

東京大学公共政策大学院

歩車分離式信号導入に関する費用 便益分析

「公共政策の経済評価」2013年度

第5班

吉岡 雅史、吉澤 創、李 成浩、見田真木子、佐々木美絵

2013/02/11

目次

Executive Summary	3
1. はじめに	5
1.1. 研究の背景	5
1.2. 研究目的	5
1.3. 方法	5
2. 現状分析	8
2.1. 交通事故の分析.....	8
2.2. 歩車分離式信号の概要と現状.....	11
3. 分析についての考え方.....	14
3.1. 便益について.....	14
3.2. 費用について.....	17
3.3. データについて.....	36
4. 結果 / 感度分析	38
4.1. 計算結果	38
4.2. 感度分析	39
5. 結論	40
本研究のまとめ/政策提言	40
本研究の限界と今後の研究課題.....	40
謝辞	41
参考文献 / データ出典	42

Executive Summary

背景：

日本における交通事故の中で、交差点での人対車事故が多くあり、また、「違反なし」が全体の約 8 割を占めており、交通マナーなどの呼びかけよりも交通システムそのものの改善が有効である。現在の信号機の多くは、信号交差点において歩行者が横断するのと同時に、同方向の車両が直進及び右左折をするという形になっている。こうした一般的な信号機においては、右左折車と歩行者が交錯し、交通事故が起こる危険性についての指摘がなされてきた。この危険性を排除するため、歩行者と車両の通行を分離する、「歩車分離式信号機」の整備が促されている。

導入には、改修費・材料費・工事費のみならず、待ち時間が増えるというコストが発生する。導入に伴う事故数の減少、待ち時間の増加という定性的な結果を明らかにした研究は存在するが、症例ベースに検証を行った研究は存在しない。

分析枠組み：

本研究における便益は、現在歩車分離式信号機を導入していない交差点が、同信号システムを導入した場合の交通事故の減少数とそれを金銭換算したものを便益とする。死亡事故減少数および負傷事故減少数の金銭換算は、既存の損害額の原単位の指標を用いて計算した。費用は、信号機の改修費用および、各交差点における自動車、歩行者の待ち時間の増加を既存データと実測を基に推計した。

結果：

池袋の交差点における歩車分離式信号の導入による便益は、全体で 33 億円から 60 億円の損失となり、全交差点に導入することは望ましくない結果となった。

考察と政策提言：

本論文の結果は、主に全体への導入について着眼したが、現実での交差点は非常に多様であり、導入の可否に関しては個々の交通事故件数等を加味した検討を行う必要がある。「自動車交通量」「歩行者数」「サイクル長、青信号時間」などの要因は待ち時間を大きく左右されるため、多様な観点で総合的な検討が必要であり、歩車分離式信号機の整備率を上げることのみに拘泥することなく、先述のパラメーターを考慮しつつ、本当に効果が表れると思われる交差点を選定し、効果的な導入がなされるべきである。

本研究の限界：

本研究では、データの制約から、交通量や歩行者の挙動等につき、多くの仮定を置いて

分析せざるを得なかった。より詳細なデータを得ることで、さらに現実に即した分析が可能になると考えられる。

また、交差点固有の特性まで考慮した分析を行えなかった。歩車分離式信号機を導入した場合、歩行者・自動車の挙動にどのような変化が見られるか等、よりマイクロに分析をすることによって、交差点種別の具体的な提案が可能であろうと考えている。

1. はじめに

1.1. 研究の背景

現在の信号機の多くは、信号交差点において歩行者が横断すると同時に、同方向の車両が直進及び右左折をするという形になっている。こうした一般的な信号機においては、右左折車と歩行者が交錯し、交通事故が起こる危険性についての指摘がなされてきた。この危険性を排除するため、歩行者と車両の通行を分離する方式の信号機が考案され、「歩車分離式信号機」と呼ばれている。

歩車分離式信号機については、「歩車分離式信号に関する指針の制定について(通達)」(平成14年9月12日付け警察庁規発第86号)により、各都道府県警察において整備が進められているが、全信号機に対する歩車分離式信号の占める割合は2.74%と、必ずしも十分ではない。他方、交通事故件数が減少する中で、平成22年中の信号交差点における歩行者事故のうち歩行者に違反のない交通事故が約9割を占め、件数においても対前年比及び対平成12年比が共に増加しているという現状がある¹。こうした背景から、警察庁は各都道府県警察に対し、歩車分離式信号機の整備を促している。

一方で、歩車分離式信号機の導入には、改修費・材料費・工事費のみならず、待ち時間が増えるというコストが発生する。平成23年の警察庁の同通達では、「歩車分離制御の検討における留意事項」の中で、「(1)歩車分離制御の導入に伴う渋滞の回避」「(2)歩行者交通量の比較的少ない交差点への対応」「(3)歩行者交通量の比較的多い交差点への対応」の3点に分けて、それぞれ自動車・歩行者の待ち時間を出来る限り増やさないよう提言がなされている。

以上のように、導入に伴う事故数の減少、待ち時間の増加に関しては、既存の調査・研究が存在するが、症例ベースに検証を行った研究は存在しない。

1.2. 研究目的

歩車分離式信号の導入に関して、症例ベースに詳細にとったデータに基づき、費用便益分析を行うことで従来独立に研究されてきた既存のエビデンスに新たな知見を追加する。

1.3. 方法

①対象地域の設定

対象地域：池袋駅周辺の交差点15箇所

¹ 「歩車分離式信号の整備推進について」(平成23年4月20日付け警察庁丁規発第72号)より。

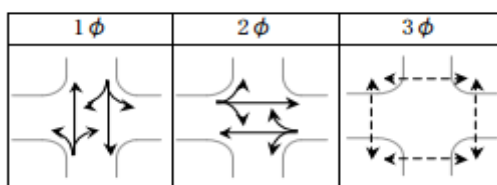
- 交差点ごとに交通量・歩行者数・形状等が異なるため、一般化が容易でないこと。
- 池袋駅周辺には過去に都内の年間事故数で上位となった交差点が複数存在していること。
- データ収集による利用可能性。

②with ケースの設定

歩車分離式信号機には、歩行者の対角線方向の横断を許す「スクランブル方式」、右左折車両の通行時に歩行者の通行を止める「右左折車両分離方式」、右折車両の通行時に歩行者の通行を止める「右折車両分離方式」などがあるが、本分析では「歩行者専用現示方式」を導入すると仮定して分析を行う。

「歩行者専用現示方式」とは、図 1 のように、各方向の車両の交通を終えた後で、歩行者用信号機を全て青にするというものである。「スクランブル方式」との違いは、歩行者の対角線方向の横断を許さない点である。スクランブル方式に比べ、横断歩道・歩行者用信号機の新設が不要であり、信号機の制御方式を変化させることで実現可能であることから、本分析ではこの方式を導入するという仮定をおいた。

図 1 歩行者専用現示方式



出典「歩車分離式信号に関する指針の制定について」(平成 14 年 9 月 12 日付け警察庁丁規発第 86 号)

また、導入後の信号機の 1 周期の長さ(以下「サイクル長」とする。)につき、現状の交差点では様々な調整が見られる。しかし、その多くが「導入前と同じ」を下限、「導入前+歩行者用現示時間」を上限とする範囲に含まれることに鑑み、with ケースとして、以下の 2 つを想定した設定を行う。

ア. 現状のサイクル長と両方向の青信号時間の比を一定にしたままで、歩行者信号のみを現示する時間(サイクル長の一定割合)を作る。(with ケース①)

イ. 現状の両方向の青信号時間を一定にしたままで、歩行者信号のみを現示する時間(サイクル長の一定割合)を作る。(with ケース②)

表 1 2つの with ケースの例

without ケース	with ケース①	with ケース②
サイクル長 100 秒 南北方向の青信号時間 50 秒 東西方向の青信号時間 40 秒	サイクル長 100 秒 南北方向の青信号時間 38.89 秒 東西方向の青信号時間 31.11 秒 歩行者信号現示時間 20 秒	サイクル長 125 秒 南北方向の青信号時間 50 秒 東西方向の青信号時間 40 秒 歩行者信号現示時間 25 秒

with ケース①がサイクル長の下限、with ケース②がサイクル長の上限に対応する。

なお、以下の分析においては、導入後の歩行者用信号機の青時間につき、サイクル長の20%を基本としつつ、必要などときにはそれよりも大きな値を採用した。具体的には、一般にお年寄りが歩く平均速度とされる 0.75m/s を基準として²、車道幅員+2m をお年寄りが渡り切るのに必要な時間を求め、それがサイクル長の 20%を超える場合にはその値を採用した。

