

日本の青果物消費に伴う環境負荷とその削減ポテンシャルに関する評価

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.ritsumei.ac.jp

²正会員 立命館大学教授 理工学部
E-mail:amano@se.ritsumei.ac.jp

³正会員 立命館大学教授 経済学部
E-mail:shimada@ec.ritsumei.ac.jp

日本国内における青果物の生産から廃棄に至るまでの温室効果ガス(GHG)・酸性化物質(AS)排出量を、ライフサイクルインベントリ(LCI)手法を用いて定量化し、消費側からの対策を中心とした環境負荷削減ポテンシャルを評価した。青果物の国内消費に伴う2003年のGHG排出量は約12.7百万t-CO₂eqで、生産段階が65%、輸送段階が16%を占めていた。露地栽培と比較してハウス栽培品の環境負荷が比較的高くなった。栄養素量(ビタミンC)を機能単位とし、調理を考慮した環境効率評価を試みたところ、キャベツ・露地みかん・露地ピーマンの効率が高く、ゆで調理は成分ロスによりほとんどの品目で10~70%程度効率が低くなった。地産地消シナリオにより最大4.8%のGHG排出が削減される。これはハウス栽培品消費の20%の旬へのシフトやモーダルシフト化率100%、食品ロス40%削減シナリオとほぼ同等の削減効果である。肥料施用量の20%低減によりGHG排出は3.1%、AS排出は16.8%削減され、施設栽培の省エネルギー化では7.5%のGHG排出が削減可能になることがわかった。

Key Words :vegetables and fruits consumption, lifecycle inventory, emission reduction potential, environmental efficiency, nutrient

1. はじめに

近年、食料消費の生産・消費に関して、地産地消や旬産旬消、環境保全型農業など、環境負荷の小さい生産・消費形態に向けての取り組みが展開されつつある。

これらは、農薬・肥料等の使用や食と農の遠距離化に伴う安全性への不安の高まりや、食生活の欧米化に対する反動としての伝統的食生活への指向を背景としているが、環境負荷の低減にもつながることが期待されている。とりわけ青果物においては、ハウス栽培や生産・消費の周年化など、環境負荷を増大させる可能性のある要因も多く、取り組みによる環境負荷低減の可能性が大きいと考えられる。よって、青果物の消費における環境負荷および対策による削減効果を評価することは、持続可能な消費のあり方を検討していく上で有用であるといえる。

環境負荷とその削減効果を定量的に評価するためには、生産段階から輸送・調理や廃棄に至るまでの流れを包括的に評価するライフサイクルアセスメント(LCA)手法を用いることが望ましいと考えられる。農

産物の消費における環境負荷に関する既往の研究においては、農業生産における環境負荷の定量化(農業環境技術研究所¹⁾、資源協会²⁾など)のほか、米の生産規模の差異による環境負荷の変化の評価³⁾、食料の総輸送距離(フードマイレージ)に関する研究⁴⁾⁵⁾などがある。食料消費の流れを他段階にわたり評価した研究は、青果物分野を含むものとしては、海外事例では、トマトとにんじんの原産国別LCA⁶⁾、調理食品と家庭調理の比較⁷⁾などがある。日本では白木ら⁸⁾のキャベツとトマトの生産・輸送時のCO₂排出量の推計、椎名ら⁹⁾のトマトのLCA、藤原ら¹⁰⁾のいちごジャム生産におけるCO₂排出量の試算、モデルメニューの食材生産・調理におけるCO₂排出量の推計を行った津田ら¹¹⁾などがある。しかし、流通・家庭などの各段階での廃棄までを含めた研究は国内では見あたらず、多品目の青果物を対象とした青果物のインベントリデータの整備は未だ十分ではない。また、青果物の地産地消や旬産旬消による効果を定量評価した事例は、キャベツとトマトの地産地消による効果を試算した白木ら⁸⁾などごく少ない。そこで、本研究では、日本において消費される青果

物を対象として、生産・輸送から廃棄に至るまでの各ライフステージにおいて排出される環境負荷量(温室効果ガス(greenhouse gas, 以下GHG)および酸性化物質(acidifying substance, 以下AS)を多品目にわたり推計する。これらについて、重量あたりに加え、食品の持つ機能として重要な栄養機能の観点から、栄養素含有量あたりの環境負荷を算出するとともに、地産地消・旬産旬消などの複数の対策についても、環境負荷削減可能性の定量的な評価を行う。

2. ライフサイクル環境負荷量の推計

本研究における評価範囲は、青果物の生産段階、産地の出荷段階、産地から消費地までの輸送段階、小売段階、家庭での調理段階、農業・食品産業・家庭の各部門からの廃棄段階の6段階とした(図-1)。環境負荷項目としては、各段階から直接的・間接的に発生するGHG(CO₂・N₂O・CH₄)およびAS(NO_x・SO_x・NH₃)排出量を推計した(表-1)。これらを、LIME¹²⁾の特性化係数を用いて地球温暖化および酸性化のインパクトとして評価した。さらに、青果物消費に関わるマテリアルフローを把握し、青果物消費全体における環境負荷を推計した。評価対象品目は野菜14種類、果実10種類の計24種類とした(表-2)。これらの品目で野菜では国内生産量(果実的野菜(すいか・メロン・いちご)を除き、ばれいしょを含むもの)の約81%、果実では国内生産量(果実的野菜を除いたもの)の約88%を占めることから¹³⁾⁻¹⁵⁾、国内産青果物において一定の代表性はあると考えられる。

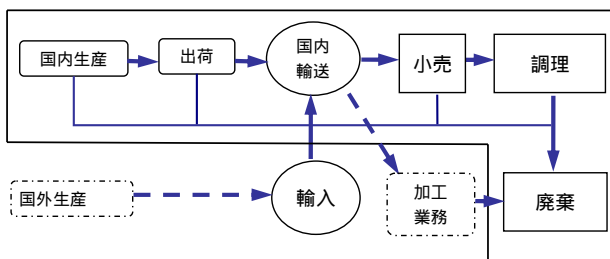


図-1 青果物消費の流れ

表-1 環境負荷推計の対象範囲

	CO ₂		CH ₄		N ₂ O		NO _x		SO _x		NH ₃
	直接	間接	直接	間接	直接	間接	直接	間接	直接	間接	
生産				-							
出荷	-		-		-		-		-		-
輸送		-		-		-		-		-	
小売				-		-		-		-	
調理				-		-		-		-	
廃棄											-

：推計対象 ：一部を推計 -：推計対象外

推計に際して、生鮮野菜の家計内消費を念頭に焦点を絞るため、青果物の加工や外食等の業務需要に振り分けられるものに関しては、加工や調理に伴う環境負荷は算出しない。また、調理段階においては、調理手法の出現頻度が不明であることや、野菜以外の調理によるものとの環境負荷の分離定量が困難であることから、消費全体での算出は行わず、基本的な調理手法別の品目別環境負荷の比較にとどめる。また輸入品については品目別データ入手が困難であったことから評価の対象外とした。評価対象年は2003年とする。

