

ポスト・ディープラーニングの展望

1. 「ポスト・ディープラーニングの人工知能技術を展望する」
Long Version / Short Version
2. 知能の階層性
3. 人間と機械が知りうることの「限界」について

2018/01/31 角川セミナー

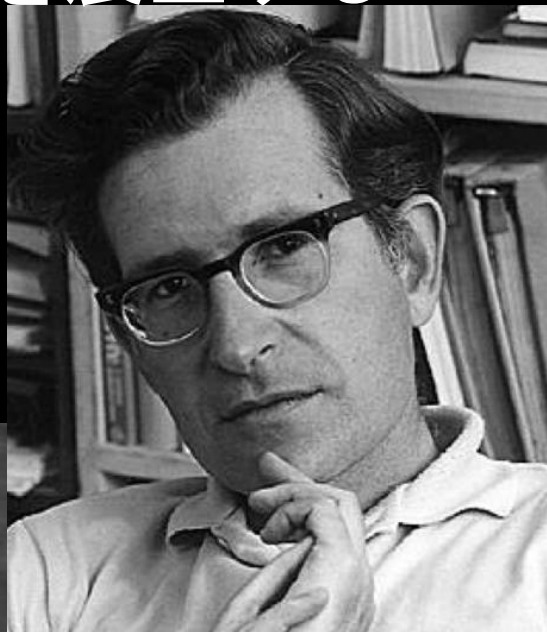
「ポスト・ディープラーニングの
人工知能技術を展望する」
Long Version

このサイトで読む：

概要：<https://lab-kadokawa43.peatix.com/>

資料：<https://goo.gl/wN3Rdd>

ポスト・ディープラーニングの 人工知能技術を展望する



Chomsky



Voevodsky



Turing

Agenda

ポスト・ディープラーニングの
人工知能技術を展望する

Part I

人工知能の歴史を振り返る

Part II

人間の知能と機械と人間の歴史を振り返る

Part III

言語能力への言語学的アプローチ

Part IV

数学的認識能力への数学的アプローチ

Part I

人工知能の歴史を振り返る



Part I まとめ

人工知能の歴史を振り返る

- 人工知能研究の歴史では、大きく二つの流れがあることがわかる。
- 一つは、コンピュータ登場以前の1930-40年代の数学でのGödel, Turing, Church, Postらの「計算可能性」の研究に源流を持つ「計算主義」の流れである。人工知能研究のこの流れの始祖は、初めて「機械は考える事は出来るか？」という問いを立てたTuringである。
- もう一つの流れは、1950年代のHubelとWieselの脳視覚野の研究に触発された「コネクショニズム」の流れである。第一世代のRosenblatt、第二世代のRumelhart、第三世代のHinton, Benjio, LeCunnらに続く。現在のディープ・ラーニングは、この第三世代に当たる。

Part I まとめ

人工知能の歴史を振り返る

- 「計算主義」の流れを追ってみよう。
- Turingの洞察は画期的なものだったが、彼は若くして死に、「考える機械」の実装に進む事はなかった。
- この時期の「計算主義」の取り組みでの最大の成果は、Chomskyによる文法の数学的特徴づけとその階層性の解明である。しかし、Chomskyの仕事は、当時は、「人工知能」の文脈の中では捉えられる事はなかった。
- この頃の「人工知能」では、SimonのGPSやLogical Theoristが目を引く。しかし彼のアプローチは、知能や論理についての洞察を欠く、徹底してヒューリスティックなものだった。それは、計算主義とは異なるものだ。そして、彼の楽観論は失敗する。

Part I まとめ

人工知能の歴史を振り返る

- 「計算主義」の流れでは、1965年のRobinsonの Resolution Principalは、重要な成果である。それは一階の述語論理の証明をコンピュータ上で行うことに道を開き、論理型言語 Prologに基礎を与えた。
- 1970年代は、人工知能に対する失望が広がり、問題の難しさもあって、「計算主義」も後退を余儀無くされる。
- この時期の「計算主義」の流れを汲む取り組みの代表は、「論理」を「ルール」に変え、ヒューリスティックの要素を取り入れたFeigenbaumのExpert Systemである。
- 人工知能における「計算主義」の、ある意味(これまではという意味で)最後の代表例は、1980年代の日本の「第五世代コンピュータ」プロジェクトである。

Part I まとめ

人工知能の歴史を振り返る

- 「計算主義」の流れは、日本のプロジェクトの終了後、人工知能の世界では、勢いを失う。ただ論理的推論の機械による実行の試みは、数学の「定理証明」の分野では生き続ける。また、そこで用いられた「型の理論」は、人工知能技術とは、現時点では、切り離されてはいるのだが、新しい発展を続けて行く。それについては、Part IVで触れることにする。
- 「計算主義」の流れで特筆すべきなのは、Chomskyが、60年近く一貫して、この立場からの言語能力の解明に取り組んできたことである。それについては、Part IIIで触れたいと思う。

Part I まとめ

人工知能の歴史を振り返る

- 次に、「コネクショニズム」の流れを振り返ろう。その流れも平坦なものではなかった。
- 第一期のRosenblattのPerceptronは、大きな関心を集めるのだが、Minskyらの「線形分離ができない」という批判の前に、認識能力に限界あることを認めざるを得なかった。
- 日本の「第五世代コンピュータ」に少し遅れて始まった第二期のRumelhartらの“PDP(parallel Distributed Processing)”モデルは、人工知能の分野での「計算主義」の衰退の中で、認知科学でも大きな影響力を持った。「コネクショニズム」という命名は、この時期からのものだ。
- 若いHintonも参加した、Back Propagation等の手法は、今日のDeep Learningにも、そのまま引き継がれている。

Part I まとめ

人工知能の歴史を振り返る

- 残念ながら、第二期の「コネクショニズム」では、理論的枠組みの深化はあったものの、そのモデルを実際に計算する計算パワーが、圧倒的に不足していた。そして、それは次第に衰えて行った。
- 長い雌伏の期間をへて、第三期の「コネクショニズム」は、5年前の2012年に、爆発的に復活する。Google Distbeliefの「Googleの猫」、ImageNetでのCNNのAlexNetの優勝、さらに、Hintonらのチームによる音声認識の精度の飛躍的向上が、この年、同時に起きる。現在に続くDeep Learningブームの始まりである。

Part I まとめ

人工知能の歴史を振り返る

- 現代のDeep Learning技術は、MLP, CNN, RNN(LSTM)、強化学習モデルといった多数のモデルを擁し、その応用は、画像認識、音声認識、自動運転・ロボットの制御、ゲーム、機械翻訳等々、広い範囲に及び、それぞれの分野で大きな成果をあげている。そうした応用分野の拡大は、今後もさらに続くだろう。
- 僕は、人工知能技術の未来展望のコンテキストの中で、“Post Deep Learning”という言葉を使っている。それは、人工知能技術には、まだまだ多くの解くべき課題があり、おそらくそれらは、Deep Learningの手法のみでは解けないだろうと感じているからである。

Part I まとめ

人工知能の歴史を振り返る

- 人工知能へのアプローチの大きな二つの立場、「計算主義」と「コネクショニズム」のこれまでの動きを概括してきた。ただ、振り返ってみると、この二つだけには収まらない、しかしながら、人工知能技術にとっては極めて重要な役割を持ちうる流れがあることに気づく。それは、「知識・検索主義」とでもいうべき流れである。
- 我々人間の知能では、「記憶と想起」のメカニズムが重要な役割を果たしている（「記憶と想起」の機能を持つのは、人間だけではないことに留意）。そのメカニズムの機械への置き換えを目指すものと考えていい。
- MinskyのFrame理論は、こうした流れの遠祖かもしれない。ただ、「知識の表現論」としては、MinskyのFrameは、内的な認知構造に注目したものだ。

Part I まとめ

人工知能の歴史を振り返る

- 「知識・検索主義」の機械による実装の最初の成功者はGoogleである。そこでは、「知識」はWeb上のすべての文字情報で、「検索」は、その中から指定された文字列を見つけ出すことだ。繊細なFrame理論は、情報のWebスケールへの拡大と引き換えに、単純化され退化する。（確かに、「知識」の集積に、外的記憶として文字を使うのは人間だけである。人間の知識として、ネット上の文字情報の集積に注目したのは正しい。）
- GoogleのLarry Pageは、かつて次のように語っていた。人工知能とは、「Googleの最終バージョン」であり、「究極の検索エンジン」のことだと。ここでは、「人工知能」の主体は、個々の機械ではなく、ネットそのものになる。（これも、人工知能の未来像としては、ある意味で卓見かもしれない。）

Part I まとめ

人工知能の歴史を振り返る

- Googleの検索技術は、2010年代に大きく変化する。文字列検索に代わって、大規模なEntityグラフ上の検索を利用する Knowledge Graph も投入される。
- Entityグラフ・モデルでのノードの検索技術は、音声検索には不可欠な技術となる。注意すべきなのは、こうしたEntityグラフの情報は、何らかの形で収集されたWeb上の文字情報から構成されたものだということである。
- 2011年、Googleが中心となって、EntityモデルのSchema定義を共有するSchema.orgが設立される。ネットワークからアクセスできる形での「知識の表現」(正確にいうと、「知識の表現」そのものではなく「知識の表現の形式」なのだが)が、動き始めたことになる。

Part I まとめ

人工知能の歴史を振り返る

- ❑ Schema.orgのSchemaの問題点はおいておくにしても、ボイス・アシスタントのGoogle Assistant SDKの基本プロトコルは、クライアントが音声データを送ると、Googleのサーバーが音声データを返すというプロトコルになっている。
- ❑ 文字を使わない分、Speech2TextやText2Speechの手間がいらないだけ楽なように思うかもしれない。ただ、本来、文字データから構成されたEntityグラフを、内部的には、文字列をキーにしてグラフ検索しているはずである。
- ❑ 自然言語の歴史を見ても、音声だけの利用から文字の利用への進歩は、情報の蓄積とその伝播の規模を飛躍的に拡大した。知識検索に文字の利用を許さないこのプロトコルは、こうした流れからみると、明らかに「退歩」である。僕は、このプロトコルを「文盲プロトコル」と呼んでいる。

Agenda Part I

人工知能の歴史を振り返る

- Churchのラムダ計算
- TuringとChomsky
- Simonの楽観論
- 人工知能に対する懐疑論
- Robinson 論理的推論の機械での実行
- Minsky Frame理論
- Expert System
- 第五世代コンピュータ

Agenda Part I

人工知能の歴史を振り返る

- Perceptron
- PDP/Connectionism
- Deep Learning
- 大規模分散システムと検索技術
- Schema.org
- 人工知能技術の現在
- Deep Learningの最前線

Part II

人間の知能と機械と人間の 歴史を振り返る

Part II まとめ

人間の知能と機械と人間の歴史を振り返る

- 人工知能技術が、究極的には人間の知能の機械による代替を目指す技術であるなら、我々はまず、人間の知能がどのような特徴を持つものであるのかをよく知らなければならない。そのためには、人間の知能が辿った道を振り返るのは有効である。
- また、機械と人間の関係は、人工知能技術で初めて問われることになったわけではない。我々人間と機械との関係は、生命の長い歴史からみるとごく短いものでしかないが、近現代、特に産業革命以降に限ってみると、それは、人間の社会・経済に大きな影響を与え、また、人間の自然認識・技術を飛躍的に発展させてきた。こうしたダイナミズムは、日々、我々人間と機械の関係を密なものにしている。

Part II まとめ

人間の知能と機械と人間の歴史を振り返る

- 生命の誕生は、基本的には、エネルギー代謝過程と遺伝子情報による情報過程の二つの過程に支えられて、自己複製を可能とするシステムの誕生を意味する。プリミティブな生命の情報過程の基本的なミッションは、自己の情報を忠実に世代を超えて伝えることであり、「知的」な情報処理は、ほとんど行われていない。
- 今から5億年前のカンブリア紀に、生物の情報処理過程に大きな変化が起きる。眼が生まれたのだ。捕食し、あるいは、捕食者から逃れるために動物の感覚・運動能力は飛躍的に高まった。リアルタイムに環境に適応するため動物の情報処理システムは高度なものとなり、そのセンターとして中枢神経系が発達する。脊椎動物は、脳を持つようになる。

Part II まとめ

人間の知能と機械と人間の歴史を振り返る

- 高度な脳を持つ類人猿から人類が進化してくる。人類を他の類人猿とを区別する最大の特徴は、人類が言語能力を持ったことであった。言語能力は、人類に、世界の把握の仕方を他の動物たちとは、全く異なるものにした。宗教と芸術と技術と科学が、もちろんプリミティブな形ではあるが、同時に生まれた。
- 人類は、やがて文字を発明する。言語能力は、個体・集団間の共時的なコミュニケーションを可能にしていたのだが、世代を超えた情報の伝達は、記憶能力に頼った口伝えでしかできなかった。印刷技術の発明は、情報の蓄積・伝搬のスタイルを大きく変える。文字無しには、今日のインターネットもSNSも、プログラミングも成り立たないのだ。

Part II まとめ

人間の知能と機械と人間の歴史を振り返る

- 21世紀初頭のIT技術をドライブしたのは、Webスケールの文字情報検索と広告を結びつけたGoogleである。それは、知識の検索技術としてもビジネスモデルとしても、画期的な成果をあげた。ただ、Googleはそのボイス・アシスタント技術で、知識検索をボイスのみに止めようという動きを見せていることには、注意が必要である。
- 文字の発明に少し遅れて、実践的に量を扱う技術として、数学が登場する。それは古代ギリシャで体系化され、中世イスラム世界を通じて、近世のヨーロッパに逆輸入される。ニュートンは、新しい数学「微分・積分」の発見者でもあるがゆえに、産業革命に先行した「科学革命」の完成者となりえたのである。

Part II まとめ

人間の知能と機械と人間の歴史を振り返る

- 機械は、人間の運動能力を拡大する。飛行機・自動車・ブルドーザーを使えば、我々は、鳥のように空を飛び、チーターより早く走り、象より大きな力を出せる。それは、飛行機・自動車・ブルドーザーといった機械の力なのだが、それは人間の力になる。
- 運動能力だけではない。機械は人間の感覚能力も拡大する。顕微鏡や望遠鏡やCERNの加速器やLIGOの観測装置は、人間の感覚能力を拡大するものだと考えることができる。そうした能力の拡大は、機械の助け無しには不可能なのだが、それは、人間の力として現れる。

Part II まとめ

人間の知能と機械と人間の歴史を振り返る

- 自然認識の拡大に関していえば、こうした運動・感覚能力の機械による外的拡大のみが全てではない。我々の感覚的能力は、我々が生存する世界の事象の認識に最適化するように進化してきた。極微の世界を対象とする量子論にしろ、宇宙の巨大な時空を対象にする相対論にしろ、自然の全貌は、我々の感覚的直感では、むしろ捉えられない。
- こうした時に、数学を使った認識が有効になる。ある時代以降、我々の「知」の少なくとも部分が、そして科学的認識の多くの部分が、数学的形式で記述されるようになる。その意味では、数学的認識能力は、言語能力のように生得的なものではないのだが、人類が作り上げてきた新しい認識器官なのかもしれない。

人間の認識の発展と知の階層

数学的・科学的な自然と自己の認識

科学と
技術



文字による知識の集積

諸メディア



言語能力による認識の飛躍

音声言語
思考の言語



感覚・運動的外界の把握

Agenda Part II

人間の知能と機械と人間の歴史を振り返る

□ 知の歴史

- 生命の誕生と生物の感覚・運動能力の拡大
- 人類の言語能力の獲得
- 文字の発明と諸メディアの発展
- 「知識」の検索へ
- 数学的認識の誕生と発展

□ 機械と人間の歴史

- 機械による人間の運動能力の外的拡大
- 機械による人間の感覚能力の外的拡大
- 現代の科学的自然認識

□ 人間の認識の発展と知の階層

Part III

言語能力への言語学的アプローチ

Part III まとめ

言語への言語学的アプローチ

- 言語と人間の言語能力についての探求は、何も「人工知能研究」の側からだけ行われているわけではない。この Part IIIでは、言語学からの言語に対するアプローチを紹介する。
- Chomskyの、有限の言葉から無限の文を生成する言語の創造性、また、それを可能にする帰納的な能力を持つ文法の役割という視点とその生得的普遍性の主張は、それだけでも十分に、機械による言語アプローチの初期の誤りを、明確にする上で有効な理論的枠組みを提供する。

Part III まとめ

言語への言語学的アプローチ

- また、言語能力は、人間という種に固有の生得的なものであるという主張は、biolinguisticという立場と相まって、脳研究や進化理論等、多方面の研究と連携して、「人間の知能」の本質に迫っていくことの重要性を、あらためて我々に示す。
- 「言語能力は認識の器官」という主張も、「人間の知能」研究における、言語研究の重要性を明確に示すものだ。同時に、この能力は、幅広い認知能力に支えられている。こうした問題意識なしには、「人工知能研究」サイドからの言語へのアプローチは、表面的なものになるだろう。

Part III まとめ

言語への言語学的アプローチ

- Chomskyの新しい言語理論であるMinimalist Programで、僕が注目するのは、彼が計算システムとして捉えている言語能力の中核である「普遍文法」を、ボトムアップから構成しようという志向を表明していることだ。こうした方向は、明らかに、コンピュータによる言語能力の実現の道と重なってくるであろう。
- 一方、こうした言語理論に基づく、実際の計算システムの構築は、大きく遅れている。それでは、説得力を持ってない。

Part III まとめ

言語への言語学的アプローチ

- Minimalist Programの中核的概念である Merge は、とても興味ふかいものだ。「二つのものを一つにする」というMergeは、文の構成の原理であるだけではなく、人間の認識能力の最もプリミティブな特徴をも捉えていると言える。そうした意味で、Mergeは、認識能力と言語能力とその上に立つ言語的認識能力という三者の関係を考える上で重要な役割を果たしうる。
- 言語能力は生得的なものだが、数学的認識能力は生得的な能力ではない。ただ、言語能力無しには、数学的認識能力は生まれなかった。Mergeは、また、言語能力と数学的認識能力の橋渡しをしうる。

