新しい交差点の形、ラウンドアバウト
～導入後も効率的な交通を目指して～

大沼あゆみ研究会　交通班

戸所　健一

魚切　健輝

大橋　一樹

福井　貴之

薦田　拓也

目次

1 章　はじめに
2 章　ラウンドアバウトについて
2-1　ラウンドアバウトの概要
2-2　ラウンドアバウトの歴史
2-3　日本におけるラウンドアバウト
3 章　海外におけるラウンドアバウト
3-1　海外での事例
3-2　発達した理由
3-3　日本で発達させるには
4 章　モデル分析と政策提言
4-1　モデル設定
4-2　経済損失の減少分
4-2-1　ケース１（方向制限なし）の場合（政策を行わない場合と同様）
4-2-2　ケース２(右折禁止)の場合
4-2-3　ケース３(右折、直進禁止)の場合
4-2-4　全体の経済損失の減少分
4-3　信号交差点における排気量
4-4　ラウンドアバウトにおける排気量
4-4-1　ケース１の場合
4-4-2　ケース２(右折禁止)の場合
4-4-3　ケース３(右折、直進禁止)の場合
4-5　排気量の差
4-6　経済厚生の差
4-7　経済厚生の差のグラフ
4-8　不効用ｄの変化による政策の変化
５章　結論

1 章　はじめに

信号のない円形交差点（ラウンドアバウト）―そう聞くと誰もが首を傾げるだろう。それもそのはず、我が国においては交差点と言えば、信号付きの十字交差点が一般的なものであると考えられている。しかしその理由は、我々が単に「他の交差点」を見たことがないからではないのだろうか。つまり、交差点設計の段階において、交差点として「より良い選択肢」があることに気付いていないだけなのではないか。

2013 年、長野県飯田市の東和町交差点において、既設の信号機を外し、ラウンドアバウトを導入するという全国初の試みがなされた[1]。従来の十字交差点が汎用性に富むものであるが、（サイズや交通量など様々な条件を必要とするものの）ラウンドアバウトはそれに比べ多くのメリットを有する。景観保護を目的として 19 世紀後半からヨーロッパで普及が始まったのがきっかけだが、そのメリット（停止時間短縮による環境負荷低減や、安全性の向上等）から、欧米・アジア各国で注目を浴びている。また欧米では一般的な交差点として普及している。そういった意味では、我が国は交通という観点から見れば、後進国なのではないか。

飯田市に加え、更に同県の須坂市でもラウンドアバウトの設計が計画されている。また北海道の苫小牧でも実験が行われ、その導入可能性が検証されるなど、我が国でも注目を浴び始めた[23]。この論文では、このような社会的文脈を背景に、ラウンドアバウトを導入する場合について、経済面と環境面から信号交差点と比較しつつ、ラウンドアバウトの有効性や、ラウンドアバウトの可能性を広げうる政策を提示し、モデル分析を用いてより具体性のある考察と分析を進めてゆく。

---

[1] 南信州新聞（2013 年 2 月 6 日）より

[2]須坂市オフィシャル web サイト

[2]（http://www.city.suzaka.nagano.jp/seikatsu/koutsu/roundabout/index.php）より

[3] 独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム「ラウンドアバウトの基本性能確認試験」

2 章　ラウンドアバウトについて

2-1 ラウンドアバウトの概要

日本の交差点の多くに用いられている交通整備システムは点灯式信号機であるが、これは交差点に進入する車両の総数が少ない場合に、スムーズな交通を妨げ停車させてしまうため、非常に非効率的であると言える。これに対して考案された交通整備システムがラウンドアバウトである。ラウンドアバウトは円形の交差点であり、交差点内の車両の台数が少ない場合は一時停止安全確認の後に、徐行運転で交差点内に進入することが可能である。

基本的なラウンドアバウトは、円周状の車道(以降は環道と記す)と中心に位置する中央島からなる。ラウンドアバウト内に進入した車両は、中央島には進入できず、環道を周回し行きたい方向に出ていく仕組みとなっている。下図 1-1 が基本的なラウンドアバウトの一例である。

図. 1-1　基本的なラウンドアバウト[4]

ここで、ラウンドアバウトを信号交差点と比較した場合の、メリット・デメリットについて考察しておきたい。メリットとしては大きく 4 点

[4] http://www.news-us.jp/article/319730232.html より引用

1. 待ち時間の短縮（CO2 排出の減少）
2. 事故発生率の低下
3. 電力が不必要
4. 景観の保護

を挙げることができる。

それぞれを深く掘り下げていくと、まず 1 の待ち時間の短縮であるが、日本の渋滞損失時間は約 38.1 億人時間(億人時間とは、1 年間に 1 億人が渋滞で損失を被る際に用いられる単位)であり、非常に大きいものとなっている[5]。ラウンドアバウトが機能している間は、渋滞が発生せずスムーズな交通が可能となるため、この渋滞損失時間の減少が見込める。加えて、ラウンドアバウトによるスムーズな交通によって自動車自体の燃費を向上させることが可である。信号機による不要な停車を避けられるからである。さらにこの不要な停車の回避により、環境に優しい交通が達成されるとともに、CO2 排出も抑えることができる。例を挙げると、千葉県幕張市では、自動車の交差点待ちの際に出る排気ガスによって街路樹の立ち枯れが深刻な問題となっており、ラウンドアバウトはこれを解決する可能性を秘めている。

次に 2 についてそれぞれの交差点における車両の交錯点の数を比較してみる。

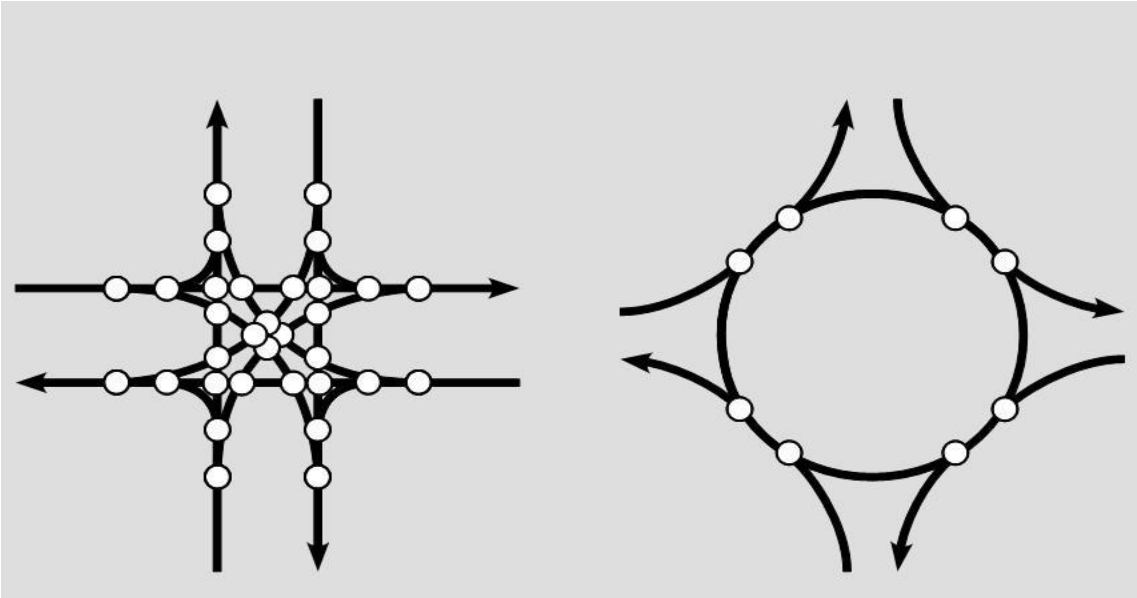


図. 1-2　信号機交差点とラウンドアバウトにおける、それぞれの交錯点の比較[6]

[5] 国土交通省データより引用　www.mlit.go.jp/common/000043136.pdf
[6] FORUM８　http://www.forum8.co.jp/topic/tyotto85.htm　より引用

上図でわかるように、4 方向からの信号機交差点では交錯点が 32 個ある。これに対してラウンドアバウトの交錯点は 8 個と、非常に少ない。交錯点の減少は、必然的に事故発生数の減少に繋がるのである。

続いて、3 の「電力が不必要である」という点は実は大きなメリットであることを挙げておきたい。2011 年に発生した東日本大震災は記憶に新しいと思われるが、この際被災地のインフラは崩壊し、深刻な電力不足に陥った。加えて、インフラは確立したものであったとしても液状化等により交通整備自体が機能しなくなるケースも存在した。ラウンドアバウトは地上に円を描き、環道を車両が周回するものであるため、このような災下においても土地が完全に分断されない限り、交通整備を円滑に行うことができるだろう。

最後に 4 の景観の保護であるが、ラウンドアバウトは後述するその特質から、導入地が都市部ではない場所のことが多い。郊外では豊かな自然とそれに伴う景観を守るべきであり、信号機の設置による景観の悪化を防ぐことができる。

次にデメリットについて考える。デメリットは大きく 2 点

1. 進入台数が多いとき機能しない
2. 信号機交差点より広い土地が必要

この 2 点が挙げられる。

まず 1 点目として、信号機交差点は全方向からの車両の進入を信号機により交互にするため一定の時間に一定数の車が交差点を通過することができる。しかしラウンドアバウトにおいては、全方向から常に車両が進入し、且つ、環道を周回しなければならないため、進入する台数が極端に多いとき、交通整備の機能をきたせなくなってしまうのである。

2 点目として、信号機交差点に比べラウンドアバウトは十分に広い土地が必要である。数台の車両が進入してすぐに一杯になってしまう程の円周では、交通整備のシステムとして機能しないため、十分な広さが必要なのである。