(1) マテリアルフローの把握

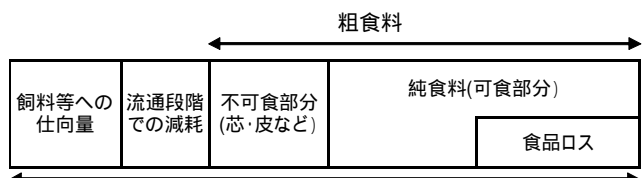
青果物消費全体を俯瞰した環境負荷量の推計にあたっては、青果物の生産量・消費量や廃棄量のような物質の流れ(マテリアルフロー)を把握する必要がある。生産された農産物は流通段階において一定程度廃棄され、消費者の手に渡った後も非可食部や可食部の一部が廃棄物となる(図-2)。本研究では、食料需給表¹⁵⁾や食品ロス統計¹⁶⁾、食品廃棄物に関する統計・研究報告¹⁷⁾¹⁸⁾農業残さの発生量に関する研究報告¹⁹⁾に基づいて、青果物の消費に伴うマテリアルフローを推計した。

(2) 生産段階

各野菜の生産段階における環境負荷は、CO₂、NO_x、SO_xについては産業連関表に基づく原単位を利用して直接・間接排出量を推計した。さらに、肥料の施肥に伴う土壌からの排出については、N₂O・NO_x・NH₃、エネルギーの使用に伴う排出量についてはCH₄・N₂Oの排出量を考慮した。CO₂等の直接・間接排出量は、費目別生産費²⁰⁾データに、対応する部門の3EID²¹⁾

表-2 対象青果物の概要¹³⁾¹⁴⁾

	品目	季節区分	年間生産量(千t)		品目	栽培区分	年間生産量(千t)
葉茎菜類	キャベツ	春夏秋冬	1,378	果実	りんご	-	842
	ほうれんそう	-	312		みかん	露地・ハウス	1146
	はくさい	春夏秋冬	965		他の柑きつ類	-	257
	ねぎ	春夏秋冬	514		なし	-	332
	レタス	-	550		ぶどう	露地・ハウス	221
根菜類	ばれいしょ	-	2,939		かき	-	265
	さといも	-	209		もも	露地・ハウス	157
	だいこん	春夏秋冬	1,716		すいか	-	487
	にんじん	春夏秋冬	654		メロン	-	269
	たまねぎ	-	1,172		いちご	露地・ハウス	203
果菜類	きゅうり	冬春夏秋	683	生産量は2003年の値。			
	なす	冬春夏秋	395				
	トマト	冬春夏秋	759				
	ピーマン	冬春夏秋	151				



国内消費仕向量
食品ロス：純食料のうち調理時の過剰除去・直接廃棄・食べ残し分

図-2 食料消費統計における生産・消費量の定義

原単位を乗じて算出した。土壌面からの排出量は、窒素肥料投入量あたりの各物質の排出原単位と品目別面積あたりの平均肥料投入量²²⁾を乗じることで算出した。エネルギー起源のC₄H₄・N₂O排出量は、品目別の光熱動力費と、産業連関表²³⁾から把握した栽培方法別(露地野菜・施設野菜)のエネルギー源別の使用割合、エネルギー源別の排出原単位²⁴⁾を用いて算出した。

(3) 出荷段階

出荷段階においては、出荷時に使用される段ボール等の梱包資材や機械類・建物等の使用に伴う間接的な環境負荷排出量を対象とした。算出方法は、費目別出荷費²⁵⁾に費目に対応する3E I D²¹⁾の原単位を乗じることとした。

(4) 輸送段階

輸送段階における環境負荷排出量(CO₂・CH₄・N₂O・NO_x・SO_x)は、式(1)のように定式化し、算出した。

$$e_{i,n}^t = \sum_j \sum_k (r_{i,j,k} c_{i,j,k} + d) x_{i,j,n} \quad (1)$$

ここで、

$e_{i,n}^t$: 品目 n の消費地 i までの輸送にかかる環境負荷排出量(t-CO₂eq)

$x_{i,j,n}$: 生産地 j から消費地 i への品目 n の輸送量(t)

$r_{i,j,k}$: 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

$c_{i,j,k}$: 生産地 j から消費地 i までの代表輸送機関 k による単位重量の輸送における環境負荷排出量(t-CO₂eq/t/km)

d : 消費地における単位重量の配送による環境負荷排出量(t-CO₂eq/t)

ここでは、輸送段階における環境負荷排出を、生産都道府県から消費都道府県までの輸送と消費地での配送の2段階に分けて算出している。都道府県間輸送は県別、輸送機関別に距離を設定し、単位重量の輸送による環境負荷排出量を推計した。配送は小型貨物車によるものとし、その輸送距離は25kmに設定⁹⁾した。品目毎の消費地別の都道府県間輸送量は青果物産地別卸売統計²⁶⁾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産地割合と、前報²⁷⁾における手法により推計した都道府県別品目別消費量より推定した。

(5) 小売段階

小売段階においては、売場におけるエネルギー消費およびレジ袋の使用に伴う環境負荷排出量を推計した。店舗での使用エネルギーに関しては、業種別の床面積あたりのエネルギー源別消費原単位²⁸⁾に、商業統計²⁹⁾の売場面積から品別商品販売額²⁹⁾³⁰⁾を按分指標として推定した業種別青果物売り場面積を乗じて算出した。レジ袋に関しては、全国の使用量を、商品販売額で按分

して青果物販売による使用量を推定し、レジ袋のインベントリデータ³¹⁾より環境負荷排出量を算出した。

(6) 調理段階

家庭での調理に伴い、環境負荷の排出と栄養成分のロスが発生する。調理段階での環境負荷の推計では、基本的な調理に用いられるガス・水道および植物油の使用による直接・間接の環境負荷を対象とし、CO₂・NO_x・SO_xについて算定する。推計する調理方法としては、生食調理(千切り)、ゆで調理、炒め調理、煮込み調理とし、調理による栄養成分のロスに関する各研究報告に基づいて、品目別の調理条件と各々による栄養成分ロス率を設定³²⁾³⁴⁾した。

(7) 廃棄段階

廃棄段階においては、家庭・流通・業務・食品製造業の各部門から排出される食品廃棄物および農業残さ・農業用プラスチックの廃棄・リサイクルに伴う環境負荷量を推計した。

農業用プラスチックを除く廃棄物の処理方法は、焼却・堆肥化・エネルギー利用(メタン発酵)・飼料化とした。処理方法別の仕向量は、推定したマテリアルフローデータおよび処理方法別割合より推計した。堆肥化・メタン発酵については堆肥・電力の生産による代替効果を考慮している。メタン発酵では、発酵残さは液肥化される場合もあるが、ここではすべて焼却されるものと仮定した。飼料化としてリサイクルされるものについては、再生品は青果物消費の過程外に投入されるため、処理時の環境負荷について畜産業との配分に関する問題がある。ここでは、過大評価を避けるため収集時の環境負荷のみ算入することとする。

環境負荷量(CO₂・CH₄・N₂O・NO_x・SO_x)については、平井ら³⁵⁾・村田³⁶⁾の食品廃棄物処理における設定条件をもとに、本研究で対象とする青果物(生産物および残さ)との性状差(含水率・窒素含有率)を考慮して算出した。

