

踏切渋滞の
ジレンマ

慶應義塾大学 大沼あゆみ研究会 7期生 交通班
石井博美 板倉嘉廣 斎藤夏織 佐藤康子 元木賀央里

目次

はじめに

第一章 「開かずの踏切」とは？

- 1-1. 定義と現状
- 1-2. 環境被害
- 1-3. 現状の主な対策

第二章 代田橋 6号踏切

- 2-1. 現状と対策
- 2-2. 代田橋 6号踏切の特徴

第三章 踏切渋滞のモデル分析

- 3-1. モデルの前提
- 3-2. 基本モデル

第四章 問題提起と分析

- 4-1. 現状分析
- 4-2. 問題意識
- 4-3. 提案と分析

第五章 結論

第六章 参考文献

はじめに

近年、日本では自動車の保有台数が爆発的に増加し、その走行キロ数も前世紀に比べて高い水準を推移している。それと同時に自動車による交通渋滞も増加し、交通事故の増加など安全面の問題だけでなく、渋滞で排出される二酸化炭素によって地球温暖化という深刻な環境面の問題も引き起こしている。実際、近年の地球温暖化の深刻さは顕著になってきている。IPCCの第4次評価報告書によれば、1906年から2005年までの100年間で世界平均気温は0.74℃上昇し、また最近50年の気温上昇は過去100年の上昇速度のほぼ2倍に相当している。この近年の温暖化の加速は海面上昇や森林火災の増加など自然環境の変化を引き起こし、更には生態系に悪影響を及ぼしている(IPCC第4次評価報告書第1作業部会報告書)。また、日本について見てみると、CO₂排出量は現在7900万トンとなっており、京都議定書において制定された基準年(1990年)比で6.2%も上回っている。そのため、京都議定書で制定された6%削減の目標を達成するためには、現在の排出量から12.2%削減する必要がある。CO₂の排出起源については、産業部門、運輸部門、業務その他部門、家庭部門、エネルギー転換部門の5部門に分類することができる。産業部門は4億6000万トンと全体の36.1%を占めるものの、基準年比では4.6%減となっている。続いて、運輸部門が2億5400万トン、業務その他部門が2億3300万トン、家庭部門が1億6600万トン、エネルギー転換部門が7700万トンとなっている。この中でもCO₂排出量が全体の約20%と多く、基準年比が16.7%である運輸部門は特に厳しい状況にあると言える。なお京都議定書における目標達成までに運輸部門は、2010年までに年間であと1100~1400万トンのCO₂削減が必要である。また、運輸部門からのCO₂排出量のうち約9割を自動車からの排出が占めているため、自動車によるCO₂排出量の削減が日本のCO₂排出量削減に与える影響は大きく、自動車部門におけるCO₂排出量削減対策は重要であると言える。

今回、CO₂排出量削減対策としての交通渋滞問題の中でも、私たちは「開かずの踏切」を原因とする交通渋滞に注目する。これに注目したきっかけはメンバーの一人の実家の近くに朝夕のピーク時に長蛇の列を作る踏切があったからだが、それをテーマに選んだ理由は対策の進みが遅いことである。後に詳しく述べるが、踏切対策は速度が遅く、未だに長蛇の列を作る踏切が数多く存在する。これでは、年々加速度を増す地球温暖化に対してこれでは対抗できないと思い、その対策のスピードを上げる提案をしようと考えたのである。また、国土交通省による京都議定書目標達成計画の一つとして、ボトルネック踏切対策のスピードアップが組み込まれていることから、「開かずの踏切」問題の重要性が伺える。

さらに私たちは、踏切渋滞は様々なケースがあり全てを考慮した分析が困難だと考え、「開かずの踏切」の中でも、東京都世田谷区の京王電鉄明大前駅付近に存在する代田橋6号踏切に焦点を当てる。この踏切を選んだ理由は、甲州街道という幹線道路が近く交通需要が多いことや踏切遮断時間が長いこと等長蛇の列を作る要因が多くあり、より多くのケースに私たちの提案や分析を応用することが可能になるのではないかと考えたからである。

私たちは以上の理由から代田橋 6 号踏切に注目して、その渋滞解消策を考えることをこの論文の目的とする。この論文の流れは、まず始めに代田橋 6 号踏切について、その現状と現在行われている対策を説明する。次に、全国の「開かずの踏切」について定義と現状、それによる環境面と安全面の被害状況を述べる。その上で踏切渋滞の特徴とは何かを考え、それを踏まえて問題提起をする。ここで一つの分析方法を示し、それをを用いて代田橋六号の現状を分析し、何故渋滞が発生しているのかを探る。それに対して私たちの考えを提示し、その有効性を示す。

踏切による交通渋滞という問題は環境問題としてあまり認知されていないかもしれないが、鉄道網が発達している日本においては都市環境を考える上で重要な項目である。今回は代田橋 6 号踏切を例にしているが、大都市であれば事情は似ていると考えられるので、上でも述べたように他の踏切にも私たちの解決策を応用していきたいと考えている。

2008 年（平成 20 年）12 月
大沼あゆみ研究会 7 期
交通班一同

第一章「開かずの踏切」とは？

1-1. 定義と現状

「開かずの踏切」とは文字通りほとんど開かない踏切のことだが、明確な定義がある。

そもそも「開かずの踏切」はボトルネック踏切の一種である。ボトルネック踏切とは交通容量が少ない踏切を言い、厳密にはピーク一時間当たりの遮断時間が40分以上、または交通遮断量が5万台時/日以上、または交通容量が少なくなり慢性的に渋滞が発生している踏切を指す。その中で「開かずの踏切」は右図の緑色の部分で、ピーク一時間当たりの遮断時間が40分以上という条件を満たす踏切を言う。図の黄色の部分は遮断時間は短くないが、交通量が多い上に踏切の存在で交通容量が少なくなり慢性的に渋滞が発生している箇所を指し、「開かずの踏切」とは区別される。

