

(70) EPICによる渭河流域の穀物生産評価と食糧安全保障の検討

Evaluation of the Grain Production by using EPIC model and Study of Food Security
in the Weihe Basin

馬場 啓輔*, 楠田 哲也**, 王 曉昌***, 楊 大文****

東修*****, 尾崎心平*, 柴田勝史*

Baba Keisuke*, Tetsuya Kusuda**, Xiaochang CWang***, Dawwen Yang****

Osamu Higashi*****, Shinpei Ozaki*, Katsufumi Shibata*

ABSTRACT; In China, the concern with agricultural problems, such as decrease in farmland and in products, has been growing due to acceding WTO and the national policy. Erosion-Productivity Impact Calculator (EPIC) has been widely used to analyze the relationship between soil erosion and agricultural productivity. It has the ability to simulate yields for various crops in field, and each crop has specified values for the model parameters. In this paper, the annual crop yield (1992-2001) is simulated and the food security in the Weihe Basin is evaluated. It was found from the results that there is considerable validity in the simulation results by use of this model's and they are useful for the food security in this basin.

KEYWORDS; Weihe Basin, Epic Model, Food Security

1. はじめに

WTO加盟は長期的には中国農業を競争力があるように育てることに有利に作用するが、短期的には穀物生産等の大規模耕地使用型農業への影響を免れない。現在の生産体制は食糧主生産区において農業収入への影響を看過できる体制ではなく、国際的な競争力を高める生産体制を早急に打ち立てる必要がある。国際競争力が高く、また中国国内、特に農村部において消費量が増大傾向にある畜産業の拡大による穀物飼料需給増大も確実である。また、2002年新農業法においては、近年の連続的な豊作にもかかわらず、当分続くとみられる人口増と耕地減少問題に対して新たに食糧の安全保障が加えられ、食糧備蓄政策の拡充が求められるなど、穀物生産の効率化が急務である。

渭河は、黄河最大の支流であり、流域は中国西北地域の陝西省、甘肅省、寧夏回族自治区の3つの省、自治区にまたがっている(図1-1)。流域面積約14.4万km²を

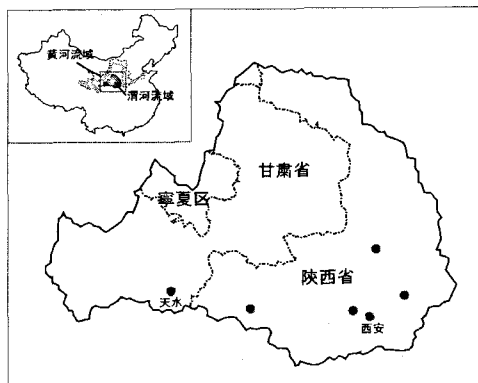


図1-1 渭河流域

*九州大学工学府都市環境システム専攻(Department of Urban Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Graduate School, Kyushu University)**九州大学大学院工学研究院環境都市部門(Department of Urban Environmental Engineering, Kyushu University)***西安建築科技大学環境与市政工程学院(School of Environmental & Municipal Engineering Xi'an University of Architecture & Technology)****清華大学水利水電工程系(Department of hydraulic Engineering)*****科学技術振興機構(Japan Science and Technology Agency)

擁し、陝西省は西安市を始めとする主要都市を含み、過去10年間で都市人口が76%の増加を示す一方で、農村人口が57%の減少を見せ、耕地面積、穀物生産量とも僅かに減少傾向にある。中国西部地区は穀物生産量が多く、食糧備蓄政策の重要な拠点であり、本流域における食糧生産の効率化は中国经济の持続的発展のため欠かせない。

そこで本研究では、渭河流域における食糧生産量評価のため、農業に係る現状を把握し、問題点を整理するとともに、EPICモデルを基礎とした再現性の高いトウモロコシ、小麦の生産量予測プログラムを作成し、早魃時の生産予測値と消費量との比較検討をもとに食糧安全保障について考察する。

