

## I. 以下の文章を読んで、次の問1～問5に答えなさい。

顔認証システムは、日本でも空港や店舗などで導入されつつある。一方で顔認証技術をはじめとする人工知能技術を用いたシステムの実用化には、(a)いくつかの懸念も指摘されている。

近年、画像認識技術の精度が上がったのは、人工知能技術の中でも深層学習（ディープラーニング）と呼ばれる新たな技術が進展したことが大きい。深層学習はパターン認識、つまりデータの塊を分類、判別する作業が得意だ。その学習のために大量のデータ（ビッグデータ）を必要とする。大量の画像から学習して、例えば「猫」の特徴を抽出することで、初めて見る画像であってもそれが「猫」か「猫ではないか」を判別できるようになる。今までの技術では「猫」とは「三角形の耳がある」や「ヒゲがある」などの特徴を人間が分類して記述していた。深層学習では、学習データから (1) (2) に機械が特徴を抽出して分類するため、人間が (3) (4) できない「直観」や「暗黙知」も機械が (1) (2) に習得できるのでは、と期待されている。しかし、機械は学習データの関連付けを行っているだけなので、猫とは何かという「意味」を理解しているわけではないことに注意が必要である。

また機械自らが判別ルールを作るため、人間には学習の方向性や内容がコントロールできないという課題がある。人間がルールを作るのであれば、「三角形の耳があるから猫と判断した」となど判別理由を説明できる。しかし深層学習では、何故ある画像を猫と判断するのかがモデルが複雑すぎて説明できない。これがいわゆる「ブラックボックス問題」だ。機械の判断によって問題が起きたとき、ブラックボックスであると理由が説明できず、機械をどのように改良してよいのかもわからない。

深層学習をめぐるもう一つの課題として、学習データの偏りも問題となる。猫の一品種の学習データが少なかったために、見かけが似ている別品種だと誤認識するくらいだったらご愛嬌で済むかもしれない。しかし、人間を誤認識したとなったら問題となるだろう。特に、認識したうえで、何らかの（ア）を行う（雇用、逮捕、お金を貸すなど）場合は、その (5) (6) な影響は大きい。例えば、アメリカで開発されるシステムに使う学習データは、どうしてもアングロサクソン系の男女の画像が多くなる。そのため、人種という観点からすると、アフリカ系、しかも女性の学習データが特に少なく、誤認識が多くなるのが指摘されている。しかし、解決のために不足しているデータを増やせば良いという単純な話でもない。そのためのデータはどこから取ってくるのか、プライバシーや個人情報の問題が立ちはだかる。

さらに近年では、データをもとにした「特定」だけではなく、「予測」についても (7) (8) されている。ネットショップで買い物をすると、「Xという商品を購入する人はYという商品も購入する可能性が高い」など、ビッグデータをもとにした予測が裏で行われている。それをもとに、「この商品を買った人へのおすすめ」が画面に表示される。人々のデータをもとに行動や選好を予測することを「プロファイリング」という。極端な事例としては、顔画像データをプロファイリングに使うことも、データがあればできてしまう。2016年に中国の研究者が、犯罪者と非犯罪者の身分証明書写真を学習させることで、「犯罪を起こしそうな人の顔」を (9) (10) で識別できたと公表した。あるイタリアの犯罪学者は、1870年代に犯罪者には生まれつきの特徴があるとする「生来性犯罪者説」を提唱したが、現在その理論の多くは (11) (12) に否定されている。だが万が一、「予防」という観点で、顔データのみを参照して、犯罪者予備軍として取り締まりが起きてしまえば、それはSFで描かれるディストピアのような恐ろしい社会である。

一方、プロファイリングされる側からすると、意思決定の結果のみが知られる場合や、誤りがあった場合に責任を取る人や組織が明確な場合には、人による判断か機械による判断かは、それほどの違いはないように思えるかもしれない。しかし、機械によるプロファイリングの恐ろしいところは、組織を超えて使われて (13) (14) する可能性があるところだ。ある憲法学者は、これを「バーチャル・スラム」として (7) (8) する。一度悪いレッテルを貼られてしまうと、バーチャル空間ではそのレッテルを払しょくすることが難しい。機械は忘れてはくれず、その評価が一生ついて回ることになる。しかもそのレッテルを貼られたとする判断理由が「(イ)」であると訂正も難しい。つまり、一度悪い評価を付けられてしまうと、同じシステムを利用している組織では、理由もわからずに (15) (16) を付けられ続けることになる。

