

## 作業検査式イグニション・インターロック装置開発に向けた標準的な検査性能評価法の提唱<sup>1),2)</sup>

松村 健太<sup>3)</sup> (国立精神・神経医療研究センター精神保健研究所成人精神保健研究部)

山越 健弘 (金沢大学大学院自然科学研究科)

Proposing a standard method of evaluation capabilities with performance-based vehicle ignition-interlock devices

Kenta MATSUMURA (*Department of Adult Mental Health, National Institute of Mental Health, National Center of Neurology and Psychiatry*)

Takehiro YAMAKOSHI (*Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University*)

Performance-based vehicle ignition-interlock devices (IID) have the potential to directly detect deficits in cognitive ability, a key factor in driving safety, and are expected to play a pivotal role in traffic safety. However, as the absence of a standard method for evaluating performance tests is an obstacle to their further development, this paper proposes a new evaluation method. Regression analysis is used to calculate a border point (BP), where an upper 95% confidential interval (CI) for performance would not exceed the mean performance at a blood alcohol concentration (BAC) of 0 mg/ml, and a critical point (CP), where an upper 95% CI for performance would not exceed the lower 95% CI for performance at 0 mg/ml BAC. Compared to conventional analyses, it is found that the new method exhibits superior features, such as direct comparability not only across tests but across experiments and accurate capability estimations from degraded data set. Thus, we argue that the new method of evaluating performance tests in terms of BP and CP points is suitable for use as a standard in future IID studies.

Key words: traffic safety, ignition-interlock system, alcohol-induced impairment, regression analysis

作業検査式イグニション・インターロック装置 (IID) は、非特異的な認知能力の低下を検知するため、これからの交通安全に大きく貢献すると期待される。しかしながら、肝心の作業検査自体の性能を評価するための適切な方法が存在しなかった。そこでわれわれは、独立変数に血中アルコール濃度 (blood alcohol concentration: 以下BAC), 従属変数に作業成績の低下を取る回帰分析に基づき、アルコール非摂取時の平均作業成績を超えられなくなる BAC濃度である境界点 (BP点), アルコール非摂取時の95%下限作業成績を超えられなくなる BAC濃度である臨界点 (CP) を算出する新たな作業検査性能評価法を提唱した。本分析法をこれまでの典型的な分析方法と比較した結果, BP, CPを求める方法には, 異なる実験や検査間における検知能力の直接的な比較が可能となる, 少ないデータからでも他の方法と比較して正確に推定が可能, BAC濃度を正確に調整する必要がない, という優れた特徴があることが示された。以上より本法は, IID研究における作業検査性能評価の標準法としてふさわしい方法であると結論づけられた。

キーワード: 交通安全, イグニション・インターロック装置, アルコールによる認知能力低下, 回帰分析

### 背景

飲酒運転は大変危険度の高い行為である (警察庁交通局, 2010; Ramstedt, 2008)。そこで, 酔っている場合にエンジンをかけることができなくする装置, 呼気アルコール検出式 ignition-interlock device (IID) の導入がスウェーデンを中心とする先進諸国で進んでいる (Volvo Trucks Corporate Communication, 2008)。しかし運転に不可欠な認知・判断・操作能力の全般的低下をもたらす原因は, アルコール以外にも, 麻薬などの薬物, 疲労, 睡眠不足, 身体的不調, 高齢化など複数存在する

- 1) 英文校閲に関して Oxford Bio-Horizon, Ltd., UK および Harbin Institute of Technology, China の Peter Rolfe 教授から多大な助力を得た。感謝してここに記す。
- 2) 本研究の一部は, 文部科学省科学研究費補助金・挑戦的萌芽研究 (課題番号: 23650349) の助成を受けて行われた。
- 3) 現所属: 金沢大学理工研究域機械工学系 (School of Mechanical Engineering, College of Science and Engineering, Kanazawa University)

(Mitchell, 1985; Moskowitz, Burns, & Williams, 1985). そのため、アルコールを含めた不特定の要因に対して包括的に対応できる IID, すなわち、作業検査式 IID の必要性が増している (Matsumura, Yamakoshi, & Ida, 2009; Modell & Mountz, 1990).

作業検査式の IID とは、その名のように、検出部に認知能力を測定する検査を用いる IID のことである。これまでの研究からは、注意力 (Gustafson, 1986; Hindmarch, Kerr, & Sherwood, 1991; Koelega, 1995), 眼球運動 (King & Byars, 2004; Stapleton, Guthrie, & Linnoila, 1986), 空間処理能力 (Matthews, Best, White, Vandergriff, & Simson, 1996; Weissenborn & Duka, 2003), 精神運動 (知覚運動協応) 能力 (Brumback, Cao, & King, 2007; Fillmore, 2003; Hindmarch et al., 1991; King & Byars, 2004), 意志決定能力 (George, Rogers, & Duka, 2005) がアルコールによって低下することが知られているため、少なくともこれらの検査を IID の検出部として用いることが可能である。近年この IID にとって有利なのは、スマートフォンをはじめとする小型電子機器の急速な発展によって、作業検査の車への搭載や構築が技術的に容易になっている点である。例えば、Matsumura et al. (2009) の基礎研究からは、加速度測定機能付き携帯電話上に構築された簡易的な作業検査によって測定された精神運動能力が、アルコールによって有意に低下することが明らかとなった。このことは、専用の大型装置 (例えば, Allen, Stein, & Jex, 1984) を用いなくても IID を構築できる可能性を示唆している。ただし、この実験結果は車への搭載へ向けた最初の取り組みに過ぎないため、例えば、より感度の高い課題の探求、長期にわたる作業検査への慣れの影響の解明など、まだまだ解決すべき問題は山積みである。

