

紙リサイクル原料古紙の地域間物流が輸送量 及びエネルギー消費に及ぼす影響の分析

吉田 登¹・川端 宏紀²・金子 泰純³・日下 正基⁴

¹正会員 博(工) 和歌山大学助教授 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:yoshida@sys.wakayama-u.ac.jp

²学生会員 工修 株式会社オークワ (〒641-0006 和歌山市中島185番地の3)
E-mail:yoshida@sys.wakayama-u.ac.jp

³正会員 工修 和歌山大学助教授 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

⁴非会員 工博 和歌山大学教授 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:kusaka@sys.wakayama-u.ac.jp

本研究では、紙リサイクル原料古紙の地域間物流が輸送量及び輸送エネルギー消費に及ぼす影響を分析した。まず、古紙統計年報等から求めた都道府県間の古紙発生・購入量に対し、線形計画法を用いて現状の古紙パルプ生産能力を制約として、総輸送トンキロを最小とする地域間発生・購入量を推計し、現状と比較して約4億トンキロの輸送量及び現状の輸送機関分担率で2,053百万MJの輸送エネルギーが削減される結果を得た。また古紙回収が進み地域間移出入量が増大した場合でもエネルギー輸送原単位は削減する傾向と推計された。さらに、各地域での古紙受入能力を2倍に拡大した場合には、輸送エネルギーは約7割に削減し、北海道、東北に広域の、その他の地域には自地域内中心の移出入が形成される結果となった。

Key Words : paper recycling, cross transportation, energy consumption, deinking pulp equipment,

1. はじめに

近代製紙工業が始まって約130年が経つが、この間わが国の製紙原料も大きく変わってきた。かつての国内木材中心の原料は輸入パルプが中心となり、製紙工場の立地の多くは資源立地型から臨海型へシフトしてきた¹⁾。

紙原料の不足から製紙原料に古紙が一般的に用いられるようになったのは第二次世界大戦後であるが、その後、石油危機をきっかけに産業が地球環境へ与える諸影響が懸念されるようになり、製紙産業でも環境対策の一環として古紙リサイクルのさらなる推進が要請された。

我が国の製紙業界ではさらなる古紙の再生利用の促進を目指し2005年度までに古紙利用率を60%に引き上げるという「リサイクル60計画」を打ち出し古紙利用の拡大に取り組み、2003年度の古紙利用率は60.4%に達した。

この間、再生資源利用促進法やグリーン購入法等の法律が施行され、古紙利用は今後も拡大する傾向にある。

製紙原料の半分以上が古紙となった現在、各製紙会社は脱墨設備の導入を進めて需要に対応してきたが、製紙

工場の多くは古紙の多く発生する都心部から離れるため、物流に伴い多くのエネルギーを必要とする。また、古紙調達には、古紙問屋などが個別に製紙会社と契約し活動するため、経済上あるいは取引上の問題等により業界全体では多くの交錯輸送が発生している²⁾。製紙業界の側でも同様の問題があり、現状では、まだ業界全体で交錯輸送を削減し、効率的な輸送を行う段階には至っていない。今後、古紙パルプの需要がさらに増え続けると古紙の地域間移出入量は無秩序に増加し、国内全体での古紙輸送効率の低下とエネルギー消費の増大が懸念される。

そこで本研究は、紙リサイクル原料古紙の地域間物流が輸送トンキロ及びエネルギー消費に及ぼす影響を分析した。著者らの既往研究³⁾を発展させて、都道府県間の輸送トンキロを最小とする古紙移出入量を求めて現状のエネルギー消費との比較をおこなうとともに、古紙の都道府県間発生・購入可能量の将来変化が古紙原料の輸送量やエネルギー消費に与える影響を分析した。さらに、脱墨設備の導入が進み各地の古紙受入能力が拡大した場合の、古紙の地域間移出入の変化について考察した。

2. 古紙発生・購入量、輸送量及び輸送エネルギーの推計

(1) 本研究における古紙輸送の考え方

古紙の各発生源から製紙工場までの大きな流れは、実際には各発生源→回収業者(団体)→直納業者(古紙問屋)→製紙会社(工場)という経路をたどる。輸送距離や輸送エネルギーを厳密に推計するためには、回収ルートに沿った積算が必要であるが、これを各地域ごとに把握するのは困難なため、本研究では古紙輸送を、古紙問屋の所在する都道府県から製紙工場の所在する都道府県への、都道府県間の輸送として単純化した。

