地域間廃棄物誘発構造を内包した産業廃棄物広域移動変化の要因分析

○吉田　登[1]・佐藤　雅俊[2]・金子　泰純[3]

[1]正会員　和歌山大学准教授　システム工学部環境システム学科（〒640-8510 和歌山市栄谷930）
E-mail:yosida@sys.wakayama-u.ac.jp
[2]学生会員　和歌山大学大学院　システム工学研究科（〒640-8510 和歌山市栄谷930）
E-mail: s104022@sys.wakayama-u.ac.jp
[3]正会員　和歌山大学准教授　システム工学部環境システム学科（〒640-8510 和歌山市栄谷930）
E-mail:kaneko@sys.wakayama-u.ac.jp

地域間産業連関表（経済産業省）及び産業廃棄物の広域移動状況調査（都道府県間の産業廃棄物移動量行列、環境省）のデータをもとに，国9地域ブロックへの産業廃棄物搬入量ベクトルWを地域間広域移動係数行列L、各地域からの産業廃棄物搬出係数の対角行列T，直接排出係数の対角行列D，地域間産業連関表逆行列係数行列B，各地域の最終需要ベクトルFの積として定式化し，2000年，2005年の2時点間の中間項分析を用いて要因分析を行った．分析の結果，地域ブロックへの搬入量変化をもたらした主要因として搬出係数変化及び直接排出係数行列は増加要因として，地域間需給構造変化は減少要因として働くなど移動量変化の寄与が示された．また、汚泥では地域間需給構造変化による減少要因が寄与し，木くずやがれきの場合は搬出係数変化が増加要因として，鉱さいやばいじんでは直接排出係数変化が増加要因として寄与するなど，廃棄物種類ごとに異なる要因の寄与が明らかにされた．また，三角形化分析により，地域産業連関，地域間廃棄物誘発構造，地域間廃棄物広域移動構造の地域間の階層変化を明らかにした．

Key Words : *industrial waste, wide-area transportation, regional input-output analysis*

1. はじめに

廃棄物の処理処分を目的とした産業廃棄物の広域移動が毎年進行している．2008年に閣議決定された第2次循環型社会形成推進基本計画[1]には，地域の特性を活かし，かつ，循環資源の性質に応じて最適な規模の「地域循環圏」の形成を推進し，地域活性化につなげていくことが盛り込まれている．また環境白書・循環型社会白書[2]においては，コミュニティ資源循環，地域資源循環，ブロック内資源循環，国内資源循環，国際資源循環というように分類された様々な循環スケールでの地域循環圏がイメージされている．産業廃棄物の場合，廃棄物の種類，属性に対応して地域資源循環からブロック内，国内資源循環に至るまで，かなり広域の移動を含めた処理処分が行われている．著者ら[3][4][5]は，これまでに経年的な地域間での産業廃棄物の広域移動変化を分析し，排出された産業廃棄物の輸送トンキロを削減する可能性について，線形計画モデル等を用いて考察してきた．また藤山ら[6][7]は数量化理論等を用いて産業廃棄物の移動距離に関する要因分析を行い，筑井ら[8]は輸送手段を考慮した都道府県間廃棄物移動モデルによるエネルギー消費量とCO_2排出量の推計を行っている．これらは排出された廃棄物の行方について分析を行ったものであるが，本来，産業廃棄物は財・サービスの最終消費需要に伴い川上側で排出されるものであるから，広域移動量変化の要因を分析する際においても，排出後の地域間移動だけでなく，産業廃棄物の排出そのものを誘発する地域間での財・サービスの生産と消費の関係を含めた全体構造を捉えることが重要である．廃棄物の誘発構造については，すでに盛岡ら[9]や阿部ら[10]、加河ら[11]による先行研究があるが，これらが対象としているのが主に直接排出量であるのに対して，それらの排出地域からさらに処理処分のために広域移動される廃棄物を含めた移動量変化を対象にした分析を着想した．また，先に述べた廃棄物の広域移動に関する研究では47ある都道府県間での詳細な廃棄物移動を分析している例が多いため，むしろ，地域ブロック間の移動として集約して捉えなおすことで国内全体での広域移動の変化構造を大きく掴むことを試みた．

