

中小企業の生産性とテレワーク

—マルチ・エージェント・シミュレーションによる検証実験—

吉岡耕大 上田彬正 上原叶大 野波寛之
(慶應義塾大学) (慶應義塾大学) (慶應義塾大学) (慶應義塾大学)
(商学部3年) (商学部3年) (商学部3年) (商学部3年)

<要旨>

本稿ではシミュレーション技法を用い、中小企業におけるテレワークの導入が中小企業の労働生産性にいかなる影響を与えるか考察する。

中小企業は人材不足という最大の課題を抱えている（中小企業白書 2018）。更に、我が国の生産年齢人口の減少に伴い、今後人材不足がより困難になるのは自明である。人材不足の解消のためには、女性・シニアの労働参加の促進や一人当たりの生産性を向上させ不足する労働力を補うといった解決方法が挙げられる（海上 2017）。しかし、女性の労働参加には出産や子育て、シニアの労働参加には健康問題に起因した障害がある。従って、一人当たりの生産性向上が人材不足の解消の糸口になると考えられ、その施策の一つにテレワークの導入が挙げられる。実際にITを活用している企業における1社当たりの労働生産性について、テレワーク導入企業と非導入企業では労働生産性に1.6倍の差が存在することが明らかになった（総務省 2017）。昨今の新型コロナウイルス感染症の拡大に伴い、テレワークが半ば強制的に導入されるようになった。しかし、従業員規模とテレワーク導入率はほぼ比例関係にあり、大企業と比較して中小企業ではテレワーク導入率が低いことが明らかになった（総務省 2020）。

そこで我々は現実世界を単純化した抽象的なシミュレーション・モデルを構築し、以下の三つの検証を行った。①テレワークの導入は中小企業の実産性を向上させるか、②テレワーク導入時において平均労働生産性が最大値を示す従業員数、③従業員を150人、300人に固定した際のテレワーク導入・非導入従業員の最適な比率。結果、中小企業におけるテレワーク導入は労働生産性を向上させるという結論が得られた。本稿はテレワーク導入が中小企業の課題である人材不足を労働生産性向上の側面から解決する可能性を示唆する。

目 次

はじめに

第1章 中小企業の実態

第2章 テレワークの功罪

第3章 シミュレーション・モデルの設定

第4章 シミュレーションの結果

第5章 ディスカッション

おわりに

はじめに

本稿は中小企業が抱える人材不足という課題を解消するための一つの手法として、テレワークの利活用がもたらす生産性向上の是非について述べる。特に、中小企業経営の観点から労働環境へのテレワークの導入が中小企業の実態に及ぼす影響をシミュレーション技法を用いて明らかにすることを目的とする。

そもそも、中小企業とはどのような企業であるのかを示す統一見解は存在しない。実情として、会社法や中小企業基本法など企業の事業規模の区別を提示している法律は複数存在しており、それらが互いに異なる形で中小企業とは何たるかを示している。そうした法律の一つである中小企業基本法によれば、企業の区別をなす根拠は業種ごとに用意された異なる基準により提示される（表1）。

表1 中小企業基本法による中小企業の定義

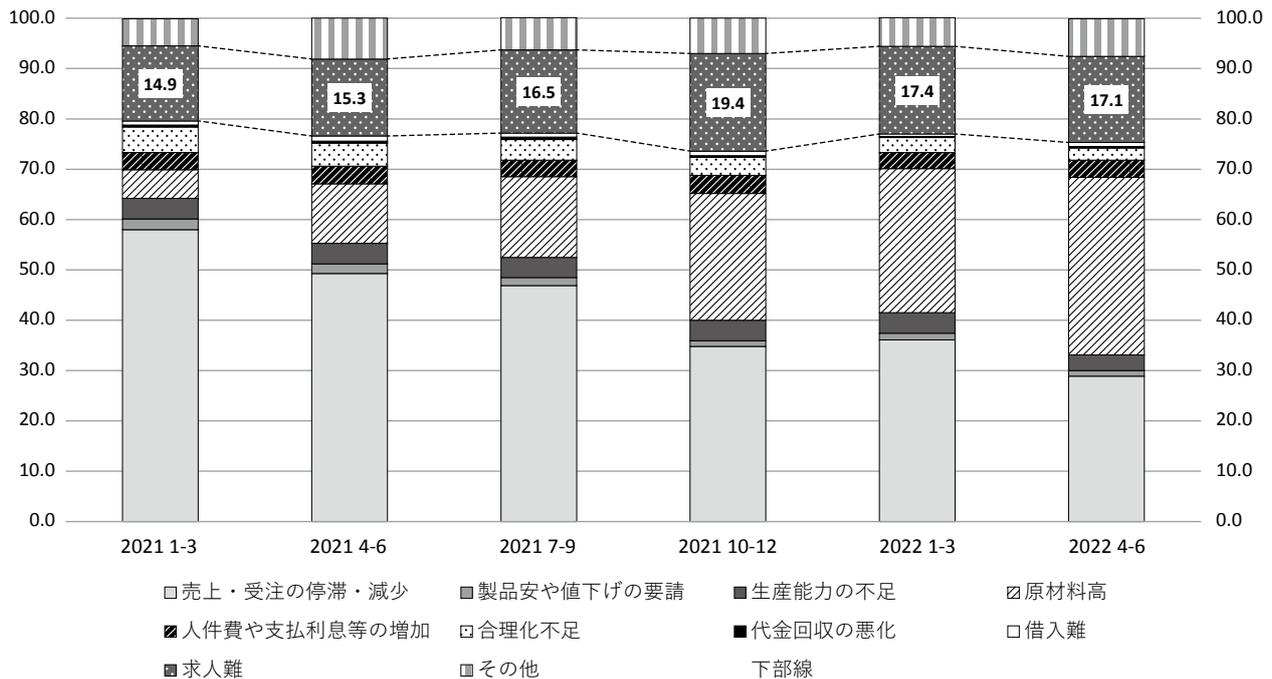
業種	中小企業者	
	資本金の額又は出資の総額	常時使用する従業員の数
①製造業・建設業・運輸業、および以下の②～④を除く全ての業種	3億円以下	300人以下
②卸売業	1億円以下	100人以下
③サービス業	5,000万円以下	100人以下
④小売業	5,000万円以下	50人以下

出所：中小企業庁「中小企業者の定義」より筆者作成。

いずれにせよ、「中小企業」と呼ばれる企業が社会的存在として利益を追求していく過程において、資金的側面および労働力的側面からそれ相応の経営困難が生じる可能性があることは想像に難くない。

現状の中小企業が抱えている経営課題は、全国中小企業動向調査結果を参照すると、大きく以下の3つに集約される。すなわち、求人難、売上・受注の停滞・減少、原材料高の3つである（日本政策金融金庫 2022、図1）。

図1 経営上の問題点の推移



出所：日本政策金融公庫『全国中小企業動向調査結果（2022年4-6月期実績、7-9月期以降 見通し）』より筆者作成。

中小企業が抱えるこれらの経営課題の中で、本稿では求人難に起因して生じる「人材不足」に焦点を当てる。中小企業における人材不足は業種にかかわらず、高度経済成長期終焉以後指摘され続けてきている問題である（中小企業白書 2013）。実際、従業員数過不足DI¹の推移を見ると、全ての業種において、2009年をピークにその値は総じてマイナス方向に転じている（中小企業白書 2018）。

中小企業が直面しているこうした人手不足がもたらす問題の本質は、その企業における従業員数の減少に伴い、企業全体としての産出量が減少することに見出される。そして、この産出量の減少が生産性²の低下の原因ともなり得る。

本稿は中小企業が生産性を向上させるための一つの有効な手段として、日常的な業務においてテレワークを積極的に導入することがいかに効果的であるかを示す。

我々は仮説として「テレワークの導入がもたらす業務効率化により、中小企業全体における生産性が向上する」を設定した。従って、本稿の目指すべきところは上記仮説の妥当性を検証することにある。大企業におけるテレワークの導入率は中小企業と比較して高い値を示している（亀井、大澤 2017）。尚かつ、大企業におけるテレワークの導入による生産性向上は認められている（柴田 2022）ことに対し、中小企業においてはそのような主張は盛んには見られな

1 従業員数過不足DIは、従業員の今期の状況について「過剰」と答えた企業の割合（%）から「不足」と答えた企業の割合（%）を減じることにより算出される。

2 ここで言う生産性とは、単位時間あたりの製品・サービスなどの産出量（output）に対し、労働・資本・土地といった生産要素の投入量（input）の逆数を乗じたもののことである（日本生産性本部）。

