

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：16101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656303

研究課題名(和文) 車種と車両重量を考慮した交通流の安全評価法の開発とその実証分析

研究課題名(英文) Development and validation of safety evaluation method of traffic flow considering vehicle type and gross weight

研究代表者

山中 英生 (Yamanaka, Hideo)

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号：20166755

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：交通流観測から安全性を評価する代理指標として車頭時間や車両減速挙動を考慮した指標が提案されているが車両重量は考慮されていない。本研究では、積載重量による減速性能低下を考慮した安全性評価指標として新たに「最小安全車間時間(Minimum safe time gap)」を提案し、長期観測データを元に有効性を検証した。また、過積載車の取締りと車両迂回可能性から社会的効果を推計した。ただし当初計画していた可搬式重量計測装置の開発については、取り付け方式の改良と計測精度の向上が必要となっている。

研究成果の概要(英文)：Many kinds of surrogate indicators for evaluating the safety of traffic by flow observations have been proposed, which considers headway time and vehicle deceleration behaviors, but not vehicle weight. In this study, a new index called "Minimum Safe Time Gap" is proposed for the safety evaluation taking account into the deference of deceleration performance due to the vehicle weight, and is verified the validity based on the long-term observation data. In addition, the social effect from enforcement and vehicle detour possibility of overloaded vehicles is estimated. However the development of portable weigh-in-motion device which was originally planned, needs improvement in measurement accuracy and modify of mounting system.

研究分野：交通工学

キーワード：自動車両重量計測 交通安全 過積載 交通流分析 交錯指標 国際研究者交流 マレーシア

## 1. 研究開始当初の背景

従来からビデオやカウンター等の交通流の即地観測データを用いて安全性を評価するための代理指標は多く提案されている。古くからの車頭時間(headway)に着目した研究に加えて、TTC(Hayward,1972)やPET(Alen他,1978)などに始まり、車両の減速挙動を考慮したPTTC(若林ら,2002)、PICUD(宇野ら,2002)などの安全性評価のための指標が提案されている。

こうした指標は交通事故件数、運転者ストレスなどの指標に比べて、即地・即時評価が可能であり、事故多発地点における原因分析にとどまらず、事故発生可能性の事前予測、路車間通信を使った警告システムなどへの発展活用が可能であることから、交通流の安全性をよりの確に評価できる指標の開発が所望されている。しかし、多くの指標は車両の運動特性を同一と仮定しており、車種と車両重量、特に過積載による制動性能の低下を考慮している指標は見られない。

我が国では、国土交通省が走行車重量計測装置(WIM:Weigh in Motion)を配備し、大型特殊車両に対する警告システムを稼働させているほか、高速道路ではETCと連動した軸重計測が実施されるなど走行車の重量計測は普及し始めている。

一方で、燃料費高騰などで増加する過積載車両の危険性も広く広報され、取り締まりも実施されている。ただし、これらは大型車・特殊車を対象としており、取り締まりの対象になりにくい中型車や小型車の過積載の実態や安全性への影響は十分に把握されていない。

研究代表者は、マレーシアにおける代表的交通安全研究者のマラヤ大学レーハン教授、制御分野のサイフィズル講師との共同研究で、2007年から統合型の走行車重量計測装置の開発と車両重量を考慮した交通流分析を研究してきた。この装置は従来のものと異なり、乗用車を含め全ての車両の重量、軸数、軸間距離、速度、加速度、車頭時間、プレートナンバー、車両画像を同時に計測可能で、クアラルンプール郊外の国道で6年にわたり観測した。

観測結果から大型車・中型車の自由速度は積載時と無積載時で同一車種でも相当に異なること、追従時の速度や車頭時間は先行車両のサイズ、自車両重量に大きく影響を受けることなど、車両重量が交通流に与える影響を明らかにしている。これらの論文は国際ジャーナルへの掲載とともに、国際会議等でも高い評価(WCTR2010, EASTS2011でOutstanding paper受賞)を得ている。

こうした計測データの分析経験から、安全性評価のための交錯指標の開発とその応用という着想に至っている。

## 2. 研究の目的

本研究は、マレーシア・マラヤ大学と協力して実施した研究において、速度、加速度、車頭時間、車両重量、軸数、軸間距離を観測した実績をもとに、車種と車両重量を考慮した交通安全評価のための代理指標(コンフリクト指標)を提案することを主たる目的としている。さらに走行車重量計測データをもとにその有効性を検証するとともに、可搬型の走行車重量計測装置を改良することで、事故実績と指標値の比較分析から提案指標の有効性を検証することを試みる。また、過積載が蔓延するアジア諸国での政策立案を念頭に重量規制の評価を試みる。

