

食料需要モデルを利用した黄河流域の農業用水消費に関する研究

園田益史¹・大西暁生²・白川博章³・井村秀文⁴

¹ 非会員 工修 株式会社 ISOWA (〒486-0908 愛知県春日井市西屋町 66)

E-mail:sonoyann@gmail.com

² 正会員 博士 (工学) 総合地球環境学研究所 (〒603-8047 京都市北区上賀茂本山 457 番地 4)

³ 正会員 博士 (学術) 名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

⁴ 正会員 工博 名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

黄河流域では深刻な水不足に直面している。用水の用途では農業用水が最も大きなシェアを占め、食料需要の変化が水資源に与える影響は大きい。流域内で生産される食料は、輸送を通じて、流域内外の需要を満たしている。本研究では、供給先の需要の変化に伴う食料供給量の増減を2000年のフードバランスに基づいて推計し、流域内の用水量の変化を検討した。食料需要の傾向の把握として、需要体系モデルであるAlmost Ideal Demand Systemを用い、穀物、野菜、油脂類、肉類、卵類、水産物、糖類の7品目の需要の所得弾性値と価格弾性値を計測した。また、食料輸送を通じた空間的な需給調整については、省の食料余剰量と不足量に基づく輸送モデルにより求めている。結果として、所得増加を仮定した場合には、流域内の小麦の需要増加と流域外の豚肉の需要増加による水消費への影響が大きいことが示された。穀物の価格低下を仮定した場合には、流域内外の小麦とトウモロコシの需要の影響が大きいことが分かった。

Key Words: Yellow River basin, agricultural water, food demand, Almost Ideal Demand System

1. はじめに

中国黄河流域は、経済発展に伴い水不足が懸念される地域である。1972年にはじめて観測された断流現象は、1990年代に入り急激に悪化し、1997年には河口から704km、発生日数では226日に及ぶ大規模な断流現象が発生した¹⁾。こうした深刻な水不足を受け、中国政府は、全需要量の7割を越す農業用水を中心に適正な水の使用を訴え、水資源管理の徹底的な見直しを行った²⁾。一方、黄河流域は中国有数の穀倉地帯であり、生産に不可欠な水の供給削減は、直に生産性の低下、減産につながる可能性がある。さらに、工業化や都市化の進展に伴い、工業用水や生活用水の増加が見込まれ、さらなる農業用水の削減が求められる可能性がある³⁾。一方、中国全体の食料事情を見ると、農業生産性の鈍化や耕地面積の伸び悩み、在庫量の低下などにより、WTO加盟以来、食料の輸出入量は増加の一步をたどっている。

さらに、食料品の需要変化を見ると、所得の増大に伴い1990年代後半から肉類や水産物、野菜などの副食品の需要の高まりがみられ⁴⁾、国内での食料確

保が困難となってきた。このような状況の中、食料自給の達成を訴える中国政府は、農業生産の増大を推奨している(現実には、必ずしも100%自給にはこだわっておらず、95%を下回らないという目標で政策運営がなされている)⁵⁾。こうした完全なる食料の国内確保の達成のため、主要な穀物供給地である黄河流域では、域内の食料需要を満たすばかりでなく、輸送を通じて他地域を含む国内全体の需要をまかなう必要性が生じる。こうした国内調達や食料増産の流れは、黄河流域の農業用水の総量に、流域内および域外の食料需要の影響が深く関係してくる。特に、所得増加に伴う肉類の消費の増加は、トウモロコシなどの飼料用の穀物の間接的な消費量を増大させ、自地域からの飼料穀物の調達割合が大きい食肉生産地では、水需要量が増大する結果となる。黄河流域内では、山東省や河南省の食料生産量が大きく、流域内の他省および流域外の地域への食料の供給元となっている。

こうした中国の食料生産の展望に警笛を鳴らした代表的な研究として、レスター・R・ブラウン⁶⁾がある。中国の食料生産の問題の克服には、化学肥料、

機械化、灌漑率などの他に、自然条件として水資源や大気汚染などの問題を解決する必要があると訴えている。また、筆者ら⁷⁾も、黄河流域の地域別における穀物生産性の変化の要因を考察し、水資源量の不足が生産性の低下につながることを示唆している。さらに、食料の需要サイドに焦点をあてた研究として、穆ら⁹⁾や中谷ら⁸⁾がある。穆らは、家計における食料品の需要分析を Almost Ideal Demand System⁹⁾を用いて分析しており、人々のミクロな家計支出の嗜好に伴う食料需要の変化を扱っている。一方、中谷ら⁸⁾はFAO STATのフードバランスシートを用い、主要穀物の消費量を算定し、これを中国国内の空間消費分布として示している。こうした食料の生産と需要の双方を食料輸送の観点から研究したものに、一ノ瀬ら¹⁰⁾がある。ここでは、国内食料輸送モデルを構築し、経済格差、輸送エネルギー、輸送コストなどから最適な食料の輸送パターンを推計し、現状の輸送パターンとの乖離を示している。このように、食料の安定的な需給構造のあり方を研究し、またその生産側の地域的な資源制約を加味した研究は、既に上記のように、個別には存在するものの、中国全体における食料需要の変化が、水不足に悩む黄河流域の水需要に与える影響を考察した研究はない。また、筆者ら¹¹⁾のように、黄河流域における水需給バランスを推計した研究においても、流域内外における食料需給の変化が農業用水に与える影響は加味していない。

そのため本研究では、黄河流域における中国全体の食料需要の変化に伴う農業用水への影響を、流域内外のつながりとして考察する。ここで、食料需要の分析には、穆ら⁹⁾の研究を参考とし、需要体系モデルの1つである Almost Ideal Demand System を用い、家計における食料品目の需要分析を行う。また、水需要量の推計には、中国で公開されている農業用水原単位^{12), 13)}を用い推計する。このようにして導き出された食料需要の変化による農業用水量への流域内外での関係を示すことで、食料の供給を任されている黄河流域での水不足問題が、広く黄河流域内外での共通の課題として認識され、さらに食料の安定供給を目指す中国政府の克服すべき課題として示すことができると考える。

2. 分析の方法

図-1 に、本研究の分析の流れを示す。分析では、はじめに、中国国内の食料品の空間的分布を把握し、生産量とともに、地域の食料の余剰量および不足量を推計する。次に、都市と農村の別に、消費品目の

