

フード・マイレージの空間均衡分析

今橋, 朋樹

九州大学大学院生物資源環境科学府農業資源経済学専攻農業関連産業組織学講座食料産業システム解析学分野

狩野, 秀之

九州大学大学院農学研究院農業資源経済学部門農業関連産業組織学講座食料産業システム解析学分野

前田, 幸嗣

九州大学大学院農学研究院農業資源経済学部門農業関連産業組織学講座食料産業システム解析学分野

<https://doi.org/10.15017/13174>

出版情報：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 63 (2), pp.241-250, 2008-10-29. 九州大学大学院農学研究院

バージョン：

権利関係：

フード・マイレージの空間均衡分析

今橋 朋樹^{1*}・狩野 秀之・前田 幸嗣

九州大学大学院農学研究院農業資源経済学部門農業関連産業組織学講座食料産業システム解析学分野
(2008年6月27日受付, 2008年7月16日受理)

A Spatial Equilibrium Analysis of Food Mileage

Tomoki IMAHASHI^{1*}, Hideyuki KANO and Koshi MAEDA

Laboratory of Food Industrial System Analysis, Division of Industrial Organization of Agribusiness,
Department of Agricultural and Resource Economics, Faculty of Agriculture,
Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

課 題

近年、フード・マイレージという概念が、食料生産と環境問題あるいは食料の安全・安心問題とを結びつける指標として、注目を浴びている。フード・マイレージは、食料の生産地から消費地までの輸送距離と輸送される食料の重量を乗ずることにより求められる数値であり、この値が大きいということは、様々な地域から多種多様の食料が運ばれてくることを意味し、消費地における豊かな食生活の実現を表している。しかしながら、それは同時に、以下の3つの負の側面を示唆するものである。

第1は、輸送に費やされるエネルギーの増大である。これは、生産・消費・廃棄あるいは貨物輸送による二酸化炭素の排出量の増加を意味し、環境への負荷の増大に結びつく。第2は、流通の広域化である。これは、ポストハーベスト等の食料にかかわるリスクの増大につながる。第3は、輸送ルートの複雑化である。これは、トレーサビリティの観点から、食の流通ルートの管理を困難にし、食に対する不安感の増大に結びつく。

フード・マイレージを計測することは、食料に関わる以上の問題を分析するための1つの方法として、重要な意義がある。

これまでわが国で行われたフード・マイレージの計測に関する研究として、中田 (2003) や根本 (2006) があげられる。しかし、その分析方法は、過去のある時点におけるフード・マイレージを計測することしかできず、各種政策の変更によりその値がどのように変化するかを計測することができない。

しかし、今後の政策立案において、各種政策の変更がフード・マイレージに与える影響を分析し、前述した負の側面を考慮することは重要である。したがって、本研究では以下の2点を分析の課題とする。第1は、政策の変更による各地域間の食料の輸送量の変化を計測することが可能な空間均衡モデルを用いることにより、政策の変更がフード・マイレージにもたらす影響を計測することである。第2はフード・マイレージの変化の要因を分析し、どの国が環境負荷や食に関するリスク・不安感などの影響を受けるかを明らかにすることである。具体的には、世界的にFTAの推進がなされていることを考慮し、コメ貿易の自由化が進展し、関税及び関税割当がすべての国で完全に撤廃される場合について分析する。

本稿の以下の構成は次のとおりである。まず第2節において、本稿の分析で用いる空間均衡モデルを説明し、第

¹九州大学大学院生物資源環境科学府農業資源経済学専攻農業関連産業組織学講座食料産業システム解析学分野

¹Laboratory of Food Industrial System Analysis, Division of Industrial Organization of Agribusiness, Department of Agricultural and Resource Economics, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

*Corresponding author (E-mail: hkano@agr.kyushu-u.ac.jp)

3節において、政策シミュレーションに必要なデータについて言及する。さらに第4節において、キャリブレーションの方法を示した後、第5節において、現行の貿易政策が維持される場合と貿易の自由化が進化した場合の政策シミュレーションを行い、フード・マイルージの変化とその要因について考察を行う。最後に、第6節において本稿をまとめ、残された課題について言及する。

分 析 方 法

フード・マイルージの計測にあたっては、前田・狩野(2008)で展開された(関税および輸送費を除くすべての)内外価格差要因を含む空間均衡モデルを用いる。なお、モデルの説明に用いられる記号、モデルの前提条件および構成原理は以下のとおりである。

1. 記号法

本稿では $n(n \geq 2)$ 国間の国際貿易を考え、次のような記号法を用いる。

P_j : 第 j 国の市場価格

P_i^E : 第 i 国の輸出価格

D_j : 第 j 国の需要量

Y_i : 第 i 国の生産量

A_i : 第 i 国の単収

T_i : 第 i 国の作付面積

$C_i = C_i(Y_i)$: 第 i 国の費用関数

X_{ij}^d : 第 i 国の国内向け供給量 ($i = j$)

