災害時における企業の始業時刻選択行動と従業員の出発時刻選択行動の相互作用の分析

広島大学　学生非会員　○松元　野乃花
広島大学　正会員　力石　真
広島大学　正会員　藤原　章正
呉工業高等専門学校　正会員　神田　佑亮

１．目的

平成 30 年 7 月豪雨災害では、長期にわたって広島都市圏に深刻な交通機能障害をもたらした．とりわけ被害の大きかった広島県呉市では，約 2 ヶ月に及び深刻な交通渋滞が発生した．本研究では，こうした災害時の渋滞への対策として，事業所ベースの時差出勤に着目する．

災害時には情報不足に加え，交通状況が刻々と変化するため，企業単位で交通状況を予測し，効果的に時差出勤を実施するには限界がある可能性が高い．よって，災害時において交通需要の時間的集中（負の外部性）を回避する始業時刻選択を企業に促す仕組みを導入することが望ましい．一方，企業の生産性は会社外の取引相手との商談や協働によって保たれており，他社と同じ始業時刻を採用し時間的な集積を高めることが生産性向上の観点から望ましい（正の外部性）．既往研究においても，２つの外部性を考慮した研究が行われてきたが（Henderson,1981; 吉村ら,1999; 佐藤・赤松, 2006; 高山, 2018），災害時における適切な時差出勤について検討した研究は筆者の知る限り存在しない．

災害時における適切な時差出勤を実施するためには，災害状況下での利用者均衡状態を導出するモデルシステムを構築し，時差出勤関連政策の影響を評価する必要がある．そこで本研究では，災害時における時差出勤政策の意思決定支援ツール開発の一環として，災害時の企業の始業時刻選択，従業員の出発時刻選択を扱うモデルシステムの構築を目指す．ここで，通常時には従業員の渋滞による旅行時間コストは企業の経済的コスト（優秀な人材を雇用し損ねるなど）として内部化されると考えるケースが多いが，災害時に発生する渋滞は慢性的ではないため，従業員の旅行時間の増大が，直接企業の経済コストになるということは考えにくい．よって，災害時の利用者均衡状態を導出するためには，企業の始業時刻選択モデルと従業員の出発時刻選択モデルを別々に構築し，それらのモデルと渋滞による旅行時間を表現するモデルを用いて，渋滞と時間集積性を通じたモデル間の相互作用を考慮する必要が生じる．加えて，災害時の企業の始業時刻及び従業員の出発時刻の選択は，復旧活動の妨げなど社会全体への影響を配慮した上でなされるものと考えられる．以上の点は，災害時の時差出勤問題固有の特徴である．

以上の背景を踏まえ，本研究では災害時における時差出勤導入に資するモデルシステムを構築する第一段階として，まず企業の時間集積性を考慮した災害時の始業時刻選択モデルを構築する．次に始業時刻を所与とした従業員の災害時の出発時刻選択行動を把握するための選好意識（SP）調査手法を提案する．さらに，様々なシナリオ下での，企業の始業時刻選択・従業員の出発時刻選択・渋滞パターンの間の相互作用の結果生じる始業時刻分布及び渋滞分布の均衡状態を導出し，災害時の渋滞発生状況を評価する．

２．企業の始業時刻選択モデル

本研究では，平成 30 年 7 月豪雨による交通被害が深刻であった広島県呉市・東広島市・広島市の企業を対象に災害時の始業時刻選択に関するアンケート調査を実施した．アンケートは 350 社に配布し，123 社から回答を得た．アンケート結果から 7 割近くの企業が災害時に交通機能不全を経験しており，うち約 2 割の企業が始業時刻変更を促す対策を行ったことが分かった．

