

平成21年5月31日現在

研究種目：基盤研究（A）  
 研究期間：2005～2008  
 課題番号：17206053  
 研究課題名（和文） 移動体観測に基づく災害時交通ネットワークのリスク評価システム  
 研究課題名（英文） A system evaluating risks of transport networks in hazardous situations based on measurements by mobile communication instruments  
 研究代表者  
 朝倉 康夫（ASAKURA YASUO）  
 神戸大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号：80144319

## 研究成果の概要：

本研究課題では、災害時交通ネットワークのリスク評価を体系的に実施するためのシステムを開発した。このシステムでは、交通行動、交通ネットワーク、リスク分析の3つの方法論を統合し、交通ネットワークのリスク評価を移動体観測に基づいて行うことを可能にしている。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	14,400,000	4,320,000	18,720,000
2006年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2007年度	9,800,000	2,940,000	12,740,000
2008年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
年度			
総計	37,800,000	11,340,000	49,140,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木計画学・交通工学

キーワード：交通ネットワーク、交通行動、災害、移動体観測、リスク分析

## 1. 研究開始当初の背景

情報通信技術の高度化に伴い、GPS、携帯電話、PHSなどの移動体通信システムの利用者数は飛躍的に増加しつつある。移動体通信による位置特定機能を用いると、機器を携帯する個々のヒトの位置特定が可能であり、過去数年の間に移動体通信機器を利用した交通行動調査手法が数多く提案されてきている。移動体通信を利用したヒトの交通行動の観測と分析手法については、1998年に研究代表者らがITS世界会議で発表した論文を皮切りに国内外で研究が進められている。国内ではプローブ車両による道路交通流の観測に代表されるように、実務面でも移動体観測への関心が高まっている。しかしながらこれに

関連する既往研究のほとんどは平常時の交通行動を対象としたものであり、災害時を想定した観測システムの開発や分析手法に関する研究は見られない。

一方、災害時の交通ネットワークのリスク評価に関しては、多様なアプローチから研究されてきているが、災害時の交通行動に関する実証データを得ることが困難であるために、実際の交通ネットワークを対象としたリスク評価研究の蓄積は必ずしも十分ではない。移動体通信機器を応用して災害時の交通行動を、災害を模した状況において実証的に把握することは、災害時の交通ネットワークのリスク評価の信頼性をより高め、また、より精緻な場面への応用ができるようになる

ことが期待されよう。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、移動体通信を利用して災害時を想定した交通行動データの収集を行うとともに、得られた行動データの分析に基づく交通ネットワークのリスク評価を体系的に実施するための総合的なシステム開発を行うことにある。具体的には以下の3点を目的とする。

- (1) 交通行動分析、ネットワーク分析、リスク分析の側面から、リスク評価システムの基本フレームを設計する。
- (2) 災害時を想定した避難訓練を対象とし、GPSによる移動体観測システムを用いた実験を行い、実ネットワーク上で実現する交通行動データを収集する。実観測データを用いた災害想定時の避難行動分析を行うとともに、交通ネットワークが持つ災害時リスク評価に関する実証分析を行う。
- (3) 災害時の交通行動を効率的に取得するためのインターネット (WEB システム) と連携した新たな交通行動データ収集システムを構築する。これを用いて、災害時を想定した参加型のデータ収集が可能なシステムを開発する。

## 3. 研究の方法

2. で述べた3つの研究の目的を達成するために、次で示す研究の方法を採用する。なお、各節の番号は2. における3点それぞれに対応する。

### (1) リスク評価システムの基本フレームの設計

交通行動分析、交通ネットワーク分析、リスク分析の個別の方法論に対する研究を、災害時交通ネットワークのリスク評価システムの設計に資するように進める。具体的には、

- ① 交通行動分析：移動体から移動軌跡を取得する技術と、取得された移動軌跡の記述と分析の方法論に関する研究
- ② 交通ネットワーク分析：不確実性のある交通ネットワークを対象としたネットワーク分析の方法論に関する研究
- ③ リスク分析：災害リスクを交通ネットワーク上で評価するための方法論に関する研究