## 3. 研究の方法

以下の方法で研究を実施した。

### (1) 交通流評価指標の提案

車両走行状態の安全評価を行う指標として、先行車の減速挙動を想定し、先行車と追従車の制動性能が異なることを考慮した新しい交錯指標を考案する。

### (2) 積載量・制動性能関係モデルの開発

小型貨物車、中型トラック、大型トラック(車軸数の異なる貨物車)について、積載量、速度を変化させた時の制動時間の関係を分析する。

### (3) 新指標式の有効性検証

提案した指標の特性を考察するため、固定式の車両重量自動計測装置で計測している車両重量、車種、速度、車頭時間のデータを用いて、発生頻度の分析を行い、車種、積載量による危険性への感度を検証する。

### (4) 可搬型WIM装置の改良

マラヤ大学で開発した可搬型WIM装置を改良して計測装置を製作する。特に、道路路面に設置する際の安全性、設置作業性、繰り返し利用性確保のため、路面貼付方式を改良して、施工性、および圧力センシング精度の検討を行う。

### (5) 車両積載規制の基礎的分析

マレーシアにおける車両積載規制の実情から、規制の社会的効果を分析するための基礎フレームを検討する。特に、固定引き込み式の重量計測ステーションの規制での重量車の迂回行動発生を考慮して、自動重量計測の優位性を分析する。

### (6) 自動車重量計測による安全施策

車両重量の交通安全性に対する影響をとりまとめ、WIMを用いた警告システム安全施策の応用・展開について提案をとりまとめる。

#### 4. 研究成果

##### (1) 交通流評価指標の提案 (発表論文③等)

車両が追従する走行状態の関係の安全評価を行う指標として、多くの指標が提案されている<sup>1)</sup>。車頭間隔(headway)そのものを用いる方法に加えて、1972年にHaywardの提案したTTC (Time to Collision)は2車両が減速を行わずに速度を維持した時に衝突に至るまでの時間を計測するもので、速度と車間距離のみの計測で算出可能で、わかりやすさの面から車両制御や交通流の安全生評価に多用されている。しかし、追従車の速度が前車の速度を下回る場合や走行方向角が異なる場合になど交錯状態の状況によっては適切な評価できないことが指摘され、1978年のAlenによるPET始まり、車両減速挙動を考慮したPICUD (宇野ら, 2002), PTTC (若林ら, 2003), などが提案されている。

たとえば、宇野によるPICUDは以下の式で定義される。

$$PICUD = V_{FV}^2/2\alpha - V_{LV}^2/2\alpha + D_{LF} - V_{LV}RT$$

$V_{FV}$  : 追従車の速度  $V_{LV}$  : 前車の速度

$\alpha$  : 減速度  $D_{LF}$  : 車間距離

$RT$  : 反応時間

すなわち、前車が減速度 $\alpha$ で減速をしたときに、反応時間後に後車が同様に減速したとして、停止時の両者の距離が推定されるもので、この値が小さいほど危険と判断される。制動時の減速度は車両にかかわらず一定値と仮定されている。

しかし、実際に稼働できる減速度は、車種や車両重量、速度などの影響を受けることが考えられる。そこで、本研究では、減速性能が異なることを考慮し、TTCと同様に距離単位ではなく、時間単位の安全性評価指標として、以下の最小安全車間時間 (Minimum safe time gap) を提案した。

$$MSTG = BT_{FV} - BT_{LV} + RT$$

$BT_{FV}$  : 追従車の制動時間

$BT_{LV}$  : 前車の制動時間  $RT$  : 反応時間

すなわち、前車が減速して停止する時、反応時間後に後車が同様に減速したときに、停止までの両者の時間距離の減少量が推定されるもので、この値が2車の実際の車間時間より大きいと危険と判断される。

しかも、制動時間 $BT$ は、速度だけでなく、車種 (車軸数)、車両重量の影響を受けると仮定した。また、反応時間 $RT$ も多様な要因の影響を受けると考えられるが、本研究では既存研究で示されている中の最大値である1.9秒を用いていることとした。

