

ペットボトルリサイクルオークションにおける 効率的資源配分の検討

大窪 和明¹・矢ヶ崎 美香²

¹正会員 愛媛大学准教授 防災情報研究センター (〒 790-8577 松山市文京町 3 番)

E-mail: okubo@cee.ehime-u.ac.jp

²非会員 元埼玉大学工学部 建設工学科 (〒 338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255)

自治体が回収した廃ペットボトルは、第一価格封印入札を通して契約先に選ばれたリサイクル企業によって処理されてきた。この入札において、参加するリサイクル企業の規模や自治体との距離といった特徴が非対称であり、収入等価定理が成立しない可能性があることから、入札の仕組みを適切に変えることによって、売り手となる自治体の収入を、さらに大きくできる可能性がある。入札の仕組みを議論する上で、この入札に潜在的にどの程度の収入の増加が見込まれるのか、を議論しておく必要がある。そこで本研究では、自治体の収入を最大化するという目的の下で、自治体が契約するリサイクル企業を決めるモデルを提案する。また、自治体とリサイクル企業について観測された取引ネットワークと最適化計算の結果とを比較することによって、目指すべき入札の方向性について議論する。

1. はじめに

2008年に閣議決定された第二次循環型社会形成推進基本計画において初めて地域循環圏という言葉が提示され、地域で循環可能な資源は、出来る限り地域内で循環させようとする循環型地域づくりの考え方が広まっている。2016年には、地域循環形成の手引が環境省から発行され、その中では複数のモデル事業が紹介され、社会的費用の削減や新規ビジネスの創出に効果が確認されている。可能な限り地域内で資源を循環させることは、廃棄物の運搬費用の削減や、地域のリサイクル事業者の活性化につながる可能性がある。しかし、一方では、他の地域の、より効率的なリサイクル事業者の参入を妨げることも予想されるため、地域の適切な規模について考える必要がある。その上で、適切な地域の範囲での資源を循環させるような取引を促すように市場の仕組みを整えることは一つの有効な対策である。さらに、排出された廃棄物を資源と捉え、より高く売る（または、より低価格で処理を依頼する）ような観点から適切な範囲を考えることは有用であると考えられる。

現在、日本の一般家庭から排出される家庭ごみの中で、湿重量比で20%を占めているペットボトルなどの容器包装廃棄物の処理は、自治体が回収、運搬し、リサイクル業者に処理を委託する。自治体が契約するリサイクル事業者を選ぶときには、日本容器包装リサイクル協会の取り仕切る入札が利用されることが多い。

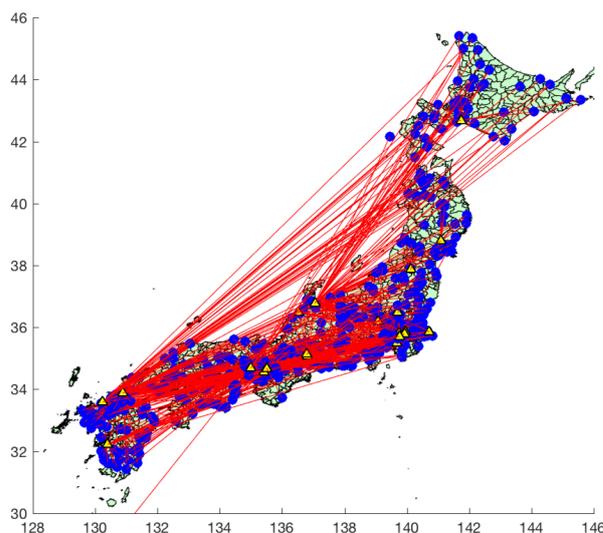


図-1 観測された契約ネットワーク

入札は電子入札で、全国のリサイクル事業者が全国の自治体に入札することができ、自治体と落札した事業者との契約は、図-1に示すように全国規模で行われている。入札においては、最も高い買取価格または低い処理価格を提示することができた事業者が自治体と契約する。このとき、入札する各リサイクル事業者は、他の事業者の入札額を知らない状況下での入札するという第一価格封印入札の方式がとられている。

