

気象条件を考慮した交通現象に関する研究

A Study on the Traffic Phenomenon Influenced by Weather Conditions

指導教授 高田 邦道 / 森田 綽之

M3007 大谷 修

1. 研究の背景と目的

これまで、渋滞が発生する要因として、需要の超過は勿論のこと、道路の横断構成、縦断線形・合流部・トンネル部・サグ部といった道路構造的要因が挙げられる。これらの要因の他に、気象条件が要因としてあると考えられる。特に、降雨の現象はわが国のどこにおいても発生する事象であり、視認性や路面の摩擦力低下など、ドライバーに悪影響を及ぼす重要な要因である。しかしながら、気象との因果関係があると漠然と想像されていたものの、実際に研究としては、ほとんど行われていない。

そこで本研究では、首都高速道路・東京線を対象とし、気象条件が交通需要・交通容量にどのような影響を与えるか、定量的に分析することを目的とする。

2. 研究の流れ

研究の流れは図 - 1 に示す通りである。交通需要分析は、気象条件を考慮した交通需要予測モデルを作成し、予測精度を検証する。交通容量分析は、降雨量レベル別に交通容量レベルの算定を行い、気象による影響を分析する。

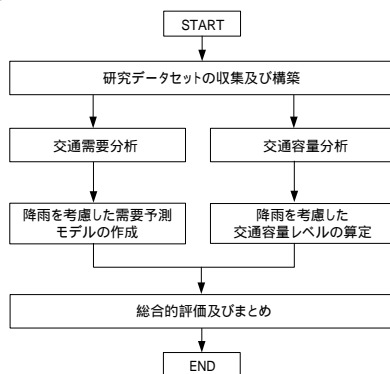


図 - 1 研究の流れ

3. 研究のデータセットについて

研究データについて、「交通」と「気象」のデータに分類し、交通需要分析・交通容量分析各々の特性に応じて研究データを収集し、分析できる状態に構築した。用いるデータの詳細は以下に示す通りである。

(1) 交通需要分析

交通：交通統計データ<日交通量>

気象：アメダスデータ<大手町气象台>

分析対象期間：1998/04/01～2003/03/31(6年間分)

(2) 交通容量分析

交通：車両感知器データ<地点車線5分間データ>

気象：東京アメッシュデータ

分析対象期間：2002/07/01～2004/06/30(2年間分)

なお、分析に用いる(財)日本気象協会提供の東京アメッシュデータは、より細かな降雨量が観測可能であり、交通容量分析に適していると考え用いた。

4. 交通需要分析

天候別に交通需要の変動は図 - 2 に示す通りである。この図より中央値で比較すると、「晴」「曇」では差が見られないが、交通需要は「雨」の場合、「晴」から約4.3%低下している。一般的に言われる交通渋滞発生時の需要超過割合から考えても、雨による影響は把握する必要がある。次の分析では特に「雨」に着目し、分析を行った。ここで扱う雨の影響因子としては、次のようなものが考えられる。

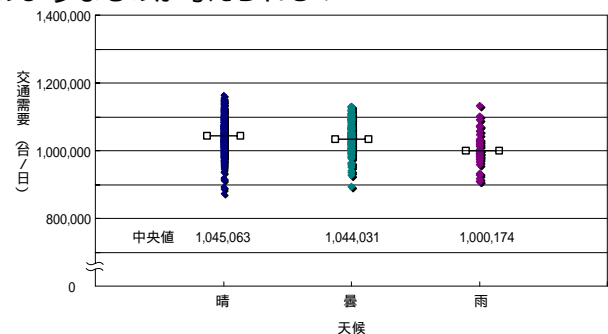


図 - 2 天候と交通需要と分布

・降雨量(降雨強度)・降雨観測時間(帯)・降雨開始時間・降雨終了時間・降雨継続時間

この中で比較的説明力のある降雨量、降雨観測時間、降雨開始時間帯についての分析は以下に示す通りである。

(1) 降雨量及び降雨観測時間と交通需要の関係

図 - 2 においてばらつきが大きかったので、以下の分析では曜日区分に関してサンプル数の関係上、平日・土・日/祝日にグループし、分析を行った。図 - 3 は日降雨量と交通需要、図 - 4 は降雨観測時間と交通需要の関係をそれぞれ示したものである。降雨量が多くなるにつれ、また降雨観測時間が長くなると、若干

