



技術論文

自動二輪車ライダーの操縦技量定量化に関する基礎検討

Fundamental Study on the Quantification of the Riding Skills of Motorcycle Riders

森島 圭祐 大本 浩司

要旨

本研究の目的は、自動二輪車ライダーの操縦技量を定量的に評価する手法を構築することである。本研究の方法は、指導員の評価視点をインタビューにより調査し、その評価視点を車輻状態およびライダーの操縦行動から表現することである。インタビューの結果、指導員における5つの評価視点の主要因を明らかにした。また、技量の異なる15名のライダーを対象としたライディングの計測を行い、5つの評価視点の主要因を、計測した車輻状態およびライダーの操縦行動から得られた10の評価指標で表現した。さらに、これらの評価指標を対象とした主成分分析の結果、これらの評価指標は3つの評価指標(修正操作、積極的操作、針路確認動作)に集約された。そして、3つの集約された評価指標を用いて15名のライダーを技量に応じて分類することができた。以上のことから、走行中のライダーの操縦技量を操縦行動、車両挙動から定量化する可能性を示すことができた。

Abstract

The aim of this research project was to create an approach for quantitative evaluation of the riding skills of motorcycle riders. The research method employed was to survey the evaluation points used by riding instructors through interviews and to then express those evaluation points in terms of the machine's behavior and the rider's actions while operating it. Through the interviews, five primary factors involved in the evaluation points used by the instructors were clarified. These factors were expressed with ten evaluation indexes obtained from the results of riding tests that measured machine behavior and the actions of 15 riders of varying skill levels. Then, as a result of principal component analysis, these ten evaluation indexes were further condensed into three evaluation indexes (corrective actions, active operational actions, course confirmation actions). Using these three indexes to test 15 riders, we succeeded in classifying them according to skill level. From these results, we have shown that it is possible to quantify riding skill level based on the rider's actions and machine motion.

1 はじめに

近年、国内における自動二輪車乗車中の交通事故死傷者数は減少傾向にある。2007年では1998年比で89.9%であった。一方、この間、国内における自動二輪車の保有台数は減少を続けており、2007年では1998年比89.3%であった^[1]。交通事故による死傷者数は減少傾向にあるものの、保有台数あたりの死傷者数はほぼ横ばいとなっていることが分かる。これらのことから、自動二輪車の交通事故低減に向けた取り組みをさらに推し進める必要があると考える。

交通事故の原因として様々な要因が挙げられるが、そのひとつとして、ライダーの操縦技量自己評価とリスクテイキングがある。ライダーは一般的に自己の操縦技量を過大評価する傾向があり、若年者ほどその傾向が強いことが知られている^[2]。そして、自己の操縦技量を過大評価するライダーは危険な操縦行動をとる、つまりリスクテイキング傾向が強いといわれている^[3]。

ライダーが操縦技量を自己評価する際に、客観・定量的な操縦技量評価をライダーに与えられれば、操縦技量の適正な自己評価を助け、ライダーのリスクテイキング傾向を軽減できる可能性がある。

自動二輪車における操縦技量は、ライディングスクールや教習所などの限定されたコースにおいて、走行タイムの計測や、指導員によって評価される。しかしながら、ライダーによる操縦技量の自己評価は様々な走行状況下において随時行われていると考えられることから、教育機関における一時的な評価だけでは、適正な自己評価を助ける上で不十分であると考えられる。ライダーが自動二輪車を運転している間に随時、客観・定量的な技量評価をライダーにフィードバックするシステムが必要である。その実現のためには、自動二輪車運転時において計測可能なライダーの操縦行動、車両挙動から、操縦技量の評価指標を構築する必要がある。

かかる観点から、本研究では、自動二輪車における走行指

導員による操縦技量評価視点の主要因を調査し、その評価視点を走行中に計測可能なライダーの操縦行動、車両挙動データを用いた定量的な評価指標として表現する手法を検討した。また、検討により得られた評価指標を用いたライダーの分類・評価手法についても検討した。

2 走行指導員による技量評価視点の調査

2-1. 調査方法

走行指導員による技量評価視点を明らかにするために、熟練者と非熟練者の操縦行動の違いについて、自動二輪車メーカーの実験部門において実験担当ライダーの走行教育を専門に担当している走行指導員をインフォーマントとしたインタビュー調査を行った。インタビューは、トライカーナコース走行時における熟練者と非熟練者の操縦行動の違いについて、インフォーマントに自由に発言させるデプスインタビュー方式^[4]を採用し、発想支援のために事前に撮影した熟練者と非熟練者の走行時の映像を参照しながら進めた。調査の対象としたトライカーナコースの概略を図1に示す。これは安全運転講習によく用いられる8の字走行とスラローム走行を組み合わせたものであり、基本的な操縦操作を網羅した走行課題である。

2-2. インタビューデータの解析手法

インタビュー調査の結果としてテキストデータが得られる。その特徴として、情報量が豊富な反面、質的な情報であり、分類整理が難しいという側面がある。そこで本研究では、インタビューデータの解析にマイクロシナリオ手法^[5]並びにKeyGraph手法^[6]を応用した。マイクロシナリオ手法は、主にISO9241-210に規定されている人間中心設計プロセス^[7]中の上流工程で用いられる。人間中心設計プロセスでは、ユーザや組織が抱えている現状の問題点を把握することが重要であり、この点にマイクロシナリオ手法が用いられる。マイクロシナリオ手法では、問題点の微細構造を個別に問題マイクロシナリオとして記述し、その内容を表すキーワードをタグの形で記述する。このタグを用いて同種の問題点を一覧することにより、問題点の集約のための発想を支援している。本研究では、この手法を一部改変し、熟練者・非熟練者の行動に関するマイクロシナリオを作成し、これを集約することでそれぞれの特徴の集約を試みる。ここで、シナリオ集約の際、タグ付けに用いるキーワードを適切に設定することが重要であるが、解析者に解析対象に対する知識や経験が不足していた場合、適切なキーワード設定ができない。そのため、シナリオ集約に際してタグによる集約方法の他に、解析者の知識や経験

