

The Pastry A.I. That Learned to Fight Cancer

パンの AI が癌に挑戦

日本ではパンを識別する AI が、様々な分野で応用実用化されている。

James Somers

2021年3月18日



2019年春のある朝、私は東京上野駅の構内にあるベーカリー店に入った。この店はカフェテリア形式で入り口でトレイとトングを取り、沢山の種類のパンから好きなものを選ぶ。クロワッサン、菓子パン、デニッシュ、パイ、ケーキ、サンドイッチなどが所狭しと並んでいて100種類以上もある。しかし、私が最も驚いたのは、レジに行った時である。カウンターの光る台にパンのトレイを乗せた。目の前のテレビモニターには、私が買ったパンの画像が映し出された。それぞれのパンは緑色の線で囲われ、日本語の名前と値段が表示された。どうやらシステムは、私が購入したパンを一瞬で識別したようだ。合計金額が計算され、私は支払いを済ませた。

店員がパンを袋詰めしている間、私は自分の気持ちを整理しようとした。店を出たときは、まだ呆然としていた。ベーカリー店のシステムは、まるで魔法のように、そして私の

想像をはるかに超えた装置が、さりげなく店頭に設置されていた。

スマートフォンのカメラを知らない花に向けて、その花が何であるかを特定したり、チェスの盤面から、勝負の優劣を判定したりすることがいずれできるようになることを私は想像していた。そのうち、そういうことが日常的にできるようになるのではないか。

しかし、私たちはすでにその世界にいて、その最先端はこのパン識別装置であるように思えた。

コンピュータで画像識別が出来るようになったのはごく最近のことだ。何十年もの間、画像識別は人工知能の最大課題の一つだった。

この文章を書いている今、私は自分の棚を見上げている。棚の中には本、糸、絡まったケーブルが入っていて、ガラスで覆われたキャビネットには窓の外の木葉が映っている。私の大脳皮質のニューロンの約 3 分の 1 は視覚情報の処理に費やされている。しかし、コンピュータにとっては、色と明るさと影が入り乱れているとしか認識できない。コンピュータは纏れたケーブルを解いたことがなく、ガラスが反射することも、木が風で揺れることも分からない。かつて AI 研究者たちは、世の中の森羅万象について何らかのモデルがなければ、コンピュータは複雑な画像識別は出来ないのではないかと考えていた。画像識別という分野は、混沌としたアルゴリズムの集合体だったのだ。人間のようには視覚情報から、事象を認識し識別できるようになることは遠い夢であった。

2012 年、コンピュータサイエンスを専攻する大学院生 Alex Krizhevsky が、ディープラーニング（深層学習）と呼ばれる手法で画像認識を行うプログラム「AlexNet」を発表してから状況は一変した。AlexNet はニューラルネットワークで、ニューロンを何層にも分けて配置していることから「深層」と呼ばれている。新しい画像が表示されると、ネットワークはその画像に何が写っているかを推測する。どうしても最初は間違うが、推測する度にニューロン層の接続を調整し、人間が教えたデータに近づくように学習する。このようなネットワークの内部の層は、人間の視覚野に似ている。初段階ではエッジなどの単純な特徴を検出し、続いて形を抽出する。この様にしてより複雑な処理を実行する。ディープラーニングは何年も前から存在していたが、実用的ではないと考えられていた。しかし、AlexNet は、この技術が現実の問題を解決するために使用できること、しかも安価なコンピュータで高速で処理出来ることを証明した。現在では、「Siri」や「AlphaGo」、「Google 翻訳」など、聞いたことのある AI システムのほとんどがこの技術に依存している。

ディープラーニングの欠点は大量の教師データが必要なことだ。顔を認識するディープラーニングシステムは、何万人もの顔写真を使って学習する必要がある。何千着ものドレスを学習させなければ、ドレスを認識することはできない。そのため、ディープラーニングの研究者たちは、産業規模で膨大なデータを収集しアノテーション(コンピュータに学習させること)を繰り返してきた。近年では、我々もこれに巻き込まれている。最近の顔認識が特に優れているのは、人々が SNS にアップロードする写真に自分自身をタグ付けしているからだ。Google は、AI にとって未知な物体にタグ付けする事をユーザーに求めている。(“私はロボットではありません“の仕組みなど)しかし、それでも死角はある。自動運転では、ハワイの青い一時停止標識のような変わった標識や、泥で汚れたり草木で隠れた標識に苦戦することが知られている。2017 年、UCLA バークレー校のコンピュータ科学者グループは、インターネット上の「ベッドルーム」のほとんどの画像は、広告用に撮影されたベッドの写真ばかりであったと指摘した。その結果、ディープラーニングでは本物のベッドルームを認識することが難しくなっている。このような盲点を埋める為には多大な努力が必要となる。

