

**第6章 空間相互作用モデルを応用した  
市街地分布影響モデルの導出と適用**

- 6.1. はじめに
- 6.2. 重力モデルと市街地分布影響モデルの導出
- 6.3. 最小二乗法による係数  $\beta$  の算出
- 6.4. モデルの適用
- 6.5. 再現性の検討
- 6.6. 土地利用変化との関連性
- 6.7. まとめ

## 6.1. はじめに

(研究の背景と目的および既往関連研究の整理)

空間相互作用モデルは、空間的な位置関係により人間活動と施設の分布あるいは商圈などを定量的に把握し、その関係性を明らかにしようとするために開発された、数理的モデルである。この手法は空間相互作用モデルと一般的に呼ばれているが、中には重力モデル、ハフモデル、エントロピー、ロジットモデルなどがあり、その応用分野としては前記のとおりである。人間活動や施設との関連などを扱った例としては、多くの蓄積がある。また、土地利用では空間相互作用モデルではないが、ポテンシャルの概念を用いた緑地環境評価を行った岩見<sup>6-1)</sup>らの例がある。しかしながら、土地利用分布や緑地環境評価において空間相互作用モデルを応用した適用例<sup>6-2) 6-3)</sup>はあまりみられない。一般的に、市街地が拡散・拡大することにより、緑環境の衰退が起きるとされているが、市街地が緑環境に及ぼす影響度の調査を定量的に把握することが可能になれば、明確にかつ局所的な緑環境保全のための指針を示すことが可能となるはずである。

そこで本章では、市街地が及ぼす影響の範囲を定量的に把握するために、市街地分布影響モデルの導出と適用を行い、その影響の範囲における、経年的な緑環境変化や他の土地利用変化構造の態様を明らかにすることを目的としている。

## 6.2. 重力モデルと市街地分布影響モデルの導出

(1) 重力モデルについて

ある緑環境に影響を及ぼす市街地が地点  $P_1$  と  $P_2$  にあるとしよう。ニュートンの法則による重力モデルを応用すると、 $P_1$  と  $P_2$  の  $G$  への影響力をそれぞれ  $I_a$ 、 $I_b$ 、 $P_1$  と  $P_2$  の市街地量をそれぞれ  $B_a$ 、 $B_b$ 、 $P_1$  と  $P_2$  からの  $G$  までの距離を  $X$  とすると、

$$I_a = k \cdot \frac{B_a}{X^2}$$

$$I_b = k \cdot \frac{B_b}{(m-X)^2}$$

$G$  において、 $I_a$ 、 $I_b$  の影響力が等しいとすれば、 $I_a = I_b$  であるから、すなわち境界距離  $X$  は、

$$X = m \cdot \frac{\sqrt{B_a}}{\sqrt{B_a} + \sqrt{B_b}}$$

とすることができる。<sup>6-4) 6-5)</sup>

(2) 市街地分布影響モデルの導出

ここで、市街地が及ぼす影響度  $I$  を考えてみる。影響度  $I$  を式(1)のように定義することにする ( $B$  は市街地量、 $X$  は中心メッシュからの距離)。すなわち、係数  $k$  が大きくなれば減衰が大きくなり、定数  $k$  が小さくなれば減衰は小さくなるということである。しかしながら、市街地が及ぼす影響は必ずしもニュートンの引力の法則を用いて、2乗に反比例するとは考えられない。

$$I \propto \frac{B}{X^b} \dots (1)$$

ここで、係数  $b$  を考える。一般的に実際の調査により、 $b$  を決定することになるが、土地利用においてその影響の範囲を定めることは、極めて困難である。したがって、ここで土地利用の内在的な特性、すなわち植生の活性度を示す NDVI を用いることで、 $b$  の導出を試みることにする。NDVI は市街地、緑地に係らずその特性値を持つことができる、一般性のある指標である。これにより NDVI を定義すると、次式となる。

$$NDVI_{xy} = \sum_{i=x-n}^{x+n} \sum_{j=y-n}^{y+n} \frac{NDVI_{ij}}{X_{ij}^b}$$

この両辺を対数変換し、最小二乗法により  $b$  を算出する。

$$b = \frac{\sum x_{ij} y_{ij} - n \bar{x} \bar{y}}{\sum x_{ij}^2 - n \bar{x}^2} \dots (2)$$

市街地の影響度  $I_{xy}$  を式(3)により算出する。 $d_{ij}$  は名目尺度（市街地であるか否か）を示す変数である。 $B_{xy}$  は市街地量、 $X_{ij}$  は中心メッシュからの距離である。また、本論で用いる土地利用のデータは、Landsat TM-5 より作成した大分市の1987年と1998年の土地被覆分類を用いることとする。

$$I_{xy} = \sum_{i=x-n}^{x+n} \sum_{j=y-n}^{y+n} d_{ij} \frac{B_{xy}}{X_{ij}^b} \dots (3)$$

