

2010.09.22
LCAfood2010 Conference
Palace Hotel, Bari, Italy

Carbon footprint estimation and data sampling method: a case study of ecologically cultivated rice produced in Japan

Naoki YOSHIKAWA*, Tomohiro IKEDA
Koji AMANO, Koji SHIMADA

*Research Associate
Ritsumeikan University



Carbon footprint and data collection

- Japanese carbon footprint system launched in 2008
- Some food products with carbon foot print label have been sold
- Some product category rule of food products require collecting primary data covering over 50% of agricultural production
- No theoretical consensus about data collection method from a large number of suppliers



Objectives

- estimate the carbon footprint of ecologically cultivated rice produced in Japan
- examine data representativeness of inventory data and the data collection methods utilizing survey-sampling theory

Case study: Carbon footprint estimation of ecologically cultivated rice produced in Japan

Specially cultivated japonica rice produced in Shiga Pref., Japan (4kg-polished rice)

Chemical nitrogen
Agrochemicals } less than 50% of conventional

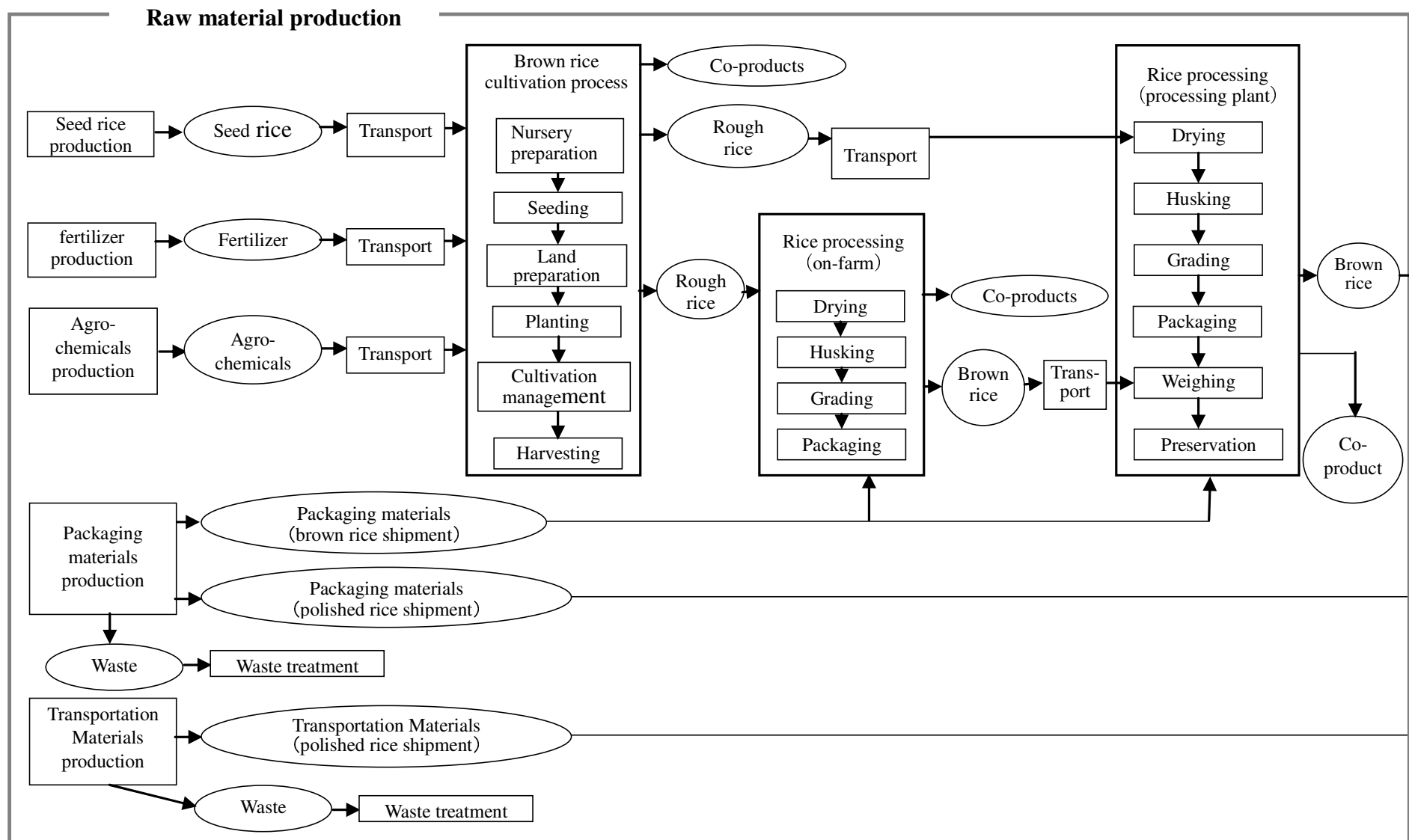


Data collection:
about 100 /400 producers

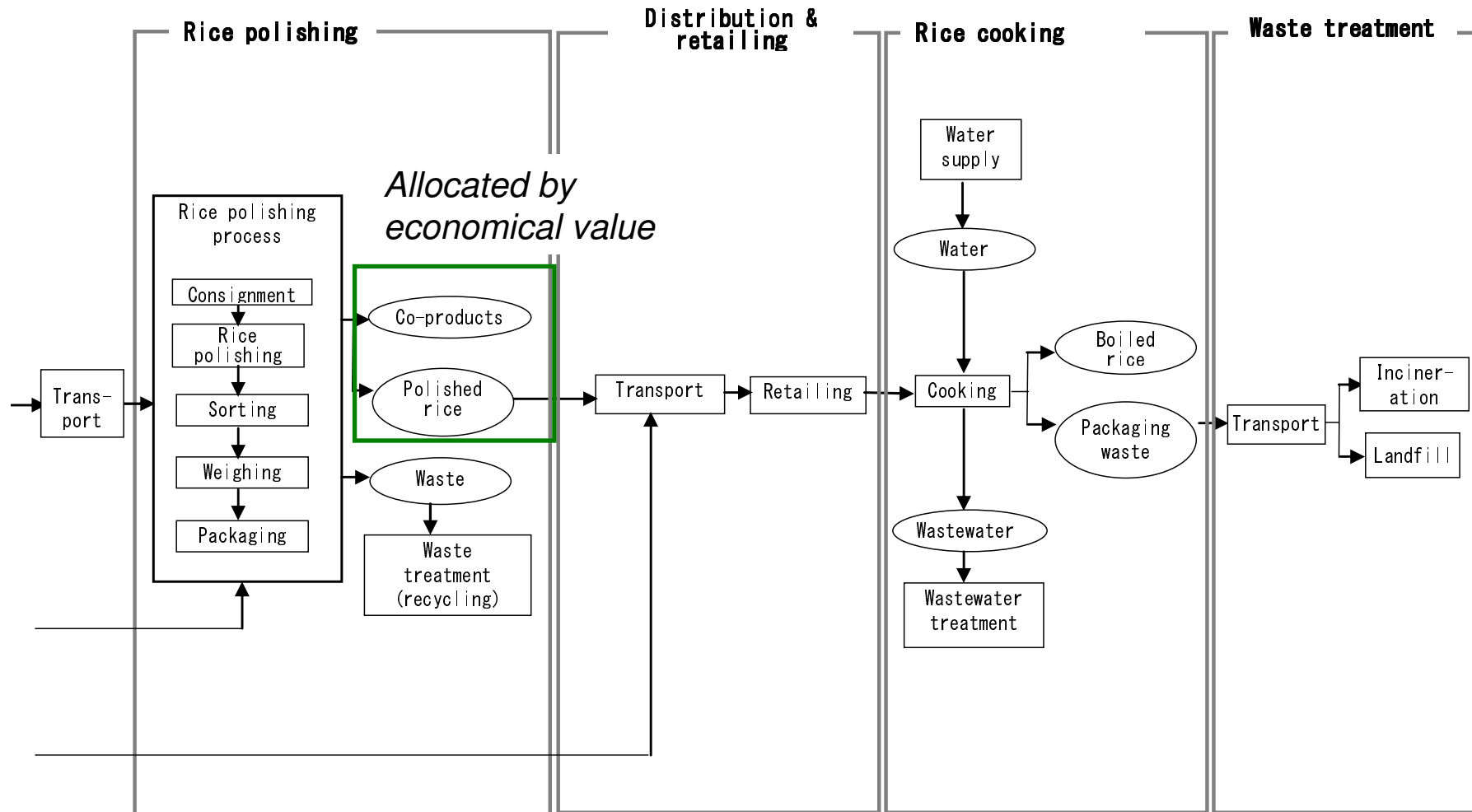
In Jan. 2010, products carrying the Carbon Footprint Label were in sale as a part of Japanese Carbon footprint of products system



Life cycle flow of rice production/ consumption (1)



Life cycle flow of rice production/ consumption (2)