ではあるが交通需要に低下がみられた。

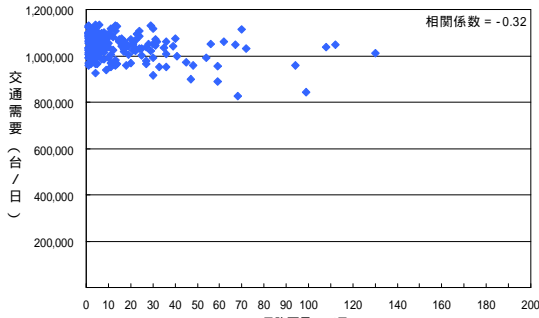


図 - 3 日降雨量と交通需要(平日)

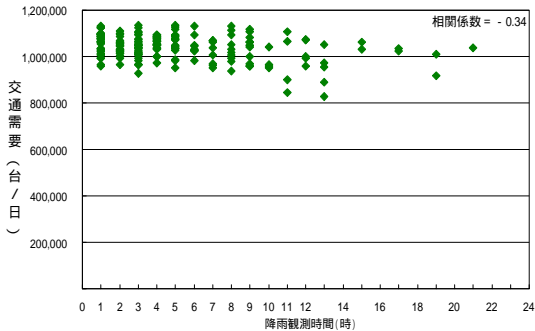


図 - 4 降雨観測時間と交通需要(平日)

(2) 降雨開始時間帯による交通需要への影響

降雨開始時間帯によって、交通需要は如何に変動しているか、時間帯を変化させ分析を行った。ただし、月変動や曜日変動の交通特性の影響が、雨による影響と競合し、データにばらつきが生じてしまう。

そこで、交通特性をグルーピングし、分析を行った。月の交通需要分布より基準値を算定し、区分を交通需要レベル<多>・<少>に区分し、曜日変動に関しても同様に月・火水木・金・土・日/祝日の5つにグルーピングして、分析を行った。

表 - 1 は交通需要レベル<多>について降雨開始時間帯の午前中を6時間毎(0~6時・6時~12時・12時~24時)に区分した場合の交通需要変動表を示したものである。分析結果として、午前中に雨が降ったケースが雨の影響を受け易く、ハッチング部を見ると特に0~6時に雨が降った場合、交通需要が最も低下し、また、平日よりも日曜日及び祝日の方が、雨の影響を受ける。

表 - 1 降雨観測時間帯別 交通需要変動表

	基準値(平日)		雨日における交通需要(交通需要レベル <多>)						降雨開始時間帯		
			0:00~6:00			6:00~12:00			12:00~24:00		
	中央値	サンプル数	中央値	サンプル数	変化率(%)	中央値	サンプル数	変化率(%)	中央値	サンプル数	変化率(%)
月	1,012,044	90	965,591	15	-4.6	962,663	9	-4.9	1,005,497	13	-0.6
火・水・木	1,063,635	303	1,037,925	54	-2.4	1,034,759	21	-2.7	1,061,038	47	-0.2
金	1,114,271	99	1,085,510	15	-2.6	1,122,544	9	0.7	1,105,313	15	-0.8
土	1,029,918	102	1,005,667	17	-2.4	1,001,239	5	-2.8	992,511	14	-3.6
日/祝日	839,302	138	785,715	22	-6.4	726,504	5	-13.4	842,844	21	0.4

単位:台/日

5. 交通容量分析

ボトルネック箇所について晴天時と降雨時の交通容量分析をした。降雨時以外(0mm/h)と降雨時(0mm/h~)でQ-V曲線を描くことにより行った。また道路線形別に降雨の影響度合いを分析するため、対象地点は線形種類にわけ、対象地点は表 - 2 に、分析したQ-V曲線(浜崎橋JCT)は図 - 5 に示す通りである。

