人工知能の歴史を振り返る

丸山不二夫



I propose to consider the question, "Can machines think?"

....

The original question, "Can machines think?" I believe to be too meaningless to deserve discussion. Nevertheless I believe that at the end of the century the use of words and general educated opinion will have altered so much that one will be able to speak of machines thinking without expecting to be contradicted.

-- Alan Turing

Despite these successes, ConvNets were largely forsaken by the mainstream computer-vision and machine-learning communities until the ImageNet competition in 2012.

-- Hinton, LeCun and Bengio

Artificial intelligence would be the ultimate version of Google. The ultimate search engine that would understand everything on the Web. It would understand exactly what you wanted, and it would give you the right thing.

-- Larry Page

Why only us ?

What kind of creatures are we ?

-- Chomsky

はじめに

- 2012年に、研究者とIT業界の中で「ディープラーニング」のブームが起きてから、5年がたとうとしている。
- 現在では、人工知能技術が、我々の生活と未来にとって大きな意味を持つだろうことに、研究者やIT業界の枠を超えて、多くの人たちが関心を持ち始めている。そのことを反映して、メディアでも、5年前とは比較にならないほど、多くの情報が流れている。ただ、それらの全てが正しいものだとは限らない。
- 「人工知能には、今、何ができて、何ができないのか？」
  「人工知能は、これから、どのように発展するのか？」
- 現在の到達点を知り、未来を予測するには、歴史を振り返ってみるのが有効だと、僕は考えている。

はじめに

- 人工知能の歴史は、コンピューターの歴史とともに古い。「Computer＝計算機＝計算する機械」の登場は、機械の歴史上の画期をなすものなのだが、それが「計算する機械」以上の可能性を持つことに、気づいた人たちがいる。
- 20世紀には、人工知能研究の多様な試みがなされた。そこでの問題意識・開発されたフレームワークのいくつかは、試行錯誤を繰り返しつつ、21世紀の人工知能技術に引き継がれている。よく知られているように、今日のディープラーニング技術は、Perceptron→PDP/Connectionism→Deep Learningと続く、ニューラル・ネットワーク技術の流れを汲む。
- 21世紀、計算機のパワーの増大・グローバルなネットワークの成立・データの爆発的増大は、人工知能研究に新しい環境と可能性を与えた。検索技術は、人工知能技術にも、さらに大きな役割を果たすだろう。

はじめに

- 人工知能研究に、「歴史上、成功した唯一の方法」があるわけではない。人工知能研究のアプローチが多様であることは、人間の知的能力の複雑さを反映している。
- 現時点で「人工知能」の限界として意識さるべきものは、決して解かれることのない謎ではない。それは、正確に、我々「人間の知能」の到達点をさししめしていると考えられる。なぜなら、人工知能を作ったのは我々人間であり、機械の進化にとって、我々は「万能の創造主」に他ならないのだから。
- 「人工知能には、今、何ができて、何ができないのか？」「人工知能は、これから、どのように発展するのか？」という機械の知性についての先の問題は、「人間には、今、何ができて、何ができないのか？」「人間は、これから、どのように発展するのか？」という人間の問題に投げ返されることになるだろう。言語能力の解明は、重要な課題である。

Agenda　「人工知能の歴史を振り返る」

Part I　20世紀（過去）

- TuringとChomsky
- Simonの楽観論
- 数学でのコンピュータの利用
- Perceptron
- 論理的推論の機械での実行
- 人工知能に対する懐疑論
- Minsky Frame 理論
- Expert System
- PDP / Connectionism

Agenda　「人工知能の歴史を振り返る」

Part II　21世紀(現在)

- 大規模分散システムと検索技術
- Schema.org
- 言語学の新しい展開
- Deep Learning
- 人工知能技術の現在
- Deeo Learningの最前線

Part III　未来展望

- Realとは何か？
- 感覚能力の外的拡大
- 認識能力の数学的認識による拡大
- 人工知能研究のパースペクティブ

Part I　20世紀（過去）



TuringとChomsky

「機械は考えることが出来るか？」という問題を、始めて提起したのはTuringである。その問題意識は、画期的なものだ。

Chomskyは、Church-Turingらが行った仕事（計算可能性・帰納的関数論）にインスパイアされて、文法の形式的記述を目指す。両者は、計算可能なシステムとして、人間の知性を捉えるという立場に立っている。

1950年 Turing



“COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE” A. Turing 1950年

- 「私は、『機械は考える事が出来るか？』という問題を考察することを提案する。」
- 今から三十年以上前、膨大な数の真空管からなるコンビューターがこの世に生をうけてまもなく、チューリングは、先の一節ではじまる「計算機械と知能」と題する、現代の人工知能（Artificial Intelligence AIと略される）研究の第一ページをしるす、興味深い論文を雑誌「マインド」に寄稿している。
- この論文の中で彼は、まず、後に「チューリング．テスト」と呼ばれる事になる機械が知能を持つか否かの判定基準を提案した。それは、簡単にいえば、もし我々が、直接には相手が誰だかわからないかたちで --テレタイプを通じて -- 機械と会話するかぎり、会話の相手が機械であるのか、人間であるのか判断がつかないなら、その機械は知能を持つと言えるというものであった。

http://www.loebner.net/Prizef/TuringArticle.html

Turingの立論

こうした観点から、もう一度、「機械の思考」の原理的可能性についての、チューリングの考察をふりかえって見よう。チューリングの論文の奇妙な構成－予想される反論への反論という－は、彼が主要に念頭に置いていたのが「機械は、そもそも考えることなどできない」といった意見のバリアントであった事をはっきりと示している。そこでは、問題は、むしろ世界観的レベルに属するといっても過言ではない「信念」の問題として語られているのである。

「私は、こうした信念を秘密にする事が、いかなる有用な目的にも役立つものではないとさえ信じている。科学者は、証明されていない、いかなる予想の影響をも決して受け入れることなく、はつきりと確立され予想から、はっきりと確立された事実へと冷厳に歩みをすすめるという俗見は、全く誤っている。－様々な予想は、それらが探求の有用な方向を示唆する故に、非常に重要なものである。」

予想される反対論―「神学的反対論」

彼が、予想される反対論の筆頭に、思考は神が人間にのみ与えた不滅の魂の働きでありそうしたものを与えられていない機械や動物は考える事ができないという「神学的反対論」をあげたのは偶然ではないように恩われる。

「こうした（考える）機械をつくろうと試みるにしても、我々は魂を創造する（create）神の力を不敬にも奪っている事にはならない。それは、子供を出産(procreation)したからといって神の力を奪っているとはいえないのと同じである。むしろ、我々は、いずれの場合も神の創造する魂にすみかを提供する神の意思の道具なのである。しかし、こうした事は全くの思弁にすぎない。」

彼自身が反対論を組み立て、彼自らが反論する。この執拗な繰りかえしは、ユーモアの衣をまとってはいるが、我々に、彼のある種のラジカリズムを印象づけるのである。あるいは、こうした情熱が彼を死へと追いやったのかもしれない。

デカルトの立論

彼の考察の最大の武器は、機械が知能を持つか否かを判定する基準として、彼が提唱した先にみた「チューリング・テストであった。我々の、科学史的な興味を強く引くのは、かつて内容的には、これとほぼ等しい基準が、デカルトによって、チューリングと全く逆の結論を導くために提案されているという事実である。デカルトは、理性を持たない動物を自動機械（Automaton オートマトンである！）と見なしていたので、動物の真似をする精巧な機械がつくられれば、それを本物とは区別できないと主張する。しかし、人間の真似をする機械をつくる事はできないという。その理由をデカルトは二つあげる。第一の理由は、人間は自由に言語をあつかう能力を持つが、そうした能力を持つ機械を考える事はできないというものである。第二の理由は、我々の理性は万能だが、万能の機械を考えることはできないというものであった。

こうした、デカルトの特徴づけは、逆にチューリングの業綾の一つとしての「万能チューリングマシン」の存在証明の持つ意味をはっきり示すように恩われる。両者がいずれも、当然の事だが、動物や人間の真似をする機械を実際につくりあげたわけではない事に注意しよう。

Turingが、想定したTuring Test

Q: Please write me a sonnet on the subject of the Forth Bridge.

A : Count me out on this one. I never could write poetry.

Q: Add 34957 to 70764.

A: (Pause about 30 seconds and then give as answer) 105621.

Q: Do you play chess?

A: Yes.

Q: I have K at my K1, and no other pieces. You have only K at K6 and R at R1. It is your move. What do you play?

A: (After a pause of 15 seconds) R-R8 mate.

現時点で、それは達成されているか？

Q: Please write me a sonnet on the subject of the Forth Bridge.

？ A：Count me out on this one. I never could write poetry.

Q: Add 34957 to 70764.

○ A: (Pause about 30 seconds and then give as answer) 105621.

Q: Do you play chess?

○ A: Yes.

Q: I have K at my K1, and no other pieces. You have only K at K6 and R at R1. It is your move. What do you play?

○ A: (After a pause of 15 seconds) R-R8 mate.

Turingの展望

「約五十年のうちには、……普通の質間者が五分間質問したあとで正解率が七〇%を超えない様にコンピュターをプログラムすることが可能であると私は信じている。

『機械は考える事が出来るか？』という、最初に掲げた間題が、今では議論にも値しない程無意味なものである事は私も認めよう。

しかし、それにもかかわらず、今世紀の終わりには人達の意見が大きく変化して、ついには、矛盾していると考えることなく『機械の恩考』について語ることができるようになるであろうと私は信じている。」

まだ二十年近い猶予期間があるのだが、我々はチューリングの見通しは妥当なものであったと、今日の時点で 、確信をもって言うことができる。
しかし、コンビューターを用いた人工知能研究は、計算機科挙のパイオニァの展望したこうした遭を、なめらかにたどってきたわけではなかった。

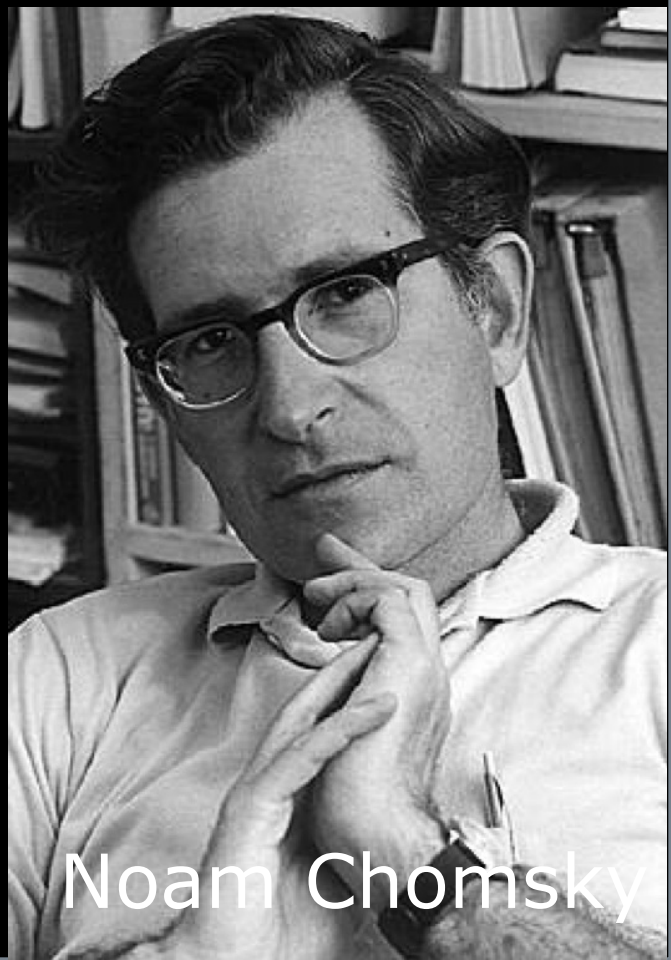
五十年代の終りには、次の様な、いささか極端な主張があらわれ、そうした傾向は一部六十年代の初めまで続いた。一九五七年、サイモンは次の様な予言を行った。



このスライド 「1957年　Simonの楽観論」へ

「機械の思考は可能か？」 丸山不二夫　1983年　https://goo.gl/qyg6kV

1955年 Chomsky 生成文法


Noam Chomsky

“Logical Syntax and Semantics. Their Linguistic Relevance” 1955年

「言語学者自身は意味や変換規則に関心を持っていると示唆されても、誰も文句をつけようとは思わないが、論理的構文論と意味論（少なくとも我々が知っている限りでのそれ）が、言語学と重要な関連を持つという主張は、非常に疑わしい。論理的構文論と意味論の前提と関心を詳しく調べると、これらの分野で達成された諸結果を、言語学の問題の解決に適用できるという希望は、幻想であることが明らかになると、私は考えている。」

Bar-Hillelの論理実証主義的な言語へのアプローチ批判である。言語学の独自性の強調。Bar-Hillelは、論理実証主義のCarnapの弟子。1952年、“The first International Conference on Machine Translation” を組織している。のちに、Machine Translationに懐疑的になる。 Chomskyの最初期の論文が、論理主義の批判であることに注意。

https://chomsky.info/wp-content/uploads/195503-.pdf

“Three Models for the Description of Language” 1956年

Type-3

We have defined three types of language: finite-state languages (in 2.1). derivable and terminal lauguages (in 3.2).

Type-2

Type-1

These are related in the following way: (27)

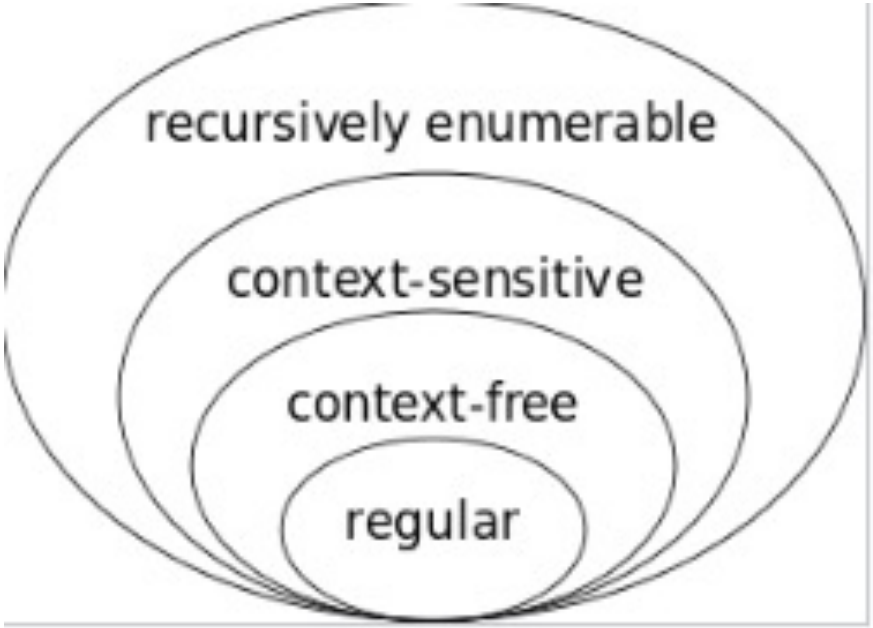
(i) every finite-state language is a terminal language, but not conversely;

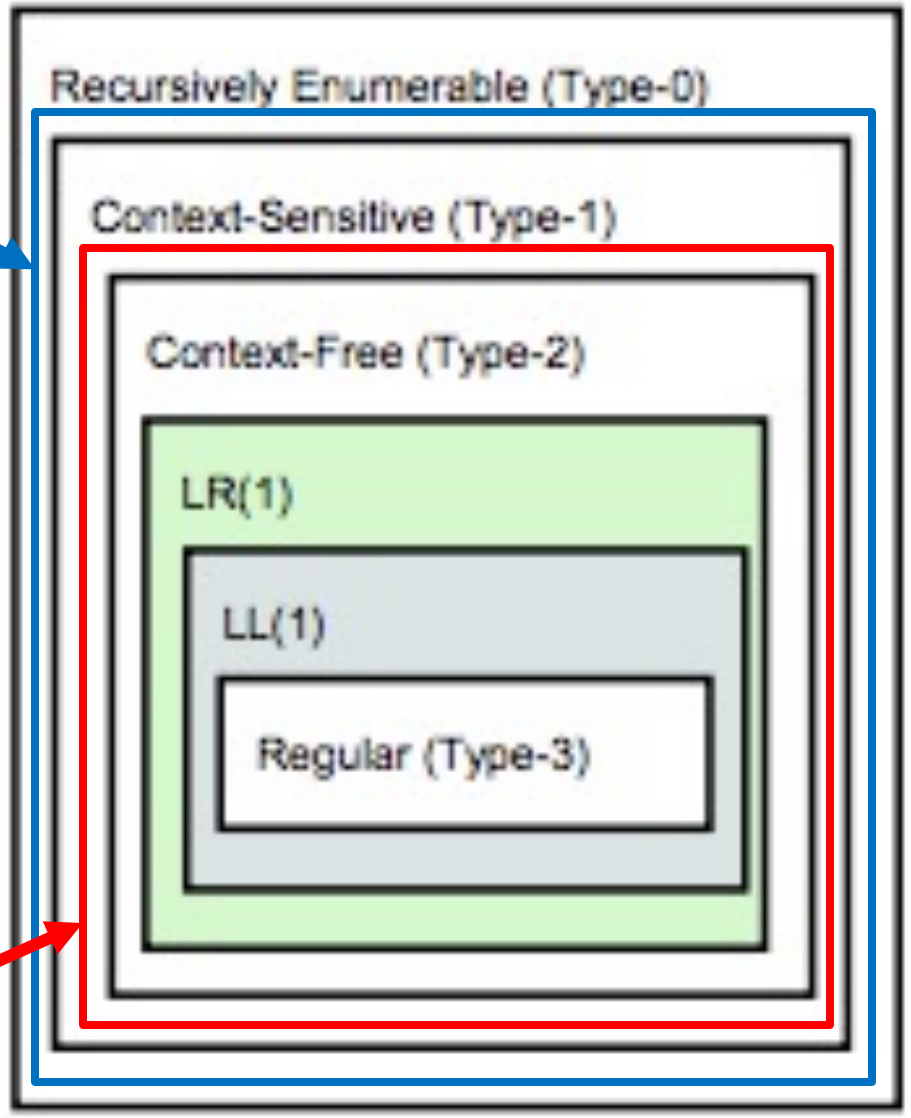
(ii) every derivable language is a terminal language, but not conversely;

(iii) there are derivable, nonfinite-state languages and finite-state, nonderivable languages.

https://chomsky.info/wp-content/uploads/195609-.pdf

Recursive Language
“Merge” is recursive





自然言語？

Mildly Context Sensitive Languages

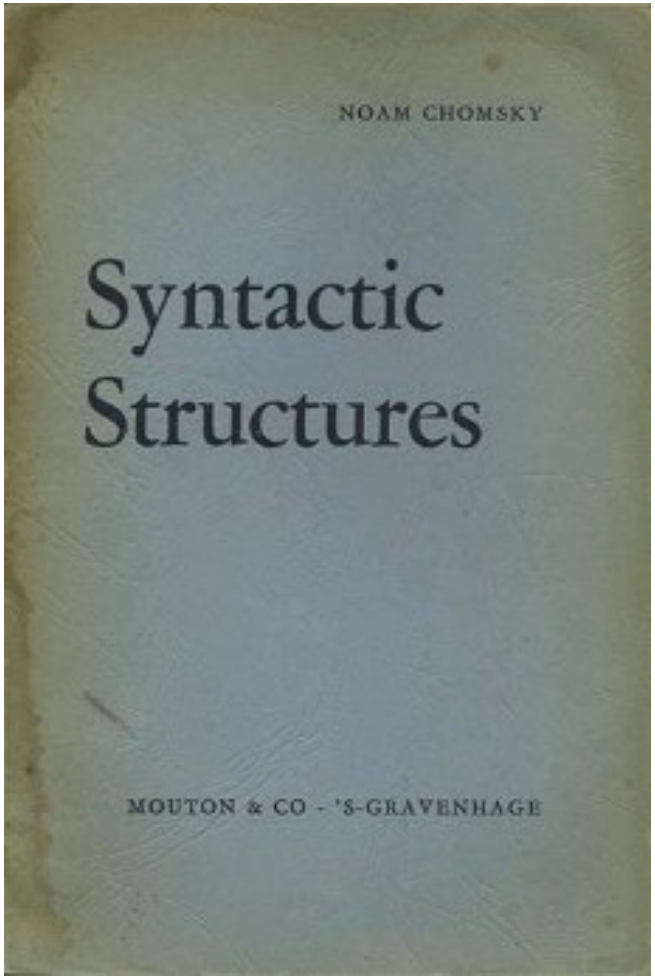
We investigate several conceptions of linguistic structure to determine whether or not they can provide simple and sreveallngs grammars that generate all of the sentences of English and only these. We find that no finite-state Markov process that produces symbols with transition from state to state can serve as an English grammar. Furthermore, the particular subclass of such processes that produce n-order statistical approximations to English do not come closer, with increasing n, to matching the output of an English grammar. We formalisa the notions of phrase structures and show that this gives us a method for describing language which is essentially more powerful, though still representable as a rather elementary type of finite-state process. Nevertheless, it is successful only when limited to a small subset of simple sentences.

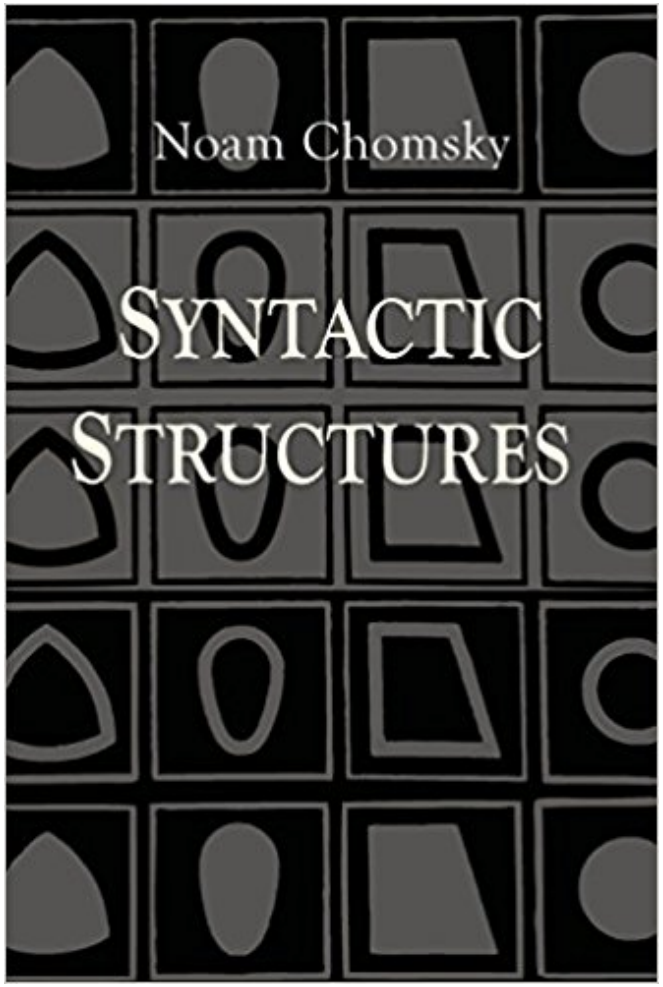
有限状態マシンでは、英文法を記述できないという指摘。

We study the formal properties of a set of grammatical transformations that carry sentences with phrase structure into new sentences with derived phrase structure, showing that transformational grammars are processes of the same elementary type as phrase-structure grammars; that the grammar of English is materially simplified if phrase structure description is limited to a kernel of simple sentences from which all other sentences are constructed by repeated transformations; and that this view of linguistic structure gives a certain insight into the use and understanding sf language. We study the formal properties of a set of grammatical transformations that carry sentences with phrase structure into new sentences with derived phrase structure, showing that transformational grammars are processes of the same elementary type as phrase-structure grammars; こうした問題意識は、Syntactic Structure で展開される

that the grammar of English is materially simplified if phrase structure description is limited to a kernel of simple sentences from which all other sentences are constructed by repeated transformations; and that this view of linguistic structure gives a certain insight into the use and understanding of language.

1957年　Chomsky “Syntactic Structures”





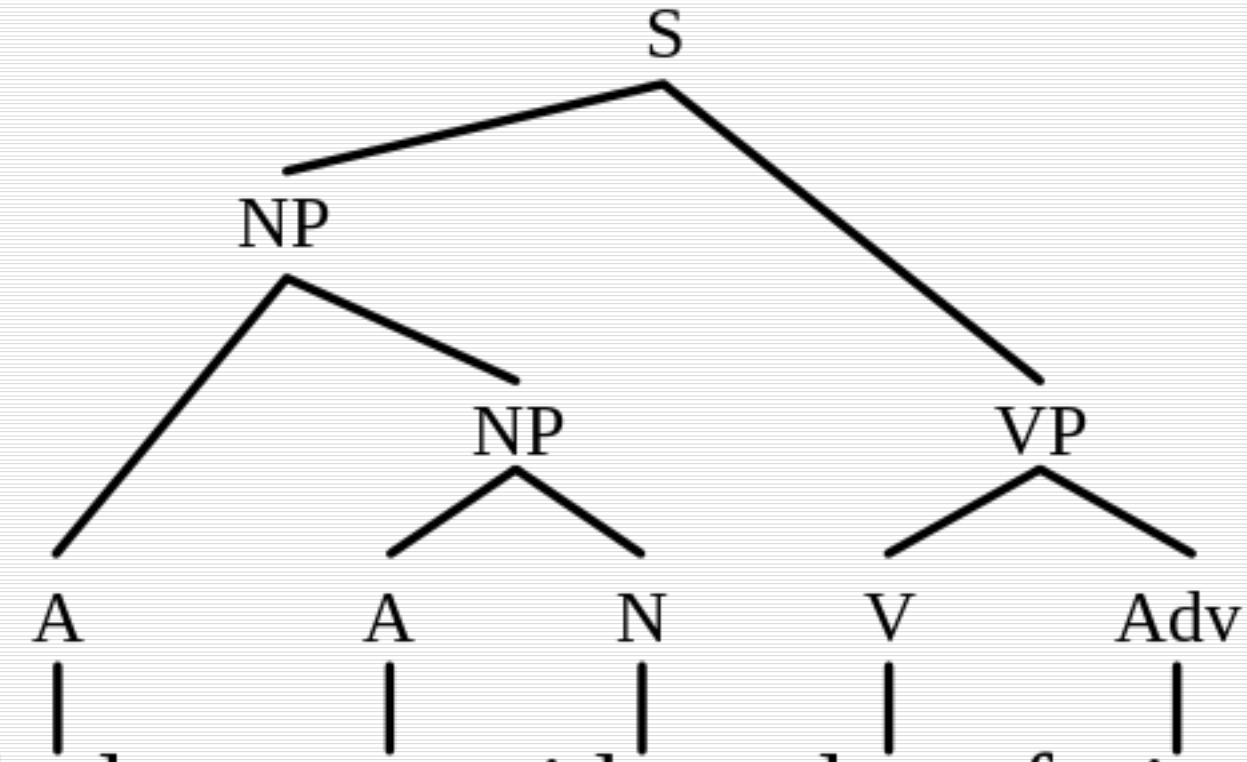
http://ewan.website/egg-course-1/readings/syntactic_structures.pdf

“Syntactic Structures”
「生成変形文法」

- 文の構造であるSyntaxへの完全に形式的なアプローチ。「句構造」ルールによって、文は句に分解され、それはさらに「変形」ルールによって、別の構造に移される。
- これらの有限なルールのみを使って、すべての文法的な文（それは、可能的には無限に存在する）を、そしてそれのみを「生成」することを目標にする。
- “Colorless green ideas sleep furiously.” という文は、全く無意味だが、文法的には正しい。よく似た、 *”Furiously sleep ideas green colorless.”という文は、文法的には正しくない。そのことが、我々にはわかる。SyntaxとSemanticsは、独立である。

Chomskyの理論は、どんどん変わる。これが、彼の最終的な立場ではない。現在の立場は、このスライドの「言語学の新しい展開」を参照されたい。

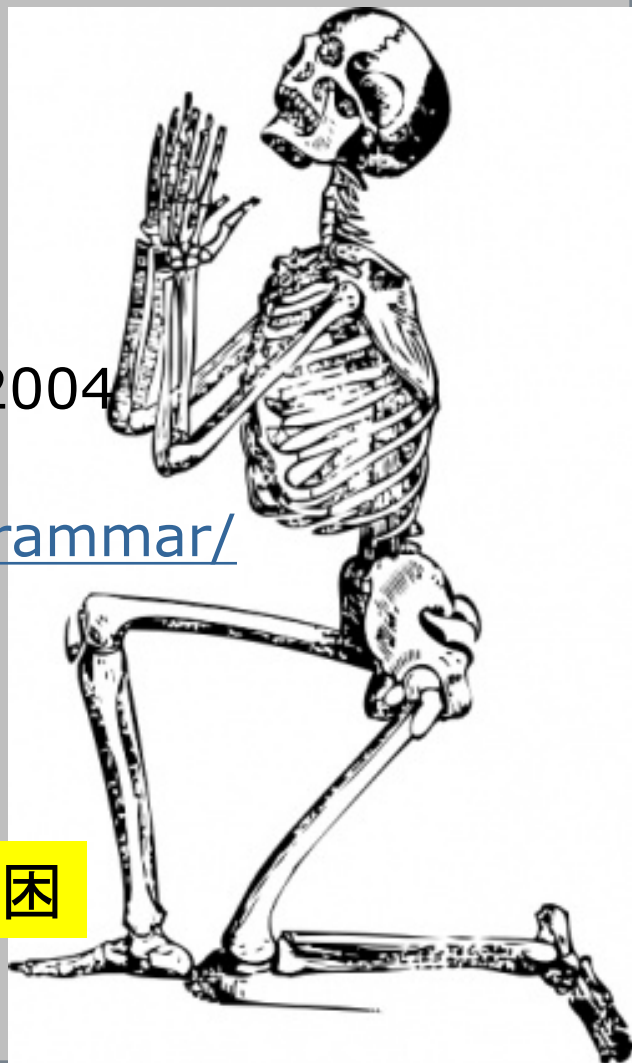
Colorless green ideas sleep furiously.



Speech Recognition Grammar Specification Version 1.0

W3C Recommendation 16 March 2004

https://www.w3.org/TR/speech-grammar/



ここでのGRAMMARは、たかだか正規表現とのマッチングにすぎない。

言語観の貧困

A Demonstration of the Nonfeasibility of Fully Automatic High Quality Translation

Little John was looking for his toy box. Finally he found it. The box was in the pen. John was very happy.

Assume, for simplicity's sake, that pen in English has only the following two meanings: (1) a certain writing utensil, (2) an enclosure where small children can play.