今まで提示した課題に対して、(b)「技術によって生じる問題は技術で解決する」アプローチがある。例えばデータの偏りによって生じる人種差別問題に関しては、「どこにも存在しない人」を作り上げる技術がある。「実在しない顔」には著作権やプライバシー問題が生じない（ただし「実在しない」ことの証明は不可能であり、悪魔の証明であることは気をつけなくてはならない）。学習の中身がブラックボックス化する問題に対しては、何故そのような判断をしたのかを説明する、経過途中を示せるという「説明可能人工知能」や「解釈可能人工知能」という研究領域が推進されている。

一方、技術だけで問題が解決できるわけではない。機械が説明するだけでは問題解決に結びつかないこともあるからだ。重要なのは、問題があったときにその責任を誰がとるのか、人と機械の役割や責任の分担の在り方が信頼できる仕組みで作られているかという、人と機械の相互作用のデザイン、つまりインタフェースの観点である。よく考えてみると、人間も自分の行動理由や判断を明確に、万人が納得できるように説明できるわけではない。機械だからこそ偏見なく判断ができる可能性もある。人と機械は判断基準や処理能力が違うため、協同することによって見落としを減らすこともできる。囲碁や将棋などのゲームでも、一番強いのは人と機械が協同した場合だといわれている。個人の有限な経験や偏見によって見落とされてしまう観点を、機械だからこそ (17) (18) に拾い上げることも可能になる。

そこで人と機械の両方の強みを生かすインタフェースを作り上げることが大事となる。技術の移行期において重要なのは、機械を頼ってもいいが、最終的な判断の基準や責任はどこにあるのか、誰にあるのかを (19) (20) することだ。機械の基準に落とし込めることは落とし込み、落とし込めない基準は最終的に人間の経験と勘、創造性などを発揮して見極めるしかない。ただし、基準がある程度数値化されるということは、そのルールが明らかにされるとゲームのように攻略することも可能となる。例えば、顔認証で採用や人事を決めるシステムができた場合、「機械に採用されやすいのはこのような顔だ」と分かれば、そのような顔を「作る」ことができる。現在は、顔を加工するアプリなども簡単に使える。(A)、監視カメラなどで検知されないような特殊な化粧法や、敵対的サンプルと呼ばれる検知を妨害する技術なども開発されている。ほかにもゲームの「バグ」をみつけるとショートカットが可能のように、「常識」のない人工知能には、人間であれば絶対に通用しないけれど機械だからこそ通用するような、思いがけない攻略法があるかもしれない。だからこそ、見落とし防止や悪用を防ぐために、人と機械が協同することが不可欠となる。

人工知能が浸透した社会を想像してみたとき、技術は私たちの生活や社会のインフラとなっているはずである。だからこそ、技術を作る人も使う人もまずは技術の可能性と限界を理解しなければならない。

( B ), どのような社会にしたいのか, どのようなルールを作っていけばいいのか, 人と機械の役割や責任をどのように配分すればいいのかを, 様々な人たちとの議論を踏まえて構築していかなければならない。技術は道具であり, その道具と ( ウ ) しながら, 私たちは社会を作り上げていく。( C ), 人工知能は私たちの社会を映し出す鏡なのである。

(江間有沙「鏡としての人工知能」, 東京大学教養学部編『異なる声に耳を澄ませる』白水社, 2020年, を改変して作成した。)

問1. 本文中の空欄 (1) (2) ～ (19) (20) に当てはまる最も適切な語を次の選択肢から選び, その番号を解答用紙 A (マークシート) の解答欄 (1) ～ (20) にマークしなさい。なお, 同じ選択肢は 2 回以上使いません。

- |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 11 意識的 | 12 尾ひれ | 13 科学的 | 14 疑問視 | 15 強化  | 16 経済的 |
| 17 言語化 | 18 高確率 | 19 後天的 | 20 高評価 | 21 固定化 | 22 自動的 |
| 23 社会的 | 24 弱体化 | 25 先天的 | 26 妥協的 | 27 長期的 | 28 低確率 |
| 29 低評価 | 30 同化  | 31 否定的 | 32 明確化 | 33 網羅的 | 34 問題視 |

問2. 本文中の空欄 ( A ) ～ ( C ) に当てはまる最も適切な語句を次の選択肢から選び, その番号を解答用紙 A (マークシート) の解答欄にマークしなさい。ただし, ( A ) (21), ( B ) (22), ( C ) (23) である。なお, 同じ選択肢は 2 回以上使いません。