しかし、こうした問題を解決していくうえで難関なのは、理想的な実験計画を設定しにくいアルコール関連の研究において、限定されたデータからでも作業検査の性能を適切に評価できる指標が存在しないことである。例えば、ここで、理想的でないデータの典型例として、血中アルコール濃度 (blood alcohol concentration : 以下 BAC とする) を 0 mg/ml, 0.92 mg/ml に設定した際の作業成績のデータを考えてみる。アルコール分解に要する時間の長さ、複数回採血時のリスクや参加者の負担を考えると、完全なランダム化計画では、3水準以上の条件設定は難しいのである。一番単純な指標化の方法は、これに *t* 検定あるいは分散分析を適用し、0 mg/ml BAC と比較して 0.92 mg/ml で成績が有意に下がっている場合、0.92 mg/ml を検査の性能として決定するというものである。しかし、この方法では、最初に設定された 0.92 mg/ml 以外の値を得ることができない。そのうえ、5%ギリギリで有意であった検査と、ほぼ 0% で有意で

あったものが、同じく 0.92 mg/ml として評価されることになる。また、再現実験を行おうにも、BAC は個人ごとに存在するアルコール吸収・分解能力から大きな影響を受けるため、これを正確に操作すること自体が事実上不可能という問題もある。

それでは、今度は、現在の道路交通法の基準である 0.3 mg/ml 以上を飲酒状態と定義し、感度、特異度から算出される受信者動作特性曲線 (receiver operating characteristic curve : 以下 ROC 曲線) の曲線下面積 (area under the curve : 以下 AUC) を求めてみる。これも一般的な方法である。しかし、0 mg/ml, 0.92 mg/ml というデータセットでは、飲酒状態を 0.3 mg/ml と定義しようが 0.5 mg/ml と定義しようが同じ AUC 値になる。しかも、仮に「基のデータセットが 0 mg/ml と 0.4 mg/ml, ただし、0.4 mg/ml は 0 mg/ml と比べてわずかに低下」、から得られたものであれば、このデータセットから得られる AUC のほうが、0 mg/ml と 0.92 mg/ml, ただし、0.92 mg/ml は 0 mg/ml と比べて大幅に低下、から得られる値より、検査が同一であるにもかかわらず値が低くなると予想される。これらは、連続変数を名義尺度に落とし込んでいることの弊害である。BAC の正確な操作が事実上不可能という既述の問題を考え合わせると、実験時の BAC の設定状況いかによって値が変わる AUC 面積を指標にするのは、最終的な性能評価段階ではともかくとして、研究開発段階の指標として適切でないと考えられる。

それでは、さらに、BAC と作業能力低下の相関係数を指標とする方法について考えてみる。ここで、「0 mg/ml, 0.92 mg/ml というデータセット、ただし、0.92 mg/ml は 0 mg/ml から比べて 20% 成績が低下」、から算出した相関係数が .9 であったとしよう。すると、「このデータセットの BAC のみを 2 で割って、0 mg/ml, 0.46 mg/ml としたデータセット、すなわち 0.46 mg/ml は 0 mg/ml から比べて 20% 成績が低下」、から算出した相関係数も同じく .9 になる。前者は 0.46 mg/ml で 10% しか成績が低下しない一方で、後者は 0.46 mg/ml で 20% も成績が低下しているにもかかわらず、両者は同じ相関係数となるのである。したがって、相関係数は指標として不適切であることがわかる。なお、回帰直線の傾きの違いを求めれば、上記の場合に限っては問題の解決になるが、実際のデータでは、傾きは大きいものの相関係数が低い場合、あるいは、その逆の場合が生じるため、傾きと相関係数のどちらを判断材料にするのか、あるいは、両者にどういった重み付けをするのか、という厄介な問題が浮上してきてしまう。

**本研究で提案する作業検査性能の評価法** そこで本研究では、こうした性能評価にまつわる難点を一挙に解決する新たな指標を提唱する。この方法は、ある作業検査

で測定される作業成績とBACをともに連続変量として扱う回帰分析に基づくものであり、ここでは、その検査の特性は二つのパラメーター、境界点 (border point, 以下BP)と臨界点 (critical point, 以下CP) に集約されて評価されることになる。

Figure 1(a) は、BACをx軸、作業成績をy軸に取った散布図である。y軸は値が大きいかほど認知能力が低下する方向に取られている。図中にはxからyへの回帰直線と、nを25に標準化して算出した95%信頼区間が表されており(図のn数は23)、BAC=0と回帰直線との交点はアルコール非摂取時の作業成績の平均値、上側の95%信頼区間曲線との交点はアルコール非摂取時の作業成績の95%下限値となる。ここで、BAC=0と回帰直線との交点に垂線を立て、その垂線と下側の95%信頼区間曲線との交点からx軸に下ろした垂線の足をBPとする。同様に、BAC=0と上側の95%信頼区間曲線との交点に垂線を立て、その垂線と下側の95%信頼区間曲線との交点からx軸に下ろした垂線の足をCPとする。するとBPは、アルコール非摂取時の平均作業成績を超えられなくなるBAC濃度、換言すると、しらふ時の平均作業成績を超えることが難しくなるBAC濃度、同様にCPは、アルコール非摂取時の95%下限作業成績を超えられなくなるBAC濃度、換言すると、しらふ時の作業成績にほとんど到達できなくなるBAC濃度、に相当する。つまり、これらの点は作業検査それ自身の性能を評価する指標となりえるのである。

Figure 1(b) は、Figure 1(a) のデータにおいて、あるBAC濃度における作業成績の低下をとらえることができる信頼区間を逆算したものである。例えば、1.00 mg/mlのBAC濃度で作業成績が低下する信頼区間を逆算する、換言すると、CPが1.00 mg/mlになるような信頼区間を逆算すると、この場合の信頼区間は99.94%になる。具体的には、BAC=1.0と下側の信頼区間曲線の交点のy座標が、BAC=0と上側の信頼区間曲線の交点のy座標と等しくなる信頼区間の値を求めればよい。

**目的** 本研究の目的は、以上の性能評価法に実際のデータを当てはめ、この新しい指標の特徴を明らかにすることである。そのため、段階的飲酒時に作業検査を実施する実験を行い、これまでの方法と新しい方法を用いて、さらに、制約の多いアルコール実験で頻出する極端なデータを再現するため、非飲酒時と最大量飲酒時のデータのみを用いて分析した。そのうえで、分析方法とデータセットの違いによって、得られる作業検査の性能値がどのように変わるかを調べた。