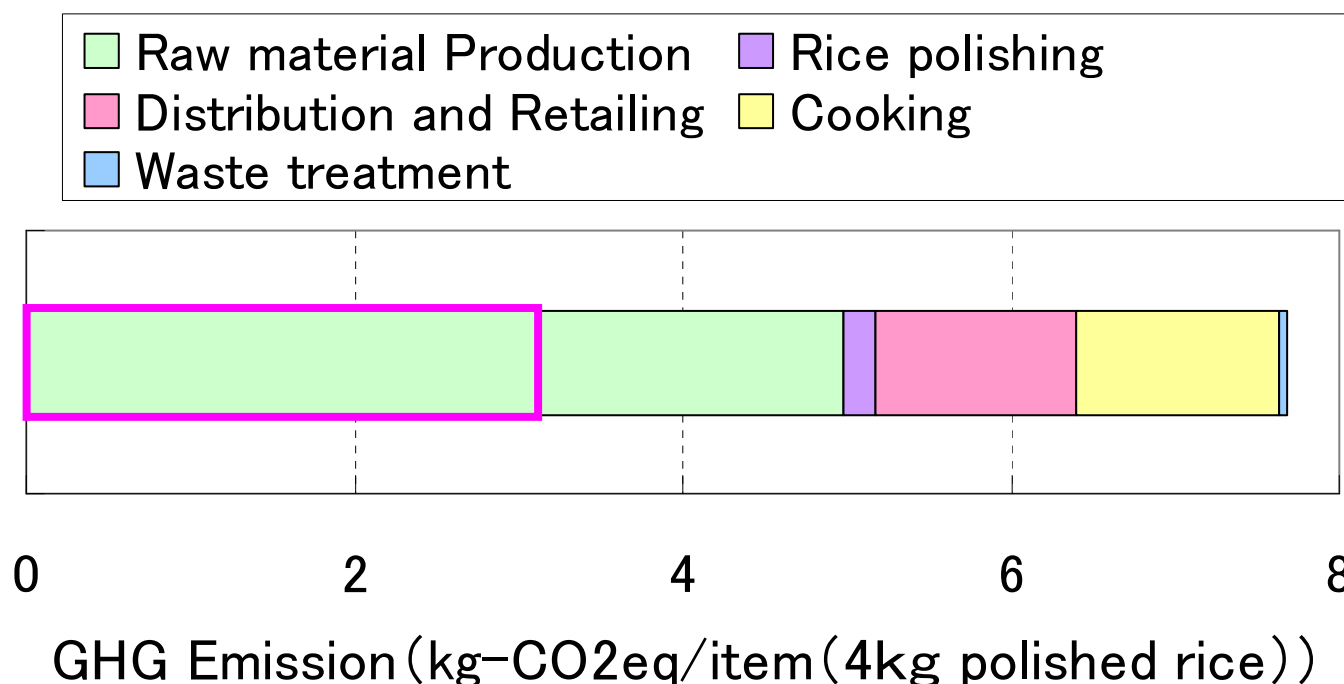


Data collection

production	Basic data	Cultivated area, productivity, rice husk production
	fuels	
	electricity	
	fertilizer	Organic, N, P, K, Mg
	agrochemicals	
	packages	Paper bags
	transportation	Input materials, brown rice (Rice center →polishing factory)
Rice polishing	Basic data	Percentage of polished rice
	electricity	
	packages	Plastic bags
Distribution and retailing	transportation	polishing factory →distribution center →retailers
	Energy in retailers	
Rice boiling	electricity	
	Clean water supply	
Waste treatment	Basic data	Weight of package waste , way of treatment
	Waste treatment	Package waste, waste water

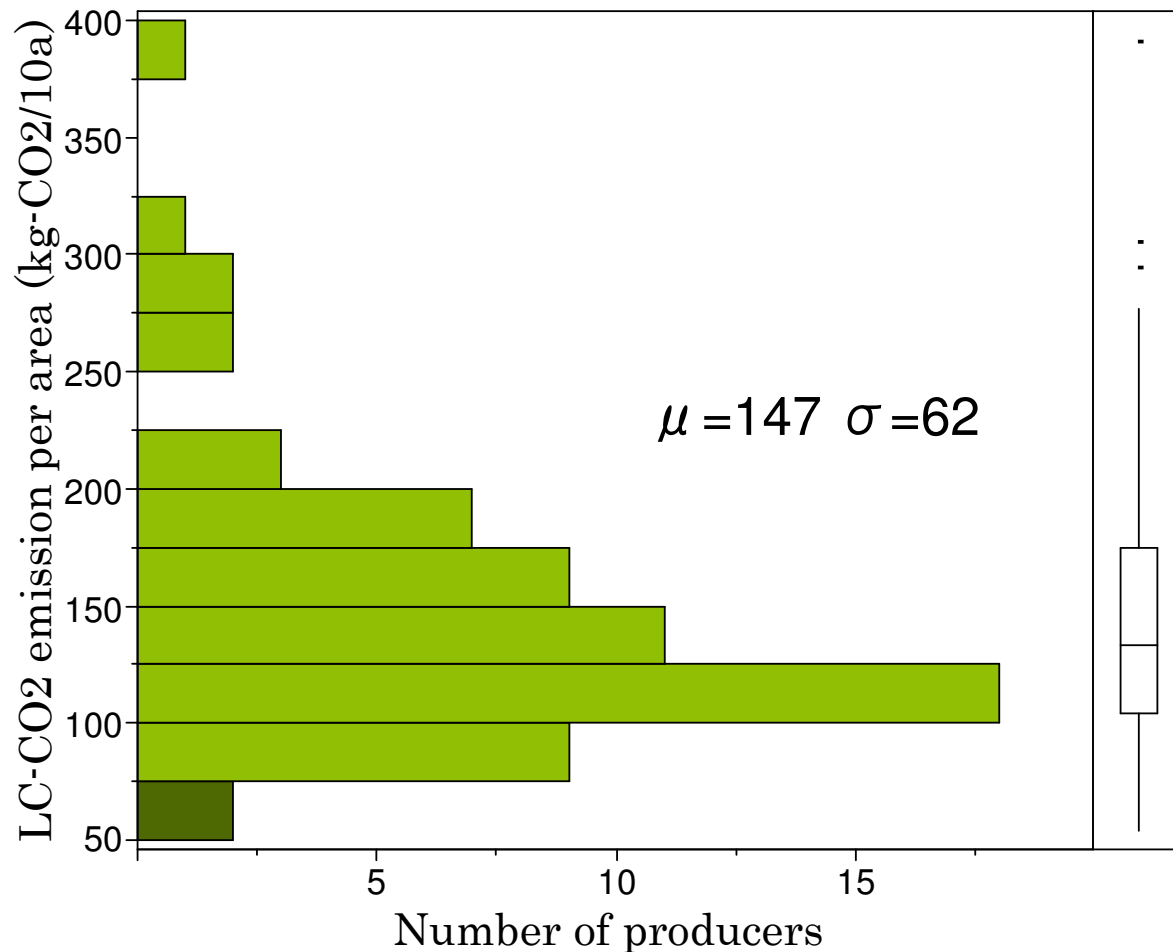
Result of Carbon footprint estimation

- GHGs emission related consumption of 1 package(4 kg of polished rice) : 7.7kg-CO₂eq, or 1.92kg-CO₂eq/kg-polished rice
- Over 50% of emissions in raw material production is contribution by CH₄ emission from agriculture→Needs for reliable emission estimation
- 7% of total emission is caused by transportation of rice and input materials



Distribution of GHGs emission by producers

- LC-CO₂ emission per cultivation area by producers are varied
→ data sampling is important to get representative (average) value



Evaluation of data representativeness

(1) accuracy of estimated input data
(=representativeness)

estimating from variance of producers' data and
sample size

(2) estimating minimum sample size ensuring certain
accuracy in certain confidence level

Considered data: material input data obtained by
producers;

gas · diesel · agrichemicals (CO_2), fertilizer ($\text{CO}_2 \cdot \text{N}_2\text{O}$)

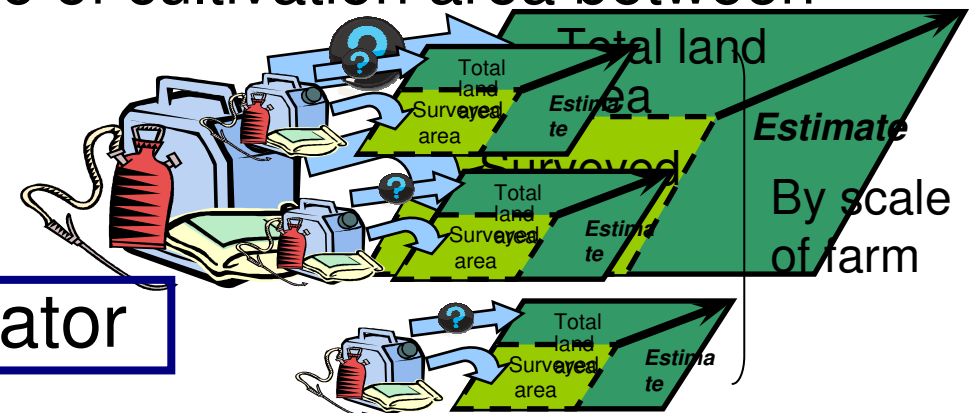
	Gasoline	Diesel oil	Fertilizer	Agrichemicals	N application
Sampling ratio	16%	16%	26%	26%	26%

Evaluation of data representativeness (2)

- Estimation methods of total inputs of all producers

(a) Ratio estimator

Estimate the total input using ratio of cultivation area between samples and all producers



(b) Poststratified (ratio) estimator

Assuming stratified sampling

Deviding samples by scale and estimate by stratum

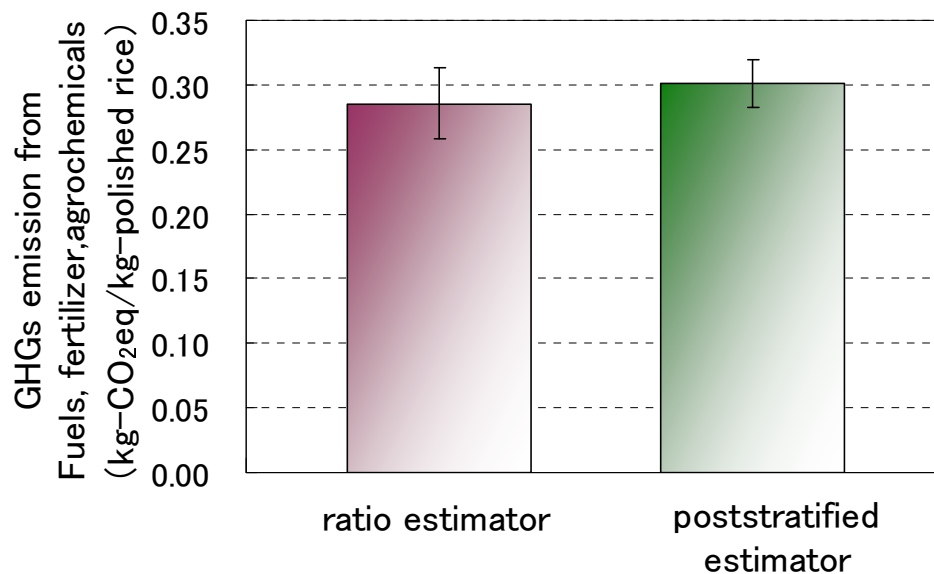
Originally this survey have not been designed as stratified sampring

	Cultivating area			total
	~2ha	2~5ha	0 ver 5ha	
Num ber of producers	81%	14%	5%	100%
P lanting area	41%	28%	30%	100%
Sam pring ratio N um ber of producers)	12%	85%	95%	26%

Result: Data representativeness

- confidence interval of average GHGs emission per production at 95% confidence level
 - Ratio estimator: $0.29 \pm 0.03 \text{ kg-CO}_2\text{eq/kg-polished rice}$
 - Poststratified estimator: $0.30 \pm 0.02 \text{ kg-CO}_2\text{eq/kg-polished rice}$

Coefficient of variance of estimated value



	ratio estimator	poststratified estimator
Gasoline	11.3%	11.3%
Diesel oil	7.6%	5.8%
Fertilizer	11.2%	5.7%
Agrochemicals	13.8%	6.5%
N ₂ O from N application	9.1%	2.3%
<i>Total</i>	5.9%	3.8%