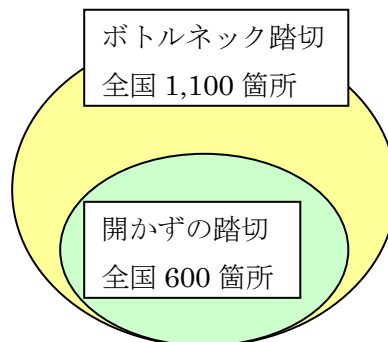
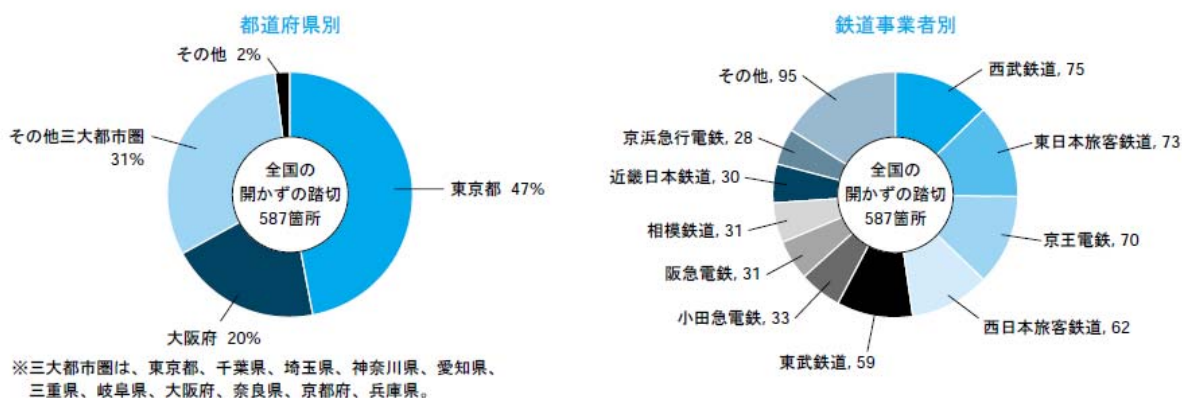


図 1.1：国土交通省道路局
「平成 19 年 4 月 踏切交通実態総点検」

現在、「開かずの踏切」は全国に 600 箇所存在し、その大部分が交通量の多い大都市圏に集中している。特に東京都には、その 47%が存在する。(グラフ 1.1 参照) そのため、朝夕のピーク時間に長蛇の列を作る踏切が多く、それが次に詳説する安全面や大量の排気ガス排出という環境面の深刻な問題を引き起こしている。



グラフ 1.1

出典: 社団法人日本交通計画協会(JTPA)レポート 『都市と交通 通巻 67 号』

これらの「開かずの踏切」によってどのような被害が生じているか、まず安全面と経済面をみていく。

①安全面

まず、安全面での影響を見る。踏切遮断時間の長い踏切では、歩行者による「踏切潜り抜け」や自動車の無理な横断が行われ、深刻な踏切事故が起こっている。平成 17 年 3 月には東武伊勢崎線竹ノ塚駅付近の「開かずの踏切」において、4 人が死亡するという痛ましい踏切事故が発生し、社会的にも「開かずの踏切」が問題視されるようになった。また、平成 14 年 9 月に発生した名鉄名古屋本線の事故では、復旧まで 20 時間を要し、10 万人が影響を受けた。踏切事故により発生する損害には、逸失収入（本来運行するはずの本数×乗客数）、電車の車両・踏切・地上施設などの修理代、復旧作業の人手、代行バスの運行費用など、膨大である。踏切事故は一度発生すると深刻な被害をもたらし、影響も大きいため、事故を未然に防ぐことは、鉄道会社にとっても重要な課題となっている。

②経済面

次に「開かずの踏切」の経済的影響について見る。「開かずの踏切」では、踏切遮断中は、自動車や歩行者に待ち時間が発生する。交通量が多く遮断時間が長い踏切の中には、渋滞長が 500m を越える箇所も多く存在している。混雑のピーク時には 1 時間のうちで踏切が閉まっている時間が 50 分を越える場所も多い。また、ピーク時に踏切が開いても、わずか数十秒という短さの場合もあり、踏切を通過できる自動車の数は少なく、長時間待つことを強いられる。

踏切待ちによる損失時間の合計は、全国で約 5.5 億人時間／年で、国民一人当たり、約 5 時間という試算が示されている。そして、この待ち時間による経済損失の合計は、年間約 1 兆 5000 億円と試算されている。

以上の 2 点は、一般的にも「開かずの踏切」の問題点として挙げられやすい被害であるが、この他にあまり認識されていないが深刻な問題として、「環境被害」が考えられる。これについて、次の節で詳しく見ていく。

1-2. 環境被害

「開かずの踏切」が環境面で引き起こす問題は、踏切の存在による大量の CO2 排出である。踏切遮断中のアイドリング、一時停止・発信、他の道路への影響を含めた交通流動の悪化等をもたらすため、CO2 排出の要因となる。CO2 排出が一番少なくなる走行速度が 50～60km/h である一方、10km/h 以下の走行では、その 2 倍以上の CO2 排出が起こると算定される。遮断時間や遮断交通量の多いボトルネック踏切において、踏切遮断中のアイドリングが引き起こす CO2 排出量は著しく多く、図 1.2 の通り、踏切 1箇所当たりの平均 CO2 排出量は全踏切平均排出量の約 10 倍となっている。



図 1.2：関東地方整備局
「地球温暖化問題への対応」

全国の踏切において、踏切遮断中のアイドリングが引き起こす CO2 排出量が約 74 万 t CO2/年であるところ、全踏切のわずか 3%であるボトルネック踏切からの排出量が約 28 万 t・CO2/年となっていることから、「開かずの踏切」での渋滞による CO2 排出の深刻さが伺える。

なお、アイドリングから発生する CO2 量は、以下の表の通りである。(環境庁調査より)

	アイドリング 10 分間あたり 燃料消費量	アイドリング 10 分間あたり 二酸化炭素排出量(炭素換算)
乗用車(ガソリン車)	0.14ℓ	90g
小型トラック (2t 積ディーゼル車)	0.08～0.12ℓ	58～87g
中型トラック (4t 積ディーゼル車)	0.13～0.17ℓ	94～120g
大型トラック (10t 積ディーゼル車)	0.22～0.30ℓ	160～220g

また、国土交通省が京都議定書の目標達成のための運輸部門での対策の一環として、「ボ

トルネック踏切等の対策」を挙げていることも、踏切による CO2 排出が深刻であることを裏付けている。

1-3. 現状の主な対策～鉄道立体化～

現在、最も「開かずの踏切」対策として有効とされているのは鉄道の立体化である。これは鉄道の線路を高架橋あるいは地下に通すことで踏切そのものを除去してしまう対策である。鉄道の立体化は踏切事故の発生原因を完全に無くすことができ、国土交通省でも鉄道の立体化工事を「開かずの踏切」対策の中心と位置づけている。そのため、国土交通省は立体化工事の総事業費のうち 80%~90%を国税である自動車重量税やガソリン税を財源として補助金を出している。残りの 10%~20%は鉄道会社の負担である。

