

意識消失時の自動車運転姿勢再現による事故予防対策について

河内 茂紀¹⁾, 一杉 正仁²⁾, 楨 徹雄³⁾, 櫻井 俊彰³⁾

¹⁾ 東京都市大学大学院工学研究科

²⁾ 獨協医科大学法医学講座

³⁾ 東京都市大学工学部

(平成 24 年 9 月 3 日受付)

要旨：【目的】運転中の体調変化による事故を防止するため、工学的知見から剖検例を利用した事故再現を行う。そして運転者の意識消失状態を検出し、事故を防止するシステムの構築に有効な知見を導き出す。【対象および方法】運転中に虚血性心疾患と、くも膜下出血で意識消失し単独前面衝突事故死に至った 2 例の剖検例を用いた。いずれの運転者ともシートベルトを着用しており、エアバッグは展開していなかった。この 2 例の剖検例に対して意識を消失し、衝突事故に至った過程の乗員挙動を再現した。再現にはマルチボディダイナミクス解析を行う MADYMO7.0 (TNO オートモーティブ社) を用いて、ダミーと車両から構成されるシミュレーションを行った。【結果】シミュレーションにより再現された乗員挙動と剖検例から推測される挙動が一致し、受傷部位と車室内構造物との接触が確認できた。また、事故直前における乗員姿勢が極端に前傾姿勢であり額部がステアリングに覆いかぶさるような状態であることがわかった。【考察および結論】今回再現された姿勢は覚醒状態の乗員における姿勢とは対照的である。したがって、乗員姿勢から意識消失の判断が可能であると考えられる。乗員姿勢を考慮したシステムを構築することで意識消失が原因と考えられる事故の発生を未然に防止する事が可能である。本検討結果は運転中の意識消失による事故の効果的予防対策構築の一助となると考える。

(日職災医誌, 61:144—147, 2013)

キーワード

意識消失, 事故再現, 運転, 姿勢, 剖検

はじめに

わが国では交通安全対策基本法に基づき、安全に関して総合的かつ長期的な施策を定め、世界一安全な道路交通の実現を目指している。しかし、平成 22 年において全国で発生した交通事故の発生件数は 725,773 件、負傷者数は 89,620 人であり、依然として高い数値である。したがって、交通安全に向けての更なる交通事故予防対策が必要であると考えられる。

予防対策を実施するうえでは、正確な事故原因を把握することが重要である。自動車事故原因の 1 つとして運転者の体調変化によるものがある。運転中に体調変化が生じると、一時的に運転操作へ支障をきたす。一杉らは、死因が運転中の病死であった法医剖検例 46 例を対象に事故直前の回避行動の有無を調査した。その結果、事故直前の回避行動が認められたのは全体の 26.5% であり、回避行動を取れなかった例が 7 割を超えていたことを明

らかにした¹⁾。運転者の体調変化によって自動車は無制御状態となり、一般交通参加者を巻き込んだ事故を生じ得る。体調変化により運転が継続できなくなったタクシー運転者に対する検討によれば、体調変化があった運転者の 60.0% が事故につながっていた²⁾。

わが国では運転者の体調変化に伴う事故の包括的な実態調査は実施されていない。しかし、2008 年にフィンランド国内で実施された交通死亡事故の詳細調査によると、約 10% は運転者の体調変化が原因で生じた事故であった³⁾。これを平成 22 年度のわが国における死亡事故件数の 4,726 件に当てはめると、約 470 件となる。したがって、これらを予防し、さらに死亡に至らない重傷事故を減らすことは重要である⁴⁾。そこで、われわれは詳細な事故データ及び損傷データが得られる剖検例を用いて医学工学的観点から新たな取り組みを始めた⁵⁾。すなわち、運転中の体調変化を早期に検出し、事故を予防するシステム開発の一助となるものである。

体調変化の診断方法として、衝突直前の乗員姿勢に着目した。体調変化により意識を消失した場合、姿勢に何らかの変化が生じる可能性が考えられる。われわれは、剖検によって明らかにされた人体損傷などをもとに事故直前の乗員姿勢をコンピュータシミュレーションモデルで再現した。そして、シートベルト非着用時における自動車運転者の交通事故例について事故直前に正規着座姿勢でなかったことを明らかにした。本報では既報の手法を用いて、さらにシートベルトを着用していた事例について検討を行った。その結果、事故直前における乗員は明らかに意識消失と考えられる姿勢であったことが判明した。本検討によって意識消失による事故防止システムの構築に役立つ情報が得られたので報告する。

