

食糧需給関係及び経済力格差にもとづく中国国内食糧輸送モデルの構築

一ノ瀬俊明・王勤学・大坪国順

一ノ瀬俊明

〈工博 独立行政法人国立環境研究所主任研究員 地球環境研究センター〉
〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

王 勤 学

〈農博 独立行政法人国立環境研究所主任研究員 流域圏環境管理研究プロジェクト〉
〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

大坪国順

〈工博 独立行政法人国立環境研究所上席研究官 水圏環境研究領域〉
〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

GDP の比に比例して、食糧余剰地域から食糧不足地域にメッシュ間の食糧輸送が起こる計画経済的な（非市場原理型の）モデル、メッシュの食糧吸引力分布形が当該メッシュの GDP に比例して決まる市場原理型のモデルの2つを構築し、1辺約360kmの仮想島及び中国の華中華南を対象として食糧ストック変化の数値シミュレーションを行った。非市場原理型の線形需要空間型モデルでは、食糧ストックの地域格差を縮小する方向に変化が進むのに対し、市場原理型の非線形需要空間型モデルでは、沿海部の大都市が急速に食糧を蓄積する結果、地域格差が拡大し、内陸地域で広域的に食糧ストックが不足するアンバランスな分布が発生する。

Key Words : *cereal balance, cereal transportation, numerical model, market system, economic potential*

1. はじめに

過去40年以上にわたり、中国の食糧生産量は段階的に上昇し、食糧の供給能力が高められてきた。ここで議論する「食糧」の定義は、小麦、米、とうもろこしの3つの穀物であり、家畜飼料などとして間接的に消費される分を含んだものである。中国統計年鑑によれば、1996年の食糧総生産量は5.04億tに達し、1人当たりでも412kgと史上最高を記録した¹⁾。また、2001年にはこれが4.53億tとなり、最近では若干の減少を見せている。アメリカの1人当たり1371.2kg(1996年当時)などに比べると、まだ低い水準に留まっている。FAO-STATのFood Balance Sheetによれば、本研究で取り扱う3つの穀物は、1995年の中国における穀物全体(生産、備蓄、輸出入収支の合計)の98%(重量ベース)を占めている。また、2001年においても96%の高率となっている。

しかし、現在こそ低い消費レベルに支えられて食糧需給のバランスが取れているものの、経済発展に伴う中国人民の生活レベルの向上や、工業、牧畜業の規模拡大などにより、将来的にそのバランスが崩れてしまう恐れもある。FAO-STATのFood Balance Sheetによれば、1995年の中国における穀物の直接消費と間接消費(家畜飼料、播種、加工など)の重量比は24:14となっており、2001年においても23:13となっている。また、中国は国土が広く自然条件や経済力などの地域格差が大きいため、食糧需給の地域的なアンバランスも大きい。一般に中国東部では、東北平原、華北平原など、平坦な土地の面積が大きく、水分と温度条件がよいため、土地生産性は高い。一方西部では、山地が広く分布して平坦な土地が少ない。特に水不足や低温などの影響で耕作可能な土地面積が狭く、土地生産性は一般に低い。1985年～1995年において食糧増産量の多い地域は東北平原、華北平原など自然条件に恵まれた地域である¹⁾。また、東部では農業への資本投入(農業用

電力消費量、機械化程度、化学肥料使用量、灌漑面積など)の増加量が大きい¹⁾。さらに、大都市の存在がこの傾向に拍車をかけている。

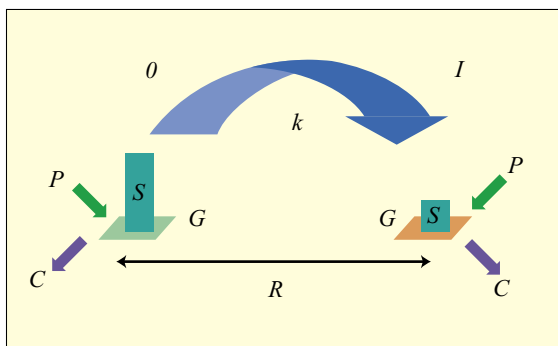
食糧生産の視点から中国の土地利用を分析した例は多く、1980年代以降の都市化が農地の減少を通じ、食糧生産に大きな影響を与えたことが指摘されている^{2),3)}。また、物流網が発達途上⁴⁾にある中国では、食糧需給の空間的アンバランスにより食糧輸送がかなりの負担となっていることが予想される。1993年には、中国南部の5省級行政区への鉄道による食糧移入量が1661万tに達し、その年の鉄道による食糧総輸送量の25%を占めるに至った¹⁾。中国統計年鑑によれば、1998年における食糧の鉄道輸送量は約7000万tであるのに対し、水上輸送量(内陸河川と運河がほとんどであり、海運は少ない)は約2000万tとなっている。また、トラック輸送については不明であるが、そのほとんどは短距離輸送と考えられ、中国における食糧の輸送は主に鉄道によって行われると考えてよい。さらに、1980年代に市場経済システムが導入されて以来、一部の食糧が商品として市場に入り、生産者と経営者は最も高い利益を獲得するために、食糧を価格の高い地域に向けて移動させるようになっている。中国のWTO加盟は、食糧販売の更なる自由化を意味し、このような変化が加速されるものと考えられる。

以上の背景を踏まえ、本研究は、中国における現状の土地利用、需給関係から予想される食糧の流れと、食糧ストックの脆弱性を評価し、そこから土地利用変化への圧力を読み取ろうというものである。食糧輸送は需給関係のみならず、経済力格差や輸送エネルギー、輸送コストが反映されたものになると考えられる。輸送エネルギー及び輸送コストの最大の決定要因は輸送距離である。現状での食糧生産、食糧需要、経済力等の分布をもとに数値モデルから導き出される食糧輸送パターンを示し、食糧需給をめぐる持続可能性の議論につなげたい。

