

なぜ、未だにこれほど多くの仕事が残っているのか?職場の自動化の歴史と展望

この 2 世紀の間、自動化と新しい技術が中産階級の多くの仕事を一掃するだろうと、事あるごとに警告されてきた。最もよく知られている初期の例は 19 世紀初頭のラッドライト運動であり、イギリスの織物職人のグループが、一部の機械の破壊を目論むことにより、織物生産の自動化に抵抗した。あまり知られていないが最近の例は、1961 年 2 月 24 日のタイム誌で記事になった「自動化が仕事を奪う」に関する懸念である。

効率的な機械の登場で失われた仕事の数は、この問題の一部にすぎない。多くの仕事の専門家が更に気に病んでいるのは、自動化によって、いつまで経っても経済が新しい仕事を創造できない可能性のあることなのだ…。業界全体に、より少ない従業員数で、より多くの生産を行う傾向がある…。工場で失われた仕事の多くは、サービス産業やオフィスでの仕事の増加によって相殺されている。しかし、自動化はオフィスの仕事にも押し寄せ、それを奪い始めている。…以前は、新しい産業は、失業した人々よりもはるかに多くの人々を雇用していた。しかし、これは今日の新しい産業には多くの場合、当てはまらない。…。今日の新しい産業では、未熟練者または半熟練者が対応できる仕事は比較的少なく、彼らは単に自動化によって仕事が奪われている労働階級にすぎない。

1950 年代から 1960 年代初頭にかけての自動化と失業に関する懸念は非常に強く、1964 年にリンドン B. ジョンソン大統領は、「技術、自動化、経済発展に関するブルーリボン国家委員会」を発足し、その任期中に生産性の問題—特に、生産性が急速に向上しているため、それが労働需要を上まわる可能性があるという問題—に取り組んだ。委員会は最終的に、自動化が雇用を脅かすことはない結論づけた。「このように、(他の形態の経済変化と併せて)技術の変化は、失業によって影響を受ける確実な場所、産業、人々の重要な決定要因である。しかし、商品やサービスに対する一般的な要求レベルは、影響を受ける人数、失業状態にある期間、労働市場への新規参入者が仕事を見つける際の困難さを決定する、群を抜いて重要な要因なのである。基本的な事実、技術が労働ではなく仕事を奪うことだ(ポーエン、1966 年、9 ページ)」しかし、ある新聞(ヘラルド・ポスト紙、1966 年)が「各家庭の最低保証収入、慢性的な失業に対する雇用の切り札として政府を利用すること、コミュニティ・カレッジまたは専門学校での 2 年間の無料教育、完全に管理された連邦雇用サービス、及び連邦準備制度本部から干渉されることのない地域経済開発における各連邦準備銀行の財政支援」と報道しているように、委員会は技術的な混乱という現実を、勧告するのに充分なくらい深刻な事態だと受け取っていた。

このような懸念は最近、目立つようになった。広く議論されている本「第 2 の機械時代」の中で、MIT の学者であるエリック・ブラインジェルフソンとアンドリュー・マカフィー(2014

年、p.11)は、自動化が雇用に及ぼす可能性のある影響の心穏やかならぬ青写真を提示している。

コンピュータがより強力になるにつれて、企業がある種の労働者を必要としなくなるという事実に起因して、急速な、しかも加速しているデジタル化は、環境的な混乱よりも経済的な混乱をもたらす可能性がある。技術の進歩が急成長するにつれ、一部の人々、更には多くの人々はその進歩についていけなくなるだろう。これから説明するように、特別なスキルや適切な教育を受けた労働者になるのに、これほど絶好な機会はこれまでなかった。というのも、こういった人々は、価値を生み出し、獲得するために技術を使うことができるからだ。しかし、コンピュータ、ロボット、及びその他のデジタル技術は一連のスキルと能力を並外れた速度で習得しているため、"通常の"スキルと能力だけでやり過ごす労働者になるのに、これほど最悪な時期もこれまでなかった。

明らかに、過去 2 世紀の自動化と技術の進歩は、人間の労働力を時代遅れなものにしたわけではない。20 世紀を通じて、女性が家から市場へと移動するとともに、人口に対する雇用の比率は上昇した。また、失業率は循環的に変動しているものの、長期的な増加は見られない。しかし、自動化と雇用に懸念を抱く人々は、自動化と雇用の間に見られる過去の相互作用から、将来の相互作用に関する議論を解決することはできない、とすぐに指摘する。特に、大幅に改善された計算能力、人工知能、及びロボット工学の出現は、以前では見られなかった規模で労働を置き換える可能性を高めている。健全な心とよい性格を基盤にするだけで、すべての成人が生計を立てられることを保証する基本的な経済法則などない。未来がどうであれ、現在は明らかに自動化の不安が再び顔を覗かせているのだ(アクスト、2013 年)。この論文では、自動化が長きにわたって大多数の仕事を一掃してこなかった理由を特定することから始める。実際のところ、自動化は 一通常、意図されているとおり 労働を置き換える。しかし、それに加え、自動化は労働を補完し、労働力の需要を高める方法で生産性を向上させ、労働力の供給の調整と相互作用する。実際、この論文の重要な所見は、ジャーナリストや専門のコメンテーターでさえ、機械による人間の労働の置き換えの範囲を誇張し、生産性を高め、収益を上げ、労働の需要を増大させる、自動化と労働の強い相補性を無視しがちだということである。

技術の変化は、就業可能な仕事の種類と、それらの仕事をもたらすものを変える。過去数 10 年間の顕著な変化の 1 つは、労働市場の「二極化」であり、賃金の上昇は、収入とスキルの分布の中央にいる人々ではなく、上限と下限にいる人々に偏っている。この現象についていくつかの証拠を提示しよう。しかし、私はまた、この二極化が予見可能な未来までずっと続く可能性は低いと主張するつもりである。

この論文の最後のセクションでは、人工知能とロボット工学の最近及び将来の進歩によって、職業の変化と雇用の増加の起こり得る軌跡に対する私たちの考えが、どのように形成さ

れたかを検討する。機械と人間の比較優位性を相互作用させることにより、コンピュータは、定型的でコード化可能なタスクを労働者の代わりに実行するばかりか、問題解決スキル、適応性、及び創造性を提供して労働者の比較優位性を拡大させる、というのが私の主張である。自動化のフロンティアは急速に進んでおり、柔軟性、判断力、及び常識を必要とするタスクにおいて、労働者の代わりに機械を使うという課題は、依然として計り知れない。多くの場合、機械は人間の労働力を代替し、補完する。失われたものだけに焦点を合わせると、自動化が労働の需要に影響を与える中心的な経済メカニズム ― 労働者が独自に提供するタスクの価値を高めること ― を見逃すことになる。

自動化と雇用はどのように相互作用するか

1900年には、米国の労働力の41%が農業に従事していた。2000年までに、主に自動化機械を含む幅広い技術が原因で、その割合は2%に低下した(オウター、2014年)。大量生産された自動車は、鍛冶屋や馬小屋を含む多くの乗馬に関する職業の需要を劇的に減らした。土木機械と電動工具が相次いで登場すると、建設から肉体労働がなくなった。近年になり、コンピュータが会社の給与を処理したり、名前のリストをアルファベット順にしたり、各国勢調査地区の居住者の年齢分布を表にしたりするようになると、人間が旧時代に行っていたタスクがコンピュータに置き換えられつつある。大まかに言えば、多くの ― おそらく殆どの ― 職場の技術は、労働を節約するように設計される。その技術がトラクター、組立ライン、表計算のいずれであっても、最初の目標は、人間の筋肉の代わりに機械力を、人間の手作業を機械の一貫性に、そして鈍間でエラーの発生しやすい「人間の頭脳」をデジタル計算機に置き換えることである。

これらの技術がはっきりと労働の省力化という目標を達成しており、更に私たちは労働をもっと省力化する技術をひっきりなしに発明していることを考えると、技術の変化が大多数の労働者から雇用を未だに一掃してないという状況に、我々は幾分驚かないだろうか? 自動化によって生産量の単位あたりの労働要件は明らかに減少するにも関わらず、なぜ総雇用は必ずしも減少しないのだろうか?

これらの疑問は、基本的ゆえに見落としがちな経済的現実を強調するものだ。自動化で代用できないタスクは、通常、自動化によって補完される。殆どの作業プロセスは、多面的な入力セット ― 労働と資本、知力と腕力、創造性と決まりきった繰り返し、技術的な熟達と直感的な判断、汗とインスピレーション、ルールの順守と裁量の賢明な適用 ― を駆使する。通常、これらの入力はそれぞれ重要な役割を果たす。つまり、一方を改善したからと言って、もう一方の必要性がなくなるわけではない。とするなら、1つのタスク・セットにおける生産性の向上は、殆どの場合、残りのタスクの経済的価値を高めるのだ。

このアイデアの象徴的な表現は、クレーマー(1993年)によって研究されたOリング生産関数に見られる。Oリング・モデルでは、生産の連鎖のどこかのステップで障害が発生すると、生産プロセス全体が駄目になる。逆に、特定のリンクの信頼性が改善されると、他のす

すべてのリンクで、改善の価値が高まる。直感的に、連鎖内の $n-1$ のリンクで障害の発生する可能性がかなり高ければ、リンク n が多少信頼性を欠いたところで、その事実には殆ど意味がない。他の $n-1$ のリンクの信頼性が向上すると、リンク n の信頼性が同じだけ向上することの価値も高まる。同様に、自動化またはコンピュータ化により、作業プロセスの一部のステップの信頼性、価格、スピードがよくなると、生産の連鎖内における残りの人的リンクの価値が高まるのだ。