対象及び方法

事故再現にはコンピュータシミュレーションを用いた、マルチボディダイナミクスによる挙動解析を行った。これには、MADYMO7.0 (TNO オートモーティブ社) を使用した。解析モデルは衝突ダミーモデルと車室内モデルから構成される。衝突ダミーモデルは前面衝突用ダミー Hybrid III AM50%ile (以下 AM50) (剖検例 1 に使用) 及び Hybrid III AF05%ile (以下 AF05) (剖検例 2 に使用) を模擬した TNO オートモーティブ社製の解析モデルを剖検例の乗員体格にスケールして使用した。車室内モデルは、剖検例から抽出した事故車種の寸法、質量、慣性モーメントをもとに力学的特性が同様になるようにフロア、ステアリング、インストゥルメントパネルを作成した。なお、車室内モデルの力学特性や乗員保護装置の各種特性に関しては、事故車両の特性が不明

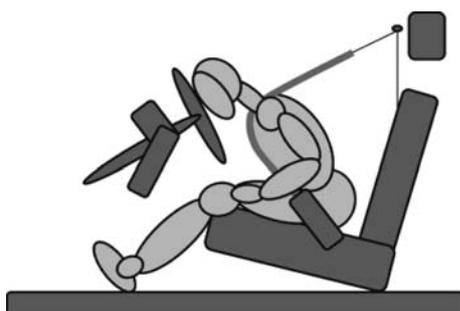


図1 剖検例1より推測される乗員姿勢

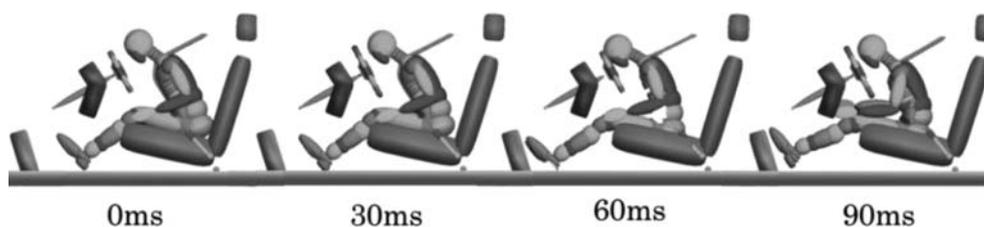


図2 剖検例1より再現した乗員挙動

であったため、一般的な車両の特性を入力した。モデルの妥当性は、既報のとおり確認した⁵⁾。

対象剖検例

運転中に運転者が病死し、前面衝突事故に至った2例を対象とした。2例とも事故直前の回避行動(制動、ステアリング操作)が見られなかった。運転者はシートベルトを着用していたが、エアバッグは展開していなかった。各例の概要を以下に示す。

剖検例1

運転者：70歳の男性。身長165.0cm，体重63.5kg。

事故状況：男性が運転する普通乗用車が歩道縁石を乗り越え人家の外壁に時速10～20km/hで衝突し、前部バンパーとボンネットが凹損した。男性は運転席でシートベルトを着用し、助手席側へ傾いた状態で発見された。

死 因：冠状動脈硬化症による虚血性心不全(病死)。

剖検例2

運転者：47歳の女性。身長154.4cm，体重46.5kg。

事故状況：女性が運転する軽乗用車が道路左側の塀や石垣に接触しながら走行し、進路右の電柱に時速30～40km/hで衝突した。女性は運転席でシートベルトを着用し、外を向いてドアにもたれかかった状態で発見された。

死 因：脳底動脈瘤破裂によるくも膜下出血(病死)。

結 果

1. 対象剖検例1について

剖検所見と損傷機序

左前頭部に挫創(AIS:1)が認められた。左第5～7肋骨は前面部から側面部で骨折(AIS:2)していた。以上より、額部挫創はステアリングとの接触で、多発肋骨骨折はシートベルトの圧迫で生じたと考えられた。すなわち、左肋骨上にシートベルトがかかった状態で前方に移動し、ステアリングに左眉部(額部)が衝突したと考えられた。

解析結果

運転席のシートをニュートラルポジションから車体後方へ30mmスライドさせ、上体を前方へ45度傾けた姿勢とした。このとき額部とステアリングボスとの接触が発生した。また、傷害部位外での頭部とステアリングリムもしくは膝部とインストゥルメントパネルとの接触がな