である。これら個別の要素を統合することにより、リスク評価システムの基本フレームを設計する。

- (2) 災害時を想定した避難訓練における GPS による移動体観測システムを用いた行動調査実験  
災害時を想定した避難訓練を行い、その際

の個々のヒトの行動を移動体観測システムによって取得する行動調査実験を行う。避難する主体はあらかじめ募集した実験協力者とする。各実験協力者の実験対象地域の歩行者ネットワークに対する知識はさまざまであるため、まず、この知識を均一化するために、実験協力者に実験対象地域を散策してもらい、その後、災害の発生によって当該歩行者ネットワークがダメージを受けた状態を想定し、あらかじめ決めておいた (しかし避難する主体である実験協力者には知らされていない) リンクを途絶させる (具体的には、避難主体以外の実験協力者を途絶リンクに立たせ、避難主体の通過を阻害する)。これにより、災害によってネットワークが途絶しているときの交通行動、特に経路選択行動を実証的に収集する。交通行動は各避難主体の移動軌跡を測定することによって収集する。移動軌跡の測定には GPS による移動体観測システムを使用する。

収集した交通行動データは、(1) で設計した基本フレームに含まれる各手法を応用して分析する。

### (3) Web と連携した新たな交通行動データ収集システムの構築

災害時行動データを取得するために適した、Web と連携した新たな交通行動データ収集システムの構築を行う。移動体観測システムによる交通行動調査に関する多くの既往研究は、災害の発生していない日常の行動を取得する方法論の開発、および取得されたデータの分析を目的としていた。一方、災害時の交通行動を知ろうとする場合には、「災害時は調査を計画的に実行する環境とはあまりいえない」「そもそも、想定する災害が起きるのを待って調査するのは現実的ではない」という問題がある。この問題を解決するには、(2) で挙げたような災害が発生している状態を被験者に想起させた上で交通行動調査を行うのが妥当であろう。しかし、平時において災害が発生している状況を効率よく想起させることは一般的にいて容易ではない。

この問題を回避するために、本研究課題では、Web と連携した新たな交通行動データ収集システムを構築する。このシステムは Virtual Reality (VR) を簡易に実現するシステムである。本研究では VR を簡便に実装するために、平面状の地図を Web 上に表示し、それをインタラクティブに操作するシステムを構築する。実験協力者は自身の PC の中で調査用の Web ページを操作し、あたかも実験対象地域のネットワークを移動するように自身の経路を地図上に入力する。災害時を想定する際には、地図上を移動する途中でさまざまな災害状況が写真等を用いて示

される。災害状況はその状況が発生している場所に近づいてから初めて提示されるため、実験協力者にとっては災害状況に対して不確実性が存在する。

構築した VR システムの再現性を検証するために、VR システムで得られた行動データは (2) で行われた実空間における避難訓練データと比較される。

#### 4. 研究成果

3. で述べた 3 つの研究方法を実行して得られた研究成果を示す。なお、各節の番号は 2. における 3 点それぞれに対応する。

##### (1) リスク評価システムの基本フレームの設計

2. で述べたとおり、ここでは、交通行動分析、交通ネットワーク分析、リスク分析の個別要素の方法論に関する研究を行った。以下に個別の成果の概要を述べる。

##### ①交通行動分析

移動体から得られた移動軌跡を用い、交通行動を分析するための方法論に関するいくつかの研究を行った。なお、この研究は災害時の交通行動データを取得するに先立って行う研究計画であったため、おもに、過去の研究で取得された平常時の交通行動データをベースとして実証を行っている。

