道路ネットワーク構造の類似度評価

~カルバック疑距離とコサイン尺度との比較~

賀島 崇(09X4026)

指導教員 五島 洋行

1. はじめに

本研究では、都市における道路ネットワーク構造を、類似度という点に着目して評価する手法を提案する.

現在日本では、道路の渋滞が深刻な問題となっている。戦後の高度経済成長により、急速な道路整備が進められてきた。しかし、時代が進むにつれて車両などの交通量が大幅に増加し、既存の道路では対応しきれず、渋滞が頻発するようになってきた。また、騒音や交通振動や大気汚染などの沿道環境の悪化などの課題を抱えている。これら渋滞、交通をして、場所といった問題は、日本の道路にとないまではなく、世界各国共通の課題となっている。今後の課題として、必要性の高い道路の整備が重要となってくる。整備計画をしっかり行うことは、交通渋滞の緩和や日本経済の回復の一助になることが期待される。

そこで本研究では、道路ネットワーク構造を定量的に評価することを目的として、類似度という観点から道路状況などを評価する.これにより、道路ネットワーク上の問題個所の把握が正確に行えるようになり、新しく道路を建設する場合や、道路整備をする場合などの設備計画の一助となることが期待される.

2. 先行研究

道路ネットワークを分析する研究は、都市計画や交通工学、オペレーションズ・リサーチなどの分野で研究されている。道路ネットワーク構造を定量的に評価する研究は数多くされており、中でも道路ネットワークの移動距離に着目した研究が代表的な評価方法である。田中[1]は類似度に着目した研究、栗原[2]は各道路にかかる交通負荷に着目した研究、田口・大山[3]は重要度に着目した研究など、様々な研究が行われている。これらの研究では、最短経路問題を用いて道路ネットワークの移動距離を算出し、道路ネットワーク構造を定量的に評価する。

3. 分析対象

3.1 実在都市

本研究では、道路ネットワークの構造データに空間データ基盤数値地図 2500 を使用し、その中から道路中心線を使用する. 道路中心線のデータの中には、リンクやノードに関する座標データと、それに対応する道路名称や地域などの位置情報が含まれる.

3.2 仮想都市

実在都市の分析範囲におけるノード数をn, 分析範囲の面積をSとすると, 仮想都市の一辺のノード数Nとグリッド間隔Dを次式で求める.

$$N = \sqrt{n} \tag{1}$$

$$D = \frac{\sqrt{S}}{(N-1)} \tag{2}$$

ここでN や D が小数になる場合は、四捨五入をして整数にする.

4. 提案手法

本研究では類似度を算出する方法として, カルバック疑距離とコサイン尺度を使用する. 4.1 カルバック疑距離

カルバック疑距離とは情報理論と確率論に おける二つの確率分布の差異を計る尺度であ る.次式にカルバック疑距離の式を示す.

$$D_{KL}(P||Q) = \sum_{i} P(i) \log \frac{P(i)}{Q(i)}$$
 (3)

ここでのPとQは離散確率分布であり、P(i)と Q(i)はiのときの確率で表している. $D_{KL}(P||Q)$ が 0 に近ければ近いほど類似性が高くなり、 $D_{KL}(P||Q)$ が 0 から離れているほど類似性が低くなる.

4.2 コサイン尺度

コサイン尺度とは、ベクトル空間モデルに おいて、二つの文章同士を比較することで類 似度を調べる数理モデル一つである。次式に コサイン尺度の式を示す。

$$\cos(d,q) = \frac{(d,q)}{\|d\| \|q\|} \frac{\sum_{i=1}^{m} d_i q_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} d_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{m} q_i^2}}$$
(4)

ここでのdはベクトル空間モデルにおける文章ベクトル、qは検索質問ベクトルを表している。コサイン尺度は、 $\cos\theta$ が1に近ければ近いほど類似性が高くなり、 $\cos\theta$ が0に近ければ近いほど類似性が低くなる。

4.3 比較方法

カルバック疑距離とコサイン尺度による類似度を求め、求めた数値からそれぞれ比較や 考察を行う.

5. 数值実験

5.1 実験条件

類似度を算出するために、実在都市と仮想都市の道路ネットワークにおける全ノード間の最短経路をダイクストラ法で探索し、そこから最短経路長を求める。表1に対象地域の概要、図2に分析対象地域の道路を示す。

5.2 実験結果と考察

図3,4はさいたま市と白岡市における実在都市の道路ネットワーク構造と仮想都市の道路ネットワーク構造と仮想都市の道路ネットワーク構造の最短経路長分布を示したものである。表2は最短経路長から求めたカルバック疑距離とコサイン尺度それぞれの類似度を示したものである。図3からはさいたま市の類似性は低いといえる。表2でもカルバック疑距離とコサイン尺度の二つとも、白岡市よりもさいたま市の方が類似性が高いということが分かった。数値実験の結果からカルバック疑距離の有用性があるといえ、類似度を計算する尺度方法として妥当だということがいえる。

表 1 対象地域概要.

分析対象地域		実在	仮想
さいたま市	ノード数	31, 453	31, 329
	リンク数	45, 002	62, 304
白岡市	ノード数	19, 787	19, 811
口[[[]]]	リンク数	26, 853	39, 480

表 2 類似度比較.

	さいたま市	白岡市
DKL(P Q)	0.005	0.020
cos(d, q)	0. 994	0. 972



図2. 分析対象地域の道路網(左:さいたま市 右:白岡市).

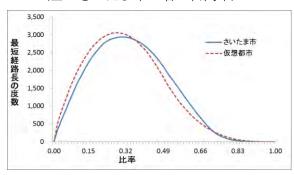


図3. 最短経路長分布(さいたま市).

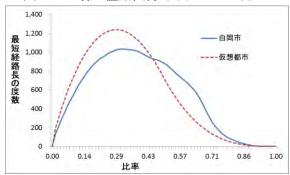


図 4. 最短経路長分布(白岡市).

6. まとめ

本稿では実在都市と仮想都市の道路ネット ワーク構造を二つの手法を用いて類似度評価 を行った.数値実験の結果,カルバック疑距 離の適用が妥当であることが分かった.今後 の課題としては,仮想都市のノードとグリッ ド間隔の決定方法などを検討する.

参考文献

- [1] 田中正樹, "都市の道路ネットワーク構造 評価に関する一提案", 長岡技術科学大学修 士論文, (2009).
- [2] 栗原宏昌,"地域内移動が困難な都市における道路ネットワークの構造評価",長岡技術科学大学卒業論文,(2011)
- [3] 田口東 大山達雄, "ネットワーク構造に 基づく道路の重要度評価",日本オペレーションズ・リサーチ学会誌, Vol38, pp. 465-470, (1993)

道路ネットワーク構造の類似度評価

~カルバック擬距離とコサイン尺度との比較~

指導教官 五島洋行

法政大学 理工学部 経営システム工学科 経営数理工学研究室 (平成 24 年度 2 月 1 日)

09x4026 賀島崇

論文要旨

本論文では、都市の道路ネットワーク構造を類似度に着目して評価する手法を提案する. 戦後の高度経済成長により、急速な道路整備が進められてきた. しかし、時代が進むにつれて車両などの交通量が大幅に増加し、既存の道路では対応しきれず渋滞が頻発するようになってきた. そして現在日本では、道路の渋滞が深刻な問題となっている. 今後の課題として、必要性の高い道路の整備が重要となってくる. 整備計画をしっかり行うことは、交通渋滞の緩和や日本経済の回復につながることが考えられる.