→ Better result when stratifying samples by scale

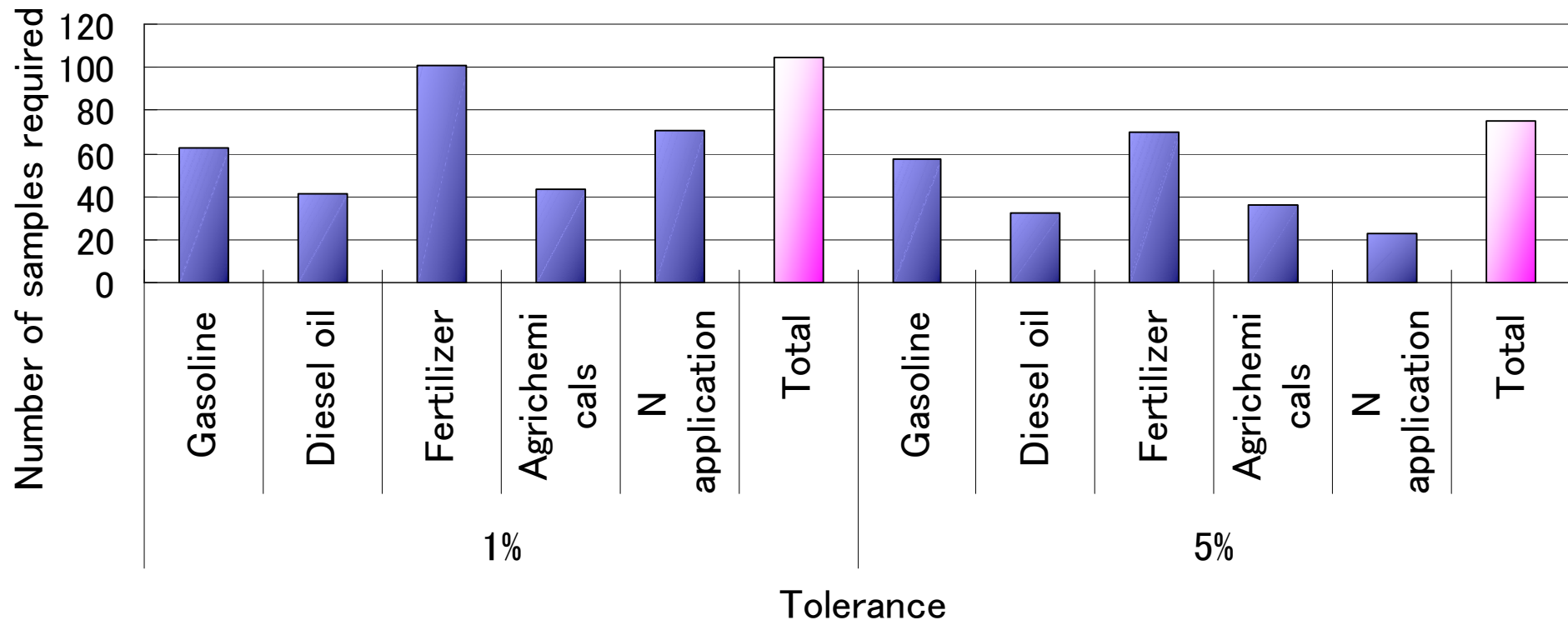
Optimal sample design

- Estimating minimum sample size in case of implementing stratified sampling
 - Confidence level・・・95%
 - Tolerance of estimation error (material input) ・・・1%、5%
 - Sampling method・・・optimal allocation (Neyman allocation)

Sample size in optimal sampling design

- Sample size in 5% tolerance, 95% confidence level: 76/418 producers

→ Appropriate sample design can reduce sample size (survey cost) and improve accuracy



Recommendations and limitations

- Surveying large number of primary data should be implemented with appropriate sampling method and evaluation of data representativeness as uncertainty analysis
- Standard for data collection should be set in carbon footprinting
- Evaluation of non-CO₂ GHGs is poor in this case
- This representativeness evaluation method can't apply to products supplied by small number of producers



**Thank you for your
attention**



coefficient of covariance of estimated average value

- Ratio estimator

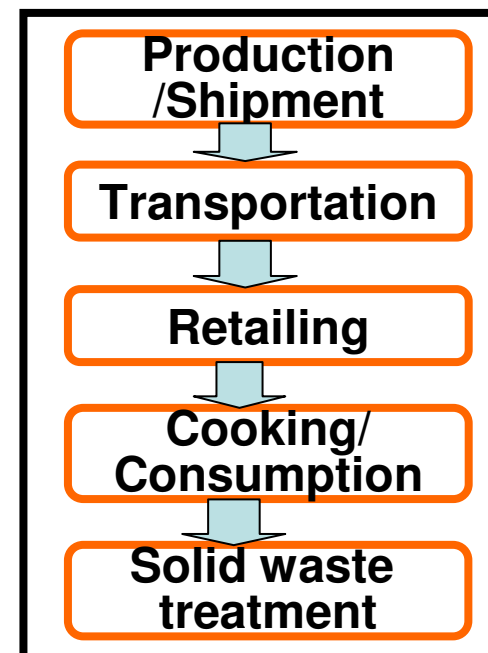
$$CV(\hat{\tau}_{y_i,R}) = \sqrt{\frac{\tau_x^2}{\bar{x}^2} \left(1 - \frac{n_i}{N}\right) \frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_j (y_{ij} - \hat{R}x_j)^2} / \hat{\tau}_{y_i,R}$$

- Poststratified ratio estimator

$$CV(\hat{\tau}_{y_i,PS}) = \sqrt{\left(1 - \frac{n_i}{N}\right) \sum_d \left(\frac{\tau_{x,d}^2}{n_{i,d} \bar{x}_d^2} \sigma_{i,d}^2 \right)} / \hat{\tau}_{y_i,PS}$$

Life cycle assessment (LCA) in agriculture

- Direct and indirect environmental loads are emitted from production/consumption of agricultural products
- Life cycle assessment, which evaluate all environmental load including that of manufacturing input materials, is one of the powerful tool
- Fully implemented LCA can assess trade off between other types of environmental load



LCA/Carbon Footprint of agriculture

- Diverse production condition and climate
- Positive/Negative environmental effect
(e.g. Carbon storage)
- Mainly implemented in Europe and Japan

Life cycle assessment (LCA) and Carbon Footprint

Carbon footprint

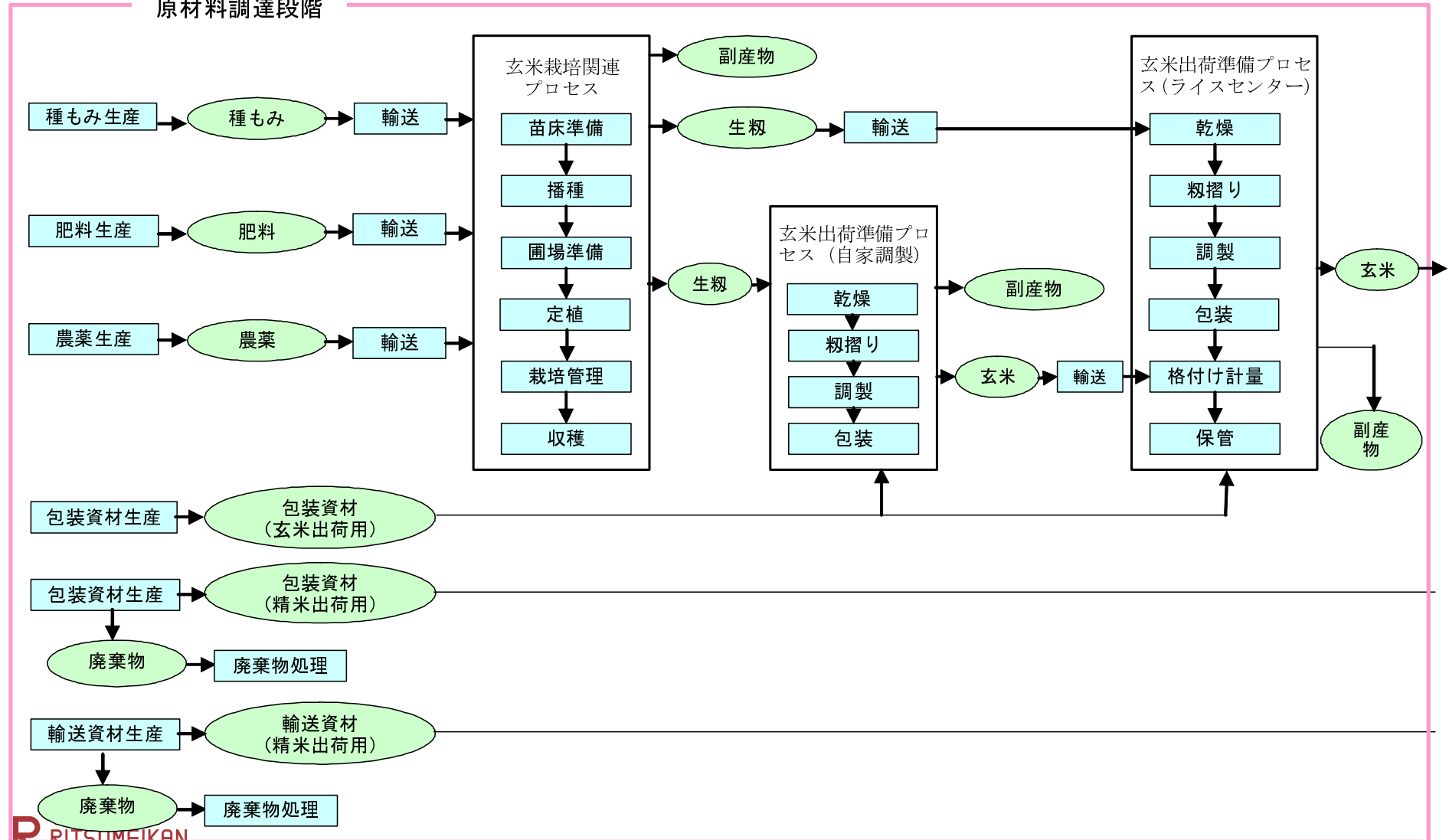
Evaluating greenhouse gases emission by LCA method
Often discussed with introduction of environmental label

