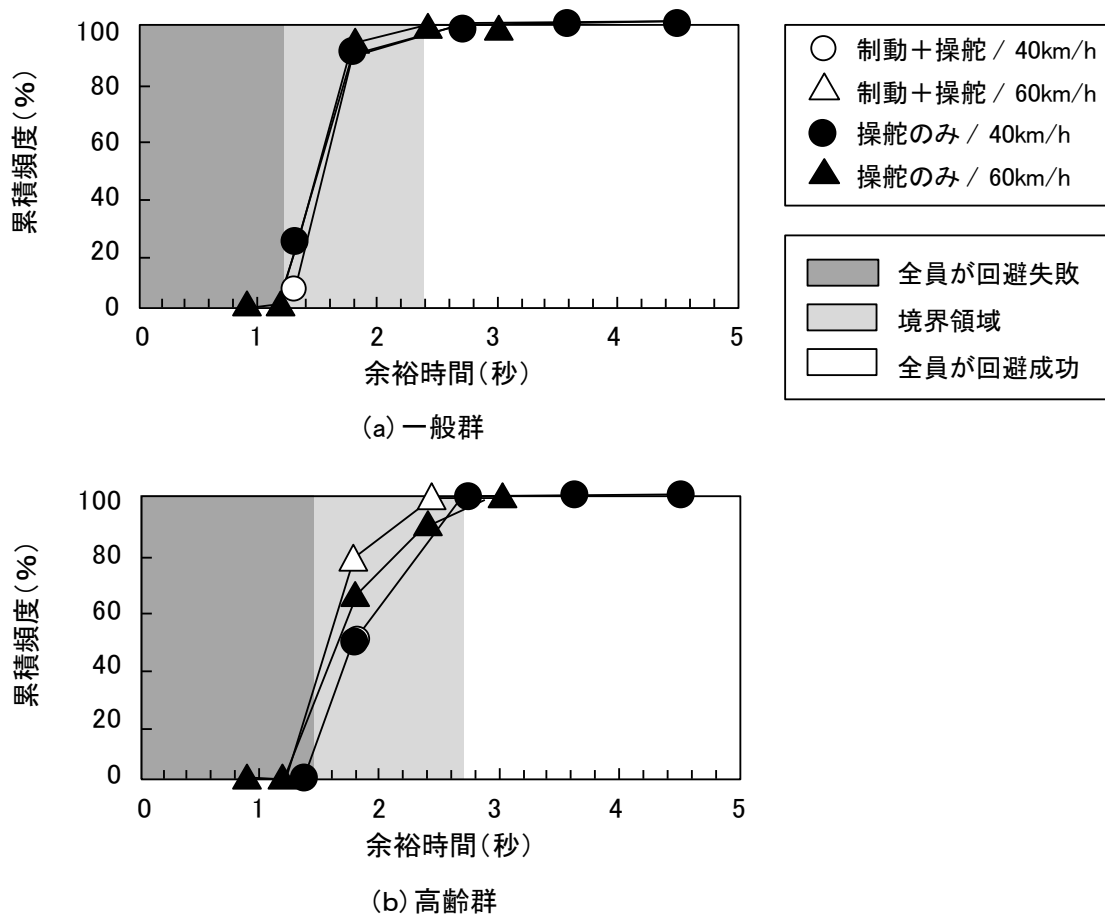


図6-6 余裕時間と回避成功率



この結果は、制動による回避操作を含む場合であっても、衝突に至るまでの余裕時間によって回避の成否が規定されていることを示している。ただし、高齢運転者が回避に成功するためには、非高齢運転者よりも0.1~0.3秒ほど長い余裕時間が必要である。

ここで、高齢群では一般群と異なり、回避成否の境界となる余裕時間の範囲では、車速が大きい60km/h条件の方が40km/h条件よりも回避成功率が大きく、また制動+操舵による回避の方が操舵のみによる回避よりも成功率が大きい。これは、車両の横移動量が、操舵角と車速によって規定されることによるとみられる。すなわち、同じ操舵角であれば車速が大きいほど横移動量を大きくすることができる(安部, 1992)。しかし、高齢群では、操舵角が一般群の半分程度と小さいため、車速が大きい場合には相応の横移動量を発生できるが、車速が小さい場合には経過時間が短いと十分な横移動を生じることができない。このため、車速が大きい60km/h条件にて回避成功率が大きかったものと考えられる。また、制動+操舵の回避方法にて回避成功率が大きいという結果は、制動操作を行うことにより車速を小さくすることで実質的な余裕時間を延長し、小さい操舵角でも、時間をかけることにより十分な横移動量を確保できたことによるとみられる。以上より、高齢群では、操舵角が小さいため、回避の成否に車速への依存性と回避方法による違いがあらわれたものと推定される。

回避に失敗した全事例について衝突した対象を点検したところ、年齢群間に差がみられた( $\chi^2(3) = 45.024, p < .01$ )。図6-7に示すように、一般群では路外逸脱(建物への衝突)を含む事例が5割ほどみられたのに対し、高齢群では飛び出し車両への衝突のみが9割を占め、路外逸脱は僅かであった。高齢運転者では、前掲図6-4に示したように、操舵角ならびに操舵角速度の不足により、飛び出し車両との衝突そのものを避け得なかったケースが多かったものと推察される。

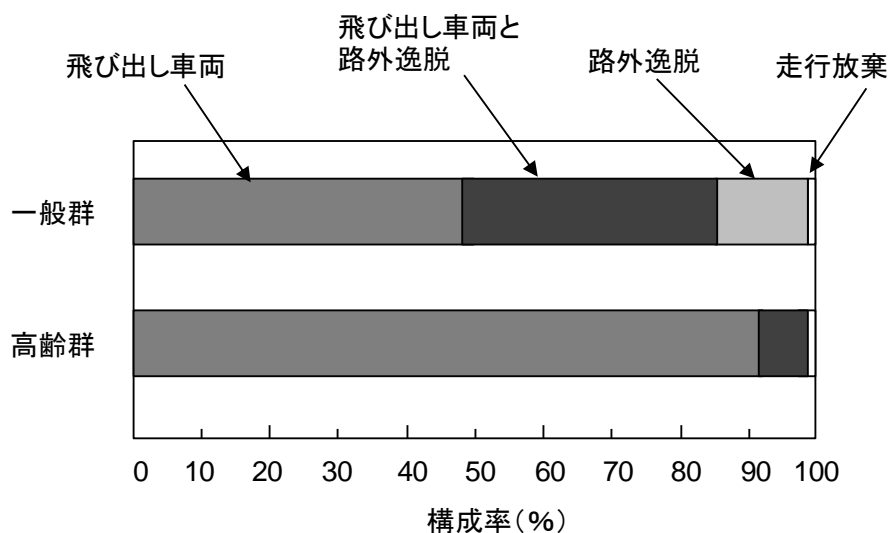


図 6-7 回避失敗事例における衝突対象

## 事前警報の効果

本実験では、車速 60km/h の操舵のみ条件を対象に事前警報を呈示する条件を設定した。図 6-8 に、同じ車速と操舵方法の条件を対象に、警報の有無による回避成功率を示す。警報が呈示されない場合には、回避失敗が観察される余裕時間 2.4 秒以下の条件であっても、衝突予想地点の 50m 手前(余裕時間 3 秒に相当)から事前警報を呈示することにより、一般群、高齢群ともに全運転者が回避に成功した。この結果は、高齢運転者の緊急回避能力を補う上で、事前警報が有用であることを示している。

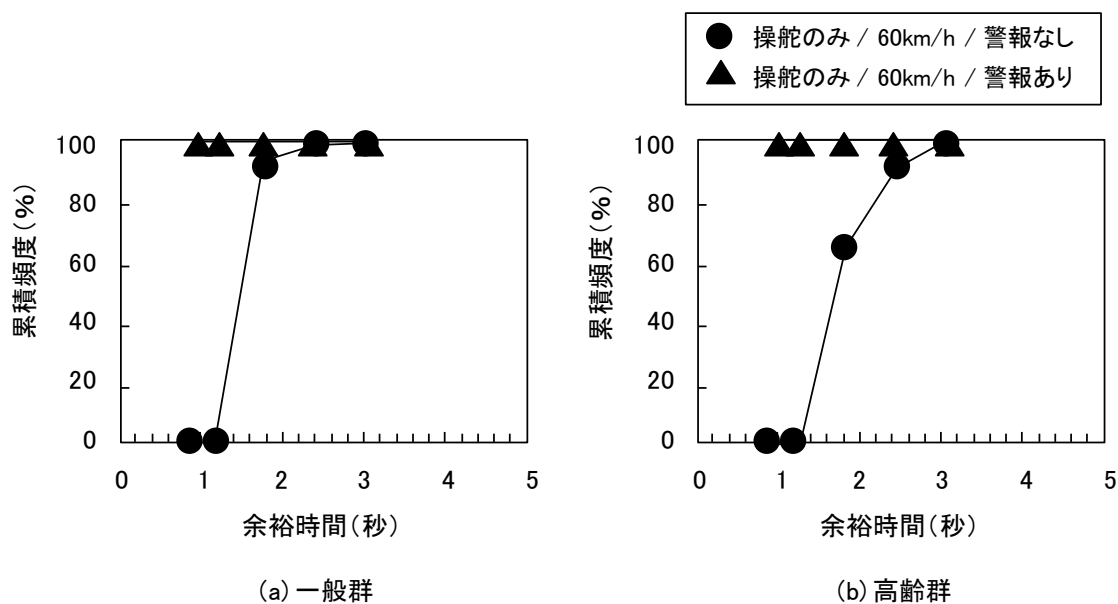


図 6-8 事前警報の呈示による回避成功率の改善

図 6-9 に、警報の有無による操舵角第 1 ピークならびに操舵開始から第 1 ピークに至る間の最大操舵角速度の平均値を示す。事前警報が呈示されていると、衝突までの余裕時間が短い切迫した状況であっても、操舵角や操舵角速度の増大はみられなかった。これは、穏やかな操舵にて回避に成功できるようになることを示している。回避成功率が向上することに加え、より安定した対応行動を実現できるという点でも、事前警報は有用と考えられる。

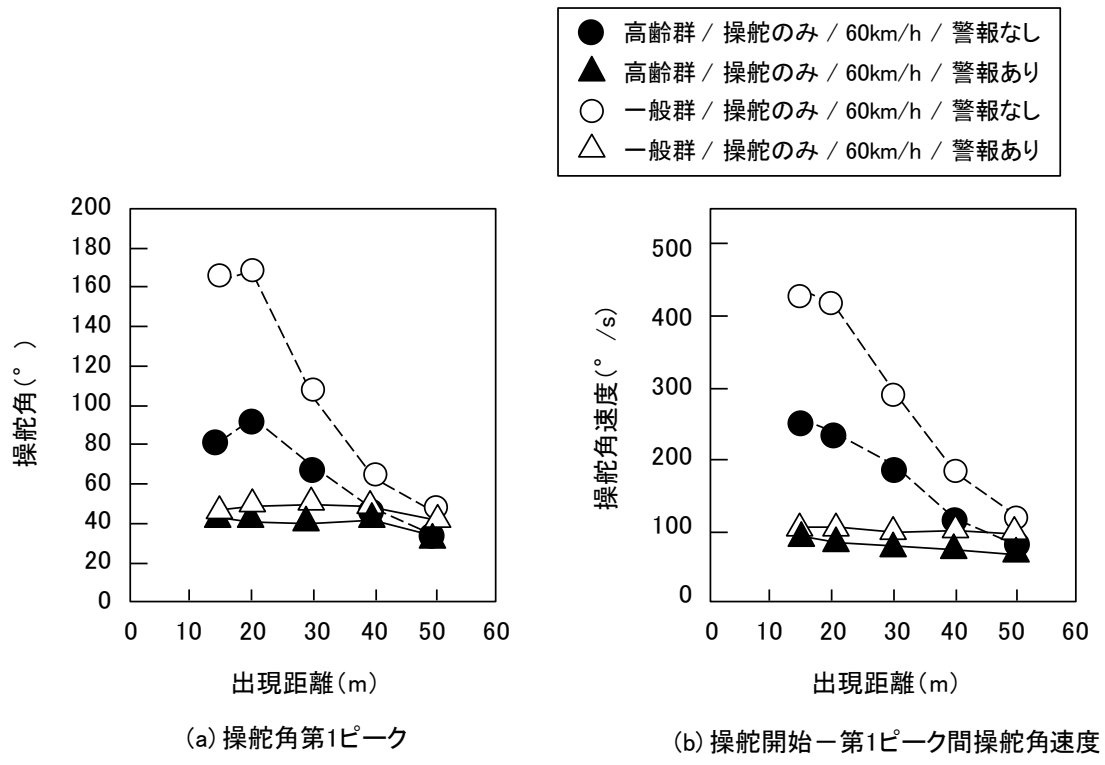


図 6-9 事前警報による操舵への影響

## 6.3 考 察

本章では、時間的余裕の少ない予測状況における高齢運転者の対応行動を分析することで、対応行動と衝突回避との関係を明らかにし、あわせて事前警報の効果を調べることを目的とした。すなわち、反応時間に次いで回避の成否を規定する要因である操作内容の変化が、情報処理に関わる機能低下によるものであるのか、あるいは身体運動機能の減退による寄与が大きいのかを調べるため、ドライビングシミュレータ上に見通しの悪い交差点での出会い頭事故状況を想定した危険場面を設定し、時間的な余裕の少ない予測状況にて、高齢運転者の対応行動を、60歳未満の運転者と比較した。得られた結果は以下の通りである。

