

日本応用心理学会第 89 回大会 特別講演

## AI に創造性は可能か？

日 時：2023 年 8 月 27 日（日）

場 所：亜細亜大学武蔵野キャンパス 2 号館 1 階 211 教室

企 画：日本応用心理学会第 89 回大会事務局

司 会：鈴木信幸（亜細亜大学経営学部長）

講 師：東条 敏（亜細亜大学経営学部データサイエンス学科）

**【司会】**日本応用心理学会の先生方，このたびは各地からご参集下さりまことにありがとうございます。

第 89 回の盛会に向け，さらなる花を咲かせるべく，『AI に創造性は可能か』というテーマのもと特別講演を開催させていただきます。

本日も講演いただく先生は，国内・海外でご活躍の亜細亜大学経営学部データサイエンス学科教授でいらっしゃる東条 敏先生となります。どうぞよろしくお願いたします。

**【東条】**東条と申します。どうぞよろしくお願いたします。この 4 月からこの亜細亜大学にお世話になっております。

今日は応用心理学会ということで，私にとっては全くアウェイです。私は理系で情報科学が専門で，どちらかというと数学に近いところで計算機の仕事をしてまいりました。ただ今日はなるべく数式等などを使わずに，面白さを伝えられるように講演したいと思っています。前もって言うておきますと，数学はみんなが苦手です。私も苦手です。アインシュタインも数学にずいぶん苦しんだようで，有名な重力場の方程式の左辺は空間の曲率の式でして大変よくできていますが，右辺のエネルギー密度の方には不満があったようです。後年になってから細かい変更を施して余分な項をつけ加えたりしています。

ということで今日はなるべく数式を使わずに，しかし数学をネタにとって，今皆さんが直面しているこの AI が人間のような心を持てるのかということと一緒に考えていきたいと思っています。最近 3 年間ずっとウェブで講義をやってきて，皆さんのうなず

きとかわからんという顔が見えないままやってきましたので，このように人前で講義できることを大変うれしく思います。

今日お話しさせていただくテーマは大きく四つに分かれています。一番上は，AI は心を持てるのかという話をします。ちょっと哲学めいた話です。昨日今日と皆様の発表を見せていただき，またポスター等を見ていると，社会に直結した直近の具体的な問題に取り組んでいらっしゃるのわかります。片や私はこの春まで国立の大学院でかなり抽象的な研究をやってきました。しかしせつかくの夏休みでもありますから直近の問題からちょっと心を離していたいて，そもそも心ってなんだろう，知能ってなんだろう，コンピューター・AI と言っているけれども AI が人間のような心を持てるようになるのかということのを少しゆっくり考えてみるという方向にお付き合いください。今日は創造ということをとりました。

創造とはつまり，コンピューターは新しいことを思いつけるのかということです。創造というとき一番わかりやすいのは抽象的な概念の数学です。先ほど申し上げましたように難しい式は避けますが，数学を例にとりたいと思います。もう一つわかりやすいのは芸術です。絵とか音楽とかで，コンピューターは我々が全く見もしなかった新しいものを出してきて，かつ我々の心を満足させることができるのかという疑問をご一緒に考えたいと思います。最後は計算量の話をしたいと思っています。これまでいろいろところでお話をさせていただいていますが，人工知能は可能かと聞かれることがよくあります。私が一

AI は心を持てるか？

数学における概念の創造

芸術における創造

計算量の壁を超える量子計算

1

ちょっと自己紹介

```

graph TD
    A[自然言語の理論] --> B[形式意味論]
    A --> C[エージェントコミュニケーション・知識と信念]
    B --> D[文法理論]
    B --> E[進化言語学]
    B --> F[音楽の構文論]
  
```

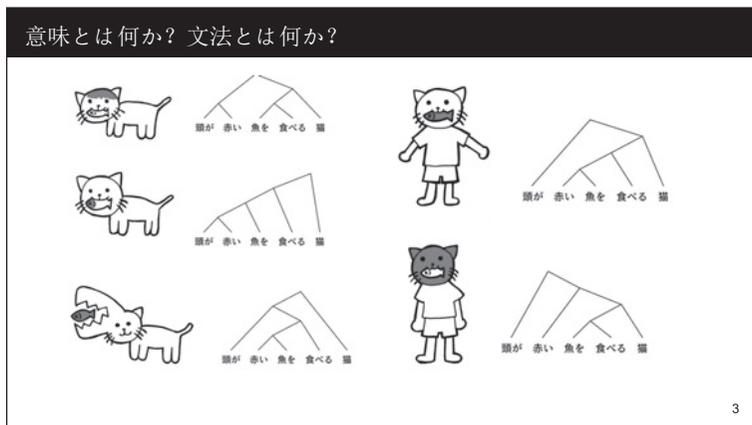
2

貫してお答えしていることは、原理的には可能であるが、現実的には困難であり、そこには計算量という壁があるということです。

大きな数と言ったら、どれほど大きいかわかりにくいと思います。今注目を浴びている量子計算という方法が超並列の計算を可能にするかどうか、これは新しいテーマだと思いますのでその話を最後に触れさせていただきたいと思います。

まず私の研究歴を紹介させていただきます。私は自分で自分を AI の研究者と思ったことはなかったのですが、今は人工知能の研究分野が広がり、その広い意味では AI の研究者と言えます。もともとは自然言語の研究をやっていました。自然言語というのは日本語、英語、あるいは中国語という人間の言語です。これをコンピューターの中でどういう風に表現してどういうふう理解させるかという研究です。

