

### H-3 中国における土地利用長期変化のメカニズムとその影響に関する研究

#### (2) 衛星画像と GIS 手法を用いた華東地域の都市拡大に伴う土地利用変化の解析に関する研究

中華人民共和国武漢測繪技術大学

李 霖

環境省国立環境研究所

水圏環境部 上席研究官

大坪国順

東京大学大学院農学生命科学研究科

佐藤洋平

平成 10～12 年度合計予算額 5,289 千円

(うち、平成 12 年度予算額 1,093 千円)

#### [要旨]

衛星データ、現地調査、人口動態および都市計画資料を基に、土地利用変化（都市拡大、優良農地減少）プロセスを解析し、企業活動の活発化に伴う人口増加に誘発される人口移動・集中—都市地域拡大—農地減少予測モデルを構築した。開発したモデルと米生産性と一人当たり米摂取量に関する中国側の設定値を用いて、華東地域における 2020 年次の米の生産・消費量のバランスマップを作成した。

華東地域の中小都市の拡大モデルとしては拡散モデルを適用した。即ち、都市人口の拡がりや外部からの人口の流入がある拡散現象と捉えて、その拡がりから都市拡大を見積もるという方法である。1975、1980、1985、1990 年のランドサット TM データから解析した都市面積拡大の経年変化と統計資料の解析結果から、拡がりの程度を支配する拡散係数が郷鎮企業生産量および都市の属する県の面積の関係式を見出した。都市拡大の将来予測は、人口と GDP 成長（郷鎮企業の成長）についての過去のトレンドがそのまま続くというシナリオのもとで計算された。開発した人口分布モデルと都市拡大モデルを蘇州市に適用し、過去から現在までの蘇州市の都市拡大の経年変化を再現性を確認した上で、華東域全域にモデルを適用した。

[キーワード] 中国華東地域、都市拡大モデル、拡散モデル、人口増加、穀物生産

#### 1. はじめに

LU/GEC 第 1 期の研究成果から言えることは、①改革解放以来、政府の食糧自給政策が効を奏して、経済の急発展にも関わらず耕作地面積は全国的には微減傾向で留まり、人口増加による食糧需要の増大分は、単収の増加によりカバーされてきた。②将来は、中国全体で、都市的利用地は増加、草原は減少、耕作地は微増という予測結果となったが、これは土地生産性に限界値を設定していないこと、都市化に食われた耕作地分は草原が耕作地に転換されると仮定したためと考えられる。

今後、人口増に伴う食糧需要の増加に対応するため、北部・東北部地域において草原や未利用地が農地に転換される可能性が高いが、その転換面積は、米倉である華東地域での今後の穀物生産減少量と密接に関係するので、華東地域での穀物生産原産も重要な研究対象となる。

## 2. 研究目的

本研究の目的は、経済発展が最も早くかつ急激に生じている中国華東地域デルタ（長江最下流域）を対象に、経済発展に起因する都市化の余波としての優良農地減少の影響を食糧（米穀）の過不足の観点から評価しようというものである。都市化の進展は、人口の増加と表裏一体で、穀物消費量の増加を招く一方で優良農地が宅地・工場・商業地に転換されるため、穀物生産量の減少を招き、穀物の生産・消費のバランスは生産量不足の傾向に向かうと。本研究は当該地域で2020年の時点で、どこでどの程度の食糧（米穀）の過不足が生じるかを定量的に予測しようというものである。

## 3. 研究方法

華東地域の中小都市の拡大モデルとしては拡散モデルを適用した。即ち、都市人口の拡がりを外部との人口の流出入がある拡散現象と捉えて、高人口密度地域の拡がりから都市拡大を見積もるという方法である。拡大を支配する拡散係数は、1975、1980、1985、1990年のランドサットTMデータから解析した都市面積拡大の経年変化と統計資料を解析して求める。拡散モデルを用いた都市拡大の将来予測は、人口とGDP成長（郷鎮企業の成長）についての過去のトレンドがそのまま続くというシナリオのもとで計算された。開発した人口分布モデルと都市拡大モデルを蘇州市に適用し、過去から現在までの蘇州市の都市拡大の経年変化を再現性を確認した上で、華東域全域にモデルを適用した。

### （1）拡散モデル

都市拡大は以下の四つの観点で、拡散プロセスに類似している。

- －人口流入の一方向性：非都市から都市へ。
- －都市は拡大する。
- －拡大は都市地域の縁辺部において起こる。
- －拡大は連続的である。

著者らは華東地域デルタにおける都市域の拡大を人口の流入のある都市域人口の拡散プロセスの概念で説明できるという仮説をたてた。人口密度に対する拡散方程式を差分形式で表現すると以下となる。

$$\Delta m / \Delta t = \rho \cdot (\Delta^2 m / \Delta x^2 + \Delta^2 m / \Delta y^2) \quad (1)$$

ここで、 $m$ : 人口密度、 $\rho$ : 人口密度の拡散係数、 $t$ : 時間、 $x, y$ : 直交空間座標系での  $x$  方向と  $y$  方向である。今回、 $\rho = \gamma \times \tau$  として、 $\gamma$  は地点の地理的条件（例えば市街地、道路、河川、山などへの近接度）を反映し、 $\tau$  は対象とする都市の社会的・経済的要因（GDP、市街化可能面積など）を反映するパラメータと考えた<sup>1)</sup>。また、 $x=0, y=0$  の地点に外部から人口流入が常時ありと仮定し、その流入量は地域の総人口の将来増加シナリオを基に所与の量として与えた。