2. 分析の方法

(1) 変動要因分析

地域間産業連関表の均衡産出高モデルと産業廃棄物の広域移動マトリックスを組み合わせて，2時点間での地域ブロックへの産業廃棄物搬入量の変動がどのような要因によってどれだけもたらされたのかを把握する変動要因別分析の手法について述べる．

基準年（2000年）における地域ブロックごとの産業廃棄物搬入量ベクトルW^0は，式(1)のとおり示される．

$$W^0 = L^0 T^0 D^0 B^0 F^0 \quad (1)$$

但し，ここでW^0は北海道～沖縄の9つに分けた地域ブロックへ中間処理または最終処分のために最終的に搬入される産業廃棄物量のベクトルを示し$W^0{}_i$はi地域への産業廃棄物搬入量を示す．L^0は地域ブロック間の廃棄物広域移動係数行列であり$L^0{}_{ij}$はj地域ブロックからの搬出量のうちi地域ブロックへ投入割合を示す．T^0は搬出係数の対角行列であり，地域ブロックごとの直接排出量に対する域外への搬出量の割合を示す．D^0は直接排出係数の対角行列であり，地域ブロックごとの域内生産額あたりの産業廃棄物排出量を示す，B^0は競争輸入型の産業連関モデルにおける逆行列係数行列$\left[I-\left(I-\hat{M}\right)A\right]^{-1}$を示す．ちなみに$\hat{M}$，$A$はそれぞれ輸入係数の対角行列，投入係数行列を示す．F^0は最終需要ベクトルであり，地域ブロックごとの最終需要額を示す．

同様にして対象年（2005年）における地域ブロックごとの産業廃棄物搬入量ベクトルをW'とすると，2時点間の地域ブロックへの産業廃棄物搬入量ベクトルの変動分ΔWは，(2)式のように示される．

$$\begin{aligned}\Delta W = {} & \Delta L \cdot T^0 \cdot D^0 \cdot B^0 \cdot F^0 \\ & + L^0 \cdot \Delta T \cdot D^0 \cdot B^0 \cdot F^0 \\ & + L^0 \cdot T^0 \cdot \Delta D \cdot B^0 \cdot F^0 \\ & + L^0 \cdot T^0 \cdot D^0 \cdot \Delta B \cdot F^0 \\ & + L^0 \cdot T^0 \cdot D^0 \cdot B^0 \cdot \Delta F \\ & + \cdots\cdots\cdots\cdots\end{aligned} \quad (2)$$

(2)式の意味は，産業廃棄物搬入量の変動＝広域移動係数の変化による変動分（第1項）＋搬出係数の変動による変動分（第2項）＋直接排出係数の変化による変動分（第3項）＋逆行列係数（地域間需給構造）の変化による変動分（第4項）＋最終需要変化による変動分（第5項）＋複数の要因の変化による変動分（交絡項）と表わされる．

変動要因分析に用いる各変数のデータについて述べる．地域ブロックごとの産業廃棄物搬入量ベクトルW及び地域ブロック間の廃棄物広域移動係数行列Lは，環境省がまとめる産業廃棄物の広域移動状況調査における都道府県間及び自地域間での産業廃棄物の移動量データ[12]により作成した．対象とする廃棄物種類は，著者らの既往研究によって広域移動量が相対的に多いと認められた汚泥，廃油，廃プラ，木くず，鉱さい，がれき類，ばいじんとした．産業廃棄物搬出係数の対角行列Tは広域移動状況調査における各地域ブロックごとの搬出量及び環境省がまとめる産業廃棄物排出・処理状況調査報告書[13]における直接排出量データをもとに作成した．直接排出係数の対角行列Dは産業廃棄物排出・処理状況調査報告書における各地域別排出量及び地域間産業連関表[14]の地域別域内生産額データをもとに作成した．地域間産業連関表は名目値であるため，全国産業連関表平成7年-12年-17年接続表の2000年の名目表と実質表（2005年基準）の国内生産額の比率によって，2005年の値に補正した．逆行列係数行列B及び地域ブロックごとの最終需要ベクトルFは前述の地域間産業連関表をもとに作成した．2000年の最終需要については先と同様，2005年基準の実質値に補正したものを用いた．

