

中国深圳市の経済発展と土地利用変化に関する研究

STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN ECONOMIC DEVELOPMENT AND LAND-USE CHANGE IN SHENZHEN CITY OF CHINA

陳 晋* ・ 藤倉 良* ・ 井村秀文*

CHEN Jin*, Ryo FUJIKURA*, and Hidefumi IMURA*

ABSTRACT; Study of land-use and land cover change is crucial not only for global change but also for sustainable development in local scale. This paper takes up Shenzhen city in China for a case study to analyze the relationship between rapid economic growth and urbanization which are causing significant changes in the land-use; the city has experienced very rapid economic development and environmental changes which were second to none in its speed since the late 1980s. The land-use changes have been detected based on the post-classification comparison technique in combination with the maximum likelihood classifier and probabilistic-relaxation method, using the LANDSAT MSS and TM data for the years of 1980, 1988 and 1994. The main characteristic of the land-use change in the period of 1980 to 1994 is the quick expansion of urban areas and decrease in farm land. This can be thought as the result of interaction between the driving forces such as the population growth, the foreign investment, and the industrial siting as well as the counter forces such as the traffic condition, natural condition, and land-use structure which have been subject to the special development policies applied to the area.

KEYWORDS; land use change, urbanization, economic growth, driven force, counter force, patch, remote sensing

1. はじめに

改革開放政策によって急速な経済発展を進めている中国では、生産の拡大と人口集中により、特に沿海地域の諸都市及びその周辺地域において、土地利用の急速かつ広域的な変化が進行しつつある。都市化に伴う土地利用の急激な変化メカニズムは、世界各地の学際的な共同研究（たとえば、IGBPとIHDPの共同プロジェクト）の対象となっている。その中でも中国沿海地域は、産業集積度、人口集中度、変化速度が特徴的であるため、国際的に注目を集めている地域である¹⁾。

中国沿海地域には、北から大連、天津、上海、深圳市等の多数の大都市が存在している。これらの諸都市は、それぞれの地理的位置、産業構造等を反映した都市発展形態の特徴を有している。その中でも、広東省南部、珠江河口に位置し、香港に隣接する深圳市は、最近わずか15年余の短期間のうちに中国国内のみならず世界的にも他に例を見ない急速な経済成長と都市化を遂げた都市として際立った特徴を有する。深圳市の一部が経済特区に指定された1980年当時、同市は人口33万人、総生産額2.7億元の寒村にすぎなかった。しかし、1994年には、経済特区（南山区、福田区、羅湖区を含む）、宝安区、龍崗区からなる、面積2020 K m²、人口336万人、総生産額615.2億元の巨大都市に急成長した（図1）。わずか14年間のうちに、人口は10倍、生産額で見た経済規模は名目で300倍に拡大した。1994年の1人当たりの生産額は全中国で第一位を記録している。中国の市域には市街地周辺の広範な農村部が含まれるのが一般的であるが、深圳市の場合には、市と鎮の人口が総人口に占める割合である人口都市化率が74%に達しており、市街地への人口集中が進んでいる。

本研究では、上記のような特異な経済発展と都市化を遂げた深圳市に着目し、経済発展にともなう急速な土地利用変化の実態を解析する。次に、その変化のメカニズムについて、要因を解析する。同市の場合、分析対象期間における各要因の変化量が非常に大きい。そのため、土地利用変化の構造的問題が顕著に表れているものと考えられる。具体的には、1980年、1988年、1994年の3時点のLANDSATデータをもとに、土地利用の変化を定量化する。続いて、その結果

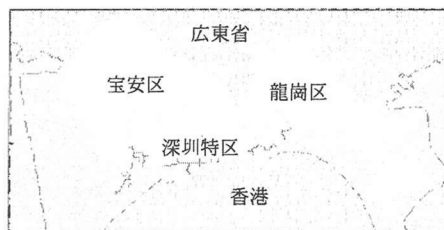


図1 深圳市の位置と略図

*九州大学工学部環境システム科学研究センター Institute of Environmental Systems, Kyushu University

と自然、地形、社会、経済に関する各種統計データを用い重回帰分析を行う。使用するデータは表1に示すとおりである。

2. 土地利用変化の定量化

異なる時期に得られた衛星データを比較する場合には、各時期における大気効果、日照による陰影効果、センサーのキャリブレーション精度、センサーの波長特性、分解能、土壌湿度、植生の季節変化などの差異を考慮しなければならない。このため、それぞれの衛星データのスペクトルを直接比較できるようなデータ均一化補正が行われている（スペクトル直接比較法）。しかし、現在までのところ、数多くの影響要因のすべてを考慮した補正方法は完成していない²⁾。本研究では、スペクトル情報の補正を行わずに解析が可能な分類結果比較法を用いる。ただし、影響要因を減少させるため、次のような作業を行う。まず、植生については補正が困難であるため、同じ植生が見られる時期のLANDSATデータ（乾季、10月～2月）を用いる。次に、大気や太陽高度角の差異を減少させるため、衛星データの簡易標準化を行う。また、各時点での分類精度を高めるために、空間情報（Contextual Information）とスペクトル情報（Spectral Information）を統合して利用する Probabilistic-Relaxation Methodを用いる⁴⁾。処理フローを図2に示す。データ解析は、EXPIA/S、Arc/Infoによって行う。

2.1 幾何補正

LANDSATによって撮影されたデータは、地球上の曲面をそのまま撮影したものである。したがって、既存の地形図と重ね合わせができるように、座標を3次元多項式近似により並び替え、幾何補正画像を作成する。補正結果のRMS誤差は、1980年データ(x, y)=(0.5540,0.4043), 1988年データ(x, y)=(0.423,0.468), 1994年データ(x, y)=(0.6134,0.4069)であった。補正後のデータは深圳市の境界によって切り出す。

