野菜の地産地消の推進による CO₂ 排出削減量の計測

Measurement of CO₂ Emission Reduction by Promotion of Local Production for Local Consumption of Vegetables

藤武 麻衣* 佐野 可寸志** 土屋 哲**

Mai FUJITAKE* Kazushi SANO** Satoshi TSUCHIYA**

(*長岡技術科学大学大学院工学研究科 **長岡技術科学大学環境・建設系)

(*Graduate School of Engineering, Nagaoka University of Technology **Department of Civil and Environmental Engineering, Nagaoka University of Technology)

I 研究の背景

近年、環境保護・食の安全の確保を目的とし、地場の産物を地元で消費する「地域生産・地域消費」、略して「地産地消」(Local Production for Local Consumption: LPFLC)の取り組みが全国に広がっている。この地産地消によって農作物の総輸送距離が減少し、輸送時におけるエネルギー消費量及び CO₂ 排出量を抑えることができると考えられている。

食品の輸送に関する環境負荷の概念として、農作物が生産地から消費者へ届くまでの移動距離と重量により計算されるフードマイレージがある。フードマイレージに関する研究は、中田¹⁾によって行われているが、中田の研究は輸入食料について国単位で計測したものであり、国内の農産物輸送について考慮されていない。その他の地産地消に関する研究については柴崎・金谷²⁾の研究や、白木ら³⁾、天白ら⁴⁾の研究がある。柴崎・金谷は京都の大学生協の地産地消の取り組みを通じて、多品目の野菜の輸送について環境負荷を定量的に評価したが、限られた店舗に関する分析である。白木らは都道府県単位で地産地消および旬産旬消に取り組んだ場合の、生産及び流通時の CO₂ 削減量を評価したが、分析対象品目はキャベツとトマトの2品目のみであり、青果品全体の評価は行っていない。天白らの研究は一県を対象として、生産から包装、流通までの LC-CO₂ 排出量を評価したものであり、国内のみでなく、海外からの輸入についても考慮している。しかし国内を1ゾーンとみなしているため、国内での輸送は十分に考慮されておらず、分析対象品目も6品目に限られている。

そこで、CO₂ 排出量削減に対してより効果的な地産地消の取り組みを行うために、全国を一定のゾーンに区分し、多品目の農産品に対して数値的評価を行う必要があると考える。

II 研究の目的

本研究の目的は、地産地消による総輸送距離や環境負荷の低減効果を品目別に定量的に評価することである。国内のゾーンを都道府県単位に細分化し、多品目の野菜について品目ごとに分析を行うことによって結果の再現性を高める。その結果から輸送パターンの変化の大きな地域間輸送を推定し、地産地消の実施効果が高い地域や、CO₂ 排出量削減効果の高い品目や品類の特徴を把握する。

本研究では、地産地消の対象として国内産の野菜を取り扱う。野菜は日常の食生活の中でも重要な食材として認識されており、地域差はあるものの全国各地で一定量が生産されているため調達しやすく、地産地消の対象になりやすい⁵⁾。食料需給表⁶⁾によると、野菜の自給率は8割以上と、カロリーのベースの食料自給率の約4割を大幅に上回っている。また国産農作物の約4割を占めていることから、野菜は地産地消の効果が大きいと推察される。本研究は地産地消の効果の推定を目的としているため、その特性上、輸入食品は対象外とした。

III 推計方法

1 CO₂ 排出係数の与え方

野菜の輸送手段は、主に航空、鉄道、船舶、自動車である。貨物地域流動調査⁷⁾と航空貨物動態調査⁸⁾から作成した国内の野菜・果物の輸送機関分担率を表1に示す。自動車以外の輸送機関による青果の輸送量の分担率は1%未満であるので、本研究では青果物の輸送をすべてトラック輸送と仮定して取り扱う。また鉄道や船舶の輸送に比べ、自動車は貨物1トン輸送時の CO₂ 排出原単位が非常に大きく、営業用軽自動車と鉄道の原単位は約90倍もの差がある⁹⁾。そのため、地産地消によるトラックの輸送距離の低減は、CO₂ 排出量削減に与える効果がその

他の輸送機関よりも大きいと期待できる。

本研究では、各都道府県をゾーンとする。ゾーン間距離は、各県庁所在地間の道路距離とした。内々距離については領域間平均距離の概念¹⁰⁾を用いて次式で与える¹⁾。

$$D_i = \frac{128\sqrt{z_i}}{45\pi^{1.5}} \quad (1)$$

D_i : 都道府県 i の内々距離 (km)

z_i : 都道府県 i の面積 (km²)

