

経済活動の時空間的な集中メカニズムを考慮した都市システムモデル

金沢大学 学生会員 ○苗 璐
金沢大学 正会員 高山 雄貴

1. はじめに

朝ピーク時間帯の交通混雑や列車遅延などの問題が起こる主要な原因の一つに、殆どの経済活動が特定の時間帯・場所において集中して行われる点が挙げられる。しかし、古典的な交通・立地理論では、経済活動の時間・空間分布を変化させることで交通混雑を緩和させることを意図した交通需要マネジメント施策 (e.g., 時差出勤, フレックスタイム, 時間帯別課金) の効果検証に、そのまま適用することはできない。

そこで、本研究では、経済活動の時間分布 (i.e., 始業時刻分布) と空間分布 (i.e., 人口分布) を内生化したモデルを構築する。そのために、Alonso¹⁾ 型の居住地選択モデルと Henderson²⁾ 型の始業時刻選択モデルを統合し、多都市かつ時間・空間集積の経済を考慮した都市システムモデルを構築する。そして、ポテンシャル関数の性質を用い、モデルの均衡状態と社会的最適状態の特性分析を行う。その結果、始業時刻集中による生産性向上効果 (異なる企業の業務スケジュールの同期の必要性) の低下は一方の都市への人口集中をもたらすことが分かる。

2. 始業時刻・立地選択の同時均衡

(1) 設定

本研究では、図-1 に示すような、2 箇所の単一中心都市で構成されている空間構造を考慮する。以降では、都市の集合を $\mathcal{D} \equiv \{I, II\}$, 都市 I, II の居住地数は A^I と A^{II} である。居住地は、CBD から近い順にインデックスをつけ、居住地の集合を $\mathcal{A}^d \equiv \{1, 2, \dots, A^d\}$ と表す。各居住地の面積はすべて同一で、 L であると仮定する。

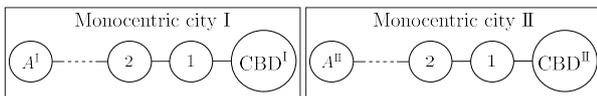


図-1 2 箇所の単一中心都市の空間構造

企業は全て CBD に立地し、始業時刻を I 種類の時刻から選択できる。この選択可能な始業時刻は、全て同一の時間間隔で並んでいる。また、全企業の労働時間は同一かつ一定値であり、さらに、ある時間帯には必ず全企業が同時に業務を行っているとして仮定する。なお、以降では、始業時刻 t_i の企業を“企業 $i \in \mathcal{I}$ ”と呼ぶ。ここで、 $\mathcal{I} \equiv \{1, 2, \dots, I\}$ は企業の集合である。

労働者は全て均質であり、都市 d の総労働者数は N^d ,

2 都市の総労働者数は固定的に N である。労働者は、都市 $d \in \mathcal{D}$, 居住地 $a \in \mathcal{A}^d$, 時刻 i に始業する企業 $i \in \mathcal{I}$ を選択する。都市・居住地・始業時刻別の労働者数 (以降、人口・始業時刻分布と呼ぶ) を $\mathbf{n} = (n_{a,i}^d)_{d \in \mathcal{D}, a \in \mathcal{A}^d, i \in \mathcal{I}}$ と表す。さらに、労働者は居住している都市の CBD へしか通勤しないと仮定する。

各居住地を結ぶ道路はすべて均質であり、居住地 $a-1$ と a の間の道路を“道路 a ”と呼ぶ。都市 d に居住する始業時刻 t_i の労働者の道路 a の交通量は $x_{a,i}^d = \sum_{b=a}^{A^d} n_{b,i}^d$ である。そして、都市 d に居住する始業時刻 t_i の労働者が道路 a を通過する際にかかる交通費用は、非負、単調増加、かつ狭義凸関数 $c(x_{a,i}^d)$ で表されると仮定する。

