

中小企業における人工知能の活用可能性

メタデータ株式会社代表取締役・理学博士

野村直之

要旨

人工知能（AI）を活用することにより、中小企業の生産性、売り上げ、利益率が向上したり、熟練工の後継者問題等が解決したりするのだろうか。逆に、一部のマスコミや書籍で主張されているように、大企業がAI導入を先行させて利益を独占し、十数年後にも大企業の多くの一般社員が失業する時代が到来する可能性はあるだろうか。

見通せる近未来数十年の間に、一人の人間を完全に置き換えられる汎用人工知能や、それを越えた、いわゆるシンギュラリティ水準のAIが誕生する科学的目途はたっていない。こうした現状を踏まえ、中小企業経営においてAIの役割が現実に期待される分野としては、熟練工の技能などの継承、「監視」に関する業務への導入、3Dプリンターの活用などが考えられる。

実際のAI導入の現場では、コストをかけてデータを整備し精度を評価する地道な研究者的な活動と、AI導入によって得られる経済的利益がそのコストに見合うかどうかを常に意識する経営者・事業責任者的な思考の両方が求められる。これらを踏まえたうえで、中小企業は、生産性向上のために、業務フロー分析などの困難を乗り越えて、最大限AI導入を試みるべきである。そのためには、地域ビジネス・クラスター、業界団体・協同組合、公的機関及びそれらに所属する職員個人などともデータを共有し、共同開発する道を探ることが必要である。

1 はじめに

1950年代に研究開発が始まった人工知能、AI (Artificial Intelligence) は、日本の第5世代コンピュータ研究にも支えられた第2次ブームを経て再び沈静化するも、ビッグデータがインターネット経由で利用可能となり、計算機パワーが安く何桁も高速となったことにより、ここ数年、第3次ブームを迎えている。第2次ブームでは、論理志向、ルール・知識処理志向が人工知能の主流だったのに対し、第3次ブームでは、何千種類にも及ぶ人工知能のなかから、かつて傍流だった人工ニューラルネットワークに基づく機械学習が主役となっている。人工ニューラルネットワークでは、入出力間に何層かの神経細胞 (ニューロン) を模した中間層を置いて、その間を、神経線維を模した膨大な数の結線で結んだ構造をソフトウェアで実現している。入出力層に適切に配置した大量の正解データから結線上の重みが自動で更新され、未知のデータに対して、より高い確率で、入出力の対応関係により正解が出せるようになる。第2次ブームの際には中間層が一つだけだったのを多層にしたため、層が「深い」という形式的特徴をとらえてディープラーニング (Deep Learning) とも呼ばれる。

ディープラーニングには、層の数や実装の種類の違いによって、さまざまな基本方式のバリエーションがある。そのなかで、物体名認識で安定的な高精度を発揮しているのが、福島邦彦博士が1979年に発明したネオコグニトロン¹の後継となる畳み込みニューラルネットワーク、CNN (Convolutional Neural Network) である。この他、時系列データに強い再帰型ニューラルネットワー

ク、RNN (Recurrent Neural Network)、データの長さやサイズが不揃いなものを吸収できる長短期記憶型ネットワーク、LSTM (Long/Short Term Memory) などがあり、さらに、これらを組み合わせた方式が毎日のように多数学会で提案されるとともに、間を置かずには産業界で初期の実践、応用が行われている。その背景には、実ニーズに突き動かされているというより、ごく限られたケースを除いて計算量など理論的な振舞いが未解明のため、研究コミュニティにおいても応用課題をこなしてみるしかない、という状況も存在する。

入力から出力まで、すなわち「端から端まで」(end-to-end)、途中のモデルを人手で作ることなく一気通貫に処理してしまうのが、他の機械学習方式と異なるディープラーニングの特徴である。その中間層には、人手によるモデル化や重みの修正等を加えることは一切できない。数十億本に及ぶ (それでもヒトの脳内の神経線維数より何桁も少なくかつ単純な構造であるが) 模擬神経線維上の重みの束として、その内部でなんらかの特徴が抽出されている。その結果、人間の視覚や聴覚の役割をある程度代替できるようになったり、言葉などの記号列の置き換えで機械翻訳等の精度向上に大きな役割を果たすようになっていたりしている。

ImageNetをはじめとするビッグデータにより画像認識の精度は大きく向上している。一般人が詳しくない課題をこなす専門画像認識¹や専門音声認識²では、人間の精度を容易に超えるようになり、新サービスの提供や、既存サービスの改良などの応用も多く試みられるようになってきた。従来、その担い手は、主に大企業やAIを専門とするベンチャー企業であった。しかし、今後は、視覚、聴覚によるモニタリングが大きな比重を占める業務を担う中小企業はもちろん、職人芸の一

¹ 例えば、メタデータ株式会社による「この猫なに猫」がある。(http://www.metadata.co.jp/fine-grained-image-categorization-by-deep-learning.html)

² 例えば、OtoSense社による「OtoSense」がある。(https://www.otosense.com/)

部を伝承するような異種、高度なAIについても、地域ビジネス・クラスター、業界団体・協同組合、公的機関及びそれらに所属する職員個人などによる人的、知的貢献により、国際競争に勝てる新たなビジネスチャンスが生まれる可能性もある。

以下、そもそも人工知能、AIとはどのようなものなのか、実用化がどこまで進んでいるのかなど、AIの研究に関する現状を整理したうえで、今後、中小企業の経済活動にどう影響してくるのか、中小企業ではどのような形で活用できるのかを探ってみたい。

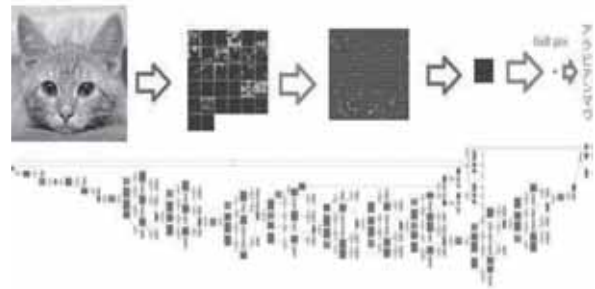
2 人工知能全般について

図-1は、ディープラーニングが、「端から端まで」(end-to-end)、一気通貫に処理する様子を示している。左端の猫の画像が、いくつもの中間層を経由する際に、各層においてユニットの機械的処理で情報が大胆に省略され、特徴的な一部が残されつつ、出力の直前には、6×8画素の小さな画像となる。

トレーニングの際には、違う猫の名前に対応する確率が高くなったとき、それを修正すべく、入力層へ向けて逆誤差伝播アルゴリズム(Back propagation)が働いて、中間層を結ぶ結線の重みが適宜修正される。この繰り返しを経て、多数の入出力のペアにおいて平均的に最も正しい対応が出力されるように、全結線の重みが修正されていく。これにより精度の高い認識や分類が行われるようになる。

一方で、人間がもともと得意な、おおまかな認識や分類(灌木とヒトを見分けるなど)となると、100%正しく認識できないこともある。例えば、かつてGoogle社が一般画像認識で、黒人カップルをゴリラと判定し、謝罪に追い込まれた事件が発生した。Google社ならではの膨大なデータと計算パワーを投入してトレーニングしても、概念や常

図-1 専門画像認識「この猫なに猫」の認識処理



資料：Google社が開発したGoogLeNetをもとに筆者作成
(注) アラビアンマウの画像の出所は、harmonica pete



識、背景画像や文章で表現された文脈を人間なみに網羅的に深く理解できる水準には、2017年時点のAIはまだまだ到達していないからである。

さらに、ディープラーニングに不適であったり、適用しようとすれば致命的な不都合が生じたりする応用領域も存在する。代表的なものが、入出力の対応関係がブラックボックスであっては困るケースである。例えば、人材マッチングの分野で、勤務地、勤務可能曜日、時給の希望、TOEICの点数などのさまざまな条件があった場合に、何がどう効いてマッチングが成立したのか、ガラス張りではわかっていないと、再調整や善後策の講じようがない。実際の現場では、特定の企業、プロジェクトあるいは候補者に手心を加えられるような裁量や調整も必要であるが、判定根拠が完全にブラックボックスで説明不能なディープラーニングでは、調整根拠となる属性のみを入れ替えて確実に意図に沿うような成約を保証するといったことなどは不可能である。ほかに、結婚相手紹介における男女のマッチング、商品売買の相手のマッチング、不動産等オンリーワン商品のマッチング、マーケティング対象のマッチング、融資審査における過去の成功事例・失敗事例との照合など、広範なマッチング応用ビジネスがあるが、いずれも、マッチングの根拠がブラックボックスで説明できないのでは困る。マッチング本体による全体最適

化は、ガラス張りの処理で超高速に根拠を突き合わせたいうえで、総合評価が可能なものでなければならぬ。そこでは、数理的最適化が本命となり、ディープラーニングはその一部の属性を数量化するなどの限定的、部分的な地位にとどまるであろう。

機械翻訳などの応用領域では、品詞名など文法的、言語学的な属性を対応させる難解な作業は、一般人にとってはブラックボックス同然であるから、全体をディープラーニングに置き換えても事情は変わらないという説もある。その是非はともかく、“end-to-end computing”というディープラーニングの特徴によって、多数の低精度モジュールが直列することによる誤差の掛け算的拡大を免れるため、他の方式を凌駕する高精度が達成されている。写真や背景知識、常識をも入力条件に取り込むことで、文章の内容を論理的に理解しないまま他言語の単語列に置き換えるニューロ機械翻訳は、当面精度を上げていくであろう。しかし、作業結果の説明性やその根拠に基づいて対価が発生する一般のビジネスでは、その業務プロセス全体がディープラーニングやアプリ間連携のマクロ(RPA: Robotic Process Automation)に一気に置き換わるようなことは起こらないであろう。

