

中国の食糧生産に関する経験的關係式の導出とそれを用いた将来予測

AN EMPIRICAL ANALYSIS AND FORECASTING OF GRAIN PRODUCTION IN CHINA

豊田高士* 陳晋* 井村秀文*
Takashi TOYODA CHEN jin Hidefumi IMURA

ABSTRACT: Great concerns are now emerging over China's future food security as its rapid economic growth might have adverse impacts on food supply and demand in the world. In this paper, the regression model of crop yield(kg/ha) in the scale of county is presented, which takes into account the agricultural technology and climate factors, such as the consumption of chemical fertilizers, the rate of irrigation, the total power of agricultural machinery, temperature, precipitation and sunshine. Based on the relations between the above factors and the expected economic growth, scenarios for these factors and cultivated areas are set for the years 2000, 2005 and 2010. Then an estimation of grain production all over the country is made according to these scenarios. The results show that total grain production in China will arrive at 520 million tons in 2000 and will stay at this level for ten years or more thanks to the increase in crop yield as the result of agricultural technology development despite the decline in cultivated areas.

KEYWORDS: Grain production of China, Regression model, Agriculture, Crop yield

1. 目的

中国の人口増大、経済発展と食糧需給の問題は、世界にとっての重大な関心事である。新中国成立以後、急速な人口増大にもかかわらず、中国は食糧の自給を維持してきた。しかし、その中国が、1995年に一転して食糧輸入国に転じた。これと時機を一にしてレスターブラウンの著¹⁾が発表され、中国の食糧問題に再び世界の注目が集まるようになった。

食糧需給の問題には、需要と供給の両面がある。需要を決定する第一の要因は人口であるが、生活レベルの向上にともなう食習慣の変化、特に肉食の増大による飼料用穀物需要の増大も重要である。他方、供給を決定するのは耕地の単位面積当たり収穫量(以下、「反収」と言う)と耕地面積である。第二次世界大戦後の世界各国の統計データによれば、施肥量増大、農薬使用量の増加などによって反収は急速に増大してきた。多くの国で、耕地面積の減少速度以上に反収が増大したため、両者の積としての収穫は増大してきた。しかし、そのような形での収穫の増大にも限度があり、やがて人口増大に食糧生産が追いつかなくなる恐れがあるというのがレスターブラウンらの発している警鐘である。実際に食糧危機が発生するかどうかの見解は、一国内だけの食糧需給問題として捉えるか、世界全体の問題として捉えるかによっても異なる。日本の例に見るように、たとえ一国内で食糧が自給できなくても、外国から輸入できる条件がそろっていれば危機は発生しないからである。しかし、中国のような人口大国が食糧輸入国となった場合、天候不順などのために、万一、国内での生産不足が発生したとき、世界の穀物市場に重大な混乱を起こす恐れは十分に考えられる。

* 九州大学工学部環境システム工学研究センター

* Institute of Environmental Systems, Faculty of Engineering, Kyushu University

食糧需給に関するこれら諸問題に関する客観的な議論を行うためには、需要と供給の両面からの将来予測分析が必要であるが、その第一作業として、供給能力の絶対的制約を把握することが不可欠である。すなわち、将来の穀物生産量がどうなるかの予測が必要である。そのためには、今後の技術進歩にともなう反収の変化と、耕地面積の推移を予測する必要がある。ここで、広大な国土を持つ中国の場合には、地域ごとのデータの積み上げによるボトムアップアプローチが必要である。最近におけるそうした研究としては、OECD(海外経済協力基金)による報告書が発表されている²⁾。しかし、この報告書では、省別に見た反収と作付け面積の過去の推移を将来に外挿する手法を採用しており、生産量を決定する諸因子の分析は行われていない。そこで、本論文においては、まず、中国を9つの地区(農業区分)に区分し、各地区ごとに市・県単位での穀物生産量と、農業技術、農業形態、気象に関するデータを整備する。次に、農業区分別・省別に、多変量解析によって、生産量を説明する変数を同定し、それら変数と反収の間に経験的に成立する関係式の導出を行う。次に、将来におけるこれら説明変数の値及び耕地面積の変化について一定のシナリオを設定し、中国全体の穀物生産能力の将来予測を行う。さらに、こうした手法による分析の妥当性、予測の不確定性などについて考察する。

2. 反収に関する経験式の導出

2.1 解析対象地域及び観測単位

穀物生産量は、地域ごとのミクロな自然特性に大きく左右されるので、まず、中国全土の2182の「市、県」を観測単位として、穀物生産量とその説明変数に関するデータ収集を行う。穀物生産量の説明変数としては、化学肥料投入量、有効灌漑率、農業機械の使用、気象(年平均気温、年平均降水量、年平均雲量)に着目する。なお、使用する変数のグレードの定義は、有効灌漑率とは耕地面積に占める有効灌漑面積の割合、農業機械の使用レベルとは農業機械の設備のレベルと使用の状況を表わすものとする。ただし、有効灌漑面積とは、ある一定の水源があり、比較的平坦な所で灌漑の工程及び設備が整っており、平年でみれば正常な灌漑が得られる耕地面積のことである。ここで、中国の国土は広大で農業の特性も大きく異なり、北部は寒冷で、南部は温暖、西部は乾燥地帯で、東部は潤潤で平野に富んでいる。各地域では、このような自然条件の下で、適地適作が行われていると考えられる。そのため、中国全土を農業特性によって、表-1に示す9つの地区(農業区)に分割し、各地区に含まれる観測単位(県・市)のデータによって多変量解析を行い、穀物生産量を表す経験式を導出する。ただし、チベット自治区、海南省は除く。省・市・自治区の行政区分ごとに含まれる観測数を図-1に、農業区分を図-2に示す。