### 6.3. 最小二乗法による係数 $b$ の算出

(1) 係数  $b$  の変動（1987年と1998年において）

式(2)により  $b$  の算出を測定範囲（ $W$ ）1メッシュから50メッシュまでに行った（図6-1）。このときの  $b$  の変動をみしてみる。

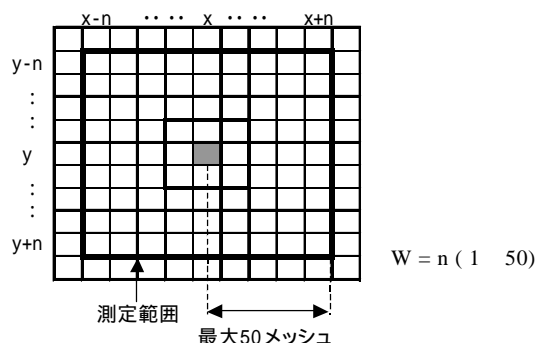


図6-1. 係数  $b$  の測定範囲

図6-2、図6-3は各年次における測定範囲別の係数  $b$  の変動を示したものである。これより、係数  $b$  は測定範囲の拡大によりほぼ0に収束することが推測できる。

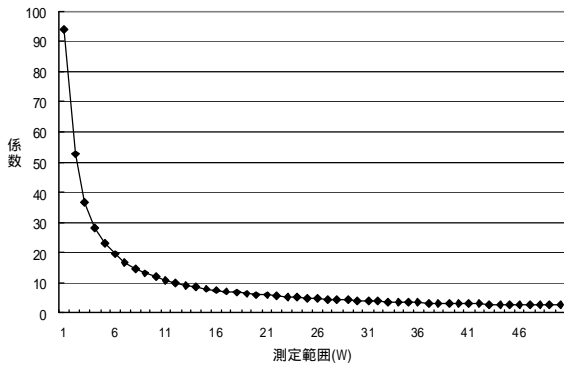


図6-2. 係数の変動  
(1987年測定範囲別)

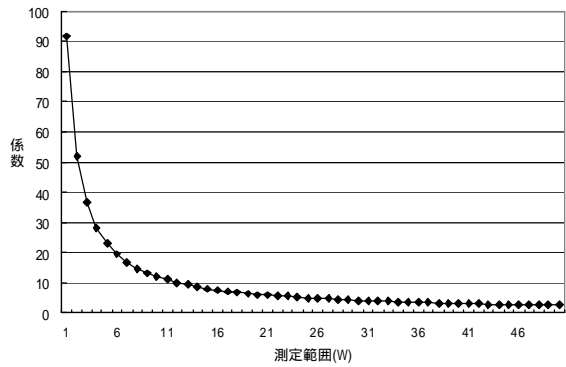


図6-3. 係数の変動  
(1998年測定範囲別)

(2) 係数 と他指標の相関

ここでは、前項で算出した係数 と同測定範囲における市街地量、緑量の相関関係をみることにする。相関係数はいずれも1%水準で有意である。

各係数 において、式(3)により影響度  $I$  を算出した結果(図6-4、図6-5)、市街地量と緑地量の相関係数が最も高いのは、 $W=49$  のときで、 が約 2.6 程度とした場合であることがわかる。この結果から係数 を 2.6 として影響度  $I$  を計測することとする。

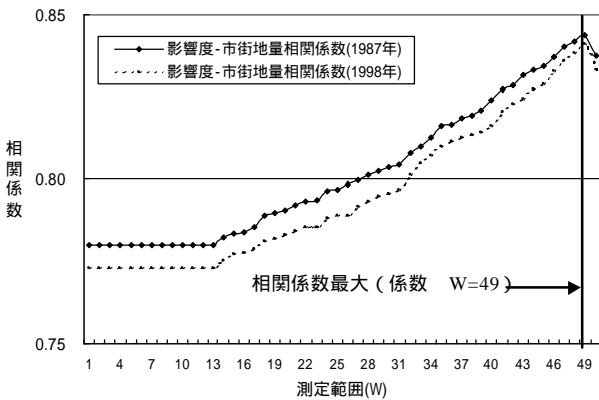


図6-4. 相関係数の変動  
(係数 毎の影響度  $I$  - 市街地量)