いことを、姿勢決定の根拠とした。

推定した姿勢における挙動を図2に示す。衝突直後に乗員はショルダーベルトが左胸部前面部を圧迫しラップベルトが腹部を圧迫した状態で前方に移動した。ラップベルトが腹部を圧迫しつつ55msで前額部がステアリングポストと接触した。その後70msで前額部がステアリングポストから離れた。

2. 対象剖検例2について

剖検所見と損傷機序

顔面では頤部に表皮剥脱および皮内出血(AIS:1)を認めた。頸部では第3頸椎椎間板損傷(AIS:3)、第6頸椎骨折(AIS:3)を認めた。胸部では右第8肋骨骨折(側胸部)、左第2肋骨骨折(前胸部)、右第9~12骨折(背側)を認めた(AIS:3)。右腰部では皮下出血(AIS:1)を認めた。以上より、腰部の皮下出血はラップベルトの圧迫で、その他の損傷は頤部をステアリングに強打し頤部過伸展によって生じたと考えられた。

解析結果

運転席のシートをニュートラルポジションから車体前方に80mmスライドさせ、上半身の傾斜角を前方45度、上体左右角度を左20度、ヒップポイントを40mm前方の姿勢とした。このとき、頤部と右下顎部がステアリングリムに接触した。

推定した姿勢における挙動を図4に示す。衝突直後に乗員はショルダーベルトを左胸部前面部にかけた状態で前方に移動し、30msで胸部上方左がステアリングリムに接触し、30ms~60msにかけて右顎部から頤部をステアリングリムに擦るように接触しながら頤部が伸展した。また、同時にラップベルトにより腰部が圧迫された。乗員は前方移動を続けた後、90msで車両に入力される



図3 剖検例2より推測される乗員姿勢

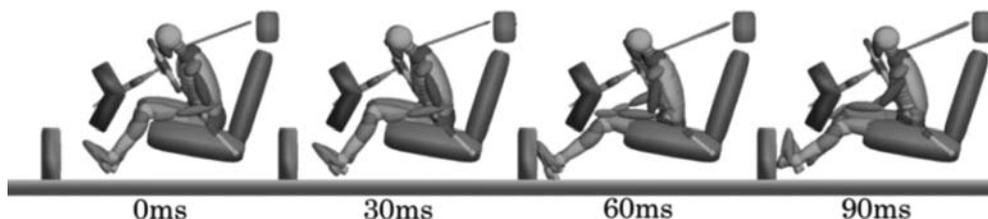


図4 剖検例2より再現した乗員挙動

衝突波形が0Gとなりショルダーベルトに引っ張られることにより上体が後方へと移動した。以上より、衝突挙動における乗員と車室内モデルとの接触状況が剖検例より推測された乗員挙動と一致した。

考 察

今回検討を行った2例の剖検例は、いずれも事故直前において前傾姿勢であった。剖検によって死因が内因性疾患と確定したことから、この時すでに意識消失状態であったと考えられる。したがって、覚醒状態にある乗員がとる衝突時の乗員姿勢との比較を行うことにより、意識の有無とそのときの姿勢の関係を検討することができる。Heiterらのドライビングシミュレータを用いた検討では、被験者32人のうち、事故直前に前傾姿勢を取ったのは2人に過ぎず、過半数が上体を後方に移動させた⁶⁾。これより、覚醒状態にあるドライバーは、事故時に前傾姿勢をとる可能性は極めて低いことが分かる。したがって、本検討で確認できたように衝突直前に乗員が顔を下に向けた前傾姿勢であることは、覚醒状態の乗員が事故直前にとる姿勢とは対照的である。したがって、運転中に体調変化が生じたか否かを診断するための重要なファクターとなり得る。

著者らは、剖検例をもとに自動車事故に遭遇した運転者の挙動を再現してきた⁵⁾。そして、シートベルト非着用運転者が意識を消失するなどにより極端な前傾、あるいは後傾姿勢をとったことを再現できた。近年のシートベルト着用率についての報告によると、運転者の97.5%がシートベルトを着用しているという⁷⁾。したがって、今回はより事故の実態に沿うようにシートベルト着用者を対象に検討を行った。シートベルト着用時には身体が座席上に拘束されるためシートベルト着用者が運転中に意識消失した際の姿勢は限定できると思われる。特に、本検討で明らかにした極端な前傾姿勢で頤をステアリングに覆うような例はその代表的なものとする。このような姿勢では正常な運転ができないと判断し、運転者の体調変化に起因した事故を防止するには、この特徴的姿勢を把握することが第一歩と考える。例えば、運転中の姿勢をリアルタイムに検知することができれば、乗員が今回のような姿勢を取った時は意識消失に陥った可能性を強く疑うことが出来る。そして、自動的に制動力がかかる