③想定される便益・費用の項目

導入に伴い想定される便益・費用をまとめると、表 2 のようになる。

表 2 想定される便益と費用

便益	費用
交通事故数の減少	待ち時間の増加 信号機の改修費用

以下では、純便益・費用便益比を最初に提示した上で、それぞれの算定方法の説明を加えていく。

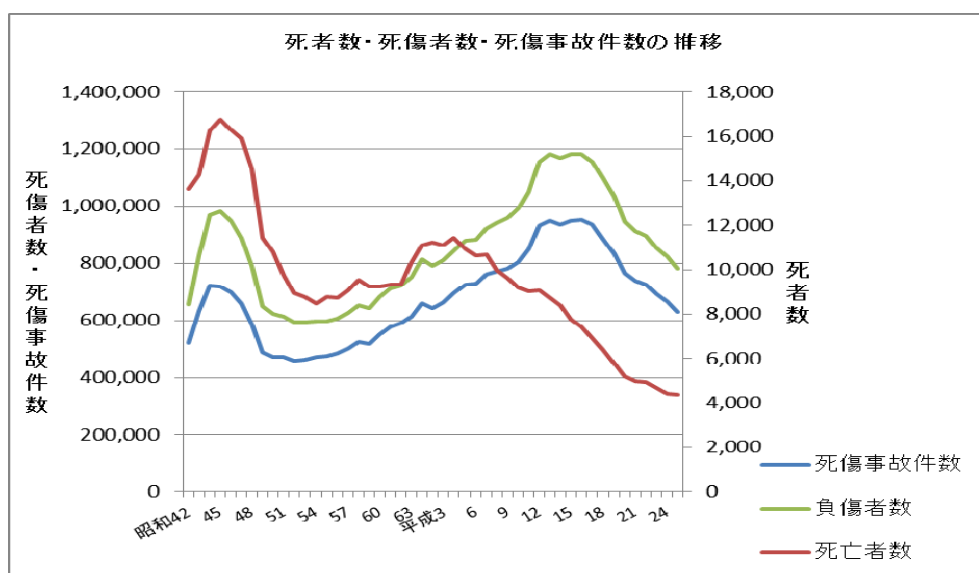
² 渡辺公次郎他「防災対策評価のための津波避難行動モデルの開発」（2007年5月）など。

2. 現状分析

2.1. 交通事故の分析

警視庁資料によると、日本における交通事故死者数は、交通量の急激な増大に伴い「交通戦争」と呼ばれた昭和 45 年をピーク、昭和 54 年を谷、平成 4 年に再度緩い盛り上がりを見せるM字型、死傷者数、死傷事故件数は、昭和 45 年を山、昭和 50 年ごろを谷、平成 14-17 年頃をピークとするM字型の推移となっている。

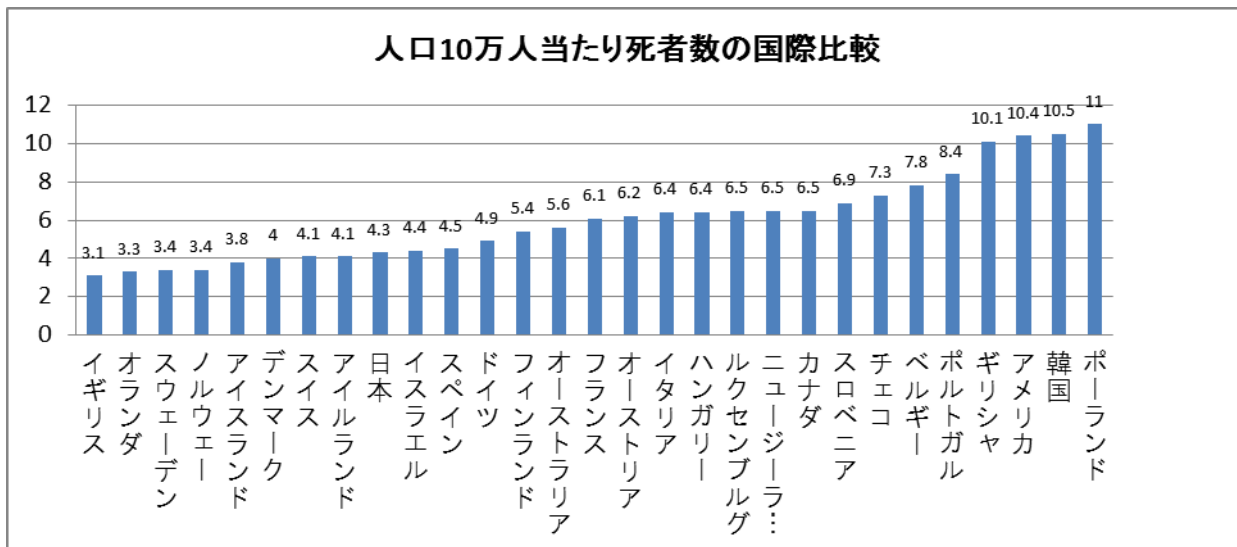
図 2 死者数・死傷者数・死傷事故件数の推移



出典 警察庁交通局「平成 24 年中の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取締り状況について」

重点的な事故対策、通学路における歩行空間の整備など様々な交通事故対策を実施したことにより、死者数は平成 5 年以降、死傷者数及び死傷事故件数は平成 17 年以降、減少傾向に転じたといえる。このことは、国際道路交通事故データベース(IRTAD)がデータを公表している 29 カ国中の人口 10 万人あたり死者数という国際的水準においても、日本の交通事故死者数は 4.3 人であり、北欧に次ぐ 9 番目の低さとなっていることがわかる。

図3 人口10万人当たり死者数の国際比較



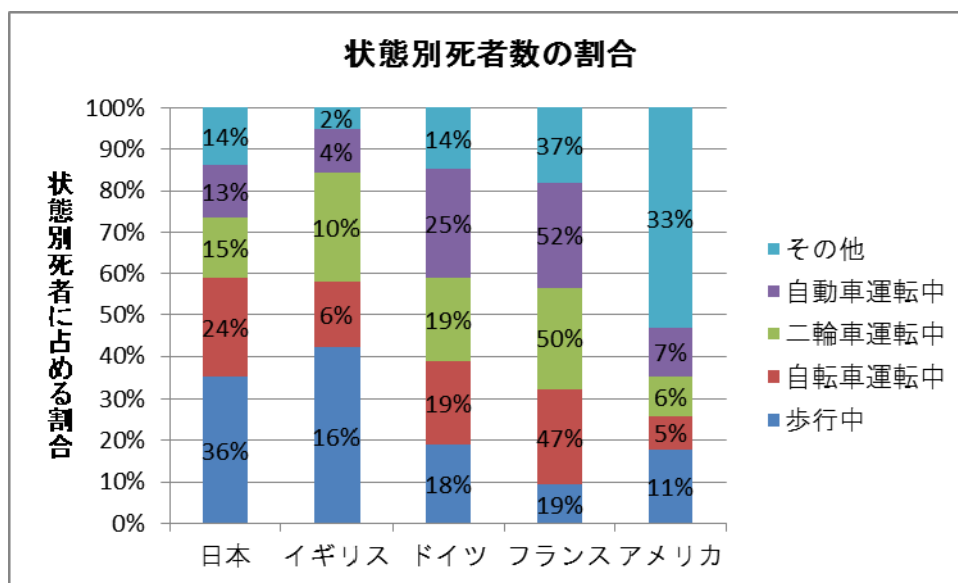
出典 IRTAD 資料³

だが、一方で課題も存在する。近年の交通事故の発生状況を見ると、平成24年中の交通事故死者数は4,411人(前年比-252人、-5.4%)、死傷者数は829,807人(前年比-29,466人、-3.4%)、死傷事故件数は665,138件(前年比-26,918件、-3.9%)となり、連続して減少しているが、近年下げ止まりの傾向となっている。また、走行台キロ(自動車の走行距離の総和)あたりの死傷事故発生件数(「死傷事故率」)の全道路における推移をみてみても、昭和55年頃までの改善以降、横ばい傾向にある。このような状況を考えると、新たな対策を考える必要があることが分かる。

次に、対策を具体的にしていくために、日本における交通事故の現状をより詳細に見ていく。まず、日本・イギリス・ドイツ・フランス・アメリカについて更に詳細な事故の状況を比較したところ、死者数を状態別(自動車乗車中・二輪車乗車中・自転車乗用中・歩行中・その他)に分類すると、日本は歩行中と自転車乗用中の死者の合計が全体の52%を占めており、欧米の約16%~30%と比較して非常に大きくなっていることがわかる。

³ 2011年(国名に西暦の括弧書きがある場合を除く)の30日以内死者(事故発生から30日以内に亡くなった人)を基に算出。

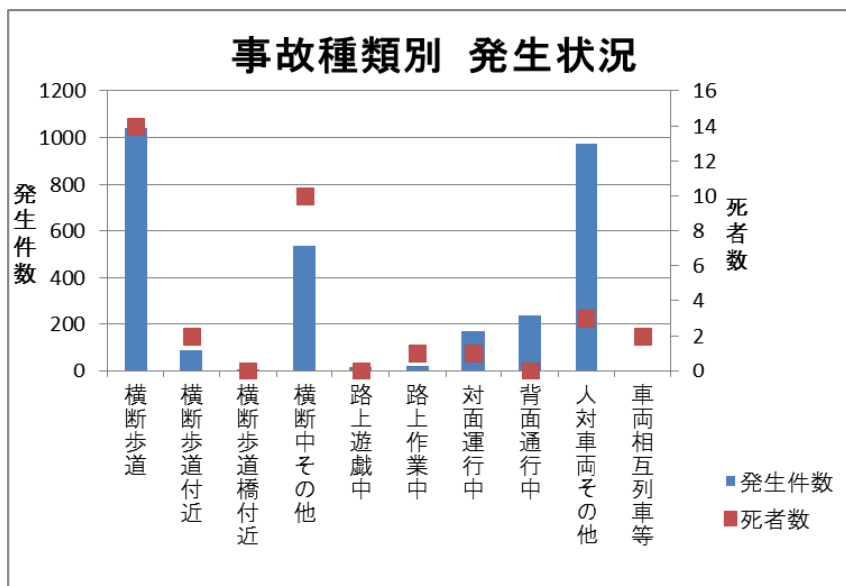
図 4 状態別死者数の割合



出典 IRTAD 資料⁴

また、警視庁発表の平成 25 年上半期データによると、上記同様に人対車両が車両相互列車等と比較して非常に多いことと、「横断中」に「横断歩道で」発生する事故が他の 10 倍以上であり、非常に高いことがわかる。