2. モデルの構造

(1) モデルの考え方と前提

GDP の比に比例して、食糧余剰地域から食糧不足地域にメッシュ間の食糧輸送が起こる計画経済的(非市場原理型：配給型の意)モデル(図1)、メッシュの食糧吸引力分布形が当該メッシュのGDP に比例して決まる市場原理型(自由購入型の意)モデルの2つを提示し、中国の華中～華南地方を対象に2つのモデルによる食糧ストック分布の予測を行った。今日では「北糧南調」として、東北平原などから華南地方への食糧の長距離輸送⁵⁾が知られているが、モデル開発過程での試行錯誤の結果、これが十分表現できなかったため、比較的短距離の輸送とは異なるメカニズムが働いているものと考え、今回の対象地域を食糧の大消費地である華中～華南の沿海地域及びその後背地に限定した。なお、モデル中においては市場における価格調整により需要と供給が一致するメカニズムが表現されていないことや、両モデルの違いは、集荷距離(需要空間)が経済力(所得など)に線形に反応するか、非線形に反応するかであるため、以後、計画経済的モデルを「線形需要空間型モデル」、市場原理型モデルを「非線形需要空間型(重力モデル型)モデル」とそれぞれ表記する。また、モデル中では重量当たり距離当たりの輸送単価を同一と仮定している。入力データとし



【図1】線形需要空間型モデルの構造
各パラメータの意味は2章(2)を参照。

【表1】メッシュ当たり食糧生産・需要量(kg/年)のスケーリング・無次元化

階級	範囲
0	0 ～ 40000
1	40000 ～ 80000
2	80000 ～ 120000
3	120000 ～ 160000
4	160000 ～ 200000
5	200000 ～ 240000
6	240000 ～ 280000
7	280000 ～ 320000
8	320000 ～ 360000
9	360000 ～

ては、1995年頃を想定して作成された20kmメッシュ値⁶⁾を用いている。FAO-STATのFood Balance Sheetによれば、1995年には穀物の輸入量が過去最高となっており、食糧需給に関するリスクの最も高かった時期と考えられる。計算に際しては、解の安定性を考慮して定数項を決め、入力値を0～9にスケーリング(生産と需要は同じスケーリングを適用しており足し引きが可能)し、かつ無次元化している(表1)。距離についても20kmを1とするスケーリング・無次元化を行っている。

農産物の流通に関する均衡モデルは既に存在しているが、本研究で構築・提示されたモデルは、中国における食糧の流れと食糧ストックの分布を動的に求める目的で、流体力学などからヒントを得て、具体的な2次元空間における食糧の移動現象の結果を、時間発展方程式系(2次元空間における物質輸送現象の時間積分)を用いて動的に表現するという、今までに存在しなかったタイプの数値モデルである。

なお間接消費分は、例えば家畜飼料の場合、穀物の生産地から家畜の生産地を経由して消費地に届くこととなり、しかも、その年の収穫分が食肉として最終消費されるまでにはタイムラグ(実際

には以前の収穫分が食肉として供給されている)もあるため、本研究で扱う食糧の動きとは異なっているが、牧畜生産・流通に関する空間情報が不明であるため、本研究では全て直接消費分として扱った。これは、牧畜生産自身が穀物の生産地で行われると仮定したケースともいえよう。

また、FAO-STATのFood Balance Sheetによれば、過去最大の食糧輸入を経験した1995年における輸入量は穀物全体の約8%であり、最近数年では3%程度で推移している。よって、本研究では穀物の輸出入はないものとしている。

(2) 線形需要空間型モデル

モデルの基本式は次のとおりである。

$$dS_a = (P_a - C_a + IT_a - OT_a) dt \quad (1)$$

$$IT_a = \sum_b O_{ba} \quad (2)$$

$$OT_a = \sum_b O_{ab} \quad (3)$$

$$O_{ab} = k(G_b/G_a)(S_a - S_b)/R_{ab} \quad (4)$$

変数は、

S_a : メッシュaの食糧ストック

S_b : メッシュbの食糧ストック

P_a : メッシュaの年間食糧生産

C_a : メッシュaの年間食糧需要

IT_a : メッシュaへの食糧流入総量

OT_a : メッシュaからの食糧流出総量

G_a : メッシュaのGDP (GDP密度)

G_b : メッシュbのGDP (GDP密度)

R_{ab} : メッシュa, b間の距離

O_{ab} : メッシュaからメッシュbへの流出

である。また定数は、

dt (=0.1と設定)

k : 速度の次元を持つ定数 (輸送強度係数 : 単位時間当たりの食糧移動量)

である。ただし、 O_{ab} は $(S_a - S_b) < 0$ の場合ゼロ (メッシュaからメッシュbへの配給は起こらないもの) とする。

モデル中、生産や消費は1年当たりの数値を与えており、生産 (収穫) →流通 (備蓄) →消費というプロセスは、(季節変化の大きい地方など) 1年1作を仮定すれば1年を単位に行われる。また、計算の途中では生産や消費の特性が不変 (市場の様子を見ながら生産や流通の調整が行われることを仮定していない) としており、実際の生産 (収穫) →流通 (備蓄) →消費というプロセスでは、前期の状況がフィードバックしながら (価格も含め) 量的な調整が行われると考えれば、本研究における計算結果はそのフィードバックが発生する以前の時期 (例えば、計算開始から約1年後) のものであるといえる。係数 k が大きければ (輸送の速度が大きければ) 変化が早く進行し、小さければゆっくり進行すると考えられる。よって、例えばタイムステップ20を約1年後とすれば、時間積分の刻み幅 dt は半月程度となる。本研究では、そのフィードバックが生じたあとの挙動を議論しないことや、フィードバックが生じるまでの期間においても季節による違い (収穫期と非収穫期の違いなど) を考慮していないので、タイムステップを追っての食糧ストック分布の経時的変化には言及しない。なお、線形需要空間型モデルにおいては人口と食糧需要は比例すると仮定しているため、人口の変数は設けていない。