Warren Weaverらのアプローチへの懐疑。

Googleニューラル機械翻訳

リトル・ジョンはおもちゃ箱を探していた。最後に彼はそれを見つけた。箱はペンに入っていた。ジョンは とても幸せだった。

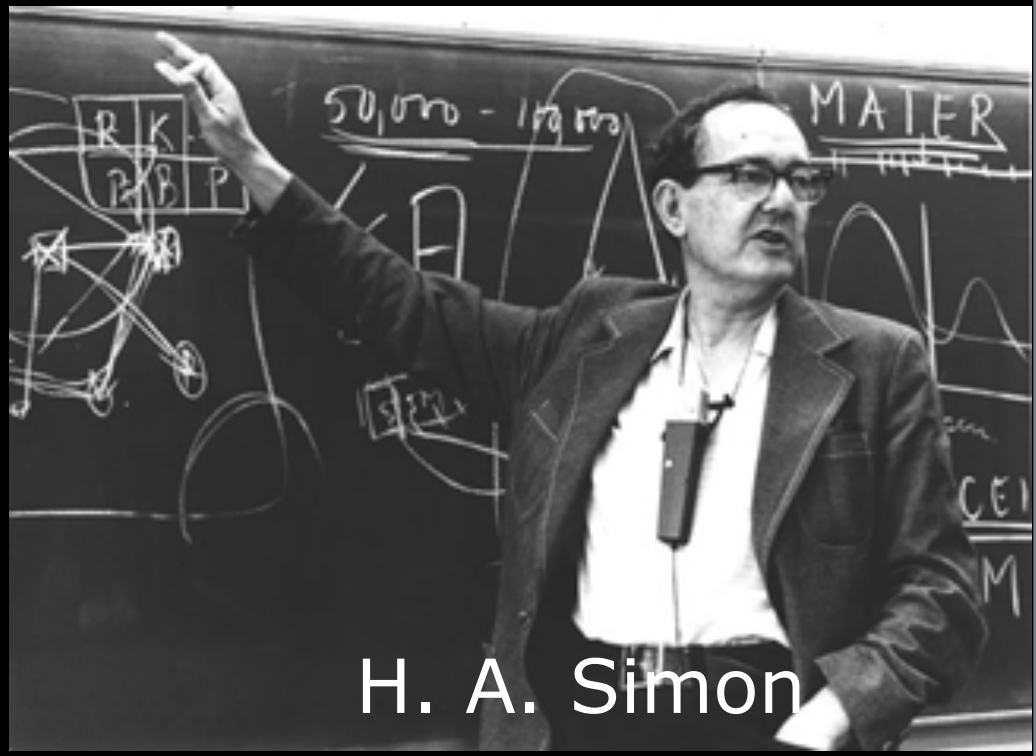
1960年 Bar-Hillel https://goo.gl/J1bEU

Simonの楽観論

Simonは、人工知能の未来を楽観視していた。それは、経験論的で、ヒューリスティックな問題解決のスタイルが万能だと信じていたからである。ただ、それはうまくいかなかった。

一方、同じ頃、Chomskyは合理論の立場から、刺激（Stimulus)ー反応(Reaction)のS-R図式で、心理学を基礎づけようとする「行動心理学」を徹底して批判していた。

1957年　Simonの予言



Heuristic Problem Solving: Next Advance of Operation Research H.A. Simon 1957年

「こうした、いくつかの発展と、この分野での研究が進みつつあるスピードを基礎にして、きたる十年以内に下の事が実現すると私はすすんで予言しようと思う。

1. 十年以内に、コンピューターは、チェスの世界チャンビオンとなるであろう。
2. 十年以内に、コンピューターは、重要な新しい数学の定理を発見し、証明するであろう。
3. 十年以内に、コンピューターは、批評家たちにかなりの美的な価値を持つと認められるであろう音楽を作曲するであろう。
4. 十年以内に、心理学のほとんどの理論は、コンピューター・プログラムの型をとるか、あるいはコンピューター・プログラムの特徴についての量的な言明という型をとるであろう。

https://goo.gl/7jWw9G

サイモンの予言は、ことごとく外れた

「こうした、いくつかの発展と、この分野での研究が進みつつあるスピードを基礎にして、きたる十年以内に下の事が実現すると私はすすんで予言しようと思う。

? 1. 十年以内に、コンピューターは、チェスの世界チャンピオンとなるであろう。 **IBM Deep Blue 1997年**

? 2. 十年以内に、コンピューターは、重要な新しい数学の定理を発見し、証明するであろう。

? 3. 十年以内に、コンピューターは、批評家たちにかなりの美的な価値を持つと認められるであろう音楽を作曲するであろう。

? 4. 十年以内に、心理学のほとんどの理論は、コンピューター・プログラムの型をとるか、あるいはコンピューター・プログラムの特徴についての量的な言明という型をとるであろう。

https://goo.gl/7jWw9G

チェス世界チャンピオン カスパロフ　Deep Blueに敗れる



1997年5月11日

Googleのアルファ碁、
世界最強の棋士 李世ドルに勝つ



2016年3月15日

Simonの ”Logical Theorist”

LTは、史上はじめての、自動証明プログラムであり、命題論理の証明問題を、ある公理系にしたがって解く事ができた。LTは、証明さるべき命題が与えられると、命題の形などから、達成すべき目標(「与えられた命題を証明する事」)を、よりやさしい中間的な部分目標に変換しようとする。そして、ある時点での当面の目標と、本来の目標との”差異”(difference)を評価して、その”差異を減少するような操作”を適用する。こうした、選択能力によって、適用可能な規則の範囲をできるだけ狭めることを目指した。LTは、「プリンキピァ・マテマティカ」の最初の52の定理のうち、38の定理を証明することができた。「すでに存在するプログラムから、ほんのすこし」外挿するだけで、 重要な数学的定理を証明できると彼が考えたのは、こうした「成果」を背景にしている。

General Problem Solver

それでは、彼は、次の一歩をどう踏みだしたのであろうか。彼は、LTで論理学の証明問題を解く為に用いられている手法が、ほんのすこし手を加えるだけで、他の問題解決にも有効である事に注目する。それゆえ、こうした手法を一般化すれば、論理的な問題のみを扱うシステムから、より広い領域の問題を一般的に扱いうるシステムを構成することができる。LTに次いで、GPS（General Problem Solver）の開発を動機づけたのは、サイモンの側からすれば、こうした問題意識に他ならなかった。

Elementary Perceiver and Memorizer

この時期、サィモンが関与したもう一つ有名なプログ ラムとして、EPAM（Elementary Perceiver and Memorizer）を挙げることができる。この知覚と記憶のモデルを与えることを目標にしているが、サイモンの間題意識は明らかに我々が経験から挙び、かつそれを活用する事に向けられていた。

GPSとEPAMの組みあわせには、人間の創造性の源を極めて広い領域に適用可能な、一般的な間題解決能力と、それを支える一般的な学習機構の存在に求めようとするサイモンの基本的な立場、認識に対する経験主義的アプローチが、なによりも明瞭に示されている。

LTの限界

第一に、LTは、貧弱な証明能力しか持たなかった。たとえば、簡単な命題 $(p \vee (q \vee r)) \rightarrow ((p \vee q) \vee r)$ さえ証明できなかった。LTの「成果」とサイモンが見なした事は、むしろ、最も初等的な命題でさえLTでは証明不能におちいる事がある事を示しているにすぎなかった。

第二に、ヒューリステイツクなアプローチは、先にも見た様に、膨大な探索空間を我々に到達可能な空間に制限しようという問題意識で開発されたものだが、ここでは逆に、論理的な洞察を欠いたヒューリスティヅクな方法が、可能な探索木の爆発的増大の直接の原因になっているのである。LTが直面した、組み合わせの爆発が、命題論理の証明という課題にとって不可避のものではなく、回避できる事はただちに明らかになった。この意味では、サイモンは、LTが内包する困難の性質を見誤り全く逆の教訓をひきだしたのである。

命題論理の定理証明

1960年には、Prawitz, Gilmore, Wang らがあいついで命題論理の定理証明プログラムを発表している。それらのアルゴリズムは、いづれも、命題論理の取り扱いについては、LTよりはるかに完全なものであつた。それらのプログラムの限界は、述語論理の取り扱いにあった。



このスライド「1965年　Resolution Principal」へ

数学でのコンピューターの利用

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。数学は、人工知能技術の重要な応用分野である。

この話題は、Part III でも取り上げるが、ここでは、現実に成果を上げた、いくつかの応用例を紹介する。

「四色問題」のコンピュータによる解決

- 1974年、イリノイ大学のKenneth AppelとWolfgang Hakenは、当時の最先端のコンピュータを使って、「四色問題」を解いた。
- コンピュータの稼働時間は、1200時間に及び、夜間の空き時間しか利用が認められなかったので半年がかりの計算だったと言う。
- コンピュータが人手にはあまる膨大な計算を行ったのは事実だが、当時、その計算の正しさの検証しようのないことを理由に、こうした「証明」を疑問視する声も一部にはあった。
- 来年は、「四色問題」解決の40周年にあたる。

2013年12月マルレク「「型の理論」と証明支援システム　-- Coqの世界」 https://goo.gl/S6u41w から。

「四色問題」「Feit-Thompsonの定理」のCoqによる証明

- 2004年、Georges Gonthierは、Coqを使って「四色問題」を解いた。
- Georges Gonthierは、また、2013年、有限群分類の重要な定理である、「Feit-Thompsonの定理」のCoqによる形式的証明を与えた。
- 15,000の定義、4,300の定理、17万行のソースからなるこの証明を、彼はチーム作業で、6年かけて完成させた。

2013年12月マルレク「「型の理論」と証明支援システム -- Coqの世界」 https://goo.gl/S6u41w から。

Univalent TheoryでのCoqの利用

- 先にも見たように、Voevodskyは、Univalent Theoryという数学理論を、Coqのプログラムの形で、GitHubで公開している。
  https://github.com/vladimirias/Foundations/

2013年12月マルレク「「型の理論」と証明支援システム　-- Coqの世界」
https://goo.gl/S6u41w　から。

計算結果を印刷すると、
マンハッタン島ぐらいの
サイズになる

Mathematicians Map E_8

Mathematicians have mapped the inner workings of one of the most complicated structures ever studied: the object known as *the exceptional Lie group E_8*. This achievement is significant both as an advance in basic knowledge and because of the many connections between E_8 and other areas, including string theory and geometry. The magnitude of the calculation is staggering: the answer, if written out in tiny print, would cover an area the size of Manhattan. Mathematicians are known for their solitary work style, but the assault on E_8 is part of a large project bringing together 18 mathematicians from the U.S. and Europe for an intensive four-year collaboration.

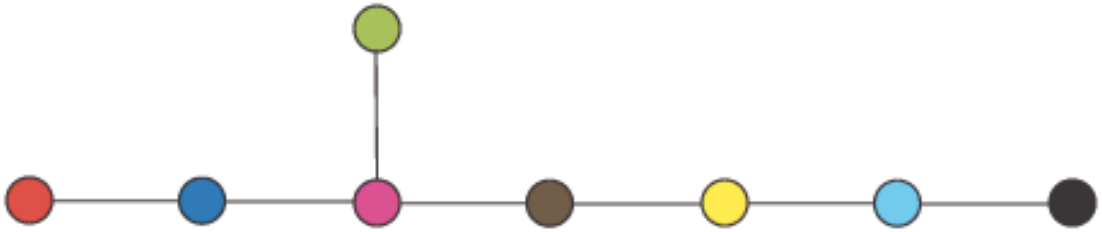
http://www.aimath.org/E8/

人間の遺伝子情報は、1ギガ以下。
E8の計算結果は60ギガ。

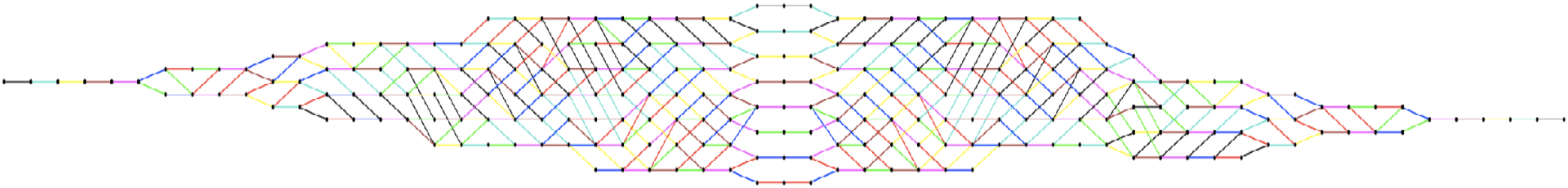
E_8 Map: Bigger than the Human Genome

The magnitude of the E_8 calculation invites comparison with the Human Genome Project. The human genome, which contains all the genetic information of a cell, is less than a gigabyte in size. The result of the E_8 calculation, which contains all the information about E_8 and its representations, is 60 gigabytes in size. That is enough space to store 45 days of continuous music in MP3 format. While many scientific projects involve processing large amounts of data, the E_8 calculation is very different: the size of the input is comparatively small, but the answer itself is enormous, and very dense.

E_8 Dynkin diagram

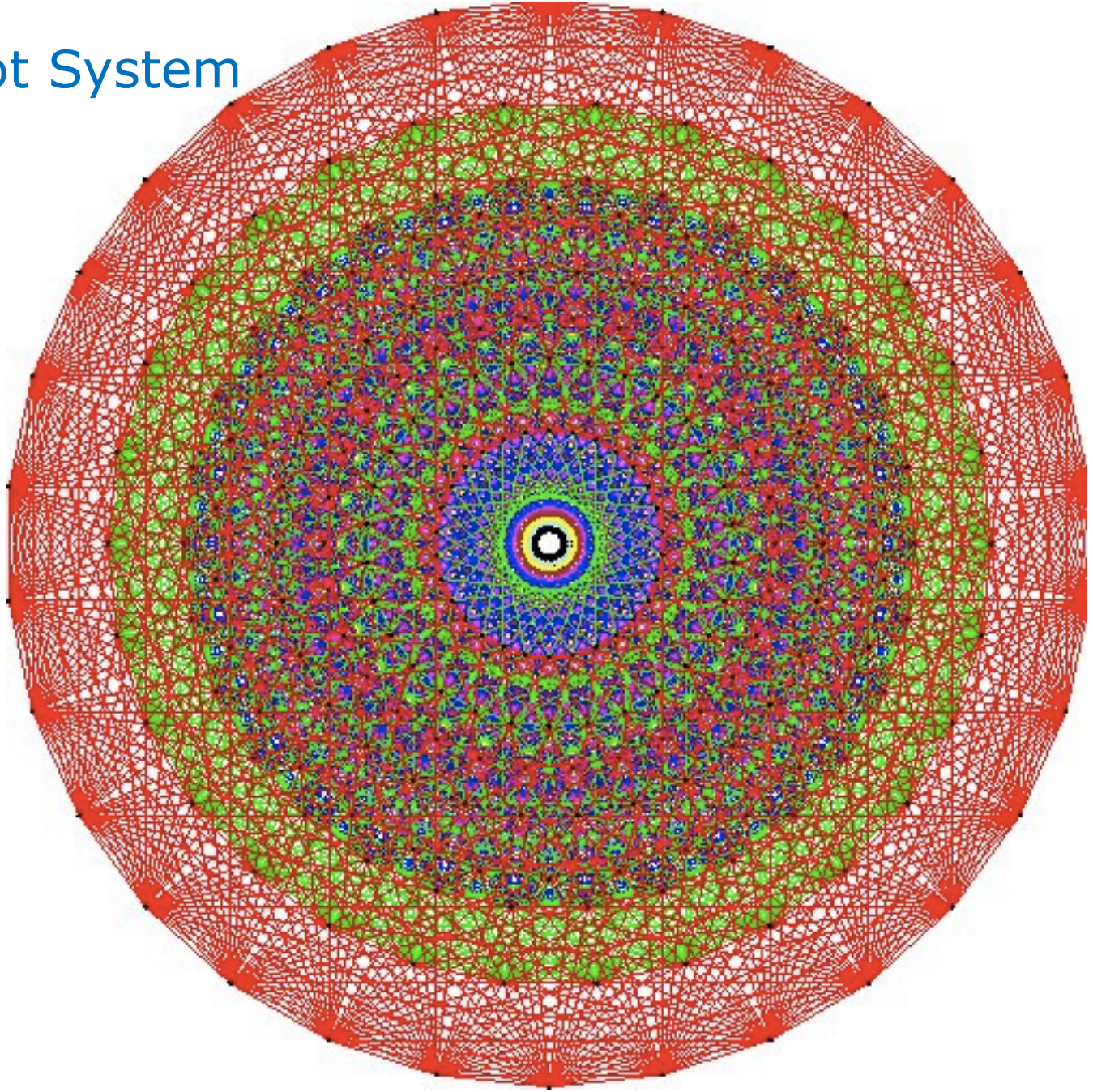


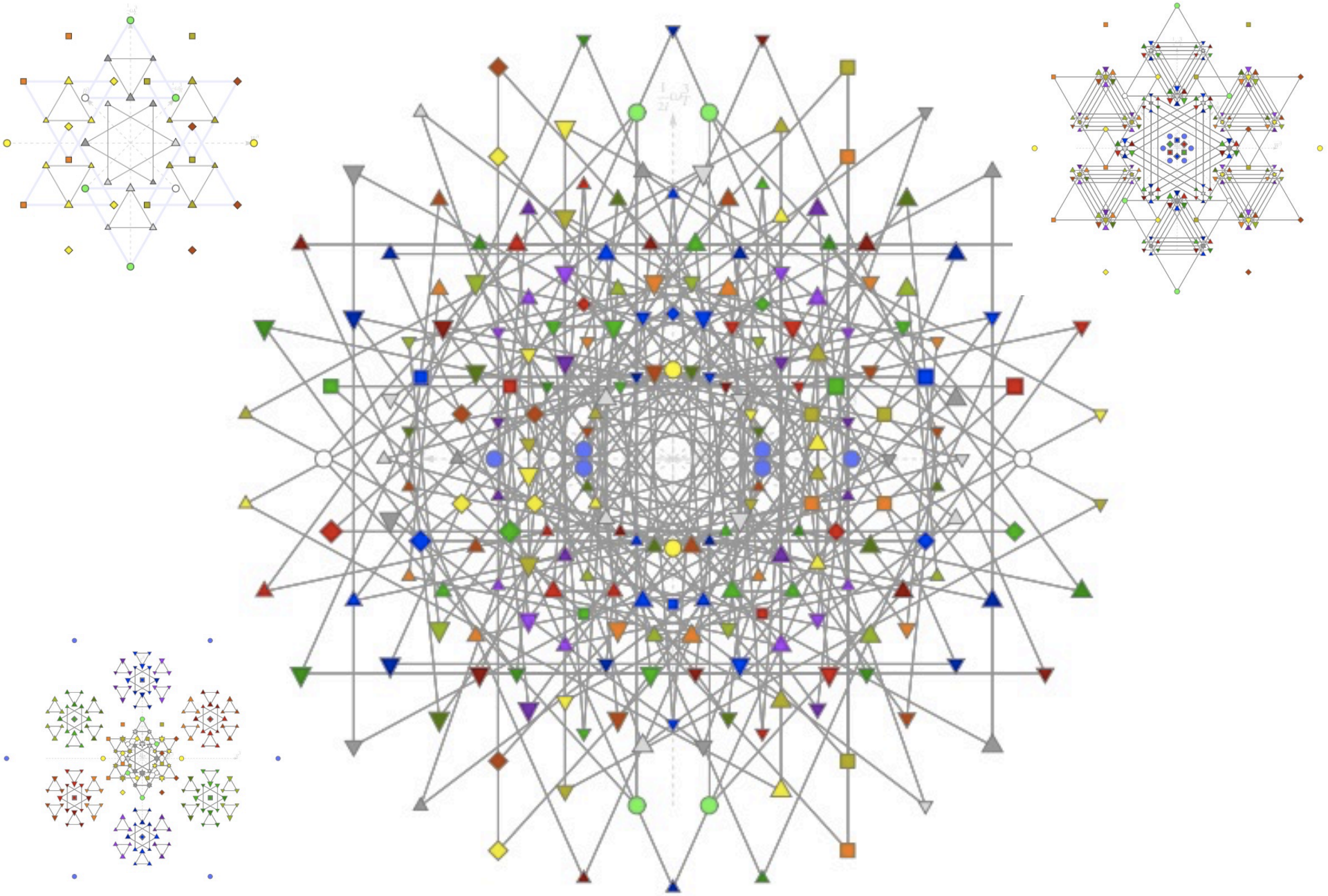
picture of the 248-dimensional Lie algebra of E_8



The Lie algebra E_8 is generated by 16 elements X_{red}, Y_{red}, X_{blue}, Y_{blue},…, X_{black}, Y_{black} corresponding to the nodes in the Dynkin diagram.

E_8 Root System





Garrett Lisi: An Exceptionally Simple Theory of Everything
https://goo.gl/bmfwxi

人工知能技術をどう捉えるか？

- 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。

Perceptron

Rosenblattのパーセプトロンは、現在のニューラル・ネットワークの最初の起原にあたる。日本の福島邦彦の仕事も、ニューラル・ネットワーク技術の発展に寄与した。

パーセプトロンの限界を指摘したのは、Minskyである。

1958年 Perceptron



1943年 Formal Neuron

A LOGICAL CALCULUS OF THE IDEAS IMMANENT IN NERVOUS ACTIVITY

WARREN S. MCCULLOCH AND WALTER PITTS

FROM THE UNIVERSITY OF ILLINOIS, COLLEGE OF MEDICINE,
DEPARTMENT OF PSYCHIATRY AT THE ILLINOIS NEUROPSYCHIATRIC INSTITUTE,
AND THE UNIVERSITY OF CHICAGO

Because of the "all-or-none" character of nervous activity, neural events and the relations among them can be treated by means of propositional logic. It is found that the behavior of every net can be described in these terms, with the addition of more complicated logical means for nets containing circles; and that for any logical expression satisfying certain conditions, one can find a net behaving in the fashion it describes. It is shown that many particular choices among possible neurophysiological assumptions are equivalent, in the sense that for every net behaving under one assumption, there exists another net which behaves under the other and gives the same results, although perhaps not in the same time. Various applications of the calculus are discussed.

- w：重みづけ（実数）
- x：入力信号（0 または 1）
- h：しきい値（実数）
- H：ヘヴィサイドの階段関数（出力は 0 または 1）

$$H(\sum_{i=1}^{N} w_i x_i - h)$$

AND

$$H(x_1 + x_2 - 1.5)$$

OR

$$H(x_1 + x_2 - 0.5)$$

NOT

$$H(-x_1 + 0.5)$$

二層で実現

XOR

$$H(x_1 + x_2 - 2H(x_1 + x_2 - 1.5) - 0.5)$$

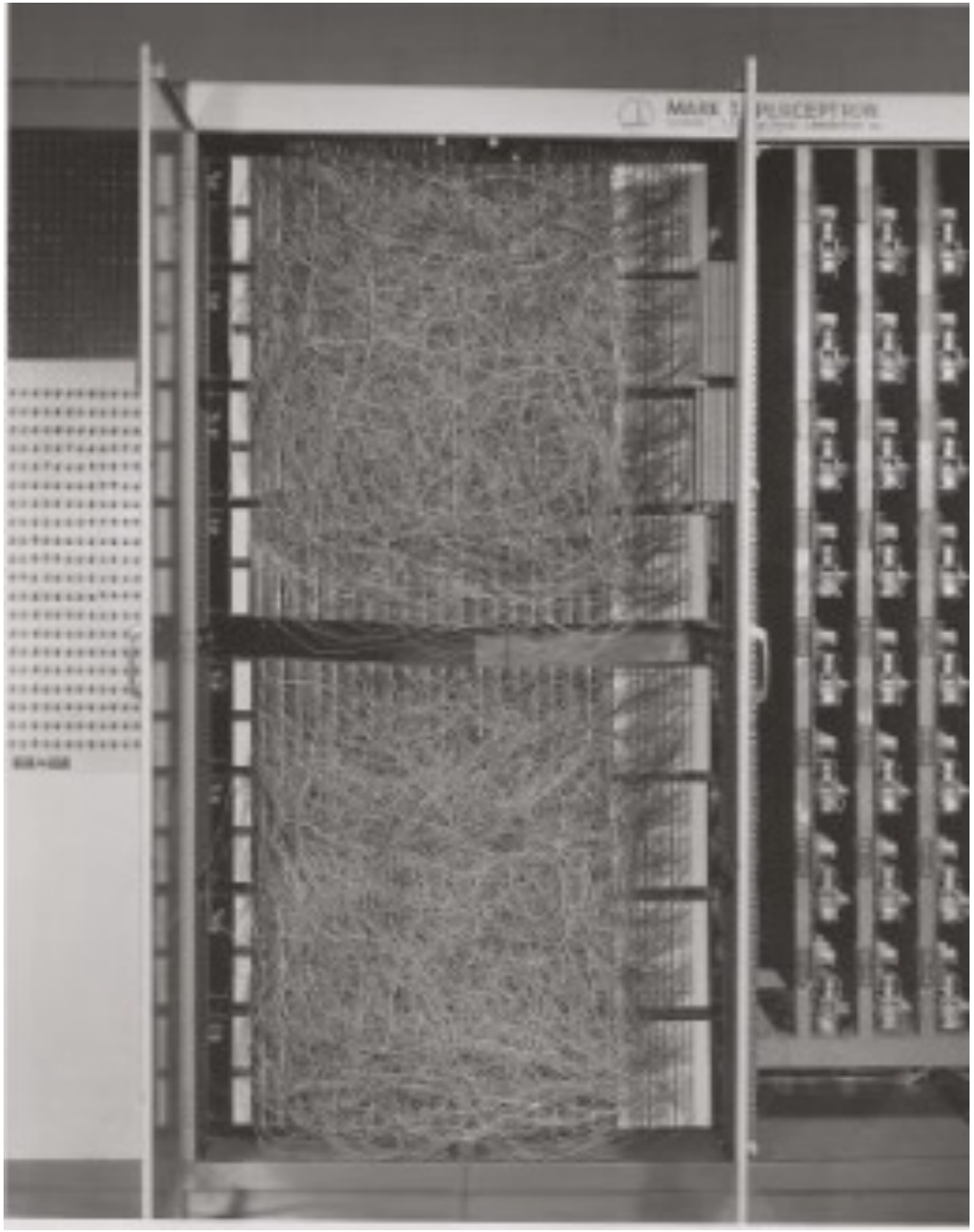
https://goo.gl/4GCkQn

“The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain” Rosenblatt, Frank (1958)

- 「ここに報告された理論は、認知システムの組織に対する定量的で統計的アプローチが、実現可能で実り多いことを明確に示している。パーセプトロンのようなシステムの研究によって、機械や人間を含む情報を扱うシステムの全てに共通する基本的な組織の法則性が最終的に理解されることが期待される。」

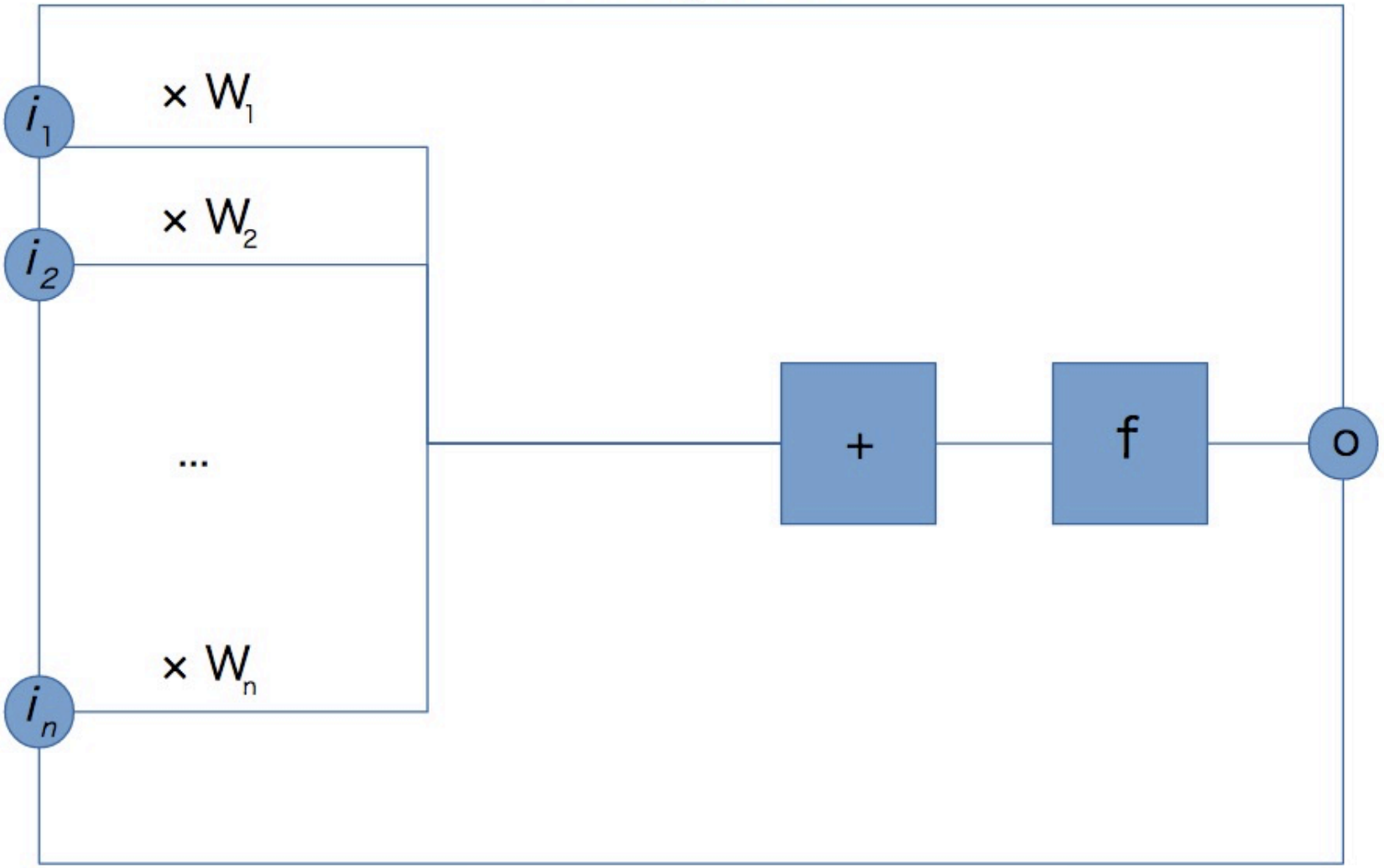
- 「視覚と脳の機能をモデル化したものであり、パターン認識を行う。シンプルなネットワークでありながら学習能力を持つ。1960年代に爆発的なニューラルネットブームを巻き起こしたが、1969年に人工知能学者マービン・ミンスキーらによって線形分離可能なものしか学習できないことが指摘されたことによって下火となった。」

https://goo.gl/ylS7sj



The Mark I Perceptron machine was the first implementation of the perceptron algorithm. The machine was connected to a camera that used 20×20 cadmium sulfide photocells to produce a 400-pixel image. The main visible feature is a patchboard that allowed experimentation with different combinations of input features. To the right of that are arrays of potentiometers that implemented the adaptive weights.[2]:213

Perceptron



$$o = f\left(\sum_{k=1}^{n} i_k \cdot W_k\right)$$

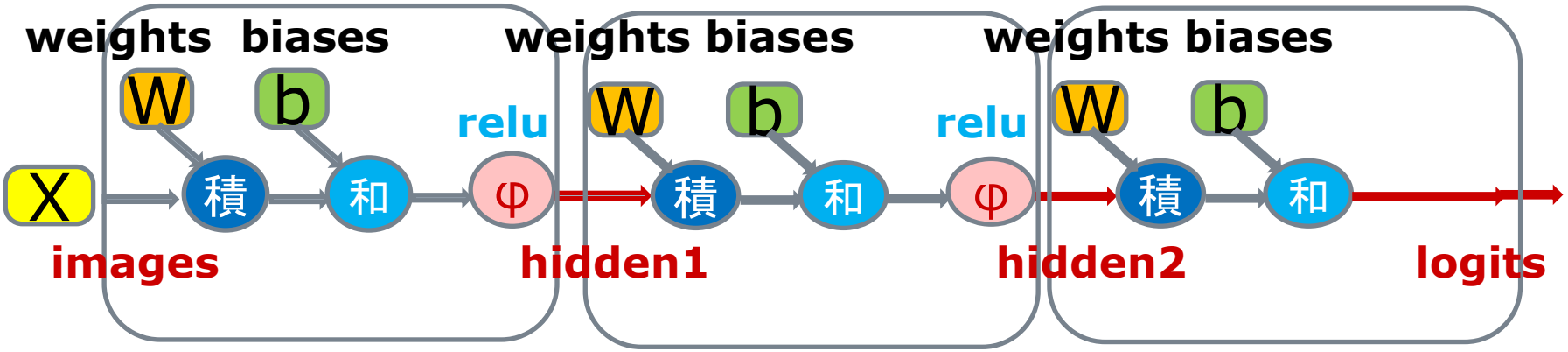
現在のMulti-Layer Perceptronの次のような構成と比較せよ。

入力層の
入力:
784
784次元

Hidden1層の
ニューロン数:128
重み W:
784x128次元
バイアス b:
128次元

Hidden 2層の
ニューロン数:32
重み W:
128x32次元
バイアス b:
32次元

Linear層の
ニューロン数:10
重み W:
32x10次元
バイアス b:
10次元



入力層　Hidden 1層　Hidden 2層　Linear層

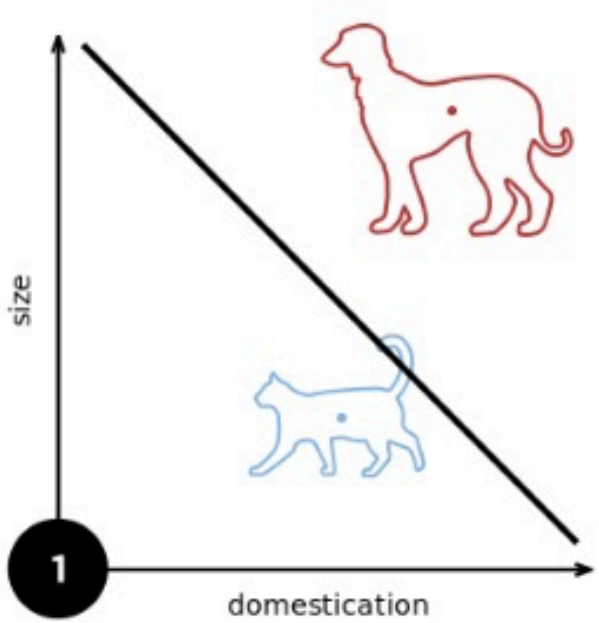
Minsky & Papert “Perceptron” 1969年

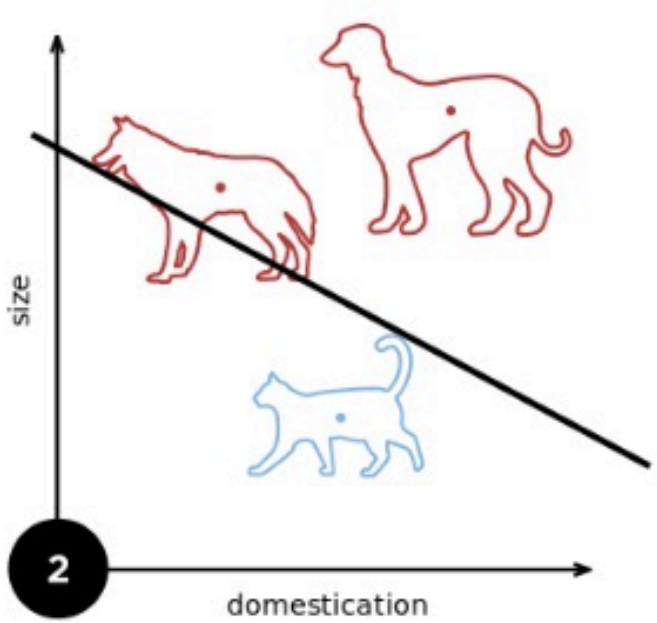
Single layer perceptrons are only capable of learning linearly separable patterns;

in 1969 a famous book entitled Perceptrons by Marvin Minsky and Seymour Papert showed that it was impossible for these classes of network to learn an XOR function. It is often believed that they also conjectured (incorrectly) that a similar result would hold for a multi-layer perceptron network. However, this is not true, as both Minsky and Papert already knew that multi-layer perceptrons were capable of producing an XOR function.

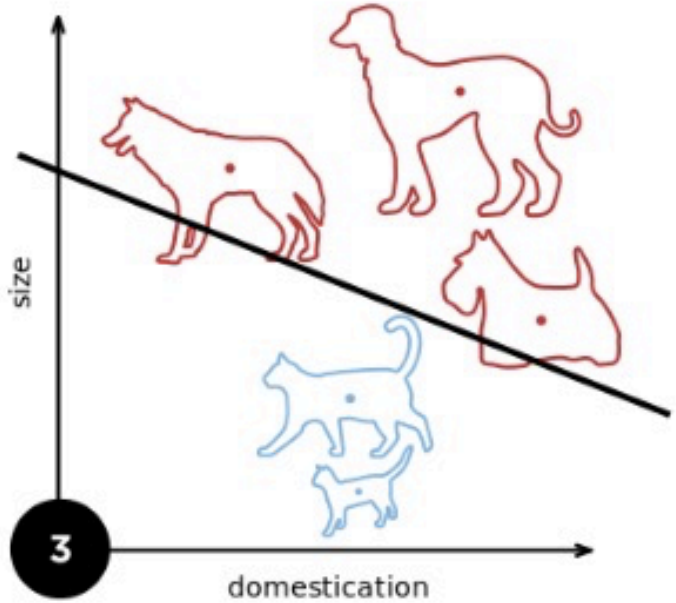
単一の層からなるパーセプトロンは、線形分離可能なパターンしか学習できない

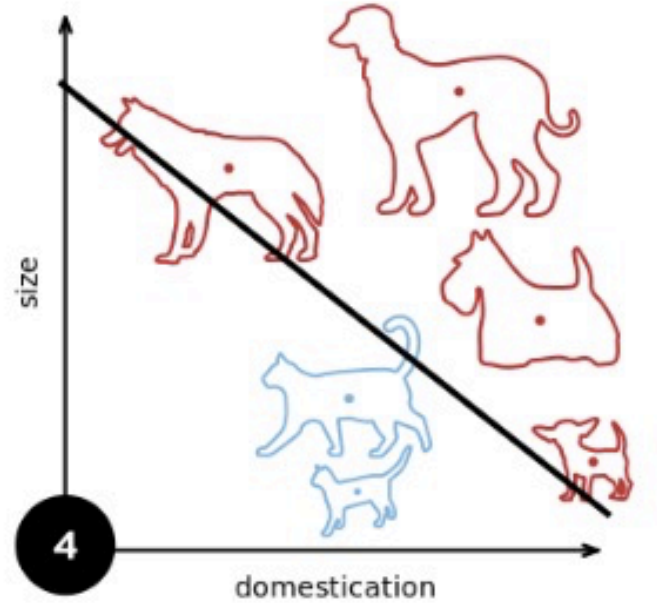
https://goo.gl/py6sNA





線形分離＝直線によって分離できるパターン





Cognitron: A Self-organizing Multilayered Neural Network

A new hypothesis for the organization of synapses between neurons is proposed: "The synapse from neuron *x* to neuron *y* is reinforced when *x* fires provided that no neuron in the vicinity of *y* is firing stronger than *y*". By introducing this hypothesis, a new algorithm with which a multilayered neural network is effectively organized can be deduced. A self-organizing multilayered neural network, which is named "cognitron", is constructed following this algorithm, and is simulated on a digital computer.



