傾斜地に立地する都市の街路ネットワーク解析の提案

○北本　英里子[*1]　山田　悟史[*2]
及川　清昭[*3]

キーワード：グラフ理論　街路ネットワーク　媒介中心性　距離　傾斜　SpaceSyntax

１．はじめに

建築や都市における歩行者や自動車の移動を考慮した定量的な分析では，グラフ理論を用いた分析手法がある。例えば，次数中心性，近接中心性，固有ベクトル中心性，媒介中心性，情報中心性など，街路ネットワークを対象とした分析手法[1) 2) 3) 4)]がある。これらは，街路ネットワークをノードとリンクに置き換え，幾何学的にネットワークの相互関係を明らかにする手法である。一方で，人や車が移動する際の条件として，街路の情報が重要である。例えば，ルート検索サイトや観光マップでは道路の距離や傾斜など地形的な情報を考慮して，最適なルートを提案している。これらの事例は，人の移動のみならず，自動車や自転車を利用した移動に対して，経路，移動時間，乗り換え回数，渋滞の有無などの情報も提供している。このように，実空間の移動を対象とした建築や都市の分析では，実空間を構成する要素の数量を考慮する必要性があると考えられる。しかし，グラフ理論を用いた既往では，街路の距離や傾斜など地形的な情報を考慮して分析を行った事例は希薄である。例えば，街路の「つながりの良さ」や「通りがかりやすさ」を表す指標である SpaceSyntax 理論を用いた研究では，実空間の構成要素の数量を反映していない研究が多い。

そこで本研究では，街路ネットワークの距離や傾斜のような地形の情報に着目して，街路ネットワークを定量的に評価するための手法を提案する。

２．研究方法

グラフ理論を用いて，地理的情報，特に距離や傾斜を考慮して街路ネットワーク解析を行う。本研究では媒介中心性に着目して提案を行っている。まず，媒介中心性（リンクとノードのみ）の算出方法に加えて，距離および傾斜を加味した媒介中心性の算出方法を提案する。次に，簡易な３次元モデルを作成し，提案した式の検証を行う。同時に，街路ネットワークの作成方法の定義する。最後に，実際の敷地に適応し，街路の分析を行う。

３．媒介中心性を利用した分析方法

街路構成をグラフ化する場合，交差点をノード，街路をリンクと定義したものを「通常グラフ」と呼ぶ。一方，街路をノード，街路同士が交差点を介して繋がっている場合をリンクと定義したものを「反転グラフ」（図１）と呼ぶ。これらは街路同士の隣接関係を直接的に表現し，街路間の定量的比較が容易になる。本研究では「反転グラフ」かつ無向グラフを扱い，リンクに距離や傾斜の重み付けをし，以下に提案する式の値を評価する。

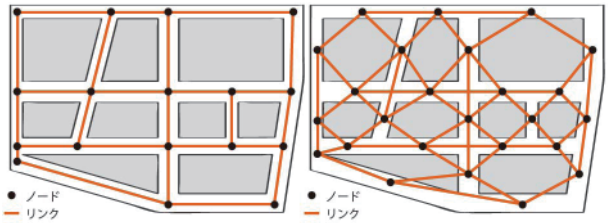

図１　通常グラフ（左）と反転グラフ（右）

ここで，通常の媒介中心性（以降，ノード数媒介中心性，NBC と記述）をもとに，距離を考慮した媒介中心性（以降，距離媒介中心性，DBC と記述）の算出方法，傾斜を考慮した媒介中心性（以降，傾斜媒介中心性，ABC と記述）の算出方法について説明する。