(2) 現状での都道府県間古紙発生・購入量の推計

上記の考え方のもと、古紙統計年報⁴⁾に公表されている地域間古紙発生・購入量(表-1)を基本として、これを都道府県間の発生・購入量に再配分した。まず発生量については、表-1の地域別古紙発生量を、地域内都道府県の一般廃棄物及び紙類産業廃棄物の発生量合計に対する各都道府県の発生量の比により配分した。次に購入量については、表-1の地域別古紙購入量を、『紙パルプ企業・工場データブック』⁵⁾に表示される工場別古紙パルプ製造設備能力の都道府県別集計値の地域内合計に対する各都道府県集計値の比により配分した。

(3) 古紙輸送エネルギーの推計

古紙の輸送エネルギーを推計するために以下の式を用いて計算を行った。

$$E = C \times W \times L \tag{1}$$

但しE: 古紙発生地から製紙工場までの輸送エネルギー消費量 (MJ), C: エネルギー消費原単位 (MJ/t/km), W: 原料古紙の輸送重量 (t), L: 輸送距離 (Km),

a) エネルギー消費原単位

エネルギー消費原単位は、『エネルギー・経済統計要覧』⁶⁾の原単位を適用した(表-2参照)。

b) 原料古紙の輸送重量

原料古紙の輸送重量は、(2)で推計した都道府県間古紙発生・購入量を基礎とし、それを『全国貨物純流動調査報告書(以下、物流センサス)』⁷⁾による輸送機関ごとの輸送量の比率で配分した。物流センサスでは古紙単独の流動量は推計されていないので、古紙が含まれている「その他くずもの」のデータを代用した。「その他くずもの」には古紙のほか、木屑、ゴム屑、繊維屑が含まれている。また、物流センサスでは3日間の調査しかされていないため、実際は地域間移出入が行われているのにもかかわらず、物流センサスでは都道府県間移出入が全く行われていないという矛盾が生じる場合がある。これに該当する福井県、佐賀県については「その他くずもの」を含む「特殊品」のデータを用いて推計した。ちなみに、2000年度物流センサスにおける「その他くずもの」の3日間調査結果(図-1)では、3日間での総輸送量147千トンの約98%を陸運が占めている。海運は約2%に相当する3千トンで、北海道着の輸送が海運全体の大半

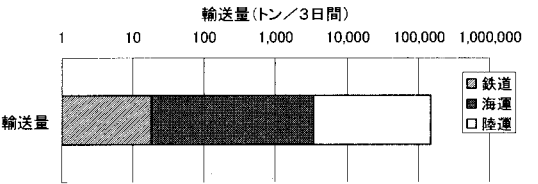


図-1 「その他くずもの」の輸送機関別輸送量(2000年)

表-2 輸送機関別エネルギー消費原単位

	エネルギー消費原単位 (MJ/t/km)
トラック	3.48
鉄道	0.26
内航海運	0.98

表-1 古紙の地域間移出入量

	単位:千トン										
	北海道	東北	関東	静岡	中部	北陸	近畿	中国	四国	九州	発生量
北海道	356	0	0	0	0	0	0	0	0	0	356
東北	143	355	0	0	0	0	0	0	0	0	498
関東	881	640	852	1,174	19	56	0	0	283	3	3,908
甲信越	0	6	18	6	19	32	0	0	0	0	81
静岡	0	0	0	144	0	0	0	0	0	0	144
中部	10	0	6	73	464	34	3	0	50	1	641
北陸	0	0	0	0	4	140	0	0	0	0	144
近畿	81	0	31	53	88	46	241	15	561	29	1,146
中国	0	0	0	0	0	0	1	155	120	39	315
四国	0	0	0	0	0	0	0	0	140	7	149
九州	0	0	0	0	0	0	0	6	128	384	518
購入量	1,471	1,001	907	1,450	594	309	245	176	1,283	463	7,900

半を占め、鉄道は総輸送量の0.01%にあたる18トンで神奈川、福岡への着となっている。3日間調査ゆえにデータの代表性の問題はあるが、殆どが陸運によることが示されている。