Part III まとめ

言語への言語学的アプローチ

- 現在のボイス・アシスタントの開発モデルの変化も、Chomskyらの計算言語モデルと、かすかな対応関係を見ることができる。
- AlexaのSystem Slot Typeの導入は、語彙項目の獲得に対応する。パラレル・コーパスがデータの中心であるニューラル機械翻訳技術ではほとんどモデル化されることがないのだが、我々は、内部に膨大な辞書データを持っているのは確かだと思う。
- AlexaのIntent Signatureは、文にある種の構成された型を与えようとする点で、文法の萌芽である。また、それが、Entity中心ではなくAction中心のものであるのは、文の中心が名詞ではなく動詞であるという言語学的知見と一致するのである。

Agenda Part III

言語能力への言語学的アプローチ

- Chomskyの観察と立場
- Minimalist Program / 計算システムとしての言語能力
- Minimalist Program / Mergeとは何か？
- Minimalist Program / 言語モデル
- Alexaのモデルとの比較
- Categorical Linguistics

Part IV

数学的認識能力への 数学的アプローチ

Part IV まとめ

数学的認識能力への数学的アプローチ

- ここでは、数学的認識の特徴について、数学自身の側からのアプローチを中心に、いくつかのトピックを取り上げる。
- まず、数学の基礎では、「計算可能性」の問題や、数学自身が数学自身をどのように基礎づけようとしてきたのかという問題がある。前者の問題では、ゲーデルの不完全定理が有名であるが、この定理は数学ではあまり役には立たないものである。ゲーデルの仕事で数学的に重要なのは、後者の問題での集合論とカントールの連続体仮説の無矛盾性証明だと僕は思っている。
- 短い紙面で説得的な説明は難しいのだが、数学固有の特徴とされていた形式性だけでは、数学の基礎づけには不十分で、むしろ物理世界と数学との関係性への注目が強まっているのが、大きな流れだと思う。

Part IV まとめ

数学的認識能力への数学的アプローチ

- 数学の「証明」というプロセスは、今の所、もっぱら人間によって担われている。しかし、人間による「証明」には、いくつかの困難がある。
- 現在の人工知能の話題の中では、数学の問題解決（数値計算では無い）に、コンピューターを利用しようというトピックは、ほとんど出てこない。それは少し奇妙なことだ。
- 数学における証明は、人工知能技術の重要な応用分野である。数学の証明でのコンピュータの利用では、ディープ・ラーニングや自然言語処理や検索技術とは、全く異なる技術が必要になる。

Part IV まとめ

数学的認識能力への数学的アプローチ

- Churchのラムダ計算に対する関心が、ふたたび活発化するののは、20年近くたった1960年代からである。理由ははっきりしている。コンピュータが現実動き出したからである。
- この時期の代表的な成果は、HowardのCurry-Howard対応の研究である。Howardは、30年代のCurryの仕事を「再発見」する。Curry-Howard対応は、論理と型の理論との間の、驚くべき対応関係を明らかにした。
- すなわち、型を持つラムダ計算の、「型 σ から型 τ への関数は、型 $\sigma \rightarrow \tau$ を持つ。」に登場する矢印 $\rightarrow$ が、論理式で、「A ならば Bである。」の含意を意味する “ $A \rightarrow B$ ” の中に出てくる矢印 $\rightarrow$ との間に、対応関係があるというのである。

Part IV まとめ

数学的認識能力への数学的アプローチ

- すなわち、論理における命題は、型の理論の型に対応し、論理における証明は、型の理論でのある型の要素に対応する。Curry-Howard対応は、“Proposition as Type” “Proof as Term” の頭文字をとって、PATと呼ばれることがある。
- Martin-LöfのDependent Type Theoryは、Churchの型を持つラムダ計算の拡張として、ML, Haskell等の現在の関数型言語に理論的基礎を与えた。同時に、それは、Curry-Howard対応によって、Coq, Agda等の証明システムの理論的な基礎をも与えることになった。

Part IV まとめ

数学的認識能力への数学的アプローチ

- Coqは、Dependent Type Theoryに基づく、関数型言語であると同時に、証明支援システムとして広く利用されている。
- 「証明支援システム」は、人間の証明をコンピュータが支援するシステムである。ただ見方を変えれば、それは、コンピュータの証明を人間が支援しているシステムだと考えることも出来る。
- コンピュータの進化が進んでいる方向の先には知性を持つ機械の実現があると筆者は考えている。「証明支援システム」での人間と機械の、証明をめぐる双対的な「共生」は、それに至る一つの段階なのだと思う。

Part IV まとめ

数学的認識能力への数学的アプローチ

- 筆者が注目している言語理論の一つに、Combinatory Categorical Grammarsがある。それは、Dependent Type Theoryの枠組みを利用して、文の生成と意味（論理式で表現される）の導出を、同時に行おうとする試みである。それは、ChomskyのMinimalist Programとも接点を持っている。

Part IV まとめ

数学的認識能力への数学的アプローチ

- 数学の基礎に関連して、HoTT(Homotopy Type Theory)と呼ばれる新しい型の理論とそれを基礎付ける Univalent Theoryと呼ばれる新しい数学理論が、関心を集めている。
- Univalent Theoryは、数学者のVladimir Voevodskyが、論理学者Per Martin-Löfの型の理論を「再発見」したことに始まる。
- この新しい分野は、21世紀の数学とコンピュータサイエンスの双方に、大きな影響を与えていくだろう。
- 残念なことに、Voevodskyは、2017年9月、急逝した。

Agenda Part IV

数学的認識能力への数学的アプローチ

- 数学的認識の基礎をめぐって
 - 数学の「証明」の問題
 - 数学でのコンピューターの利用
- 型の理論の発展
 - Curry-Howard対応 - 型付きラムダ計算と論理との対応
 - Martin-Löf のDependent Type Theory
 - 証明支援システム COQ
 - Categorical Grammars
- Voevodskyの登場
 - Homotopy Type Theory
 - Univalent FoundationsとUniMath

2018/05/22 マルレク第一回

「ポスト・ディープラーニングの
人工知能技術を展望する」
Short Version

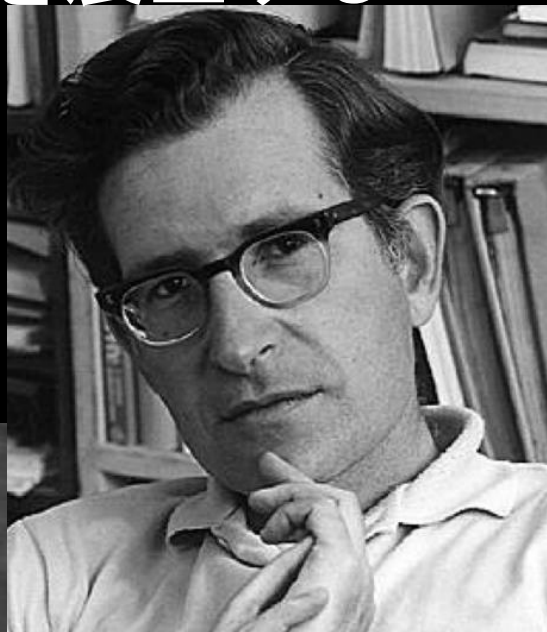
このサイトで読む: <https://goo.gl/ZkUgGr>

概要: <https://marulec01.peatix.com/>

資料: <https://goo.gl/jU54FM>

動画: <https://crash.academy/class/278>

ポスト・ディープラーニングの 人工知能技術を展望する



Chomsky



Voevodsky



Turing

はじめに

- 現在の「人工知能」技術の中核は、ディープ・ラーニング技術である。ディープ・ラーニング技術は、2012年以来、爆発的に発展・普及し、大きな成果を上げてきた。
 - 現代のDeep Learning技術は、MLP, CNN, RNN(LSTM)、強化学習モデルといった多数のモデルを擁し、その応用は、画像認識、音声認識、自動運転・ロボットの制御、ゲーム、機械翻訳等々、広い範囲に及び、それぞれの分野で大きな成果をあげている。そうした応用分野の拡大は、今後もさらに続くだろう。
-

はじめに

- しかし、現時点でのディープ・ラーニング技術の達成の現状は、人間の「知能」の機械による代替に成功したというよりは、人間と動物に共通する「感覚＝運動能力」の機械による代替に、大きな可能性を開いたということに他ならない。
 - それには理由がある。ディープラーニングがよって立つ立場は、人間の（それは、脳を持つ他の動物とも同じなのだが）認知・運動能力は、基本的には脳のニューロンの結合状態に還元できるというものである。この「コネクショニズム」という還元主義は、強力なものだが、動物と人間の違いを考えようとすると、あまり役には立たない。
-

はじめに

- 人間固有の認知能力では、言語的認識能力と数学的認識能力が重要である。
 - 小論では、この二つの能力に、ディープ・ラーニング以外の陣営から、どのようなアプローチが行われているか紹介しながら、Post Deep Learningの潮流を探りたい。
 - 筆者の基本的立場は、人工知能に関しては、「コネクショニズム」も「計算主義」も、人間の「知能・認知能力」の全領域をカバーするには、足りないところがあるのではというものである。
-

Deep Learning + ?

- 現在、AIの世界で進行していることは、まだ萌芽的なのだが、ディープ・ラーニング技術の「上に」、新たな「知的」なレーヤーが形成されつつあることだと僕は考えている。

AI = Deep Learning
ではないのだ。

- このことは、人工知能研究の歴史を振り返ってみても、当然予想されることである。本セミナーでは、こうした視点を確認しつつ、AI技術の変化の先にあるものを考えたいと思う。
-

Part I

人工知能の歴史を振り返る

三つの主要な流れ

計算主義
コネクショニズム
知識・検索主義



Part III

言語能力への言語学的アプローチ

言語への言語学的アプローチ

- 言語と人間の言語能力についての探求は、何も「人工知能研究」の側からだけ行われているわけではない。この Part IIIでは、言語学からの言語に対するアプローチを紹介する。
 - Chomskyの、有限の言葉から無限の文を生成する言語の創造性、また、それを可能にする帰納的な能力を持つ文法の役割という視点とその生得的普遍性の主張は、それだけでも十分に、機械による言語アプローチの初期の誤りを、明確にする上で有効な理論的枠組みを提供する。
-

生物学的言語学

- また、言語能力は、人間という種に固有の生得的なものであるという主張は、biolinguisticという立場と相まって、脳研究や進化理論等、多方面の研究と連携して、「人間の知能」の本質に迫っていくことの重要性を、あらためて我々に示す。
 - 「言語能力は認識の器官」という主張も、「人間の知能」研究における、言語研究の重要性を明確に示すものだ。同時に、この能力は、幅広い認知能力に支えられている。こうした問題意識なしには、「人工知能研究」サイドからの言語へのアプローチは、表面的なものになるだろう。
-

Part IV

数学的認識能力への 数学的アプローチ

数学的認識能力への数学的アプローチ

- ここでは、数学的認識の特徴について、数学自身の側からのアプローチを中心に、いくつかのトピックを取り上げる。
- まず、数学の基礎では、「計算可能性」の問題や、数学自身が数学自身をどのように基礎づけようとしてきたのかという問題がある。前者の問題では、ゲーデルの不完全定理が有名であるが、この定理は数学ではあまり役には立たないものである。ゲーデルの仕事で数学的に重要なのは、後者の問題での集合論とカントールの連続体仮説の無矛盾性証明だと僕は思っている。
- 短い紙面で説得的な説明は難しいのだが、数学固有の特徴とされていた形式性だけでは、数学の基礎づけには不十分で、むしろ物理世界と数学との関係性への注目が強まっているのが、大きな流れだと思う。



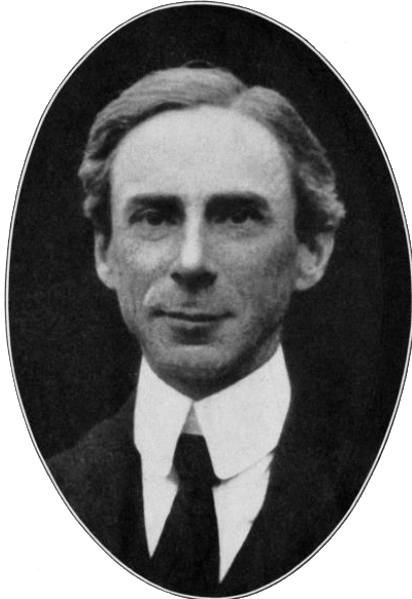
Georg Cantor
1845-1918



Gottlob Frege
1848-1925



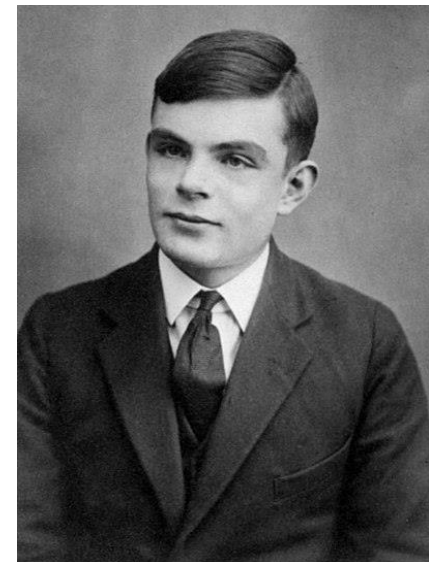
David Hilbert
1862-1943



Bertrand Russell
1872-1970



Kurt Gödel
1906-1978



Alan Turing
1912-1954



Alonzo Church
1903-1995



Alexander Grothendieck
1928-2014



Paul Cohen
1934-2007



William Lawvere
1937-



Per Martin-Löf
1942-



Vladimir Voevodsky
1966-2017

終わりに

おわりに

今後の人工知能研究について

- 基本的には、言語能力の解明に力が注がれるのは間違い無い。言語が人間の認識活動の中で示す大きな役割を見れば、それは、当然である。ただ、それには言語研究者とAI研究者の協力が不可欠だと僕は考えている。
- 数学的能力の解明は、言語能力の解明より難しいだろう。ただ、COQ, AGDAのような「証明支援システム」を通じた「共生」は、機械と人間との将来の関係を考える時に、とても示唆的である。既に、物理・科学の世界では、機械はなくてはならない、我々の「同伴者」である。
- 同時に、言語能力が万人に与えられてはいるが、個人の能力として現れるのに対して、数学的・科学的認識は、我々人類全体に帰属すべきものではあるが、個人の能力を超えている。
- こうしたギャップを、AIが補完すると考えるのは楽しいことだ。

おわりに

機械と人間との共生？

- 数学でのコンピュータの利用を考えると、人工知能技術を「機械に何ができるか？」という視点でだけ捉えるのは、狭いことがすぐにわかる。
- この分野で重要なことは、「機械に何ができるか？」ということではなく、「機械と人間で何ができるのか？」ということである。
- 機械が自律的な知能を持っているわけでは無いといっても、人間だけでは事実上証明不可能なことが、機械によって証明可能になる。ただし、こうして得られる認識は、人間のものである。
- 検索や広告やAlexa等のボイス・アシスタント・システムが、パーソナル・アシスタント・システムとして「人間を助ける機械」のシステムであるように、これらの例でのコンピュータは、まさに、「人間を助ける機械」である。
- 「パーソナル・アシスタント」という人工知能の特徴づけは、けっして狭いものではない。

