

人流シミュレーションを用いた サテライトオフィスの導入効果分析

有竹 俊光¹・大塚 理恵子²

¹正会員 株式会社日立製作所 研究開発グループ システムイノベーションセンタ
E-mail: toshimitsu.aritake.gj@hitachi.com

²非会員 株式会社日立製作所 研究開発グループ システムイノベーションセンタ
E-mail: rieko.otsuka.gd@hitachi.com

現在の都市部への極度の人口集中は通勤時における混雑や長い通勤時間の原因としても指摘されており、社会的な課題となっている。また、このような背景や近年の多様な労働形態に対応するために、テレワークが再び注目を集めている。

本稿ではテレワークの1形態であるサテライトオフィスの導入効果を大都市交通センサスデータ及びアンケートデータを用いて分析する。首都圏における鉄道利用者を対象に、サテライトオフィス設置前後における乗客の鉄道上の移動をシミュレーションし、サテライトオフィス利用者の通勤時間、運賃、乗車列車の混雑率の変化を検討した。また、シミュレーションにより、各サテライトオフィスの効果を把握することで、各候補地を定量的に比較することが可能となった。

Key Words: telecommuting, satellite office, service evaluation, discrete-event simulation

1. はじめに

近年、東京都心をはじめとする都市圏への経済、人口の一極集中が問題視されている¹⁾。このような都市への人口集中に対しては例えば、災害に対する脆弱性、地価、オフィス賃料や物価の高価格化、そして通勤時間の増加などの問題が指摘されている²⁾。また、このような人口集中による弊害は企業活動の高コスト化や、通勤により個人の幸福度が下がる³⁾など、経済的、社会的に国際競争力を下げる原因にもなると考えられている。さらに首都圏の中でも、郊外よりも東京区部や都心部への人口集中が、上記のような問題の原因になっていると考えられる⁴⁾。また、少子高齢化による人口構造の変化に伴い、育児や介護も重要な課題となっており、労働者の柔軟なワークスタイルの実現が必要不可欠である。

このような社会問題への対策や柔軟なワークライフスタイルの実現の手段として、テレワークが注目を集めている。テレワークの形態としては自宅で業務を行う在宅勤務、勤務先以外のオフィススペースで業務を行うサテライトオフィス勤務、移動中や顧客先などで携帯電話とパソコンなどを用いて行うモバイルワークなどがある。

テレワークはこれまで数回にわたり注目されてきたが、現在まで広く普及していない。この理由としては、労務や業績の管理がテレワークに対応していなかった

ことや、上司、部下とのコミュニケーションの課題があったことが指摘されている⁵⁾。しかし、通信網の高速化、クラウドサービスなどのハード、ソフト面での技術的な進歩、低価格化により、上記の課題が解決しつつあり、また、政府、総務省によるテレワークの支援などを背景として、再びテレワークが注目されている。平成26年度の情報通信白書⁶⁾によれば、政府および総務省は2020年までにテレワーク導入企業数を2012年度比で3倍にすることを目標としており、テレワーク事業は今後拡大が見込まれる分野である。

本研究では鉄道利用者の流動シミュレーションを用いて、サテライトオフィスの導入効果を検証する。これまで鉄道利用者のシミュレーションには、藤原ら⁷⁾、竹内ら⁸⁾の研究が報告されている。これらのシミュレータでは鉄道利用者全体の流動を模擬するとともに、個人が乗車した列車が推定可能であり、平常時の運行による遅延、事故時における交通流動のシミュレーションが報告されている。しかし、これらのシミュレータにより推定される旅客の交通行動の情報を用いて、施設の設置による交通流動の変化や、施設の設置効果に関する分析を行った研究は存在しない。

そこで、本研究ではシミュレーションを用いて、旅客単位での通勤行動をシミュレーションし、シミュレーション結果をもとに、各候補地にサテライトオフィスを設置したときの効果を定量的に把握することを目的とする。