2-2 ラウンドアバウトの歴史

ラウンドアバウトの基礎となる円形交差点は、19 世紀後半のヨーロッパにおいて、歴史的建造物や自然環境等の景観の保護の為、考案・導入され始めた。しかし、交通規則の変更がなされないまま、従来の交差点と同様のルールに則って車両が円形交差点に進入していたため、事故や車両台数の極端な増加による円形交差点の不機能が頻発していた。そのため、評価が低く特にアメリカではほとんど導入されない状態であった。

しかし 1960 年代に入り、イギリスの英国交通研究所が円形交差点の導入における諸問題について解決策を模索した。結果として、円形交差点内の車両を優先するという新たな規則を生み出し諸問題の解決に至り、円形交差点の導入が盛んになった。これが現代のラウンドアバウトの始まりであり、その後の 1970 年代から 1980 年代にかけて、ラウンドアバウトは広く普及していくのであった。

2-3 日本におけるラウンドアバウト

先に述べたようにラウンドアバウトを導入するには、十分な土地と適切な交通量が必要であるため、日本においては導入できる場所が相当限られてしまう。また、日本における従来の道路交通法では、ラウンドアバウトは想定外であったこともあり、導入されなかった。しかし、従来の交差点における事故が多いこと、信号機の設置コストと比較しラウンドアバウトの方が安いことから、2013 年 2 月 5 日から、長野県飯田市においてラウンドアバウトの運用が始まった。[7]これに伴い、道路交通法改正が行われ、ラウンドアバウトは日本において「環状交差点」という位置付けとなった。東日本大震災の際に、信号機が機能しなくなったことから、今後大地震が予測されている東海地方などから関心を集めている。

[7] 2013 年 2 月 5 日　信濃毎日新聞より引用

3 章 海外におけるラウンドアバウト

本章では前章において説明したラウンドアバウトが海外ではどのように普及、機能しているかを述べていく。日本では数える程しかないラウンドアバウトも図 3.1 の様に海外のいくつかの国々では相当普及していて、人々が日常的に利用しているのはなぜだろう。

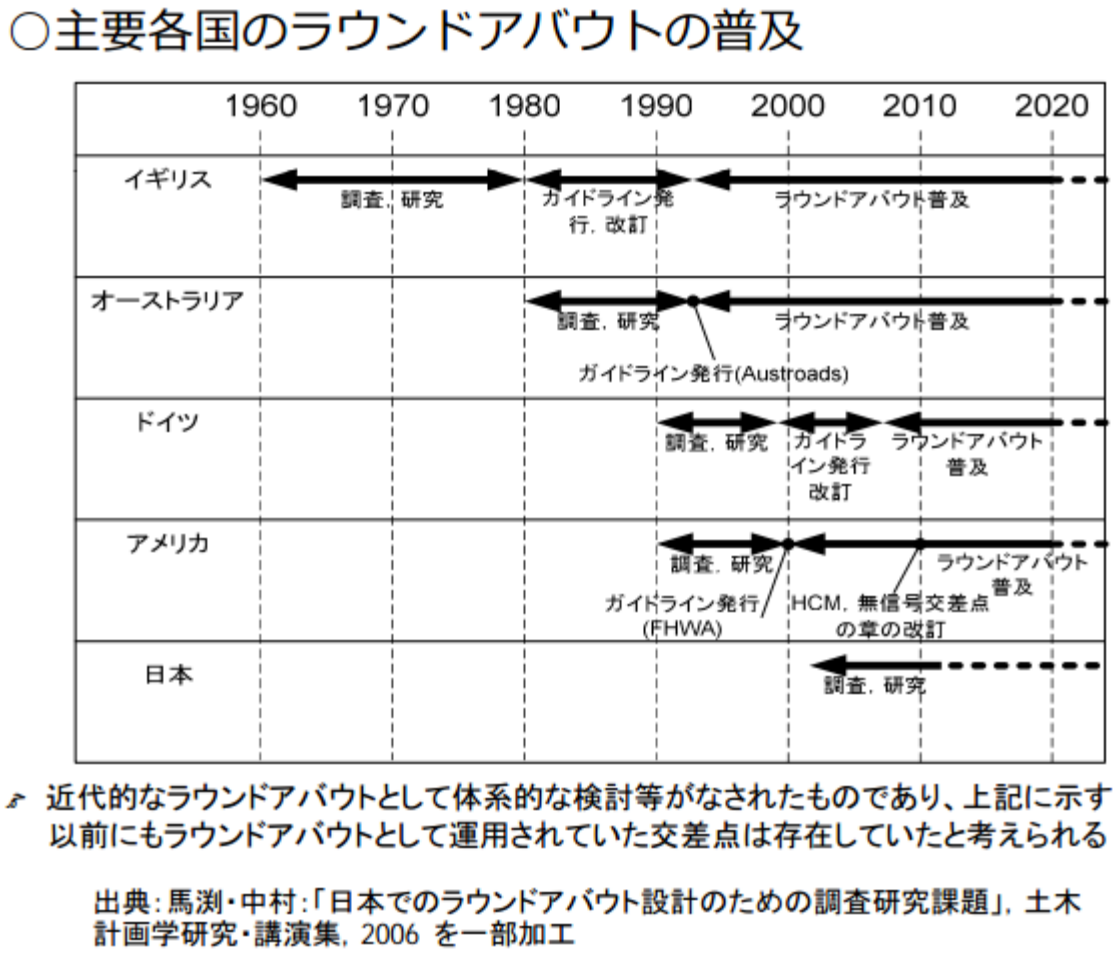


図 3.1　各国のラウンドアバウト普及率[8]

3-1　海外での事例

日本では信号を作った方が円滑で機能的な交通が実現できると信じられている。誰もがそれを疑う事なく信じているが、海外ではこの常識は通じない。日本では東京オリンピック以前は自動車の全体数が少なく、街に信号が必要なくどこか牧歌的な風景がただよっていた。しかしオリンピック以降急速に自動車

[8] 国土交通省　「ラウンドアバウトの現状」より

は普及していき、信号もそれに伴いデタラメなスピードで建設されていった[9]。しかしながらこの乱立により多くの交通問題が発生したのは言うまでもない。これは日本の交通制度が“規制中心”主義だからである。標識や信号を用いて交通を制御しようという姿勢によって信号建設は促進された。しかしながら海外では信号がない合理的な交差点、ラウンドアバウトを導入する動きが活発に見られる。

ここからはイギリスとアメリカ両国における各国のラウンドアバウトを紹介していく。イギリスはラウンドアバウトの世界的基準を作り出し世界へ発信したラウンドアバウト大国である。またラウンドアバウトの中にさらにラウンドアバウトを設けるマジックラウンド（図 3.2）といった新しい可能性に挑戦しているラウンドアバウト先進国でもある。

図 3.2　マジックラウンドアバウト[10]

しかしながらイギリスにラウンドアバウトが初導入されたのは 1900 年代と早いのだが、当初はあまり急速に発達しなかった。なぜなら当初流入する自動車が最優先で、環道内の車がスピードを落としづらかったため、流入車と環道内の車間で衝突事故が相次いだためである。しかし 1960 年代から設計に対する調査が幾度となく行われ 1966 年には優先順位の変更が行われた。[11]この変更は

---

[9] 林望　『ホルムヘッドの謎』より

[10] The Daily News Express UK より

[11] シャケリマナゲ　「交通特性分析に基づくラウンドアバウト制御の適用性に

環道内を走行する車が全ての周辺流入路に対して絶対的優先権を持つというものである。これにより流入する車は環道内の右から来る車がある場合は一度停車し流入するのを待たなければならない。この変更によりラウンドアバウトの有用性は上がり急速に導入されていった。古くからラウンドアバウトが発達したイギリスでは図 3.3 のような美しいラウンドアバウトも見られる。街の風景として自然に溶け込んでいるのが分かる。このラウンドアバウトはイギリスのベストラウンドアバウトにも選ばれた。

ただ最近信号機付きのラウンドアバウトが建設され始め、ラウンドアバウト本来のメリットを失うのではという声も出てきている。

図 3.3[12]

アメリカは近年ラウンドアバウトの普及が最も盛んな国である。イギリスでは時計回りだが、アメリカでは反時計回りとなっている。これは交通ルールに従っているからであり、この規則はラウンドアバウトを機能させる上で絶対である。イギリスではラウンドアバウトという呼称が一般的だが、アメリカではサークルなどと呼ばれる事が多い。図 3.4 からはイギリスが定めた“環道内の車

