

東海集中豪雨下における自動車帰宅交通状況と 走行経路解析

藤田素弘¹・三田村純²

¹正会員 工博 名古屋工業大学大学院ながれ領域都市循環システム工学専攻
(〒466-8555愛知県名古屋市長和区御器所町)

E-mail:fujita@doboku2.ace.nitech.ac.jp

²正会員 工修 (株) 地域未来研究所 (〒520-0055 滋賀県大津市春日町5-11)

本研究では、2000年9月11日夕刻に名古屋市域を中心に発生した東海集中豪雨における交通麻痺状況下において、人々の帰宅交通行動がどのような状況であったかを、特に自動車交通に焦点を当てて調査分析した。本研究の結果から、東海豪雨が帰宅時間帯に重なったことから、徒歩速度と同程度の自動車走行を余儀なくされ、出発地から目的地までの経路全体に渡って激しい渋滞に巻き込まれた様子が明らかとなった。また、豪雨と帰宅交通のピーク時間帯に出発した車両と豪雨が収束した後で出発した車両とが結局同じ時刻に到着するという事例が多く確認されているなど、降雨量の動きと交通量の状態を考慮して運転を控える等、慎重に行動をとる重要性が改めて確認された。

Key Words : *downpour, disaster, travel times, route, GIS*

1. はじめに

2000年9月11日夕刻に名古屋市域を中心に発生した東海集中豪雨は都市周辺部において浸水など甚大な被害をもたらした。一方都市交通においては、鉄道、地下鉄などの運行休止や高速道路における通行止めが相次ぎ、一般道路においても市内のあちこちで冠水による通行不能状態となり、激しい渋滞が引き起こされるなど、ほぼ名古屋市域全域が全面的交通麻痺状態に陥った。このような11日夕刻から翌日にかけての全面的な交通混乱は今後の防災計画を総合的に見直す上で見逃すことのできない課題となったと考えられる。

ここで2000年東海集中豪雨の特徴を簡単に述べる。東海豪雨は名古屋都市圏を中心として発生した。その経緯は朝から10-20mm程度の雨が降り続いた後、夕刻(18時台)に名古屋市を中心に時間93mm(名古屋観測所)という記録的豪雨となり、その後も30-50mm前後の豪雨が深夜にかけて断続的に降り続き、総雨量500mm以上を観測して多くの被害をもたらしたものである。11日14時以降に時間雨量40mmを越えた各観測所と豪雨始めの時刻は、早いものから大垣(14時)、桑名(15時)、八開(15時)、一宮(17時)、蟹江(17時)、名古屋(18時)、小原(18時)、東海(18時)、美濃加茂(19時)、多治見(19時)、豊田(21時)となっている。時間雨量の最大は114mm(東海)で、豪雨は市西部から

東南部へと移動したが、名古屋市内の降水量の推移は3章の図-6に示した。公共交通は、名古屋市と郊外を結ぶ鉄道(JR,名鉄,近鉄)ではほぼ全線が17時台に運休し、地下鉄も東山線を除く路線(特に市周辺部)で一部運休した。17時台に大雨・洪水警報が発令され、東海3県において一時約19万世帯に対して避難勧告、避難指示が出された。この東海豪雨の特徴としては、数日前から予報・警戒される台風とはことなり、東海豪雨が発生するまでは、ほとんど誰もこれほどの豪雨が長時間降りつづき、全面的交通麻痺状態に陥るとは予想できていなかったこと、豪雨量のピークが帰宅交通のピーク時間帯と重なったことなどが挙げられる。しかしながら、豪雨中において、多くの鉄道が運休したことは随時ラジオ等で入手はできた。しかし道路交通に関してはほとんど情報がなかったことから、多くのドライバーはそのような道路交通状況を予想できず、自動車走行を行い、渋滞にさらに拍車をかける結果となったといえる。

上記の背景から、本研究では、集中豪雨で麻痺状態に陥った交通状況下における人々の帰宅交通行動について焦点を当てて調査分析するが、ここでは特に運行が管理される公共交通とは違って、個人個人のドライバーに行動の判断がゆだねられ、交通状況の把握も困難な道路交通に焦点を当てて分析する。そして、交通渋滞状況、道

路冠水状況、迂回・走行断念状況、走行経路状況等を中心に集中豪雨下における自動車走行の実態を明らかにして、よって、今後の災害時における交通対策のあり方について検討するための基礎資料とすることを目的とする。

なお、本研究の時間降水量の時間帯は観測所が発表している時間帯よりも1時間早い時間を適用する。すなわち、観測所では例えば18時台の時間降水量を19時として発表しているため、実交通量との分析での整合性を考慮するためである。

2. 従来の研究と本研究の構成

自然災害時における既存の交通関連研究では、災害時における交通ネットワークの信頼性評価・被害想定や実災害時における公共交通、自動車交通の実態分析に関するものが多い。信頼性評価・被害想定に関する研究としては、廣瀬・近藤ら¹⁾や椎名・赤羽ら²⁾が災害発生想定時の交通状況評価や施設整備計画のために被害のシミュレーション分析を行って評価をしている。また朝倉・柏谷ら³⁾は災害時の時間信頼性とネットワーク形態との関連を需要変動型利用者均衡モデルを用いて分析している。南⁴⁾は実際の道路網における災害点検データを利用してネットワークの連結評価を行った。しかしこれらは本研究で対象とする実際の災害時データによる分析とは異なる。

実災害時のデータに基づいて分析した例として、若林・亀田⁵⁾は海外の地震災害を例にとり、道路の信頼性評価を試みている。高橋・藤井⁶⁾は火山災害時の交通影響について分析しており、通勤距離が長くなった実態を評価している。朝倉・柏谷ら⁷⁾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⁸⁾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、最大所要時間の重要性を示した。堀切ら⁹⁾は阪神大震災後の住民の非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。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く集中豪雨時の大都市圏における帰宅交通に関連したものは異なる。

阪神大震災時の道路交通の状況を実態分析した例として、塚口・戸谷ら¹⁰⁾は航空写真を用いて道路被害状況、自動車流動状況を分析しており、浦中、小谷ら¹¹⁾は同様に航空写真を用いて自動車交通の実態分析を行っている。ここでは道路の閉塞状態や駐車車両の影響を分析しているが、いずれも出発地目的地間の所要時間や走行経路状況にまで言及するものではない。

表-1 アンケート調査の概要

対象者	配布	配布時期	配布数	返送数	分析対象
名古屋市域在住者	郵送	9/18	4000	1253	745
名古屋市 隣接地域在住者	直接 投函	11/4~14	2000	244	136

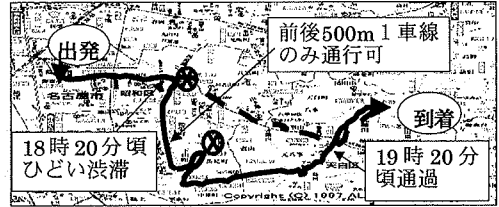


図-1 アンケートにおける走行経路記入例

本研究では東海地域の災害時交通の事例として、東海集中豪雨時の帰宅交通状況の実態分析を行うことに特徴がある。また本研究ではこれまで扱われなかった自動車走行経路やその所要時間に着目した全市域の交通麻痺状況をGIS等の援用によって分析することに特徴がある。