2. 食糧生産にかかわる現状整理

図2-1、図2-2はそれぞれ流域内灌漑区分布、衛星画像解析（2002年10月 Landsat-7 ETM⁺）による土地利用を示したものである。灌漑区はその大部分が流域の中央南東部に位置する関中平原に位置し、耕地面積の8割近くを穀物作付が占める。その内訳は陝西省、甘肅省、寧夏回族自治区、それぞれ57%、35%、8%となっている。広い地域で二毛作が行われており、5月後半から10月前半にかけてトウモロコシ、10月後半から5月前半にかけて小麦が生産されている。図2-3に流域全体の小麦、トウモロコシの耕地面積、生産量の年推移を示す。耕地面積、生産量共に僅かな減少傾向で留まっているが、流域内一人当たり穀物生産量は1992年の小麦81.7kg/人・年、玉蜀黍28.2kg/人・年から2001年時の77.7kg/人・年、21.8kg/人・年とそれぞれ約5%、約20%の減少が見られる。これは10年間で流域内人口が約8%の増加を示した他に、牧畜業の増加に伴い家畜飼料に用いられるトウモロコシの量が増加したためであると考えられる。流域内では陝西省でのみ大規模な灌漑農業が行われており、他の2地域と比して単位面積穀物生産量が2倍から3倍、同量の穀物生産に対する使用水量は甘肅省では陝西省の約2.5倍、寧夏回族自治区では約8倍となり、地面からの蒸発量が大きい半乾燥地においては、作物にまとまった量の水を一度に与えることの出来る灌漑農業が天水農業に比べ水利用効率が高く、穀物生産の効率化に有効であることが分かる。

3. 食糧消費量の現状整理と将来予測

陝西省内の家畜頭数と肉総生産量(図3-1)より、家畜頭数がほぼ横ばいであるのに対し、肉総生産量は増加していることが、また流域全体で特に、農村部における一人当たりの畜産品消費量が大きく増加

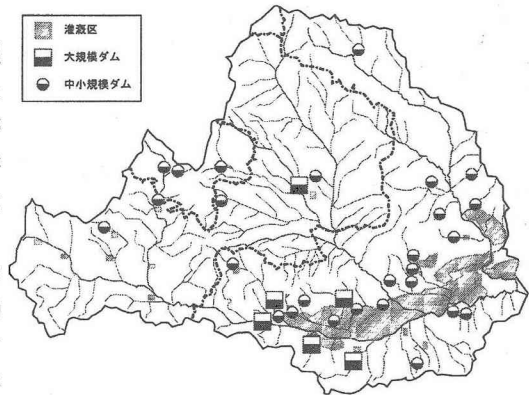


図2-1 流域内灌漑区分布

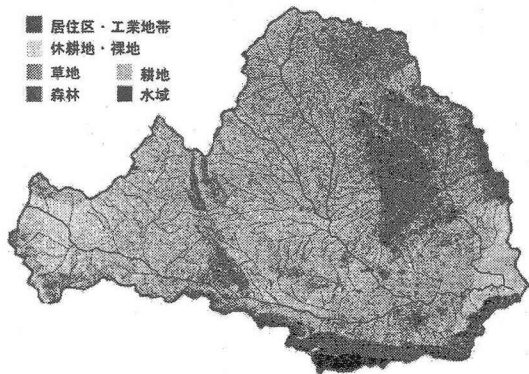


図2-2 流域土地利用

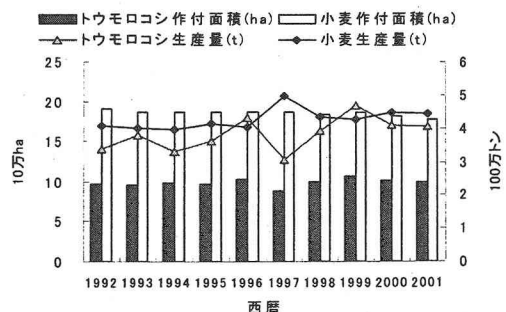


図2-3 流域内穀物生産量、耕地面積

していることから穀物消費から肉消費へと消費構造の変化がうかがえる。中国政府の2001年に掲げた第10次5カ年計画では、2005年までに牧畜総生産額の目標値を農業総生産額の33%程度と設定し、土地集約型から労働集約型への移行を促進させ農民経済の成長を狙う一方、労働集約型への移行に伴い需給増加が予想される家畜飼料の主原料であるトウモロコシ生産量を減少させないため、耕地面積が全土で1億2800万haを下回らないことを定める等、政策において農業高度化へのウェイトが高くなっている。