関する検討」より

[12] The Daily News Express UK より

両通行優先”の規則に従いアメリカもラウンドアバウトを急速に導入している事が分かる。

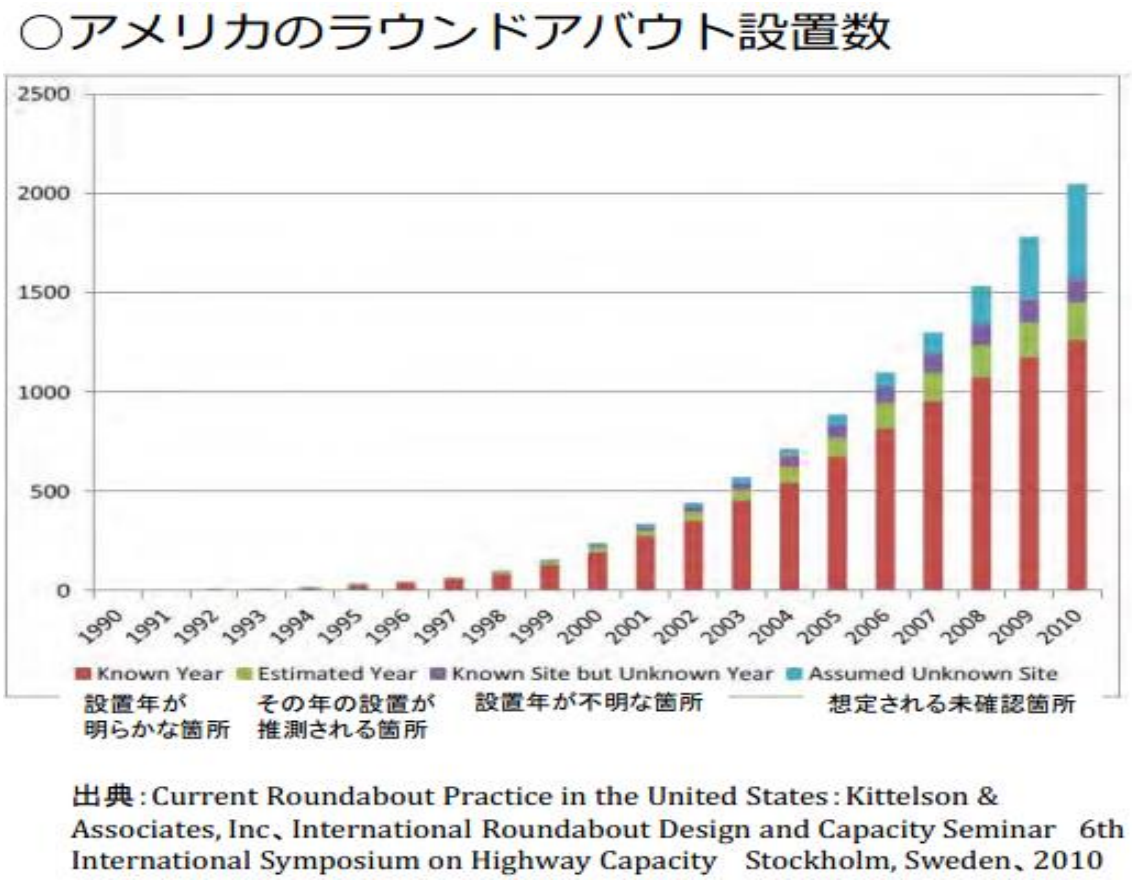


図 3.4 アメリカにおけるラウンドアバウトの設置数の推移

またこの図からは 2000 年から急激な増加の傾向に転じている事が読み取れるがこれは FHWA(Federal Highway Administration [連邦道路研究所])から「Roundabout: An Informational Guide[ラウンドアバウトの統一的ガイドライン]」が発行されたためである。各州が独自のガイドラインを作成しているがこの統一的ガイドラインをベースにしている[13]。しかしながらこの 10 年で急速に導入されたラウンドアバウトに運転手はまだ慣れていない事が問題になる事もある。[14]イギリスに比べ歴史が浅く浸透していないが、徐々に人々の意識にも普及していく事が予見できる。

3-2 海外で普及した理由

海外で普及している例を述べてきたが、なぜ海外ではそこまで普及したのか。

---

[13] 国土交通省国土技術政策総合研究所　道路研究部　道路研究室より

[14] The New York Times より

この理由を考察する事によって日本にラウンドアバウトが導入可能か、そして導入可能ならばどのように導入すれば成功するかという点に言及できる。普及理由は①前提条件と②後天的な理由に大きく分類できる。

2 章で前述したようにラウンドアバウトを導入する適切な場所は 1.比較的大きな建設用地と 2.適切な交通量を持つ所でなければならない。イギリスは日本に比べ国土面積は小さいが、平地面積が大きく建設可能な土地が多い。また国土全般に人口が散らばっているため、交通量が一カ所に偏らず、ラウンドアバウトに適した交差点が多く点在している。もちろんロンドンやグラスゴーなど大都市においては相当の交通量が存在しているが、郊外においてはラウンドアバウトに適した交通量であると推測できる。アメリカはさらに広大な土地があるため、多くのラウンドアバウトに対する潜在的建設可能用地が存在すると考えられる。これら二点は日本において実現が難しい可能性を含んでいる。日本国土は狭く、人口が大都市に集中しているため、狭い建設用地、過多な交通量が見込まれる。

後天的理由として 1.ルール遵守の国民性、2.認知度の高さ、3.事故発生率の低さ、4.歩行者の少なさが挙げられる。1.古きイギリスにおいては辛抱が美徳とされお互いが道を譲り合う精神が存在していたため、ラウンドアバウトにおける譲り合い、そして流入車の待機の受け入れが容易だったと推測される[15]。 実はこの譲り合い精神は交通全般、特にラウンドアバウトにおいては必要不可欠である。この点において昔のイギリスの国民性は理想的だったと言える。しかしながら現代のイギリスではこの譲り合い精神が徐々にうすれていっている。アメリカにおいては譲り合いの精神をあまり見られず、スピード全開でラウンドアバウトに突入してくる車も多く見られる。ただ停車せずに交差点を通過できるという点がアメリカ人に受けている事も事実である。2.ラウンドアバウトはその特性上、走行ルールを知っていなければかなり走行が困難である。そのためラウンドアバウトの認知度はラウンドアバウトの導入を促進させる大きな要因である。イギリスは古くから国をあげてラウンドアバウトを推奨してきた上、徐々にラウンドアバウトが増えていったため、国民の認知度は高い。ラウンドアバウト専門のカレンダーを発刊する機関もあるほどである。[16]アメリカではここ 10 年で急激にラウンドアバウトが建設されたため、人々の間での認知度は高

---

[15] 林望　『ホルムヘッドの謎』より

[16] Round-A-Bouts of Great Britain より

くない。前述したようにラウンドアバウト内での交通ルールを知らない人による事故も多発している。しかしラウンドアバウトを導入したある地域では、時間が経つとともに人々の認知度が高まり事故の発生率も下がってきている。導入前ではラウンドアバウトを支持する運転手が 34%だったのに比べ、導入直後では 57%、一年後では 69%に上がっている。[17]　3.事故発生率は導入後どこの国でも下がっている。また事故の内容についても重傷の比率が下がり、軽傷の割合が増えている。[18]事故発生率の低下はどこの国においてもラウンドアバウトの促進要因になり得る。4.ラウンドアバウトでは対岸に歩いてわたるには通常の信号交差点に比べ時間がかかってしまう。イギリス、アメリカでは公共交通機関が日本ほど発達していなく主な移動手段は自家用車である。そのため歩行者がすくないためラウンドアバウトを利用する歩行者は少ないので運転手、歩行者、互いの不満も発生しづらい。

これら以上の点がイギリス、アメリカに潜在していたため、ラウンドアバウトが普及したと考えられる。

3-3 日本で普及させるには

前述した前提条件 a1.建設用地の確保、a2.適切な交通量、そして後天的な理由 b1.ルール遵守の国民性、b2.認知度の高さ、b3.事故発生率の低さ b4.歩行者の少なさが日本に潜在しているかを検証していく。a1.狭い国土、山間部が多い日本では通常の信号交差点より大きな建設用地を必要とするラウンドアバウトは適していないように見える。しかしながら郊外では比較的道路用地の確保は容易である。また図 3.5 のようなミニラウンドアバウトといった小さな面積でもラウンドアバウトを導入できる手法が開発されている。ミニラウンドアバウトの中央島は物理的にもりあがってなく大型のバスなどが通れるようになっている。これらの工夫を用いれば日本においてもラウンドアバウトは導入可能である。

---

[17] The New York Times「European Import Has Cars Spinning.」より

[18]

図 3.5 ミニラウンドアバウト[19]

a2.日本の都市部ではとてつもない交通量が毎日動いているが、郊外の住宅地ではラウンドアバウト導入を阻むほどの渋滞が発生するほどの交通量は存在していない。b1.日本人の国民性においては東日本大震災の際でも略奪が発生しなかった事からも見られる譲り合い精神が根付いている。b2.日本でのラウンドアバウトの知名度は圧倒的に低い。ほとんどの一般人には知られていない。だが各所で実験的に導入され、新聞で取り上げられるなど、ラウンドアバウトを知る機会は格段に増えてきている。ただこれで十分という事はなくラウンドアバウトを普及させるキャンペーンは必須である 。b4.日本は移動手段として公共交通機関を利用する人の割合が高く歩行者も多い。そのためラウンドアバウトを導入する際は歩行者が少ない地域を選出しなければならない。またミニラウンドアバウトやマジックラウンドアバウトのような歩行者がスムーズに通行できる画期的なラウンドアバウトの開発することも有用である。

以上の考察から、日本にラウンドアバウトを導入する事は不可能ではなく、メリットも大きいと考えられる。

---

[19] SABRE Road Organization より

4 章　モデル分析と政策提言

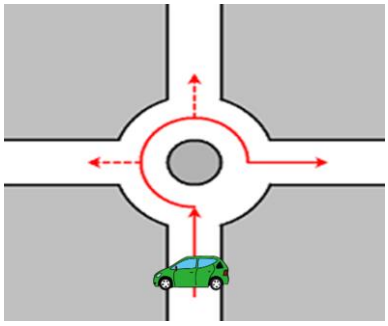
ここまでラウンドアバウトの仕組みや利点、歴史などを言及してきたが、ここからは実際にラウンドアバウトを日本に導入する際のモデルを、政策提言と共に分析し、考察を進めていく。

