

眼球運動による生活道路の安全性評価指標の構築に関する基礎的研究*

A Study on Structuring of Traffic Safety Indicator by Eye Movement View Point of Community Road*

三村泰広**・稲垣具志**・野田宏治***・荻野弘****

Yasuhiro MIMURA**・Tomoyuki INAGAKI**・Koji NODA***・Hiroshi OGINO****

1. はじめに

交通安全における歩行者・自転車など交通弱者への対策の重要性が高まっている。特に近年は、交通安全白書等で言及されるように、交通弱者と自動車などの車両が混在する住宅地域の狭幅員の道路（以下、生活道路）における対策の必要性が叫ばれている。

一方で、生活道路は、地域や区間長など単位面積や距離で見た場合、交通事故発生件数そのものが少ないなど、対策実施の計画段階における優先順位付けや、対策実施後の評価段階における効果計測に課題があることも少なくなく、これまで交通事故の発生件数に代わる様々な指標が提案されてきた現状がある。一方で、今後、より効果的かつ決め細やかな対策の推進が求められる中で、生活道路の安全性を低下させている原因そのもの所在を定量的かつより明確にできる指標の必要性は、今なお生じていると考えられる。

本研究は、生活道路の安全性を定量的に、そしてより明確に評価しうる指標として運転者の注意量に着目し、生活道路の安全性評価を行う指標を構築するための基礎的知見を得ることを目的としている。まず、運転者の注意量を定量化する指標として眼球運動に着目し、その考え方を整理した上で、生活道路走行時の眼球運動の特徴から注意量を定量化することで、運転者の注意およびその影響という視点から見た安全性評価指標の可能性を検討する。なお、将来的には、構築された指標を実際の道路環境に適用し、一般的な指標である交通事故および危険箇所指摘と比較することで安全性評価指標としての特徴を確認し、その有効性を検証することを念頭に置いている。

2. 既往研究と本研究の特徴

上述のように、生活道路の安全性評価に関する研究は近年にいたるまで、数多く試みられてきている。その視点として大きくは、空間構成要素によるもの、住民・利用者の意識を加味するもの、運転者の心理的・生理的反

応を考慮するものなどである。

空間構成要素による評価の代表的なものとしては、オキュパンシー指標を用いた評価が挙げられる。塚口ら¹⁾は街路区間における各交通手段別の空間占有度を表すオキュパンシー指標を面的に拡張し、地区レベルで区内街路の整備水準を検討している。一方で上野ら²⁾は、住宅系市街地における生活道路の計画的な整備水準を実現するため、道路管理者の意識調査に基づき、生活道路面積などの簡便な道路データを用いた生活道路整備水準を表す指標を抽出するとともに、経済性、安全性、利便性に関する生活道路の整備効果についてその計測指標を検討している。

住民・利用者意識を加味するものとしては、例えば山川³⁾は地区道路に対する地区住民の評価を、地区の道路ストック指標および交通量などの状況と関連させて分析することによって、住民による評価と地区の交通特性との関係を明らかにし、地区道路の計画において留意すべき点を考察している。また、本多ら⁴⁾は、生活道路整備水準の違いによる沿道住民の安全感、快適感、満足度などの主観的評価の差を定量的に表現するモデルを構築している。また、藤田ら⁵⁾は、被験者が最も現実的に評価できる自宅前面道路の意識データを利用しつつ、実測値との関係を検証し、さらにコミュニティ道路などの3つの道路形態別に生活道路を総合的に評価することによって、それぞれの道路形態ごとの特徴と今後の改善項目を明確化している。また、特に利用者の安全意識に着目した研究として、中村ら⁶⁾は歩行者の道路利用時に受ける危険感やストレス等の心理的影響についてCVMを用いて評価し、その後ファジィ推論を用いて道路に存在する様々な要因から説明できるモデルを構築している。また、山中ら⁷⁾は区内街路における速度抑制や空間配分の効果を考慮できる安全性評価モデルとして、自動車占有空間の計測をもとに、歩車の交錯を示す指標を提案している。

以上のように、空間構成要素や住民・利用者の意識の側面から様々な生活道路の安全性評価に関わる研究が行われており、いずれもマクロ的な整備の方向性に言及する面で極めて有用な成果であるといえる。