まず、移動体軌跡データの取得方法と精度に関する技術的な調査研究を行った。移動体軌跡データを取得する方法にはいくつかのものがある。衛星からの長距離電波を用いる測量手法である GPS はもっとも知られた方法であるが、都市内であれば PHS のような短距離電波測量を用いる方法が有利なこともある。最近では、GPS と携帯電話を融合させ、短距離および長距離の電波を用いた位置測定手法が商業的に行われるようになったが、この方法は通信コストが比較的高いのが難点である。移動軌跡データを取得する際には、これらの方法の短長所を理解したうえで適正な方法を選ばなくてはならない。本研究課題では、特に、GPS 単独と PHS による測定精度について、過去の研究で得られたデータを用いて分析し、調査に適した手法を選定するための技術情報を整理した。その結果、GPS 単独では精度の安定性がやや劣ること（特にポータブルな機器を選定した場合）、PHS では精度は安定しているものの、位置測定のための臨時の基地局の設定が精度確保に必要なことがわかった。以上により、本研究課題の位置測定には、GPS と携帯を融合したシステムをメインとして用いた。なお、将来の技術情報を蓄積するために GPS 単体も同時に稼働させている。

取得された移動軌跡データで直接わかる

ことは、移動体が「何時にどこにいたか」、という空間的な情報だけである。移動の時空間情報は交通行動そのものではないため、交通行動に関する情報を移動軌跡から得るためには何らかの処理が必要となる。そのための方法論としていくつかのものを提案した。その中のひとつとして、複数の移動体の軌跡をその形状に応じてクラスタリングする手法を提案している。この手法は、研究代表者が過去の研究で提案した「経路トポロジー」と呼ばれる概念を応用したものである。

##### ②交通ネットワーク分析

災害時における交通ネットワークのリスクを評価するためには、多数のユーザーが交通ネットワークをどのように利用するかを、災害時の状況に即して分析する方法論を開発しなくてはならない。災害時の交通ネットワークと平常時の交通ネットワークの差異としては需要の不確実性と供給の不確実性の 2 つが挙げられる。以下ではこれら 2 つの不確実性に対応するために本研究課題で研究した方法論について説明する。

需要の不確実性とは、ここでは OD 交通量や経路選択の不確実性を意味している。この不確実性は平常時に比べ災害時には大きくなることが予想される。需要の不確実性に対応するために、確率論を応用した交通量配分モデルを開発した。このモデルでは、既存の確率均衡配分モデルと異なり、不確実性に応じた交通量の確率分布を明示的に計算することが可能である。これにより、交通ネットワークにおける不確実性をより正確に評価することが可能になる。

供給の不確実性とは、ここでは交通ネットワークを構成するリンクの交通容量が災害により大幅に変動することを意味している。特に、地震のような大規模な災害時には脆弱なリンクが断絶してしまうことが想定できよう。このような場合に対応する交通量配分理論を、災害時における各リンクの脆弱性を表現する方法論を適用することにより開発した。

##### ③リスク分析

災害時における交通ネットワークのリスクを評価した。②で示した交通ネットワークの不確実性に対する方法論を適用し、災害時に交通ネットワークの管理者とユーザーがどれだけの損失をこうむるかを推計した。

##### (2) 災害時を想定した避難訓練における GPS による移動体観測システムを用いた行動調査実験

高知県高知市において災害時を想定した避難訓練における GPS による移動体観測システムを用いた行動調査実験を行った。なお、こ

の調査に先立って、兵庫県神戸市内において、主に平常時の歩行者ネットワークの認知の程度を検証するための予備調査も行っているが、ここでは詳細は割愛する。

高知市における実験では、3. で述べた方法に従って、擬似的に災害の状況を作り出している。さまざまな災害によるリンク欠損を想定して移動軌跡の収集を行った。避難に用いる可能性がある経路を、①で研究した方法論を参考にしてあらかじめ複数設定し、そのうちの経路が実際に使用されたかを調べることで分析を行った。図1に、あるODペアの経路の候補ルートと実際に選択されたルートを、表1に経路選択率を示す。

