

新潟県中越地震後の道路網復旧過程の分析

山口大学大学院 学生会員 ○ 田崎 結
山口大学大学院 正会員 榊原 弘之

1. はじめに

平成16年10月23日、新潟県中越地震が発生した。各地で道路網が寸断し、集落の孤立などの被害が生じた。本研究では新潟県中越地震における道路網の回復過程と寸断によるアクセシビリティ損失について分析し、道路網評価指標である次数・修正クラスティング係数との関係を明らかにする。

2. 中越地震におけるアクセシビリティ損失の評価

ネットワーク内の任意の2地区*i, j*間の距離を*d*とする。

本研究では、2点間アクセシビリティ A_{ij} を距離の逆数

$(1/d)$ とし、任意の地区*i*のアクセシビリティを次式で定義する。

$$IA_i = \sum_{j=1, j \neq i}^n A_{ij} / (n-1) \quad i=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

ここで*n*はネットワーク内のノード数とする。図-1に示す範囲の道路網について、道路の復旧状況の記録を基に、地震発生（10月23日）後1ヶ月間のアクセシビリティの推移を計算した。通常時のアクセシビリティ（(1)式）を1とし、地震発生後のアクセシビリティの比率を求める。これを正規化アクセシビリティと呼ぶ。正規化アクセシビリティの回復過程の中で特徴的なものを2パターン示す。
パターン①（図-2）当初のアクセシビリティ損失は大きい回復は早い。地震発生時、アクセシビリティが0となり一時的に孤立状態となったため、他の地域よりも早く復旧されたと考えられる。

パターン②（図-3）当初のアクセシビリティ損失は小さい回復は遅い。幹線道路が通過しておらず、復旧が遅れたと考えられる。

図-2、図-3から、道路網被害の大きさを評価するには、時間軸を考慮することが重要と分かる。当初アクセシビリティ損失が大きくても、復旧が早ければ被害が軽減されたと考えられる。一方、回復が遅くなれば影響が大きくなると考えられる。本研究では、評価期間を地震発生後1ヶ月間として、図-4の（斜線部分の面積／長方形の面積）を累積アクセシビリティ損失率と定義する。累積アクセシビリティ損失率は、災害がなかった場合に対象1ヶ月間に当該地区が得られたであろうアクセシビリティに対する、失われたアクセシビリティの比率と考えることができる。計算結果を表-1に示す。正規化アクセシビリティの回復

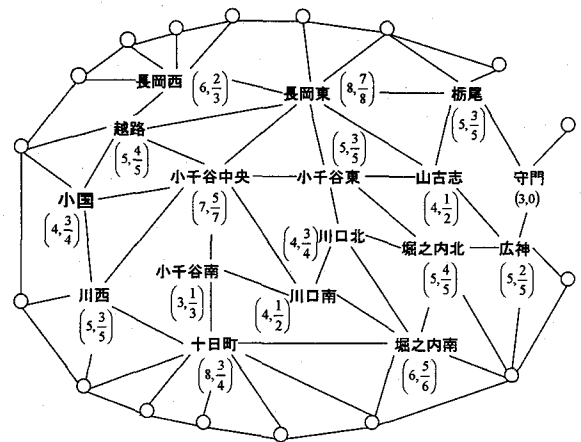


図-1 中越地域の道路網

(左：次数，右：修正クラスティング係数)

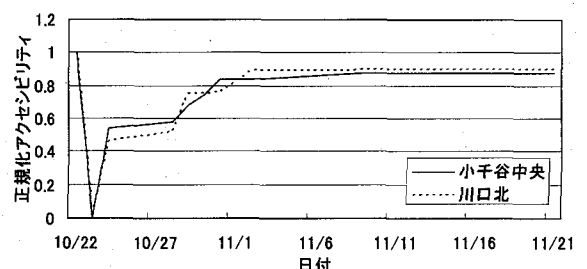


図-2 パターン①

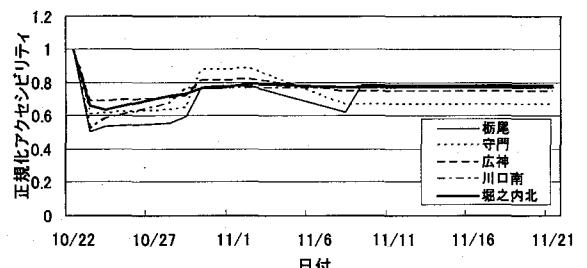


図-3 パターン②

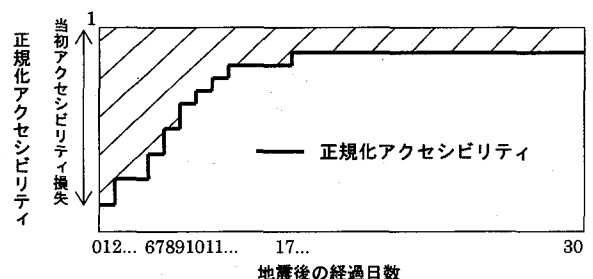


図-4 累積アクセシビリティ損失率の定義

が遅れた地区（パターン②）や当初孤立状態となった地区（パターン①）は累積アクセシビリティ損失率が高くなった。

3. 次数・修正クラスタリング係数による評価

道路網をトポロジカルに評価する指標である次数・修正クラスタリング係数と、累積アクセシビリティ損失率の関係を明らかにする。次数は、各ノードがリンクを介して直接結合されているノードの数として定義される。次数が大きいほど他のノードとのつながりが密であり、少ないほど疎であるといえる。修正クラスタリング係数は次式で表される。