これにはもちろんいろいろな応用があって、自動翻訳ですとか、自動要約、すなわち自動的に重要なセンテンスだけを残す技術などが求められています。非常に重要な分野で、今非常にホットな分野なのですが、私がやっていた頃はまだ現実的な応用には応えられていない状況でした。私のやっていたことは形式意味論と言って、論理を使ってコンピューターの中に意味を書くこと、あるいは文法規則を使ってコンピューターの中に人間の言葉の規則を表現するというをやってまいりました。ただし今は、機械翻訳も自動要約も機械学習全盛になり、こういう理論的な話は世間の需要からは少し離れている状態です。しかし私自身は言語の理論自体に固執し、結果として言語そのものではなく、その背後の論理学に関わることになりました。そのテーマの一つは人間の知識と信念の表現です。エージェントというのは人間やロボット含めて、独立して知識をもち、推論がで



本講演企画者（高石光一第89回大会委員長）が、原作者である中村明裕氏の許可を得て掲載

きるような主体の総称です。そのエージェントがコミュニケーションを行って、お互いの頭の中でどう知識が変わっていくかということを研究しています。

今日のテーマを選ぶ際に他のテーマとちょっと迷ったのですが、知識や信念の表現の方がひょっとして応用心理学会に近いのではないかと思いました。嘘は何故ばれるかという、それはロジックが矛盾を起こすからです。私は自分の知っていることがある程度わかっているのですが、他人が知っていることは一部しか知っていません。すなわちエージェント間には相互知識(mutual knowledge)と言って、他人の知識が変わってしまったら、変わってしまったことを自分からは気がつかない知識があります。本来知るはずもないことを「あなたはなぜそれを知っているの?」となると、これは嘘がばれるというようなこととなります。このような知識の変化を数学的・論理的な式を使って表現していくのがエージェント・コミュニケーションの研究です。

もう一つ迷ったほうのテーマについて一言申し上げます。私は自分の趣味として音楽がとても好きです。チャールズ・ダーウィンは音楽と言語というのは起源を同じにすると主張しました。なるほど音楽にも文法構造があり、文法の存在を仮定すると、いくつかの成果を挙げることができました。というわけで、音楽の中での構文論というのを最近やっています。構文というのは文法から導かれる文の係り受け構造のことです。

このスライドは一昨年ネットで随分出回ったのでシェアさせていただきます。意味とは何か文法とは何かという例です。「頭が赤い魚を食べる猫」と言っただとします。僕らは人間ですから常識というものがあって、あり得ない文、あり得ない解釈というのは排除できます。「頭が赤い魚」というのは左側の二番目です。これはわかりやすいですね。それから「頭が赤い猫」というのも実際はともかく理解はできます。ところが左の下側というの「頭が食べる」でして、これは一般常識ではありえません。しかしコンピューターの中に文法を与えて意味表現をさせると左下の解釈も出してきました。直線で結ばれた関係は係り受けの関係だと思ってください。だから左下は「頭が食べるような猫」とであると解釈できます。それから右側二つもありえなくて「頭が猫だ」と言っています。つまり首から下が人間です。右上は「首から下が人間で、頭が猫で、頭が赤い魚を食べる」、右下は「頭が赤い猫、首から下が人間で、魚を食べる」と言っているわけです。左側の上二つは自然な解釈で、これは普通にどっちかなと思っていた方がいいのですが…。何故人間はあり得ない解釈を排除できるのか。私たちはずっとこの世界の中に生きていて、常識というものを持っています。常識があるおかげであり得ない解釈というものを排除できるのです。

ではコンピューターの中に、つまり人工知能の中に、あり得ない解釈を排除する仕組みというのはどうやって作るのでしょうか。答えから言うと排除する仕組みは自然にはできません。昨日も今日も皆様

## 記号接地問題

- コンピュータには目も耳もない。
- コンピュータの中の記号は実世界と結びついていない。
- だから人間と同様な意味を持ってない。

4

## フレーム問題

- コーヒーカップがソーサー (皿) の上に乗っている。
- ソーサーを動かすとコーヒーカップも移動する。
- コーヒーカップを移動してもソーサーは動かない。

人間は状況が変化する情報を与えられても、それに付随して変化する範囲 (枠) を自然に推測できる。コンピュータはこのような枠 (frame) を持つことができない。

5

の発表の中に AI という言葉と chat GPT の話題も出てきましたが、chat GPT は人間の書いたデータをかき集めてきて作文にしているわけなので、人間があり得ない解釈を書いていなければコンピューターも人間の与えた解釈しか出してきません。統計的にやっている限りは安全です。こういうあり得ない解釈は出してこないのですが、知識を与えて文法を与えてということをやっていると日常あり得ない解釈を出してくるということがあります。

## AI は心を持てるか？

次に AI は心を持てるかです。最初に記号接地という問題を考えます。私たちはこの世界に生きていて、同じ酸素濃度の中で同じ重力を感じて生きてるので、みんな共通の世界認識・世界観というものを持っています。それで文字などあらゆる記号を見て、それが何のことを言っているのかみんなが共通

に理解できる地盤というものがあります。しかし、コンピューターは目も耳もありません。もちろん目としてはカメラを持てますし、耳として人工的なマイクロフォンも持てますが、それだけではこの世界を解釈することはできません。コンピューターの中には記号しかありません。個々の記号が何を示すかということはコンピューターも知らないし、人間もどうやって与えているのかわかりません。結局、この世の中で起きている事象をいっぱい詰め込んで統計的に解答をもらうしかありません。

次にフレーム問題です。フレームは「枠」という意味です。ソーサーの上にコーヒーカップが乗っている場面を想像してください。ソーサーを手で引っ張るとコーヒーカップも一緒にくっついて動きます。お皿をそのままにして、上のコーヒーカップだけを引っ張るとコーヒーカップだけが動きます。これは何故でしょうか。我々は重力というものを知ってい