本研究の構成は次のようになる。3章では東海豪雨後に行ったアンケート調査の概要を説明し、単純集計結果を示す。4章では集中豪雨下の走行所要時間を方面別に考察した後、所要時間推計モデルを重回帰分析によって構築することによって、走行所要時間の地域特性や出発時間帯別特性を統計的に解析する。5章ではGISを利用して走行断念・冠水地点を明示するとともに、名古屋市域道路ネットワークでの走行経路と速度の時間的推移を実態分析する。6章では本研究の結論を述べる。

3. 集中豪雨アンケート調査の概要と道路交通状況

(1) アンケート調査の概要

本研究で分析する東海集中豪雨後に行われたアンケート調査の概要を表-1に示す。対象とするアンケートは①名古屋市内在住者を対象として電話帳住所から各区で一樣になるようにランダム抽出し、郵送配布回収したものと②名古屋市の隣接周辺地域在住者を対象として、各地域で偏らないようにランダムに抽出した住宅への直接投函、郵送回収で行ったものの2種類に分類される。②の調査は、①の調査対象が名古屋市内在住者に限られたことから調査地域を拡大するために補足的に行われたものである。

アンケートの質問内容は、個人属性、当日の活動状況、自動車走行経路、運転時の道路状況等である。その内経路調査については図-1に示すような走行経路記入例を

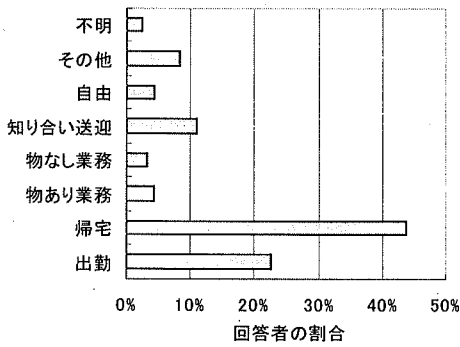


図-2 集中豪雨時の自動車走行目的

示して、実際の地図上に走行経路を記入するとともに、通行不能地点、走行断念地点、道路冠水区間を随時入力して頂いた。アンケートでは、特に状況が把握できていなかった自動車走行の実態把握を重点に置いたことから、各家庭に配られたアンケートはできる限り東海豪雨当日に自動車走行をされた方に記入して頂き、もしそのような方がいない場合は自動車以外でも交通行動をされた方をお願いすることにした。以下で対象とするのはこの自動車走行をされた方のデータ（名古屋市域在住者745件、隣接地域在住者136件：合計891件）である。この回答者属性割合は性別（男性：83%，女性17%）、年齢（20代：8%、30代：18%、40代：25%、50代33%、60以上15%）となっている。約90%が運転歴10年以上の熟練ドライバーで調査域である名古屋地域付近では道路経路状況、渋滞などの日常的な交通状況については十分認識している方がほとんどであると考えられる。

(2) 集中豪雨時の自動車走行に関する単純集計結果

図-2は集中豪雨時における自動車走行の目的を示している。図より、集中豪雨時の自動車走行目的は帰宅が44%で最も多く、続いて出勤、知り合い送迎となっている。出勤は夜間勤務の出勤であり、知り合い送迎の多くは公共交通が運行休止になった後で車で迎えに出たもので帰宅行動の一種と考えられる。このように帰宅と送迎、出勤で80%程度になるのは、時間雨量50mmを越える本格的な集中豪雨の始まりが市民の多くが帰宅または夜間勤務へと向かう月曜日18時頃と重なったためである。

図-3は、本研究において重要なデータとなる走行経路と出発時刻、到着時刻の記述の正確さを聞いた回答である。経路、時刻ともに、不明を除いて、あいまいであると答えたものは3%以下にとどまっており、ほとんどの人が正確又はほぼ正確と答えている。この結果は前述の2回の調査で別々に集計してもほぼ同様であった。よって

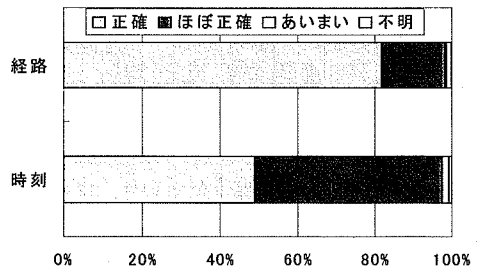


図-3 経路と時刻の正確さ

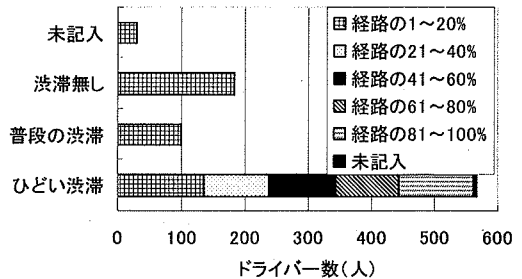


図-4 ドライバーが感じた渋滞状況

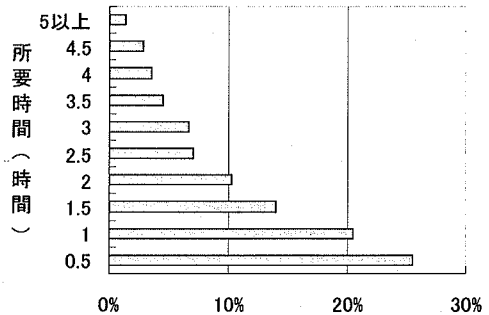


図-5 自動車走行経路の所要時間分布

今回の分析における時刻と経路は十分信頼性を持つものとする。この結果は、アンケートが比較的早くなされたことと、東海集中豪雨がこれまでに経験されたことのない激しいものであったため、記憶に鮮明に残っているためと考えられる。

図-4にドライバーが当日の自動車走行で感じた渋滞状況を示す。これより、集中豪雨時に走行していたドライバーの約64%が日頃経験しないようなひどい渋滞に遭遇したと答え、そのうちの約40%のドライバーが各人の経路の60%以上でそのような渋滞だったと答えており、日常では経験しない渋滞が市域のあちこちで発生していたことが分かる。このひどい渋滞の程度は図-5の自動車

表-2 自動車走行経路への集中豪雨の影響

	迂回あり					迂回無し	計
	冠水浸水	渋滞	冠水予測	その他	不明		
目的地到達	14%	9%	2%	3%	4%	54%	86%
未 到 達	走行断念	2%	2%	1%	1%	0%	4%
	出発地戻る	1%	1%	0%	0%	0%	1%
	目的地変更	1%	0%	0%	0%	0%	1%
計	18%	12%	3%	4%	5%	59%	100%

