

資 料

ESRI 国際コンファレンス 「AI、ロボティクスと労働市場」(概要)*

ESRI International Conference 2019
“AI, Robotics and Labor Market”

編集 経済社会総合研究所

日 時：令和元年 7 月 30 日（火）9：30－18：00

場 所：東海大学校友会館（霞ヶ関ビルディング 35 階）

当研究所では、AI をはじめとする新しい技術が労働市場を中心に経済社会に及ぼす影響を理解し、より効果的な経済政策を探るための有益な示唆を得ることを目的として、「AI、ロボティクスと労働市場」をテーマとして国内外の著名なエコノミストを招聘し、国際コンファレンスを開催した。

* 本稿は、令和元年 7 月 30 日（火）に開催された ESRI 国際コンファレンス「AI、ロボティクスと労働市場」の概要を収録したものである。コンファレンスの各セッションは英語で行われたことから、出席した ESRI 所員（岡田恵子、北原聖子、篠崎敏明、鈴木晋）がその責任において翻訳・編集した内容をまとめたものとなっている。

本稿における登壇者および発言者の所属・肩書きは、コンファレンス開催当時のものとしている。当日の発表資料については、経済社会総合研究所 HP に掲載されている。

https://www.esri.cao.go.jp/jp/esri/workshop/r01_05fy/190730.html（日本語ページ）

<https://www.esri.cao.go.jp/en/esri/workshop/2016-2020/190730main-e.html>（英語ページ）

ESRI 国際コンファレンス プログラム (2019 年 7 月 30 日)

開会挨拶：井野 靖久 経済社会総合研究所長

9:35-10:00 基調講演：技術の変化への AI による対応

講演者：ドナルド・ケンケル 米国大統領経済諮問委員会チーフエコノミスト

10:35-11:55 セッション 1：日本における AI、ロボティックス導入の労働市場への影響に関する実証分析

(議長：籠宮 信雄 経済社会総合研究所次長)

発表者：川口 大司 東京大学教授

篠崎 敏明 経済社会総合研究所

討論者：ロバート・ゴードン ノースウェスタン大学教授

13:30-14:35 セッション 2：AI、科学的発見およびイノベーション

(議長：清家 篤 経済社会総合研究所名誉所長)

発表者：アジャイ・アグラワル トロント大学教授

討論者：久米 功一 経済社会総合研究所客員主任研究官

14:50-15:55 セッション 3：AI と経済成長

(議長：アニル・カシャップ シカゴ大学教授)

発表者：チャールズ・ジョーンズ スタンフォード大学教授

討論者：二神 孝一 大阪大学教授

16:10-17:40 パネル・ディスカッション：AI、ロボティックスは労働市場にどのように影響を及ぼすか？

コーディネータ：アラン・アワバック カリフォルニア大学バークレー校教授

パネリスト：ドナルド・ケンケル 米国大統領経済諮問委員会チーフエコノミスト

：ジェシー・ロススタイン カリフォルニア大学バークレー校教授

：竹森 俊平 経済財政諮問会議議員

：清家 篤 内閣府経済社会総合研究所名誉所長

閉会挨拶：井野 靖久 経済社会総合研究所長

基調講演：技術の変化への AI による対応

【講演】ドナルド・ケンケル 米国大統領経済諮問委員会チーフエコノミスト

技術の変化や AI についてはいろいろな議論がなされるが、我々が危惧しているのは我々の今の仕事が奪われるのではないか、ということである。基本的な考え方としては、資本や労働に関して比較優位に基づいて特化することによりメリットが生じる。労働市場への影響は、職業や産業によって異なる。一時的には混乱が起きるかもしれないが、AI によって生産性や生活水準も向上するだろう。

人工的なシステムが、我々の思考、計算や行動などにかかなり近付いてきている。機械学習は AI に不可分であるが、変数間の関係の学習、データのパターンの発見、目的関数の特定、ディープラーニングのアルゴリズム等、様々なブレイクスルーがみられる。

AI の興味深い応用として、医療分野での研究を挙げたい。構造化されたデータを患者グループに当てはめてデータを抽出したり、臨床メモや医学雑誌、その他構造化されていないデータから補足的なデータを取り出したりする。医療分野における最も成功している AI の応用は病気の早期の発見である。AI によって、例えば神経画像検査を脳卒中の後に行えば治療も早く進むことになる。

重要な問題として、国民、政策立案者、研究者も関心を持っているのは、人間の労働に AI が置き換わっていくかということである。産業ロボットは一定程度人間の労働に置き換わるだろうが、それがいつまで続くのか。AI は既存のタスクをより効率的に行う。今まででは不可能とされていたことが出来るようになってきている。1980 年から 2015 年をみると、2000 年から 2005 年の間は、人間とコンピューターはチェスの勝負において拮抗していた。ところが 2005 年以降は、チェスでは、コンピューターが人間をはるかに超えている。また、一定の状況下では、AI が様々な画像を人間に比べてより信頼性高く分類することができる。2010 年から 2017 年の誤差率をみると、人間は大体 5 % 程度であるが、AI は 2010 年は 30 % だったが 2015 年頃からはある種の画像については人間より勝っている。

我々は機械との競争にさらされている。機械が人間の労働より優れており効率が良いということになれば、人間はどのような運命をたどるのか。AI が人間に置き換わると労働市場の未来はどうなるのか、正にこれが今回のコンファレンスのテーマであろう。

基本的な経済原則からこの問題にいろいろな光を当てることができよう。比較優位の概念を考えると、人間と機械との間の取引ということも考えられる。人間は機械より勝っている分野でのタスクを担う。労働への投資と資本への投資を考えた場合、それぞれの投資のリターンをどのように極大化しようとしているかによるが、我々は AI の中でも最も利益を上げるものに投資し、その種の AI は、人間に代替するものではなく補完するもの、すなわち人間参加型の強化学習であろう。労働市場でも同じような投資が行われ、人間が余り得意ではない分野で AI は働き、人間は我々が得意な分野、すなわち比較優位を持ってい

る分野で働く、という協業が行われるだろう。

労働市場においては、労働者は自動化が難しい職やタスクを行うようになる。例えば、医療分野では患者はドクターグーグルで自己診断をした後に医師のところに来る。患者としては人間に診てもらいたいので、AI が医師に置き換わるということはまず当面はあり得ず、AI は非認知的なスキルのある医師を補完する立場に立つのではないか。

長期で見た場合、スキルバイアス型の技術変化が今後も続いていくだろう。アメリカを始めとする高所得国、日本やOECD諸国の労働市場で見られていることだが、技術進歩は、高技能人材を補完する関係にある。低技能者よりも高技能者の生産性が上昇してきているのも AI などの技術が補完しているからである。要素代替効果と規模の効果が、技術変化が産業における労働需要に及ぼす影響を決めていく因子となるだろう。20 世紀全体を見ると、トラクターの発明やその他新しい技術が次々に出現し、農業部門の労働は資本に代替されてきた。農業の生産高は増大したが、農業の生産高は価格弾力性が低く、要素代替が規模の効果を上回った。その結果として、農業人口比率はアメリカの場合、20 世紀初頭は 41% であったのが 20 世紀末には 2% となった。

価格弾性値が高い場合は、規模の効果が要素代替効果を上回ることがあり得る。技術進歩について最近のライドシェアリングシステムをみると、スマホアプリがタクシーの配車係を代替するかもしれない。ライドシェアリングサービスがニューヨーク及びその他の大都市で普及し価格が大幅に下落したことで消費者の利得が増加した。同時に雇用は増えている。ライドシェアリングプラットフォームの雇用シェアをみると、今は 2～3% がライドシェアに雇用されている人数の比率である。これらに正式のタクシーの運転手を加えると、個人移動部門の雇用は増加しているかもしれない。自動運転では、ライドシェアも必要なくなるかもしれないが、人間が比較優位性を維持し続けるかもしれない。すなわち、誰かと会話したいか、会話したくなくて最速で行きたいのか、によりどちらかを選ぶということであろう。

全米科学財団の論文に、基本的な原則が網羅されているので紹介したい。この分野における技術進歩の影響について、生活水準を向上させる鍵は生産性であり、イノベーション技術の普及が生産性改善の鍵であり、現代の最も重要な技術は IT であるということである。技術進歩は生活を改善するが、生産性を向上させるような技術だけでは無理である。技術を効果的に使うためには、労働力側の技能を変えていかなくてはならず、またビジネスプロセス、組織などを適応させなくてはならないということである。我々は、そういうシフトが比較優位性によってどう変化し、どう影響を及ぼすかについて考えてきたが、そういった進歩はコストがかかり、また結果が出るまで何十年もかかるだろう。

AI と労働市場との間での調整局面は 3 段階に分けられる。今は第 1 段階である。企業は認知的タスクに活動を集中し始めているが、AI がまだそうしたタスクに追いついていない。第 2 段階において実際に社会実装されると、労働者と機械が競争することによって、特定の職種、業種において実質賃金が下落するかもしれない。既存の人的資本は全面的には調

整できず、AIを補完するような技能開発ができないかもしれない。ただ、第3段階である長期には企業も新技術に追いつき、価値の創出及び労働力の活用のチャンスを見出し、生産性も実質賃金も上昇するだろう。こうした変化が今後、数十年間にわたって起きるのではないかと我々としては予想している。

最後に、アメリカと日本における労働生産性のトレンドを示したい。生産性は、1990年から2000年にわたって低下した。AI技術に関していろいろな種類の投資が過去行われてきたにもかかわらず、それが反映されずに労働生産性が上昇していないのではないか。AIに対する楽観的な見解は生産性が上昇するということだが、その逆で生産性の伸びは低い。1つの可能性としては、AIの寄与度を完全には測定できていないことである。例えば、本の百科事典とウィキペディアを比較すると、情報入手は楽になっているが計測されたGDPの数字には反映されない。別の説明としてある程度有効なのは、試行錯誤がある程度続いて初めて生産性向上が実現するということである。AIでこの世の中が即時に改善されるということではなく、ディープラーニングによりアルゴリズムが発達し、マーケットも学習することによって人的な機能とAIの技能が発展し、それぞれが補完し合って労働生産性が向上し、最終的に人間の生活が良くなるということだ。

ロボットを1990年代初頭に導入した企業を調査対象として、それらの企業における従業員の採用が2000年代に入ってからどうなったかを追跡したところ、ロボット導入企業の採用人数は着々と増え続け、一方、ロボット非採用企業における採用人数は減ってきたという調査がある。今、我々は、産業界において起きてきている影響を完全に捕捉できていないのかもしれないが、長期的にみれば、雇用も増加し、人々の生活水準もより向上するだろう。

【フロアとの質疑応答】

チャールズ・ユウジ・ホリオカ：技術が進歩しても生産性が低いと問題提起されたが、技術進歩も思ったほど急速には進んでいない可能性がある。例えば、特許数のデータなど、技術進歩を示す客観的な尺度はあるか。

デビッド・ワインシュタイン：コンピューターが人間よりも低コストで上手に出来るとなると、比較優位の理論は通用しないのではないか。例えばニューヨークには100年前は200万頭の馬がいたが、今はセントラルパークでの乗馬用に50頭くらいしかいない。技術の出現によって、御者の職業はなくなってしまった。ネガティブな見方をすると人間無用という時代になってしまうかもしれないが、明るい見方をすると、時間が経つにつれて新しい仕事が生み出され、コンピューターには再現できないようなことが出てくるなど、仕事の性質が変化していくのではないか。

齋藤 潤：AIへの適応という論点が取上げられていたが、基本的に企業の視点から議論さ

れていたように思う。しかし、労働者がどう適応するのか、訓練や教育といった人的資本への投資をどうするのが重要ではないか。日本においては、企業内訓練による企業特殊の技能の育成に重きが置かれてきたが、それを変えていかなければならないように思う。

AI の時代に教育や訓練がどう適応すべきかについてご示唆をいただきたい。

スティーブン・デイビス：経済の中で AI が役割を持つようになると、人口のかかなりの割合の人たちが社会に関与できなくなってしまうのではないかと。教育水準の低い男性の労働参加率が低下してきている。イノベーションを生産性の向上に転換していく方法として、より広い人口の割合に関与させ、建設的に参加できるようにするには、教育訓練システムが肝心である。

アジャイ・アグラワル：生産性について、第 1 に、まだ十分に計測できていない部分がある、第 2 に、トライアンドエラーに時間がかかる、との指摘があった。私が様々なマシンインテリジェンスの応用の中でわかってきたのは補完的要因である。例えば、教育訓練によって補完するという話が出たが、多くの分野で重要な補完的要素は規制ではないか。自動運転や医療診断などのツールを使うためには、規制が出来上っている必要がある。また、生産性の上昇が目に見えるようになるまでは 25 年から 50 年程かかるのではないかと指摘されている。油を燃やすランタンから電気になったのが最初の利益であるが、真の利益は、配電を活用したより軽量の装置やワークフロー等、工場の再設計によって生まれる。最初のイノベーションの発明から時間がかかるといえる。

岩田 一政：労働生産性と実質賃金が長期的にどうなっていくか、短期的に実質賃金は低下するが長期的には上昇するとのことだが、私はこの結論に懐疑的である。先進国における労働所得シェアを見ると、労働分配率が下がっている。これには 2 つの要素があるだろう。1 つが AI とビッグデータ、ソフトウェア投資である。無形資産投資が増加し、労働所得シェアにおいてクラウドアウト効果を及ぼして労働分配率が下がっている。もちろん高技能労働者のシェアは向上するかもしれないが、それと同時に、中技能の労働者に関しては二分化する。つまり部分的には、高技能グループのほうに近寄って賃金が上昇するかもしれないが、そのほかの部分に関しては低賃金化するかもしれない。そうすると、マクロ経済全体を捉えると必ずしも生産性が向上するというのではなく、むしろマクロ水準では下がるのではないかと。

