

# 災害時の旅行時間信頼性の研究

方 樹名<sup>1</sup>・若林 拓史<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 名城大学大学院 都市情報学研究科 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3)

E-mail:fangshuming999@126.com

<sup>2</sup>正会員 名城大学教授 都市情報学部 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3)

E-mail:wakabaya@urban.meijo-u.ac.jp

旅行時間信頼性は、従来、平常時交通を対象としてきた。しかし、災害時における旅行時間信頼性は、以下に述べるように今後重要となる。すなわち、災害時における信頼性解析は、従来、連結信頼性に関する研究がなされてきたが、必要時間以内に病院等への搬送が必要な救急・救命活動や、過大な迂回を避ける緊急物質輸送活動のためには、今後、災害時における旅行時間信頼性が重要となる。本研究では、1) 2008年四川大地震での交通に関する問題点を整理し、日本国内での最近での地震災害との共通点を述べ、2) 災害時における従来の信頼性研究をレビューするとともに、3) アクセシビリティ指標と組合せた新しい旅行時間信頼性指標を提案する。

**Keywords:** *Traffic Accessibility; Travel Time Reliability; Disaster Recovery; 2008 Sichuan Earthquake*

## 1. 序論

四川大地震とは中国の中西部に位置する四川省アバ・チベット族チャン族自治州汶川(じちしゅうぶんせんけん)で現地時間 2008 年 5 月 12 日 14 時 28 分に発生した地震である。この地震は、四川盆地の北西端の北東から南西の方向に走る衝上断層が動いた結果として発生したとみられている。四川大地震は、直下型・逆断層型の地震であり、震源の深さは約 19km であり、M 8.0 の巨大地震である。この断層は龍門山脈の下を走る龍門山断層と呼ばれる長さ約 300km の断層帯の一部とみられており、近年の内陸地震としては最大級といえる。四川大地震では、被災地内の交通が混乱して、災害の応急救援が遅れ、多くの死者・行方不明が出た。中国民政部の報告によると、現地時間 2008 年 7 月 21 日正午現在で、死者は 6 万 9,197 人、負傷者は 37 万 4,176 人に上り、1 万 8,222 人が行方不明となっている。

地震災害から学ぶ教訓は、以下のようなものである。地震に見舞われた被災地に至る道路等の基本的交通施設の被害は極めて大きかったため、迅速な救援活動と救援物資の輸送が困難であった。この地震による影響地域は、21 の高速道路と 15 の国道および省道、2,795 の県道を含んでおり、これらの交通施設の被害は極めて大きく、破壊された道路の延長距離の合計は、200km の高速道路と 3,849km の国道および省道と 23,800km の県道を含む約 28,000km であった。さらに、橋とトンネルの大部分が破損した。このため、早急に破壊された道路を復旧することが困難であった。その結果、地震直後に被災地へ救援物資を輸送すること、被災地から病院へ被災者を輸送することが非常に重要であるにもかかわらず、困難となった。また、震央周辺には山地と急斜面が多く存在し、高速道路と一般道路の使用のみでは、被災地へのルートは大きな迂回ルートとなった。したがって、被災地への旅行時間を短縮すること、高速道

路と一般道路での交通を円滑に保つことが非常に重要であった。

地震直後に被災地への旅行時間を評価することは、有効な地震救援活動を行うための前提条件である。そして、この評価の結果は救援物資と被災者の輸送計画に影響を与え、交通手段とルートを選択にも影響を与える。したがって、地震直後の旅行時間における合理的な分析と評価が、重要な理論研究と実用的な意味をもってくる。

四川大地震の交通状況を考慮すると、今後予想される自然災害から、人的災害や物的災害、社会的災害を減災するため、良好な交通計画が必要である。このため、災害時の旅行時間信頼性に関する試論を研究する。四川大地震の教訓に基づいて、災害が発生した実際の状況を参考にして、災害時の旅行時間信頼性についてのモデルを構築する。今後、可能性のある災害に対し、減災や緊急物資輸送を現状よりもさらに改善するためのモデルを構築することを考えている。早急に被災地の道路の損害状況と被災地への旅行時間を把握し、災害時の交通問題による被災者を減らすことや被災地の復旧が早速にできることの目標を出すつもりである。