そこで本研究では、道路ネットワークの構造を定量的に評価することを目的として、道路ネットワークの類似度という観点から道路状況などを評価する。分析対象地域の道路ネットワーク構造と格子状の構造を持つ仮想都市とを比較し、どのくらい類似しているかで評価を行う。実在都市としては、埼玉県さいたま市と埼玉県白岡市を分析対象地域とした。類似度を求めた結果、カルバック疑距離とコサイン尺度ともさいたま市の類似度は高くなり、白岡市の類似度は低い結果であった。その理由としては、さいたま市は道路密度が高いことから、仮想都市と比較的似ている道路ネットワーク構造をしていため類似度が高い結果がであったと推測される。一方、白岡市は道路密度が低いことから、仮想都市と異なる道路ネットワーク構造をしてために類似度が低い結果であったと推測される。提案手法は、実際に新しく道路を建設する場合や、橋を新しく建設する際の最適配置などの設備計画の一助になること期待できると考えられる。

目次

第1章	序論	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究目的	2
第2章	日本の道路状況と先行研究	4
2.1	日本の地形	4
2.2	交通渋滞の影響と要因	4
2.3	渋滞対策	5
2.4	先行研究	6
2.5	先行研究の問題点と本研究の方向性	7
第3章	予備知識	9
3.1	GIS	9
3.2	数值地図	9
3.3	最短経路問題	10
3.4	コサイン尺度	11
3.5	カルバック擬距離	12
第4章	提案手法	13
4.1	フローチャート	13
4.2	分析手順	14
第5章	分析対象地域	19
5.1	埼玉県さいたま市	19
5.2	埼玉県白岡市	20
5.3	仮想都市	21
第6章	分析結果	23
6.1	最短経路長分布	23
6.2	類似度	26
6.3	評価	26
第7章	まとめと結論	27

第1章 序論

1.1 研究背景

現在日本では,道路の渋滞が深刻な問題となっている,戦後の高度経済成長により, 急速な道路整備が進められてきた.しかし、時代が進むにつれて車両などの交通量が 大幅に増加し、既存の道路では対応しきれず渋滞が頻発するようになってきた. 図1 に 1960 年から 2008 年までの日本全国の自動車保有台数を示す. 縦軸は自動車保有台 数で、各年度を車両の種類別に累計した値で表している.この図より、車両台数の大 幅な増加がわかり、全国で発生している深刻な渋滞は、これが一因であるといってよ い. 道路の最大の特徴は、個別輸送機関としての交通手段であるとともに、サービス の多様性、機動性に優れており、最も便利な交通機関となっている. 現在日本では、 一家に一台の乗用車を保有しており,地方では一世帯当たり数台を保有する世帯も希 ではない、また、日本の運転免許保有者数も七千万人を超え、免許所得可能年齢のほ とんどが免許を保有している状況となっている.一方では,交通事故や渋滞による時 間損失や環境問題があり、これらが重要な問題となっている. 道路交通の輸送に着目 してみると、輸送が本格的に伸びたのは道路整備五カ年計画が始まった 1954 年以降 であり、道路交通はモータリゼーションの進展とともに急激に伸びてきた. 交通機関 別分担率の推移をみると、自動車による輸送は、1950年には、人の輸送も物の輸送 も 10%に満たなかったものの、1997 年には人の輸送では 67%、物の輸送では 54%とな り、現在では道路は人の輸送の2/3を超え、物の輸送の約6割を支えている.

自動車保有台数(万台)

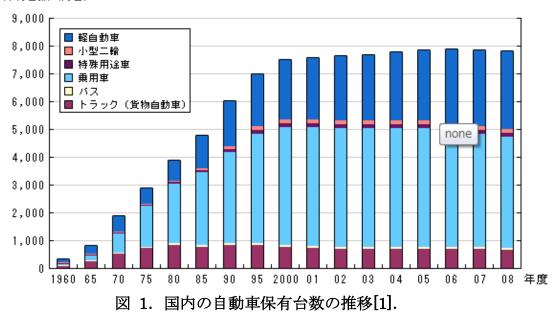


表 1 都市規模別走行速度(DID)[2].

	人口 [万人]	直轄国道 [km/h]	補助国道 [km/h]	国道計 [km/h]	主要 地方道 [km/h]	一般都道 府県道 [km/h]	都道府 県道計 [km/h]	一般道計 [km/h]
都	10~20	24.6	19.2	22.3	21.7	22.2	22.0	22.1
市	20~30	19.9	18.7	19.6	19.4	18.6	19.0	19.3
規	30~40	18.0	15.5	17.5	21.7	19.8	20.9	19.7
模	40 ~ 50	20.0	20.4	20.2	19.0	21.0	19.9	20.0
別	50以上	18.8	19.1	18.9	18.6	18.5	18.6	18.7
(DID)	平均	20.3	19.0	19.9	20.0	19.9	20.0	20.0
	全国平均	21.3	21.7	21.3	19.8	19.8	19.8	20.3

一人当たりの年間移動距離の推移をみると、移動量の増大を支えているのは自動車である. 文献[2]より、欧米諸国と比較してみると、アメリカの貨物輸送におけるトラックの分担率が日本より低いのみで、他は日本よりも自動車の分担率が高くなっている. 自動車は鉄道などの公共交通機関が効率的に機能できない地方部で利用されているばかりでなく、都市においても都市の交通状況や移動の目的に応じて自動車が利用されることが多い. 通勤には鉄道が使われるものの、業務には自動車が多く用いられている.

このように道路交通量は増大したものの, 道路交通を取り巻く周辺問題はきびしい 状況である. 走行速度の低下による渋滞のほか, 年間約 95 万件の交通事故が発生し, 約 9 千人が死亡し, 約 115 万人が負傷している. 加えて, 騒音や交通振動や大気汚染 などの沿道環境の悪化などの課題を抱えている. これら渋滞, 交通事故, 環境の問題 は, 日本の道路に限ったことではなく, 世界各国共通の課題となっている. 3 大都市 圏を除く人口 10 万人以上の都市の都市規模別平均走行速度 (DID) を表 1 に示す.

今後の課題として、必要性の高い道路の整備が重要となってくる。整備計画をしっかり行うことは、交通渋滞の緩和や日本経済の回復の一助になることが期待される。

1.2 研究目的

必要性の高い道路を整備することは非常に重要な問題である. 道路は交通機能,土地利用誘導機能,空間機能など多種多様の機能があり,多くの場合複合的な機能を有しているため,道路整備の計画においては,道路網を構成する各道路の機能を明確にする必要がある[3]. 今後,必要性の高い道路整備の計画行うためには,整備する地域の道路ネットワーク構造を分析し,道路ネットワークのどの部分に問題があり,どのような整備が効果的であるかを定量的に把握することが重要である.

