

黄河流域の持続可能な農業生産と水利用

-Water Use Efficiency (WUE)指標による評価-

大西暁生*, 佐藤嘉展*, 曹鑫**, 松岡真如***, 井村秀文**, 石峰**, 福嶋義宏*

*総合地球環境学研究所, **名古屋大学, ***高知大学, ****名城大学

1. はじめに

中国の爆発的な人口増加と社会経済の急速な発展に伴い、食料の需要が増加している。このため、食糧増産が国家の重要な政策課題の一つとして挙げられている。こうした中、中国有数の穀倉地帯である黄河流域では、単位面積当たりの収量（単収）を増加させることによって、食糧生産を飛躍的に増大してきた。しかし、黄河流域は、水資源の非常に乏しい地域であり、過剰な水利用は河川の枯渇を引き起こす。実際に、黄河流域では、1972年から深刻な水不足問題に直面し、1990年代に入り、河川に水が全くない状態、すなわち断流現象が頻発した。このような水不足の原因の一端は、灌漑農業の発達による水利用の増加が起因していると言われている（大坪ら、2000）。しかし、この流域の面積は、日本の約2倍と非常に広大であり（国際協力銀行、2004）、流域内の食糧生産の状況は大きく異なる。上流域、特に蘭州より上流（源流域）では、降水によって黄河の水の約60%を供給している。一方、蘭州より下流では、「塞上天府」（辺境の宝庫）と言われる寧夏回族自治区の青銅峡灌区や内蒙古自治区の河套灌区などの大型灌漑地区が存在し、乾燥・半乾燥地域に属するため、年間およそ100億 m^3 の水を取水している（渡邊・星川、2006）。中流域は、気象条件に比較的に恵まれた地域であり（特に、陝西省や河南省では降水量が多く、日照時間も然程多くはない）、支流域である汾河流域、渭河流域沿いでは灌漑農業が盛んに営まれている。下流域は、華北平原に広がる山東省に位置し、気象条件に恵まれ、機械化や化学肥料などの近代農業が発達しているため、高い単収を誇りながら小麦やトウモロコシの生産が行われている。また、他地域と比較して経済的に豊かな地域でもある。このように地域ごとの特徴は異なるものの、近代農業の発達に伴う単収の向上によって食糧増産を果たしてきたことは間違いない（大西ら、2005）。しかし前述したように、食糧増産の背景には、農業用水の過剰利用があり、この結果、断流現象が助長された。そのため、限られた水資源状況下に置かれた流域の持続可能な発展のためには、どの地域でどの程度の水が削減可能か、どの地域が水利用における経済効率が乏しいか、などの情報を知る必要がある。このような情報の蓄積によって、持続可能な農業生産と永続的な水利用が実現可能となる。そのため本研究では、①統計資料、②土地利用データ、③水文モデル、などを用いるこ

とによって、黄河流域の2000年の農業水利用効率性（WUE：Water Use Efficiency）を評価する。

2. 研究の背景

黄河流域の食糧生産量^{注1)}は、着実に増産を進めてきた（図1）。

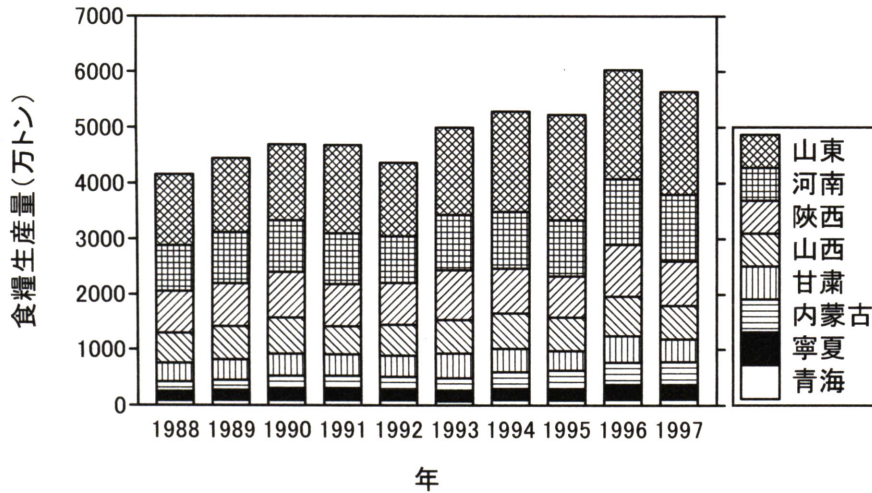


図1. 食糧生産量の推移：（中国国家统计局，1989-1991；中国科学院地理科学与资源^{注2)}より作成。ただし，1992年については推計値を使用。

この流域の食糧生産は、灌漑によって施されており、全用水量の約84%を占めている（1988年から2002年までの耗水量^{注3)}データから筆者計算）（孫ら，2001；黄河水利委員会，2000-2002）。特に，流域有数の大型灌漑区が立地する山東省や内蒙古自治区では，圧倒的に農業用水量の使用が多く，全体の約50%を占めている（図2）。