ディープラーニングによる専用AIを中小企業自らが開発すべきかを考察、判断する一助として、以下に、特徴をまとめる。

(1) 結線上の重みが逆誤差伝播等で自動で学習されるため精度保証が困難

- ①生データコンピューティング (end-to-end computing)
- ②入出力の対応関係を大量に投入して徐々に高精度化
- ③数式やIf-Then-Else の従来型プログラムとは根本的に違う。

④論理、言葉で説明不能な特徴や条件、法則性を勝手に習得。

(2) 精度がデータの量や質に大きく依存

- ①本番さながらの実験を行ってみるまでは、実用性が不明。
- ②成功／失敗、改善／改悪の原因分析が困難で追加投資、保守予算が見えにくい。
- ③ベンダーとユーザー間の責任分界点が不明確になりやすい。

例えば、機密データをITベンダーに開示できない企業は、買い手なのに精度の責任を負う。

専門画像認識では、一般人がもち合わせていない識別能力、例えばアラビアンマウとラパーマという、いずれも耳の大きな猫の、ある個体を初めて見て、どちらがどちらであるかを答えるような課題ならば、AIは容易に一般人の識別・分類能力を超えることができる。音声、音響等でも同様に、例えばOtoSenseというアプリでは、エンジンの異常音などを1,000種類聴かせてトレーニングしておくことで、ある音がどのような種類の異常であるかを95%以上の精度で認定可能である。これは、かなり優秀な自動車修理工の能力を超えている。

専門画像認識が有望と考えられるビジネス領域としては、例えば、①スマートフォンで撮影した各種動植物、魚類等の名前の確認、②監視カメラがとらえた自動車の車種の認識、③ロゴマークなど特定の入選デザインが数十、数百の候補とどの程度類似しているか診断、④人の顔画像から年齢、性別等の基本属性を認識³、などが挙げられる⁴。

上述③のロゴマークのケースなどは、過失により他人の権利を侵害してしまいかねない現代社会において、人間の調査能力の限界を打破する有望な応用事例といえないだろうか。このように

³ 例としてMicrosoft社のhow-old.netがある。

⁴ その他の例については野村(2016a)を参照。

ディープラーニングによって、これまで人間の目や耳の行き届かなかった部分をカバーする機能が実現しており、今後の新サービスの開発、既存サービスの改善、コストダウンなどへの応用が期待される。

一方で、ディープラーニングだけが人工知能というわけではない。例えば、今回の第3次ブームの少し前に刊行された教科書『人工知能の基礎』の目次は表-1のようになっている（小林、2008）。

また、『人工知能学大事典』の目次では、同様の大分類に加え、基礎論、哲学、隣接（模範）の科学分野、そして応用分野が加わっているが、これらを除けば大きな違いはない（人工知能学会、2017）。

章立ての数だけをみれば、ディープラーニング（ニューラルネットワーク、ニューロ）は、人工知能全体の数%以下しか占めていないようにみえるし、実際そうあるべきだと考える研究者もいる。他方、農業革命以来の革命とばかり、過大に評価する向きもある。

全自動で入出力の対応付けをつかさどる特徴抽出が行われるディープラーニングの特性を、自然言語処理やゲームなどにさまざまに応用して、成功する例も出てきている。しかし、筆者は、人間と同様の意識、責任感、罪悪感、優越感や劣等感、さまざまな欲望、意地や野心、権利意識など（これらは知能と同様まだ自然科学の対象足りえるまでに厳密に定義も出来ていない）を備えた、いわゆる強いAI⁵が、ディープラーニングの単純な延長線上に誕生することはあり得ないという立場をとる。ましてや、そのような強いAIが自ら子孫を残すべく自分自身を進化させて（ダーウィンの進化論に反する機械ならではの進化？）、あらゆる特性においてヒトを超えたとするシンギュラリ

表-1 目次の比較

「人工知能の基礎」の目次		「人工知能学大事典」の目次	
第1章	序論～人工知能とは	1.	人工知能基礎
第2章	問題解決	2.	哲学
第3章	系統的探索法と発見的探索法	3.	認知科学
第4章	問題分解法とゲーム探索	4.	脳科学
第5章	記号論理	5.	知識表現・論理・推論
第6章	導出原理と論理プログラミング	6.	機械学習とデータマイニング
第7章	意味ネットワークとオートロジー	7.	ニューロ・ファジィ・GA
第8章	フレーム理論とオブジェクト指向	8.	自然言語処理
第9章	プロダクションシステム	9.	画像・音声メディア
第10章	知識の不確実性の取り扱い	10.	ヒューマンインターフェースとインタラクション
第11章	機械学習	11.	エージェント
第12章	ニューラルネットワーク	12.	バイオロジー
第13章	遺伝的アルゴリズム	13.	ロボティクス
第14章	エージェント	14.	創造活動支援
第15章	自然言語処理	15.	教育支援
		16.	ゲーム
		17.	ソーシャルコンピューティング
		18.	知識工学とセマンティックテクノロジー
		19.	ナレッジマネジメント
		20.	産業応用
		21.	研究動向とプロジェクト

資料：小林（2008）、人工知能学会（2017）をもとに筆者作成

ティ（生物史の不可逆的転換点としての特異点）などは、少なくとも今世紀中には来ないと考える。したがって、シンギュラリティを前提とした経済社会システムを考える必要はないばかりか、現実的な未来予測に基づいて対策を考える者にとっては有害でさえあると考えている。

3 中小企業経営における

人工知能への期待

(1) 熟練工の技能や匠の技の継承

根拠薄弱なシンギュラリティ説を棚上げすれば、団塊の世代の引退、急激な人口減少が確定している日本では、生産年齢人口の顕著な減少に備え、今後の労働者不足をどのように補うのかが議論の対象となる⁶。

明石（2017）によれば、単純に、外国人労働者を多数招き入れただけでは、長い年月を費やして養成される熟練工の技能（身体知、スキル、ノウ

⁵ 野村（2016a）

⁶ 例えば、寺田ほか（2017）。

ハウ)の継承問題のすべては解決しないため、中小企業の今後のためになんらかの技術革新が必要と結論付けている。

中小企業には、熟練工の技能のみならず、専門職集団における暗黙知が支えるコミュニケーションの問題、複雑な業務フローに起因する低生産性の問題などが存在する。これらについても、労働者の増員ではなく、技術による支援が期待されるところではないだろうか。

熟練工の技能や匠の技の継承については、二十数年前の人工知能ブームにおける知識工学、エキスパートシステムが解決を試みた際には、ごく限定的な成功を収めるのみであった。いわゆる科学技術に関する知識であれば、論文、特許、仕様書などにほぼ100%記述できるものであり、それらを読んで世界中の研究者が追試したものが多数成功すれば、新技術として確立する。しかし、見て触って加工する熟練工の暗黙知は、科学技術に関する知識のように言葉や図解で記述し尽くせるものではない。身体技能と不可分の要素があり、そもそも言葉や図解で伝達されないところがあるからである。技術者が論理、数学等を駆使して解析することも、モデル化することもできないブラックボックスが残る、ともいえる。

このような特性は、入出力は明解ながら、トレーニング結果の中間層がどうなっているかわからないブラックボックス、end-to-end computingのディープラーニングと似ている。トレーニングのための正解データをうまく大量に揃えられれば、ディープラーニングに熟練工の技能をとらえさせることができるのではないだろうか。

野村(2016a)に「今後『匠の技』を丸ごとそのまま、生データから学習して再現できるAI、ロボットが引き継いで」と記述したとおり、ディープラーニングが、熟練工の技能や職人芸をキャプチャーできる可能性に期待を懸けている。

1990年代後半のビジネス界で起きたナレッジマ

ネジメント・ブームの際には、その世界的な教祖はトマス・ダベンポート博士(Thomas Davenport)であり、日本の教祖は、文書化前の暗黙知が形式知されて現場の業務が拡充しさらなる暗黙知を生む等のSECIモデルを提唱した野中郁次郎・一橋大学教授(現名誉教授)であった。残念ながら、暗黙知の定義は自然科学の言葉や数式で記述できるほど明確ではないが、「人間がさまざまな器官をセンサーとして駆使して得たデータを局所的に計算してまとめあげた結果を総合判断して微修正を加えつつ最終プロダクトを作るプロセスがなんらかの形で脳および全身に記憶されたもの」くらいにとらえておいてよいだろう。手(hand)の中に埋め込まれた反応パターン(実際には多くが脳内のどこかに記憶されている)や動作を起こす仕組みは、対象の状態や全体の状況を把握するのに寄与する。手だけではなく、足、目、耳も、触覚、視覚、聴覚等のセンサーとして同様の役割を果たす。そして、主に両手(双腕)を使い、道具や機械も使って対象の変形、加工、組み立てなどを行う。

伝統的な工作機械や産業ロボットは、数式を用い、厳密に距離、長さ、幅、重量を測定しながら規格品を製造してきた。これに対し、同一品目を少量しか生産しない場合、その少量生産製品の製造専用機、従来のようにシステム開発やプログラミングのコストをかけるわけにはいかない。従来は単一種を数千、数万と生産したために、工作機械や産業ロボットをプログラミングするコストは、1台当たりで数千、数万分の1になったが、少量生産ではそうはいかない。長い製造ラインの一部では、わずかな歪みを掌の感触で測定して微修正したり、毎回違う位置から異なる方向に両腕を動かして部品を組み立てるような工程が存在する。これらについて、人間のあらゆる動きのパターンを解析し、定式化、モデル化してプログラミングしようとしても、コストがかかりすぎて事実上不

可能であることから、人間が製造ラインの一部を担当してきたのである。

このような「手の中の暗黙知」による制御は、シンプルな数式あるいは数百通り程度の場合分けで収まるものではなく、職人や工員自身もどのようにできているのか言葉にし尽くすことなどできない。すなわち、形式知化しきれない。

ところが、ディープラーニングの場合、その中身がブラックボックスであるのを逆手にとるような形で、制御の中身や実態を解析できないまま、その入出力を再現できる可能性がある。

