

研究テーマ

半側空間無視を呈した脳卒中者の注視特性を捉える運転シミュレータの開発

研究代表者

施設名：静岡リハビリテーション病院

氏名：田中 幸平

研究テーマ：半側空間無視を呈した脳卒中者の注視特性を捉える運転シミュレータの開発

所属先：静岡リハビリテーション病院

氏名：田中 幸平

【目的と方法】

1. 目的

脳卒中後の自動車運転再開に関する報告では、安全性に着目した運転可否判断の予測に関する報告が多い。危険運転を予測してリスクを回避することで交通事故の発生を最小化するという視点は重要である一方、そのリスクの原因および脳卒中者の残存機能の把握を行い、機能の改善を図ることが極めて重要である。半側空間無視は右半球損傷後に好発する神経学的症候であり、大脳半球病巣と反対側の刺激に対する反応、応答、注意が障害される特徴を持つ(Heilman 2000)。病態の特性を勘案すれば自動車運転に大きな困難が伴い、事故等のリスクを孕むことは容易に想像できる。しかし、半側空間無視の症状が軽微な場合、無視空間に意図的な注意を向けることで検査上において一見改善したように判断されてしまうため、机上検査では一定の限界があるといえる。半側空間無視の病態メカニズムでは、視覚性注意ネットワークの停滞が関与しているといわれ、このネットワークは意識的に注意を向ける能動的注意、外発的な視覚刺激に応答する受動的注意によって成り立っている(Corbettaら 2011)。机上検査の結果で無視症状がないと判定される成績であったとしても、半側空間無視の既往があり日常生活場面で無視症状が現れるような場合、意図的に左空間へ視線を偏向することで無視症状に対応しようし、前頭機能の過剰動員を要求する可能性がある(Takamuraら 2016)。自動車運転時に無視空間への視線や頭部の動きの代償がどのように現れるか評価はなされておらず、臨床評価との関連性も明らかにはされていない。

本研究は、医学的に無視症状の病態を捉えた上で、視線と頭部の動きを計測できる新たな運転シミュレータを用い、その評価の妥当性を検証することで、より安全性の高い運転再開支援を行うことを目的とした。

2. 方法

2-1. 対象

対象は当院に入院または外来通院している脳卒中症例とした。

2-2. 評価

神経心理学的検査は、MMSE (Mini-Mental State Examination)、TMT (Trail Making Test) -A、TMT-B、BIT (Behavioural inattention test) 行動性無視検査の通常検査を実施した。脳卒中ドライバーのスクリーニング評価としてSDSA (Stroke Drivers' Screening Assessment) を用いた。SDSAは、ドット抹消、方向スクエアマトリックス

(方向)、コンパススクエアマトリックス(コンパス)、道路標識の4つのサブテストから構成されており、ドット抹消は注意機能、方向とコンパスは空間認知と遂行機能、道路標識は道路状況の判断や遂行機能を評価しているとされている(加藤 2017、山田 2018、Radford 2004)。視覚的注意機能は、@ATTENTION (クレアクト社製) を使用し、能動的注意/受動的注意の評価をした(河島 2015)。@ATTENTIONでは、PCディスプレイ上に縦7列、横5行で配列される黒い正円オブジェクトを非麻痺側手でタッチする能動課題(図1)、正円オブジェクトのうち赤く点滅するターゲットをタッチする受動課題(図2)を実施した。受動課題の結果は、全オブジェクトに対する平均反応時間(RTmean)、左側空間のオブジェクト15個の平均反応時間から右側空間のオブジェクト15個の平均反応時間を除した左右比(L/Rratio)の2変数を算出した。L/Rratioが1よりも大きくなればなるほど左側空間に対する反応が遅れているという解釈になる(図3)。RTmeanはオブジェクトの空間的な位置に限らず視覚刺激に対しての応答性を反映することから全般的注意機能の指標とし、L/Rratioは反応性の左右空間の偏りを反映することから無視症状の指標とした。また、横一列に等間隔で並ぶ黒い正円オブジェクトのうち赤く点灯するターゲットを注視する注視課題を実施し、課題中の左右空間への視線推移を計測した(図4、図5)。