表-1 中国の農業区分

地域	省	農業気候条件(注)	主な作物	栽培様式
東北区	黒龍江、吉林、遼寧	Q=1000~3400℃ W=500~700mm	小麦、トウモロコシ、大豆、イモ	1年1作
内モンゴル区	内蒙古、寧夏	Q=2000~3000℃ W=200~500mm	小麦、トウモロコシ、イモ	1年1作
黄淮海区	北京、天津、河北、山東、河南	Q=4000~4500℃ W=500~800mm	小麦、トウモロコシ	2年3作
黄土高原区	山西、陝西、甘肅	Q=3000~4300℃ W=400~600mm	小麦、雑穀物	1年1作2年3作
長江中下流区	安徽、江蘇、上海、浙江、湖北、湖南、江西、福建	Q=4500~6000℃ W=800~2000mm	米	1年2作
華南区	広東、広西	Q=6500~9500℃ W=1500~2000mm	米	1年3作
西南区	四川、雲南、貴州	Q=3000~5000℃ W=800~2000mm	米	1年2作
新区	新疆	Q=2600~4500℃ W<250mm	小麦、雑穀物	1年1作
チベット区	青海	Q=1000~2000℃ W=200~1500mm	小麦、トウモロコシ、雑穀物	1年1作

(注)Q:10℃以上の年間積算温度、W:年間降水量

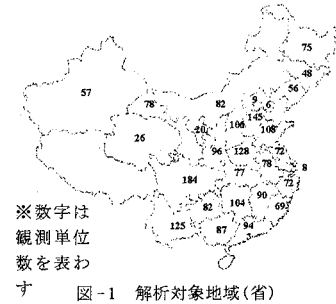


図-2 中国の農業区分図

2.2 分析手法

(1) モデル式

反収の説明変数として、化学肥料投入量 F 、有効灌漑率 I 、農業機械の使用 M 、気象(年平均気温 T 、年平均降水量 P 、年平均雲量 C)を仮定する。反収を表すモデル式としては、以下の2種類の回帰式を仮定し、地区ごとに説明力の高い方の式を採用する。各説明変数の内容は、表-2のとおりである：

$$V_i = K \cdot F_i^a \cdot I_i^b \cdot M_i^c \cdot T_i^d \cdot P_i^e \cdot C_i^f$$
$$V_i = a_0 + a_1 F_i + a_2 I_i + a_3 M_i + a_4 T_i + a_5 P_i + a_6 C_i \quad (i: \text{観測点(市、県)})$$

表-2 反収の各説明変数

被説明変数	変数				データの様式
	概要	種類	記号	単位	
説明変数		穀物の反収	V	kg/ha	行政区(市、県)単位の 地図データ(グレード別)
	農業技術を表わす	単位面積当たり 化学肥料投入量	F	kg/ha	
		有効灌漑率	I	%	
		農業機械総動力	M	kw	
	気象データ	年平均気温	T	K	メッシュデータ
		年平均降水量	P	mm	
		年平均雲量	C	%	
	定数	定数	K		

(2) 観測点データについて

観測点(県・市)のデータは、以下の手順にしたがって作成した。

1) 単位面積当たり化学肥料投入量(以下、「化肥投入量」という)、有効灌漑率、農業機械の使用レベル

1988年についての中国国家経済地図集の地図データ(グレード別)³⁾を読み取り、各グレードの中間値を用いた。例えば、ある県の有効灌漑率のグレードが75.0～95.0(%)であれば、その中間値の85.0(%)をその県の値とした。

2) 年平均降水量、年平均気温、年平均雲量

Global Ecosystem Database 92(NOAA/EPA)⁴⁾のメッシュデータから市、県それぞれのデータを拾い上げ、その地域内の平均値を代表値として用いた。その際、メッシュ境界と行政区界の不一致は、図-3に示す方法で調整した。すなわち、1つのメッシュに複数の行政区画が含まれる場合、そのメッシュ内の面積の一番大きい行政区画にそのメッシュを帰属させることにした。

2.3 解析結果

回帰分析の結果を表-3に示す。判別分析によって説明力を検定したところ、ほとんどの地区で、化肥投入量と有効灌漑率が5%有意と判別された。また、気象因子(年平均気温、年平均降水量、年平均雲量)については、約半数の地区で5%有意と判別されたが、全地区に適用できる結果とはならなかった。5%有意または10%で有意と判別された変数だけを採用して求めた回帰式を表-4にまとめて記す。相関係数 R は、一部の地区(新疆)で0.478と小さかったが、それ以外の地区では、いずれも0.6以上となった。