c) 輸送距離

(1)で示した古紙輸送の考え方をもとに、古紙問屋から製紙工場までの輸送距離を発着の都道府県間の輸送距離として単純化した。発地点となる古紙問屋は全国で数百とあり、都道府県ごと多く存在する。そこで、各都道府県の古紙問屋は都道府県の中でも最も人口が多く経済活動が盛んに行われているであろう、都道府県庁所在地に集中しているものと考え、発地点は各都道府県庁所在地と仮定した。一方、着に相当する脱墨設備が整えられている製紙工場は、ひとつの都道府県に多数ある場合もあるが、洋紙系古紙を原料としている製紙工場の数は限られる。そこで、着となる都道府県内に複数の製紙工場がある場合には、基点から製紙工場所在地までの距離とその工場での脱墨設備能力を求め、その加重平均距離をもって輸送距離とした。距離計算については、トラック輸送は距離算定ソフト⁸⁾、鉄道は全国通運連盟の貨物輸送002算定ソフト⁹⁾を用い、船舶輸送はフェリーの走行距離を用いた。また、本研究においてモード選択は内生化せず、現状において当該都道府県間の古紙輸送に用いられている輸送機関別の分担率を外生変数として適用した。従ってエネルギーの最小化を議論する場合には、地域間でのモード選択にかかる制約条件の構造を明確にして定式化した上で計算する必要がある。しかし、古紙物流に関する実際のモード選択には輸送重量以外にも

種々の要因が働くため、本研究ではモード選択は外生化し、モードシフトを含めた古紙物流の効率化については今後の課題としている。そのため、本研究におけるエネルギー消費量はあくまでも現状のモード選択を固定した場合の計算値である。

(4) 輸送エネルギーの計算結果

現状での、製紙工場が所在する各都道府県における古紙購入量と、製紙工場までの古紙輸送のために消費されるエネルギーとの関係を図-2に示す。古紙購入量がほぼ同じ北海道と静岡県を比べると、北海道では静岡の約2倍の輸送エネルギーが消費されていることが分かる。これは、輸送距離、及び輸送機関の両者がこのようなエネルギー消費の差をもたらしていることが確認できる。北海道の製紙工場は古紙発生源から製紙工場までの総距離が約13,600 kmだったのに対して、静岡県の製紙工場では古紙発生源から製紙工場までの総距離は約3,700 kmで、輸送距離だけを見ると静岡県は北海道と比べ約4分の1少なかったのにもかかわらずエネルギー消費量ではそこまでの差がつかなかった。また、北海道より古紙購入量が少なく、総輸送距離も約5,000 km短い愛媛がほぼ同じだけのエネルギーを消費している。これは北海道への輸送が輸送機関別燃料消費効率の良い船舶輸送中心であるためである。

3. 地域間古紙輸送距離を最小化する輸送計画とエネルギー消費の変化

(1) 古紙輸送距離最小化の線形計画の定式化

現在の地域間古紙輸送は、前述のとおり、交錯輸送や長距離の古紙輸送のため、必ずしも良い輸送システムではないと考えられる。そこで、最適な輸送配分をした場合、理論的にはどれくらいの輸送トンキロが削減され、その際、現状の分担率ではどのくらいのエネルギー消費の削減の余地があるのかについて、以下のような線形計画モデルとして定式化し、これをもとに古紙輸送トンキロ及び輸送エネルギーを推計した。

Minimize

$$z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{ij} L_{ij} \quad (2)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (3)$$

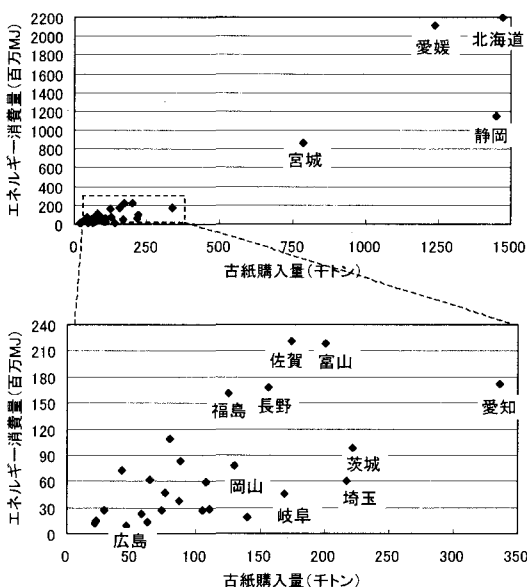


図-2 都道府県別古紙購入量と輸送エネルギー（現状）

$$\sum_{j=1}^n W_{ij} = a_i \quad (i = 1, \dots, m) \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m W_{ij} = b_j \quad (j = 1, \dots, n) \quad (5)$$

$$W_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n) \quad (6)$$

ここで、

i : 古紙発生地($i = 1 \sim m$)

j : 古紙購入地($j = 1 \sim n$)

$W_{ij}(t)$: 発生地 i から購入地 j に運ぶ古紙重量

$L(km)$: 発生地 i から購入地 j までの輸送距離

$a_i(t)$: 発生地 i での古紙発生量

$b_j(t)$: 購入地 j での古紙購入量または購入可能量

表-3 都道府県別脱墨設備能力(t/年)

