

地域循環型社会形成に向けた 木質系バイオマスリサイクル事業の 持続可能性評価

山下 智義¹・藤原 健史²

¹学生会員 岡山大学大学院 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山市北区津島中3-1-1 藤原研究室)

²正会員 岡山大学教授 環境理工学部 (同上)

E-mail: pgi31ow7@s.okayama-u.ac.jp

本研究では地方における木質廃棄物のリサイクルの流れを明らかにし、廃棄物の輸送や処理に関する地理的・経済的特性を理解することを目的とした。まず、木質廃棄物の排出量と輸送量を把握するため、岡山県の廃棄物収集運搬業者と廃棄物処理業者へのアンケート調査を実施した。次に、建設事業統計データに基づき、建設・解体による木質廃棄物の地理的分布を予測した。また、廃棄物排出事業者が運送会社を経営的に選定することを仮定して、各処理施設の廃棄物収集エリアを見積もった。最後に、新規事業立ち上げ時の廃棄物処理業者間の廃棄物回収バランスを分析した。その結果、木質廃棄物のリサイクルの主な方法は燃料や堆肥の製造であった。新規事業から近い場所では、廃棄物処理の価格が廃棄物の収集範囲と量に影響を与え、遠い場所では輸送価格が影響を与えた。

Key Words : wood waste, regional waste flow analysis, questionnaire survey, waste potential estimation, recycling business balance

1. はじめに

わが国において、炭素循環に大きな負担をかけない「地域循環型社会」を構築することが、持続可能な社会を実現するための方法論として重要視されるようになった。エネルギーの地産・地消という考え方のもと、都市活動によって発生する廃棄物をエネルギーに変換することは、資源の地域循環と低炭素化社会の形成への大きな助けとなる。また、2012年

7月に「固定価格買い取り制度 (FiT制度)」が木質系バイオマス発電にも適応されるようになって、原料の確保がリサイクル事業者の重要な課題となってきた。

本研究は、地域循環型社会が持続的に発展してゆくための鍵となるポイントを明らかにすることを目的とし、まず木質廃棄物に注目して岡山県の廃棄物循環システムの実態を把握することを目指した。具体的には、岡山県内で発生する木質系廃棄物の発

生から処理に至るまでの物質フローを明らかにし、廃棄物処理の現状を知る。これは、対象エリア内の木質廃棄物の発生場所と発生量を明らかにすること、発生場所から処理・処分場までの運搬のフローを明らかにすることである。その上で、廃棄物循環を担うリサイクルや処理の事業が、廃棄物収集の観点から地域でどのような事業バランスを保っているかを分析する。その上で、新たなリサイクル事業を展開するときに、収集輸送距離が重要なファクタとなることを明らかにする。

本研究では事業展開として、斉藤ら¹⁾が示した水島コンビナートにおける木質系廃棄物の蒸気利用事業を想定する。コンビナート内での蒸気利用は、発電よりもエネルギー変換効率が高く、かつ蒸気利用の弱点である輸送面を克服できる、この事業は、地の利を生かしたエネルギー利用が元になっており、限られた条件においてのみ適用できる。

木質廃棄物は一般に、かさ密度が低く輸送にかかるコストが大きい、木質廃棄物処理ビジネスを考慮するうえで、発生源と処理施設までの距離は重要なポイントである。循環型社会形成という観点においても、輸送距離の短いコンパクトな廃棄物処理システムの構築が求められる。2002年5月30日に建設リサイクル法が施行されて以来、木質系廃棄物（以降、木くずと記述する）はリサイクルされるようになった産業廃棄物のひとつであるが、プラスチックや金属との複合材、防蟻剤・塗料などの化学物質が付着した廃材、繊維質の多い竹類、極端に汚れた廃棄物などは再生利用業者に受入を敬遠され、結果として最終処分されている。

2. 調査方法

わが国では、廃棄物のリサイクル率の向上などを

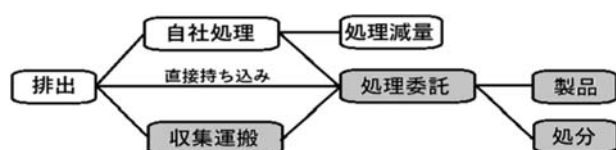


図-1 アンケートの調査範囲

目的に、国内あるいは都道府県といった広域エリアでの産業廃棄物の発生量、処理量、処理方法などは調査されているが、県内の詳細なエリアごとの廃棄物の発生量分布や、処理施設までの輸送といった物質フローを詳細に調査した例は少ない。本研究では(1)～(3)の手順により岡山県内の木質廃棄物の実態を把握する。