(3) 非線形需要空間型モデル

中国では改革開放政策が開始された1978年以降、生産量・販売額・価格の全てを中央政府が管理・制御する食糧流通の直接統制から、市場取引を通じた価格メカニズムを基本とし、備蓄制度 (1990年～) などの間接的な手段を通じて食糧流通を制御する間接統制へと段階的な移行が進展してきた⁷⁾。1978年までは、国家が商品化食糧を一元的に管理し、農民は余剰食糧を固定的な価格で国家に販売し、都市住民等の食糧需要者は必要な全量を国家からの配給に頼っていた。その後、農民が国家と契約した生産量 (計画買付任務) 以上

の生産を上げた場合に自由市場でこれを販売することが認められ、1983年からは省を越えた輸送や販売も認可された⁸⁾。また、1990年以降は全国各地に食糧卸売市場が設立され、1992年からは従来中央政府が直接統制していた配給用食糧の省間における過不足の調整を、各省同士の交渉や食糧卸売市場での売買により行えるようになった。そして、1993年以降都市住民に対する食糧配給制度も順次廃止され、1988年に小売量全体のほぼ半分を占めていた配給食糧は、1995年には約8%へと低下した⁷⁾。そして、現在までにさらなる食糧流通の自由化が進行している。

食糧輸送パターンが市場原理で決まる場合には、食糧不足地域から食糧余剰地域への食糧輸送もありうる。また、それに伴うアンバランスを解消するため、食糧生産・食糧需要（人口移動を含む）の調整が生じるはずである。前述の中国における制度の変遷を考えると、線形需要空間型モデルが成り立つのは、実際に食糧が自由売買可能な市場で動き始めてから食糧配給制度が廃止される段階までであり、それ以降についてはより市場原理の強調されたモデルの構築が必要と思われる。このような考え方のもとに、以下に示す非線形需要空間型モデルを提案したが、こちらのモデルの方が中国の現状により近いものと思われる。基本式は線形需要空間型モデルと共通であるが IT_a と OT_a の与え方が異なってくる。

メッシュ a への食糧の流入ポテンシャル IT_a を、メッシュ a の人口 N_a 、 $GDPG_a$ を用いて式(5)のように定義すると、メッシュ b からメッシュ a への食糧流入量 I_{ab} は密度関数を用い、式(6)のように表される。

$$IT_a = pN_aG_a/G_0 \quad (5)$$

$$I_{ab} = IT_a f(R_{ab}) / \int_b f(R_{ab}) dR_{ab} \quad (6)$$

つまり、メッシュの食糧を集める力は人口と GDP に比例するという考え方である。ここで、p

は単位時間当たり単位人口当たりの食糧吸引ポテンシャル（食糧吸引係数：単位時間当たり単位人口当たりの食糧需要量）、 G_0 は空間平均 GDP、 R_{ab} はメッシュ a、b 間の距離である。 G_a/G_0 は相対経済値というべきものである。ただし、メッシュ b における食糧のストック S_b が正でなければ流入は起こらないものとする(式7)。一方、メッシュ a からの流出 OT_a は、他のメッシュ（ここではメッシュ b）へのメッシュ a からの流入の総和で定義され、式(8)のように表される。

$$S_b \leq 0 \rightarrow I_{ab} = 0 \quad (7)$$

$$OT_a = \sum_b I_{ba} \quad (8)$$

ここで密度関数 f は、2次元水平面上におけるメッシュ a からの距離を R とすると式(9)のような性格を持つ。GDP の大きなメッシュは広く薄く食糧を集め、GDP の小さなメッシュは近場のみから食糧を集めるとする考え方である。よって式(6)が導かれる。