愛知県	138,700
青森県	54,750
石川県	137,970
茨城県	446,344
岩手県	18,250
愛媛県	1,162,525
大分県	190,438
大阪府	254,081
岡山県	102,331
鹿児島県	56,575
岐阜県	69,538
熊本県	219,000
埼玉県	438,030
佐賀県	438,007
静岡県	2,369,567
千葉県	125,780
東京都	222,650
徳島県	40,150
栃木県	117,984
富山県	256,094
長野県	315,726
新潟県	161,411
兵庫県	191,260
広島県	36,500
福岡県	185,928
福島県	106,425
北海道	1,758,229
三重県	36,500
宮城県	667,950
宮崎県	73,000

各制約条件の意味は、式(3)は古紙の発生量と購入(可能)量が一致していること、式(4)は発生地から輸送された古紙の総量とその発生地調達可能な古紙の量と等しいこと、式(5)は購入地での古紙の購入(可能)量は各発生地からその購入地に輸送された古紙の総量によって満たされていること、式(6)は輸送される古紙量の非負条件をそれぞれ意味している。

(2) 脱墨設備能力による古紙購入(可能)量の設定

現状での、各都道府県における古紙購入量及び将来の購入可能量を設定するため、『紙パルプ企業・工場データブック』をもとに脱墨設備の設置状況を把握し、これを都道府県毎に集計した(表-3)。表中に記載のない都道府県には脱墨設備が設置されていないことを意味する。この脱墨設備能力を地域ごとに集計した値は、ほぼ表-1に示した古紙統計年報の各地域ごとの値と類似しているが一致していない。そこで、この表-1の地域別古紙購入量を各地域ごとに表-3の当該の都道府県別脱墨設備能力で配分した値を、式(5)で用いる古紙購入量(または古紙購入可能量)として設定した。

(3) 現状古紙購入量に対する輸送距離最小化の分析結果

前述の(1)をもとに、現状の古紙購入量に対する輸送距離を最小にする地域間移出入量の配分を求めた結果を、表-1と対比する形で地域間移出入量として集計し、表-4に示す。表-1では、各地域平均して約5地域から古紙を購入しているが、輸送距離の最小化を行った後は各地域平均で約2地域からの購入で需要を賄うことになる。

表-4 現状の古紙購入量に対して輸送距離を最小にする地域間移出入量

											単位:千トン
	北海道	東北	関東	静岡	中部	北陸	近畿	中国	四国	九州	発生量
北海道	356	0	0	0	0	0	0	0	0	0	356
東北	0	498	0	0	0	0	0	0	0	0	498
関東	1116	503	907	1307	0	76	0	0	0	0	3908
甲信越	0	0	0	0	0	81	0	0	0	0	81
静岡	0	0	0	144	0	0	0	0	0	0	144
中部	0	0	0	0	594	7	0	0	40	0	641
北陸	0	0	0	0	0	144	0	0	0	0	144
近畿	0	0	0	0	0	0	245	0	901	0	1146
中国	0	0	0	0	0	0	0	176	139	0	315
四国	0	0	0	0	0	0	0	0	149	0	149
九州	0	0	0	0	0	0	0	0	54	463	518
購入量	1471	1001	907	1450	594	309	245	176	1283	463	7900

この結果、各地域では自地域内で発生する古紙は自地域で購入したうえで足りない分を他地域から購入するか、あるいは自地域内で使用する古紙を自地域内で購入したうえで余った古紙を他地域に提供する形をとっている。

以上の古紙物流の変化により、総輸送量は現状の約28.5億トンキロからその約16%に相当する約4.4億トンキロが削減された。この約4.4億トンキロの削減量を輸送機関別にみると、陸運が4.7億トンキロの削減（現状約18.7億トンキロの25%削減）、海運は逆に0.3億トンキロの増加（現状約10億トンキロの3%増加）であり、鉄道は僅か2億トンキロの削減（現状約0.1億トンキロの23%削減）となっている。次にこの場合の、古紙購入

側の各都道府県における輸送エネルギーの変化を図-2と対比する形で集計し、図-3に示す。全30都道府県中9割の28都道府県で輸送エネルギーが削減される結果となり、現状の古紙輸送にかかる総エネルギー消費量8,215百万MJに対してその約25%に相当する2,053百万MJの輸送エネルギー削減の効果が示された。中でも最も効果が大きく出た都道府県が愛媛県で、約607百万MJの輸送エネルギーを削減することができた。さらに大規模に古紙が発生する首都圏に近い静岡県でも約318百万MJの輸送エネルギーを削減することができた。図-2と図-3をもとに現状からのエネルギー消費量改善率として集計した結果が図-4である。最も大きな効果が出た都道府県は兵庫県で、現在のエネルギー消費量は27百万MJであったが、距離最小化計算後は0.2百万MJとなり99.2%の改善が見られた。