い。事実、テレワークの普及率について、大企業においては高い値を示す一方で、中小企業においては必ずしもそうではない。東京商工リサーチが実施した「新型コロナウイルスに関するアンケート」によれば、2021年3月初旬のテレワーク実施率について、大企業ではその割合が69.2%であったことに対し、中小企業では大企業の約半分に当たる33.0%に止まった。

以下、本稿は第1章において中小企業が抱える課題の実態について概説を行う。その後、第2章においてはテレワークの功罪について、中小企業における生産性との関連性を意識しながら詳述する。第3章、第4章では人工知能を活用したマルチ・エージェント・シミュレーションにより、中小企業に対するテレワークの導入が生産性向上の観点から確かに効果的であることを裏付ける。最後に、第5章において中小企業が生産性向上のために今後取り組むべき課題について述べる。

第1章 中小企業の実態

1.1 中小企業の課題

中小企業白書(2018)は中小企業が抱える課題のうちの最大のものとして「人材不足」を挙げている。同白書によれば、人材不足を説明する要因は大きく2つ存在する。すなわち、循環要因³と構造要因⁴の2つである。

企業が従業員として求める人材は「中核人材」と「労働人材」との2つに区分される(中小企業白書 2018)。中小企業においては、特に労働人材が不足していることが指摘されてい

る。賃上げによる労働条件の改善に代表されるように、これまでも中小企業は労働人材の確保に努めてきたものの、未だ抜本的な人材不足解消には至っていない。

日本の生産年齢人口(15~64歳)は1995年の約8,700万人をピークに減少に転じており、2015年には約7,700万人にまで減少した(総務省 2017)。生産年齢人口の減少傾向は将来にわたって継続すると見込まれており、2060年までには2015年の値の約6割の水準である約4,800万人にまで減少すると推計されている(総務省 2017)。人口減少の影響により、人材不足がより一層困難になるのは明らかである。

人材不足の解消のためには、女性・シニアの労働参加の促進や一人当たりの生産性を向上させ不足する労働力を補うといった解決方法が挙げられる(海上 2017)。しかし、女性の労働参加には出産や子育て、シニアの労働参加には健康問題に起因した障害がある。従って、一人当たりの生産性向上が人材不足の解消の糸口になると考えられる。

1.2 テレワークと生産性

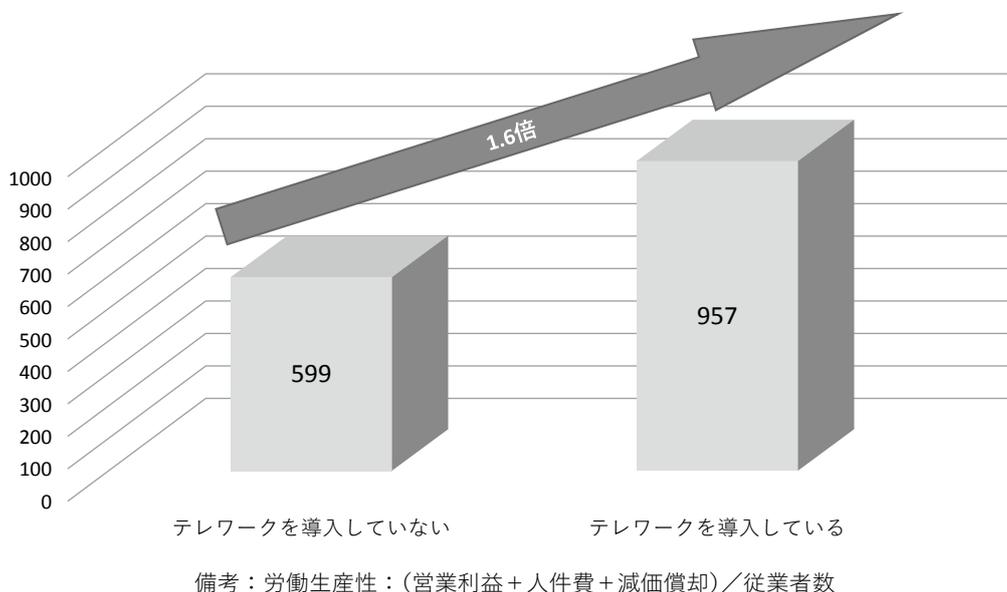
企業は様々な仕組みで在籍社員の確保を行いつつ、新たな人材獲得を行っていく必要がある。働き方改革は長期に渡る労働力減少と組織活性化への方策として位置づけられ、テレワークもその一つに挙げられる(小豆川 2018)。総務省「平成29年度通信利用動向調査」では、テレワークの実施企業・未実施企業における労働生産性の比較を示している。ITを活用して

3 循環要因とは主として景気拡大により説明されるものを指す。

4 構造要因とは生産年齢人口および労働力人口の減少、女性・シニア層の社会退出などの人口動態の変化によるものを指す。

いる企業における1社当たりの労働生産性について、テレワーク導入企業と非導入企業では労働生産性に1.6倍の差が存在することが明らかにされた（図2）

図2 テレワーク導入企業・未導入企業における1社当たり労働生産性の比較



出所：総務省「平成29年度通信利用動向調査」より筆者作成。

第2章 テレワークの功罪

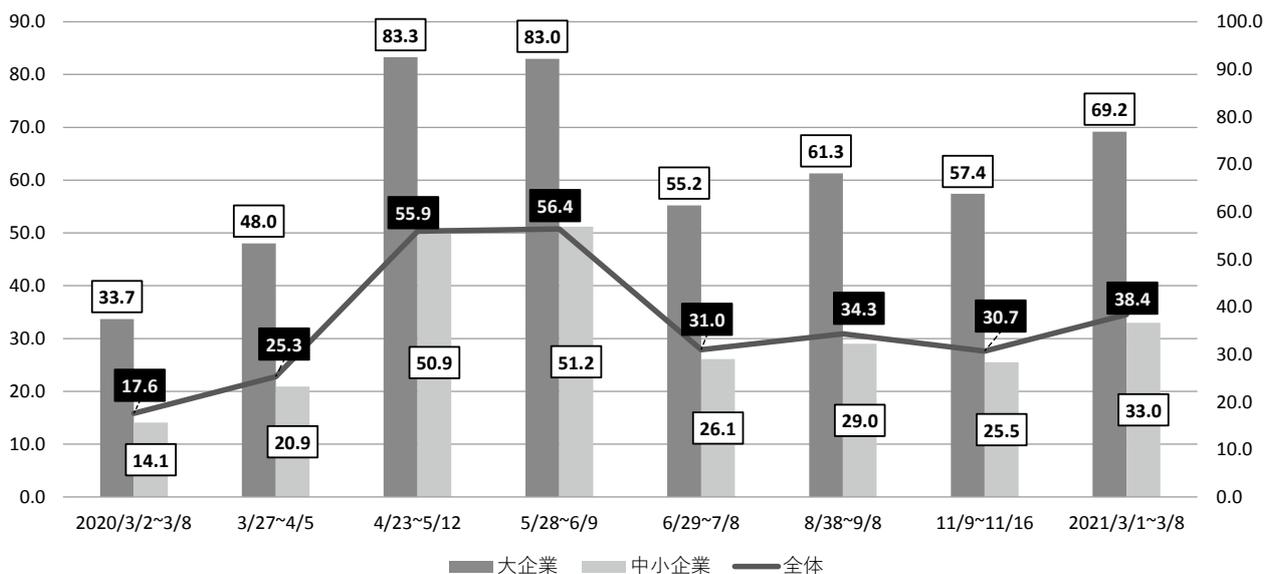
テレワーク⁵とは、勤務先の場所を離れ情報通信技術（ICT = Information and Communication Technology）を活用し時間や場所を有効に活用できる柔軟な働き方を指す（総務省 2015）。勤務先にあたるオフィスや集会所といった建物に従業員が集まることなく、それぞれの従業員がそれぞれにとって快適かつ柔軟な方法で業務を行っていることに特徴がある。

