

動的混雑課金が属性の異なる通勤者にもたらす影響

都市システム科学研究室
Takayama Lab., Institute of Science Tokyo

東京科学大学 宮津 周弥

1. 研究背景・目的

近年、交通渋滞問題の解決策として動的混雑課金に注目が集まっています。交通需要に応じて時間帯別に異なる金額の課金を行う動的混雑課金は、社会全体で大きな渋滞削減効果が見込まれています。

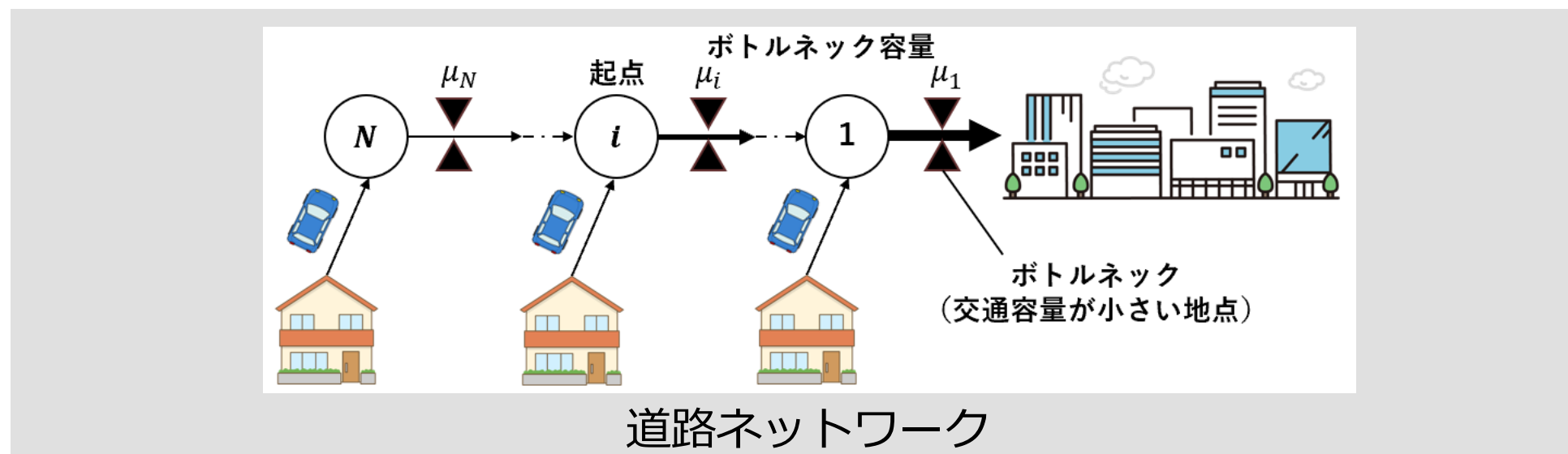
一方で、動的混雑課金を導入すると通勤費用が減少する人・増加する人がいるなど、不公平性をもたらす可能性についても指摘がなされてきています。例えば、Arnott et al.(1994)¹⁾などは、通勤者の単位時間当たりの金銭価値を表す時間価値、希望到着時刻からの早着・遅着を表すスケジュール遅れ時間価値が通勤者ごとに異なることを仮定して、動的混雑課金導入の影響を調べる研究を行いました。その結果、動的混雑課金は社会全体の総通勤費用を最小化できる一方で、特定の属性の通勤者（e.g. 時間価値が低い）に対して通勤費用を増加させるなど、不公平性を引き起こす可能性があることが示されています。

このように、動的混雑課金の不公平性に関する研究が進んでいますが、通勤者の異質性を考慮したモデルでは、ほとんどが通勤者が同じ場所に住んでいることを仮定しています。つまり、このモデルでは動的混雑課金導入による影響が都心・郊外に住む人のどちらに対して大きいのかまでは明らかにできず、動的混雑課金が空間方向に与える影響は未知のままです。このような状況下で、Sakai et al.(2024)²⁾は、通勤者の居住地が異なることを仮定した上で、スケジュール遅れ時間価値の異質性を考慮して研究を行いました。しかし、通勤者の居住地が異なることを仮定したモデルで、時間価値の異質性を考慮した研究は行われていないため、動的混雑課金が既往研究では明らかとなっていない不平等性をもたらす可能性があります。このことは、今後進んでいくであろう動的混雑課金導入の際の大きな問題点といえます。

