

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21310105

研究課題名（和文） 都市内滞留者の詳細な属性情報を考慮した大震災時における行動記述モデル

研究課題名（英文） Human Behavior Model in Consideration of Detailed Personal Attributes in the Aftermath of a Devastating Earthquake

研究代表者

大佛 俊泰（OSARAGI TOSHIHIRO）

東京工業大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：00211136

研究成果の概要（和文）：

大都市圏パーソントリップ調査のデータを基に都市内滞留者・移動者の時空間分布を推定し、首都直下大地震の発生を想定した各種シミュレーション分析を試みた。まず、物的被害を記述する「環境情報シミュレータ」と人間行動を記述する「人間行動シミュレータ」を構築し、これらを連動させることで広域避難の様相について分析した。また、大規模鉄道駅周辺地域における人々の移動軌跡を推定し、これを可視化するための「歩行者流動モデル」を構築した。さらに、大地震発生後の公共交通機関が麻痺した状況下における就業者の通勤意思と通勤経路を記述する「通勤意思モデル」と「通勤可能性モデル」を構築し、これを用いて就業者の通勤可能性について分析した。

研究成果の概要（英文）：

The spatiotemporal distribution of persons in the metropolitan area was estimated based on the data of a metropolis person trip survey, and the various simulation analyses assuming the occurrence of a devastating earthquake were performed. First, the Environment Information Simulator which describes property damage, and the Human Action Simulator which describes human behavior were constructed, and the phase of wide-area evacuation was analyzed by use of these simulators. Next, the Pedestrian Flow Model which describes and visualizes people's move locus in the vicinity of a large scale railroad station was constructed. Furthermore, the Commuting Action Model was constructed, which describes the workers' intention and capability of commuting to offices under the situation where the public transportations are paralyzed in the aftermath of a large earthquake. By using the model, the possibility and probability of workers' commuting to offices were analyzed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			0
総計	6,000,000	1,800,000	7,800,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：大地震、防災計画、広域避難、人間行動、シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

大地震がもたらす物的被害(建造物の倒壊や市街地火災など)に関する研究は、建造物の物性に関する研究等に支えられ、ますます精緻化されている。しかし、人的被害については「時々刻々と変化する都市内滞留者の時空間分布をどのように想定するのか」という基本的、かつ、根本的な問題に大きく依存しており、推計モデルの改良だけでは克服できない困難な問題に直面していた。そこで、これまでに大都市圏パーソントリップ調査のデータ(P Tデータ)を用いて「どのような人(性別・年齢)が、いつ(時刻)、どこで(場所・施設)、何を(目的)しているのか」という都市内滞留者・移動者の時空間分布を、詳細なプロフィールと共に記述する数理統計モデルを構築した。これを用いれば、各種シミュレーション分析等の精緻化を図ることが可能となるだけでなく、帰宅困難者問題をはじめ、大都市における激甚地震災害の新たな様相について分析することが可能となる。

2. 研究の目的

(1)従来までの国内外における市街地大火を想定した避難シミュレーション等においては、国勢調査等のセンサスデータから得られる夜間・昼間人口分布が用いられてきた。しかし、高速交通網の進展を背景に、人々の都市内移動は活性化しており、国勢調査等のスタティックな人口分布に基づく従来までの議論には限界がある。そこで、まず、ダイナミックに変動する都市内滞留者・移動者の時空間分布データを用いて、大地震発生後における広域避難行動について検討することを目的とした。特に、広域避難が困難となる人々の割合(避難困難率)に着目して、市街地性状の特性との関連について分析を試みた。

(2)自力移動が困難な高齢者は、災害時要援護者として特別な避難支援が必要とされる。しかし、高齢者福祉施設の多くは福祉避難所に指定されており、施設利用者(高齢者)が広域避難を行うこと自体が想定されていないことが多い。そこで、これまで十分に議論されてこなかった、地震大火を想定した高齢者福祉施設における広域避難の問題について検討することを目的とした。

(3)大規模鉄道駅周辺地域は、大地震発生後には、大勢の人々が殺到し大混乱すると予見されている。しかし、その科学的根拠は乏しく、地域防災計画を策定する際の障害ともなっている。そこで、P Tデータを数値的な根拠として、鉄道駅を中心に移動と滞留を繰り返す人々の行動を記述するモデルを構築し、震災時の群集流動を記述するモデルを構築することを目的とした。