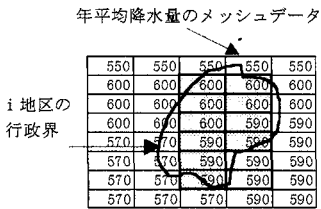


図-3 年平均降水量(mm)のメッシュと行政区界の重ね合わせ

例) i 地区の年平均降水量 =
(600 × 5 + 590 × 5) / 10 = 595 (mm)

表-3 反収の回帰分析結果

地区	省	R	化肥投入量 $F(\text{kg/ha})$	有効灌漑率 $I(\%)$	農業機械の使用 $M(\text{kw})$	気温 $T(\text{K})$	降水量 $P(\text{mm})$	雲量 $C(\%)$
東北区	黒龍江、吉林、遼寧	0.652	**	**	-	*	-	**
内モンゴル区	内蒙古、寧夏	0.805	**	**	**	-	-	**
黄淮海区	北京、天津、河北、山東、河南	0.734	**	**	-	**	**	*
黄土高原区	山西、陝西、甘肅	0.846	**	**	-	**	**	-
長江中下流区	安徽、江蘇、上海、浙江、湖北、湖南、江西、福建	0.636	**	**	-	**	-	**
華南区	広東、広西	0.722	**	**	-	**	**	**
西南区	四川、雲南、貴州	0.773	**	**	*	**	**	**
新疆区	新疆	0.478	**	*	-	-	-	-
チベット区	青海	0.615	-	-	-	-	-	-

*10%有意 **5%有意

表-4 各地域の反収の回帰式

東北区	遼寧	$V = 7.9F + 13.3I - 84.8T + 442.5C - 1572.4$
	吉林	$V = 11.3F + 14.5I - 173.8T + 154.8C + 40937.1$
	黒龍江	$V = 11.9F + 15.1I - 5.4T + 83.8C - 18970$
内モンゴル区	内蒙古	$V = 7.1F + 12.2I + 0.005M - 48.5C + 3628.9$
	寧夏	$V = 3.0F + 8.3I - 0.01M - 38.6C + 12143$
黄淮海区	天津	$V = 7.5E + 31 \cdot F^{2.7E-01} \cdot I^{1.5E-01} \cdot T^{-13.1} \cdot P^{8.4E-01} \cdot C^{4.4E-01}$
	山東	$V = 5.669E + 31 \cdot F^{2.7E-01} \cdot I^{1.5E-01} \cdot T^{-13.1} \cdot P^{8.4E-01} \cdot C^{4.4E-01}$
	河南	$V = 5.671E + 31 \cdot F^{2.7E-01} \cdot I^{1.5E-01} \cdot T^{-13.1} \cdot P^{8.4E-01} \cdot C^{4.4E-01}$
	上記以外	$V = 6.0E + 31 \cdot F^{2.7E-01} \cdot I^{1.5E-01} \cdot T^{-13.1} \cdot P^{8.4E-01} \cdot C^{4.4E-01}$
黄土高原区	山西	$V = 3.1E - 34 \cdot F^{2.7E-01} \cdot I^{1.3E-01} \cdot T^{1.5E+01} \cdot P^{-0.32}$
	上記以外	$V = 3.0E - 34 \cdot F^{2.7E-01} \cdot I^{1.3E-01} \cdot T^{1.5E+01} \cdot P^{-0.32}$
長江中下流区	湖北	$V = 3.2E + 30 \cdot F^{0.15} \cdot I^{1.8E-01} \cdot T^{-11.0} \cdot C^{-0.21}$
	安徽	$V = 2.5E + 30 \cdot F^{0.15} \cdot I^{1.8E-01} \cdot T^{-11.0} \cdot C^{-0.21}$
	上記以外	$V = 2.9E + 30 \cdot F^{0.15} \cdot I^{1.8E-01} \cdot T^{-11.0} \cdot C^{-0.21}$
華南区	広東	$V = 1.7F + 19.8I - 3223T - 0.8P + 70.4C + 949761$
	広西	$V = 1.6F + 19.8I - 234.0T - 0.7P + 54.2C + 69909.9$
西南区	四川	$V = 2.1E - 10 \cdot F^{0.13} \cdot I^{1.7E-01} \cdot M^{3.2E-02} \cdot T^{5.7E+00} \cdot P^{-0.31} \cdot C^{-0.41}$
	貴州	$V = 1.8E - 10 \cdot F^{0.13} \cdot I^{1.7E-01} \cdot M^{3.2E-02} \cdot T^{5.7E+00} \cdot P^{-0.31} \cdot C^{-0.41}$
	雲南	$V = 2.0E - 10 \cdot F^{0.13} \cdot I^{1.7E-01} \cdot M^{3.2E-02} \cdot T^{5.7E+00} \cdot P^{-0.31} \cdot C^{-0.41}$
新疆区	新疆	$V = 671.1 \cdot F^{0.20} \cdot I^{1.6E-01}$
チベット区	青海	$V = 9.5F + 11.0I - 0.0002M - 18.1T - 3.2P - 47.5C + 10883.6$