- (1) 飛び出し車両が可視となった地点から衝突予想地点までの出現距離が短いほど、運転者は自らが実現できる最大の対応能力を発揮して、回避操作を行うようになる。ただし、出現距離が極端に小さい場合には、操舵についての特性は向上しない。
- (2) 高齢運転者の対応能力はより若年の運転者に比して低く、最短の反応時間は約 0.1 秒延長し、実現できる操舵角速度は半分程度である。
- (3) 高齢運転者が緊急状況にて衝突回避に成功するために必要な余裕時間は、1.3~2.7 秒であり、一般運転者の 1.2~2.4 秒に比して長い。高齢運転者の回避失敗の大部分は、飛び出し車両との衝突であり、操舵の不足による影響がみられる。
- (4) 事前警報の呈示は高齢運転者に対しても有用であり、余裕時間の短い切迫した状況であっても、回避に成功できるようになる。

### 高齢運転者の対応行動と回避成否

高齢群においても、出現距離が短いほど反応時間は短縮し、また、出現距離 20m 以上の範囲であれば操舵角と操舵角速度は増大した。第 4 章の結果と同様に、時間的余裕が少ない状況であるほど、情報処理能力を最大限に発揮して状況に対応しようとする事が確認できる。ただし、一般群の運転者に比して、最短の反応時間は長く、操舵角と操舵角速度は半分程度に留まっていた。このため、本章で設定した予測状況にて回避に成功するためには、一般群より長い余裕時間が必要であった。

高齢群では、回避失敗の事例の大半が飛び出し車両との衝突であり、操舵角と操舵角速度の不足による影響が窺われる。また、回避の成否を分かつ余裕時間の境界において、高齢群の回避成功率が車速の大きい条件で相対的に優れていた点も、高齢群における操舵角の不足に起因するとみられる。第 4 章で示したように、反応時間が延長すると回避の成否には操作内容の寄与が増すことから、予測状況における高齢運転者による衝突回避には、情報の入手と処理機能の減退に起因する反応時間の延長だけでなく、操作内容の劣化による影響も大きいと考えられる。

### 操舵角、操舵角速度の変化

高齢群における操舵内容の変化は、身体運動特性の劣化による影響が大きいとみられる。すなわち、第 4 章の考察より、余裕時間の短い予測状況において回避操作を開始した後は、

運転者の身体運動能力を最大に活用した自動処理による操作特性が主に反映されると予想されることから、予測状況を設定した本章の実験にて、回避操作における操舵角と操舵角速度が、高齢群では一般群の約半分に減少していたことは、高齢運転者の操作内容の変化が身体運動機能の減退に起因することを示唆している。したがって、緊急状況における高齢運転者の対応行動を改善するためには、事前警報により知覚や処理機能の低下を補う対策だけでなく、身体運動機能の低下を補うために運転者の操作に車両が介入する自動回避など車両側の対策も重要と考えられる。

### 緊急状況における高齢運転者の情報処理

第4章で考察したように、時間的に切迫した予測状況では、対応行動の開始までの間に統制処理が進められ、対応行動が開始された後には主に自動処理にて処理が進められると考えられる。また、時間的余裕が少ないほど、運転者はより大きい情報処理能力を発揮すると予想される。ここで、一般群における最短の反応時間が0.32秒であったのに対し、高齢群では0.42秒であり、0.1秒延長していた。対応行動を開始するまでの反応時間には統制処理に要した時間が反映されており、予測状況における最短の反応時間は、処理資源を効率的に使用した場合に実現できる時間と考えることができるが、高齢群ではこれに要する時間が延長している。高齢運転者の処理に関わる機能の低下があらわれたものとみられる。

ただし、事前警報を呈示すると、高齢群でも全員が回避に成功した。また、操舵角や操舵角速度は減少し、穏やかな操舵で回避に成功できるようになった。事前警報は、交通状況の変化を運転者に知らせる役割を担い、運転者の情報入手を改善する。また、警報は運転者に対応行動を促すために呈示されるものであり、警報が呈示されること自体、対応行動が必要であることを意味するため、これが運転者による対応行動の要否判断を助けたものと予想される。すなわち、事前警報は情報取得と処理を補助することで、高齢運転者の統制処理に関わる機能を補う役割を果たすと推察される。

### 操作内容の低下における身体運動機能減退の寄与

予測状況における回避操作の内容には統制処理の関与は小さく、身体運動機能を最大に活用した操作特性が反映されると予想される。仮に、回避操作を開始した以降では統制処理の関与が全くなかったと仮定すると、高齢運転者における操作内容の変化は、すべて身体運動機能の減退に起因することになる。この仮定をおいた場合には、高齢群における最大の操舵角速度は一般群の約半分であったことから、群としての高齢運転者の緊急回避操作の内容は、身体運動機能低下により約50%低下したものと推定される。

一方、最短の反応時間は、一般群の0.32秒に対して高齢群では0.42秒に延長しており、効率的に情報処理を行っているとは予想される予測状況にあっても高齢運転者の情報処理能力の低下が示されている。ただし、回避操作内容の低下に比して、反応時間延長の度合いは相対的に小さいとみられる。回避操作が開始されるまでの間における処理の速度が反応時間に反映されていると考え、試みとして、各年齢群における上記の反応時間の逆数を、処理の速度に対応する値とみなして、一般群に対する高齢群の処理速度の比を求めると約76%となり、

処理速度は 3/4 に減退していたと推定される。しかし、この比率は操舵角速度の減少率である 50%に満たない。すなわち、処理の減退の程度は、回避操作内容の低下の程度には及ばないとみられる。したがって、回避操作の内容に統制処理の減退が関与していたと仮定した場合でも、処理の減退だけでは高齢運転者における操作内容低下の全てを説明することはできないため、身体運動機能の減退が相応に寄与していたものと推察される。

#### 出現距離が極端に短い場合の特異性

本章の実験で設定した最短の出現距離である 15m の条件では、出現距離 20m 条件よりも、操舵角と操舵角速度の平均値が減じていた。この理由として、飛び出し車両を回避することに対する動機づけの低下が考えられる。回避成功率を調べると、出現距離 15m の条件（車速 40km/h で余裕時間 1.35 秒、車速 60km/h で余裕時間 0.9 秒）では、高齢群の全員が回避に失敗し、一般群でも 40km/h 条件における一部の運転者を除いて回避に失敗していた。すなわち、出現距離 15m は、回避に成功することが極めて困難な条件であった。自車の交差点への接近中に交差車両が飛び出すという設定により、交差点までの距離の目測が容易であるため、飛び出し車両までの距離を運転者は明確に認識することができる。本章の実験では、出現距離 15m 条件では、飛び出し車両が可視になった時点で、距離が短いために交差車両との衝突回避が困難であると運転者が判断し、これにより回避操作の継続を断念した者があったため、操舵角と操舵角速度の集計値が減少したものと推察される。

ただし、反応時間を調べると、出現距離 15m 条件でも 20m 条件と同等あるいはより短い時間で操舵を開始している。これは回避に成功することができないほど短い出現距離であっても、回避操作を開始するまでの統制処理は、実現できる最大限の速度で進められたことを示している。したがって、上述の動機づけの低下は、回避操作を開始した後に生じたとみられる。予測状況における回避操作の開始後の処理は主に自動処理として進められていると考えられるが、この途中で、飛び出し車両までの距離が短いことを知覚したために、統制処理が介在し、結果として回避操作の継続を断念するという処理結果がもたらされたものと推察される。

## 6.4 概要

予測状況における高齢運転者の対応行動を分析することで、衝突回避との関係を明らかにし、また事前警報の効果を調べることを本章の目的とした。すなわち、回避の成否を規定する要因である操作内容の変化が、情報処理に関わる機能低下によるものであるのか、あるいは身体運動機能の減退による寄与が大きいのかを明らかにするため、時間的余裕の少ない予測状況にて、65歳以上の高齢運転者の対応行動を、60歳未満の運転者と比較した。飛び出し車両が可視となった地点から衝突予想地点までの出現距離が短いほど、運転者は自らが実現できる最大の対応能力を発揮して、回避操作を行うようになった。ただし、出現距離が極端に短い場合には、操舵の特性は向上しなかった。高齢運転者の対応能力は非高齢運転者よりも限定されており、最短の反応時間は約0.1秒延長し、処理に要する速度の遅延が示された。高齢運転者が予測状況において実現できる操舵角速度は、非高齢運転者の半分程度であったことから、回避操作の内容の変化が身体運動機能の減退による影響を大きく受けていることが示された。この反応時間の延長と操作内容の変化により、高齢運転者では回避に成功するために必要な余裕時間が延長した。一方、高齢運転者にあっても、事前警報を呈示することで、反応時間は短縮し、回避成功率は向上することがわかった。

## 第7章 総合考察

### 7.1 各章の結果

通常状況における運転行動が適切であるためには、注意の介在による修正が必要であり、このためには処理資源の余裕と、注意を向けるべき対象の知覚が必要である。また、緊急状況における運転行動が適切であるためには、迅速な処理に基づく対応行動が行われることが必要である。運転者の注意分散や情報処理負荷の大きい交通状況、あるいは加齢による心身機能の変化は、所与の状況における処理資源の余裕を減じ、これが通常時の行動に直接影響するとともに、時間あたりに処理できる情報量の減少が処理速度を遅延し、緊急時の行動に影響すると予想される。したがって、通常状況については処理資源の余裕の程度あるいは適切な知覚ができるか否かを調査し、緊急状況については対応行動の内容を分析することで、運転者の情報処理の特性を明らかにし、これにより運転行動を適切に保つための要件を調べることができると考えられる。

本研究では、運転者の処理資源の余裕に着目して、情報処理過程と運転行動との関係に関わる基礎的な特性を明らかにすることを目的とした。このため、副次課題法の手続きと、選択反応時間が選択枝数の対数に比例して延長するという性質を利用して、処理資源の残余を時間あたりに処理できる情報の余裕容量として推定した。これにより、運転者の内部過程であるためにこれまで量的に把握できなかった情報処理負荷の程度を示すとともに、時間あたりの処理容量を推定することで、緊急時の対応行動と処理の速度との関係を分析した。

第2章では、通常状況の運転行動について、視認行動をともなわない注意分散による影響が明らかにされていないことから、処理資源の余裕と運転行動との関係を調べた。その結果、情報量単位を援用した余裕容量 (bits/s) が、聴覚暗算作業の難易度に応じて異なり、注意分散による負荷の程度を推定できることがわかった。ただし、運転者に生じる情報処理負荷の程度には個人差が大きかった。このため、運転者毎に注意分散による負荷の程度を推定したところ、余裕容量が車速コントロールや車両の横方向挙動、生理的反応と対応し、余裕容量を 6~7 bits/s 以下に減じる注意分散作業は、車速コントロールと生理的緊張を悪化させることがわかった。

第3章では、交通状況に起因する負荷が大きい場合には運転行動が阻害されることから、通常交通状況にて運転者に生じる情報処理負荷を量的に推定し、現実の交通状況における処理資源の余裕度を調べた。その結果、聴覚暗算作業を副タスクとする副次課題法を走行時に適用することで、交通状況の違いに感度のある余裕容量を推定できることがわかった。通常走行中の余裕容量の最頻値は 13bits/s であったが、余裕容量の減少が大きい交通状況は、右左折時、車線変更時、渋滞車列あるいは車道を進行する歩行者や自転車の横を自車が通過する場合、歩行者や自転車が自車の前方を通過する場合であることがわかった。ただし、一般には負荷が小さくないと予想される交通状況にて、割合は小さいものの余裕容量の減少が推定される場合があった。



第4章では、緊急状況において、交通状況の違いによる対応行動の特徴、ならびにその結果としての回避成否との関係が明らかにされていないことから、操舵による回避操作を対象として、障害物の出現距離と車速による対応行動と回避成否への影響を調べた。その結果、回避の成否は、障害物までの距離を車速で除した余裕時間に規定されており、1.2～3.0秒が成否を分かつ境界であることがわかった。また、余裕時間が短いほど、反応時間は短縮し、操舵角と操舵角速度を増して、運転者は自らが実現できる最大の情報処理特性を発揮するが、前方の危険を予測していない不測状況では、反応時間と初期の操舵速度が遅延するため、結果として回避に成功できる余裕時間が延長することがわかった。ここで、不測状況における反応時間の延長は、運転者の余裕容量と、対応行動を選択するまでの間に処理する情報量を反映しているとみられることを示唆した。加えて、回避に成功するためには、まず反応時間が重要であり、次いで操舵速度が重要であることを示した。