(4)大地震発生後の公共交通機関が麻痺した状況下において、どれほどの就業者が通勤可能であるのかについての議論は未だなされていない。そこで、居住地と就業地の空間的關係、利用可能な移動手段、就業者の属性、就業形態や業種、就業先からの通勤指示の有無などの視点から、就業者の通勤可能性について検討することを目的とした。

3. 研究の方法

過去の研究で構築した「都市内滞留者・移動者の時空間分布を推計する数理統計モデル」を用いて整備したデータベースを活用し、以下のシミュレーション分析を実行した。

(1)「火災延焼モデル」、「家屋倒壊モデル」、「道路閉塞モデル」から構成される「環境情報シミュレータ」により物的被害を記述し、「家屋内待機行動モデル」、「帰宅行動モデル」、「避難行動(一時・広域)モデル」から構成される「人間行動シミュレータ」により人々の移動・滞留・避難行動を記述した。これらを一体化し、東京都世田谷区を分析対象地域として、広域避難の様相や避難困難性の要因について検討した。特に、施設外の移動者や徒歩帰宅者の存在が、広域避難者数に占める割合や、個々の広域避難場所の混雑状況に及ぼす影響について検討した。さらに、ミクロな市街地の空間性状が広域避難の困難性にどのような影響をもたらすのかについて検討した。

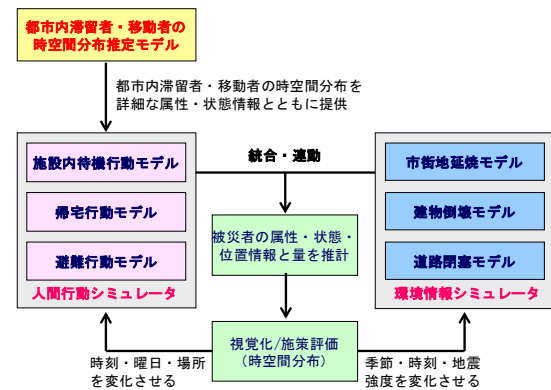


図1 シミュレーションモデルの構造

(2)東京都世田谷区の高齢者福祉施設に対してアンケート調査を実施し、また、P Tデータを用いて、高齢者福祉施設における施設関係者や要援護者となりうる地域内滞留者の時空間分布を推定した。高齢者福祉施設の利用者(要援護者)の移動能力と要援護者の要援護能力を考慮した広域避難行動シミュレーションモデルを構築し、各施設の広域避難対策の評価を試みた。さらに、様々な避難行動や要援護行動のパターンの比較分析を通して、どの

ような広域避難支援の方法が効果的であるかについて定量的に評価した。

(3)大地震発生直後に群集による混乱が危惧されている大規模鉄道駅周辺地域に着目して、ミクロな空間スケールに基づく「群集流動モデル」を構築した。これを用いて、大規模鉄道駅周辺地域の滞留者が群集化する際の危険性について検討した。

(4)大地震発生後の通勤意思に関するアンケート調査を実施し、都市交通基盤が麻痺した状況下での就業者の通勤意思を推定する「通勤意思モデル」を構築した。また、就業者のプロフィール・勤務地・居住地・通勤経路などの情報をもとに、就業者の通勤可能性を推定する「移動可能性モデル」を構築した。これらのモデルを連動させて、就業者の通勤可能性について分析した。

4. 研究成果

(1)都市内滞留者（在宅者・自宅外施設滞留者）のみならず、都市内移動者（鉄道等による移動者や徒歩帰宅者）の存在を考慮することの重要性について検討した。その結果、以下のことが判明した。①鉄道等による移動者は広域避難場所への避難者数の増加に大きく影響する。②徒歩帰宅者が多く発生する昼間においてその影響が特に大きい。ピーク時には避難者数を2割程度増加させる可能性がある。③広域避難場所の数や配置は、各地域の夜間・中間人口に基づいていたが、高速交通網が高度に発達した都市部では、特に朝夕のラッシュ時における鉄道等による移動者の存在を考慮に入れた広域避難場所の計画が必要である。

次に、東京都で推奨している2段階避難の効果について分析した結果、以下のことが判明した。①夜間には在宅者が大多数を占めるため、2段階避難を採用すればリスク軽減の効果は大きい。しかし、②昼間には、2段階避難に従わないと考えられる在宅者以外の滞留者が多くなるため、リスクの軽減効果は相対的に小さい。さらに、③広域避難場所への避難者数を属性別に集計した結果、発災時刻によって避難者数のみならず、避難者のプロフィールが大きく変動すること、また、複数の鉄道路線近くに立地し、広域をカバーしている避難場所では、夜間よりも中間の避難者数が圧倒的に多くなる。