ラウンドアバウトは一度それが完成してしまうと、半径を変えることが非常に難しい。余計なコストが掛かってしまうからである。半径を変えられないラウンドアバウトを、停止時間の減少による効用だけでなく、環境面やコスト面に配慮しつつ、より効果的に活用するために、私たちはある政策を考えた。それは、ラウンドアバウト内の進入台数が増えた際に、渋滞回避のために進行方向を制限するというものである。

これらを踏まえ今回我々が政策として提言するのは、交通量によって、その交差点の車の方向制限を行うことである。以下、交通量ごとの方向の制限ケースを３つに分けて考えたい。

ｉ）交通量が十分少ない場合

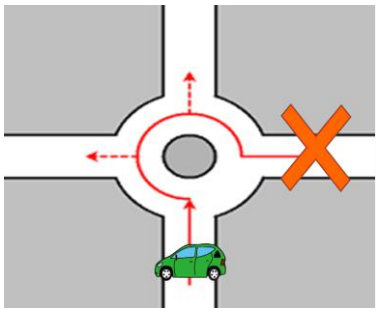
ラウンドアバウト内の、その許容量に対する交通量が十分に少ない場合、方向制限をすることはない。これを、ケース１とする。（下の図１参考）



http://blogs.yahoo.co.jp/busdriver_kata/39392506.html

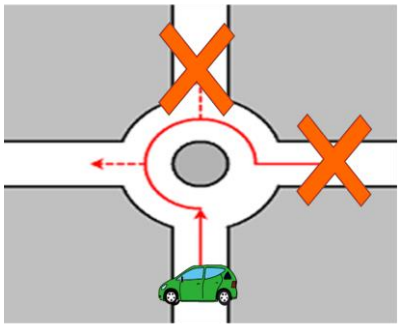
ⅱ）交通量が多い場合

許容量に対する交通量がある程度過剰な場合、右折禁止（270°旋回）を禁止する。これをケース２とする。



ⅲ）交通量が更に多い場合

ⅱの規制を行ってもなお渋滞が解消されない場合、直進（180°旋回）も禁止し、左折のみ可とする。これをケース 3 とする。



4-1 モデル設定

ここからは、上述した政策に有意性があるかどうかを、モデル式をたてながら検証していく。

ラウンドアバウト交差点と信号交差点の経済厚生の差を W として、今後の分析の基本となるモデル式を以下のように設定する。

$$W = U - C + E$$

U：ラウンドアバウトと、信号交差点の経済損失の減少分の差による効用
（ラウンドアバウトにしたことによる経済的な改善）

C：ラウンドアバウトと信号交差点の費用の差。

E：ラウンドアバウトと信号交差点の CO2 排出量の差による効用

ここでは、W は金銭換算価値で表すものとし、また、E は信号交差点の CO2 排気量を E_L、ラウンドアバウト交差点の CO2 排気量を E_R としたときに、「$E=E_L-E_R$」で表すことのできるものとする。

また、ラウンドアバウトは 4 方向に道が出ているものとし、4 方向から同じ台数の車が流入してくるものとする。

4-2 経済損失の減少分

この節では、U（経済損失の減少分）について分析する。

u を 1 台の車が 1 時間あたり n 台流入するラウンドアバウトを通行する際の経済損失の減少分とする。例えば、u=0 のときの n は、経済損失の面から考えて、ラウンドアバウト交差点と信号交差点の効用の差がない場合の交通量と考えられる。

4-2-1 ケース 1 （方向制限なし）の場合（政策を行わない場合と同様）

ケース 1 の場合を考える。n が少ないほど u は大きくなり、n が増加するに従って、u は減少していくことが予想されるため、

$$u_1 = -\alpha n + \beta$$

と表すことができる。ここでは、α はパラメータであり、β は n=0 のときに得ることのできる経済損失の減少分である。

また、これは方向制限を行っていない場合を表しているので、政策を行っていない場合の経済損失の経済損失も上の式で表すことができる。

4-2-2 ケース 2（右折禁止）の場合

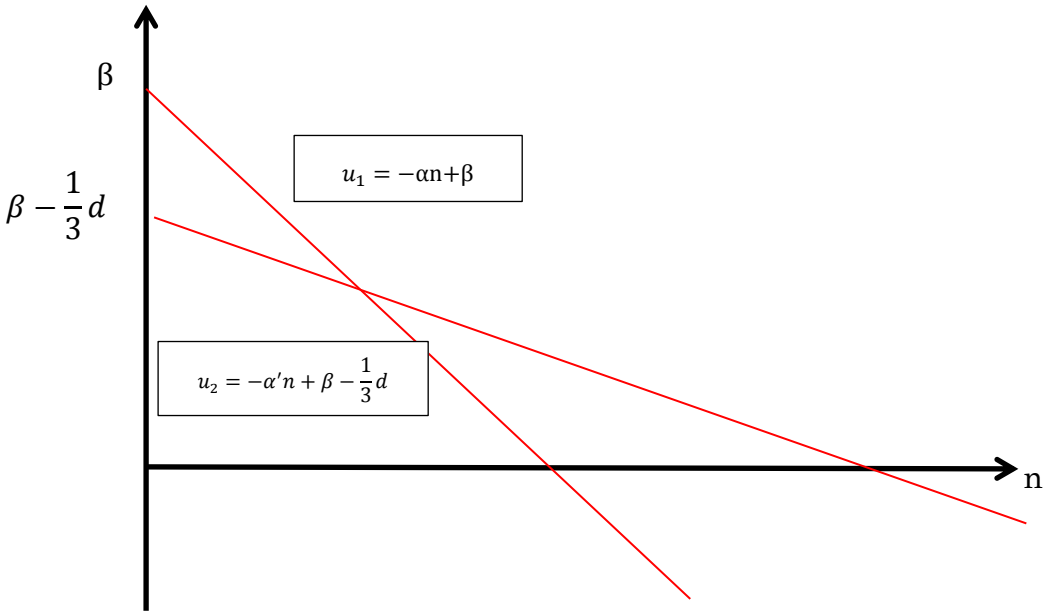
ケース 2 の場合を考える。こちらもケース 1 の場合と同様に、 n が少ないほど u は大きくなり、n が増加するに従って、u は減少していくことが予想されるが、方向制限がかかるため、ラウンドアバウトと信号の効用の差がなくなる交通量はケース 1 の場合よりも大きくなると考えられる。

また、n=0 ときは、待ち時間が 0 であるから、待ち時間の意味で、β の効用が得ることができるが、方向制限が実施されており、$\frac{1}{3}$の確率（左折したい場合）で行きたい方向に 90°行くことができないため、d の不効用を被るものとすると、（d は角度に比例するものとする。）u_2 は、

$$u_2 = -\alpha' n + \beta - \frac{1}{3} d$$

と表せる。ここで、α'は $\alpha > \alpha'$を満たすパラメータとする。

ケース 1 とケース 2 の場合の経済損失の減少分をグラフで表すと、以下のグラフ 4.2 ようになる。



グラフ 4.2　ケース 1 、ケース 2 における 1 台あたりの経済損失の減少分

4-2-3 ケース 3（右折、直進禁止）の場合

右折と直進を禁止するとラウンドアバウトでは左折しか行われない。
従って通行する際の待ち時間は交通量にかかわらず 0 である。

ここでこの場合の一人あたりの効用を考えてみると、すべての車で待ち時間が 0 であるため、待ち時間の意味で、β の効用を得ることができるが、$\frac{1}{3}$の確率(直進したい場合)で、行きたい方向に 90°行くことができないため d の不効用を被り、$\frac{1}{3}$の確率（左折したい場合）で行きたい方向に 180°行くことができないため、2d の不効用を被るので、ケース 3 の場合の一人あたりの効用は、

$$u_3 = \beta - \frac{1}{3}d - \frac{1}{3}2d$$

$$u_3 = \beta - d$$

と表すことができる。

4-2-4 全体の経済損失の減少分

それぞれのケースの場合において、1 時間あたりの交通量が n とすると、交通量をかけることで、全体の経済損失の減少分を導出することができる。よって、ケース 1,2,3 のそれぞれの場合の全体の経済損失の減少分を U_1,U_2,U_3 とすると、

$$U_1 = nu_1 = n(-\alpha n + \beta) = -\alpha n^2 + n\beta$$

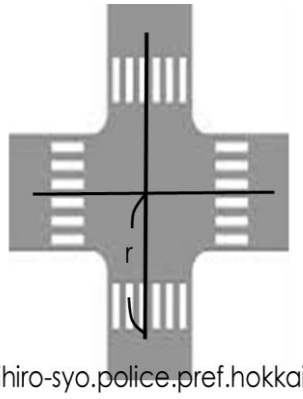
$$U_2 = nu_2 = n\left(-\alpha' n + \beta - \frac{1}{3}d\right) = -\alpha' n^2 + \left(\beta - \frac{1}{3}d\right)n$$

$$U_3 = nu_3 = (\beta - d)n$$

と表すことができる。

4-3 信号交差点における排気量

この節では、交通量が 1 時間あたり n 台の信号交差点において、1 時間にどれほどの CO2 排気量(E_L)があるかについて考える。
交差点進入時、信号の色が青である確率と赤である確率が同じであるとし、
信号交差点における対岸距離を 2r (m)とする。（下図）



www.obihiro-syo.police.pref.hokkaido.lg.jp

車が速度 v で走行するとき、1m 進む際に出す排気量を v の関数として、f(v)とする。($v \neq 0$)
直進、右折、左折、すべての場合において 2r (m)進むので、信号で止まる、止まらないにかかわらず、2rf(v)の排気量を出す。

