土地利用集塊度と植生指標による都市内残存緑地の把握手法に関する研究

— 中国鄭州市・開封市・中牟県を対象として —

A METHOD OF REMAINING GREEN TRACT OF LAND IN CITY BY THE LAND USE
AGGLOMERATION AND VEGETATION INDEX

— Case study on Zhengzhou, Kaifeng and Zhongmu in China —

杜 守 帥*, 小林祐司**, 姫野由香***, 佐藤誠治****

Shoushuai DU, Yuji KOBAYASHI, Yuka HIMENO

and Seiji SATO

Recently, the population growth and urbanization of the suburban area have been progressing in city in the middle and lower of Huanghe valley. To achieve sustainable city development, overall land use and natural environment control are required. In this research, a new method (Normalized Difference Vegetation Index in Built-up Area: NB) to measure indicator of vegetation activity is developed to evaluate the remaining green tract and the vegetation distribution in built-up area. The NB value is calculated by land use agglomeration (C Index) and NDVI. As a result, the vegetation distribution in built-up area and the situation of urbanization are evaluated overall in the object area.

Keywords : Land Use, Agglomeration, Normalized Difference Vegetation Index in Built-up Area(NB)
土地利用, 集塊度, 市街地内植生活性度指標(NB 値)

1. はじめに

1-1. 研究の背景と目的

中国では大都市の多くが内陸部に位置している。近代において、東部沿海地区では海外貿易の拠点としての都市群が出現し、内陸部とこれら沿海地区を連携するために、内陸水運と鉄道の機能を発達させ、交通の中心的役割を担う都市を生み出していった。黄河の中下流域に位置している鄭州市は、このような過程の中で生まれた新しい都市である。中国の「改革・開放」政策により、東部沿海地域は飛躍的な発展を遂げ、中国全体に急速な経済発展をもたらした。都市化も急速に進んでいる。鄭州市は、中国最大の鉄道拠点であり、物流の一大拠点として、都市内外に大きな影響を及ぼすようになった。さらに、中国全体における河南省の位置付けには、鄭州市と開封市の間に「鄭汴一体化」^{注1)}を提唱し、都市間の連携を強化すると同時に、その間に位置している中小都市中牟県へ影響を及ぼすようになっている。このため、中部地区^{注2)}は、都市化が急速に進むことが予想される。鄭州市は、中部地区の中心都市として、広域行政の中心地を担いながら、急速に発展し、都市像を変えつつあり、再開発が多く見られる。都市部周辺においては、市街地のスプロール化、リボン状開発が見られ、都市機能の立地が急速に進展している。農村部でも、農業や企業立地が進んでいる地域や市街化が急速

に進んでいる地域などがあり、その傾向は地域において差が見られる。また、人口増加に伴い畑地・森林等が宅地へ転用され、市街地近郊の緑地は年々減少している。耕作放棄地の増加、貴重な自然環境の荒廃等が問題となっている。中国では、持続可能な都市発展を実現するために、自然環境との調和や保全を図りながら、総合的かつ計画的な土地利用コントロールが求められている。これら鄭州市、開封市、中牟県の位置関係を図1に示す。

図1 対象地域の位置

* 大分大学大学院工学研究科 博士後期課程・修士(工学)

** 大分大学工学部福祉環境工学科 准教授・博士(工学)

*** 大分大学工学部福祉環境工学科 助教・博士(工学)

**** 大分大学 理事・副学長・教授・工博

Graduate Student, Doctor's Course, Graduate School of Eng., Oita Univ., M. Eng.
Assoc. Prof., Dept. of Architectural Eng., Faculty of Eng., Oita Univ., Dr. Eng.
Research Assoc., Dept. of Architectural Eng., Faculty of Eng., Oita Univ., Dr. Eng.
Trustee and Vice President, Prof., Oita Univ., Dr. Eng.