日本においては、大企業と比較して中小企業におけるテレワークの普及が進んでいない（総務省 2021）。そのため、中小企業を対象とした

テレワークの導入促進や、地方創生、移住・定住促進等を推進する中央官庁や自治体による政策の後押しが続けられている。第二次安倍政権以降、民間企業のみならず中央官庁・自治体などもテレワークの活用検討を開始し、多くの組織がそのテレワークの事業への導入を本格化した（小豆川 2018）。加えて、新型コロナウイルス感染拡大の影響がテレワークの存在感をさらに際立たせた。東京商工リサーチの「新型コロナウイルスに関するアンケート」調査によると、1回目の緊急事態宣言時にはテレワークの導入率が17.6%から、3カ月後には56.4%へと上昇した（総務省 2021、図3）。

5 テレワークは、働く場所の差異により以下の4つに大別できる。すなわち、「自宅利用型テレワーク」、移動中および移動の合間に行う「モバイルワーク」、サテライトオフィスおよびコワーキングスペースといった「施設利用型テレワーク」、そしてリゾート地において行う「ワーケーション」の4つである（日本テレワーク協会）

図3 企業のテレワーク実施率

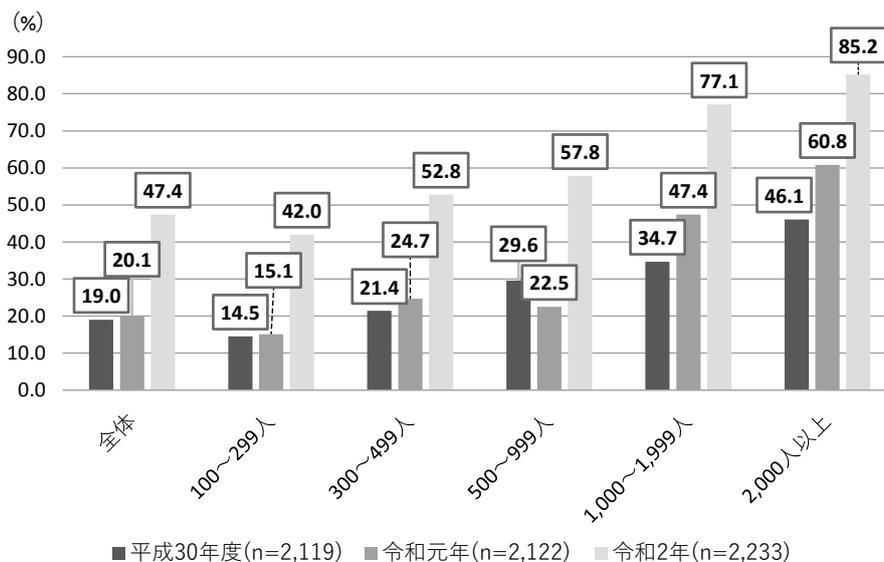


出所：総務省（2021）より筆者作成。

その後、テレワークの導入率は1回目の緊急事態宣言解除後には低下するものの、2回目の緊急事態宣言後には再上昇している。

従業員規模別におけるテレワークの導入状況の推移を参照すると、従業員規模とテレワーク導入率はほぼ比例関係にあることが分かる（図4）。

図4 従業員規模別におけるテレワークの導入状況の推移



出所：総務省（2020）より筆者作成。

このことから大企業と比較して中小企業ではテレワーク導入率が低いことが認識できる。以下、なぜ従業員規模の違いによりテレワーク導入率が大きく変化するのかについて、テレワーク導入のインセンティブを考慮しながら検討する。

テレワークがもたらし得るメリットは多岐多

様である。テレワーク導入のメリットを理解するために、総務省の情報通信白書（2015）および日本労働組合連合会（JTUC）のテレワークに関する調査（2020）を参考にした。テレワーク導入のメリットは以下のとおりである。（表2-A）。

表2-A テレワークがもたらし得るメリット

メリット	総務省	JTUC
社員の通勤・移動時間の短縮	(48.9%)	(74.6%)
ワークライフバランスの向上	(30.5%)	
生産性向上・業務効率の向上	(55.7%)	
自由な服装で仕事ができる		(48.0%)
自分の好きな時間に仕事ができる		(25.6%)
業務に集中できる		(15.5%)
仕事の進捗管理を含め、自律的に仕事ができる		(12.4%)
育児や介護との両立がしやすい	(19.1%)	(12.3%)
人件費の削減	(16.4%)	
災害時やパンデミック発生時における事業継続性の確保	(21.8%)	
顧客満足度の向上	(22.1%)	
オフィスコストの削減	(23.7%)	

出所：総務省（2015）、日本労働組合連合会（JTUC）（2020）より筆者作成。

これに対してテレワークの導入のデメリットとしては、以下のとおりである（表2-B）。

表2-B テレワークがもたらし得るデメリット

デメリット	総務省	JTUC
情報セキュリティの確保	(67.3%)	
適正な労務管理	(46.0%)	
適正な人事評価	(16.3%)	(16.6%)
社員同士のコミュニケーション	(26.2%)	(37.6%)
労働法規等の整合性	(24.3%)	
テレワークの導入・運用コスト	(21.3%)	
経営層のテレワークへの理解	(8.0%)	
テレワークに対応した社内制度作り	(20.5%)	
導入による効率の把握	(16.0%)	
勤務時間とそれ以外の時間の区別がつけづらい		(44.9%)
運動不足になる		(38.8%)
業務の効率が低下する		(20.3%)
情報漏洩リスクが高まる		(16.1%)
長時間労働になりやすい		(12.9%)
顧客等外部対応に支障がある		(12.6%)
仕事の進捗管理が難しい		(11.5%)
24時間いつでも連絡がとれることに対するストレスやプレッシャーが大きい		(9.7%)
精神的に負担がかかる		(9.3%)

出所：表2-Aと同じ。

ただし、表2-A、2-Bで示したテレワーク導入のメリット・デメリットは大企業と中小企業の区別がないことに留意する必要がある。中小企業のみ焦点を当てた調査を行った場合には表2-A、2-Bが示す結果とは異なる結果が得られる可能性がある。さらには、中小企業にのみ焦点を当てた場合に得られた結果が、図3、図4

が示している、大企業との比較における中小企業に対するテレワーク導入率が低いことを説明する要因となる可能性がある。

こうしたテレワーク導入のメリット・デメリットのうち、これまではデメリットの側面が強調されてきた傾向がある。新型コロナウイルス感染が拡大する以前までにテレワークを既に導

入していた企業はほとんど存在しなかったとも言われている (ILO 2020)。新型コロナウイルス感染拡大以後、テレワークを導入した多くの経営者と労働者は、これまでのようにオフィスに出社して行う業務形態ではなく、遠隔で仕事を行った場合であっても生産性と業務効率を上昇させることができることを認識した。パンデミックにおいて、半ば強制的にテレワークを導入したことがかえって、テレワークに対する固定観念を打破した結果となった。経営者・従業員はデジタル技術に対する積極的な投資を行い、その使用を奨励し始めている。こうした要因はすべて、将来的にテレワークの普及を後押しする可能性を大きく秘めている (Barrero et al. 2021a)。実際、約40%のアメリカ人がテレワークの柔軟性を高く評価しており、今後、従来型のオフィスワークのみを実施するようなことがあればその企業での勤務を継続するつもりはないとしている (Barrero et al. 2021b)。

第3章 シミュレーション・モデルの設定

3.1.1 シミュレーション実験実施の背景

ここまで、中小企業の実情およびテレワークの概況について述べてきた。「はじめに」で言及した仮説、「テレワークの導入がもたらす業務効率化により、中小企業全体における生産性が向上する」を検証するため、我々は論理に基づく抽象的なシミュレーション・モデルを構築した。具体的には、マルチ・エージェント・シミュレーションと呼ばれる仮想実験手法を活用するために、シミュレーション言語を用いてコンピュータ上に任意の数の人工知能を生成し、それら人工知能同士の活動を観察した。

第1章、第2章で明らかにしたように、これまで行われてきたテレワークの実施と生産性との関係における研究は、いずれもアンケート調査を活用したデータ収集およびその分析によるものであった。こうした分析は本来的に全数調査が不可能であることから標本調査にならざるを得ない。実際の労働環境での実験を全国的に行うことができれば理想であろうが、その実現のためには膨大な時間・費用がかかるためである。しかしながら、標本調査は究極的には統計的推論の域を出ない点に限界がある。集団から無作為に抽出したデータを使用しなければ標本誤差が少なからず生じてしまうためである (総務省統計局)。この背景に鑑みれば、中小企業に関するより包括力のある調査を行うことはこれまで大々的には行われてこなかった。そのため我々は、シミュレーションを用いた実験により仮想的に大規模実験を行うことは有意義なことであると考えている。