数年前、私はある会社の面接を受けた。その会社では、ディープラーニングを使って、骨折をはじめとする X 線写真の読み取りを行っていた。この会社のプログラマーは、国内でも有数の病院の外科医や放射線科医にアノテーションを依頼していた。私が面接した仕事は、ディープラーニングシステムに関わるものではなく、医師たちがラベル付けに使用した Microsoft Paint のようなプログラムの改良を手伝うものであった。

東京のベーカリー店でも、システム会社で同じような作業をしているのではないかと考えた。ベーカリー店の店員が、何万回もオープンから出てくるパンの写真を撮り、アノテーション作業をしているとは思えなかった。私の同僚は、パンの形がすべて同じになるように型を使っているのではないかと言った。

装置の外見から推測すると、ディープラーニングを使用していないと考えられる。もしかしたら、画像識別が出来るようにパンの形を変えているのかもしれない。

ベーカリーの A.I.を手がける神戸氏は、日本の地理的中心(東経 135° 北緯 35°)に位置する小さな町、西脇市で育った。「日本のへそ」と呼ばれる西脇市は、山や田んぼに囲まれており、300 年昔の 17 世紀から続く綿織物の産地で知られている。神戸氏は 10 代の頃、父親の木材業を継ぐつもりだった。東京の大学に進学し、1974 年に大阪の松下電工(後のパナソニック)に就職した。そこで、彼は社内システムの担当者になり IBM 社の窓口になった。夜間にコンピュータ専門学校に通った。彼はコンピュータは素人だった

が、自分に非常に適性が有ることに気がついた。そして、彼は何よりコンピュータと恋に陥ってしまった。

20代後半になると、神戸氏は西脇に戻り家業の木材業の傍ら職業訓練学校でコンピュータを教えていた。1970代後半はパソコンの黎明期で、職業訓練学校の生徒数は劇的に増えていった。一方で、木材業は衰退の一途をたどり、彼は家業を継がない事を決意した。1982年小さなソフトウェア会社を設立した。衆知を集め、独自性を心がけて事業を進めていった。1983年、日本の最大手放送局NHKに採用された。彼と妻、そして他の2人の社員は、プロ野球のスコア表示やNC9での為替レートを表示するグラフィックシステムを開発した。

1984年、神戸氏は西脇市の地場産業、先染織物デザインシステムに取り組んだ。それは、先染織物の設計書は楽譜のような線の上に数字が並んでいる。しかし、その数字を一つでも間違えると、全く異なった柄の織物ができてしまう。そして、そのミスは織物が出来上がるまで確認できなかった。そこで神戸氏が開発したのが、糸や色の編集機能を備えた、出来上がりをシミュレーションできるプログラム「SUPER TEX-SIM」だった。しかし、発売当初、売れ行きは芳しくなかったが、1985年に三菱商事と販売契約を結びビジネスは軌道に乗った、そして、ブレインを株式会社として法人化することになった。

ブレインは30年以上、コンピュータグラフィックを中心としたプロジェクトを手がけてきた。パソコン上で漢字を拡大表示するシステム、橋梁CAD、双方向劇場システム、さらには3次元テキスタイルシミュレーターなどを完成させた。

2007年、大手外食企業からブレインにベーカリー店向けシステムの相談が持ち込まれた。もともと日本ではパンは輸入品であり、パンの語源はポルトガル語である。日本のパン消費者の嗜好は多様で、フランスのベーカリー店のように定番商品だけで勝負するのではなかった。日本のベーカリー店はバリエーションを重視していた。(日本では、キットカットでもヨーグルト酒やチーズケーキなど、300種類以上の味がある。)

例えば、「カルボナーラ」は、イタリアのパスタ料理を朝食用のサンドイッチに変えたもので、ベーコンに卵、チーズ、胡椒を塗り、ロールパンの上に顔を出して焼いたものだ。

「ハムコーン」も同様に、コーンとマヨネーズを混ぜたものをトッピングしている。この様に日本人は欧米からのパンを独自に発展させてきた。

この外食企業が実験店舗を運営したところ、パンは種類が多いほど販売効率が良いことが分かった。100種類の品揃えのベーカリー店は30種類のベーカリー店より約2倍、効

率的に売れるのだ。また、包装されたパンよりも、無包装のパンの方が、新鮮な印象や良い香りを与えるため、3倍も売れることが分かった。

無包装のパンにはバーコードは貼れない、新人レジ係はパンの名前や値段を覚えるために数ヶ月を要した。レジでの作業は難しく、ミスも起こりがちで、不衛生で時間もかかる。レジ待ち行列はどんどん長くなっていった。このためこの外食企業はブレインに相談を持ち込んだ。「レジ業務を自動化できないか？」

