

# Discussion Paper Series

---

---

Center for Social and Environmental Systems Research, NIES

No. 2014-02

## 将来の飢餓リスクに関する要因分解分析手法

長谷川知子<sup>†\*</sup>

藤森真一郎<sup>†</sup>

高橋潔<sup>†</sup>

増井利彦<sup>†</sup>

<sup>†</sup>国立環境研究所 社会環境システム研究センター  
〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

\*hasegawa.tomoko@nies.go.jp

2014年2月



No. 2014-02

## **Methodology for decomposition analysis of future risk of hunger**

Tomoko Hasegawa<sup>†\*</sup>  
Shinichiro Fujimori<sup>†</sup>  
Kiyoshi Takahashi<sup>†</sup>  
Toshihiko Masui<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Center for Social and Environmental Systems Research, National Institute for Environmental Studies,  
16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506, Japan

\* hasegawa.tomoko@nies.go.jp

February 2014

## 概要

この資料は、将来の栄養不足人口に影響をもたらす要因を分析する手法について記したものである。第 1 章で栄養不足人口の算定方法を示し、第 2 章で栄養不足人口に影響をもたらす要因の分析手法を示す。

## Abstract

This document describes a methodology for decomposition analysis of future risk of hunger conducted by Hasegawa et al. (in prep, in Japanese). The paper cites this document as supporting information. The first chapter describes a methodology for calculation of population at risk of hunger and the second chapter describes a methodology for decomposition analysis of future risk of hunger.

注) この資料は、同著者による『共通社会経済シナリオ SSP を用いた 21 世紀の飢餓リスクシナリオの開発』(土木学会論文集 G(環境), 投稿中)で行った将来の飢餓リスクに関する要因分解分析の手法を取りまとめたものである。本資料を、同論文で補足資料として引用する。

## 1. 栄養不足人口の推計方法

栄養不足とは、食料摂取エネルギー（カロリー）量が最低必要エネルギー量を下回る状態が年を通じて継続していること<sup>1</sup>を指し、極端現象などの短期的な事象に起因する一時的なエネルギー不足は対象としない。

栄養不足人口は総人口と栄養不足人口率の積として(Eq.1)のように表せる。

$$Risk_t = POP_t \cdot PoU_t \quad (Eq.1)$$

ここで、

$t$ : 年次

$Risk_t$ : 栄養不足人口[人]

$POP_t$ : 総人口[人]

$PoU_t$ :  $t$ 年の栄養不足人口率[-]

FAO<sup>2</sup>によると、栄養不足人口率は(Eq.2)～(Eq.4)のように表せる。この方法では、栄養不足人口率は平均摂取エネルギー量( $cal$ )、最低必要エネルギー量( $M$ )、食料分配の公平性を表す指標( $CV$ )の3つのパラメータで決定される。一国内の食料分配は対数正規分布に従うという仮定に基づき、その分布の下端で最低必要エネルギー量( $M$ )に満たない人口の割合を栄養不足人口率とする。その対数正規分布は平均  $\mu_t$  と変動  $\sigma_t$  の2つのパラメータをもつ(Eq.2)。ここでは、その2つのパラメータ  $\mu_t, \sigma_t$  は国内平均一人一日当たり平均摂取エネルギー量( $cal$ )と国内の食料エネルギー消費分布の変動(Coefficient of Variation of the inter-national distribution of dietary energy consumption,  $CV$ )によって(Eq.3), (Eq.4)のように表せる。

平均摂取エネルギー量( $cal$ )は CGE モデルから出力された一人当たり食料消費量(トン)をカロリーに換算した値を用いる。トンからカロリーへ変換する係数には、100g 当たりのカロリー<sup>3</sup>を用いる。集約財の係数は、財別 100g 当たりのカロリー<sup>3</sup>を財別生産量<sup>4</sup>で重みづけして算出した。このとき、不可食部率<sup>3</sup>を用いて可食部のみを含む。