一方で、運転者の心理的・生理的反応から空間評価を行おうとしている研究は、よりミクロ的な視点から交通空間と安全性の関係を把握しようとしたものであると

*キーワード：交通安全，交通弱者対策

**正会員，博（工），（財）豊田都市交通研究所
（〒471-0026 豊田市若宮町1-1）

***正会員，博（工），豊田工業高等専門学校

****正会員，工博，豊田工業高等専門学校

いえよう。例えば、大橋ら⁸⁾は心拍変動を用いることで道路の走行条件や構造特性、個人特性などによる心理的負担の定量化を行っている。また、井原ら⁹⁾はドライバーの心的状況を定量的に計測する手法として血中ヘモグロビンの酸素飽和度に着目し、その有効性を検証している。また、森下ら¹⁰⁾は運転者の脳波と道路走行の危険性および安全性との関連分析を行っている。

本研究は、後者の心理的・生理的反応を考慮する研究に近いスタンスを取っているが、既往研究で用いられる生体反応は、主に運転者の緊張感といった「受動的反応」を扱っていると考えられるのに対し、運転者の「能動的反応」に近いと考えられる「注意」という指標に着目している点が特徴であるといえよう。

3. 眼球運動による安全性評価の考え方

「注意」に最も影響すると想定される眼球運動については、運転時の注視挙動を始めとする多くの研究蓄積があり^{11)~13)}、その有効性が明かにされている。眼球運動には、サッカード（断続性運動）、随従運動、固視微動、輻輳・開散運動などがある¹⁴⁾が、本研究では、先行研究¹⁵⁾同様、静止する対象物を見るときに注視を移す跳躍運動であるサッカードに着目する。サッカードが生じるということは、その空間において様々な対象を注視しようとする生理的もしくは意識的反応が生じているということであり、言い換えれば、サッカードの特徴からその空間における注意反応を捉えることができるものと考えられる。

ここで、サッカードの特徴が持つ意味について考える。サッカードが多く発生すると言うことは、その空間において情報量が不足しているため、眼球運動を活性化させてより当該空間の情報を収集しようとしている生理的・意識的反応が生じている可能性があることについては、前に述べた通りである。眼球運動を活性化させるということは、すなわち、サッカードの発生頻度という視点が分析の基本的視点になると考えることができよう。すると次に、道路空間の安全性を評価するにあたって、サッカード発生頻度の大小をどのように考えるかが問題となる。ここで、心理学的側面からのサッカードに関する研究成果を援用する¹⁴⁾。サッカードの速度は角速度でおおよそ100~500度/秒と非常に高速なものである。そのため、人間がサッカード中に知覚する映像は不鮮明なものとなるはずである。しかしながら、実際には脳内でサッカード抑制と呼ばれる情報のマスキング・統合（すなわち不鮮明な映像を脳内から排除し、サッカード前後の映像を統合する）が行われており、そのような映像は知覚しない。つまり、サッカードが頻繁に行われるということは、多くの情報を獲得しているようで、単位時間

当たりで見れば実はその空間に対する情報を多く欠落してしまうことに他ならない。さらに、サッカード時には周辺視の能力が低下することも知られており、情報の収集できる範囲も限定的になってしまうといえよう。

以上より、サッカードを頻発させる道路空間は、総体でみた場合運転者の情報量を減少させるため、交通安全上望ましくないと考えられる。本研究では、このような状況を踏まえつつ、サッカード発生頻度の特徴を整理していく。

4. 調査対象および調査方法

本研究では眼球運動を計測するために、アイマークレコーダ（N社製EMR-8）を使用している。アイマークレコーダは、人の注視する点をビデオ映像上に録画する装置であり、アイマーク検出ユニットで検出されたアイマーク（注視点）座標を、視野ヘッドカメラによって撮影された被験者の視野に相当するビデオ映像上に合成させることで、被験者の両眼の注視点を算出する。本システムでは人の眼の動きを測定する方法の一つとして、角膜反射方式を採用している。アイマーク座標の取得間隔について、本研究では注視箇所判定に用いるビデオ映像の最小コマ数との整合性を考慮し1/30秒と設定した。

