論文・研究レポート

ネットワーク構造に基づく道路の重要度評価

——都市内道路網への適用例——

田口　東，大山 達雄

1.　はじめに

東京都心部の道路を盆や正月の空いた時期に運転すると，まったく別の都市にいるように感じられるほどその交通事情は悪く渋滞は慢性化している．また，このような現象は他の大都市においてもみられ，都市への人口・機能集中にともなう弊害のひとつとして，現代の大きな社会問題となっている．いうまでもなく，交通渋滞は交通需要や道路の状況に依存して起こるものであり，時時刻刻様子が変化する．しかし一方では，運転者は日頃の経験によって，中心部の道路はよく混雑するが周辺部はそれほどでもないという地域的な差異があることや，橋，大きな交差点や合流地点の近くはよく混雑するというような知識を持っている．とすれば，それぞれの道路がどのように接続されているかという道路網の構造から，どの道路が混雑しやすいかを見いだそうと考えることはかなり合理性があるといえる．

そこで，道路網の交差点を頂点とし，交差点間の道路を枝に対応させ，対応する道路の長さ（またはそれを通過するのに必要な時間）を枝の長さとするようなネットワークを作る．そして，次のような輸送問題を解くことによって，各枝に対応する道路（交差点と交差点の間の部分）の重要度を表す指標を導くことを考える．まず，すべての車両は出発地から目的地までネットワーク上の最短経路を通るものとする．これは，道路の容量が十分に大きいか，運転者が渋滞を予想していない場合には自然な仮定である．そして，交通需要に関しては，すべての交差点の対に対して一方を出発地とし他方を目的地とする1単位の交通があると仮定する．このように仮定すると，すべての頂点間の最短経路問題を解き，各枝を通る最短経路の本数を数えてそれを枝の交通量とすることによって，ネットワーク上の交通がわかる．この最短経路の本数を枝の重みと呼ぶことにする．現実には道路の交通容量を考慮に入れる必要があるが，大きな重みを持つ枝に対応する道路は多くの車両が通る可能性が高いと考えられるので，これを枝の重要度を表す指標とみなすことにする．本文ではこのような指標を実際の都市道路網について計算した結果を見ることにする．例としたのは東京および岐阜の道路網を表すネットワークである．

2.　規則的なネットワーク

まず規則的なネットワークにおける枝の重みを計算することによって，実際の道路網に適用した場合の手がかりを得ることにする．本節の内容に関する詳細な議論は[2]，[3]，[4]を参照されたい．

2.1　格子状のネットワーク

図1のように n 本の枝が一列に並んだネットワークを考える．図の左から l 番目の枝 H_l を通る最短経路の数は，H_l の左にある頂点数と右にある頂点数との積であり，

$$w(H_l)=l(n+1-l)$$

である．横軸に l をとると，重み w は中央で最大となる2次関数となる．

この1次元のネットワークを2次元に拡張して，図2に示すような $(n+1)\times(m+1)$ の格子状のネットワークを考える．格子の交点が頂点であり，各辺が枝である．枝の長さは両端点のユークリッド距離とする．このネットワークにおいては，一般に2頂点間の最短経路は一意に定まらない．そこで，方向変換を左折1回だけに限定し，直進部分をできるだけ長く取るようにして一意に経路を定める．このルールは各辺を平均的に使う効果を持つこ

たぐち　あずま　中央大学　理工学部　情報工学科
〒112　東京都文京区春日1-13-27
おおやま　たつお　埼玉大学　大学院　政策科学研究科
〒338　浦和市下大久保255
受理　93.4.30