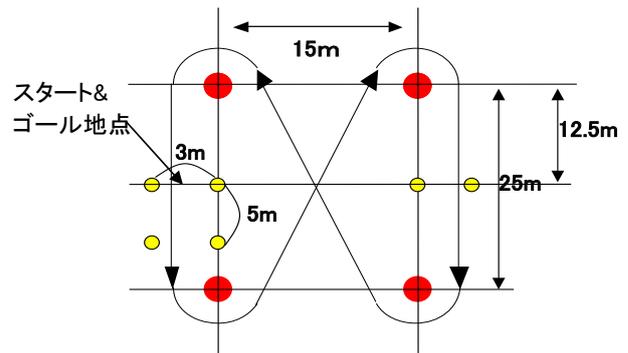


図1 トライカーナコース概略

表1 シナリオの例

非熟練者	熟練者
コーナーの進入時に、ブレーキをかけた際に発生する減速Gに対して、腹筋や背筋を使った姿勢維持ができないため、腕に過剰な力が入りハンドルの把持力が大きくなる。そのためハンドルの動きが阻害されたり、ブレーキ操作が制限される。結果としてハンドルを切るタイミングが遅れ、旋回半径が大きくなり旋回に要する時間が長くなる。	コーナーの進入時に、ブレーキをかけた際に発生する減速Gに対して、腹筋や背筋を使った姿勢維持をして、腕に不要な力を入れないようにしている。そうすることでハンドルやブレーキを自由に操作できるようにしている。結果として意図したタイミングでハンドルを切ることができ、旋回半径を小さくすることができることから旋回に要する時間が短くなる。

を補うための発想支援が必要である。そこで本研究では、シナリオの集約にタグ付けによる方法とKeyGraph手法を併用した。KeyGraphはシナリオ内の「語」の関係をノードとリンクで表現されるネットワークモデルによるシナリオマップで視覚的に表現する手法である。語の関係は語同士が同一のシナリオに出現する頻度等を用いて求められる共起度により決定され、共起度が高い語同士をリンクで結ぶことでシナリオ内の語のネットワークモデルを構成する。KeyGraph手法を用いてシナリオの全体構造を可視化することで、熟練者・非熟練者の操縦行動の違いをテキストの羅列ではなく視覚的なマップとして捕らえることができることから、解析者による両者の特徴の集約が容易になると考えられる。本研究ではまずKeyGraph手法によりシナリオの集約を試み、KeyGraph手法による集約からもれたシナリオについてタグ付けによる集約を行うこととした。

2-3. シナリオの記述

計4時間のインタビュー調査の結果、熟練者・非熟練者の操縦行動に関して25,000文字程度のテキストデータが得られた。このテキストデータをもとに、熟練者・非熟練者の操縦行動についてのシナリオを記述した。シナリオの記述に際して、「[走行状況、行動、結果]を明記する」とした記述ルール^[8]を設けた。また、シナリオ内で用いる語の統一化を行った。表1に

作成したシナリオの一例を示す。熟練者・非熟練者それぞれについて22篇、計44篇のシナリオを作成した。

2-4. シナリオの集約

作成したシナリオを用いてKeyGraph手法によるシナリオマップの作成を行った。ここでは熟練者に関するシナリオのみを用いた「熟練者マップ」、非熟練者に関するシナリオのみを用いた「非熟練者マップ」、すべてのシナリオを用いた「総合マップ」の3つのシナリオマップを作成した。シナリオマップの作成にはPolaris⁶⁾0.19 alphaを用い、語同士の共起度の計算にはJaccard係数⁶⁾を用いた。KeyGraphによるシナリオマップを構成するノードとリンクの凡例を表2に示す。解析に用いるノードやリンクの数が多ければシナリオの詳細な構造を表す大縮尺マップとなり、少なければシナリオの全体構造の概略を表す小縮尺マップとなる。本研究では、高頻度語を上位25語、ハブを上位10語、キーアイテムを上位10語、リンクを上位25リンク用いた。

図2に熟練者マップを、図3に非熟練者マップを、図4に総合マップをそれぞれ示す。それぞれのマップにおいて、コーナー進入行動、旋回行動、立ち上がり行動といったコーナーを旋回する際の経時的な行動が表現されていることが分かる。また、図2～4のようにマップを切り分けると、①ハンドル操舵の力加減、②車体傾斜時のスロットル・ブレーキ操作、③視認行動といった技量評価視点の主要な要因が抜き出されていることが分かる。この3つの主要因について、マップをもとにさらに解釈を進めた。その結果、技量評価視点の主要因として表3中のNo.1～3に示す3つが考えられた。この3つの要因と解析に用いた44篇のシナリオとの対応を検討した。結果、要因1には8篇、要因2には12篇、要因3には14篇のシナリオが対応しており、KeyGraph手法により計34篇のシナリオを3つの要因に集約することができた。残り10篇のシナリオについては、内容に応じたタグ付けを行い、タグによる集約を行った。その結果を表3中のNo.4, 5に示す。以上より、KeyGraph手法並びにタグ付けを併用することで44篇のシナリオから5つの技量評価視点の主要因を抽出することができた。