(2) 行列の三角形化による相互依存構造の分析

産業部門のハイアラーキ構造を分析するために用いられる三角形化の理論[16]を，地域間産業連関表の中間需要行列のほか，産業廃棄物の誘発量行列（DBF'，F'は最終需要ベクトルFを最終需要の対角行列として表現したもの），及び産業廃棄物の広域移動状況調査をもとに作成した地域ブロック間の産業廃棄物移動行列）に適用して，廃棄物広域移動における地域ブロック間でのハイアラーキ構造を分析する．いくつか計算方法が提案されているが，ここでは筑井の方法を横倉[17]がプログラム化したスクリプトをMicrosoft ExcelのVBAマクロとして記述し，分析した．

3. 分析の結果

(1) 変動要因からみた変化

汚泥，廃油，廃プラ，木くず，鉱さい，がれき類，ばいじんの各廃棄物種類ごとに変動要因の分析を行った結果を，図1～7に示す．

詳細には廃棄物種類によって異なるものの，地域ブロックへの搬入量変化に対して総じて大きな影響を与えているものとしては搬出係数変化（第2項），直接排出係数変化（第3項），地域間需給構造変化（第4項）の3つ

が挙げられる．そのうち搬出係数変化及び直接排出係数変化は搬入量を増加させる要因として働いており，域内生産額あたりの排出量原単位だけではなく，処理のために域外へ移動させる割合も増加した様子が伺われ，産業廃棄物における循環圏の拡大が示唆される．ここでいう直接排出係数変化は，地域内の生産額全体に対する直接排出量の割合であることに留意する必要がある．廃棄物排出産業部門における廃棄物発生原単位が悪化したわけではなく地域内の第1～3次産業の生産額が減少することにより見かけ上地域内生産額に対する発生割合が増加したことを示すものと考えられる．一方で，地域間需給構造変化（第4項）は搬入量を減少させる要因として働いている．逆行列係数から影響度係数，感応度係数の変化を調べてみると，関東や近畿における感応度係数が大きく減少していることが分かる（図-8）．