2.2 衛星データの簡易標準化

各時期の大気や太陽高度角の差異などによる影響を減少させて分類精度を高めるため、SCR(Scattergram Controlled Regression) 法を用いて1988年のTMデータの標準化を行う⁵⁾。地図データでは1994年のものが最も詳細であるので、この年のTMデータを基準画像とする。標準化は一次線形回帰式($Y_k = a_k X_k + b_k$)で行う。結果を表2に示す。1980年のMSSデータについては、TMデータのバンド波長範囲が異なるため、この処理は行わない。

2.3 土地利用の分類

分類結果比較法によって異なる時点の土地利用分類を比較する場合、分類精度はそれぞれの時点で選定したトレーニングデータの質に左右される。本研究では、大林の手法に基づいてトレーニングデータを選定する⁶⁾。ここで重要な点は、同一の土地利用に関して標準化されたスペクトルが各時点で一致するか否かにある。選定したトレーニングデータに基づいて、各土地利用類型に対する画素の尤度を求める。まず、ある分類に属する最大尤度が0.7を超えるピクセルは、その分類に属する従来の最大尤度法で分類する。最大尤度0.7以下の不確定ピクセルについては、Probabilistic-relaxation methodを用いて、以下のように不確定ピクセルを減らし、精度の上昇を図る。まず、ピクセルの空間相関性に基づいて以下の式により尤度 P_i (確率密度) を

表1 使用データ一覧

データの類型	時間	縮尺	その他
LandSat MSS	1980年10月13日	79×79 M	雲がない
LandSat TM	1988年12月10日	30×30M	雲がない
LandSat TM	1994年11月8日	30×30M	雲がない
地形図	1994年	1:4.5万	土地利用、標高、交通などを含める
土地利用図	七十年代後期	不明	
交通図	1980年	1.5万	
土地利用図	八十年代後期	不明	
交通図	1989年	1.5万	
統計データ(人口、経済など)	1980～1994年	市、特区	一部データは特区だけある

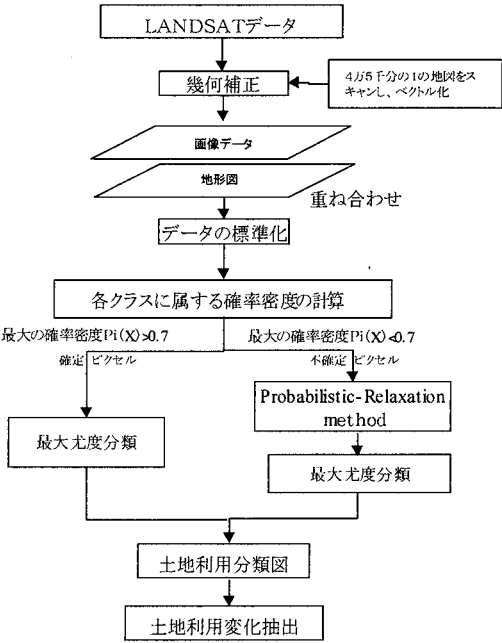


図2 解析フロー

表2 標準化のパラメータ
(1988年のTMデータ)

Band	a_k	b_k	R^2
1	0.54	3.45	0.97
2	0.61	2.41	0.96
3	0.73	3.36	0.96
4	0.88	2.49	0.98
5	1.15	3.27	0.97
6	1.21	0.50	0.99
7	1.30	1.37	0.97

調整する。

$$P_i^{(k+1)}(x_j) = \frac{P_i^{(k)}(x_j) \sum_{l=1}^8 P_l(x_j)}{\sum_j \left[P_i^{(k)}(x_j) \sum_l P_l(x_j) \right]}$$

k 回調整した時のピクセル i が分類 x_j に属する確率密度を $P_i^{(k)}(x_j)$ ，隣接するピクセルを l とする。こうして，確率密度が 0.7 以下のピクセルを，次の基準を満たすまで繰り返す。

$$|A^{k+1} - A^k| \leq 0$$

A^k は k 回調整した時の不確定ピクセル数である。確定ピクセルと調整したピクセルを重ね合せ，すべてのピクセルの尤度を確定する。それぞれのピクセルは尤度が最大の土地利用形態であるとし（最大尤度原則），これにより土地利用分類図（図3）を作成する。