農業用プラスチック(CO₂・NO_x・SO_x)については、品目別の発生量、処理方法別割合³⁷⁾と、処理方法別インベントリデータ³⁸⁾より算出した。

(8) 環境負荷量・環境効率の算出

環境負荷の品目別比較では、重量あたりに加えて、栄養素摂取の観点から栄養素摂取量当りの環境負荷を算出する。青果物の重量あたりの環境負荷推計では、購入量(粗食料)の観点から、栄養素量あたりの環境負荷推計では、摂取量(純食料から食品ロスを除いた分)の観点からLCA評価を行うべきと考えられる。

重量あたりでは、購入量(粗食料)あたりの生産・出荷から家庭廃棄までの環境負荷を算出する。栄養素摂取量あたりの環境負荷は、購入量あたり環境負荷を用いて式(2)(3)のように表される。

$$f_{m,n} = \frac{e_n^n + e_{m,n}^c}{a_{m,n} N_n} \quad (2)$$

$$e_n^n = \frac{e_n^g}{(1-t_n)(1-g)} \quad (3)$$

ここで、

$f_{m,n}$: 栄養素摂取量あたりの環境負荷排出量 (g-CO₂eq/mg)

e_n^n : 摂取量あたりの環境負荷排出量 (g-CO₂eq/kg)

$e_{m,n}^c$: 調理時の環境負荷排出量 (g-CO₂eq/kg)

N_n : 生鮮時の可食部重量あたり栄養素含有量 (mg/kg)

$a_{m,n}$: 調理時の栄養素残存率

e_n^g : 購入量(粗食料)あたりの(調理段階を除く)環境負荷排出量 (g-CO₂eq/kg)

t_n : 品目 n の廃棄率(不可食部の割合)

g : 食品ロス率(可食部の内廃棄・食べ残しの割合)

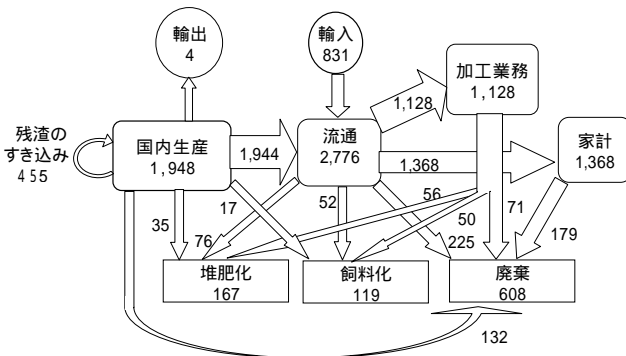
m :調理方法, n :品目.

青果物消費全体での環境負荷では、対象品目に加え、対象品目以外の品目についても、その環境負荷を対象品目の生産量による加重平均値と同じであると仮定して、全体での負荷量を算出した。

3. 環境負荷推計結果

(1)全体の環境負荷について

日本国内における青果物消費に伴うマテリアルフロ



四捨五入の関係により、収支は必ずしも一致しない。

図-3 青果物消費のマテリアルフロー推計結果(単位: 万 t)

の推計結果を図-3に示す。青果物の国内生産量は1,948万t, 輸入はその約4割程度となっている。家計および家計外(加工・業務)の青果物需要は2,515万tであり、そのうちの51%が家計外需要であった。これらの需要に対し、農業残渣および食品廃棄物は、合わせて1,349万t発生し、そのうち640万tが農業残渣であった。部門別の食品廃棄物発生量のうち流通段階からが353万tと最も多く、次いで家庭からの172万tとなった。農業残渣のうち、71%が農地へのすきこみによって処理されており、残りは焼却等の廃棄処分が多い。食品廃棄物の再生利用割合は、加工部門において高く、家庭からの排出はほぼ全てが焼却・埋立されている。食品廃棄物に占める堆肥化、飼料化の割合は、それぞれ24%, 17%だった。

図-4は、青果物消費全体に伴う環境負荷量とその品目別内訳である。日本の青果物消費に伴うライフサイクルGHG排出量は約12.7百万 t-CO₂eqとなった。これは2003年度に日本国内から排出されたGHGの0.98%にあたる。排出量の多い品目は、消費量の多いばれいしよや、重量あたりの環境負荷が比較的高かつ生産量の比較的多いトマト・みかん・きゅうりであった。ライフサイクルAS排出量は約279千 t-SO₂eqとなり、排出量の多い品目は、消費量の多いばれいしよ、重量あたりの環境負荷が比較的高いみかん・ほうれんそう・ねぎが上位となった。

段階別の内訳(図-5)でみると、GHG排出量のうち64.9%が生産段階、次いで15.5%が輸送段階から排出されていた。ほか出荷8.7%, 小売6.3%, 廃棄4.6%となった。AS排出量では、93.2%が生産段階の排出量となった。ほか輸送段階4.1%, 出荷1.1%, 廃棄1.6%, 小売0.3%と小さい寄与率となっている。

