

# 食料生産および消費に関わる物質・エネルギーフローの分析

## Analysis on materials and energy flows related to food production and consumption

○吉川直樹<sup>\*1)</sup>、天野耕二<sup>1)</sup>、島田幸司<sup>1)</sup>

Naoki YOSHIKAWA, Koji AMANO, Koji SHIMADA

1) 立命館大学

<sup>\*</sup>n-yoshik@fc.ritsume.ac.jp

### 1. はじめに

食料の多くを海外に依存するわが国では、食料の輸入に伴う窒素の蓄積が指摘されている<sup>1)</sup>ように、食料生産・消費に伴う物質循環の変化による潜在的な環境負荷は従前より議論が行われてきた。既往の研究では、たとえば、窒素フローの推計<sup>1,2)</sup>によって、戦後の化学肥料投入の増加や食生活の変化、および食料輸入の増加がわが国への窒素蓄積変化の主要因であると指摘されている。また、食料製造や食品流通など、関連する産業間のフローを考慮した、物質・炭素・窒素フローを対象とした地域診断モデル<sup>3)</sup>も開発されている。

ところで、ライフサイクル的な観点から食料生産・消費とそれに付随するバイオマス循環の把握とその改善を考えることは、食料に関わる物質循環に起因する環境負荷の最小化を図るための基礎的検討として意義があると考えられる。しかし、既存研究においては、廃棄物リサイクルや農地還元を明示的に考慮していないものや、フローに投入される化石資源を考慮していないものも多く、これらを発展させて、LCA評価と物質フローを詳細に統合した分析を行う必要がある。

そこで、本研究では、わが国の食料消費に伴う物質フローについて、廃棄物・副産物の再資源化を明示的に考慮した解析を行ったうえで、特にエネルギーフローに着目し、累積エネルギー消費やバイオマスとしてのエネルギー量の観点からフローを整理する。これらを通して、時系列的な食料フローの変化の把握や、食料・バイオマス関連施策の多面的な評価を行うことを目指す。

### 2. 方法

#### 2.1 推計対象

本研究では、わが国で消費された食料を分析対象とし、その生産から消費、廃棄・再資源化の過程での物質やエネルギーのフローを分析する。エネルギーのフローとして、以下の指標を用いて整理を行う。

①累積化石エネルギー消費量

②食品および副産物・廃棄物がバイオマスとして有する熱量(フィードストックエネルギー)

③食品としての熱量

①ではインベントリ分析を用いて品目別に算出を行うことと、詳細なバイオマス成分データの入手の問題から、

今回は比較的消費量の多い品目に絞って分析を行っている。対象とする一次産品は、穀物2品目、畜産物5品目、水産物15品目(類)、油糧作物2品目(大豆の豆・飼料として利用も含む)、野菜14品目、果実(果実的野菜を含む)10品目の計48品目とする(表1)。

表1 推計対象品目

|    |        |     |          |
|----|--------|-----|----------|
| 穀類 | 米      | 果実  | りんご      |
|    | 小麦     |     | 露地みかん    |
| 豆類 | 大豆     |     | 温室みかん    |
|    | キャベツ   |     | なし       |
| 野菜 | ほうれんそう |     | ぶどう      |
|    | はくさい   |     | 温室ぶどう    |
|    | ねぎ     |     | かき       |
|    | レタス    |     | もも       |
|    | ばれいしょ  |     | 温室もも     |
|    | さといも   | 肉類  | 牛肉       |
|    | だいこん   |     | 豚肉       |
|    | にんじん   |     | 鶏肉       |
|    | たまねぎ   | 魚介類 | あじ類      |
|    | トマト    |     | いか類      |
|    | きゅうり   |     | いわし類     |
|    | ピーマン   |     | えび類      |
|    | なす     |     | かつお類     |
|    | すいか    |     | さけ・ます類   |
|    | メロン    |     | さば       |
|    | いちご    |     | さんま      |
|    |        |     | たい類      |
|    |        |     | たい類(養殖)  |
|    |        |     | たこ類      |
|    |        |     | ぶり類      |
|    |        |     | ぶり類(養殖)  |
|    |        |     | ほたて      |
|    |        |     | まぐろ・かじき類 |

#### 2.2 フローに関する指標

食料生産・消費のシステムにおける資源循環・環境効率の指標として、以下の指標を定式化した。

①廃棄物・副産物の有効利用率(以下、有効利用率)

$$(\text{有効利用率}) = \frac{EP + AE - EC + FSE_2}{FSE_1} \quad (1)$$

ただし、 $FSE_1$ : 再資源化・廃棄物処理(以下、処理)前のフィードストックエネルギー、 $EP$ : 処理によるエネルギー生産、 $AE$ : 再資源化による製品の代替効果、 $EC$ : 処理

