

# 食と肥満と健康の調和

## —線形計画法による食生活最適化へのアプローチ—

吉 松 亮\*  
李 明 哲\*\*

### 1. はじめに

平成21年厚生労働省の人口動態統計月報年計（概数）の概況[4]によると日本における主な死因別死亡数の割合（図1）は、1位が悪性新生物（がん）、2位が心疾患（心臓病）、3位が脳血管疾患（脳卒中）、以下肺炎、不慮の事故、自殺、老衰、その他となっている。さらに、時系列で見る（図2）と、第3位の脳血管疾患（脳卒中）は近年ほぼ横ばいではあるが、1位から4位までの死亡率は増加傾向にある。

いずれの病気に関しても食生活が関係していることは明白ではあるが、特に2位と3位は、どちらも動脈硬化や高血圧、脂質異常症などが大きな危険因子であり、これらには食事や肥満が大きく関わっていると言われている。近年、日本人の間で急激に増えている糖尿病、高尿酸血症や痛風、脂肪肝、肺炎なども、肥満との関わりが深い病気である[5]。

本研究では食事をテーマに、具体的には、「食べたいものを食べつつ、肥満を防ぎ、かつ健康を保つ」という健康的なダイエット食事プランを線形計

---

\*福岡大学大学院経済学研究科

\*\*福岡大学経済学部

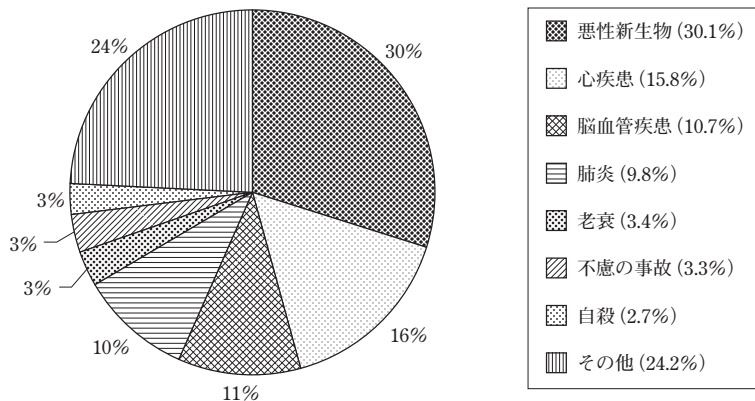


図1 平成21年 日本における主な死因別死亡数の割合

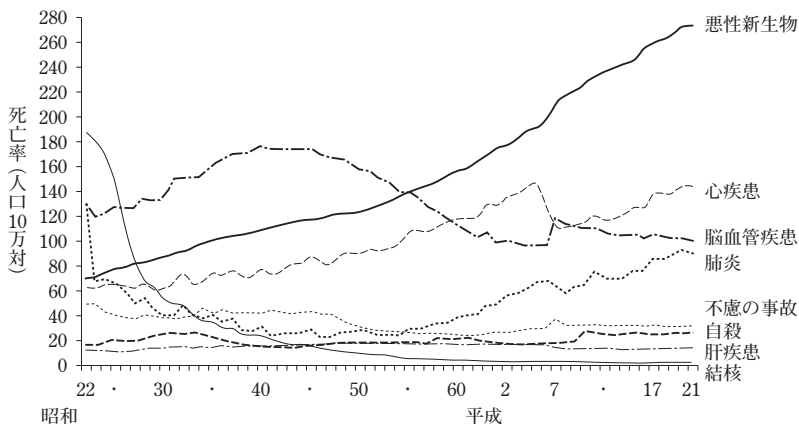


図2 主な死因別にみた死亡率の年次推移<sup>i</sup>

画法 (LP) を用いて提案することを目的とする。

以下、第2節ではまず、研究対象となるモデルについての詳細な説明を行っ

<sup>i</sup> 平成6・7年辺りの心疾患と脳血管疾患の急激な変化はデータの取り方の変更によるものである。

たうえ、問題のモデルの定式化を行う。続いて、第3～4節では提案されたLPモデルの、制約条件における各係数設定についての補足説明を加える。最後に、第5～7節では具体的な数値例を取り上げ、第8節で本研究の内容をまとめるとともに今後の展開について考える。

## 2. モデルの説明と定式化

前節でも述べたように、本研究の目的は食べたいものを食べつつ、肥満を防ぎ、かつ健康を保つことができるような健康的なダイエット食事プランを線形計画法（李[2]）によって導き出すことである。