第5章では、高齢運転者では心身機能の低下を背景とする情報処理過程の機能減退により、自らの運転行動が原因となって危険場面を招来している可能性があることから、通常状況における運転行動と視認行動の特徴を調べた。その結果、高齢運転者では、右左折中には自車に進行方向へ視認が偏重し、交差点の直進時には、注視点の分布範囲が狭小化して正面へ集中することがわかった。環境中の視対象が増すと、運転者は注視点を切り替える回数を増すことでより多くの情報を取得しようとするが、高齢運転者では注視持続時間が長いいため、非高齢運転者ほどには注視回数を増すことができなかった。また、右左折する交差点への接近時には運転操作の円滑を欠き、信号変化への対応が遅れ、注視点分布範囲や注視切替回数、注視持続時間は注意分散による影響を大きく受けていた。試みに、通常状況における高齢運転者の余裕容量を推定したところ、非高齢運転者に比して減じており、時間あたりに処理できる情報量がより限定されていることを示唆した。

第6章では、予測状況における高齢運転者による緊急回避能力を調べた。その結果、高齢運転者による最短の反応時間は非高齢運転者に比して約0.1秒延長し、情報処理に要する速度が遅延することがわかった。また、予測状況において実行できる操舵角速度は非高齢運転者の半分程度であることから、回避操作の内容の変化が、身体運動機能の減退による影響を大きく受けることがわかった。この結果として、高齢運転者では回避に成功するために必要な余裕時間が延長した。ただし、事前警報を呈示することで反応時間は短縮し、回避成功率は向上した。

## 7.2 通常状況と緊急状況における情報処理の特性

### 処理資源の余裕の推定

本研究で推定した余裕容量は、視認行動をともしない注意分散時の運転行動と対応し、また、統制した交通状況と現実の交通状況の各々において、状況の違いに応じた相違を示したことから、運転者の処理資源の余裕を推定する指標として妥当と考えられる。情報処理能力には個人差が大きいので、第2章で示したように、個々の運転行動に対する情報処理負荷の影響を調べることを目的とするのであれば、個人毎に余裕容量を推定する必要がある。一方、交通状況により生じる負荷の程度を調べることを目的とするのであれば、第3章で示したように、個人差を考慮しなくとも平均反応時間が選択肢数の対数である情報量と対応関係にあったことから、実験参加者全体の代表値として余裕容量を用いることは妥当と考えられる。

ただし、連続した車線変更操作を行う第2章の実験2では、短い時間のなかで自車の相対位置を確認する統制処理を行う必要があり、この場合には聴覚暗算作業が運転行動に影響していた。これは、主タスク（運転行動）により処理資源が優先的に使用されるという、副次課題法が成立するための前提（Ogden et al., 1979）が満たされない場合があることを意味し、したがって、時間的余裕が少ない状況では、副次課題法の手続きを用いる本研究の方法では処理資源の余裕を正しく推定することができない場合があると予想される。また、余裕容量推定のために設定した暗算作業は1試行に4秒を要するため、この時間範囲のなかで発生して対応行動が終了する短時間の車外事象に対する余裕容量を直接に推定することは難しい。この点からも、短い余裕時間での対応行動が必要とされる緊急状況については、危険発生に対する反応時間や回避操作の内容を調べることで情報処理過程を分析する必要がある。

### 通常時の運転行動と余裕容量

走行中の注意分散は、視認行動をともしないものであっても運転行動に影響する可能性がある。第2章の結果から、余裕容量が6~7bits/s以下に低下する場合には運転行動への影響がみられる。第3章で示したように、特段の負荷のない交通状況を走行する際の運転者の余裕容量は最頻値にして13bits/sほどと推定されることより、概ね6~7bits/sの負荷を生じる注意分散は運転行動を劣化するとみられる。なお、第2章より聴覚暗算作業による負荷は約1.5bits/sであり、また車載情報提供装置に対する読み取り作業により生じる負荷は概ね3~4.5bits/sとする報告があることから（宇野・飯星, 2006）、負荷の小さい通常の交通状況であれば、車内での機器操作による情報処理負荷のみに起因して運転行動が劣化する可能性は小さいと予想される。

ただし、交通状況によっては、運転者の余裕容量が低下する。第3章の結果から、右左折時、車線変更時、渋滞車列あるいは車道を進行する歩行者や自転車の横を自車が通過する場合、歩行者や自転車が自車の前方を通過する場合は、交通状況により生じる負荷が大きい。これらの交通状況にて、さらに運転者が注意分散の状態にある場合には、自らの運転行動が不適切となって衝突回避操作を必要とする緊急状況を生じる可能性がある。また、これらの

状況で、他の交通参加者の挙動に起因する緊急状況が生じた場合には、余裕容量が減じているために反応時間が延長し、加えて回避操作の内容も不適切となる危険性が高まると考えられる。

### 緊急時の反応時間と余裕容量

緊急状況において衝突回避に成功するためには、まず反応時間が短いことが重要であり、反応時間が延長した場合には操作速度と量が重要となる。衝突回避のための回避操作を行わなければならない緊急状況では、危険の発生から衝突予想地点に至るまでの余裕時間が短いほど、反応時間は短縮し、操舵角と操舵角速度は増して、運転者は自らの情報処理能力を最大に活用して状況に対応する。ただし、第4章で示したように、危険の発生をなんら予測しない不測状況では、危険が生じる場所は知らされていないものの危険発生自体を予測する予測条件に比して、反応時間が延長し、回避操作の初期段階における操舵角と操舵角速度が抑制された。

不測状況では、衝突の危険性が顕在化するまで運転者は状況変化を予測していないため、危険が発生した以降に、あらためて状況へ注意を向けて回避操作を選択するための処理を進める統制処理を行うと予想される。一方、予測状況では、事前に回避操作の方法を想定して操作量を見積っておくことで、処理の一部を自動処理として進めることが可能であり、統制処理の主な関与は自動処理の系列を開始するまでの時点に限定されることが考えられる。したがって、不測条件における反応時間の延長は、運転者が危険を認識して対応行動としての回避操作を選択するまでの統制処理に要した時間を反映すると考えることができる。ここで、本研究では、余裕容量を時間あたりに処理できる情報量として推定していることより、この余裕容量が運転者の情報処理の特性を適切に反映するものであるならば、反応時間と余裕容量の関係から、不測状況にて運転者が処理していた情報量を推定することができると考えられる。第3章の結果から通常走行時の余裕容量を13bits/sとみなして、これが緊急状況においても維持されていたと仮定し、第4章にて得た不測状況と予測状況における最短の反応時間の差0.34秒をもとに算出すると、不測状況では約4.4bitsの情報処理していたものと推定される。この値は、第4章で設定した不測状況にて運転者が処理していたと予想される、状況の認識、対応行動の要否判断、回避方法の選択、操作方向の選択の計4項目の数と概ね整合することから、通常時における処理資源の残余として推定した余裕容量は、不測の緊急状況においても運転者の反応時間を規定していると推察される。

運転中の回避操作の選択肢は制動あるいは操舵に限られるため、対応行動の要否判断から操作の選択までの間で処理が必要な情報量は大きく変えることはないと予想される。ただし、他の交通参加者などが多く存在する現実の交通状況では、状況の認識のために処理しなければならない情報量は増大する。一方、運転者の余裕容量は限られているため、情報量が増大すると反応時間は延長する。反応時間は、衝突回避の成否を規定する第一義の要因であるため、交通状況中の情報量の多さは、緊急状況が発生した場合の衝突回避の成否に大きく影響すると予想される。

## 緊急時の操作の内容

操作速度と量は、反応時間に次いで衝突回避の成否を規定する要因である。第4章の実験における予測状況では、操作開始直後から操舵角第1ピークに至る間に、操舵角速度  $500^{\circ}/s$  以上の速い操舵が可能であった。これは、操作開始以前に用意されていた自動処理の系列が危険の発生の直後に駆動することで、あらかじめ定めた動作が実行されたことによると推察される。一方、不測状況では、操舵開始から第1ピークまで操舵角速度は  $200^{\circ}/s$  ほどにすぎなかった。操舵を開始した直後の時点では自動処理は十分に機能しておらず、未だ統制処理の関与が大きかったものと推察される。ただし、操舵角第1ピーク以降では、不測状況でも  $300^{\circ}/s$  以上の操舵角速度を実行できていることから、これ以降では自動処理が駆動して統制処理の関与が減じたものと考えられる。

統制処理は処理資源を用いて進められ、状況の変化に柔軟に対応することができるが、処理資源の容量には限界があり、継時的に処理が進められるため、処理速度は自動処理に比して遅い (Schneider & Shiffrin, 1977)。不測状況では、回避操作を開始するまでの反応時間のなかで統制処理が完了しているわけではなく、回避操作の最中にも処理が進められているものと推察される。実路上で生じる緊急状況は運転者にとって不測の事態であることが多いと予想されるため、現実の交通状況では第4章の不測状況で観察された程度の小さい速度での回避操作が行われているものと推察される。

## 加齢による運転行動の変化

第5章で示したように、高齢運転者では視認行動に偏りがみられる。視野範囲の狭小化などにより知覚機能の低下した高齢運転者にて、走行中の視覚探索行動に偏りがみられることは、情報を適切に入手できないことにつながり、この後の処理の過程を適切に進めることができない可能性を増す。また、信号変化に対する対応は遅れ、非高齢運転者に比して注意分散による影響を大きく受けることから、情報を処理する機能自体も減退しているとみられる。試みに推定した余裕容量は、非高齢運転者に比して小さく、同じ情報量を処理するのであっても処理には時間がかかると推定される。

第3章で示したように、右左折時には一般年齢の運転者でも余裕容量が減じる割合が多い。交差点では運転者が処理しなければならない情報が多く存在するため、情報処理機能の減退した高齢運転者では、とくに交差点にて事故に関与することが多いものと推察される。

情報入手と処理に関わる機能の低下は、緊急状況における反応時間の延長をもたらし、予測状況を設定した第6章の実験でも反応時間の延長が観察されている。一方、不測状況では、少なくとも状況認識から回避操作の選択までの過程は主に統制処理として進められると予想される。このため、余裕容量が減じていると推察される高齢運転者では、一般の運転者に比してさらに反応時間の延長の度合いは拡大し、回避操作を開始するタイミングの遅れにより衝突を回避できない危険性が増すと予想される。また、身体運動機能の減退に起因するとみられる操作速度の低下は、反応時間が遅れた場合の回避の成否に影響する。高齢運転者では、情報入手と処理の減退により反応時間が延長し、加えて、身体運動機能の減退により回避操作の内容も劣化するため、緊急状況における回避成功率は大きく低下すると推察される。

ただし、事前警報の呈示により、高齢運転者の回避成績は改善する。警報は、交通状況の変化と対応行動が必要であることを運転者に知らせる役割を担う。高齢運転者の情報入手と処理を補助することで、主に統制処理に関わる機能を補う役割を果たすことが期待される。

### 情報処理過程と運転行動

通常時の運転行動は、主に自動処理にて進められていると予想されるが、状況から求められる操作の種類や量が増える場合には、自動処理の系列を別の系列へ切り替えて、処理の流れを修正する必要がある。自動処理の系列を切り替えるためには、統制処理における注意の介入が必要となる。注意分散時の余裕容量と運転行動の劣化との対応関係を示した第2章の結果は、統制処理の働きが重要であることを示している。一方、緊急時には、飛び出しや先行車急減速などに対して注意を向け、適切な回避操作を選択してこれを実行しなければならない。このことから、危険事象に対して注意を向けてから回避操作を選択するまでの間は統制処理にて進められていると予想され、この過程に要する時間が反応時間に反映されると考えられる。ただし、予測状況に比して不測状況では反応時間が長く、初期の回避操作の速度が抑制されることを示した第4章の結果から、不測状況では統制処理の関与がより大きく、また、回避操作を開始した後も統制処理が駆動していると推定される。図7-1に、通常状況と緊急状況における自動処理と統制処理の関わりについての概念図を示す。