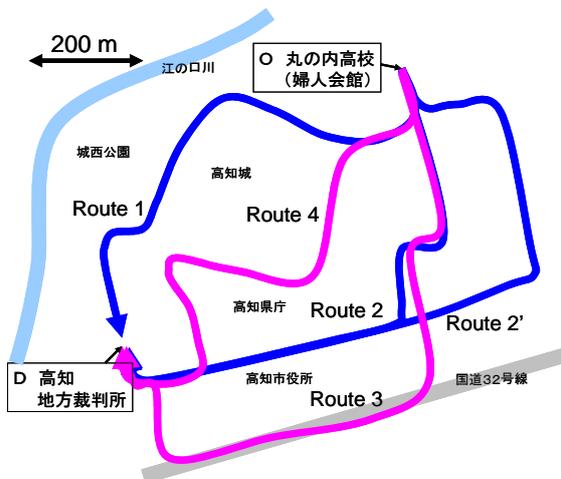


図1 避難実験での候補ルート（青・紫）および実際に選択されたルート（青）

表1 避難主体（被験者）の各経路の選択率

経路番号	Route1	Route2	Route2'
選択被験者数	1	26	1
基準経路との重複率(%)	100	100	58.3

実験の結果を分析することにより、災害時における選択経路の特徴について、優先的に選択される経路は、

- ・最短経路
- ・認知度の高い経路
- ・幅員が広い・直線的である等の条件を持つ主要道路が主に含まれている道路
- ・出発地および目的地が面する道路が主に含まれている経路
- ・形状の単純な経路
- ・経路選択肢に全て橋梁を含む場合、比較的大きな橋を含む経路

といった特徴を持つ経路であることがわかった。また、迂回に選ばれる経路としては、最短経路および最短経路に準ずる経路、当初想定していた経路に戻る経路、といった経路が顕著に見られた。

### (3) Web と連携した新たな交通行動データ収集システムの構築

Web と連携した新たな交通行動データ収集システム（VR システム）を構築した。また、実際にそのシステムを(2)の高知での実験結果に対応させることにより、VR システムの再現性を検証した。

この VR システムでは Web 上に表示される地図を用いて、仮想都市空間および仮想の災害時における実験協力者の行動を調査することができる。地図では表現できない風景等の情報を補完するために、図2のように、主要な地点では周辺の光景が写真で表示されるようになっている。

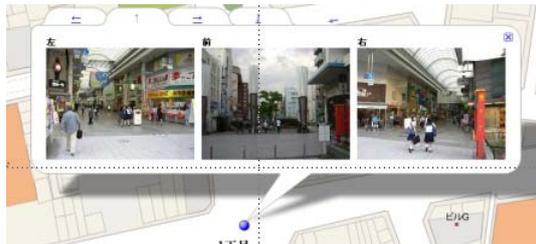


図2 VR システムにおける表示例

VR システムで測定される行動が実空間における行動をどれだけ反映しているかを確認するため、(2)の高知での実験と同じ状況を VR システムで再現して調査した。個人差によるずれを排除するために、(2)の実験に参加した者をそのまま実験協力者としている。

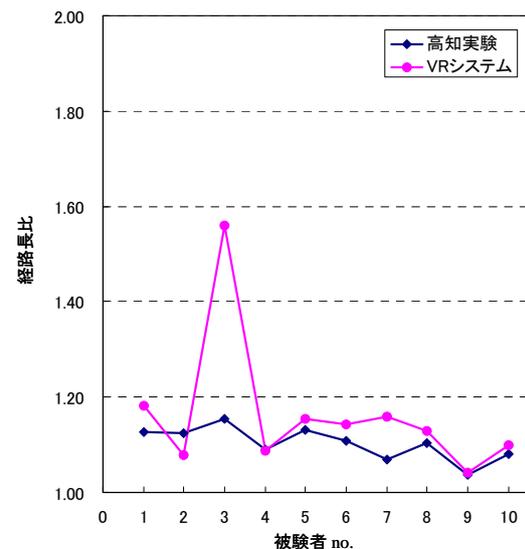


図3 実空間実験と VR システムによって観測された経路の比較

実験の結果、VR システムと実空間での移動で選択される経路の重複率は高く、移動距離については差がないことを確認できた(参考のため、図3に移動距離の比較のグラフを示す)。このことより、VR システムを利用した行動調査は実空間における現象を仮想的に調査する際に一定の程度で有用であることを示している。

