

ロボット導入の地域経済への影響： 先行研究レビュー

How does Recent Technological Development Affect Local Economy? : A Literature Review

木 谷 耕 平
Kohei Kiya

目次

1. はじめに
 2. ロボット導入の労働市場への影響
 3. ロボット導入の日本の地域経済への影響
 4. 今後の研究の必要性
 5. おわりに
- 参考文献

1. はじめに

人口知能（AI）とロボットの進化が著しい。2017年、「アルファ碁」と「PONANZA」がそれぞれ碁と将棋の名人に勝利し¹、これらのゲームにおけるAIと人類の対決に一定の終止符が打たれた。自動運転技術は、現在の運転支援から車が主体となって運転する段階へと近づいており、日本でも各地で実証実験が行われている。AIの能力が向上する一方、その普及も進んでいる。医療分野では、例えばIBMのワトソンは、診断や治療方法の選択について、膨大なデータを分析し助言することができ、すでに一部の医療現場で活用されている²。営業や事務作業においても、AIが効率化のために活用されつつある。今後は、AIの供給量の増加と価格の低下により、普及がさらに進むと見込まれる。

ロボットは、すでに多くの生産現場で活用されているが、サービス分野でもその活用が進んでいる。例えば、HISグループの「変なホテル」では、フロント業務や清掃など様々な場面でロボットを活用し、通常の4分の1程度の人員で運営している³。また、産業用ロボットでも、ロボット間の統合・調整を容易にする技術の開発が進み、導入の簡易化や運用効率の改善が進んでいる。AIとロ

1 北郷達郎、「2017年世界を席卷 AIはなぜ急に賢くなったのか」、2017年12月20日、日本経済新聞電子版（2018年1月12日アクセス）
2 齊藤美保、「『ワトソン医師』は万能か 韓国でみたAI医療」、2017年7月27日、日本経済新聞電子版（2018年1月12日アクセス）
3 大林広樹、「戦略2018（5）ホテル運営、従業員は不要？ HIS会長兼社長 沢田秀雄氏に聞く『ロボ8割』で満足度高く」、2017年12月26日、日本経済新聞電子版（2018年1月9日アクセス）

ボットの進化・導入は、今後さらに進んで行くと見込まれる。

こうした技術進歩は、我々の雇用や賃金にどのような影響を与えるのだろうか。技術進歩が雇用に与える影響は、これまで活発に議論されてきた。古くはKeynes (1930) が、「技術的失業 (technological unemployment)」という言葉を用いて、労働集約的な技術進歩による失業を指摘している。Leontief (1983) は、コンピューターやロボットといった機械によって、生産要素としての労働の役割は低下すると指摘している。最近では、AIやロボットによる自動化技術の進歩が、どの程度雇用を奪うのかという議論が活発に行われている。例えば、Frey and Osborne (2013) は、米国の労働市場について、702の職種のうち47%に機械化のリスクがあるとしている。欧米を中心に「ロボット税」の導入が議論されている⁴ように、最近の技術進歩が雇用を奪うという考えは根強い⁵。

しかし、経済全体で考えたとき、AIやロボットの導入がどの程度職を奪うのかを、単純に求めることはできない。技術進歩が進んだとき、例えば自動交換機の導入で電話交換手の仕事がなくなったように、一部の職が失われる可能性は高い。しかし、電話交換手の仕事がなくなったとしても、通信速度の発達が進んで経済成長を促進し、経済全体では雇用が生まれるかもしれない。また、技術進歩が労働の代替財であるならば職を奪うが、補完財であるならば生産性を高め、賃金の上昇につながるかもしれない。生産性が向上する産業では賃金が上昇するが、置き換えられる産業では賃金が下がると予想される。その結果、AIとロボットの導入によって、所得格差が広がる可能性もある。最近の技術進歩の影響を議論するためには、こうした可能性を考慮する必要がある。技術進歩の影響を明らかにするためには、単にAIやロボットで置き換え可能な職を明らかにするだけでなく、経済全体への影響を考慮した分析が求められる。

本稿では、最近の技術進歩のうち、特にロボットの導入が、経済全体で見たときにどのような影響を及ぼすのかを直近の研究を中心にレビューする。次に、先行研究で明らかにされた結果から、技術進歩が日本の地域経済に、将来どう影響するのかを議論する。最後に、技術進歩の影響について、今後どのような研究が求められるのかを議論する。

2. ロボット導入の労働市場への影響

本章では、2017年に発表された研究を中心にレビューし、ロボット導入の雇用と賃金、そして所得格差への影響を議論する。具体的には、米国のデータを用いて地域労働市場への影響を検証し、日本の地域経済についても多くの含意が得られると考えられるAcemoglu and Restrepo (2017a) を主

