

大脳白質病変が認められるドライバーの動体認知機能解析 ーダイナミック・ビジランス・チェッカー (DVC) を用いてー

阿部 玲佳*, 朴 啓彰*,
大田 学*, 木村 熹従**,
三宅 宏治**, 金光 義弘***

要 旨

交通事故を引き起こす原因を追究するためにはドライバーの視覚認知機能を把握することが重要であり、特に視覚機能として重要なものに動体認知があげられる。本研究では、動体認知機能検査であるダイナミック・ビジランス・チェッカー (DVC) を用いて、1633人を対象にドライバーが動く対象を追跡することや危険視標を検出することの認知機能に、大脳白質病変がいかなる影響を及ぼすかを精査した。年齢とともに大脳白質病変を勘案した動体認知機能に基づく評価指標の確立は、今後の有効な安全運転支援に大いに役立つと考えられる。

Abstract

In order to detect traffic accident risks, we investigated correlation between leukoaraiosis and motion cognitive function by using dynamic vigilance checker (DVC) composing of two tasks of Pursuit and Unexpected, which can measure dynamic moving detectability (DMD). We calculated four indexes for each tasks; DMD ratio, delayed response ratio, false alarmed ratio, and missed ratio, and also comprehensive evaluation for Pursuit and Unexpected tasks. It was shown by logistic regression analysis with 1633 drivers that grade of leukoaraiosis was effective to each DVC tasks. Thus, it can be useful to identify those drivers who are apt to cause traffic accidents.

キーワード：白質病変; ダイナミック・ビジランス・チェッカー; 動体認知; ロジスティック回帰分析

Keywords: leukoaraiosis; dynamic vigilance checker; motion cognitive function; logistic regression analysis

1. はじめに

車の運転時に利用する外界からの情報の 80-90%は視覚情報であるといわれ、さらに、事故原因のうち 44%が視覚のエラーによるとされている¹⁾。視覚機能の中で

も視力低下と交通事故との関連については 1960 年代から研究されているが、一貫して極めて低い相関しか認められていない。つまり、交通事故への影響を調べるためには、微細な弁別閾を計測する視力ではなく、高次の視覚的認知機能が検討されなければならない。一般に、交通事故の原因は運転行動における認知・判断・操作のエラーによるものとされ、その中でも認知あるいは判断、その両方が関与している割合は 95%を占めるといわれている²⁾。また、1997年に財団法人交通事故総合分析センターが行った 527 件の事故調査事例分析によると、交通事故を起こした第一当事者については認知過程におけるエラーが最も多い²⁾。したがって事故を未然に防ぐにた

* 高知工科大学地域連携機構
Research Organization for Regional Alliances, Kochi University of Technology
** マイクロメイト岡山株式会社
Micro Mate Okayama Co., Ltd
*** 川崎医療福祉大学臨床心理学科
Department of Clinical Psychology, Kawasaki University of Medical Welfare

めは、まず危険事態の発見段階における視覚的認知能力を向上させることが有効であるといえる。特に認知・判断については、個人特性などの違いにより、エラーを起こしやすい者と起こし難い者が存在することから、個々のドライバーが自らの運転リスクを自覚することが事故予防に効果的である。多様かつ多量の情報を処理する視覚的認知の段階において、その能力低下による事故発生の確率が高くなると推察される。

筆者らは、これまでに大脳白質病変と事故（特に交差点事故）との間に有意な相関があることを報告している³⁾。大脳白質病変は健常中高年者の約30%以上に認められる無症候性の脳組織障害であり、加齢や動脈硬化性疾患、そしてメタボリック症候群と関連性がある。すなわち、実際に多くのドライバーは自らの白質病変の存在に気づかないまま車の運転をしていることになる。既に、大脳白質病変と視覚的認知の一種である視覚補間力（定量的に欠損させた文字を認識できる能力）との間に有意な相関が認められている⁴⁾。さらに、朴らは3930名の脳ドック受診者に対して、過去10年間の交通事故経験の有無を問い、白質病変と交通事故歴との関連性を調べたところ、年齢や運転頻度に関わらず、白質病変が認められるドライバーと交通事故との相関は有意に高いことを報告した。

そこで本研究では、大脳白質病変が認められる者の視覚的認知機能の低下を確認する目的で、金光ら⁵⁾によって開発された動体認知機能測定装置（ダイナミック・ビジランス・チェッカー: Dynamic Vigilance Checker, 以後DVCと略称）を用いることにした。DVCはドライバーが運転中に刻々変化する視覚環境の中で、動く視標を的確に検知し、危険であると判断する過程をシミュレートした装置である。すなわち、認知と判断の的確性及び反応時間等が定量的に評価することができる検査法が採用されていることから、目的に合致するツールであるといえる。金光⁶⁾は、動体認知機能は年齢とともに低下することを明らかにしており、本研究は加齢とともに大脳白質病変の有無やグレードと視覚的認知機能低下の事実が密接に関連する点に注目した。

今回の研究計画については、脳ドック受診者を対象に大脳白質病変が認められるドライバーを高年齢群と非高年齢群に分け、DVCを用いて動体認知機能を比較することにした。交通事故を未然に防ぐためには、大脳白質病変のあるドライバーの視覚的認知機能に着目し、特に動く対象の情報処理と対処の確実性や不確実性を査定することによって、適切な安全指導を行うことが重要であると考えた。

2. 研究対象者・方法

2.1. 対象者

被験者は、一般ドライバーと同質サンプルと見做しうる脳ドック受診者を対象とした。対象者は2012年6月から2013年4月の10ヶ月間に、医療法人健会高知検診クリニックの脳ドックセンターにて、脳ドック検診を受診した健常中高年者1863名であった。その中、230名が運転状況や事故経験に関する質問、及びDVC検査の途中棄権などの理由で脱落したため、最終的に1633名（男性841名、女性793、22-83歳、平均年齢52.9歳）が最終被験者となった。年齢は、20-30代（136名）、40代（449名）、50代（648名）、60代（330名）、70-80代（70名）の5グループに分けられた（表-1）。全員が車の運転に従事しており、運転頻度は、週に5時間未満（1122名）と、週に5時間以上（511名）の2グループに分類された。

