

The network analysis of urban streets : A dual approach



(Porta Sergio, Paolo Crucitti,
and Vito Latora.
*Physica A: Statistical
Mechanics and its Applications*
369:2, pp.853-866, 2006.

2015/05/18 22:28:28 (木)
22:28:28 22:28 22:28

1. はじめに

・ ネットワーク解析

- ネットワーク構造をグラフ化し、位相幾何学的に解析する手法
 - o (インターネット、ソーシャルネットワーク、コンフリクトの解析...)
- 都市空間の場合、交差点：ノード、街路：リンクでグラフ化を行うのが一般的
- 指標を計算しネットワークの特性を明らかにする



Wikipedia周辺のWWW構造



関西国際空港周辺の関西リンクネットワーク



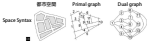
2. Dual graphの導入

- **Primal graph (直階グラフ)**

- 交差点: ノード, 街路: リンク
- 単純, リンクの長さが異なる.

- **Dual graph (双階グラフ)**

- 街路: ノード, 街路の隣接関係: リンク
- 代表的な手法: Space Syntax (Miller et al.(1984))
- 直線街路 (Axial line) 単位で考える.



3. Dual graphの導入

• Dual graphの意味

- ネットワークの接続条件に基づいてリンクの特性を明確にする
- ユークリッド距離を無視、街道同士の間接な隣接関係がわかる

何が良いかというと...

- ノードの**属性**を定義し、その分布からネットワーク構造が比較できる。
- 交差点ごとに分割するのでなく、なるべく連続した街道と判断してグラフ化すると、骨格が浮かびあがるのではないかと。

4. Dual graphの導入

Space Syntax



- 都市空間を人間の視覚から正確に記述
- × ノード (交差点) が増えすぎる

named-street
approach

同じ名前を通りを
同じ番号にする

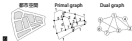


- ノード (交差点) を識別できる
- × 通りの名前に基づき意味があるとは限らない
- × GIS上で通りの名前を変更するのが手間

5. ICNモデルの導入

・ ICN (Intersection Centrality Negotiation) モデルの作成

- 最も大きな角度を構成する2街路をつなぐ (同一とみなす)。
- 次に大きな角度の2街路をつなぐ、... を繰り返す。
- 1つの街路をランダムに取り、番号1を振る、隣接街路に番号を振っていく。 (Primal graph)
- 街路をノードに、街路の交差点をリンクにして隣接関係をあらわす (Dual graph)



6. ネットワークの基礎指標

グラフ G ノード数 N リンク数 K
隣接行列 $A = \{a_{ij}\}$ $1 \leq i, j \leq N$

ノードとノードがリンクで繋がっている場合は1, なければ0

- ノード i の次数 $k_i = \sum_{j=1}^N a_{ij}$
- グラフ G の平均次数 $\langle k \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i = \frac{2K}{N}$
- 次数分布 $P(k) = \frac{N(k)}{N}$ $N(k)$ 次数 k のノード数

以下の次数分布を持つネットワークをscale-free networkという。

$$P(k) \sim N(k) \sim k^{-\gamma} \quad \gamma = 2 \sim 3$$

7. Case study

6都市の街路構造を分析

– 1mile四方でネットワーク作成

1. Ahmedabad

2. Barcelona

3. San Francisco

4. Venecia

5. Wien

6. Walnut Creek

高緯度都市

- 密度が高い
- 混合用途
- 逐次更新

低緯度都市

- グリッド
- 単一用途
- 定期整備

– 指標を用いて分析を進める

都市空間



Primal graph



8.

Case study

Dual graph: Amsterdam



Barcelona



San Francisco



Florence



Wien



Walnut Creek



Figure 1: Dual graphs of the road networks of Amsterdam, Barcelona, San Francisco, Florence, Wien, and Walnut Creek.

Case	n	m	\bar{k}	k_{max}
1. Amsterdam	1286	2706	2.11	68
2. Barcelona	79	166	2.10	14
3. San Francisco	34	111	3.26	11
4. Florence	793	1043	1.31	29
5. Wien	176	363	2.06	18
6. Walnut Creek	76	147	1.93	11

We report the number of nodes (vertices) n , the number of edges (intersections) m , the average number of edges per node \bar{k} , and the largest degree k_{max} .

9.