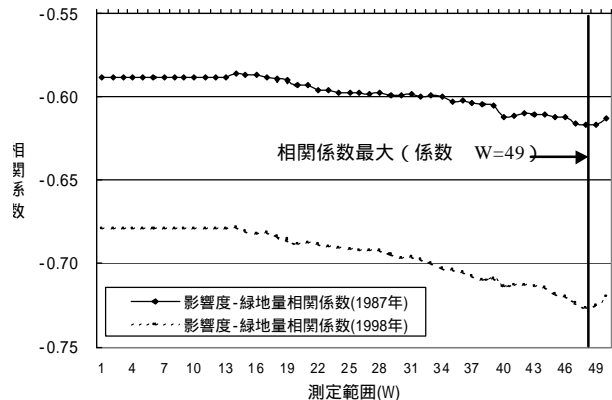


図6-5. 相関係数の変動  
(係数 毎の影響度  $I$  - 緑地量)

6.4. モデルの適用

係数 を 2.6 として各年次に適用した市街地分布影響モデルの結果を図6-6、図6-7に、集計結果を表6-1に示す。各レベルは、表6-2の分類による。また、影響度  $I$  の算出時には、一旦50mメッシュを250mメッシュのカテゴリー構成データとして変換している。

この結果から、市街地の拡大と同時に、影響度の高い地点も拡大していることがわかる。また、市街地量の増加と緑地量の減少による影響度の増加も把握できる(図6-8~図6-11)。

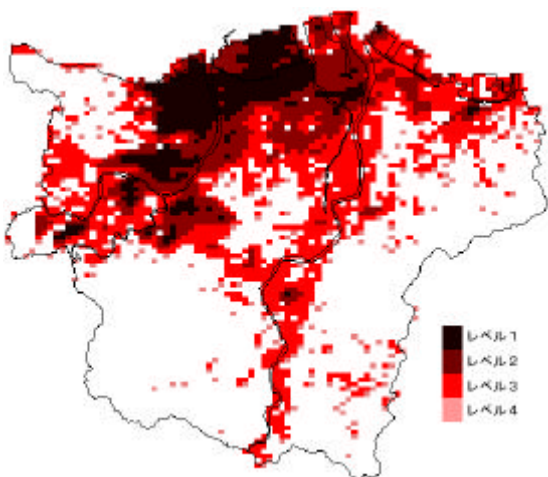


図6-6 . 1987年の影響度 I (実測値) の分布

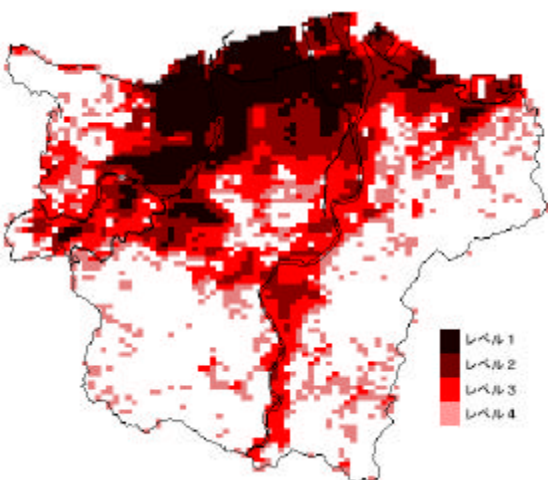


図6-7 . 1998年の影響度 I (実測値) の分布

表6-1 . 影響度 I (実測値) 集計結果

影響度 I	1987年	1998年
平均値	23.00	35.00
標準偏差	22.05	27.98
レベル1	431	693
レベル2	665	824
レベル3	1312	988
レベル4	190	716

レベルはメッシュ数

表6-2 . 各レベルにおける影響度 I の範囲

レベル	SD + AVG	I
レベル1		$I < SD + AVG$
レベル2	AVG	$I < AVG$
レベル3	AVG - SD	$I < AVG - SD$
レベル4		$I < AVG - SD$

AVG=平均値、SD=標準偏差

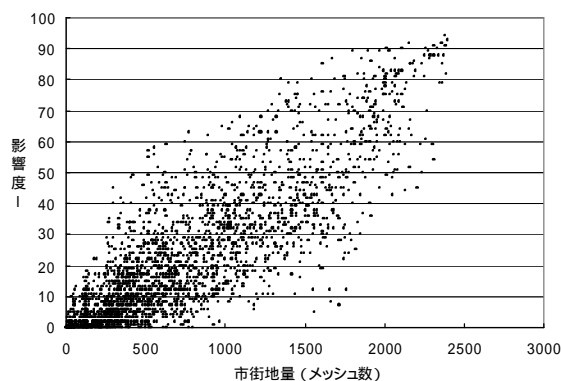


図6-8 . 影響度 I - 市街地量 (1987年)

