

Using fuzzy signal detection theory to determine why experienced and trained drivers respond faster than novices in a hazard perception test.

Thomas S.A. Wallis, Mark S. Horswill

1. イントロダクション

➤ 運転中のハザード知覚

- ◇ 運転手のハザード知覚は事故の発生と相関があることが複数の研究により確認された (Drummond, 2000; Hull & Christie, 1992; McKenna & Horswill, 1999; Pelz & Krupat, 1974; Quimby et al., 1986; Transport & Road Research Laboratory, 1979)。
- ◇ 人のハザード知覚能力が主に様々な交通状況のドライバー視点の動画を参加者に提示し、潜在的な交通危険を検出したときに、参加者がハンドルを動かすか (Pelz & Krupat, 1974; Watts & Quimby, 1979)、または反応ボタンを押すことによって測定する。一般的には、危険に対する平均反応時間が使用される。
- ◇ 熟達者ドライバーは、初心者ドライバーよりも、危険に対する反応が速いことが分かっている (McKenna & Crick, 1991; Quimby & Watts, 1981; Sexton, 2000)。これは、熟達者は初心者よりも衝突リスクが大幅に低いという知見と一致している (Maycock & Lockwood, 1993)。
 - しかし、初心者と熟達者の違いはすべてのハザード知覚テストでは認められていない (Chapman & Underwood, 1998; Crundall et al., 2003; Sagberg & Bjornskau, 2006)。
- ◇ ハザード知覚能力はトレーニングにより、高まることが判明している。
 - ハザード知覚トレーニングを含む上級運転コースに参加した警察官ドライバーと一般人ドライバーは、統制群よりもハザード知覚が有意に速かった (McKenn & Crick, 1991)。
 - ハザード知覚トレーニングを受けたドライバーは、道路上と運転動画の両方では、受けてない統制群よりもハザード知覚が速いことが分かっている (McGowan & Banbury, 2004; Mckenna & Crick, 1994; McKenna et al., 2006; Mills et al., 1998)。

- ◇ つまり、ハザード知覚能力は衝突リスクを予測し、運転経験とともに高まり、トレーニングの影響を受けやすいため、交通安全にとって重要な意味を持つ可能性がある。
- イギリスやオーストラリアの一部の州ではハザード知覚テストは運転免許試験の必須項目となっている。
- ◇ しかし、ハザード知覚能力の差はどうやって生じたのかについては、ほとんど知られていない。
- なぜ熟達者は初心者よりもハザード知覚能力が高いのか？
- ◇ ハザード知覚テストのスコアは通常反応時間に基づいているが、このテストは検出テストであり、したがって信号検出理論に関連する。
- ◇ ハザード知覚能力の個人差は、感度（危険な状況とそうでない状況を識別するドライバーの能力）と反応バイアス（ドライバーが反応するハザード知覚の閾値）の両方を反映していると考えられる。図 1 には、危険な状況とそうでない状況に対する初心者と熟達者ドライバーの反応パターンを、（a）感度モデル（The sensitivity model）と（b）反応バイアスモデル（The response bias model）で示している。

	Novice → Experienced					
Low potential for traffic conflict	N					N
	R					N
	N					N
	R					R
High potential for traffic conflict	N					R
	R					R
Low potential for traffic conflict	N	N	N	N	N	R
	N	N	N	N	R	R
	N	N	N	R	R	R
	N	N	R	R	R	R
	N	R	R	R	R	R
	R	R	R	R	R	R
High potential for traffic conflict						

Fig. 1. Hypothetical response data for (a) pure sensitivity account and (b) pure response bias account. "N" represents no response, "R" represents a response. Columns are participants, rows are traffic scenes.

