

テレワーク導入が都市構造に与える影響

牛丸 太輝¹・高山 雄貴²・苗 璐³

¹学生会員 金沢大学 自然科学研究科 (〒 920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: ushi.tk31@stu.kanazawa-u.ac.jp

²正会員 金沢大学准教授 理工研究域 (〒 920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: ytakayama@se.kanazawa-u.ac.jp

³正会員 鹿島建設株式会社 (技術研究所) (〒 182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)
E-mail: miao@se.kanazawa-u.ac.jp

本研究では、テレワークの普及と、それに伴う生産性の変化が都市人口や空間構造に与える影響を明らかにするための基礎的な理論枠組を構築する。そのために、交通需要の時間分布・労働者の居住分布・都市人口を内生化した経済モデルを開発する。そして、テレワークの導入率や生産性の違いが、都市人口・空間構造にどのような影響を与えるのかを明らかにする。そのうえで、テレワーク導入下での最適な (i.e., 社会的最適状態を達成する) TDM 施策の導入効果を示す。

Key Words : 時間集積の経済, 空間集積の経済, 居住地・始業時刻分布, テレワーク使用率・生産性

1. はじめに

経済活動のほとんどは、特定の場所・時間帯で実施される。これは、効率的な経済活動に必要な不可欠となる多様な経済主体 (人や企業) 間の相互交流が、その時間・空間集積により著しく容易になるためである。一方、同じ場所・時間帯で経済活動が行われることが、交通混雑などの都市問題を生じさせる根本的な原因の一つにもなっている (高山¹), Henderson²⁾)

近年、急激に進展した経済活動のオンライン化・リモート化は、経済活動の時空間分布を根本的に変化させるものである。実際、普及が進むテレワークは、通勤行動を不要/通勤の頻度を低下させるものであるため、交通混雑の劇的な緩和や、都市人口・空間構造の大幅な変化をもたらす可能性がある。ただし、特に都市構造に大きな影響を与えると考えられる“テレワークが経済主体間の相互交流を易化・促進させるか否か (生産性の向上・低下)”については、今だ明確な結論が得られていない。それゆえ、テレワークの普及・それに伴う生産性の変化が都市人口や空間構造にどのような影響を与えるのか、という研究はほとんど蓄積されていない。

そこで、本研究では、他都市や他農村への人口流出・流入が存在するモデルを構築し、テレワークを導入することによる都市構造の変化を検証していく。そのためにまず、1都市・1農村が存在するモデルで企業にテレワークを導入したモデルを開発する。テレワークの“導入率”や“生産性の変化”が、労働者の居住地・始業時刻分布にどのような影響を与えるのかを検証し、適

切な TDM について考察する。

2. モデル

(1) 設定

本研究では、図-1 に示すような、1箇所の CBD と A 箇所の居住地が結ばれている単一中心都市と農村を考える。

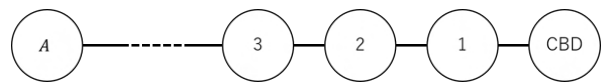


図-1 都市内の空間構造

居住地は、CBD から近い順にインデックスを付け、その集合を $A = \{1, 2, \dots, A\}$ 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。

本モデルでは、企業はすべて CBD に立地し、始業時刻を T 種類の選択肢 $\{t_1, t_2, \dots, t_T\}$ から決定すると仮定する。以降では、始業時刻が t_i の企業を“企業 $i \in I = \{1, 2, \dots, T\}$ ”と呼ぶ。この選択可能な始業時刻は、全て同一の時間間隔 τ で並んでおり、 $i \in I \setminus \{1\}$ に対して、 $t_i = t_{i-1} + \tau$ が成立する。また、全企業の労働時間 H は同一かつ一定値であり、さらに、必ず全企業が同時に業務を行っている時間帯が存在する (i.e., $t_T \leq t_1 + H$) と仮定する。

労働者はすべて均質であり、総数は固定的に N である。各労働者は、都市・農村のどちらを選択する。また、都市に居住する場合、居住地 $a \in A$ 、労働を供給する企業 $i \in I$ を選択する。居住地・始業時刻別の労働者数 (以

降, 居住地・始業時刻分布と呼ぶ) を $\mathbf{n} = (n_{a,i})_{a \in A, i \in \mathcal{I}}$ と表す. 企業は全て CBD に立地しているため, 労働者は居住地から CBD へ通勤する.

またここに, 企業の始業時刻に加えて, テレワーク使用率 e を追加する. (以降, テレワーク率と呼ぶ) このテレワーク率は企業や職業によらず一定の割合で, 労働者がテレワークを利用して労働する割合である.

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. 始業時刻 t_i の労働者の道路 a の交通量 $x_{a,i}$ は, 以下のように表される.

$$x_{a,i} = (1 - e) \sum_{b=a}^A n_{b,i}. \quad (1)$$

また, 始業時刻が 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, Henderson と同様, 非負, $x_{a,i}$ の単調増加, かつ狭義凸関数 $c(x_{a,i})$ で表されると仮定する.

(2) 主体の行動

a) 労働者の財消費行動

都市の労働者は全て均質であるため, 同一の効用関数を有する. したがって, 労働者は都市もしくは農村のどちらかに居住する. また, 都市に居住する場合は, 居住地 $a \in \mathcal{A}$, 労働を供給する企業 $i \in \mathcal{I}$ により特徴づけられる. 都市に居住する労働者の効用関数は, 合成財の消費量 $z_{a,i}$, 住宅面積 y_a , 社会的なスケジュールコスト $\delta_i(t_i)$ の準線形関数 $u(z_{a,i}, y_a, t_i)$ により与えられると仮定する:

$$u(z_{a,i}, y_a, t_i) = z_{a,i} + f(y_a) - \delta_i(t_i). \quad (2)$$

ここで, $f(x)$ は狭義単調増加, 凹, かつ $x > 0$ の範囲で 2 階微分可能な関数である. さらに, $f(x)$ 導関数 $f'(x) = df(x)/dx$ に関して, $\lim_{x \rightarrow 0} f'(x) = \infty$ が成立すると仮定する. また, $\delta_i(t_i)$ は社会的なスケジュールコストを表しており, 始業時刻をずらすことによって起こる負の効果である. この, スケジュールコスト $\delta_i(t_i)$ は次式で与えられるものとする:

$$\delta_i(t_i) = \gamma |t_i - t^*|. \quad (3)$$

$\gamma > 0$ は, 単位時間当たりの早期・遅延コストとする. 式 (3) からわかるように, 始業時刻 t^* の企業はスケジュール遅延コストを発生させないとする.

合成財をニューメレールとすると, 予算制約式は以下で与えられる:

$$w_i = z_{a,i} + r_a y_a + (1 - e) \sum_{b=1}^a c(x_{a,i}). \quad (4)$$

w_i は企業 i から支払われる賃金, r_a は居住地 a の地代である.

財消費に関する効用最大化問題の一階条件を解くこ

とで, 間接効用関数 $v_{a,i}$ が以下のとおり与えられる:

$$v_{a,i} = w_i - (1 - e) \sum_{b=1}^a c(x_{b,i}) + h_a(N_a) - \delta_i(t_i). \quad (5)$$

ここで, $h_a(N_a) = f(\frac{L}{N_a}) - \frac{L}{N_a} f'(\frac{L}{N_a})$ である. なお, この $h_a(N_a)$ は, $f(y_a) - r_a y_a$ と書き換えられることからわかるように, 住宅消費により得られる効用増分を表している. また,

$$h'_a(N_a) = \frac{L^2 f''(\frac{L}{N_a})}{N_a^3} < 0. \quad (6)$$

より, $h_a(N_a)$ は N_a の単調減少関数である.

農村に居住する労働者は居住地・始業時刻選択がないと仮定しているため, 農村に住む全ての労働者の効用は常に一定値 \bar{u} であると仮定する.

b) 企業の生産関数

企業は全て都心部 (CBD) に立地しており, 完全競争下で一単位の労働を投入し財を生産する. この財の生産に関して, 本研究では, Henderson. と同様の生産性効果を導入する. すなわち, ある企業のある時点での生産性は, すでに始業している企業の労働者数が多い程, 高まると仮定する. この生産性効果を表現するために, 企業のある時刻 t での“瞬間的”生産高 $g(t)$ を, その時刻までに始業している企業の総労働者数 $N(t)$ の増加関数で与える:

$$g(t) = \alpha_1 (1 - e) N(t) + \alpha_2 e N(t). \quad (7)$$

ここで, $\alpha_x > 0$ は, 生産性効果の大きさを表すパラメータである. α_1 は会社へ出勤している労働者の生産性効果のパラメータとし, α_2 はテレワークを行っている労働者の生産性効果のパラメータを示している. 各企業の労働時間が一定値 H であることから, 始業時刻が t_i の企業の 1 日の生産高 G_i は, 瞬間的生産関数 $g(t)$ を始業時刻 t_i から終業時刻 $t_i + H$ まで積分したものとなる:

$$\begin{aligned} G_i &= \int_{t_i}^{t_i+H} g(t) dt \\ &= \alpha_1 \int_{t_i}^{t_i+H} (1 - e) N(t) dt \\ &\quad + \alpha_2 \int_{t_i}^{t_i+H} e N(t) dt. \end{aligned} \quad (8)$$

ここで, 始業時刻が t_i の企業全体の労働者数 M_i は以下で与えられる:

$$M_i = \sum_{a \in A} n_{a,i}. \quad (9)$$

すると、 $t_i = t_{i-1} + \tau$ であるため、 $N(t)$ は次のように表される：

$$N(t) = \begin{cases} \sum_{j=1}^i M_j & \text{if } t \in [t_i, t_{i+1}), \\ N & \text{if } t \in [t_T, t_1 + H], \\ \sum_{j=i+1}^T M_j & \text{if } t \in [t_i + H, t_{i+1} + H). \end{cases} \quad (10)$$

各企業は固定的に一単位の労働を投入すると仮定することから、 M_i は始業時刻が t_i の総企業数、 $N(t)$ は時刻 t が労働時間に含まれる総企業数を表す。この関係から、 G_i が始業時刻分布 $\mathbf{M} = (M_i)_{i \in \mathcal{I}}$ (居住地・始業時刻分布 \mathbf{n}) の関数で与えられることがわかる：

$$\begin{aligned} G_i(\mathbf{M}) &= \alpha \sum_{j \in \mathcal{I}} \phi_{ij} M_j \\ &= \alpha_1 \sum_{j \in \mathcal{I}} \phi_{ij} \sum_{k \in K} (1-e) N_{i,k} \\ &\quad + \alpha_2 \sum_{j \in \mathcal{I}} \phi_{ij} \sum_{k \in K} e N_{i,k}. \end{aligned} \quad (11)$$

また、 $\phi_{ij} \equiv H - \tau|i - j|$ は企業 i と j の労働時間が重なる時間間隔を表す。

以上の生産関数の下では、各企業の利潤 π_i は以下で与えられる：

$$\pi_i = G_i(\mathbf{M}) - w_i. \quad (12)$$

ここで、本モデルでは、企業の参入・退出が自由であると仮定するため $\pi^* = 0$ となる。よって労働者の賃金 w_i は以下ようになる：

$$w_i = G_i(\mathbf{M}). \quad (13)$$

(3) 農地を入れた均衡条件の定式化

都市内の労働者の均衡条件について、企業は始業時刻を、労働者は居住地・労働を供給する企業を選択する。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。農村の人口を N_r と表すと、均衡条件は以下の条件で表現することができる：

$$\begin{cases} v^* = v_{a,i}(\mathbf{n}) & \text{if } n_{a,i} > 0, \\ v^* \geq v_{a,i}(\mathbf{n}) & \text{if } n_{a,i} = 0, \end{cases} \quad (14a)$$

$$\begin{cases} v^* = \bar{u} & \text{if } N_r > 0, \\ v^* \geq \bar{u} & \text{if } N_r = 0, \end{cases} \quad (14b)$$

$$\sum_{a \in \mathcal{A}} \sum_{i \in \mathcal{I}} n_{a,i} + N_r = N. \quad (14c)$$