いわば暗黙知を暗黙知のまま、形式知化せずに機械化できるという可能性である。もちろん、そのためには、工員の動作の精密な動画映像、力加減の精密な時間変化、刻々と変化する3D空間中の位置情報、速度・加速度情報（ベクトルで表現）などの生データを適切にキャプチャーし、大量に集めておく必要がある。主要な開発プロセスが、定式化、モデル化、プログラミングという工程から、正解データ作りにシフトするわけであり、必ずしも現実的な費用でできるという保証もない。また、そもそも実現可能かどうか、やってみないとわからないことが多い。データ・グローブを装着した人間が作業を行い、その動きを忠実に記録、再現できるようにするという、CG制作の現場で普及してきた方法がある。これを大きくコストダウンして、ディープラーニングや、強化学習、例示学習などの機械学習アルゴリズムを併用するような試みも、今後は行われていくだろう。

この際に、ディープラーニングに頼りすぎると、ブラックボックス問題が顕在化し、実用上のネックとして立ちはだかってくる可能性がある。ディープラーニングの学習結果は、上述のようにブラックボックス同然であり、何がどうなっているかわからない。何億本もの神経線維相当の結合の重みの意味を人間が読み取ることも、再調整したり変更したりすることもできない。このため、

例えば「もう少し下側に余裕をもって機械の手を動かしたほうが不良品率は下がりそうだ」と人間が判断したとしても、それはあくまで参考であって、トレーニングをやり直すしかない。さらに、その改善量や改善までのトレーニング量を事前に正確に予測し尽くすことも困難である。

このように、コントロールできないところを残ることを忘れずに適切な応用を図れば、とにもかくにも、従来は人間の感覚が頼りで説明も形式知化も不能だった熟練の動きを機械が引き継げる可能性が出てきたことは、注目に値するといっていよう。

(2) 異常検知、監視、抜き取り検査

工場内や流通経路上での検品や異常検知にも、ディープラーニングは有効と考えられる。トレーニングを受けていない素人には認識できない外見上のさまざまな特徴を抽出し、数十、数百種類に分類することで、専門的な人間の視覚、聴覚などを置き換える仕事なら、人間の能力を容易に超えることができる。

一人の熟練工が1秒で1カ所、目視や触感で検品を行っていたとする。それをIoT (Internet of Things) を活用したセンサーでデータ化できれば、収集したデータは、遠隔地で集中管理して分析することが可能である。学習済のディープラーニングは、1画像を0.01秒くらいで認識・分類できるので、1台100万円程度かそれ以下の検品サーバーで、毎秒100カ所、100人分の検品業務を担わせることも可能となる。複数の企業が協力して取り組めば、劇的なコストダウンや生産性向上を実現できるかもしれない。最終チェックは人間が担うにしても、例えば、機械が確信をもてなかった（低い確率値とともに良不良を判定した）10%以下の製品だけを、1カ所の集中監視センターで人間が検品することにすれば、大幅なコストダウンが可能となる。UI (User Interface) をうまく設

図-2 IoTを支えるクラウド上のAI



資料：筆者作成

計すれば、自分が見落とせば欠陥品がそのまま出荷されてしまうという緊張や恐怖から解放される。AIを下僕として使い、「機械は時々間違えるから仕方ないな。でも、漏れや間違いは人間様にはすぐ見つかる。俺が直してやるから大丈夫！」とばかり、低コスト、高速、そして低欠陥率で生産していくことも可能になるだろう。

コストダウンの結果、従来は人件費の制約で人間の目が行き届かなかった場所、部位、時間帯、頻度で、異常検知やモニタリングを実施して製品の高品質化を達成できるようになる。特別に品質の高い「選別品」を高値で市場に受け入れてもらえるならば、付加価値化も可能となる。多品種少量生産のラインであっても、ディープラーニングにトレーニングさせられるだけの正解データを作ることさえできれば、規格品向けの検査と大差ないコストで運用することも可能となるかもしれない。正解データが十分に存在しない状況であっても、毎回人間が判断して目視検査することとなるので、どのみち一定時間経過後に正解データが作られることにもなる。

(3) 生産ラインの改善による

コスト削減と品質の向上

Industrie4.0 (産業4.0) は、工場内でのIoT導入、フル・デジタル化による機器間自動連携、AI導入により、かんばん方式を本格的に凌駕しようとするだけではない。物流倉庫など別の機能を備え

た他拠点や他事業者との連携の超高速化、低コスト化、高精度 (高品質) 化まで視野に入れている (図-2)。部品調達コストのかなりの部分は、時間 (納期・納入頻度) の最適化により削減される。コスト削減のみならず、ラインを緩慢に動かしたり待機させたりしている際のエネルギー節減、欠陥品率の低減による廃棄物の削減というメリットも期待できる。

工場全体の中長期的な最適化に目を向けると、工作機械、生産機械の故障をビッグデータから予想して、予防的な部品交換を行うなども、生産性向上やコスト低減に貢献する。部品交換のタイミングも、事前に予測された日時より少し手前で、ラインを止めずに済む最も無難な曜日、時間帯となるように調整して、生産ラインのダウンタイムを最小化することにもできるだろう。

工場内各所のIoTセンサーから得られるビッグデータの解析による生産ラインの改善は、出荷製品の品質向上を通じて、出荷後の修理回数の削減にも結びつく。

(4) 3Dプリンターと製造業

IoT (Internet of Things)、Industrie4.0 (産業4.0) では、自動化の入り口となるセンサーに焦点が当たりがちである。しかし、センサーからの入力を識別・認識・分類し、適宜場合分けをする頭脳部分 (AI) や、AIの判定結果に応じて効率よく生産、配信または配送する、高度に自動化された「出力」を行う機器類も重要である。そのなかで、特に製造行為そのものを担う3Dプリンターに注目したい。

3Dプリンターの入力データは、部品や製品そのものをデータ化したものである。設計データをEメールに添付して送信することで、地球の裏側であっても、3Dプリンターさえあれば、複雑な形状の人工骨だろうが拳銃だろうが、同一のものを「印刷」＝「製造」することができる。インターネットと組み合わせて、文字通り「物体移送 (複製)

機」となるのが3Dプリンターである（野村、2016a）。

3Dプリンターの設計データをオープンソースとして公開、共有し、世界中で磨き上げて改良しようという流れが加速している。MAKE、あるいはメイカーズ・ムーブメント⁷と呼ばれる、個人の視点で斬新なオリジナルのハードウェアを作ってしまうというDIY（Do It Yourself）の国際的な運動、コミュニティがある。極小規模の設計・製造の同好の士達が趣味の領域を超えて、自ら欲しかった製品について、ネットで迅速に試用後の意見や感想のフィードバックを得てどんどん改良していこうという流れである。日本国内でもMaker Faire Tokyo（Make Japan）が毎年規模を拡大して開催されており、自ら欲しかったものを作った人々が、多数のオリジナルハードウェア作品を展示し、それに触って、使ってみて驚き、楽しむ多くの来場者を集めている。

このメイカーズ・ムーブメントは、大企業の下請けになりがちだった、従来の中小企業の在り方を変える可能性を秘めているのではないだろうか。

3Dプリンターが登場したことで、ネットでつながるすべての人々が、オリジナルのハードウェアを設計し、デザインできるようになり、そのための参入コストやランニング・コストも劇的に下がりつつある。潜在ユーザーを含む個人が創造性を発揮する方向で、設計から製造までネットでつながるのは、IoTというより、Industrie4.0のパーソナル版とも呼ぶべき環境（生態系）である。この環境を活かすも活かさないも、当の中小企業経営者の決断次第ではないだろうか。

(5) ディープラーニング活用についてのまとめ

上述のように、さまざまな業務の一部を構成する「監視」は、ディープラーニングの得意技であ

る⁸。情報システム担当者の仕事としてだけでなく、業務の多忙さを軽減するための予防措置としても、異常（やその予兆）の監視は重要であろう。部品や機器製造を手掛ける中小企業における「監視」のわかりやすい例としては、「HDDアクセス時のデータの誤りや訂正頻度からクラッシュの予兆を探る」などがある（ただし、こうした専門機能の精度、開発コスト、使い勝手に関しては、人間が、過去のデータやデグレード曲線などのモデルに当てはめて適宜統計処理を施した専用ソフトに軍配が上がるかもしれない）。

さまざまな資源の利用パターンや部門・個人の利用状況など、モデルも理論もなく予測もつかない状況では、画像化などを施したパターンの特徴をディープラーニングによって自動でとらえることで、認識・分類できるようになる。これにより、さまざまなITの負荷状況などを常時監視できるようになれば、インシデントの発生を未然に防いだり、発生時に迅速に対策を打ったりできるようになるのではないだろうか。

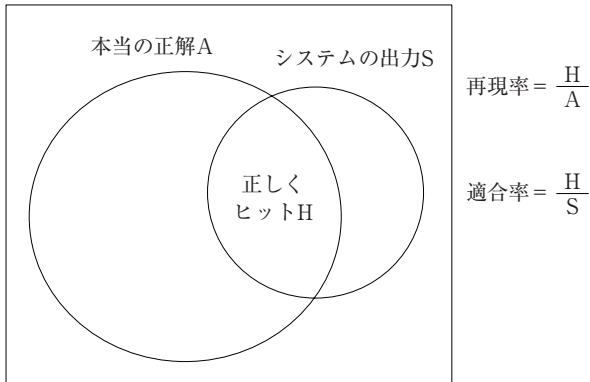
本節の最後に、ディープラーニングを活用するコツについて、ビジネス上の含みを込めて、頭に入れておくべきことを以下にまとめる。

- ①人がプログラミングせず入出力の正解データを大量に投入して「学習」。
- ②特徴を自動的に抽出し、未知データを認識・分類・生成。
- ③1,000の一般画像認識で97.4%と、ヒトの認識精度を超えたとも言われる（2015年12月）。
- ④人間のように学習しているわけではないが優秀な道具になり得る。
- ⑤学習結果は結線上の重みの束（数10億本等）。ブラックボックスであり、実験前の精度保証が困難。