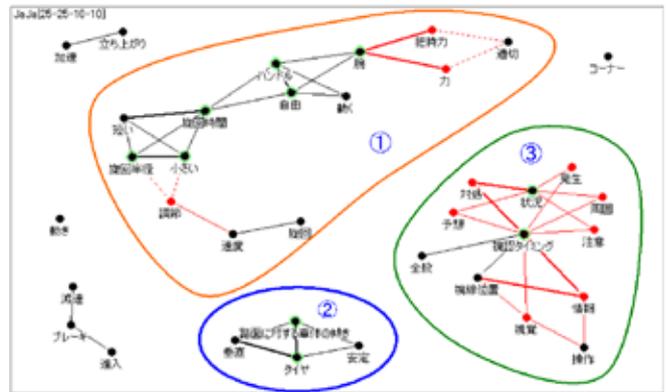


図2 KeyGraph 手法による熟練者シナリオマップ

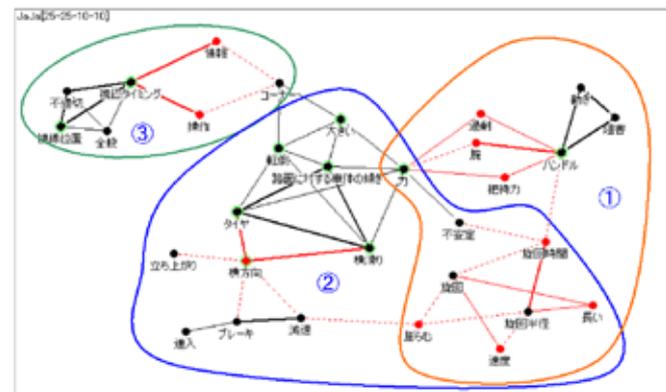


図3 KeyGraph 手法による非熟練者シナリオマップ

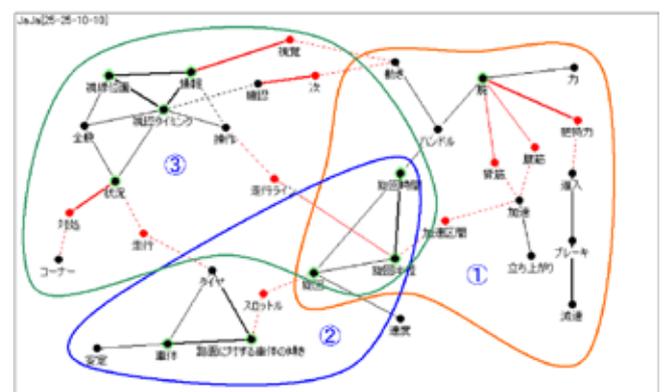


図4 KeyGraph 手法による総合シナリオマップ

表2 シナリオマップ中のノードとリンクの凡例

名称	凡例	説明
高頻度語	●	シナリオ中の出現頻度が高い語
ハブ	●	出現頻度は低い、他の複数の語と共起度が高い語
キーアイテム	●	他の語との共起関係が特に強い語
リンク	-----	共起度が高い語を結ぶ

3 技量評価視点の定量化

3-1. 計測概要

表3に示す5つの技量評価視点の主要因を計測可能なライダーの操縦行動、車両挙動から検証するために、ライダーの腕の筋活動、頭部運動、並びに各種操作、車両挙動を同期計測するシステムを構築した。構築した計測システムの概要を図5に示す。図5に示した計測システムを用いて、操縦技量の異なる15名の被験者を対象に、トライカーナコース走行時における計測を行った。被験者の操縦技量は14名の走行指導員による技量評価を基準とし、初級群・中級群・上級群に分類した。技量評価はトライカーナコースを「安全マージンを確保

した上で、できるだけ早く走行すること」と教示して走行した際の走行を対象として行った。14名の走行指導員が1(免許取りたて程度の技量)~10(走行指導員程度の技量)の10段階スケールを用いて技量評価を行った際の平均評価値を被験者の操縦技量と定義し、操縦技量の上位5名を上級群、中位5名を中級群、下位5名を初級群とした。各群における技量評価値の平均値は、上級群で8.5、中級群で5.2、初級群で2.5であった。計測はコース2周を1試行とし、各被験者とも3試行おこなった。走行時の教示は前述のとおりである。なお、走行前に計測対象の筋について、被験者が自発的に発揮できる最大筋活動量(最大随意筋収縮:MVC)を計測した。

表3に示す5つの要因それぞれについて、実測データを用いた検証を行い、その結果から操縦技量評価視点の定量化を行った。表3に示す要因はいずれもコーナーにおける旋回時の行動に関するものであるため、旋回区間に絞って検証を行った。なお、旋回区間は車体のヨーレート値が2秒以上連続して5deg/sec以上を記録した区間と定義した。

表3 KeyGraph 手法によるシナリオの集約結果

No	技量評価視点の主要因	
	要因名	詳細
1	ハンドル操舵	ハンドル操舵の力加減が、旋回時におけるハンドルの動きに影響し、旋回時間や旋回半径に影響を及ぼす。
2	車輛傾斜時のスロットル・ブレーキ操作	路面に対して車体が傾いている時の、スロットル操作・ブレーキ操作の仕方が、旋回時の旋回半径、旋回時間並びにスリップの危険性に影響を与える。
3	視認行動	視線位置、視認タイミングが、コーナー全体での情報の取得、操作に影響を及ぼし、旋回時の走行ライン、旋回に要する時間に影響を与える。
4	修正操作	ハンドル、スロットル、ブレーキの各操作の修正量が、旋回時の旋回半径、旋回時間に影響を及ぼす。
5	車輛傾斜量とフロントブレーキ操作の関係	コーナー進入、立ち上がり時の路面に対する車体の傾きの大きさと、それに応じたフロントブレーキの操作が、旋回時におけるハンドルの動きに影響し、旋回時間や旋回半径並びにスリップの危険性に影響を及ぼす。

3-2-1. ハンドル操舵の力加減

1番目の要因から旋回時におけるライダーの腕の力みが操縦技量を表す指標となると考えられる。そこでライダーの力みを反映すると考えられる上腕の筋(上腕二頭筋、上腕三頭筋)、並びに肩の筋(三角筋)の活動量に着目して検証を行った。ここではライダーの筋活動量を10サンプル毎の筋電図電位