中国の人口は今なお微増を続けているが、人口増加率は1987年をピークに急速に低下しており、2001年には僅かに0.7%であった。米と小麦における一人当たりの消費量が今後減少を続けることは間違いないと思われるが、どこまで減少を続けるかを予測するのは難しく、その速度を予測することはさらに難しい。

今後の消費動向について見通しが分かれるのは食肉であり、中国一人当たり食肉消費量がすでに日本、韓国等のレベルを超えていることから、今後伸び悩むという見方が一つであるが、香港、マカオ等と比較すれば、はるかに低いレベルにあり、中国国内での消費格差(都市部では農村部と比して2倍から3倍)も大きく、今後も引き続き増大すると考えられる。

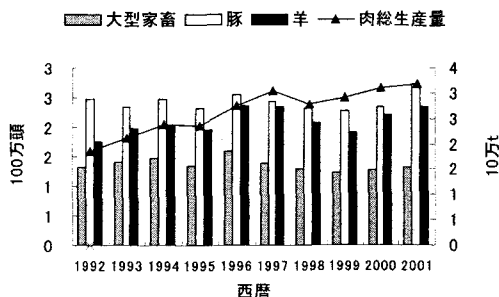


図3-1 陕西省における家畜頭数と肉総生産量

4. EPICによる渭河流域の食糧生産量評価

4.1 モデル概要

図4-1はEPICモデルの概念を表すフロー図である。EPICモデルにおいては植物の季節的な成長は日々蓄積された熱単位HUNAに基づくとする。HUNAは最低気温、最高気温、植物基礎温度によって決まる。

$$HUNA(t) = \left(\frac{TMX + TMN}{2} \right) - TB, HUNA \geq 0 \quad (1)$$

$$IHUN = \frac{\sum_i HUNA(i)}{PHUN} \quad (2)$$

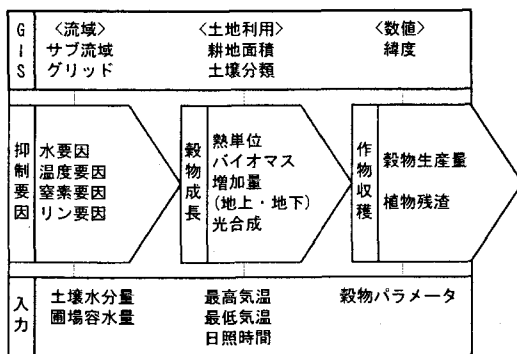


図4-1 EPIC 概念フロー

(TMN: 日最高気温(°C), TMN: 日最低気温(°C), IHUN: 熱単位インデックス)

潜在的なバイオマスとしてはMonteithの方法(1977)を用い、成長阻害要因として水分、温度、栄養物を設定し、生産量を予測する。本モデルの利点は、穀物生産状況を成長期と収穫期に区分することによって、収穫量を成長後期に大きく育つ穀物の実用的生産物に調和させることができ、また、抑制要因を考慮することにより、穀物の状況による水供給量を表現し、水の抑制に敏感な穀物の生産傾向を再現できる点である。

表4-1 穀物生産に係るパラメーター一覧

$$\Delta B = \Delta BP \cdot \min(WS, TS, NS, PS) \quad (3)$$

$$WS = \frac{\sum_{i=1}^M WU_i}{EP} \quad (4)$$

	TB 基礎温度	BE バイオマス変換	HI 収穫Ind.	DLAI 成長frac	PHUN 潜在熱単位
トウモロコシ	8.0	39.0	0.6	0.5	1500.0
小麦	0.0	30.0	0.4	0.8	2300.0