### （2）シミュレーションの実施手順

#### ①都市拡大

シミュレーションプロセスを実行するために、人口、道路網、過去のトレンドおよび政策といった様々なデータを用いるための4つのサブプロセスが別にある。このプロセスに介在して、都

市拡大にどのような社会的経済的要因が関係してくるかを決定するための要因分析と呼ばれるステップが用いられる。核となるのはケーススタディエリアの都市および小都市の拡大状況をシミュレートするシミュレーションプロセスである。このシミュレーションプロセスを Fig-1 に簡潔に表した。ここで  $T$  は都市域と認定される人口密度のしきい値、 $s$  は  $t=0$  の地域の総人口、 $s'$  は  $t=t_1$  の総人口である。

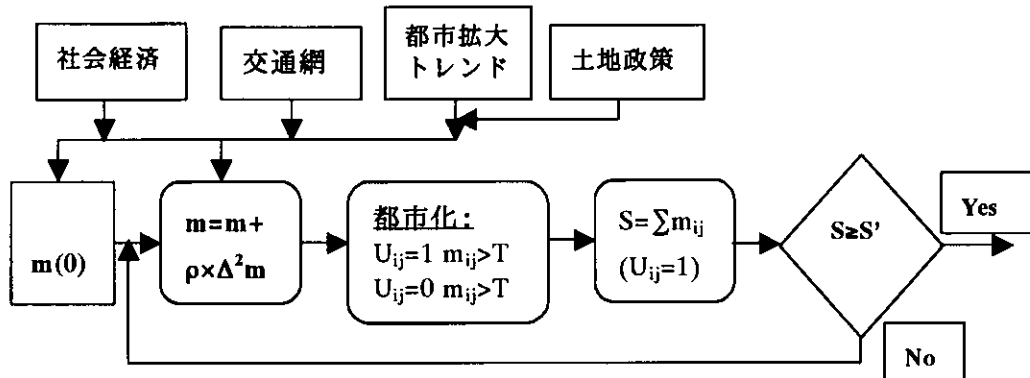


Fig-1 シミュレーションの手順

②米の生産（都市拡大との関係）

ここで、米の生産は農地面積のみに関係していると考えられる。つまり、市街地が拡大すると、都市および小都市は農地を含む多くの土地を占有することとなり、農地面積が減少し米生産量の低下をもたらすこととなる。Fig-2 に米需給シミュレーションの手順を示す。なお、今回のシミュレーションでは、都市化に伴う野菜や果実の需要差の増加による米作地の野菜・果実生産地への転換は考慮していない。

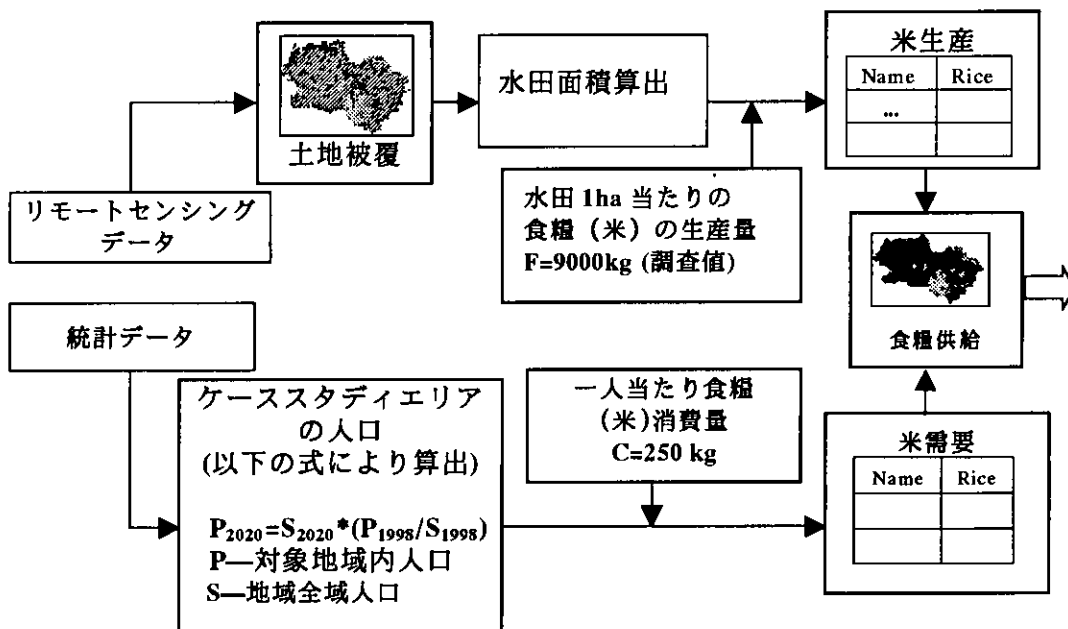


Fig-2 米需給シミュレーションの手順

#### 4. 結果・考察

##### (1) 華東地域における都市拡大の概況

###### ①都市化プロセス

ケーススタディエリアは揚子江に隣接する江蘇州の南部に位置している。19の郡と5つの市を含み、中国で最も発展した地域のうちのひとつである。3つのプロセスがこの地域の都市化を表している。それらは、人口統計学の変化、経済的变化、政治的な変化である。そのような都市化は、都市と地理の空間的拡大の形態となった。マクロ的にみると、おそらく政策的な変化は都市化に関する重要なプロセスで、経済的なプロセスにも介入したと考えられる。