##### (2) 積載量・制動性能関係モデルの開発 (発表論文③等)

小型貨物車、中型トラック、大型トラック (車軸数の異なる貨物車) について、積載量、速度を変化させた時の停止挙動の関係を分析し、制動時間のモデルを開発した。

このため、まず、車両運動シミュレーションソフト (MSC製ADAMS/CAR) を用いて、上記条件を変化させた時の挙動をシミュレートした。図1は例として2軸 (上) および4軸 (下) トラックで総重量GVWと速度を変化させた際の制動時間の推定結果である。総重量が増えるほど制動能力 (減速度) が低下し、制動時間が増加する。

これらの結果をもとに、制動時間を速度と車両重量の関係を線型モデルとして推計し、その係数を車種別に推定した。モデルはいずれも高い適合度を得ている。

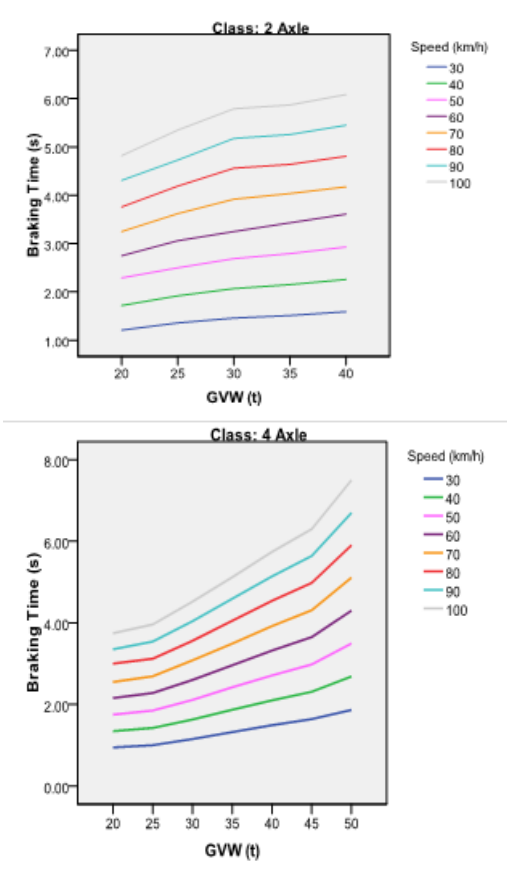


図1 速度・総重量による制動時間

##### (3) 新指標式の有効性検証 (発表論文①)

MSTG指標の特性を考察するため、固定式の車両重量自動計測装置で計測している車両重量、車種、速度、車頭時間のデータから、車両総重量17.5t以上で車軸が2軸、3軸、4軸のトラックを抽出した (N=3743)。

計測場所はマレーシア、クアラルンプール郊外の片側1車線の国道54号で、重量車両が多く、直線区間のため乗用車を含めて高速の車両が多く見られる箇所である (写真1)。



写真1 車両重量計測箇所

各サンプルの前車に対する MSTG が実際の車間時間を上回っていたケースの割合を UO (%) とし、MSTG と実際の車間時間の差の平均を UD (s)、その変動率を Ud (%) として評価した。例として表1は、4軸トラックについて、速度と総重量ランクごとの指標値算定結果を示している。

このように重量車両が乗用車を追従する状態では、MSTG が車間時間を上回る危険な割合は意外なほど高いことが判明した。また、速度が高くなるほど、車両重量が多くなるほど危険性が増していることが明らかになっている。

表1 4軸トラックでの安全評価結果

Mean Speed	Mean GVW	UO (%)	UD (s)	Ud (%)
50	20	54	0.56	25.8
	25	45.9	0.57	25.1
	30	44.1	0.69	27.3
	35	64.5	0.79	27.8
	40	65.9	0.91	29.1
60	20	55.2	0.74	31.5
	25	49.4	0.91	36.8
	30	43.6	0.82	29.4
	35	64.1	0.86	27.3
	40	74.7	1.18	33.6
70	20	63.1	0.8	31.9
	25	61.5	0.86	32.5
	30	58.3	0.94	30.9
	35	76.9	1.16	33.6
	40	91.9	1.41	36.3
Mean		60.9	0.88	30.6

(4) 可搬型 WIM 装置の改良 (未発表)

可搬型 WIM 装置は、平板断面のピエゾ型圧力センサを道路路面にロードテープで貼り付ける方法 (写真2) を採用して、設置時間、耐久性、取り外し後のセンサ再利用性を確認した。

ただし、センサと路面との設置精度の問題から、圧力センシング時に多様な信号形状が発生する課題が生じた。このため、走行加重を変化させた繰り返し実験が可能なりグ (写真3) を製作し、貼り付け方法、信号処理方法の改良法を検討した。