## 中国語の部屋

- チンパンジーを何匹も飼っていて、部屋に閉じ込めておいた。好きなようにパソコンをいじらせていたら偶然文学作品ができていた。
- あるオフィスでは窓口から中国語の質問を文字列で渡すと、ちゃんとそれに対応した答えが返ってくる。中で働いているのは知能のない機械で、入力文字列に対してある決まった規則で返答列を生成しているだけである。(J. R. Searle)

6

## 古い哲学から

- BC5 世紀, プラトン『イデア論』: この世の事象はすべて理想的な抽象世界からの投影である。ならば逆に人間の所作はすべて完璧な論理体系に還元されて説明できる。もし論理化されて機械化できるなら、これは人工知能肯定派とみることができる。
- 17 世紀, デカルト『肉体的存在と精神的存在を分離する二元論』: 肉体は物質的存在であり、そこに精神が宿ることはできないなら、同じ物質的コンピュータにも精神の上層にある知能は宿らない。
- 20 世紀, ジョン・サール『強い AI と弱い AI』: コンピュータが意識や自我を持ちうとする立場 (強い AI) をデカルト風に懐疑的に見て、AI が単なる知能のシミュレータであるとする立場 (弱い AI) を取った。

7

で、物がくっついていれば一緒に動くということを肌身の体験として知っています。ところが私たちがコンピューターの中に何か状況の変化というものを作らないといけないうき、コンピューターは自動的にこのようなフレームを持つことができません。いちいち全部教えてあげないといけません。ソーサーを引っ張ったらコーヒーカップも一緒に動くということを知らなければいけません。こんなことからやらなければならないわけですから、コンピューターの中に知識を植え付けるということがどれほど大変か想像できると思います。

サール (J. R. Searle) という 1970 年代から 80 年代に活躍した米国の哲学者がいます。知能というのは機械的に実現可能であるという意見に彼は反対するのですが、次のことを思考実験してみてください。何百万匹というチンパンジーを飼い、それを何億年も(動物は進化してしましますが、それはおいとい

て)部屋に閉じ込めておいて、タイプライター(当時はタイプライター、パソコンでもいいですが)をいじらせておくと、偶然にシェイクスピアみたいな名文章を出してくるかも知れないということです。そこで、これは知能かという問題を設定します。確率的にはもちろんゼロではありませんから、あり得る話ではあるのですが、そういうものを知能と呼んでいいのかというのがサールの問いです。

またサールは知能を定義するときに中国語の部屋という問題も提起しました。彼はアメリカ人ですから一番わけのわからない言葉、文字も知らない言葉として中国語を例に取りました。中国語の部屋には窓口があって、窓口で中の人が文章を受け取ると、中でカチャカチャ機械が動いて真っ当な答えが返ってきます。しかし中で動いている機械はある文字列を見たらこう反応するという規則を知っているだけで、自分が何をやっているかという自覚はないので

す。人間の脳もそうです。脳は60億個くらいのニューロンという細胞です。これが全部組み合わさって私たちは言語の生成ということをやっているわけですが、60億個の細胞が集まって何で自分が一人だと思えるのか、なんで自分が存在していると思えるのか、これは誰も知らない答えです。サールは局的・部分的な作業機械の集まりであっても表面的な知能の振る舞いができるが、こういうのを知能と呼べるか、俺は嫌だという主張をした人です。

知能とは何かという哲学はギリシャ時代のプラトン、すなわち2500年も前まで遡ります。プラトンはアイデア論と言って、理想の世界があると考えました。私たちが感知できるのは具体的な机であり、マイクであり、触ることができるものですが、いずれのものにも背後には抽象的なアイデアというのがあると言います。もしもアイデアが全部表象化されて論理化されれば、人間の知能も機械的にシミュレーションができるはずだと言いました。当時はもちろん人工知能という言葉はありませんでしたが、今から見ると知能だってアイデアに到達すればできるはずだと考えました。

それから1700年経って、デカルトは有名な二元論(dualism)という考え方を主張します。西洋の近代科学の特徴は還元主義(reductionism)と言って、何でもコンポーネントに分解していきます。分子原子に分解して分子原子の挙動を見ると全体の挙動がわかるという信念です。デカルトはそれに反対して「人間の体をバラして細胞にし、細胞を原子分子にしたところで、お互いの結びつきは表現できない。だからいくら物質に還元したところで精神・魂は宿らない」という考え方を取ります。これはデカルト風リアリズムと言って人工知能反対派です。物質で精神・魂のシミュレーションはできないという考え方をします。

最後は先ほど紹介したサールです。彼は強いAIと弱いAIを峻別します。強いAIというのは自我を持つAIです。先ほど60億個のニューロンが集まって何故自分が一人だと思えるかという話をしましたが、サールの立場はそのような自我を持つコンピュータというのは永遠に現われまいだろう、しかし弱いAI、すなわち外から見て知能をシミュレーションするようなAIはできるだろうと考えました。これは今でも多くの人に受け入れられる考え方

です。

さて今大変流行っている機械学習、ニューラルネットワークという仕組みですが、実はできることはシンプルなことに限られています。分類問題と言ってYESかNOに分類するか、あるいは回帰問題と言って、事象を観察してはそれが従う数の分布を予測すること、すなわち数の挙動を既知の確率分布曲線に回帰させることくらいです。