###### ア. 人口統計学の変化

人口は住居面積を増加させる主な理由の一つである。人口が増加すると、住宅のためのより大きなスペースを要求するようになるのである。特に、より多くの人々が、市や町に住むようになると、都市や街のサイズは益々拡大する。例えば、1984年は江蘇州の非農家人口はおよそ1410万人で、1995年は1640万人であった。同じ時期に開発面積は1986年の423 km<sup>2</sup>から1995年の1146 km<sup>2</sup>に増加した。

地方から都市への移住が都市や街の成長における重要な役割を果たした。その理由は、この地域内で農地は限定されており、農業労働に余剰があったからである。これら農業労働は非農業分野に取って代わらなくてはならない。経済発展により多くの農業就業者は町や村の所有する企業や工場に勤めた。1987年から1984年の間、240万人の若い農業就業者が田畑から作業場に行き、1984年から1988年の間には、500万人が町や村の工場に勤めるようになった。

Fig.-3は1982年から1995年の間の非農家人口の変化を示している。5つの市はNanjing(S), Suzhou(S), Wuxi(S), Changzhou(S),そしてZhenjiang(S) (市の名前の中の(S)は自治県を含まないこと、(L)はそれを含むことを示している)である。Table-1は、5つの大きな都市、Nanjing(L), Suzhou(L), Wuxi(L), Changzhou(L), Zhenjiang(L)について、非農家人口の割合と全人口を示している。Fig.-3及びTable-1は、1980年代のはじめから、これらの都市で非農家人口が全人口に占める割合が大きくなるにつれ、都市化のレベルがますます高くなったことを示している<sup>2)</sup>。

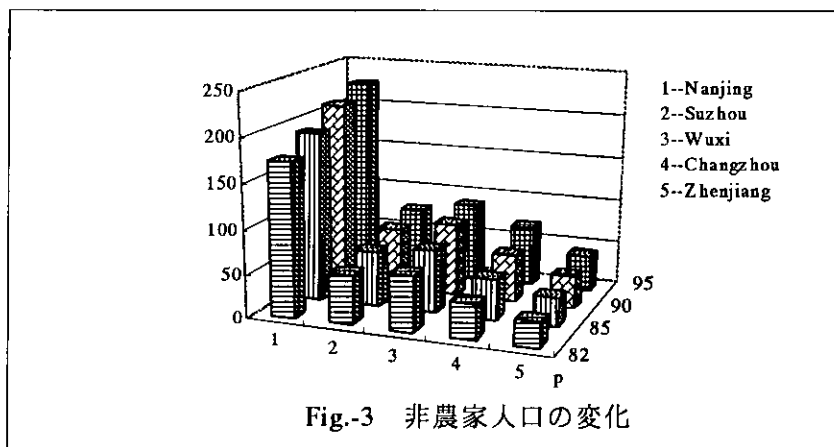


Fig.-3 非農家人口の変化

政策は、工業的分野への農業労働の変換プロセスにおいて主要な役割を演じた。中央政府は作業上と農民によって所有される企業の開発の奨励政策を公表し、余剰の農業労働事情問題を解決するために、1984年「郷鎮企業」に資格を与えた。それ以前に、政策は主に農業にのみ従事している農民を取り締まり、この種の企業の開発をコントロールした。それ以後、郷鎮企業が大きな進歩を成し遂げた。

Table-1 人口

都市名	1985			1990			1995		
	計 (万人)	非農家 (万人)	%	計 (万人)	非農家 (万人)	%	計 (万人)	非農家 (万人)	%
Nanjing	471.6	213.0	45.2	506.4	239.3	47.2	521.7	259.0	49.7
Suzhou	540.4	121.2	22.4	564.3	142.2	25.2	572.9	168.8	29.5
Wuxi	395.5	108.9	27.5	421.2	148.1	35.2	429.1	180.8	42.1
Changzhou	309.7	67.9	21.9	326.9	82.8	25.3	333.6	117.9	35.3

#### イ．経済的变化

改組政策と開放政策のために、経済は1982年以後より急速に発展した。国家経済構造における江蘇州の農業経済の果たす役割はますます小さくなり、地方（郷鎮）企業が大いに発展した。郷鎮企業の生産高は、1978年から1992年の間で30%の増加をとった。生産高は1978年の62.4億元から1992年の2,463.3億元に達した。それは工業の生産高のおよそ2分の1が、郷鎮企業由来であることを意味する。

#### ②インフラストラクチャー—道路網

この地域の道路ネットワークは経済発展の結果であり、それは地域経済の発達を容易にした。道路は都市化において地方的かつ地域的な影響力を持っている。Changzhou, Wuxi, Suzhouに沿ったこの地域が、NanjingからShanghaiまで3つの主要幹線によって横断されており、経済発達したことがうかがわれ、この地域の都市拡大が他のエリア同様に起こったことがわかる。

