

天候を考慮した高速道路マネジメントのための物流運行の基礎分析

山梨大学工学部土木環境工学科 学生会員 ○大竹浩太郎

山梨大学 大学院医学工学総合研究部 正会員 佐々木邦明

1.研究背景

降雨が交通に与える影響の研究は様々に行われており、降雨があると晴天時に比べ速度の低下を引き起こすこと¹⁾や平均所要時間の増加がある²⁾とされる。また、降雨により路面が濡れる事と高速走行によって晴天時の際には事故にならない行動や場所での事故の割合が高くなる³⁾とされている。これらの事から、天候は高速道路の走行においてリスク要因であること、また普通自動車のみではなく、到着時間への時間の制約がある物流運行における検証が、高速道路の適切な運用の為に必要である。

2.研究目的

運行計画や物流運行に影響すると考えられる、運行速度、所要時間などの運行時間に関わる事の天候との影響を分析し把握することで、高速道路における大型トラックを考慮した、高速道路マネジメントを考えることが出来る。

3.使用するデータについて

使用しているデータはトラックに取り付けられた端末により、緯度経度情報や速度などの情報を得たプローブデータである。降雨についてのデータは気象庁の過去の気象データ⁴⁾より、天気予報についてのデータは天気予報の推移というサイト⁵⁾より得ている。

4.降雨と走行速度の関係

天気の種類区分は高速道路の運行ルート上の最寄りの気象庁の観測所がある22か所である。速度は6分ごとに記録された平均速度を用いている。最初にドライバーによる影響を軽減するために、同じドライバーが運転する可能性の高い同業種に区別して分析した。もちろんドライバーだけでなく、業種によって運搬物が異なり、運行速度も異なると考えられる。業種ごとに晴れおよび雨によって速度の違い

キーワード：物流、天候、デジタルデータ

山梨大学土木環境工学科交通工学研究室

(〒400-8511 甲府市武田 4-3-11 Tell/Fax 055-220-8671)

E-mail : t14ce010@yamanashi.ac.jp

は有意差のある業種があった。業種ごとの検定では区分ごとのデータ全てを対象としていたため、地点ごとの違いを考慮するために、①線形が良い、線形が悪い（登坂車線やサグ部の有無）、②車線数の違い（2車線か3車線）の条件に分けて、検定を行った。以下に結果を示す。

表1 平均速度と検定結果

晴れ/雨	速度差	線形良い	線形悪い	2車線	3車線
業種1		87.1	85.6	87.4	85.3
		84.4	83.8	84.9	83.5
業種2		75.3	74.7	75.2	75.0
		74.1	73.8	73.7	74.2
業種3		79.7	78.9	79.9	79.0
		78.8	77.2	78.3	78.0
業種4		77.5	76.7	77.2	76.9
		76.2	74.3	75.1	76.2
業種5		77.5	77.8	77.8	77.5
		77.8	77.4	75.6	77.7
業種6		75.1	74.3	75.0	74.6
		75.3	74.8	74.8	75.4

色がついているセルが有意である。線形が悪い所は線形の良い所に比べ、雨の日の平均速度が低い傾向があり、3車線の方が2車線に比べ、晴れ/雨の日の速度の差が小さく、速度が落ちにくい傾向があることが分かる。速度に影響する要因を確かめるために重回帰分析を行った。重回帰分析は目的変数を複数の説明変数で予測する統計手法で、目的変数と説明変数の関係も確かめることが出来る。式と結果は以下の通り。対象のデータ数は2906件である。

$$\text{速度} = \text{降水量} \cdot X_1 + \text{車線数ダミー} \cdot X_2 + \text{線形ダミー} \cdot X_3 + 100\text{km/h区間ダミー} \cdot X_4 + \text{時間帯ダミー} \cdot X_5 + \text{各業種ダミー} \cdot X_{6-10} \quad \text{式(4-1)}$$

表2 速度に対する重回帰分析の結果

	回帰係数	t値	p値	
定数項	76.8	156.7	2.00E-16	***
降水量	-0.14	-3.72	0.0002	***
車線数ダミー	-0.17	-1.11	0.27	
線形ダミー	-0.34	-2.06	0.03	*
100km/h区間	0.56	3.14	0.0017	**
時間帯ダミー	-0.81	-4.99	6.24E-07	***
業種1ダミー	9.23	18.2	2.00E-16	***
業種2ダミー	-1.43	-3.01	0.0026	**
業種3ダミー	1.48	3.01	0.0026	**
業種4ダミー	2.12	4.09	4.45E-05	***
業種5ダミー	-1.92	-4.14	3.52E-05	***