2-3. 運転シミュレータ

運転シミュレータ(以下、DS)は35型曲面ディスプレイ、ハンドル/フットペダル装置、運転シートフレーム、頭部・視線計測装置(PCEye5,TobiiDynabox製)で構成され、シミュレータ制御用PCによる教習所コースのCG映像提示を行った。DSの課題は、コースを走行している運転動画をあたかも自分で運転しているように見る①視線条件と実際に同じコースを走行する②操作条件の2条件を行い、運転時の視空間情報処理と運転操作が加わることによる視空間情報処理および運転への影響を精査した。運転コースは左回り(左カーブと左折が多い)と右回り(右カーブと右折が多い)のコースを使用した。視線条件と操作条件での課題実施中に頭部・視線計測装置(PCEye5,TobiiDynabox製)を用い、頭部と視線の動きを計測した。

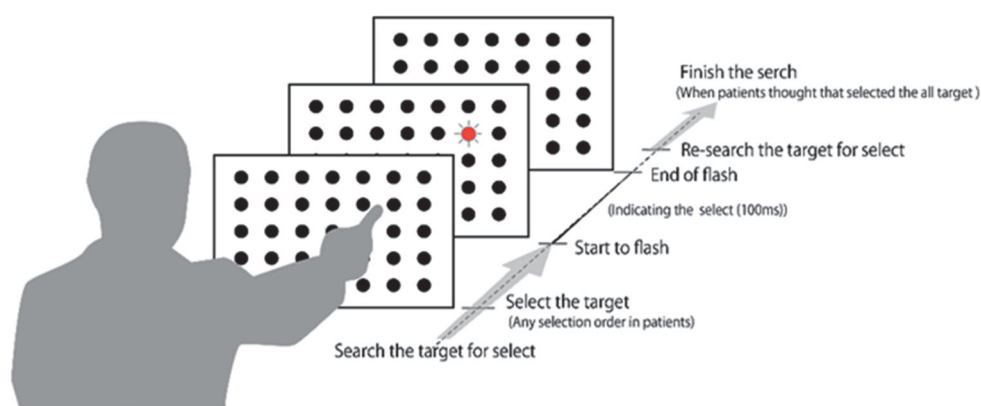


図1 能動探索課題(能動課題)

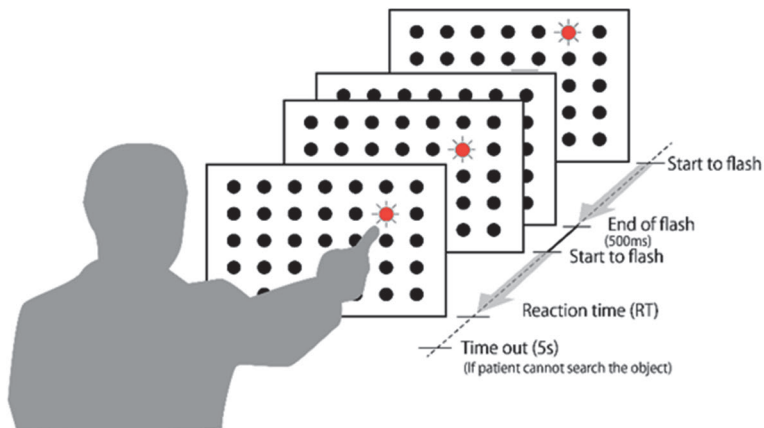


図2 受動探索課題（受動課題）

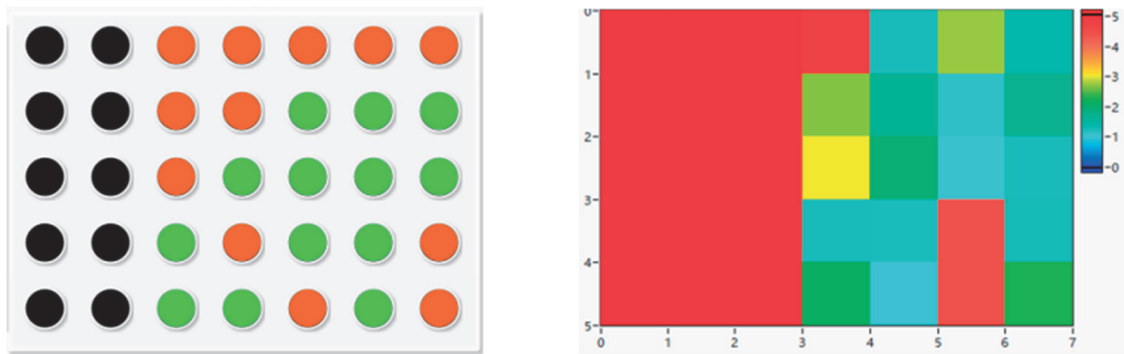


図3 能動課題と受動課題の結果例

左図：能動探索課題の結果例（●：タッチ成功、●：複数回タッチ、●：見落とし）
 左半側空間無視症例の結果で、左側空間2列のターゲット見落としをしていることがわかる。