このほか、単位時間当たりのメッシュ毎の収支については、線形需要空間型モデルと同じである。また、1タイムステップ当たりの変化量は p の値で調節できる。

$$f(R) = 1/G_a \exp(-R/G_a) \quad (9)$$

なお、このモデルでは価格の上昇効果が陽には表現されていない。また、p は全域で一律としている。さらに、価格の地域差は G_a に反映されていると考えられる。

3. 結果と考察

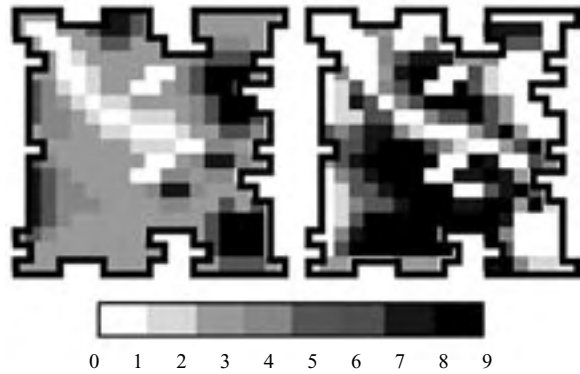
(1) 仮想島におけるモデルの挙動確認

a) 仮想島の構造

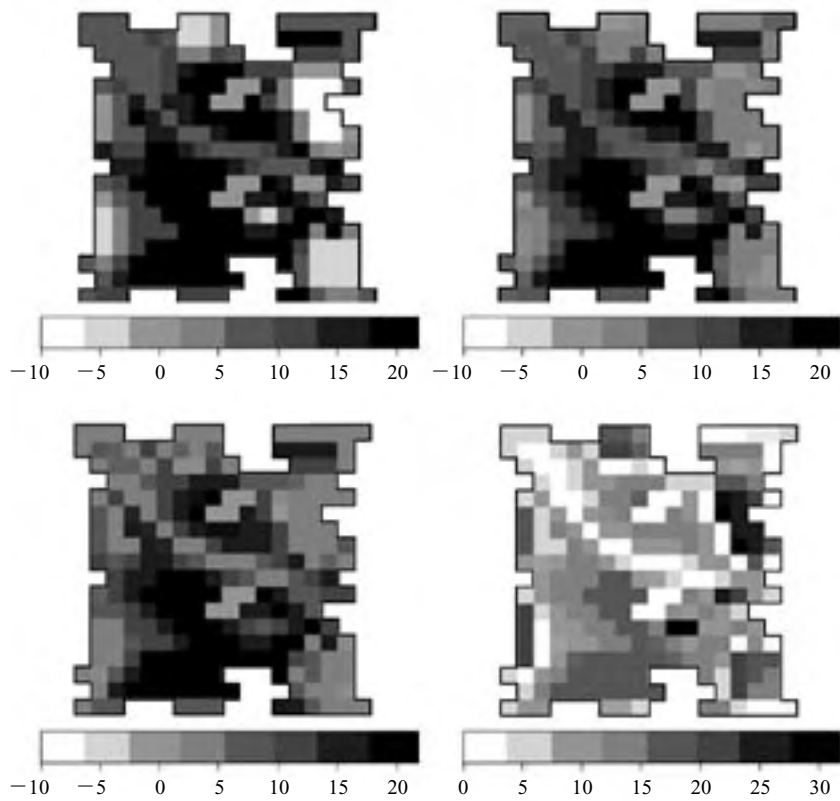
中国大陸への適用の前に、モデルの基本的な性能を評価するため、1辺約360kmの仮想島にこ



【図2】 仮想島の土地利用
 白：水系 薄いグレー：生産地
 濃いグレー：都市域 黒：山地



【図3】 仮想島における食糧需要（左）・食糧生産（右）の分布（10段階）



【図4】 仮想島における食糧ストック分布（線形需要空間型モデル；タイムステップ20の状態）

周辺の1メッシュを切り落としてある。

左上) 輸送がなかった場合 右上) 輸送強度係数：0.003 左下) 輸送強度係数：0.01 右下) 輸送強度係数：0.03

の2つのモデルを適用した。まず仮想島の土地利用（図2）、食糧需要・食糧生産（図3）の分布を示す。この島は完全に閉じた系であり、食糧の輸出入はないものとする。また GDP、人口は食糧需要に比例するものとした。なお、食糧ストックの初期値は陸地全メッシュ10に設定した。

b) 線形需要空間型モデル

タイムステップ20における輸送強度係数別の計算結果を図4に示す。食糧輸送がなかったとすると都市域（図3で食糧需要の大きいところ）で食糧が大幅に不足する。輸送強度係数を上げていくと、都市域における食糧不足が解消され、それ

に遅れて生産地における食糧ストックが減少していくことがわかる。輸送強度係数を0.03まで上げてみると、都市域に急激に食糧が集中し、生産地の周辺で10前後、生産地の中心付近で15前後の食糧ストックに落ち着いてくる。

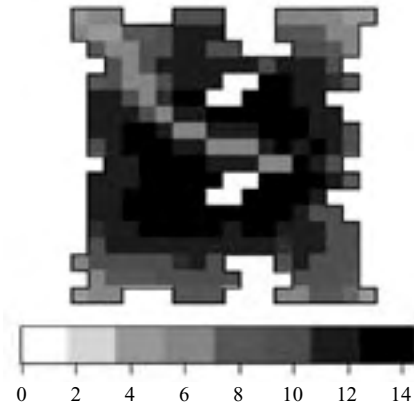
c) 非線形需要空間型モデル

【表2】 食糧吸引力の距離による減衰割合に及ぼす経済力の影響

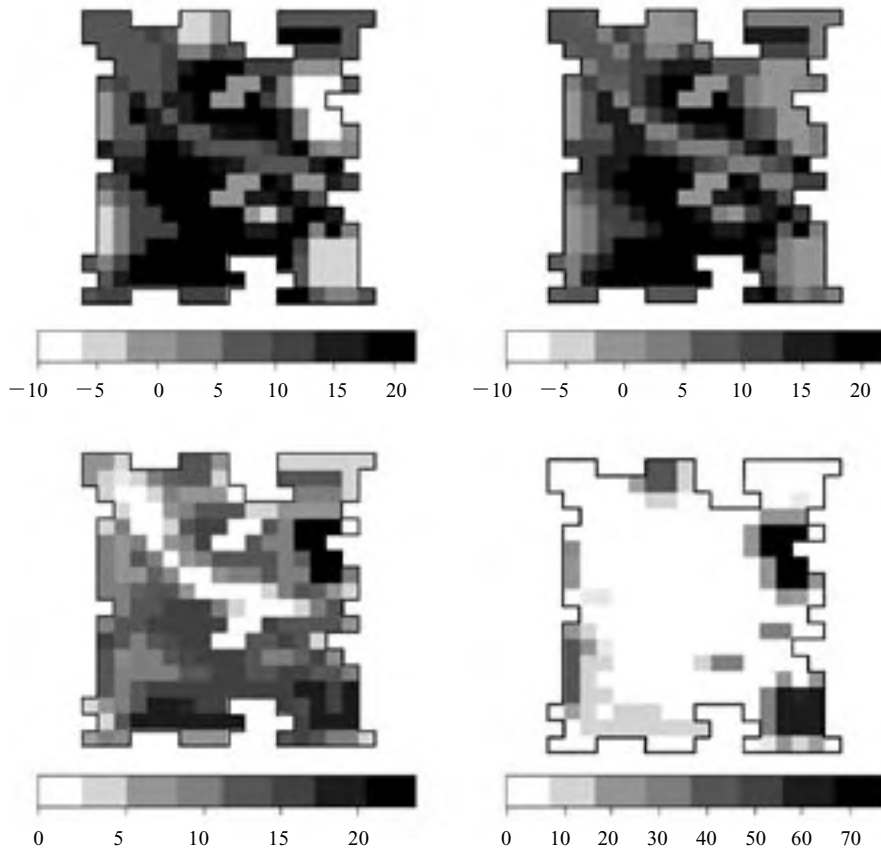
G_a	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1.0	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.0	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
4	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1
9	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4