2. サテライトオフィス利用者の行動モデルとシミュレーション

(1) 利用データ

本研究ではサテライトオフィス導入の効果を求めるために、まず都市全体の鉄道利用者による通勤による交通流動を把握する。そして、ある一企業の一部の利用者について、サテライトオフィス導入前後における通勤行動を変化させた際に受ける影響を分析し、企業におけるサテライトオフィスの導入効果を定量的に把握する。

これらの利用者の行動情報を全て計測することは困難であるため、鉄道利用者、サテライトオフィス利用者の行動をシミュレーションにより推定する。このシミュレーションを実施するためには都市全体の鉄道利用者、サテライトオフィス利用者のサテライトオフィス導入前、導入後の3つの場合について OD と経路、出発時刻のデータが必要である。

本研究では都市全体の鉄道利用者の通勤時の OD、経路、出発時刻として大都市交通センサスのデータを利用し、サテライトオフィス利用者のオフィス導入前後の OD、経路、出発時刻としてアンケート調査により取得したデータを用いる。以下で、それぞれのデータについて説明する。

a) 大都市交通センサス

大都市交通センサスは国土交通省により5年に1度実施される調査であり、本研究では第11回大都市交通センサスの初乗り・最終降車駅間経路別人員データを用いる。このデータには通勤または通学定期利用者の出発駅、到着駅及び移動経路とその経路の利用人員合計7895066人の情報が含まれている。この情報と、補助的な情報として調査対象者の入社時刻情報を、都市全体の鉄道利用者の OD と経路、出発時刻の情報として用いる。

b) アンケートデータ

本研究で用いるアンケートデータはインターネットを利用して回答を取得したものであり、通勤手段、通勤区間、利用時間帯、サテライトオフィスの利用可能性、利用頻度等の情報が含まれる。今回のアンケート調査の概要を表-1に示した。本研究ではこのアンケートデータからサテライトオフィス導入前後のデータを生成する。

まず、サテライトオフィス導入前については、アンケートデータの発着地の情報と出発駅利用時刻を利用することにより、OD と出発時刻データが生成できる。また、経路については経路検索エンジンを利用し、平均的に最短の所要時間となる経路を利用した。サテライトオフィス導入後のデータの生成方法については次

表-1 アンケートの内容

調査方法	インターネット調査
調査対象者	調査対象会社社員
有効回答数	1084 件
質問内容	<ul style="list-style-type: none"> ● 現在の通勤手段 電車、バス、車、乗り物は利用しない ● 通勤区間（出発駅、到着駅） ● 普段の出発駅利用時間帯 ～7時、7時～8時、8時～9時、9時～10時、それ以外、決まっていない ● 自宅の近くにサテライトオフィスがあったら利用したいと思うか？ 積極的に利用したい、時々利用したい、利用しないと思う、わからない ● どの程度の頻度で利用したいか？ 毎日、週2～3回、週1回程度、月1回程度

節で述べる。

また、アンケートデータは社員の一部分から得られたものなので、企業全体の効果を計算するために、アンケートデータに対して、勤務地ごとの社員数をもとにデータの拡大率を計算する。具体的には各データの勤務地に応じて、拡大率を

$$c_w = \frac{N_w}{n_w} \quad (w = 1, 2, \dots, W) \quad (1)$$

と計算する。ここで w はサテライトオフィス導入前の勤務地ごとに割り当てられた番号であり、 N_w は番号が w の勤務地に通勤している人の総数、 n_w はアンケート回答者のうち番号が w の勤務地に通勤している回答者の数を表す。なお、本研究における勤務地は大森、新砂、丸の内など東京都区部、東部に集中している。また、上記の拡大率は後述する効果計算の際に利用する。

また、今回は鉄道利用者を分析対象としており、回答者のうち、鉄道を利用する回答者だけを抽出し、サテライトオフィス利用者のサテライトオフィス導入前後における移動情報を生成する。