自動車輸送の CO₂ 排出量原単位の算出には、氏家¹¹⁾の研究結果を利用した。これは、自動車輸送統計及び貨物地域流動調査に基づき、距離帯別車種別の輸送分担率によって、車種別 CO₂ 排出係数を加重平均した値を距離帯別にまとめたものである。これを利用することにより、輸送距離帯によって異なる車種分担率や排出係数、積載率を考慮できる。なお、本研究で氏家の研究結果を利用

するにあたり、実測値である研究結果のばらつきを補正するために以下の近似式を作成した。研究結果と近似式の関係性については図 1 に示す。

$$y = 14973x^{-0.749} \quad (2)$$

y : 輸送 1t・1km 当たりの CO₂ 排出量 (g-CO₂/t・km)

x : 輸送距離 (km)

(2)式は、CO₂ 排出係数の変化の大きな輸送距離 400km までの範囲に適用し、値の変化がほぼない 400km 以上の輸送については、輸送距離帯 400km 以上の CO₂ 排出係数の平均値 (172.5g-CO₂/tkm) とした。この近似式の R² 値は 0.93 である。この計算結果に各ゾーン間及び内々距離を乗じたものを CO₂ 排出量係数として利用する。

2 輸送量の与え方

野菜の輸送量の把握には、青果物産地別卸売統計¹²⁾を用いた²⁾。青果物産地別卸売統計は、全国の主要都市において、青果物卸売市場及び JA 全農青果センターで取り扱った青果物の主要品目について、卸売数量や卸売価額を産地都道府県別に調査したものである。産地は 47 都道府県、出荷地は北海道、東北、関東、北陸、東海、近畿、中国、四国、九州の 9 地域別である。ここでの消費地 9 地域の分類を表 2 に示す。分析や結果の表示はこの分類に従う。また、各地域の消費量を人口によって按分することにより、47 都道府県の消費量とした。

本研究では統計で扱われている 14 品目の野菜を対象に分析を行う。野菜のみを扱う理由の一つは、この青果物産地別卸売統計では、果物の消費地の調査対象地域を東京都及び大阪府と、仙台市や名古屋市等の主要 10 市のみとしており、消費地の人口での按分が困難であり、全国の輸送を把握するためには十分な精度が期待できないためである。また果物は生産地が一部地域に限られている場合が多く、生産地の選択肢が少なれば輸送パターンの変化があまり見込めないため、地産地消の効果が薄いと推測されるからである。14 品目の総輸送量は 9,690 千トンであり、野菜生産出荷統計¹³⁾における収穫量の 80.8%を占める。国内の野菜の消費量⁶⁾の 63.1%に当たり、国内産野菜の輸送の概略がつかめると考える。

野菜 14 品目の生産地域及び消費地域の構成を図 2 に示す。また各地域間の輸送量は図 3 に示す。図 2 によれば、北海道や九州地域は消費と比較して生産に占める割合が大きく、反対に近畿地域では消費割合が生産を大きく上回っている。図 3 は地域間の輸送量をバブルの面積によって示している。この図によって、北海道や九州の生産物は全国各地へ移出されていることや、近畿は全国

表 1 青果物の輸送機関別輸送貨物量

Table 1 Freight volume of fruit and vegetables by transport mode

輸送機関	輸送貨物量(t)	分担率
航空	135	0.00%
鉄道	0	0.00%
海運	707,479	0.83%
自動車	84,238,000	99.17%

図 1 輸送距離別 CO₂ 排出係数と近似曲線

Fig.1 CO₂ emission coefficient by distance, and its fitted curve

¹ ここで用いた方法は、各都道府県が県庁所在地を中心とし、真の面積と等しい面積を有する円であると仮定した場合の領域間平均距離(一次近似)による方法である。生産者と消費者が、同一都道府県内に均一に分布していると考えた場合の平均内々距離が(1)式で与えられる。
² この調査では大規模な卸売市場を介した野菜の流通のみを取り扱っているため、産地から直接小売業や外食産業へ輸送されたものや、調査対象にならなかった地域の小さな市場の取扱量については考慮されていない。

各地から生産物を移入していることが分かる。同じ地域内で生産・消費（地産地消）をしている場合、右下がりの対角線上のバブルが大きくなるが、生産量が消費量を下回る関東、東海、近畿では遠方の他地域からの移入が目立っている。