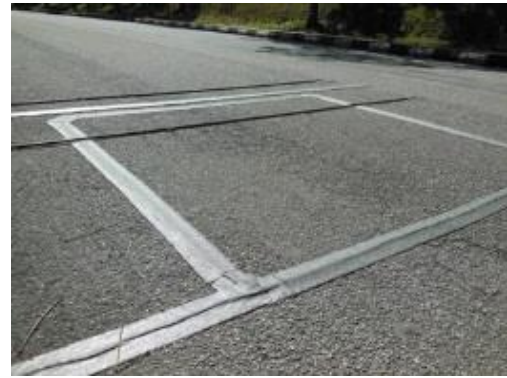


写真2 センサの路面貼付状況

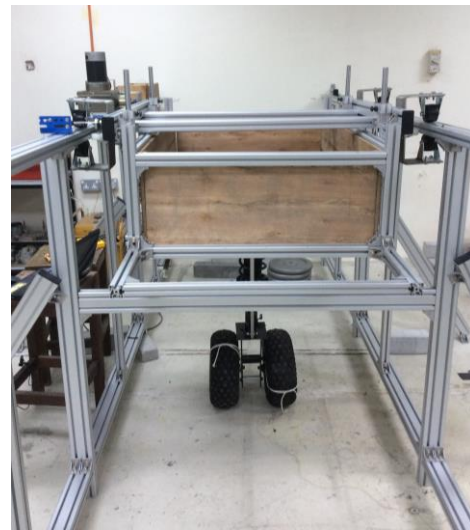


写真3 センサ実験用リグ

(5) 車両積載規制の基礎的分析 (発表論文②)

マレーシアにおける車両積載規制の実情から、規制の社会的効果を分析するため、固定式重量計測ステーションでの重量車規制を実施した場合の迂回行動発生を分析した。さらに、迂回車両を捕捉することで生じる罰金収入を考慮して、自動重量計測装置の配備の優位性を明らかにした。

(6) 自動車両重量計測による安全施策 (発表論文②)

上記の結果をもとに、マレーシアにおいて、車両重量規制を自動計測装置の複数配置による警告システムを整備することが、交通安全、道路補修経費削減などの視点から有効であることを提案している。

(7) 残された課題

当初予定していた事故特性の異なる区間での重量・交通流計測については、可搬型 WIM の精度改良が十分に進まなかったため、実施できなかった。このため、事故と提案した MSTG 指標の関連分析は、今後の課題となっている。

引用文献

1)若林, 高橋他: 交通流ビデオ解析システムを用いた交通コンフリクト分析と新しい危険度評価指標の提案, 土木計画学研究・論文集, Vol.20, No.4, pp.949-956, 2003

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 11 件)

- ① KARIM Rehan Mohamed, SAIFIZUL Ahmad Abdullah, YAMANAKA Hideo, SHARIZLI Airul, RAMLI Rahizar: An Investigation on Safety Performance Assessment of Close-Following Behavior of Heavy Vehicle Using Empirical-Simulation Technique, 査読有, Journal of Transportation Technologies, Vol.4, No.1, 2014, pp.22-30
- ② Karim Rehan Mohamed, Ibrahim Nik Ibtishamiah, Saifizul Ahmad Abdulah, Yamanaka Hideo: Effectiveness of Vehicle Weight Enforcement in a Developing Country using Weigh-In-Motion Sorting System considering Vehicle By-Pass and Enforcement Capability, 査読有, IATSS Research No.37, 2014, pp.124-129
- ③ Madhu Errampalli, Masashi Okushima and Takamasa Akiyama: Development of the Microscopic Traffic Simulation Model with the Fuzzy Logic technique, 査読有, Simulation, Vol.89, No.1, 2013, pp.87-101  
DOI:10.1177/0037549712443716
- ④ Akio Kondo, Akiko Kondo, Yukikazu Yamaguchi, Takumi Yamanoi: Prior Analysis of Effect of Introduction of Rental Two-Wheeled Vehicles in Tokushima City, 査読有, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.10, 2013, pp.363-375  
DOI:10.11175/easts.10.363
- ⑤ Akiko Kondo, Akio Kondo: Estimating Effectiveness and Attractiveness Model of Tourist Destination According to Tourism Interaction and Its Form of Behavior, 査読有, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.10, 2013, pp.1045-1058  
DOI:10.11175/easts.10.1045
- ⑥ Tetsuo Mitani, Hideo Yamanaka: Field Experimental Analysis of the Behavior Improvement Effect Using Roadside Devices to Notify Approaching - Vehicle for Cyclists, 査読有, Journal of the Eastern Asia

