

空間相互作用モデルによる食料輸送実態の把握と地産地消率の推定

田中弥菜美・鵜飼孝盛・大澤義明

An Estimation of Rate of Local Production for Local Consumption and Food Transportation Using Spatial Interaction Model

Minami TANAKA, Takamori UKAI and Yoshiaki OSAWA

Abstract: The concept of local production for local consumption has been proposed in recent years. This concept is to attempt consumption as much as possible in the area where they were produced. However, statistics on the movement of food that are required for calculating the degree of that ratio have not been developed. In this paper, we confirm that the rate of local production for local consumption can be estimated by using spatial interaction model. Then, theoretical analysis of the effects of spatial relation among production areas and consumption areas for local consumption is discussed. In addition, we derive the analytical expression of local production for local consumption rate under simple situations, and lead to basic knowledge about the influence of the distance between the zones and within the zone.

Keywords:空間相互作用モデル (spatial interaction model), 地産地消 (local production for local consumption), 輸送量 (transportation)

1. はじめに

現在, 各地域で地場農産物を活かして, 直売所での販売や給食・社員食堂での利用, 加工品開発, 地域消費者の農業体験といった様々な取り組みが行われている。同時に, 生産されたものをできるだけその地域で消費しようという, 地産地消の考え方が提唱されている。食の安全・安心, 地域振興, 地域アイデンティの確立, 都市と農村との交流さらには, フードマイレージ削減という環境面の利点も含め, 地産地消は多くの地域で推進されてきた (中田, 2007)。一方で, これらの日常生活中に, 遠くから運ばれてきているものを目にするという機会も多い。特に, 福井県では 2009 年に大規模な調査が行われ, 国内において初めて地産地消率が計算された (福井県販売開拓課, 2010)。仮に, 本当にその地

域でとれたものしか食べられないという, 完全な地産地消が実現すると, 北海道では暖かい地域でしか生産できないフルーツを食べることはできなくなり, 海に接していない地域では海の幸が食べられない, ということになろう。実際には, 多くの地域の味や, 限られた地域でしか生産されないものやブランドを楽しみたい, 健康のために様々な食品をバランスよく摂りたいなど, 人々の願望がある。閉鎖された状況でなければ, 完全な地産地消は成立しない。

ところで, 地産地消は, 生産地と消費地との距離や隣接関係などの空間的配置に依存するはずである。さらに, その計算には食物の具体的な移動分布データが必要である。地産地消率の計算に資する食材等の移動に関する統計は整備されておらず, その計算を行うためにはアンケート等の手法に頼るか, 他の統計データより推定する必要がある。一方で, 人口移動や分布交通量の推定に用いられている空間相互作用モデルは, 発着量ならびに到着量など限られたデータから, ゾーン間の移動分布を推定できる

鵜飼孝盛 〒305-0003 茨城県つくば市天王台 1-1-1

筑波大学 システム情報系

Phone: 029-853-5543

E-mail: ukai@sk.tsukuba.ac.jp

(谷村, 1986).

本稿の目的は、地産地消率が空間相互作用モデルにて推定できることをデータから確認し、生産地と消費地との空間的配置が地産地消率に与える影響を理論的に分析することである。また、単純な状況の下で地産地消率の解析的表現を導出し、ゾーン内やゾーン間距離の影響について基本的知見を導く。

2. 輸送問題の解に見る地産地消の限界点

本節では、まず総輸送量に焦点をあて分析を進めていく。複数の供給地と需要地について、供給量・需要量を満たしつつ総費用を最小にするような輸送方法・輸送量を決定する問題は、輸送問題として定式化できる。いま、対象とする地域の集合を N 、地域 $i \in N$ での生産量を o_i 、地域 j での消費量を d_j とする。 i - j 間の輸送費用を c_{ij} 、 i から j への輸送量を t_{ij} 、総輸送量を c とする。このとき、輸送問題は、

$$\min \quad c = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} t_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{j \in N} t_{ij} = o_i, \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} t_{ij} = d_j, \forall j \in N \quad (3)$$

と書くことができる。ここで、目的関数(1)は、総輸送費用 c を最小化することを表している。また、制約条件(2)、(3)はそれぞれ、地域 i での生産量が地域 i から他の地域への輸送量の総和に等しいことと、地域 j での消費量が他の地域から地域 j への輸送量の総和に等しいという条件である。