X_{ij}^p : 第 i 国から第 j 国の第 1 次税率市場への輸出量 ($i \neq j$)

X_{ij}^s : 第 i 国から第 j 国の第 2 次税率市場への輸出量 ($i \neq j$)

ST_{ij}^p : 第 j 国が第 1 次税率市場において第 i 国に課す従量関税率

ST_{ij}^s : 第 j 国が第 2 次税率市場において第 i 国に課す従量関税率

AT_{ij}^p : 第 j 国が第 1 次税率市場において第 i 国に課す従価関税率

AT_{ij}^s : 第 j 国が第 2 次税率市場において第 i 国に課す従価関税率

TQ_j : 第 j 国の関税割当数量

PD_{ij} : 第 i 国—第 j 国間の(関税および輸送費を除くすべての)内外価格差要因(取引費用単価に換算)

TC_{ij}^d : 第 i 国内の単位輸送費 ($i = j$)

TC_{ij} : 第 i 国—第 j 国間の単位輸送費 ($i \neq j$)

ここで、 i および j は 1 から n までの任意の自然数をとる。また、制度上 $ST_j^p < ST_j^s$ および $AT_j^p < AT_j^s$ の関係が成立している。

2. モデルの前提条件

本稿で用いる空間均衡モデルの主要な前提条件は次のとおりである。

- ①各国における消費者および産地は価格受容者である²。
- ②各国の市場は関税割当制度に対応し、制度上、関税が課されない国産市場と、関税が課される第 1 次税率市場および第 2 次税率市場の 3 市場に区分されるが、当該食料は消費者によって 3 市場で差別されない。
- ③各国間の単位輸送費は一定である。
- ④各国の需要関数および供給関数は、それぞれ次のように線形関数で表される。ただし、 α_j 、 β_j 、 γ_i および δ_i はパラメータであり、通常 γ_i 以外はすべて正の値をとる。

$$D_j = \alpha_j - \beta_j \cdot P_j \quad (1)$$

²第3節で述べるように、本稿の分析の対象であるコメの貿易構造は現在、比較的単純であり、コメの国際市場の構造は完全競争に近いと考えられる。

$$Y_i = A_i \cdot T_i = A_i(\gamma_i + \delta_i \cdot P_i) = \gamma_i \cdot A_i + \delta_i \cdot A_i \cdot P_i \quad (2)$$

3. モデルの構成原理

以上の前提条件の下、モデルは産地の主体均衡条件および市場の需給均衡条件から構成される。

(1) 産地の主体均衡条件

第 i 国産地の利潤最大化行動は以下のように定式化される。つまり、産地の制約は実現可能制約、関税割当制約である。また、利潤は、収入から生産費、輸送費および関税を差し引いたものから、(関税および輸送費を除くすべての)内外価格差要因の換算取引費用をさらに差し引いたものである³。

$$\begin{aligned} \underset{Y_i, X_{ij}^d, X_{ij}^p, X_{ij}^s}{\text{Max}} \quad \pi_i = & \sum_{j=1}^n P_j(X_{ij}^d + X_{ij}^p + X_{ij}^s) - C_i(Y_i) - \sum_{j=1}^n TC_{ij}^d \cdot X_{ij}^d - \sum_{j=1}^n TC_{ij}(X_{ij}^p + X_{ij}^s) \\ & - \sum_{j=1}^n ST_{ij}^p \cdot X_{ij}^p - \sum_{j=1}^n AT_{ij}^p(P_i^E + TC_{ij})X_{ij}^p \\ & - \sum_{j=1}^n ST_{ij}^s \cdot X_{ij}^s - \sum_{j=1}^n AT_{ij}^s(P_i^E + TC_{ij})X_{ij}^s \\ & - \sum_{j=1}^n PD_{ij}(X_{ij}^p + X_{ij}^s) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n (X_{ij}^d + X_{ij}^p + X_{ij}^s) \leq Y_i \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij}^p \leq TQ_j, \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

ただし、 Y_i 、 X_{ij}^d 、 X_{ij}^p および X_{ij}^s は非負の変数である。また、 $X_{ij}^d (i \neq j)$ 、 X_{ii}^p および X_{ii}^s の値はゼロであるので、 $TC_{ij}^d (i \neq j)$ および TC_{ii} は輸送禁止的な大きな値をとるものとする。さらに、第 j 国において関税割当制度がとられていない場合には、 ST_{ij}^p 、 AT_{ij}^p および TQ_j の値をゼロとし、その国の関税率は ST_{ij}^s および AT_{ij}^s で表されるものとする。