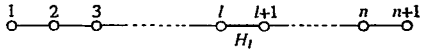


図1　直線状のネットワーク

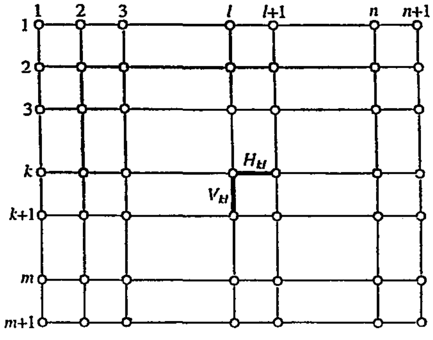


図2　格子状のネットワーク

とに注意してほしい．簡単な計算から図の垂直方向の枝 V_{kl}，水平方向の枝 H_{kl} の重みは

$$w(V_{kl})=2k(m-k+1)(n+1)$$

$$w(H_{kl})=2l(n-l+1)(m+1)$$

のように与えられる．$w(V_{kl})$ は k の2次式であり中央で最大となる．同様のことが H_{kl} についてもいえる．すなわち，都市内のアクティビティに偏りがなくても，中心部は混雑することが，このモデルによって示される．

2.2　放射・環状ネットワーク

規則的なネットワークのもうひとつの例として，図3のような扇形に開いた放射線と環状線からなるネットワークを考える．各枝の重みは前と同様に陽な式で与えられるが，かなり複雑になるのでここでは省略する．しかし，出発地と目的地を中心からみる角度が大きくなると，遠回りのようにみえても最も内周の環状線まで進んでそこをまわる経路が最短となることは指摘しておこう．

図3のSからTへの最短経路を求めよう．中心をO，SOTのなす角の小さい方を θ とする．Sを通る環状線を使う経路S→S'→Tと最内周の環状線を通る経路S→C→C'→Tの距離を比較すると，前者は $L_1=r_1-r_2+r_2\theta$ であり後者は $L_2=r_1+r_2-2r_3+r_3\theta$ であるから，両者の差は

$$L_1-L_2=(r_2-r_3)(\theta-2)$$

となる．上式より最短経路は上のふたつの経路のいずれかであり，θ が2ラジアンよりも大きくなると，最内周を通る経路の方が最短経路となることがわかる．したがって，環状線が完全な円に近く，このような条件を満足する頂点の組み合わせが多いと，内周上の枝の重みが非常に大きくなる．このことは，通過のためだけに都心環状

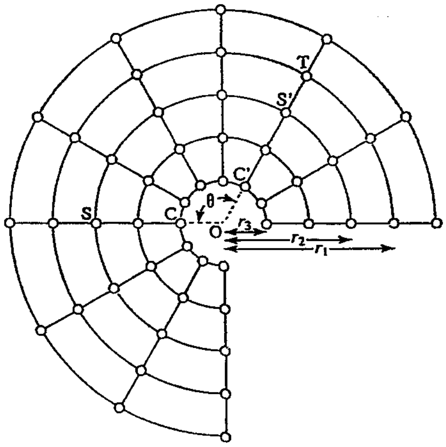


図3　放射・環状ネットワーク

線をまわる車が多いことを裏付けている．さらに，外周に新しい環状線を作ったとき，それが利用されるかどうかは注意して検討する必要があることを示唆している．

3．　実際の道路網への適用例

3.1　東京都内の道路網

東京都内の主要な道路からなるネットワークを例題とした結果を示す．ネットワークの頂点数は592，枝数は855である．定義にしたがって，529×528組の頂点対の間の最短経路を求め各枝の重みを計算した．まず，枝の重みの分布をみるために，図4に，枝の重みを対数スケー