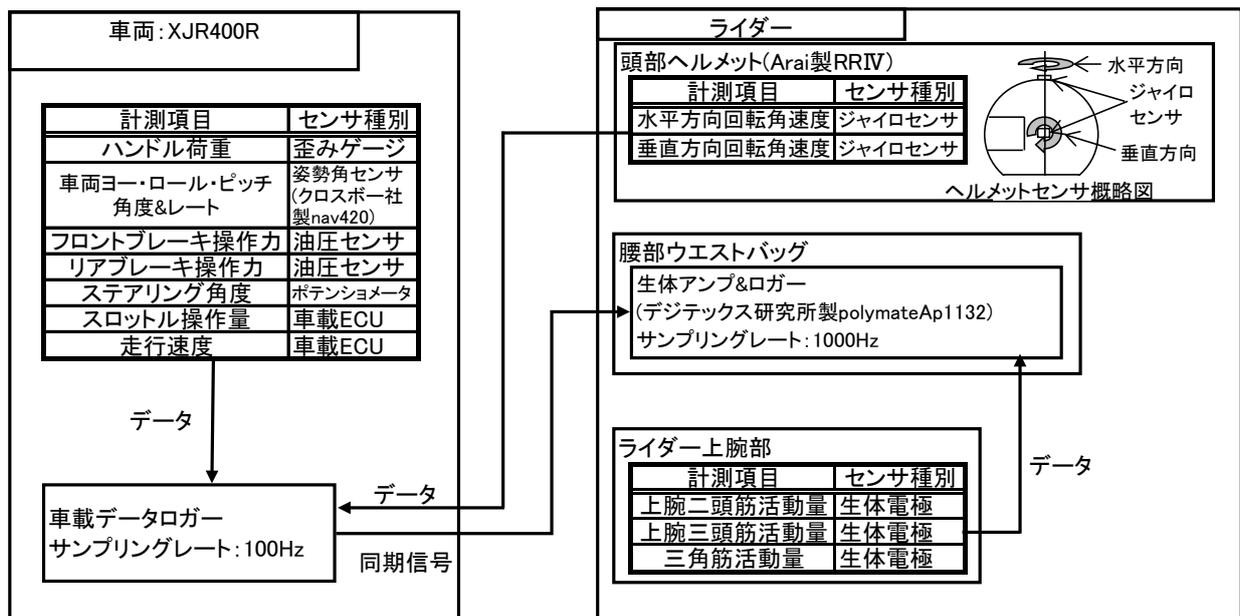


図5 計測システム概要

EMG(t)の実効値RMS{EMG(t)}と定義し、(1)式により求めた。^[9]

$$RMS\{EMG(t)\} = \left(\frac{1}{10} \int_t^{t+10} EMG(t)^2 dt \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

さらに、各ライダーの最大随意筋収縮時の筋活動量を(1)式により求め、筋活動量を最大随意筋収縮時の筋活動量で除して標準化した値(%MVC)^[9]を算出した。

図6に、各群に属するライダーの旋回区間における%MVC値の最大値を示す。以降、図に示す値は、断りがない限り全3回の試行における各群の被験者の全カーブにおける平均値である。図から、上腕二頭筋では操縦技量が高いほど筋活動量が少ないことが分かる。また三角筋では上級群で筋活動量が少ないことが分かる。上腕二頭筋は屈筋であり、肘を曲げる際に働く。また、三角筋は外転筋であり、オートバイの操縦では肘を曲げた際に肩関節が外転することで働くと考えられる。上腕三頭筋は伸筋であり、肘を伸ばす際に働く。これらのことから初級者はハンドルを手前側に引き込む動きをしており、そのため、オートバイの操縦において肘を曲げる際に活動する上腕二頭筋、三角筋の活動量が大きくなったと考えられる。よって操縦技量の違いは旋回区間における上腕二頭筋並びに三角筋活動量に表れると考えることができる。

次に、ライダーがハンドルを把持することで生じるハンドルへの荷重の大きさとライダーの上腕の筋活動量との関係に着目した。ここでは、ハンドル荷重のデータに対して各筋活動量データを0-500ms進めた際の相互相関関数を導出し、その最大値を求めた。その結果、上腕二頭筋活動量とハンドル荷重の相互相関関数にライダーのスキルに応じて特徴的な傾向が見られた。各群のライダーの上腕二頭筋活動量とハンドル荷重の相互相関関数の最大値を図7に示す。図に示す値は各群に含まれるライダーの全試行中における最大値の平均値である。図より、初級群でその他の群より上腕二頭筋活動量とハンドル荷重の相関関係が弱い傾向にあることが分かる。前述したライダーの筋活動量とあわせて考えると、初級者は旋回区間において大きな力を発揮しているが、その力はハンドルに効率的に伝わっておらず、無駄な力みをしていると考えられる。このような状態では、ハンドルにかかる荷重が減少し、前輪への荷重も小さくなるため、旋回時に前輪から荷重が抜けて車両の旋回性が低下しやすくなると考えられる。上級者は、上肢の筋で発揮した力を効率よくハンドルへ伝えていくと解釈できる。そのため、前輪への荷重も十分にかかり旋回時に十分なグリップ力を保った状態での安定した旋回が可能であると考えられる。以上より、上腕二頭筋活動量、三角筋活

