

# 健康及び環境負荷を考慮した食品選択モデルの構築と食生活の評価

環境システム情報学分野

56747 鈴木ひとみ

## 1. 背景及び目的

近年、一般消費者の食への関心が高まっている。特に、栄養広食や、化学物質摂取量といった面に関心が高い。そのため、政府では一日に摂るべき栄養素量の調査や、食品に含まれる各種化学物質量の同定が活発に行われるようになった。同時に、地球温暖化の観点から、食品の生産にかかるCO<sub>2</sub>の排出や、輸送にかかる排出(フードマイレージ)を代表する、食品が環境に与える影響についても研究も進んでいる。しかし、こういった研究は個別になされており、両者を同時に取り扱った研究は例がない。

そこで本研究では、一日に必要な栄養を摂りつつも、化学物質摂取量が基準値以内であり、且つ、現状よりもCO<sub>2</sub>排出量を削減できるような食品の組み合わせを、消費者の満足度を損なわずに提示するモデルを開発し、新たな食品選好基準を提案することを目的とする。

## 2. データベース構築

### 2.1. 研究の範囲

本研究で対象とする化学物質及び環境負荷は以下の表 2-1 に挙げるものである。

表 2-1 化学物質及び環境負荷

化学物質	重金属 (Al, Cd, Pb, Hg, MeHg) ダイオキシン, TBTO 農薬 6 種
群別 摂取量	食品群別に推奨される摂取量
栄養成分	エネルギーなど 24 成分
価格	東京都における H16 年度小売価格
CO <sub>2</sub>	生産過程における排出量 輸送過程における排出量

対象とする食品は、データの入手可能性から、穀類・豆類・いも及びでんぷん類・野菜類・果実類・きのこ類・肉類・乳類・卵類・魚介類・藻類の 11 分類の国産品、輸入品ののべ 184 種である。

化学物質含有量は、平均・最大値を主に文献<sup>1)</sup>などからデータベース化し、栄養成分・

価格は参考文献<sup>2) 3)</sup>の値を用いた。生産過程におけるCO<sub>2</sub>排出量は主に小方<sup>4)</sup>の値を用い、輸送過程は後に述べる方法で計算した。

データ入手の困難さから、油脂類、砂糖類など調味料関係の食品は本研究ではモデルに組み込む対象とはならないが、毎日推奨摂取量分だけ摂取していると仮定して予め必要摂取栄養素量から引いておく。

### 2.2. 輸送過程におけるCO<sub>2</sub>排出量

輸送過程におけるCO<sub>2</sub>排出量の算出について以下に述べる。最終消費地は東京都と仮定し、国産品は東京中央卸売市場で流通する食品のうち、最も多い出荷県 1 県を計測対象とし、輸入品は貿易統計において最も輸入量が多い国の上位 3 国を計測対象とした。

国内は原則としてトラックで輸送される。輸送距離は、産地県の県庁所在地から東京までの鉄道距離とした。輸入過程は、各国の首都から港までの直線距離をトラック輸送するとし、その後船舶により東京港まで輸送されたとした。それぞれの手段による輸送距離に、トラックは既出の 167 g-CO<sub>2</sub>/ km・gを、船舶には 38 g-CO<sub>2</sub>/ km・gを乗じ、1gあたりのCO<sub>2</sub>排出量とした。

図 2-1 に計算結果の詳細を示す。船舶由来の排出量が多くを占めていることが分かる。ヨーロッパやブラジルから輸入をすれば排出量が大きく増えるが、近隣のアジア諸国から輸入をする場合は、北海道から国内を輸送する際の排出量と大差はない。

制約条件として用いる際には、健康負荷は政府から発表されている摂取基準量を制約としている。環境負荷に関しては、現在、日本国民が 1 日に摂取する食品量に、データベース化してある各食品 1gあたりの生産・輸送過程のCO<sub>2</sub>排出量を乗じること、現状での日本国民 1 人、1 日分の食品の生産にかかるCO<sub>2</sub>排出量とし、その値以下を制約として用いた(生産過程...268g-CO<sub>2</sub>/day, 国内輸送過程...68g-CO<sub>2</sub>/day, 輸入過程...97g-CO<sub>2</sub>/day)。