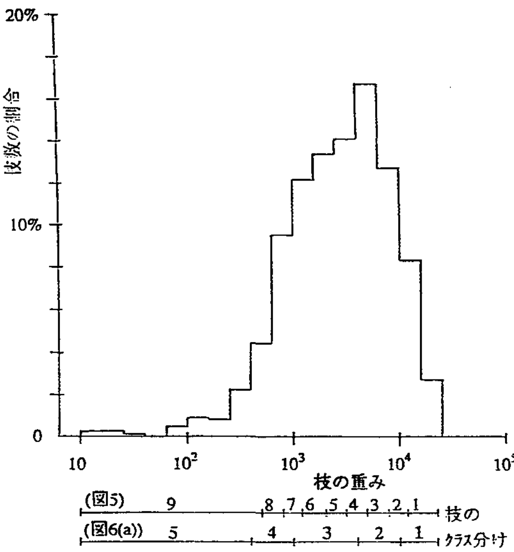


図4　枝の重みのヒストグラム（東京道路網）

ルでほぼ均等な区間に分けて作成したヒストグラムを示す．重みの最大値は22610であり，すべての最短経路の中の約８％がその枝を利用していることに相当する．

つぎに，各枝の重みがどのようになっているかを見てみよう．図５は，枝の重みを図４の横軸の下に示すクラスに分け，重みが最大のクラスの枝を最初に描き，その次のクラスの枝を重ねて描き，そして順に各クラスの枝を重ねて描いたものである．中心部が重要度の高いクラスに含まれていることがよく分かる．また，重みの大きいほうから少数のクラスを重ねた段階でネットワークの骨格を見ることができる．図6(a)は水平面上にネットワークを置き，枝の重みの対数を高さとし，各枝をその重みの高さの面に投影した図である．ただし，重みをそのまま使うと見づらくなるので，重みを図４の横軸の下に示すクラスに分け，各クラスの中央値の所に投影してある．

