

米（千葉県東総産コシヒカリ）のカーボンフットプリントの試算

Estimating of the Carbon Footprint of ordinary Rice produced in the Choshi Area, Chiba Prefecture

安藤 生大

Takao ANDO

千葉県東総産コシヒカリを対象としてカーボンフットプリント（CFP）の試算を行った。算定範囲は、①原料調達段階（玄米栽培関連プロセス、玄米出荷準備プロセス）、②生産段階、③流通・販売段階（流通プロセス、販売プロセス）、④使用・維持管理段階、⑤廃棄・リサイクル段階、の5段階とした。機能単位は、白米1kgとした。

CFPの試算結果は、白米1kgあたり1914.1g-CO₂/kgとなった。CO₂排出量の段階毎の内訳は、原料調達段階で1406.0g-CO₂/kg（構成比73.5%）、生産段階で43.7g-CO₂/kg（2.2%）、流通・販売段階で229.8g-CO₂/kg（12.0%）、使用・維持管理段階で232.7g-CO₂/kg（12.2%）、廃棄・リサイクル段階で2.1g-CO₂/kg（0.1%）となった。排出割合が高いのは原料調達段階であり、特に窒素系化学肥料と水田由来のCH₄を含む玄米栽培関連プロセスの構成割合が高い結果となった。

この結果と滋賀県産コシヒカリの試算結果を比較すると、原材料調達段階が1.1倍、生産段階が0.9倍、使用・維持管理段階は0.8倍となった。東総産コシヒカリのCO₂排出量を削減するには、特に窒素系化学肥料の使用割合を減らす環境配慮型の生産方法の採用や、水田由来のCH₄の発生抑制等、原料調達段階からの総合的な温室効果ガス排出削減及び抑制方法の検討が今後の課題と考えられる。使用・維持管理段階では、炊飯回数と保温時間について検討した結果、炊飯回数を減らすことが最も効果的なCO₂排出量の削減方法であることが明らかとなった。一方で、保温時間が長いとCO₂排出量は増加するため、保温時間が長くなりすぎないように、1回の炊飯量を適切に調整することも重要であることが明らかとなった。

1. はじめに

カーボンフットプリント（「Carbon Footprint」、以後CFP）は、「製品のライフサイクル全般を通じて排出された温室効果ガスをCO₂量で表したものと定義されている¹⁾。事業者及び生産者にとって、CFPを製品に表示することは、温暖化対策を消費者にアピールするための有効な環境コミュニケーション手法となりえる。また、CFPの算定のためのCO₂排出量の正確な測定は、カーボンオフセット（炭素の相殺）²⁾の普及にも貢献すると考えられている。消費者にとっては、CFPを参考に商品選択することで、自身の

CO₂排出量を自覚し、環境負荷の少ない消費行動（持続可能な消費行動）を選択することができる。これは、環境意識の高い事業者を選別することにつながり、結果として低炭素社会の実現にむけた誘導効果が期待できる。このように、CFPの製品への表示は、これまで直接的に意識することが難しかった日常生活からのCO₂排出を、具体的に「見える化」するための有効な手法³⁾として期待されている。加えて、CFPの意味を理解することは、個人の日常生活とグローバルな地球環境問題とのつながりを実感させ、両者の間に横たわるミッシング・リンク⁴⁾を効果的に再生させる環境教育上の効果も期待できる。

CFPは、日用品や食品などの身近な商品を対象とした環境指標である⁵⁾。特に、食品のLCAに関する研究は、2005年に日本LCA学会に設立された食品研究会において、活発な研究が行われ⁶⁾、これらの成果は日本LCA学会誌第4巻2号で「食を巡るLCA」として特集が組まれた。また、同誌の第6巻3号では「フットプリント」の特集が生まれ、「千

連絡先：安藤生大 tando@cis.ac.jp
千葉科学大学危機管理学部動物・環境システム学科
Department of Animal and Environmental System
Science, Faculty of Risk and Crisis Management,
Chiba Institute of Science

(2010年10月04日受付, 2010年12月16日受理)

千葉県銚子産キャベツ」⁷⁾や、「滋賀県産こしひかり」⁸⁾の事例報告が行われた。

本研究では、日本人の主食である米を取り上げ、千葉県東総地域で行われている最も一般的と考えられる慣行栽培事例を調査し、CFPの試算を行った。試算にあたっては、算定範囲をCFPの算出・表示に関する一般原則⁹⁾に則って5段階とし、それぞれの段階からのCO₂排出量を積み上げ計算して求めた。この結果から、(1)千葉県東総産コシヒカリにおけるCFPの構成割合の特徴をまとめ、(2)既往研究である滋賀県産コシヒカリの算出結果と比較し、(3)炊飯回数と保温時間の違いによるCO₂排出量の違いについて考察した結果を報告する。

2. 方法

2.1 評価対象と算定範囲

調査した米農家は、東総地域において比較的大規模に生産している米農家(千葉県旭市)を、JAちばみどり農業協同組合営農センター旭(千葉県旭市口1549-1、以後“営農センター旭”)の推薦に基づいて選定した。評価対象は、この米農家が2009年に営農センター旭に出荷した玄米とした。JAちばみどり以外の系統外出荷分については、全体量の5%以下であることから評価対象に含めていない。また、圃場に残された植物残渣由来の温室効果ガス(以後“GHG”)については、一般的な発生量を特定することが困難であると判断し、評価対象には含めていない。