表 - 2 対象地点一覧表

線形種類	路線名称
ランプ合流部	3号渋谷線 下り 三軒茶屋付近 都心環状線 内回り 代官町付近
本線合流部	浜崎橋JCT(1号線上り・都心環状線外回り合流) 堀切JCT(中央環状線・6号線下り合流)
曲線部	4号新宿線 下り 代々木付近

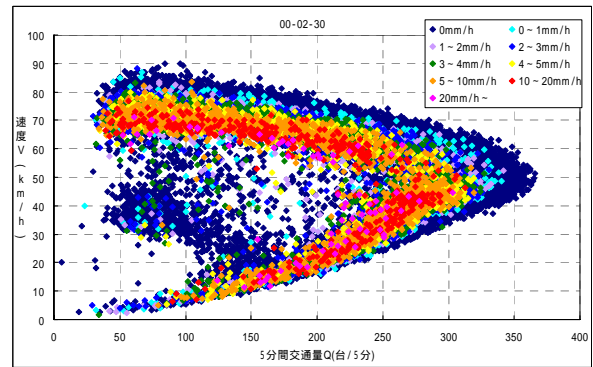


図 - 5 降雨時を考慮したQ-V曲線(ex.浜崎橋JCT)

降雨によりQ-V曲線が大きく変化していることが明確である。また臨界速度(ここでは50km/h)でのQ-V(速度)断面図及び断面分布表は図 - 6、表 - 3 に示す通りである。

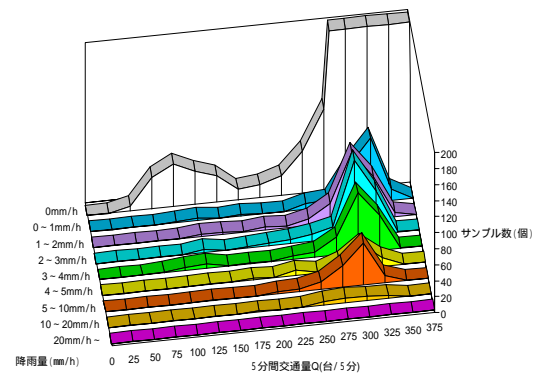


図 - 6 Q-V断面図(ex.浜崎橋JCT 50 ± 10 km/h 断面)

表 - 3 断面分布表(交通量分布)

降雨量(mm/h)	5分間交通量Q(台/5分)															
	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
0	0	0	6	39	53	42	33	14	16	25	52	102	530	2360	2151	134
0-1	0	0	0	0	1	3	0	2	0	0	7	9	49	81	14	0
1-2	0	0	0	0	0	3	2	1	3	2	8	24	85	52	5	0
2-3	0	0	0	0	0	4	0	1	3	5	9	15	95	54	1	0
3-4	0	0	0	1	4	6	1	1	1	4	6	22	75	44	1	0
4-5	0	0	0	0	0	1	0	2	0	6	2	11	31	11	0	0
5-10	0	0	0	0	0	1	0	0	2	3	9	27	52	9	0	0
10-20	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	6	5	4	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

断面をみると、雨が微量でも観測されると交通量レベルが低下する傾向にある。また、1mm/h程度以上の降雨が観測されると、交通量レベルが間で25台/5分/

2車線程度低下，割合として約8%程度の交通量低下が認められる。また，サンプル数は少ないが5mm/h以上の降雨が観測されると，先と同様に8%程度低下する。

次に，交通量レベルQ=150~200でのQ-V(交通量)断面図及び断面分布表を図-7，表-4に示す。

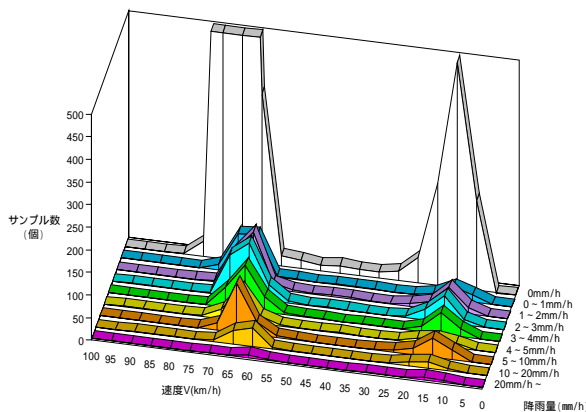


図-7 Q-V断面図(ex.浜崎橋JCT Q=150~200断面)