人間のニューロン、すなわち神経細胞は、一つの細胞から樹状突起が伸びています。ここで伝達物質を出して、次の細胞に情報をリレーします。これが神経伝達物質でして、これがうまく伝わるとスムーズに情報の流れができます。すなわち、シナプスと言われるニューロンの接合部に伝達物質が溢れて次のニューロンに信号を与えるわけです。これを模したものが人工的なニューラルネットワークです。人間の体のシナプスには、ドーパミンやアセチルコリンと言われる伝達物質が興奮を介在します。これがうまく流れないといろいろな障害を起こします。1995年にはオウム真理教による地下鉄サリン事件というものがありました。あのサリンはこの神経伝達物質のアセチルコリンの生成を抑制するものです。サリンのお蔭でこの信号が伝わらなくなると、体の中の制御ができなくなってしまいます。

先ほどの人工的なニューラルネットワークの話に戻りますと、画像が入力される入力層には、そのメッシュに切った一個一個のマスの中に色の情報とか、線があるとかないとかの情報が入るわけです。最初の層はすごく単純な、斜めの線があるとか、水平・垂直の線があるかなど単純な情報しか持ってません。ところが、ニューラルネットワークでは人工的なニューロンが層をなし、いろいろな情報が集まって、次の層においてもう少し複雑な情報を持つようになってきます。例えば線が交わっているとか、クロスしているとか、3本集まっているとかなどです。これを繰り返して、層を重ねていくとだんだん複雑な特徴が現れてきます。花の画像であれば、花びらの有無とか、花びらの形とか、花びらの枚数とか情報はどんどん複雑化されます。いろいろな特徴が総合されて、最後の方になると、これはヒマワリだ、これはチューリップだという分類ができるようになるというのがニューラルネットワークと呼ばれる仕組みです。ニューラルネットワークは多数の事例を入力して訓

**M. Boden の定義する創造性**

Margaret Boden (2004)

- **Combinational creativity:** 既知のアイデアの新規組み合わせ
- **Exploratory creativity:** 新規アイデアに出会うための概念空間の探索
- **Transformational creativity:** 概念空間の変形・変成

8

練を行います。訓練というのは具体的には層間, すなわちニューロンの中の結合の重みづけの調節です。何百万枚という学習用の画像を入れて, 結合の重みづけを思考錯誤で調節しては正解か不正解かの判別をやらせるのが訓練です。その結果, 最後にやっと花の分類ができるようになるというのが, 今行われている機械学習の仕組みです。

**数学における概念の創造**

さてようやくですが, 今日のテーマの「創造」について考えてみたいと思います。今申し上げましたように, コンピューターができることはせいぜい分類か回帰でした。たったそれだけのことで, 逆に言えば chat GPT みたいなものができているわけで, それはそれで驚きなのですが, もともとは単純なことしかできません。コンピューターが新しい概念を作ることあるか。つまり人間が誰も知らなかったようなことを計算機が出してくるようなことがあるのでしょうか。マーガレット・ボーデン (Margaret Boden) という人がいます。ご存命です。アメリカの哲学者ですが, 90年代は創造性をめぐって派手な論客で, 創造には三種類あると分類いたしました。

まずコンビネーション (combinational)。こういう単語は普通の辞書には載っていないと思いますが, 語義を推測できると思います。すなわち既知のアイデアを結び付けて新しいものを創造できるかです。既知のものを結び付けるだけで新しいものと言えるかどうかは, レベルにもよりますし, また組み合わせそのものが創造かどうかとも反論があるかと思えます。それから, エクスプロアするという言葉で,

エクスプロラトリー (exploratory) な創造が定義されています。これは, 探し回って探し回って新しいものを見つけるということです。これも, コンピューターにしてみればいったいコンピューターを何万年回し続けたら新しいものに出会えるのかわからないですし, 新しいと認定されるデータがあるのかどうかもわからない概念空間の探索です。最後は, トランスフォーメーション (transformational) な創造があると言われます。今知られているものを改変して, あるいは手を加えて新しいと認定される創造性 (creativity) があるだろうという分類をしています。

どれも新規であると言えば新規ではあるのですが, コンピューターの創造性をどのような定義にしたら妥当だろうかというところに統一見解を得るのはなかなか困難です。

さて次は, ちょっと数学の話にお付き合いください。私が研究者になることを志したのは, 40年ほど前でして, その当時『ゲーデル, エッシャー, バッハ』という本 (Douglas Hofstadter 著) が話題になりました。ゲーデルは論理学者のゲーデル (Kurt Gödel), エッシャーは版画家のエッシャー (Mauritz Escher)。バッハはヨハン・ゼバスティアン・バッハ (J.S. Bach), 作曲家です。この中では, バッハのゴールドベルク変奏曲の洒落でゴールドバッハ予想という問題が紹介されています。これは「任意の偶数 (2の倍数) は二つの素数の和で表される」という予想です。素数というのは1とその数自身以外では割れない数のことです。4=2+2, 6=3+3, 8=3+5, 10=5+5, 12=5+7, …など見てみると, いずれも左辺は偶数で右辺は二つの素数の和になっています。今

## 二次方程式の解の公式

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (a, b, c \text{ が与えられた時点で } x \text{ は決まっている})$$

$$ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex + f = 0$$

$$x = ? \quad (\text{係数 } a \sim f \text{ が与えられた時点で } x \text{ は決まっているはず})$$

9

## History of Quintic Equation

- dal Ferro (1465–1526)  
 $x^3 + px = q$  型の三次方程式の解
- Niccolo Fontana 'Tartaglia' (1500(1499?) –1557)  
あらゆる形の三次方程式の解
- Girolamo Cardano (1501–1576) 三次方程式の一般解
- Ludovico Ferrari (1522–1565) 四次方程式の一般解
- Ruffini–Abel の定理:  
五次方程式には解の公式がないことを示した。
- Galois の群論:  
五次方程式には解の公式がないわけを示した。