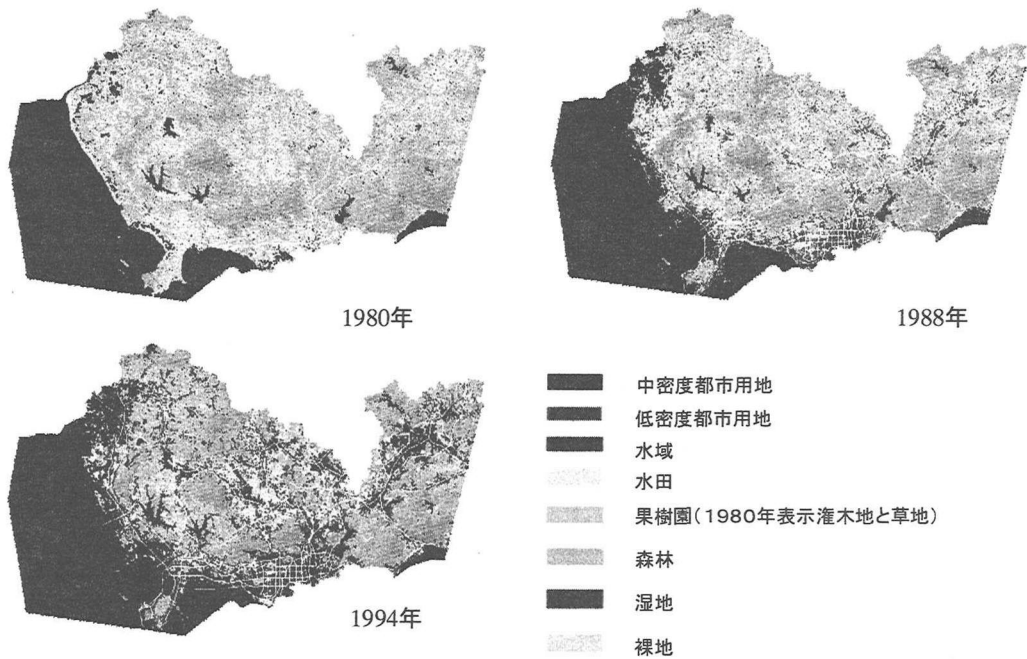


図3 土地利用分類図

2.4 土地利用分類精度の評価

本研究では一般的に利用されているトレーニングデータに対する評価指標として，①Error of Omission and Commission，②PPC(The Proportion of Pixels correctly Classified)，③Kappa の3 指標を採用する。①は各土地利用の類型に対する精度評価指標で，②及び③は全体の精度評価指標である⁷⁾。Error Matrix に基づいて以上の指標を計算した結果を表3，4，5に示す。Probabilistic - relaxation method を適用すると，PPC は3%～5%ほど精度が向上し，1980，1988，1994 の各年で82.88%，88.41%，86.61%となった。Kappa 指標は1980 年を除いて0.8 以上である。

トレーニングデータに対する分類精度はおおむね十分であると判断できたが，低密度都市用地，中密度都市用地，果樹園，湿地においては，Omission error 及び Commission error が高かった。これは，低密度都市用地と中密度都市用地，湿地と水域，森林と果樹園の間などでは，スペクトルが類似 (Spectral Neighbors) していることや，同一ピクセルに異なった土地利用が混在しているために誤分類が生じたためと考えられる。また，レファレンスとして用いることのできる地図が限定されており，その精度が不十分であったことも，誤差を大きくする要因であると考えられる。

分類精度を上げることは今後の課題である。本研究の土地利用変化の要因分析では、誤差が大きい中密度都市用地と湿地は対象としなかった。

2.5 土地利用変化抽出のための演算処理

土地利用分類がどのように変化したかを知るために次の演算処理を行う。まず、1980年に存在した「灌木と草地」は、それ以降には殆ど消失したので、1988年と1994年では無視する。また、1988年以降存在している「果樹園」は、1980年には殆ど存在しなかったため、同年の土地利用の種類には加えない。こうして、各期間でそれぞれ8種類に土地利用を分類する。これらに1から8までの属性番号をつける。次に、前期の土地利用属性を表す番号を10倍し、後期の土地利用属性番号に加え、演算結果として両期の属性変化を表す新たな指標を出力させる。例えば、属性NO. 5のピクセルがNO. 2のピクセルに変化した場合、出力結果はNO. 52となる。

3. 深圳市における土地利用変化の特徴

広範囲における土地利用分布とそのダイナミクスを分析する手段としては、時系列リモートセンシングデータを利用するのが一般的である。ただし、2で述べたとおり一定期間の土地利用変化を追跡する場合、各時期における各種要因の差異を考慮しなければならない。多くの研究で示されているように、土地利用分類及び変化の検出に関する精度が不十分であることが課題として残されているが、Kappa指標でおおむね0.7～0.9程度であれば許容

表3 分類精度の評価結果(1980年)

Reference data \ Classified data	中密度 都市用地	低密度 都市用地	水田	森林	灌木と草地	湿地	裸地	水域	合計	Commission error(%)
中密度都市用地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
低密度都市用地	0	330	5	2	0	14	12	11	374	11.76
水田	0	44	4322	1024	1014	2	8	475	6889	37.26
森林	0	0	178	42025	840	0	0	0	43043	2.37
灌木と草地	0	21	88	8849	9508	26	0	0	18492	48.58
湿地	0	34	0	0	14	438	0	494	980	55.31
裸地	0	41	19	41	1	3	475	0	580	18.10
水域	0	32	5	136	11	9	0	8030	8223	2.35
合計	0	502	4617	52077	11388	492	495	9010	78581	
Omission error(%)	0	34.26	6.39	19.30	16.51	10.98	4.04	10.88		82.88
Kappa	0.71									

単位はピクセル数

表4 分類精度の評価結果(1988年)

Reference data \ Classified data	中密度 都市用地	低密度 都市用地	水田	森林	果樹園	湿地	裸地	水域	合計	Commission error(%)
中密度都市用地	104	16	0	2	1	0	0	0	123	15.45
低密度都市用地	97	2454	92	0	55	36	18	3	2755	10.93
水田	0	432	3799	111	71	8	63	0	4484	15.28
森林	0	1	0	2941	62	0	0	0	3004	2.10
果樹園	2	313	111	268	1698	26	0	9	2427	30.04
湿地	1	39	0	0	7	564	0	222	833	32.29
裸地	0	149	47	0	46	0	1713	0	1955	12.38
水域	1	4	0	5	5	10	0	4524	4549	0.55
合計	205	3408	4049	3327	1945	644	1794	4758	20130	
Omission error(%)	49.27	27.99	6.17	11.60	12.70	12.42	4.52	4.92		88.41
Kappa	0.86									

単位はピクセル数

表5 分類精度の評価結果(1994年)