- 感度モデル

- ◇ このモデルでは、ハザード知覚能力の個人差は、初心者ドライバーは熟達者ドライバーに比べて、より危険な状況の予兆を、より危険でない状況の予兆と区別する能力が低いことに起因している。
 - ◇ 感度モデルでは、初心者は予兆を混同しやすく、その場面で交通事故が発生する可能性を誤認してしまうことになる。
 - ◇ もしこのモデルが正しければ、初心者と熟達者の間で信号検出感度の指標（d' など）に違いが生じ、熟達者の方が危険の度合いをより正確に判断できるようになると予想される。
- 反応バイアスモデル
- ◇ 反応バイアスモデルでは、初心者と熟達者の違いは、初心者が危険を誤って分類した結果ではないとされ、初心者は提示された最も危険な状況にのみ反応し、熟達者はより危険性の低い場面を含むより幅広い状況に反応するのである。
 - ◇ このような結果は、2 つの異なる根本的なメカニズムを反映していると考えられる：
 - 初心者が危険でない場面で反応が鈍いのは、予測手がかりがより明白になったときに初めて危険に気づくからかもしれない。
 - 初心者は熟達者と同じように道路状況を正確に素早く解釈することができるが、単に危険な状況であるとラベル付けることに抵抗がある。つまり、ハザード知覚能力の差は、予測能力の差というよりも、主観的な交通事故の可能性を「危険」とみなす定義の差に起因する。
 - 危険な状況の危険度が時間の経過とともに上昇するのが一般的であれば、熟達者は初心者よりも早く危険とみなされる閾値に達し、反応時間の差が生じることになる。
- 2 つの提案モデルを対比するために、伝統的な信号検出理論を使用することの問題点
- ◇ 一般的な信号検出理論では、HIT（ハザードを正しく知覚した場合）と FALSE ALARM（ハザードでないものを誤って認識した場合）によって計算する。しかし、ハザード知覚タスクでは、概念的に不適切であり、現実的にも困難である理由がある：
 - ある場面が「危険である」か「危険でない」かを客観的に測定する方法はない。したがって、刺激を「信号」と「ノイズ」の 2 つのカテゴリーに分

類する従来の信号検出理論は、2つの状態を客観的に測定できる評価を欠くハザード知覚に適用するには、概念的に不適切である。

- ファジィ信号検出理論 (Fuzzy signal detection theory)
 - ✧ 先の問題を回避する一つの方法として、ファジィ信号検出理論 (Parasuraman et al, 2000; Masalonis and Parasuraman, 2003) を用いることが考えられる。
 - ✧ ファジー信号検出理論は、刺激と反応を表すために連続的変数を使用することにより、連続次元を従来の信号検出理論の離散レベルに変換することによって生じる情報の損失や概念上の問題を回避することができる。
- 本実験はファジー信号検出理論の手法を用いて、図 1 に示した 2 つのパターンのうち、どちらがハザード知覚能力を支持しているかを検証する。また、ハザード知覚トレーニングを受けていない初心者群と、熟達者群、トレーニングを受けた初心者群を比較する。

2. メソッド

- 参加者
 - ✧ 筆者の知人、大学 1 年生、雇用サービスを使って募集した合計 69 人（女性 35 人）。
 - ✧ 参加者は、オーストラリアの運転免許証を所持していることが条件とされた。初心者とは、仮免許または運転歴 4 年以下、熟達者は運転歴 10 年以上で、年間平均 8000km 以上運転する者と定義した。
 - ✧ 熟達者ドライバー群は、トレーニングを受けなかった。初心者ドライバー群は、受けた群と受けていない群にランダムに割り当てられた。この割り当てにより、トレーニングを受けた初心者 ($n = 25$)、受けていない初心者 ($n = 27$)、熟達者 ($n = 17$) の 3 つの独立した群になった。

Table 1
Group demographics and driving information (S.D. in parentheses)

	Trained novices	Untrained novices	Experienced
Gender	12 F, 13 M	13 F, 14 M	10 F, 7 M
Age (years)	18.76 (1.30)	19.39 (1.20)	47.24 (9.85)
km/year	10,889 (7360)	8712 (7487)	25,806 (17,365)
Years driving	1.68 (1.12)	2.13 (1.16)	29.29 (9.74)
Accidents past 3 years (average)	0.72 (0.89)	0.81 (1.18)	0.47 (0.72)
Pure RT (ms)	251 (36)	250 (32)	256 (26)
Advanced training (yes n)	3	4	2
Prior haz perc training (yes n)	3	3	1