ジェニー・コーベット：AI の倫理について、どのように考えるべきか。AI のアルゴリズムの中で適用の仕方では差別的になるなど社会的に受け入れられない要素が出てくるときには、そのアルゴリズムは撤回せざるを得ないが、規制を設計する際に何を考えるべきか。また、人々が AI にキャッチアップしていくには時間がかかるのではないかと。規制的な仕組みを考えるに当たって、どのような早さがよいと思われるか。

ドナルド・ケンケル：2019 年の CEA の報告書で AI について幅広く取り上げ、2018 年の報告書の中でも詳しく議論を展開し、例えば、倫理や安全性の問題等を取り上げている。

人間の労働の未来はどうなるのかが中心的な課題になるだろう。今人間が行っているタ

スキのうちどういう種類のものが比較優位を AI に対して持っているか。機械がやりやすいタスクと、人間がやりやすいタスクは今後変化していくのか。多くのタスク、多くの職業や多くの部門がある中で、なかなか AI に置き換わらない、ロボットでは出来ないようなタスクが多い産業部門もあるだろう。やがては AI が絶対的優位を人間に対して持つと考えるのは、悲観的過ぎるのではないか。時間の経過とともに、人間の労働力も AI を補完するという形になっていくのかもしれない。労働者のほうも適応していかざるを得ないだろう。

低技能者と高技能者の賃金についての指摘もあったが、現在、いろいろな議論がなされており、CEA の労働エコノミストも関心を持っている。新しい雇用をどこが産むのか。それから男女平等という問題も出てくるだろう。インセンティブが与えられていけば、再訓練、再研修もなされていくだろう。規制については、鍵を握る問題であり私も非常に関心を持っている。コスト負担が大きくならないようにすれば、AI がいろいろなツールを助けてくれるのではないか。研究者としても AI は非常に有益であり、この問題について今後とも努力を続けたい。

セッション 1：日本における AI、ロボティクス導入の労働市場への影響に関する実証分析

【報告】川口 大司 東京大学教授

「ロボット、雇用と人口：日本の地域の労働市場への多関節ロボット導入の効果」

（研究の目的）

本研究は、自動化の進展の労働への影響を分析したものである。Frey and Osborn (2017) は、AI 等の導入により今後 10～20 年間で約半分の職業がなくなると予測した。この予測は主観的なデータに基づく機械学習によるものである。一方、Acemoglu and Restrepo (2017) では、米国におけるロボットの普及が通勤圏における雇用や人口に与える影響について実証分析し、ロボットの普及により人口に対する製造業就業者の比率（以下「雇用人口比率」と言う。）は減少したとしている。さらに Dauth et al. (2017) はドイツにおいて同様の実証分析を行い、地域の製造業の雇用が大幅に減少した一方でサービス業の雇用は増え、全体でみれば大きな影響はなかったとしており、米国とドイツでは分析結果が異なっている。本研究では、我が国での影響を分析した。

（研究の概要）

Acemoglu and Restrepo (2017) と同様の手法で、ロボットの普及率が地域に与える影響について、国勢調査を基に独自に作成した約 300 の「通勤圏」での分析を行った。ロボットの普及率が内生性をもつことが懸念されたため、日本の通勤圏別の雇用・人口動態には影響を与えず、ロボットの普及率には影響を与えと考えられるドイツの出荷データを操作変数として用いている。推計の結果、ロボットの普及率の上昇は地域の雇用および人口を増加させた。また、雇用と人口それぞれへの影響を比較すると、雇用に対する影響の方が人口に対する影響よりも大きく、ロボットが普及する地域では雇用人口比率が下がることが示された。特に人口の増加という結果は、日本全体では人口減少下にあるという背景を踏まえると興味深い。以下、分析の詳細を説明する。

（利用データ）

本分析では、垂直多関節ロボットに焦点を当て、ロボットの導入による労働の代替の影響について推計している。多関節ロボットの産業別の普及率の変化（2002 年～2017 年）を確認すると、自動車が含まれる輸送機械部門ではやはり大幅に増加している一方、非鉄金属部門では減少しているなど、産業ごとの違いが存在している。また、ロボットの普及率は産業別データしかないため、地域別に分解してクロスセクションデータを作成する必要がある、この分解を、2002 年時点における自動車部門の労働者数の密度分布を活用して行

った。密度分布には地域性が存在し、密度の大きい地域はロボットの普及による影響を最も強く受けると予想される。ここで、ロボットの普及率には内生性が懸念されたため、日本とドイツでは技術レベルが類似しているが同じ需要ショックは起こらないとの仮定の下、ドイツにおける産業ごとのロボットの出荷数を操作変数に用いることとした。なおこの際、両国内のロボットの普及には、サプライシフトからくる共通のファクターが存在していると想定している。

(推計結果)

操作変数法の第1段階として、ドイツのロボットの普及率を説明変数に、日本の普及率を被説明変数にして推計を行ったところ、係数は0.22と、1をはるかに下回った。操作変数法を用いた誘導形による分析では、雇用人口比率の変化を被説明変数とすると、係数は負であり、ロボットの普及によって雇用人口比率は低下することが示された。

推計の第2段階として、雇用、人口への影響をそれぞれ推計したところ、ロボットの普及はそれぞれ増加させること、ただし雇用よりも人口への影響の方が大きく、雇用人口比率としては減少することが明らかとなった。誘導形では、ドイツの普及率を操作変数として日本の普及率について回帰分析したところ、同様の推計結果が得られた。

(総括)

以上から、垂直多関節型のロボットの普及は、人口と雇用に非均質的な影響を及ぼし、人口と雇用をともに増加させること、ただし人口に対するインパクトの方が雇用に対するインパクトよりも大きいため、雇用人口比率は下がることがわかった。ただし、これはあくまで暫定的な結論であり、まだ明らかでない点も残っている。

分析結果から、ロボットの普及は、地域の雇用と人口の維持に資することが示唆されるが、この結果は偶然ではないと推測している。この推測が正しいければ、人口減少下では特に製造業を振興して雇用を支えることは重要かもしれない。

先行研究では、ある地域における製造業の雇用の波及効果がサービス業の雇用にも波及効果を及ぼすというローカルマルチプライヤーの概念が出されているが、本分析でも同じことが観察されており、さらには雇用の波及効果が人口全体にまで及んでいるのではないかと推測している。例えば、税収が地域で増加することによって、公共財、例えば病院や学校などが維持される。つまりある地域において製造業の雇用維持をすると、その地域がたとえ都市部ではなくとも、当該地域の就業者を増加させ、さらには、当該地域の人口を支えることにつながる。推測ではあるが、今後は、地域別の税収を説明変数として、この推測が正しいかを分析していきたい。

【報告】篠崎敏明 内閣府経済社会総合研究所上席主任研究官 「AI などのデジタル技術は労働代替か、労働補完か」

（研究の目的）

本分析のテーマは、デジタル技術が人間の労働力の代替なのか、補完なのかということである。Frey and Osborn (2017) はアメリカの職業の 47% が今後 10～20 年でコンピュータ化される可能性が高いと予測し、昨今の雇用喪失に対する懸念が強まった。しかしながら、新しいデジタル技術の雇用への影響に関する実証分析はほとんどなされていない。そこで、本研究では、AI などの導入が日本の雇用にどのような影響を与えたかについて、実証的に DID 分析を行うこととした。

（先行研究）

デジタル技術の影響に関する先行研究を紹介する。Autor, Levy and Murnane (2003) は、ICT の影響について、タスクに基づく分析のフレームワークを提唱し、ICT の影響タスクが (a) ルーティンかノンルーティンか（コンピューターのコードに書きこめるほどルールが十分に理解されていればルーティン、そうでなければノンルーティン）、(b) マニュアルかコグニティブか（主に肉体を用いるならマニュアル、主に頭脳を用いるならコグニティブ）に依存するとした。

Frey and Osborn (2017) はその (a) の軸に着目し、工学的に模倣が困難な人間のスキル（工学面でのボトルネック）を「認識・操作」、「創造知性」、「社会知性」ととし、これらのスキルを用いる職業は代替されず、そうでない職業は代替されるとの仮定の下、機械学習によって米国の各職業の代替可能性を計算した。その結果、今後 10～20 年間に、コンピュータ化により、(1) 47% の職業において「高リスク」（代替可能性 ≥ 0.7 ）であること、(2) 技術の進展（困難であったスキルの模倣の実現）に伴い、3 つのスキルのいずれも必要としない職業、「認識・操作」のスキルを用いる職業、「創造知性」や「社会知性」のスキルを用いる職業というタイムラインで影響が拡大していくことを予測した。ただし、Arntz, Gregory and Zierahn (2016) は、職業ベースのアプローチからタスクベースに変えることで高リスクの分布は 9 % にとどまることを指摘しており、インパクトの予測値には幅がある。先行研究は、主に機械学習による将来予測であり、本研究は実証分析したものである。

（利用データ①：アンケート調査の実施方法）

本研究では、独自の web アンケート調査を行った。(1) Frey and Osborn (2017) で影響が大きいと予想された 5 職業の従事者を対象に、本人の労働時間やタスクごとのノンルーティン性などについて質問した A 調査と、(2) 職業を限定しない管理職を対象に、部下の人数などについて質問した B 調査からなり、いずれも過去と現在の 2 時点についてレトロ

スペクティブに質問している。

（利用データ②：ノンルーティン性に関する指標「NRTI」の構築方法）

本研究では、ジョブのノンルーティン性を計測するために、「Non-Routine Task Intensity (=NRTI)」という指標を開発した。NRTI は、ジョブのノンルーティン性を「反復」、「意思決定」、「対話」という3つの側面から計測した指標である。この3つはタスクの「分類」ではなくタスクの「側面」であり、Frey and Osborn (2017) でボトルネックとされていた「認識・操作」、「創造知性」、「社会知性」にそれぞれ対応している。NRTI は、タスク別のノンルーティン性を、タスク別の労働時間で加重平均することで計算され、その数字が大きいほど、ノンルーティン性が高いことを意味する。例えば、「反復」のNRTIの上昇は、反復度の低下を意味する。

（推計結果）

推計では、AIなどが労働時間、雇用、ジョブのノンルーティン性に与える影響について、DID分析を行った。

労働時間については、A調査に基づき、1日の平均労働時間について推計し、その結果、AIなどの導入により、一日あたり0.287時間（≒17.2分）減少することが分かった。

次に雇用について、B調査に基づき、職場の労働者数について推計し、その結果、AIなどの導入により、正規労働者が2.4%増加することが分かった。派遣労働者等、正規労働者以外の区分と、労働者数総計では、結果は有意ではなかった。

また、ジョブのノンルーティン性について、A調査に基づき、「反復」、「意思決定」、「対話」の3種類のNRTIについて推計し、その結果、AIなどの導入の影響はタスクのどのような側面をみるかで異なり、「反復」ではプラスに有意である（ノンルーティン性が上昇する＝反復度は低下する）一方、「意思決定」や「対話」では有意ではないことが分かった。これはAIの技術的な特性、すなわち、ルールに基づき予測や最適化を行うことを得意とする一方、言葉の意味理解や、暗黙知や常識の活用には限界があることと整合的である。また、Frey and Osborne (2017) における、ボトルネックのうち「認識・操作」が先に、「創造知性」や「社会知性」は後から影響を受けるとの予測結果と整合的であるとみることができる。

（総括）

デジタル技術が労働と代替的か補完的かということについては、労働時間の減少からは補完的、正規労働者数の増加からは補完的と言える。また、Frey and Osborne (2017) のタイムラインに関する予想とも矛盾しない結果が得られた。なお、AIなどの影響を受けていながらも、既に解雇などによって職場が変わっており、アンケート調査の回答には含まれないケースがあることや、本研究は短期的な影響を分析したものであることには留意が必要

である。

今後は、さらなる大規模なアンケート調査を実施するか、政府統計等の公的な調査において AI などの導入の状況が捕捉されるようになる必要がある。

【討論】ロバート・ゴードン ノースウェスタン大学教授

最近、AI やロボットなどの新しい技術が、今後社会に広く普及すると言われているが、こうした技術は、実はかなり以前から存在している。ロボットが最初に登場したのは、1961 年、GM による導入である。AI についても、少なくとも 20 年以上、大きな影響を及ぼしてきている。アメリカにおいてビッグデータ解析の最大の応用先はマーケティングであるが、この分野において、AI は顧客獲得競争に貢献してきた。

今日の報告はいずれも Frey and Osborne (2017) を引用しており、その予測では、2013 年を起点として、今後 20 年間、すなわち 2033 年までに、アメリカの雇用の約 47% がロボットや AI によるコンピューター化により置き換えられるというものである。現在、Frey and Osborne (2017) の予測の対象期間の約 1/3 が過ぎたところであるが、ここ数年のアメリカ経済を振り返ると、新たに 2000 万の雇用が創出されており、その予測とは矛盾している。Frey and Osborne (2017) で代替リスクが高いとされた職業では、反証はいくつも挙げられるが、ロボットや AI が仕事を奪ったという証拠は見当たらない。