供給関数(2)を考慮しつつ、上記の最適化問題(3)~(5)のクーン・タッカー条件を求めると、産地の主体均衡条件は以下の(6)~(11)のように表される⁴。

$$P_j \leq TC_{ij}^d + \lambda_i, \quad X_{ij}^d \geq 0, \quad X_{ij}^d [TC_{ij}^d + \lambda_i - P_j] = 0 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} P_j & \leq TC_{ij} + ST_{ij}^p + AT_{ij}^p(P_i^E + TC_{ij}) + PD_{ij} + \lambda_i + \mu_{ij}, \quad X_{ij}^p \geq 0, \\ X_{ij}^p [TC_{ij} + ST_{ij}^p + AT_{ij}^p(P_i^E + TC_{ij}) + PD_{ij} + \lambda_i + \mu_{ij} - P_j] & = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} P_j & \leq TC_{ij} + ST_{ij}^s + AT_{ij}^s(P_i^E + TC_{ij}) + PD_{ij} + \lambda_i, \quad X_{ij}^s \geq 0, \\ X_{ij}^s [TC_{ij} + ST_{ij}^s + AT_{ij}^s(P_i^E + TC_{ij}) + PD_{ij} + \lambda_i - P_j] & = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\lambda_i \leq -\gamma_i/\delta_i + 1/(\delta_i \cdot A_i) \cdot Y_i, \quad Y_i \geq 0, \quad Y_i [-\gamma_i/\delta_i + 1/(\delta_i \cdot A_i) \cdot Y_i - \lambda_i] = 0 \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n (X_{ij}^d + X_{ij}^p + X_{ij}^s) \leq Y_i, \quad \lambda_i \geq 0, \quad \lambda_i [Y_i - \sum_{j=1}^n (X_{ij}^d + X_{ij}^p + X_{ij}^s)] = 0 \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij}^p \leq TQ_j, \quad \mu_{ij} \geq 0, \quad \mu_{ij} [TQ_j - \sum_{i=1}^n X_{ij}^p] = 0, \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (11)$$

なお、 λ_i および μ_{ij} は、産地の実現可能制約、関税割当制約の各々に対応するラグランジュ乗数であり、次の経済的意味をもっている。まず λ_i は、産地価格を表している。次に μ_{ij} は、第 i 国の産地が第 j 国の第 1 次税率市場へ輸出を行う権利の潜在価格、つまり、第 j 国への輸出ライセンスのシャドウ・プライスを表しており、第 j 国の関

³本稿の分析対象であるコメの貿易においては、分析対象国の範囲内では輸出補助金は2004年現在拠出されていないので、モデルには組み込まない。輸出補助金の空間均衡モデルへの導入の仕方については、前田(2001)を参照されたい。

⁴ PD_{ij} が、(関税および輸送費を除く)第 i 国—第 j 国間の内外価格差要因を取引費用単価として総体的に換算したものであるということは、この主体均衡条件を見ても明らかである。

税割当に対する第 i 国産地の拡大要求の強さを表している。ただし、本稿においては、第 j 国の輸出ライセンス市場は完全競争的であると仮定し、どの産地も同一のシャドウ・プライスに直面するものとする。

ここで、庄野・川口 (1999) と同様に、 $P_i^E = P_i$ と仮定しよう。すると、(6)より X_{ij}^d が正であるとき $P_i^E = \lambda_i$ となり、(7)および(8)は次のように変更される。

$$P_j \leq (1 + AT_{ij}^p) TC_{ij} + ST_{ij}^p + PD_{ij} + (1 + AT_{ij}^p) \lambda_i + \mu_j, \quad X_{ij}^p \geq 0, \\ X_{ij}^p [(1 + AT_{ij}^p) TC_{ij} + ST_{ij}^p + PD_{ij} + (1 + AT_{ij}^p) \lambda_i + \mu_j - P_j] = 0 \quad (7-2)$$

$$P_j \leq (1 + AT_{ij}^s) TC_{ij} + ST_{ij}^s + PD_{ij} + (1 + AT_{ij}^s) \lambda_i, \quad X_{ij}^s \geq 0, \\ X_{ij}^s [(1 + AT_{ij}^s) TC_{ij} + ST_{ij}^s + PD_{ij} + (1 + AT_{ij}^s) \lambda_i - P_j] = 0 \quad (8-2)$$

そして、以下においては常に、(7)と(8)を以上の(7-2)および(8-2)に置き換えることにする。

(2) 市場の需給均衡条件

第 j 国の総需要量がその国への総供給量に一致するよう、第 j 国の市場価格は調整される。以上を需要関数(1)を考慮しつつ定式化すると、次のようになる。

$$\alpha_j - \beta_j \cdot P_j \leq \sum_{i=1}^n (X_{ij}^d + X_{ij}^p + X_{ij}^s), \quad P_j \geq 0, \quad P_j [\sum_{i=1}^n (X_{ij}^d + X_{ij}^p + X_{ij}^s) - \alpha_j + \beta_j \cdot P_j] = 0 \quad (12)$$