以上の結果は、従来まで考慮されていなかった都市内移動者や徒歩帰宅者が避難者となって避難場所に流入することに起因している。避難場所の位置や発災時刻によって、避難者数や避難者のプロフィールが大きく異なることを踏まえた対策が必要であることが明らかとなった。

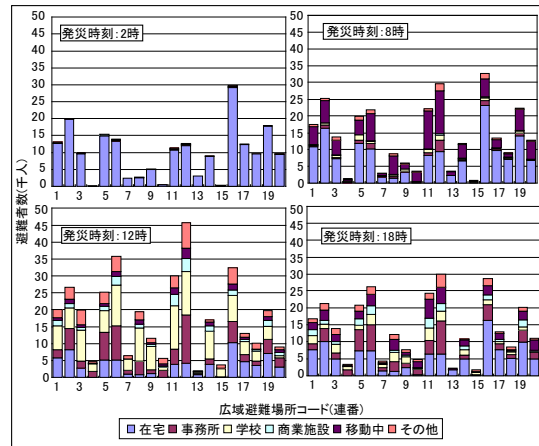


図2 滞留場所別の避難者数



図3 シミュレーション実行例
(8時発災, 4時間後の状態)

次に、大地震時における人々の避難場所への到達可能性を、ミクロな視点から捉え、避難行動シミュレーションを実行した。その結果、以下のことが判明した。①木造密度・道路閉塞率・避難困難率の間には高い相関関係がある。②避難困難者数は夜間と昼間の滞留者数に応じて大きく異なるため、様々な時刻や状況を想定して、具体的な避難困難者像を把握することが重要である。③避難困難率の観点から市街地性状を評価すると、平均道路幅員の狭い地域や木造住宅密度の高い地域では、避難場所までの距離が近くても避難困難となる可能性がある。

以上のとおり、「物的被害シミュレータ」と「人間行動シミュレータ」を統合した「避難行動シミュレーションモデル」によれば避難困難率の高い地域をミクロな空間単位で特定できるとともに、市街地の避難困難率に関して子細な分析を行うことが可能である。

(2)要援護者の移動能力や援護者の時刻変動を考慮しながら、高齢者福祉施設における広域避難行動モデルを構築し、様々な状況やシナリオを想定したシミュレーションを実行

した。その結果、以下のことが判明した。① 援護支援に関する協定を近隣住民と締結するなど、大地震を想定した地域連携は、大地震が早朝に発生した場合において特に有効に機能する。② 要援護者の移動能力が相対的に高い通所施設では、避難困難者は避難経路上で発生する可能性が高い。③ 避難の際に多くの利用者が一団となって避難するため、火災が迫ってから避難や救援を開始する場合、援護者数を増やすほど援護者自らが避難困難となり、避難困難率が高くなってしまう場合がある。④ 要援護者の移動能力が相対的に低い入所施設では、早朝に援護者数を増加させることで避難困難率が大きく減少する。⑤ 市街地火災が広がる前に避難を開始する早期避難が、避難困難率を低減させるためには重要である。⑥ 避難完了時間を短縮するためには、救援開始のタイミングが重要である。

(3) 大規模鉄道駅周辺地域の群集流動を記述するモデルを用いて、平常時と発災時の滞留者の時空間分布推定を行った。その結果、以下のことが判明した。① 歩行者数を平常時と発災時と比較すると、平常時には朝夕の通勤ラッシュの時間帯にピークがあるのに対し、発災時には（午前中には会社や学校に留まる人が多いため）夕刻に最も歩行者数が多くなる。② 各街路の平常時の通行量に対する発災時の通行量の比（通行量比）を時刻別に比較すると、通行量比の高い街路数は昼間において最も多くなる。③ 通行量比が大きい街路は渋谷駅周辺地域よりも渋谷駅から少し離れた地域の主要な街路や建物密集地域における細街路である。④ こうした地域では歩行者数は少ないが、建物内から一斉に人々が溢れ出すことで、歩行者密度が高くなり、群集事故が発生する可能性がある。

本モデルを用いれば、大規模鉄道駅周辺地域における歩行者の回遊行動を考慮した精緻な群集流動シミュレーションを行うことが可能であり、災害時の鉄道駅周辺地域における混雑防止に向けた防災計画策定のための基礎的な知見を得ることができる。

