

黄河流域の地域別穀物生産性の変化に関する研究

大西暁生¹・井村秀文²・韓驥³・方偉華⁴

¹学生会員 環修 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)

²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)

³学生会員 工修 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非会員 環博 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)

改革開放政策に転じて以来、中国農業は大きな転換を経験した。単位土地面積あたりの生産性（土地生産性）の向上によって、国全体の食糧生産は増大してきた。中国の重要な穀倉地帯である黄河流域においてもこの事情は同じであるが、生産性の向上が実現された要因についてはまだ十分な分析がなされていない。ここで、土地生産性は地域ごとの自然条件や社会条件に大きく依存する。このため、本研究では、黄河流域を上流域・中流域・下流域・汾河流域・渭河流域の5流域に分類し、1980年、1991年、1997年、2000年の4年次を対象として、流域別に土地生産性に影響を与えた要因の同定を行った。その結果、生産性に影響を与えた要因は流域によって異なることを確認した。また、生産性向上のための方策を流域別に検討した。

Key words: Yellow River basin, grain productivity change, 5 different basins, multiple regression analysis

1. はじめに

黄河流域は、中国の重要な穀倉地帯である。その上流・下流地域は中国西部に位置し、東部沿海地域と比較すれば工業化は遅れ、農業生産の増大は経済開発の観点からも重要となっている。巨大な人口を養うため、中国は食糧生産の拡大を達成してきた。しかし、農地の拡大は限界に近づきつつあり、土地生産性、すなわち、単位農地面積あたりの農産物生産量の増大が重要な課題となっている。

農業の土地生産性の向上は、主に、灌漑面積の増大、化学肥料使用量の増加、農業従事者の確保、機械化の促進などによって達成されてきたといわれている¹⁾。しかし、黄河流域の面積は、80万km²（日本全土の2倍以上）と広大であり、農業の特徴は地域によって大きく異なる。

黄河流域の農業は、水資源の面から見て、地域別に以下のような特徴がある。上流域は、降雨によって黄河の水の約60%を供給し、比較的、水資源の豊富な地域である²⁾。「塞上天府」（辺境の宝庫）と言われる穀倉地帯の寧夏回族自治区恵農灌区や内蒙古自治区河套灌区などの灌漑地区を有している。中流域は、黄土地帯にあり、穀物生産が活発な一方で、ある程度工業化も進んでいる。黄河の主要な支流で

ある汾河、渭河もこの中流域に属する。下流域は、華北平原に広がる山東省と河南省の一部を含み、灌漑農業が普及し、小麦やトウモロコシの主要な生産地となっている。しかし、水資源量は黄河流域全体の10%程度と少ない。

このように、各々の地域において、自然条件、社会・経済状態が大きく異なるため、地域の実情に応じた生産性向上の方策を検討することが重要である。そのためには、まず、これまでの生産性の変化を地域別に詳しく検討する必要がある。

中国における農業生産性に関する最近の研究としては、浅海³⁾やKaneko et al.⁴⁾の研究がある。浅海は、中国各省の生産性と機械化や農村人口などの関係について研究した。また、Kaneko et al.は、中国各省を対象に、水使用効率と農業生産との関わりを分析した。しかし、省別の分析では、省内の自然条件の違いやバラツキは分析できないという限界がある。

黄河流域を対象とした研究としては、主に自然科学的な視点からの研究が多く、社会科学的な観点も加味した研究は限られる。例えば、席ら⁵⁾や朱ら⁶⁾は、黄河流域内を上流域、中流域、下流域に分け、水資源量などの評価を行ったが、農業生産との関係は分析していない。黄河流域の農業を研究したものとしては、銭ら⁷⁾、Imura et al.⁸⁾がある。銭らは、黄

河流域全域を対象に、穀物生産量の現状と将来の予測を行った。また、Imura et al.は、2025 年までの食糧需給の将来シナリオ分析を行っている。しかし、これらの研究では、生産性に影響を与える要因はまだ十分には検討されていない。

本研究の目的は、黄河流域内における穀物生産性とそれに関わる諸要因（有効灌漑率、機械化、化学肥料、労働力、水資源など）との関係を明らかにすることである。その際、農業が自然的条件に強く影響を受けることを考慮して、黄河流域を 5 流域（上流域・中流域・下流域・汾河流域・渭河流域）に分類して分析する。

以下では、まず、分析に用いたデータについて説明する。次に、分類した 5 流域において、穀物生産量と耕地面積、また穀物生産性とそれに関連した諸要因の動向について述べる。次に、重回帰分析を用いて穀物生産性と諸要因の関係を分析する。最後にこれまでの分析結果をまとめ、流域別に穀物生産性に影響を与えた要因について考察する。

2. 分析に用いたデータ

本研究では、穀物生産性に関する分析を流域単位で行う。このためには、入手した社会経済データを流域単位に再編する必要がある。そこで、公開されている統計の最小行政単位である県市についてデータを整理した。表-1 に主な中国統計書を示す。県市単位データは、主に中国城市統計年鑑⁹⁾と中国県(市)

社会経済統計年鑑¹⁰⁾に掲載されており、各省統計年鑑¹¹⁾にも一部掲載されている。しかし、省レベルのデータに比べると入手が難しく、また、必ずしもすべての年や県市において完全なデータが入手できるわけではない。そこで統計資料がない一部のデータについては推計を行った。表-2 に本研究で用いた推計の方法を示す。

(1) 県市行政界と流域の区分

本研究の対象地域を図-1 に示す。一般に黄河流域は、上流（河源～托克托）、中流（托克托～桃花峪）、下流（桃花峪以下）に分類される^{6), 14)}。本研究ではこれらの分類を参考に流域界を設定した。また汾河流域・渭河流域は、同じ中流域でも黄河本流域とは自然条件が大きく異なるので分離することにした。

