

プローブパーソン調査を活用した災害時の行動 モニタリングと交通サービス設計

平井健二¹・山下大輔²・吉野 大介³・力石 真⁴

¹ 正会員 復建調査設計株式会社 総合計画部 (〒732-0052 広島県広島市東区光町二丁目 10-11)
E-mail: kenji.hirai@fukken.co.jp

² 非会員 復建調査設計株式会社 総合計画部 (〒732-0052 広島県広島市東区光町二丁目 10-11)
E-mail: yamashita@fukken.co.jp

³ 正会員 広島大学大学院国際協力研究科 特任助教/復建調査設計株式会社 東京支社
(〒101-0032 東京都千代田区岩本町三丁目 8-15)
E-mail: d-yoshino@fukken.co.jp

⁴ 正会員 広島大学大学院国際協力研究科 准教授 (〒739-8529 広島県東広島市鏡山一丁目 5-1)
E-mail: chikaraishim@hiroshima-u.ac.jp

大規模災害により広域的かつ長期間に及ぶ交通網の途絶が生じた際には、限られた交通供給を有効に活用すべく、復旧期間中における時間的・空間的な行動変容実態を把握した上で、適切な交通制御や応急的な交通サービスを設計・運用し、需給バランスを適正に保つことが求められる。

本研究では、トリップの取りやめや交通手段の変更、目的地の変更などといった災害及び復旧に伴う行動変容を観測し、応急的な交通サービスの設計・運用に活かすことを目的とした 2 つのプローブパーソン(PP)調査を試行的に実施した結果を報告し、災害時における PP 調査の有用性について論じる。特に、災害時においてニーズが高い適応的な改善を繰り返す政策実施フレームを採用する場合や、応急的に交通サービスを設計する文脈において PP 調査が有用であることを示した。

Key Words: probe person, multi-day data, stated preference, natural disaster, behavioral modification

1. はじめに

わが国においては近年、大規模地震や集中豪雨をはじめ、甚大な自然災害が多発している。特に本研究において取扱う平成 30 年 7 月豪雨のような大規模災害においては、広域的な交通ネットワークの寸断が生じるとともに、復旧期間が長期化することで、多くの市民の移動に影響を及ぼす点が問題となっている。

災害復旧期間の不完全な交通ネットワークのもとでは、当然のことながら、交通供給不足に伴う渋滞等の問題が生じやすい。加えて、災害関連需要の変動、利用者の学習行動(例えば移動の取りやめ、移動時間帯のシフト(早朝出勤など))、供給側の応急対応(例えばバス会社による臨時便の運行)等に伴い、渋滞のボトルネック箇所及び延長状況が時間的にも空間的にも変化する。このような状況において交通マネジメントを実施し需給バランスを適正に保つためには、需要と供給の両面を観測し対策を検討することが重要といえる。

その点について、平成 30 年 7 月豪雨に関しては、国土交通省(広島国道事務所)や広島県、沿線市町村、公共交通事業者等により高頻度で復旧状況の情報共有が図られるなど、供給側のデータは比較的充実した状況にあった。需要側のデータについては、平成 30 年 7 月豪雨時には、主要な道路断面に設置された車両感知器データ(トラカンデータ)や ETC2.0 データといったパッシブデータが、渋滞の状況や旅行時間の動的な変化を把握するために利用された。その他の災害時におけるパッシブデータの利用事例として、ハイチ地震後の移動実態を携帯電話端末のプローブデータから把握した Bengtsson et al. (2011)¹⁾の研究や、商用車プローブ等の移動体データから移動実態の把握を試みた Hara et al. (2015)²⁾や Kawasaki et al. (2017)³⁾の研究がある。以上のように、近年普及が進んでいるパッシブデータは災害対応の文脈においても重要な情報を提供するものの、移動者の属性や目的、利用交通手段の判別が難しいことに加え、交通行動の結果を示唆するデータであることから、移動者の交通手段変更や

目的地の変更、行動の取りやめなど、潜在化した交通需要の把握が困難である。交通供給不足により需要が潜在化している場合、（交通供給の改善に伴い需要が顕在化するため）観測された需要パターンに合わせた交通サービスの供給は最適解とはならない可能性が高く、パッシブデータにより得られる顕示選好情報のみで適切な交通マネジメントを実現することは容易ではない。

以上の課題に対して、従来よりアンケート調査等により詳細な移動実態の把握が行われてきたが（例えば、阪神・淡路大震災にをケーススタディとした松村ら（1996）⁴⁾、本間ら（1997）⁵⁾）、被災者に回答負荷をかけることへの懸念や、経路や旅行速度等の情報が把握できない点が問題として残る。最近では、原ら（2015）⁶⁾がパッシブデータに対して潜在的な交通状態を推定する手法として、ソーシャルメディアデータとプローブデータの統合を行い、渋滞要因や当該リンク周辺の交通状況の把握を試みているが、行動変容のプロセスまで明確にする手法ではない。

このような課題に対し、スマートフォンのGPS機能で調査対象者の移動軌跡を収集するとともに移動目的や利用交通手段を把握できるプローブパーソン（Probe Person; PP）調査は、移動者が能動的に発信する情報を取得することができるアクティブデータであり、かつ、回答結果を即座に利用できるという利点がある。加えて、災害発生後に紙ベースのパーソントリップ調査を複数日にわたって実施することは容易でないことから、PP調査のようなICTデバイスを活用した簡便な調査は、災害復旧期間中の調査としての親和性が高いと考えられる。また、PP調査単体ではトリップの取りやめやトリップの時間的・空間的変更により生じた潜在需要を捉えることは難しいが、PP調査と選好意識（Stated Preference; SP）調査を組合せることにより、これらの情報を一定程度捉えることが可能となる。

以上の背景を踏まえ、本研究においては、トリップの取りやめや交通手段の変更、目的地の変更などといった災害及び復旧に伴う交通変容を観測し、応急的な交通サービスの設計・運用に活かすことを目的とした2種類のPP調査を試行的に実施した結果を報告し、災害復旧段階におけるPP調査実施の有効性について論じる。具体的には、まず、平成30年7月豪雨の被災地域の居住者及び通勤通学者を対象に実施した発災後3ヶ月間のPP調査結果を報告する。次に、応急的な交通サービスの利用意向を捉えるためのPP調査とSP調査を組み合わせた調査結果について報告する。これらの試行結果をもとに、今後の災害時調査におけるPP調査の役割やその実現に向けた課題を整理する。

ここで、本稿において2つのPP調査を実施した背景について述べる。本来的には発災後からPPとSPを組み

合わせた調査を継続的に実施すべきであったが、予測不可能な大規模災害に対し、SP調査の設計や実施体制等の仕組みの構築が整わなかったため、初動として、移動目的や利用交通手段が把握可能なPP調査を先行実施した。その後、追従的にPP調査の被験者へのSP調査を実施することも可能であったが、災害直後で無償協力の被験者が十分に確保できなかったことや、SP調査においては、災害復旧段階における個人の移動の文脈が非常に重要であり、PP調査からの時間経過や交通ネットワークの復旧状況を鑑み、5章で述べるアプローチによるPPとSPを組み合わせた2つ目の調査を実施した。

2. 研究対象とした災害事例

本研究では、平成30年7月豪雨における交通ネットワークの寸断とその復旧過程を取扱う。この事例では、西日本を中心に各地で土砂災害や河川氾濫による洪水などの甚大な被害をもたらした。