走行所要時間分布を見ても、通常はピーク時でも平均所要時間が30分程度である都市圏において、集中豪雨時においては約30%のドライバーが120分以上走行していたと回答したことから理解できるが、渋滞所要時間の地域的な状況については次章以降でさらに詳しくみていくものとする。

表-2は集中豪雨時走行における目的地までの道路状況や到達状況、および迂回ありの場合はその理由を示している。表より経路途中の道路冠水による自動車の故障等で走行を断念せざるをえなかった車両が全体の9%になった。これに、出発地に戻ったり、目的地を変更せざるを得なかったものを加えると、当初の目的地に到着できなかった車両は全体の14%程度にのぼった。この割合の高さから考えても、道路交通における交通混乱の状況がおおよそ理解できる。

(3) 道路冠水・自動車走行断念データと集中豪雨量

アンケート地図(図-1)の経路上に示された自動車走行経路中の走行断念データや冠水地点データを時間帯別にまとめて集計したものを図-6に示す。図には名古屋観測所で観測された時間雨量も示している。ここで、自動車走行断念データとは道路の冠水によって、ドライバーが通行不能として自動車走行を断念し、引き返したり予定していた経路を迂回した地点、または冠水による自動車の故障によって、自動車走行が不可能になってしまった地点(図-1の ⊗)を示している。また、道路冠水データとは通行不能まではいなくてもドライバーによって道路が冠水していると認められた冠水区間データを地図上に記入していただいたものをまとめたものである。走行断念と冠水地点データに当てはめられた時間帯は、直接地図上に時刻が記入されていたものについてはその時刻を用い、記入されていないものについては、出発時刻、到着時刻と経路全体に対する断念地点の位置関係から推計したものである。

この図より、集中豪雨の時間雨量が93mmを記録した11日18時から19時にかけて道路の冠水や自動車走行の

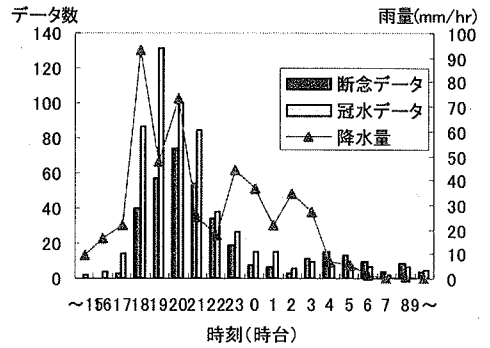


図-6 自動車走行断念・道路冠水データ数と時間雨量推移図

断念データは急増しており、豪雨量が弱まるにつれて減少していく。豪雨量は21時から22時台にかけて50mm以下になった後に、23時-24時台に再び50mmを越えるが、断念・冠水データは増加していない。これは23時台以降で走行車両数が減り調査データが少なくなっている影響もあるが、道路冠水の多くが18-20時台の3時間帯における平均時間雨量72mmの集中豪雨に道路排水が追いつかず道路上にあふれた雨水によって生じていることが考えられ、市内の排水施設は基本的に時間雨量50mmまでは耐えられるように設計されていることが理由として考えられる。

4. 集中豪雨下の走行所要時間解析

ここでは、走行経路データの出発地、目的地、出発時刻、到着時刻等に着目して集中豪雨下の走行所要時間の違いを詳しく分析し、出発時刻別、到着時刻別の渋滞状況をみていく。また、走行所要時間推計モデルを重回帰分析により設定し、各方面別の所要時間の特徴について解析する。

(1) 集中豪雨下の各方向別自動車走行所要時間

図-7と図-8は集中豪雨時に名古屋市の都心部である中区から出発した各車両がそれぞれの目的地(市内は区別で、市外は隣接関係から図中の凡例のように分類)に到着するまでに要した走行所要時間を出発時刻別、到着時刻別に示した散布図である。

図-7をみると、集中豪雨がピークであった18時前後において最大5時間程度までばらついていた所要時間が時刻の進行につれて徐々に収束し最大120分程度のばら

つきになり、これより特に18時台に出発したドライバーは最も激しい渋滞に遭遇したことがわかる。一方で降雨が弱まった22時前後に出発したドライバーは、18時台に出発したドライバーの半分程度の所要時間で目的地に到着していることが分かる。また図-7において○で囲った天白区方面のデータ(▲)に着目すると、これらは18時から22時までに出発した車両で所要時間は2時間から最大5時間までに分布している。これらのデータの出発地-到着地点間直線距離はいずれも10km前後であり通常の渋滞であっても1時間程度の所要時間で目的地に到着できる距離である。図-8の到着時刻ごとの散布図をみると、これらはほぼ同一の到着時刻において並んでいる。このことから、集中豪雨のピーク時に出発したドライバーも、降雨が弱まってから出発したドライバーも到着時刻でみると結局あまり差がなかったといえる。これは、道路上に発生した冠水の多くは時間雨量93mmとそれに続く50mm以上の激しい豪雨によってもたらされており、そのような降雨が弱まれば走行状況が徐々に改善されたものと考えられる。一方で、23時以降も走行所要時間が極めて長く、道路状態があまり改善されなかった方面も幾つか見られる。これらの方面では、大きな河川を横切っていることが分かっているが、河川流域部は、市域においても低地部に位置していることから、豪雨後も時間の経過とともに増加した河川流量と周辺から集まった雨水によって浸水や道路冠水した地域となっており、これらの方面では浸水が解消されるまで長時間にわたって渋滞が解消されない状況が生じているといえる。

図-9は図-7の天白区方面の最も時間のかかったケースの経路記入図である。7時05分に出発してから11時45分に到着するまでに幾度も走行不能地点を回避して蛇行をしており、激しい渋滞の程度が読み取れる。

(2) 所要時間推計モデルのためのゾーン

次節では集中豪雨下での走行所要時間推計モデルを構築するが、集中豪雨の影響の程度を十分に考慮できるように目的地別にモデル構築を行う。目的地別モデルを構築するためには各目的地ごとのデータ数が十分に確保されるように、図-7中の凡例のような行政区単位ではなく、やや大きな区分で目的地ゾーンを設定する必要がある。この目的地ゾーンの設定は以下ようになる。

本研究では幹線道路の路線線形や地形的条件等に注目して、集中豪雨の影響に関して共通性の高い行政単位区域を集約して図-10および表-3のようにゾーンを設定した。図-10より設定されたゾーンの大きさは一様でないが、次節の所要時間推計モデルは走行距離変数をベースとして構築されるので、ゾーンの大きさには影響を受けないように考慮されている。

