

首都高速道路の渋滞問題への考察

～環境負荷軽減と経済損失の回避～

慶應義塾大学 経済学部 21213482

大沼あゆみ研究会 12 期生

清宮大

要旨

東京都を中心とし、路線長約 301.3km の都市高速道路が走っている。いわゆる首都高速道路だ。今日の首都圏の陸の交通を支える重要な道路である。首都高速道路は 1962 年に一号線(京橋～芝浦)の 4.5km が開通して以来 50 年以上が経過する。しかし首都高速道路は交通において重要な役目を果たすと同時に必然として環境負荷を生んでいる。さらに古い設計や用地買収の無理などが祟ってその環境負荷に拍車をかける形になっている。首都圏の大動脈たる首都高速道路の持続可能な維持・発展のための環境負荷軽減及び経済損失の回避という目標を首都高速道路の特徴を踏まえ考察していく。

「たとえば今の環状→9号→湾岸→11号→環状の20kmコース
自分はコレを「東京ニユル」って呼んでるんです」

荻島 信二

目次

第一章 首都高速道路について

- 1.1 首都高速道路とは
- 1.2 首都高速道路の歴史
- 1.3 首都高速道路の料金
- 1.4 首都高速道路の周辺環境

第二章 首都高速道路の現状

- 2.1 現在の首都高速道路
- 2.2 環境負荷と経済損失

第三章 渋滞のメカニズム

第四章 問題意識

第五章 政策提言

第六章 まとめ

第一章 首都高速道路について

1. 1 首都高速道路とは

首都高速道路は現在総路線長 301.3 km の道路が東京都をはじめとし、千葉県・神奈川県・埼玉県にまたがり伸びている自動車専用道である。¹主に物流・通勤の要として機能している。機能の面から見た場合首都高速道路は都市高速道路となる。首都高速道路はこれ単体の自動車専用道として機能しているだけでなく、例えば東名高速道路や関越自動車道等の高速自動車国道（いわゆる高速道路）との接続を行っている。このことにより、首都高速道路はハブのような機能も有しており、例えば静岡から福島に向かうといった際にも使用されることとなる。また、都心環状線をはじめとして都市内を縦横無尽に走っている自動車専用道というのは世界的にも非常に珍しい。香港等の一部都市のさらに一部ではこのような構造や環境が見られるが全線にわたってというのは例がない。このような構造から全国でも例がないような危険な合流や分岐が連続する高速道路となっている。

首都高速道路を管理運営しているのは株式市場へは非上場の首都高速道路株式会社である。政府や地方公共団体が三分の一以上の株式を保有する特殊会社である。2005 年の高速道路株式会社法により設立された。ただし、首都高速道路の道路を保有しているのは日本高速道路保有・債務返済機構という独立行政法人であることに注意したい。これはどのような状況かという、首都高速道路建設時の費用や更新整備の費用を首都高速道路株式会社が機構から借り入れをし、返済を行い機構が道路自体を保有するという状況である。

首都高速道路の路線構造として都心環状線・中央環状線の二つの環状線を中心とし、それ

¹ 首都高速道路株式会社 HP

らに1号線から11号線までの放射線が伸びる蜘蛛の巣状の構造となっている。また、環状線から湾岸線(B)・神奈川線(K線)・埼玉線(S線)といった東京都と隣接した県への路線が伸びている(次ページ参照)。全路線は都心環状線(C1)・中央環状線(C2)・1号上野線・1号羽田線・2号目黒線・3号渋谷線・4号新宿線・5号目黒線・6号向島線・6号三郷線・7号小松川線・9号深川線・10号晴海線・11号台場線・川口線・八重洲線・湾岸線・神奈川線(1号横羽線・2号三ツ沢線・3号狩場線・4号磯子線・5号大黒線・6号川崎線)・埼玉線(埼玉新都心線・埼玉大宮線)となっている。それら放射線路線から更に東関道・京葉道・関越自動車道・東名高速道路といった路線に直接接続している・



²図1 首都高速道路路線図

2

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%A6%96%E9%83%BD%E9%AB%98%E9%80%9F%E9%81%93%E8%B7%AF> より

1.2 首都高速道路の歴史

首都高速道路の構想自体は戦前から存在していた³。これは山田正男による1環状4放射線約69kmの都市間高速道路を主としたいわゆる山田構想である。注意したいのは実現を目的とした構想ではなく現実味の薄い机上の案であったということだ。この構想の目的としては従来の道路の渋滞の解消などではなく都市発展（主に関東地方）のための都市間高速道路として構想されたものである。これが昭和13年(1938年)頃の構想である。同時期には石川栄耀によっても同様の構想が思い描かれた。しかし、その後の太平洋戦争の戦火によってこれらの構想は忘れられることとなる。太平洋戦争終戦後、都市復興の都市計画に付随して再び首都への高速道路設置の案が再浮上する。その最初の案が昭和21年(1946年)の東京都都市復興課による「帝都復興改造試案」である。その後本格的に高速道路の計画が行われるようになるのは近藤謙三郎による構想からだ。この頃から都市部の渋滞が問題視されるようになり始める。この頃の構想で首都高速道路の現在のような形を作る近藤謙三郎の「ノン・クロスロード思想」という考えが計画の中で定着した。これはどのような思想かというと「立体交差の連続化」による交通渋滞の解消といった考えである。その後、更なる自動車の普及や経済発展などにより東京都内の交通は逼迫した状況に陥ることになる。そして初めて公的計画として首都高速道路の計画が持ち上がった。計画は当初1環状線と7本の放射線からなる71kmの都市高速道路として計画された⁴。そして昭和37年(1962年)に東京オリンピック開催が決定されると計画は一気に進むこととなる。オリンピック開催に合わせて関連施設と羽田空港とのアクセスを重視した32kmを優先的に整備することが