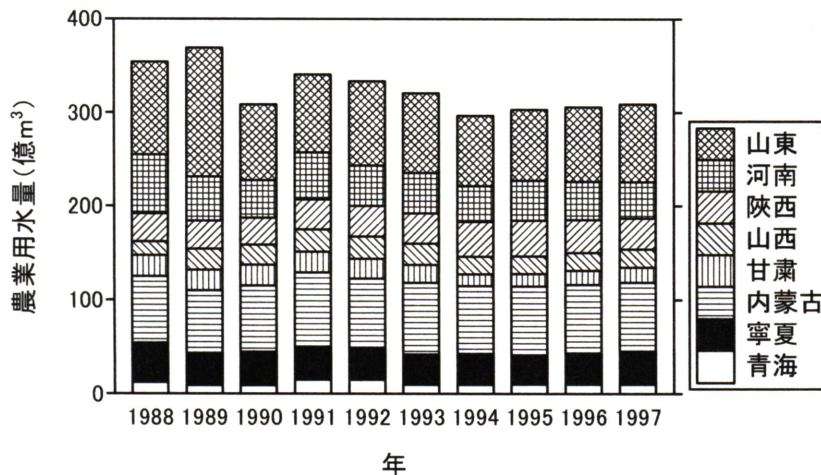


図2. 農業用水量の推移：（孫ら，2001）より作成。ただし，1996年及び1997年については推計値を使用。

近年，農業用水量当たりの食糧生産量は，流域平均で 1988 年の 15 トン/万 m^3 から 1997 年の 20 トン/万 m^3 へと増加している（図 3）。

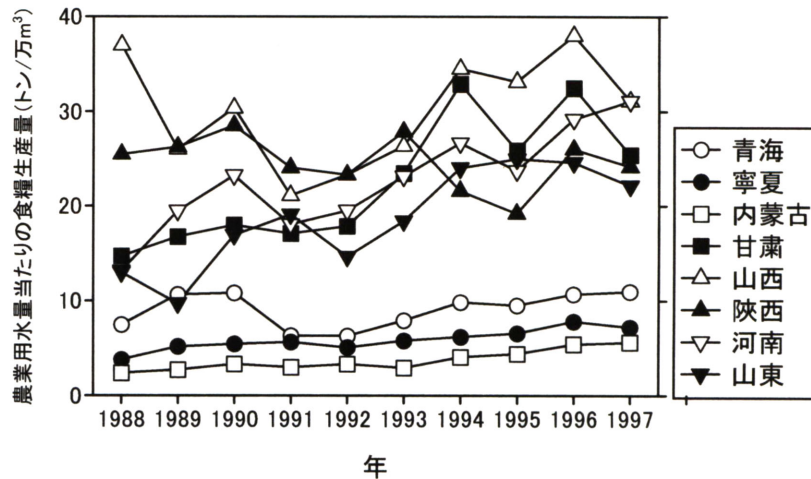


図 3. 農業用水量当たりの食糧生産量の推移：図 1. 及び図 2. の値を用い作成.

一方，1972 年にはじめて観測された断流現象は，1990 年代に入り頻発し，1997 年には最大規模の断流が発生した（図 4）. この時期，農業用水量は低下傾向にあるが，水資源量が不安定な黄河流域では，過剰な水利用は直に水資源の枯渇に結びつく. そのため，用水量の有効且つ適正な利用が求められている. さらに，近年の社会経済発展による工業化や都市化の進行に伴い，これらに由来する新規用水量（工業用水量，都市生活用水量など）が増加している. そのため今後，さらに農業用水は逼迫されると予測されている（銭ら，2001）. 本研究では，このような各省（自治区）の農業における水利用の状況を空間的にさらに詳しく分析し，地域別・灌漑区別の農業水利用効率性を明らかにする.

