

# 愛知県道路網の連結性の定量的評価

2003MM102 鈴木拓也

指導教員: 伏見正則

## 1 はじめに

現在、日本全国に電力、ガス、水道、道路などのネットワークが張り巡らされている。本研究では道路網ネットワークに取り組み、ネットワーク自体の信頼性、安定性である定量的評価方法を提起し、道路ネットワークシステムの連結性の強さを定量的に適用し、その有用性、実用性を確認していきたい。

具体的には東海地方は東海大地震の発生確率が高いとされているので、二つの半島や大都市圏等、様々な特徴を持った愛知県の道路ネットワークを取り上げ、連結性を検証していきたい。

このようなネットワークの評価により、ネットワーク構造を持つシステムがより高い信頼性を持つシステムに変換できるかという問題に活用できると考えられる。

## 2 先行研究紹介

本研究を進めるにあたり、大山・諸星による「経路数え上げによるネットワークシステムの連結性の定量的評価とわが国道路網への応用」[1]を参考にした。

この研究では日本全国の主要道路を枝、交差点を頂点として地域や県ごとの道路網の連結性についての研究が行われている。

## 3 安定連結関数と期待安定連結関数

安定連結関数と期待安定連結関数について紹介する。[1] 頂点の個数が $|V| = n$ 、枝の本数が $|E| = m$ の連結ネットワーク $N = (V, E)$ を考える。またネットワークは無向枝とする。ネットワーク $N$ において異なる二つの頂点の組は全部で $\frac{n(n-1)}{2}$ 組だけ存在する。今 $m$ 本の枝のうち $k$ 本を除去した場合に得られるネットワークにおいて、異なる二つの頂点の組のうちで連結しているものの組数を $C_m(N, k)$ と表す。その $C_m(N, k)$ の $C_m(N, 0)$ に対する割合を $S_m(N, k)$ と表す。よって以下のような関数を定義する。

$$S_m(N, k) = \frac{C_m(N, k)}{C_m(N, 0)} \quad (1)$$

ここで枝をまったく除去しない場合には全ての2頂点間を結ぶことができるので、 $C_m(N, 0) = \frac{n(n-1)}{2}$ となる。 $C_m(N, k) \leq C_m(N, 0)$ より $S_m(N, k)$ については、次の関係が成立する。

$$0 \leq S_m(N, k) = \frac{2C_m(N, k)}{n(n-1)} \leq 1 \quad (2)$$

ここで考慮すべき点は $C_m(N, k)$ あるいは $S_m(N, k)$ の値は1通りではないということである。

例えば以下のようなネットワーク $P_3$ があったとする。枝をまったく除去しない場合の $C_m(N, 0)$ の値は $C_m(N, 0) = \frac{4(4-1)}{2} = 6$ となる。1の枝1本のみ除去した場合、連結して

いる組の数は3となり、 $S_3(P_3, 1) = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$ となる。2の枝1本のみ除去した場合、連結組数は2となり、 $S_3(P_3, 1) = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$ となる。同じ本数を除去したとしても、枝を除去する場所によって、連結組数が異なる。つまり関数の値が変わってくる。

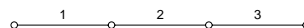


図 1:  $P_3$  ネットワーク図

ネットワークの $m$ 本の枝のうち $k$ 本を除去する場合、一般に得られる $S_m(N, k)$ の値は枝の除去の仕方によって異なる。式(2)で与えられる関数を $S_m(N, k)$ を $k$ の関数と考えて、安定連結関数と呼ぶ。これは一般に多価関数である。

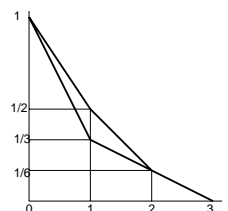


図 2:  $S_3(P_3, k)$

各枝の除去の仕方が等確率で発生すると仮定した場合の $S_m(N, k)$ の期待値を表す関数を以下のように定義し、期待安定連結関数と呼ぶ。

$$\tilde{S}_m(N, k) = E[S_m(N, k)] \quad (3)$$

## 4 研究対象地域

愛知県を9つの地域に分け道路の連結性を検証する。  
対象地域: 渥美半島地域、豊田市地域、春日井地域、愛西地域、岡崎地域、知多半島地域、名古屋市地域、瀬戸地域、設楽地域。

各地域のうち、国道や県道などの主要道路を結び、交差点を頂点、道路を枝とした。

## 5 愛知県道路ネットワークの安定連結関数

愛知県の安定連結関数を求めるには膨大な計算量が必要とされる。そのため、以下のようなアルゴリズムに基づくモンテカルロシミュレーション法を用い、安定連結関数の近似を行う。