AlexNetはその5年後に発表された技術であり、たとえ神戸氏とそのチームが何千ものパンを撮影できたとしても、ディープラーニングを使うことは当時できなかった。当時の最先端の画像識別では、特定機能のアルゴリズムの集合体であった。例えば、歩行者を認識するシステムを作りたいとする場合は、まず誰かの赤いシャツを排除するアルゴリズムから始めるだろう。次に、横断歩道のゼブラ模様注目するなど、関係する領域を特定するアルゴリズムを追加する。さらに、グラデーションやコントラストのパターンから、肩の特徴的なカーブや胴体と脚の部分など、画像の「特徴」を分析していく。それぞれの段階で、何十、何百ものアルゴリズムやその組み合わせ方を開発する必要がある。

ブレインの開発チームにとって、道のりは険しいものだった。まず、現場写真を約9万枚撮ることから始めた。研究開発の初期資料には、「カルボナーラサンド」「ハムコーン」「ミンチポテト」とう三種類のパンが載っている。

この類似した3種類のパンは、システム開発の最初の壁の1つだった。ブレインから提供された資料には、「パンは基本的に茶色で丸いものが多い」と書かれていた。技術者たちが直面した問題は2つあった。一つは「異種間の類似性」、もう一つは同じ種類でも焼き色やトッピングは個々に微妙に異なる「同種間の個体差」である。

また、ベーコンエピは複雑な形状で複数の小さなパンが連なっていると間違えやすい。クロワッサンでも焼き方によって様々な色になる。

クリームドーナツは粉糖が溶けてしまうとカレーパンと酷似する。

2008年、リーマンショックの影響でブレインは経営危機に直面した。神戸氏は、この危機を乗り越えるためにはパン識別プロジェクトを成功させる以外に道はないと考えた。この状況は、開発チームに特別な集中力をもたらした。2年間で10台以上のベーカーリースキャンの試作機を開発し、画像の前処理や様々なアルゴリズムを研究した。カメラや照明の種類も変えた。数え切れないほどのパラメータを組み合わせたり、書き換えたりして、ついに2009年12月には50種類を98%の精度で識別出来るシステムを構築

することができた。

しかし、これは環境が一定の実験室での話である。実際のベーカリー店の店頭では、レジ周りの環境光は常に変化している。ブレインのソフトウェアは季節、時間、天候に影響されないで動作しなければならない。また、2つのパンが触れていると1つの大きなパンに見えてしまうなどの問題もあった。そのためパンを複数に自動分割するサブシステムを開発した。また反対に、「1つのパンがバラバラになってしまう」という問題に対応するために、「マグネット」というサブシステムも開発した。

大きな進化は、上野店で見た光る台、バックライトの導入だ。これにより、ドーナツの穴に入る影などを消すことができた。ブレインが出願している特許の中には、パンの「色分散」を解析することで、「このような穴の開いた形のパンでも、輪郭線を明確に抽出することができる」と説明されている。

開発チームはパンの焼き色について研究した。焼き具合と焼き時間の関係を数学的にモデル化した。結果的には製品化までは5年を要した。

2013年には、バックライトの上に置かれたパンを撮影し、その視覚的特徴を分析して、ハムコーンとカルボナーラサンドを見分けることができる装置を完成させた。

この年、BakeryScan は製品として発売された。ブレインの最大の顧客であるアンデルセン・ベーカリーは、上野駅構内のベーカリー店を含め、何百もの店舗にこのシステムの導入を計画している。同社によると、トレーニングの時間が短縮され、レジ精算が短時間になり、より衛生的になったという。店員の負担が軽減しリラックスして顧客に声をかけられるようになり、行列もほとんどなくなった。BakeryScan の性能、即ち画像識別は完璧ではない。システムが識別に自信を持たないときには、緑色ではなく黄色や赤色の輪郭でオペレーターに手動で商品を指定するように指示する。このようにして、BakeryScan はどんどん学習して識別精度を上げていく。私が2回目に見た時は、さらに高い精度を達成していた。

神戸氏と初めてスカイプで話したのは、2年前の夏だった。早朝の西脇市にある本社の会議室だった。背面の窓にはベージュのブラインドが掛かっていた。

神戸氏は70歳で、半袖のストライプのドレスシャツを着ていた。少し白髪交じりの髪に、ワイヤースタイルの眼鏡をかけ、笑みが絶えない。彼は、テクノロジー企業の創業者にしては非常に気さくで、自分がこれまでの実績に満足していて、さらなる上を目指しているように思えた。