Reference data \ Classified data	中密度 都市用地	低密度 都市用地	水田	森林	果樹園	湿地	裸地	水域	合計	Commission error(%)
中密度都市用地	520	0	0	0	0	0	0	0	520	0
低密度都市用地	572	5116	51	11	45	91	30	292	6208	17.59
水田	0	475	1678	53	109	0	56	0	2371	29.23
森林	0	0	0	2867	256	0	30	0	3153	9.07
果樹園	0	92	110	213	1015	0	0	9	1439	29.46
湿地	0	0	0	0	0.00	1281	0	138	1419	9.73
裸地	0	288	9	0	0.00	0	2562	0	2859	10.39
水域	0	11	0	117	20.00	55	0	5234	5437	3.73
合計	1092	5982	1848	3261	1445	1427	2678	5673	23406	
Omission error(%)	52.38	14.48	9.20	12.08	29.76	10.23	4.33	7.74		86.61
Kappa	0.84									

単位はピクセル数

できる分類精度(Acceptable Error)とされる⁹⁾。したがって、本研究の分類精度は許容範囲にあると考えられる。しかし、一部の分類については誤差が大きいため、留意する必要がある。

上記に基づいて検出した深圳市の土地利用変化を表6 及び7 に示す。最も顕著に表れているのは、農用地の急速な減少と都市用地の拡大である。

1980年から1988年までの8年間に、中密度都市用地はゼロから2.1平方キロ、低密度都市用地は6.8平方キロから136平方キロに急増している。こうして両者の都市用地が市面積に占める割合は、0.38%から7.74%となった。一方、水田、森林の占有率は1980年にそれぞれ28.0%、22.3%あったものが、20.1%、20.9%に減少している。391平方キロあった灌木林と草地は、8年後には消失し、果樹園(31.6%)、森林(27.3%)、水田(27.7%)などに転換されている。この期間に低密度都市用地に転換された土地のうち、水田から転換されたものは全体の51.3%、森林からのものは12.4%、灌木林からのものが23.7%である。

これに続く1988年から1994年までの6年間にも、前の8年間と同様な変化が見られる。中密度都市用地と低密度都市用地はさらに、それぞれ109%、164.6%増大した。水田、森林、果樹園等の農用地は引き続き減少を続けている。特に、水田は62.5%減少した。この期間に低密度都市用地に転換された土地のそれぞれ、31.7%、10.9%が水田、果樹園からの転換によるものである。

農用地の変化に着目すると、都市の発展に従い収益性の高い商品作物へ農業が転換していく過程を土地利用変化からも伺うことができる。1980年から1988年では、水田が果樹園と水域及び湿地へ、それぞれ138.4平方キロと37.6平方キロ転換されている。水域及び湿地への転換は養殖池に変化したことを意味している¹⁰⁾。1988年から1994年の間にも同様の傾向が見られ、46.9平方キロの水田が果樹園に、27.5平方キロの水田が水域及び湿地に転換されている。果樹園や養殖池の生産性は表8に示すように穀物の6～8倍になるので、このような転換が進むものと考えられる。また、森林は果樹園に、果樹園は水域(養殖池)に転換している。

裸地面積は増大傾向にあり、1980年から1994年の14年間に、18.9平方キロから54.0平方キロと2.85倍に増加している。裸地はほとんど宝安区、龍崗区に分布している。裸地が作られている地点は、工業用地や住宅用地の近

表6 土地利用の変化(1980年～1988年)

1988年	中密度 都市用地	低密度 都市用地	水域	水田	湿地	森林	裸地	果樹園	合計 (占有率)
1980年 中密度都市用地 (変化した割合%) (占有率%)	0 0.00 0.00	0 0.00 0.00	0 0.00 0.00	0 0.00 0.00	0 0.00 0.00	0 0.00 0.00	0 0.00 0.00	0 0.00 0.00	0 0.00 0.00
低密度都市用地 (変化した割合%) (占有率%)	0.36 5.31 17.45	4.79 69.98 3.52	1.04 15.19 0.23	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	0.22 3.15 0.06	0.44 6.37 1.30	0.00 0.00 0.00	6.85 100.00 0.38
水域 (変化した割合%) (占有率%)	0.13 0.03 6.05	5.59 1.23 4.11	422.53 92.74 92.51	4.94 1.08 1.38	14.89 3.27 21.41	2.27 0.50 0.61	1.15 0.25 3.43	4.09 0.90 1.15	455.58 100.00 25.52
水田 (変化した割合%) (占有率%)	1.00 0.20 47.94	69.81 13.98 51.29	15.50 3.10 3.39	183.12 36.67 51.09	26.77 5.36 38.48	46.83 9.38 12.53	17.94 3.59 53.28	138.36 27.71 38.95	499.34 100.00 27.97
湿地 (変化した割合%) (占有率%)	0.00 0.00 0.00	1.68 10.61 1.23	5.61 35.47 1.23	0.14 0.90 0.04	7.31 46.23 10.51	0.00 0.03 0.00	0.43 2.71 1.27	0.64 4.05 0.18	15.81 100.00 0.89
森林 (変化した割合%) (占有率%)	0.20 0.05 9.81	16.84 4.23 12.37	4.93 1.24 1.08	61.69 15.50 17.21	6.51 1.64 9.35	217.33 54.62 58.17	4.70 1.18 13.96	85.72 15.83 24.13	397.92 100.00 22.29
裸地 (変化した割合%) (占有率%)	0.13 0.68 6.17	5.11 27.00 3.75	0.23 1.21 0.05	7.97 42.14 2.22	0.27 1.42 0.39	0.38 2.00 0.10	1.84 9.73 5.46	2.99 15.83 0.84	18.92 100.00 1.06
灌木地と草地 (変化した割合%) (占有率%)	0.26 0.07 12.57	32.31 8.26 23.74	6.90 1.76 1.51	100.57 25.72 28.06	13.81 3.53 19.86	106.61 27.26 28.53	7.17 1.83 21.30	123.41 31.56 34.74	391.05 100.00 21.90
合計 (占有率) 変化率%	2.08 0.12 1888.16	136.12 7.62 1888.16	456.73 25.58 0.25	358.43 20.07 -28.22	69.56 3.90 339.96	373.65 20.93 -6.10	33.67 1.89 77.98	355.21 19.89 -9.16	1785.46 100.00