⁷ (株)オライリー・ジャパン（2017）

⁸ 「監視」的なサービスや収益に結び付きそうな新規事業の例については野村（2016a）を参照。

図-3 再現率と適合率



資料：筆者作成

⑥生データコンピューティング (end-to-end computing)

入出力の対応関係を大量に投入して徐々に高精度化。数式や、人が理解できる場合分け (If-Then-Else) に基づく従来型プログラムとは根本的に違う。

- ⑦論理、言葉で説明不能な特徴や条件、法則性を勝手に習得できることもある。
- ⑧精度がデータの量や質に大きく依存する。
- ⑨本番さながらの実験を行ってみるまでは、実用性、ましてや収益性は不明。
- ⑩成功・失敗、改善・改悪の原因分析が困難で追加投資、保守予算が見えにくい。
- ⑪ベンダーとユーザー間の責任分界点が不明確になりやすい。
- ⑫機密データをITベンダーに開示できない企業は買い手でありながら、精度の責任を負う。
- ⑬ディープラーニング実用化の素直な延長線上に、自発的に学習したり批判したり、未学習の事態に「気を利かせて」作業してくれる、人間のように柔軟に仕事をこなす (ヒトの全人格・全能力を代替できる) 汎用人工知能や、それを超えるシンギュラリティ知能が開発できる科学的根拠、用途は存在しない。

4 AIの開発費用の見積もりと

目標精度の設定

本節では、人工知能ブームの中心にあるディープラーニングの本質を踏まえて、実務に導入する際にビジネスで「使えて」「投資効果」のある目標精度 (要求精度) を定めるべきこと、ただし、精度はトレーニング用の正解データの量・質次第なので、事前にコストが見積もりにくいことを示す。

精度には、「適合率」と「再現率」があり、その両方について妥当な要求水準を目標とする必要がある。これらがないと、AIを役立てられずに終わりがちである。AI活用に当たり、適合率と再現率、そしてそれらのビジネスにおける意味 (なぜその数字が必要なのか。その数字なら役に立つのか) を論じないのは無謀である。なぜなら、これらなしにはROI (Return On Investment 投資利益率) が全く議論できないし、精度向上予測値のない技術ロードマップを描いてもあまり意味のないものになるからである。目標精度が少し違っただけで、開発コストが10倍以上変わってくることも十分あり得る。

(1) 認識・分類の精度を評価する

「再現率」と「適合率」

図-3に、「再現率」と「適合率」の違いを示す。本当の正解集合「A」に対して、システムが「正解 (猫なら猫)」と出力し、本当の正解でもあった「H」の割合、「H/A」が再現率であり。システムの出力すべての集合「S」に対する「H」の比率、「H/S」が適合率である。

狭い意味での「精度」とは、適合率のことである。「システムによる勇み足」「誤りの少なさ」などと言い換えてみるとわかりやすい。同様に、再現率は「取りこぼしの少なさ」「カバレッジ」と言い換えることができる。目標精度を立てるには、

表-2 AI、特にディープラーニング応用で極めて重要な精度目標値

	事 例	AIによる処理	目標精度
1	車載カメラ	撮影された動画から危険シーンを抽出	適合率、再現率ともに50%で可
2	日本語OCR	日本語文書の読み取り	適合率99.5%では使い物にならない
3	がん検出（診断支援）	検体画像の診断（手術中の場合／1週間預って診断する場合）	本文参照

資料：筆者作成

AIを使いこなす人間の作業フロー、すなわち人間がどんなUIでどんな中間処理や最終判断を行うかを精査して詳述する必要がある。遂行中の業務フローを基に、人間の作業の一部だけを極端に速く、人間とは違った間違え方で業務を遂行するAIを取り入れて、一般にはかなり複雑化する業務フローを描く。そして、その新フローがスムーズに流れるように、ダブルチェックをシングルチェック、それもサンプリングして目視するのにとどめて人件費を例えば20%に削減するためには、AIがどの精度数値をクリアしていなければならないか、すなわち適合率（誤った指摘の少なさ）と再現率（取りこぼしの少なさ）の目安を最低限決めておかねばならない。

これらの目標精度数値があって初めて、AI構築に必要なコスト（ROIを決める数式の分母）の大半を占める「正解データ作り」のコストを予想することができる。しかし実際には、学習用の正解データ作りを含め、試作してみないと、どの程度の開発・評価規模になるのかみえない部分が大い。そこで、少量データを用いた小規模実験などによって実際に目標精度がどこまで高められるかを予測しながら、スパイラル式にコスト見積もりの精度を上げていく必要がある。

(2) 目標精度数値が大きく異なる三つの事例

ここで、十分なROIを確保するために、課題・テーマによっていかに目標精度が異なってくるか、具体的にみていきたい。

表-2では、「車載カメラ」「日本語OCR」「がん

検出（診断支援）」の三つの事例を挙げ、うち二つについては、十分なROIが期待できる目安となる目標精度を記している。

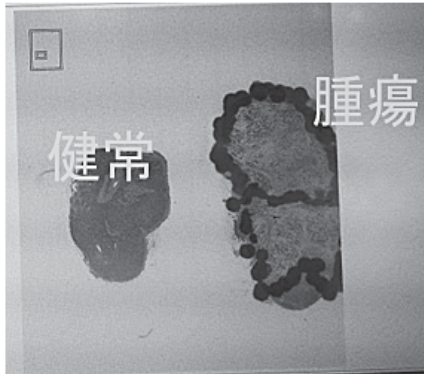
例1の車載カメラについて、従来人間がやっていた業務は、何百人もの運転手を抱えているタクシー会社やハイヤー会社で、各車に装備された車載カメラが営業運転中に撮影した何百時間もの動画を視聴し、危険運転をしている数カ所、各5～10秒ほどのシーンを抽出することであった。その目的は、運転手本人に動かぬ証拠を突き付けて自覚を促したり、他山の石とすべく多くの運転手が観る教材を作ったりすることである。

この場合、例えば500時間中、10カ所ほど危険シーンが本当にあったとして、その全部を網羅する必要は全くない。「本当の正解（A）」の半分の5カ所ほどカバーしていれば、十分によい教材を作ることができる。そして、「システムの出力（S）」のうち、半分ほどが「誰でも認める、典型的な危険シーンである」と人間に判断できれば十分である。各シーンが30秒ずつと長めだったとしても、500時間見なければならなかったのが、システムが危険運転の疑いありと出力した10本分、すなわち、5分間だけ眺めて「危険」「安全」と半々に選り分ければよくなる。

こうして、人間の動画目視の作業時間は6,000分の1に激減するので、莫大な人件費が節減され、十分なROIを確保できる可能性が確認される。「適合率」「再現率」とともに50%程度で、十分に投資効果がある案件であるといえるだろう。

一方、例2の日本語OCRの場合、図中に示し

図-4 超高精細の検体画像



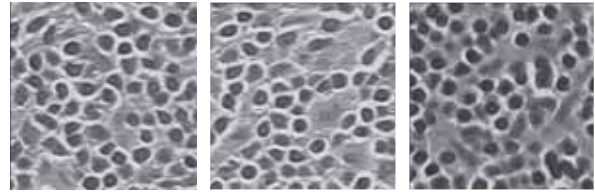
出所：東京大学医学部附属病院・メタデータ(株)・インスペック(株)
「病理デジタル画像・人工知能技術を用いた、病理画像認識による術中迅速・ダブルチェック・希少がん等病理診断支援ツールの開発」(2016)

たように、精度（適合率）が「たったの」99.5%にとどまると、例えば1ページに2,000文字あるとして、「ソフトバンク→ソフトバンク」のようになかなか気づきにくい誤りが10カ所程度発生することになる。これを人間が何回見直せば100%正しく修正できるのかは不明である。仮に100回見直せば100%になるとしても、20万文字を目視・精査せよ、という極めて不毛な仕事人間側に新たに発生してしまう。

1ページの文字の再入力にかかるコストは数百円以下でも可能であるし、たまにしか使わないのなら本人が再入力すればよいとなりがちである。再入力によって、文章内容が頭に染み渡って新たなアイデアが出るなどの副産物も考えられる。1ページだけOCRソフトにかけるためのスキャナの取り出しや、設定を思い出して実行する作業なども考慮すると、精度（適合率）が99.5%にとどまるのでは、投入コストに合うメリットがないと評価されても仕方がない。これが、日本語OCRがビジネスの現場で広範には活用されない理由であろう。

もちろん、「ある程度の精度で文字列検索ができればよい」という程度の文字認識結果の活用であれば、PDFの埋め込み文字列などがあり、利

図-5 リンパ節画像の画像認識の例(1)



出所：図-4に同じ。

(注) 「健常」部分を「健常」と判断した写真

用者は徐々に増えている。しかし認識結果を100%信用し、元の文書イメージを捨ててテキストデータのみにするという運用ができている現場はごく少ないと思われる。

例3に挙げた「がん検出（診断支援）」については、メタデータ(株)で筆者がリードしている厚労科研費プロジェクトで始まったばかりの、現在進行形のものである。これは、東京大学医学部附属病院、メタデータ(株)及びインスペック(株)が共同で、実質的には2017年に開始した厚労科研費研究「病理デジタル画像・人工知能技術を用いた、病理画像認識による術中迅速・ダブルチェック・希少がん等病理診断支援ツールの開発」における評価指標「目標精度」の案である。

図-4は、初年度の2016年度の成果報告から、リンパ節に転移したがんの検体画像を示したものである。

上側に、「健常」「腫瘍」と記した検体画像は、9億～36億画素という超高精細の病理診断用画像である。これは、JPEGなどのファイルフォーマットの規格外の特殊形式であり、1枚当たり0.5～1.6GBものファイルサイズとなる。