逆に輸送エネルギーが増えた富山県、岩手県の2県であったが、2県の増加量の合計は約23百万MJであった。両県の輸送エネルギーが増加した原因についてみるに、富山県の場合は現状では近隣の愛知からの購入が多かったのに対し、全体の輸送距離最小化の結果、これまで遠方から購入する割合が多かった愛知県においてモデル上では輸送距離の短い自地域内購入が増加する結果となったことに伴い、愛知県からの購入量が減少した富山では不足分を東京など愛知より遠方の都道府県よりする購入する形になったためである。岩手では、現状では工場が立地する岩手県南端の一関に近い宮城からの購入が多かったのに対し、全体の輸送距離最小化の結果、宮城県から発生する古紙の多くが北海道に向けられ、代わりに隣県ではあるが宮城よりは輸送距離の長い秋田県からの購入が増加したことによるものである。

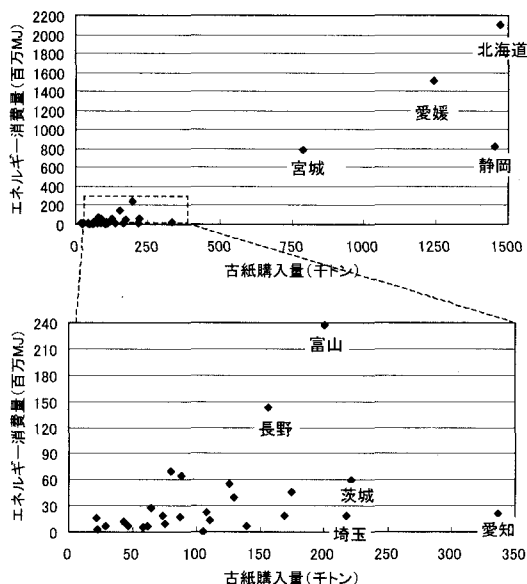


図-3 都道府県別古紙購入量と輸送エネルギー
(距離最小化)

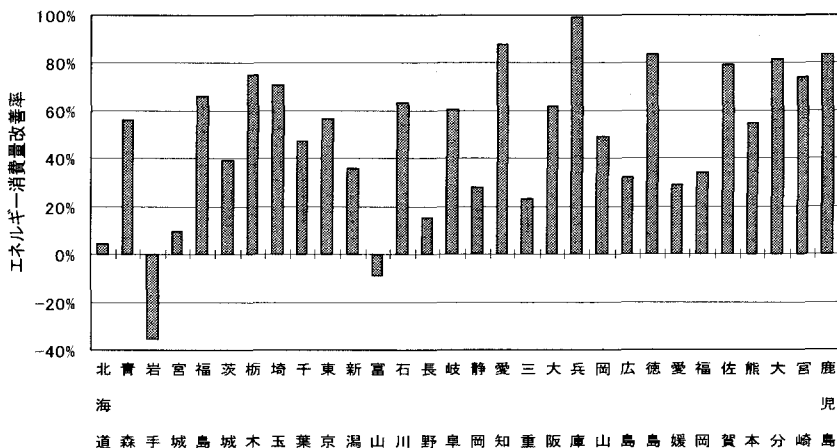


図-4 古紙購入側の都道府県における輸送エネルギー消費量改善率

(4) 将来古紙購入量変化に伴う輸送エネルギーへの影響

先の結果は現状の古紙需要を前提としたものであったが、これが将来の古紙発生・需要変化に伴いどのように影響を受けるかについて考察を行った。日本製紙連合会は『第7回環境に関する自主行動計画 フォローアップ調査結果』¹⁰⁾で2010年の紙・板紙生産量を3220万トンと見込んでいることから、まずこの生産量に過去10年間平均の洋紙比率59.4%を乗じて得られる1913万トン（現状2002年比で約60万トン増）を2010年時点での生産量とする。この生産量を≒消費量とみなし、この消費量1913万トンに対して近年の古紙回収率の上昇傾向をふまえて古紙が最大限回収された状況を想定する。すなわち『古紙の回収限界に係る調査報告書』¹¹⁾による回収限界での各紙種別古紙回収率（平均回収率68.9%）を1913万トンのみない消費量に乘じた結果得られる、1318万トンを最大回収可能な古紙量として設定した。次にこの最大回収可能な古紙量1318万トンを都道府県別購入量、発生量に配分するために、図-5～6に示す、各地域での古紙需要量及び発生量の推移から1995年以降2003年までの地域別の年平均変化量を求め、この変化量の傾向が2003年以降も継続したと仮定して各地域での2010年での購入量、発生量を求め、この地域別比率を上述の1318万トンに乘じて2010年の地域別購入量、発生量を求め、さらに都道府県別への配分は現状2002年の各地域での都道府県別割合と同じであると仮定して、2010年での都道府県別購入量、発生量を推計した。