知能の階層性

認識能力の発展と人間の知能の階層

数学的・科学的な認識



文字による知識の集積

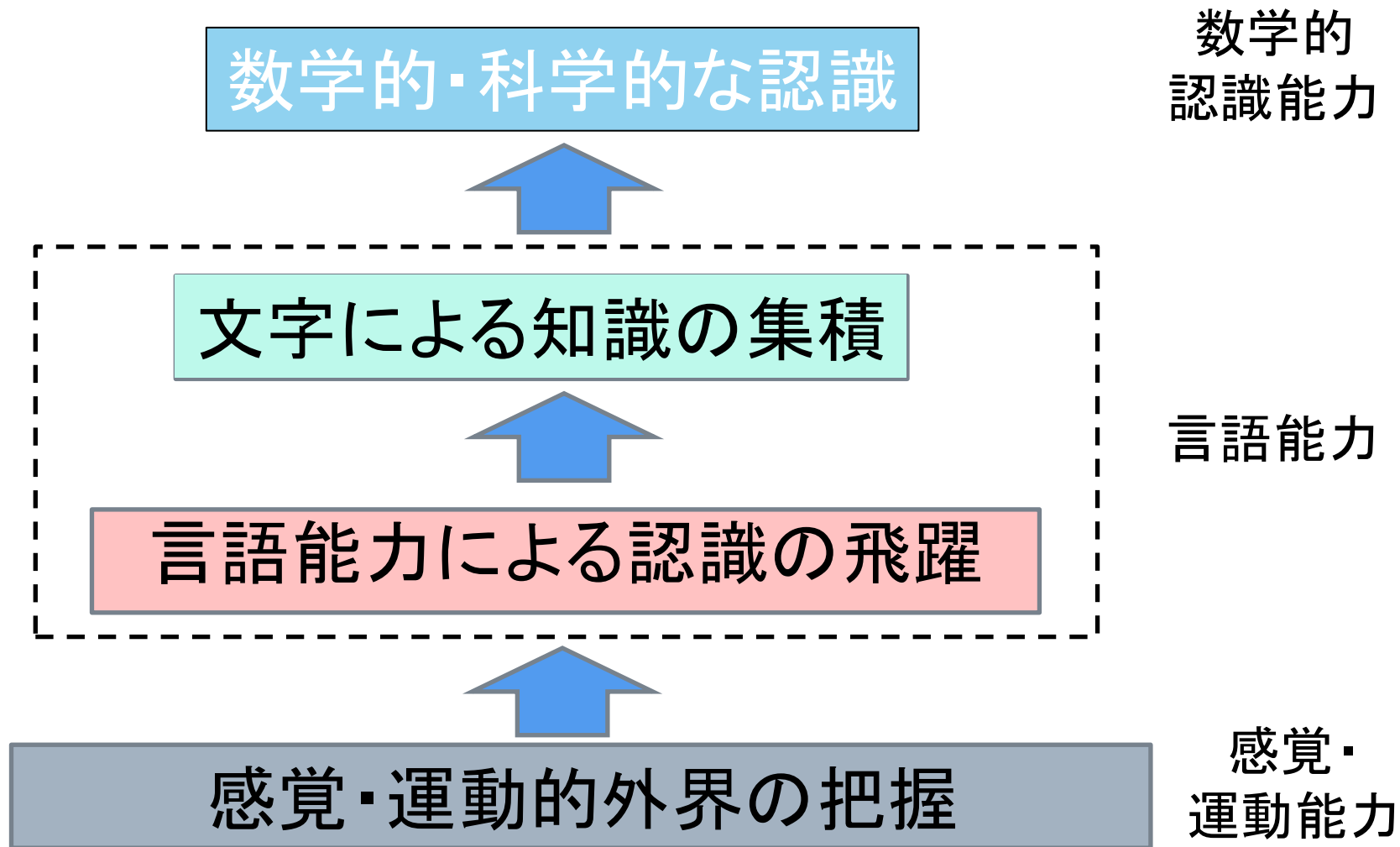


言語能力による認識の飛躍

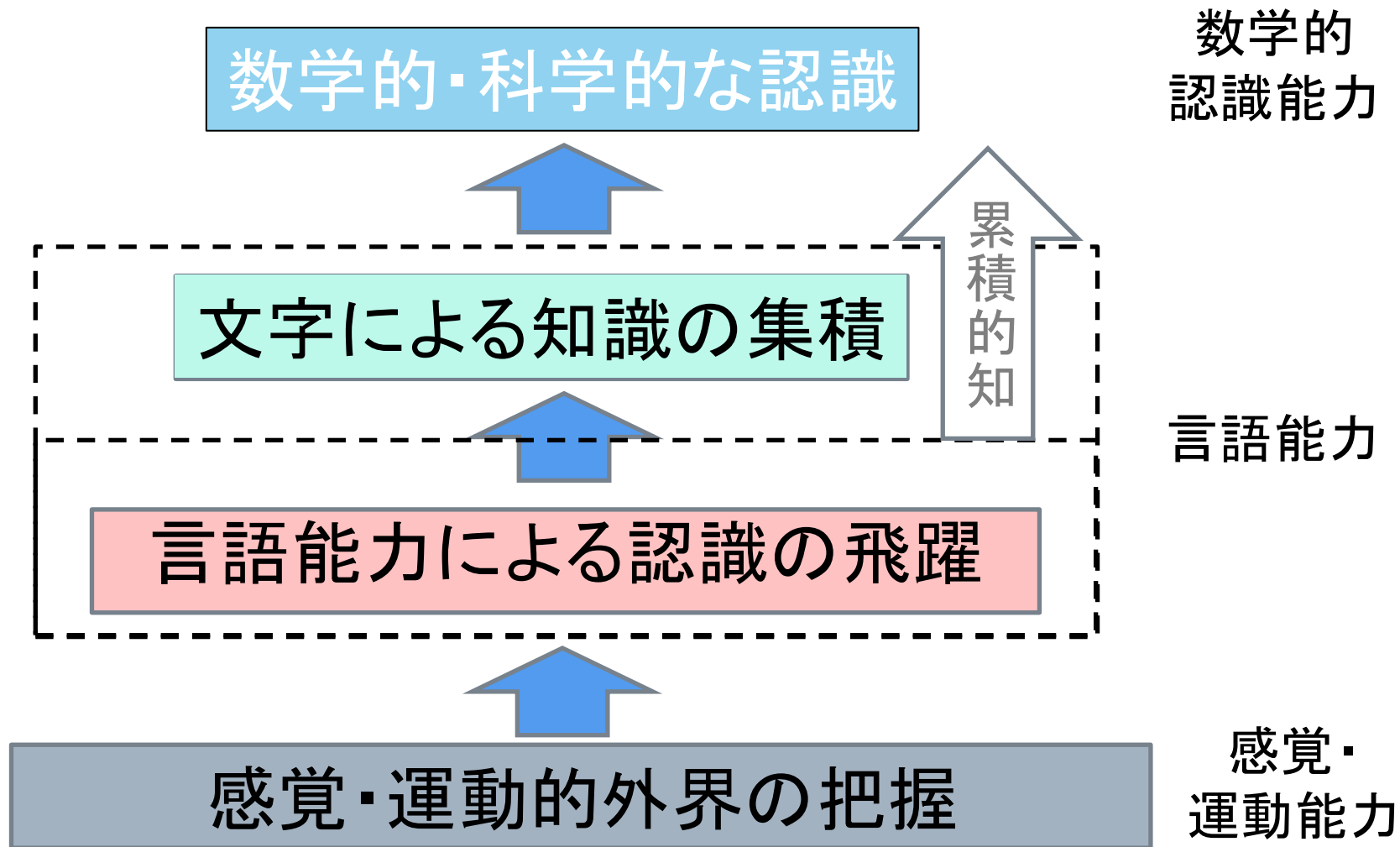


感覚・運動的外界の把握

認識能力の発展と人間の知能の階層

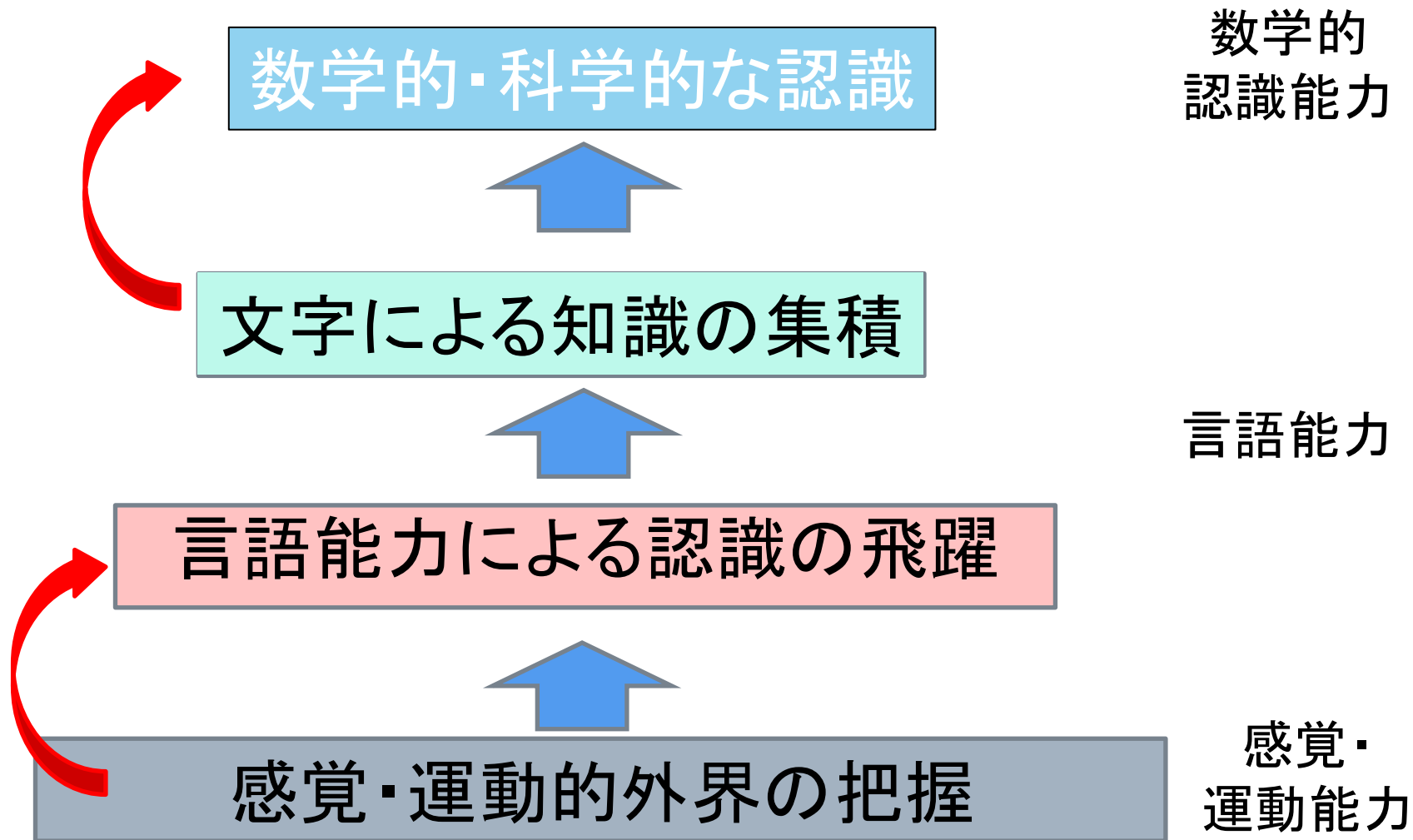


認識能力の発展と人間の知能の階層

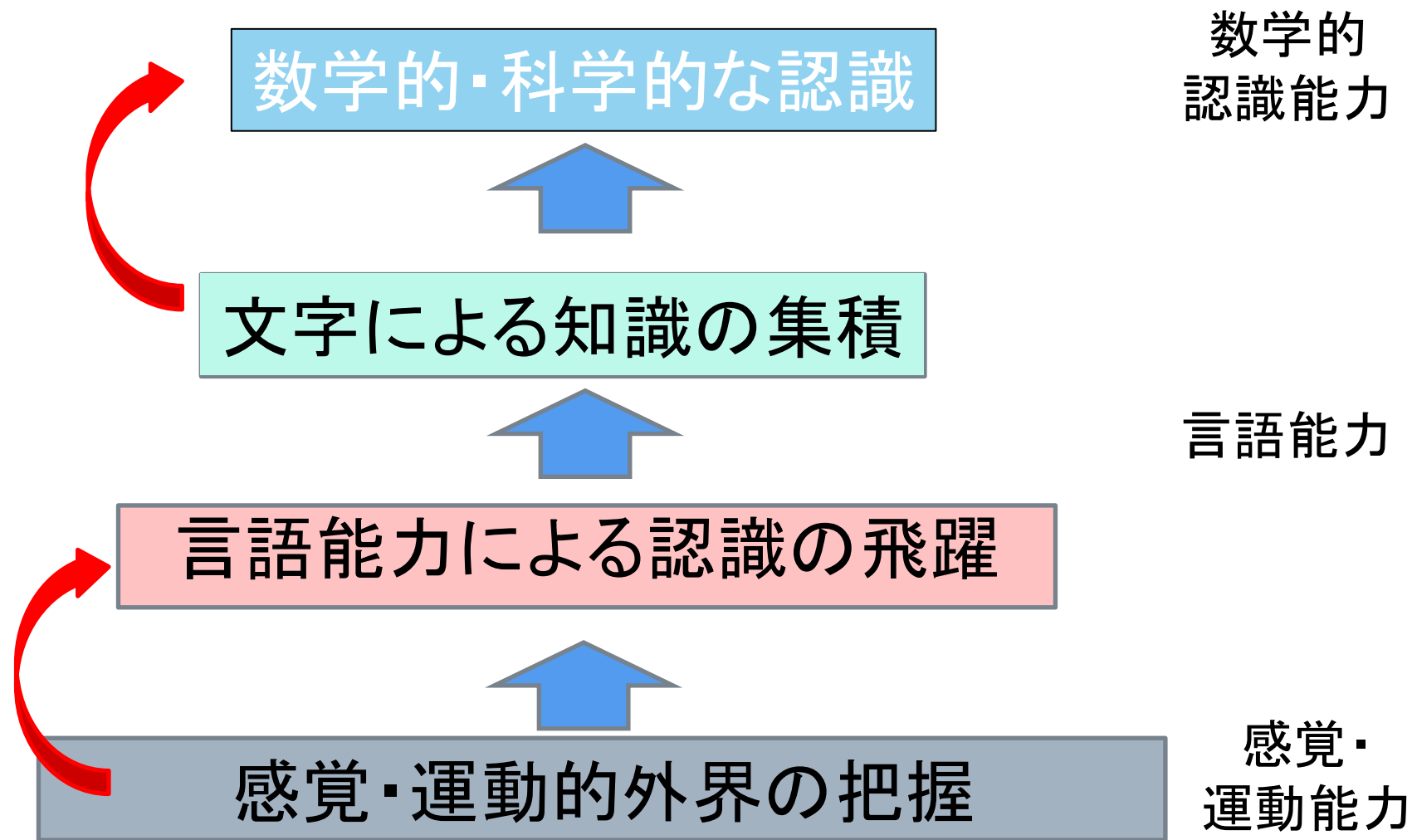


認識能力の発展と人間の知能の階層

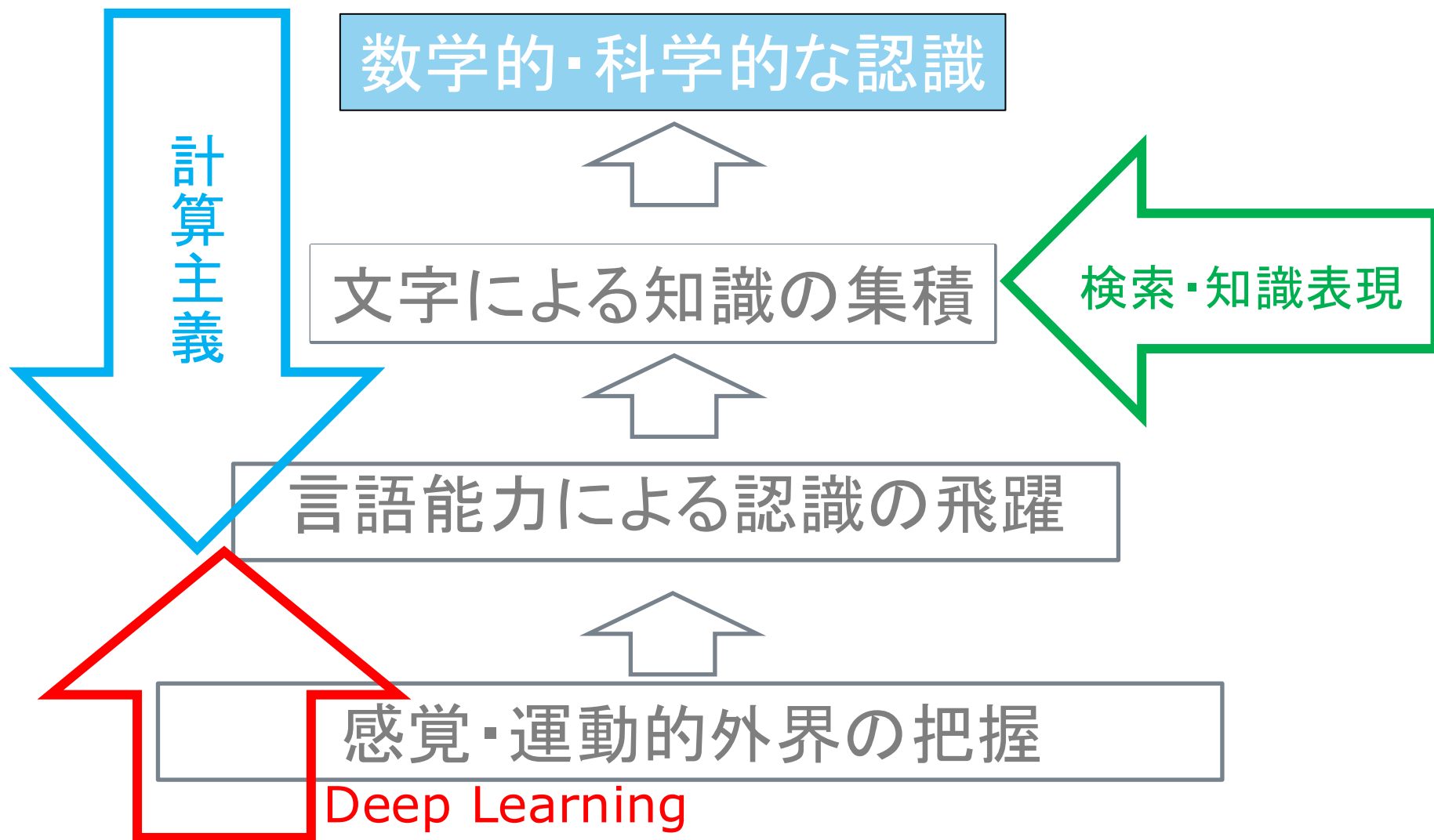
大きな飛躍は二つある



そして、それは現在の人工知能技術が
攻めあぐねている課題である

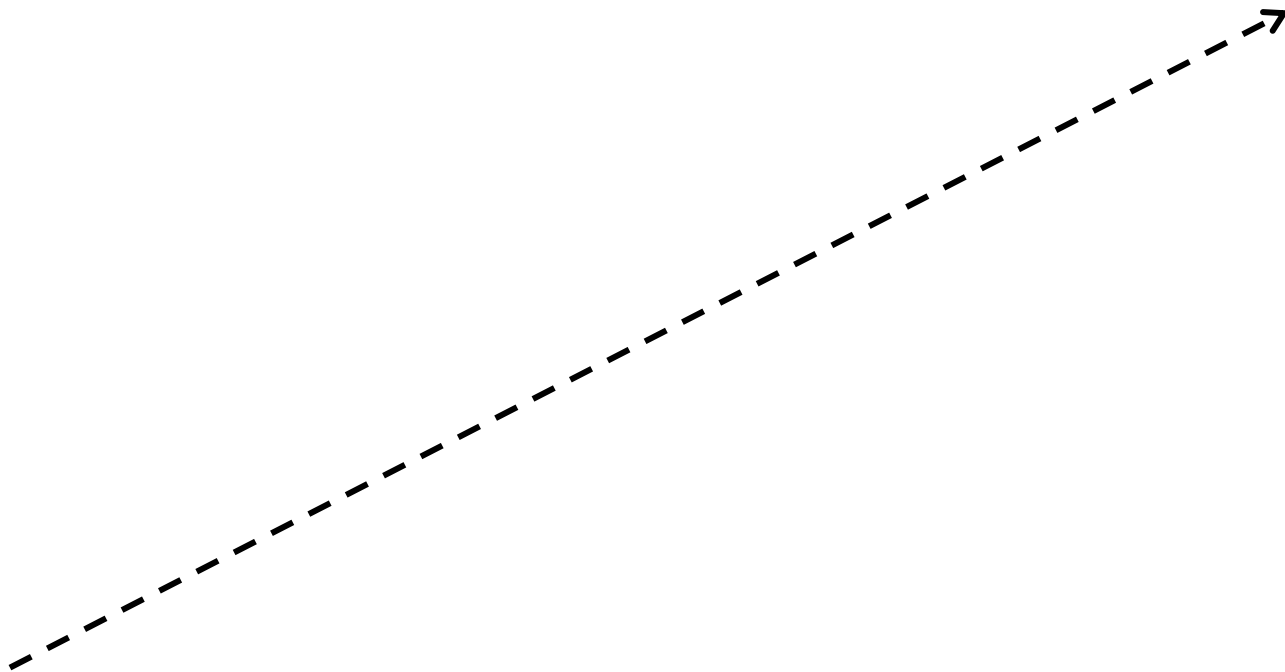


複数のアプローチが必要



人間と機械が知りうることの「限界」について
その認識の歴史を振り返る

50年代



チャーチ=チューリング
のテーゼ

計算可能性理論

「証明可能＝計算可能」なものには限界があることは、
1950年代には、一般に認められるようになった。
ただ、それは、我々の認識の「限界」としては、非常に
荒い、かつ、抽象的で原理的な限界を与えるものでしかなかった。

70年代

P=NP?

