

〈一般研究課題〉 MMSによる生活道路エリア3次元点群データを活用した
無信号交差点における出合頭事故危険性評価手法の開発
助成研究者 豊橋技術科学大学 松尾 幸二郎



MMSによる生活道路エリア3次元点群データを活用した 無信号交差点における出合頭事故危険性評価手法の開発

松尾 幸二郎
(豊橋技術科学大学)

Development of a Method for Assessing the Risk of Head-on Accidents at Unsignalized
Intersections Using 3D Point Cloud Data of Residential Road Areas by MMS

Kojiro Matsuo
(Toyohashi University of Technology)

Abstract :

There are many unsignalized intersections on residential roads, and their road structure may have different effects on the psychology and behavior of road users and the risk of traffic accidents. The objective of this study was to develop a method to quantitatively evaluate the visibility of unsignalized intersections, which has often been evaluated qualitatively, by utilizing three-dimensional (3D) point cloud data obtained by a mobile mapping system (MMS). As a result, we were able to quantitatively evaluate the visibility of each side of intersections by calculating the visibility ratio based on the number of point cloud data that exist within a certain viewing angle from the road user's perspective when entering the intersections. In addition, by focusing on the height information of the point cloud data, it was suggested that it may be possible to evaluate the visibility considering the height of road users (e.g., children) who should be visible.

1. はじめに

近年、死傷事故件数は減少傾向にあるものの、生活道路における死傷事故件数は他の道路に比べて減少率が小さく¹⁾、その約半数は交差点における事故であり²⁾、有効な交通安全対策の実施が求められる。

これまで著者ら³⁾は、生活道路内の無信号交差点を対象として、自動車の交差点進入挙動と見通

しとの関連性を分析してきた。その際、細部測量により計測した交差点の左右の視認距離⁴⁾を交差点の見通し指標として定量的に評価を行うことで、車両挙動との一定の関連性を確認することができた。しかし、この見通し評価手法を複数の交差点に適用する場合、現地で測量する必要があるため、多くの手間と時間を要する。また、見通しの評価基準をある程度想定した上で測量を行うことになるため、測量データ取得後の見通しの評価手法の変更・改善が困難であるなどの課題が残る。

一方、近年、Mobile Mapping System (MMS)により取得される三次元点群データを交差点における見通し評価に活用する取組が進められつつある。MMSでは対象としている箇所を走行することで周囲の三次元点群データが得られる。これにより効率的に交差点周辺の道路や構造物の三次元空間データを取得することができる。

MMSを活用した交差点の見通し評価に関する既往研究として、船戸ら⁵⁾は、MMSによって得られた点群データの高さ情報を用いて道路面と周辺構造物の点群データを分割した静止画を作成した上で、周辺構造物によって見えない空間の割合から交差点の見通しを評価している。また佐々木ら⁶⁾は、交差点周辺空間を1m³の空間(Voxel)に区切り、各空間内の点群データ数から各空間の可視・不可視を判定し、交差点の見通し評価に活かしている。このように、MMSを活用した交差点の見通し評価に関する研究はいくつか見られるが、未だその数は少なく、MMSによる交差点の見通し評価手法の有効性について十分に検討されているとは言えない。

そこで本研究では、多くの無信号交差点における運転者など道路利用者の挙動評価を行うことを念頭におき、MMSによって取得される三次元点群データを活用して、交差点の見通しの定量的な評価手法を構築することを目的とする。その際には、交差点間の勾配も一定程度考慮する。さらに、著者らの既往研究⁴⁾において複数の生活道路無信号交差点を対象として測量によって計測した見通し距離と比較することで、本研究で構築する交差点の見通し評価手法の有効性を検証する。

2. 方法

2.1 使用MMSの概要

Mobile Mapping System (MMS)は三次元のレーザー計測機やカメラ等を車両に搭載して走行することで、周辺空間の三次元座標データと連続カラー画像を取得する車載型の測量システムである。本研究ではパスコ社製のMMSによって取得した三次元点群データを交差点の見通し評価に活用している。得られた点群データは三次元座標情報や色情報(RGB値)などを含んでいる。

2.2 対象交差点および対象進入方向

本研究では著者らの既往研究³⁾において対象とした豊橋市の生活道路内住宅地区における無信号交差点のうち、一時停止規制のある交差点進入方向(14方向)を対象とした(図1)。ただし、図1内の交差点進入方向番号は既往研究のものをそのまま使用しているため、必ずしも連番にはなっていない。