そこで、本研究では通勤者の居住地が異なることを仮定し、通勤者の時間価値・スケジュール遅れ時間価値両方の異質性を考慮することで、動的混雑課金が通勤パターン・通勤費用に与える影響を明らかにすることを目的とします。具体的には、動的混雑課金導入前後の解析解を導出・比較することによって、どのような属性の通勤者（時間価値・スケジュール遅れ時間価値の高低、居住地が都心または郊外）が得または損をするのかを明らかにします。

2. モデル

本研究では、1つの勤務地とN個の起点からなる道路ネットワークを考えます ($N = \{1, \dots, N\}$)。各ノードは道路で結ばれており、全ての道路には交通容量が小さく渋滞が発生するボトルネックが存在します。



次に、各通勤者の通勤費用を定義します。全ての通勤者は同じ希望到着時刻を持っており、時間帯 $\mathcal{T}$ の間に勤務地に到着すると仮定します。すると、時刻 $t \in \mathcal{T}$ に勤務地へ到着する通勤者の通勤費用 $C(t)$ は、道路 i における自由走行時間 (d_i)、ボトルネック i で生じる待ち行列遅れ時間 ($w_i(t)$)、実到着時刻と希望到着時刻との差から計算されるスケジュール遅れコスト ($\beta^k c(t)$) の三つの和で求められます。通勤者はそれぞれ異なる時間価値 (α^l)、スケジュール遅れコストを持っており、時間価値の値により L 個 ($L = \{1, \dots, L\}$) の、スケジュール遅れ時間価値の値により K 個 ($K = \{1, \dots, K\}$) のグループに分類されます。このことを踏まえると、起点を i とし、時刻 $t \in \mathcal{T}$ に勤務地へ到着する通勤者の通勤費用は以下の式で表されます。