メッシュ間距離 (R) と吸引メッシュ a における経済力 G_a の関係 (自己メッシュに対する吸引力を1.0とした場合の相対値)

非線形需要空間型モデルにおける密度関数 f は、メッシュ a からの距離による食糧吸引力の減衰を表している。表2に、食糧吸引力の距離による減衰状況を示した。自己メッシュに対する吸引力を1.0としたときの相対値である。GDP密度が



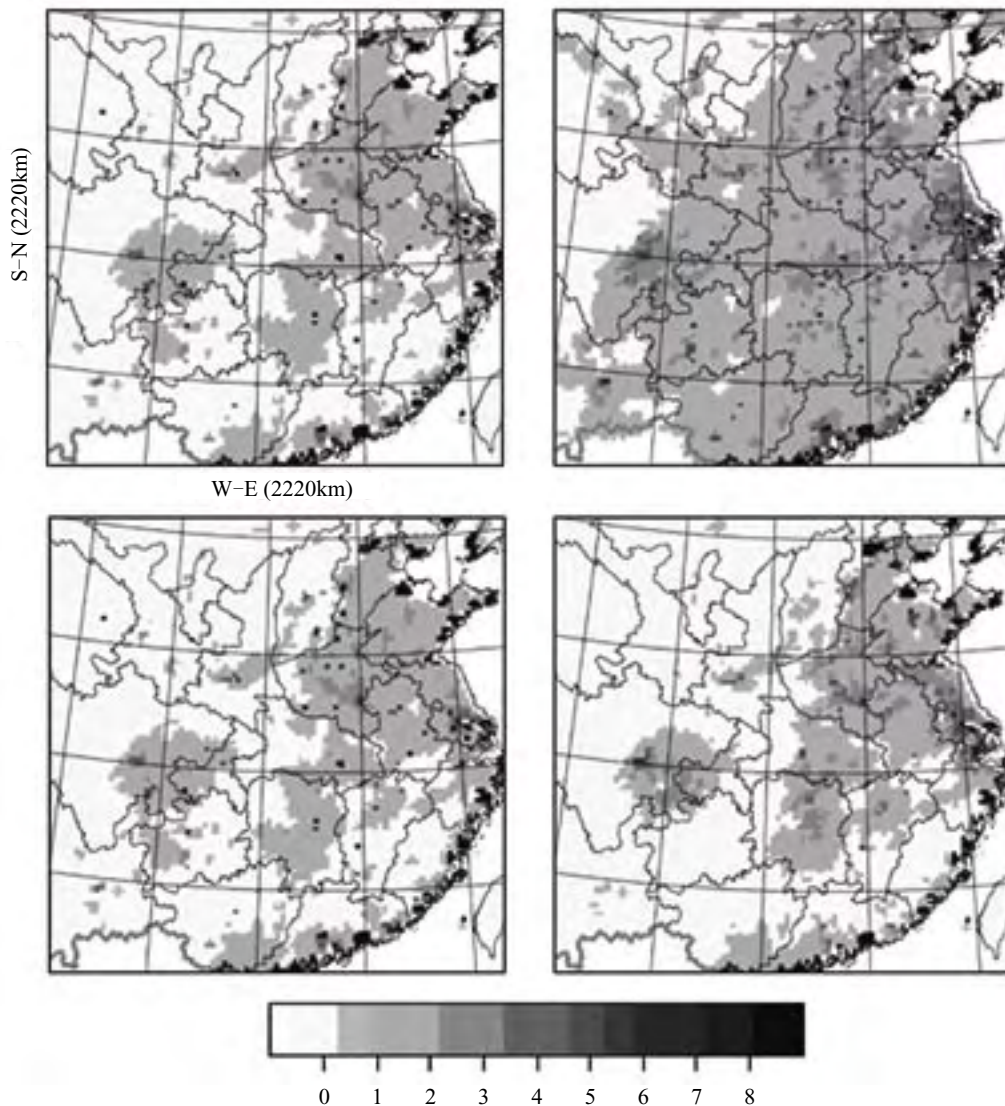
【図5】 仮想島における密度関数 f の合計値分布



【図6】 仮想島における食糧ストック分布 (非線形需要空間型モデル: タイムステップ20の状態)