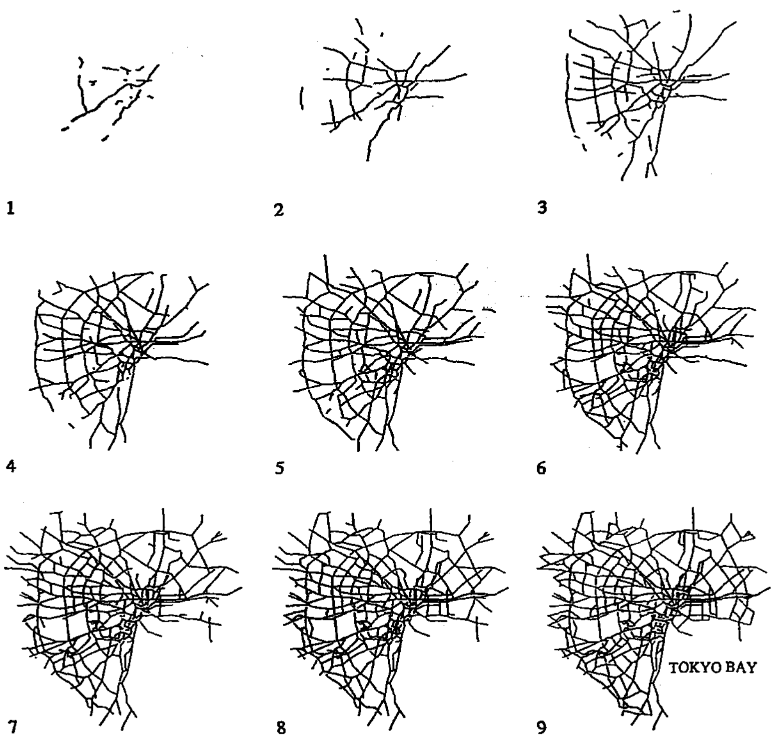


図５　枝の重みをクラス分けし，大きいほうから順に重ね描きした図
（東京道路網，頂点数529，枝数855）

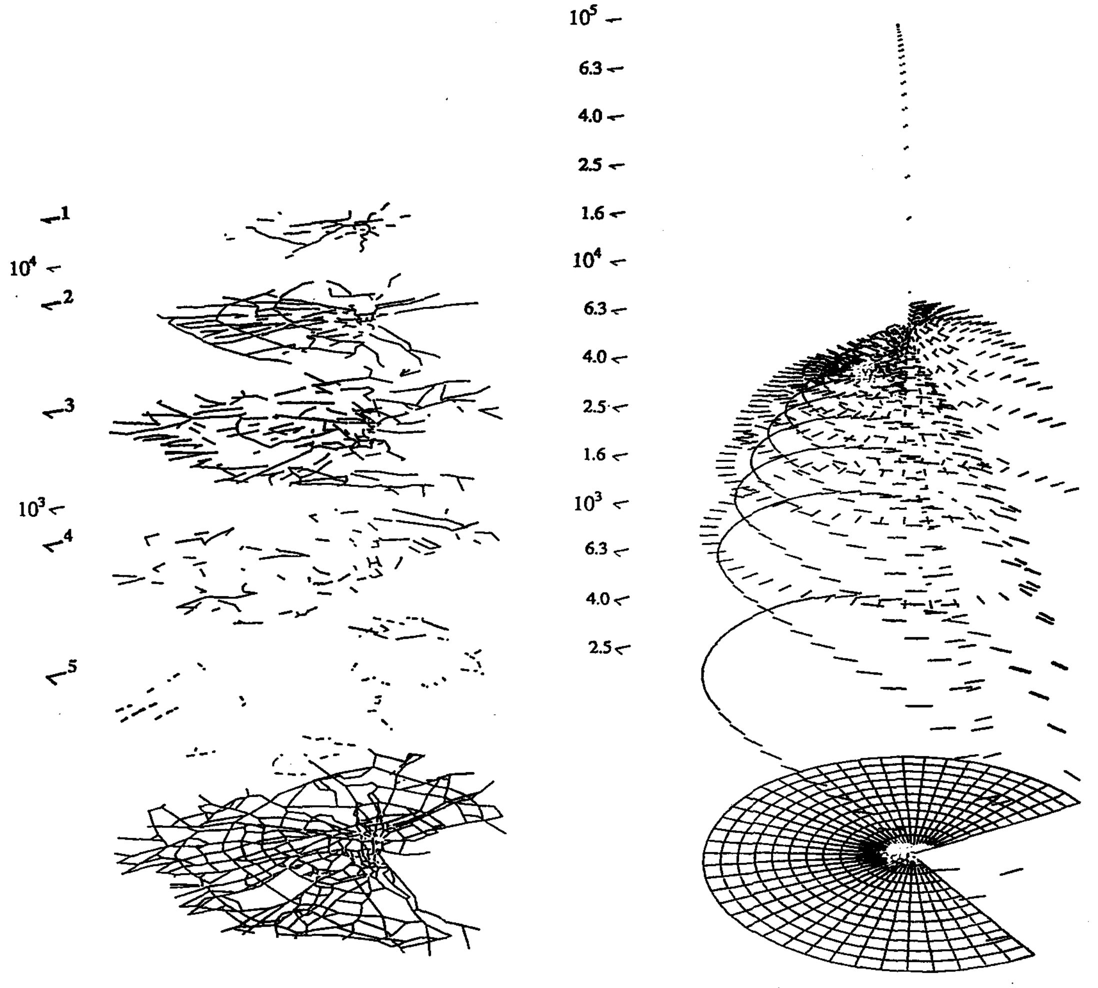
東京の道路網を表すネットワークと対照するために，放射・環状ネットワークを考える．そのために，道路網を覆う領域に，各枝の長さがほぼ等しく，頂点数が道路網のそれととほぼ同数となるように放射線と環状線を引いてネットワークを作成する．ただし，東京湾にあたる部分は90度切り取られている．この放射・環状ネットワークの枝の重みのヒストグラムを図７に示し，枝の重みを図6(a)と同じスケールで描いた投影図を図6(b)に示す．内周にいくほど枝の重みが大きくなり，最内周の枝の重みは非常に大きくなっていることが分かる．