３．１．リンク媒数介中心性（NBC）

NBC は SpaceSyntax 理論やネットワーク解析で用いられている。通常の媒介中心性では距離や傾斜は加味されず，ノード（本研究ではリンク）数で評価される。ノード（リンク）の通りがかりやすさを表す指標である。

$$C_i=\sum_{j\neq k}\frac{N_{jk}(i)}{N_{jk}}$$

$N_{jk}(i)$:jからkの間でiを通る最小リンク数の経路数
N_{jk}:jからkの最小リンク数の経路数

３．２．距離媒介中心性（DBC）

DBC は街路の距離を加味して，リンクの媒介中心性を求めている。リンクの重みには街路の距離（単位 km）を用いている。歩行では距離が短いほうが通り易いと仮定し，経路選択では，リンクが短い方が採用される。

$$C_i=\sum_{j\neq k}\frac{D_{jk}(i)}{D_{jk}}$$

$D_{jk}(i)$:jからkの間でiを通る最小距離の経路数
D_{jk}:jからkの最小距離の経路数
経路の合計値が違う場合$D_{jk}=1$

３．３．傾斜媒介中心性（ABC）

ABC は街路の傾斜を加味して，リンクの媒介中心性を求めている。リンクの重みには代謝的換算距離[注 1)]を用いている。歩行では傾斜角が小さいほうが通り易いと仮定し，経路選択では傾斜角が小さい方が採用される。