右図：受動探索課題の結果例（5秒以内の選択反応時間に応じてカラーリング）
 左半側空間無視症例の結果で、RTmean 3.55秒，L/Rratio 2.65，左側空間3列の見落としを認めることがわかる。

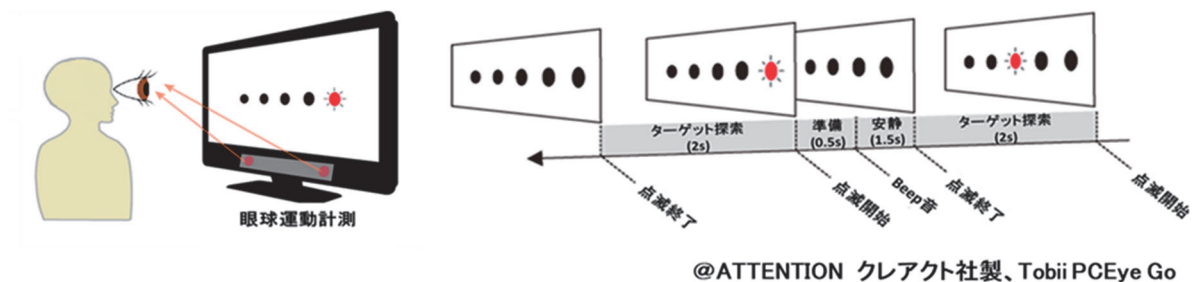


図4 注視課題

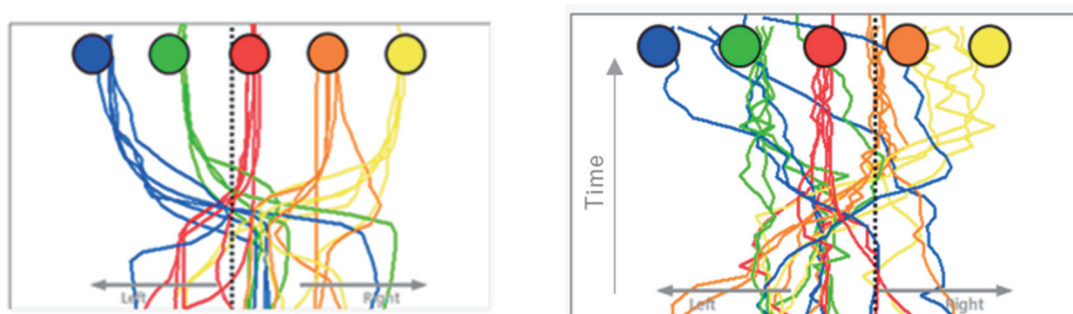


図5 注視課題の結果例（ターゲット点灯毎の左右方向の視線推移を示している）
左図は健常者の例、右図は左半側空間無視症例の結果例で、最左端のターゲットに視線が向いているのは5回中1回。

