

H-4 アジア地域における環境安全保障の評価手法の開発と適用に関する研究

(2) アジア地域の環境変化と食料安全保障に関する研究

独立行政法人国際農林水産業研究センター	国際情報部	銭小平・小山修
農林水産省農林水産政策研究所	国際政策部	水野正己・井上荘太郎
独立行政法人農業環境技術研究所	生態系影響ユニット	小林和彦
京都大学農学部		堀江武・福井捷朗
国際環境研究協会		重田佳美・吉野正敏

平成11～13年度合計予算額 49,729千円
(うち、平成13年度予算額 15,988千円)

[要旨]

アジア地域の食料生産は稲作を中心に発展してきた。世界の半分を占める人口は依然増加しており、経済発展による所得の増加を加えると、2050年までに食料の需要量が現在の2倍に達すると指摘されている。土地資源はすでに限界にきている中で、水資源の問題など農業資源の変動をめぐる問題はアジアの食料安全保障に大きな影響を及ぼす。本研究は、モンスーンアジア稲作社会の特殊性に着目し、環境変動に関連して長期的な持続的農村社会システム、食料安全保障のあり方について様々な時間的、空間的尺度で広範な視点から検討し、過去における食料飢饉、農村文化の崩壊などのメカニズムについて解明した。また環境変動・環境問題の深刻化と食料需給構造・社会構造の相互影響メカニズムの定量的把握とモデル化・将来予測を試みた。さらに作物モデルの結果を広域に適用する手法を開発するため、大気・輸送モデルを用いた数値シミュレーションによる地表オゾン濃度を推定し、米の生産力に及ぼすオゾンの影響を評価した。

その結果、中国北部の食料主産地である山東省では、水資源の供給が農業生産の維持に不可欠な条件となっており、他用途への利用の増大が将来の食料需給状況の悪化をもたらすことを示した。また、中国におけるオゾン濃度の増加は1990年において長江流域を中心にすでに10%以上の稲潜在生産力を減少させていること推計し、2020年までに予想される一層の濃度上昇が稲生産力に深刻な影響を及ぼす懸念を示した。さらに、東北タイにおける塩害が農業生産力の減少のみならず労働力の域外移動の要因となっている可能性を示した。一方、インドネシア、ベトナム、タイの地域比較検討により、降水量変動が食料安全保障上の主要因であることを示すとともに、エルニーニョなどの気候変動に対する多様な農民の対応が明らかとなり、石灰岩地質等地域の特異な条件を加味した対策が必要なことを示唆した。

[キーワード] 食料安全保障、食料需給モデル、稲作社会、モンスーンアジア

1. はじめに

アジア地域の食料生産は、自然条件を巧みに利用した稲作を中心として独自の生産様式を形成してきた。近年、人口圧力や経済発展に伴う農業生産の多様化、近代化が進行し、従来の天水、

氾濫水に依存する農業は、ある程度制御可能な工業的農業に変化しつつある。これに伴い、地下水等の灌漑水への依存、農薬・化学肥料の多投入、土地資源の過度の利用、限界地への生産の拡大が進んでいる。この地域における地球環境問題は、集約化された農業生産活動に起因する場合も多く、また、その深刻化が農業生産拡大への大きな制約ともなっている。温暖化や雨量の変化は歴史的に築かれたこの地域の農業生産システムひいては稲作社会を根底から崩壊させる危険をはらんでおり、地域の食料需給バランスの悪化・不安定化が懸念されている。このため、環境変化と食料需給・稲作社会との相互影響についてその主要なメカニズムを学際的な視点から解明し、持続的農業システムのあり方とこの地域の食料安全保障の確立の方途を明らかにすることが重要な課題となっている。

2. 研究目的

本研究は工業化や農業生産の高度化・外延化が資源、物質循環を通じて地球環境問題に及ぼす影響のメカニズムと、地球環境問題に伴う生産適地の変化、生産性向上への制約、変動性の高まりが、地域の食料需給や社会に及ぼす影響のメカニズムを解明するとともに、以上の相互影響メカニズムをモデル化する手法の開発を行い、モデルを用いた分析を通じて持続的農業生産システムと地域食料安全保障確立のための条件と有効な政策手段などを巨視的に明らかにする。

3. 研究方法

本研究では、従来、一方向の分析になりがちであった地球環境問題と人間活動の結果としての食料需給構造・社会構造との間の影響を多面的かつ双方向から分析し、そのメカニズムをモデル化することによって、持続的安定的な農業生産システムの確立のためのより現実的な条件を導く。また、モンスーンアジア地域という地理的同質地域を対象とすることによって、類似の自然条件下での社会経済的な差異への着目、資源賦存状況など他の条件の差異への着目を容易にする。成果に到る具体的手法は、①典型的な地区を選定し、主要な環境問題が食料生産にどのように影響を与えているかについて聞き取り、統計分析、簡単な計測などの現地調査を行う。②既存の作物モデルによる研究成果や過去の気象データと収量動向などの回帰分析などにより、定量的、面的評価を行う。③環境変化と需給構造等の相互作用をシステムダイナミクスなどの手法によりモデル化し、様々なシミュレーション分析を行う。④以上の分析を総合化して持続的農業生産・社会システムと食料安全保障を高めるための条件を導く。対象地域はアジアの食料安全保障に大きく係わる中国とアジア熱帯モンスーン地域として、これらの地域の環境変化と食料需給の相互影響、気候・環境の変化が稲の生産力への影響を中心に分析した。

4. 結果・考察

環境変化と食料需給動向との相互影響について、中国では黄河の下流地域の山東省を事例に水資源・土地資源の変動と肥料等の農業投入が食料需給へ及ぼす長期的な影響を予測した。また、平均オゾン濃度と稲作減収率の関係についてのモデル分析を通じて、中国の1990年と2020年における米生産に及ぼす影響を評価した。タイにおいては、農業開発や森林破壊によって引き起こされた塩害地域での稲作生産の制約や労働力の移動との関連性を調査データによって明らかにした。さらにモンスーン熱帯アジアの3か国の現地調査をもとに、食料安全保障の視点から気候変

動や工業化等の社会経済環境の変化が稲作生産にもたらす影響についての分析を行い、稲生産力の評価モデルを構築し、稲収量に及ぼす影響の解析を行った。

(1) 中国山東省を対象にした環境変化と食料需給構造の相互作用の分析

アジアモンスーン地域で最大の食料生産、消費地である中国においては、人口の増加による食料需要が高まる一方、農業生産の多様化、近代化が進行する中で、灌漑用水・農薬・化学肥料への依存が高くなり、河川上流地域の森林の減少と限界地への生産拡大などが農業生産の制約となりつつある。本研究は、食料の主産地である山東省の農業資源（耕地、水）の変化が食料需給にどう影響するかについて、定量分析とシステム・ダイナミックスモデル分析を通じて明らかにした。

① 農業資源の変動の定量分析

山東省の農業生産は灌漑農業を中心に営まれてきており、これまでの食料生産量の増加要因として肥料の増投、灌漑面積の拡大、耕地利用率の向上等が考えられている。

ア. 年間の降雨量は 600mm~700mm 程度で、干ばつがしばしば問題となっている。また、1970 年代からの黄河の断流など地表水の問題も深刻化してきているが、これは経済発展による都市用水量と工業用水量の増加に帰因する。1980 年代初期の水の利用量のうち 85%は農業用水であったが、2000 年には 60%台に低下した。表 1 で示したように水利用のうち時系列的な変動の最も大きいのは内水面養殖・牧畜などで、次に野菜と郷鎮企業による利用となっている。一方、これらの産業の成長による水利用は趨勢的にも急増している。水資源が緊迫する一方で、灌漑面積は 1978 年から年率 0.4%で拡大している。耕地面積に占める灌漑面積の割合も 60%から 72%へと 12 ポイントも上昇した。図 1 のように灌漑率の上昇につれ、単収（単位面積当たり収量）も増え、山東省の主食料（穀物、豆類とイモ類）に

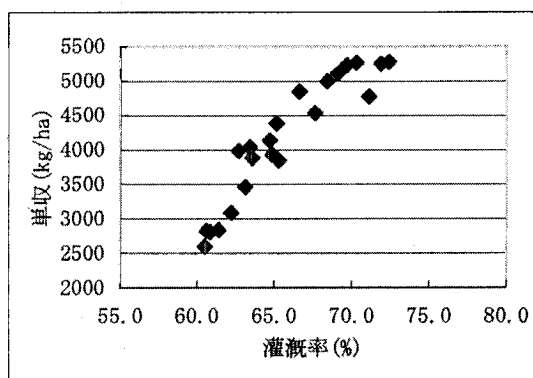


図 1 主食料単収と灌漑率
注：「山東省統計年鑑」（各年版）
期間：1978-1999 年

表 1 各種水利用の変動

	平均値(億 m ³)	標準偏差	変動係数
工業用水	21.71	3.10	0.143
郷鎮企業	4.94	1.35	0.273
都市生活	6.89	0.96	0.139
農村生活	11.68	1.48	0.127
商品野菜用	9.55	2.78	0.291
その他(林牧漁副)	5.89	2.64	0.449
農地灌漑	173.29	20.46	0.118