(1) アンケート調査

岡山市、倉敷市に許可認定を受けている産廃取扱事業者へアンケートを実施する。対象事業者は、

「木くず」を扱っている産廃収運業者、産廃処理業者とし、岡山県資源循環総合情報センター²⁾のデータベースよりリストアップする。2016年現在、対象となる許可業者は、両市あわせて340社である。このすべてに対し、岡山県内で取り扱っている「木くず」に係るアンケート調査を実施した。

図-1 に示した「木くず」の排出から運搬、処理、処分までの物質フローの中からハッチングした部分を対象に、委託処理されるすべての木くずの処理量および処理方法を調査する。なお、取扱量は平成26年度の実績値（t/年）である。

(2) 多量排出事業者の処理実態調査

処理計画年間の産業廃棄物排出量が合計で1,000t以上ある事業者を産業廃棄物多量排出事業者と呼ぶ。「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」第12条により、これに該当する事業者は「産業廃棄物処理計画書」及び「産業廃棄物処理計画実施状況報告書」の行政機関への提出が義務付けられている。本研究では、県内すべての多量排出事業者のデータを収集し、県内の各産業から排出される「木くず」の大部分を把握し、マテリアルフローの分析に使用する。調査対象は図-2中のハッチング部分である。

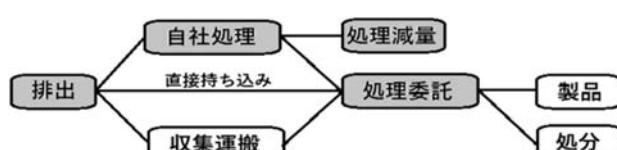


図-2 処理実態調査の調査範囲

(3) 発生量分布の計算

地域の産業廃棄物の二次元マテリアルフローを分析するためには、まず廃棄物の発生場所を明らかにする必要がある。本研究では、最初に岡山県全体での建設系廃木材の排出量を決定し、次に各市町村での排出量を推計し、さらに細分化された区域での排出量を推計するという3つの過程を経て、建設系廃木材の発生場所の偏りを地図にして表現する。その後、発生場所から処理施設までの輸送コストを計算し、事業可能性評価に用いる。

a) 岡山県全域の発生量推計

岡山県全域で発生する木質系廃棄物の全体量推計については、県、国土交通省などの行政機関ごとに調査方法が異なっており、全体量の計算結果に差異が生じる。そこで本研究では、各機関の調査結果を比較するため、木質系廃棄物の中でも建設事業に伴って発生する木くず(本論において建設系廃木材と呼ぶ)に焦点を当てることにした。(1)および(2)の調査結果に、これら行政機関の調査に加えて総合的に判断をした結果、岡山県の建設系廃木材発生量は建設副産物調査³⁾による数値をもっとも信頼できる数値として採用する。

b) 市町村ごとの発生量推計

岡山県を含む全国47都道府県の建設業のデータでは、表-1に示すように「新增改築」、「解体」、など7つの工事区分のデータが利用可能である。市町村ごとの建設系廃木材の計算は、発生量が工事量に比例すると仮定し、市町村ごとの工事延床面積⁴⁾などを指標に用いて行う。しかし、「土木」、「解体」などいくつかの工事区分に関しては、市町村ごとの統計データが政府、自治体、関連団体から公表されていない。そのような場合には、その他の代表的な統計値(世帯数など⁵⁾⁶⁾)を工事活動量指標として設定し、式(1)のように建設系廃木材発生量を計算する。工事活動量指標は、47都道府県のデータを用い、数十以上の統計値の中から、建設系廃木材発生量と最も相関の強い統計値を選定した。