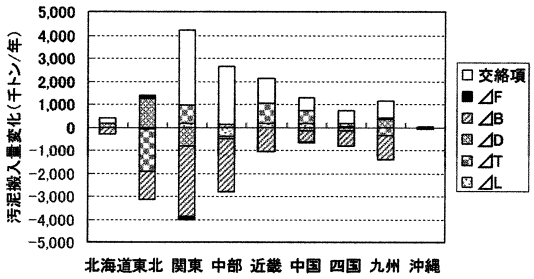

図-1 汚泥搬入量変化の要因分析結果（2000-2005）

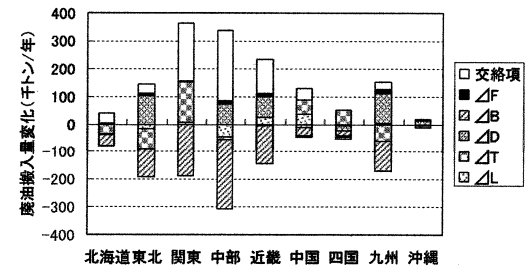

図-2 廃油搬入量変化の要因分析結果（2000-2005）

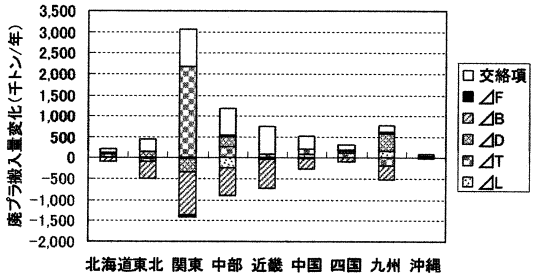

図-3 廃プラ搬入量変化の要因分析結果（2000-2005）

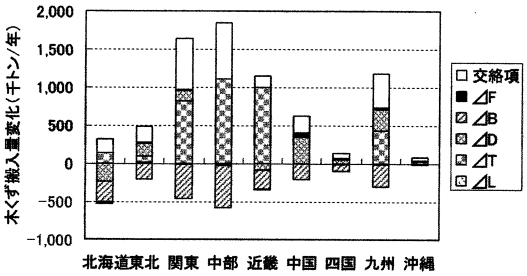

図-4 木くず搬入量変化の要因分析結果（2000-2005）

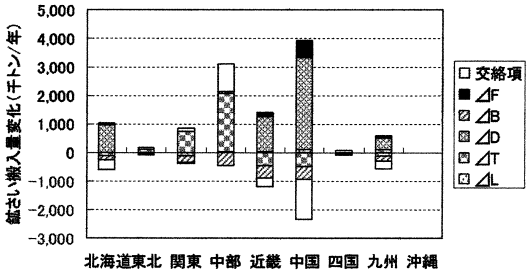

図-5 鉱さい搬入量変化の要因分析結果（2000-2005）

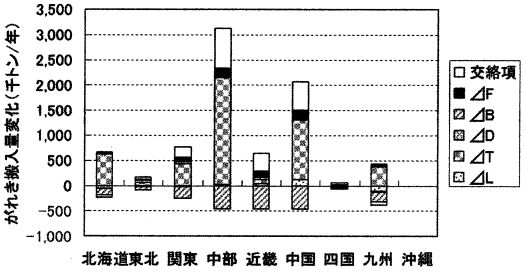

図-6 がれき搬入量変化の要因分析結果（2000-2005）

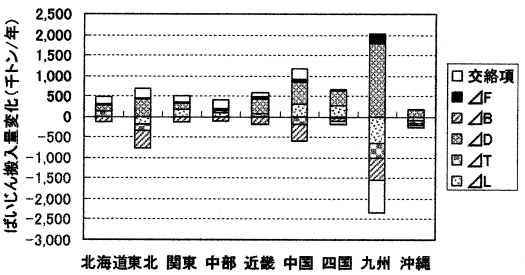

図-7 ばいじん搬入量変化の要因分析結果（2000-2005）

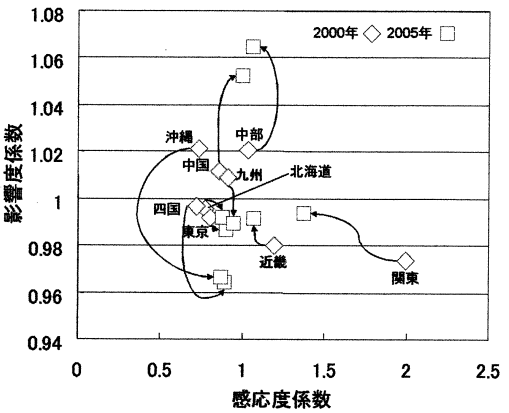

図-8 地域間影響度・感応度係数の変化

(2) 廃棄物種類からみた変化

上記の変動要因と廃棄物種類との関わりをみると，搬出係数変化（第2項）の寄与が大きいものとしては木くず，がれきが挙げられる．木くずでは発生量そのものも増大しているものの，直接排出量に対する搬出量の比率が増加したことが，関東，中部，近畿への搬入量増加の要因となったことが示唆される．同様にがれき類では，中部及び中国での搬入量が増加したが，これも搬出量比率の増加要因が大きく寄与する様子が示されている．木くずはバイオマス燃料等での需要が拡大し，それが搬出係数変化をもたらしたのではないかと考えられる．がれき類は建設用途でのリサイクルあるいは安定型処分場での最終処分が考えられるが，地域ブロック内での受入れ制約等何らかの理由により域外へ搬出せざるをえない状況になったのではないかと思われる．直接排出係数変化（第3項）の寄与が大きいものは鉱さい，ばいじんがある．なお，鉱さい，がれき類，ばいじんでは地域間需給構造変化（第4項）の影響をあまり受けていないことが特徴的である．汚泥，廃油，廃プラ，木くずなどは排出産業部門が比較的幅広いのに対して鉱さい，がれき類，ばいじんでは排出産業部門が部門や地域に特定されることも理由ではないかと考えられる．