表2 都道府県の地域分類

Table 2 Prefectures assigned to 9 regions for analysis

地域名	都道府県
北海道	北海道
東北	青森, 秋田, 山形, 岩手, 宮城, 福島
関東	茨城, 栃木, 群馬, 埼玉, 千葉, 東京, 神奈川, 山梨, 長野, 静岡
北陸	新潟, 富山, 石川, 福井
東海	岐阜, 愛知, 三重
近畿	滋賀, 京都, 大阪, 兵庫, 奈良, 和歌山
中国	鳥取, 島根, 岡山, 広島
四国	徳島, 香川, 愛媛, 高知
九州	山口, 福岡, 佐賀, 長崎, 熊本, 大分, 宮崎, 鹿児島, 沖縄

図2 野菜の生産・消費量地域割合

Fig.2 Regional share of vegetables for production and consumption

図3 現在の野菜 OD 輸送量

Fig.3 Vegetable freight volume and trade pattern before LPFLC

3 地産地消による輸送時 CO₂ 排出量最小化の方法

本分析では、各都道府県の生産量と需要量を所与としたときの計算上達成可能な CO₂ 削減量を推計した。具体的には、以下のような線形計画モデルを用いて定式化を行った。この式は、毎月の各都道府県の生産量と需要量のもとで CO₂ 排出量を最小化する輸送パターンを品目ごとに求めて、現状の輸送パターンとの比較により CO₂ 排出削減量を推計するものである。ただし生産物の価格や輸送コスト、ブランド化している野菜等については考慮していない。

目的関数

$$EC_n = \sum_{k=1}^{12} (\min \sum_{i=1}^{47} \sum_{j=1}^{47} E_{i,j} x_{i,j,k,n}), \quad n=1 \sim 14 \quad (3)$$

制約条件

$$\sum_{j=1}^{47} x_{i,j,k,n} \leq a_{i,k,n}, \quad n=1 \sim 14 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{47} x_{i,j,k,n} \geq b_{j,k,n}, \quad n=1 \sim 14 \quad (5)$$

$$x_{i,j,k,n} \geq 0 \quad (6)$$

EC_n : 品目 n の輸送時 CO₂ 排出量 (g-CO₂)

$x_{i,j,k,n}$: 都道府県 i から j へ輸送される品目 n の k 月の物流量 (t)

$E_{i,j}$: 都道府県 i から j への輸送 1t 当たりの CO₂ 排出量 (g-CO₂/t)

$a_{i,k,n}$: 都道府県 i から輸送される品目 n の k 月の総量 (t)

$b_{j,k,n}$: 都道府県 j に輸送される品目 n の k 月の総量 (t)

IV 結果と考察

1 発着地別輸送量の変化

CO₂ 排出量最小化後の発着地別の輸送量（以下、OD 輸送量）を図4に、輸送量の変化量を図5に示す。図5の黒丸は地域間で減少した輸送量を示しており、九州ー関東間や北海道ー近畿間等の地域間距離の長い輸送量の減少が顕著である。白丸は増加した輸送量を示しており、CO₂ 排出量係数の大きな長距離輸送からシフトした短距離の OD 輸送量が多い。地産地消によって CO₂ 排出量削減効果が生じていると考えられる。しかし同一地域内の輸送が増加した地域は、9 地域中 4 地域に限られている。CO₂ 排出量最小化による九州から関東への輸送量の減少は、近畿から関東への輸送量を増加させ、結果的に近畿

内々の輸送量を減少させている。減少した長距離の輸送分は、隣接地域からドミノ倒しのように補われていく。この波及効果は、東海等の地理的に中央に近い地域ほど規則性が見られない。これは生産時期や品目の制約による影響が考えられる。発地としては北海道、九州地方、着地としては関東地方の変化量が多く、CO₂排出量削減ポテンシャルが高い。

CO₂排出量最小化後に発着地の変化した品目別輸送量を図6に示す。グラフの白い部分が発着地の変化した輸送量であり、これが大きいほど現在の輸送パターンからの改善点が多い。発着地の変化率は14品目全体で52.4%