10

のところどんな大きな偶数でも例外は見つかっていません。こんな単純な予想ですが、これが正しいということが今でも証明できていません。いわゆる未解決問題です。人類史上誰もこの証明をやった人はいません。待っていれば、いつか数学者の方が証明してくれるのでしょうか。

この話に関してちょっと面白い話があります。中学か高校で、二次方程式の解の公式というのを覚えさせられた記憶があるかと思います。あるいは忘却の彼方かと思いますが、スライドのこんな式です。

二次方程式  $ax^2 + bx + c = 0$  が与えられたときの  $x$  の解の公式ですが、 $a, b, c$  に具体的な数が入るわけですから、その  $a, b, c$  が決まれば解の  $x$  も必ず定まります。この式が求められたのは随分古く、それこそピタゴラスの頃、ギリシャの頃に発見されている公式です。さて方程式の係数が与えられれば解も決まるというのは五次方程式にしても事情は同じはず

で、 $a, b, c, d, e, f$  の係数が与えられた時点で、 $x$  は決まっているはずなのです。それで、 $x =$  と式を書こうとすると「あれっ、書けない…」。これには実に面白いヒストリーがあります。

まず三次方程式の解の公式ですが、公式が見つかるのが15世紀の半ば頃です。スライドの左上のデル・フェッロ (Del Ferro) という人が発見して公開します。しかし一般の三次方程式ではなくて、ある限られた形の三次方程式について「この形だったら解の公式があるよ」と言い出すわけです。この特殊形から一般化したのが、フォンタナ (Niccolò Fontana) という人です。別名タルタッリアとも呼ばれます。あまり良いあだ名ではないのですが、タルタッリアというのはイタリア語で吃音という意味で、彼は吃音症だったらしいです。

今日ここに皆さんが集まっていたいように、学会と言ったら、自分が発見したことを披露する

ところで、研究成果を宣伝する場でもあるわけですが、ところがこの15、16世紀の頃というのは、自分が何かを発見したというのは秘密でした。この秘法が貴族に特技として認定されると、そのために雇用されるという時代でした。学者同士で果し合いをして、俺のところの弟子はお前のところの弟子よりも優秀だぞ、みたいな決闘の道具だったわけです。だから新しい発見とか証明ができてみんな隠しました。自分は三次方程式の解を見つけたぞという噂が広がっても、俺は絶対に喋らんと行って、自分のメモだけは残して隠し持っていたわけです。

ところがこのスライドにあるカルダノ (Cardano) という人が悪い人で、フォンタナに向かって「絶対誰にも言わないから見せてくれ」と言って、フォンタナの作った三次方程式の解を見ちゃうのです。そしてあることが「俺が発見したぞ」と言って公表してしまいます。フォンタナは激怒します。今でこそちゃんと歴史が解釈されて、最初に発見したのはフォンタナだと言われています。確かにカルダノも数学上良い仕事もやっているのです。解の公式は非常にごちゃごちゃした格好でしたが、きちんと場合分けをした解の公式を提示したのはこのカルダノです。この解の公式は Wikipedia などを見ればわかりますが、A4半分くらいの長さで場合分けされた式で表現できます。

それから今カルダノの悪口を言いましたが、彼は非常に大きな功績を残していて、虚数という概念を初めて一般解の中に使いました。実在しない数として嫌われる虚数単位 $\sqrt{-1}$ ですが、あれを取り込んで一般解を表示したという功績があります。三次方程式が解けてしまうとそこからはすぐだったようで、カルダノの直近の弟子だったフェラーリ (車のFerrariと同じスペルです) が四次方程式にも一般解があるということを証明しました。これは長いです。画面をいくらスクロールしても終わりません。A4で2頁、3頁くらいあるような式ですが、しかしとにかく解けました。さて、次は五次方程式だというわけで、みんなこれに取り組むわけです。

ところが、ルッフィーニ (Ruffini) という人がなんとネガティブに「五次方程式には解の公式はない」ことを証明してしまいます。不思議だと思いませんか。方程式の係数の a, b, c, d, e, f が全部与えられれば、x は決まっているはずですが、

a, b, c, d, e, f を使って書けなければならない。ところが代数的に開ベキ (n 乗根) という記法では書けないことを証明されてしまうのです。ただルッフィーニの証明には若干の不備がありましたので、こちらは数学者としては有名なアーベル (Niels Abel) によって修正され、今日では、五次方程式の一般解の公式の不在証明はルッフィーニ=アーベルの定理と呼ばれています。

このアーベルは解の公式がないことを示すのですが、ここに天才ガロワ (Galois) が現れます。ガロワは群論という対称性という概念を使って、「なぜ」五次方程式には一般解の公式が無いのかを示しました。この差もおわかり頂けますか。公式が無いことを示すというのと、なぜ無いのかを示すというのとはだいぶ大きな差があると思います。ガロワは天才でいろいろなことを証明するのですが、当時のフランスの数学院の教授がわかってくれません。ガロワはリウヴィル (Liouville) という高名な人に論文を送るのですが、リウヴィルはその論文を机の上に放置しておいて、そのうち失くしてしまうのです。さらにはガロワも素行に問題があり、大学院の入試を受けるのですが、その試験で面接の先生と押し問答になり、怒って黒板消しを先生に投げつけてしまうということをやって不合格になります。最期も不幸でした。当時はフランス革命の真っ最中ですが、ガロワはフランス革命のスパイの疑いのある女性と恋をします。ガロワはフランス革命賛成派だったわけですが、その女性の手によって決闘に巻き込まれ、その決闘で命を落としてしまいます。わずか20歳でした。