4 高橋元気、『『ロボット税』欧米で議論 失業対策、日本も必要に？』、日本経済新聞電子版、2017年4月24日(2018年1月9日アクセス)

5 AIと雇用の関係については、岩本・波多野(2017)が文献レビューを行っている。本稿では、より直近の論文をレビューするとともに、地域経済へのインプリケーションを議論する。

に取り上げる。加えて、クロス・カントリーでの関係を分析したGraetz and Michaels (2017a)、そして、高齢化との関係を議論したAcemoglu and Restrepo (2017b) をレビューする。なお、先行研究では、汎用的な産業用ロボット導入の影響を分析しているが、AIや専門ロボットと同じく、産業用ロボットも自動化技術の一部であり、その影響を研究することで、今後の技術進歩の影響に関する多くの有用な含意が得られる。

2. 1 米国の地域労働市場における賃金と雇用への影響

Acemoglu and Restrepo (2017a) は、産業用ロボット導入による、米国の地域労働市場における賃金と雇用への影響を分析した。彼らの研究の特徴は、一般均衡での影響を明らかにしたことである。ある労働市場で自動化技術が雇用を奪ったとしても、新たな労働集約的産業の誕生や生産性の向上による経済規模の拡大で、新たな雇用が生まれるかもしれない。前述のFrey and Osborne (2013) など多くの先行研究ではアプローチが異なり、こうした他産業での調整は考慮してない。経済全体での影響を分析することで、技術進歩がもたらす影響を包括的に捉えることができる。

2. 1. 1 モデル

Acemoglu and Restrepo (2017a) では、タスクベースの生産関数を想定している。複数のタスクから財は生産されるものとし、タスクの一部はロボットによる自動化が可能であるとする。さらに、自動化はコスト削減につながるものとする。

こうした生産関数を含むモデルから、閉鎖経済の場合、地域の労働需要は、①自動化の範囲、②その財の価格、③地域全体の生産量、によって決まることを示した。自動化の範囲が広ければ、より雇用を奪う（「置き換え効果」）。一方で、自動化によるコスト削減はその産業を拡大させ、その財の価格は下がり雇用は増える（「価格生産性効果」）。また、コスト削減はその産業だけではなく、その地域の経済全体の規模を拡大させる。経済全体での生産量の増加は、雇用の拡大をもたらす（「規模生産性効果」）。

閉鎖経済と地域間の交易が可能な開放経済では、②と③の効果が異なる。②の価格生産性効果はより大きくなる。例えば、ある地域におけるロボット導入が進みコストが下がると、その地域から他地域へのその財の移出が増加する。したがって、交易がない場合よりも価格生産性効果は大きい。一方で、ある産業におけるコスト削減は、地域内だけでなく経済全体におけるその財の価格も低下させる。そのため、価格生産性効果の一部は相殺される。③の規模生産性効果は、閉鎖経済ではその地域の経済規模の拡大だけだが、開放経済では経済全体での規模拡大が起こる。

2. 1. 2 実証方法及びデータ

Acemoglu and Restrepo (2017a) の推計式は以下のように与えられる⁶。

$$d\ln L_c = \beta_c^L \sum_{i \in \mathcal{L}} l_{ci} \frac{dR_i}{L_i} + \epsilon_c^L \quad \text{及び} \quad d\ln W_c = \beta_c^W \sum_{i \in \mathcal{L}} l_{ci} \frac{dR_i}{L_i} + \epsilon_c^W$$

被説明変数はその地域 c における雇用量 L の変化（または賃金率 W の変化）、説明変数はその地域のある産業 i における雇用量 L に比したロボット量 R の変化である（ただし、雇用規模によってウェイト付けしている）。この説明変数は、ある産業でロボット導入量が大きく、さらにその産業の地域内における規模が大きいほど、大きくなる。論文中では、この変数を「Exposure to Robots」と呼んでいる。直感的には、ロボット量の変化が、雇用量または賃金に与える影響を推計している⁷。

産業用ロボットには、国際ロボット連盟 (IFR) のデータを使用し、雇用と賃金には国勢調査や American Community Survey のデータを用いている。地域経済は、米国の722のコミュニティーゾーンとして定義している。なお、賃金は、個人属性（年齢、学歴、性別、出生地、世帯主）ごとに算出している。