図-5は、リンパ節に転移したがんの検体画像と、その一部領域が健常か腫瘍かを判定するのに試作したAIの判定結果の例である。

これら3枚の画像のように細部を切り出した結果は、CNNと呼ばれるディープラーニングに「健常」部か「腫瘍」部かを識別させ、確率値とともに出力されている。特徴を残しつつ大胆に情報を省略し

ていくのがCNNの真骨頂である。256×256ピクセル程度の小さな画像に何がどんな状態で写っているかを、大量の正解データで数日間トレーニングした結果、医師に匹敵する精度で判定できるようになった。

プロジェクトの名前に、技術開発と実用化の目標が込められているが、さすがに目標精度数値までは入っていない。手術中に迅速にAIに判定させ、執刀医が参照するケースと、従来通り、病理医が1週間ほど検体を預かってじっくり判定するケースとに分けて、目標精度を、下記のように仮決めした⁹。

①手術中に候補を出す場合

確率値第1位の症状名称の適合率>50%

確率値第1位～第5位の合計値(再現率)>95%

②病理センターで1週間ほど検体を預かってじっくり診断する場合

確率値第1位～第50位の合計値(再現率)>99.5%

手術中に、500種類ものがんの候補をAIに出力されても、それを医師が深く吟味している余裕などないだろう。確率値上位5位までに自分の見立てと同じ種類のがんが入っていたとして、AIが「より確率が高い」と判断した他の数種類と比較吟味しながら、開腹中の処置を決めることができれば、十分に医療の進歩といえるのではないだろうか。

一方、病理検査の専門部署が1週間ほど検体を預かって、超高解像度画像を精査するアプローチでは、はるかに多くの種類のがんの可能性を精査することができる。そこで、AI流の判定根拠(となった画像)を提示しつつ、多くの可能性を指摘することで、医師による総合判断の精度が上がるのが期待される。特に、細胞1、2個というこ

く僅かな転移の発見などは、コンピュータ(AIという道具も含む)の真骨頂であり、期待すべし、という意味で、確率値上位50位までに正解が99.5%存在することをディープラーニング出力結果の目標とした。

実は、ディープラーニングをはじめとするend-to-end computing(生データコンピューティング)では、精度評価は非常に容易である。正解データセットを自動分割して、トレーニングに使わなかったデータを使って自動で精度を求めるあたりまでが、標準ツールに組み込まれているからである。正解データさえ用意すれば、比較的小規模な実験ならば、実際に達成できる精度数値がすぐに得られる。

AIを応用するビジネスの企画で、目標精度の設定は必須であり、投資する際の義務とさえいえる。AIを(道具、装置として)応用した研究でも、上述のがんの病理診断と同様に、目標精度の設定は必須である。精度こそが、研究の目的・意義の根幹に位置付けられるものだからである。

実験結果の精度数値を欠いたり、その評価、その数字の意味するところを解釈していなかったりする研究論文や、AIを活用したビジネス・レポートは殆ど無意味である。

(3) ビジネスへの応用に際しての留意点

AIのビジネスへの応用では、適合率及び再現率の目標設定と評価を行うだけでは、実は不十分である。どんな種類の誤りが生じるのか、誤った場合にどうすれば副作用を食い止められるのかまでを詳細に取り決めなければ、ROIや生産性を上げることはできない。

どんな種類の誤りがどのくらいの数や確率で発生するのか、実験結果から作成したものが、表-3の「取り違え行列(Confusion Matrix)」である。

⁹ プロジェクト開始時点のものである。

表-3 取り違え行列 (Confusion Matrix)

(件)

正解 \ 出力結果	脂肪粒	健常	腫瘍	空白	合計	精度
脂肪粒	644	8	0	98	750	85.8%
健常	14	1,666	14	0	1,694	98.3%
腫瘍	2	75	3,161	0	3,238	97.6%
空白	1	0	0	2,390	2,391	99.9%

資料：メタデータ株式会社作成

これは、研究最初期の3日間に数千枚のリンパ節の画像でディープラーニングのトレーニングを実施し、その後、新規のテストデータで精度評価した結果得られた取り違え行列である。対象となる画像を「健常部分 (healthy)」「腫瘍の部分 (tumor)」「泡状の脂肪粒 (bubble)」、そして何も映っていない「空白部分 (White)」の4種類に分類している。

対角線上にある「脂肪粒→脂肪粒」「健常→健常」「腫瘍→腫瘍」「空白→空白」の値、つまり同じ種類のものが正しくその種類の画像だと認識される確率が最も高くなっており、トレーニングの結果として十分な精度が出ていることがわかる。

最も精度の低い「脂肪粒→脂肪粒」でも85.8%、その他については約98.0%以上と、比較的少ないデータ数のわりには非常に高い精度が出ているといえる。

「脂肪粒→健常」の取り違え率は、 $8 / (644 + 8 + 98) = 1.0\%$ と少ないが、「脂肪粒→空白」の取り違えは $98 / (644 + 8 + 98) = 13.0\%$ と高い値を示している。この原因は、脂肪粒は、球状 (平面上では円形) の輪郭が一つ映り込んでい以外は、空白部分と大差ない外観のせいではないかと推測される。とはいえ、腫瘍ではない分類同士の取り違えには、実務上、問題はないため、85.8%という精度を、他の腫瘍に関わる判定に悪影響を及ぼしてまで無理に上げる必要はない。

一方、「健常」「空白」「脂肪粒」の画像を、AIが「腫瘍」だと認識したものについては、そのよ

うな画像は人間の医師がすべて確認するとすれば、問題はない。十分に絞り込まれ、厳選された少数だけが2次検査や精密検査に回ったと考えてもよい。「脂肪粒→腫瘍」はゼロ、「空白→腫瘍」もゼロ。「健常→腫瘍」は14枚で、健常全体の0.8%となっている。

一番深刻なのが、本当は腫瘍なのに、健常 (もしくは脂肪粒) だと誤判定した77件 (2.4%) である。先ほどと同様に、確率値の異なる3枚を抽出した画像を以下に示す (図-6)。

共通する特徴は、入り組んだパイプのような毛細血管状の模様が写っていることだ。このような誤判定を解消するには、こうした模様のパターンを含む画像、特に腫瘍が含まれているものを切り出して別分類とし、再トレーニングするのが正攻法の解決策である。

これにより、このタイプの誤判定の確率を1、2桁減らすことは可能だと思われ、実際に、どのような追加トレーニングを施すべきかの目標が具体的に定まった。トータルの作業工数削減や納期短縮を意識しながら、応用現場でAIを開発するイメージである。

(4) 研究者の視点と経営者の視点

医療分野では腫瘍と判定された結果は全件再チェックに回る。しかし、製造物や製品の外観検査の場合、AIによる誤判定の数や比率が十分に小さくて許容範囲ならば、AIによって不良品と判定されたものは廃棄するという選択肢が生まれ

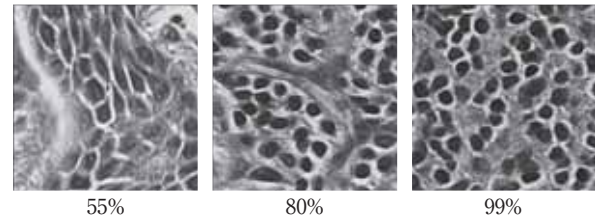
る。すなわち、誤判定によって生じる損失額よりも、厳密な検査にかかる人件費のほうが多いのであれば、「AIによる不良品判定→廃棄」が新しい業務フローとして成立する。このような経営判断のためにも、精度の数値、それも取り違え行列の表中の各々の精度数値や発生確率とその意味するところを正しく解釈し評価することが決定的に重要である。

「精度」という、旧来のIT、企業情報システムではあまり議論にならなかった非機能要件 (non-functional requirements) に取り組むには、研究者のような視点・アイデア・手法が必要になる。また、単純な場合分けや、AIだけでは問題解決できない部分に対し、人間が最終的に判定する際の切り口と条件・基準を精査・設定することで、ようやく生産性の向上を達成できるというあたりでは、経営者の視点が求められるといえる。

ビジネスにおけるAI導入の現場では、地道な研究者的な活動と、AI導入によって得られる経済的利益がそのコストに見合うかどうかを常に意識する経営者・事業責任者のような思考の両方が求められる。AI導入の可否を判断するためのガイドラインとして、ビジネスモデルや業務フローに応じた目標精度の設定と実現精度の見積もり、それらの評価実験、及び実験結果の詳細かつ精密な解釈が必須となる。

そして、実際に精度を左右するのは、正解データである。CNNかRNNかR-CNN+LSTMか、など、基本的な手法が固まっていれば、さまざまなパラメータで再トレーニングして精度を追求することはあっても、正解データを最初から全部作り直すことは通常行われない。しかしそれでも、トレーニングと精度評価実験という下流工程のコストよりも、人手で膨大な手間をかけて正解データを一から作成するコストが、開発費全体の大部分を占めるケースは少なくない。ディープラーニング以前と比べると、開発コストの主要な部分が、従来

図-6 リンパ節画像の画像認識の例(2)



出所：図-4に同じ。

- (注) 1 「腫瘍」部分が含まれているのに「健常」と判断した写真
2 比率は、「健常」である確率値

は「設計、プログラミング」の工程であったものが「データ収集、正解ラベルの付与」の工程に置き換わるようになったといえる。これは、かつては科学的・数学的にアルゴリズムを組み立てられた部分が、経験則に依存して正解データ作りの苦勞をしなければならなくなったということである。それを補って余りある高精度が、一定コスト内で達成されて初めて、ディープラーニングの導入が正当化できる。

要求精度（必要精度）が少し違うだけで、何倍も、時には何桁も、AIシステムの開発コストが変わることがある。しかも、ただデータを増やただけでは、かえって精度が下がるケースもある。また、同じデータであっても、ディープラーニングに識別させるデータの分類基準や分類自体を試行錯誤しながら何度もやり直さなければならないことも、ままある。正解ラベルを付け替えるという大きな再作業が発生するのである。