- 実験刺激と装置
 - ✧ 運転専門家による交通シーンの評価

- 前章で述べたように、交通シーンにおける危険のレベルを記述する客観的に定量化できる方法がない。より主観的な領域では、その分野の権威の評価が適切だと考えられるので、本研究では、一般人運転教官 2 名と警察運転教官 1 名の計 3 名を採用した。
 - 本研究は、ドライバーの視点から撮影した本物の、演出されていない危険な交通シーンを、筆者が確認し、ブラックアウト以降の交通事故の可能性が大、中、小という判断に基づいて、ブラックアウトシーンを作成した。その結果、103 個のシーンを作成した。
 - 教官はカメラカーが回避行動をとらない場合、ブラックアウト以降 5 秒以内に発生する交通事故の可能性を推定するよう指示した。回答は 20 点満点（「可能性がない」から「避けられない」まで）で行われた。
 - すべてのシーンに対する評価に対して標準化した。専門家間の標準偏差が最も小さいシーンを選び、20 シーンのハザード知覚テストシーケンス（ブラックアウトを取り除いたもの）と 23 シーンのハザード評価シーケンス（ブラックアウトを残したもの）を作成した。
- ◇ ハザード知覚テスト
- ハザード知覚テストビデオは、68cm のテレビで 110cm の距離から見た 20 の交通シーンで構成されている。参加者は、自分が車を運転していることを想像し、潜在的な交通衝突の発生が予想される場合には、できるだけ早く反応ボタンを押すよう指示された。
 - 選択された 27 のイベント（いくつかのシーンでは複数のイベントがある）のそれぞれに対する反応時間を記録した。
- ◇ ハザード評価タスク
- ハザード評価タスクビデオは、23 の交通シーンで構成され、特定の箇所でブラックアウトされた。参加者は、専門家が使用したのと同じ 20 点満点の評価尺度を用いて、ブラックアウト後の 5 秒間に発生する交通事故の可能性を評価するよう指示された。
- ◇ 単純反応時間テスト

- 参加者の単純反応時間は、水色の背景に紺色のドットが 1 秒間表示されるディスプレイを 16 試行分用いて評価された。参加者は、ドットが画面に表示されたときに、できるだけ早く反応ボタンを押すことが求められた。

◇ ハザード知覚トレーニング

- ハザード知覚トレーニングビデオは、McKenna et al. (2006)の手法に基づいて Raikos (2003)が開発したもので、17 分間の危険な交通シーンとプロの運転指導員による指導解説からなる。

◇ 手続き

- アンケートを用いて、人口統計学的情報と運転に関連する情報を収集した。
- トレーニングなし条件に割り当てられた参加者（熟達者を含む）には、コントロールビデオを見せ、自分がカメラ付き車を運転していることを想像するよう指示した。
- トレーニングあり条件に割り当てられた参加者は、17 分間のトレーニングビデオを見て、潜在的な交通危険を予測するトレーニングを受けることが指示された。参加者は、自分がカメラ付き車両を運転していることを想像し、解説を聞き、与えられた状況において何が起こることが合理的に予想されるかを自問し、潜在的な危険の原因を考えるように指示された。
- ビデオに続いて、参加者は単純反応時間テスト、ハザード知覚テスト、そして最後にハザード評価タスクに参加させた。

3. 実験結果

- 反応時間の測定は、無反応のイベントがあったため、全イベントに基づくことはできなかった。各グループの 90%以上の参加者が反応した場合のみ、反応時間の算出に含まれた。この結果、15 イベントが分析から除外され、12 イベントが残った。

◇ これらの 12 イベントの平均反応時間を、ハザード知覚テストにおける反応時間のパフォーマンスの指標として使用した。

- ハザード知覚テストの信号検出の測定は、専門家評価者にハザードを見せたときに、ブラックアウトしたところに基づいて、反応時間に YES/NO の 2 値を割り当て、これを専門家の主観的評価と比較することによって行われた。専門家に示されたブラックアウト点より前に反応した場合を「YES」、後に反応した場合または全く反応しなかった場合を「NO」と分類した。

- ハザード評価課題における信号検出の測定は、参加者の評価を 0 から 1 の範囲に変換したものを使用し、0 は NO（危険の可能性がない）、1 は YES（危険の可能性はある）を表す。信号検出の測定には、Parasuraman et al. (2000) に由来する公式を使用した。
- ハザード知覚テストにおける反応時間の違いと総回答数
 - ◇ 熟達者は、トレーニングを受けていない初心者に比べてハザード知覚テストの平均反応時間が有意に短く（ $t(42) = 3.88, p < .001$ ）、トレーニングを受けている初心者は、トレーニングを受けていない初心者に比べて平均反応時間が短い（ $t(50) = 3.08, p < .01$ ）ことが分かった。