(3) 地域からみた変化

排出変化は地域ごとに一様ではなく，廃棄物種類によって搬入量の変化の様子が異なっている．関東では廃プラや木くずの搬入量が大きく増大したが，鉱さい，がれき類，ばいじんではほとんど変化がない．搬入量増大の影響を受けている地域としては，中部地域の木くず，鉱さい，がれき，近畿地域の木くず，中国地域の鉱さい，がれき類，九州地方のばいじんなどが挙げられる．

(4) 行列の三角形化による相互依存構造の分析

部門間の連関構造の特性を分析する際に用いられる三角形化（triangulation）を地域間の財・サービス投入の相互依存（地域間産業連関表の中間投入部分の行列），産業廃棄物の地域間での相互誘発（DBF'の行列の積，F'は最終需要ベクトルFを最終需要の対角行列として表現したもの），及び産業廃棄物の処理処分のための相互投入（広域移動状況調査をもとに作成した地域ブロック間の廃棄物広域移動量行列）に適用して，最終的に産業廃棄物が地域に搬入されるまでの各段階での，地域間の相互依存関係の変化について考察する．

まず，地域間の財・サービス投入の相互依存構造を表-1～2に示す．これをみると地域ブロック間で相互に財・サービスの投入が行われており，対角部分を境に右上半分に0が並ぶいわゆる理想的な三角形化の構造は取り得ないものの，沖縄，九州，東北，では相対的に他地域から財・サービスを投入し，関東，中国，北海道は他地域へ財・サービスを提供する構造であり，この構造は2000年時点，2005年時点とも同様の傾向を示す．

次に，汚泥を例として，産業廃棄物の地域間での相互誘発構造をみる．汚泥は，関東，近畿，中部の大都市地域で大量に排出されるほか各地域で幅広く排出されている．この直接の排出地域と，これらの排出を誘発している地域との関係について2時点間の変化を表-3～4に示す．前述の財・サービス投入の経済的な相互依存構造と同様，三角形にはならず，相互に投入し，投入される相互依存構造が示されている．2000年から2005年にかけて全体としては相互依存での地域間での位置関係は大きくは変わっていないが，大都市地域へ他地域からの廃棄物誘発量は低下し，相対的に自地域からの誘発が大きくなっている．これは図-8で示されたような関東や近畿の大都市地域での感応度係数の低下などとの関連性が示唆される．

さらに，汚泥の広域移動における地域間での相互依存構造の変化を 表-5～6に示す．2000年では右上に比較的0が並ぶ，いわゆる三角形化の構造がほぼ示されている．汚泥の搬入先，いわゆる受け皿となっている地域は三角形化された行列の上位に位置する九州，中国地域であり，セメント産業の集積との関係が示唆される．関東，中部，近畿の大都市地域は三角化行列の下位に位置する．2時点間においてこの構造は大きくは変化していないが，詳細にみると，四国地域は2000年で下位に位置し，殆んど他地域から汚泥の搬入が認められなかったが，2005年では東北，近畿，中国地域から排出される汚泥の一部を受入れるなど，九州，四国に次いで上位の位置へと相互依

表-1 地域間産業連関表の三角形化（千億円，2000年）

To / from	北海道	東北	中部	関東	中国	近畿	四国	九州	沖縄
北海道	51	0	2	0	0	0	1	0	4
東北	0	439	6	7	3	5	17	11	110
中部	3	6	645	2	6	23	33	13	56
関東	0	7	3	281	1	2	9	5	39
中国	0	4	8	1	183	10	19	9	23
近畿	1	7	25	4	11	405	42	19	55
四国	3	19	41	12	25	45	1195	80	150
九州	2	20	25	11	10	20	80	829	150
沖縄	7	120	96	53	33	66	165	174	3325