上段単位はKm²である

表7 土地利用の変化(1988年～1994年)

1994年	中密度 都市用地	低密度 都市用地	水域	水田	湿地	森林	裸地	果樹園	合計 (占有率)
1988年 中密度都市用地 (変化した割合%) (占有率%)	1.84 88.25 42.20	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	0.12 5.76 0.03	0.12 5.99 0.23	0.00 0.00 0.00	2.08 100.00 0.12
低密度都市用地 (変化した割合%) (占有率%)	2.52 1.85 57.80	133.60 98.14 37.10	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	136.12 100.00 7.62
水域 (変化した割合%) (占有率%)	0.00 0.00 0.00	13.32 2.91 3.70	427.00 93.43 85.85	1.72 0.38 1.28	8.82 1.93 46.90	3.56 0.78 0.96	0.56 0.12 1.04	2.05 0.45 0.59	457.03 100.00 25.59
水田 (変化した割合%) (占有率%)	0.00 0.00 0.00	114.24 31.87 31.72	32.17 8.98 6.47	73.85 20.60 55.00	0.38 0.11 2.01	34.58 9.64 9.33	21.44 5.98 39.72	81.78 22.82 23.60	358.42 100.00 20.07
湿地 (変化した割合%) (占有率%)	0.00 0.00 0.00	29.43 42.30 8.17	21.81 31.36 4.39	3.34 4.80 2.49	8.59 12.35 45.68	0.76 1.09 0.20	0.99 1.43 1.84	4.65 6.68 1.34	69.57 100.00 3.90
森林 (変化した割合%) (占有率%)	0.00 0.00 0.00	9.84 2.63 2.73	6.02 1.61 1.21	16.47 4.41 12.26	0.05 0.01 0.24	314.01 84.02 84.80	6.91 1.85 12.80	20.43 5.47 5.90	373.72 100.00 20.93
裸地 (変化した割合%) (占有率%)	0.00 0.00 0.00	20.44 60.71 5.68	0.74 2.20 0.15	3.98 11.83 2.97	0.07 0.22 0.39	0.70 2.09 0.19	6.17 18.31 11.42	1.56 4.64 0.45	33.67 100.00 1.89
果樹園 (変化した割合%) (占有率%)	0.00 0.00 0.00	39.28 11.06 10.91	9.65 2.72 1.94	34.93 9.83 26.01	0.90 0.25 4.77	16.59 4.67 4.48	17.79 5.01 32.96	236.07 66.46 68.12	355.21 100.00 19.89
合計 (占有率) 変化率%	4.36 0.24 109.12	360.14 20.17 164.58	497.40 27.85 8.83	134.28 7.52 -62.53	18.81 1.05 -72.96	370.30 20.74 -0.92	53.99 3.02 60.36	346.54 19.40 -2.44	1785.83 100.00

上段単位はKm²である

傍が多く、将来的な土地利用転換が期待される地点と考えられる。ただし、裸地のすべてが都市用地に転換されるわけではない。1980年から1988年の間で都市用地に転換された裸地は27.7%、1988年から1994年の間では、60.7%にすぎなかった。

各時点における土地利用の空間的特性を分析するため、土地利用類型別のパッチ数、パッチの平均面積、パッチ面積の標準偏差を求める(表9)。パッチとは、同一の土地利用形態で連続するピクセルの集合体をいう。都市用地のパッチについてみると、パッチ数が増加しているだけでなく、平均面積も拡大する傾向にある。水田はパッチ数が増加しているものの、平均面積は減少しており、細分化されつつあることがわかる。

水田を中心とする農用地は、急速に減少・細分化している。このような傾向は、中国沿海部に一般的に見られる現象であると考えられる。これは、農業生産の近代化と拡大の阻害要因となり、今後の中国の食料需給を考える上での課題になる懸念を抱かせるものである。

表6、7では、都市用地から森林、森林から湿地のように、現実的とは考えがたい土地利用変換も検出されている。これは分類と幾何補正時の誤差により生じたものと考えられる。

表8 広東省における単位土地当たり生産値

	穀物	野菜	果物	魚、貝、海老など
生産値(億元)	96	95	89	88
面積(千ヘクタール)	3,413	765	489	417
単位面積の生産値(元/ha)	2,800	12,379	18,162	21,012

表9 各年の土地利用の空間特性

年代	土地利用の類型	面積(Km ²)	Patch数	Patchの平均面積	Patchの標準偏差
1980年	低密度都市用地	6.85	313	0.02	0.04
	水田	499.34	2135	0.23	5.69
	森林	397.92	5188	0.08	1.47
	灌木地と草地	391.05	4927	0.08	0.44
	湿地	15.81	91	0.17	0.68
	裸地	18.92	623	0.03	0.07
	水域	455.58	352	1.30	21.54
1988年	中密度都市用地	2.08	110	0.02	0.03
	低密度都市用地	136.12	1416	0.10	0.84
	水田	358.43	3404	0.11	1.77
	森林	373.65	1645	0.23	3.07
	果樹園	355.21	4990	0.07	1.01
	湿地	69.56	714	0.10	1.42
	裸地	33.67	929	0.04	0.08
1994年	中密度都市用地	456.73	867	0.53	12.15
	低密度都市用地	4.36	87	0.05	0.09
	水田	360.14	1516	0.24	6.81
	森林	134.28	2811	0.05	0.12
	果樹園	370.30	1231	0.30	3.09
	湿地	346.54	2934	0.12	1.01
	裸地	18.81	201	0.09	0.34
	水域	53.99	782	0.07	0.23
		497.40	740	0.67	13.15

