

野菜の生産・輸送過程における環境負荷に関する 定量的評価

吉川直樹¹・天野 耕二²・島田 幸司³

¹立命館大学大学院 理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

E-mail:ec081018@se.ritsumeai.ac.jp

²正会員 立命館大学教授 理工学部

E-mail:amano@se.ritsumeai.ac.jp

³正会員 立命館大学教授 経済学部

E-mail:shimada@ec.ritsumeai.ac.jp

日本国内で消費される野菜の生産および輸送に伴う環境負荷を詳細に把握することを目的として、野菜生産費用および、卸売市場・貿易データに基づいて直接・間接CO₂排出量を品目別(14種)・時期別・地域別に推計し、栄養素の含有量を機能単位とする環境効率の比較を行った。国産野菜の生産と輸送に伴うCO₂排出量は全体で約580万トンであり、野菜1kgあたりに換算すると生産で280 g -CO₂、輸送では130 g -CO₂の排出量となった。品目別では、根菜類のCO₂排出量が比較的少なく、果菜類のCO₂排出量が多かった。地域別にみると、野菜の自給率が高い地域でCO₂排出量が少なくなる傾向が明確に示された。また、輸入野菜1kgあたりの輸送に伴うCO₂排出量は平均で国内産の約1.2倍であった。環境効率では、ビタミンAではにんじん、ビタミンCやカリウムではだいこん(葉)やばれいしょの効率が高かった。

Key Words :vegetable production, CO₂ emission, transportation, nutrient

1. はじめに

日本において食料の生産から消費に至る過程から発生する環境負荷は、消費構造や生産・流通環境の変化により増加が懸念されている。農業分野における化石肥料・農薬の多用、施設栽培による化石燃料使用、運輸部門における高い自動車輸送分担率、食料自給率の低下による輸入増等による輸送の長距離化は、いずれも環境負荷を増大させる要因である。

これらの問題に対して、近年では環境保全型農業の普及や食料輸送距離(フードマイルズ)の削減や地産地消を目指す運動も行われている。

既往の研究においては、農業生産における環境負荷の研究(たとえば農業環境技術研究所¹⁾、資源協会²⁾)のほか、食料システムにおけるマクロ的なエネルギー消費量の定量化³⁾や、東京卸売市場のデータを用いて品目別・時期別に国内・海外からの野菜の輸送による環境負荷を算出し、過去の時点との時系列的な比較を行った例⁴⁾がある。しかし、ライフサイクル的な考えに基づいて食料の生産と輸送を総合的に、かつ品目ごとに詳細に把握した例はない。

そこで本研究では、日本において消費される野菜を対象とし、生産・輸送の各段階において発生するCO₂排

出量について、品目別・消費地域別、さらに部門別(家計および加工・業務)に推計するとともに、国内野菜に関して、栄養素の含有量を機能単位とした環境効率の比較を行う。

2. 研究手法

本研究では、野菜生産出荷安定法に基づいて定められた指定野菜14種(表1)を対象として、定量評価を行った。この14種類の生産量で、野菜全体の8割以上を占める⁵⁾⁶⁾。

評価範囲は農業生産段階および産地から需要地までの輸送段階とし(図1)、そこから直接的・間接的に発生する二酸化炭素量を算出した。評価年は2003年とする。なお、それ以外の野菜はその他の野菜として一括して、14品目のデータを外挿して野菜全体の負荷量を推計した。

さらに、各野菜に関して、栄養機能を考慮した指標として、主要栄養素の含有量あたりのCO₂排出量を算出し、品目間の比較を行った。

(1) 生産段階

各野菜の生産段階における環境負荷は、野菜・果樹品目別統計⁷⁾の品目別・時期別の費目別生産費にCO₂排

表1 対象野菜の概要

分類	品目	国内生産量 (千t)
葉 茎 菜類	キャベツ	1,179
	ほうれんそう	251
	はくさい	728
	ねぎ	397
	レタス	508
い も 類	ばれいしょ	2,401
	さといも	125
根 菜 類	だいこん	1,334
	にんじん	576
	たまねぎ	1,025
果 菜 類	きゅうり	572
	なす	293
	トマト	669
	ピーマン	129

