

# 正規化植生指数を用いた人口と緑被との関係性に関する研究

## 小林優介

### A Study on the Relationship between Population and Vegetation Cover by Normalized Difference Vegetation Index Yusuke KOBAYASHI

**Abstract:** The purpose of this study is to analyze the characteristics of the distribution between population and vegetation cover. For this purpose, this study employed Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) by Terra/MODIS. NDVI is highly correlated with vegetation cover. This study applied the area within 50 km from Tokyo station. The results were as follows. 1) Population was highly negative correlated with vegetation cover. 2) The area within 10 km from center was higher population and less vegetation cover. 3) The area further than 30 km from center was lower population and more vegetation cover, especially in extensive transportation network.

**Keywords:** 人口(Population), 緑被(Vegetation Cover), 正規化植生指数  
(Normalized Difference Vegetation Index), 衛星リモートセンシング(Satellite Remote Sensing),  
Terra/MODIS(Terra/MODIS)

#### 1. はじめに

都市における人口は、都市の中心もしくは中心からやや離れたところで最大となり、そこから離れるに従って減少すると考えられている。一方、緑被は都市の中心から離れるに従って増加すると考えられている。そのため、人口と緑被との間には負の相関があると考えられる。

一方で、緑にはうるおいややすらぎを周辺に与える等の効果がある。そのため、緑被が多い地域に人口が集積することも考えられる。

人口分布と緑地との関係を分析した主な研究として、森林被覆率と人口密度や起伏量との関係の分析(田中・西井, 2003)が挙げられる。また、メトロマニラを対象として人口及び緑地の分析(村上他, 2000)が挙げられる。

しかし、これまでの人口と緑との関係の研究の多くが緑地を対象としており、東京周辺の人口と緑被との関係について評価した研究はみられない。

そこで、本研究は人口と緑被の関係及び人口が多く緑被が多い地域の地域的特徴を明らかにすることを目的とする。

#### 2. 分析手法

本研究において、都市の中心からの距離と人口との関係を見るために、Clark モデルと Newling モデルにより分析を行う。次に NDVI と中心からの距離との関係について、5km ごとに区分し NDVI の傾向を考察する。人口と NDVI との関係について、両線形と指數関数の 2 つのモデルを用いて分析を行う。2 つのモデルはそれぞれ以下の式による。

$$\text{両線形 } P = aN + b \quad \text{指數関数 } P = e^{aN+b}$$

ここで、P は人口、N は NDVI、a は係数、b は定数項である。次に、人口と NDVI をそれぞれ複数のランクを設定し、人口のランクと NDVI のランクによるマトリックスを作成する。そして、距離帯別、方向別傾向を分析することで、人口が多く緑被が少ない地域、人口が少なく緑被が多い地域、人口が多く緑被が多い地域等を把握し、地域的傾向の分析を行う。

小林優介

E-mail: yusuke.geo@gmail.com

### 3. 分析対象地域とデータ

分析対象地域は東京の中心から 50km 以内とする。このときの東京の中心は大友(1973)を踏まえ、東京駅を採用する。東京駅を中心として東方向を 0 度とし、反時計方向で計測したとき、240 度から 360 度までは海域が含まれる地域が多く、東京駅からの直線距離による分析において他の地域と比較が難しいため、分析から除外する。また、方向別の傾向を分析するため、0 度から 240 度までを 60 度間隔に分割し、0 度から 60 度を I、60 度から 120 度を II、120 度から 180 度を III、180 度から 240 度を IV と本研究では呼ぶことにする。さらに、東京駅を中心として 10km 間隔に距離帯を設定する。これらを図-1 に示す。

人口データは政府統計の総合窓口 (e-Stat) (<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>) からダウンロードした平成 17 年の国勢調査の 2 分の 1 地域メッシュを用いる。