#### ③都市開発<sup>3),4)</sup>

過去の政策のもとで大都市あるいは主要都市が、小都市よりも速く成長した1980年代前に、都市、特に小さい都市は、非常にゆっくりと開発された。新しい経済発展を始め、大都市の人口圧を放つために、1980年、中央政府が「大都市の規模の厳密なコントロール、中都市の適度な開発、小都市の活発な開発」政策を公表した。

このような政策を考慮に入れて、1982年に江蘇省政府は、都市を中心とし、街を農村の結節点とし、農村を基礎とする経済発展計画を建て、県当局における都市政策が1983年に遂行された。その後、1985年から1989年の間に、江蘇省の都市の数は11に増加し、そして町の数も省全体で387に増加した。また、都市の人口は1800万人に上った。1990年代には、小さい市（県レベル）そして町（村レベル）がさらに発展した。建設された町数は1980年の80から1994年の878まで増加した。Table-2と3は、1982年から1994年までのケーススタディエリア内の都市の数の変化を表している。Changzhou市は中間のレベルから大きいレベルの都市へと昇進し、多くの県は都市（小都市）となった。

1万 km<sup>2</sup> 当たりの都市の数は、中国全体の平均レベルの 0.64 の都市数よりも平均 3.9 の都市及び 84 の町と多い。1993 年には江蘇省の南部では、1万 km<sup>2</sup> 当たり都市密度は 6.86 の都市及び 160 の町に達している。

Table-2 1992 年におけるケーススタディエリア内都市の状況

都市形態	都市数	都市名	非農家人口 (万人) (530.7)	都市人口割合 (%)
主要都市	1	Nanjing	174.4	32.9
大都市	2	Suzhou	56.8	22.7
		Wuxi	63.7	
中都市	2	Changzhou	40.5	12.9
		Zhenjiang	28.1	
小都市	0		0	0
合計	5		363.5	68.5

Table-3 1994 年におけるケーススタディエリア内都市の状況

都市形態	都市数	都市名	非農家人口 (万人) (981.6)	都市人口割合 (%)
主要都市	1	Nanjing	221.1	22.5
大都市	3	Suzhou	76.6	23.6
		Wuxi	86.6	
		Changzhou	68.3	
中都市	1	Zhenjiang	40.6	4.1
小都市	11	Jiangyin	24.5	19.2
		Yixin	31.8	
		Changshu	21.4	
		ZhengjiaGang	12.7	
		Kunshan	12.8	
		Wujiang	14.5	
		Taichang	9.8	
		Liyang	27.7	
		Jintan	7.2	
		Yangzhong	6.0	
Danyang	20.0			
合計	16		618.6	69.4

## (2) シミュレーション結果

Fig-1 のプロセスに基づき、シミュレーション実験を行った。その結果、県レベルでの都市・小都市拡大は 1985 年から 1995 年までの当該県での郷鎮企業生産量と強い関係があることが明らかとなった。このことは、人口統計学的な要因に加え、郷鎮企業が都市拡大のドライビングフォースと考えられるということ、また、この地方において、郷鎮企業の開発が農業労働の工業分野への移動、小規模な町の空間的拡大を助長したということの意味している。統計的データと空間的表現により Changzhou, Wuxi, Suzhou 周辺では都市化の影響を受けやすいことがわかった。例えば、Changzhou の都市地域面積は 1985 年から 1995 年の間に 4 倍に増加している。Xishan (Wuxi

に隣接)は、県レベルでは農地面積における都市地域面積の割合は1985年の0.66%から1995年の約8%まで増加している。

将来の都市拡大を、ドライビングフォースが1985年から1995年までの時期と同じであるという仮説に基づいて予測した。すなわち、都市域面積の拡大要因として人口および県レベルでの地区内産業を用いた。また、土地政策は都市計画において重要な役割を果たす。約20年間の急速な都市化の後に、都市は人口と産業の両面にわたり拡大に適したキャパシティを持つことになった。都市拡大は今後さらにゆっくりとなる。

以下にいくつかの実験結果を示す。

#### ①都市拡大 (1980-1995)

Fig-4に示された土地利用・被覆変化は1980年、1985年、1990年、1995年のリモートセンシングデータから得られた。この図は、都市地域変化の空間的パターンを示している。Table-4は、各県全域に対する都市地域面積の割合を表している。すべての行政単位で都市地域が拡大してきており、中規模都市レベル以上の行政単位で都市地域面積が全域の5分の1以上を占めており、その面積は他の単位よりもずっと大きいことがわかる。