アメリカにおける生産性の推移に関して、失業などの変数について、フィルタリングを用いて得られた値と実測値のギャップを 10 年ごとにみると、経済全体の生産性の伸びよりも、製造業の生産性の伸びが高い。アメリカの製造業における雇用が大きく失われてきたのは、中国等の台頭や貿易の活発化ということではなく、製造業における自動化が進んだ結果、経済全体と比べても速いスピードで雇用が失われたためと考えられる。製造業の生産性は 90 年代後半から 2000 年代には 4.5% ぐらいの伸びがみられたが、最近の 5 年間は 0.5% 程度に低下している。

一方、アメリカの製造業の生産能力は、60 年代に大きく伸びたが、ここ 10 年ほどは横ばいになっている。ロボットが人間を代替し、生産性が上昇しているはずにも関わらず、まったく伸びていない。また、資本ストックにおけるコンピューターの水準をみると、90 年代に大きく伸びた後、横ばいになり、直近では減少に転じている。

普及が進んでいるはずのロボットの影響はなぜデータに表れていないのか。国際ロボット連盟によれば、中国を除く世界全体のロボットへの投資は、2017 年は 110 億ドルであるが、対して、アメリカの農業および住宅を除いた設備投資は、2 兆 9,000 億ドルである。ロボットへの投資は、設備投資全体と比較すれば規模として重要ではないのかもしれない。

製造業における生産性の推移を、アメリカと韓国で比較すると、双方ともここ 10 年は伸びておらず、産業用ロボットの普及が進んでいる韓国においても、一時期はアメリカを上

回っていたが、直近ではアメリカと同程度まで生産性が低下しており、また、アメリカと日本で比較すると、日本ではアメリカより産業用ロボットが普及しているにも関わらず、ここ 40 年間の平均の伸びをみると、双方とも同程度で、年率 3.2% ぐらいにとどまる。

川口氏の報告では、自動車製造のメーカーが多く集中している通勤圏ではロボットの普及率の伸びが高いという内生性の問題がある。特定の産業の需要が下がると、ロボットの普及率や、ロボットを利活用する産業の雇用を高めるという可能性が考えられる。この内生性を解決するために、ドイツのロボットの普及率を操作変数として使われている。

その結果、驚くべきことに、通勤圏でのロボットの普及率が上昇すると、雇用が増加し、人口がそれ以上に増加するということが示された。Frey and Osborne (2017) では自動化によって雇用が失われると予測されており、Acemoglu and Restrepo (2017) では、ロボット 1 台の導入につき 6 人分の雇用が失われると指摘されていたが、本報告によれば雇用は増加している。この違いはどう説明できるか。例えば、局地的な乗数効果によるものである、あるいはサービス部門で雇用が増加しているためである、といった解釈も可能であるが、別の解釈をしてみたい。

分析結果について、ドイツにおけるロボットの普及率と日本における雇用の変化率や人口の変化率との散布図をみると、回帰直線はほぼ水平である上、そもそもプロットのほとんどはゼロの近傍に集中しており、明確な相関関係がみられないことを指摘したい。雇用や人口への変動には、ロボットの普及よりも、雇用を支えられるメーカーの存在など、他の要因の方が大きく影響しているのではないかと。すなわち、雇用の変化がプラスに有意であったのは、輸送機械のメーカーが集中している通勤圏のデータが推計を大きく偏らせているからではないか。2002 年から 2017 年における産業別の雇用変化率のカーネル密度分布図によれば、輸送機械など一部の部門を除き、マイナスの成長がみられる。

また同様に、人口の変化がプラスに有意であったのも、ロボットの普及よりも、農村部から都市への地域間の人口移動など他の要因の方が大きく影響しているのではないかと。

篠崎氏の報告の利用データは、公的な統計調査ではなく、独自に実施したアンケート調査を基にしており、特に労働時間については、労働者に対する A 調査のみに基づき 1 日あたりの平均労働時間の変化について推計しているが、各労働者が数年前の労働時間を覚えているとは考えづらい。また、8 時間労働の体制下では、1 日の平均労働時間の数字の変化にはあまり幅がないと考えられ、分析でみたいものは、労働者ごとの時間よりもむしろ総労働量であろう。そうしたデータは、管理職の方が把握していると考えられる。

AI の導入率は 212/2266 (=9.4%) とのことで、トリートメントグループのサンプルが少ない。そのうえ、本報告では、AI を利活用している産業の特徴について分析されていない。

NRTI について、「反復」、「意思決定」、「対話」の 3 種類の指標を構築したとのことだが、果たして全てのタスクがこの 3 つのカテゴリーに分類されるのか。また、推計の結果、「反復」のタスクが増加したとのことであるが、AI はルーティンタスクを真っ先に代替するも

のとの予想され、この結果はそうした予想と反するものではないか。

川口 大司：ドイツのロボットの普及率は、日本とドイツが共通の需要ショックに影響される場合においては、有効な操作変数となるのではないかと考えている。ただし自動車産業では、為替レートの変動が大きな需要シフターとして働いていることから、為替レートに関連する別の指標が操作変数として使えるかもしれない。

また、自動車メーカーの集中する通勤圏のデータが推計結果を偏らせている可能性については、サンプルから影響の大きな自動車産業を外すことで、推計結果が変わるかもしれない。ただし外れ値の処理には、慎重な検討が必要である。

篠崎 敏明：我々の推計結果は、AI などの導入により、反復の側面でノンルーティン性が高まる、つまり、労働者が以前ほどは反復的なタスクをやらなくなっているということを示すものである。この結果は、直感的にも理解しやすいものであると思う。

AI の定義がなされていないという点については、AI とは何かがそもそもコンセンサスのないものなので、調査票でも定義自体は行っていないが、どのような技術が回答の対象であるかを、自然言語処理、画像処理、音声処理、制御、RPA などと列举して示している。

AI の導入率が低いという点については、日本における既存の調査によれば、2018 年時点で 2% から 20% と幅があり、これを踏まえると、本調査の 9.4% という数字は極端に低いものではないと考えている。

AI の利活用と関する企業の特徴の分析がなされていないという点について、本分析では、産業ではなく職業に着目したもので、特に先行研究で影響が大きいとされた 5 つの職業従事者に焦点を当てている。なお、企業規模については、規模の大きな企業の方が AI の導入率が高いことが観察されており、これについては、推計でもコントロールしている。

また、労働時間の推計は労働者への調査よりも管理職への調査に基づくべきという点について、B 調査では管理職の職業が限定されていない。回答を 5 職業に対応する管理職を抽出すると、サンプル数が非常に少なくなる可能性がある。

また、本分析によると、AI を導入することによって、ノンルーティン性は高まる。また、労働時間は個人にとっては減少する。これは代替効果といえる。一方、正規雇用者数が増加する。これは補完効果といえる。ゴードン教授の著書に、産業革命によって労働環境が変わり、機械が導入されたことによって、労働需要が高まったとの記述があるが、今回みられた変化は、それと同様の動きだといえる。

【フロアとの質疑応答】

浜田 宏一：AI 等の新しい技術の導入・利活用が労働市場に大きな変化をもたらす中で、労働者が備えるべき能力も変わりつつある。これまでの日本の教育制度では、素早く計算したり細かく記憶したりする能力が重視されてきたが、これらの点ではもはや AI 等の技

術の方が人間を上回っており、今後、教育システムの大きな変革が求められるのであろう。

チャールズ・ジョーンズ：ケンケル氏の報告では、ロボット導入企業では従業員の採用人数が増えていた一方、ロボット非導入企業では採用人数が減っていたという話があったが、これはクロスセクションの実証分析によくある課題で、川口氏の分析でも同じようなことが起っているかもしれない。分析では、通勤圏でロボットを導入するとそのニーズが増え、人口や雇用が増加している可能性が示唆されたが、その裏で、他の企業や他の通勤圏では雇用が減っているかもしれず、全体での正味の影響は分からない。

星 岳雄：篠崎氏の分析ではアンケート調査を行い、データを新たにとっているが、他の手法も考えられるのではないか。池永・神林（2016）の分析では、日本のジョブをタスク構成（例：ルーティンタスク、ノンルーティンタスクの割合）の変遷を計算している。こういったデータセットに基づく分析も可能ではないか。また、神林らの分析は、米国の同様の分析とは異なる傾向を示している（例：ノンルーティンマニュアルタスクは米国では1960年代以降一貫して減少している一方、日本では一貫して増加している）。こういった分析を踏まえ、AI等の導入以前の日本固有のタスク分布等も踏まえると、分析が深まるかもしれない。

八代 尚宏：川口氏の分析では対象とする技術を垂直多関節ロボットに絞っておられるが、これをロボット全般にすると、どのような分析結果になるのか。また、昨今の日本では、特に地方で外国人労働者が増えていると言われているが、ロボットの導入と外国人労働者の流入の間には、どのような関係があるのか。また、推計に単純な人口を用いると、労働が困難な高齢層によりバイアスがかかる可能性があるので、労働力人口で推計されてはどうか。

竹森 俊平：ロボットがある特定の産業において人口および雇用者数の増加をもたらしたということだが、具体的にはロボットは、その産業にとってどのような役割を持っているのか。ロボットの導入は、企業にとって海外生産移転と並ぶ1つのオプションという位置づけできるのではないか。そうであれば、ある地域におけるロボットの導入がその地域の雇用や人口を下支えし、結果として、生産拠点の海外移転を食い止める可能性があるのではないか。ロボットの導入と生産拠点の海外移転の代替性、補完性について分かれば面白い。

塩路 悦朗：川口氏の報告について、ロボットの普及が雇用増とそれを上回る人口増をもたらしたとのことであるが、地方の製造業に従事する外国人労働者の増加によるものではないか。例えば、ロボットの普及が海外からの労働者の誘致につながったが、そうした外国人労働者が家族を伴って移住した結果、雇用よりも人口が伸びたという可能性はないか。

齋藤 潤：川口教授の報告によると、ロボットの集約率が高い産業を誘致している地域では人口が増えているとのことであるが、単純に他の地域からの流入で人口が増加しているだけなのか、あるいは人口そのものが本当に増加しているのか。もし、出生率などにも影響があるのであれば、興味深い。それから、篠崎氏の報告では、AIなどの新しい技術の導

入が、労働時間の減少と正規雇用の増加をもたらすとのことであるが、我が国の現状が、労働時間が長く、非正規雇用の割合が高いという状況にあることを踏まえれば、AI やロボットの導入を加速すべきだとの結論になりそうであるが、結果をどう捉えればよいのだろうか。

川口 大司：浜田教授のコメントについて、教育に関しては、本報告とは別に、ロボットが高卒の従業員及び大卒の従業員にそれぞれどう影響を与えるかを分析しことがあるが、ロボットの普及により、大卒者ではなく高卒者の採用が増加する影響が見られた。この結果は、ロボットと高卒者は生産プロセス、製造プロセスにおいて補完的に稼働している可能性を示唆しており、その機序について、もう少し調査したい。

ジョーンズ教授のコメントについて、インパクト全体は時間固定効果によって既に捕捉されているというのはそうかもしれない。また、ミクロレベルのアプローチのほうがマクロよりもいいのかもしれない。アグリゲーションの問題については、現在、よい解決法は思いついていない。

八代教授のコメントについて、まずは、ロボットの種類別の分析を行うべきであると考えている。その上で、すべてのロボットの合計値でも推計すべきかもしれない。外国人労働者に関して、カードの分布の分析によれば、流入は特定の地域に集中しがちであると指摘されている。例えばブラジルからの流入は、関東北部あるいは浜松といった、自動車産業の拠点とも重複する地域に集中している。わが国でもカードと似たようなアプローチを適用できるかもしれない。また、ロボットと外国人労働者は補完性があるかもしれない。というのも、自動車組立てラインの全ての過程が自動化できるわけではないからである。また、人口のかわりに労働者人口を用いてはどうかとの指摘について、確かに年齢構造には留意が必要であるが、生産年齢層と高齢者層の関係が明らかになっておらず、さらなる分析が必要かもしれない。

竹森教授から海外直接投資についての仕組みについてコメントがあったが、我々も同様の仮説を考えている。かつて、家電の製造では産業空洞化が起こったが、自動車の製造には自動化の余地があったために生産拠点が国内にとどまったのかもしれない。

齋藤教授の外国人労働者と出生率に関するコメントについて、もしロボットの普及が本当に出生率にインパクトを与えるならば、それは興味深い。その場合は、もしかしたら外国人労働者の流入と関係があるのかもしれないが、ただ単純に、国内で地方から都市へ人口移動しているだけの可能性もある。製造業の過疎地での活性化が、過疎地における人口維持においては有用になるのかもしれない。

篠崎 敏明：浜田教授のコメントにあったように、AI などの進展は、日本における教育の在り方を大きく変える可能性がある。コンピューター技術の進展への対応方針は国によって異なる。例えばアメリカは、中国やインドなど各国からの留学生を多数受け入れ、付加価値の高い情報通信産業を支えている。ただし、中間財として必要なプログラムやアプリケーションのうち、高度なスキルを持たずとも生産できるものは他国にアウトソーシング