(2) サテライトオフィス利用者の行動モデル

本節ではアンケートデータからサテライトオフィス導入後のデータを生成する方法を説明する。サテライトオフィス導入前のデータについては、(1-b) 節で説明したようにデータを生成する。一方、サテライトオフィス導入後については、条件を満たす回答者のみ通勤の目的地をサテライトオフィスの最寄り駅に変更し、それに応じて経路、出発時刻を変更することで、サテライトオフィス導入後のデータを生成する。本研究ではサテライトオフィス利用により、平均的な通勤時間が一定以上短縮される利用客にサテライトオフィス利用可能性があると仮定する。さらに、アンケートでのサ

テライトオフィスを利用するかという意思と頻度を考慮することで、業務内容などを間接的に考慮している。他にはサテライトオフィス利用の効率性や快適性なども考慮する必要があるが、本研究ではこれらの要素については考慮していない。具体的には次のような条件を設定してアンケートデータからサテライトオフィス利用者を決定する。

いま、アンケートデータの i ($i = 1, 2, \dots, I$) 人目の情報から、サテライトオフィス導入後の経路を定める。まず、導入前の経路の平均移動所要時間を $\bar{t}_{i,0}$ (分) とする。サテライトオフィス導入後の経路は、出発駅をアンケートデータの出発駅に、到着駅をサテライトオフィスの最寄り駅に設定した経路とする。この経路はサテライトオフィス利用前と同様に、経路検索エンジンを利用して検索した平均的に最短の所要時間となる経路を利用した。また、 d 番目のサテライトオフィス候補地に向かう経路の移動にかかる平均時間を $\bar{t}_{i,d}$ 分とする。

そして、これらの移動所要時間が

$$\bar{t}_{i,0} - \bar{t}_{i,d} > 15 \quad (2)$$

を満たし、アンケートの設問「自宅の近くにサテライトオフィスがあったら利用したいと思うか」に対して「利用したい」と回答していた場合に、 i 番目の回答者が w 番目のサテライトオフィスを利用すると判定する。今回は平均所要時間が 15 分以上の場合としたが、この時刻についてはパラメータであり任意に変化させることが可能である。サテライトオフィスを利用する回答者については、目的地をサテライトオフィスの最寄り駅に設定し、これに対応した経路、出発時刻を設定する。なお、出発時刻はサテライトオフィス導入前と同じ時間帯にオフィス最寄り駅に到着するように設定する。一方、上記の条件を満たさないアンケート回答者は、サテライトオフィス導入後もサテライトオフィス導入前と同じ発着駅、経路、出発時刻を利用する。

(3) 旅客流動シミュレーション

上記で生成した都市全体の鉄道利用者のデータ及び、サテライトオフィス利用者のデータを用いて、鉄道利用者個人の移動をシミュレーションにより推定する。

本研究で用いる人流シミュレータは、以下の流れにしたがって各旅客の移動をシミュレーションする。

1. 車両情報の作成

シミュレータ内の列車を定義するための、ダイヤ情報、車両定員情報、駅情報等を読み込む。

2. 乗客情報の作成

センサスまたはアンケートデータをもとに、シミュレーション用の乗客を作成する。具体的には以下のステップを含む。

乗客の経路の決定: 乗客の出発地から目的地までの移動経路を決定する。センサスの場合はデータに含まれる経路情報をそのまま用いても良いし、経路探索を行っても良い。また、経路がデータに与えられていない場合は経路探索により、経路を推定する。

出発時刻の決定: 出発時刻がデータに与えられている場合はその値を用いる。また出発時刻が分布で与えられている場合は、出発時刻分布をもとに各乗客の出発時刻を確率的に生成する。

3. 駅、車両人数を計算

入力した車両、乗客の情報をもとに、各乗客の移動をシミュレーションする。全乗客の移動履歴情報から移動時の利用列車、駅及び列車の混雑率や、駅での待ち時間等を計算する。

