

交差点間の近接性による 道路網の構築原理の把握

A Study on Analyzing the Road Network Pattern
using Proximity Graphs

第43回空間情報科学セミナー
(2005/6/9)

筑波大学大学院システム情報工学研究科
リスク工学専攻都市空間解析研究室
渡部 大輔
dwatanab@sk.tsukuba.ac.jp

1

都市の街割



東京上野(30.46km²/km²)



京都(21.49km²/km²)



札幌(17.79km²/km²)



つくば(13.64km²/km²)

2

道路網形態の理論

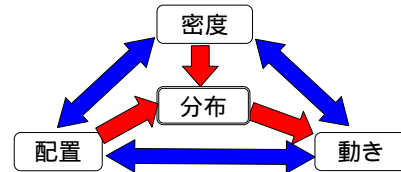
- 街割: 街路による街区形成
 - 規則的道路網 = 理想都市の系譜
 - 正方形格子: 中世・近世都市(長安, 京都, NY...)
 - 三角格子: 近世都市(パリ, デトロイト...)
 - 六角格子: ブキャナンレポート(英国, 1963)
- 現実都市との乖離が大きい



出典: 都市の自動車交通 3

都市計画における研究手法

- 高山英華: 3つの概念の総合化

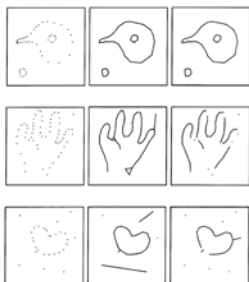


- 道路網の密度と配置
 - 格子状道路網: 密度で配置を規定
 - 通常の道路網: 密度 配置
- 分布: 密度と配置を結ぶ概念 都市解析

4

近接グラフとは?

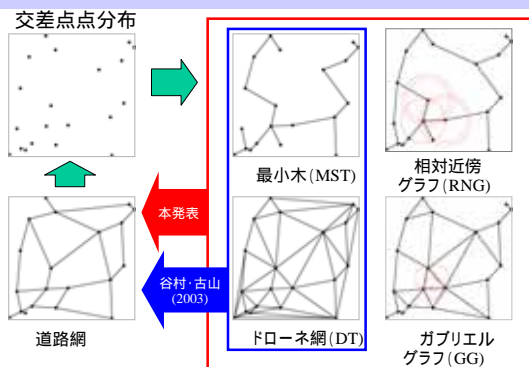
- 多様な応用例
 - 画像解析: 線画の再現性 点分布に依存



Amenta, Bern
and
Eppstein(1998)

5

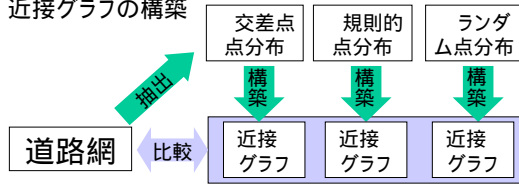
近接グラフと道路網



6

近接グラフによる道路網の分析

近接グラフの構築



比較の指標

- 交差点間隔: 辺長分布 (平均辺長, 総辺長)
- 交差点差路: 次数分布 (平均次数, 総辺数)
- 構成比率

7

研究の目的

- 複雑な現実道路網の形態的性質を定量的に把握
 - 街路 平面グラフ
 - 交差点間の近接性 = 近接グラフの構築 詳細な構成原理を把握
- 模式的道路網との比較
 - 各種点分布での近接グラフの構築
 - 交差点, ランダム, 規則的格子 (三角, 正方, 六角)
 - 構成比率による比較

8

発表内容

- 使用する地図データ
 - 数値地図2500 (空間データ基盤)
- ネットワーク形態指標
 - 計量地理学: GTP/CF
- 近接グラフ
 - 計算幾何学: 構築法の説明
 - ランダム点分布・規則的の点分布
- 道路網
 - 交差点による各近接グラフの構築 (つくば)
 - 構成比率による都市間比較分析

