

自転車放置行動と取り締まりの関係のゲーム論によるモデル化*

Modeling the Interaction between Illegal Bicycle Parking Behavior and its Regulation by Game Theory *

富田安夫**・河野良浩***

By Yasuo TOMITA**・Yoshihiro KOUNO***

1. はじめに

自転車は、短距離での利便性が高く、環境負荷が小さく、健康的かつ経済的な交通手段であることから、一層の利用促進が求められている。その一方、違法駐輪のもたらす歩行者への通行障害、景観への悪影響、違法駐輪対策の費用負担などの問題や自転車走行空間の確保や走行の安全性に関する問題など利用促進の阻害要因も多く存在する。

違法駐輪問題については、社会問題化してからすでに30年以上が経過しており、これまで行政が主体となって駐輪場の整備、違法駐輪の撤去の強化、啓発キャンペーンの実施など様々な対策がなされており、多くの地域で違法駐輪問題は解消されてきている。しかしながら、駐輪場の増設を行うことが難しい一部の都市地域においては、依然として違法駐輪問題が大きな問題となっている。そこで近年では、歩道上の駐輪場や付置義務駐輪場の整備によって駐輪場の確保に努めるとともに、違法駐輪に対する取り締まりの強化や駐輪場の料金設定の柔軟化などの規制・誘導政策が行われるようになってきている。

既存研究としては、違法駐輪行動の規制・誘導をねらいとして、例えば、内田・細見・黒川(2002)¹⁾、阿部・栗井・辻・安井(2002)²⁾、藤井・小畑・北村(2002)³⁾などの心理的側面からの研究や、室町・原田・大田(2000)⁴⁾、室町(2004)⁵⁾による取り締まりの費用および効果に関する研究、さらに新田・藤本・黄(2005)⁶⁾による駐輪場の料金設定に関する研究などが行われてきている。これらの既存研究は違法駐輪者の駐輪場選択行動に着目した詳細な研究として有用な研究ではあるが、その一方で、行政による取り締まり行動と、違法駐輪者の駐輪場選択行動とのゲーム論的關係については扱ってはいないという限界もある。違法駐輪現象は、本質的には、違法駐輪者と行政の政策とのゲーム論的關係の現れであると考えられることから、取り締まり強化や駐輪場の料金設定などの規制・誘導政策の効果影響の分析のためには、違法駐輪者と行政の行動とのゲーム論的な相互作用の影響についてモデル化することも有用であると考えられる。

本研究では、違法駐輪行動と行政の取り締まり行動と

の関係をゲーム論によってモデル化し、このモデルを用いて大阪府堺市の南海高野線・堺東駅周辺地域における有効な取り締まり方策や駐輪場の利用料金の設定方策のあり方についての検討を行っている。

2. モデルの定式化および解の算定方法

(1) 自転車利用者と行政の戦略

自転車利用者の駐輪場選択行動と行政の取り締まり行動とをゲームの理論によりモデル化する。プレイヤーは自転車利用者と行政とする。自転車利用者の駐輪戦略は、 m 箇所の有料駐輪場と n 箇所の違法駐輪場所のうちどれかに駐輪することとする。一方、行政の取り締まり戦略は、 n 箇所の違法駐輪場所のうち任意の1箇所を選んで撤去を行うこととする。行政は特定箇所を毎日取り締まりしているわけではなく、何日かに1回、任意の違法駐輪場所で撤去を行うものとする。このような自転車利用者と行政の戦略を以下のような混合戦略として表現する。

自転車利用者の混合戦略

$$x = \{x_1, \dots, x_m, x_{m+1}, \dots, x_{m+n}\} \text{ ただし } \sum x_i = 1$$

ここで、 x_i : 自転車利用者が駐輪場所 i に駐輪する確率 (ただし、駐輪場所 $1, \dots, m$ は有料駐輪場、駐輪場所 $m+1, \dots, m+n$ は違法駐輪場所である)

行政の混合戦略

$$y = \{y_1, \dots, y_n\} \text{ ただし } \sum y_i = 1$$

ここで、 y_i : 行政が駐輪場所 i を撤去する確率 (ただし、駐輪場所 $1, \dots, n$ は違法駐輪場所である)