道路ネットワーク構造の分析は、交通工学やオペレーションズ・リサーチなどの分野で研究されている。道路ネットワークの最短経路問題を解き、移動距離分布を用いて道路ネットワーク構造を定量的に評価する方法が代表的な研究である。田口・大山

[4]では、道路ネットワーク上の全てのノード間の最短経路問題を解き、最短経路で使用した各道路の本数を数え、それらを道路の重要度として、道路ネットワーク構造を定量的に評価する研究を行っている。栗原[5]では、地域内移動が困難な都市における負荷の影響を分析し、実在する地域内移動が困難な都市の負荷分布を、作成して道路ネットワーク構造を評価する研究を行っている。大砂・島川[6]では、角度を道路ネットワーク構造のコストに組み込み、最短経路問題を解く研究を行っている。田中[7]では、実際の道路を変換して仮想の格子状都市をつくり、その理想モデル都市と実在都市を研究対象としている。最短経路問題で任意のノード間の経路を全点間で算出し、理想都市モデルと実在都市の道路ネットワークをコサイン類似度によって比較・評価する研究を行っている。

そこで本研究では、道路ネットワークの構造を定量的に評価することを目的として、類似度という観点から道路状況などを評価する。道路状況は、分析対象地域の道路ネットワーク構造と格子状の構造を持つ仮想都市とを比較し、どのくらい類似しているかで評価を行う。類似度の計算では、田中[7]の方法を用いて、ネットワークのある起点から終点まで移動する場合の最短経路を、すべての起終点間の組み合わせに対して求め、それらの移動距離長に対する頻度分布として求める。次に、その頻度分布を確率分布にして計算を行い、実在都市と仮想都市の数値が近いほど、両者のネットワークは類似していると評価する。類似度の評価には、カルバック疑距離と呼ばれる確率分布の差異を計る尺度を用いる。本研究では、埼玉県さいたま市と埼玉県白岡市を分析対象の実在都市とする。最短経路長分布の計算には、実在都市と仮想都市の両者ともダイクストラ法を使用して数値解を求めた。この提案法は、道路ネットワーク上の問題個所が正確に行えるようになり、新しく道路を建設する場合や、道路整備をする場合などの設備計画の一助となることが期待される。

本論文の構成は、以下のとおりである。2章では、日本の道路状況、道路渋滞による影響や要因について説明する。また、これまでの道路ネットワーク構造の定量的評価に関する先行研究を紹介し、問題点などを提示し本研究の方向性を示す。3章では、本研究に必要となる予備知識やアルゴリズムなどを説明する。4章では、提案手法を説明する。類似度を求めるための最短経路長の算出方法や類似度の評価方法など分析手順説明し、道路ネットワークを定量的に評価する方法の必要性について説明する。5章では、分析対象地域についてその地域の特徴や情報と道路ネットワークの構造について説明する。6章では、実在都市と仮想都市の道路ネットワーク構造をカルバック疑距離とコサイン尺度による類似度の結果を示し、考察を行う。最後に7章では、本研究でのまとめを行う。

第2章 日本の道路状況と先行研究

2.1 日本の地形

日本は下記のような特徴を持った地域[2]である.

- i 国土の地形は南北に細長く中央には山脈がある
- ii 降水量が多い地域である
- iii 積雪量が多い地域である
- iv 平野は軟弱な地盤である

これらを考慮すると、道路を建設する際などに次のような困難がある.

国土の地形から、太平洋側と日本海側とを道路で結ぶには、多くのトンネルや橋が必要となる。降水量が多い山岳地帯の道路では、一定以上の雨量に達すると崖崩れのおそれがある区間は通行規制を行い、積雪量が多い地域では冬季の雪対策などの維持管理面でも多くのコストを強いられる。軟弱な地盤の地域においては軟弱地盤処理が必要となる、などがある。

日本は上記のようなきびしい条件下にあるものの,一般道路は一時期に比べれば格段に改善され,高速道路の延長も順次延びており,道路事情も次第に改善されつつある.しかし,欧米諸国などでは現在でも高速道路の整備を進めており,日本の道路は国際比較をした場合,高速道路の整備で遅れた面がある.

2.2 交通渋滞の影響と要因

交通渋滞の主たる原因は道路構造と自然現象であり[2],これに事故や工事などの交通規制,道路周辺の沿道状況,交通状況,交通の集中,交通の偏りなどが加わって,道路の効率が低下している.ここでは道路線形や幅員や構造物などの道路構造と自然現象について以下に示す.

● 道路構造などによる渋滞

- 1 高速道路の料金所では、料金収受のための減速や停止があり渋滞要因の第一位となっている.
- 2 サグと呼ばれる谷型の場合の底部,クレストと呼ばれる丘型の場合の頂部,急曲線,勾配などの道路線形の変化によって速度低下する.サグ部と上り坂は高速道路の渋滞原因の第二位となっている.
- 3 インターチェンジの合流部では車線数減少による車線変更により円滑性が低下し、 高速道路の渋滞原因の三位になっている.
- 4 狭い幅員の道路では側方余裕の不足から速度が低下する.
- 5 トンネル内部の圧迫感によって速度が低下する.

6 織込み区間では車両相互関係から速度低下し、車間距離が長くなる.

● 交差点や踏切などによる渋滞

実際の道路では、交差点・踏切での発進・停止による車頭間隔のばらつきによる速度低下が原因で、渋滞のボトルネックは交差点や踏切である場合が多い.以下に交差点で発生する渋滞の原因を示す.

- 1 信号交差点の交通容量を需要交通量が上回って渋滞が発生する.
- 2 急加速,発進遅れなどによるさばけ台数の低下に伴う飽和交通流率の乱れにより 渋滞が発生する.
- 3 横断歩行者,右折車の滞留などによる一時停止や減速による交通流率の低下により り渋滞が発生する.

● 自然現象による渋滞

- 1 雨天・積雪などの運転環境の変化によって速度が低下し、車間距離が長くなる.
- 2 夜間においては運転者の視距の低下によって速度が低下し,車間距離が長くなる.

2.3 渋滞対策

渋滞対策にはハードの対策とソフトの対策があるが, 道路改良はハード面の最も基本的な対策ある. 本来は道路のネットワークを整備することで解消される渋滞が多いものの, 整備には時間を要することから, 簡易で実現可能な対策を講じて渋滞を緩和しなければならない. 以下に具体的な渋滞対策を述べる.

● 交通需要マネジメント

自動車は非常に便利な交通手段であることから都市,地方を問わず広く普及したものの,都市部では渋滞をはじめとした自動車交通の抱える問題が顕在化した[8].このために,自動車交通を効率のよいシステムに改善するための自動車系システムの効率化が図られた.これを交通需要マネジメント(Transportation Demand Management,以下 TDM)といい,自動車利用者の交通行動に変化を促すことによって,交通渋滞を緩和しようとする手法である.いろいろな方法が検討され実施に移されている.

TDM は道路交通の混雑を緩和するため,道路利用者の時間変更,経路変更,利用手段の変更,自動車の効率的利用などによって交通移動車の交通行動の変更を促すことにより,交通の需要量を調整する手法で広義では,交通の発生源である土地利用,都市施設の立地などの成長管理,都市計画なども含まれる.

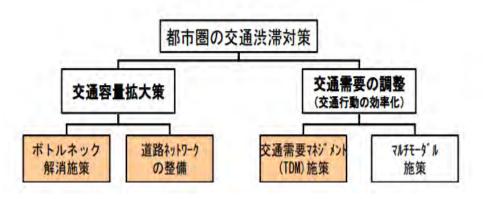


図 2. 都市圏の交通渋滞対策に係る施策体系[8].