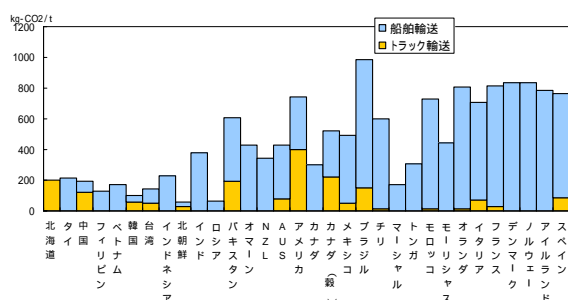


図 2-1 輸送過程におけるCO<sub>2</sub>排出量

### 3. 目的関数

#### 3.1. 分析用目的関数の設定

目的関数を個人の嗜好を表すものとし、広食型（どの嗜好も同程度）、肉食型（肉類の嗜好が高く、野菜類・魚介類の嗜好は相対的に低い）、ベジタリアン型（欧米で一般的な菜食の他に、乳製品及び卵を摂取するタイプを想定した）、炭水化物型（穀類やその加工品、いも類等の炭水化物に対する嗜好が相対的に高い）の4タイプの目的関数を作成する。効用関数の係数は、どのタイプにおいても食品群別の係数の和が1となるようにし、その中で重みにより決定した（表 3-1）。

表 3-1 嗜好別目的関数の重み

	穀類	いも類	魚介類	野菜類	果実類	藻類
広食型	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
肉食型	0.0862	0.0862	0.0259	0.0259	0.0862	0.0862
ベジタリアン型	0.0909	0.0909	0.0000	0.2727	0.0909	0.0909
炭水化物型	0.2000	0.2000	0.0667	0.0667	0.0667	0.0667

	きのこ類	豆類	乳類	肉	卵類
広食型	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
肉食型	0.0862	0.0862	0.0862	0.2586	0.0862
ベジタリアン型	0.0909	0.0909	0.0909	0.0000	0.0909
炭水化物型	0.0667	0.0667	0.0667	0.0667	0.0667

このとき効用関数は、効用の線形和、即ち

$$U = \sum_{i=1}^{184} u_i x_i \cdots \text{式(1)}$$

ただし、 $u_i$ ：食品  $i$  の嗜好を表すパラメータ

$x_i$ ：食品  $i$  の摂取量

と表すことができ、これを最大化することで、最適摂取食品を算出する。

#### 3.2. 個人用嗜好関数の作成

本研究では、解析用目的関数とは別に、ある特定の個人の効用を定量化するツールを作成した。コンジョイント分析の手法を用いて、アンケートに答えることにより、嗜好を定量化

化できるようにした。嗜好は食品群別に定量化され、次節で述べる最適化に適用が可能となっている。

## 4. 最適化

### 4.1 最適化の対象

対象：50-69 歳女性 東京都内在住

生活活動強度 中

変数：国産品、輸入品ののべ 184 個

制約条件：健康・環境負荷に関しては、表 2-1 に掲載したもの（計 52 本）  
食品群別に推奨される摂取量基準（全て下限で表記）

### 4.2. エントロピー項の導入

エントロピー項

$$H(\hat{p}_1, \hat{p}_2, \dots, \hat{p}_k) = - \sum_{i=1}^k \hat{p}_i \log \hat{p}_i \cdots \text{式(2)}$$

ただし、 $\hat{p}_i = f_i / n$  とし、 $i$  個のカテゴリー

別に分類されたデータの、各カテゴリーの相対頻度を表す。

が大きいほど分布は一様となり、小さいほど集中性が見られるという性質を利用する。本研究では、式(1)に付与し、

$$U_e = t \sum_{i=1}^{184} u_i x_i - (1-t) \sum_{i=1}^{184} p_i \log p_i \cdots \text{式(3)}$$