価格情報と支出額から、食料需要の弾性値を求める。本研究では、中国の統計書における、城鎮および農村居民にあたる値を、それぞれ都市部および農村部の統計値として扱う。さらに各省で求めた食料の余剰量と不足量と、国内の主要な輸送経路より、省間の移送量と移送方向を把握する。最後に 2000 年において、食料の消費分布と、先に求めた省間の移送経路と移送量の比率を仮定し、食料需要の変化が、黄河流域の水消費に与える影響を品目別に計算する。食料需要の変化のシナリオは、所得または穀物価格の変化に基づいている。各分析の具体的な方法について以下に示す。

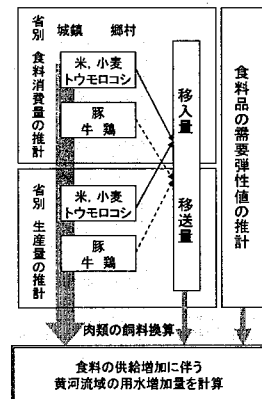


図-1 分析の流れ

(1) 食料消費と生産の空間分布

米、小麦、トウモロコシおよび豚肉、牛肉、鶏肉の肉類について、2000 年の消費分布を把握する。ここでの方法は、中谷ら⁸⁾の方法を参考としている。中国全土の品目の総消費量については、FAO¹⁴⁾の値に従うものとし、中国統計年鑑にある省別の 1 人当たり消費などから、各省内の消費量を推計している。CIESIN¹⁵⁾の値によれば、都市の 1 人当たり穀物消費量は、農村の 0.84 倍にあたる。この比率を、各省の都市と農村の 1 人あたり消費量について仮定する。この比率と中国糧食供求：調査与分析¹⁶⁾の農村 1 人当たりの米、小麦、トウモロコシの消費量から、各省の 1 人当たり穀物消費量 $U_{t,u,k}$ を求める。 t は該当の省、 u は都市または農村の区分、 k は品目を示す。省 t の都市または農村人口 $P_{t,u}$ より、各区分の消費量の割合 $S_{t,u,k}$ を式(1)に示す。人口のデータは、中国統計年鑑¹⁷⁾および中国農業年鑑¹⁸⁾の値を用いた。

$$S_{t,u,k} = U_{t,u,k} P_{t,u} / \sum_t \sum_u U_{t,u,k} P_{t,u} \quad (1)$$

$S_{t,u,k}$ を FAO の総消費量 $Q_{FAO,k}$ に乗じ、各消費量を式(2)のように合計することにより、省 t の品目 k の消費量 $Q_{t,k}$ を求める。

$$Q_{t,k} = \sum_u Q_{FAO,k} S_{t,u,k} \quad (2)$$

トウモロコシについては、人の食料にあたる消費量に、家畜飼料向けの消費量を加えて、省単位の消

費量とする。飼料の消費量の計算は、肉類の生産量に飼料換算係数を乗じることで計算した。飼料換算係数は黒井¹⁹⁾が紹介している中国科学院の値を用いた。表-1に飼料換算係数を示す。

表-1 肉類 1kg 生産に必要な穀物飼料重量

	米	小麦	トウモロコシ
kg	4.3	3.6	2.7

(2) 食料需要の分析

需要関数の推定において、予算制約といった需要理論が求める条件を組み込んだ上で、需要関数の推定を行うことを可能にしたのが、需要体系モデルである。本研究では、需要体系モデルに属し、家計の予算制約を適切に表現することが可能である Almost Ideal Demand System (以下 AIDS と記す。)を用いた。

a) Almost Ideal Demand System

式(3)から(9)に AIDS の定式を示す。

定数および変数の表記は以下の通りである。

y : 食料支出

p_i : 財 i の価格 p_i を第 i 成分とする価格ベクトル

q_i : 財 i の消費量

p_f : 食料の消費者物価指数

P : Stone の価格指数

$w_i = p_i q_i / y$: 財 i の支出比率

$\eta_i = \partial \ln q_i / \partial \ln y$: 所得弾性値

$e_{ij} = \partial \ln q_i / \partial \ln p_j$: 財 j の価格変化に対する財 i の価格弾性値

$$w_i = \alpha_i + \beta_i \ln(y/P) + \sum_j \gamma_{ij} \ln p_j \quad \forall i \quad (3)$$

$$\ln P = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln p_i + 0.5 \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \ln p_i \ln p_j \quad (4)$$

$$\text{収支均等: } \sum_i \alpha_i = 1 \quad \sum_i \beta_i = 0 \quad \sum_i \gamma_{ij} = 0 \quad \forall j \quad (5)$$

$$\text{同次性: } \sum_j \gamma_{ij} = 0 \quad \forall i \quad (6)$$

$$\text{対象性: } \gamma_{ij} = \gamma_{ji} \quad \forall i, j \quad (7)$$

$$\text{需要弾性性: } \eta_i = 1 + \beta_i / w_i \quad \forall i \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ij} = & -\delta_{ij} + \gamma_{ij} / w_i \quad \forall i, j \quad (9) \\ & -(\beta_i / w_i)(\alpha_j + \sum_k \gamma_{jk} \ln p_k) \end{aligned}$$

b) 食料需要の分析

AIDS を利用して、1996 年から 2002 年の期間を対象とし、中国国内の食料需要の分析を行う。本研究では、中国統計年鑑¹⁷⁾に記載のある家計の消費内訳を品目と定義する。この品目の価格および支出データより、都市と農村別に食料品目の所得弾性値および価格弾性値を推計する。所得弾性値とは、所得の変化率に対する対象品目の需要変化率の比を示す値である。また価格弾性値とは、ある品目の価格の変

化率に対する品目の需要変化率を示す値である。価格弾性値は、需要変化の対象とする品目自身の価格変化に関する自己価格弾性値と、他品目の価格変化に関する交差弾性値に分けられる。分析では、この両方の値を求めた。データセットとして、欠損の多い西藏自治区を除いた全土 30 の省・自治区の時系列データをパネルデータセットとして用いている。推計は、はじめに食料、衣服、住宅、家庭用品、交通、文化教育、医療保険の 7 品目を対象とした場合の食料品の需要弾性値を求める。次に、この食料品の弾性値に基づき、穀物、野菜、油脂類、肉類、卵類、水産物、糖類の 7 品目の弾性値を推計した。表-2 に推計の対象とした品目をまとめる。