## 方 法

**実験参加者** 参加者は金沢大学大学院自然科学研究科、そして同大工学部人間・機械工学科に所属する健康

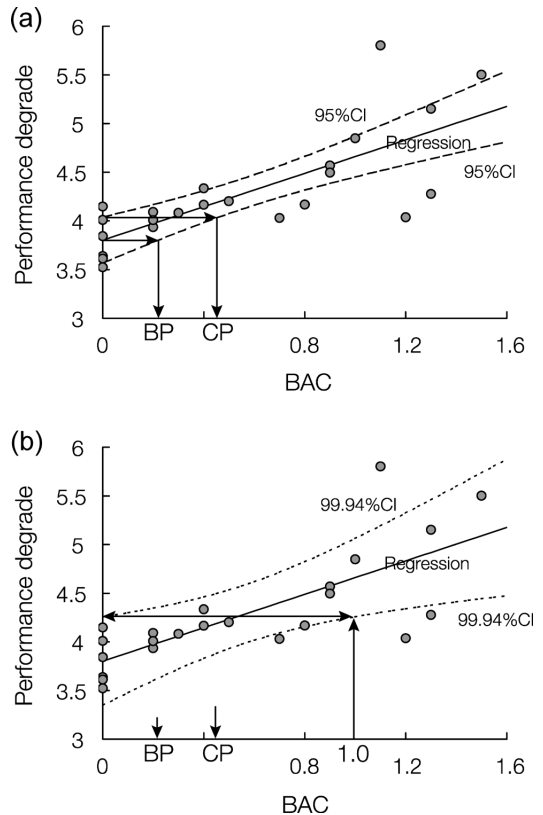


Figure 1. (a) How to determine BP and CP point. Plots of performance deficit against blood alcohol concentration (BAC), regression line, and 95% confidential interval (CI) are shown together. BP point is defined as foot of a perpendicular from intersecting point of  $y = \text{intercept}$  and lower 95% CI curve to  $x$ -axis. CP point is defined as foot of a perpendicular from intersecting point of  $y = \text{upper 95\% CI of intercept and lower 95\% CI curve}$  to  $x$ -axis. (b) How to calculate back confidential interval (CI) level of performance degrade at a certain level of blood alcohol concentration (BAC). To set confidential CI value so that its upper CI of intercept is equal to its lower CI at a certain level of BAC (e.g., 1.0).

な男性6名(年齢 $23.3 \pm 3.7$ 歳)を対象とした。本研究は金沢大学の倫理委員会の承認を得てから実施され、すべての参加者からインフォームド・コンセントを得た。

**作業検査** Matsumura et al. (2009)らの実験で用いられた作業検査Spiral for iPhone (以下SpiP)と、Catch

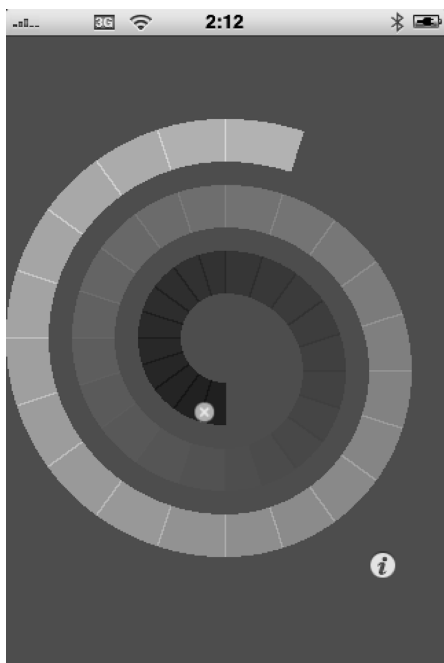


Figure 2. An example of on-going Spiral for iPhone performance test.

the Rabbit (以下CatRab) の短縮版 (以下CatRab\_S) を用いた。

SpiP は、加速度センサー付きの携帯電話 (Apple, iPhone 3G) を傾けて画面上の “×” を動かし (Figure 2), 60個の小さいブロックからなる渦巻き型のトラックを中心から外側に向かってなぞり、できるだけ速かつ正確に最終ブロックまでたどり着く、という精神運動作業検査である。“×” は重力に引っ張られて滑るように動き、うまくなぞることができるとブロックはどんどん消えていく。ただし、ブロックは順番に一つずつしか消えないので、はみ出してしまったら、はみ出してしまったブロックに戻って続けなければならない。1セットの SpiP 作業検査は、開始から最終ブロックにたどり着くまでを1試行とする、計3試行から構成されていた。

CatRab\_S は、4×4の平仮名行列の中に埋まった「うさぎ」という単語を探し出し (Figure 3), その見つけ出した「うさぎ」の「う」の文字を、できるだけ早くかつ正確にマウスでクリックする、という視覚的探索作業検査である。見つけ出すべき「うさぎ」は、「う」「さ」「ぎ」が必ずその順番で一直線上に並んでいるものであったが、文字の方向性については考えられるすべて、すなわち、上から下、右上から左下、右から左、右下から左上、下から上、左下から右上、左から右、左上から右下、の八つのうちどれでもよかった。一つ平仮名行列

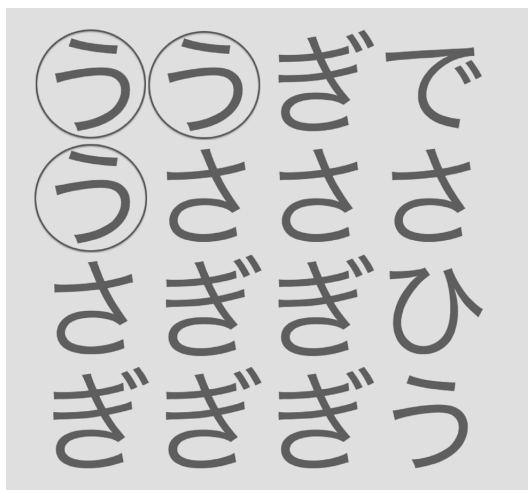


Figure 3. An example of Hiragana, Japanese syllabary character, matrix presented in Catch the Rabbit\_S performance test. Characters “う” s with circle, not shown in real trial, were target.