9

道路網データ

使用データ

- 数値地図2500
- 東西3km × 南北4km

対象都市

- 政令指定都市 (16地区)
- 東京都 (5地区)
- つくばセンター

多様な土地利用
・都心地区・住宅地区
・旧集落地区・田園地区

都市	地区	点数	辺数	経度 (km)
東京	東京駅	3,128	4,885	273.5
	上野	5,020	8,013	305.3
	新宿	4,488	6,236	306.0
	渋谷・青山	3,273	4,603	294.6
	池袋・大塚	6,413	8,986	373.0
札幌	大通	1,703	2,687	213.5
仙台	青葉通	1,842	2,534	192.6
さいたま	浦和	5,322	7,228	338.5
千葉	千代田	3,588	5,020	265.5
横浜	都心	3,437	5,012	261.5
川崎	川崎駅	3,646	5,172	272.0
静岡	静岡駅	3,401	5,000	288.5
名古屋	栄	2,496	3,924	281.6
京都	下京	3,932	5,623	286.4
大阪	上京	3,354	4,794	257.0
大阪	難波	3,302	5,208	313.0
	中之島	3,273	5,200	320.1
神戸	三宮	4,440	6,385	275.0
広島	平和大通	2,403	3,796	251.8
北九州	小倉	2,260	3,341	233.6
福岡	天神	3,236	4,808	289.7
つくば	センター	1,345	1,812	163.8

0

ネットワーク形態の評価指標

計量地理学での研究の蓄積 (Kansky1963, 奥野1977)

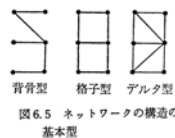
- 結合性に関する指標 (平面グラフ)

$$\mu = \frac{m - n + p}{2n - 5}$$

$$\alpha = \frac{m - n + p}{2n - 5}$$

$$\beta = \frac{m}{n}$$

$$\gamma = \frac{m}{3(n - 2)}$$



指標の総合化・基準化 計画論

- GTP (野田1996)

$$GTP = \frac{\text{指標}_{\text{Grid}} - \text{指標}_{\text{Tree}}}{\text{指標}_{\text{Delta}} - \text{指標}_{\text{Tree}}}$$

$$= \frac{m - n + p}{(\sqrt{n} - 1)^2}$$

	Tree	Grid	Delta
α	0	1/2	1
β	1	2	3
γ	1/3	1/2	1
GTP	0	1	2

11

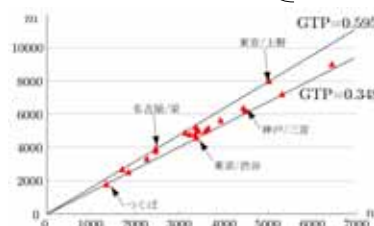
形態指標: GTP

GTP (Grid-Tree Proportion) グラフ理論

- 交差点数 n と道路辺数 m の関係

$$GTP = \frac{m - n + p}{(\sqrt{n} - 1)^2}$$

GTP=0 木
GTP=1 正方格子

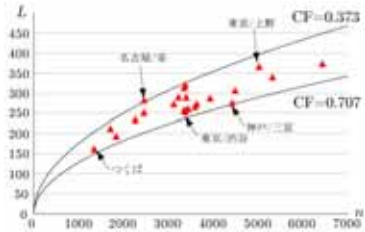


12

形態指標: CF

- Crossing Factor(CF) 積分幾何学(腰塚他)
 - 交差点数 n と延長 L の関係

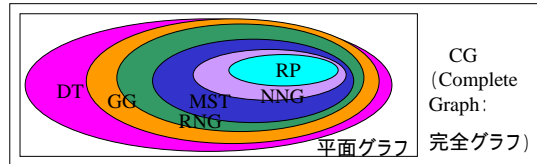
$$CF = \frac{nS}{L^2}$$



13

近接グラフ

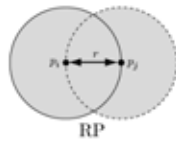
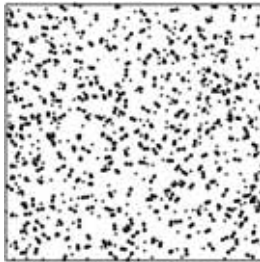
- 孤立最近接対 (Reciprocal Pair):RP
 - 最近傍グラフ (Nearest Neighbor Graph):NNG
 - 最小木 (Minimum Spanning Tree):MST
 - 相対近傍グラフ (Relative Nearest Graph):RNG
 - ガブリエルグラフ (Gabriel Graph):GG
 - ドローネ網 (Delaunay Triangle):DT
- } 連結グラフ



14

近接グラフ(ランダム点分布)

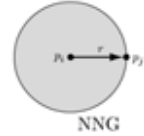
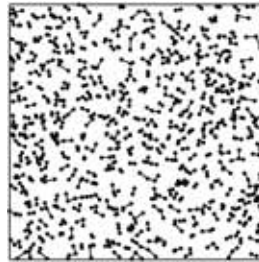
- 孤立最近接対 (RP)



15

近接グラフ(ランダム点分布)