キーワード　時差出勤，災害，渋滞
連絡先　〒739-8529　東広島市鏡山 1-5-1 広島大学　大学院先進理工系科学研究科　ＴＥＬ082-424-4693

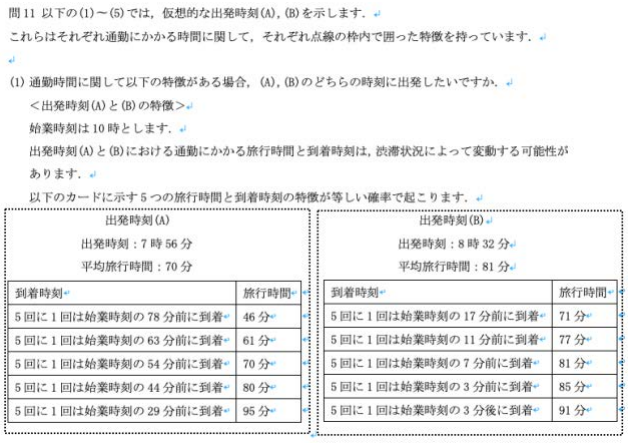
表-1 始業時刻選択に関するSP調査の属性と水準

属性	水準
出勤時刻のピーク（業種毎）	7 時/8 時/9 時
始業時刻の分散	（10%,80%,10%）/（20%,60%,20%）/（30%,40%,30%）
旅行時間ピーク時刻	7 時/8 時/9 時
平均ピーク旅行時間（分）	60 分/90 分/120 分
旅行時間のピーク時からの減衰割合（ピーク時から 1 時間ずれる毎に提示された割合分旅行時間を減少）	10%/20%

図-1 始業時刻選択に関するSP調査票の例

表-2 パラメータ推定結果

	推定値	t 値
時間集積性 β_1	4.39×10^{-1}	3.527
平時始業時刻とのずれ β_2	-2.14×10^{-1}	−10.26
従業員平均旅行時間(分) β_3	-1.28×10^{-2}	−2.014
定数項（6 時）	1.559	2.291
定数項（7 時）	2.350	5.913
定数項（8 時）	1.569	4.170
定数項（9 時）	2.62×10^{-1}	6.95×10^{-1}
標本数	425	
McFadden's Rho square	0.435	


問 11 以下の(1)～(5)では，仮想的な出発時刻(A)，(B)を示します。
これらはそれぞれ通勤にかかる時間に関して，それぞれ点線の枠内で囲った特徴を持っています。

(1) 通勤時間に関して以下の特徴がある場合，(A)，(B)のどちらの時刻に出発したいですか。
＜出発時刻(A)と(B)の特徴＞
始業時刻は 10 時とします。
出発時刻(A)と(B)における通勤にかかる旅行時間と到着時刻は，渋滞状況によって変動する可能性があります。
以下のカードに示す 5 つの旅行時間と到着時刻の特徴が等しい確率で起こります。

出発時刻(A)
出発時刻：7 時 56 分
平均旅行時間：70 分

到着時刻	旅行時間
5 回に 1 回は始業時刻の 78 分前に到着	46 分
5 回に 1 回は始業時刻の 63 分前に到着	61 分
5 回に 1 回は始業時刻の 54 分前に到着	70 分
5 回に 1 回は始業時刻の 44 分前に到着	80 分
5 回に 1 回は始業時刻の 29 分前に到着	95 分

出発時刻(B)
出発時刻：8 時 32 分
平均旅行時間：81 分

到着時刻	旅行時間
5 回に 1 回は始業時刻の 17 分前に到着	71 分
5 回に 1 回は始業時刻の 11 分前に到着	77 分
5 回に 1 回は始業時刻の 7 分前に到着	81 分
5 回に 1 回は始業時刻の 3 分前に到着	85 分
5 回に 1 回は始業時刻の 3 分後に到着	91 分

図-2 出発時刻選択に関するSP調査票の例

アンケートの中で企業の始業時刻選好を把握するための SP 調査を行った．本研究では，企業の始業時刻選択に関するコストとして時間集積性(他企業の始業時刻分布とのズレ)・従業員の平均旅行時間を考え，14 の属性（表-1）を用いて SP 調査票を設計した（図-1）．SP 調査では，災害時を仮定し，仮想的に他企業の始業時刻分布と従業員の旅行時間を提示した上で 5 時以前，6 時，7 時，8 時，9 時，10 時のうち最も望ましい始業時刻を尋ねた．ここで，各水準はランダムに抽出し，各企業に異なる仮想状況下における始業時刻選択を 5 回繰り返し回答してもらった．また，SP 調査に加えて，図-1 でリストアップした各業種との業務上の関係性を 10 段階で尋ねている．