表 2 流域別灌漑農地と非灌漑農地の単収比較

	単位：指数（灌漑/非灌漑）		
	東北諸河	珠江	2.243
海河	2.755	東南諸河	2.243
淮河	2.755	西南諸河	1.985
黄河	2.755	内陸河	2.732
長江	1.779		

資料：陳敏建ほか「我国二十一世紀的水和糧食」，水利学報，1999

資料：山東省「1987~1992 年供水量用水量和水資源費収支統計資料」，山東省水利庁，山東省水資源広報。

ついでに両者の相関係数は 0.94 と高い関連を示している。

イ. 化学肥料等の投入の増加は食料生産の増産に貢献している。中国では 1970 年代の半ば頃から肥料の投入が急増している。1980 年代の後半以降、肥料の限界生産力は逡減しているが、これにもかかわらず化学肥料の投入は依然上昇している。近年の主食料作物の単収と化学肥料投入量の変化を見ると、1984～94 年の 10 年間で、化学肥料の使用量が 90.7% 増えたが、その間の主食料生産の増加率はわずか 9.1% であった。第 2 図に示した 1980 年代と 1990 年代の肥料投入効果の試算によると、1980 年代の肥料の生産弾性値は 0.61 であったものが、1990 年代には 0.30 と 0.3 ポイント

下がり、1990 年以後特に化学肥料の投入による食料の増産効果にかげりが見え始めている。また、化学肥料の成分別では、窒素肥料の投入が最も多く、1980 年～97 年までの 17 年間で 103 万 t から 193 万 t へと、ほぼ倍近くに増加している。作物品種別で見ると、小麦の窒素投入量は 370kg/ha で、実際に作物が必要とする 120～179kg/ha¹⁾ を大幅に上回っている。この結果、食料の増産効果が減り、地下水の汚染を含む環境問題の弊害の相対的比重が大きくなりつつある。

ウ. 改革開放以降の経済成長と人口の増加によって、耕地が転用され、その面積は減少している。1980 年から 1999 年までの 20 年間で耕地面積は 8% 減少し、農村人口 1 人当たりの耕地面積は 0.1ha しかないのが現状である。山東省は食料の主産地で小麦とトウモロコシを中心とする主食料作物の生産が盛んに行われてきた。小麦は主に省内の自給と国内の供給にまわされ、トウモロコシは飼料作物として省内あるいは近隣省への供給基地となっている。主食料作物面積は農業生産責任制の導入によって徐々に増え、耕地利用率は 1980 年の 146% から 1999 年の 167% まで上昇し、生産量の増加に大きな役割を果たした。近年の農業の構造調整により園芸作物、特に野菜の作付面積が大きく増加し、現在の作付面積は 1980 年の 5 倍強まで拡大した。逆に主食料生産は自給を中心に展開し、1980 年より 5% も縮小した。今後も停滞または減少傾向が続くであろう。

②自然災害の農業生産への影響の計測

時系列とクロスセクションデータを用いて、干ばつと水害などの農業生産条件の変化が主食料生産に及ぼす影響を分析した。水に関するデータとしては山東省水利庁と環境保全局が整理した 1978 年から 1999 年までの時系列データと、1995 年と 1996 年の 119 の県別データを用いた。

ア. 水に係る被害を干ばつと水害に分け、省単位の時系列データを用いて回帰モデルを推定した結果は、以下の通りである。

$$\begin{aligned} \text{LOG(YIELD)} = & -0.243 \cdot \text{LOG(DISR)} + 0.239 \cdot \text{LOG(FLOR)} + 0.098 \cdot \text{LOG(FERT)} + 0.353 \cdot \text{LOG(IRRR)} \\ & \quad \quad \quad (-2.0) \quad \quad \quad (2.3) \quad \quad \quad (0.9) \quad \quad \quad (0.5) \\ & + 0.336 \cdot \text{LOG(MACH)} + 1.22 \\ & \quad \quad \quad (3.5) \quad \quad \quad (3.0) \end{aligned}$$

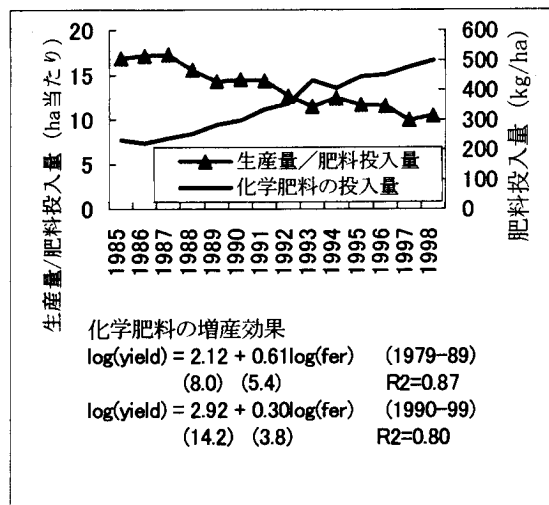


図2 中国山東省における化学肥料の投入とその効果 (ha 当たり)
注: 「山東省統計年鑑」(各年版) から作成。
生産量は主食料生産量を指す。

自由度調整済み決定係数 0.94 計測期間：1978～1999年 ()内の値は t 値
 YIELD 単収 (kg/ha) ; DISR 干ばつの被害率 (干ばつ成災面積/干ばつ受災面積) ;
 FLOR 洪水の被害率 (洪水成災面積/洪水受災面積) ; FERT 肥料の投入量 (kg/ha) ;
 IRRR 灌漑率 (有効灌漑面積/耕地面積) ; MACH 農業機械の投入 (馬力/ha) 。

干ばつと水害の穀物生産への影響に関するパラメータは-0.243と0.239と推定された。すなわち同じ自然災害であっても、山東省のような深刻な水不足地域にとって、その影響効果が正反対の様相を呈している。山東省の水害は集中豪雨によるものが多く、近年黄河の断流で、洪水の被害が少ない。水害の被害面積はある程度範囲が限られており、省全体の収量への影響は干ばつほど大きくない。逆に干ばつの影響範囲は広く、その被害の程度も大きい。1997年は大きな干ばつが発生し、降雨の少ない地域では年間300mm強ぐらいの雨量しかなく、省の主食料平均単収は前年度より10%近く低下した。干ばつの主食料生産への影響は明らかである。最近の3年間は干ばつが続いており、2001の夏作は大幅な減産が見込まれたが、秋作は7月と8月の降雨に助けられ、平年並みの収量が見込まれている。しかし、今後干ばつの被害が拡大すれば地域の食料供給に大きな支障になることは避けられない。

イ. 県別分析では、データの関係で干ばつと水害を区別できないので、両方を含んだかたちの受災率を用いた。119の県別受災率(干ばつと水害の被災面積/受災面積)、灌漑率、化学肥料の投入等の要因と主食料生産量との重回帰分析を行った。推計結果は、受災率-0.219、灌漑率0.208、肥料投入量0.231であり、地域ベースでも自然災害の主食料生産量への影響が大きく、主食料の減産をもたらす結果となった。一方、化学肥料等の農業生産財投入の増加や灌漑率の向上などが主食料生産増加の主要因であることも明らかとなった。

③農業資源変動と食料需給のモデル分析

以上の定量分析をもとにして、長期にわたる農業資源の変動と食料需給との相互影響を評価するため、システム・ダイナミックモデルの適用を検討した。人口の増加、耕地面積の減少、水資源の制約などを農業資源の変動と食料生産への影響をダイナミックにモデル化したものである。

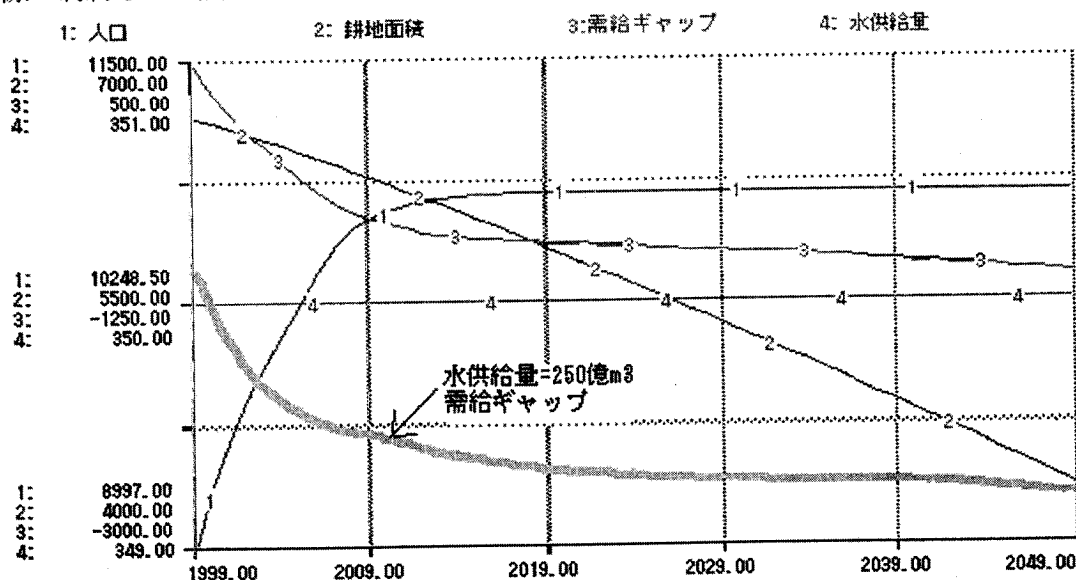


図3 異なる水供給量による食料需給ギャップの変化 (万人, 1,000ha, 万 t, 億 m³)