本研究の算定範囲は、原料調達段階(玄米栽培関連プロセスと玄米出荷準備プロセス)、生産段階、流通・販売段階(流通プロセスと販売プロセス)、使用・維持管理段階、廃棄・リサイクル段階の5段階とした(図1)。原料調達段階では、玄米栽培とその投入資材の製造、及び玄米の精米工場までの輸送を対象とした。生産段階は、精米加工と製品の包装を対象とした。流通販売段階は、精米工場から店舗までの製品輸送と、店舗でのエネルギー消費を対象とした。使用段階は、家庭での炊飯を対象とした。廃棄段階は、家庭での包装資材の廃棄処分を対象とした。なお、農業機械、調理器具などの耐久財に関するGHG排出量は、耐用年数の設定に関する問題が大きいため対象としない。また、植物残渣等に対する堆肥化等のリサイクル処理に関する環境負荷は、リサイクル処理・再商品化に関わる環境負荷を含むことから、重複換算になる可能性があるため計上しない。消費者の買い物交通についても対象外とした。

2.2 機能単位と計算方法

機能単位は、質量1kgの白米のとした。GHG排出量は、全てCO₂排出量に換算した。CO₂排出量の算定方法は、機能単位あたりのCO₂排出量 = $\sum (活動量_i \times CO_2 \text{ 排出原単位}_i)$: i は段階(プロセス)として、段階毎に積み上げ法により求めた。

2.3 インベントリデータの収集方法

一次データは、調査した米農家、JAちばみどり、地

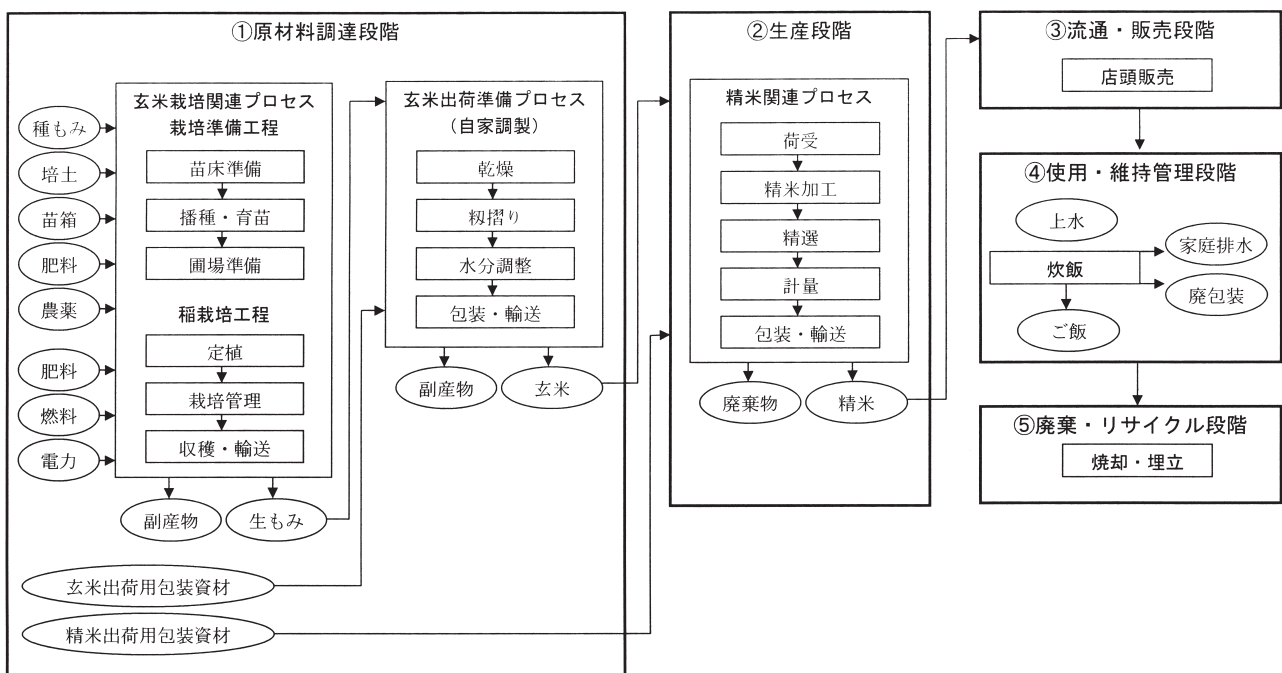


図1 東総産米のライフサイクルフロー図

元スーパー、農業機械メーカーにおける聞き取り調査により得た。加えて、炊飯器の電力使用量は、(株)ENEGATE社製「エコワット EW-3」を用いて実測した。二次データは、CFP 共通原単位¹⁰⁾、うるち米の PCR (PCR-AA-01)¹¹⁾に記載の原単位、または CFP 事務

局作成の参考原単位、産業連関表から算出された味の素グループ版食品関連材料CO₂排出係数データベース¹²⁾の3ヶ年度平均から得た(表1)。なお、水田からのCH₄排出係数については、土壌タイプ等を区別しない平均的な排出係数である15.98g-CH₄/m²/年¹³⁾を用いた。