研究の倫理的配慮に関しては、対象者全員に対して研究内容を文書にて説明し、インフォームド・コンセントのもとに実施された。

表-1 The basic data of subjects

Age	Gender	Leukoaraiosis			Total
		none	single	multiple	
20's	Male	61	2	5	68
	& Female	62	3	3	68
30's	Total	123	5	8	136
40's	Male	181	13	26	220
	& Female	185	19	25	229
	Total	366	32	51	449
50's	Male	181	52	103	319
	& Female	188	35	89	329
	Total	369	87	192	648
60's	Male	67	17	98	184
	& Female	64	19	65	146
	Total	131	36	163	330
70's	Male	5	0	42	49
	& Female	7	2	14	21
80's	Total	12	2	56	70
Total	Male	495	91	274	840
	& Female	506	71	196	793
	Total	1001	162	470	1633

2.2. 大脳白質病変の診断・評価

大脳白質病変 (Leukoaraiosis; LA) の診断には、1.5 Teslaの超伝導型MRI機器 (ECHELON Vega 1.5T; (株)日立メディコ製) を用いた。T1 (TR/TE = 520/14 ms), T2 (repetition time/echo time (TR/TE) = 5800/96 ms) 強調画像およびフレア画像 (TR/TE = 8500/96 ms; inversion time = 2100 ms) を用いて専門医が診断した。大脳白質病変は、白質病変無し群、片側の脳半球のみに存在する微細な点状の片側白質病変 (single LA) 群、左右の脳半球に存在する両側白質病変 (multiple LA) 群の3段階に分類された (図-1)。1633名のうち1001名を白質病変無し、162

名を片側白質病変 (single LA)に、470 名を両側白質病変 (multiple LA)と判定された。

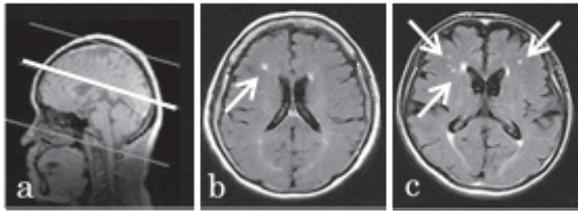


図-1 Fluid-attenuated inversion recovery (FLAIR) images of leukoaraiosis (LA), a) sagittal plane, b-c) axial plane; b) single LA and c) multiple LA.

2.3. 動体認知機能測定・評価方法

動体認知 (Dynamic Moving Detectability : DMD)を評価するツールとして、ダイナミック・ビジランス・チェッカー (Dynamic Vigilance Checker; DVC, マイクロメイト岡山社製⁵⁾)を用いた (図-2)。DVCの詳細は既に報告されているが⁵⁾、以下簡単に説明する。この装置は、コンピュータのディスプレイ画面上で水平・垂直・斜め方向に移動する動的視標を1) 主に滑動性眼球運動によって追跡しながら信号を検出する「追跡課題 (pursuit task)」と、2) 主に衝動性眼球運動によって飛越指標を発見し信号を検出する「突発課題 (unexpected task)」とから構成されている。

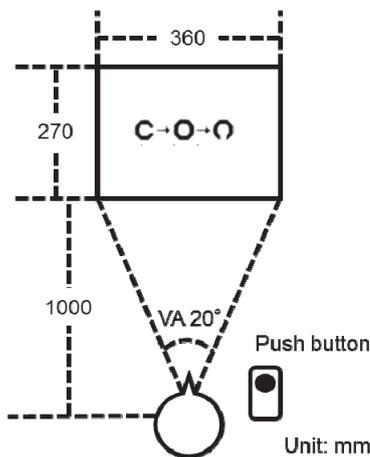


図-2 Dvnamic Vigilance Checker

両課題において対象者は、ノイズの中から信号視標 (シグナル) を検出すると同時に利き手でボタンを押す (go response), ノイズ視標の呈示時はボタンを押さない (no-go response) ことが求められた。つまり信号検出理論に基づき、信号視標呈示時のボタン押しは「正反応」、押さない場合は「誤無反応」、ノイズ視標の呈示時の無

反応は「正無反応」、押した場合は「誤反応」とみなされた。2種類の課題の呈示順序はカウンターバランスされた。遂行成績は課題別に、動体認知率 (DMD ratio), 遅延反応率 (delayed response ratio), 誤反応率 (false alarm ratio), 見落とし率 (miss ratio), 及び5段階評価 (grade) をDVC従属指標とした。各指標値は下式1-4より算出された。

動体認知率(DMD ratio)=

$$\frac{\text{正反応数} + \text{正無反応数}}{\text{全刺激数(シグナル数} + \text{ノイズ数)}} \dots\dots (1)$$

遅延反応率(Delayed response ratio)=

$$\frac{0.3 \text{ 秒より遅れた正反応数}}{\text{全刺激数(シグナル数} + \text{ノイズ数)}} \dots\dots (2)$$

誤反応率(False alarm ratio)=

$$\frac{\text{誤反応数}}{\text{ノイズ数}} \dots\dots (3)$$

見落とし率(Miss ratio)=

$$\frac{\text{シグナル数} - \text{正反応数}}{\text{シグナル数}} \dots\dots (4)$$

各課題の5段階評価 (grade) は、DVC装置の設定基準 (five-point ratings method) に従い、総合評価 (total grade) は追跡課題認知率と突発課題認知率及びそれぞれの遅延反応率に基づき算出され、いずれも1-5の5段階評価 (grade) に基づいて分類された⁵⁾。