3. 反収の将来予測

3.1 各要因の将来予測

上で得られた穀物生産量の式中の説明変数の値が将来どう変化するかシナリオを与えることによって反収の将来予測を行う。その際、各変数ごとに、一定の妥当性を持つと考えられる仮定を置き、それを予測の前提シナリオとする。ここでは、予測年次は仮に2010年までとする。もちろん、それより長期の予測も可能であるが、前提シナリオの信頼性が乏しくなるので、ここでは行わない。

(1) 化肥投入量、農業機械の使用レベル

これらの変数については、県別の経年データまでは入手できないので、各県は自分が属する省の成長に従うと仮定す

る。したがって、1987～1994年の化肥投入量、農業機械総動力の対GDP弾性係数(ε)を省単位で求め、その値をその省に属する県の値とし、GDP成長率(r_{GDP})と弾性係数から将来の県別の化肥投入量、農業機械総動力を求める：

$$x_t = x_0(1 + r_{GDP} \cdot \varepsilon)^t; x = F(\text{kg/ha}), M(\text{kW})$$

なお、省別GDPの成長率は、基本的には省それぞれの過去のトレンドに従うとし、国全体の成長率が2000年までは8%、2000年以降は7%となるように比例配分によって微調整した。

（2）有効灌漑率

灌漑率を予測するには、まず現存の水資源のデータと土地資源のデータを照合し、社会的条件を加味することが必要である。ここで、灌漑に必要な水資源量を確定することは、水の地域間相互移動や年次間の変動、地下水の利用などを考えると非常に困難な問題である。更に、灌漑の拡大は、社会経済的なコストと利益の問題にも左右され、入手可能な水資源を特定の土地に自動的に割り当てることが出来るかどうかは確定的ではない。このように、灌漑率の設定は難しいが、ここでは作業を進める上での一つのシナリオとして、灌漑率は、2000年までは、1987年～1995年の年平均成長率(r_f)に従って増大し、それ以降は変化しないと仮定する。また、ここでも県別の経年データが得られないので、各県はそれが属する省の成長に従うとし、省の年平均成長率をその省に属する県の値として採用する：

$$I_t = I_0(1 + r_f)^t \quad (\%)$$

（3）気象条件

ここで行う反収の将来予測では、気象条件は変化しないものとする。ただし、地球温暖化などによる大きな気候変化があれば、その影響を考慮する必要がある。

3.2 反収の将来予測結果

以上のシナリオを前提とした場合の省別反収の予測結果を表-5に示す。ここでは、省内の観測単位の平均値を、最大値及び最小値とともに示す。2000年においては、上海、江蘇省の反収がそれぞれ、5631(kg/ha)、5590(kg/ha)と大きな値を示したが、2010年には、広東省が6508(kg/ha)と一番大きくなる。これは、GDP成長に伴う化肥投入量と農業機械の使用レベルの増加が効果を発揮するためである。

4. 耕地面積の将来予測

4.1 予測の方法

中国では、急速な工業化と都市化のために、耕地は減少を続けている。耕地面積の予測は、潜在耕地(2025年までに政府が耕地にする予定地)の開拓だけではなく、経済発展や土壌の劣化等による耕地の減少も考慮に入れて行わねばならない。しかし、地域によって都市化、土地劣化の速度や自然条件等は大きく異なるため、耕地面積を単純に予測することは難しい。そこで、本分析では、最も単純な方法として、各省の過去のトレンドを外挿することによって耕地面積の将来推移を予測する。また、穀物生産量の将来予測には、単純な耕地面積ではなく、これに多毛作指数(耕地面積に対する延べの農作物作付け面積の比)を乗じて行う。

表-5 反収の予測結果(省別)(単位:kg/ha)