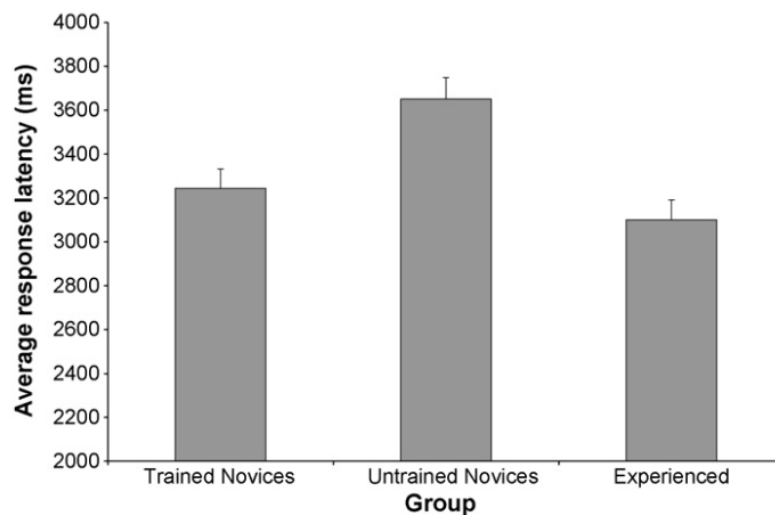


Fig. 2. Mean response latency (+S.E.M.) in the hazard perception test (12 events) by group.

- ◇ トレーニングを受けた初心者（ $t(33.04) = 2.83, p < .01$ ）および熟達者（ $t(18.03) = 4.75, p < .001$ ）は、トレーニング受けてない初心者よりもハザード知覚テスト中の反応回数が多かった。

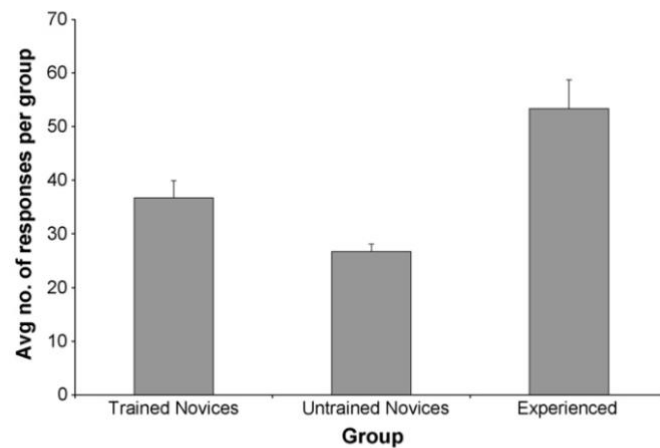


Fig. 3. Average number of responses (+S.E.M.) over the hazard perception test by group.

➤ ハザード評価タスク

- ✧ ハザード評価タスクにおける 23 シーン全体の平均評価は、ハザード知覚テストの平均反応時間と有意な相関はなかった ($r = -.07$, $n = 69$, $p = .58$)。3 つのグループは、ハザード評価に有意な差はなかった (trained-untrained $t(50) = 0.18$, ns, experienced-untrained $t(42) = 1.14$, ns, trained-experienced $t(40) = 0.88$, ns)。

➤ ファジィ信号検出解析

- ✧ ファジィ信号検出解析は、ハザード知覚テストとハザード評価タスクについて、それぞれ二値と連続の回答を用いて行われた。
- ✧ 感度は d' で指標化し、値が大きいほど信号とノイズの分離が大きいことを示す。反応バイアスは c で測定し、正の値は保守的なバイアス、負の値はリベラルなバイアスを示す (Stanislaw and Todorov, 1999)。
- ✧ 熟達者は、ハザード知覚テスト ($t(42) = 1.27$, ns)、ハザード評価タスクでは ($t(42) = 1.16$, ns)、トレーニングされない初心者より高い感度を示さなかった。同様に、トレーニングされた初心者とトレーニングされない初心者は、いずれの課題においても感度に差はなかった ($t(50) = 1.42$, ns と $t(50) = 0.11$, ns)。

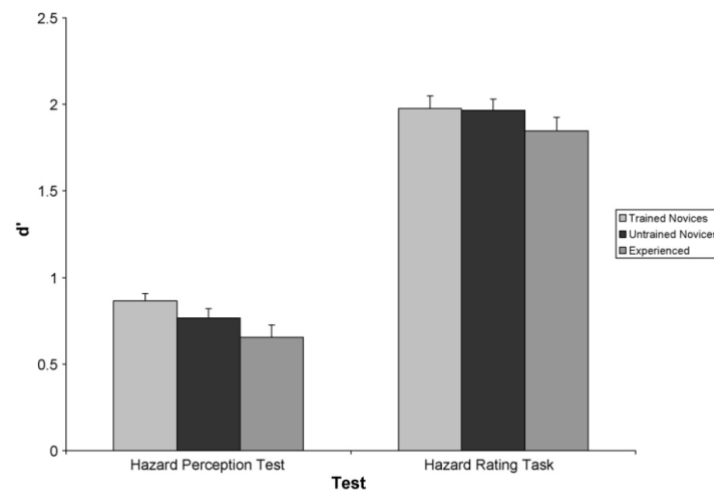


Fig. 4. Sensitivity measures (+S.E.M.) for the hazard perception test and the hazard rating task by group.