これら対象交差点それぞれについて、交差点周囲の点群データを可能な限り漏れなく取得するため、



図1. 対象交差点および対象進入方向

少なくとも交差する2方向から通過するようにMMS搭載車両による計測を行った。

2.3 対象点群データの抽出

本研究ではMMSによって対象地区内の走行範囲全ての点群データを取得しており、その量は膨大となっている。このうち、交差点の見通し評価に必要な点群データのみを抽出して分析を行った。以下に対象点群データの抽出手順を示す。

(1) 交差点周辺の点群データの抽出

取得した点群データのうち、対象交差点の中心から半径20m以内の点群データを抽出する(図2)。

(2) 点群データの集約

交差点周辺の三次元空間を1辺の長さ1cmの立方体に区切り、1つの空間内に複数の点群データが存在する場合、1データとして処理を行う(図3)。これにより、MMSによるデータ取得回数(走行回数)による影響を受けないようにするとともに、扱うデータ量を軽減する。

(3) 道路勾配を考慮した地盤高の付与

点群データには高さ情報(Z座標)が含まれているが、その各点直下の地盤高の情報は得られていないため、地面からの高さを点群データの情報だけで判定することはできない。そこで、既知である交差点中心の地盤高から各点群データに地盤高情報を付与することで、点群データの地面からの高さを算出する。

本研究では交差点間に一定の勾配があるものとして、各点直下の地盤高を算出している(図4)。具体的には、まず対象交差点と手前側の交差点を結んだ直線、対象交差点と左右の交差点を結んだ直線に各点から垂線を下した地点の地盤高を交差点との距離の比によって算出する(図4内の G_1 、 G_2)。続いて、点群データの交差点からの距離で重みとして G_1 、 G_2 の加重平均を取ることで各点直下の地盤高を算出する(図4内の G_p)。これにより、勾配を考慮しなかった場合と比較して対象の高さの点群データをより正確に抽出することができる。

(4) 左右方向の対象点群データの抽出

交差点進入時、交差点より奥にある構造物は見通しには影響しないと考えられる。よって、交差点より手前にある点群データのみを抽出する。本研究では運転者の視点を交差点の手前10mに設定し、交差点進入方向に対して交差側道路の20m先までの空間内の点群データを抽出する(図5)。また、交差点に対して左右それぞれの見通しを評価するため、左側と右側に分けてデータを抽出する。

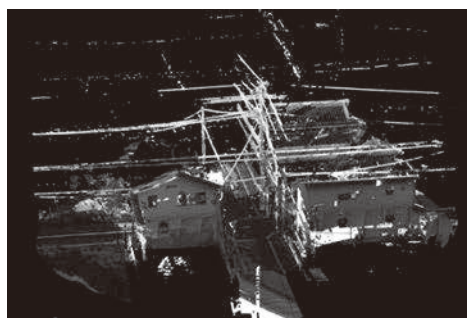


図2. 交差点周辺の点群データ例

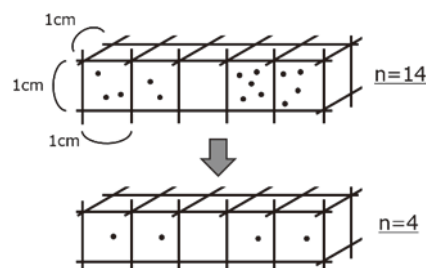


図3. 点群データ集約のイメージ
(nは点の数)

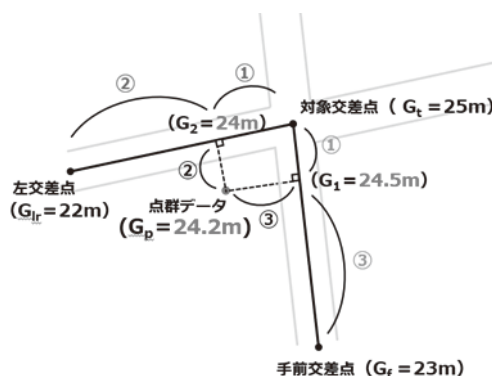


図4. 地盤高の算出例

(5)高さ方向の対象点群データの抽出

本研究では一般車両の交差点進入を想定して、視点の高さを1.2mとして設定する(道路構造令第2条第24号を参考)。視点から交差側道路の高さ1.0m~2.4mまでの空間内の点群データを抽出する(図6)。これにより、道路路面や電線などの見通しに影響がないと考えられる点群データを除く。