混雑の緩和によって,交通環境の改善にも効果がある.都市圏では道路交通混雑が著しく,道路整備が交通需要の伸びに追いつかないことから,交通の利便性長期的視点からの道路整備,複数の交通機関を連携させることで交を高めるマルチモーダル施策と並行して,現状での道路の機能を十分に発揮させるよう,TDM 手法の活用が考えられている.図2に交通渋滞対策に係る施策体系を示す.

2.4 先行研究

道路ネットワークを分析する研究は、都市計画や交通工学、オペレーションズ・リサーチなどの分野で研究されている。道路ネットワーク構造を定量的に評価する研究は数多くされており、その中でも、道路ネットワークの移動距離に着目した研究が代表的な評価方法である。これらの研究の評価方法は、最短経路問題を用いて道路ネットワークの移動距離を算出し、道路ネットワーク構造を定量的に評価する研究である。以下に本論文に関連する研究を挙げる。

① 類似度に関する研究

田中[7]では、実際の道路を変換して仮想の格子状都市をつくり、その理想モデル都市と実在都市を研究対象としている。最短経路問題で任意のノード間の経路を全点間で算出し、理想都市モデルと実在都市の道路ネットワークをコサイン類似度によって比較・評価を行う研究である。この研究により、分析対象地域によって類似度が大きくことなるといった研究結果を出している。

② 重要度に関する研究

田口・大山[4]では、道路ネットワーク構造の重要度に着目した研究である.この研究では、道路ネットワーク上の全てのノード間の最短経路問題を解き、最短経路で使用した各道路の本数を数え、それらを道路の重要度として、道路ネットワーク構造

を定量的に評価する研究を行っている.この研究により,都市の主幹道路や分析地域の中心の重要度が高くなる傾向があるといった研究結果を出している.

③ 角度に関する研究

大砂・島川[6]では、角度を道路ネットワーク構造のコストに組み込み、最短経路問題を解く研究を行っている。この研究により、角度が最短経路探索に影響するといった実験結果を出している。角度を考慮しない場合の経路探索では、非幹線道路を利用しているのに対し、角度を考慮した場合の経路探索では、幹線道路を利用する回数が多いといった傾向が見られる。

④ 各道路にかかる交通負荷に関する研究

栗原[5]では、地域内移動が困難な都市における負荷の影響を分析し、実在する地域内移動が困難な都市の負荷分布を、作成して道路ネットワーク構造を評価する研究を行っている。この研究により、川などによって分断された地域では、それらをつなぐ地域間をつなぐリンクの本数が多くなるにつれて、負荷も減衰していく傾向があるといった研究結果が得られている。

2.5 先行研究の問題提示と本研究での方向性

道路の類似度に着目した研究[7]は、実在都市と格子型の理想都市を、最短経路問題を解き最短経路長分布を示し、ベクトル空間モデルを用いて類似度の分析を行っている。しかし、理想都市のグリッド間隔の決定方法が明確に言及されていない。そのため理想都市における類似度評価は十分とは言えない。また、分析対象地域の類似度評価を行われているものの、それらに使用される類似度の判断基準が明確に言及されていない。道路ネットワーク構造を評価するためには、適切なグリッド間隔の決定や類似度の評価基準を明確にする必要がある。重要度に着目した研究[4]は、格子状都市や放射線状都市などの理想的な道路ネットワークにおいて分析を行っている。しかし、川や線路などによって地域が分断されているなどの地域内移動が困難な都市の分析は行われていない。そのため特殊な地域の分析も必要と考えられる。

道路ネットワークの角度に着目した研究[6]は、角度をリンクのコストに組み込み、 最短経路探索を行っている. しかし、コストのモデル式は明確に言及されていない. 角度によるコストのモデル式によって、最短経路探索の結果は大きく変化してしまう と考えられる.

各道路にかかる交通負荷に着目した研究[5]は、川などによって分断された地域内 移動が困難な都市における分析を行っている.しかし、車線数や信号の道路状況を付加して分析を行っていない.実際の道路は交通状況の影響が強く、それらを考慮した 際には実験結果などが大きく変化してしまうと考えられる. 道路ネットワーク構造を評価するためには、道路の交通状況も合わせて評価する必要がある.

そこで本論文では、道路ネットワーク構造を定量的に評価することを目的として、 実在する道路ネットワーク構造と仮想的な道路ネットワーク構造を、最短経路長とい う点に着目して類似度評価を行う。格子状の仮想的な道路ネットワーク構造を作成し、 実在する道路ネットワーク構造と仮想都市それぞれの最短経路長一度数分布を求め る.この分布を用いて、類似度を評価する尺度方法を使用し計算を行う。これにより、 新しく道路を建設する場合や、橋の最適配置などの設備計画に役立てられると考えら れる.

第3章 予備知識

3.1 GIS

GIS[9]とは Geographic Information Systems の略で、日本語では「地理情報システム」とすることが多い。GISは、空間分析を行うための、コンピュータと専用ソフトウェアおよびデータからなる一群のシステムである。空間分析のためにはさまざまな地図が不可欠であるが、そうした地図を手書きではなくコンピュータで作成すれば書き損じもなく、より効果的な地図にするためのやり直しを簡単にできる。例えばデータの階級区分における階級数や階級区分の方法を変える場合、手書きの地図だと最初から書き直すことになり作図に時間がかかるものの、コンピュータで作図する場合は設定を変えるのみですぐに書き直すことができる。また近接性やポテンシャルの測定など、膨大な空間データを用いた高度な分析も容易に行うことができる。

GIS は、位置データとそれに関連づけられた属性データからなるデータ、すなわち空間データを統合的に処理(データの管理、分析、作図など)するツールと位置づけることができる。GIS の利点は、主題の異なる複数の空間データ群が存在するときそれらのデータを重ね合わせて表現できることである。

近年における社会の情報化に伴って、都市計画、資源や施設・地籍図などの管理、防災、エリアマーケティング、ナビゲーションなど、GISの利用分野は著しく拡大しており、産業界や行政を中心として普及しつつある。防災への応用例では、ハザードマップや避難場所・避難経路図の作成などが知られている。

GIS はコンピュータの発達に伴いその分析能力が飛躍的に向上した. また GIS で用いることができる空間データも整備されてきた. そのため、GIS はもはや単なる分析ツールとしてのみではなく一歩進んだ空間分析科学としての側面をもち始めた. この意味を込めて、Systems の代わりに Science を用いる場合も増えている. ここ 20 年ほどで飛躍的な進歩を遂げた GIS は、今後も急速に変わり今よりもさらに使いやすく精緻なツールとして、あるいは奥行きの深い空間分析として成長していくと考えられる.

3.2 数值地図

本研究では、道路ネットワークの構造データに空間データ基盤数値地図 2500 を使用する.このデータは、各分野で利用が進んでいる地理情報システムを構築する際の、最も基本的な項目を集めたデジタル図形データである.地方自治体の作成した縮尺 2500 分の 1 都市計画基図に書かれている情報のうち、町区界、駅、道路節点、場地区域、内水面、三角点、公共建物等のデータが収められている。表 2 に数値地図 2500 のデータ項目の一覧を示す.数値地図は七つのパッケージにまとめられているが、

表 2 数値地図 2500 データ項目.