図 5 事故類型別発生状況



出典 警視庁HP「歩行者の交通人身事故発生状況～平成 25 年上半期～」

⁴ 2011 年の 30 日以内死者数

また、同資料によると、違反別発生状況では、「違反なし」が全体の約 8 割を占めており、交通マナーなどの呼びかけよりも交通システムそのものの改善が有効であることがわかる。

図 6 交通人身事故違反別発生状況

違反別	信号無視	横断違反						小計	酩酊徘徊	飛出し	その他	違反なし	計
		横断歩道外	斜め横断	駐車車両の直前直後	走行車両の直前直後	横断禁止場所横断							
発生件数	99	98	26	21	16	70	231	16	139	141	2467	3093	
前年比	-28	-59	-2	-4	-15	-19	-99	+1	-46	-22	-347	-541	
死者数	6	2	1	0	1	5	9	2	0	4	12	33	
前年比	-1	+2	+1	±0	±0	+4	+7	-4	-1	±0	+5	+6	
負傷者数	93	96	25	20	15	65	221	14	138	135	2521	3122	
前年比	-26	-61	-2	-5	-15	-25	-106	+5	-45	-22	-371	-568	

出典 警視庁HP「歩行者の交通人身事故発生状況～平成 25 年上半期～」

なお、道路種類別に平成 23 年の死傷事故率を見ると、生活道路(市町村道その他)は幹線道路(一般国道及び都道府県道等)の約 2 倍、幹線道路は自動車専用道路の約 8 倍となっており、道路の規格が高くなるにつれて死傷事故率が低くなっている。(警察庁資料、自動車輸送統計年報を基に国土交通省作成資料)

以上のことから、本論文においては、生活道路もしくは幹線道路における、人対車の接触(事故)を改善するような、交差点(横断歩道)におけるシステムの改善のための対策を分析したいと思う。

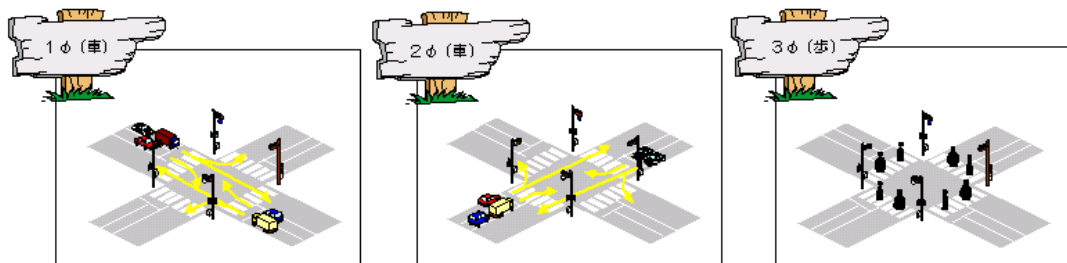
2.2. 歩車分離式信号の概要と現状

①歩車分離式信号の概要

基本的に、人対車の接触事故を減少する方法としては、空間的な通行権分離と時間的な通行権分離という二つの考え方があり、前者は立体交差施設の整備、後者は交差点の信号システム整備がよくあげられている。

歩車分離式信号は、時間的に車両と歩行者の交差をなくすようにする手段として注目され、それに、平成 13 年度に全国 100 カ所の交差点に実験運行が行われた以来、全国で 2000 カ所以上の交差点に導入されている。

図 7 歩車分離式信号のイメージ⁵



出典 秋田県警察署 HP

⁵ <http://www.police.pref.akita.jp/kenkei/osirase/59a.html>

図7で示したように、歩車分離式信号は1サイクル・3ステップで、主道路の車両、従道路の車両、及び歩行者の通行出来る時間を分け、歩行者と車両が同時に交差点に入らないようにする方法で歩行者と車の接触を防止する信号システムである。この信号システムは、従来の信号交差点において歩行者が横断すると同時に、同方向の車両が直進及び右左折をするという形と違い、歩行者と車両の通行を完全に分離するため、「歩車分離式信号機」と呼ばれている。

②歩車分離式信号の現状—メリット、デメリット及び規制当局の態度

歩車分離式信号機の導入によって交差点における事故減少の効果については、前述した平成13年度の全国100カ所の実験運行で、歩行者等の事故が導入前より約7割減少した。このように、歩車分離式信号機の効果が明らかでありながら、「1.1.研究の背景」で前述のように、導入率が低いのが現状である。

歩車分離式信号機の導入による明らかな効果と規制当局のそれに対する積極的な姿勢がある一方で、歩車分離式信号機の導入により、二つの側面からコストが生じてしまう。

まず、導入により現存信号機の改修費用に加え、材料費、工事費も発生する可能性がある。次は、歩車分離式信号の交差点における自動車・歩行者の待ち時間が増えるというコストは発生する。すなわち、歩車分離式信号機を導入することで、歩行者専用の青時間を設定したり、車両の青時間を進行方向別に設定したりすることは、一方向あたりの車両の青時間の減少につながる。それで、歩車分離式信号機導入済みの交差点は、従来の交差点の交通処理の能力より低くなる傾向があり、とりわけ、自動車交通量の多い地域で交通渋滞が発生する恐れがある。

③歩車分離式信号に関する先行研究・調査と本論文の立場と目的

警察庁(2002年)は、歩車分離式信号機の導入に先立ち、全国100箇所の交差点で歩車分離式信号機のモデル運用を実施した。その結果として、導入した地域において全交通事故につき38.1%、歩行者事故に限定すると73.3%が減少したという効果が確認されたと発表されている。

滝口将司・井ノ口弘昭(2005年)は、歩車分離式信号のサイクルが変更される交差点の交通流をサイクル変更前後で調査し、自動車の総停車時間と横断歩行者の総待ち時間の比較を行っている。

小川圭一・川居卓也(2008年)は、歩車分離式信号の導入の有無による、交差点の交通処理能力の比較検討を行っている。具体的には、交差点を通過する車両と歩行者の挙動を表現し、車両の総待ち時間と最大待ち時間、最大滞留長を算出するシミュレーションが行われている。

以上のように、導入に伴う事故数の減少、待ち時間の増加に関しては、既存の調査・研究がある。しかし、その数は十分とは言えない上に、メリットとデメリットを同時に比較・検討する研究はいまだに存在していない。

本論文では、歩車分離式信号機の導入に対して行われてこなかった費用便益分析の枠組みを用いることで、従来独立に研究されてきたメリットとデメリットの橋渡しを行う。その際、メリットとデメリットの両者を金銭換算し、前者を「便益」、後者を「費用」とすることで、その両者のどちらが上回るかを評価するよう試みる。

3. 分析についての考え方

3.1. 便益について

本研究における便益は、歩車分離式信号導入による交通事故の減少である。現在歩車分離式信号機を導入していない交差点が、同信号システムを導入した場合の交通事故の減少数とそれを金銭換算したものを便益とする。

警視庁交通事故発生マップから対象となる交差点の負傷事故数および死亡事故数を抽出した結果を表3に示す。

表3 対象交差点の事故件数

交差点名	負傷事故数	死亡事故数
池袋2丁目	2	0
池袋郵便局前	1	0
西口公園前	0	0
池袋二又交番前	0	0
西口五差路	1	0
西池袋一丁目	1	0
池袋警察署前	2	0
要町1丁目	2	0
東池袋	2	0
東池袋3丁目	2	0
東池袋2丁目	0	0
東池袋駅前交差点	1	0
南池袋一丁目	8	0
堀之内橋	0	0
6つ又交差点	6	0

交通事故の減少数を計算するにあたりはじめに、抽出できた負傷事故数には車×車などの歩車分離信号導入によって防げる事故ではないものも含まれているため、それらを除く必要がある。警察庁「交通事故の発生状況」によると、全交通事故の負傷者数(54406件)における歩行者・自転車の負傷者数(22421件)の割合は約41%であった。

次に歩車分離式信号導入によって歩行者の負傷者数がどれだけ減らせるかを考える。警察庁による全国100箇所での試験運用による効果(2002年9月 警察庁発表)において、歩車分離式信号の導入前後の歩行者事故の減少率は73.3%であったのでこの数値を使用することとする。

死亡事故は分析対象となるいずれの交差点において 0 件であった。しかし、これらの交差点において未来永劫死亡事故が 0 件というのは現実的ではない。そこで、死亡事故に関しては対象を東京 23 区に広げ、その中で歩車分離信号を導入した場合防げた可能性のある事故を抽出した。

表 4 東京 23 区の死亡事故

23区内の死亡事故	22件
23区内の信号交差点数	7229か所
1交差点当たりの死亡事故数	0.00305件

図 8 は防げた可能性のある事故の 1 例である。左折車が横断中の歩行者を巻き込んだ事故である。

図 8 死亡事故の例

中型貨物車と歩行者の衝突事故		
発生日	平成25年12月18日(水)	
発生時間	午前1時51分ごろ	
場所	新宿区四谷3丁目	
路線	新宿通り(国道20号)	
事故の当事者		
歩行者	60歳代女性	死亡
中型貨物車	40歳代男性	



上記にて算出した死亡事故減少数および負傷事故減少数を金銭換算する。金銭換算にあたっては、国土交通省 道路局 都市・地域整備局「費用便益分析マニュアル<連続立体交差事業編>」の損害額の原因単位の指標を用いて計算した。