ただし  $t$ ：重みパラメータ ( $0 \leq t \leq 1$ )

$$p_i = x_i / \sum_{i=1}^{184} x_i \text{ とする。}$$

を最大化させることで、式(1)のみを用いた場合 ( $t=1$  の時、嗜好のみを考慮) より、摂取食品が多様になる組み合わせを得る。

### 4.3. エントロピー項の感度分析

4.2. で定めたエントロピー項が、どの程度目的関数に影響するのかをみた。4.1 に示した制約条件のもとで、3.1. で求めた 4 パターンの嗜好係数別に式(3)を最大化させた時の、パラメータ  $t$  の変化による解の数変化とその近似曲線を示したのが以下の図 4-1 である。

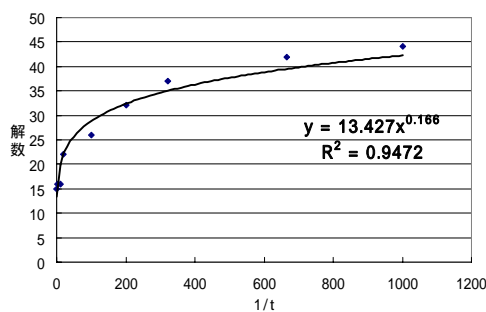


図 4-1 ベジタリアン型の解数と t の関係

近似曲線は、どれも決定係数が 0.85 以上であり、これらの近似は妥当である。ここで、1985 年に発表された一日摂取目標品目数は 30 なので、1 日 30 品目を摂取するならば、近似曲線にあてはめて、表 4-1 のようになる。以後、エントロピー項を用いる際はこの t の値を用いる。

表 4-1 t の値

嗜好タイプ	広食型	肉食型	ベジタリアン型	炭水化物型
t	0.057	0.053	0.008	0.038

#### 4.5. 最適化結果と考察

各種条件のもと最適化を行う。最適化は、4 嗜好タイプ(広食型、肉食型、ベジタリアン型、炭水化物型の 4 タイプ)・3 摂取パターン(群別摂取量制約なし、群別摂取量制約あり、エントロピー項あり、の 3 パターン)別の計 12 回行った。エントロピー項ありの時は、食品群別摂取量を制約条件として考慮し、エントロピー項も考慮する。群別摂取量制約ありの時は、食品群別摂取量を制約条件として考慮し、エントロピー項は考慮しない。群別摂取量制約なしの時は食品群別摂取量を制約条件として考慮はせず、エントロピー項も考慮しない。

#### 4.6. CO<sub>2</sub>排出量制約がない場合の分析

普段の生活で、生産過程や輸送過程の CO<sub>2</sub> 排出量を気にして食品を購入している消費者は少ない。そこで、本節では CO<sub>2</sub> 排出量の制約を一切考慮しない場合の最適化計算の結果を示す。CO<sub>2</sub> 排出量以外の制約条件、各嗜好パターン、摂取タイプは 4.5. と同じである。図中の赤線が現在の排出量であるが、特に広食型と肉食型で大きく増加している。ここで、輸入過程における変化を見ると図 4-3 のようになった。