内生性の問題に対しては、第1段階で欧州のデータを用いる二段階最小二乗法で対処している。また、種々の頑健性チェックを行っている。

2. 1. 3 推計結果

推計により、閉鎖経済の場合、労働者1000人当たりのロボットが1台増えると、雇用は6.2人減少し、賃金は年間で0.73%下がることが明らかとなった。開放経済の場合、影響はやや小さくなるが、それでも雇用を5.6人減らし、賃金を0.5%下げることが示された。また、最も保守的な推計でも、雇用は3人減り、賃金は0.25%下がることが示された⁸。

雇用と賃金への影響は、性別や職種、産業によって違いが見られた⁹。性別では、女性よりも男性の方が負の影響が1.5倍から2倍大きい。学歴では大学院卒以外で影響はすべて負であり、特に賃金では、学歴が低いと負の影響が大きい。職種では、ルーティン・マニュアルの職、ブルーカラー、操作・組立作業員、機械工・輸送作業員で負の影響が大きい。産業別では、ロボット化が進んだ産業で負の影響が大きい。建設、ビジネスサービス、卸売、小売、サービスでも負の影響が見られ

6 Acemoglu and Restrepo (2017a), page12, equation (10).

7 開放経済の場合にはさらに、推計式から得られた係数を用いて、他地域への影響を考慮した雇用・賃金への効果を算出している。

8 ロボットを採用した産業での雇用の減少が地域の需要を減らし、他産業の雇用を減らすスピルオーバー効果が考えられる。ここでは、そうしたスピルオーバー効果を排除し、ロボット化が最も進んだ産業での雇用減少数のみを用いて、開放経済での影響を算出している。

9 Acemoglu and Restrepo (2017a) では、年齢階層別の影響は分析していない。

た¹⁰。賃金階層別に影響を見ると、負の影響は賃金分布の下位で大きく、10パーセンタイルと90パーセンタイルの格差を1%程度拡大させた可能性がある。

2.2 クロス・カントリーでの分析

Graetz and Michaels (2017a) は、17か国14産業のデータを用いて、1993～2007年のロボットの導入と労働生産性等との関係を分析した。

この論文の推計式は、以下のように与えられる¹¹。

$$\Delta Y_{ci} = \beta_1 + \beta_2 f(\text{robots}_{ci}) + \beta_3 \text{controls}_{ci} + \varepsilon_{ci}$$

被説明変数はある国*c*の産業*i*における労働生産性や賃金に関する変数である。具体的には、労働生産性、産出価格、全要素生産性 (TFP)、平均賃金の成長率、または、労働割合、異なる熟練度の労働者が総労働時間に占める割合の変化量、を用いている。説明変数は、ロボット密度 (労働時間100万時間当たりの産業用ロボットの数) の変化及びその他のコントロール変数 (国または産業の固定効果) である。

推計により、以下の点が明らかとなった。第1に、ロボット密度の上昇により、労働生産性は約0.37%ポイント上昇した。第2に、総労働時間にロボット密度上昇の影響は見られなかったが、非熟練労働者の総労働時間に占める割合は低下していた。第3に、TFPと賃金はともに上昇し、産出価格は低下した。

2.2.1 ロボット導入と高齢化

Acemoglu and Restrepo (2017b) では、高齢化が進行している国々でも成長率が低下していないことを明らかにし、その要因としてロボット導入の可能性を指摘している。

1990～2015年の169か国のデータを用いて、一人当たりGDPの変化と高齢化率 (20～49歳人口に対する50歳以上人口の割合) との関係を推計したところ、負の関係は見られなかった (期初のGDPなどをコントロールした場合は、正で有意)。OECD加盟国にサンプルを限っても、同様の結果が見られた。

彼らはさらに、高齢化が進んだ国々では、ロボット導入が進んでいることを明らかにし、成長率が落ちなかった要因としてロボット導入の可能性を指摘している。直接の因果関係は分析しておらず、さらなる研究が求められるが、高齢化による労働力の減少が、自動化によって支えられている

10 金融や公務等では正であったが、頑健ではない。

11 Graetz and Michaels (2017a), page20, equation (3).

可能性がある。

以上より、米国の地域労働市場への影響を見たとき、開放経済ではより影響が小さくなるものの、これまでに産業用ロボットが雇用を奪い、賃金を引き下げていたことが明らかになった。そして、その影響は産業、個人属性によって異なることが示された。一方、クロス・カントリーの分析では、労働生産性とTFPの上昇、産出価格の低下が見られた。また、非熟練労働者にとっては負の影響があるが、労働者全体では影響がないことも明らかとなった。この結果は、高齢化と経済成長率との間に負の関係が見られないことと整合的である。