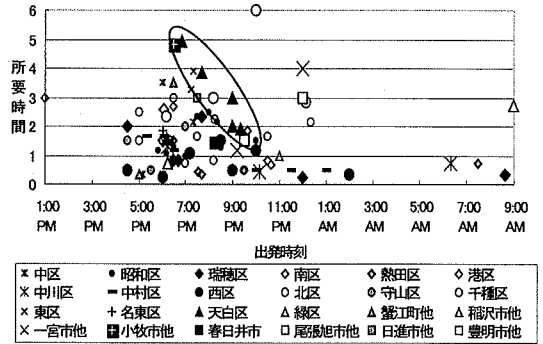


図-7 中区から各ゾーンへの出発時刻別の自動車走行所要時間

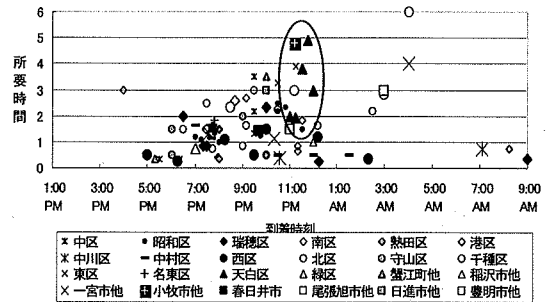


図-8 中区から各ゾーンへの到着時刻別の自動車走行所要時間

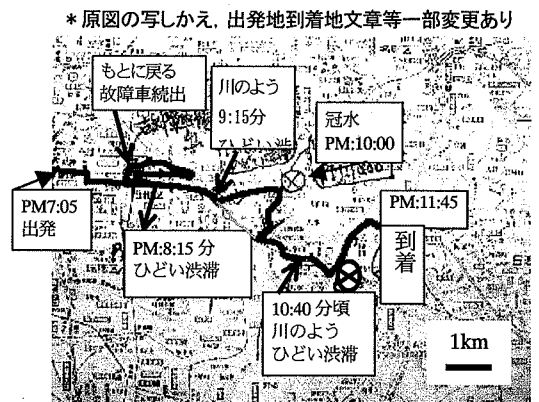


図-9 集中豪雨下での走行経路例

(3) 走行所要時間推計モデルと考察

前項のゾーン区分を用いて、目的地ゾーン別走行所要時間モデルを重回帰分析によって構築する。重回帰分析に用いた変数は表-4のように、経路距離、高速道路利用有無、出発地ゾーン、出発時間帯などからなっている。この重回帰分析結果を表-5に示す。変数には表に示したほかにも、出発地変数や時刻変数で用いた経路距離ダ

ミーではなく、1と0のダミーや雨量等の変数も考慮されたが、表のモデルは精度が高く、集中豪雨の時間的推移、地形や道路ネットワーク形態の関係を解析する上で最も妥当性が高いと判断されたものである。経路距離変数が採用されているにもかかわらず、出発地変数や時刻変数でも経路距離を用いているのは、精度が良かったことと、各出発地と出発時刻に関して補足的に各方面別の所要時間の特徴を考慮しなかったためである。表の空欄はサンプルが少ないか、出発地、時刻で特徴がないために変数として採用されなかったものである。逆に、表中でt値の低い変数も、各時刻と方向別の走行特性を考慮する点で意味のあると考えられたものは採用した。

表-5より、目的地別の重回帰分析結果についての考察を以下に示す。

①東部方面(千種区、名東区、日進市等)

重相関係数は0.781と比較的良好といえる。時間変数でみると、時18-20の偏回帰係数が3.03でt値も高く寄与率が高い。夜遅い時間帯ほど偏回帰係数が下がってきていることから、この方面は集中豪雨と帰宅交通のピークの強い影響を受けたものの、豪雨量が下がれば路上の冠水も軽減され走行環境が徐々に改善されたものと考えられる。この方面は標高では比較的高い地形となっていることから、豪雨時ではその中の窪地部分に雨水が集まり道路が冠水したが、豪雨後は比較的水が引きやすく走行が可能となったといえる。出発地変数では、都心部(S都距)からの出発で最も時間がかかっており、帰宅交通混乱の影響を強く受けたことがわかる。

②南部方面(瑞穂区、天白区、南区、緑区、豊明市、大府市等)

重相関係数は0.844と高い精度であるといえる。このモデルでは時間帯ごとに所要時間の変動が大きいことから、21時から23時の時刻変数については各時刻別の距離ダミーを導入している。時刻変数でみると、22時台から23時台までの係数が他の時間帯と比べると非常に大きくなっていることが分かる。この地域はいくつかの河川が海へと向かう比較的低地部が多くなっている。市中の集中豪雨の雨水が集められたこともあって、翌日まで続く浸水被害を受けた野並地区周辺を中心に広範囲にわたって道路冠水がひどくっており、通行不能になった交差点が多い。浸水および道路冠水は21時以降にひどくなったことがあり、この時間帯以降に出発した車両はこの通行止めの道路渋滞で立ち往生して長時間に渡って動くことができない状態であったと考えられる。逆に24時以降ではそのような渋滞箇所は交差点の手前で回避できる程度まで交通量が減少してきたことから、道路が冠水はしているものの所要時間は短くすんだものと考えられる。出発地変数で考えると、東部(S東距)と都心部(S都距)の偏回帰係数が高く、これはこれらの経路の

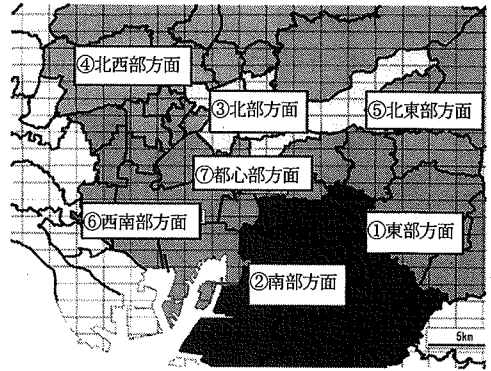


図-10 所要時間推計モデルのゾーニング

表-3 走行所要時間推計モデルにおけるゾーン区分

①東部方面	千種区、名東区、日進市
②南部方面	瑞穂区、天白区、南区、緑区、豊明市、大府市
③北部方面	西区、北区、東区、守山区
④北西部方面	小牧市、一宮市、稲沢市
⑤北東部方面	春日井市、尾張旭市
⑥西南部方面	中村区、中川区、港区、蟹江町
⑦都心部方面	昭和区、熱田区、中区

表-4 走行所要時間推計モデルにおける変数

目的変数	所要時間	自動車で行った経路の所要時間(分)	
		経路距離	自動車で行った経路の距離
出発地変数	高速有無	高速道路を使った人は1、使っていない人は0	
	s南距	南部方面から出発した人は経路距離[km]、それ以外は0	
	s東距	東部方面から出発した人は経路距離[km]、それ以外は0	
	s西距	西南部方面から出発した人は経路距離[km]、それ以外は0	
	s北距	北部方面から出発した人は経路距離[km]、それ以外は0	
	s都距	都心部方面から出発した人は経路距離[km]、それ以外は0	
	s北西距	北西部方面から出発した人は経路距離[km]、それ以外は0	
時刻変数	時18-20	18時、19時、20時に出発した人は経路距離[km]、それ以外は0	
	時21-23	21時、22時、23時に出発した人は経路距離[km]、それ以外は0	
	時0-2	24時、翌日午前1時、2時に出発した人は経路距離[km]、それ以外は0	
	時3-4	翌日午前3時、4時に出発した人は経路距離[km]、それ以外は0	
	時18-時4	18時から翌日4時の各時刻に出発した人は経路距離[km]、それ以外は0	