No	項目	構造	属性
1	行政区域 海岸線	ベクタ線情報でポリゴ ンを構成、点情報	行政コード名 称
2	街区	ベクタ線情報でポリゴ ンを構成、点情報	街区符号
3	道路中心線	ベクタ線情報で道路 ネットワークを構成	主要なもの の名称
4	鉄道、駅	ベクタ線情報、駅につ いては点情報	名称(路線名)
5	内水面 公園	ベクタ線情報でポリゴ ンを構成	名称
6	公共建物	ポリゴン	種別•名称
7	三角点	点情報	名称

本研究では三つ目のパッケージである交通施設の中から道路中心線を使用する. 道路中心線には、主にリンクやノードに関する座標データと、それに対応する道路名称や地域などの位置情報が含まれる.

3.3 最短経路問題

最短経路問題とは任意の二頂点間を結ぶ経路の中から、リンクの重みの総和が最小となる経路を探索することである。最短経路探索のアルゴリズムとしてダイクストラ法、A*法などが広く知られているが、本研究では、この種の経路探索で広く用いられているダイクストラ法を使用する。ダイクストラ法のアルゴリズムは、ノードにラベルを付ける貪欲解法の一種である。ダイクストラ法における仮定の一つとして、任意の隣り合うノードiとノードjの間の距離dijは探索範囲内の全てにおいて非負である。ノードに付与するラベルはd(i)、jの二値である。ここでd(i)は、開始ノードsから任意のノードiまでの最短距離の累積値を与える。また、jは最短経路上でノードiの直前に位置するノードの番号を表す。また、ラベル付与済のノードをcとする。探索範囲内の全てのノード対の最短経路を求めるアルゴリズムのプロセスを以下に示す。

Step1. 開始ノードs を決定する. 初期設定ではs=0とする.

Step2. 各ノードiのラベルを初期設定する. 開始ノードs から最短経路の累計値d(i) を付与する. ここでは次のように定義する.

$$d(i) = 0 \quad (i = s) \tag{1}$$

$$d(i) = \infty \ (i \neq s) \tag{2}$$

また、開始ノードs にラベル $\{0,-\}$ を付与しc=sとする. Step3. ラベルの付いていない全てのノードi に対して式()を再定義する.

$$d(i) = \min (d(i), d(y) + d(ij))$$
(3)

ここで、ラベルの付いてないノードiに対して $d(i) = \infty$ となっていれば、開始ノードs からのラベルがついていないノードi への経路は存在しないため終了する。そうでないときは、ラベルの付いていないノードi は、d(i) が最小になるようにラベルを付ける。ラベルのもう一方の成分j には、d(i) の決定にあたって用いた経路上の一つ前のノード番号を付与する。

Step4. 全てのノードにラベルが付与されたら終了する. この時, 開始ノードs から任意のラベル $\{d(i),j\}$ の経路がそれぞれの最短経路となる. それ以外の場合はStep3に戻る.

Step5. 開始ノードが全ノード数に達したら終了する. そうでない場合は, Step1 に戻る.

3.4 コサイン尺度

文献[7]によるとベクトル空間モデルとは、文章などを多次元空間上のベクトルとして表現し、二つのベクトルを比較することにより類似度を調べるモデルの一つである。検索対象となる文章を $D_1,D_2,\cdots D_n$ とし、これらを通じて全部でt個の索引語 $y_1,y_2,\cdots y_t$ があるとする。この時Dは、

$$D = d = [d_{1j} \ d_{2j} \ \cdots \ d_{ij}]^T$$
 (4)

で表される. また, 検索質問文に含まれる索引語 y_t の重みを q_i とすると, 検索質問qは,

$$\mathbf{q} = [q_1 \ q_2 \ \cdots \ q_i]^T \tag{5}$$

で表される.

実際の文章検索では、与えられた検索質問文と類似した文章を見つけ出す必要があるが、ベクトル空間モデルでは文章ベクトルdと検索質問ベクトルqの間の類似度を計算する。ベクトル間の類似度を計算するには、コサイン尺度と呼ばれる尺度方法が一般的に用いられ、

$$\cos(d,q) = \frac{(d,q)}{\|d\| \|q\|} = \frac{\sum_{i=1}^{m} d_i q_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} d_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{m} q_i^2}}$$
(6)

で計算することができる. この時, コサイン尺度の範囲は $0 \le \cos \theta \le 1$ である. $\cos \theta$ が 1 に近ければ近いほど, 文章ベクトルdと検索質問ベクトルqは類似しているということである.

3.5 カルバック擬距離

カルバック擬距離とは、カルバック・ライブラー距離やカルバック・ライブラー情報量とも呼ばれることもあり、確率論と情報理論における二つの確率分布の差異を計る尺度である.しかし、カルバック・ライブラー距離は距離の公理を満たさないため、数学的な意味での距離ではない.確率分布Pとそれ以外の任意の確率分布Qに対するカルバック・ライブラー情報量が計算されることが多い.例えばPは観測値、データ、正確に計算で求められた確率分布などを表し、Qはモデル値、理論値、Pの予測値などを表す.

定義

カルバック擬距離 $D_{KL}(P||Q)$ は以下のように定義される.

1 P,Qを離散確率分布の場合

$$D_{KL}(P||Q) = \sum P(i) \log \frac{P(i)}{Q(i)}$$
(7)

ここでのP(i), Q(i)はそれぞれ確率分布P, Qに従って選ばれた値がiになる確率である.

2 P,Qが連続分布の場合

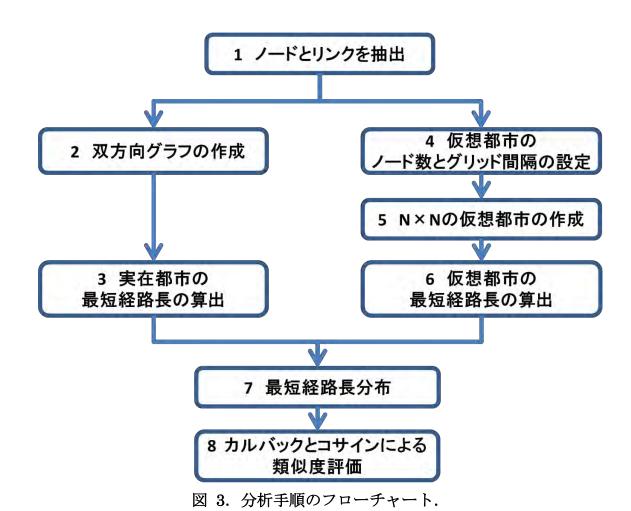
$$D_{KL}(P||Q) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log \frac{p(x)}{q(x)} dx$$
 (8)

ここでの p, g はそれぞれ P, Q の確率密度関数を表す.

第4章 提案手法

本研究では、実在都市と格子型に作成した仮想都市の道路ネットワーク構造の類似度評価を行う. 4.1 には、提案手法の全体像をフローチャートで示す. 4.2 では分析手順について説明する.

4.1 フローチャート



4.2 分析手順

本節では4.1で示したフローチャートについて説明する.4.2.1から4.2.3までは、 実在都市の分析手順を説明する.4.2.4から4.2.6までは、仮想都市の分析手順を説明する.4.2.7では、最短経路長分布の作成の仕方や詳細について説明する.4.2.8では、最短経路長分布の類似度を計算する方法を説明する.

4.2.1 数値地図 2500 からノードとリンクを抽出

ノードとリンクは、3.2 で説明した数値地図 2500 に格納されている道路中心のデータを使用して抽出する.