ここで、居住地 a に居住する企業 i の労働者の効用水準 $v_{a,i}(\mathbf{n})$ は以下で表すものとする：

$$v_{a,i}(\mathbf{n}) = G_i(\mathbf{M}) - (1-e) \sum_{b=1}^a c(x_{b,i}) + h_a(N_a) - \delta_i(t_i). \quad (15)$$

3. 均衡状態の特性分析

本節では、前述したモデルの均衡状態の特性を調べる。具体的には、まず構築したモデルのポテンシャル関数が存在することを表したうえで、その性質を利用して、均衡状態の一意性・安定性を分析する。次に、均衡条件を用い、均衡状態における居住地・始業時刻別の労働者分布の特性を明らかにする。

(1) ポテンシャルゲーム

本節では、均衡状態の特性を分析するために、均衡状態における人口・始業時刻分布 \mathbf{n} がポテンシャルゲーム (労働者がプレイヤー) の Nash 均衡状態とみなすことができることを示す必要がある。本モデルの均衡状態は、均衡条件 (14) より、プレイヤーの集合が $\mathcal{S} \equiv [0, N]$ 、戦略集合が $\mathcal{I} \times \mathcal{A}$ 及び利得関数が $\mathbf{v}(\mathbf{n}) = (v_{a,i}(\mathbf{n}))_{a \in \mathcal{A}, i \in \mathcal{I}}$ の population game の Nash 均衡状態と一致する。以降では、このゲームをゲーム $\mathcal{S} = \{\mathcal{S}, \mathcal{I} \times \mathcal{A}, \mathbf{v}\}$ と表記する。

このゲーム \mathcal{S} は、Sandholm により、任意の $\mathbf{n} \in \delta \equiv \{\mathbf{n} \mid \sum_{a \in \mathcal{A}} \sum_{i \in \mathcal{I}} n_{a,i} \leq 0, a \in \mathcal{A}, i \in \mathcal{I}\}$ に対し、次の条件を満たすポテンシャル関数 $P(\mathbf{n})$ が存在すれば、ポテンシャルゲームである：

$$\frac{\partial P(\mathbf{n})}{\partial n_{a,i}} = v_{a,i}(\mathbf{n}) \quad \forall a \in \mathcal{A} \text{ and } i \in \mathcal{I}. \quad (16)$$

この条件 (16) は、Sandholm により、“externally symmetry” と呼ばれる次の条件と等価であることが示されている：

$$\frac{\partial v_{a,i}(\mathbf{n})}{\partial n_{b,j}} = \frac{\partial v_{b,j}(\mathbf{n})}{\partial n_{a,i}} \quad \forall a, b \in \mathcal{A}, i, j \in \mathcal{I} \text{ and } \mathbf{n} \in \Delta. \quad (17)$$

本モデルの $\frac{\partial v_{a,i}(\mathbf{n})}{\partial n_{b,i}}$ は、式 (15) より、以下のように表される：

(居住地のみを変えた場合)

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_{a,i}(\mathbf{n})}{\partial n_{b,j}} &= \alpha_1 + \alpha_2 - \sum_{d=1}^{\min\{a,b\}} \frac{\partial c(x_{d,i})}{\partial x_{d,i}} \\ &= \frac{\partial v_{b,j}(\mathbf{n})}{\partial n_{a,i}}, \end{aligned} \quad (18a)$$

(通勤手段のみを変えた場合)

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_{a,i}(\mathbf{n})}{\partial n_{a,j}} &= \alpha_1 + \alpha_2 + h'(N_a) \\ &= \frac{\partial v_{a,j}(\mathbf{n})}{\partial n_{a,i}}, \end{aligned} \quad (18b)$$

(どちらも変えた場合)

$$\frac{\partial v_{a,i}(\mathbf{n})}{\partial n_{b,j}} = \alpha_1 + \alpha_2 = \frac{\partial v_{b,j}(\mathbf{n})}{\partial n_{a,i}}. \quad (18c)$$

したがって、ゲーム \mathcal{S} は条件 (17) を満たす。また、農村でも同様に：

$$\frac{\partial P(\mathbf{n})}{\partial n_r} = \bar{u}. \quad (19)$$

となるため、次の命題が得られる。

命題 1

ゲーム S は次のポテンシャル関数 $P(\mathbf{n})$ を持つポテンシャル関数である：

$$P(\mathbf{n}) = P_1(\mathbf{n}) - P_2(\mathbf{n}) - P_3(\mathbf{n}) - P_4(\mathbf{n}) + P_5(\mathbf{n}). \quad (20)$$

ここで、 $P_1(\mathbf{n})$, $P_2(\mathbf{n})$, $P_3(\mathbf{n})$, $P_4(\mathbf{n})$, $P_5(\mathbf{n})$ は、各々、生産性効果、交通混雑、土地消費に与える影響、スケジュール変更による効用変化、農地における効用を表す凸関数であり、次の関係を表す：

$$P_1(\mathbf{n}) = \frac{1}{2} \sum_{i \in \mathcal{I}} M_i G_i(\mathbf{n}), \quad (21a)$$

$$\frac{\partial P_2(\mathbf{n})}{\partial n_{a,i}} = (1 - e) \sum_{b=1}^a c(x_{b,i}), \quad (21b)$$

$$P_3(\mathbf{n}) = - \sum_{a \in \mathcal{A}} N_a f\left(\frac{L}{N_a}\right), \quad (21c)$$

$$P_4(\mathbf{n}) = \sum_{i \in \mathcal{I}} M_i \delta_i(t_i), \quad (21d)$$

$$P_5(\mathbf{n}) = \bar{u} \times N_r. \quad (21e)$$

ゲーム S がポテンシャルゲームであるため、その均衡状態は、次の最適化問題の Karush-Kuhn-Tucker(KKT) 条件を満足する \mathbf{n}^* の集合と一致する：

$$\max_{\mathbf{n}} P(\mathbf{n}) = P_1(\mathbf{n}) - P_2(\mathbf{n}) - P_3(\mathbf{n}) - P_4(\mathbf{n}) + P_5(\mathbf{n}) \quad (22a)$$

$$\text{s.t. } \mathbf{n} \in \Delta. \quad (22b)$$

この事実、上記の問題の KKT 条件が、均衡条件 (14) と完全に一致することより容易に確認することができる。

(2) 均衡状態の一意性と安定性

均衡状態の一意性は、式 (22) より、ポテンシャル関数 $P(\mathbf{n})$ の形状により確認できる。具体的には、 $P(\mathbf{n})$ が単峰であればゲーム S の均衡状態は一意である。 $P(\mathbf{n})$ が単峰でなければ、ゲーム S の均衡状態は必ずしも一意ではない。この性質と $P_1(\mathbf{n})$, $P_2(\mathbf{n})$, $P_3(\mathbf{n})$, $P_4(\mathbf{n})$, $P_5(\mathbf{n})$ の凸性より、次の命題が得られる：

命題 2

ゲーム S の均衡状態は、必ずしも一意ではない。

証明

$P_1(\mathbf{n})$ が凸関数であるため、 $P(\mathbf{n})$ は必ずしも凹関数ではなく、凸関数になる可能性もある。そのため、 $P(\mathbf{n})$ は必ずしも単峰とは限らない。

命題 2 より、均衡状態が複数存在可能であることが示された。したがって、均衡選択のため、ゲーム S の均衡状態の局所的な漸進安定性を分析する必要がある。

まず、均衡状態への調整ダイナミクス $\dot{\mathbf{n}} = \mathbf{V}(\mathbf{n})$ を定義する必要がある。ここで、 $\dot{\mathbf{n}}$ は状態 \mathbf{n} の変化速度を表す。本研究では、このダイナミクスとして、次の 2 条件を満たす admissible dynamics を考える：

(PC) $\mathbf{V}(\mathbf{n}) \neq 0$ の時は常に、

$$\mathbf{V}(\mathbf{n}) = \sum_{a \in \mathcal{A}} \sum_{i \in \mathcal{I}} V_{a,i}(\mathbf{n}) v_{a,i}(\mathbf{n}) > 0. \quad (23)$$

(NS) $\mathbf{V}(\mathbf{n}) = 0$ であれば、 \mathbf{n} はゲーム S の均衡状態。

条件 (PC) は、positive correlation と呼ばれ、調整ダイナミクスと利得 (効用) 関数が正の相関を持つことを要求している。また、(NS) は、Nash stationarity と呼ばれる条件であり、調整ダイナミクスの定常状態がゲーム S の Nash 均衡状態と一致することを要求している。なお、この admissible dynamics は、best response dynamic, Brown-von Neumann-Nash dynamic, projection dynamic を特殊ケースとして含んでいる。

ポテンシャルゲーム S の均衡状態 \mathbf{n}^* の安定性は、Sandholm で示されているように、次の特性を持つ：

Sandholm で示される特性

ポテンシャルゲーム S において、ポテンシャル関数 $P(\mathbf{n})$ を局所的に最大化する均衡状態 \mathbf{n}^s は、admissible dynamics の下で (局所的に) 安定である。それ以外の均衡状態 \mathbf{n}^u は、不安定である。

したがって、ゲーム S の均衡状態の安定性は、ポテンシャル関数の形状のみから確認することができる。

式 (22) で与えられるポテンシャル関数 $P(\mathbf{n})$ の形状は、生産性効果による時間集積の経済を表現した第 1 項 $P_1(\mathbf{n})$ 、交通混雑による時間集積の不経済を表現した第 2 項 $P_2(\mathbf{n})$ 、土地消費に伴う空間集積の不経済を表現した第 3 項 $P_3(\mathbf{n})$ 、スケジュールの変化による時間集積の経済を表現した第 4 項 $P_4(\mathbf{n})$ 、農村の人口変化による効用変化を表現した第 5 項 $P_5(\mathbf{n})$ によって決まる。これは、安定均衡状態が、本モデルに含まれる時間集積の経済・不経済、空間集積の不経済のバランスに応じて決まることを意味している。実際、ポテンシャル関数 P が凸関数となると、始業時刻が集中した状態が安定均衡状態となる。また、第 2, 3 項が卓越し P が凹状態になる場合は、居住地・始業時刻分布が分散した状態が唯一の均衡状態となる。

ポテンシャル関数が有する性質より、状態 \mathbf{n}^0 を初期状態とした際に実現する安定均衡状態は、ポテンシ

ル関数を局所的に最大化する \mathbf{n}^* を \mathbf{n}^0 から探査することにより得られる. すなわち, 簡単な最適化問題を局所的に解くだけで, 容易に安定均衡状態を得ることができる. そこで, 5 章ではその性質を利用して数値解析を実施する.