LCA

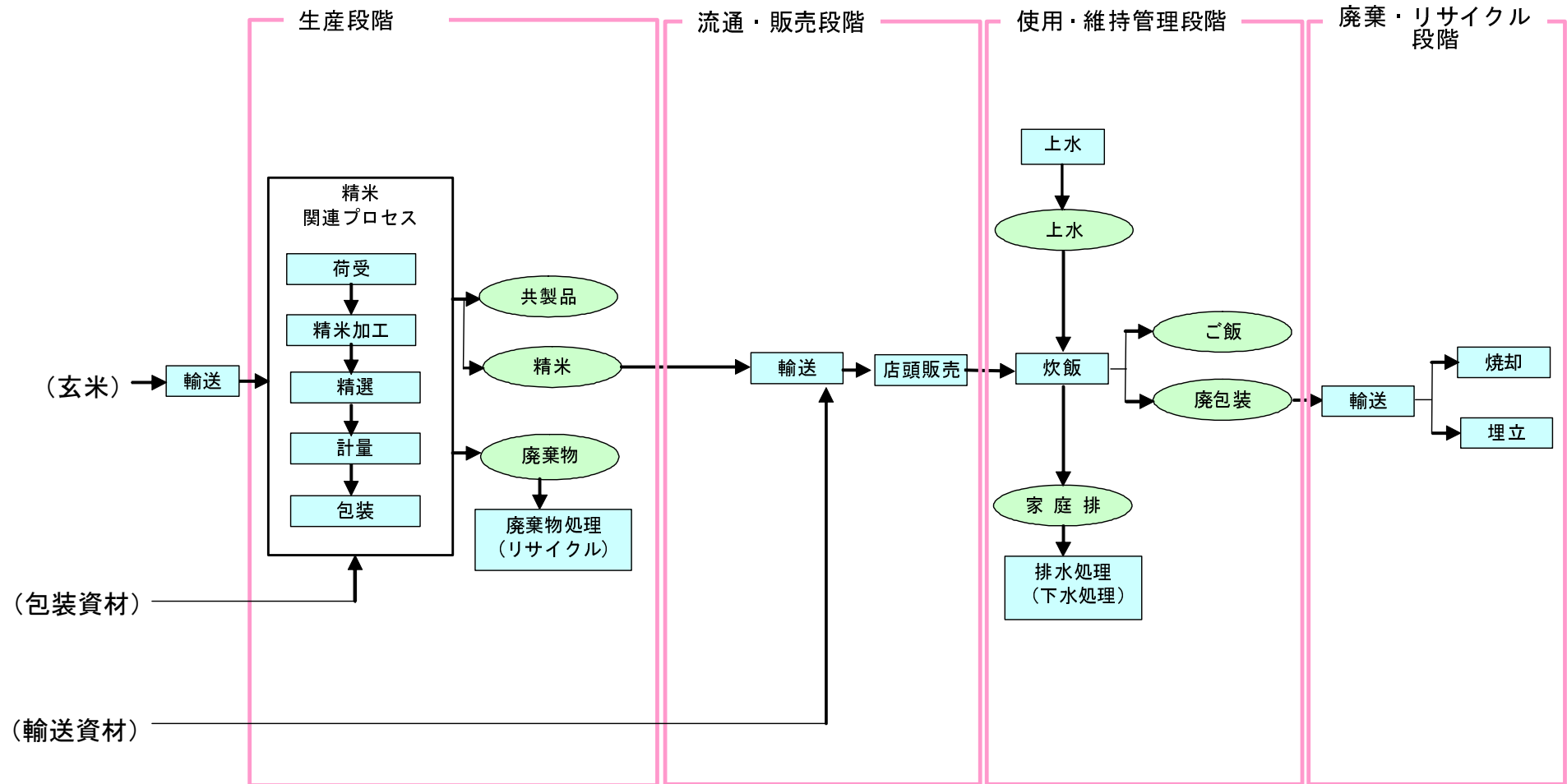
Fully implemented one assesses comprehensive evaluation of various environmental loads

農業生産段階のフロー図

原材料調達段階



流通～廃棄段階のフロー図



算出条件

- ライフサイクルステージ

農業生産

精米

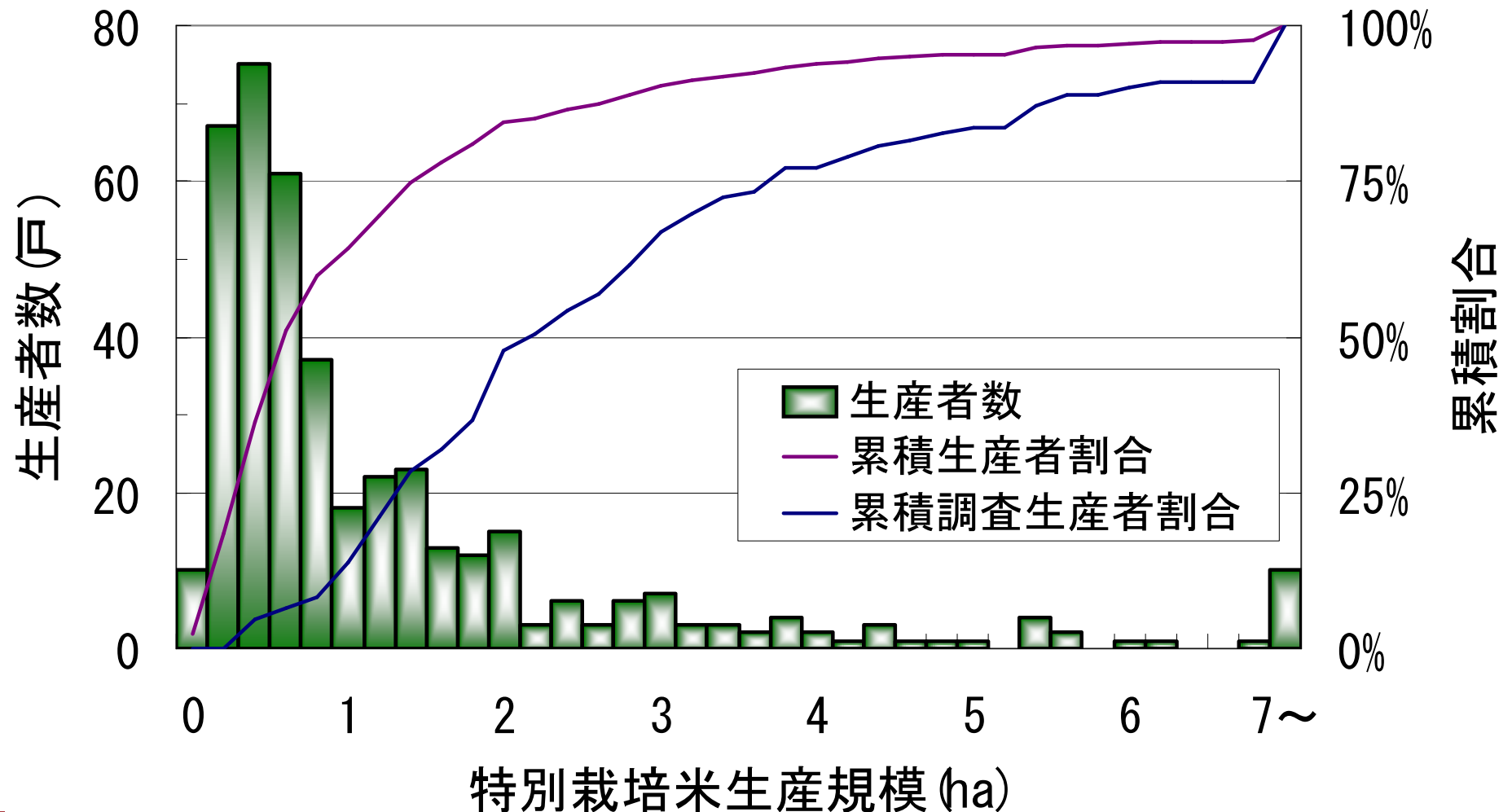
流通・販売

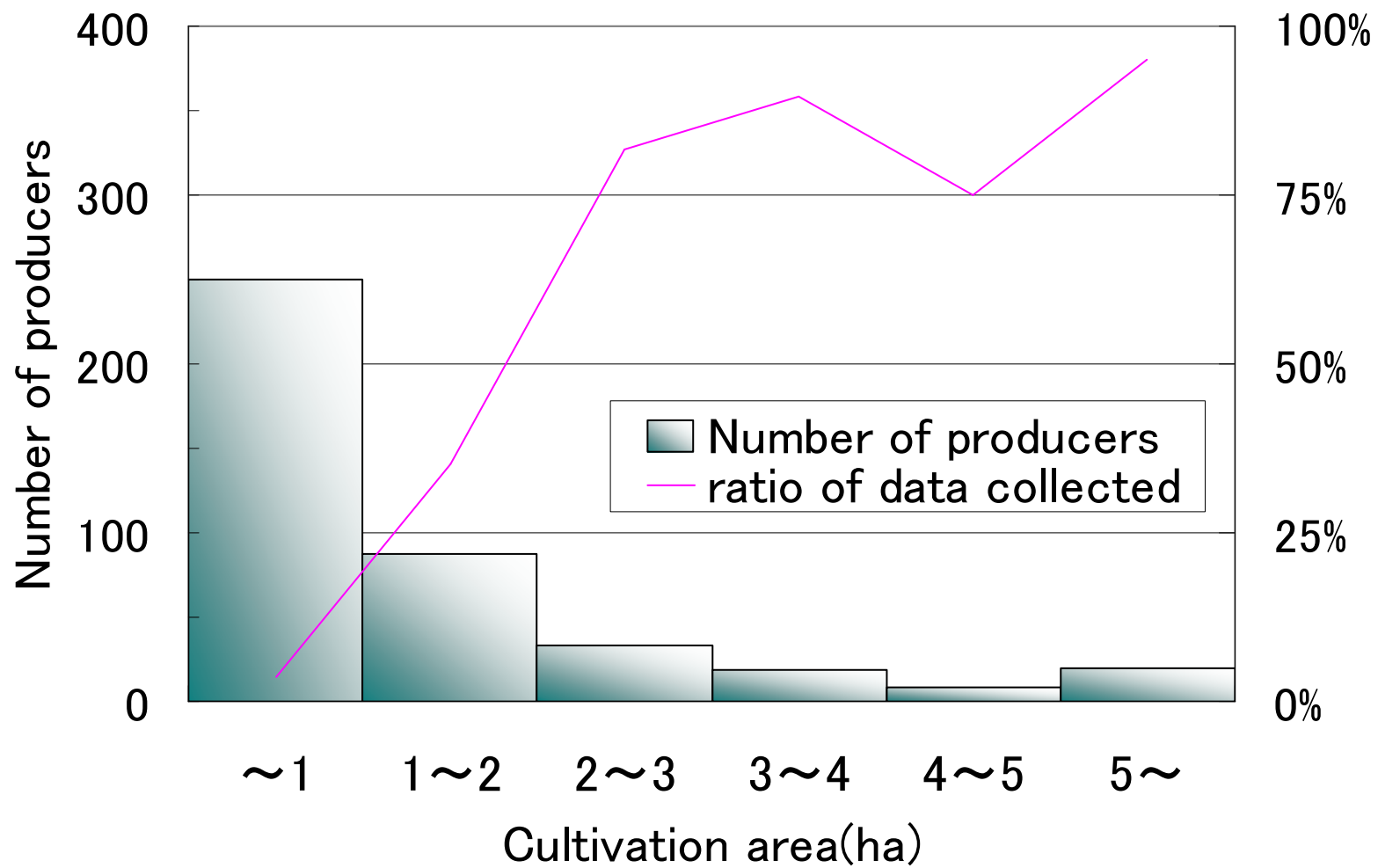
炊飯

廃棄

- 機能単位：製品1袋(精米4kg)
- 対象物質：温室効果ガス(CO_2 , CH_4 , N_2O)
- データ収集：規模の大きい生産者を中心に109戸のデータを収集
(生産者数で約25%、生産量で約64%をカバー)