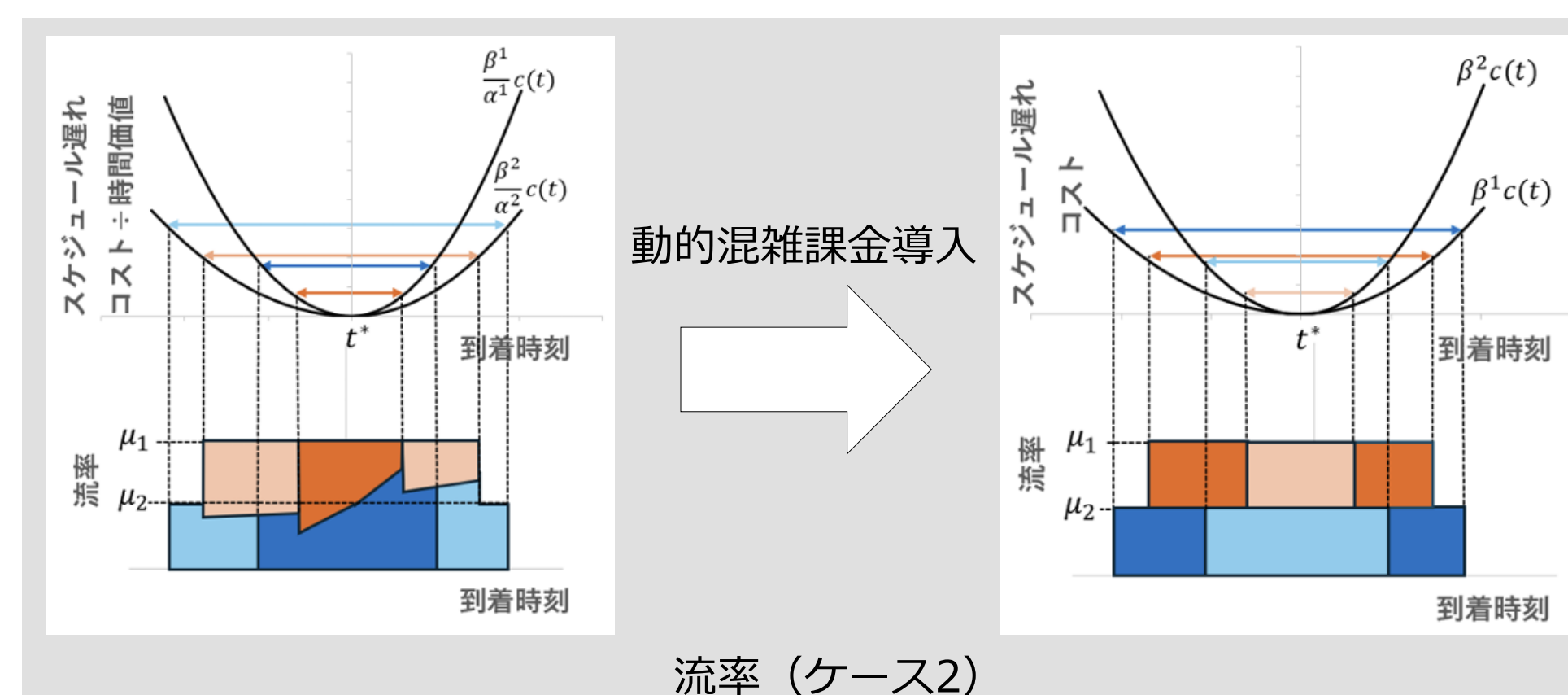
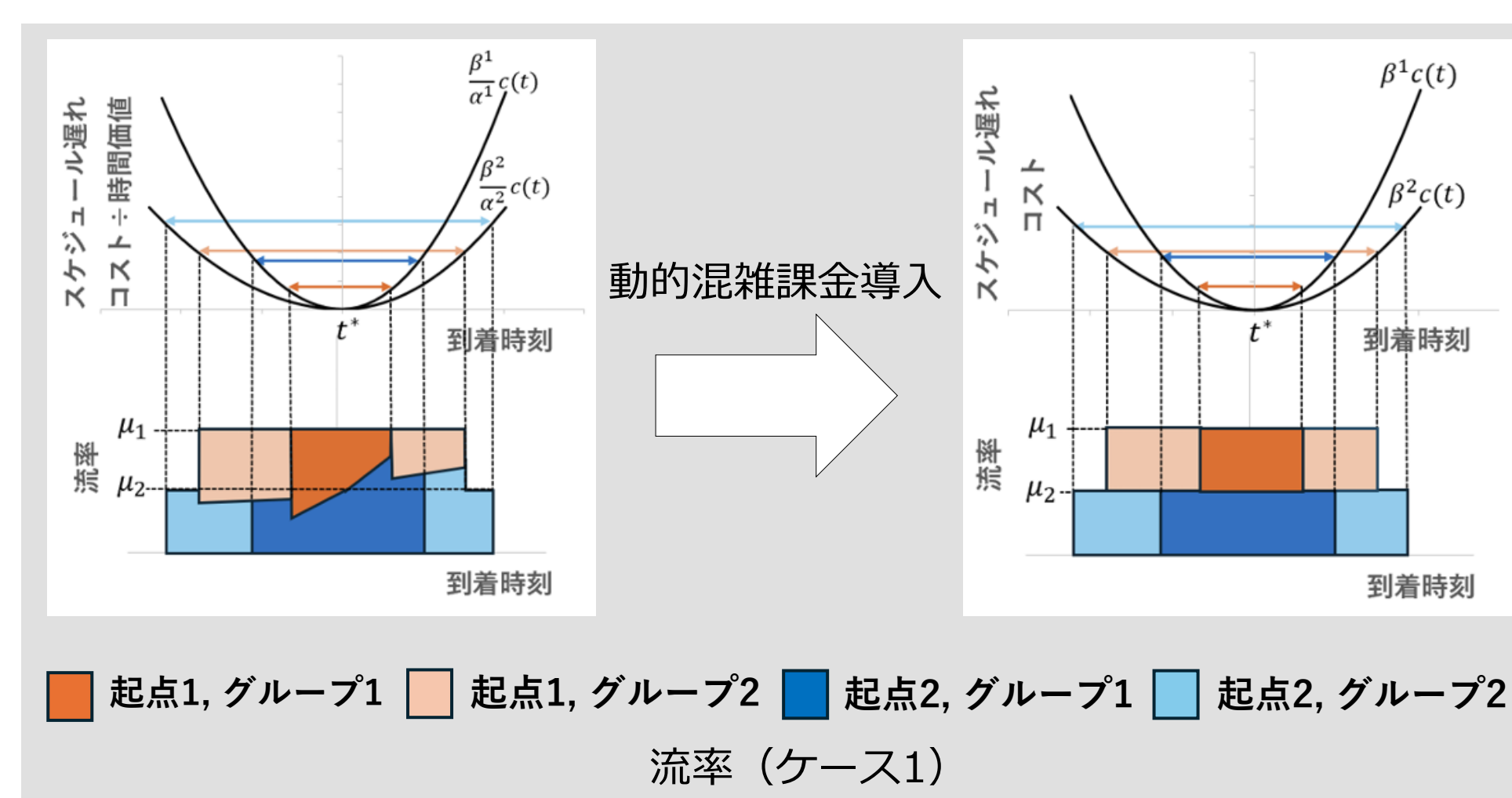
$$C_{i,k,l}(t) = \alpha^l \left\{ \sum_{j \in \mathcal{I}} w_j(t) + \sum_{j \in \mathcal{I}} d_j \right\} + \beta^k c(t), \quad \forall i \in N, \forall t \in \mathcal{T}, \forall k \in K, \forall l \in L.$$