4.2.2 双方向グラフの作成

ノードとリンクを抽出した後,双方グラフを作成する.以下に例として,9個のノードを持つ都市を図4に、その都市における双方グラフの出力結果を表3に示す.表3の一列目と二列目はノード番号を表し,三列目はリンクの重さ[km]を表している.

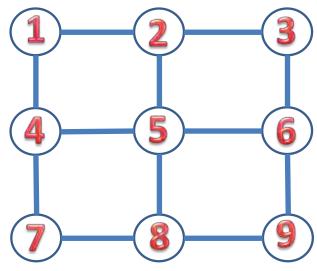


図 4.9個のノードを持つ都市.

表 3 図 4 に対する双方向グラフ.

ノード番号	ノード番号	リンクの重さ
1	2	10
2	1	10
2	3	10
3	2	10
4	5	10
5	4	10
5	6	10
6	5	10
7	8	10
8	7	10
8	9	10
9	8	10
1	4	10
4	1	10
2	5	10
5	2	10
3	6	10
6	3	10
4	7	10
7	4	10
5	8	10
8	5	10
6	9	10
9	6	10

4.2.3 実在都市の最短経路長の算出

最短経路長の算出には、道路ネットワークの全頂点間の最短経路を、ダイクストラ 法によって求める.

4.2.4 仮想都市のノードとグリッド間隔

実在都市の分析範囲におけるノード数 ϵ n,分析範囲の面積をSとすると、仮想都市の一辺のノード数Nとグリッド間隔Dは以下の式で求める.

$$N = \sqrt{n} \tag{9}$$

$$D = \frac{\sqrt{S}}{(N-1)} \tag{10}$$

ここでN や D が小数になる場合は、四捨五入して整数にする.

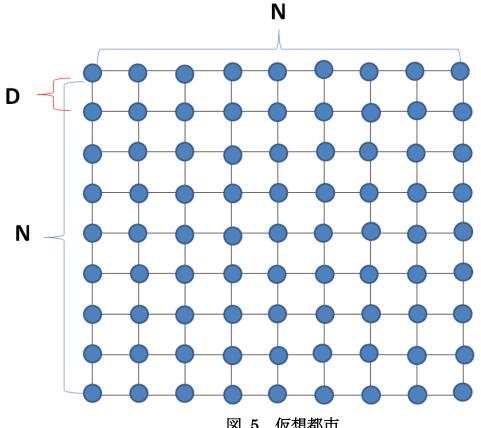


図 5. 仮想都市.

N*N の仮想都市の作成 4.2.5

4.2.4 で求めたNとD を使用し、図5に示すような格子型の道路ネットワーク構造 をもつ仮想都市を作成する.

仮想都市の最短経路長の算出 4. 2. 6

4.2.3 と同様の方法で最短経路長を算出する.

4.2.7 最短経路長分布

4.2.3 で求めた実在都市の最短経路長と4.2.6 で求めた仮想都市の最短経路長を使 用し、最短経路長分布を作成する. 図6に最短経路長分布を示す. 図の横軸は距離を 表し、縦軸は類似度を表す. 4.2.8 で類似度を比較するためにスケールを揃える必要 があるため、横軸の距離を 0 から 1 にスケーリングしておく. 図 7 に図 6 をスケーリ ングした最短経路長分布を示す.

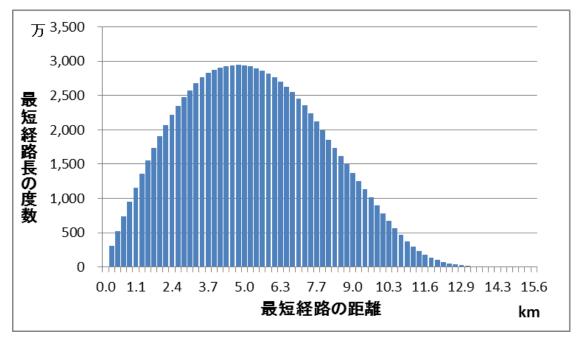


図 6. 最短経路長分布.

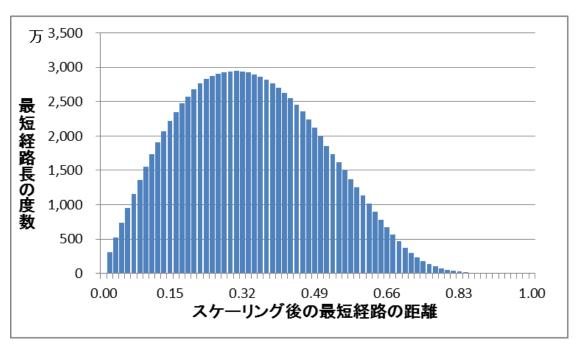


図 7. スケーリング後の最短経路長分布.

4.2.8 カルバックとコサインによる類似度評価

カルバック疑距離は式(6), コサイン尺度は式(7)を使用して類似度を求める. カルバック疑距離は求める値が 0 に近ければ近いほど類似性が高くなる. コサイン尺度は、 $\cos\theta$ が 1 に近ければ近いほど類似性が高くなり、 $\cos\theta$ が 0 に近ければ近いほど類似性が低くなる.

第5章 分析対象地域

本研究で扱う対象地域は、実在する都市と仮想都市の二つに大別される. 前者の都市は、埼玉県さいたま市である. 後者の都市は、仮想的に道路ネットワークを作成した格子型都市である. 本章では、本研究で扱う対象地域について、各都市の道路ネットワークの特徴や地域情報などを説明し、分析対象地域を決定する.

5.1 埼玉県さいたま市

埼玉県さいたま市[10]は、埼玉県の南東部に位置する市である. 2001年5月に浦和と大宮、与野の三市の合併により誕生した. 2004年4月1日には全国で13番目の政令指定郡市へと移行した. さらに、2005年4月1日の旧岩槻市との合併により、関東域を牽引する中核都市となった. 交通の面でさいたま市は、JR や私鉄線などの数多くの路線が集結し、また、東北や上越などの新幹線もあるため、東日本の交通の要衝となっている. 図8に対象地域であるさいたま市の地図を示す.

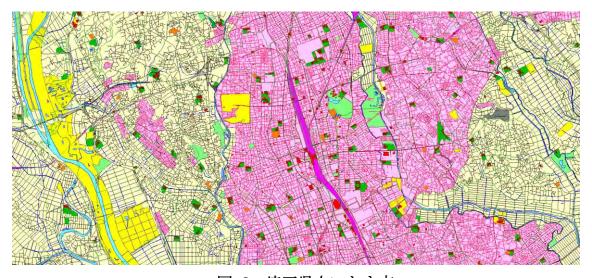


図 8. 埼玉県さいたま市.

分析範囲

実在する都市の分析対象地域のデータは、3.2 で説明した国土地理院が発行している数値地図 2500(空間データ基盤)の電子地図データを使用する.本研究では、分析対象範囲を縦 10[km]×横 10[km]とする.図 9 に埼玉県さいたま市の分析対象範囲を示す.



図 9. 埼玉県さいたま市の分析範囲.