特別栽培米生産者の規模別分布





算出方法 (1/3)

温室効果ガス排出量 = 活動量 × 排出原単位

(1) 農業生産段階

- ・耕作・玄米乾燥・調整に用いた燃料、肥料、農薬、包装資材の種類別投入量
- ・生産者→ライスセンター→精米工場への輸送
- ・収集対象外：農業機械等の耐久財、
苗箱など複数年利用の資材

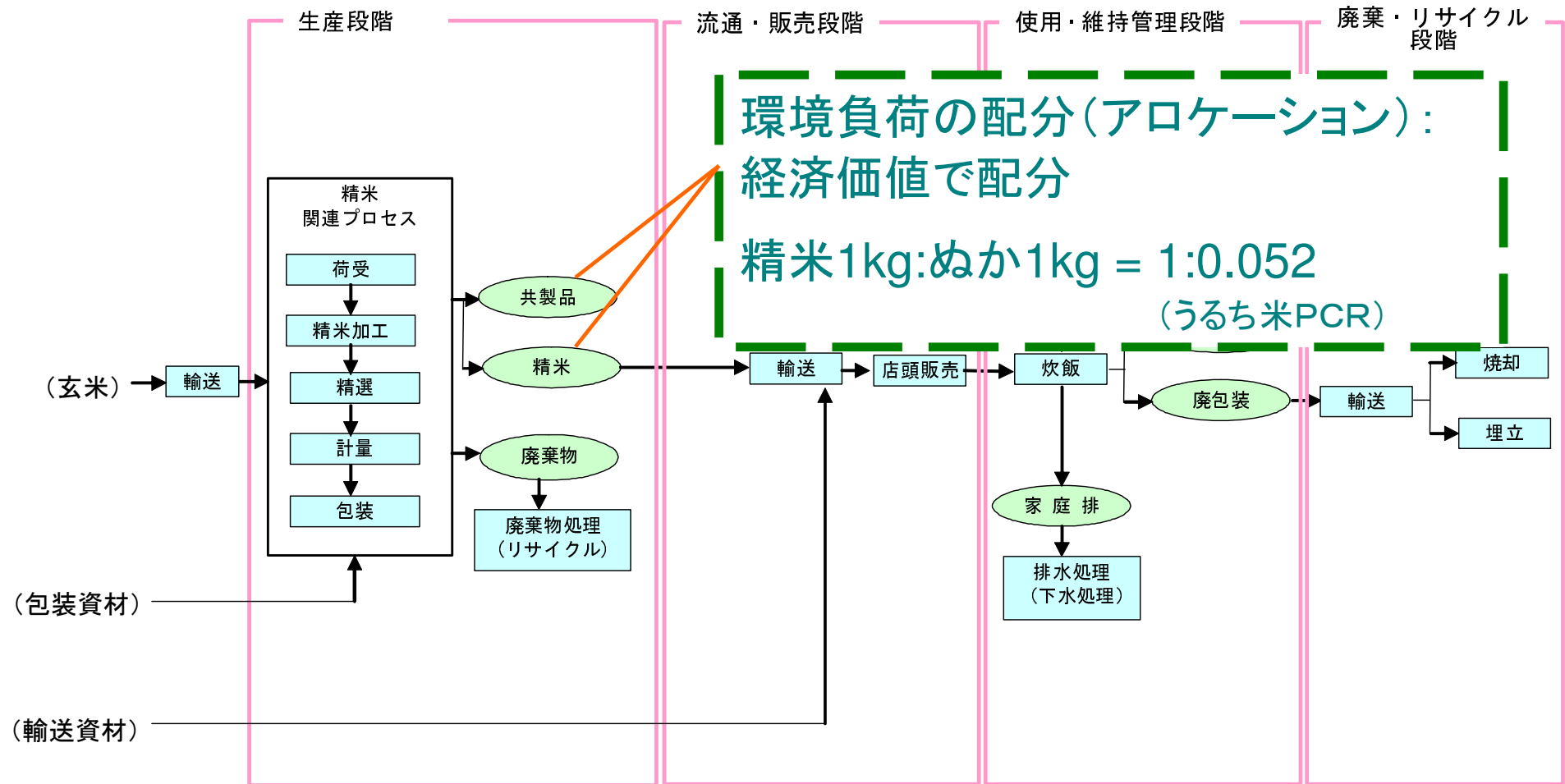
(2) 精米段階

精米工場のエネルギー使用実績データ

精米とヌカを産出・・・環境負荷を経済価値で配分



流通～廃棄段階のフロー図



算出方法 (2/3)

(3) 流通・販売段階

店舗・物流に関する実績データ

- ・精米工場→物流センター→店舗への輸送
- ・店舗でのエネルギー使用

(4) 炊飯段階

CFP制度のPCR(うるち米)の炊飯シナリオを利用

- ・洗米・炊飯用上水使用量、炊飯用電力

(5) 廃棄段階

包装資材の焼却処理・炊飯段階下水の処理

※リサイクル(農業副産物・包装資材の一部・米ぬか)分は対象外

 (再生資材利用分とのダブルカウント防止のため)

算出方法 (3/3)

(6) 原単位データ

CFP制度うるち米PCRにおける原単位

→ 資材製造、燃焼等を含む

a) 投入資材

肥料 (N・P・K・苦土・有機質)

農薬 (固形、液体)、

燃料 (軽油・ガソリン・灯油・電力)、上水等

b) 水田由来 CH_4 , N_2O

→ 温室効果ガスインベントリ報告書の平均的な値
を利用

水田由来メタン排出原単位について

- メタン排出係数は平均的な値 を利用
→ 今後はより精緻な評価が必要

水田の種類	排出係数[gCH ₄ /m ² /年]
間欠灌漑水田(中干し)	15.98

日本国温室効果ガスインベントリ報告書(NIR)より

土壌種	わら施用 [gCH ₄ /m ² /年]	各種堆肥施用 [gCH ₄ /m ² /年]	無施用 [gCH ₄ /m ² /年]
黒ぼく土	8.50	7.59	6.07
黄色土	21.4	14.6	11.7
低地土	19.1	15.3	12.2
グライ土	17.8	13.8	11.0
泥炭土	26.8	20.5	16.4

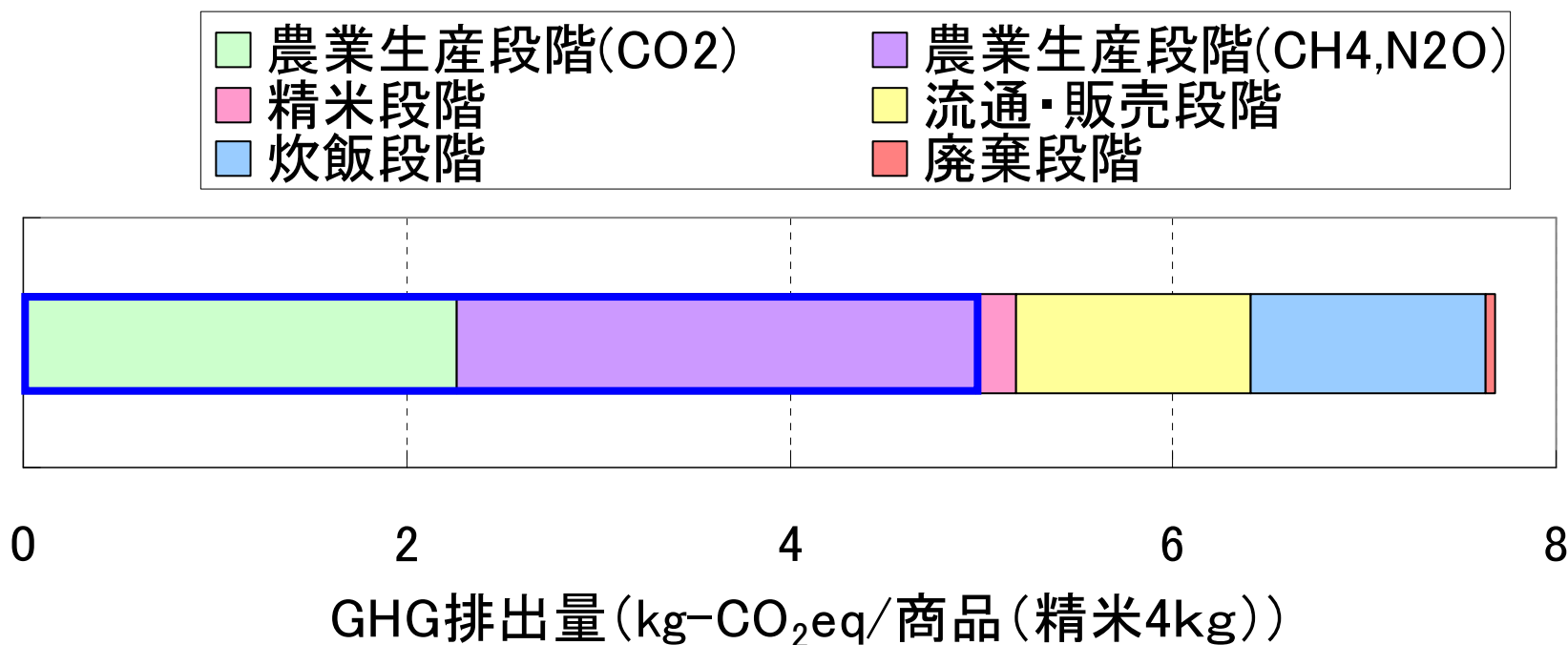
日本国温室効果ガスインベントリ報告書(NIR)より

原単位データ

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	2.79 kgCO ₂ eq/l
		ガソリン	2.69 kgCO ₂ eq/l
		灯油	2.65 kgCO ₂ eq/l
		電力	0.48 kgCO 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
		リン肥料	0.25kg-CO ₂ eq/kg
		マグネシウム肥料	1.02kg-CO ₂ eq/kg
	農薬		13.1kg-CO ₂ eq/L(液体), 0.11kg-CO ₂ eq/kg(固体)
	種粃	味の素データベース	0.25kg-CO ₂ eq/kg
	商品化資材・ 梱包資材	ポリプロピレン製造	1.68kg-CO ₂ eq/kg
		LDPE製造	1.43kg-CO ₂ eq/kg
		洋紙製造	1.46kg-CO ₂ eq/kg
	水田由来GHG	CH ₄	15.98gCH ₄ /m ² /年
		N ₂ O	直接排出・間接排出考慮
生産段階	エネルギー		電力・LPG・重油・軽油・
流通・ 販売段階	販売エネルギー 輸送		ガソリン・灯油
		CFP 共通原単位	最大積載量、積載率別の原単位
使用・維持 管理段階	炊飯	電力	0.48 kgCO ₂ eq/kWh
		上水	0.21kg-CO ₂ eq/m ³
		排水処理	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	焼却処理・埋立処理