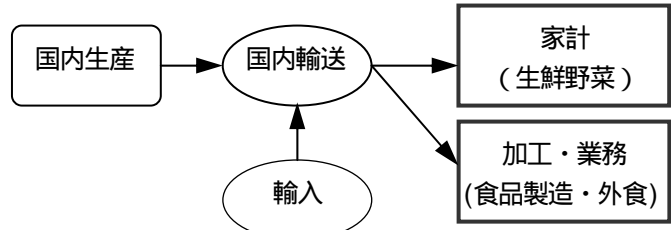


図1 推計の対象範囲

表2 生産段階におけるCO₂排出原単位

費目	原単位 (kg-CO ₂ /千 円)	資料	備考
種苗・苗木	1.3	11)	種苗部門
肥料	8.3	11)	化学肥料部門
農業薬剤	4.8	11)	農薬部門
諸材料	3.0	11)	合成樹脂、製材・合板、 その他の紙類の平均
光熱動力 (露地)	27.7	8),10)	
光熱動力 (施設)	53.9		
農機具	3.8	11)	農業機械部門
農用建物 (園芸施設を除く)	2.8	11)	非住宅建築(木造・非木 造の平均)
園芸施設	3.2	2),11)	
貸借料及び料金	3.0	11)	農業サービス部門
土地改良及び 水利費	3.0	11)	農業サービス部門

表3 輸送機関別CO₂排出原単位

輸送機関	原単位 (g-CO ₂ /t/km)	資料
鉄道	22	10)18)
トラック	312	10)18)
内航海運	38	10)18)
外航海運	21	19)
航空	1,472	10)18)

出原単位を乗じ、同統計の調査対象農家の収穫量で除すことにより算定した。

原単位(表2)は費目毎に設定した。光熱動力費に関しては次のように算出した。まず、産業連関表⁸⁾よりエネルギー投入における金額ベースのエネルギー種別投入比を計算した。産業連関表では野菜に関して露地野菜と施設野菜に分類されているため、両部門をともに算出した。そこに農業物価統計⁹⁾における燃料の購入者価格とエネルギー種別の二酸化炭素排出原単位¹⁰⁾¹¹⁾を乗じることによって費用あたりの排出原単位とした。

園芸施設費は、資源協会²⁾で設定された園芸施設の一般的なモデルの諸元と物質投入量、および南齋¹¹⁾の原単位より費用あたりの原単位を算定した。

それ以外の費用に関しては南齋¹¹⁾の値を用いた。農用建物費に関しては木造建築部門と非木造建築部門の原単位の間接値を、肥料費・農業薬剤費その他に関しては当該費目に最も適合する部門の原単位を用いた。

(2) 輸送段階

輸送段階におけるCO₂排出量は、根本⁴⁾を参考に、式(1)のように定式化し、算出した。

$$E_{i,n} = \sum_j \sum_k c_k r_{i,j,k} W_{i,j,n} L_{i,j,k} \quad (1)$$

ここで、 $E_{i,n}$ ：品目 n の消費地 i までの輸送にかかる総二酸化炭素排出量

$L_{i,j,k}$ ：輸送機関 k の場合の生産地 j から消費地 i までの輸送距離

$W_{i,j,n}$ ：消費地 i の品目 n の消費における生産地 j 産品の重量

$r_{i,j,k}$ ：生産地 j から消費地 i までの輸送における輸送機関 k の分担率

c_k ：輸送機関 k の二酸化炭素排出原単位

品目毎の消費都道府県別の産地割合(重量ベース)は、青果物産地別卸売統計¹²⁾の消費地域別産地別の卸売市場における取扱量から推計した。

輸送機関分担率は全国貨物純流動調査¹³⁾の農林水産品の3日間調査における代表輸送機関別実績を基本とし、同調査で実績のなかった都道府県間においては、他の品類の値等を用いて補間した。都道府県間距離は、トラック輸送では地図ソフト¹⁴⁾を、海運では距離表¹⁵⁾、航空輸送ではANA¹⁶⁾、JAL¹⁷⁾のフライトマイレージを用いて計測した。なお、内陸県および空港のない都道府県においては、海運・航空を代表輸送機関とする場合でも、近隣の港・空港からのトラック輸送を考慮している。

野菜の輸入に関しては、輸入相手国の主要港から日本までの距離¹⁵⁾より計算した。国内のトラック輸送として、海に面する県においては設定した県内平均輸送距離を内陸県においては近隣の主要港から県庁所在地までの距離を用いた。したがって、輸入相手国内の国内輸送は考慮されていない。