とりわけ、急速に市街化が進む中国においては、市街地内の残存緑地、周辺部の緑地環境などを活用、保全することが重要であり、これらの対策については、不十分である。したがって、市街地内の緑地や植生分布あるいは残存緑地を定量的に把握、評価することは、今後の良好な都市環境を形成する上で重要である。

このような背景のもと本研究では、リモートセンシングデータを活用して、中国内陸部黄河中下流域の鄭州市、中牟県、開封市二市一県周辺地域の市街地連坦度、集塊度の分析を行う。そして、市街地内における残存緑地などの植生状況を把握するため、「市街地内植生活性度指標」（以降 NB 値）の導出を行う。これらの分析結果より、対象地域における市街地内部の植生分布と市街化の状況を総合的に評価することを目的としている。

1-2. 既往関連研究の整理と本論の位置付け

既往研究として市街地・緑地の変化についての研究では、ランドサット TM データによる土地被覆変化の抽出を検討し、正規化都市指標を導出した斉藤ら¹⁾や、GIS を用いた地形と緑の連坦性の分析による都市緑地の配置特性を分析した藤田²⁾らや、緑地の集塊性やアクセシビリティから、都市緑地の空間的生態ポテンシャルを算出した吉田ら³⁾や、森林の集塊性を細密メッシュ単位での分析手法を提案した小林ら⁴⁾や、一定範囲内において、どれほど連坦するメッシュが、どれほど当該メッシュに近接して分布しているかを集塊指数として定量化した望月ら⁵⁾の研究がある。また、分析地域全体など対象にメッシュを用いて土地利用の連続性や混合度等を分析する手法には多くの研究があり、Join 分析^{6) 7) 8) 9)}、Clump 分析⁹⁾、エントロピー（Entropy）^{8) 9)}、平均連結度数¹⁰⁾などの例がある。これらの研究は、特に単一の土地利用の分布状況に着目し、その特性を定量化したものである。しかし、市街地内の小規模緑地や残存緑地などの植生分布を捉え、総合的に評価することが重要であると考えられる。

そこで本論では、市街地の集塊度、連坦度と NDVI（正規化植生指標）を統合し、NB 値の算出を試み、対象地域における市街地と残存緑地や植生分布の形態を明らかにすることである。

2. 研究の方法と対象地域

2-1. 研究の方法

本研究では 1993 年 4 月 26 日に観測された Landsat5 号 TM データと 2003 年 4 月 14 日に観測された Landsat7 号 ETM+データ（以降 Landsat データとする）を使用している。これらの画像を 2 市 1 県の交通地図を基にして、幾何補正を施し、切り抜きなどの処理を行った。

まず、対象地域 1993、2003 年 2 時点の土地被覆分類図、NDVI を作成し、三都市市街地分布の実態とその経年変化を概観する。

次に、対象地域市街地の集塊度を把握するために、平均連結度数（以降 C 値。C 値算出については、注 3）と文献 10）による。）を適用する。これにより、市街地集塊度の評価を全域に対して行った。これは、市街地が集まって存在しているか、分散して存在しているかを把握することができる。

そして、都市内の残存植生状況を把握するために、C 値と NDVI の関連性を把握する。次に、残存する植生の状況を定量的に示すた

めに、NB 値を導出し、市街地内の植生活性度の評価を行う。

2-2. 対象地の状況

本研究の対象地域とした 2 市 1 県は、河南省に属する地域であり、中国の黄河中下流域に位置している。この地域では、古代文明の発祥の地でもあり、「中原」とも呼ばれ、中華文明の中心的役割を担っていた。現在でも、中国の南北の幹線鉄道である京広線（北京と広州を結ぶ）と、東西の隴海線（新疆と黄海を結ぶ）が交差する交通結節点である（図 1 参照）。鄭州市全域総面積は 7,446km²、総人口は 708 万人、そのうち市区面積は 1,010 km²、市区の人口は 340 万人である。

開封市は、河南省の主要な都市であり、中国の七大古都の一つとして歴史的、文化的に有名な街である。総面積 6,444 km²、総人口約 460 万人、そのうち市区面積は 359 km²、市区人口約 80 万人である。

中牟県は鄭州市と開封市の間に位置している。面積は 1,393 km²、総人口約 68 万人である。

本研究ではこれら鄭州市における市区部（以降、鄭州市区部とする）、開封市における市区部（以降、開封市区部）、中牟県を対象として分析する。

3. 三都市の土地被覆分布状況

本研究では、土地被覆分類を作成する際に教師なし分類（クラスター分析）を用いた。最終的な分類項目は市街地、草地、林地、裸地、水域の 5 種類の土地被覆タイプとして、土地被覆分類図を作成した。次に、2 時点の市街地分布現況を抽出した。なお、市街地の分布は図 2、図 3 の市街地の C 値の分布図と同一であるため割愛する。