表-4 断面分布表(速度分布)

降雨量(mm/h)	速度V(km/h)																				
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0	0	0	198	499	227	56	21	14	14	17	13	19	23	375	2,032	1,229	32	1	0	0	0
0-1	0	0	16	20	9	2	0	1	2	2	0	3	3	85	86	12	0	0	0	0	0
1-2	0	0	13	52	15	5	1	1	3	3	1	3	13	120	71	2	0	0	0	0	0
2-3	0	0	11	58	23	4	0	0	1	3	1	4	34	121	89	2	0	0	0	0	0
3-4	0	0	16	47	12	1	0	1	0	1	1	4	34	98	43	1	0	0	0	0	0
4-5	0	0	10	16	10	1	0	0	2	1	1	3	16	70	21	1	0	0	0	0	0
5-10	0	0	20	41	13	4	0	0	0	0	1	4	28	105	15	0	0	0	0	0	0
10-20	0	0	5	15	8	2	0	0	0	0	1	3	40	29	3	0	0	0	0	0	0
20-	0	0	3	6	0	1	0	0	0	0	0	2	7	1	0	0	0	0	0	0	0

結果として，交通量分布と同様の低下傾向にある。また特徴的なのは，降雨量が微量でも自由流域側は速度低下するのに対し，渋滞流域側では降雨量が増えてもさほど影響を与えていないことがわかる。

6. 降雨を考慮した交通需要予測モデルの作成

4章で把握した現象より降雨が交通に及ぼす影響因子を用いて，ある一日の交通需要を予測するモデルを作成し，予測精度の評価を行った。なお，モデルについては定量データ・定性データの両方を持合せることが必要ことから，数量化理論 類を用いてモデリングを行った。

(1) モデルの諸条件

目的変数：首都高速道路全線・降雨日の日交通需要

説明変数：1) 定性データ 交通需要レベル・曜日変動・降雨開始時間帯(0~6時・6~12時・12~18時・18~24時)

2) 定量データ 日降雨量・降雨観測時間

使用データ期間：1998/04/01~2002/12/27(5年間)

なお，特異日は除去

予測日：2003/02~2003/12(1年間)の降雨日

上記変数を用いて回帰を行ったが，交通特性の影響度が強いことから，曜日毎にグルーピングし，モデル式を再構築した。また日降雨量と降雨観測時間の間には，多重共線性が起きているため，相関の高い降雨観測時間のみを選択した。その結果，平日(月・火水木・金)は降雨観測時間，土曜日は降雨開始時間，日曜日は降雨観測時間・降雨開始時間を説明変数として採用した。

(2) 予測式

上記内容を考慮しモデルを作成した。平日のモデル式は(1)，土曜日は(2)，日曜日のモデル式は(3)予測モデルのパラメータ推定値は表-5に，それぞれ示す通りである。

$$Y = + X_1 \dots \dots \dots (1)$$

$$Y = + \{ X_{2(1)} + X_{2(2)} + X_{2(3)} + X_{2(4)} \} \dots \dots (2)$$

$$Y = + X_1 + \{ X_{2(1)} + X_{2(2)} + X_{2(3)} + X_{2(4)} \} \dots \dots (3)$$

:定数項 ~ :係数 x_1 :降雨観測時間
 $X_{2(1)} \sim X_{2(4)}$ は，降雨開始時間のダミー変数

表-5 パラメータ推定値

パラメータ推定項目	曜日区分			
	月	火水木	金	土 日
定数項	1,000.131	1,052.756	1,105.864	1,019.124 814.333
降雨観測時間	-5.328	-3.768	-2.946	-
降雨開始時間<0:00~6:00>	-	-	-	-39.091 -16.929
降雨開始時間<6:00~12:00>	-	-	-	-90.031 -38.405
降雨開始時間<12:00~18:00>	-	-	-	-18.916 29.763
降雨開始時間<18:00~24:00>	-	-	-	-29.690 18.553