表-2 需要分析の対象品目

第1段階 推計	食料	被服	住宅	家庭用品	交通	文化教育	医療保険
第2段階 推計	穀物	野菜	油脂類	肉類	卵類	水産物	糖類

(3) 食料輸送モデル

中国における国内物流については、鉄道による石炭輸送など一部を除いて資源や製品の地域間輸送に関する情報が得られない。そこで、本研究ではまず、地域別に食料の生産量と消費量を推計し、次に輸送モデルを用いて、2000 年時点の省間の食料輸送経路および輸送量を推計した。本輸送モデルは、中国全体で食料輸送にかかるコストを最小化するモデルである。また、単純化のため、輸送コストは輸送距離に比例すると考え、輸送距離で輸送費用を代替した。

中国国内の地域間輸送距離について、一ノ瀬ら¹⁰⁾のようにメッシュデータから求めたものもあるが、本研究では、2000 年における詳細な中国国内の道路網の情報が得られなかったため、単純化のため鉄道軌道距離で省間の距離を代表させた。

国土の広い中国では、食料品目毎の生産の空間分布がそれぞれに異なり、各地の消費量と生産量には需給の不均衡がみられる。輸送モデルでは、この需給の不均衡が輸送によって補われているものとする。ここでは、食料余剰省 v から不足省 w への移送量を X_{vwk} とし、 C_{vw} を両省間の移送距離とする。ここでは、移送量と輸送距離の積を、輸送量 T_{vwk} と定義し、国内の総輸送量を最小化させるような輸送パターンが選択されるものとする。これを目的関数として式(10)のように示す。 l, m はそれぞれ食料余剰省および不足省の数を示す。

$$\min T_k = \sum_{v=1}^l \sum_{w=1}^m C_{v,w,k} X_{v,w,k} \quad (10)$$

国内の食料輸送には、鉄道のほか、幹線道路、河

川・海運の利用もされているが、省間を結ぶ鉄道軌道と幹線道路の経路は、近しいものと考え、鉄道距離の利用によって代替する。鉄道距離として、中国列車主要駅間距離表²⁰⁾の経路・値を用いた。また、輸送では最短距離が選択され、迂回輸送は考えないものとした。目的関数に式(11)および式(12)の制約条件を加えて、最小化する。式(11)において、食料余剰省から不足省へ移出する食料 k の総量に、食料 k の輸出量と前年からの国家在庫の増加量の和 $E_{v,k}$ を加え、食料 k の余剰総量 $A_{v,k}$ と等しいものとする。また、式(12)において、食料不足省への余剰省から移入する食料の総量に、食料の輸入量と前年からの国家在庫の持ち越し量の和 $E_{w,k}$ を加え、これを食料 k の総不足量 $B_{w,k}$ とする。

$$\sum_{w=1}^m X_{v,w,k} + E_{v,k} = A_{v,k} \quad (w=1,2,\dots,m) \quad (11)$$

$$\sum_{v=1}^l X_{v,w,k} + E_{w,k} = B_{w,k} \quad (v=1,2,\dots,l) \quad (12)$$

(4) 食料需要が流域の用水消費量に与える影響

所得増加に伴う食料需要の増加は、供給に必要な用水量の増大をもたらす。ここでの分析では、一定の所得の増加および穀物価格の減少に基づいて、食料の供給増加量を計算する。次に、この食料の供給増加に伴い、黄河流域で新たに必要となる用水量を計算する。

a) 食料の供給増加量の推計方法

(1)食料消費と生産の空間分布、および(3)食料輸送モデルで求めた2000年の食料需給状況の下で、一定率の所得または穀物価格の変化のシナリオを導入する。所得の増加率については、都市部での2000年から2001年の純収入の伸びを考慮し、8%と設定した。また、穀物価格については、近年、横ばいから低下の傾向にあることを考慮し、1%の減少とした。この場合の食料需要の変化を、先に求めた弾性値から計算し、供給増加量を求める。需要増加量は、省内の生産または移入量の増加によって補われるものとする。ここでは、設定する所得増加率を小さく取ること、需要の増加量は小さく、国全体の輸入量の増減には影響しないものとする。具体的な計算式を以下に示す。はじめに式(13)、(14)のように、品目の需要増加量を、所得および価格弾性値を用い計算する。ここでは、現在の各省の都市および農村の人口は変化しないものとして、(1)食料消費と生産の空間分布で推計した消費量を使用している。弾性値には、都市および農村別の値を用いる。

$$\Delta D_{t,u,k} = Q_{t,u,k} I_{rate} \eta_{u,k} \quad (13)$$

$$\Delta D_{t,u,k} = \sum_s Q_{t,u,k} I_{rate} \varepsilon_{k,s} \quad (14)$$

$\Delta D_{t,u,k}$: 省 t 世帯区分 u (都市または農村) の品目 k の需要増加量

$Q_{t,u,k}$: 省 t 世帯区分 u の品目 k の消費量

I_{rate} : 所得増加率

$\eta_{u,k}$: 世帯区分 u の品目 k の所得弾性値

$\varepsilon_{k,s}$: 品目 s の価格変化に対する品目 k の価格弾性値

得られた都市または農村の世帯区分別の需要増加量を合計することで、省 t の需要増加量を求める。

得られた都市または農村の世帯区分別の需要増加量を合計し、省 t の需要増加量を求める。不足省においては、2000年において、省内生産量が需要量を下回っている現状を考慮し、需要の増加量 $\Delta D_{t,u,k}$ を移入の増加によって満たすものとする。

$$\sum_v \Delta X_{v,w,k} = \sum_u \Delta D_{u,w,k} \quad (15)$$

$\Delta X_{v,w,k}$: 余剰省 v から不足省 w への品目 k の移出増加量

$\Delta X_{v,w,k}$ の互いの比率は需要増加以前の移入量 $X_{v,w,k}$ の比率に等しいものとし、式(16)によって $\Delta X_{v,w,k}$ を計算する。

$$\Delta X_{v,w,k} = \Delta D_{w,u,k} X_{v,w,k} / \sum_v X_{v,w,k} \quad (16)$$

省内の肉類生産に用いられる飼料分のトウモロコシについては、豚肉、牛肉、鶏肉の需要増加量を式(13)、(14)を用いて求め、この値を飼料の換算ベースに直すことにより求める。

b) 用水増加量の推計方法

食料の供給増加量に基づき、生産に必要な用水量の増加量を推計する。ここで、用水の消費は、すべて灌漑用水の消費であるとする。また、本研究では省単位で用水量の推計を行い、各省の流域に属する灌漑面積は、省内の流域面積の割合を用い求めた。一般の統計上では、黄河の灌漑用水量は流域以外に導水している用水量を含めているが、ここでの計算では、この量を考慮に入れないものとした。用水増加量の推計において、まず省全体の供給増加量に、流域に属する面積割合をかけることで、流域内の領域で新たに生産される食料の量を求める。なお、省内での食料生産の分布を反映させることが望ましいが、品目毎の詳細なデータの入手が不可能であった。ここでは、生産の分布を一様なものとして、流域に属する面積の割合を用いて、供給増加量を割り振っている。次に、2000年における作物の土地生産性(単位耕地当たりの生産量)を用いて、供給増加量を耕