3.2　岐阜の道路網

もうひとつの例として岐阜の道路網を表すネットワークを取り上げる．この道路網は東西に走る川および鉄道によって大きく三つに分けられている．頂点数は1927，枝数は3200である．1927×1926組の頂点対の間の最短経路を求めて各枝の重みを計算した．重みの最大値は654650であり，すべての最短経路の中の約18％がその枝を利用していることに相当する．図８は枝の重みの分布を表すヒストグラムである．数少ない枝が頻繁に最短経路に使われていることがわかる．

東京の場合と同様にして各枝の重みを見てみよう．図９は，枝の重みを図８の横軸の下に示すクラスに分け，重みの最大のクラスから順に重ねて描いたものである．また，図10(a)は枝の重みの対数を高さ方向にとって，各枝をその高さの面に投影した図である．橋とそれらにつながる南北の道路に対応する枝の重みが大きいことと，中心部の枝の重みの大きいことが顕著に現われている．また，東京の道路網と同様に，少数のクラスの枝を描いただけで，ネットワークの大体の形をみることができる．

対照のためのネットワークとして，格子状ネットワー



(a) 東京道路網

(b) 放射・環状ネットワーク
環状線13本，放射線41本. 東京

図6 枝の重みを高さとし，枝をその高さの面に投影した図

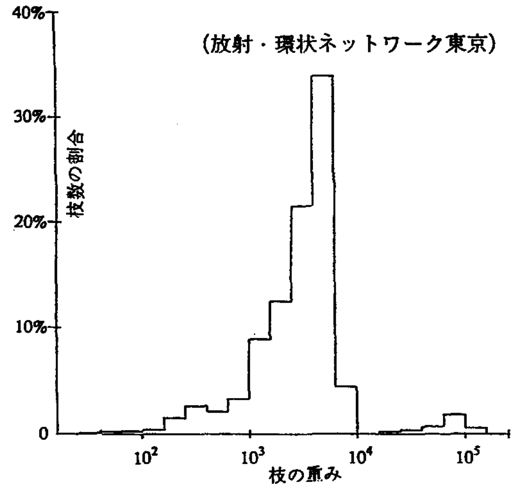


図7 枝の重みのヒストグラム

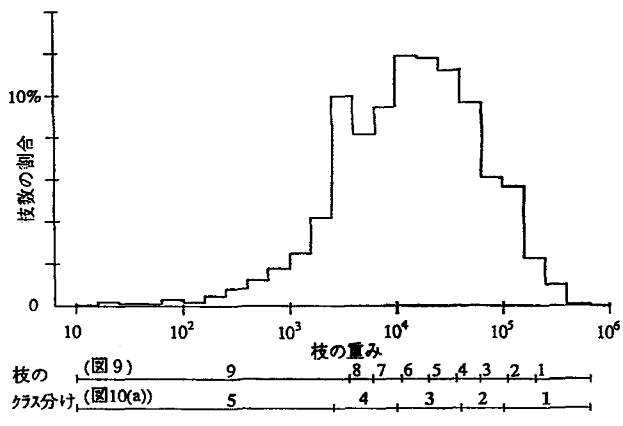


図8 枝の重みのヒストグラム（岐阜道路網）

クを考える．作り方は東京の道路網のときと同じ要領である．このネットワークの枝の重みのヒストグラムを図11に示し，枝の重みを図10(a)と同じスケールで描いた投影図を図10(b)に示す．これらの図をもとの道路網に関する図と比較すると，格子状ネットワークは，枝の重みのばらつきが小さく，よい近似ではないことがわかる．これは，格子状ネットワークにおいては枝を平均して使うように最短経路が定められていることと，実際の道路網は川や鉄道によって連結性が損なわれているため，一部の枝に最短経路が集中することによるものと考えられる．

