

1. 研究背景と目的

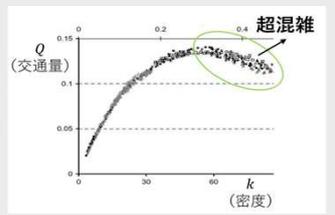
超混雑現象とは、車両台数（密度）の増加によって、流れが悪くなる（交通量が減少する）交通渋滞のことです。このような交通渋滞は、都市において、長年、深刻な問題となっています。交通渋滞の発生原因としては、交通容量に対する交通需要が大きすぎることや、交通需要の時間的な集中が挙げられます。また、交通渋滞に対する改善策としては、交通規制政策や混雑料金の導入があります。

都市部の「超混雑」を分析した既存研究では、交通容量に対して需要が大きい時に、最適な時間変動料金の適用を行っています。しかし、実都市で最適な時間変動料金を求めることは困難であり、都市空間構造への影響も考慮されていません。

そこで、本研究では、都市部の「超混雑」を考慮した交通・居住地選択モデルの構築を行います。また、実都市でも容易に実装可能な流入制御を行った場合の、均衡通勤費用や都市空間構造への影響を明らかにします。



交通渋滞



超混雑現象

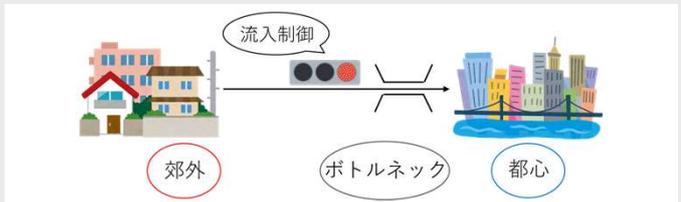
2. モデルの設定

流入制御を行った場合の影響を調べるため、流入制御を行わない場合と行った場合、それぞれのモデルを構築します。

まず、単一の郊外と都心が道路で結ばれている都市を考えます。企業は全て都心に立地して、企業の始業時刻 t^* は労働者の希望到着時刻と一致すると仮定します。また、郊外に N_s 、都心に N_c 、総数 N の労働者が存在し、全員が朝のラッシュアワーに都心の企業に通勤するとします。流入制御を行った場合、ボトルネックへの流入は、信号によって制御されます。



モデル概要図(流入制御なし)



モデル概要図(流入制御あり)

このとき、流入制御を行わない場合の郊外の労働者の通勤費用は、旅行時間費用とスケジュール遅れ費用（始業時刻より早くまたは遅く到着する時の費用）を足したものと表されます。また、流入制御を行った場合の郊外の労働者の通勤費用は、旅行時間費用、スケジュール遅れ費用、渋滞待ち時間費用を足したものと表され、式で表すとそれぞれ次のように書くことができます。

郊外の労働者の通勤費用 c_s (流入制御なし)

$$c_s = \alpha(\text{旅行時間}|t) + \beta(\text{旅行時間}|t) \quad (\text{早着時})$$

$$c_s = \alpha(\text{旅行時間}|t) + \gamma(\text{旅行時間}|t) \quad (\text{遅着時})$$

α : 旅行時間価値, β : 早着時間価値, γ : 遅着時間価値

郊外の労働者の通勤費用 c_s (流入制御あり)

$$c_s = \alpha \left(q(t) + \frac{L}{v_f} \right) + \beta(t^* - t) \quad (\text{早着時})$$

$$c_s = \alpha \left(q(t) + \frac{L}{v_f} \right) + \gamma(t - t^*) \quad (\text{遅着時})$$

$q(t)$: 渋滞待ち時間, L : 通勤距離, v_f : 自由流速度

3. 均衡状態

本モデルでは、短期均衡と長期均衡の2段階の均衡を考えます。

短期的には、労働者の居住地が定まっていて、労働者は通勤費用を最小化するように、出発時刻を選択します。その結果として、労働者の均衡通勤費用が求められます。都心の労働者の通勤費用は C （一定）であると仮定すると、郊外の労働者の均衡通勤費用は以下の式で求めることができます。

郊外の労働者の均衡通勤費用 c_s^* (流入制御なし)

$$N_s = k_f \left\{ \left(\frac{\alpha}{\beta} + \frac{\alpha}{\gamma} \right) \left(\ln \theta - 1 + \frac{1}{\theta} \right) + 1 + \left(\frac{\alpha}{\gamma} \right) \ln \left(\frac{\alpha}{\alpha + \gamma} \right) \right\}$$

$$\theta = \frac{c_s^* v_f}{\alpha L}, k_f: \text{渋滞密度}$$

郊外の労働者の均衡通勤費用 c_s^* (流入制御あり)

$$c_s^* = \frac{\beta \gamma N_s}{(\beta + \gamma) \bar{Q}} + \frac{\alpha L}{v_f}$$

\bar{Q} : 最大の交通流率

長期的には、短期均衡で求めた均衡通勤費用を使い、居住地を選択します。その結果として、均衡状態における労働者数が求められます。郊外の均衡状態における労働者数は以下の式で求めることができます。

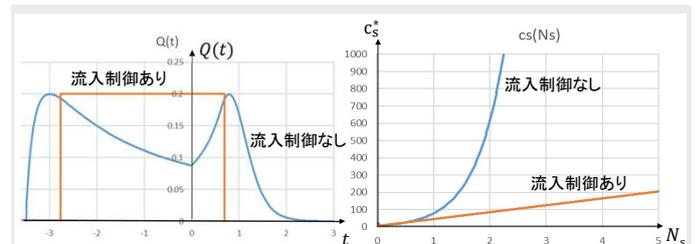
郊外の均衡状態における労働者数 N_s^*

$$N_s^* = \frac{N}{e^{\ln \frac{A_c}{A_s} + \frac{C_s - C}{\mu}} + 1}$$

A_s : 郊外の面積, A_c : 都心の面積, C : 都心の通勤費用, μ : パラメータ

4. 結果

流入制御を行わない場合と行った場合の、交通流率 $Q(t)$ を比較しました。また、郊外の労働者数と均衡通勤費用の変化の比較を行いました。



交通流率 ($N_s = 0.6922$ の時) 郊外の労働者数と均衡通勤費用の関係
($\alpha = 20, \beta = 10, \gamma = 40, k_f = 0.2, v_f = 20, L = 5, \bar{Q} = 0.2$)

上記のグラフから流入制御を行った場合の方が、郊外の均衡通勤費用は、抑えられることが分かりました。これは、流入制御を行うことによって、一定の交通流率が保たれるため、超混雑現象が発生せず、時間的な損失が生まれないためです。また、どちらの場合も郊外の労働者数の増加とともに、均衡通勤費用も増加することが分かりました。その一方で、郊外の労働者数が増加するほど、均衡通勤費用の差が大きくなることが分かりました。

次に、流入制御を行わない場合と行った場合の、均衡状態における労働者数の比較を行いました。



均衡状態の労働者数(流入制御なし) 均衡状態の労働者数(流入制御あり)
($A_s = 2, A_c = 1, C = 100000, \mu = 216300, N = 10$)

流入制御を行った場合の方が、均衡通勤費用が抑えられるため、郊外の労働者数は増加し、郊外化が進むことが分かりました。