表 1 は三都市の土地被覆割合と変化量を示したものである。表からもこの 10 年間、三都市の市街地が大幅に拡大していることがわかる。特に、鄭州市区部市街地の拡大が著しい。さらに、市街地の縁辺部では、散在していた集落を中心として都市域が拡大している。これは、急激な経済発展とともに、人口が都市へ集中し、市街地も急速に拡大していると考えられる。都市化の過程において大規模な開発が行われ、都市緑地が急速に減少していったと予想できる。したがって、市街地内植生の存在状況についての考察が必要であると考えられる。

表 1 三都市の土地被覆割合と変化量（ha）

都市		土地被覆分類					総 計
		市街地	草地	林地	裸地	水域	
鄭州市区部	1993 年	12,925.2	22,682.4	1,628.7	63,354.1	2,347.6	102,938.0
		12.56%	22.03%	1.58%	61.55%	2.28%	100.00%
	2003 年	22,792.3	29,548.2	4,262.6	43,164.3	3,171.6	102,938.0
		22.14%	28.71%	4.14%	41.93%	3.08%	100.00%
	変化量	9,867.1	6,865.8	2,633.9	-20,189.8	824.0	
開封市区部	1993 年	5,416.2	5,454.1	4.0	28,225.8	1,568.9	40,666.0
		13.32%	13.40%	0.01%	69.41%	3.86%	100.00%
	2003 年	7,713.1	9,833.2	4.9	21,761.3	1,353.5	40,666.0
		18.97%	24.18%	0.01%	53.51%	3.33%	100.00%
	変化量	2,296.9	4,379.1	0.9	-6,464.5	-215.4	
中牟県	1993 年	1,150.0	29,513.3	19,785.2	92,846.8	1,490.7	144,786.0
		0.79%	20.38%	13.67%	64.13%	1.03%	100.00%
	2003 年	3,968.1	50,556.0	2,597.3	86,023.1	1,641.5	144,786.0
		2.74%	34.92%	1.79%	59.42%	1.13%	100.00%
	変化量	2,818.1	21,042.7	-17,187.9	-6,823.7	150.8	

4. 市街地の集塊度に関する分析

4-1. 分析の方法

ここでは、土地利用がどれほど連坦して存在しているか把握するために、市街地集塊度（集まっているか、分散しているか）に関する分析を行う。ここで算出される市街地の集塊度や連坦性を示すC値は、以降で導出されるNB値において用いられる。

まず、2時点の土地被覆分類図において、市街地を抽出する。

次に、市街地の連坦度を把握するために、市街地のグループ化を行う。この結果を用い、C値を算出する。そして、C値の経年変化（1993年、2003年）を把握する。C値は0～9の値をとり、値が高ければ市街地集塊度が高いことを示す。

4-2. 分析結果

分析は、1993年、2003年2時点について行った。図2、3は1993年、2003年それぞれにおける市街地C値の分布を示している。色の濃い部分が市街地の集塊度が高く、色の薄い部分が集塊度が低い地域である。

図2 1993年市街地のC値分布図

図3 2003年市街地のC値分布図

地域における変化を見てみると、三都市の中心部ではC値の変化はそれほど大きくなかった。しかし、三都市ともに都市中心部の周辺では、C値が急激に増加している。特に、都市間の幹線道路沿いにC値の増加が顕著に見られる結果となった。都市間において、

連坦性の高い市街地が拡大されていることがわかる。鄭州から中牟、開封から中牟方面に市街地が広がることによって、市街地がさらに増加、連坦していくことが予測できる。

また、2003年は、C値の高い地点が多く、中心部以外でも市街地の集塊度が高くなってきており、このような地域は今後も増加していくと考えられる。今後、中心部周辺には独立集積区を中心にして都市域が広がって、既成市街地と連坦すると予想される。