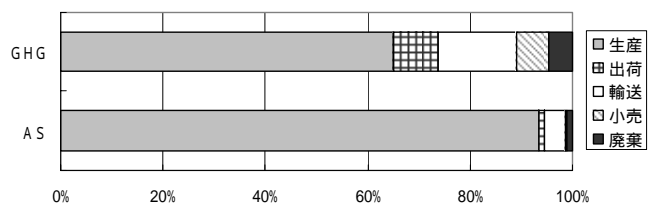


図-5 国産青果物消費に伴う環境負荷の段階別内訳

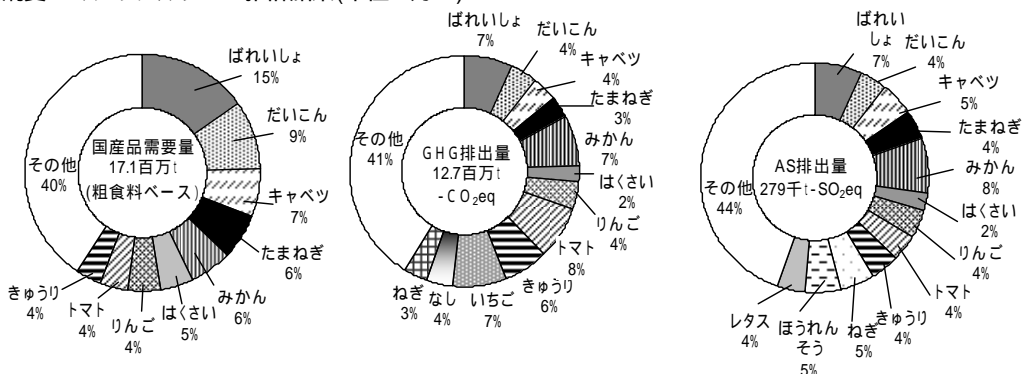
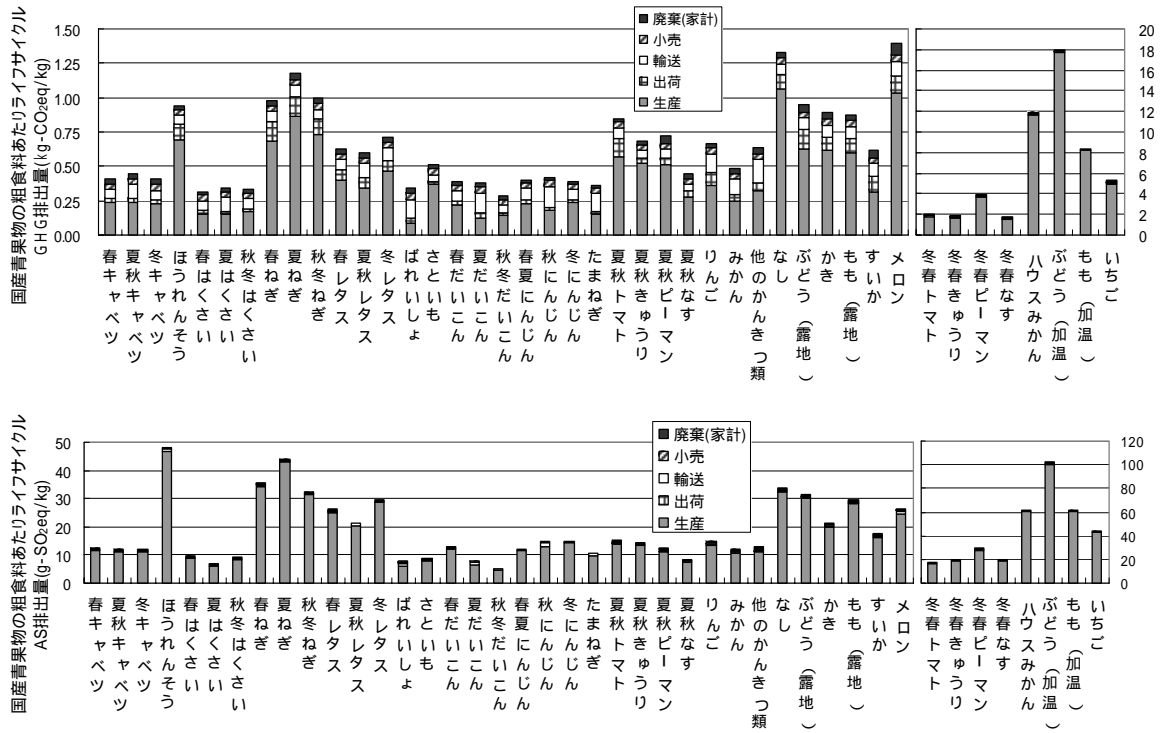


図-4 国産青果物消費に伴う環境負荷排出量



印は「旬」とされている時期を示す。

図-6 国産青果物消費に伴う品目別重量あたり環境負荷排出量

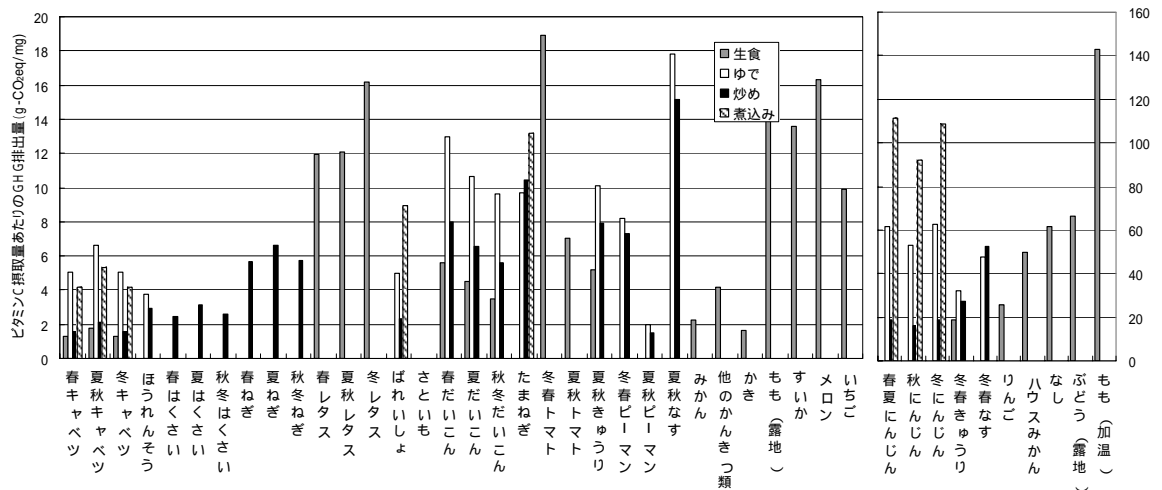


図-7 調理法別・品目別ビタミンC摂取量あたりGHG排出量

(2)重量あたり環境負荷

図-6に品目別の重量あたり環境負荷排出量（粗食料ベース）を示す。重量あたりの品目別GHG排出量で比較すると、最も排出量が多いのはハウスぶどう、最も小さいのはたまねぎという結果となった。品目ごとのハウス栽培品の排出量は各露地栽培品に比べ2(なす)~20(ぶどう)倍程度となっている。野菜の品類別にみると、全般的に排出量が多いのは果菜類、次いで葉茎菜類、根菜類となっている。

段階別では、ほとんどの品目で生産段階が多く、次いで輸送段階となっているが、ばれいしょ、夏だいこんのように、輸送距離が長く、生産段階で排出量の少ない品目に関しては、輸送段階の比率が高くなっている。これら輸送距離の長い品目は、夏季では冷涼地で

栽培する必要のある品目となっている。

旬の時期(図-6中の 印)における排出量は、果菜類や果実では生産段階、その他の品目では主として輸送段階の要因から、旬の時期以外における排出量と比較して低くなっている。

重量あたりのASについては、野菜において最も排出量が多いのはハウス栽培(加温)のぶどうであり、最も小さいのは秋冬だいこんという結果となった。露地栽培品と比較してハウス栽培品は、エネルギー消費に伴うNOx・SOx排出量の差があるためハウス栽培が多い。また、面積あたりの施肥量に比べて収量の小さいねぎ・ほうれんそう・レタスの排出量が多い。段階別ではどの品目でも生産段階が排出量のほとんどを占める。これらのうち、エネルギー消費の多い品目を除

き、施肥に伴う土壌面からのNH₃、NO_xの排出が高い比率を占めていた。

(3) 栄養素あたり環境効率

図-7は、調理方法別・品目別の栄養素（ビタミンC）摂取量あたりGHG排出量を示している。

ビタミンCに関しては、キャベツ（全時期、生食・炒め）・ばれいしょ（炒め）・夏秋ピーマン（ゆで・炒め）・露地みかん・かきの環境効率が高い。環境効率の低いものは、にんじん（ゆで・煮込み）ハウスももなどがあつた。図-7には示されていないが、ハウスぶどうが1,224 g-CO₂eq/mgと最も低くなつた。ビタミンC摂取量あたりの環境効率の高いグループは、いずれもビタミンC含有量が高く、GHG排出量が低い。環境効率の低いものは、含有量が低いもの（にんじん・ぶどう・もも）と重量あたりの環境負荷の高いもの（ハウスみかん）とがあつた。調理法に着目すると、多くの品目で炒め調理と比較してゆで調理の環境効率が低い。これはゆで調理の方が調理時間が長く調理時の環境負荷が高く、かつ成分のゆで水への溶出分があるためである。ゆで調理よりも調理時間の長い煮込み調理については、煮汁への溶出分を摂取できる点からキャベツではゆで調理の効率を上回つたが、他の品目ではゆで調理よりも環境効率が低くなつた。