そのために、本LPモデルではまず、食べたい食べ物を1から $n$ まで順番付けし、決定変数 $x_j$ を $j$ 番目の食べ物の分量として設ける。また、それぞれの食べ物に食べたいと思う程度を満足度 $c_j$ として、例えば1～10の数字の範囲で指定し、これを目的関数の係数として設定する。すると、ここでいう食べたいものを食べるとは目的関数 $\sum_{j=1}^n c_j x_j$ を最大化することを意味することは簡単に理解できよう。

次に、肥満を防ぐとは、食べ物のカロリー数を一日に必要なエネルギー（カロリー）数によって制限することで設定する。健康を保つとは、食べ物のカロリー数を総カロリー数の構成要素の大部分を占めている三大栄養素（たんぱく質、脂質、炭水化物）に細分化<sup>ii</sup>し、一日に必要なエネルギー（カロリー）数を各栄養素における摂取基準量によって細分化することにより、食べ物のカロリー数を制限することで設定する。さらに、日本人が特に注意しなければならない塩分<sup>iii</sup>についても同様に制約条件を加える<sup>iv</sup>。

---

ii たんぱく質 1 [g]  $\doteq$  4 [kcal]  
 脂質 1 [g]  $\doteq$  9 [kcal]  
 炭水化物 1 [g]  $\doteq$  4 [kcal]

以上の制約付き最適化問題を LP モデルとして定式化すると、式 (2.1) のようになる：

$$\begin{aligned} \text{Max } f(x) &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s.t. } & \\ & b_i \leq \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i' \quad (i=1,2,3,4) \\ & x_j \geq 0 \quad (j=1,2,\dots,n) \end{aligned} \tag{2.1}$$

ここで、

$c_j$  :  $j$  番目の食べ物における、満足度の程度

$x_j$  :  $j$  番目の食べ物の分量

$a_{ij}$  :  $j$  番目の食べ物における、 $i$  番目の栄養素のカロリー数や塩分量

$b_i$  :  $i$  番目の栄養素における、一日の最低摂取カロリー数や塩分量

$b_i'$  :  $i$  番目の栄養素における、一日の最高摂取カロリー数や塩分量である。

### 3. 一日に必要なエネルギー（カロリー）数と塩分量

本節では、第2節で定式化された LP モデルにおける  $b_i$  と  $b_i'$  を定めるために、まず一日に必要なエネルギー（カロリー）数を次式（中村[1]）によって求める。

---

<sup>iii</sup> 塩分 [g] = ナトリウム [g] × 2.54

<sup>iv</sup> 日本人は、日常的に調味料に味噌や醤油、保存食として漬物など塩分の多いものを摂取しているため、高血圧などの問題も注意しなければならない。

$$\begin{aligned}
 & \text{一日に必要なエネルギー（カロリー）数} \\
 & = \text{一日の基礎代謝量} \times \text{身体活動レベル} \\
 & = \text{体重} \times \text{基礎代謝基準値} \times \text{身体活動レベル} \quad (3.1)
 \end{aligned}$$

ここで、基礎代謝量とは体温の維持や血液循環、呼吸、消化吸収など、安静状態での生きていくために必要な最小のエネルギーのことであり、消費エネルギーの約70%を占めている（年齢や性別によって個人差がある。特に40歳を過ぎると急激に下降するため、このような要因が中年太りの一つの要因になっているのである。また、エネルギー代謝率が比較的多いのは肝臓や脳、筋肉などであり、歳をとるとともに基礎代謝が低下する理由の一つは、筋肉が衰えて減少するからである。つまり、同じ体重でも脂肪が少なく筋肉質の人ほど基礎代謝が高くなる。女性が男性よりも基礎代謝が低いのは、体脂肪が多く、筋肉が少ないためである）。基礎代謝基準値（表1）は、1日体重1 [kg] 当たりの基礎代謝量の目安を指す。また、身体活動レベル（表2）は、低い [1.50]、普通 [1.75]、高い [2.00] の3種類に分けられる。

次に、本モデルにおける、一日の最低摂取カロリー数と一日の最高摂取カロリー数を次のように定義する。

$$\begin{aligned}
 & \text{一日の最低摂取カロリー数} \\
 & = \text{標準体重}^v \times \text{基礎代謝基準値} \times \text{身体活動レベル} \quad (3.2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{一日の最高摂取カロリー数} \\
 & = (\text{現在の体重} - w)^{vi} \times \text{基礎代謝基準値} \times \text{身体活動レベル} \quad (3.3)
 \end{aligned}$$