注：需給ギャップ=生産量-需要量

これらの生産条件の変化を外生的に与えることにより、食料需給動向のシミュレーション分析を実施し、資源の変動が食料需給に及ぼす効果を推定した。

図3は、異なる資源環境条件のもとでの食料需給の動向シミュレーションした結果で、人口の増加と耕地面積の減少、さらに水供給量の制約下での食料需給のギャップを示している。水供給量が近年の平均供給量を下回る250億 m^3 の不足状態の場合、食料需給ギャップは2000万トンを超える大きなものとなっている。一方、水供給量が350億 m^3 に増えた場合、食料需給ギャップはかなり改善され、最大でも1,000万トンの不足に止まる。水の供給状況は食料需給の動向に大きな影響を与えることが定量的に示されている。

(2) 大気・輸送モデルによるオゾン濃度の推定と農作物への影響評価

本研究は作物収量モデルを広域的に適用するためのアップスケール手法を開発する目的から、アジアで最重要の食用作物であるイネについて、世界最大の生産国である中国のコメ生産力に及ぼすオゾンの影響を大気・輸送モデルで評価した。

① 大気化学・輸送モデルの比較

1990年の中国の地表オゾン濃度を、2つの全球大気化学・輸送モデル（以下CTM）で推定し比較した。一つはAunanら²⁾による推定（以下UOCTM）で、ノルウェー・オスロ大学の大気化学反応モデルに、NASAゴダード宇宙科学研究所（GISS）の大気大循環モデルの気象予測値と、窒素酸化物排出量の予測値を入力して推定したものである。グリッドは 8° （緯度方向） \times 10° （経度方向）である。もう一つのCTMは、UOCTMよりも新しい全球大気化学-輸送モデルMOZART-2³⁾の結果を、プリンストン大学のMauzerallらから入手した。MOZART-2のグリッドは緯度・経度方向ともに 2.8° で、アメリカ国立大気研究センター（NCAR）の全球気象モデルMACCM3の気象予測値を入力とする。

CTM間の比較のために、6-10月の日中7時間（9-16時）平均オゾン濃度（以下M7）を計算した。中国のイネ栽培は、年一作のSingle rice、年二作のうちの一作目のEarly riceと同じく二作目のLate riceの3種に大別されるが、6-10月は主にSingle riceの生育中-後期、Late riceのほぼ生育全期間に相当する。Early riceは、長江以南で4月から7月にかけて栽培されるが、その間の平均M7は、どちらのCTMでも6-10月の平均よりやや低い。

② 農作物収量影響評価モデルの比較

1990年の中国のイネ収量への影響を推定するモデルとして、カリフォルニアでのポット実験結果⁴⁾に基づくワイブル関数モデル⁵⁾（以下WFM）と、日本の水田でのフィールド・チャンパー実験結果⁶⁾に基づく指数関数モデル（以下EFM）を用いた。基準となるオゾン濃度を20ppbVとして、それに対する相対的な減収率をイネ栽培期間平均のM7から求めた。なお、UOCTMで推定した1950年の中国のイネ栽培期間平均M7は17-18ppbVで、ここで用いた基準オゾン濃度20ppbVとほぼ等しい。図4AにWFMとEFMを示した。

WFMもEFMも、平均オゾン濃度と減収率をドウス-レスポンス関数（以下DRF）で直接結んでいるが、DRFがさまざまな要因で変動することが解明されており⁷⁾、カリフォルニアや日本での実験結果から導かれたWFMやEFMが、中国全体に適用できるかどうか不明である。そこでこれらDRFに加えて、オゾンが生長プロセスに及ぼす影響のシミュレーションモデル⁸⁾による減収率の推定も試みた。日本の関東地域全体についてのシミュレーション結果を解析すると、出穂から収穫までの期間の平均M7と減収率との間には、極めて密接な直線関係が成り立つ（図4B）。従って、こ

の直線関係を用いれば生長シミュレーションをスキップして、オゾン濃度だけから減収率を推定しても、大きな違いは生じない。こうして求めた減収率を、以下 GPM と称して、WFM や EFM の結果と比較した。

以上の生長影響推定モデル間の比較には、MOZART2 による M7 の推定値と、中国農業統計局の省ごとのイネ生育段階データを用いた。また各省のコメ生産量は、アメリカ農務省経済研究局が作成した中国農業動向・統計によった。Single rice, Early rice, Late rice のそれぞれについて、減収率を求め、各省におけるそれぞれの生産量で重み付け平均して、その省の減収率とした。

③ 2020 年のオゾン濃度予測

UOCTM による 2020 年の地表オゾン濃度の予測値²⁾を、1990 年のそれと比較した。同予測は、アジア地域の窒素酸化物放出量が 1990 年から 2020 年の間に 4.5 倍になり、炭化水素と一酸化炭素も同じ比率で増えると想定している。その際、アジア外の窒素酸化物放出量は変わらないと仮定した。

④ 影響評価の結果

以上の研究内容を踏まえた影響評価の結果は以下の通りである。

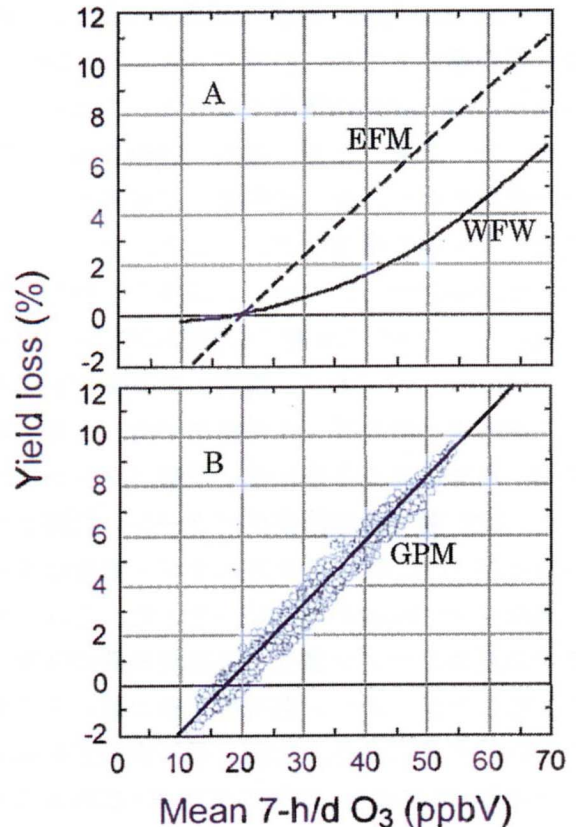


図4 日中7時間平均オゾン濃度(M7)とイネ減収率の関係。A: 栽培期間平均M7と減収率の関係。WFMはワイブル関数モデル、EFMは指数関数モデル。B: イネの出穂開花期から収穫期までの平均M7と減収率の関係(点はシミュレーション結果、線は回帰直線)。

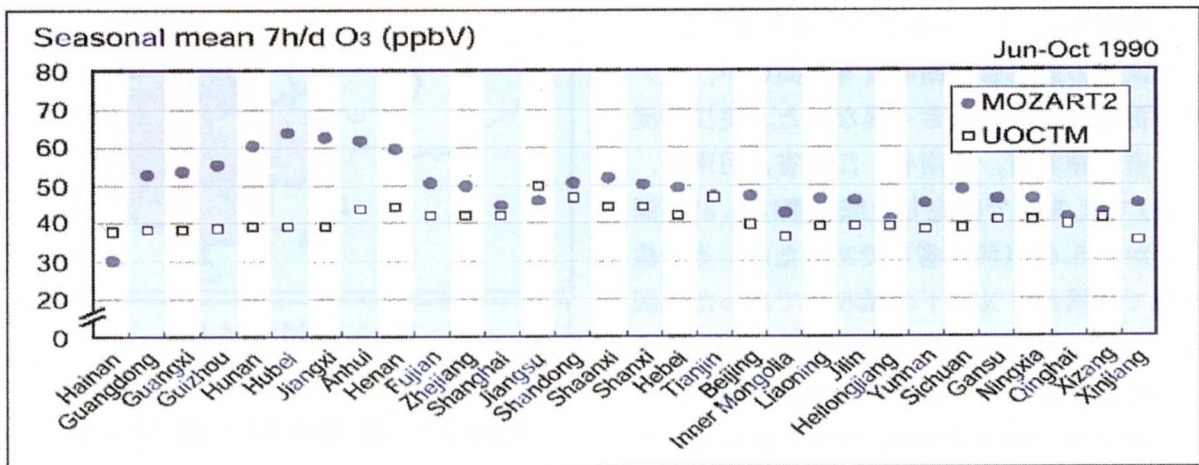


図5. 中国各省における1990年6-10月平均の日中7時間平均オゾン濃度

ア. 大気化学・輸送モデルで推定したオゾン濃度の比較: UOCTMで推定した6-10月平均M7はほとんどの省で40 ppbV前後で、最も高い江蘇省でも50 ppbV弱に過ぎなかった(図5)。MOZART-2による推定はUOCTMよりもオゾン濃度が高く、特に湖南省、湖北省、江西省、安徽省といった長