しており、アメリカではそれらの中間財をパッケージとして集約することで最終財を生産し、世界各国に輸出している。そしてこのような仕組みを通じ、知財の使用料で稼いでいる。一方、日本はそうした明確な戦略をとっておらず、教育システムでも対策が十分ではない。もし、AI などに関連する産業を活性化するのであれば、コンピューターサイエンスの分野で、海外からの外国人留学生の受入れを促進するとともに、より多くの国内の学生に学んでもらう必要がある。その際には、単純な暗記や計算の能力を重視したシステムにならないようにすることが重要である。

齋藤教授から、AI などの導入により労働時間が減少するとともに正規雇用が増加するのであれば、導入を加速すべきという結論になるのではとのコメントがあったが、結果の取り扱いには慎重である必要がある。今回の分析は2種類のアンケート調査に基づくものであり、労働時間については、5職業の従事者からの回答に基づいている一方、正規雇用については、職業の限定されない管理職の回答に基づいており、並列で議論することはできない。

AI などの導入により労働時間が減少している要因について、解雇に伴うコストが高騰している日本の労働市場では、労働量の調整が労働時間の調整を通じてなされており、AI などの導入が労働量を減少させたという可能性がある。一方、AI などの導入により、正規雇用が増加している要因について、例えば、企業が最先端の技術を導入する際に、これらの技術に関してアドバンテージを持っている専門性の高い労働者を新規採用するという可能性がある。ただし、日本全体での代替と補完の影響の正味の大きさを推計するには、日本の産業全体にわたって労働市場を入れた推計を行う必要があり、結果の解釈には留意が必要である。

セッション 2：AI、科学的発見およびイノベーション

【報告】アジャイ・アグラワル トロント大学教授

「AI、科学的発見およびイノベーション」

通常の内生的成長理論では、イノベーションは、既存のアイデアのストックの関数であり、既存のアイデアから新たなイノベーションを作り出すと考える。毎回新しいアイデアが生まれ、それが新たにストックに付け加わる。そしてさらにそれが新たなイノベーションを生み出し、さらに具体的なアイデアのストックにつながっていく。

新しいアイデアは、既存のアイデアの組み合わせであり、潜在的にいろいろな組合せのセットがあると考えられる。既存のアイデアの考え得るオン・オフの組み合わせのベクトルと考えてもよい。既存のアイデアの数は膨大なものに上り、規模で考えると、分子の発見は 10 の 60 乗になる。同じくらいの規模で宇宙に存在する原子の数を考えると、膨大な組合せが考えられる。考え方としては、信じられないような検索空間があるといえる。

いろいろな仮説を立てる手法として理論がある。シミュレーションや予測、あるいは最近傍探索などである。だんだん目標に近づいたら、少し手を変えて模索することになるが、別の方法を採用する場合は、既存の方法の組合せも有益であり、それが AI である。私が今説明しているのは、理論にとどまらず、既に実践に移されている。目新しいものではあるが、マシンインテリジェンスを発見のために使うということ、これは創薬、あるいは新材料の発見や開発にも使われている。興味深い点は、幾つもの例で、チームを作ってマシンインテリジェンスを応用している。往々にして、その領域の知識を持っている人が一人もいないようなチームがある。いわゆる製薬に関するコンペで、化学とか生物学を全然知らないコンピューター科学者だけのチームもある。

既存の知識がアイデアのストックとなり、アイデアを様々な形で組み合わせていくが、組合せによって検索のスピードを上げる、あるいは検索空間を広げることができる。例えば AI を使って、どの組合せが成果を生むのか、どの分子が最も効果的にどのたんばく質と結合するのか、何か治療法、治療薬となるようなものを生み出せるのかを予測する。AI がこの適合度を見て、ランクづけを行う。いろいろな組合せを確率の低いものからランクづけをしていき、最も確率の高いものを、本当にそういう結果が出るのかどうか、予測した結果になるのかどうかを試してみる。

2つのステップに縮約してみたい。まずどの組合せが成果を上げ得るのか予測するのがステップ 1。ステップ 2 は、それが成功するのかどうかを試すという段階である。まず、潜在的な組合せの数を 2^A とする。A がアイデアの数であり、それを組み合わせしていく。アイデアというのは、使うか使わないかのどちらかで、 2^A である。D は、既に試行した組合せの数で既知である。成功したかどうかまだ試行されていないアイデアのプールは、 $2^A - D$ となる。G は、どれが成功するかはわからないが、これぐらいの成功がある

ということがわかっている、その成功の数である。成功する割合は、 $G/(2^A - D)$ となる。

ベースラインモデル、伝統的な科学的なサーチを2段階で考える。1段階目は予測の部分であり、組合せの成功の確率を予測する。2段階目は試行、検証を行う。そしてその上で、マシンインテリジェンスをショックとして導入する。これによって、この予測モデルの精度が高まる。方向性を理解する上でグラフにすると、縦軸が成功の確率で横軸はアイデアの順位付けである。1つの極端な例で、全く予測力がなくどれが成功するかどれが失敗するか全く識別できない場合には、ランダムなアイデアの組合せとなり、平均の成功の確率は $G/(2^A - D)$ となる。もう1つの極端な例は、100%の識別力がある場合である。成功と失敗を100%識別できると、ステップ関数を利用でき、1とGの間で、100%成功、残りは成功の確率ゼロというステップ関数になる。順位付けの関数はロジステック減衰関数である。これは予測モデルの正確度を示すパラメーター。bがゼロのときに確率は $G/(2^A - D)$ となる。これは一様分布である。bが無限大になると、このステップ関数に近づく。

2段階目に起きることはこの予測を行う試行の需要である。最適な試行の数としては、もう1回テストをすることの限界価値が限界費用と等しくなる最適試行数である。このスキームにおいて、最適試行数は、その組合せが成功するかしないかということに基づいている。これは、AIなしのサイエンスである。AIを加えると予測の精度が高まる。このシナリオの場合、最適な試行数が増える、つまり試行をする労働の需要が高まる。グラフでみた場合、AIなしの科学と、それからAIに支援された科学、この2つの限界価値の線がどこで交差するのだが、限界費用ラインの上か下かで、下流の試行回数が決まってくる。

この種類のイノベーションにおいては、試行を何回も繰り返して、1つの解を見つけるまで行うということである。私たちは全ての可能な試行をするのではなく、うまくいくものが見つかるまで、限界費用と限界価値が合致するまで試行を続ける。コストが制約要因であるときはAIの予測力が高くなり期待値が高ければ、試行の数は増加する。ただ、もしコストが制約要因でなかった場合に、解をより早く見つけることができAIによって予測値が高まれば、試行の回数は減る。つまり、この枠組みの中では、予測力が高まることによる試行労働の需要は、相対コストとベネフィットによって増減する。

いくつか指摘したい。第1に、探索のためにAIを使うこと、例えば創薬とか材料発見に使うということでは早い段階にあるが、次のイノベーションの波はクローズドループイノベーションである。つまり、AIが予測をして、ロボットが化学物質を組み合わせでテストし、その結果も学習する。AIにフィードバックをして、モデルをアップデートして、もう1回テストする。つまり全体のシステムがクローズドループとなり全部自動化されて、人間の参加がない。

第2に、このモデルが示しているのは、データ、すなわち私たちが今価値のないと思っている失敗した実験のデータの価値である。マシンインテリジェンスが予測をする世界の中で、モデルをアップデートするためには成功と失敗の実験が有用である。それによって、

将来の仮説テストの予測が改善される。現在の科学へのアプローチは、私たちが成功だけ発表して失敗は発表しないというバイアスがかかっている。これまでのモデルでは、成功を収めたアイディアが既存のアイディアのストックに入って、それに基づいて新しいアイディアが作られる、という成功の外部性だったが、ここで強調されているのは、2つ目の外部性、いわゆる失敗した実験の外部性である。

最後に、実証面では、このモデルはテストすべき予測をわかりやすく定式化している。AI へのアクセスの外生的な方法を探し、それを使ってマシンインテリジェンスがリサーチの生産性にどう影響を与えるかを検討することができるかと思う。

【討論】久米功一 経済社会総合研究所客員主任研究官

このペーパーでは AI の予測の仕組みに関しては、余り説明されていないが、予測がイノベーションにおいてどのような仕組みで機能するかを説明しており、予測の仕組みとイノベーションの関係を説明した、最初の論文と位置づけてよいだろう。

論文の方程式をフォローしたところ、結果そのものは、パラメーターの仮定に依存していると認識した。ペーパーは、開発プロジェクトを放棄するか中間段階に進めるかという2つのオプションを提供している。ただし、方程式のなかでどちらにもなくなる場合が生じているので、不確実性とコストに関する別の仮定が必要なのではないか。また、この関数の重要パラメーターの1つであるKについて解いてみたが、Kには上限があるかもしれないし、負の値をとるかもしれない。確信は持てないが、結果はパラメーターに依存することから、パラメーターの前提が足りないのではないか、あるいはパラメーターの細かい観測が必要ではないかと思った。それが第1のコメントである。

第2に、AI のインパクトをどのくらいとして予測できるか、推計できるかということで、例えば、日本の製薬業界を想定すると、AI のインパクトとして、初期の新薬発見の開発期間は平均4年と推計されている。業界による予測では、それより短い1から3年であることから、開発期間の短縮は予測マシンによって達成できると思われる。ただ問題は、臨床試験や新薬承認といった開発プロセスの後半であり、平均9年かかる。業界による予測では、それから1年縮められて8年となっている。予測マシンは、イノベーションの初期の段階は短縮化できるかもしれないが、開発プロセスの後半については、社会制度や承認プロセスといった予測マシンの外にある要因に対する考慮が必要になるのではないか。

第3に、論文における予測と試行は従来型のイノベーションの流れに沿うものと受けとめた。例えば、物質・材料開発（マテリアルズ・インフォマティクス）では、材料を合成し素材を評価して、そこから材料を統合するのが従来型の素材イノベーションの流れが、AI を用いることで、理想的な素材の合成を考えて、そこから具体的な素材を特定するという流れに変わっているようだ。AI がもたらすこうした開発プロセスの順序の逆転について、

どのようにモデルで説明できるか伺いたい。

4つ目のコメントは、一般論として、予測マシンは、クローズドループでしか機能しないと思われているが、製薬業界で見たとおり、プロセスは決してクローズではない。なぜならば、予測と治験との間での相互作用があるからである。だから、開発ループを閉鎖させるということはできないのではないか。また、たとえ予測に成功しても、なぜその予測が正しいかその成功の原因を特定できない。なぜならば、(私たちの判断ではなく) 予測マシンによってなされるからである。もし結果が誤っているのであれば、何らかの直観とか経験で判断しなくてはならないのかが、常にこの問題(起因の特定、credit assignment problem) があるのではないか。

【フロアとの質疑応答】

ロバート・ゴードン：AI が多くの試行を行い、予測の質についても改善を重ねていくという話があった。理論的な性質のものを実世界のいろいろな商品や製品に当てはめることができるのか。例えば創薬にかかわる実験を取り上げたい。これは重要な分野で AI は意味を持つ。ただ創薬は、単にマシンによる予測だけではなく、人間をベースとした予測、人間がそういう薬にどう反応するかということも重要な要素となる。創薬については、AI がこれだけ普及しているにもかかわらずコストは上がることについてはどうか。

竹森 俊平：AI が人間のルーティン作業をどうやって置き換えていくかの議論があった。だとすれば、AI が果たして経済学を置き換えることができるのかということも議論できるのではないか。予測の方法について幾つか言及されたが、1つは理論を用いる方法である。これは、経済学者に受け入れられる。しかし AI による方法は全く違い、データがあるが理論は持たない。1つの関数を当てはめてそして予測し、別の関数を当てはめて予測をしていき最善なものをピックアップするのだ。問題はどのようにしてこの関数を選ぶべきなのかを AI ではない、一般の人たちに説明するのが難しいことである。創薬の場合、例えば、がんが治療できるようになったとすれば、正しい予測ができたことは明白になるが、経済政策の場合には、予測にうまく適合するのでこの政策を選んだと人びとに説明しようとしても、正しい予測ができた理論を提示できなければ、理解を得ることはたいへん難しい。AI が発展して、予測のための関数を全部コンピューターで選んでいけたとしても、AI が経済学に置き換わるのが可能だろうか。

北村 行伸：AI に関しては、失敗事例から多くを学習できるので非常に重要である。何万という新薬開発のプロジェクトが失敗しており、1対1万の成功率であるので、これらの失敗したものを改めて分析するのは大変な労力がかかる。どうすれば失敗事例から学習するインセンティブを提供できるか、あるいは、企業にとっては重要な知的財産になるうる失敗事例をどうやってオープンにすることができるだろうか。

浜田 宏一：人間の知はそれほど強くなく、新しいものを発明するというのもめったに起こらないことだ。だからいろいろな分野で学習するわけだが、人間には限界があることを考えると、選択肢の幅が広がるのは我々の知的進歩にとっても有益だろうと思える。

応用例としてチェスや囲碁等がある。機械は人間が与えるもの以上のものは作り出せない。しかし新しい戦略が生まれており、碁でも真ん中にまず打たなくてもいろいろな戦略が次々に生み出されている。抽象的なものをどう機械に移しかえ、翻訳していくのか。芸術の世界、アートや音楽の世界で何が良いかという判断は難しいのではないか。

ロバート・オーウェン：学習とは、一定のマップ下での繰り返しである。これは応用的なイノベーションの特徴だと思うが、根本的なイノベーションとは、マップを変え、全く新しいマップを作ることだと思う。これについてどう考えるか。AI の知識の境界線、根本的な知識創造に関しての限度について教えていただけるか。