		2000年	2005年	2010年			2000年	2005年	2010年
北京	平均	5150	5522	5922	山東	平均	4498	4780	5079
	最小	4146	4446	4767		最小	3042	3233	3435
	最大	6081	6320	6992		最大	6464	6869	7299
天津	平均	4800	5106	5431	河南	平均	4102	4490	4911
	最小	4317	4592	4884		最小	2359	2582	2826
	最大	5073	5396	5739		最大	6094	6671	7088
河北	平均	3800	4066	4350	湖北	平均	5100	5277	5461
	最小	1441	1542	1650		最小	2595	2686	2779
	最大	5850	6260	6698		最大	6379	6601	6830
山西	平均	2629	2728	2830	湖南	平均	5101	5231	5364
	最小	1534	1591	1651		最小	2775	2846	2918
	最大	4526	4695	4871		最大	6095	6251	6410
内蒙古	平均	2301	2482	2693	広東	平均	5011	5818	6508
	最小	1104	1209	1331		最小	2831	3136	3595
	最大	4387	4890	5480		最大	5779	6322	6665
遼寧	平均	4788	5286	5734	広西	平均	3604	3824	4110
	最小	2806	2908	3030		最小	1933	2041	2181
	最大	6234	6949	7075		最大	5097	5495	6010
吉林	平均	4654	4856	5081	四川	平均	4315	4408	4503
	最小	3044	3091	3143		最小	1920	1962	2004
	最大	6103	6531	7008		最大	6417	6555	6697
黒龍江	平均	2889	3217	3649	貴州	平均	3310	3394	3479
	最小	2147	2475	2907		最小	1964	2013	2084
	最大	3913	4241	4673		最大	4334	4464	4577
上海	平均	5631	5713	5797	雲南	平均	3337	3453	3572
	最小	5495	5575	5656		最小	1450	1500	1582
	最大	5782	5867	5952		最大	4886	5054	5229
江蘇	平均	5590	5804	6026	陝西	平均	3110	3381	3675
	最小	4514	4687	4867		最小	1658	1802	1959
	最大	6101	6335	6578		最大	5862	6373	6929
浙江	平均	5016	5084	5152	甘肅	平均	2414	2522	2635
	最小	4300	4358	4417		最小	1112	1162	1214
	最大	5566	5641	5717		最大	4512	4715	4926
安徽	平均	4256	4385	4519	青海	平均	3321	3517	3749
	最小	2696	2778	2862		最小	2383	2494	2623
	最大	4994	5145	5302		最大	5600	6162	6824
福建	平均	4682	4842	5008	寧夏	平均	2900	3328	3829
	最小	2813	2909	3007		最小	1030	1094	1171
	最大	5160	5336	5518		最大	4937	5754	6477
江西	平均	4834	4977	5124	新疆	平均	2352	2585	2841
	最小	3997	4115	4237		最小	5296	5820	6397
	最大	5620	5786	5957		最大			

※チベット自治区、海南省は除く。

4.2 データについて

耕地面積と潜在耕地面積は、実際状況に一番近いデータとして、中国の100万の1土地資源図(Landsatデータ)の値(1985年)を用いる⁹⁾。耕地減少については、(1)経済発展によって農業以外の用途(例えば工場や家屋、道路などの建設)に転用される土地(中国統計年鑑:Capital onstruction+Village collective construction+peasant construction))、(2)土壤侵食、塩害、気候、地形によって農業耕作に不適當になり、林業、牧畜用地に轉換される土地(中国統計年鑑:年内総減少数と第一減少数の差)の2つを考える。

4.3 各省別の耕地面積の推定

まず、以下のようにシナリオを設定する。

(1) 毎年新規に開拓される耕地面積は一定とする。

(2) 上に述べた第1の原因による耕地減少については、1992～1995年の耕地減少の対GDP弾性係数を求め、GDP成長率と弾性係数から将来の耕地減少量を求める(省別GDPの成長率は、省それぞれの過去のトレンドに従うとし、国全体の成長率が2000年までは8%、2000年以降は7%となるように比例配分によって調整した)。

(3) 第2の原因による耕地減少は、1992～1995年の耕地減少率を用いる。表-6は省別の予測値(2000年、2005年、2010年)である。このようにして、各省別の耕地面積を予測し、次に、以下の方法で、これを各市、県別に割り振る。

4.4 各県耕地面積の推定

(1) 各県耕地面積の算出

2000年、2005年、2010年の各県の耕地面積 A_i は、1993年のデータを用いて、次式によって求める：

$$A_{i,2000} = A_{省,2000} \times (A_{i,1993} / A_{省,1993})$$

ここで、 A は耕地面積である。

(2) 農作物作付け面積に対する穀物作付け面積の割合

農作物作付け面積に対する穀物作付け面積の割合については、2000年までは1987年～1995年の年平均成長率に従い、それ以降は変化しないと仮定する(将来の値が現在に比べ激変するとは考えにくいので)。また、ここでも県別の経年データが得られないので、各県はそれが属する省の成長に従うとし、省の年平均成長率(r_A)をその省に属する県の値として採用する：

$$A_t = A_0 \times (1 + r_A)^t$$

5. 穀物生産量の将来予測

5.1 趨勢的变化からの偏差と予測の不確定性

穀物生産量の予測においては、趨勢的生産量とそれからのはずれ(偏差)が問題となる。ここで、趨勢的生産量

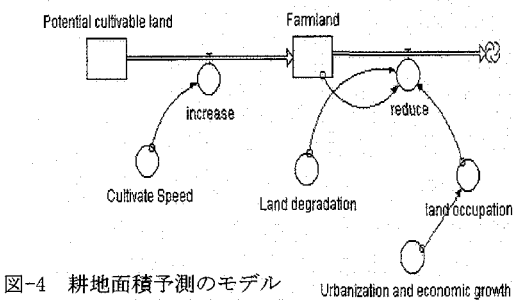


図-4 耕地面積予測のモデル

表-6 各省の耕地面積の予測結果(単位：千ha)