1975年

福島 邦彦

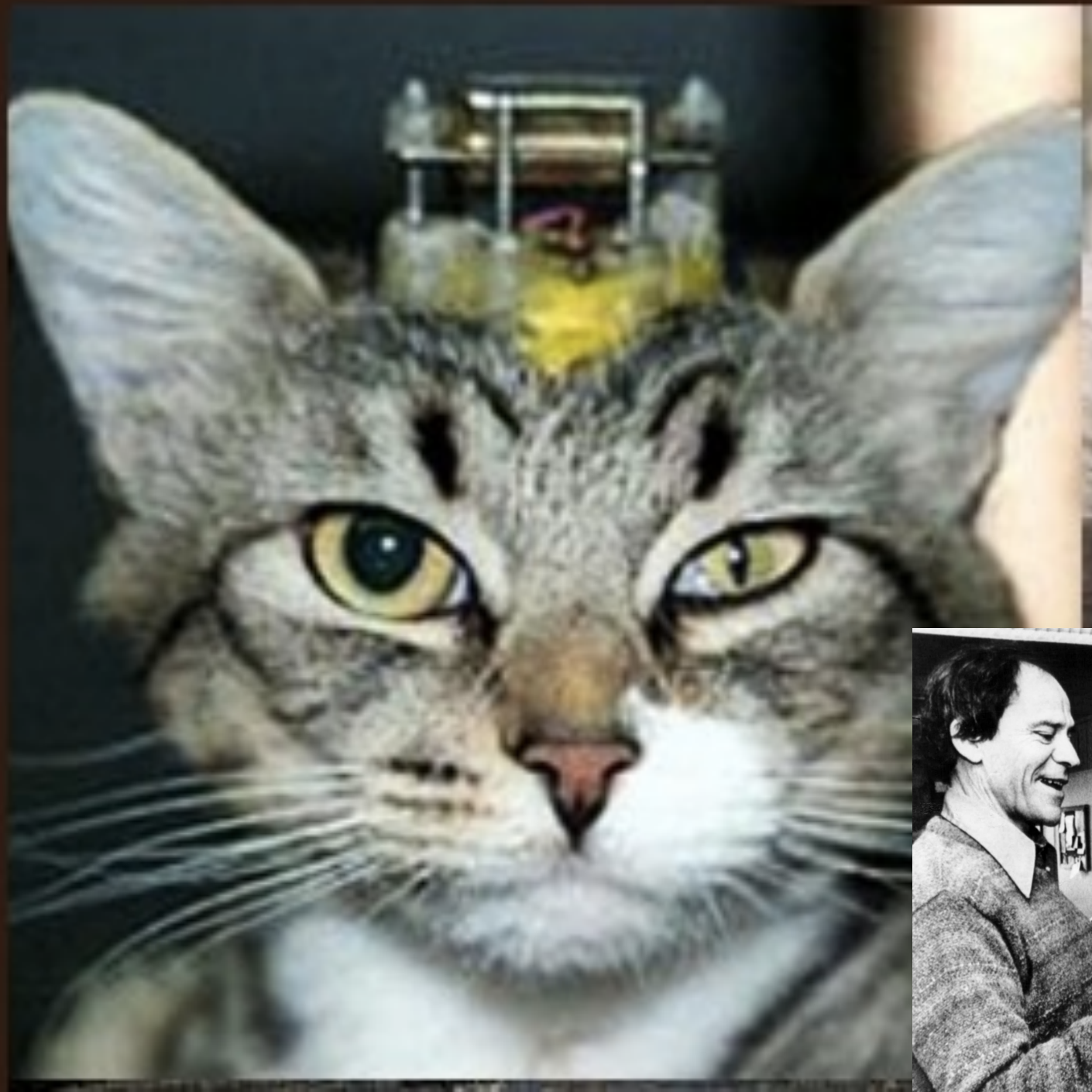
コグニトロン：自己組織化する多層のニューラルネット

Neocognitron: A Self-organizing Neural Network Model for a Mechanism of Pattern Recognition Unaffected by Shift in Position

A neural network model for a mechanism of visual pattern recognition is proposed in this paper. The network is self-organized by "learning without a teacher", and acquires an ability to recognize stimulus patterns based on the geometrical similarity (Gestalt) of their shapes without affected by their positions. This network is given a nickname "neocognitron". After completion of self-organization, the network has a structure similar to the hierarchy model of the visual nervous system proposed by Hubel and Wiesel.

ネオコグニトロン：位置の移動に影響を受けないゲシュタルトの認識が可能

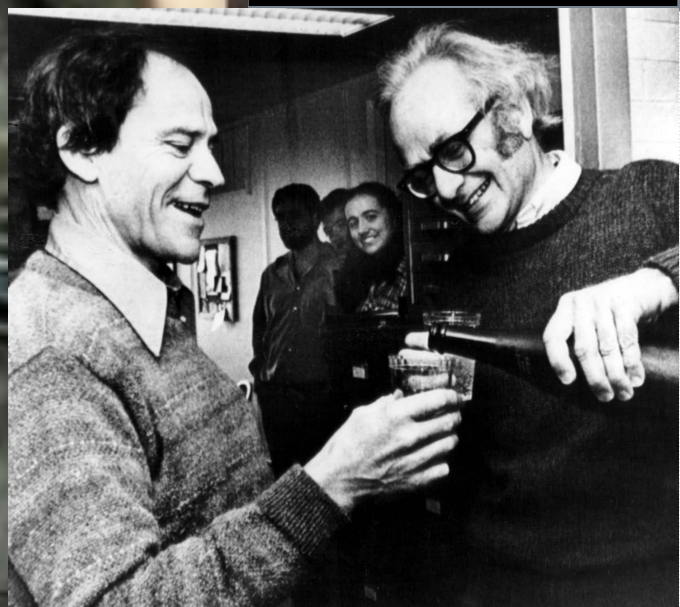
1980年 https://goo.gl/8L2fCM



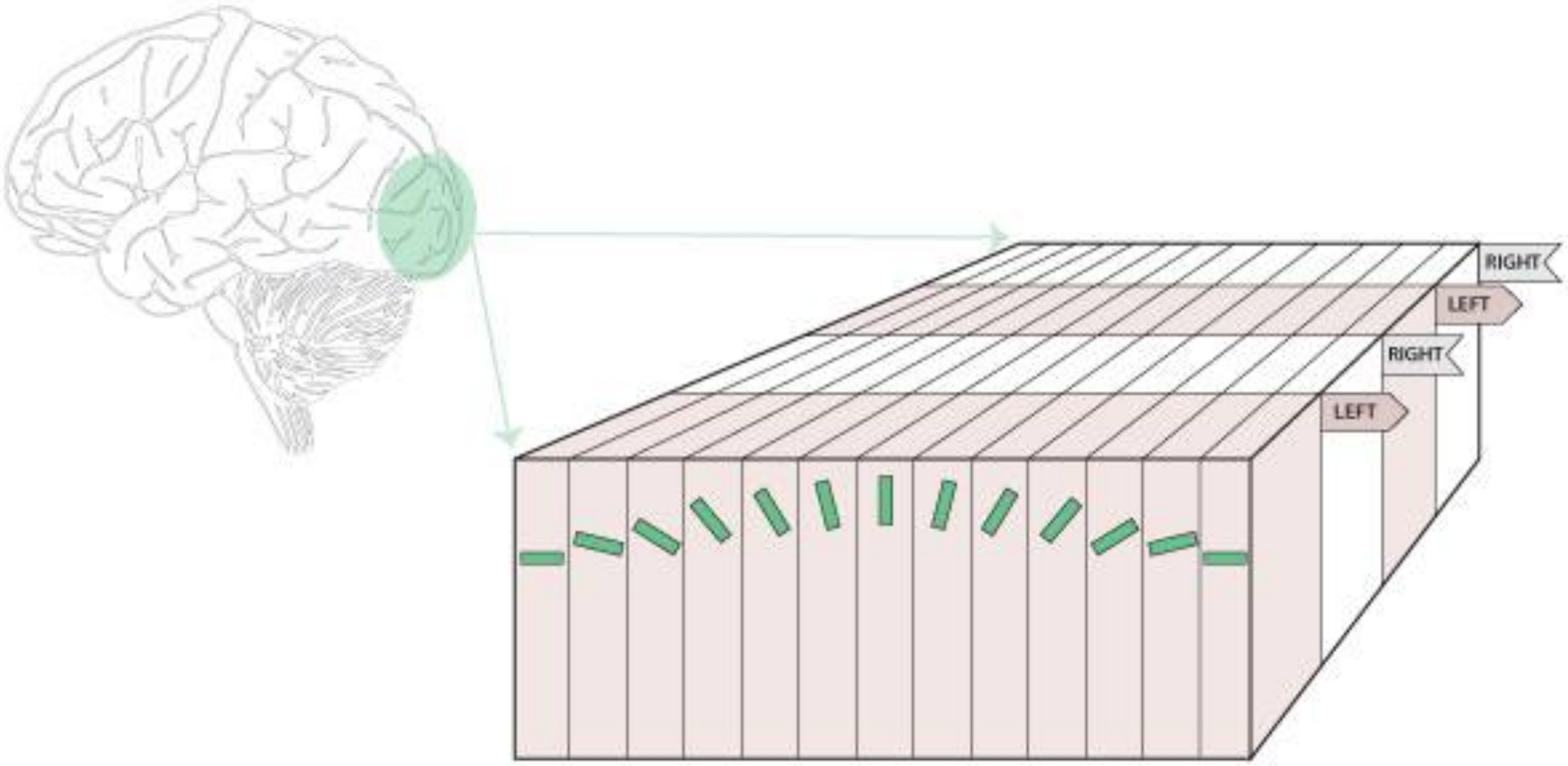
1959年

David H. Hubel

Torsten Wiesel



60年代から70年代にかけての、Hubel と Wieselの大脳視覚野の研究は、各方面に大きな影響を与えた。ニューラル・ネットワークの最初の研究も、こうした影響のもとで始まった。



Receptive Field of Single Neuron

A bit of history:

Hubel & Wiesel,

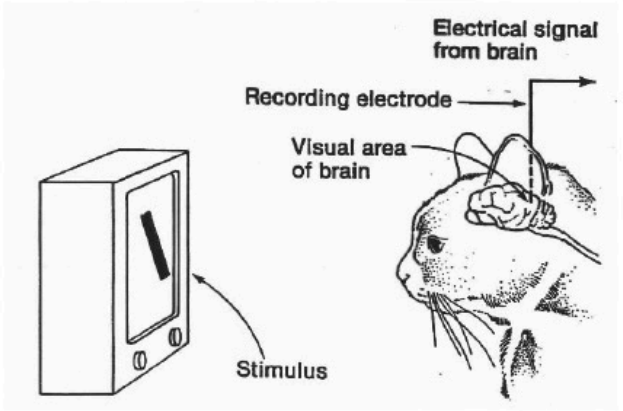
1959

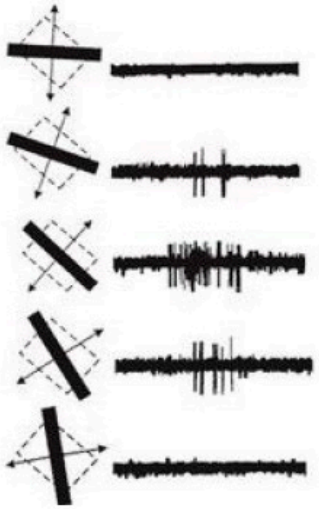
RECEPTIVE FIELDS OF SINGLE NEURONES IN THE CAT'S STRIATE CORTEX

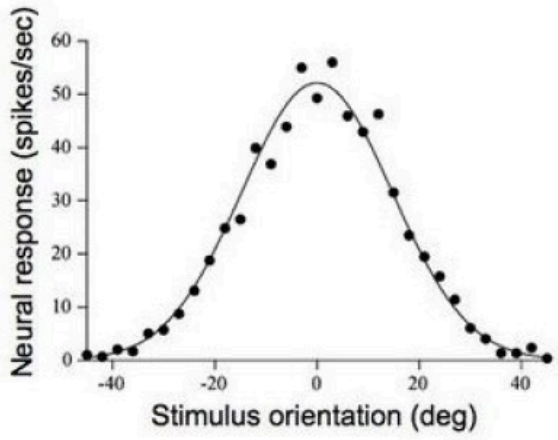
1962

RECEPTIVE FIELDS, BINOCULAR INTERACTION AND FUNCTIONAL ARCHITECTURE IN THE CAT'S VISUAL CORTEX

1968...

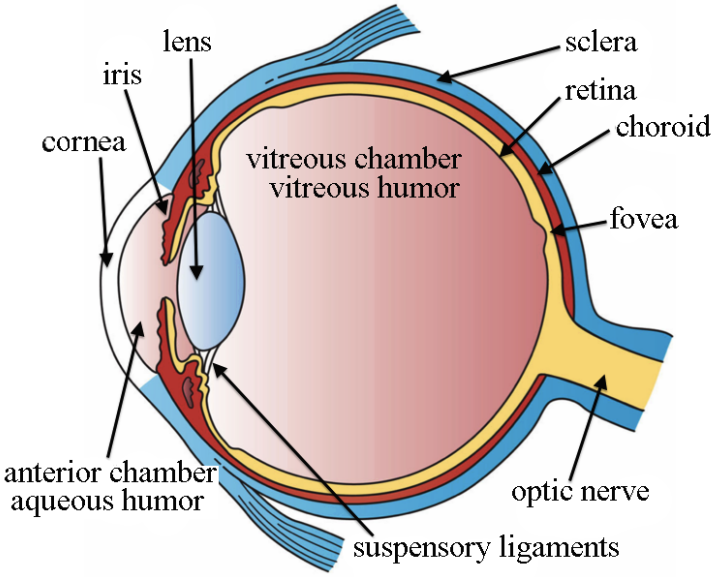


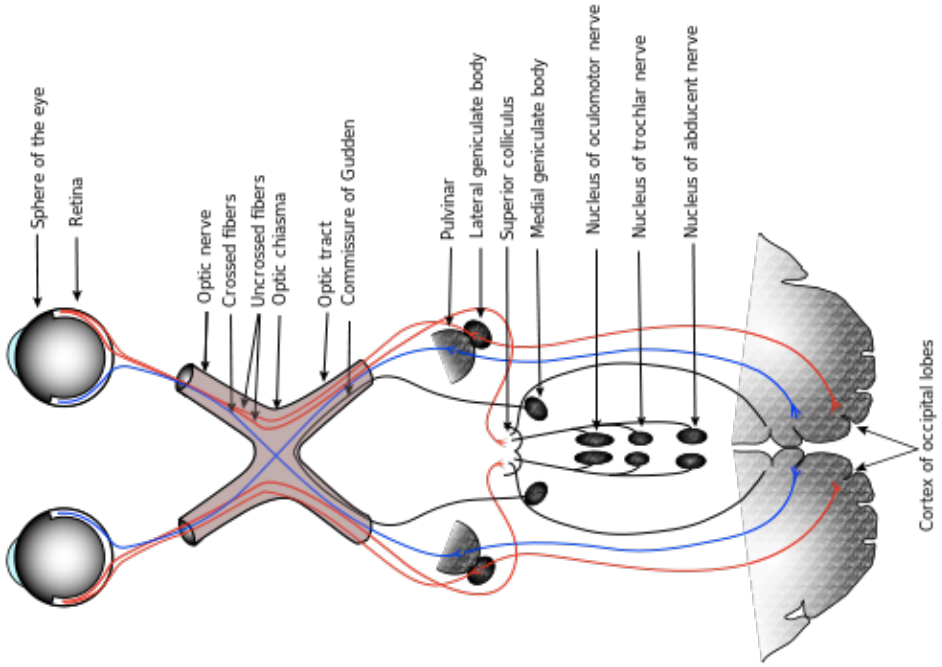




一つのニューロンの「受容野」

視野と大脳視覚野(V1)における、空間情報の正確なマッピング





一次視覚野 (V1)
ヒト成人の一次視覚野の平均ニューロン数はそれぞれの大脳半球につき、約1億4000万個ほどであると見積もられる。V1 は視覚における空間情報の明確なマップを持つ。視野と V1 における位置の対応は非常に正確で、盲点でさえも V1 でマップされている。この対応関係は進化的に基本的で、V1 をもつ殆どの動物において見られる。

https://goo.gl/nvV9Id

論理的推論の機械での実行

Simonが開発した自動証明のプログラムLogical Theoristは、命題論理において貧弱な証明能力しか持たなかったが、これらの問題を最終的に解決したのが、Robinsonである。

彼が開発した Resolution/Unificationの手法は、後の論理型言語のPrologやGHC、さらには証明支援システムであるCOQ・AGDA等の基礎となった。

1965年 Resolution Principal



Robinson, J. Alan (1965). "A Machine-Oriented Logic Based on the Resolution Principle".

The theory of the resolution process is presented in the form of a system of first-order logic with .just one inference principle (the resolution principle). The completeness of the system is proved; the simplest proof-procedure based oil the system is then the direct implementation of the proof of completeness. However, this procedure is quite inefficient, and the paper concludes with a discussion of several principles (called search principles) which are applicable to the design of efficient proof-procedures employing resolution as the basle logical process.

ただ一つの推論規則（resolution）による、一階の述語論理の記述

https://goo.gl/uCTmhc

Resolution Principle

$$\frac{L_1 \vee C_1' \qquad \neg L_1 \vee C_2'}{C_1' \vee C_2'}$$

Example

$$\frac{P \vee R \qquad \neg P \vee Q}{R \vee Q}$$

$$\frac{\neg P \vee Q \vee R \qquad \neg Q \vee S}{\neg P \vee R \vee S}$$

$$\frac{\dfrac{P \vee Q, \qquad \neg P \vee Q}{Q} \qquad \dfrac{P \vee \neg Q, \qquad \neg P \vee \neg Q}{\neg Q}}{\square}$$

https://goo.gl/CeHxBX

Unification

$$\frac{\Gamma_1 \cup \{L_1\} \quad \Gamma_2 \cup \{L_2\}}{(\Gamma_1 \cup \Gamma_2)\phi}\phi$$

Example

$$\dfrac{\dfrac{\dfrac{S(x) \vee R(x) \quad \neg R(a)}{S(a)}\,[x/a] \quad \neg S(x) \vee P(x)}{P(a)}\,[x/a] \quad \neg P(a)}{\square}$$

1. $\forall x\,((S(x) \vee T(x)) \rightarrow P(x))$,
2. $\forall x\,(S(x) \vee R(x))$,
3. $\neg R(a)$

の時、P(a)が成り立つことの証明。

人工知能に対する懐疑論

50年代末から60年代の初めにかけて優勢だった、人工知能の可能性についての楽観論は、成果をだせないまま影をひそめた。かわって、70年代には、人工知能についての懐疑論が広がった。

1970年代　懐疑論



石田晴久の全否定

「しかし六十年代を通しての研究経過を見てみると、計算機は、人間の頭脳労働のある局面を代行することはできるものの、結局、考えることは以来ない機械であり、将来ともに考える機械の実現はほとんど絶望的なことがはっきりしたと恩われるのである。」

「さて、常識的な意味で、計算機が”考える機械”でないことははっきりした。これは人類にとって祝福すぺきことであろう。外国語の翻訳をしたり、話しことぱを聞きわけたりする機械の出現もほとんど絶望的である。」

石田晴久「人工知能研究の批判」
東大理学部憎報科学研究施設編「思考過程と憎報科学」所収
p196 産業図書(1972)

ホフスタッターの皮肉:「テスラーの定理」

「ひとたぴ、ある精神的な機能がプログラムされると、人々は、すぐにそれが『実際の思考』の本質的な要素の一つであるとは考えなくなる。知能の不可欠の中核は、つねに、未だプログラムされた事のない、この次のプログラムの中にあるのである。この『定理』は、ラリー・テスラーによって最初に提案されたので、私はこれを、『テスラーの定理』と 呼ぶ。すなわち、『人工知能とは、いまだなされていない事すべてである』と。」

Douglas Hofstadter "*Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*" *1979年*

Minsky Frame理論

Frameとは、「知識表現のフレームワーク」のこと。

知識は、空きスロットを持つネットワーク状のデータ構造を持つとされ、状況・領域に応じて、異なるフレームが利用される。

取り上げている領域は、視覚・言語・学習・記憶・コントロール・空間的想像と幅広い。20世紀の人工知能技術の大きな流れである、ルール・ベースのアプローチの源流となる。

1974年　Frame理論



Marvin Minsky “A Framework for Representing Knowledge” 1974年

- 我々は、新しい状況に遭遇したとき（あるいは、現在の問題の見解を大きく変えるとき）、記憶からフレームという構造を選択する。これは、必要に応じて詳細を変更することによって現実に合うように適応された、思い出されたフレームワークである。
- フレームとは、居間にいるとか、子供の誕生日パーティーに行くなどのステレオタイプの状況を表すためのデータ構造である。各フレームには、いくつかの種類の情報が添付されている。この情報の一部は、フレームの使用方法に関するものである。そのいくつかは、次に起こることが期待できることについての情報である。これらの期待が確認されなかった場合の対処方法の情報もある。

https://goo.gl/9tsXr

- フレームは、ノードと関係のネットワークと考えることができる。フレームの「トップレベル」は固定されており、想定される状況について常に真であるものを表す。下位レベルには、特定のインスタンスまたはデータで埋められなければならない多くの終端「スロット」がある。
- 関連するフレームの集まりは、一緒に、フレーム・システムにリンクされる。重要なアクションの影響は、システムのフレーム間の変換に反映される。これらは、特定の種類の計算を経済的に行い、強調と注意の変化を表現し、「イメージ」の有効性を説明するために使用される。

https://goo.gl/9tsXr

“A Framework for Representing Knowledge” の構成

1 LOCAL AND GLOBAL THEORIES FOR VISION

2 LANGUAGE, UNDERSTANDING, AND SCENARIOS

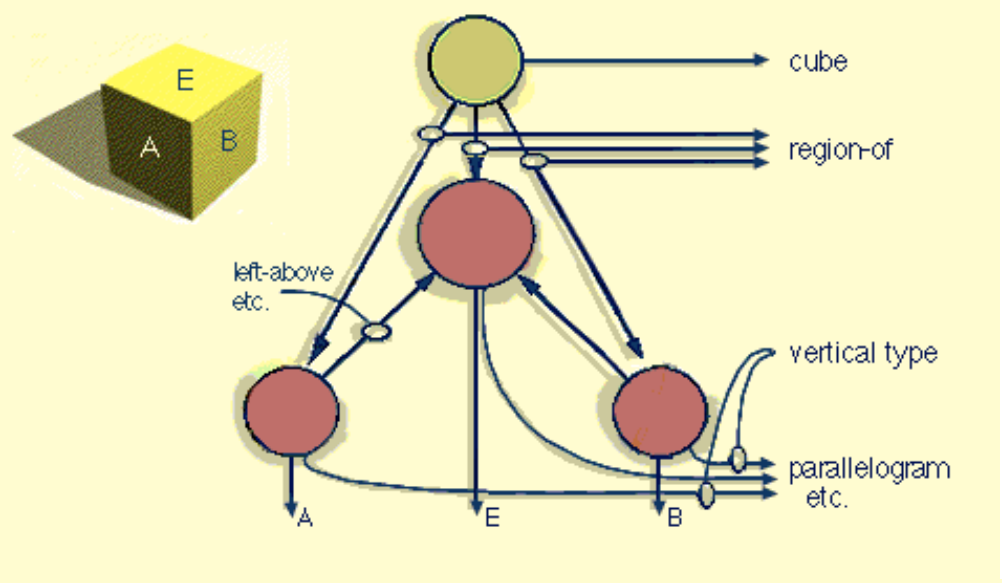
3 LEARNING, MEMORY, AND PARADIGMS

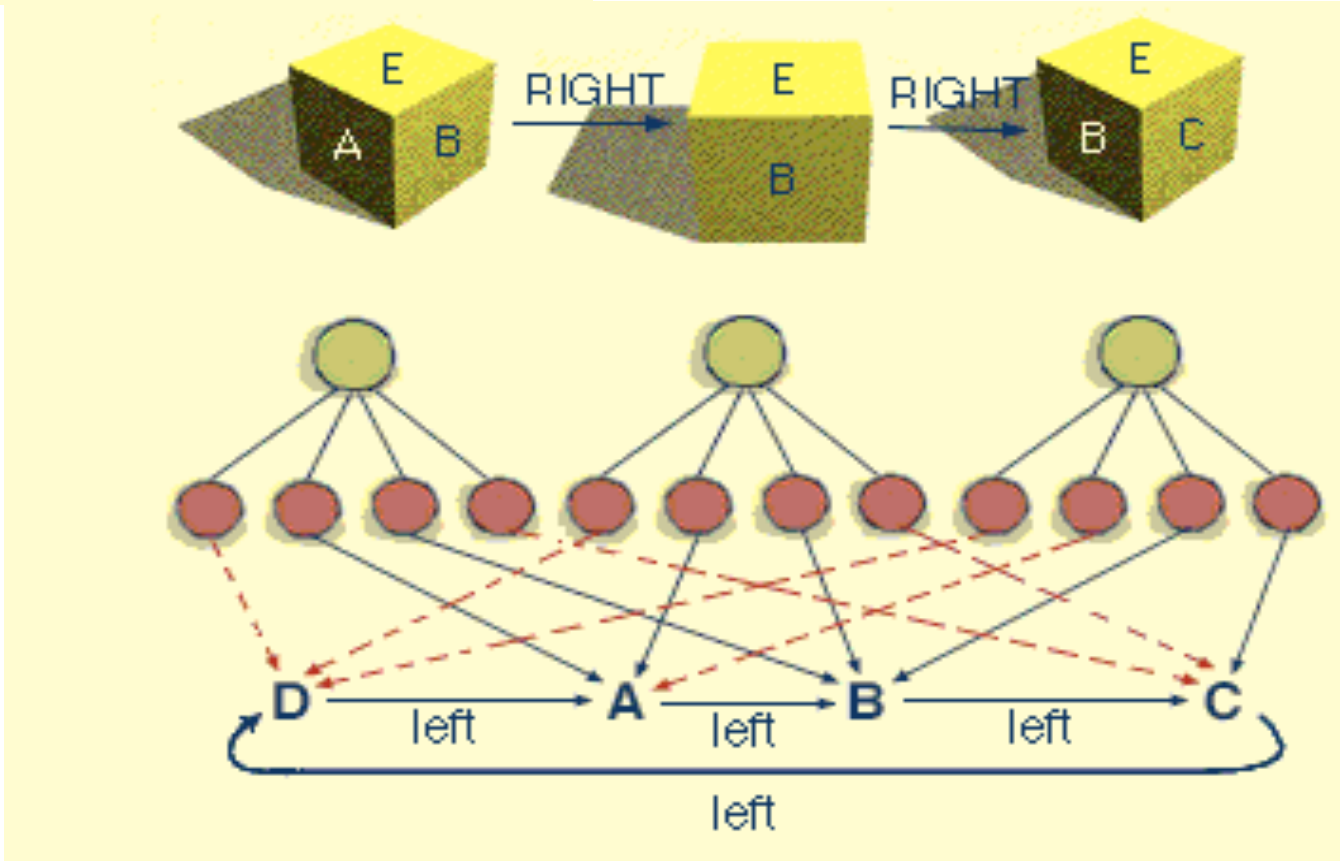
4 CONTROL

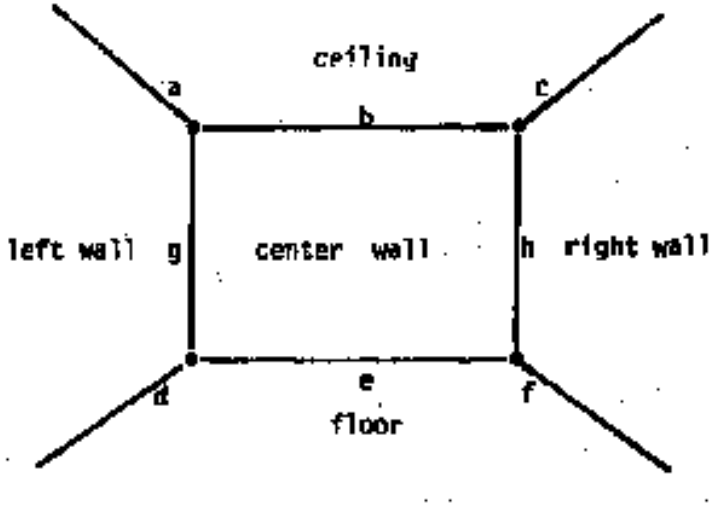
5 SPATIAL IMAGERY

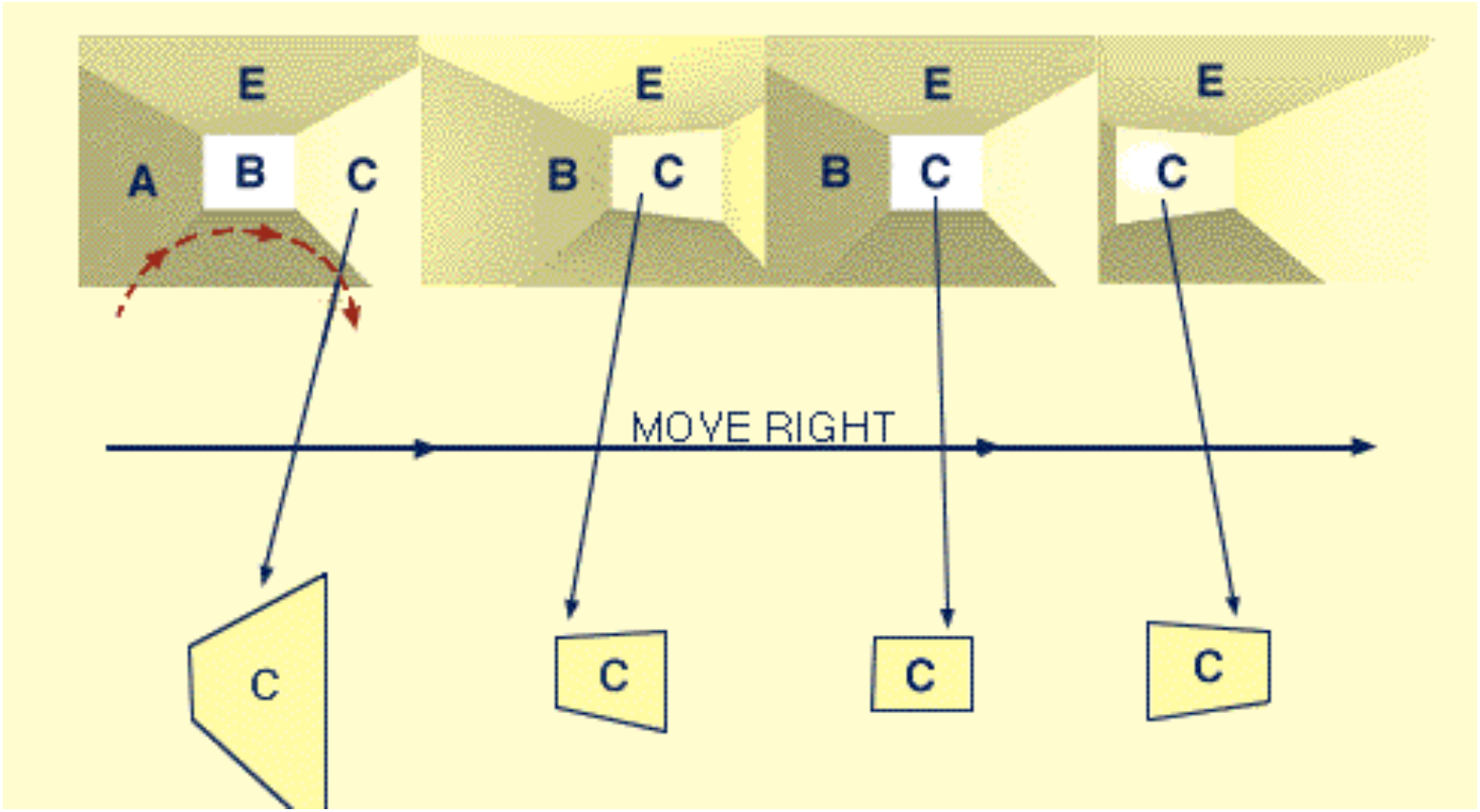
6 Criticism of the Logistic Approach

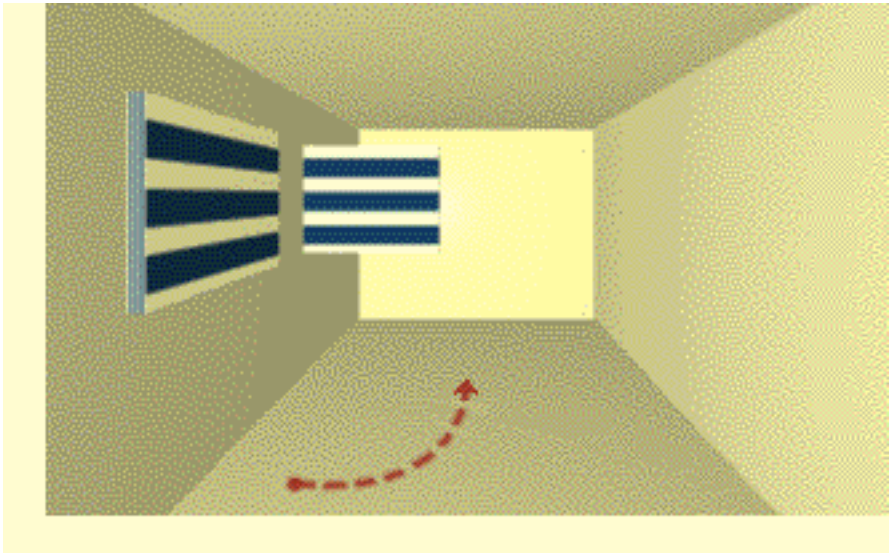
非常に広範な話題を扱っていて、かつ、それぞれのドメインで取り上げられる認識の特徴は、どれもとても興味ふかい。ただ、それらから抽出されたFrameという抽象化は、あまりにも一般的だと思う。現在のネットワーク知識表現の「主流」である、Entity Modelは、そうした抽象化をさらに進めている。

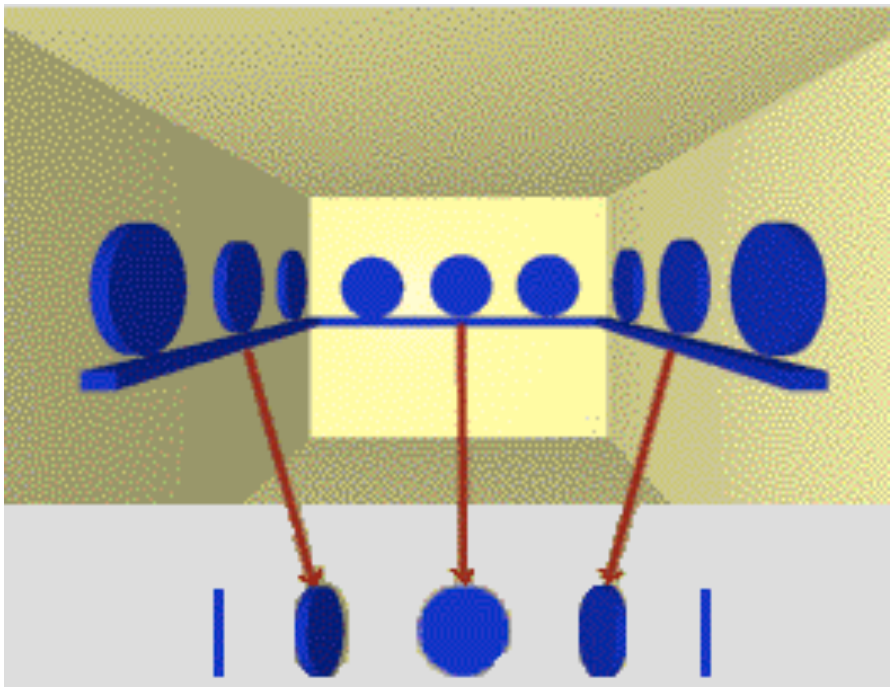

E
A
B
cube
region-of
left-above
etc.
vertical type
parallelogram
etc.
A
E
B


E
A
B
RIGHT
E
B
RIGHT
E
B
C
D
left
A
left
B
left
C
left


ceiling
a
b
c
left wall
g
center wall
h
right wall
d
e
f
floor


E
A
B
C
E
B
C
E
B
C
E
C
MOVE RIGHT
C
C
C
C





A theory of seeing should also be a theory of imagining.

