

帰宅時集中豪雨下の自動車走行体験データによる出発変更意識分析と交通対策に関する研究*

Analysis on Traffic Measures and Driver's Behavior Consciousness under the Heavy Rainfall Disaster*

藤田素弘**・坂本 淳***・雲林院康宏****・三田村純*****

By Motohiro FUJITA**・Jun SAKAMOTO***・Yasuhiro UJII****・Jun MITAMURA*****

1. はじめに

2000年9月11日から12日にかけて名古屋市を中心として発生した集中豪雨は、都市周辺部において甚大な被害をもたらした。名古屋観測所が計測した当時の時間帯別降雨量(図-1)をみてもわかるように、11日18時台の降雨量は93mmとなっており、これまでにない記録的豪雨となった。これによって、河川の溢水が各地で生じ、それに伴い名古屋市西区の一部や愛知県西枇杷島町のほぼ全域において4,000世帯が浸水、野並地区において2,800世帯が床上、床下の浸水被害にあった。都市交通においては、帰宅交通ピーク時間帯と重なったことから、鉄道、地下鉄等の公共交通機関は運行休止が相次ぎ、都市高速道路も通行止めとなった。

一般道路においては冠水による通行不能箇所が多数発生して、日頃経験しないような激しい渋滞が全市的に引き起こされた。当時通行止め情報等はほとんど提供されず、多くのドライバーは豪雨と道路渋滞状況を十分把握することなく帰宅交通を行ったといえるが、7時間以上かかって帰宅するドライバーも少なくないなど、災害時における道路交通対策や情報提供方法、および、これらに対する各個人の交通行動のあり方について多くの問題点が浮き彫りになる結果となったといえる。

このような背景から、本研究では通常運行管理されている鉄道等とは違って、災害時においても出発するかどうかは各個人の判断に委ねられる自動車交通に焦点を当てて、災害時における交通対策と各個人の交通行動のあり方を考えるものである。本研究では実際に豪雨下走行を体験したドライバーへの意識調査に基づいて、豪雨下走行における危険・苦痛意識や出発行動等への変更意識および交通対策意識などを分析し、今後の交通対策案を検討する。また、豪雨時における不用意な出発を自粛

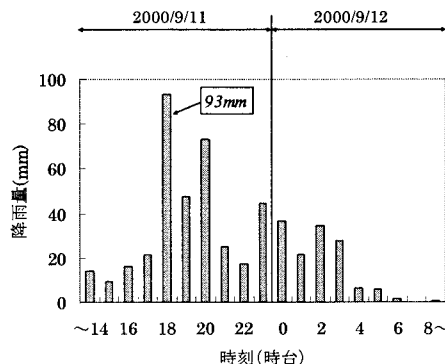


図-1 東海集中豪雨下における時間雨量推移図

する出発変更指針を得るために、豪雨下走行に対する出発自粛・出発変更をどのように考えるかの出発変更モデルを実体験データに基づいて構築するとともに、GISの走行経路分析への適用を通じて、出発変更を促す対策の評価をする。よって今後の災害時におけるドライバーの交通行動指針とそれを促すための情報提供・交通対策のあり方について検討するための基礎的分析を目的とする。

2. 既存の研究と本研究の位置づけ

自然災害による交通状況への影響に関して分析した研究は、これまでさまざまな観点から行われてきた。

災害時・非常時における交通行動を研究した例として、内田・加賀屋ら¹⁾はドライバーの交通行動の中止により得られる交通便益と旅行時間費用の関係から、災害時の交通ネットワークモデルの構築を試みている。簡単なテストネットワークを対象とした配分計算をおこなっているが、本研究で対象とするドライバーの実体験データに基づいたものとは異なる。実災害時のデータに基づいて交通行動の分析した例として、朝倉・柏谷ら²⁾は道路規制時の迂回・待機行動モデルをアンケート調査に基づいて構築している。若林・浅岡ら³⁾は災害などで公共交通の所要時間の信頼性が大きく変化するときの交通手段選択行動について分析した。堀切・小谷ら⁴⁾は阪神大震災後の住民の避難行動について分析し、避難がいつどのように行われたかを分析した。片田・児玉ら⁵⁾は、豪雨に

*キーワード: 交通管理, 交通流, 防災計画

**正会員, 工博, 名古屋工業大学大学院工学研究科なかみ領域都市循環システム工学専攻助教授

***学生員, 名古屋工業大学大学院工学研究科都市循環システム工学専攻

****正会員, 博(工), 名古屋市役所

*****正会員, 修(工), (株)地域未来研究所
(名古屋市昭和区御器所町, TEL: 052-735-5492,
E-mail: fujita@doboku2.ace.nitech.ac.jp)

よる浸水の被害に対応した行動に着目し、以後の水深被害による想定がそのときの災害対応行動に与える影響に関して分析している。これらはそれぞれの地域で生じた災害時の交通状況が分析されており興味深い。本研究で対象とする東海地区の事例ではないものが多く、また集中豪雨時の大都市圏における帰宅交通行動に関連したものとは異なる。

本研究で対象としている、豪雨下走行ドライバーの危険意識・出発変更意識、および災害時の交通対策まで言及するには至っていない。

本研究では東海豪雨当日に走行したドライバーに着目して、集中豪雨時の交通行動に関する意識等を分析し、今後の災害時の交通対策について考察したこと、そして意識データより構築した出発変更モデルを用いて、事前に十分な災害情報が与えられたと仮定した場合の自動車走行経路-速度解析をGISによって分析して出発・自粛、取りやめ行動の特性を解析したことに特徴がある。

3. 調査概要と豪雨下走行における危険・出発変更意識

本研究で用いたアンケートデータは、①東海集中豪雨後に自動車走行経路や道路交通状況等に関して尋ねたもの（以下直後調査とする）、②上記の回答者のうち、豪雨を経験した回答者に対して追加調査を依頼し、当時の交通行動、今後の交通対策のあり方に対してさらに具体的に尋ねたもの（以下追加調査とする）の2種類である。本研究の分析のほとんどは②の追加調査データに基づいて行い、①の直後調査は比較などの補足的な利用にとどまる。アンケート調査概要を表-1に、回答者の属性を表-2に示す。また、直後調査では図-2に示すような走行経路記入例を示して、実際の地図上に走行経路を記入してもらったとともに、通行不能地点、走行断念地点等を記入していただいた。この図と各個人のデータを基に追加調査を行って、当時感じた意識を回答していただいた。