(3) 均衡状態における人口・始業時刻分布

これまでは均衡解の一意性・安定性に焦点を当てた議論をしてきた. そこで, 次に, 均衡状態における居住地・始業時刻分布の特性を調べる. 居住地 a ・企業 i の労働者の効用関数は, 式 (15) で与えられる. これを利用すると, 次の関係が得られる:

$$v_{a,i}(\mathbf{n}) = v_{a-1,i}(\mathbf{n}) - (1-e)c(x_{a,i}) + h_a(N_a) - h_{a-1}(N_{a-1}). \quad (24)$$

したがって, 均衡状態 \mathbf{n}^* の台 $\text{supp}(\mathbf{n}^*) = \{(a,i) | n_{a,i}^* > 0, a \in \mathcal{A}, i \in \mathcal{I}\}$ を用いると, 次の関係が得られる:

$$v_{a,i}(\mathbf{n}^*) \begin{cases} = v^* - (1-e)c(x_{a,i}^*) \\ \quad + h_a(N_a^*) - h_{a-1}(N_{a-1}^*) \\ \text{if } (a-1, i) \in \text{supp}(\mathbf{n}^*), \\ \geq v^* - (1-e)c(x_{a,i}^*) \\ \quad + h_a(N_a^*) - h_{a-1}(N_{a-1}^*) \\ \text{if } (a-1, i) \notin \text{supp}(\mathbf{n}^*). \end{cases} \quad (25)$$

ここで, 均衡状態における各変数は上付き添え字 * で表す. この関係を利用すると, 次の命題が得られる:

命題 3

均衡状態 \mathbf{n}^* は次の性質を有する:

- (a) $N_a^* > 0$ かつ $(a-1, i), (a-1, j) \in \text{supp}(\mathbf{n}^*)$ であれば, $(a, i), (a, j) \in \text{supp}(\mathbf{n}^*)$ かつ $x_{a,i}^* = x_{a,j}^* > 0$ が成立する.
- (b) $N_a^* > 0$ かつ $(a-1, i) \notin \text{supp}(\mathbf{n}^*), (a-1, j) \in \text{supp}(\mathbf{n}^*)$ であれば, $n_{a,i}^* \leq n_{a,j}^*$ かつ $x_{a,i} \leq x_{a,j}$ が成立する.

この命題は, 均衡状態における居住地・始業時刻分布が次の性質を有していることを示している:

- 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, すなわち, 以下の関係が成立する:

$$\text{supp}((n_{a-1,i}^*)_{i \in \mathcal{I}}) \subseteq \text{supp}((n_{a,i}^*)_{i \in \mathcal{I}}). \quad (26)$$

- CBD から遠い郊外部に居住する労働者ほど始業時刻の時差が大きい.

$(a, i), (a-1, i) \in \text{supp}(\mathbf{n}^*)$ であれば, $v_{a,i}(\mathbf{n}^*) = v_{a-1,i}(\mathbf{n}^*)$ となる. この条件から以下の関係が与えられる:

$$h_a(N_a^*) - h_{a-1}(N_{a-1}^*) = (1-e)c(x_{a,i}^*) > 0. \quad (27)$$

したがって, 次の命題が得られる:

命題 4

均衡状態において $N_a^* > 0$ かつ $N_{a-1}^* > 0$ であれば, $N_a^* < N_{a-1}^*$ となる. すなわち, CBD から遠い居住地ほど人口が少ない.

4. 政策分析

本稿で構築したモデルの均衡状態では, 外部性 (時間集積の経済・不経済) の存在により, 効率的とは言えない. そこで, 本章では, 社会厚生関数を定義することにより, 効率的な状態を達成するための政策とその効果を検証する.

(1) 社会厚生関数

社会厚生関数は, 生産者余剰・消費者余剰の総和で定義する. このとき, 社会厚生最大化問題は次のように表すことができる:

$$\begin{aligned} \max_{\mathbf{n}} W(\mathbf{n}) &= \\ W_1(\mathbf{n}) - W_2(\mathbf{n}) - W_3(\mathbf{n}) - W_4(\mathbf{n}) + W_5(\mathbf{n}) & \quad (28a) \\ \text{s.t. } \mathbf{n} \in \Delta. & \quad (28b) \end{aligned}$$

ここで, $W_1(\mathbf{n}), W_2(\mathbf{n}), W_3(\mathbf{n}), W_4(\mathbf{n}), W_5(\mathbf{n})$, は以下で与えられる. 各々, 生産性効果, 交通混雑, 土地消費, タイムスケジュールコスト, 農村の効用における影響を表す項である:

$$W_1(\mathbf{n}) = \sum_{i \in \mathcal{I}} M_i G_i(\mathbf{N}) = 2P_1(\mathbf{n}), \quad (29a)$$

$$W_2(\mathbf{n}) = (1-e) \sum_{a \in \mathcal{A}} \sum_{i \in \mathcal{I}} x_{a,i} c_{a,i}(\mathbf{x}_a), \quad (29b)$$

$$W_3(\mathbf{n}) = - \sum_{a \in \mathcal{A}} N_a f\left(\frac{L}{N_a}\right) = P_3(\mathbf{n}), \quad (29c)$$

$$W_4(\mathbf{n}) = \sum_{i \in \mathcal{I}} M_i \delta_i(t_i) = P_4, \quad (29d)$$

$$W_5(\mathbf{n}) = \bar{u} \times n_r = P_5. \quad (29e)$$

この社会厚生関数 $W(\mathbf{n})$ は, $W_1(\mathbf{n}) = 2P_1(\mathbf{n})$ が凸関数であることから明らかなように, 複数の極大値が存在し得る. すなわち, $W(\mathbf{n})$ を大域的に最大化する社会的最適状態 \mathbf{n}^{so} 以外にも, $W(\mathbf{n})$ を局所的に最大化する局所最適状態 \mathbf{n}^o が存在し得る. 本研究では, 大域的最適化を扱うことが一般的には困難であることから, 局所最適状態 \mathbf{n}^o を達成するための政策について考察していく. なお, 局所最適状態における各変数は, 上付き添え字 o で示す.

(2) 局所最適状態における居住地・始業時刻分布

局所最適状態 \mathbf{n}^o は、社会厚生関数 $W(\mathbf{n})$ の局所最大化点であることから、以下で与えられる最適化問題 (28) の KKT 条件を満足する：

$$\begin{cases} \hat{v}^* = \hat{v}_{a,i}(\mathbf{n}^o) & \text{if } n_{a,i}^o > 0, \\ \hat{v}^* \geq \hat{v}_{a,i}(\mathbf{n}^o) & \text{if } n_{a,i}^o = 0, \end{cases} \quad (30a)$$

$$\begin{cases} \hat{v}^* = \bar{u} & \text{if } N_r > 0, \\ \hat{v}^* \geq \bar{u} & \text{if } N_r = 0, \end{cases} \quad (30b)$$

$$\sum_{a \in \mathcal{A}} \sum_{i \in \mathcal{I}} n_{a,i}^o + N_r = N. \quad (30c)$$

ここで、 $\hat{v}_{a,i}(\mathbf{n})$ は以下で表される：

$$\begin{aligned} \hat{v}_{a,i}(\mathbf{n}) &= v_{a,i}(\mathbf{n}) + G_i(\mathbf{M}) \\ &- (1-e) \left\{ -e \sum_{b=1}^a c(x_{b,i}) + (1-e) \sum_{b=1}^a c'(x_{b,i}) x_{b,i} \right\}. \end{aligned} \quad (31)$$

この KKT 条件を利用すると、前章 3 節と同じ手順の解析により、次の命題が得られる：

命題 5

局所最適状態 \mathbf{n}^o は次の関係を満足する：

- (a) $N_a^o > 0$ かつ $(a-1, i), (a-1, j) \in \text{supp}(\mathbf{n}^o)$ であれば、 $(a, i), (a, j) \in \text{supp}(\mathbf{n}^o)$ かつ $x_{a,i}^o = x_{a,j}^o > 0$ が成立する。さらに、 $N_a^o > 0$ かつ $(a-1, i) \notin \text{supp}(\mathbf{n}^o), (a-1, j) \in \text{supp}(\mathbf{n}^o)$ であれば、 $n_{a,i}^o \leq n_{a,j}^o$ かつ $x_{a,i}^o \leq x_{a,j}^o$ が成立する。
- (b) $N_a^o > 0$ かつ $N_{a-1}^o > 0$ であれば、 $N_a^o < N_{a-1}^o$ となる。

この命題は、局所最適状態の人口・始業時刻分布の特徴は、均衡状態と一致することを示している。すなわち、以下の性質を補足する：

- CBD の近くに居住する労働者ほど、始業時刻分布が集中する。
- 時差出勤する労働者は、CBD から遠い郊外部に居住する。
- CBD から遠い居住地ほど人口が少ない。

局所最適状態は、居住地 a ・企業 i の労働者に対して、人口・始業時刻分布 \mathbf{n} に応じた課金/補助金

$$\begin{aligned} p_{a,i}(\mathbf{n}) &= G_i(\mathbf{M}) \\ &- (1-e) \left\{ -e \sum_{b=1}^a c(x_{b,i}) + (1-e) \sum_{b=1}^a c'(x_{b,i}) x_{b,i} \right\}. \end{aligned} \quad (32)$$

を導入した状況下の局所安定均衡状態と一致する。これは、効用関数が $\hat{v}_{a,i}(\mathbf{n}) = v_{a,i}(\mathbf{n}) + p_{a,i}(\mathbf{n})$ で与えら

れた時、そのポテンシャル関数が社会厚生関数 $W(\mathbf{n})$ となることから容易に確認できる。

(3) 政策導入の影響分析

人口・始業時刻分布 \mathbf{n} に応じた課金/補助金政策 $p_{a,i}(\mathbf{n})$ を実施することの影響を調べる。より具体的には、均衡状態 \mathbf{n}^* を初期状態とした際に政策を導入することの影響を分析する。まず、人口分布に対する影響を考えてみる。 $(a, i), (a-1, i) \in \text{supp}(\mathbf{n}^*)$ の場合、

$$\begin{aligned} \hat{v}_{a,i}(\mathbf{n}^*) - \hat{v}_{a-1,i}(\mathbf{n}^*) &= \\ &- (1-e) \left\{ -ec(x_{b,i}) + (1-e)c'(x_{b,i})x_{b,i} \right\} < 0. \end{aligned} \quad (33)$$

が成立する。すなわち、 $\hat{v}_{a,i}(\mathbf{n}^*) < \hat{v}_{a-1,i}(\mathbf{n}^*)$ となることがわかる。

次に、始業時刻分布に対する影響を考える。そのために、 $(a, i), (a, i+1) \in \text{supp}(\mathbf{n}^*)$ となる $(a, i), (a-1, i)$ に注目する。このとき、 $\hat{v}_{a,i}(\mathbf{n}^*) = \hat{v}_{a,i+1}(\mathbf{n}^*)$ を満足することから、

$$\begin{aligned} \hat{v}_{a,i}(\mathbf{n}^*) - \hat{v}_{a,i+1}(\mathbf{n}^*) &= \\ (1-e)^2 \sum_{b=1}^a [-e\{c_{b,i}(x_{b,i}^*) - c'(x_{b,i}^*)x_{b,i}^*\} &- \{c_{b,i+1}(x_{b,i+1}^*) - c'(x_{b,i+1}^*)x_{b,i+1}^*\}]. \end{aligned} \quad (34)$$