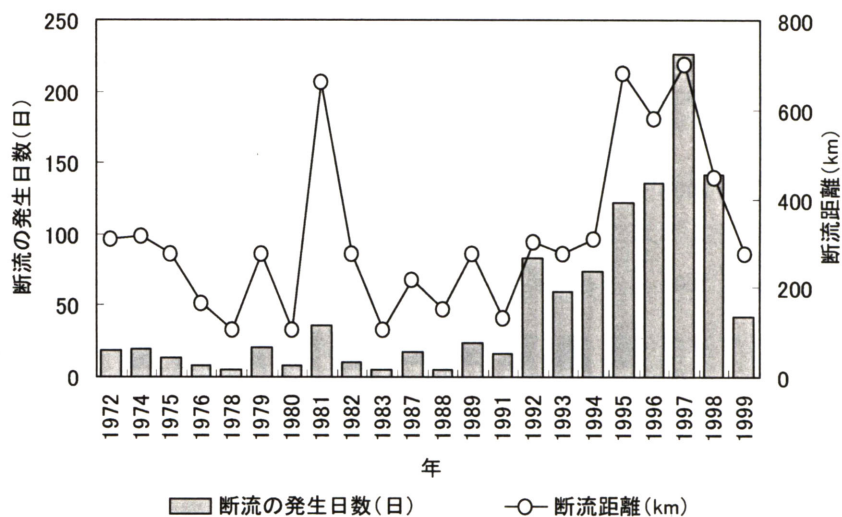


図 4. 断流の発生日数と距離：（孫ら，2001）より作成.

3. 分析方法

黄河流域の 2000 年の食糧生産量に関しては、入手可能な統計データの中で最小行政単位である県および市のデータを整備する。次に、この県市の食糧生産量のデータを Matsuoka *et al.* (2007) によって作成された農地面積データを用い空間メッシュに変換する。この際、各メッシュの食糧生産量は、各県市に属する農地面積の大きさに比例すると仮定する。さらに、農地からの蒸発散量に関しては、SVAT-HYCY モデルをベースにした水文モデル (Sato *et al.*, 2007) を用いて算定する。基準蒸発量は、Kondo and Xu (1997) の定義による熱収支計算に基づくポテンシャル蒸発量を適用し、土壌水分ストレスのかからない条件での最大蒸発散量は LAI の関数 (Kondo, 1998) から求める。水面と灌漑地に関しては、LAI にかかわらずポテンシャル蒸発が発生するとし、灌漑地で降水量以上の蒸発損失がある場合には不足量を河道から取水することとする。ここでは、メッシュごとに得られた蒸発散量に対する食糧生産量の比率を「農業水利用効率性」として評価する。ただし、下流域については、この流域全体の灌漑区によって評価した結果を参考として含めることとする。また、灌漑区の評価を行う際には、黄河水利委員会 (1989) の灌漑図をデジタイズして用いる。

4. 結果と考察

結果を図 5 に示す。ここではまず、上流域から中流域までの各メッシュの農業水利用効率性の結果を示す。この結果から、上流域から中流域にかけて効率性が高くなっていることが分かる。これは、図 3 で示した各省 (自治区) の農業用水効率性にほぼ順ずる結果となっている。

次に、得られた結果を地域別、灌漑区別にまとめた結果を図 6 に示す。ここでは、下流域全体の灌漑区の結果を合わせ掲載する。この結果から、寧夏回族自治区や内蒙古自治区の灌漑区において効率性が低いことがわかる。この上流域の灌漑区は、下流域の灌漑区と比較して、3 倍近く効率性が低くなっている。特に、土默川灌区や黄河南岸灌区において、その効率値が低い結果となっている。ただし、この結果の妥当性については、現在のところ比較する参考資料が存在しないため、今後その精度を含め、検討を加える必要がある。

全体として、寧夏回族自治区や内蒙古自治区などの大型灌漑区において効率性が低い傾向にあり、こうした灌漑地区での非効率な水利用は、黄河流域全体の社会経済発展と水利用及びその水収支バランスに大きく影響を与えていると考えられ、節水の強化や灌漑管理の完全など、根本的な改革が必要であると考えられる。