<sup>v</sup> 標準体重 [kg] = 身長 [m] × 身長 [m] × 22

<sup>vi</sup>  $0 < w$  [kg] ≤ (現在の体重 - 標準体重) の間で  $w$  を任意に設定する。

表1 性、年齢階層別基礎代謝基準値

(一日体重1 [kg] 当たりの基礎代謝量)

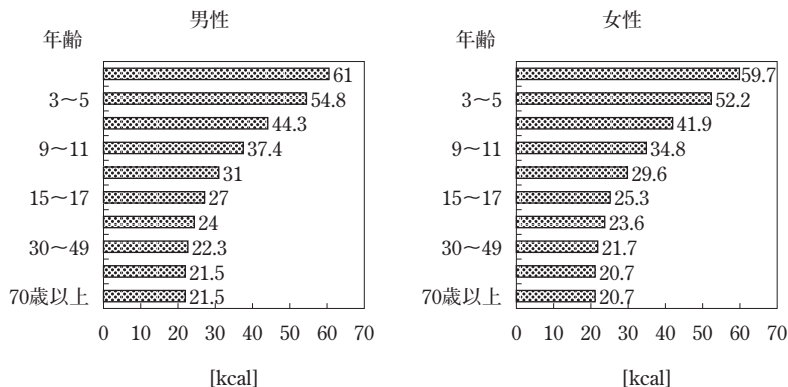


表2 身体活動レベルと指数

(15~69歳における各身体活動レベルの活動内容)

低い [1.50]	普通 [1.75]	高い [2.00]
生活の大部分が座っていて静的な活動が中心。	座位中心の仕事だが、職場での移動や立位の通勤、家事、軽スポーツなどのいずれかを含む。	移動や立位の多い仕事への従事者。スポーツなどの運動習慣がある。

ここでは、一日の最低摂取カロリー数をダイエットの目標とする標準体重に設定し、一日の最高摂取カロリー数はダイエット実現可能な直近目標体重に設定することにする。明らかに、式 (3.3) の  $w$  の値が大きくなるにつれ、本モデルによる最適な食事プランの提案は、ダイエットを難しくしていくことを意味する。そこで、途中で挫折を防ぐ意味でも本モデルでは、比較的小さい  $w$  の値をとることが現実的に妥当であり、また定期的に現在の体重を測定し、その値に基づいた条件式を作れば、無理なく痩せることができると考えられる。

表3 成人における塩分の適正摂取量

成人男性	成人女性
10 [g] 未満	8 [g] 未満

最後に、本研究に使われる、一日に必要な塩分量を表3に示しておこう。塩分の一日の推定平均必要量は1.5 [g] であるが、日本人の通常の食生活ではそれ以下になることはないので、本研究では最低摂取量を0と設定する。塩分の過剰な摂取は高血圧などの原因にもなるため、少ない量ほど健康的である。

#### 4. 各栄養素における摂取カロリー数の適正配分比率

本節では、第2節で定式化されたモデルにおける  $b_i$  と  $b'_i$  を定めるために、引き続き各栄養素における摂取カロリー数の適正配分比率について説明する。

中村[1]によると、一日におけるたんぱく質、脂質、炭水化物の摂取基準は表4に示している通りである。そのうち、理想的な、たんぱく質 (P)、脂質 (F)、炭水化物 (C) の適正比率は P13%、F25%、C62%である。これを PFC 比という。

本研究では各栄養素における、一日の適正摂取カロリー数の計算にもこの PFC 比の概念を用いることにする。

表4 たんぱく質、脂質、炭水化物の一日の摂取基準

	一日の摂取基準	
たんぱく質	成人男性 60 [g]	成人女性 50 [g]
脂質	30~69歳 総エネルギーに占めるエネルギー比	20~25%未満
炭水化物	成人 総エネルギーに占めるエネルギー比	50~70%未満

## 5. 吉松の一日における各栄養素の適正摂取カロリー数と塩分量

本節では筆者のうちの吉松のデータをもとに、一日における各栄養素の適正摂取カロリー数を計算してみる。

まず、第3節の内容をもとに吉松の、一日の最低摂取カロリー数と一日の最高摂取カロリー数を計算すると次のようになる。

表5 吉松のデータ

(1)	性別	男
(2)	年齢	24 [歳]
(3)	身長	178 [cm]
(4)	現在の体重 <sup>vii</sup> - $w^{\text{viii}}$ (kg)	79.0 [kg]
(5)	標準体重	69.7 [kg]
(6)	基礎代謝基準値	24.0 [kcal/kg]
(7)	身体活動レベル	低い [1.50]

$$\text{一日の最低摂取カロリー数} = (5) \times (6) \times (7) = 2509.2 \text{ [kcal]} \quad (5.1)$$

$$\text{一日の最高摂取カロリー数} = (4) \times (6) \times (7) = 2844.0 \text{ [kcal]} \quad (5.2)$$