表-1 工事のデータの有無

工事の種類		工事量データの利用	
		都道府県	市町村
①	公共土木	不可	不可
②	民間土木	不可	不可
③	新增改築(非木造)	可	可
④	新增改築(木造)	可	可
⑤	解体(非木造)	可	不可
⑥	解体(木造)	可	不可
⑦	修繕	不可	不可

$$Vc1 = Vp \cdot (Xc1/Xp) \quad (1)$$

Vc1 : 1市における建設系廃木材発生量

Vp : 岡山県全体の建設系廃木材発生量

Xc1 : 1市の工事活動量

Xp : 岡山県の工事活動量

ただし、ひとつの統計値で工事活動量を表現するには精度が低いとき(相関係数0.6未満)は、式(2)のように複数の統計値を用いる。

$$Xc1 = \alpha \cdot Ic1 + \beta \cdot Ic2 \quad (2)$$

α , β : 係数

Ic1, Ic2 : 1市の統計値その1, その2

c) 町丁目ごとの地区での発生量推計

本文では市町村ごとの建設系廃木材発生量を推計した後、より詳細な地区での発生量推計を行う。各市町村内の地区ごとの発生量は、人口に比例すると仮定し、町丁目単位へ按分する。岡山県の町丁目データは、esri社のArcGIS Data Collection スタンダードパック2012 基本統計データを用いた。

3. 調査結果

(1) アンケート調査

a) 回答状況

アンケート回答状況は、表-2のとおりである。全数に対するアンケートの回収率は、約17%となった。木くず取り扱いの許可を取得していながら木くずを取り扱っていない事業者も多く、アンケートを

回収した57件のうちの25件となった。アンケート無回答の事業者の中にも、木くずの取り扱いのない事業者が多数存在すると考えられる。

表-2 アンケート回答状況

アンケート配布数	340 件
アンケート回収数	57 件
木くず取扱事業者	32 件
木くず収集運搬業者	30 件
木くず処理業者	9 件
収運・処理兼業者	7 件
返品(宛先転居など)	11 件

b) 木くずの種類と取扱量

アンケートにより捕捉できた木くずの運搬量、処理量は図-3のとおりであり、A～Fの木くずの種類別に取扱量を知ることができた。「F. その他」には、解体工事の際に発生する家財などが含まれた。

結果より、合計で約35,000(t/年)の収集運搬量、約50,000(t/年)の処理量を捕捉することができた。また、運搬量のうち岡山県内で発生した木くずを他県に運搬している割合は0.06%、処理量のうち県外の木質系廃棄物を岡山県内で処理した割合は1.6%となり、県内で循環していることがわかった。さらに、事業所所在地と運搬距離の関係から、木くずの多くは都市部で発生し、都市圏内の処理施設へ運搬される場合と郊外の処理施設に運搬される場合という2つの側面を持つことがわかった。また、収集運搬量と処理量の差約15,000(t/年)は、排出者の処理業者への直接持ち込み量であると考えられる。

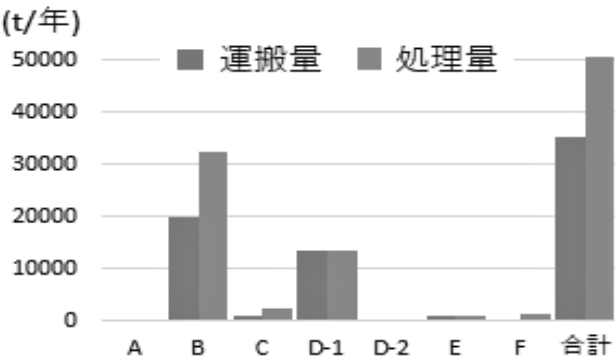


図-3 木くずの種類別取扱量の比較

c) 処理の方法

図-4は、処理業者によるリサイクルの内訳である。岡山県内の処理方法は燃料化、肥料化が高い割合を占めていることがわかった。また、ひとつの処理業者が、廃木材の質に合わせた処理方法を実施していることや、処理工程で発生する熱を利用しているということがわかった。

製品化とは原材料化・建材チップ化、燃料化とは燃料チップ化・炭化・ガス化、熱回収とは焼却発電・蒸気生成、その他の処理方法には、圧縮、切断、フラフ燃料化などが含まれた。