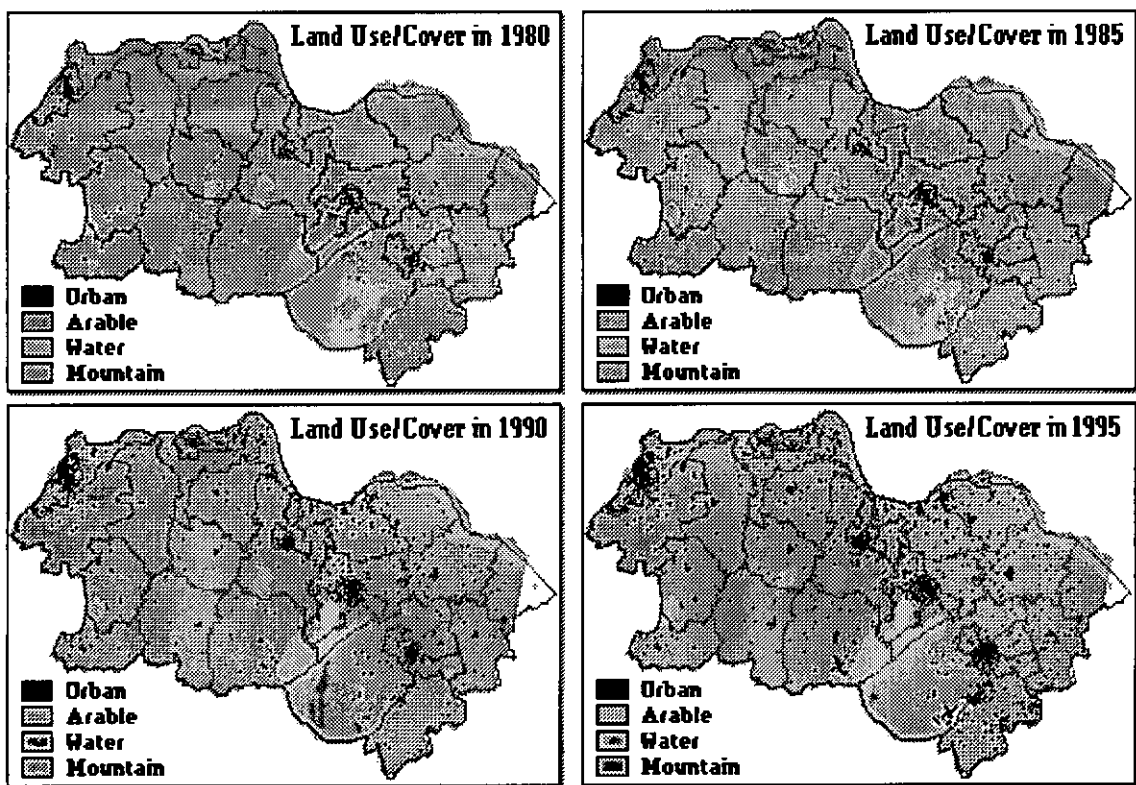


Fig.-4 1980年～1995年の土地利用・被覆

#### ②人口分布 (1980-1995)

Fig.-5は、華東地域の人口分布の変化を表している。1980年代には、人口はある限られた地域に集中しており、年次と共に人口が増加し、かつより広い地域に広がる様子が見られる。

Table-4 各地域における都市地域面積割合

	全面積に対する都市地域面積の割合			
	1980	1985	1990	1995
Xixia(NJ)	7.42	8.65	17.25	22.65
Jiangnin	0.33	0.48	1.77	3.31
Dantu	0.3	0.37	3.41	5.42
Zhenjiang	4.81	5.45	14.24	22.36
Lishui	0.38	0.47	1.51	2.06
Gaochun	0.52	0.64	3.68	3.84
Liyang	0.2	0.27	1.07	1.81
Jurong	0.09	0.15	0.53	1.64
Danyang	0.1	0.19	1.79	4.32
Jintan	0.09	0.14	1.07	2.32
Yangzhong	0.04	0.17	2.7	4.83
Changzhou	5.38	6.87	17.66	28.25
Wujin	0.16	0.21	2.08	4.74
Yixing	0.21	0.38	1.83	4.06
Jiangyin	0.51	0.84	5.08	8.22
Xishan	0.31	0.66	4.75	7.95
Wuxi	5.23	7.12	16.42	21.2
Suzhou	5.57	7.47	12.89	19.93
Wuxian	0.38	0.55	1.9	4.15
Wujiang	0.25	0.51	2.17	9.28
Kunshan	0.52	0.83	2.07	6.98
Taicang	0.11	0.19	1.57	2.53
Changshu	0.52	0.77	3.84	5.82
Zhangjiagang	0.15	0.33	3.43	6.4