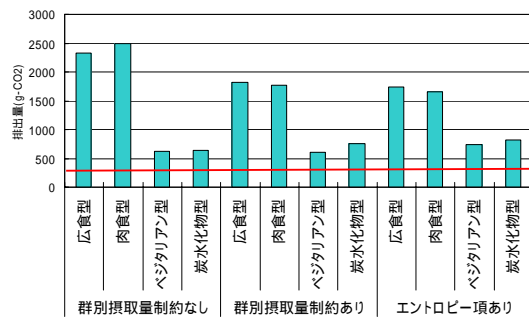


図 4-2 CO<sub>2</sub>排出量制約なし時の総CO<sub>2</sub>排出量

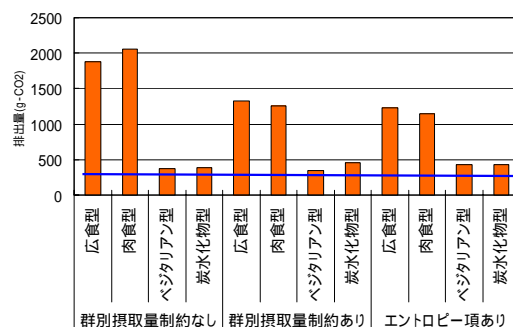


図 4-3 輸入過程のCO<sub>2</sub>排出量

輸入過程での CO<sub>2</sub> 排出量増加が総 CO<sub>2</sub> 排出量増加の主たる要因であることが分かる。嗜好タイプの違いによる影響を探るため、広食型とベジタリアン型の解を見ると(表 4-2、4-3)、広食型はベジタリアン型と比べ、アジア以外の遠方からの輸入したパンや肉の摂取が多い。CO<sub>2</sub> 排出量を全く考えずに食品を摂取する場合に、最も増加量が大きくなるのは輸入過程における CO<sub>2</sub> 排出量であり、その増加量は最大で 2054g- CO<sub>2</sub> にもなることが分かった。

表 4-2 広食型

食品種	量(g)	食品種	量(g)	食品種	量(g)
食パン	17	鶏卵	281	なし(チリ)	755
米	283	食パン(アメリカ)	17	豆腐(アメリカ)	15
さんま	70	食パン(カナダ)	17	豆腐(ブラジル)	15
大根	156	食パン(AUS)	17	豆腐(カナダ)	15
はくさい	5	ばれいしょ(中国)	80	しいたけ(中国)	10
豆腐	15	玉ねぎ(中国)	62	輸入牛肩(AUS)	33
わかめ	10	玉ねぎ(アメリカ)	62	輸入牛肩(NZL)	33
牛乳	102	玉ねぎ(NZL)	63	輸入牛肩(メキシコ)	33
ヨーグルト	98	なし(アメリカ)	781		

表 4-3 ベジタリアン型

食品種	量(g)	食品種	量(g)	食品種	量(g)
米	349	鶏卵	232	トマト(カナダ)	30
ばれいしょ	91	ばれいしょ(中国)	188	にんじん(中国)	14
キャベツ	16	キャベツ(中国)	29	にんじん(AUS)	14
大根	169	キャベツ(韓国)	29	にんじん(NZL)	14
玉ねぎ	38	キャベツ(台湾)	29	ねぎ(中国)	14
トマト	11	きゅうり(韓国)	9	ねぎ(韓国)	14
にんじん	5	大根(中国)	100	ねぎ(アメリカ)	14
はくさい	46	大根(台湾)	100	なし(アメリカ)	52
みかん	5	大根(韓国)	100	なし(チリ)	52
すいか	34	玉ねぎ(中国)	62	豆腐(アメリカ)	20
豆腐	20	玉ねぎ(アメリカ)	62	豆腐(ブラジル)	20
わかめ	10	玉ねぎ(NZL)	62	豆腐(カナダ)	20
牛乳	90	トマト(アメリカ)	30	しいたけ(中国)	25
ヨーグルト	110	トマト(韓国)	30		

## 5. CO<sub>2</sub>シャドウプライス分析

本研究では、目的関数で最大化させている「効用」をシャドウプライスにおける費用と同一のものとし、追加的に1単位排出削減をするときに失われる効用と考える。生産過程、国内輸送過程、輸入過程において、現状の排出量より5, 10, 15, 20%削減する時の削減量あたりのシャドウプライスの分布が図5-1のようになった。生産にかかるシャドウプライスが下方及び右に分布しており、削減量あたりに失われる効用が低いことを意味している。