$CV$  は国内の食料分配の公平性を表す指標として、FAO の家計調査により観測されている食料安全保障に関する指標の一つである。 $CV$  は 0~1 の値をとり、値が小さいほど食料が公平に分配されていること、大きいほどその逆を表す。FAO の国別  $CV$  値を国別人口で重みづけして対象国・地域に集約した値を用いる。

$$PoU_t = \Phi \left( \frac{\log M_t - \mu(cal_t, \sigma_t)}{\sigma_t} \right) \quad (Eq.2)$$

$$\mu(cal_t, \sigma_t) = \log_e cal_t - \frac{\sigma_t^2}{2} \quad (Eq.3)$$

$$\sigma_t = \left[ \log_e (CV^2 + 1) \right]^{0.5} \quad (Eq.4)$$

ここで、

$M_t$ :  $t$ 年の国内平均一人一日当たり最低必要エネルギー量

$CV_t$ :  $t$ 年の国内食料エネルギー分布の変動

$\Phi$ : 標準累積正規分布

$cal_t$ :  $t$ 年の国内平均一人一日当たり食料摂取エネルギー量

次に、最低必要エネルギー量( $M$ )は、(Eq.5), (Eq.6)から基準年の国平均の最低必要エネルギー

ギー量<sup>5</sup>と性別年齢別調整係数(国平均を 1.0 とする, 表-1)<sup>6</sup>、各年の性別年齢別人口構成<sup>7</sup>から年、国・地域ごとに算定する。

$$M_t = Mbase \cdot \frac{MER_t}{MERbase} \quad (\text{Eq.5})$$

$$MER_t = \frac{\sum_{i,j} RMER_{i,j} \cdot Pclass_{i,j,t}}{\sum_{i,j} Pclass_{i,j,t}} \quad (\text{Eq.6})$$

ここで、

*i*: 年齢

*j*: 性別

*Mbase*: 基準年の国内平均一人一日当たり最低必要エネルギー量

*MER<sub>t</sub>*: *t* 年の国内平均一人一日当たり最低必要エネルギー量調整係数

*MER<sub>base</sub>*: 基準年の国内平均一人一日当たり最低必要エネルギー量調整係数

*RMER<sub>i,j</sub>*: 性別(*j*)年齢別(*i*)一人一日当たり最低必要エネルギー量調整係数

*Pclass<sub>i,j,t</sub>*: *t* 年の性別(*j*)年齢別(*i*)人口

表-1 性別年齢別一人一日当たり最低必要エネルギー量調整係数(*RMER<sub>i,j</sub>*)

年齢(歳)	男性	女性
0-4	0.46	0.59
5-9	0.75	0.97
10-14	0.97	1.13
15-19	1.02	1.05
20-39	1.00	1.00
40-40	0.95	0.95
50-59	0.90	0.90
60-69	0.80	0.80
70+	0.70	0.70

注) FAO/WHO(1973), Table 26を基に作成した。

## 2. 要因分解分析手法

次に要因分解分析手法について示す。

(Eq.2)を展開し、栄養不足人口に影響をもたらす複数の要因に分解する。

(Eq.2)を変数  $\sigma$ , *cal* で偏微分すると(Eq.7)となる。

$$dPoU_t = \frac{\partial \Phi_t}{\partial \sigma_t} d\sigma_t + \frac{\partial \Phi_t}{\partial cal_t} dcal_t \quad (\text{Eq.7})$$

一方、(Eq.1)の両辺を微分し *Risk* で除すると、(Eq.8)のように展開できる。

$$\begin{aligned} dRisk_t &= \frac{\partial Risk_t}{\partial POP_t} dPOP_t + \frac{\partial Risk_t}{\partial PoU_t} dPoU_t \\ &= PoU_t \cdot dPOP_t + POP_t \cdot dPoU_t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{dRisk_t}{Risk_t} &= \frac{PoU_t \cdot dPOP_t + POP_t \cdot dPoU_t}{PoU_t \cdot POP_t} \\
&= \frac{dPOP_t}{POP_t} + \frac{dPoU_t}{PoU_t} \\
&= \frac{dPOP_t}{POP_t} + \frac{1}{PoU_t} \cdot \left\{ \frac{\partial \Phi_t}{\partial \sigma_t} d\sigma_t + \frac{\partial \Phi_t}{\partial cal_t} dcal_t \right\} + \varepsilon_t \quad (\text{Eq.7より}) \\
&= IPOP_t + \frac{1}{PoU_t} \cdot (ICV_t + ICAL_t) + \varepsilon_t \quad (\text{Eq.8})
\end{aligned}$$