³ 土木計画学研究 論文集 No.2 1985年1月 『首都高速道路の計画と設計思想』 著者 篠原 修

⁴ 首都高速道路株式会社 首都高開通50周年を迎えて

決定され、同年京橋～芝浦間の 4.5km が初めて開通した。しかし開催は昭和 39 年とすぐそこに迫っておりある問題が浮上することとなる。それは建設用地買収の問題であった。建設予定地が東京の都心が殆どである故にその土地買収というものには相当な時間が要すると考えられた。そこでこれを解決すべく首都高速道路は都心に流れる水路の上や幹線道路などの公共空間に建設することとなった。いわゆる「空中作戦」である。これと先述した「ノン・クロスロード思想」の立体交差の連続化の考えが現在の首都高速道路(特に都心環状線)のあのような複雑かつ危険な構造の原因となっている。そして昭和 39 年(1964 年)に 32.6km が開通することとなる。オリンピック開催時は平均一日 7 万 5 千台が通行していた⁵。オリンピック終了後もなおも逼迫する都市交通の解決策として新規路線が開通していくこととなる。そして路線開通以外にも大きな歴史的転換点は ETC の導入である。2001 年から首都高速道路では料金所通過の際に一時停止しなくても済む ETC の導入を始めた。このことにより現在行われている流動的な料金設定などが可能となった。そして今日の首都高速道路では新規路線の開通とともに在来路線の補修・維持が目下の課題となっている。最も古い路線では 50 年以上が経過しており、横羽線などは海上に高架がかけられており劣化が進んでいる。それらの修繕や建て替えが今後の首都高の課題となっていくが本論文では割愛する。

1.3 首都高速道路の料金

首都高速道路は現在車両区分と走行距離に応じて金額を変化させる料金システムを採用している。金額は以下のとおり

⁵ 首都高速道路株式会社 首都高開通 50 周年を迎えて

車種区分	料金距離				
	～6.0km	6.1km～12.0km	12.1km～18.0km	18.1km～24.0km	24.1km～
普通車	510 円	610 円	720 円	820 円	930 円
大型車	1,030 円	1,230 円	1,440 円	1,650 円	1,850 円

表 1 首都高速道路の基本料金表

このような料金設定となっている。普通車と大型車の区別については

普通車

- 普通・小型乗用車
- 小型バス（定員 29 人以下及び総重量 8 トン未満）
- 普通・小型トラック
- 自動 2 輪車（125cc 以下を除く）
- 軽自動車
- 小型特殊自動車

大型車

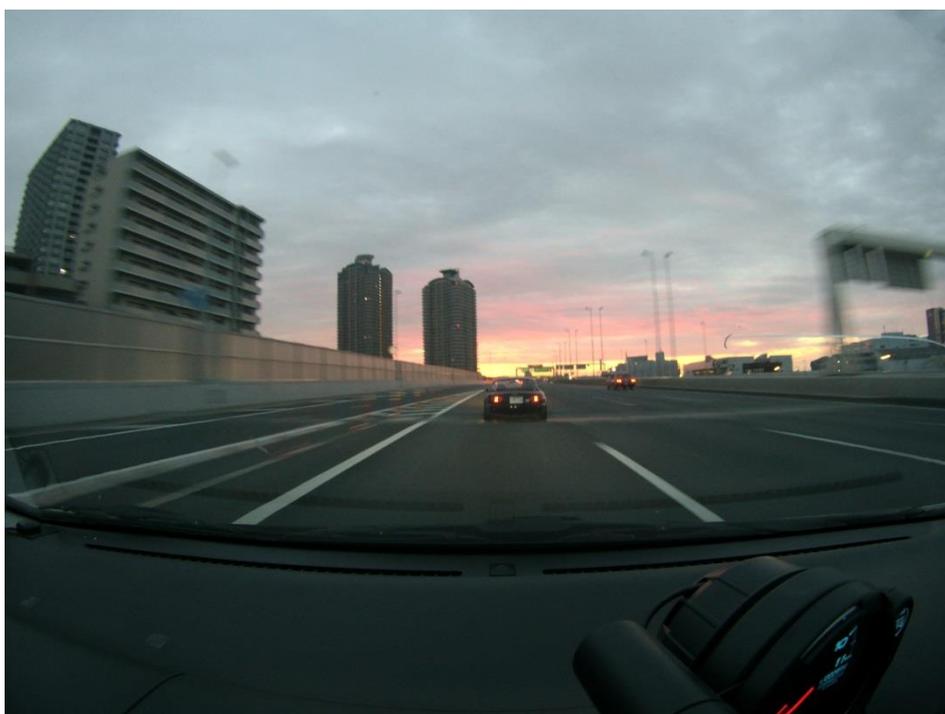
- 大型バス（定員 30 人以上または総重量 8 トン以上）
- 大型トラック（積載量 5 トン以上または総重量 8 トン以上）
- 大型特殊自動車
- 3 軸のトラクター（トレーラーヘッド）

⁶ 首都高速道路株式会社 HP

となっている。また、基本料金に加え大口利用割引や ETC 利用による深夜割引などの料金割引制度が存在する。

1.4 首都高速道路の周辺環境

首都高速道路は都心環状線を初め路線の多くがオフィス・住宅街の直上ないし付近を通っている。理由としては歴史の項で述べたような建設理由や目的によるものである。これらのことにより例えば近くの住宅においては排気ガスの臭いや洗濯物の汚れ、振動といったことが起こる。⁷もちろん首都高速道路側はこれらに関しても防音壁やつなぎ目を隠すなどの対策は行っているものの、被害が出てしまっているというのが現状だ。