2.4. 統計解析

統計解析は、さまざまな要因によって生じるリスクを確率的に評価するために用いられるロジスティックモデルに基づいて行われた。被験者の属性によるDVCの指標値の差異を調べるために、目的変数を2値化したうえで被験者の各属性を説明変数とし、ロジスティック回帰解析を行った。なおDVCの各指標は、中央値によって2値化を試みた。ただし、最頻値やROC曲線から中央値よりも最適なカットオフ値がある場合のみ、その値で2値化した (表-2)。

表-2 The cut-off values of each DVC index

	mean	median	min	max	cut off	
Pursuit	DMD	95.9	97	73	100	<97
	delayed	43.7	44	0	90	>44
	false alarm	2.1	2	0	12	>2
	miss	5.5	4	0	100	>3
	grade	3.5	3	1	5	<4
Unexpected	DMD	97.3	98	64	100	<98
	delayed	8.3	4	0	70	>4
	false alarm	2.2	1	0	24	>2
	miss	2.7	0	0	100	>0
	grade	3.6	4	1	5	<4
Total grade	3.4	3	1	5	<4	

解析の出力結果は有意確率 (P-value) とオッズ比 (odds ratio) で表される。オッズは、ある事象の起こる確率 (P) と起こらない確率 (1-P) の比 (P/(1-P)) のことであり、検査成績が良い群を p, 成績が悪い群を q とした場合の事故リスクのオッズ比は、下式 5 で表すことができる。

$$OR = \frac{p/(1-p)}{q/(1-q)} \quad \dots\dots (5)$$

また、オッズ比は全サンプル数の 95%信頼区間が含まれている下限値と上限値を併せて示した。すべての統計解析は、解析ソフト IBM SPSS Statistic version 22 を用いて行った。

3. 結果

本研究では、1633 名の被験者の年齢は 22-83 歳、大脳白質病変の存在頻度は全体で 38.7%、片測と両側はそれぞれ 9.9%と 28.8%であった (表-1)。Figure 3 は、大脳白質病変のグレードにより分類した各課題における動体認知率 (DMD ratio), 遅延反応率 (delayed response ratio), 誤反応率 (false alarm ratio), 見落とし率 (miss ratio), 及び評価 (grade) と、2 種類の課題すべての総合評価 (total grade) を示している。大脳白質病変と DVC 指標との関連を調べた結果、大脳白質病変のグレードの進行に比例して、全ての DVC 指標の成績が低下することが明らかになった。特に、両側白質病変 (multiple LA) と動体認知率 (DMD ratio) の低下との間に有意な関連が認められた。大脳白質病変のグレードに関して有意な差があったものを表-3 と図-3 においてアスタリスクを付して示した。さらに、60 歳を境界として高齢者と非高齢者に分け、多重比較を行った結果、大脳白質病変無し (none) 群と両側白質病変 (multiple LA) 群の間に有意な差が見られた。特に高齢者の場合、追跡課題 (pursuit task) において両側白質病変 (multiple LA) 群の遂行成績に明らかな低下が認められた。

大脳白質病変による DVC 指標への影響を調べるため、ロジスティック回帰分析を行った結果、白質病変のグレードの進行に比例し全ての DVC 指標の成績が低下することが明らかになった (表-4)。白質病変無し群に対して、白質病変のグレードが上昇するにつれ、追跡課題 (pursuit task) 及び突発課題 (unexpected task) とともに遅延反応率 (delayed response ratio), 誤反応率 (false alarm ratio), 見落とし率 (miss ratio) が有意に高くなり、動体認知率 (DMD ratio) および評価 (grade) は有意に低下した。総合評価 (total grade) においては、片側白質病変 (single LA) (OR 1.69, 95% CI 1.20-2.38, p<.01), 両側白

質病変 (multiple LA) (OR 2.26, 95% CI 1.79-2.86, p<.01) とともに有意に低い結果であった。さらに、性別、年齢、運転頻度などの要因が DVC に影響を及ぼす可能性があったため、DVC の各指標について年齢と白質病変のグレードの共分散分析を試みたが、回帰直線の平行性が認められなかった。そこで、各 2 値化した DVC 指標を目的変数とし、説明変数をそれぞれ、性別、年齢、運転頻度として回帰分析を行った。結果は、すべての指標について年齢に応じて成績が悪くなった。年齢によるリスクが最も高いのは追跡課題 (pursuit task) の遅延反応率 (delayed response ratio) であり、20-30 代に対して、40 代は 4.5 倍、50 代は 15.5 倍、60 代は 48.0 倍、70 代以上では 315.1 倍となり、判定値が有意 (全て p<.01) に低くなった。性別では、男性は女性に対し、追跡課題 (pursuit task) では、動体認知率 (DMD ratio) (OR 1.41, p<.01), 誤反応率 (false alarm ratio) (OR 1.32, p<.01), 見落とし率 (miss ratio) (OR 1.26, p<.05), 突発課題 (unexpected task) では動体認知率 (DMD ratio) (OR 1.91, p<.01), 誤反応率 (false alarm ratio) (OR 2.04, p<.01), 見落とし率 (miss ratio) (OR 1.24, p<.05) において有意に誤反応や見落としが多く動体認知率が低かった (表-4)。同時に、追跡課題 (pursuit task) の評価 (grade) (OR 1.23, p<.05), 突発課題 (unexpected task) の評価 (grade) (OR 1.91, p<.01), 及び総合評価 (total grade) (OR 1.50, p<.01) においても有意に低かった。一方、遅延反応率 (delayed response ratio) では、男性は女性に対し、有意に追跡課題 (pursuit task) (OR 0.64, p<.01), 突発課題 (unexpected task) (OR 0.82, p<.05) とともに低かった。運転頻度に関しては、週 5 時間以上運転をする者は、それ以下の者に比べて追跡課題 (pursuit task) の評価 (grade) のみ有意に高かった (OR 0.80, p<.05)。