入札方式には、第一価格封印入札以外にも他の事業者の入札額が把握できる公開式の入札や、最も高い価格

を入札した事業者が二番目に高い入札額を支払う第二価格封印入札などが知られている。Vickery(1961), Myerson(1981), や Riley and Samuelson(1981) によって入札方式を変更しても売り手（ここでは、自治体）の期待収入は変わらないという収入等価定理が示された。Maskin and Riley(2000) では、この収入等価定理が成立するための前提条件として、入札者の a) リスク中立性, b) 評価額の私的シグナルが他の入札者と独立であること, c) 入札者間での共謀がないこと, d) 入札者の信念が対称であることを挙げている。このうち, d) の入札者の信念が対称の下では、買い手（リサイクル事業者）の評価額が同様の確率分布で表されることを前提にしており、企業規模による入札額の違いや、売り手（自治体）と買い手（リサイクル事業者）との距離や輸送費用などの事前知識がある場合などには、全ての入札者の評価額を確率分布と仮定は成り立たない場合が多い。

この非対称性を仮定した状況下での理論的な分析は、先に述べた Maskin and Reily 以外にも、評価額の分布や入札方式の設定を変えて、古くは Griestmer et. al.(1967) から Elmaghraby(2005), Cantillon(2008), Krishna(2002), Kaplan and Zamird(2012) など様々である。この内、第一価格封印入札において、売り手の収入を研究したものには、Cantillon, Krishna, Kaplan and Zamir などが挙げられるが、入札者の非対称性下において入札方式の変更が売り手の期待収入にもたらす影響に関する整理は未だなされていない。したがって、実際の入札における入札方式の変更には、どの程度の期待収入が見込めるかを把握しておく必要がある。

そこで本研究では、利用可能なデータが蓄積されている容器包装廃棄物の中でもペットボトルのリサイクルに着目して、入札方式の変更が、自治体の期待収入や自治体とリサイクル事業者との契約にもたらす影響を明らかにする。ここでは、入札するリサイクル事業者が、その他の事業者の入札額を知らないために、事業者が経営に必要な契約量を確保するため、落札できない可能性も考えてより多くの自治体に入札していると考え、リサイクル事業者の全ての入札額が分かったとして、自治体の収入が最大になるように自治体と企業とを組み合わせさせた場合の自治体の期待収入を推計し、入札方式の変更による自治体とリサイクル事業者との契約の組み合わせ変更によって、実現可能な期待収入の増加分を明らかにする。各リサイクル事業者の入札額は公表されておらず、落札額と契約した自治体のみが観測されている。そのため、第 2 章において落札額を被説明変数とする重回帰モデルを推定し、実際に観測されている自治体と事業者以外の組み合わせで契約が実現したときの落札額を推計する。続く第 3 章においては、第 2 章の結果を用いて、全ての落札額がわかっ

た下で、自治体の総収入が最大になるように自治体と事業者を組み合わせさせた場合の期待収入や、契約関係のネットワークを示す。最後に第 4 章で結論を述べる。

2. 落札単価推定モデル

(1) モデルの定式化

容器包装リサイクル協会によって公表されているデータより、入札に参加した自治体が契約期間内で企業に処理を依頼する契約量、落札企業、および落札単価の情報が得られる。そのため、落札していない企業が、仮に落札した場合の仮想的な落札単価を重回帰分析の推定結果を基に補完する。企業 $j \in \mathcal{J}$ が、自治体 $i \in \mathcal{I}$ の自治体の PET ボトルを落札したときの単価を b_{ij} としたときに、次のような回帰式を考える。

$$b_{ij} = \alpha_0 + \alpha_1 q_i + \alpha_2 d_{ij} + \alpha_3 K_j + \alpha_4 \Delta_i^+ + \alpha_5 \Delta_i^- + \alpha_6 pop_i + \sum_{r \in R} \alpha_r dummy_r + \alpha_p dummy_{port} \quad (1)$$