$$C = \text{Degree}(\Gamma(i)) / n \quad (2)$$

i はネットワーク内のある地区（ノード）、 n はノード i の持つ次数、 $\Gamma(i)$ は、ノード i を除いた i の近傍（ i と直接結合しているノードと、それらのノードを結ぶリンク）のみで構成されるグラフである。 $\text{Degree}(\Gamma(i))$ は、 $\Gamma(i)$ のリンク数を示す。図-5のネットワークの場合、ノード1の次数は4、修正クラスタリング係数は1/4である。

修正クラスタリング係数は、あるノードに直接経路を有している近傍のノード同士がどの程度結合されているかを示している。修正クラスタリング係数が高い場合、当該ノードを中心にした環状ルートが形成されている。そのため、当該ノードへの経路の一部が不通となっても、迂回路が確保しやすく、アクセシビリティの低下が抑制されると考えられる。また、ひとたび経路が復旧すれば、環状ルートを通じて多方面へのアクセスが可能となるため、被害からの回復も早いものと予想される。

図-1に中越地方の次数・修正クラスタリング係数を示す。次数と累積アクセシビリティ損失率の相関、修正クラスタリング係数と累積アクセシビリティ損失率の相関係数（表-2）は共に負となった。次数・修正クラスタリング係数値が高い地区ほど累積アクセシビリティ損失率が小さくなることが分かる。ただし、道路の復旧はランダムではなく、重要性を考慮して行われたことや地震発生当初のアクセシビリティ損失が大きい地域を優先して道路を復旧させたことなどにより、相関が小さくなったと考えられる。

次に、当該ノードに直結するリンクの回復前後の正規化アクセシビリティの増加量をアクセシビリティ回復貢献度と定義する。修正クラスタリング係数とアクセシビリティ回復貢献度平均値の関係を表-3に示す。修正クラスタリング係数が高い地区のほうが、低い地区に比べてアクセシビリティ回復貢献度は高く、1つの経路が回復することによるアクセシビリティ改善の効果が大きいといえる。

次に、当該ノードに直結するリンクの回復前後の正規化アクセシビリティの増加量をアクセシビリティ回復貢献度と定義する。修正クラスタリング係数とアクセシビリティ回復貢献度平均値の関係を表-3に示す。修正クラスタリング係数が高い地区のほうが、低い地区に比べてアクセシビリティ回復貢献度は高く、1つの経路が回復することによるアクセシビリティ改善の効果が大きいといえる。

4. 山口県への適用

山口県の錦川周辺地域の道路網を図-6に示す。中越地域のネットワーク（図-1）と比べて、全体的に修正クラスタリング係数が低いことから、ネットワークがより疎であるといえる。錦川周辺地域の中では、美川、美和、本郷などの地区が次数・修正クラスタリング係数とも小さく、累積アクセシビリティ損失率は大きくなりやすいと考えられる。また、アクセシビリティ回復貢献度は、低くなり、1つの経路が回復しても、アクセシビリティの回復量が小さいため、被害が拡大しやすいと考えられる。

表-1 累積アクセシビリティ損失率計算結果

	累積アクセシビリティ損失率
山古志	1
守門	0.3112
栃尾	0.3014
川口南	0.2563
広神	0.2514
堀之内北	0.2419
小千谷東	0.2380
小千谷中央	0.2199
川口北	0.2129
長岡東	0.1889
小千谷南	0.1532
越路	0.1191
長岡西	0.1079
小国	0.0940
川西	0.0923
堀之内南	0.0765
十日町	0.0403

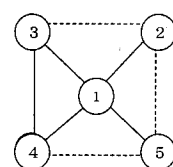


図-5 ネットワーク例

表-2 相関係数

	相関係数
次数	-0.3192
修正クラスタリング係数	-0.3156

表-3 修正クラスタリング係数とアクセシビリティ回復貢献度平均値の関係

修正クラスタリング係数	アクセシビリティ回復貢献度
大	0.1422
小	0.1175

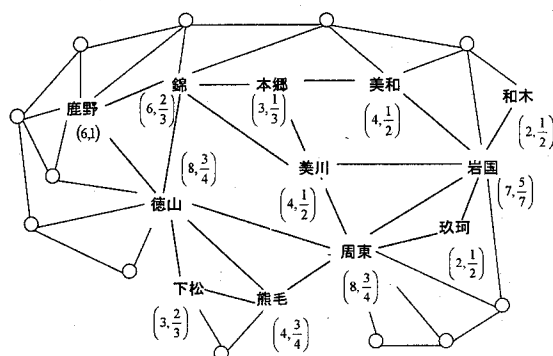


図-6 錦川周辺地域の道路網

(左: 次数, 右: 修正クラスタリング係数)