(ΔB : バイオマス日増加量(kg/ha), ΔBP : 全バイオマスの潜在的日増加量(kg/ha),

WS: 水抑制要因 TS: 温度抑制要因, NS, PS: 栄養塩抑制要因, WU_i : 層毎の植物水利用(mm))

本モデルにおいて、生産量推定の際に使用される基礎温度、収穫index、潜在熱単位等の穀物特有のパラメータはSWIM¹⁰⁾において設定されている値を基準として、本流域における生産量と合致するように設定した。表4-1に本モデルで用いた植物特有の値である生産量に係るパラメータを示す。TBは植物が熱単位を蓄積する際の基礎温度、BEは光合成エネルギーのバイオマス量変換に係るパラメータ、HIは地上バイオマス量から収穫量を算出するパラメータ、DLAIは植物成長において成長期と収穫期への転換時期を決定するパラメータであり蓄積された熱単位との比較によって成長期、収穫期の判別に用いられる。熱単位PHUNは植物の成熟までに必要とする熱単位を表し、潜在的熱単位と呼ぶ。植物の生長指標である熱単位インデックスIHUNは熱単位HUNAの蓄積を潜在熱単位で除したものであり播種期の0から成熟期の1までの範囲をとる。

殆どの穀物の実用的な生産物はめしべである。収穫インデックス(実用的生産量を地上のバイオマスで除したもの)は環境の状況により変化するが、比較的安定している。穀物の生産量YLD(kg/ha)は収穫インデックスを用い、モデル内で次のように評価される。

$$YLD=HI \cdot BAG \quad (5)$$

$$BAG=(I-RWT) \cdot BT \quad (6)$$

$$RWT=(0.4-0.2 \cdot IHUN) \quad (7)$$

(BAG:地上のバイオマス量(kg/ha), RWT:バイオマスフラクション, BT:全バイオマス(kg/ha))

本モデルで用いる降水量、蒸発散量、気温等の自然系データの入力、及び水分移動計算については、GBHM2(楊ら, 2002)と同様の手法を用いた(図4-2)。8地点の観測点における実測値をもとに観測点以外のグリッドにおいては、最も近い観測点におけるデータの平均値を用いることで補間した。

モデル上の灌漑用水のダム、地下水、河川からの取水方法としては灌漑区の平均土壌水分量が一定値を下回った時のみ、最大で平均土壌水分量が50%に到達するまで取水を行うこととした。平均土壌水分量が50%に到達しない場合でも取水限界量を超える取水は行わない。

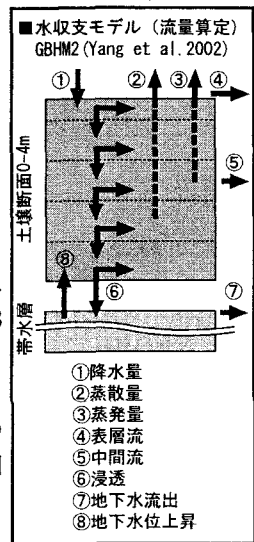


図4-2 GBHM2 概要

4. 2 シミュレーション結果

図4-3、図4-4に統計資料とシミュレーションモデルによるトウモロコシ、小麦生産量の推移と降雨量の関係を示す。グラフ内降雨量は、灌漑区の降雨観測点3地点で計測された降雨量をトウモロコシ、小麦の作付時期である6-10月、11-5月間においてそれぞれ合計した値を示している。今回の計算においては単位面積生産量の増加や土地利用の変遷は考慮されておらず、また、降雨データや日照時間といったデータは実測値を用いているため、将来予測を行う際、データを繰り返し用いると同じ結果がループしてしまうという問題がある。また、図より降水量の増減と作物生産量の増減には同様の傾向