デ ー タ

1. 分析対象国と貿易構造

以上の空間均衡モデルを利用して政策シミュレーションを行うにあたっては、各国の貿易政策に関するデータ、同じく各国における需要関数と供給関数に関するデータ、ならびに各国間の単位輸送費に関するデータが、コメについてそれぞれ必要である⁵。それぞれのデータの出所は、表1のとおりであり、その加工方法については以下で述べる。

なお、本稿では、コメの主要な輸出国であるタイ、インド、アメリカ、ベトナム、中国の5カ国に、コメの主要な輸入国であるパキスタン、インドネシア、ナイジェリア、フィリピン、バングラデシュ、日本、ブラジル、韓国の8カ国を加えた計13カ国を分析対象国とする⁶。

以上の13カ国を対象に2002年現在におけるコメの貿易フローを表したものが表2である⁷。表2から明らかなように、コメの貿易構造は単純であり、輸出国間で互いにコメが貿易されることはあまりない。したがって、本稿においては、第2節ですでに述べたように、コメの国際市場が完全競争的であると仮定する⁸。

2. 各国の貿易政策

本稿の分析では、関税率として、各国における2004年現在の精米 (HS Number : 1006.20台) の実行関税率を用いる⁹。ただし、従量関税率については、2002年期末の為替レートを利用して、すべて米ドルに換算する。また、関税割当数量については、中国はWTO加盟に際し譲許した2004年の数量を、日本と韓国はミニマム・アクセス数量を各々用いる。なお、日本と韓国においては、ミニマム・アクセス数量以内での輸入が国家貿易により行われ、輸入価格にマーク・アップが上乘せされた上で輸入米の国内販売が行われており、マーク・アップが実質的に関税

⁵ (関税および輸送費を除くすべての) 内外価格差要因の換算取引費用単価に関するデータは、第4節で推計する。

⁶ コメの需要量、生産量および輸出量について、以上の13カ国が世界に占める割合は、いずれも2002年現在、80%を上回っている。

⁷ コメ貿易は精米による取引がその大半を占めているので、全てのコメを精米換算している。以下同様。

⁸ 川口・鈴木 (1994) および前田 (2001) が明らかにしたように、市場構造が不完全競争的である場合には、産地間でも互いに取引が行われ、その取引は錯綜する。

⁹ 本来は2002年の実行関税率を利用するのが望ましいが、データ入手の制約上、2004年のものを利用する。

¹⁰ 韓国においては、ミニマム・アクセス数量を超える輸入が一切認められていないので、政策シミュレーションを行うにあたっては、第2次税率市場の税率には輸入禁止的な大きな値を与える。また、日本における第1次税率市場の従量関税率は、SBS輸入米売渡価格と買入価格の差を輸入相手国ごとに求め、それらの国の取引数量をウェイトとして加重平均したものである。

表1 データの出所

	出所
貿易政策	関税率：World Tariff (2004), 農林水産省総合食料局 (2005), 韓国農村経済研究院・慶尚大学校農業生命科学研究院 (2004) 関税割当数量：中国農業部 (2005), 日本貿易振興会 (2004), 青山 (2005). 外国為替レート：UN (2004)
需要関数	需要量およびベトナム以外の市場価格：FAO (2004). ベトナムの市場価格：長 (2005). 需要の価格弾力性：Ohga and Yanagishima (1995), 井上・長澤・中川 (2005).
供給関数	生産量, 単収およびベトナム以外の市場価格：FAO (2004). ベトナムの市場価格：長 (2005). 作付面積の価格弾力性：Ohga and Yanagishima (1995), 井上・長澤・中川 (2005). 単収：FAO (2004)
単位輸送費	Clarkson (2003), Japan Shipping Exchange (1992), Lloyd's (1997)
各国間のコメ貿易量	FAO (2004)

表2 コメの貿易フロー (2004年)

(単位：万トン)

輸入 輸出	タイ	インド	アメリカ	ベトナム	中国	パキスタン	インドネシア	ナイジェリア	フィリピン	バングラデシュ	日本	ブラジル	韓国
タイ	1,013.376		28.240	0.090	58.630		69.740	96.760	15.550		12.170		
インド		4,523.758	0.510				116.000	79.000	65.000	34.000			
アメリカ		0.470	150.125	0.020	8.360		8.290	1.760	4.330		31.220	5.660	7.360
ベトナム				2,265.321	0.150		74.090		28.550		0.470		
中国				0.250	11,073.864		24.340	3.210	2.530		9.461		7.080
パキスタン	0.010	0.030	1.410		0.042	242.409	4.695	0.090	2.370	0.230			0.050
インドネシア							3,322.641						
ナイジェリア								207.480					
フィリピン									941.829				
バングラデシュ										2,510.014			
日本											723.232		
ブラジル												679.712	
韓国													448.121