表-2 地域間産業連関表の三角形化（千億円，2005年）

to / from	北海道	東北	中部	関東	中国	近畿	四国	九州	沖縄
北海道	18	1	0	0	0	0	0	0	1
東北	1	246	3	12	4	16	1	13	27
中部	0	4	164	10	1	9	4	3	55
関東	1	19	12	442	6	51	5	16	92
中国	0	5	2	7	71	11	1	6	16
近畿	1	22	11	52	13	508	5	25	82
四国	0	2	5	6	1	5	106	2	20
九州	1	19	4	19	8	27	2	223	33
沖縄	3	50	62	116	18	85	24	40	1612

表-3　地域間産業廃棄物誘発の三角形化（2000年,万t/y）

To / from	北海道	東北	中部	関東	中国	近畿	四国	九州	沖縄
北海道	58	2	5	0	1	0	0	1	0
東北	4	908	96	13	52	6	30	25	10
中部	14	174	4718	184	290	89	109	265	55
関東	1	19	201	827	42	15	13	30	7
中国	7	94	339	49	2183	30	81	150	45
近畿	1	13	113	22	31	741	8	20	4
四国	3	64	157	24	102	12	895	52	25
九州	6	80	407	61	203	34	56	1874	29
沖縄	1	33	97	16	66	7	32	35	644

表-4　地域間産業廃棄物誘発の三角形化（2005年,万t/y）

To / from	北海道	東北	中部	関東	中国	近畿	四国	九州	沖縄
北海道	47	0	1	0	0	0	0	0	0
東北	1	788	21	12	9	3	9	1	3
中部	2	32	2,847	51	24	36	67	14	11
関東	1	20	70	1549	21	10	44	5	11
中国	1	19	32	25	657	4	18	2	7
近畿	0	6	63	12	4	866	13	5	2
四国	1	24	104	58	19	15	1602	7	7
九州	0	3	28	8	3	7	9	632	1
沖縄	0	8	22	15	8	3	10	1	443

表-5　地域間産業廃棄物移動の三角形化（2000年,万t/y）

To / from	北海道	東北	中部	関東	中国	近畿	四国	九州	沖縄
北海道	75	0	0	0	0	0	0	0	0
東北	0	213	1	0	0	0	0	0	0
中部	0	17	106	0	0	0	0	0	0
関東	0	0	0	280	0	1	0	2	0
中国	0	22	11	0	220	11	0	1	0
近畿	0	1	1	2	22	504	0	6	0
四国	0	0	0	0	0	0	164	0	0
九州	75	0	0	0	0	0	0	0	0
沖縄	0	213	1	0	0	0	0	0	0

表-6　地域間産業廃棄物移動の三角形化（2005年,万t/y）

To / from	北海道	東北	中部	関東	中国	近畿	四国	九州	沖縄
北海道	83	0	0	0	0	0	0	0	0
東北	0	173	5	0	0	0	1	0	0
中部	0	15	143	1	0	2	7	0	0
関東	0	1	3	145	0	1	0	0	0
中国	0	0	0	2	101	0	3	0	0
近畿	0	21	15	5	0	310	0	18	0
四国	0	17	16	0	7	1	687	7	0
九州	83	0	0	0	0	0	0	0	0
沖縄	0	173	5	0	0	0	1	0	0

存の位置づけを変化させている．また中部地域は他地域への搬出を拡大させ，より下位の位置へと移動していることが分かる．

2. 結論

地域間産業連関表及び産業廃棄物の広域移動状況調査データをもとに，2000，2005年の2時点間の中間項分析及び三角形化分析を用いて変化要因を考察した．分析の結果，地域ブロックへの搬入量変化をもたらした主要因として搬出係数変化及び直接排出係数行列は増加要因として，地域間需給構造変化は減少要因として働くなど移動量変化の寄与が示された．また、汚泥では地域間需給構造変化による減少要因が寄与し，木くずやがれきの場合は搬出係数変化が増加要因として，鉱さいやばいじんでは直接排出係数変化が増加要因として寄与するなど，廃棄物種類ごとに異なる要因の寄与が明らかにされた．また三角形化分析をもとに，地域産業連関，地域間廃棄物誘発構造，地域間廃棄物広域移動構造の地域間の階層変化について考察した．

参考文献

1) 環境省：循環型社会推進基本計画（平成20年3月），2008.