現代の例として、情報技術と銀行での雇用の間の驚くべき相補性、特にベッセン(2015年)によって文書化された、自動預け払い機(ATM)と銀行窓口での体験について検討してみよう。ATMは1970年代に導入され、米国経済におけるその数は1995年から2010年間に約10万から40万へと4倍になった。当然のことながら、この機械があれば、手続きの間、銀行窓口はいらないも同然だと思ふかもしれない。しかし、米国の銀行窓口の雇用は、実際には1980年から2010年までの30年間で50万人から約55万人とわずかに増加したのだ(この期間に労働力の増加が認められるものの、この数値は、米国の雇用全体のシェアとして見ると銀行窓口が減少したことを示している)。ATMの成長に伴い、銀行窓口全体で何が起りつつあるのか?ベッセンは、2つの力が反対方向に働いたと考えた。第1に、ATMは銀行支店の運営コストを削減することにより、窓口の需要を間接的に増加させた。支店ごとの窓口の数は1988年から2004年間に3分の1以上減少したが、都市銀行支店の数は(銀行に対する規制緩和の波により、多くの支店開設が許可されるという後押しもあり)40%以上増加した。第2に、銀行窓口の定型的な現金処理タスクが減少したため、情報技術により、より幅広い範囲の銀行職員が「銀行取引」に関与できるようにもなった。銀行は、情報技術が可能にした窓口の価値とは、主に会計係としてではなく、営業担当者として、顧客との関係を構築し、クレジット・カード、ローン、投資商品などの追加の銀行サービスを顧客に紹介することであるとの認識を強めた。

この例は、パラダイムとして捉えるべきではない。技術変化は必ずしも雇用の増加やバレート改善をもたらすわけではない。3つの主要な要因が、その影響を緩和または増大させる可能性がある。第1に、労働者が主に(或いは、ほぼ)自動化に置き換えられるようなタスクを提供するのではなく、自動化によって補完されるタスクを提供するなら、労働者が自動化から直接恩恵を受ける可能性は高くなる。ショベルに精通しているが、掘削機を運転できない建設作業員は、自動化が進むにつれて、一般的に賃金が下がることになるだろう。同様に、通貨を集計することはできるが「銀行取引」を提供できない銀行窓口係は、現代の銀行で上手くやっているととは思えない。

第2に、労働供給の弾力性が賃金の上昇を緩和する可能性がある。もし、建設労働者または取引銀行家が提供する補完的なタスクが、経済の他の場所で上手く利用できるならば、溢れるほどの新しい労働者が、自動化と人間の労働投入の補完性から生じるあらゆる賃金の上昇を緩和することは尤もらしく思える。この種の供給効果は、おそらく生産性に起因する賃金の上昇を完全には相殺しないものの、極端な例を見つけることができる。謝とモレッティ

(2003年)は、住宅価格の上昇に応じて、現実の不動産仲介業への新規参入が、もしそうでなければ発生していたであろう平均賃金の上昇を完全に相殺すると主張している。

第3に、需要の生産弾力性と需要の所得弾力性を組み合わせると、自動化による利益を抑制または増幅することができる。農産物の場合、世帯収入のうち食糧に費やされる配分の低下と同時に、目を見張る生産性の向上が長期にわたって起こった。ヘルスケア部門などの他のケースでは、技術の向上により、収入のうち健康に費やされる配分がますます高まっている。特定の部門の最終需要の弾力性が1を下まわって一生産性が上がるにつれて、その部門が縮小することを意味する一いても、このことは、技術が進歩するにつれて総需要が減少することを意味するわけではない。明らかに、余剰収入は別の部門で使うことができる。1920年代に乗用車が乗馬旅行と、それを支えていた無数の職業に取って代わると、道路沿いのモーターとファスト・フード産業が「自動車層」向けのサービス提供を立ち上げた(ジャクソン、1993年)。収入の増加は、技術の最先端とは何の関係もない活動の需要にも拍車をかけるかもしれない。レストランでの食事、クリーニング・サービス、ヘアケア、個人向けフィットネスの生産性は、現在の技術によって強く補完されることもなければ、置き換えられることもない。これらの部門は、ボーモル(1967年)の言い方を借りれば、「技術的に遅れつつある」のだ。しかし、これらの商品の需要は所得弾力性が強いように思われるため、技術をリードする部門の生産性の向上は、そうは言っても、これらの活動での雇用を増加させる可能性がある。結局のところ、こういう結果になるには、先行部門と後行部門の間の代替弾力性が1以下である必要がある(オウター&ドルン、2013年)。

非常に長い目で見れば、生産性の向上によって商品やサービスの需要の不足は起こらなくなってきた。代わりに、家計の消費は家計の収入とほぼ同じペースを維持している。これは、物質的な生活水準が大幅に改善したにも関わらず、有給雇用に従事する人口の割合が(少なくとも)前世紀にわたって一般に上昇しているためだ。2015年の平均的な米国の労働者が、1915年の平均的な労働者の所得水準で生活したいと考えた場合、年間約17週間働くことでこの目標を大まかに達成できるだろう。しかし、生産性ととも消費需要が高まっていることを示したところで、殆どの市民は、時間と収入の間のこのトレードオフを望ましいものとは考えていない。もちろん、高所得国の市民は1世紀前よりも年間の労働時間が短く、休暇を多く取り、(死亡時期に比べて)早く退職する。これは、増加した所得の一部を、増加した余暇へ費やすことを選択したということだ。これは明らかに多くの面でよい知らせだが、こういう状況は、消費需要が飽和に近づいていることも意味するだろうか?私はそうは思わない。高所得国では、消費と余暇は補完的であるように見える。市民は余暇一ショッピング、旅行、食事、そしてあまり歓迎されない医療受診一に多くの時間を費やしている。自動化が労働者を真似して、労働需要を排斥するというマルクス主義者の懸念についてはどうか?単純な経済モデルでは、おそらく労働者でもある経済主体が資本を所有しているため、この結果は実際には起こり得ない。その代わりに、利益が経済主体の狭い集合体に発生する可能性はある。サックスとコトリコフ(2012年)、サックス、ベンツェルとラガルダ(2015

年)は、ロボットの生産性の爆発が、次世代の資本所有者を犠牲にして、ある世代の資本所有者を豊かにする可能性があるという、多世代経済環境について探究している。若い世代は労働に対する需要減少に直面し、場合によっては人的資本投資を阻害する借入制約も経験する一方で、生産性の急増の果実は旧世代によって消費されるため、後ろの世代ほど苦しむことになる。これらのモデルにおいて、根本的な脅威は技術そのものではなく、でたらめな運用である。これらの論文が強調しているように、適切な資本税により、技術の進歩は広く福祉の改善をもたらす。従って話を元に戻すと、急速な自動化は広い範囲で政策反応を招く分配上の課題を生み出すだろう、ということが重要なポイントなのである。

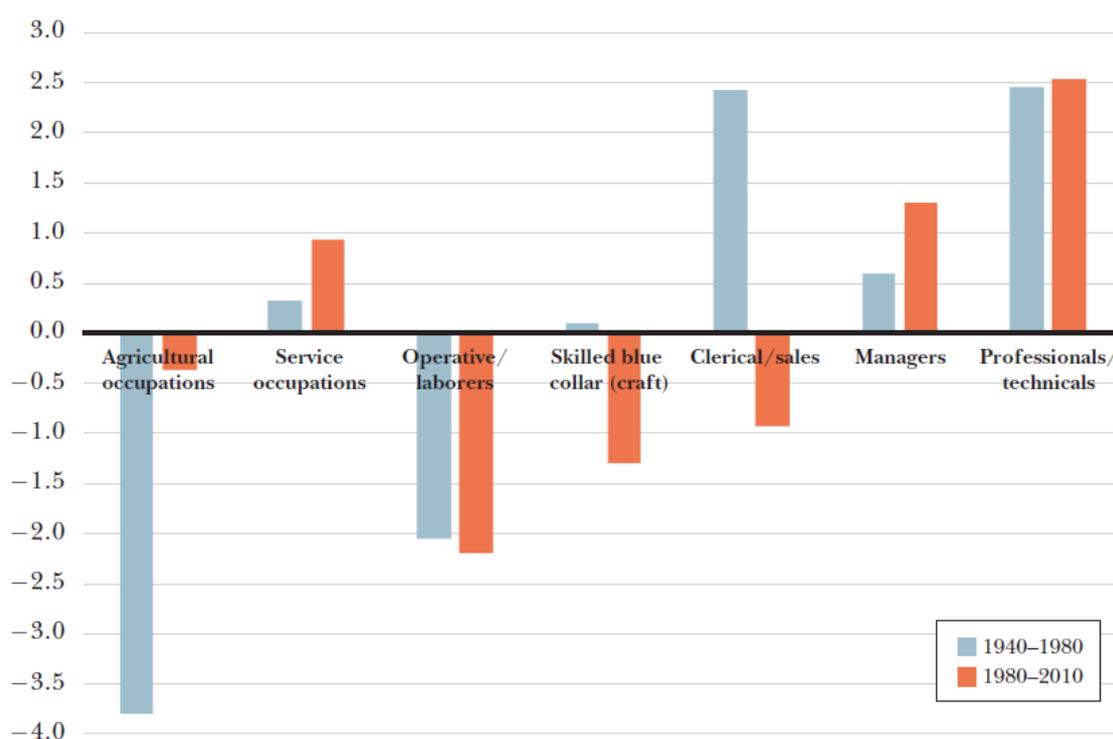


図 12 つの期間:1940 年～1980 年と 1980 年～2010 年の米国における職業別雇用シェアの 10 年あたりの平均変化

米国の労働市場における二極化

自動化によって仕事の量が減らなくても、関与できる仕事の質に大きな影響を与えるかもしれない。第二次世界大戦の終わりから 1970 年代後半までの約 30 年間、米国は急速な自動化と技術の変化を経験した。例えば、1961 年のタイム誌の記事や、前述のリンドン・ジョンソンの 1964 年の国家委員会を思い出してほしい。長期間にわたる職業変化の正確な青写真を描くことは困難だが、カツとマーゴ(2014 年)から引用した図 1 — 最低支給額から最高支給額の順にランク付けされた 7 つの広範な職業カテゴリーの雇用に対して、2 つの期間:1940 年～1980 年と 1980 年～2010 年における 10 年間の平均変化を描写したもの—