(2) 自転車利用者と行政の利得行列

1) 自転車利用者の利得行列

自転車利用者の戦略は有料駐輪場に駐輪するか、違法駐輪場所に駐輪するかのいずれかであり、それぞれの利得を定式化する。

有料駐輪場に駐輪する場合には、駐輪場利用料金に加えて、駐輪場所から目的地までの時間費用とが損失(マイナスの利得)となる。また、違法駐輪場所に駐輪した場合には、駐輪場利用料金は払わなくてもよいが、行政の取り締まりによって自転車が撤去されるリスクがありこれによる損失が生じるとともに、有料駐輪場を選択した場合と同様に、目的地までの時間費用が加算されることになる。

目的地までの時間費用を次式で表すならば、

*キーワード: 自転車交通計画, 違法駐輪, ゲーム理論

**正会員, 工博, 近畿大学理工学部社会環境工学科

(大阪府東大阪市小若江3-4-1, TEL06-6721-2332内線5301)

***非会員, 西宮市役所

$$a_i = -e \cdot d / t \quad (i=1, \dots, m, m+1, \dots, m+n) \quad (1)$$

ここで

d : 目的地までの距離 (m)

t : 歩行速度 (m/s)

e : 時間価値 (円/s)

自転車利用者の利得行列 I ($m+n, n$) は以下ようになる。ただし、行列の行番号 ($1, \dots, m+n$) は自転車利用者の戦略 (駐輪場所) を、列番号 ($1, \dots, n$) は行政の戦略 (違法駐輪の取り締まり場所) を意味している。

$$I = \begin{bmatrix} a_1 - s_1 & a_1 - s_1 & \dots & a_1 - s_1 & \dots & a_1 - s_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_i - s_i & a_i - s_i & \dots & a_i - s_i & \dots & a_i - s_i \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_m - s_m & a_m - s_m & \dots & a_m - s_m & \dots & a_m - s_m \\ a_{m+1} - c - g & a_{m+1} & \dots & a_{m+1} & \dots & a_{m+1} \\ a_{m+2} & a_{m+2} - c - g & \dots & a_{m+2} & \dots & a_{m+2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_i & a_i & \dots & a_i - c - g & \dots & a_i \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m+n} & a_{m+n} & \dots & a_{m+n} & \dots & a_{m+n} - c - g \end{bmatrix}$$

ここで

s_i : 駐輪場利用料金 (円) ($i=1, \dots, m$)

$c (= b/L)$: 1日あたりの罰金 (ペナルティ) (円)

(なお, b : 罰金 (ペナルティ), L : 取り締まりを行う間隔)

$g (= \frac{k+r \times e}{L})$: 撤去された自転車を受け取りのた

めの一般化交通費用 (円/日) (なお, k : 交通費 (円), r : 自転車を受け取るための必要時間 (s), e : 時間価値)

2) 行政の利得行列

行政は自転車利用者が有料駐輪場に駐輪すると、駐輪場の料金分の利得を得る。また、自転車利用者が違法駐輪を行い、これを行政が撤去した場合にも、違法駐輪者の支払う罰金 (ペナルティ) が利得となる。しかし、行政が取り締まりをした場所とは異なる場所に違法駐輪がなされた場合には行政の利得はゼロとなる。

このことを、行政の利得行列 II ($m+n, n$) として表すと以下のようになる。ただし、行列の行番号 ($1, \dots, m+n$) は自転車利用者の戦略 (駐輪場所) を、列番号 ($1, \dots, n$) は行政の戦略 (違法駐輪の取り締まり場所) を意味している。

$$II = \begin{bmatrix} s_1 & s_1 & \dots & s_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_i & s_i & \dots & s_i \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_m & s_m & \dots & s_m \\ c & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & c \end{bmatrix}$$

なお、行政の利得行列の定式化にあたっては、便宜上、有料駐輪場はすべて行政が運営していることを仮定している。また、自転車撤去費用や駐輪場の管理費については考慮していない。

(3) ゲームの解の算定方法

以上のように、自転車利用者の行動と行政の行動とのゲーム論的關係は非ゼロ和ゲームとして定式化することができる。非ゼロ和ゲームの場合にはゲームの均衡解は複数存在することになる。本研究では、Maxima⁷⁾を用いて均衡解を求めている。