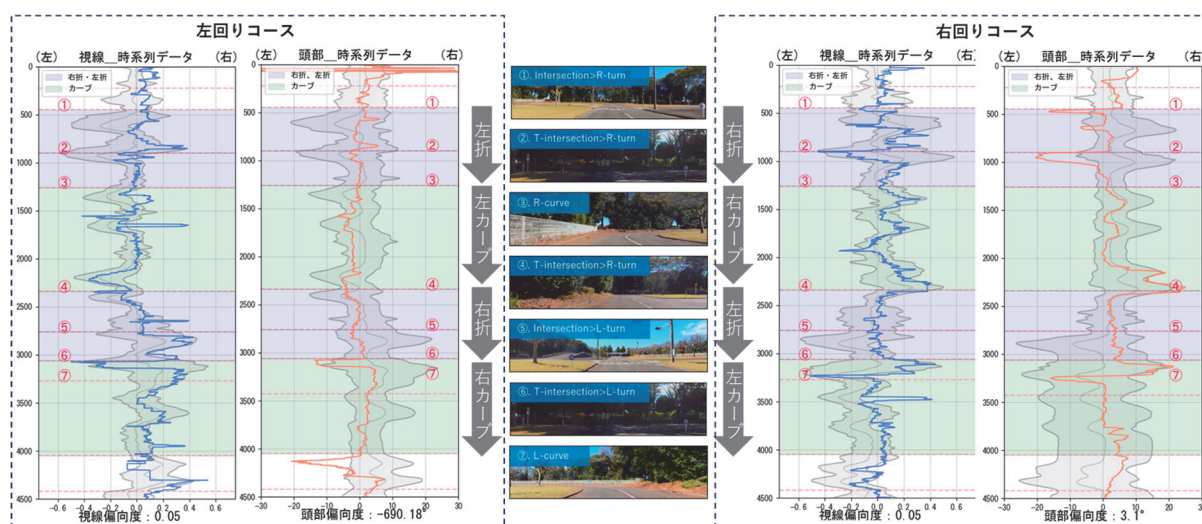


図6 DSの結果例
左回りコースは最初に左折と左カーブが続き、後半は右折と右カーブになる。右回りコースはその反対の順序となる。視線と頸部の左右方向への動きはグラフ上でそれぞれ青色の線と橙色の線で示している。

【結果】

運転シミュレータでの評価は34例（39～75歳、男性26名/女性8名）に実施した。BITにてカットオフ値を上回り左半側空間無視が改善していると判断される症例において、能動課題では左空間のオブジェクトをタッチできていても、受動課題や注視課題で左空間の見落としを認めることがあった。また、注視課題では左空間に注視点が偏り、むしろ右空間の見落とし症例もいた。これらの症例が運転シミュレータを実施すると、運転動画視認時には右左折、交差点・T字路侵入の際に左右へ目配せすることができているものの、運転操作時は頸部が軽度右回旋位になり、視線は左側に向きにくいということがあった。以下にBITカットオフ値を下回っていた症例と上回っていた

た症例について紹介する。

症例1（図7、8、9）

50歳台の男性で右被殻出血により左片麻痺と左半側空間無視を呈し、発症後6か月の時点でMMSE 29/30点、TMT-A 119秒、TMT-B 170秒、BIT 122/146点、RTmean 2.61秒、L/Rratio 3.18、SDSA 運転合格予測式9.374/運転不合格予測式11.142であった。日常生活動作は杖と下肢装具を使用して歩行で自立していた。BITでは半側空間無視の症状を認めていた。能動課題では左空間のオブジェクトに対してすべてタッチすることができていたものの、受動課題では左空間のターゲットの見落としや明らかな反応遅延を認めていて、注視課題では視線が右空間に寄りやすい傾向があった。DS視線条件では、視線を左右によく動かして、全体的に右へ寄りやすい傾向があった。左回りコースでは頸部が左回旋になりやすく、右回りコースでは視線が右空間に向きやすかった。操作条件になると、視線の左右方向への大きな動きは少なくなるものの、右空間に視線が寄りやすい傾向は変わらず、頸部回旋の動きが大きくなっていた。

症例2（図10、11）

50歳台の男性で右中大脳動脈領域の広範な脳梗塞により左片麻痺と左半側空間無視を呈し、発症後6か月の時点でMMSE 30/30点、TMT-A 52秒、TMT-B 83秒、BIT 135/146点、RTmean 1.36秒、L/Rratio 1.4、SDSA 運転合格予測式3.436/運転不合格予測式4.885であった。BITは半側空間無視判定のカットオフ値131点を上回っており、能動課題で左空間の見落としがなかったものの、受動課題で左側空間への反応が遅れてしまうことがあり、注視課題でも左空間への注視応答が遅れてしまう傾向にあった。SDSAではドット末梢課題で誤り数が多く、コンパス課題での減点が多かった。BITでカットオフ値を上回っていたものの、受動課題で半側空間無視症状を認めており、SDSAで不合形式の値が合形式を上回っていたため、実車評価は見送りとなった。リハビリ病院退院後の発症後29か月の時点で、屋外生活は公共交通機関も利用し歩行で自立、MMSE 30/30点、TMT-A 67秒、TMT-B 83秒、BIT 135/146点、RTmean 1.11、L/Rratio 1.18、SDSA 運転合格予測式17.198/運転不合格予測式11.707であった。DSの視線条件では視線、頸部ともに左右方向へ大きく動かしており、それは右回りコースの方が左回りコースに比べてはっきりしていた。発症後36か月のDS操作条件では、頻回な視線や頸部の左右への動きが落ち着いてきていたが、頸部は軽度右回旋位になっていた。自動車学校での実車評価では、教習所場内の縦列駐車では左ミラーをポールに擦っていて、あとから教官が本人に確認すると気づいていなかった。また、路上走行で疲労が出始めてくると左折時に、左の確認が出来ていない場面が2回あった。