なぜ雇用と賃金について、米国の地域労働市場の分析とクロス・カントリーの分析では結果が異なるのだろうか。その理由のひとつとして、米国特有の問題が考えられる¹²。Graetz and Michaels (2017b) では、米国で観察された技術進歩による「職なき景気回復 (Jobless Recoveries)」が、他の先進国では観察されないことを示した。そして、なぜ米国のみでこうした現象が起こったのかについて、①技術の採用・運用の違い、②政策や制度変更の影響、といった理由を挙げている。

本章では、ロボット導入の影響に関する直近の先行研究をレビューした。分析対象によって結果は異なり、さらなる実証研究の積み重ねが必要であるが、ブルーカラーの仕事や低学歴労働者など、非熟練労働者の雇用や賃金が影響を受けることは、共通している。

3. ロボット導入の日本の地域経済への影響

上記でとりあげた先行研究の結果をもとに、日本の地域経済への影響を考える。なお、米国やクロス・カントリーの分析結果が日本にそのまま当てはまるとは考えづらく、より精緻な予測を行うためには、日本についても同様の実証研究を行う必要がある。ここでは、あくまでも今後の傾向を議論することで、より精緻な分析を行うための動機付けとすることを目的とする。

米国とクロス・カントリーの分析のどちらにも共通しているのは、ルーティン、マニュアル、ブルーカラーなど、非熟練労働の雇用が奪われてきたということである¹³。現状では、日本は外国人労働力の活用を主に熟練労働・専門職に限り、非熟練労働者は制限している。しかし、今後、これらの仕事はAI・ロボットに置き換えられる可能性が高い（外国人労働力の制限が、技術革新とその採用を促進する可能性もある）。非熟練労働者の保護よりも、いかに熟練労働へと労働者をシフトさせるか、そのための制度・政策が必要である。

第2に、米国の研究では、製造業の次に影響が大きいのは建設、サービス・小売業、ビジネスサー

12 Graetz and Michaels (2017a)

13 Graetz and Michaels (2017a) は、非熟練労働を学歴によって定義している。Acemoglu and Restrepo (2017a) では、非熟練労働とは定義していないが、労働者の職種や学歴による推計を行っている。

ビスであった。もしこれが今後の日本にも当てはまるとすると、サービス部門の大きい地方中核都市では、影響が特に大きいと考えられる¹⁴。例えば旭川市の場合、小売業が有業者数全体の約14%を占める¹⁵。また、サービス業のうち、対事業所サービスだけでも約7%を占める。今後、こうした産業でも自動化が進むと、雇用が失われ、もしその雇いを地域内で吸収できなければ、他地域への人口流出につながる恐れがある。

既存研究を当てはめると、技術進歩により、日本の地域経済が大きく変わる可能性がある。しかし、既存研究では明らかになっていない点も多くあり、また、日本では実証研究がほとんどない。そのため、より詳しく技術進歩の影響を議論するためには、さらなる研究が必要である。次章では、今後研究し、明らかにすべき点を議論する。

4. 今後の研究の必要性

最近の技術進歩が労働市場や経済成長などに与える影響については、まだ研究が出始めた段階であり、さらなる研究が求められる。現状では、特に以下の点についての研究が必要である。

第1に、ロボット導入の影響が米国とその他の国で異なるのならば、どのような条件下で自動化技術が雇用を奪うのか、または生産性を向上させるのかを明らかにする必要がある。雇用を奪わずに生産性を向上させることができれば、人々の生活はより豊かになる。そのための方策を論じる上で、制度や政策との関係から、技術進歩の影響を分析する必要がある。

第2に、日本についての実証研究が非常に少ない。日本は、他国と比べて最も産業用ロボットが多く稼働している（図1）。例えば、産業用ロボットが急速に普及した1990年代（図2）に、雇用や