出所) FAO (2004) をもとに推計した。

註1) 空欄は、その欄の値がゼロであることを表す。

の役割を果たしているという指摘があるので、両国のマーク・アップ率を第1次税率市場の税率とする¹⁰。

3. 各国の需要関数と供給関数

需要関数を線形近似する際に利用した市場価格のデータは、各国における2002年の生産者価格である。また、需要量は、分析対象国以外の国からの輸入量および各国の在庫純積増量を差し引いた、2002年の国内供給量を国ごとに利用している。さらに、需要の価格弾力性については、Ohga and Yanagishima (1995) および井上ら (2000)

の推計値を利用している。

一方、供給関数を構成する作付面積の反応関数は、次のデータを利用して国ごとに線形近似している。つまり、2002年の生産量¹¹を同年の単収で除した作付面積と米ドルに換算した2002年の生産者価格、ならびに Ohga and Yanagishima (1995)、井上ら (2000) による作付面積の価格弾力性の推計値を国ごとに利用している。

4. 各国間の単位輸送費

コメをはじめとする穀物の国際輸送の特徴は、通常それが海上輸送により行われるという点にある。輸送手段はばら積み貨物船であり、中心となる船型はパナマックス型（パナマ運河を通過できる最大の船型であり、積載量が約7万トン）である。

以上の特徴を踏まえ、各国の港間における穀物の単位輸送費の推計は、単位輸送費が輸送量に関係なく一定であるという仮定の下、以下のようにして行っている。まず、各国の主要貿易港を選定し、商船が慣行的に運航するそれら港間の最短ルートの距離を求める。次に、パナマックス型のばら積み貨物船による穀物の海上運賃が、日本—北太平洋地区間で1トンあたり13.053米ドル（1997～2002年平均）¹²であることを利用して、1トン1海里あたり運賃を算出する。ただし、その算出は、日本—北太平洋地区間の輸送を東京港—サンフランシスコ港間の輸送とみなし行っている。そして最後に、この1トン1海里あたり運賃（0.287米セント）を各国港間の距離にそれぞれ乗じることにより、各国の港間における穀物の単位輸送費を推計している。なお、簡単化のために、本稿では各国内における単位輸送費はすべてゼロとしている。

キャリブレーション

（関税および輸送費を除くすべての）内外価格差要因については、まとまった数量データが存在しない。したがって、本稿では、前田・狩野（2008）にならい、以下に示すキャリブレーションの方法を用いて、それを取引費用に換算し、その単価を求める。

まず、ある年における第*i*国から第*j*国への輸出品の実現値を AX_{ij} とし、第2節で定式化した第*i*国の産地の利潤最大化行動を次のように定式化しなおす。また、 Y_i 、 X_{ij}^d 、 X_{ij}^p および X_{ij}^s は非負の変数である。

$$\begin{aligned} \underset{Y_i, X_{ij}^d, X_{ij}^p, X_{ij}^s}{\text{Max}} \quad & \pi_i = \sum_{j=1}^n P_j (X_{ij}^d + X_{ij}^p + X_{ij}^s) - C_i(Y_i) - \sum_{j=1}^n TC_{ij}^d \cdot X_{ij}^d - \sum_{j=1}^n TC_{ij}^p (X_{ij}^p + X_{ij}^s) \\ & - \sum_{j=1}^n ST_{ij}^p \cdot X_{ij}^p - \sum_{j=1}^n AT_{ij}^p (P_i^E + TC_{ij}^p) X_{ij}^p \\ & - \sum_{j=1}^n ST_{ij}^s \cdot X_{ij}^s - \sum_{j=1}^n AT_{ij}^s (P_i^E + TC_{ij}^s) X_{ij}^s \end{aligned} \quad (13)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n (X_{ij}^d + X_{ij}^p + X_{ij}^s) \leq Y_i \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij}^p \leq TQ_j, \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (15)$$

$$X_{ij}^p + X_{ij}^s \leq AX_{ij}, \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (16)$$

