

都市の距離構造とネットワーク

2020年5月27日都市・建築空間解析授業資料 吉川徹

1 二次元空間としての都市の距離

なっている都市圏で中心部が混雑する理由のひとつとなる（なぜか）。

1.1 マンハッタンとカールスルーエ

京都やマンハッタン島など道路網が碁盤目になっている所では、距離としては、直線距離よりも碁盤に沿った経路距離の方が適切である。この近似として、直交する二方向だけに移動できると仮定した場合の距離をマンハッタン距離あるいは rectilinear 距離と呼ぶ。マンハッタン距離は、碁盤目の道路網の道路距離に対して、まれに一致しないこともあるが（図1B）、多くの場合は一致する（図1A）。

1.2 道路距離と直線距離の関係

本節の議論は腰塚ほか³⁾による。

道路経由の最短距離（道路距離）を求めるには手間がかかるので、直線距離との関係が判明すれば、直線距離で代替する精度がわかり便利である。

都市内の道路網は碁盤目に近く、都市間の道路網は放射状に近いので、両者を区別して扱おう。

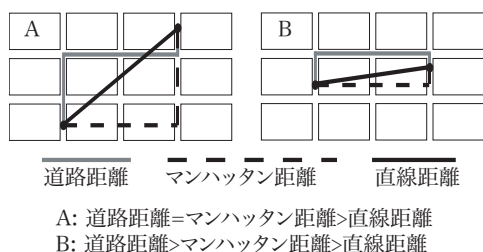


図 1: 直線距離・道路距離・マンハッタン距離

田園調布、日吉、カールスルーエなど放射環状道路網を有する都市での、ふたつの地点を移動する距離の近似として、ある中心点までの放射方向の移動と、中心点を巡る環状方向の移動だけが許される場合の距離を用いることがある。これをカールスルーエ距離と呼ぶことがある（図2）¹⁾。この場合の移動経路は、放射環状道路網の中心を挟む角度が2radを越えるかどうかによって、中心を通る場合と通らない場合に分けられる。この距離の性質の詳細は栗田²⁾参照。

1.2.1 都市内

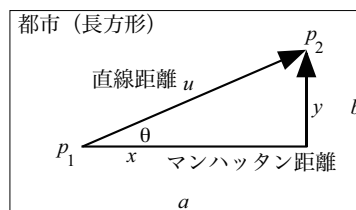


図 3: 記号の定義

長方形の都市を想定し、上図の記号を定義する。マンハッタン距離 $R = x + y$ を道路距離と見なせば、直線距離との比 R/u は下式になる。

$$R/u = \cos \theta + \sin \theta$$

この最小 1 から最大 $\sqrt{2}$ まで変化する比 R/u の、平均値（期待値） $E[R/u]$ は次式になる。

$$E[R/u] = g_1(c) + g_1(1/c) + g_2(c) + g_2(1/c)$$

ただし、記号は次のように定める。

$$c = b/a$$

$$g_1(x) = \frac{\sqrt{1+x^2}}{2x} - \frac{2}{3x} + \frac{\log(\sqrt{1+x^2}+x)}{6x^2}$$

$$g_2(x) = -\frac{\sqrt{1+x^2}-1}{3x^2} + \frac{2\log(\sqrt{1+x^2}+x)}{3x}$$

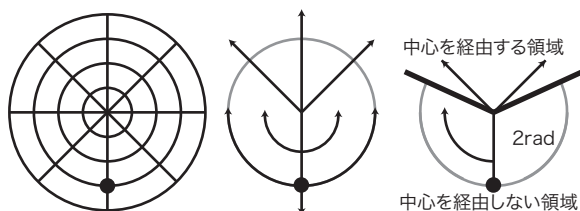


図 2: 放射環状道路網とカールスルーエ距離

この 2rad による区分が、カールスルーエ距離に

この期待値の c の値による変化は資料図 5 の A になる。 $0.5 < c \leq 1$ ではほぼ安定しており、 $c = 1$ で $E[R/u] = 1.276$ となる。なお、都市におけるマ

マンハッタン距離の期待値 $E[R]$ と直線距離の期待値 $E[u]$ の比 $E[R]/E[u]$ は資料図5のBである。特に $0.5 < c \leq 1$ ではAの $E[R/u]$ にほぼ等しい。

さらに上記の諸仮定を緩めても結果が妥当するかどうかを調べよう。

都市の長方形の辺の向きと碁盤目道路網の向き
向きがずれていても結果はほぼ同じ。

都市の形状が長方形でない 実際の東京23区の形を用いて、道路距離としてマンハッタン距離を用いると、資料表1が得られる。碁盤目道路網の向きを45度振ってもほぼ同様の結果が得られる。