⁸写真1 湾岸線下り辰巳ジャンクション手前で撮影

写真を見ていただければ路線のすぐ側にはマンションがあるといったことがわかる。このように首都高速道の周辺環境は決して道路建設に向いている場所というわけではないとい

⁷ 筆者知人へのインタビューより

⁸ 筆者撮影

うのが現状である。ただし、中央環状の山手トンネルなどは名前のとおり地下にトンネルを掘りそこへ道路を通してしている。このように新規路線については以前は技術的に難しかった地下への埋没という方法が取られている例もある。また、特殊な例では環状線の千代田トンネル内での合流や、羽田線の海上高架などの環境が見られる。

第二章 首都高速道路の現状

2.1 現在の首都高速道路

現在の首都高速道路は先の章で述べた通り、2環状線とそれらから伸びる放射線及び神奈川線・埼玉線という構成になっている。また、オリンピックを見据えた晴海線の延長や横浜環状線等の新規路線の建設が進められている。⁹また、都心環状線を始め多くの路線が40～30年経過している上に酷使されているため毎晩のように補修工事が行われている。

また、一日の平均交通量であるが直近の昨年2015年12月は以下の表の通りとなっている。

(単位:台/日)

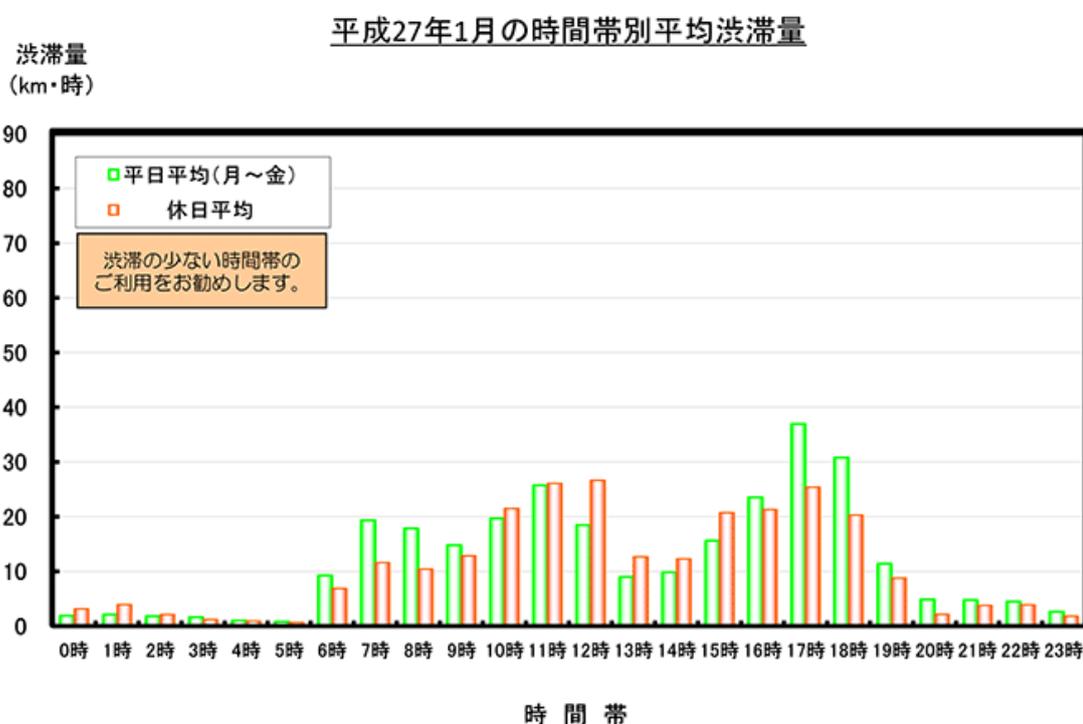
		日数	全線		
			普通車	大型車	合計
平日	H27.12	22	914,783	114,432	1,029,215
	H26.12	22	875,771	118,044	993,816
	増減比	0	104.5%	96.9%	103.6%
土曜日	H27.12	4	810,172	71,687	881,858
	H26.12	4	778,536	72,834	851,370
	増減比	0	104.1%	98.4%	103.6%
休日 (日曜・祝日)	H27.12	5	787,687	62,806	850,493
	H26.12	5	771,448	62,132	833,580
	増減比	0	102.1%	101.1%	102.0%
全日	H27.12	31	880,785	100,590	981,375
	H26.12	31	846,399	103,192	949,591
	増減比	0	104.1%	97.5%	103.3%

¹⁰表2 2015年12月の一日あたりの交通量

⁹首都高速道路株式会社 HP より

¹⁰首都高速道路株式会社 HP より

表からわかるとおり一日に約98万台が通行していることになる。また、土日よりも平日の利用が多く、全日ベースだと大型車の方が多いことがわかる。これは主に物流での使用及び通勤での使用である。詳しくは平日が9割が業務目的、休日は6割がレジャー目的である。¹¹また、時間別の走行台数のデータは存在しなかったので代わりに渋滞量で見ると以下のように



¹²図2 時間帯別交通量

となっており、通勤退勤・勤務時間帯は多くなっており面白いことに昼休み付近の渋滞量（使用量）は減っていることがわかる。また、深夜の渋滞量も当然ながら減っている。

上記使用量に付随して渋滞の状況であるが全体の85%が交通集中による渋滞である。¹³また11%が事故渋滞、4%が工事渋滞である。さらに事故の原因は7割が追突・車両接触である

¹¹ 首都高速道路株式会社 首都高速道路の現状より

¹² 首都高速道路株式会社 HP より

¹³ 首都高速道路株式会社 HP より

のだが、これらはカーブ・合流で多くが発生している。原因として考えられるのは首都高速道路の構造上の問題と「渋滞」によるものである。首都高速道路は多くが起伏が激しく、また、カーブも急であり更に騒音対策のための防音壁が設けられている。そのため、ブレイクコーナーが多くそのすぐ先が渋滞になっていると気づかずに突っ込んでしまうということがある¹⁴。私自身それで何度も肝を冷やしたことがある。つまり渋滞が渋滞を産んでしまっている場合があるのだ。事故原因から推察するにこの二つの原因が大きいと考える。