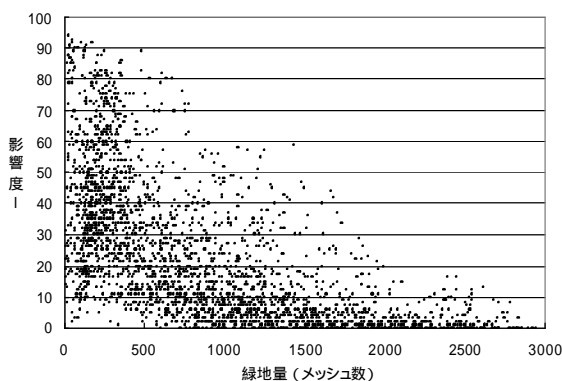


図6-9 . 影響度 I - 緑地量 (1987年)

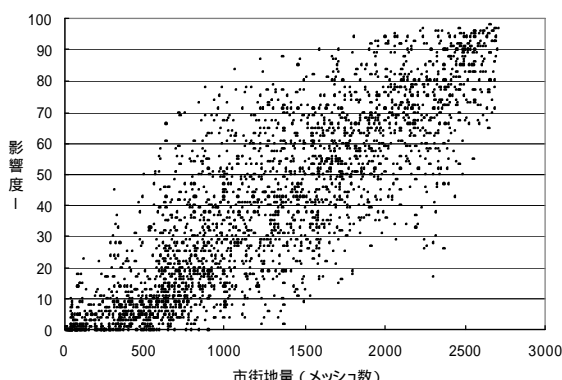


図6-10 . 影響度 I - 市街地量 (1998年)

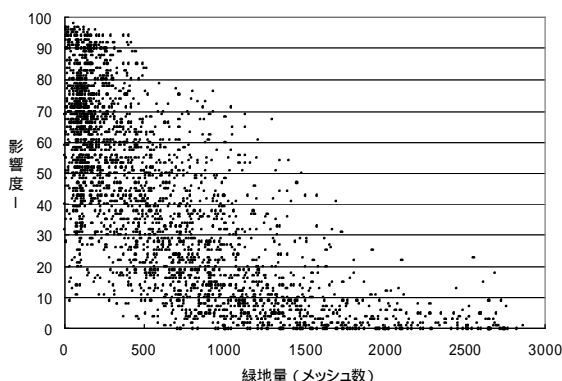


図6-11 . 影響度 I - 緑地量 (1998年)

### 6.5. 再現性の検討

従属変数を影響度  $I_{xy}$ 、説明変数を市街地量 ( $B_{xy}$ )、緑地量 ( $G_{xy}$ ) として、重回帰分析により推定値を算出した。このとき、各年次の重相関係数、決定係数は表 6 - 3 に示す結果となった。

表 6 - 3 . 重回帰分析結果

年次	重相関係数	決定係数
1987年	0.925	0.856
1998年	0.937	0.878

重回帰分析結果より得られた推定式は次のとおりである。 $I_{1987(xy)}$  と  $I_{1998(xy)}$  は、それぞれ 1987 年と 1998 年の影響度  $I$  の推定値である。

$$I_{1987(ij)} = 0.440 \times B_{ij} - 0.044 \times G_{ij} + 32.921$$

$$I_{1998(ij)} = 0.421 \times B_{ij} - 0.085 \times G_{ij} + 98.560$$

この式により得られる、各年次の推定値の分布図を図 6 - 1 2、図 6 - 1 3 に、集計結果を表 6 - 4 に示す。実測値の結果と比較しても、良好な結果が得られたといえる。