上記のようなシミュレーションによって、混雑度合いや駅構内の歩行時間、ホームでの待ち時間を考慮した、各ユーザの移動データを推定することが可能である。また、このシミュレーションによる推定される各回答者の導入前の経路の移動所要時間を $t_{i,0}$ (分) とし、 d 番目のサテライトオフィス候補地に向かう際の移動所要時間を $t_{i,d}$ (分) と書く。

3. サテライトオフィス導入効果の分析

本研究では、サテライトオフィスの設置候補地として首都圏近郊の中核都市である、秋津（新秋津）、朝霞台（北朝霞）、二俣川、東松戸、柏の葉キャンパス、国分寺、町田、南浦和、西船橋、大船、たまプラーザの 11 か所を選択した。以下ではこれらの候補地それぞれに対してサテライトオフィス設置の効果を求める。サテライトオフィスを複数設置することも可能であるが、本稿ではサテライトオフィスは 1 つだけ設置されるものとする。

本研究における乗客情報は第 2 節で述べたように、センサスデータとアンケートデータから生成される。本研究での運賃に関する分析は次のように運賃を設定して計算する。いま、アンケートデータの i ($i = 1, 2, \dots, I$) 人目の情報について、導入前の経路の所要運賃を $f_{i,0}$ (円) とする。この運賃は 6ヶ月の定期券代金の 1ヶ月あたりの金額を用いる。また、 i 番目の回答者が d 番目のサテライトオフィス候補地に向かう経路の移動にかかる運賃を $f_{i,d}$ とする。

サテライトオフィスを利用しない回答者の所要運賃は定期券代金のみとし、サテライトオフィスを利用する回答者は 1ヶ月、20日あたりのサテライトオフィスの訪問回数が 10 日以上の場合、サテライトオフィスへの定期券を保有し、それ以外の場所へは普通券料金で

表-2 1ヶ月あたりのサテライトオフィスの利用日数の設定

回答	1ヶ月あたりの利用日数 s_i
月 1 回	1 日
週 1 回	4 日
週 2, 3 回	10 日
毎日	20 日

移動を行うものとする。

また、アンケートの回答によって、サテライトオフィスを1ヶ月に利用する日数を表-2のように設定する。 i 番目の回答者の1ヶ月あたりのサテライトオフィス利用日数を s_i と表す。

以上より、 d 番目のサテライトオフィスに対して、条件 (2) を満たす i の集合を I_d とすると、 d 番目のサテライトオフィスを設置した際の合計通勤時間変化量 T_d 、平均通勤時間変化量 \bar{T}_d 及び、合計運賃変化量 F_d 、平均運賃変化量 \bar{F}_d は

$$\begin{aligned}
 T_d &= \sum_{i \in I_d} s_i c_w(i) (t_{i,0} - t_{i,d}) & \bar{T}_d &= \frac{1}{|I_d|} T_d \\
 F_d &= \sum_{i \in I_d} s_i c_w(i) (f_{i,0} - f_{i,d}) & \bar{F}_d &= \frac{1}{|I_d|} F_d
 \end{aligned} \tag{3}$$

と計算できる。ここで、 c_w は式 (1) により計算された拡大率であり、 $w(i)$ は i 番目のアンケート回答者のサテライトオフィス導入前の勤務地を表し、アンケート回答者一人から計算された効果を、社員全体の効果へ変換するための拡大処理のために用いられている。また、 $|I_d|$ は $i \in I_d$ を満たす i の個数を表す。

4. 結果と考察

センサスのデータとアンケートデータを用いて、シミュレーションを行い、そのシミュレーション結果から、式 (3) を用いて、1ヶ月あたりの合計通勤時間、合計運賃、平均列車混雑度を計算した結果を表-3に示す。