江中流域で、60ppbV 前後の高濃度となった。両 CTM 間の違いもこれらの省で大きく、MOZART-2 のほうが 20 ppbV 前後高くなった。これら 3 省に次いで、広東、広西、貴州の南部各省で CTM 間の差が大きく、逆に江蘇省、山東省といった黄海沿岸地域や黒龍江省、青海省、チベット等では差が小さかった。オゾン濃度の地理的分布に関して、2 つの CTM 間での相関は低かった ($0 < r < 0.20$)。一方オゾン濃度の季節変化を見ると、湖南省・湖北省・江西省を平均した月平均 M7 は、夏季に高く冬季に低い季節パターンを示した。CTM 間では季節変化パターンの相関が高かったが ($r=0.92$)、7-9 月のオゾン濃度は大きく異なり 20-30ppbV の違いが生じた。これら地域での夏季のオゾン濃度上昇程度が両 CTM 間で異なることが、オゾン濃度推定値の違いを生んだものと考えられる。上記 3 省に安徽省を加えた長江中-下流域と、南部の広東省・広西省の両省は、中国全体のコメの過半を生産する重要地域であり、同地域での夏季のオゾン濃度を実測することにより、CTM 推定値を検証する必要がある。

イ. 減収評価モデルで推定したイネ減収率の比較：MOZART-2 で推定した 1990 年のオゾンによるイネ減収率は、オゾン濃度の分布を反映して、長江中流域の湖北省、湖南省等で高いが、モデル間で推定減収率は大きく異なった。長江中流域の 5 省（湖北省、湖南省、江西省、河南省、安徽省）では、WFM で推定した減収率は 4.3%（湖南省）から 5.6%（河南省）であったが、その他の地域では概ね 3% 以下の減収率であった（図 6 A）。一方、EFM で推定した減収率は、WFM のそのほぼ 2 倍となり、長江中流域の安徽省、河南省、湖北省で減収率は約 10% と推定された（図 6 B）。GPM を用いて推定した減収率は、EFM による推定よりもさらに約 2% 高く、上記 3 省における 1990 年の推定減収率は 12-13% となった（図 6 C）。EFM と GPM の違いは、後者が生育後期のオゾン濃度のみに基づくこと、推定された

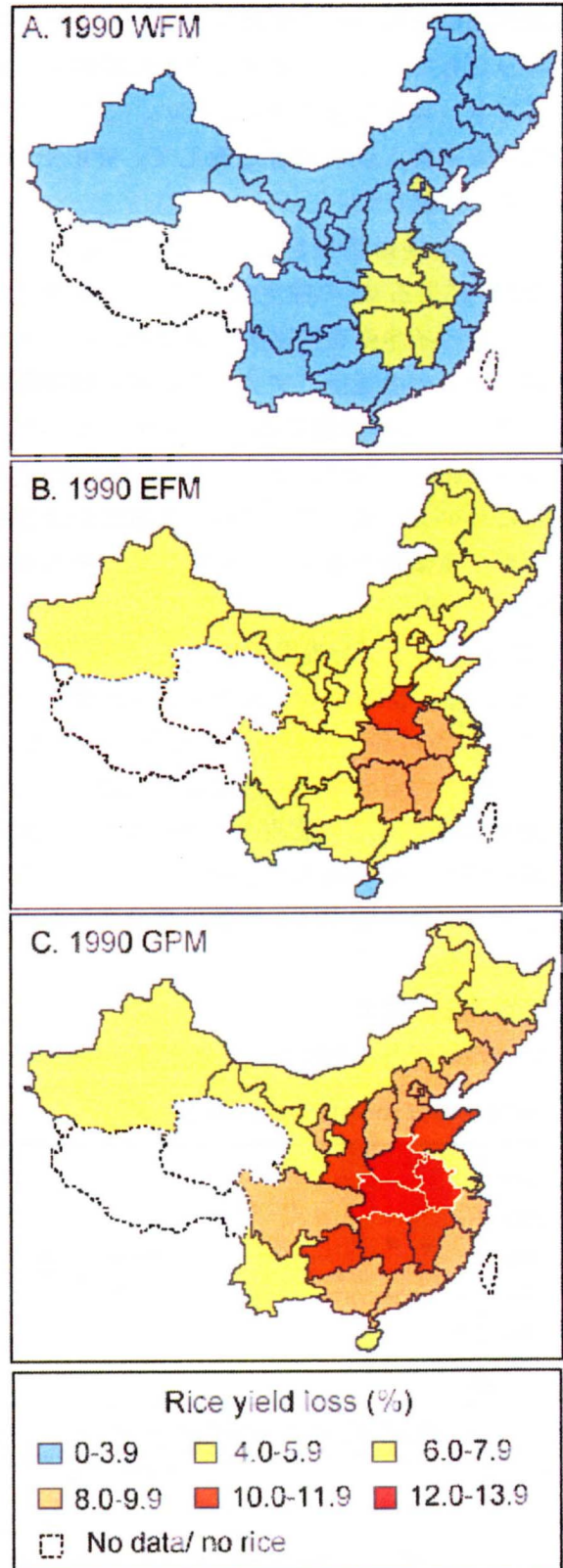


図6 MOZART-2 で推定した 1990 年のオゾン濃度におけるイネ減収率の分布。ワイブルモデル (A), 指数関数モデル (B), 生長プロセスモデル (C) による推定値。

オゾン濃度が8-9月にピークを持つことによる。これらの結果から判断すると、オゾンによる大気汚染は現在すでに中国のコメ生産を減少させている可能性がある。ただし、ここで用いた影響評価モデルは、カリフォルニア（EFM）や日本（EFMとGPM）での実験で得られたものである。品種や場所によってオゾンによる農作物減収程度が異なることが知られており、中国での実験に基づくモデル開発が必要である。ウ. 1990年と2020年のオゾン濃度及びイネ減収率の比較：UOCTMを用いた予測では、1990年から2020年の間に、イネ栽培期間平均日中7時間平均オゾン濃度は、約10 ppbV（中国北部及び東北部）から20ppbV（それ以外の地域）上昇する。これによる減収率の増加はWFMでは約2.5%、EFMでは約4%と想定される。MOZART-2での2020年の推定は現在進行中のため、CTM間での比較はできないが、オゾンによるコメの減収は一層激化すると見られる。

オゾンによる大気汚染は局地的な汚染ではなく、大陸規模あるいは大陸間規模に及ぶ。その結果、例えば中国全体の農作物生産に大きな影響を及ぼすおそれがある。本研究で分かったように、用いる大気化学・輸送モデルや影響評価モデルによっては、1990年時点の推定で10%を越える減収が中国のコメ生産で生じていた可能性がある。それから12年を経過した2002年現在、オゾン濃度がさらに高まっていることはほぼ間違いなく、今後20年間で一層上昇することも確実と考えなくてはならない。これは中国だけでなく、経済発展の予想される他のアジアの国々でも同様であり、人口増加に対応するため一層の増収が必要な農作物生産にとって、予想外の阻害要因になる恐れがある。ただし本研究でも見られたように、オゾン濃度の推定と減収評価の両面について、現存のモデル間の違いは大きく、今後モデルの検証と改良が必要不可欠である。また、本研究ではイネのみを対象としたが、例えばダイズはイネよりもはるかにオゾンに対して敏感なことが知られており⁶⁾、そうした種が現在どのような影響を受けているのか、急ぎ調査する必要がある。アジアにおいてオゾンによる大気汚染は、将来ではなく現在の問題である。

(3) タイを対象とした環境条件に対する農家の生産と経済行動

第二次世界大戦後、アジアモンスーン地域では人口増加や経済成長が急速に進み、森林伐採や農地開発が進展した。その結果、土地・水資源や生態系等の自然環境に大きな変化が生じている。本研究では東南アジアにおける最大の農産物輸出国であるタイに注目し、同国における、都市化・工業化や農業の近代化、農地開発の進展、さらには国際市場との関係変化等が、環境変化との相互作用を通じて農業・農村に変容をもたらすメカニズムを、社会経済的視点から解明し、持続的農業生産システムを確立する方策を検討した。このような環境変化は、自然環境に深く依存して営まれている農業に対して様々な影響を与えている。

① 作物の立地適性の評価

タイの主要作物について、それぞれの生産の増加が作物適性度と適合的なものであるか、否かについて検討した。畑作物については、トウモロコシの主要生産県の作付適地割合は高くなく、タイのトウモロコシは必ずしも適地生産となっていないこと、キャッサバでも生産条件の劣る地域において生産が増加してきたことが解明された。一方、サトウキビは全国的にみても生産が増加しており、特に、東北タイにおける生産の伸長が最も著しく、ほとんど生産がゼロの状態から、中央平原に次ぐ生産地に浮上している。作物適性度からみれば、東北タイのサトウキビ生産は、比較的適地割合の高い地域において増加していることが注目される。この点からすれば、東北タイにおいて今後もサトウキビの生産が増加することが見込まれる。また米及び大豆でも比較的適