5.2 埼玉県白岡市

白岡市[11]は、東京都心から約40キロメートルに位置する市である。市の特徴として、東西に9.8キロメートル、南北に6.0キロメートルと東西に長い市域である. 交通面ではJR 宇都宮線が南北に通っており、都心まで約40分で結んでいる。また、白岡駅と新白岡駅には一日に100本前後の電車が停車するため、通勤や通学の足となっており、ベットタウンとして発展してきた. また、東北道や国道122号などが市内を通過しており、東北道久喜ICや圏央道白岡菖蒲ICにも良好なアクセスが可能であることから交通利便に富んでいる. 図10に対象地域である埼玉県白岡市の地図を示す.

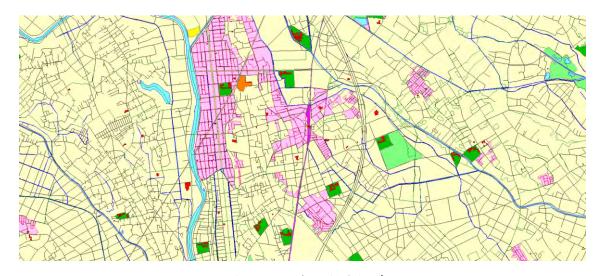


図 10. 埼玉県白岡市.

分析範囲

白岡市の分析範囲のデータは、さいたま市と同様に数値地図 2500(空間データ基盤) から抽出する. また、分析対象範囲はさいたま市と同様に縦 10[km]×10[km]とする. 図 11 に埼玉県白岡市の分析対象範囲を示す.

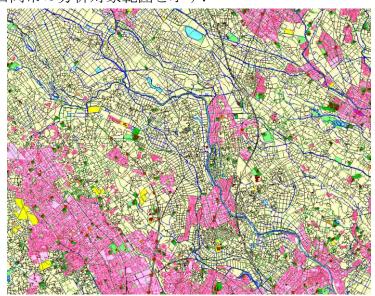


図 11. 埼玉県白岡市の分析範囲.

5.3 仮想都市

本研究では、格子型の道路ネットワークを仮想都市とする. 格子型の道路ネットワークとは、京都市などの市街地にみられる基板上に区画整理された道路ネットワーク構造のことである.

分析範囲

図12,図13,に分析を行う際に使用する仮想都市の道路ネットワーク構造を示す. 図12は、埼玉県さいたま市の分析範囲に対応する仮想都市であり、一辺の距離を 56[m]、縦177×横177のノード数の範囲を分析対象範囲とする. 図13は、埼玉県白 岡市の分析範囲に対応する仮想都市であり、一辺の距離を71[m]、縦144×横144の ノード数の範囲を分析対象範囲とする.

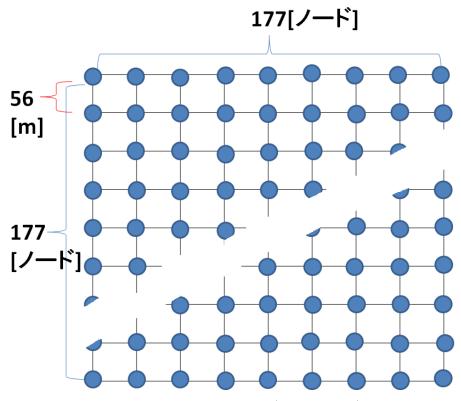
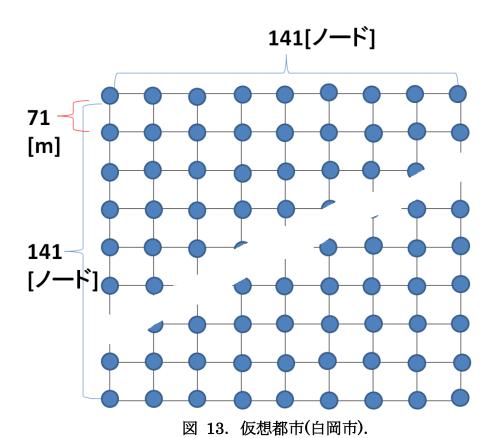


図 12. 仮想都市(さいたま市).



22

第6章 分析結果

本章では、分析対象地域の道路ネットワーク構造の分析結果を示す。6.1では、さいたま市、白岡市、仮想都市の最短経路長分布を示す。最短経路長分布は、分析対象地域内の全頂点間における最短経路問題を解くことで表す。6.2ではカルバック疑距離とコサイン尺度の類似度を示す。6.3では、分析結果の評価と結論を述べる。

6.1 最短経路長分布

本節では、分析対象地域内の全てのノード間に対する最短経路問題をダイクストラ 法を用いて解き、最短経路長分布を示す。最短経路長分布の縦軸は最短経路の度数、 横軸は距離[km]で表している。分布を求めた後、実在都市と仮想都市の横軸のスケー ルを揃え、その分布を重ねた場合の分布を線グラフで示す。

さいたま市の道路ネットワーク構造における最短経路長分布

図14 に、さいたま市の道路ネットワーク構造、分析範囲が縦10[km]×横10[km]の最短経路長分布を示す。図15 に、さいたま市に対する仮想都市の最短経路長分布を示す。図16 に、図14 と図15 の距離を1 にスケーリングし、最短経路長分布を重ねたグラフを示す。

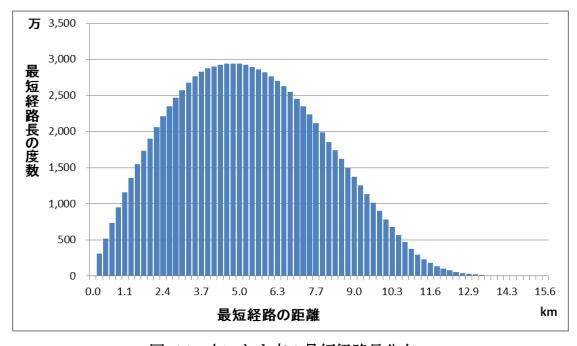


図 14. さいたま市の最短経路長分布.

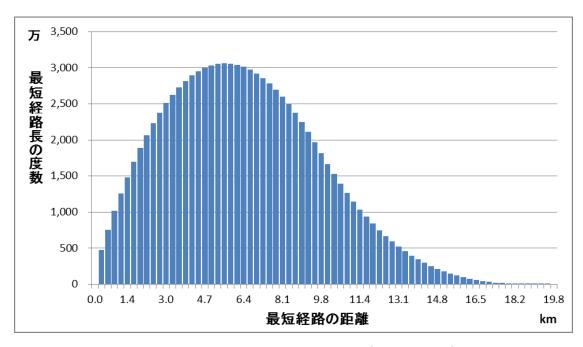


図 15. 仮想都市の最短経路長分布(さいたま市).

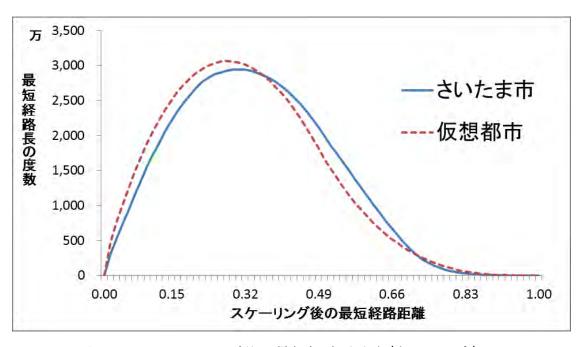


図 16. スケーリング後の最短経路長分布(さいたま市).