図4、5は、1993年から2003年におけるC値の各レンジにおけるピクセル数であり、経年変化も示したものである。全体的に、1993年から2003年のC値が大幅に高くなっている。特に、4以上の集塊度が高い地点の増加が顕著である。郊外には小規模な市街地が存在し、これらがいくつか集まることによって中心部と連坦し、4以上の値をとるピクセルが大幅に増えている。区域別に見ると、鄭州市の増加が最も多い。中牟県では5～6のあたりC値の増加が最も多い。三都市ともに、高いC値をとる地域は三都市の中心部であるが、8の値をとる地域が2003年は1993年より大幅に拡大してきた。この10年間で大規模な開発が起これ、C値が大きく増加していることを確認できる。

図4 全域市街地C値の経年変化

図5 区域別市街地C値の経年変化

表2は2時点全域のC値の変化を示しているものである。表3は2時点のC値の遷移を示しているものである。表2より、2時点の間に非市街地が市街地へ128,577ピクセルに変化し、変化量が顕著であり、市街地が大幅に拡大していることが確認できる。C値4以

表 2 全域 2 時点の C 値の変化

年度別	非市街地	0<C≤1	1<C≤2	2<C≤3	3<C≤4	4<C≤5	5<C≤6	6<C≤7	7<C≤8	8<C≤9	合 計
1993年	2,544,043	5,210	3,389	5,200	6,253	10,188	13,568	8,922	26,151	88,973	167,854
2003年	2,415,466	6,610	4,601	7,518	8,216	18,038	30,012	34,958	53,218	133,260	296,431
変化量	-128,577	1,400	1,212	2,318	1,963	7,850	16,444	26,036	27,067	44,287	128,577
増加率	5.05%	26.87%	35.76%	44.58%	31.39%	77.05%	121.20%	291.82%	103.50%	49.78%	76.60%

※ピクセル数

表 3 2 時点の C 値の遷移

		2003年										合 計
		非市街地	0<C≤1	1<C≤2	2<C≤3	3<C≤4	4<C≤5	5<C≤6	6<C≤7	7<C≤8	8<C≤9	
1 9 9 3 年	非市街地	2,375,388	6,315	4,384	7,043	7,590	16,238	27,325	30,948	40,939	27,873	2,544,043
	0<C≤1	3,938	32	22	42	46	118	223	200	384	205	5,210
	1<C≤2	2,484	18	19	50	45	80	158	174	259	102	3,389
	2<C≤3	3,740	33	24	68	97	144	282	262	373	177	5,200
	3<C≤4	4,367	29	34	60	102	222	302	274	673	190	6,253
	4<C≤5	6,782	67	38	106	170	436	734	804	750	301	10,188
	5<C≤6	7,303	77	53	110	133	608	762	1,699	2,161	662	13,568
	6<C≤7	2,962	21	12	23	14	144	198	441	3,483	1,624	8,922
	7<C≤8	4,968	15	13	16	19	41	24	156	4,037	16,862	26,151
合 計		2,415,466	6,610	4,601	7,518	8,216	18,038	30,012	34,958	53,218	133,260	2,711,897

※ピクセル数

上のピクセル数の変化量が顕著であり、大幅に市街地の集塊度が高くなっていることが確認できる。変化率からみると、6～7 のあたりの変化率が最も高くなり、5～6、7～8 のあたりの変化率も大きい。

表 3 より、1993 年に非市街地であったピクセルが 2003 年では市街地へ多く変化している。なかでも、1993 年の C 値 7 までの値をとっていたピクセルが 2003 年には 4 以上に多く変化している。特に、1993 年の C 値が 4～5 の値は 2003 年 5～8 の値へ、5～6 の値は 6～8 の値へ、6～8 の値は 7～9 値への変化が最も著しい。他のレンジにおいては、C 値がプラス 1 ないしはプラス 2 程度で増加している。

2 時点で三都市の市街地が大幅に拡大し、都市中心部と周辺部において、連続して分布している市街地が現れ、市街地の集塊度が高いために C 値が増加する傾向があると考えられる。さらに、都市間の幹線道路沿線で C 値が増加する傾向がみられた。

5. C 値と NDVI の関連性

ここでは、NB 値の算出に用いる NDVI について 2 時点の状況を把握する。NDVI は正規化植生指標（Normalized Difference Vegetation Index）の略である。リモートセンシングのマルチバンドデータから求められる植生の有無、多少、活性度を示す指標である。本研究では、NDVI は Landsat データの Band3 と Band4 より求められる。NDVI は式（1）による¹¹⁾。

$$NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3} \times 100 + 1.0 \quad (1)$$