4. 土地利用変化の要因分析

土地利用変化の要因としては、社会・経済的状況、地理的位置、傾斜や植生、気候などの自然条件、期首の土地利用、土地利用政策などがある。このうち、社会・経済的状況、気候、土地利用政策は土地利用変化のドライビングフォース(外的要因)といえる。また、地理的位置、傾斜、植生、期首の土地利用などは、外部から加わったドライビングフォースを土地利用変化に転換するカウンターフォース(内的要因)である¹⁴⁾。ここでは、深圳市のドライビングフォースと土地利用変化の関係をマクロ的データで解析することを試みる。続いて、上記の衛星データの解析から得られたミクロな土地利用変化を、カウンターフォースで解析することを試みる。

4.1 ドライビングフォース(外的要因)

深圳市における都市用地の急速な拡大を、経済発展、都市人口の増加、外資の導入、産業構造の変化との関係で解析する。被説明変数は建成区面積とする。

建成区とは、「都市の建築物や公共施設が基本的に連続して広がっている地区」を指し、基本的には市街地とみなすことができる地域である。解析期間は1980から1994年までとし、同期間におけるGDP、基本建設投資額、外資の利用額、都市人口、第三次産業の総生産に占める割合を説明変数として多変量解析を行う。ここで、基本建設投資額とは、「日本の政府・民間設備投資に近い」が、「固定資産の拡大再生産に資するもの」を指し、「減耗価値の回復をはかる投資」¹⁵⁾は含まれないものを指す。データの完備性を考慮して深圳経済特区のみを対象とし、変数は要因変更法(Stepwise Regression)で選択する。

$$Y_0 = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n$$

結果を表10に示す。1%で有意な重回関係数(0.984)が得られた。このことから、経済特区における土地利用

表10 ドライビングフォースの重回帰分析結果

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	T値	P値	判定	標準誤差	偏相関	単相関
都市人口	0.544	0.848	45.475	6.744	0.000	**	0.081	0.905	0.946
第三産業の割合	1.469	0.173	6.431	2.536	0.030	*	0.579	0.626	0.149
外資利用値	5.066	0.569	11.974	3.460	0.006	**	1.464	0.738	0.865
基本建設投資	-0.055	-0.432	3.877	1.969	0.077		0.028	-0.529	0.798
定数項	-73.009		11.993	3.463	0.006	**	21.082		
精度									
分散分析表									
決定係数		0.977	要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F値	P値	判定
修正決定係数		0.968	回帰変動	11754.605	4.000	2938.651	106.300	0.000	**
重相関係数		0.988	誤差変動	276.449	10.000	27.645			
修正重相関係数		0.984	全体変動	12031.053	14.000				

変化のドライビングフォースには都市人口の増加（都市化）、第三産業及び外資の利用額があることがわかった。

4.2 カウンター・フォース（内的要因）

次に、このような外的ドライビングフォースを受けた土地の変化を決定するカウンターフォースについて解析する。ここでは、以下のパラメータを説明変数とする。まず、交通条件の指標として、主要交通線（一級道路、高速道路、鉄道）への最短距離を用いる。次に、経済の中心である都市中心部までのコスト距離を説明変数とする。コスト距離とは、交通線の属性を考慮し、Arc/Infoのcost distance関数で求めたものである。自然条件としては、傾斜度と標高を用いる。対象地周辺の土地利用形態は、対象地の利用形態にも影響を及ぼすと考えられることから、期首における対象地から各種の土地利用形態までの最短距離を説明変数に加える。以上の変数を各ビクセル毎に求め、パッチ毎に平均値を算出する。被説明変数は、期首の水田、灌木林と草地、裸地、森林、果樹園に属する各パッチの他の土地利用への変化率とする。変数の選択は要因変更法で行う。

結果を表11及び表12に示す。1980～1988年の間に各種の土地が低密度都市用地に変化した要因として、期首の都市用地までの距離、都市中心部までの距離、傾斜度、交通線への距離が有意であった。期首の都市用地や都市中心部に近く、交通が便利で、傾斜度が小さい地域が低密度都市用地に変化する傾向が強い。水田から水域（養殖場）、果樹園への変化は標高、傾斜度、交通線への距離、期首の土地利用に影響を受けている。水田から裸地への変化は有意に説明することはできなかった。裸地は都市用地やその他の農用地に変化する前の過渡的な状態とも考えられ、裸地への変化は多くの要因が複雑に影響しているものと考えられる。水田から森林への転換は一般的には考えにくい現象であるが、深圳市では市内及び香港の生活用水源地であるダムの水の農業と化学肥料による汚染を防止するため、政府が80年代からダム周辺部において農地を買い上げて植林を行っているために観察されていると考えられる（現地でのヒアリング調査による）。森林から水田、果樹園への転換は、交通条件と傾斜度に左右されている。特に交通条件が果樹園への転換に大きな影響を与える要因となっている。水田に隣接する森林は、水田に転換される傾向が強い。また、裸地が都市用地あるいは水田に転換される

表 11 カウンターフォースの重回帰分析結果（1980年～1988年）

1980～1988年	主要交通線への最短距離	都市中心部へのコスト距離	標高	傾斜度	1980年の都市用地への最短距離	1980年の水域への最短距離	1980年の森林への最短距離	1980年の水田への最短距離	1980年の裸地への最短距離	定数項	修正済重相関係数
水田～低密度都市用地	-0.137	-0.283		-0.229	-0.247					45.60	0.48
水田～水域			-0.191	0.152		-0.375				5.48	0.35
水田～森林	0.392		0.295				-0.151			10.86	0.62
水田～裸地											有意でない
水田～果樹園	-0.163		-0.148	0.138						45.39	0.27
森林～低密度都市用地	-0.158	-0.241	-0.184	-0.412					-0.104	31.21	0.43
森林～水田	-0.114	0.172		-0.294						25.17	0.49
森林～果樹園	-0.271			-0.145						41.80	0.32
裸地～低密度都市用地			-0.695						0.284	36.30	0.76
裸地～水田			0.348						-0.353	73.15	0.62
灌木林と草地～水田	-0.249	-0.339	-0.220		-0.260					43.76	0.52
灌木林と草地～低密度都市用地											
灌木林と草地～水田	-0.275	0.402		-0.108				-0.145		23.92	0.43
灌木林と草地～森林	0.439		0.205	0.093	0.077		-0.189			32.04	0.73
灌木林と草地～裸地		-0.185								14.55	0.27
灌木林と草地～果樹園	-0.283		-0.084		0.129				-0.122	41.32	0.34