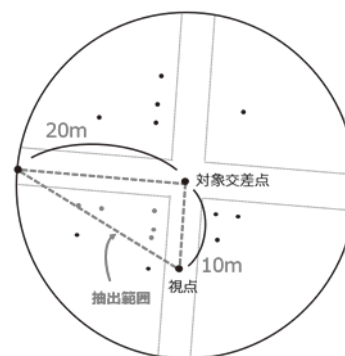


図5. 左右方向の対象点群データの抽出(左側)

2.4 見通しの定量化

MMSによって点群データを取得する際、構造物などがある箇所は高密度の点群データが得られるため、見通しの悪い箇所ほど多くの点群データを含んでいることが考えられる。そこで、本研究では視点から一定の視野角内に存在する点群データの数に着目し、交差点の見通し評価を行う。なお本研究では、左右方向の見通しと高さ方向の見通しの評価をそれぞれ行う。以下に見通しの定量化手法を示す。

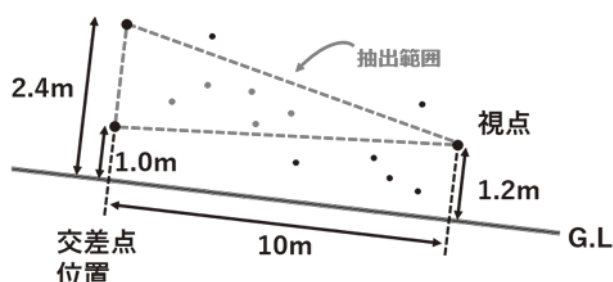


図6. 高さ方向の対象点群データの抽出

(1)交差点周辺データの投影

視点を基準として、交差点から交差側道路の方向に伸ばした直線上に点群データを投影する(図7)。

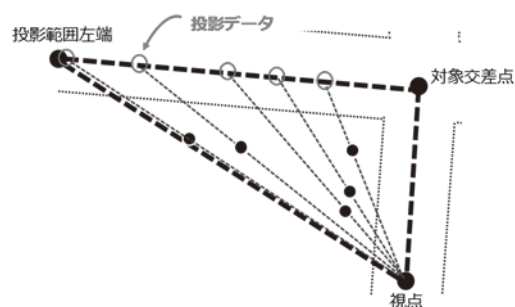


図7. 点群データの投影

(2)左右方向の見通し評価

点群データを投影した交差点左右20mの範囲について、視点を基準として視野を等角度で20分割する(図8参照、ただし、図8は視覚的に分かりやすくするために3分割している)。そして、各分割視野区間に含まれる投影データの数について閾値を設けて、一定数以上のデータが含まれている場合にはその視野区間は見通せないものとして判定を行い、20分割された視野区間のうち見通せる区間の割合を交差点の「見通し率」として評価する。

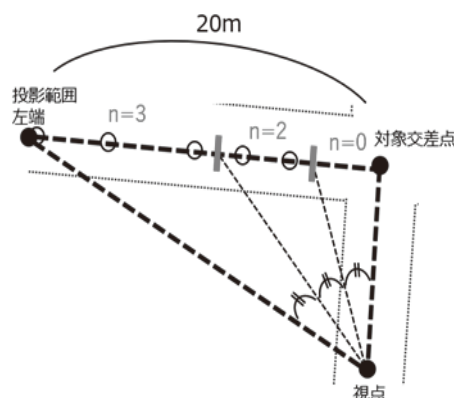


図8. 投影データの分割
(nは各分割区間に含まれる点の数)

(3)高さ方向の見通し評価

高さ方向の見通し評価は、「大人の歩行者は見えるが子供は見えない」といった交差点環境を評価することを念頭においている。高さ方向の点群データの投影範囲である高さ1.0m~2.4mについて、左右方向と同様に視点を基準として等角度で5分割する。各