地での生産が行われていた。事例として、トウモロコシの作付適地割合と生産量の地図を図7に示している。

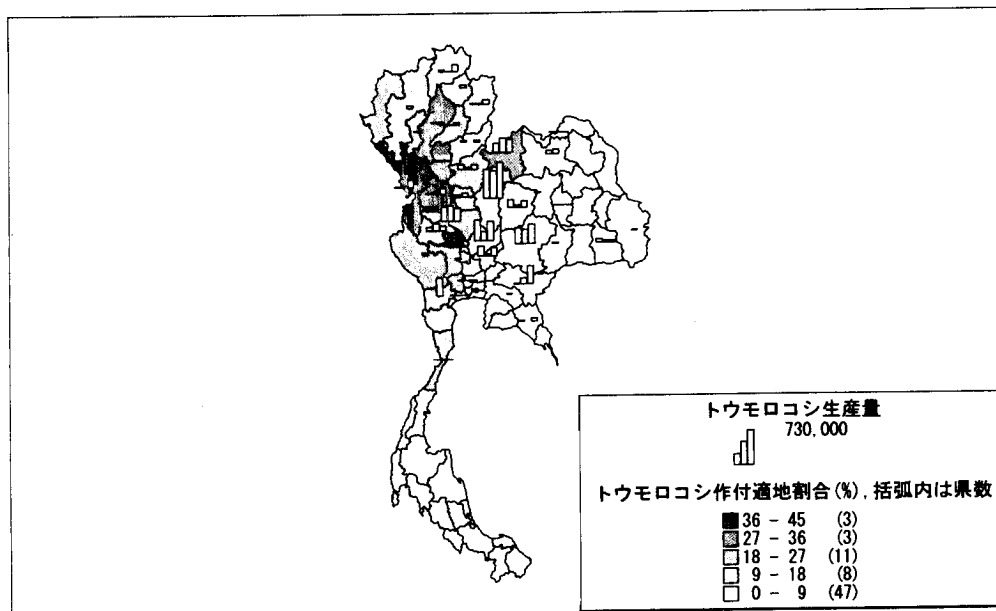


図7 トウモロコシの作付適地割合と生産量

結果的には、作物適性度の高い作物群（サトウキビ、大豆、そして可能性としての香り米）、作物適性度の低い作物群（トウモロコシ、キャッサバ）、両者の中間的性格を持つ作物（雨期作の米）が識別された。特に、今日までタイ農業の多様化の主軸でもあったトウモロコシ、キャッサバに関しては、国内外の市場需要に対応しながら多様化してきたタイ農業展開のあり方について、適地生産の観点から疑問が提起されたと考えられる。

② 塩害と農家生産行動の調査分析

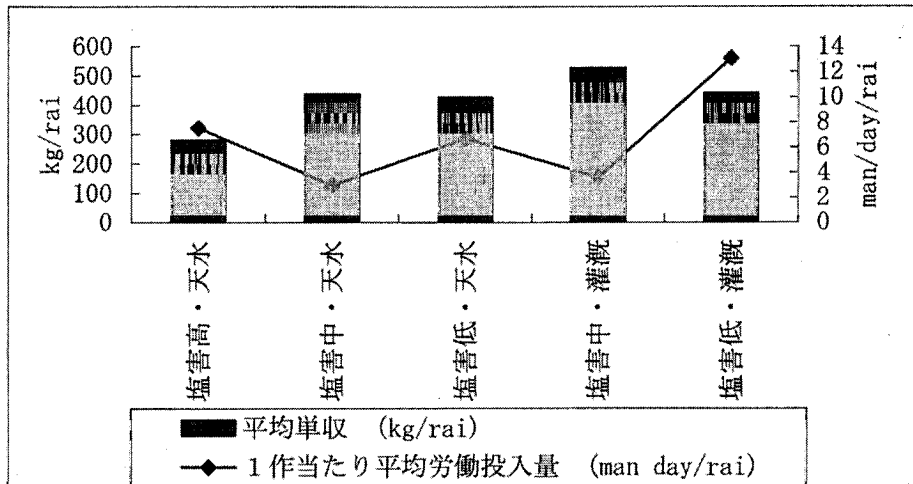
タイにおいて農業生産に関わる自然環境の変化が最も顕著に観察される地域の1つである東北部のナコンラチャシマ県周辺において、塩害被害程度の異なる複数の調査村を選定し、最終的に300戸の農家の経済行動に関する聞き取り調査を実施し、微視的視点から経済発展と環境変化の相互作用についてより詳細な分析を行った。収集された農家のデータから、環境劣化、特に塩害に直面する農家の農業生産行動と経済行動を検討した。得られた主な知見は以下のとおりである。

ア. 塩害による収量減：塩害レベルの高い天水田においては、単収が顕著に低位であるため（図8）、塩害による稲作生産性の低下が指摘されうる。ただし、調査年(1991)において、灌漑地の塩害レベルの低い地域において洪水被害のための単収の低下が生じていた。その影響から、灌漑地においては、塩害による単収の低下傾向を観察することはできなかった。

イ. 平均労働投入量に関する調査：調査対象地域では、作業の機械化が急速に展開していることや移植栽培と直播栽培が混在している。そのため、農家グループの平均値で見ると、塩害が稲作の粗放化をもたらしていると結論づけることはできなかった。しかし、農家調査時には、塩害の深刻化により栽培放棄された圃場も多く観察されたこともあり、塩害地において稲作の粗放化が進展している可能性は高いと考えられる。今後さらに調査を継続する必要がある。

ウ. 就業と生活水準への影響：塩害が深刻な地域ほど、他部門就業の拡大（出稼ぎの長距離化、

長期化)が見られる。特に天水田で塩害レベルが高い地域で顕著となる傾向がある(図9)。さらに、塩害が農民の生活水準に与えている影響を検討するため、テレビ、冷蔵庫等の消費財の所有



状況について検討したが、その結果塩害の有無によるグルーピングに基づいた限りでは、生活水準の較差は観察されなかった。

図8 単収と労働投入

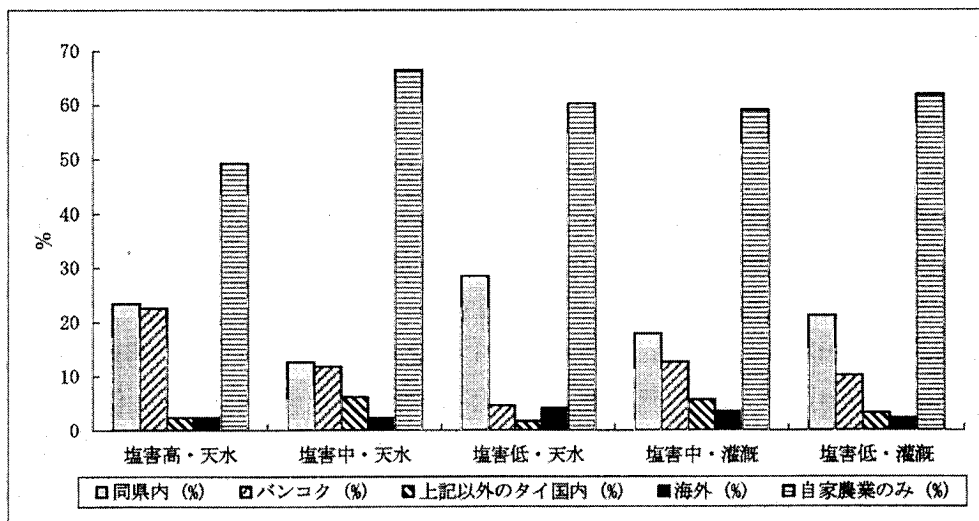
図9 自家農業以外に就業している世帯員のいる農家割合

エ. 調査結果の考察：東北タイの稲作農民は塩害という農業生産環境の劣化に対応して、他部門就業を拡大することにより所得水準の維持をはかっていることが観察された。一方、定量的な観察では、環境劣化に伴う自家農業部門の粗放化について結論づけることはできなかった。

本研究では塩害被害地帯を中心とした農家調査を通じて、東北タイの稲作農家が、塩害の発生という環境変化に適応しながら、一定レベルの生活水準を確保するために、海外出稼ぎ等の様々な戦略の下で所得を得ている実態を明らかにした。これにより、森林破壊を伴う農業開発によって発生した塩害被害が、逆に農業生産の制約となり、またそのことが都市部への労働力の供給増加につながるという経済発展と環境変化との相互作用の一側面が微視的に明らかにされた。

(4) モンスーンアジアにおける稲作生産と気候変化の影響

本研究項目においては、概して多雨であるが乾季・雨季の対照が明瞭で、降水量の年々変動お



よびその影響の現れ方に地域差が大きく、古くから稲作を中心とする農耕が営まれてきた熱帯モンスーンアジアのうちから、土地自然条件や耕作様式を異にするいくつかの地域を選び、各地域での気候変動および稲生産量の変動の実態を明らかにした上で、各種環境変動に対する農民の対応の様相をさぐり、地球環境変動対策の地域スケールでの具体化に資する。