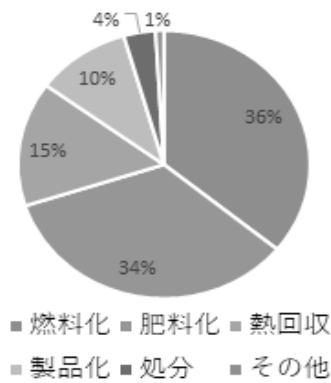


図-4 処理方法の内訳

(2) 多量排出者の処理実態調査

調査の対象とする岡山県内の産廃多量排出事業者は340社であった。その中で、木くずを排出している事業者数は215社であり(表-3に示す)、うち建設系の事業者は170社であった。図-5は、岡山市、倉敷市、その他の地域の3地域内で発生する木くずの処理フローを示している。なお、データ収集の都合上、岡山倉と敷両市は平成26年度、その他の地区は平成27年度の実績値である。岡山全域での木くず発生量は約65216トン/年(図-5の合計)、その中で建設業から発生するものは約58186トン/年で全体の89%

表-3 木くず取扱のある多量排出者

木くず取扱い事業者の数		業種	
		建設系	その他
地域	岡山市	37	16
	倉敷市	52	4
	その他	81	25

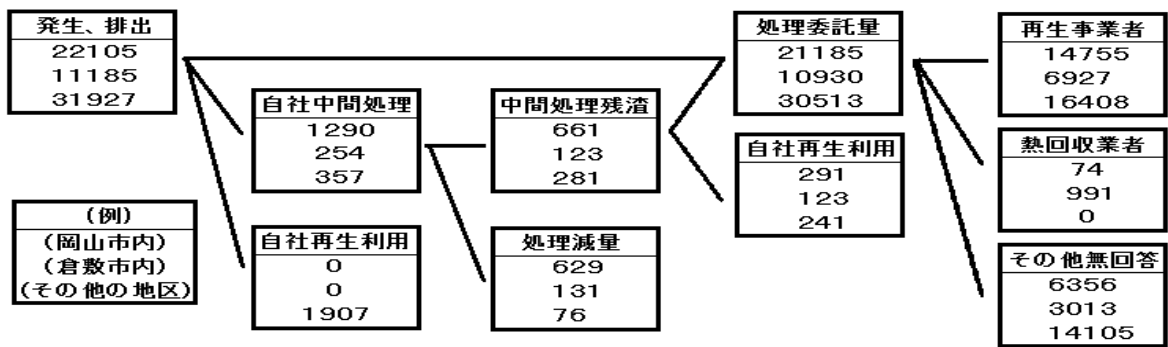


図-5 全業種の木くず処理フロー(トン/年)

を占め、木くずの大部分は建設事業に伴って発生していることがわかった。

また、木くずの排出者は95%を超える割合で処理を他の業者に委託しており、自社中間処理する場合の多くは破碎で、破碎による減量化も行われていることがわかった。処理の委託先は多くが再生事業者であるが、「その他無回答」が約6000トン/年あり、処分される木くずもこの数値に含まれると考えられる。資源の有効活用の可能性がある。

(3) 発生量分布の計算

a) 市町村ごとの発生量推計

以降の調査結果は、建設系廃木材に限ったものである。2. (3) bで論じた計算方法に基づき、工事別の発生量それぞれについて、どの統計値を工事活動量として用いて計算を行ったかを示している。表-4中の⑤には式(2)を、それ以外には式(1)を適用した。