であり、ばれいしょ(34.0%)が最も低く、次いでたまねぎ(38.9%)、はくさい(40.2%)であった。これらの品目は、全国でも局地的に生産されている品目である。生産地が限られていれば輸送パターンの変化も限定されてしまうため、発着地の変化が生じづらいと推察される。対して発着地の変化率が大きかったのは、なす(70.8%)、トマト(70.2%)、きゅうり(70.0%)等の果菜類である。これら果菜類の産地は全国に広く分布しているため、輸送パターンの変化の幅が広い。輸送にかかるコストや時間を最小限に抑えるためには輸送距離の短縮、つまり地産地消が望ましいが、出荷時期や価格に地域差、地域ブランド等の影響から長距離輸送が現実には行われている。

図4 CO₂排出量最小化後の野菜OD輸送量
Fig.4 Vegetable freight volume and trade pattern after LPFLC

図5 CO₂排出量最小化前後の野菜OD輸送変化量
Fig.5 Change of vegetable trade pattern regional by LPFLC

2 輸送時CO₂排出量の変化

地産地消前後における品目別CO₂排出量の変化を図7に示す。また各品目の輸送CO₂排出量削減率を、重量当たりの価格と共に図8に示す。図7よりCO₂排出削減量は14品目で合計70千トンであり、これは日本人1人当たり年間CO₂排出量の約7,400人分に当たる¹⁴⁾。14品目全体の削減率は10.1%であった。CO₂排出削減量が多い順に見てみると、たまねぎの14千トンが最大であり、次いでばれいしょの11千トン、キャベツ9千トンと、生産量の多い品目が削減量の上位である。これに対して、図8よりCO₂排出量削減率の高い品目を見ると、ねぎ(18.7%)、ほうれんそう(13.1%)等の葉菜類が上位である。次いで、発着地の変化率の高い果菜類のトマト(13.1%)、きゅうり(12.7%)のCO₂排出量削減率が高い。また、CO₂排出量削減率と重量当たりの平均価格の相関係数を算出したところ、0.61と相関関係があることが

図6 地産地消による品目別発着地の変化量
Fig.6 Change of transportation pattern in each item by LPFLC

確認できた。重く安価な野菜は輸送コストの点から長距離輸送をするメリットが少なく、自然と地産地消が行われやすいため、地産地消の余地が少ないと考えられる。対して軽く高価な野菜は、全コストに占める輸送コストの割合が小さい。よって産地によらず全国で消費されやすいため、CO₂排出量削減率が高くなったと考える。重く安価な葉菜類や根菜類の輸送パターンがCO₂排出量最小化後もあまり変化しないことは、図6の発着地の変化率が低いことから分かる。

図9、図10にCO₂排出量削減率1位のねぎ、10位のピーマンの産地別年間生産量を示す。ピーマンの重量当たりの平均価格はねぎよりも高いが、削減率はねぎの方が高い。この原因を、産地の点から確認する。ねぎとピーマンの産地を比較すると、関東を中心に全国に広く産地が分布しているねぎに対して、ピーマンの産地は関東と

九州に偏っていることが分かる。このように産地が少なく偏在している場合、根本的な輸送パターンが少ないため変化の余地が小さい。

最も削減率が低い品目はにんじん（6.5%）であるが、重量当たりの平均価格の低いキャベツの削減率は、にんじんの1.8倍もある。図11に示すキャベツの産地別生産量を確認すると、関東や中部を中心に、ある程度全国に

図7 地産地消による輸送CO₂排出量の変化
Fig.7 Change of CO₂ emission in transportation by LPFLC

図8 CO₂排出量削減率順の品目別重量当たり平均価格
Fig.8 Ordered CO₂ emission reduction rate and average price per weight in each item

図9 ねぎの産地別生産量
Fig.9 Amount of green onions production in all prefectures

図10 ピーマンの産地別生産量
Fig.10 Amount of green peppers production in all prefectures

図11 キャベツの産地別生産量
Fig.11 Amount of cabbages production in all prefectures

産地が分布している。葉菜類と根菜類の産地は、果菜類よりも局地的に偏在しているという特徴がある。しかしキャベツは、他の葉菜類や根菜類と比較して産地が分散しているため輸送パターンが多様である。そのため変化の余地が大きく、重く安価であるにも関わらず削減率が上位になったと推測できる。