さて五次方程式の解がなぜないかは、当時知られている数学概念だけでは証明できないことでした。「ない」理由を説明するためには、新しい理論を付け足さなければなりません。これがガロワの群論です。人間が新しい数学の理論を創造したせいで対称性の概念が拡大し、「なぜ」が説明できるようになったのです。逆に言うと、そのまま手持ちの数学理論で頑張っても道が無かったわけです。少し戻って、ゴールドバッハ予想のことも、私たちが待っていればいつか誰か証明してくれるのか、それとも何か新しい理論を創造しないと証明できないのか、これもまだわかりません。

今度は、逆に何かを引き去ったおかげで新しい証明ができるようになった例もあります。まずは、ユー

- ユークリッドの第 5 公準：ある直線に対して，線外のある一点を通る平行線はただ一本である．
- ZFC の C (Axiom of Choice)：無限個の空でない集合の族に対して，それぞれの集合から一個の元を選択する関数が存在する．

11

グリッドの第五公準についてです。紙の上で想像してみてください。ある直線があって、直線ではないところに一点をおいて、その点を通る平行線を引きます。普通に考えれば平行線は1本です。しかし、20世紀に入る頃、一点を通る平行線は何本あっても、あるいは1本もなくとも矛盾がないことが発見されます。これは紙が平面ではなくて、三次元空間内で球面や鞍点のように曲がっていればよいのです。当初はそんな一般化をする意義を問う声もありましたが、曲がった平面上の幾何学（ロバチェフスキーの幾何学・リーマンの幾何学）ができるとこれが実際に役に立つ例が現れました。かの有名なアインシュタインの相対性理論です。光の速さに近いと時間が伸び縮みするとか、物体の長さに変化するとか生活には関係ないと思われるかもしれませんが、僕らが日々使っている携帯のGPSは、相対性理論による誤差まで計算しないと、自分の位置情報は出せません。相対性理論もちゃんと現実に役に立っています。

それからもう一つ、何か数学概念を引き去って成果を出した例が集合論の選択公理というやつです。「集合が無限個ある集合族の、その一つ一つの集合から一個ずつ元をとってきて新しい集合を作ることができる」というのが選択公理で、そんなの当たり前ではないかと思われそうですが、この当たり前を外してみると構成主義という立場の新しい数学が生まれました。構成主義は、二重否定が肯定にならない論理、直観主義論理を作る根拠にもなりました。

ちょっと堅苦しい言葉なのですが、公理 (axiom) とは仮定されている前提で、ここは疑わないという了解をするものです。この公理から、他の公理、ある

いは既に得られている知識(定理)を組み合わせて新しい定理を証明していくという方法で、知識を広めていきます。数学用語でいうと公理・定理を組み合わせで新しい定理を導く過程を証明、その証明に使ってよい規則を推論規則と言います。それになぞらえていうと、私たちは今ある知識を組み合わせでだんだん新しい未知の知識を得ようとしています。すると、ここで使われている推論規則がラテン語でモーダス・ポネンス (Modus Ponens) と言って、P という事実と「P ならば Q」であるという含意の関係があると、Q を帰結できるという規則です。例えば「彼女は傘を持っている。傘をもっているときは、必ず雨が降る。だから彼女は傘を持っていれば雨は降る」という当たり前の推論です。ただし、目標の定理が見えていても、既知の夥しい数の定理をどのように組み合わせればよいかというのは自明ではありません。つまり、証明への道筋がそんな簡単には見つかるわけではありません。さっき申し上げましたように、ものすごい組み合わせの数があって、定理と呼ばれる集合の外側の枠線というのが見えていないのです。数学概念はどれだけ広がっているのか、今ある知識を組み合わせればやがては証明できることなのか、それともその知識が足りてないから証明できないのかというのは、問題ごとにまだわかりません。

先程のマーガレット・ボーデンの言葉で言うと、探し回る方法の創造性では、どれだけ探し回ったらいいのかということも誰にもわかりません。この地平線が見えないものですから、広がっている方向に闇雲にやっても計算量は止まらないということが起きるかもしれません。では P と「P ならば Q」を見

### What is a rule? Which is a fact?

厚生労働大臣は、連続する三保険年度中の各保険年度において次の各号のいずれかに該当する事業であつて当該連続する三保険年度中の最後の保険年度に属する三月三十一日（以下この項において「基準日」という。）において労災保険に係る保険関係が成立した後三年以上経過したものとついで当該連続する三保険年度の間に於ける労災保険法の規定による業務災害に関する保険給付（労災保険法第十六条の六第一項第二号の場合に支給される遺族補償一時金、特定の業務に長期間従事することにより発生する疾病であつて厚生労働省令で定めるものにかつた者（厚生労働省令で定める事業の種類ごとに、当該事業における就労期間等を考慮して厚生労働省令で定めるものに限る。）に係る保険給付（以下この項及び第二十条第一項において「特定疾病にかつたものに係る保険給付」という。）及び労災保険法第三十六条第一項の規定により保険給付を受けることができることとされた者（以下「三種特別加入者」という。）に係る保険給付を除く。）の額（年金たる保険給付その他厚生労働省令で定める保険給付については、その額は、厚生労働省令で定めるところにより算定するものとする。第二十条第一項において同じ。）に労災保険法第二十九条第一項第二号に掲げる事業として支給が行われた給付金のうち業務災害に係るもので厚生労働省令で定めるものの額（一時金として支給された給付金以外のものについては、その額は、厚生労働省令で定めるところにより算定するものとする。）を加えた額と一般保険料の額（第一項第一号の事業については、前項の規定による労災保険率（その率がこの項の規定により引き上げまたは引き下げられたときは、その引き上げまたは引き下げられた率）に於ける部分の額）から非業務災害率（労災保険法の適用を受けるすべての事業の過去三年間の通勤災害に係る災害率及び二次健康診断等給付に要した費用の額その他の事情を考慮して厚生労働大臣の定める率をいう。労働保険の保険料の徴収等に関する法律 12条 3項）