すると、供給関数(2)を考慮すれば、以上の最適化問題(13)～(16)のクーン・タッカー条件は次のようになる。

$$P_j \leq TC_{ij}^d + \lambda_i, \quad X_{ij}^d \geq 0, \quad X_{ij}^d [TC_{ij}^d + \lambda_i - P_j] = 0 \quad (17)$$

$$\begin{aligned} P_j & \leq TC_{ij}^p + ST_{ij}^p + AT_{ij}^p (P_i^E + TC_{ij}^p) + \lambda_i + \mu_{ij} + \eta_{ij}, \quad X_{ij}^p \geq 0, \\ X_{ij}^p [TC_{ij}^p + ST_{ij}^p + AT_{ij}^p (P_i^E + TC_{ij}^p) + \lambda_i + \mu_{ij} + \eta_{ij} - P_j] & = 0 \end{aligned} \quad (18)$$

$$P_j \leq TC_{ij}^s + ST_{ij}^s + AT_{ij}^s (P_i^E + TC_{ij}^s) + \lambda_i + \eta_{ij}, \quad X_{ij}^s \geq 0,$$

$$X_{ij}^s [TC_{ij}^s + ST_{ij}^s + AT_{ij}^s (P_i^E + TC_{ij}^s) + \lambda_i + \eta_{ij} - P_j] = 0 \quad (19)$$

¹¹ 生産量からは、分析対象国以外の国への輸出品および各国の在庫純増量を差し引いている。

¹² Clarkson (2003) を参照。

$$\lambda_i \leq -\gamma_i/\delta_i + 1/(\delta_i \cdot A_i) \cdot Y_i, \quad Y_i \geq 0, \quad Y_i[-\gamma_i/\delta_i + 1/(\delta_i \cdot A_i) \cdot Y_i - \lambda_i] = 0 \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^n (X_{ij}^d + X_{ij}^p + X_{ij}^s) \leq Y_i, \quad \lambda_i \geq 0, \quad \lambda_i [Y_i - \sum_{j=1}^n (X_{ij}^d + X_{ij}^p + X_{ij}^s)] = 0 \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij}^p \leq TQ_j, \quad \mu_{ij} \geq 0, \quad \mu_{ij} [TQ_j - \sum_{i=1}^n X_{ij}^p] = 0, \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (22)$$

$$X_{ij}^p + X_{ij}^s \leq AX_{ij}, \quad \eta_{ij} \geq 0, \quad \eta_{ij} [AX_{ij} - X_{ij}^p - X_{ij}^s] = 0, \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (23)$$

ここで、 η_{ij} は(16)の各々に対応するラグランジュ乗数であるが、(17)と(18)、(8)と(19)をそれぞれ比較すれば分かるとおり、 η_{ij} は PD_{ij} に対応している。したがって、ある年の実現値 AX_{ij} をデータとして付加して、(17)~(23)と(12)で構成される線形相補性問題 (Linear Complementarity Problem, LCP) を解くことにより、 PD_{ij} を推計することが可能となる。ただし、この場合、 $P_i^E = P_i$ が(18)および(19)において仮定される。

本稿でのキャリブレーションに際しては、前節で説明したデータと合わせて、 AX_{ij} として2002年の貿易フローのデータ (FAO, 2004) を利用する。

分析結果

1. 政策の変更がフード・マイルージにもたらす影響の計測

現行の貿易政策が維持される場合と、貿易の自由化が進展し、関税及び関税割当がすべての国で完全に撤廃される場合について、各国のフード・マイルージの値、ならびに変化量を表したものは表3である。なお、フード・マイルージの変化に関する比較を行うにあたっては、貿易の自由化による純粋な影響を考慮するために、現行の貿易政策が維持される場合についてのシミュレーション結果をベンチ・マークとして利用する。

まず、貿易の自由化に伴うコメのフード・マイルージの変化について考察する。世界全体のコメのフード・マイルージは、537.741億トン・km から2,393.428億トン・km へと1855.686億トン・km 増加し、約4.451倍になる。これを国別にみると、最も増加するのは韓国であり、7.376億トン・km から567.631億トン・km へと560.255億トン・

表3 シミュレーションの結果 (フード・マイルージ)
(単位: 億トン・km)

	現行	貿易自由化	変化量
タイ	0.007	38.410	38.403
インド	0.787	0.307	-0.480
アメリカ	42.366	0.000	-42.366
ベトナム	0.116	255.907	255.790
中国	33.245	78.425	45.180
パキスタン	0.000	8.600	8.600
インドネシア	84.837	322.561	237.724
ナイジェリア	273.712	802.945	529.233
フィリピン	52.256	260.999	208.743
バングラデシュ	2.485	20.235	17.750
日本	35.204	37.407	2.203
ブラジル	5.349	0.000	-5.349
韓国	7.376	567.631	560.255
分析対象国合計	537.741	2,393.428	1,855.686