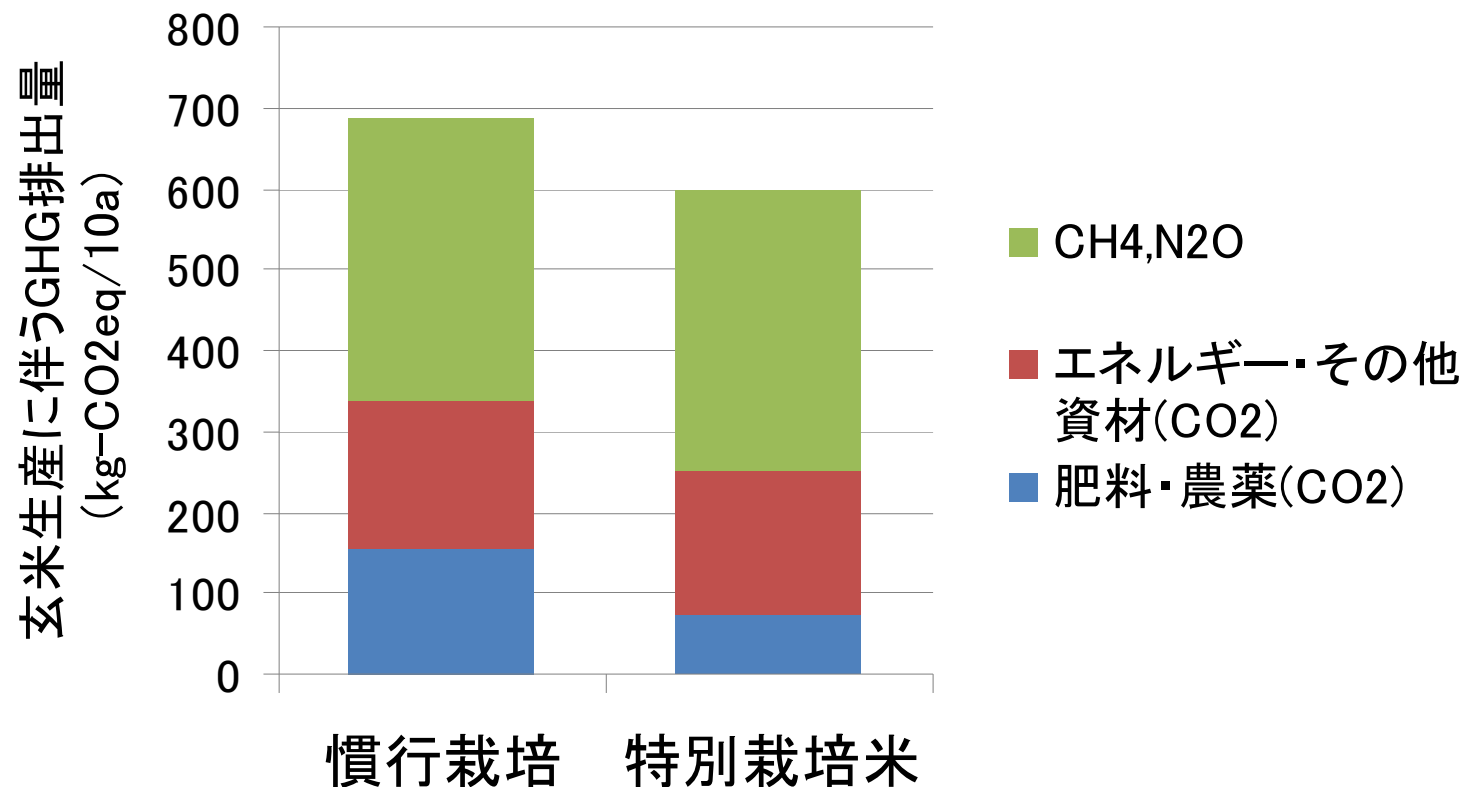
算出結果

- 1商品(精米4kg)の温室効果ガス排出量: 7.7kg-CO₂eq
- 精米1kgあたり1.92kg-CO₂eq
- 農業生産段階の5割強が水田由来CH₄
- 全排出量の7%が生産物・投入資材の輸送由来



慣行栽培との比較

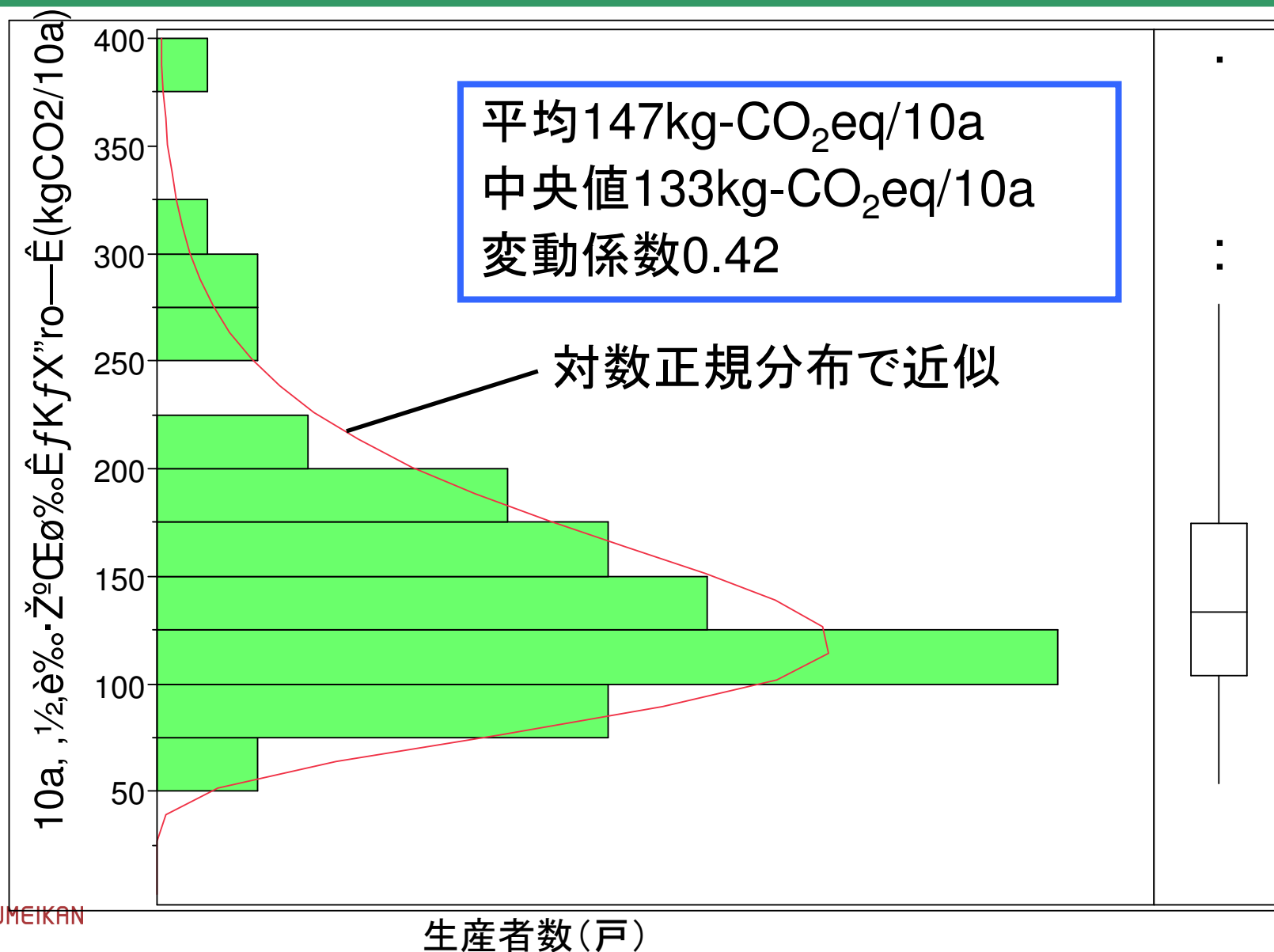
- 特別栽培米の面積あたりライフサイクルGHG排出量は、一般米の基準施肥設計に従った慣行栽培に比べ、約10%減



※慣行栽培での肥料・農薬の使用量は、JA北びわこ「生産基準書」の平均的な施用量に基づく。他の資材投入量は一定と仮定。

※CFP試行事業における推計値とは異なる。

肥料・農薬・燃料起源のGHG排出量分布



カーボンフットプリント推計値の誤差評価

- 農業生産段階では、一部の生産者を対象とする評価
 - 推計結果には一定の誤差が存在する
- データのばらつきとサンプルの抽出率から推計値の誤差を算出
 - CFPデータの品質を評価できる