本論文の第2章においては、四川大地震の周辺道路の問題点を述べる。第3章においては、被災地への旅行時間が遅れる要素を述べる。第2章と第3章の関係は、アクセシビリティ指標と四川大地震の被災地への応用可能性である。第4章においては、モデルの構築について述べる。第5章においては、実際の地震災害への適用例を述べる。

## 2. 四川大地震周辺道路の問題点および東日本大震災との共通点

災害時の旅行時間信頼性についてのモデルを構築する前に、四川大地震における交通の問題点を整理する。これらの問題点から、災害時における旅行時間信頼性の重要性が理解できる。

四川大地震に見舞われた地域への交通システムには多くの問題点があり、被災地への旅行時間はそれらの問題によって大きな影響を受けた。被災地の交

通システムについての問題点は道路の複雑な地理的条件と交通管理を含む交通条件の2つの面に分割できる。

### (1) 被災地道路に関する地理的条件の問題点

地震に見舞われた地域の地理的条件は、山岳斜面の不安定性や地質構造の激動のように非常に複雑である。そして、被災地の道路は、これらの地理的条件のために被害は極めて大きかった。四川大地震による道路の損害タイプは、地滑りや山崩れ、路面崩壊、路面陥没、路面隆起、路面の亀裂、法面崩壊、落石、橋の崩壊、トンネル崩壊などを含んでいた。

### (2) 交通管理の問題点

四川大地震の後で、交通管理の問題が多く顕在化した。多くの人々が、歩道や路肩でテントを建て、多くの商品や救援物資が路傍に沿って堆積された。また、乗り物も路傍に沿って無秩序な状態で駐車された。そのうえ、多くの被災者の家が破損したので、生活のための一時的な場所を道路上に占有したので、交通圧力を単に増加させるのではなく、一時的な場所の周りで交通衝突を一層悪化させることになっていた。また、交通管理者たちは地元居住者が重大な肉体的傷や精神的傷と資産の損失を受けたと考えられていたので、交通違反の法施行は著しく弱められた。その上、被災地の交通施設の一部が破損したために交通管理者たちはもっと弱く法を施行していた。

### (3) 交通問題における東日本大震災との共通点

四川大地震のように、今回発生した2011東日本大震災(M9.0)では、津波等での橋梁の流失、斜面崩壊での道路の喪失などで、道路ネットワークおよび鉄道が甚大な被害を受けた。

a) 地震直後のローカルな道路では、寸断箇所が極めて多数あった。集落へのアクセスルートが複数あった場合でも、複数ルートが同時に寸断されるので、道路だけでは緊急輸送は機能しなかった。

b) 四川大地震、および今回の東日本大震災においても、それらの道路の復旧には、きわめて多くの時間がかかっている。

c) 四川の汶川県、仙台などの緊急物資の集積点には、きわめて多数の物資が集まっている。しかし、これらを必要な地域へ輸送する道路と燃料がなかった。

d) 被災者のニーズは、時間の経過とともに変化する。被災地は点在しており、(しかも津波被害によって屋上などもあった)、被災地の人数や位置の把握に時間がかかった。

e) ヘリコプター等による空輸の方法は、迅速であるが、輸送量に限界がある。荷物の集積点をさらに分散でき、そこまでは陸路で、集積点から需要箇所まではヘリコプターで輸送できると、災害の不便を多少でも緩和できる。

なお、他の代表的事例としては、2004年(10月23日)の新潟県中越地震(M6.8)では、旧山古志村へ至る道路がすべて寸断し、村が孤立した。また、2008年(6月14日)の岩手・宮城内陸地震(M7.2)でも、山崩れや地滑りが多発し、道路が寸断され、同様の問題が発生している。

### 3. 被災地への旅行時間遅延の要因

災害のタイプ、災害規模、災害発生の時刻および時間的推移、災害発生の地域等によって、多くの被災地への旅行時間を遅らせる要素がある。

#### (1) 災害に関する基本的特徴

被災地への旅行時間を考察するまえに、災害に関する基本的特徴を検討する必要がある。まず、災害のタイプによって交通損害は異なり、救援のための乗り物は異なる可能性がある。例えば、水害地で人々を救うのにはボートが使用できるが、地震地域で人々を救うのにボートを使用できない。災害のタイプによって、災害直後の交通計画も描かれるべきである。次に、災害の規模によって被災地の交通損害は違うかもしれない。例えば、地震マグニチュードと地震強度によって、交通の損害は異なってくる。