周辺の1メッシュを切り落としてある。

左上) 食糧吸収係数: 0.003 右上) 食糧吸収係数: 0.03 左下) 食糧吸収係数: 0.1 右下) 食糧吸収係数: 0.3



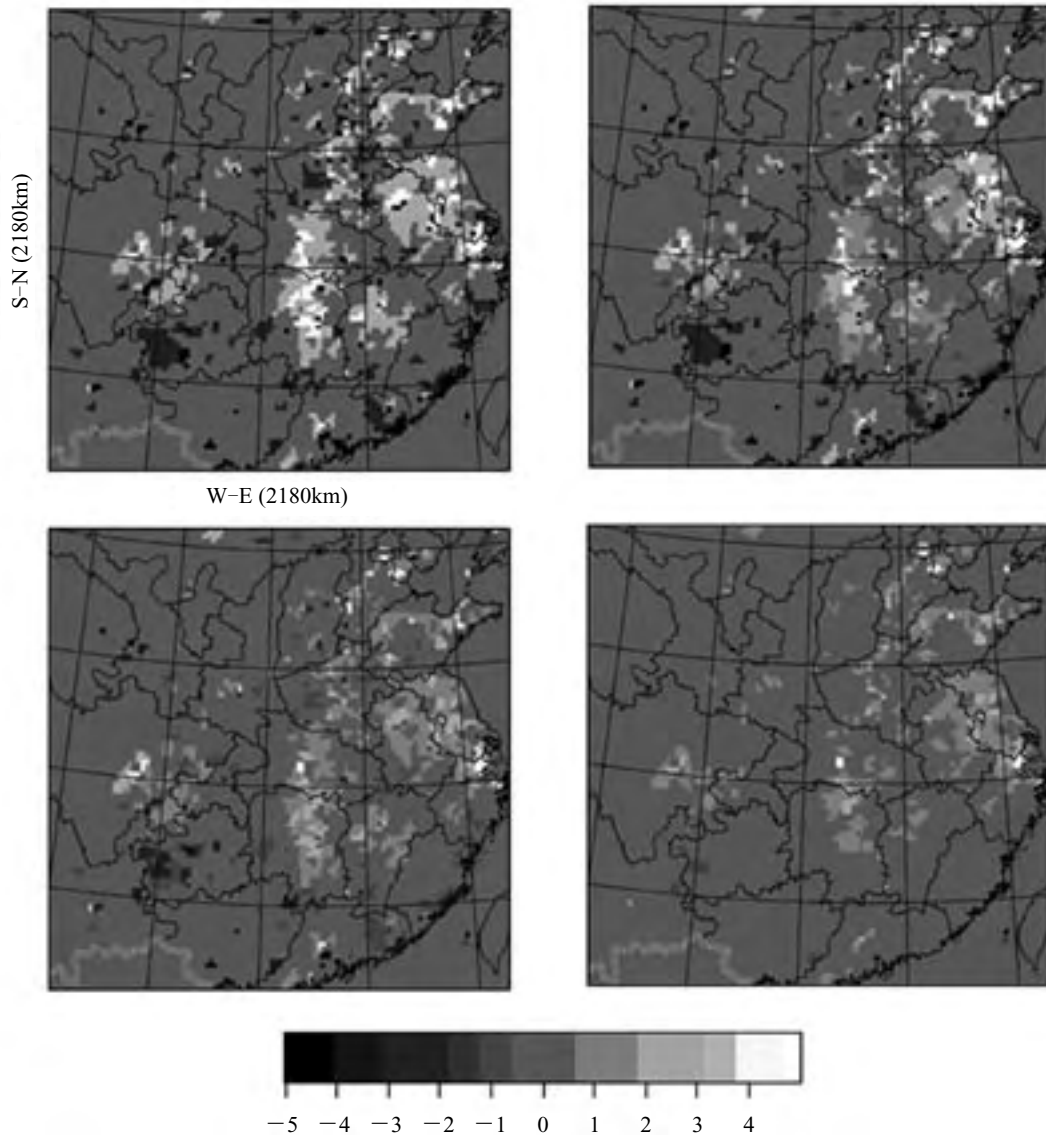
【図7】 華中～華南における人口密度

華中～華南における人口密度（左上）・GDP密度（右上）・食糧需要（左下）・食糧生産の分布（右下）：10段階
東西南北ともに2220kmの範囲

1のメッシュが2メッシュ以内の範囲から食糧を集めてくるのに対し、GDP密度が9のメッシュは9メッシュ離れた場所からも食糧を集めてくることになる。

図5は仮想島における密度関数 f の合計値（全てのメッシュとの間に求められるの合計）の分布を示したものである。島の中央が高くなっているのは海から離れているため、近いところに陸地のメッシュが多く存在し、 f の値が大きく計算されるためである。

タイムステップ20における食糧吸収係数別の計算結果を図6に示す。食糧吸収係数が0.003のケースでは、都市域に食糧が集まらず不足状態は解消されていない。係数を0.03に上げると、都市域における食糧不足が解消する。この挙動は線形需要空間型モデルにも共通する。さらに係数を0.1に上げると、一部の都市域に多くの食糧が集まり始め、生産地では10～20に落ち着くのがわかる。係数が0.3になった場合、全ての都市域で大きな食糧ストックが築かれている。また、山地の両側