地面積ベースの値に換算する。次に、この耕地面積のうち、灌漑面積を、省の灌漑面積の割合（以下、灌漑率と記す。）に基づいて計算する。これに灌漑面積当たりの年間の灌漑用水量（以下、灌漑定数と記す。）を乗じることにより、省内の用水の増加量を求める。式(17)に推計式を示す。なお、他省の肉類の需要を満たすため、省内の家畜に供給される飼料トウモロコシに必要な用水量は、該当する肉類の需要に伴う用水量として計上する。これにより、肉類と飼料のトウモロコシの需要に伴う重複する用水の計上を防ぐ。

なお、現状において中国全体で耕地面積は減少もしくは横ばいの傾向にある。一部の地域では近年増加に転じている動きもあるが、新規の食料需要への対応が、主として耕地の増加によって達成されるとは考えにくい。実際には、土地生産性や灌漑割合の上昇が中心となり、供給が達成されていると考えられる。ここでは、食料供給の増加が、各省の土地生産性や灌漑率に与える影響を地域別に知ることは困難であったため、耕地面積ベースでの計算を用いている。実際には、土地生産性の向上を目的とした水利用と灌漑率の上昇が、用水量を増加させているものとする。

$$\Delta W_{t,k} = \frac{\Delta D_{t,k}}{C_{t,k}} \alpha_t \beta_t w_{t,k} \quad (17)$$

$W_{t,k}$: 省 t における品目 k の供給増加に伴う用水量 (m^3)

$C_{t,k}$: 省 t における品目 k の単位耕地面積当たり生産量 (t/ha)

α_t : 省 t の流域面積の割合 (%)

β_t : 省 t の灌漑面積率 (%)

$w_{t,k}$: 省 t の品目 k の灌漑定数 (m^3/ha)

省の土地生産性は、統計年鑑の播種面積(作付面積)および生産量から計算している。灌漑率および灌漑定数は、中国可持続発展水資源戦略研究報告集²¹⁾および中国水資源公報²²⁾の値を用いた。表-3に黄河流域の各省のこれらの値を示す。

表-3 面積当たり生産量・灌漑率・灌漑定数

	単位面積当たり生産量 (t/ha)			灌漑定数 (m^3/ha)			灌漑率	黄河流域面積割合
	米	小麦	トウモロコシ	米	小麦	トウモロコシ		
山西省	9.43	2.70	3.98	5400	2250	1950	24.1%	58.9%
内蒙古自治区	8.04	3.91	4.03	6450	3300	2550	30.9%	13.5%
山東省	7.13	5.47	5.80	4500	1875	1575	62.4%	17.7%
河南省	6.79	4.60	4.63	4500	1725	1350	59.2%	22.8%
四川省	7.87	3.65	4.53	3750	900	675	27.3%	6.0%
陝西省	7.26	3.09	4.14	5400	2250	1950	25.6%	66.3%
甘肅省	9.84	2.46	4.18	6150	2625	2250	19.7%	33.2%
青海省	9.00*	3.08	6.67	6150*	3000	2400*	28.1%	18.8%
寧夏回族自治区	8.17	2.01	5.29	6150	3225	2550	32.3%	100.0%

*近隣の甘肅省と寧夏回族自治区の平均値を利用

3. 分析の結果

(1) 食料消費と生産の空間分布

図-2, 3, 4に推計された米, 小麦, トウモロコシの消費量の分布を示す。

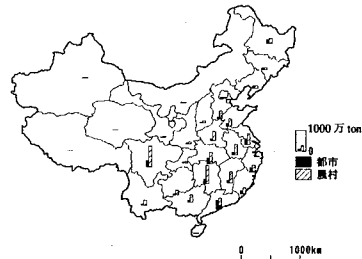


図-2 米消費量の推計 2000 年

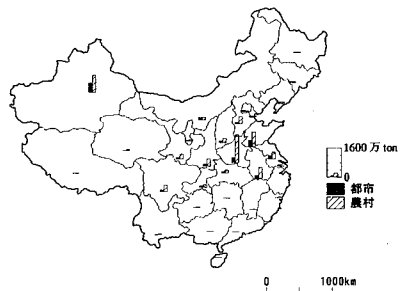


図-3 小麦消費量の推計 2000 年

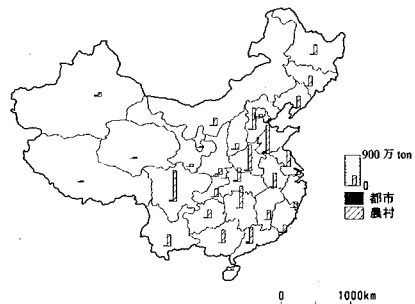


図-4 トウモロコシ消費量の推計 2000 年

米の消費量については東南部の省で大きく、広東省、湖南省といった省で消費量が大きい。小麦の消費量をみると、山東省、河南省、新疆ウイグル自治区で大きい。米、小麦において、農村部の消費量は、都市部の消費量と比べた場合、平均して2倍程度である。都市部においては、肉類や野菜、果物などを含めた食生活の多様化が進んでいるのに対し、農村部では依然、主要なカロリー摂取源が穀物である状況であることが推察される。トウモロコシについては、FAO 統計によると飼料用途の消費が人の消費量の3.7倍に及んでいる。このため、総消費量でみた場合、肉類の生産量の大きい省の農村部で大きい結果となっている。華北地域の山東省、河南省、河北省の3省と、湖南省、四川省で大きい。