	ガソリン	軽油	肥料	農薬	肥料N
調査生産者割合	16%	16%	26%	26%	26%

カーボンフットプリント推計値の誤差評価

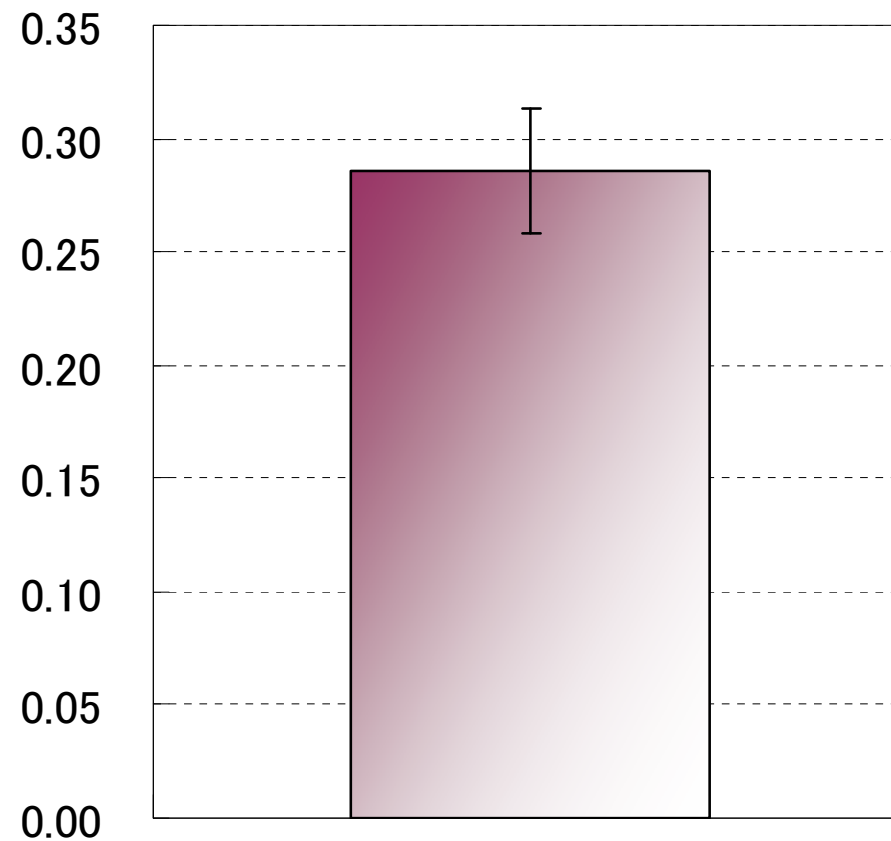
•比推定による推計値:95%信頼区間で約±10%

→一定の推計精度が得られている

栽培面積を用いて
調査対象外生産者の
環境負荷を拡大推計

	標準誤差率 比推定
ガソリン	11.3%
軽油	7.6%
肥料	11.2%
農薬	13.8%
肥料N	9.1%
合計	5.9%

肥料・燃料・農薬由来の
GHG排出量(kg-CO₂eq/kg-精米)



まとめ

- 滋賀県産環境保全型栽培米を対象としたカーボンフットプリントの評価
 - 約400戸の生産者中約100戸のデータ収集
 - 1.92kg-CO₂eq/kg-精米
 - 農業生産由来の排出量の比率が高い
- 50%程度のデータ収集でも一定の推計精度が得られる

課題

- メタン排出量や土壌炭素貯留の推計手法のCFPへの応用
- 多数の生産者に対するデータ収集負担の低減と推計精度の確保
- 環境負荷の配分(アロケーション)、リサイクルの取り扱いの再検討
- **ただし、多くの生産者にとって実行可能でなければならない**



◇ご清聴ありがとうございました◇



肥料・農薬の施用基準（JA北びわこ）

	慣行栽培	特別栽培
農薬成分数	10 (県慣行基準:14)	7
窒素肥料 (化学肥料由来)	8kgN/10a (県慣行基準:8)	3.9kgN/10a以下

農業生産段階データと不確実性

- 農業生産段階データ

≡生産者が小規模かつ多数
標本調査によるインベントリデータ収集が現実的

- 農業生産段階データで想定される不確実性

(1) フォアグラウンドデータ:

生産者データのばらつき

データの代表性・・・**標本誤差の問題**

バウンダリ・・・生産者保有のデータとの整合性

(2) バックグラウンドデータ:

データの網羅性・・・必要なデータの存在

データの品質

サンプリングデータの不確実性評価手法

- (1) 調査データのばらつきから対象全体の環境負荷の推計精度を評価
- (2) ばらつきの情報から、一定の精度以上を担保する最小のサンプル数を算出
- 評価範囲: 生産者の戸別調査を行った投入資材等のうち、一定以上のサンプル数が得られた項目
ガソリン・軽油・農薬(CO₂)、肥料(CO₂・N₂O)

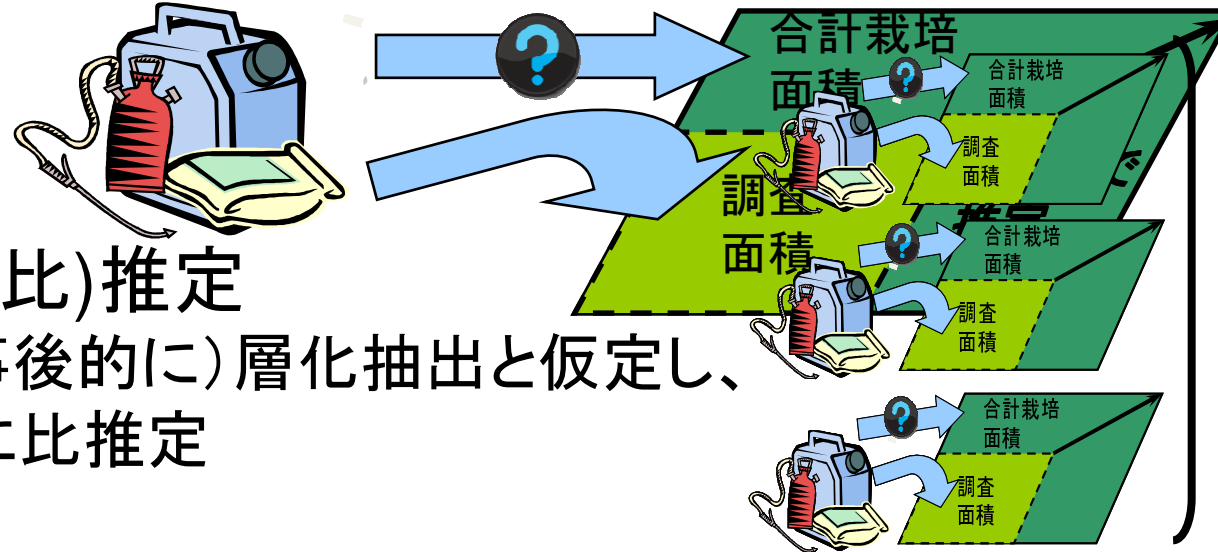
	ガソリン	軽油	肥料	農薬	肥料N
調査生産者割合	16%	16%	26%	26%	26%

サンプリングデータの代表性評価手法

•資材投入量の推定

(a)比推定

サンプルと母集団の生産規模の比から資材投入量を推定



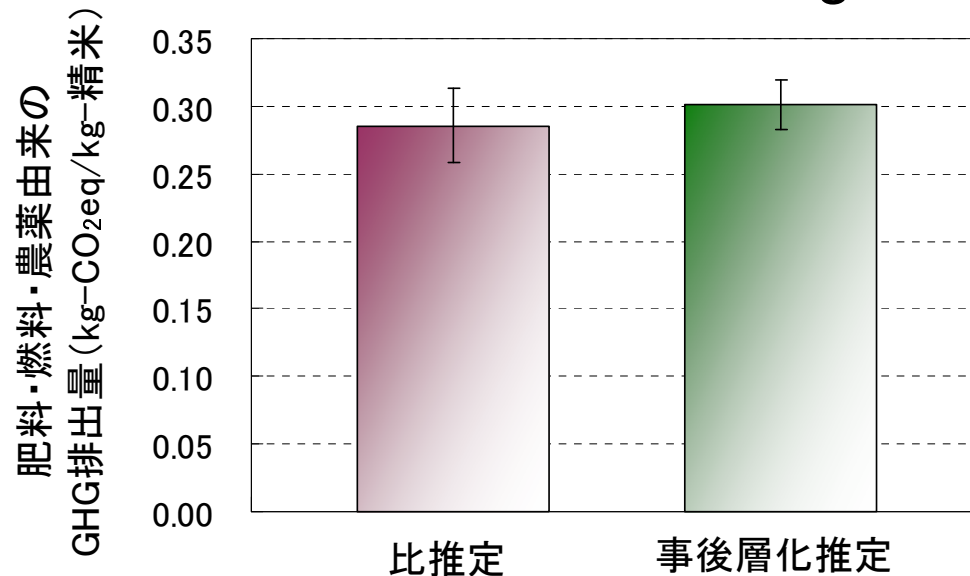
(b)事後層化(比)推定

調査手法が(事後的に)層化抽出と仮定し、栽培規模ごとに比推定

	～2ha	2～5ha	5ha以上	計
構成比率(生産者数)	81%	14%	5%	100%
構成比率(面積)	41%	28%	30%	100%
標本抽出率(生産者数)	12%	85%	95%	26%

不確実性評価結果

- 生産量あたり温室効果ガス排出量の平均値
 - 比推定 0.29kg-CO₂eq/kg-精米
 - 事後層化推定 0.30kg-CO₂eq/kg-精米



推定値の標準誤差率

	標準誤差率	
	比推定	事後層化推定
ガソリン	11.3%	11.3%
軽油	7.6%	5.8%
肥料	11.2%	5.7%
農薬	13.8%	6.5%
肥料N	9.1%	2.3%
合計	5.9%	3.8%