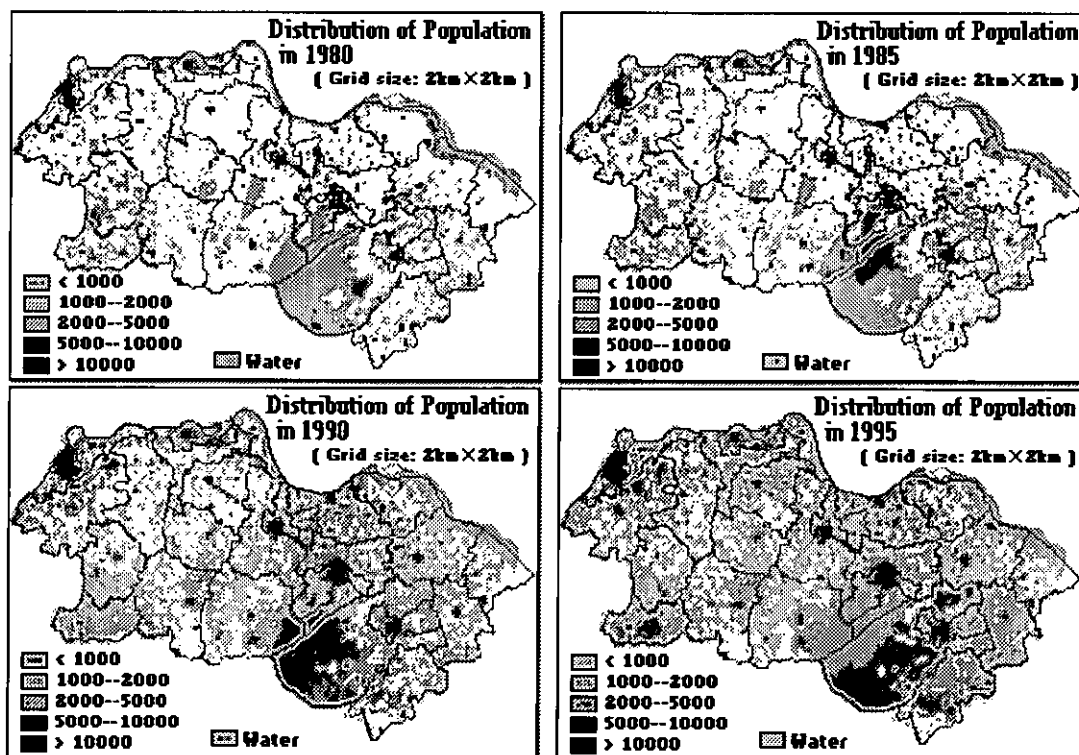


Fig-5 1980～1995年の人口の分布



③2020年における都市拡大の予測

1995年の都市地域をもとに、2020年の都市拡大を予測した。その結果を Fig.-6 に示す。この図は、都市拡大が、主に都市周辺、特に Changzhou, Wuxi, Suzhou のような主要道路沿いにある都市で起こることを示している。これらの3つの都市は、道路に沿った都市地域によって各々つながっているような傾向がある。Fig.-7 は、各県の総面積に対する都市地域の面積のパーセンテージが増加し、中規模レベル以上の都市が他の規模レベルよりも、数がより多いことを示している。