車線数ダミー：3車線が1、線形ダミー：線形悪いが1、100km/h区間ダミーであれば1、時間帯ダミ

一：日の入り後から日の入り前（18：40～4：40）が1である。分析の結果としては降水量がある、夜間の走行であると有意に速度が低下することが示された。また区間の特徴を考慮した説明変数では線形が悪いことで速度が低下する一方、最高速度100km/h区間であると速度が増加するという結果を得た。

5.降雨と運行時間の関係

(5-1) 所要時間について

降雨により速度低下がみられることが確認されたことから、所要時間に増減があるか否かを確認していく。運行時間に関する分析には定期便運行の所要時間を使う。定期便とは1日の集配送のスケジュールが固定されている、荷主固定型の往復便である。定期便は集配送先が固定されており、天候の状況に応じた所要時間が複数日に渡って得られる⁶⁾ことから、天候の状況に応じた分析が可能になると考えている。各業種で晴れ/雨の日で所要時間に違いがあるかどうかを見た。対象のデータ数は定期便の250運行である。

表3 業種ごとの晴れ/雨の所要時間の違い

	晴れ	雨
業種1	-0.112	0.195
業種2	-0.103	0.116
業種3	-0.347	0.796

所要時間の値は各運行の所要時間を正規化したものである。

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad \begin{array}{l} z: \text{標準化された値} \\ x: \text{それぞれの値} \\ \mu: \text{平均} \\ \sigma: \text{標準偏差} \end{array} \quad \text{式(5-1)}$$

いずれの業種も雨の日では所要時間が大きくなる傾向がある。所要時間の増減には降雨の他にも混雑が影響することから、高速道路での渋滞の定義である平均速度40km/h以下の低速走行の状態⁷⁾を混雑として扱う。所要時間は晴れ、混雑のある晴れ、雨、混雑のある雨の4つの日に分けて所要時間を正規化した値の変化を確認した。

表4 混雑を考慮した所要時間の違い（正規化した値）

晴れ	晴れ混雑	雨	雨混雑
-0.367	0.266	0.138	0.541

所要時間は晴れ<雨<晴れ混雑<雨混雑の順に大き

くなり、降雨の他に混雑の影響も所要時間に関わることが分かる。したがって、混雑のある雨の日には雨の日に比べより混雑が大きくなる傾向がある。混雑の影響を除いた、晴れ/雨の日の所要時間に違いには有意差があった。降雨があった日の方が所要時間は延びると考えられる。

表5 混雑を考慮した晴れ/雨の所要時間の違いの検定結果

全業種	晴れ	雨
データ数	109	53
平均	-0.37	0.137
T値	1.99	
P値	0.005	

(5-2) 天候と渋滞の関係

定期便運行の中で確認できた渋滞について、晴れ/雨によって違いがあるか否かを見た。渋滞の時間と渋滞時の速度は発生した地点ごとに正規化している。データ数は79件である。

表6 晴れ/雨の違いによる渋滞の違い

	晴れ	雨
渋滞の時間	0.01	0.12
渋滞時の速度	0.08	-0.22

渋滞の時間は雨の時に晴れと比べて伸びる、渋滞時の速度は雨の時の方が小さい傾向が数字として見て取れるが、有意差は無かった。

(5-3) 所要時間に関する重回帰分析

所要時間に影響する要因を把握するために重回帰分析を行った。データ数は定期便の250運行である。

$$\text{所要時間} = \text{雨}X_1 + \text{天気予報}X_2 + \text{休憩時間}X_3 + \text{荷物の状況}X_4 + \text{業種1} \cdot X_5 + \text{業種2} \cdot X_6 + \text{走行距離}X_7 + \text{渋滞時間}X_8 \quad \text{式(5-2)}$$

表7 所要時間に関する重回帰分析の結果

	回帰係数	t値	p値	
雨	0.36	3.12	0.002	**
天気予報	-0.13	-1.09	0.28	
休憩時間	0.02	9.39	2.00E-16	***
荷物の状況	0.33	2.93	0.004	**
業種1	-0.52	-2.45	0.015	*
業種2	-0.01	-0.05	0.96	
走行距離	-0.004	-6.94	3.61E-11	***
渋滞時間	0.02	7.00	2.54E-11	***