#### (2) 被災地に関する地理的条件

被災地への旅行時間を考察するまえに、被災地の

地理的状况も検討必要である。まず、被災地の地形は重要な要素である。例えば、第一に、地震発生後の山岳地帯は激しく破損される可能性がある。第二に、救出ルートを計画する場合、被災地の中心的地域と被災地の周辺の地理的条件を考慮すべきである。第三に、被災地の地理的な位置によって交通損害は異なっているかもしれない。例えば、大都市に発生した地震での交通損害は小都市に発生した類似の地震と異なっている可能性がある。

### (3) 他の要素

被災地への旅行時間を考察するまえに、被災地の災害以前の交通状況と交通防災計画も調べるべきである。災害直後の局所的な交通状況を調査する場合も、下記の要素を考える必要がある。まず、正常な地域より、被災地では、旅行時間と旅行距離の関係はより複雑である。同じ距離の場合でも、被災地の中心部から周辺地域へ移動には、より多くの旅行時間が必要である。次に、種々の損害のために、被災地における道路の交通容量は減少し、その一方で交通需要は救援活動で増加する可能性がある。地方自治体は、緊急物資輸送ルート等、交通の流動性確保のために、一般的に道路の使用を制限する。第三に、余裕時間は、救援活動のためには短くされるべきだが、被災地へ行く一般的交通は大きくとるであろう。

### 4. 災害時の旅行時間信頼性評価—モデル

一般的に連結信頼性で被災時のネットワークの弱さを評価できるが、被災地への旅行時間は、把握できない。被災時での減災および緊急物資輸送機能の向上に有用な情報を提供できるために、被災地への旅行時間は重要になる。したがって、災害時の旅行時間信頼性を評価できるモデルの構築は必要である。

第1章と第2章の述べたことから見て、四川大地震では、交通問題が多く存在した。これらの問題は被災地への旅行時間に影響を与える。第3章では、以上述べた災害直後における被災地への旅行時間に影響を与える要素を述べた。これらの要素の考察に

基づいて、被災地の交通問題を解決するために、最善の災害時の旅行時間の評価方法を提出するべきである。それで、第4章は災害時の旅行時間の評価方法に関するモデルを試みて構築する。

早急に被災地の道路の損害状況と被災地への旅行時間が把握できれば、被災地の復旧が早速にできる。しかし、遠回りになる道路と早急加わる交通量によって、交通システムの機能性の指標は非常に複雑である。交通網の損害に従って、交通の旅行時間を評価することが非常に難しい。ここでは、損害程度によって、全体の被災地をいくつかのサブ地域に分割し、被災地の交通網の中の旅行時間の問題を交通網の内部のサブ地域の中の連結性の問題に変わることができる。

被災地  $Z$  は  $n$  つのサブ地域に分割されて、 $Z = \{Z_1 \cup Z_2 \cup \dots \cup Z_a \cup \dots \cup Z_n, a \in (1, n)\}$ 。このモデルの中の距離について説明するために2つのパラメタを定義する：

$d_{ij}(t)$  : 災害が発生した後の時間  $t$  に被災地でのノード  $i$  とノード  $j$  の間の最小の空間距離。

$d_{ij}$  : 災害が発生する前に被災地でのノード  $i$  とノード  $j$  の間の最小の空間距離。

### (1) 道路損害を評価する要素

被災地にあるそれらの道路の状況が非常に複雑であるので、サブ地域  $Z_a$  とサブ地域  $Z_b$  の間の事実上の距離についての計算するのは非常に困難である。サブ地域  $Z_a$  とサブ地域  $Z_b$  の間の事実上の距離を計算するために、それらの道路の損害を表す指標