また、信号機の色にかかわらず、交通量が多いと、初めの青で交差点を抜けられず、複数回赤信号で止まる可能性があるので、そのことを考慮して、交通量が n の交差点に入ると、γn回赤の信号で止まるものとする。
（γはパラメータ）

さらに、赤信号の点灯時間を t 秒とすると、赤信号で止まる秒数の期待値は$\frac{1}{2}t$秒である。また、速度が 0（アイドリング時）のとき、1 秒あたり e の二酸化炭素を排出する場合、初めの赤信号で止まるときは、期待値として、$\frac{1}{2}te$の CO2 を排出することになる。ここで、交差点進入時、信号が赤である確率が$\frac{1}{2}$であるから、1 台の車が、初めの信号停車によって出す排気量の期待値は、$\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}te=\frac{1}{4}te$となる。

以上より、信号交差点に入る際、信号が青である確率と赤である確率が同じである場合、1 台の車が排出する CO2 の期待値(e_L)は

$$e_L = 2\mathrm{rf(v)} + \frac{1}{4}te + te(\gamma n)$$

2r:通行距離
f(v):1 単位距離(m)あたりに出す排気量
t:信号の赤の時間
e:アイドリング時に 1 単位時間(秒)あたりに出す排気量
γ:パラメータ　n:1 時間あたりの交通量

と表すことができるので、交通量が 1 時間あたり n 台のとき、E_Lは、

$$E_L = n \times e_L = n\left\{2rf(v) + \frac{1}{4}te + te(\gamma n)\right\}$$

というように表すことができる。

4-4 ラウンドアバウトにおける排気量

信号交差点のときと同様に、ラウンドアバウトに進入する車の排気量について考えていく。ラウンドアバウトの半径を r とし、ラウンドアバウトを一周する際の距離を$2\pi r$とする。すると、左折、直進、右折する際のそれぞれの距離は、左折は$\frac{1}{2}\pi r$、直進はπr、右折は$\frac{3}{2}\pi r$となる。走行距離に対する排気量は信号交差

点の時と同様に f(v)とする。以上の条件をもとに、左折、直進、右折の場合のそれぞれの排気量について検討していく。左折の場合、排気量は走行距離に距離当たりの排気量をかけて、$\frac{1}{2}\pi rf(v)$となる。そして直進の場合、左折の場合と同様に考え、排気量は$\pi rf(v)$となる。右折の場合も同様に、排気量は$\frac{3}{2}\pi rf(v)$となる。

政策導入前においては、方向制限はなく、すべての方向へ進むことができる。すべての方向に進める場合、左折、直進、右折する確率はそれぞれ同じであるとし、すべて$\frac{1}{3}$とする。以上の確率をふまえ、ラウンドアバウトを走行する車一台当たりの排気量の期待値を導出すると、排気量の期待値は$\frac{1}{3}\cdot\frac{1}{2}\pi rf(v)+\frac{1}{3}\cdot\pi rf(v)+\frac{1}{3}\cdot\frac{3}{2}\pi rf(v)=\pi rf(v)$となる。

さらに、ラウンドアバウトに進入するまでの排気量についても考える。ラウンドアバウトに進入する車 n が多ければ多いほど、新たに進入しようとする車は待たなければならなくなる。信号交差点の時と同様に、停車時の排気量を e とすると、進入するまでの一台当たりの排気量はδenと表すことができる。ここにおける δ はパラメータである。

以上より、ラウンドアバウトに進入する車一台当たりの排気量e_Rは、$e_R=\pi rf(v)+\delta en$となる。さらに n 台当たりの排気量E_Rは、

$E_R=ne_R=\pi rf(v)n+\delta en^2$となる。

さらに、政策導入前と同様に、ラウンドアバウトに進入する車の排気量について考えていく。左折の場合の走行時の排気量は$\frac{1}{2}\pi rf(v)$、直進の場合の走行時の排気量は$\pi rf(v)$、右折の場合の走行時の排気量は$\frac{3}{2}\pi rf(v)$となるのは政策導入前と同様である。ここからはケース１、ケース２、ケース３を分けて排気量について考えていく。

4-4-1 ケース１の場合

ケース１では交通量は多くないため、方向制限はなく、すべての方向へ進むことができる。その場合、排気量に関しては政策導入前と同様になる。つまり、一台当たりの走行時の排気量の期待値は$\frac{1}{3}\cdot\frac{1}{2}\pi\mathrm{rf(v)}+\frac{1}{3}\cdot\pi\mathrm{rf(v)}+\frac{1}{3}\cdot\frac{3}{2}\pi\mathrm{rf(v)}=\pi\mathrm{rf(v)}$となる。

さらに、ラウンドアバウトに進入するまでの一台当たりの排気量についても政策導入前と同様に$\delta\mathrm{en}$となる。

以上より、ケース１におけるラウンドアバウトに進入する車一台当たりの排気量e_{R1}は、$e_{R1}=\pi\mathrm{rf(v)}+\delta\mathrm{en}$となる。さらに、ケース１における n 台当たりの排気量E_{R1}は、$E_{R1}=\mathrm{n}e_{R1}=\pi\mathrm{rf(v)}n+\delta\mathrm{en}^2$となる。

4-4-2 ケース２(右折禁止)の場合

ケース２では、方向制限が右折に適用され、左折、直進のみができる状態である。右折ができない場合、本来右折しようと考え、ラウンドアバウトに進入してきたドライバーは右折ができないため直進すると予測できる。よって、左折、直進する確率はそれぞれ、左折が$\frac{1}{3}$、直進が$\frac{2}{3}$とする。以上の確率をふまえ、ラウンドアバウトを走行する車一台当たりの排気量の期待値を導出する。排気量の期待値は$\frac{1}{3}\cdot\frac{1}{2}\pi\mathrm{rf(v)}+\frac{2}{3}\cdot\pi\mathrm{rf(v)}=\frac{5}{6}\pi\mathrm{rf(v)}$となる。

さらに、ケース１と同様に、ラウンドアバウトに進入するまでの排気量についても考える。ケース１と異なるのは、右折が制限されると右折する車がなくなるため、交通がスムーズになり、ケース１のときよりも同じ n に対する待ち時間が短くなるため、パラメータが変化するという点である。よってケース２におけるパラメータをδ'とすると、進入するまでの一台当たりの排気量は$\delta'\mathrm{en}$と表すことができる。なお、$\delta>\delta'$である。

以上より、ケース２におけるラウンドアバウトに進入する車一台当たりの排気量e_{R2}は、$e_{R2}=\frac{5}{6}\pi\mathrm{rf(v)}+\delta'\mathrm{en}$となる。さらに、ケース２における n 台当たりの排気量E_{R2}は、$E_{R2}=\mathrm{n}e_{R2}=\frac{5}{6}\pi\mathrm{rf(v)}n+\delta'\mathrm{en}^2$となる。

4-4-3 ケース３(右折、直進禁止)の場合

ケース３では、方向制限が右折、直進に対して適用され、左折のみができる状態である。この場合、本来右折または直進しようとしてラウンドアバウトに進入してきた車もすべて左折することになる。よってラウンドアバウトを走行する車一台当たりの排気量の期待値は$\frac{1}{2}\pi\mathrm{rf(v)}$となる。

さらに、ケース３においては、左折のみであるため、４方向から進入する車が同じ場所を走行することがなく、待ち時間が発生しない。よって、ケース１、ケース２の場合とは異なり、待ち時間における排気量はなくなる。

以上より、ケース３におけるラウンドアバウトに進入する車一台当たりの排気量e_{R3}は、$e_{R3}=\frac{1}{2}\pi\mathrm{rf(v)}$となる。さらに、ケース３における n 台当たりの排気量E_{R3}は、$E_{R3}=\mathrm{n}e_{R3}=\frac{1}{2}\pi\mathrm{rf(v)}n$となる。

4-5 排気量の差

ここでは E つまりラウンドアバウトと信号交差点の排気量の差を、数式を用いて整理する。ここまで信号交差点の排気量とラウンドアバウトの排気量について求めてきた。それらを用いて政策導入前に関して整理すると以下のようになる。

$$\mathrm{E}=E_L-E_{R1}=2rf(v)n+\frac{1}{2}temn^2+\frac{1}{4}ten-\pi rf(v)n-eln^2$$

さらに、政策導入後、つまり交通量によって方向制限を行う場合のケースごとの排気量の差を整理すると以下のようになる。

ケース１：$E_L-E_{R1}=2rf(v)n+te\gamma n^2+\frac{1}{4}ten-\pi rf(v)n-\delta en^2$

ケース２：$E_L-E_{R2}=2rf(v)n+te\gamma n^2+\frac{1}{4}ten-\frac{5}{6}\pi rf(v)n-\delta' en^2$

ケース３：$E_L-E_{R3}=2rf(v)n+te\gamma n^2+\frac{1}{4}ten-\frac{1}{2}\pi rf(v)n$

4-6 経済厚生の差

上記の経済損失の減少分の差、排気量の差、コストの差をもとに、信号交差点とラウンドアバウトの経済厚生の差を考える。その際に、排気量の差がどれほど効用となるかを示すために、ω というパラメータをかける。なお、経済損失の減少分と、排気量の差による効用は割引率 θ を用いて現在価値として表すこととする。

$$\mathrm{W} = \frac{1}{\theta}(U + \omega E) - C$$

$$= \frac{1}{\theta}\left(-\alpha n^2 + \beta n + \omega\left(2rf(v)n + te\gamma n^2 + \frac{1}{4}ten - \pi rf(v)n - \delta en^2\right)\right) - C$$