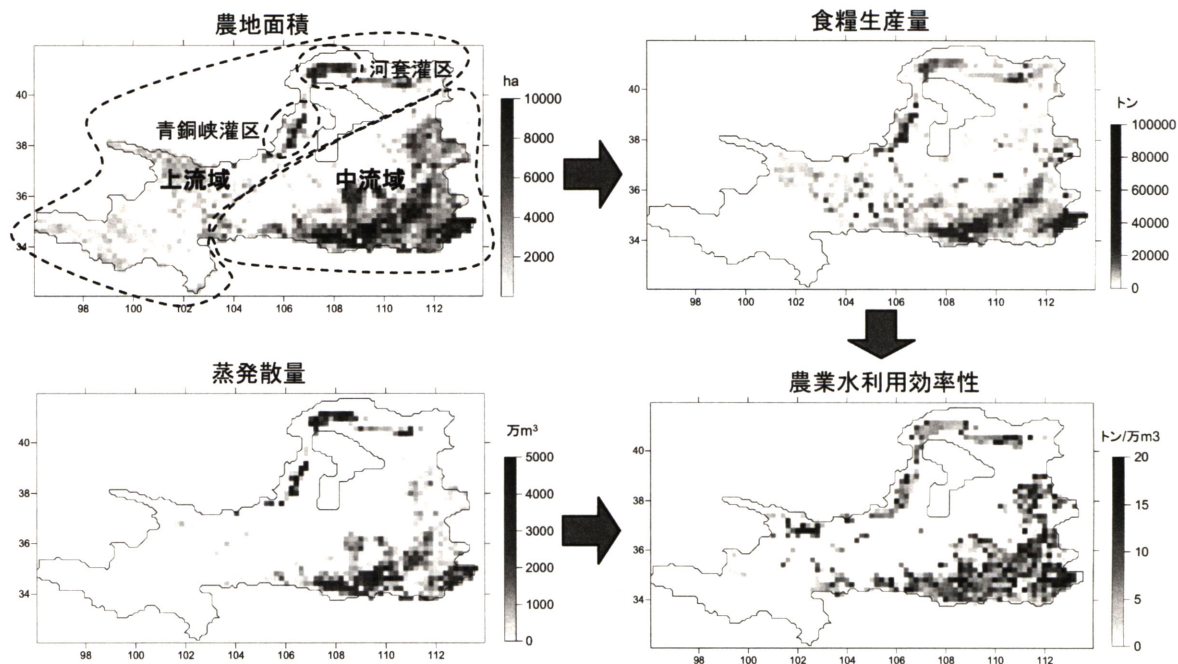


図 5. 黄河流域の 2000 年の農業水利用効率性の評価結果

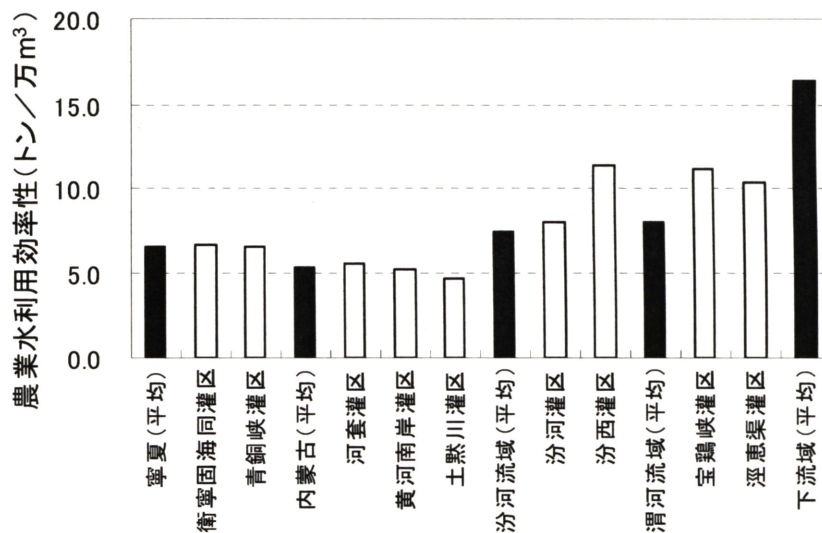


図 6. 黄河流域の各地域及び主要灌漑区ごとの農業水利用効率性の評価結果

5. まとめ

本研究では、黄河流域の 2000 年の農業水利用効率性を評価した。この結果、上流域における水利用の非効率性が明らかとなった。

今後の課題として、得られた効率性の違いがどのような要因で生じているのか分析する

必要がある。この具体的な改善案を示すことによって、効率的な水利用のあり方が検討可能になると考える。

補注

- 1) 中国で刊行されている統計書の「食糧」の定義は、収穫・脱穀をへたものの、モミスリ加工を施していない穀物を意味する（小島，1988）。具体的には、米（粳），小麦，トウモロコシ（粒子に換算）に加えて、薯類（サツマイモとジャガイモは含むが里芋・キャッサバは含まず），豆類（サヤを除去した乾燥豆換算），高粱，アワ（穀つき），その他雑穀を含む。薯類については、生薯 5kg を食糧 1kg に換算する。また、都市近郊で栽培される野菜としての薯（ジャガイモ等）は食糧統計には含まない（小島，1988；加藤・陳，2002；寶劍，2003）。
- 2) 中国科学院地理科学与資源研究所 中国自然資源データベース。中国科学院地理科学与資源研究所ホームページ<<http://www.naturalresources.csdb.cn/index.asp>>，2006.10.1 参照。
- 3) 灌漑農業における耗水量の定義は、一般的に、作物からの蒸散，土壌からの蒸発，水路における蒸発及び浸透損失量などを含むものであり，水の利用過程において消失し，河川あるいは地下水に還元しない水量を意味する（席，1996；中国水利部，2000）。各灌漑区の耗水量は，次の 2 つの方法によって実際に計算される。第 1 の方法は，実測した灌漑区の取水量から灌漑区の地表面上における減水量を差し引き求める方法である（ただし，地下への還元量は考慮しない）（席，1996）。この方法は，主に完全な実測資料を有する大型灌漑区で用いられる（寧夏回族自治区，内蒙古自治区及び涇河，北洛河，渭河，汾河流域の大型灌漑区など）。第 2 の方法は，定量（単位面積当たりの耗水量）を利用して求める方法である（席，1996）。多くの中・小灌漑区では実測資料が乏しいため，隣接地域の実測資料，もしくは，灌漑試験ステーションにおける耗水量を定量として用い，灌漑区ごとの耗水量を計算する方法である（席，1996）。

参考文献

- 大坪国順・王勤学・劉昌明：黄河下流域における断流と塩類化の問題，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－，pp.242-248，2000。
- 大西暁生・井村秀文・韓驥・方偉華（2005）：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」, 33: 79-88.