Criticism of the Logistic Approach

I here explain why I think that more "logical" approaches will not work. There have been serious attempts, from as far back as Aristotle, to represent common sense reasoning by a "logistic" system–that is, one that makes a complete separation between

(1) "Propositions" that embody specific information, a
(2) "Syllogisms" or general laws of proper inference.

Expert System?

No one has been able successfully to confront such a system with a realistically large set of propositions. I think such attempts will continue to fail, because of the character of logistic in general rather than from defects of particular formalisms.

論理的推論ベースのアプローチは、うまく働かない！

Expert System

ユーザー・インターフェースを備えた、知識ベースと推論エンジンの組み合わせで、専門家の知識を再現しようという試み。

20世紀で、ある意味、最も成功・普及した人工知能技術。

ルール・ベース。これらの取り組みの中で、Prologは生まれた。日本の「第五世代コンピュータ」も、こうしたシステム構成をとる。

Expert System

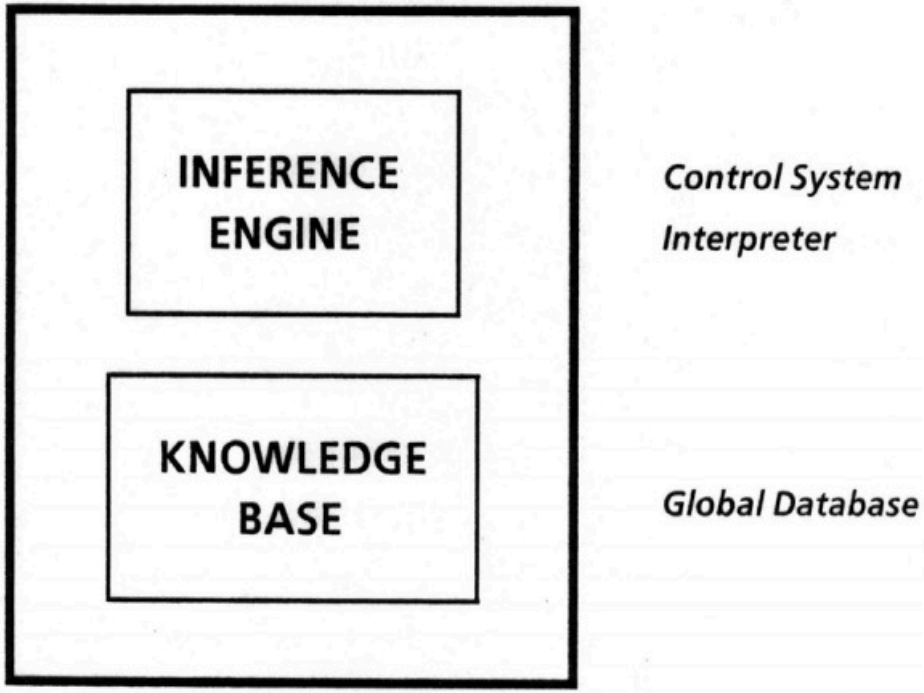


Edward Feigenbaum

Expert System

- 1970年代に始まり、1980年代には商業利用が盛んに行われる。専門家の意思決定能力を、知識ベースに基づいてルールベースの推論エンジンでエミュレートしようとするシステム。人工知能のソフトウェアで、最初に成功を収めた。

- Knowledge Based System Architecture
  - 推論エンジン
  - 知識ベース



Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project

Artificial intelligence, or AI, is largely an experimental science—at least as much progress has been made by building and analyzing programs as by examining theoretical questions. MYCIN is one of several well-known programs that embody some intelligence and provide data on the extent to which intelligent behavior can be programmed. As with other AI programs, its development was slow and not always in a forward direction. But we feel we learned some useful lessons in the course of nearly a decade of work on MYCIN and related programs.

Expert Systemの代表例 MYCINの紹介

http://www.aaaipress.org/Classic/Buchanan/buchanan.html

Expert System **MYCIN**

1) Patient's name: (first-last)
** C.R.
2) Sex:
** MALE
3) Age:
** 52
4) Have you been able to obtain positive microbiological information about a possible infection of C.R.?
** YES

--------INFECTION-1--------

5) What is the infection?
** ENDARTERITIS 動脈内膜炎

The first significant organism from this blood culture (CULTURE-1) will be referred to as: 培養

--------ORGANISM-1--------

9) Enter the identity of ORGANISM-1:
** UNKNOWN
10) Is ORGANISM-1 a rod or coccus (etc.)?:
** ROD 桿菌 球菌
11) The gram stain of ORGANISM-1: グラム染色
** GRAMNEG
12) Have there been POSITIVE cultures yielding organisms about which you will NOT be seeking advice?
** YES

14) Is the patient's illness with ORGANISM-1
a hospital-acquired infection?
** WHY

[i.e., WHY is it important to determine whether or not the infection with ORGANISM-1 was acquired while the patient was hospitalized?]

[2.0] This will aid in determining the identity of ORGANISM-1. It has already been established that
[2.1] the morphology of ORGANISM-1 is rod
[2.2] the gram stain of ORGANISM-1 is gramneg
[2.3] the aerobicity of ORGANISM-1 is facul

好気性

Therefore, if
[2.4] the infection with ORGANISM-1 was acquired while the patient was hospitalized

then
there is weakly suggestive evidence (.2) that the identity of ORGANISM-1 is pseudomonas
[RULE050]

15) Enter the identity of ORGANISM-2:
** SALMONELLA (.4) E.COLI (.3)

INFECTION-1 is ENDARTERITIS with BACTEREMIA

<item 1> E.COLI [ORGANISM-1]
<item 2> SALMONELLA (species unknown) [ORGANISM-1]
<item 3> KLEBSIELLA-PNEUMONIAE [ORGANISM-1]
<item 4> PSEUDOMONAS-AERUGINOSA [ORGANISM-1]
<item 5> ENTEROBACTER [ORGANISM-1]
<item 6> PROTEUS-NON-MIRABILIS [ORGANISM-1]

[Rec 1] My preferred therapy recommendation is as follows:

In order to cover for Items <1 3 4 5 6>:

Give: GENTAMICIN

Dose: 128 mg (1.7mg/kg) q8h IV (or IM) for 10 days

Comments: Modify dose in renal failure

In order to cover for Item <2>:

Give: CHLORAMPHENICOL

Dose: 563 mg (7.5 mg/kg) q6h for 14 days

Comments: Monitor patient's white count

Do you wish to see the next choice therapy?

** NO

Rule 27:

If 1) the gram stain of the organism is gram negative, and
2) the morphology of the organism is rod, and
3) the aerobicity of the organism is anaerobic,

Then: There is suggestive evidence (7) that the identity of the organism is Bacteroides

** WHAT WAS THE IDENTITY OF ORGAISM-1 ?
= ORGANISM-1
The identity of ORGANISM-1 is e.coli (.51), salmonella (.45), klebsiella (.4), pseudomonas (.22), enterobacter (.21), proteus (.19), pseudomonas-aeruginosa (.08), serratia (.02)

** HOW DID YOU DECIDE THAT ORGANISM-1 WAS AN E.COLI?

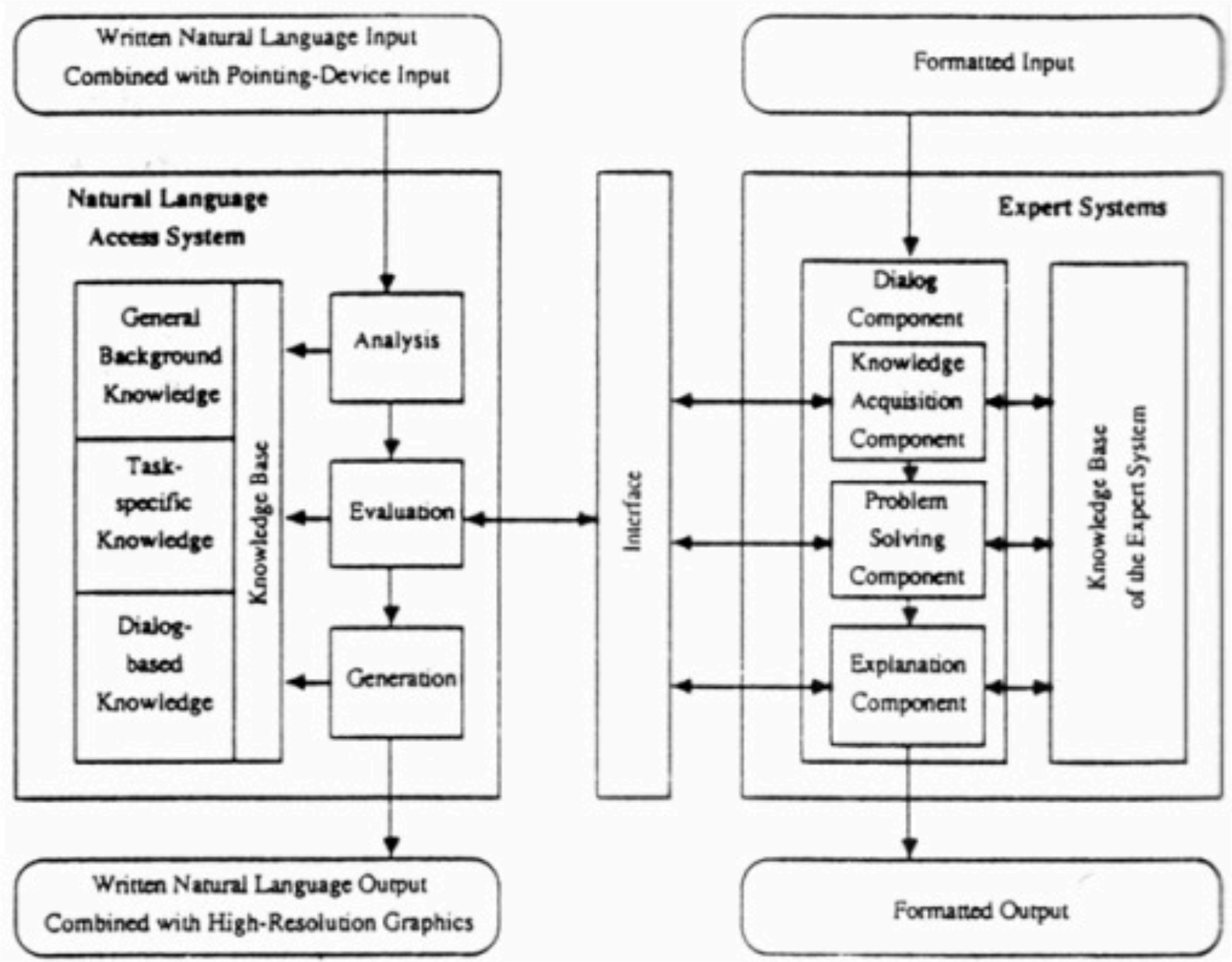
I used rule084 to conclude that the identity of ORGANISM-1 is e.coli. This gave a cumulative c.f. of (.51).
I used rule003 to conclude that the identity of ORGANISM-1 is e.coli. This gave a cumulative c.f. of (.43).

** WHY DIDN'T YOU THINK THAT ORGANISM-1 WAS NEISSERIA?

The following rules could have been used to determine that the identity of ORGANISM-1 is neisseria: 9
However, none of these succeeded in the context of ORGANISM-1. If you would like an explanation for why any of these rules failed, please enter their numbers:
** 9

Clause 2 of rule009 ["the morphology of the organism is coccus"] was already known to be false for ORGANISM-1, so the rule was never tried.

Expert Systemでの自然言語インターフェースの構想



https://goo.gl/HEpYZD

Expert Systemでの自然言語インターフェースの構想

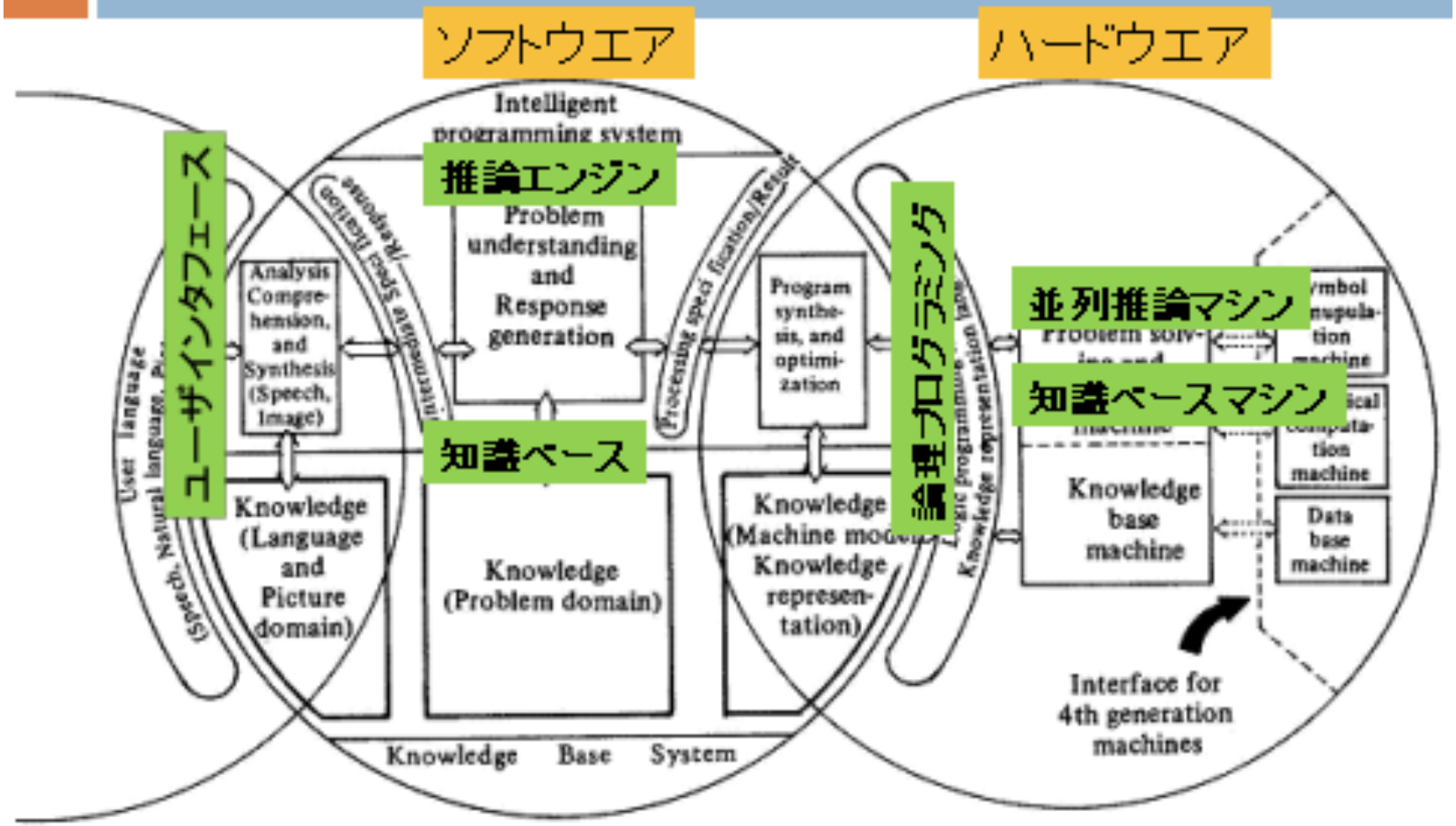
Lexical Knowledge	Syntactic Knowledge
-word lexicon -morphological data -spelling correction data	-phrasal lexicon -analysis grammar -generation grammar
Semantic Knowledge	**Discourse Knowledge**
-case-frame lexicon -terminological / conceptual net -referential / assertional net	-user model -justification net / inference memory -text / dialog memory
Inferential Knowledge	
-inference rules -meta-inference rules -dialog rules	

https://goo.gl/HEpYZD

1982年　第五世代コンピュータ

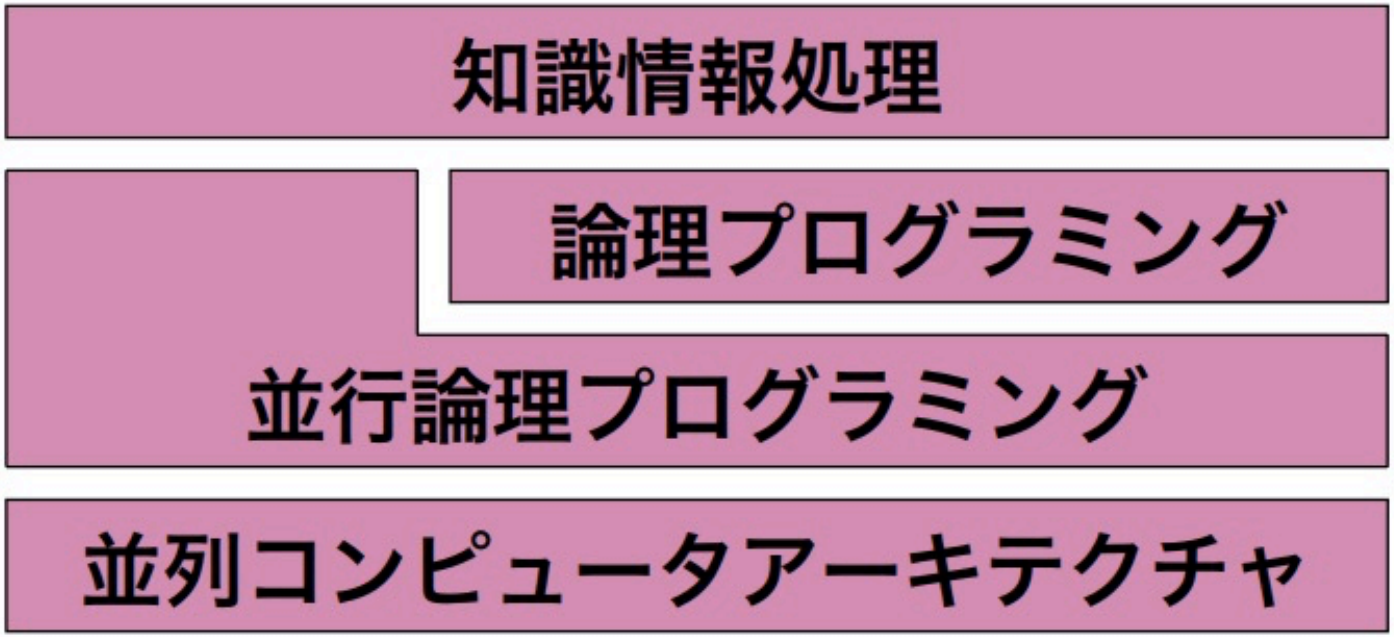


第五世代コンピュータの概念図



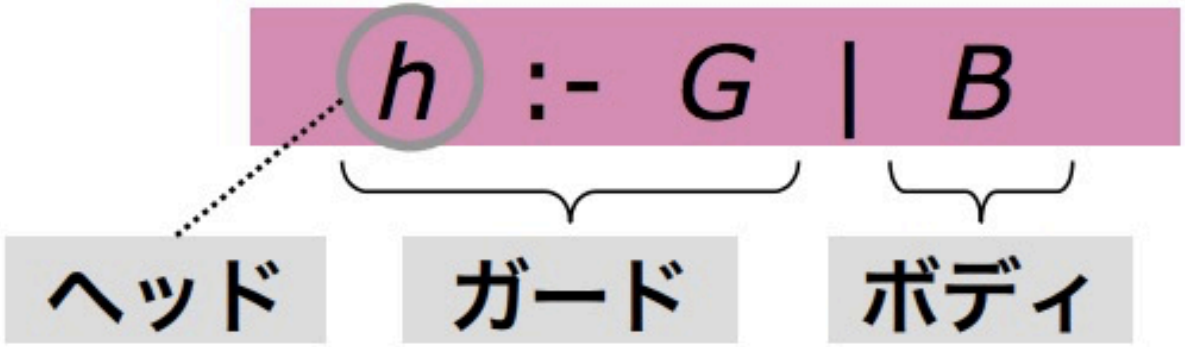
https://goo.gl/8QkMUf

- 第五世代コンピュータプロジェクト（1982～1993）
  - 結果（cf. Comm. ACM, March 1993）



上田 和紀「並行論理プログラミング言語 GHC / KL1」
https://goo.gl/EiWGdl

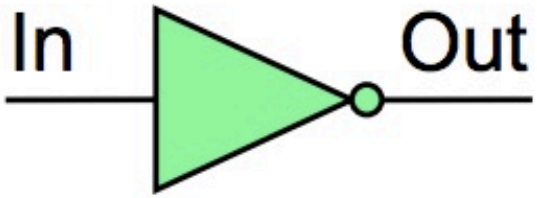
GHC の構文



- *h* : 原子論理式
  - 書き換えるゴールのテンプレート
- *G*, *B* : 原子論理式（ゴール）のマルチ集合
  - *G* : 書換えのための条件
  - *B* : 書換え後のゴールのマルチ集合
  - 空のマルチ集合は true と表記

Guarded Horn Clauses
プログラミング・サンプル

```
not(In,Out) :- In=0 | Out=1.
not(In,Out) :- In=1 | Out=0.
```

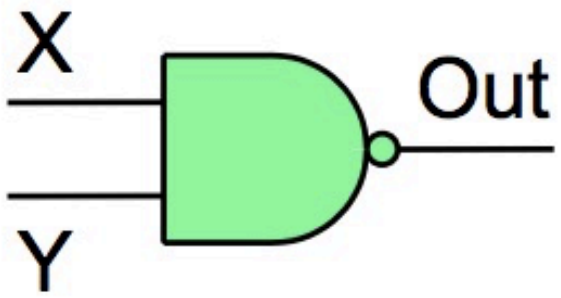


Or more concisely:

```
not(0,Out) :- true | Out=1.
not(1,Out) :- true | Out=0.
```

One-Shot NAND Gate

```
nand(0,Y,Out) :- true | Out=1.
nand(X,0,Out) :- true | Out=1.
nand(1,1,Out) :- true | Out=0.
```



Which rule will be selected if both X and Y are 0?

リスト処理 — append

```
:- module main.
main :- true | append([1,2,3],[4,5],X).
append([],     Y,Z  ) :- true | Y=Z.
append([A|X],Y,Z0) :- true |
          Z0=[A|Z], append(X,Y,Z).
```

cf. Prolog

```
append([],     Y,Y  ).
append([A|X],Y,[A|Z]) :- append(X,Y,Z).
```

リスト処理 — length

プログラム１

```
length([],      N) :- true | N:=0.
length([_|L0],N) :- true |
        length(L0,N0), N:=N0+1.
```

プログラム２（末尾再帰形）

```
length(L,N) :- true | length(L,0,N).
length([],      N0,N) :- true | N:=N0.
length([_|L0],N0,N) :- true |
        N1:=N0+1, length(L0,N1,N).
```

「第五世代コンピュータ・プロジェクト 最終評価報告書」1992年

- 第五世代コンピュータ・プロジェクトは、国際貢献を果たしつつ技術先進国として発展 するという我が国の政策のもとに、昭和 57年度(1982年)にスタートした。 このような背景から、プロジェクト開始にあたっては、世界を視野にいれた国家プロジ ェクトのあり方の議論を行い、国際的にみても創造的・先駆的な技術という意味を込めて「第五世代コンピュータ」と名付けた。そして、その技術目標を「知識情報処理を指向し た新しいコンピュータ技術の研究開発」と定め、技術目標に含まれる多くの要素技術の実 証・評価を行う必要性から、並列推論型コンピュータのプロトタイプ・システムの試作に その中心を置き、推進母体として財団法人新世代コンピュータ技術開発機構(ICOT)を設立 した。昭和 57 年度に研究開発を開始した本プロジェクトも、11 年間で約 540 億を投じ、 平成 4 年度をもって終了することとなった。

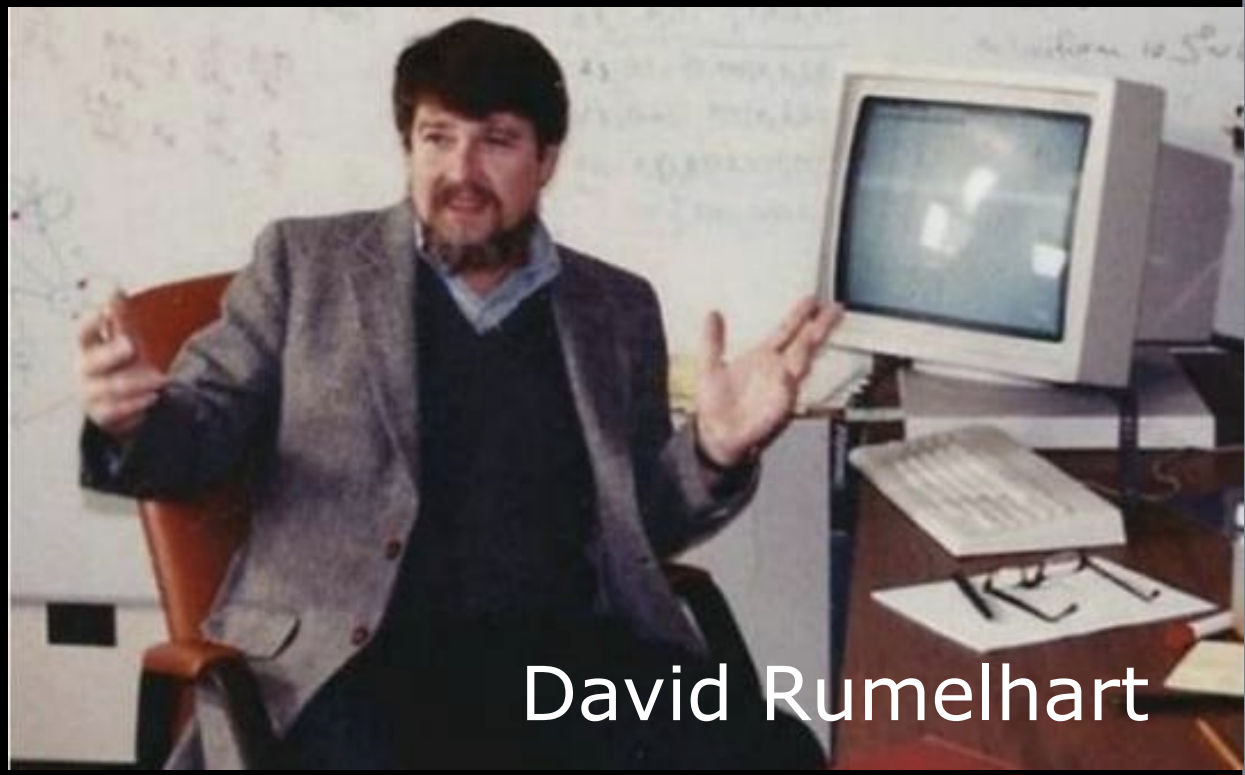
https://goo.gl/Zmh1iu

PDP/Connectionism

PDPは、Parallel Distributed Processing、すなわち並列分散処理。ただし、それはコンピュータではなく、人間の脳内の処理がそうなっているということ。コンピュータの世界での並列分散処理は、21世紀の初め頃から本格的に始まる。

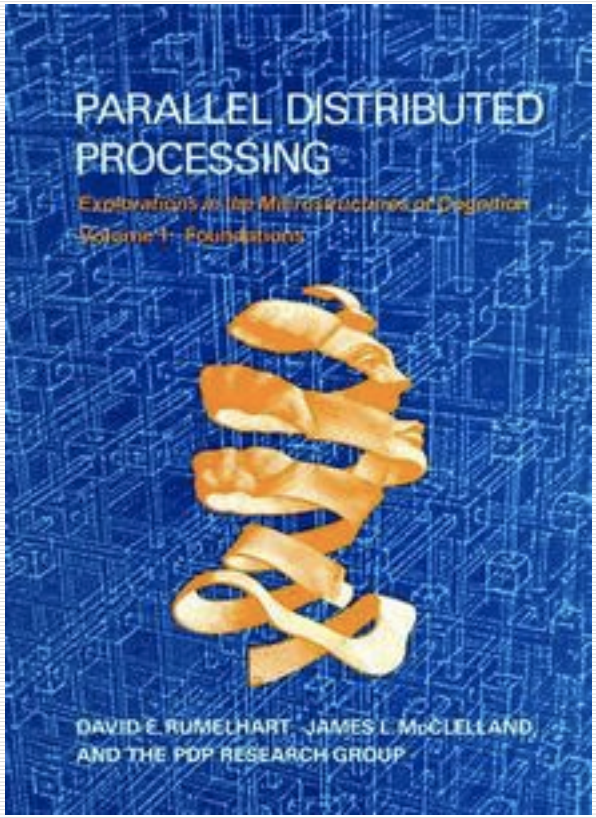
Connectionismは、知能の実体は、経験・学習をつうじて形成される脳内のニューロンの結合状態だとする。この還元は、シンボル操作やルールベースに基づく知能へのアプローチを排除する。

1986年 Parallel Distributed Processing



"*Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*" Rumelhart et al. 1986

1986年、Rumelhartは、James McClellandと共同で、「並列分散処理（PDP）：認知のマイクロ構造の研究」を出版した。そこでは、彼らが作り出した知覚のコンピュータ・シミュレーションについて述べられ、コンピュータ・サイエンティストに、神経処理の最初のテスト可能なモデルを提供した。この本は、今日では、認知科学の分野における中心的なテキストと認められている。」



https://en.wikipedia.org/wiki/David_Rumelhart

コネクショニズム

「コネクショニズムの知能体の特徴は、学習の方式である。コネクショニズムの知能体へは、前もってカテゴリの分類基準を与えたり、前もって作業手順を与えておく必要はない。いわゆる人間の成人が持っている"概念体系"や"常識作法"に相当するものを事前に与えておく必要はない。コネクショニズムの知能体は、最初は"白紙"の状態であり、多数の事例を与えられ、"経験"することで、自らゆっくりと「学習」してゆく。」

「コネクショニズムは、人間の中枢神経系（なかでもニューロン）での情報処理を抽象化して、擬似ニューロンを構築し、それを層状に多数集めることで知能体を構築する。そのようにして制作した知能体に"経験"を繰り返し与えると、多数の擬似ニューロンが、互いに結合したり、その結合度の値（パラメータ）を次第に変化させてゆく。コネクショニズムの知能体は、最初はあまり正しい反応を示すわけではなく、間違いも犯すが、ある程度の回数の経験を経た後に、次第に知能的な反応が現れる率が増えてゆく。」

コネクショニズム

「このシステムにおいては、いわゆる“知識”や“経験知”は、知能体全体の挙動として現れるのであり、多数の擬似ニューロンのパラメータ全部がそれを支えている。逐次実行型のPCのプログラムのように「記号」や「文字列」として物理的にどこかの局所一箇所にだけ存在しているわけではない。コネクショニズムの知能体が学習した状態を説明しようとしても、もはやそれは人間が日常的に用いている言葉や文章で離散的に簡潔に表現できるようなものではない。例えば1000個の擬似ニューロンで作動している知能体があったとして、あえてそれの学習状態を記述しようとしたならば、1000個分の擬似ニューロンのパラメータ（数字）を全て列挙する必要があろう。仮にそのような多数の数字の羅列を目前に提示されたとしても、人間にとってはどのような状態なのか直感的に理解できるものではない。」

コネクショニズム

「コネクショニズム出現以前の、離散的な記号論理の上に人工知能を構築する手法が真似ようとしているのが、言うなれば人間が通常時意識レベルで感じている心像（シンボル、文字、数字など）のレベルであるとするならば、このコネクショニズムの手法が真似ようとしているのは、人間の「脳」のレベルの物理的な挙動である、と言えよう。」

コネクショニズム wiki https://goo.gl/CzCWyD

Connectionism vs. computationalism

- Computationalism is a specific form of cognitivism that argues that mental activity is computational, that is, that the mind operates by performing purely formal operations on symbols, like a Turing machine. Some researchers argued that the trend in connectionism represented a reversion toward associationism and the abandonment of the idea of a language of thought, something they saw as mistaken. In contrast, those very tendencies made connectionism attractive for other researchers.