得られた災害時の始業時刻選択に関する SP データを用いて，災害時の企業の始業時刻選択行動を記述する以下の多項ロジットモデルを構築した．

$$P_{fks}=exp(V_{fks})/\Sigma_s exp(V_{fks}) \quad (1)$$

$$V_{fks}=\beta_{0s}+\beta_1\Sigma_f R_{fk}P_{ks}+\beta_2|s_{fB}-s|+\beta_3 T_{fs} \quad (2)$$

ここで，P_{fks} は業種 f の企業 k が始業時刻 s を選択する確率，V_{fks} は始業時刻 s の確定効用を表す．また $\Sigma_f R_{fk}P_{ks}$ は時間集積効果を表し，アンケートより得た企業 k と業種 f の関係性の程度 R_{fk} と，SP 調査票に示した業種 f の企業のうち始業時刻 s を選択する割合 P_{ks} を乗じて，全業種の和をとった変数を用いる．$|s_{fB}-s|$ は企業の平時の始業時刻と始業時刻のずれにより生じるコスト，T_{fs} は SP 調査票に示した始業時刻 s における企業 k の従業員の旅行時間を表す．β_{0s} は始業時刻の定数項，β_1,β_2,β_3 は各項のパラメータを表す．

パラメータ推定結果を表-2 に示す．表-2 から，時間集積性パラメータは正で有意，旅行時間パラメータは負で有意であるため，企業は他企業との始業時刻のズレと従業員の旅行時間を抑制するように始業時刻を選択することが分かった．よって，災害時においても平時のような時間集積性が確認されたと言える．また，時間集積性のパラメータ β_1 が複数均衡が存在しないことを表す式(3)の条件式（Brock & Durlauf,2003）を満たすことから，時間集積の効果は複数均衡を生じさせるほどの強度はないことが確認された．ここで，K はモデルの選択肢数（5 時以前を除く時間帯）=5 を表す．

$$\beta_1<K/\Sigma_f R_{fk}P_{ks} \quad (3)$$

3．出発時刻選好を把握する SP 調査

1 で述べたように，災害時の利用者均衡状態を導出するためには，従業員の出発時刻選択モデルも構築する必要があると考えられる．本研究では，出発時刻選択モデルを構築するために，就業者の出発時刻選好を把握する SP 調査票（図-2）を設計した．完