白岡市の道路ネットワーク構造における最短経路長分布

図 17 に,白岡市の道路ネットワーク構造,分析範囲が縦 10 [km]×横 10 [km]の最短経路長分布を示す。図 18 に、白岡市に対する仮想都市の最短経路長分布を示す。図 19 に、図 17 と図 18 の距離を 1 にスケーリングし、最短経路長分布を重ねたグラフを示す。

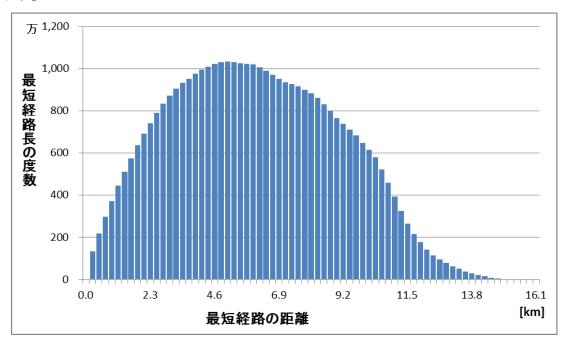


図 17. 白岡市の最短経路長分布.

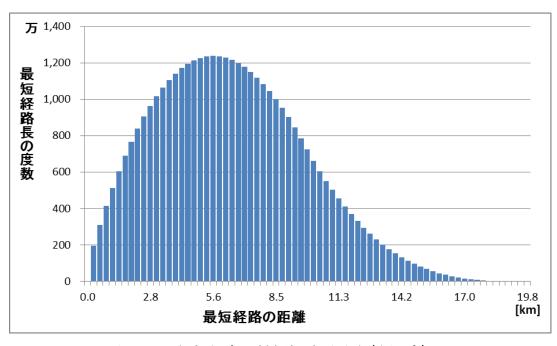


図 18. 仮想都市の最短経路長分布(白岡市).

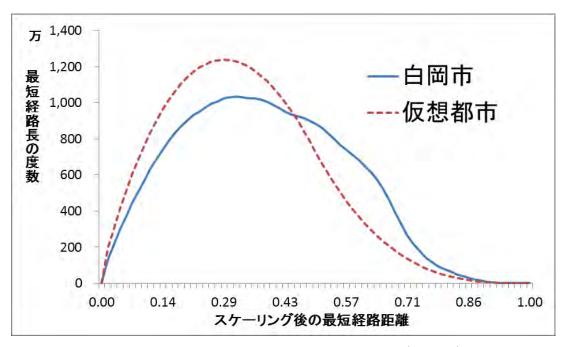


図 19. スケーリング後の最短経路長分布(白岡市)

6.2 類似度

類似度求めるためにコサイン尺度の式(6)とカルバック疑距離の式(7)を用いて,道路ネットワーク構造の類似度の計算を行う.さいたま市と白岡市における道路ネットワーク構造の最短経路長分布をコサイン尺度の場合はベクトルd,カルバック疑距離の場合はQと設定し仮想都市の道路ネットワーク構造の最短経路長分布をコサイン尺度の場合ベクトルq,カルバック疑距離の場合Pと設定した.表4に分析結果を示す.

| さいたま市 | 白岡市 | DKL(P||Q) | 0.005 | 0.020 | cos(d,q) | 0.994 | 0.972

表 4 類似度評価.

6.3 評価

類似度を求めた結果、カルバック疑距離とコサイン尺度ともさいたま市の類似度は高くなり、白岡市の類似度は低い結果であった。その理由としては、さいたま市は道路密度が高いことから、実在都市と仮想都市が類似している道路ネットワーク構造をしていたため、類似度が高い結果がであったと推測される。一方、白岡市は道路密度が低いことから、実在都市と仮想都市とが異なる道路ネットワーク構造をしてために類似度が低い結果であったと推測される。

第7章 まとめと結論

本論文では、実在する都市と仮想的な都市の道路ネットワーク構造を、定量的に評価するための手法を提案した。実在する都市としては埼玉県さいたま市と埼玉県白岡市を分析対象地域とし、仮想的な都市としてはそれらの地域を簡略化して格子状の道路ネットワークを分析対象とした。実在する都市と仮想都市の道路ネットワーク構造はダイクストラ法を用いて、最短経路長分布を示した。また、最短経路長分布を用いて実在都市と仮想都市の道路ネットワーク構造の類似度を求めた。

道路ネットワーク構造を定量的に評価する手法には,道路ネットワークの重要度に関する研究,角度に関する研究,各道路にかかる交通負荷に関する研究があるが,本論文では道路ネットワーク構造の類似度に着目した研究を行った.

類似度を求めた結果、カルバック疑距離とコサイン尺度ともさいたま市の類似度は高くなり、白岡市の類似度は低い結果であった。その理由としては、さいたま市は道路密度が高いことから、仮想都市と比較的似ている道路ネットワーク構造をしていため類似度が高い結果がであったと推測される。一方、白岡市は道路密度が低いことから、仮想都市と異なる道路ネットワーク構造をしてために類似度が低い結果であったと推測される。

最後に今後の今後の課題として三つのことを挙げる.一つ目は仮想都市のグリッド間隔とノード数の適切な設定方法である.グリッド間隔とノード数の設定は,式(9)と式(10)を使用したが,これらの式が適切なのかを検討していかなければならない.

二つ目は、分析範囲である。分析範囲の位置や大きさによっては道路ネットワーク 構造が大きく変化し、それに伴い分析結果も異なる可能性がある。本研究ではこの点 に関しては明確に説明しておらず、分析範囲の変化による影響を検証する必要がある。

三つ目は、計算した類似度の適切な判断基準である。本研究ではさいたま市は類似度が高く、白岡市は類似度が低いといった判断をしたものの、数値だけをみると非常に高いといえる。しかし、最短経路長分布をみると、類似しているとはいえない。そこで今後は、どの値以上が類似しているかなど類似度の値の適切な判断基準を明確にする必要がある。

参考文献

- [1] 大気の情報館:自動車保有台数の推移, http://www.erca.go.jp/taiki/sub_win.html?daisu_01.gif:700:357:none (2012.11.27)
- [2] 日本街づくり協会:「道路工学通論」,技術書院 (2001)
- [3] 経済調査会:「道路工事の積算」、道路工事積算研究会 (1993)
- [4] 田口東,大山達雄: "ネットワーク構造に基づく道路の重要度評価",日本オペレーションズ・リサーチ学会誌, Vol38 (1993)
- [5] 栗原宏昌: "地域内移動が困難な都市における道路ネットワークの構造評価", 長岡技術科学大学卒業論文 (2011)
- [6] 大砂祐樹,島川陽一"角度を考慮した経路探索のためのネットワークモデル", 日本オペレーションズ・リサーチ学会誌,春季研究発表会 (2012)
- [7] 田中正樹: "都市の道路ネットワーク構造評価に関する一提案", 長岡技術科学 大学修士論文 (2009)
- [8] 国土交通省:"都市圏の交通渋滞対策 都市再生のための道路整備 " (2003)
- [9] 高橋重雄, 井上孝, 三條和博, 高橋朋一: 「事例で学ぶ GIS と地域分析」, 古今書院 (2005)
- [10] 埼玉県さいたま市 web サイト
 http://www.city.saitama.jp/index.html
 (2012.11.27)
- [11] 埼玉県白岡市 web サイト
 http://www.city.shiraoka.lg.jp/
 (2012.11.27)