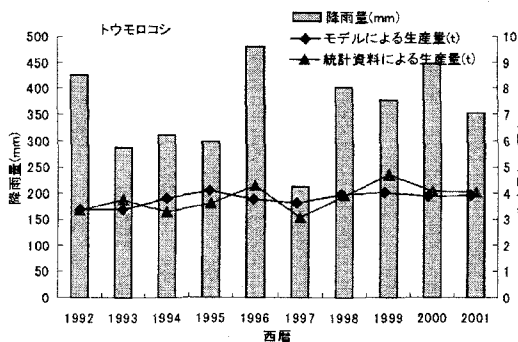


図4-3 トウモロコシの生産予測結果

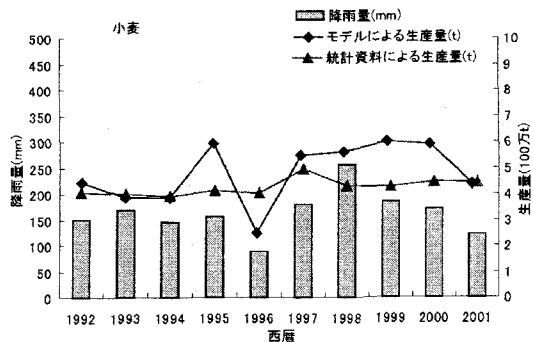


図4-4 小麦の生産予測結果

がみられるが、トウモロコシにおいては計算による生産量増減と比べ、統計資料による生産量増減は降雨量の影響を強く受け、小麦においては計算による生産量増減の方が大きく影響を受ける結果となった。原因として、トウモロコシは降雨量の多い時期に育つため、土壌水分量が比較的高く保たれ、最大阻害要因である水抑制要因が結果に大きく影響せず、一方、小麦においては降雨が少ない時期に生長するため降雨減少時、特に生長初期から中期にあたる1月、2月には表層において根層に十分な土壌水分が存在せず、水抑制要因の影響を強く受け、収穫期において作物が成熟段階に到達することの出来ない畑地が増加すること等が考えられる。

5. EPICによる旱魃時の食糧生産予測

食糧生産予測モデルにおいて、旱魃に見立て、降水量を通常の2分の1, 4分の1に設定し、当流域における2001年度の年間食糧生産量を予測した。結果を表5-1に示す。図より、降水量を2分の1とした場合、通常降雨量の場合の生産量と比してトウモロコシ生産量は約63%、小麦は約54%となり、降水量4分の1の場合、トウモロコシ生産量約32%、小麦約38%となった。EPICモデルでは植物の根は表層部において成長に使われる水の全体の約3割を吸収するように設定してあるため、降水量減少は植物成長、及び作物収穫量へ大きく影響する。また、水抑制要因の値が極めて小さくなるため、バイオマスの成長に大きな影響を及ぼす。降雨減少により日照時間の増加や気温の変動という要因も考えられるが、本モデルにおいて日照時間、気温、降水量はそれぞれが独立したパラメータとしてグリッドごとに読み込まれるため、それらの事象は変化せず穀物生産量に影響を与えない。また、天水農業区においては作物の水分吸収量と降水量は大きく関係するため、灌漑区よりも収穫量減少割合が大きい。今後、降水量の確率変動を組み込んだモデルを構築する

ことで将来予測を可能とし、さらには中国の政策への考察を加えていく予定である。

表5-1 旱魃時生産予測値

降水量	×1	×0.5	×0.25
玉蜀黍	405(100)	256(63)	131(32)
小麦	444(100)	240(54)	170(38)

(万t(%))

6. 食糧安全保障の検討

2001年の降水量が通常の場合、渭河流域内のトウモロコシ、小麦の総生産量に対する消費量はそれぞれ約17%、55%であり、流域内において、これらの自給率は100%であると考えられる。トウモロコシにおいては300万トンを超える余剰があり、飼料が一定せず消費原単位の設定が難しい家畜等により消費される量を差し引いても十分な量があると思われる。この場合において、穀物生産の盛んな渭河流域を含む中国西部地区では、国の掲げる食糧安全保障、食糧備蓄政策へ十分な対応が取れるであろう。しかし、降水量2分の1とした場合、2001年のトウモロコシ余剰量には余裕があるが、小麦においては消費量が生産量を上回る結果となった。さらに降水量4分の1としたときはトウモロコシにおいても余剰量に余裕がない事態となる。