ここで、

$IPOP_t$ :  $t$ 年の国内の総人口変化がもたらす栄養不足人口の変化 [-]

$ICV_t$ :  $t$ 年の国内の食料分配の公平性( $CV_t$ )の変化がもたらす栄養不足人口の変化 [-]

$ICAL_t$ :  $t$ 年の国内平均一人一日当たり食料摂取エネルギー量( $cal_t$ )の変化がもたらす栄養不足人口の変化 [-]

$\varepsilon_t$ :  $t$ 年の誤差項 [-]

(Eq.8)の両辺に  $Risk$  を乗じて、

$$\begin{aligned}
dRisk_t &= Risk_t \cdot IPOP_t + \frac{Risk_t}{PoU_t} \cdot ICV_t + \frac{Risk_t}{PoU_t} \cdot ICAL_t + \varepsilon_t \\
&= FaPOP_t + FaCV_t + FaCAL_t + \varepsilon_t \quad (\text{Eq.9})
\end{aligned}$$

ただし、

$$FaPOP_t = Risk_t \cdot IPOP_t$$

$$FaCV_t = \frac{Risk_t}{PoU_t} \cdot ICV_t$$

$$FaCAL_t = \frac{Risk_t}{PoU_t} \cdot ICAL_t$$

とする。

ここで、

$dRisk_t$ :  $t$ 年の栄養不足人口の変化 [人/年]

$FaPOP_t$ :  $t$ 年の総人口変化がもたらす栄養不足人口の変化 [人/年]

$FaCV_t$ :  $t$ 年の食料分配の公平性( $CV_t$ )の変化がもたらす栄養不足人口の変化 [人/年]

$FaCAL_t$ :  $t$ 年の平均一人一日当たり食料摂取エネルギー量( $cal_t$ )の変化がもたらす栄養不足人口の変化 [人/年]

(Eq.9)は  $t$ 年における栄養不足人口( $Risk_t$ )の変化は各因子(人口、食料分配の公平性、一人当たり食料摂取エネルギー量)の変化による影響と誤差項に分解できることを表す。これを基準年からの累積として (Eq.10)のように表すことができる。

$$\begin{aligned}
Risk_t &= Risk_{tbase} + (dRisk_{tbase+1} + \dots + dRisk_t) \\
&= Risk_{tbase} + \sum_{tbase < t' \leq t} dRisk_{t'} \quad (\text{Eq.10})
\end{aligned}$$

したがって、基準年から  $t$ 年までの栄養不足人口の変化は全因子の影響の累積の和(Eq.11)

として表せる。

$$\begin{aligned}
Risk_t - Risk_{tbase} &= \sum_{tbase < t' \leq t} dRisk_{t'} \\
&= \sum_{tbase < t' \leq t} (FaPOP_{t'} + FaCV_{t'} + FaCAL_{t'}) + \varepsilon_t \\
&= FPOP_t + FCV_t + FCAL_t + \varepsilon_t
\end{aligned} \tag{Eq.11}$$

ただし、

$$FPOP_t = \sum_{tbase < t' \leq t} (FaPOP_{t'})$$

$$FCV_t = \sum_{tbase < t' \leq t} (FaCV_{t'})$$

$$FCAL_t = \sum_{tbase < t' \leq t} (FaCAL_{t'})$$

とする。

ここで、

$FPOP_t$ : 基準年から  $t$  年までの総人口変化がもたらす栄養不足人口の累積変化 [人]

$FCV_t$ : 基準年から  $t$  年までの食料分配の公平性( $CV_t$ )の変化がもたらす栄養不足人口の累積変化[人/年]

$FCAL_t$ : 基準年から  $t$  年までの平均一人一日当たり食料摂取エネルギー量( $cal_t$ )の変化がもたらす栄養不足人口の累積変化[人]