表1 東総産米のCO₂排出量の計算に用いたCO₂排出原単位

ライフサイクル 段階	一次データ	二次データ出典	備考	
原材料生産 段階	エネルギー	軽油	2.79kg-CO ₂ eq/L	
		ガソリン	2.69kg-CO ₂ eq/L	
		灯油	2.65kg-CO ₂ eq/L	
		電力	0.48kg-CO ₂ eq/kWh	
	肥料	複合肥料 (N成分)	11.2kg-CO ₂ eq/kgN	
		複合肥料 (P成分)	0.72kg-CO ₂ eq/kgP	
		複合肥料 (K成分)	0.3kg-CO ₂ eq/kgK	
		有機質肥料	0.06kg-CO ₂ eq/kg	
	農薬	液体	13.1 kg-CO ₂ eq/L	
		固体	0.11 kg-CO ₂ eq/kg	
	種籾		PCR-AA-01	0.403 kg-CO ₂ eq/kg
	商品化資材・梱包 資材	ポリ塩化ビニル製造	CFP 共通原単位	2.90 kg-CO ₂ eq/kg
		LDPE 製造		1.43kg-CO ₂ eq/kg
		洋紙製造	CFP 事務局参考データ	1.46kg-CO ₂ eq/kg
輸送		CFP 共通原単位	燃料法	
水田由来 GHG	CH ₄	インベントリ報告書	15.98g-CH ₄ /m ² /年	
	N ₂ O		直接排出・間接排出考慮	
生産段階	精米エネルギー	電力・ガソリン、 軽油	上記に同じ	
		商品化資材	LDPE 製造	上記に同じ
	輸送			tkm 法
流通・販売 段階	販売エネルギー	PCR-AA-01	0.556g-CO ₂ eq/円	
	輸送	CFP 共通原単位	tkm 法	
使用・維持管理 段階	炊飯	電力	上記に同じ	
		上水	CFP 共通原単位	0.21kg-CO ₂ eq/m ³
		排水処理	CFP 事務局参考データ	0.47kg-CO ₂ eq/m ³
廃棄・リサイクル 段階	包装資材廃棄	CFP 共通原単位	0.53kg-CO ₂ eq/kg (銚子市原単位)	

3. 結果

調査した米農家の圃場面積は15haであり、2009年の圃場10aあたりの平均的な玄米の収穫量は約540kgであった。精米後の白米は、精米歩留まりが90.1%（詳細は3.2 生産段階で記載する）であるので、圃場10aあたり487kgとした。

3.1 原材料調達段階

ここでは、玄米栽培関連プロセスと玄米出荷準備プロセスを扱い、玄米輸送プロセス、廃棄物処理プロセス、各種投入物の製造及び輸送に関わるプロセスについては、玄米栽培関連プロセスと玄米出荷準備プロセスの対応する箇所扱った。

3.1.1 玄米栽培関連プロセス

玄米栽培関連プロセスは、苗準備工程（苗床準備作業、播種・育苗作業、圃場準備作業）と、稲栽培工程（定植作業、栽培管理作業、収穫作業）に分けて計算を行った。以下、それぞれの積み上げ計算について具体的に記載する。

苗栽培準備工程

苗床準備作業は、プラスチック製（CO₂ 排出原単位の入力項目：ポリ塩化ビニル）の苗箱に苗床用の培土を入れる作業とした。苗箱は、耐用年数が複数年の資材であるが、本研究では苗箱の耐用年数を10年とし、これを圃場10aあたり1年間で20枚使用するとして、その使用に伴うCO₂排出量を見積もった。計算条件は、苗箱の質量を0.67kgとし、1年間で2枚ずつ消耗するとして、苗箱の製造に関わるCO₂排出量を3.89 kg-CO₂とした。使用した苗箱は、営農センター旭より購入するとし、軽トラックで往復3km輸送するとした。以後、農家から営農センター旭までの、軽トラックによる約100kg以下の積荷の輸送に伴うCO₂排出量は、燃料法により0.80 kg-CO₂とした。苗床用の培土（入力項目：植物質肥料）は、営農センター旭より購入し、軽トラックで輸送した。圃場10aあたり60kg使用したので、この製造に関わるCO₂排出量は5.46kg-CO₂とした。

播種・育苗作業は、種籾（コシヒカリ）を準備した苗箱に播き、栽培する作業とした。栽培では、加温機等は使用しない。種籾の使用量は、10aあたりで約3kgとした。種籾は、営農センター旭より購入し、軽トラックで輸送した。種籾に関するCO₂排出原単位は、0.403kg-CO₂/kg（PCR-AA-01）とし、圃場10aあたりで1.21kg-CO₂とした。種籾の散布作業では、電動の種まき機を使用し、苗箱20枚分の散布に約0.3kWhの電力を使用した。この電力使用からのCO₂排出量は、0.15kg-CO₂とした。栽培した苗箱は、軽トラックで苗

栽培の作業場から圃場まで往復3km輸送するとした。この輸送に関わるCO₂排出量は0.80kg-CO₂とした。

圃場準備作業は、圃場の耕運、肥料投入、農薬散布等の作業とした。10aあたりの耕運作業では、トラクターの使用により約4Lの燃料用軽油（入力項目：軽油燃焼）を消費し、11.16 kg-CO₂の排出となった。肥料は、圃場10aあたり20kg詰の化学肥料（製品名：合成肥料3号、入力項目：複合肥料N成分、P成分、K成分）を各1袋と、堆肥（入力項目：有機質肥料）を1t投入した。堆肥は、前年の籾殻を近隣の養豚農家へ提供し、堆肥化して返送されたものを使用した。これらの肥料に関わるCO₂排出量は、合計で304.40 kg-CO₂とした。化学肥料は、営農センター旭より購入し、軽トラックで輸送した。堆肥は、積載率100%の4tトラックで往復10km輸送するとし、改良トンキロ法により3.6 kg-CO₂とした。農薬は、微生物農薬（製品名：エコホープDJ）を、種もみ3kgで約30g使用した。農薬の製造に関わるCO₂排出量は0.003kg-CO₂となった。これをJAちばみどり営農センター旭より購入し、軽トラックで輸送した。

以上より、圃場10aあたりの苗準備工程からのCO₂排出量は333.6kg-CO₂となり、玄米1kgあたりでは617.8 g-CO₂/kgとなり、白米1kgあたりでは685.0 g-CO₂/kgとなった。