NDVI 値は $0 \leq NDVI \leq 2$ の範囲に分布する。2 時点の NDVI 分布は図 6、7 である。全体的にみて、各時期における植生の生育状況の違いがみてとれる。1993 年の NDVI と 2003 年の NDVI では、その値の差が大きくなっており、全体的に植生の活性度が低下していることがわかる。

図 6 1993 年 NDVI 図

図 7 2003 年 NDVI 図

表 4 は 2 時点の間 NDVI の遷移を示したものである。表より、1993 年の NDVI はほとんど 0.7～1.4 の間で占められているが、2003 年には 0～1.1 の間で多くが占めるようになった。NDVI の低下が顕著である。特に、1993 年に 1.0～1.1 の値をとっていた 332,178 ピクセルは、2003 年には 0.3～0.4 の値へ変化し、大きく低下している。

表 4 2 時点の NDVI の遷移

		2003年													合 計
		0	～0.1	～0.2	～0.3	～0.4	～0.5	～0.6	～0.7	～0.8	～0.9	～1.0	～1.1	～1.2	
1 9 9 3 年	0	282,980	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	282,981
	～0.1	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	4
	～0.2	0	0	0	1	2	0	1	1	0	0	0	0	0	5
	～0.3	0	0	0	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	8
	～0.4	0	0	0	2	6	1	0	1	0	0	0	0	0	10
	～0.5	0	0	0	1	8	1	2	0	1	0	0	0	0	13
	～0.6	0	0	0	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	6
	～0.7	0	0	0	8	3	3	0	0	0	0	0	0	0	14
	～0.8	0	21	79	264	299	217	97	18	2	1	0	0	0	998
	～0.9	0	1,225	27,229	14,065	6,603	6,259	5,206	1,396	934	612	46	0	0	63,575
	～1.0	0	240	48,360	132,857	124,955	54,002	28,918	6,978	2,563	1,153	185	8	0	400,219
	～1.1	0	163	10,728	131,192	332,178	177,609	103,287	35,145	12,661	1,760	266	36	0	805,025
	～1.2	0	4	3,547	51,005	191,824	186,524	187,050	93,487	39,207	8,399	2,138	31	0	763,216
	～1.3	0	1	553	11,176	43,038	65,847	109,049	85,342	49,709	11,938	2,267	12	0	378,932
	～1.4	0	0	8	259	1,555	3,263	4,467	3,126	3,119	1,057	3	0	0	16,857
	～1.5	0	0	0	2	1	0	0	1	0	2	1	0	0	7
	～1.6	0	0	0	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	7
	～1.7	0	0	0	2	2	2	0	1	0	0	0	0	0	7
	～1.8	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	～1.9	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	～2.0	0	0	0	1	4	0	1	0	0	0	0	0	0	6
合 計		282,980	1,654	90,504	340,846	700,492	493,735	438,079	225,496	108,196	24,922	4,906	87	0	2,711,897

※ピクセル数

次に、C 値と NDVI の関係について分析する。C 値と NDVI の関係は、緑地の保全に関して重要である。そこで、C 値と NDVI の関係をみてみる。相関係数はいずれも 1 % 水準で有意であり、1993 年では-0.021、2003 年では-0.248 を示した（表 5 参照）。したがって、C 値と NDVI の関係は弱い負の相関である。10 年間で二変量の関係性が若干高くなったことがわかる。つまり、市街地が増加すると、植生の活性度も少し低下する可能性があることを示している。

表 5 C 値と NDVI の相関

	1993年NDVI	2003年NDVI
1993年C値	** -0.021	
2003年C値		** -0.248

※相関係数は 1% 水準で有意（両側）

6. 市街地内植生活性度指標（NB 値）

6-1. NB 値について

前章では、市街地の集塊度と NDVI について分析した。本章では、C 値と NDVI を用い、NB 値（市街地内植生活性度指標）を導出し、市街地内存在している植生分布状況の評価を行う。

本稿で提案する NB 値（市街地内植生活性度指標）について説明する。NB 値は市街化している、植生が残存していることもある。これら定量的に示すために、市街地集塊度と NDVI を活用し、都市内の植生活性度を示す指標である。