以上から、基準年から  $t$  年までの各因子の変化がもたらす栄養不足人口への影響は、

$$FPOP_t = \sum_{tbase < t' \leq t} (FaPOP_{t'}) = \sum_{tbase < t' \leq t} (Risk_{t'} \cdot IPOP_{t'}) \tag{Eq.12}$$

$$FCV_t = \sum_{tbase < t' \leq t} (FaCV_{t'}) = \sum_{tbase < t' \leq t} \left( \frac{Risk_{t'}}{PoU_{t'}} \cdot ICV_{t'} \right) \tag{Eq.13}$$

$$FCAL_t = \sum_{tbase < t' \leq t} (FaCAL_{t'}) = \sum_{tbase < t' \leq t} \left( \frac{Risk_{t'}}{PoU_{t'}} \cdot ICAL_{t'} \right) \tag{Eq.14}$$

と表せる。

次に、 $FPOP$ ,  $FCV$ ,  $FCAL$  の算定に必要な  $IPOP$ ,  $ICV$ ,  $ICAL$  の算出方法を示す。

まず、人口の変化による栄養不足人口への影響( $IPOP$ )は(Eq.15)で算出できる。

$$IPOP_t = \frac{\partial POP_t}{POP_t} = \frac{(POP_{t+1} - POP_t)}{POP_t} \tag{Eq.15}$$

次に、食料分配の公平性の変化による栄養不足人口への影響( $ICV$ )は、近きを仮定することにより、(Eq.16)によって算出できる。

$$\begin{aligned}
ICV_t &= \frac{\partial \Phi_t}{\partial \sigma_t} d\sigma_t \approx \partial \Phi_t = \Phi_t(\sigma_{t+1}) - \Phi_t(\sigma_t) \\
&= \Phi\left(\frac{\log(M_t) - \mu(cal_t, \sigma_{t+1})}{\sigma_{t+1}}\right) - \Phi\left(\frac{\log(M_t) - \mu(cal_t, \sigma_t)}{\sigma_t}\right)
\end{aligned} \tag{Eq.16}$$

最後に、一人一日当たり食料摂取エネルギー量による効果(*ICAL*)の算出方法を示す。一人当たり食料消費エネルギー量は所得と所得弾力性、価格と価格弾力性から(Eq.17)によって算出できることから、(Eq.18)のように所得変化による効果(*IY*)と価格変化による効果(*IPC*)に分けられる。

$$cal_t = \sum_i cali_{t,i} = \sum_i \left( Y_t^{\alpha_{t,i}} \cdot P_{t,i}^{\beta_{t,i}} \cdot \gamma_{t,i} \right) \tag{Eq.17}$$

$$ICAL_t = \frac{\partial \Phi_t}{\partial cal_t} dcal = \frac{\partial \Phi_t}{\partial Y_t} dY_t + \sum_i \frac{\partial \Phi_t}{\partial P_{t,i}} dP_{t,i} = IY_t + \sum_i IPC_{t,i}, \tag{Eq.18}$$

ただし、

$$IY_t = \frac{\partial \Phi_t}{\partial Y_t} dY_t$$

$$IPC_{t,i} = \frac{\partial \Phi_t}{\partial P_{t,i}} dP_{t,i}$$

とする。

ここで、

$cali_{t,i}$ :  $t$ 年, 財  $i$  由来の平均一人一日当たり食料摂取エネルギー量

$Y_t$ :  $t$ 年の所得

$P_{t,i}$ :  $t$ 年, 財  $i$  の消費者価格

$\alpha_{t,i}$ :  $t$ 年, 財  $i$  の消費の所得弾力性

$\beta_{t,i}$ :  $t$ 年, 財  $i$  の消費の価格弾力性

$\gamma_{t,i}$ :  $t$ 年, 財  $i$  の定数項

$IY_t$ :  $t$ 年の所得変化がもたらす栄養不足人口の変化 [-]

$IPC_{t,i}$ :  $t$ 年, 財  $i$  の消費者価格の変化がもたらす栄養不足人口の変化 [-]