雨：運行中に雨が降っていたら1、天気予報：予報が雨なら1、荷物の状況：荷物を運搬中なら1である。重回帰分析の結果、休憩時間や渋滞時間、走行距離があ

ることの他に、雨が降っていること、荷物を運搬中であることが所要時間を延ばす要因である結果を得た。

(5-4)出発時刻について

降雨による所要時間の増加がみられることから、出発時刻を早めるなどの変化があるか否かを確認する。対象のデータ数は定期便の 250 運行。

①出発時刻の変化

表 8 出発時間の変化

	晴れ	雨
業種1	0.05	-0.10
業種2	0.02	-0.04
業種3	0.06	-0.12

到着地の天気予報を参考に出発時間が変化するかどうかを確認したところ、いずれの業種も出発が早くなる傾向があるが、有意差は無い。

②到着時間を区切った出発時間の変化

表 9 到着時間を区切った出発時間の変化

業種1 上り			業種2 下り		
晴れ	雨	到着時間	晴れ	雨	到着時間
17:19	16:22	23,0,1	19:02	19:06	2
19:28	19:11	2,3	19:50	19:23	3

業種2

晴れ	雨
15:32	15:29

到着時間を区切り、その出発時間の分散を見る。出発時間の分散が到着時間より大きければ、出発調整をしている可能性があると考えられる。

分散は業種 1 では出発時刻の分散が大きくなるが業種 2 では出発時刻の分散の方が小さかった。また業種 1 の上り、到着が 23,0,1 時台の運行、同下り、到着が 3 時台の運行に出発時刻の有意差が見られる。

①、②より雨の予報により出発が早くなる傾向は数字としては見る事ができるものの、多くで有意差が無く、全ての運行で出発を早めているとは言えないという結果を得た。

6.降雨と休憩回数、休憩時間の関係

所要時間で増加がみられる一方、雨予報は出発時刻に有意な変化がないことから、休憩回数、休憩時間の増減があると考えた。

出発地の情報については、トラックプローブデータの性質上、具体的な末端情報を載せていない。

(6-1)休憩回数について

①休憩回数の分布

厚生労働省労働局の資料⁸⁾によると、休憩時間は連続運転時間によって定められており、運転開始後 4 時間以内または 4 時間経過直後に運転を中断して休憩を取らなければならないと記されていることから、所要時間によって休憩回数は増えることが考えられる。今回は①休憩 ≤ 240 分、②240 分 < 休憩 ≤ 480 分、③480 分 < 休憩の 3 つに分けて休憩回数の分布を表す。データの対象は定期便の 250 運行。

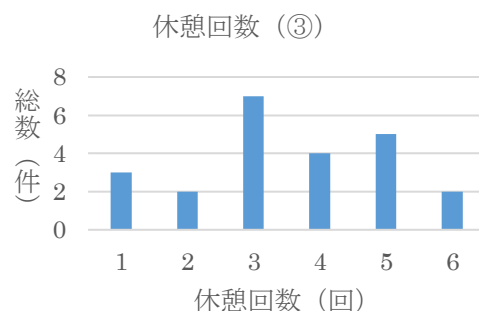
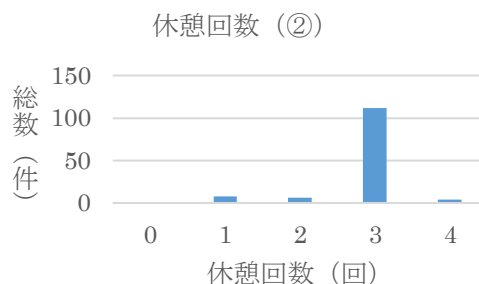
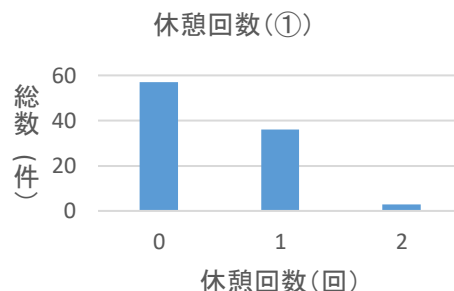


図 1 所要時間別の休憩回数の分布

所要時間の増加により休憩回数が増えていく傾向があることが分かる。

(6-2)休憩回数と降雨の関係

天候が休憩回数に与える影響を確認するため、順序ロジットモデルを使い、休憩回数に影響する要因を分析した。順序ロジットモデルは休憩回数のように分布が 0,1,2...を取るような離散的な数字(回数)を選択肢として目的変数に取れるモデルであ