しかし、一般的に鉄道立体化工事の総事業費は 100 億円から 1000 億円単位と莫大な費用を要するものが多く、国土交通省と鉄道会社にとって、大きな費用負担になる。鉄道を横切る道路の管理は地方自治体に委託されていることが多いのだが、地方自治体もまた重い工事費を負担せねばならず、国土交通省の支援なしに「開かずの踏切」を解消させることは難しい。限られた財源のために国土交通省は年間わずか 1,2 件しか立体化工事を認可できず、依然として問題がある踏切が多く残っている。

また、国土交通省はどの鉄道を優先的に立体化するかを決定するために、踏切の実態、対策の緊急性、沿線住民の要望などに関する調査を行っている。この調査を踏まえ、国土交通省は地方自治体に鉄道立体化を要請して事業に国庫から財政支出をし、要請を受けた自治体は具体的な工事方法などを鉄道会社と協議した上で工事着手することになる。しかしながら、この調査によって決定した優先順位とは安全面を重視したものである。つまり、事故が起こりやすいか否かに焦点が置かれたもので、その踏切による渋滞長はあまり考慮されていない。これにより、長い渋滞長がありながらも立体化工事の優先順位が低い踏切が存在してしまっている。

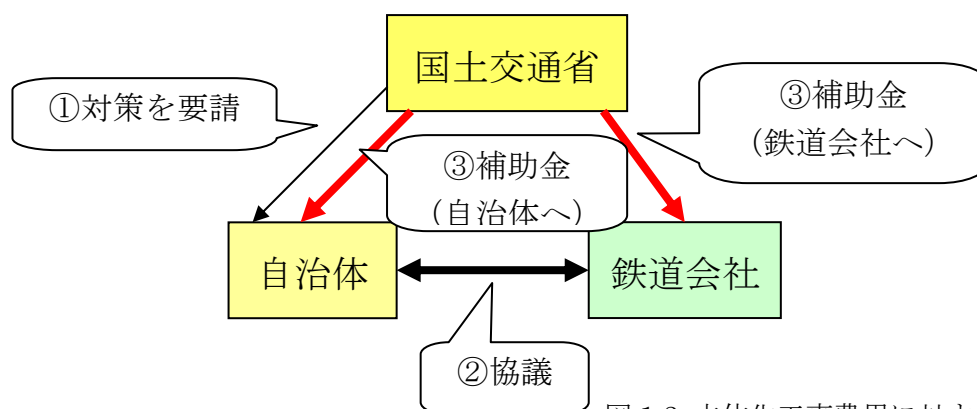


図 1.3: 立体化工事費用に対する補助金支出の流れ

一方、地方自治体側が「開かずの踏切」を解消させたいと考えている場合もあるが、その場合は国土交通省の財政支援を得るために事業の必要性を国土交通省に認知してもらう必要が生じる。このため、「開かずの踏切」を抱える地方自治体は国の事業認可を得るために住民協議会を発足させ、問題の認知度を高め、住民の熱意を盛り上げようとしているところもある。現在、国土交通省は鉄道沿線の住民の熱意も勘案して事業認可を出すことにしているが、この住民の注目する点は安全面であることが多く、渋滞長は二の次である。このことも長い渋滞長を持つ多くの「開かずの踏切」において即効性のある対策がとられていない一因となっている。

以上のように、国土交通省による事業採択は年間の件数が大変少なく、さらに優先順位を決める要素としては、「安全面」が重視されている。そのため、例えば人身事故などが相次いで起こっている踏切が優先的に採択される。特に、踏切における環境面での被害は認識が薄く、渋滞のみが深刻な箇所は優先順位が低いためほとんど対策が為されていないのが現状である。

次章では、渋滞問題が深刻であり環境被害は大きいはずであるが、立体交差化事業への採択には優先順位が低く対策がなされていない例として、世田谷区の「代田橋 6 号踏切」を紹介する。

第二章 代田橋 6 号踏切

2-1. 現状と対策

世田谷区には、開かずの踏切が多く存在するが、特に深刻な問題となっているのが、甲州街道（国道 20 号線）と並行して走る京王線上の代田橋駅から千歳烏山駅間の踏切である。最新のデータが得られている代田橋～上北沢の区間には、ピーク時の 1 時間あたり遮断時間が 40 分以上のものが 4 ヶ所、50 分以上のものが 12 ヶ所存在する。（表 2.1 参照）またこの地区には、京王線の踏切が 100～200m 間隔で敷設されおり、自動車、歩行者ともに甲州街道に出入りする交通量の多い場所となっている。

		ピーク時遮断時間	自動車(台/日)	自転車(台/日)	歩行者(人/日)
1	代田橋 1 号	49 分	130	1,227	3,687
2	代田橋 4 号	42 分	377	132	176
3	代田橋 6 号	53 分	8,467	524	179
4	代田橋 7 号	55 分	2,415	447	271
5	代田橋 8 号	55 分	1,063	259	194
6	明大前 1 号	53 分	2,861	821	1,107
7	明大前 2 号	52 分	1,267	431	623
8	明大前 3 号	51 分	1,625	903	635
9	明大前 4 号	55 分	614	1,101	953
10	下高井戸 1 号	53 分	252	4,532	8,833
11	下高井戸 2 号	45 分	2,094	980	1,032
12	下高井戸 3 号	53 分	2,924	552	286
13	下高井戸 5 号	56 分	1,832	2,902	3,909
14	桜上水 3 号	52 分	0	725	524
15	桜上水 5 号	51 分	773	5,196	5,087
16	上北沢 2 号	47 分	1,952	555	462

表 2.1 資料提供:世田谷区 交通政策担当部（平成 19 年 10 月のデータ）

中でも代田橋 6 号踏切は、1 日の自動車通行量が 8,467 台と周辺踏切で圧倒的に多い。京王線代田橋駅と明大前駅の間にあるこの踏切は、京王線と直行する井の頭通り上にあり、道路は片側一車線となっている。住宅街という土地柄周辺道路は道幅が狭く、比較的広いこの道に自動車が集中するため、このような通行量となっていると考えられる。また、住宅