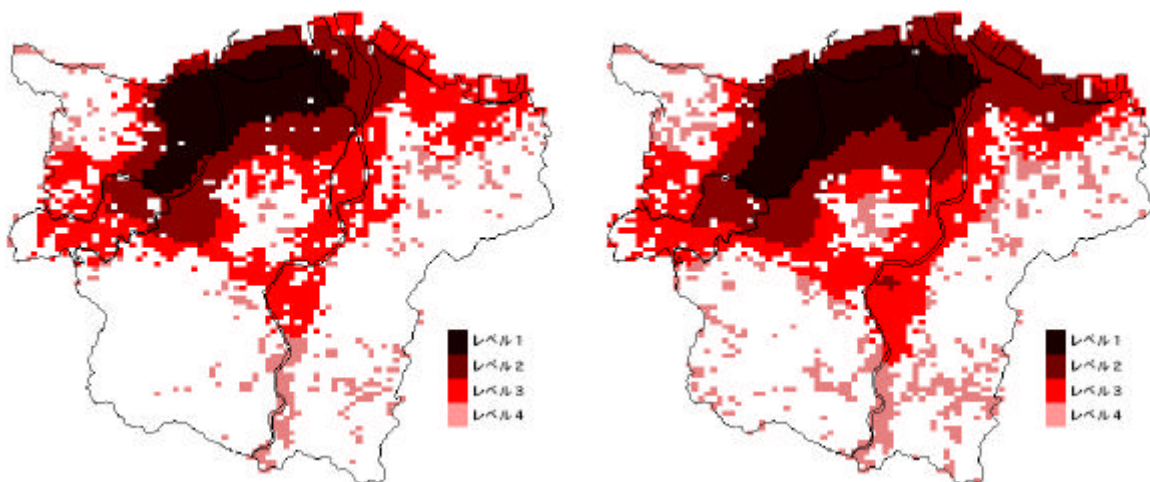


図 6 - 1 2 . 1987 年の影響度  $I$  (推定値) 分布 図 6 - 1 3 . 1998 年の影響度  $I$  (推定値) 分布

表 6 - 4 . 影響度  $I$  (推定値) 集計結果

影響度 $I$	1987年	1998年
平均値	23.00	34.00
標準偏差	18.61	25.43
レベル1	498	664
レベル2	627	883
レベル3	1124	1066
レベル4	349	608

レベルはメッシュ数

### 6.6. 土地利用変化との関連性

ここでは、市街地分布影響モデルの結果と、他の土地利用変化の関連性をみることにする。影響度  $I$  が変化を見せている地点や地域は、何らかの土地利用変化が起きているはずである。すなわち、市

街地の分布変化がどの土地利用の変化と密接に関連しているのかを明確に把握することで、土地利用の変化構造を明らかにし得るはずである。

影響度  $I$  と同じ測定範囲における各土地利用の変化量を測定した。変化量は影響度  $I$  の測定範囲内において、各土地利用の 1998 年の 50m メッシュ数から 1987 年の 50m メッシュ数を差し引いた値である。NDVI と影響度  $I$  についても同様である。各変量間の相関係数を算出した（表 6 - 5）。相関係数は、いずれも 1% 水準で有意である。

表 6 - 5 . 各変量間の相関係数

	変化量							影響度 (1987年)	影響度 (1998年)
	市街地	緑地	水田	畑地	草地	NDVI	影響度		
市街地									
緑地	-0.001								
水田	-0.215	-0.427							
畑地	-0.822	-0.064	-0.228						
草地	-0.554	-0.585	0.170	0.488					
NDVI	-0.310	0.396	0.312	0.025	-0.173				
影響度 $I$	0.444	0.156	-0.336	-0.297	-0.239	-0.236			
影響度 $I$ (1987)	0.218	0.232	-0.351	-0.102	-0.173	-0.214	0.511		
影響度 $I$ (1998)	0.349	0.231	-0.394	-0.204	-0.227	-0.254	0.801	0.924	

相関係数は1%水準で有意

( 1 ) 各土地利用間の関連性

まず、各土地利用間の関連性をみることにする。市街地の変化について最も高い相関を示しているのが畑地であり、次いで草地となっている。また、市街地が増加することで、植生の活性度を示す NDVI も減少することがわかる。ここでは、緑地の変化に顕著な関連性があるとは認められない。

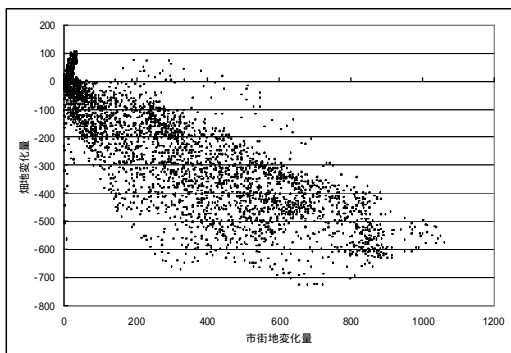


図 6 - 1 4 . 市街地変化量 - 畑地変化量

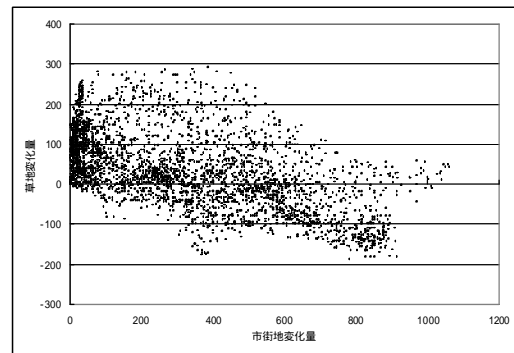


図 6 - 1 5 . 市街地変化量 - 草地変化量

緑地に関しては草地、水田の順で相関が高くなっている。また、緑地と NDVI は正の相関がみられる。すなわち、緑地が減少すれば、NDVI も低下するということである。これは、水田でも同様な傾向がみられる。