コネクショニズムは、「思考の言語」という考えを放棄する。
「連合説」への、先祖返り・

https://goo.gl/f5KSrP

Connectionism vs. computationalism

- Computationalists posit symbolic models that are structurally similar to underlying brain structure, whereas connectionists engage in "low-level" modeling, trying to ensure that their models resemble neurological structures.
- Computationalists in general focus on the structure of explicit symbols (mental models) and syntactical rules for their internal manipulation, whereas connectionists focus on learning from environmental stimuli and storing this information in a form of connections between neurons.

シンボリックなモデル vs. ニューロンの結合

Connectionism vs. computationalism

- Computationalists believe that internal mental activity consists of manipulation of explicit symbols, whereas connectionists believe that the manipulation of explicit symbols provides a poor model of mental activity.
- Computationalists often posit domain specific symbolic sub-systems designed to support learning in specific areas of cognition (e.g., language, intentionality, number), whereas connectionists posit one or a small set of very general learning-mechanisms.

ドメイン固有の学習機構 vs. 一つの汎用の学習機構

Part II　21世紀（現在）



大規模分散システムと検索技術

21世紀のIT技術を特徴付けるのは、検索と広告にドライブされた大規模分散システムの成立である。

文字列検索から知識検索への移行は、まだ、始まったばかりである。ただ、その枠組みを提供しているschema.org等のEntity Modelは、貧弱なものだ。

2001年 Semantic Web





The Semantic Web

- For the semantic web to function, computers must have access to structured collections of information and sets of inference rules that they can use to conduct automated reasoning. Artificial-intelligence researchers have studied such systems since long before the Web was developed. Knowledge representation, as this technology is often called, is currently in a state comparable to that of hypertext before the advent of the Web: it is clearly a good idea, and some very nice demonstrations exist, but it has not yet changed the world. It contains the seeds of important applications, but to realize its full potential it must be linked into a single global system.

https://goo.gl/ME3BUa

WebのHypertext構造を知識表現に使おう

Triplet, RDF

- Meaning is expressed by RDF, which encodes it in sets of triples, each triple being rather like the subject, verb and object of an elementary sentence. These triples can be written using XML tags.
- In RDF, a document makes assertions that **particular things** (people, Web pages or whatever) **have properties** (such as "is a sister of," "is the author of") **with certain values** (another person, another Web page). This structure turns out to be a natural way to describe the vast majority of the data processed by machines.

Triplet: 主語、述語、目的語
RDF: Thing+Property (Entity Model)

Ontology

- In philosophy, **an ontology is a theory about the nature of existence, of what types of things exist**; ontology as a discipline studies such theories. Artificial-intelligence and Web researchers have co-opted the term for their own jargon, and for them an ontology is a document or file that formally defines the relations among terms. The most typical kind of ontology for the Web has a taxonomy and a set of inference rules.

Ontology: どのような型のものが存在するのか。存在論。

Taxonomy

- The taxonomy defines classes of objects and relations among them. For example, an address may be defined as a type of location, and city codes may be defined to apply only to locations, and so on. Classes, subclasses and relations among entities are a very powerful tool for Web use. **We can express a large number of relations among entities by assigning properties to classes and allowing subclasses to inherit such properties.**

Taxonomy:分類学

2004年 Google



検索と人工知能：Larry Pageの人工知能観

- 「Googleの検索エンジンが、AIによって完全なものになったときにのみ、Googleのミッションは、完遂されるだろう。あなたたちは、それが何を意味するのか知っている。それが人工知能なのだ。」
- 「人工知能は、Googleの最終バージョンになるだろう。Web上のすべてのものを理解するだろう究極の検索エンジンは、あなたが望むものを正確に理解するだろうし、あなたに正しいものを与えるだろう。我々は、今は、そうしたことをするのには、遠いところにいる。ただ、我々は、少しずつ、それに近ずくことはできる。我々が取り組んでいることは、基本的には、そのことなのだ。」
- 「検索における我々の大きな目標は、人が望むものを、実際に正確に理解し、世界のすべてのものを理解することである。コンピューター科学者として、我々は、それを人工知能と呼ぶ。」

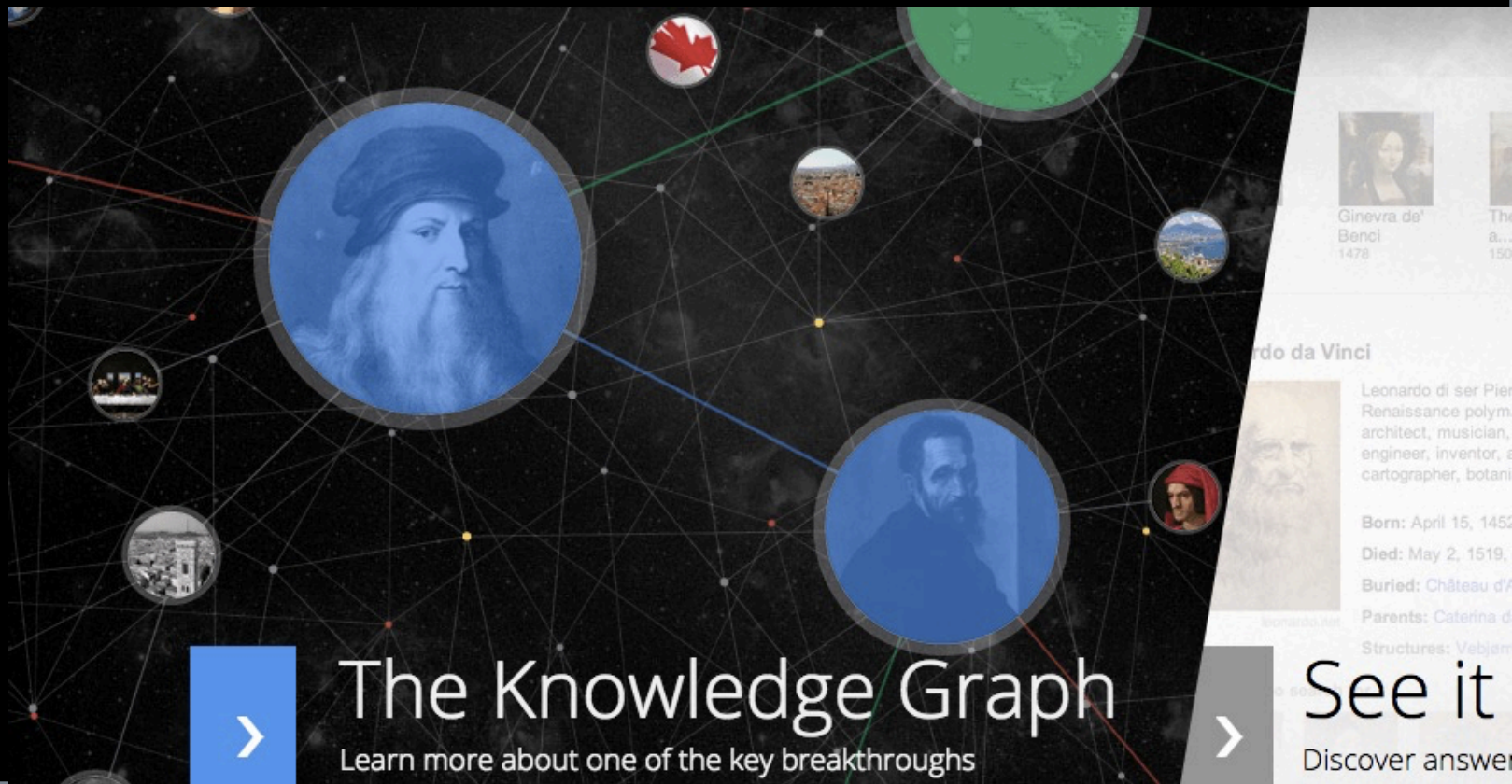
2011年 IBM Watson



2012年 Facebook



2012年
Google Knowledge Graph



2011年 Schema.org



Welcome to Schema.org

- Schema.org は、インターネットやWebページ、e-メールのメッセージやさらにもっと多くのものの上にある構造化されたデータに対して、スキーマを作りあげ、維持し、それを広めるというミッションを持った共同のコミュニティ活動である。
- Schema.org は、Google, Microsoft, Yahoo, Yandex のスポンサー支援を得ている。そのボキャブラリーは、メーリングリスト public-schemaorg @w3.org と GitHub https://goo.gl/WvCyP3 を用いて、オープンなプロセスで開発されている。

folksonomyアプローチ

http://schema.org/

Schema.org vocabulary

- Schema.org ボキャクラリーは、RDFa, Microdata, JSON-LD を含む多くのエンコーディングで利用が可能である。
- このボキャブラリーは、エンティティとエンティティ間の関係とアクションをカバーしており、また、よくドキュメント化されている拡張モデルを通じて、容易に拡張できる。
- 一千万以上のサイトが、Webページやe-メールのメッセージをマークアップするのに Schema.orgを利用している。Google, Microsoft, Pinterest, Yandexその他の多くのアプリケーションが、豊かで拡張可能なユーザー経験に力を与えるために、すでに、これらのボキャブラリーを使っている。

Microdata

```
<div itemscope itemtype="http://schema.org/Movie">
  <h1 itemprop="name">Avatar</h1>
  <div itemprop="director" itemscope itemtype="http://schema.org/Person">
  Director: <span itemprop="name">James Cameron</span>
(born <time itemprop="birthDate" datetime="1954-08-16">August 16, 1954</time>)
  </div>
  <span itemprop="genre">Science fiction</span>
  <a href="../movies/avatar-theatrical-trailer.html" itemprop="trailer">Trailer</a>
</div>
```

JSON-LD

```
<script type="application/ld+json">
{
  "@context": "http://schema.org/",
  "@type": "Movie",
  "name": "Avatar",
  "director":
    {
      "@type": "Person",
      "name": "James Cameron",
      "birthDate": "1954-08-16"
    },
  "genre": "Science fiction",
  "trailer": "../movies/avatar-theatrical-trailer.html"
}
</script>
```

エンティティの型(Type)のサンプル

Types = “is-a”

- Book
- BookSeries
- EducationalOrganization
- Event
- GovernmentOrganization
- LocalBusiness
- Movie
- MovieSeries
- MusicAlbum
- MusicGroup
- MusicRecording
- Organization
- Periodical
- Person
- Place
- SportsTeam
- TVEpisode
- TVSeries
- VideoGame
- VideoGameSeries
- WebSite



is-a → Person /people/person

is-a → Film Actor /film/actor

is-a → Politician /government/politician

One entity, many types.

一つのエンティティは、多くの型を持つ

Entityは階層を持つ
schema.org での Entityの階層の例

- Thing > CreativeWork > Book
- Thing > CreativeWork > CreativeWorkSeries > BookSeries
- Thing > Organization > EducationalOrganization
- Thing > Event
- Thing > Organization > GovernmentOrganization
- Thing > Organization > LocalBusiness
  Thing > Place > LocalBusiness
- Thing > CreativeWork > Movie

全てのEntityは、ThingのSub-Class である。なぜ？

Entityは階層を持つ
schema.org での Entityの階層の例

- Thing > CreativeWork > CreativeWorkSeries > MovieSeries
- Thing > CreativeWork > MusicPlaylist > MusicAlbum
- Thing > Organization > PerformingGroup > MusicGroup
- Thing > CreativeWork > MusicRecording
- Thing > Organization
- Thing > CreativeWork > CreativeWorkSeries > Periodical
- Thing > Person

全てのEntityは、ThingのSub-Class である。なぜ？

Entityは階層を持つ
schema.org での Entityの階層の例

- Thing > Place
- Thing > Organization > SportsOrganization > SportsTeam
- Thing > CreativeWork > Episode > TVEpisode
- Thing > CreativeWork > CreativeWorkSeries > TVSeries
  Thing > CreativeWork > TVSeries
- Thing > CreativeWork > Game > VideoGame
  Thing > CreativeWork > SoftwareApplication > VideoGame

schema.org でのPersonのProperty

Properties = “has-a”

- gender
- birthdate
- birthplace
- profession
- nationality
- ethnicity
- parents
- children
- religion
- education
- jobTitle
- **follows**
- **knows**
- **owns**
- **seeks**

... and more

Action

EntityはPropertyを持つ
PersonのPropery

- Person: additionalName, address, affiliation, alumniOf, award, awards, birthDate, children, colleague, colleagues, contactPoint, contactPoints, deathDate, email, familyName, faxNumber, follows, gender, givenName, homeLocation, honorificPrefix, honorificSuffix, interactionCount, jobTitle, knows, memberOf, nationality, parent, parents, performerIn, relatedTo, sibling, siblings, spouse, telephone, workLocation, worksFor, ...

The Type Hierarchy
http://schema.org/docs/full.html

PersonのProperty

Properties = “has-a”

Property	Expected Type	Description
Properties from Person		
additionalName	Text	An additional name for a Person, can be used for a middle name.
address	PostalAddress or Text	Physical address of the item.
affiliation	Organization	An organization that this person is affiliated with. For example, a school/university, a club, or a team.
alumniOf	EducationalOrganization or Organization	An organization that the person is an alumni of. Inverse property: alumni.
award	Text	An award won by or for this item. Supersedes awards.
birthDate	Date	Date of birth.
birthPlace	Place	The place where the person was born.
brand	Brand or Organization	The brand(s) associated with a product or service, or the brand(s) maintained by an organization or business person.
children	Person	A child of the person.
colleague	Person or URL	A colleague of the person. Supersedes colleagues.
contactPoint	ContactPoint	A contact point for a person or organization. Supersedes contactPoints.
deathDate	Date	Date of death.
deathPlace	Place	The place where the person died.
duns	Text	The Dun & Bradstreet DUNS number for identifying an organization or business person.

http://schema.org/Person

email	Text	Email address.
familyName	Text	Family name. In the U.S., the last name of an Person. This can be used along with givenName instead of the name property.
faxNumber	Text	The fax number.
follows	Person	The most generic uni-directional social relation.
funder	Organization or Person	A person or organization that supports (sponsors) something through some kind of financial contribution.
gender	GenderType or Text	Gender of the person. While http://schema.org/Male and http://schema.org/Female may be used, text strings are also acceptable for people who do not identify as a binary gender.
givenName	Text	Given name. In the U.S., the first name of a Person. This can be used along with familyName instead of the name property.
globalLocationNumber	Text	The Global Location Number (GLN, sometimes also referred to as International Location Number or ILN) of the respective organization, person, or place. The GLN is a 13-digit number used to identify parties and physical locations.
hasOfferCatalog	OfferCatalog	Indicates an OfferCatalog listing for this Organization, Person, or Service.
hasPOS	Place	Points-of-Sales operated by the organization or person.
height	Distance or QuantitativeValue	The height of the item.
homeLocation	ContactPoint or Place	A contact location for a person's residence.
honorificPrefix	Text	An honorific prefix preceding a Person's name such as Dr/Mrs/Mr.
honorificSuffix	Text	An honorific suffix preceding a Person's name such as M.D. /PhD/MSCSW.
isicV4	Text	The International Standard of Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC), Revision 4 code for a particular organization, business person, or place.
jobTitle	Text	The job title of the person (for example, Financial Manager).
knows	Person	The most generic bi-directional social/work relation.

http://schema.org/Person

makesOffer	Offer	A pointer to products or services offered by the organization or person. Inverse property: offeredBy.
memberOf	Organization or ProgramMembership	An Organization (or ProgramMembership) to which this Person or Organization belongs. Inverse property: member.
naics	Text	The North American Industry Classification System (NAICS) code for a particular organization or business person.
nationality	Country	Nationality of the person.
netWorth	MonetaryAmount or PriceSpecification	The total financial value of the person as calculated by subtracting assets from liabilities.
owns	OwnershipInfo or Product	Products owned by the organization or person.
parent	Person	A parent of this person. Supersedes parents.
performerIn	Event	Event that this person is a performer or participant in.
relatedTo	Person	The most generic familial relation.
seeks	Demand	A pointer to products or services sought by the organization or person (demand).
sibling	Person	A sibling of the person. Supersedes siblings.
sponsor	Organization or Person	A person or organization that supports a thing through a pledge, promise, or financial contribution. e.g. a sponsor of a Medical Study or a corporate sponsor of an event.
spouse	Person	The person's spouse.
taxID	Text	The Tax / Fiscal ID of the organization or person, e.g. the TIN in the US or the CIF/NIF in Spain.
telephone	Text	The telephone number.
vatID	Text	The Value-added Tax ID of the organization or person.
weight	QuantitativeValue	The weight of the product or person.
workLocation	ContactPoint or Place	A contact location for a person's place of work.
worksFor	Organization	Organizations that the person works for.

http://schema.org/Person

“Person” の自然言語辞書での記述（via Word.net）

WordNet Search - 3.1

- WordNet home page - Glossary - Help

Word to search for: person Search WordNet

Display Options: (Select option to change) Change

Key: "S:" = Show Synset (semantic) relations, "W:" = Show Word (lexical) relations

Display options for sense: (gloss) "an example sentence"

Noun

- S: (n) **person**, individual, someone, somebody, mortal, soul (a human being) *"there was too much for one person to do"*
- S: (n) **person** (a human body (usually including the clothing)) *"a weapon was hidden on his person"*
- S: (n) **person** (a grammatical category used in the classification of pronouns, possessive determiners, and verb forms according to whether they indicate the speaker, the addressee, or a third party) *"stop talking about yourself in the third person"*

Scheme.orgは、Word.netに、情報量で負けている

WordNet Search - 3.1

- WordNet home page - Glossary - Help

Word to search for: person Search WordNet

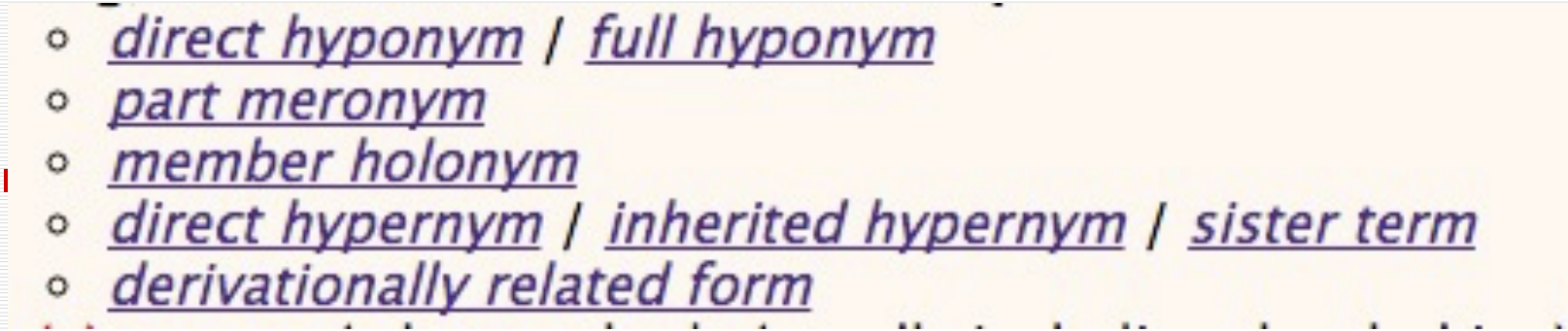
Display Options: (Select option to change) Change

Key: "S:" = Show Synset (semantic) relations, "W:" = Show Word (lexical) relations

Display options for sense: (gloss) "an example sentence"

Noun

- S: (n) **person**, individual, someone, somebody, mortal, soul **(a human being)** ***"there was too much for one person to do"***
  - *direct hyponym* / *full hyponym*
  - *part meronym*
  - *member holonym*
  - *direct hypernym* / *inherited hypernym* / *sister term*
  - *derivationally related form*
- S: (n) **person** (a human body (usually including the clothing)) *"a weapon was hidden on his person"*
- S: (n) **person** (a grammatical category used in the classification of pronouns, possessive determiners, and verb forms according to whether they indicate the speaker, the addressee, or a third party) *"stop talking about yourself in the third person"*



hyponym ヒポニム　ある単語よりもより特殊な単語
meronym ある語の部分を示す単語
holonym 特定の単語が全体の一部分となっている名前の単語
hypernym 上位概念語

Word.netは、語彙間の階層構造の情報を含んでいる

Noun

Direct hyponym

- S: (n) **person**, individual, someone, somebody, mortal, soul (a human being) *"there was too much for one person to do"*
  - ***direct hyponym*** / *full hyponym*
    - S: (n) self (a person considered as a unique individual) *"one's own self"*
    - S: (n) adult, grownup (a fully developed person from maturity onward)
    - S: (n) adventurer, venturer (a person who enjoys taking risks)
    - S: (n) anomaly, unusual person (a person who is unusual)
    - S: (n) anachronism (a person who seems to be displaced in time; who belongs to another age)
    - S: (n) applicant, applier (a person who requests or seeks something such as assistance or employment or admission)
    - S: (n) appointee, appointment (a person who is appointed to a job or position)
    - S: (n) capitalist (a person who invests capital in a business (especially a large business))
    - S: (n) captor, capturer (a person who captures and holds people or animals)
    - S: (n) changer, modifier (a person who changes something) *"an inveterate changer of the menu"*
    - S: (n) color-blind person (a person unable to distinguish differences in hue)

hyponym ヒポニム　ある単語よりもより特殊な単語

WARNING: The search exceeded the result limit, so the following list is valid but incomplete. Only the top levels of the list are displayed.

Full hyponym

Display Options: (Select option to change) Change

Key: "S:" = Show Synset (semantic) relations, "W:" = Show Word (lexical) relations

Display options for sense: (gloss) "an example sentence"

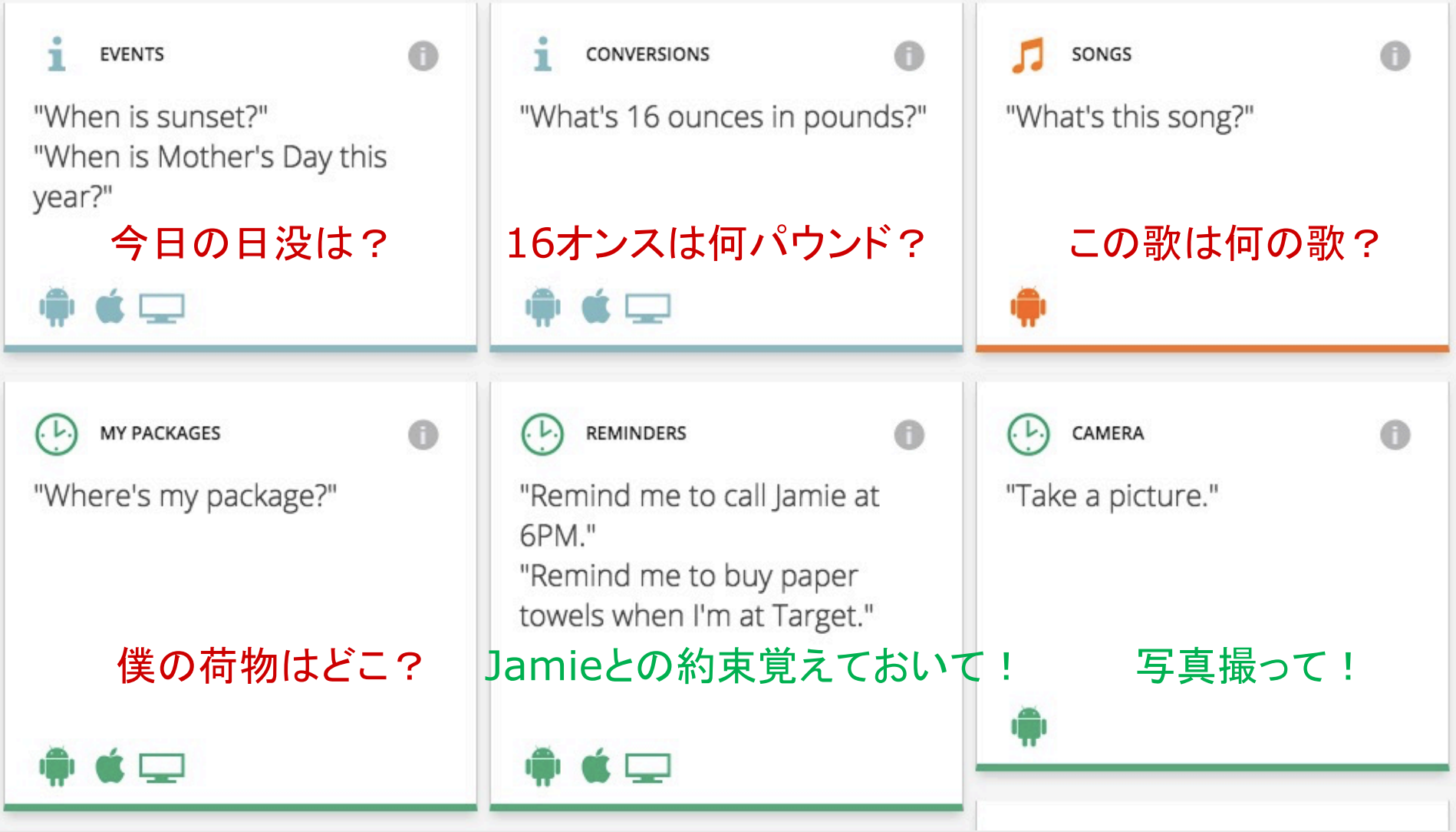
Noun

Scheme.orgは、Word.netに、情報量で負けている

- S: (n) **person**, individual, someone, somebody, mortal, soul (a human being) *"there was too much for one person to do"*
  - *direct hyponym* / ***full hyponym***
    - S: (n) self (a person considered as a unique individual) *"one's own self"*
    - S: (n) adult, grownup (a fully developed person from maturity onward)
    - S: (n) adventurer, venturer (a person who enjoys taking risks)
    - S: (n) anomaly, unusual person (a person who is unusual)
    - S: (n) anachronism (a person who seems to be displaced in time; who belongs to another age)
    - S: (n) applicant, applier (a person who requests or seeks something such as assistance or employment or admission)
    - S: (n) appointee, appointment (a person who is appointed to a job or position)
    - S: (n) capitalist (a person who invests capital in a business (especially a large business))

Google Nowができること

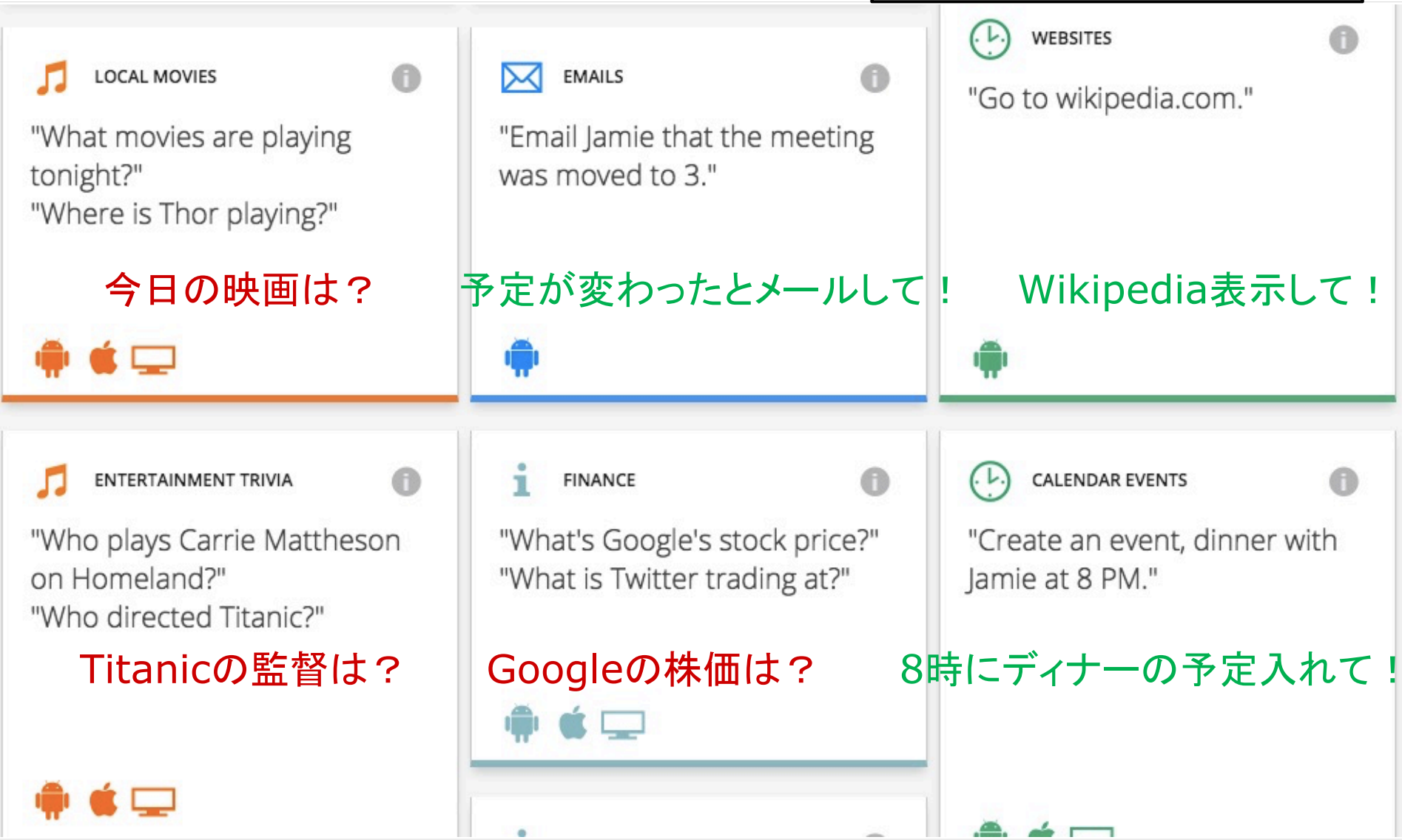
マシン内で閉じる命令
マシン外の情報の検索



Google Nowは、ボイス・アシスタント・システムである

Google Nowができること

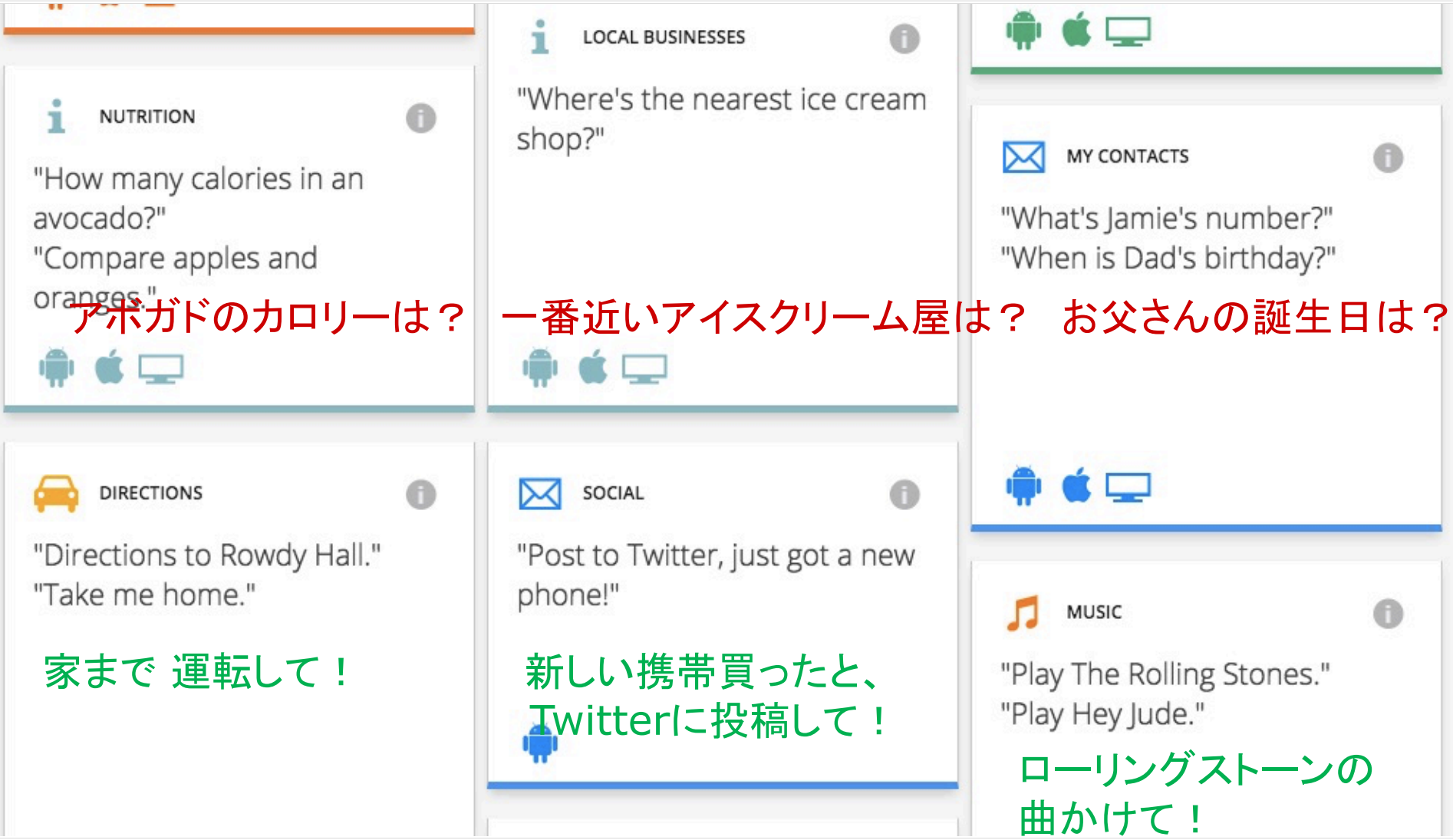
マシン内で閉じる命令
マシン外の情報の検索



Google Nowは、ボイス・アシスタント・システムである

Google Nowができること

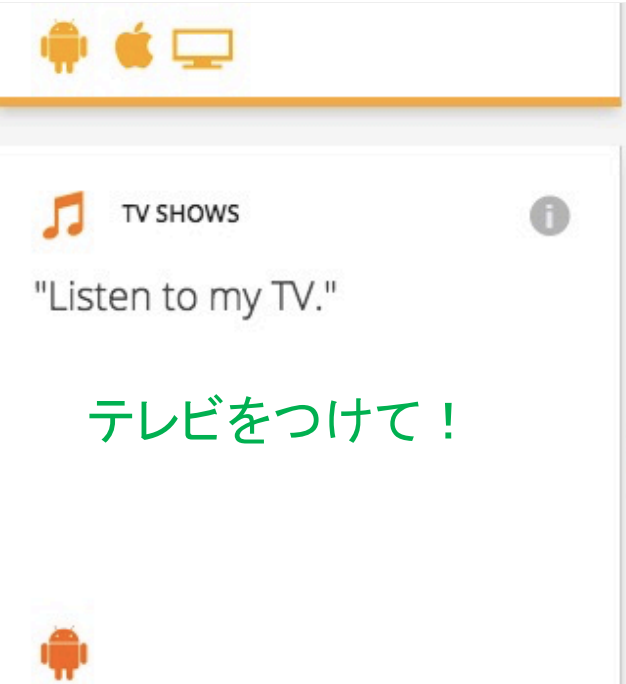
マシン内で閉じる命令
マシン外の情報の検索

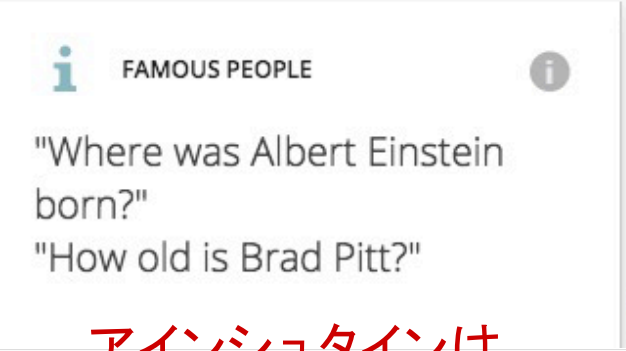


Google Nowは、ボイス・アシスタント・システムである

Google Nowができること

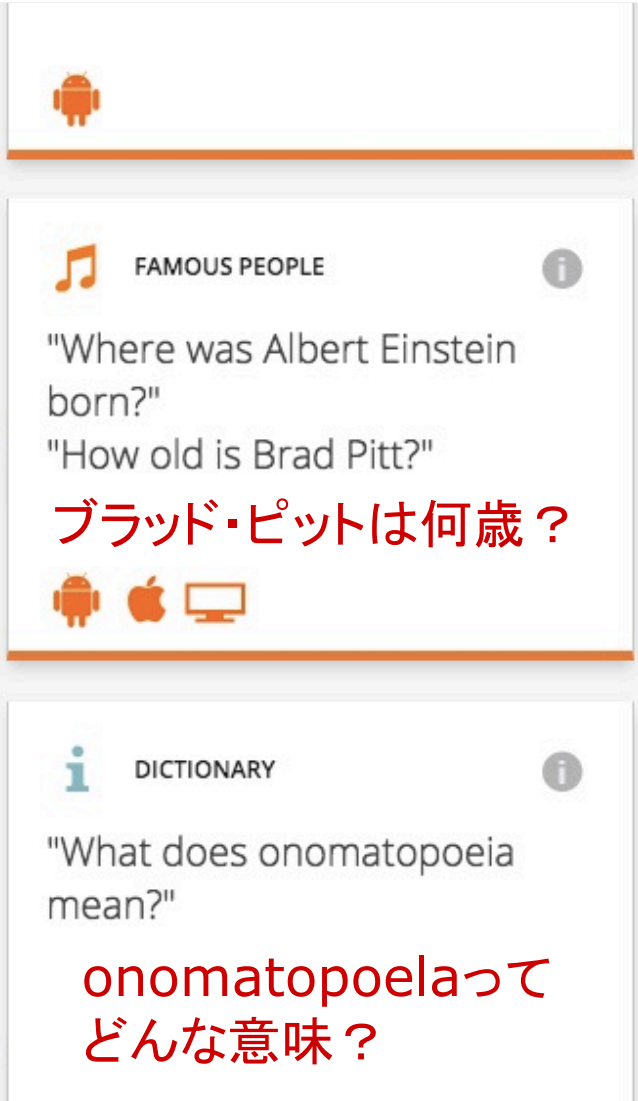
マシン内で閉じる命令
マシン外の情報の検索











Google Nowは、ボイス・アシスタント・システムである

言語学の新しい展開

Chomskyは、言語学に新しい枠組みを提案している。

基本的に、計算システムとして言語能力を再構築しようというもので、人工知能技術とは相性は悪くないのだが、AI研究者はあまり興味を持っているようには見えない。

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、説得力を持てない。



1995年

https://goo.gl/ny5rSM

Minimalist Program

- Biolinguisticが登場する以前の、1950年代の「生成文法理論」にさかのぼる、言語についての絶え間のない連続した探求をさす。完成した「理論」ではなくて「プログラム」。
- 特に、当初の中心的な関心は、「もっとも単純な文法」という概念を明確にし、すべての言語に対して、「もっとも単純な文法」をいかに選択するかを決定することに置かれていた。
- これは、自然は単純なものであり、それを示すことが科学者の仕事であるという、ガリレオ以来の、自然科学の方法と同じものである。