通勤時間は全体的に減少する傾向があり、平均的な通勤時間の変化量は国分寺が最も大きく減少し、合計通勤時間の変化量は町田が最大となった。

また、サテライトオフィス利用者の運賃は定期券代金に加えて普通券の料金が加算されるため、増加する傾向にある。平均的に運賃の増加が少ないのは国分寺であり、合計の運賃では柏の葉キャンパスの運賃増加が最小である。

平均的な列車混雑率の変化については大船が最も大きく、全体的に減少傾向にある。しかし、国分寺のみ混雑率が増加した。また、サテライトオフィスの利用者数は町田が最大となった。

平均的な通勤時間変化量が大きくない場合もサテライトオフィスの利用者数が多ければ、合計の効果において他のサテライトオフィスの効果を上回るため、町

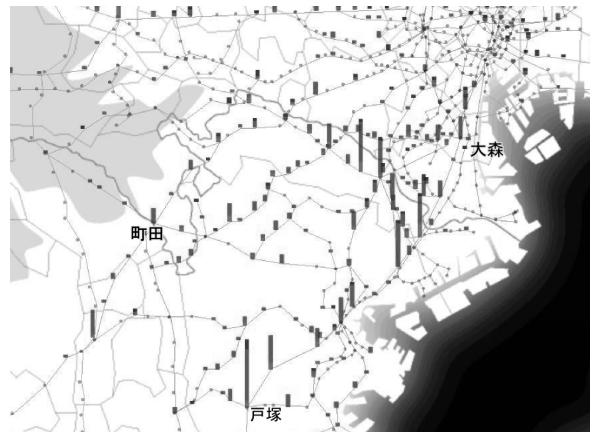


図-1 アンケート回答者の出発地分布. 各駅の上に棒グラフが示されており、棒グラフが長いほどその駅から出発する乗客が多いことを示している。しかし、このような情報だけから各候補地の効果を把握することは困難である。

田へのサテライトオフィスの設置は効果的である。また、利用者数の多さはアンケート回答者の出発地の分布と鉄道網の構造に依存している。

図-1は各駅の上に棒グラフでその駅を出発する人の多さを示している。図より町田にサテライトオフィスを設置した場合は町田駅の近隣に複数のターミナル駅が存在し、町田駅の周辺駅から出発する通勤者だけでなく、ある程度離れた駅からもサテライトオフィスを利用する乗客が存在するため、利用者数が多い。

一方、国分寺については、混雑率の増加を除いて、平均的な通勤時間の変化量が大きく、かつ平均運賃の増加率も少ないため、潜在的に最も効果的なオフィスであると言える。オフィスの利用者数が町田と同程度になれば、国分寺へのサテライトオフィスの設置は最も効果的である。

また、通勤混雑率については多くのサテライトオフィス利用者は目的地を都心から郊外へ変更するため、混雑率は減少するが、国分寺は中央線の下りが混雑傾向にあることからサテライトオフィス設置時も混雑率が増加したと考えられる。

図-1のような出発地の分布の分析だけでは複雑な路線網や、路線利用者の出発駅のばらつきのため、各候補地のサテライトオフィス設置効果や、オフィス利用者の集中度合いを把握することは難しい。しかし、シミュレーションにより旅客行動を推定し、各候補地の効果を定量的に把握することで判断が難しい候補地の選択が可能となる。例えば、図-1からは戸塚周辺から出発する人が多いことがわかる。単純に利用者数が多くなると期待されるサテライトオフィス設置候補地を選ぶと戸塚の南部に位置する大船が最も効果的な候補地として選ばれると考えられる。しかし表-3に示したように戸塚は列車混雑率の減少を除いて、大きな効果