アジャイ・アグラワル：実際の応用として、たとえこの予測技術によって創業の第 1 段階について時間を短縮できるといっても、いわゆるフェーズの 1 から 3 までの 9 年から 8 年に 1 年だけ短縮できるだけだとの指摘だった。すばらしい予測マシンがあったとしても、その創業のプロセス全体への効果はそれほど劇的なものではないということ指摘された。2 点、申し上げたい。

まず、1 点目。恐らくこの時間の推計については正しいと思う。私としては特に異論がないが、重要なポイントを見逃していると思う。焦点を当てているのは、時間への影響ということであるが、成功の確率がある。成功の確率が有意に上昇するならば、創業の目標で治験まで持っていけるものについての確率が大きく上がる。並行していろいろなものを治験することができる。上市するまでの時間として 9 年から 8 年だけへの短縮だったとしても、成功の確率が高まれば投資の収益率も高くなる。

それから、予測が有益かどうかにかかわらず、なぜなのかということが説明できなければならぬとのコメントは、非常に興味深い点である。我々がいろいろなイノベーションの分野の人と話をしたところによると、説明できるかどうかということが重要になってくる場合はある。歴史の中では、ペニシリンやビタミン C など様々なものが発見されている。何かがうまくいくということがわかってくる、そしてそれを製造する。ただ、なぜなのかという理解する前にもう製造が始まる。AI によっていろいろな予測がより良くできるので、説明できないからといって使わないという手はないということだ。やがてはその答えも出るだろうということを見越して、ということである。

ゴードン教授からの提起については、コンピューターはあちこちにあふれているが、生産性の統計の中にはうまく出てこないということに尽きる。AI はすばらしいと言われるがなぜ創業の生産性が悪いのか、ということだろう。私を知る限り、ベンチャーキャピタルがこのような予測技術への投資を最初に行ったのは、たった 3 年前であり、時期がまだ早いのではないか。今の機械学習、あるいはディープラーニングが創業に適用されたのは、大規模なものとしては 3 年前が初めてであり、まだ始まったばかりでようやくシステム化

されつつある。あるシリコンバレーの企業が、最近、大学の研究者に賞を設けることになった。どのたんぱく質がこういう結果をもたらすということをAIによって予測ができる。受賞した研究者にサンプルを送り、研究者がいろいろ実験を重ねてトレーニングを行った結果のデータをもらえればよいということである。研究者達はいろいろな創薬のいろいろな予測を積み重ねているわけであるから、数年後、かなり生産性が上がるということになるかもしれない。

浜田教授からは、マシンインテリジェンスの利用について、予測の例としてチェスと囲碁が挙げられた。アルファ碁が世界のチャンピオンと戦った際、人間が今までとったことのない戦略を使った。このAIをトレーニングする際に、人間を相手にして戦って訓練しただけではなく、AI同士が戦って訓練をした。多くの人たちがAIをテストする場としてゲームを使うのは、定義されたルールがあって具体的に何を達成するかという明確な目標があるからである。AIはその目的を達成するための最適化を行う。AIのゲームの作業は、よく定義されており、実験をするときに学習を行う。利用や探索の部分はランダムな実験の繰り返しである。実験をした上で、それによってスコアが上がったかどうか、つまり、目的関数に対してスコアが上がったかどうかを見る。アートと音楽はゲームとは全く違う。ゲームだと勝つことが目的関数である。一方アートとなると、それほどきっちりと定義された目的がない。AIのトレーニングは、主に既存のアーティストを模倣することである。アートの場合のトレーニングは、AIが芸術作品を作って人間のアーティストと見分けがつくかどうかという形で評点をつける。

オールドマップとニューマップの話があった。マシンインテリジェンスとして活用されるのは実質的にトレードオフできる能力である。古いマップと新しいマップではなく、マップの探索された地域と、それからまだ未探索の地域に分けて考えてみたい。AIが何をやっているかということ、例えばこちら側は十分探索した地域だから、ここは高そうな場所であることが大体わかる。マップが余り探索されていない地域では、AIは最適化を行っている。よく探索された分野で成功率が高いところか、余り探索されておらず失敗する可能性もあるところの両者の間でのトレードオフである。科学者は、探索と利用のバランスを考えながら、未探索の分野でデータを構築していくのである。

セッション 3：AI と経済成長

【報告】チャールズ・ジョーンズ スタンフォード大学教授 「AI と経済成長」

AI が経済成長にどういう示唆を持っているのかを話す。単純な理論的枠組みを書き出してみたい。Acemoglu などによる自動化や経済成長のいろいろなモデルを見るとよくわかることだが、この領域はいろいろな可能性がある。AI については、多くのことが起こり得る。AI を組み込んだ成長モデルを構築する。AI はいろいろな財を作るのに役立っている。例えば自動化によって、労働ではなく資本でタスクを遂行することができる。また、AI はアイデアを練るのに役立っている。こうした概念を表せるように、成長モデルに AI を組み込んでいく。

2つの主要なテーマがあるが、第1は、AI を自動化のプロセスの延長線上にあると考えることである。自動化とは、以前は人間の労働でしかできなかったタスクが資本による遂行に換わることであるが、200 年も続いていることで目新しいものではない。自動織機、蒸気機関、コンピューターなど長い歴史の自動化の延長線上に AI があると考ええると、歴史を応用して、AI が経済に将来的にどういう影響を及ぼすのかを考えることができる。

第2は、このプロジェクトを手がけるまでは考えてこなかったことであるが、AI を Baumol のコスト病と結び付けて考えることである。Baumol のコスト病の例とは、モーツァルトのカルテットであるが、カルテットは技術が進歩しても4人で演奏することに変りない。すなわち生産性が非常に伸びる分野もあれば、伸びない分野もあるということだ。将来の経済成長には、我々が得意としているがゆえに制約がかかるのではなく、我々がなかなか改善できないが必須のものがあるがゆえに制約がかかるということである。必須のものがあれば労働分配率が下がらないかもしれない。

(Zeira のモデル)

いくつかのタスクによって生産が行われるという簡略化されたモデルを使って説明する。当初は人の労働でしかタスクを遂行できないが、自動化できるようになると、例えば織機、コンピューターあるいはロボットなど資本を投入してタスクを行うことになる。労働を資本に置き換えていくということは、この枠組みの中によくフィットする。最終的に、労働と資本を使ったコブ・ダグラス型生産関数 $Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}$ として示すことになり、 α はどのタスクが自動化されたかを示すことになる。新古典派的なモデルの枠組みに組み込んでいくと、長期の1人当たりの成長率は、全要素生産性の伸びを $1 - \alpha$ で除したものとなる。ここからわかることは、自動化が α を引き上げ、資本分配率を引き上げ、経済の成長率も引き上げることである。

Zeira はこの論文を 1998 年に書いたが時代を先取りしていたといえる。20 世紀を振り返

ってみると、自動化が進む中で労働と資本の分配率はほぼ一定であったが、資本分配率が最近になって上昇してきているので、Zeira の論文にもかなり関心が高まっていると思う。Zeira の論文を発展させていった他の研究では、成長率がなぜ上がらないのかという課題について、古いタスクがだんだん自動化されていくが、新しいタスクが新たに作り出されるということもあるとしている。古いタスクを自動化すれば、資本分配率が上昇するが、新しいタスクが出てくると、それが労働だけで遂行されるのであれば、労働分配率は低下しないということになる。非常に興味深い力学が働いているということになる。

なぜ成長がさらに引き上がらないのか、なぜ資本の分配率をもっと大きく伸びないのか、について、Zeira のモデルと Baumol のコスト病とを関係づけてみたい。農業は自動化が進み生産性が大きく上昇したが、農業の GDP に占める比率は下がっている。重要性の割合が減少しているともいえ、概念レベルでは、総和としてバランスがとれているのかもしれない。資本分配率が農業や製造業で上昇すれば、他を一定とすれば経済でも上昇することになるが、GDP 比に占める農業や製造業の割合が減る。2つの力が働いて、それが均衡をもたらしているのかもしれない。

CES 関数で考えてみたい。代替の弾力性は1以下とする。タスクはそれぞれ補完的、すなわちどのタスクも絶対に不可欠であるという意味である。 β を自動化されたタスクの割合とすると、 β の割合で資本を用い、 $1 - \beta$ の割合で自動化されていない労働を使っているタスクが残る、と定式化でき、最終的には、生産関数は資本と労働による生産関数に書き換えることができる。自動化の程度である β が増加すると、自動化により、資本がより薄くいろいろなタスクに割り当てられ、資本を枯渇させることになる。資本の分配率と労働分配率については、 β が増加するということは資本の分配率を引き上げると思うだろうが、資本の蓄積によって資本の分配率は逆に下がることになる。それが Baumol 効果である。代替の弾力性が1以下とは、どのタスクも不可欠であるということだ。希少であることがリターンを高くする。価格効果が支配し、資本がふんだんにあると資本の分配率は低下することになる。労働のほうが希少なので、さらに資本を蓄積することは労働の分配率は上がる。2つが逆の方向に動くということは、分配率が一定になるということにつながる。まだ自動化されていないタスクが一定の割合で每期自動化されたらどうなるか。もし β が1に近づくと、 $1 - \beta$ は低下し、労働の係数は幾何級数的に増加する。

例えば農業や製造業の経済に込める比率は下がっていくが、興味深いことにまだ GDP の3分の2を労働が占めている。これは Baumol 効果が起こっているわけである。労働によるタスクはどんどん縮小されタスクの1%だけになる。労働がタスクの1%だけになってしまっても不可欠であることから、労働の分配率は上がったままということだ。驚くべき結果だが、AIは良いものだということで全て自動化されても、必ずしも労働の分配率が消え去ることではないということである。我々が不可欠な仕事をしているとするならば、しかも資本の蓄積によって消え去れないということになるならば残り続ける、それが Baumol の洞察力の1つだと言うことができる。

シミュレーションをして自動化の道筋として β が 0 から 1 に上昇していくと、資本の分配率は 0 から GDP の 3 分の 1 ぐらいに上昇していく。タスクの 99% が自動化されていたとしても、資本分配率は 3 分の 1 である。また、別のシミュレーションでは、資本分配率は今の段階では上がっているように見えるが、長い目で見るならば、下がっていく。こういう枠組みではいろいろな可能性が考えられ、必ずしも資本分配率が 1 になるとは限らない。人類の終わりとは言えないということである。

AI とアイデアについて、アイデア生産関数を考えたい。アグラワル教授の論文にも取り上げられている、アイデアサイドの自動化である。アイデアのストックが A 、生産関数は簡便化のために資本を除き $A \times L$ とする。研究に関してはいろいろなタスクが必要であるが、より多くのタスクで労働を資本に変えていく。先ほどのモデルと同じだが、 β の割合で自動化していくとすると、CES 型のアイデア生産関数に変型できる。以前のアイデアは、新しいアイデアを生み出すのに役立つかもしれないという定式化を行う。CES 関数では代替の弾力性が 1 以下になるので、希少な生産要素がボトルネックになる。

(シンギュラリティ)

シンギュラリティに到達する手段はたくさんある。指数関数的に成長して有限期間で無限の所得増になるということは歓迎すべきことでもある。AK モデルにおいては、 A が一定であれば、指数関数的に成長する。 A が上昇すると成長率が爆発的に上昇するかシンギュラリティに到達する。アイデア生産関数で全てのタスクが自動化されるとする。CES 関数で全てのタスクを労働ではなく資本で遂行できたとすると、 $\dot{A}_t = K_t A_t^\phi$ の式で ϕ が 0 よりも大きければ収穫通増となり指数関数的な成長になる。微分方程式を積分すれば、有限期間における無限の所得増になる。モデル全てを書いてみると、いろいろな経路で到達線に到達することができる。シンギュラリティを到達するために必ずしも 100% 自動化が必要ということではない。アイデアが収穫通増をもたらすからである。経済全体として効用関数、金利や成長率など、我々が住んでいる世界ではそうっていないのだが、わからないボトルネックあるのかもしれない。自動化に限界があって全部自動化できないのかもしれない。探索の限界もあるのかもしれない。だから過去のアイデアが将来のアイデアになる、これが $\phi > 0$ のケースである。

アイデアを見つけるのが難しくなっている。十分にリターンを獲得できなくなるとシンギュラリティに到達できなくなるのかもしれない。実際に必須であるが自動化で改善できないようなことがもしあるとしたならば、それがシンギュラリティの制限になるのかもしれない。

最後に、Baumol のコスト病は、今まで思いつかなかった 1 つの興味深い点である。たとえ全部が自動化されたら、孫たちはどうするかということを考えてみる。過去 10 年でコンピューターが人間よりも勝負に強くなったが経済の主体として成長しているわけではない。ロボットが本当に人と見分けがつかないとしてもロボットのバレエダンサーを見ても楽し

めない。だから人に担やってもらわないと困るものは残る。それがタスクの中で小さな割合になるかもしれないが。病気になったときに、コンピューターに診断してほしいだろうか。本質的に自動化できないもの、あるいは自動化してほしくないものはあるのかもしれない。

この報告では、可能性の領域は、非常に豊かであること、またそれに対する制約要因について、幾つか取り上げた。最後に述べたいことは、この AI 自動化成長モデルと実証研究、これは本当にリッチな将来の研究分野であるということである。日本、韓国等自動化を進めてきた国でもいろいろな論文がある。自動化をどう進めるかというその方法で、AI をアイデア生産関数と捉えるか、財の生産関数と捉えるかという、そういったような細かい点でも変わってくる。