最後に、平均輸送距離と、輸送機関別のCO₂排出原

表4 野菜の都道府県間輸送量の推計結果と自動車輸送分担率

	消費地										合計
	北海道	東北	関東	北陸	東海	近畿	中国	四国	九州		
生産地	北海道	437	174	832	119	339	398	150	156	245	2,853
	東北	100%	31%	13%	3%	5%	23%	0%	0%	23%	27%
	関東	4	450	381	16	59	50	10	21	31	1,021
	北陸	11%	100%	96%	768%	93%	94%	84%	96%	95%	95%
	東海	78	304	2,760	126	321	460	89	83	141	4,361
	近畿	0%	0%	100%	100%	100%	100%	95%	96%	81%	97%
	中国	0	1	14	94	11	33	0	1	0	155
	四国	0%	90%	100%	99%	100%	100%	99%	100%	94%	100%
	九州	21	33	381	83	598	189	17	8	1	1,331
	合計	0%	100%	100%	100%	98%	100%	100%	100%	94%	97%
合計	5	8	80	27	72	478	6	6	2	683	
	0%	88%	97%	100%	94%	100%	89%	39%	86%	97%	
	0	0	4	1	5	63	195	5	29	303	
	0%	99%	88%	100%	97%	100%	100%	99%	94%	99%	
	7	29	164	38	59	225	41	344	6	913	
	0%	85%	91%	98%	100%	96%	96%	100%	82%	96%	
	27	39	386	55	155	412	244	69	1,169	2,556	
	0%	95%	86%	90%	71%	87%	95%	100%	90%	87%	
	578	1,037	5,002	558	1,619	2,310	753	692	1,626	14,176	
	75%	85%	84%	70%	76%	84%	77%	76%	79%	79%	

上段:輸送量(千t) フェリー輸送は海運に分類し、
下段:自動車輸送分担率(%、トンベース) 自動車輸送に含めていない。

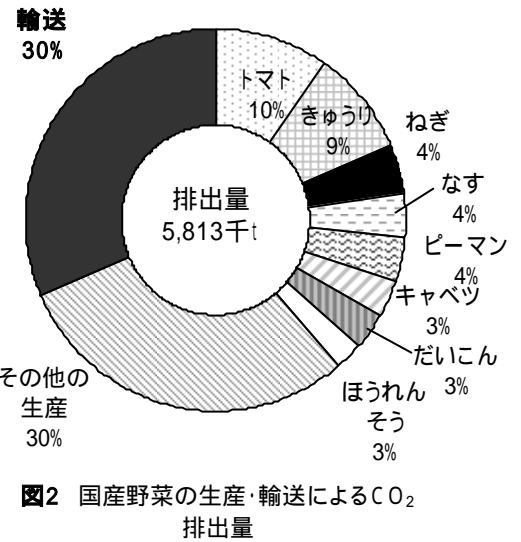


図2 国産野菜の生産・輸送によるCO₂排出量

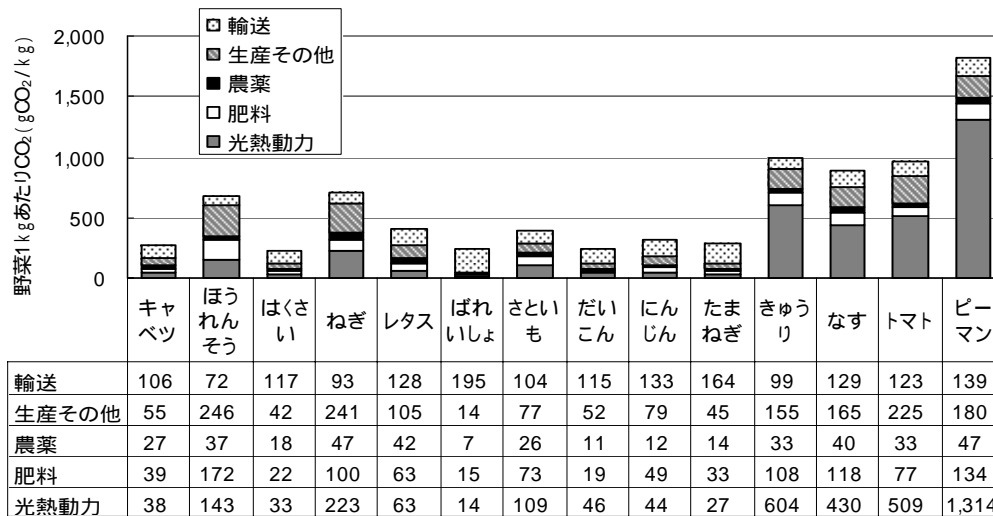


図3 野菜の品目別平均CO₂排出量

単位¹⁸⁾¹⁹⁾(表3)より、品目別消費都道府県別の野菜輸送の重量あたりのCO₂排出量が算出される。

(3) 国内産野菜の消費による二酸化炭素排出量の推計

国内野菜の消費によって発生する二酸化炭素の総排出量は、(1)の国内産野菜の生産CO₂排出量・輸送段階における消費都道府県別平均CO₂排出量と、さらに都道府県別の需要量より求めることができる。

