

階層モデルを用いた街路ネットワークの評価*

Evaluation of Road Network with Hierarchical Model *

若公雅敏¹⁾、王銳²⁾、桑原雅夫³⁾

Masatoshi Wako¹⁾, Rui Wang²⁾, Masao Kuwahara³⁾

1 はじめに

わが国の道路整備は、道路構造令¹⁾に基づいて行われている。しかし現行ではその仕組み上、個々の道路への需要（計画交通量）への依存度合が大きくなっていて、ネットワーク全体の性能を考慮した整備が行われているかどうかについては疑問が残る。これを問題視し、性能照査型の道路ネットワーク設計の方法論の提案²⁾が行われている。また、ネットワークの評価手法の考案^{3) 4)}や、道路ネットワーク自体の数理的解析⁵⁾についても研究が行われている。しかし、ネットワークの性能を評価する事は容易ではなく、様々な視点からのアプローチが必要であると考えられる。

本稿では、道路1本1本の性能ではなく、それらが集合したネットワークとしての性能を、階層的ネットワーク構造との関係で明らかにすることを目的とする。ネットワークの性能指標は多岐に渡り、移動主体によってその重要性も異なると考えられる。例えば、歩行者ならば旅行距離の大きさを重視する。しかし自動車になると、多少旅行距離が大きくても、旅行時間が短くなる場合があるならその経路を選択する可能性が高いと考えられる。また、交通機能以外の面に目を向けると、防災機能としての側面や、排ガス・騒音といった環境指標にも着目すべきである。

*キーワード：道路設計、交通運用、階層ネットワーク

1)非会員 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻

E-mail: wako@iis.u-tokyo.ac.jp

2)正会員 工博 東京大学 生産技術研究所

3)正会員 Ph.D. 東京大学国際産学共同研究センター 教授

最終的にはそれらを踏まえて総合的な評価をしていく必要があるが、本稿では旅行時間について扱う事とする。具体的な分析方法は、階層モデルを用いて、各Levelの道路の間隔を変数として与え、街路間隔と旅行時間の関係を導出するというものである。

2 対象とする街路ネットワーク

2.1 階層モデル

先行研究²⁾に基づいて、図1のように階層を区切って考えていく。

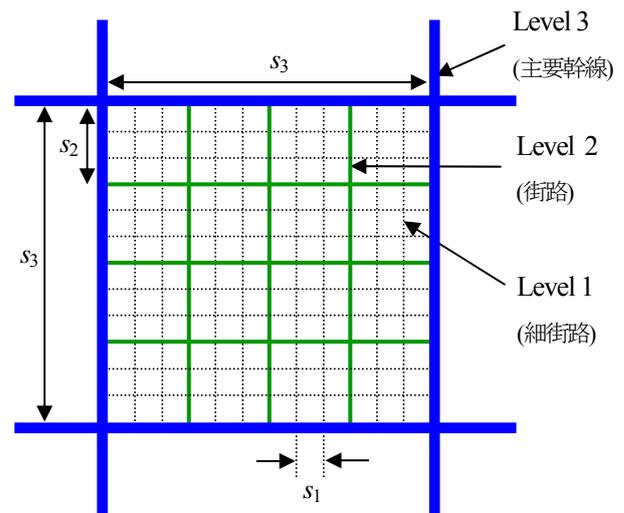


図1：対象とする街路ネットワーク

ここで、 s_1 , s_2 , s_3 は、それぞれLevel 1,2,3の街路間隔である。また、それぞれの道路における平均速度をそれぞれ v_1 , v_2 , v_3 とする。これら街路間隔及

び速度を設計変数とする。

最終的には、Level 3のネットワークにまで拡張して議論を行っていきたいが、本稿では対象を絞るため、Level 1+Level 2の街路ネットワークにおけるトリップについて考えていく事とする。

2.2 経路選択方法

利用者の経路を特定できたとすれば、移動に伴う旅行距離、旅行時間を評価することができる。したがって、利用者が選択すると想定される経路を考える必要がある。しかしながら、現実を選択する経路を正確に見つけることは容易でない。そこで、本稿では以下に示すような2種類の経路を設定し、実際に選択される経路は、この両者の間にあると考える。

図2に、2つの経路選択方法の例を示す。なお、これ以降の図においてはLevel 1の表示を省略している。

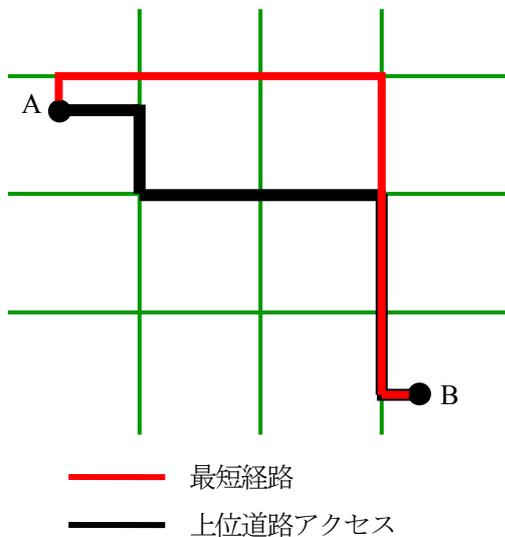


図2：2つの経路選択方法

2.2.1 最短経路選択

ある2点間を移動しようとする場合の当然の発想として、移動距離を最短にしようとする事が考えられる。その中で、複数の経路が存在する場合には、高いレベルの道路を可能な限り長く使えるような経路をとる事とする。図2における黒線がこれに該当する。