そして、これらさまざまな作業に関しては、現場のデータで試してみないと、精度が良くなるか悪くなるのか、あとどれだけ試行錯誤すべきなのか、事前にはわからないことが多い。トレーニング所要時間の理論的根拠も、限られたケース以外では未解明であり、現在のAI応用システムの開発が、AI職人の経験則やノウハウに依存している部分が大きいといわれるゆえんである。

実データを保有する現場において、少しずつ正

解データを増やししながら、AI開発の進捗状況（精度の実数値など）を監視するとともに、AI導入によって得られる経済的利益がそのコストに見合うかどうかをより精度高く予想していく事業家センスが求められる。走り出したプロジェクトについて、損切りをしたうえで中止をする勇気も時には必要なのである。

AI時代に求められるのは「生データの見極めからROIの洞察まで」——大企業であれば、情報システム部門が、経営サポートにまで役割を拡大するのが望ましいといえるが——、中小企業においては、現経営者または次代の経営者が、技術（特に精度）の限界を見極めたうえで、新業務フローの設計に直接携わるのが最も良いのではないだろうか。

ROIを決める数式の分子に当たる、成果を活用した経済的利益を求めるには、その新事業構造の寿命を読む市場予測も必要である。そのためには、利用者や市場ニーズの将来を予測できるようなマーケティングセンスも求められる。

5 中小企業の経済活動に及ぼす影響

前節までで、個々の現場の業務（の一部）向けに専門特化した実用AIを開発するには、実際にAIのトレーニングを行う以前に、正解データの整備、データの構造化、付加価値化に大きなコストがかかることを示した。本節以降、経営上の問題、経済的要因、人材をはじめとするリソース、ビジネスモデル、AI利用企業としての利用形態や留意事項等について述べる。

二十数年前の第2次人工知能ブームの主演の一つ、知識工学や、1990年代後半のナレッジマネジメント・ブームが沈静化した大きな原因は、「知識獲得ボトルネック」にあった。すなわち、専門家や職人（オフィスワークに従事するホワイトカラーを含む）は、自分がこなしている仕事や手順

を、コンピュータで再現可能な形で記述できないばかりか、日本語などの自然言語でも表現しきれず、このために当時の論理ベース、ルール・ベースのAIが挫折したのである。

今日、第3次人工知能ブームを支えるディープラーニングなどの機械学習では、職人芸を人手でAIに理解可能な形で記述する必要はなくなった。一方で、入出力のペアの形で、質の高い正解データを大量に用意して個々の専門AIを育てるという仕事が発生している。この正解データを十分に整備するのが困難であるために、依然「知識獲得ボトルネック」が立ちはだかっているといえることができる。

このことがあまり大きく喧伝されていないのは、AI研究者が産業応用現場でのすれ違いや失敗を語りたがらないことや、IT業界のハイパー・ジャイアントといわれる、Google、Yahoo、Facebook、Baiduなどのメディアサービス事業者によって代表される巨大ネット企業にとっては、ユーザーが自発的に無償提供する画像、動画、音声、文章などのUGC（User Generated Contents）を、まるで空気や水のように使えることに一因があるだろう。彼らのうち、AIに特化したインフラをクラウドサービスで提供する事業者（Amazon AWS、Google App.Engine、Microsoft Azure）は、必要とときだけ大量のGPU（Graphical Processing Unit）を使えるGPUクラウドを備える。個々のAIを開発したい企業に当該テーマや専門分野のビッグデータを丸ごとクラウドにアップロードさせて預かり、トレーニングや、完成したAI（実態は「モデル」と呼ばれる、ニューラルネットワークの大量の結線上の重みの束）を利用する際にも、必ずクラウドを経由する仕組みを提供している。

仮に、彼ら少数の大資本がAIを独占し、途中から利用料を値上げして自在に利益を上げられるようにするとしたらどうなるだろう。大多数は日

本ではなくアメリカの企業であり、彼らが生産性向上の切り札となるAIインフラを、独占的に提供する近未来像が描かれなくはない。

もちろん、技術力さえあれば、あるいは、技術力の高い国内ベンチャー企業などと手を結べば、自前のデータに大きなコストをかけて正解ラベル付けしたものを、海外企業のクラウドにすべて委ねる必要はない。実際、時々起こるクラウドからの情報漏えいや、データ消失事故のニュースを前に、技術投資や比較的少額のハードウェア投資を怠って、クラウドにすべてのデータを預けるといふ会社はごく少数だろう。たとえ、クラウドを活用するとしても、一時的に大量のトレーニングを実施するための短期間の計算パワー（GPUの本数）の増強にとどまり、そこで構築した「モデル」（AI）はダウンロードして自前で管理するケースが主流になるだろうと予想される。

そのような投資は、どうしても体力や資本力のある大企業が有利ではある。しかし、VC（Venture Capitalist）や機関投資家から資金を得た専門AIベンチャーが、少量データの追加学習だけで済むような「イージー・オーダー的な」AIパッケージを、多数のAIユーザー企業に供給する動きも出てくるだろう。オーダーメイド的なAIであっても、地場産業を構成する数十社、数百社が共同開発したり、公的機関がそのための資金援助、技術協力、人的協力¹⁰をしたりすることで、十分に勝算ある開発も可能である。その際に、ビッグデータで基本モデルを作り、それを共用しつつ、自社だけの少量のデータで追加トレーニングを行うことで差別化を図り、同業者間での健全な競争を促進することもできる。

とはいえ、中小企業が研究開発段階のリスクまでとれるかどうかは、助成金を含む環境次第という面がある。仮に、新種のAIを開発できる専門

AIベンチャーが近隣に存在していても、希少な存在である彼らは、まとまった出資や、研究段階の成果物を正当に評価できる大企業を顧客としがちであり、中小企業からオーダーメイドのAIを受託開発できる状況にはない。実際、中小企業が単体でAIの本質を理解しつつ、数百万円の研究開発費に加えて、通常、AI用のハードウェア以上に高額なAIのトレーニングのための正解データ加工費用を、毎月負担し続けられるケースは稀ではないだろうか。

オープンソースやオープンデータ、あるいは独自データを用いて、独自にAIを研究開発しようという試みも、もちろん成功する可能性はある。「人工知能」のジャンルで書籍販売の上位を占める、いわゆるハウツー本には、オープンソースを用いることで、必ずしも難解な概念やテンソル等の数学を理解することなく、独自の画像分類、音響認識などを行うAIを構築する方法が解説されている。必要なハードウェアについても、ここ十数年、ハイエンドのビデオ・ゲーム愛好家のために劇的にコストダウンされてきた高性能GPU（Graphical Processing Unit）をデスクトップPCに10万円程度で追加し、Linux OS上に多数のディープラーニング用のミドルウェアを精妙に構築すれば、ふた昔前のスーパーコンピュータなみの性能が手に入るため、価格がネックになることはない。

そして、自前で自社専用AIを開発するにせよ、かなりの部分を外注するにせよ、ディープラーニング導入の作業フロー、委託元（あるいは社内の企画部門）と委託先（あるいは社内のAI開発部門）との分担や、AI完成後に複雑化する業務フローの実態をイメージしておくことは重要である。このために2017年7月時点で最も実務上の参考になる書籍が、「人工知能システムを外注する前に読む

¹⁰ 野村（2016b）では、公務員の兼業禁止規定を緩和する公務員法の改正についても言及している。

本」である(坂本、2017)。著者の坂本氏は、さまざまな受託開発・コンサルティング業務を経て、最近のニーズに応じて顧客企業のディープラーニング導入を請け負ってきている。このため、一般のシステム開発の「言葉」に置き換えて、AIの開発・導入・運用について平易に説明するとともに、従来システムとの相違点やAI独自の留意点について、定性的・感覚的に想像できるように、実務が説明されている。カバー裏にある「シンギュラリティより明日のメシのタネだ!」という言葉は、AI開発企業に対しても、AI利用企業に対しても当てはまる。

坂本(2017)は、「実際に開発を行う技術者に向けられた内容ではなく、技術を使ってビジネスを行う側の方に向けて書かれています。そのため、ディープラーニングの技術に関しては、動作原理を解説する程度にとどめ、従来のシステム開発とはずいぶんと勝手が異なっている部分、たとえば、開発期間・費用の見積もり方、検収方法、プロジェクトのハンドリングに関するノウハウなどをかみ砕いて解説しています」としている。現在のAIが万能には程遠いこと、特定業務での画像認識など一つの単純な専門機能を構築するだけでも、かなりの開発コストを見込む必要があるし、通常のITのように、仕様書通りにできているかをスケジュール通りに検品できないことや、苦勞して構築したAIシステムの中核部分「モデル」(学習効果)が著作権で保護されない現状、さらには今後の課題についても簡潔に記述されている。

6 中小企業における

人工知能の活用の可能性

中小企業が抱えるさまざまな問題点を、AIを活用、すなわち、AIのユーザー企業として解決する方向性はいかがであろうか。2030年に人手不足が現在より深刻化し(例えば、2014年1月27日

厚生労働省発表によれば2030年の就業者数が12年実績に比べて最大13%減り5449万人に減少)、特に、熟練工の技能の伝承に支障をきたす事態をどう解消したらよいだろうか。職場が暗黙知で動く高コンテキスト社会の日本では、外国人の労働力の導入が、単純労働力以外では難しいことが指摘されることがある(寺田ほか、2017)。

竹内(2017)によれば、「若年層を中心に労働力が減少していくなかで、外国人労働者は中小企業の成長を支える役割を担って」おり、「技能実習生に関しては、賃金競争力が乏しい企業が雇用する傾向がみられる。技能実習制度を続けるのであれば、雇用する企業が生産性の向上に努めるような仕組みを設ける必要がある。」としている。