3.1.2 設計・モデル化

具体的なシミュレーション・モデルの概要は次のとおりである。まず、本研究における生産性とは、特に労働生産性のことを指す。すなわち、完了した仕事の量を X 、その仕事を完了するために必要とした時間および従業員の数の積を Y とするとき、ここで求めたい生産性の値は X を Y で除することで得られるとする。シミュレーション・モデル内では、中小企業における従業員が仕事をこなしていく様子を単純化することにより、仕事を完了するまでの過程とテレワークとの関係性の本質を浮き彫りにすることを目指した。

本研究で使用したシミュレーション・モデルでは、人工知能を搭載した互いに区別が可能な従業員を最大で300体用意した。その背景は、中小企業基本法第2条第1項⁶による。それらの

最大300体の従業員が個人作業ないしはグループ作業を通じて仕事を完了させていく場合を想定した。

表3 従業員の能力

	性質
従業員	個々人の従業員。基本的には個人作業を進めている従業員を想定。従業員同士が交流することでグループ作業を進めることもある。最大で300体まで存在。

出所：シミュレーション・モデルに基づいて筆者作成。

こうした従業員が仕事に取り組んでいると考えることで、中小企業の労働実態を単純化した。

花木 2021)。これら4つのエージェントが互いに交流することにより現実世界を模したシミュレーションが可能となる。

3.2.1 シミュレーション言語NetLogoの導入

本研究では、3.1.2で述べたシミュレーション・モデルをコンピュータ上に再現するために、シミュレーション言語NetLogo⁷を使用した。NetLogoの使用により中小企業におけるテレワークの実施状況と従業員の生産性との関係性におけるシミュレーションを実行した。NetLogoにおいては、タートル⁸、パッチ⁹、リンク¹⁰、オブザーバー¹¹と呼ばれる4つのエージェントが存在する。NetLogoにおけるプログラムはエージェント単位で記述され、それぞれが自律分散的に動作することが基本となっている（西野、

3.2.2 エージェントの設定

本研究では、タートルエージェントが従業員、パッチエージェントが仕事であると解釈した。すなわち、従業員が仕事に取り組むこととは、NetLogoのシミュレーション空間ではタートルエージェントがパッチエージェントと交流することであると見なすことができる。さらに、従業員同士が連携を強めグループ作業による仕事に取り組むことをシミュレーション・モデル内で再現するために、ある2体のタートルエージェント同士をある確率でリンクエージェントが

6 中小企業基本法第2条第1項には、「資本金の額又は出資の総額が3億円以下の会社並びに常時使用する従業員の数が300人以下の会社及び個人であつて、製造業、建設業、運輸業その他の業種（次号から第4号までに掲げる業種を除く。）に属する事業を主たる事業として営むもの」と定められている。

7 NetLogoとは、生物学、生態学、社会学、経済学などの学問分野における、生物、自然環境、社会現象などといった動的なプロセスを再現することを目的にしたものであり（倉橋、田中、小林 2015）、ノースウェスタン大学のUri Wilenskyが1999年に開発した。

8 タートルとはNetLogoのシミュレーション空間を動き回るエージェントである（NetLogo User Manual version 6.3.0 September 29, 2022、訳は筆者によるもの）。

9 オブザーバーは他のエージェントに対して指示を与える存在である。例えば、新規タートルの生成はオブザーバーが行う（NetLogo User Manual version 6.3.0 September 29, 2022、訳は筆者によるもの）。

10 パッチはNetLogoシミュレーション空間上の座標に相当する（NetLogo User Manual version 6.3.0 September 29, 2022、訳は筆者によるもの）。

11 リンクとは座標を持たないエージェントのことである。リンクには2つの端点が存在し、それぞれの端点はタートルで構成される（NetLogo User Manual version 6.3.0 September 29, 2022、訳は筆者によるもの）。

仲介するようにした。これにより、従業員同士が連携を強める様子をNetLogoのシミュレーション空間で単純化しつつ再現した。なお、残り一つのエージェントであるオブザーバーは、NetLogoにおけるシミュレーションに関わる全てを指示する存在である。そのため、本研究にかかわらず特別の設定は原則不要である。

3.2.3 エージェントの機能

初めに、パッチエージェントの機能についての説明を行う。本研究においては、3.2.2で述べたようにパッチエージェントの存在そのものを仕事が存在していることであると見立てた。そして、パッチエージェントは100段階の連続した色彩を経て白色から黒色へと変化することができるように設定した¹²。従業員を模したタートルエージェントが仕事にアクセスすると仕事が進み、その結果、仕事を模したパッチエージェントの色が白色から黒色へと1段階ないしは2段階変化する。ここではパッチエージェントの色が白から黒になることを仕事の完了と考える。すなわち、最小で従業員が仕事に対し50回アクセスすれば仕事が完了し、最大では従業員が仕事に対し100回アクセスすれば仕事が完了する。

次に、タートルエージェントの機能についての説明を行う。従業員を模したタートルエージェントは2種類の能力を持つように設定した。一つは個人作業を進める能力であり、もう一つはグループ作業を進める能力である。今回は、従業員同士を結びつけるリンクエージェントがある確率で発生し、個人作業を進めていた従業員はグループワークを開始していくように設定した。個人作業を進める従業員同士がリンクエージェントの仲介によりグループ作業を進めるようになる確率については以下のようにした。すなわち、テレワークを導入している場合には個人作業を進める従業員が他の個人作業を進める従業員と連携を深めることでグループ作業を進める従業員となる確率を25%、反対に、グループ作業を進める従業員が連携力の欠如により、個人作業を進める従業員に戻る確率を50%とした。同様にして、テレワークを導入していない場合には個人作業を進める従業員が他の個人作業を進める従業員と連携を深めることでグループ作業を進める従業員となる確率を50%、反対に、グループ作業を進める従業員が連携力の欠如により個人作業を進める従業員に戻る確率を25%とした(表4)。

表4 従業員連携確率

	個人作業をする従業員が グループ作業をする従業員となる確率	グループ作業をする従業員が 個人作業をする従業員となる確率
テレワーク導入時	25%	50%
テレワーク非導入時	50%	25%

出所：シミュレーション・モデルに基づいて筆者作成。

12 色彩番号9.9から0.0までの100段階である。

このとき、テレワークを実施している場合には、個人作業をする従業員は仕事を2段階進め、グループ作業をする従業員は仕事を1段階進める。一方、テレワークを実施していない場合に

は、個人作業をする従業員は仕事を1段階進め、グループ作業をする従業員2は仕事を2段階進める（表5）。

表5 従業員の仕様

	個人作業をする従業員	グループ作業をする従業員
テレワーク導入時	仕事を2段階進める	仕事を1段階進める
テレワーク非導入時	仕事を1段階進める	仕事を2段階進める

出所：シミュレーション・モデルに基づいて筆者作成。

これら従業員を模したタートルエージェントと仕事を模したパッチエージェントとの交流を通して、全ての白色パッチエージェント（未着手の仕事）が黒色パッチエージェント（完了した仕事）に変化するまでに必要としたtick数（時間）を観察する。tickとは、NetLogo内の時間経過を司る機能であり、NetLogoに初めから組み込まれている。今回のシミュレーションでは、労働生産性を算出するにあたって必要な要素である「時間」については、「全ての仕事が完了するまでに必要としたtickの値」を測定することにした。