都道府県別の野菜需要量は、家計需要および加工・業務需要からなるとした。家計需要は、家計調査²⁰⁾の総世帯の都道府県庁所在地別の支出額と、農林漁家世帯を除く2人以上全世帯の都道府県庁所在地別支出額と購入数量から求めた平均購入価格より総世帯の購入量を推計した。その購入量に、都道府県別の世帯数²¹⁾を乗じて家計の都道府県別品目別需要とした。そのうち輸入品に占める割合は、青果物卸売市場調査報告²²⁾の全卸売市場における品目別の輸入割合を利用した。加工・業務需要は、国内野菜出荷量と輸入量から輸送量と家計需要を除いた量とした。この量を小林²³⁾の推計による加工需要・業務需要の全需要に占める割合(2000年)から加工需要と業務需要に分解し、各部門の総需要量を都道府

県別の活動量(加工部門では工業統計²⁴⁾の野菜缶詰・果実缶詰・農産保存食料品製造業、漬物製造業、ソース製造業、冷凍調理食品製造業、惣菜製造業の生産額の合計値、業務需要においては家計調査によって推計した都道府県別外食支出額)で配分した。加工・業務需要におけるそれぞれの2003年の輸入割合は、詳細なデータが得られなかったため等しいと仮定し、全体での総CO₂排出量を求めた。なお、じゃがいもに関しては、加工需要を農林水産省²⁵⁾の値とし、出荷量から家計需要と加工需要を除いたものを業務需要とした。

(4) 栄養素量を機能単位とした環境負荷指標

栄養機能という面から野菜を見た場合、その大きな役割は無機質およびビタミンの供給である。よって、本研究では、野菜に比較的多く含まれる無機質・ビタミンの量を機能単位として、含有量あたりのCO₂排出量を指標として算出した。対象とする栄養素はビタミンA、ビタミンCおよびカリウムである。食品成分表²⁶⁾の各品目毎の重量あたり含有量の値と同表に記載されている各野菜の非可食部の割合である廃棄率より以下のように算出した。

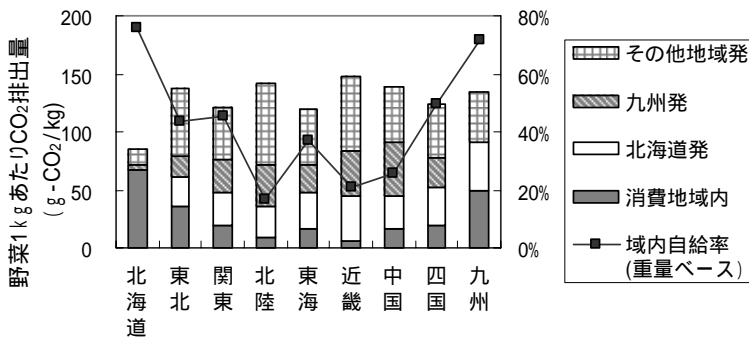


図4 消費地域別産地別の輸送CO₂排出量(国内産)