輸送問題の解は、品目の輸送を全て制御するよう

なある一つの主体が、輸送費を最小化するという目的のみに注目してどのように輸送するべきかを定めたものであり、各地域における生産量・消費量を前提としたときの輸送量削減の下限を示している。これに対し、どれだけ無駄に輸送を行ったとしても、これ以上にならないという上限も存在し、上述の輸送問題の目的関数はそのままに、総費用を最大化することで求めることができる。以下では入手可能な25の品目について、 $|N| = 47$ の都道府県間で、輸送費用を最小化する輸送パターンと最大化する輸送パターンの双方を計算する。ただし、使用したデータの出典が異なり、生産量・消費量の総計は一致しない。輸送問題では、これらは等しくなることが求められる。そこで、生産量と消費量をそれぞれ相対量として計算を行った。地域間の輸送コスト c_{ij} には都道府県庁所在地間の直線距離を用いた。この計算で求められる総輸送費用は[距離] \times [輸送量]、その品目に関するフードマイレージに比例することとなる。

図-1に輸送問題の計算結果を示す。各品目について、フードマイレージ(輸送量)を最小化したときと、最大化したときのフードマイレージをプロットし、それらを線分で結んでいる。図では、最小化時のフードマイレージが大きい順に左から並べているが、対応する最大化時のフードマイレージは必ずしも大きい順とはならず、最大化時と最小化時の差も品目毎に異なっている。最小化時の輸送パターン(地域間の輸送量)を見ると、各地域で生産された品目はできるだけその地域内の消費に向けられ、余剰となる分を他地域へ、不足分を他地域から輸送

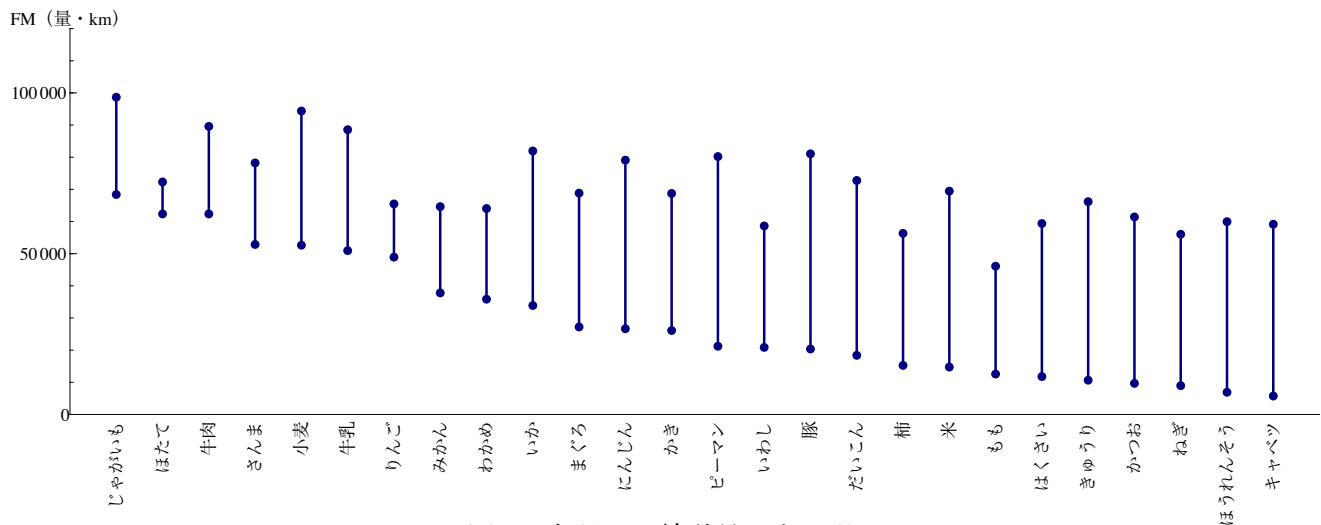


図-1 各品目の輸送量の上下限

することとなる。一方で、最大化時の輸送パターンはというと、内々での消費は減少し、遠距離にある生産地-消費地間の輸送が増加する。ところが、ほたてのように産地が限られる品目については、最大化時、最小化時いずれの場合においても、限られた生産地より全国へ輸送しなければならない。つまり「輸送の自由度」が小さくなる。このような産地が限定される品目は、図中の最大化時と最小化時のフードマイレージの差が小さくなっている。