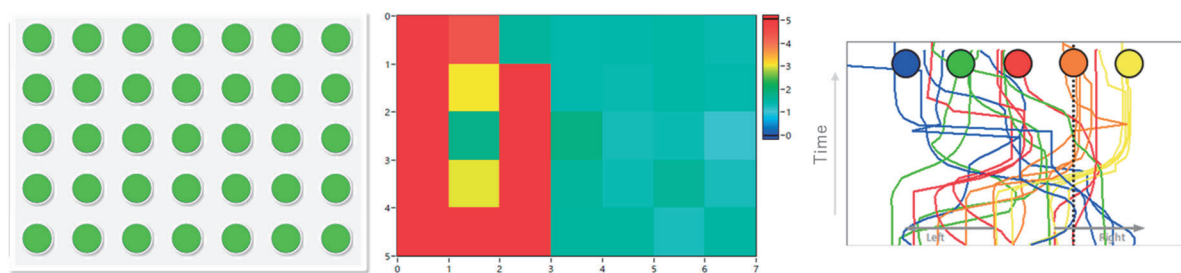


図7 症例1の能動課題、受動課題、注視課題の結果

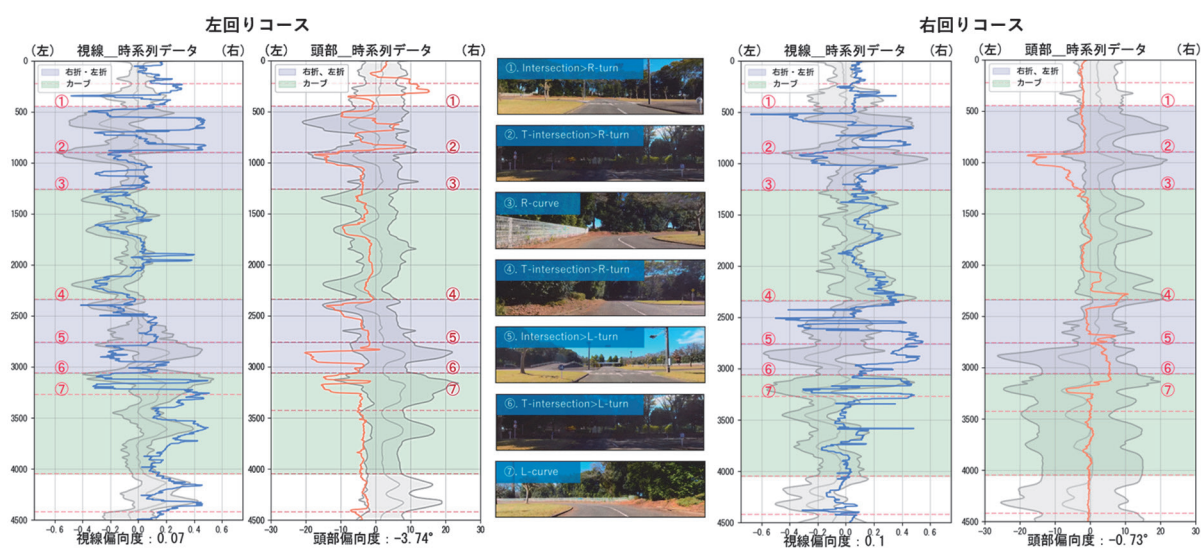


図8 症例1のDS視線条件

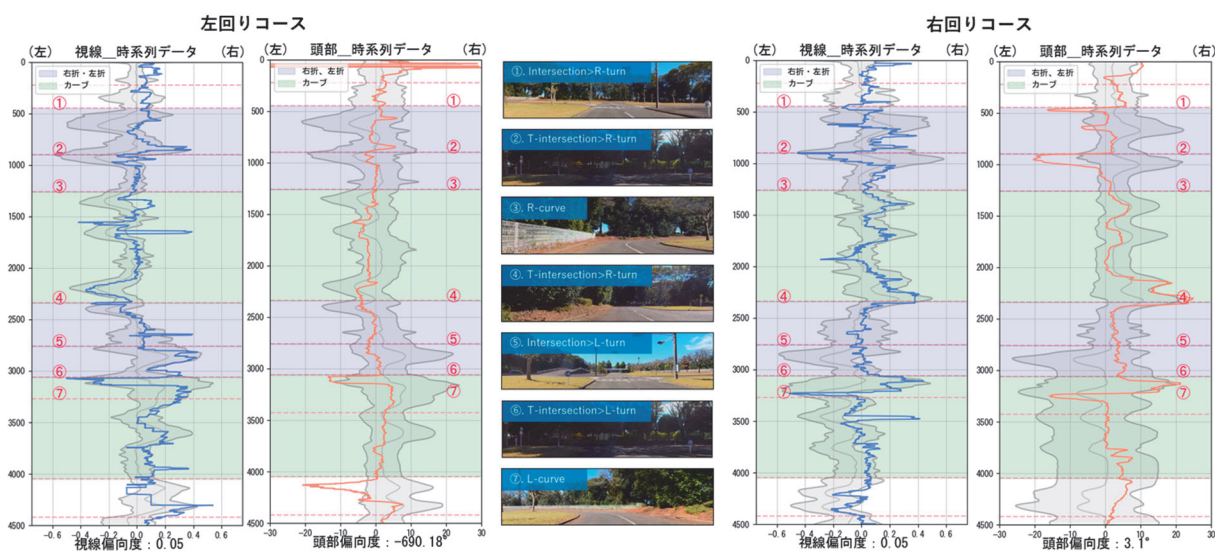


図9 症例1のDS操作条件