これは、中小企業も、技術革新やビジネスモデルの進化を伴う業務プロセス全般の刷新により、生産性向上を図るべきことを示唆している。

そして、外国人の単純労働の拡大だけでは、技能の伝承の問題が解決しきれないため、テクノロジーを活用すべきことになろう。そのための候補として、前節までに記した熟練工の技能や暗黙知を引き継ぐことができるかもしれないディープラーニング等がある。

しかしながら、分業が高度に進み、業務プロセスの記述(形式知)がある程度なされている大企業であっても、ガートナー・ジャパン(株)(2016)が指摘するように、AIの導入には通常10年以上かかることが予測されることがある。一社員を丸ごと置換できないAI群は、その専門特殊能力や大容量性ゆえに、業務プロセスをさらに精緻に分析・記述し、それを相当に複雑・大規模化し、一部にAIが入った状態で、経済性(ROI)、品質向上、新しい人員配置の最適化等のさまざまな角度から、新業務フローが適切にビジネスを回せることを実証しなければならないからである。

その一方で、消費者やサービスの受益者に、より高水準のサービスを容易に思いつかせてしまう

スマートフォンのアプリ¹¹や、ソーシャルメディアにおける情報交流、知識共有のおかげで、アウトプット（生産性を算定する数式の分子）を急速に高度化させることへのプレッシャーが高まっている。高度化とは、サービス水準の向上と、サービス適用対象の拡大、すなわちカバレッジの拡大である。それぞれを10倍にするなら、掛け算で100倍の生産性向上が暗に期待されるといえる。

生産性の向上とは、変わらぬリソース（生産性を算定する数式の分母）のまま、いや、2030年には現在の約8割にまで減少する労働人口を前提に、その業務の生み出すアウトプットを維持し、拡大することである。十数年後、二十数年後に100万人単位で失業が起こるとする試算は、毎年5%を大きく超えるという非現実的な生産性向上の数値を仮定しているうえに、アウトプット、すなわち「分子」の部分で、質、量ともに拡大しなければならないことを失念しているかにみえる。激烈なグローバル競争を避けられない以上、サービス生産の質と量（カバレッジ）の拡大は不可避である。全世界で生産性向上と人口増が続くなか、労働市場のグローバル競争に打ち勝つためには、労働者の知的能力が短期間に2倍、10倍になりようがない以上、AIの導入は不可避ではなからうか。

前節までの議論によれば、中小企業が自らの業務知識そのものを埋め込んだ専用AIを活用する道はあまりに険しいように思えるかもしれない。しかし、ことAIサービスの利用者あるいは受益者としての中小企業を眺めると、過去にはあり得なかった良好な環境も次々と誕生しつつある。

古くは、2000年後半に登場した、Google Adwordsや本家Yahoo!のリスティングサーチなどの検索連動広告を活用して、零細企業がピンポイントで顧客にリーチするロングテール広告¹²の

ように、いまならAI的技術と呼んでもよさそうなITを駆使して、低コストでマーケティングができるようになってきた。さらに、Facebook広告など、ソーシャルメディア上で、例えば「27～28歳文京区在住独身大学院卒理系女子でニューラグジュアリー消費性向の人」だけに広告を見せるほどのピンポイント広告、いわば「狭告」も可能となった。

この特徴について、野村（2016a）から関連箇所を引用する。

「類似の商品・サービスが多数ある中で、それらの生み出される背景や蘊蓄、最新のイベント情報などをソーシャルメディアで見たことがきっかけで購買に至るようになってきています。直接間接の友人・知人によるお薦めや、他人ながら趣味、興味関心の近い第三者のコメントなど、ソーシャルメディア上のクチコミも大きく購買意欲、行動を左右します。キャンペーンの案内を、押しつけがましくなく、自然に見てもらえることも、ソーシャルメディアの特長といえるでしょう。」

「そうはいつても、いくらソーシャルメディアが交流の効率化を図ってくれても、消費者一人ひとりと接する余裕も度量もない、とする企業もあります。そのような企業であっても、第I部の冒頭に記した、「顧客接点(界面)がリアルタイム化」、すなわち、顧客が、企業にリアルタイムの対応、反応を期待、要求してくるならば、ソーシャルメディアを活用する以外のオプションがなくなることでしょう。

顧客接点を管理・運営することを英語でCRM (Customer Relationship Management) といいます。そして、顧客接点(界面)がリアルタイム化すれば、それに対応するため社内業務フローのリアルタイム化が必要となります。こうして実現す

¹¹ 例えば、近くを通るタクシーの位置がリアルタイムでわかる「全国タクシー」などが挙げられる。

¹² 佐々木（2006）は羽田空港近くの小さな駐車場経営者が空港駐車場より単価の安い駐車場を求める人々だけにAdwords広告を見せる事例等を紹介している。

るリアルタイムCRMの特徴を一部あげてみます。

- ・リアルタイムCRM
- 質問応答や出荷のTAT (Turn Around Time) 短縮
- リアルタイム知識共有
- リアルタイム情報提供 (広告含む)
- スマホの位置情報からピンポイントで表示し誘導
- 顧客セグメント詳細化による競争力強化
 - ・「F1層」から、「27～28歳文京区在住独身大学院卒理系女子でニューラグジュアリー消費性向」などへ」

顧客から何らかのリクエストを受けてから対応を完了するまでの期間は、短ければ短いほど顧客には喜ばれ、競合企業との競争力が増す。

スピードアップには、一般にコストがかかる。対応人数をいたずらに増やしても、一人ひとりの作業速度が上がらなかつたり連携プレーが混乱したりして、かえってサービス劣化につながることもあり得る。

さらに、上述した「狭告」のようにターゲット顧客を細分化し、地域別の平均年収などエリア・マーケティングと呼ばれる詳細かつ重要な情報を手掛かりに顧客セグメントを細分化してCRMを推進するには、膨大な情報処理が必要となる。これは人間だけでは正確にやり切れるものではなく、ITによる自動化が不可欠である。従来、人間がさまざまな条件で判断していたようなことについて、AIの支援が求められる。

すべてのCRMがソーシャルメディアを含むオンラインで完結することは少ないだろう。そこで、リアル世界での顧客の行動を低コストで確実に捕捉するためには、スマートフォンのアプリを活用したり、IoTで自動的に取得したデータ、クラウド上のAIで解析し、その支援を受けて人間がマー

ケティングの分析を行い、最終判断をしていくことになる。

以上に記した、中小企業のマーケティング活動を、AIを用いて効率化し魅力的なものとするためのポイントをまとめる。

AIプログラムによる自動最適化は非常に効果的である。メールマーケティングの最適化だけでも価値がある。これらはAIにより、少なくとも潜在的に、大幅な低コスト化や省力化が可能である。CRM、顧客レスポンスもリアルタイム化しており、中小企業だからといって反応が遅いことは許されない。さもないと、消費者からそっぽをむかれる。

中小企業こそ、ロングテール企業として尖がり、目立つべきである。そのためのネット広告やソーシャル広告などを巧みに活用すべきである。AIに専任者を貼り付けることができない中小企業ほど、AI的なソフトで生データを監視して解釈させ、処方箋の生成、時には実行 (広告出稿など) まで自動化する方向で検討することで、今後の収益力、競争力向上の可能性が拓けてくる。

例を挙げてみよう。

例1 対話ロボットによる接客は限定的

多彩な多数の顧客・消費者とコミュニケーションを図るとき、疑似的な人格を備え、アニメ顔ないしはリアル写真の顔 (Avatar) をもった対話ロボットが接客を担当するケースも増えていくことであろう。人間の体力には限界があり、365日24時間働けないし、一定の対応を常に間違いなく行うのも難しいからである。こうして前面に立つAIだけでなく、大量の顧客からのメッセージを分析し、人間が対応すべきコメントを選別してランキングする役割を黙々と果たすAIも進化していくだろう。

接客担当の対話ロボットを導入したとして、その対応は部分的には人間に及ばず、ちぐはぐな対

話や判断をしてしまうことがある。しかし、対話シナリオや計算ロジックさえ間違っていなければ、調子がよくないときの人間に比べて、相手を怒らせたり、間違った応答をしたり、そもそも返答が必要な顧客コメントを見過ごしてしまったりする事態を減らせる可能性はある。ただ問題は、利用局面が限定的でありながら、開発や保守に手間のかかる対話ロボットへの投資を中小企業の経営者が正当化できるかどうかである。2017年段階のAI技術では、難しいといわざるをえない。巨額の投資を何億人ものユーザー数で割り算して回収しようとする米Amazon.com社のような戦略を中小企業はとりようがないからである。ただし、Web受付嬢(図-7)のように、少数の商品・サービスのラインアップから顧客の欲しいものを推薦することに特化した文脈依存型の対話ロボットならば、中小企業にとっても有効活用できる余地はあるかもしれない。

例2 AIでセルフサービス化された経営分析を活用
環境の変化に適応して競争力を維持・強化するためには、中小企業も自社で経営分析を行いたいところである。特に、B2C企業、B2B2C企業であれば、市場分析を行い、ニッチ市場を創出するために、SWOT表や競合ポジショニングマップ作りを頻繁に行いたくなる。しかし、中小企業にとって、経営分析を毎月1,000万円単位の高額の費用を投じてコンサルティング会社に依頼することは難しい。そこで、そのような分析を支援する高度なAIツールがあれば、中小企業にとって魅力的かもしれない。例えば、野村(2016a)に記載の「AIポジショニングマップ」は、月額数万円程度で、四半期毎に詳細な分析を行うことができる。SNSやツイッターの投稿、顧客サポートやアンケートの自由回答などのデータをAIを活用して分析することで、急速に変化し移り行く市場と対話しながら、製品やサービスを最新ニーズに

図-7 Web受付嬢



出所：メタデータ(株)
(<http://www.metadata.co.jp/webuketsuke.html>)