(4) 「通勤意思モデル」と「移動可能性モデル」を用いて、首都圏における就業者の通勤可能性について分析した結果、以下のことが判明した。① 通勤困難率は性別や職業、地域特性により大きく異なる。② 通勤困難率のこうした特性を勘案した地域活動の継続性について検討することが必要である。③ 居住地ベースでは、川崎市北部や千葉県西部における通勤困難率は極めて高い。これらの地域は、東京や横浜などの商業業務集積地にアクセスしやすい立地でありながら、鉄道交通に依存する就業者の割合が高いため、自動車やバスが利用できる場合でも通勤困難率は高い。

④ 勤務地ベースでは、東京都心部で勤務する就業者は、鉄道交通に依存した遠距離通勤者の割合が高いため、鉄道が利用できない状況下では、自動車やバスが利用できる場合であっても通勤困難率は非常に高い。

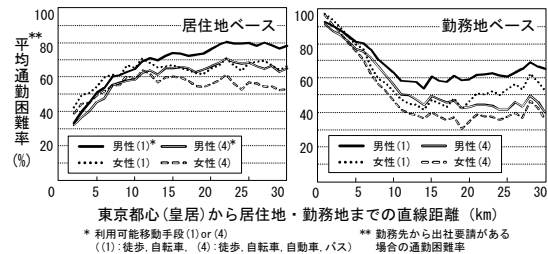


図4 都心距離別通勤困難率(性別)

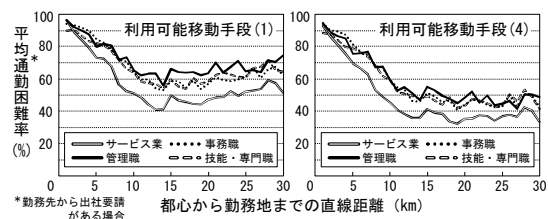


図5 都心距離別通勤困難率(職種別)

これらの結果を踏まえて、鉄道路線の復旧が通勤困難率の改善に及ぼす効果を確認したところ、以下のことが判明した。① 多くの就業者が居住する郊外部と東京都心部を結ぶ鉄道路線に、環状路線（山手線）を組み合わせれば、就業者の通勤可能性が高まり、同時に、都心勤務地における通勤困難率を大幅に改善することができる。② 東京都心部の地域活動継続および早期回復には、鉄道路線の早期復旧が必須であるが、鉄道復旧計画を策定する際には、復旧路線の組み合わせが通勤困難率の改善に及ぼす効果を吟味しながら、効率的・効果的に行うことが重要である。

以上のように、本モデルによれば、効率的で効果的な鉄道復旧計画に資する情報を提供することも可能である。

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7件)

1. 大佛俊泰・鈴木久美子, 大地震時の市街地大火を想定した高齢者福祉施設における広域避難について, 日本建築学会計画系論文集, 査読有, 2013, 78(685), 557-563
2. 大佛俊泰・玉野沙織, 大地震発生後における通勤困難者について, 日本建築学会計画系論文集, 査読有, 2013, 78(683), 107-117

3. 大佛俊泰・沖拓弥, 密集市街地における大地震時の避難困難率について, 日本建築学会計画系論文集, 査読有, 2012, 77(681), 2561-2567
4. OSARAGI, T., Modeling a spatiotemporal distribution of stranded people returning home on foot in the aftermath of a large-scale earthquake, Nat Hazards, Springer, 査読有, 2012, DOI 10.1007/s11069-012-0175-8
5. 大佛俊泰・守澤貴幸, 都市内滞留者・移動者の多様な状態と属性を考慮した大地震時における広域避難行動シミュレーションモデル, 日本建築学会計画系論文集, 査読有, 2012, 76(660), 389-396
6. 大佛俊泰, 首都直下地震時における帰宅行動と帰宅困難, 日本地震工学会誌, 査読無, 2011, 15, 89-92
7. 大佛俊泰, 大地震時における徒歩帰宅者の行動モデル, 電気学会誌, 査読有, 2009, 129, 804-807

[学会発表] (計30件)