2.2 環境負荷と経済損失

ではそのような首都高速道路は一体どのような環境負荷を産んでいるのか見ていきたいと思う。主に首都高速道路で起こっている環境負荷として自動車から排出される排気ガスが上げられる。通常、自動車は走行の際に燃料（ガソリン・軽油）を燃焼させ、その排気を燃焼室外へ排出する。一般道であれば40km/h～50km/hがほとんどな上信号などのストップアンドゴーが多い分燃費は良くない。つまり燃料を多く消費し、その結果として距離当たりの排気ガスも多くなる。一方高速道路では60km/h～100km/hでの走行が多い上に通常ストップアンドゴーは少ない故に本来は圧倒的に燃費が良い結果となる。しかし首都高速道路では先述したとおり渋滞が非常に多い。最も多い時で38km・時となっている。一時間渋滞が38km続いているという状態だ。首都高速道路では渋滞「20km/h以下での走行」としてある。この速度の場合ストップアンドゴーが頻発するのは容易に想像がつくであろう。そういう場合燃費性能というのはガクンと落ちる。では渋滞によって一体どの程度の排気ガスが出ているのであろうか。首都高速道路利用による排気ガス排出に関してデータがなかったため自身で試算してみたいと思う。今回排気ガスと銘打っているが温室効果のある

¹⁴ 筆者友人達インタビューより

二酸化炭素排出に着目して計算を行いたい。

一日あたりで計算し条件は以下のとおり^{15 16}

- ・ 利用台数 98万台
- ・ 総渋滞長 72km
- ・ 渋滞走行台キロ 830000台・km
- ・ 渋滞量 210km・時

以上の条件より1.17%の利用者が平均2.91時間渋滞に巻き込まれているということが算出される。

次に大型車の主要エンジンであるディーゼルと一般車両の主要エンジンであるガソリンエンジンはその燃焼方法の違いから排気ガスの性質も違うため区別して考える必要がある。

よって以下の条件を設定する^{17 18 19}

- ・ 車両比率 普通車:大型車=880000:100000=44:5
- ・ 普通車 10分当たりのアイドリング時二酸化炭素排出量 90g
- ・ 大型車 10分当たりのアイドリング時二酸化炭素排出量 170g

とした。渋滞時20km/h以下のエンジンの回転数は概ねアイドリング時と同じであるためこの数値を採用することとした。また大型車は首都高速道路の料金表に従って4トン車と10トン車の平均値を採用した。

¹⁵首都高速道路 HP より

¹⁶平成25年中の都内の交通渋滞統計（一般道路、首都高速道路）より

¹⁷首都高速道路 HP より

¹⁸平成25年中の都内の交通渋滞統計（一般道路、首都高速道路）より

¹⁹環境省 アイドリングストップ Q&A より

以上の条件より計算を行うと渋滞時、普通車は一台辺り平均 1571.4g の二酸化炭素を排出し、大型車は 2968.2g の二酸化炭素を排出することとなる。更に渋滞に巻き込まれる車両の台数は普通車が 14960 台、大型車が 1700 台となる。以上のことにより普通車は 23,508,144g (23508.144kg)、大型車は 5045940g (5045.94kg) となった。よって一日に 28554.084kg の二酸化炭素排出が渋滞に起因して排出されていることになる。年間で約 1043.9t の排出となっている。

また、経済損失については少々古いデータだが平成 12 年度の国土交通省 道路局のデータによれば渋滞による首都高速道路の経済損失は 1500 億円と推計されている。²⁰一日当たり換算で 4.11 億円となる。しかし非常に面白い数値が見つかったので実際に自身の手で計算してみたいと思う。それは車両別時間価値原単位である。毎分の車両ごとの時間価値を示す値だ。²¹乗用車類 45.78 (円/分・台)、普通貨物車 64.18 (円/分・台) となっている。これを元に経済損失を計算してみると渋滞損失時間が 12 万台・時間²²なので先ほどの車両比率で渋滞損失時間を分配すると普通車は 107755.102 台・時間、大型車は 12244.898 台・時間となる。これらに時間価値原単位を掛け合わせると普通車利用における一日あたりの損失額は約 295,981,714 円 (2 億 9500 万円)、大型車は約 47,152,653 円 (4700 万円) となり一日での損失額は約 3 億 4200 万円となる。年間では約 1248 億円となる。これは以下に掲げる平成 16 年度の首都高速道路株式会社算出による損失と非常に近い値となった。このことより年々経済損失は少なくなっているものの、依然として莫大な損失が生まれているということが確認できた。考えられる原因としてひとつ挙げられるのは平成 12 年時点では ETC