具体的な分類は、以下の手順で行った。まず、中国国家基礎地理情報センターの 100 万分の 1 データ¹⁵⁾を用いて DEM（Digital Elevation Model：数値標高モデル）から集水域を同定し、上流域・中流域・下流域・汾河流域・渭河流域の 5 つの自然流域界を設定した。しかし、自然流域界と行政区画は一致しないため、県市の行政区画に合わせるように境界を設定した。この際、同じ県市が 2 つの流域にまたがる場合は、その県市の中心点を含んでいる方の流域に属するように定めた。

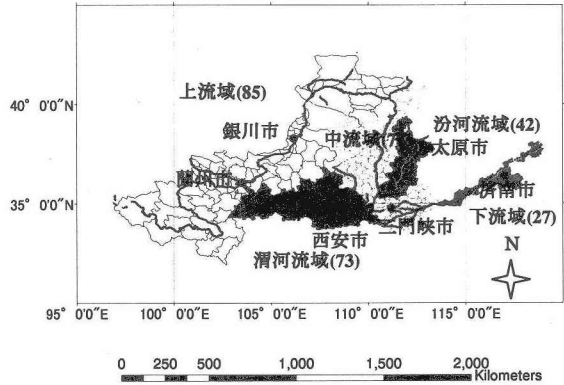


図-1 黄河流域内の 5 流域

図中の括弧内の値は県市の数である

表-1 中国統計書類の分類

統計書名	発行元	主なデータ範囲
中国統計年鑑 ¹²⁾	国家統計局	● 中国全体 ● 省
各省統計年鑑 ¹¹⁾	各省統計局	● 省 ● 市区 ● 県市 ^{注1)}
中国城市統計年鑑 ⁹⁾	国家統計局	● 市 ^{注2)} ● 市区 ^{注2)}
中国県(市)社会経済統計年鑑 ¹⁰⁾	国家統計局	● 県市

注 1): 省や発行年度によって異なる。県市データが記載されていない例が多い。
注 2): 省級の中央直轄市のほかに、省轄市(地級市)、地轄市、省轄市が管轄する市(県級市)がある¹³⁾

表-2 データ推計内容

推計項目	データ有無	推計年次と対象県市	推計方法
有効灌漑面積	データなし	全県市	1980 年と 1991 年のデータの年間変化率を用い推計
機械化 (農業機械総動力)	データなし	1997 年： 山東省、四川省、陝西省、 寧夏自治区に属する県市	1991 年と 2000 年のデータの年間変化率を用い推計
化学肥料	データなし	1997 年、2000 年： 山西省に属する県市 1997 年： 陝西省に属する県市	1980 年と 1991 年のデータの年間変化率を用い推計
	市区データのみあり	1997 年、2000 年： 山東省に属する県市 2000 年： 陝西省に属する県市	1980 年と 1991 年のデータの年間変化率を用いて推計した後に、県市の合計が市区の合計に合うように修正

表-3 に自然地理境界と本研究で用いる縣市行政界の面積の違いと、行政界による流域別の面積を示す。

(2) 研究対象年次

統計資料の制約から、時系列で一貫したデータを入手することは難しい。そこで、本研究では穀物生産性の変化をおよそ 10 年間隔で考察することとし、対象年次を 1980 年、1991 年、2000 年と定めた。な

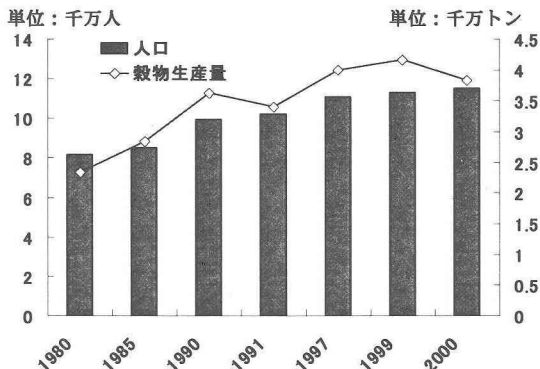


図-2 黄河流域の穀物生産量と人口の変化

各省統計書¹⁰⁾、中国城市統計年鑑⁹⁾、
中国県(市)社会経済統計年鑑¹⁰⁾より筆者作成

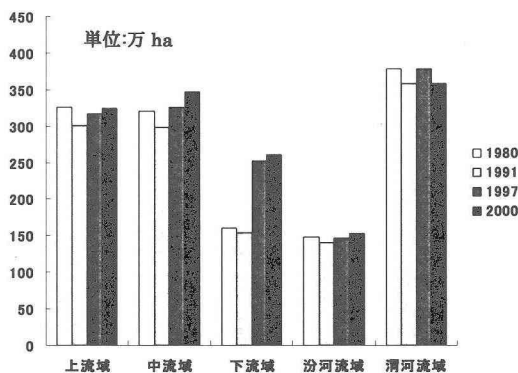


図-3 流域別耕地面積

お、1991 年を対象年としたのは、統計資料の都合上、他の年と比較可能な 1990 年のデータが得られなかったためである。また、渇水期の穀物生産性を検討するため、断流の日数が最も長かった 1997 年も対象年次に含めた。

3. 流域別にみた穀物生産の特徴

(1) 耕地面積

黄河流域では増加し続ける人口を支えるために、主要農産物である穀物の生産を増加させてきた。黄河流域の人口と穀物生産量の推移を図-2 に示す。

耕地面積は、渭河流域、上流域、中流域の 3 つの流域で全体の 7 割以上を占めている。下流域を除くと、1980 年から 2000 年にかけて耕地面積は大きく変化していない(図-3 参照)。下流域では、1991 年から 1997 年にかけて耕地面積が 1.6 倍に増加した。この原因は不明であるが、近年は、工業化の進展に従い耕地が非農業用途へ転用される一方、新たな耕地が開拓されているという報告もある¹⁶⁾。

(2) 穀物生産量と穀物生産性

図-4 に流域別穀物生産量の推移を示す。1980 年から 2000 年にかけて穀物生産量が最も多い流域は渭河流域であり、流域全体に占めるシェアは 26.4%であった。穀物生産量が大きく伸びたのは、下流域であり、1980 年から 1991 年にかけて 1.9 倍に増加した。また、上流域、渭河流域においても穀物生産量の増加は著しく、1980 年から 1991 年にかけて約 1.5 倍に増加し、その後、1991 年から 1997 年においてはほぼ全流域で増加した。しかし、2000 年には上流域、下流域、汾河流域で低下した。