Society for Transportation Studies, Vol.10, 2013, pp.2123-2132

DOI: 10.11175/easts.10.2123

- ⑦ KARIM Rehan Mohamed, SAIFIZUL Ahmad, YAMANAKA Hideo: Overloading of Malaysian Road Pavements, 査読無, THE INGENIEUR Vol. 55, 2013, pp.55-60
- ⑧ KARIM Rehan Mohamed, SAIFIZUL Ahmad, YAMANAKA Hideo, SHARIZLI Airul, RAMLI Rahizar, Degree of Vehicle Overloading and its Implication on Road Safety in Developing Countries, 査読有, Journal of Civil and Environmental Research, Vol.3, No.12, 2013, pp.20-31
- ⑨ KARIM Rehan Mohamed, SAIFIZUL Ahmad, YAMANAKA Hideo, SHARIZLI Airul, and RAMLI Rahizar: Minimum Safe Time Gap (MSTG) as a new Safety Indicator incorporating Vehicle and Driver Factors, 査読有, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.10, 2013, pp.2069-2079  
DOI:10.11175/easts.10.2069
- ⑩ Abdullah SAIFIZUL Ahmad, KARIM Rehan Mohamed, Hideo Yamanaka and Masashi Okushima: Empirical Analysis on the Effect of Gross Vehicle Weight and Vehicle Size on Speed in Car Following Situation, Asian Transport Studies, 査読有, Vol.2, No.4, pp.351-362, 2013.  
DOI: 10.11175/eastsats.2.351)
- ⑪ Masashi Okushima, Takamasa Akiyama and Madhu Errampalli: Microscopic Fuzzy Urban Traffic Simulation with Variable Demand, 査読有, Journal of Civil Engineering and Architecture, Vol.6, No.5, pp.541--556, 2012.

[学会発表] (計 5 件)

- ① Akio Kondo, Akiko Kondo, Yukikazu Yamaguchi, Takumi Yamanoi: Prior Analysis of Effect of Introduction of Rental Two-Wheeled Vehicles in Tokushima City, 10th EASTS Conference, 2013. 9. 9~9. 11, Chang Yung-fa Foundation building (Taipei, Taiwan)
- ② Akiko Kondo, Akio Kondo: Estimating Effectiveness and Attractiveness Model of Tourist Destination According to Tourism, Interaction and Its Form of Behavior, 10th EASTS Conference, 2013. 9. 9~9. 11, Chang Yung-fa Foundation building (Taipei,

Taiwan)

- ③ Tetsuo Mitani, Hideo Yamanaka : Field Experimental Analysis of the Behavior Improvement Effect Using Roadside Devices to Notify Approaching - Vehicle for Cyclists, 10th EASTS Conference, 2013. 9. 9~9. 11, Chang Yung-fa Foundation building (Taipei, Taiwan)
- ④ KARIM Rehan Mohamed, SAIFIZUL Ahmad, YAMANAKA Hideo , SHARIZLI Airul, RAMLI Rahizar : Minimum Safe Time Gap (MSTG) as a new Safety Indicator incorporating Vehicle and Driver Factors, 10th EASTS Conference, 2013. 9. 9~9. 11, Chang Yung-fa Foundation building (Taipei, Taiwan)
- ⑤ Masashi Okushima and Akiyama Takamasa : Multi-Agent Transport Simulation Model with Social Network in Small World, 6th the International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 13th International Symposium on Intelligent Systems, Vol.6, No. W2-55-4, pp.1-6, 2012.11.20 ~ 11.24 , Kobe International Conference Center (兵庫県)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山中 英生 (YAMANAKA, Hideo)  
徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・教授  
研究者番号：20166755

### (2) 研究分担者

奥嶋 政嗣 (OKUSHIMA, Masasi)  
徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・准教授  
研究者番号：20345797

近藤 光男 (KONDO, Akio)  
徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・教授  
研究者番号：10145013

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

モハメド・レーハン・カリム  
(Mohamed Rehan Karim)  
マレーシア・マラヤ大学土木工学科・教授  
交通研究センター所長

アーマド・サイフィズル・アブドラ  
(Ahmad Saifizul Abdullah)  
マレーシア・マラヤ大学機械工学科・講師  
交通研究センター研究員