

長距離トリップに伴う乗車ストレスの計測技術に関する研究

建設工学専攻（修士課程） 502137 つちかわ そう
土木計画学研究 指導教員 岩倉 成志

1. はじめに

近年、技術開発が進められているリニアモーターカーや SST(super sonic transport)などの交通システムは高速化して利便性が向上する反面、逆に身体にストレス負荷がかかる可能性が高い。一方、ITS の開発分野である AHS-a（高速道路の自動運転化）が導入されると運転作業から開放されるために身体的負荷が従来よりも軽減することが考えられる。しかし、こういったストレスの増減を計測する技術は未だに確立されていない。

交通需要予測手法に視点を置くと、現在開発されている交通行動モデルの効用関数に組み込まれている変数は移動費用・所要時間等の経済的要因や快適性・イメージ等の心理的要因が主で、ストレスを中心とした生理的要因を組み込んだ研究事例は極めて少ない。このため上述の様な新しい交通システムの身体的負荷を考慮した需要予測ができていない。

そこで、本研究では長距離トリップに伴う乗車ストレスを正確かつ簡便に計測・解析ができる計測技術の確立を目指す。

2. 生体ストレス反応の計測方法と評価方法

生体がストレスを受けると、内部環境の恒常性を維持するために身体の各部位に反応が生ずる。その反応を測定することによりストレスがある程度客観的に説明できるとされている。表-1 に各ストレス指標の特徴についてまとめた。なかでも医学・医用工学で数多くの研究実績があり、かつ計測が簡易でデータを連続的に取得できる心拍数と、精神的ストレスに鋭敏に反応し、新規ストレス指標として注目されているクロモグラニン A を用いて計測を行なう。

(1) 心拍数

身体的・精神的負荷により自律神経である交感神経活動が活発になり、ストレスにตอบสนองして心拍数が増加する。本研究で用いる RRI は心電図波形の R 波と R 波の間隔で、ストレスを受けるとその間隔が短くなる。

RRI は周波数解析することで自律神経系の働きを評価できる。0.04-0.15Hz を LF（低周波成分）、0.15-0.4Hz を HF（高周波成分）とし、LF/HF が心臓交感神経の活動を、HF が心臓副交感神経の活動をあらわす。

また、心拍変動の力学的構造はカオスであり疾患・老化・ストレス状態であるとカオス性は小さくなると言われている。カオス性の大きさは最大リアプノフ指数で分析できる。

(2) クロモグラニン A

ストレスに関連して分泌の様子が変化するホルモンで、唾液、血液から分泌される。唾液中クロモグラニン A は精神的ストレスに対して鋭敏な反応を示し、身

体的ストレスには一切反応しないとされている。

3. 調査概要

実験概要を表-2 に示す。被験者は 20 代 5 名、40 代 2 名である。幹線交通機関(自動車・新幹線・航空機)の乗車時の心拍間隔をホルター心電計で計測した。自動車は高速道路を約 700km/日走行し、約 100 分間走行して 20 分間休憩をとり、これを 1 セットとした。運転席、助手席ともに心電計を計測し、位置・速度を GPS で、前後左右加速度・旋回角速度をセイフティレコーダで計測している。測定時は休憩ごとに主観的疲労度を一般的疲労症状・心的疲労症状・身体症状の項目ごとに申告した。新幹線は東京-秋田、東京-八戸往復の約 6 時間を計測し、航空機は東京-沖縄の約 2 時間 30 分を計測した。2003 年度は心電計に加えて唾液中のクロモグラニン A を測定するため、乗車前後、乗車中約 100 分ごと（自動車乗車時は休憩の直前）に唾液を採取した。

また、生体反応には周期性（日変動、月変動、年変動）が見られ、特に一日の周期であるサーカディアンリズムの影響を強く受けている。長時間のストレス変化を定量化する際には、このサーカディアンリズムの影響を除外するために安静時を計測する必要がある。そのため、自宅で安静時のデータと睡眠時のデータを計測した。