計算複雑性理論

チャーチ=チューリング
のテーゼ

計算可能性理論



ただ、計算複雑性理論の基本問題である、「P = NP ? 問題」
(それは、「難しい計算」が「易しい計算」には還元できないこと
を主張する)が未解決のままなこともあり、この理論と人工
知能論との接点は、大きなものには広がらなかった。

80年代

P=NP?

計算複雑性理論

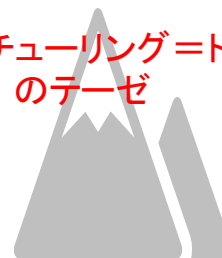
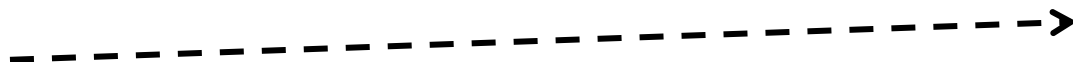
チャーチ=チューリング
のテーゼ

計算可能性理論

計算可能性概念の「物理化」
情報過程＝物理過程

チャーチ=チューリング=ドイッチェ
のテーゼ

物理的計算可能性



80年代は、まだ、量子コンピュータは概念としてしか存在していなかった。「計算可能性」の物理化という画期的な変化も、まだまだ、抽象的な議論だった。

90年代

P=NP?

計算複雑性理論

チャーチ=チューリング
のテーゼ

計算可能性理論

計算可能性概念の「物理化」
情報過程 = 物理過程

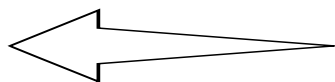
チャーチ=チューリング=ドイッチェ
のテーゼ

物理的計算可能性

拡大されたチャーチ=チューリング
のテーゼ



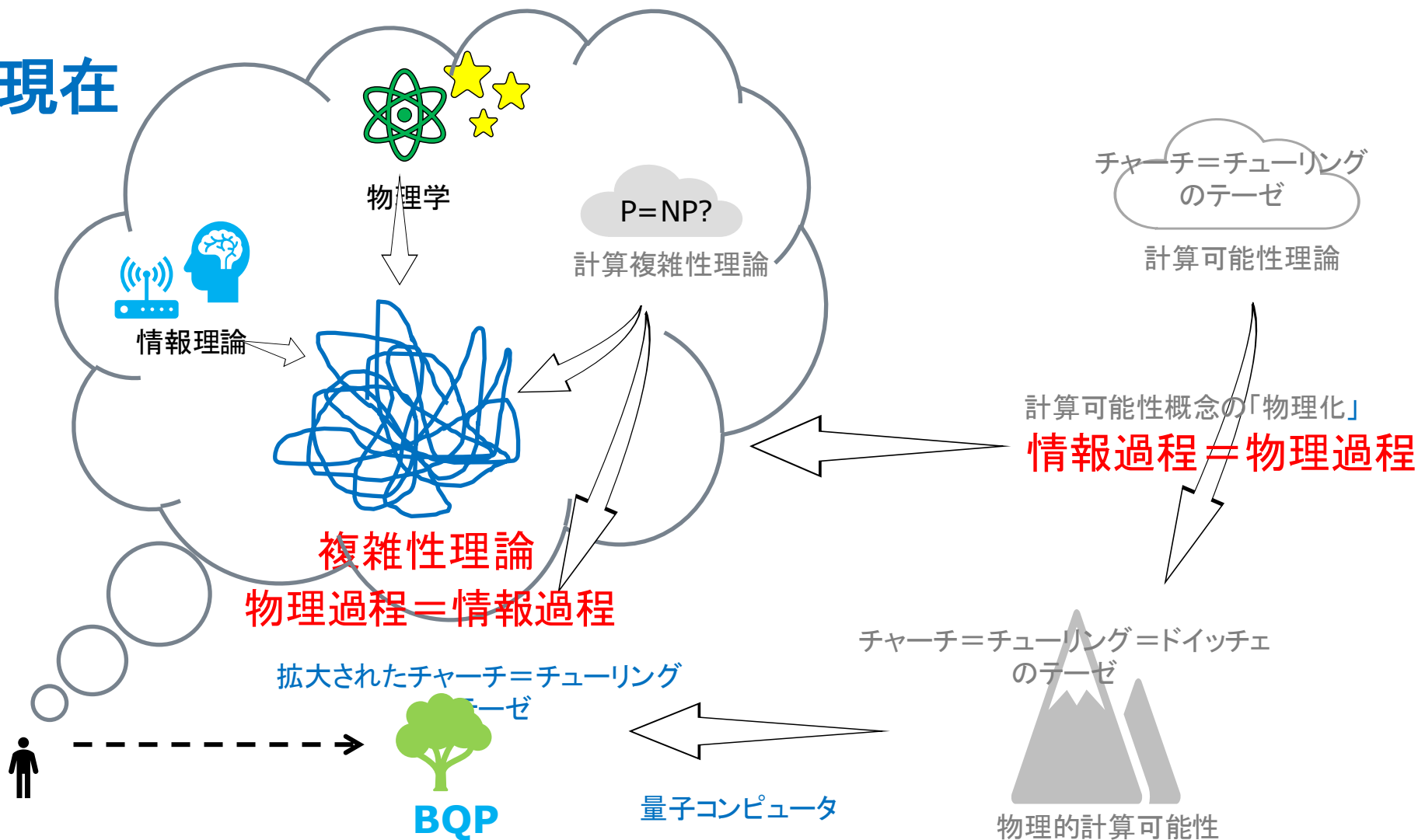
BQP



量子コンピュータ

量子複雑性の理論が登場し、BQPという新しい複雑性の概念が確立する。ショアのアルゴリズムは、広い関心をあつめた。

現在



計算の「限界」は、我々の身近の具体的な問題に近づいてきている。物理学の複雑性理論の発展もめざましい。

自然言語理解をめぐるって

1. 「ボイス・アシスタントから見るAIの未来」
2. 「自然言語とコンピュータ概論」
3. 「人工知能と自然言語」（概要は「人工知能論に」）



2018/01/15 マルレク第五回

「ボイス・アシスタントから見るAIの未来」

このサイトで読む: <https://goo.gl/jMuUGe>

概要: <https://peatix.com/event/333453>

資料: <https://goo.gl/i1V7Et>

動画: <https://crash.academy/class/203>

ボイス・アシスタントから見る AIの未来



丸山不二夫

はじめに

- 筆者は、コンシューマ向けの初めてのAIアプライアンスとしてのボイス・アシスタントの普及は、AIの未来を展望する上で、とても重要なステップになるだろうと考えている。そのことは、現在のボイス・アシスタント技術が完成したAI技術であることを、少しも意味しない。現状は、むしろ、その逆である。
- 現在、市場に出ているスキル/アプリの大部分は、比較的単純なプログラムの入出力をボイス化したもの、あるいは、単純な機器コントロールのボイス・コマンド化と言っているものである。また、この分野での有力なサービスは、音楽・ニュース・情報提供等の既存のコンテンツをそのまま利用したものである。
- そうした現状は、音声インターフェース技術は立ち上がったものの、「人工知能」という名にふさわしい「知的」なパーソナル・アシスタントシステムの登場は、これからの課題だということを示している。

はじめに

- それも無理がない。現在のボイス・アシスタントは、ディープ・ラーニング技術による、Speech2Text, Text2Speechの技術に基づいているのだが、それが可能にするのは、音声を文字列に、また、文字列を音声に変換することだけだからである。
- それではなぜ、ボイス・アシスタント技術を、未来の人工知能技術との関係で注目する必要があるのだろうか？
- それは、機械と人間の日常的なインターフェースが、自然言語に変わること、我々人間の側からの、機械の「知能」に対する関心と要求が、コンシューマ・ベースで、質と量の両面で、飛躍的に高まる可能性があるからである。
- それはまた、我々人間の「知能」の中核の一つである、我々人間の言語能力に対する、理論的かつ実践的な関心を大きく高めるだろう。

はじめに

- より良いボイス・アシスタント技術を目指す、コンシューマ市場での激しい競争が、自然言語処理技術に止まらず、現在の人工知能技術のいくつかの問題の解決に向けた進化の、大きな「淘汰圧」として作用するだろうことを期待している。
- 小論では、Amazon EchoとGoogle Homeを取り上げた。両者の開発モデルは、ともに、Alexa流のIntentモデルに収斂していくようにも見えるが、実際は、両者の関係は複雑である。Alexaが知識検索の能力を手に入れるか、あるいは、Googleがそうした能力を公開した時、ボイス・アシスタントをめぐる競争の第一幕は終わり、次の段階に進むだろう。
- Appendixに、「質問応答システム」としては、これまでの最良の達成であるIBM Watsonが考えていたことをまとめておいた。ここには、学ぶべきことが多くあるように考えている。

2018/08/27 マルレク第三回

「自然言語とコンピュータ概論」

このサイトで読む: <https://goo.gl/fdS8F5>

概要: <https://marulec01.peatix.com/>

資料: <https://goo.gl/XePs2d>

動画: <https://crash.academy/video/320/1638>



自然言語とコンピュータ概論

-- 計算主義的言語理論入門 --

はじめに

- 自由に言語を操る人間の能力を機械で実現することは、人工知能研究にとって、大きな目標の一つである。
おそらくそれは、人工知能研究の「究極」の目標の一つになるだろうとさえ、僕は考えている。他の動物にはない人間の「知能」の核心部分を構成しているのは、人間の言語能力に他ならないと考えているからである。
- ここ数年で、この分野では大きな前進があった。Googleのニューラル機械翻訳やAlexa等の音声インターフェースを備えたパーソナル・アシスタント・システムの登場は、機械による自然言語処理の歴史の中で、画期をなす出来事といっている。
- こうした前進を踏まえて、我々は、人間の言語能力の解明に着実に進んでいるのであろうか？とあらためて、問いかけることは意味があるように思う。

はじめに

- コンシューマ・レベルでのプロダクトの普及と人々の経験の広がりには、自然言語処理技術の可能性とともに、その未熟さを、多くの人に気付かせることになるだろうと僕は考えている。
 - それは、次の技術の飛躍を準備する重要な契機になる。現在の自然言語処理技術の現状を知ることは、次のステップに進む上で必要なことだ。
 - コンピュータで自然言語を扱うアプローチは、多様である。小論では、言語に対する現在の主要なアプローチを、
 - 1) ディープラーニング技術に基づくもの
 - 2) 知識表現と検索技術に基づくもの
 - 3) 計算主義的言語理論に基づくものと、大きく三つのタイプに分けて、それぞれの特徴と動向を紹介しようと思う。
-

はじめに

- 第一、第二のアプローチについては、これまでのレクチャーで、たびたび述べてきた。小論では、第三の「計算主義的言語理論」に基づくアプローチの紹介に重点を置こうと思う。この第三のアプローチに関心を持っている人は、ITの世界では少ないと感じているからである。
 - 僕自身は、文法的に正しい文をリアルタイムに受容し生成する言語能力を「計算能力」として捉える第三のアプローチに魅力を感じている。
 - ただ、総体として人間の言語能力を見たとき、「聴く・話す」といった、その「感覚・運動」的側面については、第一のアプローチが、意味や知識を活用する言語能力の「概念・思考」的側面については、第二のアプローチが有効だと考えている。
-

Part I

ディープラーニングからの 自然言語へのアプローチ



Part I

ディープラーニングからの 自然言語へのアプローチ 概説

- ディープラーニングからの自然言語へのアプローチでの大きな成功例は、Google ニューラル機械翻訳と、Hintonらが切り開いたディープラーニングを用いた音声認識技術である。後者については、ボイス・アシスタントの基礎技術であり、Part II の冒頭で取り上げる。この Part Iでは、主に、ニューラル機械翻訳技術の進化をあとづける。
 - ニューラル機械翻訳の最初のアイデアは、2004年のBengioの論文で提示される。それは、それ以前の機械翻訳の主流であった「統計的機械翻訳モデル」への批判的考察に基づいたものであった。ただ、そのアイデアがニューラル機械翻訳として実を結ぶまで、10年以上の時間が必要だった。
-

Part I

ディープラーニングからの 自然言語へのアプローチ 概説

- ニューラル機械翻訳のアーキテクチャーは、基本的に、Encoder-Decoder Modelに基づいている。Googleのニューラル機械翻訳は、先行したいくつかの研究を忠実に受け継いだものである。
 - DNC(Differentiable Neural Computer)は、小学生程度の国語の問題を機械に解かせようという試みである。一定の成功を収める。これらの訓練に利用されたbabIデータセットの日本語版の作成は、日本でのこうした研究・開発にとって不可欠であると僕は考えている。
 - DNCは、アーキテクチャー的には、ディープラーニングのエンジンに、外部メモリー(行列)を持たせようとする。ただし、そのメモリー・アクセスを含めて、徹頭徹尾、ディープラーニングの手法にこだわる。
-

Part II

ボイス・アシスタント・システム Entity Modelと知識検索



Part II

ボイス・アシスタント・システム

Entity Modelと知識検索 概説

- ボイス・アシスタント・システムの最も基礎的な技術は、2012年にHintonらが開発した、ディープラーニング技術を用いた音声認識技術である。ただ、こうしたSpeech2Text, Text2Speech という機能以外の部分には、ディープラーニング技術は使われていないと思ってい
 - ボイス・アシスタント・システムの最初の商業プロダクトでの成功例は、Googleの音声検索システムである。(2008年)その、バックエンドでは、Entityモデルに基づいたグラフ検索エンジンが走っていた。それはまた、GoogleのKnowledge Graphという新しい検索モデルの導入と連動していた。
-

Part II

ボイス・アシスタント・システム

Entity Modelと知識検索 概説

- Googleらが設立した、Entity Modelのスキーマを標準として定義しようとする組織 Schema.orgは、Entity Modelの世界では、参照枠として、影響力を持っている。
- ボイスのインターフェースを持たず、限られた目的(クイズ番組Jeopardyで人間と対抗する)の為の試験プロジェクトだったが、IBM Watson(2011年)は、自然言語の理解でも、パーソナル・アシスタント・システムとしても、当時、最高の達成だったと思う。それは、Wikipediaの全てのテキストを「知識」として持ち、システムは、基本的には検索とその結果の評価を高速で行うことで、正解にたどり着く。同時に、プロジェクト内では、検索に限らず、様々な多様なアプローチの模索が行われたことは、特筆に値すると、僕は考えている。

Part II

ボイス・アシスタント・システム

Entity Modelと知識検索 概説

- AmazonのEcho/Alexaは、当初は、発話を束ねる Intent 以外の抽象を持たず、Speech2Text, Text2Speech の能力に依存して、「ああいえば、こういう」というシナリオを、全て人間が用意するという、非常にプリミティブなシステムとして出発する。
- ただ、その後、Intentを補う情報としてのSlotが導入され、あわせて、Slotにマッチする語を事前に準備できるSlot Typeが提供される。また、その後、Intent自身のビルトイン・ライブラリーと、そのインターフェースとして、Intent Signatureが導入される。人工的なシステムで起きていることだが、ある意味で、言語システムの「進化」を見ているようで、興味ふかい。Intent Signatureは、「文法性」への志向としても理解できるのである。

Part III

計算主義的言語理論

Minimalist ProgramとCategorial Grammar



Part III

計算主義的言語理論 概説

Minimalist ProgramとCategorial Grammar

- 言語に対する現代の計算主義的なアプローチは、人工知能研究と同じくらい古い。Church-Turingによる「計算可能性」の定式化やTuringによる「機械は考えることができるか？」という問題提起が行われた時代の1950年代に、Chomskyは登場する。Chomsky Hierarchyの論文が出たのは1956年、“Syntactic Structures”が出るのは1957年だ。
- 1995年、Chomskyの“Minimalist Program”が出版される。それは、それまでの彼自身の言語理論をも一新したものだ。それは、それ以降の文法理論に深い影響を与えることになる。“Minimalist”の名前は、必要最小限の構成要素から文法理論を再構成しようというアプローチを示すものだが、その直接のソースは、“Principles of minimal computation”（「最少計算の原理」）から来ている。彼は、最も簡単な計算操作は、二つのものを一つに合わせる“Merge” だとする。