を見ると、高いレベルで概要が理解できる。第二次世界大戦後の最初の 40 年間で、職業変化を推し進める力は、肉体的に過酷で危険な手間のかかる仕事から、熟練したブルーカラーとホワイトカラーの仕事へと大きく傾斜させた。農業雇用は 10 年ごとに、ほぼ 4%ポイントずつ減少した。専門職、技術職、及び管理職 — 最高のスキルを要するカテゴリー — は、10 年ごとに 3%ポイントずつ増加した(専門職及び技術職の 2.5%と管理職の 0.5%を足したもの)。また、農業(下位)と、専門職、技術職及び管理職(上位の 3 グループ)に挟まれた広範な中間グループの労働者のうち、サービスと熟練したブルーカラーの職種は安定しており、事務職/販売員は増加し、作業員と肉体労働者は激減した。

このように、農業での並外れた生産性の向上により、肉体的に過酷で、同じことを繰り返す、危険で、誰が見ても単調な作業は廃れていった。消費者の富の上昇により、製品やレジャー用品の需要が高まった。技術集約型企業、ヘルスケア・サービス、高等教育の成長により、資格を持つ専門職の雇用や、事務職、管理職、及び販売員を支える幹部が誕生した。自動化により、多数の職種にわたる労働需要が明らかに減少していったが、この期間に仕事の見通しが全般的に概ね明るいものであった理由を理解するのは簡単である。

しかし、1970 年代後半以降、これらの好ましい風は失速し、場合によっては逆風と化した。1980 年から 2010 年の間に、スキルの段階で最上位の職種 — 専門職、技術職、及び管理職 — は 40 年前よりも急速に増加したが、これらのカテゴリー以外でプラスの職業シフトは殆ど止まった。熟練したブルーカラーの職種は急速に縮小し、事務職や販売員 — 情報化時代の不安定な「生産業務」 — は急激に逆転した。肉体的に過酷な作業員と肉体労働は引き続き縮小したが、低賃金の個人サービスは、大学を出ていない労働者のシェアの増加を吸収し始めた。このときまでに、農業の仕事を敬遠する大規模な動きがすでに始まっていた。多くの力が、1940 年～1980 年と 1980 年～2010 年の 2 つの時期の労働市場を区分している。部分的なリストには、大学を卒業した労働者と大学を出ていない労働者の相対的供給の変化、取引普及率の増加、オフショアリング、生産チェーンのグローバル化、労働組合の普及率の低下、最低賃金の「支給額」の変化、税政策におけるある程度のシフトが含まれるだろう。もちろん、これらの要因の多くは組み合わせあって、しかも相互作用しているため、変化を単一の原因に帰することは莫迦げている。しかし、ここでの私の焦点は、雇用と職業(及びその後の賃金)に及ぼした技術、特に情報技術の変化の影響なのだ。情報技術が果たした(及び果たすかもしれない)役割を理解するには、第 1 原則 — コンピュータは何をするのか?そして、コンピュータの広範な導入は労働者の行動をどう変えるか? — から始めるのが便利である。

基本的に、コンピュータはプログラマーが細心の注意を払って作成した手順に従う。コンピュータがタスクを実行できるように、まずプログラマーはそのタスクを実行するのに必要な一連のステップを完全に理解しなければならないし、その後、実際にマシンにこれらのステップを正確に真似させるプログラムを書かなければならない。これが典型的なパターンである(以下で説明する機械学習の分野では、このプロセスに対し興味深い例外を提示する)。

コンピュータが会社の給与を処理したり、名前のリストをアルファベット順にしたり、各国勢調査地区の居住者の年齢分布を表にしたりするようになると、コンピュータは、旧時代に人間がほぼ同じ手順を駆使して行っていた作業プロセスを「模倣」し始めている。職場のタスクにおけるコンピュータ・シミュレーションの原理は、コンピュータ時代の幕開け以来、根本的に変わっていない。しかし、そのコストは変わったのだ。ウィリアム・ノードハウスによる 2007 年の独創的な論文では、標準化された一連の計算を実行するコストが、手計算の時代から少なくとも 1.7 兆倍減少し、その減少の大部分は 1980 年以降に起こったと推定している。従って企業には、比較的高価な人間の労働力を、これまでにない安価なコンピューティング能力に置き換える、強い経済的動機がある。では、その影響はどのようなものか？

もちろん、1 次効果の 1 つは置き換えである。コンピューティング・パワーの価格が下がるにつれ、コンピュータとそのロボット関連群は、明示的で体系化可能なタスクを達成する現場で、労働者を次々に置き換えてきた。オウター、レヴィとマーナン(2003 年)の論文で、私と共著者は、こういった活動を、日常的だという理由ではなく、完全に体系化して、いずれ自動化できるという理由(多くの例については、2004 年のレヴィとマーナンの論文を参照のこと)から、「定型タスク」と分類している。定型タスクは、多くの中程度の認知作業及び手作業に特徴がある。例えば、単純な簿記における数字計算、事務作業に典型的な構造化された情報の回収、分類、保存、反復的な生産タスクで見られる変わり映えない環境での反復的な肉体作業の正確な履行などだ。これらの職業の中核となるタスクは、よく理解された正確な手順に従っているため、コンピュータ・ソフトウェアで体系化され、機械によって実行されることが増えている。この影響力は、事務的な行政上の支援における雇用を大幅に減少させ、生産部門と作業部門の雇用も、それほどではないにせよ、減少させた。

しかし、人間ならそれとなく理解し、難なく達成するのに、コンピュータ・プログラマーどころか、他の誰も明示的な「ルール」や手順に書き下せない多くのタスクがあるため、この種の置き換えの範囲は限られている。私はこの制約を、1966 年に「人は語れる以上のことを知っている」(ポランニー、1966 年;オウター、2015 年)と看破した経済学者、哲学者、及び化学者にちなんで、ポランニーのパラドックスと呼んでいる。ミキシング・ボウルの端で卵を割るとき、ちらっと見て鳥の異なる種別を識別するとき、説得力のある文章を書くとき、またはよく理解されていない現象を説明するための仮説を立てるとき、その実行方法を暗黙のうちでしか理解していないタスクを私たちは行っているのである。ポランニーの考察によると、自動化が最も厄介であることが証明されているタスクは、柔軟性、判断力、常識的なスキル — 私たちが暗黙のうちでしか理解していないスキル — を要求するタスクである。

ポランニーのパラドックスは、高レベルの推論はコンピュータ化が簡単なのに、特定の感覚運動スキルの場合はそうでない理由も示唆している。高レベルの推論では、規則に従った問題 — 例えば、集計、数学、論理演繹、定量的関係のコード化 — に対処するために特別に

開発された一連の規則的論理ツールを使用する。対照的に、感覚運動スキル、身体の柔軟性、常識、判断、直感、創造力、及び話し言葉は、人類が開発したというより進化で獲得した能力である。これらのスキルを形式化するには、私たちであれば暗黙の理解のみを使って普通に到達する一連の行動をリバース・エンジニアリングする必要がある。ホフマンとフルヒト(2014年)は、ポランニーのパラドックスが科学革新に対して広範囲に突き付けている課題について議論している。

もしコンピュータが主に定型タスクの代わりになるとすれば、コンピュータが代用しない非定型タスクを、私たちはどのように特徴づけるだろう?オウター、レヴィとマーナン(2003年)の論文で、私たちは、コンピュータ化が極めて困難であることが証明されている2つの広範なタスク・セットを特定した。1つ目のカテゴリーには、問題解決能力、直感、創造性、及び説得を必要とするタスクが含まれる。私たちが「抽象」と呼ぶこれらのタスクは、専門職、技術職、及び管理職の特徴である。これらの仕事は、高いレベルの教育と分析能力を持つ労働者を雇用し、帰納的推論、コミュニケーション能力、及び専門的な熟練を重視する。2つ目の広範なカテゴリーには、状況への適応性、視覚と言語の認識、対面でのやり取り — これを「マニュアル」タスクと呼ぶ — を必要とするタスクが含まれる。マニュアル・タスクは、食事の準備と給仕の仕事、掃除と清掃の作業、敷地の掃除と維持、在宅介護者による対面型の健康支援、セキュリティと保護サービスにおける多数の仕事に特徴的である。これらの仕事は、身体的に熟練しており、場合によっては、話し言葉で流暢にコミュニケーションできる労働者を雇用する傾向がある。これらの活動は、米国の労働市場基準からすると、高度に熟練されたものではないが、自動化するとなると手強い課題を突き付ける。同様に注目すべきなのは、こういったマニュアル・タスクの仕事(ヘアカット、新鮮な食事、ハウスクリーニング)の生産性の多くは、主に現場または対面(少なくとも現時点では)で生み出され、実行される必要があるため、これらのタスクはアウトソーシングの対象にならないことだ。これらの仕事を行える労働者の潜在的な供給は非常に大きい。

抽象タスクまたはマニュアル・タスクに集中する仕事は、一般的に職業スキル領域の両極端 — 一方は専門職、管理職、及び技術職で、もう一方はサービス及び肉体労働の職種 — に見られるため、この推論は、「定型的」業務のタスクのコンピュータ化は、中賃金、中学歴でもよい仕事を犠牲にしながら、一方で高学歴、高賃金の仕事、もう一方で低学歴、低賃金の仕事を同時に成長させる可能性 — ゲースとマーナン(2003年)が「仕事の二極化」と呼んだ現象 — があることを仄めかしている。膨大な米国及び国際的な証拠により、産業、地域、及び国内の労働市場のレベルで、雇用の二極化の存在が確認されている(オウター&カッツ&カーニー、2006年&2008年;ゲース&マニング、2007年;オウター&ドルン、2013年;マイケル&ナトラージュ&ヴァン・リーネン、2014年;ゲース&マニング&サロモン、2014年;グレート&マイケル、2015年;オウター&ドルン&ハンソン、2015年)。

図2は、1979年から2012年まで、10年ごとの雇用の%ポイント変化を、米国の農業を除いた雇用全体を網羅する10種の主要な職業グループに対してプロットすることで、米国の