表-5 目的地ゾーン別自動車走行所要時間推計モデル

	東部	南部	北部	北西部	北東部	西南部	都心部
定数項	13.58	-4.81	8.69	22.70	48.32	26.74	4.93
	1.64	-0.35	3.20*	1.30	3.99*	2.39*	0.31
s南距[km]			8.69		6.43	4.28	
			3.20*		3.66*	2.56*	
s東距[km]		9.12	2.06		1.65	1.99	
		3.95*	0.55		1.47	0.90	
s西距[km]		3.78	0.64	1.01		2.11	
		2.01*	0.38	0.49		1.18	
s北距[km]		2.32	5.48	3.07		5.42	
		0.89	1.98*	2.12*		2.90*	
s都距[km]	3.14	6.07	9.19			2.52	1.81
	3.11*	2.96*	3.19*			1.51	0.60
s北西距[km]							2.21
							1.15
経路距離[km]	3.80	3.84	3.15	5.55		2.17	3.02
	3.12*	2.05*	1.92*	4.21*		1.46	1.56
高速有無	-59.50	-20.89	-28.90	-75.57		-21.84	
	-2.32*	-0.63	-0.63	-1.87*		-0.72	
時3-4[km]		4.08					
		0.14					
時0-2[km]	1.70	5.30	2.62	6.00	8.55		
	0.87	0.24	0.43	1.60	3.96*		
時21-23[km]	1.94	0.49	0.49	1.39	4.59		14.94
	1.04	0.23	0.89	3.31*			5.77*
時18-20[km]	3.03	5.45	4.99		1.40	1.91	8.09
	2.78*	3.42*	3.04*		1.44	1.71	4.58*
時23[km]		22.41					
		6.14*					
時22[km]		18.23					
		4.66*					
時21[km]		2.47					
		0.87					
F値	16.72*	16.48*	5.78*	6.68*	6.18*	6.17*	12.51*
重相関係数	0.781	0.844	0.655	0.736	0.839	0.562	0.69
データ数	71	93	88	41	19	116	74

注)上段は偏回帰係数、下段はt値を示す。*は5%で有意となる変数

途中で冠水の被害が大きかった地域を通過するためと考えられる。

③北部方面(西区, 北区, 東区, 守山区)モデル

このモデルでは、時刻変数より時 18-20 の偏回帰係数が 4.99 で寄与率も高く、次に時 0-2 が 2.62 で高いことから、この方面は 18 時以降には 93mm 豪雨および帰宅交通の影響を受けた後、24 時以降で再び 50mm 豪雨の影響を受けた方面といえる。この地域は 2 本の大きな河川の近くに位置し、浸水被害も多かった。南部方面②と同様に、この地域では河川の増水の影響で排水が悪くなったところへ市域の雨水が集まったことと 24 時台の 50mm 豪雨の影響で通行不能区間が多くなったと考えられ、よって 24 時台の豪雨で出発した車両は、所要時間が長くなっている。出発地変数でみると都心部と浸水被害地域である南部からの車両の所要時間が長くなっている。

④北西部方面(小牧, 一宮, 稲沢市)モデル

時刻変数でみると、夜遅くなるほど所要時間がかかっている。この地域は都心部に対して大きな河川を横切ったところに位置することから、この河川周辺での浸水・道路冠水の影響を強く受けている。集中豪雨直後よりも少し時間が経過した後の河川周辺地域における浸水の影響が夜遅くなるほど所要時間が増した理由と考えられる。出発地変数でみると大きな差はないが、北部方面からの車両の距離当たりの所要時間が長くなっている。北部と北西部の間に 2 本の河川があり、前述した影響で道路冠水、通行止め等の渋滞ポイントが多く生じており、所要時間が長くなっている。また、この方面は高速有無ダミーの寄与率が高く、偏回帰係数の絶対値も 75.57 と高い。よって北西部方面に向かった場合、高速道路利用の有無により、到着時間が 1 時間以上も違ってくるのが分かる。これほど大きな差が生じたのは、高速道路が河川周辺の道路冠水地帯を横断するための橋の役割を果たしたためと考えられる。

⑤北東部方面(春日井, 尾張旭, 瀬戸市)のモデル

時間変数から夜遅くに出発した車両ほど所要時間が長いことが分かる。集中豪雨のピーク時間ではなく遅い時間帯で所要時間がかかっているのは、方面④と同様に地形的に大きな河川を横切っており、時間がたつにつれて集まった雨水によって道路冠水がひどくなったためと考えられる。また、同様の理由から出発地として浸水被害が大きかった南部方面から向かった車両は所要時間が長くなっている。

⑥西南部方面(中村区, 中川区, 港区, 蟹江町等)モデル

重相関係数は 0.562 で高くはないが、データ数が多いことと、他地域に比べて豪雨量がわずかながら少なく、早めに収束して影響が小さかったことが原因と考えられるが、以下の考察からも変数は妥当な係数を示していると考えられる。時刻変数で見ると、時 18-20 の偏回帰係数は

1.91 で最も大きく、18 時台集中豪雨と帰宅交通混乱の影響を受けたが、その後は所要時間が短くなってきている。北部(S北距)と南部(S南距)が出発地の偏回帰係数が高く、出発地として集中豪雨の影響を受けた地域からの西南部方面への移動で特に所要時間がかかっていることが分かる。

⑦都心部方面(昭和区, 熱田区, 中区)

時刻変数では、時 21-23 が最も偏回帰係数が大きくなっている。周辺部から都心に向かう方向であるので、周辺部の道路冠水影響があっても 18 時台ではなく 21-23 時台に所要時間が大きくなったと思われる。出発地変数では特に強く効いている地域はない。

全体をまとめると、18 時台の集中豪雨と帰宅交通渋滞の所要時間に対する影響はどの方面でも大きいといえる。しかし、21 時前後で豪雨が小康状態になった後は河川の影響の少ないところでは、渋滞は徐々にではあるが緩和の方向に向かったと考えられる。一方で、大きな河川周辺においては河川の増水と集まった雨水によって増加した浸水・道路冠水の影響を受けて所要時間が長くなっていることが分かった。

(4) OD 間所要時間の推定

今回の東海集中豪雨は、時間雨量 93mm という前例のない厳しい豪雨であったということ、また、ほとんど予期されないまま生じて帰宅交通のピーク時間帯に豪雨のピークが重なったということに特徴があるが、これ以上の厳しい条件下での帰宅交通行動は今後も多くは生じるものではないと考えられる。よって、ここでは今回の東海豪雨を帰宅交通にとっての最も厳しい条件の一つとして位置付けるものとする。この最も厳しい条件下において自動車での帰宅交通行動をする場合にはどのような状態を覚悟しておく必要があるかを明らかにして住民の理解を得ることは、災害時の慎重な行動を促し、無用な交通混乱を軽減する上で重要と考える。ここではその最も厳しい条件下での帰宅交通状況の例として、この災害での各 OD 間所要時間を再現することを考え、よって防災対策情報の一つとして提供することを考える。