としたならば事故を予防する、あるいは被害を軽減することが出来るだろう。

今後は意識消失と乗員姿勢の関係を表すシステムの構築に向けて、運転者の意識状態と着座姿勢との関係を定量的に評価していく必要がある。

まとめ

運転中に内因性疾患で意識消失、事故に至った例を対象に、シートベルト着用下での乗員の姿勢、衝突前後での挙動を再現した。そして、極端な前傾姿勢は運転中の体調変化を診断する重要なファクターになり得ると判断した。本検討は事故原因を解明する一助になると共に、運転中の体調変化による事故を予防するシステムの構成に有効と思われる。

謝辞：本報告制作にあたりデータを提供して頂いた東京都市大学大学院卒業生である安川淳氏に深謝申し上げる。

本検討の一部は、平成24年度日本損害保険協会自賠責運用拠出事業の一環で行われた。

文献

- 1) 一杉正仁, 木戸雅人, 黒須 明, 他: 運転中の突然死割検例の検討. 日本交通科学協議会誌 7 (1): 3—7, 2007.
- 2) 一杉正仁, 大久保堯夫: タクシー運転中の病気発症例についての解析—労働環境と発症状況を考える—. 日本交通

科学協議会誌 8 (2): 27—32, 2008.

- 3) Tervo TM, NEira W, Kivioja A, et al: Observation failure/distracted and disease attack/incapacity as cause (s) of fatal road crashes in Finland. Traffic Inj Prev 9: 211—216, 2008.
- 4) 一杉正仁: 運転管理に必要な疾病・薬剤の知識. 労働科学 87: 240—247, 2011.
- 5) 安川 淳, 一杉正仁, 檜 徹雄, 他: 剖検例に基づく自動車運転姿勢の再現の試み—運転中の意識消失の可能性を考える—. 日本交通科学協議会誌 11 (2): 25—31, 2011.
- 6) Hetier M, Wang X, Robache F, et al: Experimental Investigation and Modeling of Driver's Frontal Pre-crash Postural Anticipation. SAE Transactions: 2877—2884, 2005.
- 7) 警察庁, 日本自動車連盟 (JAF): シートベルト着用状況全国調査 (2011). 東京, 日本自動車連盟 (JAF), 2011, pp 1.

別刷請求先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1—28—1
東京都市大学大学院工学研究科機械力学研究室
河内 茂紀

Reprint request:

Shigeki Kawachi
Graduate School of Engineering Tokyo City University
Graduate Division, 1-28-1, Tamazutsumi, Setagayaku, Tokyo,
158-8557, Japan

Vehicle Driving Posture at Drivers' Unconsciousness and Accident Prevention

Shigeki Kawachi¹⁾, Masahito Hitosugi²⁾, Tetsuo Maki³⁾ and Toshiaki Sakurai³⁾

¹⁾Graduate School of Engineering Tokyo City University Graduate Division

²⁾Department of Legal Medicine, Dokkyo Medical University, School of Medicine

³⁾Tokyo City University, Faculty of Engineering

To diagnose the unconsciousness while driving a vehicle, we investigated the driving posture immediately before the collision. Computer simulations were performed based on forensic autopsy cases in which drivers had not taken avoidance maneuvers. MADYMO 7.0 was used to reconstruct the accidents. Two drivers with a seat belt had operated a small passenger vehicle and suffered from disease attacks. Then, the vehicles collided to the objects without deployment of airbags. The drivers found dead and diagnosed as ischemic heart disease and subarachnoid hemorrhage. Focusing attention on the pre-crash drivers' posture, we reconstructed the driver kinematics during crash based on the autopsy findings. It is clarified that the drivers' upper torso bended forward immediately before the collision. We found that these drivers' posture reflected the loss of consciousness during the driving. Our analysis may contribute to the diagnosis that the driver had lost consciousness while driving and if breaking automatically, subsequent collision may be avoided. Reconstruction of driving posture before the collision by computer simulation model might be useful for the prevention of vehicle collision due to the disease attack while driving.

(JJOMT, 61: 144—147, 2013)