このようなパターンを示している(より正確には、この図は雇用の対数変化を 100 倍してプロットしている。これは、小さな変化に対する%ポイントに相当する。この期間における農業の占有率は雇用の 2.2%を超えないため、この省略による影響は無視できる)。これら 10 種の職業は 3 つのグループに分けることができる。図の右側は、管理職、専門職、及び技術職であり、高度な教育を受け、高い給与を得ている。左に移動して、次の 4 つの列は、販売員、オフィス及び管理サポート、製造業、専門技能職及び修理業、電話交換手、加工業者、肉体労働者を含むミドル・スキルの職業における雇用の伸びを示している。図 2 の左端の 3 列は、国勢調査局によって、他者の援助、世話、支援を伴う仕事として定義された、サービス業の雇用傾向を示している。サービス職の労働者の大部分は中等教育を受けておらず、サービス業の平均時給は他の 7 つの職種を下まわっている場合が殆どである。

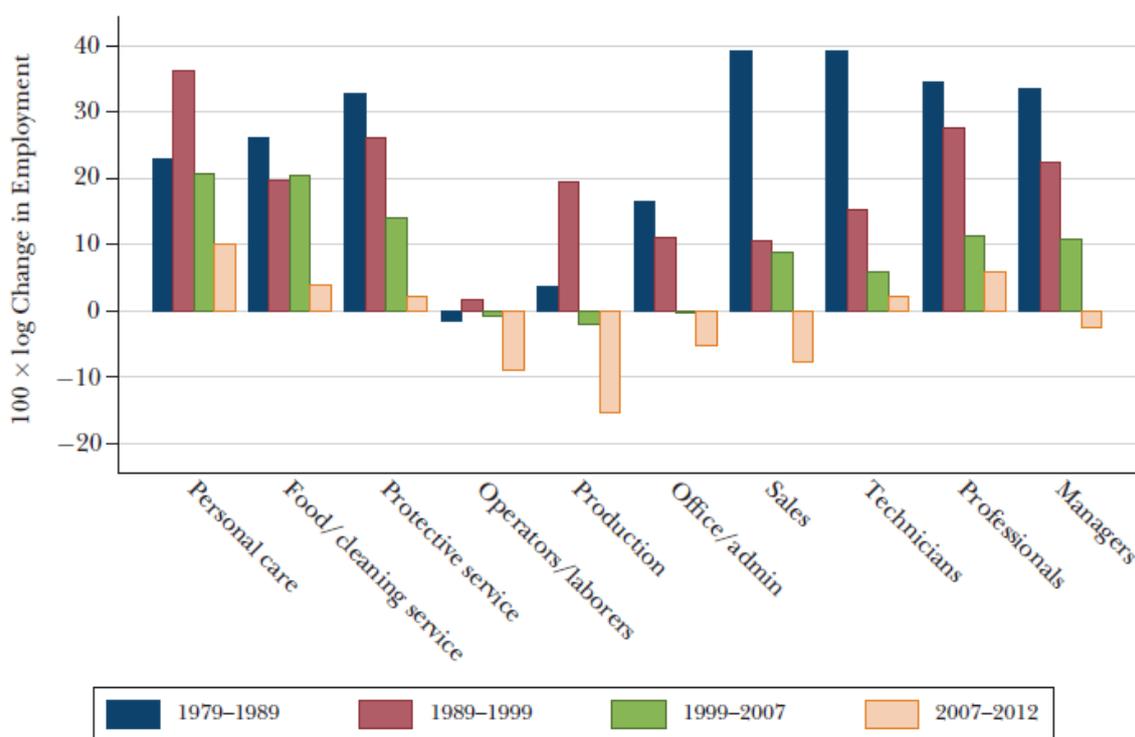


図 2 主要な職業カテゴリー別の雇用の変化、1979 年～2012 年(y 軸は雇用の対数変化を 100 倍してプロットしている。これは、小さな変化に対する%ポイントとほぼ同じ)

図 2 に示すように、高学歴向けと低学歴向けのどちらの仕事でも急速に雇用が増加しており、「ミドル・スキル」の仕事が占める雇用の割合が大幅に減少した。1979 年には、4 つのミドル・スキルの職種(販売員、事務職及び管理労働者、生産労働者、作業員)が雇用の 60% を占めていた。2007 年にこの数字は 49%、2012 年に 46% となった。サービス業の雇用シェアは 1959 年から 1979 年の間は基本的に横這いだったが、1980 年以降の急速な成長は、はっきりした逆転傾向を示している(オウター&ドルン、2013 年)。

職業に見られる雇用の二極化は、米国に固有のものではない。図3は、EUの16ヶ国における農業以外のすべての雇用について、1993年から2010年の間に広範な職種に起こった3組「低賃金、中賃金、高賃金」の雇用シェアの変化をプロットしている。すべての国で、高賃金と低賃金の職業はどちらも、この17年間で雇用シェアを増加させている一方で、中賃金の職業は雇用シェアとしては減少している。米国とEUのデータは正確に比較できるものではないが、米国の経済は、雇用の二極化の観点から、これらの国家集団のほぼ真ん中に落ち着くだろう。多くの先進各国で見られるこのような職業シフトの比較可能性は、共通の力がこういう似たような労働市場の発展に寄与する可能性を強める。同時に、各国間の実質的な違いは、米国及びEUが直面する経験の多様性を説明する単一の要因や共通の原因が存在しないことを明確に示している。

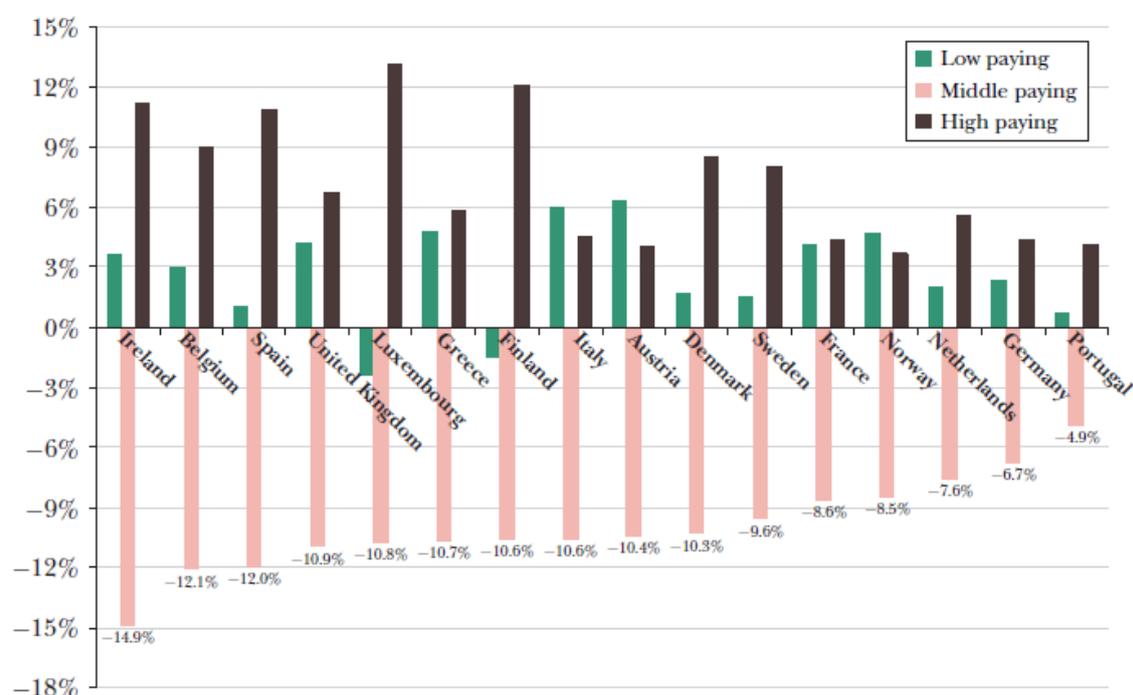


図3 EU16ヶ国における低賃金、中賃金、及び高賃金の職業雇用シェアの変化、1993年～2010年

雇用の2極化は賃金の2極化に繋がるか？

図2と図3に示されているバーベル形状をした職業の雇用成長曲線から、職業の二極化が賃金の二極化「つまり、高等教育が必要で、抽象タスク集約型の仕事と、低学歴でもよく、マニュアル・タスク集約型の仕事いずれにおいても、相対的賃金が上昇すること」にも触媒作用を及ぼすだろうと推察する人もいる。しかし、この推論では、補完性、需要の弾力性、労働力の供給という前述の3つの緩和力の果たす役割が考慮されていない。

まず、管理職、専門職、及び技術職など抽象タスク集約型の職種における賃金に及ぼす電子

化の影響を検討してみよう。これらの職業はすべて、絶えず進化する膨大な専門性 — 例え
ば、医学知識、判例、販売データ、財務分析、プログラミング言語、経済統計 — に依存し
ている。情報技術とコンピュータ化は、抽象タスク集約的な仕事をしている労働者を強力に
補完するはずだ。コンピュータ化により、コストを大幅に削減しつつ、利用可能な情報と分
析の範囲を拡大でき、情報の取得と処理に費やす時間を減らす一方で、その解釈と分析に費
やす時間を増やせるので、抽象タスクを実行する労働者が比較優位の領域に更に特化する
ことが可能となる。同様に、情報技術は、医療秘書、パラリーガル、リサーチ・アシスタ
ントなど、これらの専門職が採用している多くのサポート業務の代わりになる。同様に、コン
ピュータ化と情報技術は、管理構造の「簡素化」を可能にするように思われる(カロリ&ヴァ
ン・リーネン、2001年)。間違いなく、中間管理職の多くは、定型的な情報処理タスクを簡
素化することで、居場所を失った。

抽象タスク集約型の活動で見込まれる生産力に対する需要に弾力性がなければ、以上のよ
うな生産性の向上は、賃金の上昇の緩和を促す生産費を削減するように作用する。しかし、
表面に見えるすべての証拠は、技術が専門職の生産性を押し上げているので、彼らのサービ
スに対する需要が追いついていないことを示唆している。ヘルスケアは分かりやすい例だ
が、金融、法律、工学、研究、設計についても同様に議論することは容易である。