表-2より両調査における被験者属性等を比較する。両調査ともに、性別では男性が多く、年齢では40～60代が多く、運転歴では10年以上の回答者が多いことがわかる。図-3は、走行経路と出発時刻、到着時刻の記述の正確さに関する質問であるが、両調査において正確、ほぼ正確と回答しているサンプルが90%以上の割合となった。なお、このデータは実所要時間によって検証され得るものではないが、アンケートが比較的早い段階でなされたこともあることから、今回の分析における時刻と経路は十分信頼性をもつものであると考える。

豪雨当日の出発の目的（図-4）は、両調査ともに帰宅、出勤の割合が高い。これは東海豪雨が帰宅時18時台にピーク降雨量93mmとなっていることに起因している。また、図-4、図-5等を合わせて考えれば、今回主な分析対

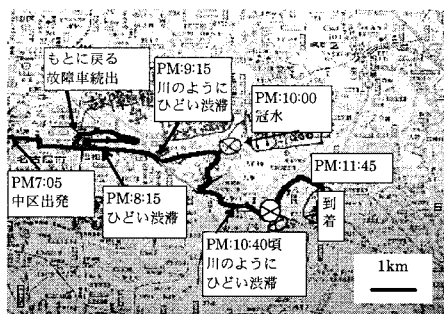


図-2 走行経路記入例

表-1 アンケート調査概要

直後調査(本研究では補足的に利用)					
対象者	配布時期	配布方法	配布部数	回収部数	回収率
名古屋市区在住者	2000/9/18	郵送	4000	1253	31.3%
名古屋市区隣接地在住者	2000/11/4～11/14	直接投函	2000	244	12.2%
追加調査(主に利用)					
対象者	配布時期	配布方法	配布部数	回収部数	回収率
名古屋市区在住の再調査依頼可能者	2002/8～2002/11	郵送	140	104	74.3%

表-2 回答者属性

直後調査					
性別	構成比	年齢	構成比	運転歴	構成比
男性	83%	10代	0%	1年以下	0%
女性	17%	20代	8%	1～3年	2%
		30代	18%	3～5年	1%
		40代	25%	5～10年	7%
		50代	33%	10年以上	88%
		60歳以上	15%	不明	2%
追加調査					
性別	構成比	年齢	構成比	運転歴	構成比
男性	86%	10代	0%	1年以下	0%
女性	14%	20代	1%	1～3年	0%
		30代	15%	3～5年	1%
		40代	19%	5～10年	5%
		50代	24%	10年以上	89%
		60歳以上	39%	不明	5%

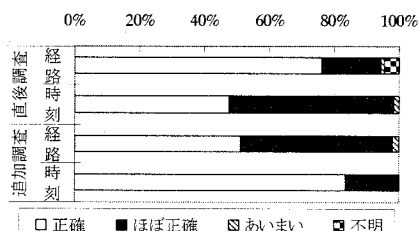


図-3 経路と時刻の正確さ

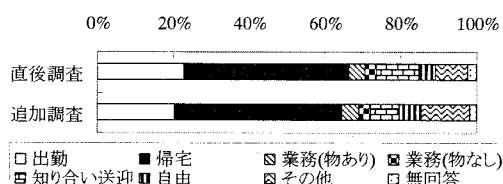


図-4 出発の目的

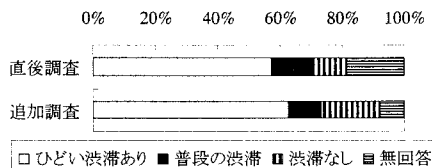


図-5 走行中に感じた渋滞状況

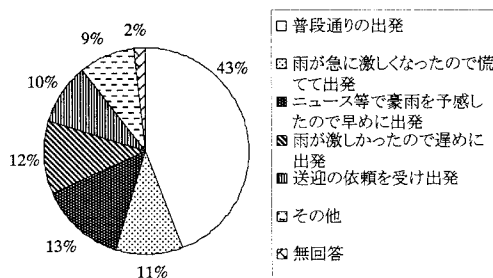


図-6 出発の契機（追加調査）

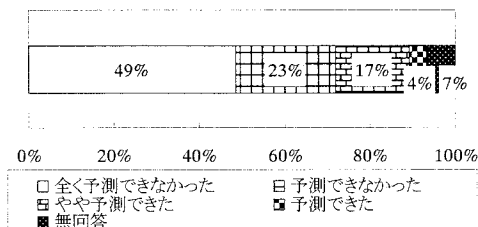


図-7 豪雨の予測はできたか（追加調査）

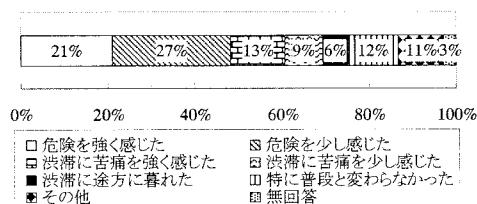


図-8 豪雨時走行における危険意識（追加調査）

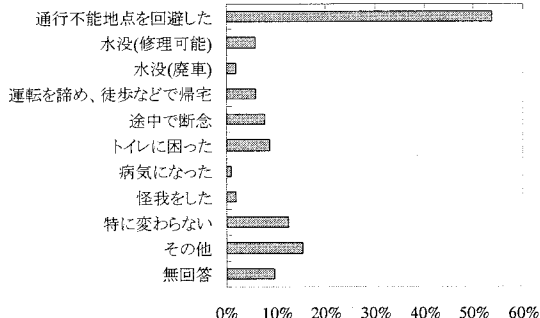


図-9 豪雨時走行で体験した被害状況（追加調査）

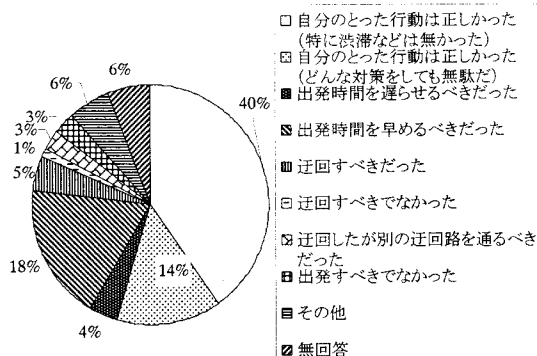


図-10 当時選択した交通行動について（追加調査）

象としている追加調査のデータ数は直後調査に比べて少なく、60歳以上の割合がやや高いが、それ以外の各交通特性等は直後調査と同様な割合となっていることから、追加調査データは十分当日の状況を説明できると考えられ、以降追加調査データに基づいて考察する。