調査は表1の日程で実施した。被験者は12名で、内4名が女性、1名が60歳以上であった。調査はそれぞれの被験者が用意した運転になれた車両を用いて実施した。車両には被験者、記録調査員および走行ルート指示員の3名が乗車した。調査は図1に示す全長約3,300m、1回20分程度の特定期間を指示員に従って走行してもらう方法で行った。調査は3回実施したが、解析に時間を要するなどデータ整理の制約上、1回目と2回目に実施したデータにより分析を行うこととした。

ここで、分析を実施するにあたり、結果に大きく影響を与えると想定される被験者より得られたデータの精度や、1回目・2回目による走行環境の変化を確認した。その結果、事前・事後とも欠測などのエラー値のないアイマーク座標の取得率が比較的高く（片眼のいずれか80%以上）、明らかな天候や日照の影響がみられず、取得された注視点の挙動がほぼ正常と想定される被験者を抽出したところ、3名の被験者に限定された。以下ではこの3名の被験者のデータを用いて分析を行う。

表1 調査概要

■調査日（いずれも平日のみ実施）
1回目：2008年7月28日~31日 10:00~17:00
2回目：2008年8月27日~9月9日 10:00~17:00
■被験者：12名（男性8名、女性4名）
■分析対象被験者：3名
被験者A：60歳代、男性、セダン型車両 ^[1]
被験者B：30歳代、男性、軽ワンボックス型車両
被験者C：20歳代、男性、コンパクト型車両

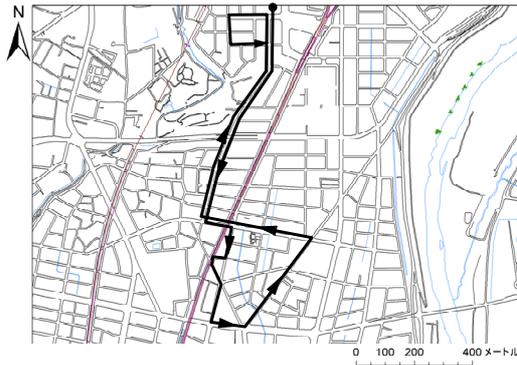


図1 調査対象経路

5. 調査結果

表2はサッカードの秒間当たりの発生頻度について、被験者および実験回数別に示している。なお、サッカードは100～500度/秒と設定している。これをみると、サッカードの発生頻度は、被験者間だけでなく、同じ被験者であっても1回目、2回目で必ずしも類似するとは限らないことがわかる。この原因として、まず走行環境下における交通量などの交通条件を統制できていないことが想定されるが、その影響程度の解明については今後の課題である。一方、図2は、サッカードの発生頻度分布を示しているが、ポワソン分布に類似した分布曲線を持つことがわかる。

以上より、ここでは、単に発生頻度によって、その大きさを判断することには課題がある一方、発生頻度が明快な分布曲線を描くことから被験者別の発生頻度の分散に着目することで、より頻出する地点を $3\sigma \sim 1\sigma$ の段階別で整理し、それぞれの発生地点の傾向を探ることとした。

表2 サッカードの秒間当たりの発生頻度²⁾

	被験者A		被験者B		被験者C	
	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
平均(回/秒)	1.84	2.14	2.94	3.71	3.05	3.00
標準偏差 σ (回/秒)	1.85	1.96	2.17	2.51	2.54	2.43
対象時間(秒)	15,120	16,614	16,011	13,773	16,332	14,405

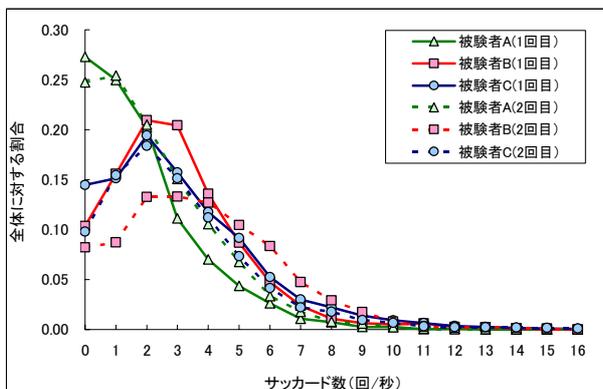


図2 サッカードの発生頻度分布

図3～5は被験者によるサッカード頻出地点をビデオ映像から判別しプロットしたものであり、1回目、2回目を併せて表示している。これをみると、発生箇所においても被験者によってばらつきが見られる。一方で、サッカード発生頻度の高い地点に注目すると、特に右左折挙動を伴う箇所において多くみられる傾向が窺える。