稲栽培工程

定植作業は、田植え機を利用した田植え作業とした。圃場10aあたりの田植え機の使用により、約1Lの燃料用ガソリン（入力項目：ガソリン燃焼）を消費した。これによるCO₂排出量は2.69 kg-CO₂となった。加えて、農家と圃場との資材輸送のために、軽トラックにて往復2kmの輸送を行った。これに伴うCO₂排出量は、燃料法により0.54 kg-CO₂とした。

栽培管理作業は、追肥、農薬散布、草刈り作業とした。追肥（製品名：マイルドユーキ030号、入力項目：有機質肥料）は、1t使用した。これを営農センター旭より購入し、軽トラックで輸送した。肥料の製造に関わるCO₂排出量は60.0kg-CO₂、輸送に関わるCO₂排出量は4.35kg-CO₂とした。農薬は、除草剤（入力項目：液体農薬）を0.5L使用した。農薬の製造に関わるCO₂排出量は6.55kg-CO₂となった。これを営農センター旭より購入し、軽トラックで輸送した。この輸送に関わるCO₂排出量は0.80kg-CO₂とした。農薬の散布は、原動機付きの噴霧器を用い、約0.1Lの燃料用ガソリン（入力項目：ガソリン燃焼）を消費し、0.27 kg-CO₂の排出となった。草刈り作業は、原動機付きの草刈り機を用いて、期間中に2回行った。この作業により、約0.2Lの燃料用ガソリン（入力項目：ガソリン燃焼）を消費し、0.54 kg-CO₂の排出となった。

収穫作業は、稲刈りと籾の輸送作業とした。稲刈り作

業は、コンバインを使用し、10aあたり約2Lの燃料用軽油（入力項目：軽油燃焼）を消費した。これによるCO₂排出量は5.58 kg-CO₂となった。収穫した籾は、圃場から農家の作業場に輸送した。この輸送は、積載率100%の2tトラックにて2km輸送するとし、改良トンキロ法により1.10 kg-CO₂とした。稲栽培工程からは、10aあたり約500kgの藁が副産物として排出される。これは、農家により自家消費されるとし、処理に伴うCO₂排出量は考慮していない。

水田由来のメタンの発生量は、圃場10aあたりの年間のメタン発生量として、15.98 kg-CH₄が見積もられることから、CO₂排出量として335.58kg-CO₂を見積もった。

以上より、圃場10aあたりの稲栽培工程からのCO₂排出量は418.0kg-CO₂となり、玄米1kgあたりでは774.1g-CO₂/kg、白米1kgあたりでは858.3g-CO₂/kgとなった。

3. 1. 2 玄米出荷準備プロセス

玄米出荷準備プロセスは、乾燥作業、籾摺り作業、水分調整作業、包装作業とした。

乾燥作業は、米専用の乾燥機を用いて行った。この乾燥作業では、圃場10aあたりで約15Lの灯油を使用することから、CO₂排出量は39.75 kg-CO₂となった。籾摺り作業は、1.9kWの動力を備えた電動籾摺り機にて行った。使用した籾摺機は、1時間の作業で玄米12俵分

(720kg)の玄米を製造することが可能であり、これに伴う電力消費量は2.25kWhとなった。よって、圃場10aあたりでは0.81 kg-CO₂の排出となった。水分調整作業は、上記の乾燥機を用いて圃場10aあたりで、15Lの灯油を使用することから、39.75kg-CO₂の排出となった。包装・輸送作業では、紙製の玄米出荷用包装資材（入力項目：洋紙製造）を使用する。これは、1枚あたり約0.5kgであり、圃場10aあたりで約18枚（9kg）使用することから、13.14 kg-CO₂の排出となった。得られた玄米は、JAちばみどり営農センター旭の保管倉庫へ運ばれる。保管倉庫では、梅雨時以降のわずかな期間のみ庫内の湿度調整を行うので、ここでは常温保管されたとした。輸送は、積載率100%の2tトラックにて、玄米86袋（2.6t）を往復で3kmを輸送するとし、改良トンキロ法により1.14 kg-CO₂とした。

営農センター旭に集荷された玄米は、全農パールライス東日本（株）千葉精米工場（千葉県千葉市美浜区新港70-3）に輸送され、精米される。営農センター旭から精米工場への輸送は、改良トンキロ法により積載率75%の15tトラックにて、往復150kmの輸送を行うとした。この輸送では、パレット1枚に袋詰めされた30kg分の玄米を80袋積み、これを5パレット分として、12.1t

を運ぶとした。この条件で10aあたりの収穫量である540kgの玄米を輸送する場合のCO₂排出量は、9.96g-CO₂となった。

精米後の白米は、LDPE製の包装資材に個別包装されて出荷される。10kg用の包装資材の質量は38gであることから、白米1kgあたりのCO₂排出量は5.43g-CO₂/kgとなった。

以上より、玄米出荷準備プロセスにおける白米1kgあたりCO₂排出量は、220.1g-CO₂/kgとなった。

3. 2 生産段階

精米工場では、荷受作業、精米加工作業、精選作業、計量作業、包装・輸送作業を一括して行っており、2008年の年間使用電力量は3,014,700kWhであった。同年における精米工場での白米生産量33,417tであることから、精米歩留まりは90.2%とした。精米工場では多量の糠が発生するが、これは米油の製造工場へ原料として出荷される。また、玄米の搬入に使われた紙製の包装材は、漁業関係の工場に包装材として出荷される。本研究では、これらをリサイクル・再商品と考え、CO₂排出量を計上しない。加えて、精米工場からは、これら以外の排水や廃棄物は発生しないものとした。