出発の契機(図-6)をみると、雨が激しかったために出発時刻を変更した回答者が30%ほど存在するものの、43%の回答者は普段通り帰宅している。また、当日の豪雨を予測できたかという質問(図-7)では、75%程度の回答者が予測出来なかったと答えている。このことは、東海豪雨が、一般的に接近が予想される台風とは異なり、帰宅ピーク時間帯に突発的に生じたため、人々はその状況を把握できずに交通混乱が引き起こされたことを裏付けるものであろう。集中豪雨下での自動車走行の危険意識(図-8)をみると、全体の5割弱が豪雨時走行で「強く危険を感じた」、または、「少し危険を感じた」と答えており、時間雨量93mmの豪雨走行はかなり危険な状況を覚悟せざるをえないものと考えられる。その他の苦痛を感じたというのは、危険ほどではないが、渋滞に対してつらい体験をしたということで、途方にくれたというのと合わせると、30%となる。図-9は、豪雨時走行においてどのような体験をしたか聞いたものであるが、通行不能地点を回避したが53%で、半数以上のドライバーは道路冠水によって迂回を余儀なくしているといえる。次に多いのが、「トイレに困った」であり、その他に「途中で断念」「徒歩で帰宅」「水没」が多くなっており、冠水区間等に入り込んだ場合は、重大な損害を覚悟する必要があることがわかる。

図-10は東海豪雨当時に回答者が行った交通行動に関して反省すべき点についての質問である。図-5の結果を踏まえて考察すると、ひどい渋滞はなく、自分のとった行動に間違いはなかったという回答者が40%を占めている反面、出発時間を早めるべき、遅らせるべき、または出発すべきだったという出発行動に対する変更を考えている方が約30%、迂回すべきだった、迂回すべきではなかった等経路選択に関しての変更を考えている方が約

10%、激しい豪雨と渋滞に遭ったものの、どんな対策をしても無駄だったとあきらめ感をもつ方が14%程度となった。なお、自分のとった行動は正しかった（特に渋滞などはなかった）と回答しているサンプルは平常時と比べて所要時間差が平均7.5分（平常時の経路所要時間が把握可能なデータのみを利用）となっており、このグループでは実際に渋滞はなかったといえる。特に、出発行動や迂回行動について変更した方が良かったと考えている回答者は、豪雨下における交通状況に対する十分な情報提供がなされれば、出発時刻の変更や出発取りやめなどの出発変更が期待できると考えられ、この点については5章でさらに分析する。

4. 道路走行中の車両への交通対策案評価

ここでは、豪雨下走行の体験者（追加調査データ）が今後どのような対策を、道路走行中に生じた豪雨災害と交通混乱に対して望んでいるかまとめる。

図-11は、豪雨時において情報を入手したい媒体に関して1位から3位まで回答していただいた集計結果を示したものである。図より、情報を得たい媒体はラジオが非常に多くなっている。情報の内容についての質問では、「通行止め情報」（84件）、「迂回路情報」（69件）、「天候・降水量情報」（65件）が多い。よって、これらの情報を、最も利用しやすいラジオから入手したいという方が多いことがわかる。ドライバーが期待する交通対策と走行所要時間差（豪雨下所要時間－平常時所要時間）の関係（図-12）をみると、それぞれの所要時間差において期待される交通対策が異なることが分かる。この関係を相関分析を用いて分析したところ、図-13に示すように明確にグルーピングできた。図-14に交通対策イメージ図を示す。これらより所要時間が30分未満で短かった方には、期待される交通対策として、「交差点での交通整理」が主に望まれており、同様に、30分から120分までは「冠水案内表示システム」や「冠水が想定される道路への注意標識の設置」などの手前交差点での通行止め情報が望まれていることがわかった。また、120分以上の方は「冠水した交差点の手前でUターンを可能とする設備」が望まれることがわかった。これは、長時間冠水した道路の手前で立ち往生して前にも後ろにも動けない状態を経験したドライバーにとっては、Uターンなどによって自力でそのような状態を脱出できるシステムを望んでいることを示している。

災害下の交通状況悪化を軽減することにおいて、走行中のドライバーに対しては、少しでも早く通行止め等の交通情報を提供し、冠水などによって寸断された交通ネットワークからの回避行動を促すことが重要であり、またドライバーが自力で回避できるシステムを交通対策と

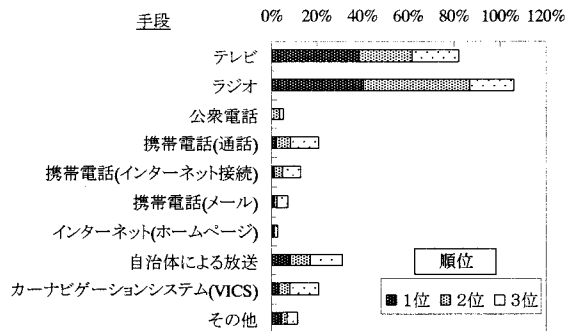


図-11 情報を入手したい媒体

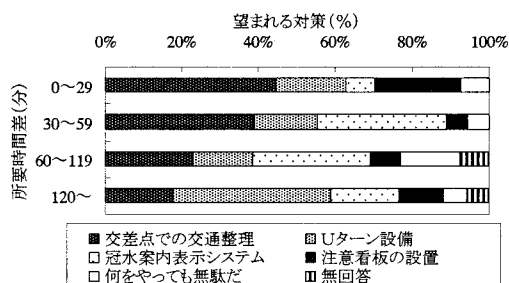
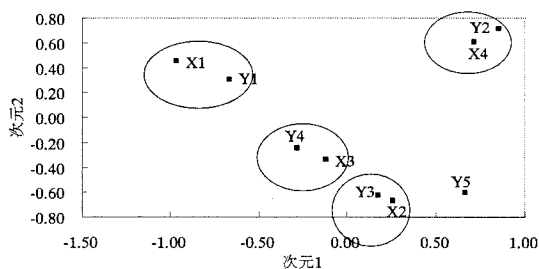


図-12 走行所要時間差と望まれる交通対策との関係



X 所要時間差
X1:30分未満 X2:30～59分 X3:60～119分 X4:120分以上
Y 望まれる交通対策
Y1:交差点での交通整理 Y2:冠水した交差点でUターンを可能とする設備
Y3:冠水表示案内システム Y4:冠水が想定される道路への注意標識の設置
Y5:あの程度の豪雨では何をしても無駄だ