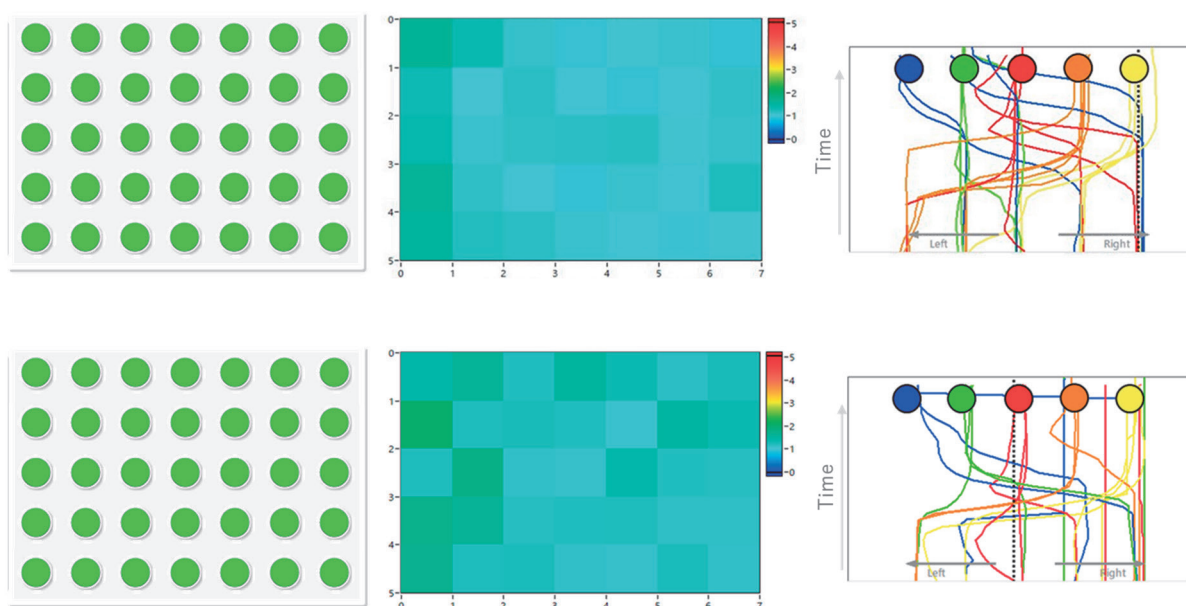


図 1 0 症例 2 の能動課題、受動課題、注視課題の結果（上段：発症後29か月、下段：発症後36か月）

発症後36か月の時点でも受動課題の左2列の軽度反応遅延を認めている。注視課題で左空間に視線が向きにくい傾向があり、36か月の時点でも右空間から左空間へ視線を動かす方が反応の遅延を示している。