分割区間の点群データ数を比較することで、どの高さに見通しを悪化させる遮蔽物が存在しているかを分析する。

3. 結果と考察

3.1 左右方向の見通し評価

表1に、対象交差点進入方向のうちの進入方向3(図9)と進入方向6(図10)の2つを例にとって、点群データ投影範囲を左右方向に20分割したときの各分割区間に含まれる投影データ数を示す。ここで、分割区間の番号が小さいものほど、左右方向に見て交差点に近い区間を示している。また、本研究では直角交差に近い4枝の交差点を対象としており、各分割区間の交差点からの距離については直角交差を想定した場合の値を示している。その場合、対象範囲の視野角は約63度であり、20分割したときの各分割区間の視野角は約3度である。

表1より、交差点に近い区間ほど、データ数が少ない傾向が見て取れる。進入方向6については交差点に近い分割区間(車道上と考えられる範囲)についても一定程度データが含まれているが、これはMMS計測時に交差点を走行する別車両の点群データを取得したためであると考えられる(図11)。他の進入方向についても実際の交差点周辺の道路交通環境と各分割区間のデータ数を確認すると、構造物などによって見通しが悪い分割区間には数千から数万のデータが含まれていたため、各分割区間のデータ数について、3000、4000、5000データを可視判定の閾値として設定し、それぞれ見通し率を算出した。

その結果、対象の交差点進入方向の閾値別の見通し率は表2のとおりとなった。交差点左右の見通し率を閾値別に比較すると、多くの進入方向については大きな差はみられなかったものの、進入方向6の左側は閾値によ

表1. 左右方向の分割区間ごとの投影データ数

分割区間	交差点からの 左右の距離 (m)	投影データ数			
		進入方向3 左側	進入方向3 右側	進入方向6 左側	進入方向6 右側
1	0.00 ~ 0.55	0	0	2168	2054
2	0.55 ~ 1.11	1	0	1721	1852
3	1.11 ~ 1.68	0	0	1702	435
4	1.68 ~ 2.25	7259	0	2255	35
5	2.25 ~ 2.84	44144	0	831	0
6	2.84 ~ 3.45	29040	0	3525	0
7	3.45 ~ 4.08	21555	0	7050	16586
8	4.08 ~ 4.74	19375	0	2770	27106
9	4.74 ~ 5.44	16889	13274	2967	22972
10	5.44 ~ 6.18	11714	36850	1418	12718
11	6.18 ~ 6.97	10324	28630	1979	14619
12	6.97 ~ 7.83	9313	20120	3160	9327
13	7.83 ~ 8.76	9373	19478	3663	5940
14	8.76 ~ 9.79	8673	21750	3521	5922
15	9.79 ~ 10.94	14109	12602	3134	7232
16	10.94 ~ 12.24	5809	7309	3072	8220
17	12.24 ~ 13.72	12652	6197	3085	10782
18	13.72 ~ 15.45	18258	6933	2530	12178
19	15.45 ~ 17.51	7020	9046	441	13998
20	17.51 ~ 20.00	12540	38155	14	44165



図9. 交差点進入方向3



図10. 交差点進入方向6



図11. 走行車両の点群データ(進入方向6)

て見通し率が0.6から0.95の値を取っており、大きな差が見られた。進入方向11の右側についても同様に、閾値を変えることで見通し率が0.3から0.8と大きく変動している。実際の交差点の道路構造について、進入方向6(図10)の左側については駐車場を囲む柵があるため、柵を構成する点群データが一定数得られているが、見通しは良好であるといえる。しかし、閾値を3000データに設定すると、柵を構成する点群データの影響を受けて見通し率が低く算出されたことが考えられる。進入方向11の右側については家の塀と植栽によって見通しが悪くなっている(図12)。しかし、閾値を5000データに設定すると建物などに比べて得られた点群データの数が少ないため、見通し率が高く算出されたことが考えられる。そこで、本研究では4000データを閾値として採用し、以降の分析を行った。