以上より、精米関連プロセスにおける白米1kgあたりCO₂排出量は、43.7g-CO₂/kgとなった。

3. 3 流通・販売段階

3. 3. 1 輸送関連プロセス

精米工場から出荷された白米は、大口取引先である日本生活協同組合連合会、関東配送センター野田事業所（千葉県野田市）へ輸送されるとした。この輸送は、改良トンキロ法により積載率75%の15tトラックにて、往復100kmの輸送を行うとした。輸送重量は、10kgの袋詰めされた白米を80袋積んだパレットを14パレット分として、11.5tとした。この輸送に伴うCO₂排出量は、12.53g-CO₂/kgとなった。野田事業所からは、小売店へ輸送される。この輸送は、改良トンキロ法により積載率100%の2tトラックにて、往復100kmの輸送を行うとした。輸送重量は、10kgの袋詰めされた白米を80袋積んだパレットを2パレット分として、1.7tとした。この輸送に伴うCO₂排出量は、22.63g-CO₂/kgとなった。

以上より、輸送関連プロセスにおける白米1kgあたりCO₂排出量は、35.2g-CO₂/kgとなった。

3. 3. 2 店頭販売プロセス

店頭販売プロセスでは、常温の店舗販売のCO₂排出原単位を0.556kg-CO₂/円（PCR-AA-01）として計算した。10kg詰めの白米の売価の見積もりは、複数店の店頭販売価格の平均として3500円とした。

以上より、店頭販売プロセスにおける白米 1kg あたり CO₂ 排出量は、194.6g-CO₂/kg となった。

3. 4 使用・維持管理段階

炊飯方法は、調理時の製品使用シナリオ(PCR-AA-01)に基づき、3合の白米(450g)を炊飯するとし、通常の精米を施した白米の米研ぎ排水を4.5Lとした。この条件で、炊飯器(ZOJIRUSHI社製 圧力IH炊飯ジャーNP-HZ10)の消費電力量の測定を行った。上水の使用量は5Lとした。機能単位は、白米1kgなので、3合の炊飯を2.22回行うとした。よって炊飯に伴うCO₂排出量は、225.60g-CO₂/kgとなった。上水の使用に伴うCO₂排出量は2.33g-CO₂/kgとなり、排水処理に伴うCO₂排出量は4.70g-CO₂/kgとなった。

以上より、使用維持管理段階における白米1kgあたりのCO₂排出量は、232.7g-CO₂/kgとなった。

3. 5 廃棄・リサイクル段階

廃棄・リサイクル段階では、主に白米10kg詰の包装資材として、38gのLDPE製の袋が廃棄物として排出される。銚子市の一般廃棄物のうち、2009年の可燃ごみの排出量は約30,000tに達する。銚子市清掃センター、衛生センターの廃棄物燃焼、電気使用、燃料使用から発生するCO₂排出量は30,704t-CO₂である¹⁴⁾。よって、銚子市の可燃ごみの処理に伴うCO₂排出量は540g-CO₂/kgとなる。

以上より、白米の包装資材を可燃ごみとして焼却するとした場合、白米1kgあたりCO₂排出量は、2.1g-CO₂/kgとなった。

3. 6 千葉県東総地域産うるち米のLC-CO₂

千葉県東総産うるち米のCO₂排出量の試算結果は、白米1kgあたり1914.1g-CO₂/kgとなった(表2)。試算結果に基づくCO₂排出割合を図2に示した。CO₂排出量の段階毎の内訳は、原料調達段階で1406.0g-CO₂/kg(構成比73.5%)、生産段階で43.7g-CO₂/kg(2.2%)、流通・販売段階で229.8g-CO₂/kg(12.0%)、使用・維持管理段階で232.7g-CO₂/kg(12.2%)、廃棄・リサイクル段階で2.1g-CO₂/kg(0.1%)となった。

以上より、千葉県東総産うるち米のライフサイクルCO₂排出量では、原料調達段階からのCO₂排出割合が最も多く、特に玄米栽培関連プロセス、稲栽培工程の土壌由来のメタン排出の寄与が大きい(36.0%)ことが明らかとなった。

4. 考察

4. 1 東総産コシヒカリのCO₂排出量の試算結果の特徴

表2 東総産米のライフサイクルCO₂排出量

段階	g-CO ₂ /kg	比率(%)
原料調達段階	1406.0	73.5
玄米栽培関連プロセス	(1185.9)	(62.0)
玄米出荷準備プロセス	(220.1)	(11.5)
生産段階	43.7	2.2
流通・販売段階	229.8	12.0
流通プロセス	(35.2)	(1.8)
店頭販売プロセス	(194.6)	(10.2)
使用・維持管理段階	232.7	12.2
廃棄・リサイクル段階	2.1	0.1
合計	1914.1	100

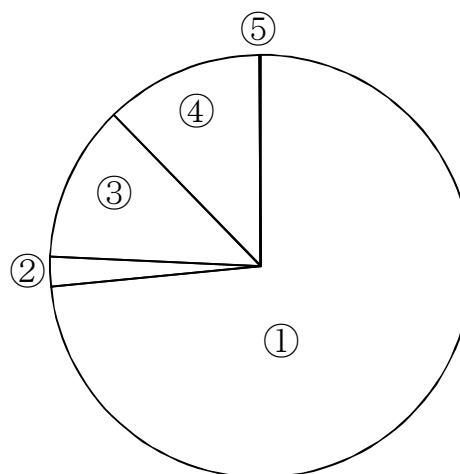


図2 東総産米のライフサイクル5段階のCO₂排出割合。
①原料調達段階、②生産段階、③流通・販売段階、④使用・維持管理段階、⑤廃棄・リサイクル段階

原材料調達段階では、土壌からのCH₄の排出に由来するCO₂排出量が49.0%に達した。これ以外では、肥料由来のCO₂が28.6%、トラクター、田植機、コンバイン等の燃料由来のCO₂排出量が14.6%となった。これ以外は、種籾、苗箱、玄米出荷用袋等の資材由来が3.0%、輸送由来が3.5%、農薬・除草剤由来が1.0%、電力由来が0.1%となった。プロダクトカテゴリールール(PCR)基準では、カットオフ基準を「各ライフサイクル段階のCO₂総排出量に対して5%以内」としている。よって資材由来、輸送由来、農薬・除草剤由来、電力由来の