①各エコシステムの稲の潜在力評価と気候変化の影響

モンスーンアジアの稲生産地域はかんがい水田地域、天水田地域および陸稲畑地域の3つのエコシステムに区分でき、それらは気候変動によって著しく異なる影響を受けていると考えられる。本研究は、各エコシステムの稲収量と生産量が気象の変動によりどのような影響を受けているか、その実態を明らかにするとともに、各エコシステムの稲潜在生産力を評価し、さらに稲潜在生産力に及ぼす気候変化の影響を予測するためのモデル開発実施した。

生物の成育にとっての熱量が十分である熱帯では、一般に降雨、より端的には雨季の長さが農業の制限因子となる。そのような地域での農業生産は、降雨変動の影響を受けやすい一方、長年の降雨変動に対する地域的対応策もいろいろと蓄積されている。また、近年のインフラストラクチャー整備や新品種の導入等で、降雨変動に対する農業生産の反応にも、ポジティブおよびネガティブな変化がみられる。

ア. タイ全域における稲収量および生産量の変動のマクロな視点からの実態把握を行うために、稲生産の統計資料と気象データを収集し、分析した。稲生産量の解析には、タイ国農業統計局発行 Agricultural Statistics of Thailand, 1977/78~1998/99 Crop Year の県別稲生産統計を使用した。降水量データは、東北部、北部および中央平原の各地域を代表する計6県を対象にして、タイ国気象局による気象台・降雨ステーションの日別降水量計測値(1980~98年)を用いた。これらから、近年における生産変動の実態およびそれと時期別降雨量との関係を解析した。

各県の過去20年間における稲生産変動を、5年移動平年値をもとにした平年偏差から評価した。雨季作では、過去の解析例⁹⁾との比較から、東北タイ天水田地帯の生産変動が以前より明らかに緩和されてきたものの、その生産量は依然として各県内の降雨量に強く依存していた。また、集約化が進行している Chao Phraya デルタ地域にも変動の比較的大きい地帯がみとめられた。乾季作ではどの地域においても雨季作に比べて変動が著しく大きかった。そして、東北タイなどの水利環境に恵まれない地域では域内の降雨量によって、大規模灌漑が発達している地域では上流の降雨量によって、それぞれ生産が作付面積の変動を介して強く制限されていた。また、水利環境が良好なデルタ地域では、過剰な流域雨量に起因する洪水被害と虫害の大発生が、単収や収穫面積率を低下させる形で重要な生産変動要因となっていると考えられた。

イ. 天水田地帯を代表する東北タイ Ubon Ratchathani 県において現地調査を行った。東北タイの大部分を占める地形単位である Nong と呼ばれる広さ数 km² 標高差数 m の窪地に着目し、そこでの稲生産における圃場間での変動実態とそれを支配する要因を環境資源(土壌肥沃度と水)の面から検討した。また、天水田水稻の生育・収量を評価するシミュレーションモデル構築の第1段階として、土壌肥沃度と栽培管理が収量に影響を及ぼす影響を評価するモデルを構築した。

天水田地帯の Nong において行った現地調査結果は、前項のように巨視的にみた場合とは様相が異なり、稲収量に圃場間でゼロから 4t/ha までという著しい空間的変異が存在することを示した。それは明らかな地形連鎖分布を示し、相対標高の高い上位田ほど収量が低かった。圃場から採取した土壌を用いた無施肥ポット栽培実験から、収量と土壌有機炭素含量(SOC)との間には密接な

関係が存在し、SOC はさらに圃場の相対標高が高くなるにつれて低下するという地形連鎖分布の存在が判明した。Nong 内最上位に位置する水田では厳しい水ストレスが生じている一方で、ほとんど水ストレスが発生しない水田が調査区域の半分以上の面積を占めていた。

また、モデルの構築では、稲の生育・収量を窒素吸収に基づいてシミュレートする窒素駆動型モデル¹⁰⁾をもとにし、圃場の窒素収支および植物の窒素吸収に関する諸過程を組み入れた。モデルによるシミュレーション結果は実収量の地形連鎖分布をよく再現した。本モデルが水条件や病虫害を考慮していないにもかかわらずこのような結果が得られたことから、水が豊富に得られたとしても土壌肥沃度の改善なしには同地帯の稲生産性が向上しないものと考えられる。

ウ. 代表的な陸稲作地帯である北ラオスを対象にして、陸稲生産の変動要因に関する調査を行った。北ラオス Luang Prabang 市の気象観測所および同市郊外の Houay Koat 試験場における気象および陸稲収量のデータを解析するとともに、現地焼畑地帯における陸稲生産の実態について、農家の聞き取り調査を主とする現地調査を実施した。

解析の結果、過去 10 年間における陸稲収量は栽培期間の降雨量と極めて密接な相関関係にあることがわかった。これより、雑草が適切に管理された条件のもとでは、同一圃場における年々の収量変動は稲栽培期間の降雨量の多少によってほぼ決定づけられていることがわかった。同地帯の陸稲生産は気象による制約を天水田稲作よりもさらに強く受けていると考えられる。さらに聞き取り調査から、実地の陸稲収量は上述の降雨条件に加え、地形要因（圃場の傾斜）、休閑期間、雑草管理、土壌肥沃度などによっても大きく左右されていることが示唆された。

② 稲作地域における工業化による経済社会環境の変化と農村の変容

タイを事例として近年における経済成長の実態を分析し、輸入代替型工業から輸出志向型工業への転換と、工業団地造成、外国直接投資の国別の投資額と投資分野などの実態を分析した。また、高度経済成長の結果として形成されたタイ国の農業構造を、1993 年タイ農業センサスを用いてタイの農業地域区分図を作成し、6つの農業地域類型があることを明らかにした。さらに事例調査として、バンコク首都圏近郊と、タイ中央部チャオプラヤ流域の水田地帯アユタヤ県セナ郡を選び、工業化に伴うタイ農村社会環境の変化について、土地利用と家族構成の変化、工場の農村への進出等に伴う労働力の移動が、農村および都市での住民の生活パターン等に与えた影響を調査した。

クラスター分析によってタイの農業地域区分を、ア. バンコクおよびその周辺の「小規模畑作」、イ. バンコク西方の「小規模集約的園芸」、ウ. バンコク北西から東方にかけての「大規模集約的稲作」、エ. さらにその北方の「雇用畑作」、オ. 最北部の「小規模畑作」、カ. イサーンの「粗放的稲作」、キ. 最南部およびライオン県以東の「熱帯性作物」農業地域に分類した。

事例調査により、バンコク周辺の農業は、世界の他の大都市周辺農業地域と同様に、高い地価に見合った収益をあげるために、まず、土地を売って脱農してゆく、次に、野菜、花木などより収益の高い作物生産農業に転換している実態が明らかになった。また、タイ中部の大規模集約的稲作農業地帯においても、近年工場が進出し、農村の労働力を吸引し、さらに不足する労働力をイサーンなどより吸引している。工場の中には労働者アパートや住宅街が形成され、さらに労働力が逼迫している。より高い生活教育水準を求めるための現金支払いは、農家経済を圧迫しており、農地規模は 5 ha と日本よりは大きいものの、収量は低く（日本の約 1/20）、専業農家としての自立は難しいことから、出稼ぎや兼業が通常である。

③気候変化に対する稲生産システムの脆弱化

熱帯モンスーンアジアでは、地球環境変動の一環としての降雨の変動が稲作に大きな影響を及ぼし、食料需給を不安定にすることが懸念されるが、その表れ方は地域的に必ずしも一様でないと考えられる。土地自然条件や耕作様式を異にするいくつかの地域での実態調査に基づき、ENSOに代表される地球規模の気候変動が、干ばつを通して稲作に影響を与える地域と、洪水・氾濫を通して稲作に被害をもたらす地域とがあること、干ばつに対する脆弱性は、地形・地質条件および灌漑施設の整備状況等によって異なるが、住民は、作物選択をも一つの重要な手段として水不足に対抗しようとしていること、カルスト地形の発達する乏水地域ではそれにも限度があること、干ばつ・水害等としばしば同時に発生する虫害が収量を著しく低下させ、その危険性は単一品種栽培により助長されていること、農民の対応策選択の幅はかなり大きく、地域によっては天水田の拡大等、一見無謀と思われることもそれなりの合理性を持って行われてきたこと、等が明らかになった。今後予想される地球規模の環境変動の影響についても、単純化されたモデルに基づくマクロな判断は、ミクロな実態調査によって常に修正することが必要で、同時に、地域的条件を類型化して多階層の予測モデルを開発する必要があると考えられる。

ア. 東北タイ：透水性の高い基岩を削って緩い波状の起伏が連なり、河川による灌漑が困難なため、天水田がまだ広く分布し、タイ国内の典型的な低開発地域とみなされている。しかし、20世紀初頭ころまでは、浅く狭い谷底面を中心に、タムノップ（地域によってはファーイやパヌート）と呼ばれる独特の土堰灌漑が行われていたことが、地方行政文書の解読から判明した。この土堰は、幅30m程度以下の支流の流路全体を遮るように、兩岸より数m高く構築され、雨季の間に1~2度発生する洪水を堰き止めて兩岸に溢流・自然流下させることで、1つのタムノップあたり300~500ha内外、最大で2,000ha程度の水田を灌漑していたと推定される。当時の水田面積は現在の15分の1~20分の1程度で、そのほとんどが浅く狭い谷底面にあり、このような方式で灌漑水を得ることができた。