出所) 著者の推計による

註) 変化量は、貿易自由化に伴うフード・マイルージの変化量を表す。

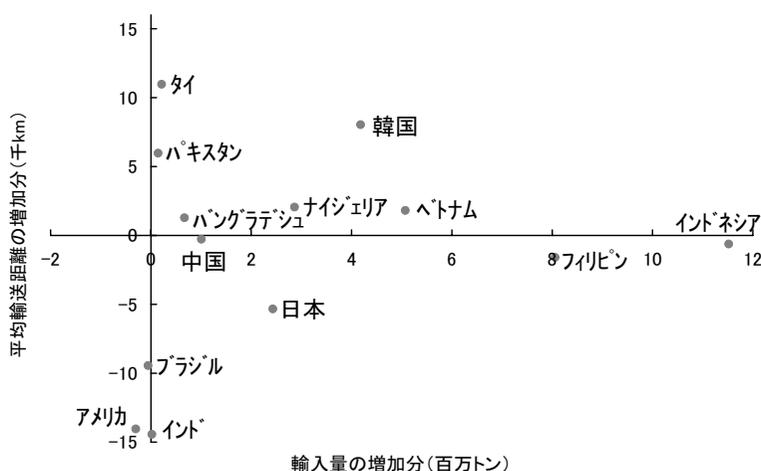
km 増加する。ついで、ナイジェリアが大きく増加し、273.712億トン・km から802.945億トン・km へと529.233億トン・km 増加する。なお、わが国は、35.204億トン・km から37.407億トン・km へと2.203億トン・km の増加が見込まれ、分析対象国中、10番目の大きさとなる。反対に、コメのフード・マイルージが減少するのは、アメリカ、ブラジル、インドである。つまり、アメリカは、42.366億トン・km から0億トン・km へと42.366億トン・km 減少し、ブラジルは、5.349億トン・km から0億トン・km へと5.349億トン・km 減少し、さらにインドは、0.787億トン・km から0.307億トン・km へと0.480億トン・km 減少する。しかし、その変化量は、いずれの国についても微小である。

2. フード・マイルージ増加の要因分析

前項では貿易の自由化により、フード・マイルージが世界全体で約4.451倍に増加することが明らかとなった。つぎに、本項では、その増加の要因を明らかにし、各国に対してどのような影響が現れるかを考察する。なお、考察にあたっては、フード・マイルージの増加の要因を、輸入量の増加と平均輸送距離の増加（各国のフード・マイルージをコメの輸入量で除したもの）に分ける。ここで、輸入量の増加は、輸送に費やされるエネルギーの増大を意味しており、環境への負荷の増大に結びつく。また、平均輸送距離の増加は、流通の広域化、輸送ルートの複雑化を意味しており、環境への負荷ならびに食料に関わるリスク・不安感の増大に結びつく。

計測結果に基づき、横軸に輸入量の増加分、縦軸に平均輸送距離の増加分をとり、各国がどこに位置するかを示したものが図1である。図1より、分析対象国は3つのグループに分けられる。まず、第1のグループは、コメの輸入量と平均輸送距離がともに増加する国であり、タイ、ベトナム、パキスタン、ナイジェリア、バングラデシュおよび韓国を含む。次に、第2のグループは、コメの輸入量が増加するものの平均輸送距離が減少する国であり、中国、インドネシア、フィリピンおよび日本を含む。最後に、第3のグループは、コメの輸入量と平均輸送距離がともに減少する国であり、アメリカおよびブラジルを含む。

以下では、貿易の自由化によりフード・マイルージが大きく増加する国、つまり、韓国、ナイジェリア、ベトナム、インドネシアおよびフィリピンに着目する。まず、ナイジェリアおよびベトナムは、第1のグループに属しているものの、輸入量の増加がフード・マイルージの増加に大きく寄与している。したがって、この2カ国は、特に環境に対する負荷の増大に配慮しなければならない。また、インドネシアおよびフィリピンは、第2のグループに属しているものの、輸入量の増加がフード・マイルージの増加に大きく寄与している。したがって、この2カ国は、上述したナイジェリアおよびベトナムと同様に、環境に対する負荷の増大に配慮しなければならない。最後に、韓



出所：著者の推計による。

注：平均輸送距離は、各国のフード・マイルージをコメの輸入量で除したものである。

図1 フード・マイルージ増加の要因

国のフード・マイレージの増加には、輸入量の増加とともに平均輸送距離の増加がともに寄与している。これは、韓国が他国と比較して、環境に対する負荷の増大に加え、食料に関わるリスク・不安感の増大にも配慮しなければならないことを意味している。

まとめと残された課題

本稿では、コメに関する貿易の自由化という政策の変更によるフード・マイレージの変化を計測し、さらにその変化の要因から、各国に現れる影響を明らかにした。その結果、フード・マイレージは、一部の国（アメリカ、ブラジル、インド）においてわずかに減少するものの、分析対象国全体でみると約4.451倍になることが明らかとなった。また、各国に現れる影響は、環境に関する負荷の増大、食料に関わるリスク・不安感の増大など、様々に異なることが明らかとなった。

最後に、残された課題を提示することによって本稿を結びたい。第1の課題は、フード・マイレージと施すべき政策との関係である。つまり、分析により得られた値をいかに環境あるいは食の安全性に関する政策に結びつけるかといった具体的な手段の開発が挙げられる。