さらに、政策導入前と同様に、上記の経済損失の減少分、排気量の差、コストの差をもとに、ケースごとに信号交差点とラウンドアバウトの経済厚生の差を考える。

ケースごとの経済厚生の差は以下のようになる。

ケース１：$\mathrm{W} = \frac{1}{\theta}(U_1 + \omega E_1) - C$

$$= \frac{1}{\theta}\left(-\alpha n^2 + \beta n + \omega\left(2rf(v)n + te\gamma n^2 + \frac{1}{4}ten - \pi rf(v)n - \delta en^2\right)\right) - C$$

ケース２：$\mathrm{W} = \frac{1}{\theta}(U_2 + \omega E_2) - C$

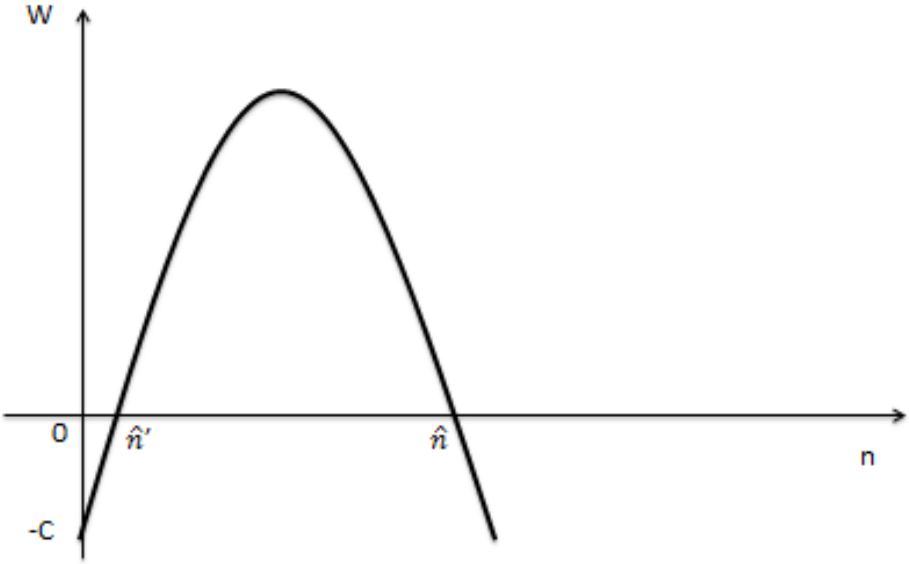
$$= \frac{1}{\theta}\left(-\alpha' n^2 + (\beta - \frac{1}{3}d)n + \omega\left(2rf(v)n + te\gamma n^2 + \frac{1}{4}ten - \frac{5}{6}\pi rf(v)n - \delta' en^2\right)\right) - C$$

ケース３：$\mathrm{W} = \frac{1}{\theta}(U_3 + \omega E_3) - C$

$$= \frac{1}{\theta}\left((\beta - d)n + \omega\left(2rf(v)n + te\gamma n^2 + \frac{1}{4}ten - \frac{1}{2}\pi rf(v)n\right)\right) - C$$

4-7 経済厚生の差のグラフ

上記の経済厚生の差の式をもとに、縦軸に経済厚生の差 W、横軸に交通量 n をとり、グラフを描き、分析を進めていく。政策導入前のグラフは以下のグラフ 4.7.1 のようになる。



グラフ 4.7.1 経済厚生の差のグラフ

このグラフにおける$\hat{n}, \hat{n}'$は、経済厚生の差が 0 になる交通量を示している。なお、$\hat{n} > \hat{n}'$とする。

$\hat{n}, \hat{n}'$を求めると以下のようになる。

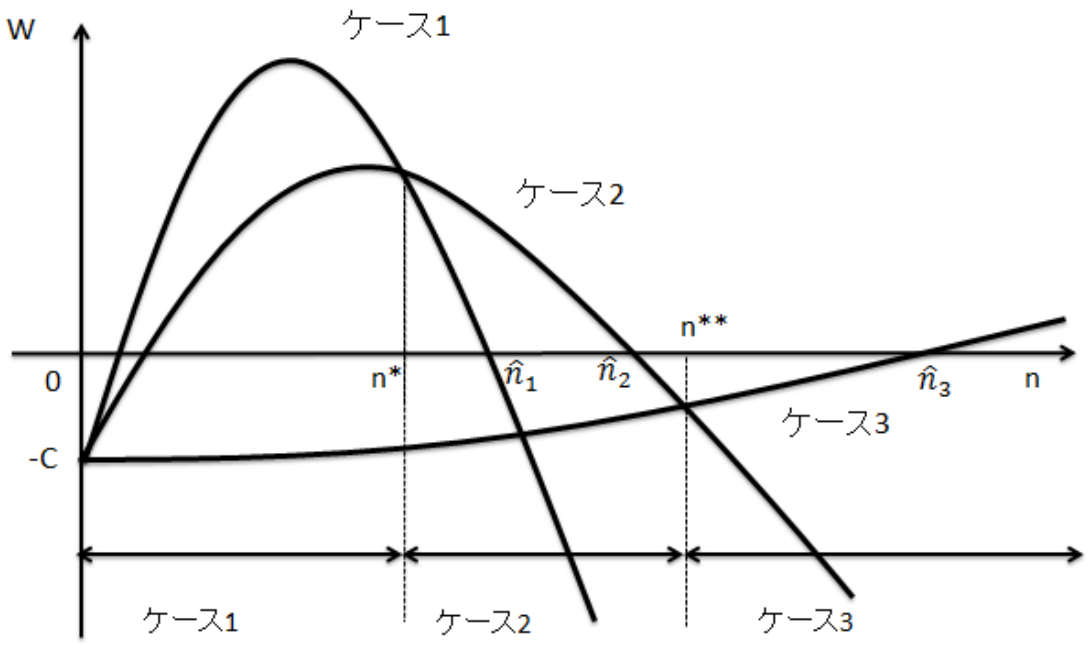
$$\hat{n} = \frac{4\beta + 8rf(v)\omega + te\omega - 4\pi rf(v)\omega + \sqrt{-64C\theta(\alpha + (e\delta - te\gamma)\omega) + (4\beta + \left(8rf(v) + te - 4\pi rf(v)\right)\omega)^2}}{8(\alpha + (e\delta - te\gamma)\omega)}$$

$$\hat{n}' = \frac{4\beta + 8rf(v)\omega + te\omega - 4\pi rf(v)\omega - \sqrt{-64C\theta(\alpha + (e\delta - te\gamma)\omega) + (4\beta + \left(8rf(v) + te - 4\pi rf(v)\right)\omega)^2}}{8(\alpha + (e\delta - te\gamma)\omega)}$$

このグラフ 4.7.1 から、信号交差点の方が良い交通量とラウンドアバウトの方が良い交通量のそれぞれの範囲がわかる。$0 < n < \hat{n}'$の場合、W<0 となっており、信号交差点の方が良いことがわかる。$\hat{n}' < n < \hat{n}$の場合の場合、0<W とな

っており、ラウンドアバウト交差点の方が良いということがわかる。$\hat{n} < n$の場合、W<0 となっており、信号交差点の方が良いことがわかる。

さらに、上記のケースごとの経済厚生の差の式をもとに、政策導入前と同様に、政策導入後のケースごとのグラフを描くと以下のグラフ 4.7.2 のようになる。



グラフ 4.7.2 ケースごとの経済厚生の差のグラフ

このグラフにおける n*、n**はケース 1 と 2、ケース 2 と 3 のグラフの交点であり、ケース 1 、ケース 2 、ケース 3 を切り替えるべき n の台数を表している。つまり、n*はケース 1 からケース 2 に切り替えるべき交通量であり、n**はケース 2 からケース 3 に切り替えるべき交通量である。経済厚生の式を用いて交点を導出すると、n*、n**は以下のようになる。

$$n^* = \frac{\frac{1}{3}d - \frac{1}{6}\omega\pi r f(v)}{\alpha - \alpha' + \omega e(\delta - \delta')}$$

$$n^{**} = \frac{d - \frac{1}{3}\omega\pi r f(v)}{\alpha' + \omega e \delta'}$$

政策後には、交通量 n の大きさに応じてケースを適切に変化させることにより、政策前よりも経済厚生を高くすることができる。つまり、0<n<n*の範囲の交通量においてはケース１、n*<n<n**の範囲の交通量においてはケース２、n**<n の範囲の交通量においてケース３を採用することで、政策前よりも経済厚生を向上させることができる。

さらにこのグラフにおける$\hat{n}, \hat{n}'$は、それぞれのケースにおいて経済厚生の差が 0 になる交通量を示している。$\hat{n}_1, \hat{n}_1{}'$はケース 1 において経済厚生の差が 0 になる交通量、$\hat{n}_2, \hat{n}_2{}'$はケース 2 において経済厚生の差が 0 になる交通量、$\hat{n}_3, \hat{n}_3{}'$はケース 3 において経済厚生の差が 0 になる交通量である。なお、$\hat{n} > \hat{n}'$とする。

$\hat{n}, \hat{n}'$を求めると以下のようになる。

$$\hat{n}_1 = \frac{4\beta + 8rf(v)\omega + te\omega - 4\pi rf(v)\omega + \sqrt{-64C\theta(\alpha + (e\delta - te\gamma)\omega) + (4\beta + \left(8rf(v) + te - 4\pi rf(v)\right)\omega)^2}}{8(\alpha + (e\delta - te\gamma)\omega)}$$

$$\hat{n}_1{}' = \frac{4\beta + 8rf(v)\omega + te\omega - 4\pi rf(v)\omega - \sqrt{-64C\theta(\alpha + (e\delta - te\gamma)\omega) + (4\beta + \left(8rf(v) + te - 4\pi rf(v)\right)\omega)^2}}{8(\alpha + (e\delta - te\gamma)\omega)}$$

$$\hat{n}_2 = \frac{-4d + 12\beta + 24rf(v)\omega + 3te\omega - 10\pi rf(v)\omega + \sqrt{-576C\theta(\alpha + (e\delta - te\gamma)\omega) + (4d - 12\beta + \left(-24rf(v) - 3te + 10\pi rf(v)\right)\omega)^2}}{8(\alpha + (e\delta - te\gamma)\omega)}$$