$k_{ij}(t)$  を定義する。指標  $k_{ij}(t)$  は三つの要素を含ん

でいる：損害割合  $p_{ij}(t)$ 、損害タイプ  $f_{ij}(t)$ 、及び

損害の規模  $s_{ij}(t)$ 。

損害割合  $p_{ij}(t)$  : 時間  $t$  に損害道路の距離に対するノード  $i$  とノード  $j$  の間の距離の割合。

損害タイプ  $f_{ij}(t)$  : 損害タイプの係数は一般に表1のように示す。ノード  $i$  とノード  $j$  の間に多くの損害タイプがあるので、損害タイプの係数は下記の数式(1)のように定義されて、 $l$  はノード  $i$  とノード  $j$  の間の損害場所の数を表して、 $form(l)$  は  $l$  番目の損害場所の損害タイプを表して、 $length(l)$  は  $l$  番目の損害場所のマイル数（損害の延長）である。

$$f_{ij}(t) = \frac{\sum_l form(l) * length(l)}{\sum_l length(l)} \quad (1)$$

表-1 損害タイプの係数の数値

損害タイプ	数値
地滑り	0.5
山崩れ	0.5
落石	1.0
路面の亀裂	0.3
土石流	0.5
地震湖	1.0
洪水	1.0
路面の陥没と奇形	0.4
法面の崩壊	0.3
地面の隆起	0.2
トンネルの崩壊	1.0
軽微な橋梁の損害	0.3
重大な橋梁の損害	0.6
橋梁の崩壊	1.0

損害の規模  $s_{ij}(t)$  : 損害の規模に関する要素が多くあっても、被災地の真ん中の場所から損害の場所までの距離は主な要因である。損害の規模は下記の数式(2)のように定義されて、 $disC(l)$  は被災地の真ん中の場所から  $l$  番目の損害場所までの距離を表して、 $CriticalD$  は被災地の真ん中の場所からの臨界の距離を表す。災害のタイプや災害の規模を  $m$  として使用して、 $l$  番目の損害場所の損害の規模を修正できる。

$$s_{ij}(t) = \frac{\sum_l m * \frac{\text{length}(l)}{\text{dis}C(l)}}{\sum_l \text{length}(l)}, \quad (2)$$

$$\text{dis}C(l) \leq \text{Critical}D$$

道路損害の要素とする  $k_{ij}(t)$  が下記の数式(3)と定義できる. ノード  $i$  とノード  $j$  の間に損害がない時,  $k_{ij}(t)$  の値は 1 であるが, ノード  $i$  とノード  $j$  の間に損害があれば,  $k_{ij}(t) > 1$  になる. そして,  $d_{ij}(t)$  と  $d_{ij}$  の関係は下記の数式(4)のように示す.

$$k_{ij}(t) = \frac{s_{ij}(t)}{(1 - p_{ij}(t)) * (1 - f_{ij}(t))} \quad (3)$$

$$d_{ij}(t) = k_{ij}(t) * d_{ij} \quad (4)$$

被災地での道路状況が非常に複雑であることから, サブ地域  $Z_a$  とサブ地域  $Z_b$  の間の実際の距離を計算することが非常に難しいので, 災害直後の実際の観測値に基づいて,  $k_{ij}(t)$  を用いて,  $d_{ij}(t)$  を仮想的に表現することとした.

## (2) 交通のアクセシビリティ

ノード  $i$  へのアクセシビリティが低い場合, 周辺地域からノード  $i$  への旅行時間は比較的大きくなる. したがって, アクセシビリティは災害時の旅行時間を評価するために重要になる.

$i \in Z_a, j \in Z_b$  であれば, 災害直後の時間  $t$  にノード  $i$  のアクセシビリティは下記の数式(5)と定義される.  $w_{ij}(t)$  は時間  $t$  にノード  $i$  からノード  $j$  までの交通量の重さの値を表して,  $w_{ij}(t)$  は下記の数式(6)

と定義されて,  $v_{Z_a Z_b}(t)$  は時間  $t$  にサブ地域  $Z_a$  とサブ地域  $Z_b$  までの交通量を表す. 同じな地域に属すそ

これらのノードから別の地域の同じな目標のノードまでの交通量が同時に等しいという仮定がある.

$$A_i(t) = \frac{\sum_{i \in Z_a, j \notin Z_a} w_{ij}(t) * d_{ij}}{\sum_{i \in Z_a, j \notin Z_a} w_{ij}(t) * d_{ij}(t)} \quad (5)$$

$$w_{ij}(t) = \frac{v_{Z_a Z_b}(t)}{\sum_{P \subset Z, P \neq Z_a} v_{Z_a P_b}(t)} \quad (6)$$