現在、ブレインには 26 人の社員がおり、そのうちの約半数がソフトウェアエンジニアである。

「大きな企業になることよりも、良い会社になることの方が大切」と彼は語ってくれた。ブレインが人材を惹きつけるのは、神戸氏のように東京の大学に進学した後、「家を継ぐため」に戻ってくる若い技術者がいるからでもある。「田舎には良い仕事が無いと言われていますが、幸いなことに、ブレインはあります」と彼は語った。

BakeryScan は、日本のメディアでも大きく取り上げられ、多くのベーカリー店の顧客にも親しまれている。製品広告では、カメラの上に大きな目があり、手袋をはめた手が楽しそうにパンを指しているアニメのようなキャラクターが登場する。最近の兵庫県の高校入試では、英語の読解問題で、エリックとサオリという 2 人の友人の会話が出題された。「先週、パン屋さんで面白い機械を見たんだ」とエリックは言う。ベーカリースキャンと名前を付けずに説明する。そして、「このシステムは、もっといろいろな分野で使われるようになるだろう」と締めくくった。

2017 年 6 月、京都にあるルイ・パスツール医学研究センターの医師が、BakeryScan を取り上げたテレビニュースを見た。すると顕微鏡で見る癌細胞がパンのように見えることに気づいたのだ。そこで彼は早速ブレインに連絡を取り、病理医向けのシステム開発に着手することになった。画像の中から癌細胞の特徴を見つけ出すフレームワークや、人間の専門家がプログラムにフィードバックするためのツールもすでに構築されていた。このシステムは、粉砂糖やベーコンを識別するのではなく、尿中の細胞を顕微鏡で撮影し、その細胞を識別して測定するものである。

BakeryScan を他の分野に応用し、そのコア技術を「AI-Scan」と呼ぶようになった。その後、AI-Scan のアルゴリズムは、病院での薬剤鑑査、18 世紀の浮世絵に描かれた人の数のカウント、神社のお守りやお札の識別等に使われている。ある企業では、ジェットエンジンの部品誤配置を自動的に検出するのにも使われる予定だ。

兵庫県にある SPring-8 Angstrom Compact Free Electron Laser (SACLA) では、長さ 700 メートルの実験装置で高強度の X 線レーザーパルスで実験を行っている、何百万枚もの画像を人力で分類、分析することは不可能なため AI-Scan のアルゴリズムが利用されている。神戸氏は、BakeryScan の技術がこのようなプロジェクトに応用されるとは想像もしていなかったという。

2018年の春、神戸氏は札幌で開催された細胞学会に招かれ「AIによる癌細胞識別」について講演した。他の講演者は、ハーバード大学やスタンフォード大学の学位を持っておりハイクラスな人たちばかりで場違いな気がした。しかし、「他の発表者はディープラーニングばかりであったので、自社の技術で貢献できることがある」と思った。

神戸氏はディープラーニングがまだ実用的ではないと考えていた。数年前、ブレインは従来のシステムをディープラーニングに置き換える実験を行った。その方式は、同じようにパンを認識することができたが、必要とする教師データの量が多すぎた。神戸氏によると、日本のベーカリー店では、毎週のように新しい種類のパンが登場するが、ディープラーニングでは何千ものデータが必要だ。その画像はどこから持ってくるのか？ブレインの技術では、わずか4~5例で90%、20例でほぼ完璧な認識が可能になる。

ディープラーニングでは、判断の根拠を明確に提示できないが、AI-Scanでは根拠を提示出来るので、システムが誤認したとしても、その原因を知ることができる。

ブレインがBakeryScanを開発したような方法でAIを開発するのは非常に希有なことだ。このアプローチは、細かい部分を熟知していなければならず、まさに職人的なものである。何年もかけてパラメータを調整し、特殊なケースをも考慮しなければならない。ディープラーニングを使えば、環境光がドーナツ穴がどう影響するかを理解する必要がなくなる。また、ディープラーニングでは、同じ"AI"でも、間違っただけのデータを与えれば、とんでもない結果が出る。アルファベットの子会社であるDeepMind社は、1つのニューラルネットワークに異なるデータセットを与えて学習させ、チェス、将棋、囲碁で人間を打ち負かすことに成功した。

BakeryScanのように分野に特化したシステムでは、他の場所で使用する前に、新しいデータだけでなく、新しいフィルター、新しい機能、新しいアルゴリズムが必要になる。今日では、ディープラーニングなしでパンの問題を解決することは不可能と思われるが、ディープラーニングの選択肢がなかった2007年に、神戸氏がこの問題に取り組んだことは驚きに値する。