(3) 予測結果

降雨を考慮した交通需要予測モデルより，相関があまり大きくないものの，降雨日の交通需要予測がある程度可能になった。しかし雨による因子は交通需要に若干の影響を与えているが，やはり平日について日交通量の交通変動特性の影響が強い。一方で土曜・日曜日のモデルは降雨因子が割合，説明力を持っており，週末に雨が降ると影響を受け易いことがわかる。土・日曜日の予測結果は図-8に示す通りである。

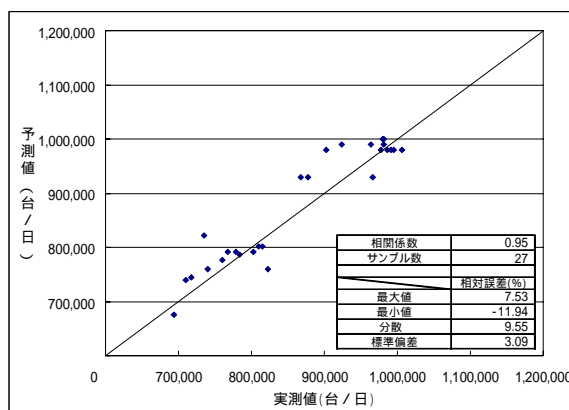


図-8 予測結果

7. 線形別の通常時・降雨時交通容量低下レベル算定

交通容量算出方法について、Qmax のみだと、偶然変動の影響を受ける可能性があるので、(1) Qmax による算出、(2) 臨界領域における上位 10 位の平均値による算出と、2つの算出方法で線形別に交通容量を算出した。結果は表 - 6 に示す通りである。

表 - 6 線形別・降雨時交通容量低下レベル表

線形種別	降雨量 (mm/h)	サンプル数	5分間フローレート (台/時)	変化率 (%)	5分間フローレート (台/時)	変化率 (%)
ランプ合流部	地点名:三軒茶屋		(1) Qmaxによる算出		(2) 上位10位平均による算出	
	0	46,152	3,672	0.00	3,610	0.00
	0-1	1,524	3,360	8.50	3,241	10.21
	1-2	1,311	3,312	9.80	3,166	12.30
	2-3	1,812	3,408	7.19	3,220	10.80
	3-4	1,681	3,324	9.48	3,222	10.74
	4-5	1,108	3,216	12.42	3,131	13.26
	5-10	1,829	3,240	11.76	3,154	12.63
	10-20	531	3,144	14.38	3,065	15.09
	20-	145	3,000	18.30	2,894	19.81
	地点名:代官町		(1) Qmaxによる算出		(2) 上位10位平均による算出	
	0	44,573	4,020	0.00	3,946	0.00
	0-1	1,072	3,888	3.28	3,698	6.27
	1-2	557	3,768	6.27	3,564	9.67
	2-3	916	3,672	8.66	3,575	9.40
	3-4	836	3,600	10.45	3,534	10.43
	4-5	528	3,552	11.64	3,473	11.98
	5-10	517	3,564	11.34	3,446	12.65
	10-20	111	3,360	16.42	3,252	17.58
20-	46	3,828	4.78	3,164	19.80	
本線合流部	地点名:浜崎橋		(1) Qmaxによる算出		(2) 上位10位平均による算出	
	0	44,245	4,404	0.00	4,350	0.00
	0-1	1,891	4,080	7.36	3,988	8.33
	1-2	2,170	4,104	6.81	3,924	9.79
	2-3	2,560	3,972	9.81	3,850	11.50
	3-4	1,971	3,924	10.90	3,793	12.80
	4-5	1,129	3,828	13.08	3,740	14.01
	5-10	1,561	3,828	13.08	3,696	15.03
	10-20	479	3,756	14.71	3,562	18.12
	20-	76	3,636	17.44	3,184	26.81
	地点名:堀切		(1) Qmaxによる算出		(2) 上位10位平均による算出	
	0	46,444	6,252	0.00	6,070	0.00
	0-1	841	5,808	7.10	5,552	8.52
	1-2	670	5,532	11.52	5,485	9.63
	2-3	800	5,472	12.48	5,404	10.97
	3-4	664	5,580	10.75	5,410	10.87
	4-5	416	5,328	14.78	5,220	14.00
	5-10	487	5,376	14.01	5,231	13.82
	10-20	130	5,316	14.97	5,096	16.03
20-	36	5,580	10.75	4,892	19.40	
曲線部	地点名:代々木		(1) Qmaxによる算出		(2) 上位10位平均による算出	
	0	40,678	4,884	0.00	4,574	0.00
	0-1	899	4,044	17.20	3,884	15.08
	1-2	505	3,936	19.41	3,736	18.34
	2-3	830	4,080	16.46	3,781	17.34
	3-4	735	3,828	21.62	3,716	18.76
	4-5	449	3,720	23.83	3,599	21.33
	5-10	464	3,948	19.16	3,608	21.12
	10-20	93	3,564	27.03	3,365	26.44
	20-	36	3,492	28.50	3,173	30.64