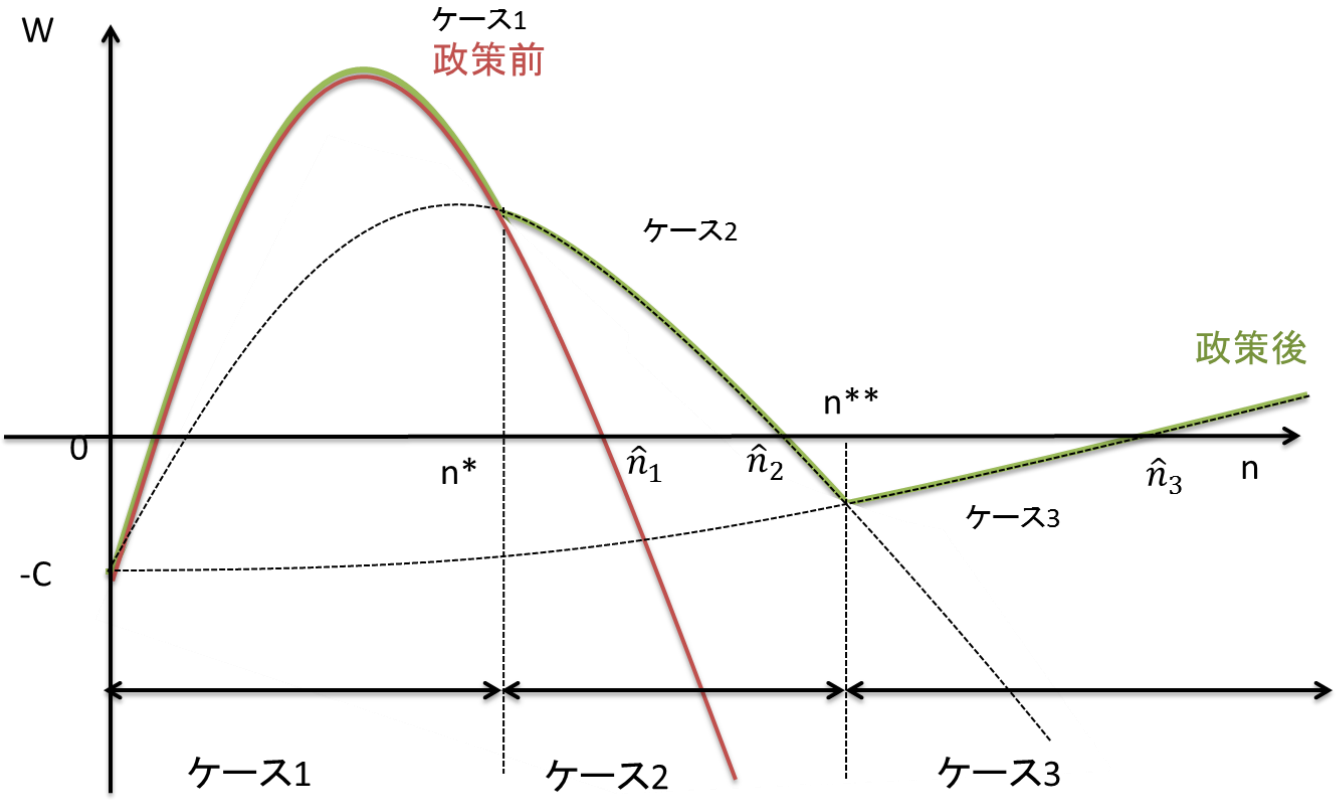
$$\hat{n}_2{}' = \frac{-4d + 12\beta + 24rf(v)\omega + 3te\omega - 10\pi rf(v)\omega - \sqrt{-576C\theta(\alpha + (e\delta - te\gamma)\omega) + (4d - 12\beta + \left(-24rf(v) - 3te + 10\pi rf(v)\right)\omega)^2}}{8(\alpha + (e\delta - te\gamma)\omega)}$$

$$\hat{n}_3 = \frac{4d - 4\beta - 8rf(v)\omega - te\omega - 2\pi rf(v)\omega + \sqrt{64C\theta te\gamma\omega + (4d - 4\beta - 8rf(v)\omega - te\omega + 2\pi rf(v)\omega)^2}}{8te\gamma\omega}$$

$$\hat{n}_3{}' = \frac{4d - 4\beta - 8rf(v)\omega - te\omega - 2\pi rf(v)\omega - \sqrt{64C\theta te\gamma\omega + (4d - 4\beta - 8rf(v)\omega - te\omega + 2\pi rf(v)\omega)^2}}{8te\gamma\omega}$$

政策前の経済厚生の差のグラフと、政策後、つまり交通量によって適切にケースを変化させた場合の経済厚生の差のグラフを描いたものが以下のグラフ 4.7.3 である。

グラフ 4.7.3 政策前後の経済厚生の差のグラフ



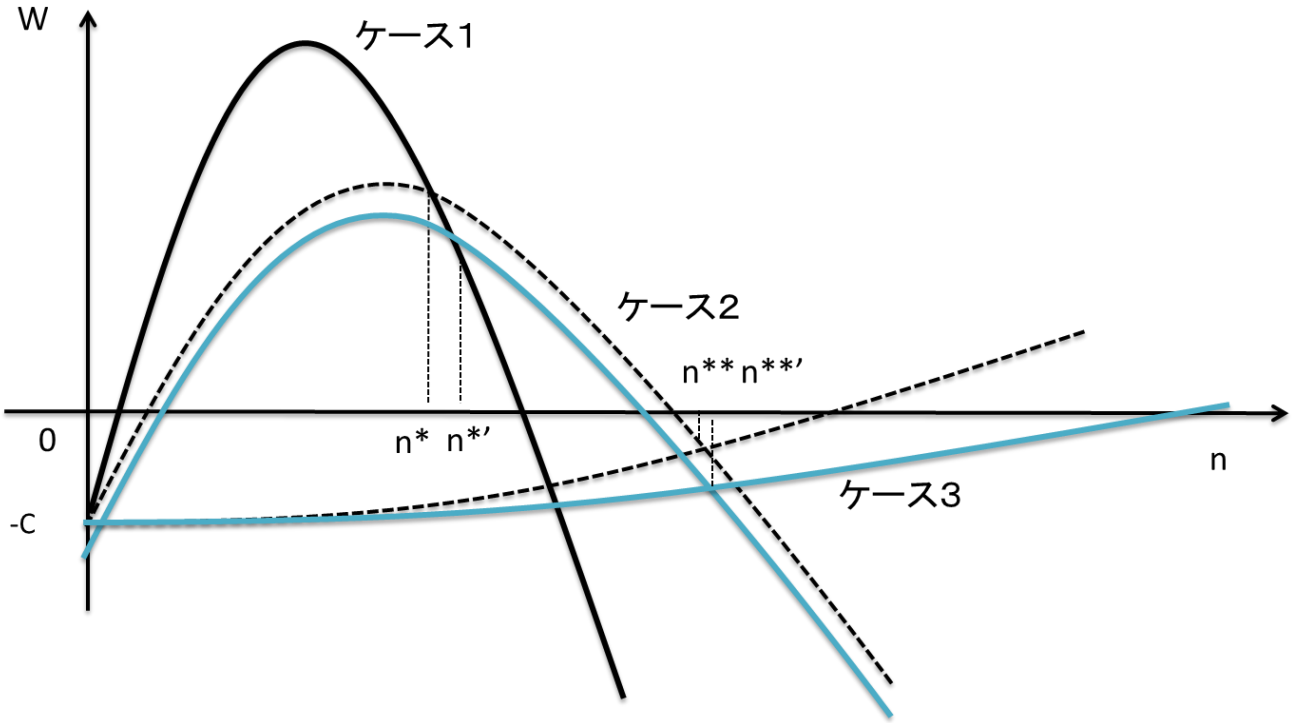
このグラフにおいては赤の曲線で政策前の経済厚生の差、緑の曲線で政策後、つまり、交通量によって適切にケースを変化させた経済厚生の差を示している。グラフを見てわかるように、政策により混雑時にも、ラウンドアバウト交差点における経済厚生を従来よりも上げることができる。

4-8　不効用 d の変化による政策の変化

d は周囲の状況（ほかに目的地に着く道筋があるか、周囲にほかの交差点があり、ラウンドアバウトが制限されていても迂回しやすいかどうか等）や、人々によって異なる。よって、d が変化した場合、政策にどのように影響するのかを調べていく。d の変化により影響を受けるのはケース 2 とケース 3 である。ケー

ス２については、経済厚生の差の式からわかるように、d が増加するとグラフが左下に移動する。反対に d が減少するとグラフは右上に移動する。ケース３については、ケース 2 同様、経済厚生の差の式からわかるように、d が増加するとグラフは右下に移動し、d が減少すると左下に移動する。それに伴い、n*、n**も変化する。n*、n**において、どちらも分子にのみ d があるため、d が増加すると n*、n**は両方とも増加し、d が減少すると n*、n**はどちらも減少することがわかる。