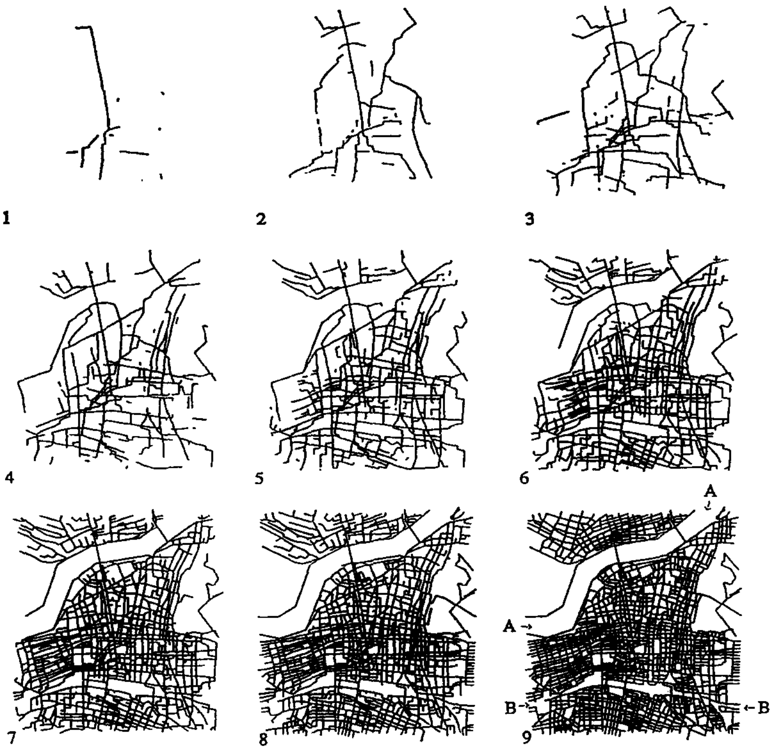


図9　枝の重みをクラス分けし，大きいほうから順に重ね描きした図
A↔Aは長良川，B↔Bは東海道線．（岐阜道路網，頂点数1927，枝数3200）

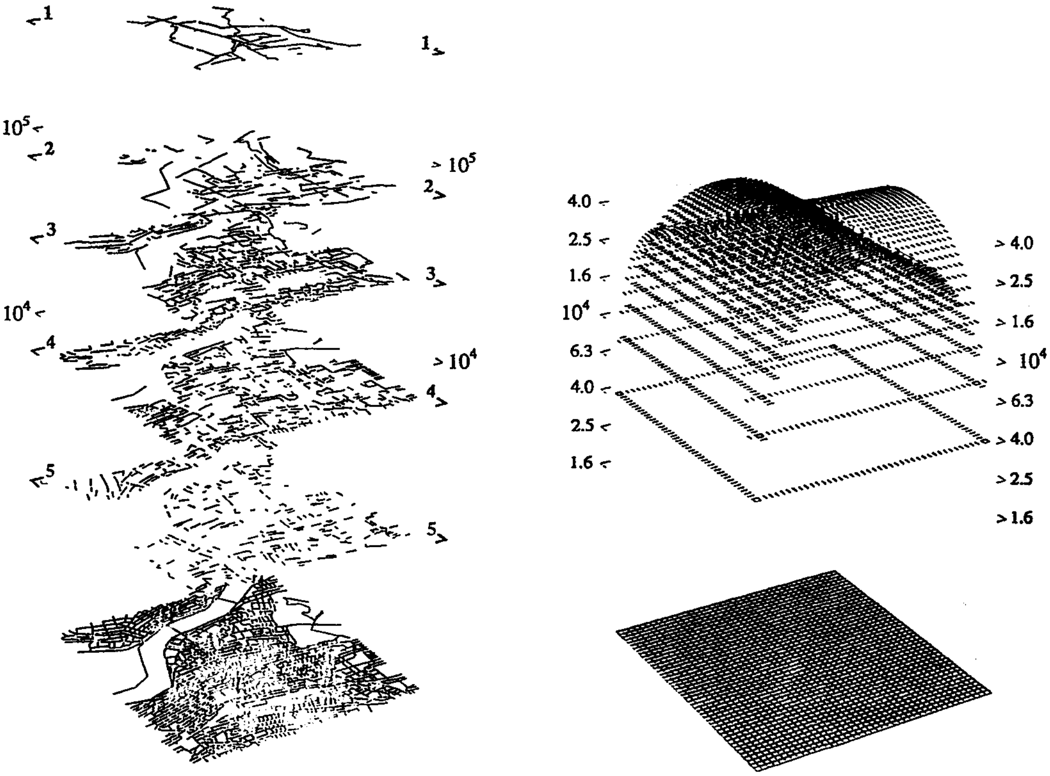
4.　まとめ

道路網における各道路の重要性を評価するために，道路網をネットワークとして表し，各枝がネットワークの最短経路として使用される頻度をその指標として提案した．そして，東京および岐阜の都市内道路網を表すネットワークにこれを適用し，その有効性を調べた．

まず，この指標による重要度の高い枝だけで，ネットワークの大体の形が作られることが両者に共通して分かった．さらに，東京の道路網において，都心部を中心とする放射・環状構造の中心部の枝の重要度が高いということが，実際のネットワークに適用した結果および簡単なモデルによる解析結果から得られた．このことは実際の道路混雑の経験ともよく一致している．また，岐阜の道路網では最短経路が橋とそれにつながる道路に集中し，これらの枝の重要度が高くなる傾向が顕著にみられた．

今後の課題として，実際の道路の混雑度とこの指標との関係を実証的に調べることがあげられる．ここで提案した指標は，いわば入手が容易なデータだけを使って導いたものである．現実の道路の渋滞とよりよく対応させるためには，実際の交通需要を取り入れるとともに，道路の容量も考慮する必要がある．しかし，このことはデータの入手に手間がかかるだけでなく，解かなければならない輸送問題が格段に難しくなることを意味している．この点に関しては，大きな傾向をみることに的をしぼった大胆な定式化が必要となる．