労働供給からの反応はどうか?労働者が高学歴の専門職にすぐに入ることができるならば、
そのようなシフトによって収入の増加が弱まるだろう。しかし、もちろん多くの専門職は
大学と大学院の両方の学位を必要とするため、新規参入者のための生産パイプラインには少
なくとも5~10年かかる。実際、米国の若者、特に米国の男性は、過去30年間の教育費の
高騰に驚くほど鈍い反応しか示してこなかった(オウター、2014年)。例えば、1975年には、
10年に満たない経験しか積んでいない男性(最近、大学を選択したグループ)が働いていた
時間の約40%は、大学教育を受けた人々が提供したものだ。40年経った2005年でも、
このシェアは殆ど変わらなかった。10年に満たない経験しか積んでいない女性労働者の場
合、全労働時間に対する大学教育を受けた人々の割合は1982年では42%だったが、2005
年までに53%に上昇した。過去10年間で、男性と女性の両方とも、10年に満たない経験
しか積んでいない人々の労働時間の割合と大学の学位取得者は増加している。2012年だと、
このグループに属する男性の場合、その割合は労働時間の52%、女性の場合は労働時間の
62%であった。このように、大学及び大学院の学位を持つ労働者ストックは確実に増加して
いる一方で、供給反応は、労働需要で同時に発生している動きを食い止めるほど十分に大き
くはなっていない。

従って、抽象タスク集約型の職業に就く労働者は、定型タスクと抽象タスクの強力な補完性、
抽象タスク集約型の職業によって提供されるサービスに対する弾力的な需要、そして短期
及び中期にわたるこれらの職業への非弾力的な労働供給の好ましい組み合わせを介して、
情報技術から恩恵を受ける。こういった組み合わせの中で、これらの力の意味していること
は、情報技術は抽象タスクを集中的に使用する職業や、それらを集中的に供給する労働者の

間で積極的に利用されるべきだ、ということである。

これらと同じ相乗効果は、管理人や掃除人、ドライバー、警備員、客室乗務員、外食産業労働者、在宅医療補助者など、マニュアル・タスクに集約される仕事には発揮されない。殆どのマニュアル・タスク集約型の職業は、中核的なタスクの情報またはデータ処理に最小限依存しているだけで、直接的な補完または置き換えの機会はかなり限られている。

総計的な証拠からは、マニュアル・タスク集約型の仕事 —特にサービス— の最終的な需要は比較的、*価格に関して非弾力的*であることが示唆される(ボーモル、1967年;オウター&ドルン、2013年)。その場合、提供されるサービスの単位あたりの価格を下げる傾向のあるマニュアル・タスク集約型の職業での生産性向上は、必ずしもそこでの生産力における支出を増やすことにはならない。一方で、マニュアル・タスク集約型の仕事に対する需要は比較的、*収入に関して弾力性*があるように見え(クラーク、1951年;マツォラーリ&ラゲーズ、2013年)、総収入の増加はこれらの活動に対する需要を増加させる傾向があるだろう。従って、他の分野での新しい技術と生産性の成長は、社会的収入の増加により*間接的に*マニュアル・タスク集約型の職業に対する需要を高める可能性がある。

マニュアル・タスク集約型の職業に向けた労働力の供給は、一般的に教育と訓練の必要性が低いため、本質的に弾力性がある。この見方は、マニュアル・タスクの賃金が少なくともある程度上昇する可能性を排除するものではない。ボーモル(1967年)が洞察したように、技術的に遅れている職業で生産性の向上がなくても、これらの職業の賃金は、労働者を他の部門に入れて埋め合わせることがないように、社会的所得とともに時間をかけて上昇させなければならない(再度、これらの活動の需要は比較的、非弾力的であると仮定する)。しかし、以上のことは、これらの仕事の賃金上昇が、経済の他の部門に配置換えされた労働者からのものも含め、労働供給反応によってある程度抑制されることを示唆している。

全体として、マニュアル・タスク集約型の活動は、せいぜいコンピュータ化によって緩く補完され、弾力のある最終需要の恩恵を受けることなく、需要に起因する賃金上昇を抑える弾力的な労働供給に直面する。こうして、情報技術は仕事の数で測定される*雇用の二極化*に強く影響する一方で、私たちは通常、これらの雇用の変化が、おそらく特定の時期や特定の労働市場を除いて、最終的に対応する賃金の二極化に至るとは思い至らないのである。確かに、オウターとドルンの論文(2013年)で、私たちは、労働市場が非常に逼迫した1990年代にマニュアル・タスクの職業に対する賃金が増加したという証拠を示しているが、2000年以降、これらの職業の賃金が落ち込む一方で、マニュアル・タスク集約型のサービス業の拡大は加速した。

賃金パターンの進化に関する洞察については、図4を検討したい。この図の横軸は、全318種の詳細な職業について、1979年の平均時給で測定された初期スキル・レベルを、最低から最高までランキングしたデータをベースにしている。これらのカテゴリーは初期サイズによって重み付けされ、同じサイズの100個の瓶にグループ化されている。図の縦軸は、4つの各期間におけるスキル分布全体の賃金の%変化を —分かりやすく線をスムージング

して一 示している(繰り返しになるが、より正確には、この図は雇用の対数変化を 100 倍してプロットしている。これは、小さな変化に対する%ポイントに相当する)。

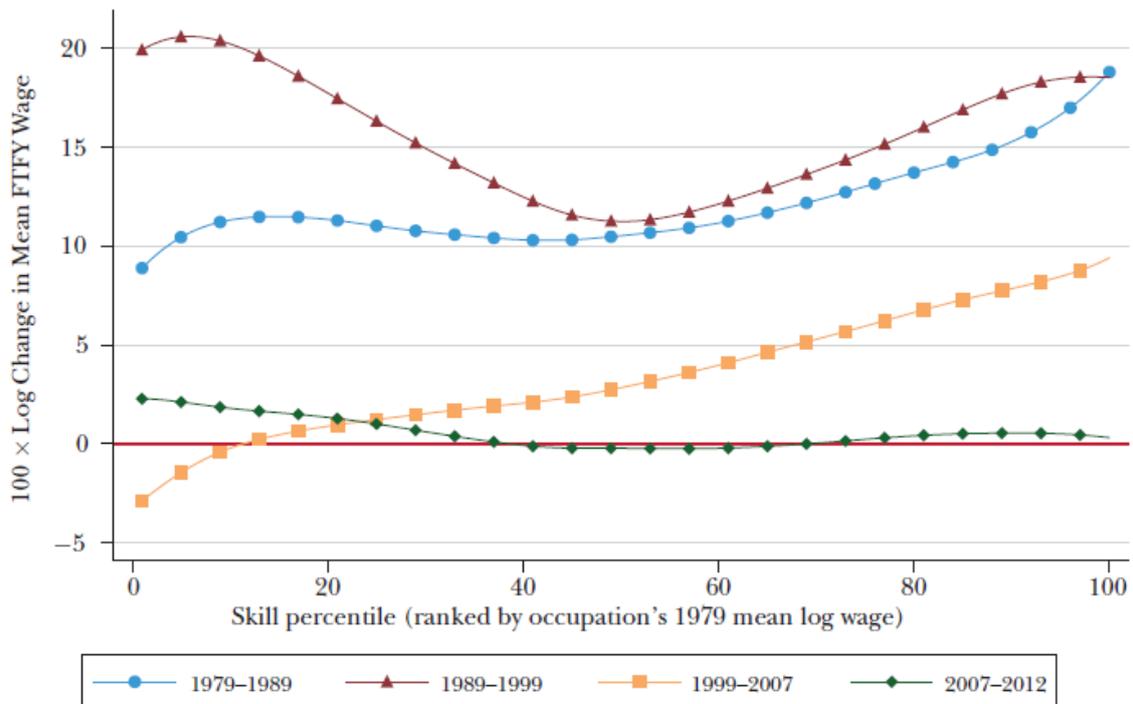


図4 フルタイム・通年(FTFY)の労働者の職業スキル・パーセンタイルによる平均賃金の変化、1979年～2012年(y軸は雇用の対数変化を100倍してプロットしている。これは、小さな変化に対する%ポイントとほぼ同じ)

図4の右側2/3が、雇用の二極化を示しているように見える。1979年から2007年まで、図の高スキル部分全体で賃金が一貫して上昇し、この傾向は専門職、技術職、及び管理職といった抽象タスク集約型のカテゴリーに偏っている。対照的に、ミドル・スキル、つまり典型的な定型タスク集約型の職業での賃金はそれほど急速に伸びず、一般的に時間とともに減退した。図4の左側に顕著に表れている低学歴でマニュアル・タスク集約型の職業の場合、賃金は1980年代でミドル・スキルの職業よりもわずかに伸びが早く、1990年代で急速に伸びた。しかし、その様相は2000年代に変化した。図2が、これらの職業の雇用の伸びが1999年から2007年の間に他のすべてのカテゴリーよりも上まわったことを示している一方で、図4は、低スキルのパーセンタイルにおいて賃金の上昇が一般的にマイナスであり、他のすべてのカテゴリーよりも低いことを示している(ミシェル&シールホルツ&シュミット、2013年)。この期間中、ミドル・スキルの定型タスク集約型の仕事に対する雇用が減少したため、ミドル・スキル労働者—定型タスク集約型の仕事から追いやられ、景気後退で仕事を失った新規参入者—は、代わりにマニュアル・タスク集約型の職業に追いやられた、ということが、以上のようなことから説明できるように思えてならない(スミス、2013

年;コルテス&ジェイモヴィッチ&ネカルダ&シウ、2014年;フート&ライアン、2014年)。

図4に示されている最後の事実は、大不況の前でさえ、2000年代を通じて全体的な賃金の上昇は貧弱だったという点である。1999年から2007年の間に、実質賃金の変化は約15パーセント未満でマイナスであり、分布の70パーセントまでは5%ポイントに満たない。実際、賃金の上昇は、1980年代と1990年代の両方で、*不況前*の2000年代よりもすべてのパーセントで大きくなった。もちろん、2007年から2012年までのすべてのパーセントで、賃金の上昇は基本的にゼロであった。