ここでの NB 値は、C 値と NDVI の積により求められるもので、例えば図 8 に示すように、I のところでは市街地集塊度が高く、植生の活性度も高くなっていることから NB 値は高くなる。逆に、III のところでは、市街地集塊度が低く、植生の活性度も低くなっていることから NB 値も低くなる。一方、II のところでは市街地集塊度が低く、植生の活性度は高くなる。また、IV のところでは、市街地集塊度が高く、植生の活性度が低くなる。なお、対象地域におけるほとんどピクセルは、図 8 に示す網かけ部分に分布する。

図 8 NB 値の概念図

NB 値は式 (2) による。

$$NB = C \times NDVI \quad (2)$$

また、表 5 によると C 値と NDVI の 2 指標間には強い相関がみられないため、C 値または NDVI のみでは、市街地の密度や集塊度と残存緑地の正確かつ詳細な評価は行えないことがわかる。したがって、算出された NB 値が高いほど、市街地の連坦度が高く、かつ植生活性度高い緑地を形成しているということがいえる。

6-2. 分析結果

図 9、10 は、1993 年と 2003 年の NB 値の分布である。色の濃い地点は市街地が存在し、植生活性度も高い地点である。色の薄い地点は市街地が存在しているが、植生活性度が低い地点である。これにより、2 時点間の市街地内部残存する植生の変化が把握できる。

2 時点の NB 値の各レンジのピクセル数の変化を示したものが図 11（全域）、12（区域別）である。全体的に見ると、NB 値が低下し、1993 年では 7～8 の値をとっていったピクセルが 71,445 で最大

であったが、2003 年では 1～2 の値が 208,562 で最大値となっている。区域別にみても、鄭州市と開封市は全域が同じ傾向をもっていることがわかる。しかし、中牟県においては 2003 年では他都市と

図 9 1993 年 NB 値分布図

図 11 全域 NB 値の変化

図 10 2003 年 NB 値分布図

図 12 区域別 NB 値の変化

表 6 全域 2 時点の NB 値の変化

NB 値	非市街地	0<NB≤1	1<NB≤2	2<NB≤3	3<NB≤4	4<NB≤5	5<NB≤6	6<NB≤7	7<NB≤8	8<NB≤9	9<NB≤10
1993年	2,544,043	1,494	4,835	5,842	7,395	10,165	14,513	12,131	71,445	39,601	433
2003年	2,415,466	17,225	208,562	66,668	3,689	281	6	0	0	0	0
変化量	▲ 128,577	15,731	203,727	60,826	▲ 3,706	▲ 9,884	▲ 14,507	▲ 12,131	▲ 71,445	▲ 39,601	▲ 433
変化率	-5.05%	1052.95%	4213.59%	1041.18%	-50.12%	-99.96%	-99.96%	-100%	-100%	-100%	-100%

※ピクセル数

表 7 2 時点の NB 値の遷移

		2003年											合 計
		非市街地	0<NB≤1	1<NB≤2	2<NB≤3	3<NB≤4	4<NB≤5	5<NB≤6	6<NB≤7	7<NB≤8	8<NB≤9	9<NB≤10	
1993年	非市街地	2,375,388	16,352	112,614	37,366	2,128	191	4	0	0	0	0	2,544,043
	0<NB≤1	961	26	377	124	5	1	0	0	0	0	0	1,494
	1<NB≤2	3,704	84	750	277	16	4	0	0	0	0	0	4,835
	2<NB≤3	4,269	123	1,098	329	21	1	1	0	0	0	0	5,842
	3<NB≤4	5,147	122	1,591	495	39	1	0	0	0	0	0	7,395
	4<NB≤5	6,677	198	2,400	864	25	1	0	0	0	0	0	10,165
	5<NB≤6	7,602	219	4,817	1,810	61	4	0	0	0	0	0	14,513
	6<NB≤7	3,349	59	6,659	1,963	95	6	0	0	0	0	0	12,131
	7<NB≤8	6,332	37	52,541	12,023	498	14	0	0	0	0	0	71,445
	8<NB≤9	2,002	5	25,534	11,252	751	56	1	0	0	0	0	39,601
	9<NB≤10	35	0	181	165	50	2	0	0	0	0	0	433
合 計		2,415,466	17,225	208,562	66,668	3,689	281	6	0	0	0	0	2,711,897