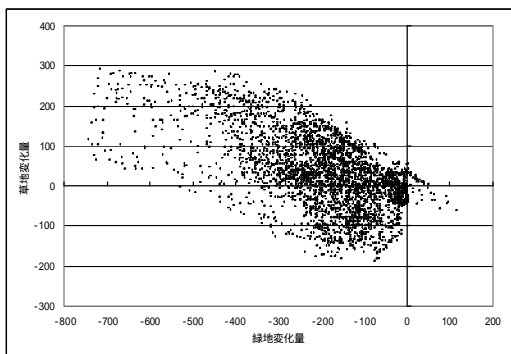


図 6 - 1 6 . 緑地変化量 - 草地変化量

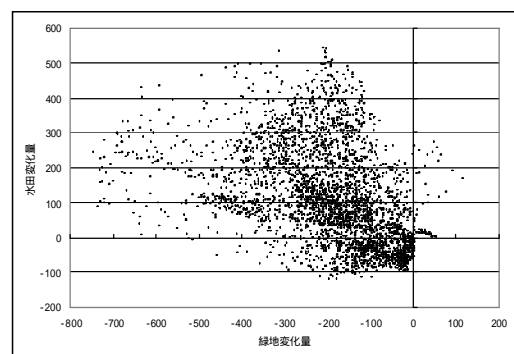


図 6 - 1 7 . 緑地変化量 - 水田変化量

(2) 影響度  $I$  と各土地利用の関連性

影響度との関連をみると、市街地の増加について正の相関がみられる。緑地でも正の相関を示しているが相関係数は非常に低い。水田や畑地、草地については負の相関となっており、水田が最も高い値を示している。(1)の結果を考慮すると、これはすなわち、生産系緑地などから市街地へと変化する、段階的な土地利用変化の構造を端的に示しているものと考えられる。

また、NDVIについても、影響度の増加と共に減少することがみてとれる。したがって、直接的に緑地そのものの減少と関連しているとの結論は付け難いが、植生の低下に少なからず影響を及ぼしていることを表すものと解釈ができる。

6.7. まとめ

本章では、重力モデルを応用した市街地分布影響モデルの導出と適用を行った。その結果として、市街地の影響度を算出でき、さらにその再現性を検討して、良好な結果であることを確認した。さらに、影響度  $I$  と他の変量間の関連性についても考察を行い、土地利用の変化構造を端的に表す結果が得られた。