Part III

計算主義的言語理論 概説

Minimalist ProgramとCategorial Grammar

- 言語能力を計算能力として捉えようとするときに、その中心的な課題は、文法的に正しい文を生成する計算規則を見つけることだ。それは、文法の計算ルールを見つけることだと言って良い。MinimalistのChomskyは、それをMergeだとする。
- 時計の針を、少し、巻き戻そう。
60年ほど前の1958年に、Chomskyの僚友だったLambekは、驚くべき発見をする。文法の計算ルールは、次のたった二つの式で表されるというのだ。
$$(x/y)y \rightarrow x$$
$$y(y \backslash x) \rightarrow x$$
- Lambekは、名詞を表す型nと、文を表す型sというたった二つの型を用いて、語の並びから、先の二つの計算ルールで文を導く計算を試みせる。Categorial Grammarの誕生である。

Part III

計算主義的言語理論 概説

Minimalist ProgramとCategorial Grammar

- 1958年の論文の後、Lambekは数学の世界で研究を続けることになる。ところが、それから50年経った2008年、Lambekは興味ふかい言語学の論文 "From Word to Sentence" を発表する。
 - なぜ彼は50年経って、また言語学に興味を覚えたのか？ その理由は、明らかだと思う。かつての僚友 Chomskyが、1995年に発表し、現在の言語学の大きな潮流となった "Minimalist Program"とその"Merge"という基本コンセプトに大きな刺激を受けたからだと僕は考えている。
 - 長い時間がかかったのだが、現在では、計算主義的言語理論の二つの大きな潮流である、Minimalist ProgramとCategorial Grammarとの融合が進んでいるように見える。
-

2018/10/26 人工知能を科学する 第二回

「人工知能と自然言語」

このサイトで読む: <https://goo.gl/Ygw1ZB>

概要: <https://lab-kadokawa70.peatix.com>

資料: <https://goo.gl/RKRz4p>

数学的認識をめぐって

1. 「数理哲学への招待」
2. 「集合論入門」
3. 「計算理論入門」



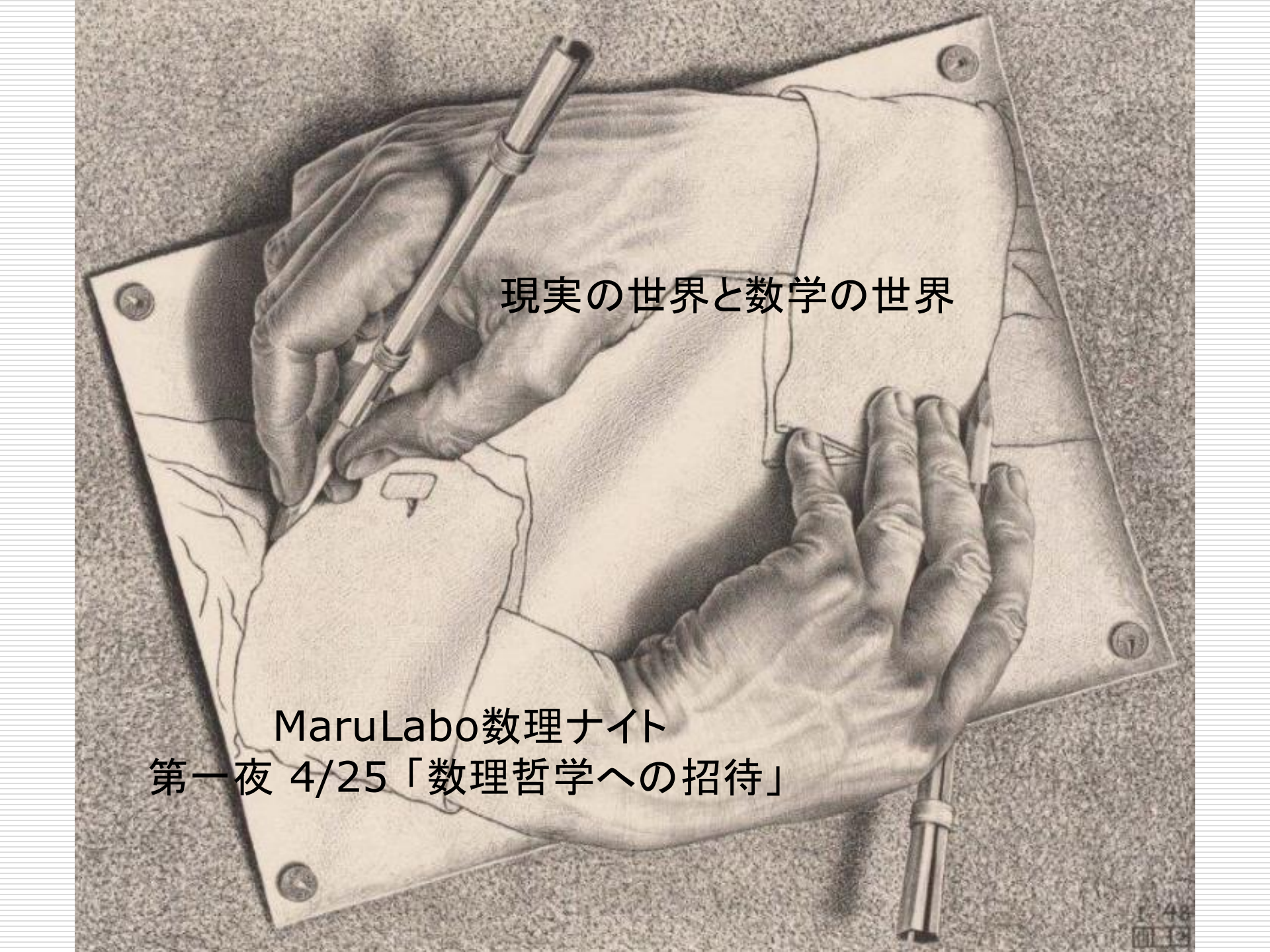
2018/04/26 楽しい数学第一夜

「数理哲学への招待」

このサイトで読む: <https://goo.gl/6NbzdQ>

概要: <https://mathnight1.peatix.com/>

資料: <https://goo.gl/kryRyJ>



現実の世界と数学の世界

MaruLabo数理ナイト
第一夜 4/25「数理哲学への招待」

はじめに -- 数学との接点の広がり

- 現代の社会を物質的な側面で支えているのは、様々な産業技術である。技術の基礎には科学がある。ただ、科学と技術を、深いところで支えているのは数学であると僕は考えている。
- 社会が複雑になり、我々の社会的活動が多様になり、また、我々の認識の対象が量子の世界から宇宙まで拡大するにつれ、我々と数学との接点は、ますます広がっている。
- 社会的活動の大きな領域でIT技術が活躍する現代、ITと数学との接点が広がり深まるのも、不可避のことだ。事実、ディープラーニングや量子コンピュータなど、新しいIT技術を知ろうとすると、いろんな数学的知識が要求されることになる。
- IT技術者にとって、それはある意味自然なことだ。もともと数学の世界は、プログラミング＝アルゴリズムの世界に隣接して、そのちょっと先にひろがっているからである。

はじめに - 数学を楽しく学ぼう

- 連続セミナー「楽しい数学 - 数理ナイト」の目標は、数学にあまり縁がなかった人たちにも、タイトルどおりに、数学が面白いことを感じてもらうというものにしたいと思っている。
- 「楽しい数学 - 数理ナイト」シーズン1のテーマを、「数学の基礎について考える」としたのは、数学をすることと、数学について考えることとは、違うことだと考えて欲しかったからだ。
- 実は、あまり数式を使わなくても、数学について「考える」ことはできるのだ。特に、数学の理論がそれに基づいての構成されている数学の基礎的概念については、それが基礎的なものであればあるほど、計算することより、それについて「考える」ことが重要になると、僕は考えている。
- もちろん、数学について考えたからといって、それだけで数学ができるようになるわけではない。ただ、面白いと思うこと興味を持つことは、数学を学ぶ上でとても大事なことだ。

はじめに -- 数理哲学とは？

- 数理哲学は、数学の基礎や数学的な認識の特質を対象とする哲学の一分野である。そこでの大きな問題の一つは、数学の世界と現実の世界は、どのような関係を持つのかということである。プラトンの「観念实在論」や、カントの「先験的直観形式論」など、哲学史的にも様々な議論がある。
- 素朴には、現実とは無関係に構築されたように見える数学が、なぜに現実の問題解決に応用できるのかというのが、一つの問題の立て方である。筆者は、それらとは異なって、事後的に振り返れば、数学は自然認識を中心とする対象認識の拡大にともなって、その必要に応じて構成された体系だと考えている。
- もっとも、小論は、そうした論点にたち入ることを目的にしていない。小論は、ピタゴラスの定理が、リーマンとアインシュタインによって、どのように拡大されたかを追いかけて見たものだ。

はじめに – 知能とシンボル操作の能力

- この時期に、こうしたテーマを取り上げたのは、もう一つ理由がある。それは、ディープラーニングを中心とした知能へのアプローチに物足りなさを感じたからだ。我々は、確かに知覚を通じて得たイメージから様々な「特徴」を抽出する。ただ、そこでは、知覚の直接的過程とその認識の過程は、一体のものだ。
- 我々の知能は、そうした直接的で単純な過程の総和でも、それに還元されるものでもないと僕は考えている。我々は、イメージをも、それをシンボルとして脳内で反省的に操作できる。そして、それを可能にしているのは、シンボルとしての言語を扱う能力である。それは、数学的能力の基礎をなす、知能の構成要素である。
- 本セミナーで、イメージを想起し操作する課題を置いたのは、実は、意味がある。この資料を読んだ人が、楽しい「思考実験」に参加してもらうことを期待している。

2018/05/29 楽しい数学第二夜

「集合論入門」

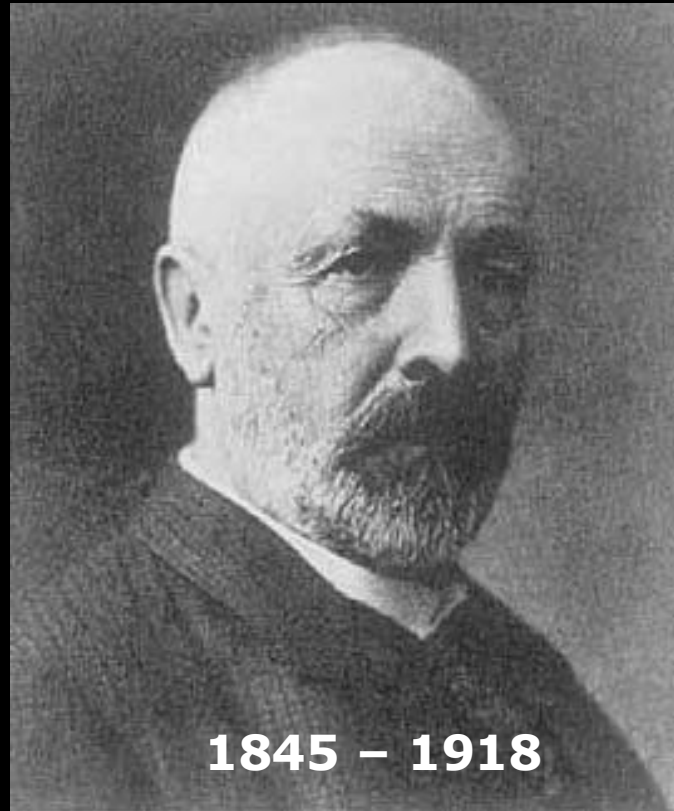
このサイトで読む: <https://goo.gl/Eg3C2X>

概要: <https://mathnight2.peatix.com/>

資料: <https://goo.gl/b26VWs>

楽しい数学 -- MaruLabo数理ナイト

カントール没後百年



第二夜 集合論入門
「数える」と「個数」の数理

はじめに

- 集合論は、19世紀後半に、ドイツの数学者ゲオルグ・カントールが創り出した数学の一分野です。今年は、カントール没後100年にあたります。
- それまでの数学が、微分や積分や無限級数や幾何学的図形や物理的な運動を対象にしていたのに対して、集合論が対象とするのは、より抽象的な「集合」そのものです。その意味では、集合論の登場は、現代数学の一つの特徴である「抽象化」の歴史的な第一歩といっていると思います。
- ただ、集合論の基本的考え方は、決して抽象的なものではありません。それは、極めて具体的な、「集める」「数える」といった操作を基礎にしています。集合とは、いろいろなものを集めてできたものに、一つのまとまりを与えることです。逆に、いろいろなもの(これを「要素」といいます)は、この集合に「属する」と考えます。

はじめに

- 集合について大事な特徴の一つは、我々は、集合の要素の数を数えることができるということです。こうした考えは自然なもので、小学生に初めて足し算を教えるときには、この集合のモデルを使っています。「赤い石が三つのかたまりと、青い石が五つのかたまりを、一緒にすると、石はいくつ？ 数えてみましょう。」
- 問題は、こうした素朴な考えを進めていくと、あるところで、急に難しくなるということです。集合論の創始者のカントールが考えた一番難しい問題の一つは、次のようなものでした。答えられますか？

「線は、点を集めたもの。それでは、この線分の上に、点は何個あるのか数えてみよう。」

はじめに

- こうして、集合論は、主に、無限と連続というものを数学的に考える数学として出発します。ただ、その前途は、平坦なものではありませんでした。
-

2018/10/15 楽しい数学第三夜

「計算理論入門」

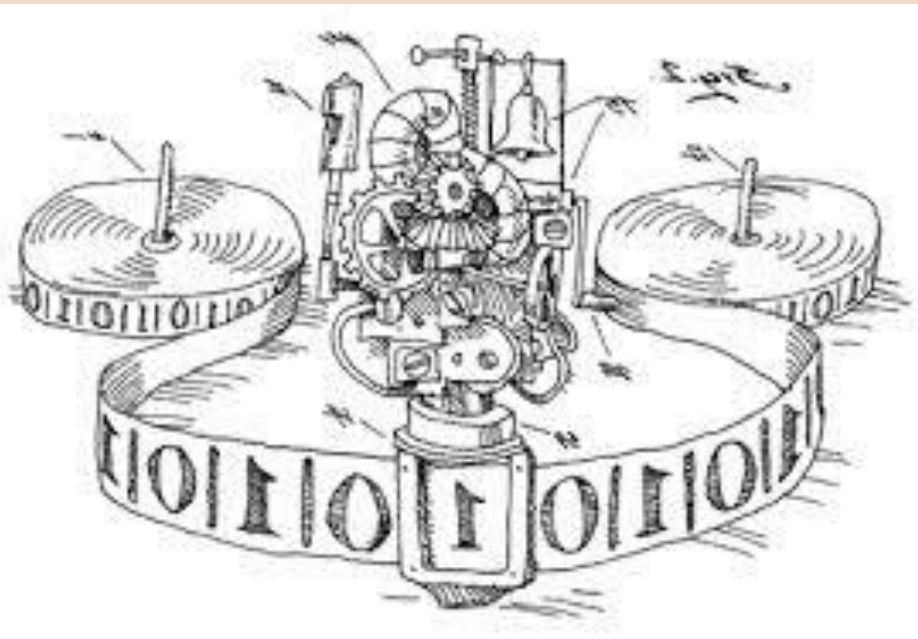
このサイトで読む: <https://goo.gl/Y3tqtM>

概要: <https://mathnight3.peatix.com/>

資料: <https://goo.gl/9pAU1W>

楽しい数学 第三夜

計算理論入門



「やさしい計算」と「むずかしい計算」

はじめに

我々は、小学生から計算することを学ぶ。数学者も、いつも計算をしている。小論の副題を「やさしい計算」と「難しい計算」としたのだが、それでは、小学生の計算はやさしくて、数学者の行う計算は難しいのだろうか？

もちろん、それはそうなのだろうが、見方を変えれば、小学生の算数も結構難しいことに気づくし、数学者が行なっているのも「自明な計算」であるようにも思う。

重要なことは、両者の行なっている「計算」は、それらが「チューリング・マシン」で計算可能であるという意味では、数学的には同じタイプのものであるということである。

計算可能性についての「チャーチ＝チューリングの提言」は、そうしたことを主張しているように見える。

はじめに

それでは、「やさしい計算」と「難しい計算」という違いは、原理的には存在しないのであろうか？

実は、そうではない。

歴史的には、まず、数学者が自分たちには計算できない問題があることに気づき(ある意味では、これほど「難しい計算」はないのだが)、そこで「計算できること」の定義をあらためて考えたのが、先の「チャーチ=チューリングの提言」である。

ただ、ここで問題になっているのは、「計算できること」と「計算できないこと」の区別であって、「やさしい計算」と「難しい計算」の区別ではない。

やがて、この「やさしい計算」と「難しい計算」の階層的区別を考える数学の一分野が成立する。それが「計算複雑性理論」である。

はじめに

小論は、こうした「計算理論」の入門編である。

同時に、筆者が意識していたのは、人間の「知能」の本質を「計算」として抽象しようとする人工知能論における「計算主義」の考え方である。

「知能」に対する「計算主義的」なアプローチは、僕が人工知能が将来実現すべき課題として関心を持っている、人間の「言語能力」や日常的な「論理的推論能力」、抽象的な「数学的能力」、さらには「科学する能力」の機械による実現には、そうしたアプローチが不可欠だと考えている。