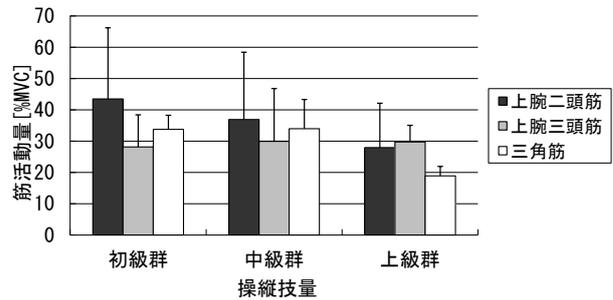


図6 操縦技量と最大筋活動量の関係

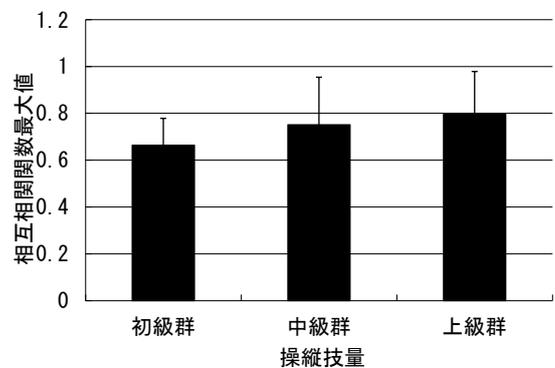


図7 操縦技量と上腕二頭筋活動量・ハンドル荷重の相互相関関数最大値との関係

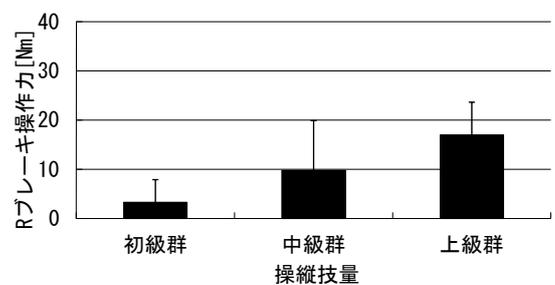


図8 操縦技量とスロットル開度10%未満時のリアブレーキ操作力の関係

動量、ハンドル荷重と上腕二頭筋活動量の関係は操縦技量に応じて特徴的な値を示していることから、操縦技量を表す指標として有望であるといえる。

3-2-2. 車両傾斜時のスロットル・ブレーキ操作

2番目の要因から旋回時、つまり路面に対して車体が傾いている際のスロットル、ブレーキ操作量の関係が操縦技量を表す指標になると考えられる。そこで、車体ロール中におけるスロットル操作量およびブレーキ操作力の関係について検証した。図8に旋回時におけるスロットル開度10%未満時のリ

アブレーキの平均操作力を示す。図より、ライダーの技量が高いほど、スロットル開度が小さい時にリアブレーキを強く操作していることが分かる。これは、スロットルの開け始めに発生する急な駆動力の立ち上がりを抑制することで、車両の安定性を高めるための操作であると考えられる。初級群のライダーはリアブレーキ入力が小さく、駆動力のコントロールをあまり行っていないことが分かる。そのため、スロットルの開け始めに急に駆動力が立ち上がった際にスリップなどの不安定な挙動に陥りやすいと考えられる。以上より、スロットル操作とリアブレーキ操作の関係は、操縦技量に応じて特徴的な値を示していることから操縦技量を表す指標として有望であるといえる。

3-2-3. 視認行動

3番目の要因から旋回時における視線位置、視認タイミングなど、進行方向の確認動作の違いが操縦技量を表す指標となると考えられる。そこで、ライダーが針路を確認するための頭部運動に着目して検証を行った。図9に旋回時における初級群・上級群ライダーの頭部の水平方向回転角速度、並びに垂直方向回転角速度の時系列データの一例を示す。図9より、例に挙げた上級者は水平方向の頭部運動をすばやく、大きく行い、進もうとする先の情報を早いタイミングで得ていることが分かる。反対に初級者は水平方向の頭部運動が小さく、情報の取得が十分に行えていないことが分かる。垂直方向に着目すると、初級者には大きく急峻なピークが複数見られることから、垂直方向に頭が揺れており視野が安定していないことが分かる。反対に上級者は垂直方向回転角速度の値は小さく、初級者に見られるような垂直方向の頭部の揺れが少ないことが分かる。このことから、上級群では旋回中における水平方向の頭部回転量が大きく、初級群では垂直方向の頭部回転量が多くなると考えられる。そこで、計測された各ライダーの頭部回転角速度を積分し、水平方向および垂直方向の頭部回転量を求めた。図10に各群における頭部回転量を示す。図より、水平方向において上級・中級群で初級群と比べ旋回中の頭部回転量が大きく、先述の考察と矛盾のない結果が得られているといえる。しかし、垂直方向の頭部回転量を見ると、群間では技量に応じて明確な特徴が得られていない。これは、垂直方向の頭部回転量の中に、進路確認における挙動と、頭部の不安定な挙動の両方の成分が含まれており、不安定挙動の成分が取り出せていないためであると考えられる。そこで、進路確認のため行われていると考えられる水平方向の頭部回転運動で基準化した垂直方向頭部回転量を求めた。ここでは、垂直方向頭部回転量を水平方向頭部回転量で除し

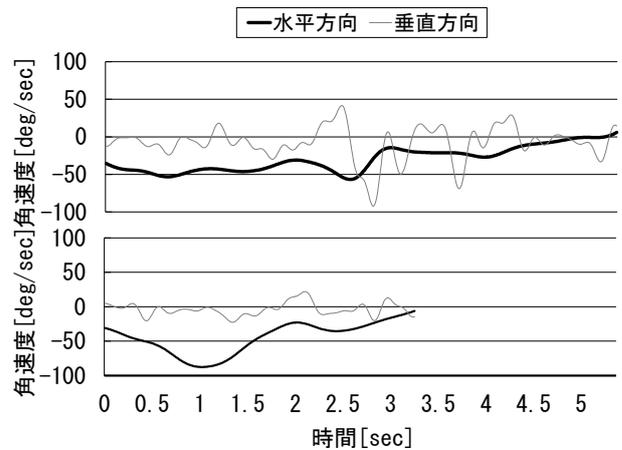


図9 ライダーの頭部回転角速度時系列データの一例 (上段：初級者、下段：上級者)

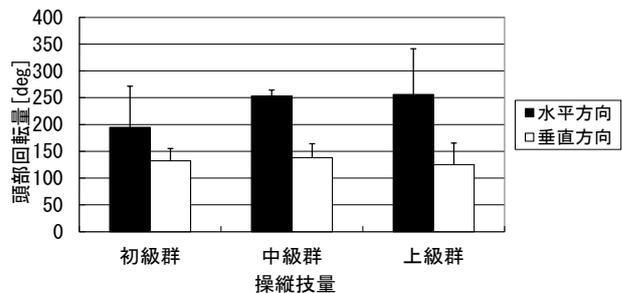


図10 操縦技量と頭部回転量の関係

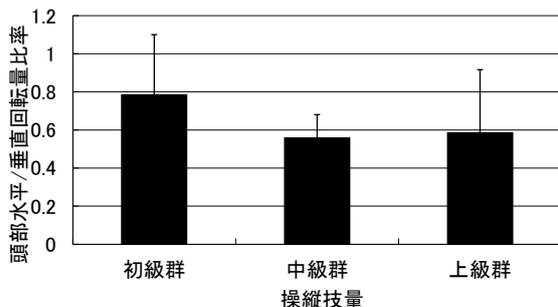


図11 操縦技量と頭部水平/垂直回転量比率回転量の関係

た頭部垂直/水平回転量比率を算出した。図11に各群における頭部垂直/水平回転量比率の平均値を示す。図より、初級群でその値が大きく、初級者は進路確認のための頭部運動が少ないにもかかわらず、垂直方向の頭部運動が多く、視野が安定していないと解釈できる。以上より、頭部の水平方向回転量、並びに頭部垂直/水平回転量比率は、操縦技量に応じて特徴的な値を示していることから操縦技量を表す指標として有望であるといえる。