3. モデルの適用

(1) 対象地域

対象地域は、図-1 に示す南海高野線・堺東駅 (大阪府堺市) の西側の南北約 500m、東西約 300m のエリアとした。この地域は平成 19 年度の調査によれば、約 1,300 台の違法駐輪自転車が存在し、大阪府内の駅でも 6 番目に多い地域となっている。しかしながら、昨年、堺東駅ビルに 2 時間まで無料の駐輪場ができたことから買い物客などによる違法駐輪がほとんどなくなったため、駅ビルの直近の買い物客による短時間駐輪に限定すれば違法駐輪問題は大きい解消されたと言える。ただし、依然として、通勤者による長時間駐輪問題や駅周辺の商店街への買い物客による違法駐輪問題は残されている。

この地域の駐輪場は、図-1 に示す 10 か所の駐輪場 (図中の①~⑩) であるが、「⑧ジョルノビル」はジョルノビル利用者限定のため分析対象から除き、9か所を対象とした。また、違法駐輪場所については、図中に示す 6 か所 (⑪~⑬) のエリアに区分した。

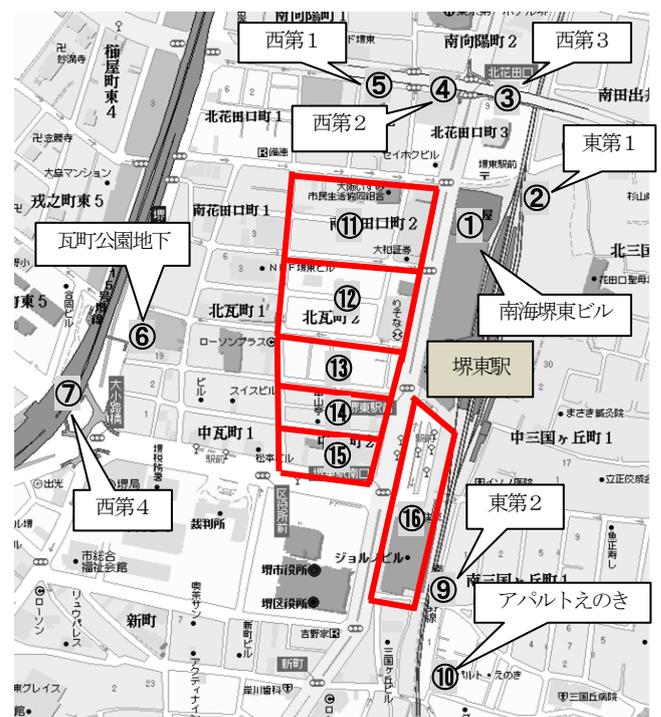


図-1 対象地域

(2) モデルの適用条件とパラメータの設定

モデル適用の対象とする駐輪需要は、堺東駅へ集中する2時間以上の中・長時間需要とする。このように駐輪需要を限定したのは、これらの需要が主に取り締まりの強化や駐輪場の料金変更などの政策の対象となる駐輪需要であると考えられるためである。

モデルの適用にあたっては、現状のデータを踏まえて、表-1および表-2のとおりパラメータを設定した。

表-1 モデルのパラメータ

| パラメータ | 値 |
|------------------------------------|-----------|
| 堺東駅への集中する駐輪需要 (ただし駐輪時間2時間以上) | 1368台/日 |
| 駐輪場利用料金： S_1 | 67(円/日) |
| 駐輪場利用料金： S_2, S_3, S_4, S_5, S_7 | 49(円/日) |
| 駐輪場利用料金： S_6 | 55(円/日) |
| 駐輪場利用料金： S_9 | 43(円/日) |
| 駐輪場利用料金： S_{10} | 40(円/日) |
| 罰金： b | 1500(円) |
| 取り締まりを行う間隔： L | 5(日) |
| 1日あたりの罰金： $c = b/L$ | 300(円) |
| 交通費： k | 150(円) |
| 自転車を受け取りの必要時間： r | 1800(s) |
| 自転車を受け取りのための一般化交通費用： g | 150(円/日) |
| 歩行速度： t | 1.0(m/s) |
| 時間価値： e | 0.33(円/s) |