NDVI データは、東京大学生産技術研究所の WebMODIS - MODIS データサービスセンターの WEB サイト ([http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/index\\_j.php](http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/index_j.php)) (竹内他, 2003) よりダウンロードして用いる。このサイトでは、約 500m 解像度で 10 日間合成の NDVI データが公開されている。このうち、Terra/MODIS の 2005 年 9 月 11 日～20 日の NDVI の 10 日間合成データを用いる。このデータは、-1 から 1 をとる NDVI を 0 から 255 の整数値に変換したものである。この NDVI データを最近隣法により 2 分の 1 地域メッシュにあわせて分析を行う。なお、人口が 1 以上のメッシュを分析対象とする。

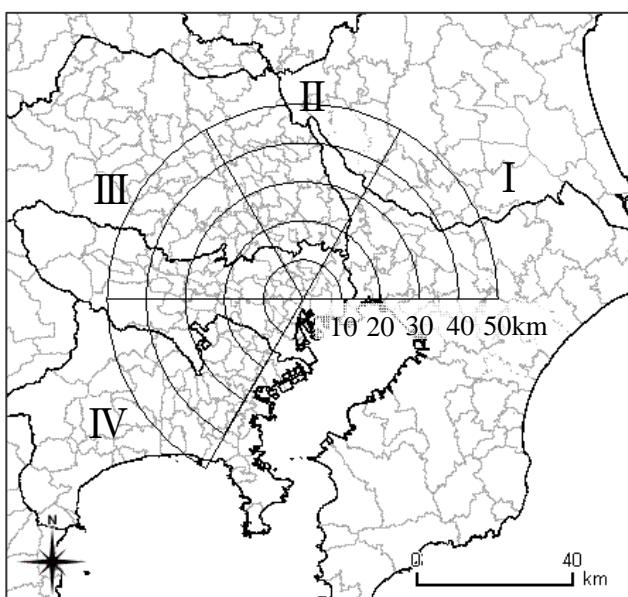


図-1 分析対象地域

### 4. 分析結果

#### 4.1 人口と中心からの距離との関係

人口と中心からの距離との関係を分析するために、Clark モデルと Newling モデルにより分析を行った。その結果、以下のようにになった。

Clark モデル

$$P = 7007e^{-0.07866r}$$

Adjusted  $R^2: 0.2714$

Newling モデル

$$P = 5761e^{-0.06277r-0.0003r^2}$$

Adjusted  $R^2: 0.2719$

ただし、P は人口、r は中心からの距離(km)とする。よって、自由度調整済み決定係数は高くないが Newling モデルのほうが当てはまりがよいことがわかった。

#### 4.2 NDVI と都市の中心からの距離との関係

次に、NDVI と、東京駅からの距離について 5km ごとに区分し、区分ごとの最小値、第1四分位数、中央値、第3四分位数、最大値を算出した。その結果、図-2 のようになった。図-2 より、NDVI は概ね 5km 以内が最小となり、それより離れるに増加していることがわかった。