各項目は、原材料調達段階の5%以下に相当することからカットオフ項目に該当する。これらの項目のCO₂排出量の合計は、49.63 g-CO₂/kgとなる。特に、農薬・除草剤については、①CO₂排出割合が原材料調達段階の1%程度と少ないこと、②土地の特性や栽培法によって農家毎に使用する種類と量が異なることが予想されること、③現状では、殺虫剤、殺菌剤、殺虫・殺菌剤、補助剤のCO₂排出原単位についても十分な精度で見積もられていないこと、等を考慮すると、今後はより簡便にCO₂排出量を見積もる方法を検討する必要があると考えられる。

生産段階では、精米工場での電力使用に伴うCO₂排出量を検討した。近年、JAS法により精米日の表示が義務づけられたことから、精米後5日以内に販売店へ納品することが求められている。また、消費者からは「おいしいお米（ブランド米）」、「顔の見える生産者」といった要求が加わり、多品種少量精米が求められている。千葉県内でも、地域の名前を冠したブランド米は10種類程が提案されており、加えて、季節別、減農薬等の栽培方式別、地域や農協別等の精米要求があることから、精米工場が行う精米種類は180品目程度に達する。精米する品目を変えるには、その都度、20分程度の機械清掃作業が必要となる。このため、多品種少量精米の要求に十分に応えようとすると、本来の精米能力の2/3程度の生産量しか確保できなくなる。一方で、作業効率を上げるには、玄米を混合して、精米工場をフル稼働させることが望ましいが、このような精米方式では、米の付加価値を増すことができない。今回の試算では、精米に関連する生産段階のCO₂排出量は、全体のCO₂排出量の2.2%を占めるに過ぎないので、仮に玄米全量を混合精米しても、CO₂排出量の削減効果は全体の1%に満たない。以上より、生産段階では、CO₂排出量がわずかに増加するが、店舗や消費者の要求に応え、米の付加価値を増すことが重要であると考えられる。

流通・販売段階では、PCR-AA-01を参考として算出した店頭販売プロセスからのCO₂排出量が、同段階の84.7%を占め、全体の9.4%の排出割合を占めた。一方、地元の大型スーパーにおいて、総売り場面積と米の売り場面積、店舗及び倉庫部分の年間電力使用量、年間の米販売量のデータから、単純な配分計算を行うと、店頭販売プロセスからのCO₂排出量が6.1 g-CO₂と算出され、PCRに基づいた推定値の3.1%に過ぎない結果となった。これは、店頭販売プロセスからのCO₂排出量の見積もりを行う場合、売り場面積のみによる単純な配分計算のみでは適当でなく、常温品、低温品等に分類した販売金額ベースでの検

討が必要であること示していると考えられる。

使用・維持管理段階では、炊飯器の電力使用によるCO₂排出割合が97%を占めた。本研究のCO₂排出量の試算では保温を考慮していないが、炊飯方法と保温時間に関する適切な条件設定を行い、家庭で行われるより具体的な事例での電力消費についても検討する必要がある。

廃棄・リサイクル段階では、銚子市における一般廃棄物量と清掃センターからのCO₂排出量から、単純にゴミ処理原単位を求めた。このため、収集作業に伴うCO₂排出量を考慮していない。また、本研究ではプラ製容器包装の分別回収を想定しないで、全量焼却を想定した。このため、過剰見積もりとなっている可能性が考えられる。

4.2 既存研究との比較

梶島ら⁸⁾は、滋賀県産コシヒカリのCFP算定の事例報告を行っている(図3B)。算定対象商品は、環境配慮型の「滋賀県産 特別栽培米コシヒカリ 4kg」である。この商品は、化学肥料由来の窒素の使用量および化学農薬の成分量をそれぞれ慣行比で50%以下に抑えて栽培された製品である。同研究では、JA北びわこの協力のもと、109戸の生産者に対して調査を行っている。試算結果は、白米1kgあたり1910g-CO₂/kgとなり、本研究の試算結果よりもわずかに低い値(99.8%)となった。滋賀県産コシヒカリでは、原材料調達段階でのCO₂排出が最も多く、中でも土壌からのCH₄の排出に由来するCO₂排出量が5割強を占める結果となっている。同段階では、他に肥料、燃料、電力、肥料などの資材輸送に伴う排出量が、農業生産段階の5%以上を占める結果となった。

本研究の試算結果と比較すると、東総産コシヒカリでは原材料調達段階が1.1倍であるのに対して、生産段階は0.9倍、流通・販売段階は0.7倍、使用・維持管理段階は0.8倍となった(図3A)。本研究では、慣行栽培の農家を調査対象としたため、特に窒素系肥料由来のCO₂排出量が多いことから、原材料調達段階の試算結果が滋賀県産コシヒカリを上回る結果となった。一方で、特に流通・販売段階では東総産コシヒカリの試算結果が下る結果となったが、これは滋賀県産コシヒカリの売価設定が高い(4450円/10kg)ことが原因と考えられる。