以下の3点についてさらに検証を行う必要がある。

(1) 係数 の算出

係数 は都市の土地利用や植生の活性度の状況などに大きく影響される。また、測定範囲 (W) を拡大することで、 の変動を詳細に把握し、検討する必要がある。

(2) 他指標との関連性

本モデルにより得られる結果と他の指標との関連性なども含めて厳密に検討を行う必要がある。

(3) 土地利用の変化量と影響度  $I$  の関連性

経年的なデータを取得することで、さらに詳細な土地利用変化構造を把握することが可能と考えられ、影響度  $I$  との関連も含めて調査する必要がある。

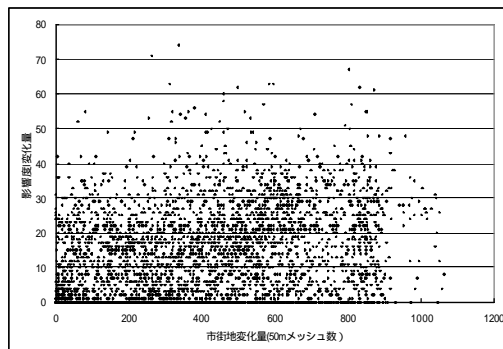


図6-18. 市街地変化量 - 影響度  $I$  変化量

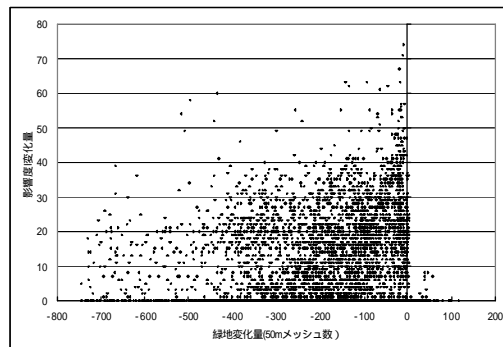


図6-19. 緑地変化量 - 影響度  $I$  変化量

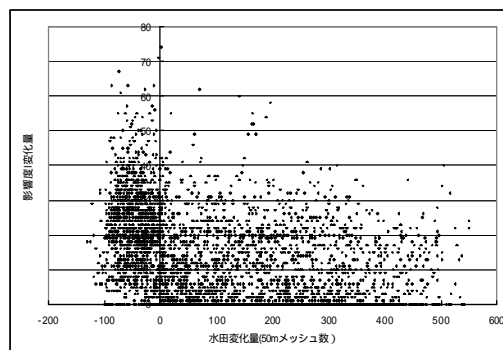


図6-20. 水田変化量 - 影響度  $I$  変化量

【参考文献】

6-1) 岩見良太郎, 川上秀光, 呂斌: ポテンシャル概念にもとづく緑地環境評価と緑地価値の計測, 日本都市計画学会学術研究論文集, No.22, pp.13~18, 1987.11  
 6-2) 小林優介, 福井弘道, 石川幹子: 小流域を単位とした森林分布の評価手法とその適用, 日本都市計画学会学術研究論文集, No.36, pp.271~276, 2001.11  
 6-3) 後藤忍, 盛岡通, 藤田壮: 都市域における指標生物の生育特性による緑地の生態学的連続性の評価, 環境情報科学論文集, No.13, pp.43~48, 1999  
 6-4) 大友篤著: 地域分析入門 [改訂版], 東洋経済新報社, 1997.7  
 6-5) 日本建築学会編: 建築・都市計画のためのモデル分析手法, 井上書院, 1992.7



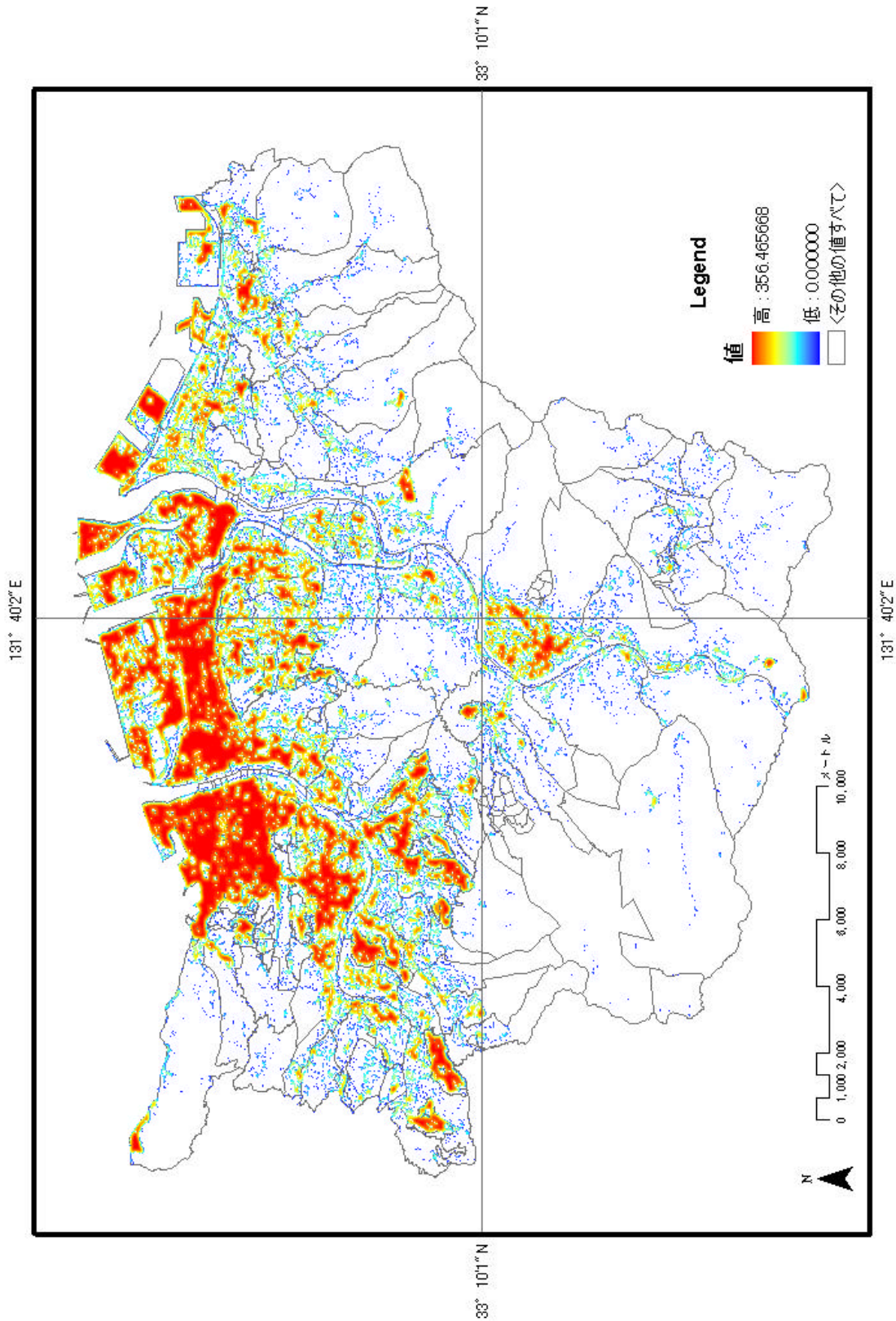


図6 - 2 1 . 市街地分布影響モデルの大分市への適用 測定範囲 50Pixel  
( Landsat TM-5 Resolution=28.5m, Date=1987.12.2 )