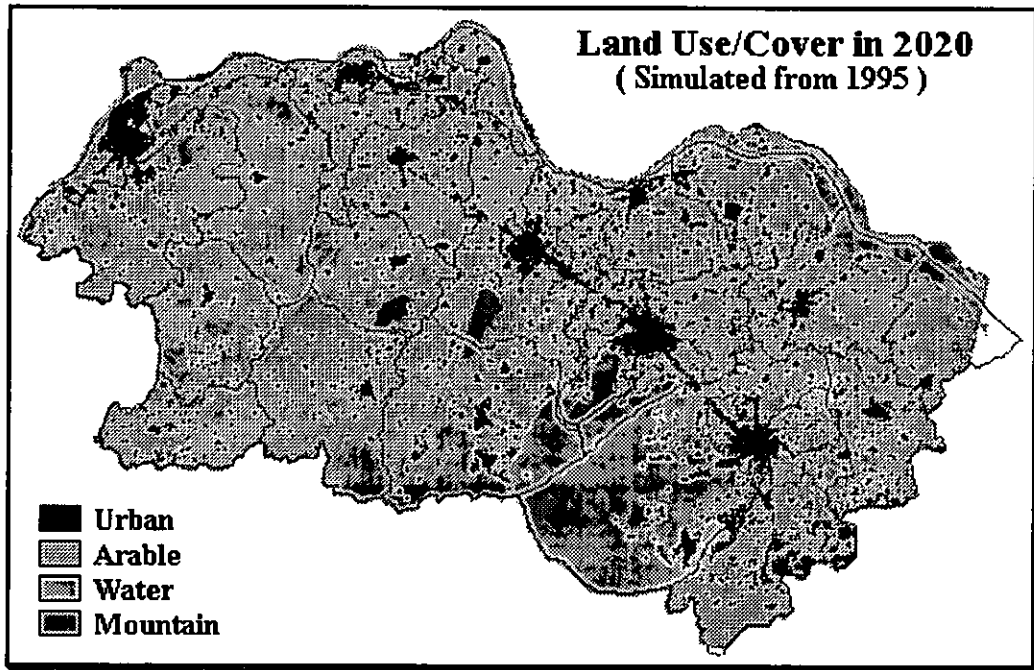


Fig.-6 2020年の土地利用/被覆シミュレーション結果

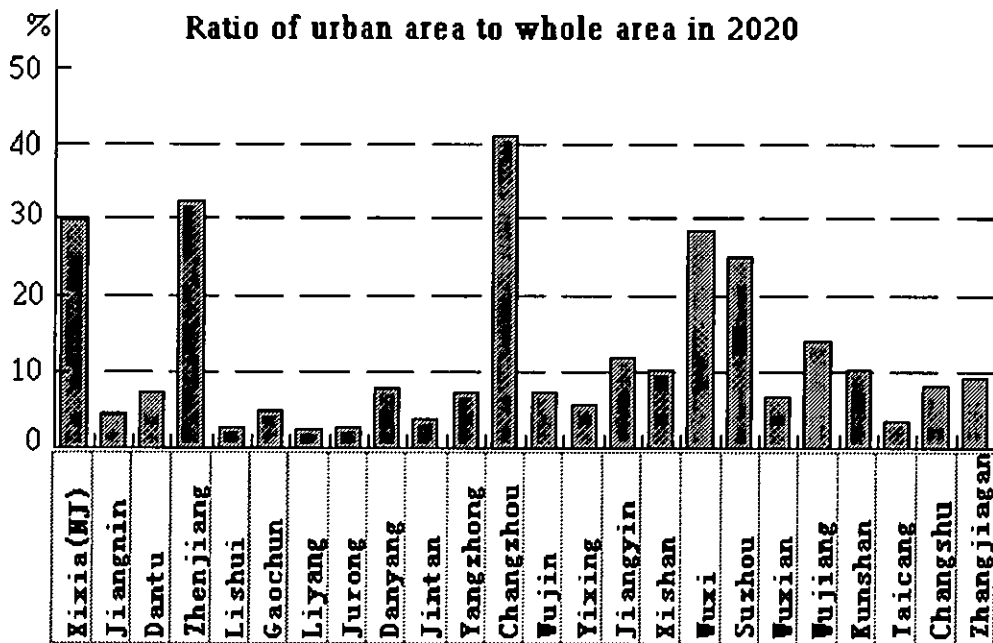


Fig.-7 都市地域の割合

④米供給パターン

Fig.-8 は、Fig.-2 に示したシミュレーション手順に基づいた 1995 年次の空間的な米供給パターンを示している。都市拡大シミュレーションに基づき、2020 年における米供給量を予測したものが、Fig.-9 である。Fig.-9 より、米の生産量は西部よりも東部でより減少することがわかる。Table-5 は、各県の 2020 年における米の供給を予測したものである。この表によれば、ある地域では米の需要超過が起こるが、当該ケーススタディエリア全体では人口に対して十分供給できることを示している。

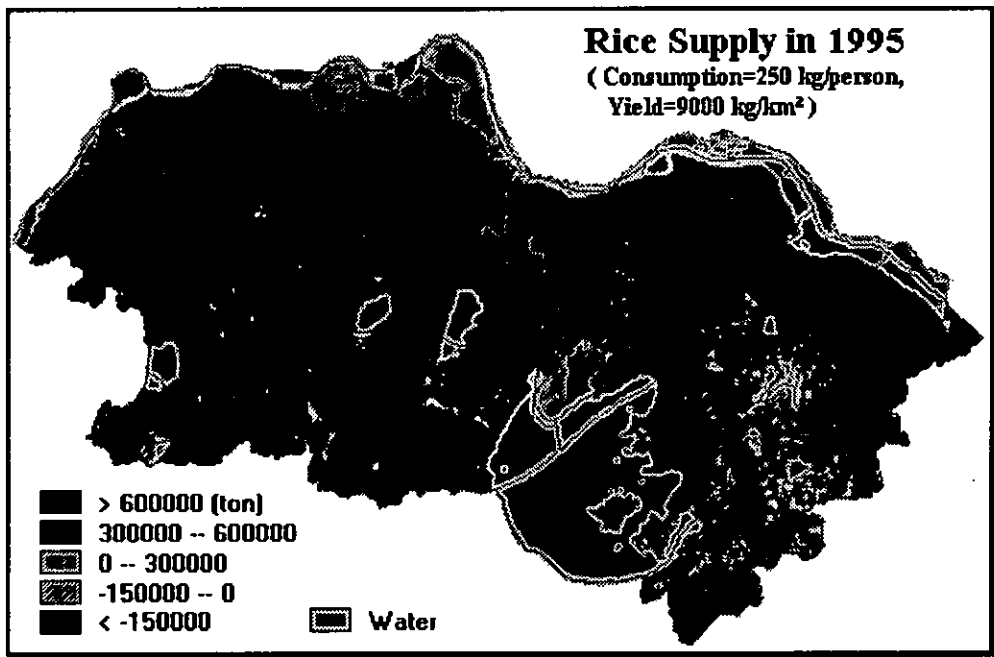


Fig.-8 都市拡大に基づく米供給パターン (1995 年)