(2) 食料需要の分析

表-4, 5に、食料品目について、都市部と農村部において、推計した所得弾性値および価格弾性値を示す。また弾性値を求めた回帰式の決定係数を示す。AIDSでは穀物～糖類の7品目に関する制約条件式の下で、穀物～水産物までの6品目の回帰式を推計している。そのため、糖類の回帰式の決定係数は示していない。所得弾性値を都市と農村で比較すると、農村の値が水産物以外でより大きい結果となっている。価格弾性値の下括弧内の値はt値を示している。所得増加による食料品の需要の増加は、近年では農村部の方が大きく現れている。穀物の所得弾性値は他品目と比較して小さく、都市部ではその傾向が顕著に見られている。一方、肉類と水産物の需要は、都市部と農村部で共に大きい。また農村部では、野菜と糖類の需要が大きい。価格弾性値をみると、穀物では、農村部より都市部で価格変化による需要への影響が大きい。肉類の価格変化の影響は同じ程度であるが、水産物と野菜では、農村部で価格が低下した場合の需要増が大きいことが伺える。

表-4 都市部 食料品目の所得弾性値と価格弾性値

品目 i	所得弾性値 ei	Marshall の価格弾性値							決定係数 R ²
		η_{i1}	η_{i2}	η_{i3}	η_{i4}	η_{i5}	η_{i6}	η_{i7}	
1. 穀物	0.203	-0.937 (0.31)	0.214 (2.64)	0.276 (4.17)	-0.015 (-0.10)	-0.060 (-1.15)	0.438 (4.08)	-0.906 (-6.75)	0.728
2. 野菜	0.708	0.241 (2.64)	-0.562 (4.50)	0.040 (0.69)	-0.168 (-1.75)	0.028 (0.54)	-0.149 (-1.45)	-0.426 (-3.75)	0.445
3. 油脂類	0.458	0.872 (4.17)	0.112 (0.69)	-0.362 (3.52)	1.192 (5.58)	-0.457 (-3.98)	-1.800 (-8.40)	-0.551 (-2.16)	0.411
4. 肉類	1.172	-0.010 (-0.10)	-0.081 (-1.75)	0.202 (5.58)	-1.090 (-0.73)	0.244 (7.90)	-0.589 (-7.34)	0.323 (3.30)	0.296
5. 卵類	0.346	-0.211 (-1.15)	0.087 (0.54)	-0.511 (-3.98)	1.612 (7.90)	-1.192 (-1.26)	-0.225 (-1.03)	-0.553 (-2.17)	0.57
6. 水産物	2.781	0.813 (4.08)	-0.250 (-1.45)	-1.065 (-8.40)	-2.059 (-7.34)	-0.120 (-1.03)	0.370 (3.99)	1.292 (4.62)	0.733
7. 糖類	1.712	-4.633 (-6.75)	-1.928 (-3.75)	-0.890 (-2.16)	3.069 (3.30)	-0.799 (-2.17)	3.530 (4.62)	0.643 (1.32)	

表-5 農村部 食料品目の所得弾性値と価格弾性値

品目 i	所得弾性値 ei	Marshall の価格弾性値							決定係数 R ²
		η_{i1}	η_{i2}	η_{i3}	η_{i4}	η_{i5}	η_{i6}	η_{i7}	
1. 穀物	0.564	-0.785 (5.05)	-0.14 (-3.63)	-0.186 (-36.51)	0.005 (0.53)	-0.021 (-3.07)	-0.001 (0.02)	0.131 (7.20)	0.514
2. 野菜	2.127	-0.343 (-3.63)	-1.595 (-2.28)	0.247 (4.40)	-0.066 (-0.80)	0.294 (5.00)	0.319 (3.69)	0.134 (0.81)	0.444
3. 油脂類	0.723	-6.175 (-36.51)	3.437 (4.40)	0.626 (3.23)	1.037 (3.51)	-0.786 (-2.11)	0.506 (1.30)	0.357 (0.67)	0.937
4. 肉類	1.637	0.076 (0.53)	-0.427 (-0.80)	0.481 (3.51)	-1.181 (-0.56)	0.089 (0.54)	-0.347 (-1.82)	0.301 (0.79)	-0.0171
5. 卵類	0.451	-1.142 (-3.07)	6.75 (5.00)	-1.296 (-2.11)	0.318 (0.54)	-0.603 (0.52)	-2.196 (-3.47)	-2.826 (-2.98)	0.309
6. 水産物	2.524	-0.046 (0.02)	7.859 (3.69)	0.897 (1.30)	-1.326 (-1.82)	-2.363 (-3.47)	-8.256 (-5.90)	2.22 (1.69)	0.147
7. 糖類	13.794	22.6 (7.20)	9.692 (0.81)	1.856 (0.67)	3.374 (0.79)	-8.886 (-2.98)	6.49 (1.69)	35.977 (-3.26)	

(3) 食料輸送モデル

図-5, 6, 7 に 2000 年において, 推計された米, 小麦, トウモロコシの移送量および移送方向を示す。また, 同様に肉類の推計結果のうち, 図-8 に豚肉の移送量および移送方向を示す。

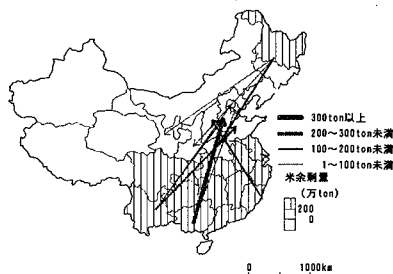


図-5 米の移送量の推計 2000 年

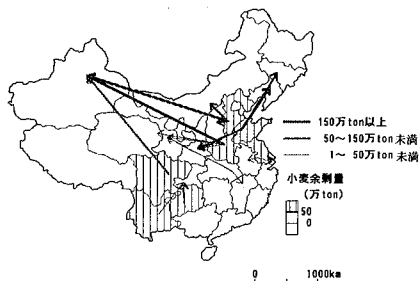


図-6 小麦の移送量の推計 2000 年

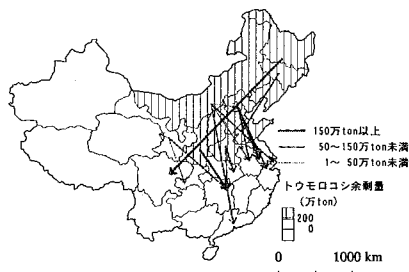


図-7 トウモロコシの移送量の推計 2000 年

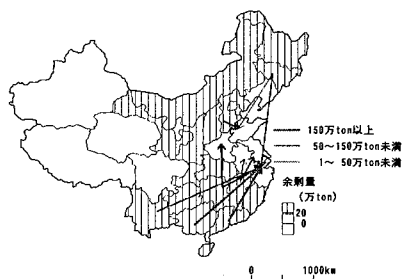


図-8 豚肉の移送量の推計 2000 年

各食料の主な移出入の関係についてみると, 米は主に広西省, 雲南省, 福建省など南部の省から山西省, 山東省に移出されている。小麦については, 山東省, 河南省, 河北省など黄河の下流域から中流域にかけた地域から新疆ウイグル自治区などへ移出されている。トウモロコシは, 黄河流域および東北地域から, 江蘇省, 河南省など黄河流域の南部へ移出されている。豚肉は広西省, 広東省, 雲南省, 湖南省など南部の省から上海市とその周辺, および河南省へ移出されている。