3-2-4. 修正操作

4番目の要因から旋回時におけるハンドル、スロットル、ブレーキの修正操作が操縦技量を表す指標となると考えられる。そこで、旋回時のライダーのステアリング操作並びにスロットル操作の修正量に着目して検証を行った。リアブレーキ操作については3-2-2にて述べたとおり、初級者は旋回時における操作をほとんど行っておらず修正操作自体が発生しないため、修正操作に操縦技量に応じた特徴は見られないと考えられる。フロントブレーキ操作については3-2-5にて述べる。

四輪車の操舵の修正に関する先行研究では、ステアリング操作はその周波数特性により道路形状成分、予測操作成分、修正操作成分に分けられ、高周波数帯域に修正操作成分が存在するとされている^[10]。そこで本研究でもステアリング操作に周波数閾値を設定し、高周波数帯域の修正操作成分に着目した。ただし、2輪車の操向角は車体のロール運動、ピッチ運動にも影響を受け、ステアリング角度のみでは決まらない^[11]。そこで、車両の操向角の変化を表すヨーレートに着目し、その修正成分についても検討した。修正成分は、ハイパスフィルタ(修正Bartlett Hamming windowを適用した線形位相FIRフィルタ)をステアリング角度データおよびヨーレートデータに適用することで抽出することとした。ここで、ステアリング角度ならびにヨーレートに前述のハイパスフィルタを適用した値の旋回時における積分値を、フィルタを適用せずに求めた旋回時における積分値で除したものを修正成分と定義する。前節で述べた指導員へのインタビュー調査の結果、上級者ほど修正操作が少ないと考えられることから、修正成分の上級群と初級群の差が最大となるよう、周波数閾値を設定した。図12に各群のステアリング角度修正成分およびヨーレート修正成分を示す。図より、技量が低いほどステアリング角度、ヨーレートともに修正成分が多いことが分かり、技量に応じた修正操作の特徴を修正成分指標により表現できていると考えられる。

次に、旋回時におけるライダーのスロットル操作の修正操作量について検討した。ここでは、ライダーがスロットルを閉じる方向に操作した量を修正操作量と定義する。図13に各ライダーの旋回時におけるスロットル修正操作量を示す。図から、初級者はスロットルの修正操作が多い、もしくは大きいことが分かる。自動二輪車の駆動力のコントロールはスロットル操作を介して行われる。旋回中にスロットル操作の修正が発生すると、車両の挙動に乱れが生じて車両の挙動が不安定になり、修正操作が連鎖すると考えられる。このことは、初級者ではステアリング並びにヨーレートの修正成分が大きな値を示していることから推察される。以上より、ステアリング角度、