12

つけてきて機械化すれば、機械の方が頑張つて勝手に探し回る創造をしてくれるだろうと思いたいです。例えば、法律というのは論理的に書かれていると信じ、「PならばQ」という形で書いてあるとしましょう。ここに、要件事実というのを入れると、自動的に判決をしてくれるに違いないという主張があるとき大変魅力的に思われました。

ところが、法律の文章はとてもこんな「PならばQ」の形にはなっていませんでした。ぱっと見て、それがPで、どれがQか、何が何やら…。スライドにあるのはこれで一文です。法律文をいくら解析しても、そこに規則を発見するのはなかなか難しく…。数学のような抽象化された世界と現実の法律文とはどんなに乖離しているものか思い知らされました。

### 芸術における創造

では次に芸術の話題に行きます。つい3年くらい前、『Computer Models of Musical Creativity』（コープ、D. 平田圭二（監訳）、今井 慎太郎・大村 英史・東条 敏（訳）（2019）。人工知能が音楽を創る 音楽之友社）を翻訳いたしました。音楽の創造性をコンピューターではどう考えるかという本です。著者はデヴィッド・コープ（David Cope）という人です。私たちが翻訳した本のタイトルは『人工知能が音楽を作る』です。音楽を好きな方も多くいらっしゃると思いますが、バッハは作品番号が割り振られた曲が「フーガの技法」を最後に1080曲ほど、中には偽作の疑いがある作も含まれているので正確な数は分かりませんが、このくらいの曲数があります。そしてモーツァルトは大体600曲余、作品番号の一番最後

K.626 はレクイエムで『アマデウス』という映画での作曲シーンが有名になりました。David Cope の言いは、「みんな大好きなバッハは1000曲、モーツァルトは600曲では足りないだろう」でして、「ならば細切れにしてスムーズにつなが合わせてみよう」ということをやってみただけです。人工バッハ、人工モーツァルトです。今でもこれはウェブで検索して聞くことができます。よくできています。だけど、これが人工だと言うと、みんな一斉に嫌悪感を示します。何故でしょうか。結局最後デヴィッド・コープは音楽情報処理関係の学会から一切足を洗ってしまい、自分のプログラムも消去してしまいました。

音楽の創造性というのは、わかりにくい概念です。日々新しい曲は作曲されているわけですが、それが本質的に新規性のある作品かどうかは判断のしようがありません。世界のあらゆる音楽は西洋の調性音楽、いわゆる十二音平均律にほぼマップされています。それだけ西洋音楽は偉大ではあるのですが、なかなかその枠にはまらない音楽というのもあるわけです。つい昨夜、懇親会でガムランをお聞きになったと思います。ガムランの音律はドレミファソラシドの中から微妙に外れています。それを言い出すと、日本の陰旋法とか陽旋法とか、世界の5音音階（ペンタトニック）などは全部微妙に外れています。しかしほぼ平均律のドレミファソラシド、ピアノの鍵盤の音に近似できてしまえるのです。私くらいプアな耳ですと十分ドレミファソラシドでOKなのですが、耳がいい方は音律の違いに気づかれると思います。弦楽器でピッチの整数比を正確に導いた音律では、例えばミの $\flat$ とレの $\sharp$ は異なる高さになりますが、

### Gallery Fake

- 2014 佐村河内守のゴーストライター事件/ 2015 佐野研二郎の東京オリンピック公式エンブレム酷似事件
- お正月の芸能人格付けチェック

13

### Aesthetic Viewpoint

「南カリフォルニアで金で買えないものはない。金で買えないものは誰も欲しがらない」- 村上春樹「サウスベイ・ストラット」

14

鍵盤では同じ音になってしまいます。セロニアス・モンクというジャズピアニストがありますが、ミだと高すぎる、ミ♭だと低すぎると言うので、両方の音を同時に鳴らすみたいなのをやったりしました。とにかく、音楽での創造性は西洋音楽でマップされたおかげで、随分閉じ込められてしまいました。

ペンデレツキという作曲家は、「広島犠牲者に捧げる哀歌」で楽譜の一部を真っ黒に塗り、この間の音を全部出せとオーケストラに指示を出しています。ペンデレツキはポーランドの人で、原爆に対する猛烈な怒りを表現したくて、このように書きました。聞いてみるとキーンという音がします。怒りを表すのに個々の音を精密で書くよりは、何か気持ちが伝わる創作になっています。

コンピューターが作ったと言われたから嫌な気持ちがした、人工モーツァルトでコンピューターが作ったと言われたから嫌な気持ちがしたというはよ

くあることと思います。偽作・贋作・人工物には嫌悪感が生じますが、はたして皆さんそれほど鑑識眼があるかということも再考してみる価値があります。2014年に佐村河内という人が、ゴーストライターを雇って作曲して、実は耳が聞こえていたというような事件がありましたし、その翌年、東京オリンピックの偽エンブレム問題が起き、エンブレムがリエージュという町のオペラハウスのマークとそっくりだったなどということがありました。オリジナリティとはどこからか、どこからが自分のアイディアなのかということは非常にグレーです。この年にはもう一つSTAP細胞事件が起きます。これは作者本人は本当にその細胞があると信じた可能性もありますので、悪意ある贋作ではありません。しかし、たまたま2014年から15年、一年の間に三つのフェイク事件が起きました。フェイクというのは本当に見抜けるのかというのが次です。