3. 動的混雑課金導入による影響

解析の結果、動的混雑課金導入の影響は通勤者の時間価値とスケジュール遅れ時間価値の値により異なることがわかりました。ここから、時間価値・スケジュール遅れ時間価値が二つの値を取りうることを、ボトルネックが二つ存在することを仮定し、場合分けを行います。

ケース1: 時間価値の高い通勤者のスケジュール遅れ時間価値が**大きい**
ケース2: 時間価値の高い通勤者のスケジュール遅れ時間価値が**小さい**

まず、動的混雑課金導入により、属性の異なる通勤者が勤務地に到着する時間帯がどのように変化するかを示した図を以下に載せます。なお、時間価値が低いグループをグループ1、高いグループをグループ2と呼んでいます。



これらの図は、起点1,2から流入する各グループがどの時間帯に勤務地に到着するかを表しています。ケース1については、動的混雑課金導入された際もグループ1が希望到着時刻近くに到着することがわかりました。一方で、ケース2については、動的混雑課金導入前に希望到着時刻近くに到着していたグループ1が、動的混雑課金の導入により希望到着時刻から遠くに到着するようになることがわかりました。

このような通勤行動の変化の結果、ケースに応じて通勤費用にも変化が生じます。動的混雑課金導入により通勤費用は、居住地に関わらずグループ2は**変化しないか減少するの**に対し、グループ1は**変化しないか増加する**ことがわかりました。このことから、動的混雑課金は社会全体の総通勤費用を最小化できる一方で、不公平性をもたらすことがわかります。そして、通勤費用の増加・減少が起こるとき、特定の属性の通勤者の居住地分布により、増加額・減少額が**都心に住む人の方が大きい場合、郊外に住む人の方が大きい場合の両方が起こり得る**ことがわかりました。このことから、動的混雑課金は空間方向にも不公平性をもたらす可能性があることが明らかとなりました。この結果から、動的混雑課金の導入は、通勤者の長期的な居住地選択にも影響を及ぼすことが考えられます。

参考文献

- 1) Arnott, R., de Palma, A. and Lindsey, R.: The welfare effects of congestion tolls with heterogeneous commuters, Journal of Transport Economics and Policy, pp. 139–161, 1994.
- 2) Sakai, T., Akamatsu, T. and Satsukawa, K.: Queue replacement principle for corridor problems with heterogeneous commuters, Transportation Research Part B: Methodological, Vol.187, 2024.