1. OSARAGI, T., OKI, T., Predicting Spatiotemporal Distribution of People for Risk Assessment and Disaster Management, Proceedings of 10th International Conference on Urban Earthquake Engineering, 2013, 25-30 (2013年3月2日, 東京)
2. OKI, T., OSARAGI, T., Evacuation Behavior Model Considering Various Attributes of Residents and Transient Occupants, Proceedings of 10th International Conference on Urban Earthquake Engineering, 2013, 1839-1846 (2013年3月1日, 東京)
3. 沖拓弥・大佛俊泰, 密集市街地の空間性状と大地震時の避難困難率, 地理情報システム学会講演論文集, 2012, 21 (2012年10月13日, 広島)
4. 濱田時彦・大佛俊泰, 平日と休日における帰宅困難者数の比較分析, 地理情報システム学会講演論文集, 2012, 21 (2012年10月13日, 広島)
5. 沖拓弥・大佛俊泰, 大地震時における広域避難行動シミュレーション, スケジューリング・シンポジウム 2012 講演論文集, 2012, 115-120 (2012年9月29日, 東京)
6. 沖拓弥・大佛俊泰, 避難安全性からみた密集市街地性に関する一考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集(F-1), 2012, 927-928 (2012年9月12日, 名古屋)
7. OSARAGI, T., Individual Decision Making and Behavior of Returning Home in the Aftermath of a Devastating Earthquake, 9th International Conference on Urban Earthquake Engineering, 2012, 1895-1900 (2012年3月7日, 東京)
8. 沖拓弥・大佛俊泰, 密集市街地の避難危険度評価, 地理情報システム学会講演論文集, 2011, 20, CD-ROM (2011年10月15日, 鹿児島)
9. 鈴木久美子・大佛俊泰, 高齢者福祉施設の広域避難における地域連携の役割, 地理情報システム学会講演論文集, 2011, 20, CD-ROM (2011年10月15日, 鹿児島)
10. 玉野沙織・大佛俊泰, 大地震発生後における就業者の就意思と出社可能性, 地理情報システム学会講演論文集, 2011, 20, CD-ROM (2011年10月15日, 鹿児島)
11. 西村光平・大佛俊泰, 鉄道駅周辺地域における群集流動シミュレーション, 地理情報システム学会講演論文集, 2012, 20, CD-ROM (2011年10月15日, 鹿児島)
12. 玉野沙織・大佛俊泰, 大地震発生初動期における就業者の出社意思のモデル化, 日本建築学会大会学術講演梗概集(F-1), 2011, 895-896 (2011年8月23日, 東京)
13. 鈴木久美子・大佛俊泰, 大地震を想定した高齢者福祉施設における避難行動に関する調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集(F-1), 2011, 885-886 (2011年8月23日, 東京)
14. 沖拓弥・大佛俊泰, 密集市街地における大地震時の避難危険度, 日本建築学会大会学術講演梗概集(F-1), 2011, 863-864 (2011年8月23日, 東京)
15. OSARAGI, T., TANAKA, S., Simulation Model of Individual Decision Making and Behavior for Returning Home after a Devastating Earthquake, the 12th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, 査読有, 2011, USB (2011年7月21日, カナダ)
16. OSARAGI, T., Spatiotemporal Distribution of Railroad Users with Difficulty in Returning Home after a Devastating Earthquake, EGU General Assembly 2011, 2011, Poster (2011年4月3日, オーストリア)
17. 鈴木久美子・大佛俊泰, 高齢者福祉施設における大地震時の避難行動に関する基礎調査, 日本建築学会関東支部研究報告集II, 2011, 297-300 (2011年3月5日, 東京)
18. 玉野沙織・大佛俊泰, 大地震発生初動期における就業者の出社可能性について, 地理情報システム学会講演論文集, 2010, 19, CD-ROM (2010年10月23日, 京都)
19. 玉野沙織・大佛俊泰, 災害発生初動期における就業者の出社可能性, 日本建築学会大会学術講演梗概集(F-1), 2010, 893-894 (2010年9月9日, 富山)
20. 大佛俊泰, 大地震時における人間行動のモデル化について: 大地震時の広域避難行動シミュレーションに関する研究 その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集(F-1), 2010, 895-896 (2010年9月9日, 富山)

21. OSARAGI, T., TANAKA, S., People with Difficulty in Returning Home after a Devastating Earthquake, the 13th AGILE Conference on Geographic Information Science, 2010, Poster (2010年5月12日, ボルトガル)
22. 西村光平・大佛俊泰, 鉄道利用者のターミナル駅周辺地域における時空間分布, 地理情報システム学会講演論文集, 2009, 18, 5-8(2009年10月15日, 新潟)
23. 大佛俊泰・守澤貴幸, 大地震時における物的被害のモデル化について:大地震時の広域避難行動シミュレーションに関する研究その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集(F-1), 2009, 507-508(2009年8月29日, 仙台)
24. 西村光平・大佛俊泰, 大規模鉄道駅周辺地域における歩行者の時空間分布推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集(E-1), 2009, 271-272(2009年8月29日, 仙台)