3. 空間相互作用モデルを用いた輸送量の推定

食品の生産や輸送に関しては流通関係、農業関係の統計データがある。これらを参考に食品の輸送を辿ろうとすると、複数の統計をまとめて見ていく必要があるが、その複雑性から完全なデータを得ることは難しい。一方で地域間輸送量について、人や物、情報などの場所間の流動を説明するモデルとして、“空間相互作用モデル”がある。これは、地域での生産量・消費量と地域間の輸送費用（距離）が分かっているときに、総コストを与えることにより、地域間輸送量を推定するものである。ここでは、空間相互作用モデルを利用して、地域間の食品輸送の現状を推定する。

i を地域の数、 t_{ij} を地域 i から地域 j への輸送量、地域間の総輸送量を $T \equiv \sum_i \sum_j t_{ij}$ とする。ゾーン i での生産量を o_i 、ゾーン j の消費量を d_j とする。 c_{ij} をゾーン i から j への移動距離とし、地域全体の平均距離を \bar{c} とする。このとき輸送量 t_{ij} は

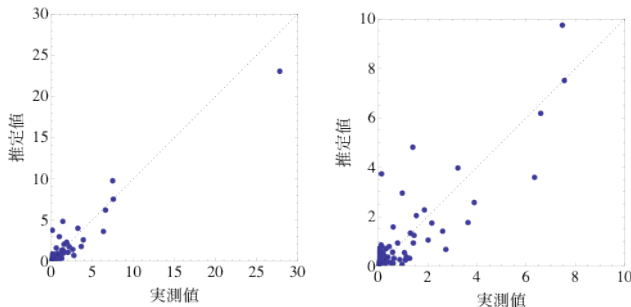
$$t_{ij} = a_i o_i b_j d_j \exp(-\beta c_{ij}) \quad (4)$$

となる。ただし、

$$a_i \equiv \frac{1}{\sum_l b_l d_l \exp(-\beta c_{il})} \quad (5)$$

$$b_j \equiv \frac{1}{\sum_k a_k o_k \exp(-\beta c_{kj})} \quad (6)$$

である。計算にあたっては、現状の総コストすなわちフードマイレージを与える必要がある。そこで、



(a) 全体

(b) 原点付近

図-2 野菜の地域間輸送量（だいこん）

部分的に得られるデータからその値を考える。ここでは、都道府県と地方間の OD を表したデータ（農林水産省「青果物卸売市場調査」平成 21 年青果物産地別 卸売統計、野菜の主要消費地域別産地別の卸売数量及び卸売価格）から現状のフードマイレージを計算する。ただし、設定を合わせるためここでも全体の輸送量を 100 とし、各地域間輸送量を相対値に直したものについて[距離×輸送量]の総和を求める。また、輸送元の都道府県と輸送先の地方との距離には、輸送元と輸送先地方内の各都道府県との距離の平均を用いる。この値を総コストとして与え、パラメータの値と各地域間の推定輸送量を求める。

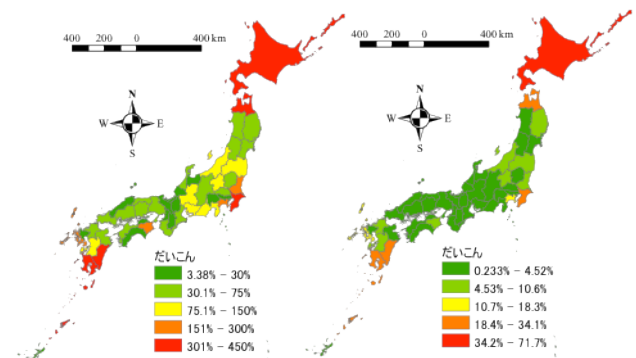
計算結果が現実にどれだけ近い結果をもたらすのかの確認として、分析に用いた都道府県と地方間の OD データを用いて、検証する。2009 年の農林水産省の統計情報のデータ（2009）データでは、9 地域間の野菜の輸送量が示されている。このデータによる生産量、消費量さらには平均距離から空間相互作用モデルを用いて得られた輸送量とデータ表による輸送量を比較し、空間相互作用モデルの有効性を確認する。図-2 に計算結果の一部を示す。図中の横軸は現実の野菜の輸送量、縦軸は空間相互作用モデルによる輸送量の推定結果である。