本研究では単位耕地面積あたりの穀物生産量を穀物生産性と定義する(以後、単に「生産性」とのみ記す)。図-5 に 5 流域別の生産性を示す。この図では、各流域に属する全縣市の値をサンプルとして、その

表-3 黄河流域の面積

省	自然地理境界 (万 km ²)	縣市行政界 (万 km ²)	市県の数	流域	行政界による流域ごとの面積 (万 km ²)
青海	15.10	13.57	23	上流域	44.02 (53.5%)
四川	1.60	2.90	3		
甘肅	14.40	15.11	50		
寧夏	5.18	5.21	20	中流域	16.44 (20.0%)
内蒙古	15.20	16.00	25		
山西	9.60	9.21	68		
陝西	13.33	13.56	68	下流域	3.59 (4.4%)
河南	3.50	3.82	29		
山東	1.30	2.77	19		
合計	79.21	82.13	305	汾河流域	5.27 (6.4%)
				渭河流域	12.90 (15.7%)

(注 3)：寧夏、内モンゴルは自治区、その他は省である。括弧内の数字は、黄河流域全域と比較した場合の割合である

中央値と分散を示す。

5 流域別の生産性は、3つのパターンに分けることができる。第1のパターンは、1991年で生産性のピークを迎え、1997年、2000年は低下するものである。これに該当するのは下流域と渭河流域である。第2のパターンは1997年まで生産性が向上し、2000年に低下するものである。上流域と汾河流域がこれに該当する。第3のパターンが、1980年から2000年まで一貫して増加し続けるものである。中流域がこれに該当する。

また、各流域に属する県市での生産性の中央値と分散の動向を見てみると、下流域以外の流域ではほぼ一定である。しかし、下流域においては、分散が小さくなっており、流域内の生産性の格差は減少にある。

(3) 穀物生産性決定要因の動向

穀物生産性の決定要因としては、Imura et al.⁸⁾の研究を参考として、表-4に示す項目を選定した。

決定要因は、社会的要因と自然的要因とに大別され、社会的要因はさらに資本・技術的要因と人的要因に分けられる。資本・技術的要因とは、有効灌漑面積、機械化（農業機械総動力）、化学肥料などであり、人的要因とは労働力である。また、自然的要因としては、水資源などが該当する。

以下に、各流域に属するすべての県市の値の合計値の動向と分散の状況を記す。

表-4 穀物生産性の決定要因

決定要因		項目
社会的要因	資本・技術的要因	有効灌漑面積
		機械化（農業機械総動力）
	人的要因	化学肥料
自然的要因	—	労働力（農村人口）
		水資源

a) 有効灌漑面積

有効灌漑面積とは、土地が均平で灌漑のための施設・設備および一定の水源を有し、通常の年に正常な灌漑を行うことのできる耕地を意味する¹⁷⁾。これは、実際に灌漑を行っている面積とは異なる。しかし、県市単位での統計データには、実際の灌漑面積のデータが記載されていないことが多く、本研究ではデータ入手が容易な有効灌漑面積の値を用いて分析する。

図-6に流域別の有効灌漑面積を示す。上流域では他と比較して、有効灌漑面積が著しく増加している。これは、図-3に示すように耕地面積の変動が少ないことを考慮すると、既存の耕地が灌漑化されたもの

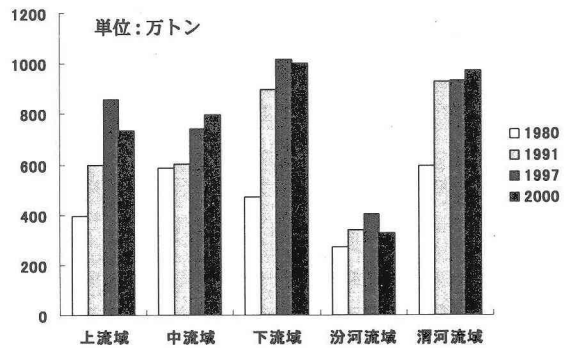


図-4 流域別の穀物生産量合計値

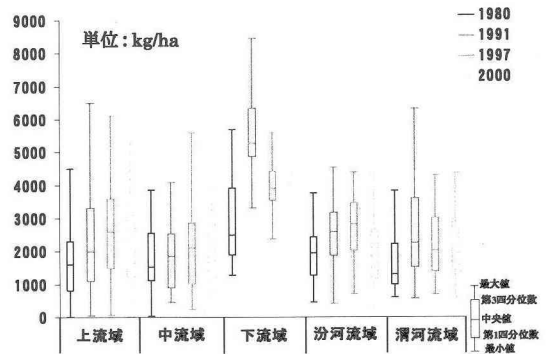


図-5 流域別の穀物生産性

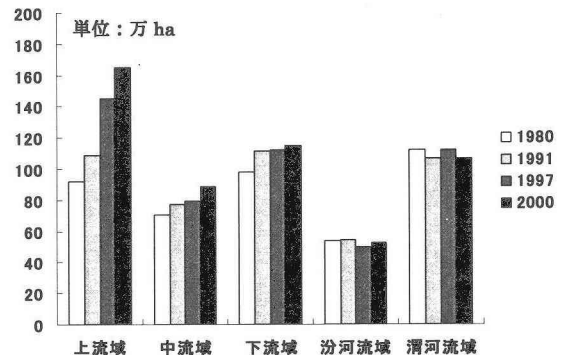


図-6 流域別の有効灌漑面積合計値

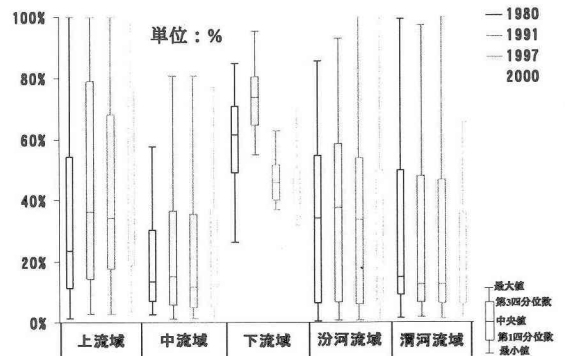


図-7 流域別の有効灌漑面積率

と考えられる。一方、図-3によれば、下流域では1991年と1997年の間で耕地面積の増加が見られる。また、図-7が示すように、有効灌漑面積率（全耕地面積に占める有効灌漑面積の割合）が一様に低くなっており、灌漑化されていない耕地の増加が推察される。また、下流域では、有効灌漑面積率の分散が、年とともに徐々に小さくなっている。汾河流域と渭河流域では、有効灌漑面積率の高かった県市において低下が見られ、このことが全体的な有効灌漑面積率の低下に繋がっている。