ここで求められた移送量・移送経路に基づき, 次節の用水消費量の分析を行う。

(4) 食料需要が流域の水消費量に与える影響

a) 所得増加に伴う影響

所得の増加による全土の食料需要の増加が, 黄河流域の水消費量に与える結果を示す。中国統計年鑑に記載のある 1 人当たり純収入から, 2000 年から 2001 年にかけての収入の伸びをみると, 都市で 8.6%, 農村で 4.9% である。ここでは, 主として都市にみられているような急速な所得の伸びが, 食料需要を通じて, 用水消費量に与える影響をみるため, 所得の増加率を 8% と設定した。黄河流域各省では, 流域内外の各省の需要を満たす目的で, 食料生産を行っている。流域内および域外の食料需要が, 流域の水消費にどのような影響をみるため, 食料の供給先を自省, 流域内の他省, 流域外の省と 3 区分する。これにより, 区分した供給先地域の食料需要の増加が黄河流域の水消費量に与える影響をみることができる。図-9, 10, 11 に米, 小麦, トウモロコシの新たな需要に伴う用水の増加量を示す。各図の左端には黄河流域で合計した用水の増加量を示している。

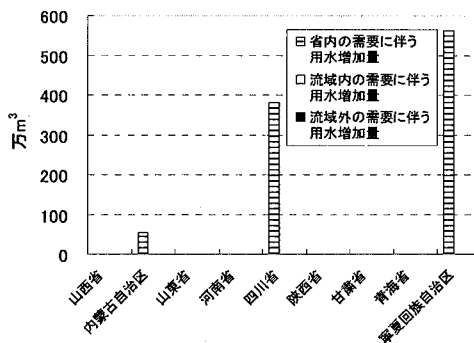


図-9 米の需要に伴う用水増加量
(所得増加率 8%)

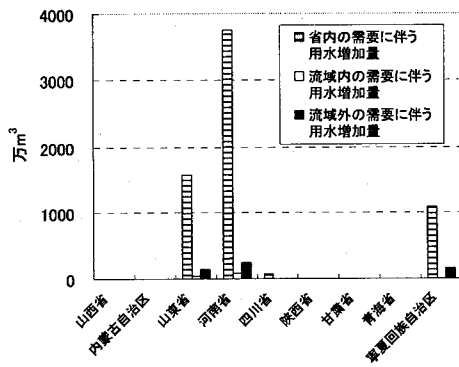


図-10 小麦の需要に伴う用水増加量
(所得増加率 8%)

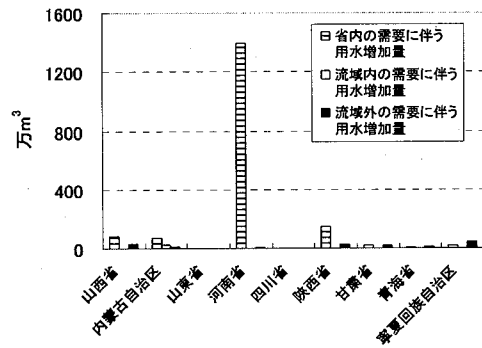


図-12 豚肉の需要に伴う用水増加量
(所得増加率 8%)

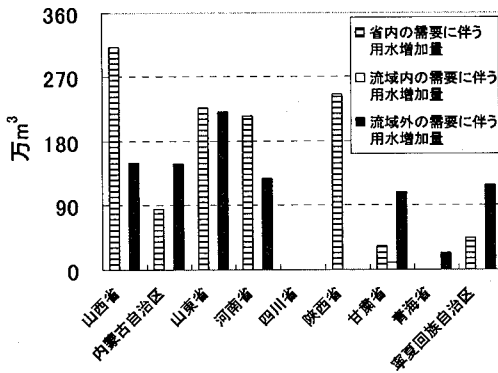


図-11 トウモロコシの需要に伴う
用水増加量 (所得増加率 8%)

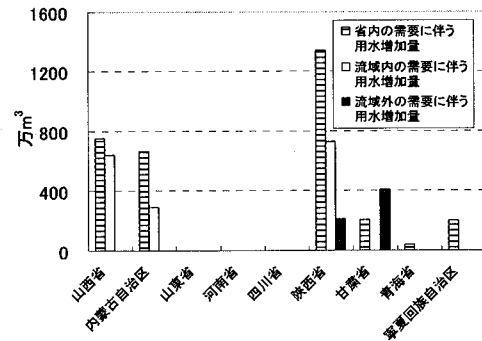


図-13 牛肉の需要に伴う用水増加量
(所得増加率 8%)

作物の品種間によって、用水の増加量には大きく差が生じている。また省間での差も大きい。理由として、流域内では、米、トウモロコシと比較して、小麦の生産量が大きいことが挙げられる。また、供給先での需要の伸びが品種によって異なっている事も影響している。特に、トウモロコシでは、流域外の需要による影響が大きい。

次に、図-12、13 に豚肉、牛肉の需要増加に伴う用水増加量を示す。なお鶏肉についても計算を行ったが、他の肉類に比べ、計算された用水増加量はわずかであったため、ここでは示していない。このような鶏肉の計算結果の主な要因として、豚肉と牛肉に比較して生産量と需要量が共に小さいことが挙げられる。

表-6 は、所得増加に伴う各品種の用水増加量を合計し、流域の農業取水量に対する割合で示したものである。黄河流域の農業取水量として、黄河水資源公報²³⁾の値を用いた。流域の内外の食料需要に伴う用水増加量は、農業用水取水量全体の0.47%に当たっている。中国では1980年代から平均して8%程度のGDP成長が続いており、高い所得増加も依然として続いている。黄河流域の農業用水の利用は既に逼迫した状況にあることを考慮すると、年間0.47%という増加率は少なくない値であると評価される。

表-6 食料需要の変化に伴う流域の用水増加量 (所得増加率 8%)