太字1%有意 標準字5%有意

表 12 カウンターフォースの重回帰分析結果（1988年～1994年）

1988～1994年	主要交通線への最短距離	都市中心部へのコスト距離	標高	傾斜度	1988年の都市用地への最短距離	1988年の水域への最短距離	1988年の森林への最短距離	1988年の水田への最短距離	1988年の裸地への最短距離	1988年の果樹園への最短距離	定数項	修正済重相関係数
水田～低密度都市用地			-0.178	-0.073	-0.523						56.7	0.54
水田～水域					0.157	-0.421					15.5	0.51
水田～森林	0.269				0.385	-0.216	-0.140				-0.8	0.73
水田～裸地	-0.194			-0.218	0.355						-0.9	0.58
水田～果樹園	0.098								-0.288		49.7	0.28
森林～低密度都市用地	-0.247		-0.142	0.437	-0.318						23.80	0.47
森林～水田				-0.302				-0.208			20.1	0.37
森林～果樹園	-0.219	0.073		-0.181	0.191					-0.277	38.4	0.41
裸地～低密度都市用地				-0.216	-0.685						115.8	0.72
果樹園～低密度都市用地	-0.251	-0.150		-0.153	-0.218						47.0	0.53
果樹園～水田												有意でない
果樹園～森林			0.141	0.279	0.161		-0.211	0.151			1.0	0.60
果樹園～裸地	-0.327	-0.211		-0.182					-0.352		26.4	0.62

太字1%有意 標準字5%有意

の距離と期首水田への距離で主に決定される。これらの重相関係数はそれぞれ、0.76及び0.62であった。都市中心部に近接する裸地は都市用地に転換される傾向が強く、水田には転換されにくい。灌木林と草地が土地利用転換されるか否かは、都市への近接性、標高、斜度、期首の水田への距離と密接な関係があった。都市中心部から森林に至るまで、交通条件が変化するのに伴い都市用地が造成され、さらに果樹園、水田、森林の変化が発生するパターンが見られる。これは、チューネン環の傾向と一致している。

1988年から1994年まででは、前の期間より各回帰式の重相関係数が高くなり、上記で得られた傾向がさらに強まったことがうかがえる。しかし、各説明変数の有意性を比較すると、交通線への距離と都市中心部へのコスト距離因子の有意性が低下している。交通インフラが整備され、かつ都市機能が分散化されたことにより、都市中心部の的重要性が低下したためと考えられる。対照的に、期首の都市用地への距離と傾斜度の土地利用に対する影響が

強まっている。各土地利用の変化類型の空間分布は前の期間と基本的に一致している。

4.3 土地利用に関する社会的・制度的背景

深圳市の土地利用の要因としてのドライビングフォース及びカウンターフォースを上記では示したが、これらの力が実際に土地利用を変化させるか否かについては、その社会的・制度的背景が大きな役割を果たしている。以前の中国であれば、土地に関する使用権の譲渡等は全く認められていなかったから、どれほど強力な力が働いても土地利用の大規模な転換は不可能であった。

しかし、1980年以降、中国の土地制度は大きく変化し、土地使用権の有償譲渡が認められ、都市の土地市場が形成されるようになった。深圳市では、土地使用料の徴収と有償譲渡は、全国に先駆けて1982年と1987年から行われている。こうして、都市における土地利用転換を妨げる制度が大幅に緩和された。

一方、農村では1980年代に人民公社制度が崩壊してから、土地所有権は地域コミュニティに移管されるようになった。深圳市では、農外所得が増加するにしたがって、農民の間には土地を資産として運用しようとするインセンティブが高まっている。農民は、政府の許可を得た土地利用の転用、収容補償費を受けての政府への土地供出、土地の使用権を担保とした合弁企業への参画などにより、耕地の転用を行うことになった¹³⁾。

さらに、1980年に深圳市域内に経済特区が指定されてからは、香港に拠点を置いていた外資企業が、労働集約的な生産部門を移転させるようになった。外資企業の進出と人口の増加に伴い、工場の建物やインフラのほか、出稼ぎ労働者を収容するための宿舍なども建設されるようになり、深圳市における土地需要は急速に高まった。市当局としても、土地使用権や使用料収入が重要な財源となったために、土地の開発を積極的に進めていった。政府機関の一部は自ら不動産開発企業を設立し、多くの収入を得るようになった。

こうして、外資企業による土地の需要と、農民による農地転換へのインセンティブが高まり、急速な土地利用転換の原動力となった。一方で、このような開発圧力に押され、政府が都市計画を適正に推進することは困難になった。同市の特区以外の地域には土地利用計画が存在しない（深圳市当局に対するヒアリングによる）うえに、農村部には政府の指導が届かなかった。したがって、農村部における地域コミュニティは、より多くの外資企業を誘致するため、各種の政策と規制を無視して農地の転用を行っている。これが、本研究で示した水田の他の土地利用への大規模な転換の要因となっている。しかし、土地利用計画が存在しないため、3で示したように都市用地に転換されない裸地が造成されるなど、場当たり的な土地利用転換も観測される結果となっていると考えられる。