実道路距離 道路距離=マンハッタン距離という仮定も緩め、実際の道路網を使って新宿区など3区で計算すると資料図10、資料表2が得られる。

以上の結果は、ほぼ $E[R/u] = E[R]/E[u] = 1.3$ とまとめられる。

1.2.2 都市間

茨城県の市役所・町村役場(92)間の距離($92 \times 91/2 = 4186$)を例とする。直線距離を D で表す。道路は国道、主要地方道、県道とする。資料図11のように D と R には強い比例関係がある。

ここで、使用できる道路を国道のみ(a)、あるいは国道と主要地方道(b)のみに制限すると、資料図13、資料図14のように、県道までを含めた場合(c)に比べて比例係数が1より大きくなる。

以上より、都市間においては、道路距離 R は直線距離 D にほぼ比例し、その比例定数は詳細な道路を含めるほど1に近づく。

2 三次元空間としての都市の距離

最近の東京都心部の都市空間は、水平方向に比べて垂直方向の移動が大きい空間に見え、いわば空間が折り畳まれた状況にあると感じられる。垂直と水平の移動は、単純に距離で比較できないのは、たとえば垂直と水平に100mを人力で移動する状況を想像すれば明らかである。そこでよく行われるのは、移動時間による比較、すなわち時間距離を用いることである。

垂直方向の移動時間については、たとえば腰塚らによる新宿副都心での実測では、三次元都市空間でのランダムな2地点間の平均移動時間(歩行とエレベータによる、待ち時間含む)は6.77分であり、うち地上部の平均移動時間は4.71分、エレ

ベータの平均移動時間は0.82分であった¹³⁾。また、エレベータでの移動時間と平面上の移動時間の比較によって垂直距離を水平距離に換算して、3次元都市空間の距離構造を仮想的に視覚化できる¹⁴⁾。このような結果から、高層建築物において高層階を連結する(梅田スカイビル、聖路加ガーデン等)ことの「効果」も推察される。

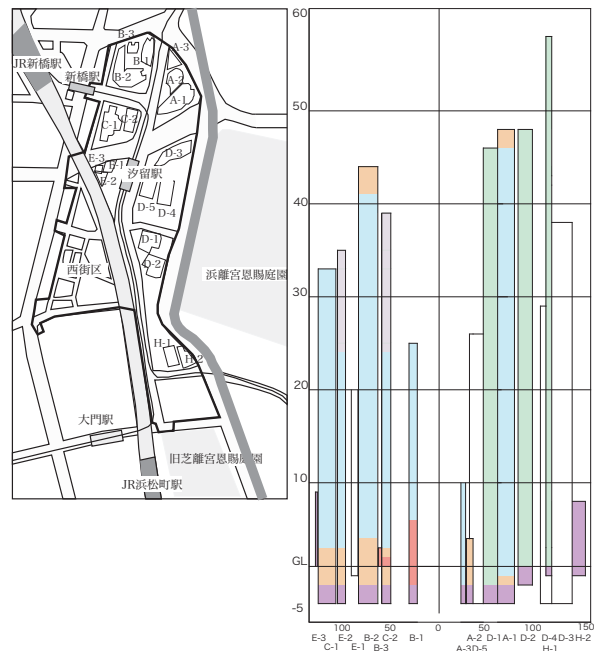


図4: 汐留における3次元都市空間の距離構造¹³⁾

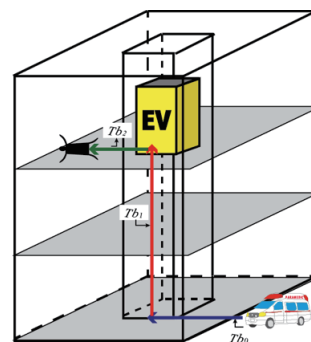


図5: 大規模超高層都市施設での救急隊の移動⁸⁾

垂直方向の移動時間が延びた都市空間は、大規模超高層都市施設において救急隊が進入口に到着(東京では7.5分程度)してから現場まで到達するまでの時間(図5, 6, 平面床面積6,400平米, 54階, 高さ226.41mの建築物で最大4分程度)など、都市の安全性に係る時間が従来と大きく異なる⁸⁾。