東海豪雨下での OD 間所要時間は前節で得られた走行所要時間推計モデルを用いて推定できる。またここでの OD ペアは図-10 のような大ゾーンではなく各市区町村行政区単位の小ゾーンで推定する。

ところで、OD 間所要時間の推計は実データの集計によっても可能であるが、データ数が OD ペアでかなり異なる。時間帯別に小ゾーン単位の OD ペアで集計した場合、1-2 個または全くない OD ペアも少なくない状態であることや、同一小ゾーン OD ペアであっても走行距離や時間帯、高速道路の利用の有無等の要因のランダムな影響をうけており、単純なデータの集計によっては意味のあ

表-6 推定 OD 時間所要時間

		目的地						
		中区	東区	西区	南区	北区	緑区	天白
出 発 地	中区	—	54.7	74.1	145.8	70.9	199.5	137
	東区	34.1	—	73.1	62.4	47.4	82.5	51
	西区	46.9	73.1	—	72.7	53.9	95.3	72
	南区	113.9	192.2	220.4	—	224.5	34.7	52
	北区	44.8	47.6	53.9	74.2	—	65.3	65
	緑区	152.7	247.3	282.2	34.7	200.2	—	63
	天白区	107.2	161.2	217.9	52	200.2	63.3	—

る OD 間所要時間を得ることは難しい。これらの要因を考慮して統計的な分析・解釈に基づいた一定の信頼度において OD 間所要時間を得るには、距離変数等の要因を考慮して構築された表-5 の走行所要時間モデルを利用することは妥当であると考え。

よって、帰宅時豪雨災害条件下での自動車 OD 間所要時間の例として、名古屋市都心部の中区から各主要区役所までの OD 間で、高速道路を利用しない場合の時間帯別所要時間を表-5 のモデルに基づいて推計する。また、表-5 のモデルで必要となる経路距離は、アンケートデータから得られる、集中豪雨下の実経路距離と出発地-到着地間の直線距離との関係を回帰分析した以下の式に基づいて設定した。この分析では時刻の影響も含めて分析されたが大きく変わらなかったため、以下のモデルを採用した。

$$\text{経路距離} = 1.11 \times \text{地点間直線距離} + 0.525 \quad (1)$$

(R=0.90 データ数: 504)

式(1)の地点間直線距離に各区役所間直線距離を当てはめて経路距離を換算し、表-5 に代入することによって各 OD 間所要時間を求める。ここで得られた結果のうち、名古屋市都心部である中区と集中豪雨の影響を大きく受けた東区、西区、南区、北区、緑区、天白区の 18 時台出発の場合の OD 間所要時間(分)を表-6 に示す。

表-6 より、出発地と到着地がともに浸水被害地域であり、都心部を通過する OD ペアである緑区から西区への所要時間が最も長く 5 時間近くになっているなど、地域によって大きく差はあるものの、平常時の帰宅交通ピークでは想定されない激しい渋滞が生じることが改めて確められる。

次に、中区から各主要ゾーン(熱田区、瑞穂区、中川区、北区、名東区、緑区)への所要時間と速度の時間帯別推移を表-7 と表-8 に示す。ここでの所要時間は表-6 と同様に式(1)より算定した経路距離と各時刻を、表-5 の所要時間推計モデルに代入して求めた。緑区方面では 22 時以降浸水被害が激しくなったことから所要時間も大きくなっている。走行速度でみると全体で 4km/h 前後となっており、歩行速度程度のスピードしか出ていないことが分かる。交通量が少なくなった 24 時以降におい

表-7 中区からの各区までの時刻別所要時間(分)

出発時刻	熱田	瑞穂	中川	北区	名東	緑区
18	73.7	83.2	73.1	70.9	119.4	199.5
21	110.1	66.1	59.7	54.7	107.8	159.9
23	110.1	180.4	59.7	54.7	107.8	424.9
24	30.6	82.4	59.7	62.4	105.3	197.5
経路距離(km)	5.3	5.7	7.0	3.6	10.6	13.3

表-8 中区からの各区までの時刻別平均速度(km/h)

出発時刻	熱田	瑞穂	中川	北区	名東	緑区
18	4.3	4.1	5.8	3.0	5.3	4.0
21	2.9	5.2	7.1	3.9	5.9	5.0
23	2.9	1.9	7.1	3.9	5.9	1.9
24	10.4	4.2	7.1	3.5	6.0	4.0

ても豪雨が続いたことから速度としては通常の渋滞速度よりもかなり低い値となっており、距離に対する所要時間の大きさから考えると、全く動くことのできない停止状態が豪雨の中でかなりの時間にわたって続いたことが予想される。

5. GIS を援用した道路冠水・走行断念マップと自動車走行経路解析

地理情報システムによって、道路冠水・走行断念地点や時間帯別走行経路を地図上に表現し、集中豪雨が自動車走行に与えた影響を地域的な分布状況からより詳細にみていくものとする。

(1) 道路冠水・走行断念マップ作成と考察

図-11 では 3 章(3)で利用した道路冠水・走行断念の全時間帯データを GIS 上に示し、地域的な分布状況を表している。図中の赤丸は自動車走行を断念した断念地点を示し、青線は道路冠水範囲を示している。図では断念データが集中している地点の地点名を示した。図より、集中豪雨が発生した 11 日午後から 12 日午前にかけて名古屋市全域において多くの道路の冠水や自動車走行を断念する車両が見られた。分布としては都心部には少なく、市周辺域の河川周辺に至るほど走行断念データが多くなっている。また道路構造的にみていくと、交差点や、鉄道・道路の高架下など周囲よりも低くなっている所において自動車走行を断念した車両が目立っている。

道路冠水・走行断念地点は、地理的な位置関係はもちろんのこと、道路構造上の部分的な窪みや斜面の状態および自動車の車高の関係で決まり、必ずしも一般家屋の浸水地域とは対応していないといえる。このような地図を整備すれば今後の同規模の集中豪雨に見舞われた場合