	1985年	2000年	2005年	2010年
北京市	574	517	505	494
天津市	646	621	616	611
河北省	6,777	6,667	6,647	6,627
山西省	5,724	5,190	5,011	4,891
内蒙古	6,512	5,813	5,631	5,458
遼寧省	4,471	4,018	3,892	3,769
吉林省	5,351	5,110	5,049	4,983
黒龍江省	12,254	12,560	12,774	12,963
上海市	340	225	205	187
江蘇省	5,611	5,031	4,933	4,840
浙江省	2,378	1,911	1,806	1,707
安徽省	6,553	6,038	5,963	5,891
福建省	1,784	1,576	1,518	1,462
江西省	2,800	2,831	2,851	2,870
山東省	9,372	8,465	8,318	8,204
河南省	8,839	8,049	7,880	7,785
湖北省	4,552	4,223	4,140	4,060
湖南省	4,334	4,038	3,961	3,886
広東省	3,779	2,727	2,480	2,263
広西省	4,290	3,685	3,514	3,353
海南省	-	-	-	-
四川省	9,459	7,981	7,858	7,737
貴州省	3,732	3,545	3,505	3,466
雲南省	4,630	3,920	3,728	3,548
チベット	-	-	-	-
陝西省	5,522	4,337	4,015	3,716
甘肅省	4,980	4,868	4,837	4,806
青海省	703	728	738	747
寧夏	1,184	1,320	1,366	1,411
新彊	4,093	3,255	3,028	2,816
全国	131,245	119,248	116,768	114,551

P_A とは、通常的气象条件下で、投入される農業技術の向上にともなって達成される正常の生産量である。陳ら⁷⁾は、中国の穀物生産量に関する1978年から1995年までの過去のデータによれば、 P_A の経年変化は、年 X ($X=1$ (1978年)、 $X=2$ (1980年)、 $X=3$ (1981年)、……)についての2次式でよく近似されることを示した。最小二乗法により求めた P_A の式とそのグラフを図-5に示す。

一方、 P_D は、災害の発生等による生産量の正常状態からの乖離を表わし、災害時には負となる。 P_D は実際の穀物生産量 P_r と P_A との差によって求められる：

$$P_r = P_A + P_D$$

次に、生産量の偏差率を次式によって定義する：

$$I = P_D / P_r \times 100$$

$I < 0$ となれば、災害による生産量の減少とみなされ、 I が小さくなるほど被害が大きい。 $I > 0$ となれば、農業生産に有利な気象条件による生産量の増加とみなされる。中国の穀物生産量の偏差率 I の値は表-7の通りであり(1978～1995年)、標準偏差は $\delta = 3.55\%$ である。

本論文で予測するのは趨勢的 P_A であるが、将来の穀物生産量の偏差は、この偏差率によって予測する。

5.2 趨勢的穀物生産量 P_A について

趨勢的穀物生産量 P_A の予測は、先に求めた反収 V_i に、将来の耕地面積 A_i 、多毛作指数 S_i 、穀物作付け面積の農作物作付け面積に対する割合 L_i を乗じることによって算出する。ただし、多毛作指数とは耕地面積に対する作付け面積の割合を意味しており、今後大きく変化するとは考えにくいので、1988年の値を各年とも、そのまま用いた：

$$P_{Ai} = V_i \cdot A_i \cdot S_i \cdot L_i$$

以上による予測結果を表-8に示す。比較の為の参考としてOECFの予測結果及び過去の実績(1990年、1995年)¹¹⁾を同じ表に示す。本モデルによる予測値は、過去の実績値を上回ったが、これは結果的にGDP成長に伴う反収の増加を過去の実績よりも少し過大に評価した為である。また、気象条件等による偏差の影響も考えられる。中国全体の生産量は、2000年には52,098(万ton)に達し、その後も微増を続け、2010年には52,571(万ton)に達する。中国の1996年の生産量が約50,000(万ton)であることを考えれば¹⁰⁾、比較的良好一致といえる。また、省ごとに見た場合、遼寧省、吉林省、黒龍江省の東北区等では今後の生産量の増加が予測されるが、逆に江蘇省、浙江省、安徽省、福建省、江西省等ではその減少が予測される。このように、ほとんどの地域で反収が増加するにもかかわらず、生産量が減少傾向にある省が存在する原因は、急速な都市化による耕地面積の減少である。特に経済発展が旺盛な沿海省でその傾向が顕著に現れた。中国西部では青海省、甘肅省等に増加傾向がみられ、新疆自治区などは減少傾向にあった。また、OECFの値に比べ若干値が上回る結果となったが、これは反収の算出方法や耕地面積の