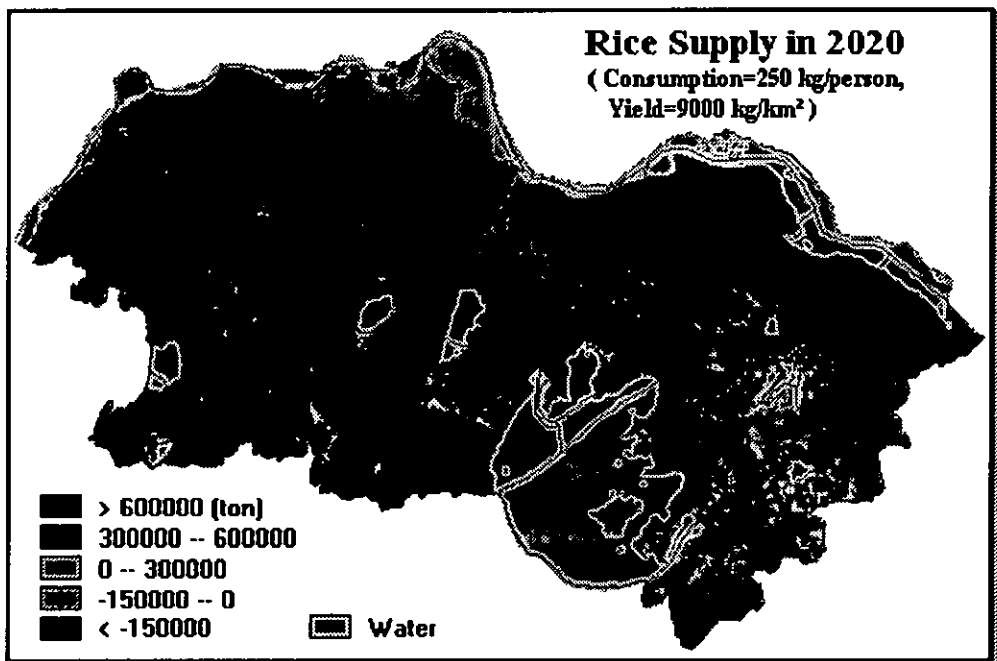


Fig.-9 都市拡大シミュレーション結果に基づく米供給パターン (2020 年)

Table-5 2020年における都市地域変化と米の供給

都市名	都市地域面積変化 1995—2020(%)	農地面積変化 1995—2020(%)	米供給量 (1万トン)
Nanjing	31.7	-11.50	-38.82
Jiangnin	33.1	-1.31	89.94
Dantu	30.3	-1.92	43.99
Zhengjiang	45.0	-15.60	-2.54
Lishui	32.6	-0.90	56.80
Gaochun	18.9	-0.82	46.73
Liyang	42.7	-1.03	78.97
Jurong	67.2	-1.36	78.05
Danyang	81.9	-3.71	61.49
Jintan	66.8	-1.90	52.84
Yangzhong	49.1	-3.36	12.16
Changzhou	45.7	-18.48	-9.60
Wujin	49.8	-2.78	79.52
Yixing	38.2	-2.43	73.34
Jiangyin	43.3	-4.10	39.56
Xishan	29.1	-3.12	42.14
Wuxi	34.93	-19.12	-16.18
Suzhou	26.3	-7.28	-8.60
Wuxian	60.2	-7.54	38.75
Wujiang	51.7	-6.04	58.94
Kunshan	48.3	-3.98	48.93
Taicang	41.2	-1.40	36.46
Changshu	38.6	-2.84	59.02
Zhangjiag.	42.9	-3.54	39.64
合計	42.4	-3.57	961.6

## 5. 結語

本研究の成果は以下のようにまとめられる。

1980年から1995年の都市拡大パターンをみると、すべての行政単位で都市地域が拡大してきており、特に、中規模レベル以上の行政単位における都市地域面積が地域全域の5分の1以上を占めていることが明らかとなった。さらに、このトレンドをもとに2020年の都市拡大を予測した結果、都市拡大は主に都市周辺、特に主要道路沿いに位置する都市で起こることが示された。

また、以上のシミュレーション結果に基づいた2020年における米の空間的な需給予測によれば、米の生産量は西部よりも東部でより減少することが予測されたが、当該ケーススタディエリア全体では人口に対して十分供給できることが示された。

本地域では、研究当初予想した程の都市域拡大に帰因する穀物供給の不足の予測結果とはならなかった。その理由は、食糧生産のための農地面積の減少量がそれほどでもなかったこと、穀物生産性の継続的向上を仮定したことなどによる。前者については、野菜や果実栽培のための農地転換の影響を考慮する必要がある。

## 謝辞

本研究の調査にあたりご尽力いただいた中国科学院南京地理与湖泊研究所の姚士謀教授、および楊金華氏に心から感謝申し上げます。

## 6 . 引用文献

- 1) Lin Li, Yohei Sato, Kuninori Otsubo (1999): Urban expansion modeling based on remotely sensed data, in "LU/GEC Project Report V" edited by Kuninori Otsubo, 1999.10, pp111-132
- 2) China population across century (Jiangsu part) (1994): China Statistical Publish House.
- 3) Yao Shimou, Shuai Jiangping(1995): Urban Land Use and Urban Growth, Publish House of University of Science & Technology of China
- 4) Zhang Jiayuan, Yao Shimou(1997): Research on the Problem and Strategy of Urbanization in Jiangsu, China Statistics Publish House, 1st Edition

[国際共同研究等の状況]

本研究は、IGBP/IHDPの共同コアプロジェクトであるLUCCのサイエンスプランに沿ったアジア地域の土地利用・被覆変化プロジェクトとして、LUCC Research Projectsに認定されたLU/GECプロジェクトの一環である。

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表 (学術雑誌)

Yohei SATO, Lin LI, Kuninori OTSUBO: *Trans. JSIDE*, 2001, Vol.213, 25-31

'A diffusion-based macro model for regional urban expansion in the case of the eastern part of China'.

(2) 口頭発表

Yohei SATO, Lin LI: 2nd Inter-Regional Conference on Environment-Water, Swaziland, Sept., 1999

'A Diffusion-based Model for Geographical Urban Expansion'.

(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) Adopted in Book

Lin LI, Yohei SATO and Kuninori OTSUBO: *Urban Sustainability in the context of Global Change*, edited by R.B. Singh, Science Publishers Inc. Enfield, NH, US, 231-246, (2001)

'Modeling City Expansion Basing on Remotely Sensed Images'.