図-13 コレスポネンス分析を用いた走行所要時間差別の望まれる交通対策

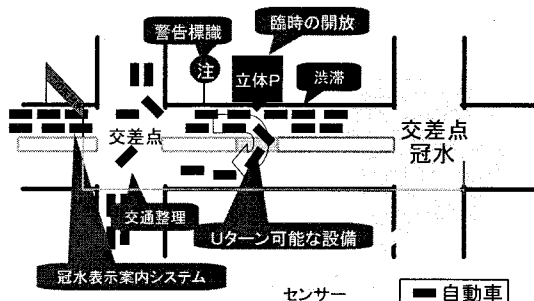


図-14 豪雨時の道路交通状況に対する対策案

して盛り込んでいくことが必要であることがわかる。

5. 豪雨時と平常時交通データによる出発変更モデル

3章の図-10で述べたように、回答したドライバーの約3割が当時選択した交通行動について何らかの出发変更意向を示していることがわかった。これらのドライバーは、状況を判断可能な十分な情報が事前に与えられれば、出発を変更・取りやめるなどの出发変更をする可能性の高いグループであるとして、ここでは注目することにする。そして、どのようなドライバーがどのような条件下で出发変更するかの確率を表す出发変更モデルを、Binary Logit Modelとして構築する。このモデル分析から、出发変更する状況を統計的に明らかにし、災害時における情報提供と交通行動のあり方について考える。なお、ここでの分析は追加調査のデータに基づいて行う。

(1) 目的変数、説明変数の設定

本研究では、図-10の凡例における出发変更項目に対して、以下のような選択肢集合を生成し、出发変更モデルを構築する。

a) 出发変更モデルの選択肢

ここでは、選択肢のデータ数の偏りを少なくするため、図-10の項目における、“出発時間を遅らせるべきだった”、“出発時間を早めるべきだった”、“出発すべきでなかった”をまとめる。これらを、十分な情報が与えられれば出発に関わる行動変更を行うグループとして、出发変更する選択肢の値を1に設定する。それ以外は出发変更しないグループ（選択肢）として、出发変更しない選択肢の値を1に設定する。よって、出发変更するグループと出发変更しないグループの2つを選択肢とするモデルを構築する。

b) 対象とするデータと2つのモデル

対象とするデータは2種類設定し、それにあわせてモデルも2種類構築する。

① 豪雨時体験データによる、出发変更モデル1

図-10の追加調査データの88件を利用する。

② 豪雨時体験と平常時データによる、出发変更モデル2

図-10の追加調査データの88件を利用するとともに、同時に得られた平常時の交通行動データ（所要時間等）を活用して、出发変更しない選択肢を1とする平常時データを新たに各個人ごとに設定・追加する。よって、データ数は平常時データの欠損値を除いて、追加調査のほぼ倍の168件になる。これは、平常時の交通行動も入れることによってより一般的なモデルとすることを考慮するためであるが、この特徴は後述する。

c) 本モデルで取り扱う説明変数

ここでは、追加調査で得られる質問項目のすべてについて説明変数の対象とした。その結果、次章で述べる

道路ネットワークの感度分析に出发変更モデルを適用するために、共通に把握している変数である必要性、将来の豪雨時における出发変更挙動の説明変数としてデータの取得が比較的容易であること、そしてモデルの精度を考慮し、結局以下に示すような、①年齢、②走行目的、③走行距離、④平均走行速度、⑤走行時最大降雨量、の5変数を採用した。モデル1および2の豪雨時データの変数は以下のように設定する。

①年齢：実年齢層を変数に代入した。

②走行目的：出勤・帰宅ダミー（出勤または帰宅目的のとき1、それ以外0）、送迎ダミー（送迎目的のとき1、それ以外0）を代入した。

③走行距離：出発地から目的地までの距離（km）

④平均走行速度：走行距離を出発地から目的地までの所要時間で割ったもの。

⑤走行時最大降雨量：出発エリアおよび到着エリアにおける、走行時の時間最大降雨量（mm）

モデル2で追加した、平常時の交通行動データの説明変数に代入する値は以下のとおりである。なお、以下の番号は上記の説明変数の番号と同じものである。

①豪雨時データと同様のものを代入した。

②平常時においては走行目的が出发変更意識に影響を与えないということが明らかであるため、出勤・帰宅ダミー、送迎ダミーは常に0とする。逆に、目的別に違いが出る豪雨状態として、ある閾値となる降雨量以上または走行速度未達なら、各ダミーの値は1とする。これらの閾値は分析結果より求める。

③平常時データが入手可能なサンプルは、迂回等をしてない限り平常時と豪雨時の交通行動が同様であると考えられるため、豪雨時データと同じ値を設定した。

④走行距離を平常時の所要時間で割ったものを代入した。

⑤降雨量0mmを代入した。

上記における⑤の走行時最大降雨量の出発エリア、到着エリアは、名古屋市内では区単位を1メッシュとし、それ以外の地域は市群レベルで1メッシュに分割したゾーンである。降雨量は文献7)~9)より得られた研究対象域内の各観測所（40箇所）の時間常別降雨量データのうち各エリアに最も近いデータを採用した。走行時最大降雨量は走行途中経路上のエリアも考えられるが、今回対象とする範囲が名古屋都市圏内で限定されることから、出発、到着エリアの最大降雨量で考えた。これらの説明変数がどのように出发変更に関係するかは、モデルの推定結果より分析する。

(2) 分析結果

モデルの分析結果を表3～表7に示す。出发変更モデルのうち、豪雨時データのみによるモデル1は、変数に降雨と速度の両方を使った全変数型と、降雨変数を利用して速度変数を利用しない降雨型、および、その逆の速

度型の3タイプを構築した。平常時データを追加したモデル2は降雨型と速度型について構築した。全変数型は豪雨時の出発変更意識に関わる様々な要因を全体として分析するためのモデルとして、その他は降雨変数や速度変数との関係をより詳細にみるためのモデルとして構築する。