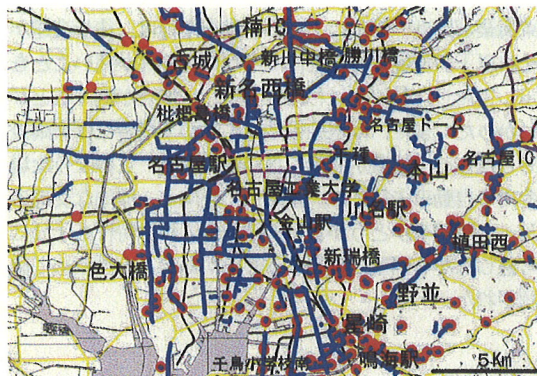


図-11 自動車走行断念・道路冠水状況マップ

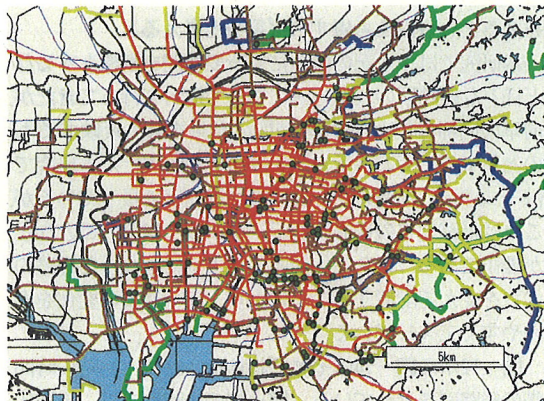


図-12 19時における速度別走行経路図

の交差点整理等の対策や、ドライバーの自動車走行行動の参考になるものと思われる。

(2) 自動車走行経路における時間帯別速度の推移

図-1で述べたように本研究では集中豪雨下で走行した経路を地図上に記入して頂いている。その経路は図-2よりほぼ正確に記入されており信頼性のあるものとする。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、この走行速度を用いて集中豪雨下の時間帯別走行状態を表示したものが図-12から図-14になる。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/h未満：赤色，幅比1
- ②4km/h以上8km/h未満：茶色，幅比1
- ③8km/h以上12km/h未満：黄色，幅比1.5
- ④12km/h以上16km/h未満：青色，幅比2
- ⑤16km/h以上：黄緑色，幅比2

※緑色の○：各経路に対応する走行断念地点

異なる色の経路が重なった区間では①を最前面とし、⑤を最背面とし、その間を以下のような優先順位で前面に配置するものとする。

前面優先順位 最前面：①→②→③→④→⑤：最背面

最も遅い速度の経路を赤色で最前面に示し、その背面に次の茶色を配置するという手順で経路を配置して最背面に最も速度の速い黄緑の経路を示している。よって、走行に最も厳しい状態である、速度の低い経路ほど前面に配置して、逆に速度の高い経路は背面に隠れることになるが、幅比を変えて速い経路ほど太い線にすることによって、どのような速度帯の経路が重なっているかが確認できるようにした。

また各時間帯の経路図では、各時間帯内で走行途中の全ての経路を含んでいる。たとえばn時台の時間帯で含まれる経路は以下のような経路からなる。

例：n時台の時間帯の経路図に含まれる経路

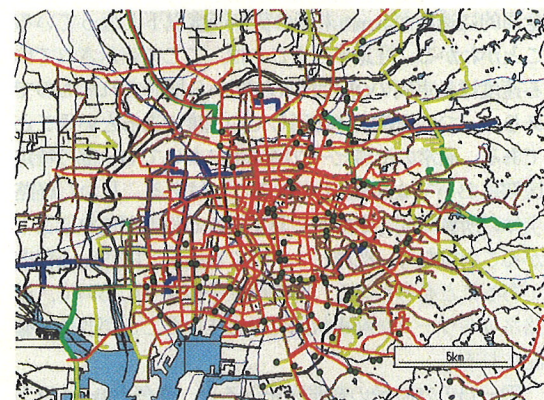


図-13 21時における速度別走行経路図

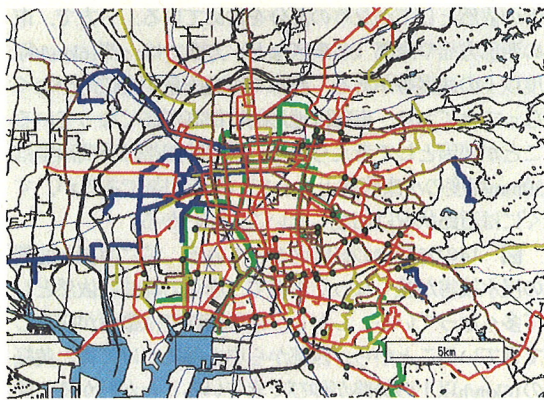


図-14 23時における速度別走行経路図

- a) n時台に出発してn時台に到着した経路
- b) n時台に出発して次の n+1時間帯以降に到着する経路
- c) 前の n-1時間帯以前に出発したが前時間帯までに到着できず n時台でも走行途中の経路

各時間帯で走行している経路を全て含む表示方法としたのは、その時間帯の道路状況を表示する上で最も妥当であると考えたためである。また、上述した前面優先順位は、最も厳しい状況を考えて災害下の交通行動の指針

をえるという点を考慮すれば妥当と考える。

本研究では、上記のほかにも所要時間を指標とするなど様々な経路図の表示方法について検討を行ってきたが、前章の回帰分析とOD所要時間の結果を最も反映するものとしてここでの表示方法を採用した。また、本研究では一つの走行経路の走行速度を平均速度で扱っているが、これは経路途中の通過時刻データが多くはないことなどが理由である。しかし、前述したように重なった経路の太さを変えて配置することにより、走行速度の変化を捉えやすく工夫している。

図-12から図-14はそれぞれ19時、21時、23時の時間帯の経路図を示している。図-12の19時台では、市周辺部において16km/h程度以上の速度帯があるものの、ほぼ全面的に速度が4km/h未満の徒歩速度以下となっていることがわかる。注意すべきことは、ここで表示されている速度は各車両のOD間所要時間から推計されたものであり、一つの経路全体を通しての速度であるということである。通常の渋滞ピーク時間帯においても一部の特定区間において4km/h以下になることはある。しかし経路全体の所要時間と距離から算定される速度がこれほど下がることはなく、渋滞ピーク時でも通常では15km/h程度であることを考えると、帰宅時集中豪雨下において、道路ネットワークが麻痺状態になっていたことが改めて確認される。

図-13の21時台の経路図をみると、赤色の4km/h以下の経路は、19時台と比較してやや少なくなっているものの依然としてかなりの部分を占めている。一方で、市の西部方面や東部（名東区など）方面では一部16km/h程度以上の速度帯がある。西部では豪雨量が比較的少なくなってきたこと、東部は地形的に標高が高くなっていることが要因として考えられる。この時間帯は時間雨量は30mm程度の小康状態となっている時間帯であるが、すぐには道路状況は回復しないことがわかる。

図-14の23時台の経路図をみてみる。特に南部と北部の浸水被害が強くなった影響で、赤色の経路は依然として多くなっている。しかし、市の西部では豪雨が収束してきていることから、西部から中心部にかけて青と黄緑の16km/h以上の経路が伸びてきていることがわかる。前章までの分析でもあったように、この23時台で多くの車両が目的地に到着し、次の時間帯以降は南部と北部に関連する経路以外はかなり少なくなる。

上記から、徒歩程度かそれよりも遅いような激しい渋滞が市域全体で生じていたことが確認できた。一方で市周辺部や地形の高い地域においては集中豪雨に対して回復がやや早いと考えられる地域もわずかながら見られた。ただし、これらは帰宅ピーク時集中豪雨下の渋滞に対する抜け道といえるようなものではないと考えられる。結局のところこれらの結果は、帰宅ピーク時間帯で、かつ、