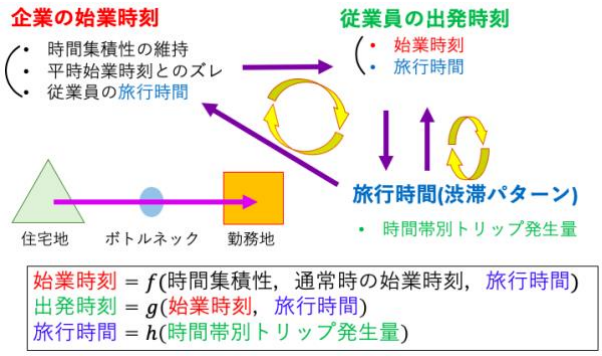


図-3 3つのモデル間に発生する相互作用

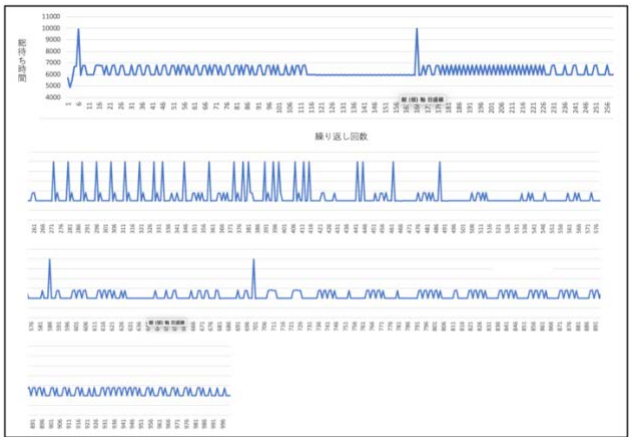


図-4 繰り返し計算による総待ち時間の変化

成した調査票では，災害時を仮定して仮想的な始業時刻をランダムに提示した上で望ましい出発時刻を 2 択（選択肢(A),(B)）で尋ねた．各選択肢にはそれぞれ旅行時間と始業時刻からの早遅着を 5 パターン提示し，災害時の情報不確実性を調査票に反映させた．また，選択肢(A)は始業時刻からの遅着なし，選択肢(B)は 1,2 回遅着する可能性があるように設定した．SP 調査設計には 8 つの属性（始業時刻・旅行時間ピーク時刻・ピーク旅行時間・ピーク時刻への交通集中度合い・各選択肢の到着時刻の分散・各選択肢の遅着回避度合い）を使用し，今回の設計の大きな特徴として，通常時の旅行時間の回答値に合わせて SP 調査票が生成されるように設計している．図-2 は回答値が 30 分の場合の調査票の例となる．SP 調査設計では，通常時の旅行時間の回答値といくつかの属性を用いて，各回答者の災害状況下での交通状況を表す平均旅行時間分布と始業時刻を決定した上で，遅着回避度合いを考慮して調査票に提示する 5 つの到着時刻を定めるという手順で行った．本研究で設計した SP 調査票を用いることで，各回答者に合わせた災害状況下の出発時刻選択場面を提示することができ，目的に合った精度の高い SP データを得ることができると考えられる．

4．利用者均衡状態のシミュレーション分析

本研究では，まず災害時の「社会的に最適な」交通状態を「渋滞による待ち時間が最小になる状態」と定義し，渋滞を簡潔に表現する PQ モデルを用いて「社会的に最適な」時差出勤の形を検証した．行った感度分析では，ネットワーク形状として単一ボトルネック の 10D を仮定し，ボトルネックへの総流入人数は固定したまま，利用者の流入パターンを変化させて渋滞による総待ち時間を比較した．分析結果から，利用者が時差出勤により出発時刻を分散させることで渋滞は減少することが確認できるとともに，出発時刻を早い時刻に変更させるより遅い時刻に変更させる時差出勤の方が，より渋滞緩和に効果的であるという理論的示唆と同様のことが改めて確認された．

次に，2 で構築した始業時刻選択モデル・仮想の出発時刻選択モデル・PQ モデルを用いて災害状況下における利用者均衡状態のシミュレーション分析を行った．ここで，従業員の出発時刻選択モデルには，従業員は経験した旅行時間を考慮して始業時刻ちょうどに到着するように出発すると仮定した仮想モデルを適用する．以上の 3 つのモデルを用いた場合，始業時刻選択モデル・出発時刻選択モデル・旅行時間モデル（PQ モデル）の間で発生するすべての相互作用は図-3 のように表される．実際に本研究では繰り返し計算を行うことで，図-3 に示された渋滞と時間集積性によるモデル間の相互作用から導き出される利用者均衡状態の導出を試みた．

初期設定として，340 社に勤める計 7000 人の従業員（業種と平時の始業時刻は企業へのアンケート結果から設定）が，10D（広島→呉の通勤者を仮定）かつ単一ボトルネック（交通容量 1000 台/時）を持つ仮想的な都市を通勤する場面を想定し，仮想企業の始業時刻変更と従業員の出発時刻変更が繰り返し行われた場合を仮定して繰り返し計算を（1～1000 回）行ったところ始業時刻分布は 1 つの解に収束せず，総待ち時間は振動してしまった（図-4）．よって，本研究では 1000 回繰り返し計算を行った場合の始業時刻分布と交通状況を利用者均衡状態として定め，様々なシナリオ下における始業時刻分布と総待ち時間の均衡状態を比較した．

表-3 交通容量の減少による利用者均衡状態の変化

	6 時	7 時	8 時	9 時	10 時	総待ち時間
1000 台/時	1.098%	12.400%	33.198%	45.142%	8.162%	5963 時間
800 台/時	1.670%	12.227%	33.430%	43.481%	9.190%	13595 時間
700 台/時	1.788%	13.656%	41.128%	36.553%	6.876%	19168 時間