(備考)駐輪場利用料金の設定にあたっては一般利用者の定期利用料金を参考にして設定した。

表-2 駅までの時間費用および駐輪費用の設定

| | 駐輪場所 | 駅までの距離 d (m) | 駅までの時間費用 a_i (円) | 駐輪費用 $a_i - s_i$ |
|-------|----------|-------------------|-----------------------|------------------|
| 有料駐輪場 | ①南海堺東ビル | 92 | -91 | -158 |
| | ②東第1 | 132 | -104 | -153 |
| | ③西第3 | 220 | -133 | -182 |
| | ④西第2 | 240 | -140 | -189 |
| | ⑤西第1 | 272 | -151 | -200 |
| | ⑥瓦町公園地下 | 330 | -170 | -225 |
| | ⑦西第4 | 424 | -201 | -250 |
| | ⑨東第2 | 248 | -143 | -186 |
| | ⑩アパルトえのき | 320 | -167 | -207 |
| | 違法駐輪場所 | ⑪ | 186 | -122 |
| ⑫ | | 125 | -102 | |
| ⑬ | | 161 | -114 | |
| ⑭ | | 142 | -107 | |
| ⑮ | | 172 | -117 | |
| ⑯ | | 205 | -128 | |

(備考) s_i の値は表-3を参照。

(3) モデルの適用結果

モデルを用いて均衡解を求めたところ、まず、自転車利用者の最適戦略 x は、 $x_2=1$ 、(ただし $x_i=0$, $i=2$ 以外)と

なったため、駐輪場②は駐輪容量(100台)まで最大限利用されるものとした。駐輪場②を除いて再度、モデルの均衡解を求めたところ、自転車利用者の最適戦略は $x_1=1$ 、(ただし $x_i=0$, $i=1$ 以外)となったことから、駐輪場①についても駐輪容量(373台)まで最大限利用されるものとした。このような手続きを繰り返したところ、駐輪場③には140台、駐輪場⑨には210台、駐輪場④には140台が駐輪することになった。駐輪容量に達した上記の駐輪場を除いて、さらにモデルの均衡解を求めたところ、表-3の結果が得られた。この均衡解は自転車利用者にとっての最適戦略(駐輪場選択確率)と行政にとっての最適戦略(違法駐輪の撤去場所の選択確率)を示している。この結果によれば、自転車利用者の駐輪場選択確率は、有料駐輪場(⑤, ⑥, ⑦, ⑩)ではゼロであり、違法駐輪場所(⑪~⑯)のそれぞれの選択確率が0.167となっている。この確率を駐輪場が決定していない駐輪需要405台を掛け合わせると各違法駐輪地域における駐輪台数は68台となる。なお、均衡解における自転車利用者の期待利得は-190であり、行政の期待利得は50であった。

以上のようにして試算された駐輪状況は、現状の有料駐輪場⑤, ⑥, ⑦, ⑩の利用状況が低いことから、ある程度、現況を反映しているものと判断することができる。

表-3 均衡解

| | 駐輪場所 | 駐輪する確率(x) | 撤去する確率(y) | (参考)駅までの時間費用 a_i (円) |
|--------|----------|-----------|-----------|------------------------|
| 有料駐輪場 | ⑤西第1 | 0 | | -151 |
| | ⑥瓦町公園地下 | 0 | | -170 |
| | ⑦西第4 | 0 | | -201 |
| | ⑩アパルトえのき | 0 | | -167 |
| 違法駐輪場所 | ⑪ | 0.167 | 0.151 | -122 |
| | ⑫ | 0.167 | 0.196 | -102 |
| | ⑬ | 0.167 | 0.169 | -114 |
| | ⑭ | 0.167 | 0.184 | -107 |
| | ⑮ | 0.167 | 0.162 | -117 |
| | ⑯ | 0.167 | 0.138 | -128 |

(4) モデルを用いた政策分析

1) 罰金(ペナルティ)の強化

取り締まり間隔を変えずに、罰金 b の値上げによって放置駐輪を無くすことのできる罰金を試算したところ3,300円となった。現況の罰金1,500円の2.2倍である。

逆に、罰金の金額を現状に固定したまま、取り締まり間隔を短くすることで違法駐輪を無くすためには、1週間の取り締まり間隔 L を5日から、2.7日に増加させることが必要であるという結果が得られた。なお、違法駐輪を無くすために必要となる罰金の金額と取り締まり間隔との関係は図-2に示すような比例関係にあり、この直線上の組み合わせにおいてはどの政策によっても違法駐輪はゼロとなる。

(参考文献)