2010年では古紙輸送量そのものが約1.7倍に増大するために、当然ながら総輸送トンキロやそれに伴う輸送エネルギー消費量も増大することが予想されるが、線形計画法により輸送距離最小化をおこなった結果、総輸送トンキロは約44.5億トンキロで2002年比の増加率は約1.6倍、輸送エネルギー消費量合計は12710百万MJで2002年比の増加率は約1.5倍にとどまる結果となった。さらに、図-7に示す輸送エネルギー原単位の変化をみると、都道府県の多くが原単位を削減する結果になることが示された。三重のエネルギー消費原単位が極端に高くなった理由は、本来、三重県が購入する古紙は三重県内と愛知県

からそれぞれ31%と69%の割合で供給されていたが、全国での総輸送距離の最小化に伴い、関西では大阪府や三重県で発生した古紙の大半が愛媛県に、一方で三重県の製紙工場が購入する古紙は全量東京から購入するという構造になったためである。岡山も同様の理由である。逆に北海道では、自地域内からの陸運での古紙調達が増加したためと解釈される。

(5) 脱墨設備能力拡大がもたらす古紙移出入への影響

これまでの分析では、現状の各都道府県における脱墨設備の設置能力をもとに古紙購入量を設定した。これらの脱墨設備の大半は、1990年代から急速に設備投資されてきたものであり、その判断は製紙業全体の産業政策として計画されたものというよりは、個々の企業の経営判断によるものである。また、今後も古紙利用率の拡大に応じて脱墨設備の設置が進むものと予想される。前段では将来の古紙需要が増大した場合の分析をおこなったが、その際も各地域での古紙購入量は過去の古紙購入実績の延長推計であり、現状の地域間需給のバランスは大きく変化していない。そこで、ここでは現状の古紙購入量合計に対して、それを受入れる各地域の脱墨設備能力に新たな設備投資等による一定の受入幅の拡大を許容した場合に、どのような地域間移出入変化が起こるかを分析した。具体的には式(5)を

$$\sum_{i=1}^m W_{ij} \leq B_j \quad (j=1, \dots, n) \quad (7)$$

とし、ここで、脱墨設備能力拡大に伴う古紙購入可能量 B_j を現状の設備能力100%から10%ずつ200%まで増加させた上で、現状の北海道への輸送は海運、その他地域への輸送は陸運が卓越する分担率を固定した総輸送エネルギー消費（あるいは現状の輸送機関のエネルギー消費原単位で重み付けた総輸送トンキロ）の最小化を行った場合の全体及び各地域での輸送エネルギー消費の変化を図8～9に示す。結果、購入地の北海道への古紙の輸送が増大することにより総輸送トンキロは約35.4億トンキロと現状の1.2倍に拡大するが、全体の輸送エネルギー消費

