

フラクタル次元を用いた都市道路ネットワーク形態の定量化に関する研究

信州大学大学院 学生会員 ○DING PENGDA
 富山県庁 金山 英祐
 信州大学 正会員 高瀬 達夫

1. はじめに

旧来より都市は交通ネットワークの発達とともに発展してきており、なかでも道路ネットワークの発達は都市内だけでなく広域的な人の移動や物の流通に大きく寄与している。そこで、道路ネットワークは都市の経済的発展や都市構成を評価する際に、重要な指標の一つとなっている。しかしながら、道路ネットワークの形成状況を表す指標として、これまで単に道路の総延長や面積率を用いていることが多かったが、これらは道路ネットワークの広がりを表すことができなかった。そこで本研究では、道路ネットワークの形態に対して、自然科学の分野で用いられてきたフラクタルの概念を導入し、これまで定量的化することが難しかった都市における道路の分布状態をフラクタル次元で表すことを試みた。さらに、都市の経済的指標のモデルを作成し、説明変数の一つとして用いる道路ネットワークを表現する指標として、現在一般的に用いられている指標と本研究で用いたフラクタル次元による定量的指標の比較分析を行い、その有効性の検討を行った。

2. フラクタル次元を用いた道路ネットワーク形態の定量化の方法

本研究で用いるフラクタル次元はこれまで都市計画の分野で都市の形状や建物の輪郭等に用いられることが多かったが、近年では都市の街路網の状態を表す指標としてフラクタル次元を用いた研究が見られるようになってきた。しかしながら、これまでなされてきた研究は狭いエリアに対してフラクタル次元を適用しているものが多かった。これに対し本研究は、道路ネットワークのフラクタル次元を測定するエリアを都市中心部を起点とした10km～50km四方の広いエリアを分析対象としている。フラクタル次元の解析にはいくつかの手法があるが、本研究では容量次元解析を用いて行うこととするが、この解析手法はボックスカウンティング法を用いることにより、比較的容易に測定することができる。

ボックスカウンティング法は対象とする空間を1辺の長さが元の長さの1/2, 1/4, 1/8…になるように区切ってゆき、区切られたマス目のうち、何個のマス目が対象点や線を含んでいるかを数え上げるもので、いま一般的にマス目の一辺の長さを r 、対象点を含むマス目の個数を $M(r)$ としたとき

$$\log M(r) = a \log r + b + \varepsilon(r) \quad (1)$$

$\varepsilon(r)$: 誤差項

となる線形関係を満足する回帰係数 a を求めると、その絶対値が対象空間の容量次元となる。図-1に例として3つの道路ネットワークおよびそれぞれのフラクタル次元の値を示したが、道路ネットワークが複雑で広範囲に広がっているほどフラクタル次元の値が大きくなっていることがわかる。