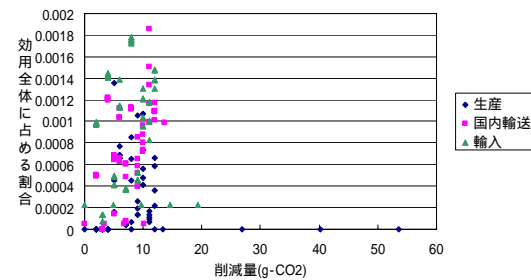


図 5-1 削減量あたりのCO<sub>2</sub>シャドウプライス

ここで、シャドウプライスをCO<sub>2</sub>削減量 1gあたりの値に換算し、有意水準 5%で分散分析を行うと、表 5-1 のようになり、生産過程のシャドウプライスが有意に低く、現在最もCO<sub>2</sub>を削減しやすいことが分かった。

表 5-1 分散分析結果

グループ	標本数	平均	P-値
生産過程	48	9.03897E-06	4.5E-11
国内輸送	48	0.000107585	
輸入過程	48	9.47553E-05	

## 6. 化学物質リスク分析

2節で作成した化学物質データベースの最大値をMとおく。対数正規分布  $L(a, b^2)$  の99.73%点の値をMとすると、 $\log M$ は正規分布  $N(\mu, \sigma^2)$  の99.73%点と等しい。正規分布  $N(\mu, \sigma^2)$  の99.73%点は3範囲にあるので

$$\mu + 3\sigma = \ln M \quad \cdots \text{式(4)}$$

とおくことが出来る。

対数正規分布の平均及び分散は

$$a = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad \cdots \text{式(5)}$$

$$b^2 = \exp(2\mu + \sigma^2)(\exp \sigma^2 - 1) \quad \cdots \text{式(6)}$$

であり、式(4), (5), (6)を解いて  $b^2$ 、つまり対数正規分布Lの分散を得ることができる。こうして得られた分散を標準偏差に直し、化学

物質ごとの上限摂取量で除することで規格化し、平均とともに、嗜好タイプ別に表すと図6-1のようになる(ベジタリアン型の場合)。

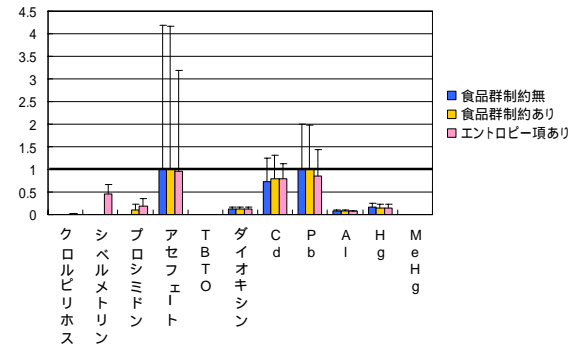


図 6-1 リスク分布(ベジタリアン型)

食品を分散摂取するほどリスク低減効果が認められた。他の3嗜好タイプでも同様の結果が得られ、傾向の強い順にベジタリアン、肉食、広食、炭水化物であった。最も基準を超える件数が多かったのは広食型であった。

## 7. 結論

本研究では、食品を摂取する際の健康負荷、環境負荷を定量的に把握した。その結果、現状では、輸送過程におけるCO<sub>2</sub>排出量が増加のインパクトが大きく、生産過程におけるCO<sub>2</sub>排出量を最も効用を損なわずに削減できることが分かった。

また、炭水化物型・ベジタリアン型の食生活は、健康・環境両面に好影響をもたらし、分散摂取でさらに改善できることが分かった。広食型、肉食型はCO<sub>2</sub>排出量が増える可能性が大きく、分散摂取で緩和でき、健康リスクも低減できることが分かった。さらに、広食型は環境・健康両面から、野菜類、いも類、穀類の摂取を分散摂取しつつ、増やす必要があることが分かった。

### 参考文献

- 1) 細貝祐太郎, 中澤裕之, 西島基弘(1998); 食品衛生化学物質データブック, 中央法規出版
- 2) 細谷憲政(2005); 食品標準成分表五訂版<2005>, 全国調理師要請施設協会
- 3) 総務省統計局(2005); 小売物価統計
- 4) 小方信子, 吉田好邦, 松橋隆治(2000); 「食品LCAによる環境調和型ライフスタイルの分析」東京大学大学院環境学専攻修士論文