(2) 主体の行動

本研究では、労働者は全て均質であるため、同一の効用関数を適用する。これらの労働者の効用関数は、合成財 (住宅以外の全ての財) の消費量 $z_{a,i}^d$, 住宅面積 y_a^d の準線形関数 $u(z_{a,i}^d, y_a^d)$ により与えられると仮定する。そして、効用関数を予算制約の下で最大化する：

$$\max_{z_{a,i}^d, y_a^d} u(z_{a,i}^d, y_a^d) = z_{a,i}^d + f(y_a^d), \quad (1a)$$

$$\text{s.t. } w_i^d = z_{a,i}^d + r_a^d y_a^d + \sum_{b=1}^a c(x_{b,i}^d). \quad (1b)$$

ここで、関数 $f(x)$ は狭義単調増加、凹、かつ $x > 0$ の範囲で 2 階微分可能である。 w_i^d は都市 d の企業 i の労働者毎の賃金、 r_a^d は都市 d の居住地 a の地代である。

本研究では、企業は全て完全競争下で一単位の労働を投入して財を生産し、その利潤は、 $\pi_i^d = G_i^d(\mathbf{M}) - w_i^d$ で与えられる。ここで、 $G_i^d(\mathbf{M})$ は都市 d の企業 i の労働者毎の生産高である。企業の生産性は、同じ都市において同時に始業する総労働者数が多いほど、高まると仮定する。これは、企業の生産効率が、都市別・始業時刻別の労働者数 $\mathbf{M} = (M_i^d)_{d \in \mathcal{D}, i \in \mathcal{I}} = (\sum_{a \in \mathcal{A}^d} n_{a,i}^d)_{d \in \mathcal{D}, i \in \mathcal{I}}$ に依存して定まることを意味する。労働者毎の生産高 $G_i^d(\mathbf{M})$ は、以下で与える：

$$G_i^d(\mathbf{M}) = \begin{cases} \alpha \sum_{c \in \mathcal{D}} \sum_{j \in \mathcal{I}} \phi^{|i-j|} M_j^c & \text{if } d = c, \\ \alpha \sum_{c \in \mathcal{D}} \sum_{j \in \mathcal{I}} \psi \phi^{|i-j|} M_j^c & \text{if } d \neq c. \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $\alpha > 0$ は生産性効果の大きさを表すパラメータ、 $\phi \in [0, 1]$ は始業時刻集中による生産性向上効果 (異なる企業の業務スケジュールの同期の必要性) の強さを

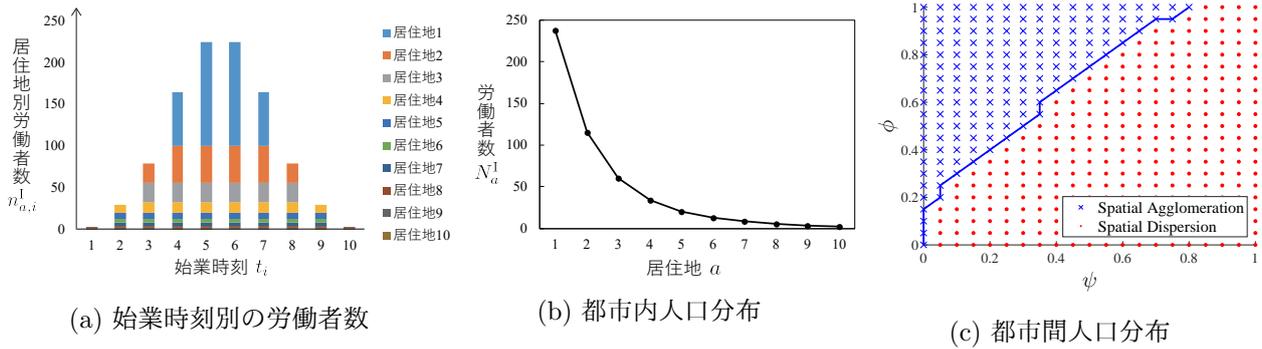


図-2 安定均衡状態

($N = 1000$, $\psi = 0.95$, $\phi = 0.95$, $\beta = 1.05$, $L = 1.0$, $\alpha = 10.0$, $\mu = 2.0$, $t = 5.0$)