【討論】二神孝一 大阪大学教授

ジョーンズ教授は、成長理論の観点から、特に自動化をどのように成長モデルに導入するか、生産関数として CES 関数、コブ・ダグラス関数の話をされた。ジョーンズ教授が分析されたトピックはいろいろな分野に関わっており、いろいろな点をカバーされた。成長理論において何が残っている問題か、また、技術的な点についてコメントしたい。

1つ目として、有名な AI の1つにアルファ碁がある。アルファ碁は囲碁のチャンピオンに数年前に勝ち、これは全ての人にとって驚きであった。しかし、アルファ碁を運用するにはたくさんの電力が必要となり、かなりのコストがかかる。コスト効果をモデルに入れるとどうなるかは検討すべきであり、将来とても重要な点になると考える。例えば電力コストは日本ではとても高い。コンピューターサーバを自動運転のために導入するというのは、それほど簡単なことではない。一方、カナダでは水力発電の活用により電力コストはずっと低い。つまり、どの国にコンピューターサーバを置くかがとても重要な問題になる。

次の点は Acemoglu と Restrepo のペーパーに関するものだ。単純化したモデルの表現をすると、最終品を作るためのタスクについて、古いタスクは全て自動化され資本を使って行われ、新しいタスクは労働力を使う。新しいタスクの場合は労働が比較優位性を持っている。モデルの中では自動化されたタスクと、新しいタスクでまだ自動化されていないタスクがあり、イノベーションが起きると新しいタスクが生まれる。新しいタスクが生まれると、一方で一番古いタスクに関しては自動化されていき、資本を使うということになる。そのタスクに使われていた労働はなくなり、自動化されたタスクから新しいタスクに労働の再配分がなされる。こういう労働の再配分は通常の成長モデルで検討されている。このような再配分はとても重要であるが、現実にはこのような再配分は難しい。その理由は、これら古いタスクを担当していた労働者たちは十分な知識を持っていないので、新しいタ

スクを行うことができないため失業が発生する。この問題を真剣に捉えるべきである。

テクニカルなコメントとしては、ジョーンズ教授が提示しているシンギュラリティが有限期間の中に起きている例についてである。このモデルは興味深い。シンギュラリティというのは、 A_t が無限になるという美しい世界であり、このような世界が将来、有限期間に起きることを願っている。この点についてコメントしたい。このモデルは2つの方程式から成っている。1つ目はアイデア生産関数であり、 A_t^{φ} が過去の知識の波及効果、 K_t はインプットの役割である。2つ目は資本の蓄積に関する一般的なものである。Aの成長率はいつもKの成長率よりも高いとしている。

位相図でみると、Aの成長率がKの成長率よりも高い領域、Aの成長率がKの成長率よりも低い領域とに分かれる。でも、この関係が必ずしも成立するわけではなく、それによって、ジョーンズ教授の結果が変わってくるわけだが、次のような分析によると、ジョーンズ教授の結果は、変わらないということを示す。

新しい変数 χ を、 K_t 分の A_t として定義する。新しい変数を使って書き直すことによって、微分方程式を得ることができ位相図を使って分析することができる。位相図では、 χ が減る領域、 χ が増える領域がある。この議論をこのような形に変えることによって、ジョーンズ教授の結果は成立するということである。しかしこの点に違和感があった。Aは有限期間に爆発をするのかどうか。時間に関してはこの位相図からはわからない。そこで分析を変えてみた。 χ は無限に向かって膨らむので、 A_t 分の1という新しい変数 Z_t を定義した。有限期間中にAが無限に向かった場合には、この Z_t はゼロに向かうことになる。また $K_t \times Z_t$ という新しい変数 W_t を定義した。 Z_t は A_t 分の1なので、 W_t は K_t 分の1と同じであり、 χ が無限になると、 W_t はゼロに向かう。単純な計算をすると、2つの微分方程式が得られる。

このシステムは位相図を使うことによって、簡単に導くことができる。位相図では、Wが増加する部分とWが低減する部分がある。横軸にタッチすると、 $\dot{Z}_t$ がゼロになるが、それが有限期間中かどうか、ということである。横軸の線でZはとまらなければならない。 χ が無限に向かい、 W_t はゼロに向かわなければいけないので、ソリューションパスも原点に戻ることになる。ジョーンズ教授の証明は正しいと思う。しかし、この位相図でみると、Zは原点に向かわなければいけないが、WとZが動いていくスピードを考えると、かなり時間がかかりそうであるため、違和感があった。

チャールズ・ジョーンズ：方程式を楽しんでいただけたならば良かった。お詫びしなければならないのは、“やがて”というのが欠けていたことだ。そうすると、 K_t 分の A_t ということで、 χ が無限になるということはわかる。また、KがAより早く伸びるということになるとやはり無限になる。これが一定だとしても、やがては無限になるわけでさらにスピードが速くなる。AがKよりも成長が大きくなるZを見つけたのだが、問題はどのようにそれを示していくのかということだった。論文で私が行ったことは、2つの変数のより速い方を遅い方で置き換えていくということだった。

【フロアとの質疑応答】

塩路 悦朗：コンピューターが踊ってもそれを見たくないというコメントは、非常に示唆に富むものだと感じる。我々研究者は長い間、経済の生産サイドに注目してきたが、選好をどのようにモデル化するかということに時間を費やしたほうがよいのかもしれない。これは子どもたちの教育をどのように進めていくかということに関するコメントとも関連するのかもしれない。音楽の場合、それが同一の曲であったとしても、人間が書いた楽曲と思えば感動もし、お金を払っても聞きたいと思うかもしれないが、AIが作曲したということを知った瞬間に誰も聞きたがらなくなるだろう。病気にかかったときに、AIに、元気になる、大丈夫だよと言われても真実味がなく、人間に言われたほうが良いといった議論は大切である。こういった側面を考慮することで、モデルのインプリケーションも異なってくるかもしれない。

ジェシー・ロススタイン：労働の種類の違いを、このモデルに入れることは検討されたか。どのような労働のタイプが新しいスキルに関して比較優位性を持っているのか。例えばハイスکیل労働に比較優位性があれば、皆が想定している予測になるだろう。自動化が進めば、スケールリターンが高止まりして、労働分配率は同じかもしれないがハイスکیل労働者に集中が高まる。Baumolのコスト病では、それは間違った直感であるということが語られることになるのだろう。つまり、高い認知力を持っている人たちこそ、コンピューターに最終的に置き換えられる人たちであるということかもしれない。

齋藤 潤：この報告では、AIは自動化の延長としてモデル化されている。確かに両者にはいろいろと共通性があると思うが、違いもあると思う。AIは大量の情報やデータが必要になるので、その視点から考えると何らかの制約要因が出てくるのではないかと。利用可能性、あるいはアクセスということではデータにはやはり限界があるのではないかと。病気の診断へのAIの利用についてヒヤリングをしたことがあるが、それによると、特殊ながんの診断を行うためには日本のデータが必要だということだった。しかし、日本では医師のメモがデジタル化されていない、デジタル化されたとしてもアクセスできないという問題がある。プライバシーの問題もからんでいると思うが、AIの利用にはこうしたことが制約要因となるのではないかと。

岩田 一政：まず、代替の弾力性を労働と資本の間について見ると、一般論として、1未満と言われているが1以上のときもある。特に無形資産投資及び労働に関してそう言われることがあり、それは密接にAIと関わっている。もし代替弾力性が1を超える場合、このペーパーの結論は変わるだろうか。Baumolのコスト病もその場合でも変わらないのかということが1点目である。

2つ目は、シンギュラリティエコノミーについてである。この場合においても、労働分配率がある程度100%未満の分配率で維持されるということだが、極端な富と所得の集中が起きないか、それが経済の活力に影響を及ぼさないかである。

植田 健一：AI が最終的に新しいテクノロジーをもたらすのであれば、どのようなテクノロジーであるか。例えば資本省力型、もしくは労働省力型のテクノロジーか。

竹森 俊平：A の成長、アイデアの生産などによって、シンギュラリティにつながる奇跡を起こすだろうという仮説だ。人類の歴史において、何らかの技術の進歩によって、成長が無限大になるという楽観論が生まれた時期はあったのか。AI のどこが例外的で、人類の歴史の中で初めての展開を生んでいるのか。

ロバート・オーウェン：資本と労働の関係について、コストの役割は重要である、また労働と資本が補完的なのか代替性があるのかが経済の今後の軌跡を測る上で重要であるとの指摘は、その通りである。

チャールズ・ジョーンズ：我々はアルファゼロ、アルファ碁を称賛するのだが、アルファ碁は人間との対戦で育ったが、アルファゼロは人間との対戦は最初から考えていなかった。ということは、囲碁やチェスの戦い方について、AI は人間が考えてこなかった新しいものを生み出したということである。AI ならば新しいことを発明できるかもしれないということを生産関数で示すという最初のヒントが得られたのはそこである。コスト病については、何がこのプロセスを制約するのか、どんな理由であっても AI が代替できないようなものがあるのか、ということである。

この分野は非常に豊かな可能性がある。再分配の問題も出たが、製造業の労働者を看護師にするなどはなかなかできず、そのミスマッチが失業に結びつく。自動化によって、こういう可能性が出てくると思う。

長い目で見るならば、今は明らかにそうではないが、AI のほうが我々より優れているということになるかもしれない。人類のほうが、我々が期待していない分野でどんどん活躍するかもしれない。どれを重視するか、どれを自動化に回すのかということはおもしろい考え方である。何が我々の選好を決めていくかがこういう問題を見るに当たって重要になるかもしれない。

データの経済学の非競争性について論文を書いたが、我々が学んだのは、競争によって成長が飛躍していくということだった。ライバルがいらないということは、非常に興味深い意味合いが出てくる。例えば機械学習のアルゴリズムによってがんが検知できるとしたらどうなるのか。病院の中の 1,000 人の患者ではアルゴリズムは余りうまくできないかもしれない。全てのデータでトレーニングをすればより良く改善できるということである。規模の効果もあるしデータを広く共有することもできると思う。データの経済学、経済力学を導入していけば、興味深くなるかもしれない。

代替弾力性について、エビデンスとして 1 未満だろうということであるが、生産関数を憶測するのは難しい。幾つか無形資産を含めた推計では弾力性は 1 以上であるということも言われる。1 つのタスクを取り上げて考えてみると、代替の弾力性は資本と労働の間で最初はゼロであり資本と労働を代替できない。それから完全代替になる。イノベーション、自動化によってその代替弾力性の変化が推進されるということになるのかもしれない。代

替弾力性1未満として示したモデルについては、1以上の場合においてはシンギュラリティに到達するのがずっと楽になる。シンギュラリティは数学的に興味深いが、現実の参考になるとも思っていない。AI独特のシンギュラリティはあるかについては、イエスでもありノーでもあるという回答になるかもしれない。AIは特別である。論文で取り上げたことは、AIは単に自動化の最新の形態であり、自動化は何百年も続いているということだ。大量失業も発生していないし資本分配率が急に上昇することもなかったし、成長率が急変することもなかった。AIも今までの変化と同じなのかもしれない。だから論文では連続だということを指摘した。

新しいチェスの戦略、新薬発見、新しい作曲、あるいは文学の制作などにも取って換わるということであれば、美しい絵を見ると、あるいは小説を読んだときに人間が書いたか、コンピューターが書いたかということを気にするかどうかという点については、興味深い問いになろう。

パネル・ディスカッション：AI、ロボティクスは労働市場にどのように影響を及ぼすか？

【パネル討議】

ドナルド・ケンケル 米国大統領経済諮問委員会チーフエコノミスト

最初の発表でスライドを使用したので、スライドなしでコメントしたい。私は、今日一日、ニューヨークの馬の頭数とアメリカの経済への関係、20 世紀に起こったことを AI の影響に応用できるかなど、いろいろなことを考えた。

AI は会議のテーマとして非常に興味深いテーマである。インターネット検索で馬の頭数を調べてみたところ、1920 年がピークで 2,000 万頭だった。馬の育種が非常に盛んで、第一次世界大戦に備えていたということかもしれない。それ以降、馬の頭数は 950 万頭ぐらいに減ったようだ。昔は、週末、農家が馬を市場に連れてきた。農家は楽しみのために乗馬するわけではないが、今は富裕層が乗馬し競馬の持ち主になる。馬が新しい仕事を見つけたとも言えるのだ。農業人口が 41% から 2% に大きく減少したのには 1 世紀程度かかっている。農家の人たちも何か他の仕事、ほかの職業に移って比較優位をいわば活用して他の仕事を見つけたのである。

フランスの有名なエコノミスト、フレデリック・バステアが、良いエコノミストと悪いエコノミストの違いは、見える物に焦点を当てるのか、見えない物に焦点を当てるのかであると指摘していた。労働市場における見えない物とは、AI に切り替わることによってこれから新しく出てくるかもしれない仕事である。どのような仕事が今後現れるののなかなか見定めにくい、機械が次々に進出してきても、比較優位を人間が利用して、他に仕事を見つけることができるだろう。

労働者を再訓練して、どのように備えさせるのが非常に重要な点である。AI の帰結として労働には大きな変化が今後起こってくるだろう。ただどこまで我々が準備を整えているのかはあまり明確ではない。いわゆる市場の力によって、人間のスキルを補う資本ストックに投資がなされ、そして AI のスキルと人間のスキルが補完的な役割を果たす。技術変化によって必ずしも大量の失業、労働分配率の低下が起こるわけではなく、他の変化が起こり、それによって我々の生活水準もさらに向上していくと私は思っている。