表5 損害額の原因単位

	原因単位
死亡事故人的損害額	245674千円/人
負傷損害額	1378千円/人

以上の手順で計算した結果が表6の通りである。ただしすべての交差点に上記で求めた死亡事故数(1交差点あたり00031件)が加算されている。

表6 交差点当たりの便益

交差点名	歩車分離によって減少する負傷者数	金銭換算
池袋2丁目	0.696	¥1,706,898
池袋郵便局前	0.348	¥1,227,279
西口公園前	0.000	¥747,659
池袋二又交番前	0.000	¥747,659
西口五差路	0.348	¥1,227,279
西池袋一丁目	0.348	¥1,227,279
池袋警察署前	0.696	¥1,706,898
要町1丁目	0.696	¥1,706,898
東池袋	0.696	¥1,706,898
東池袋3丁目	0.696	¥1,706,898
東池袋2丁目	0.000	¥747,659
東池袋駅前交差点	0.348	¥1,227,279
南池袋一丁目	2.784	¥4,584,616
堀之内橋	0.000	¥747,659
6つ又交差点	2.088	¥3,625,377

3.2. 費用について

3.2.1.1. 分析結果

各交差点における自動車の待ち時間の増加による費用は、表7のように推計された。

表7 自動車の待ち時間の増加による費用の推計結果

交差点名	自動車の待ち時間費用の増分	
	with ケース①	with ケース②
池袋2丁目	26,913,433	45,003,439
池袋郵便局前	48,534,151	84,652,255
西口公園前	40,478,022	56,299,305
西池袋1丁目	37,546,662	64,256,859
池袋警察署前	49,765,991	91,187,332
要町1丁目	134,209,125	247,809,424
西池袋五又	99,841,941	183,596,538
池袋二又	35,675,723	61,202,571
東池袋3丁目	68,560,354	113,842,456
東池袋2丁目	80,047,202	140,066,395
東池袋	102,044,922	178,539,991
東池袋前交差点	84,730,868	131,846,940
南池袋1丁目	99,027,119	171,210,803
堀之内橋	50,327,151	80,209,377
6つ又交差点	83,800,821	207,450,262

合計	1,041,503,484	1,857,173,947
平均	69,433,566	123,811,596

割引現在価値化した値

合計	26,037,587,099	46,429,348,680
平均	1,735,839,140	3,095,289,912

無限期間に渡って費用が発生するものと仮定しているため、割引現在価値化した値については、割引率である0.04で割ることで求めている。

以下では、代表的な交差点として池袋2丁目交差点を例に挙げ、分析の方法を示していく。

図9 池袋2丁目交差点⁶

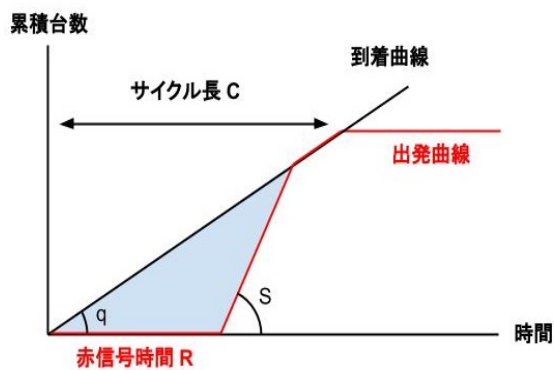


池袋2丁目交差点は、南北方向3車線(うち1車線は右折専用車線)、東西方向2車線の交差点であり、本分析で扱った交差点のうち、最も多い形状のものであるため、例に用いることとする。なお、これ以外の形の交差点について、特別な処理が必要となる場合には、その旨を随時追記するものとする。

3.2.1.2. 自動車の待ち時間のモデル

自動車の待ち時間を図のようなモデルを用いて算定する⁷。

図10 自動車の待ち時間のモデル



q : 到着率(単位時間あたりの当該車線への到着台数)

⁶ <https://maps.google.co.jp/>のものを使用。

⁷ http://www.kut-its.jp/99_data/kutep/section_serial=4/section_serial=4&item_serial=526.html を参考に作成。

S: 飽和交通流率(信号が青で十分な需要があるときに、単位時間あたりに交差点に流入できる最大の台数)

R: 赤信号時間

C: サイクル長

「交差点に到着する自動車の台数」と「交差点を出発する自動車の台数の差分」を「待っている自動車の台数」と見た上で、交差点に到着する自動車の累積台数と出発する自動車の累積台数を曲線で表し、それぞれを「到着曲線」「出発曲線」とする。このとき、到着曲線と出発曲線の間の面積を合計の待ち時間と考える。

到着曲線に関しては、単位時間当たりの当該車線への到着台数(以下「到着率」とする。)が一定であると仮定し、到着率を傾きとする直線であると考え。また、出発曲線については、赤信号の時間には水平であり、青信号の時間には、単位時間あたりに交差点に流入できる最大の台数(以下「飽和交通流率」とする。)と同じ割合で出発するものと仮定し、図2のような折れ線形であると考え。

ここで、1 サイクルあたりの当該車線の自動車の合計待ち時間は、図の三角形の面積として与えられる。また、これを1 サイクルあたりの自動車の流入数で割ると1 台あたりの平均の待ち時間が求められ、式として表すと、

$$1\text{台あたりの平均待ち時間} = \frac{1}{2} \frac{S}{S-q} \frac{R^2}{C}$$

のようになる。ここに現れる変数を推定することで、1 台あたりの平均待ち時間の変化を考える。

3.2.1.3. 各変数の推計

3.2.1.3.1. 到着率 q

各交差点への到着台数については、各道路の細かいデータが得られなかったため、独自で調査を行った。(具体的な調査方法については「データについて」の節で述べる。)そこで得た値を車線数で割った結果、池袋2丁目交差点の1車線・1時間あたりの自動車の到着台数につき、南北方向174.42、東西方向93.44という推計を得た。

3.2.1.3.2. 飽和交通流率 S

交通工学で一般に用いられている方法を用いる⁸。具体的には、

⁸ 飽和交通流率の推計に関しては、<http://mpodata.jp/program/demo/itsdmr.pdf>などを参考に作成。

$$\text{飽和交通流率 } S = S_B \times a_w \times a_T \times a_G \times a_{RT} \times a_{LT}$$

S_B : 基本飽和交通流率

a_w : 車線幅員補正係数

a_T : 大型車混入補正係数

a_G : 縦断勾配補正係数

a_{RT} : 右折車混入補正係数

a_{LT} : 左折車混入補正係数

として、それぞれの補正係数を交差点の状況に合わせて求める。「基本飽和交通流率」については、交通工学で一般に用いられている値を用いて、右折専用車線および左折専用車線を 1800、それ以外を 2000 とする。また、各補正係数は以下のように算出している。

・「車線幅員補正係数」は、車線幅員が 3.25m 未満のものにつき、1 未満の値を対応させることで補正を行う。池袋 2 丁目交差点は車線幅員が 3.25m 以上であるため、車線幅員補正係数を 1 としている。

$$a_w = \begin{cases} 1 & (\text{車線幅員が} 3.25\text{m 以上のとき}) \\ 0.24 \times \text{車線幅員} + 0.22 & (\text{車線幅員が} 3.25\text{m 未満のとき}) \end{cases}$$

・「大型車混入補正係数」は、大型車(バスおよび普通貨物車)が混入することによる飽和交通流率への影響を補正する。大型車混入率については独自の調査を行った。(データの入手方法については後述。)その結果、池袋 2 丁目交差点では、南北方向・東西方向それぞれ 14.70% という大型車混入率を得た上で、0.91 という大型車混入補正係数を用いている。なお、大型車の乗用車換算係数については、我が国の実測結果に基づいて 1.7 という値を用いている。

$$a_T = \frac{100}{(100 - T) + E_T T}$$

E_T : 大型車の乗用車換算係数 (=1.7)

T : 大型車混入率[%]

・「縦断勾配補正係数」は、道路の縦断勾配が-1%未満または+1%以上のものにつき、1 未満の値を対応させることで補正を行う。池袋 2 丁目交差点では、交通量に影響を及ぼすほどの縦断勾配はないものと判断し、縦断勾配補正係数を 1 としている。(なお、これは本分析の全ての交差点についても同様に仮定している。)

$$a_G = \begin{cases} 0.01G + 1.01 & (G < -1.00) \\ 1 & (-1.00 \leq G \leq 1.00) \\ -0.05G + 1.05 & (G > 1.00) \end{cases}$$

G : 縦断勾配[%]

・「右折車混入補正係数」は、当該車線に右折車が混入することによる飽和交通流率への影響を補正する。この値については、車線の態様によって以下のように算出する。

(i) 右折専用現示がある時の右折専用車線

右折交通に関する基本飽和交通流率である 1800 を車線幅員、縦断勾配、大型車混入の影響で補正した S_{RO} を用いる。すなわち、補正係数を乗じることは行わない。

(ii) 右折専用現示がない時の右折専用車線

(i)の場合と同様、補正係数を乗じることで求めるのではなく、以下の式によって飽和交通流率を求める。

$$S_R = S_{RO} f \frac{SB - q_{-1}C}{S - q_{-1}} \frac{1}{C} + K \frac{3600}{C}$$

S_R : 右折専用現示がない時の右折専用車線の飽和交通流率

S_{RO} : 右折専用車線の補正済み飽和交通流率

S : 対向流入部の飽和交通流率

q_{-1} : 対向直進交通量

C : サイクル長

B : 青時間

K : 交差点に滞留する右折車台数

f : 対向直進交通量が q_{-1} のとき、右折できる確率

なお、本分析では「交差点に滞留する右折車台数」を 2 台、「右折できる確率」は対向直進車の交差点への到着分布がポアソン分布であることを仮定した値を用いている⁹。

q_{-1} (台/時)	0	200	400	600	800	1000
f	1.00	0.81	0.65	0.54	0.45	0.37

(iii) 直進、右折混用車線

次のような式で補正係数を求める。

$$a_{RT} = \frac{100}{(100 - R) + E_{RT} R}$$

R : 右折車混入率[%]