なお、ゆで調理におけるGHG排出量は、0.18kg-CO₂eq/kg（きゅうり）～1.20kgCO₂eq/kg（ばれいしょ）の範囲となつた。調理時間が長く、調理段階以外のGHG排出量の小さい根菜類では調理GHG排出量が調理段階以外のライフサイクルGHG排出量を上回つたが、他の品目では調理段階以外のGHG排出量の9%～80%の範囲となつた。

(4) 産業連関法との比較

産業連関表による環境負荷原単位²⁾には、「野菜」および「果実」の部門がある。図-8は、野菜部門のCO₂排出原単位と家計購入価格を乗じることによって得られる産業連関法による野菜のCO₂排出量と、本研究で得られた野菜のCO₂排出量（粗食料あたり、家庭廃棄含まず）の関係を示している。露地野菜に関しては、産業連関法と概ね一致しているが、価格の低いグループで推計値が産業連関法を上回り、高いグループでは下回るという結果となつた。ハウス栽培野菜（冬春期の果菜類）では、産業連関法よりも排出量がかなり高い値となつた。

ハウス栽培品の推計結果が産業連関法による原単位を上回つたことについては、

- ・産業連関法による原単位は露地・施設の種類がなく、両栽培方法をあわせた「野菜」部門の原単位である。
- ・施設栽培の加温時には、価格の比較的低い化石燃料

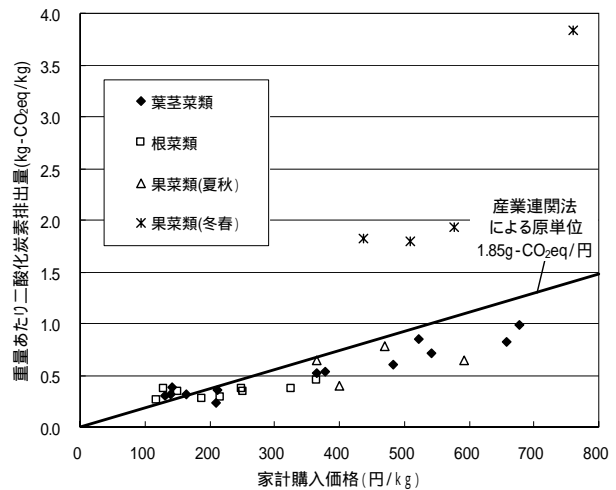


図-8 産業連関法による原単位との比較

である。A重油が主に用いられるため、エネルギー費用あたりのGHG排出量が高くなる。

- ・生産費用において、施設栽培は露地栽培よりも、費用あたりのGHG排出係数の高いエネルギー費用の比率が高い。

ことによるものと考えられる。

4. 環境負荷削減シナリオ

青果物消費による環境負荷の削減ポテンシャルを評価するために、消費側に関わる対策を中心に、表-3のような削減対策シナリオを設定し、その効果を評価した。以下はシナリオの詳細と環境負荷削減効果の推計方法である。データ入手の制約条件により、本研究の対象品目の一部のみ試算したシナリオもある。

(1) 輸送最適化(地産地消)

輸送最適化(地産地消)シナリオでは、次のような線形計画モデルを定式化し、時期別データのある野菜（ほうれんそう・ばれいしょ・さといも・たまねぎを除く10品目）について環境負荷削減可能量を推計した。下式において、各品目ごとの各都道府県の発量と着量および各都道府県間の輸送機関分担率（重量ベース）を変化させずに、都道府県間の輸送量を変化させ、環境負荷を最小化している。本シナリオでは、輸送GHG排出量の大部分を占めるCO₂排出量を最小化することを目的として、このときの環境負荷物質の削減量を推計した。

$$\min \sum_{i=1}^{47} \sum_{j=1}^{47} x_{i,j,n} \cdot c_{i,j} \quad (4)$$

$$s.t. \sum_{j=1}^{47} x_{i,j,n} = D_{i,n} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{47} x_{i,j,n} = S_{j,n} \quad (6)$$

$$x_{i,j,n} \geq 0 \quad (7)$$

ここで、

$x_{i,j,n}$: 生産地 j から着都道府県 i までに運ばれる品目 n の輸送量(t)

$C_{i,j}$: 生産地 j から消費地 i までの単位重量の輸送における平均環境負荷排出量(t-CO₂eq/t)

$D_{i,n}$: 消費地 i における品目 n の需要量(t)

$S_{j,n}$: 生産地 j における品目 n の供給量(t)

(2) モーダルシフト

国土交通省「新総合物流施策大綱」³⁹⁾では、モーダルシフト化率（輸送距離500km以上の産業基盤物資以外の雑貨輸送量のうち、鉄道又はフェリーを含む海運により運ばれている割合）を2010年に50%とする数値目標が示されている。

本研究でのモーダルシフトシナリオでは、都道府県間輸送のうち500km以上の自動車輸送を対象に、その50%（トンベース）を鉄道による輸送に代替した場合の環境負荷削減効果を推計した。対象品目は地産地消と同じ10品目である。

(3) 旬産旬消

旬産旬消シナリオでは、冬季の施設栽培品4品目（トマト・きゅうり・ピーマン・なす）のうちの20%分を夏季の消費に振り替え、冬季から夏季にシフトした分と同等（量・栄養成分（ビタミンC・カロテン）について）の夏季の野菜消費を冬野菜を中心として冬季にシフトさせた場合の環境負荷削減効果を算定した。推計対象品目は、通年需要の傾向が強く対策の困難性が予想される業務・外食部門を除いた、家計部門で消費される野菜14品目とする。

(4) 食品ロス削減

食品ロス削減シナリオでは、家庭における食品ロスを20%削減した場合の環境負荷削減効果を推計する。食品リサイクル法におけるリサイクル率の平成18年度までの数値目標は20%となっているが、本シナリオ実施による可食部の廃棄物削減効果はこれと同等程度となる。

食品ロスの削減シナリオの設定にあたっては、食事が提供するサービス（ここで摂取量・栄養素量）を一定とするため、各品目ともにその摂取量は変わらないこととした。したがって、食品ロスを削減した際には、食品ロス削減により廃棄量が削減されるとともに、実際に摂取される割合が増加することから、過剰生産を回避することによる環境負荷削減効果も得られると考える。