2.2.2 近接する上位レベルの道路へアクセス

2点間の移動において、常に最短経路を取ろうとするとは限らない。多少遠回りであっても走りやすい道路を使う事で、旅行時間が短縮可能な場合が考えられる。このような状況を反映するため、出発地点からいち早く上位の道路へアクセスし、到着地点においても同様の経路をとる事を考える。すなわち、Level 1の移動距離を最短化するような経路を考える。図2における赤線がこれに該当する。

なお、旅行時間の評価に影響はないが、上記2つとも、ルートを1つに絞るために十分な条件とは言えない。このため、「水平方向優先」（可能な限り早く水平方向に進む）という制約条件を付加する。

3 旅行時間の評価

3.1 最短経路選択

それでは、図1のネットワークに基づいて、旅行時間を評価しよう。まず、トリップの一例を図3に示す。

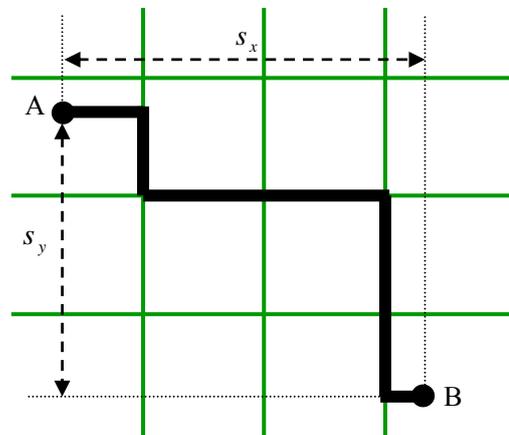


図3：最短経路選択

図3でA→Bと移動する場合を考える。この時、水平方向移動距離を s_x 、垂直方向移動距離を s_y とする。また、総移動距離 $S = s_x + s_y$ とする。

3.1.1 Level 1の平均移動距離

図4で、青色のエリア矢印に示したような経路を辿る事を考える。最短経路の場合、青色のエリアから必ず赤線部分のLevel 2にアクセスする。

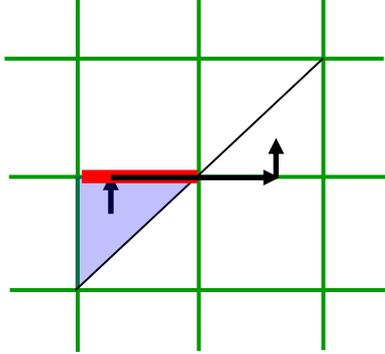


図4 : Level 2へのアクセス

この時、Level 2へのアクセスのために移動する距離の平均値 L_1 は、次のように表される。

$$L_1 = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n \frac{k^2}{n^2} \cdot \frac{s_2}{n} = \frac{s_2}{3} \quad (1)$$

起点、終点の両方でLevel 1を利用するため、Level 1の平均移動距離 L'_1 は、次のようになる。

$$L'_1 = \frac{s_2}{3} \times 2 = \frac{2s_2}{3} \quad (2)$$

3.1.2 旅行時間の導出

総移動距離が S であるので、Level 1,2それぞれの移動距離が次のようになる。

$$L'_1 = \frac{2s_2}{3} \quad L'_2 = S - \frac{2s_2}{3}$$

以上をもとに、旅行時間を評価する。評価は、単位距離当たりの旅行時間の平均値 $E(T')$ で行う。

$$\begin{aligned} E(T') &= \frac{\frac{1}{v_1} \frac{2s_2}{3} + \frac{1}{v_2} \left(S - \frac{2s_2}{3} \right)}{S} \\ &= \frac{1}{v_1} \frac{2s_2}{3S} + \frac{1}{v_2} \left(1 - \frac{2s_2}{3S} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

これを $1/v_1$ で割って正規化すると、

$$\frac{E(T')}{1/v_1} = \frac{2s_2}{3S} + \frac{v_1}{v_2} \left(1 - \frac{2s_2}{3S} \right) \quad (4)$$