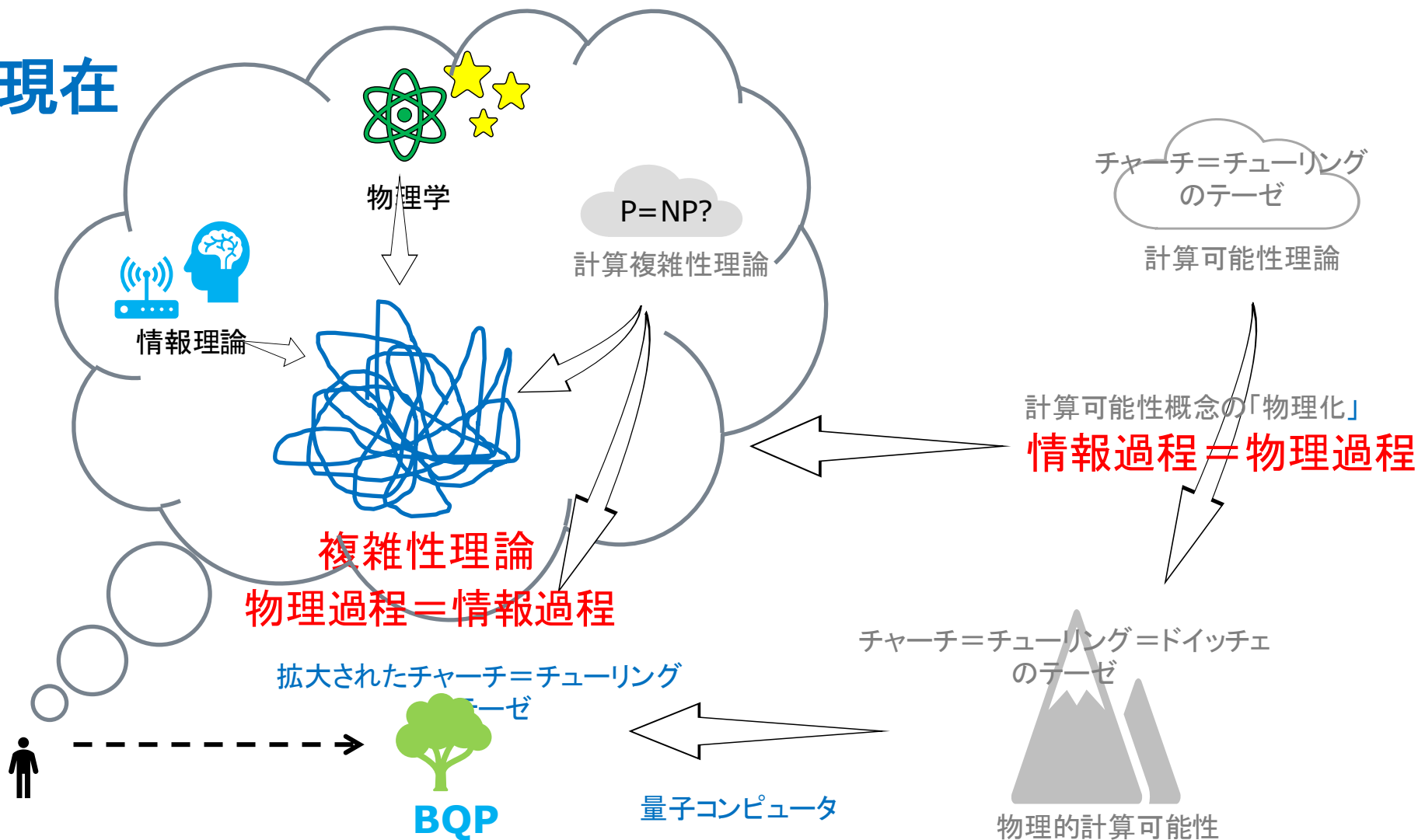
もちろん、人間の「知能」にまつわる問題を、一つの方法論で対応するのは難しい。それについては、「知能の階層性」で、述べようと思う。

複雑性理論の現在と 人工知能論の課題

我々の認識の「限界」の認識が進む一方で、 我々の世界の認識が拡大する

- 複雑性理論は、かつての数学的・抽象的な認識の限界の理論（「チャーチ=チューリングのテーゼ」）から、物理的・具体的ではあるが、観念の中にしかないものを対象にした限界の理論（「チャーチ=チューリング=ドイッチェのテーゼ」）へと発展してきた。かつ、それは、量子コンピュータが現実味を増すにつれて、より具体的な量子複雑性のもとでの限界の理論（「拡大されたチャーチ=チューリングのテーゼ」）へと変化してきた。
- それは、我々の認識の「限界」の認識が、より一層、精緻で現実的なものに進んだということである。
「我々が知りうることは、限られている。」
- その一方で、そうした限界の認識の深化は、我々の世界の認識が拡大する過程と一体なのだ！
「我々が知りうることは、拡大している。」

現在



計算の「限界」は、我々の身近の具体的な問題に近づいてきている。物理学の複雑性理論の発展もめざましい。

機械と人間の関係を、改めて考える

- 量子複雑性の問題を考えると、機械と人間の関係で新しい問題が提起されていることに気づく。今までは、人間の知能の本質を「計算」として、その抽象の下では、機械と人間の等値が可能だと論じてきた。ただ、BQP問題を解く能力は、機械に属し、人間には属さない！
- ペンローズのように、人間の知能の根底には、量子論的な過程があるとする人工知能論は既に存在する。ただ、ペンローズが無邪気に想定していたように、量子過程は、人間の知能の謎を全て解くほど万能ではないのだ。NP完全問題は、量子コンピュータでも解決不能である。そのことを、量子複雑性の議論は教えてくれる。
- ただ、機械と人間の関係を、こうした知見の下で、改めて考える必要はある。

人間と機械の系として、人工智能を考える

- 人工智能技術を「機械に何ができるか？」という視点でだけ捉えるのは、狭いのだと思う。この分野で重要なことは、「機械に何ができるか？」ということではなく、「機械と人間で何ができるのか？」ということではないかと考えている。複雑性理論での、MAあるいはAM問題の捉え方は示唆的である。どちらかを人間にどちらかを機械と考えればいい。
- 実際、COQのような「証明支援システム」をつかってすぐに気づくのは、それは人間の証明を機械が支援するシステムなのだが、それは、機械の証明を人間が支援するシステムでもあるということだ。ここでは、人間と機械が「共生」している。
- 既に、物理・科学の世界では、機械はなくてはならない、我々の認識の「同伴者」である。そこで得られた認識は、人間のものである。ただ、機械の助けなしには、我々は、そうした認識を獲得できない。

言語的認識能力の解明が重要な課題

- 数学的認識の解明は、なかなか難しい課題だと感じている。
- 人工知能研究で、言語能力の解明に力が注がれるのは間違い無い。言語が人間の認識活動の中で示す大きな役割を見れば、それは、当然である。(ただ、それには言語研究者とAI研究者の協力が不可欠だと僕は考えている。)
- 言語能力が万人に与えられてはいるが、個人の能力として現れるのに対して、数学的・科学的認識は、我々人類全体に帰属すべきものではあるが、個人の能力を超えている。

こうしたギャップを、人工知能技術が補完すると考えるのは楽しいことだ。

量子情報理論について

1. 「紙と鉛筆で学ぶ量子コンピュータの基礎」
2. 「量子コンピューティングの現状と課題」
3. 「量子アルゴリズム入門 -- 量子フーリエ変換を学ぶ」

2018/09/15, 09/22, 10/6

「紙と鉛筆で学ぶ量子コンピュータの基礎」

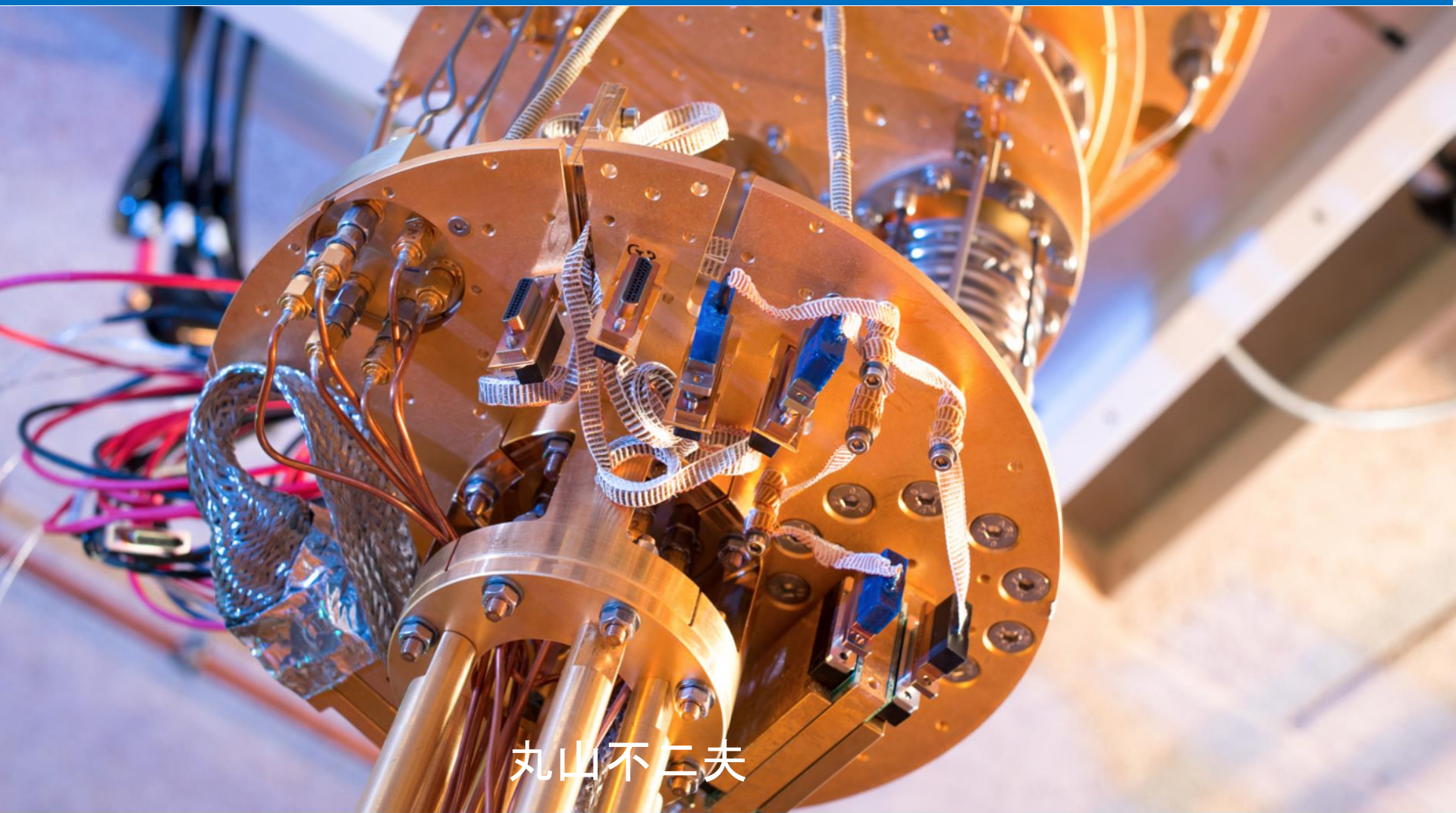
このサイトで読む: <https://goo.gl/Po4n8N>

概要: <https://quantum-basic.peatix.com/>

資料: <https://goo.gl/Uy1b4J>

解答編: <https://goo.gl/iuG9So>

量子情報理論基礎演習 I



丸山不仁夫

はじめに

- 本演習は、量子ゲート型量子コンピュータの基礎を演習形式で学ぶことを目的としたシリーズの第一回目である。対象を、量子論を初めて学ぶ人として、高校生程度の数学的知識を前提に、基本的なベクトル・行列計算の入門演習を含んでいる。
 - 量子ゲート型量子コンピュータの入門としては、基本的な量子アルゴリズムや量子通信手法の紹介、量子情報理論の入門としては密度行列や量子情報とエントロピーの紹介等、重要な部分が欠けているのだが、それらについては、シリーズの次回以降で取り上げたいと考えている。
 - また、ここで取り上げられている素材は、物理学的な量子論から見ると、大幅に簡略化されている。こうしたアプローチは、量子論の入門としては、むしろ望ましいことのように筆者は考えている。
-

はじめに

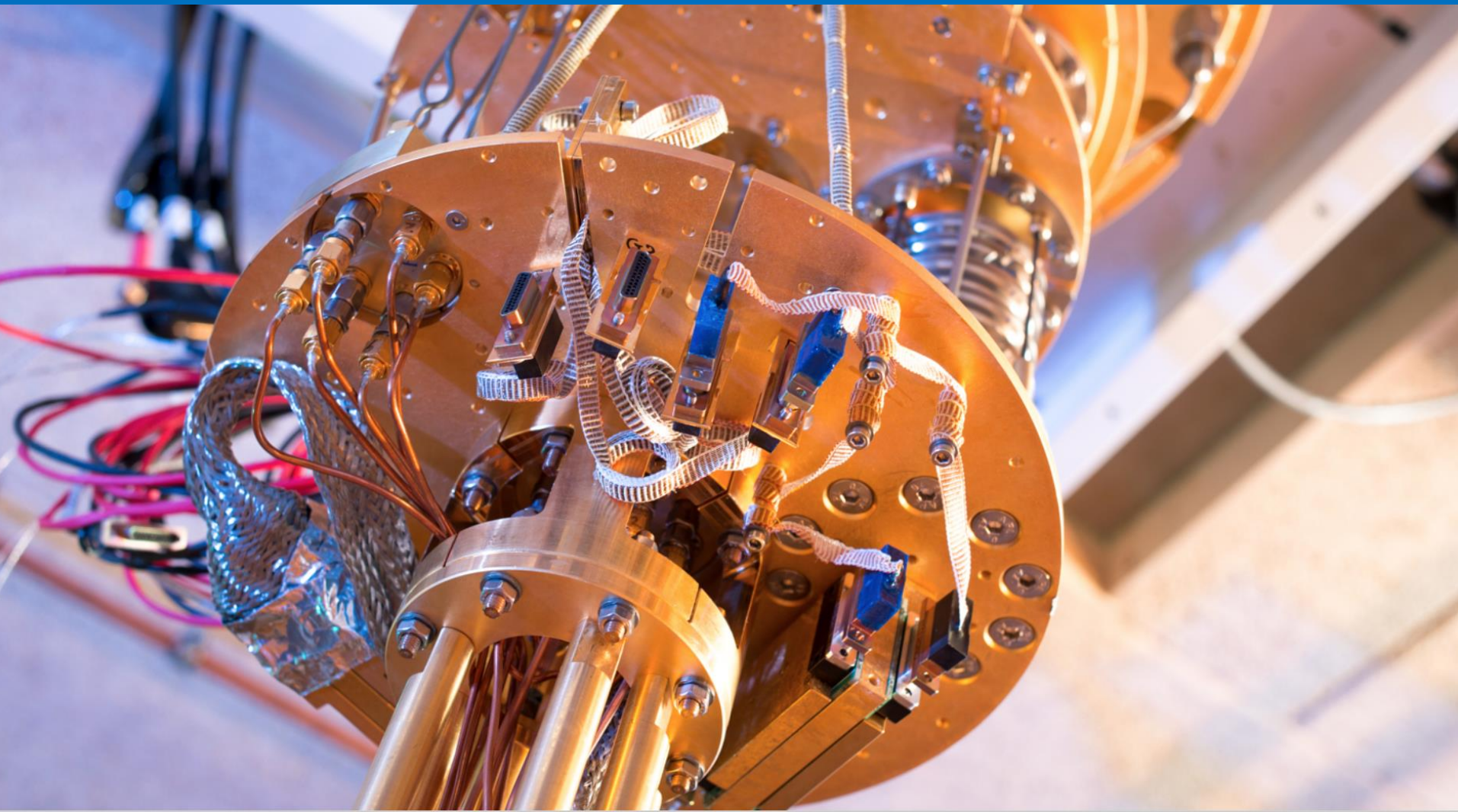
- こうした簡略化が可能なのは、物理学的量子論が、実在的な物質を対象とし、その運動法則の解明を目指すのに対して、少なくとも、量子ゲートの理論は、量子論をそのフレームにしつつ、その対象が抽象的・形式的なものであるところが大きいと考えている。（現時点での量子コンピュータの実装レベルでの達成と、その理論的展望との間には、大きな乖離がある。）
- ただ、量子情報理論は、量子論から派生したそのサブセットでも、単なるその応用分野だというわけでもない。近年の物理学の大きな話題は、量子情報理論が、物理学そのものの基礎理論なのではないかという関心の高まりのように筆者は感じている。こうした関心が多くの人に共有されることを期待している。
- 準備期間が短かったので、いろいろ行き届かないところがあると思う。それについては、ご容赦されたい。

2018/06/22 マルレク第二回

「量子コンピューティングの現状と課題」

このサイトで読む: <https://goo.gl/jh1TSz>
概要: <https://quantum0626.peatix.com/>
資料: <https://goo.gl/wgTmPV>
翻訳: Preskill「NISQ時代とそれ以降の
量子コンピューティングについて」
<https://goo.gl/6qh1oE>
動画: <https://crash.academy/class/297>

マルレク 2018 第二回 量子コンピューティングの現状と課題



はじめに

- 本セミナーでは、昨年(2017年) 12月に行わた、“Quantum Computing for Business”カンファレンスでの基調講演をベースとした、物理学者 John Preskillの論文 “Quantum Computing in the NISQ era and beyond” の趣旨を紹介したいと思う。
 - Preskillは、当面する(5~10年)の近未来を、「NISQの時代」と特徴付ける。“NISQ”は、“Noisy Intermediate-Scale Quantum”の略である。“Intermediate-Scale”とは、数年後に利用可能となる、量子ビット数が50から数百程度までの「中規模」の量子コンピュータのサイズを指し、“Noisy”とは、我々がそれらのqubitを、ノイズの元で不完全にしかコントロールできないことを強調している。
-

はじめに

- そうした制限ゆえに、「我々は、NISQそれ自体を、世界を変えるものだとは期待すべきではない。そうではなく、それは、将来において開発されるより強力な量子技術への一歩と見なされるべきである。」と主張する。それは、現状に即した正確な見通しだと思う。
 - ただ、彼の講演は、カンファレンスに集まった、ビジネス・パーソン達に冷や水を浴びせることが目的だったわけではない。彼は、この論文タイトルの“NISQ era and beyond” が示すように、近未来の“NISQ era”とさらにそれを超えた未来 “beyond” のいわば「二重の見通し」を、与えているのである。
-