b) 機械化(農業機械総動力)

農業機械総動力とは、耕作機械、灌排水機械、収穫機械、農産加工機械、輸送機械、防除機械、畜産用・林業・漁業機械、およびその他農業機械に関する動力の総和である¹⁷⁾。

図-8に流域別農業機械総動力を示す。1980年以降、どの流域においても農業機械総動力は増加にあり、特に下流域において顕著である。耕地面積あたりの農業機械総動力は全体的に増加にあり、また同時に分散も拡大している(図-9参照)。特に、下流域では著しく増大している。

c) 化学肥料使用量

中国で刊行されている統計書に記載されている化学肥料とは、窒素肥料、リン酸肥料、カリ肥料、複合肥料をN、 P_2O_5 、 K_2O の要素に換算し合計したものである¹⁷⁾。

流域別の化学肥料使用量および耕地面積あたり化学肥料使用量を図-10および図-11にそれぞれ示す。耕地面積あたりの化学肥料使用量は、全ての流域で増加し、その分散は1980年から2000年にかけて拡大している。特に、下流域や渭河流域では分散の増大が顕著である。このことは、同じ流域内においても、地域によって格差が拡大していることを示している。

d) 労働力(農村人口)

本研究では、農村人口を農業に従事している労働力と定義する。農村人口は1980年から1991年まで、全流域において増加していた(図-12参照)。この増加は、上流域、渭河流域では2000年まで続くが、1997年以降、中流域、下流域では減少した。汾河流域では、ほぼ横ばいである。

耕地面積あたり農村人口では、下流域での低下が顕著である(図-13参照)。また、上流域を除く流域で分散が若干小さくなっており、特に耕地面積あたりの農村人口が大きかった県市での低下が目立つ。

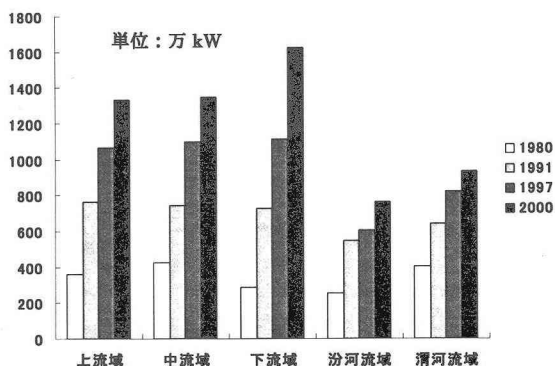


図-8 流域別の農業機械総動力の合計値

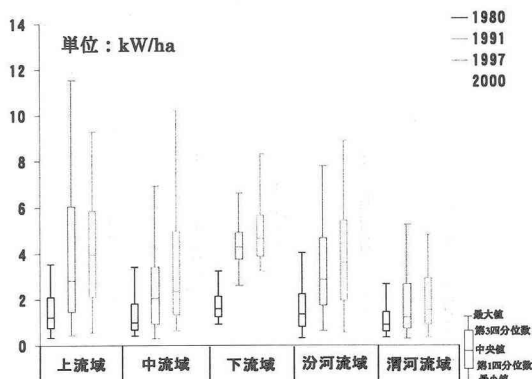


図-9 流域別の耕地面積あたり農業機械総動力

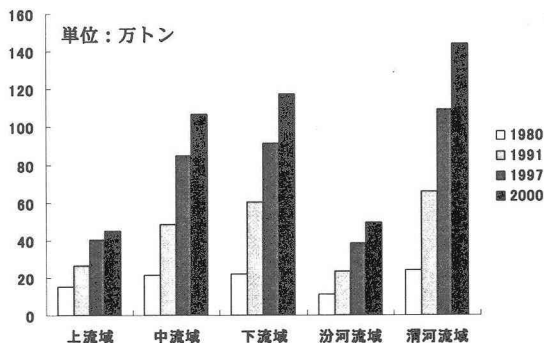


図-10 流域別の化学肥料使用量の合計値

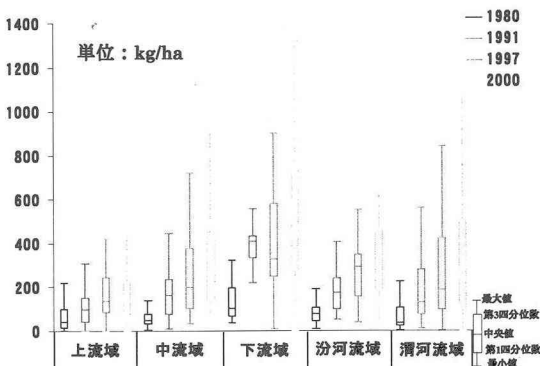


図-11 流域別の耕地面積あたり化学肥料使用量

e) 水資源

黄河流域の水資源量は、年平均で580億 m^3 であり、耕地面積1 μ （1 μ =666.7 m^2 ）あたり約294 m^3 である。これは、中国平均の15.3%のレベルであり、この地域の水資源の乏しさを示している^{18), 19)}。また、河川に水が全くなるとなる断流現象も発生している。1997年には断流日数と断流河長が過去最長となった¹⁸⁾。