5 まとめ

本研究では、経済発展に伴って急速に変化する中国深圳市の土地利用変化を、衛星データ及び諸条件を用いて解析することを試みた。同市の都市計画の実効性は必ずしも十分でなく、結果として、土地利用転換は強い規制を受けず、各種の経済状況や土地の自然条件などがこれを決定する主要因になっていると考えられる。

土地利用変化の外的な要因としてドライビングフォースとしては、都市人口、産業構造の変化、外資の投入が大きいことが明らかになった。これらのドライビングフォースによって、上下水道や電力供給設備、道路といった社会インフラが整備されてきた。一方、カウンターフォースとしては、都市中心部や交通線への最短距離、傾斜度、近接する都市用地への最短距離などがあげられた。

これらの結果をまとめると、図4になる。農地、森林などが経済発展とともに都市用地に転換される。一方、水田は、都市で発生した消費需要のため、より経済性の高い果樹園や養殖場に変化する。深圳市では経済発展の速度が極めて速く、土地利用をコントロールする政策が十分に機能してこなかったため、土地利用転換を促す諸因子の効果が直ちに土地利用の変化をもたらしたという結果が示されている。

本研究では、ドライビングフォースとカウンターフォースを統合した土地利用転換のモデルを作成するまでには至らなかった。主要なドライビングフォース因子については、行政区画毎のマクロデータしか存在しないために、メッシュ単位でのミクロな解析の実行は難しい現状にある。ま

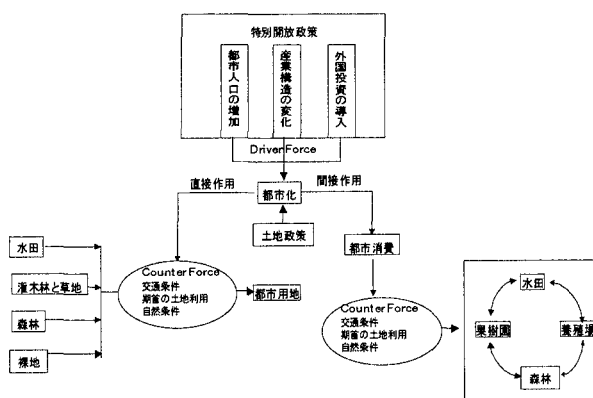


図4 深圳市における土地利用変化のメカニズム

た、土地政策の効果を定量的に表すことができなかったため、これについての分析は定性的な考察に止まらざるをえなかった。土地利用のメカニズムを解明する研究としては、既に多くの論文が発表されているが、いずれも、同様な課題を抱えている¹⁴⁾¹⁵⁾。特に深圳市の場合には、市全体の土地利用計画は存在せず、特区内については土地利用計画が存在するもののその内容は非公開とされている。このため、計画の実効性等を十分に検証するには至らなかった。経済発展状況とともに、土地利用政策などの効果も考慮したモデルを作成することが、今後の課題である。

謝辞

本研究の実施にあたり、北京師範大学の史培軍教授に衛星データをご提供頂いた。九州大学工学部の金子慎治氏からは、論文作成にあたりご意見をいただき、田代茂樹氏にはデータ入力に関してご協力頂いた。ここに記して感謝する。

参考文献

- 1) B.L.Turner II, David skole .etc: Land-use and Land-cover Change Science/Research Plan, IGBP Report NO.35 and IHDP Report No.7, 1995
- 2) John R.Jenson, Dave Cowen .etc: Principles of Change Detection using Digital Remote Sensor Data, Integration of Geographic Information Systems and Remote Sensing, Cambridge University Press, 1997
- 3) Ashbindu Singh, Digital Change Detection Techniques using Remote-sensed Data, INT.J. REMOTE SENSING, Vol.10, No.6 1989
- 4) Kittler, J., E.R.Hancock, Combining Evidence in probabilistic Relaxation, INT.J. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Vol. 3. No.1, 1989
- 5) Christopher D.Elvidge, Ding Yuan .etc: Relative Radiometric Normalization of Landsat Multispectral Scanner(MSS) Data using an Automatic Scattergram-controlled Regression, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.61, No.10, 1995
- 6) 大林成行: 時系列解析モデルを用いた都市の発展経緯把握への適用事例, 実務者のためのリモートセンシング, フジ・テクノシステム, 1994年
- 7) Lucas L.F. Janssen and Frans J.M.van .etc: Accuracy Assessment of Satellite Derived Land-cover Data : a Review, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.60, No.4, 1994
- 8) W.Z. Shi, M.Ehlers: Determining Uncertainties and their Propagation in Dynamic Change Detection based on Classified Remotely-sensed Images, INT.J. REMOTE SENSING, Vol.17, No.14, 1996
- 9) M.Langford,W.Bell: Land Cover Mapping in a Tropical Hillside Environment: a Case study in the Cauca Region of Colombia, INT.J. REMOTE SENSING, Vol.18, No.6, 1997
- 10) 三井田圭右, 中国深圳市経済特区, 大明堂, 1994年版
- 11) 星野 敏: 土地利用変化の要因に関する統計的分析ー広域土地利用モデル開発のための基礎的研究, 環境システム, Vol 25, 1997
- 12) 小島麗逸: 中国経済統計・経済法解説, アジア経済研究所, p. 47, 1989
- 13) 小野寺, 中国における土地制度改革と都市形成, アジア経済 Vol 37 No. 9, アジア経済研究所, 1996
- 14) Virginia H. Dale.etc: Causes and Effects of Land-use Change in Central Rondonia, Brazil, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.59, No.6, 1993
- 15) Isabelle Poudevigne .etc : Dynamic of Rural Landscapes and their main Driving Factor: a Case Study in Seine Valley, Normandy, France, Landscape and Urban Planning 38, 1997
- 16) 中国国家统计局: 深圳市統計年鑑 1980-1995年