上位1%の急速な収益上昇が(例えば、2011年のアトキンソン、ピケティ、及びサエズの論文で説明されているように)、図4ではっきりと示されていないのはなぜか?1つの理由は本質を反映している。もう1つはデータの加工だ。実質的に、このプロットは*賃金*パーセントというよりも、寧ろ*職業*パーセントによる収益の変化を示している。最高所得者はどの職業でも見つかるので、職業パーセントによる賃金の上昇は、賃金パーセントにわたる賃金の上昇ほどはっきりとは表れない。更に、収入の非常に高いパーセントは、公共で利用される国勢調査局及びアメリカン・コミュニティ・サーベイのデータ・ファイルでは打ち切られてしまい、そのため極端な分位点での収入の増加がますます覆い隠されてしまう。

高スキル職業の成長に見られる最近の減退

自動化と情報技術が、米国の労働力における職業の二極化、またそれほど重要ではないが、賃金の二極化を招いているという仮説から、米国と国際比較データの主要な特徴のいくつかについて説明できる。しかし、現実には常に、単一の理論が予想するよりも複雑である。技術の変化と職業の変化を結びつける私の論文の1つの懸念は、2000年以降の抽象タスク集約型の職業で起こっている雇用成長の原因不明の減退である(ボードリー&グリーン&サンド、2014年、近日刊行;ミシェル&シールホルツ&シュミット、2013年)。図5は、図4の形式に従っているが、縦軸に賃金の(概算)%変化を示す代わりに、1979年のスキル・レベルでランキングされた仕事の雇用シェアの%変化を示している。シェアの合計は、どの期間でも1に等しくなければならないので、数10年にわたるこれらのシェアの変化は合計で0にならなければならない。従って、各スキル・パーセントの高さは、全体に対する各職業雇用の成長を示す。

図5は、上で述べた職業の2極化ストーリーに3つの微妙な差異をもたらす。第1に、図の左側に示されているように、低賃金、マニュアル・タスク集約型の仕事における雇用上昇のペースは、全期間にわたって連続的に上昇している。第2に、雇用シェアを失っている職業は、職業分布の高位側のランクから次第に広がりを見せている。例えば、1980年代に雇用シェアを失っている職業のうち最も高いランクは、スキル分布の45パーセント前後だった。最後の2つのサブ期間では、このランクが75パーセント以上へと変化した—このことは、お払い箱になるポイントが、ミドル・スキルの雇用から、より高スキルの領

域に移動していることを示唆している。第3に、高スキル、高賃金の職業(抽象的な仕事に関連する職業)の成長は、1999年から2007年の間で職業スキル分布の上位2分位で相対的な成長を見せることなく、2007年から2012年の間でのみ緩やかに回復しつつも、2000年代に著しく減退した。分かりやすく言えば、スキル・レベル全体での職業雇用の成長は、この期間の初期では、低スキル・レベルと高スキル・レベルで上昇したU字型を呈している。2000年代までに、スキル・レベル全体での職業雇用のパターンは、下り坂の様相を見せ始めた。オウター(2015年)の論文で、私は、これらのパターンのより詳細な分析結果を示し、特に一連の抽象タスク集約型の仕事が、高学歴労働者の潜在的な供給ほど急速に成長していないことを示唆している。

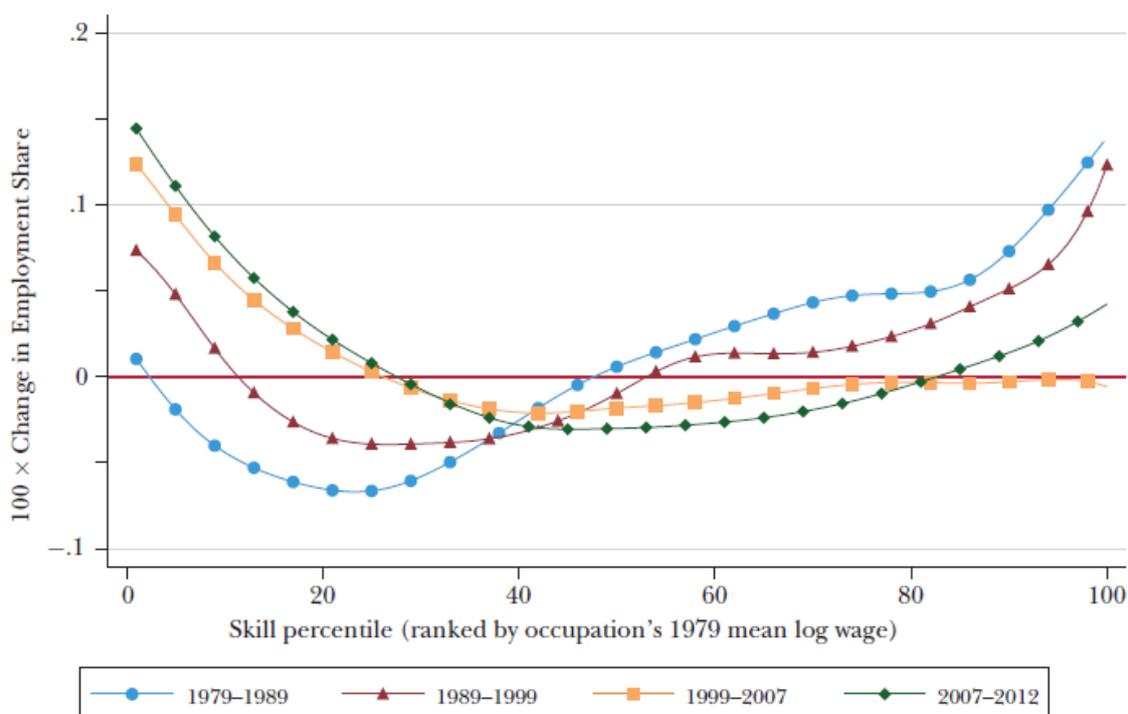


図5 職業スキル・パーセンタイルごとの平滑化された雇用の変化、1979年～2012年

抽象タスク集約型の雇用の成長が鈍化していることをどのように説明するか?1つの解釈は、一般的に自動化、情報技術、及び技術進歩が、そのタスク領域では上向きに入り込んで、専門職、技術職、及び管理職によって行われる仕事に大きく取って代わり始めているということである。この可能性をあっさりとは手放すべきではないが、これはコンピュータとソフトウェアの投資パターンとは上手く適合しない。情報技術が次第にスキル分布の高い労働者に取って代わりつつあるならば、コンピュータのハードウェアとソフトウェアへの企業投資の急増が予想される。一方、図6は、2014年の初めに情報処理機器とソフトウェアへの投資が、GDPの3.5% — 「ドット・コム」時代の初期に当たる1995年に見られたレベル—

にすぎなかったことを示している。私にとって、図6に見られる証拠は、1990年代の後半に情報技術資本の需要が一時的に分散し、その後2000年以降で急激に修正されたことを示唆している。私は、情報投資の大幅な減少により、高スキルの労働者に対する革新的な活動と需要が広範に抑制されたのではないかと考えている。

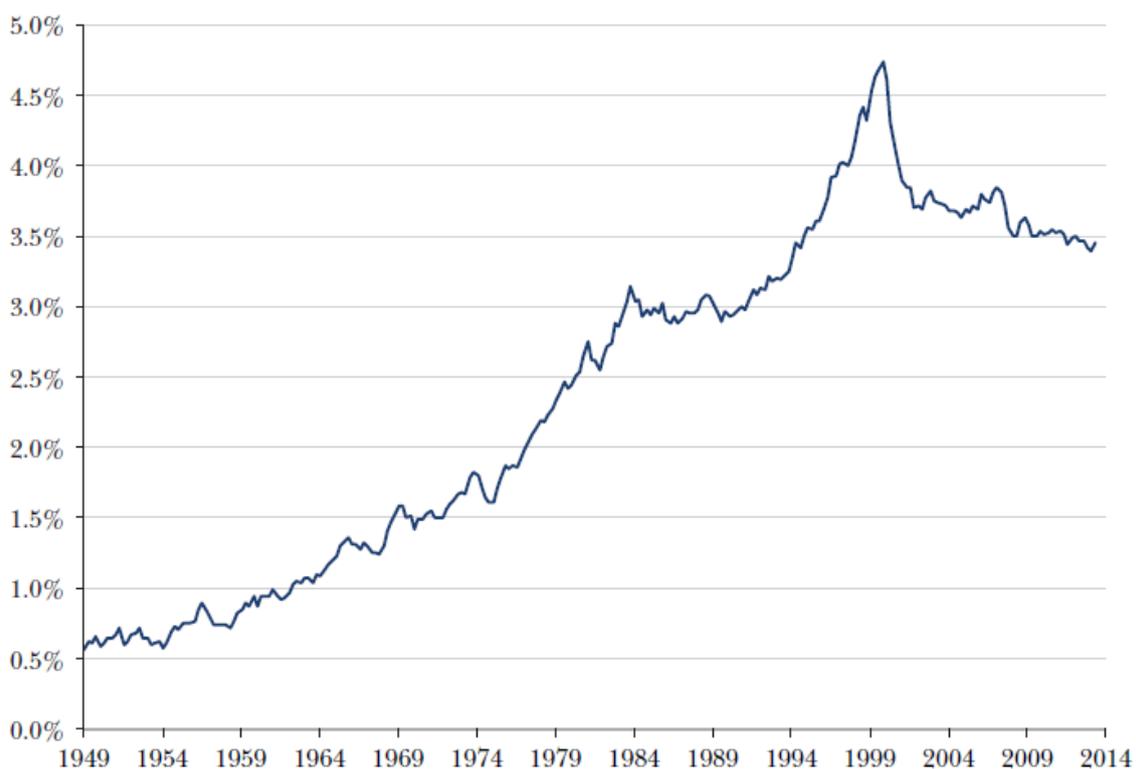


図6 国内総生産の%で示した、情報処理機器及びソフトウェアへの民間固定投資、1949年～2014年

前述したように、技術の変化は、過去15年間に米国の労働市場に影響を与えた唯一の要因とはほど遠い。例えば、2000年以降、更には2007年以降の米国の労働市場における賃金の成長の鈍化と職業パターンの変化は、確かにある程度、2つのタイプのマクロ経済的出来事に関連している。第1に、景気循環の影響 —2000年の「ドット・コム」バブルの崩壊、住宅市場の崩壊とそれに続く2007年～2008年の金融危機— があり、そのいずれも投資と革新的な活動を抑制した。第2に、急速なグローバル化によってもたらされた米国の労働市場における雇用の混乱、特に2001年に中国が世界貿易機関へ加盟し、それに続いて中国からの輸入浸透率の急激な増加がある(オウター&ドルン&ハンソン、2013年;パース&シヨット、2012年;アシモグル&オウター&ドルン&ハンソン&プライス、近日刊行)。主要な製造業の輸出業者として中国が急速に台頭してきたことで、米国の労働者は広範囲の影響を受け、輸入で直接競合となる米国の製造業の雇用が減り、これらの産業に対する上流サプラ