が成立する。さらに、

$$\frac{\partial \{c(x) - c'(x)x\}}{\partial x} = -c''(x)x < 0 \quad (35)$$

より、 $M_i^* > M_{i+1}^*$ であれば、 $\hat{v}_{a,i}(\mathbf{n}^*) < \hat{v}_{a,i+1}(\mathbf{n}^*)$ となる。これは、命題 3 より、均衡状態において $M_i^* > M_{i+1}^*$ であれば、次の 2 条件が成立するためである：

$$\begin{cases} x_{a,i}^* \geq x_{a,i+1}^* \quad \forall a \in \mathcal{A}, \\ \text{there exists } a \in \mathcal{A} \text{ such that } x_{a,i}^* > x_{a,i+1}^*. \end{cases} \quad (36)$$

以上の結果は次の命題にまとめられる：

命題 6

均衡状態 \mathbf{n}^* において、政策 (32) を導入する状況を考える。このとき、次の条件が成立する：

- (a) 任意の $(a, i), (a-1, i) \in \text{supp}(\mathbf{n}^*)$ に対して、 $\hat{v}_{a,i}(\mathbf{n}^*) < \hat{v}_{a-1,i}(\mathbf{n}^*)$ が成立する。
- (b) $M_i^* > M_{i+1}^*$ であれば、任意の $(a, i), (a, i+1) \in \text{supp}(\mathbf{n}^*)$ に対して、 $\hat{v}_{a,i}(\mathbf{n}^*) < \hat{v}_{a,i+1}(\mathbf{n}^*)$ が成立する。

命題 6(a) は、均衡状態 \mathbf{n}^* を初期状態としたとき、課金/補助金政策 $p_{a,i}(\mathbf{n})$ 導入が CBD 付近の人口増加をもたらすことを示している。さらに、命題 6(b) は、課金/補助金政策 $p_{a,i}(\mathbf{n})$ の導入が (居住地毎の) 労働者の始業時刻分布を分散化させることを意味している。

5. 数値解析

(1) 数値解析例

本章では、数値解析により、前章までで得られた解析結果の特徴を具体的に確認する。その際、居住地数を $A = 10$ 、始業時刻数を $I = 11$ に設定するとともに、 $f(x), c(x)$ として、以下の関数を採用する：

$$f(x) = -\frac{\mu}{x}, \quad (37a)$$

$$c(x) = t \left\{ 1 + \left(\frac{x}{s} \right)^\beta \right\}. \quad (37b)$$

ここで、式 (37b) 内の s は都市内道路の交通容量を表す項である。

さらに、パラメータは以下の値を用いる：

$$N = 1100, H = 8.0, \tau = 0.5, \bar{u} = 10, L = 1.0$$

$$\alpha_1 = 5.0, \alpha_2 = 3.0, 7.0, \mu = 2.0, t = 5.0, s = 1.0.$$

そして、交通混雑に関するパラメータ β の変化に伴う、安定均衡状態 n^s ・局所最適状態 n^o の特徴を調べる。

(2) 安定均衡状態

本節では、 β が徐々に増加した際に (i.e., 交通混雑の悪化) 実現する安定均衡状態の推移について検証を行っていく。その結果をもとに、前章で得られた理論解析との整合性について確認を行う。また、“テレワーク使用率の変化と生産性の変化による影響”を生産性変化別に2つに分けて検証結果を示していくこととする。本研究では交通容量を $s = 1$ とした結果を示しているが、この交通容量の値が結果に影響を与える可能性がある。そのため、交通容量変化の影響についても今後検証を行い、結果を示すこととする。

a) テレワーク率と生産性変化による影響

(出勤時の生産性 > テレワーク使用時の生産性)

本節では、労働者のテレワーク使用者の生産性が変化した際に、労働者の居住地・始業時刻分布がどのようになるのかを示していく。また、ここではテレワーク使用者の生産性を $\alpha_2 = 3$ とする。

図-2,3 は、安定均衡状態における居住地・始業時刻別の労働者数を、図-4 は、安定均衡状態における居住地別の労働者数を、図-5 は、安定均衡状態における始業時刻別の労働者数を、図-6 は、安定均衡状態における都市内総労働者数の推移を示したものである。また、その他の結果図については付録 I にて示すものとする。

この結果から、命題3と整合したパターンを確認することができる。また、“CBDの近くに居住する労働者の方が、始業時刻がより集中する”傾向も見取れる。安定均衡状態における居住地別労働者数では、命題4で示した、“CBDから離れた居住地ほど労働者数が減少する”ということと一致している。

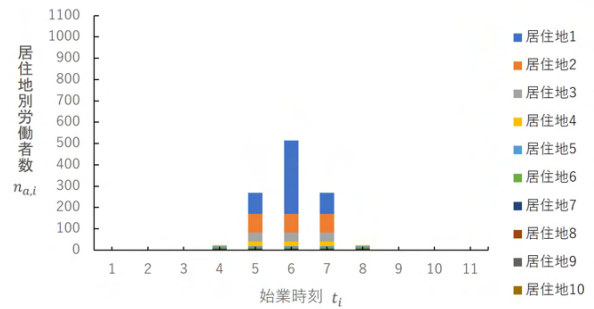


図-2-a $\beta = 1.05$

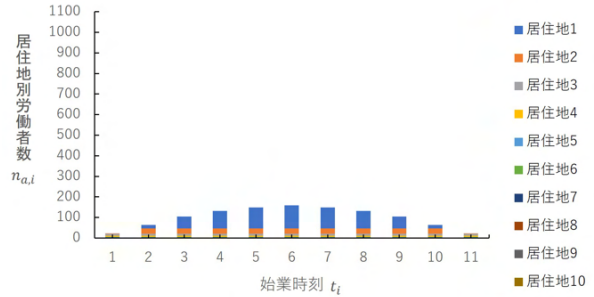


図-2-b $\beta = 1.5$

図-2 安定均衡状態における居住地別始業時刻分布 ($e = 0.0$)

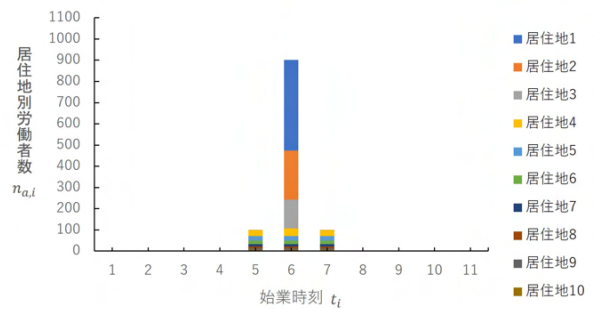


図-3-a $\beta = 1.05$

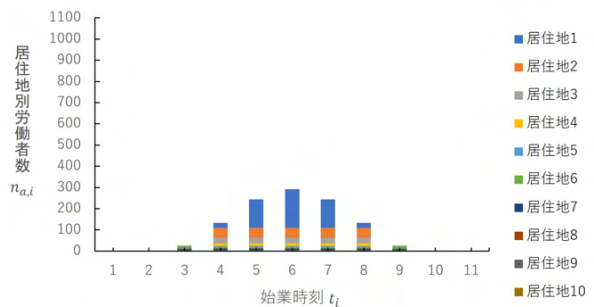


図-3-b $\beta = 1.5$

図-3 安定均衡状態における居住地別始業時刻分布 ($e = 0.5$)

次に、交通混雑度合いの変化による影響について確認を行う。まず、図-4, 5 からわかることとして、交通混雑が緩和される (β の値が減少する) ことで、CBD から離れた居住地の労働者数が増加していることがわかる。また、始業時刻についてはより集中することが見

て取れる。これは、通勤費用低下によって“労働者が郊外部の広い住宅に居住する”，“生産性を向上させるために、企業が始業時刻を集中させる”ことが可能になったためである。

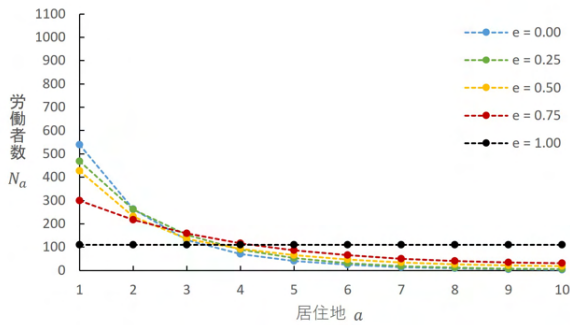


図-4-a $\beta = 1.05$

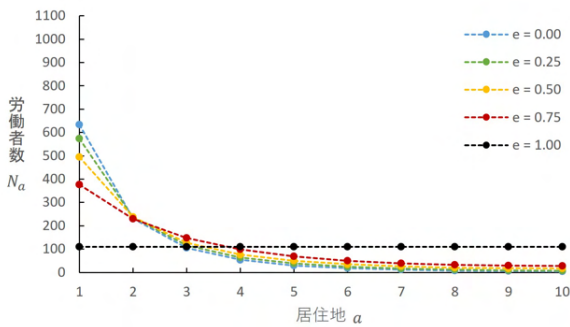


図-4-b $\beta = 1.5$

図-4 安定均衡状態におけるテレワーク率別居住地分布

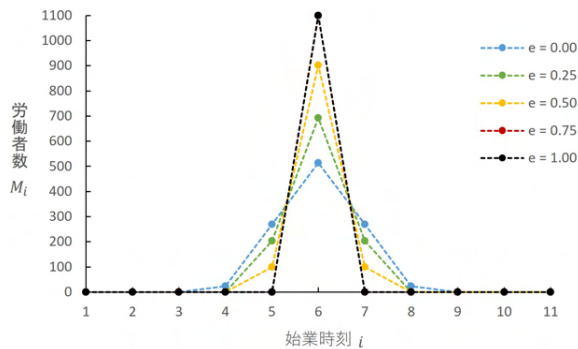


図-5-a $\beta = 1.05$

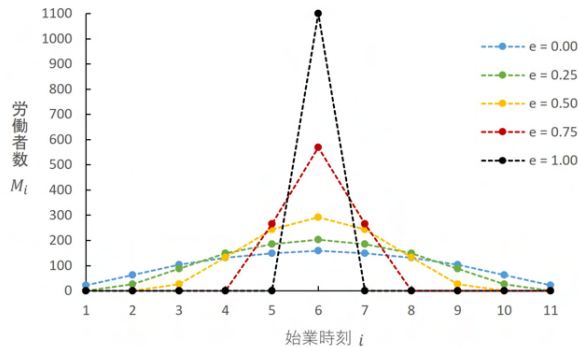


図-5-b $\beta = 1.5$

図-5 安定均衡状態におけるテレワーク率別始業時刻分布

図-6 からわかることとして、混雑度合いがある一定の値を超えることで、都市内の労働者が農村へ移動することがわかる。これは、都市内の交通混雑による影響により、労働者が都市で労働を行うよりも、農村での労働による効用の方が高くなったためである。

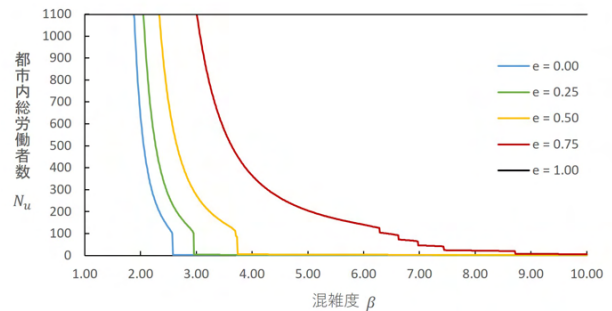


図-6 都市内総労働者数の推移

最後に、テレワーク率の変化による影響について確認を行っていく。図-4, 5, 6 からわかるように、テレワーク率の上昇 (e の値が増加する) によって、CBD から離れた居住地の労働者数が増加する。また、始業時刻について始業時刻の集中が見て取れる。さらに、混雑度合いの上昇による都市内労働者の減少も少なくなっていることがわかる。これは、テレワークの使用頻度が高くなることにより、“労働場所の制約を受けにくくなるため、郊外でも労働を行えるようになる”，“交通混雑の影響を受けないため、企業が生産性を向上させるため、始業時刻を集中させることが容易になる”ためである。これらによって、交通混雑悪化による影響での都市内に居住する労働者の効用が低下しにくくなったためだと考えられる。

b) テレワーク使用率と生産性の変化による影響

(出勤時の生産性 < テレワーク使用時の生産性)