$$C_i=\sum_{j\neq k}\frac{A_{jk}(i)}{A_{jk}}$$

$A_{jk}(i)$:からkの間でiを通る最小傾斜角の経路数
A_{jk}:jからkの最小傾斜角の経路数
傾斜の合計値が違う場合$A_{jk}=1$

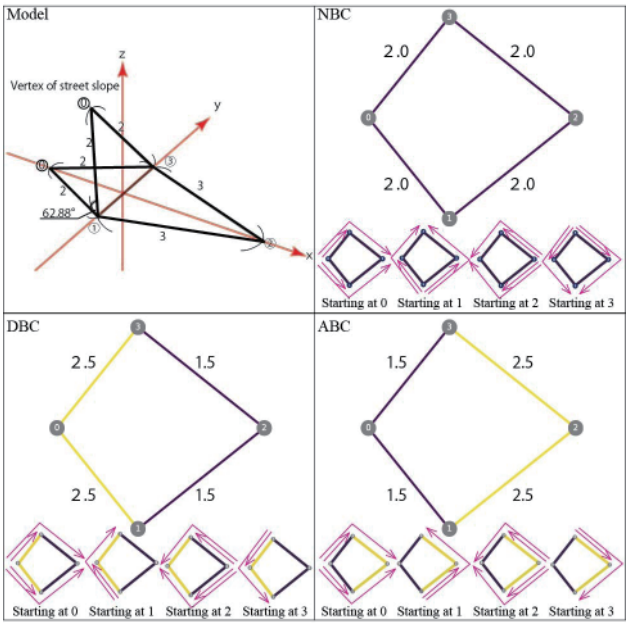

図２　基本モデル

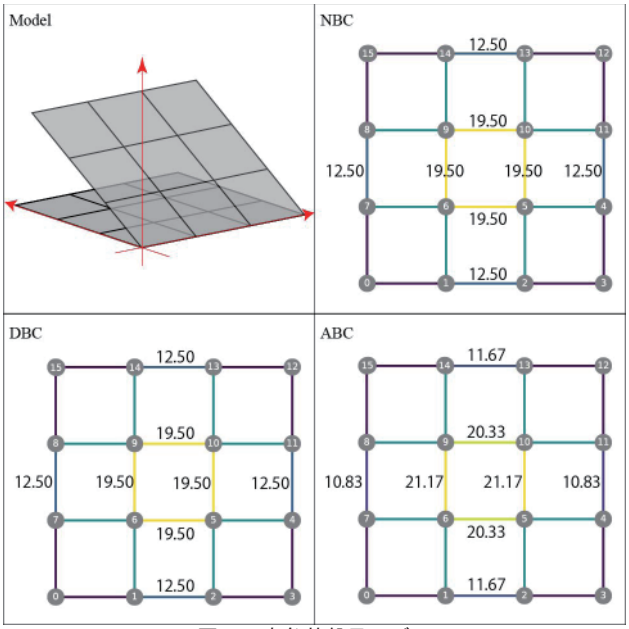

図３　直角碁盤目モデル

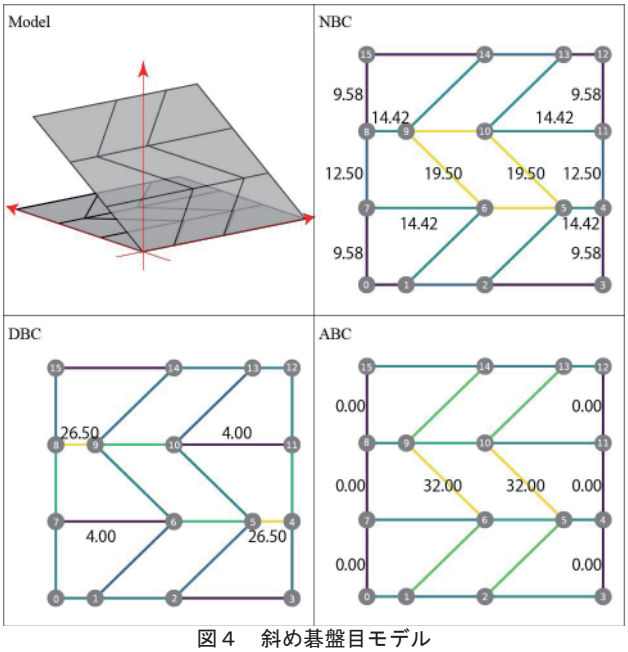

図４　斜め碁盤目モデル

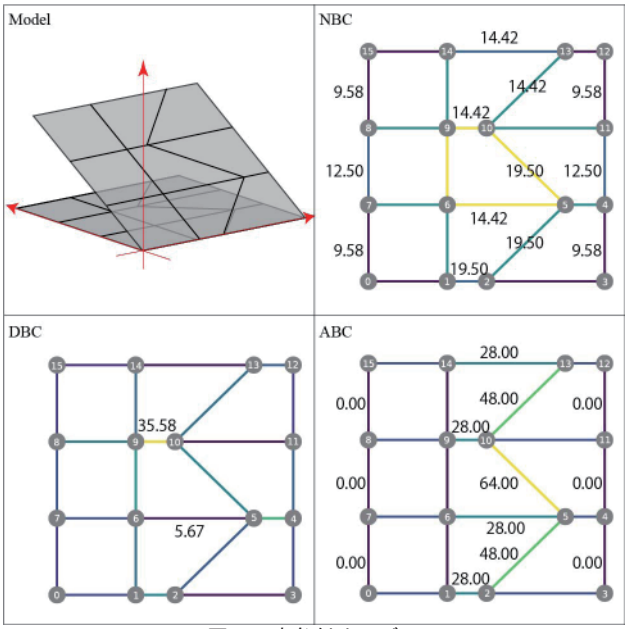

図５　直角斜めモデル

４．簡易モデルへの適用

本章では，３章で提案した３種の式の検証と街路の作成方法の定義を行い，以下のモデルに適用する。

４．１．基本モデル（図２）

ポイント０はＺ座標がプラス，他のポイントはＺ座標は０，リンク４本の閉ログラフを作成した。

結果，NBC では全てのリンクが同じ値を示している。DBC ではリンク 0-1 とリンク 0-3 の値が高く，リンク 2-1 とリンク 2-3 の値が低くなった。距離が長いリンクが選択されにくくなり，距離が媒介中心性の値に影響することが明らかになった。ABC ではリンク 2-1 とリンク 2-3 の値が高く，リンク 0-1 とリンク 0-3 の値が低くなった。傾斜があるリンクが選択されにくくなり，傾斜が媒介中心性の値に影響することが明らかになった。