- 1) 内田武史・細見昭・黒川洸：違法駐輪に関する意識を考慮した自転車利用者の駐輪場所選択行動特性分析，土木計画学研究・論文集，No. 19，No. 3，pp. 409-414，2002
- 2) 阿部宏史・粟井睦夫・辻和秀・安井孝規：岡山市都心部における放置自転車の現状と自転車利用者の駐輪意識，土木計画学研究・論文集，No. 19，No. 4，pp. 603-611，2002
- 3) 藤井聡・小畑篤史・北村隆一：自転車放置者への説得的コミュニケーション：社会的ジレンマ解消のための心理的方略，土木計画学研究・論文集，No. 19，No. 3，pp. 439-445，2002
- 4) 室町泰徳・原田昇・大田勝敏：鉄道駅端末の自転車交通を対象とした規制と取締りの社会的費用に関する研究，土木計画学研究・論文集，No. 17，pp. 863-868，2000
- 5) 室町泰徳：駅前違法路上駐輪の撤去活動レベルと条例成立可能性，土木計画学研究・講演集，Vol. 29 (CD-ROM)，2004
- 6) 新田保次・藤本佳完・黄靖薫：放置駐輪の抑止を目指した駐輪料金の設定に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol. 31 (CD-ROM)，2005
- 7) 中川義行・山下章夫：Maxima による Nash 均衡の計算，龍谷大学経営学論集，46 巻 2 号，pp. 12-27，2006.

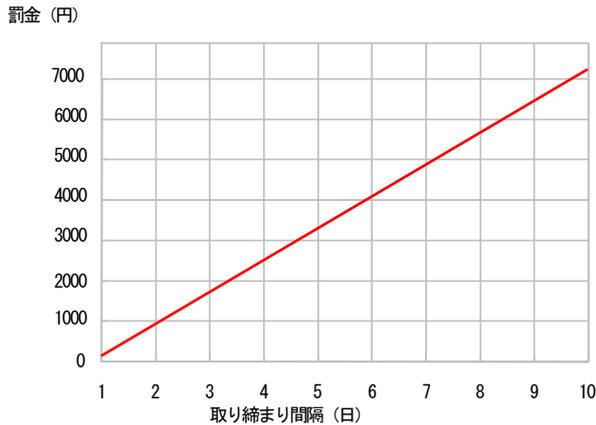


図-2 違法駐輪をゼロとする取り締まり間隔と罰金の組み合わせ

2) 空き駐輪場の利用料金の値下げ

空き駐輪場の値下げによって，違法駐輪を駐輪場に駐輪させる政策について試算した。その結果を表-4に示す。駐輪場⑦，⑩については無料にしても利用されないことを意味しているが，取り締まりが強化すれば，これらの駐輪場を利用されるようにすることもできる。しかしながら，空き駐輪場を利用するようにするかどうかは，社会全体からみた評価関数を定義した上で，どのような政策が望ましいか否かを判断することが望ましい。

表-4 空き駐輪場が利用されるための利用料

| | 駐輪場所 | 現行利用料 (a) | 新利用料 (b) | 比 (b)/(a) |
|------|----------|-----------|----------|-----------|
| 有料駐輪 | ⑤西第1 | 49 円/日 | 39 円/日 | 0.79 |
| | ⑥瓦町公園地下 | 55 円/日 | 20 円/日 | 0.38 |
| | ⑦西第4 | 49 円/日 | -11 円/日 | — |
| | ⑩アパルトエのき | 40 円/日 | -23 円/日 | — |

4. おわりに

本研究では，自転車利用者の違法駐輪行動と行政の取り締まり行動のゲーム論的關係を定式化し，Maxima を用いて均衡解を求めることができることを示した。さらに，モデルを南海高野線の堺東駅周辺（大阪府堺市）に適用し，現況再現を行ったところ，その結果が現況との関連性を有していることを確認した。また，政策分析として，違法駐輪を無くすための取り締まり強化のレベルや，利用率の低い駐輪場を有効に活用するための駐輪場の利用料金についても試算を行った。これらの試算結果は，新規に駐輪場を整備することが困難な地域において，違法駐輪対策を検討する上で基礎的な情報を提供するものである。ただし，すべての違法駐輪を無くすことが，地域社会全体として必ずしも最適な政策であるとは言えないことから，地域住民や行政などすべての関係主体を含み，かつ，違法駐輪による歩行障害や景観劣化などのもたらす外部経済費用をも含むような社会的便益関数を定義した上で，これを最適化するような違法駐輪対策を策定することが望ましい。