【図8】 華中～華南における食糧ストック分布（線形需要空間型モデル）

タイムステップ25の状態。周辺の1メッシュを切り落としてある。東西南北ともに2180kmの範囲。

左上) 輸送がなかった場合 右上) 輸送強度係数：0.0005 左下) 輸送強度係数：0.001 右下) 輸送強度係数：0.005

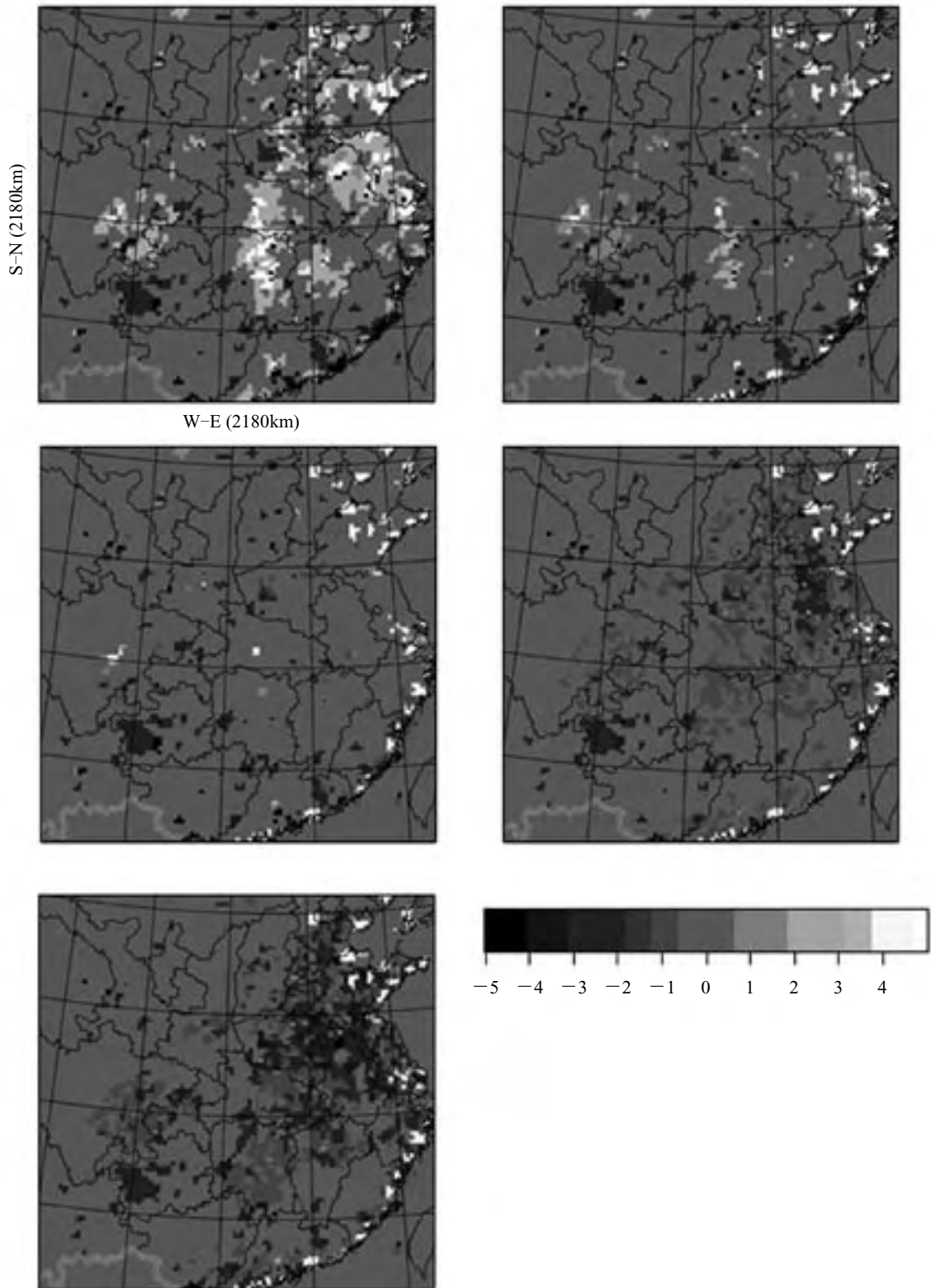
(GDPも低く、食糧生産も少ない地域)で食糧ストックが底をつきかけているのがわかる。

(2) 華中～華南におけるケーススタディ

a) 対象地域における基礎データ

東西方向には上海から昆明、蘭州まで、南北方向には広州から北京までをカバーする2220km四方を対象に2つのモデルを適用し、タイムステップ25における計算結果を比較した。計算領域の

内陸側縁辺部では領域の外部とのインタラクションがあるものの、それは表現されていないことから、解析結果の考察は、内陸側の縁辺部を除いて行う必要がある。つまり、これは華中～華南におけるケーススタディである(図7)。中国国外の領土(図中南西部の一角)や台湾ではデータが与えられていない。なお、食糧需要は人口に比例(400kg/人・年：間接消費分を含む)するものとしている。人口が沿岸部の大都市に集中し、四川盆



【図9】 華中～華南における食糧ストック分布（非線形需要空間型モデル）

タイムステップ25の状態。周辺の1メッシュを切り落としてある。東西南北ともに2,180kmの範囲。範囲は図8と同じ。

左上) 食糧吸収係数：0.01 右上) 食糧吸収係数：0.05 左中) 食糧吸収係数：0.1
右中) 食糧吸収係数：0.5 左下) 食糧吸収係数：1.0

地と華北平原、武漢、西安周辺にも人口が集まっているのに対し、食糧生産は主に大都市周辺（特に華東地域）と華北平原、四川盆地、武漢～長沙、南昌、西安周辺で行われている。人口や食糧生産に比べ、GDPは中位以上の地域が広範に分布している。なお、FAO-STATのFood Balance Sheetによれば、ここ数年で最も穀物全体に占める備蓄量の割合が高かったのは2000年の約6%であったため、ここから先の計算では食糧ストックの初期値を0としている。

b) 線形需要空間型モデルの結果

タイムステップ25における輸送強度係数別の計算結果を図8に示す。食糧輸送がなかった場合、武漢～長沙、四川盆地、南昌、華東地域、山東半島、華北平原で食糧ストックが蓄積されるのに対し、沿海部の大都市や雲貴高原などで食糧ストックが負の値となっている。輸送強度係数を上げていくとこのアンバランスは解消に向かい、0.005では局地的なアンバランスはほとんど見られない。

O_{ab} が $(S_a - S_b) < 0$ の場合発生しないにも関わらず、食糧ストックが負の値を示す理由としては、メッシュaからの流出 OT_a をなくしても、メッシュaにおける消費 C_a はなくならないため、経済力が弱いなど食糧を外から引き込む力が弱い場合、消費に応じて食糧ストック S_a が減少していくことがある。また、今回は入出力値をすべてスケールリングしており、食糧ストックの初期値も計算結果の安定性を見ながら調整している。その意味ではスケールされた数値の大小は相対的なものであり、負の値になった場合の解釈としては、すぐさま飢饉になるのではなく、食糧の移出を制限しなければならないほどそのリスクが高まるという程度に考えるべきであろう。また、 S_a と S_b がともに負の場合も、 $(S_a - S_b) > 0$ 、つまりメッシュaのほうが状況が深刻でない限りは、メッシュbに向かって食糧が流れうる構造となっている。

c) 非線形需要空間型モデルの結果

タイムステップ25における食糧吸収係数別の計算結果を図9に示す。ここでは仮想島に比べてのフィールドの拡大に応じ、食糧吸引力のメッシュ間距離に対する感度を仮想島の場合の3分の1としている。食糧吸収係数が0.05の段階で、沿海地方のほとんどの大都市に食糧ストックが急速に蓄積されており、食糧ストックの値は5を越えている。一方華東地域や華北平原、四川盆地などに形成されていた豊富な生産にもとづく食糧ストックが大きく減少している。食糧吸収係数を上げていくと生産地での食糧ストックの不足が徐々に顕著となり、1.0では内陸地域で広域的に食糧ストックが不足するアンバランスな分布が発生する。華南地方では雲貴高原など、食糧生産が少なく人口密度も比較的小さいものの、相対的に経済力の弱い地域において、食糧吸収係数の小さな段階からこうした不足地域が見られるが、大消費地に近い華北平原や華東地域では食糧吸収係数を1.0にまで上げてやると、人口密度が高く、経済力も比較的強い地域までもが不足地域に陥り、また、このような不足地域が広域的に連担しているのも特徴的である。