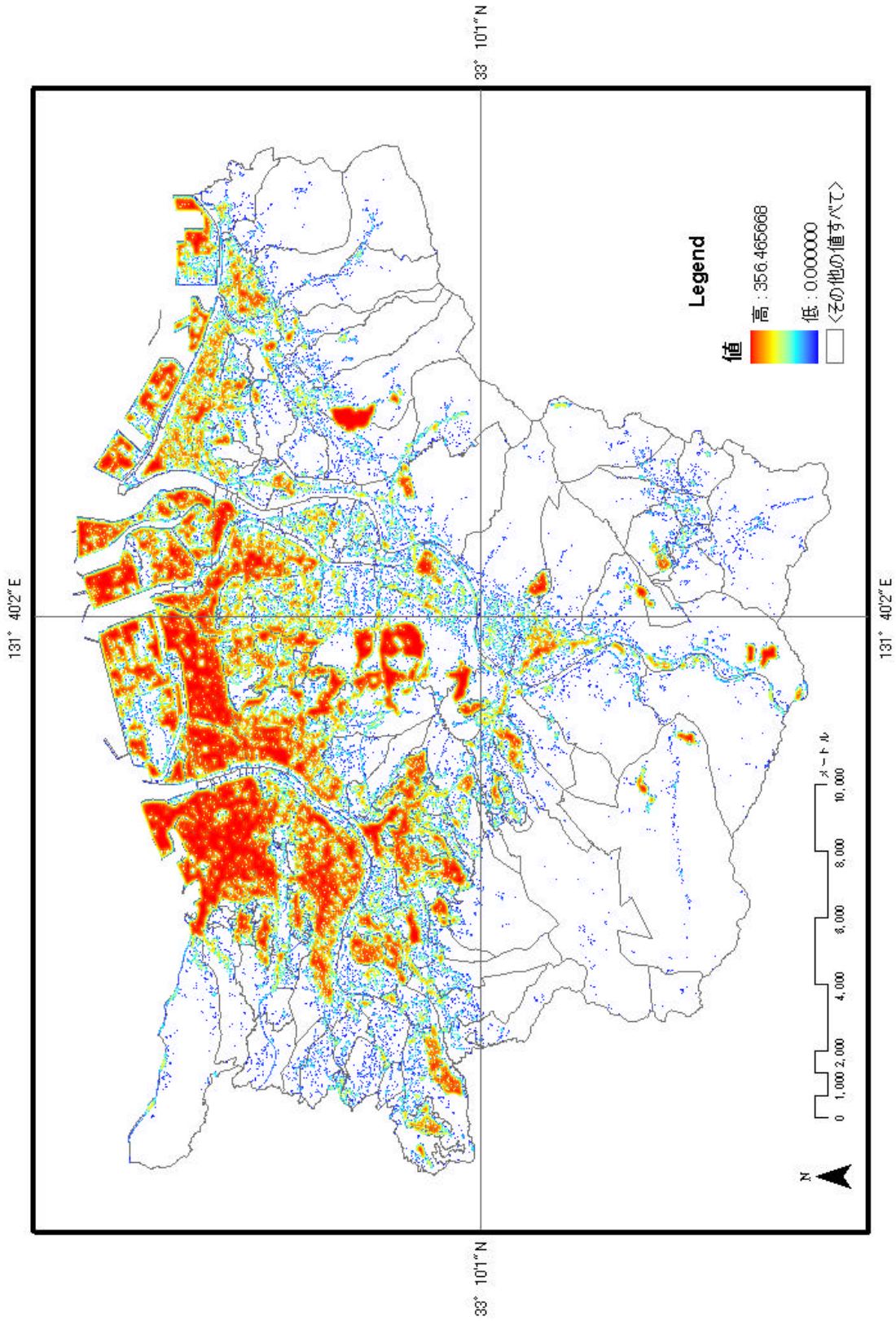


図6-22. 市街地分布影響モデルの大分市への適用 測定範囲 50Pixel  
(Aster Product, Resolution=15m, Date=2001.4.4)