表-3 環境負荷削減ポテンシャル評価で用いるシナリオ

シナリオ	概要
地産地消	各都道府県の生産・消費量を所与に環境負荷が最小となる輸送の組み合わせ
モーダルシフト	現状の500km以上の自動車輸送の50%を鉄道にシフト
旬産旬消	冬季の施設栽培品の20%を夏季の消費にシフトし、その同等分を夏季から冬季にシフト
食品ロス削減	家庭での食品ロスを20%削減する
施肥量低減	栽培での施肥を20%低減する
施設栽培の省エネルギー化	施設栽培での加温エネルギーをA重油からヒートポンプ(空気熱源)に転換
食品リサイクル推進	現在リサイクルされていない食品廃棄物の全量を堆肥化もしくはメタン発酵

推計に当たっては、廃棄削減量に単位廃棄量あたりの環境負荷量を乗じたものに、過剰生産の回避量に単位消費量あたりの生産から小売までの環境負荷量を乗じた削減量を加えたものを環境負荷削減ポテンシャルとする。この場合、輸入品の減少に波及する可能性があるが、輸入品の環境負荷のデータが得られないため、削減効果の評価には国産品の環境負荷量を適用する。推計対象品目は、家計消費される全ての青果物とする。

(5) 施肥量低減

施肥量低減シナリオでは、削減により収穫量や品質に大きな影響が出ないと考えられる範囲内として、小林⁴⁰⁾に基づき、栽培時の施肥量を一律20%削減した場合の環境負荷削減効果を推計する。推計対象品目は全ての青果物とする。

(6) 施設栽培の省エネルギー化

施設野菜の省エネルギー化シナリオでは、施設栽培における加温エネルギー（現状ではA重油が多い）をすべて空気を熱源とするヒートポンプに転換した場合の環境負荷削減ポテンシャルを推計する。本研究では、エネルギー消費効率(COP)を3.0として推計を行った。対象品目は冬春期の果菜類・ハウス栽培果実とする。

(7) 食品リサイクル推進

食品リサイクル推進シナリオでは、現状における食品廃棄物または農業残さのうち、廃棄（焼却等）されている分全量を堆肥化またはメタン発酵によってリサイクルする場合の環境負荷削減効果を推計した。食品廃棄物・畜産廃棄物全てを堆肥化した時の堆肥供給量は需要量を超えるという報告⁴¹⁾があるため、ここでは、堆肥化50%、メタン発酵50%の割合でリサイクルされるものとする。

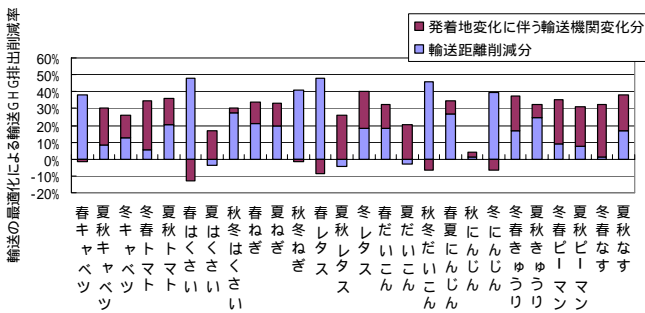


図-9 輸送最適化に伴う環境負荷削減ポテンシャル

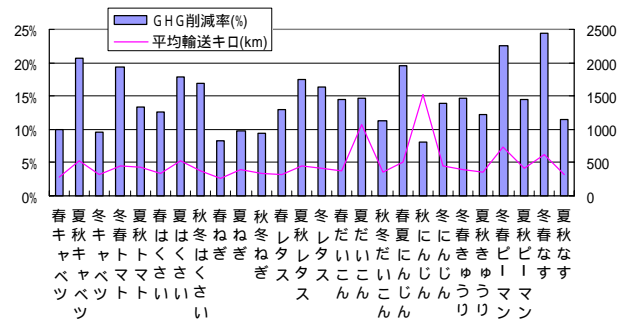


図-10 モーダルシフトによる輸送段階の環境負荷削減ポテンシャル

5. 環境負荷削減ポテンシャルの評価結果

(1) 輸送最適化(地産地消)

輸送最適化(地産地消)シナリオの品目別推計結果を図-9に示す。本シナリオでは、従来の都道府県間輸送の発着地の組み合わせが環境負荷(CO₂)を最小にする方向に変化する。この変化には、輸送距離の短縮による効果(本来の意味での地産地消)に加えて、現状で鉄道や船舶の分担率の高い都道府県間の輸送が増えることによる環境負荷削減効果も含んでいる。

品目・時期別に比較すると、春はくさい・春レタス・秋冬だいの削減ポテンシャルが高く、これらの品目では輸送距離の短縮による効果大きい。これらは、旬の時期に全国の広い範囲で生産されている品目である。一方で、秋にんじん・夏はくさいなどの削減ポテンシャルが小さいが、秋にんじんでは北海道、夏はくさいでは長野県で大部分が生産されていることから、発着都道府県を変化させることによる削減可能性は低いものと考えられる。冬春トマト・冬春ピーマンなどは、輸送距離短縮の効果は小さいが、発着地の変更による輸送機関分担率の変化という間接的な効果が大きい。春はくさいや秋冬だいこんでは、輸送機関変化による効果がマイナスである。短距離の輸送においては長距離輸送よりも自動車の分担率が高くなる傾向にあるが、これらの品目では自動車分担率の上昇よりも輸送距離短縮の効果が大いいため、自動車分担率が高く、輸送距離の短い輸送が選択されている。

対象10品目のライフサイクル全体での平均GHG削減ポテンシャルは4.8%、AS削減ポテンシャルは0.10%と推計された。これは輸送GHG排出量の30.3%、輸送AS排出量の24.2%の削減に当たる。

(2) モーダルシフト

モーダルシフトシナリオにおける品目・時期別GHG排出削減ポテンシャル推計結果を図-10に示す。夏秋キャベツ・夏秋トマト・夏秋ピーマン・夏秋なすなどの旬でない時期の品目の削減ポテンシャルが高い。これは他の時期に比較して輸送距離の長い輸送が多いこ

とが原因であると考えられる。平均輸送距離の長い品目においても、秋にんじん・夏だいこんのように削減ポテンシャルの高くないものがあるが、これらの品目は従来から海運(フェリーを含む)の分担率の高い北海道からの輸送が多い品目であることから、削減ポテンシャルが低くなったものと考えられる。

対象10品目のライフサイクルGHG削減ポテンシャルは2.3%、AS削減ポテンシャルは0.59%と推計された。これは輸送GHG排出量の14.5%、輸送AS排出量の14.3%の削減に当たる。これらの値は(1)節で推計した輸送最適化(地産地消)シナリオにおける削減効果の半分程度となっているが、モーダルシフト化率(500km以上の自動車輸送を鉄道輸送に代替する比率)を100%近くまで高めた場合では、同程度の削減効果が得られる。

(3) 旬産旬消

旬産旬消シナリオにおける環境負荷削減ポテンシャルについては、冬季のハウス栽培品の夏季へのシフトによる効果と夏季の冬野菜の冬季へのシフトに分けられる。対象14品目における両者を合わせたライフサイクルGHG排出量に削減効果は4.7%、AS削減効果は0.66%となった。このうち、夏季へのシフトによる効果はGHG4.4%、AS0.57%、冬季へのシフトによる効果は、GHGで0.20%、ASで0.09%と、ハウス栽培品のシフトによる効果の方が大きいことがわかった。