次に、被験者の全ての属性 (年齢、性別、運転頻度) を考慮して、大脳白質病変の DVC 指標への影響をロジスティック回帰分析によって検討した。その結果、大脳白質病変により、追跡課題 (pursuit task) における動体認知率 (DMD ratio) (single LA: adjusted OR 1.58, 95% CI 1.10-2.23, p<.01, multiple LA: adjusted OR 1.29, 95% CI 1.10-1.66, p<.05, 遅延反応率 (delayed response ratio) (single LA: adjusted OR 1.66, 95% CI 1.17-2.35, p<.01), それらに伴う追跡課題 (pursuit task) の評価 (grade) (single: adjusted OR 1.57, 95% CI 1.09-2.26, p<.05, multiple: adjusted OR 1.40, 95% CI 1.08-1.83, p<.05) が有意に低下した (表-5)。ただし突発課題 (unexpected task) の各指標への影響は認められなかった。ところが年齢に着目し、60 歳を境に非高齢者 (non-elderly) と高齢者 (elderly) の 2 群に分割して同様の分析を行ったところ、特に非高

表-3 Statistical results of multiple comparisons among LA grades on pursuit and unexpected tasks of DVC in all subjects, non-elderly, and elderly.

	all			non-elderly (<60)			elderly (>59)		
	none -single	single -multiple	none -multiple	none -single	single -multiple	none -multiple	none -single	single -multiple	none -multiple
Pursuit	DMD	**	*	**		**			**
	delayed	**	**	**		**			
	false alarm	**		**	*	**			
	miss		**	**		**			**
	grade	**		**	*	**			**
Unexpected	DMD	*		**		*			
	delayed	*		**		*			
	false alarm			**					
	miss			**					
	grade	*		**		**			
Total grade	*	*	**		**			**	

The multiple comparison by Steel-Dwass test adjusted by Bonferroni test after Kruskal Wallis test, and asterisks indicate significant differences between LA grades, * $p < .05$, ** $p < .01$.

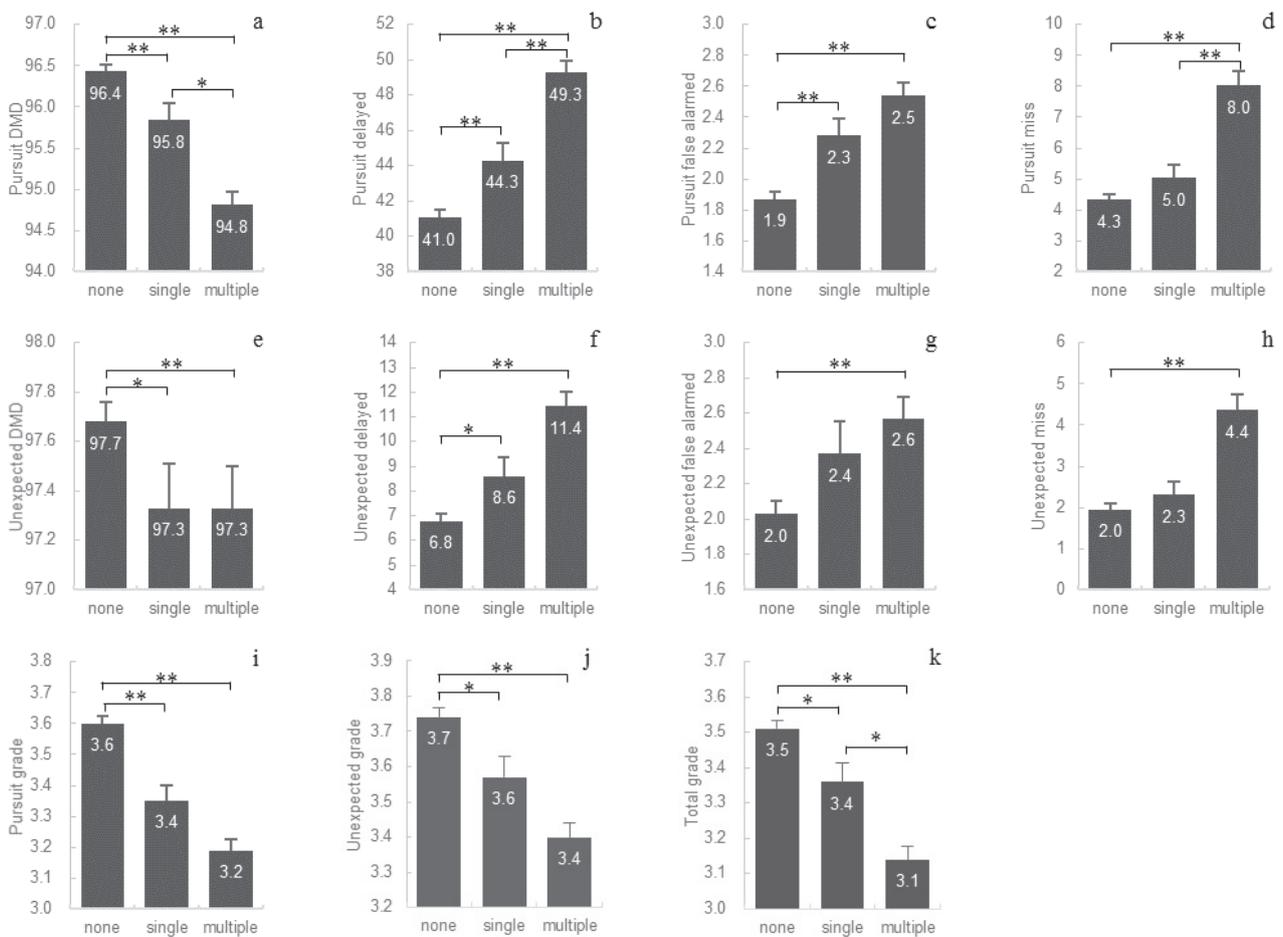


図-3 Average ratio of each DVC index by LA grades in both tasks. a-d, i) cognition, delayed, false alarm, miss, and grade on pursuit task, respectively, e-h, j) cognition, delayed, false alarm, miss, and grade on unexpected task, respectively, k) total grade. Error bars represent standard errors and asterisks indicate significant differences between LA grades, * $p < .05$, ** $p < .01$.