本節では、労働者のテレワーク使用者の生産性が変化した際に、労働者の居住地・始業時刻分布がどのようなものかを示していく。また、ここではテレワーク使用者の生産性を $\alpha_2 = 7$ とし、前節との結果の比較を行っていく。

図-7,8 は、安定均衡状態における居住地・始業時刻別の労働者数を示したものである。図-9 は、安定均衡状態における居住地別の労働者数を、図-10 は、安定均衡状態における始業時刻別の労働者数を、図-11 は、安定均衡状態における都市内総労働者数の推移を示したものである。また、その他の結果図については付録 I にて示すものとする。

テレワークの生産性向上による影響について確認していく。まず、図-4, 5, 9, 10 からわかることとして、CBD の近くに居住する労働者数が増加していることがわかる。また、始業時刻分布についても始業時刻の集

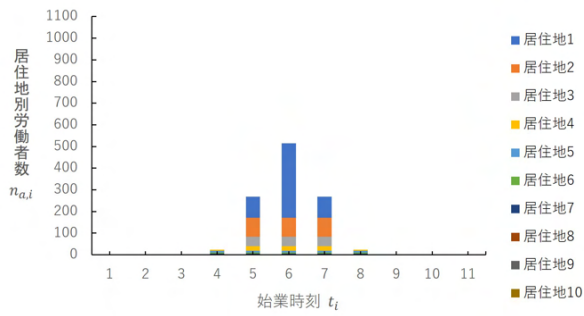


図-7-a $\beta = 1.05$

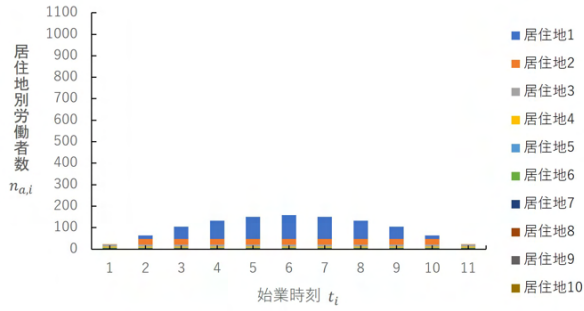


図-7-b $\beta = 1.5$

図-7 安定均衡状態における居住地別始業時刻分布 ($e = 0.0$)

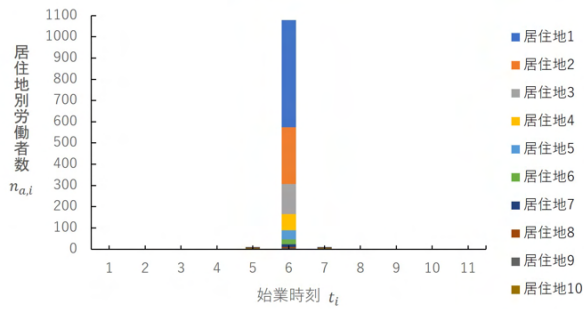


図-8-a $\beta = 1.05$

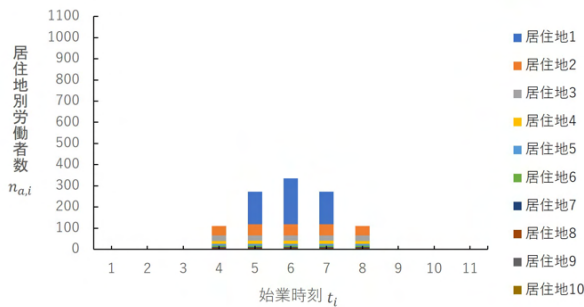


図-8-b $\beta = 1.5$

図-8 安定均衡状態における居住地別始業時刻分布 ($e = 0.5$)

中が見て取れる。これは、“生産性の向上により、住宅費用増分による影響よりも、都心周辺に住むことによる効用が高くなった”，“混雑回避による効用低下を抑える行動より、企業が始業時刻を集中させ生産性を向

上させる方が効用増分が高くなる”ためである。

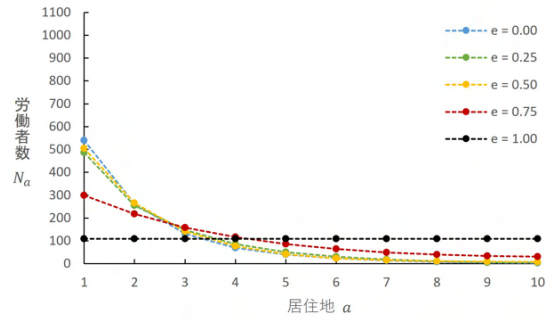


図-9-a $\beta = 1.05$

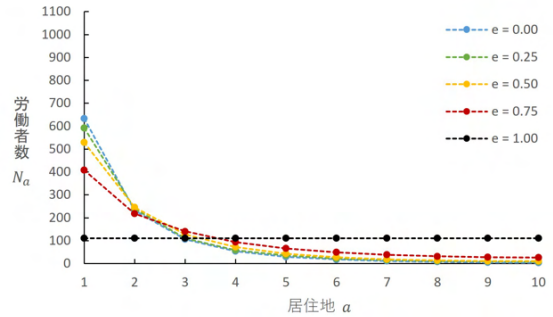


図-9-b $\beta = 1.5$

図-9 安定均衡状態におけるテレワーク率別居住地分布

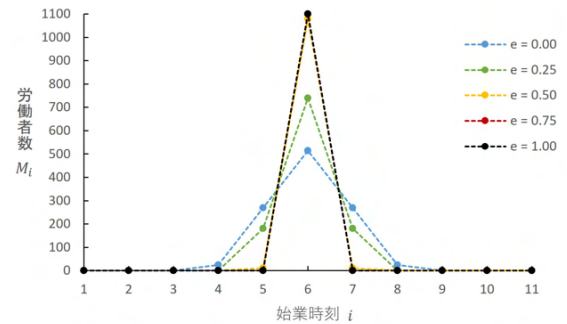


図-10-a $\beta = 1.05$

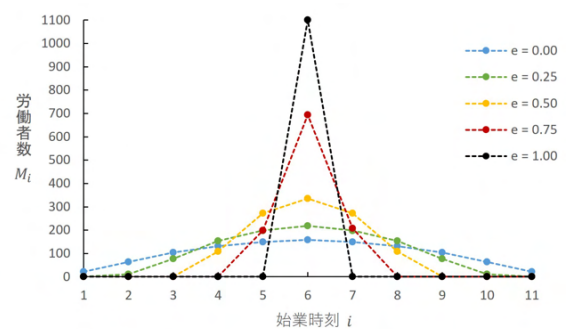


図-10-b $\beta = 1.5$

図-10 安定均衡状態におけるテレワーク率別始業時刻分布

また、都市内総労働者数について、図-6, 11 からわかるように、生産性向上によって、交通混雑が悪化したとしても都市に居住し続ける労働者数が増加することがわかる。

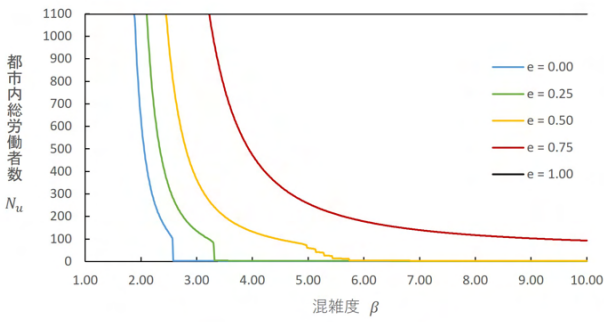


図-11 都市内総労働者数の推移

(3) 局所最適状態

本節では、前節と同様の解析を実施することで、局所最適状態の特徴を調べる。そこで、理論解析結果との関係を確認することとする。局所最適状態 n^o における始業時刻 t_i 別の労働者数は図-12 のとおりである。これらの結果から、命題 5 と整合した居住地・始業時刻分布、すなわち、安定均衡状態と同様の性質を確認することができる。なお、本稿では $e = 0.0, \beta = 1.05$ のケースのみを示しているが、その他のパラメータでも同様の結果を得られている。また、都市内総労働者数の推移については図-13 に示すとおりである。図-6, 13 から確認することができることとして、政策導入により、交通混雑の悪化が進行した際に都市に居住し続ける労働者の数は、政策導入前の交通混雑悪化による都市内総労働者数に比べ、増加していることが確認できる。

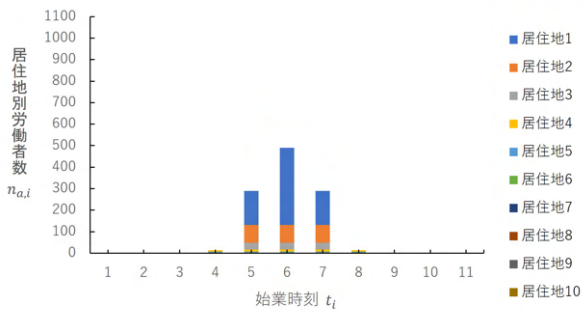


図-12 局所最適状態における始業時刻別労働者数 ($\beta = 1.05$)

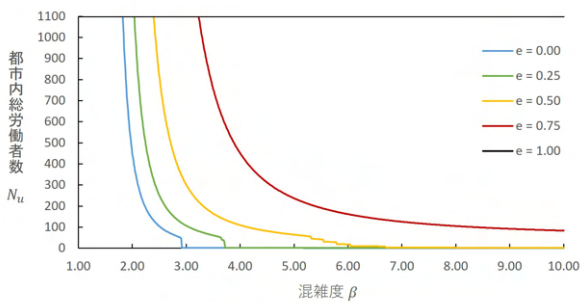


図-13 都市内総労働者数の推移

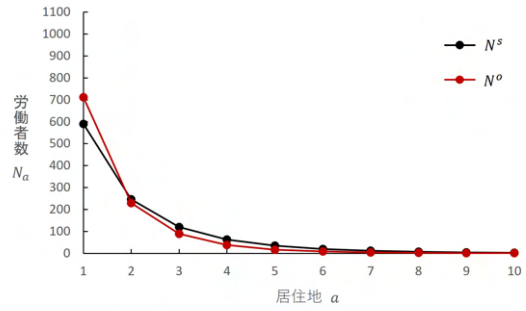


図-14-a 人口分布：N

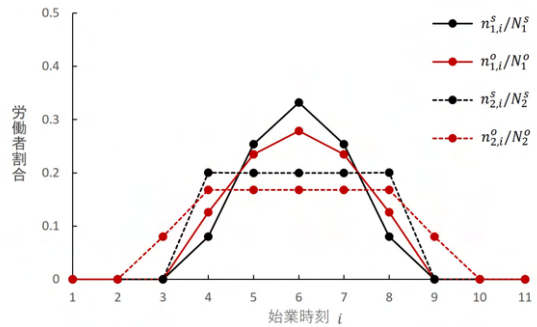


図-14-b 各居住地における始業時刻シェア： $(n_{a,i}/N_a)_{i \in I}$

図-14 安定均衡状態と局所最適状態の比較 ($e = 0.0$)