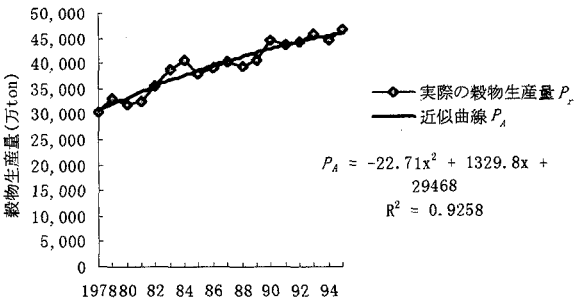


図-5 中国穀物生産量の変化と近似曲線

表-7 気象による穀物生産量の偏差(単位:万ton)

year	実際の 生産量	趨勢 生産量	生産量 偏差値	生産量 偏差率(%)
1978	30,477	30,785	-308.1	-1.01
1979	33,212	32,047	1165.2	3.51
1980	32,056	33,263	-1207.0	-3.77
1981	32,502	34,434	-1931.8	-5.94
1982	35,450	35,559	-109.3	-0.31
1983	38,728	36,639	2088.8	5.39
1984	40,731	37,674	3057.2	7.51
1985	37,911	38,663	-752.0	-1.98
1986	39,151	39,607	-455.7	-1.16
1987	40,298	40,505	-207.0	-0.51
1988	39,408	41,358	-1949.9	-4.95
1989	40,755	42,165	-1410.4	-3.46
1990	44,624	42,927	1696.6	3.80
1991	43,529	43,644	-115.0	-0.26
1992	44,266	44,315	-49.3	-0.11
1993	45,649	44,941	708.0	1.55
1994	44,510	45,521	-1011.4	-2.27
1995	46,662	46,056	605.4	1.30
生産量偏差率の標準偏差				3.55

シナリオ設定の違いによるものである。

表-8 趨勢的穀物生産量 P_t の予測結果(単位: 万 ton)

	1990年		1995年		2000年		2005年		2010年	
	本分析	統計年鑑	本分析	統計年鑑	本分析	OECF	本分析	OECF	本分析	OECF
北京	287	265	293	260	298	306	302	300	302	296
天津	188	189	200	208	304	252	315	261	322	259
河北	2,274	2,277	2,501	2,739	2,721	2,526	2,963	2,741	3,186	2,991
山西	1,001	969	1,100	917	1,308	883	1,310	905	1,310	933
内蒙古	1,022	973	1,104	1,055	1,152	1,370	1,214	1,569	1,271	1,666
遼寧	1,684	1,495	1,500	1,424	1,852	1,750	1,948	1,745	1,988	1,722
吉林	1,999	2,047	2,100	1,992	2,513	2,133	2,655	2,144	2,779	2,128
黒龍江	2,476	2,313	2,866	2,552	3,144	2,822	3,614	2,816	4,172	2,785
上海	199	240	169	210	143	191	130	166	115	146
江蘇	3,300	3,231	3,300	3,286	3,510	3,049	3,425	2,990	3,295	2,939
浙江	1,601	1,586	1,759	1,431	1,598	1,443	1,496	1,366	1,380	1,294
安徽	2,500	2,457	2,600	2,581	2,917	2,141	2,916	2,107	2,768	2,017
福建	900	880	1,073	920	997	890	946	897	885	908
江西	1,813	1,658	1,753	1,607	1,668	1,621	1,617	1,661	1,539	1,692
山東	3,400	3,355	4,227	4,246	4,438	4,397	4,704	4,716	4,938	4,816
河南	3,576	3,304	3,669	3,467	3,754	3,716	3,783	4,016	3,786	3,989
湖北	2,500	2,475	2,600	2,464	2,703	2,412	2,544	2,470	2,354	2,526
湖南	2,600	2,651	2,700	2,692	2,960	2,641	2,947	2,652	2,889	2,666
広東	1,897	1,897	1,784	1,735	1,743	1,793	1,753	1,823	1,658	1,792
広西	1,400	1,363	1,582	1,508	1,397	1,701	1,300	1,954	1,206	1,991
四川	4,300	4,267	4,400	4,365	4,757	4,450	4,639	4,579	4,520	4,629
貴州	800	721	900	949	1,246	991	1,243	1,123	1,219	1,269
雲南	1,000	1,057	1,200	1,189	1,280	1,207	1,165	1,316	1,045	1,449
陝西	1,100	1,071	1,100	913	1,667	1,204	1,657	1,290	1,625	1,385
甘肅	700	691	800	644	971	848	996	987	1,008	1,104
青海	157	114	156	114	156	133	157	145	157	159
寧夏	187	190	221	203	264	212	308	216	355	221
新疆	700	666	718	719	638	910	569	976	496	916
全国※	45,560	44,624	48,375	46,662	52,098	48,307	52,618	50,305	52,571	51,124

※ただし、チベット自治区、海南省は除く

5.3 気象の影響を考慮した穀物生産量 P_t について

5.1 で求めた趨勢的生産量 P_A に生産量の偏差 P_d を加え気象の影響を考慮した穀物生産量 P_t を、5. の仮定に基づき、次式により算出する：

$$P_t = P_A \pm P_A \times \delta / 100$$

その結果、中国全体の穀物生産量は、2000 年は、503～540(百万 ton)、2005 年は、508～545(百万 ton)、2010 年は、507～544(百万 ton)となる。