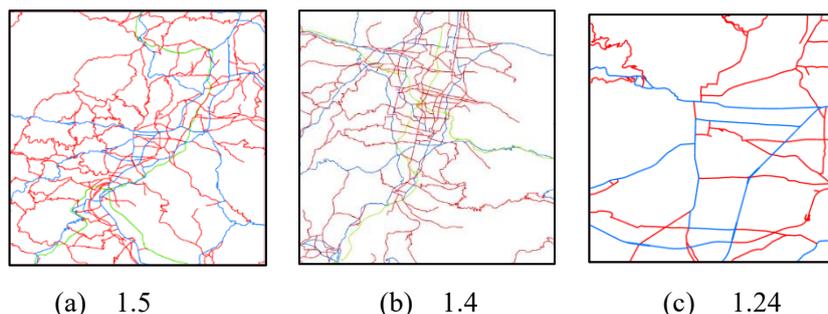


図-1 道路ネットワークの例とフラクタル次元

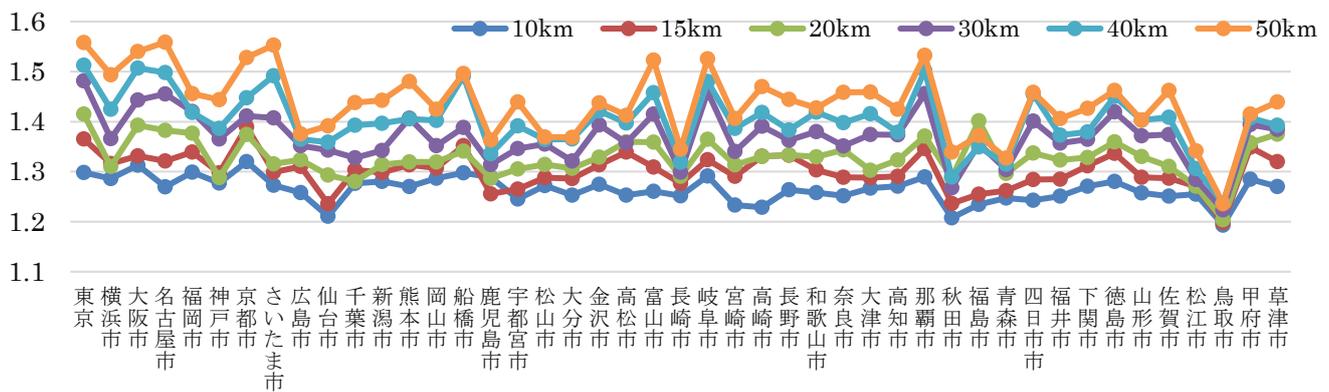


図-2 主な都市の道路ネットワークのフラクタル次元

3. 分析対象都市の設定と道路ネットワーク形態のフラクタル次元の算定

本研究では主に県庁所在地を始めとし、全国の主要都市計 45 都市を分析対象として選定した。さらに本研究では 10km～50km 四方の広いエリアを分析対象としているため、フラクタル次元の算定に用いる道路は高速道路、国道、都道府県道とした。本研究で使用した道路データは「地理院地図 Vector (仮称) 提供実験」(国土地理院) (<https://github.com/gsi-cyberjapan/gsimaps-vector-experiment>) をもとに「コンサベーション GIS コンソーシアムジャパン」(<http://cgisj.jp>) が作成した”道路中心線 2020”のデータを使用した。そして、このデータを基にして、ArcGIS Pro を用いて道路データの四方図を作成し、四方図ごとにフラクタル次元の算出を行った。図-2 に主な都市ごとのフラクタル次元の値を示したが、10km 四方の道路ネットワークのフラクタル次元についてはほとんどの都市で 1.2～1.3 の値を取り、都市間にあまり差が見られなかったが、領域が広くなるに従って都市間の差が大きくなることがわかった。また、都市道路ネットワークが充実している大都市では全体的に高い値が得られた。

4. 都市の経済指標モデルによる道路ネットワークのフラクタル次元の有効性の検討

道路ネットワークの形状は都市の経済規模に影響を与える重要な要素のひとつと考えられる。そこで本研究では、前章で算出したフラクタル次元と現在道路ネットワークの状態を表す指標として一般的に用いられている道路の総延長の値を説明変数の一つとして用い、重回帰型の都市経済指標モデルを作成し比較検討を行った。本研究で作成したモデルでは経済指標として市内総生産を用いることとした。また、道路ネットワーク指標以外の説明変数は、試行錯誤の結果、市面積・中心駅利用者数・陸地面積比率・高齢化率・三大都市圏ダミーを用いた。駅利用者数については自動車以外の主たる移動手段である鉄道利用者の影響を考慮するため用い、陸地面積比率は内陸都市と湾岸都市では道路ネットワークの広がり異なることから用いた。

モデルの推定結果の一つとして、20km 四方図のフラクタル次元を用いた結果を表-1 に示した。道路ネットワークを表す指標として総延長とフラクタル次元それぞれ用いた結果は、ともに 20km と 30 km 四方図のみ有意な値が得られた。さらに総延長とフラクタル次元のモデルを比較すると、フラクタル次元を用いたモデルの方が当てはまりが良いことがわかった。この結果から、道路ネットワークの定量的指標としてフラクタル次元の有効性を明らかにすることができた。今後は様々なモデル分析を行い、さらに検討を行っていきたい。

表-1 モデル推定結果(20km,フラクタル次元)

説明変数	係数	t 値
定数項	-0.0409	-0.46
フラクタル次元 (20 km)	0.151	2.13
高齢化率	-0.021	-0.29
市面積	0.388	4.59
陸地面積比率 (20 km)	-0.0551	-0.84
駅利用者数	0.604	5.9
三大都市圏ダミー	0.102	0.61

N : 45、修正済み R² : 0.848

参考文献 1)岡田憲夫, 田中成尚: 形態特性からみた道路網整備度の計量指標化に関する研究, 土木計画学研究・論文集 No. 5, pp. 195-202, 1987