E_{RT} : 右折車の直進車換算係数

⁹ 萩田賢司「片側二車線道路の信号交差点における右折容量に関する研究」(土木計画学研究・論文集、2001年9月)より。

ただし、右折車の直進車換算係数 E_{RT} は以下のようにして求める。

$$E_{RT} = \frac{2000 \frac{B}{C}}{S_R}$$

・「左折車混入補正係数」は、当該車線に左折車が混入することによる飽和交通流率への影響を補正する。この値についても、車線の態様によって算出方法が異なる。

(i) 左折専用現示のある時の左折専用車線

左折交通に関する基本飽和交通流率である 1800 を車線幅員、縦断勾配、大型車混入の影響で補正した値を用いる。すなわち、補正係数を乗じることは行わない。

(ii) 左折専用現示がない時の右折専用車線

(i)の場合と同様、補正係数を乗じることで求めるのではなく、以下の式によって飽和交通流率を求める。

$$S_L = 1800 \frac{(1-f_p)B_p + (B-B_p)}{C}$$

S_L : 左折専用現示がない時の左折専用車線の飽和交通流率

C : サイクル長

B : 青時間

B_p : 歩行者用青時間

f_p : 横断歩行者によって、左折車の通行が低減する割合

f_p (「歩行者低減割合」と呼ぶ)については、本分析では 0.50 という値を用いている。参考として、この値を変動させた分析も後述している。

(iii) 直進、左折混用車線

次のような式で補正係数を求める。

$$a_{LT} = \frac{100}{(100-L) + E_{LT}L}$$

L : 左折車混入率[%]

E_{LT} : 左折車の直進車換算係数

ただし、左折車の直進車換算係数 E_{LT} は以下のようにして求める。

$$E_{LT} = \frac{2000 \frac{B}{C}}{S_L}$$

(なお、右折専用車線、直進専用車線については、「左折車混入補正係数」を 1 とし、左

折専用車線、直進専用車については、「右折車混入補正係数」を1とする。）

以上の計算の結果、池袋2丁目交差点の飽和交通流率の推計値は表8のように与えられる。

表8 飽和交通流率の推計値(1時間当たりの台数)

飽和交通流率	南北方向		東西方向
	右折専用車線	直進・左折車線	
without ケース	1347.41	1062.47	1215.53
with ケース①	1329.23	1399.19	1521.39
with ケース②	1308.85	1377.73	1486.03

without ケースでは歩行者の存在が左折車の交通を阻害するとの仮定により、南北方向の直進・左折車線および東西方向の飽和交通流率は、歩車分離式信号機の導入に伴い増加すると推計している。これは、前述の「歩行者低減割合」による補正の結果である。

3.2.1.3.3. 赤信号時間 R

without ケースの赤信号時間に関しては、実地調査により得た値を用いる。with ケースの赤信号時間に関しては、前述の with ケースに関する仮定から機械的に求める。

表9 赤信号時間(秒)

赤信号時間	南北方向	東西方向
without ケース	38.00	55.00
with ケース①	48.23	61.73
with ケース②	58.75	75.75

3.2.1.3.4. サイクル長 C

赤信号時間と同様、without ケースの値を実地調査によって得た上で、with ケースに関する仮定から機械的に求める。

表10 サイクル長(秒)

	サイクル長
without ケース	83.00
with ケース①	83.00
with ケース②	103.75

3.2.1.4. 自動車1台あたりの平均待ち時間

以上のように推計した各変数の値をモデルの方程式に当てはめることで、1台あたりの平均の待ち時間が求められる。池袋2丁目交差点について、推計値をまとめたのが表11である。

表11 自動車1台あたりの平均待ち時間の増分(秒)

1台あたりの 平均待ち時間	南北方向		東西方向
	右折専用車線	直進・左折車線	
without ケース	9.9923	10.4073	19.7403
with ケース①	16.1312	16.0103	24.1708
with ケース①の増分	6.1389	5.6030	4.4304
with ケース②	19.1915	19.0451	29.5087
with ケース②の増分	9.1992	8.6378	9.7684

表に示されているとおり、歩車分離式信号機の導入に際して、1台あたりおよそ4秒から10秒の待ち時間の増加があると推計される。次に、この値を金銭に換算する方法について説明する。

3.2.1.5. 金銭換算の方法

本分析では国土交通省 道路局 都市・地域整備局の「費用便益分析マニュアル<連続立体交差事業編>」(平成20年11月)を参考に、表12に示したような時間価値原単位を用いた。

表12 時間価値原単位(円/分・台)

乗用車	40.10
小型貨物車	47.91
バス	374.27
普通貨物車	64.18

自動車類の車種分布が時間帯によって一定であると仮定し、これらの分布によって重み付けを行った加重平均を求める。車種分布については、先ほど用いた大型車混入率と整合がとれる範囲で、「道路交通センサス」よりデータを得られる道路の中でもっともらしいものを選び、用いている。具体的には、「小型車」「大型車」それぞれのグループ内での比率につき、豊島区池袋4-36にて観測された一般国道254号のデータ(表13参照)の比率を用いて計算を行った。

表13 車種分布のモデル(大型車混入率を考慮しない場合)

	台数	分布比率
乗用車	38,959	63.95%
小型貨物車	14,159	23.24%
バス	415	0.68%
普通貨物車	7,386	12.12%

計算の結果、池袋2丁目交差点における時間価値原単位の加重平均は1分あたり**47.84円**と推計される。先ほどの待ち時間の増分と掛け合わせると、1台あたり平均でおよそ3円から8円の時間費用の増加が生じていることになる。

3.2.1.6. 自動車の待ち時間の算出

以上の値に自動車類の到着率を掛け合わせることで、1時間あたりに発生する待ち時間の増加による費用を推計することができる。池袋2丁目交差点の1車線・1時間あたりの自動車の到着台数については、南北方向174.42、東西方向93.44という推計を得ているため、これらを掛け合わせることで、1時間あたりに発生する待ち時間の増加による費用は表14のように求められる。

表14 1車線・1時間あたりに発生する待ち時間の増加による費用(円)

待ち時間増加の費用	南北方向		東西方向
	右折専用車線	直進・左折車線	
with ケース①の増分	853.74	779.21	330.07
with ケース②の増分	1,279.34	1,201.26	727.76

さらに、各車線の値を足し合わせた上で、年間の値に直すと、表15のようになる。

表15 池袋2丁目交差点における年間の自動車の待ち時間の増加による費用(円)

with ケース①	26,913,433
with ケース②	45,003,439

以上の手順を踏むことで、自動車の年間の待ち時間の増分を求めることができる。

3.2.1.7. 信号機の改修費用

歩車分離式への変更に関わる改修費用は、交差点自体の流動の変更を伴うものであり、各信号機の制御器に工事を伴う変更が必要となる。また、必要に応じて矢印マークの追加など、信号機自体の改修が必要となる。

これらは現状設置されている信号機に依存する上、その設置も灯数によって異なる。

本研究の対象交差点においては、全ての交差点に設置されており、新たに購入しなければならぬ信号機はないとし、かかる費用は、信号機自体の材料費及び工事費 20 万円及び、制御装置代 10 万とした。これに各交叉点の改修が必要な信号機の台数を乗じて求めることとする。

3.2.2. 歩行者の待ち時間の増加

3.2.2.1. 分析結果

各交差点における歩行者の待ち時間の増加による費用は、表 16 のように推計された。

表 16 歩行者の待ち時間の増加による費用の推計結果

交差点名	自動車の待ち時間費用の増分	
	with ケース①	with ケース②
池袋 2 丁目	17,077,215	33,524,438
池袋郵便局前	18,837,056	36,979,198
西口公園前	22,873,656	49,740,520
西池袋 1 丁目	20,739,184	40,169,802
池袋警察署前	13,036,784	31,609,736
要町 1 丁目	3,485,883	8,452,072
西池袋五又	56,424,683	92,396,995
池袋二又	35,538,253	59,944,801
東池袋 3 丁目	26,430,869	46,580,850
東池袋 2 丁目	30,260,121	52,896,749
東池袋	8,002,148	13,889,386
東池袋前交差点	12,560,731	21,277,613
南池袋 1 丁目	17,580,096	40,475,105
堀之内橋	26,510,515	47,049,920
6 つ又交差点	732,375	10,717,432

合計	310,089,569	585,704,618
平均	20,672,638	39,046,975

割引現在価値化した値

合計	7,752,239,215	14,642,615,453
平均	516,815,948	976,174,364

自動車の待ち時間の推定の場合と同様に、池袋 2 丁目交差点を例に挙げ、分析の過程を示していく。

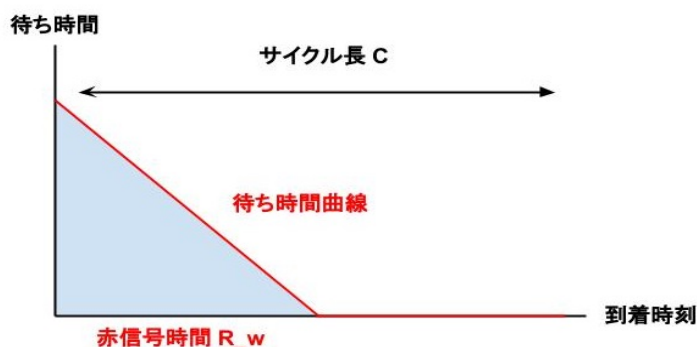
3.2.2.2. 歩行者の待ち時間のモデル

歩行者は一様に交差点に到着するものと仮定する。また、歩行者用青信号の点滅時間は

「横断し始めている歩行者は横断を続けるが、横断していない歩行者は横断しない」という仮定を置く。この仮定によると、歩行者用青信号の点滅時間は赤信号時間と同視することができる。以下では、青信号の点滅時間と赤信号時間を合わせたものを、歩行者の赤信号時間とする。