上記に基づいて, 同じなサブ地域  $Z_a$  に属すすべてのノードのための交通のアクセシビリティの平均値は下記の数式(7)として計算されて,  $n_{Z_a}$  はサブ地

域  $Z_a$  のノードの数を表して,  $D_{Z_a}(t)$  はサブ地域

$Z_a$  の交通のアクセシビリティを表す.

$$D_{Z_a}(t) = \frac{\sum_{i \in Z_a} A_i(t)}{n_{Z_a}} \quad (7)$$

## (3) 旅行時間信頼性

$A_{i0}, A_{j0}$  が正常状態でのノード  $i$  とノード  $j$  の交通のアクセシビリティを表すなら,  $T_{ij}(A_{i0}, A_{j0})$  は平常時のノード  $i$  とノード  $j$  の間の旅行時間を表して,  $T_{ij}(A_i(t), A_j(t))$  は災害直後の時間  $t$  に OD ペアのノード  $i$  とノード  $j$  の旅行時間を表す. それで, ノード  $i$  からノード  $j$  までの旅行時間の増加率は下記の数式(8)と定義される.

$$C_{ij}(A_i(t), A_j(t)) = \frac{T_{ij}(A_i(t), A_j(t)) - T_{ij}(A_{i0}, A_{j0})}{T_{ij}(A_{i0}, A_{j0})}, \quad (8)$$

$i \in Z_a, j \in Z_b$

最大の容認できる OD ペアのノード  $i$  とノード  $j$  の旅行時間の増加率は  $\theta_{ij}$  であれば, 関数

$y_{ij}(\theta_{ij}, A_i(t), A_j(t))$  は下記の数式(9)と定義される.

$$y_{ij}(\theta_{ij}, A_i(t), A_j(t)) = \begin{cases} 1, & C_{ij}(A_i(t), A_j(t)) \leq \theta_{ij} \\ 0, & C_{ij}(A_i(t), A_j(t)) > \theta_{ij} \end{cases} \quad (9)$$

$$i \in Z_a, j \in Z_b$$

OD ペアのノード  $i$  とノード  $j$  の間の旅行時間信頼性を下記の数式(10)と定義できる.

$$R(\theta_{ij}) = P_r[(A_i(t), A_j(t)) | i \in Z_a, j \in Z_b, y_{ij}(\theta_{ij}, A_i(t), A_j(t)) = 1] \quad (10)$$

$T_{ij}(D_{Z_{a0}}, D_{Z_{b0}})$  は、平常時のサブ地域  $Z_a$  とサブ

地域  $Z_b$  の間のある OD ペアの旅行時間を表すなら、

$T_{ij}(D_{Z_a}(t), D_{Z_b}(t))$  は災害が発生した時間  $t$  にサブ地域  $Z_a$  とサブ地域  $Z_b$  の間のあの OD ペアの旅行時間を表して、それで、2つのサブ地域間の旅行時間の増加率は下記の数式(11)と定義される.

$$C_{ij}(D_{Z_a}(t), D_{Z_b}(t)) = \frac{T_{ij}(D_{Z_a}(t), D_{Z_b}(t)) - T_{ij}(D_{Z_{a0}}, D_{Z_{b0}})}{T_{ij}(D_{Z_{a0}}, D_{Z_{b0}})} \quad (11)$$

$$i \in Z_a, j \in Z_b$$

サブ地域  $Z_a$  とサブ地域  $Z_b$  の間に全部の OD ペアの旅行時間の平均値の最大の許容できる増加率は  $\theta$  であれば、2つのサブ地域間の旅行時間を評価関数  $y_{ij}(\theta, D_{Z_a}(t), D_{Z_b}(t))$  は下記の数式(14)と定義される.  $\theta$  は下記の数式(12)と下記の数式(13)と定義される.