当該地域で利用できる水資源量の指標の一つとして水資源賦存量がある。水資源賦存量の推計には幾つかの方法が考えられる。まず、単位面積あたりの降水量から実蒸発散によって失われる量を差し引き、その値に当該地域の面積を乗じて計算される²⁰⁾。

$$\text{水資源賦存量} = (\text{単位面積あたり降水量} - \text{単位面積あたり実蒸発散量}) \times \text{当該地域の面積} \quad (1)$$

しかし、実蒸発散量は地域差異や気候・気象条件によって異なるので、その推定は難しい。このため、理論的な推計式が存在する可能蒸発散量を用いた下式が有用である。

$$\text{水資源賦存量} = (\text{単位面積あたり降水量} - \alpha \times \text{単位面積あたり可能蒸発散量}) \times \text{当該地域の面積} \quad (2)$$

可能蒸発散量とは、水が十分に土地にある時の蒸発散量を表し、係数 α は上述したその土地の地域特性などを表す値である。そこで本研究では、県市ごとの単位面積あたり水資源量を式(3)のように、降水量と可能蒸発散量の差をもって表す。

$$\text{水資源量} = \text{単位面積あたり降水量} - \text{単位面積あたり可能蒸発散量} \quad (3)$$

これにより、異なる地域間では、気象条件等の違いによって係数 α が異なり比較はできないが、同じ地域内であれば比較することができると考える。

本研究では、190の観測所データによる降水量のデータと、Penmann-Montaith法によって計算した方²¹⁾の可能蒸発散量の推計結果を用いる。降水量については、Kriging補間法により点データから面データに変換し、県市ごとに集計する。なお、黄河流域の多くが乾燥または半乾燥地域に属しているため、式(3)で求められる結果が負の値となることがある。

図-14に、対象年次の中で水資源量の最大と最小であった2000年と1997年の結果を示す。図中の凹凸は黄河流域の県市の値を表している。この図から、1997年と2000年を比較して、上流から下流に行く

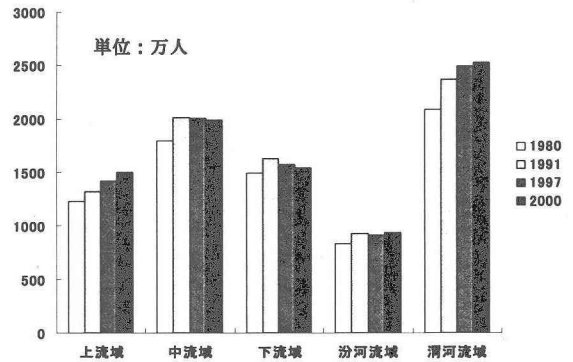


図-12 流域別の農村人口合計値

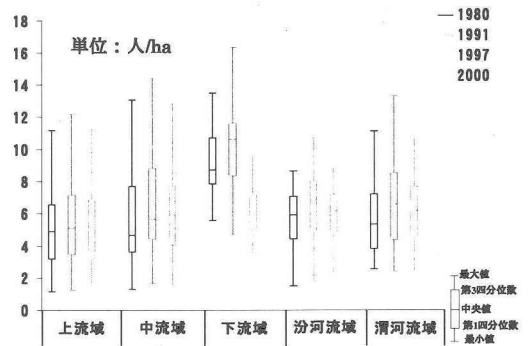


図-13 流域別の耕地面積あたり農村人口

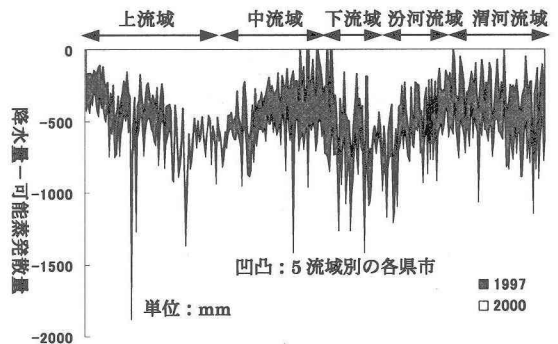


図-14 流域別の水資源量の大きさ (1997年と2000年の例)

表-5 回帰分析に用いた説明変数

記号	変数	データ
V	穀物生産性	県市
I	有効灌漑面積率	県市
M	機械化(耕地面積あたり農業機械総動力)	県市
F	化学肥料(耕地面積あたり化学肥料使用量)	県市
L	労働力(耕地面積あたり農村人口)	県市
P	作付け回数(耕地面積あたりの作付け面積)	省
W	水資源量(絶対値として用いる)	県市
K	主要作付け品種の割合	省
T	年平均気温	県市
R	年平均日射時間	県市
y1	1980年ダミー	—
y2	1991年ダミー	—
y3	1997年ダミー	—
a0	定数項	—

ほど、水資源量の差が大きくなることがわかる。

4. 流域別にみた穀物生産性変化の要因分析

(1) 流域別にみた穀物生産性の要因分析

流域別における生産性とその決定要因の関係を明確にするため、豊田ら²²⁾の食糧生産性に関する経験式の導出を参考に分析を行う。重回帰分析に用いた非説明変数および説明変数を表-5に示す。ここで、前節までにおいて説明した生産性の諸要因に加え、作物の成長に関係のある自然的要因として、県市ごとの年平均気温、年平均日射時間も使用する。さらに、各省の統計書データ¹⁴⁾から、省ごとの作付け回数(耕地面積あたりの作付け面積)、主要作付け品種の割合を用いる。主要作付け品種は、黄河流域の小麦である。

生産性を表すモデル式は、式(4)の対数線形モデルを仮定する。重回帰分析で用いた各変数は、流域ごとの県市の値であり、式中の*i*は各流域を表す。

$$\ln Vi = a_0 + a_1 \ln I_i + a_2 \ln M_i + a_3 \ln F_i + a_4 \ln L_i + a_5 \ln P_i + a_6 \ln W_i + a_7 \ln K_i + a_8 \ln T_i + a_9 \ln R_i + a_{10} y1_i + a_{11} y2_i + a_{12} y3_i \quad (4)$$