²⁰ 国土交通省 道路局 現行有料道路制度の概要 2. 有料道路の現状

²¹ 国土交通省 時間価値原単位および走行経費原単位 (平成 20 年価格) の算出方法

²² 首都高速道路株式会社 首都高速道路の交通量の変化

の利用が開始されていなかったことがひとつ挙げられると考える。²³

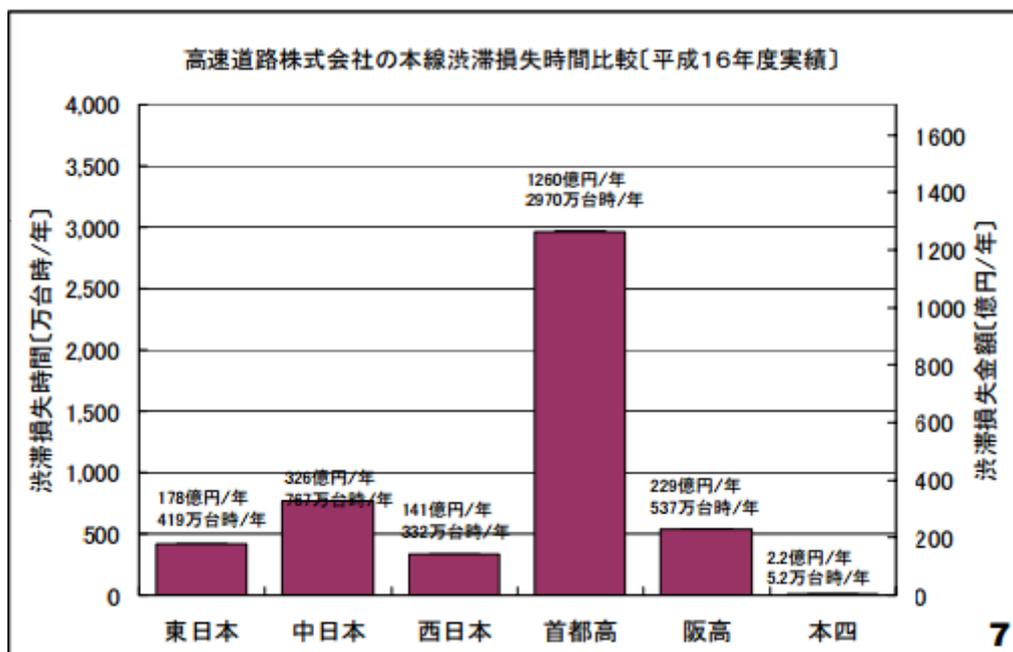


図3 首都高速道路株式会社による経済損失の計算²⁴

その後平成16年度では20%超、平成27年現在では90%を超える利用率となっている。また、平成14年の中央環状北側の完成も寄与しているだろう。²⁵ただし裏を返してしまえばその後の大きな新規路線の開通による経済損失の軽減が、今後は望めないという問題点も浮き彫りになる。つい最近中央環状の山手トンネルが開通した。これによる経済損失の軽減を仮に平成14年度の中央環状北側開通による軽減約300億円と同じ効果と見込んだとしても依然として900億円近い損失が残る。平成16年度の他高速道路の損失と比べても三倍以上の開きがある。このことから推察するに路線整備等のハードの面での渋滞問題の解決

²³ 国土交通省 ETC 利用状況の推移

²⁴ 首都高速道路株式会社 首都高速道路の現状

²⁵ 首都高速道路株式会社 HP

は非常に難しいであろう。

第三章 渋滞のメカニズム

渋滞問題の解決に入る前に一体どのようにして渋滞がおこるのかという渋滞のメカニズムについて触れていきたいと思う。渋滞の原因については様々なものがある。交通集中、事故、工事が主な原因だ。先の章でも述べた通り首都高速道路では渋滞の原因の 85%が交通集中に起因する渋滞である。道路のキャパシティに対して自動車が多く入りすぎてしまっているという状況だ。これを簡単なモデルを使って説明していきたい。²⁶渋滞というのはホースから出る水や、狭い場所から一気に出るボールに例えられることがある。例えばホースを道路、水を車と置き換えればイメージしやすい。しかしながら、こういった水やボールといった「粒子」は意思を持たず、流されるままに動いていく。しかし今回取り扱っている渋滞の「粒子」は自動車であり、その動きを制御しているのは「後ろから押されたら前の粒子を押し出す」といった物理法則に法った動きをするというものではない。たとえば渋滞に巻き込まれたからといって前の車をバンパーで押ししたりはしないだろう（よほどなことがない限り）。通常であれば接触を回避しようと自動車の速度を落とす行動を行う。水やボールであれば圧力で更に速度を増すであろうが、これは水やボールとは違った動きである。つまり渋滞における粒子は自ら意志を持って動く「自己駆動粒子」と定義される。故に通常の物理法則とは違った考え方をする必要がある。その考え方が ASEP (Asymmetrical Simple Exclusion Process, 非対称単純排除) モデルである。これは以下の図を見てもらうのがわかりやすい

²⁶西成 活裕(2006)『渋滞学』(新潮社)

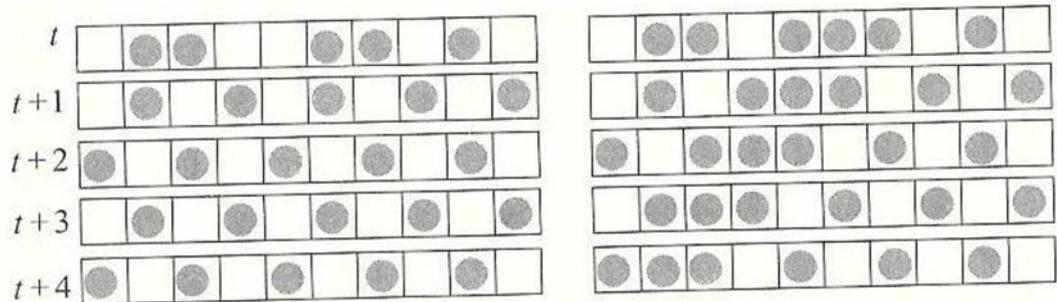


図6 臨界状態 (左) とそれから一つだけ玉が増えた場合 (右)。箱は10個あるので臨界状態は玉が5個である。臨界状態ではしばらく時間がたてば玉は一つおきに並ぶが、右図では3個の玉からなる渋滞クラスターが出現している。