第4章 シミュレーションの結果

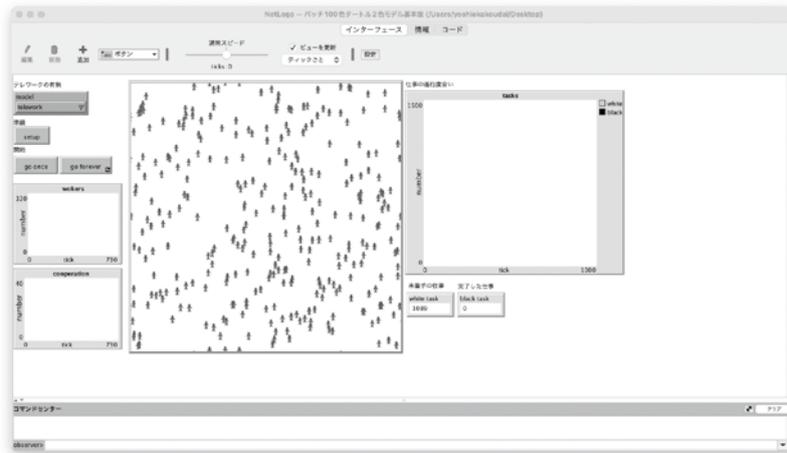
4.1 実験実施・結果

第3章までに述べた条件を踏まえたうえでNetLogoに組み込んだモデルを用いてシミュレーション実験を実施した¹³。今回、行ったシミュレーション実験は2種類ある。一つは、「従業員数の変化に伴う労働生産性の変化を、テレワークを導入した労働環境とそうではない労働環境との間で比較することを目的としたシミュレーション実験」である。もう一つは、「従業員数を150人、および300人に固定したとき、テレワークを導入する従業員の数とテレワークを導入しない従業員との数がどの割合になれば最もその企業全体での労働生産性が高まるのかについて明らかにすることを目的としたシミュレーション実験」である。ここでは、まず一つ目のシミュレーション実験について述べる。

この一つ目の実験では、NetLogoのシミュレーション空間に存在する全ての仕事を完了するまでに必要とした時間の長さを従業員の人数ごとに調べることを1ステップとした。このステップをそれぞれの従業員数につき10回試行した（図5-A、図5-B、図5-C）。

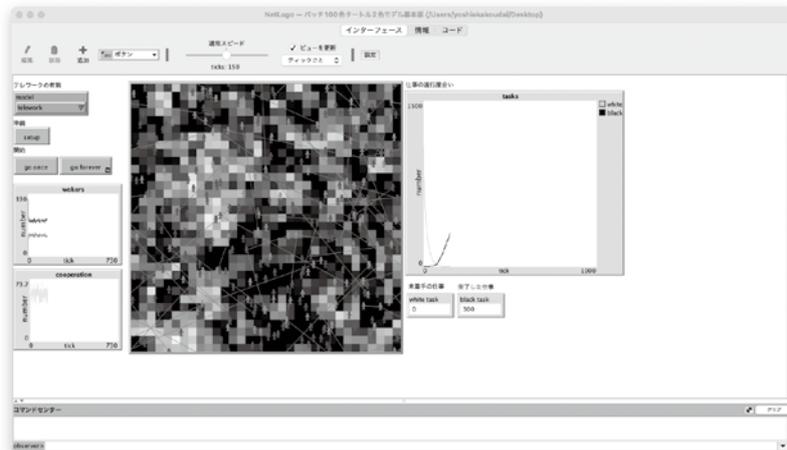
¹³ 本シミュレーションを実際に行っている動画は、以下のURLより参照可能である。<https://youtu.be/4CUKA4hyx6I>（テレワーク導入時）、<https://youtu.be/3SEmR8In2dA>（テレワーク非導入時）。最終頁にQRコード添付。

図5-A NetLogoのシミュレーション画面（テレワーク導入時、従業員数300人、tick0）



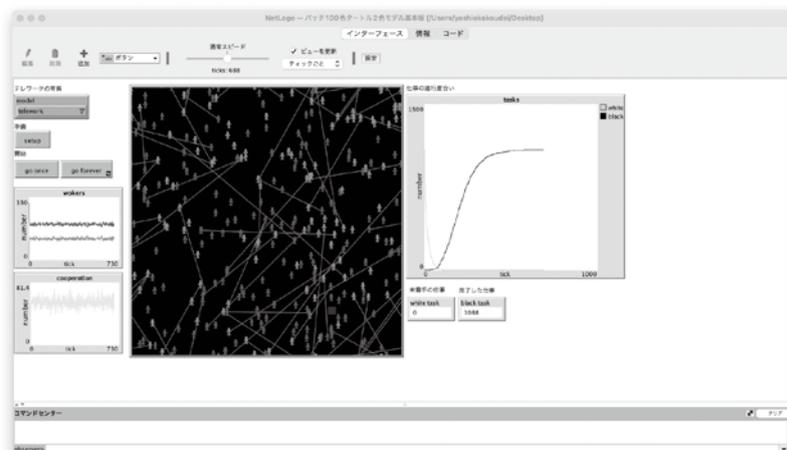
出所：NetLogoによるシミュレーション実行画面を撮影。

図5-B NetLogoのシミュレーション画面（テレワーク導入時、従業員数300人、tick150）



出所：NetLogoによるシミュレーション実行画面を撮影。

図5-C NetLogoのシミュレーション画面（テレワーク導入時、従業員数300人、tick688）



出所：NetLogoによるシミュレーション実行画面を撮影。

なお、従業員の人数は最小25人、最大300人とし、その数の間を25人ごとに変化させた。仕事を模したパッチエージェントの数は1,089¹⁴である。

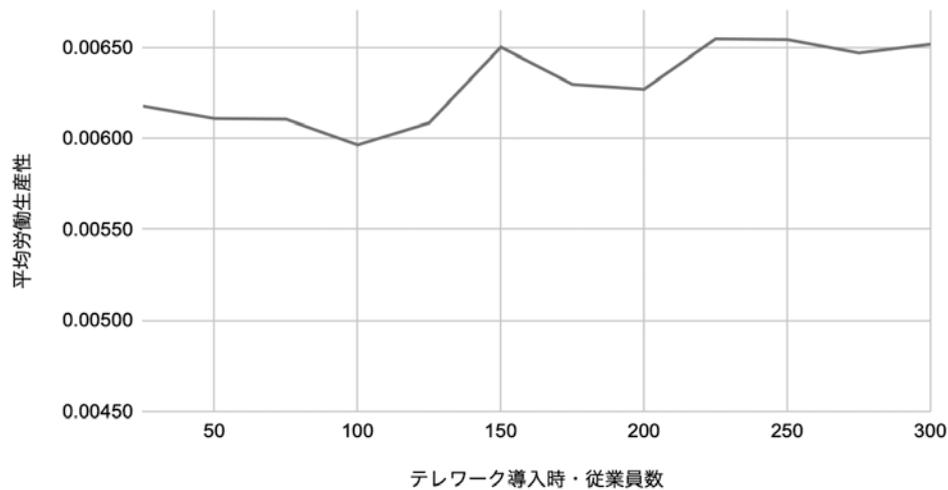
シミュレーション実験の結果を、以下に示す。初めにテレワーク導入時のシミュレーション実験の結果を示す（表6、図6）。

表6 シミュレーション実験の結果（テレワーク導入時）

テレワーク導入時・従業員数（人）	平均tick数	最小tick数	最大tick数	平均労働生産性	平均労働生産性の差
25	7050	6190	7690	0.00618	0.00000
50	3565	2840	4340	0.00611	-0.00007
75	2378	2260	2540	0.00611	0.00000
100	1826	1511	2040	0.00596	-0.00014
125	1431.5	1239	1624	0.00609	0.00012
150	1116.5	1024	1225	0.00650	0.00042
175	988.2	832	1294	0.00630	-0.00021
200	868.4	745	986	0.00627	-0.00003
225	739.1	670	812	0.00655	0.00028
250	665.6	623	700	0.00654	0.00000
275	612.1	570	662	0.00647	-0.00007
300	556.9	516	630	0.00652	0.00005

出所：シミュレーション実験結果に基づいて筆者作成。

図6 テレワーク導入時の平均労働生産性



出所：シミュレーション実験結果に基づいて筆者作成。

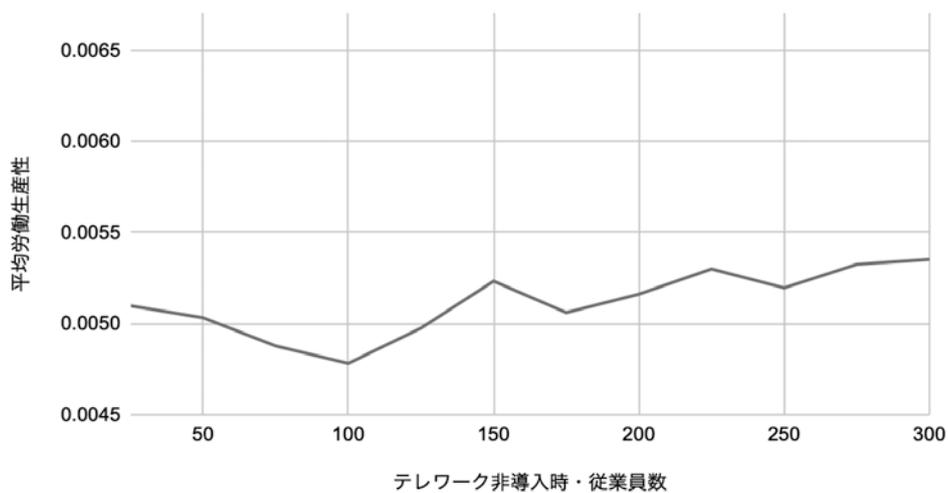
14 1089とはNetLogoの初期設定により与えられるパッチエージェント数であり、33の平方数である。ただし、この1,089のパッチエージェントが100段階の色彩を経て白色から黒色へと変化する。そのため、実質的に存在する仕事の数は108,900である。