表2. 閾値別の見通し率

進入方向	交差点左見通し率(閾値別)			交差点右見通し率(閾値別)		
	3000	4000	5000	3000	4000	5000
3	0.15	0.15	0.15	0.4	0.4	0.4
6	0.6	0.95	0.95	0.3	0.3	0.3
7	0.95	0.95	1	0.65	0.7	0.7
8	0.45	0.45	0.5	0.4	0.5	0.5
11	1	1	1	0.3	0.4	0.8
22	0.4	0.4	0.45	0.5	0.5	0.5
24	0.4	0.4	0.4	0.65	0.7	0.75
27	0.85	0.9	0.95	0.7	0.75	0.75
29	0.5	0.5	0.6	0.8	0.8	0.8
30	0.35	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7
33	0.8	0.85	0.95	0.8	0.85	0.85
45	0.75	0.75	0.8	0.35	0.35	0.4
46	0.95	1	1	0.65	0.65	0.65
47	0.35	0.35	0.35	0.45	0.45	0.45



図12. 交差点進入方向11

3.2 見通し率と測量による視距の比較

本研究で対象としている交差点進入方向は、著者らの既往研究⁴⁾の対象地区の一部であり、既往研究においても交差点の見通しについて検討している。その際は、対象交差点周囲の細部測量により作成した測量図を用いて、交差点の停止線から手前10m、20m、30mを視点として、交差点の中心から建物などによって見えなくなるまでの左右方向の距離を計測し、その値を交差点左右の見通し(視距)として定義している(図13)。そこで、停止線から手前10mの測量による視距(以下、測量による視距)と本研究で算出した見通し率(以下、MMSによる見通し率)とを比較することで、MMSによる見通し率の有効性について検討する。

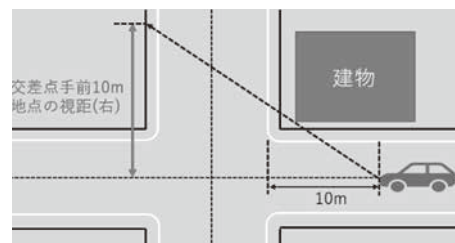


図13. 測量による視距の定義

図14、図15に対象交差点進入方向の左側および右側の測量による視距とMMSによる見通し率との関係を示す。ただし、測量による視距のデータが欠落している進入方向47を除いた13進入方向について示しており、図中の番号は対応する進入方向番号である。また、本研究では交差点左右20mまでを見通し評価範囲としているため、測量による視距が20m以上のものは一律20mとして評価している。

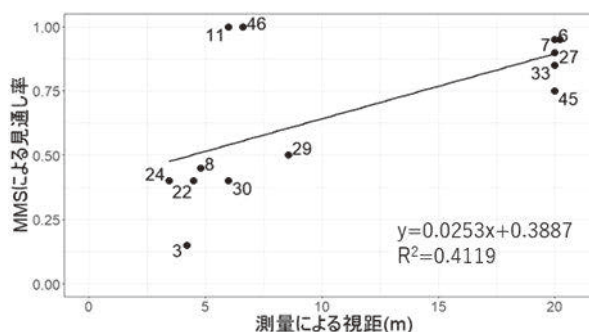


図14. 測量による視距とMMSによる見通し率(左)

結果、交差点の左右どちらについても両見通し指標に一定の相関が見られ、測量による視距の値が大きく見通しが良い進入方向ほどMMSによる見通し率も高い傾向にあることが分かった。これにより、MMSによる見通し率を用いた交差点の見通し評価が有効である可能性が示されたと考えられる。

一方で、図12の進入方向11と進入方向46については、測量による視距の値が小さいにもかかわらず、MMSによる見通し率が1.0(見通しが良い)と判定されている。この2つの進入方向に着目すると、進入方向11については、測量当時(2009年)は植栽によって見通しが悪かったが、MMS計測時は植栽が剪定されて見通しが良くなっていた箇所であり(図16)、MMS見通し率の精度が悪かったわけ

ではないことが分かった。また、進入方向46についてはMMS計測時のデータ取得が不十分であり、見通しを悪化させている建物の一面の点群データがほとんど得られていなかった。これにより、見通し率が実際より高く評価されてしまったことが考えられる。今後、MMSのデータ取得精度の影響を受けづらい見通しの評価手法を検討していく必要があると言える。

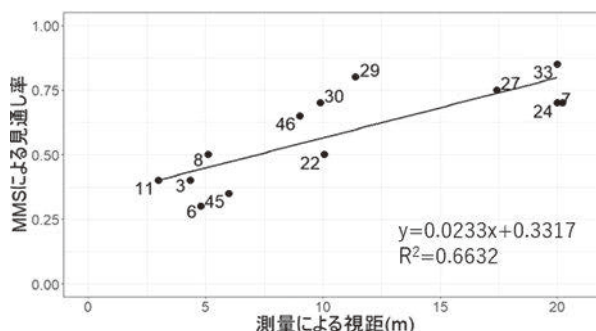


図15. 測量による視距とMMSによる見通し率(右)