道路線形別に降雨による影響特性が違い、特に合流部(ランプ・本線含む)と曲線部に別けられる。特に変化率が比較的安定している(2)の算出値でみると、合流部では、第一段階として降雨があるか否かで6~10%程度の低下がある。続いて第2段階として降雨量が4mm/h程度まで増加するに従い、10%以上まで確実に交通容量が低下する。その後降雨量が4mm/hを超え10mm/hまで到達すると10~15%以上低下し、第3段階を迎える。降雨量10mm/hを超えると、15%から地点によっては20%以上の低下が認められる。曲線部については特性が全く異なり、降雨がある時点で、既に15%の交通容量低下があり、降雨量20mm/h以上で30%以

上低下する。この結果として、曲線部では、特に降雨の影響を受けやすいと考えられる。

8. 結論

(1) 交通需要について

天候が「雨」の際、4%程度の低下が認められる。また雨について降雨量・降雨観測時間が多くかつ長くなると低下傾向にあり、降雨開始時間帯では午前中に雨が降るケースに顕著に交通需要が低下する。特に、週末に雨の影響を受け易いことがわかった。この背景として週末にレジャー施設に行く際、「天気」を気にすることが明らかであることがわかっており(日本気象協会調べ)、結果に反映されていると考えられる。降雨の影響を考慮した交通需要予測モデルを構築し、降雨日の交通需要を、特に土曜・日曜日においては、ある程度予測することが可能になった。

(2) 交通容量について

降雨によって概ね6~10%低下し、降雨量が増加するにつれ、さらに交通容量が低下することがわかった。また自由領域では速度が顕著に低下する。道路線形別には、降雨による影響特性が異なり、曲線部については大きく影響を受け低下することがわかった。

以上を踏まえ、将来的には、雨天日における交通渋滞緩和や所要時間の情報提供をより効果的に運用することが可能となり、天候の影響を解明することは、未来の交通管制技術向上に役立つものである。本論文は、その皮切りとして意味があるものとする。

9. 今後の課題

交通需要データにおいて、時間単位データを蓄積し、分析する事で、交通容量との関係と照合し、降雨時の渋滞発生メカニズムを解明する。

謝辞

本研究を進めるにあたり、細部に渡りご指導頂きました安井一彦専任講師に深く感謝致します。また様々なご助言を賜りました東京大学生産技術研究所桑原雅夫教授並びに同研究室の皆様(株)ITLの堀口良太氏、首都高速道路公団の割田博氏、またデータをご提供頂いた首都高速道路公団・(財)日本気象協会の皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 佐藤久嘉:「気象条件が高速道路の走行速度に与える影響調査」,第10回交通工学研究発表会論文報告集,PP.65~68,1990年11月。