表7 シミュレーション実験の結果（テレワーク非導入時）

テレワーク非導入時・従業員数（人）	平均tick数	最小tick数	最大tick数	平均労働生産性	平均労働生産性の差
25	8545	8070	9010	0.00510	0.00000
50	4328	3760	4880	0.00503	-0.00007
75	2977	2620	3410	0.00488	-0.00015
100	2277.3	2059	2569	0.00478	-0.00010
125	1751	1486	1955	0.00498	0.00019
150	1387.3	1280	1563	0.00523	0.00026
175	1229.7	1083	1347	0.00506	-0.00017
200	1054.9	966	1193	0.00516	0.00010
225	913.2	856	1006	0.00530	0.00014
250	838.3	762	985	0.00520	-0.00010
275	743.6	700	801	0.00533	0.00013
300	678.2	639	785	0.00535	0.00003

出所：シミュレーション実験結果に基づいて筆者作成。

図7 テレワーク非導入時平均労働生産性



出所：シミュレーション実験結果に基づいて筆者作成。

二つ目に、従業員数が150人の中小企業と300人の中小企業を想定したシミュレーション実験を実施した。このシミュレーションは、従業員数が150人の中小企業と300人の中小企業において、テレワークを導入している従業員と

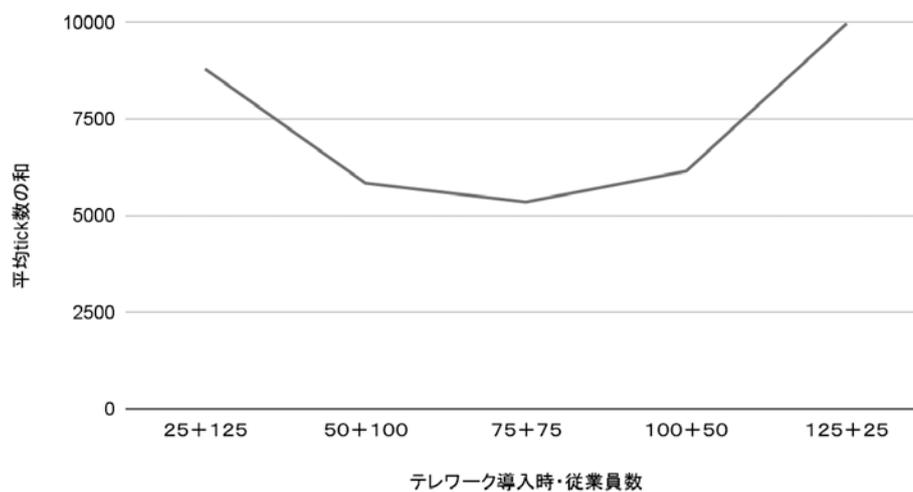
テレワークを導入していない従業員との割合がどれほどであるときに、中小企業全体での生産性が最も高い値を示すのかについて理解することを目指した（表8、図8、表9、図9）。

表8 従業員数が150人のときの最も生産性向上に寄与するテレワーク導入割合の推定¹⁵

テレワーク導入時・従業員数	平均tick数の和
25+125	8801
50+100	5842.3
75+75	5355
100+50	6154
125+25	9976.5

出所：シミュレーション実験結果に基づいて筆者作成。

図8 従業員数が150人のときの平均tick数の和の推移



出所：シミュレーション実験結果に基づいて筆者作成。

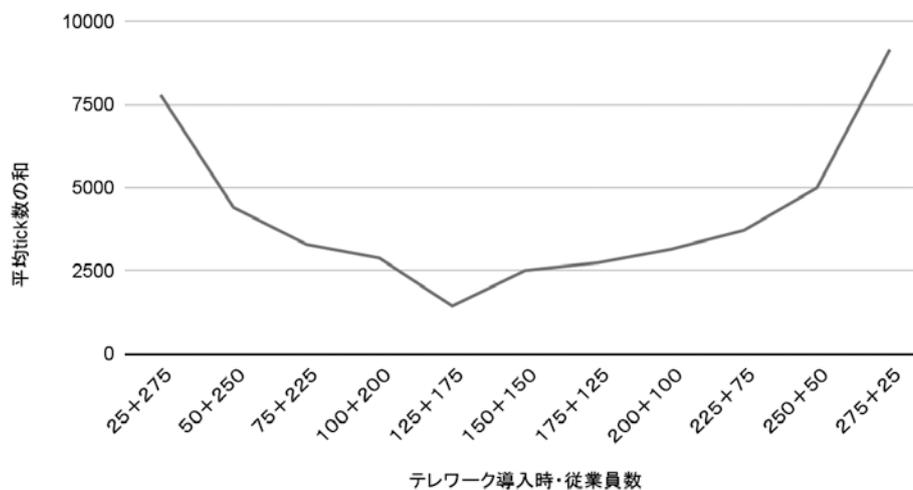
¹⁵ 表8中、右側の和は、「テレワークを実施している労働環境下にある従業員の数」と「テレワークを実施していない労働環境下にある従業員の数」との和である

表9 従業員数が300人のときの最も生産性向上に寄与するテレワーク導入割合の推定¹⁶

テレワーク導入時・従業員数	平均tick数の和
25 + 275	7793.6
50 + 250	4403.3
75 + 225	3291.2
100 + 200	2880.9
125 + 175	1431.5
150 + 150	2503.8
175 + 125	2739.2
200 + 100	3145.7
225 + 75	3716.1
250 + 50	4993.6
275 + 25	9157.1

出所：シミュレーション実験結果に基づいて筆者作成。

図9 従業員数が300人のときの平均tick数の和の推移



出所：シミュレーション実験結果に基づいて筆者作成。

¹⁶ 表9中の和は、「テレワークを実施している労働環境下にある従業員の数」と「テレワークを実施していない労働環境下にある従業員の数」との和である

4.2 実験結果の考察と追加実験

初めに、「従業員数の変化に伴う労働生産性の変化を、テレワークを導入した労働環境とそうではない労働環境との間で比較することを目的としたシミュレーション実験」の結果について考察する。表6と表7とを比較することにより、最小tick数、最大tick数、平均tick数について

はテレワークを実施した労働環境のほうがテレワークを実施しなかった労働環境の場合よりも小さい値を示したことが分かる。このことは、テレワークを実施した労働環境のほうがより少ないtick数で仕事を完了することができたことを示している（表10）。

表10 表6と表7との比較（表6のそれぞれの値から表7のそれぞれの値を減じた結果）

従業員数	平均tick数	最小tick数	最大tick数	平均労働生産性	平均労働生産性の差
25	-1495	-1880	-1320	0.00108	0.00000
50	-763	-920	-540	0.00108	0.00000
75	-599	-360	-870	0.00123	0.00015
100	-451.3	-548	-529	0.00118	-0.00005
125	-319.5	-247	-331	0.00111	-0.00007
150	-270.8	-256	-338	0.00127	0.00016
175	-241.5	-251	-53	0.00124	-0.00003
200	-186.5	-221	-207	0.00111	-0.00013
225	-174.1	-186	-194	0.00125	0.00014
250	-172.7	-139	-285	0.00135	0.00010
275	-131.5	-130	-139	0.00114	-0.00020
300	-121.3	-123	-155	0.00117	0.00002