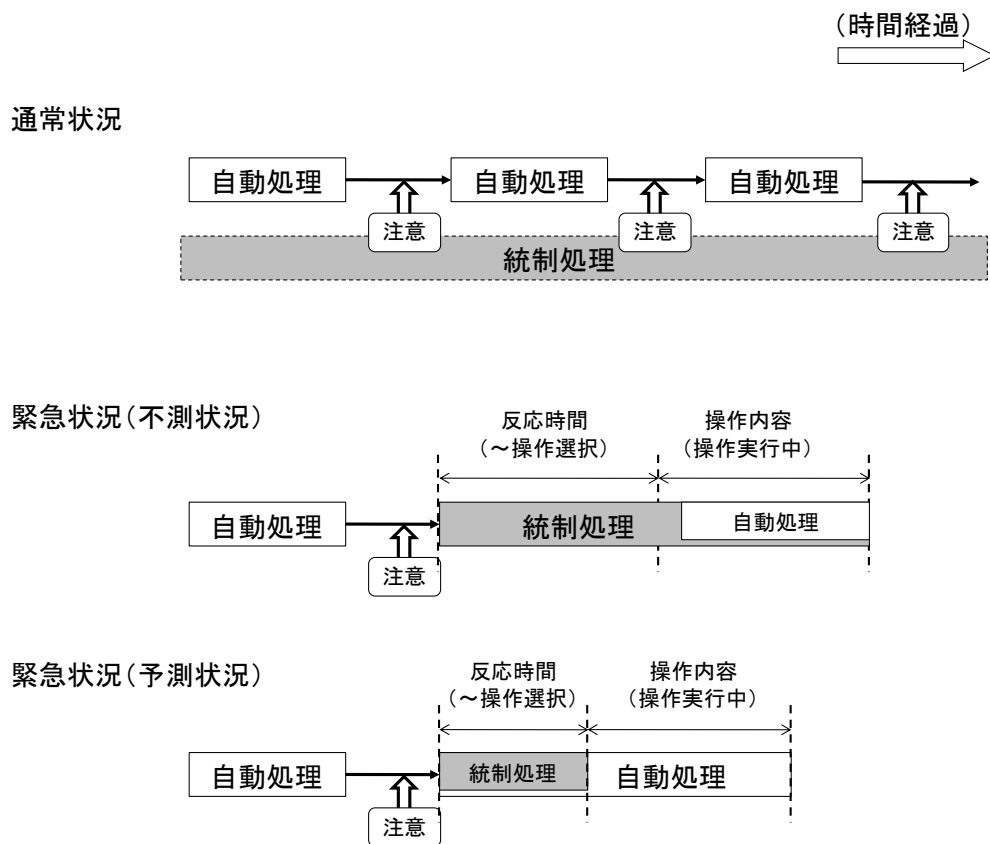


図 7-1 通常状況と緊急状況における自動処理と統制処理の関わり

本研究で得られた結果から考察した、運転者の情報処理における余裕容量と運転行動との関係を図 7-2 に示す。

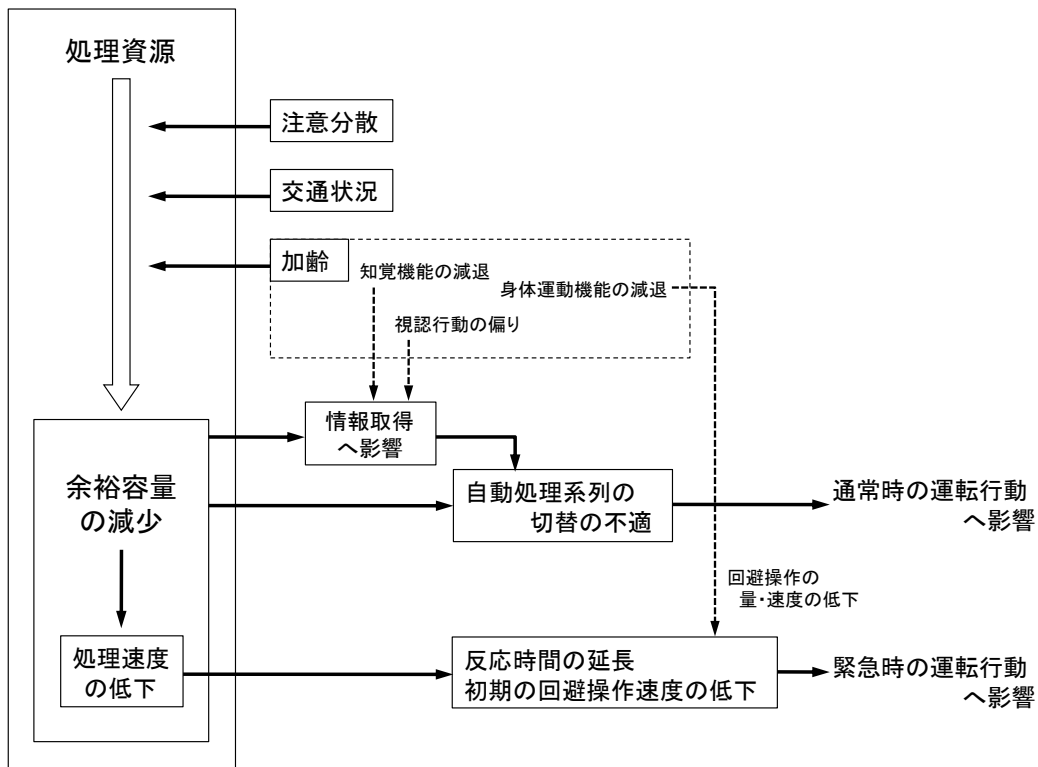


図 7-2 余裕容量と運転行動との関係

運転者が、注意の過程を含む統制処理を進めるためには、処理資源に余裕が残されていることが必要である。しかし、第 2 章で示したように、視認行動をとまなわない注意分散は処理資源の残余に相当する余裕容量を減少させる。また、第 3 章で示したように、現実の走行中には、余裕容量が大きく減じる交通状況がある。さらに、第 5 章の結果は、加齢により処理資源の余裕容量が低下していることを示唆している。

余裕容量が減少すると、統制処理を適切に進めることができないため、通常時の運転行動にあっては、状況に応じて自動処理の系列を切り替えるための注意の働きに支障を生じると予想される。また、注意分散時の注視点の分布範囲の狭小化や注視持続時間の延長を示した第 5 章の結果は、余裕容量の減少が、車外状況に対する視覚探索のための視認行動を劣化させることを示している。情報を適切に取得できない場合にはその後の処理を適切に進めることは期待できないため、これも統制処理を阻害し、自動処理系列の切り替えの不適につながると考えられる。通常時の運転行動は、車間距離や車線内位置の保持など、目標値に対して自車の前後ならびに横方向位置を制御する作業であり、統制処理による適切な介入がない場合には、状況に対して不適當な系列の自動処理が継続され、結果として車間距離の減少や車線逸脱などの緊急状況を惹起する可能性が高まると予想される。

余裕容量の減少は、運転者が時間あたりに処理できる情報量を低下させ、処理速度が遅く

なることに対応する。したがって、余裕容量が減じた状態で、同じ量の情報が入力されれば、処理に要する時間が延長するため、緊急時にあっては反応時間が延長する。また、上述のように、不測の緊急状況では、回避操作の初期にも統制処理の関与が大きいため、処理速度の低下は初期の回避操作の速度と量を低下させると予想される。緊急時の対応行動は、状況が許容する限られた時間的余裕のなかで実行されなければ衝突に至るため、余裕時間が短い状況であるほど運転者は自らの情報処理能力を最大限に発揮するが、余裕容量が減じている場合には、反応時間と回避操作の内容は劣化せざるを得ない。ここで、緊急状況における衝突回避の成否は、反応時間の短さと操作内容に規定されるため、余裕容量の減少による処理速度の低下は、衝突を回避できないリスクを高めると考えられる。

加えて、加齢による視野範囲の狭小化や動体視力の低下などの知覚機能の減退、ならびに第5章で示した視線方向や注視点にあらわれる視認行動の偏りは、情報取得の不適により統制処理を妨げることで、通常状況における適切な自動処理系列への切り替えを阻害すると推察される。また、身体運動機能の減退は、回避操作の速度と量を低下させることで、緊急状況における対応行動に影響していると推察される。

以上により、本研究では、運転者の情報処理における処理資源の残余を余裕容量という量として推定することにより、これまでは定性的な議論に終始していた注意分散による運転行動への影響を量的に評価できることを示し、また、運転者にとって負荷の大きい具体的な交通状況を示した。さらに、緊急時の対応行動における情報処理過程の関与と回避の成否との関係を示し、なかでも回避成否への寄与の大きい反応時間が、余裕容量と運転者が処理しなければならない情報量によって規定されていることを示した。加えて、加齢による通常時と緊急時の運転行動の特徴的な変化を示すことができたと考えられる。

### 7.3 交通事故防止対策との関わり

#### 余裕容量と運転行動

通常状況における運転者の余裕容量に関する本研究の結果を利用することで、重点的に安全対策を講じるべき地点場所の抽出や、走行時の安全性を損なわない車載情報提供装置の仕様を検討できると考えられる。

第3章では、実路走行時の余裕容量の変化を調べ、右左折時、車線変更時、渋滞車列横の通過時、車道を進行する歩行者や自転車の横の通過時、自車前方の歩行者や自転車の横断時に、余裕容量の減少が大きいことを示した。これらの交通状況にて、他の交通参加者による急激な挙動の変化が生じると、運転者には適切な対応行動をとることができない可能性があるため、衝突の危険性が顕在化しないための対策が重要である。

余裕容量の減少は、情報処理の速度を損なうと予想されることから、上記の交通状況では、情報の入手と処理に関わる負荷を低減することが有用と推察される。すなわち、従来からの道路環境側の対策のなかでも、交通参加者相互の位置を分離する車線区分線の明示や、歩道、自転車専用歩道、直進あるいは右折専用信号灯火の設置などの拡充を図り、運転者の知覚を改善することが効果的と考えられる。車両側の対策としては、検知技術や通信、信号処理技術などの先進的な技術を車両に導入して、先行車の減速や併走車の接近、歩行者や自転車の挙動など、周辺の交通参加者の挙動を運転者に知らせる情報提供あるいは注意喚起機能を実現し、運転者の処理に要する負荷を減じることが有用と考えられる。

運転者ならびに歩行者、自転車への働きかけとして、運転者の情報処理負荷が大きい交通状況を周知し、これらの交通状況にあつては、運転者はより慎重な運転態度をとり、歩行者や自転車は周辺の車両の挙動に対して一層の注意を払うよう指導することが重要である。ここで、現実の地形のなかで事故やヒヤリハット体験が生じた地点を示す危険地点マップを作製してこれを利用することが安全意識の向上に有益とされており（日本交通心理学会，1982；大森，1983）、交通参加者への周知にあつては、交通状況という漠然とした表現に加えて、具体的な地点場所を示すことが有効と考えられる。第3章で用いた交通状況に起因する情報処理負荷の推定方法を、各所における現実の道路走行時に適用して、運転者の情報処理負荷が増大しやすい場所を把握し、負荷の大きい地点を記載した地図を作製することで、運転者ならびに歩行者、自転車に対するより効果的な注意喚起や啓発を図ることができると予想される。

余裕容量が減じやすい交通状況では、カーナビゲーションシステムなどの車載装置による情報提供にも配慮が必要である（宇野他，2002）。すなわち、交通状況から生じる情報処理の負荷が大きい場合には、提供された情報を運転者が十分に活用できないだけでなく、車載情報提供装置へ運転者が視線を向けることにより、車線内の位置保持や車間距離の保持など通常時の運転行動が不適切となり、衝突の危険性を増した状況を招来する可能性がある。負荷の増大しやすい交通状況では、車載装置による視覚的な情報提供を聴覚による情報提供に切り替えたり、緊急性の小さい情報であれば情報提供自体を一時的に抑制するなどの対策が必要と予想される。どのような交通状況で音声表示への切り替えや情報提供の抑制を行うべき



かという点について、交通状況を判別する際にも、本研究で用いた余裕容量の推定方法は利用可能と考えられる。

なお、音声ガイダンスや運転者による音声入力機能を備えるカーナビゲーションシステムなどでは、車載表示装置への視認行動や、手指による操作を必ずしもともなわないため、機器に対する視認時間や操作時間などの表出行動を手がかりとした許容基準を定めることができなかった。音声入出力作業では、運転者による発話量やメニュー構造の階層数などによって負荷の程度が異なることが報告されているが（北島・沼田・磯村，2006）、どの程度の発話量あるいは階層数が運転行動の劣化をもたらすかについて明らかにされていないことによる。一方、第2章で用いた方法にて、車載装置の設計試作時に、複数名の運転者を対象として特定の音声入出力作業における余裕容量を推定することで、その作業により運転者に生じる情報処理負荷を事前に点検することができると予想される。ここで、運転者の余裕容量が6～7bits/s以下に減じる注意分散作業は、車速コントロールと生理的反応に大きい影響を生じるとみられることから、この値を一応の許容基準とみなすことができると考えられる。

### 緊急状況の対応行動

緊急状況にて衝突を回避できるか否かは、まず反応時間に規定され、次いで操作の速度と量により規定される。反応時間は運転者の統制処理を反映し、余裕容量と状況に存在する情報量に依存して延長すると予想されるため、運転者の情報入手と処理を改善する警報システムが普及すれば、緊急状況における反応時間を改善し、これにより危険が発生した後の時点における衝突回避の向上が期待される。