の中には、正解となる「う」が最低三つと、不正解となる「う」が最低一つ入っていた。平仮名行列の作成は疑似ランダム系列に基づいて自動的に作成した。マウスをクリックすると0.3秒間の空画面の後、次の平仮名行列が表示された。1セットの CatRab\_S 作業検査は、10個分の平仮名行列を1試行とする、計3試行から構成されていた。

**作業成績の算出** SpiP では1試行ごとに、“×” がトラックに乗っていた時間と、はみ出していた時間をそれぞれ算出した。CatRab\_S では1試行ごとに、正答の場合の平均反応時間と、誤答率を算出した。ここで、反応時間とは、平仮名行列が表示されてから反応が得られるまでの時間、誤答率とは、1セット10個の平仮名行列中の誤答割合のことである。そのうえで3試行分の値を平均してセット値を算出した。

**アルコール** 摂取するアルコールとして濃度96%のウォッカを用いた。標的BACは0.3, 0.8, 1.2 mg/mlの3段階に設定した。0.3 mg/mlは日本の道路交通法における酒気帯び運転の基準値、1.0 mg/mlはほろ酔いなしは酩酊初期に相当する。摂取するアルコール量は下記の式によって目安を立て、熟練した実験者が適宜調整した。

$$\text{volume (ml)} = 833 \times \text{body weight (kg)} \times \text{target BAC (\%)} \div 96 \quad (1)$$

ここで、833はアルコールの比重0.8 g/mlと体水分量2/3から算出した定数であり、96はアルコールの濃度で



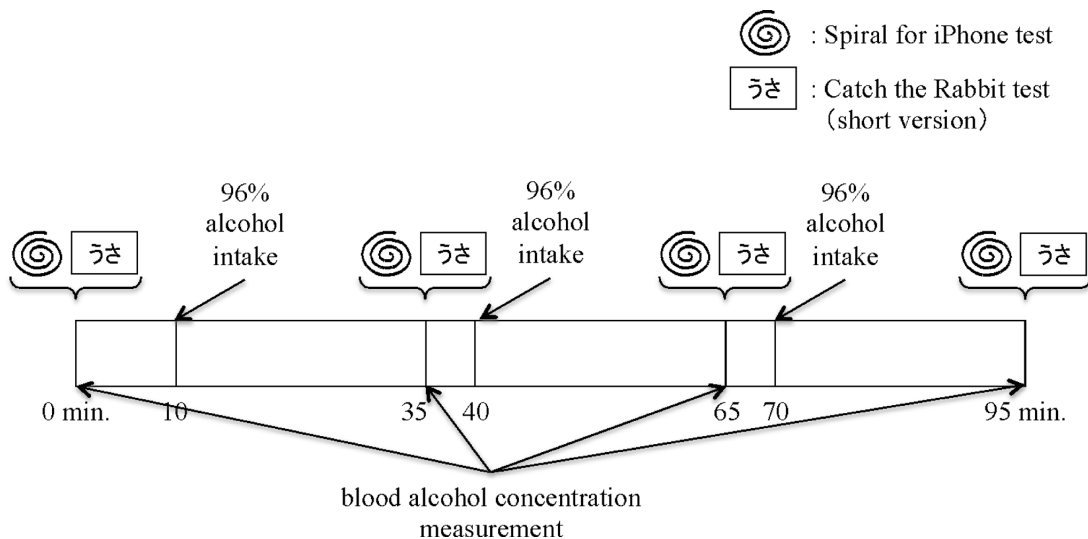


Figure 4. Schematic drawing of experimental procedure.

ある。

**実験手続き** 実験参加に先立って2日間、SpiPとCatRab\_Sを最低3セットずつ練習させた。実験は、室温25°C、湿度50%に保たれた実験室内で行われ、参加者は27インチディスプレイの前に置かれたリラクセスチェアに座った。そのうえで、利き手に採血用のカテーテルを刺した状態で固定した。計測以外の区間では、参加者は中性的な映画を鑑賞することが許可された。

BACの操作には、アルコール・チャレンジ・パラダイムを用いた。これは、段階的にBACを一方的に上昇させる方法であり、アルコール関連の研究で広く受け入れられているものである。このパラダイムの特徴は、何段階ものBACを簡単に設定できる点にあるが、反面、ランダム化やプラセボを用いていないという短所がある。

血中アルコール濃度を測定するための採血、SpiPとCatRab\_S1セットずつの実施は、実験開始から0, 35, 65, 95分目に行った。ウォッカは、実験開始から10分(0.3 mg/ml相当)、40分(0.8 mg/ml相当)、70分(1.2 mg/ml相当)目に摂取させた(Figure 4)。なお、血中アルコール濃度の測定は専門業者に検査委託を行い、ガスクロマトグラフィー(GC17A、島津製作所)にて分析された。

**データセット** すべてのデータを用いる完全データセットと、非飲酒時と最大量飲酒時のみを用いる低品位データセットを作成した。ここでは、ROC分析用として、BACが0.50 mg/ml以上を飲酒状態、それ未満を非飲酒状態と定義した。分布を正規化するため、時間関係

の指標には開平変換を、割合には逆正弦変換を施した。

## 結果

**分散分析を用いた評価** BACと各作業成績(SpiPのトラック上時間とはみ出し時間、CatRab\_Sの反応時間と誤答率)のセット値の平均および標準偏差をTable 1にまとめて示す。Table 1(a)は完全データセット、Table 1(b)は低品位データセットから算出した値である。各指標、データセットについて条件(0, 35, 65, 95分目、もしくは、0, 95分目)を繰り返し要因とする1要因分散分析を行った。