(4) 食品ロス削減

食品ロスの20%削減による環境負荷削減ポテンシャルは、廃棄量削減による効果と過剰生産回避による効果に分けられる。両者を合わせた家計消費に伴う環境負荷削減効果は、GHGで2.5%、ASで2.4%となった。このうち、過剰生産回避分はGHG・ASともに2.4%であり、廃棄削減分は家計廃棄が10.6%減少することにより、GHGが0.07%、ASが0.18%の削減となる。廃棄段階での環境負荷ライフサイクル全体の中では相対的に小さいため、過剰生産の回避による効果が大いと考えられる。食品ロスの削減率を40%とした場合、

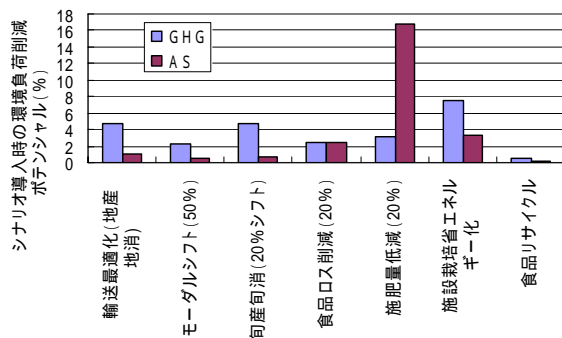


図-11 環境負荷削減シナリオ導入時の環境負荷削減効果

ライフサイクルGHG効果はこの2倍程度となり、輸送最適化・モーダルシフト(モーダルシフト率100%)・旬産旬消とほぼ同等であると言える。

(5) 施肥量低減

施肥量の低減による環境負荷削減ポテンシャルは、ライフサイクルGHG排出量に対して3.1%、ライフサイクルAS排出量に対して16.8%の削減となった。施肥による寄与の大きいAS排出量において特に削減ポテンシャルが大きい結果となった。

(6) 施設栽培の省エネルギー化

施設栽培の省エネルギー化に伴う環境負荷削減ポテンシャルは、本研究の対象野菜・果実24品目のライフサイクル環境負荷排出量の総計に対して、GHGで7.5%、ASで3.4%の削減となった。ライフサイクル全体における寄与の大きい生産段階の対策であるため、比較的高い削減効果が得られた。削減推計対象品目別に見ると、25%(なす)~44%(ピーマン)のGHG排出削減効果であった。

(7) 食品リサイクル推進

食品リサイクル推進シナリオ時のライフサイクル環境負荷削減効果は、GHGで0.47%、ASで0.18%の削減となった。ライフサイクル全体に占める廃棄段階の排出量割合が小さいため、相対的に低い結果となったが、廃棄段階のみではGHG23%、AS75%の排出削減効果を得る。ASの削減率の高さは、焼却時の排出量が他の処理方法に比べ非常に高いことが影響している。

(8) シナリオの総合評価

これら7つのシナリオの削減効果を削減率として比較した結果を図-11に示す。これらの結果を比較する際には、データ制約等から7つのシナリオの推計対象範囲が一致していないこと、対策のコスト・容易性が評価されていないことに留意する必要がある。

仮に、7つのシナリオを全て実施した場合を想定し、

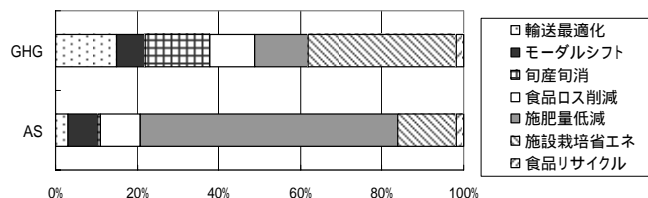


図-12 環境負荷削減シナリオ導入時の排出削減効果の寄与率

家計消費部門の野菜14品目を対象として算出(モーダルシフト・地産地消は対象10品目の削減率を外挿)すると、GHGで22.7%、ASで22.4%の削減が可能となる。これらの削減ポテンシャルにおける各シナリオの寄与率を図-12に示す。GHGでは施設栽培の省エネルギー対策のポテンシャルが最も高く、生産段階での対策(施設栽培省エネ+施肥量削減)と消費および輸送(食品リサイクル除く)の削減ポテンシャルがほぼ同等となった。ASでは、施肥量の削減による削減ポテンシャルが3分の2を占めた。

6. まとめ

本研究では、日本国内における青果物の生産から廃棄に至るまでの温室効果ガス(GHG)・酸性化物質(AS)の排出量を、ライフサイクルインベントリ(LCI)手法を用いて定量化し、消費側からの対策を中心とした環境負荷削減ポテンシャルを評価した。その結果、以下のような知見を得た。

国産青果物の国内消費に伴う2003年のGHG排出量は、2003年の日本国内におけるGHG排出量の0.94%に相当する約12.7百万t-CO₂であった。このうち生産段階が65%、輸送段階が16%であった。AS排出量は279千t-SO₂eqで、93.2%が生産段階であった。

露地栽培と比較してハウス栽培品のGHG排出量が各品目とも2~20倍程度高くなった。ASではその差は小さかった。

栄養素量(ビタミンC)を機能単位とし、調理を考慮した環境効率評価では、キャベツ・露地みかん・露地ピーマンの効率が高く、ゆで調理は成分ロスのためほとんどの品目で10~70%程度効率が低くなった。

消費に関わる環境負荷削減ポテンシャルの評価では、輸送最適化(地産地消)により最大4.8%、ハウス栽培品消費の20%を旬の時期にシフト(旬産旬消)すると4.7%のGHG削減という結果が得られた。これはモーダルシフト化率100%シナリオ・家庭の食品ロス40%シナリオと同等程度の削減効果である。

生産段階の対策では、肥料施用量の20%低減で、GHGは3.1%、ASは16.8%削減され、AS削減効果

が大きい。施設栽培の省エネルギー化シナリオでは、7.5%のGHG削減効果が得られた。

以上の知見により、青果物の消費に関わるインベントリデータを網羅的に整備できたと考えられ、その削減ポテンシャルについても一定の方向性を示すことが出来たと考える。

しかし、本研究における環境負荷評価は、統計資料等の集計データを利用したものであり、特に生産段階での農業技術を詳細に評価するにはいくつかの課題を残している。また、データの不足から今回推計を行わなかった品目や輸入品に関しても、青果物消費全体における環境負荷を把握するため推計を行っていくべきであろう。また、環境負荷評価項目においては、本研究ではデータ入手の関係から見送ったものの、水消費量や水質汚濁などは食料分野において重要であると考えられるため、これらを含め総合的に評価していく必要がある。さらに、環境負荷の削減施策に関しては、本研究ではポテンシャル評価にとどまっているが、対策実施の容易性やコストについての評価も必要とされよう。地産地消の推進に関しては、地場産品の品揃えや供給量および販路の確保など、旬産旬消に関しては、消費者に対する普及啓発の効果や露地栽培における収量の不安定性によるリスク分散などの問題点を考慮する必要もある。