現在、実用化が図られている自動車用の各種警報システムは（国土交通省自動車交通局，2009）、緊急時の対応行動の改善に貢献することが期待される。例えば、先行車など前方の車両との距離と相対速度を検知して衝突の危険性を運転者に知らせる前方車両衝突警報や、赤外線の利用により夜間に前方の歩行者の存在を知らせる夜間視界支援は、衝突の危険性がある前方の対象物に対する運転者の知覚を改善する。自車の車線からの逸脱可能性を知らせる車線逸脱警報や、車線変更時に併走車線における車両の接近を知らせる後側方車両警報は、自車の横方向挙動にともなう危険性を運転者が把握するうえで有用である。ただし、警報は、呈示後の運転者による回避操作を必要とするため、衝突を防止するという効果を確保するためには、運転者の対応行動の特徴と回避の成否との関係に基づいて、警報呈示タイミングを定める必要がある。

第4章の実験において、予測状況にて3.0秒の余裕時間があれば全ての運転者が回避に成功できることを示した。また、第6章では、余裕容量が減じていると推定される高齢運転者を対象とした場合でも、予測状況であれば衝突予想地点に達する3.0秒前に警報を呈示することで、回避成功率が向上することを示した。ただし、運転者が危険性を予測していない不測状況では、危険の発生認識から対応行動の選択までの過程を統制処理として進めると予想されるため、予測状況に比して反応時間は延長し、回避に成功できる余裕時間も長く必要となる。例えば、第4章における不測状況と、同じ車速ならびに障害物出現距離の予測条件における操舵反応時間の遅れから推定すると、予測状況よりもさらに0.25秒ほどの長い余裕

時間が必要とみられることより、警報の呈示タイミングを 3.25 秒前に設定することで、不測状況においても概ね有効な警報呈示が可能と推定される。

反応時間が延長した場合には、操作速度と量が回避の成否を左右する。ただし、高齢運転者の操作速度は低下しており、これは加齢による身体運動機能の減退による影響が大きいとみられる。操作の遅延が身体運動機能の減退によるのであれば、これを情報の入手や処理の過程を補助する警報システムにて補うことはできない。この場合には、自動的にブレーキを作動させるなど、先進技術を援用した車両側からの操作介入により、衝突の回避、あるいは衝突時の被害性および加害性の軽減を図ることの重要性が大きいと考えられる。

### 情報入手に関わる機能

運転者の年齢によらず、自車前方に視対象が数多く存すると、注視対象を頻繁に切り替えることで、積極的に情報を入手しようとする。ただし、所与の時間内に注視点を切り替えることができる回数には限りがあり、高齢運転者では注視切替回数の上限值が小さいため、周囲に視対象が多い場合には、自らの運転行動を安全に継続するために必要な情報を取得できない可能性がある。このため、道路環境側の対策として、まず高齢運転者では車速を抑制して十分な視覚探索の時間を確保することが有用であり、次いで歩車道の分離や交差点周辺の改良による交差道路の見通し確保、路側標識の配置や路面標識の設置などにより、自車の走行に直接関係する視対象と、それ以外の視対象とを容易に識別できるよう改善を図ることが有用と考えられる。

高齢運転者は、交差点への接近時に頻繁にペダルを踏み変える傾向にあり、進行すべきか否かの判断に躊躇する傾向がある。先進技術を自動車に導入して、自らが接近しつつある交差点の信号表示や交差道路との優先通行の関係、交差点周辺における他の交通参加者の挙動を検知し、交差点接近中の運転者に伝える情報提供は、高齢運転者の状況判断に要する負荷を軽減できると期待される。また、高齢運転者では、注視点の分布範囲が狭いうえに、交差点接近時ならびに右左折中の視線移動回数が少なく、視認行動は自車の進行方向へ偏重する。交差点を直進通過する際には、早めに交差点への注視を打ち切るため、視野範囲が狭小化している高齢運転者にとっては、交差点の直近ならびに交差点内にて、周辺の状況を十分に確認できていない可能性がある。交差点から離れた地点だけでなく、交差点直近ならびに交差点内における周辺状況の情報提供も有用と予想される。

道路環境ならびに車両の対策に加え、高齢運転者自身に対する働きかけとして、運転免許更新時の高齢者特別講習の機会などを利用して、通常状況における上記の特徴を明示することで高齢運転者の自覚を促し、交通状況に対する十分な確認行動を行うよう指導するなどの教育啓発も重要である。第 5 章で示したように、聴覚的な注意分散により注視点の分布範囲がさらに狭小化することから、運転中の考え事や会話などについては、高齢運転者ではとくに慎重であるべきと考えられる。

## 7.4 展望と課題

### 基礎研究としての知見と応用への展望

本研究では、運転者の処理資源の余裕に着目して、情報処理過程と運転行動の関係についての基礎的な特性を明らかにした。すなわち、処理資源の余裕を量として推定する方法を考案し、余裕容量が減少している場合には運転行動が劣化し、一方で現実の交通状況の中には運転者の余裕容量を大きく低下する場面があることがわかった。また、緊急時の衝突回避の成否を規定する反応時間と操作内容には余裕容量が関係しており、反応時間は外界に存在する情報量と余裕容量により規定され、少なくとも回避操作を開始した初期の操作には統制処理の関与が大きいため、余裕容量が減じた運転者では、反応時間の延長だけでなく操作内容も劣化することがわかった。さらに、加齢による視認行動の偏りと統制処理に関わる機能減退、ならびに身体運動機能の減退により、通常時の運転行動と緊急時の対応行動がともに劣化することがわかった。

以上の基礎的な知見は、処理資源の減少が、通常時にあっては運転者自らが原因となって衝突の危険性を顕在化させるリスクを高め、緊急時には十分な対応行動をとることができないために衝突を回避できないリスクを高めることを示している。本研究では、処理資源の減少を余裕容量として推定する方法を考案しており、この方法を用いることで、運転者の処理資源を減じる交通状況を具体的に指摘することができると考えられる。また、通常状況を緊急状況に変性させるリスクや衝突回避に失敗するリスクの大きい運転者を、事前に予測できると予想される。これにより、交通状況あるいは運転者に対して、個別の対策を講じることが可能になると考えられる。

例えば、運転免許更新時の講習の機会などを利用して、個々の運転者の余裕容量を推定して処理資源の減少の度合いが大きい運転者を識別し、この運転者に対して余裕容量が低下しやすい交通状況を具体的に教授するなどの指導が可能になると考えられる。とくに高齢運転者については、危険性の顕在化と衝突回避失敗のリスクがより大きいと予想されるため、75歳以上の後期高齢者を対象とした特別講習の機会などに余裕容量を推定し、安全指導を行うことが有用と考えられる。また、将来的に、これらの活動を通して運転者個人々の余裕容量を推定したデータを蓄積できた段階では、現実には生じた事故あるいは交通法規違反の頻度や種類と、当事者である運転者の余裕容量とを照合することで、事故や違反の発生と余裕容量との対応関係を検証したうえで、余裕容量をもとに運転免許更新の適否を評価するなどの応用も可能になると予想される。

### 余裕容量の量的推定による応用

本研究で考案した余裕容量の推定方法は、生理指標の測定などで必要となる特殊な測定機器を用いることなく施行可能であり、これを利用することにより、定量的かつ簡便に、情報取得の負荷が小さい車載情報提供装置の設計や、道路交通標識の改善を図ることがことができる。すなわち、車載装置の試作段階や、道路標識の見直しあるいは新設の際に余裕容量を推定することで、運転者にとって負荷が小さい情報提供方法や標識の意匠を選択することが

可能になると予想される。車載情報提供装置や標識の改善は、通常の運転状況における事故発生リスク低減に貢献すると考えられる。

本研究では、運転者にとって情報処理負荷の大きい交通状況を、余裕容量によって推定できることを示した。交通状況に起因する負荷の程度を量的に把握することにより、状況に応じた車内あるいは車外での情報提供を実現できると予想される。すなわち、本研究の結果から、余裕容量にして概ね6~7bits/sの負荷が生じると運転行動が劣化するとみられることより、交通状況に起因する負荷と、車載情報提供装置や道路標識からの情報取得に要する負荷の和が、これを越えないことが重要と考えられる。例えば、交通状況による負荷が2bits/s程度と小さい場合には、情報取得に要する負荷が4~5bits/sであっても許容することができるが、交通状況の負荷が5bits/sと大きい場合には、情報取得に要する負荷は1~2bits/sまでであることが必要と考えられる。あらかじめ車載情報提供装置の表示や標識の読み取りに要する負荷の程度を余裕容量として推定しておくことにより、交通状況の負荷に応じた情報提供方法を選択することが可能となり、これにより運転行動に影響を与えない情報提供を実現することが期待される。

さらに、余裕容量は、所与の状況にて緊急状況が生じた場合に運転者が衝突を回避できるか否かの予測にも利用できると考えられる。衝突回避の成否は、第一義的には回避操作を開始するまでの反応時間に依存する。本研究では、時間あたりに処理できる情報量として余裕容量を推定しているため、ある交通状況にて運転者が処理しなければならない情報量を計数することができれば、情報量と余裕容量との乗算にて反応時間を推定することができると予想される。ここで、緊急状況が発生した場合でも反応時間が十分に短いと推定される状況であれば、運転者自身による状況認識と操作により衝突を回避することができるとみられる。しかし、本研究では、1.2秒以下の余裕時間で衝突回避に成功できる運転者はいなかったことから、少なくとも反応時間が1.2秒以上に長くかかると推定される状況では、運転者自身の状況認識と操作では回避に成功できないと予想される。この状況で衝突を回避するためには、警報の呈示や車両からの操作介入により、緊急状況における運転者の対応行動を支援する必要がある。

以上のように、運転者の情報処理における処理資源の残余を余裕容量という量として推定することにより、運転行動を劣化させない情報提供の実現や、警報や操作介入による運転支援が必要な交通状況を識別することが可能になると予想される。

## 今後の課題

運転者の情報処理過程と運転行動の特性を調べるにあたり、本研究では副次課題法の手続きを利用して余裕容量を推定した。副次課題法が成立するためには、主タスクにより優先的に処理資源が消費されることが必要であるため、副タスクとして用いた聴覚暗算作業が主タスクである運転行動に影響しないことを確認したうえで余裕容量を推定した。ただし、第2章で考察したように、時間的な余裕が少ない状況では暗算作業は運転行動に影響を及ぼす可能性があり、この場合には副次課題法的前提が満たされないことになるため、本研究の方法では交通状況の負荷を正しく推定することができない。また、1試行を4秒間とする本研究

の暗算作業では、余裕容量を推定できる時間精度は4秒間であり、これよりも短い期間内で事象が発生して対応行動が完了するような緊急状況に対しては、余裕容量の変化を詳細に推定することができない。これに対処するためには、暗算作業よりも負荷が小さく、かつ短い時間間隔で成績を測定できる副タスクが必要である。運転行動には運転者の視認行動と手足での操作が必須であるため、これに干渉しない聴覚呈示—口頭回答の作業の中から、例えば一定時間間隔での発話作業などを候補として、適切な副タスクを検討することが重要と考えられる。なお、余裕容量の推定方法は、自動車運転以外の作業にも適用できると予想されるが、適用にあたっては上記の副次課題法が成立するための前提を満たす副タスクを選定する必要がある。

現実の交通状況における余裕容量を推定した第3章では、負荷の程度は必ずしも大きくなると予想される「道なり走行中」「減速中」「停止中」にも余裕容量が減少する場合があることが示された。本研究では、「加速中」には余裕容量が減じる割合が小さいことから、運転者が交通状況の危険性を小さく予測したことにより処理資源自体が縮小したものと考察した。ただし、これは処理資源自体の縮小を客観的な証拠により確認したものではない。余裕容量の減少が、主タスクの負荷によるものであるのか、あるいは処理資源自体の縮小によるものであるのかを厳密に識別することは困難と予想されるが、運転者の生理的反応を同時に観測することで処理資源の状態を推定できる可能性がある。例えば、生理指標にて運転者の覚醒度が低下していることが示された場合には、余裕容量の減少を処理資源自体の縮小によるものと推定するなどの方法にて、検討を進めることが有用と考えられる。

上述のように、緊急時の衝突回避の成否は、第一義的には回避操作を開始するまでの反応時間に依存する。ただし、運転者の余裕容量には限りがあるため、実行できる最短の反応時間は運転者が処理する情報量に規定される。したがって、交通状況中で運転者が処理しなければならない情報の量を計数することができれば、本研究で得た運転者の余裕容量を参照することで、所与の状況における反応時間を予測し、これにより緊急時の回避成否を事前に見積ることができる。しかしながら、現在までのところ、交通状況に存在する車外情報のなかから運転者に必要な情報を識別する方法は明らかにされていない。この点を解決するためには、運転者の情報取得に関わる行動調査が重要と考えられる。今後は、注視点計測装置などを用いて、現実の交通状況における運転者の視認行動に関するデータを蓄積し、運転行動と視対象との対応関係の詳細を分析することで、運転に必要な車外情報とは何であるのかを明らかにすることが重要と考えられる。