出発変更モデル1ー全変数型（表-3）を考察する。モデル内のダミー変数は、出勤・帰宅または送迎目的のとき、および、走行距離、平均走行速度、走行時最大降雨量が、それぞれ10km以上、5km/hr未満、30-70mm、または、70mm以上で、1をとり、それ以外は0の変数である。なお、基本的にはこれらのパラメータの符号が正で大きくなる程、出発変更を考える確率が高くなるといえる。これらの値はいくつか変えて行って精度の良いものを採用した。モデルの精度は的中率が76.1%と比較的良好な精度と思われる。走行目的をみると、出勤・帰宅目的のダミーが正符号から、これらの目的では自由、業務に比べてトリップ長も長く交通のピーク時間帯に重なることから慎重に対応した方がよいと考える人が多くなったといえる。また送迎目的のパラメータが正であることは、送迎相手の安否が確認できれば出発しない方がよい場合も多いことが考えられる。走行距離では10km以上の方が、平均走行速度では5km/hr以下の方が出発変更する傾向が強い。これらのドライバーは非常に長時間に渡って、豪雨下走行を強いられた方であり、そのような状況で走行するよりも、会社等で出発せずに待機していればよかったと考える方であると考えられる。走行時最大降雨量は、走行取りやめを考える一つの目安として30mm、または70mmを示すと考えられる。

次に降雨型のモデルとして、豪雨データによる出発変更モデル1（表-4）をみても、モデルの走行距離には元の数値をそのまま与えており、走行目的ダミーは表-3と同様である。走行時最大降雨量は降雨量が30mm未満のとき0の値をとり、30mm以上で実際の降雨量の値をxとして、 $\log(x-29)$ の対数変換をしてモデルに代入した。降雨量はいくつかの関数形を比較した結果、上記のような対数関数を用いるのが最も当てはまりがよかった。閾値の30mmについても値を変えて分析した結果最も適合度がよいものとして採用している。30mmの降雨はすでにかかなりの豪雨であり、豪雨災害が生じることもある雨量であることから考えれば、この値は妥当と考える。t値をみると、走行距離の寄与率が高く、続いて走行時最大降雨量が高いといえる。

これと同じ降雨型で平常時データも含んだ出発変更モデル2（表-5）をみる。本章（1）c)の②で述べたように、走行目的ダミーは30mm未満ではすべて0の値をとり、それ以上で各目的に当てはまれば1をとる変数となっている。これは平常時においては基本的に出発変更す

表-3 出発変更モデル1ー全変数型（豪雨時データのみ）

属性	カテゴリ	パラメータ	t値
定数項		-5.95	-3.02
年齢		0.40	1.56
走行目的	出勤、帰宅ダミー:1	1.23	1.72
	送迎ダミー:1	2.46	1.98
走行距離	10km以上:1	1.79	2.87
平均走行速度	5km/hr未満:1	1.33	2.09
走行時最大降雨量	30-70mm:1	0.82	1.15
	70mm以上:1	1.19	1.67

自由度調整済み尤度比 0.16 判別の中率 76.1%
全データ数は88件 出発変更は28件

表-4 出発変更モデル1ー降雨型（豪雨時データのみ）

属性	カテゴリ	パラメータ	t値
定数項		-3.52	-3.78
走行目的	出勤、帰宅ダミー:1	0.95	1.42
	送迎ダミー:1	1.73	1.53
走行距離	km	0.11	2.78
走行時最大降雨量	30mm以上 $\log(x-29)$	0.65	1.70

自由度調整済み尤度比 0.13 判別の中率 70.5%
全データ数は88件 出発変更は28件

表-5 出発変更モデル2ー降雨型（豪雨+平常時データ）

属性	カテゴリ	パラメータ	t値
定数項		-4.22	-6.06
走行目的	出勤、帰宅ダミー:1	1.68	2.06
	送迎ダミー:1	3.13	2.09
走行距離	km	0.08	2.66
走行時最大降雨量	30mm以上 $\log(x-29)$	0.83	1.53

注) 出勤・帰宅ダミー、送迎ダミー、降雨量変数は降雨量30mm未満は0とする

自由度調整済み尤度比 0.13 判別の中率 86.3%
全データ数は168件 出発変更は28件

表-6 出発変更モデル1ー速度型（豪雨時データのみ）

属性	カテゴリ	パラメータ	t値
定数項		-0.86	-0.80
走行目的	出勤、帰宅ダミー:1	1.08	1.59
	送迎ダミー:1	1.74	1.55
走行距離	km	0.13	3.15
平均走行速度	対数表示 $\log(1+x\text{km/hr})$	-2.38	-2.32

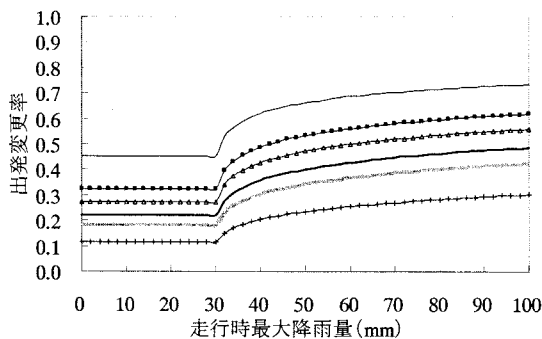
自由度調整済み尤度比 0.16 判別の中率 76.1%
全データ数は88件 出発変更は28件

表-7 出発変更モデル2ー速度型（豪雨+平常時データ）

属性	カテゴリ	パラメータ	t値
定数項		-1.24	-1.24
走行目的	出勤、帰宅ダミー:1	1.39	2.26
	送迎ダミー:1	2.43	2.33
走行距離	km	0.16	4.39
平均走行速度	対数表示 $\log(1+x\text{km/hr})$	-3.18	-3.33

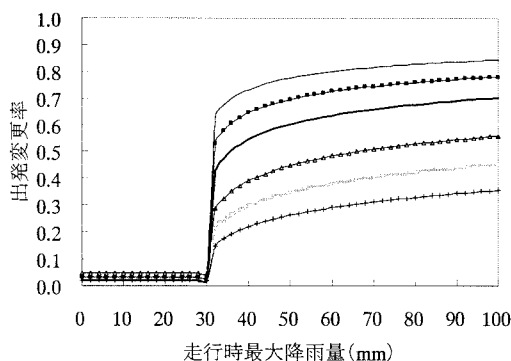
注) 出勤・帰宅ダミー、送迎ダミーは走行速度15km/hr以上は0とする

自由度調整済み尤度比 0.25 判別の中率 86.9%
全データ数は168件 出発変更は28件



- 出発変更率, 目的=出勤・帰宅ダミー, 走行距離=15km
- 出発変更率, 目的=送迎ダミー, 走行距離=15km
- 出発変更率, 目的=出勤・帰宅ダミー, 走行距離=10km
- 出発変更率, 目的=送迎ダミー, 走行距離=10km
- 出発変更率, 目的=出勤・帰宅ダミー, 走行距離=5km
- 出発変更率, 目的=送迎ダミー, 走行距離=5km