はじめに

- 問題は、「現在」と「近い未来」、あるいは「現在」と「遠い未来」の関連を、我々がどう理解するのかということである。また、我々が、科学と技術、そして、技術とビジネスの関係を、どう考えるかということである。
- いうまでもなく、「現在」が「未来」を準備し、科学は、技術とビジネスを通じて、我々の世界を大きく変える。
- 科学者らしい抑制した語り口だが、彼が網羅的に簡潔に紹介している「現在」の研究動向は、ビビッドなものである。現代の物理学の動向をあわせて考えると、驚くべき「未来」の「予兆」が、ある意味同時多発的に生まれていると言っている。
- この論文のもう一つの重要なメッセージは、量子コンピューティングが、その可能性を開花させる未来は必ずやってくるだろうということである。若い世代の活躍に期待したい。

2018/06/22 マルレク第四回

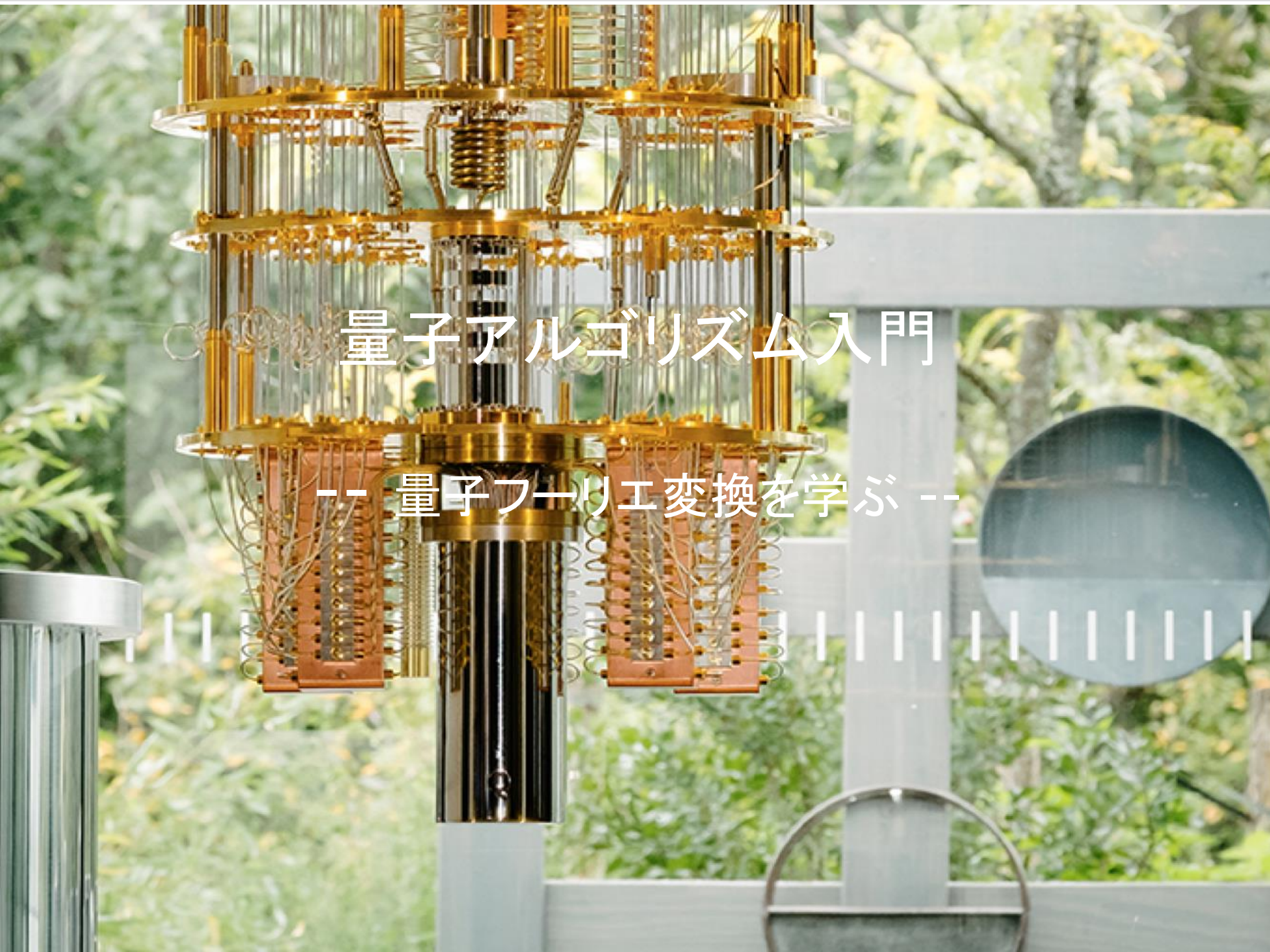
「量子アルゴリズム入門
-- 量子フーリエ変換を学ぶ」

このサイトで読む: <https://goo.gl/6rzHvu>

概要: <https://q-algorithm.peatix.com/>

資料: <https://goo.gl/DkRZHK>

動画: <https://crash.academy/video/320/1638>



量子アルゴリズム入門

-- 量子フーリエ変換を学ぶ --

はじめに

- この間の「紙と鉛筆で学ぶ量子情報理論基礎演習 I」では、量子コンピュータの基礎である「量子ゲート」の働きを学んできた。(いわば、コンピュータのハードウェアの働きとして)
 - 今回は、量子ゲートで構成される回路がどのようなアルゴリズムを実現するのかを見る。ゲート型量子コンピュータにおいては、「量子アルゴリズム」とは、そのアルゴリズムを実行する量子回路を構成することである。(残念ながら、現在の量子コンピュータでは、ハードとソフトの分離は、できていないのだ。)
 - 本セミナーは、代表的な「量子アルゴリズム」の一つである「Shorのアルゴリズム」で中心的な役割を果たす「量子フーリエ変換」のアルゴリズムの解説を、量子情報理論の初心者を対象に行うことを一つの目標としている。
-

はじめに

- 小論の前半では、次のような量子アルゴリズム・量子通信の基本を学ぶ。これらの内容は、「紙と鉛筆 ...」の内容のすぐ後に続くものである。
 - ノー・クローニング定理 (No Cloning Theorem)
 - エンタングルメント (Entanglement)
 - スーパー・デンス・コーディング (Superdense Coding)
 - 量子テレポーテーション (Quantum Teleportation)
 - 量子並列計算 (Quantum Parallelism)
-

はじめに

- 後半では、量子フーリエ変換 (QFT) を取り上げる。最初の二節は少し数学的だが、DFT/FFTについては、技術者には理解者も多いと考えている。
 - 古典的フーリエ級数/変換と複素表示
 - デジタル・フーリエ変換と高速フーリエ変換 (DFTとFFT)
 - 量子フーリエ変換 (QFT)
 - 来年からは、これらの内容にいくつかのアルゴリズムを追加して演習形式で、「量子情報理論基礎演習 II – 量子アルゴリズム編」を開始できたらと考えている。
 - 本セミナーを、こうした演習コースに接続する、量子アルゴリズム学習の最初の入門講座として利用されることを期待している。
-

人工知能論について

1. 「人工知能と複雑性理論」
2. 「人工知能と自然言語」
3. 「人工知能と量子コンピュータ」
4. 「人工知能と哲学」



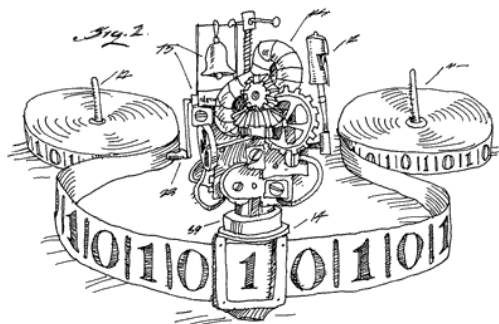
2018/09/2 人工知能を科学する 第一回

「人工知能と複雑性理論」

このサイトで読む: <https://goo.gl/q9mzSa>

概要: <https://lab-kadokawa70.peatix.com>

資料: <https://goo.gl/9t7o99>



Turing Machine

recursively enumerable

context-sensitive

mildly context-sensitive

context-free

regular/
finite-state

strictly locally
testable

finite
languages

言語

鳥の
さえずり
bird
vocalization

音楽

Chomsky Hierarchy

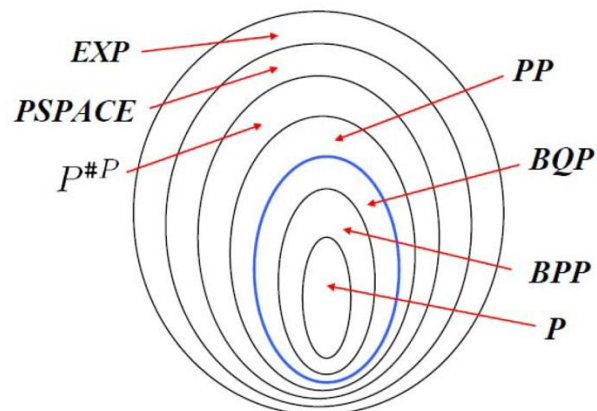
人工知能と 複雑性理論

**NP-
hard
NP-
complete**

**N
P**

P

計算複雑性



量子複雑性

**NP-
complete
NP**

BQP

P

Factoring

はじめに

- 小論は、人工知能研究の今後の発展の方向を、数学的・物理学的認識可能性の理論でもある「複雑性理論」の成立・発展を中軸にして考察したものである。
- なぜ、数学的・物理学的認識が問題になるのか？
もちろん、人工知能研究の基本的な問題は、「機械は考えることができるか？」という、チューリング以来の問題である。
- 「機械が考えること」の中に、感覚＝運動的な認識能力だけでなく、言語的な認識や数学的認識を含めると問題は急に難しくなる。ただ、こうした問題を避けるわけにはいかないと、筆者は考えている。また、人工知能は、理論的な構成物としてではなく、物理的なものとして実装されねばならない。
- 人間と機械の数学的・物理的認識の限界を(筆者は、両者は同じ限界を持つと考えている)、知ることは、すなわち、人工知能の認識の限界を知ることには他ならない。

はじめに

- 人工知能研究の現状からいうと、問題をかえって難しくしているだけと感じる人もいるかもしれない。ただ、「複雑性理論」を視野に入れると、未来についての見通しは、むしろ良くなると筆者は感じている。
- 「複雑性理論」の第一世代は、1950年代に定式化される「計算可能性理論」である。それは、数学的・形式的な抽象的なものでしかなかった。
- 「複雑性理論」の第二世代は、1970年代に始まる「計算複雑性理論」である。それは、コンピュータの爆発的普及に刺激を受け、コンピュータの能力を意識したものであったが、数学的・形式的なものであった。(もっとも、その基本問題である $P=NP?$ 問題は、そうした性質を持ち続けている)

はじめに

- 「複雑性理論」の第三世代は、1980年代の「理論的可能性」としての「量子コンピュータ」の登場とともに始まる。
- この第三世代は、「複雑性理論」の発展としては、「量子複雑性理論」の成立として特徴付けられるのだが、その過程は、「情報過程＝物理過程」という認識によって支えられていた。
- 同時に、それは、「物理過程＝情報過程」という認識の成熟でもあった。ブラックホールやエンタングルメントのエントロピーの発見、ブラックホールでの「情報消失」問題からホログラフィック原理の提唱、AdS/CFT 対応の発見等々の現代物理学の発展の中心に「量子情報理論」と「複雑性理論」がある。
- こうした知見は、我々人間の（そして恐らくは機械の、それゆえ「人工知能」の）認識の限界が、どのようなものであるかを知らせている。

はじめに

- 「複雑性理論」は、我々人間が、この宇宙の中で知りうることについての「限界」の具体的で精緻な「境界付け」を与えてくれるのである。
- 我々の認識の「限界」が、こうして、ますます身近で具体的なものとして与えられていく反面、それでも、大きな謎は残っている。我々を拘束する、こうした「有限性」や「多項式時間」という「制限」の中で、我々は、なぜ自由に思考し、無限について数学的に考えることが出来るのであろうか？「謎」があることと、科学は矛盾しはしないのだ。
- スライドは、少し長く、一部は難しい表現も含まれているかもしれない。ただ、この問題領域での興味ふかいエピソードを沢山盛り込んだ。わからないところは飛ばして、面白そうなところだけ読んでもらっても、この世界の広がり伝わると考えている。

計算主義とは何か？

計算主義とは何か？

人工知能論における「計算主義」とは、人間の「知能」の本質を「計算」として抽象しようとするものである。僕は、基本的には、「計算主義」の立場に立っている。

「知能」に対する「計算主義的」なアプローチは、僕が人工知能が将来実現すべき課題として関心を持っている、人間の「言語能力」や日常的な「論理的推論能力」、抽象的な「数学的能力」、さらには「科学する能力」の機械による実現には、そうしたアプローチが不可欠だと考えている。

この時、「感情」や「意識」等々の機械による知能実現にまつわる、様々な問題を、当面は括弧に入れて保留しているのだが。

もちろん、人間の「知能」にまつわる問題を、一つの方法論で対応するのは難しい。それについては、次の「知能の階層性」で、述べようと思う。

計算主義の含意

- 「計算」を、ある入力がある出力に変換する「機能」と考えると考えれば、同一性を残したまま、その具体的実装は捨象できる。ある計算が、そろばんの上でなされようと、スパコンの上でなされようと、はたまた、「計算」を担うのが、タンパク質だろうがシリコンだろうが、していることは「同じ」とであると考えられることにはできるのである。
- 人間の「知能」の本質を「計算」として抽象することで、その抽象の限りでは、「機械」と「人間」は等値されうる。だから、この抽象のもとでは、機械ができることは人間にもできることになり、人間ができることは機械にもできることになる。特に、後者の「人間ができることは機械にもできる」という主張は、人工知能技術の可能性を考える上では、とても強い主張になる。人工知能の可能性を考える上では、「我々自身を見よ！」という以上の強いメッセージを、僕は、思いつかない。

計算主義と複雑性の理論

「それじゃ、逆に、Googleの巨大なCPUパワーで出来ることも、人間が手計算で出来ることも同じだということ？」

そう。同じなのだ。両者が、原理的には、紙テープを1マスずつ読み書きするTuringマシンと同値だという意味では。(もともと、TuringマシンによるGoogleクラウドのシミュレーションが「多項式時間」で出来るか否かが、重要なポイントになるのだが。それについては、あとで「拡張されたチャーチ=チューリング・テーゼ」のところで述べる。)

「計算」というの能力での人間と機械の同一性が、「計算主義」の要になる概念であるなら、計算能力の比較可能性をきちんと考える必要がある。そこに、「複雑性理論」が登場する。

「複雑性理論」というのは、「計算」の「複雑さ」を階層的に整理しようとする数学の一分野である。

複雑性理論

ただ、残念なことに、「複雑性理論」、まだまだわからないことが山のようにある。有名なのは、「 $P = NP$?」問題が、解けていないことである。研究の現状をまとめたサイトがここにある。

"Complexity Zoo" <https://goo.gl/eabDas>

なんと、「複雑さ」のカテゴリーが、500以上ある！

それは、「計算する知能」の構造が、予想以上に複雑だということを反映しているからだと僕は考えている。

我々は、我々自身のことをよく知らないのである。

ただ、僕は、この複雑性理論が、「計算主義」の立場から人工知能技術の可能性を考える上で、もっとも基本的な手段を提供してくれると考えている。

「機械は考えることができるか？」

- 「人工知能論」の中心的問題は、「機械は考えることができるか？」という問題である。人工知能研究の発展は、この問題に肯定的に、正面から応えることによって可能となる。
- 確かに、70年前にチューリングが予想したように、この問題についての「人々の意識」は大きく変わった。ただ、そのことは、人工知能研究が本質的な前進を果たしたことを、必ずしも意味しはしない。
- 生物学的進化と人類史的進化・文明史的進歩の中で形成された人間の知能の階層構造の中で、重要な「言語能力」「数学的能力」に対する取り組みは、これからの課題である。

人工知能における計算主義的アプローチ

- 人工知能における計算主義的アプローチは、人間の知能の中核を「計算する能力」として捉える。人間と機械を、「計算」という抽象のレベルで「同一視」する計算主義は、強力な方法論である。
- 人間の「数学的能力」においては、その中核が「計算する能力」であることは、ある意味自明なのだが、それ以外の多様な人間の諸能力においても、例えば、「言語能力」や記憶の外延的拡大である「知識グラフ検索」においても、計算主義的アプローチは有効である。

人間と機械の認識の「限界」

- 「人工知能に何ができ、何ができないのか？」という問いを、「人間には何ができ、機械には何ができないのか？」という形の問いにしてはいけない。
- 人工知能にできることには限界がある。その限界について考えることも、人工知能研究の重要な課題だ。ただ、その限界について知ることは、計算主義的な人工知能観に立つ限りは、人間と機械の双方がともに持つ認識の限界について知ることである。それは、「計算」の限界について知ることだ。
- 人工知能は、その限界に従う。計算の限界については、計算の複雑性の理論が、多くのことを教えてくれる。

計算可能性理論と計算複雑性理論

- 全く自由に見える数学においても、そこで「証明可能＝計算可能」なものには限界がある。このことは、1950年代には、「計算可能性理論」として、一般的に認められるようになった。ただ、それは、我々の「限界」としては、非常に荒い、かつ、抽象的で原理的な限界を与えるものでしかなかった。
- 基本的には、多項式時間で計算できるものを「易しい計算」、指数関数的時間でしか計算できないものを「難しい計算」と考える「計算複雑性理論」が普及するのは、1970年代にはいつてからだ。それは、計算の限界について、より具体的な判断基準を与えるものだ。
- ただ、計算複雑性理論の基本問題である、「 $P = NP$? 問題」（それは、「難しい計算」が「易しい計算」には還元できないことを主張する）が未解決のままなこともあり、この理論と人工知能論との接点は、大きなものには広がらなかった。

計算可能性概念の「物理化」

- 80年代に入ってから大きな変化は、計算可能性概念が、「物理化」されたことだ。実現されるべき人工知能は、物理的なものでなければいけないのだから、計算主義的人工知能論にとって、この変化は重要である。
- しかし、この「物理化」は、概念のレベルで抽象的に行われたものである。量子コンピュータは、まだ、物理学者の頭の中にしか存在しなかった。
- 面白いのは、計算可能性概念より、計算の限界の精緻な境界を与える計算複雑性の理論は、すぐにはこの「物理化」の影響を受けなかったことだ。
- これらの三つの理論は、現実の人間からも、人工知能論の理論的枠組み(コネクショニズムの全盛期だ)からも、遠く離れたところにあった。