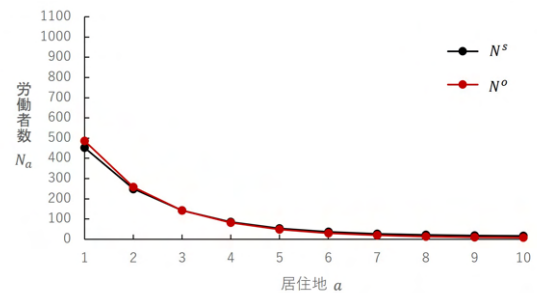


図-15-a 人口分布：N

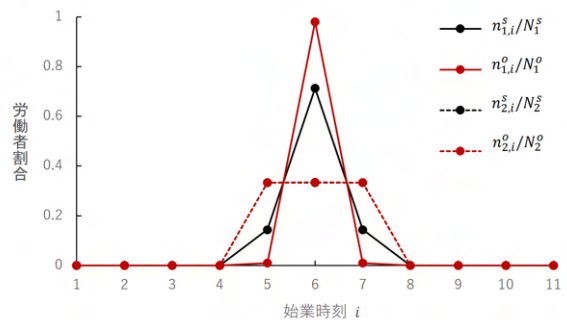


図-15-b 各居住地における始業時刻シェア： $(n_{a,i}/N_a)_{i \in I}$

図-15 安定均衡状態と局所最適状態の比較 ($e = 0.5$)

次に、安定均衡状態と局所最適状態を比較した図-14,15を確認する。テレワーク率が低い状態では、“安定均衡状態よりも、CBD 付近に人口が集中している”，“各居住地の始業時刻分布は、局所最適状態の方が分散化する”

る”ことを示している。これは、命題 6 で示した政策導入効果と対応している。しかし、テレワーク率が上昇することによって、“安定均衡状態よりも、CBD 付近に人口が集中している”という命題 6 での政策導入効果を確認することができるが、始業時刻分布については、“政策を導入した際の方が、始業時刻が集中している”ということが確認できる。これは、テレワーク率の増加によって交通混雑による課金/補助金による影響を受けない労働者が増加するため、企業が生産性を向上させるために始業時刻を増加させることができるためである。

6. おわりに

本研究では、1 都市・1 農村モデルを新たに開発し、テレワーク利用による都市内労働者の都市・農村選択行動や居住地・始業時刻選択への影響を表現するモデルの開発を行った。そして、ポテンシャルゲームの性質を利用することで、安定均衡状態・局所最適状態の性質を理論的に解明した。その結果以下の知見を得られた：1) CBD から離れた居住地に居住する労働者の始業時刻は分散化する、2) 始業時刻の分散化・CBD 付近の人口増加により社会厚生が増加する、3) テレワーク使用率・生産性の増加によって労働者の居住地選択は分散化し企業の始業時刻選択は集中する、4) テレワーク使用率の増加により課金/補助金政策による影響よりも生産性向上による効用増加の効果が高くなる。

謝辞： 本研究は国土交通省新道路技術会議「道路政策の質の向上に資する技術研究開発：公共交通ターミナル整備の空間経済分野に関する研究開発（代表者：高山雄貴金沢大学准教授）」と、JST 創発的研究支援事業 JPMJFR215M の支援を受けた。ここに記して謝意を表したい。

付録 I. 安定均衡状態でのその他の結果図

(1) テレワーク率と生産性変化による影響 (出勤時の生産性 > テレワーク使用時の生産性)