## 各章要約

### 第1章

交通事故を減らすためには、運転者の行動特性を把握し、事故につながる行動を排除する対策を講じる必要がある。衝突事故は、特段の危険性がない通常時の行動と、危険性が顕在化した緊急時の対応行動が、不適切であった場合に生じる。通常時の運転行動は、車両の前後位置や横方向位置の制御に関わるトラッキング作業が運転者の主な作業であり、知覚、処理、動作の連鎖からなる系が主に自動処理として実行されていると予想されるが、状況変化が生じた場合には、そこへ注意を向ける統制処理を介在することで、処理の系列を修正する必要がある。緊急時の運転行動は、突発的に生じる車外事象を迅速に検知して適切な対応行動をとる検知反応作業が主な作業であり、回避操作の選択までの間は統制処理にて進められると予想されることより、処理の過程を進める速度が回避操作を開始する時期や操作の内容を規定する。

副次課題法の手続きと、選択反応作業における反応時間が選択肢数の対数関数様に分布する性質を利用し、情報量単位を援用した余裕容量 (bits/s) として、注意分散の程度を推定できると考えられる。これにより、運転者の内部過程であるため量的に推定することができなかった通常走行時の処理資源の残余を把握するとともに、時間あたりに処理できる情報量を推定することで、緊急時の対応行動における反応時間や操作内容と処理の速度との関係进行分析することができると考えられる。

本研究は、情報処理過程と運転行動との関係に関する基礎的な特性を明らかにすることを目的とする。通常状況における運転行動が適切であるためには、注意の介在による修正が必要であり、このためには処理資源の余裕と、注意を向けるべき対象の知覚が必要である。また、緊急状況における運転行動が適切であるためには、迅速な処理に基づく対応行動が行われることが必要である。ここで、運転者の注意分散や情報処理負荷の大きい交通状況、あるいは加齢による心身機能の変化は、所与の状況における処理資源の余裕の減少をもたらし、これが通常時の行動に直接影響するとともに、時間あたりに処理できる情報量の減少が処理速度を遅延し、緊急時の行動に影響すると予想される。したがって、通常状況については処理資源の余裕の程度、あるいは適切な知覚ができるか否かを調査し、緊急状況については対応行動の内容を分析することで、運転者の情報処理過程と運転行動の特性を明らかにすることができると考えられる。

### 第2章

通常状況における運転行動について、運転者の視認行動が車線内位置保持に与える定量的な影響は既に明らかにされている。一方、運転者の処理あるいは判断に関わる過程について、処理資源の余裕度は視認行動や運転操作などの表出行動として直接に観察することができないため、運転行動への影響を定量的に把握することができず、このため具体的な安全対策を議論できない状況にある。

そこで、実験 1 では、視認行動をとまなわない注意分散作業による負荷の程度を、余裕容量 (bits/s) として量的に推定した。すなわち、主タスクを聴覚暗算による注意分散作業とし、副タスクを選択反応作業とする副次課題法と、人間の選択反応時間が選択肢数の対数に比例して延長するという性質を利用して、注意分散の程度を運転者の余裕容量の減少度として推定した。その結果、暗算作業の定性的な難易度に応じて余裕容量は異なり、運転者の処理資源の残余を反映することがわかった。ただし、運転者の情報処理能力には個人差が大きく、同じ注意分散作業であっても運転者に生じる負荷の程度は異なっていた。

実験 2 では、車線変更走行における聴覚暗算作業による注意分散の影響を調べた。その結果、定性的な注意分散作業の区分では識別できない場合であっても、運転者毎に余裕容量を推定することで、注意分散の程度が、車速コントロールや車両の横方向挙動、緊張度に関する生理的反応に影響することがわかった。また、運転者の余裕容量が 6~7bits/s 以下に減じる注意分散作業は、車速コントロールと生理的反応に大きい影響を生じることがわかった。

以上より、推定した余裕容量は、注意分散作業時の余裕度の推定値として適当であることがわかった。

### 第 3 章

危険性が顕在化していない通常の交通状況であっても、情報処理負荷が大きい場合には処理資源の余裕度が減じ、運転行動が阻害される可能性がある。どのような交通状況で情報処理負荷が増大するのかを明らかにする必要がある。

そこで、実験 3 では、交通状況に起因する余裕容量の減少を量的に推定するため、聴覚暗算作業と選択反応作業を同時実施する室内実験にて、走行時の副タスクとする聴覚暗算作業の成績と余裕容量との関係を調査した。その結果、暗算作業の発話開始時間に対して、推定した余裕容量は直線状に分布し、誤回答時の余裕容量は約 8.0bits/s、無回答時は約 5.5bits/s と推定された。これを暗算成績と余裕容量との全体的な関係とみなし、走行時の暗算成績から余裕容量を推定するキャリブレーションデータとした。

実験 4 では、交通状況を統制できるドライビングシミュレータを利用して、交差車両の飛び出しと歩道上の歩行者の有無による余裕容量の変化を調べた。その結果、余裕容量は状況の違いに応じて異なっていた。また、暗算作業の実施によって運転行動が大きく劣化することはなかった。このことから、暗算作業を副タスクとして走行中の余裕容量を推定することは可能であることがわかった。

実験 5 では、実路走行時の暗算成績をもとに、現実の交通状況における余裕容量を推定した。その結果、市街地と幹線道路の走行中の余裕容量は 4~15bits/s の範囲に分布し、最頻値は 13bits/s と推定された。余裕容量の減少が著しい交通状況は、右左折時、車線変更時、渋滞車列あるいは車道を進行する歩行者や自転車の横を自車が通過する場合、歩行者や自転車が自車の前方を横断する場合などであることがわかった。ただし、停止中や道なり走行中など、一般には情報処理負荷が小さいと予想される交通状況においても、余裕容量の減少が観察されることがあった。

以上より、現実の交通場面のなかで、運転者にとって情報処理負荷の大きい交通状況を明

らかにした。

#### 第4章

危険性が顕在化した緊急状況にて、衝突を避けることができるか否かは、運転者の統制処理に基づく対応行動の適否に依存する。しかし、状況の違いによる運転者の情報処理特性と対応行動の変化、ならびに回避の成否との関係はこれまで明らかにされていない。

そこで、実験6では、ドライビングシミュレータを用いて、障害物の出現から衝突予想地点に達するまでの余裕時間を実験的に設定し、緊急時の対応行動を調査した。その結果、障害物の出現自体は知らされているが出現場所は知らされていない予測条件では、車速が大きいほど全運転者が回避に成功できる最小の出現距離は延長し、これを余裕時間に換算すると、40～100km/hの車速であれば、1.2～3.0秒が回避成否の境界であることがわかった。障害物出現から障害物位置に達するまでの余裕時間が短いほど、操舵開始までの反応時間は短縮し、操舵角ピーク値と操舵速度は増大して、運転者は自らの最大限の情報処理能力を発揮して回避操作を行うようになった。

障害物出現を予測していない不測状況では、反応時間は延長し、回避初期の操舵速度は抑制され、回避成功率が低下した。また、第一義的には反応時間が、次いで操舵角速度が衝突回避の成否を規定することがわかった。

予測状況における最短の反応時間と不測状況における反応時間との差は、不測の緊急状況において運転者が行わなければならない処理の情報量に対応すると推察され、余裕容量と反応時間から推定した情報量と概ね整合することがわかった。また、回避操作開始直後の操舵角速度の抑制から、反応時間を経た後に操作を開始した時点でも、不測状況では運転者の注意を必要とする統制処理の関与が大きいことが示唆された。

以上より、緊急状況における運転者の情報処理の特性と対応行動の特徴を明らかにした。

#### 第5章

高齢運転者の関与する事故には、交差点での出会い頭事故という特定の形態が多い。情報処理過程に関わる心身機能の減退が予想される高齢運転者では、自らの運転行動に起因して、多くの情報を処理する必要のある交差点にて、衝突の危険性のある状況を招来している可能性がある。

そこで、実験7では、通常状況における高齢運転者の情報処理過程に関わる特性を明らかにするため、実路走行にて交差点を右左折する際の視認行動と運転操作を調べた。その結果、視線方向の切替回数が少なく、視線方向は自車の進行方向へ偏重し、情報を入手するための視覚探索行動が偏ることがわかった。また、ペダル操作の回数が多く、信号変化に対する反応は遅れており、情報を処理する過程の機能低下が示唆された。

実験8では、視認行動の詳細を調査するため、ドライビングシミュレータにて交差点を直進通過する際の注視点を調べた。その結果、高齢運転者の注視点分布は狭小化しており、注視方向と1回の注視持続時間は、進行方向正面に偏重する傾向にあることがわかった。環境中の視対象が増すと、運転者は注視切替回数を増すことでより多くの情報を取得しようとする



るが、高齢運転者では、1回の注視持続時間が全般に延長するため、注視切替回数は少なかった。交差点への直進通過時には交差点への注視を早期に打ち切っていた。これらの視認行動は、運転に必要な情報の取得を阻害するため、適切な情報処理を行えない可能性を増す。また、聴覚暗算作業を同時実施すると、高齢運転者では注視点分布範囲や注視切替回数、注視持続時間が大きく影響され、情報を処理する機能自体の低下が示唆された。試みに、注意分散時の注視持続時間から、通常状況における高齢運転者の余裕容量を推定したところ、非高齢運転者に比して減じていることが示唆された。

以上より、高齢運転者では情報の入手と処理機能の両者が減退し、これが通常時の運転行動に影響することがわかった

## 第6章

緊急状況において衝突回避に成功するためには、まず反応時間が短いことが必要であり、反応時間が長い場合には操作速度と量が大きいことが必要である。反応時間の延長は加齢による特徴のひとつであり、これは統制処理の機能低下によると推察され、回避の成否に影響すると予想される。ただし、高齢運転者の操作内容の変化について、処理の機能に関わるものであるのか、あるいは身体運動機能に関わるものであるのかは明らかでない。

そこで、実験9では、ドライビングシミュレータにて、操作の過程に統制処理の関与が小さいと予想される、時間的余裕の少ない予測状況で回避操作を行う場面を設定し、高齢運転者の緊急回避操作を調べた。その結果、飛び出し車両を視認した地点から衝突予想地点までの出現距離が短いほど、運転者は自らが実現できる最大の対応能力を発揮して、回避操作を行った。ただし、高齢運転者の対応能力はより若年の運転者に比して低く、最短の反応時間は約0.1秒延長し、処理に要する速度が遅延することがわかった。また、予測状況において実現できる操舵角速度は非高齢運転者の半分程度であり、回避操作の内容の変化が、身体運動機能の減退による影響を大きく受けていることがわかった。この結果として、高齢運転者では回避に成功するために必要な余裕時間が延長した。ただし、事前警報を呈示することで、反応時間は短縮し、回避成功率は向上した。

以上より、高齢運転者の操作内容の変化には身体運動機能の低下による寄与が大きく、また、予測状況にて効率的に処理を進める場合でも、情報処理機能の低下により反応時間が延長することがわかった。ただし、情報取得と処理を補助する事前警報にて、回避成功率の向上が期待できることがわかった。

## 第7章

推定した余裕容量は注意分散時の運転行動と対応し、また交通状況の違いに応じた相違を示したことから、運転者の処理資源の余裕度を推定する指標として妥当と考えられる。そこで、余裕容量と運転行動との関係について得られた結果から、通常時と緊急時の情報処理と運転行動の特性を考察した。

通常時の運転行動は、主に自動処理にて進められると予想されるが、状況に応じて自動処理の系列を切り替えるためには統制処理の介在が必要である。一方、緊急時の対応行動では、

危険事象に注意を向けてから回避操作を選択するまでの間は統制処理にて進められていると予想され、とくに不測状況では回避操作を開始した後も統制処理の関与が大きいと推定される。このため、統制処理の働きを担保する余裕容量が低下すると、通常時と緊急時ともに運転行動が劣化すると考えられる。

運転中の注意分散は運転者の余裕容量を減少させ、現実の交通状況の中にも余裕容量を大きく低下させる場面がある。通常時の余裕容量の減少は、自動処理の系列切り替えに支障を生じ、車間距離や車線内位置の適切な維持を阻害すると予想される。また、緊急時の衝突回避の成否を左右する反応時間は外界に存在する情報量と余裕容量により規定され、さらに初期の回避操作には統制処理の関与が大きいため、注意分散や交通状況に起因する負荷、あるいは加齢により余裕容量が低下した運転者では、反応時間の延長とともに操作内容も劣化する。加えて、加齢による視認行動の偏りや身体運動機能の減退は、通常時と緊急時の運転行動を劣化させると考えられる。

本研究で考案した余裕容量の推定方法を用いることで、運転者の処理資源が低下する交通状況を具体的に指摘するとともに、通常状況を緊急状況に変性させるリスクが大きく、また衝突回避に失敗するリスクの大きい運転者を事前に予測できると予想される。これにより、交通状況あるいは運転者に対して、個別の対策を講じることが可能になると考えられる。今後は、余裕容量と現実の事故データとの照合、より負荷が小さく短い時間間隔で成績を測定できる副タスクの検討、処理資源自体の縮小を客観的に評価する方法の検討、運転行動に必要な車外情報の識別方法に関する検討が課題である。