## 人工知能って実現可能なの？

- 原理的には可能
- 計算量的にはとても難しい

15

## 大きな数の話

- Schrodinger のコップ - 海水をコップにすくって分子にマークをつけ海に戻す。
- リーマンゼータ関数の自明でない零点の数 - 現在約 10 兆個

$$\zeta(s) = \frac{1}{1^s} + \frac{1}{2^s} + \frac{1}{3^s} + \frac{1}{4^s} + \frac{1}{5^s} + \dots$$

- 恒河沙 (ガンジス川の砂の数)  $10^{52}$
- Googol 数  $10^{100}$
- 宇宙 (半径  $1.3 \times 10^{26}\text{m}$ ) を超ひも ( $10^{-35}\text{m}$ ) によって最密充填してみると？
- Knuth の矢印記法, Graham 数
- 俳句の数 - ひらがな 50 音の 17 文字の順列

$$50^{17} = \left(\frac{100}{2}\right)^{17} = \frac{10^{34}}{2^{17}} \approx 10^{29} (2^{10} \approx 10^3)$$

16

私の大好きな番組で、お正月の GACKT が出てくる芸能人格付けチェックという番組があります。みんな目隠しをしてお肉を食べて、神戸牛か外国産の安いお肉か当てるというものです。あるいは、シャトー・ペトリウスかボルドーの通常買えるようなワインかを当てるというものです。私はワイン大好きですが自信ありません。味覚なんて食ベログやミシュランなどバイアスがほとんど、人に言われたからそれがいいと言っているようなものでしょう。もちろん才能のある、鑑識眼のある方がいるのは存じ上げていますが、99% はみんな自信がない。だから新しいものが出てきたときに、これがほんとに新しいかどうかなどみんなわからない。この状況で創造性とは何かという話をするのはとても難しい問題だと思います。

村上春樹さんは、文章を目で追う速さと頭に入ってくる速さが見事に一致する非常に優れた作家だと

思います。この方の書いた文ですが、みんなお金の価値に換算するからわかるのだということ、すごい説得力です。換算するから芸術の価値もわかるというようなことを言われてしまうと、はて自分もそうではないと言い切れるかと迷ってしまいます。

## 計算量の壁を超える量子計算

今日最後の話題です。インタビューを受けて、「人工知能というのは可能ですか」と聞かれます。いつも「原理的には可能です」と言っています。ただ計算量的にはとても大きな困難があります。先程申し上げましたようにどこまでの空間を探しているのかわからないし、待っていれば答えが出てくるのかどうかもわからないわけです。

大きな数の話をちょっといたします。いろいろな話がありますが、一番下だけ行きます。ひらがなの五十音の俳句がどのくらいあるかという話です。たっ

た17文字だったら、いつか尽きてしまうのではないかという危惧はないでしょうか。五十音があって俳句になるのは、最初の1文字目の選び方は50通り、2文字目の選び方は50通り、3文字目の選び方は50通りと言って、 $50 \times 50 \times 50$ と行って17回繰り返すと、50の17乗になります。これはだいたい10の29乗という数になります。書くのはたやすいですが、10の29乗というのがどんなに大きな数なのか、直感がわくでしょうか。まず宇宙の半径が10の26乗メートルくらいです。137億年前にビックバンというのがあって、1点から宇宙が爆発して、光の速さで広がっていったとするとこの数値になります。観測可能な宇宙の半径というときまた難しい話になってしまい、これよりはるかに大きな数になりますが、とりあえず俳句の数はメートル単位の宇宙の半径の1000倍あります。つまり俳句はそう簡単に尽きるものではありません。

さて最後です。ドレイファス (Dreyfus) という人は1970年代から三版に渡って“*What Computers Can't Do*”「コンピューターには何ができないか」という本を著し、倫理とか愛は永遠に人工的には実現できないのではないかと主張し、また創造性も否定します (ドレイファス, H. I., 黒崎 政男・村若 修 (訳) (1992), コンピューターには何ができないか—哲学的人工知能批判, 産業図書)。コンピューターのできることは、先ほど言った、モダス・ポネンスとの

組み合わせでしかないと言っています。私が一番共感する彼の主張は「コンピューターは面白いと思う気持ちを持ってない」ということです。私たちは、問題を解いてパズルを解いて面白いと思います。面白いと思うから、また新しい問題を見つけたりします。でも計算機は面白さに対する快感がなく、それがない限りコンピューターには創造性が無いという主張をします。

先の還元主義、すなわち何でもパーツに還元してそのパーツの機能を併せれば人間と同じものができるといふ考え方ですが、私は60億個ニューロンが集まっても自我とか自意識がなぜ生まれてくるのか納得いきません。いったいどこから出てきているのでしょうか。これがある限り、計算機が心を持つとは言えないのではないかと考えるのは如何でしょうか。以上で終わりにしたいと思います。

**【司会】** あっという間の1時間でした。東条先生から、我々に取りましても、新たなブレイクスルーを、きっかけとなるようなお話を伺えたのではないかと考えております。この後も時間が詰まっているようですので、これにて終了いたしますが、有意義な研究時間が今日またこれから続くと思いますので、それを祈念いたしまして、この特別講演会を終了させていただきます。よろしくお願いいたします。

東条先生に今一度盛大な拍手をお願いいたします。