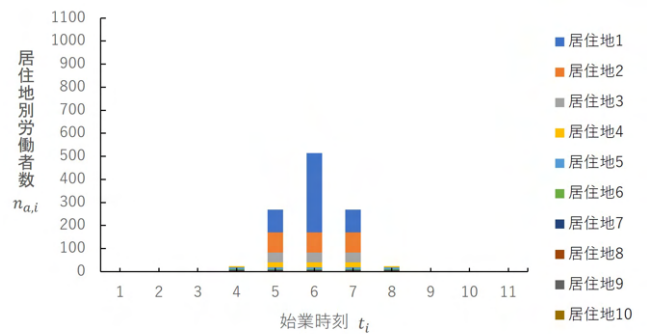


図-16-a $\beta = 1.05$ における居住地別始業時刻分布

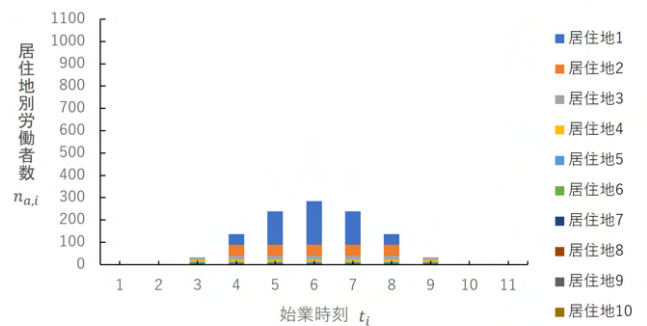


図-16-b $\beta = 1.25$ における居住地別始業時刻分布

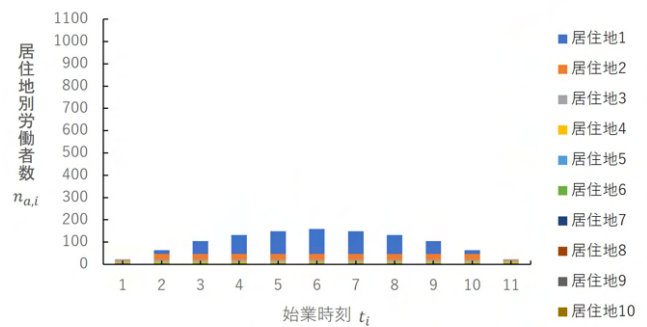


図-16-c $\beta = 1.5$ における居住地別始業時刻分布

図-16 $e = 0.0$ における居住地別始業時刻分布

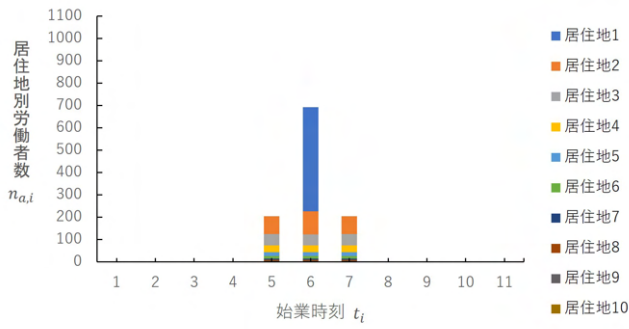


図-17-a $\beta = 1.05$ における居住地別始業時刻分布

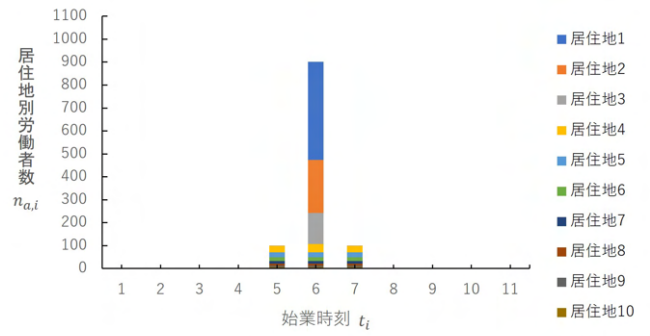


図-18-a $\beta = 1.05$ における居住地別始業時刻分布

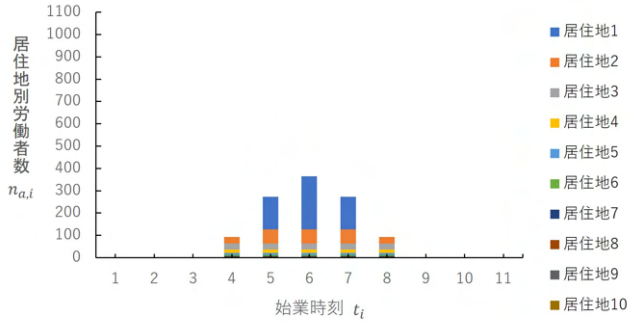


図-17-b $\beta = 1.25$ における居住地別始業時刻分布

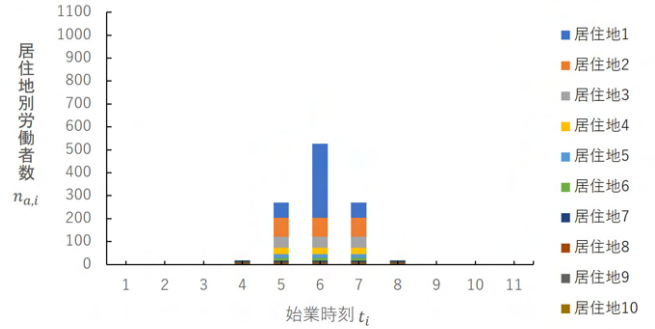


図-18-b $\beta = 1.25$ における居住地別始業時刻分布

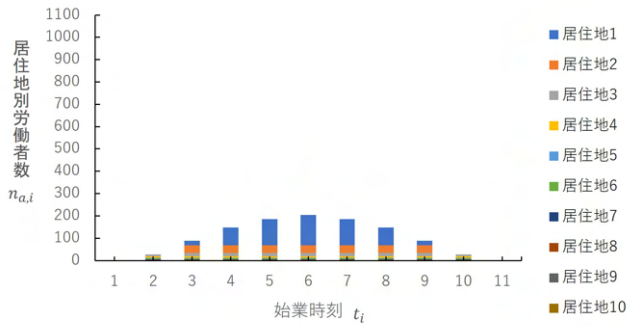


図-17-c $\beta = 1.5$ における居住地別始業時刻分布

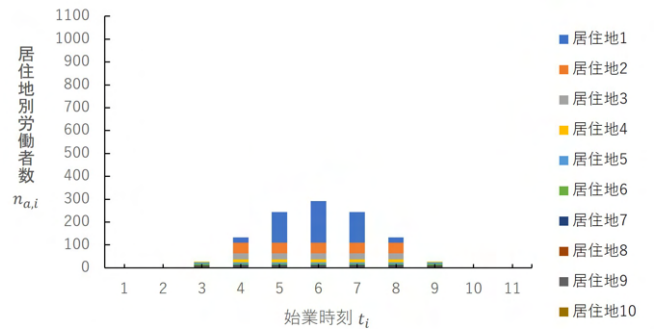


図-18-c $\beta = 1.5$ における居住地別始業時刻分布

図-17 $e = 0.25$ における居住地別始業時刻分布

図-18 $e = 0.5$ における居住地別始業時刻分布

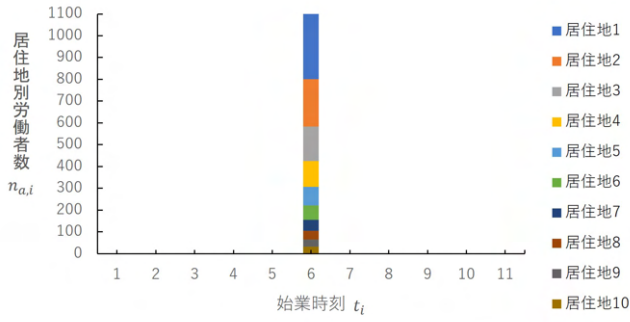


図-19-a $\beta = 1.05$ における居住地別始業時刻分布

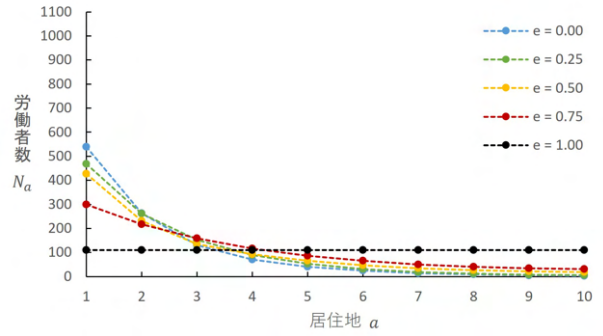


図-20-a $\beta = 1.05$ における居住地別始業時刻分布

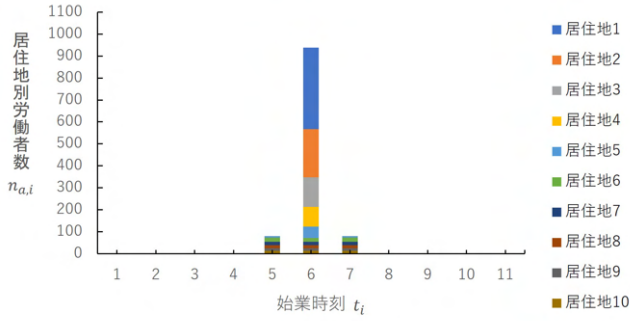


図-19-b $\beta = 1.25$ における居住地別始業時刻分布

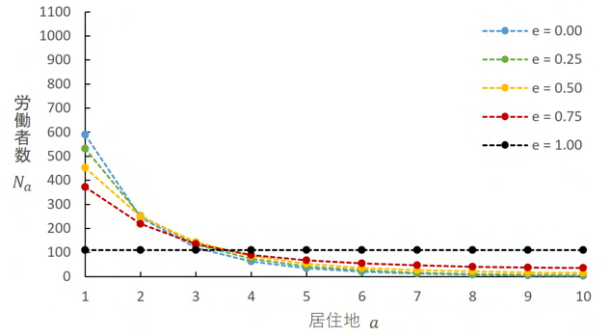


図-20-b $\beta = 1.25$ における居住地別始業時刻分布

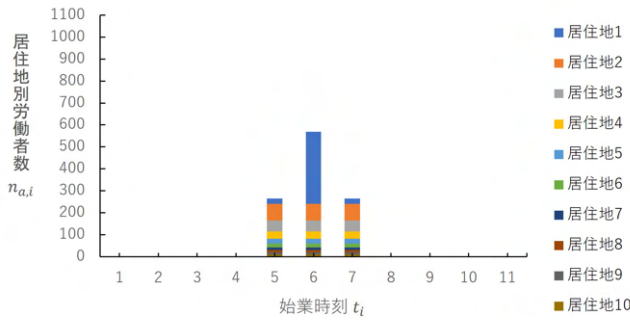


図-19-c $\beta = 1.5$ における居住地別始業時刻分布

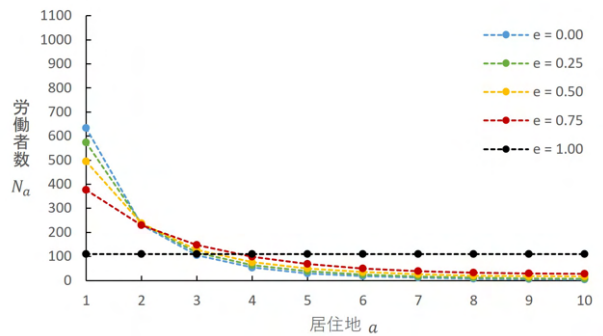


図-20-c $\beta = 1.5$ における居住地別始業時刻分布

図-19 $e = 0.75$ における居住地別始業時刻分布

図-20 テレワーク使用率別居住地分布

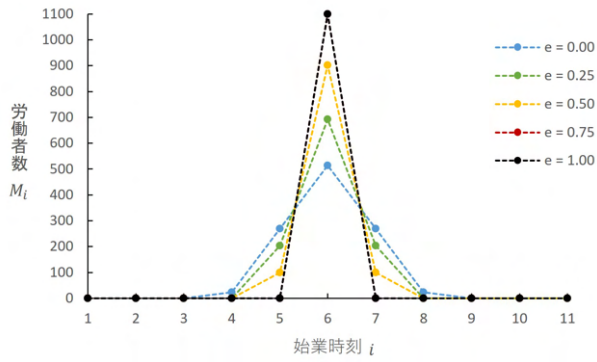


図-21-a $\beta = 1.05$ における居住地別始業時刻分布

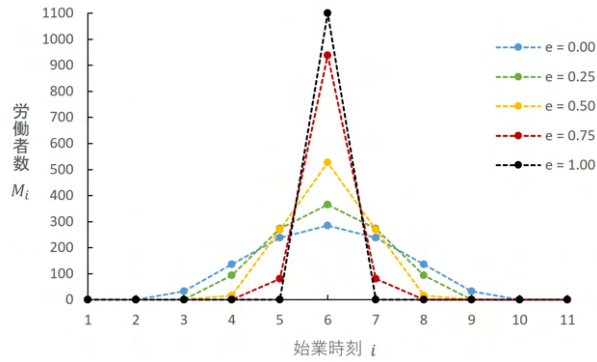


図-21-b $\beta = 1.25$ における居住地別始業時刻分布

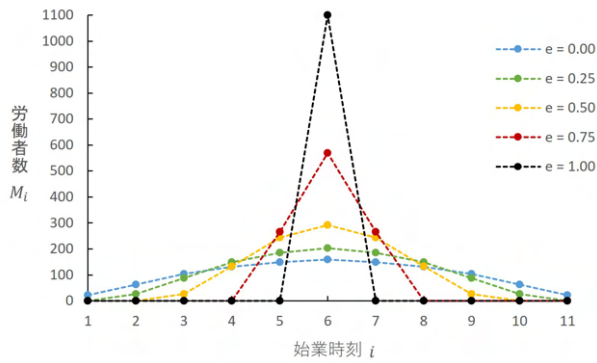


図-21-c $\beta = 1.5$ における居住地別始業時刻分布

図-21 テレワーク使用率別始業時刻分布

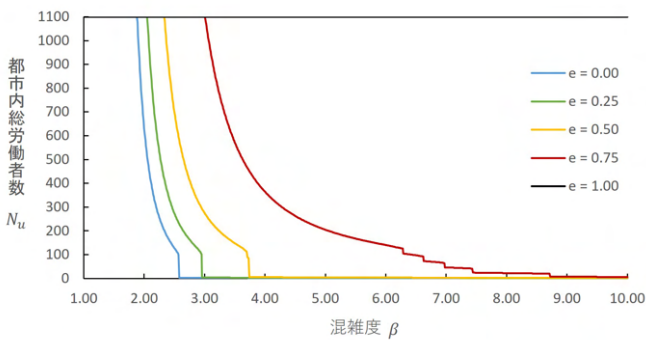


図-22 都市内総労働者数の推移

(2) テレワーク率と生産性変化による影響
(出勤時の生産性 < テレワーク使用時の生産性)