黄河流域の農業用水量 378.9 億m³

	億m ³	流域の農業用水量に占める割合
流域内の食料需要に伴う用水増加量	1.55	0.41%
流域外の食料需要に伴う用水増加量	0.225	0.06%
合計 食料需要に伴う用水増加量	1.78	0.47%

b) 穀物の価格低下に伴う影響

穀物の価格低下が、黄河流域の水消費量に与える結果を示す。価格の低下は、主要穀物である米、小麦、トウモロコシで等しく引き起こるものとし、価格低下率は1%としている。図-14, 15, 16 に米、小麦、トウモロコシの需要増加に伴う用水増加量を示す。図-17, 18 に豚肉、牛肉の需要増加に伴う用水増加量を示す。

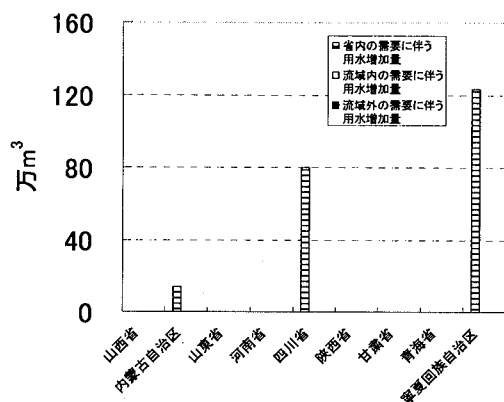


図-14 米の需要に伴う用水増加量
(穀物価格低下率 1%)

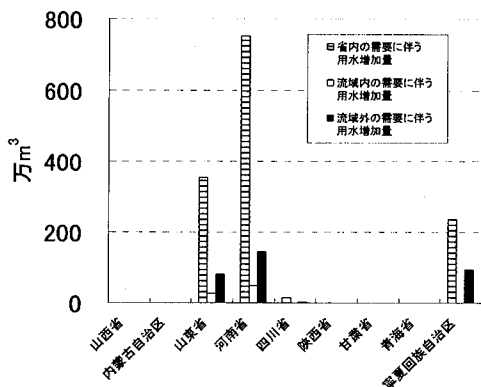


図-15 小麦の需要に伴う用水増加量
(穀物価格低下率 1%)

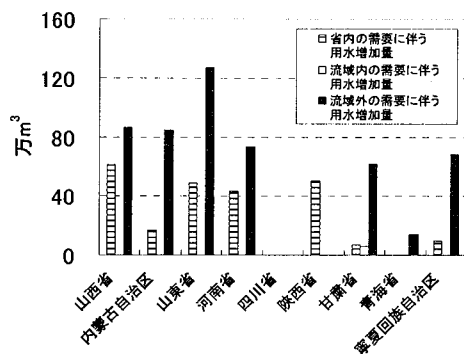


図-16 トウモロコシの需要に伴う用水増加量
(穀物価格低下率 1%)

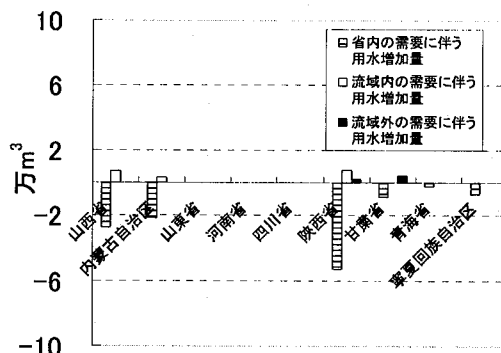


図-17 豚肉の需要に伴う用水増加量
(穀物価格低下率 1%)

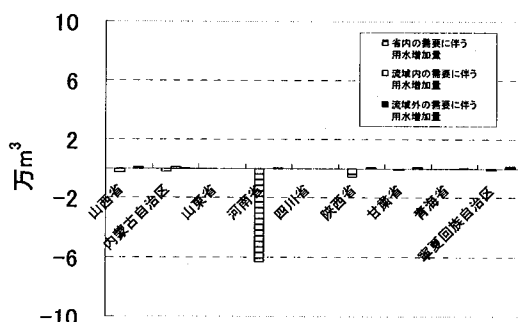


図-18 牛肉の需要に伴う用水増加量
(穀物価格低下率 1%)

表-7 は、穀物価格の低下に伴う各品種の用水増加量を合計し、流域の農業取水量に対する割合で示したものである。中国国内の穀物価格が、横ばい程度で変化している現状において、用水利用への影響は大きくは評価されない結果となった。

表-7 食料需要の変化に伴う流域の用水増加量
(穀物価格の低下率 1%)

黄河流域の農業用水量 378.9 億 m^3		
	億 m^3	流域の農業用水量に占める割合
流域内の食料需要に伴う用水増加量	0.188	0.05%
流域外の食料需要に伴う用水増加量	0.084	0.02%
合計 食料需要に伴う用水増加量	0.27	0.07%

4. 結論

食料需要が流域の用水消費に与える影響について、

結論を以下に示す。

・全土で所得が8%増加したと仮定した場合

小麦の需要増加による用水消費量への影響が最も大きかった。流域全体で、省内および流域内、流域外の需要に伴う用水増加量を合計すると、およそ900万 m^3 となった。用水増加量は、河南、山東、寧夏回族自治区の順に大きく、増加量の大部分は省内の需要に起因している。トウモロコシの需要増加による用水量は小麦と比較すると少ないが、内蒙古自治区、甘肅省、寧夏回族自治区では、流域外の需要による用水増加量が、省内の需要に起因する用水増加量を上回っていた。トウモロコシについては、需要の増加による省内への供給増加よりも、流域外への供給増加に伴う用水量が大きかった。

肉類の需要増加による用水消費量は、豚肉の場合の用水増加量が700万 m^3 で最大であった。このうち30%分が流域内の他省への供給増に伴う用水消費量であった。黄河流域では、上流と下流の用水利用の不均衡が指摘されている。飼料換算でみた用水消費量が大きい肉類の供給依存関係は、流域の水資源の平等な利用にも関連していると考えられる。しかし本研究では、分析の前提とした食料の移送経路を、輸送モデルにより推計しており、現実の詳細な供給経路の把握には至っていない。そのため、ここでの用水消費に関する分析は、個別の省間の水依存関係にまでは踏み込まず、自省と流域内、流域外の区分に基づいた計算をするにとどめた。