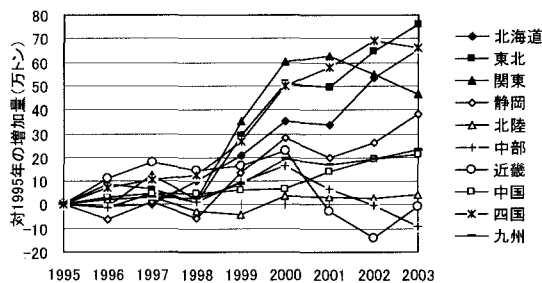


図-5 対1995年の地域古紙需要量の推移

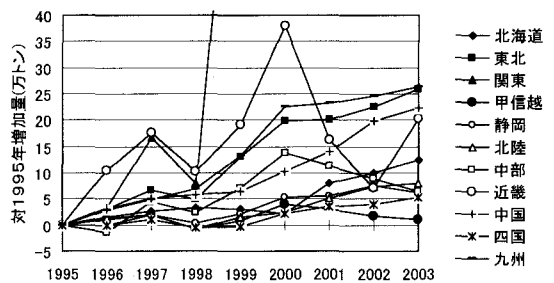


図-6 対1995年の地域古紙発生量の推移

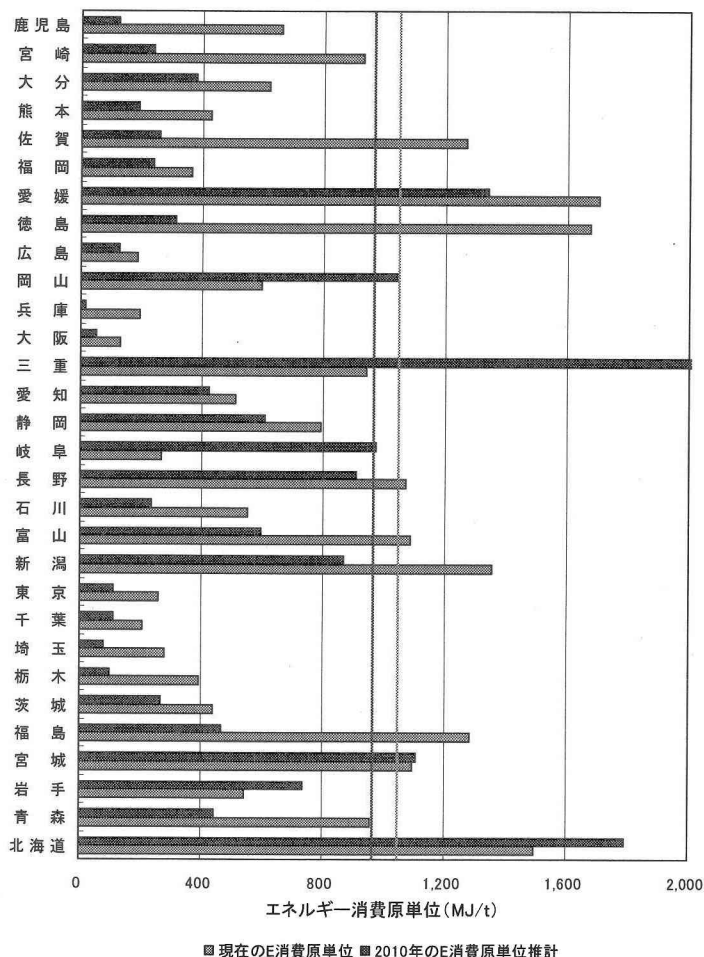


図-7 将来都道府県間物流が変化した場合の古紙購入側都道府県でのエネルギー消費原単位の変化

は現状から1,421百万MJ、現状の約7割まで削減される。この場合の地域間移出入変化をみると、これまでの関東から静岡への古紙輸送は関東から北海道や東北への輸送に置き換わる。これにより購入地の北海道と東北での輸送エネルギー消費は増大するが、北海道の場合は海運の輸送効率の効果が輸送トンキロの伸びに比較すると輸送エネルギー消費の伸びは大きくない。また近畿から四国への古紙輸送が近畿から中国へ変化し、購入地の四国での輸送エネルギーは減少する。その他の地域では自地域内輸送中心の自給的な古紙購入へと変化する。既存の生産インフラを有効活用することが産業立地の基本であることからすれば、このような構造変化は直ちには起こりえないが、これまで天然資源や輸入資源を想定した産業立地に対して、古紙という調達地域の全く異なる原料が今後さらに卓越する場合には、現在とは違った立地構造もありうるという結果を示したものであり、将来の古紙リサイクル型の製紙産業立地のあり方を考える上での、基礎となる情報を提供するものと位置づけられる。但し

現状では種々の制約により、北海道への輸送のみ海運で、その他地域ではトラックを中心とした古紙輸送が卓越しており、今回の結果もこの輸送モードを前提として分析している。鉄道など大量輸送機関への代替が柔軟に起こりうる状況下では、また異なる移出入構造が導き出されるものと考えられる。

4. 結論及び今後の課題

本研究では、古紙の地域間移出入に着目し、効率的な地域間輸送をおこなった場合の輸送エネルギー消費の変化について、線形計画法を用いて分析した。分析の結果、①現状の古紙購入量を前提に輸送距離最小化を行った結果、総輸送トンキロは約4億トンキロ、これに伴う輸送エネルギー消費は約2,053百万MJの削減となる、②将来、古紙購入量が2002年度比で約1.7倍に増大した場合でも総輸送トンキロは現状比で約1.6倍、輸送エネルギー増加率は約1.5倍に留まり、輸送エネルギー原単位