また，ここで提案した指標のように交通需要が発生すると仮定したときに，それを円滑に通行させるような道路を確保しながら，様々な施設や居住区域をどのように配置したらよいかを考えるモデルに発展させたいと考えている．この課題に関しては[1]に基本的な考え方が述べられており，対象を限定した考察が[5]になされている．

最後に，本研究は文部省科学研究費重点領域研究の一つとして行なったものである．ご指導ご助言いただいた代表者の東京大学伏見正則先生をはじめ分担者の先生方に感謝いたします．



(a) 岐阜道路網

(b) 格子状ネットワーク
格子点数54×58，岐阜

図10 枝の重みを高さとし，枝をその高さに投影した図

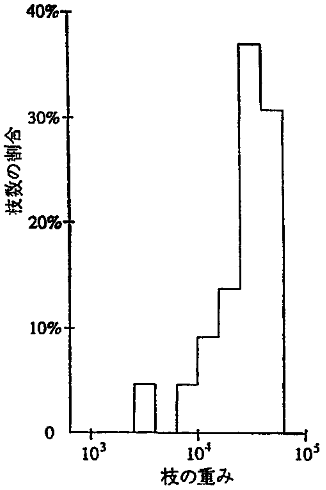


図11 枝の重みのヒストグラム
(格子状ネットワーク，岐阜)

参考文献

[1] 腰塚武志：都市域の流動に関する理論的考察．日本都市計画学会学術研究論文集，27, 343-348, 1992.

[2] 大山達雄，田口 東：On Some Results on the Shortest Path Counting Problem. 日本OR学会春季大会アブストラクト集，102-103, 1991.

[3] 大山達雄，田口 東：Further Results on the Shortest Path Counting Problem. 日本OR学会秋季大会アブストラクト集，166-167, 1991.

[4] 大山達雄，田口 東：交通混雑度の定量的評価．日本OR学会春季大会アブストラクト集，144-145, 1992.

[5] 田口 東：巨大なビルの内々交通に必要なエレベータの面積．日本OR学会春季大会アブストラクト集，16-17, 1993.