※ピクセル数

同じ傾向をもっているが、1993 年では 7~8 の値のピクセル数が少なく、他都市と違う傾向が示されている。

表 6 は全域の NB 値の各レンジの変化、表 7 は 2 時点の間の NB 値の遷移を示したものである。1993 年の多くのピクセルが 2003 年では 1~2 の値へ変化し、変化率が 4213.59% で非常に高い。0~1、2~3 の値への変化率も高くなっている。他のレンジでは変化率がマイナスになっている。表 2、3 をみると、三都市ともに C 値が大幅に増加しているが、NB 値は低下している。これは NDVI が全体的に低下していることが、NB 値を低下させる原因になっている。

表 7 より、1993 年に非市街地のピクセルが 2003 年では NB 値が 6 以下へ多く変化している。また、1993 年に NB 値が 10 以下のピクセルが 2003 年では非市街地や NB 値 1~3 へ多く変化している。

このことから、三都市ともに市街化が進行し、都市内部や都市近郊の市街化に伴い、NDVI が低下するため、NB 値も低下している状況が把握できた。すなわち、1993 年から 2003 年にかけて、残存していた植生や緑地が大幅に減少あるいは失われていることがわかった。一方で、市街地集塊度や連坦度が高いピクセルにおいて、残存する植生が少ないことも明らかになった。

7. 総 括

本研究では黄河中下流域都市群における市街地の集塊度（C 値）を算出し、C 値と NDVI の関連性を把握した。そして、市街地内植生活性度指標（NB 値）を導出し、市街地内部の残存する植生や緑地の状況を把握することができた。本研究で得られた知見を以下にまとめる。

三都市ともに市街地中心部の C 値の変化は大きくなかった。2003 年では C の値の高い地点の増加が多く、都市中心部と周辺部において、連続して分布している市街地が現れ、市街地の集塊度が高いために C 値が増加する傾向があり、今後も増加していくと考えられる。さらに、都市間の幹線道路沿線で C 値が増加することが予想される。

2 時点の C 値と NDVI の関係では、市街化が進行し、植生の活性度が低下していることがわかった。したがって、市街地内部の植生を効果的に整備することが必要である。

市街化による市街地の集塊度が上昇しているが、NDVI が低下している。NB 値も全体的に低下しているため、市街地の残存植生や緑地が減少あるいは失われていることが明らかになった。

以上のように、黄河中下流域都市群の市街地の集塊度と市街地内部の植生活性度の考察を行った。都市化の進展は今後も続くと考えられ、総合的かつ計画的な都市の土地利用コントロールと同時に市街地内の緑地環境の回復や整備を行っていく必要がある。

注

- 注1) 河南省は第八次 5 年計画（1991~1995 年）の時、初めて中原都市群の概念を示した。中原都市群は鄭州を中心に、2 時間経済圏なら洛陽、開封、新郷、焦作、許昌、平頂山、漯河、済源など九つの都市が密集する地域である。第十一次 5 年計画（2006~2010 年）期間に、「中原都市群全体発展計画綱要」が制定され、鄭州と開封を中心とした開発が進められている。この鄭州と開封における一体的なプロジェクトを「鄭卡一体化」と呼んでいる¹²⁾。
- 注2) 中国経済の東西格差は広がることとなった。中国政府が格差解消のため、西部大開発に基本方針を基に、国家プロジェクトが決定された。

中国全国の国土が東部（沿海部）、中部、西部、東北部に区分された。河南省は、経済発展中位の中部に属する¹³⁾。

- 注3) 本稿での集塊度を示す C 値の算出方法は参考文献 10) によった。連結度数（CN【Connections Number】）
連結度数（CN）とは計算しようとするメッシュが、解析対象の土地利用の категория（緑地、市街地）である場合、 $P_{xy}=1$ を与え、対象外である場合は 0 を与える。次に、解析対象メッシュと隣接する全 8 方向の周辺メッシュの categoria を判断し、同じ $P_{xy}=1$ を持っている categoria の場合、接合するメッシュに各目尺度の変数 $\delta_{ij}=1$ を与え、そうでない場合は 0 を与える。総和をとる CN 値の算出式は式 (3) のようになる。

$$CN_{xy} = P_{xy} \sum_{i=x-1}^{x+1} \sum_{j=y-1}^{y+1} \delta_{ij} \quad (3)$$

連結総数（CTN【Connections Total Number】）

連結総数とは任意の地域（ $n \times n$ メッシュ、ただし n は奇数）を設定し、その $n \times n$ メッシュ地域において、CN 値の総和を取り、その値を当該メッシュの CTN 値とするものである。CTN 値を測定するにあたり中心として設定したメッシュと同じ categoria によって領域を形成するメッシュの各目尺度を $\eta_{ij}=1$ として与え、それ以外のメッシュには $\eta_{ij}=0$ を与える。これにより CTN_{xy} は以下の式 (4) によって算術される。

$$CTN_{xy} = \sum_{i=x-\frac{n-1}{2}}^{x+\frac{n-1}{2}} \sum_{j=y-\frac{n-1}{2}}^{y+\frac{n-1}{2}} \eta_{ij} CN_{ij} \quad (4)$$

平均連結度数（C 値）

core と同じ categoria によって領域を形成するメッシュの各目尺度 $\eta_{ij}=1$ として与え、領域外のメッシュには $\eta_{ij}=0$ を与える。また、測定地域において core と同じ categoria を有するメッシュに、各目尺度の変数 $\delta_{ij}=1$ を与え、別の categoria を有する場合は $\delta_{ij}=0$ を与える。平均連結度を示す C_{xy} は以下の式 (5) によって与えられる。

$$C_{xy} = \frac{CTN_{xy}}{\sum_{i=x-\frac{n-1}{2}}^{x+\frac{n-1}{2}} \sum_{j=y-\frac{n-1}{2}}^{y+\frac{n-1}{2}} \delta_{ij} \eta_{ij}} \quad (5)$$

この式により算出される C_{xy} を平均連結度数（以降 C 値で表示する）と呼ぶことにする。この値を持って集塊度を測定することとする。C 値が高い値を示すと、その領域内の連坦性は高いといえ、低いと逆のことがいえる。（ $0.0 < C \leq 9.0$ ）

参考文献

- 1) 斉藤郁雄, 朴明浩, 石原修: ランドサット TM データによる土地被覆変化の抽出に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.561, pp.79~84, 2002.11
- 2) 藤田直子, 熊谷洋一: GIS を用いた地形と緑の連坦性の分析による社叢区間を軸とした都市緑地の配置特性, 都市計画論文集, No.41-3, pp.373~378, 2006.11
- 3) 吉田直樹, 北詰恵一: 緑地の集塊性と人のアクセシビリティによる都市緑地空間分析, 都市計画論文集 No.40-3, pp.115-120, 2005.11
- 4) 小林優介, 石川幹子: 細密メッシュデータを用いた森林の集塊性の分析手法に関する研究, 都市計画論文集, NO38-3, pp.619-624, 2003.11
- 5) 望月史子, 清水裕之, 有賀隆, 南順一郎: リモートセンシングデータを用いた土地利用の集塊性把握手法に関する研究-愛知県西部を事例として-, 日本建築学会計画系論文集, No.617, pp.47~54, 2007.7
- 6) 小出治: 土地利用混合度の適用並びにその検定, 都市計画論文集, No.12, pp.79~84, 1977
- 7) 吉川徹: メッシュデータに立脚した同種・異種土地利用の集塊性の把握手法, 日本建築学会計画系論文集, No.520, pp.227~232, 1999.6

- 8) 文泰憲, 荻島哲, 大貝彰: 土地利用混合度指標に関する研究, 都市計画論文集, No.26, pp.505~510, 1991.11
- 9) 玉川英則: 土地利用の秩序性の数理的表現に関する考察, 都市計画論文集, No.17, pp.73~78, 1982
- 10) 小林祐司, 佐藤誠治, 有馬隆文, 姫野由香: ランドサット TM データを利用した緑地分布傾向の把握手法に関する研究, 都市計画論文集, No.35, pp.1009~1014, 2000.11
- 11) 大林成行: 実務者のためのリモートセンシング データ処理/解析の基礎から見積書・仕様書の作成まで-, フジ・テクノシステム, 1995
- 12) <http://371ls.com/Information/lszx/200804/%D6%A3%B1%E5%D7%A8%CC%E2.html> (参照 2006-12-8).
- 13) 2006 年中国統計年鑑

(2008年10月6日原稿受理, 2009年3月4日採用決定)