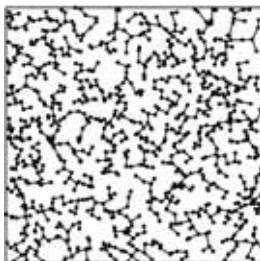
- 最近傍グラフ (NNG)



16

近接グラフ(ランダム点分布)

- 最小木 (MST)

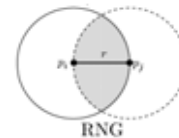
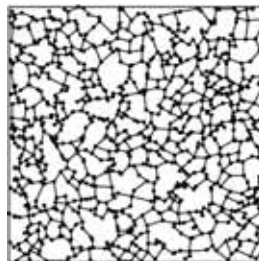


全ての点を結ぶグラフのうちでの総長が最小であるグラフ

17

近接グラフ(ランダム点分布)

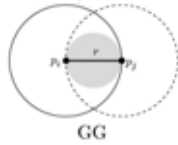
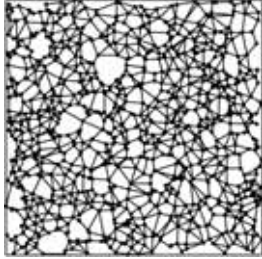
- 相対近傍グラフ (RNG)



18

近接グラフ(ランダム点分布)

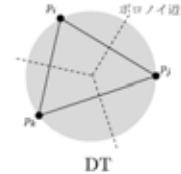
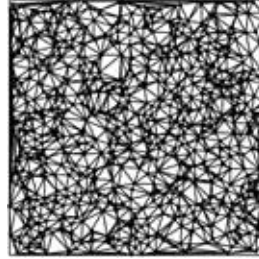
- ガブリエルグラフ(GG)



19

近接グラフ(ランダム点分布)

- ドローネ網(DT)



20

規則的點分布:近接グラフ

交差点分布	相対近傍グラフ(RNG)	ガブリエルグラフ(GG)	ドローネ網(DT)

格子状道路網 = RNG

21

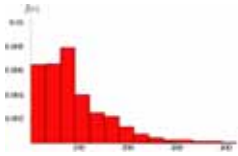
道路網(つくば)

- つくばセンター周辺

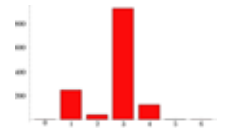


点数: 1345
辺数: 1812

辺長分布(道路距離)



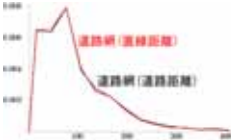
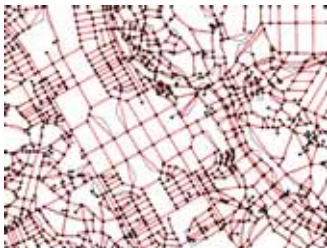
次数分布



22

道路網(つくば):位相構造

- 位相構造の抽出



道路網(直線距離): 交差点間を直線で結ぶ = 起点と終点の接続関係

「道路辺」: 道路網の近似

23

道路網(つくば):交差点分布

- 交差点の抽出



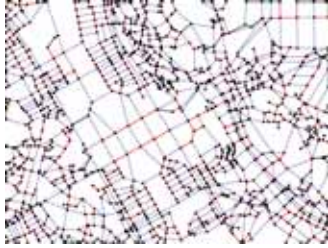
問題点

- ・ 図郭に位置する点は、辺の起終点であるが、交差点か?
- ・ 次数2(属性が変化する点)は交差点か?

24

道路網(つくば) : MST

• 最小木MST



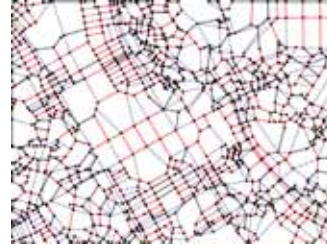
道路辺: 1812本
MST辺: 1344本
・一致辺: 1081本
・不要辺: 263本
・不足辺: 731本



25

道路網(つくば) : RNG

• 相対近傍グラフRNG



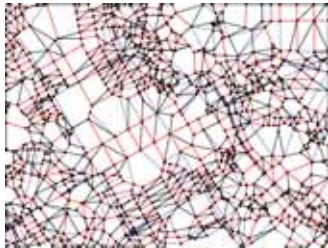
道路辺: 1812本
RNG辺: 1722本
・一致辺: 1298本
・不要辺: 424本
・不足辺: 514本