"Minimalist Program" https://goo.gl/Yv5Aw6

Language = Interfaces + Recursion

計算システムとしての言語能力



2007年 https://goo.gl/i0SVEP

「計算システム」としての言語能力

- Minimalist Programでは、言語能力を、二つのインターフェースをもつ計算システムとして捉える。
- こうしたアプローチを、ボトムアップから積み上げてゆくということになれば、それは、機械による言語能力の実装に、近ずいてゆくことになるだろう。
- ただ、そうした「計算システム」の実装を、僕は知らない。

普遍文法をボトムアップで構成する

"Approaching UG from Below"

Noam Chomsky 2007

http://goo.gl/V7lrsG

言語能力は「認識の器官」
普遍文法は、言語能力の初期状態

- 50年前に形を取り始めた「生物言語学（biolinguistic）の展望」の中で、主要な関心は、言語能力（Language Faculty) FLへの遺伝子の寄与を決定する努力へと変わっている。言語能力 FLは、「認識の器官」であると理解され、その点では、仮想的にはすべての人間に共有された、本質的に重要な点で人間のみにユニークなものである。それゆえ、人間という種のある種の財産である。
  そのように解釈されるなら、言語は、FLの一つの状態である **I-Language**であり、普遍文法（UG）は、FLの初期状態の理論と、再解釈される。

言語発達の三つの要因

- あきらかに、個人における言語発達には、次の三つのファクターが含まれていなければならない。

1. 遺伝子の寄与。これは達成可能な言語に、幾つかの制限を課し、それゆえ、言語獲得を可能にする。
2. 外的なデータ。狭い範囲の中で、一つか他の言語を選択する経験へと変換される。
3. 言語能力 FL に特有ではない、いくつかの原理。

「トップダウン」と「ボトムアップ」
ミニマリスト・プログラムは、ボトムアップ

- 生成文法の現代の歴史を通じて、言語能力の特性を決定する問題は、「トップダウン」でアプローチされてきた。例えば、言語獲得を説明するためには、普遍文法には、どれだけの属性を持たねばならないのか？　といったように。
- ミニマリスト・プログラムは、「ボトムアップ」からのアプローチを探求する。第三のファクターに依拠して、達成されたI-Languageの多様性を説明しながら、いかに少数の属性に普遍文法を帰することができるのか？　と。
- 二つのアプローチは、もちろん、収束しなければならない。また、共通の目的の追求の中で、相互作用しなければならない。

I-languageと二つのインターフェース

- I-language は、無限に多くの内的表現を生成する計算システムである。その表現のそれぞれが、感覚運動的と概念・思考的の二つのインターフェース・システムへの命令の配列とみなすことができる。
- 第三のファクターの条件が機能するところまで、言語は、インターフェースで課せられた条件を満たすように、効率的にデザインされるであろう。もっとラディカルなテーゼを想像することができるのだが、それについては、後で簡単に帰ってくるだろう。

Merge

- もっとも初等的な形式では、生成システムは、すでに形成された構造たちを取りだし、一つの新しい構造に結合する操作に基礎を置く。それを”Merge”と呼ぼう。制限なしで働いて、 Mergeは、別々の無限の構造化された表現を生み出す。それゆえ、 Mergeと、それが制限なしで適用されるという条件も、普遍文法の一部となる。

帰納的なプロセスとしての表現の導出

- Mergeベースの導出システムは、パラレルな操作を含んでいる。こうして、もし、XとYがMergeされるなら、それぞれは、可能的には、 Mergeの繰り返しによって構成されて、利用可能でなければならない。
- しかし、生成システムは、時間の次元を含んでいない。この点では、表現の生成は、形式的証明の構成のような、他の帰納的なプロセスと似ている。直観的には、その証明は、公理で「開始」され、それぞれの行は、以前の行に推論規則か追加的な公理によってよって付け加えられたものだ。しかし、これは、時間的な順序を含意しない。それは、単純に、幾何学的な対象である「証明」の構造的な特徴の記述である。

- 実際の証明の構成では、独立に生成された補題等を含んだ、最後の行から始めるのがうまくいく。公理の選択は、最後に来るかもしれない。同じことが、表現の生成と導出、よく知られたコンピーテンスとパフォーマンスの区別についても言える。しかし、文字通りに直観的な解釈を取るとしても、表現の生成は、操作の並列性の故に、厳密には「ボトムアップ」ではない。
  厳密な「ボトムアップ」の解釈は、例えば、原理的には、次のような想定と両立できる。言語の運用では、最初のXP(例えば、名詞句)は、非常に奥深く埋め込まれた表現へとMergeされた後でさえも、最初に生み出され知覚されると。

Minimalist Programでの言語モデル



感覚-運動
インターフェース

Phonetic form

外部化
Externalization

重要なことは、特に概念-思考インターフェースの先に、言語能力を支える、「概念のリソース」とでもいうべきものが存在していることである。

I-Language

帰納的計算

Logical Form

概念-思考
インターフェース

概念
Semantics





Principal & Parameter



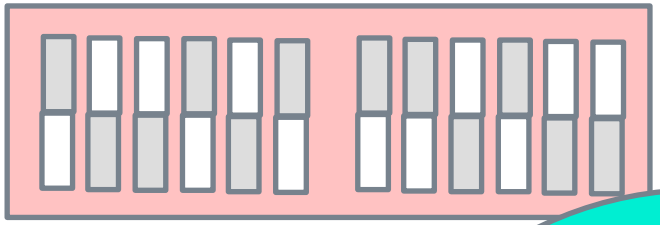
計算システムの
初期状態としての
普遍文法

パラメーターの
スイッチは入って
おらず、辞書も
空のままである。

Computing System

Lexicon

Principal & Parameter



後天的な経験で
パラメーターの
スイッチが入り、
文法は各国語化
する。

辞書も各国語の
語彙で満たされる。

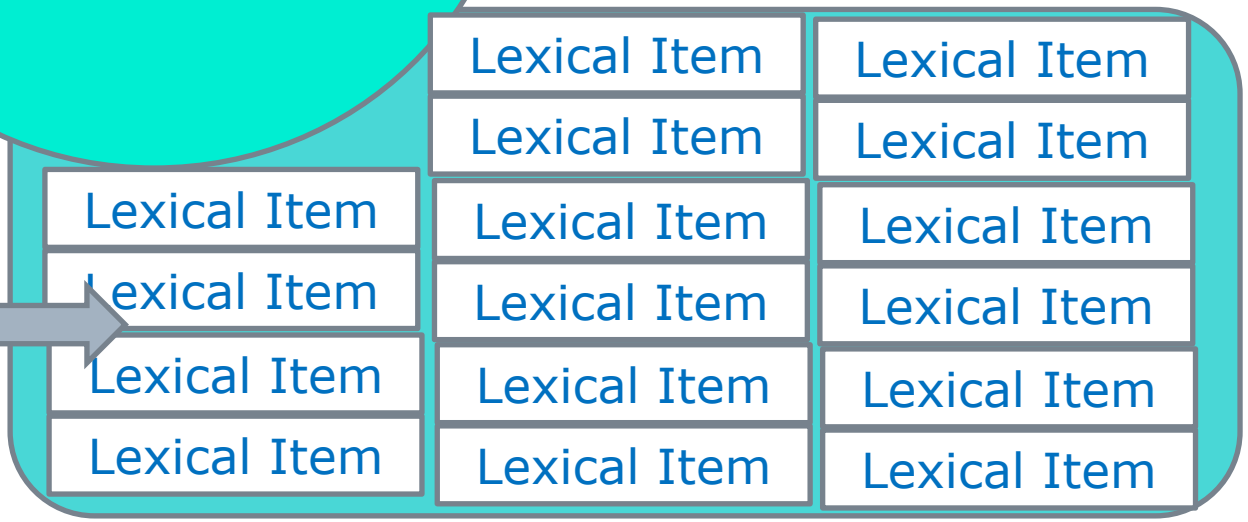
Computing System
Merge

Lexical Item

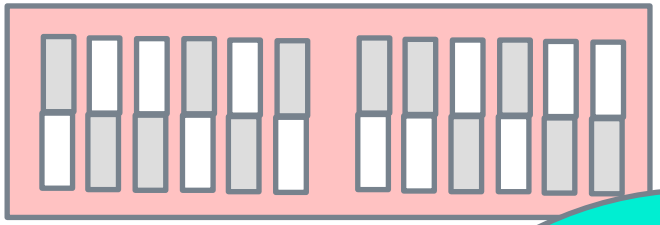
各語彙項目は、語彙記載項(lexical entry)の集合と語形成規則(word formation rule)などの規則の束から成る語彙目録(lexicon)によって、音韻・統語・意味などの情報が規定されている。

https://goo.gl/eJZMGv

Lexicon

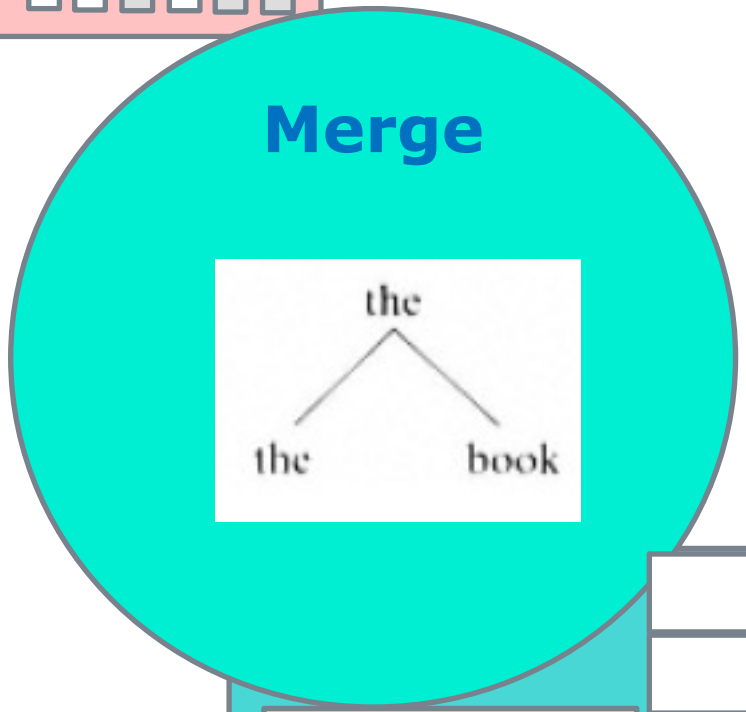


Principal & Parameter



Merge

Lexiconから、二つのLexical Item である“the”と”book”が取り出され、Mergeされたところ。

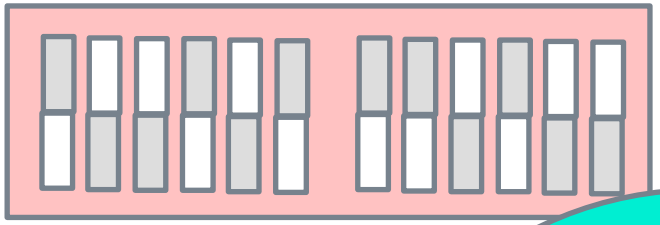


Lexicon

it	Lexical Item
girl	Lexical Item
mama	Lexical Item
see	Lexical Item
apple	Lexical Item
a	Lexical Item

the
book
man
eat

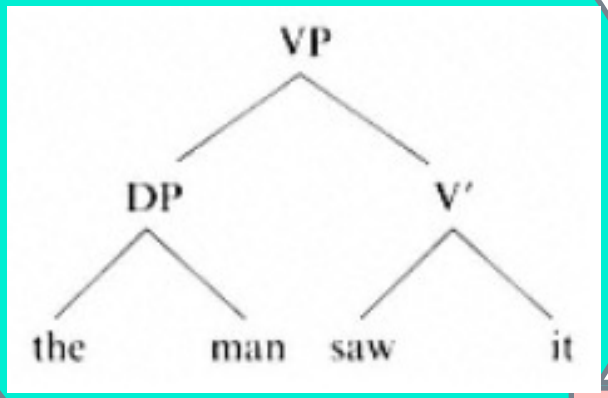
Principal & Parameter



Merge

Mergeの対象は、
Lexical Itemだけ
とは限らない。
既に形成された句も、
Mergeの対象になる。

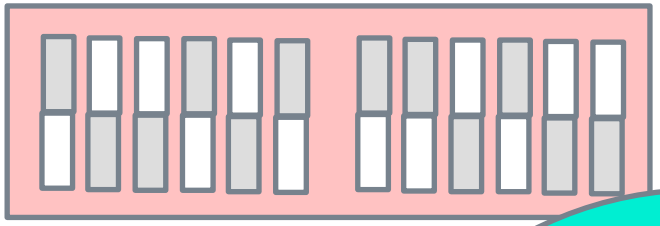
Merge



Lexicon

it	Lexical Item
girl	Lexical Item
the	Lexical Item
book	Lexical Item
man	Lexical Item
eat	Lexical Item
mama	Lexical Item
see	Lexical Item
apple	Lexical Item
a	Lexical Item

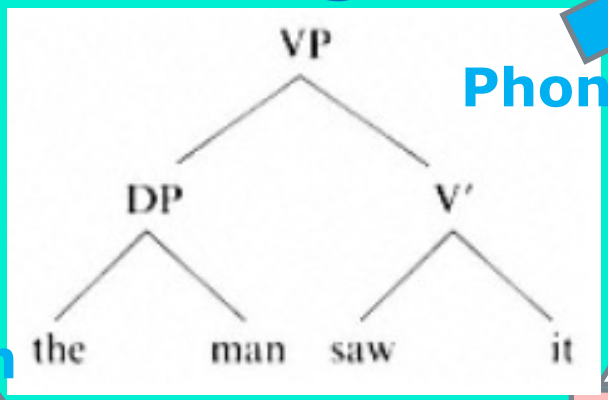
Principal & Parameter



Sensory-Motor

SMインターフェースに対しては、Phonetic formが生成される。

Merge



Phonetic form

Logical Form

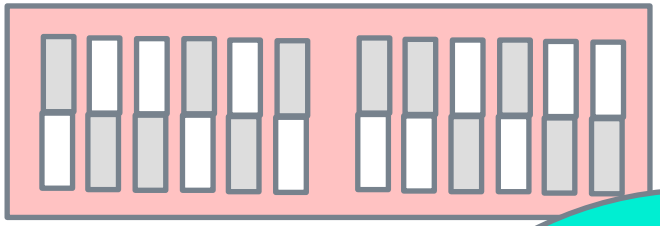
Conceptual-Intentional

CIインターフェースに対しては、Logical formが生成される。

Lexicon

it	girl	Lexical Item
the	book	Lexical Item
man	eat	Lexical Item
mama	see	Lexical Item
apple	a	Lexical Item

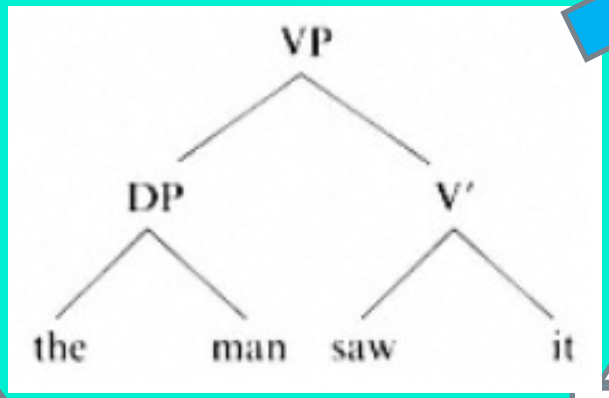
Principal & Parameter



SM Interface

Phonetic form

Merge



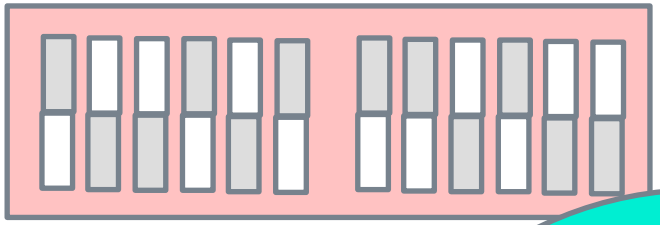
CI Interface

Logical Form

Lexicon

it		Lexical Item
girl		Lexical Item
the	mama	Lexical Item
book	see	Lexical Item
man	apple	Lexical Item
eat	a	Lexical Item

Principal & Parameter





SM Interface

Phonetic form

Merge

CI Interface

Logical Form



Lexicon

it		Lexical Item
girl		Lexical Item
the	mama	Lexical Item
book	see	Lexical Item
man	apple	Lexical Item
eat	a	Lexical Item

WHY ONLY US

LANGUAGE AND EVOLUTION



2015年

Robert C. Berwick • Noam Chomsky

https://goo.gl/fdFz6q

What Kind of Creatures Are We?



2015年

NOAM CHOMSKY

What Kind of Creatures Are We? Why Only Us?

- しかし、言語とはなんであるかをはっきりと決定しようと試みるのには、もっと多くの基本的な理由がある。その理由は、我々がどのような生き物なのであろうかといった種類の疑問に、明確に結びついている。
- ダーウィンは、次のように結論付けた最初の人ではない。「下等な動物と人間とを区別するものは、人間のみが、もっとも多様な音やアイデアを、ほとんど無限の大きな力で、一つに結びつけるという点にある。」 ただ、ダーウィンは、この伝統的な考えを、人間の進化という新しい説明の枠組みの中で、初めて述べた。

What Kind of Creatures Are We? http://goo.gl/vmV0s9

Deep Learning

2012年以降、ニューラル・ネットワークを用いるディープラーニングの手法が、AI研究を飲み込んだように見える。これは、技術史上でも稀なパラダイム・シフトが進行したことを意味する。ただ、こうした突然の変化に、皆が追従できているわけではない。また、一つの方法論で、人工知能の課題が全て解決できるわけでは無い。



人工知能の殿堂 by IEEE 2010年



2010年 IEEE特集
AI's Hall of Fame

- **Edward Feigenbaum**
  Engineering Knowledge
- **John McCarthy**
  Logic and Common Sense
- **Marvin Minsky**
  Cognitive Science and AI
- **Douglas Engelbart**
  AI and Interactive Computing
- **Tim Berners-Lee**
  Collective Knowledge
- **Lotfi Zadeh**
  Fuzzy Logic and Computational Intelligence
- **Noam Chomsky**
  Computational Linguistics and Cognitive Science
- **Raj Reddy**
  AI and Societal Impact
- **Judea Pearl**
  Probability, Causality, and Intelligence
- **Nils J. Nilsson**
  Problem Solving and Planning

https://goo.gl/QJDE8q







Geoffrey Hinton
Yann LeCun
Yoshua Bengio

先の2010年のIEEEの「AIの殿堂」には、Deep Learningの開拓者は、一人も入っていない！

こうした成功にもかかわらず、ConvNetは、2012年のImageNetコンテストまで、コンピューター・ビジョンと機械学習のコミュニティーから、ほとんど無視されていた。

この時、Webからとられた、1,000の異なったクラスを含んだ約100万の画像のデータセットに、ディープ・コンボリューショナル・ネットワークが適用され、驚嘆すべき結果を残した。最高の競争相手のアプローチの、ほとんど半分のエラー率を達成したのだ。

“Deep Learning” Hinton, LeCun, Bengio
http://goo.gl/HRnXBy 2015年 Nature

2012年に起きたこと

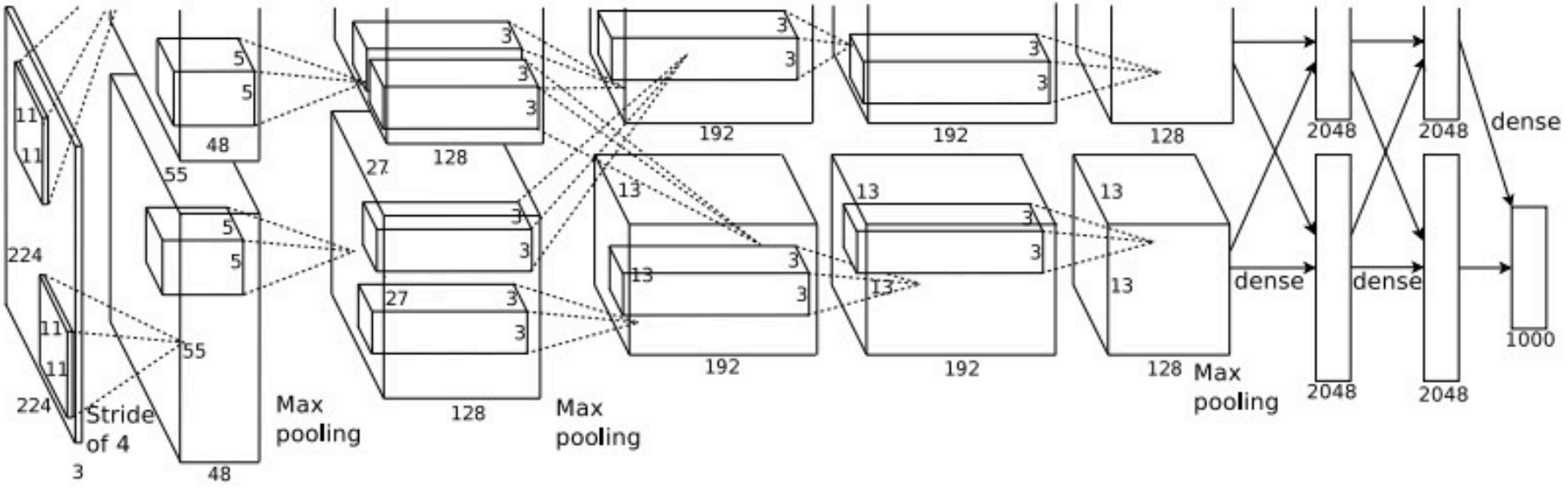
現在の人工知能に対する関心の高まりは、2012年に始まる。
この年、

1. Googleの16,000コアの巨大なシステム DistBeliefが、教師なしでネコと人間の顔を学習するのに成功した。
2. また、ImageNetの画像認識コンテストで、Convolutional Neural Network (CNN)のAlexNetが、圧勝した。
3. さらに、Tront大+Microsoft+Google+IBM 四者の共同研究チームが、音声認識にディープラーニングを用いた手法を公開。従来の方式を、はるかに上回る精度を達成した。

こうして、ニューラル・ネットワーク上のディープラーニングという手法は、現代のAI技術の中核の座を占めるに至った。



AlexNet


224
224
3
11
11
Stride
of 4
55
55
48
48
5
5
27
27
128
128
Max
pooling
Max
pooling
3
3
3
3
3
3
192
192
128
13
13
13
13
13
13
192
192
128
Max
pooling
dense
dense
dense
2048
2048
2048
2048
1000

“Deep Neural Networks for Acoustic Modeling in Speech Recognition” Geoffrey Hinton et al.

ディープラーニングを用いた
音声認識技術の飛躍

https://goo.gl/GT6Bg9

2012年



人工知能技術の現在

人工知能技術の現在の到達点は、機械が眼と耳と口を備え、自律的な運動能力を獲得しつつあると捉えるのがわかりやすいと思う。ただ、それは、人間を含めて、多くの生物が進化の過程で獲得してきた能力に他ならない。

他の生物には無い、人間固有の知的能力の機械での実現を、人工知能技術の目標と考えるのなら、我々は、まだそのスタート地点に立っているだけである。



機械が眼を持ち始める
-- 画像認識技術 --

機械が眼を持つ！　画像認識



Predicted Tags:

- portrait
- eyeglasses
- north america
- promotion
- one
- facial expression
- red carpet
- men
- adult
- people

Similar Images:





Stats:

Size: 76.15 KB

Time: 59 ms



clarifai

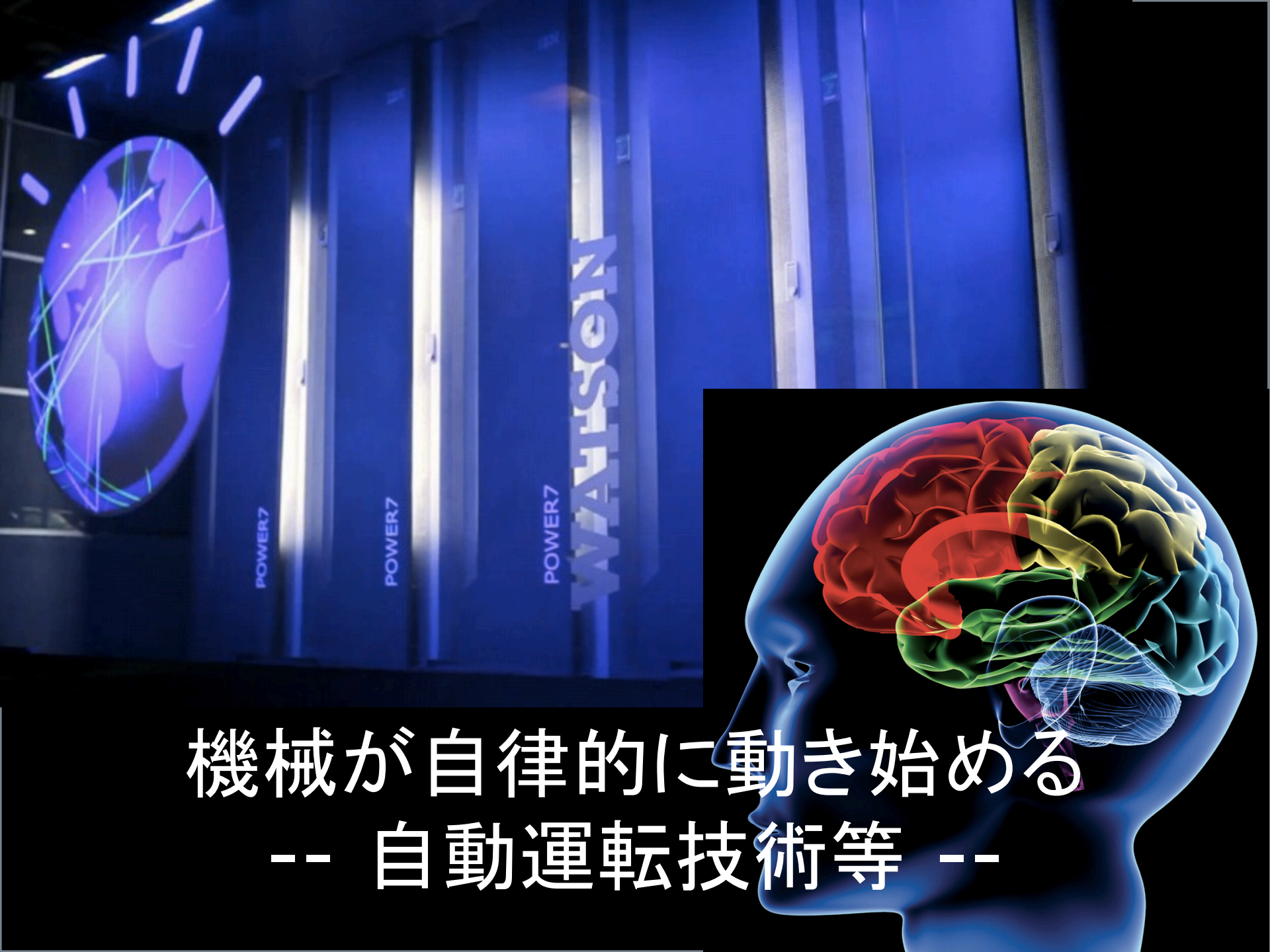




機械が耳と口を持ち始める
-- ボイス・アシスタント・システム --

amazon echo





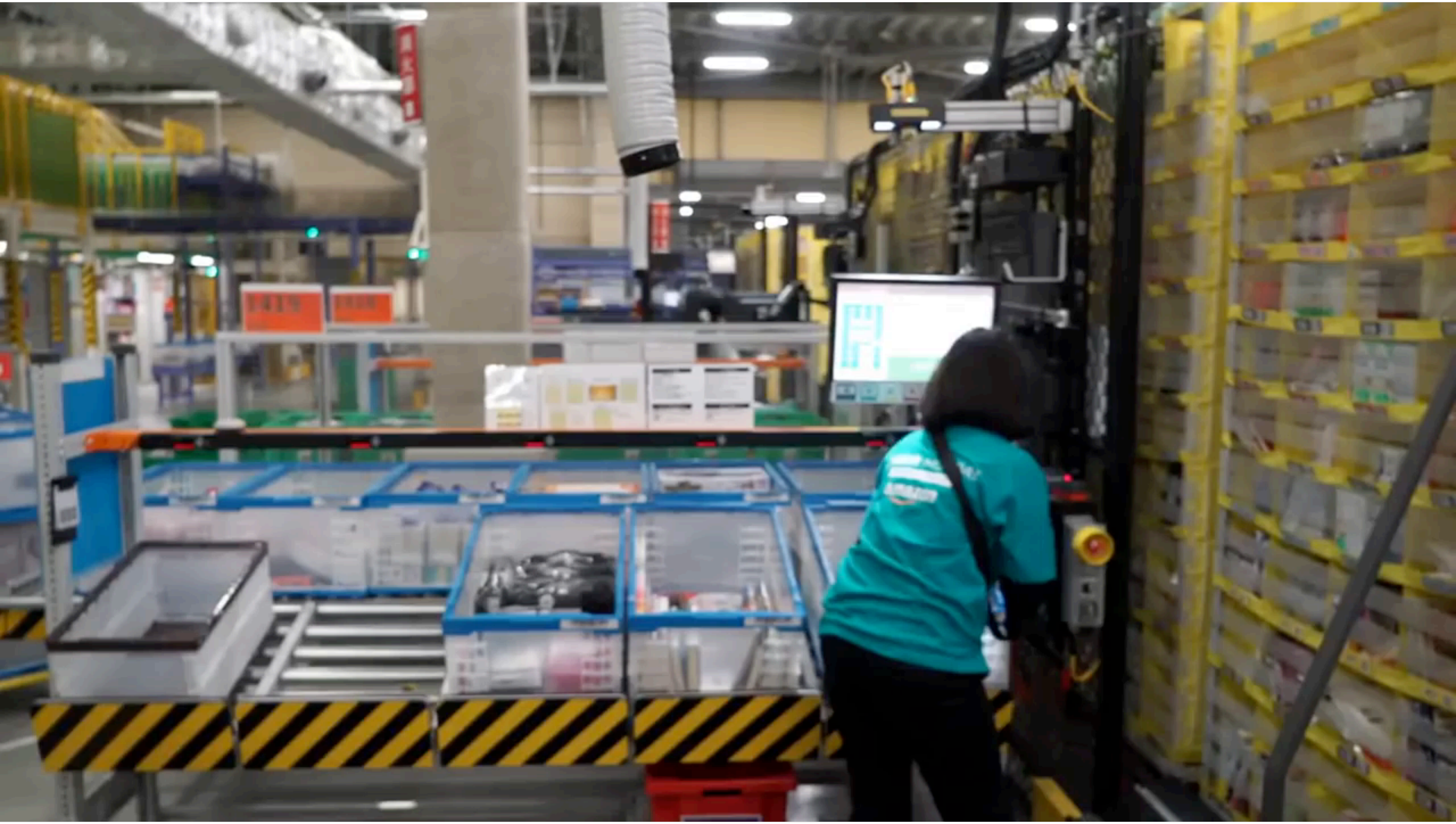
機械が自律的に動き始める
-- 自動運転技術等 --



センサーを持つマシンの自律的運動

Amazon 倉庫ロボット

2016年12月6日　川崎FCで稼働開始



https://www.youtube.com/watch?v=u0aNOnMFFc0

Google's in-house driverless car

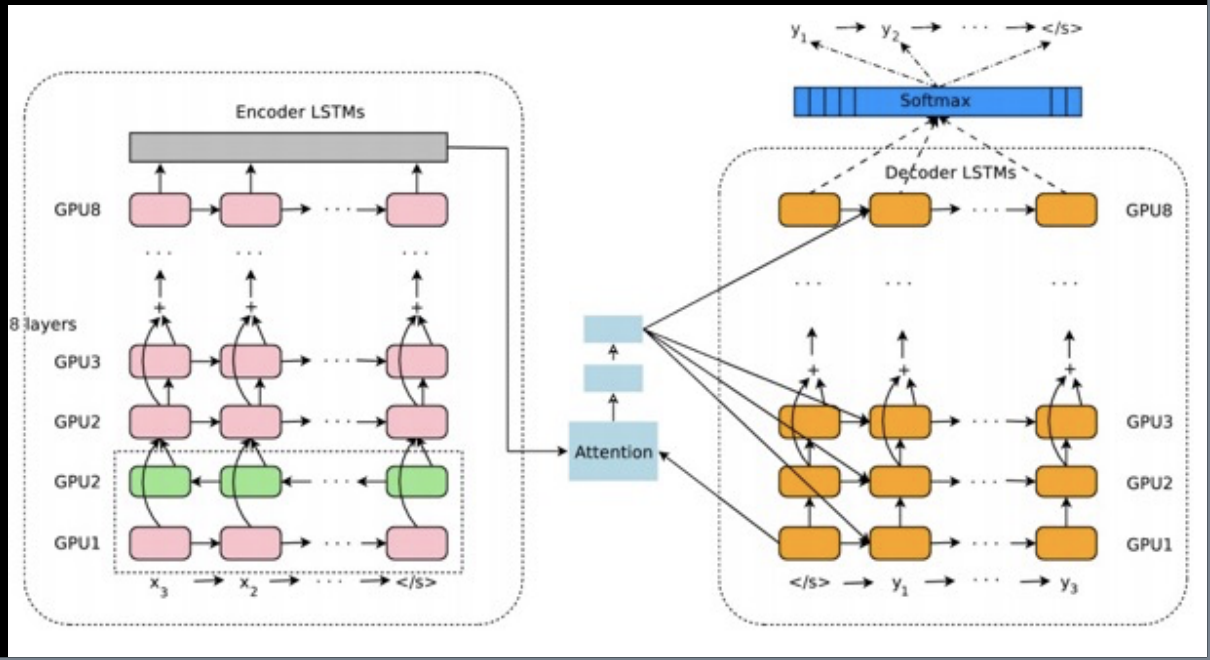


Deep Learningの最前線

ディープラーニング技術の最前線と思われるものを二つ紹介しよう。一つは、Googleのニューラル機械翻訳であり、画期的な翻訳精度を実現した。もう一つは、同じくGoogleの知的な推論を可能とするDNC(Differentiable Neural Computer)である。いずれも、人間の言語能力に深く関わる。