ただし、 α はパラメータであり、各説明変数は、入札時に自治体が提示する契約量 q_i 、自治体と企業との直線距離 d_{ij} 、企業規模 K_j として企業 j の前年度の取引量の合計を用いる。 Δ_i^+ は超過取引量を表し、各自治体において契約期間終了後に明らかになる実績量から入札時の契約量を引いた値を考え、実績量が契約量を上回ったときにのみ正の値をとり、それ以外は 0 の値をとる。実績量が契約量を下回った場合には、不足取引量として、 Δ_i^- で表す。また、 pop_i は自治体 i の人口である。式 (1) の第 8 項の $Dummy_r$ は、東北地方・中日本・西日本および本州以外の地域を表すダミー変数である。また $Dummy_{port}$ は、PET ボトルを取り扱うリサイクル施設を持つリサイクルポートがある自治体と、隣接する自治体についてのみ 1 をとるようなダミー変数を考える。なお、今回の推定では沖縄県や離島を除外し、有償入札のデータを使用した。

重回帰モデルでは、入札方式が変更された場合にも、同様の落札額が実現する保証はなく、Laffont et al(1995) や Guerre et al(2000) などの構造推定手法を用いて評価額自体を推定することが望ましいといえる。しかし、これらの研究では、入札者の対称性を考えたモデルに基づいて構造推定をしており、本研究の前提としている入札者が非対称な状況では、前提条件に齟齬が生じる。入札者の非対称性を考慮した構造推定手法には、Flambard and Perrigne(2006) などが挙げられるが、ノンパラメトリックな推定であることや、非対称な 2 つのグループに分けるなどの前提の下で推定している。本研究では、様々な外的要因が落札額にもたらす影響をパラメトリックに把握し、実際には実現していない落札額を推計することを目的としているため、式 (1) のような重回帰モ

表-1 落札単価推定モデルの推定結果

	平成24年	平成25年		平成26年		平成27年	
		上半期	下半期	上半期	下半期	上半期	下半期
切片	49799.3*	24492.4*	49730.8*	49730.8*	66215.8*	27237.2*	41827.0*
取引量	-1.04	0.81	-0.98	-0.98	1.88	2.84	-0.47
距離	2.69*	-3.96*	2.95*	2.95*	-4.04*	-5.48*	-4.86*
企業規模	0.1953*	0.14	0.12	0.12	0.1544*	0.12	-0.10
超過取引量	20.4	19.6	17.5	17.5	-11.6	-17.0	22.1
不足取引量	18.7	15.3	26.4	26.4	9.23	19.5	22.0
本州以外	-8235.8*	847.3	-9243.3*	-9243.3*	-7922.0*	1460.8	-4276.4*
東北	-8802.7*	-9770.9*	-10347.2*	-10347.2*	-3252.1*	-5570.5*	-9028.4*
中日本	3310.4*	10260.5*	5561.6*	5561.6*	540.5	5780.9*	4052.0*
西日本	1497.9	6336.7*	460	460	-2424.1*	6314.5*	2236.6*
人口	0.00006*	0.00007	-0.00006	-0.00005	-0.0005*	-0.00052*	-0.00028*
ポート	-3232.4	905.8	-1628.3	-1628.3	93.2	1449.8	1969.2
決定係数	0.27	0.3	0.37	0.37	0.21	0.26	0.24

*有意水準5%で有意な係数

デルを用いる。

(2) 推定結果

平成 24 年から平成 27 年にかけて各年度の契約期間ごとに式 (1) を推定した結果を表-1 に示す (平成 25 年以降は、契約期間を 2 つの期間に分けている)。自治体とりサイクル事業者との緯度・経度から算出した直線距離は、どの推定においても有意水準 5% で有意であり、平成 26 年度上半期を除いて、距離が遠くなるほど落札単価は低くなるのがわかる。また、東北地方・中日本・西日本を表すダミー変数が有意であり、東北地方の自治体は比較的、低い落札額でペットボトルが販売されていることがわかる。