４．２．碁盤目状モデル（図３，４，５）

傾斜角が 30° である斜面を想定し，直角碁盤目，斜め碁盤目，直角斜め混合の３種類のモデルを作成した。

直角碁盤目モデルの結果（図３），NBC と DBC は全リンクの距離が同じなので，値は変わらない。一方，ABC では，中央部と外周に変化があった。中央部では，水平のリンク（5-6，9-10）の値が低くなり，傾斜のリンク（5-10，6-9）がの値が高くなった。外周では，傾斜のリンク（4-11，7-8）の値が低くなり，水平のリンク（1-2，13-14）の値が高くなった。

斜め碁盤目モデルの結果（図４），DBC では中央部で，最長のリンク（6-7，10-11）の値が最も下がり，最短のリンク（4-5，8-9）の値が最も上がった。一方，ABC では，外周の傾斜のリンク（0-7，3-4，4-11，7-8，8-15，11-

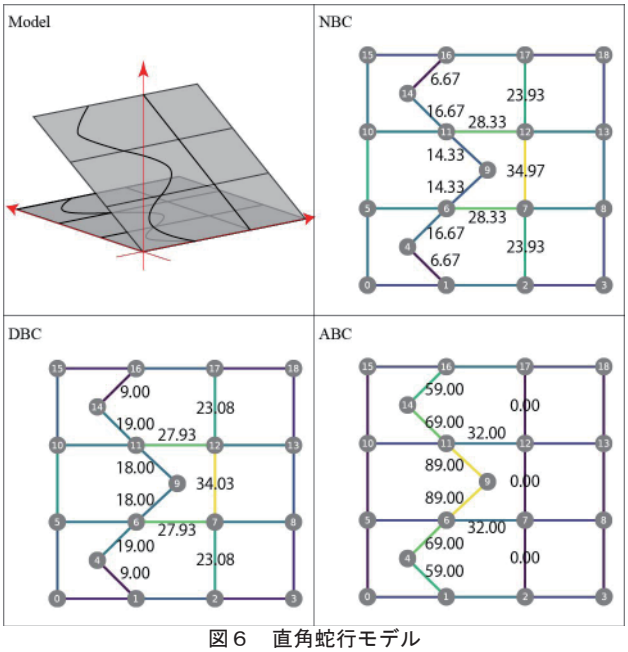

図６　直角蛇行モデル

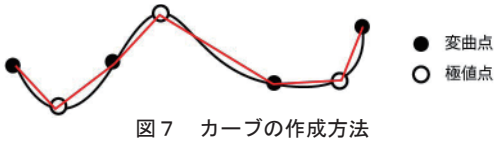

図７　カーブの作成方法

12）が選択され無くなり，中心部の傾斜のリンク（5-10, 6-9）の値が最も大きく上昇した。

混合碁盤目モデルの結果（図５），DBC では中央部で，最長のリンク 5-6 の値が最も下がり，最短のリンク 9-10 の値が最も上がった。一方，ABC では傾斜のある外周のリンク（0-7，3-4，4-11，7-8，8-15，11-12）が選択され無くなり，水平のリンク（1-2，5-6，9-10，13-14）と傾斜のリンク（2-5，5-10，10-13）の値が大きく上昇した。

４．３．直行蛇行モデル（図６）

街路ネットワーク作成の際，ノード数が解析の結果に大きく影響する。加えて本研究では距離や角度を扱うので，既往のグラフ理論を用いた街路ネットワークの作成方法ではカーブや街路と街路が交差する時の角度を考慮せず解析を行っている。これは，空間の深さを表すには有効であるが，距離や傾斜角を扱う場合には，結果に影響を与えることが懸念される。そこで，街路ネットワークの作成方法を以下のように定義をする。