表-3 各サテライトオフィスの効果

候補地名	平均通勤 時間変化量	合計通勤 時間変化量	平均運賃変化量	合計運賃 変化量	平均列車混 雑率変化量	利用者数
たまプラーザ	-229	-226,289	+2,860 (+3.1%)	+3,045,236	-20	1,065
柏の葉キャンパス	-333	-90,635	+2,736 (+0.8%)	+801,818	-38	293
大船	-269	-236,426	+1,952 (+1.9%)	+1,851,137	-64	948
町田	-307	-345,888	+2,550 (+3.1%)	+3,091,456	-35	1,213
国分寺	-335	-259,997	+1,032 (+0.9%)	+851,984	10	825
西船橋	-277	-184,902	+1,912 (+1.4%)	+1,382,939	-16	723
二俣川	-283	-166,597	+3,358 (+2.1%)	+2,130,270	-61	634
秋津, 新秋津	-292	-236,504	+2,032 (+1.8%)	+1,751,931	-14	862
東松戸	-291	-153,495	+2,563 (+1.5%)	+1,459,739	-24	569
朝霞台, 北朝霞	-257	-190,471	+3,617 (+2.9%)	+2,835,433	-15	784
南浦和	-253	-165,446	+4,191 (+3.0%)	+2,950,300	-27	704

を見込むことはできない。

以上のように、統計データ、アンケートデータを用いて人流シミュレーションを行い、シミュレーション結果を分析することにより、各地点に設置したサテライトオフィスの効果を定量的に把握ことができ、各サテライトオフィス設置候補地の導入効果を比較し、導入効果の高いサテライトオフィスの設置候補地を特定することができた。

5. おわりに

本研究では大都市交通センサスのデータ及びアンケートデータから生成した乗客データを用いて人流シミュレーションを実施し、そのシミュレーション結果から首都圏郊外の各地にサテライトオフィスを設置した場合のサテライトオフィスの導入効果を、通勤時間、運賃、混雑率の観点から検証した。結果、各指標の削減効果は平均的だがオフィス利用者数が多い町田、または通勤運賃の増加に対して通勤時間の変化量が多い国分寺へのサテライトオフィスの設置が高い導入効果を持つことがわかった。また、上記のような分析により可視化などだけでは把握できない、各サテライトオフィスの効果は定量的に把握することが可能となった。

今回の結果は、地価や設備投資費などのコストを考慮していないため、これらのコストを含めたサテライトオフィスのコスト対効果を検証することが今後の課題である。また、今回は1社を対象に分析を行ったが、サテライトオフィスが広く導入された場合の社会全体の効果を検証するために、複数社、複数オフィスを対象に職任分布の変化も考慮して分析を行う必要がある。

謝辞: 本研究においてアンケートデータの取得及び分析において支援を頂いた、株式会社日立製作所及び株式会社日立コンサルティングの各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 総務省: 平成 24 年版 情報通信白書, 総務省, 2012.
- 2) 内閣府事務局: 東京圏への人口・産業の集中等の課題について (地域の未来に関する補足資料), 第 5 回「選択する未来」委員会, 資料 4 (内閣府事務局資料), 2014.
- 3) Office for National Statistics: Commuting and Personal Well-being, 2014
- 4) 東京都圏交通計画協議会: パーソントリップ調査からみた東京都圏の都市交通に関する課題と対応の方向性, 第 5 回東京都圏パーソントリップ調査, 2012.
- 5) 総務省 情報通信国際戦略局 情報通信経済室: テレワークの動向と生産性に関する調査研究報告書, 2010.
- 6) 総務省: 平成 26 年版情報通信白書 第 4 章 第 1 節 ICT の進化によるライフスタイル・ワークスタイルの変化, 2014.
- 7) 藤原 正康, 加藤 学, 伏木 匠: 鉄道向け旅客流動シミュレータの開発, 平成 25 年電気学会全国大会, 分冊 3, pp.123-124, 2013.
- 8) 竹内 陽子, 坂口 隆, 熊澤 一将, 國松 武俊, 佐藤 圭佑 高機能な列車運行・旅客行動シミュレータの開発と列車運行の多面的評価 電気学会論文誌 D (産業応用部門誌), Vol. 135 No.4 pp.411-419, 2014.

(2015. 7. 30 受付)