## 参考文献

- 安部正人 (1992). 自動車の運動と制御. 山海堂.
- 麻生勤・飯星明 (2003). 高齢者のカーナビ操作に関する研究. 自動車技術会学術講演会前刷集 No. 17-03, 11-14.
- 麻生勤・宇野宏・野口昌弘・川崎由美子 (2002). 運転中のカーナビ視認時間の許容限界の検討. 自動車研究, 23, 107-110.
- Alm, H. & Nilsson, L. (1994). Changes in driver behavior as a function of hands free phone. *Accident analysis and prevention*, 26, 441-451.
- Attneave, F. (1959). Applications of information theory to psychology. Holt, Rinehart and Winston. (アトニーブ F. 小野茂・羽生義正 (共訳) (1968). 心理学と情報理論－基本概念, 方法, 結果－. 丸善)
- Ball, K., Beard, B. L., Roenker, D. L., Miller, R. L., & Griggs, D. S. (1988). Age and visual search: expanding the useful field of view. *Journal of Optical Society of America*, A5, 2210-2219.
- Barrett, G. V., Kobayashi, M., & Fox, B. H. (1968). Feasibility of studying driver reaction to sudden pedestrian emergencies in an automobile simulator. *Human Factors*, 10, 19-26.
- Bartlett, N. R., Bartz, A. E., & Wait, J. V. (1962). Recognition time for symbols in peripheral vision. *Highway Bulletin*, 33, 87-91.
- Brookhuis, K. A., de Waard, D., & Mulder, B. (1994). Measuring driving performance by car-following in traffic. *Ergonomics*, 37, 427-434.
- Brown, I. D. & Poulton, E. C. (1961). Measuring the spare "mental capacity" of car drivers by a subsidiary task. *Ergonomics*, 4, 35-40.
- Brown, I. D. (1962). Measuring the "spare mental capacity" of car drivers by a subsidiary auditory task, *Ergonomics*, 5, 247-250.
- Brown, I. D. (1994). Driver fatigue. *Human Factors*, 36, 298-314.
- Burg, A. (1966). Visual acuity as measured by dynamic and static tests. *Journal of Applied Psychology*, 50, 460-466.
- Burg, A. (1967). Light sensitivity as related to age and sex. *Perceptual and Motor Skill*, 24, 1279-1288.
- Burg, A. (1968). Lateral visual field as related to age and sex. *Journal of Applied Psychology*, 52, 10-15.
- Cohen, A. S. & Studachi, H. (1977). Eye movements while driving cars around curves. *Perceptual and Motor Skills*, 44, 683-689.
- Corlett, E. N. & Bishop, R. P. (1975). Foot pedal forces for seated operators. *Ergonomics*, 18, 687-692.
- Davise, B. J. & Watts, J. M. (1969). Primary investigation of movement time between brake and accelerator pedals in automobiles. *Human Factors*, 11, 407-410.

- Davise, B. J. & Watts, J. M. (1970). Further investigation of movement time between brake and accelerator. *Human Factors*, 12, 559-561.
- Eaton, D. A. & Dittmeier, H. J. (1970). Braking and steering effort capability of drivers. SAE700363.
- 江部和俊・木村賢治・稲垣大・土居俊一 (2001). 緊急レベルに応じた警報音特性—緊急度マップの提案—. 自動車技術会学術講演会前刷集 No. 56-01, 13-16..
- Flannagan, H. J. & Harrison, A. K. (1994). The effects of vehicle head-up display location for younger and older drivers. UMTRI-94-22. University of Michigan Transportation Research Institute.
- Glencrosse, D. J. & Anderson, G. A. (1976). Operator response factor in the location and control of foot pedals. *Ergonomics*, 19, 399-408.
- 箱田裕司 (編著) (1992). 認知科学のフロンティア. サイエンス社.
- Hall, J. W. (1994). Driver performance data book update; older driver and IVHS. Transportation Research Circular 419.
- Hara, T., Kamiya, K., Furuichi, T., & Yoshida, H. (1994). Study on active safety using driving simulator: driver's steering quality in a monotonous driving. 14th International Technical Conference on Enhanced Safety Vehicles, Paper No. 94-S2-O-07.
- Harms, L. (1991). Variation in drivers' cognitive load; effects of driving through village area and rural junction. *Ergonomics*, 34, 151-160.
- 林玉子 (1990). 高齢者の行動と道路のあり方. 道路, 591, 42-47.
- Henderson, R. L. (1987). Driver visual performance. In R. L. Henderson(Ed.), *Drivers performance data book*. DOT-HS-807-121, National Highway Traffic Safety Administration. pp. 3.0-3.143.
- Hicks, T. G. & Wiercille, W. W. (1979) . Comparison of five mental workload assessment procedures in a moving-base driving simulator. *Human Factors*, 21, 129-143.
- Hills, B. L. (1975) . Some studies of movement perception, age and accidents. International Congress on Vision and Road Safety, SR137UC.
- 平山宗宏 (編著) (1973). 年齢と健康, 講座現代と健康 2. 大修館書店.
- 平松金雄・宇野宏 (1994). 高齢ドライバの運転基礎特性—予見時間とトラッキング運転成績との関係—. 自動車技術, 48(2), 44-49.
- Hockey, G. R. (1970). Effects of loud noise on attentional selectivity. *Quarterly Journal of experimental psychology*, 22, 28-36.
- Holahan, C. J., Culler, R. E., & Wilcox, B. L. (1978). Effects of visual distraction on reaction time in simulated traffic environment. *Human Factors*, 20, 409-413.
- Hunt, E. (1978). Mechanics of verbal ability. *Psychological Review*. 85, 109-130.
- 稲葉正太郎 (1988). 交通事故と人間工学. コロナ社.
- 稲垣敏之 (2000). 状況認識喪失の多様性—自動化におけるヒューマンシステムインタラク

- シヨンの諸相一. ヒューマンインタフェース学会誌, 2, 33-35.
- 石原利員・福井勝彦 (1995). 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, 193-196.
- ISO7029 (2000). Acoustics - Statistical distribution of hearing thresholds as a function of age. International Standardization Organization.
- 自動車安全運転センター (1985). 高齢運転者の運転の実態と意識に関する調査研究. 自動車安全運転センター.
- Johansson, G. & Rumar, K. (1971). Drivers' brake reaction time. *Human Factors*, 13, 23-27.
- 垣本由紀子 (1993). ドライバーの特性. 日本交通心理学会 (編) 人と車の心理学. 企業開発センター. pp. 46-79.
- Kaluger, N. A. & Smith, G. L. (1970). Driver eye-movement patterns under conditions of prolonged driving and sleep deprivation. HRR336, Highway Research Record.
- Kausler, D. H. & Kleim, D. M. (1978). Age differences in processing relevant versus irrelevant stimuli in multi-item recognition learning. *Journal of Gerontology*, 33, 87-93.
- 木戸孝二・末富隆雅 (1995) 追従走行時の操作負担の定量的評価. 自動車技術会学術講演会前刷集 951, 217-220.
- 木村賢治・岸浩司・杉浦精一 (1993). 自動車用ナビゲーションシステムの間工学的研究. 日本機械学会第2回交通物流部門大会講演論文集, 503-508.
- 北島洋樹・沼田仲穂・磯村有宏 (2006). カーナビ音声操作がシミュレータ運転に与える影響について. ケータイ・カーナビの利用性と人間工学 2004, 119-124.
- Klebensberg, D. (1982). Verkehrspsychologie. Springer-Verlag Berlin. (クレベルスベルク D. 蓮花一己・長山泰久 (監訳) (1990). 交通心理学. 企業開発センター)
- 小針弘之・宇野宏 (2009). ドライバの対象物検知特性把握のための影響要因調査. 自動車技術会論文集, 40, 585-590.
- 小林寛道・近藤孝晴 (1985). 高齢者の運動と体力. 現代の体育・スポーツ科学. 朝倉書店.
- 小林實 (1983). 高齢ドライバーの運転実態と事故特性. 国際交通安全学会誌, 9, 308-319.
- 古賀一男・斎田真也・本田仁視 (1994). 眼球運動. 大山正・今井省吾・和気典二 (編). 新編感覚知覚心理学ハンドブック. 誠信書房. pp. 842-885.
- 国土交通省自動車交通局 (2009). 平成 20 年度先進安全自動車 (ASV) 推進計画活動報告書. (財) 日本自動車研究所.
- Korteling, J. E. (1994). Effects of aging, skill modification, and demand alternation on multiple-task performance. *Human Factors*, 36, 27-43.
- 交通事故総合分析センター (1996). 人的要因に関する分析. 総合的調査に関する調査分析検討会交通事故例調査・分析報告書 (平成 7 年度報告書). (財) 交通事故総合分析センター. pp 56-62.
- 交通事故総合分析センター (2009). 交通統計平成 20 年版. (財) 交通事故総合分析センタ

- 一.
- Lachman, R., Lachman, J. L., & Butterfield, E. C. (1979). Cognitive psychology and information processing. Lawrence Erlbaum Associates. (ラックマン R. ・ラックマン J. L. ・バターフィールド E. C. 箱田裕司・鈴木光太郎 (共訳) (1988). 認知心理学と人間の情報処理. サイエンス社)
- MacDonald, L. B. & Ellis, N. C. (1975). Driver workload for various turn radii and speed. TRR530, Transportation Research Board, 18-30.
- MacFarland, R. A., Ross, A., Domey, R. G., Warren, A. B., & Ward, D. C. (1960). Dark adaptation as a function of age. *Journal of Gerontology*, 15, 149-154.
- 真島英信 (1990). 生理学. 文光堂.
- Mclean, J. R. & Hoffman, E. R. (1973). The effects of restricted preview on driver steering control and performance. *Human Factors*, 15, 421-431.
- Miura, T. (1986). Coping with situational demands; a study of eye movements and peripheral vision performance. In A. G. Gale(Ed.), *Vision in Vehicle*. Elsevier Science Publishers. pp. 205-216.
- Miura, T. (1992). Visual search in intersections; an underlying mechanism. *IATSS research*, 16, 42-49.
- 守和子 (1995). 高速道運転者の尿中エピネフリン値の変動. 2nd Japan-China Symposium on Traffic Safety and Health, 18.
- 森山剛・米川隆 (1995). 車の緊急回避性能について. *Toyota Technical review*, 45, 48-53.
- Mortimer, R. G. (1974). Foot brake pedal capability of drivers. *Ergonomics*, 17, 509-513.
- Moskowitz, H. A. & Shorma, S (1974). Effects of alcohol on peripheral vision as a function of attention. *Human Factors*, 16, 174-180.
- Mourant, R. R. & Rockwell, T. H. (1972). Strategies of visual search by novice and experienced drivers. *Human Factors*, 14, 325-335.
- Mournat, R. R. & Donohue, R. J. (1977). Acquisition of indirect vision information by novice, experienced, & mature drivers. *Journal of Safety Research*, 9, 39-46.
- Muir, B. M. (1994). Trust in automation Part I Theoretical issues in the study of trust and human interaction in automated systems. *Ergonomics*, 37, 1905-1922.
- 内閣府 (2009). 交通安全白書平成 21 年版. 内閣府.
- 長塚康弘 (1985). 事故傾性, 疲労および単調感と反応時間. 人間工学, 21, 71-79.
- 長山泰久 (1992). 高齢化社会とくるま. Talk in '92 資料. (社) 自動車技術会.
- 名切末晴・土居俊一・武井一剛・水野雅彦 (1994). ドライビングシミュレータによる緊急時の回避挙動の解析. 自動車技術会学術講演会前刷集 941, 17-20.
- 日本交通心理学会 (編) (1982). 安全運転の人間科学 3 ドライバ教育のすすめ. 企業開発センター.
- 日本自動車研究所 (1993). トラック・バス視界の研究. 平成 4 年度研究報告書. (財) 日本自動車研究所.