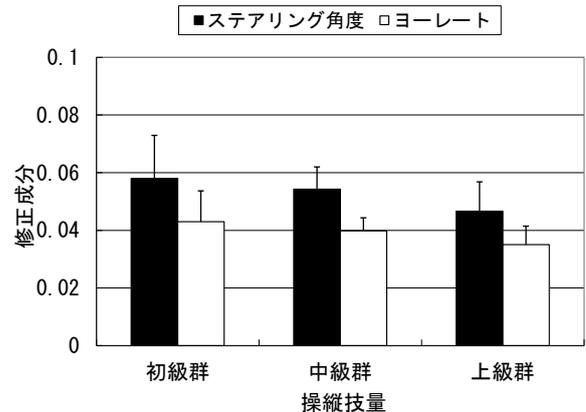


図12 操縦技量とステアリング角度・ヨーレート修正成分の関係

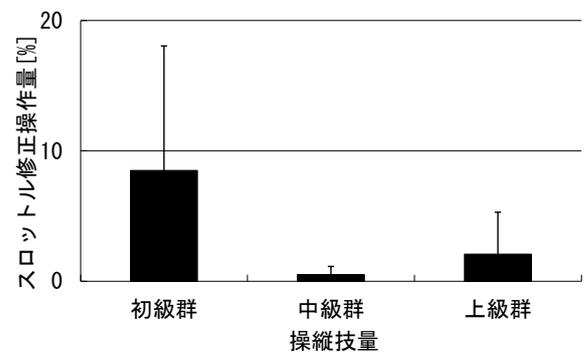


図13 操縦技量とスロットル修正操作量の関係

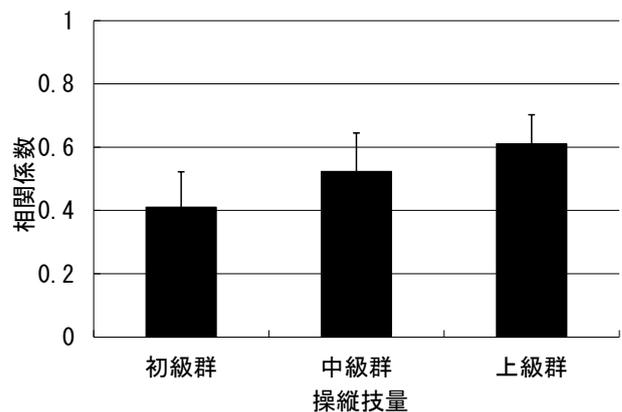


図14 操縦技量と車体ロール角度・フロントブレーキ操作力の相関係数の関係

ヨーレートの修正成分およびスロットル修正量は操縦技量に応じて特徴的な値を示していることから操縦技量を表す指標として有望であるといえる。

3-2-5. 車体傾斜量とフロントブレーキ操作量の関係

5番目の要因から旋回時において、車体傾斜量とフロントブレーキ操作の関係が操縦技量を表す指標になると考えられる。そこで、旋回時におけるライダーのフロントブレーキの操作力と車体ロール角度に着目して検証を行った。図14に各群のコーナー進入時におけるフロントブレーキ操作力と車体ロール角度の相関係数を示す。ここでは、コーナー進入時を旋回区間に入ってから車体ヨーレートが最大となる時点までの区間と定義した。図より、操縦技量が高いほど相関が強いことが分かる。このことから、上級者は車輛のロール運動に合わせて、フロントブレーキのリリースを行っていると考えられる。つまり、上級者はコーナー進入時に車体のロール角度が深くなるにつれて徐々にフロントブレーキをリリースしている。そうすることでハンドルのロックを防ぎ、また前輪から荷重を逃がさず、車体の旋回性を向上させているものと考えられる。反対に初級者はフロントブレーキの急激なリリース、車体ロール角度が大きい時のフロントブレーキ入力などの操作や、ブレーキのかけ直しなどの修正操作を行っていると考えられ、旋回時における車体の安定性、旋回性を損なう要因になっていると考えられる。以上より、コーナー進入時におけるフロントブレーキと車体ロール角度の相関関係は操縦技量に応じて特徴的な値を示していることから操縦技量を表す指標として有望であるといえる。

3-3. 操縦技量評価指標

3-2において操縦技量評価視点の主要因を実測データを用いて検証した結果、10の操縦技量評価指標が得られた。

得られた評価指標と5つの主要因との関係について表4に示す。以下では、これらの操縦技量評価指標を用いて操縦技量に応じたライダーの評価、分類手法について検討する。

4 操縦技量評価指標を用いたライダーの分類・評価

4-1. 操縦技量評価指標の合成

前章にて抽出した10の操縦技量評価指標には相互に相関関係があるものも含まれていると考えられる。また、10次元での分類は次元数が多いため解釈が難しくなる。そこで、ライダー15名分のカーブ毎の各操縦技量評価指標の値を用いて主成分分析を行い、次元の圧縮を試みた。分析では固有値が1以上となる合成指標を選択し、バリマックス法による座標軸の回転を行った。分析の結果、10のスキル判定指標は3つの合成指標に要約され、その累積寄与率は58.46%であった。表

表4 操縦技量評価指標と技量評価視点要因との関係

操縦技量評価指標	技量評価視点要因No
上腕二頭筋活動量	1
三角筋活動量	1
ハンドル荷重と上腕二頭筋活動量の関係	1
スロットル操作とリアブレーキ操作の関係	2
水平方向頭部回転量	3
頭部垂直/水平回転量比率	3
ステアリング角度修正成分	4
車体ヨーレート修正成分	4
スロットル修正操作量	4
フロントブレーキ操作と車体ロール角度の関係	5

表5 合成指標と操縦技量評価指標の相関関係

		合成指標 (解釈結果)		
		合成指標1 (修正操作)	合成指標2 (積極的操作)	合成指標3 (針路確認動作)
操 縦 技 量 評 価 指 標	車体ヨーレート 修正成分	0.829	0.122	0.356
	ステアリング角度 修正成分	0.808	0.074	0.429
	上腕二頭筋活動量	0.652	-0.403	-0.281
	三角筋活動量	0.559	-0.171	-0.074
	ハンドル荷重と上腕 二頭筋活動量の関係	-0.090	0.714	-0.073
	スロットル操作と リアブレーキ操作の関係	-0.063	0.646	-0.116
	フロントブレーキ操作と 車体ロール角度の関係	-0.063	0.558	-0.318
	水平方向頭部回転量	-0.030	0.236	-0.856
	頭部垂直/水平回転量 比率	0.069	-0.096	0.854
	スロットル修正操作量	0.221	-0.325	0.499

5に主成分分析の結果得られた合成指標と合成指標の元となった操縦技量評価指標の相関係数を示す。

ここで、合成指標それぞれに対して意味づけを行う。表5より合成指標1は、「車体ヨーレート修正成分」、「ステアリング角度修正成分」指標との相関が強く、「修正操作」にかかわる指標であると解釈できる。この指標と「上腕二頭筋活動量」、「三角筋活動量」の相関も認められることから、上腕の筋活動量は「修正操作」と関連していると考えられる。合成指標2は、「ハンドル荷重と上腕二頭筋活動量の関係」指標との相関が強く、「スロットル操作とリアブレーキ操作の関係」、「フロントブレーキ操作と車体ロール角度の関係」との相関も認められる。これらの操縦技量評価指標は、積極的に車体に対して操作入力をして車両の挙動をコントロールしようとする際に高い値を示すと考えられる。よって、合成指標2を「積極的操作」の指標であると解釈する。合成指標3は、ライダーが進路確認を行う際の頭部運動の指標である「水平方向頭部回転量」および「頭部垂直/水平回転量比率」指標との相関関係が強く、その他の指標との相関関係は弱い。よって、合成指標3を進路確認動作の指標であると解釈する。