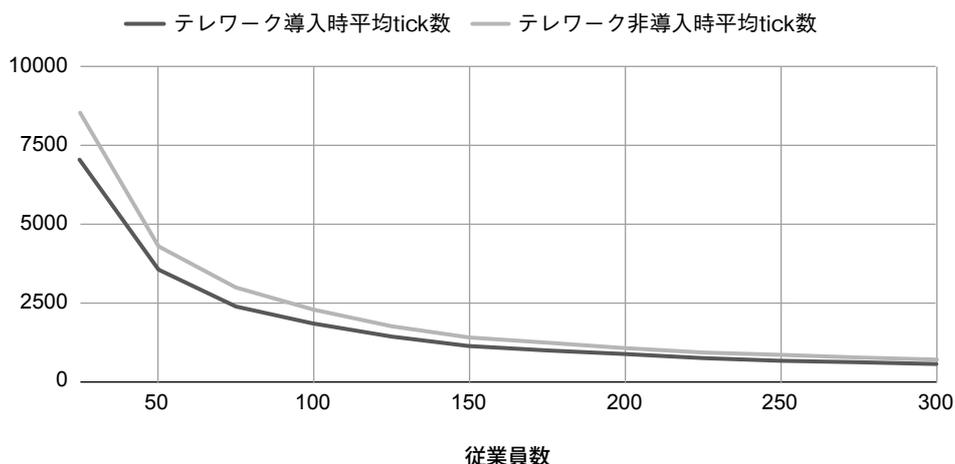
出所：シミュレーション実験結果に基づいて筆者作成。

加えて、同様の比較により、平均労働生産性についてはテレワークを実施した労働環境のほうがテレワークを実施しなかった労働環境の場合よりも高い値を示したことが分かる。このことは、テレワークを実施した労働環境のほうがより高い労働生産性を実現したことを示している（表8）。なお、平均労働生産性の差については、図7および図9が示しているようにどちらも従業員数150人時に最大値を示している点は共通していたものの、そのほか、テレワークを

実施した労働環境か否かによる顕著な差異は見られなかった。

特に、平均労働生産性については、図6と図7との比較が示しているように、テレワークを実施した労働環境のほうがテレワークを実施しなかった労働環境よりも常に高い値を示している。この事実は、テレワークの導入が中小企業における従業員の業務効率を向上させ、ひいては中小企業全体における生産性を向上させていることを示唆している（図10）。

図10 全ての仕事を完了するために必要な平均時間の比較（図6と図7との比較）



出所：シミュレーション実験結果に基づいて筆者作成。

ここで、**図6**が示すように、テレワーク導入時の平均生産性において最も高い値を示したときの従業員数が225人であったことに着目し、テレワーク導入時における追加のシミュレーションを行った。この追加のシミュレーションで

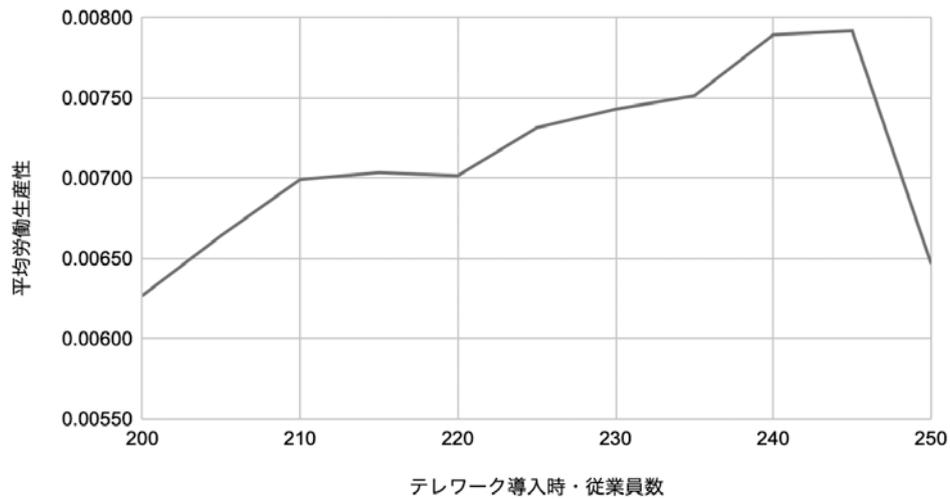
は、従業員数が200人から250人までの間において、5人ずつ従業員数を増加させ、それぞれの従業員数につき10回のシミュレーションを行った。実験結果は以下のとおりである（**表11**、**図11**）。

表11 追加のシミュレーション実験の結果（テレワーク導入時）

テレワーク導入時・従業員数（人）	平均tick数	最小tick数	最大tick数	平均労働生産性	平均労働生産性の差
200	868.4	745	986	0.00627	0.00000
205	819.5	710	918	0.00664	0.00037
210	778.6	741	858	0.00699	0.00035
215	773.9	733	844	0.00704	0.00004
220	776	694	879	0.00702	-0.00002
225	744.3	652	800	0.00732	0.00030
230	732.7	652	794	0.00743	0.00012
235	724.6	646	787	0.00751	0.00008
240	689.7	603	867	0.00789	0.00038
245	687.6	609	781	0.00792	0.00002
250	612.1	570	662	0.00647	-0.00145

出所：シミュレーション実験結果に基づいて筆者作成。

図11 テレワーク導入時平均労働生産性（追加のシミュレーション実験時）



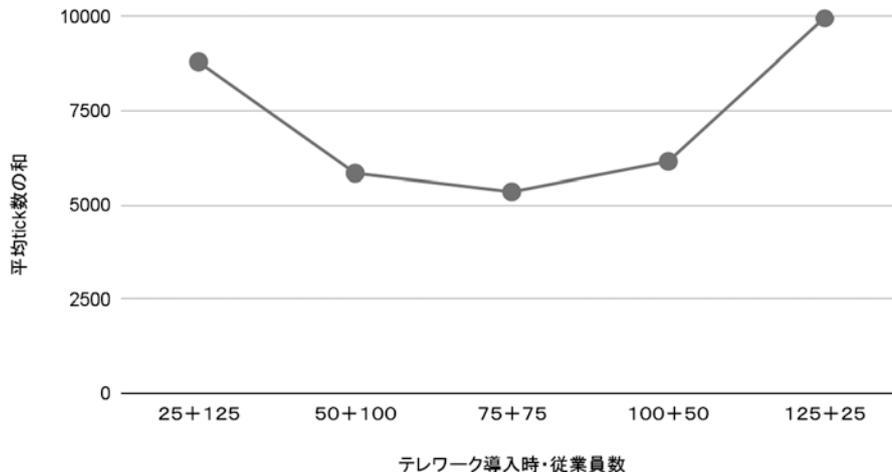
出所：シミュレーション実験結果に基づいて筆者作成。

この追加シミュレーション実験の結果、従業員数が245人の中小企業において、テレワーク導入時の平均労働生産性が最も高いことが示された。

次に、「従業員数を150人、および300人に固定したとき、テレワークを導入する従業員の数とテレワークを導入しない従業員との数がどの割合になれば最もその企業全体での労働生

産性が高まるのかについて明らかにすることを目的としたシミュレーション実験」の結果について考察する。従業員数が150人のときにはテレワークをする従業員とそうではない従業員の比率が5：5¹⁷、従業員数が300人のときにはテレワークをする従業員とそうではない従業員の比率が5：7¹⁸になるとき最も平均労働生産性が高いことが分かる（図12、図13）。