表一 4 Statistical results of single logistic regression analysis among each factors; gender, age, driving exposures, LA grades on pursuit and unexpected task of DVC.

Explanatory Variables		Pursuit task			Unexpected task			
		Cases	P-value	Adjusted OR (95% CI)	Cases	P-value	Adjusted OR (95% CI)	
DMD	Gender	female (n=793)	513		1 [Reference]	282		1 [Reference]
		male (n=840)	581	0.000	1.414 (1.164-1.719)	431	0.000	1.910 (1.566-2.329)
	Age	≤39 (n=136)	57		1 [Reference]	32		1 [Reference]
		40-49 (n=449)	251	0.093	1.448 (0.940-2.229)	150	0.030	1.630 (1.048-2.537)
		50-59 (n=648)	439	0.000	2.550 (1.685-3.859)	278	0.000	2.442 (1.595-3.738)
		60-69 (n=330)	279	0.000	6.637 (4.230-10.414)	200	0.000	5.000 (3.177-7.870)
		≥70 (n=70)	68	0.000	47.614 (16.170-140.206)	53	0.000	10.132 (5.160-19.897)
	Driving exposure	low (n=1122)	760		1 [Reference]	485		1 [Reference]
		high (n=511)	334	0.303	0.896 (0.726-1.105)	228	0.599	1.058 (0.857-1.306)
	Leukoaraiosis	none (n=1001)	615		1 [Reference]	381		1 [Reference]
single (n=162)		117	0.000	1.878 (1.344-2.626)	78	0.015	1.511 (1.082-2.109)	
multiple (n=470)		362	0.000	2.319 (1.853-2.903)	254	0.000	1.914 (1.533-2.389)	
Delayed response	Gender	female (n=793)	460		1 [Reference]	387		1 [Reference]
		male (n=840)	396	0.000	0.643 (0.529-0.782)	369	0.048	0.822 (0.676-0.999)
	Age	≤39 (n=136)	10		1 [Reference]	36		1 [Reference]
		40-49 (n=449)	130	0.000	4.524 (2.225-9.198)	120	0.953	1.013 (0.656-1.565)
		50-59 (n=648)	385	0.000	15.481 (7.738-30.971)	302	0.000	2.425 (1.607-3.657)
		60-69 (n=330)	264	0.000	47.978 (23.273-98.906)	235	0.000	6.871 (4.384-10.769)
		≥70 (n=70)	67	0.000	315.148 (82.542-1203.249)	63	0.000	25.000 (10.486-59.603)
	Driving exposure	low (n=1122)	601		1 [Reference]	518		1 [Reference]
		high (n=511)	255	0.250	0.884 (0.717-1.091)	238	0.878	1.017 (0.824-1.254)
	Leukoaraiosis	none (n=1001)	444		1 [Reference]	397		1 [Reference]
single (n=162)		90	0.008	1.566 (1.122-2.185)	83	0.006	1.598 (1.146-2.230)	
multiple (n=470)		322	0.000	2.721 (2.168-3.415)	276	0.000	2.164 (1.732-2.705)	
False alarm	Gender	female (n=793)	337		1 [Reference]	301		1 [Reference]
		male (n=840)	415	0.005	1.321 (1.087-1.606)	466	0.000	2.037 (1.671-2.482)
	Age	≤39 (n=136)	31		1 [Reference]	48		1 [Reference]
		40-49 (n=449)	151	0.018	1.716 (1.099-2.681)	181	0.294	1.238 (0.831-1.845)
		50-59 (n=648)	301	0.000	2.938 (1.913-4.514)	303	0.015	1.610 (1.097-2.364)
		60-69 (n=330)	212	0.000	6.085 (3.843-9.635)	189	0.000	2.457 (1.625-3.717)
		≥70 (n=70)	57	0.000	14.851 (7.204-30.616)	46	0.000	3.514 (1.917-6.441)
	Driving exposure	low (n=1122)	524		1 [Reference]	519		1 [Reference]
		high (n=511)	228	0.433	0.919 (0.745-1.134)	248	0.393	1.096 (0.889-1.351)
	Leukoaraiosis	none (n=1001)	393		1 [Reference]	426		1 [Reference]
single (n=162)		91	0.000	1.983 (1.418-2.773)	84	0.028	1.454 (1.042-2.027)	
multiple (n=470)		268	0.000	2.053 (1.643-2.564)	257	0.000	1.629 (1.306-2.031)	
Miss	Gender	female (n=793)	388		1 [Reference]	294		1 [Reference]
		male (n=840)	460	0.018	1.264 (1.040-1.535)	355	0.032	1.242 (1.018-1.516)
	Age	≤39 (n=136)	47		1 [Reference]	29		1 [Reference]
		40-49 (n=449)	182	0.212	1.291 (0.865-1.927)	124	0.145	1.408 (0.889-2.229)
		50-59 (n=648)	328	0.001	1.941 (1.320-2.854)	236	0.001	2.113 (1.364-3.283)
		60-69 (n=330)	227	0.000	4.173 (2.733-6.372)	202	0.000	5.823 (3.653-9.282)
		≥70 (n=70)	64	0.000	20.199 (8.144-50.099)	58	0.000	17.833 (8.468-37.557)
	Driving exposure	low (n=1122)	593		1 [Reference]	444		1 [Reference]
		high (n=511)	255	0.269	0.889 (0.721-1.095)	205	0.835	1.023 (0.826-1.267)
	Leukoaraiosis	none (n=1001)	459		1 [Reference]	342		1 [Reference]
single (n=162)		91	0.015	1.513 (1.083-2.114)	72	0.012	1.542 (1.101-2.158)	
multiple (n=470)		298	0.000	2.046 (1.633-2.562)	235	0.000	1.927 (1.542-2.408)	
Grade	Gender	female (n=793)	415		1 [Reference]	282		1 [Reference]
		male (n=840)	483	0.036	1.232 (1.014-1.498)	431	0.000	1.910 (1.566-2.329)
	Age	≤39 (n=136)	35		1 [Reference]	32		1 [Reference]
		40-49 (n=449)	164	0.021	1.661 (1.080-2.552)	150	0.030	1.630 (1.048-2.537)
		50-59 (n=648)	363	0.000	3.675 (2.428-5.564)	278	0.000	2.442 (1.595-3.738)
		60-69 (n=330)	268	0.000	12.474 (7.770-20.025)	200	0.000	5.000 (3.177-7.870)
		≥70 (n=70)	68	0.000	98.114 (22.837-421.523)	53	0.000	10.132 (5.160-19.897)
	Driving exposure	low (n=1122)	636		1 [Reference]	485		1 [Reference]
		high (n=511)	262	0.042	0.804 (0.652-0.992)	228	0.599	1.058 (0.857-1.306)
	Leukoaraiosis	none (n=1001)	464		1 [Reference]	381		1 [Reference]
single (n=162)		103	0.000	2.020 (1.433-2.848)	78	0.015	1.511 (1.082-2.109)	
multiple (n=470)		331	0.000	2.756 (2.181-3.482)	254	0.000	1.914 (1.533-2.389)	
Total grade	Gender	female (n=793)	416		1 [Reference]			
		male (n=840)	524	0.000	1.503 (1.234-1.830)			
	Age	≤39 (n=136)	44		1 [Reference]			
		40-49 (n=449)	189	0.043	1.520 (1.014-2.279)			
		50-59 (n=648)	373	0.000	2.836 (1.917-4.195)			
		60-69 (n=330)	267	0.000	8.861 (5.638-13.927)			
		≥70 (n=70)	67	0.000	46.697 (13.909-156.778)			
	Driving exposure	low (n=1122)	645		1 [Reference]			
		high (n=511)	295	0.927	1.010 (0.817-1.248)			
	Leukoaraiosis	none (n=1001)	508		1 [Reference]			
single (n=162)		103	0.003	1.694 (1.202-2.388)				
multiple (n=470)		329	0.000	2.264 (1.794-2.858)				