以上より、東総産コシヒカリにおいても、化学肥料の使用割合を減らす環境配慮型の生産方法を採用するなど、GHG排出量の積極的な削減方法の検討が必要であると考えられる。加えて、水田由来のCH₄の発生抑制も含めた原材料調達段階からの総合的なGHG排出量の削減方法の検討が今後の課題と考えられる。

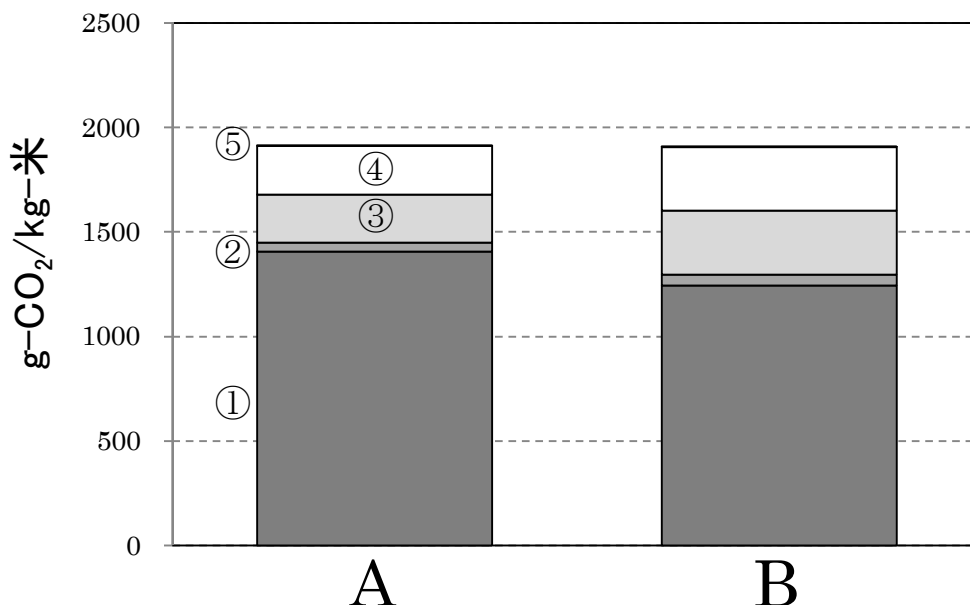


図3 東総産米 (A) と滋賀県産米 (B) のライフサイクル5段階のCO₂排出割合
 ①原料調達段階、②生産段階、③流通・販売段階、④使用・維持管理段階、⑤廃棄・リサイクル段階

4.3 炊飯方法と保温時間の違いによるCO₂排出量の比較

製品のライフサイクルにおいて、個人がCO₂排出削減に具体的に取り組めるのは、使用・維持管理段階である。米においては、炊飯がこれに相当する。加えて、一般の家庭では炊飯したご飯を何らかの方法で保存する人が多い。そこで、炊飯方法に加えて、ご飯の保存方法の違いを考慮した、以下に示す3つのシナリオを想定し、それらの具体的なCO₂排出量を検討した。

基本シナリオとして、1日の食事時間を7時、12時、19時の3回とし、それぞれの時間に1合のご飯を食べるとした。シナリオ1は、1合ずつ3回炊飯する条件とした。シナリオ2は、7時に3合分炊飯し、19時まで保温する条件とした。シナリオ3は、7時に2合を炊飯し、12時まで保温し、19時に1合炊飯する条件とした。

前述の3.4で実測した炊飯器を用いて、炊飯量を変えて電力量を測定すると、次の結果となった。1合炊飯では0.17kWhの消費電力となり、CO₂排出量は82.3 g-CO₂となった。2合炊飯では0.18kWhの消費電力となり、CO₂排出量は87.1 g-CO₂となった。3合炊飯では0.21kWhの消費電力となり、CO₂排出量は101.6 g-CO₂となった。保温における1時間あたりの消費電力を実測すると0.02kWhとなり、CO₂排出量は10.2

g-CO₂/hとなった。これらの測定結果をもとに、炊飯時のCO₂排出量と等しくなるまでの保温時間を算出すると、1合では484分(8時間4分)、2合では512分(8時間32分)、3合では598分(9時間58分)となった。これらの時間を超えて保温する場合、保温せずに再度炊飯する方がCO₂排出量は少なくなる。シナリオ毎のCO₂排出量の試算結果を図4に示す。シナリオ1ではCO₂排出量が246.8g-CO₂となり、シナリオ2ではCO₂排出量が224.0g-CO₂となり、シナリオ3ではCO₂排出量が220.4g-CO₂となった。シナリオ1の条件でのCO₂排出量は、シナリオ2の1.1倍となった。この結果は、CO₂排出削減には炊飯回数を減らすことが最も効果的であることを示している。一方で、保温時間が長いとCO₂排出量は増加するため、保温時間が長くなりすぎないように、1回の炊飯量を適切に調整することも重要であると考えられる。

5. まとめ

千葉県東総産コシヒカリを対象としてCFPの試算を行った。算定範囲は、①原料調達段階(玄米栽培関連プロセス、玄米出荷準備プロセス)、②生産段階、③流通・販売段階(流通プロセス、販売プロセス)、④使用・維持管理段階、⑤廃棄・リサイクル段階、の5段階とした。機能単位は、白米1kgとした。主な結果を以下にまとめる。