このとき、到着時刻と待ち時間の関係は図 11 のように示すことができる。

図 11 歩行者の待ち時間のモデル



最も待ち時間が長い歩行者は、青信号が点滅したときちょうど交差点に到着した歩行者であり、当該歩行者は赤信号時間分待つことになる。したがって、1 サイクルあたりの歩行者類の待ち時間の合計は、図の三角形の面積として表され、これを 1 サイクルあたりの歩行者の流入数で割ると 1 人あたりの平均の待ち時間が求められる。式として表すと、

$$1人あたりの平均待ち時間 = \frac{1}{2} \frac{R_w^2}{C}$$

のようになる。

3.2.2.3. 各変数の推計

自動車の待ち時間の推計におけるサイクル長・赤信号時間の推計枠組みと同様、without ケースの値を実地調査によって得た上で、with ケースに関する仮定から機械的に求める。池袋 2 丁目交差点について求めた値は表 17、表 18 に示されたようになる。

表 17 歩行者の赤信号時間(秒)

赤信号時間	南北方向	東西方向
without ケース	48.00	65.00
with ケース①	66.40	66.40
with ケース②	83.00	83.00

表 18 サイクル長(秒)

	サイクル長
without ケース	83.00
with ケース①	83.00
with ケース②	103.75

3.2.2.4. 歩行者 1 人あたりの平均待ち時間

以上のように推計した各変数の値をモデルの方程式に当てはめることで、1 人あたりの平均の待ち時間が求められる。池袋 2 丁目交差点について、推計値をまとめたのが表 19 である。

表 19 歩行者 1 人あたりの平均待ち時間の増分(秒)

1 人あたりの平均待ち時間	南北方向	東西方向
without ケース	13.88	25.45
with ケース①	26.56	26.56
with ケース①の増分	12.68	1.11
with ケース②	33.20	33.20
with ケース②の増分	19.32	7.75

表 19 に示されているとおり、歩車分離式信号機の導入に際して、1 人あたりおよそ 1 秒から 20 秒の待ち時間の増加があると推計される。これらの値は従前の交差点における赤信号時間に依存するため、交差点によって幅広い値をとる。

3.2.2.5. 金銭換算の方法

自動車の時間費用の算定の際と同様、国土交通省 道路局 都市・地域整備局の「費用便益分析マニュアル<連続立体交差事業編>」(平成 20 年 11 月)を参考に、1 分あたり **25.57 円**という値を用いた。この数字を元に、平均待ち時間の増分を金銭換算したものが表 20 である。

表 20 1 人あたりの待ち時間の増加による費用(円)

待ち時間増加の費用	南北方向	東西方向
with ケース①の増分	5.4038	0.4730
with ケース②の増分	8.2335	3.3028

3.2.2.6. 歩行者数の推計

歩行者数の具体的な推計方法については、後述する。結果だけを用いると、池袋 2 丁目交差点の 1 日あたりの歩行者数は 15,924 人であると推計できた。さらに、南北方向と東西方向の歩行者が等しいという仮定をおくと、歩行者の 1 日あたりの待ち時間の増加による費用を求めることができる。これを年間の値に直したものが表 21 の値である。

表 21 池袋 2 丁目交差点における年間の歩行者の待ち時間の増加による費用(円)

with ケース①	17,077,215
with ケース②	33,524,438

以上の手順を踏むことで、自動車の年間の待ち時間の増分を求めることができる。

3.2.3. (参考 1)各パラメーターを変化させた場合の結果への影響

本分析で算出された数字がどの程度の信頼性を持ったものであるかを検討するため、以下では、いくつかのパラメーターの値を変化させることにより、結果にどのような影響が出るかを調査していく。なお、簡略化のため、以下では池袋 2 丁目交差点のパラメーターのみを変化させ、その前後での(池袋 2 丁目交差点単体の)結果への影響を比較することとする。

3.2.3.1. 導入後の歩行者用青時間のサイクル長における割合

本分析では、with ケースの設定として、導入後の歩行者用信号機の青時間をサイクル長の 20%とした。この割合を変化させることにより、結果にどのような影響が出るかを調べた結果が表 22 である。

表 22 歩行者用信号の青時間割合と結果への影響

歩行者青の割合(%)	20	25	30
with①の自動車の費用	26,913,433	35,003,565	43,485,211
with①の歩行者の費用	17,077,215	9,110,591	1,657,943
with①の待ち時間費用	43,990,648	44,114,156	45,143,154
with②の自動車の費用	45,003,439	61,586,150	81,008,843
with②の歩行者の費用	33,524,438	28,384,681	23,244,924
with②の待ち時間費用	78,527,877	89,970,831	104,253,767

表 22 に示されているとおり、歩行者用青信号の時間を長くすると、歩行者の待ち時間費用が大きく減少することがわかる。一方で、自動車の待ち時間費用は増加し、合計した値は歩行者用信号機の青時間が長くなるにしたがって増加することがわかる。合計値が増加

すること自体は、自動車数・歩行者数の値に依存するため一般化できないものの、歩行者用青信号に関する自動車と歩行者の待ち時間のトレードオフが確認できる結果となった。

3.2.3.2. 歩行者による左折低減割合

本分析において、飽和交通流率を補正する係数の1つである「左折車混入補正係数」の算出に用いた値として、「歩行者による左折低減割合」がある。これは、歩車分離式信号機の導入前の交差点において、歩行者の存在により左折車の通行が阻害される割合であり、影響がない場合を0、一切の通行が阻害される場合を1とする。本分析では、池袋駅周辺地域の歩行者数が多いことに鑑み、一般的に影響大のときに用いられる値として0.50を採用したが、実際の交差点を観察していると、それ以上に阻害されている様子も伺われる。ここで、この値をさらに大きく設定し、結果への影響を見たのが表23である。

表23 歩行者低減割合と結果への影響

歩行者低減割合	0.50	0.75	1.00
with①の自動車の費用	26,913,433	24,899,625	18,431,114
with①の歩行者の費用	17,077,215	17,077,215	17,077,215
with①の待ち時間費用	43,990,648	41,976,840	35,508,329
with②の自動車の費用	45,003,439	42,989,631	36,521,121
with②の歩行者の費用	33,524,438	33,524,438	33,524,438
with②の待ち時間費用	78,527,877	76,514,070	70,045,559

歩行者低減割合の増加に伴い、導入前の左折車線の飽和交通流率が減少するため、待ち時間の増分が抑えられることとなる。一方で、歩行者低減割合が1というのはおよそ考えられない極端な仮定であるため、上記の値は費用の下限の推計に資するような思考実験に留まることを指摘しておく。

3.2.3.3. 縦断勾配

本分析では、各交差点に交通量に影響を及ぼすと見られるほどの勾配はなかったため、縦断勾配を0として計算を行っている。この値を南北・東西方向について同じように変化させるという試行の結果は、表24のように与えられる。

表 24 縦断勾配と結果への影響

縦断勾配(%)	0.00	3.00	5.00
with①の自動車の費用	26,913,433	27,175,665	27,523,036
with①の歩行者の費用	17,077,215	17,077,215	17,077,215
with①の待ち時間費用	43,990,648	44,252,880	44,600,250
with②の自動車の費用	45,003,439	45,592,347	46,405,915
with②の歩行者の費用	33,524,438	33,524,438	33,524,438
with②の待ち時間費用	78,527,877	79,116,786	79,930,353

以上の結果から、縦断勾配が存在する交差点は存在しない交差点に比べて、導入前後の待ち時間の増分は大きくなるのがわかる。一方で、この値は結果にさほど大きな影響を及ぼさないということも見て取れる。

3.2.3.4. 自動車交通量・歩行者数

本分析では、自動車 1 台あたり・歩行者 1 人あたりの平均待ち時間の増分を求め、それに自動車交通量・歩行者数を乗じる形で結果を求めたため、自動車交通量・歩行者数は結果を大きく左右する変数と言える。自動車交通量や歩行者数に比例して結果が変化するのは明らかであり、ここでは実際に値を変えることはしないが、待ち時間の観点からは、自動車交通量・歩行者数が少ない交差点ほど導入に伴う費用への影響は小さいことを附記しておく。この点に関しては、末尾のまとめにおいても触れることとする。

3.2.4. (参考 2)スクランブル交差点の待ち時間算定について

今回の発表では、「歩行者専用現示方式」の導入を仮定して分析を行った。そのため、歩行者の対角線方向の横断を許す「スクランブル方式」の導入については触れなかった。一方で、対角線方向の横断を許すことによる歩行者の待ち時間の減少分は無視できないものと考えられる。そこで以下では、これまで例として取り上げてきた池袋 2 丁目交差点にスクランブル交差点を導入することを想定し、対角線方向の横断についてのメリットを検討する。