表-6に、全変数を用いた重回帰分析の結果とステップワイズ法を用いた変数選択の結果を示す。その結果の解釈は以下のとおりである。

① 上流域：生産性に対して統計的に有意で、かつ、正の影響を与えたのは、有効灌漑面積率、機械化、労働力、年平均気温、年平均日射であり、特に有効灌漑面積率の係数は、他の流域と比較して大きな値

を示した。また、小麦の作付け割合は生産性に負の影響を与えている。ただし、小麦の作付け割合の係数は流域間で異なる。したがって、この符号の向きが妥当かどうかについては、さらに検討する必要がある。

② 中流域：作付け回数、機械化、化学肥料の値の大きな県市で生産性が高い。一方で、水資源量が少ない県市、年平均日射時間が長い県市で生産性が低い。

③ 下流域：生産性に影響を与えた変数の中でも労働力、機械化、化学肥料の係数が他の変数と比較して高い値を示した。この他に作付け回数、主要作付け品種の割合が生産性に正の影響を与えている。一方、年平均気温が高い県市で生産性が低い傾向がある。しかし、上流域と渭河流域では気温の係数は正であり、この符号の妥当性についてもさらに検討する必要がある。

④ 汾河流域：労働力、化学肥料、年平均日射時間の高い県市で生産性が高い。他方で、水資源量の少ない県市で生産性が低い。

⑤ 渭河流域：有効灌漑面積率、機械化、化学肥料、労働力、作付け回数の高い県市で生産性が高い。その中でも、作付け回数、機械化、労働力の寄与が他の変数に比べ大きい。一方、主要作付け品種の割合、年平均日射時間の大きな県市で生産性が低いという結果を得た。

(2) 流域別にみた生産性変化の要因分析

各年次間における生産性変化の要因を流域別に以下の方法で検討した。まず、各年次間における要因別の変化の差を求め、次に、重回帰分析の結果得られた生産性の推計式を偏微分して、要因別の変化の

表-6 穀物生産性の要因分析

	上流域		中流域		下流域		汾河流域		渭河流域	
	全変数	変数選択	全変数	変数選択	全変数	変数選択	全変数	変数選択	全変数	変数選択
有効灌漑率	0.46 *** (7.45)	0.42 *** (8.64)	0.07 (1.57)		0.03 (0.29)		0.00 (-0.01)		0.12 *** (4.44)	0.11 *** (5.03)
機械化	-0.09 (-1.34)		0.22 *** (2.82)	0.33 *** (5.86)	0.25 *** (3.77)	0.26 *** (4.36)	-0.05 (-0.56)		0.22 *** (4.34)	0.22 *** (4.64)
化学肥料	0.11 *** (2.83)	0.10 *** (3.02)	0.17 *** (3.24)	0.21 *** (4.41)	0.11 *** (2.97)	0.11 *** (2.99)	0.31 *** (5.17)	0.29 *** (5.61)	0.10 *** (4.11)	0.10 *** (5.00)
労働力	0.23 *** (3.06)	0.20 *** (3.07)	0.15 (1.35)		0.51 *** (6.04)	0.49 *** (6.49)	0.72 *** (5.77)	0.71 *** (8.67)	0.21 *** (3.07)	0.22 *** (3.16)
作付け回数	-0.07 (-0.37)		0.83 *** (4.52)	0.84 *** (5.38)	0.68 ** (2.41)	0.54 *** (3.15)			0.42 ** (2.00)	0.43 ** (2.07)
水資源量	-0.06 (-0.30)		-0.19 ** (-2.48)	-0.22 *** (-3.09)	0.01 (0.21)		-0.22 (-1.28)	-0.27 * (-1.80)	0.06 (1.45)	0.07 ** (2.15)
主要作付け品種の割合	-0.36 *** (-2.36)	-0.33 ** (-2.48)	-0.40 (-1.00)		2.20 ** (2.48)	1.97 *** (3.30)			-0.46 *** (-3.40)	-0.45 *** (-3.37)
年平均気温	0.26 ** (2.56)	0.28 *** (3.37)	0.13 (1.04)		-0.14 (-1.20)	-0.18 *** (-2.94)	0.15 (0.88)		0.29 *** (2.66)	0.30 *** (2.87)
年平均日射時間	0.36 (1.20)	0.28 * (1.92)	-0.62 *** (-3.39)	-0.55 *** (-3.90)	-0.11 (-0.62)		0.36 (1.04)	0.48 * (1.79)	-0.43 *** (-3.02)	-0.45 *** (-3.39)
1980年ダミー	-0.05 (-0.48)		0.50 *** (3.58)	0.66 *** (6.06)	-0.29 ** (-2.08)	-0.26 *** (-3.21)	0.33 ** (2.23)	0.37 *** (3.24)	0.00 (-0.01)	
1991年ダミー	0.06 (0.53)		0.27 ** (2.32)	0.35 *** (3.86)	-0.09 (-0.60)		0.25 ** (2.30)	0.31 *** (3.34)	0.25 *** (4.45)	0.24 *** (6.07)
1997年ダミー	0.22 * (1.97)	0.18 *** (2.64)	0.27 ** (2.50)	0.32 *** (3.24)	0.03 (0.37)		0.31 *** (2.73)	0.38 *** (4.12)	0.03 (0.50)	
定数項	5.46 *** (7.81)	5.33 *** (7.91)	9.27 *** (12.40)	9.40 *** (13.99)	7.74 *** (13.46)	7.42 *** (17.74)	4.00 *** (4.35)	4.20 *** (6.29)	7.39 *** (17.69)	7.37 *** (17.79)
Obs	224	224	296	296	100	100	160	160	272	272
重相関係数	0.71	0.71	0.55	0.54	0.80	0.79	0.63	0.62	0.76	0.76
調整済み重相関係数	0.69	0.70	0.53	0.52	0.77	0.77	0.60	0.61	0.75	0.75