その結果、完全データセットでは、BAC ( $F[3, 15]=83.13, p<.001, \eta_p^2=.94$ )、SpiPのトラック上時間 ( $F[3, 15]=6.44, p<.01, \eta_p^2=.56$ )、はみ出し時間 ( $F[3, 15]=13.54, p<.001, \eta_p^2=.73$ )、CatRab\_Sの反応時間 ( $F[3, 15]=7.84, p<.01, \eta_p^2=.61$ )において条件の主効果が有意であった。これらの検定結果とその効果量をTable 1(a)にまとめて示す。主効果が有意であった指標については、条件間のどこに差があったかを明らかにするためTukeyのHSD検定を行った。その結果、BACでは0分<35分<65分<95分、SpiPのトラック上時間において0分と35分>95分、はみ出し時間において0分>65分と95分、35分>95分、CatRab\_Sの反応時間において0分と35分と65分>95分であった。これも合わせてTable 1(a)に示す。

低品位データセットでは、BAC ( $F[1, 5]=297.61, p<.001, \eta_p^2=.98$ )、SpiPのトラック上時間 ( $F[1, 5]=8.83, p<.05, \eta_p^2=.64$ )、はみ出し時間 ( $F[1, 5]=25.11, p<.01, \eta_p^2=.83$ )、CatRab\_Sの反応時間 ( $F[1, 5]=$

Table 1

Mean (SD blood alcohol concentration (BAC) and performance measures derived from complete (a) and degraded (b) data set as a function of condition and results of statistical analysis

(a)

Measure	Condition				$F_{(3,15)}$	$\eta_p^2$	Tukey HSD
	0 min	35 min	65 min	95 min			
BAC (mg/ml)	0.00 (0.00)	0.28 (0.10)	0.85 (0.27)	1.23 (0.18)	83.13***	.94	<u>0</u> <u>35</u> <u>65</u> <u>95</u>
Spiral for iPhone On track(s)	13.19 (1.63)	14.22 (0.79)	14.98 (2.05)	17.73 (4.11)	6.44***	.56	<u>0</u> <u>35</u> <u>65</u> <u>95</u>
Out of track(s)	0.81 (0.79)	2.31 (1.58)	4.68 (2.61)	9.91 (8.01)	13.54***	.73	<u>0</u> <u>35</u> <u>65</u> <u>95</u>
Catch the Rabbit Reaction time(s)	2.22 (0.32)	2.41 (0.33)	2.42 (0.44)	3.14 (0.83)	7.84**	.61	<u>0</u> <u>35</u> <u>65</u> <u>95</u>
Error rate (%)	0.19 (0.00)	0.97 (0.01)	3.02 (0.03)	0.76 (0.01)	2.76	.36	

(b)

Measure	Condition		$F_{(1,5)}$	$\eta_p^2$
	0 min	95 min		
BAC (mg/ml)	0.00 (0.00)	1.23 (0.18)	297.61***	.98
Spiral for iPhone On track(s)	13.19 (1.63)	17.73 (4.11)	8.83*	.64
Out of track(s)	0.81 (0.79)	9.91 (8.01)	25.11**	.83
Catch the Rabbit Reaction time(s)	2.22 (0.32)	3.14 (0.83)	10.37*	.67
Error rate (%)	0.19 (0.00)	0.76 (0.01)	5.00	.50

Note. Conditions with the same underline are not significantly different from each other. \*\*\* $p < .001$ , \*\* $p < .01$ , \* $p < .05$ .

10.37,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .67$ ) において条件の主効果が有意であった。これらの検定結果とその効果量を Table 1(b) にまとめて示す。

**BP, CP, AUC を用いた評価** 各作業成績のセット値から完全・低品位データセットごとに算出した BP, CP, AUC の値, それらの平均値と標準偏差を Table 2 に示す。BAC を x 軸, 各作業成績を y 軸に取った散布図と, BP, CP の算出を Figure 5(a)~(d) に示す (完全データセットのみ)。CatRab\_S の誤答率の CP のみ算出不能 (Figure 5(d)) であった。BP, CP, AUC のそれぞれについて, 完全・低品位データセット間で対応のある t 検定を行ったところ, BP で  $t(3) = 0.74$ , *n.s.*,  $d = 0.27$ , CP で

$t(2) = 0.55$ , *n.s.*,  $d = 0.09$ , AUC で  $t(3) = 3.70$ ,  $p < .01$ ,  $d = 1.62$  であった。

**個人ごとに算出した BP, CP, AUC を用いた検査の評価** 各作業成績の試行値 (各濃度につき  $n = 3$ ) に基づき参加者ごとに BP, CP, AUC を, 完全, 低品位データセットごとに算出した。これらをまとめたものを Table 3(a) (BP), 3(b) (CP), 3(c) (AUC) に示す。BP, CP, AUC それぞれについて, 指標 (SpiP のトラック上時間, はみ出し時間, CatRab\_S の反応時間, 誤答率) とデータセット (完全, 低品位) を繰り返し要因とする 2 要因分散分析を行った。

その結果, BP では指標の主効果のみが有意であり

Table 2  
Border point, critical point, and area under the curve (AUC) derived from complete and degraded data set

Index	BP (mg/ml)		CP (mg/ml)		AUC (no unit)	
	Complete	Degraded	Complete	Degraded	Complete	Degraded
Spiral for iPhone						
On track	0.29	0.32	0.62	0.69	0.80	0.94
Out of track	0.27	0.31	0.59	0.66	0.82	0.86
Catch the Rabbit						
Reaction time	0.40	0.32	1.11	0.71	0.71	0.89
Error rate	0.52	0.43	—	1.12	0.69	0.78
<i>M</i>	0.37	0.35	0.77	0.80	0.74	0.84
<i>SD</i>	0.12	0.06	0.29	0.22	0.07	0.06