4. データ解析結果

乗車時 RRI を安静時 RRI で除すことでサーカディアンリズムの影響を除外した RRI 変化率指標を算出した。RRI 変化率指標は 100% を下回ると安静時よりもストレスがかかっていることとなる。

自動車乗車時における RRI 変化率を図-1、交通機関

表-1 各ストレス指標の特徴

種類	ストレス		計測の連続性	計測の簡易性
	身体的	精神的		
心拍数	△	△	○	○
ストレスホルモン	クロモグラニンA	×	○	○
	コルチゾール	?	○	○
	カテコールアミン	?	○	△
脳波	○	○	○	×
血圧	?	○	×	△
呼吸数	○	△	△	○
顔面温度	△	△	△	○
音声	△	○	×	○

表-2 実験概要

調査年	被験者数	年齢	調査項目					調査回数			
			RRI	自覚症状	CgA	SR	GPS	自動車	新幹線	航空機	安静
2000	1	22	○	○	-	-	○	13	-	-	8
2001	2	22	○	○	-	-	○	14	2	4	6
2003	2	22,24	○	○	○	○	○	6	4	2	5
2003(中国)	2	40,46	○	○	-	○	○	8	-	-	2

※CgA:クロモグラニンA, SR:セイフティレコーダー

別の RRI 変化率を図-2 に示す。運転時のほうが RRI は短く、乗車時間とともにストレスが大きくなる傾向にある。また、運転開始から数時間は環境適応期で、運転条件や運転環境に心身機能が適応し安定するまでに時間を要するといわれており、既往研究と同様の結果となった。これらのことは全ての被験者について同様の結果が得られている。交通機関別の RRI 変化率では交通機関による違いが見られ、航空機の方が新幹線よりも心拍数が高い要因として、加速負荷が大きいこと、高速移動を行うこと気圧の変動があることなどが考えられる。

次に、年齢の違う被験者を対象に自動車乗車時の RRI から得られる各種ストレス指標を算出して表-3 に示す。各ストレス指標は、走行経過時間中で平均した。交感神経をあらわす LF/HF は、交感神経活動が活発と考えられる運転時よりも助手席時のほうが卓越している。また、HF 値は被験者によってワンオーダー近く異なる。よって周波数解析より得られる指標はストレス指標として扱いにくいといえる。RRI の変動係数である CV-RR は運転に対する慣れや緊張感をあらわすとされるが時間経過に伴う変化は見られない。以上の結果は年齢が異なっても同様であった。

図-3 は自動車運転時 RRI の最大リアプノフ指数とクロモグラニン A の変化を表したものである。最大リアプノフ指数が減少すればカオス性は失い、生体機能は疾患・ストレス状態にあるとされているが、自動車運転負荷では減少傾向にない。これは長距離乗車によるストレスはカオス性を低下させるほどではないと考えられる。

続いて、クロモグラニン A は唾液中の蛋白量で補正した蛋白補正值を用いた。運転開始直後の値が大きい理由として緊張感によるストレスを表している可能性がある。また、クロモグラニン A にサーカディアンリズムが存在するか否かのはっきりとした報告はされていない。つまり、サーカディアンリズムの影響が強く反映した結果であるという可能性もある。

5. まとめ

RRI 変化率指標は乗車時間に伴いストレスが増加する傾向がみられた。また、運転席と助手席、各交通機関に明確な差が見られ、年代の違う被験者においても同様の結果が得られた。しかし、いずれの被験者においても走行開始直後のストレス計測値が不明瞭である。この問題は従来から環境適応期と呼ばれているものであるが、その理由を明確に説明できていない。また、心拍変動のカオス性の低下は見られず、長距離乗車によるストレスはカオス性を低下させるほどのものではないと考えられる。

クロモグラニン A の結果についても、ストレスの増加は見られない。これは、精神的ストレスに瞬時に反応するために、一時の情動や緊張感に対して鋭敏に反応した可能性が考えられ、乗車ストレスを計測する指標としては扱いにくいといえる。