竹森 俊平 経済財政諮問会議議員

経済財政諮問会議の政策提言にしばしば出てくる Society5.0 の概念の考え方は、恐らくこういうものだ。第 1 に、現代の社会において、コンピューターアルゴリズムが不可欠になっている。それでビジネス一般が稼働する。ドローンが三次元で飛び回っているが、その複雑な動きを迅速に管理するには、コンピューターアルゴリズムに頼るしかない。第 2

に、そのアルゴリズムの論理を誰もが知っている必要がある。一旦それを国民が理解すれば、自分とコンピューターシステムとの関わり方に気付く。コンピューターが諸事全般を動かしていること。コンピューターにデータがインプットされ、そこからアイデアが生まれて、それを受けとって取引がなされている、という仕組みを納得してもらう必要がある。第3に、法体系との整合性が必要だ。なぜならば、近代社会では日常の取引や経済社会的なやりとりは、法制度によって管理されているからである。論理が根底にある法制度と数理的アルゴリズムとの間に整合性があることが、社会の共通認識となったところで、初めてアーキテクチャーが確立したと呼べる。そしてそういうアーキテクチャーが基盤になっている社会。その中核にアルゴリズムがある社会、それが **Society5.0** ということになる。

データの問題が指摘されたが、特に医療分野において、ビッグデータが確保される必要がある。カルテのデータは、国民あるいはその患者本人ではなく医師が所持するものという固定概念が日本では強いので、患者がそのカルテの所有権を持つという認識にまず一歩進め、それによるデータ開放を通じて、たとえばゲノム研究プロジェクトを推進する。ゲノムを解読することによって、この患者は、こういう薬がこの年齢では必要になるといったことが予測できるようになる。

幾つか近時のデータをお示ししたい。日本のサプライサイドの潜在成長率を見ると1%である。2014年以降の部分を見ると、第1にTFPの伸び率が低下している。第2に労働投入が増加している。生産年齢人口が大幅に減少し過去5年間で500万人分の生産人口減少があったにもかかわらずである。増加した労働力は、生産年齢人口以外の高齢者及び女性であり、一旦やめて家庭に入った女性が労働市場に参入してきたわけだ。本日はAIが労働力に換わるということをしつと議論していたが、日本の労働市場では、高齢者や女性が参入して、むしろ逆の展開になっている。川口教授の指摘の通り、政府の課題として、女性労働者に対する教育を充実させなくてはならないだろう。

そのためには生産性を上げる必要がある。1995年頃の生産性まで引き上げたいのであれば、AIへの投資、ロボットへの投資も必要だ。また、高齢になっても働き続けてもらうということに政府は取り組んでいる。つまり定年延長であり、こういう必要が大きくなっている点が、欧州と日本の大きな違いである。日本では退職すると、一人ぼっちになって、鬱になる場合が多いが、70歳まで働くということができれば、その問題が緩和されるかもしれない。

企業部門の投資は近年増加している。TFPが落ち込んでいるにもかかわらずである。これもAIの牽引する現象の1つとしてよく指摘されている。他方で、投資の中でAIの比率がかなり占めているのかもしれないが、それにも関わらずTFPは年々低下しているというパラドックスがある。もう一点、日本でもスタートアップ企業数は増加している。アメリカに追いつきつつある。日本ではその多くが小売ビジネス、AIビジネスである。他方アメリカでは、スタートアップが大手企業に吸収されたり、スタートアップの設立とM&Aが同時並行で起きたりしている。日本ではそこが遅れておりM&Aの件数が伸びてこない。

希望を持って起業する人は増加しているが、まだ大企業に吸収されるまでは至っていないということである。

ジェシー・ロススタイン

人々は新しい技術が労働にどういった影響を与えるのかを心配しているが、昔は機械化によってどうなるのかという心配が持たれていた。私のコメントのテーマは基本的に当時のものと変わらない。50 年代、建設現場では何百人の労働者が仕事をしていた。今は数十人程で、資本が多く使われている。技術を取り入れて労働者を置き換えてきた。コンピューターも、昔は何百人もがアルゴリズムの計算をしていた。そして今、1 つのコンピューターで計算するようになった。これが AI である。

アメリカの雇用のうち、農業、鉱工業、建設、製造業のシェアが 1950 年は 50% 程度だったのが今は 15% を切っている。財を生産するセクターから他セクターにこの 50 年間で雇用が移った。これから数十年かけてアメリカの雇用の 50% は潜在的に自動化可能だという指摘もある。過去にも起きたことで今後も起きることが技術の変化の性質である。

私たちが考えるべきは、AI とロボットの労働市場に与える影響であるが、労働者の再配分が必要である。今まで人が必要だったところにコンピューターが入ってきたわけだが、他のセクターに人を移していかなければいけない。コンピューターができない新しいサービスは今後にも必要になるだろう。例えばマッサージ、パーソナルトレーナーなどは自動化が難しい、ということにより価値が出てきた。

大事な点は、皆がより豊かになるということである。ロボットが今まで人間が行ってきた仕事を置き換えてくれば、ロボットのほうが人々よりも能力があるので、社会としては全体のアウトプットが上がる。この転換をどのように管理するかが問題である。労働市場では、ある職種に関しては需要が減るが、他の職種に関しては需要が高まってくるだろう。低いスキルへの需要がなくなりより高いスキルへの需要が高まると思われるかもしれないが、必ずしもそうではないかもしれない。衰退する職種に関しては賃金が下がり、労働者は他の職種に移っていくだろう。人の移動は難しいが、長期的には他の職種が労働者を必要とすることによって相対賃金は変わってくるだろう。なくなる職種だけではなく、それに代わる職種に関しても相対賃金が変わっていく。

労働者の中には、スキルの価値が低下していく人たちがいるだろう。その労働力に関しての需要は減るだろう。一方、自分の労働力に関して需要が高まる人たちも出てくるだろう。でもこれは新しい現象ではなく既にあったことだ。格差が大きくなるというのは本当の問題であり、どう対応するのかということを考えなければならない。

2008 年から 2018 年までの職種の詳細データを見て、どの程度の職種が減り、それによりどの程度の雇用が絶対数でどれだけ減ったか見てみた。労働力は増えているが、一部の職種は減っている。実際に減ったのは、アメリカの雇用の 2.8% である。さらに 10 年先を見るとその雇用喪失は少なくなる。一部の職種に関して、これから 10 年間、より雇用が失

われる可能性があるが、今のところデータではそれは見えていない。

私たちが考えなければいけないのは政策対応である。ほかの格差の台頭と同じ対応である。衰退しても一方で伸びてくるセクターがあるので、この移行がより簡単になる。このロボット化の影響は、再分配的な移転で皆豊かになる。でも、富の多くがロボットの特許を持っている人たちに落ち、置き換えられた人たちの取り分が減るということになるので、ロボット化に対応するためには例えば賃金サポートや直接移転等の方向性を考えていかなければいけないだろう。しかし、これはほかの格差拡大の対応策と違う訳ではない。

清家 篤

高齢化の時代の今後について、多くの人たちは第4次産業革命との関連で議論をしている。そこに共通にある考え方は、いわゆる破壊的な技術が出現し、これが社会を変貌させるということである。とりわけ雇用を急速に変貌させていくという議論においては、AIやロボティクスも含め省力型の技術が仕事の喪失につながるのではないかと心配されている。しかしこれまでの産業革命の歴史をひもとくと、幾つもの好循環が見られた。生産性の向上による価格低下で需要は大きく増え、それによって雇用も増えるということだ。新しい技術は必ずしも雇用の総数を減らす訳ではない。他方で歴史を振り返ると、破壊的、非連続的な技術が仕事の質や中身に大きな影響を与えてきた。こういった傾向は今後も続き、労働者が必ずしも必要とされない分野も出てくるだろう。一部の仕事はAIやロボティクスに置き換わり、人間にしかできないことだけを人間が行うようになっていくだろう。

ではこれからの時代に人間にしかできない仕事とはどういうものか。ロバート・ライシュは、2つの種類の人間がこれから大きく需要されるだろうと予測した。それはオタク（ギーク）と、精神分析医（シュリンク）だという。オタクは新しいものを作り出す。ソフトウェア、サービスなどで全く新しいものを生み出す、男女を問わず独創性のある人々である。精神分析医は、最も深いところにある人々の欲求、人々自身も気付いていないようなものを探り出す、想像力豊かな男女である。他にも人間にしか出来ない仕事はいろいろあると思う。例えば、製造業ではカスタムメイドの機械を作ること、サービス部門においては個人のニーズや欲求に臨機応変に応えられるようなサービスを提供することである。医療サービス、介護、教育、観光などで臨機応変の対応を必要とする高度なサービスは残っていく。こういう多くの仕事について、日本中に国際競争力を持つ人々は存在する。

日本の人口高齢化は世界でも例のないスピードで進んでいる。とくに高齢者の中でも75歳以上の人々の比率は急速に高まる。人口高齢化の進む中で、女性と高齢者の労働参加率を引き上げることによって、少なくとも労働力の減少を最小限に食い止められるだろう。急速に進む高齢化の問題に対処するために極めて重要なのは高齢者雇用を促進することだ。より多くの高齢者が現在の退職年齢を超えて働き続けることになるならば、それは経済成長の大きな原動力となるし、1人当たりの社会保障負担を下げることににもなる。高齢者の

労働力参加率は、健康状態に大きく依存している。医学や生命科学における新しい技術の活用によって、高齢者の健康状態を大きく改善することもできるだろう。また中高年層は、家族の介護のために不本意に仕事を辞めなければならないこともある。その意味で介護ロボットの導入は、介護士や看護師の不足を補うことになり、家族の介護のための中高年層の不本意な退職を減らすことにも貢献すると思われる。

最後に大学の役割について触れたい。人口高齢化に大学は大きな役割を果たせると考えている。大学の役割は研究と教育に分けられる。まず、研究面では、健康や新しい技術の発展、イノベーションに貢献することである。最先端の研究によって、自然科学や生命科学の分野では直接的に技術革新は推進されるし、また社会科学や人文科学の分野でも技術革新を社会に展開する条件の整備に資する知見を得られる。

大学は教育にももちろん重要な役割を果たす。生産性向上から人々に利益をもたらす方法の第1は、生産性向上から得られた利益を金銭的に再分配することである。第2は、技術革新によって多くの人々が生産性向上に寄与して賃金上昇という恩恵を受けられるようにすることである。より望ましいのは2つ目の方法だと思うが、それを実現するために、人々には新しい技術に適応できるよう能力を高めていく手立てが必要である。その1つはリカレント教育である。もう1つはどんな新しい技術に対しても適応できる潜在能力を高めることである。その意味で大学は学生に対し、自ら考える能力を与える場を提供できる。この点で学生も自ら研究を行うことで、自分で考える方法論を学ぶことは大切だ。

新しい技術は、AI、ロボティクス、生命科学も含め益々大きな進歩を遂げていき、そのスピードはさらに早くなるかもしれない。重要なことは、このプロセスを止めるのではなく、技術を適用し社会の福利厚生改善につなげ多くの人々が技術革新から利益を得ることでこれを支持する方向に持っていくことである。それによって人類の福利厚生を、とりわけ高齢化社会の中で、高めることになる。このようなウィンウィンの関係を技術革新と高齢化との間で実現するためにも、大学は大きな役割を果たせると考える。

【討論】

アラン・アワバック：日本、そのほかの国の経済が変革期にある。日本では高齢化が進展しており、また、新たな技術進歩の波によって変革がもたらされている。製造業の分野では雇用が減っているが、個人が消費者向けサービスの分野に移動している。教育の問題としては、いろいろな種類の技能がこの新しい経済では必要になってくる。

スキルには知識だけではなく社会的なスキルがあり、むしろそちらのほうが個人として消費者と接触するような職業においては重要性が高いかもしれない。そうすると教育制度の課題が浮き彫りになり、順応性が課題となる。

人間にしかできない仕事とは何かと考えていた。次回の会議に出席するのはほとんどが

人間であろう。もちろん遠隔で意思疎通できるようになる技術的な進歩はあるが、人間のセッションが全面的には代替されないということである。

竹森 俊平：日本において生産年齢人口が減っている。ヨーロッパの多くの地域では、例えばフランス、イタリアにおいても、確かに生産年齢人口は減少しており若い労働者の数も減っている。それでも日本とは異なり、失業率が高い。日本の今年の雇用市場ジョブマーケットは非常に活況である。まるで経済が活況のように思われるが、実際の成長率は1%未満に過ぎない。今日のセッションの中で、AIを経済にもっと導入することを反対した人はいない。AI導入は、人材不足への対応策として重要度が高い。実際、日本のジョブマーケットは逼迫している。若い労働者が少ないためと指摘されるが、欧州などでは必ずしもそうならない。

ジェシー・ロススタイン：アメリカの視点からすると、十分な仕事がないと同時に人手不足の問題もあると思う。両方とも問題になり得るが、十分な労働者の数がないとするならば、技術の進歩は、もっと早く進められるべきなのかもしれない。いろいろな問題がなくなるかもしれない再分配の問題もそれほど大きくはなくなるのかもしれない。問題は、生産性の向上が見られないということなのかもしれない。