b) 町丁目ごとの地区での発生量推計

a)の計算結果を町丁目単位へと細分化し、それぞれの地区での発生量をマップ化したものが図-6である。人口集中部での発生量が多いことを示している。

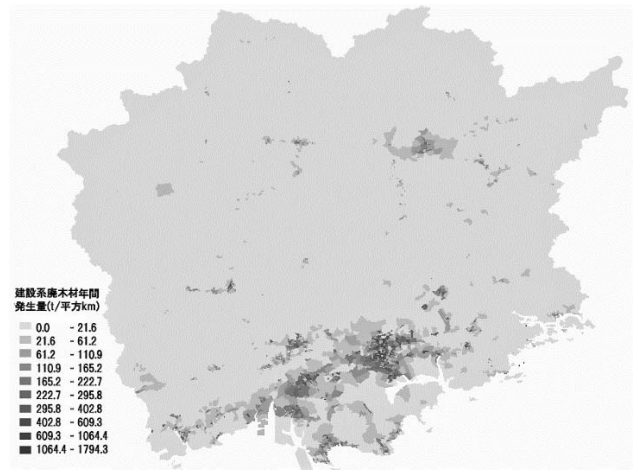


図-6 岡山県の建設廃木材発生量分布

4. 考察

(1) マテリアルフローの推測

ここでは、3. (3)で計算した発生量分布をもとに、岡山県内で発生した建設系廃木材がどこに運ばれて処理されるかを推計する。ここでは、排出者は県内で発生する建設系廃木材を、県内の処理事業者の中で引取価格が最も安い運搬事業者に委託して処理させると仮定する。その引取価格は、運搬事業者の運搬コストと廃棄物を持ち込む処理事業者へ支払う処理コストの合計であるとし、マージンはここでは考えない。岡山県内に7ヶ所の処理施設があるとして、それぞれの位置と処理価格を、アンケート調査を参考に、かつ抽象性を考慮して仮想的に設定する。

業者委託の選定指標となる引取価格は次式で表される。運搬価格の項の2倍は往復を表している。

表-4 岡山県の工事別の建設廃木材発生量

工事の種類	発生量(t/年)	工事活動量指標
① 公共土木	30813	市町村財政規模
② 民間土木	3879	市町村財政規模
③ 新增改築(非木造)	3144	着工床面積(非木造)
④ 新增改築(木造)	8948	着工床面積(木造)
⑤ 解体(非木造)	9564	単独世帯数(2010) 工事費予定額
⑥ 解体(木造)	16021	着工床面積(木造)
⑦ 修繕	983	着工床面積

引取価格＝

$$2 \times (\text{運搬距離} \times \text{燃料単価} / \text{平均燃費}) + \text{処理価格}$$

ここでは、軽油単価を110円/L、4トントラックの平均燃費を4km/L、運搬距離は排出源と処理施設の間の直線距離kmとする。以上の条件をもとに計算を行い、同じ処理施設に輸送される建設系廃木材の排出エリアを色分けした（図-7）。それぞれのエリアは、処理業者ごとの建設系廃木材の収集範囲と考えることができる。各処理業者が収集する廃棄物量は表-5となった。

(2) 持続可能性評価

次に、処理施設①が水島工業地域において、1. で述べたような蒸気供給事業を新事業として展開すると仮定する。この事業は、燃焼熱を電気ではなく蒸気で近隣工場に供給することによって処理コストを下げ、処理価格の引き下げを図るものとする。その効果は建設系木材の収集量に反映するはずである。処理施設①が新事業を開始し、従来の処理価格を2割引き下げたと仮定した場合の、各処理業者の建設系廃木材の収集範囲を図-8に示し、収集量の割合を表-6に示す。

引取価格を引き下げた結果、処理施設①の年間収

集量が7,753 t から30,852 t と増加した。これは県内での収集割合でみると、10.3%から42.1%への増加となった。一方、隣接する②、③、⑦の処理業者の収集量は大幅に減少することがわかった。図-8を見ると、処理施設④、⑤、⑥の収集エリアは現状と比べて大きな変化は見られないが、処理施設①の近い②、③、⑦にはエリアの縮小がみられる。すなわち、施設に近ければ処理価格に影響を受け、遠ければ輸送価格に影響を受けることが分かる。

次に県全体の運搬負荷（運搬距離×運搬量の和）および処理コスト（処理価格×処理量の和）について計算すると、運搬負荷は新事業が開始された場合に従来の約7.2%増となり、処理コストは逆に約6.99%減という結果になった。これは、新事業以前には廃棄物循環の地域分散性があったが、新事業によってそれが崩れ、一部の廃棄物が集中化したと見ることができる。実際に処理コスト低下によるエネルギー消費の低減と、輸送負荷上昇によるエネルギー消費の上昇の合計を比較することが今後の研究の課題である。ところで近隣の処理施設②、③、⑦が、処理施設①と元の収集バランスに戻すためには、輸送あるいは処理の効率化を図る必要があると思われる。そのような事業改革が伝搬すると、また地域分散性

表-5 処理業者の収集量の割合

処理施設	県内での収集割合
処理施設①	10.3%
処理施設②	28.4%
処理施設③	8.5%
処理施設④	16.2%
処理施設⑤	5.7%
処理施設⑥	8.6%
処理施設⑦	22.2%