街であるため、朝の通勤時間帯に京王線の混雑率も高くなる。(図 2.1 参照)

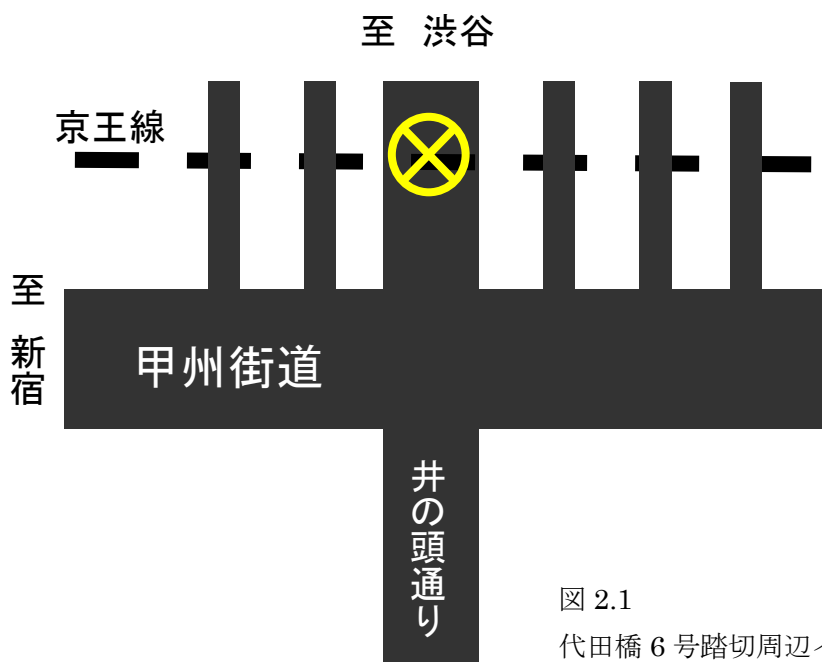


図 2.1
代田橋 6 号踏切周辺イメージ図

平日朝は、鉄道のラッシュアワーであり踏切遮断時間が長くなる一方で、自動車交通量も多くなる時間帯である。つまりこの時間に、交通容量が大幅に減少するにも関わらず、通行量が多いという状態で渋滞が起こっているのである。渋滞は、最高で 270m を記録しているという。(世田谷区 交通政策担当部) 実際に平日朝 9 時前後の現場では、5 分以上遮断機が閉まっている状態も珍しくなく、また 1 分足らずの開き時間も多く見られた。そのため、渋滞している自動車が一回の開き時間に掃けることは難しく、ピーク時は常に長い渋滞が続くことになる。渋滞中は踏切がいつ開くかもわからないため、エンジンを切るドライバーはほとんどいない。乗用車 (ガソリン車) 1 台が 10 分間のアイドリングで排出する CO₂ 量を 90 g とすると、この乗用車が毎日 10 分間アイドリングをしたことで排出される CO₂ 量は年間 32.4 k g となる。ここから、代田橋 6 号踏切を初めとする朝のピーク時間 1 時間のうち遮断時間 50 分の踏切で、年間どれだけの二酸化炭素が排出されているか考える。上記より代田橋 6 号踏切では渋滞長が最高で 270m を記録しているので、自動車の縦幅が 6m とすると 45 台の自動車が渋滞していると考えられる。単純化のために常に 45 台の自動車が渋滞していると仮定すると、45 台が 50 分のアイドリングをしているので、この踏切だけで年間約 7.3t の CO₂ が排出されていることになる。厳密な数字ではないが、開かずの踏切では現状これに近い CO₂ 量が排出されていると考えられる。



代田橋 6 号踏切 平日午前 9 時前後の状況

写真左：信号の先に踏切がある

世田谷区では、こうした開かずの踏切問題の解決に向けて、自治体や小中学校の PTA など区内 13 団体による「開かずの踏切解消促進協議会」を組織し、区長が会長として行政と区民が一体となって取り組んでいる。これは、目標としている国土交通省の鉄道立体交差化事業が、大きな事業効果の期待できる個所での事業実現のために、「補助路線の効果的な整備や地元街づくりの機運の高さ」なども考慮に入れて採択を決定するためである。しかし、先に述べたように、この事業は危険性の高い踏切が優先される上、年間 1、2 件の採択に留まるため、解決に至っていないのが現状である。

また、区での開かずの踏切解消の目的は、「危険な踏切の解消、鉄道による地域分断の解消、円滑な移動の実現、進まなかった道路整備の促進、駅前広場などの整備による商店街を含めた地域の活性化(づくり)の実現」などが挙げられるが、環境問題解決という目的はあまりないようである。

2-2. 代田橋 6 号踏切の特徴

以上に見てきた情報を元に、代田橋 6 号踏切の主な特徴を挙げる。

- 踏切が幹線道路と並行して走っている
→幹線道路からの抜け道上に踏切が存在
- 周辺道路で、唯一道幅が比較的広い道路である
→周辺の自動車が集中する
- 迂回路(周辺踏切)の道幅が狭いため、迂回しにくい
- 住宅街であることや明大前駅には 2 つの路線が通っているため、駅利用者が多いと考えられる
→朝の通勤ラッシュ時に鉄道の本数が多い
- 大型トラック、軽トラックや営業車など商用車が目立つ。
- 朝のピーク時に自動車が集中している
→毎日通る車も多いと考えられる

これらの特徴を参考にして、次章では代田橋 6 号踏切での渋滞の現状を分析していく。

第三章 踏切渋滞のモデル分析

以上のように、踏切渋滞には様々な特徴があり、それらの特徴を踏まえてこれからモデルを立てる。モデルは渋滞を作る主体であるドライバーの行動に注目し、ドライバー二者による混合戦略ゲームを使用する。本章では、今後使用するモデルの基本形を示す。

3-1.モデルの前提

ここで、モデルを簡略化するため、以下の前提を置く。

① 自動車は踏切の一回の開放につき、一台しか通れない

開放時間に関わりなく、踏切の交通容量は1とする。例えば、二者が共に踏切に行くという行動を選択した場合、たとえ踏切が開放していても一台しかその踏切を通れないため、捌き残りが発生し渋滞する。

② 踏切の周辺に迂回路が一本ある

ドライバーが踏切に行かないという行動を選択した場合、必ずその迂回路を利用する。迂回路は、常に一台確実に通す。例えば、二者が共に迂回路を利用するという選択をした場合、一台は通れず残るので渋滞が発生する。