表－5 Statistical results of multiple logistic regression analysis among LA grades on pursuit and unexpected tasks of DVC in all subjects, non-elderly, and elderly.

	Explanatory Variables	all ages			nonelderly (<60 years old)			elderly (>59 years old)			
		Cases	P-value	Adjusted OR (95% CI)	Cases	P-value	Adjusted OR (95% CI)	Cases	P-value	Adjusted OR (95% CI)	
Pursuit task	DMD	none	406/1001	1 [Reference]	310/858	1 [Reference]	96/143	1 [Reference]			
		single	91/162	0.012	1.567 (1.102-2.228)	60/124	0.060	1.452 (0.984-2.142)	31/38	0.066	2.339 (0.946-5.784)
		multiple	288/470	0.049	1.289 (1.102-1.661)	119/251	0.086	1.297 (0.964-1.746)	169/219	0.332	1.275 (0.781-2.082)
	delayed	none	396/1001	1 [Reference]	281/858	1 [Reference]	115/143	1 [Reference]			
		single	82/162	0.796	0.952 (0.656-1.381)	51/124	0.649	0.908 (0.601-1.374)	31/38	0.816	1.117 (0.438-2.852)
		multiple	301/470	0.184	1.202 (0.917-1.576)	125/251	0.055	1.357 (0.993-1.854)	176/219	0.609	0.866 (0.498-1.505)
	false alarm	none	393/1001	1 [Reference]	306/858	1 [Reference]	87/143	1 [Reference]			
		single	91/162	0.005	1.655 (1.168-2.345)	62/124	0.025	1.560 (1.058-2.300)	29/38	0.062	2.213 (0.961-5.095)
		multiple	268/470	0.089	1.241 (0.968-1.591)	115/251	0.166	1.234 (0.916-1.663)	153/219	0.372	1.234 (0.778-1.959)
	miss	none	459/1001	1 [Reference]	365/858	1 [Reference]	94/143	1 [Reference]			
		single	91/162	0.136	1.302 (0.920-1.841)	64/124	0.175	1.306 (0.888-1.919)	27/38	0.479	1.330 (0.604-2.928)
		multiple	298/470	0.051	1.284 (0.999-1.649)	128/251	0.208	1.208 (0.900-1.621)	170/219	0.108	1.486 (0.916-2.109)
grade	none	464/1001	1 [Reference]	354/858	1 [Reference]	110/143	1 [Reference]				
	single	103/162	0.016	1.566 (1.087-2.257)	68/124	0.085	1.412 (0.954-2.090)	35/38	0.039	3.723 (1.070-12.954)	
	multiple	331/470	0.012	1.402 (1.076-1.826)	140/251	0.048	1.351 (1.002-1.822)	191/219	0.079	1.665 (0.943-2.940)	
Unexpected task	DMD	none	381/1001	1 [Reference]	291/858	1 [Reference]	90/143	1 [Reference]			
		single	78/162	0.122	1.318 (0.929-1.869)	57/124	0.029	1.549 (1.046-2.295)	21/38	0.338	0.697 (0.333-1.460)
		multiple	254/470	0.155	1.199 (0.934-1.539)	112/251	0.065	1.328 (0.983-1.795)	142/219	0.664	0.904 (0.572-1.428)
	delayed	none	397/1001	1 [Reference]	296/858	1 [Reference]	101/143	1 [Reference]			
		single	83/162	0.349	1.185 (0.830-1.691)	54/124	0.499	1.146 (0.772-1.702)	29/38	0.397	1.439 (0.619-3.345)
		multiple	276/470	0.338	1.134 (0.877-1.467)	108/251	0.498	1.110 (0.820-1.503)	168/219	0.386	1.246 (0.758-2.049)
	false alarm	none	426/1001	1 [Reference]	348/858	1 [Reference]	78/143	1 [Reference]			
		single	84/162	0.067	1.380 (0.978-1.949)	62/124	0.055	1.465 (0.922-2.165)	22/38	0.743	1.131 (0.543-2.355)
		multiple	257/470	0.095	1.233 (0.964-1.578)	122/251	0.151	1.244 (0.923-1.677)	135/219	0.435	1.193 (0.766-1.859)
	miss	none	342/1001	1 [Reference]	249/858	1 [Reference]	93/143	1 [Reference]			
		single	72/162	0.173	1.278 (0.898-1.820)	51/124	0.035	1.531 (1.031-2.274)	21/38	0.271	0.662 (0.318-1.379)
		multiple	235/470	0.511	1.089 (0.844-1.406)	89/251	0.358	1.157 (0.848-1.577)	146/219	0.701	0.914 (0.577-1.448)
grade	none	381/1001	1 [Reference]	291/858	1 [Reference]	90/143	1 [Reference]				
	single	78/162	0.122	1.318 (0.929-1.869)	57/124	0.029	1.549 (1.046-2.295)	21/38	0.338	0.697 (0.333-1.460)	
	multiple	254/470	0.155	1.199 (0.934-1.539)	112/251	0.065	1.328 (0.983-1.795)	142/219	0.664	0.904 (0.572-1.428)	
Total grade	none	508/1001	1 [Reference]	394/858	1 [Reference]	114/143	1 [Reference]				
	single	103/162	0.100	1.356 (0.943-1.950)	70/124	0.184	1.304 (0.822-1.927)	33/38	0.275	1.783 (0.632-5.031)	
	multiple	329/470	0.177	1.199 (0.921-1.560)	142/251	0.218	1.206 (0.895-1.623)	187/219	0.590	1.170 (0.661-2.072)	