イヤーとして機能した製造業と非製造業の両方で労働需要が抑制された。

もちろん、これらの力は様々な形で自動化と技術の普及に関連している。情報通信技術の進歩により、企業は、世界中の異なる場所で複雑な生産プロセスを調達、監視、調整したり、米国の製造業者と労働者の競争条件を変えたりすることが徐々に実現可能になり、また費用対効果も高くなったので、米国の職場における仕事の需要は直接的及び間接的に変わってきた。このような原因要素間の多次元相補性があるため、1つの要素の「純粋な」効果を分離することは、概念的にも経験的にも困難になる。

ポランニーのパラドックス:それは克服できるか?

数10年で指数関数的に増大する情報技術の力によって補完された自動化は、労働市場を混乱させる生産性の変化を推進してきた。この論文で強調してきたのは、仕事は多くのタスクで構成されており、自動化とコンピュータ化はそれらの一部を置き換えることができる一方で、技術と雇用の相互作用を理解するには単なる置き換え以上のことを考える必要がある、という点である。仕事に関わるタスクの範囲や、人間の労働力が新しい技術をどのように補完できるかについて考える必要がある。また、様々な種類の生産力に対する価格弾力性と所得弾力性、及び労働供給の反応についても考える必要がある。

自動化が最も厄介であることが判明したタスクは、柔軟性、判断力、常識 —つまり私たちが暗黙のうちにしか理解していないスキル— を要求するタスクである。上記の制約を私はポランニーのパラドックスと呼んだ。過去10年間で、コンピュータ化とロボット工学は、わずか数年前には立ち入り禁止と考えられていた人間の活動領域 —車輛を運転し、法的文書を解析し、農場での労働を行うことさえ— へと進出してきた。大部分のタスクが間もなく自動化されるという意味で、ポランニーのパラドックスは、いずれほぼ克服されるのだろうか?

その証拠を私が解釈したところでは、別のことが示唆される。実際、ポランニーのパラドックスは、まだ達成されていないことを説明する役には立つし、更により多くのことが最終的に達成されるであろう道筋を明らかにする。具体的に私は、エンジニアリングとコンピュータ・サイエンスが、私たちでは「ルールが分からない」タスクを自動化するために、何とかして乗り越えることのできる2つの異なる道筋 —環境制御と機械学習— を考えている。第1の道筋は、比較的柔軟性のない機械が半自律的に機能できるように、環境を正規化することによってポランニーのパラドックスを回避する。第2のアプローチは、ポランニーのパラドックスをひっくり返す。つまり、私たちが理解していない機械のルールを教えるのではなく、豊富なデータ、及び適用統計学から暗黙のルールを推論しようとする機械をエンジニアが開発するのである。

環境制御

殆どの自動化システムは柔軟性に欠けており —脆弱である。例えば、現代の自動車工場で

は、組立ラインを移動する過程で新しい車輻にフロントガラスを取り付けるために産業用ロボットを使用している。しかし、アフターサービス市場でフロントガラスを交換する会社は、交換用フロントガラスを取り付ける際、ロボットではなく技術者を雇っている。明らかに、壊れたフロントガラスを取り外し、フロントガラスのフレームを整備して交換品を合わせ込み、そのフレームに交換品を取り付けるタスクは、費用対効果の高いアプローチができる現代のロボットより、リアルタイムの適応性の方を必要とする。

組立ラインの生産と現場での修理の違いは、自動化を可能にする環境制御の役割を際立たせている。エンジニアはたいていの場合、機械が自律的に作業できる環境を徹底的に簡素化し、工場の組立ラインの勝手知ったる実際の環境とすることができる。しかし、環境の規則化に対する、こういった多数のアプローチ例は、日常の技術に根差しているあまり見落とされている。例えば、人類が現代の自動車を運転できるのは、地球の地表の重要な箇所を整地、嵩上げ、アスファルト舗装することで自然に発生する環境に順応するからだ。

倉庫の継続的な自動化は別の例を提供する。Amazon、Zappos、Staples などの大規模なオンライン小売業者は、通常は空調されていない倉庫の棚を走ったり昇ったりして、品物の場所を特定し、収集し、箱詰めし、ラベル付けし、配送する、器用で運動神経に優れた「ピッカー」軍団を伝統的に雇用した倉庫システムを運用している。今のところ、こういった人間のピッカーの代わりに費用対効果の高いロボットで作業を真似させる例は存在しない。柔軟性、物体認識、身体の器用さ、細かい運動協調に対する仕事上の煩い要求は、あまりにも手強い。

しかし、2012年にAmazonが購入したロボット倉庫のスタートアップであるKiva Systemsが示しているように、倉庫の大部分のコンポーネントは自動化できる。Kivaシステムの中核を成すのは、倉庫を通過するすべての商品の流れを監視し、棚を運ぶロボットの動作と人間の動作を連携させる配送プログラムである。品物がストック用に施設に到着すると、配送ソフトウェアがロボットに指示を与え、人間のストッカーが商品を棚に置く荷積みエリアへ、空の棚を搬送し整列させる。次に、ロボットが積載された棚を保管倉庫に運ぶと、配送ソフトウェアは、予想される製品の発注に対して製品が取り出しやすいように最適な配置を指示する。新しい注文が来ると、配送ソフトウェアは、棚を回収し、梱包エリアに並べるよう、ロボットに指令を送る。次に、配送ソフトウェアにより制御されたレーザーポインターで指示された人間のピッカーが、組み立てられた棚から品物を取り出し、配送ボックスに梱包し、配送ラベルを貼り、配送用シュートにパッケージを収める。アイテムが抜き取られると、再び梱包または補充の必要があるまで、ロボットは棚を撤去する。このように、Kivaが運営する倉庫では、ロボットは棚を水平面に移動させるという定型タスクのみを処理し、労働者は商品を取り扱い、配送ソフトウェアはそういった動作を連携させる。

Kiva Systemsは、自動化の範囲を拡大するために環境制御を活用する特に明確な例を提供しているが、同じ原理は、より洗練されたパッケージの背後にも潜みつつある。おそらく殆ど認識されていない —そして、最も神話化された— 例は、自動運転のGoogleカーであ

る。コンピュータ科学者は、Google カーは道路ではなく、寧ろ地図上を走行しているのだと指摘することがある。Google カーは、リアルタイムの視聴覚センサのデータを、すべての道路、信号、標識、障害物の正確な場所を規定する、慎重に手作業で集められた地図と照合することにより、道路網を主にナビゲートする。Google カーは、ブレーキをかけたり、曲がったり、停止したりすることで、車、歩行者、道路上の危険といった障害物に、リアルタイムで対応する。しかし、自動車のソフトウェアが、動作している環境と、人間のエンジニアによって前処理された環境とが異なると判断した場合 — 信号ではなく、予期しない迂回路や踏切に遭遇した場合 — 自動車は制御のために人間のオペレーターを必要とする。このように、Google カーは外見上、順応性があり柔軟であるように思えるが、目に見えない線路を走る列車に少し似ている。

これらの例は、現在の技術では非定型タスクを達成するのに限界があることと、作業タスクが実行される環境を再設計することにより、これらの障害のいくつかを克服するには、人間の創意工夫という能力が必要であること、の両方を強調するものだ。

機械学習

ポランニーのパラドックス — 「私たちは語れる以上のことを知っている」 — はコンピュータ化への課題を示している。なぜなら、もし人々が暗黙のうちにしかタスクの実行方法を理解できず、コンピュータにそのタスクの実行方法を「教える」ことができないならば、プログラマーは一見したところタスクを自動化できないからだ — 或いは、思考は消えてなくなってしまう。しかし、機械学習の進歩により、このような理解は急速に変化している。機械学習は、統計と帰納的推論を応用して、正式な手順ルールが不明な最適推測解を提供する。エンジニアが、スクリプト化された手順に従って非定型タスクを「シミュレート」するように機械をプログラムできない場合でも、他の機械が実行しているタスクの成功例を研究することで、自律的にタスクを習得できるようにマシンをプログラムできるかもしれない。機械学習アルゴリズムは、公開、トレーニング、強化といったプロセスを通じて、系統立った手順で体系化するのが圧倒的に困難であることが証明されているタスクの実行方法を潜在的に推論するかもしれない。

具体的な例として、椅子を視覚的に識別するタスクを考えてみよう(オウターの論文で議論される、近日刊行)。従来のルール・ベースのプログラミング・パラダイムを適用するエンジニアは、物体のどの特徴 — 例えば、それは脚、腕、シート、背凭れを有する — が物体を椅子として限定するかを規定しようとするだろう。しかし、すぐに多くの椅子がこれらの特徴のすべてを備えているわけではないことに気づくだろう(たとえば、背凭れや腕がない椅子がある)。だからと言って、エンジニアが状況に応じて要求される特徴のセットを緩和すると(椅子の背凭れは任意)、仲間となるセットは、小さなテーブルなど、椅子ではない多くの物体を包含するように拡張されてしまう。必要な特徴を事前に指定して物体を認識する標準的なアプローチ — そして、このアプローチのより洗練された変形例 — では、誤判