図-15 出発変更率と走行時最大降雨量の関係
出発変更モデル1ー降雨型（豪雨時データのみ）

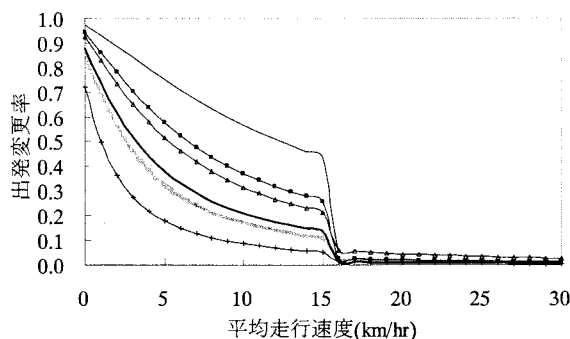


- 出発変更率, 目的=出勤・帰宅ダミー（降雨量30mm以上のみ）, 走行距離=15km
- 出発変更率, 目的=送迎ダミー（降雨量30mm以上のみ）, 走行距離=15km
- 出発変更率, 目的=出勤・帰宅ダミー（降雨量30mm以上のみ）, 走行距離=10km
- 出発変更率, 目的=送迎ダミー（降雨量30mm以上のみ）, 走行距離=10km
- 出発変更率, 目的=出勤・帰宅ダミー（降雨量30mm以上のみ）, 走行距離=5km
- 出発変更率, 目的=送迎ダミー（降雨量30mm以上のみ）, 走行距離=5km

図-16 出発変更率と走行時最大降雨量の関係
出発変更モデル2ー降雨型（豪雨+平常時データ）

る理由はなく、目的別に出発変更意識に違いもないことを考慮している。

上記のパラメータ等の傾向はモデル1と2で大きく変わらないが、関数形を示した図-15、16で比較するとかなり異なる。図より、降雨量ダミーの閾値を30mmと設定（表4の考察参照）しているため、それ以下では出発変更率がほとんど0に近いが、降雨量がこれを超えると急激に出発変更率が上昇することが確認できる。これは、



- 出発変更率, 目的=出勤・帰宅ダミー（走行速度15km/hr以下のみ）, 走行距離=15km
- 出発変更率, 目的=送迎ダミー（走行速度15km/hr以下のみ）, 走行距離=15km
- 出発変更率, 目的=出勤・帰宅ダミー（走行速度15km/hr以下のみ）, 走行距離=10km
- 出発変更率, 目的=送迎ダミー（走行速度15km/hr以下のみ）, 走行距離=10km
- 出発変更率, 目的=出勤・帰宅ダミー（走行速度15km/hr以下のみ）, 走行距離=5km
- 出発変更率, 目的=送迎ダミー（走行速度15km/hr以下のみ）, 走行距離=5km

図-17 出発変更率と平均走行速度の関係
出発変更モデル2ー速度型（豪雨+平常時データ）

30mm以下の降雨では通常自動車での出発を躊躇する人は少ないことを考えれば、閾値を設定した行動変更曲線の方が妥当といえる。逆に、豪雨時データだけのモデル1では、豪雨が10mm程度と少なくとも出発変更率が高くなる傾向にある。これは、実豪雨データにおいては、走行時の降雨が少なくても、その前後で生じた道路交通混乱状況の影響を受けていることや、冠水地帯方面に向かう場合などでは降雨量に関らず、道路渋滞の影響を受けていることが理由として考えられる。

モデル2では平常時データを加えていることから、降雨の少ない状況では平常時の出発変更率の低い値が卓越しており、上記のモデル1のような状況はない。しかし、モデル2においても豪雨が発生した場合（降雨量30mm以上）においては、豪雨時のデータが卓越して、豪雨時の出発変更率が推計される関数となっている。このようにモデル1は豪雨時の出発変更率の実際の状況を考える上で有用であり、モデル2は平常時も含めて出発変更率を論じる場合に有用であると考えられる。モデル2から判断すれば走行距離が10kmを越える場合は降雨量30mmであっても出発するかどうかの判断は情報を考慮して慎重に行う必要があるといえる。

次に速度型のモデル1と2（表-6、7）をみってみる。平均走行速度は元の数値をxとして、 $\log(1+x)$ で対数変換して採用している。この変数には閾値は設定しておらず、0以上のすべての速度を対象とする。この対数変換は、平均走行速度がある値以上になると、速度の変化に対する出発変更率の変化は小さくなることを考慮したもので

ある。他の変数は降雨型のモデル1または2と同様であるが、モデル2の走行目的ダミーの閾値は、速度15km/hrとして、これより高い速度ではすべての目的で0の値をとるように設定している。この速度15km/hrの閾値はいくつか変えて分析したが、最もよいモデルとして採用した。両モデルともに、t値から走行距離の寄与率が高く、次に速度が高い。精度は他のモデル同様に比較的良好といえる。これらのモデルのうち、平常時データを含むモデル2の関数形を図-17に示す。図より、平均走行速度の15km/hr以下で急激に出発変更率が上がっている。これについても、走行距離10kmを越えるトリップで全走行区間を通しての平均速度が15km/hr以下であるのは相当程度の渋滞となっていることから、妥当であると考えられる。よって、速度型についても、モデル1は豪雨下走行のデータとしての特性をそのまま示すものとなっており、モデル2は平常時の速度レベルでは通常は出発変更しないことを考慮したモデルとなっている。

上記の分析から、送迎目的、出勤・帰宅目的が比較の出発変更率が高くなる傾向がある。また、モデルの適合度の高かった閾値として、降雨量では、30mm以上、速度では15km/hr以下に降雨量、平均速度ダミーを設定することによって、より妥当な行動変更率を示すことができた。ただし、これらの閾値は、データやモデル形態に強く依存していることから、信頼性を得るにはさらにデ

ータを蓄積していく必要がある。

6. 出発変更モデルによる道路ネットワーク感度分析

著者らはすでに、文献6)において、GISを活用した、東海豪雨時の自動車走行経路解析を行っている。ここでは名古屋都市圏道路ネットワーク上に、直後調査で得られた各個人の経路データを速度別に色を変えて入力して、東海豪雨下での道路混雑状況を視覚的に表現できた。本章では、前章で設定した出発変更モデルで出発変更率の高い方（確率50%を越える方）を、仮に出発しなかったと考えたとき、道路ネットワーク状況が元の場合と比べてどの程度になるかを、GIS上で比較分析する。