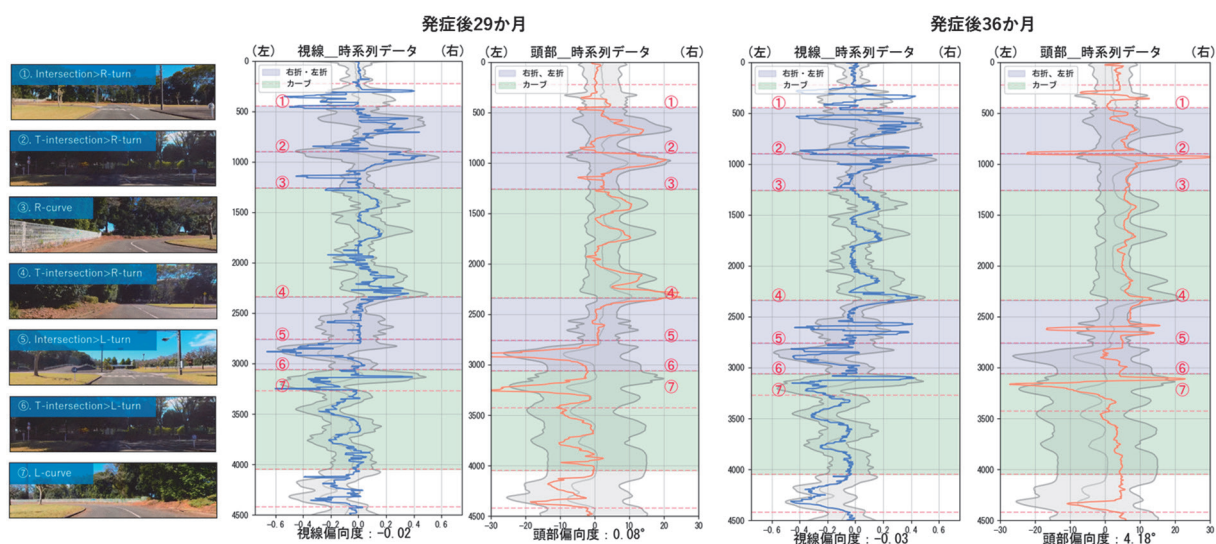


図 1 1 症例 2 のDS操作条件、右回り（左図：発症後29か月、右図：発症後36か月）

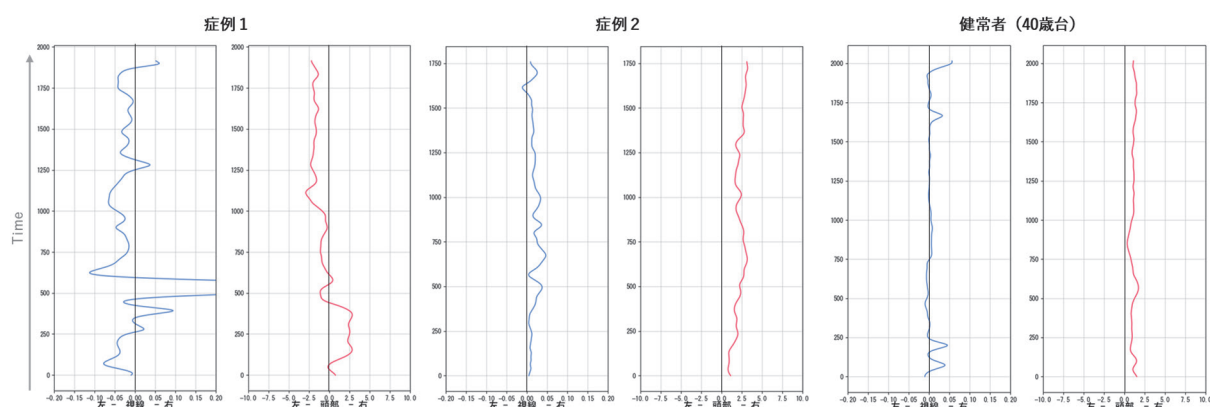


図 1 2 直線走行における視線（青）と頸部（赤）の左右方向の動き

【考察】

脳卒中後に半側空間無視を呈すると自動車運転事故のリスクが高く、運転再開は極めて困難になる。Deouellら（2005）は、右側頭-頭頂葉領域の脳梗塞を呈した50歳代男性についての報告の中で、BIT通常検査が143点で日常生活上の無視症状を認めなかった一方で、自動車運転で車の左側に関連する事故を頻繁に起こしたと報告している。今回、脳卒中後に半側空間無視を呈していた症例に対し、自動車運転再開の可否判断を行うための検査を行い、BITでカットオフ値を下回る症例（症例1）で左空間における明らかな受動的注意の停滞を示し、カットオフ値を上回る症例（症例2）においても左空間での受動的注意の停滞が受動課題と注視課題の結果から得られている。症例2はSDSAの結果においても運転合格予測式が運転不合格予測式の値を上回っており、受動課題の結果においても左空間の反応遅延は軽度であった。発症から3年経過し、バスや電車などの公共交通機関を利用して自立した生活ができる状態ではあった。しかし、自動車運転のように視覚、聴覚、注意、運転スキル、運転知識などのあらゆる機能や情報を迅速に統合処理する必要がある場合、軽微であったとしても反応遅延の左右差が容易に問題になりうる。DSでみられたような視線の頻回な左右切り替えや頸部が右回旋位になりやすいなどの健常者と異なるふるまいは、実車走行では易疲労を生み出し、代償できていた無視空間への反応遅延に対処できなくなることにつながる。実際、症例2は教習所の実車運転において左空間の見落としを認めており、DSの結果との関連性はあったと考える。