このような大規模な旱魃に備えて、穀物を備蓄する必要がある。さらに、豊作時において穀物余剰量を正確に把握するため、増加が見込まれる家畜による穀物消費量を把握する必要があり、家畜頭数の把握、種類(サイズ)による家畜による穀物消費原単位の設定が必要である。

さらには、作物生産性、節水性に優れた灌漑方式を導入するなど、小雨時の食糧生産量減少を最小限にとどめる策を実施していく必要がある。

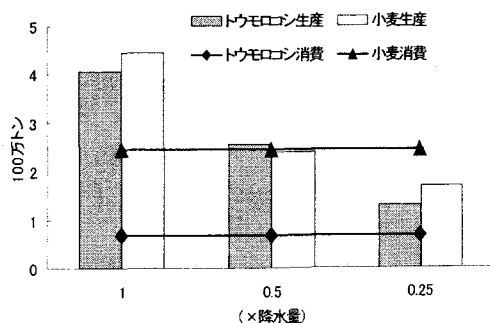


図6-1 穀物生産量と消費量

7. 結論

- 1) EPICを基礎とした食糧生産評価モデルは本流域において、実際の穀物生産量の傾向を再現するに十分な精度を備えている。
- 2) 早魃時を想定し、降水量を2分の1、4分の1としてトウモロコシ、小麦それぞれの生産量を予測した。結果、前者のケースでは本来の生産量の約63%、約54%、後者では約32%、約38%となった。
- 3) 本モデルを用いることにより、早魃時に備蓄しておくべき作物量が計算可能である。

今後の課題として、単位面積生産量の変動、耕地面積減少を考慮し、モデルの精度を高めるとともに、一定以上の降雨量減少に対して過大な計算結果を示すという可能性を除去し、半乾燥地帯である本流域においてより再現性の高いモデルへと改善していく。

最後に、本研究は科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業(CREST)による成果の一部であり、研究の遂行にあたり、西安建築科技大学の学生諸氏による多大なる尽力をいただいたことをここに記して謝意を表す。

<参考文献>

- 1) 楊大文他: A hillslope-based hydrological model using catchment area and width functions, Hydrological Sciences Journal, 47(1), 49-65, 2002
- 2) 井上和久: 渭河流域における水利用・排水システムの定量的解析, 九州大学工学研究院修士論文, 2004
- 3) 戎信宏: リモートセンシングによる森林流域の蒸発散量の推定法に関する研究, 九州大学農学部博士論文, 1997
- 4) 田中修: 中国第十次五カ年計画, 蒼蒼社, 2001
- 5) 談国新, 柴崎亮介: GISを利用した統合EPICモデルに関する研究: その方法論及び応用, Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 40, 3, 4-13, 2001
- 6) 2002年の中国農業- 対外開放を目指す農政 -, 日中経済協会, 2003
- 7) 陝西省統計局編: 陝西省統計年鑑 1993・1995・1997・1998・2000・2002, 中国統計出版社
- 8) 甘肅年鑑編委会編: 甘肅年鑑 1993・1994・1997・1998・2002, 中国統計出版社
- 9) 寧夏回族自治区統計局編: 寧夏統計年鑑 1993・1995・1997・2000, 中国統計出版社
- 10) Varentina krysanoba他: SWIM USER MANUAL, Potsdam Institute for Climate Impact Research, 2000
- 11) 菅沼圭輔, 白石和良: 中国農業白書激動の'79-'95, 農文協, 1996
- 12) 黄河水利委員会, 黄河流域地図集, 中国地図出版社, 1989
- 13) 余亮, 柴崎亮介, 張榮: GISと穀物生産力モデルによる黄河流域(中部)の穀物収量分布の推定, システム農学 19 (2), 108-120, 2003