となり、 v_1/v_2 及び s_2/S の2つで表現できる。

3.2 近接する上位レベルの道路へアクセス

3.2.1 Level 1の平均移動距離

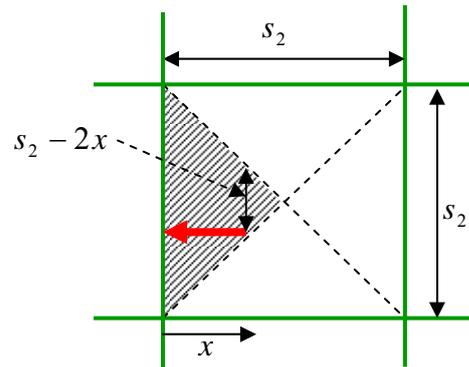


図5 : Level 2 へのアクセス

図5で、斜線で示した領域について考える。Level 1道路が連続的に配置され、横方向のみの移動だけを考慮すれば良いものとする。この時、Level 1を使った平均アクセス距離 L_1 は、次のように表される。

$$L_1 = \int_0^{s_2/2} x \frac{s_2 - 2x}{s_2^2/4} dx = \frac{s_2}{6} \quad (5)$$

起点と終点の両方を考えるので、Level 1の平均移動距離 L'_1 は、次のようになる。

$$L'_1 = \frac{s_2}{6} \times 2 = \frac{s_2}{3} \quad (6)$$

3.2.2 旅行時間の導出

この経路選択方法においては、最短距離ではないので、迂回を伴う。まず、迂回について考える。

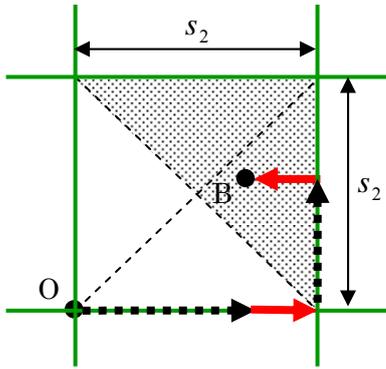


図6：迂回距離

図6のように、OからBまでの移動を考える。最短経路の場合と比べて、図6の赤矢印で示した距離だけ余分に移動する事になる。これを迂回距離と呼ぶ。

迂回が発生する割合は、50%である。また、その距離は、式(5)で示した L_1 のちょうど2倍である。よって、1ゾーンあたりの平均迂回距離は、次のようになる。

$$\frac{1}{2} \times \frac{s_2}{6} \times 2 = \frac{s_2}{6} \quad (7)$$

これを、起点終点両方に適用するので、1トリップあたりの平均迂回距離は、次のようになる。

$$\frac{s_2}{6} \times 2 = \frac{s_2}{3} \quad (8)$$

式(8)より、1トリップあたりの平均移動距離は、

$$L'_1 + L'_2 = S_x + S_y + \frac{s_2}{3} = S + \frac{s_2}{3} \quad (9)$$

となる。式(6)(9)より、Level 2の平均移動距離は、

$$L'_2 = S + \frac{s_2}{3} - \frac{s_2}{3} = S \quad (10)$$

となる。

では、最短経路の時と同様に評価を行う。

$$E(T') = \frac{\frac{1}{v_1} \frac{s_2}{3} + \frac{1}{v_2} S}{S} = \frac{1}{v_1} \frac{s_2}{3S} + \frac{1}{v_2} \quad (11)$$

これを $1/v_1$ で割って正規化すると、

$$\frac{E(T')}{1/v_1} = \frac{s_2}{3S} + \frac{v_1}{v_2} \quad (12)$$

となり、 v_1/v_2 及び s_2/S の2つで表現できる。

4 おわりに

本稿では、階層的道路ネットワークにおける旅行時間の評価手法について提案を行った。旅行時間を導出した結果、レベル別の平均速度と街路間隔により表現する事ができた。

2種類の経路選択方法による旅行時間の結果を検証すべく、適当な値を代入してみた。例えば、歩行者の場合は $v_1/v_2 = 1$ と考えられるので、当然最短距離の方が旅行時間は短くなった。一方、自動車の視点で、 $v_1/v_2 = 2$ として、さらに $s_2/S = 4$ として結果を導出した。この場合、明確な差は確認できなかった。

今後は、この結果をLevel 3道路ネットワークへと拡張させていきたいと考えている。本稿でLevel 1を下位道路、Level 2を上位道路として位置付けて分析を試みたので、この上下関係をLevel 2とLevel 3に置き換えて考えれば、本稿の結果が適用可能であると考えられる。

また、交通量の評価も行っていきたいが、これについては、交通需要を考慮しなければならない。特に、Level 3まで拡張した広域ネットワークを考える場合は、出発と到着のタイムラグを考慮し、時間的にダイナミックな分析を行う必要があるなど、複雑な要素が関わってくる。これらに対応した解析ができるよう、工夫を考えている。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, 2004.
- 2) 桑原雅夫, 森田緯之, 尾崎晴男, 中村英樹, 大口敬, 浜岡秀勝, 田中伸治: 階層的道路ネットワーク—計画設計のモデル化—, 土木計画学研究・講演集No.35, CD-ROM, 2007.
- 3) 三浦英俊: 混雑に耐えうる道路の量について, 日本都市計画学会学術研究論文集34号, 757-762, 1999.
- 4) 鈴木勉, 腰塚武志: 格子状高速交通網を持つ都市平面における距離・時間分布, 日本OR学会秋季研究発表会, 2003.9.
- 5) 渡辺大輔, 鈴木勉, 石田東生, 古谷秀樹: 領域形状が交通ネットワーク必要量に与える影響に関する数理的研究, 日本都市計画学会学術研究論文集34号, 769-774, 1999.