***1%, **5%, *10%有意水準を示す。Obs：サンプル数

差による生産性の変化量を推計した。その際、変化の差としては、各年次における諸要因の平均値を用いた。また、用いた回帰式は統計的な効率性を考慮して変数選択による結果とした。結果を図-15に示すとともに、その概要を以下にまとめる。

- ① 上流域：1980年から1991年までと1991年から1997年までの生産性の上昇(図-5参照)は、化学肥料の増加による生産性への寄与が大きい。この化学肥料の増加による生産性の上昇は、1980年から1991年までは167kg/haであり、それは生産性変化の41%に当たる。1991年から1997年までの生産性の上昇は59kg/haで、生産性変化の96%となっている。一方、1997年から2000年までの生産性の低下には、年平均気温と年平均日射時間の低下が影響している。
- ② 中流域：1980年から2000年にかけての生産性の上昇(図-5参照)は、化学肥料と機械化の増加による寄与が高い。1991年と1997年までは、水資源量の低下が生産性に負の影響を与えており、生産性は163kg/ha低下した。さらに、1997年と2000年では、年平均日射時間と水資源量の増加が生産性上昇に影響している。
- ③ 下流域：1980年から1991年にかけての生産性の上昇は、機械化、化学肥料、労働力の増大に起因している。この年次間における生産性上昇への各要因の寄与度は機械化は53%、化学肥料は27%、労働力は9%であった。一方、1991年から1997年までの生産性の大幅な低下は、労働力、作付け回数、主要作付け品種の割合の低下に起因する。特に、労働力の

減少による負の影響は強く、生産性は1139kg/ha低下した。また、1997年と2000年の若干の生産性低下には作付け回数、主要作付け品種の割合、労働力の低下が寄与している。

④ 汾河流域：1980年から1991年までと1991年から1997年までの生産性の上昇(図-5参照)には、化学肥料の増加の影響が強い。1980年から1991年までの化学肥料の増加により、生産性は673kg/ha増加し、これは生産性変化の86%に当たる。また、1991年から1997年にかけては、生産性は370kg/haの上昇であり、生産性変化の160%に当たる。一方、1997年と2000年の間での生産性の低下は、年平均日射時間の低下が影響した。

⑤ 渭河流域：1980年から1991年にかけての生産性の上昇(図-5参照)には、化学肥料、機械化、労働力、年平均日射時間の増加が大きく寄与している。一方、1991年と1997年までの生産性の低下は、有効灌漑面積率と労働力の減少と年平均日射時間の増加の影響である。さらに、1997年と2000年にかけて、年平均気温と水資源量が減少したことが影響し生産性が低下した。

5. 結論

本研究では、黄河流域の地域特性を検討するため、黄河流域内を上流域・中流域・下流域・汾河流域・渭河流域の5流域に分類した。また、研究対象年次を1980年、1991年、1997年、2000年に設定し、流

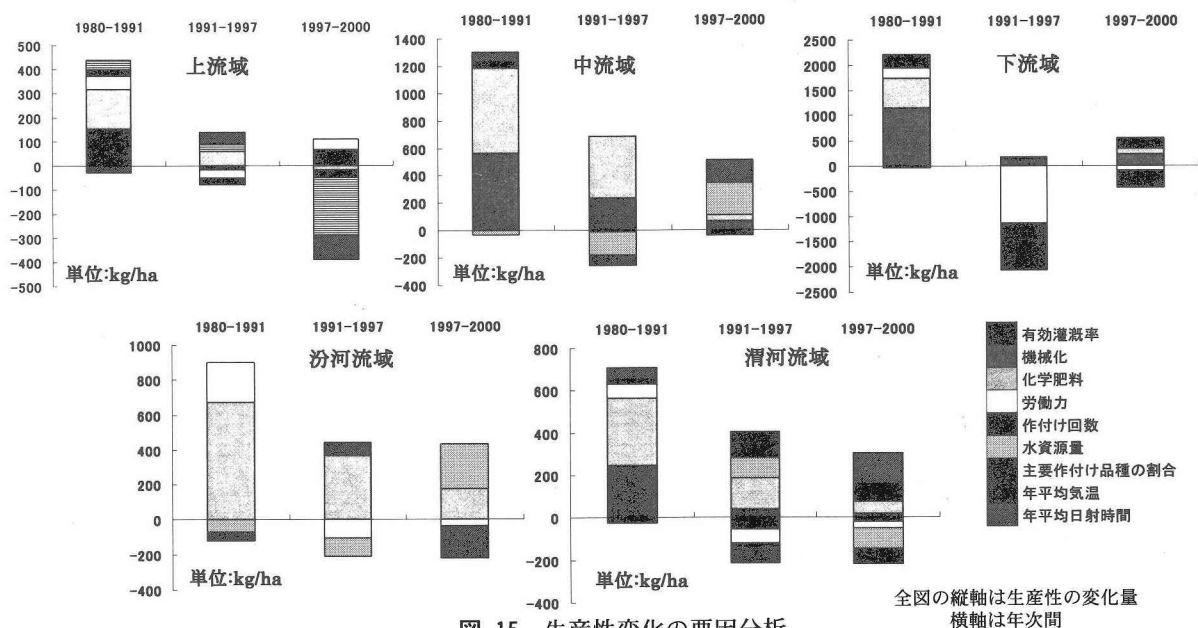


図-15 生産性変化の要因分析

域別の生産性とそれに関わる諸要因の動向を考察した。また、重回帰分析を用いて生産性と諸要因の関係を流域別に検討し、最後に、各年次間における生産性変化の要因を流域別に検討した。