半側空間無視の既往がある症例の場合、無視の病識が定着すると無視空間への意図的な注意を払うようになり、実際の運転場面では注意の負荷量が大きくなることが予想される。症例2のようにそのような代償が定着していない場合には、BITや生活場面での無視症状の観察により、無視自体の影響を適切に評価することはもちろん、過度の代償や易疲労性が生じていないかを評価し、運転適性を的確に捉えることは極めて重要だと思われる。本研究で開発しているDSにて、時速30kmで直線路を走行する

課題を行ったところ、症例1では視線や頸部左右に動いてしまい、症例2では視線が時折右へ寄ってしまい、頸部も右回旋位になりやすいという結果が得られていた（図12）。このような簡易な課題の中で、信号あり条件や横断者あり条件、雨天や夜間条件などにおいても、健常者と比較して異なる視線や頸部の動きを確認できている。DSの課題を単純化することで病態や臨床評価との関連性を見ていくことも、医学的に運転再開可否判断を行う上で重要であると考えている。

【結論】

脳卒中後遺症が医学的に運転へ影響を及ぼすかどうかは最終的に医師の診察に委ねられているが、無視症状が運転に影響を及ぼさない程度まで改善しているかどうかの評価は、既存の検査では一定の限界があることが論文報告からうかがえる。BITは無視症状の机上検査のスタンダードであり、同検査での評価にてカットオフ値を下回る症例は、生活上でも無視症状による物体や事象の見落としが発現する確率が高く、運転再開を希望したとしても棄却とする明確な判断材料となる。一方、BITによる評価ではカットオフ値を上回る場合でも、日常生活上では無視症状が残存するケースが散見され、運転適性の判断に際しては通常検査の下位項目全てにおいてカットオフ値を上回る必要がある（岡崎ら2004）との指摘もある。半側空間無視はその病態メカニズムを視覚性注意ネットワークの停滞によるものと捉えることが主流になっており、本研究で行うような不意な視覚的注意（受動注意）の評価や課題遂行（PC課題、運転シミュレータ）時の視線および頭部運動の計測の精査から、無視症状が運転再開可能なレベルまで改善しているかどうか机上検査と合わせて多角的に評価することは重要と思われる。今後、自動車運転再開を希望される脳卒中者に対して少しでも精度の高い運転再開可否判断ができるように、計測データの蓄積と解析を進めていきたい。

【参考文献】

1. Heilman KM., Valenstein E., Watson RT. : Neglect and related disorders. *Semin Neurol.*, 20 : 463-470, 2000.
2. Corbetta, M., Shulman, GL. : Spatial Neglect and Attention Networks. *Neurosci.*, 34:569-599, 2011.
3. Takamura Y, Imanishi M, Osaka M, et al. : Inattentive gaze shift to neglected space ; a compensatory strategy during recovery after unilateral spatial neglect. *Brain*, 23 : 2970-2982, 2016.
4. 加藤貴志: SDSA 脳卒中ドライバーのスクリーニング評価日本版使用の実際. *Modern Physician*, 37: 107-110, 2017.
5. 山田恭平, 加藤貴志, 外川佑, 藤田佳男, 三村將: 脳卒中ドライバーのスクリーニング評価日本語版 (J-SDSA) の基準値に関する検討. *高次脳機能研究*, 38: 239-246, 2018.

6. Radford KA, Lincoln NB: Concurrent validity of the stroke drivers screening assessment. Arch Phys Med Rehabil, 85, 324-328, 2004.
7. 河島則天, 鴨志田敦史, 中川雅樹, ほか: 半側空間無視症状の客観的把握のための評価ツールの開発. 総合リハ, 43巻: 251-257, 2015.
8. Deouell, LY., Sacher, Y., Soroker, N. : Assessment of spatial attention after brain damage with a dynamic reaction time test . Journal of the International Neuropsychological Society, 11 : 697-707, 2005.
9. 岡崎哲也, 上田まり, 佐伯 寛, ほか: 半側空間無視症例に対する自動車運転適性評価. Journal of Clinical Rehabilitation別冊高次脳機能障害のリハビリテーションVer.2 (江藤文夫, 武田克彦, 原 寛美, 編). 医歯薬出版, 東京, 2004, pp. 299-301.