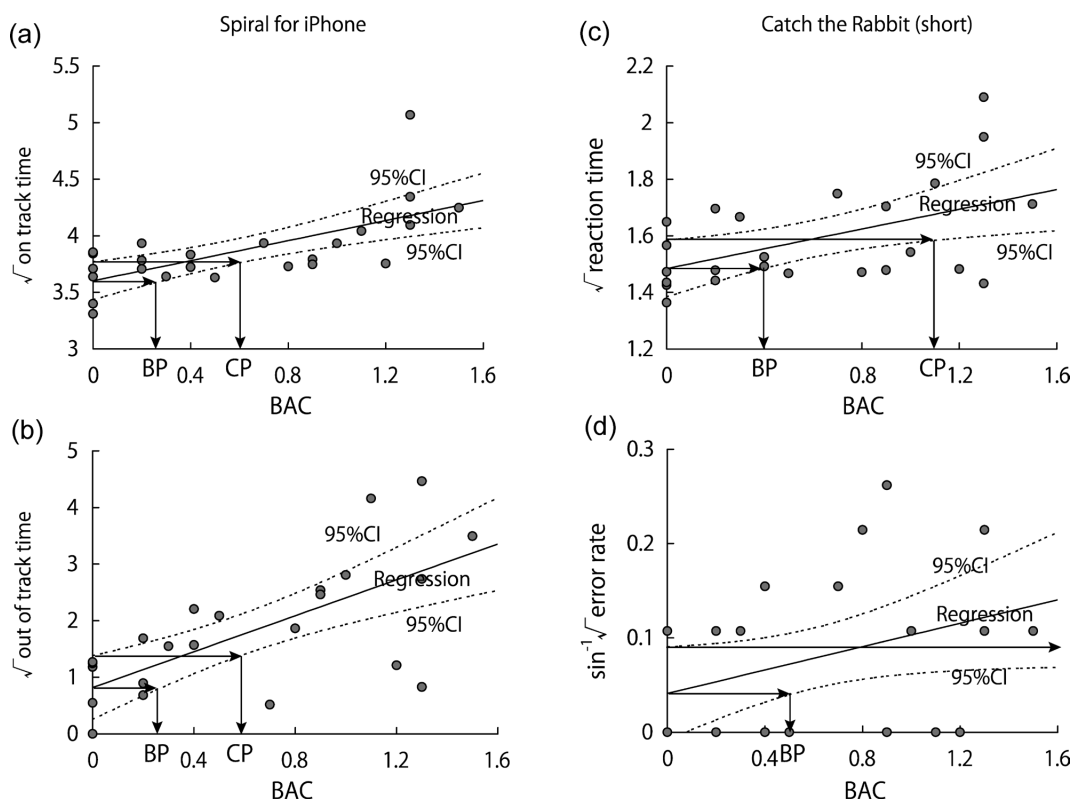


Figure 5. BP and CP point of on track time (a) and out of track time (b) in Spiral for iPhone, and reaction time (c) and error rate (d) in Catch the Rabbit. *x*-Axis and *y*-axis are blood alcohol concentration (BAC) and performance degrade, respectively.

( $F[3, 11]=8.87, p<.01, \eta_p^2=.70$ ), データセットの主効果 ( $F[1, 6]=2.56, n.s., \eta_p^2=.28$ ) と, 交互作用 ( $F[3, 8]=0.48, n.s., \eta_p^2=.15$ ) は有意でなかった. Tukey の *HSD* 検定を行った結果, CatRab\_S の誤答率 > CatRab\_S の反応時間, SpiP のはみ出し時間, トラック上時間, であった.

CP では指標の主効果のみが有意であり ( $F[3, 12]=23.67, p<.001, \eta_p^2=.86$ ), データセットの主効果 ( $F[1, 7]=1.94, n.s., \eta_p^2=.21$ ) と, 交互作用 ( $F[2, 5]=0.77, n.s., \eta_p^2=.23$ ) は有意でなかった. Tukey の *HSD* 検定を行った結果, CatRab\_S の誤答率 > CatRab\_S の反応時間,

Table 3

Border poing (BP; (a)), critical point (CP; (b)), and area under the curve (AUC; (c)) derived from complete and degraded data set by measures and participants

(a)

Participant ID	BP (mg/ml)							
	Spiral for iPhone				Catch the Rabbit			
	On track		Out of track		Reaction time		Error rate	
	Complete	Degraded	Complete	Degraded	Complete	Degraded	Complete	Degraded
1	0.13	0.07	—	0.47	0.30	0.35	0.59	0.57
2	0.19	0.13	0.21	0.16	0.44	0.41	—	0.65
3	0.15	0.12	0.12	0.14	0.15	0.18	—	—
4	0.42	0.29	0.26	0.24	0.56	0.51	0.49	0.43
5	—	—	0.28	0.29	—	—	—	—
6	0.24	0.09	0.26	0.15	0.49	0.09	0.85	—
<i>M</i>	0.23	0.14	0.23	0.24	0.39	0.31	0.64	0.55
<i>SD</i>	0.12	0.09	0.06	0.13	0.16	0.17	0.19	0.11

(b)

Participant ID	CP (mg/ml)							
	Spiral for iPhone				Catch the Rabbit			
	On track		Out of track		Reaction time		Error rate	
	Complete	Degraded	Complete	Degraded	Complete	Degraded	Complete	Degraded
1	0.26	0.15	—	1.29	0.69	0.77	—	2.42
2	0.39	0.26	0.44	0.32	1.14	0.92	—	2.79
3	0.31	0.24	0.25	0.28	0.31	0.36	—	—
4	—	0.66	0.55	0.52	1.00	—	—	1.86
5	—	—	0.63	0.63	—	—	—	—
6	0.50	0.18	0.55	0.31	1.40	0.17	—	—
<i>M</i>	0.37	0.29	0.48	0.56	0.91	0.56	—	2.36
<i>SD</i>	0.10	0.21	0.15	0.38	0.42	0.35	—	0.47

(c)

Participant ID	AUC (no unit)							
	Spiral for iPhone				Catch the Rabbit			
	On track		Out of track		Reaction time		Error rate	
	Complete	Degraded	Complete	Degraded	Complete	Degraded	Complete	Degraded
1	1.00	1.00	0.61	0.83	0.72	0.89	0.65	0.67
2	0.89	1.00	0.97	1.00	0.78	0.89	0.50	0.50
3	0.83	1.00	0.90	1.00	0.75	1.00	0.50	0.50
4	0.71	0.89	0.82	0.89	0.64	0.67	0.57	0.50
5	0.01	0.06	0.88	0.83	0.56	0.56	0.64	0.50
6	1.00	1.00	0.97	1.00	0.69	1.00	0.64	0.50
<i>M</i>	0.74	0.82	0.86	0.93	0.69	0.83	0.58	0.53
<i>SD</i>	0.37	0.38	0.13	0.08	0.08	0.18	0.07	0.07

Note. '—' represents for no solution.