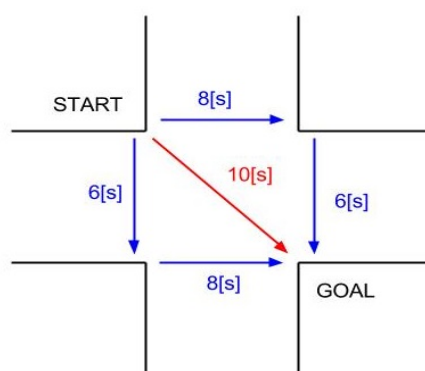
3.2.4.1. 問題設定

ここでは、交差点の対角線方向へ向かう歩行者が交差点に到着してから交差点を通過するまでの時間について、スクランブル交差点の導入前後の期待値を求めることで、対角線方向の横断を許すことにより費用がどれだけ減少するかを考える。

以下、ここでの交差点に関する仮定を整理する。歩行者は最も短い時間で渡る経路を選択するものと仮定する。導入前の歩行者用青信号現示時間は池袋 2 丁目交差点に倣い、南北方向 35 秒、東西方向 18 秒とする。そして、南北方向の通行にかかる時間は 6 秒、東西

方向の通行にかかる時間は 8 秒、対角線方向の通行にかかる時間は 10 秒であるとする(図 12 参照)。さらに、一方向の歩行者用青信号が点滅してから、他方向の歩行者用信号が青に変わるまでには 15 秒のスペンがあり、サイクル長は 83 秒であるとする。導入後のスクランブル交差点については、サイクル長の扱いについて with ケース①、with ケース②と同様の仮定を置くが、歩行者用青信号時間の割合については、サイクル長の 25%と仮定して計算する。

図 12 スクランブル交差点のモデル



3.2.4.2. スクランブル交差点導入前の所要時間の期待値

まず、スクランブル交差点導入前にかかる時間の期待値について考える。

南北方向の歩行者用信号が青を現示したときの時刻を $t = 0[s]$ とすると、時刻 $t (\in [0, 83))$ に到着した歩行者の所要時間 $T_{wo}(t)[s]$ は以下の式で表される。

$$T_{wo}(t) = \begin{cases} (18-t) + 15 + 6 = 39-t & (t \in [0, 18)) \\ (15-(t-18)) + 35 + 15 + 8 = 91-t & (t \in [18, 33)) \\ (35-(t-33)) + 15 + 8 = 91-t & (t \in [33, 68)) \\ (15-(t-68)) + 18 + 15 + 6 = 122-t & (t \in [68, 83)) \end{cases}$$

よって、対角線方向に向かう歩行者が交差点に一樣に到着するものと仮定すると、導入前の所要時間の期待値は、

$$\frac{1}{83} \int_0^{83} T_{wo}(t) dt \approx 43.83$$

のように与えられる。

3.2.4.3. スクランブル交差点導入後の所要時間の期待値

次に、スクランブル交差点導入後にかかる時間の期待値について考える。

with ケース①については、サイクル長は 83 秒で不変であり、そのうち 25%の 20.75 秒が歩行者の青時間である。よって、歩行者用信号が青に現示した時刻を $t = 0[s]$ とすると、

時刻 $t(\in [0, 83))$ に到着した歩行者の所要時間 $T_{w1}(t)[s]$ は、以下の式で表される。

$$T_{w1}(t) = \begin{cases} 10 & (t \in [0, 20.75)) \\ 62.25 - (t - 20.75) + 10 = 93 - t & (t \in [20.75, 83)) \end{cases}$$

よって、対角線方向に向かう歩行者が交差点に一樣に到着するものと仮定すると、導入前の所要時間の期待値は、

$$\frac{1}{83} \int_0^{83} T_{w1}(t) dt \approx 33.34$$

のように与えられる。

with ケース②については、サイクル長は 110.67 秒であり、そのうち 25% の 27.67 秒が歩行者の青時間である。よって、歩行者用信号が青に現示した時刻を $t = 0[s]$ とすると、時刻 $t(\in [0, 110.67))$ に到着した歩行者の所要時間 $T_{w2}(t)[s]$ は、以下の式で表される。

$$T_{w2}(t) = \begin{cases} 10 & (t \in [0, 27.67)) \\ 83 - (t - 27.67) + 10 = 120.67 - t & (t \in [27.67, 110.67)) \end{cases}$$

よって、対角線方向に向かう歩行者が交差点に一樣に到着するものと仮定すると、導入前の所要時間の期待値は、

$$\frac{1}{110.67} \int_0^{110.67} T_{w2}(t) dt \approx 38.62$$

のように与えられる。

以上の計算結果より、スクランブル交差点の導入により、対角線方向に向かう歩行者にとっては、with ケース①で約 10.48 秒、with ケース②で約 5.20 秒の時間を短縮できることがわかった。

3.2.4.4. 結果への影響

全ての歩行者が対角線方向に向かうと仮定したときの便益につき、待ち時間の費用の算出と同様にして計算を行うと、表 25 のような結果が得られる。

表 25 池袋 2 丁目交差点における年間の歩行者の待ち時間の減少による便益(円)

with ケース①	25,958,871
with ケース②	12,880,356

一方で、対角線方向に向かう歩行者が存在しないと仮定したときの待ち時間の増加による費用は、3.2.3.1.において歩行者用信号機の青時間割合を 25%として求めた値であり、表 26 のようにまとめられる。

表 26 池袋 2 丁目交差点における年間の歩行者の待ち時間の増加による費用(円)

with ケース①	9,110,591
with ケース②	28,384,681

ここで、対角線方向に向かう歩行者の割合を仮定し、それに基づいて便益と費用の加重平均を求めた上で、歩行者の費用を算出したのが表 27 である。

表 27 スクランブル交差点導入の際の待ち時間費用の概算

対角線方向の割合	0.25	0.50	0.75
with①の自動車の費用	35,003,565	35,003,565	35,003,565
with①の歩行者の費用 (便益との加重平均)	343,226	-8,424,140	-17,191,505
with①の待ち時間費用	35,346,791	26,579,426	17,812,060
with②の自動車の費用	61,586,150	61,586,150	61,586,150
with②の歩行者の費用 (便益との加重平均)	18,068,422	7,752,163	-2,564,097
with②の待ち時間費用	79,654,572	69,338,313	59,022,054

このように、対角線方向に向かう歩行者の割合にも依存するものの、スクランブル交差点の導入により、歩行者の待ち時間費用を大幅に抑えることも可能であるということが伺われる。

一方で、自動車の待ち時間と合わせた費用のオーダーは依然として変化しておらず、仮にスクランブル交差点の導入を検討したとしても、待ち時間の費用は大きいものであることは変わらないということも示唆されている。

3.3. データについて

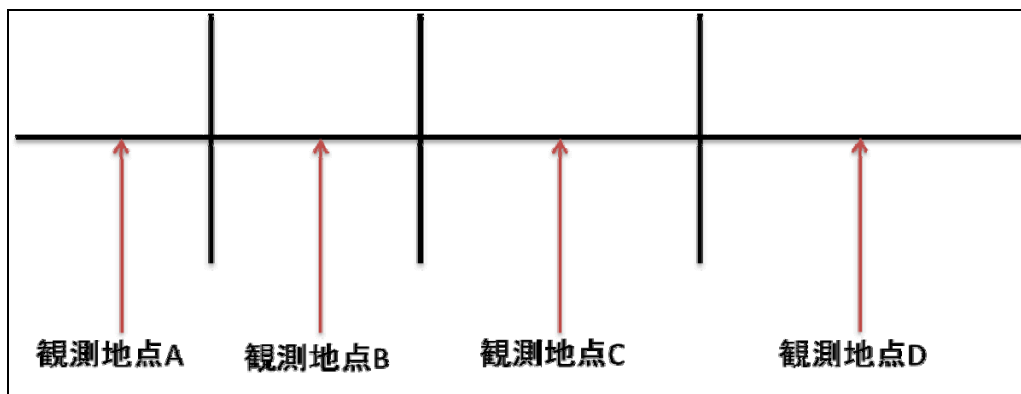
① 自動車交通量について

自動車の車両数については平成 22 年度道路交通センサス(以下道路交通センサス)において一般国道および都道に関しては入手することができた。道路交通センサスにおいて提供されている情報のうち本分析で使用した情報は以下のものである。

昼間 12 時間自動車類交通量(大型車・小型車)・24 時間自動車類交通量(大型車・小型車)・車道幅員・車線数・各時間帯自動車類交通量(合計)

道路交通センサスにおいて取得できなかった道路に関しては現地調査を行った。本来であればすべての交差点に 24 時間張り付いて調査すればよいのであるが、時間的・人力的制約ゆえに、現地調査にあたっては次のような考え方をした。

図 13 現地調査における調査のイメージ



同一の道路であれば、ある時間帯において車両の数の比が $a:b:c:d$ であればすべての時間で車両の比は $a:b:c:d$ であると仮定する。

観測地点 A・B・D はある 1 時間のみ計測する。

観測地点 C については朝昼晩の 3 時間程度計測する。

C で得られたデータに車線数などの情報を加え、クラスタ分析によって時間帯における車両数の変化が類似する道路を抽出する。なお類似する道路に関しては、道路交通センサスに掲載されている東京都特別区一般国道・都道を候補とした。

抽出された類似する道路のデータから各時間帯における車両数のデータを作成する。

現地調査は 1 月の第 2 週の平日に集中的に行いデータを入手した。クラスタ分析によって類似する道路として、一般国道 6 号(東京都墨田区墨田 4-62)を採用した。