図12 テレワークを実施する従業員が75人、テレワークを実施しない従業員が75人のとき最も平均tick数の和が小さい

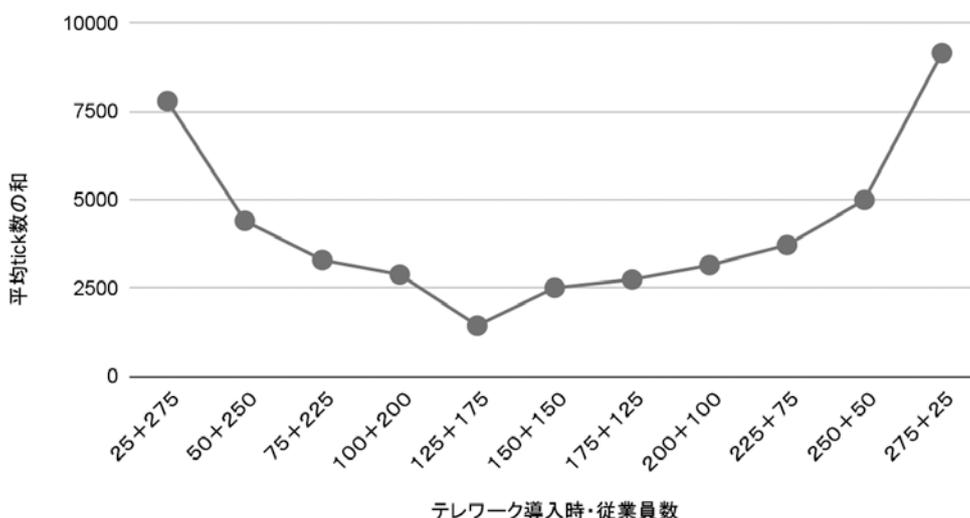


出所：シミュレーション実験結果に基づいて筆者作成。

17 テレワークを実施する従業員が75人、テレワークを実施しない従業員が75人のときを指す

18 テレワークを実施する従業員が125人、テレワークを実施しない従業員が175人のときを指す

図13 テレワークを実施する従業員が125人、テレワークを実施しない従業員が175人のとき最も平均tick数の和が小さい



出所：シミュレーション実験結果に基づいて筆者作成。

第5章 ディスカッション

シミュレーション実験の結果、中小企業における労働環境にテレワークを導入することは中小企業の従業員の業務効率化を促進し、中小企業全体における生産性を向上させる可能性があることが示された。特に、言及すべき実験結果として、従業員数が25人から300人までの間において常に、テレワークを導入した労働環境の中小企業のほうがそうではない中小企業よりも高い平均労働生産性を示した点が存在する。とりわけ、従業員数が245人のときテレワーク導入下の中小企業において最も高い平均労働生産性を示した。更に、従業員数が150人のときにはテレワークをする従業員とそうではない従業員の比率が5：5、従業員数が300人のときにはテレワークをする従業員とそうではない従業員の比率が5：7になるとき最も平均労働生産性が高いと示された。これらの事実は、未だテレワークの導入率が大企業と比較して小

さい中小企業にとり、テレワークを導入することへの動機となり得る。そのため、我々は中小企業における人材不足を解消するための有効な手段としてテレワークの全社規模での導入を図り、中小企業の実産性を向上させることを提言する。

ただし、本研究が用いたシミュレーション・モデルは単純化のために、従業員が行うことができる仕事の量、その従業員間での差異、および従業員同士がいかに連携力を強め業務効率化を果たすのかについては最も簡単な差が現れるように留めた。そのため、本研究のシミュレーション環境下においては、現実を見通しよく分析することは可能となった一方で、現実に対するより精緻な描写および分析には限界があったと思われる点に留意したい。実際、テレワークの導入による企業全体における業務効率化およびイノベーションの促進により企業全体での生産性が上昇することを示しているものの、それを引き起こす個別的な要因は従業員間のコミ

コミュニケーション、従業員の満足度、従業員に対する監視の度合い、従業員間における知識の伝達度合いに影響を受け決定される資本および労働コストの削減、従業員の業務効率向上が複雑に作用していることを示唆している (Criscuolo et al. 2021)。加えて、テレワークを使用した勤務形態の期間と従業員との生産性との関係性において、逆U字型の相関が存在する可能性が指摘されている (Criscuolo et al. 2021)。特にこの点については今後の検討材料としたい。

おわりに

以上のように、本稿では中小企業が生産性を高めることによって人材不足に対応することが可能であるという考えに基づき、その手段としてのテレワークの導入の可否を検討してきた。既存研究が示すところによれば、テレワークの導入は主として大企業の生産性の向上や生活

満足度の充実に貢献するというメリットが認められてきた (千野 2021)。大企業におけるテレワークの普及率と中小企業におけるテレワークの普及率との間に生じた隔たりは、まさに中小企業においてテレワーク導入のメリットが認識されていないということ、ないしは、そのメリットを認識していながらにして、テレワークの導入を妨げる要因が存在する可能性を示唆している。本研究は、中小企業におけるテレワークの導入が生産性を向上させるための有力な手段の選択肢となり得ることを示した。このことは、テレワークの導入により中小企業の長年の課題である「人材不足」を解決するための有効な策となり得る。なお、シミュレーション・モデルの設計の観点から、従業員数が300人以上の場合における検討を行うことができなかった。この点については今後の課題としたい。合わせて、これからの中小企業におけるテレワークの導入率について注目していきたい。



テレワーク導入時 (<https://youtu.be/4CUKA4hyx6I>)



テレワーク非導入時 (<https://youtu.be/3SEmR8In2dA>)

【参考文献】

- 海上泰生 (2017) 「シニア世代就業者の満足度を高める雇用形態や条件は何か—高齢者の活躍を促す働き方の探索—」『日本政策金融公庫論集』第37号
- 亀井卓也, 大澤遼一 (2017) 「テレワークはなぜ浸透しないのか」『知的資産創造』2017年7月号, 36-49
- 倉橋節也, 田中雅樹, 小林元 (2015) 「社会科学におけるエージェントモデリング環境」『人工知能』30巻4号 (2015年7月)
- 柴田弘捷 (2022) 「企業のテレワーク導入動向と労務管理」『専修人間科学論集 社会学篇』3 (2), 37-51,202.
- 小豆川裕子 (2018) 「中小企業の経営課題解決におけるテレワークの意義」『常葉大学経営学部紀要』, 第5巻第1・2号, 2018年2月, 131-147頁
- 千野翔平 (2021) 「テレワーク制度の適用有無がテレワーカーにどのような影響を及ぼしているか」イノベーション・マネジメント No.18, 265-279
- 西野成昭, 花木伸行 (2021) 「マルチエージェントのための行動科学：実験経済学からのアプローチ～付録資料～」
- Chiara Criscuolo, Peter Gal, Timo Leidecker, Francesco Losma, Giuseppe Nicoletti (2021) The role of telework for productivity during and post-COVID-19: Results from an OECD survey among managers and workers, The OECD Productivity Papers
- International Labour Organization (2020) Teleworking during the COVID-19 pandemic and beyond, International Labour Organization
- Jose Maria Barrero, Nicholas Bloom, Steven J. Davis (2021a) Why Working from Home Will Stick, National Bureau of Economic Research
- Jose Maria Barrero, Nicholas Bloom, Steven J. Davis, Brent H. Meyer (2021 b) COVID-19 Is a Persistent Reallocation Shock, Becker Friedman Institute

【参考資料】 (2022年10月14日最終アクセス)

- 国立社会保障・人口問題研究所 (2017) 「日本の将来人口推計」
https://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2017/pp_zenkoku2017.asp
- 総務省統計局 「標本調査とは？」
<https://www.stat.go.jp/teacher/survey.html>
- 総務省 (2015) 「平成27年 情報通信白書」
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/pdf/index.html>
- 総務省 (2017) 「平成29年 通信利用動向調査」
https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/pdf/HR201700_002.pdf
- 総務省 (2020) 「令和2年 通信利用動向調査報告書 (企業編)」
https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/pdf/HR202000_002.pdf
- 総務省 (2021) 『令和3年版 情報通信白書』
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r03/html/nd123410.html>
- 中小企業庁 「中小企業基本法」
<https://www.chusho.meti.go.jp/koukai/hourei/kihonhou/>
- 中小企業庁 「中小企業者の定義」
<https://www.chusho.meti.go.jp/soshiki/teigi.html>
- 中小企業庁 (2013) 「過去50年の中小企業白書を振り返って」
https://www.chusho.meti.go.jp/pamflet/hakusyo/H25/h25/html/b3_1f.html
- 中小企業庁 (2018) 「2018年版 中小企業白書」
https://www.chusho.meti.go.jp/pamflet/hakusyo/H30/PDF/chusho/04Hakusyo_part2_chap1_web.pdf

- 東京商工リサーチ（2021）第14回「新型コロナウイルスに関するアンケート」調査
https://lp.tsr-net.co.jp/rs/483-BVX-552/images/20210318_TSRsurvey_CoronaVirus.pdf
- 日本政策金融金庫（2022）全国中小企業動向調査結果（2022年4-6月期実績、7-9月期以降見直し）
https://www.jfc.go.jp/n/findings/pdf/smseach2022_07.pdf
- 日本生産性本部「生産性とは」公益財団法人日本生産性本部
<https://www.jpc-net.jp/movement/productivity.html>
- 日本テレワーク協会「テレワークとは」一般社団法人日本テレワーク協会
https://japan-telework.or.jp/tw_about/
- 日本労働組合連合会（2020）（JTUC）「テレワークに関する調査」
<https://www.jtuc-rengo.or.jp/info/chousa/data/20200630.pdf>
- NetLogo（2022）NetLogo 6.3.0 User Manual
<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/>