$$\theta = \sum_{i \in Z_a, j \in Z_b} \alpha_{ij} \theta_{ij} \quad (12)$$

$$\alpha_{ij} = T_{ij}(A_{a0}, A_{b0}) / T_{ij}(D_{Z_{a0}}, D_{Z_{b0}}) \quad (13)$$

$$y_{ij}(\theta, D_{Z_a}(t), D_{Z_b}(t)) = \begin{cases} 1, & C_{ij}(D_{Z_a}(t), D_{Z_b}(t)) \leq \theta \\ 0, & C_{ij}(D_{Z_a}(t), D_{Z_b}(t)) > \theta \end{cases} \quad (14)$$

$$i \in Z_a, j \in Z_b$$

サブ地域  $Z_a$  とサブ地域  $Z_b$  の間の全部の OD ペアの旅行時間信頼性を数式(15)と定義できる.

$$R(\theta) = P_r[(D_{Z_a}(t), D_{Z_b}(t)) | i \in Z_a, j \in Z_b, y_{ij}(\theta, D_{Z_a}(t), D_{Z_b}(t)) = 1] \quad (15)$$

## 5. 実際の例

本研究で述べるアクセシビリティと信頼性を組み合わせた評価値で、被災地および今後の災害によって被災が予想される地域を事前評価する. この評価値を基本に、評価値の低い地域を耐災性の高い交通施設で整備する. この視点は、災害時の輸送時間短縮の観点から有効である. 四川省什邡市をケーススタディとして選択する.

### (1) サブ地域の分割

四川省什邡市の交通局からの地震後のデータによって、四川省什邡市の被災地は4つのサブ地域に図-1のように分割されている. 第一のサブ地域は震度が11度(中国地震震度表による: 地震階級は1度から12度までの12階級)である紅白鎮と穿心店からの北部地方の蓋華鎮を含んでいた地域と震度が10度である穿心店からの南部地方の蓋華鎮から馬家溝からの北部地方の八角鎮までを含んでいた地域である. 第二のサブ地域は震度が9度である馬家溝からの南部地方の八角鎮から龍泉村からの北部地方の湍底鎮までを含んでいた地域である. 第三のサブ地域は震度が8度である龍泉村からの南部地方の湍底鎮からの地域である. 第四のサブ地域は什邡市の周辺地域である. このサブ地域の中に代表性がある損害場所も表-2のように選ばれた.

表-2 サブ地域及び代表的な損害場所

地域 1	地域 2	地域 3	地域 4
紅白鎮	八角鎮	南泉鎮	西南鎮
蓋華鎮	洛水鎮	禾豐鎮	壽豐鎮
—	湍底鎮	元石鎮	南興鎮
—	—	隱豐鎮	葛仙山鎮
—	—		敖平鎮

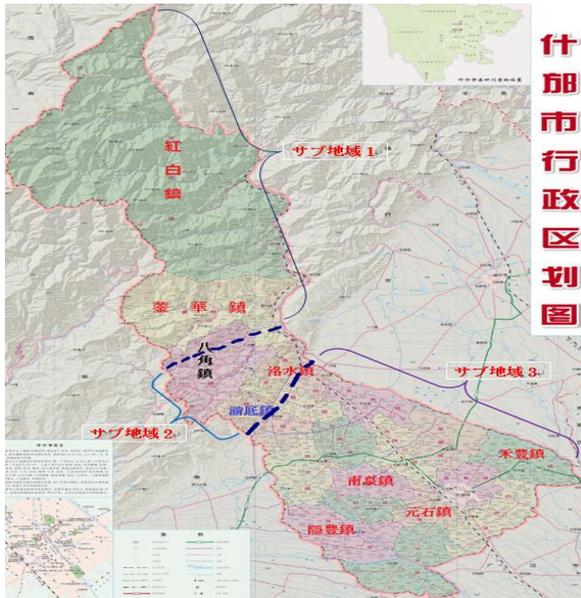


図-1 什邡市の分割されたサブ地域

(2) サブ地域間の道路損害の要素値の計算

什邡市交通局の統計データによって、 $k_{ij}(t)$  の数値を計算できる。データが少ないので、 $k_{ij}(t)$  の数値も少なく不精確である。具体的数値は表-3 のように計算した。