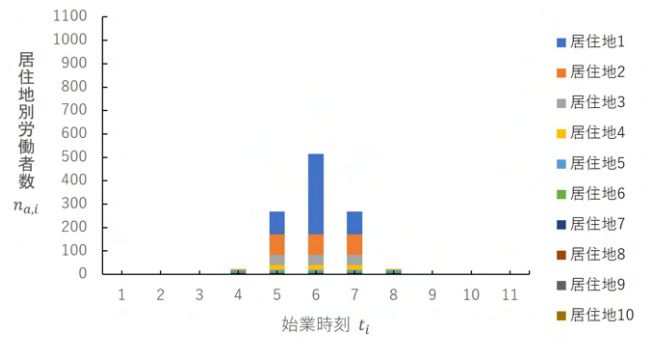


図-23-a $\beta = 1.05$ における居住地別始業時刻分布

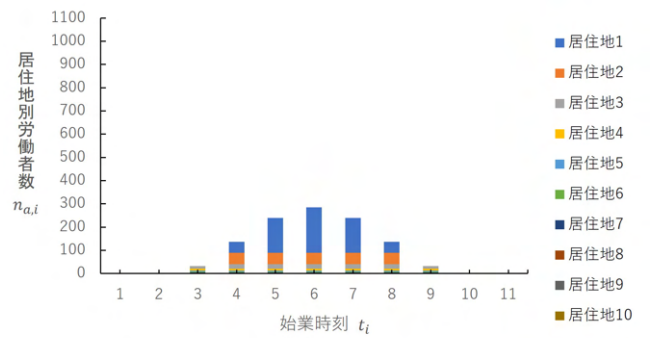


図-23-b $\beta = 1.25$ における居住地別始業時刻分布

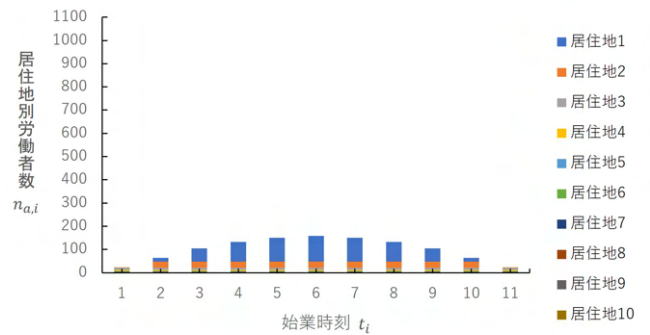


図-23-c $\beta = 1.5$ における居住地別始業時刻分布

図-23 e = 0.0 における居住地別始業時刻分布

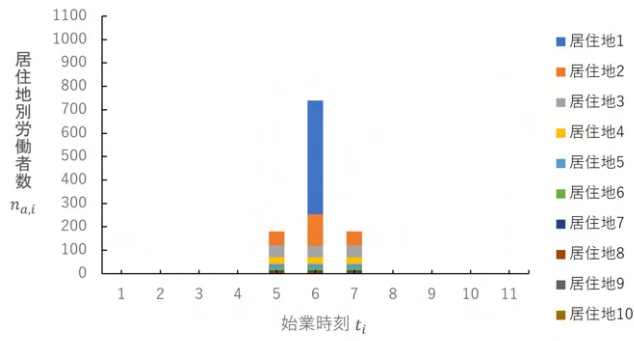


図-24-a $\beta = 1.05$ における居住地別始業時刻分布

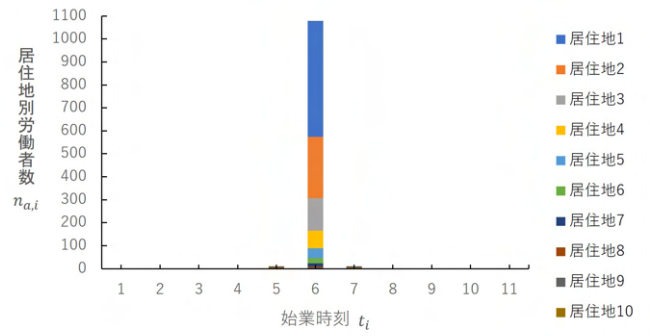


図-25-a $\beta = 1.05$ における居住地別始業時刻分布

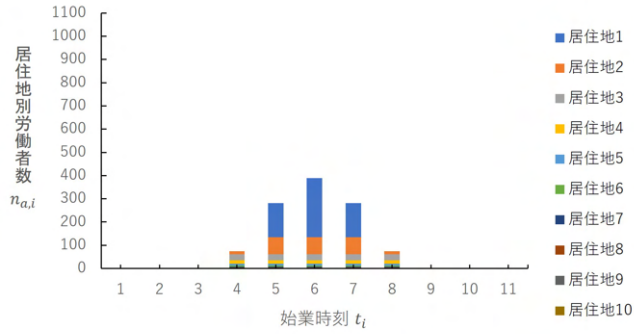


図-24-b $\beta = 1.25$ における居住地別始業時刻分布

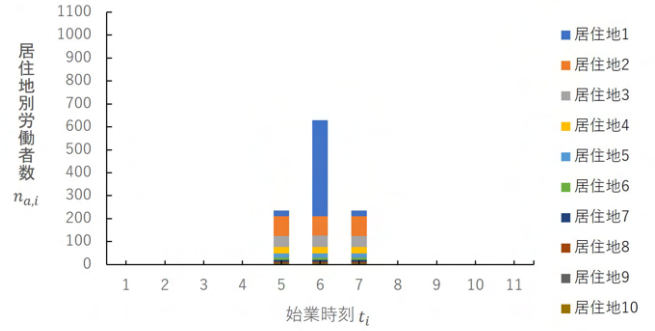


図-25-b $\beta = 1.25$ における居住地別始業時刻分布

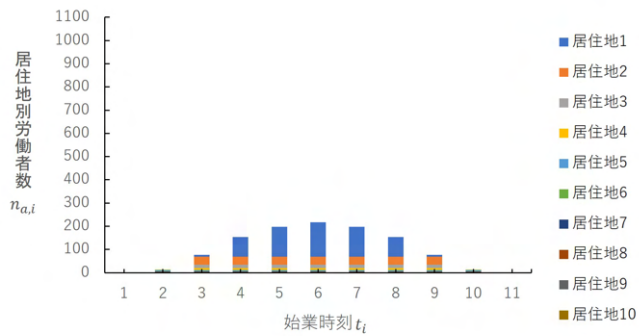


図-24-c $\beta = 1.5$ における居住地別始業時刻分布

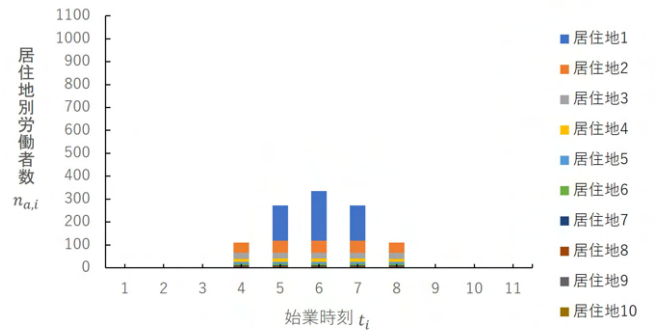


図-25-c $\beta = 1.5$ における居住地別始業時刻分布

図-24 $e = 0.25$ における居住地別始業時刻分布

図-25 $e = 0.5$ における居住地別始業時刻分布

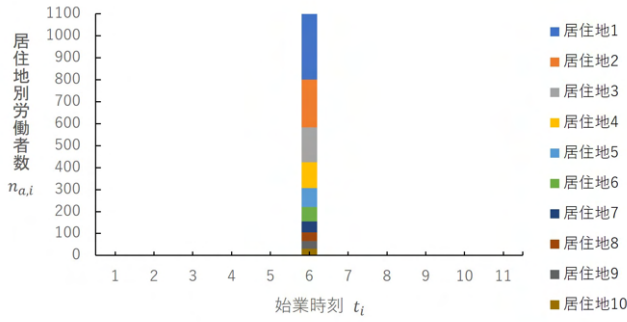


図-26-a $\beta = 1.05$ における居住地別始業時刻分布

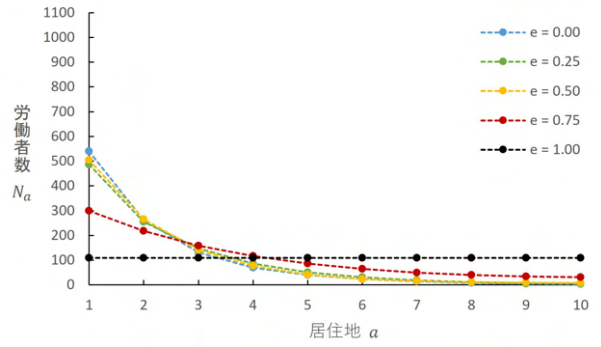


図-27-a $\beta = 1.05$ における居住地別始業時刻分布

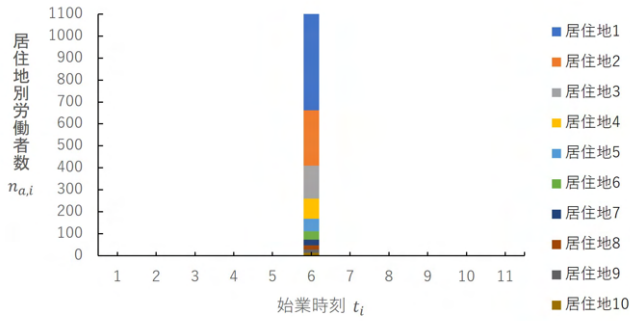


図-26-b $\beta = 1.25$ における居住地別始業時刻分布

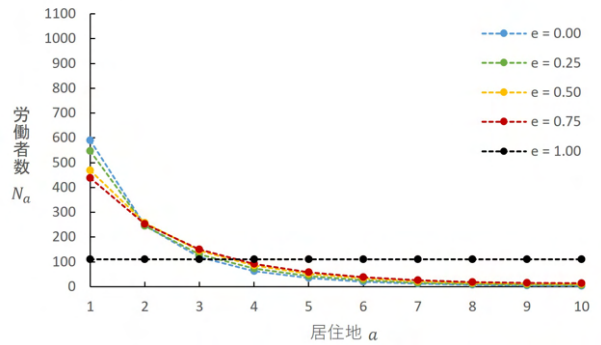


図-27-b $\beta = 1.25$ における居住地別始業時刻分布

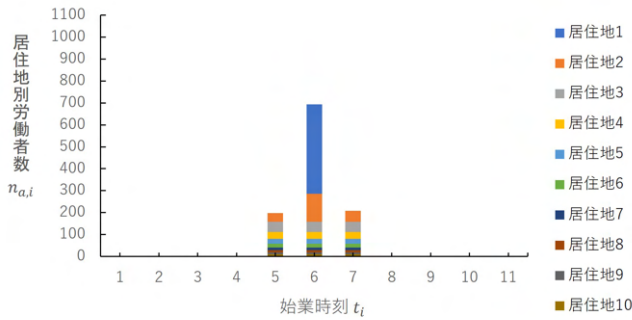


図-26-c $\beta = 1.5$ における居住地別始業時刻分布

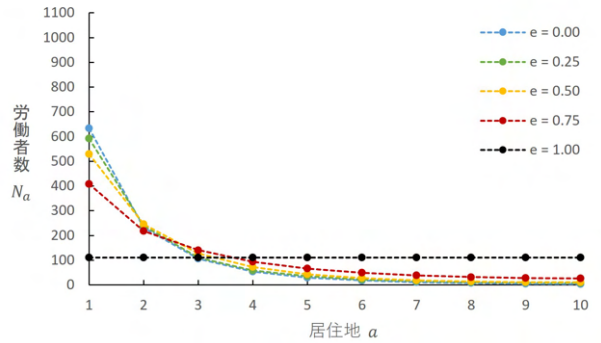


図-27-c $\beta = 1.5$ における居住地別始業時刻分布

図-26 $e = 0.75$ における居住地別始業時刻分布

図-27 テレワーク使用率居住地分布

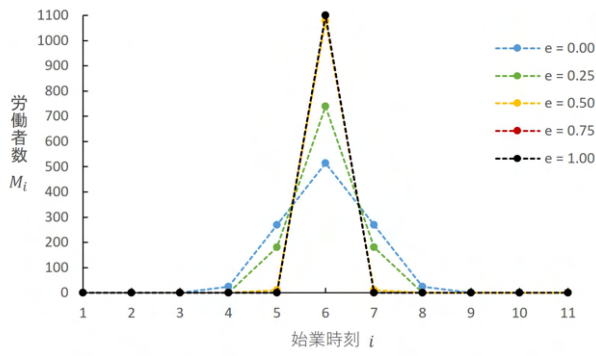


図-28-a $\beta = 1.05$ における居住地別始業時刻分布

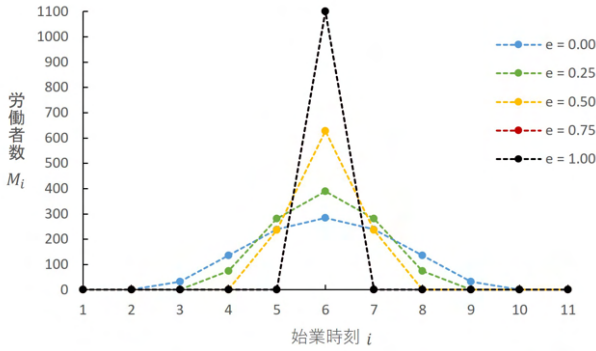


図-28-b $\beta = 1.25$ における居住地別始業時刻分布

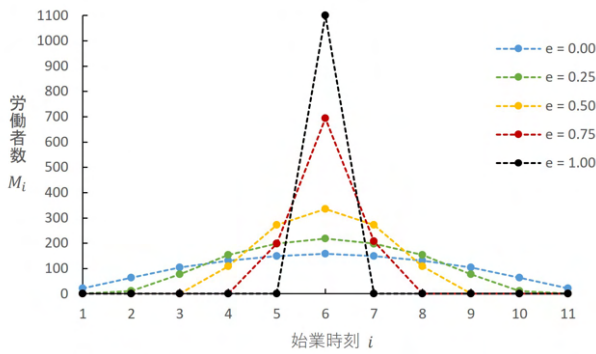


図-28-c $\beta = 1.5$ における居住地別始業時刻分布

図-28 テレワーク使用率別始業時刻分布

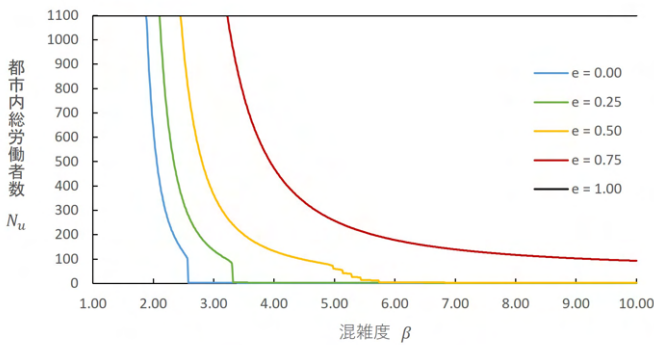


図-29 都市内総労働者数の推移

参考文献

- 1) 高山 雄貴: 始業時刻分布を内生化した住宅立地均衡モデル, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 75, No. 2, pp. 59-69, 2019.
- 2) Henderson, J. V.: The economics of staggered work hours, Journal of UrbanEconomics, Vol. 9, No. 3, pp. 349-364, 1981.

(2022. 9. 30 受付)