3. 最適配分ネットワークの導出

(1) 最適配分モデルの定式化

各自治体の収入を式 (1) から推定された落札単価 \hat{b}_{ij} と契約量 q_i との積で表し、自治体と企業が取引するときに 1 をとるような操作変数 x_{ij} を考える。このとき、自治体の総収入を最大化するような自治体 i と企業 j との組み合わせを求める次の最適配分モデルを考える。

$$\max_{x_{ij}} \sum_{ij} \hat{b}_{ij} q_i x_{ij} \tag{2}$$

subject to $\tag{3}$

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \tag{4}$$

$$\sum_i q_i x_{ij} = K_j \quad \forall j \in J \tag{5}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \tag{6}$$

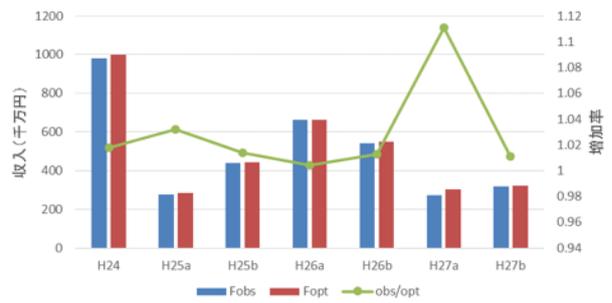


図-2 自治体の総収入の比較（観測値と最適配分後）

ただし、式 (2) は自治体の総収入を表す目的関数である。式 (2) 中の \hat{b}_{ij} は式 (1) に、各自治体、各企業の説明変数を代入して推計した値を用いる。式 (4) は、自治体 i は、必ず 1 つの企業 j と契約を結ばなければならないことを示す制約条件式である。式 (5) の左辺は企業 j が契約した量の合計を表しており、右辺は企業規模を表している。すなわち、企業 j は企業規模 K_j を超える契約量以上の自治体とは契約できないことを示している。式 (6) は、 x_{ij} が、自治体 i と企業 j とが契約すれば 1、それ以外の場合には 0 をとる変数である。

(2) 最適契約配分ネットワーク

図-2 に観測された契約と最適配分された契約から導かれた自治体収入を表す。最適配分によって自治体収入は増加していることがわかる。今回は収入が最も改善されている平成 27 年上半期に着目し、最適配分上での契約ネットワークを図-3 に示した。観測された契約ネットワーク図-1 は北海道と近畿、東北と九州のような遠方での取引が多いが、図-3 の最適配分結果では比較的近隣での取引が多くなっている。これは、取引距