- 日本自動車工業会 (2004). 画像表示装置の取り扱いについて 改訂第 3.0 版. (社) 日本自動車工業会.
- 西山啓 (1979). 自動車運転の限度を中心とした老化についてのアプローチ. 広島大学学校教育学部紀要.
- 西山啓 (1982). 高齢ドライバにはどんな問題があるか. 安全運転の人間科学 2. 企業開発センター. pp. 238-261.
- 西山啓・阿相孫八 (1987). 高齢者の mobility に関する研究. 交通心理学研究, 3, 27-33.
- 西山啓・阿相孫八 (1988). 高齢者に対する交通安全教育の進め方. 安全運転の心理学 2. 企業開発センター. pp. 258-286.
- 西村千秋・小坂明生・常光和子・吉沢修治・南雲仁一 (1987). 皮膚電位水準による自動車運転時の覚醒水準評価の試み. 人間工学, 23, 103-110.
- 西田泰 (1998). 高齢者の運転特性に関する研究. 自動車技術会学術講演会前刷集 982, 163-166.
- 入野野宏 (2006). 映像に対する注意を測る — 事象関連電位を用いたプローブ刺激法の応用例 —. 生理心理学と精神生理学, 24, 5-18.
- Norman, D. A. & Bobrow, D. G. (1975). On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, 7, 44-64.
- 岡本宣久・堀口明伯・石田健二・畑秀二 (1995). 覚醒度低下軽減手法の開発. 自動車技術会学術講演会前刷集 951, 189-192.
- Ogden, G. D., Levine, J. M., & Eisner, E. J. (1979). Measurement of workload by secondary tasks. *Human Factors*, 21, 529-548.
- 小口泰平・澤田東一 (1987). 高齢ドライバの操舵制御特性. 自動車研究, Vol. 9, No. 11, p. 3-8.
- Olson, P. L. & Sivak, M. (1984). Glare from automobile rear-vision mirrors. *Human Factors*, 26, 269-282.
- Olson, P. L. & Sivak, M. (1986). Perception-response time to unexpected roadway hazards. *Human Factors*, 28, 91-96.
- Olson, P. L. (1987). Driver response time. In R. L. Henderson (Ed.), *Drivers performance data book*. DOT-HS-807-121, National Highway Traffic Safety Administration. pp. 2.0-2.120.
- Olson, P. L. (1988). Problems of nighttime visibility and glare for older driver. SAE881756.
- 大森正昭 (1982). 女性ドライバーはやはり危険なのか. 安全運転の人間科学 2. 企業開発センター. pp. 214-221.
- 大森正昭 (1983). 高齢者への交通安全教育. 国際交通安全学会誌. 9, 300-307.
- 大谷亮・宇野宏 (2006). 運転支援機能への信頼感がドライバ行動に及ぼす影響に関する基礎的検討. 自動車技術会論文集. 37(4), 15-20.
- 大谷亮・宇野宏・麻生勤・飯星明・丸中謙司 (2007). 機器操作不可の推定法としての二重課題法の検討. 自動車技術会学術講演会前刷集 No. 60-07, 1-6.

- 大山正 (1985). 反応時間研究の歴史と現状. 人間工学, 21, 57-64.
- Pauzie, A. & Marin-Lamellet, C. (1989). Analysis of aging drivers behaviors navigating with in-vehicle visual display systems. Proceedings of 1st Vehicle navigation & Information Systems Conference (VNIA'89).
- Poynter, D. (1988). The effects of aging on perception of visual display. SAE881754.
- Pulling, N. H., Wolf, E. S., Vaillancourt, D. R., & Dolliver, J. J. (1980). Heading glare resistance and drive age. *Human Factors*, 22, 103-112.
- Rabbitt, P. (1965). An age-decrement in the ability to ignore irrelevant information. *Journal of Gerontology*, 20, 233-238.
- Recarte, M. A. & Nunes, L. M. (2000). Effects of verbal and spatial-imagery tasks on eye fixations while driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6, 31-43.
- Recarte, M. A. & Nunes, L. M. (2003). Mental workload while driving: effects on visual search, discrimination, and decision making. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 9, 119-137.
- Robinson, G. H., Koth, B. W., & Ringenbach, J. P. (1976). Dynamics of eye and head during an element of visual search. *Ergonomics*, 19, 691-709.
- 斎田真也・苧坂直行・北原健二 (1994). 視野. 大山正・今井省吾・和気典二 (編). 新編 感覚知覚心理学ハンドブック. 誠信書房. pp. 918-945.
- Salthouse, T. A. & Somberg, B. L. (1982). Time-accuracy relationships in young and old adults. *Journal of Gerontology*, 37, 349-353.
- Salthouse, T. A., Rogan, J. D., & Prill, K. A. (1984). Division of attention; age differences on a visually presented memory task. *Memory & Cognition*, 12, 613-620.
- 佐々木政治 (2001). 自動制御装置に対するドライバの安心感に関する実験的検討. 自動車研究, 23, 39-42.
- 佐藤健治・平松金雄・宇野宏・相馬仁・若杉貴志・沖山清美 (1994). 助手席同乗を想定したシミュレータモーションの運動感覚. 自動車技術会学術講演会 941, 9-12.
- 佐藤方彦 (監修) (1992). 人間工学基準数値数式便覧. 技報堂出版.
- 澤田東一・小口泰平 (1987). 加齢による手・足の反応時間と手動制御. 人間工学, 23 (特別号), D-2-01.
- 澤田東一 (1988). 高齢者の操舵制御特性. 人間工学, 24 (特別号), 216-217.
- Schieber, F., Kline, D. W., Kline, T. J., & Fozard, J. L. (1992). The relationship between contrast sensitivity and the visual problems of older drivers. SAE920613.
- Schmidt, I. & Connolly, P. L. (1966). Visual consideration of man, the vehicle, the highway. SAE report SP-279.
- Schneider, W. & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing. *Psychological Review*, 84, 1-190.
- Sekuler, R. & Ball, K. (1986). Visual localization; age and practice. *Journal of Optical Society of America*, A3, 864-867.



- Senders, J. W. (1967). The attentional demand of automobile driving. *Highway Research Record No. 195*, 15-32.
- Sens, M. J. (1989). Perception/reaction time values for accident reconstruction. SAE890732.
- Shinar, D. (1985). *Psychology on the road*. John Wiley & Sons. (シャイナー D. 野口薫・山下昇 (共訳) (1987). *交通心理学入門*. サイエンス社)
- Sivak, M., Olson, P., & Pastalan, L. A. (1981). Effect of driver's age on nighttime legibility of highway signs. *Human Factors*, 23, 59-64.
- Snyder, H. L. (1976). Braking movement time and accelerator-brake separation. *Human Factors*, 18, 201-204.
- 相馬仁・平松金雄・佐藤健治 (1995). 研究用ドライビング・シミュレータの開発. *自動車研究*, 17, 34-37.
- Spijkers, W. (1992). Distribution of eye-fixations during driving; effects of road characteristics and driving speed as assessed by two eye-movements registration devices. *IATSS Research*, 16, 27-34.
- Staplin, L. (1995a). Simulator and field measurements of driver age differences in left turn gap judgment. Transportation Research Board 74th Annual Meeting, Paper No.950276.
- Staplin, L. (1995b). Driver age differences in measures of alternative rearview mirror performance. Transportation Research Board 74th Annual Meeting, Paper No.CF007.
- Stein, A. C., Allen, R. W., & Haynes, J. T. (1990). The development of a low-cost portable system for the detection of truck driver fatigue. 34th Annual Meeting of Association for the Advancement of Automotive Medicine. 75-89.
- 菅原淳司・古市哲也・原徹・神谷公一 (1995). 長時間高速道路走行における運転操作一疲労間申告と運転操作変動一. 2nd Japan-China Symposium on Traffic Safety and Health, 21.
- 鈴木桂輔・丸茂喜高 (2002). ドライバのシステム依存を低減するための衝突防止支援システムの制御開始タイミングに関する研究. 第11回交通物流部門大会講演集.
- 多鹿秀継・川口潤・池上知子・山裕嗣 (1992). *情報処理の心理学*. サイエンス社.
- 土屋俊二・原田宏・加瀬川憲道 (1977). ドライバの操舵特性と事故回避性能について: レーンチェンジによる事故回避の場合. *自動車技術会論文集*, 13, 54-62.
- 筒井悟・米川隆 (1995). 緊急時のドライバ特性. *自動車技術会学術講演会前刷集 956*, 5-8.
- 宇野宏・平松金雄・相馬仁 (1991). 不測状況における障害物回避時の心拍変化. *自動車技術会論文集*, 24(1), 130-134.
- 宇野宏・平松金雄 (1995). 複合作業下における高齢ドライバの基礎特性. *自動車技術会論文集*, 26(2), 61-66.
- 宇野宏・平松金雄・佐藤健治 (1996). シミュレータにおける主要運動感覚の閾値に関する

- 研究. 自動車技術会論文集, 27(3), 125-130.
- 宇野宏・平松金雄・伊藤肇・渥美文治・赤松幹之 (1998). ITS 表示の視聴覚特性が重大性・緊急性評価に及ぼす効果. 自動車研究, 20, 31-34.
- 宇野宏・平松金雄 (1998). 高齢ドライバに関する海外調査—人口動態と安全運転教育—. 自動車研究, 13, 98-101.
- 宇野宏・平松金雄・伊藤肇・渥美文治・赤松幹之 (2000). 視聴覚表示の物理特性を利用した主観的印象の伝達に関する研究, 自動車技術会論文集. 31(4), 73-78.
- 宇野宏 (2001). 運転状況から生じる情報処理負荷の副次課題法による推定. 自動車研究, 23, 43-46.
- 宇野宏・新谷研二・橋本健志郎 (2002). ドライバ向け情報提供の統合的管理方法に関する考察. 自動車技術会論文集, 33(1), 89-94.
- 宇野宏・飯星明 (2006). 車内情報提供によるドライバの情報処理負荷に関する検討. 自動車技術会論文集, 37(4), 27-32.
- 宇野宏 (2007). ドライバの運転特性. 自動車技術会 GIA ダイアログ 2007 講演集, 59-65.
- 運輸省自動車交通局先進安全自動車推進検討会事務局 (監修) (1999). ITS の自動車技術の現状と将来. 光文社.
- 内田信行・元木正典 (1998). 計器類の視認性規定要因についての検討. 自動車研究, 20, 27-30.
- 内田信行・平尾保・小林隆 (2001). 交差点での減速場面における視線移動パターン. 自動車研究, 23, 291-295.
- 内田信行・藤田和男・片山硬 (2003). 見通しの良い交差点における出会い頭事故要因の検討. 交通心理学研究, 16, 11-15.
- 内田信行・福山邦夫・浅野陽一・藤田和男・片山硬 (2004). 見通しの良い交差点における出会い頭事故対策効果に関する実証研究. 自動車研究, 26, 9-12.
- von Wolffelaar, P. C. (1991). Elder drivers' traffic merging decisions. In A. G. Gale(Ed.), *Vision in Vehicle 3*. Elsevier Science Publishers. pp. 247-255.
- 若杉貴志・山田喜一 (2000). 前方車両衝突警報に対するドライバの反応時間. 自動車技術会学術講演会前刷集 No. 60-00, 9-12.
- 若杉貴志 (2001). ドライバ特性から見た SOWS の警報発生タイミングに関する検討. 自動車技術会学術講演会前刷集 No. 93-01, 23-28.
- Wickens, C. D. (1991) . Processing resources and attention. In D. Demos(Ed.), *Multiple task performance*. Taylor & Francis, pp. 3-34.
- Wickens, C. D. (2002) . Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3, 159-177.
- Wierwille, W. W. & Gutman, J. C. (1978). Comparison of primary and secondary task measurement as a function of simulated vehicle dynamics and driving conditions. *Human Factors*, 20, 233-244.
- Wierwille, W. W. & Connor, S. A. (1983) . Evaluation of 20 workload measures using a psychomotor task in a moving-base aircraft simulator. *Human Factors*, 25, 1-16.

- Wierwille, W. W., Hulse, M. C., Fischer, T. J., & Dingus, T. A. (1988). Strategic use of visual resources by the driver while navigating with an in-car navigation display systems. SAE885180.
- Wierwille, W. W. & Eggemeier, F. T. (1993) . Recommendations for mental workload measurement in a test and evaluation environment. *Human Factors*, 35,263-281.
- Williams, L. J. (1982). Cognitive load and functional field of view. *Human Factors*, 24, 683-692.
- Williams, L. J. (1985). Tunnel vision induced by a foveal load manipulation. *Human Factors*, 27, 221-227.
- Wolf, E. (1967). Studies on the shrinkage of the visual field with age. Highway Research Record No. 164, 1-7.
- 矢島一嘉 (1986). ドライバと年齢・性. 交通と人間. 日本評論社.
- Yanik, A. J. (1988). Vehicle design considerations for older drivers. SAE885090.
- Yanik, A. J. (1990). New technology considerations for mature drivers. SAE900192.
- 全国社会福祉協議会 (2006). 図説高齢者白書 2006 年版, 全国社会福祉協議会.
- Ziedman, K. (1987) . Information processing. In R. L. Henderson(Ed.), *Drivers performance data book*. DOT-HS-807-121, National Highway Traffic Safety Administration. pp. 5.0-5.78.
- Zwahlen, H. T. (1985). Driver eye scanning; the information acquisition process and sophisticated in-vehicle information displays and controls. Proceedings of the 9th International Ergonomics Association, 508-510.
- Zwahlen, H. T. & Debold, D. P. (1986). Safety aspects of sophisticated in-vehicle information display and controls. Proceedings of the human factors society 30th annual meeting, 256-260.
- Zwahlen, H. T (1988). Safety aspects of car touch panel controls in automobile. In A. G. Gale(Ed.), *Vision in vehicle 2*. Elsevier Science Publishers. pp. 335-344.