合わせ、その魅力を維持、向上させていくことができるだろう。

7 おわりに

中小企業経営者はやはり、人手不足を補うこと、あるいは技能継承の対策としてAIに期待されるケースが多いようである。筆者自身が受けた相談から二つの事例を紹介する。

相談事例1

相談者より

「私は東京都〇〇区でレインウェアや防寒服を企画製造販売する(株)××専務取締役△△と申します。この度「人工知能が変える仕事の未来」を拝読し、お問い合わせさせていただきました。…当社はレインウェア、防寒などの製造で「縫製」が必須の業務です。ところが近年この「縫製」従事者の減少(国内、海外ともに)により生産背景に不安を覚えております。自動化されたミシンなどもだんだんと出ては来ているものの、そのコスト感是我々中小企業の感度からは大きく外れている印象が強く、もっと別の観点からAI等が活かさないものかと考えています。例えば、縫製技術や工程を理解するには相当数(人によっては5年~10年)

掛かるのが実情で、企業としては頭の痛いところ
です。とはいえ、熟練工は年々減少していく一方
なので、希望者が減っているとはいえ、未経験者
を採用していかななくてはならないなど悩みは尽き
ません。

そこで、まったく縫製技術が無い方に工程や進
め方、やり方を的確に都度都度アシストするよう
な機能がマシンやその他機械に備えるなどは不可
能でしょうか？(中略)低コストで少しでも活用
の可能性があればと思ひご連絡させていただきました。
よろしく願いいたします。』

筆者からの回答

「△△様、

本件、書籍にも詳述いたしましたように、一人
の人間の多数のスキルを連携、連合して細々とし
たことを、(自発的に学んで)成し遂げる汎用の
AIは存在しないし、作れる見込みもたっていない
ので、まず無理だろう、とまずは考え、互いに
お時間とるまでもないかといったん判断いたしま
した。

しかし、業務フローを徹底的に形式知化し、特
定工程に限ってビッグデータをコストかけて収集
して、ディープラーニングをトレーニングできる
ことを中小だからといって、諦めてよいのか、と
思い返しまして、一度お話を伺わせていただけたら
と思います。』

この後、△△さんにお会いして、目的を達成す
るには第2次人工知能ブームでハイライトのあ
たったエキスパート・システムをリニューアル復
活させるべきこと、そして、知識獲得のボトルネッ
クを解消するためのアイデアを個々の業務ごとに
創出して、かなりのコストをかけて新たな専門家
システムを作るべきことを語った。中小企業1社
で負担できるコストの何桁も上であるうえに、成
功保証もないため、公的資金を活用しながら、地

場産業数百社で共同開発し、各社は僅かな部分の
差別化をはかって競争するべき、と伝えたところ、
区役所、組合にさっそく話してみる、とのことで
あった。ただ、残念ながら、現時点では、AIのパッ
ケージや、プラットフォーム業者の提案に乗って
コストをかけるだけで解決できるような問題では
なく、ビジネスに通暁したAI研究者による多数
の試行錯誤、それ以前に斬新な研究アイデア、発
明をいくつかなさなければ、目標の達成は極めて
困難だと考えられる。

二つ目の相談事例は、より問題が個別的で、業
務フローの分析と全般的な刷新による改善が必要
と思われるケースである。個別の処方箋を描くに
は、コンサルティング会社による診断と分析だけ
で相応の費用がかかるが、属人性の高い「何でも
屋さん」の社員に代わる汎用AIあるいは汎用ロ
ボットの開発は、現在の技術ではどれだけ費用を
かけても難しいと思わざるをえなかった。以下、
相談内容のみを引用する。

相談事例2

相談者より

「私は〇〇市で××工務店という小さな工務店
の代表取締役をしている××と申します。建設業
は品質管理・安全管理・工程管理・予算管理とい
う管理業務から成り立っています。

現場では職人や資材の手配、作業手順の指示、
図面や管理帳票の作成など多岐にわたっていま
す。その上に天候や気温などの環境による段取り
の変更等々、煩雑な業務を行っています。昔から
比べると機械化や省力化は進んでいますが、他の
産業からするとまだまだ手作業に頼っているところ
がほとんどです。

大手ゼネコンといえども現場管理者や職人の質
によって工事の進捗や品質にバラツキが有るのが
事実です。横浜の傾斜マンションや福岡の地下鉄

工事の陥没事故も経験と勘に頼っているところに原因があると思います。

当社は中小企業です。生産性を上げながら、品質の良いものを、限られた人数でやれる方法は無いか模索していました。そうしている中、人工知能が急速に進歩していることをメディアで見ているうちに利用できることが無いか探してみたく…ヒントがあれば教えてください。お願いします。」

切々たる気持ちが伝わってきて、AI研究者として頭を垂れる思いにさせられながら、「どうか、そのような『何でも屋さん』を大事にしてください。すべては人が精緻に用意したデータ次第で、単機能の情報入出力しかできないいまのAIに、初体験の例外的事態に遭遇して、様々な閃きからなんとか解決法、落としどころのバランスを見いだせる人間の素晴らしさを期待することはできないのです。いまのAIは『なんとか (=AI) と鉋は使しよう』の道具ですので、業務フロー自体を根本的に刷新してその一部の単機能を担わせて生産性向上、品質向上が同時達成できる見込みがありそうならご協力できるかもしれない。」という趣旨の返信草稿を、いまだに手元に置いている。

以上、かなり悲観的な要素を列挙せざるをえなかったが、それでもいまの中小企業の人材に、専用AI開発やその活用面で期待できる理由を挙げてみたい。

①こつこつ地道に業務遂行できる人材がいる。ラベル貼りや手先の作業で高い精度が出せる人材を補佐として使いつつ、基本に忠実に、うまくいくまで改良し続けることができたり、フィードバック・サイクルが長くても忍耐強く取り組

み続けることができる。これは、息の長い職人芸的な改良作業となる、正解データ作りとAIトレーニングの試行錯誤に向いている。

- ②社内外を問わず、AIエンジン選定、ビジネス設計、新規事業の営業担当などのステークホルダーに、安定感や安心感をもってもらいつつ、プロジェクトを継続・推進できる熟練マネージャーや経営者が存在する。
- ③ディープラーニングをトレーニングする作業は、仕様書通りのものづくりというより試行錯誤の連続であり、技術者というより、むしろ、日本の優秀な「職人」に向いている面がある。

一つ目の相談事例からも示唆されるように、大幅な生産性向上や精度（品質）向上を果たすためには、部分的にAIを利用するだけでは不足である。やはり、業務フローそのものを刷新し、その中核部分に一つ二つの専用AIを設置する必要があるだろう。コスト負担のシェアと、業務に埋没する日常から我に返って自分達の業務フローを見直すためにも、地場産業、いわゆる地域クラスターが互いに協力すべきではないだろうか¹³。

人間のように気を利かせて、勝手になんでも「学習」してくれるAIなどまだ存在し得ない。このことを前提に考えれば、未知の事態、例外的な事態を切り抜け、アイデアを出し、相手と交渉して妥協案で合意に漕ぎ着けるなど、優秀なマネージャー（英語でmanageとは管理ではなく、切り盛り、即興で切り抜ける=improviseを意味する）を増やすことは間違いなく必要である。

さらに、比較的若手で、AIなどの新技術を次々に取り入れていく立場の情報システム担当者が必要である。たとえただ一人であっても、受身で情報入手するのではなく、好奇心をばねに、AIを活用した新しいスマートフォンのアプリを次々にダ

¹³ 公的機関による支援のあり方、促進の糸口については、野村（2016b）を参照。AI開発、その準備、AI活用による生産性向上、品質向上と人手不足の解消に貢献するさまざまな立場の人材の育成や調達の在り方については、野村（2016a）を参照。

ウンロードして試用してみるくらいでちょうどよいだろう。旧来のITの固定観念にとらわれた経験者はむしろマイナス地点からの出発となるので、頭が柔軟なIT分野の知識が白紙の人材のほうが好適かもしれない。さらに、旧来のITのように、場合分けや数式で100%同じ答が出るのを当然と思わない人材が求められる。心理学、社会

学、保健衛生学などを専攻し、「精度」評価とその解釈が重要であることを学生時代の研究を通じて経験した文科系の人材を抜擢することも必要かもしれない。また、社内でも「なぜ？」と問う習慣を身に付けさせるような教育、OJTが必要ではないだろうか。

<参考文献>

- 明石純一 (2017) 「海外から働き手をいかに招き入れるか—日本の現状と課題—」日本政策金融公庫総合研究所『日本政策金融公庫論集』第34号、pp.87-107
- (株)オライリー・ジャパン (2017) “「Make」とMakerムーブメントについて”
<http://makezine.jp/event/mft2017/aboutmake/> (参照2017-7-10)
- ガートナー・ジャパン(株) (2016) “人工知能 (AI) に関する10の「よくある誤解」”
<https://www.gartner.co.jp/press/html/pr20161222-01.html> (参照2017-7-10)
- 小林一郎 (2008) 『人工知能の基礎』サイエンス社
- 坂本俊之 (2017) 『人工知能システムを外注する前に読む本 ~ディープラーニングビジネスのすべて~』シーアンドアール研究所
- 佐々木俊尚 (2006) 『グーグル—Google 既存のビジネスを破壊する』文藝春秋
- 人工知能学会 (2017) 『人工知能学大事典』共立出版
- 竹内英二 (2017) 「中小企業における外国人労働者の役割」日本政策金融公庫総合研究所『日本政策金融公庫論集』第35号、pp.21-40
- 寺田知太ほか (2017) 『誰が日本の労働力を支えるのか?』東洋経済新報社
- 野村直之 (2016a) 『人工知能が変える仕事の未来』日本経済新聞出版社
- (2016b) 「人工知能導入時の業務分解・再構築と公務員の働き方、学習データの共有について」行政情報システム研究所『行政&情報システム』vol.52、pp.13-18