2) 平成20年版環境白書・循環型社会白書，2008

3) 忽那洋助・吉田登: 都道府県における産業廃棄物処理に伴う広域移動マイレージの推計とその経年変化，土木学会第35回環境システム研究論文発表会講演集,pp.349-354,2007.

4) 佐藤雅俊・吉田登: 産業廃棄物広域移動マイレージの変化構造と施設能力増加によるマイレージ削減可能性の分析，土木学会第 36 回環境システム研究論文発表会講演集，pp.119-124,2007.

5) 佐藤 雅俊・吉田 登・谷川 寛樹：産業廃棄物における広域移動マイレージの経年変化構造とマイレージ削減可能性の分析ー主要7種類に対する考察と汚泥、木くずを対象とした詳細分析ー，環境情報科学論文集23,pp.297-302,2009

6) 藤山淳史・松本亨: 産業廃棄物の広域移動に関する実態とその要因分析，土木学会環境システム研究論文集 Vol.37, pp.331-338,2009.

7) 藤山淳史・松本亨: 産業廃棄物及び廃 PET ボトルを対象とした循環圏に関する要因分析，環境科学会誌 Vol.23 No.2, pp.115-125,2010.

8) 筑井麻紀子・中村圭佑: 輸送手段を考慮した都道府県間廃棄物移動モデルによるエネルギー消費量と CO_2 排出量の推計，日本LCA学会誌 Vol.5 No.4，pp.462-472，2009.

9) 盛岡通・吉田登・庵原 一水: 産業廃棄物の地域間相互誘発構造からみた処分量抑制と費用負担に関する研究，土木学会環境システム研究 Vol.26,pp.103-109,1998

10) 阿部宏史・新家誠憲: 地域産業連関モデルによる産業廃棄物誘発構造の時系列分析，環境情報科学論文集 20, pp.433-438,

2006.
11) Kagawa, S., Nakamura, S. and Inamura, H., "Measuring Spatial Repercussion Effects of Regional Waste Management," Resources, Conservation & Recycling, vol.51, no.1, pp.141-174, 2007.
12) 環境省：廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環的利用量実態調査報告書（広域移動状況編　統計表）.
13) 環境省：産業廃棄物排出・処理状況調査報告書..
14) 経済産業省：地域間産業連関表
15) 総務省：全国産業連関表 平成7年—12年-17年接続表.
16) 新飯田宏：産業連関分析入門，東洋経済新聞社，pp.1-276, 1988
17) 横倉弘行：産業連関分析入門ーパソコンによる Leontief，窓社，pp.1-303，1990

ANALYSIS ON CHANGE FACTORS IN INTER-REGIONAL WASTE TRANSPORTATION INDUCED BY REGIONAL WASTE REPERCUSSION STRUCTURE

Noboru YOSHIDA, Masatoshi Sato and Hirozumi KANEKO

While construction of regional recycling loop has already been proposed, wide-area transportation of industrial waste is still increasing year by year. The authors previously made analyses on yearly trend of wide-area industrial waste transportation and discussed about the possibility of reducing waste transportation in terms of ton-kilometers. However, industrial waste is generated in upper stream of production process due to final consumption demand of goods and services, it would be important to figure out not only wide-area transportation but also whole structure of goods to waste including supply and demand of goods and services. In this paper, therefore, an analysis was made to clarify factors of changes in the wide-area waste transportation. As a result of the analysis, different changes were observed by regions.