SpiPのはみ出し時間，トラック上時間，であった。

AUCでは指標の主効果( $F[3, 15]=3.38, p<.05, \eta_p^2=.40$ )，データセットの主効果( $F[1, 5]=8.77, p<.05, \eta_p^2=.64$ )，交互作用( $F[3, 15]=4.85, p<.05, \eta_p^2=.49$ )のすべてが有意であった。交互作用が有意であったので，その下位検定として，指標ごと，データセットごとに1要因分散分析を行った。その結果，データセットの単純主効果の分析では，SpiPのトラック上時間( $F[1, 5]=6.68, p<.05, \eta_p^2=.57$ )において低品位>完全という方向性の，SpiPのはみ出し時間( $F[1, 5]=8.76, p<.05, \eta_p^2=.64$ )において低品位>完全という方向性の，有意な単純主効果が認められ，CatRab\_Sの反応時間において低品位>完全という方向性の有意傾向の単純主効果が認められた( $F[1, 5]=6.10, p<.10, \eta_p^2=.55$ )。また，指標の単純主効果の分析では，低品位データセットにおいて有意な単純主効果( $F[3, 15]=5.66, p<.01, \eta_p^2=.53$ )が認められた一方で，完全データセットでは有意な単純主効果は認められなかった( $F[3, 15]=1.69, n.s., \eta_p^2=.25$ )。TukeyのHSD検定を行った結果，低品位データセットにおいて，CatRab\_Sの誤答率<SpiPのトラック上時間，はみ出し時間，であった。

**1.00 mg/mlにおけるCPの信頼区間** Figure 1bの方法を用い，1.00 mg/mlのBAC濃度で作業成績が低下する信頼区間，換言すると，CPが1.00 mg/mlになるような信頼区間を逆算した。その結果，SpiPのトラック上時間では99.35%，はみ出し時間では99.57%，CatRab\_Sの反応時間では93.78%，誤答率では82.95%であった。

## 考 察

本研究では，今回提唱したIID用の新しい作業検査性能評価法の特徴を明らかにするため，段階的飲酒実験を行い，本評価法と既に存在する2種類の評価法を用いて2つの作業検査，計4指標の性能をそれぞれ評価した。さらに，飲酒操作のランダム化を行った際の模擬データを再現するため，非飲酒時と最大量飲酒時のデータ(低品位データセット)のみを用いて検査の性能を評価した。実験時の目標BACは0.0, 0.3, 0.8, 1.2 mg/mlの4段階に設定されたが，実際には0, 0.28, 0.85, 1.23 mg/mlという濃度になった。熟練者が設定したため，かなりうまく設定できたと言える。

完全・低品位データセットのそれぞれから得られた結果を比較してみると，まず単純な分散分析では，一貫した結果になっていることがわかる(Table 1参照)。すなわち，いずれのデータセットを用いても，SpiPのトラック上時間，はみ出し時間，CatRab\_Sの反応時間で飲酒に伴う作業成績の低下が認められていた。また今回提唱したBP, CPでも，先と同様に一貫した結果になってい

ることがわかる(Table 2, 3参照)。すなわち，全体分析でも個人ごとの分析でも，得られるBP, CP値に有意な違いが認められないだけでなく，効果量も小さかったのである。一方，これらの一貫性に対してROC曲線のAUC値では，予想どおり，まず全体分析で低品位データセットから得られる値が，完全データセットから得られる値より有意に大きいことが確認された。さらに，個人ごとの分析でも，データセットと指標の間に複雑な交互作用があることがわかった。以上より，第一に，データセットや指標の違いによって評価値が変わるAUC値，および，この算出の基となる感度，特異度分析は，アルコール濃度をある程度自由に操作できる実験環境において，検査の評価に適さない指標であること，第二に，BC, CPを用いれば，厳密なBAC操作を行うことなしに安定した値を得られること，が確認された。

個人ごとに算出したBP, CPを用いると，アルコール検知能力の個人差を考慮することも可能となるだけでなく(Table 3)，作業検査間の優劣を検定することも可能になる。分析結果から明らかなどおり，SpiPのトラック上時間，はみ出し時間，CatRab\_Sの反応時間は，CatRab\_Sの誤答率よりも高性能であった。したがって，検査自体としてSpiPは，CatRab\_Sよりアルコールによる作業成績低下の検知に優れていると判断することができる。こうした指標間あるいは課題間，さらには異なる研究間での直接的な比較は，分散分析では難しい。また，AUCでは可能であるが，既述のごとく安定性に欠ける。そのため，BP, CPを介した検査間の直接的な比較を用いない限り，新たに開発した作業検査の取捨選択，あるいは，改良方略の決定を，より容易かつ客観的に行うのは難しいと思われる。

BP, CPは，グラフから簡単に求められる指標である(Table 5)。さらに結果より，あるBAC濃度におけるCPの信頼区間も簡単に求めることができる。後者の方法を使うことで，例えば，日本の道路交通法における酒気帯び運転の下限値0.30 mg/mlの信頼区間や，海外に多い0.50 mg/mlや0.80 mg/mlの信頼区間も逆算できる。そのため，使用状況に合わせるための追加実験をすることなしに，設定しなかったBAC値における性能を簡単に推定できることが確かめられた。