まず，大災害により通勤道路で土砂崩れや洪水が発生した場合を想定し，交通容量の減少に伴う均衡状態の変化を比較した．交通容量を 1000 台/時，800 台/時，700 台/時と変化させ，交通容量以外の設定は初期設定と同様にして始業時刻分布と総待ち時間の均衡解(1000 回繰り返し計算結果)を導出した(表-3)．表-5 の結果から，交通容量が低下すると企業は始業時刻を分散させるが，分散させる時間帯としては早い時刻に変更する傾向があるということが分かった．PQ モデルの感度分析結果から，出発時刻を遅い時刻に変更させる時差出勤の方がより渋滞緩和に効果的であることが確認されているため，企業が災害時に自主的に決定する始業時刻（利用者均衡状態）は，災害時の渋滞を最小化する「社会的に最適な」始業時刻とは異なることが分かった．つまり，企業は災害時において一定程度渋滞を緩和する方向に始業時刻を変更するものの，時間集積効果の維持や災害前始業時刻からの変更回避といった理由から，大幅な渋滞緩和を達成するほどの始業時刻変更は自主的には生じない可能性が示された．このことは，災害時における大幅な渋滞緩和を達成するためには，企業に始業時刻を遅らせる必要があることを伝える/そのためのインセンティブを付与するといった政策介入が必要であることを示唆している．

５．おわりに

本研究では，災害時における時差出勤関連政策検討の支援ツールとして，災害状況下の利用者均衡状態を導出するモデルシステムを開発することを念頭に，その第一段階として災害時の企業の始業時刻選好及び従業員の出発時刻選好を把握するSP調査を設計し，企業の始業時刻選択モデルを構築した．また，構築した始業時刻選択モデル・仮想の出発時刻選択モデル・PQモデルを用いて，渋滞と企業の時間集積性を通じたモデル間の相互作用から導出される利用者均衡状態を導出し，交通容量の減少による災害時の交通状況の変化をシミュレートした．

本研究の結果，災害時における時間集積性の存在が確認され，災害状況下において渋滞を最小化する「社会的に最適な」状態を達成するためには政策介入が必要であることが示唆された．また，本研究で行ったように渋滞と時間集積性を通じた相互作用から決定される始業時刻・出発時刻・渋滞の均衡パターンをモデル化することで，交通容量の減少以外にも様々なシナリオ下における利用者均衡状態を導出することができる．災害時における利用者均衡状態のモデル化は，災害時の時差出勤政策を議論する上で，「社会的に最適な」始業時刻に変更させるための関連政策の影響を評価する支援ツールとなるだけでなく，災害時に想定される状況を提示することで，企業の始業時刻変更を促進する際の説得材料にもなり得ると考えられる．

今後，従業員の出発時刻選択に関しても SP 調査結果からモデルを構築し，災害時の利用者均衡状態を導出するモデルシステムを確立する必要がある．検討すべき課題としては，始業時刻や出発時刻を一定の仮定のもと連続量に変換するなど，利用者均衡状態を収束させる方法を検討する必要がある．

参考文献

1) Henderson, J.V.：The Economics of Staggered Working Hours, Journal of Urban Economics, Vol.9, No.3, pp.349-364, 1981.
2) 吉村充功，奥村誠，塚井誠人：都市内業務トリップにおける時間的集積の経済性，都市計画論文集，第 34 巻，pp.217-222，1999.
3) 佐藤慎太郎，赤松隆：企業と家計の相互作用を考慮した始業・出発時刻均衡モデル，土木計画学研究・論文集，No.23， pp.903-910，2006.
4) 高山雄貴：時間的集積の経済を考慮した始業時刻・住宅立地選択モデル，土木学会論文集 D3(土木計画学)，第 74 巻，pp.140-151，2018.
5) Brock, W. A. and Durlauf, S.N.：Multinomial choice with social interactions, National Bureau of Economic Research Technical Working Paper Series, No.288, 2003.