次に、一日の最低摂取カロリー数と一日の最高摂取カロリー数に PFC 比をかけると表6のようになる。

次節から、吉松のある日の夕食についての数値例を取り上げることにする。これは、一般的に一日のうちで一番食のバラエティが豊富かつ高カロリーな食事をしがちなのが夕食であり、また朝食や昼食と違い、夕食後消費するカ

<sup>vii</sup> 吉松の現在の体重は70 [kg] (ほぼ標準体重) であるので、ここでは BMI 値で肥満といわれる値がでる体重80 [kg] と仮定して計算する。BMI (Body Mass Index) とは、体重 [kg] を身長 [m] の二乗で割って得た数値で、日本人では値が22のときに最も病気になるにいとされ、25以上が肥満とされる (中村[1])。

<sup>viii</sup> ここでは  $w = 1$  [kg] と設定する。



表6 吉松の一日の各栄養成分における適正摂取カロリー数と塩分量

栄養成分	一日の最低摂取 カロリー数 [kcal]	食べ物の種類 [kcal]			一日の最高摂取 カロリー数 [kcal]
		1	...	n	
たんぱく質	326.2	...	:	...	369.7
脂質	627.3	...	:	...	711
炭水化物	1555.7	...	:	...	1763.3
塩分 [g]	0	...	:	...	10

カロリーも少ないので、一日のうちで一番注意しなければならない食事であるからである。

## 6. ある日の夕食における各栄養素の適正摂取カロリー数と塩分量

吉松のある日の夕食の適正摂取カロリー数と塩分量を求めるために、前節で求められた一日における各栄養成分の適正摂取カロリー数と塩分量から、朝食と昼食の各栄養成分におけるカロリー数と塩分量を引く必要がある。

吉松が食べた朝食と昼食の栄養成分は以下（表7）に示す<sup>ix</sup>。

表7 吉松の朝食と昼食における食べ物の栄養成分

	バナナ（朝食）	幕の内弁当（昼食）
たんぱく質 [g]	1.1	30.2
脂質 [g]	0.2	20.2
炭水化物 [g]	22.5	124.4
ナトリウム [g]	0	2.057

表7のたんぱく質、脂質、炭水化物のグラム数をカロリー数に、ナトリウム量を塩分量に変換する（脚注ii、iiiを参照）と、次のようになる。

<sup>ix</sup> 各食べ物の栄養成分表は[3]を参照する。

表8 朝食と昼食の栄養成分をカロリー数、塩分量へ変換

	バナナ（朝食）	暮の内弁当（昼食）
たんぱく質 [kcal]	4.4	120.8
脂質 [kcal]	1.8	181.8
炭水化物 [kcal]	90	497.6
塩分 [g]	0	5.2

すると、求めたい夕食の、各栄養成分における適正摂取カロリー数と塩分量は表9のようになる。

表9 吉松の夕食の、各栄養成分における適正摂取カロリー数と塩分量

栄養成分	夕食の最低摂取 カロリー数 [kcal]	食べ物の種類 [kcal]			夕食の最高摂取 カロリー数 [kcal]
		1	...	n	
たんぱく質	201	...	...	...	244.5
脂質	443.7	...	...	...	527.4
炭水化物	968.1	...	...	...	1175.7
塩分 [g]	0	...	...	...	4.8

## 7. 数値例

本節では、表9のデータを第2節で提案されたLPモデルに適用し、その解に基づいて吉松のある日の夕食における、最適な食事プランの提供を試みる。

例えば、吉松のある日の夕食では和食を食べるとし、その候補となっている食べ物は、1：ごはん、2：味噌汁、3：焼き鮭、4：とんかつ、5：肉じゃが、6：ほうれん草のおひたし、7：納豆、8：マグロの刺身、であるとしよう。表10にはこれらの食べ物（1人前）に含まれている、各栄養成分のカロリー数と塩分量、およびそれぞれの食べ物に対する、2種類の満足度

パターンを取り上げている。表10でも、カロリー数や塩分量に関するデータは前節と同じようにを脚注 ii、iiiを参照し、各食べ物のたんぱく質、脂質、炭水化物のグラム数をカロリー数に、ナトリウム量を塩分量に変換したものである。