²⁷図4 単純なサーキットモデル

このように単列のマス目を想定し、その中にボールを入れていく。そしてそのボールは一定方向にしか動かず、目の前のマス目が空くまでは動けない。そしてボールは同時に次のマス目へと移動する。高速道路を走行する自動車の単純化したモデルだ。このモデルで例えばマス目に入っているボールの数を n 、容量を s (n, s ともに自然数) とおいた場合、最適な容量とはどのような容量となるのであろうか。つまり渋滞を起こさない道路の最適な利用状況だ。 $1 \leq n < 1/2s$ の場合、各粒子の目の前には動ける分の空きが存在している。しかし、動くのに必要最低限な空間以上の余剰を持っており最適ではない。では、 $1/2s < n \leq s$ の場合はどうなるのか。これは先ほどの図4の右側を見ていただければわかるように次のマス目に動けないボールというのが出てくる。臨界状態と呼ばれ、渋滞が発生する瞬間である。このような渋滞が発生させる要因となる集団を渋滞クラスターと呼ぶ。以上のことにより高速道路の最適な利用を達成するためにはサーキット容量を常に $c=1/2$ に保つ必要があるということがわかった。もう少し踏み込んで高速道路に特化した条件を付け加えると、

²⁷ 西成 活裕(2006)『渋滞学』(新潮社)

車間が 40m 以下になると渋滞クラスタが発生する。つまり車両全長+40m がサーキットのマス目ひとつの容量だと考えれば良いということになる。このような条件の下高速道路のキャパシティの半分を保つようにすれば理論上、渋滞は発生しないということになる。

第四章 問題意識

首都高速道路株式会社側もこの渋滞が頻発し、環境負荷を与えるという状況を指をくわえて見ているわけではない。まずは先程も述べた通り新規路線の開通による交通状況の改善を行っている。これによって一定の効果は上がっている。たとえば直近の山手トンネル開通によって慢性的な交通量過多であった都心環状線の交通量が 5%減少した。²⁸また、細かいものでは坂(サグ部)での速度低下防止のエスコートライト、合流付近での案内看板なども挙げられる。また、首都高速道路の老朽化による更新工事などは交通量の少ない深夜に行われたり、事故や故障車発生からの原状回復への時間短縮化などが行われている。しかしながらこういった高速道路のハードの面のものは先の章までに挙げたデータを見ていただければ根本的な解決策とはなっていないのが現状だ。また、中央環状線の完成によりこれ以上の新規路線開通による大幅な渋滞減少は望めない状況であるとも言える。ソフト面では例えば深夜割引の導入や各種迂回割引などを行っている。主に ETC のシステムを利用した割引制度だ。こちらの解決策も一定の効果あげているものの渋滞の解消という結果には至っていない。よって現状の首都高速道路側の対策では不十分であると言えるだろう。そこで問題意識として「渋滞問題の根本的解決」ということを掲げる。そして渋滞問題の解決により①環境負荷の軽減②経済損失の回避といったことを達成したいと考える。

首都高速道路のハードの面からの解決は非常に難しく、現実的ではないためソフトの面か

²⁸ 首都高速道路株式会社 平成 27 年 04 月 24 日プレスリリース

らの解決を図っていきたいと考える。

第五章 政策提言

政策提言であるが先の章で述べた通り、首都高速道路のソフトの面からの解決策を政策として提案していこうと考える。

まず他国の解決方法の状況として、諸外国の一般道路・高速道路の渋滞解決策を見ていきたい。²⁹ドイツの高速道路・アウトバーンであるが混雑対策として車線増加工事が行われている。また、工事の際には路肩の使用などで渋滞の緩和などを行っている。いわゆるハードの解決策だ。また、オーストラリア・シドニーの都心へ続く一般道路では「リバーシブルレーン」という方法が取られている。これは都内一般道でも見かけることがあるが時間帯によって上下線の車線を融通しあうといった方法だ。こちらもハードの面からの解決策になる。一方ソフトの面からの解決策を見てみたい。フランスの高速道路では時間帯ごとに料金を変動させる方法を取っている。通勤・退勤時間帯に通行料金を上げるといったお馴染みの方法だ。アメリカのカリフォルニア州オレンジ郡でも同様に曜日・時間帯によって料金を変動させるといった対策が行われている。これはどちらかというと料金を上げることによって交通流入量を抑制するというよりは交通の少ない時間帯を安くし、分散させるといった手法のようである。(下図参照³⁰)これはアメリカの道路財源が道路利用料金ではなく燃料税などの税金でまかなわれているためであると考えられる。

²⁹ 国土交通省 諸外国における道路政策の状況

³⁰ 国土交通省 諸外国における道路政策の状況

料金表(2014年7月～)

	Sun	M	Tu	W	Th	F	Sat
Midnight	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45
1:00 am	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45
2:00 am	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45
3:00 am	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45
4:00 am	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45
5:00 am	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45
6:00 am	\$1.45	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$1.45
7:00 am	\$1.45	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$1.45
8:00 am	\$1.80	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25
9:00 am	\$1.80	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25
10:00 am	\$2.85	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.85
11:00 am	\$2.85	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.85
Noon	\$3.35	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$3.45	\$3.35
1:00 pm	\$3.35	\$3.20	\$3.20	\$3.20	\$3.45	\$5.40	\$3.35
2:00 pm	\$3.35	\$4.55	\$4.55	\$4.55	\$4.70	\$3.10	\$3.35
3:00 pm	\$2.85	\$4.90	\$3.70	\$3.95	\$4.60	\$9.85	\$3.35
4:00 pm	\$2.85	\$4.70	\$5.95	\$7.20	\$9.50	\$9.65	\$3.35
5:00 pm	\$2.85	\$4.85	\$5.40	\$6.70	\$8.80	\$6.20	\$3.35
6:00 pm	\$2.85	\$4.90	\$3.60	\$3.60	\$4.40	\$5.80	\$2.85
7:00 pm	\$2.85	\$3.45	\$3.45	\$3.45	\$5.00	\$5.45	\$2.25
8:00 pm	\$2.85	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$3.20	\$5.00	\$2.25
9:00 pm	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$2.25	\$3.20	\$2.25
10:00 pm	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$2.25	\$1.45
11:00 pm	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45	\$1.45