次数分布



$$P(k) \sim N(k) \sim k^{-\gamma}$$

$$\gamma = 2.5 \pm 0.1$$

$$N(k) \quad k \text{ 次数以上のノード数}$$

歴史的な都市はScale-free性のある複雑構造を持つ

- = k_0 以上のノードの接続性が高い。(代替経路の存在)
- = k_0 が攻撃されると弱い。

10. 次数相関

- **次数相関**：次数 k のノードの平均次数 $\langle k \rangle$ と k のノードの平均次数 $\langle k \rangle$ の関係
- **Assortativity**： k のノードが k のノードとつながる傾向があるかどうか
- **Disassortativity**： k のノードが k のノードとつながる傾向があるかどうか



11. 次級相関

Disassortativity : いくつかのメインノードが都市構造を規定したためと考えられる。

Venezia



この都市の構造（図）は各都市間の交通網（道路、鉄道、航空機）で表される。

San Francisco



このメインノードが交通網の構造を支配する。このグラフに対して重み付けが与えられる。

12. Venezuelaのメイン街路



13. Small-world network

Small-world network : 現実のネットワークは通常グラフとランダムグラフの中間の性質を持っている。(N.Watts and S. Strogatz[1998])

- 平均経路長が短く、クラスター係数が高いネットワーク
- 6次の隣タリ (Milgram[1969]の実験から)

→都市空間の街路ネットワークはどうか？

Regular



Small-world



Random



14. Small-world network

- **平均経路長**

$$L(G) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j \in V, i \neq j} d_{ij} \quad d_{ij} : i-j \text{間の最短経路長}$$

100次のランダム (Milgram(1967)の実験から)

15. Small-world network

• クラスター係数

$$C(G) = \langle C_i \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i$$

$$C_i = \frac{e_i}{k_i(k_i-1)/2} = \frac{2e_i}{k_i(k_i-1)} = \frac{\sum_{j,l \in N_i} a_{ij} a_{jl} a_{li}}{k_i(k_i-1)}$$

サブグラフ G_i の最大リンク数との比率

G_i : ノード i とその隣接ノード
で構成されるサブグラフ

k_i : ノード i の次数

e_i : サブグラフ G_i のリンク数

16. Small-world network

• Global efficiency

d_{ij} : ノード間の効率性
→ 最短距離に反比例

$$E_{\text{global}}(G) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j \in V, i \neq j} d_{ij} = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j \in V, i \neq j} \frac{1}{d_{ij}}$$

$$0 \leq E \leq 1, E \sim \frac{1}{L}$$

• Local efficiency

$$E_{\text{local}}(G) = \langle E(G_i) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i \in V} E(G_i)$$

$$E(G_i) = \frac{1}{k_i(k_i-1)} \sum_{j,l \in V, j \neq l} \frac{1}{d_{jl}^i} \quad d_{jl}^i : \text{ノード } i \text{ 間のサブグラフ } G_i \text{ 内での最短経路長}$$

17. Small-world network

• Small-world networkのいくつかの性質

平均経路長

$$L(G) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j \in V(G)} d_{ij}$$

Global efficiency

$$E_{\text{glob}}(G) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j \in V(G)} \frac{1}{d_{ij}}$$

クラスタ係数

$$C(G) = \frac{1}{N} \sum_{i \in V(G)} \frac{2c_i}{k_i(k_i-1)}$$

Local efficiency

$$E_{\text{loc}}(G) = \frac{1}{N} \sum_{i \in V(G)} \frac{1}{k_i(k_i-1)} \sum_{j \in V(G), j \neq i} \frac{1}{d_{ij}}$$

Random networkとの比較をして、↓なら良い。

$$L < L_{\text{rand}}$$

$$E_{\text{glob}} > (E_{\text{glob}})_{\text{rand}}$$

$$C > C_{\text{rand}}$$

$$E_{\text{loc}} > (E_{\text{loc}})_{\text{rand}}$$

※Random network: 同数のノードとリンクをランダムに構成されたグラフ

18.

Small-world network

Class	$\langle k \rangle$	$\langle L \rangle_{rand}$	$\langle L \rangle$		$\langle L \rangle_{SW}$
1. Absorbed	5.00	4.81	6.176	A	6.000
2. Non-absorbed	2.69	3.24	6.174		6.170
3. Not Finitized	2.27	3.81	6.087	AAA	6.280
4. Finitized	6.36	3.20	6.174		6.004
5. Wise	3.40	3.44	6.173		6.025
6. Wasted Cost	2.04	3.44	6.082		6.024

The values obtained are compared with those for random graphs with the same sized and number of links.

Class	$\langle k \rangle_{SW}$	$\langle L \rangle_{rand}$	$\langle L \rangle$		$\langle L \rangle_{SW}$
1. Absorbed	6.20	6.21	6.181	A	6.000
2. Non-absorbed	6.02	6.02	6.168		6.170
3. Not Finitized	6.27	6.30	6.076	AAA	6.400
4. Finitized	6.12	6.28	6.181		6.004
5. Wise	6.28	6.22	6.206		6.024
6. Wasted Cost	6.20	6.22	6.087		6.024

The values obtained are compared with those for random graphs with the same size and number of links.

現実的な都市のネットワークはSmall-world networkである

・東京の地下鉄
・オーストラリアの道路網

19. まとめ

- ICNモデルを用いたDual graph表現.
- 6都市の街路構造をケーススタディし、歴史的な都市の街路ネットワークにScale-free性とSmall-world性を確認.
- 次数分布、次数相関指標を用いて都市の歴史的な骨格が把握できた.