OR: odds ratio; adjusted by gender, age, driving exposure (less/more 5 hours per week)

年齢者 (non-elderly) 群において、追跡課題 (pursuit task) の誤反応率 (false alarm ratio) (single LA: adjusted OR 1.56, 95% CI 1.06-2.30, p<.01) と追跡課題 (pursuit task) の評価 (grade) (multiple: adjusted OR 1.35, 95% CI 1.00-1.82, p<.05) に加え、突発課題 (unexpected task) の動体認知率 (DMD ratio) (single LA: adjusted OR 1.55, 95% CI 1.05-2.30, p<.01) と突発課題 (unexpected task) の見落とし率 (miss ratio) (single LA: adjusted OR 1.53, 95% CI 1.03-2.27, p<.01), それらに伴う突発課題 (unexpected task) の評価 (grade) (single LA: adjusted OR 1.55, 95% CI 1.05-2.30, p<.01) が大脳白質病変により有意に低下することが明らかになった。一方、高齢者 (elderly) 群では片側白質病変 (single LA) 群にのみ追跡課題 (pursuit task) の評価 (grade) における有意な低下が見られ、そのリスクは全年齢群の2倍以上であった (single LA: adjusted OR 3.72, 95% CI 1.07-12.95, p<.01) (表－5)。

4. 考察

本研究は DVC 検査を用いて、大脳白質病変による動体認知機能への影響を確かめることを目的として行われ、白質病変の進行に伴い DVC の各指標の成績が低下する

ことを明らかにした。

大脳白質病変は、加齢や高血圧などの動脈硬化性疾患と関連していることが知られている⁷⁾。さらに大脳白質病変は加齢とともに増大するが、高齢者において広範囲に広がる白質病変は、脳血管障害や高次脳機能障害の危険因子としても知られている⁸⁾。朴らは、健常中高年者の20%以上に白質病変が認められ、特に軽度な白質病変においても動脈硬化性疾患の予備群であるメタボリック症候群と高い関連性があり^{9) 10) 11)}、軽度な白質病変でも両側に存在する場合には、視覚情報処理能力や注意機能の反応速度が明らかに低下することを報告した^{8) 12)}。本研究においても、両側白質病変の存在が特に動体認知機能に影響する事実を確認することができた。

加齢に伴い視機能の低下が認められることは周知の事実であり、特に加齢に伴う視野狭窄については DVC の開発者である金光らによって報告され¹³⁾、また、加齢と DVC 成績、すなわち動体認知機能との間には逆相関性があることも報告されている⁶⁾。ただし、当時は高齢者の大脳白質病変の重要性は認知されておらず、本研究において初めてドライバーの動体認知機能を論じる場合、大脳白質病変の関与を考慮しなければならないことが示

唆された意義は大きい。

また、視覚認知の一つである視覚補間力（隠れているものを認知する能力）の低下が軽度な白質病変でも認められることや⁷⁾、警察庁方式 CRT 運転適性検査での信号の見落とし率や反応速度の変動率の上昇が、白質病変のレベルと相関することが報告されている¹²⁾。同様に、運転中に暗算計算を課すマルチタスク条件下では、両側白質病変を有する高齢ドライバーは、両側白質病変のない高齢ドライバーに比して、危険運転行動の増加やハンドル操作の滑らかさの低下が認められると報告されている¹⁴⁾。本研究では、60歳を境とした高齢者群と非高齢者群に分けた場合、非高齢者群で脳白質病変のある者は追跡課題 (pursuit task) 誤反応率 (false alarm ratio)、追跡課題 (pursuit task) 評価 (grade)、突発課題 (unexpected task) 動体認知率 (DMD ratio)、突発課題 (unexpected task) 見落とし率 (miss ratio)、突発課題 (unexpected task) 評価 (grade) が低下した。一方、高齢者群では片側白質病変のある者は、追跡課題 (pursuit task) 評価 (grade) の倍以上であった。つまり、非高齢者であっても脳白質病変は動体認知機能への影響が大きい因子の一つであると考えられ、若年、中年層での脳白質病変に十分に注意する必要がある。一方、高齢者は年齢とともに脳白質病変が進行する結果として、年齢と動体認知機能低下との間に逆相関関係が認められたと解釈される。