第2の課題は、他の環境指標への空間均衡分析の応用可能性の検討である。貿易に関連して利用される主な環境指標には、中田（2003）によると、以下のものが挙げられる。輸出国側に対する環境負荷としては、輸入国が本来自国で消費すべき水資源を奪っているという仮想水（バーチャル・ウォーター）、同じく、それを持続的な食料消費を行う場である資源としての土地の面積の収奪に置き換えたエコロジカル・フットプリントの概念が挙げられる。また、輸入国側に対する環境負荷としては、輸入作物を窒素で置き換え、これが蓄積した土地で育った作物が人体に悪影響を及ぼすという窒素の供給過多の問題が挙げられる。

文 献

- 青山浩子 2005 韓国米関税化に10年の猶予措置。日本農業の動き, 152: 142-149
- 長 憲次 2005 市場経済下ベトナムの農業と農村。筑波書房, 東京
- 中国農業部 2001 *Schedule CLII: People's Republic of China*. (<http://www.agri.gov.cn/ztlz/WTO/lanmu/tiaokuan/china.htm>)
- Clarkson 2003 *Dry Bulk Trade Outlook*.
- FAO 2004 *FAOSTAT Database*. (<http://apps.fao.org/>)
- 井上荘太郎・長澤 淳・中川光弘 2000 アジア開発途上国の米需給と国際米市場。農業総合研究, 54(3): 1-53
- Japan Shipping Exchange 1992 *Distance Tables for World Shipping, English Edition*.
- 韓国農村経済研究院・慶尚大学校農業生命科学研究院 2004 TRQ 管理制度の効率的改善方案。
- 川口雅正・鈴木宣弘 1994 一生産物の二重構造不完全競争空間均衡モデルとその生乳市場分析への適用について。農業経済研究, 66(1): 22-34
- Lloyd's 1997 *Lloyd's Maritime Atlas of World Ports and Shipping Places, 19th Edition*. LLP
- 前田幸嗣 2001 不完全競争下における国際貿易の政策シミュレーションモデル—混合相補性問題による国際小麦貿易の空間均衡分析—。農業経済研究, 73(3): 119-132
- 前田幸嗣・狩野秀之 2008 国際コメ備蓄による食料安全保障と市場安定化—空間均衡モデルによる計量分析—。農業経済研究, 79(4): 199-216
- 中田哲也 2003 食料の総輸入量・距離（フード・マイレージ）とその環境に及ぼす負荷に関する考察。農林水産政策研究, 5: 45-59
- 根本志保子 2006 フードマイルズにみる生鮮野菜消費と環境負荷の変化。生活経済学研究, 22・23: 225-235
- 日本貿易振興会 2004 アグロトレード・ハンドブック2004 農林水産貿易の最近の動き。
- 農林水産省総合食料局 2005 米麦関連指標。(<http://www.syokuryo.maff.go.jp/>)
- Ohga, K. and K. Yanagishima 1995 *IFPSIM International Food and Agricultural Policy Simulation Model (User's Guide)*. JIRCAS, MAFF
- 庄野千鶴・川口雅正 1999 関税を導入した国際貿易空間均衡モデルの展開—完全競争市場の場合—。九州大学農学部学芸雑誌, 53(1~4): 79-88
- UN 2004 *Statistical Yearbook: Forty-Eighth Issue*.
- USDA, FAS 2007 PS&D Online. (http://www.fas.usda.gov/ffpd/psd/about_psd.asp)
- World Tariff 2004 World Tariff Online Database. (<http://www.worldtariff.com/>)

Summary

Recently, food mileage is remarkable as the index that unites the production of food and environmental problems or the safety and the anxiety problems of food. The food mileage shows the size of the energy spent on transportation, and it can be said that the larger this value becomes, the larger environmental load grows. Moreover, it suggests that the risk and the anxiety to food increase.

As mentioned above, measuring the food mileage plays an important role in analyzing various problems of food. However, in the past paper, the food mileage was calculated at certain point of the past time, so it was not simulated how this value changes under the various policies change.

Therefore, in this paper, by applying the spatial equilibrium model developed by Maeda and Kano (2008), we analyze the influence to the food mileage of the shift in policy. Concretely, we measure the each food mileage about the international rice trade under the situation that the present foreign trade policy is maintained and the situation that the trade liberalization progresses and the tariff and the tariff quota are abolished completely in all countries.

As a result, when thinking all countries, the food mileage increases about 4.451 times under the situation of the trade liberalization. Moreover, by analyzing the factors of an increase of the food mileage, it became clear that the influence in each country is different.

The left problem includes that how to build the value of the food mileage into the policy.

Moreover, when the policy is executed, it is important to calculate other environmental indicators by applying the spatial equilibrium model similarly.