まず所得変化による効果(*IY*)は(Eq.19)のように変換できる。ここで、所得弾力性は財  $i$  ごとに異なるため、財別摂取エネルギー量の変化に対する所得変化による効果(*IYC*)に案分する。

$$\begin{aligned}
IY_t &= \frac{\partial \Phi_t}{\partial Y_t} dY_t = \frac{\partial \Phi_t}{\partial cal_t} \cdot \frac{\partial cal_t}{\partial Y_t} dY_t \\
&= \frac{\partial \Phi_t}{\partial cal_t} \cdot dY_t \cdot \sum_i \left( \frac{\partial cali_{t,i}}{\partial Y_t} \right) = \frac{\partial \Phi_t}{\partial cal_t} \cdot dY_t \cdot \sum_i IYC_{t,i}
\end{aligned} \tag{Eq.19}$$

ただし、 $IYC_{t,i} = \frac{\partial cali_{t,i}}{\partial Y_t}$  とする。

$IYC_{t,i}$ :  $t$ 年, 所得変化がもたらす財  $i$  由来の食料摂取エネルギー量の変化 [-]

ここで、 $\frac{\partial \Phi_t}{\partial cal_t} \cdot dY_t$ ,  $IYC_{t,i}$  はそれぞれ(Eq.20), (Eq.21)のように表せる。



$$\frac{\partial \Phi_t}{\partial cal_t} \cdot dY_t = \frac{\Phi(cal_{t+1}) - \Phi(cal_t)}{cal_{t+1} - cal_t} \cdot (Y_{t+1} - Y_t) \quad (\text{Eq.20})$$

$$cal_{t,i} = Y_t^{\alpha_{t,i}} \cdot P_{t,i}^{\beta_{t,i}} \cdot \gamma_{t,i} \text{ より、}$$

$$IYC_{t,i} = \frac{\partial cal_{t,i}}{\partial Y_t} = \alpha_{t,i} \cdot Y_t^{\alpha_{t,i}-1} \cdot P_{t,i}^{\beta_{t,i}} \cdot \gamma_{t,i} = \alpha_{t,i} \cdot \frac{cal_{t,i}}{Y_t} \quad (\text{Eq.21})$$

(Eq.20), (Eq.21)を(Eq.19)に代入して、 $IY_t$ は(Eq.22)で算出できる。

$$\begin{aligned} IY_t &= \frac{\Phi(cal_{t+1}) - \Phi(cal_t)}{cal_{t+1} - cal_t} \cdot (Y_{t+1} - Y_t) \cdot \sum_i \left( \alpha_{t,i} \cdot \frac{cal_{t,i}}{Y_t} \right) \\ &= \frac{\Phi\left(\frac{\log(M_{t+0.5}) - \mu(cal_{t+1}, \sigma_{t+0.5})}{\sigma_{t+0.5}}\right) - \Phi\left(\frac{\log(M_{t+0.5}) - \mu(cal_t, \sigma_{t+0.5})}{\sigma_{t+0.5}}\right)}{cal_{t+1} - cal_t} \\ &\quad \cdot (Y_{t+1} - Y_t) \cdot \sum_i \left( \alpha_{t,i} \cdot \frac{cal_{t,i}}{Y_t} \right) \end{aligned} \quad (\text{Eq.22})$$

$$\text{ただし、 } \sigma_{t+0.5} = \frac{\sigma_{t+1} + \sigma_t}{2}, M_{t+0.5} = \frac{M_{t+1} + M_t}{2} \text{ とする。}$$

一方、価格変化による効果( $IPC$ )は、(Eq.23)のように変換できる。

$$IPC_{t,i} = \frac{\partial \Phi_t}{\partial P_{t,i}} \cdot dP_{t,i} = \frac{\partial \Phi_t}{\partial cal_{t,i}} \cdot \frac{\partial cal_{t,i}}{\partial P_{t,i}} \cdot dP_{t,i} \quad (\text{Eq.23})$$