表すパラメータ, $\psi \in [0, 1]$ は都市間人口の空間集中による生産性向上効果 (異なる企業立地の集積必要性) の強さを表すパラメータである。

(3) 均衡条件の定式化

本モデルにおいて, 労働者は都市・居住地・労働を供給する企業, 企業は都市・始業時刻を選択する。その結果, 均衡状態における人口・始業時刻分布 \mathbf{n}^* が決まる。次は, 本研究の均衡条件である:

$$\begin{cases} v^* = v_{a,i}^d(\mathbf{n}) & \text{if } n_{a,i}^d > 0, \\ v^* \geq v_{a,i}^d(\mathbf{n}) & \text{if } n_{a,i}^d = 0, \end{cases} \quad (3a)$$

$$\sum_{k \in \mathcal{D}} \sum_{a \in \mathcal{A}^k} \sum_{i \in \mathcal{I}} n_{a,i}^k = N. \quad (3b)$$

ここで, v^* は労働者の均衡効用である。条件 (3a) は, 均衡状態では, 単一の労働者が選択を変更しても, 自らの効用を改善できないことを示している。条件 (3b) は人口保存則を表す。

効用最大化問題, 利潤ゼロ条件, 土地・労働の需給均衡条件により, $G_i^d(\mathbf{M}) = w_i^d$ ため, 都市 d の居住地 a に居住する企業 i の労働者の効用水準 $v_{a,i}^d(\mathbf{n})$ は次のように与えられる:

$$v_{a,i}^d(\mathbf{n}) = G_i^d(\mathbf{M}) - \sum_{b=1}^a c(x_{b,i}^d) + h(N_a^d). \quad (4)$$

ここで, $N_a^d = \sum_{i \in \mathcal{I}} n_{a,i}^d$ は都市 d の居住地 a の総労働者数, $h(N_a^d)$ は住宅消費により得られる効用増分である。

3. 安定均衡状態

本研究では, 集積の外部性を考慮していることから, 均衡条件 (3) を満足する均衡状態が複数存在し得る。本研究では, 構築したモデルにポテンシャル関数が存在することを利用し, 均衡状態が一意ではないことを示すと同時に, 均衡条件 (3) と間接効用関数 (4) より, 均衡状態の安定性を調べた。その結果, 安定均衡状態の

次の性質を理論的に明らかにした:

- CBD の近くに居住する労働者ほど, 始業時刻の分布幅が狭い。
- 居住地は CBD から遠いほど人口が少ない。
- 異なる都市間の相互作用が困難 (ψ が小さい), 異なる時間帯間の相互作用が容易 (ϕ が大きい) ほど, 1 都市への人口集中が生じる。

ここで, (a) は, Fosgerau and Kim³⁾ の実証的知見と一致する, 実現象と整合した性質である。

次に, 本研究の理論解析結果を検証するために, 数値解析を行う。図-2 は数値解析例を示すものである。具体的には, 図-2 (a), (b), (c) はそれぞれ, 始業時刻別の労働者数, 都市内人口分布, 都市間人口分布を示すものである。これらの結果は前述した理論解析結果と一致することが見て取れる。

4. おわりに

本研究では, Alonso¹⁾ 型の居住地選択モデルと Henderson²⁾ 型の始業時刻選択モデルを統合し, 時間・空間集積の経済を考慮した都市システムモデルを構築した。そして, ポテンシャル関数の性質を利用することで, モデルの均衡状態の性質を理論的に明らかにした。さらに, 企業間の時間・空間的な相互作用の易化が都市人口, 都市内人口分布, 始業時刻分布に与える影響を明らかにした。その結果, 始業時刻集中による生産性向上効果の低下 (時差出勤の易化) は一方の都市への人口集中をもたらすことが明らかにした。

参考文献

- Alonso, W.: *Location and Land Use*, Harvard University Press, 1964.
- Henderson, J. V.: The economics of staggered work hours, *Journal of Urban Economics*, Vol.9, No.3, pp.349-364, 1981.
- Fosgerau, M. and Kim, J.: Commuting and land use in a city with bottlenecks: Theory and evidence, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.77, pp.182-204, 2019.