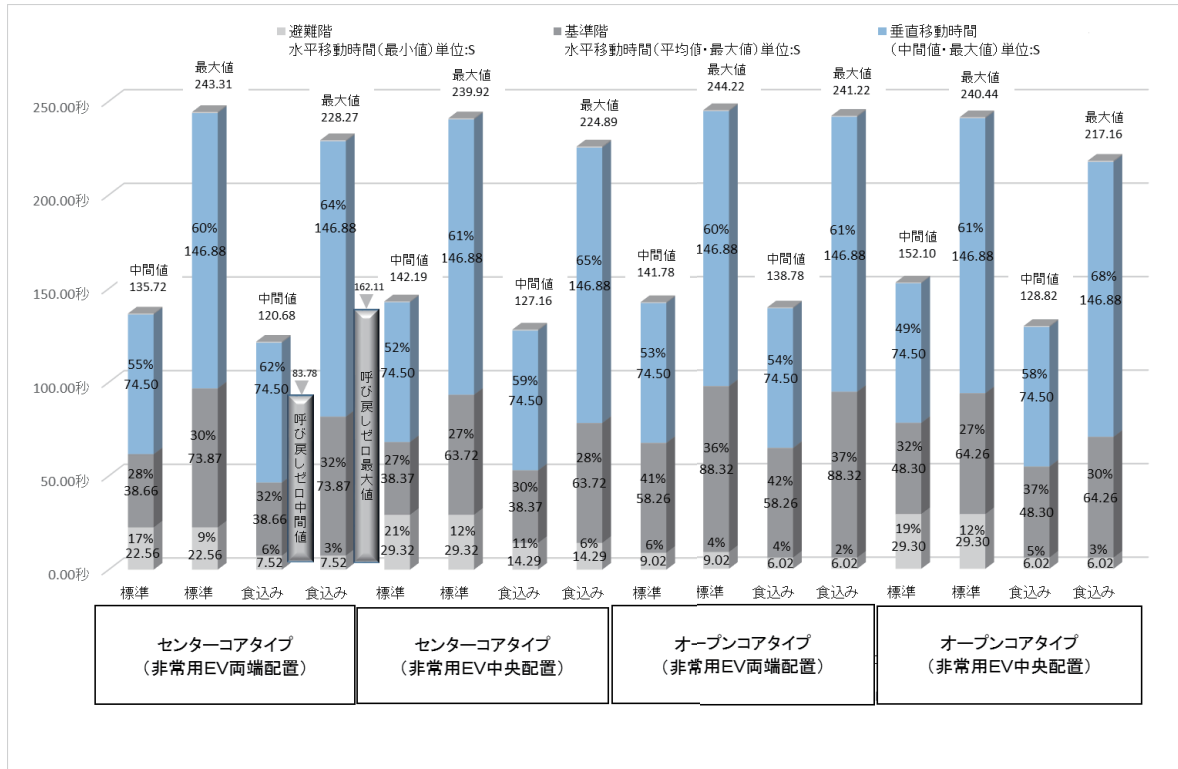


図 6: 大規模超高層都市施設における救急隊の移動時間のシェア⁸⁾

3 最短経路検索

カーナビゲーションソフトウェア⁹⁾や、公共交通経路探索ウェブサイト¹⁰⁾などを使用すると、道路網や公共交通網などで最短経路を検索できる。

単純な最短経路検索の古典的算法として、Dijkstra法がよく知られている¹¹⁾。

い。さらに、効率的な解法が本当にあるのか無いのかさえ解っていない。巡回セールスマン問題は、NP困難問題と呼ばれる極めて困難な数学問題の一つであることが判明している。

以上より、大規模な巡回セールスマン問題は、条件をつけたり、近似解法によったりして解く¹²⁾。

3.1 巡回セールスマン問題

巡回セールスマン問題とは、「 n 個の都市があり、都市間の距離が表として与えられている。このとき、 n 個のすべての都市を 1 回ずつ訪問して最初の都市に戻る巡回路のなかで、最短のものを求めよ。」という問題である¹²⁾。通所型高齢者施設の送迎車両の最短巡回路はこの問題の例である。

巡回セールスマン問題の最も素朴な解法は、あらゆる巡回路を舐潰しに調べることである。このとき、あらゆる巡回路の数は、 $(n - 1)!$ あるので、都市の数の増加に従って爆発的に増加し、計算不能に陥る (たとえば $14! = 87178291200$)。