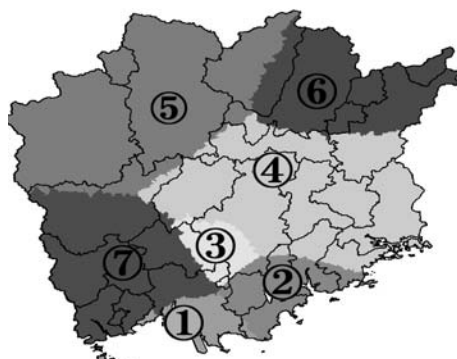


図-7 7つの処理業者の収集範囲(現状)

表-6 処理業者の収集量の割合

処理施設	県内での収集割合
処理施設①	42.1%
処理施設②	18.8%
処理施設③	3.7%
処理施設④	16.2%
処理施設⑤	5.7%
処理施設⑥	8.6%
処理施設⑦	4.8%

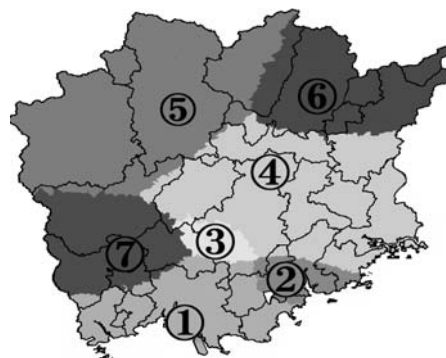


図-8 R社値下げ直後の収集範囲

が戻り、結果として地域循環全体のエネルギー消費レベルが下がり、より理想的な循環型社会に近づくと考えられる。

5. まとめ

本研究では、アンケート調査を通して、岡山県内の収集運搬事業者が取り扱う木くずの種類と運搬距離、処理処分事業者の処理方法などを明らかにした。次に、大規模排出事業者の処理計画や建設事業データから、木質系廃棄物の排出量の特徴や発生分布を明らかにした。さらに、収集運搬事業者による建設系木材の収集モデルを考え、引取価格から処理施設の廃棄物収集エリアを推計した。

以上の結果、次のような知見が得られた。

- ・木くずは主に建設事業に伴って発生するものが多く、処理方法は燃料化、堆肥化が多い。
- ・建設事業の統計データの解析から、建設系廃木材は岡山県都市部に集中的に発生する。
- ・廃棄物収集エリアや収集量は、処理施設の周辺では処理価格が、遠方では輸送価格の影響が大きい。

謝辞：本研究のアンケート調査では、岡山県内の収集運搬業者殿、処理処分事業者殿にお世話になりました。また、リサイクル事業のシミュレーションでは、(株)日本リサイクルマネジメント殿にご協力を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 齋藤弘道: 建築廃材など木質バイオマスを燃料とした蒸気供給モデルの紹介, INDUST, Vol.31, No. 5, 2016
- 2) 岡山県資源循環総合情報センター(2016年閲覧)
<http://junkan.pref.okayama.jp/center.html>
- 3) 国土交通省: 建設副産物実態調査結果, 2012
- 4) 国土交通省: 建築・住宅関係統計, 2016
- 5) 人口統計データベース2016
<http://demography.blog.fc2.com/>
- 6) e-Stat 政府統計の総合窓口 <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>

(2017. 8. 25 受付)

SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF WOOD WASTE RECYCLING BUSINESS TOWARD DEVELOPMENT OF RECYCLING ORIENTED SOCIETY

Chiyoshi Yamashita and Takeshi Fujiwara

The purposes of this study are to clarify the recycling flow of wood waste in a local area and to understand the geographical and economical properties in the transportation and treatment of the waste. First of all, in order to figure out the discharge and transportation amount of wood waste, a questionnaire survey to waste collection and transport companies and waste treatment companies in Okayama Prefecture was conducted. In the next, the geographical distribution of wood waste caused by construction and demolition was projected based on the statistical data of construction projects. In addition, the waste collection area of each treatment facility was estimated under the assumption that a waste discharging company selects a waste transportation company economically. At final, the balance in waste collection between waste treatment companies in the case of launching new project was analyzed. As a result, major methods of wood waste recycling were making of fuel or compost. At the area near the new project the waste treatment price influenced on the waste collection area and amount, on the other hand, at the area far from the project the transportation price influenced.