そこで、本研究で行われた車両挙動について、一般的なものである直進中、左折中、右折中、停車中の4つの挙動に分類し、それぞれの挙動中におけるサッカード頻度をみた。表3はビデオ映像から被験者の全注視点データにおける各走行状態を整理し、それぞれの秒間当たりのサッカード発生頻度を示したものである。これをみると、被験者に限らず左折中、右折中のサッカード発生頻度が直進中や停車中のものより多いことが窺える。以上のようにサッカード頻度は走行状態によって異なる可能性があり、評価時においてはその影響を考慮する必要がある。

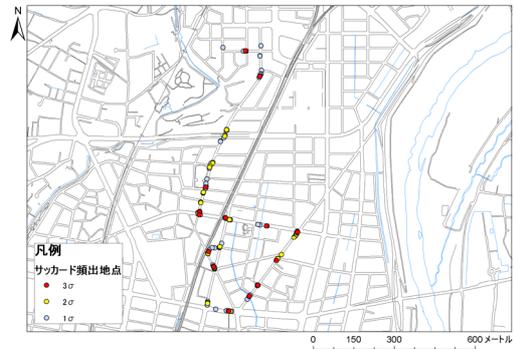


図3 被験者Aのサッカード頻出地点

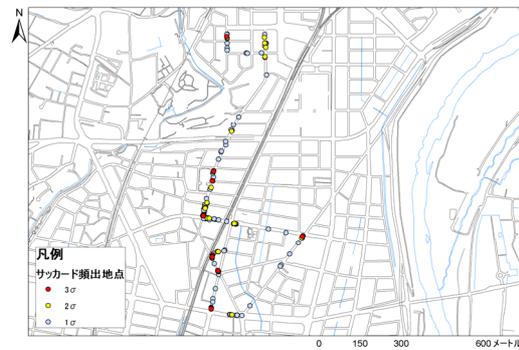


図4 被験者Bのサッカード頻出地点

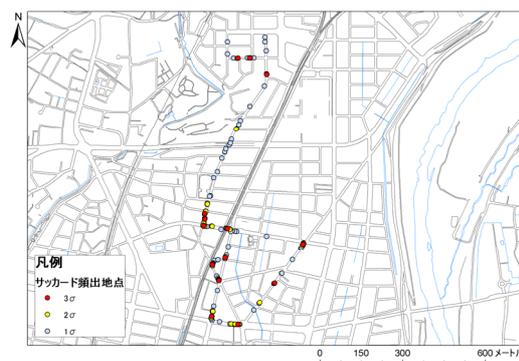


図5 被験者Cのサッカード頻出地点

表3 走行状態別の秒間当たりのサッカード発生頻度

	被験者A		被験者B		被験者C	
	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
直進中	1.64 (400)	1.93 (410)	2.75 (343)	3.47 (337)	2.79 (351)	2.85 (336)
左折中	3.16 (26)	3.13 (28)	4.13 (26)	5.43 (25)	5.27 (31)	5.30 (25)
右折中	3.24 (29)	4.03 (29)	3.97 (24)	5.83 (23)	6.27 (42)	5.35 (37)
停車中	1.92 (51)	2.22 (88)	3.03 (141)	3.53 (75)	1.96 (112)	1.89 (82)

※ () 内は当該状態の時間 (秒数)

6. おわりに

本研究は生活道路の安全性を定量的に評価しうる指標として運転者の注意量に着目し、生活道路の安全性評価を行う指標を構築するための考え方とその傾向に関する基礎的知見を得た。

サッカードの発生頻度は被験者の走行状態に影響することから、サッカードの発生頻度と道路空間の関係性をより明確に把握するためには、まずは、その影響を除外した分析を行う必要があるといえよう。今後、ケーススタディとして、走行状態を限定した場合のサッカード頻出地点の傾向をみるなどの対応を行う予定である。なおその際、当該対象経路は主に図6に示すような対策が行われているため、これらの実態を考慮した考察も必要と考えられるだろう。