神戸氏と彼のチームが15年以上研究開発を続けているシステムは、画像識別技術でも最も洗練された成果の一つであることは間違いないが、パンから始まったために技術的には低次元な物と誤解が生じたようだ。

AlexNetのAlex Krizhevsky氏は、ベーカリーの問題には最新のディープラーニングによるアプローチが上手く行くと話してくれた。ディープラーニングは、私が初めて上野の

ベーカリー店に入った 2019 年よりもずっと進歩している。「パンの識別は、私が想像していたほど多くの例は必要ないかもしれません。このようなディープラーニングでは、画像間で共通する段階を学習する必要があります。」と、Krizhevsky は最近語ってくれた。「例えば、ほとんどの画像にはエッジがあり、色のグラデーションがあります。“転移学習”と呼ばれる手法では、膨大なデータセットで学習したディープラーニングに少量の補足情報を加えていきます。基本的な知識を事前に学習したネットワークであれば、それぞれのパンの種類を見分けるのに十数個のデータで十分かもしれません。ディープラーニングの場合、1 つのものを学習するために 4 例では難しいとしても、20 例では可能かも」とも彼は言っていた。

Krizhevsky 氏がパンの問題を過小評価しているか、ディープラーニングの能力を過大評価している可能性もある。ディープラーニングは、よく見るものに対して最も効果を発揮するが、もしかしたら、大きな死角が有るのかも知れない。しかし、それが正しいという可能性もある。

BakeryScan とそれに費やされた膨大な努力は、偶然のタイミングだったのかもしれない。神戸氏が数年後にこの問題に着手していたら、これほど難しい問題ではなかったかもしれない。彼は、ある意味では「遠回りしてよかった」と思っているのではないだろうか。昨年 11 月、彼と Zoom 会議をした時には、ブレインは西脇本社のテレビスタジオ設備に大きな投資をしているようだった。神戸氏は、スリーピースのスーツにネクタイを締め、「BRAIN」と「AI-Scan」のロゴが市松模様配置された壁前の演壇に立っていた。左手には大画面がある。私が質問をすると彼は目の前のコンピュータのフォルダーから何千枚ものスライドを取り出したり、時には動画の技術デモを見せてくれたりした。カメラを操作する人もいた。日本ではコロナウイルスが再流行していたが、西脇市周辺では 3 月以降、確認された患者は数人しかいなかった。

神戸氏の説明によると、この癌細胞検出器は、現在「Cyto-AIscan」と呼ばれ、神戸と京都の 2 つの病院で試験運用されている。細胞を 1 つずつ分析するのではなく、スライド全体を見て、癌の可能性のある細胞を特定する「スライド全体分析」ができるようになったのだ。彼が例題を出すと、助手がポインターを手渡した。「これは、ステージ 4 の癌患者から採取したサンプルです」と示した顕微鏡のスライドは、テーブルの上に黒い斑点が散らばっているように見えた。その上に、ベージュ、黄色、赤の四角がある。神戸氏はその中の赤い四角形を指差した。「これは癌細胞です」と言った。彼がクリックすると、拡大画像が表示された。いくつかの塊があって、その中に癌と思われる小さな細胞があ

る。その横には、核の色調、大きさ、質感、細胞全体の丸み、まだら模様など、視覚的に重要な特徴のスコアが図で表示されている。この図を使えば、医師はどの細胞が癌なのかを簡単に判断することができるという。このシステムは、99%の精度で動作しているそうだ。「ディープラーニングを使っているのですか？」と聞くと、「独自の方法です」と答えた。そして、満面の笑みで「パンと同じだよ」と言った。

他にもプロジェクトがあった。織物業界は、神戸氏の父親が経営していた木材業と同じ道を辿っていたが、ブレインはそれに対応しトヨタと協力して、複雑な2重織物のサイドエアバッグを設計するためのソフトウェアを開発していた。また、ベーカリースキャンも進化していた。covid-19の影響で、多くのベーカリーがゴールデンルールを破り(無包装の方が3倍売れる)、商品を1つ1つ包装するようになった。これは顧客の不安を解消するためのもためだが、ラップの反射が予測できないため、BakeryScanのアルゴリズムは混乱していた。この問題については、大きなデータセットがあることがわかった。何年も前から、顧客の精算時の画像を収集していたが、最近の写真ではラップで覆われているものもあった。ブレインは更なる新しい技術でラップによる乱反射をも見破れるようにした。新技術で乱反射を取り除き、あとはBakeryScanが従来通りの識別をしてくれるのである。