26

道路網(つくば) : GG

• ガブリエルグラフGG



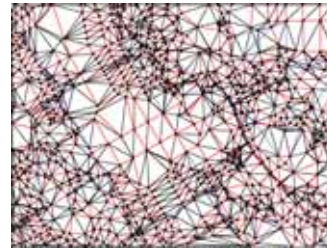
道路辺: 1812本
GG辺: 2526本
・一致辺: 1515本
・不要辺: 1011本
・不足辺: 287本



27

道路網(つくば) : DT

• ドローネ網DT



道路辺: 1812本
DT辺: 3969本
・一致辺: 1700本
・不要辺: 2269本
・不足辺: 121本



28

道路網(つくば) : 構成原理

• 近接グラフとの重ね合わせ



近接グラフで説明できない辺(黒色)

・幹線道路
・起伏など地形

— RP
— NNG
— MST
— RNG
— GG
— DT
— CG

29

形態指標: 構成比率

• 集計指標

(a) 道路構成比率 (RR) : 道路辺の本数に対するグラフ辺と道路辺との一致した割合

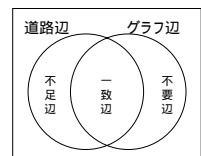
$$RR_{PG} = \frac{|E_{RG} \cap E_{PG}|}{|E_{RG}|} \quad (3)$$

(b) グラフ構成比率 (GR) : 構築したグラフ辺の本数に対するグラフ辺と道路辺との一致した割合

$$GR_{PG} = \frac{|E_{RG} \cap E_{PG}|}{|E_{PG}|} \quad (4)$$

(c) 総合構成比率 (ER) : 道路辺と構築したグラフ辺の和集合の辺に対する本数に対するグラフ辺と道路辺との一致した割合

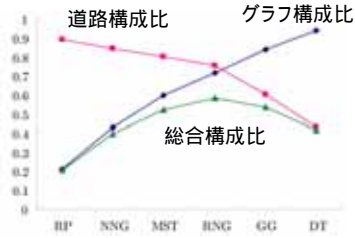
$$ER_{PG} = \frac{|E_{RG} \cap E_{PG}|}{|E_{RG} \cup E_{PG}|} \quad (5)$$



30

形態指標: 構成比率(つくば)

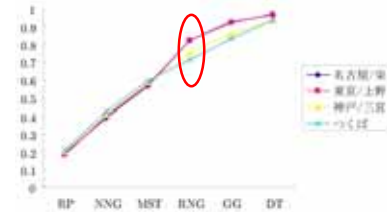
- トレードオフの関係



31

道路構成比率(都市間比較)

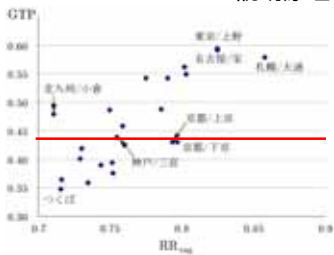
- 近接グラフによる道路の説明力
 - 相対近傍グラフRNGより各都市に大きな違い
 - 格子状道路との関係



32

道路構成比率(都市間比較)

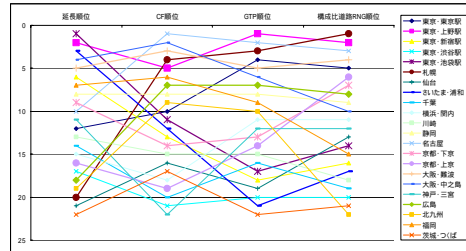
- 形態指標GTPとの比較
 - GTP: 神戸 > 京都
 - RR(RNG): 神戸 < 京都
- 格子状道路網で形成された都市の説明原理



33

指標による比較(順位)

- 指標間に順位に大きな変動



水平: 上野・難波
高密度格子状

右上がり: 札幌・名古屋・広島・京都
中密度格子状

右下がり: 池袋・新宿・浦和
非計画的

34

まとめ

- 各種近接グラフ
 - 点の近接性により構築されるグラフが異なる
- 規則的分布
 - 格子状道路網 = 規則的分布の近接グラフ
- 現実の道路網
 - つくば: 近接グラフの重ね合わせ
 - 構成比率による比較
 - 都市間比較: 格子状道路網の形態と比較

35

今後の課題

- 街割を記述する指標
 - 街区数と街区面積との関係 オイラーの公式
- 歴史的比較
 - 時系列による街区形成による各指標の変化
- 道路の階層性
 - 幅員などによる幹線道路との機能分担
- 移動利便性の評価
 - 迂回率(直線距離と道路距離), 信号密度
- その他のグラフ・ネットワークとの関係
 - -skeleton: RNGとGGの一般化
 - T-Scanner: グラフ上の移動の利便性の評価

36