4. 結 論

線形需要空間型及び非線形需要空間型の2つの食糧輸送モデルを構築し、仮想島及び中国の華中～華南を対象として食糧ストック変化の数値シミュレーションを行った。食糧輸送がなかったとすると都市域で食糧が大幅に不足するが、線形需要空間型モデルでは、輸送強度係数を上げていくと都市域における食糧不足が徐々に解消され、生産地における食糧ストックも減少していき、局地的なアンバランスはほとんど見られなくなる。一方非線形需要空間型モデルでは、食糧吸収係数を上げていくと沿海部の大都市の一部で食糧ストックが急速に蓄積され始める。それに遅れて生産地での食糧ストックが減り始め、内陸地域で広域的

に食糧ストックが不足するアンバランスな分布が発生する。

つまり線形需要空間型モデルでは、食糧ストックの地域格差を縮小する方向に変化が進むのに対し、非線形需要空間型モデルでは、地域格差が拡大し、かつ経済的に中位の地域までもが食糧ストックの不足に陥る。言い換えれば、経済力に任せて必要のない食糧までも集めてしまう様子が伺える。今後の経済発展に伴う中国人民の生活レベルの向上や、工業、牧畜業の規模拡大などにより、あるいは気候変動や突発的な気象災害などにより、食糧需給のバランスが崩れてしまった場合に食糧流通の自由化がもたらすリスクを考える上で、示唆に富んだ結論が得られたものとする。

今回は実際の食糧輸送パターンとの対比を行っていないが、そのためには卓越的な食糧のフロー

をベクトル表示するなど、食糧輸送における出発点と到着点を明らかにしなければならない。また、輸送エネルギーや輸送コストを最小とするような理想的な輸送パターンを求める方法としては、線形計画法の輸送型問題⁹⁾が適用可能である。この手法は松本・井村¹⁰⁾でも試みられており、日本国内の米の輸送問題（県間輸送）に適用され、現状では14%エネルギー消費が最適解より多くなっていることが指摘されている。本研究の場合、メッシュ間のやりとりを考えているため、県（ポリゴン）間輸送問題として解いているこの事例とは性格が異なろう。本研究から提示される輸送パターンはかならずしも最適解というわけではないが、現状の輸送パターンとの乖離を示し、食糧需給をめぐる持続可能性を議論するための材料とした。

謝辞：本研究を行うにあたり貴重なコメントをいただいた立命館大学文学部の中谷友樹助教授、東京大学生産技術研究所の松村寛一郎助教授（現在・関西学院大学総合政策学部助教授）に感謝いたします。本研究は、環境省地球環境研究総合推進費「中国における土地利用変化のメカニズムとその影響に関する研究」（代表・大坪国順）の一部である。

引用文献

- 1) 王勤学、大坪国順、一ノ瀬俊明：中国における食糧の需給バランスに関する研究、LU/GEC プロジェクト報告書 VI——中国における土地利用変化のメカニズムとその影響に関する研究——、国立環境研究所地球環境研究センター、16-21, 2000.
- 2) 肖平、王勤学：中国における1949年以降の食糧生産の変化とその要因、地理学評論、72A、589-599, 1999.
- 3) Xiao, P.: The Cultivated Land Change and Its Impacts on Grain Production in China, 北海道地理、71、23-31, 1997.
- 4) 中山裕文、井村秀文：中国の石炭需要及びその輸送問題に関する将来予測、環境システム研究、25、295-302, 1997.
- 5) 例えば、北野尚宏：中国の食糧需給の見通しと農業開発政策への提言、IIAS シンポジウム「中国の食糧と環境問題」、1998.
- 6) 大坪国順（編）：LU/GEC プロジェクト報告書 V——中国における土地利用変化のメカニズムとその影響に関する研究——、国立環境研究所地球環境研究センター、167p, 1999.
- 7) 寶劔久俊：中国における食糧流通政策の変遷と農家経営への影響、高根務編「アフリカとアジアの農産物流通」、アジア経済研究所、2003.
- 8) 池上彰英：食糧の流通・価格問題、阪本楠彦・川村嘉夫編「中国農村の改革」、アジア経済研究所、1989.
- 9) 澤喜司郎：交通計量経済学、成山堂書店、219p, 1997.
- 10) 松本亨、井村秀文：戦後日本の食生活変化とエネルギー消費に関する研究、環境科学会誌、13、455-468, 2000.

MODELS OF DOMESTIC CEREAL FLOW IN CHINA DUE TO STOCK AND ECONOMIC GRADIENT

Toshiaki ICHINOSE, Qinxue WANG and Kuninori OTSUBO

To evaluate vulnerability of cereal transportation and cereal stocks estimated from the current land use and demand-supply on cereal in China, two types of numerical models (non-market type and market type) were developed and applied to this topic. Input data were 20km-cell base published by Otsubo (1999). Target year was around 1995. In case of no cereal transportation, severe cereal shortage appeared in urban regions. In the non-market type model, cereal was transported from grid-cells with positive cereal stocks to grid-cells with negative cereal stocks in proportion to the ratio of their GDP. In the market type model, each grid cell absorbed cereal from surrounding cells in proportion to its GDP (economic potential). In the non-market type model, regional imbalances of cereal stocks were decreased by the cereal transportation. However, the result in the market type model showed some risk of decreasing cereal stocks in hinterlands of productive regions and in urban regions far from productive regions, especially coastal zone in the south China, because a quick accumulation of cereal in the coastal municipalities enlarged such regional imbalances.