 : 料金が低い時間帯
 : 料金が低い時間帯

図5 料金変動表

料金が低い時間帯の方が圧倒的に多いことがわかる

また、シンガポールや香港ではナンバープレートによるロードプライシングといった方法が取られている。また、特徴的なものではカリフォルニア州ロサンゼルスにて行われているリアルタイムで変動する料金システムだ。当該道路では通行料が無料の一般レーンと「ホットレーン」と呼ばれる有料道が併走している。そこで交通量を5分おきに測定し、通行する車両の速度が時速75km以上になるように料金を変化させ電光掲示板で表示し、ホットレーンへ使用するインセンティブを生まれさせ交通を制御している。徴収方法は車載器を搭

載しての徴収なのでイメージとしては日本の ETC と同じであろう。また、フランスでは 6 分毎に制限速度を変化させる可変速度規制という方法が取られている。速度表示は 10km ごとの電光掲示板で行われている。

以上が諸外国の対策である。首都高速道路の現状とすりあわせてみると道路拡張などは第一章で説明した理由によりやはり難しい解決策である。先ほど挙げたドイツなどは都市間高速道路であり、平地かつ広大な平地があるためこのような対策が可能であると考えられる。また、ナンバープレートによるロードプライシングであるがやはりこちらも現状の首都高速道路では難しいと考える。理由としてはナンバープレートを識別する機器の導入などの金銭的・時間的イニシャルコストがかかってしまうという点だ。料金変動のシステムであるが、現在の首都高速道路に採用するとすればやはりこちらになるだろう。しかし、アメリカの例のように併走する一般道というモノが無い場合一度高速道路に乗ってしまった場合の一般道への切り替えの誘導というのは難しいであろう。

そこで私は「ETC 利用料金の時間帯変化による交通流入の抑制」という政策を提案したいと考える。どういうものかという ETC カードの個別の番号を利用した料金変動システムだ。例えば「カード番号の最後が n 番の利用者は m 時～ o 時までは通常より安く、それ以外の混雑時間帯では高く料金変動する」というものだ。この対策によって首都高速道路のサーキット容量の半分に交通流入量を抑え、最適な利用を達成し交通渋滞の解消を行う。この方法であればナンバープレートによるロードプライシングのような機器等の導入コストはほとんどかからない上に料金設定によっては過剰な交通流入を抑えることができる。また、現在首都高速道路の ETC カードの利用率は 90% を越えている。³¹ このことから、ETC を利用した料金徴収システムを利用するのが適切だと考えた。

³¹ 国土交通省 ETC 利用状況の推移

それでは具体的な試算をしていきたいと思う。まず首都高速道路のサーキット容量、車がどれだけ入ることができるのかという容量について試算を行いたい。首都高速道路は総路線長が 301.3km あり、合流・分岐・出口等を除きほぼ全線にわたって二車線である。よって車両が通行できる道路の距離を 301.3km の倍、602.6km と置く。また、後の車両全長との計算ではメートルで計算を行うのでメートル換算をしておくとも 602600m となる。また、普通車・大型車の全長の条件を決定していきたい。まず普通車であるがトヨタ・プリウスを参考値として 4.5m という値を採用する。³²また、大型車は首都高速道路の車両区分に則って決定したい。いわゆる中型トラックというものも首都高速道路では大型として扱われる。よって、車両型式上の中型車と大型車の中間値で計算する。中型車はいすゞ・フォワード（シュートキャブ）で 8.2m、大型車はいすゞ・ギガ（ショートキャブ）で 11.8m とした。よって今回計算で使用する大型車の車両全長は 10m としたい。以上のことに加え通行車両の構成比率を先の章で使用した 44:5、普通車の台数を x 、大型車の台数を y 、と置いて計算すると、

$$44:5=x:y$$

$$4.5x+10y=602600$$

という二本の式を特という計算になる。これを計算すると $x=534,564$, $y=60,746$ となり普通車は約 5.3 万台、大型車は約 0.6 万台が首都高速道路の理論的な容量になる。もちろんこの値は首都高速道路の端から端まで車で埋め尽くされた場合の値である。では、理想的な使用状況ではどのような台数になるのか見ていきたい。先ほどの条件に加え渋滞クラスタが発生しない車間 40m という値を普通車・大型車の車両全長に加えてサーキット容量を計算したい。そうすると先ほどの計算式と同様になり $x=5950$, $y=607$ となる。また首都高速道

³² トヨタ自動車 HP プリウス主要諸元

路には 203 の出口があり³³、車間 40m と平均速度 60km/h で全ての出口から一台ずつ同時に
出て行くと仮定すると 2.4 秒ごとに 203 台の車両が首都高速道路から同時に出ていくこと
となる。このことからサーキット容量半分の容量になった時点で流入抑制を行い、車両の
平均利用時間 n 分後に 2.4 秒置きに流入を再開させれば良いということになる。また、2.4
秒起きの流入制御は ETC 通過時のバーの開く速度で制御する。平均利用時間であるが、残
念ながらデータが出てこなかったために n と置くことにする。よって、普通車 5950 台、大
型車 607 台に対して特定時刻から n 分間の間に首都高速道路に乗れば追加料金の徴収を行
わず、逆にそれ以外の時間(渋滞の頻発する 6:00~20:00 の間)に首都高速道路に入った場
合は月家料金の徴収を行うといったようにする。それ以外の車両に対しては n 分間の間に
首都高速道路を利用した場合は追加料金の徴収を行う。また、特定時刻は渋滞が頻発し始
める 6:00 からとする。また、告知方法は事前に首都高速道路の HP で掲載するといった方
法を取る。また、追加徴収の金額であるが、先の章で利用した時間価値原単位に平均渋滞
時間 m を乗じたものとする。約 1 時間と仮定すると普通車は 2747 円、大型車は 3851 円の
追加料金となる。以上の設定を行えば首都高速道路の最適な利用が達成され、渋滞の解消
を行うことができると考える。