表-3 サブ地域間の道路損害の要素値

$k_{ij}(5days)$	地域	地域	地域	地域
	1	2	3	4
地域 1	2.5	2.5	2.5	2.5
地域 2	2.5	2.3	2.3	2.3
地域 3	2.5	2.3	1.4	1.9
地域 4	2.5	2.3	1.9	2.1
$k_{ij}(20days)$	地域	地域	地域	地域
	1	2	3	4
地域 1	1.3	1.3	1.3	1.3
地域 2	1.3	1.2	1.2	1.2
地域 3	1.3	1.2	1	1.05
地域 4	1.3	1.2	1.05	1.2

(3) サブ地域間のアクセシビリティ値の計算

アクセシビリティ値を計算する以前に、サブ地域

の間の交通量を統計的処理する必要がある。四川省什邡市の交通局からの交通のデータによって、サブ地域間の交通量の月平均日交通量から、2008年の三月分のデータ(表-4のデータ)と六月分のデータ(表-6のデータ)を研究データとして分析した。

表-4 地震の前のサブ地域間の交通量(単位:台/日)

地域名	地域 1	地域 2	地域 3	地域 4
地域 1	2695	2963	3630	2156
地域 2	2963	2230	6358	3215
地域 3	3630	6358	7456	8054
地域 4	2156	3215	8054	5897

表-5 地震が発生した5日にサブ地域間の交通量

地域名	地域 1	地域 2	地域 3	地域 4
地域 1	32340	71112	87120	51744
地域 2	71112	26760	76296	38580
地域 3	87120	76296	89472	96648
地域 4	51744	38580	96648	70764

表-6 地震が発生した20日にサブ地域間の交通量

地域名	地域 1	地域 2	地域 3	地域 4
地域 1	8085	8889	10890	6468
地域 2	8889	6690	19074	9645
地域 3	10890	19074	22368	24162
地域 4	6468	9645	24162	17691

等式(4), (5), (6), (7)によって、表-3 から表-6 のデータを入れた後で、サブ地域間のアクセシビリティ値を表-7 のように出せた。

表-7 サブ地域間のアクセシビリティ値の計算結果

地域名	$D_{Z_i}(5days)$	$D_{Z_i}(20days)$
地域 1	0.36	0.76
地域 2	0.44	0.77
地域 3	0.83	0.96
地域 4	0.62	0.91

全部のサブ地域の重要性が同じであれば、最大の容認できる OD ペアのノード  $i$  とノード  $j$  の旅行時間の増加率  $\theta_{ij}$  をすべて 0.3 という仮想的数値として用いる。それで、数式(12), (13)で計算して、サブ地域  $i$  とサブ地域  $j$  の間に全部の OD ペアの旅行時間の平均値の最大の許容できる増加率  $\theta$  も 0.3 である。数式(11)から数式(15)までの数式で旅行時間信頼性の計算量が膨大であり、結果も複雑なので、四川省什邡市の交通局からの統計データを利用して、サブ地域間の信頼性を簡便に概算する。結果は表-8 のように示す。

表-8 サブ地域間の旅行時間信頼性

信頼性 R (5days)	地域 1	地域 2	地域 3	地域 4
地域 1	0.294	0.163	0.191	0.226
地域 2	0.163	0.347	0.265	0.231
地域 3	0.191	0.265	0.413	0.298
地域 4	0.226	0.231	0.298	0.368
信頼性 R (20days)	地域 1	地域 2	地域 3	地域 4
地域 1	0.682	0.523	0.547	0.558
地域 2	0.523	0.709	0.601	0.594
地域 3	0.547	0.601	0.876	0.621
地域 4	0.558	0.594	0.621	0.775

表-8 のデータから見て、被災地間の旅行時間信頼性は計算できる。今後の災害において、このモデルを利用できる可能性がある。しかし、表-8 のデータは実際の状況と一致しない。四川大地震が発生した 5 日の旅行時間信頼性は表-8 のデータにより、さらに低かったが、20 日の旅行時間信頼性はもっと高かった。

精確なデータを取るために、まず、サブ地域  $i$  とサブ地域  $j$  の間に全部の OD ペアの旅行時間の平均値の最大の許容できる増加率  $\theta$  を精確に計算することが必要である。さらに、良好な計算方法で数式(11)から数式(15)を計算すべきである。もっと多くの