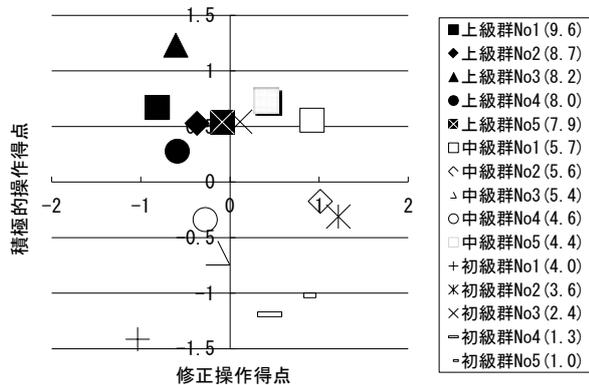


図 15 操縦技量と修正操作得点・積極的操作得点の関係

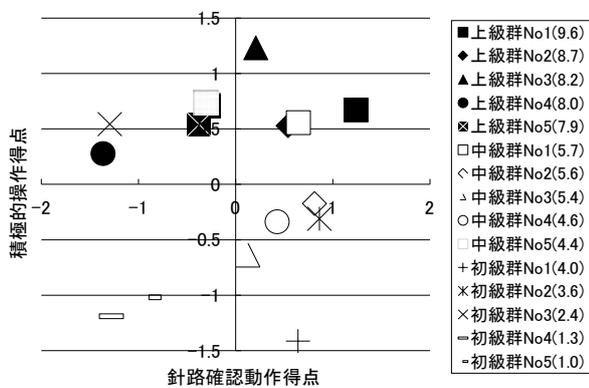


図 16 操縦技量と針路確認動作得点・積極的操作得点の関係

4-2. 合成指標によるライダーの分類

主成分分析の結果から得られた合成指標を利用してライダーの特徴を分類する。修正操作指標を横軸、積極的操作指標を縦軸にとり、各ライダーのカーブ毎の得点の平均値をプロットしたものを図15に、進路確認動作指標を横軸、積極的操作指標を縦軸にとり、各ライダーのカーブ毎の得点の平均値をプロットしたものを図16に示す。図中のデータは、指標毎に全データの平均が0、標準偏差が1となるように標準化したものである。また、凡例の括弧中の数字は指導員による技量評価得点の平均値を表している。修正操作得点は高いほど操縦時の修正が多く、積極的操作得点は高いほど車両をコントロールするために積極的な操縦を行っていると解釈できる。また進路確認動作得点は高いほど進路確認動作を大きく行っており、視野の安定性も高いと解釈できる。図15、16より、上級者群の中でも特に指導員による評価が高い図中No.1、2のライダーは積極的に操作入力を行い車両を積極的にコントロールしつつ、修正操作が少ない安定した走行を行っているという解釈できる。また、進路確認のための頭部運動も視野の

安定性を損なわない形で十分に行えていると解釈できる。反対に指導員による評価の低い初級群No.4、5のライダーは進路確認を的確に行っていないために修正操作が多くなり、車両の旋回性を引き出すような積極的操作を行うことができずと解釈できる。その他のライダーの特徴はさまざまであり、たとえば中級群No.1のライダーは旋回性を引き出すために車両を積極的にコントロールしようと試みているものの、うまくいかずに修正操作が多くなっていると解釈できる。また、初級群No.3の被験者は積極的な操作入力を行っているものの、修正操作が多く不安定であり、かつ進路確認がおろそかになっている危険な状態であると解釈できる。さらに、初級群No.1の被験者については、修正操作は少ないが、積極的な操作入力も極端に少なく、ほとんど操作入力を行わない非常に消極的な乗り方をしていると解釈できる。このように、3つの合成指標の値は、技量の高低に応じた値を示すことから、操縦技量の評価に活用可能であると考えられる。またこれらの合成指標を用いることで、技量の高低のみならず、ライダーによる操縦の特徴を定量的に把握、評価することができる。評価結果をライダーにフィードバックすることで、ライダーは自身の技量とその特徴を知ることができるため、適切な技量の自己評価を行うことができるようになると思われる。さらに、ライダー自身が評点を向上するために試行錯誤を繰り返すことで技量向上の促進効果も期待できると考えられる。

5 まとめと課題

本稿では、自動二輪車ライダーに定量的な操縦技量評価を与えることで適正な自己評価を助け、リスクテイキング傾向を抑制することを目的として、自動二輪車ライダーの操縦技量の定量評価の可能性を検討した。その中で、自動二輪車における走行指導員による操縦技量評価の主要因をインタビュー調査により明らかにした。さらに、技量評価の主要因を走行中に計測可能なライダーの操縦行動、車両挙動から検証することで、ライダーの操縦技量を修正操作、積極的操作、進路確認動作の3つの評価軸を用いて評価する手法を提案した。そして、提案手法によりライダーの技量の高低のみならず、ライダーによる操縦の特徴を定量的に把握、評価できる可能性を示した。以上のことから、旋回走行中のライダーの操縦技量を操縦行動、車両挙動から定量評価する可能性を示すことができたとはいえる。ただし、これらの結果は本研究において設定した基礎的な走行課題においてのみ言えることである。今後、本研究にて得られた知見をより多くの走行環境に展開するとともに、被験者を増やし、再現性、一般性の検証を行

う必要がある。また、本報告における定量化手法ではライダーの生体情報の計測を必要としている。生体情報の計測はライダーに負荷を与えるため、生体情報を用いない定量化手法についても検討していく。

■著者



森島 圭祐
Keisuke Morishima
技術本部
研究開発統括部
イノベーション研究部



大本 浩司
Hiroshi Daimoto
技術本部
研究開発統括部
イノベーション研究部

6 参考文献

- [1]財団法人交通事故総合分析センター：二輪車事故の特徴分析による事故・死傷者数の低減研究；(2009)
- [2]松浦：運転技能の自己評価に見られる過大評価傾向；心理学論評、Vol.42、No.4、pp.419-437(1999)
- [3]中井、白井：運転技能の自己評価がリスクテイキングに及ぼす影響；交通心理学研究、Vol.23、No.1、pp.20-28(2007)
- [4]ユーザビリティハンドブック編集委員会：ユーザビリティハンドブック；共立出版、第4部(2007)
- [5]黒須：マイクロシナリオ手法；NIME研究報告、Vol.17(2006)
- [6]大澤：チャンス発見のデータ分析；東京電機大学出版局、第4章(2006)
- [7] ISO9241-210:Ergonomics of human-system interaction -Part 210: Human-centred design for interactive systems
- [8]Daimoto, H、 et al:Application of Micro-Scenario Method (MSM) to User Research for the Motorcycle's Informatization、Lecture Notes in Computer、4550、49-57、Heidelberg、Springer (2007)
- [9]米国保健福祉省公衆衛生局疾病予防センター：表面筋電図の人間工学応用(瀬尾・小木 監訳)；(財)労働科学研究所出版部、第4章、第5章(2004)
- [10]磯村他：ドライバのハンドル操作におけるヒューマンファクタ；自動車技術会論文集、Vol.27、No.1、pp.122-126(1996)
- [11]自動車技術ハンドブック編集委員会：自動車技術ハンドブック 1 基礎理論編；社団法人自動車技術会、7 章12節(2004)