したがって、より効率のよい解法が望まれるが、今日に至るまで、効率的な解法は発見されていない

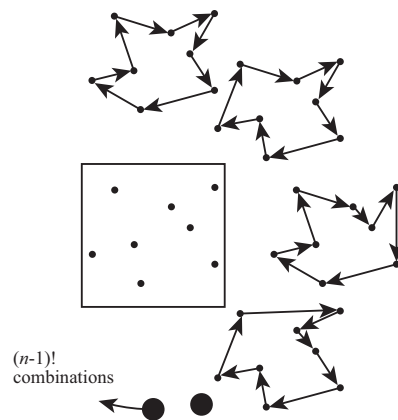


図 7: 巡回セールスマン問題

4 「距離」を用いて場所の便利さを定義する

場所の便利さは、そこから一定「距離」以内で到達できる場所の多さと定義できる。

ここで重要なのは「距離」の定義である。

交差点数 街路網で、一定時間以内に到達できる交差点数が多いほど便利（宮澤）⁴⁾。

駅数 鉄道経路で、一定時間内に到達可能な駅数が多いほど便利（宮川）⁵⁾。

空間数 街路空間を見通しが効く範囲で分節し、一定数以下の分節を経由して到達できる範囲が大きいほど便利（Hillier の Space Syntax）⁶⁾¹⁷⁾。

道案内情報記述量 街路網で一定以内の情報記述量で道案内できる領域が広いほど便利（覚知）⁷⁾。

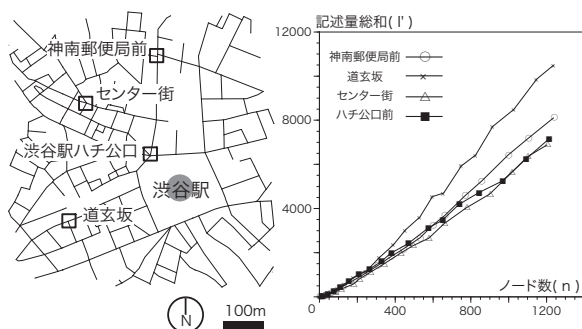


図 8: 道案内情報記述量による地点の便利さ⁷⁾

5 ネットワークの中心

道路網などのネットワークの「中心」がどこかを定義する指標¹⁵⁾には、次のものがある。

以下では、ネットワークの基本的な用語として、次を使用する。

リンク 道路、線路、電話線、交友関係など相互を繋ぐもの

ノード 交差点、インターチェンジ、駅、人など繋がれる対象

次数 それぞれのノードに接続するリンクの数

次数中心性 次数の高いノードほど中心性が高い。たとえば、多くの鉄道路線（リンク）が接続している駅（ノード）である新宿駅は中心性が高い。少数のノードの次数が著しく高いネットワークをスケールフリー性を持つネットワークと呼ぶ。

近接中心性 他のノードまでの距離が小さいノードほど中心性が高い。Space Syntax はこれである。

媒介中心性 ネットワークの任意のノード間の最短経路を全て重ねた時、各ノードを経由する最短経路の数を媒介中心性と呼ぶ¹⁶⁾。都市においては、媒介中心性の高いところは、商業ポテンシャルが高い、道路混雑が激しいといった状況になる。

マンハッタン距離の性質を持つ市街地においては最短経路が多数存在するので媒介中心性は平均化し、カールスルーエ距離の場合には中心の媒介中心性が高まる。

引用文献（資料とも）

- 1) 岡部篤行ほか(1992) 最適配置の数理, 朝倉書店
- 2) 栗田治(2004) 都市モデル読本, 共立出版
- 3) 腰塚武志ほか(1983) 道路距離と直線距離, 日本都市計画学会学術研究論文集, No.18, pp.43-48
- 4) 宮澤仁(2000) 街路ネットワークにおける時間地理学の基本概念の操作化とその有効性, 人文地理, Vol. 52, No. 5, pp. 74-89
- 5) 宮川卓也(1997) 移動可能性を用いた地区の利便性の評価手法について, 東京都立大学大学院工学研究科建築学専攻修士論文
- 6) Hillier, B. (1996) Space is the machine, Cambridge University Press
- 7) 覚知昇一, 吉川徹(2002) 道案内の情報記述量に着目した都市空間の利便性に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.562, pp.217-223
- 8) 磯部孝之, 吉川徹(2015) 大規模都市施設における救急の現場到達所要時間計算式の構築及び分析・評価, 日本建築学会計画系論文集, Vol.80(707),pp.145-155
- 9) たとえば住友電工フィールドシステム(株)「AtlasMate」
<http://www.sesys.co.jp/product/atlasmat/index.html>
- 10) たとえば駅前探検倶楽部
<http://www.ekitan.com/>
- 11) 両角光男(1992) ネットワークモデル, 日本建築学会編: 建築・都市計画のためのモデル分析の手法, 井上書院, pp.122-135
- 12) 山本芳嗣, 久保幹雄(1997) 巡回セールスマン問題への招待, 朝倉書店
- 13) 腰塚武志, 石井儀光(2000) 新宿高層ビル群における移動時間分布, 都市計画論文集, 35, pp.1003-1008
- 14) 佐藤栄治, 吉川徹(2003) 都市再生緊急整備地域汐留における機能分布に着目した立体空間構成に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1, 971-972
- 15) 増田直紀(2007) 私たちはどうつながっているのか, 中公新書, 中央公論社
- 16) 太田 浩史(2013) 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への影響, 日本建築学会計画系論文集, No. 686, 883-889
- 17) Pelin Dursun(2007) Space Syntax in Architectural Design, Proceedings, 6th International Space Syntax Symposium, Istanbul, 056