本研究により、視覚情報処理能力のうち運転に最も必要と考えられる動体認知機能の低下と、脳白質病変との密接な関連性が明らかになったことから、移動対象が交錯する交差点や、先行車の急停止及び死角からの飛び出しの可能性のある道路状況では、白質病変のある者による事故惹起率は高くなることが推測される。また、危険映像を用いた実験において、混雑度・注意要件の増加に伴い有効視野が縮小し、危険検出反応時間が長くなることから、交差点事故の一因とであるとされている¹⁵⁾¹⁶⁾。さらに、筆者らの先行研究より、脳白質病変と実際の交差点事故経験との有意な相関も報告されている³⁾。以上を総合して、脳白質病変により動体認知機能が低下することによって、特に移動対象が交錯する交差点における事故が惹起される可能性が高くなることが示唆される。

白質病変の有無は、MRI を施行しないと判断が付かない。本研究で、DVC の成績と白質病変グレードとの有意な相関性が示された。手軽に施行できる DVC から脳組織変化と関連する事故予測が可能になるかも知れない。

5. 結論

本研究は、ドライバーが動く対象を追跡することや危

険視標を検出する認知機能に、脳白質病変がいかなる影響を及ぼすかを、動体認知測定装置 (DVC) を用いて調べた。その結果、従来は動体認知機能の低下が加齢との関係で論じられることが多かったが、その背景要因として脳白質病変の存在が明らかになった。特に脳白質病変が両側に存在することが動体認知機能を低下させる顕著な要因であった。非高齢者においては、白質病変は動く対象の視覚的追跡 (追跡課題 (pursuit task))、危険対象の瞬間的検出 (突発課題 (unexpected task)) とともに動体認知機能障害の重要因子であり、安全運転上で要注意リスクファクターである。高齢者においては、白質病変は追跡課題 (pursuit task) への影響が大きく、そのリスクは全年齢と比べて倍以上にもなる。結局、年齢とともに脳白質病変を勘案した動体認知機能に基づく評価指標の確立は、今後の有効な安全運転支援に大いに役立つと考えられる。

6. 引用文献

- Hills, B.L. (1980). Vision, visibility, and perception in driving. *Perception*, 9(2), 183-216.
- Institute for Traffic Accident Research and Data Analysis, (2001). "What Sort of Human Errors Cause Traffic Accidents? Focus on Mistaken Assumptions", ITARDA INFORMATION No.33.
- Park, K., Nakagawa, Y., Kumagai, Y., Nagahara, M., (2013). Leukoaraiosis, a Common Brain Magnetic Resonance Imaging Finding, as a Predictor of Traffic Crashes. *PLoS one*, 8(2).
- Park, K., Jiang, Y., Wang, S., (2010). Relationship between visual interpolation ability and leukoaraiosis in healthy subjects; Early Detection and Rehabilitation Technologies for Dementia. *Neuroscience and Biomedical Applications*. Jinglog, Wu., ed. IGI global, p.1-4.
- 金光義弘, (1999). 「動体認知」測定法の開発—その原理と方法の検討— 川崎医療福祉学会誌 9(1) 13-18.
- Kanemitsu, Y., (1999). The relationship between aging and the detection of dynamic movement in drivers' visual function. *Kawasaki Journal of Medical Welfare*, 5(2) 55-63.
- Park, K., Jiang, Y., Wang, S., (2009). "3C1-3 significant association between asymptomatic leukoaraiosis and visual interpolation" The JSME Symposium on Welfare Engineering. Dec. 24-26, 2009. The JSME Symposium on Welfare Engineering, 209-210.

- 8) Ylikoski, R., Ylikoski, A., Erkinjuntti, T., Sulkava, R., Raininko, R., Tilvis, R., (1993). White Matter Changes in Healthy Elderly Persons Correlate with Attention and Speed of Mental Processing. *Archives of Neurology*, 50(8) 818-824.
- 9) Park, K., Yasuda, N., Toyonaga, S., Yamada, S., Nakabayashi, H., Nakasato, M., Nakagomi, T., Tsubosaki, E., Shimizu, S, (2007). Significant association between leukoaraiosis and metabolic syndrome in healthy subjects. *Neurology*, 69, 974-978.
- 10) Park, K., Yasuda, N., (2009). Association between Metabolic Syndrome and Minimal Leukoaraiosis. *Stroke* 40(1), e5.
- 11) Mosley, T. H., Knopman, D.S., Catellier, D.J., Bryan, N., Hutchinson, R.G., Grothues, C.A., Folsom, A.R., Cooper, L.S., Burke, G.L. Liao, D., Szklo, M., (2005). Cerebral MRI findings and cognitive functioning. *Neurology*, 64(12) 2056-2062.
- 12) 朴啓彰, 永原三博, 熊谷靖彦, 片岡源宗. (2011) 「大脳白質病変と警察庁方式 CRT 運転適性検査との関連性について」. 第 10 回 ITS シンポジウム. 東京都, 2011 年 11 月 4-5 日. 特定非営利活動法人 ITS Japan, 223-225.
- 13) 金光義弘, (2003). 「高齢運転者における視野異常の実態—視野の経年変化に関する調査的研究を通して—」川崎医療福祉学会誌 13(2) 257-262.
- 14) Nakano, K., Park, K., Zheng, R., Fang, F., Ohori, M., Nakamura, H., Kumagai, Y., Okada, H., Teramura, K., Nakayama, S., Irimajiri, A., Taoka, H., Okada, S., (2014). Leukoaraiosis Significantly Worsens Driving Performance of Ordinary Older Drivers PLoS one, 9(10).
- 15) Crundall, D., Underwood, G., Chapman, P., (1999). Driving experience and functional fields of view. *Perception*, 28, 1075-1087.
- 16) Underwood, G., Chapman, P., Brocklehurst, N., Underwood, J., Crundall, D., (2003). Visual attention while driving: sequences of eye fixations made by experienced and novice drivers. *Ergonomics*, 46, 629-646.

(平成27年 8 月28日受付) (平成27年12月31日受理)