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) 小野洋，尾関秀樹：農業技術の環境負荷軽減効果の計測 - LCAを用いて - ，農業技術，Vol.60，No.4，pp.28-32，2005。
- 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) 中田哲也：食料の総輸入量・距離(フード・マイレージ)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，No.5，pp45-59,2003。
- 6) Annika Carlsson-Kanyama：Food Consumption Patterns and their Influence on Climate Change. Greenhouse Gas Emissions in the Life-cycle of Tomatoes and Carrots Consumed in Sweden，AMBIO，Vol.27, No.7, pp.528-534，1998。
- 7) U.Sonesson, B. Mattsson, T. Nybrant, and T. Ohlsson：Industrial Processing versus Home Cooking: An Environmental Comparison Between Three Ways to Prepare a Meal，Ambio，Vol.34, No.4, pp.414-421，2005。
- 8) 白木達朗，中村龍，姥浦道生，立花潤三，後藤尚弘，藤江幸一：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，環境システム研究論文集，vol.34，pp135-142,2006。
- 9) 椎名武夫，ロイポリトシュ，根井大介，中村宣貴，岡留博司：日本国内で消費される生鮮トマトのLCA，第2回LCA学会研究発表会講演要旨集，pp114-115，2007。
- 10) 藤原祐治，薬師寺開，二宮玉臣，大胡茂，水摩元明，廿日出郁夫，小沢寿輔，田原聖隆，稲葉敦：イチゴジャムのLCA試算，第2回LCA学会研究発表会講演要旨集，pp112-114，2007。
- 11) 津田淑江，大家千恵子，瀬戸美江，久保倉寛子，稲葉敦：調理時におけるライフサイクルCO₂排出量の実践的定量，日本LCA学会誌，Vol.2，No.3，pp288-297，2006。
- 12) 井坪徳宏，稲葉敦 編：ライフサイクル環境影響評価法 LIME-LCA，環境会計，環境効率のための評価手法・データベース，社団法人産業環境管理協会，2005。
- 13) 農林水産省：野菜生産出荷統計，農林水産省，2004。
- 14) 農林水産省：果樹生産出荷統計，農林水産省，2004。
- 15) 農林水産省：食料需給表(平成15年度版)，2005。
- 16) 農林水産省：平成15年食品ロス統計，2004。
- 17) 農林水産省：平成15年食品循環資源の再生利用等実態調査報告，2004。
- 18) 牛久保明邦：食品産業廃棄物と家庭系食品廃棄物の実態とそのゆくえ，廃棄物学会誌，Vol15, No4, pp216-227,2003。
- 19) 尾和和人：我が国の農作物養分収支，環境保全型農業研究連絡会ニュース，NO.33，1996。
- 20) 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。
- 21) 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)。
- 22) 農林水産省：平成15年持続的生産環境に関する実態調査報告書，2004。
- 23) 総務省編：平成12(2000)年産業連関表，総務省編，2004。
- 24) 環境省：温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧排出係数一覧。
- 25) 農林水産省：平成15年食品流通段階別価格形成調査報告(青果物経費調査及び水産物経費調査)，2004。
- 26) 農林水産省：青果物産地別卸売統計，2004。
- 27) 吉川直樹，天野耕二，島田幸司：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，環境システム研究論文集，vol.34，pp245-252,2006。
- 28) 日本エネルギー経済研究所計量分析部：民生部門エネルギー消費実態調査 総括編，2003。
- 29) 経済産業省：平成14年商業統計，2004。
- 30) 日本チェーンストア協会：平成15年チェーンストア販売統計，2004。
- 31) 社団法人プラスチック処理促進協会：樹脂加工におけるインベントリデータ調査報告書 - 汎用樹脂加工製品を中心として - ，2001。

- 32) Chie Takashima, Takanasa Kaisai, Kyoko Arai, Masaru Tsujimura : Solubilization of Vitamin C, Carotene and Minerals from Vegetables during for Cooking Purpose, 女子栄養大学紀要, Vol.27, pp105-110, 1996 .
- 33) 江崎好美, 藤本喬: 調理方法の違いによるアスコルビン酸の残存について, 福岡市保健環境研究所年報, vol23, pp74-80, 1998.
- 34) 大羽和子: 野菜の切断・放置・生食調理に伴うビタミンC量およびアスコルビン酸オキシダーゼ活性の変化, 日本家政学会誌, vol41, No.8, pp715-721, 1990 .
- 35) 平井康宏, 村田真樹, 酒井伸一, 高月紘: 食品残渣を対象とした循環・資源化処理方式のライフサイクルアセスメント, 廃棄物学会論文誌, Vol.12, No.5, pp.219-228, 2001.
- 36) 村田真樹: 食品残渣の循環処理過程におけるライフサイクルアセスメント, 京都大学大学院修士論文, 2000 .
- 37) 農林水産省: 園芸用ガラス室・ハウス等の設置状況, 2004 .
- 38) 社団法人プラスチック処理促進協会: プラスチック廃棄物の処理・処分に関するLCA調査研究報告書, 2001.
- 39) 国土交通省: 新総合物流施策大綱の策定について (<http://www.meti.go.jp/kohosys/press/0001676/>)
- 40) 小林久: 施肥に関連する流出負荷低減策のライフサイクル分析 - 環境保全型農業に対するLCA適用の試み, 環境情報科学, Vol31, No1, pp77-85, 2002 .
- 41) 花木啓祐, 新巻俊也, 鈴木英司: 都道府県単位における民生部門由来廃棄物コンポストの需給バランスの解析, 第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp220-222, 2000.

EVALUATION OF ENVIRONMENTAL LOAD ON FRUITS AND VEGETABLES CONSUMPTION AND ITS REDUCTION POTENTIAL

Naoki YOSHIKAWA , Koji AMANO and Koji SHIMADA

In this study, we estimated greenhouse gases (GHGs) and acidifying substances (ASs) emissions related to fruits and vegetables consumption in Japan based on lifecycle inventory analysis (LCIA). We also evaluated reduction potential of GHGs and ASs considering the policies of producers and consumers. Total GHGs emission from domestically produced fruits and vegetables in Japan (2003) was nearly 12.7 million tons (CO₂ equivalent) in which 65% of the total was from production and 16% was from transportation. GHGs and ASs from greenhouse crops were higher than those from garden farming crops. Environmental efficiency using the proportion of nutrient content (vitamin C) to the GHGs considering cooking processes was relatively high in mandarin oranges and green peppers growing outside and cabbage. As for the reduction potential, we could evaluate up to 4.8% reduction in lifecycle GHGs emission by optimizing transportation distance (consuming domestic products possibly). This result approximately equals to scenarios of substituting garden farming crops for 20% of greenhouse crops consumption, 20% reduction of food loss and modal shift. 3.1% we estimated it can be reduced in GHGs by deducting 20% of implementing fertilizers and 16.8% reduction in lifecycle ASs emission by the same reduction of fertilizers, and 7.5% reduction in GHGs emission by introducing heat pump system in greenhouses.