後者の技術は、ボイス・アシスタンスをめぐる市場での技術的優位の確保というビジネス上の要請によってドライブされている。

2016年
Google ニューラル機械翻訳



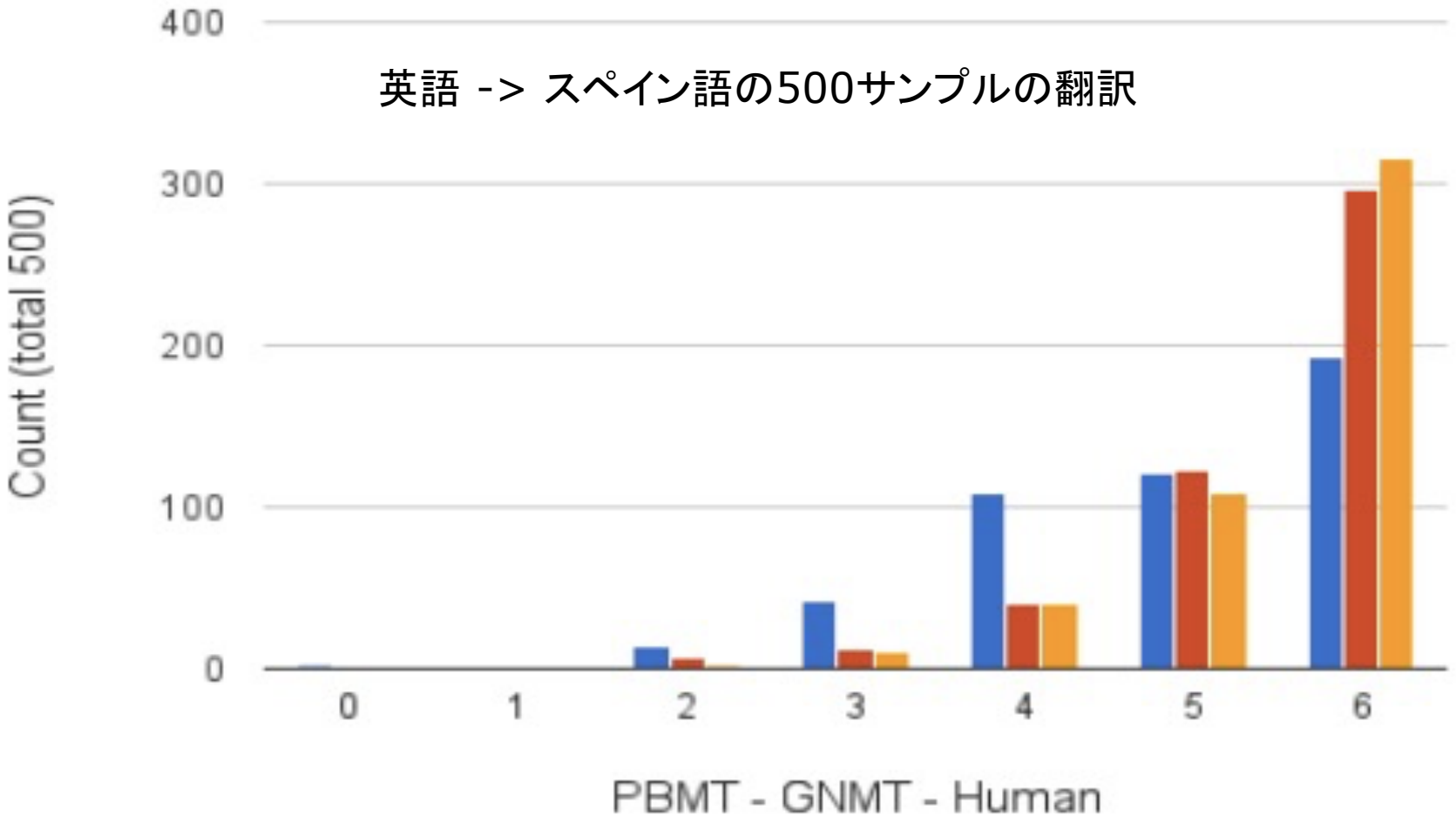
以前のGoogle翻訳との比較

Table 10: Mean of side-by-side scores on production data

	PBMT	GNMT	Human	Relative Improvement
English → Spanish	4.885	5.428	5.504	87%
English → French	4.932	5.295	5.496	64%
English → Chinese	4.035	4.594	4.987	58%
Spanish → English	4.872	5.187	5.372	63%
French → English	5.046	5.343	5.404	83%
Chinese → English	3.694	4.263	4.636	60%

翻訳結果を、0~6の7段階で、人間が評価したもの。
以前のGoogle翻訳と比較して、58%~87%の改善が見られる。

以前のGoogle翻訳（PBMT）、現在のGoogle翻訳(GNMT)、人間による翻訳 の得点分布



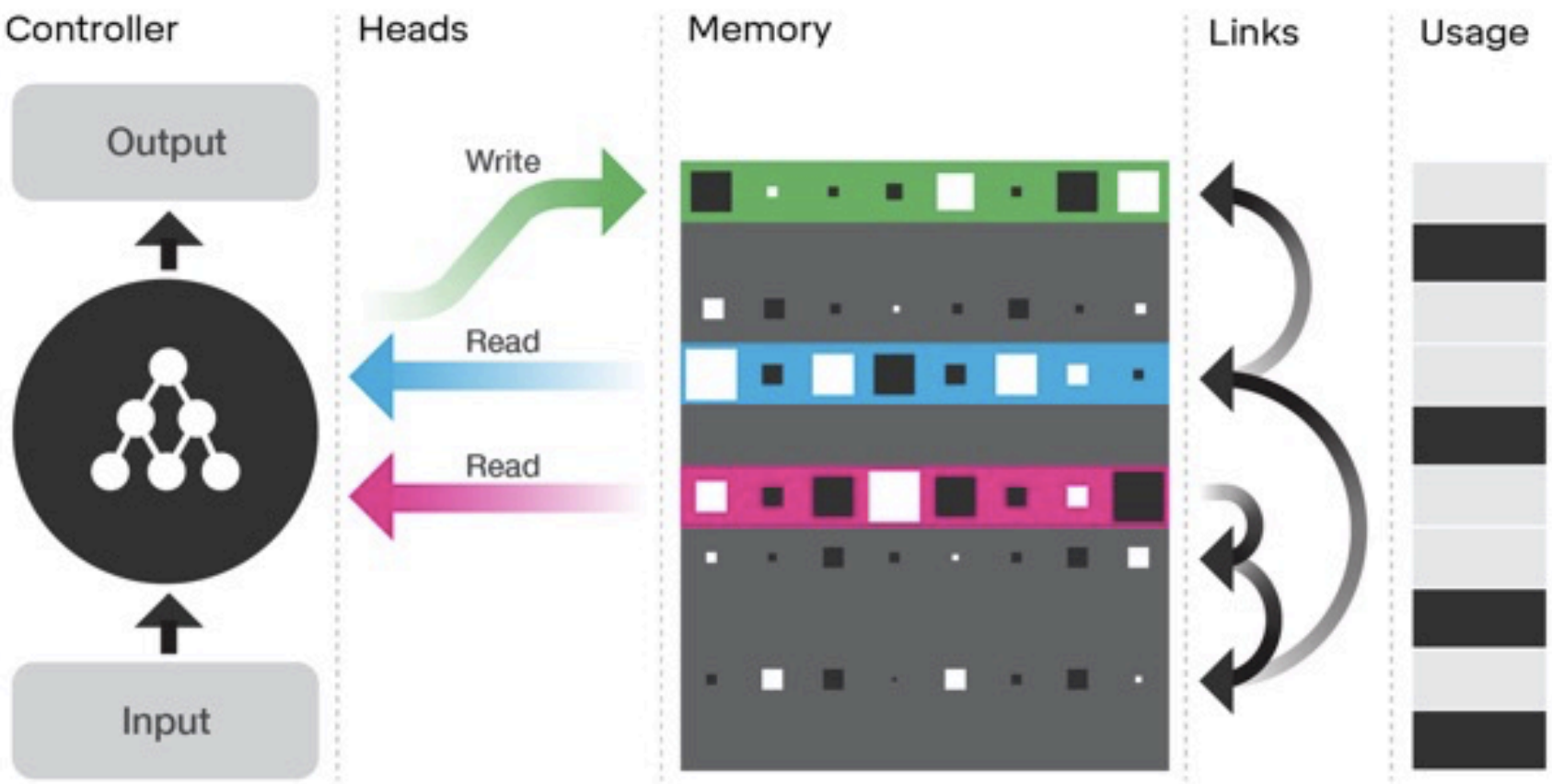
2017年 5年後の現在

2012年から始まったディープラーニングのブームは、5年経った今また、新しい展開を見せはじめている。

1. 一つは、昨年11月に製品版のサービスが始まったGoogleのニューラル機械翻訳が、素晴らしい成長を見せたことだ。翻訳の分野での成果だが、自然言語処理の飛躍的な発展が起こるかもしれないと期待させるものだ。
2. もう一つは、同じく、Googleが昨年末に発表した、DNC (Differentiable Neural Computer) だ。視覚を中心とした感覚・運動系の処理が得意なCNNや、言語等のシーケンス処理が得意なRNNとは、違う分野（論理的推論）に、違うアーキテクチャーで挑戦しようとしている。アーキテクチャー的には、ディープラーニング技術の発展形ではあるのだが、ノイマン型コンピューターの拡張のようにも見える。

2016年
Differential Neural Computer




Illustration of the DNC architecture
Controller
Heads
Memory
Links
Usage
Output
Write
Read
Read
Input

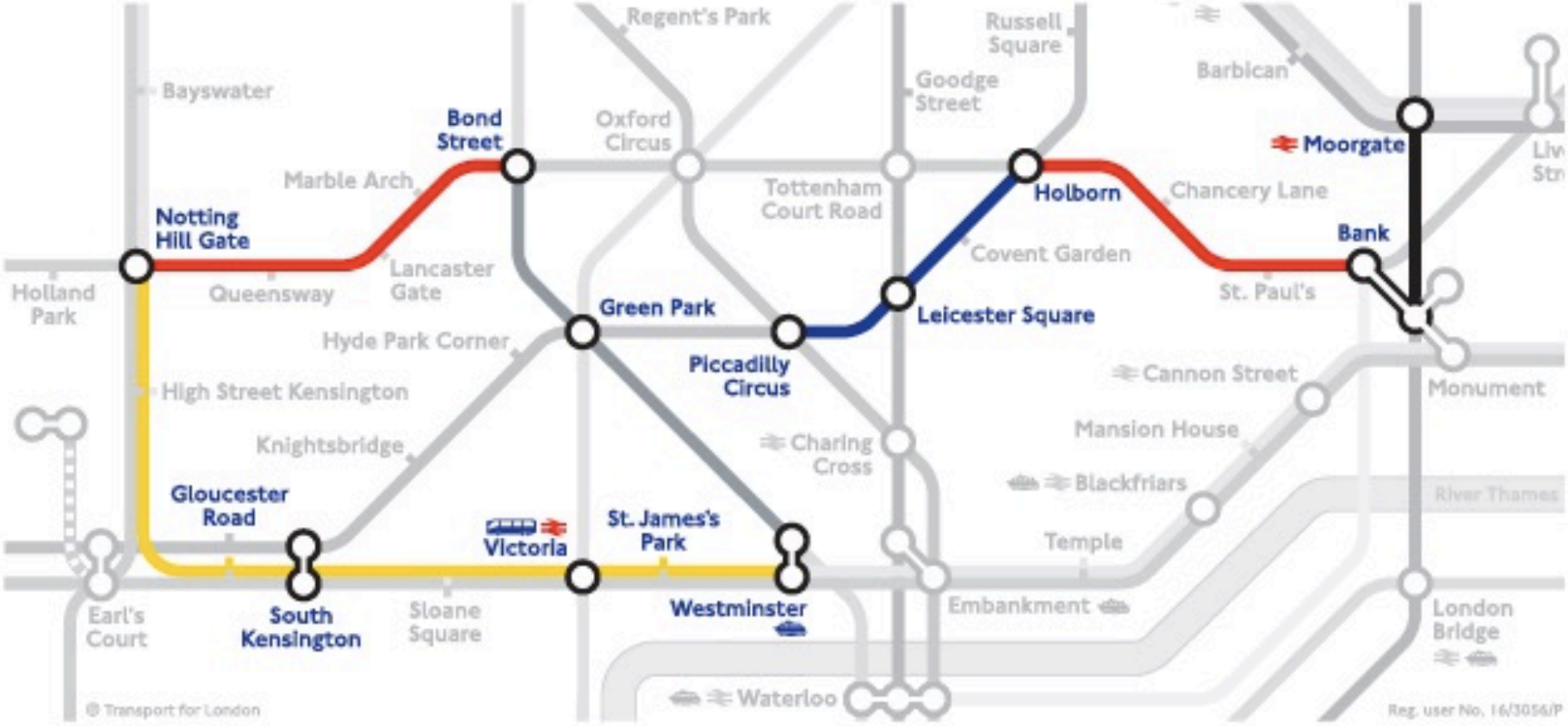
Synthetic question answering experiments

John is in the playground.
Bob is in the office.
Where is John? A:playground

John is in the playground.
Bob is in the office.
John picked up the football.
Bob went to the kitchen.
Where is the football? A:playground
Where was Bob before the kitchen? A:office

John picked up the apple.
John went to the office.
John went to the kitchen.
John dropped the apple.
Where was the apple before the kitchen? A:office

b London Underground



Part III　未来展望



Real とは何か？

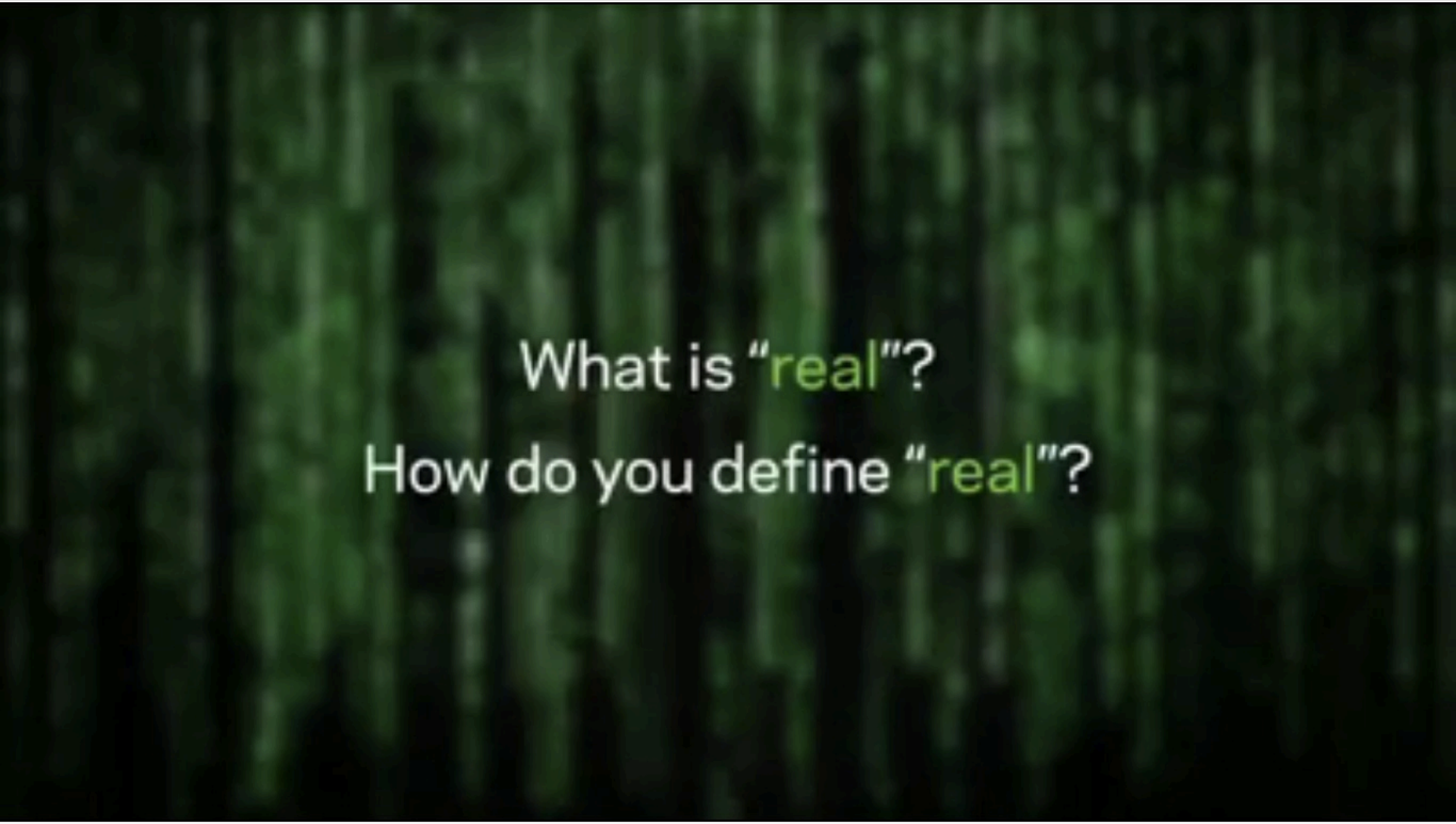
人工知能の未来の展望を語る前に、ここでは、僕が誤っていると考えている認識の理論を紹介しよう。

それは、「Realとは、脳によって解釈された電気信号に過ぎない」という認識像である。

2015年 f8 “Why Virtual Reality Will Matter to You"



http://on.fb.me/1IGaxFx

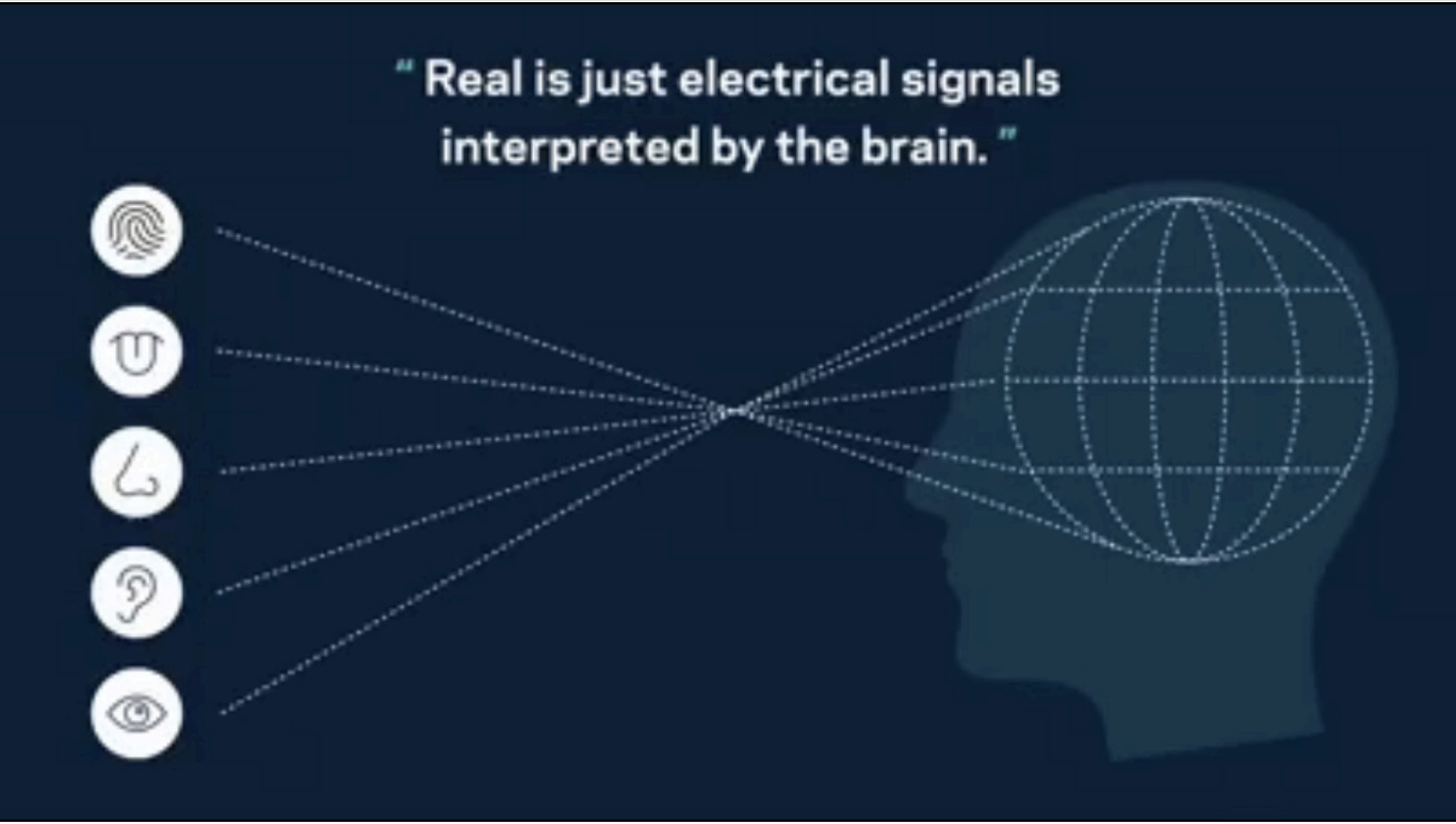

What is "real"?
How do you define "real"?



トピックとして取り上げられていたのは、「錯覚」だけだった

" Real is just electrical signals interpreted by your brain. "

これは、我々の認識について何も説明していない



“Real is just electrical signals interpreted by your brain”

- 2015年f8 “Why Virtual Reality Will Matter to You” セッションでのこうした見方に対する僕の批判は、https://goo.gl/EQMjGz にある。
- 2015年のf8に対するコメントは、こちら。https://goo.gl/FYh9X4
- Oculus Connect 2016でザッカーバーグがデモした“Social VR” https://goo.gl/3JoS2I への僕の肯定的評価は、こちら。https://goo.gl/wN53Fc

感覚能力の外的拡大

機械が、生物のように、目や耳といった感覚器官を備え始めたというのが、現在の人工知能技術の一つの到達点であるなら、我々人間も、他の生物にはない感覚器官を、新たに備えつつあると考えることができる。そうした人間の感覚能力の外的拡大は、機械によって初めて可能となった。

未来の人工知能は、こうして新しく人間が獲得した能力も、取り込まなければならない。

人間の感覚能力の拡大

感覚は、生物が外界を認識するために、進化を通じて発達させてきた能力である。

人間は、生物学的な進化以外の方法で、感覚の拡張を果たしてきた。こうした拡張は、「科学革命」期に起原を持ち、主要には、20世紀において展開された。

長さ・重さ・位置・時間について、生物にビルトインされた体性感覚をはるかに上回る精度の認識を、人間は得ることが出来る。

感覚能力の拡大

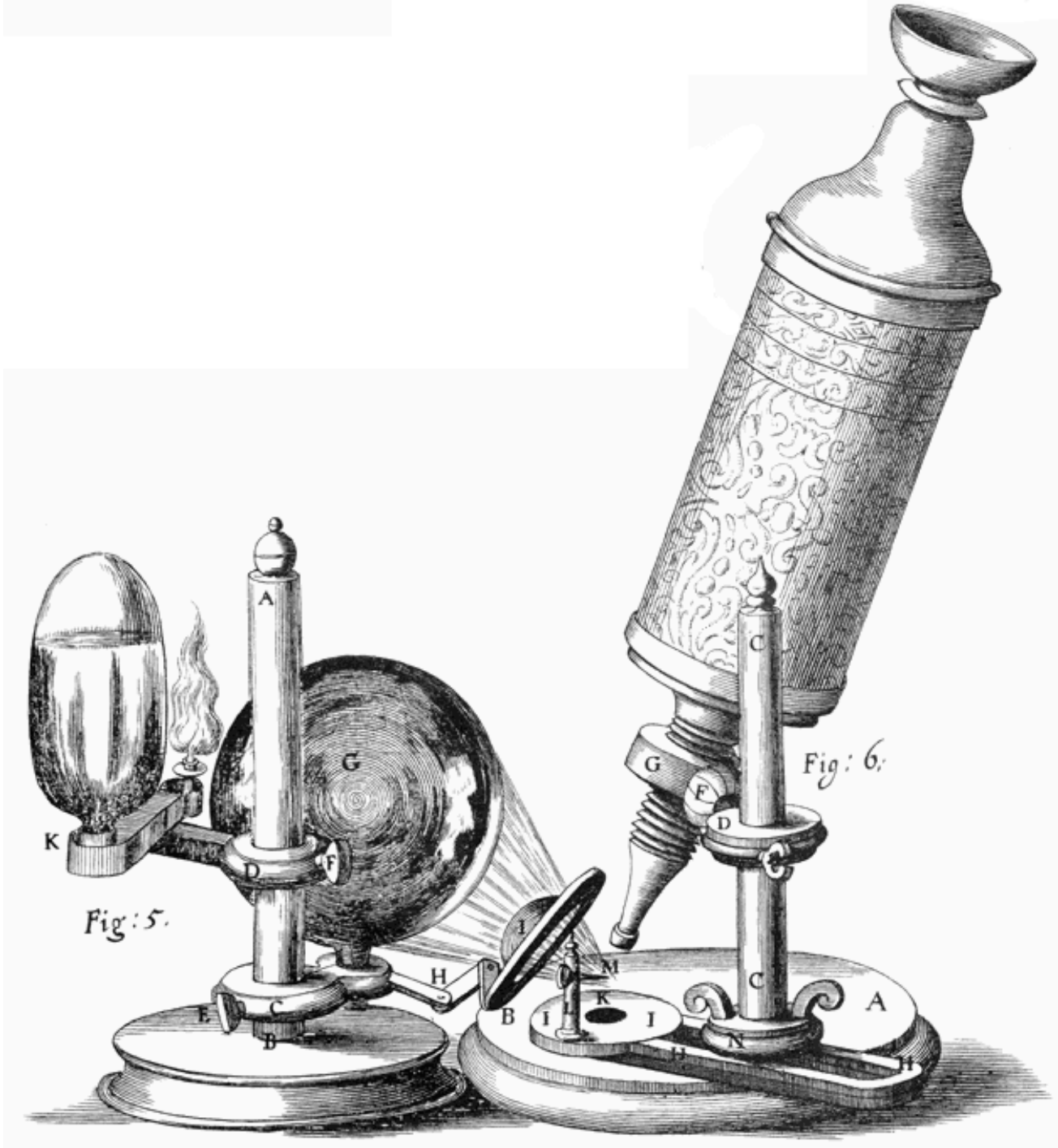
- 顕微鏡や望遠鏡は、我々の視覚能力の拡大である。同様に、光学的な原理に基づくものではないにしろ、電子顕微鏡や電波望遠鏡も、我々の視覚の拡張と考えていい。レントゲンやCT, MRIも同様である。
- ガスクロマトグラフィー・質量分析器・分光分析器も、嗅覚・味覚に代わる、我々の対象認識の拡張手段である。対象は限られているが、DNAシーケンサーは、我々の生物学的基礎に対する、最も重要な認識手段である。
- 素粒子物理の分野での巨大な加速器も、我々の感覚能力の拡張と考えることが出来る。

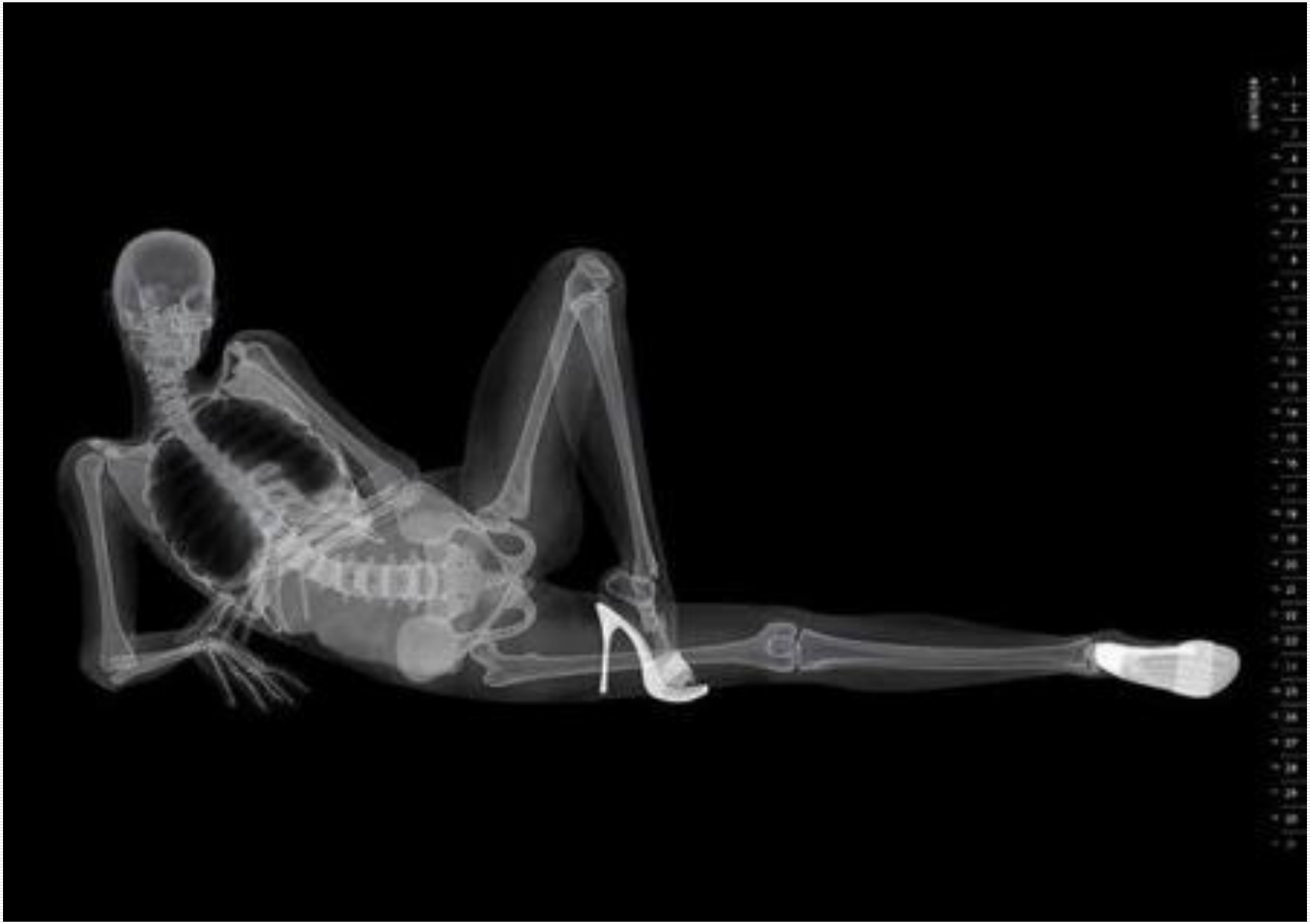








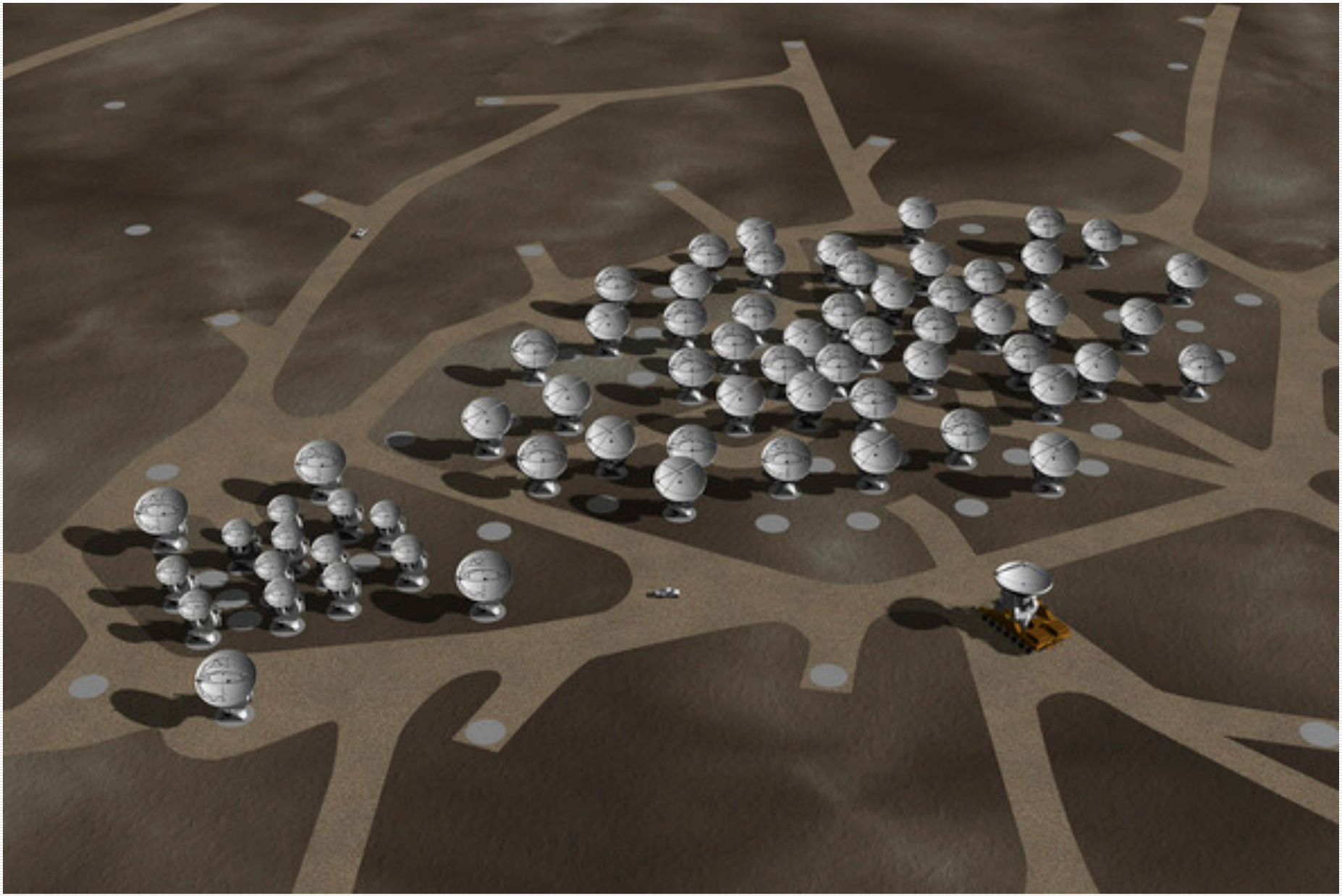

A
G
K
D
F
E
C
B
H
I
M
K
N
Fig: 5.
Fig: 6.