第六章 まとめ

- ・首都高速道路では慢性的な渋滞が発生している
- ・首都高速道路は都市内高速道路であり、歴史的な背景もありその構造が非常に複雑かつ
改築などのハードでの渋滞解決は非常に難しい。
- ・また、それらによって環境負荷、経済損失が起こっている。具体的には渋滞による二酸

³³ 首都高速道路株式会社 HP

化炭素の排出が年間で 1043.9t、経済損失が 1248 億円に上っている。

- ・渋滞は道路のサーキット容量の半分以上に車両が流入した場合に起こるので、道路の容量半分に流入量を以下に抑えるかがポイントとなる。

- ・諸外国の解決策として、ハードでの解決が多く見られる。ソフトでの解決にしても初期導入コストがかかる。首都高速道路でこれら解決策を行うことは現実的であるとは言えない。

- ・そこで「ETC 利用料金の時間帯変化による交通流入の抑制」という方法で初期流入を制御し、首都高速道路の最適な利用を達成する。

- ・条件としては首都高速道路のサーキット容量を普通車 5950 台、大型車 607 台とし、流入抑制のために追加料金の徴収として特定時間から n 分の間に初期流入車両以外に対して普通車は 2747 円、大型車は 3851 円の追加徴収を行う。

あとがき

私がこの大沼あゆみ研究会に入ろうと思ったきっかけは今住んでいる環境(自然)を壊し、経済発展を優先すべきなのかその逆を行うべきなのかどっちなのかといったことが気になったからです。私の住んでいる町はいわゆる田舎という場所で緑が非常に多く残っている。そんな緑に囲まれているうちにそういった疑問が思い浮かんだわけである。いわゆる「気になったこと」というやつであったからです。今回卒業論文を行うになたって自分の気になったことをやりたい、もう少し言ってしまえば好きなことをやりたいと考え私の大好きな場所のうちのひとつ首都高速道路を取り上げました。(本当は代替エネルギーと安全保障のトレードオフというものもやってみたかったのですが話が大きくなりすぎそうなのでやめました。) その結果とても面白いことが分かり、また、とても苦勞しました。首都高速道路はただの高速道路ではないと私は考えています。東京のシンボルの一つであると考えています。ビルの間を縫って走る高速道路というのは世界的に見ても非常に珍しいです。一度、夜のパーキングエリアで夜の首都高を見るために日本に来たというオーストラリアの方にであったこともあります。また、昼は交通の要ですが、夜になれば車が好きな人が集まる社交場になったりもします。首都高速道路には本当に様々な面が有り、このような面白い存在を持続可能なかたちで存在させていくことができれば良いなと思っています。全ての首都高ランナーが末永く安全に走ることのできる環境を作っていけたら良いな、と一人の首都高ランナーとして切に願っています。

また、最後になりますが二年間優しくも厳しく指導していただいた大沼先生には心から感謝しています。また、三年生のときに指導していただいた澤田さん、竹村さん、四年生の時に指導していただいた小村さん、また、二年間ともに苦勞や楽しさを分かち合ったゼミの仲間にも感謝をしたいです。ありがとうございました。

参考文献

1. 西成 活裕(2006)『渋滞学』(新潮社)
2. 『都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推定モデル』
2002年 No. 695 土木学会論文集 P 125-136 著者 大口 敬・片倉 正彦・谷口 正明
- 3 『都市高速道路における新たなリアルタイム流入制御手法に関する研究
—遺伝的アルゴリズムの適用—』
1996年 No. 13 土木学会論文集 P 915-922 著者 森地 茂, 清水 哲夫
- 4 『首都高速泥の計画と設計思想』
1985年 No. 2 土木計画学研究・論文集 p37-p44 著者 篠原 集
5. 首都高速道路開通 50 周年を迎えて
<https://dl.dropboxusercontent.com/u/46981462/GraduationPapers/11th/ohashi.pdf>
6. 首都高速道路の更新計画(概要)について
http://www.shutoko.co.jp/~media/pdf/corporate/company/press/h25/12/25_gairyaku.pdf
7. 別紙 1

<http://www.shutoko.co.jp/~media/pdf/corporate/company/press/h26/01/150120.pdf>

8. 公益財団法人 高速道路調査会 HP

<http://www.express-highway.or.jp/jigyo/info/watch/>

9. 諸外国の環状道路の整備状況

http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hw_arikata/chu_matome2/02.pdf#search='%E6%B5%B7%E5%A4%96+%E9%83%BD%E5%B8%82%E9%AB%98%E9%80%9F%E9%81%93%E8%B7%AF'

10. ETC システムの現状と展望

<http://homepage2.nifty.com/tollroad/etc.html>

11. 首都高速道路の交通量の変化

<http://www.shutoko.co.jp/~media/5F3AD5165142454A8721F6CAB4DDD261.ashx/>

12. アイドリングストップ Q&A

https://www.env.go.jp/earth/cop3/dekiru/ta_03-2.html

13. 一時間価値原単位および走行経費原単位（平成 20 年価格）の算出方法一

<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hyouka-syuhou/4pdf/s1.pdf#search='%E6%99%82%E9%96%93%E4%BE%A1%E5%80%A4%E5%8E%9F%E5%8D%98%E4%BD%8D'>

14. ETC 使用状況の推移

<http://www.mlit.go.jp/road/yuryo/riyou.pdf#search='%E9%A6%96%E9%83%BD%E9%AB%98+ETC+%E4%BD%BF%E7%94%A8%E7%8E%87'>

15. 首都高速道路株式会社 HP

<http://www.shutoko.co.jp/>