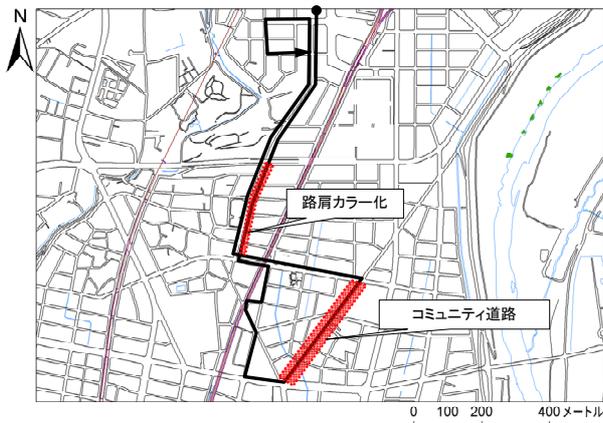


図6 対象経路上の主な交通安全対策

謝辞

本研究を進めるにあたり、豊田工業高等専門学校北畠正巳氏ならびに被験者の皆様の多大なる協力を得た。ここに記し感謝の意を表す。

補注

[1]被験者Aは、アイマーク取得精度の関係上分析対象とした眼が1回目・2回目で異なっていた(1回目左目、2回目右目)が、両眼が良好に記録できていた区間におけるサッカードの発生頻度傾向を確認したところ、左右の眼でほとんど差がなかったため、ここでは分析を実施している。

[2]秒間当たりのサッカード数を算出するに当たって、最小単

位である1/30秒の数を分析対象としている。すなわち、走行時間が10秒であるならば、データ数は他区間の影響が混入する最後の1秒間を除いた270データが対象となっている。

参考文献

- 1) 塚口博司, 黒田英之, 矢島敏明, 田中一史: 歩車のオキュパンシー指標を用いた住区内街路の評価に関する研究, 土木計画学研究・論文集, 7, pp.219-226, 1989
- 2) 上野俊司, 外尾一則: 道路管理者からみた評価指標に基づく生活道路の整備水準と整備効果の分析, 都市計画論文集, 28, pp.739-744, 1993
- 3) 山川仁: 地区道路の交通特性と住民による道路評価について, 都市計画論文集, 16, 53, pp.313-318, 1981
- 4) 本多均, 外井哲志: 生活道路の整備水準評価手法に関する研究, 土木計画学研究・講演集, 8, pp.283-290, 1986
- 5) 藤田素弘, 山岡俊一, 松井寛: 意識量と実環境値に基づく生活道路の歩道形態別評価分析, 都市計画論文集, 36, pp.607-612, 2001
- 6) 中村典生, 武藤慎一, 高木朗義: 心理的影響に着目した都市街路の交通安全性評価, 土木計画学研究発表会・講演集, 24, 2, pp.273-276, 2001
- 7) 山中英生, 木村義雄, 三谷哲雄: 歩行者・運転者心理を考慮した自動車占有空間の計測と住区内街路安全性評価モデルの提案, 都市計画論文集, 28, 21, pp.121-126, 1993
- 8) 大橋正樹, 内田智也, 屋井鉄雄: 高速道路走行における心理的負担の計測と安全性評価に関する研究, 都市計画論文集, 35, pp.541-546, 2000
- 9) 井原昌孝, 内田敬: 近赤外光センサによるドライバー心的状況の定量的計測手法に関する研究, 土木計画学研究発表会・講演集, 40, CD-ROM, 2009
- 10) 森下時麿, 奥谷巖, 真鍋昌彦: 脳波特性を用いた道路走行安全性評価に関する実験的研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集第4部, 50, pp.334-335, 1995
- 11) 村田隆裕: 注視行動の統計的性質, 土木学会論文報告集, 213, pp.55-63, 1973
- 12) 萩原亨, 加来照俊: 運転者の注視点とその評価に関する研究, 土木計画学研究・論文集, 6, pp.121-128, 1988
- 13) 丹治和博, 金田安弘, 福澤義文, 加治屋安彦: アイカメラによる冬期道路でのドライバーの視線挙動について, 寒地技術論文・報告集, 12, pp.331-337, 1996
- 14) 荻阪良二, 中溝幸夫, 古賀一男: 「眼球運動の実験心理学」, 名古屋大学出版会, 1993
- 15) 三村泰広, 稲垣具志, 李泰榮, 野田宏治, 北畠正巳, 荻野弘: 眼球運動からみた交差点カラー舗装化による注意喚起の定量化に関する基礎的研究, 土木計画学研究発表会・講演集, 40, CD-ROM, 2009