輸送量推定の結果を活用し、食料自給率と地産地消率という 2 つの指標の推定を行う。食料自給率とは、一般によく知られているが消費に対する生産能力を表すものであり、

$$\frac{o_i}{d_i} = \frac{\sum_j t_{ij}}{\sum_k t_{ki}} \quad (7)$$

として計算される。これに対し、地産地消率は消費のうち県内産の割合であり、

$$\frac{t_{ii}}{d_i} = \frac{t_{ii}}{\sum_j t_{ji}} \quad (8)$$



(a) 自給率

(b) 地産地消率

図-3 だいこんの自給率と地産地消率

により計算できる．図-3 にだいこんを対象として，47 都道府県の自給率，地産地消率を推定した結果を示す．

4. 幾何学的位置が地産地消率に与える影響

前節では，空間相互作用モデルにより食品の地域間輸送量を求め，この結果を用いて自給率と地産地消率の推定を行った．その結果から，北海道や鹿児島など日本列島の南北の両端における地産地消率が高くなっていることがわかる．自給率に目を転じると地産地消率と同様にこれらの地域で高い値となっているものの，本州中央部において高い自給率を示している地域の地産地消率は低くなっている．このような結果は，南北に細長い日本列島の幾何学的な特徴に起因するものと考えられる．

直線上に 5 つの地域が並んでおり，各地域の生産量・消費量が全て等しいような状況を想定しよう．総輸送量を様々に変化させ，地域ごとの地産地消率を求めると図-4 のようになる．総輸送量を最小化すると，全ての地域において地域内で消費を行い，地産地消率は 1 となる．また，最大化した場合には，全て他の地域へと輸送されるため地産地消率は 0 となる．現実的にはこれらの中間となると考えられ，このとき端部における値は，中心部におけるものよりも高くなる．他の条件が一定という場合でも，端に位置する地域ほど輸送が行われにくくなり，地産地消率が高くなることが確認できる．

上記のことを，単純な状況における解析表現により確認しよう．いま，輸送量がどの地域でも同一で $d_j = o_i \equiv d$ と仮定する．さらに，地域内の距離が一定値 y ，地域間の距離も一定で x という以下のような

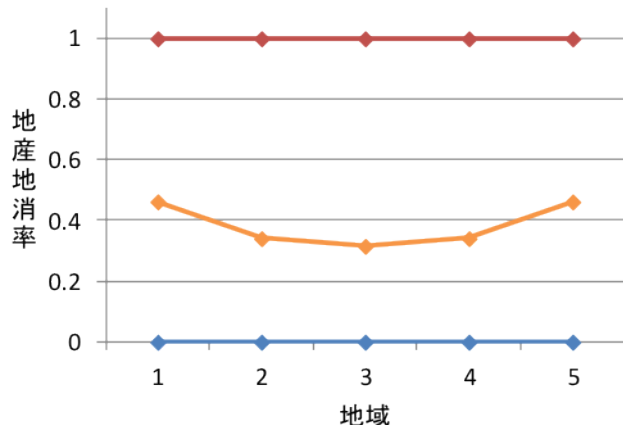


図-4 位置による地産地消率の変化

輸送費用を考える：

$$c_{ij} = \begin{cases} x & \text{if } i \neq j \\ y & \text{if } i = j \end{cases} \quad (9)$$

このとき，地域 i の地産地消率 ρ_i は

$$\rho_i = 1 - \frac{\bar{c} - y}{x - y} \quad (10)$$

と表すことができる．ただし， \bar{c} は平均輸送距離であり，

$$\bar{c} = \frac{T}{nd} = \frac{1}{nd} \sum_i \sum_j c_{ij} t_{ij} \quad (11)$$

である．式(10)より，地域内距離 x および平均輸送距離 \bar{c} を固定した状況で地域間距離 y を大きくすると地産地消率 ρ_i は単調に増加する．他の地域との距離が長くなるほど地産地消率は上昇することが確認できる．

5. おわりに

本稿では，地産地消率を空間相互作用モデルで推定し，地産地消率の指標の特徴付けを試みた．本研究は平成 23 年度筑波大学革新的研究の成果の一部である．

参考文献

- 帝国書院：統計資料 日本 都道府県別統計，
<http://www.teikokushoin.co.jp/statistics/japan/index.html> (2012/8/15 アクセス可能)．
- 谷村秀彦ほか(1986)：都市計画数理，朝倉書店．
- 石川義孝(1988)：空間的相互作用モデル，地人書房．
- 青木義次(2006)：建築計画・都市計画の数学，数理工学社．
- Wilson, A.G. (1970): *Entropy in Urban and Regional Modelling*, Pion, London.
- 中田哲也 (2007)：フード・マイレージ—あなたの食が地球を変える，日本評論社．
- 福井県販売開拓課 (2010)：全国で初めて「地産地消率」の調査・算定を行いました，
<http://www.pref.fukui.jp/doc/hanbai/chisan-chisyo-rate.html> (2012/8/15 アクセス可能)．