② 歩行者数について

歩行者数に関しては、各交差点における歩行者数が駅乗降者数・駅までの距離に依存す

ると仮説を置き分析を行うこととした。東京都交通量報告より渋谷区・新宿区・豊島区(いわゆる副都心)の歩行者データをもとに、調査地点の住所から最寄りの駅およびそこまでの距離を回帰分析した。

$$\text{歩行者数} = 3.689 \text{ (駅乗降者数)}^{0.391} \text{ (駅までの距離)}^{-0.272}$$

	係数	t値	(Pr> t)
切片	3.689171	4.09575	0.000228
ln(駅乗降者数)	0.391732	4.497474	6.9E-05
ln(駅からの距離)	-0.27227	-2.45224	0.019177
決定係数	0.500219		
自由度修正済み決定係数	0.472454		

③ 信号サイクル

信号サイクルについては、現地調査を行いデータを入力した。結果は表 28 の通りであった。

表 28 信号サイクル

交差点名	方向	青信号秒数	交差点名	方向	青信号秒数
池袋2丁目交差点	南北	45	東池袋3丁目	東西	33
	東西	28		南北	65
池袋郵便局前	南北	45	東池袋2丁目	東西	34
	東西	28		南北	66
西口公園前	南北	90	東池袋	東西	38
	東西	15		南北	56
西池袋1丁目	南北	53	東池袋前交差点	東西	38
	東西	30		南北	75
池袋警察署前	南北	35	南池袋1丁目	東西	25
	東西	40		南北	55
要町1丁目	南北	35	堀之内橋	東西	30
	東西	40		南北	82
池袋西口五又	南北	85	6つ又交差点	明治通り	46
	東西	45		都道254	23
池袋二又	東西	45		都道435	31
	南北	55			

4. 結果/感度分析

4.1. 計算結果

以上の分析に基づいて、歩車分離式信号の導入が社会にもたらす費用と便益を計算し、社会的純便益及び費用便益比を算出した。結果は表 29 の通りである。社会的純便益の現在価値(NPV)および B/C は、with ケース①の場合 NPV は-3377.6 億円、B/C は 0.017、with ケース②の場合 NPV は-6105.8 億円、B/C は 0.01 となった。

表 29 計算結果

	withケース①	withケース②
便益		
交通事故の減少	¥616,058,800	¥616,058,800
費用		
自動車の待ち時間の増加	¥26,037,587,099	¥46,429,348,680
歩行者の待ち時間の増加	¥7,752,239,215	¥14,642,615,453
信号機の改修費用	¥603,000,000	¥603,000,000
純便益	¥-33,776,767,514	¥-61,058,905,333
B/C	0.0179	0.0100

4.2. 感度分析

本分析においては、データの制約から多くの仮定を置いており、推計値に不確実性が存在する。特に、費用便益分析の結果に大きな影響を与えうる不確実な数値として、死亡事故および負傷事故の減少数が挙げられる。そこで、以下ではこれらの数値についてそれぞれ感度分析を行う。

本分析においては便益の計算のために、データ制約から平成 25 年度の単年度の事故件数のデータを使用している。しかし、単年度のデータであるため信頼性が高いとはいえない。本分析の感度分析として、交差点ごとの負傷者・死亡者のデータから標準偏差を求め、(+標準偏差)および(+標準偏差×2)のパターンをそれぞれについて考察する。表 30 は単年度当たりに発生する便益である。

表 30 負傷事故および死亡事故の感度分析

負傷の感度分析			死亡の感度分析		
	+標準偏差	+標準偏差×2		+標準偏差	+標準偏差×2
池袋2丁目	¥2,792,557	¥3,878,216	池袋2丁目	¥16,343,631	¥29,931,262
池袋郵便局前	¥2,312,938	¥3,398,596	池袋郵便局前	¥14,965,631	¥28,553,262
西口公園前	¥1,833,318	¥2,918,977	西口公園前	¥13,587,631	¥27,175,262
池袋二又交番前	¥1,833,318	¥2,918,977	池袋二又交番前	¥13,587,631	¥27,175,262
西口五差路	¥2,312,938	¥3,398,596	西口五差路	¥14,965,631	¥28,553,262
西池袋一丁目	¥2,312,938	¥3,398,596	西池袋一丁目	¥14,965,631	¥28,553,262
池袋警察署前	¥2,792,557	¥3,878,216	池袋警察署前	¥16,343,631	¥29,931,262
要町1丁目	¥2,792,557	¥3,878,216	要町1丁目	¥16,343,631	¥29,931,262
東池袋	¥2,792,557	¥3,878,216	東池袋	¥16,343,631	¥29,931,262
東池袋3丁目	¥2,792,557	¥3,878,216	東池袋3丁目	¥16,343,631	¥29,931,262
東池袋2丁目	¥1,833,318	¥2,918,977	東池袋2丁目	¥13,587,631	¥27,175,262
東池袋駅前交差点	¥2,312,938	¥3,398,596	東池袋駅前交差点	¥14,965,631	¥28,553,262
南池袋一丁目	¥5,670,275	¥6,755,933	南池袋一丁目	¥24,611,631	¥38,199,262
堀之内橋	¥1,833,318	¥2,918,977	堀之内橋	¥13,587,631	¥27,175,262
6つ又交差点	¥4,711,035	¥5,796,694	6つ又交差点	¥21,855,631	¥35,443,262
合計	¥40,929,118	¥57,214,001	合計	¥242,398,466	¥446,212,932

上記を元に純便益を計算すると表 31 の通りとなる。

表 31 感度分析の結果

	with ケース①		with ケース②	
	純便益	B/C	純便益	B/C
負傷事故				
+標準偏差	-33,369,596,789	0.030	-60,651,734,608	0.017
+標準偏差×2	-32,962,476,289	0.042	-60,244,614,108	0.023
死亡事故				
+標準偏差	-28,332,864,664	0.176	-55,615,002,483	0.098
+標準偏差×2	-23,237,503,014	0.324	-50,519,640,833	0.181

5. 結論

本研究のまとめ/政策提言

池袋の交差点における歩車分離式信号の導入による便益は、全体で 33 億円から 60 億円の損失となり、全交差点に導入することは望ましくない結果となった。

本結果では、主に全体への導入について着眼したが、交差点は非常に多様であり、導入の可否に関しては個々の交通事故件数等を加味した検討を行う必要がある。特に待ち時間を左右する要因として、「自動車交通量」「歩行者数」「サイクル長、青信号時間」が大きなものとして考えられる。待ち時間を抑えるという観点からは、自動車交通量・歩行者数の少ない交差点に導入し、かつサイクル長をできる限り短くした方がよいということがわかったが、そもそも自動車交通量・歩行者数の少ない交差点への導入は交通事故減少という観点から効果的であるか、サイクル長を短くすることで新たに誘発される交通事故はないか等、総合的な検討が必要である。少なくとも、全ての交差点に歩車分離式信号機を導入することは非現実的であるため、歩車分離式信号機の整備率を上げることにのみ拘泥することなく、先述のパラメーターを考慮しつつ、本当に効果が表れると思われる交差点を選定し、効果的な導入がなされるべきである。

なお、現状、場所ごとに、事故の実態に合わせて事故などが最小限になるように検証の上で警視庁交通管制センターが整備を行っており、本結果はその精密性を裏付ける結果となったと言える。

本研究の限界と今後の研究課題

本研究では、データの制約から、交通量や歩行者の挙動等につき、多くの仮定を置いて分析せざるを得なかった。より詳細なデータを得ることで、さらに現実に即した分析が可能になると考えられる。

また、一般的にどのような特性を持った交差点に導入すべきであるか、という結論まで至らなかったことも今後の課題と言える。今後は、交通事故数が特に多い交差点をいくつか取り上げたうえで、それらに歩車分離式信号機を導入した場合、歩行者・自動車の挙動にどのような変化が見られるか等、よりミクロに分析することで、各交差点への導入の可否を考察することも有意義であると考えている。

謝辞

本稿を作成するにあたって、御指導と御教示を賜りました先生方に、厚く御礼を申し上げます。

また、お忙しい中情報提供にご尽力くださいました、警視庁交通管制センター交通部信号機運用係りの方、ならびに議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた同級生、先輩諸氏に深く感謝申し上げます。

なお当然のことながら、本稿で示された見解はすべて筆者らによるもので、所属する機関やご協力を頂いた方々の見解ではございません。

参考文献

国土交通省道路局都市・地域整備局. 費用便益分析マニュアル<連続立体交差事業編>

警察庁. 全国 100 箇所での歩車分離式信号機の試験運用による効果. 2002 年 9 月.

小川圭一, 川居卓也. 歩車分離式信号による交差点の交通処理能力の変化に関する分析. 土木計画学研究・講演集(CD-ROM). 2008 年 6 月.

滝口将司, 井ノ口弘昭. 歩車分離式信号サイクルの交通流への影響分析と適正周期・スプリッドの算出. 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集(CD-ROM). 2005 年 05 月.

警察庁交通局. 歩車分離式信号の整備推進について. 2011 年 4 月.

警察庁交通局. 平成 24 年中の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取締り状況について. 高知工科大学. 地域 ITS 社会研究室 HP. 道路交通工学の基礎.

http://www.kut-its.jp/99_data/kutep/section_serial=4/section_serial=4.html

株式会社 丸尾計画事務所. 交差点解析システム 使用説明書 交差点需要率計算.

<http://mpodata.jp/program/demo/itsdmr.pdf>

萩田賢司. 片側二車線道路の信号交差点における右折容量に関する研究. 土木計画学研究・論文集. 2001 年 9 月.

データ出典

国土交通省. 平成 22 年度道路交通センサス.

東京都建設局. 東京都交通量報告書.

警視庁. 歩行者の交通人身事故発生状況～平成 25 年上半期～.