表10 各食べ物の栄養成分におけるカロリー数と2種類の満足度パターン

栄養成分と満足度	食べ物の種類 [kcal]							
	1	2	3	4	5	6	7	8
たんぱく質	15.2	15.6	71.6	127.6	35.2	12.4	35.6	70.4
脂質	4.5	17.1	80.1	427.5	211.5	3.6	47.7	8.1
炭水化物	222.8	14.8	0.4	53.2	128	16	30.8	4
塩分 [g]	0	1.5	1.5	1.6	2.1	1.1	1	0.8
満足度①	1	1	1	1	1	1	1	1
満足度②	1	3	9	8	6	2	2	9

表9と表10のデータに基づいて線形計画問題（2.1）を解くと、表11のような結果が得られる。

表11 2種類の満足度パターンに対する最適な食事プラン

メニュー	食事プラン①	食事プラン②
1（ごはん）	4.8 [人前]	3.4 [人前]
2（味噌汁）	0	0
3（焼き鮭）	0	0
4（とんかつ）	0.9 [人前]	0.2 [人前]
5（肉じゃが <sup>g</sup> ）	0	1.5 [人前]
6（ほうれん草のおひたし）	2.2 [人前]	0
7（納豆）	1.0 [人前]	0
8（まぐろの刺身）	0	1.6 [人前]

## 8. まとめ

本論文では近年深刻な問題となっている肥満（特に先進国）をテーマに取り上げ、食と健康と肥満の調和を研究目的とし、線形計画法による食生活最適化アプローチを試みた。具体的には、健康に必要な三大栄養素（たんぱく質、脂質、炭水化物）と塩分量の適正な摂取基準量を制約条件に（すなわち健康を保つことと肥満を防ぐことを考え）、食べ物の総合的満足度を最大にする（すなわち食べたいものをできるだけ食べられる）ような問題を LP モデルとして定式化し、また、数値例を通じてこの種のモデルによる最適な食事プランの提案を行った。

数値例の結果から例えば、最適食事プランではご飯の分量が常識を欠ける結果になるなどの問題点がみられる。これは、一つは PFC 比からも分かるように炭水化物の最低摂取カロリー数が高いために生じたものであるが、もう一つの理由は、吉松が食べた朝食のメニューがバナナ一本であったために、夕食の炭水化物の最低摂取カロリー数の値が高くなったためである。このような場合、炭水化物は体内で主にエネルギー源として利用されており、エネルギーが不足すると、代わりに脂質（体脂肪）がエネルギー源として利用されるので、太っている人に関しては、炭水化物の下限制約条件を逆に付けない方が妥当であると思われる。また、本研究では、制約条件にビタミン、ミネラル、食物繊維などの栄養成分に関する制約も入れていない。今後の課題としては、これらの要素を取り入れた拡張、つまりより厳密な栄養学の視点に立ったモデル解析と、満足度に対するパラメータの、より厳密な同定に基づいた数値計算などが必要であると考えられる。

しかしながら、本論文で試みた、この種の問題への LP 手法の適用の考え方は、近年の情報化社会の著しい発展と IT 商品の日常生活への深い浸透により、実現可能なシステムとしてより現実味をもっており、その意味では十



携帯電話での  
QRコードの読み取り

メニュー	
カルビ	QRコード
コース	QRコード
ハラミ	QRコード
ホルモン	QRコード
タン	QRコード
ご飯	QRコード
スープ	QRコード
デザート	QRコード

図3 (例) 焼肉店でのメニューの選び方

分意義のあるものと考えられる。例えば、コンビニやスーパー、飲食業ではファミリーレストランやバイキングなどで、食品に栄養成分のQRコードを付け、それを携帯電話で読み取り（図3）、その場で候補となっている食べ物をこのような最適化ツールを用いて選択していくようなシステムの構築と商品の開発は実に面白い発想である。

### 参考文献・資料

- [1] 中村丁次（2005）：『栄養の基礎がわかる図解事典』、成美堂出版、p. 239。
- [2] 李明哲（2004）：『数理モデル解析の基礎』、ムイスリ出版、pp. 33-67。
- [3] <http://www.eatsmart.jp/do/caloriecheck/index>  
（株式会社 Eat Smart 「カロリーチェック」）
- [4] <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/seikatu/himan/reason.html>  
（厚生労働省「平成21年人口動態統計月報年計（概数）の概況」）
- [5] <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/geppo/nengai09/kekka3.html>  
（厚生労働省「肥満ページへようこそ」）