一方で課題としては以下のことがあげられた。

- ・OD 間の選択肢に大きな差がない場合、行動調査の精度は低い可能性がある。
- ・VR システムでは目的地周辺のネットワーク認知度が低くなる傾向がある。この傾向は目的地が格子状街路網内に位置する場合に大きくなる。

#### (4) 研究成果のまとめ

- (1)～(3)で示した成果を統合することにより、下記のようなことが可能になった。
- ①(2)で実測した避難行動データから、災害時のヒトの動きに関する基本法則がわかった。これは、(1)でなされた交通行動分析に関する研究成果と結合することにより、交通ネットワーク上での交通行動記述に適用することが可能になる。
  - ②(3)で開発した避難行動データをより簡単に収集するための VR を用いれば、より多様な災害状況での行動法則を観測することが容易に可能となる。得られた結果は、①で示した基本法則とあわせることにより、交通ネットワーク上での交通行動記述をより精緻にすることに活用できる。
  - ③(1)で行った災害時の状況に適した交通ネットワーク分析の研究成果に上記①②の成果を交通ネットワーク上での交通行動記述に適用することが可能になる。災害時において交通ネットワークで発生しうるリスクを予測できる。
  - ④③の成果と、(1)で行ったリスク分析の研究成果を結合することにより、交通ネットワークのリスク評価が可能となる。
- 以上のように、本研究課題では、当初目的であった交通ネットワークのリスク評価システムの開発をなしたといえる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計10件)

①小松良幸, 中山晶一朗, 高山純一, リスク態度を考慮した準動的配分モデル, 土木計画学研究・論文集, 25, 2008, 683-692, 査読あり

②Higatani, A., Kitazawa, T., Tanabe, J., Suga, Y., Sekhar, R., Asakura, Y., Empirical Analysis of Travel Time Reliability Measures in Hanshin Expressway Network, Journal of Intelligent Transportation Systems, 13, 2008, 28-36, 査読あり

③Yamamoto, T., Hashiji, J. and Shankar, V.N., Underreporting in Traffic Accident Data, Bias in Parameters and the Structure of Injury Severity Models, Accident Analysis and Prevention, 40, 2008, 1320-1329, 査読あり

④ Nagae, T. and Akamatsu, T., A Generalized Complementarity Approach to Solving Real Option Problems, Journal of Economic Dynamics and Control, 32, 6, 1754-1779, 2008, 査読あり

⑤Asakura, Y., Requirements for Transport Network Flow Models used in Reliability Analysis, International Journal of Critical Infrastructures, 3, 2007, 287-300, 査読あり

⑥Asakura, Y. and Iryo, T., Analysis of tourist behaviour based on the tracking data collected using a mobile communication instrument, Transportation Research Part A, 41, 2007, 684-690, 査読あり

⑦Kusakabe, T., Iryo, T., Takakura, K., & Asakura, Y., Computation of Additional Activity Area with Revealed Path Constraints, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 7, 2007, 729-741, 査読あり

⑧長江剛志, 藤原友, 朝倉康夫, GIS と需要変動型利用者均衡配分を用いた道路ネットワーク耐震化の便益評価, 土木計画学研究・論文集, 24-2, 2007, 233-242, 査読あり

⑨Kitamura, R. and Nakayama S., Can Travel Time Information Influence Network Flow?: Implications of the Minority Game, Transportation Research Record, 2010, 2007, 12-18, 査読あり

⑩中山晶一朗, 高山純一, 交通需要と経路選択の確率変動を考慮した交通均衡モデル, 土木学会論文集D, 62(4), 2006, 537-547, 査読あり

[学会発表] (計12件)