図16. 植栽の剪定による見通しの変化(進入方向11)

3.3 高さ方向の見通し評価

表3に、対象交差点進入方向のうちの進入方向3と進入方向6の2つを例にとって、点群データ投影範囲を高さ方向に5分割した(左右方向には分割していない)ときの各分割区間に含まれる投影データ数を示す。ここで、分割区間の番号が小さいものほど

高さの低い区間を示している。対象範囲の視野角は約8.0度であり、5分割したときの各分割区間の視野角は約1.6度である。

データ数を分割区間ごとに見ると、一定の高さまで柵がある進入方向6の左側(図10)については柵のデータが含まれていない分割区間4と分割区間5のデータ数が極端に少なくなっている。進入方向3と進入方向6以外についても植栽や家の塀などがある箇所については高い箇所のデータ数が少ない傾向が見られた。本研究では一定の閾値を設けるなどして見通しの定量的評価までには至っていないものの、これらを用いることで、視認されるべき道路利用者(子供など)の高さを考慮した見通しを評価できる可能性が示唆された。

表3. 高さ方向の分割区間ごとの投影データ数

分割区間	地面からの高さ(m)	投影データ数			
		進入方向3 左側	進入方向3 右側	進入方向6 左側	進入方向6 右側
5	2.12 ~ 2.4	48139	32786	2918	41866
4	1.84 ~ 2.12	50357	38812	3001	39746
3	1.56 ~ 1.84	51304	59743	13486	35929
2	1.28 ~ 1.56	54759	47460	13662	44150
1	1.00 ~ 1.28	53489	41543	17939	54450

4. おわりに

本研究では生活道路内の無信号交差点を対象として、MMSによって得られた点群データを活用して、一定の視野角内に含まれる点群データ数に基づく見通し率を左右別に算出した。さらに、MMSによる見通し率と測量による見通し距離を比較することで、MMSの点群データを活用した交差点の見通し評価の妥当性を示した。また、高さ方向の点群データ数の分布から、視認されるべき道路利用者(子供など)の高さを考慮した見通しを評価できる可能性を示した。

一方で、MMS計測時のデータ取得精度の影響で、本研究で検討した見通し率では交差点の見通しを適当に評価できていないと思われる交差点進入方向も見られた。今後は左右方向、高さ方向に加えて奥行き方向の点群データの分布に着目し、見通しの評価精度を向上させる必要がある。また、視野角の分割数や視点の位置、点群データの閾値などの設定については試行錯誤で設定している部分も多いため、交差点の見通しをより適切に評価できる閾値を検討していく必要がある。高さを考慮した見通し評価においては、左右方向の見通しも併せて考慮することで評価精度を向上させる必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 内閣府：令和3年版交通安全白書 第2章 第4節 生活道路における交通事故の傾向，2021.
- 2) 交通事故総合分析センター：生活道路上の歩行者事故の特徴～子供の横断・飛出しに注意～，2013.
- 3) 大久保皇，松尾幸二郎，稲垣亮，杉木直：プローブデータと交通規制情報オープンデータを活用した無信号交差点における車両進入挙動の指標化に関する研究，交通工学研究発表会論文集，43，339-344，2023.
- 4) 加川一輝，廣島康裕，松尾幸二郎：安全性と利便性を考慮した無信号交差点環境の総合評価のためのドライバー知覚コスト分析—車両走行実験を用いた運転挙動分析と知覚モデル—，土木学会論文集D3(土木計画学)，67(5)，I_1215-I_1224，2011.
- 5) 船戸智也，佐田達典，石坂哲宏：モバイルマッピングシステムによる点群データを用いた交差点における見通しの評価，土木学会論文集F3(土木情報学)，69(2)，II_1-II_6，2013.
- 6) 佐々木光明，桑原雅夫，小野晋太郎，浦山利博，松本学，森一夫，池内克史，大口敬，大石岳史，尾崎朋子：MMSを活用した交差点の見通しの定量解析と交通事故への影響の考察，生産研究，67(2)，35-39，2015.