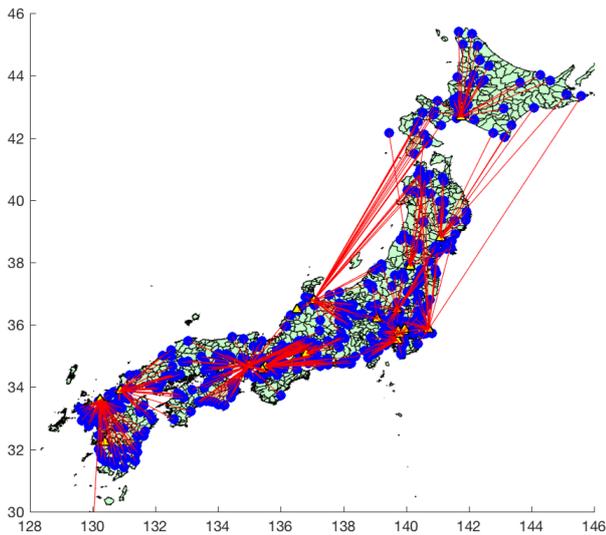


図-3 最適配分された契約ネットワーク

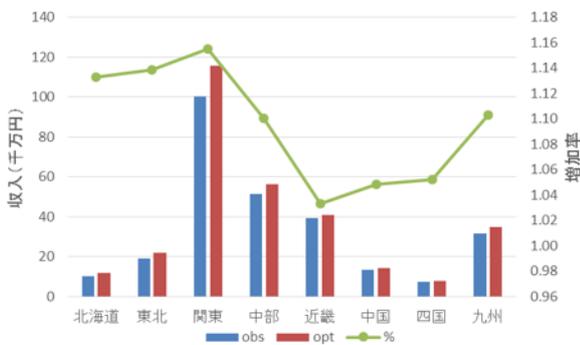


図-4 地方ごとの自治体収入（平成 27 年度上半期）

離の増加による落札単価の下落を防いだ結果であると考えられる。また、比較すると大都市圏に取引が集中していることがわかる。図-4には観測値と最適配分結果の地域ごとの自治体収入を比較したものであり、関東地方の収入が最も多くなっている。これは関東地方では企業数が多く、競争が激しいので最低限の取引量を確保するため広範囲の取引が観測される。一方、最適配分結果では狭い範囲での取引で、観測値と同等の取引量を維持することが可能になっている。その結果、輸送費の節約が可能になり、関東地方に存在する自治体の収入を上げることに繋がったと考えられる。

4. まとめ

PET ボトルの入札市場では取引の空間的距離が自治体収入にも大きく影響しており、より近い立地にある企業との取引を行うことで最適になることがわかった。ゆえに、近い距離での取引を促すことでも、観測された契約と同等以上の収入を確保することが可能

であることが明らかになった。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 26420510 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 環境省：地域循環圏形成推進ガイドライン，2012。
- 2) 環境省：地域循環圏形成の手引き，2016。
- 3) Vickrey, W.: Counterspeculation, Auctions, and Competitive Sealed Tenders, *Journal of Finance*, Vol.16, pp.8-37, 1961.
- 4) Myerson, R. B.: Optimal Auction Design, *Mathematics of Operations Research*, Vol.6, pp.58-73, 1981.
- 5) Riley, J. G. and Samuelson, W. F.: Optimal Auctions, *American Economic Review*, Vol.71, pp.381-392, 1981.
- 6) Maskin, E. and Riley, J. G.: Asymmetric Auctions, *The Review of Economic Studies*, Vol.67, No.3, pp.413-438, 2000.
- 7) Griesmer, J. H., Levitan, R. E., and Shubik, M.: Toward a study of bidding processes, Part IV: Games with unknown costs. *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol.14, pp.415-443, 1967.
- 8) Cantillon, E.: The effect of bidders' asymmetries on expected revenue in auctions, *Games and Economic Behaviour*, Vol.62, No.1, pp.1-25, 2008.
- 9) Elmaghraby, W.: The effect of asymmetric bidder size on an auction's performance: Are more bidders always better?, *Management Science*, Vol.51, No.12, pp.1763-1776, 2005.
- 10) Krishna, V.: *Auction Theory*, Academic Press, Burlington, MA, 2002.
- 11) Kaplan, T. R., and Zamir, S.: Asymmetric first-price auctions with uniform distributions: Analytical solutions to the general case, *Economic Theory*, Vol.50, pp.269-302, 2012.
- 12) Kaplan, T. R., and Zamir, S.: Asymmetric first-price auctions with uniform distributions: Analytical solutions to the general case, *Economic Theory*, Vol.50, pp.269-302, 2012.
- 13) Laffont, J.J., Ossard, H. and Vuong, Q.: Econometrics of first-price auctions, *Econometrica*, vol.63, pp. 953-80, 1995.
- 14) Guerre, E., Perrigne, I. and Vuong, Q., Optimal nonparametric estimation of first-price auctions, *Econometrica*, vol. 68, pp. 525-74, 2000.
- 15) Flambard, V., and Perrigne, I.: Asymmetry in Procurement Auctions: Evidence from snow removal contracts, *Economic Journal*, Vol.116, pp.1014-1036, 2006.

(平成 29 年 4 月 28 日 受付)