- 加藤弘之, 陳光輝 (2002): 『東アジア長期経済統計—中国』勁草書房, 51.
- 黄河水利委員会: 黄河水資源公報, 中国黄河水利委員会, 1999-2002.
- 黄河水利委員会: 黄河流域地図集, 中国地図出版社, 1989.
- 国際協力銀行 (2004): 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.
- 小島麗逸 (1988): 『中国経済統計・経済法解説』アジア経済研究所, 345.
- 席家治: 黄河水資源, 黄河水利出版社, 1996.
- 錢正英・張光斗他 (2001): 『中国可持續發展水資源戰略研究報告集 Vol. 1~9』中国水利水电出版社.
- 孫広生・喬西現・孫寿松主編: 黄河水資源管理, 黄河水利出版社, 2001.
- 中国国家统计局 (1989-1991): 『中国分県農村經濟統計概要』中国統計出版社.
- 中国水利部 (2000): 『中国水資源公報』中国水利部.
- 寶劍久俊 (2003): 『開發途上国の農産物流通—アフリカとアジアの経験—第4章中国における食糧流通政策の変遷と農家経営への影響』日本貿易振興会アジア経済研究所調査研究報告書.
- 渡邊紹裕・星川圭介 (2006): 黄河流域の大型灌区の農業用水利用. 「沙漠研究」16-2: 97-101.
- J. Kondo and J. Xu: Potential evaporation and climatological wetness index. *Tenki: Journal of the Meteorological Society of Japan* 44: pp.875-883, 1997.
- J. Kondo: Dependence of evapotranspiration on the precipitation amount and leaf area index for various vegetated surfaces, *Journal of the Japan Society of Hydrology and Water Resources* 11: pp.679-693, 1998.
- M. Matsuoka, T. Hayasaka, Y. Fukushima and Y. Honda: Land cover in East Asia classified using Terra MODIS and DMSP OLS products, *International Journal of Remote Sensing*, Vol.28, Nos. 1-2, pp.221-248, 2007.
- Y. Sato, X. Ma, M. Matsuoka, J. Xu and Y. Fukushima: Hydrological impacts of the land-use change in the middle reaches of the Yellow River basin, *3rd International Workshop on Yellow River Studies*, pp.97-102, 2007.