東海豪雨程度の降雨の下での自動車走行は、徒歩交通かそれ以下の速度でしか走行できない可能性が高いことを示しており、長時間にわたって激しい渋滞が続くことがわかった。また、浸水被害地域に向かう場合には豪雨後もしばらくは渋滞が回復しないといえる。このような場合での自動車走行には、豪雨量の動向と一般的な交通のピーク時間帯かどうかと目的地方面の浸水特性を十分に考慮しながら慎重に行動する必要があることが改めて確認された。

6. おわりに

本研究では、東海集中豪雨下における自動車での帰宅交通行動について分析し、特に走行所要時間や走行経路について解析を行った。本研究の結論は以下のようになる。

(1)調査結果から、集中豪雨時に走行していたドライバーの約64%が日頃経験しないようなひどい渋滞に遭遇しており、そのうちの約40%のドライバーが全経路の60%以上でそのような渋滞だったと答えており、日常では経験しない渋滞が市全域で生じていたことが分かる。また、走行経路途中で自動車の故障等で走行を断念せざるを得なかった車両が全体の9%であり、これに出発地に戻ったり、目的地を変更せざるを得なかったものを加えると、当初の目的地に到着できなかった車両は全体の14%程度にのぼることがわかった。

(2)集中豪雨下の自動車走行所要時間の出発および到着時刻別散布図（天白区方面）でみると、帰宅交通のピークであり、集中豪雨のピークであった18時台に出発した車両は最も大きな所要時間がかかった。その結果、方面にもよるが、18時から22時にかけて出発した車両は、出発時刻にかかわらず23時台と一緒に到着するという現象が生じていることが分かった。

(3)走行所要時間の重回帰分析から、集中豪雨ピークの時間帯が最も激しい交通渋滞を生じていたが徐々に回復に向かった方面や河川流域の低地部などのように時間が少し経過してから多大な所要時間がかかった方面など、集中豪雨の影響が各方面別時間帯に異なっていることが分かった。

(4)GISを利用して集中豪雨時の道路冠水・走行断念マップを作成し、通行不能に陥っていた道路箇所を市域的に示した結果、これらは市都心部は少ないが、市周辺部にいくほど走行断念データが多くなっており、交差点や、鉄道・道路の高架下など周囲よりも低くなっている所に多く見られた。また、自動車走行経路データを時間帯別および走行速度別にまとめた結果、4km/h程度の区間が長時間に渡って市全域を覆っており、16km/h程度

以上の経路は西部と東部に一部含まれる程度であった。それらが収束してきたのは翌12日午前0時以降であり、豪雨の収束が比較的早かった西の方角から徐々に回復する状況がGIS上で確認できた。

以上の結果から、東海豪雨と同程度の豪雨が帰宅時間帯に重なった場合には、いわゆる抜け道のような経路は存在しないといえる。また、時間雨量93mmのような豪雨時に出発しても、その車両は激しい渋滞に巻き込まれることから、降雨が収束した後で出発した車両と結局同じ時刻に到着するということになる。このような事例が多く確認されていることを踏まえて、降雨量の動きと交通量の状態及び目的地方面の浸水特性を考慮して、走行を控えて待機するなど慎重に行動することが重要であるといえる。

以上の結論は東海豪雨下での自動車帰宅交通実態の事例である。しかし、ここで明らかとなった帰宅ピーク時における豪雨下走行の道路交通混乱実態は、実際に起こった、そして今後も起こりうる事態として、ドライバーへの注意・警告としてわかりやすく理解させられるものであると考えられる。実データによる最も厳しい状況を十分にドライバーに理解させておくことは、無用な走行を自粛させたり、予測可能な場合は早期帰宅を促すなどの方策に役立てることができるとと思われる。

今後の課題としては、より詳細に道路冠水・走行断念地点データを分析すること、当時の車両感知器データ等によってより詳細な分析を行うこと、公共交通への影響の分析や交通麻痺状態における交通対策案を具体的に検討していくことが挙げられる。

最後に本研究は文部科学省科学研究費補助金において行われた成果の一部である。また本研究を進めるにあたり、アンケートの回答にご協力いただいた名古屋市や名古屋市周辺地域の住民の皆様方に厚く感謝いたします。

参考文献

- 1) 廣瀬義伸, 近藤光男, 綾貴穂, 山根丈: 地震防災のための道路網および緊急施設整備計画に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.15, 1998.
- 2) 椎名啓雄, 赤羽弘和, 浪川和大: 災害発生時における交通状

- 況調査システムについて, 土木計画学研究・講演集, No.22(2), 1999.
- 3) 朝倉康夫, 柏谷増男, 藤原健一郎: 道路網の機能的階層性と災害時の時間信頼性との関連, 土木学会論文集, No.583/IV-38, 51-60, 1998.
- 4) 南正昭: 防災点検データを用いた道路網整備計画の一評価技法, 土木計画学研究・論文集, No.17, 2000.
- 5) 若林拓史, 亀田弘行: ロマ・ブリエタ地震によるサンフランシスコ湾岸地域の交通サービスへの被害分析と交通運用策の評価, 土木計画学研究・論文集, No.10, 1992.
- 6) 高橋和雄, 藤井真: 雲仙普賢岳の火山災害における交通の途絶が地域に及ぼした影響調査, 土木学会論文集, No.576/IV-37, 111-121, 1997.
- 7) 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分析, 土木計画学研究・論文集, No.14, 1997.
- 8) 若林拓史, 浅岡克彦, 亀田弘行, 飯田恭敬: 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, 29-40, 1999.
- 9) 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, 2000.
- 10) 塚口博司, 戸谷哲男, 中辻清恵: 阪神・淡路大震災における道路の被災状況と発災直後の自動車流動特性, 土木計画学研究・講演集, No.18(2), 1995.
- 11) 浦中邦彰, 小谷通泰, 三鈴孝政: 航空写真を用いた阪神・淡路大震災直後の路上駐車の実態的分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.23-2, 2000.
- 12) 三田村純, 藤田素弘, 松井寛, 堀口悟: 集中豪雨時の交通行動に関する調査研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.24-2, pp.961-964, 2001.
- 13) 藤田素弘, 三田村純, 藤本圭太郎: 集中豪雨時の自動車走行所要時間と走行経路特性分析, 土木学会年次学術講演会講演概要集第4部, CD-ROM, 2003.

(2003.4.21受付)

ANALYSIS ON ROAD TRAFFIC SITUATION OF TRAVEL TIMES AND ROUTES OF CARS UNDER THE DOWNPOUR DISASTER IN TOKAI AREA

Motohiro FUJITA and Jun MITAMURA

In this paper, we aim to analyze road traffic situation and routes of cars between origin and destination under the downpour disaster occurred in the time period for citizens going home in Nagoya city area, September 2000, by using survey data including the routes of cars, travel times and a huge congestion road sections under the disaster. As a result of analysis, we were able to make obvious that the downpour had great influence on transportation networks in the city. And a relation between a heavy rain state and a road situation was able to be clarified by using GIS.