①歩行可能道路のみを描画する。

②バイパスや高速道路は除外する。

③街路がカーブしている場合は，カーブの極値点と変曲点にノードを描画する（図７）。

結果，NBC と DBC では中央部の最短のリンク 7-12 の値が最も高くなった。一方で，ABC では中央部の最短のリンク 6-9 と 9-11 の値が高くなった。これはノード数や距離で結果をみると，最小ノード数および最短経路を選択しているが，傾斜角を考慮すると傾斜が小さい方を選択していることが分かる。

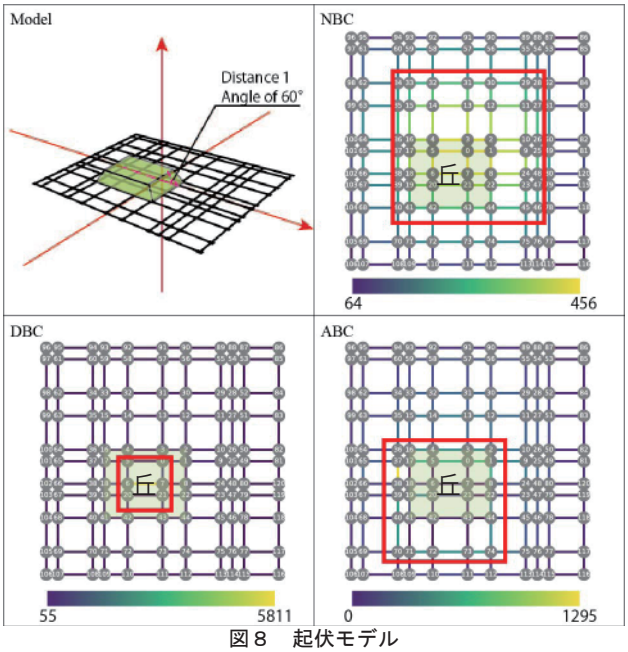

図８　起伏モデル

４．４．起伏モデル（図８）

傾斜角が 60 度，傾斜部は距離が 1 km である，高台を想定したモデルを作成した。高台部分以外は傾斜を持たない。距離や角度の影響を考察するためリンクの距離は均一ではない。

結果，NBC ではモデルの中心部分が高くなっている。一方で，DBC は NBC と比較して，高い部分が減少し，中心に凝集している。また，ABC は NBC と比較して，高台のふもと部分が高くなっており，傾斜を避けたところに値が高いリンクが集中している。

このように，高台のようなモデルでも距離や傾斜を用いることで，媒介中心性の値が変化することが分かった。

５．実際の敷地への適用

傾斜やカーブがあり，街路ネットワークの形状が複雑な場所を選定した。本研究では約 3.3km × 2.6km の範囲で解析を行った。なお地図に関しては，一部を拡大し，値が下位（3000 以下）の街路は細い線で描画している。

５．１．対象敷地

神戸市中央区の市街地を選定した[5)]。この地域は JR・阪急・私鉄を挟んで北側が山，南側が海であり，地形的に北側に急な傾斜，南側に緩やかな傾斜を有している。一方，南北には北野坂，異人館通り，フラワーロードなど，通行量が多い道が複数あり，北野異人館，旧居留地，ハーバーランドなど，観光名所も数箇所有している。

５．２．結果と考察

NBC（図９）では山本通り周辺で東西と南北の大通りの値が高くなっている。値の高いリンクは比較的，敷地の中心に集中している。

DBC（図１０）では距離の指標を考慮することで山側の東西方向の通り（異人館通り）の値と，神戸駅からハーバー

図９　神戸市中央区（NBC）

図１０　神戸市中央区（DBC）

ランドに続く南北の道の値が高くなった。一方でJR付近の東西方向の通りの値が低くなった。値の高いリンクは比較的敷地全体に分散し，敷地全体の値が最大となった。

ABC（図１１）ではNBCと類似しているが，北野坂が高くなっていることが特徴的である。また，値が高いリンクがNBCとDBCに比べて増加している。

６．まとめ

本研究では媒介中心性を基に，地理情報である距離および傾斜を加味した評価方法を提案し，簡易なモデルを用いて手法の検証した。そして実際の敷地に適応さ，街路の評価を行った。