本研究によって得られた知見をもとに、流域別における生産性向上のための課題を以下にまとめる。

- ① 上流域は、有効灌漑面積率の違いが流域内の生産性の格差に強く影響を与えていた。また、化学肥料の増加は、生産性の増加に貢献していた。1997年から2000年にかけては、生産性が低下していたが、これは年平均気温や年平均日射時間といった自然的要因が主な原因と考えられる。自然的要因が生産性の変化に大きく影響している場合は、その影響を緩和することで、生産性を改善する可能性も考えられる。今後、分析対象とする年を増やし、どの程度、自然的要因が生産性に影響しているかを詳細に検討する必要がある。
- ② 中流域では、機械化、化学肥料が流域内での格差の主な原因になっている。また、機械化の進展や、化学肥料使用量の増大が生産性上昇の主要な要因と考えられる。一方、水資源量の多寡が生産性に影響し、1997年のような水資源量の少ない年には土地生産性に負の影響を与えている。そのため、節水型農業の推進など水資源の利用効率を高めることが重要である。また、黄河上流域の灌漑面積率の増大に見られるように、上流での水の消費が増加すれば、下流では水の確保が難しくなる。そのため、黄河流域全体での水の適切な配分が必要である。
- ③ 下流域は、労働力、機械化、化学肥料の値の大きな県市で生産性が高い。また、これらの要因が生産性の変化にも影響を与えている。一方、近年の生産性の低下には、労働力、作付け回数、主要作付け品種の割合の低下が寄与している。特に、1991年から1997年の労働力の影響は顕著であり、経済成長が著しい下流域では産業構造の変化による農業離れが進んでいると考えられる。この地域では、今後も工業化や都市化が進展していくと考えられるため、引き続き、農村人口の減少は進むと予想される。今後、機械化の進展や化学肥料使用の増加で、労働力の減少による土地生産性の低下をどこまで補えるかについて検討する必要がある。
- ④ 汾河流域は、労働力、化学肥料、年平均日射時間の値の大きな県市で生産性が高い。また、生産性の増加には、化学肥料の増加が寄与している。1997年から2000年にかけては生産性の低

下があったが、これは年平均日射時間といった自然的要因が原因であると考えられる。

- ⑤ 渭河流域は、生産性に対する化学肥料、機械化、労働力の寄与が大きい。一方、有効灌漑面積率、労働力の低下が生産性の低下に影響している。同様に、年平均気温、水資源量などの自然的要因が生産性の低下に影響している。

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。

また、名古屋大学大学院、環境学研究科の白川博章助手、石峰氏、園田益史氏には大変なるご助力を頂いたことを御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Brown, L. R. : *Who Will Feed China: Wake-up Call For A Small Planet*, World Watch Institute, 1995.
- 2) 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.
- 3) 浅海信行：2002年の中国農業－対外開放をめざす農政－, 財団法人日中経済協会, 2003.
- 4) S. KANEKO, K. TANAKA, T. TOYOTA and S. MANAGI : Water efficiency of agricultural production in China : regional comparison from 1999 to 2002, *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, Volume3, pp231-pp250, Nos.3/4, 2004.
- 5) 席家治：黄河水資源, 黄河水利出版社, 1996
- 6) 朱曉原, 張学成：黄河水資源变化研究, 黄河水利出版社, 1999.
- 7) 錢正英, 張光斗他：中国可持續發展水資源戰略研究報告集, Vol.1～9, 中国水利水電出版社, 2001.
- 8) H. IMURA, T. TOYODA and J. CHEN : An Empirical Analysis and Forecasting of Grain Production in China , *Journal of Global Environment Engineering*, Vol. 5, pp. 37-56, 1999.
- 9) 中華人民共和国国家統計局編：中国城市統計年鑑, 中国統計出版社.
- 10) 中華人民共和国国家統計局編：中国県(市)社会経済統計年鑑, 中国統計出版社.

- 11) 各省統計局編：青海省，四川省，甘肅省，寧夏回族自治区，內蒙古自治區，山西省，陝西省，河南省，山東省統計年鑑，中國統計出版社。
- 12) 中華人民共和國國家統計局編：中國統計年鑑，中國統計出版社。
- 13) 中國概況：
<http://kks.ed.ynu.ac.jp/sub03/murata/murata-china01.html>
- 14) 陳維達，彭緒鼎：黃河－過去，現在和未來－，黃河水利出版社，pp.4，2001。
- 15) 1：100 萬中國數值地圖データ：中國國家基礎地理情報センター。
- 16) 嚴善平：中國農村・農業經濟的轉換，勁草書房，1997。
- 17) 小島麗逸：中國經濟統計・經濟法解説，アジア經濟研究所，1988。
- 18) 黃河水利委員會でのインタビュー：
<http://www-cger.nies.go.jp/lugec/lu-gec%20vi/37-ver5.pdf>
- 19) 潘家鏗，張澤禎：中國可持續發展水資源戰略研究報告書集第 8 卷 中國北方地區水資源的合理配置和南水北調問題，中國水利水電出版社，2001。
- 20) 水資源と農業用水に係る資料集：
http://www.maff.go.jp/www/council/council_cont/nuuson_sinkou/150219syo_iin/s1.pdf
- 21) 方偉華，井村秀文：Comparison of Empirical PET Estimation Methods in the Yellow River Basin，第 31 回環境システム研究論文集，Vol.31，pp.217-225，2003。
- 22) 豐田高士，陳晋，井村秀文：中國の食料生産に関する經驗的關係式の導出とそれを用いた将来予測，環境システム研究，Vol. 25，pp. 111-120，1997。

A study on grain productivity changes in 5 different basins in Yellow River basin

Akio ONISHI, Hidefumi IMURA, Ji HAN and Weihua FANG

After agriculture reform of 1978, the Chinese agriculture faced dramatic conversion. This change led to increasing of food production under maintaining high productivity. Yellow River basin, which is an eminent grain production area in China, needed to hurry to produce more grain in order to support increased population and economic development of China. However, existing studies that grasped the reality of long-term grain production in regional levels of this Yellow River basin has been not yet completed. Therefore, by this study, we classify Yellow River basin by a local characteristic and analyze change of grain productivity and its factors. Firstly, we collected available data by prefecture and city levels and classified it in five basins, upstream basin, midstream basin, downstream basin, Fen river basin and Wei river basin. Secondly, year of 1980, 1991, 1997 and 2000 were set as study object periods. Thirdly, we showed a chronological change of five different basins of grain productivity and its factors. Finally, multiple regression analysis was performed to show influence of the factors to grain productivity. As a result, influences of the factors to grain productivity were totally different in 5 basins and year changes.