- ✧ 反応バイアス測定は、トレーニングを受けていない初心者は、トレーニングを受けている初心者（ $t(50) = 3.14, p < .01$ ）、および熟達者（ $t(42) = 3.83, p < .001$ ）のいずれよりも、ハザード知覚テストにおいて有意により保守的であった。しかし、これらの差はハザード評価課題には引き続かれなかった（ $t(50) = 0.22, ns, t(42) = 1.18, ns$ ）。
- ✧ ハザード知覚テストでの反応バイアスと反応時間の関係については、トレーニングされた初心者（ $r = .85, n = 25, p < .001$ ）、トレーニングされていない初心者（ $r = .67, n = 27, p < .001$ ）、熟達者（ $r = .80, n = 17, p < .001$ ）3群全部、よりリベラルな反応ほど短い反応時間に関連し、有意な相関があった。

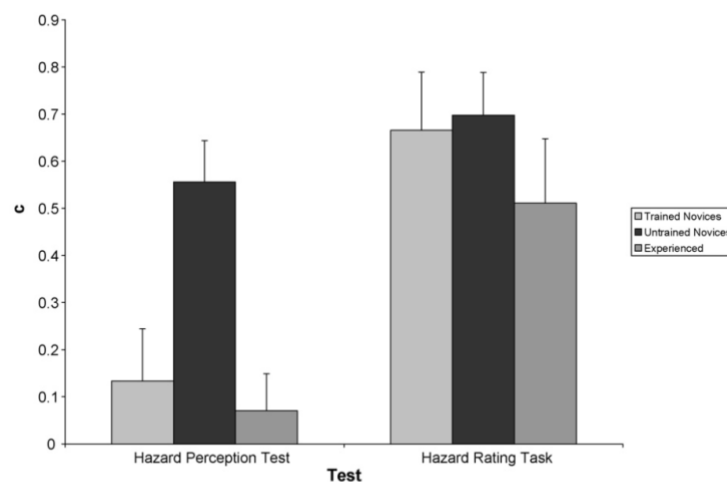


Fig. 5. Response bias measures (+S.E.M.) for the hazard perception test and the hazard rating task by group.

4. ディスカッション

- 本研究では、2つのモデルのうち、どちらがハザード知覚テストにおける熟達者、トレーニングを受けた初心者、受けていない初心者の間の反応時間の違いをもたらすかを明らかにすることを目的とした。
- 本研究の結果により、反応バイアスモデルが支持された。トレーニングされた初心者、熟達者は、トレーニングされていない初心者に比べて、よりリベラルに、より速く反応した。
- 熟達者と初心者、トレーニングされた人とトレーニングされない人では、危険の可能性のあるシーンを識別する能力に差がなかったことは、グループ評価の差がなかったことと一致する。各グループは、テスト外の評価では、シーンに存在する危険性のレベルについて合意したが、テスト内の反応はこれに対応していなかった。したがって、初心者は、熟達者と同様に、予測的な手がかりに基づいて交通事故の可能性を判断する能力がある。しかし、初心者は、危険度の低い場面では、反応しにくく、反応速度も遅い。この結果は、初心者と熟達者の行動の違い、特にリスクテイキング行動の分野におけるより広い理論的枠組みの中で考慮することができる。
- McKenna ら (2006) は、初心者のトレーニングによるハザード知覚能力の向上が、リスクテイキング行動を減少させることを実証した。このことは、各グループが採用した課題反応バイアスの差は、トレーニングを受けていない初心者がより危険の少ないシーンに反応しようとする意欲が低いことを反映している可能性を示唆している。
- 解説ありのトレーニングは、解説なしの対照ビデオよりもパフォーマンスの向上に効果的であり、ハザード知覚トレーニングに関する先行研究 (McGowan and Banbury, 2004; McKenna and Crick, 1991, 1994; McKenna et al, 2006; Mills et al, 1998) と同様である。初心者に潜在的な危険を示す環境的な手がかりを予測させるトレーニングを行うと、ハザード知覚テストの成績が向上したが、これは明らかに熟達者が採用しているのと同じ反応バイアスモデルによるものであった。ハザード知覚能力は衝突リスクと関連していることから、これらの知見は、初心者のトレ

ーニング方法は、予測的な手がかりを認識し、予測的な反応を促すことに焦点を当てるべきであることを示唆している。