BP, CPは，アルコール以外の要因による作業成績の低下をも評価できる指標である。すなわち，BACを，その他の薬物，疲労，睡眠不足，身体的不調，外部環境(温度や気圧など)，加齢などに置き換えれば，置き換えた指標に対応するBP, CP値を求めることができる。さらに，作業成績低下とBAC，作業成績低下と置き換えた指標，の二つの回帰式が等しくなるように軸変換を行えば，認知能力の低下をBACに換算することができる。例えば，Dawson & Reid (1997)によると，睡眠剥夺の

BAC (mg/ml) への変換は、連続起床時間から 10 時間を引き、14 で割ればよいことが示されている。この方法を用いれば、作業成績の低下を媒介して現在の不特定要因による認知機能の低下を BAC に換算することができる。すると、この BAC 換算によって、疲労や眠気、疾病や体調による運転への影響、規制のない薬物などの影響に関して、道路交通法などによる規制への道が開けると期待されるため、より進んだ交通安全に貢献できると考えられる。ただし、既述のとおり、作業検査を用いた実用的な IID の開発はまだ始まったばかりであるため、本論文で提唱した BP, CP を活用し、簡便ながらもより性能の高い作業検査をまずは開発していく必要性があるだろう。

以上、本研究で提唱した BP, CP という新たな評価指標について検討した。BP, CP は、回帰分析に基づくことから、本来的に、実験条件として設定しなかった BAC についての作業成績が推定できる、BAC 調整の困難さの解決策となる、という利点がある。それだけではなく、異なる検査間や実験間におけるアルコール検知能力の直接的な比較が可能となる、少ないデータからでも他の方法と比較して正確に推定可能、という優れた特徴があることが示された。また、BAC を認知能力低下を引き起こす変数に置き換えるだけで、この変数に対する BP, CP もすぐに求められる、さらには、現在の認知機能低下を BAC 換算できることから生じる道路交通法などへの適合性という利点も有していると考えられた。したがって、本法の優越性と応用性の高さは明らかである。今後の IID 研究では、BP, CP を用いた作業検査性能評価法を標準とすることが推奨される。

#### 引用文献

- Allen, R. W., Stein, A. C., & Jex, H. R. (1984). Field test of a drunk driving warning system (DDWS). In American Association for Automotive Medicine (Ed.), *28th Annual Proceedings October 8-10*, Denver, Colorado, pp. 261-272.
- Brumback, T., Cao, D., & King, A. (2007). Effects of alcohol on psychomotor performance and perceived impairment in heavy binge social drinkers. *Drug and Alcohol Dependence*, **91**, 10-17.
- Dawson, D., & Reid, K. (1997). Fatigue, alcohol and performance impairment. *Nature*, **388**, 235.
- Fillmore, M. T. (2003). Reliability of a computerized assessment of psychomotor performance and its sensitivity to alcohol-induced impairment. *Perceptual and Motor Skills*, **97**, 21-34.
- George, S., Rogers, R. D., & Duka, T. (2005). The acute effect of alcohol on decision making in social drinkers. *Psychopharmacology*, **182**, 160-169.
- Gustafson, R. (1986). Alcohol and vigilance performance: Effect of small doses of alcohol on simple visual reaction time. *Perceptual and Motor Skills*, **62**, 951-955.
- Hindmarch, I., Kerr, J. S., & Sherwood, N. (1991). The effect of alcohol and other drugs on psychomotor performance and cognitive function. *Alcohol and Alcoholism*, **26**, 71-79.
- 警察庁交通局 (2010). 平成 21 年中の交通事故の発生状況 2010 年 2 月 25 日  
 <<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001062201>> (2011 年 2 月 14 日)  
 (National Police Agency)
- King, A. C., & Byars, J. A. (2004). Alcohol-induced performance impairment in heavy episodic and light social drinkers. *Journal of Studies on Alcohol and Drugs*, **65**, 27-36.
- Koelega, H. S. (1995). Alcohol and vigilance performance: A review. *Psychopharmacology*, **118**, 233-249.
- Matsumura, K., Yamakoshi, T., & Ida, T. (2009). Performance measures of alcohol-induced impairment: Towards a practical ignition-interlock system for motor vehicle. *Perceptual and Motor Skills*, **109**, 841-850.
- Matthews, D. B., Best, P. J., White, A. M., Vandergriff, J. L., & Simson, P. E. (1996). Ethanol impairs spatial cognitive processing: New behavioral and electrophysiological findings. *Current Directions in Psychological Science*, **5**, 111-115.
- Mitchell, M. C. (1985). Alcohol-induced impairment of central nervous system function: Behavioral skills involved in driving. *Journal of Studies on Alcohol*, **10**(Suppl.), 109-116.
- Modell, J. G., & Mountz, J. M. (1990). Drinking and flying—The problem of alcohol use by pilots. *New England Journal of Medicine*, **323**, 455-461.
- Moskowitz, H., Burns, M. M., & Williams, A. F. (1985). Skills performance at low blood alcohol levels. *Journal of Studies on Alcohol*, **46**, 482-485.
- Ramstedt, M. (2008). Alcohol and fatal accidents in the United States—A time series analysis for 1950-2002. *Accident Analysis and Prevention*, **40**, 1273-1281.
- Stapleton, J. M., Guthrie, S., & Linnoila, M.

松村・山越：作業検査式イグニッション・インターロック装置開発に向けた標準的な検査性能評価法の提唱

- (1986). Effects of alcohol and other psychotropic drugs on eye movements: Relevance to traffic safety. *Journal of Studies on Alcohol*, **47**, 426–432.
- Volvo Trucks Corporate Communication (2008). Volvo Alcolock.  
<[http://www.etsc.eu/documents/PILSKOG\\_Alcolock.pdf](http://www.etsc.eu/documents/PILSKOG_Alcolock.pdf)> (February 14, 2011)
- Weissenborn, R., & Duka, T. (2003). Acute alcohol effects on cognitive function in social drinkers: Their relationship to drinking habits. *Psychopharmacology*, **165**, 306–312.  
(2011年2月17日受稿, 2011年9月27日受理)