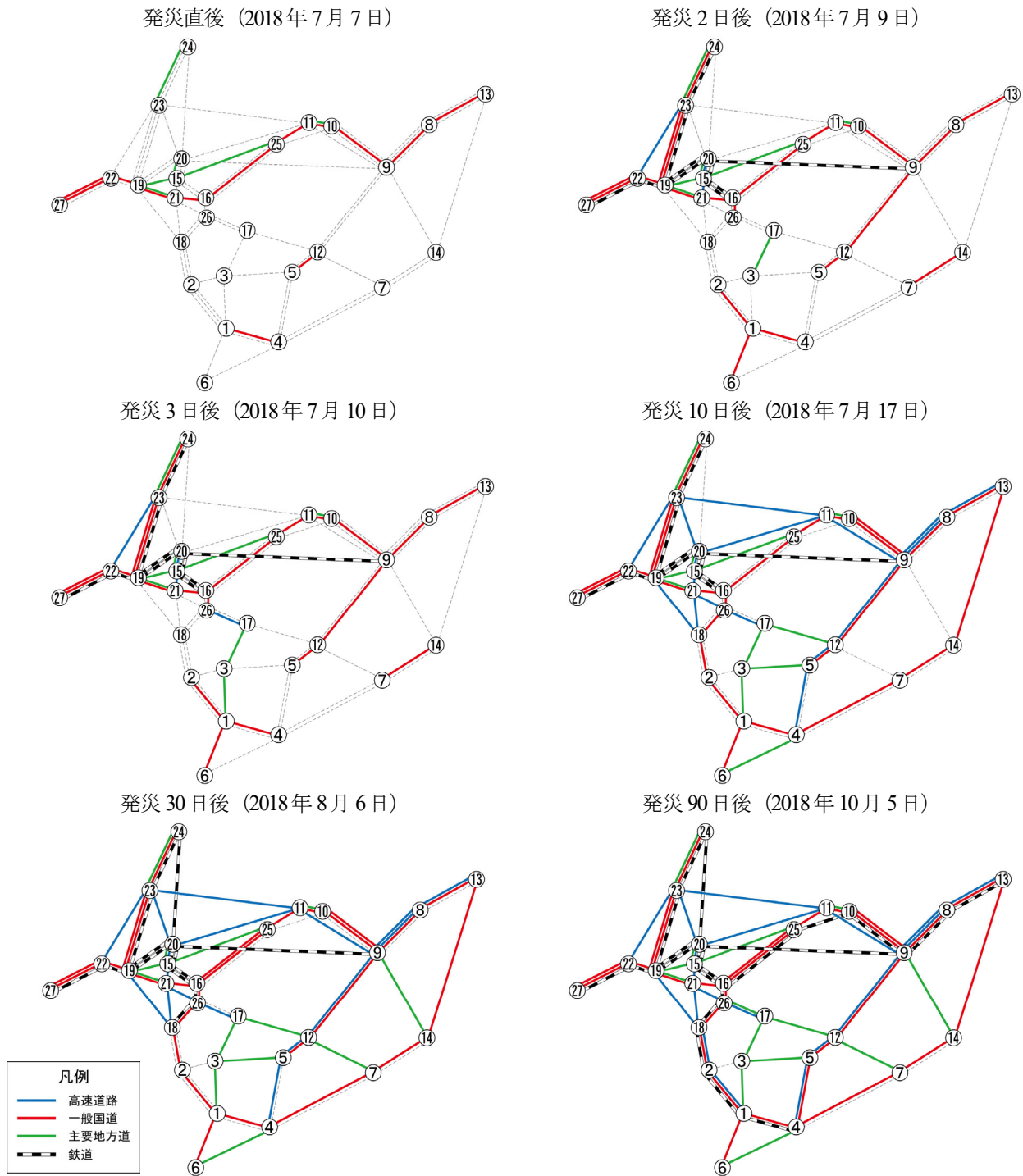
図-1に災害発生後の広島・呉・東広島市都市圏における道路・鉄道の復旧過程を示す。鉄道に関してはJR西日本広島支社管内全域で2018年7月7日始発より運行を見合わせ、発災後最大32業者115路線で運転休止となった⁷⁾。その後、山陽新幹線がいち早く復旧し、その後都市圏内西部の復旧が進んだが、同年9月9日に都市圏内の全区間（広島～白市間）が復旧、JR呉線は同年12月15日に全線復旧となった。

道路に関しては、発災後NEXCO西日本管理の高速道路では74区間、直轄国道では68箇所が通行止めとなり、その他の道路では補助国道92箇所、県道・政令市道では673箇所と、膨大な箇所での通行止めが発生した⁸⁾。その後、東広島呉道路が同年7月10日、山陽自動車道が7月14日に復旧するなど、高規格の路線から徐々に復旧が進んだが、広島～呉間を連絡する広島呉道路については被害が特に甚大であったため、全線復旧は同年9月27日となっている。

以上で整理したとおり、道路・鉄道とも復旧期間が数ヶ月に及んでおり、その間段階的にネットワークが形成されてきたことが確認できる。特に呉市においては周辺の鉄道・道路が寸断したことで一時的に孤立したことに加え、その後も広島方面とのネットワーク復旧に時間を要したことから、呉市関連の交通行動に大きな影響を及ぼしたことが想定される。

3. 交通網復旧段階におけるプローブパーソン調査の実施

ここでは、平成30年7月豪雨の被災地域である広島・呉・東広島都市圏の居住者及び通勤通学者を対象に、



凡例

- 高速道路
- 一般国道
- 主要地方道
- - - 鉄道

《ゾーニング》

ID	Zone	ID	Zone	ID	Zone
1	呉市呉地区	10	東広島市八本松地区	19	広島市中区
2	呉市天応地区	11	東広島市志和地区	20	広島市東区
3	呉市焼山地区	12	東広島市黒瀬地区	21	広島市南区
4	呉市広地区	13	東広島市豊栄・福富・河内地区	22	広島市西区
5	呉市郷原地区	14	東広島市安芸津地区	23	広島市安佐南区
6	呉市音戸地区	15	安芸郡府中町	24	広島市安佐北区
7	呉市安浦地区	16	安芸郡海田町	25	広島市安芸区中野地区
8	東広島市高屋地区	17	安芸郡熊野町	26	広島市安芸区矢野地区
9	東広島市西条地区	18	安芸郡坂町	27	広島市佐伯区

図-1 広島・呉・東広島都市圏における交通ネットワーク復旧の変遷

資料：広島国道事務所⁹⁾，広島県¹⁰⁾，JR西日本¹¹⁾資料をもとに筆者作成

表-1 ボランティア PP 調査の概要

調査期間	2018年7月27日(金)～2018年10月31日(水)の約3ヵ月間
調査対象	呉市, 東広島市, 広島市(安芸区・安佐北区), 広島県安芸郡の居住者・通勤通学者
被験者数	28名(期間中1回以上参加した方)
募集方法	関係者への直接依頼及び Web サイト上での一般公募

表-2 分析期間と交通ネットワークの概況

分析期間	交通ネットワークの概況※
1 7月27日～8月1日	JR山陽線・呉線不通(海田市駅～三原駅) JR呉線代行バス[広-広島・呉-広島]運行(7.21～8.19)
2 8月2日～8月17日	JR呉線復旧[坂駅～海田市駅](8.2～)
3 8月18日～9月8日	JR山陽線復旧[瀬野駅～海田市駅](8.18～)
4 9月9日～9月26日	JR呉線復旧[呉駅～坂駅](9.9～)
5 9月27日～10月31日	広島呉道路復旧(9.27～)

※広島市・呉市間周辺の交通ネットワークの概況のみを示す。

交通網復旧期間中の PP データを取得し、復旧段階に応じた行動変容の時系列変化を検証した。なお、本調査はボランティアによる無償協力のもと実施したことから、以降本調査を「ボランティア PP 調査」と表記する。

(1) 調査手法

調査にあたってはスマートフォンを活用したプローブパーソン調査用アプリケーション(株式会社トランスフィールド開発)を活用した。当該アプリケーションは、個人のスマートフォンを活用し、移動時に起動・調査開始の操作を行うことで、トリップの位置及び時刻等の情報を取得することが可能である。また、当該トリップの目的や移動手段の変更時には交通モードを回答する仕様となっており、交通機関の乗換実態も含めた利用交通手段の状況を把握することができる。また、調査翌日の正午には管理サーバーに日単位のトリップデータがアップロードされるため、即時性が高い点もメリットである。

(2) 調査期間

本調査は、発災3週間後より一部の被験者から調査を開始し、その後段階的に被験者を拡大し、同年10月末までの約3ヵ月間実施した。

(3) 被験者の募集

被験者は表-1に示す通りとした。いずれもボランティアによる無償協力のもと実施し、調査期間中に延べ28名の被験者が獲得できた。

(4) 取得データの概要

約3ヵ月間に28名のボランティア被験者の協力を得た(図-2)。また本調査は、当初関係者らによる調査を

先行着手し、8月30日に一般公募に拡大した(図-3)。

4. ボランティア PP 調査結果

(1) 復旧過程における移動需要の変化

PP 調査結果より得られる位置情報及び移動速度を地図上にプロットすることで、交通ネットワークの復旧段階毎にの行動変容の実態を概観する。分析期間の考え方を表-2に示す。

今回の豪雨災害では、呉市と広島市を結ぶ広島呉道路及び JR 呉線が土砂災害により寸断されたことから、ここでは主に呉・広島周辺のエリアに着目して整理を行う。

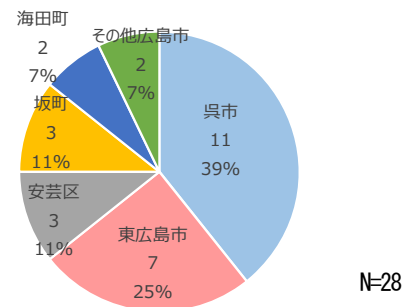


図-2 ボランティア PP 被験者の居住地内訳

総トリップ数: 1,881

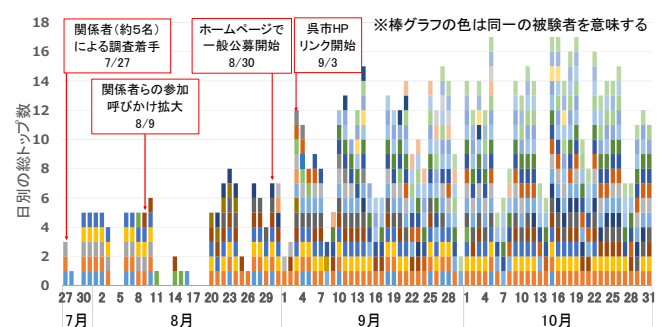


図-3 ボランティア PP の日別トリップ数の変化

なお、本分析においては、データクレンジングを行わず、生データでの分析を行った。

a) 期間 1: JR 呉線(坂～海田市)復旧前

鉄道復旧前の段階においては、道路についても多くの区間が通行止めとなっており、広島・呉間の移動経路が限定的であることが確認できる(図-4)。また、国道31号及び広島熊野道路において、速度10km/h未満の区間が生じているほか、小屋浦～坂間では国道31号の速度低下が著しい。

b) 期間 2: JR 呉線(坂～海田市)復旧後

JR 呉線(坂～海田市)の復旧以降は、図-5に示す通り、鉄道による移動が再開されている。また、当該区間に並行する国道31号の速度は概ね20kmから50km/h程

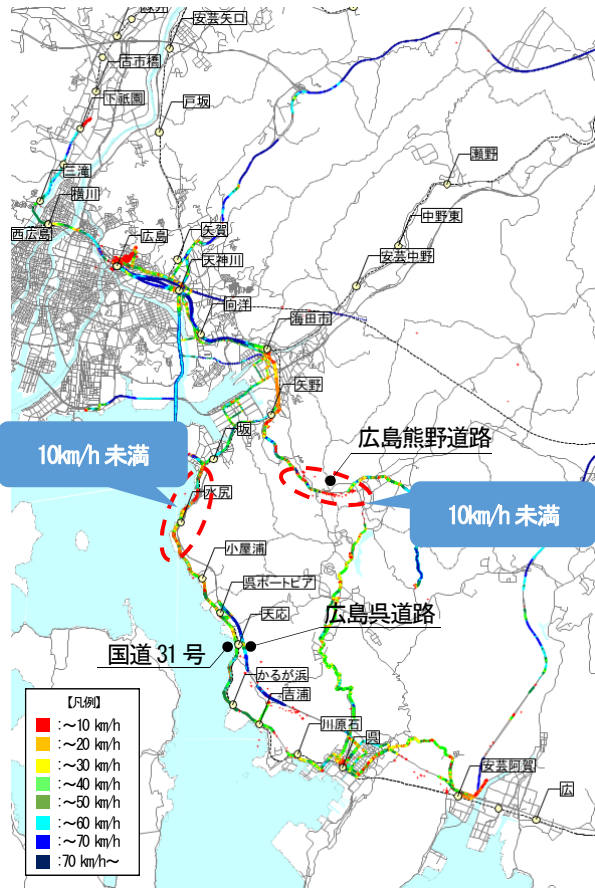


図-4 期間 1 の速度分布

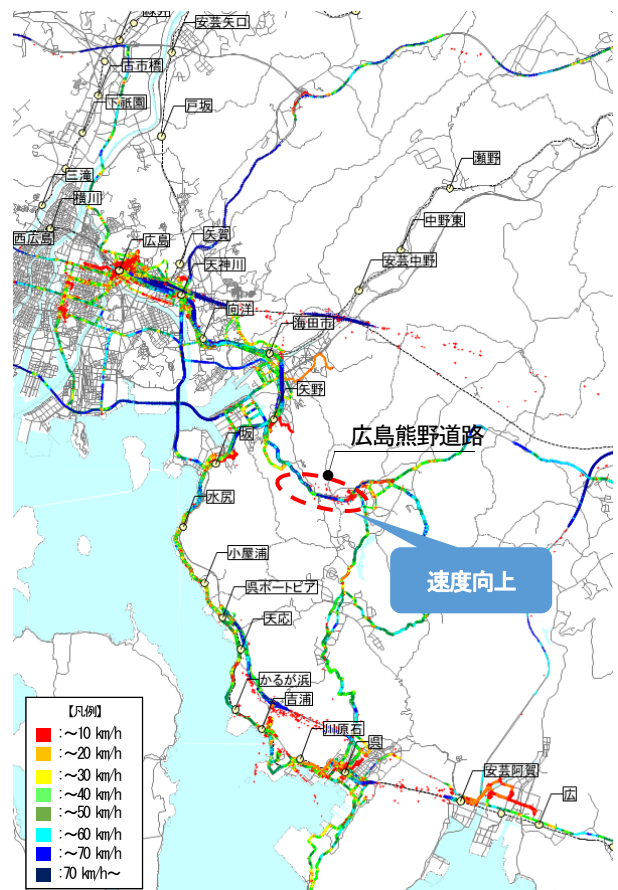


図-6 期間 3 の速度分布

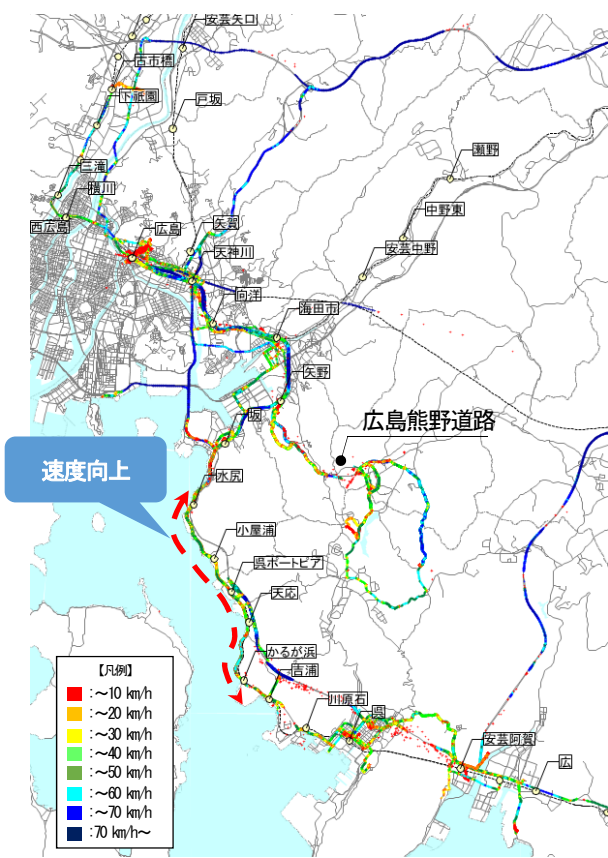


図-5 期間 2 の速度分布

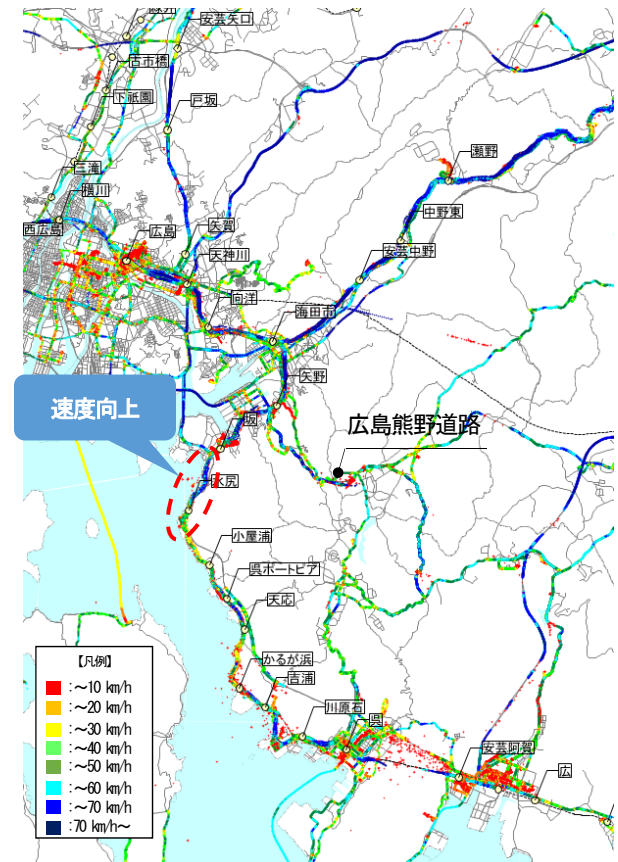


図-7 期間 4 の速度分布

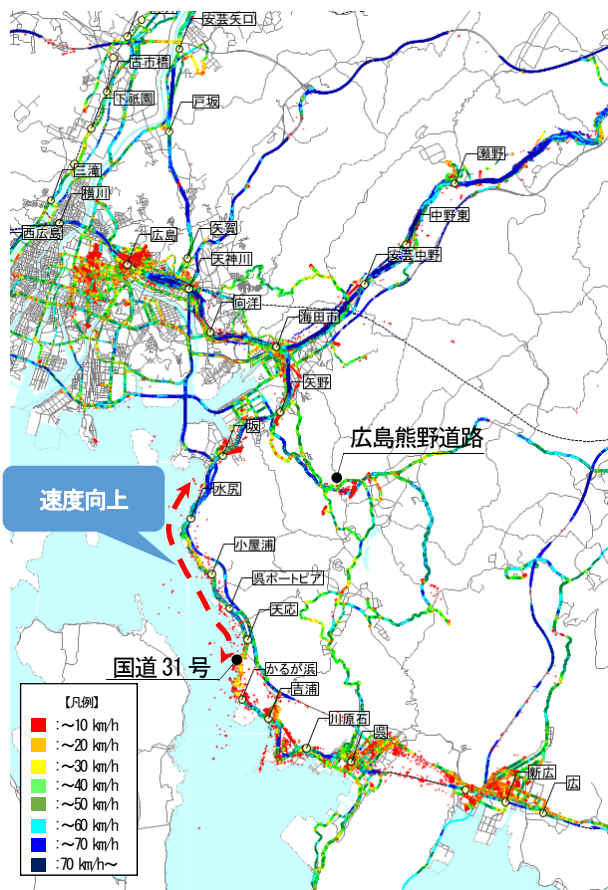


図-8 期間5の速度分布

度まで向上している。これは、鉄道の復旧により、発災後から一時的に自家用車利用に転換していた層が再び鉄道利用に戻った可能性が考えられる。

一方で、期間1においても低速区間が散見される広島熊野道路では、期間2でも依然として低速区間が残存しており、更に速度が悪化している箇所も見受けられる。これは、鉄道の復旧に伴い、坂町方面へ広島熊野道路を利用しアクセスする移動方法が新たに発生したこと起因しており、このように、鉄道復旧によって道路への負担が増加している区間も見受けられる。

c) 期間3: JR山陽本線(瀬野～海田市)復旧後

JR山陽本線(瀬野～海田市)復旧以降は、山陽自動車道の料金割引等の広域迂回施策が展開された時期と重なったこともあり、図-6に示す通り広島熊野道路の旅行速度向上が確認できる。なお、東広島方面のプロット数が増加しているのは、同時期から被験者を増員したこと起因する。

d) 期間4: JR呉線(呉～坂)復旧後

JR呉線(坂～海田市)の復旧以降は、図-7に示す通り、呉市中心部から広島市まで鉄道で連結されたことにより鉄道の分担率が拡大し、並行する国道31号(坂町水尻駅付近)の速度向上が確認できる。

e) 期間5: 広島呉道路復旧後

広島呉道路の復旧以降は、図-8に示す通り、広島呉道路と国道31号の適正な分担が図られたことで、国道31号の速度向上が確認できる。

(2) 呉広島市間の通勤・帰宅移動時間の変化

a) 移動時間変化

交通ネットワークの復旧と広島・呉間の移動時間の変化を分析することを目的に、呉市居住の3名の被験者を対象に、呉市と広島市間の通勤・帰宅目的の移動時間を時系列で分析した。災害発生後の復旧段階において、通勤・帰宅の目的移動は、取りやめが困難なトリップであり、移動手段の変更など代替手段による移動を行うため、ネットワークの復旧に対する需要側の顕著な変化が現れることが想定される。

3名の被験者毎の起終点間の通勤及び帰宅の移動時間(図-9)は、多くの交通インフラが寸断されている発災直後では、日変動がどの被験者においても大きく、一方で、ネットワークの復旧が進むにつれて、移動時間のばらつきが縮小している傾向が確認でき、特にJR呉線(呉～坂)が復旧した9月9日以降に移動時間のばらつきが顕著に縮小している。これは、平均移動時間や標準偏差からも確認することができる(図-10、図-11)。当時の移動に関する被験者へのヒアリングによると、復旧期間初期は、道路の渋滞状況等の不確実性に対して、各方面から情報収集を行い、早く自宅を出発するなどの対応を行っていたことが確認されている。また、被験者1、3は復旧段階で鉄道を利用することが可能となったことで、標準偏差が小さくなっており、鉄道は、時間信頼性の高い交通手段であることが伺える。

b) 移動手段の変更について

災害復旧時における供給側の応急的な交通サービスを適切に設計・運用するためには、需要側の交通手段の変更や目的地の変更といった、復旧段階毎の行動変容の把握が重要となる。ここでは、任意の被験者を対象として、事例的にその変化を確認し、PPデータの有効性について考察する。結果を図-12に示す。

対象とした被験者は、期間1においては呉・広島間のJR呉線の代行バスを利用し通勤・帰宅目的の移動をしていた。その後期間2においてJR呉線(坂～海田市間)が復旧したことに伴い、代行バスの運行見直しが行われ、JR坂駅からは鉄道利用に移動手段が変更、期間4においてJR呉線呉駅～坂駅間が復旧したことで、災害発生前の鉄道利用に移動手段が戻ったことが確認できる。

以上確認したように、ボランティアPP調査を実施することにより、新たな交通サービスの供給に伴う行動変容のモニタリングが可能になる。また、一定の標本数の調査が実施できれば、観測された行動変容結果に基づき、

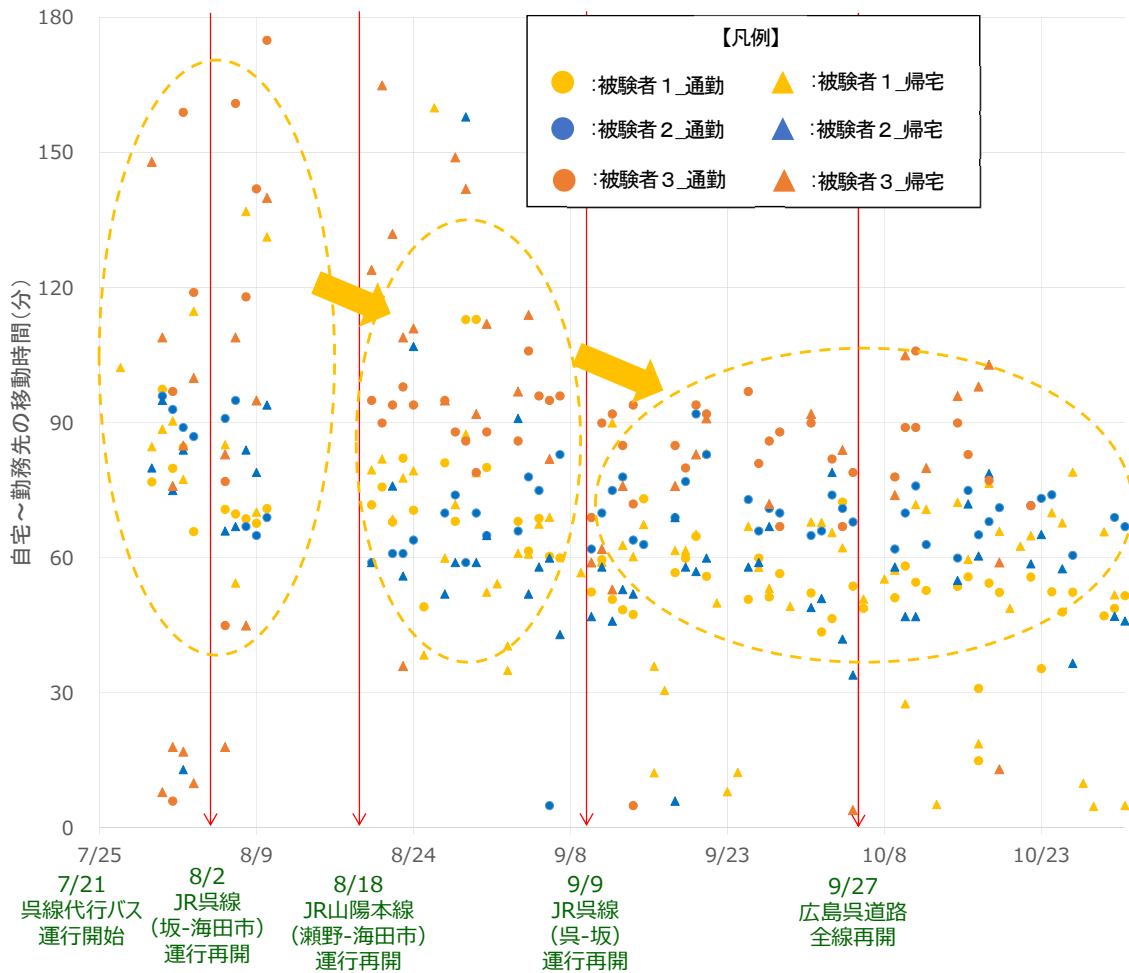


図-9 広島-呉間の移動時間変化

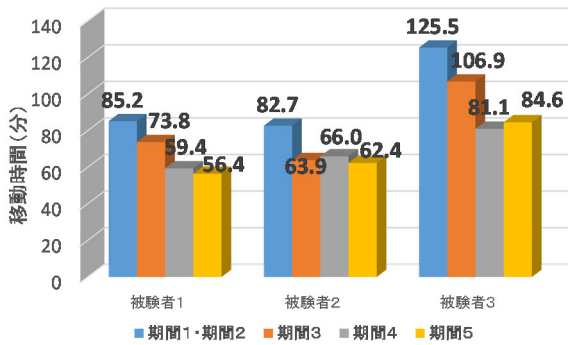


図-10 復旧段階別の平均移動時間変化

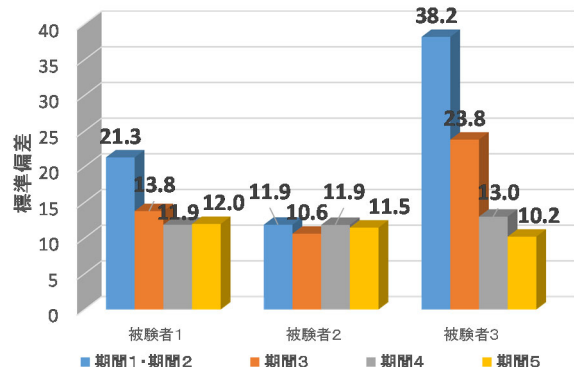


図-11 復旧段階別の移動時間の標準偏差

次の交通サービスを適応的に改善する目的で活かすことも可能である。関連して Manski (2011, 2009)^{12), 13)}は、政策実施の反応が事前に十分に予測できない場合、様々な対策を試行的に実施し適応的に介入内容を修正することがリグレット最小化基準の観点から望ましいことを示している。とりわけ災害等、対策を実施した場合の反応が十分に予測できない状況においては、対策実施の結果を観測し、次の対策に反映させるプロセスが重要になる。このような適用的な対策を実施するためには、トリップの取りやめや出発時刻、交通手段、目的地の変更などをモ

ニタリングすることが必要不可欠であり、ボランティア PP 調査をはじめとした、比較的簡易かつ長期間の行動調査を早急に実施できる体制を事前に整えておくことが重要といえる。

5. 災害時需要データ把握調査の実施

5.1 調査目的

ボランティア PP 調査においては、災害時の需要側の交通行動データを継続的に取得することで、災害発生か

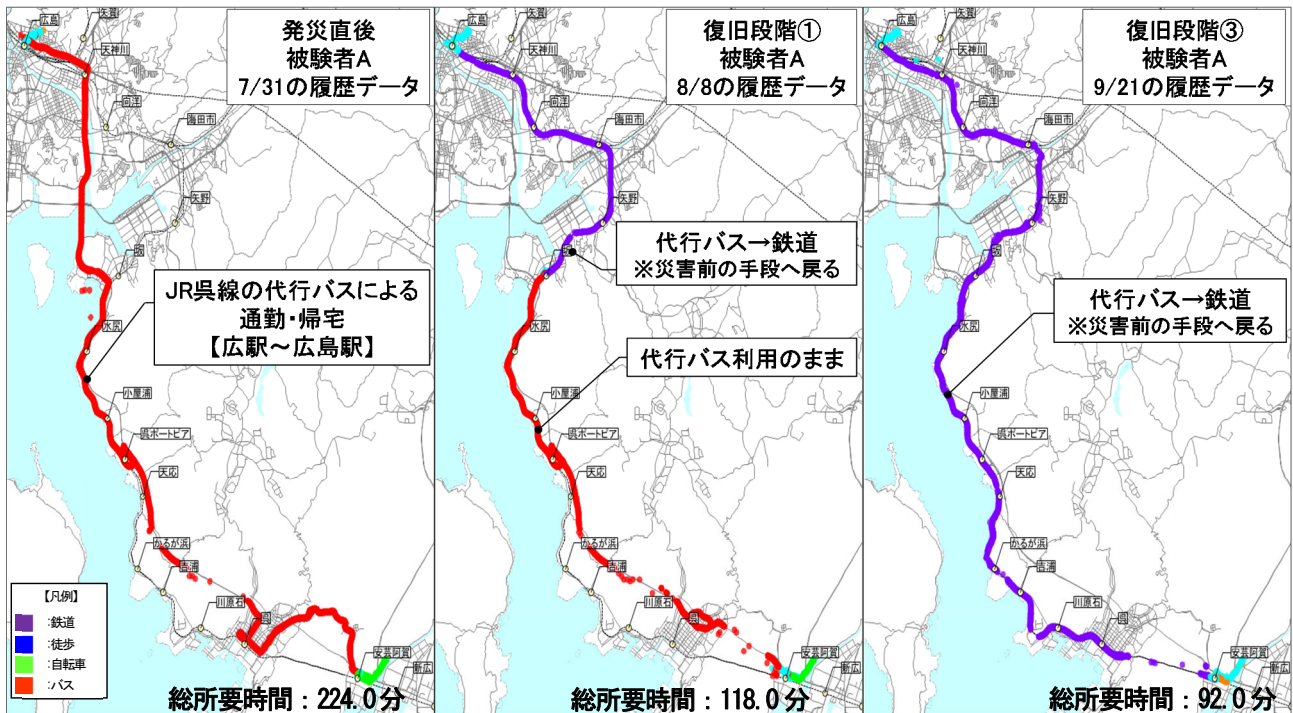


図-12 被験者 A の移動手段の変化

らインフラ復旧までの通勤・帰宅の交通行動の実態を捉えることができた。一方、ボランティア PP 調査は行動変容をモニタリングする上で有用であるものの、PP 調査単体では新たな移動サービスが導入された場合の行動変容の意向等については捉えることが難しい。その点、PP 調査と SP 調査との組合せにより、これらの情報を一定程度捉えることが可能となる。

また、PP 調査と SP 調査の組合せは、SP 調査自体の精度の改善にも寄与する点にも着目したい。SP 調査では、あくまでも実験者が提示する仮想状況に対して被験者が表明した選好であり、文脈要因の影響が抜け落ちる等に起因して、実際の顕示選好と一致しない可能性が高いことが指摘されている（例えば Fifer et al., 2014¹⁴; Train and Wilson, 2008¹⁵）

さらに、無制約バイアスや肯定バイアス、正当化バイアス、政策操縦バイアスといった SP 調査特有のデータの偏りが生じる可能性があるため¹⁶、できるだけ実際の状況に近い仮想状況を被験者に認識させ、バイアスを低減させることが信頼性の高い臨時移動サービス需要の推計においては重要となる。例えば、定金ら（2010）¹⁷は上記の課題意識のもと、PP 調査によって被験者の行動軌跡を取得し、取得した軌跡データと WEB ダイアリーデータから SP 対象トリップを抽出して SP アンケート調査を実施するアプローチを提案し、SP 設問の現実感の向上を図った。

本研究においても定金らと同様のアプローチを援用し、PP 調査により取得した特定の交通行動結果を被験者に提示し、「当該行動を行う際に、仮に新たな交通施

策が実施された場合、行動変容が生じたか否か」を回答させる SP 調査を実施した。つまり、被験者が実際にとった行動を想定した状態で仮想的な選択肢を追加した場合の選択行動を検証することで、バイアスの低減を図っている点に特徴がある。なお、以上のような顕示選好情報に基づく SP 調査の設計については多くの既存研究がある。例えば Rose et al.(2008)¹⁸は、実際に行ったトリップ回答値を得た後、回答値を増減させることにより SP の水準を設定する SP 調査を実施している（このような属性の設定手順は *pivoting* と呼ばれる）。また、Train and Wilson(2008)¹⁵は、RP の一部の属性を変化させた上で選好を尋ねる *sp-off-tp* 調査を提案し、貨物需要予測に適用している。Fowkes and Shinghal(2002)¹⁹は、以前の SP 設問に対する回答結果に基づき次の SP 設問の属性を決定する *adaptive SP* 調査を提案し、貨物需要予測に適用している。さらに近年では、PP 調査アプリに SP 調査を組み込んだ、意思決定の文脈依存性に配慮した調査ツールの開発も進んでいる²⁰。

以上で整理した通り、既に顕示選好情報を軸に SP を適応的に設計する調査手法は様々な文脈で用いられている。しかしながら、アプリ上における実装は Seshadri et al.(2019)²⁰を除き筆者の知る限り存在せず、また、災害時における臨時交通サービス設計に応用するという着想は本研究独自の貢献といえる。特に災害時における交通行動は、食料・飲み水の確保や友人・知人の復旧作業の手助けといった文脈依存性の高い行動が発生しやすい点を踏まえると、顕示選好を軸に SP 調査を実施するフレームを採用することが望ましいといえる。以降、ボランテ

ピア PP 調査との区別のため、PP+SP 調査と表記する。

5.2 調査概要

(1) 調査手法

PP+SP 調査については、まず PP 調査を 14 日間連続で実施し、その後、期間中からランダムに選択したある特定の 1 日の行動を提示した上で SP 調査を 1 度実施する形式を取った。なお、使用した PP 調査アプリケーションはボランティア PP 調査と同様である。

本来は、復旧期間中に PP 調査を行い当時に思い出させることなく SP 調査を実施すべきであったが、復旧期間中の被験者への負担等を考慮し、復旧後の平成 30 年 12 月～平成 31 年 1 月末にかけて調査期間を 3 期間設けて、被験者が都合良い期間を選択し PP 調査を実施した。

(2) 調査対象者

調査対象者はボランティア PP 調査からエリアを拡大し、呉市、東広島市、広島市安芸区・安佐北区、安芸郡府中町・海田町・熊野町・坂町に居住または通勤・通学等で移動する人とし、ネットモニターから募集した。

なお、先の 3 カ月間 PP 調査に関しては、調査への協力意識の高い被験者が集まったことからドロップ率が比較的低かったが、本調査に関しては応募に対してドロップ率が高く、実稼動は 6 割弱となり、最終的に PP 調査と SP 調査を実施したモニター（有効回答数）は表-3 に示す通り 204 名となった。

(3) 取得データの概要

参加モニターの属性は図-13～16 に示す通りであり、スマートフォンアプリによる PP 調査がベースであるこ

とから、スマートフォンユーザの多い 20 代から 40 代が 8 割を占める。職業は会社員が最も多く、外出頻度は週 6 日以上が 8 割となっている。

表-3 調査サンプル数

	PP 調査依頼数	PP 調査稼動数	SP 調査依頼数
モニター数	389 名	217 名	204 名

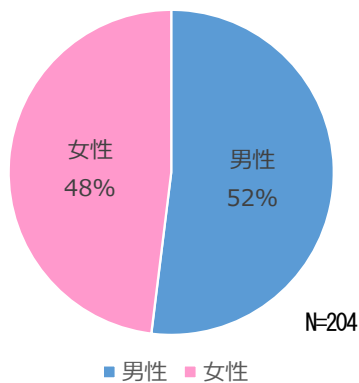


図-13 PP+SP 調査被験者の性別内訳

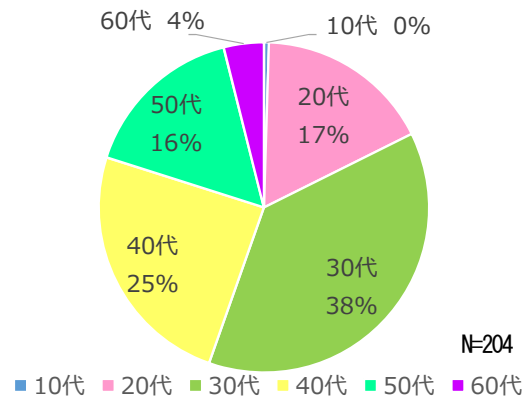


図-14 PP+SP 調査被験者の年代内訳

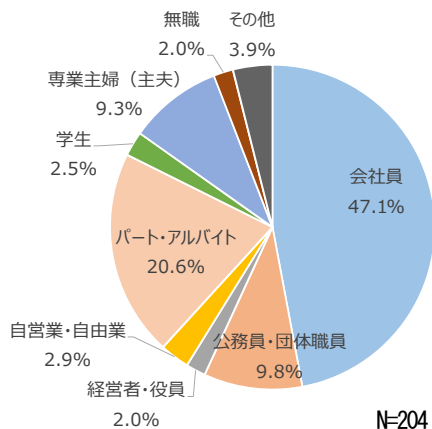


図-15 PP+SP 調査被験者の職業内訳

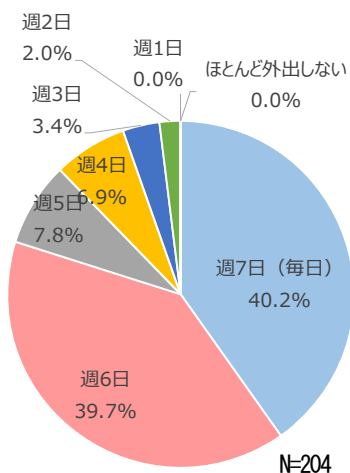


図-16 PP+SP 調査被験者の外出頻度内訳

(4) SP 調査票の設計

PP 調査結果の中からランダムに選択したある特定の 1 日の行動に対して、表-2 の 5 期間のそれぞれのネットワーク整備状況においても変わらず移動していたかどうか把握できる設問を設定した。選択枝は図-17 のフローで示すものとし、PP 調査で得られる移動目的別（通勤・登校、業務、買物、娯楽、食事）にデータ取得を行った。また、同様のネットワーク時に新たな交通手段として「他者との自家用車相乗りサービス」と「災害時 BRT（専用の走行空間を有し速達性・定時性が高い、バスによる輸送システム）」が整備された場合の利用意向についても把握できる設問を設定した。それぞれのサービス水準は上述した pivoting 手法を援用し、表-4、表-5 の通り設定した。

5.3 PP+SP 調査結果

(1) 交通行動選択結果

PP+SP 調査結果より得られた被験者毎に異なるある 1 日の日常的な交通行動（トリップ別・目的別）に対して、復旧段階毎の交通行動選択結果を以下に示す。

復旧が進んでいない期間 1 の段階においては、移動を取りやめる傾向が高いが、交通ネットワークの復旧に伴い、取りやめ行動は減少する傾向が見られる（図-18）。目的別にみると、出勤・登校、業務については（図-19、図-20）、買物、娯楽、食事（図-21、図-22、図-23）に比べると、復旧初期段階において移動を取りやめる割合が低く、出発時刻の変更、交通手段の変更、経路の変更割合が高いことから、どうしても移動の取り止めが難しく、何らかの手段で訪問しなければならぬ、目的地の代替性が低い移動であることが推測できる。

一方、買物については最も早い期間 1 から、娯楽、食事については期間 2 以降において目的地を変更する被験者がみられ、これらの目的は、移動目的が達成されれば、特定の目的地への移動の必要性が低い目的であると考えられる。

これらの需要側のデータより、発災直後においては、出勤・登校では通常時の 3 割程度、買物では 7 割程度の移動の取りやめがみられることから、例えば在宅勤務の導入可能性や代替施設への誘導など、復旧期の交通施策を検討する上での参考となることが期待される。

(2) 災害時の応急的なサービスの利用意向

平成 30 年 7 月豪雨では、都市間を結ぶ鉄道や高速道路の寸断により通常時の交通手段による移動が困難となり、発災時や復旧初期段階では移動の取りやめも発生していた。ただし、移動目的によって災害時の交通行動選択結果は異なるため、移動の必要性が高い交通行動と、移動の必要性が低い交通行動で災害時の応急的なサービ

スとして、相乗りサービスと災害時 BRT を例に、仮に復旧期間中に導入されていた場合の利用意向について分析を行った。

a) 移動の必要性が高い交通行動

移動の取りやめも少なく、特定の目的地への移動の必要性が高い出勤・登校目的の移動について（図-24、図-25）、災害時の応急的なサービスの発災時から復旧段階における利用意向について分析を行った。

両サービスともに発災直後の利用意向が高く、復旧に伴い利用意向が低下していることから、発災直後の移動困難に対するサービスの必要性が伺える。

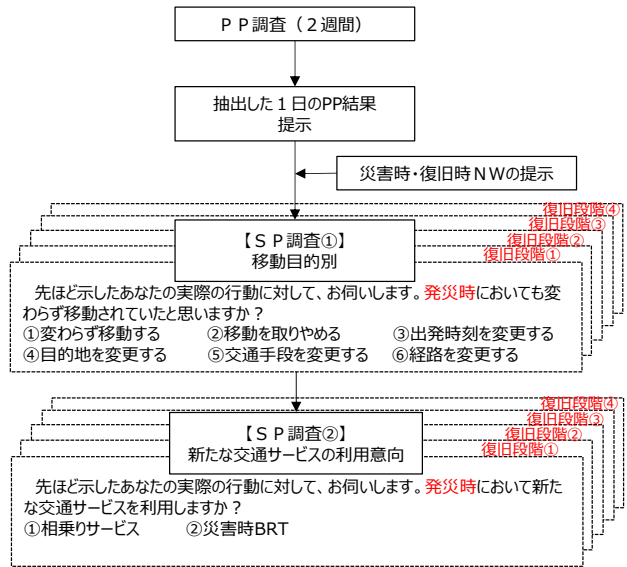


図-17 SP 調査票作成フロー

表-4 相乗りサービスのサービス水準について

所要時間	PP 調査結果から得られた各トリップの所要時間に対してランダムに-20%~+50%を提示
料金	トリップ毎のモニター自身の回答結果に対してランダムに-50%~+50%を提示
同乗者	「知り合い」と「見ず知らずの人」をランダムに提示
車種	乗用車」と「大型車」をランダムに提示

表-5 災害時 BRT のサービス水準について

所要時間	PP 調査結果から得られた各トリップの所要時間に対してランダムに-20%~+50%を提示
料金	トリップ毎のモニター自身の回答結果に対してランダムに-50%~+50%を提示
座席	「自由席」と「指定席」をランダムに提示

また、サービスの利用意向は、災害時 BRT のほうが比較的高い傾向がみられるが、これは相乗りサービスについては、馴染みがないこと、今回の災害で災害時 BRT が運行し、被験者にとってイメージしやすかったことが考えられる。

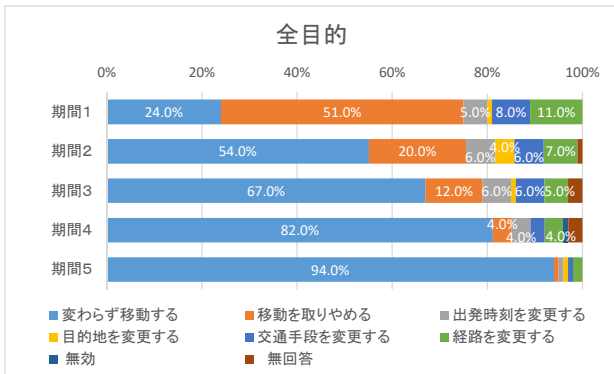


図-18 時点毎の交通行動結果 (全目的)

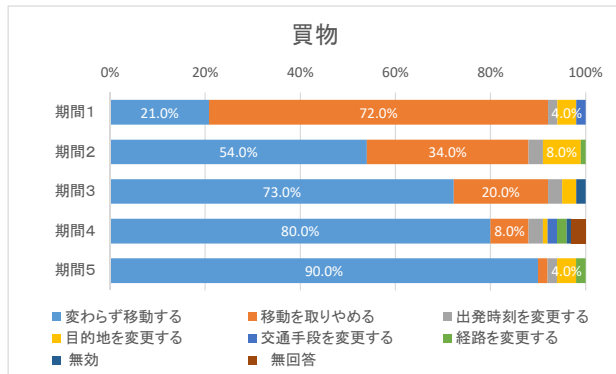


図-21 時点毎の交通行動結果 (買物)

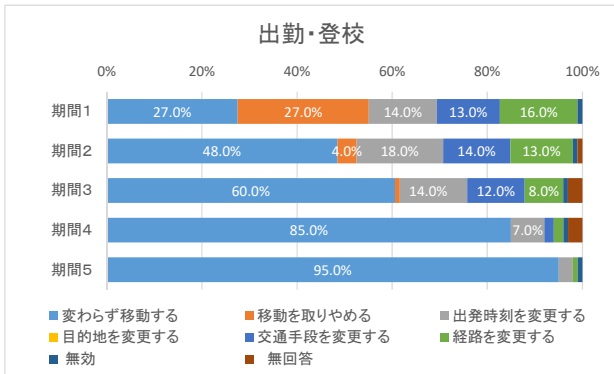


図-19 時点毎の交通行動結果 (出勤・登校)

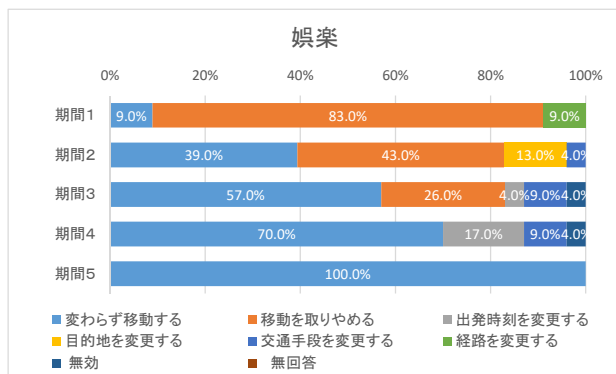


図-22 時点毎の交通行動結果 (娯楽)

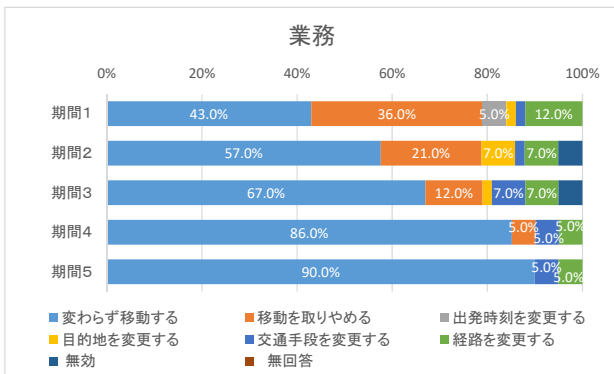


図-20 時点毎の交通行動結果 (業務)

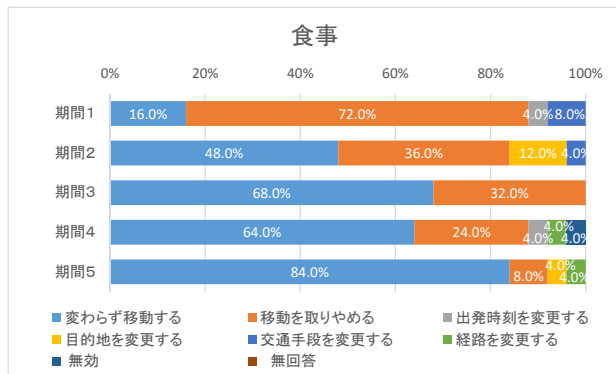


図-23 時点毎の交通行動結果 (食事)

b) 移動の必要性が低い交通行動

移動の取りやめの割合が比較的高いことから、特定の目的地への移動の必要性が低いと考えられる買物目的について (図-26, 図-27), 災害時の応急的なサービスの発災時から復旧段階における利用意向について分析を行った。

両サービスともに、出勤・登校と比べると発災直後の利用意向が低く、発災直後から復旧段階における利用意向の低下もみられない。以上を踏まえると、移動の必要性が低い交通行動については、応急的なサービスの利用意向は低いことが伺える。

6. 災害時 PP 調査の実現に向けた課題整理

本研究での2つのPP調査を通じて、災害時PP調査の実現に向けた課題について述べる。今回、発災から約3週間後に少人数で開始した調査は、段階的に被験者を拡大したものの、安定的に複数名のデータ蓄積が可能となったのは、約2ヶ月後の9月からであった。今回の調査は試行的な側面が強いことも相まって、実際の災害時交通マネジメントの場面において活用するには観測数が不十分であった。一方、災害対応の現場においては、誰がどこに何時動いたかといった需要側の動きが十分に把握することが難しく、不完全な情報下で意思決定をせざるを得ない状況が多々生じていたこともあり、詳細な需要側の動きを詳細に捉えるPP調査データの利用ニーズは高いものと考えられる。加えて、アプリ上で調査が完結するPP調査は、特に災害期間中の交通マネジメントと

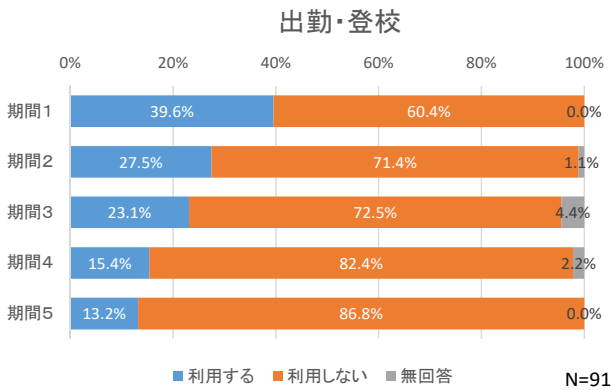


図-24 相乗りサービスの利用意向 (出勤・登校)

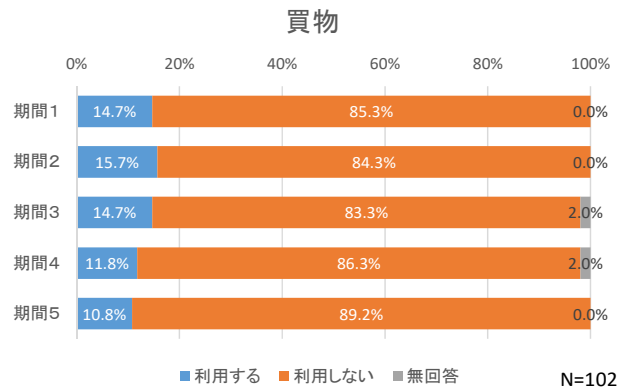


図-26 相乗りサービスの利用意向 (買物)

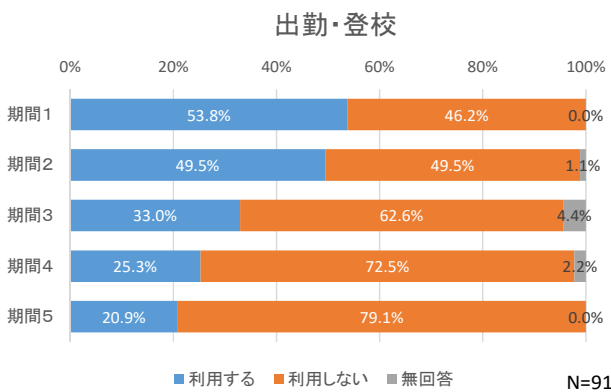


図-25 災害時BRTの利用意向 (出勤・登校)

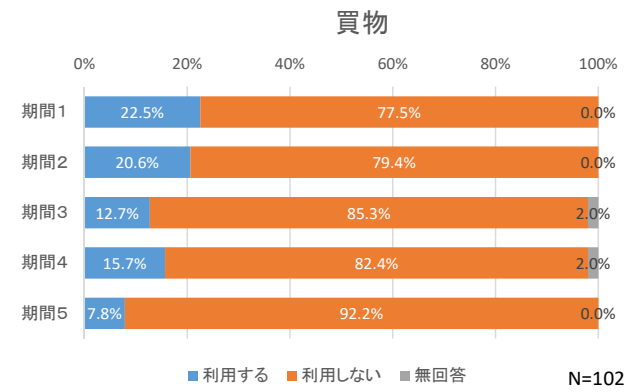


図-27 災害時BRTの利用意向 (買物)

いった緊急性の高い文脈において、翌日にはデータが利用できる原理からもリアルタイム性が高く、有用な調査形態と考えられる。

以上の PP 調査の利点を災害時交通マネジメントに活かすためには、以下の課題について今後検討を進める必要がある。第一に、災害時 PP 調査を実際の交通マネジメントに活用するためには、大学や民間会社による試行的な調査ではなく、災害対応の一環として正式に位置付け、災害発生直後から迅速にデータを蓄積することができる仕組みや体制の構築が重要であるといえる。第二に、現時点では発災直後の人命救助や物資輸送等の緊急性が高い移動需要が発生する状況下での交通サービスの設計のあり方についての知見が十分とはいえず、PP 調査データ取得から施策提案までの一連のプロセスを事前に整理・把握しておくことが重要である。第三に、復旧期間が長期に及んだことや、今回の調査においても調査の負担を理由に途中退出するモニターも存在したこと等を踏まえ、被験者の負担に配慮した継続性の高い調査手法の確立が今後の重要な課題といえる。例えば本研究で用いた PP 調査アプリは、トリップの開始と終了をマニュアルで操作してもらう形式のアプリであった。一方、RSG 社や Mobile Market Monitor 社の PP 調査アプリのように、

トリップの開始や終了、交通手段の判別等を自動化したアプリを活用することにより、被験者の負担を最小限に抑えた形で調査を実施する方向性が考えられる。第四に、PP と SP 調査を同一のアプリケーション内で完結できるフレームを構築するとともに、それらを平常時においても実装し、適切な調査手法を確立する知見の蓄積も重要な課題であると言える。

7. まとめ

本研究では、交通供給能力が低下する交通網復旧期間中において適切な交通マネジメントを実施するためには、トリップの取りやめや、交通手段の変更、目的地の変更などといった災害及び復旧に伴う行動変容を観測することが重要との考えのもと、2種類の PP 調査を試行的に実施し、そこから得られた知見について論じた。

第一に、交通網復旧過程において PP 調査を実施することにより、交通網の復旧に伴う交通手段の変更等の行動変容が詳細に把握できることを確認した。また、このような調査により、適応的な政策介入を繰り返し行い学習・改善する政策実施フレーム(Manski, 2011¹²)が採用できるようにする点を指摘した。適応的に改善を繰り返す政策実施フレームは、災害時をはじめとした、政策の効

果が事前に予測できない場面においては重要性が高いと考えられる。

第二に、PP 調査と SP 調査を統合した調査により、友人・知人の復旧作業の手助けといった観測が難しい文脈要因の影響を考慮した形で、応急的な交通サービスの利用意向を把握することが可能であることを指摘した。被験者に交通網被災時の状況を回顧してもらった上で応急的な交通サービスの利用意向を尋ねる PP+SP 調査を試行的に実施した結果、出勤・登校といった必須活動において災害時 BRT や相乗りサービスの利用意向が高いことなどを確認した。

PP 調査を実際の災害対応の場面において活用するためには、今後、被験者の調査回答負担とデータの質とのトレードオフを考慮した調査デザイン、災害時の PP 調査実施に係る各種制度設計、取得したデータのクリーニングや解析の自動化といった点について更なる検討を加える必要がある。

謝辞：本調査の実施に当たり、モニターの収集において「広島・呉・東広島都市圏災害時交通マネジメント検討会」の協力を、実査においては株式会社トランスフィールドの協力を得た。また、本研究の一部は、新道路技術会議「道路政策の質の向上に資する技術研究開発：AI 技術に基づく短期交通予測手法と総合的な交通需要マネジメントの研究開発」の一環として実施したものである。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Bengtsson, L., Lu, X., Thorson, A., Garfield, R. and von Schreeb, J.: Improved response to disasters and outbreaks by tracking population movements with mobile phone network data: a post-earthquake geospatial study in Haiti, *PLoS Medicine*, Vol. 8, No. 8, pp. 1-9, 2011.
- 2) Hara, Y. and Kuwahara, M.: Traffic monitoring immediately after a major natural disaster as revealed by probe data – A case in Ishinomaki after the Great East Japan Earthquake, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 75, pp. 1-15, 2015.
- 3) Kawasaki, Y., Kuwahara, M., Hara, Y., Mitani, T., Takenouchi, A., Iryo, T. and Urata, J.: Investigation of traffic and evacuation aspects at Kumamoto Earthquake and the future issues, *Journal of Disaster Research*, Vol. 12, No. 2, pp. 272-296, 2017.
- 4) 松村暢彦, 新田保次, 西尾健太郎: 交通規制による被災地域住民の自動車利用の変化特性, 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, pp. 697-700, 1996.
- 5) 本間正勝, 森健二, 木戸伴雄, 齋藤威: 大規模災害時の交通行動実態—阪神・淡路大震災を例として—, 土木計画学研究・論文集, No. 14, pp. 321-326, 1997.
- 6) 原祐輔, 松田耕史, 川崎洋輔, 三谷卓摩, 桑原雅夫: Probe と Tweet を用いたマルチソースによる潜在交通状態推定, 土木計画学研究・講演集, Vol. 51, CD-ROM, 2015.
- 7) 国土交通省鉄道局: 平成 30 年 7 月豪雨による鉄道の主な被害と復旧見込み, <http://www.mlit.go.jp/common/001280742.pdf>, 2019.
- 8) 国土交通省中国地方整備局: 平成 30 年 7 月豪雨関連の記録誌, pp. 45-83, 2019.
- 9) 広島国道事務所: 広島国道管内の通行止め箇所【第 1 報～第 22 報】, 広島国道事務所記者発表資料, 2018.
- 10) 広島県: 主な道路の通行可能区間マップ, <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/97/trafficmap.html>, 2018.
- 11) 西日本旅客鉄道株式会社: これまでの運転再開状況. http://www.westjr.co.jp/info/gouu_2018/, 2018.
- 12) Manski, C.F.: Choosing treatment policies under ambiguity, *Annual Review of Economics*, Vol. 3, pp. 25-49, 2011.
- 13) Manski, C.F.: Diversified treatment under ambiguity, *International Economic Review*, Vol. 50, pp. 1013-1041, 2009.
- 14) Fifer, S., Rose, J. and Greaves, S.: Hypothetical bias in stated choice experiments: Is it a problem? And if so, how do we deal with it?, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 61, pp. 164-177, 2014.
- 15) Train, K. and Wilson, W.W.: Estimation on stated-preference experiments constructed from revealed-preference choices, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 42, pp. 191-203, 2008.
- 16) Bonsall, P.: Transfer price data: Its definition, collection and use, In E. Ampt, A. Richardson, W. Birg (eds.), *New Survey Methods in Transport*, VNU Science Press, pp. 257-271, 1985.
- 17) 定金乾一郎, 小林勇介, 山中一平, 日下部貴彦, 朝倉康夫: プロブパーソン調査と SP 調査による新交通手段の導入可能性の分析, 土木計画学研究・講演集, Vol. 42, CD-ROM, 2010.
- 18) Rose, J.M., Bliemer, M.C.J., Hensher, D.A. and Collins, A.T.: Designing efficient stated choice experiments in the presence of reference alternatives, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 42, pp. 395-406, 2008.
- 19) Fowkes, A.S. and Shinghal, N.: The leeds adaptive stated preference methodology, Working Paper. Institute of Transport Studies, University of Leeds, Leeds, UK, 2002.
- 20) Seshadri, R., Kumarga, L., Atasoy, B., Danaf, M., Xie, Y., Azevedo, C., Zhao, F., Zegras, C. and Ben-Akiva, M.: Understanding preferences for automated mobility on demand using a smartphone-based stated preference survey: A case study of Singapore, Presented at TRB Annual Meeting 2019, Washington D.C., US, 2019.

(Received ??, ????)
(Accepted ??, ????)

IN DISASTER SITUATION BY USING PROBE PERSON SURVEY

Kenji HIRAI, Daisuke YAMASHITA, Daisuke YOSHINO and
Makoto CHIKARAISHI

In a large-scale disaster situation, transport management is essential particularly when the transportation network is disrupted over a wide area for a long period. For better management actions such as developing a temporary mobility service, it is necessary to monitor temporal and spatial changes in behavior and preferences in real-time as possible.

With particular focus on the landslide disaster caused by heavy rainfall in July 2018 in Hiroshima, this study conducted two probe person surveys in order to confirm the effectiveness of using probe person data for transport management in a disaster situation. The first probe survey was done for three months soon after the disaster, and behavior changes with the progress of network recovery were observed. The second probe survey was done together with the stated preference survey in order to estimate the potential transportation demand of temporary mobility services. Based on these two survey trials, we discuss on further utilization of probe person survey for a better transport management in a disaster situation.