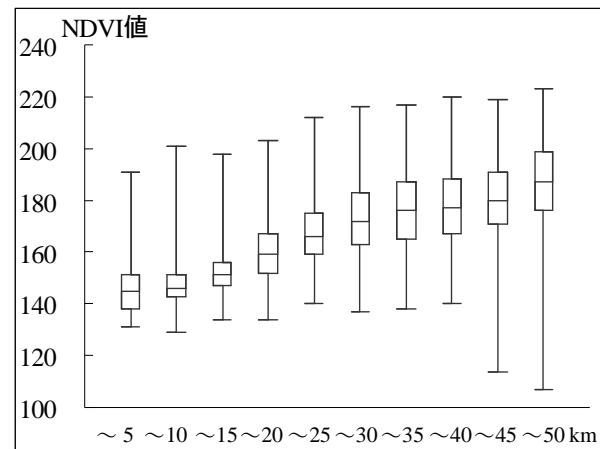


図-2 5km ごとの距離帯別 NDVI

#### 4.3 人口と NDVI との関係

人口と NDVI の関係について両線形と指數関数により分析を行った。その結果、それぞれ以下のようにになった。

両線形  $P = -61.117N + 12082.173$

Adjusted  $R^2: 0.4882$

指數関数  $P = e^{-0.0662N+17.8339}$

Adjusted  $R^2: 0.4170$

ただし、P は人口、N は NDVI とする。両線形、指

数関数とともに NDVI の係数が負となり、NDVI が低いと人口が多く、NDVI が高いと人口が少ないことがわかった。そして、人口と NDVI との間にやや高い負の相関があることがわかった。ただ、自由度調整済み決定係数の値が高くなないことから、人口が多く NDVI が高いメッシュや人口が少なく NDVI が低いメッシュも存在することが考えられる。特に人口が多く NDVI が高いことは、緑被の恩恵を受ける住民が多く、良好なまちが形成されていると考えられる。そこで、次に NDVI と人口のマトリックスを作成し、その地域的傾向の分析を行った。

#### 4.4 人口と NDVI の関係とその地域的傾向分析

人口と NDVI のマトリックスを作成し、その地域的傾向の分析を行った。その手法は以下のとおりである。

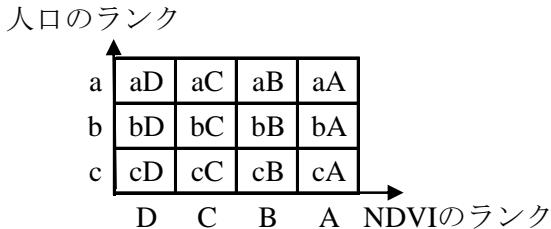


図-3 人口と NDVI のランクによる 12 区分

表-1 距離帯・方向別 12 区分の割合(単位: %)

距離帯	方向別	aA	aB	aC	aD	bA	bB	bC	bD	cA	cB	cC	cD
0-10km	I	0.0	0.0	4.1	67.2	0.0	0.0	3.1	13.3	0.0	0.5	3.6	8.2
	II	0.0	0.0	7.0	63.3	0.0	0.5	7.0	10.6	0.0	1.0	5.5	5.0
	III	0.0	0.0	6.9	72.4	0.0	0.5	0.5	8.9	0.0	2.5	0.5	7.9
	IV	0.0	0.0	3.6	65.6	0.0	0.0	3.1	12.0	0.5	1.0	5.7	8.3
	総計	0.0	0.0	5.4	67.2	0.0	0.3	3.4	11.2	0.1	1.3	3.8	7.4
10-20km	I	0.0	1.2	4.4	28.8	0.2	5.1	17.1	13.2	2.0	11.5	12.7	3.7
	II	0.0	1.0	3.7	33.3	0.2	1.2	12.9	22.6	1.2	5.5	11.5	7.0
	III	0.0	0.7	21.6	46.0	0.0	1.7	14.1	6.6	0.9	3.1	2.7	2.6
	IV	0.0	0.3	20.2	45.3	0.3	1.5	16.2	9.0	0.2	3.5	2.8	0.7
	総計	0.0	0.8	12.5	38.4	0.2	2.4	15.1	12.9	1.1	5.9	7.5	3.5
20-30km	I	0.0	1.3	9.8	4.6	0.3	4.4	23.5	5.3	14.3	25.7	9.6	1.3
	II	0.0	0.6	4.4	7.2	0.1	4.0	16.7	5.6	8.2	36.7	15.3	1.1
	III	0.0	0.3	15.1	7.1	0.1	4.6	29.5	5.2	3.5	13.5	19.4	1.7
	IV	0.0	2.2	15.7	7.4	1.2	8.5	28.5	4.1	5.1	13.0	12.2	2.0
	総計	0.0	1.1	11.2	6.6	0.4	5.4	24.5	5.0	7.8	22.2	14.1	1.5
30-40km	I	0.0	0.3	1.8	0.1	0.6	3.9	7.2	1.0	31.0	36.3	17.5	0.3
	II	0.0	0.1	1.2	1.3	0.1	1.9	13.9	3.5	15.8	43.1	17.6	1.3
	III	0.0	0.5	3.2	3.7	0.9	5.6	16.5	5.0	14.1	33.3	16.3	1.0
	IV	0.0	2.1	10.8	8.7	1.1	9.2	26.7	4.8	11.4	13.5	8.3	3.2
	総計	0.0	0.8	4.4	3.6	0.7	5.2	16.5	3.7	17.6	31.3	14.8	1.5
40-50km	I	0.0	0.0	0.1	0.0	0.4	1.6	1.6	0.0	35.3	43.6	17.1	0.3
	II	0.1	0.0	0.3	0.0	0.1	0.9	4.0	1.0	17.0	46.8	29.2	0.7
	III	0.0	0.1	0.9	0.3	0.5	3.3	7.3	2.2	46.3	32.4	5.8	0.8
	IV	0.0	0.5	2.5	1.4	0.8	6.3	16.0	3.9	29.3	24.3	11.8	3.2
	総計	0.0	0.1	0.9	0.4	0.4	3.0	7.1	1.7	31.6	37.1	16.4	1.2

人口について、値の大小に応じて a, b, c, d の 4 ランクに区分し、以下のように定義した。

$$a: \bar{P} + \sigma \leq P \quad b: \bar{P} \leq P < \bar{P} + \sigma$$

$$c: \bar{P} - \sigma \leq P < \bar{P} \quad d: P < \bar{P} - \sigma$$

ここで、 $\bar{P}$  は人口の平均、 $\sigma$  は人口の標準偏差である。 $\bar{P}$  は 1430.65、 $\sigma$  は 1520.25 となった。

なお、P は 0 以下にはならず、d のランクは存在しないため、以下の a, b, c の 3 つのランクにより分析を行った。

$$a: 2950.90 \leq P \quad b: 1430.65 \leq P < 2950.90$$

$$c: P < 1430.65$$

また、NDVI についても同様に値の大小に応じて A, B, C, D の 4 ランクに区分し、以下のように定義した。

$$A: \bar{N} + \sigma \leq N \quad B: \bar{N} \leq N < \bar{N} + \sigma$$

$$C: \bar{N} - \sigma \leq N < \bar{N} \quad D: N < \bar{N} - \sigma$$

ここで、 $\bar{N}$  は NDVI の平均、 $\sigma$  は NDVI の標準偏差である。 $\bar{N}$  は 174.28、 $\sigma$  は 17.38 となった。よって、A, B, C, D は以下のようない定義される。

$$A: 181.66 \leq N \quad B: 174.28 \leq N < 181.66$$

$$C: 156.90 \leq N < 174.28 \quad D: N < 156.90$$

人口と NDVI との関係を地域的に捉えるために、NDVI の A, B, C, D の 4 ランクと人口の a, b, c

の3ランクから図-3のように12区分のマトリックスを作成した。このとき、aAは人口が多くかつNDVIも高いメッシュ、cDが人口が少なくNDVIが低いメッシュとなる。そして、aDもしくはaCからcBもしくはcAへの直線上に多くのメッシュが存在していると考えられる。そこで距離帯別、方向別に12区分による分析を行った。その結果、表-1のようになった。

表-1より、10kmまでは67.2%がaDとなり、人口が多くNDVIが低いメッシュが多くを占める傾向が見られた。この傾向はI、II、III、IVの方向別においても同様の傾向が見られた。

10~20kmは38.4%がaDとなり、人口が多くNDVIが低いメッシュが多い傾向が見られた。20~30kmとなり、20~30kmよりも人口が少なくなり、NDVIは24.5%がbCとなった。30~40kmは31.3%がcBが高くなる傾向が見られた。40~50kmは37.1%がcB、31.6%がcAとなり、30~40kmよりもNDVIが高くなる傾向が見られた。

これらの結果から、中心に近いと人口が多くNDVIが低いメッシュが多い傾向にあり、中心から離れるに人口が少なくNDVIが高いメッシュが多い傾向にあることがわかった。