つまり、d が大きくなる、つまり方向制限による不効用が大きい場合、ケース１を採用する範囲が広くなり、d の変化前よりもケース２、ケース３を採用する範囲はより n が大きい場合になる。さらに、変化前に比べると、信号がより有効な範囲が大きくなり、ラウンドアバウトがより有効である範囲が狭くなっている。以上をグラフにすると以下のグラフ 4.8.1 となる。



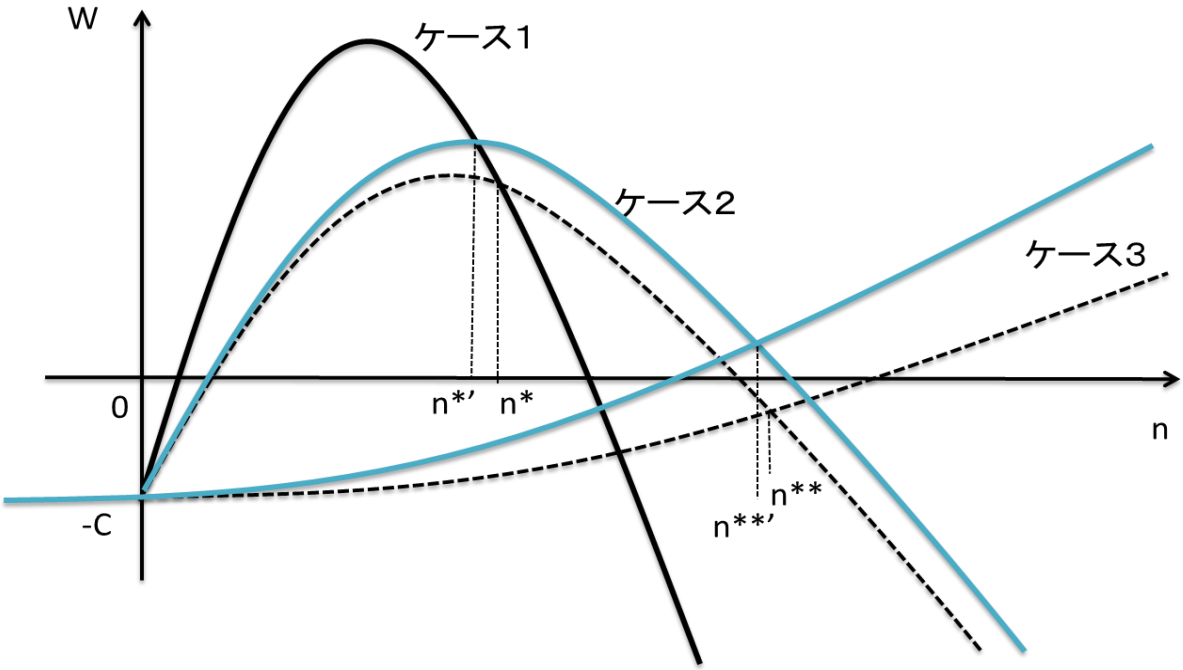
グラフ 4.8.1　d が増加した場合

グラフ 4.8.1 における水色の曲線がそれぞれ不効用 d が増加した後のケース２とケース３のグラフである。

反対に、d が小さい場合、つまり、方向制限による不効用が小さい場合、ケー

ス１を採用する範囲は狭くなり、より小さい n においてケース２、ケース３を採用することになる。さらに d の変化前に比較すると、信号の方が有効な交通量の範囲が狭くなり、ラウンドアバウトの方が有効な交通量の範囲が広くなる。以上をグラフで示すと、以下のグラフ 4.8.2 のようになる。

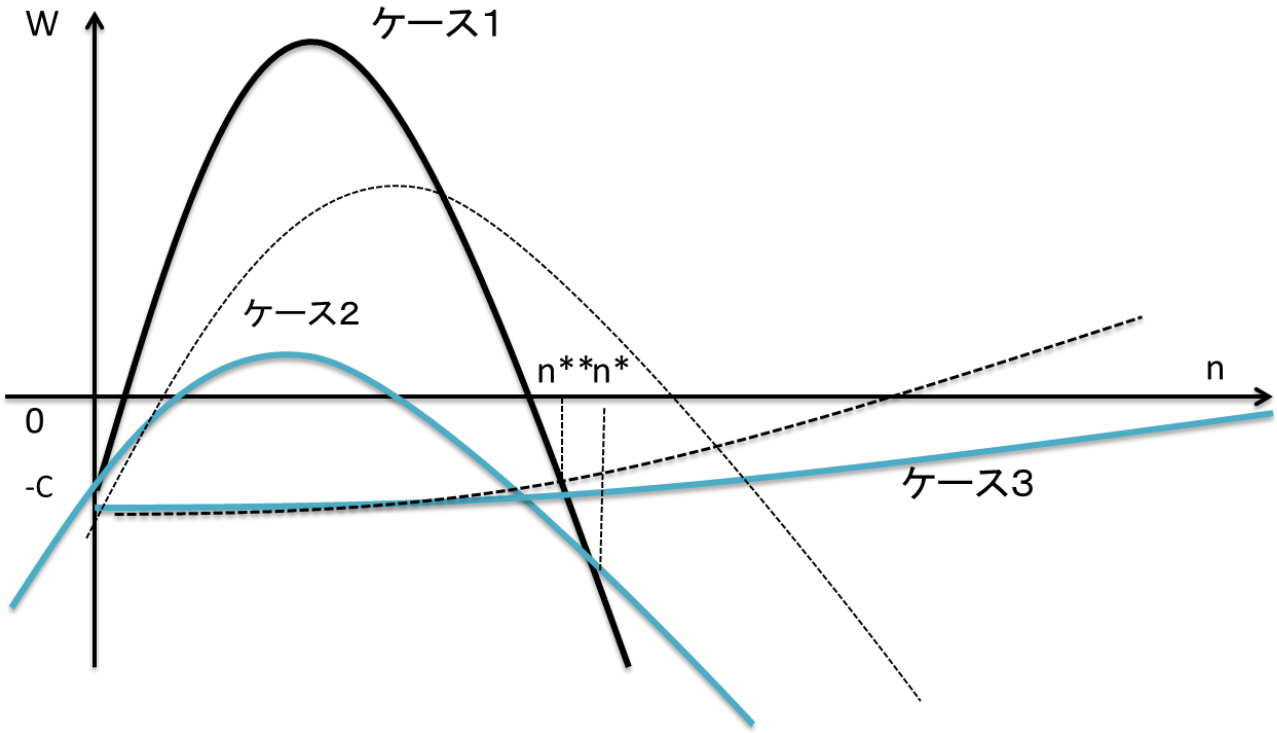
グラフ 4.8.2　d が減少した場合



上記のグラフ同様、水色の曲線が不効用 d が減少した後のケース 2 とケース 3 のグラフである。

そして、先ほどよりもさらに d が上昇した場合について検討する。その場合、先ほどの増加した場合と変化の方向は同じであるが、ケース２とケース３のグラフが一定以上に移動すると、ケース２に移行する前に、ケース 3 に移行する方が良い、という状況が発生する。つまり、n**の交通量でケース１からケース３へ移行する。そしてこの場合、信号の方がより経済厚生の観点から有効である交通量の範囲がより大きくなる。その状況を以下のグラフ 4.8.3 に示す。

グラフ 4.8.3　さらに d が増加した場合



５章　結論

以上のように、ある程度の交通量の場合、信号交差点よりもラウンドアバウトが経済厚生の観点から有効であることがわかった。さらに、本来ラウンドアバウトの欠点の一つである想定よりも交通量が多くなった場合対応できないという問題についても、右折禁止、直進禁止などの交通量による方向制限という政策を導入することで、ある程度までは改善できることもわかった。交通量が増えてしまった場合、行きたい方向に向かうよりも、違う方向だが、早くラウンドアバウトを抜けた方の効用が高いというのは、逆説的であり興味深い結果となった。交通量により機能性が左右されるこの交差点を設計する際、設計地は十分に考慮すべきだろう。しかしこの論文で、仮に将来的に交通量が増えたとしても十分に対応できることが分かった。より持続可能な社会に向けて、我が国における交通網改革－ラウンドアバウトの普及－への「アクセル」を、より、深く踏むべきではないのだろうか。

参考文献

1. 林望（1992 年）『ホルムヘッドの謎』　株式会社文藝春秋
2. 国土交通省　ラウンドアバウト検討委員会
http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/roundabout/pdf01/4.pdfhttp://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/roundabout/pdf01/4.pdf
3. The Daily News Express
http://www.express.co.uk/news/uk/435663/The-best-magic-roundabouts-in-Britainhttp://www.express.co.uk/news/uk/435663/The-best-magic-roundabouts-in-Britain
4. 国土交通省国土技術政策総合研究所　道路研究部　道路研究室
http://www.nilim.go.jp/lab/gbg/
5. The New York Times
http://www.nytimes.com/2010/11/19/us/19roundabouts.html?_r=0http://www.nytimes.com/2010/11/19/us/19roundabouts.html?_r=0
6. Round-A-Bouts of Great Britainhttp://www.roundaboutsofbritain.com/
7. SABRE Road Organization
http://www.sabre-roads.org.uk/wiki/index.php?title=File:Tiny_mini_roundabout_1_-_Coppermine_-_4700.JPG
8. 名古屋大学　中村英樹研究室　inter change
http://www.genv.nagoya-u.ac.jp/ge1/nakamura/home/download/files/rintro-ra08.pdf
10. 信州 live on　http://www.shinshu-liveon.jp/topics/node_242488
11. ラウンドアバウトの社会実験の意向がある地区の概要
http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/roundabout/pdf01/7.pdf