以上の前提を元に、基本のモデルを作成する。

3-2.基本モデル

使用する文字は以下の通りである。

ドライバー1が踏切に行く確率： p ($0 \leq p \leq 1$)	線路を渡った場合の利得	： A	
ドライバー2が踏切に行く確率： q ($0 \leq q \leq 1$)	迂回して渡った場合の利得	： B	
踏切の開放確率	： t ($0 \leq t \leq 1$)	渋滞した場合の利得	： C
ドライバー1の期待利得	： $E_1(p, q)$	迂回路で渋滞した場合の利得	： $D (= B - A + C)$
ドライバー2の期待利得	： $E_2(p, q)$		

利得の大小関係は $A > B > C > D$ であり、さらに C と D は利得の損失分を表すので $C < 0$ 、 $D < 0$ である。

迂回路で渋滞した場合の利得 D は迂回による利得の損失分と渋滞による利得の損失分の和である。迂回による利得の損失分は迂回して渡った場合の利得から渡った場合の利得を差し引いた $B - A$ 、渋滞による利得の損失分は C と表されるので、 $D = B - A + C$ と表現できる。

これらを使用してドライバー1とドライバー2の期待利得表を作成する。踏切渋滞は踏切が閉まっていれば一台であっても渋滞が発生するという特徴を考慮して、踏切の開放確率に依存した期待利得でゲームを展開する。

期待利得表は以下のようになる。

		ドライバー2	
		行く q	行かない $(1-q)$
ドライバー1	行く p	$\left[\begin{array}{l} t \cdot (A+C)/2 + (1-t) \cdot C, \\ t \cdot (A+C)/2 + (1-t) \cdot C \end{array} \right]$	$[t \cdot A + (1-t) \cdot C, B]$
	行かない $(1-p)$	$[B, t \cdot A + (1-t) \cdot C]$	$[(B+D)/2, (B+D)/2]$

(ドライバー1、ドライバー2) = (行く、行く) の場合、踏切が開放していればドライバーは 1/2 の確率で踏切を通れるので、開放している場合の利得は期待利得を取っている。それは (ドライバー1、ドライバー2) = (行かない、行かない) の場合も同様である。

この表を用いて各々のドライバーの期待利得を表すと、

$$\begin{aligned}
 E_1(p, q) &= p \cdot q \cdot \{t \cdot (A+C)/2 + (1-t) \cdot C\} + p \cdot (1-q) \cdot \{t \cdot A + (1-t) \cdot C\} + (1-p) \cdot q \cdot B \\
 &+ (1-p) \cdot (1-q) \cdot (B+D)/2 \\
 &= \{(t \cdot (C-A) + (C-A)) \cdot q/2 + t \cdot (A-C) + (A-2B+C)/2\} p + qB + (1-q) \cdot (2B-A+C)/2 \\
 &\dots (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_2(p, q) &= p \cdot q \{t \cdot (A+C)/2 + (1-t) \cdot C\} + p \cdot (1-q) \cdot B + (1-p) \cdot q \cdot \{t \cdot A + (1-t) \cdot C\} \\
 &+ (1-p) \cdot (1-q) \cdot (B+D)/2 \\
 &= \{(t \cdot (C-A) + (C-A)) \cdot p/2 + t \cdot (A-C) + (A-2B+C)/2\} q + pB + (1-p) \cdot (2B-A+C)/2 \\
 &\dots (2)
 \end{aligned}$$

となる。

ここで、(1)式より

$$\{t \cdot (C - A) + (C - A)\} \cdot q / 2 + t \cdot (A - C) + (A - 2B + C) / 2 = 0$$

$$\Leftrightarrow q = -\frac{t \cdot (A - C) + (A - 2B + C) / 2}{\{t \cdot (C - A) + (C - A)\} / 2}$$

$$= \frac{2t \cdot (C - A) - (A - 2B + C)}{t \cdot (C - A) + (C - A)}$$

$$= \frac{2t \cdot (C - A) - \{(C - A) + 2(A - B)\}}{t \cdot (C - A) + (C - A)}$$

$$= \frac{2t - 1 - 2(A - B) / (C - A)}{t + 1}$$

$$= \frac{2t - 1 + 2(A - B) / (A - C)}{t + 1}$$

となる。よって、

$$\left\{ \begin{array}{ll} q < \frac{2t - 1 + 2(A - B) / (A - C)}{t + 1} \text{ のとき} & p = 1 \\ q = \frac{2t - 1 + 2(A - B) / (A - C)}{t + 1} \text{ のとき} & p = [0, 1] \\ q > \frac{2t - 1 + 2(A - B) / (A - C)}{t + 1} \text{ のとき} & p = 0 \end{array} \right. \quad \dots (3)$$

また、(2)式も同様に、

$$\{t \cdot (C - A) + (C - A)\} \cdot p / 2 + t \cdot (A - C) + (A - 2B + C) / 2 = 0$$

$$\Leftrightarrow p = -\frac{t \cdot (A - C) + (A - 2B + C) / 2}{\{t \cdot (C - A) + (C - A)\} / 2}$$

$$= \frac{2t \cdot (C - A) - (A - 2B + C)}{t \cdot (C - A) + (C - A)}$$

$$= \frac{2t \cdot (C - A) - \{(C - A) + 2(A - B)\}}{t \cdot (C - A) + (C - A)}$$

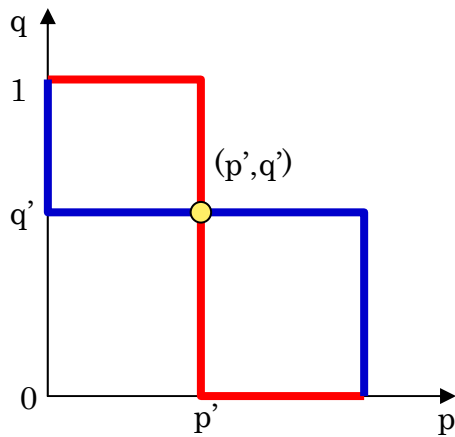
$$= \frac{2t-1-2(A-B)/(C-A)}{t+1}$$

$$= \frac{2t-1+2(A-B)/(A-C)}{t+1}$$

となる。よって、

$$\left\{ \begin{array}{l} p < \frac{2t-1+2(A-B)/(A-C)}{t+1} \text{ のとき } q = 1 \\ p = \frac{2t-1+2(A-B)/(A-C)}{t+1} \text{ のとき } q = [0,1] \\ p > \frac{2t-1+2(A-B)/(A-C)}{t+1} \text{ のとき } q = 0 \end{array} \right. \quad \dots (4)$$