20世紀中ごろから、交通路の整備に伴う流入農家数の増大で、水田はタムノップによる灌漑水の届かない河間地を中心に（したがって必然的に天水田として）急増したが、単位面積あたり収量は1.6t/ha（1920-24年ころ）から0.9t/ha（1948-50年ころ）へと減少した。また、上流域での天水田開発が進むにつれて、もともと少なく不安定であった河川流量はますます減少し、かつより不安定になって、タムノップの機能が低下した。現在の東北タイを特徴づけている「収量の低い天水田」は、人口増大に対して、気候的・地形地質的に灌漑施設の整備拡大が困難な状況下で、農民が、単位面積あたり収量の著しい低下（平均60%以下にまで）と不安定化を代償に、水田面積の拡大（2~3倍に）で食料の確保、したがって人口扶養力の増大を図ったものといえる。

イ. ジャワおよびバリ：両島における1976-99年の水稻生産量と降水量の変動の関係を考察したところ、水稻生産量は、対象期間の前半に単収と収穫面積の伸びにより急速に増加したが、後半にはその伸びが鈍り、ENSO-降水量変動に対応する短期的変動が顕在化した。水稻生産量を構成する収穫面積と単収のうち、短期的変動は前者においてより明瞭であった。エルニーニョ年には雨季の開始が遅れ、灌漑施設を伴わない水田耕作の放棄あるいは耕作回数の減少によって収穫面積の減少が（そして生産量の減少が）引き起こされると考えられる。この関係は年降水量2000mm前後の地域において明瞭であり、11-12月までの少雨がこれを促進する傾向がある。

灌漑施設の整備状況によって降水量と水稻生産量の年々変動の関係が異なるという仮説については、水田灌漑面積の統計を用いた検討の結果、灌漑施設の整備された地域で水稻生産量の変動が小さく、降水量変動との関係が明瞭ではないことが明らかになった。農民が降雨状況に対しどのように対応するかについては、ジャワ特有の、樹木作物を交えたきわめて細密な土地利用（ブカラングン）のよく発達する、西ジャワ州ボゴール県スジャディ村で聞き取り調査を実施した。その結果、火山麓にあるため降水量・流量とも多く水不足になりにくいこの地域においても、少雨年には水稻の代わりにトウモロコシなどを栽培するものが多いという結果を得た。

ウ. 北部ベトナム：雨季の台風を避けて冬期にあたる乾季での稲作生産に重点がおかれた地域であり、他の東南アジア大陸部の稲作地域とは栽培技法が異なる。ENSO 出現年における本地域への台風襲来率は 1949-98 年の期間で年平均 3.6 で、これを 100% とすると、エルニーニョ年の前年は低く 2.5 (69%)、エルニーニョ年の後で年平均 4.2 (117%)、ラニーニャ年では年平均 4.3 (119%)、ラニーニャ年とこの前後は年平均 4 (111%)、とエルニーニョ年前後と比べて高い。1997 年の ENSO での台風時には北部沿岸で 20-30km まで高潮が侵入し、稲作地域につぶれ地を出したが、1998 年の米生産は 3100 万トンと史上最高であった。

紅河デルタでは、1965 年には二期作、三期作が全体の 49% に過ぎなかったが、最近 30 年間にダム建設および灌漑用排水施設完備と土壌改良が行われ、作付体系も変化した。伝統的な 5 月米、10 月米の水稻二期作により台風災害を緩和する対応に加えて、水害被害の分散のために割替制などの柔軟な土地利用計画が用意され、これらが稲作の安定的な生産に影響を与えている。50 年間の農業統計から、単位当り収量が 2 t/ha 未満から最大 7 t/ha までに向上し、年々変動は比較的小さく、安定している。台風災害、旱魃は発生してはいるが、早期に水利システムが整備された地域では降雨変動での生産変動は小さく、排水施設の不十分な地域では生産性に影響がでている。

エ. 石灰岩地域と非石灰岩地域との対照を念頭に置いた比較研究：バリ島では、石灰岩地域の水不足は水の豊富に得られる火山山麓から灌漑することでまかなわれており、石灰岩地域における稲作の生産性の落ち込みは見られなかった。1997-1998 年のエルニーニョによる降水量の減少は見られたが、そのことによる著しい稲の減収はなかった。バリ島がエルニーニョにきわめて抵抗力がある理由は、1400~1500m をこえる山地の上方には森林が保護されているため、湧水の減少がそれほど大きくなかったためと考えられる。

ジャワ島中南部の石灰岩地域は同島内でエルニーニョの影響を最も強く受けた地域である。石灰岩地域内でもカルスト地形のタイプによって影響に差異がある。1997 年の干ばつでは、円錐カルスト地域においては、ポリエ底かドリネ底に水田を有する農家が若干の米収量が保たただけで、他の石灰岩地域ではすべて収穫皆無であった。一方、カルストスプリングのある地域でも湧水量が減少し、米作地域を縮小してタバコに切りかえることで、被害を最小限に食い止めた。非石灰岩地域では、灌漑水が減少したために、水供給の末端に近い農地は収穫皆無であり、灌漑水が若干でも得られたところは水量に応じて収量が保られた。

一方、ベトナム北部のハノイの西 100~200km の範囲に広がる古生代石灰岩地帯と非石灰岩地帯の米作地帯では、1997 年~1998 年のエルニーニョではむしろ洪水が発生し、米収量が減少した。

以上から、エルニーニョの際、バリ島やジャワ島で干ばつが発生するが、北ベトナムでは洪

水が出現している。ジャワ島の石灰岩地域では、降雨変動に対する稲作の脆弱性が他地域よりも著しい。また、バリ島・ジャワ島とも米の栽培品種がほとんど IR64 に限られていて、干ばつによる直接的被害に加え病虫害に弱い。単一品種栽培による危険性は今後一層拡大するであろう。

5. 本研究により得られた成果

アジアモンスーン地域における食料安全保障という視点から、水問題、オゾン濃度の変化、塩害、気象変動等と食料需給及び農村社会の変貌との関係について様々な空間的、時間的尺度で実証分析を行い、人文・社会科学を中心とする学際的分野で十分な成果を得たと考えられる。特に関係国の気象データ、農業資源データ、聞き取り調査データには貴重なものがある。定量分析手法に関しては、水、土地、化学肥料、食料需給等広範な分析対象を総合したシステム・ダイナミックモデルの開発を行い、今後の持続的発展のための研究手法の進展に寄与した。また作物生産モデルの適用の広域化手法についても大気輸送モデルとの結合による応用手法の実用性が確認された。気象変動等への農民の対応事例や定量分析で得られた知見は、この地域の今後の食料安全保障の確保方策についての極めて有益な示唆を与えた。

本研究の成果は、関連学会または学会誌で発表され、一部は「Global Environmental Research」誌にまとめられ、また委託研究による成果も事業成果報告書にまとめられた。

6. 引用文献

1) 馬文奇ほか：土壤通報、30, 5, 218-219(1999)

「山東省糧食作物施肥状況的評価」

2) K. Aunan, T. K. Berntsen, and H. M. Seip: *Ambio*, 29, 294-301(2000)

“Surface ozone in China and its possible impact on agricultural crop yields”

3) D. L. Mauzerall, D. Narita, H. Akimoto, L. Horowitz, S. Walters, D. A. Hauglustaine, and G. P. Brasseur: *Journal of Geophysical Research*, 105. D14, 17, 895-17, 910(2000)

“Seasonal characteristics of tropospheric ozone production and mixing ratios over East Asia: A global three-dimensional chemical transport model analysis”

4) G. Kats, P. J. Dawson, A. Bytnerowicz, J. W. Wolf, C. R. Thompson, and D. M. Olszyk: *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 14, 103-117(1985)

“Effects of ozone or sulfur dioxide on growth and yield of rice”

5) D. M. Olszyk, H. Cabrera, and C. R. Thompson: *Journal of Air Pollution Control Association*, 38, 928-931(1988)

“California statewide assessment of the effects of ozone on crop productivity” .

6) K. Kobayashi, M. Okada, and I. Nouchi: *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 53, 109-122 (1995)

“Effects of ozone on dry matter partitioning and yield of Japanese cultivars of rice (*Oryza sativa* L.)” .