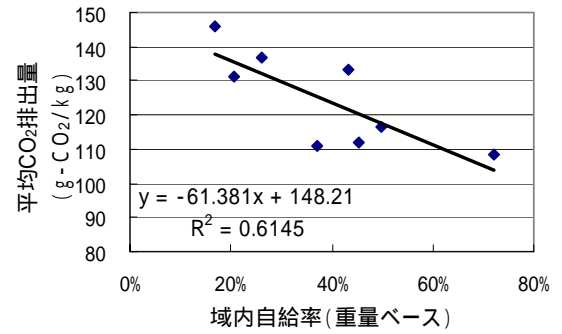


図5 北海道産以外の平均輸送CO₂排出量と域内自給率の関係

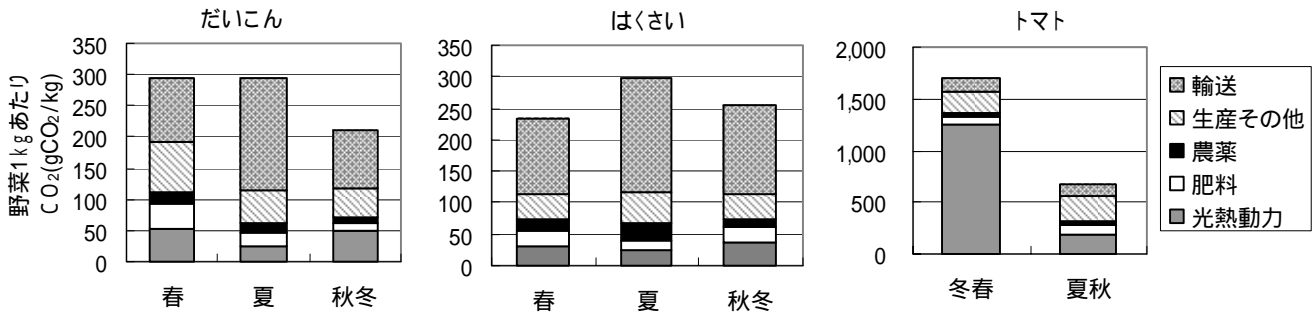


図6 品目別・季節別の重量あたりCO₂排出量

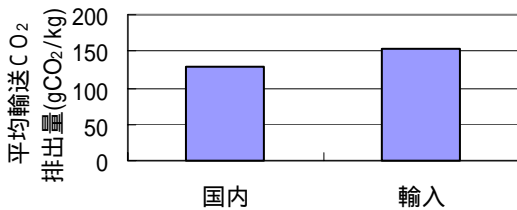


図7 生産地別の平均輸送CO₂排出量

$$f_n = \frac{e_n}{x_n(1-t_n)} \quad (2)$$

ここで、 f_n : 品目 n の栄養素量あたりCO₂排出量

e_n : 品目 n の平均生産・輸送CO₂(g-CO₂/100g)

x_n : 品目 n の可食部100gあたり栄養素含有量

t_n : 品目 n の廃棄率。

3. 推計結果

(1) 輸送量と輸送分担率

国内野菜の都道府県間輸送量の推計結果を、自動車輸送の分担率(輸送量ベース)とともに表4に示す。国産野菜の2003年における国内消費量は14,176千tであり、うち35%を関東地方において消費している。生産に関しては、北海道、千葉県・茨城県をはじめとする関東地方、長崎県・熊本県などの九州で多い。用途別では、48%を家計需要が占め、残りの52%が加工・業務需要となった。

輸送機関分担率をみると、北海道とその他の地域間の輸送において、船舶や鉄道が多く利用されている。そのほか、九州・四国と関東・東海・近畿の間でも比較的船舶が利用されている。

(2) 国内産野菜の生産・輸送全体のCO₂排出量

国内で消費される国内産野菜の生産および輸送に関する環境負荷は、図2に示すように、生産・輸送に関する環境負荷は全体で5,813千tであり、その内の7割が生産、3割が輸送によるものとなった。生産の内訳を見ると、トマトやきゅうりなど施設栽培が広く行われている品目の割合が高く、だいこんなど生産量の多い品目がそれに次いで大きな割合を占めた。重量あたりでは、野菜1kgあたりの生産CO₂排出量は279g-CO₂、輸送段階では128g-CO₂となった。

(3) 品目別CO₂排出量

図3は、野菜14品目の品目ごとの生産・輸送過程における環境負荷(全国平均)である。野菜1kgの生産・輸送に対して最も多くの二酸化炭素を排出しているのはピーマンであり、ばれいしょが最も低いことが分かった。全体的にみると、果菜類のCO₂排出量が比較的多く、いも類・根菜類において低い。施設栽培が広く行われている果菜類では光熱動力に伴うCO₂排出量が多い。一方で、いも類・根菜類では生産段階において比較的低投入であり、相対的に輸送に占める比率が大きい。

ばれいしょは、北海道や長崎から近畿や関東への長距離の輸送量が多いため、輸送のみに関しては14品中最もCO₂排出量が多くなっている。ねぎやほうれんそうでは全国的に広く栽培が行われ、生産地域内で消費される割合が高いことから、輸送に伴うCO₂排出量は少ない。