(3)式はドライバー1の反応関数、(4)式はドライバー2の反応関数であり、それを図示すると以下ようになる。青い線がドライバー1の反応関数、赤い線がドライバー2の反応関数を表し、 $p' = \frac{2t-1+2(A-B)/(A-C)}{t+1}$ $q' = \frac{2t-1+2(A-B)/(A-C)}{t+1}$ である。



図から分かる通り、 (p', q') がナッシュ均衡となる。

(p', q') は上でも示した通り、

$$p' = q' = \frac{2t-1+2(A-B)/(A-C)}{t+1}$$

である。これを各項に分けると、

$$p' = q' = \frac{2t}{t+1} + \frac{2(A-B)/(A-C)-1}{t+1}$$

各項ごとに考える。 $\frac{2t}{t+1}$ は分母と分子を t で割ると $\frac{2}{1+\frac{1}{t}}$ となり、これは t の増加関数にな

る。 $\frac{2(A-B)/(A-C)-1}{t+1}$ は t が増加すると全体では減少する。もし分子が負の値を取ると

すれば、増加関数 $\frac{2t}{t+1}$ からの損失分が減少するので、全体で増加関数になるといえる。そ

こで分子が負になる場合を考えると、

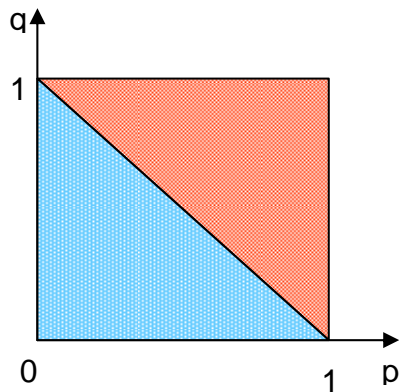
$$2(A-B)/(A-C)-1 < 0$$

$$\Leftrightarrow A-2B+C < 0$$

$$\Leftrightarrow B+D > 0$$

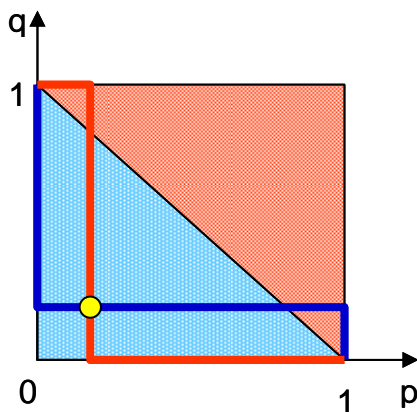
これは迂回路で渡った場合の利得と迂回路で渋滞した場合の利得の損失分の和がプラスになるということである。この和がマイナスになるということは迂回路で渋滞した場合の費用が渡った場合の利得を上回るということであるが、その場合その迂回路を渡るインセンティブがなく誰も利用しないことになるので、現実的ではない。よって渡った利得のほうが大きいと考えられるので $B+D > 0$ が妥当であるということになり、結果的に p', q' は t の増加関数になると言える。

以上を踏まえて、グラフにおいて t の値によってナッシュ均衡がどのような動きをするのかを見てみる。このグラフの中で、 $(p, q) = (1, 0)(0, 1)(1, 1)$ を結んだ三角形は踏切において渋滞が発生している状況を表す点の集合である。ただし、 $(1, 0)$ と $(0, 1)$ を結ぶ 45 度線の線上は含まない。これは $p+q$ は踏切に行く自動車の期待台数を表し、仮定より踏切は一回の開放で一台しか通さないのので、 $p+q > 1$ となる範囲では交通需要が踏切の交通容量を超え、渋滞が発生していることになるからである。逆に $p+q < 1$ となる三角形は、踏切に行かず迂回路を選択した自動車が 1 を超えていることを示している。しかし、迂回路の交通容量も 1 と仮定しているので、青の三角形は迂回路において渋滞が発生している状況を表す点の集合である。それを示すと、以下のようなになる。赤の三角形が $p+q > 1$ となる点の集合、青の三角形が $p+q < 1$ となる点の集合を表す。



つまり、踏切においても迂回路においても渋滞が発生していない $p + q = 1$ となる 45 度線上が最適な状態と言える。

ここで、開放時間が短い「開かずの踏切」を想定すると、 t は極端に小さいと考えられるので、 p' 、 q' も共に小さく下のような反応関数が描かれる。



上図の通り、開かずの踏切ではドライバー 1, 2 共に踏切に行かないという行動を選択する可能性が高いので、踏切において渋滞は発生せず迂回路において渋滞すると考えられる。

3-3.基本モデルの結論

以上のことから分かるように、理論上はドライバーがその踏切は開放時間が短いと知っていれば、「開かずの踏切」において踏切渋滞は起こり得ない。ドライバーはそれぞれの期待利得の最大化を図るのだから、踏切を避けて迂回路を選択するというこの行動が最適なはずである。

しかし、実際には代田橋六号踏切において長蛇の渋滞行列が発生している。それはおそらくこのモデルの仮定と実際の状況の間に何らかの乖離があるからであろう。次章ではその乖離は何であるか、さらにそれを踏まえた解決策を探っていく。

第四章 問題意識と分析

4-1.現状分析

前章で示した基本モデルを用いて代田橋6号踏切の現状を分析する。

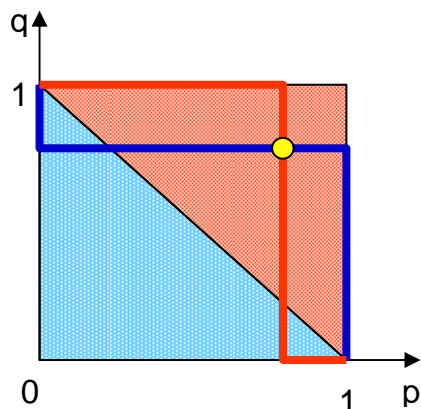
1) 前提

モデル作成のために、現状に則して以下の前提を置く。

- ・ドライバーは、踏切の手前まで来たドライバーのみを対象とする。よって渋滞回避手段は別の道を回る場所的迂回のみを想定し、ピーク時間を避けるドライバーは考慮しない。
- ・代田橋6号踏切はピーク時には「開かずの踏切」状態なので、開放確率 t はゼロに近い値とする。