- 1 あるいは      2 けれども      3 さもないと      4 その意味で      5 そのうえで

問3. 本文中の空欄 ( ア ) ～ ( ウ ) に当てはまる最も適切な語を本文中から ( ア ) は 4 字, ( イ ) は 8 字, ( ウ ) は 4 字でそれぞれ抜き出し, 解答用紙 B の所定の欄に記入しなさい。

問4. 本文中の下線部 (a) の一つとして人種差別が指摘されている。その原因を説明するとき, 本文の論旨から見て, 次の空欄 ( あ ), ( い ) に当てはまる最も適切な語句を本文中からそれぞれ 8 字で抜き出し, 解答用紙 B の所定の欄に記入しなさい。

深層学習においては, ( あ ) によって ( い ) ために人種差別が生じることがある。

問5. 本文中の下線部 (b) のアプローチでは解決できない問題に対し, どのように対処すべきだと本文中で述べているか。その内容を説明するとき, 次の空欄に入る最も適切な語句を「責任」という語を用いて考え, 解答用紙 B の所定の欄に 30 字以内で記入しなさい。

( ) べき。

## II. 以下の文章を読んで、次の問1～問4に答えなさい。

複数のデータを決められた順序に整列する操作をソートという。例えば  $[4, 2, 1, 3]$  を左から小さい順に整列させると  $[1, 2, 3, 4]$  となる。ここではソートを行うためのアルゴリズムについて考えてみよう。アルゴリズムとは「問題を解くための手順」のことであり、私たちの身近なところでも使われている。例えば、期末試験の答案用紙を学籍番号の小さい順に並べ替えるという問題を解くためにもアルゴリズムは使われる。さて、この問題を解く場合、同じ枚数であればより早く並び替えるアルゴリズムはあるのだろうか。また答案用紙200枚を学籍番号順にソートする時間は答案用紙100枚をソートする時間の2倍で済むのだろうか。アルゴリズムによってソートに要する時間が異なるのであれば、ソートが正しく行われるかだけでなく、(a)ソートに要する時間も考慮する必要がある。以下では、ソートを行う3つのアルゴリズムについて考えてみる。

前提として、以下のソート問題では、数字を左から右に値が小さい順に並べるものとする。また、並び替える数字の値は全て異なるものとする。さらに、ソートに要する時間として2つの値を比較する操作を1回とし、この比較以外に要する時間は無視するものとする。

データとして1から4までの数字がそれぞれ書かれた4枚のカードがあり、左から  $[4, 2, 1, 3]$  の順に並んでいるとする。並べられた数字が小さい順に並んでいるかどうかは次のようにして判断する。左端の数字から順番に1枚ずつ移動しながら、隣り合った2つの数字の組を比較していき、全ての組において左の値が右の値よりも小さかった場合には、数字が小さい順に並んでいると判断する。 $[4, 2, 1, 3]$  という数字の並びであれば、 $[4, 2]$   $[2, 1]$   $[1, 3]$  と3つの組について全て比較を行う。この場合、 $[4, 2]$  と  $[2, 1]$  は小さい順に並んでいないため、ソートはできていないと判断できる。ここで、数字が小さい順に並んでいない場合には、4枚のカードをランダムにシャッフルして並び直し上述の手順で比較するという操作を、カードに書かれた数字が左から右に小さい順になるまで繰り返すとする。このようにシャッフルをして比較をする操作を1試行とする。ただし、最初に与えられたカードの並びはシャッフルしていないが、この場合も比較をする操作のみで1試行と考える。さて、4枚のカードの並び方は全部で何通りあるだろうか。1枚目には1から4までの数字のいずれか、つまり4通りがあり得る。2枚目には1枚目のカード以外の数字がくるので3通り、3枚目には1枚目と2枚目のカード以外の数字がくるので2通り、そして4枚目には残った1枚が並ぶことになる。つまり、4枚のカードの並び方は全部で  $(24) \quad (25)$  通りある。これは4の階乗であり、数学記号では「4!」と書く。だいたいこれと同じ回数だけ試行すれば偶然の力で完全にソートされる瞬間がいずれ訪れる。この方法をランダムシャッフルによるソートと呼ぶことにする。数字の並びを比較して数字が小さい順に並ぶまでシャッフルを繰り返すとする、このアルゴリズムでは最小  $(26) \quad (27)$  回の比較で終わるが、平均では  $(28) \quad (29)$  回の比較が必要となる。さらにカードが1から6までの数字のある6枚というように2枚増えるだけで、平均の比較回数は4枚の場合に比べて  $(30) \quad (31)$  倍となってしまう。データの数を  $N$  とすると、ランダムシャッフルによるソートの比較回数は最小 ( ア ) 回の比較で終わるが、平均では ( イ ) 回の比較が必要となる。このようにランダムシャッフルによるソートでは、データ数の増加に対して急速に平均の比較回数が増えることがわかる。そこで、2つ目のアルゴリズムであるバブルソートについて考えてみよう。