分析には、当日の豪雨体験データのみを用い、データの当てはめにとって有利な出発変更モデル1-速度型（表-6）を用いる。このモデルに直後調査の個人データ（736件）を代入して、出発変更率が0.5以上となったデータは出発変更をして出発しないと仮定し、GIS上に描く経路データから削除する。このようにした結果、GIS上に描く直後調査の経路データは、599件になった。

ここで、モデルの設定条件において考えると、この出発変更率は、出発時刻の変更、出発を取りやめるデータとして推定されるが、これらを削除する理由としては以下のようなになる。すなわち、11日の時間雨量推移図

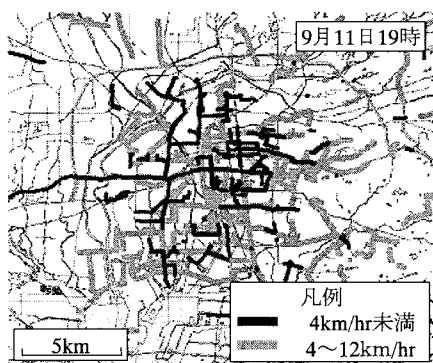


図-18 19時台の走行経路—速度図（出発変更なし）

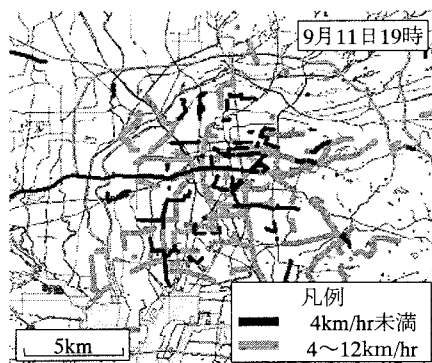


図-19 19時台の走行経路—速度図（出発変更あり）

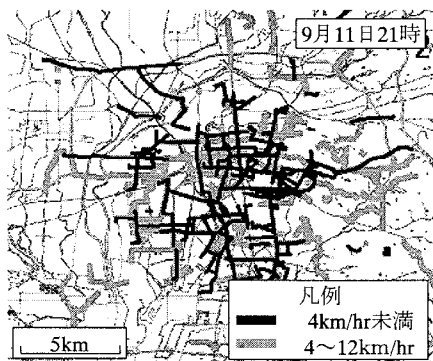


図-20 21時台の走行経路—速度図（出発変更なし）

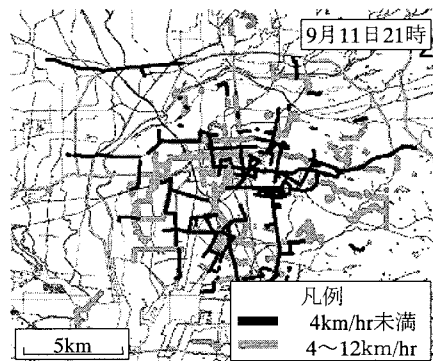


図-21 21時台の走行経路—速度図（出発変更あり）

(図-1)をみてわかるように、今回分析する時間帯においてはどのように出発時間帯を変更しても激しい渋滞の程度は変わらなかったことから、事前に状況判断が可能な情報が提供されたと仮定すれば、出発時刻変更のデータは少なくとも今回分析する時間帯においては出発しないことを考えたためである。

東海豪雨下において、最も渋滞が激しかった9月11日18時台～23時台のうち、19時台と21時台の走行経路－速度解析結果をGIS上で比較分析したものが図-18～図-21である。図-18と図-20が出発変更を考慮しない元の交通渋滞状況図であり、図-19と図-21が出発変更モデルによって、出発変更率が高いサンプルを削除した状況図となる。各図における、速度は各経路データの所要時間と経路距離から走行速度を算出し、経路の色と幅（基準1）に対する比率（幅比）は以下のように割り当てている。

- ①0～4km/hr未満： 黒色 幅比1
- ②4km/hr以上12km/hr未満： 灰色 幅比1.5

19時と21時の各時間帯に含まれるデータはその時間帯のどこかで道路上に走行しているデータとした。これらの図の出発変更前と出発変更後の比較から、特に4km/hr以下の経路がかなり少なくなっていることがわかり、本分析結果からはかなり交通負荷が軽減された印象となった。

これらの図の結果について、所要時間、走行距離、平均走行速度に着目してデータ数を比較すると、図-22～図-24のようになった。これらより、経路所要時間でみると出発変更するデータは出発変更しないデータと比較して181分以上のデータが60%以上を占めること、走行距離では20km以上のデータが約40%、15～20kmのデータが約25%を占めることから、長時間、または長距離かつ走行速度が5km/hr以下の走行データは出発変更データとして削除されたことになる。一方で、平均走行速度（図-24）に関しては上記の項目ほどは大きな差はみられない。結局、出発変更前と後で、サンプル数は20%程度の減少にとどまっているものの、走行距離が長く速度が遅いトリップを中心として出発変更が生じることから、ネットワークとしては交通負荷がトリップの減少以上に減じることになるといえる。ここでの感度分析は単純に経路データを除いているだけで、それによって他の交通が変化することは全く考慮されない簡易なものではある。しかしこの結果から、豪雨時においては交通行動を起こすかどうかの十分な判断ができる情報を提供すれば走行距離の長いドライバーを中心に自らの負担を鑑みて出発自粛等の出発変更をすることがわかり、これはまた交通ネットワーク全体の負荷を軽減することになると考えられる。