7) K. Kobayashi: *Atmospheric Environment*, 31, 703-714 (1997)

“Variation in the relationship between ozone exposure and crop yield derived from simple models of crop growth and ozone impact”

8) K.Kobayashi: In R.L. Berglund ed., Tropospheric Ozone and the Environment II, Air & Waste Management Association, Pittsburgh, USA, 537-551(1992)

“Modeling and assessing the impact of ozone on rice growth and yield”

9) 内田春夫、福井捷朗、小林慎太郎、丸山利輔：農土誌、49, 389-396 (1981)

「タイ国における水稲生産量の変動に關与する自然的要因の分析」

10) M. Ohnishi, T. Horie, K. Homma, S. Kondo, H. Takano, T. Inamura, C. Thongthai and S. Nopporn: In Proc. Int. Symp. “World Food Security”, Kyoto (Horie, T. et al. eds.), Kyoto University, Kyoto, 173-176(1999)

“Modeling and evaluation of productivity of rainfed rice in Northeast Thailand”

[国際共同研究等の状況]

1. 中国農業科学院農業自然資源和区画研究所, 山東省農業局及び同水利局において, 現地調査への協力, 關係する資料とデータの提供を受けた。

2. 大気化学モデルについてはプリンストン大学と, オゾン濃度の実測については中国科学院の土壤研究所(南京)及び測量与地球物理研究所(武漢)の協力を得た。

3. タイ国農業・協同組合省農業經濟局農業經濟研究所において農業統計等の資料提供, 分析結果の検討の協力を得た。同局農業情報センターGIS&リモートセンシング部によるGIS地図資料の提供, 關連統計数値の提供を受けた。また、カセサート大学經濟学部において分析結果の検討, 現地調査実施の協力を得た。

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表(學術誌・書籍)

1. 本間香貴、中川博視、堀江武、大西宏明、金漢龍、大西政夫：日本作物学会紀事、68, 137-145(1999)

「群落表面温度の隔測に基づく高温・高CO₂濃度環境下の水稲の蒸散・熱収支特性の解析」

2. 中川博視、堀江武：環境技術、28, 454-459(1999)

「高CO₂濃度下での資源植物の環境応答反応」

3. 春山成子：農業土木学会誌、68, 9, 15-20(2000)

「紅河デルタの環境変動と農地災害」。

4. 井上莊太郎、水野正己：1999年度日本農業經濟学会論文集、498-502(2000)

「タイ農業の展開と産地異動」

5. O.Koyama: Global Environmental Research, 3, 2, 79-87(2000)

“Food Security and management of Rural Environment in Asia”

6. M. Yoshino, K. Urushibara, and W. Suratman: Global Environmental Research, 3, 2, 187-197(2000)

“Agricultural Production and Climate Change in Indonesia”

7. H. Fukui, N. Chumphon, and K. Hoshikawa: Global Environmental Research, 3, 2, 145-154(2000)

“Evolution of Rain-fed Rice Cultivation in Northeast Thailand: Increased Production with

Decreased Stability”

8. M. Yoshino, K. Urushibara-Yoshino, and W. Suratman: the 29th International Geographical Congress, Seoul, Korea, 112-123(2000)

“Agricultural production and climate change in Indonesia”

9. M. Yoshino: Geographical Review of Japan, 73B, No.2(2000)

“Environmental change affecting the rice production in Thailand and in Monsoon Asia”

10. S. Inoue: Farming Japan, vol34-5(2000)

“Development and Sustainability of Upland Crops in Thailand”

11. H. Nakagawa, and T. Horie: Global Environmental Research, 3:101-113(2000).

“Rice responses to elevated CO₂ and temperature”.

12. T. Horie, J. T. Baker, H. Nakagawa, T. Matsui, and H. Y. Kim: CAB International, Oxon, U. K, 81-106(2000)

“Crop ecosystem responses to climate change: Rice. In Climate Change and Global Crop Productivity (eds., K. R. Reddy and H. F. Hodges)”.

13. 小山 修:地球温暖化の日本への影響 2001 (環境省地球温暖化問題検討委員会影響評価ワーキンググループ編)、177-182 (2001)

「食料安全保障への影響」

14. 吉野正敏:災害の研究、32,1-9(2001)

「東アジアの環境変化に関する最近の課題」

15. 井上荘太郎:国際食料需給と食料安全保障 農林水産文献解題 No. 29、91-101(2001)

「東南アジア」

16. 村山良之、境田清隆:季刊地理学、53,183-184(2001)

「ジャワ島における降水量変動と米生産」

17. 境田清隆、村山良之、田村俊和:地球環境、6,183-194(2001)

「インドネシア ジャワ島における降水量と水稲生産の変動」

18. 漆原和子:地球環境、6,195-206(2001).

「ジャワ島とバリ島における米生産量に及ぼすエルニーニョイベントの影響」

19. 佐々木博:目白大学紀要、8(2001)

「タイへの外国直接投資と農業に与えた影響」

20. 中川博視、堀江武:地球温暖化の日本への影響 2001 (環境省地球温暖化問題検討委員会温暖化影響評価ワーキンググループ編)、150-157(2001)

「水稲栽培への影響」

21. 中川博視:農林水産技術研究ジャーナル、24,14-22(2001)

「温暖化による水稲収量と栽培地の変化」

22. O. Koyama: APEC-ATC Workshop on Issues Concerning Both on Food Supply and Demand, Tokyo, Japan, proceedings 75-87 (2001)

“Resource Constraints and Food Supply-Demand Situation in Asia”

23. K. Homma, T. Horie, M. Ohnishi, T. Shiraiwa, N. Supapoj, N. Matsumoto, and N. Kamaki: Quantifying the toposequential distribution of environmental resources and its

- relationship with rice productivity. In S. Fukai and J. Basnayake eds, ACIAR, Canberra, Australia: 281-291 (2001)
- "Increased Lowland Rice Production in the Mekong Region".
24. S. Inoue and B. Titapiwatanakun: Proceedings of the 12th Annual Conference The Japan Society for International Development, 211-216 (2001).
- "Agricultural Environment Change and Farm Economy in the Northeastern Thailand: A case Study with Focus on Salinization and Soil Erosion".
25. 春山成子: 地球環境、6, 241-249 (2002)
「ベトナム・紅河デルタの稲作生産と気候変動」
26. 漆原和子: 法政地理、34, 27-33 (2002)
「バリ島における農業的土地利用の垂直的变化」
27. 白岩立彦、中川博視、堀江武、松井勤、本間香貴: 地球環境 (2002) (印刷中)
「タイ稲作の生産変動実態ならびに降雨量が生産変動に及ぼす影響」
28. 銭小平: 農業経営研究、6 (2002) (印刷中)
「食料生産と環境変化の定量分析」
29. 井上荘太郎: 農林水産技術研究ジャーナル、25, 6 (2002) (印刷中)
「国際米需給の構造変化 - アジアの動きを中心に -」
30. K. Kobayashi, D. Mauzerall, and X. P. Wang: 三菱総合研究所, 1-5 (2002)
"Acidic Deposition Effects on Agriculture in China"
31. S. Haruyama, Q. D. Le, V. T. Le, K. P. Le, V. P. Vu, K. Hori, S. Tanabe, and Y. Saito: Long Climate Change and the Environment Change of the Lower Red River Delta, Agriculture Publishing House, Hanoi, 71-92 (2002).
- "Geomorphology of the Red River Delta and their fluvial process of geomorphologic development, Northern Vietnam".
32. S. Inoue: Farming Japan, 36-5 (in press)
"Expansion of Asian Rice Trade -its Background and Implication-"
(2) 口頭発表
1. 井上荘太郎、水野正己: 日本農業経済学会 (1999)
「タイ農業の展開と産地移動」
2. K. Homma, M. Ohnishi, T. Horie, S. Kondo, H. Takano, T. Inamura, C. Thongthai, and N. Supapoj: Proc. Int. Symp. "World Food Security", Kyoto, Japan, 1999.
"Estimation of soil productivity for rice in Northeast Thailand".
3. K. Homma, T. Horie, M. Ohnishi, T. Inamura, T. Shiraiwa, C. Thongthai, N. Supapoj, N. Matsumoto, and N. Kabaki: Proc. Int. Symp "Can Biological Production Harmonize with Environment?", Tokyo, Japan, 1999.
"Spatial distribution of soil fertility and its relation to the productivity of rainfed rice in a small basin area in Northeast Thailand".
4. 小山 修: 平成 11 年度地球環境研究総合推進費公開シンポジウム (2000)
「食糧需給から環境問題を考える (講演)」

5. K. Urushibara-Yoshino and W. Suratman: the 29th International Geographical Congress, 15th Aug. 2000, Seoul, Korea(2000)

“Human Activities in an El-Nino Year 1997 in Karst Areas, Gunung Kidle, Java Island, Indonesia”

6. 田村俊和、北村繁：日本地理学会（2001）

「西ジャワの火山麓に立地するプカランガンの土地条件」

7. 佐々木博：国際地理学連合 持続的農村システム委員会 IGU Commission for Sustainability of Rural Systems(2001)

“Foreign Direct Investment and its Influences on Agriculture in Thailand”

8. 銭小平：日本農業経営学会(2001)

「食料生産と環境変化の定量分析－中国の山東省を事例に－」

9. 井上荘太郎、ブーンジット・ティタピワタナクン：国際開発学会研究大会(2001)

「タイ東北部の農業環境変動と農家経済－塩害及び土壌流出に注目した農家調査報告－」

10. 漆原和子：日本地理学会春季学術大会（2001）

「インドネシア、ジャワ島とバリ島における石灰岩地域、非石灰岩地域におけるエルニーニョイベントと稲作」

11. 境田清隆、村山良之、田村俊和：第1回環境の科学と技術フォーラム「地球生態系に対して自己制御文明を構築できるか」（2002）

「熱帯の小地域における ENSO の現れ方と農業生産」

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし

(6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

今後、農業資源変動と食料需給のモデル化の一般化をはかり、農業政策への影響力を高め、持続的な農業政策の提案へ反映するように努める。また、オゾン濃度の実測によって検証を進める一方で、研究発表を通してこの問題の重要性を広める予定。