ここで、人口が多くNDVIが高いaA、aB、bAについて地域的傾向の考察を行う。aA、aB、bAのメッシュの分布は図-4のようになった。

この結果から、10kmまでは人口が多いが緑被は少ない傾向にあることがわかった。aBについては20~30kmにおいて、bAについては30~40kmにおいて最も割合が高く、この距離帯で相対的に多く存在していることがわかった。特にIVの割合が他の方向に比べて高くなかった。30~40kmと40~50kmはaBの割合がIVで相対的に非常に高く、

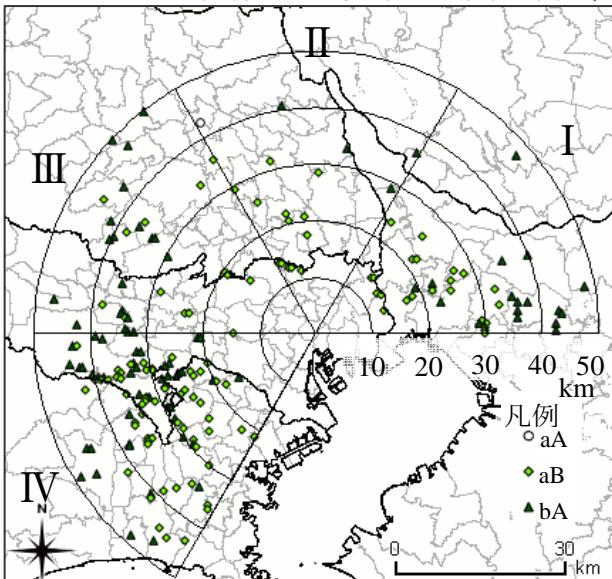


図-4 人口が多くNDVIが高いメッシュの分布

その中でも多摩丘陵から東京都南多摩にあたる地域で多くあることがわかった。これは、IVがI、II、IIIに比べ、鉄道網が多く整備され、利便性が高いため、人口が多くなったためと考えられる。IとIIIはcA、cBの割合が高く、IIはcBの割合が高いため、相対的に人口が少なく緑被が多いと考えられる。

## 6. まとめ

本研究では、人口と緑被の地域的特徴を明らかにするために、国勢調査による人口データとTerra/MODISのNDVIを用いて分析を行った。その結果、人口は中心からやや離れたところで最大となり、そこより離れるに従って減少する一方、NDVIは中心から離れるに従って増加することがわかった。そして、人口とNDVIとの間にやや高い負の相関があることがわかった。

続いて人口とNDVIを距離帯別、方向別の傾向の考察を行った。その結果、都市の中心では人口が多く緑被が少なく、郊外にいくに従って人口が少なく緑被が多い傾向にあることがわかった。

これらのことから、10km以内では生け垣や屋上緑化の支援、街路樹等の植樹といった緑化のための政策を推進することにより、緑被が多く人口の多い地域になるとされる。また、30~50kmでは相対的に人口が多く緑被が多い傾向にあることがわかった。

今後の課題として、本研究では2005年の国勢調査の結果とNDVIを用いて分析を行ったが、それ以前の国勢調査メッシュとNDVIデータによる経年変化の分析を行うことが考えられる。また、2010年国勢調査結果とNDVIとの関係の分析を行い、本研究結果と比較することによる変化の考察を行うことが考えられる。

## 参考文献

- 田中章司郎・西井龍映(2003)：人口増加に伴う森林減少の空間モデル、応用統計学、32(1), 1-15.
- 村上暁信・武内和彦・恒川篤史・守分紀子(2000)：メトロマニラにおける人口密度分布の動態と緑地分布、都市計画、35, 625-630.
- 竹内涉・根本利弘・P. J. Baruah・越智士郎・安岡善文(2003)：WWWを利用したTerra MODISデータ前処理システムの構築、写真測量とリモートセンシング、42(2), 21-27.