- 標準誤差率(平均値の推定量のばらつき)において、比推定より事後層化推定が良好な結果

→生産規模ごとに資材投入量とそのばらつきに違い

R RITSUMEIKAN **があるため、生産規模による層化抽出が望ましい**

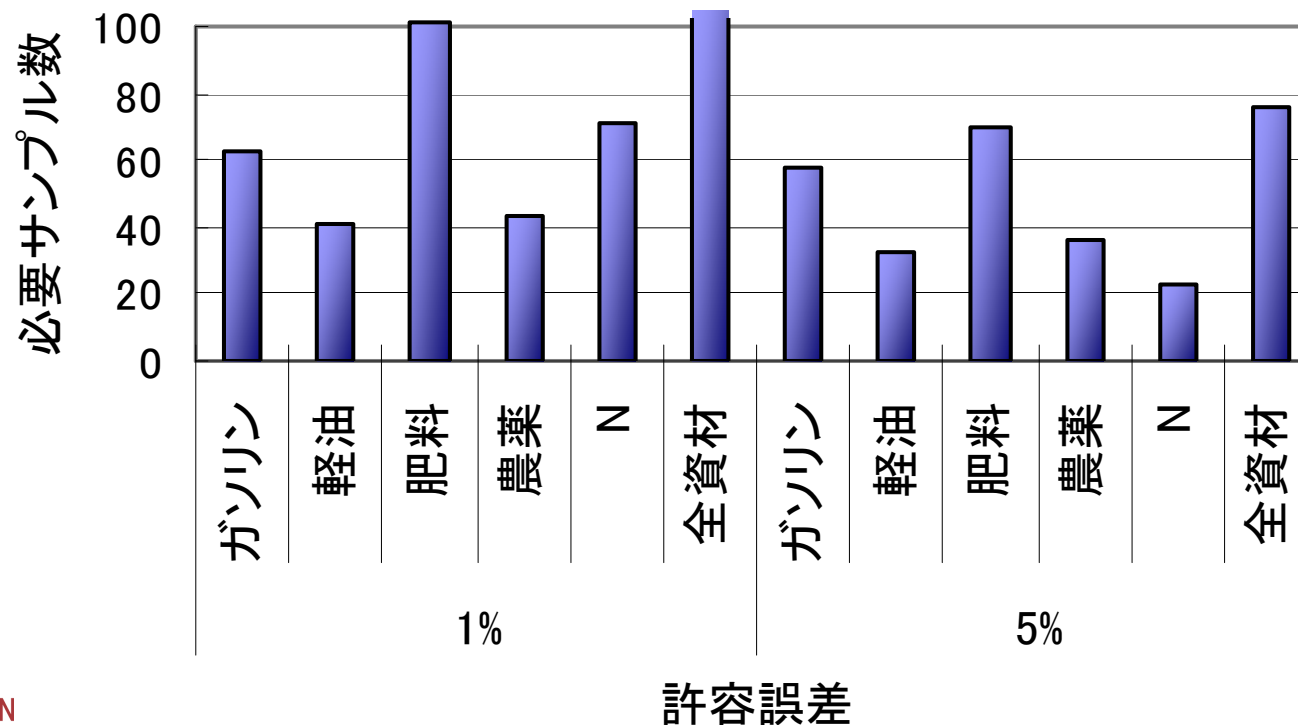
最適サンプリング手法の検討

- 生産規模による層化抽出を行う場合における最小の必要サンプル数を算出
 - 信頼水準・・・95%
 - 各有意水準における資材投入量推定値の許容誤差・・・1%、5%
- 層化抽出の手法・・・最適配分（ネイマン配分）

最適サンプリング手法での必要サンプル数

- 全資材の投入量の信頼区間が信頼水準5%で±5%以内になるサンプル数:76サンプル/全418戸

生産量のカバー率を重視した調査(109戸)に比べ、少ないサンプル数でより高い精度



算出方法・条件(2/3)

(2) 精米段階

精米工場の実績データを利用

フォアグラウンドデータ: 精米に要したエネルギー

(3) 流通・販売段階

店舗・物流に関する実績データ

フォアグラウンドデータ: 平均輸送距離、

売上金額あたり店舗使用エネルギー

(4) 炊飯段階

CFP制度のPCR(うるち米)の炊飯シナリオを利用

フォアグラウンドデータ: 炊飯器電力、米とぎ・炊飯用上水

算出方法・条件(3/3)

(5) 廃棄段階

包装資材の焼却処理・炊飯段階下水の処理

※リサイクル(農業副産物・包装資材の一部・米ぬか)分は対象外
(再生資材利用分とのダブルカウント防止のため)

- バックグラウンドデータ

CFP制度うるち米PCRにおける原単位

〔投入資材の製造に関する排出原単位
水田からの CH_4 , N_2O 発生原単位

CFP算定キット

新規製品 - CFP算定キットプログラム

ファイル(F) 出力(O) ツール(T) ヘルプ(H)

新規製品

- 原材料調達
 - 玄米栽培
 - 玄米出荷準備
 - 玄米輸送
 - 玄米以外の輸送
- 生産
 - 精米
- 流通・販売
 - 輸送
 - 店舗販売
- 使用・維持
 - 炊飯
- 廃棄・リサイクル
 - 廃棄物輸送
 - 処理

参照箇所 - 別紙

一次データ入力

PCR別テンプレートの表示

LC段階名: 原材料調達 サブタイトル名: 玄米栽培

サブタイトル情報入力

補足説明

「区分」項目について▼

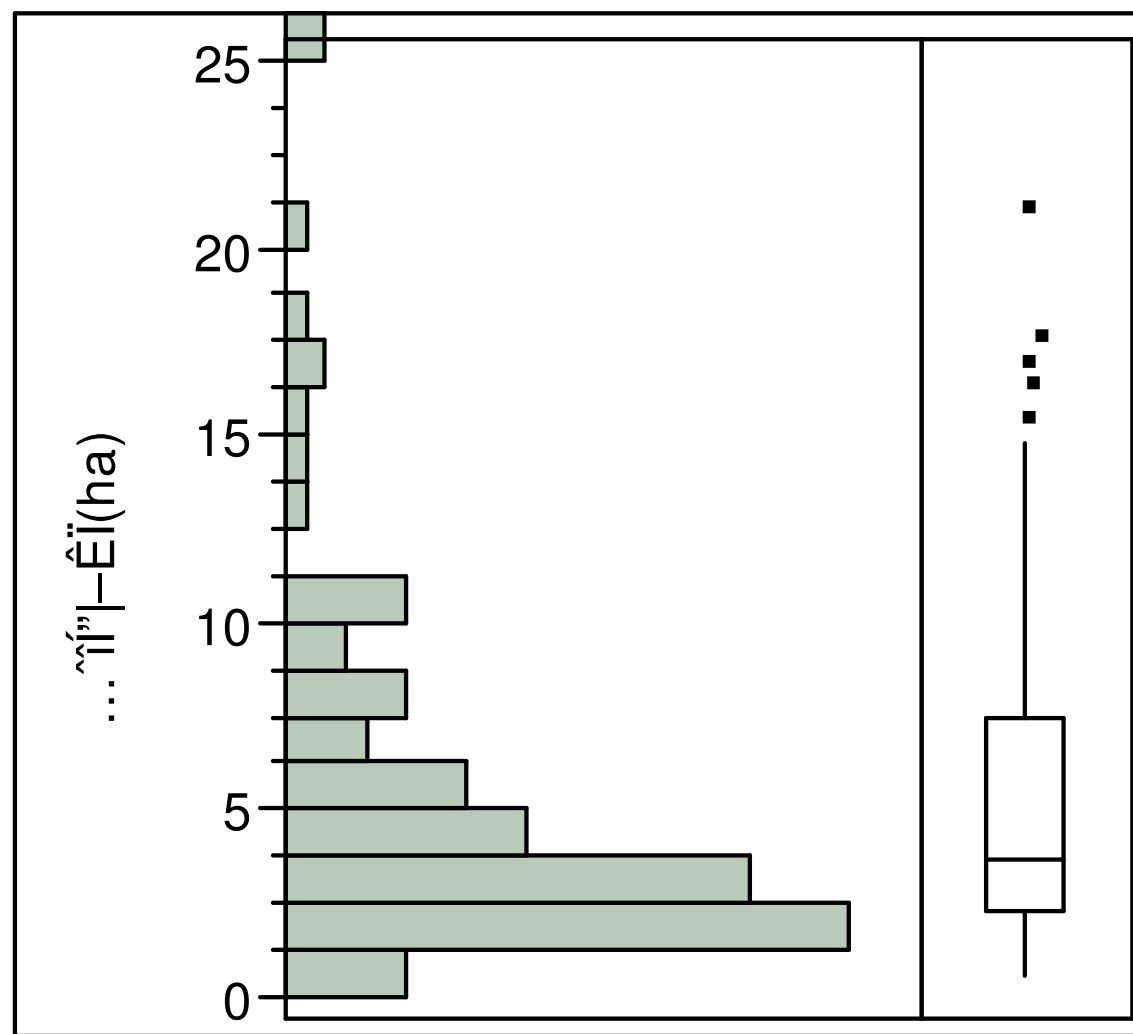
プロセス名	活動量区分	活動量項目名	活動量数値	活動量単位	活動量参照箇所	原単位選択	原単位区分	原単位名	原単位値	原単位単位	原単位参照箇所	算出結果
種もみ	1次	種もみ投入量	0.00E+00	kg		...	PCR	種もみ	4.03E-01	g-CO2e/kg		0.00E+00
肥料	1次	肥料投入量	0.00E+00	kg		...						0.00E+00
農薬	1次	農薬投入量	0.00E+00	kg		...						0.00E+00
上水	1次	上水投入量	0.00E+00	kg		...	共通	水道水	2.11E-04	g-CO2e/kg		0.00E+00
栽培用資材	1次	資材投入量	0.00E+00	kg		...						0.00E+00
包装資材	1次	資材投入量	0.00E+00	kg		...						0.00E+00
電力	1次	電力使用量	0.00E+00	kWh		...	共通	電力(日本平均(平成16年	4.84E-01	j-CO2e/kWh		0.00E+00
燃料	1次		0.00E+00			...						0.00E+00
玄米(調整前)の生産	1次	玄米(調整前)投入量	0.00E+00	kg		...						0.00E+00
副産物の生産	1次		0.00E+00			...						0.00E+00
廃棄物の排出	1次	廃棄物排出量	0.00E+00	kg		...						0.00E+00
土壌からのメタン排出		メタン排出量	0.00E+00			...						0.00E+00
肥料起源のN2O発生		N2O発生量	0.00E+00			...						0.00E+00
圃場面積	1次		0.00E+00			...						0.00E+00
*						...						

選択階層の処理メニュー

- 削除
- 名前の変更

選択中「CFP算定キット」ファイル: うるち米 | Ver 1.00

生産者の規模別分布



社会経済指標の例(Binder et al,2008)

Indicator	Definition	Sustainability range	Desired development ¹	Unit
Return on investment	Earnings before interest and taxes (EBIT) divided by total capital	2.76 - 20	+	Percent
Labour productivity	Gross value added / labour invested	not used for SSP ²	+	CHF/h
Hourly wage	Hourly wage in each value added level / average hourly wage of the Swiss population	75 - 125	+	Percent
Market power	Expert assessment of the negotiating power of the levels: producer, processing and consumer	-2 – 2	+	Value between -4 / +4
Social capital	Ratio share stakeholder representation of each level in the parliament related to the share of labour force	1 – 2	-	Value
Social acceptance	Willingness to pay of Swiss population for agriculture, measured as percentage of the population considering the subsidies to agriculture adequate (“in etwa richtig”)	50 -100	+	Percent
Human capital (I)	Number of employees per production level	20'000 – 56'599	-	Value
Level of education	Percentage of employees with educational level “practical experience”, basic education” and “higher education”	37 - 100	+	Percent
Subsidies	Subsidies paid to the milk industry as percentage of the gross yields	0-36	-	Percent

1: Defined together with stakeholder and involved experts

2: The indicators were excluded from the sustainability space, based on the system analysis results (Schmid, 2008)