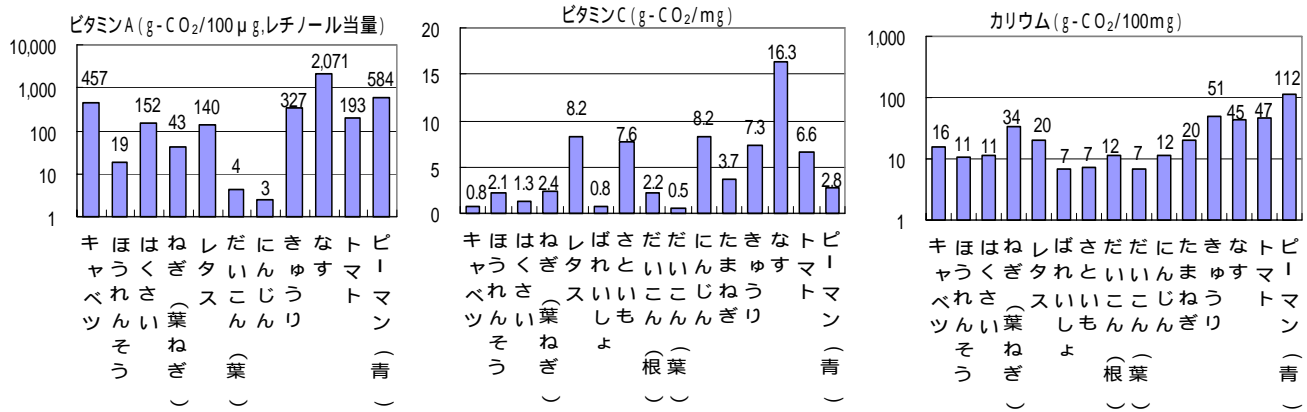


図8 主要栄養素含有量あたりのCO₂排出量

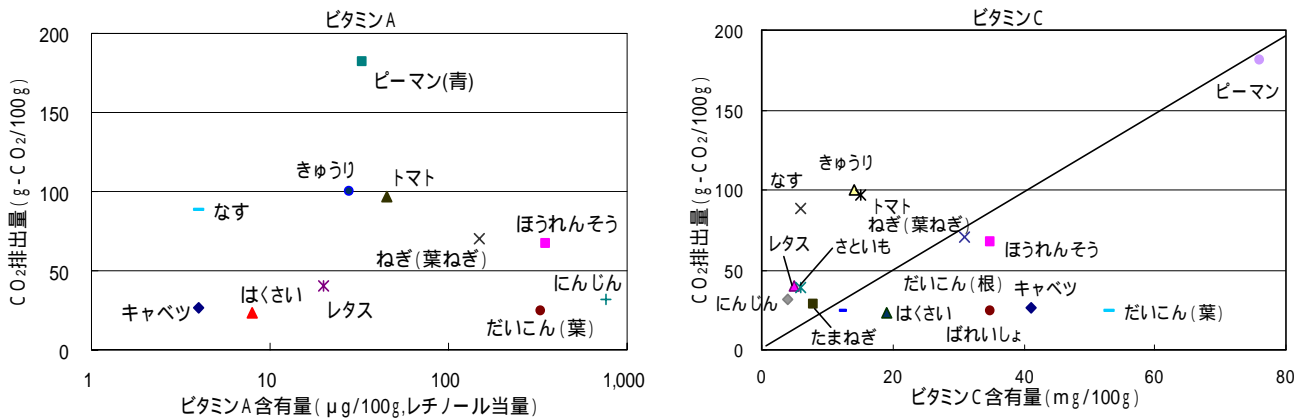


図9 品目別のビタミン含有量と可食部重量あたりCO₂排出量の関係

(4) 消費地域別CO₂排出量

消費地域別にみた野菜1kgあたり生産・輸送全CO₂排出量は、北海道以外の地域では531～580g-CO₂/kgの範囲に、北海道では455g-CO₂/kgとなった。生産・輸送CO₂は消費野菜の品目構成と産地からの距離・輸送手段の影響を受けるが、北海道においてははくさい・たまねぎといった重量あたりCO₂排出量の比較的小さい品目の消費が多いことと、後述のように輸送CO₂も9地域中最も小さかったことからこのような結果となった。

図4に、消費地域別の国内産野菜消費1kgあたりの平均輸送CO₂排出量を示す。図内の域内自給率は、地域の野菜消費全体に占める自地域内産の割合(重量ベース)である。全国9地域中最も輸送CO₂排出量が少ないのは北海道であり、最も多いのは近畿地方という結果となった。北海道において少ないのは、じゃがいもやたまねぎをはじめとした野菜生産量自体が多いため域内自給率が高く、平均輸送距離が短くなっていることと、他地域からの輸送においても海運や鉄道の利用度が高いことが挙げられる。近畿地方における排出量の多さは、域内自給率の低さに加え、自動車輸送がより多く利用されているためである。

北海道からの野菜輸送に関しては、表4が示すように北海道産の消費量がどの地域においても全体の15～23%程度と、北海道からの距離にかかわらず一定の割合を占

めていることがわかった。よって、北海道からの野菜輸送のCO₂は、現在の消費パターンにおいては、域内自給率との関係性は小さく、消費地域からの距離と輸送機関の分担率に大きく依存すると考えられる。北海道産以外の野菜輸送に関しては、図4の域内自給率と重量あたり平均輸送CO₂排出量との間に比較的高い相関がみられた(図5)。

(5) 品目別・時期別CO₂排出量

季節ごとの環境負荷の変化を品目別に分析した結果が図6である。だいこん・はくさいはともに冬、トマトは夏が旬とされている野菜である。

結果を見ると、だいこんやトマトでは、旬の時期において最も環境負荷が低くなっている。

まず、だいこんに関しては、輸送段階においては春・秋冬においては夏よりもかなりCO₂排出量は少ない。全国的に広く栽培される秋冬の輸送CO₂排出量は主に北海道で栽培されている夏に比べ約50%となっている。生産に関しては春季の光熱動力や肥料等の投入量が多く、CO₂排出量が多くなる結果となった。

はくさいでは、四季を通じて生産CO₂排出量に大きな差はないが、輸送においては、だいこんと同様の傾向がみられる。はくさいは夏季には主に長野・北海道・群馬などの特定の冷涼地が大部分となるために他の時期に