V まとめ

本研究では、線形計画法を用いて、地産地消により達成可能な輸送 CO₂ 排出削減量を推計した。その結果、全体で約 1 割の削減効果が有ると分かった。特に北海道、関東、九州地方の地産地消推進が有効であり、九州－関東間の削減効果が高いと分かった。品類においては、重量当たりの価格の高い一部の葉菜類や果菜類の地産地消による CO₂ 排出量削減効果が大きいことが分かった。産地の偏りが大きく、重量当たりの価格の低い葉菜類や根菜類の削減率は低いが、産地が全国に分布している品目については輸送パターンの変化の余地が大きく、削減率の高い品目もあった。重量当たりの価格が安い品類ほど CO₂ 排出量削減率は低いが、削減率が低いほど生産量が多い傾向があるため、CO₂ 排出削減量が最も多いのは根菜類である。

CO₂ 排出量削減率が高く、環境負荷低減効果の大きな葉菜類や果菜類は、傷みやすいという特性を持つことから地産地消の推進が望まれる。削減率の低い品目であっても生産量の多いものについては、生産地の分散等、削減率の底上げにより更なる効果が期待できる。

以上のように、地産地消の推進によって輸送距離を短くすることで、CO₂ 排出量削減への効果を期待できる。しかし、本研究からもう一つ分かったことがある。それは、本研究のように車種や輸送距離帯別の燃費や積載率による影響を考慮した現実的な CO₂ 排出削減量原単位を利用すると、たとえ地産地消が行われて輸送距離が短くなっ

たとしても、短距離輸送の CO₂ 排出量原単位が大きいために、CO₂ 排出削減量に与える影響は小さい場合があるということである。このような事象が生じた原因は、燃料消費効率の低い自家用車による多頻度少量輸送が、短距離輸送に多く見られるためである。すなわち、地産地消による CO₂ 排出量削減効果を上げるためには、短距離輸送の積載率の向上も重要な課題である。

引用文献

- 1) 中田哲也 (2003) : 食料の総輸入量・距離 (フード・マイル) とその環境に及ぼす負荷に関する考察, 農林水産政策研究, 5, pp. 45-59.
- 2) 柴崎正也・金谷健 (2004) : 地産地消による輸送燃料消費量の変化の実態および地産地消を効果的に展開するための施策, 環境システム研究論文発表会講演集, 32, pp. 497-505.
- 3) 白木達朗, 中村龍, 立花潤三, 後藤尚弘, 藤江幸一, 姥浦道生 (2006) : 生産・流通を考慮した地産地消・旬産旬消による CO₂ 排出量削減に関する研究, 土木学会環境システム研究論文集, 34, pp. 135-142.
- 4) 天白龍昇, 古崎康哲, 石川宗孝, 笠原伸介 (2008) : 野菜の生産～流通における LC-CO₂ 評価, 第 3 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp. 36-38.
- 5) 櫻井清一 (2004) : 地産地消の効果と地域の活性化, 月報野菜情報 2004 年 4 月号, 農畜産業振興機構.
- 6) 農林水産省 : 平成 20 年度食料需給表, 2008.
- 7) 国土交通省 (2008) : 平成 20 年度貨物地域流動調査.
- 8) 国土交通省 (2009) : 平成 21 年度航空貨物動態調査報告書.
- 9) 国土交通省 (2007) : 平成 19 年度版国土交通白書.
- 10) 栗田治・腰塚武志 (1988) : 領域間平均距離の近似理論とその応用, 都市計画論文集, 23, pp. 43-48.
- 11) 氏家清和 (2007) : 地産地消と環境負荷—輸送距離および輸送機関別の二酸化炭素排出係数からの検討—, 地産地消の実態及び推進効果の把握に関する調査研究事業報告書, pp. 51-59.
- 12) 農林水産省 : 平成 20 年青果物産地別卸売統計, 2008.
- 13) 農林水産省 : 平成 20 年野菜生産出荷統計, 2008.
- 14) 国土交通省 : 2008 年度版運輸部門における二酸化炭素排出量, 2008.

Summary : The purpose of this study is to give a quantitative assessment of environmental impacts of decreasing transportation distance by applying “local production for local consumption” policy. We estimated transportation patterns to minimize CO₂ emission from transportation of 14 items of vegetables. The result shows that 10.1% of CO₂ emission, which is equal to 70,000ton, can be reduced. Especially, this policy is more effective for Kanto and Kyushu, because it reduces the amount of long-distance trade between these two regions. Also, fruit vegetables and leaf vegetables show high reduction rate.

キーワード (Keywords) : 地産地消 (Local production for local consumption), CO₂ 排出量 (CO₂ emission), 線形計画法 (Linear programming)

(2011 年 5 月 21 日 受付)

(2011 年 9 月 17 日 受理)