旅行時間を影響できる要素を合理的に考える必要がある。

## 6. 終わりに

災害直後に被災地の 2 地点間のサブ地域の中での旅行時間信頼性は非常に重要である。旅行時間信頼性における余裕時間の概念は、災害時においては説明が困難であるので、余裕時間を代替するために交通のアクセシビリティについて計算する方法を構築した。災害復旧の実際の交通要求を反映するために、災害直後の破損している道路についての距離の損害割合、損害タイプの係数および損害規模を含む多くの要素を考えた。上記の要素に基づいて交通のアクセシビリティを考察した。被災地内の異なるサブ地域内の交通のアクセシビリティが築き上げられた後で、被災地内の異なるサブ地域間の旅行時間信頼性を定義して、議論できるようにした。実際の災害時の時系列的なデータは入手が困難であり、仮想的データも不安定であるので、本論文の旅行時間信頼性のモデルは理論モデルだけである。将来、時系列的なデータに基づく本モデルのシミュレーションに関して研究すべきであり、旅行時間信頼性に影響を与える、より多くの要素を考慮すべきと考えている。

## 参考文献

- 1) Wakabayashi.H. Travel Time Reliability Indexes for Highway Users and Administrators under Uncertain Environment: Proceedings of AATT2008.
- 2) Nicholson AJ, Du ZP. Degradable Transportation Systems: an Integrated Equilibrium Model [J], Transportation Research, 31B(3): P209-224,1977.
- 3) Nicholson AJ, Du ZP. Degradable Transportation Systems: Sensitivity and Reliability Analysis [J], Transportation Research, 31B(3): P225-237,1977.
- 4) LWAN.M.P, MURRAY.A.T, O'KELLY.M.E: Recent advances in accessibility research: Representation, methodology and applications[J]. Journal of Geographical Systems, 2003.5: 129-138.
- 5) Lomax.T, Schrank.D, Turner.S and Margiotta.R: Selecting Travel Measures. Texas Transportation Institute and Cambridge Systematic Inc,2003. <http://ti.tamu.edu/documents/474360-1.pdf/>.
- 6) FHWA Report(2006). Travel Time Reliability: Making It There On Time, All The Time. US Department of Transportation, Federal Highway Administration, [http://www.ops.fhwa.dot.gov/publicaitons/tt\\_reliability/in](http://www.ops.fhwa.dot.gov/publicaitons/tt_reliability/in)

dex.htm.

- 7) 朝倉康夫, 柏谷増男, 藤原健一郎:道路網の機能的階層性と災害時の時間信頼性との関連, 土木学会論文集, No.583/IV-38, pp.51-60.
- 8) 劉海旭, 卜雷, 蒲云吉:Travel Time Reliability on Stochastic Road Network:土木工程学報, Vol.37 No.8, 102-105.
- 9) 四川省交通厅公路规划勘察设计研究院:“5.12”汶川特大地震四川灾区国省干线公路检测评估技术总结[R]. 成都:四川省交通厅, 2008.
- 10) 唐永建, 庄卫林, 吉随旺:“5.12”汶川大地震四川灾区公路应急调查与抢通[M]. 北京:人民交通出版社, 2008.
- 11) 随旺, 唐永建, 胡德贵, 汪军, 陶双江:四川省汶川地震灾区干线公路典型震害特征分析[J],岩石力学与工程学报,Vol.28 No.6, 1250-1260.

## TRAVEL TIME RELIABILITY FOR RECOVERY ACTIVITY IMMEDIATELY AFTER DISASTER

Shuming Fang, Hiroshi Wakabayashi

The travel time reliability has targeted traffic in normal circumstances so far. However, the travel time reliability will become important for recovery activity after a disaster in the future. The research on the reliability analysis of disaster was centered on the connectivity reliability so far, the travel time reliability will be important and should be taken into account in the future because of the urgent material transportation and lifesaving activity after a disaster in order to save more people' life and transport more goods and materials to the disaster-hit areas immediately. There are three contents in our research: the first content is the arrangement of traffic problems on the earthquake-hit areas of 2008 Sichuan Earthquake; the second one is the review of the existing research on the travel time reliability for disaster recovery; the last one is the new proposition about the travel time reliability for disaster recovery which combines the index of traffic accessibility.