- ① Wei, C., Iryo, T., Asakura, Y., Lexicographic Model (Lex) for Travel Behavior Analysis, 13th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, Dec. 13-15, 2008, Hong Kong
- ② Hato, E., An Application of the Data Analysis based on the Probe Person Monitoring, International Workshop on Traffic Data Collection & its Standardization, Sep. 8-9, 2008, Barcelona, Spain
- ③ Yamakawa, Y., Hato, E., A Suggestion of Path Enumeration Algorithm Based on Massive Behavioral Space Information, Urban Transport XIV, Sep. 1-3, 2008, Malta
- ④ Wei, C., Iryo, T., Asakura, Y., Travel Behavior Model for Traffic Micro-Simulation System: A Machine Learning Approach, Third International Symposium of Transport Simulation, Aug. 6-8, 2008, Gold Coast, Australia
- ⑤ Asakura, Y., Symbiotic Safety in Traffic and Transport Studies for Disaster Mitigation. The 3rd Sino-Japan Joint Seminar on Modeling and Methodology for Complexity and Risk Management, Aug. 29 - Sep. 2, 2007, Jian-su University, China
- ⑥ Tatano, H., Measuring Economic Loss Due To Transportation Network Disruption by an Earthquake Taking Account of Congestions in the Inter Regional Highways t, The 3rd Sino-Japan Joint Seminar on Modeling and Methodology for Complexity and Risk Management, Aug. 29 - Sep. 2, 2007, Jian-su University, China
- ⑦ Asakura, Y., Estimating the Effects of Tokai-Tonankai Earthquake on Road Network Flow - A Case Study in Hamamatsu City, COE International Symposium Disaster Mitigation & Community-Based Reconstruction, August 8-9, 2007, UGM, Yogyakarta
- ⑧ Nakayama, S., Stochastic Network Equilibrium Model under Uncertain Demand, the Sixth Triennial Symposium on Transportation Analysis, Jun. 11-15, 2007, Phuket, Thailand
- ⑨ Asakura, Y., Cost Benefit Analysis of

Disaster Mitigation Strategies for a Transport Network Management of Health Problems Post Disaster, March 16, 2007, UGM, Yogyakarta

⑩ 藤原友, 長江剛志, 朝倉康夫, 利用者均衡概念を考慮した道路網耐震化問題の枠組みと手法, 第34回土木計画学研究発表会, 2006年12月1日, 香川大学

⑪ Hato, E., Asakura, Y., Kashiwadani, M., Futagami, Y., Data Oriented Activity Simulation using Probe Person Systems, International Symposium on Transport Simulation, Sep. 4-6, 2006, Lausanne, Switzerland

⑫ 長尾大, 井料隆雅, 椿涼太, 朝倉康夫, 移動体通信機器によって得られる歩行者移動軌跡の誤差モデル. 第32回土木計画学研究発表会, 2005年12月3-5日, 宮崎大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

朝倉 康夫 (ASAKURA YASUO)  
神戸大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 80144319

### (2) 研究分担者

羽藤 英二 (HATO EIJI)  
東京大学・大学院工学系研究科・准教授  
研究者番号: 60304648  
井料 隆雅 (IRYO TAKAMASA)  
神戸大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 10362758  
多々納 裕一 (TATANO HIROKAZU)  
京都大学・防災研究所・教授  
研究者番号: 20207038  
長江 剛志 (NAGAE TAKESHI)  
電気通信大学・大学院情報システム学研究科・准教授  
研究者番号: 30379482  
赤松 隆 (AKAMATSU TAKASHI)  
東北大学・情報科学研究科・教授  
研究者番号: 90262964  
吉井 稔雄 (YOSHII TOSHIO)  
京都大学・工学研究科・准教授  
研究者番号: 90262120  
山本 俊行 (YAMAMOTO TOSHIYUKI)  
名古屋大学・工学研究科・准教授  
研究者番号: 80273465  
中山 晶一郎 (NAKAYAMA SHOICHIRO)  
金沢大学・環境デザイン学系・准教授  
研究者番号: 90334755

### (3) 連携研究者

なし