・全土で穀物価格が1%低下したと仮定した場合

所得増加を仮定した場合と同様に、小麦の需要増加による用水消費への影響が大きかった。小麦の需要増加は、河南省と山東省で顕著であり、用水量の増大が大きい。トウモロコシの価格変化に伴う用水量の増加は、各省で同じ程度であり、流域外への供給増加が大きい結果となった。

肉類については、穀物価格の低下により需要量が減少するという結果を得た。本研究では、価格の交差弾性値を用いて、穀物価格の変化に対する肉類の需要変化を求めている。この肉類の交差弾性値は、今回の分析では、都市部では負の値を示したが、農村部では正の値を示し、また弾性値の絶対値は農村部の方が大きい値を示した。さらに、農村部の方が都市部よりも消費量の絶対量は多いため、穀物価格が低下した際、肉類の需要が減少するという現象が起きたと考えられる。しかし、推計した農村部にお

ける価格の交差弾性値の係数のt値は0.53と低いため、今後さらに検討する必要がある。

今後の課題

本研究の今後の課題として、以下のことが挙げられる。

- a) 今回の分析では、食料品目の需要変化に伴う、生産物の構成の変化は考慮していない。しかし、現実には需要の変化に伴って、各品目に充てられる耕地面積も変化し、各品目毎の供給の比率も変化するはずである。需要の増加が、品目の生産構成にフィードバックする仕組みを把握する必要がある。
- b) 生産地と消費地を結ぶ輸送経路および輸送量は、輸送モデルによって特定している。省間の実際の輸送経路を正確に把握することが望ましい。これにより、食料需給の観点から、用水の依存関係を省単位で分析することが可能となる。
- c) WTOに加盟している中国では、国内需要が変化すれば、輸入品目の量・構成も大きく変化する。食料需要と輸入の関係を組み込む必要がある。
- d) 用水消費量の計算は灌漑用水を基に行っている。牧草の成長に必要な水など、食料生産の過程ではその他の用水消費も多い。地域間の用水の依存関係を正確に把握するためには、生産過程全体で消費される水量を計上することが望ましい。

謝辞

本研究は、大学共同利用機関法人：人間文化研究機構・総合地球環境学研究所のプロジェクトである「近年の黄河の急激な水循環変化とその意味するもの」と、独立行政法人：科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業のプロジェクトである「黄河流域の水利用・管理の高持続性化」の一環として行われたものである。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 錢征寒、倪晋仁：黄河断流及其生态环境影響，黄河流域水資源演化規律与可再生性維持机理研究和発展，黄河水利出版社，pp.215, 2001。
- 2) 王亜華：対黄河連続5年不断流及断流工作評価，人民黄河，Vol. 27, No. 4, 2005。
- 3) 国際協力銀行：中国北部水資源問題の実情と課題－黄河流域における水需給の分析－，JBIC Research Paper No. 28, 2004。
- 4) 穆月英・笠原浩三：中国の食料消費の需要体系分析。

- 都市部と農村部の比較を通して-, 農林業問題研究 3 月号, pp.219-224, 2001.
- 5) 厳善平: ジェトロ・中国経済, pp.16-29, 2002.
 - 6) レスター・R・ブラウン: だれが中国を養うのか?— 迫りくる食料危機の時代—, ダイヤモンド社, 1995.
 - 7) 大西暁生, 井村秀文, 韓驥, 方偉華: 黄河流域の地域別穀物生産性の変化に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol. 33, pp.79-88, 2005.
 - 8) 中谷友樹, 清水庸: 中国における主要穀物の消費分布とその予測, LU/GEC プロジェクト報告書VI, pp.6-15, 2001.
 - 9) Deaton and Muellbauer: An Almost Ideal Demand System, The American Economic Review, Vol. 70, 1980.
 - 10) 一ノ瀬俊明, 王勤学, 大坪国順: 食料需給関係及び経済力格差にもとづく中国国内食料輸送モデルの構築, 環境システム研究論文集, Vol. 33, pp. 213-223, 2004.
 - 11) 井村秀文, 大西暁生, 岡村実奈, 方偉華: 黄河流域の県市別データに基づく水資源需給空間構造の把握に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol. 33, pp.77-485, 2005.
 - 12) 石玉林: 中国可持続発展水資源戦略研究報告集-第 4 巻, 中国水利水電出版社, pp.8-9, 2001.
 - 13) 中華人民共和国水利部: 中国水資源公報, 2001.
 - 14) FAO: FAOSTAT, <http://apps.fao.org/default.html>
 - 15) CIESIN: Columbia University, Center for International Earth Science Information Network, <http://www.ciesin.org/data.html>
 - 16) 李德水: 中国糧食供求調査与分析 2004, 中国統計出版社, 2004.
 - 17) 中華人民共和国国家統計局: 中国統計年鑑(各 年版), 中国統計出版社, 1997-2003.
 - 18) 中華人民共和国農業部: 中国農業年鑑(各年版), 中国農業出版社, 1997-2003.
 - 19) 黒井尚志: 中国が 2600 億の卵を食べる日, 家の光協会, pp.88, 1995.
 - 20) aiaichina: 中国列車主要駅間距離表, http://www.china.co.jp/train_table/distance/index.html
 - 21) 石玉林: 中国可持続発展水資源戦略研究報告集-第 4 巻, 中国水利水電出版社, pp.8-9, 2001.
 - 22) 中華人民共和国水利部: 中国水資源公報, 2001.
 - 23) 中華人民共和国水利部黄河水利委員会: 黄河水資源公報, 中国黄河水利委員会, 2001.

A STUDY ON AGRICULTURAL WATER CONSUMPTION BY FOOD DEMAND MODEL IN YELLOW RIVER BASIN

Masufumi SONODA, Akio ONISHI, Hiroaki SHIRAKAWA and Hidefumi IMURA

Yellow River basin faces water shortage. Therefore, change of water use by replacing food supply may affect water supply and demand balance. Food production in the basin provides food demand inside and outside of the basin through the transportation. Firstly, this study estimated food supply under change of eating habits, which is based on supply and demand proportion of food balance of year 2000 in China. Secondary, additional water use amount by change of food supply was estimated. Demand elasticity in each food item such as grain, vegetable, edible oil, meat, eggs, fisheries product, sugar, was calculated by using the Almost Ideal Demand System. Also, food transportation amount based on food surplus and deficit was calculated by transportation model. As a result in the case of income increase wheat demand in the basin and pig meat demand in out-basin have impacts on basin water duty. And in case of cereal price decline wheat and maize demand in the in-and-out of basin have more impacts on the water duty.