以上から RRI 変化率指標は環境適応期による計測初期の不安定さがあるものの、その後は安定的に計測

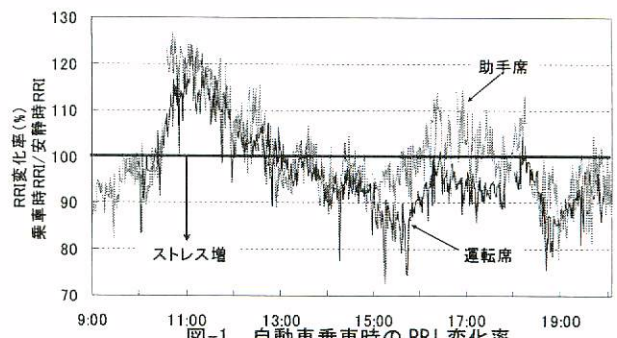


図-1 自動車乗車時の RRI 変化率

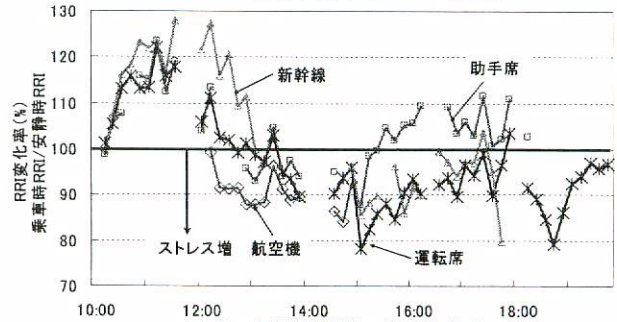


図-2 交通機関別の RRI 変化率

表-3 各ストレス指標の比較

被験者	指標	状態	走行経過時間 (min)				
			0-90	91-180	181-270	271-360	360-
被験者 A.	RRI変化率指標 (%)	D	107	102	90	93	91
		P	105	105	95	96	100
20代男性	LF/HF (msec ² /msec ²)	D	2.6	3.5	3.5	3.2	2.6
		P	3.5	3.4	3.3	3.0	3.5
40代男性	HF (×10 ⁴ msec ²)	D	6.8	6.7	5.3	3.6	7.0
		P	7.3	7.5	6.2	12.3	8.7
被験者 B.	CV-RR (%)	D	5.3	4.2	6.1	3.7	4.9
		P	4.3	4.8	4.5	7.2	4.8
被験者 A.	RRI変化率指標 (%)	D	89	95	91	92	87
		P	105	113	108	108	98
20代男性	LF/HF (msec ² /msec ²)	D	2.0	3.0	2.6	2.7	2.9
		P	3.2	3.6	3.6	3.7	3.5
40代男性	HF (×10 ⁴ msec ²)	D	0.3	0.3	0.5	1.0	0.9
		P	0.5	1.0	1.3	1.2	1.1
被験者 B.	CV-RR (%)	D	4.1	4.0	2.8	4.0	3.6
		P	3.8	5.5	4.4	4.7	3.3

※D:Driver P:Passenger

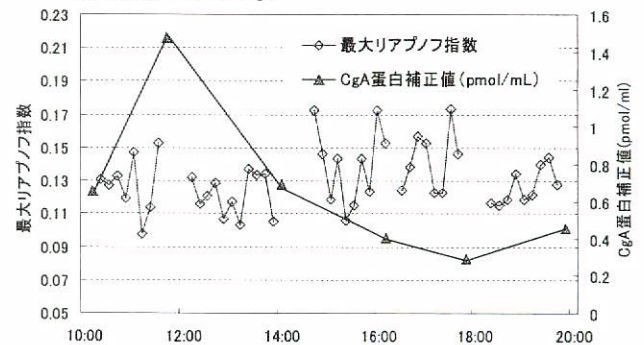


図-3 自動車運転時の最大リアプノフ指数と CgA 値

可能な指標であるといえる。

本研究では、ストレス指標として自律神経系である心拍数とクロモグラニン A を用いたが、今後、ストレスに対する反応がより早く、一時の情動に左右されないストレス指標が発見されることが期待される。本研究では試みなかった末梢血流等の末梢神経系の指標を併せて扱うことで、より鮮明に乗車ストレスを定量化できる可能性がある。