[図書] (計2件)

1. OSARAGI, T., Morisawa, T., Oki, T., Simulation Model of Evacuation Behavior Following a Large-scale Earthquake that Takes into Account Various Attributes of Residents and Transient Occupants, 6th International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics - PED 2012, Eds. U. Weidman et. al., Springer, 2013(印刷中)
2. OSARAGI, T., Hoshino, T., Predicting Spatiotemporal Distribution of Transient Occupants in Urban Areas, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Bridging the Geographic Information Sciences, Eds. J. Gensel et al., Springer, 査読有, 2012, 307-325

[その他]

1. 大佛俊泰, 「震災, すぐ帰らぬために」, 朝日新聞(2013年4月2日:朝刊)
2. 大佛俊泰, 「首都防災を考える」, 読売新聞(2013年3月22日:夕刊), 2013
3. 大佛俊泰, 「災害時, 人はどう動く?」, 日本経済新聞(2012年9月3日:朝刊), 2012
4. OSARAGI, T., 「Threat of fire hangs over Tokyo quake prep: Experts advise surviving blazes will be priority after Big One」, The Japan Times(2012年9月1日), 2012
5. 大佛俊泰, 避難シミュレーション, フジテレビ「金曜プレステージ:防災の日SP 首都大震災～わ・す・れ・な・い 3.11 からの警告～」, 2012年8月31日放送
6. 大佛俊泰・沖拓弥・廣川典昭, 消防車と避難のシミュレーション, NHK総合「首都圏スペシャル:命の道を守れ～首都圏大地震に備えて～」, 2012年8月31日放送

7. 大佛俊泰, 「帰宅困難 989 万人」, 朝日新聞(2012年5月16日:夕刊)
8. 大佛俊泰, 広域避難シミュレーション, NHK総合「首都圏ネットワーク」, 2012年4月24日放送
9. 大佛俊泰・沖拓弥, 市街地火災と広域避難シミュレーション, NHK総合「クローズアップ現代:首都直下 震度7の衝撃 ～どう命を守るか～」, 2012年4月19日放送
10. 大佛俊泰, 帰宅困難者と危険性, 日本テレビ「スッキリ!!」, 2012年4月19日放送
11. 大佛俊泰, 休日の帰宅困難者と危険性, フジテレビ「とくダネ!」, 2012年4月19日放送
12. 大佛俊泰, 休日の帰宅困難者対策, MXTV「Tokyo MX News:想定外を想定する」2012年4月10日放送
13. 大佛俊泰, 市街地火災と道路閉塞のシミュレーション, TBSテレビ「Nスタ」, 2012年3月30日放送
14. 大佛俊泰, 休日の帰宅困難者問題, NHK総合「首都圏ネットワーク」, 2012年3月29日放送
15. 大佛俊泰, 休日の帰宅困難者問題, NHK総合「お昼のニュース」, 2012年3月29日放送
16. 大佛俊泰, 市街地火災と道路閉塞のシミュレーション, TBSテレビ「ひるおび」, 2012年3月28日放送
17. 大佛俊泰, 「想定外とは言わせない:都市の延焼シミュレーション」, 朝日新聞(2012年3月26日:朝刊)
18. 大佛俊泰, 首都直下地震シミュレーション, 日本テレビ「真相報道 バンキシャ」, 2012年2月5日放送
19. 大佛俊泰, 首都直下地震シミュレーション, テレビ朝日「報道ステーションSUNDAY」, 2011年10月25日放送
20. 大佛俊泰, 市街地火災と広域避難シミュレーション, フジテレビ「Mr.サンデー, 拡大版 3.11 市民映像SP」, 2011年9月25日放送
21. 大佛俊泰・沖拓弥, 徒歩帰宅者・帰宅困難者のシミュレーション, NHK総合「クローズアップ現代:帰宅できない～どう備える首都直下地震～」, 2011年5月30日放送

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大佛 俊泰 (OSARAGI TOSHIHIRO)
東京工業大学・大学院情報理工学研究科・教授
研究者番号:00211136

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし