

集中豪雨下において帰宅を決断する通勤者の 要因分析—平成23年台風第15号を事例として—

坂本 淳¹・藤田 素弘²

¹正会員 岐阜工業高等専門学校准教授 環境都市工学科 (〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑2236-2)

E-mail: sakamoto@gifu-nct.ac.jp

²正会員 名古屋工業大学大学院教授 工学研究科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)

E-mail: fujita.motohiro@nitech.ac.jp

災害時における通勤者の行動変更や適応状況を理解することは、災害による人的被害の最小化を考えるうえで重要なことである。本研究で事例とする平成23年台風15号は、特に9月20日の昼過ぎに名古屋市に強い雨をもたらした。鉄道の運休や避難勧告の発令などにより、通勤者の多くは帰宅開始時刻を平常時よりも早めたり、帰宅手段や経路を変更したりして豪雨の中を帰宅した結果、至るところで交通混乱が生じた。このような豪雨の中の交通混乱は二次災害の危険性が考えられるため、必ずしも適切な行動であるとはいえない。そこで本研究では、豪雨の中を帰宅するに至った要因を非集計ロジットモデルにより分析する。その結果、平常時の主要交通手段が公共交通である通勤者ほど、帰宅時刻を早めたりして豪雨の中を共用車などで帰宅していること等が明らかとなった。

Key Words : *adverse weather, downpour, travel behavior, typhoon, commuter*

1. はじめに

集中豪雨は道路の冠水や鉄道の運行見合わせ等の交通混乱をもたらし、その中で人々は不安を感じながら行動判断や変更を行う。このような場面に直面した際の人々の交通行動や適応状況を理解することは、災害による人的被害の最小化を考えるうえで重要なことである。

平成23年9月の台風第15号は、九州の南から北東へ進む9月20日(火)の日中に、日本付近に停滞する前線に向かって暖かく湿った空気が流入した結果、尾張東部は断続的に強い雨が降った(図-1)。当該地域では大雨警報、洪水警報、浸水害、土砂災害警報が5度に渡り発令され、鉄道はダイヤが乱れ、運休が相次いだ。特に名古屋市内は通勤者が集中しているため、日中の豪雨は通勤者の帰宅行動の変更をもたらした。

ところで、このような事態を通勤者は当日9月20日の朝の段階で予測できたのであろうか。尾張東部地域で読者の多い中日新聞の朝刊では、次のような記述が「きょうの天気」欄にある。

- ・ 台風15号周辺の湿った空気が流れ込んで、全般的に雨。三重南部や岐阜山間部を中心に、雷を伴って激しく降る所も。
- ・ 台風の当該地域への接近予報は9月21日であったこと

もあり、天気予報欄は小さく、ここから猛烈な雨量を予測することは難しいと考えられる。しかし、朝の通勤時間帯は名古屋市内で30ミリ以上の強い雨となり、その勢いは時間の経過とともに強くなり、正午から夕方にかけては同市内で50~75ミリとなっている。同日の中日新聞の夕刊の一面のタイトルは大きく、「名古屋40万人 避難勧告 大雨、天白など6区」となっており¹⁾、状況が一変している。翌日の朝刊では20日の被害が詳細に示されており、通勤関係については例えば以下のような記述が確認できる²⁾。

- ・ 名古屋市内への通勤者の多い高蔵寺駅では、駅地下道に大量の水が流入し、10分ほどで50センチに達した。
- ・ JR中央線の運休に伴い、名古屋発多治見行きに普通列車が名古屋駅に泊まったままで、乗客ら100人が車中泊となった。
- ・ 名古屋駅には帰宅する通勤通学者らが詰め掛け、20日夕方から混乱。駅前のタクシー乗り場には長い列ができて大混雑。

以上のように、20日は日中の豪雨により、通勤者の通勤行動に大きな影響があったことが確認できる。

本研究は、この豪雨時における通勤者の交通行動を対象とした分析を行う。通勤者を対象としたアンケート調

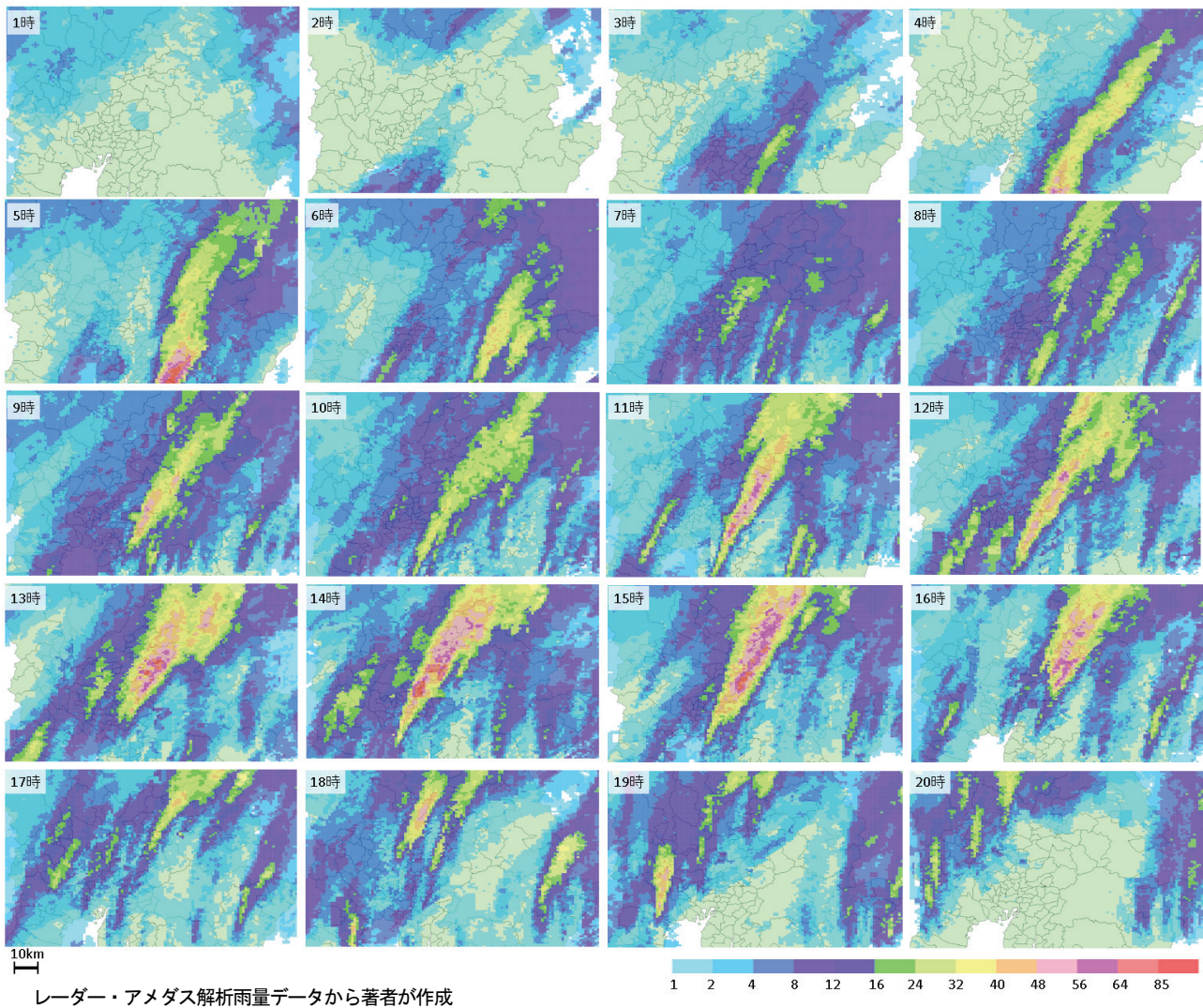


図-1 平成 23 年 9 月 20 日の時間雨量の推移

査結果と雨量データに基づき、激しい雨の中で帰宅を判断するに至った要因を明らかにする。

2. 本研究の位置づけ

自然災害下において、多くの旅行者は経路の変更、スケジュールの変更、および災害地域への移動の回避などの行動をとることで危機的な状況に適應する²⁾。

災害時におけるネットワークの寸断に対する旅行者の対応行動を分析した研究として、Caimsら³⁾はネットワークの寸断によって、人々は交通手段を変えたり、別々の目的の行動を統合したり、目的地を変更したりするが、最も共通な適應は移動経路と移動時刻の変更であると述べている。Golobら²⁾は、もし災害時に寸断された経路に平行した代替経路が多数ある場合、ほとんどの者は経路を変更することでそれらを利用するが、代替経路に制限がある場合、そこに多くの交通が集中することを観測し

ている。

災害時において、情報は交通行動の決定のための重要な役割を担う。これについて研究したものとして、Praterら⁴⁾は1999年のハリケーン発生時において、テレビが最も重要な情報源であったと述べている。Robinsonら⁵⁾は、運転中によく利用される情報源としては、ラジオ、交通情報サービス、携帯電話、インターネット、GPSであると報告している。

いずれの研究も災害時における交通行動を分析したものであり、災害による被害を最小化する上で有用な知見を提供する。しかし、災害の程度に着目し、危険が想定される状況の中で行動を開始するに至った要因を分析した研究はみられない。これを明らかにすることは、災害による人的被害を最小化するための対策を検討するにあたって重要と考える。本研究ではこの点について、集中豪雨を事例として分析を行う。

3. 調査概要およびデータ処理方法

研究に必要なデータを収集するため、平成23年9月20日の台風豪雨時に公共交通機関や自動車で帰宅した（会社にとどまった者も含む）通勤者を対象としたアンケート調査を実施した。この調査で本研究に関連する質問項目は、(1) 会社または学校（帰宅開始地点）および回答者の自宅（帰宅先）の住所、(2) 平常時の帰宅行動（帰宅開始時刻、地点、交通手段、所要時間）、(3) 9月20日の帰宅行動（9月20日の帰宅行動が平常時と異なる場合は、その帰宅開始時刻、場所、交通手段、所要時間、帰宅を断念した者については帰宅断念地点および理由）、(4) 9月20日の情報取得（情報取得媒体、家族との連絡状況、豪雨・交通情報の取得状況）、(5) 9月20日における避難情報取得（当時の出発地、目的地における避難勧告などの発令状況、避難有無。アンケート回答者の情報から判断。）、(6) 通勤者属性、である。

アンケート調査の概要を表-1に示す。配布地域は、名古屋市中心市街地を通勤先とする傾向のあるものとした。参考までにそれぞれの地域の交通特性について、平成23年中京都市圏パーソントリップ調査⁹⁾によれば、名古屋市⇄多治見市が位置する東濃西部が20,000～50,000トリップ、名古屋市⇄岐阜・美濃、春日井、瀬戸が100,000～200,000トリップ、名古屋市⇄一宮市が位置する尾張西部が200,000～300,000トリップとなっている。

なお、本研究では通勤者の帰宅開始時刻とその地域に合致した市区町村から時間雨量を計算して以降の分析に用いるため、これについて説明する。アンケート調査では、回答者の平常時および9月20日の帰宅開始時刻と帰宅開始地点（市区町村）について調査しており、これと（一財）気象業務支援センターから販売されているレーダー・アメダス解析雨量データを用い、マッチングを行った。マッチングのフロー図を図-2に示す。

なお、図中の「各市区町村内で最大となる時間雨量メッシュを特定し時刻別に整理した理由」としては、局所的に発生した激しい豪雨を表現しようとしたからであるが、市区町村の面積が大きくなるほど誤差が大きくなる傾向にあることに注意することが必要である。

4. 記述統計

アンケートより回収された634サンプルのうち、平成23年9月20日当日の行動が平常時とは異なるものは320サンプルであった。本章では主にこのサンプルを対象として、当時の豪雨が通勤者の交通行動に及ぼした影響を分析する。

表-1 アンケート調査概要

配布地域	配布日	配布回収方法	配布部数	回収部数	配布回収率
一宮市			800	83	10%
岐阜市			800	83	10%
春日井市	平成24年 2月22日 ～25日	ポスト投函 郵送回収	800	109	14%
多治見市			1,000	129	13%
瀬戸市			800	113	14%
名古屋市守山区			800	117	15%
計			5,000	634	13%

表-2 アンケート回答者の属性

項目	種類	割合 (%)	項目	種類	割合 (%)
性別	男性	71	家族構成	単身	7
	女性	29		夫婦のみ	26
年齢	20歳未満	3		核家族	30
	20～29歳	5	小学校低学年までの子供あり	25	
	30～39歳	27	高齢者あり	13	
	40～49歳	30			
	50～59歳	21			
	60歳以上	14			

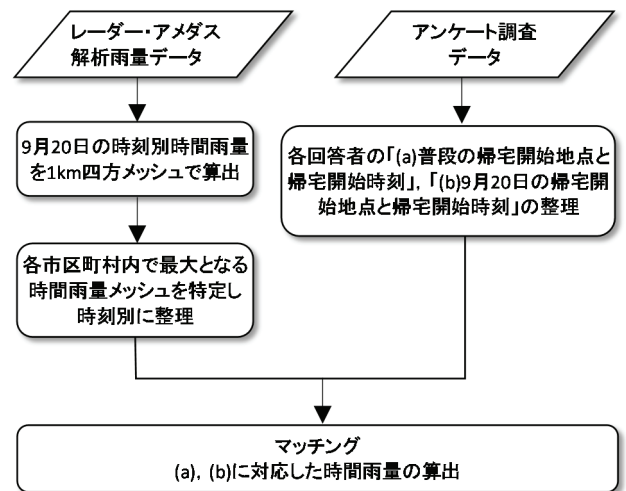


図-2 雨量データマッチングフロー

(1) アンケート回答者属性

アンケート回答者（通勤者）の属性を表-2に示す。性別は71%が男性、29%が女性である。年齢は40代が30%と最も多く、次いで30代（27%）、50代（21%）となっている。家族構成では核家族が30%と最も多く、その次に夫婦のみ（25%）、小学校低学年までの子供あり（25%）となっている。当該項目は複数回答であり、回答者の多くは子供（小学生以外も含む）と同居していることが推測される。

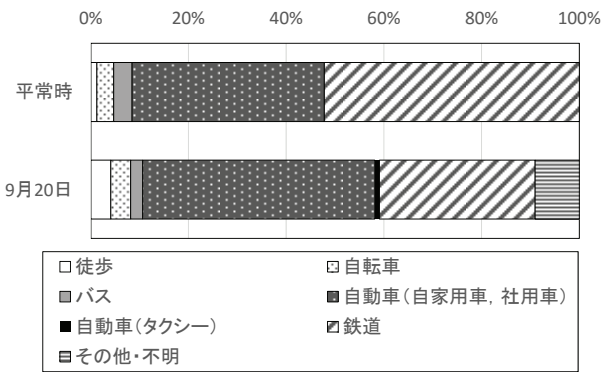


図3 代表交通手段の比較

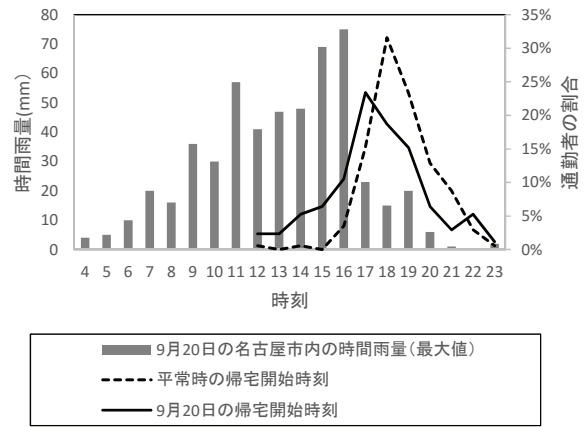


図6 名古屋市内通勤者の帰宅開始時刻と時間雨量の関係

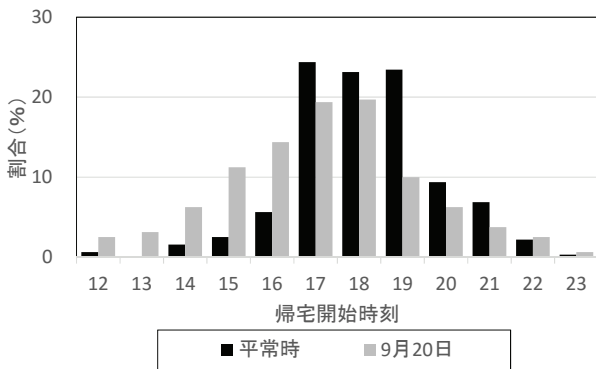


図4 帰宅開始時刻の比較

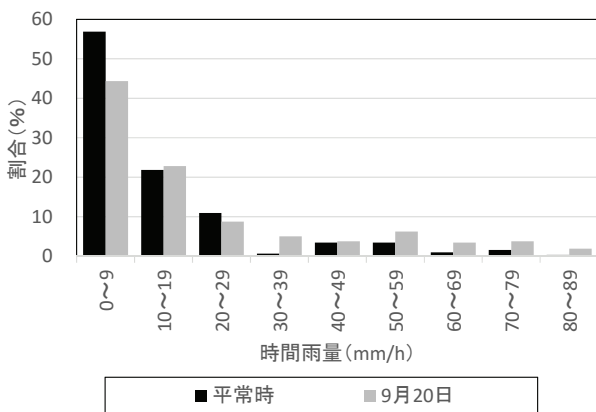


図5 帰宅開始時刻の時間雨量の比較

(2) 集中豪雨時の通勤者の帰宅行動の分析

平常時と9月20日の代表交通手段の比較結果を図-3に示す。図より、9月20日の交通手段は鉄道が減少している一方で(52%→32%)、自動車が増加している(39%→49%)。また9月20日の「その他・不明」の中には出発をとどまった者も含まれている。これより、9月20日は多くの鉄道の運休によって、平常時に公共交通で通勤している者が自動車で帰宅したり、帰宅を取りやめたりしていることがわかる。

平常時と9月20日の帰宅開始時刻の比較結果を図-4に示す。図より、9月20日は早めに帰宅を開始している傾向にあることがわかる。この理由として、日中の激しい豪雨が挙げられる。14時~15時の時間雨量は、名古屋近郊の春日井市で85mmを記録しており、大規模な避難勧告が発令された。回答者の中にも、会社や学校の地域で避難準備情報、避難勧告、避難指示が出されたと回答した者はそれぞれ3%、10%、4%であったことから、これが帰宅開始時刻の前倒しに影響を及ぼしている可能性が推察される。

平常時と9月20日の帰宅開始時刻の時間雨量の比較結果を図-5に示す。ここに、帰宅開始時刻の時間雨量とは、3章で述べた方法で各回答者の帰宅開始時刻、帰宅開始地点(市町村ベース)と、その時刻・地点に合致する時間雨量をマッチングしたものである。ただし、時間雨量は時間帯別に整理されたものであるため(例えば17時、18時の時間雨量という形となっており、17時30分の時間雨量はデータとして存在しない)、各回答者の帰宅開始時刻について、30分を境として近い時間雨量を当てはめている。具体的には、例えば16時00分に出発した者は、16時の時間雨量であるが、16時40分に出発した者は、17時の時間雨量となっている。図-5より、9月20日の帰宅開始時刻の時間雨量のほうが、平常時のそれよりも多い傾向にある。9月20日の帰宅開始時刻は平常時よりも早い傾向にあることから(図-4)、通勤者は9月20日当日、帰宅時刻を早めて豪雨の中をあえて帰宅しているということがわかる。

上記について詳細に分析するため、回答者数の多くを示す名古屋市内の通勤者(回答者の53%)を対象として、9月20日の名古屋市内の時間雨量の推移と、回答者の平常時と9月20日の帰宅開始時刻の比較を同時に示したものが図-6である。図より、名古屋市内の通勤者においても同様のことがいえる。

平常時と9月20日の通勤時間の比較結果を図-7に示す。

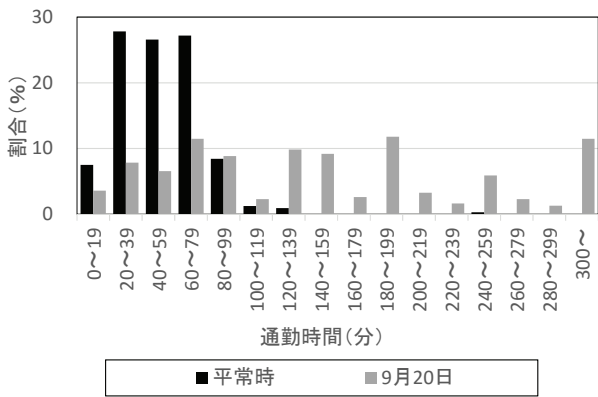


図-7 通勤時間の比較

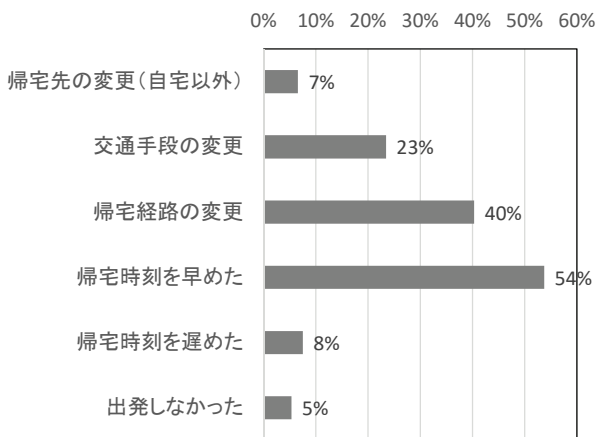


図-8 9月20日の帰宅行動

表-3 帰宅時の豪雨の程度

帰宅行動	豪雨の程度			
	20mm/h以上	30mm/h以上	40mm/h以上	50mm/h以上
1) 豪雨の中帰宅を決断した	33%	24%	19%	15%
2) 帰宅開始時刻を早めて豪雨の中帰宅を決断した	23%	19%	14%	11%
3) 帰宅手段を変更して豪雨の中帰宅を決断した	9%	6%	4%	4%
4) 帰宅経路を変更して豪雨の中帰宅を決断した	14%	11%	9%	7%

数値は全サンプル(n=320)に占める割合(%)

図より、80分未満で通勤している者の割合は平常時、9月20日それぞれで89%、30%であることから、9月20日は多くの者が長時間かけて帰宅したことがわかる。

9月20日の帰宅行動判断を図-8に示す。当該質問項目は、平常時から帰宅行動を変更したかどうかを尋ねたものであり、複数回答である。図より、最も多いものは51%の「帰宅時間を早めた」であり、次いで「帰宅経路の変更(40%)」、「交通手段の変更(23%)」である。帰宅時刻を早めたことについては前述したが、帰宅経路、交通手段の変更については、当日は鉄道が早くから運休

していた影響もあり、鉄道から自動車(送迎、社用車など)へ転換しているパターンが多い。

9月20日の帰宅行動と帰宅時の時間雨量のクロス集計結果を表-3に示す。帰宅行動にある、「豪雨の中帰宅を決断した」とは、回答者に直接アンケート調査で質問したのではなく、図-5の結果を用いたものである。具体的には、例えば帰宅開始時刻・帰宅開始地点に合致した時間雨量が35mmである場合、表-3の列「豪雨の程度」の20mm以上、30mm以上に該当するため、この場合は、時間雨量20mm以上、30mm以上の豪雨の中帰宅を決断したということになる。また、行欄「帰宅行動」のうち、「帰宅開始時刻を早めて〜」、「帰宅手段を変更して〜」、「帰宅経路を変更して〜」は、それぞれ図-8の結果を用いている。表-3より、時間雨量20mm以上の豪雨の中帰宅を決断した者は33%であり、50mm以上の猛烈な雨の中でも15%の者が帰宅を決断している。平常時の交通行動から変更した者については、帰宅開始時刻を早めた者が最も多く、次いで帰宅経路を変更した者となっている。

以上の結果から次のことが考察できる。9月20日は特に昼前から帰宅時間帯にかけて強い雨が降り続いた結果、電車の運休や道路交通の混乱が生じ、一部地域では避難勧告が発令される事態となった。これにより通勤者は、帰宅開始時刻を平常時よりも早めたり、交通手段や経路を変更したりして豪雨の中帰宅をしている者が多くみられた。その結果、長時間かけて帰宅した者もみられた。この中の多くの者は交通混乱に遭遇したものと推測される。

しかし、豪雨の中帰宅することは、二次災害や帰宅困難問題等の危険性が考えられるため、必ずしも適切な行動であるとはいえない。豪雨による被害を最小化するためにも、このような行動判断を抑制することが必要である。この点に着目し、次章では、通勤者が豪雨の中帰宅するに至った要因を非集計モデルを援用して明らかにする。

5. 通勤者の帰宅決断の要因モデル

(1) モデルの構成

本章では、通勤者が豪雨の中での帰宅を選択する要因を分析するモデルとして、式(1)、(2)に示すような選択肢とする二項ロジットモデルを用いる。

$$P(\text{Depart}) = \frac{\exp(Z)}{1 + \exp(Z)} \quad (1)$$

ただし、

$P(\text{Depart})$: 条件Yのもとで時間雨量Xmmの中帰宅を決断する確率

Z : 条件Yのもとで時間雨量Xmmの中帰宅を決断する時の効用

ここで、条件Yとは表-3の4項目の帰宅行動のことを指す。すなわち、4種類のモデルを構築することになる。

またXは、表-3の4種類の時間雨量（20mm以上、30mm以上、40mm以上、50mm以上）のうち、一事例として、気象庁が定義する激しい雨である30～50mmの中間である40mmを代入する。

また、(2)に示す効用関数を仮定した。

$$Z = \gamma_c \cdot \Psi_c + \gamma_h \cdot \Psi_h + \gamma_i \cdot \Psi_i + \gamma_t \cdot \Psi_t + \gamma_a \cdot \Psi_a + \emptyset \quad (2)$$

Ψ_c : 平常時の通勤時間に関わる変数

Ψ_h : 帰宅開始地点の帰宅開始地点の避難準備情報・避難勧告・避難指示に関わる変数

Ψ_i : 帰宅開始前の情報取得に関わる変数

Ψ_t : 平常時の代表交通手段に関わる変数

Ψ_a : 個人属性（年齢、性別、同居家族）に関わる変数

$\gamma_c, \gamma_h, \gamma_i, \gamma_t, \gamma_a$: パラメータ

\emptyset : 定数項

(2) モデルの構築結果

モデルの構築結果を表-4に示す。モデルの中には有意でない変数も含まれているが、Kockelman⁷⁾らの考察を参考とし、有意でない変数でも何らかの影響をモデルに与えていることが期待されると考え、除外しないこととした。以下、モデルの結果について考察する。

a) 平常時の通勤時間

短時間の通勤時間（39分未満）と比較して、長時間の通勤時間のほうが豪雨時に出発することを躊躇する傾向にある。想定される理由として、通勤時間が短い者は、豪雨の中でも帰ることができると考えたことが挙げられる。

b) 帰宅開始地点の避難準備情報・避難勧告・避難指示および帰宅開始前の情報取得

いずれのモデルでも有意にならなかった。Petrella⁸⁾らの研究では、事前の情報提供が通勤者の意識を変化させ、迂回路に従う機会の提供につながると述べられているが、本研究のような、突発的な災害の場合においてはこの知見は該当しなかった。

c) 平常時の代表交通手段

平常時の交通手段が公共交通である場合、豪雨の中で手段を変更し帰宅している傾向にある。想定される理由として、当日は名古屋駅周辺のタクシー乗り場は行列であったこと、会社の共用車で帰宅しようとした者がアンケート結果からわかったことから、無理にでも帰宅しようとした者がいたことが挙げられる。

d) 個人属性

性別では女性のほうが経路を変更したりして豪雨の中を帰宅する傾向にある。また、子供と同居している者のほうが帰宅時刻を早めて豪雨の中帰宅する傾向にある。想定される理由として、子供の自宅での安否を心配した母親が行動したことが挙げられる。

一方で、高齢者と同居している者は、豪雨の中帰宅をしない傾向にあった。著者らは交通弱者と同居している

表4 モデル構築結果

説明変数	目的変数		豪雨の中帰宅を決断した		帰宅開始時刻を早めて豪雨の中帰宅を決断した		帰宅手段を変更して豪雨の中帰宅を決断した		帰宅経路を変更して豪雨の中帰宅を決断した	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値		
平常時の通勤時間	20～39分	0.286	0.52	0.299	0.60	0.375	0.62	-1.306	-1.23	
	40～59分	-1.071	-1.54	-1.172	-1.90 *	-1.579	-1.68 *	-3.525	-2.41 **	
	60～79分	-0.650	-0.93	-0.909	-1.42	-1.222	-1.27	-2.137	-1.82 *	
	80分以上	-0.006	-0.01	-0.272	-0.36	0.889	0.94	-2.943	-1.95 *	
帰宅開始地点の避難準備情報・避難勧告・避難指示	あり	-0.125	-0.58	-0.122	-0.64	0.109	0.47	-0.216	-0.56	
帰宅開始前の情報取得	取得あり	-0.193	-0.46	-0.029	-0.07	-0.158	-0.30	0.251	0.31	
平常時の代表交通手段	鉄道・バス	-0.805	-1.88 *	-0.928	-2.39 **	-1.532	-2.46 **	2.193	2.43 **	
年齢	30代以下=0, 40代=1, 50代=2, 60代以上=3	0.256	1.41	0.201	1.20	0.246	1.08	-0.086	-0.28	
性別	男性	-0.610	-1.62	-0.978	-2.85 **	-1.198	-2.61 **	-0.191	-0.30	
同居家族	65歳以上の高齢者	-1.011	-1.56	-0.885	-1.64 *	-1.778	-1.67 *	0.630	0.87	
	小学生以下の子供	0.954	2.33 **	0.596	1.53	0.798	1.54	-0.572	-0.67	
定数項		-1.029	-1.46	-0.243	-0.38	-1.059	-1.29	-2.552	-2.13 **	
初期尤度		-131.75		-155.88		-99.56		-57.50		
最終尤度		-116.20		-132.00		-76.73		-50.22		
尤度比		0.12		0.15		0.23		0.13		

*: 10%有意, **: 5%有意

ことが豪雨中の帰宅を促進する可能性があると考えていたが、この結果はそれとは逆のものであった。

6. おわりに

本研究は、平成23年台風第15号接近時の9月20日の昼間に都市を襲った豪雨を調査事例とし、豪雨時の通勤者の交通行動の解明を試みた。

分析の結果、平常時の通勤時間が短い、平常時に公共交通で通勤している者ほど、通勤時刻を平常時よりも早めたり、通勤経路や手段を変更したりして、豪雨の中を帰宅する傾向にあることが明らかとなった。想定される要因として、そのような者は帰宅時に公共交通の運休に関する情報を知ったが、別の手段で帰宅できると考え、結果的にタクシーを長い間待ったり、会社が保有する共用車で帰宅したりしたことが挙げられる。豪雨時のこのような行動は二次災害の危険性があることから、そのような者に対して安易に帰宅を決断させない対策が必要であらう。

今後の課題として、会社の帰宅に対する指示の有無、公共交通の運休など交通混乱の程度をモデルに組み込み、どの情報が帰宅行動に大きな影響を及ぼしているのか把握することが挙げられる。

謝辞：本研究は科学研究費補助金・基盤研究(C)【課題番号25420540, 研究代表：藤田素弘】の助成を受けて行っている。

参考文献

- 1) 中日新聞, 平成23年9月20日朝刊, 夕刊, 9月21日朝刊.
- 2) Giuliano, G., & Golob, J.: Impacts of the northridge earthquake on transit and highway use, *Journal of Transportation and Statistics*, vol.1, pp. 1–20, 1998.
- 3) S. Cairns, S. Atkins & P. Goodwin: Disappearing traffic? The story so far, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Municipal Engineer* 151, pp/13-22, 2002.
- 4) Vinayak, D., Chester W., Brian W.: Modeling Risk Attitudes in Evacuation Departure Choices, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2312, pp.159-163, 2012.
- 5) Zuduo Zhenga, Jinwoo (Brian) Leea, Mo-hammad Saifuzzamana, Jian Sunb: Exploring association between perceived importance of traveltraffic information and travel behaviour in natural disasters A case study of the 2011 Brisbane floods, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 51, pp.243-259, 2015.
- 6) 中京都市圏総合都市交通計画協議会：第5回中京都市圏パーソントリップ調査, <http://www.cbr.mlit.go.jp/kikaku/chukyo-pt/person-trip/p01.html>
- 7) Kockelman, K., & Kweon, Y.: Driver injury severity: an application of ordered probit models. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 34(3), pp. 313–321, 2002.
- 8) Khattak, A., Pan, X., Williams, W., Roupail, N., & Fan, Y.: Traveler information delivery mechanisms: Impacts on consumer behavior, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol.2069, pp.77–84, 2008.

(2016. 4. 22受付)

Travelers' Behavioral Decision in a Heavy Rainfall: A case study of Typhoon Roke in 2011

Jun SAKAMOTO and Motohiro FUJITA