比べ輸送CO₂排出量は多い。

トマトに関しては、冬春の施設栽培に伴う暖房等の光熱動力による排出量の差が大きい。その差に比べて少ないものではあるが、輸送の面でも夏秋トマトのほうが輸送CO₂排出量は少ない。

(6) 野菜輸入に伴う輸送CO₂排出量

野菜輸入に伴うCO₂排出量は、1kgあたり153g-CO₂と、国産野菜に比べて1.2倍という結果となった(図7)。輸入による平均輸送距離は6,600kmと国内輸送に比べはるかに長いものの、海運のエネルギー効率の高さからこのような結果になった。この値には前述の通り輸入相手国内の輸送は含まれていないため、実際にはこれよりも差は大きくなる。

この差は根菜類等の比較的投入型の野菜ではCO₂排出量全体からみて小さくない割合を占めるが、果菜類においてはそれほど大きな意味のある差ではない。この結果は、輸入相手国の栽培状況によるものの、同一の栽培方法を仮定した場合、旬の時期以外において果菜類を国内生産するよりも露地栽培での生産が可能な国からの長距離輸送を行う方が環境負荷が低くなる可能性を示唆している。

(7) 栄養素を機能単位とした環境負荷指標

図8は、各野菜の栄養素含有量あたりのCO₂排出量を示している。この値が低いほど環境面における効率が高いことを示す。図9では各野菜のビタミン含有量と重量あたりの環境負荷をプロットしている。ビタミンAの効力を表す指標としてはその1種であるレチノールの量に換算したものであるレチノール当量の値を用いた。

ビタミンAでは緑黄色野菜に分類されるにんじんやだいこん(葉)、ほうれんそうにおいて環境効率が高いことがわかる。一方、緑黄色野菜ではない、なすやキャベツでは効率が低い。また、緑黄色野菜の中でもビタミンAの含有量が低く、生産における環境負荷の多いトマトやピーマンの環境効率は低い水準となった。

ビタミンCにおいては、ばれいしょ、キャベツ、だいこん(葉)、はくさいにおいて特に効率が高く、なすやきゅうり、トマト、レタスにおいて効率が低い。なすやレタスはビタミンCの含有量が低いことで、トマトやきゅうりは重量あたりの環境負荷が高いためにこのような結果となった。重量あたりのCO₂排出が最も多かったピーマン(青)は、ビタミンC量が14品目中最も多いために環境効率が低くはなっていない。

カリウムにおいては含有量でみるとほうれんそう(690mg/100g)やさといも(640mg/100g)が多かったが、含有量あたりのCO₂排出量では、さといもやばれいしょ(410mg/100g)、だいこん(葉)(400mg/100g)の効率が高

いという結果となった。最も含有量の少ないピーマン(青)(190mg/100g)が最も環境効率が低かった。

以上のように栄養素との関係からの環境効率をみてきたが、効率を考える際には食物の1日あたりの摂取可能量には上限があることにも注意が必要である。図9より、ビタミンAについては環境効率の高い野菜は重量あたりの含有量が高い野菜であることが分かるが、ビタミンCに関しては必ずしもそうはいえない。環境面において効率が同じであっても、含有量の低い野菜では十分な栄養素を摂取するのに大量に食べる必要があり、それは現実的ではないといえる。

また、注意すべき第2の点として、特にビタミン類は調理方法によって残存率や体内への吸収率に大きな違いがあるということがある。それによって、環境効率に大きな変化がある可能性もある。また、ここで用いたCO₂排出量の値は年間平均値であり、先にみたような季節変動もあることも考慮する必要がある。

4. まとめ

本研究では、日本で消費される国内産野菜について、生産費データ・卸売市場データを用いて品目別・時期別・消費地別に生産・輸送によるCO₂排出量を推計した。また、野菜輸送に関して国内産と海外産を比較し、国内産野菜に関しては栄養素を機能単位とする環境負荷の品目別比較を行った。

その結果、次の点が明らかとなった。

2003年における野菜の生産・輸送時におけるCO₂排出量のうち輸送が30%を占める。全体では5813kt-CO₂で、1kgあたりでは生産280g-CO₂、輸送で約130g-CO₂を排出している。

品目別では、重量あたりのCO₂排出量は根菜類で少なく、果菜類が多い。

地域別に見ると野菜輸送の平均CO₂排出量が最も低いのは北海道であり、域内自給率が高めれば平均輸送CO₂排出量が低くなる傾向がみられた。

時期別ではいわゆる旬の時期での消費が他の時期と比べおおむね最もCO₂排出量が低い。

輸入による輸送CO₂排出量は輸入相手国内の輸送を除くと国内産品の約1.2倍である。

栄養素を機能単位としてみると、ビタミンAでは14品目中において含有量の多い野菜が環境効率も高い。ビタミンA、Cにおいてにんじんやだいこん(葉)の効率がよく、ビタミンC、カリウムではばれいしょやだいこん(葉)の効率高い。

今後は、推計方法として、消費地域別に集計した卸売市場データではなく、都道府県別により正確な値を得られる個々の市場データを用いることや、用途別の

需要に関してさらに正確な予測を行うことが課題として挙げられる。栄養素関連の分析においては調理による影響を考慮に入れた上で指標化を行う必要がある。

さらに、本稿では環境負荷に関する現状分析に留まっているが、輸送の効率化や環境保全農業による環境負荷の削減効果についても議論する必要がある。

参考文献

- 1) 農業環境技術研究所：環境影響評価のためのライフサイクルアセスメント手法の開発 研究成果報告書，2003。
- 2) 資源協会編：家庭生活のライフサイクルエネルギー，1994。
- 3) 久守藤男：食システムのエネルギー分析 LCA視点による，日本エネルギー学会誌，Vol. 82，No. 1，pp1-35，2003。
- 4) 根本志保子：フードマイルズにみる生鮮野菜消費の変化と環境負荷，生活経済学研究第22巻・第23巻，2006。
- 5) 農林水産省：野菜生産出荷統計，農林水産省，2004。
- 6) 農林水産省：食料需給表（平成15年度版），2005。
- 7) 農林水産省：野菜・果樹品目別統計（平成15年産），農林水産省，2004。
- 8) 総務省編：平成12(2000)年産業連関表，総務省編，2004。
- 9) 農林水産省：農業物価統計，農林水産省，2005。
- 10) 環境省：地球温暖化対策の推進に関する法律施行令で定める排出係数一覧，環境省，2002。
- 11) 南齋規介，森口祐一，東野達：産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID）- LCAのインベントリデータとして - ，(独)国立環境研究所 地球環境センター，2002。
(<http://www-cger.nies.go.jp/publication/D031/index-j.html>)。
- 12) 農林水産省：青果物産地別卸売統計，2004。
- 13) 財団法人運輸政策研究機構：第7回全国貨物純流動調査，2002。
- 14) 地図ソフト ゼンリン電子地図帳Z Professional。
- 15) 海上保安庁：距離表，2003。
- 16) 全日本空輸(ANA)ホームページ(<http://www.ana.co.jp>)。
- 17) 日本航空(JAL)ホームページ(<http://www.jal.co.jp>)。
- 18) 交通関係エネルギー要覧，国土交通省，2004。
- 19) 財団法人シップ・アンド・オーシャン財団：平成12年度船舶からの温室効果ガス(CO₂等)の排出量削減に関する調査研究報告書 平成13年6月，2003。
- 20) 総務省：家計調査年報，2004。
- 21) 総務省：住民基本台帳に基づく人口・人口動態及び世帯数，2003。
- 22) 農林水産省：青果物卸売市場調査報告，2004。
- 23) 小林茂典：野菜の品目別需給分析，農林水産政策研究成果情報，No. 3，2004。
- 24) 経済産業省：平成14年工業統計調査，2004。
- 25) 農林水産省：じゃがいもの用途別需要量の推移，農林水産省 さつまいも&じゃがいも ホームページ
(<http://www.maff.go.jp/soshiki/nousan/imo/imoruihanindex.html>)。
- 26) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会：増補五訂日本食品標準成分表，2005
(http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushi/n/05031802.htm)。

THE QUANTITATIVE EVALUATION OF ENVIRONMENTAL LOAD ON PRODUCTION AND TRANSPORTATION OF VEGETABLES

Naoki YOSHIKAWA，Koji AMANO and Koji SHIMADA

In order to obtain an in-depth understanding of the environmental load caused by the production and transportation of the vegetables consumed in Japan, we estimated the quantity of direct and indirect carbon dioxide emissions for 14 different kinds of vegetables at different times of the year and in different regions. Then we compared environmental efficiency of vegetables as CO₂ emissions per vitamin and mineral content. We based our estimations on vegetable production costs and data collected from surveys conducted in the wholesale market and international trade. We estimated the CO₂ emissions associated with the production and transportation of vegetables grown in Japan to be approximately 5.8 million tons per year. One kilogram of vegetables emitted 280 grams of CO₂ in production and 130 grams in transportation. Root vegetables had relatively low CO₂ emissions, while fruit vegetables showed higher CO₂ emissions. There was a clear tendency for the vegetables produced in regions with higher vegetable self-sufficiency to create less CO₂ emissions. Transportation of one kilogram of imported vegetables created approximately 20% more CO₂ emissions in average than that of domestically produced vegetables. CO₂ emission per vitamin A content of each vegetable is low in carrots and leaves of Japanese radish, CO₂ emissions per vitamin C and kalium content are low in Irish potatoes and leaves of Japanese radish.