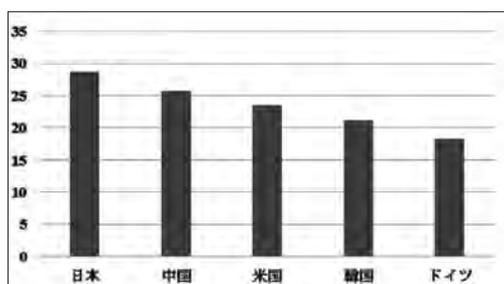


図1 産業用ロボットの稼働台数（2015年末）

出所：日本ロボット工業会「世界の産業用ロボットの稼働台数」より筆者が作成

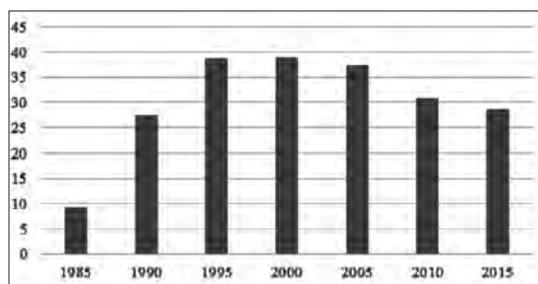


図2 日本の産業用ロボットの稼働台数

出所：日本ロボット工業会「世界の産業用ロボットの稼働台数」より筆者が作成

14 無人のスーパーなど、この分野ではAI・ロボットの導入が進んでいる。

15 総務省統計局『平成24年調査結果（確報値）』より算出した。サービス業についても同様。

賃金にどのような影響があったのかを明らかにすることができれば、今後の技術進歩の影響を考える上で重要な示唆が得られる。また、米国での結果が米国特有の要因によるものなのかを明らかにするためには、米国以外の国についての実証研究が必要である。

第3に、これまでの研究は、産業用ロボット導入の影響が中心であった。また、分析対象も2000年代中頃までとなっている。汎用的な産業用ロボットの導入は、製造業が中心である。複数産業で同時に自動化が進んだ場合にどのような影響が出るのかは、さらに研究する必要がある。データの制約があるものの、もしも専門ロボットやAIを含めた分析ができれば、より一般的な実証結果を得ることができる。

第4に、地域間の労働移動など、地域経済に与える影響が明らかではない。もしAIとロボットの導入が労働市場や産業構造に影響を与えるならば、それが地域間の人口移動や所得格差に影響する可能性がある。例えば、製造業で自動化が進み雇用が失われると、労働者はサービス業などより労働が求められる産業に職を求めると考えられる。産業構造は各地域で異なっており、職を求める労働者の移動が、地域間の人口移動につながる可能性がある。日本の地方では急速な人口流出が続いているが、技術進歩がこうした流れを加速させるのか、それとも減速させるのかは明らかではない。

第5に、技術伝播の地域差、時間差が及ぼす影響が明らかではない。自動化技術の導入が、自動化技術の革新が起りやすい地域から起こるとすると、技術伝播の過程で地域間の所得格差が拡大する可能性がある。AIやロボットの導入には、単に製品を購入するだけではなく、それを既存の設備や働き方とアレンジする技術が必要である。こうした技術には、経験の蓄積が必要だと考えられる。こうした様々な技術・経験の集積が都市部を中心に起こるとすると、地方と都市部の格差が開く懸念がある。

5. おわりに

この論文では、主に産業用ロボットの導入が、労働市場や経済成長にどのような影響を与えるのかについて先行研究をレビューした。産業用ロボットが非熟練労働者の雇用を奪ったことなど一致した結果も得られているが、その背景に何があるのか、米国と他国では何が違うのかといった疑問は依然として残っている。

日々進化するAIやロボットが、雇用や賃金、格差にどう影響するののかは、これからの生活や社会を変える可能性がある重要な課題である。新たな技術革新を生活や社会の豊かさにつなげるためには、過去の技術進歩で何が起こったのかを研究し、そこから学ぶことが欠かせない。これまでのところ、最近の技術進歩の影響や、どのような政策が求められるののかは、まだ研究の蓄積が少なく、明らかではない。今後、さらなる研究が求められる。

ロボット導入の地域経済への影響：先行研究レビュー

参考文献

- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2017a). Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets. *NBER Working Paper Series*, 23285.
- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2017b). Secular Stagnation? The Effect of Aging on Economic Growth in the Age of Automation. *American Economic Review*, 107(5), 174-179.
- Frey, C. B. & Osborne, M.A. (2013). The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation? Mimeo. Oxford Martin School. https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf (2018年1月9日アクセス)
- Graetz, G., & Michaels, G. (2017a). Robots at Work. http://personal.lse.ac.uk/michaels/Graetz_Michaels_Robots.pdf (2018年1月9日アクセス)
- Graetz, G., & Michaels, G. (2017b). Is Modern Technology Responsible for Jobless Recoveries? *American Economic Review*, 107(5), 168-173.
- Keynes, J. M. (1930). Economic Possibilities for Our Grandchildren. Chapter in *Essays in Persuasion*, 321-332.
- Leontief, W. (1983). National Perspective: The Definition of Problem and Opportunity. Chapter in *The Long-Term Impact of Technology on Employment and Unemployment*, 3-7.
- 岩本晃一・波多野文「AIの雇用への影響を考える（2）雇用激減、多くの研究が否定的」日本経済新聞（朝刊）、2017年11月7日。