6. 予測の信頼性に関する検討

本分析による予測結果の信頼性に関して大きく下記の5つの問題が挙げられる。

(1) 中国における耕地面積のデータ(統計年鑑)については、実際に使われている耕地面積より 30% 少ないということを多くの資料が示している^{5,11)}。これが事実であるとすれば、統計年鑑の反収、土地利用指数、投入資材のデータが大き過ぎることになる。今回の予測では、このようなデータを修正しないで用いている。したがって、その面での予測の不確定性を含んでいる。

(2) 一般に穀物の生産量が比較的高い水準に到達した後、化学肥料を一単位追加投入するごとの収穫の増大は逓減傾向を示す。本分析で求めた経験式では、この特性が考慮されていない。また、中国の灌漑面積は耕地の半分に及び、穀物の5分の4を産出している。今後の食糧生産拡大のために、灌漑事業を推進することは非常に重要かつ根本的な施策である。しかし、現在の灌漑事業はいろいろな困難に直面している。既成の灌漑施設の破損、老朽化により改修の必要性が生じてきたり、工業用水、都市用水の不足により農業用水が転用されたりしている。本分析の予測では、あくまでも1つの作業仮説として、化肥投入量と灌漑率の増大を簡単に設定しているが、その妥当性は

別途検証する必要がある。

(3) 耕地面積について、本分析では、各省の過去のトレンドを利用して単純に予測したが、実際には、各県によって都市化、土地劣化の速度や自然条件などが異なり、更には、そういった要因が複雑に絡み合っており、それらを考慮に入れた予測を行う必要がある。

(4) 農業生産の実践が証明したように、優良品種を導入することは非常に有効な増産措置であり、一般には10%の増産が、場合によっては20%～30%の増産が可能になる⁹⁾。これを考えると、本分析による予測値よりもさらに10%～30%ぐらい大きい反収を実現することも可能と考えられる。ただし、優良品種の導入時期、増産幅、作付け面積が不明なので、その正確な予測は困難である。

(5) 気候の温暖化は農業生産に大きな影響を与えている。IPCC第2作業部報告書¹⁰⁾によると、中国における2*CO₂のGCM実験によって予想される気候変化によれば、冬のモンスーンが弱まり夏のモンスーンが強くなる。また、現在の多雨域の降水量は増加しその範囲は現在よりもさらに西方と北方へ広がる。仮にそうなるのであれば、水不足の西部と北部において穀物生産量が増加し、一方、南部で洪水危険度が著しく増加することが予想される。しかしながら、使用したGCMのシナリオによれば、2*CO₂になる時は、2025～2050年の間である。本論文の予測対象はこれより早い時期なので、今回の予測では気象による穀物生産量の偏差の観点から考えて、具体的な気候変化のインパクト評価は行わなかった。

7. 結論

本研究で得られた結論を以下にまとめる。

(1) 各地区ごとに市・県単位での穀物生産量と、農業技術、農業形態、気象に関するデータを整備し、多変量解析によって、生産量を説明する変数と反収の間に経験的に成立する関係式の導出を行った。その結果、化学肥料投入量、灌漑率は高い正相関を示したが、農業機械の使用はそれ程、高い相関性を示さなかった。また、気象因子については、約半数の地区で5%有意と判別されたが、全地区に適用できる結果とはならなかった。

(2) 中国全体の穀物生産能力の将来予測を行ったが、反収はいずれの地域でもこのまま増加し、穀物生産量は中国全体で2000年には、503～540(百万ton)、2005年には、508～545(百万ton)、2010年には、507～544(百万ton)に達する結果となった。また反収の増加に比べ穀物生産量は微増傾向にあった。

(3) 今後さらに、こうした手法による分析の妥当性、予測の信頼性などについての検討が必要である。

8. 参考文献

- 1) レスター・R・ブラウン：「ワールドウォッチ地球白書1995-96」(ダイヤモンド社 1995)
- 2) OECF：「中国の食糧需給の見通しと農業開発政策への提言」1995年9月
- 3) 中国地図出版社：中国国家経済地図集1993年版
- 4) NOAA/EPA：Global Ecosystem Database 92(CD-ROM)
- 5) Nikos Alexandratos：「2010年の世界農業」(国際食糧農業協会 1996年)
- 6) 中国土地資源生産能力及人口承載量研究グループ：「中国土地資源生産能力及人口承載量研究」(中国人民大学出版社 1991年)
- 7) 陳晋、張蘭生、井村秀文：「内モンゴル農牧混合地帯における農業自然災害に関する研究」地球環境シンポジウム論文集(掲載予定)1997年
- 8) 朝日新聞社：朝日新聞 1997年5月5日
- 9) 劉志澄 主編：「中国食糧需給の分析と予測」(農文協 1991年)
- 10) IPCC(気候変動に関する政府間パネル)第2作業部会：「地球温暖化の影響予測」1993年
- 11) 中国国家统计局：中国統計年鑑(1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996年版)
- 12) 中国国家统计局：「全国各省、自治区、直轄市歴史統計資料合編」(1949-1989年)