バブルソートでは隣り合った2つの数字の組を順に比較し、小さい順に並んでいなければその2つの数字

を交換する、ということを繰り返す。このとき比較と交換を左端から順番に右端まで行くと、1番大きな数字は必ず右端に行く。このような操作を再び左端から順番に右端まで行っていくことで、次は2番目に大きな数字が右端から2番目に行く。同じことを左端から右端まで1回も交換が生じなくなるまで繰り返すことでソートが完成する。例として [4, 2, 1, 3] をバブルソートで整列する場合、最初に4と2を比較し2が小さいので交換して [2, 4, 1, 3] とする。次にペアを1つ動かして4と1を比較して交換し [2, 1, 4, 3] とする。次にペアを1つ動かして4と3を比較して交換し [2, 1, 3, 4] とする。右端まで来たので左端に戻り2と1を比較して交換し [1, 2, 3, 4] とする。次にペアを1つ動かして2と3を比較して交換はしないので [1, 2, 3, 4] のままとする。さらにペアを1つ動かして3と4を比較して交換はしないので [1, 2, 3, 4] のままとする。右端まで来たので左端に戻り1と2を比較して交換はしないので [1, 2, 3, 4] のままとする。次にペアを1つ動かして2と3を比較して交換はしないので [1, 2, 3, 4] のままとする。さらにペアを1つ動かして3と4を比較して交換はしないので [1, 2, 3, 4] のままとする。左端から右端まで1回も交換が生じなかったのでソートが完成したと判断できる。このようにして [4, 2, 1, 3] をバブルソートでソートしたときの比較回数は (32) (33) 回となる。ソートが完成するための比較回数はソートするデータの最初の並び方で変わるが、最小 (34) (35) 回の比較で済む場合もあれば、最大 (36) (37) 回の比較が必要となる場合もある。同様に8つの値をバブルソートでソートした場合の最小の比較回数は (38) (39) 回、最大の比較回数は (40) (41) 回となる。データの数  $N$  とすると、バブルソートでは最小 ( ウ ) 回の比較で済む場合もあれば、最大 ( エ ) 回の比較が必要となる場合もある。そのため  $N$  が大きくなると、比較回数が  $N$  の2乗のオーダーで増えてしまう。そこで、バブルソートよりも比較回数が少ないアルゴリズムとしてマージソートを考える。

このアルゴリズムでは、2つのソート済みの数字の配列を合併する「マージ操作」が基本となる。マージ操作では合併後のグループにおいて数字が左から小さい順に並べられるように、以下の手順で合併する。

グループ A とグループ B の要素がともに空になるまで A の最小値と B の最小値を比較して小さいほうを選び、それを抜き出して並べていくことを繰り返す。ただし、A と B のうち、どちらかが空である場合には、比較する必要がないのでそのまま他方の最小値を抜き出す。

A も B もすでにソートされているため、それぞれの中での最小値は必ず左端にある。したがって、全体での最小値はそのいずれかである。もし A の最小値のほうが小さければ、全体で2番目に小さな数字は A の2番目に小さな値と B の最小値を比べた時の小さいほうの数字である。このような比較を繰り返して A と B を合併すれば、合併後のグループはソート済みとなる。

マージソートはマージ操作を応用して、ソートを行う方法である。マージソートでは、まず対象を2つのグループに分割し、さらに各グループを2つに分割することを繰り返して各グループの要素数が1になるまで分割を続ける。次に分割とは逆の手順で、部分問題として2つのグループを1つに合併するマージ操作を行う。このように分割されていたグループを合併してグループ数を半分に減らす操作を、ここでは段階と呼ぶことにする。ある段階で合併し終わった各グループでは数字が小さい順に並べられており、そのため次の段階での合併においても上述の手順でマージ操作を行うことができる。段階を繰り返すことで、最終的にはグループの数が1つになり、ソートは完了する。