る。式と結果は以下の通り。データ数は 250 件。

$$F_n^* = \text{降水量}X_1 + \text{天気予報}X_2 + \text{渋滞時間}X_3 + \text{所要時間}X_4 + \text{到着場所1} \cdot X_5 + \text{到着場所2} \cdot X_6 \quad \text{式(6-1)}$$

$$F_n = n \begin{cases} (\theta_{n-1} < F_n^* \leq \theta_n) \\ 1 \quad (0 < F_n^* \leq \theta_1) \\ 0 \quad (F_n^* \leq 0) \end{cases} \quad \text{式(6-2)}$$

F_n : 休憩回数、 θ : しきい値

表 10 休憩回数に影響する要因の分析結果

休憩回数	回帰係数	t値	有意確率
降水量	-0.05	-1.25	
天気予報	-0.26	-0.65	
荷物の状況	-3.46	-7.43	***
渋滞時間	-0.07	-6.61	***
所要時間	0.03	12.0	***
到着1	4.41	6.85	***
到着2	3.44	6.29	***

天気予報：雨予報なら 1、荷物の状況：荷物運搬中なら 1 である。

分析の結果としては、降水量は休憩回数に影響を及ぼしているとは言えず、荷物の運搬中、渋滞がある時に休憩回数は減る。また休憩回数の分布図で示した通り、所要時間が大きくなると休憩回数は増えていくという結果が得られた。

(6-3)休憩時間と降雨の関係

降雨によって休憩回数に影響を及ぼしているとはいえない結果を得たことから、降雨と休憩時間の関係について重回帰分析を用いて分析した。データ数は 250 件である。式と結果は以下の通り。

$$\text{休憩時間} = \text{降水量}X_1 + \text{天気予報}X_2 + \text{荷物の状況}X_3 + \text{所要時間}X_4 + \text{渋滞時間}X_5 + \text{到着場所1} \cdot X_6 + \text{到着場所2} \cdot X_7 \quad \text{式(6-3)}$$

表 11 休憩時間に影響する要因の分析結果

休憩時間	回帰係数	t値	p値	
降水量	-0.67	-2.29	0.023	*
天気予報	2.98	0.95	0.343	
荷物の状況	-24.5	-6.32	1.28E-09	***
所要時間	0.23	21.2	2.00E-16	***
渋滞時間	-0.46	-6.09	4.48E-09	***
到着1	-19.4	-4.18	4.14E-05	***
到着2	16.4	4.80	2.77E-06	***

天気予報：雨予報なら 1、荷物の状況：荷物運搬中なら 1。

分析の結果としては、休憩時間は降雨がある、荷物運搬中であること、渋滞がある時に休憩時間は減少する。また所要時間が大きくなると、休憩時間が増加するという結果が得られた。

7.まとめ

運行速度は降雨によって低下し、線形や車線数の状況によっても増減があることが分かった。所要時間については降雨があると増加し、混雑の影響も考慮し、混雑の影響も大きいことを示した。出発時間については、降雨予報により早めに出発している傾向はあるが、有意差があるものは少なかった。休憩について、休憩回数は降雨が影響しているとはいえないが、休憩時間については運行中、降雨があると減少するという結果を得た。

高速道路マネジメントの観点より、普通自動車に比べ、高速道路における制限速度が低く、降雨によって速度が低下する大型トラックは、降雨時に交通容量の低下の原因となり、道路上の流れを悪くする可能性がある。休憩施設への立ち寄り、降雨によって影響しないが、休憩時間は降雨により減少することから、長時間休憩を除けば、休憩施設への滞在が短くなり、トラック駐車場の動きが増える可能性がある。

参考文献と参考資料

- 1) 高速道路における実勢速度の分析 洪性俊、大口敬
- 2) 季節変動・天候が時間信頼性評価に与える影響分析 橋本浩良、奥谷正
- 3) 雨量と事故データの分析からみた高速道路における安全な速度 横関俊也、森健二、矢野伸裕、萩田賢司、牧下寛
- 4) 気象庁 過去の気象データ
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 5) 天気予報の推移 <http://weather-transition.gger.jp/>
- 6) プローブデータおよび ETC データを活用した都市内定期集配送車両の行動特性に関する分析 玉川大、横田孝義、前川和彦、川本一郎
- 7) 中日本高速道路株式会社 渋滞の定義は
<http://highwaypost.c-nexco.co.jp/faq/traffic/rule/345.html>
- 8) トラック運転者の労働時間等の改善基準のポイント
<http://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/gyousei/kantoku/dl/040330-10.pdf>