別率が非常に高くなる可能性がある。しかし、小学生は誰でもこのタスクを高精度で実行できる。子供は、ルール・ベースの手順が知らないことを知っているのだろうか?残念ながら、私たちには、子供が知っていることを正確に述べることはできない —これこそ、まさにポランニーのパラドックスである。

機械学習はこの問題を回避できる可能性がある。所謂「グラウンド・トゥールズ」の大規模なデータベース —ラベリングした物体の膨大な収集サンプル・セット— をよりどころにして、機械学習アルゴリズムは、物体のどの属性の方が、椅子だと指定される可能性が高くなるか推論しようとする。このプロセスは「トレーニング」と呼ばれる。トレーニングが完了すると、機械は、元のデータセットにある椅子とは異なる椅子を識別しようとする際、この統計モデルを適用することができる。もし統計モデルが十分に優れていれば、元のトレーニング・データの椅子とは多少異なっても、形状、材質、寸法が異なる椅子といったように、椅子を認識できるかもしれない。機械学習では、「椅子っぽさ」の明示的な物理モデルは必要ない。機械学習の中核にあるのは、単なる大規模なトレーニング・データベース、それなりの処理能力、そしてもちろん、洗練されたソフトウェアを必要とする理論的基礎のブルート・フォース技術 —心理学者が「ゴミ箱的経験主義」と呼ぶもの— である。

機械学習は実際のところどの程度うまく機能しているだろうか?もしあなたが検索エンジンや Google 翻訳を使用したり、音声コマンドでスマートフォンを操作したり、Netflix からのお薦め映画をフォローすれば、これらの技術がどれほど上手く機能しているかを自分で確かめられる。例えば「degrees bacon」という用語を最近検索した多くのユーザーが、ベーコンを調理する最適温度のリンクより、ケヴィン・ベーコンのリンクをクリックしたとすれば、検索エンジンは、ケヴィン・ベーコンのリンクを結果リストの上位に配置するようになるだろう。私の一般的な観察結果によれば、このツールには一貫性がない。薄気味悪いほど正確なこともあるが、たいていは可もなく不可もなく、たまに理解不能なこともある。更に、機械学習アルゴリズムが皮肉なのは、このアルゴリズムはプログラマーに向かって動作の理由を「語る」こともできない、という点だ。IBM のワトソン・コンピュータは、ジョパディのトリビア・ゲームで対戦相手である人間のチャンピオンに勝利したことで有名である。それでも、ワトソンは勝利の試合中に派手に間違った答えも出していた。米国の都市のカテゴリーで、その問題は「その最大の空港は第二次世界大戦の英雄にちなんで名付けられた。2 番目に大きな空港の名前は第二次世界大戦中の戦闘に由来する」だった。ワトソンの出した答えはカナダの都市トロントだった。この分野での最先端の成果でさえ、いくぶん迫力に欠けるように思えるかもしれない。2012 年のニューヨークタイムズ紙(マーコフ、2012 年)は、Google の X Lab の最近のプロジェクト(レラ、2012 年)が 16,000 個のプロセッサを接続したニューラル・ネットワークを用いて、YouTube 上の猫の画像を認識した、という記事を書いた。記事の見出しで、「猫を認識するのにどれだけのコンピュータが必要か?16,000 台だ」という質問を残念そうに投げ掛けている。

すべての基盤技術 —ソフトウェア、ハードウェア、トレーニング・データ— が急速に向

上している(アンドレオポーロス&ツォツォス、2013年)ため、これらの例は十分に練り上げられた製品というよりプロトタイプだと見るべきである。コンピューティング能力が向上し、トレーニング・データベースが成長するにつれて、ブルート・フォースな機械学習アプローチは人間の能力に近づくか、それを超えると予想する研究者もいる。機械学習は平均して「正しく理解している」にすぎず、最も重要で有益な多くの例外を見逃すだろうと疑う研究者もいる。結局のところ、物体を椅子足らしめているのは、それは人間が座る目的のために作られたという点である。機械学習アルゴリズムは、画像に関する任意の膨大なトレーニング・データベースを与えられたとしても、「目的性」つまり目的の用途を推論することに根本的な問題を抱えているかもしれない(グラブナー&ガル&ヴァン・ゲール、2011年)。「アップルパイをゼロから作りたいなら、まず宇宙を創造しないとイケない」というカール・セーガン(1980年、218ページ)の発言を思い出す人もいるだろう。

結論

主要な新聞記事は毎日「未だ限定的とは言え」拡大し続けている一連のタスクにおいて、人間の労働に代わる技術の新しい例を提供している。しかし、他の分野での補完性と需要の高まりによる相殺効果を、発生時に特定するのはかなり難しい。私自身の予測では、(2013年のオウターの論文で議論されたように)雇用の二極化はいつまでも続かないだろう。ミドル・スキルで済む現在の多くの仕事におけるタスクの中には自動化の影響を受けるものもあるが、多くのミドル・スキルの仕事は、スキル分布全体から入り混じったタスクを要求し続けるだろう。例えば、医療サポート職「放射線技師、瀉血専門医、看護師技師など」は、比較的高報酬のミドル・スキル職の中で重要かつ急速に成長しているカテゴリである。これらの職業の殆どは、「ミドル・スキル」の数学、生命科学、及び分析的思考の習得が必要である。彼らは通常、中等教育後に少なくとも2年間の職業訓練、場合によっては4年間以上の大学の学位を必要とする。以上の広範な説明は、配管工、建設業者、電気技師、暖房/換気/エアコン設置業者、自動車技術者を含む多くの熟練した販売、修理職にも当てはまる。また、マーケティングに求められる多くの仕事のように、単にタイプしてファイリングするだけでなく、調整機能と意思決定機能を提供する多くの現代の事務職にも当てはまる。更に、技術によって、高度な技術熟練度をあまり有していない労働者が、追加のタスクを実行できるようになる場合「例えば、内科医の代わりに診断と処方タスクを徐々にこなしている正看護師職」もある。

私は、特定の職業スキルと、基礎的なミドル・スキルの読み書き能力、計算能力、適応力、問題解決力、常識レベルとを組み合わせたミドル・スキルの仕事という重要な層が、今後数10年は残るだろうと予測している。私の推測では、現在これらの仕事に押し込められたタスクの多くを「ミドル・スキルのタスクを実行する機械と、低スキルでもよい残りのタスクを実行する労働者とともに」品質を大幅に低下させることなく解放することは、簡単にはできないだろう。この議論から、今後も残っていくミドル・スキルの仕事の多くは、定

型的な技術タスクと、労働者が比較優位性を保持する一連の非定型タスク 一対人関係、柔軟性、適応性、問題解決力— とを組み合わせよう、と示唆される。一般に、これらと同じことを対話にも要求すれば、リモートでのやり取りよりも対面の対話を高い頻度で特別なものとする。このことは、これらと同種のみドル・スキルの職業はオフショアリングに対する影響を比較的受けにくい可能性を意味する。ローレンス・カッツは、技術タスク及び対人関係タスクを純粹に組み合わせた労働者を「新しい職人」と称し(フリードマン、2010年を参照)、ホルツァー(2015年)は、従来の生産及び事務職は縮小しているのに、「新しいみドル・スキルの仕事」は実のところ急速に成長している、と論じた。

この予測には明らかな1つの落とし穴がある。米国の教育及び職業訓練システム(公的にしろ私的にしろ)が、将来これらのみドル・スキルの仕事で頭角を現すような労働者を生み出せるか、疑問視される可能性があるのだ。あれやこれやの方法で問題となるのは、中産階級の労働者の運命が自動化と技術によって決まってしまうということではなく、人的資本への投資は、技術変化によって代替されるというよりも補完されるスキルを生み出すための長期戦略の中核をなさねばならない、ということである。1900年には、典型的な生粋の若い米国人は、6年生から8年生に相当する公共の学校教育しか受けていなかった。19世紀後半までに、多くの米国人は、このレベルの学校教育では不十分であることを認識した。農業の雇用は減少し、産業が成長し、彼らの子供たちは生計を立てるために他のスキルを必要としたのだ。米国は、この課題に20世紀の最初の40年間をかけて対応し、世界で最初に国民へ普通高等教育を提供するようになった(ゴールディン&カッツ、2008年)。実際は、高等教育運動は農家州が主導したのだが。技術進歩の初期の波に対する社会調整は、迅速でもなければ、自動的でもなく、安くもなかった。しかし、それらは見事に効果をもたらしたのだ。

機械と人間の交代劇という最近の暗い見通しの中では一般的になおざりにされているが、最後のポイントは、もし人間の労働力が自動化により実際に余っているなら、私たちの主な経済問題は、不足ではなく分配の問題になる、という点である。市場経済における主要な所得分配システムは、労働力不足に根ざしている。市民は、労働力が不足しているからこそキャリア・パスを通じて収入の流れを生み出す貴重な「人的資本」を所有(或いは獲得)している。もし機械が実際に人間の労働力を不必要にするなら、私たちは莫大な総計資産だけでなく、その価値の所有者と共有方法を決定するにあたって深刻な課題を抱えることになるだろう。手元に豊富な資産があれば、分配は比較的簡単に解決する、と推測する人もいるかもしれない。しかし、歴史は、この予測がまったく当てにならないことを示唆している。労働力は常に不足していると認識されているし、分配には対立がつきものだし、私には、自動化が進むにつれて、この問題の深刻さが著しく低下するとは思えない。私たちは実際、主要な経済の課題がすぐに分配の問題に帰着されるように、今にも不足のくびきから脱するのだろうか?ここで私は、1960年代に起こった自動化への不安の時代に「それらがまったくの経済問題である限り、この世代と次の世代における世界の問題は、耐えがたいほどの豊かさの

問題ではなく、不足の問題だ。自動化という鬼は、実際の問題のために取っておくべき不安に思う能力を使い果たす…」と書いた経済学者、コンピュータ科学者、ノーベル賞受賞者のハーバート・サイモン(1966年)の見解を思い出す。半世紀後、私はその証拠がサイモンの見解を支持すると確信している。