モンテカルロシミュレーション法のアルゴリズム

1. 枝の除去本数 $k$ に対して、以下の操作 (a)(b)を $r$ 回繰り返す。

(a) ネットワーク $N$ からランダムに $k$ 本の枝を選んで除去し、新たなネットワーク $N''$ を作る。

(b) ネットワーク $N''$ において、異なる2頂点間の経路本数を計算する。

2. 1で求めた $r$ 個の値の分布と平均を求める。

モンテカルロシミュレーション法のアルゴリズムを $r = 40000$ として適用すると、期待安定連結関数にほぼ近似することができる。

以上のようなモンテカルロシミュレーション法のアルゴリズムを愛知県の道路網に適用すると、期待安定連結関数は以下ようになる。

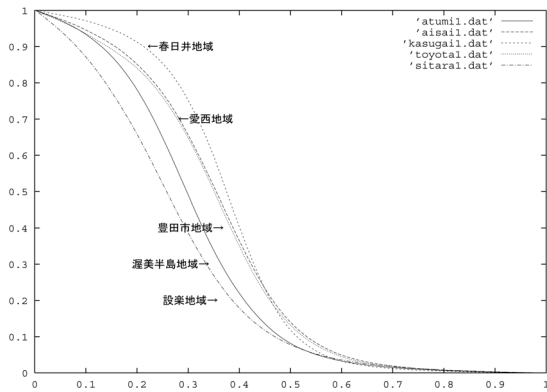


図 3: 渥美半島、愛西、春日井、豊田市、設楽地域

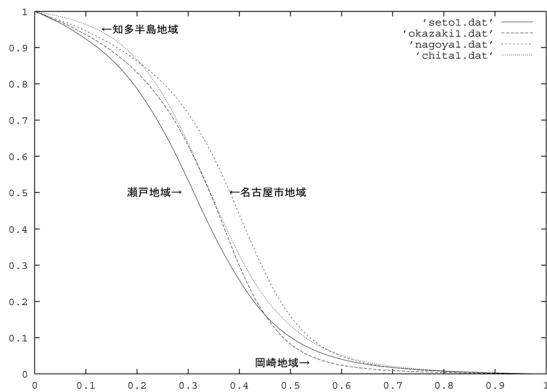


図 4: 知多半島、名古屋市、岡崎、瀬戸地域

結果から、設楽地域は不通となる道路が1割以下の少ない段階で孤立してしまう地域が比較的多くなっていることが分かる。

渥美半島地域と知多半島地域は細長い半島で、連結性は低いと考えていたが、期待安定連結関数の値は標準的なグラフになった。

## 6 重要道路の検証

どの道路が災害時に不通になったら、被害がより深刻なものになるのか検証する。対象地域は、設楽地域と渥美半島地域とし、どのような違いがあるのか考える。

検証の仕方は枝を1本だけ除去した場合、2本だけ除去した場合の期待安定連結関数の値のすべての枝の組合せを求め、その値がより下がる場合の除去した枝を重要

な道路とする。また、孤立する区域が他地域と行き来できる可能性があればその重要な道路は除外する。

これらを求める上で、期待安定連結関数の値を下げてしまうであろう端の道路はあらかじめ取り除いたネットワークとし、検証する。

### 6.1 設楽地域

1本、2本道路が不通になっただけでは孤立する区域はないと考えられるので重要な道路はない。

### 6.2 渥美半島地域

1本道路が不通になっただけでは孤立する区域はない。次に2本だけ除去した場合のすべての期待安定連結関数を求め、その値が0.95より小さくなり、孤立する区域が他地域と行き来できる可能性がない地域は以下になる。

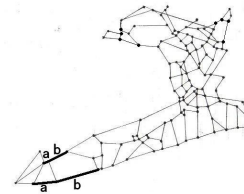


図 5: 渥美半島地域

道路の組a、bは渥美半島の先端に続く道路である。よって道路の組a、bが不通になれば半島の先端が完全に孤立してしまう。道路の組a、bは重要な道路となる。

## 7 おわりに

本研究で取り上げた道路ネットワークの連結性の評価はその他のライフラインネットワークである電力、ガス、水道等のネットワーク構造システムの連結性を定量的に評価することにも適用可能である。

その他のライフラインネットワークにおいてネットワークの連結性の強さを検証することは被害を検証する上で必要不可欠になるだろう。

本研究の問題点は地域を分割して評価を行う場合、地域の端の道路の影響が出てしまうことである。

さらに、安定連結関数の定量的評価方法が膨大な計算量を要するという点が問題である。よって、ネットワークの枝の本数が大きくなった場合に安定連結関数をどのようにして計算すればよいかという問題は重要である。

## 参考文献

- [1] 大山達雄、諸星穂積：経路数え上げによるネットワークシステムの連結性の定量的評価とわが国道路網への応用：都市交通および施設配置に関する総合的研究、科学研究費補助金研究成果報告書(研究代表者：伏見正則：課題番号：14380196), pp.279-285, 2005.2.
- [2] 加藤美奈：三重県道路網の連結性の定量的評価, 南山大学数理情報学部2005年度卒業論文.
- [3] 県別マッフル愛知県道路地図, 昭文社, 2006年.