清家 篤：ロススタイン教授は、新しい技術によって所得格差は拡大するかもしれないということを示唆された。格差に対応する政策も提言されており、そこで教授のベーシックインカムについての考え方を伺いたい。

ケンケル委員の馬のたとえはとても面白い。騎兵隊は第一次世界大戦までは馬を使っていた。その後第二次世界大戦で馬に変わって戦車となり、今はヘリコプターである。ツールは馬から戦車へそしてヘリコプターに変わったが、兵士という職業は残っている。彼らには、自分たちの職業はツールは変わっても存続するだろうと信じる何らかの根拠を持っているのだろうか。少なくとも過去の技術変革においては、多くは道具を変えることによって仕事は続けられたが、今はそうはいかなくなってしまうのではないかとことを人々は心配している。それについての意見を伺いたい。

第一次世界大戦の直後に設立されたILOは、今年で100周年を迎える。ILOは100周年記念の行事として、仕事の未来世界委員会を設立した。その提言で、3つの分野における投資を提言している。1つは人的資本投資、もう1つはディーセントな持続可能な雇用への投資、そしてもう1つは仕事に関わる制度への投資、つまり労働基準、労使関係、雇用主と労働者の関係についての制度や戦略への投資である。竹森教授も指摘された通り、新たな技術の時代が到来する際に、新しいルールが必要になるかもしれないし、それに対応する新たな制度が必要になってくるのかもしれない。その意味では倫理、法務、そして社会的な側面を第4次産業革命に関して考えなくてはならないのかもしれない。どういうルールや規制がそういう新たな状況にふさわしいのだろうか。

ジェシー・ロススタイン：私は数カ月前に、ベーシックインカムについての論文を共著で書いた。そこで主張した点の1つは、雇用が多過ぎて、そして雇用が少な過ぎる、2つの

問題が両立することはあり得ない、ということである。アメリカにおけるベーシックインカムに関する議論は、技術が変わってこれだけの労働者が必要なくなるのだから、制度を作って人々が仕事をしなくても暮らせるようにしようというものだ。アーンドインカムタックスクレジットは、仕事をすることによって初めて助成を得られるものである。アーンドインカムタックスクレジットは、労働供給を増やすことを目的としているが、ベーシックインカムの目的は労働供給を減らそうということである。両方同時に行うのは合理的ではないと思っている。ベーシックインカムにどれぐらいコストがかかるかと計算すると大変お金が必要だ。それは今の段階で現実的ではない。

物を製造している産業で雇用が減っているが、組合比率が高かったのが製造と建設で、その産業が基本的になくなっている。大事なのは、生産性から得た利益を、新しい産業でそこで働く労働者とシェアをすることである。

ドナルド・ケンケル：技術変化と職業について興味深いポイントを指摘していただいた。今や戦車にヘリコプターが取って換わっている。AI についての考え方として有益なのは、職業ではなくタスクとして、人間は何ができ、AI は何ができるのか考えるということである。職業のラベル表示を変えるということになるのかもしれない。医学では、50 年後、診断については AI に任せ、医師の役割は患者にいろいろなことを伝えていくということになるのかもしれない。これも長い歴史のなかでは目新しいことではないと思う。もう 100 年も前になるが、医師の役割は採血であった。医師という職業も変わってきているのである。

新しい制度作りは、確かに大きな課題になる。移行期に特に規制部門が移行について邪魔しないということも必要である。規制の枠組みを考える場合には、かなり思慮深く考えていかなければならないだろう。安全面は考えつつ AI にある程度許すということであろう。多くの場合、私の同僚たちも極めて心配しているのは、プライバシー情報の懸念である。どこまで我々は明け渡すのか。情報というのは、実は大きな公共財である。AI やアルゴリズムは我々からいろいろ学ぶ。AI が学べるようにしていく環境も作るという課題もある。

アラン・アワバック：今日の議論では、プライバシーに関する心配について議論し規制についての懸念も取り上げたが、技術進歩が成果として何をもたらすか、経済の変化とどう対応するかということに関しては全体としてポジティブな反応があったと思う。一般的な世論の議論を考えてみると、例えば、ライドシェアリングのサービスはアプリによって普及しているがそのサービスに関していろいろな反応がある。アメリカ国内、また幾つかの欧州諸国において規制が導入されている。ロボット使用に対する課税の案もある。今日の議論では取り上げられてこなかったが、忘れてはならないのは、この社会緊張がこれらの技術進歩に伴い起きているということである。ラッドライト運動に関しては別に新しいことではなく、破壊的な技術変革があるとそれに対する強い抵抗が発生するのは常である。しかし、規制を最もふさわしい形に設計し、技術進歩が恩恵をもたらす側面を阻害しないよ

うにするかということについて考えていかななくてはならないのではないかと。

【フロアとの質疑応答】

齋藤 潤：今後の格差拡大への対応策について、ロススタイン教授、清家教授にお伺いしたい。私は、この問題を、ある種のインポッシブル・トリニティーの下での選択として捉えている。アメリカはイノベーションおよび「小さい政府」を選んで、平等な社会は選ばなかった。これに対して、北欧諸国はイノベーションと平等な社会を選んで、「小さな政府」を選ばなかった、ということではないか。ロススタイン教授は、格差が広がっているから再分配が必要だと指摘されたが、それは「大きな政府」に向かうということか。この問題に対しては、「小さな政府」の解決策はないのだろうか。一方、清家教授は、訓練、教育と包摂的な成長の重要性を指摘された。それは、「小さな政府」を前提にしているように思えるが、格差を抑えるためにはそれで十分なのだろうか。

浜田 宏一：AIの課題は、コンピューターに詳しい人々の数を増やすことではない。自動運転等のために運転手が阻害されていくのではなく、どうコンピューターやAIをコントロールしどのように恩恵を受けていくのか、ということだ。教育制度についても、より自発的なそして想像力豊かな学びにつながらなければならない。中年の経営幹部層の考え方や見方を変えることが必要と思う。イノベーションを創造するためには、自分が今取り組んでいる分野以外の様々な分野のいろいろな論文など学ぶ必要がある。アメリカのリベラルアーツ教育では、他の専門家の話を聞きに行くことできる。

最後に、GDPについて、労働力人口が減少しGDPの伸びは鈍いとの指摘があった。GNIで見れば、経済のパフォーマンスはそれほど悪くないとも言えるかもしれない。

アニル・カシャップ：ロススタイン教授の指摘については、理にかなった説明はつくと思う。失職する人が大勢いるのに職を埋める人数がいらないということについては、アメリカでコンピューターを使えない人は雇えないということである。教育は底辺の人達の面倒を見ることについては不得手であり、政治制度も再分配の面からその人達に対して同情心が薄い。学習してこなかったのではないかとという理屈により彼らは周縁化されてしまう。そういう人たちが、技能を持っていないために順応できずに取り残され、それが社会の分断の溝を深めてしまうということは、大きな課題である。ベーシックインカム制度はお金がかかってしまうし、システムとして支持を取りつけておくことはできないと思う。ただ、明らかな敗者が取り残されているというような現象がある。

渡辺 努：清家教授はAIの高齢化へのポジティブな側面を説明されたが、私の理解では、AIの生命科学の応用によって、私たちはもっと寿命が長くなる可能性がある。そうすると高齢化はより難しい問題になる可能性がある。

ここでのほとんどの議論は、AI革命が、外因性のショックであるという仮定に基づいて

いる。でも内因性の側面もあるのではないか。例えば生命科学について、倫理的な理由から AI の応用を一部の分野で規制をかけていくということは、内因性である。つまり全てが外因性であるとは言えず、一部の側面は内因性があるということである。

白塚 重典：急速に技術が進歩する一方、人口減少が今後加速していくという問題に対しての質問である。人々は長生きになるので、だからこそ高齢者を活用しなければならない。そして再教育し高い技術に追いついていかなければならない。また、そうした人的資本の再配分も必要になってくるだろう。ただ、日本には、例えば企業の終身雇用といった経済システム固有の問題もあり、即座に適応するのはなかなか難しい。今後、どのように対応していったらよいと思われるのか伺いたい。

ロバート・ゴードン：ロススタイン教授は職業別研究として労働力に比べて職種ごとに 2008 年から 2018 年まで減っているか、増えているかを調べ 2.8% という数字を出した。それと対比して、フレイとオズボーンの予想は 20 年間で 47% の半分、言い換えると 23.5% の職が 10 年でなくなるとのことだったが、ロススタイン教授による実際に失われた職の研究に比べると 10 倍の値であった。また、全ての世界中の設備投資のうち、今日のテーマであるロボットはほんの小さな割合でしかない。伝統的な自動化、ベルトコンベア、エレベーターなど伝統的な設備にこそ、人の労力に代替して機械が入っている。AI も大体ロボットと同じぐらいの割合での影響でしかない。第 4 次世界革命というのをやめたらどうかとも思う。

アジャイ・アグラワル：データの共有をすることのメリットを考えたい。AI が訓練を受けると、ある意味では自然独占につながる。より良い AI はユーザーが集まりユーザーがデータをつくり、より多くのデータがより良い AI につながる。多くの地域において、セカンドベストのサーチ AI を使う人たちは少ない。毎回、私たちがグーグルを使うたびに、グーグルは文字列で、私たちが何を見たいかということ予測し、いくつかのリンクを出す。私たちがリンクをクリックすることで、さらに彼らの AI をトレーニングしている。つまり多くの人間が使うことが、彼らの AI の強化につながっている。

同じことが自動運転でも言える。幾つかの企業がこの分野で競争しているが、自動運転が可能となったときに、どの規制当局が最終的にイエスというのか。そしてセカンドベスト、サードベストの AI は自動運転を認められず自然独占につながるということではないか。これは医療診断でも同じことが言える。今、複数のグループが乳がん等の研究を行っているが、一回それが完成したらそれを皆使いたいと思うだろう。多くの人たちが使えば、AI がどんどん改良されていく。つまり、このテクノロジーは自然独占につながる。そして予測の限界コストはゼロである。どこかのマーケットで垂直的に差別化されて様々な違う AI があるというわけではない。そうすると、潜在的には介入をするメリットがあるということである。例えば、診断などには、セカンドベストの診断など使いたい人はいないだろう。数少ない企業の中の 1 つだけが使われることになるのではないかと思う。

ピーター・ドライズデル：今後どういうことに対処しなければならないのか。ジョーン

ズ教授が非常にエレガントな発表の中で表明されたように、反復して起こってきている問題だということは言えると思う。ロススタイン教授の政策の処方箋、すなわちマクロ経済を適切に運営し、社会保障制度を充実させて調整のクッションとさせ移転政策をとる、ということは適切であると考ええる。それだけではなく、清家教授が明快に指摘されたように、教育制度を必要としている人々が生涯を通じてよりアクセスできるようにすることや、社会保障制度も重要だ。我々が政策の枠組みを作っていく中で、誰が良い政策をとってきたのか、アメリカで行われた研究をさらに広げていただきたい。

ジェシー・ロススタイン：多くの興味深いコメントが出た。技術的変化による格差への影響は、労働市場の格差というよりは知的財産権によるかもしれない。政府としては、それらのレントの分配に関してはコントロールできる方法があると思う。レントの分配をどうするかは、小さい政府とは何かを考えることであるかもしれない。自動運転を最初に発明した人は、特許をとって全てお金を手に入れるだろう。そうではなくより広く入手可能にする、一番良い検索エンジンを開発する、多くのデータにアクセスしてAIに学習させる、という考え方のように、小さい政府と一貫性のある形で再分配を行う方法を考えることもできるかもしれない。

竹森 俊平：日本の教育について質問された。日本の制度は、以前は終身雇用中心で、社内での訓練、OJTを重視していた。大学の役割とは基本的に、学生の質についてのシグナルを送ることだった。大学の学部を選択するときは教育内容を重視する。他方、企業に入ると大学で受けた教育を忘れてしまう。かつては社内で訓練を受けて昇進をしていたのだが、今は45〜50歳位の人々も会社をやめて他の仕事を探すようになっており、転職市場が非常に活発になってきている。仕事を辞めた人材を、再教育し再訓練することが大学の役割ではないか。AI、ITなどの新しい技能を身につけ、他の仕事を探すという方向に変わるだろう。

清家 篤：再分配は教育と訓練という形で行うべきだということに賛成である。政府の教育及び訓練に対する財政支出は不十分であり、高齢化の中でどれほどの規模かはともかく、教育や訓練に対する財政支出を増やすべきだと思う。外生性、内生性の問題、そしてまた人的資本の再分配の問題への御指摘も非常に重要で興味深い論点であると思う。

(参考) 発言者一覧**

岩田 一政	日本経済研究センター理事長
植田 健一	東京大学教授
ロバート・オーウェン	ナント大学教授
北村 行伸	一橋大学教授
ジェニー・コーベット	オーストラリア国立大学名誉教授
齋藤 潤	国際基督教大学客員教授
塩路 悦朗	一橋大学教授
白塚 重典	日本銀行金融研究所長
スティーブン・デイビス	シカゴ大学教授
ピーター・ドライズデール	オーストラリア国立大学名誉教授
浜田 宏一	イエール大学名誉教授
星 岳雄	スタンフォード大学教授
チャールズ・ユウジ・ホリオカ	神戸大学教授
八代 尚宏	昭和女子大学特命教授
デビッド・ワインシュタイン	コロンビア大学教授
渡辺 努	東京大学教授

** 本稿において、発言記録のある出席者の一覧（登壇者を除く。所属等はコンファレンス開催時のもの）。