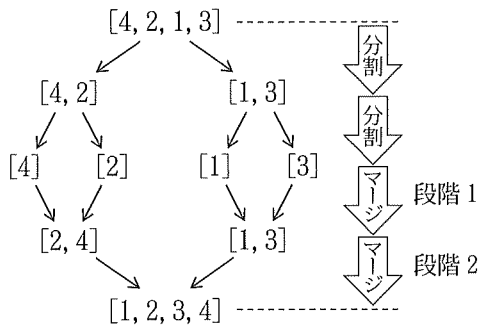


図 マージソートの仕組み

先の例と同じく  $[4, 2, 1, 3]$  をマージソートで値の小さい順にソートすることを考えよう。図はこの問題にマージソートを適用した時の処理の流れを表している。まず  $[4, 2, 1, 3]$  を  $[4, 2]$   $[1, 3]$  に 2 分割する。さらに  $[4, 2]$  を  $[4]$   $[2]$  に、 $[1, 3]$  を  $[1]$   $[3]$  に 2 分割する。段階 1 のマージ操作では  $[4]$   $[2]$  を比較して  $[2]$  を抜き出し、一方の配列が空になったので  $[4]$  を抜き出し  $[2, 4]$  の配列とする。同様のマージ操作で  $[1]$   $[3]$  を比較して  $[1]$  を抜き出し、一方の配列が空になったので  $[3]$  を抜き出し  $[1, 3]$  の配列とする。

段階 2 のマージ操作では  $[2, 4]$  の左端の  $[2]$  と  $[1, 3]$  の左端の  $[1]$  を比較して  $[1]$  を抜き出す。次に  $[2, 4]$  の左端の  $[2]$  と  $[3]$  の左端の  $[3]$  を比較して  $[2]$  を抜き出す。次に  $[4]$  の左端の  $[4]$  と  $[3]$  の左端の  $[3]$  を比較して  $[3]$  を抜き出す。一方の配列が空になったので比較する必要がなく、そのまま  $[4]$  の左端の  $[4]$  を抜き出してソートが完成する。それでは  $[4, 2, 1, 3]$  のマージソートにおける比較回数を考えよう。先の手順で説明したように、比較しているグループの一方が空になった場合には比較する必要がないため、この並びでの比較回数は  $(42) \quad (43)$  回である。また 4 つの値をマージソートでソートする場合の最小の比較回数は  $(44) \quad (45)$  回、最大の比較回数は  $(46) \quad (47)$  回である。同様に 8 つの値をマージソートでソートした場合の最小の比較回数は  $(48) \quad (49)$  回、最大の比較回数は  $(50) \quad (51)$  回となる。データの数が  $N$  の場合について考えてみると、 $N$  が  $2^K$  ( $2$  の  $K$  乗) の場合、このデータでの段階の数は  $K$  であり、これは  $\log_2 N$  に相当する。ただし  $\log_2 N$  は底を  $2$  とする  $N$  の対数である。全体の比較回数は最大でも  $2^K \times K$ 、すなわち  $N \times \log_2 N$ 、よりも少ない回数となる。このように (b) マージソートはバブルソートよりも比較の回数が少なくて済む。

問 1. 本文中の空欄  $(24) \quad (25) \sim (50) \quad (51)$  に入る適切な数字を、解答用紙 A (マークシート) の解答欄  $(24) \sim (51)$  にマークしなさい。ただし、2 つの連続した空欄 (例えば  $(24) \quad (25)$ ) に 1 桁の数字が入る場合には十の位に 0 をマークしなさい。

問 2. 本文中の空欄 (ア)  $\sim$  (エ) に入る式を、解答用紙 B の所定の欄に記入しなさい。

問 3. 以下の文は、本文中の下線部 (a) の理由を説明したものである。空欄に入る最も適切な語句を考え、解答用紙 B の所定の欄に 8 字以内で記入しなさい。

データ数が増加すると、比較回数が ( ) から。

問 4. 以下の文は、本文中の下線部 (b) の理由を説明したものである。空欄に入る最も適切な語句を「ソート」という語を用いて考え、解答用紙 B の所定の欄に 20 字以内で記入しなさい。

マージソートではマージ操作を応用し、データを分割した後に ( ) を繰り返すから。