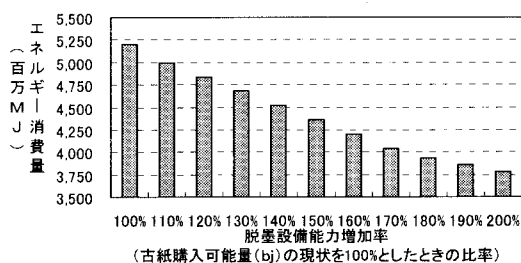


図-8 脱墨設備能力の増加に伴う輸送エネルギー変化

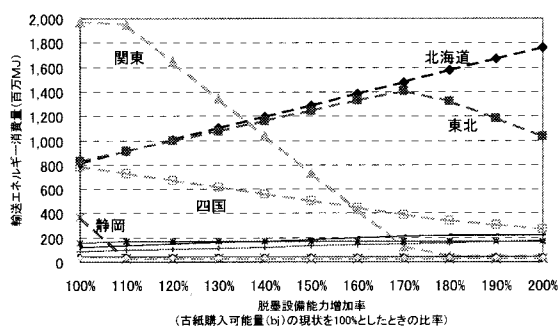


図-9 脱墨設備能力の増加に伴う各購入先地域の輸送エネルギー変化

の平均値も削減する, ③古紙購入能力の2倍拡大と現状の輸送分担率を前提にエネルギー消費原単位で重み付けた総輸送トンキロの最小化を行った結果, 全体の輸送エネルギー消費は現状から1,421百万MJ, 現状の約7割の水準にまで削減され, 関東から静岡への輸送は北海道や東北への輸送に変化し, また近畿から四国への輸送が中国地域への輸送に置き換わる, さらに他の自地域回収中心の生産に移出入構造が大きく変化すること, という結

果を得た. 今後は輸送機関の選択を内生変数としてモデル化し, モーダルシフト等を想定した移出入構造を分析することが課題である.

謝辞: 本研究は, 科学研究費補助金 (基盤研究(C): 課題番号16560481) による研究成果の一部である. ここに記して, 謝意を表します.

参考文献

- 1) 紙業タイムス社: 知っておきたい紙パプの実際 2004, pp.8~10, 紙業タイムス社, 2004.
- 2) 日本製紙グループ環境報告書 2003, pp.26, 2003.
- 3) 川端宏紀, 吉田登, 金子泰純, 日下正基: 古紙パルプ需要の増加が地域内物流を通じて環境に及ぼす影響に関する分析, 第32回環境システム研究論文発表会講演集, pp.431-436, 2004.
- 4) 財団法人古紙再生促進センター: 古紙統計年報, 2003.
- 5) 紙業タイムス社: 紙パルプ企業・工場データブック 2004.
- 6) 日本エネルギー経済研究所・エネルギー計量分析センター編: エネルギー・経済統計要覧, (財)省エネルギーセンター, 2004.
- 7) 財団法人運輸政策研究機構: 全国貨物純流動調査(物流センサス)1997, 2002.
- 8) 距離算定ソフト Mapfan (<http://www.mapfan.com/>).
- 9) 全国通運連盟 CO2 排出量算定システム (<http://www.t-tenmei.or.jp/>).
- 10) 日本製紙連合会: 第7回(2004年度)「環境に関する自主行動計画(温暖化)」フォローアップ調査.
- 11) 財団法人古紙再生促進センター: 古紙の回収限界に係る調査報告書, 2004.

ANALYSIS OF INFLUENCE ON TON KILOMETERS AND ENERGY CONSUMPTION ACCORDING TO THE TRANSPORTATION OF USED PAPER FOR PAPER RECYCLING BETWEEN REGIONS

Noboru YOSHIDA, Hiroki KAWABATA, Yasuzumi KANEKO and Masaki KUSAKA

In this research, the analysis was made to clarify the influence on the energy consumption according to the distribution of the used paper for paper recycling between regions. First, the inter-regional input and output was estimated in order to minimize the total distance weighted by the tonnage based on the present used paper demand for each prefectures. The result showed that the transportation of 4 billion ton kilometer and the energy consumption of 2,053 1million Mega Joule would be reduced due to the minimization. Even if the demand of the used paper is increased up to 1.7 times of the base case, the total energy consumption was less than that in the base case by minimizing the total transport distance. Moreover, in the case that the capacity of de-inking is doubled, the energy consumption could be reduced to nearly 70 % of the base case, and the result also suggested that large wide-area transactions were formulated in Hokkai and Tohoku regions, and the transactions within the regions were dominant in the other regions.