また、今後の災害下におけるドライバーの交通行動の変更を促すためには、出発地から目的地までの所要時

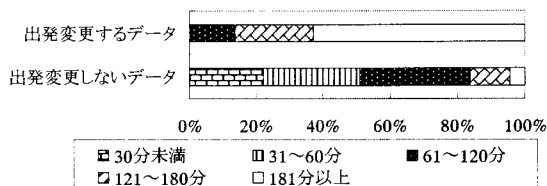


図-22 出発変更データの比較（所要時間）

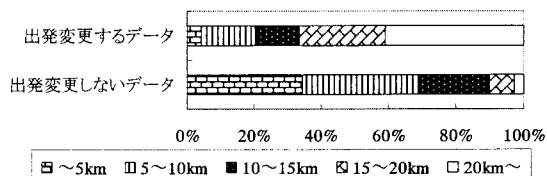


図-23 出発変更データの比較（走行距離）

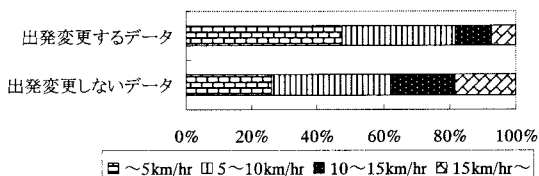


図-24 出発変更データの比較（平均走行速度）

間が最悪の状態での程度かかると伝えることが重要であるといえる。これについては、東海豪雨の交通状況は帰宅ピーク時に前例のない記録的雨量が降っていることなどから、ドライバーに最も厳しい条件下の走行状態を知らせる意味で価値ある教訓となると考えられ、本研究で明らかとなった危険意識、出発変更意識等と道路交通状況との関係をよりわかりやすく伝える工夫をしていくことが今後必要であると考えられる。

7. まとめ

本研究によって得られた結論を以下に述べる。

- (1) 集中豪雨当日に自動車走行体験をしたドライバーに対して行った意識調査から、殆どのドライバーは東海豪雨と道路交通混雑を予想できておらず、情報不足のまま出発しており、当日の体験では危険を感じたという方が多くいることがわかった。また、当日を振り返って、出発時間を早めるべき、遅らせるべき、または出発すべきだったという出発行動に対する反省を考えている方が約30%程度と出発変更意識を持つ人が少なくないことがわかった。
- (2) 特に道路走行中のドライバーに対して、今後望まれる交通対策のあり方に関する意識からは、冠水した道路の手前で長時間立ち往生したドライバーにとっては、Uターンなどによって自力でそのような状

態を脱出できるシステムを望む傾向があるということが把握できた。

(3) 豪雨下の実走行体験者による出発変更意識の要因を統計的に分析するために、非集計モデルによって、出発変更モデルを構築した。その結果、送迎目的、出勤・帰宅目的が比較的出発変更率が高くなる要因となっており、また、降雨量では30mm以上、速度では15km/hr以下の範囲において特に走行距離10km以上になるドライバーの出発変更率が高くなる傾向がわかった。

(4) 豪雨情報が事前に与えられたとした場合に、出発を自粛・取りやめる方を出発変更モデルで推計して、東海豪雨時の自動車走行経路－速度図で分析した結果、20%程度の出発の取りやめでネットワーク上の渋滞図はかなり軽減されることがわかった。これは特に長距離トリップを中心に出発取りやめをする傾向が強いことが影響している。ただし本分析は、出発取りやめをして交通需要が減少した結果が道路交通状況に影響するモデルにはなっていないことから、およそその特性を考察できるにとどまるといえる。

今後の課題としては以下のようなことが挙げられる。本研究のモデルの信頼性を上げるためには、さらに様々なケースにおけるデータの分析が必要である。本研究によって、災害時においては出発取りやめなどの変更をした方が良く考える人が少なからず存在し、どのような条件下で出発変更を考えるかについてもある程度明らかとなった。今後は出発変更の判断を促す、災害時交

通情報をどのタイミングでどの程度提供すればよいかについて実証的に分析していく必要がある。

参考文献

- 1) 内田賢悦, 加賀屋誠一, 高橋尚人, 萩原亨: 交通行動の中止を考慮した災害時における交通ネットワークモデルに関する研究, 土木学会論文集, No.779/IV-66, pp.1-10, 2005.
- 2) 朝倉康夫, 柏谷増男, 高木一浩, 藤原健一郎: 災害による道路通行規制時の交通選択行動に関する実証的分析, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp.371-380, 1997.
- 3) 若林拓史, 浅阿克彦, 亀田弘行, 飯田恭敏: 交通手段選択における所要時間信頼性の影響と交通サービス途絶時の利用者の意識変化に関する研究, 土木学会論文集, No.632/IV-45, pp.29-40, 1999.
- 4) 堀切真美, 小谷通泰: 阪神・淡路大震災後における住民の避難行動に関する分析, 土木計画学研究・論文集, No.17, pp.819-826, 2000.
- 5) 片田敏孝, 児玉真: 2000 年東海豪雨災害の進展過程における住民の浸水被害想定の変遷とその対応行動への影響, 土木計画学研究・講演集 vol24 (CD-ROM), 2001.
- 6) 藤田素弘, 三田村純: 東海集中豪雨下における自動車帰宅交通状況と走行経路分析, 土木学会論文集 No.751/IV-62, pp.127-137, 2004.
- 7) 名古屋市緑政土木局: 2000年9月土木事務局雨量表 (月報).
- 8) 名古屋市地方気象台: 愛知県気象概況, 2000.
- 9) 気象庁HP <http://www.data.kishou.go.jp/>
- 10) 伊藤大介, 藤田素弘, 三田村純: 集中豪雨時の広域的道路交通解析と帰宅行動意識および対策検討, 土木計画学研究・講演集, No.27 (CD-ROM), 2003.

帰宅時集中豪雨下の自動車走行体験データによる出発変更意識分析と交通対策に関する研究*

藤田素弘**・坂本 淳***・雲林院康宏****・三田村純*****

2000年9月11日から12日にかけて名古屋市を中心として発生した集中豪雨は、都市周辺部において甚大な被害をもたらし、災害時における道路交通対策や情報提供方法および、これらに対する各個人の交通行動のあり方について多くの問題点を投げかけた。このような背景から、本論文では自動車交通に焦点を当て、実体験データに基づいて災害時における交通対策と各個人の交通行動意識、および、今後の交通対策案を検討した。豪雨下走行に関わる出発変更モデルを構築するとともに、GISにおける走行経路分析への適用を通じて、ドライバーの出発自粛・取りやめを行う道路状況の把握とこの出発変更が道路ネットワークに及ぼす定性的な影響について検討できた。

Analysis on Traffic Measures and Driver's Behavior Consciousness under the Heavy Rainfall Disaster*

By Motohiro FUJITA**・Jun SAKAMOTO***・Yasuhiro UJII ****・Jun MITAMURA*****

The rainfall disaster occurred during a period between 9.11 and 9.12, 2000 caused severe damage to Nagoya city's traffic network and highlighted the problem about the way to give information and traffic management under the disaster. Therefore, in this paper, we aim to consider the way to information and traffic management to promote driver's appropriate behavior under the heavy rainfall disaster based on driver's experience data. Specifically, we develop departure behavior models for drivers under the disaster and apply the model to the analysis of road network situation by using GIS.