2) 現状分析と問題点

基本のモデルによると、理論上はドライバーが踏切の開放確率を把握している場合、開放確率の低い「開かずの踏切」では渋滞は発生しないはずである。しかし、現状として代田橋6号踏切では、ピーク時間に踏切渋滞が発生している。踏切渋滞が発生している状況とは、下の図のようにナッシュ均衡が $p+q>1$ を示す赤い三角形の中にある状態である。



ナッシュ均衡 $(p', q') = \left(\frac{2t-1+2(A-B)/(A-C)}{t+1}, \frac{2t-1+2(A-B)/(A-C)}{t+1} \right)$ の位置は

開放確率 t に依存して決まり、「開かずの踏切」では t はゼロに近い状態なので左下の白い三角形内にあるはずである。それにも関わらず代田橋6号踏切の状態は上図のようになっているということは、ドライバーの行動を左右している t の値が実際の t の値よりも大きくなっていることになる。そこで、私たちは実際の開放確率 t とドライバーの想定する開放確率の間に乖離が生じているのではないかと考えた。

ドライバーの想定する開放確率に誤差が生じているというのは2つの場合が考えられる。1つはその踏切に初めて来たためにその踏切の開放確率を正確に把握しておらず、実際よりも多く開放すると誤って想定してしまう場合、もう1つの場合はその踏切を多く利用し

ていて閉まりやすいと分かっているにもかかわらず開放確率が高いと期待してしまう場合である。どちらの場合にしても、ドライバーがその踏切の開放確率を誤認していることになり、それが基本モデルとの乖離を引き起こしていると考えられる。

4-3.提案と分析

以上に見てきたように、「開かずの踏切」で発生する渋滞の原因は、ドライバーの開放確率の誤認であると考えられる。その対策として、私たちはその誤認しているドライバーに開放確率に関する情報を与えることを提案する。

しかし、単に実際の t の値を知らせるだけで良いのだろうか。これから、どのような情報をドライバーに与えれば最適な状態になるのかを示す。

今、二種類のドライバーを想定する。ドライバー1は初めてその踏切に来たために正確な開放確率が分からず誤認しているドライバー、ドライバー2はよくその踏切を利用していて閉まりやすいと知っているにもかかわらず開放確率を高いと期待しているドライバーである。ドライバー1の想定する開放時間を t' とし、ドライバー2の想定する開放時間を t'' とすると、それぞれの行動は以下ようになる。

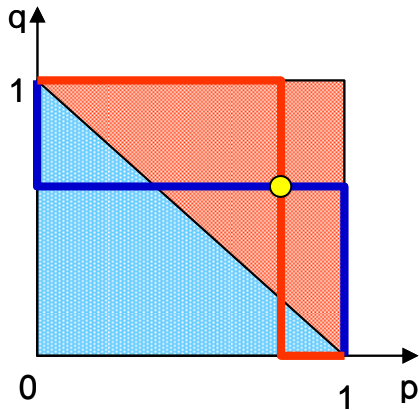
ドライバー1は

$$\left\{ \begin{array}{ll} q < \frac{2t'-1+2(A-B)/(A-C)}{t'+1} \text{ のとき} & p = 1 \\ q = \frac{2t'-1+2(A-B)/(A-C)}{t'+1} \text{ のとき} & p = [0,1] \\ q > \frac{2t'-1+2(A-B)/(A-C)}{t'+1} \text{ のとき} & p = 0 \end{array} \right. \quad \dots (5)$$

ドライバー2は

$$\left\{ \begin{array}{ll} p < \frac{2t''-1+2(A-B)/(A-C)}{t''+1} \text{ のとき} & q = 1 \\ p = \frac{2t''-1+2(A-B)/(A-C)}{t''+1} \text{ のとき} & q = [0,1] \\ p > \frac{2t''-1+2(A-B)/(A-C)}{t''+1} \text{ のとき} & q = 0 \end{array} \right. \quad \dots (6)$$

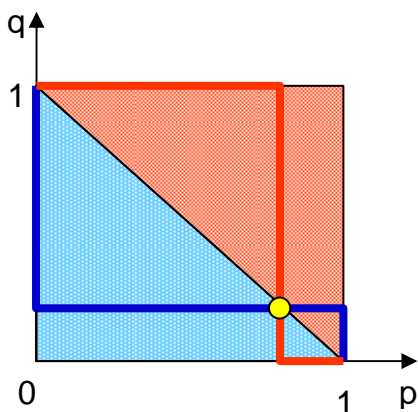
t' と t'' は共に1に近い値だと仮定しているので、(5)式と(6)式をグラフにすると以下のようになる。



これは二者が踏切で渋滞していることを示している。

この時、踏切の開放確率を周知したとする。通常であれば、ドライバーは周知された情報に基づいた時間によって行動すると考えられる。しかしここで、ドライバー2について考えると、ドライバー2はあらかじめ経験的にこの踏切が閉まりやすいと知っているにも関わらず、開放確率を高く期待している。つまり、経験的に得ている情報に疑念を抱いているということである。そのようなドライバーに対して正確な情報を与えても、それに対してすらも疑念を抱き、依然として開放確率を高く期待する可能性が高い。

すると、情報を得て行動を変えるのはドライバー1ということになる。ドライバー1は(5)式内の t' を低いと認識することになるので、行動の分岐点である $q = \frac{2t'-1+2(A-B)/(A-C)}{t'+1}$ は小さくなる。ここで、下の図のように最適な状態 $p+q=1$ が実現されるためにドライバー1に提示すべき開放確率 t^* を考える。



今、ドライバーに対して開放確率 t^* が周知されたとする。それぞれの想定する開放確率は、ドライバー1はそれに基づいて行動するので $t'=t^*$ 、ドライバー2は情報に左右されないの

で t'' と想定したままである。ここで最適な状態 $p + q = 1$ に $p = \frac{2t''-1+2(A-B)/(A-C)}{t''+1}$ 、