のためのエネルギー消費、 $FSE_2$ : 処理後のフィードストックエネルギー

本指標は、有効エネルギーとライフサイクル的観点から、廃棄物・副産物の有効利用の度合いを測るものである。

## ②エネルギー供給効率

$$(\text{エネルギー供給効率}) = \frac{FE}{TI - EP - AE} \quad (2)$$

ただし、 $TI$ : 食料生産・消費システムへの(累積)エネルギー総投入量、 $FE$ : (食料としての) エネルギー摂取量  
バイオマスの利活用により生産されるエネルギーについては、全てシステムの範囲内で消費されるとみなし、推計に含めた。皮革製品など、副産物からシステム(食料関連フロー)の中で通常利用されない製品が製造される場合については、その原料分のライフサイクルエネルギーをシステムから控除することとした。この仮定により、(2)式の  $AE$  は常にゼロとなる。主産物と副産物の配分にあたっては、フロー推計対象年における価格を基準とした。なお、国外における農業残渣の利用は推計対象外とした。

## 2.3 データ収集

物質フローのデータについては、既往研究<sup>13)</sup>を参考に、統計資料を用いて推計を行った。各段階で投入されるエネルギーについては著者らの研究<sup>45)</sup>やなど、食料・バイオマスのフローについては政府統計<sup>6-7)</sup>等、バイオマス成分については関連文献<sup>8-9)</sup>から収集した。

## 3. 結果

図1に、2005年における推計対象品目の物質フロー推計結果を示す。図の実線は食料を点線は副産物・廃棄物のフローを表している。耕種農業からの投入では、食品加工や直接消費仕向に次いで、畜産業への投入が多いことが見て取れる。また、畜産業は食品加工業へ製品を供給しているが、その3分の1程度の量を精穀業や製粉業からの飼料の供給を受けていることが分かる。

耕種農業では、農産物残渣の農地還元も相当程度含まれる。これらは農地への有機物供給という意味で利用といえる。たとえば稲わらのバイオエタノール化のようなより積極的な利用を行った場合の農地を含めたマテリアルバランスを考慮することがその影響を考える上で重要であり、本研究の枠組みにより、分析可能であると考えられる。

## 4. おわりに

本稿では、わが国の食料システムにおけるマテリアルフローの推計を行い、その特徴を整理した。また、食料

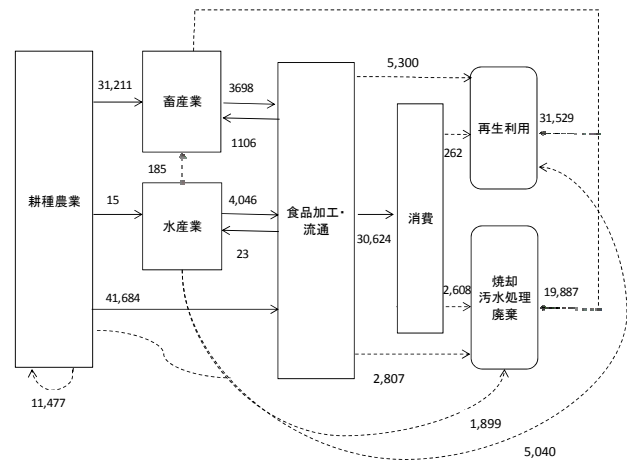


図1 主要食料品目の物質フロー推計結果  
(湿ベース、単位 1000t)

システムにおける廃棄物・副産物利用やエネルギー供給の効率に関する評価指標を提案した。

しかし、本稿では、物質フローの整理にとどまっていることから、今後は提案指標を用いた食料システムの時系列評価や将来シナリオを用いたシミュレーションによる環境負荷削減のための施策の効果を分析していきたい。

## 参考文献

- 1) Shindo J., Okamoto K., Kawashima H., Konohira E.: Soil Sci. Plant Nutr, 55(4), (2010) pp532-545
- 2) 織田健次郎: 日本土壌肥料科学雑誌, 77 (5), (2006), pp517-524
- 3) 宮竹史仁・椎名武夫・田坂行男: システム農学, (2004), 20 (2), pp185-192
- 4) 吉川直樹・天野耕二・島田幸司: 環境システム研究論文集, 35, (2007), pp499~509
- 5) 吉川直樹・天野耕二・島田幸司: 第4回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, (2009), pp14~15
- 6) 農林水産省: 食料需給表
- 7) 農林水産省: 食品循環資源の再生利用等実態調査報告
- 8) 中村真人・柚山義人: 農工研技報, 203, (2005), pp57-80
- 9) 文部科学省: ”五訂増補日本食品標準成分表”, 文部科学省, 入手先< [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031802.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031802.htm)> (参照 2012-01-09)