複雑性理論の発展

- 90年代に入って、量子複雑性の理論化が始まる。量子チューリング・マシンで多項式時間で計算可能な複雑性のクラスBQPに、素因数分解のアルゴリズムが含まれることは、大きな発見だった。
- 21世紀に入ると、物理学の世界で、量子情報理論と複雑性理論への関心が急速に拡大する。
- 計算の「限界」は、我々の身近の具体的な問題に近づいてきている。物理学の複雑性理論の発展もめざましい。

2018/10/26 人工知能を科学する 第二回

「人工知能と自然言語」

このサイトで読む: <https://goo.gl/G6iKDf>

概要: <https://lab-kadokawa70.peatix.com>

資料: <https://goo.gl/RKRz4p>



人工知能と自然言語

連続講座「人工知能を科学する」第二回

はじめに

- 自由に言語を操る人間の能力を機械で実現することは、人工知能研究にとって、大きな目標の一つである。
おそらくそれは、人工知能研究の「究極」の目標の一つになるだろうとさえ、僕は考えている。他の動物にはない人間の「知能」の核心部分を構成しているのは、人間の言語能力に他ならないと考えているからである。
- ここ数年で、この分野では大きな前進があった。Googleのニューラル機械翻訳やAlexa等の音声インターフェースを備えたパーソナル・アシスタント・システムの登場は、機械による自然言語処理の歴史の中で、画期をなす出来事といっている。
- こうした前進を踏まえて、我々は、人間の言語能力の解明に着実に進んでいるのであろうか？とあらためて、問いかけることは意味があるように思う。

はじめに

- コンシューマ・レベルでのプロダクトの普及と人々の経験の広がりには、自然言語処理技術の可能性とともに、その未熟さを、多くの人に気付かせることになるだろうと僕は考えている。
 - それは、次の技術の飛躍を準備する重要な契機になる。現在の自然言語処理技術の現状を知ることは、次のステップに進む上で必要なことだ。
 - コンピュータで自然言語を扱うアプローチは、多様である。小論では、言語に対する現在の主要なアプローチを、
 - 1) ディープラーニング技術に基づくもの
 - 2) 知識表現と検索技術に基づくもの
 - 3) 計算主義的言語理論に基づくものと、大きく三つのタイプに分けて、それぞれの特徴と動向を紹介しようと思う。
-

はじめに

- 第一、第二のアプローチについては、これまでのレクチャーで、たびたび述べてきた。小論では、第三の「計算主義的言語理論」に基づくアプローチの紹介に重点を置こうと思う。この第三のアプローチに関心を持っている人は、ITの世界では少ないと感じているからである。
 - 僕自身は、文法的に正しい文をリアルタイムに受容し生成する言語能力を「計算能力」として捉える第三のアプローチに魅力を感じている。
 - ただ、総体として人間の言語能力を見たとき、「聴く・話す」といった、その「感覚・運動」的側面については、第一のアプローチが、意味や知識を活用する言語能力の「概念・思考」的側面については、第二のアプローチが有効だと考えている。
-

人工知能と自然言語

Agenda

Part I

ディープラーニングからの自然言語へのアプローチ

Part II

ボイス・アシスタント・システム

Entity Modelと知識検索

Part III

計算主義的言語理論

MinimalistとCategorial Grammar

Part IV

意味の形式的理論

2018/10/26 人工知能を科学する 第三回

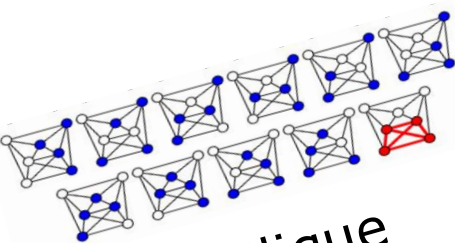
「人工知能と量子コンピュータ」

このサイトで読む: <https://goo.gl/4qu9Vx>

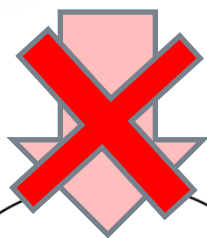
概要: <https://lab-kadokawa71.peatix.com>

資料: <https://goo.gl/RKRz4p>

人工知能と量子コンピュータ



Clique



NP-complete

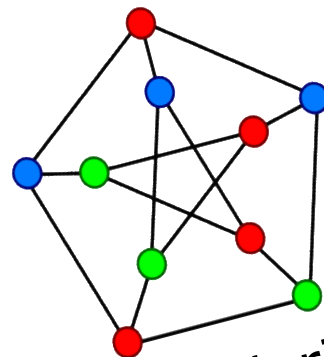
NP



Factoring

BQP

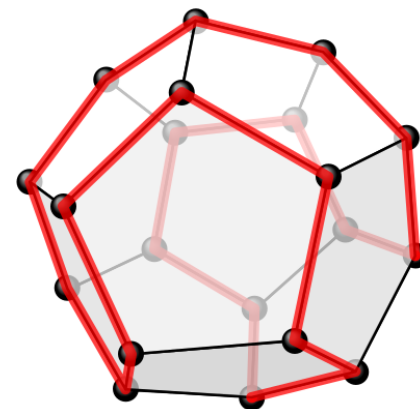
P



Graph Coloring

$$(l_1 \vee l_2 \vee x_2) \wedge \\ (\neg x_2 \vee l_3 \vee x_3) \wedge \\ (\neg x_3 \vee l_4 \vee x_4) \wedge \dots \wedge \\ (\neg x_{n-3} \vee l_{n-2} \vee x_{n-2}) \wedge \\ (\neg x_{n-2} \vee l_{n-1} \vee l_n)$$

3-SAT



Hamilton Path

はじめに

- 人工知能のもっとも基本的な問題の一つは、機械と人間にとっての「認識」の限界を正確に知ることであると僕は考えている。量子コンピュータの登場が、こうした問題にどのような新しい地平を切り開くのかということは、人工知能論にとっては大事な問題である。
- こうした観点から、量子コンピュータと量子複雑性理論については、これまでいくつかの機会で紹介してきたのだが、計算可能性理論や複雑性理論そのものについては、あまり語ってこれなかった。
- 今回は、第一部で、改めて複雑性理論の中核である「NP-完全」問題という不思議なコンセプトを説明しようと思う。「NP-完全」の発見なしには、複雑性理論は生まれなかったと言っている。その理論的インパクトは、計算可能性理論の創出にゲーデルの不完全性定理が与えたインパクトと同じものだと思う。

はじめに

- 「NP-完全」問題は、基本的に、力まかせの総当たりでやれば必ず解は見つかるはずというところが、どう頑張っても原理的に証明することが不可能な命題が存在することを主張する「不完全性定理」とは異なっている。
 - ただ、総当たりで問題を解くには、 n 個の条件が成り立つか否かというように問題を単純化しても、試すべき条件の組み合わせは、 2^n 個になる。 n が小さいうちは(例えば、 $n=10$ なら、1024個の場合をチェックすればいい)なんとかなるのだが、 n が大きくなるにつれ、問題は、文字通り指数関数的に難しくなる。それは、総当たり法では、現実的には、全く手に負えない問題となる。
-

はじめに

- 量子コンピュータに対する期待の一つは、それが n -qubitの入力に対して、それに対応する 2^n 個の状態の演算を同時に実行することができるので、それをNP-完全問題の攻略に利用できるのではないかというものである。
- 量子コンピュータなら、NP-完全問題も解けると思っている人も少なくないのだが、それは誤解である。そんなにうまくはいかないのだ。その誤解を解くことが、「NP-完全」問題を、改めて取り上げた理由の一つである。
- それでは、複雑な、現実的には手に負えない問題は、量子コンピュータでも手が出ないのかというと、もちろん、そうではない。Shorの素因数分解アルゴリズムのように、古典的(普通のという意味)コンピュータでは、現実的には解けない問題を量子コンピュータは解くことができる。

はじめに

- それだけではないのだ。量子コンピュータを用いた高速化の研究は、驚くべき広がりを持って様々な分野で進んでいる。第二部では、近年の活発な量子アルゴリズムの研究の現状を、Q2BカンファレンスでのPreskillの講演をベースに紹介する。これは以前のマルレクでAppendixに回していた内容である。
 - 様々な応用とは独立に、個人的には、Shorのアルゴリズムの属するBQPという複雑性のクラスの一般化である「BQP-完全」というコンセプトに注目している。「BQP-完全」問題を解く量子デバイスを、我々はいつか手に入れると確信している。
 - その時、人間と機械の「認識」の限界についての我々の認識は、新しい段階に入ることになるだろう。
-

Agenda Part I

NP-完全問題とその含意

- 人間と機械の「認識可能性」の認識の拡大
- NP-完全問題 手におえない問題の存在
- Cook-Levin Theorem: SATはNP完全である
- Karp: 多項式時間で還元可能なNP完全問題
 - Clique 問題
 - Graph Coloring 問題
 - Hamiltonian Path 問題
- 実際に実装されているNP-完全問題のプログラム
- 量子断熱コンピュータとNP-完全問題
- 量子断熱コンピュータと量子ゲート型コンピュータとの「等価性」

Agenda Part II

広がる量子アルゴリズムの世界 -- BQP-完全問題とQRAM

- 量子組み合わせ最適化 QAOAとVQE
- 量子アニーリング
- 量子ディープラーニング
- QRAMと量子逆行列変換 HHLアルゴリズム
- QRAMとは何か？
- 半正定値プログラミング
- 量子リコメンデーション

2018/12/14 人工知能を科学する 第四回

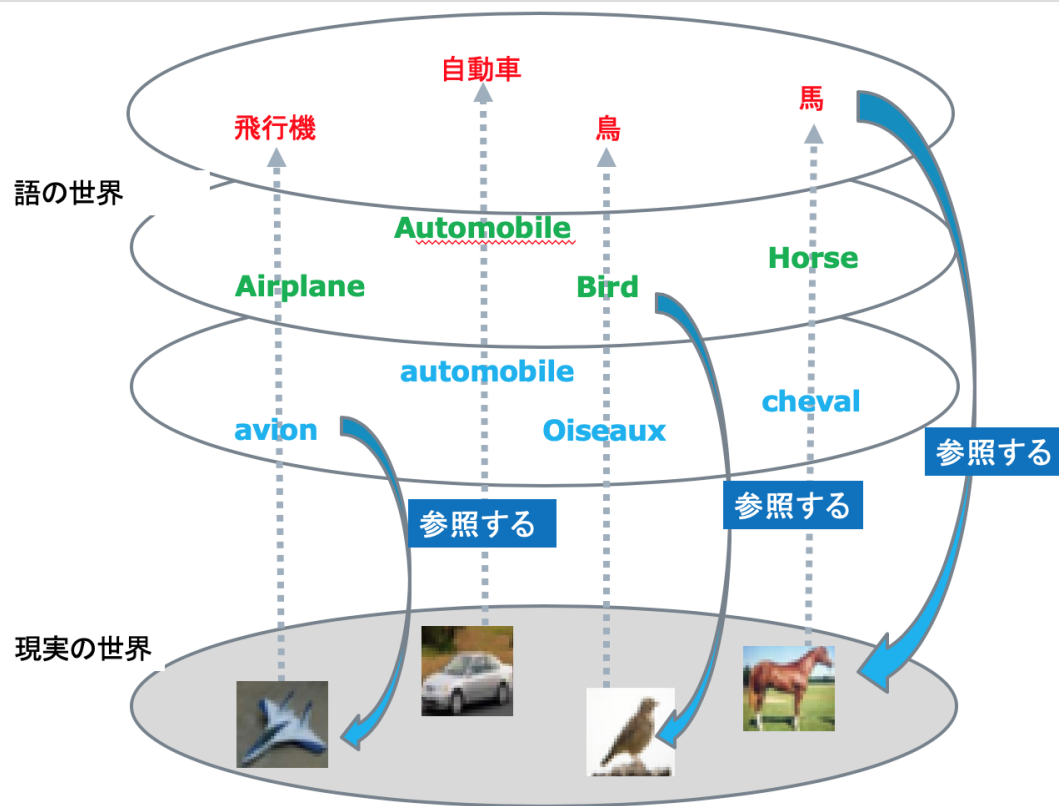
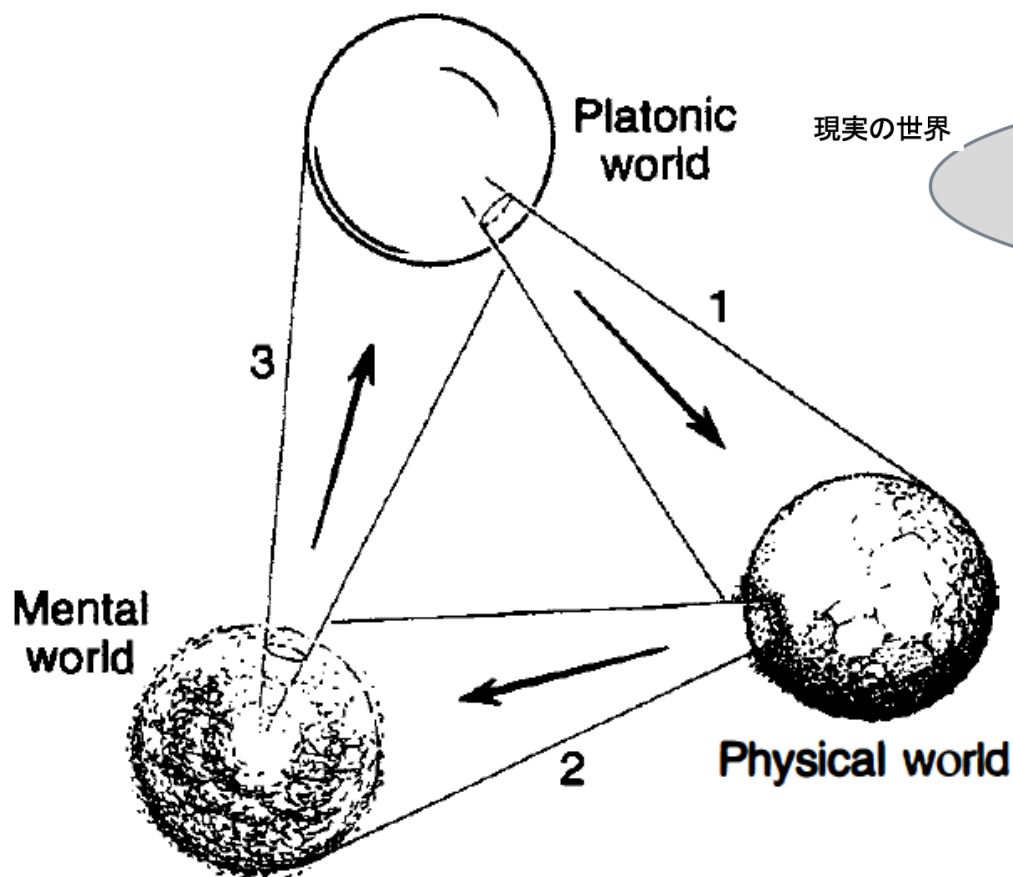
「人工知能と哲学」

概要: <https://lab-kadokawa72.peatix.com>

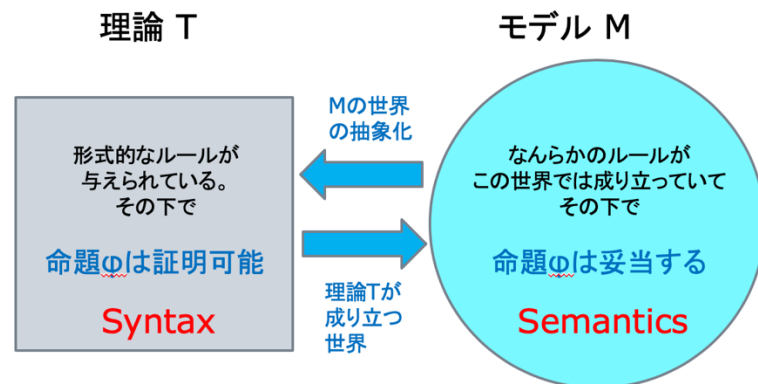
資料: <https://goo.gl/B12UTt>

角川連続ナイトセミナー 「人工知能を科学する」

人工知能と哲学



「理論」の世界と「モデル」の世界



モデルMは、理論Tに「意味」を与える

はじめに

- 人工知能を語るということは、その人の技術観だけでなく、人間観、ある場合には、社会観・歴史観を語ることに、繋がっていく。それを、「人工知能を哲学する」と考えてもいいのではと思う。
 - 僕自身のことでは、これまで、AIやDeep Learningを、IT技術者を対象にして、現在の技術として紹介してきたのだが、今年の初めから、講演のやり方を変え、基本的には、人工知能技術の課題と未来展望に軸足を移した。
 - この間、言語能力や論理的推論能力、量子複雑性について触れることが増えたのは、その意味では、意識的な選択である。
-

はじめに

- 今回の講演では、最初に、この間人工知能技術について語ってきたことをまとめてみた。第二部で、ペンローズの人工知能論を批判しようと思っているので、まず、自分の立場を明らかにするのは必要だと思う。
 - 第二部では、30年近く前のペンローズの本を取り上げたのだが、自分が「計算主義」の立場をとる以上、彼の「計算主義」批判に応えることは避けて通れない課題だと考えている。
 - 僕は、数学者・物理学者としてのペンローズの大ファンである。彼の人工知能論の結論には同意できないのだが、30年ぶりに二冊を読み返して、「その通りだ」と思うところは、たくさんあった。なにより、現代の人工知能論には欠けている広い視点からは、多くを学ぶことができた。
-

はじめに

- 第三部の、モデル論的な意味の形式的理論は、ペンローズの「計算主義」批判と意識したものだが、展開が十分でなく、もう少し説得的な議論が出切れればよかったと反省している。この辺りは、来年早々のマルレク「意味の形式的理論」で補いたいと考えている。
-