$q = \frac{2t^*-1+2(A-B)/(A-C)}{t^*+1}$ を代入する。

$$\frac{2t''-1+2(A-B)/(A-C)}{t''+1} + \frac{2t^*-1+2(A-B)/(A-C)}{t^*+1} = 1$$

$$\frac{2t^*-1+2(A-B)/(A-C)}{t^*+1} = \frac{t''+1-2t''+1-2(A-B)/(A-C)}{t''+1}$$

$$\frac{2t^*-1+2(A-B)/(A-C)}{t^*+1} = \frac{2-t''-2(A-B)/(A-C)}{t''+1}$$

$$\{2-t''-2(A-B)/(A-C)\}(t^*+1) = \{2t^*-1+2(A-B)/(A-C)\}(t''+1)$$

$$t^*\{2-t''-2(A-B)/(A-C)\} + 2-t''-2(A-B)/(A-C) = 2t^*(t''+1) - (t''+1) + \{2(A-B)/(A-C)\}(t''+1)$$

$$t^*\{2-t''-2(A-B)/(A-C) - 2t''-2\} = -(2-t'') - (t''+1) + \{2(A-B)/(A-C)\}(t''+1)$$

$$t^*\{-3t''-2(A-B)/(A-C)\} = \{2(A-B)/(A-C)\}(t''+1) - 3$$

$$t^* = \frac{3 - \{2(A-B)/(A-C)\}(t''+1)}{3t''+2(A-B)/(A-C)} = \frac{-2t''(A-B) + (A+2B-3C)}{3t''(A-C) + 2(A-B)} \quad \dots (7)$$

(7) 式より、 $t^* = \frac{-2t''(A-B) + (A+2B-3C)}{3t''(A-C) + 2(A-B)}$ が周知されれば、ドライバー1 が行動を変え、 $p + q = 1$ が実現される。

ここで興味深いのは、この提示されるべき開放確率 t^* が実際の開放確率 t に依存していないことである。 t^* は t'' と期待利得 A 、 B 、 C に依存して決まる。 t'' は大体 1 に近い値で決まってくるとすると、 t^* の値はほとんど期待利得 A 、 B 、 C に左右される。期待利得 A 、 B 、 C はその踏切の状況や迂回路までの距離等で変わってくるので、 t^* の値はそれぞれの

踏切で異なることになる。

以上より、開かずの踏切において実際の開放確率 t ではなくそれぞれの踏切で異なる値を取る $t^* = \frac{-2t''(A-B) + (A+2B-3C)}{3t''(A-C) + 2(A-B)}$ を周知すれば、ドライバーを分散させることができ、踏切も迂回路も渋滞しない最適な状態が実現できる。

第五章 結論

「開かずの踏切問題」は安全面、経済面、環境面とさまざまな問題を引き起こすことから、現在、立体交差化事業等による解決が図られている。しかし、立体交差化事業は費用が膨大であるため、年間でも1～2件と採択のスピードは遅くなっている。また採択の優先順位も安全面が重視されるため、踏切渋滞によるCO₂排出量が多いという環境面が特に深刻である踏切があっても、なかなか対策が採られない。しかし、踏切渋滞によるCO₂排出は環境問題の観点から、迅速に対策がとられるべきである。私たちは踏切渋滞の原因を、一箇所の踏切に自動車が集まるということが問題であると考え、渋滞ピーク時に一箇所の踏切に集中する自動車を、他の迂回路に分散させることによって渋滞解消を図る方法を探った。

そこでドライバー二者の混合戦略ゲームを用いたモデルを用いて分析したところドライバーの行動は踏切の開放確率 t に依存することが判明したが、「開かずの踏切」と言われる代田橋6号踏切において開放確率 t とドライバーの行動が連動していなかった。私たちはこの乖離が踏切渋滞が起こる原因であると考えた。

この乖離の原因として、初めて踏切を通行するドライバーと頻繁に踏切を通行するドライバーによる踏切の開放確率 t の誤認を考えた。この誤認によって「開かず」である踏切に通行量が集中してしまうという問題を解決するために、私たちは、ドライバーへの踏切の開放確率の周知を提案した。

しかし、単純に「開かずの踏切である」という周知だけでは、全てのドライバーが迂回路に回り、迂回路で渋滞することが想定される。そこで、どのような情報を周知すれば迂回路でも渋滞しないように出来るのかを分析した。ここで誤認をしている可能性のあるドライバーの中で、頻繁に踏切を利用するドライバーは「開かずの踏切」とあらかじめ知っているため、「開かずの踏切である」という情報を与えられても、今まで通り踏切に行くという行動は変えないと考えられる。一方、初めて踏切を利用するドライバーは、今までは踏切が開きやすいと誤解していたため踏切に行っていたため、情報を受け取った後では、迂回するというように行動を変えることが考えられる。このように同じ踏切開放確率についての情報周知を行っても、情報の活用に差が出る。頻繁に利用するドライバーは行動を変えず初めて来るドライバーは情報によって行動を変えると想定し最適な状態とするための開放確率を出すと、その開放確率は実際の開放確率には依存せず期待利得に左右される値であった。つまり周知すべき情報は実際の開放確率には関係なく、周辺状況等に左右される開放確率ということになる。

単純に情報の乖離が問題だとなった場合、通常は正しい情報を与えるという方策が採られる。しかしここでは、正しい情報ではなくそれとは直接的には関係性を持たない情報を与えたほうが最適になる、という点で画期的な結果であると考えられる。この情報を利用することで自動車が分散し踏切渋滞が解消されるので、CO₂削減に有効な方策であると言える。

今回は代田橋 6 号踏切を例に取り、その特徴を抽出してモデルを構築したが、「はじめに」でも述べた通り代田橋 6 号踏切が持つ渋滞発生の原因はほとんどの「開かずの踏切」が共通して持つ原因なので、今回の結果はその他の踏切にも応用できる。

参考文献

- 『「交通渋滞」徹底解剖』 大口敬/編著 交通工学研究会 (2005 年)
- 『演習 ゲーム理論』 船木由喜彦著
- 踏切すいすい大作戦 http://www.fumikiri.com/80_inspect.html
- 国土交通省道路局 http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/fumikiri/fu_01.html
- 国土交通省関東地方整備局 <http://www.ktr.mlit.go.jp/>
- 環境省環境統計 <http://www.env.go.jp/doc/toukei/contents/index.html>
- 環境省資料 http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=2076&hou_id=766
- 航空・鉄道事故調査委員会 <http://araic.assistmicro.co.jp/araic/railway/report.asp>
- 世田谷区 開かずの踏切解消促進協議会
http://www.city.setagaya.tokyo.jp/topics/toshiseibibu/04_koutuukikaku/akazu/akazutop.html
- 社団法人 日本交通計画協会 <http://www.jtpa.or.jp/index.html>
- 世田谷区 交通政策担当部より情報提供
-