ここで、 $\frac{\partial \Phi_t}{\partial cal_{t,i}} \cdot dP_{t,i}$ ,  $\frac{\partial cal_{t,i}}{\partial P_{t,i}}$  はそれぞれ(Eq.24), (Eq.25)のように表せる。

$$\frac{\partial \Phi_t}{\partial cal_{t,i}} \cdot dP_{t,i} = \frac{\Phi(cal_{t+1,i}) - \Phi(cal_{t,i})}{cal_{t+1,i} - cal_{t,i}} \cdot (P_{t+1,i} - P_{t,i}) \quad (\text{Eq.24})$$

$$cal_{t,i} = Y_t^{\alpha_{t,i}} \cdot P_{t,i}^{\beta_{t,i}} \cdot \gamma_{t,i} \text{ より、}$$

$$\frac{\partial cal_{t,i}}{\partial P_{t,i}} = \beta_{t,i} \cdot Y_t^{\alpha_{t,i}} \cdot P_{t,i}^{\beta_{t,i}-1} \cdot \gamma_{t,i} = \beta_{t,i} \cdot \frac{cal_{t,i}}{P_{t,i}} \quad (\text{Eq.25})$$

(Eq.24), (Eq.25)を(Eq.23)に代入して、 $IPC$ は(Eq.26)で算定できる。

$$\begin{aligned} IPC_{t,i} &= \frac{\Phi(cal_{t+1,i}) - \Phi(cal_{t,i})}{cal_{t+1,i} - cal_{t,i}} \cdot (P_{t+1,i} - P_{t,i}) \cdot \beta_{t,i} \cdot \frac{cal_{t,i}}{P_{t,i}} \\ &= \frac{\left[ \Phi\left(\frac{\log M_{t+0.5} - \mu\left(cal_{t+1,i} + \sum_{i', i' \neq i} cal_{t,i'}, \sigma_{t+0.5}\right)}{\sigma_{t+0.5}}\right) - \Phi\left(\frac{\log M_{t+0.5} - \mu\left(\sum_i cal_{t,i}, \sigma_{t+0.5}\right)}{\sigma_{t+0.5}}\right) \right]}{cal_{t+1,i} - cal_{t,i}} \cdot (P_{t+1,i} - P_{t,i}) \cdot \beta_{t,i} \cdot \frac{cal_{t,i}}{P_{t,i}} \end{aligned} \quad (\text{Eq.26})$$

(Eq.22)と(Eq.26)を(Eq.18)に代入することで、一人一日当たり食料摂取エネルギー量による効果(ICAL)が算定できる。

以上から、人口変化による栄養不足人口の基準年からの累積変化(FPOP)は(Eq.15)を(Eq.12)に代入することで算出できる。

食料分配の公平性の変化による栄養不足人口の基準年からの累積変化(FCV)は(Eq.16)を(Eq.13)に代入することで算出できる。

一人一日当たり食料摂取エネルギー量の変化による栄養不足人口の基準年からの累積変化(FCAL)は(Eq.18)を(Eq.14)に代入することで算出できる。

最後に、誤差項( $\varepsilon_t$ )は、(Eq.27)で算出できる。

$$\varepsilon_t = (Risk_t - Risk_{tbase}) - (FPOP_t + FCV_t + FCAL_t) \quad (\text{Eq.27})$$

以上

## 参考文献

1. FAO, *The State of Food Insecurity in the World 2012 Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition*. Rome, Italy, 2012.
2. FAO *Methodology for the measurement of food deprivation updating the minimum dietary energy requirements*; FAO: Rome, 2008.
3. FAO, Technical Conversion Factors for Agricultural Commodities. In 2007.
4. FAO, FAOSTAT. In 2007.
5. FAO, Food security indicators. In FAO, Ed. Rome, Italy, 2013.
6. FAO/WHO *Energy and protein requirements*; FAO/WHO: Geneva, Switzerland, 1973.
7. IIASA-OECD, Shared Socioeconomic Pathways (SSP) Database Version 0.9.3. In IIASA-OECD, Ed. 2012.

本ディスカッションペーパーシリーズは、独立行政法人国立環境研究所の研究者および外部研究協力者によって行われた研究成果をとりまとめたものです。関係する方々から幅広く意見やコメントを得るための場として公開しています。

論文は、すべて研究者個人の責任で執筆されており、独立行政法人国立環境研究所の見解を示すものではありません。