本研究のような距離や傾斜を加味した研究は希薄であり，これらの指標を用いた評価モデルを確立させる必要がある。今後は実際の敷地に適応させ現状把握をした上で，避難や観光のような用途に応じたルートの提案やシミュレーションを行う予定である。

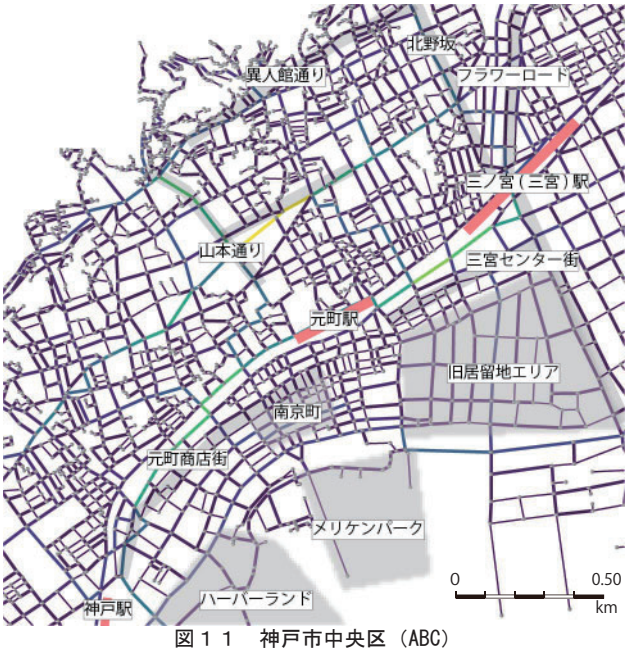

図１１　神戸市中央区（ABC）

[注釈]

1. 代謝的換算距離[6]とは坂道歩行時に消費する代謝エネルギーを指標とした負荷である（式：$y=3.113e^{4.614x}$，xは坂の勾配率（$\tan\theta$）の値を代入）。
2. 本研究では媒介変数算出の際に値を正規化せず、経路が選択される割合の合計値を使用している。

[参考文献]

1. 福山祥代，羽藤英二：街路ネットワーク分析による広場_街路構成の特性の把握－イタリア・スペイン旧市街の街路ネットワークを対象として－，都市計画学会都市計画論文集 Vol.45 No.3，pp.421-426，2010年10月
2. 大澤義明・林利充：隣接グラフと地利値最大化，日本建築学会計画系論文集，第73巻，第633号，PP2417-2424，2008年11月
3. 永杉博正，羽藤英二：ネットワークの閉路特性に着目した駅周辺街路の回遊性分析とその適用－JR中央線9駅の駅周辺街路ネットワークを対象として－都市計画学会都市計画論文集 Vol.49 No.3，pp.711-716，2014年10月
4. 太田浩史：建物ノード付き街路ネットワークの研究－建物規模の媒介中心性分布の影響－，日本建築学会計画系論文集，第78巻，第686号，pp.883-889，2013年4月
5. 北本英里子，山田悟史，宗本晋作，大内宏友，及川清昭：神戸の震災による環境変化に対する地域住民の景観認知について，日本建築学会計画系論文集，第81巻，第720号，pp.357-367，2016年2月
6. 佐藤栄治，吉川徹，山田あすか：地形による負荷と年齢による身体能力の変化を勘定した歩行換算距離の検討，日本建築学会技術報告集，第610号，pp.133-139，2006年12月

＊1　立命館大学 理工学研究科　環境都市専攻　博士後期課程
＊2　立命館大学 理工学部 建築都市デザイン学科 講師・博士（工学）
＊3　立命館大学 理工学部 建築都市デザイン学科 教授・工博