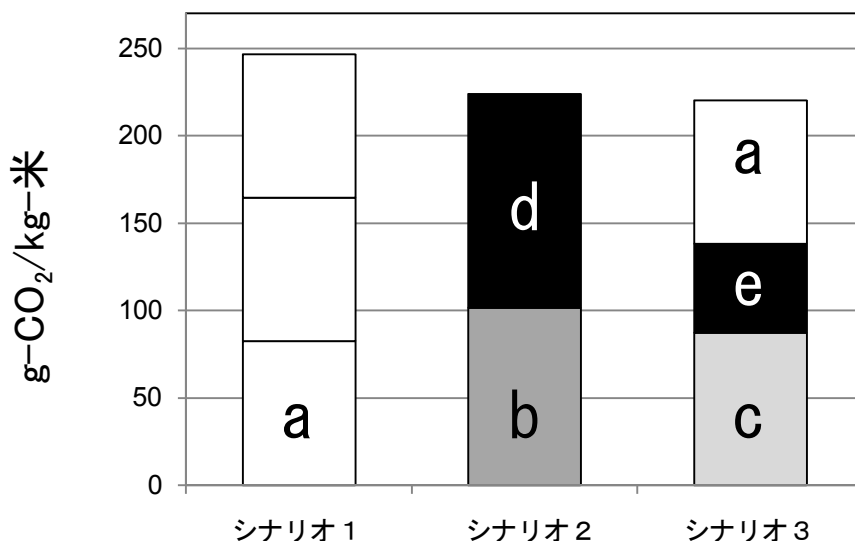


図4 炊飯と保温方法の違いを反映したシナリオ1～3におけるCO₂排出量の違い。
a:1合炊飯、b:3合炊飯、c:2合炊飯、d:12時間保温、e:5時間保温、時のCO₂排出量

(1) CFPの試算結果は、白米1kgあたり1914.1g-CO₂/kgとなった。CO₂排出量の段階毎の内訳は、原料調達段階で1406.0g-CO₂/kg (構成比73.5%)、生産段階で43.7g-CO₂/kg (2.2%)、流通・販売段階で229.8g-CO₂/kg (12.0%)、使用・維持管理段階で232.7g-CO₂/kg (12.2%)、廃棄・リサイクル段階で2.1g-CO₂/kg (0.1%)となった。CO₂の排出量が大きいのは原料調達段階であり、その中の玄米栽培関連プロセスからの排出量が特に多い結果となった。

(2) 本研究のCFPの試算結果を、滋賀県産コシヒカリの試算結果と比較すると、原材料調達段階が1.1倍、生産段階が0.9倍、使用・維持管理段階は0.8倍となった。東総産コシヒカリのCO₂排出量を削減するには、①窒素系化学肥料の使用割合を減らす環境配慮型の生産方法の採用、②水田由来のCH₄の発生抑制等、農業生産段階からの総合的なGHG排出削減及び抑制方法の検討が必要と考えられる。

(3) 東総産コシヒカリの使用・維持管理段階では、炊飯回数と保温時間を変えて、いくつかのシナリオを設定し、CO₂排出量を比較した。その結果、CO₂排出量を削減するには、炊飯回数を減らすことが最も効果的であることが明らかとなった。一方で、保温時間が長いとCO₂排出量は増加するため、保温時間が長くなりすぎないように、1回の炊飯量を適切に調整することも重要であると考えられる。CO₂排出量の削減を意識して炊飯方法と保温時間を工夫することは、個人が取り組める環境配慮行動として極めて重要である。

謝辞

JA ちばみどり農業協同組合営農センター銚子の宮内貞夫氏、宮内隆稔氏、サンドファーム旭の金谷斌氏、全農パールライス東日本株式会社の富塚茂氏には、聞き取り調査に協力して頂いた。また、大島農機株式会社からは農業機械のインベントリデータの提供を頂いた。皆様に心から感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 稲葉敦 (2008) : 食品研究会講演会—カーボンフットプリント—講演集, 日本 LCA 学会, 東京, 7-20
- 2) 國田かおる (2008) : カーボン・オフセット, 工業調査会, 東京, 2-5
- 3) 稲葉敦 (2009) : 日経エコロジー エコプロダクトガイド, 東京, 12-15
- 4) 本藤祐樹, 平山世志衣, 中島光太, 山田俊介, 福原一朗 (2008) : 日本 LCA 学会誌, 4(3), 279-291
- 5) 石塚明克 (2010) : 日本 LCA 学会誌, 6(3), 118-173
- 6) 小澤寿輔, 稲葉敦 (2008) : 日本 LCA 学会誌, 4(2), 129-134
- 7) 安藤生大 (2010) : 日本 LCA 学会誌, 6(3), 234-241
- 8) 梶島裕美枝, 吉川直樹 (2010) : 日本 LCA 学会誌, 6(3), 229-233
- 9) CO₂排出量の算定・表示・評価に関するルール検討会 (2009)
- 10) カーボンフットプリント制度試行事務局, CFP 制

度試行事業用 CO₂ 換算量共通原単位データベース (暫定版), Carbon Footprint of Products ホームページ、入手先<<http://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/data.html>>, (参照 2010-8-31)

- 11) カーボンフットプリント算定・表示試行事業、商品種別算定基準 (PCR) うるち米 (ジャポニカ米), Carbon Footprint of Products ホームページ、入手先<http://www.cfp-japan.jp/common/pdf_authorize/000001/12593085231.pdf>, (参照 2010-8-31)
- 12) 味の素株式会社、味の素グループ版食品関連材料 CO₂ 排出係数データベース, 味の素株式会社ホームページ、入手先<<http://www.ajinomoto.co.jp/company/kankyo/pdf/2007/lcco2.pdf>>, (参照 2009-12-9)
- 13) 国立環境研究所地球環境研究センター温室効果ガスインベントリオフィス (GIO) (2009)、“第 6 章 農業分野”、日本国温室効果ガスインベントリ報告書、152-200
- 14) 銚子市地球温暖化対策実行計画 (平成 20 年度～平成 24 年度) (2008) : 銚子市