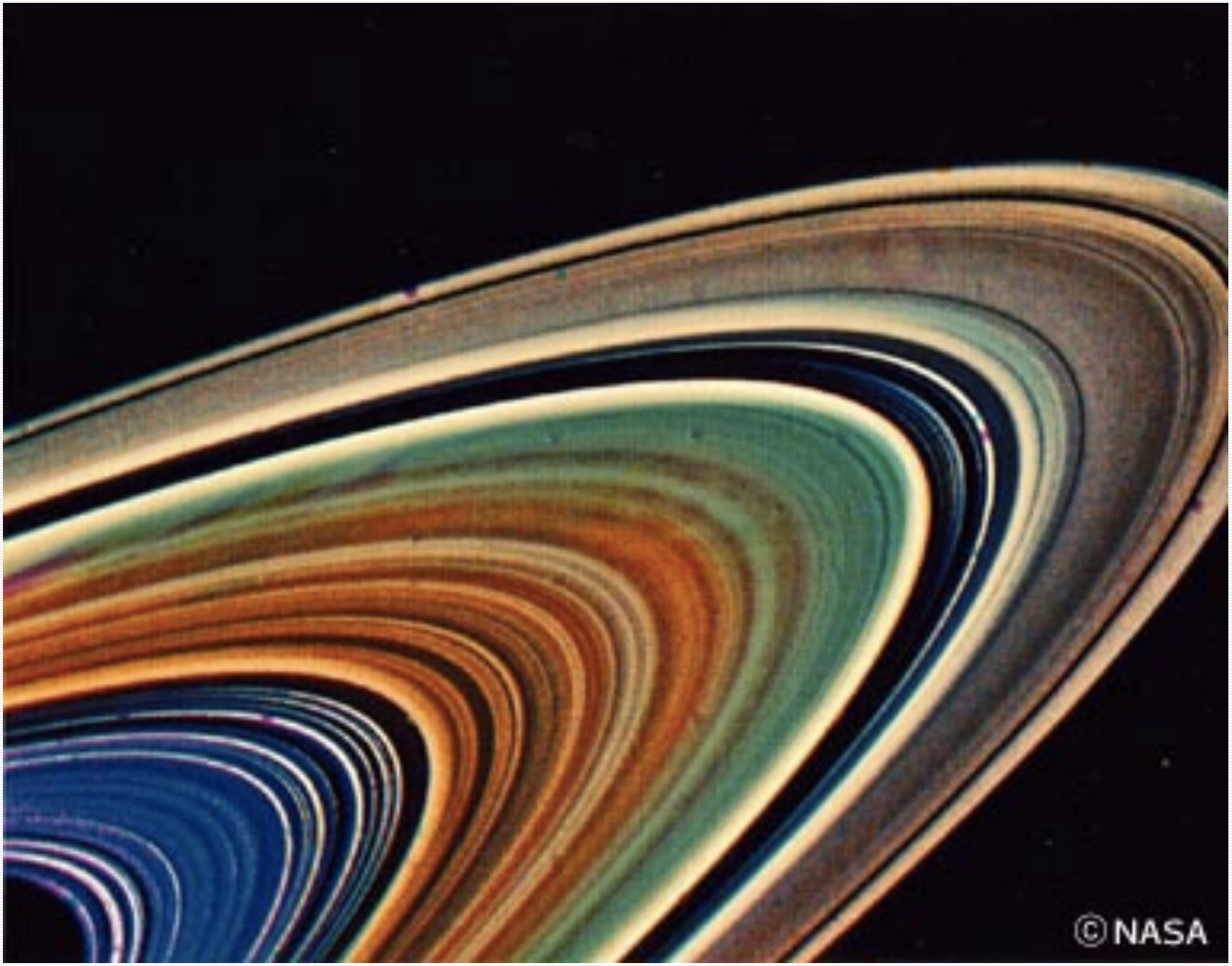


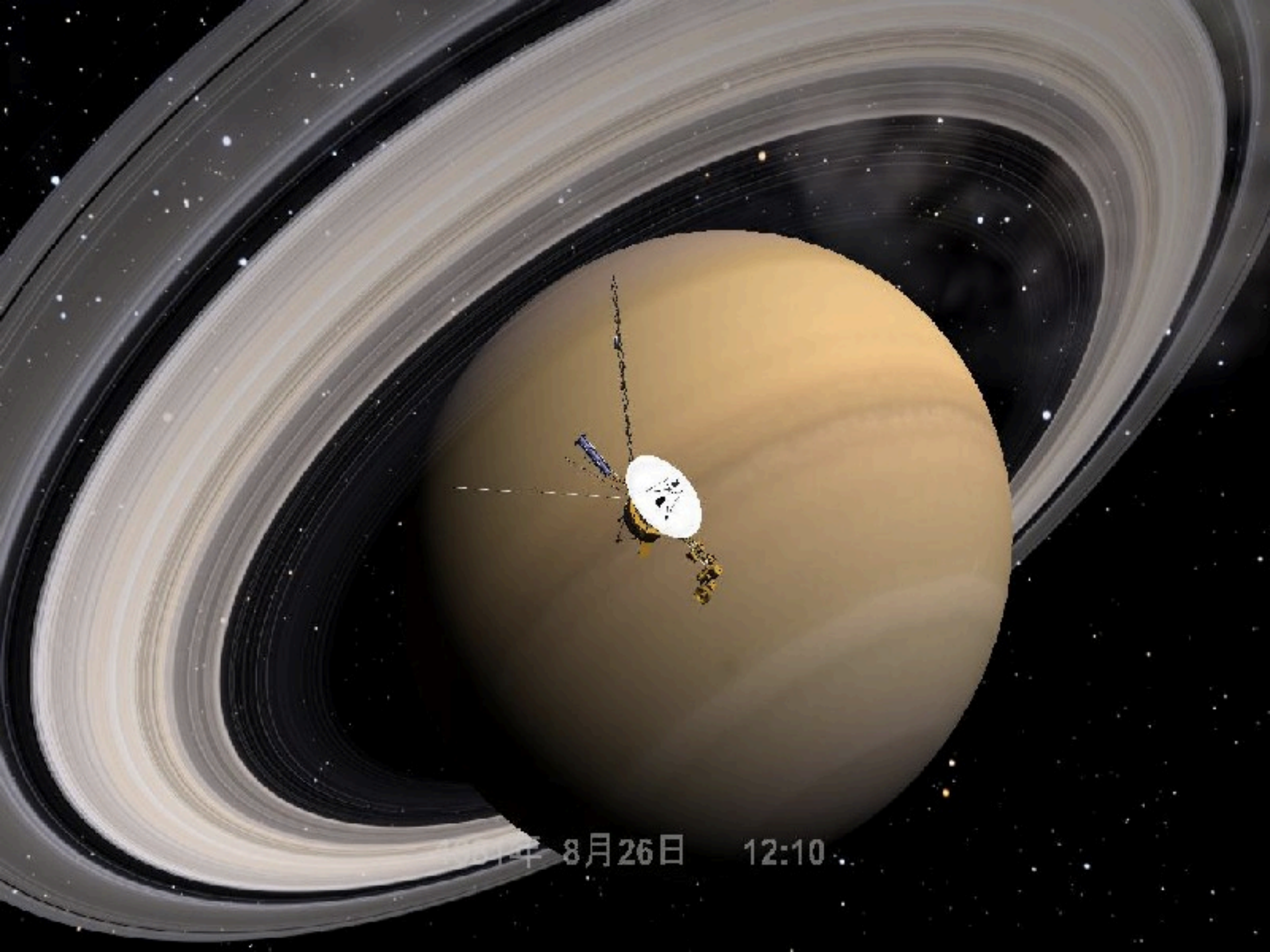





0309 102640 STS109 730 040

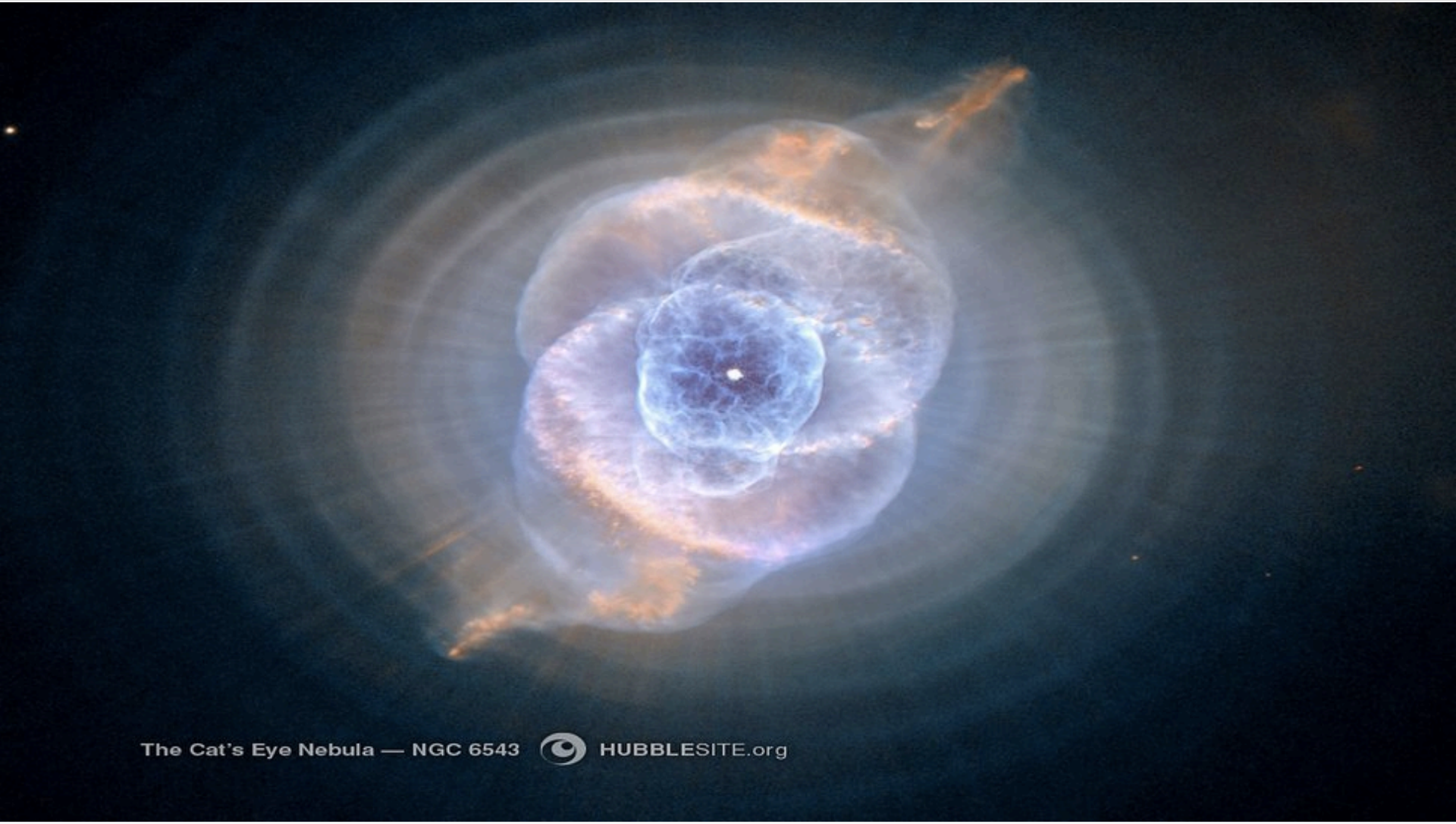


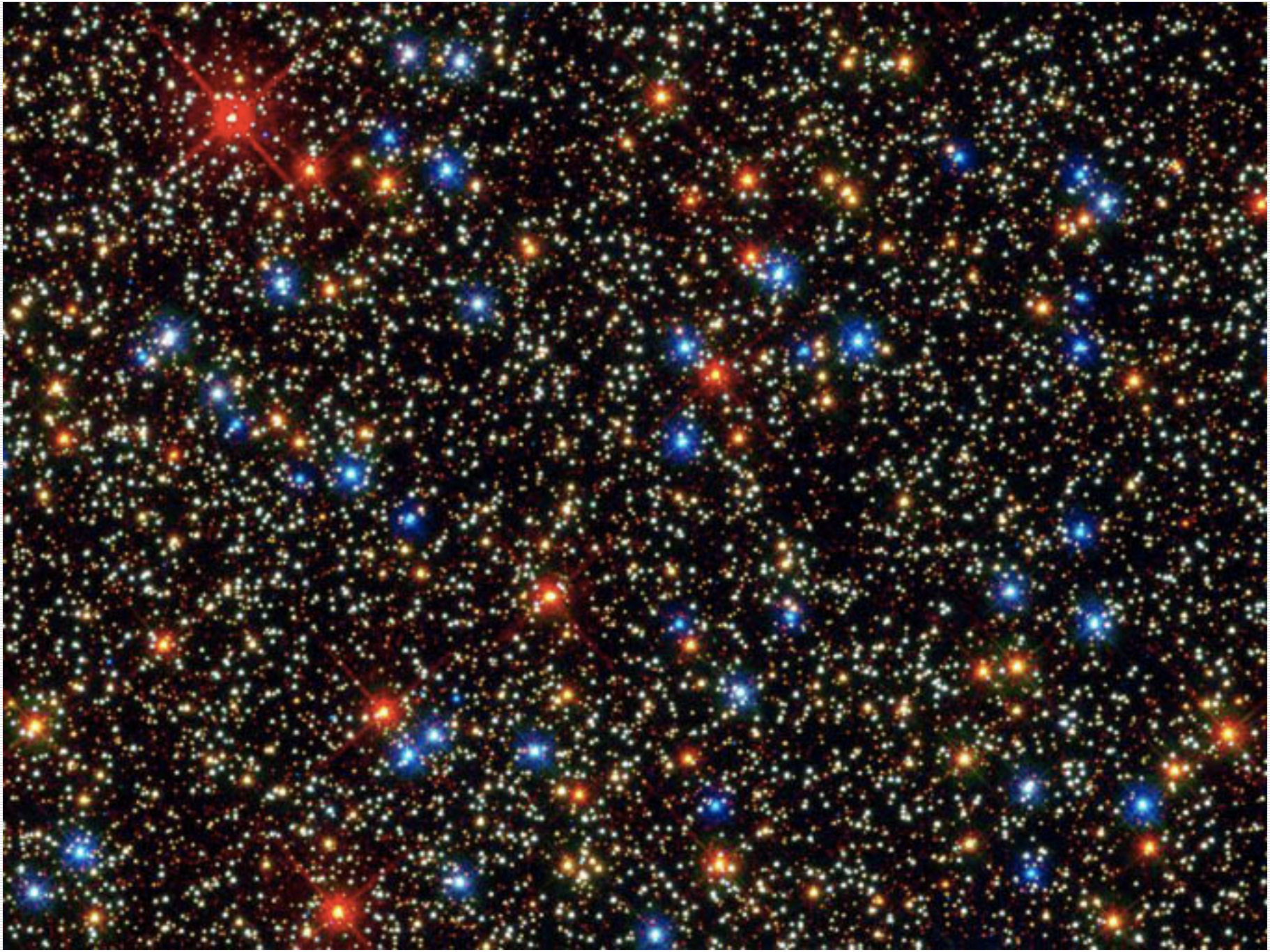

©NASA

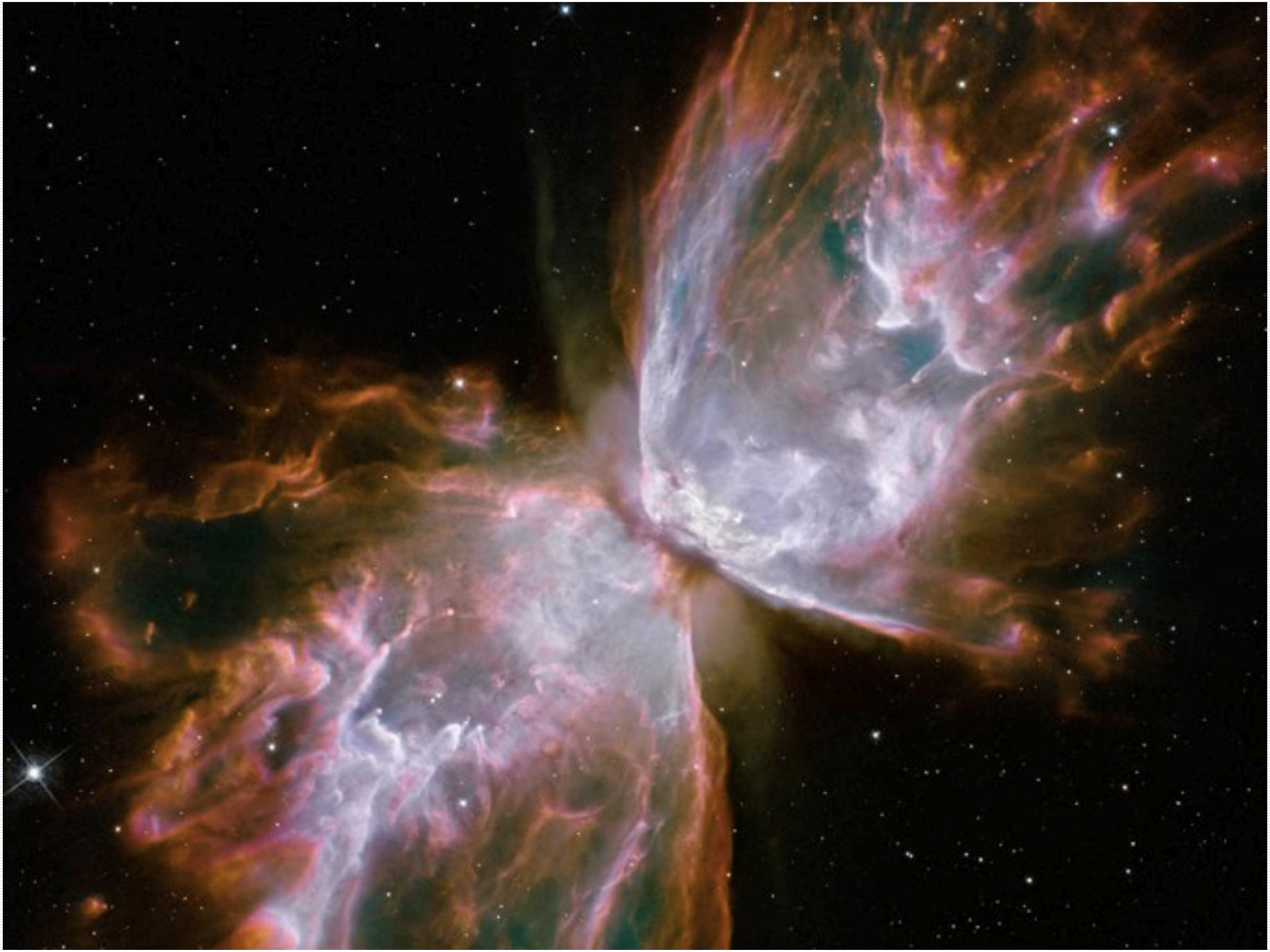

8月26日
12:10






The Cat's Eye Nebula — NGC 6543
HUBBLESITE.org





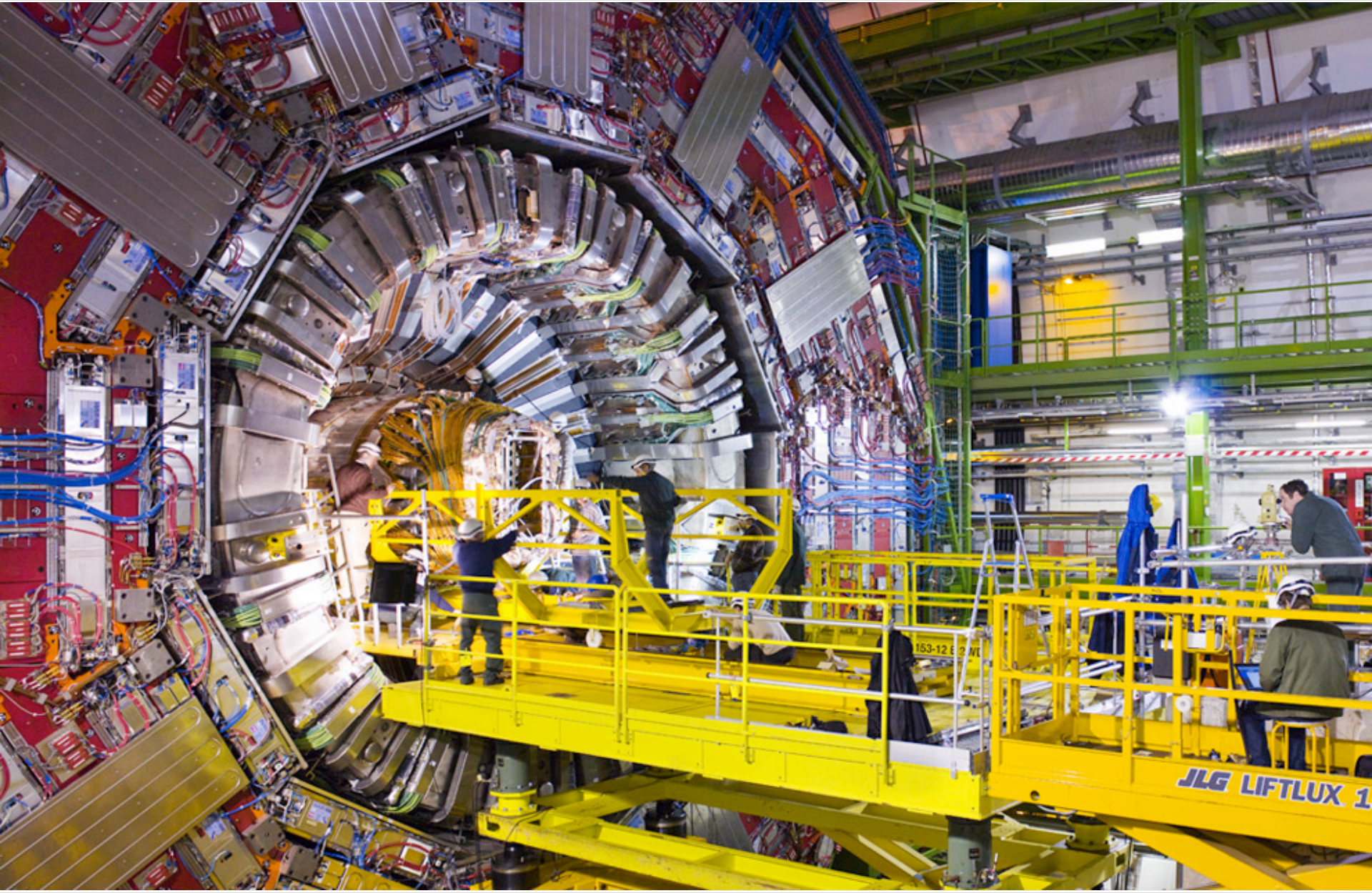


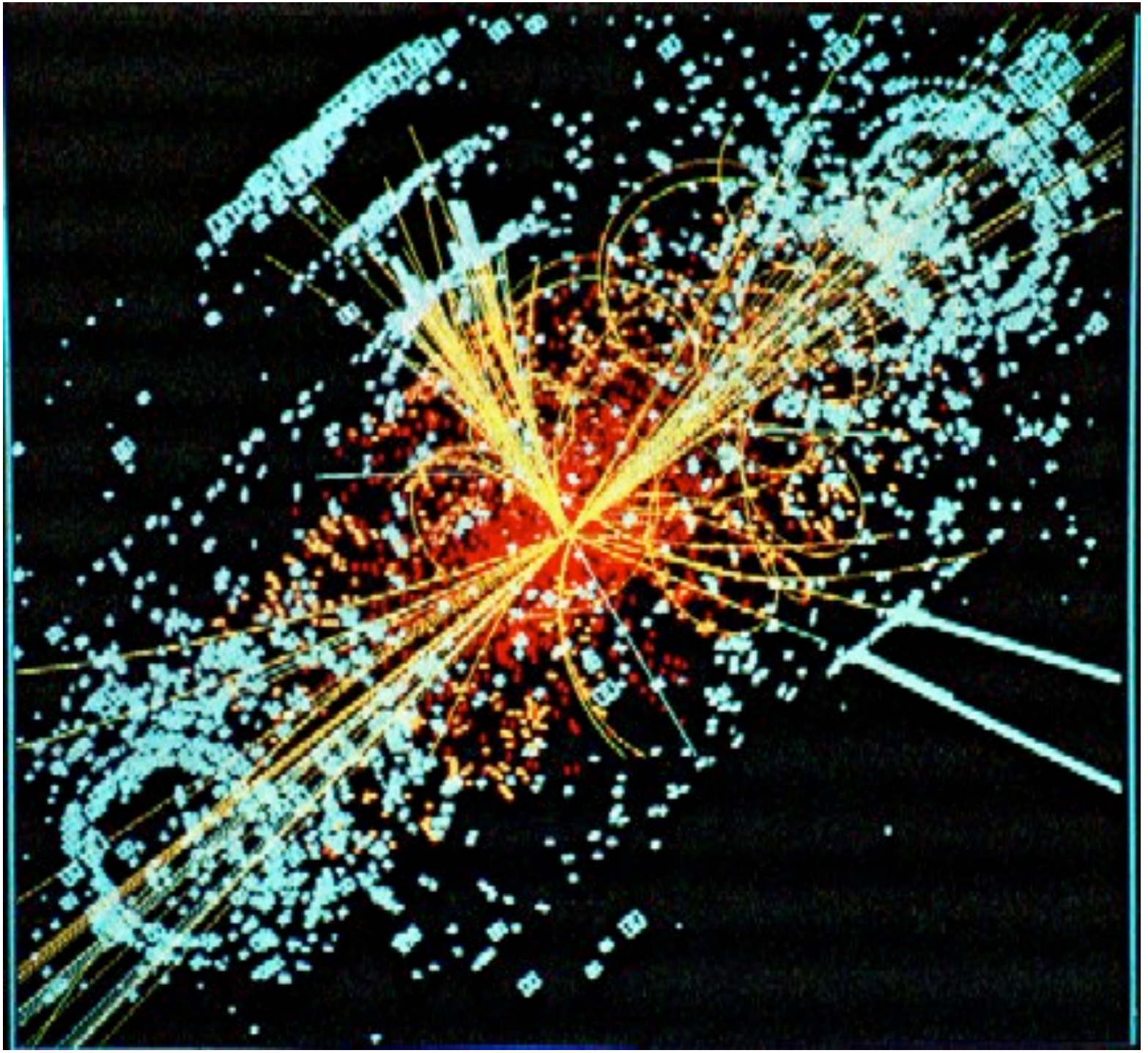
LIGO



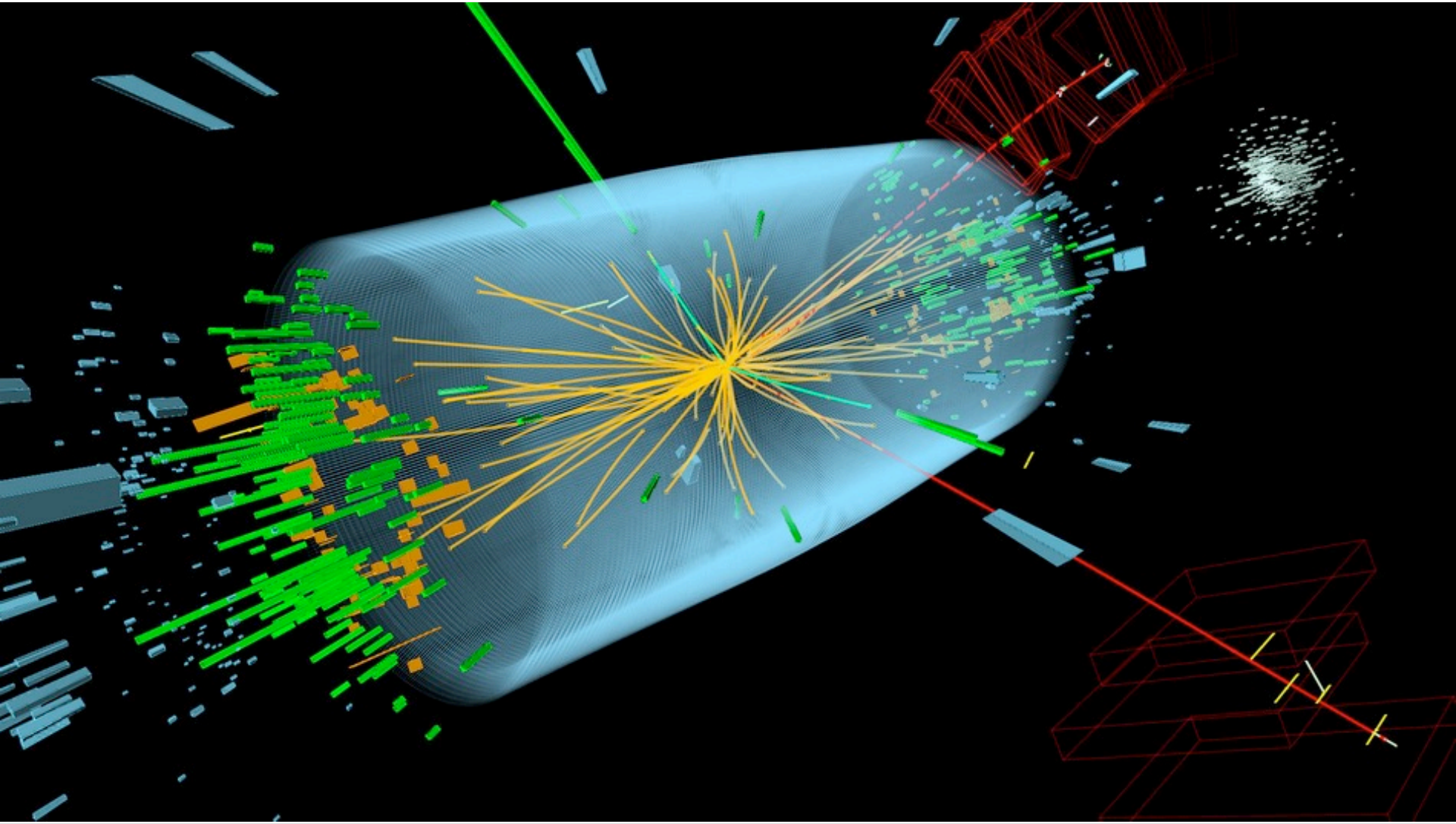




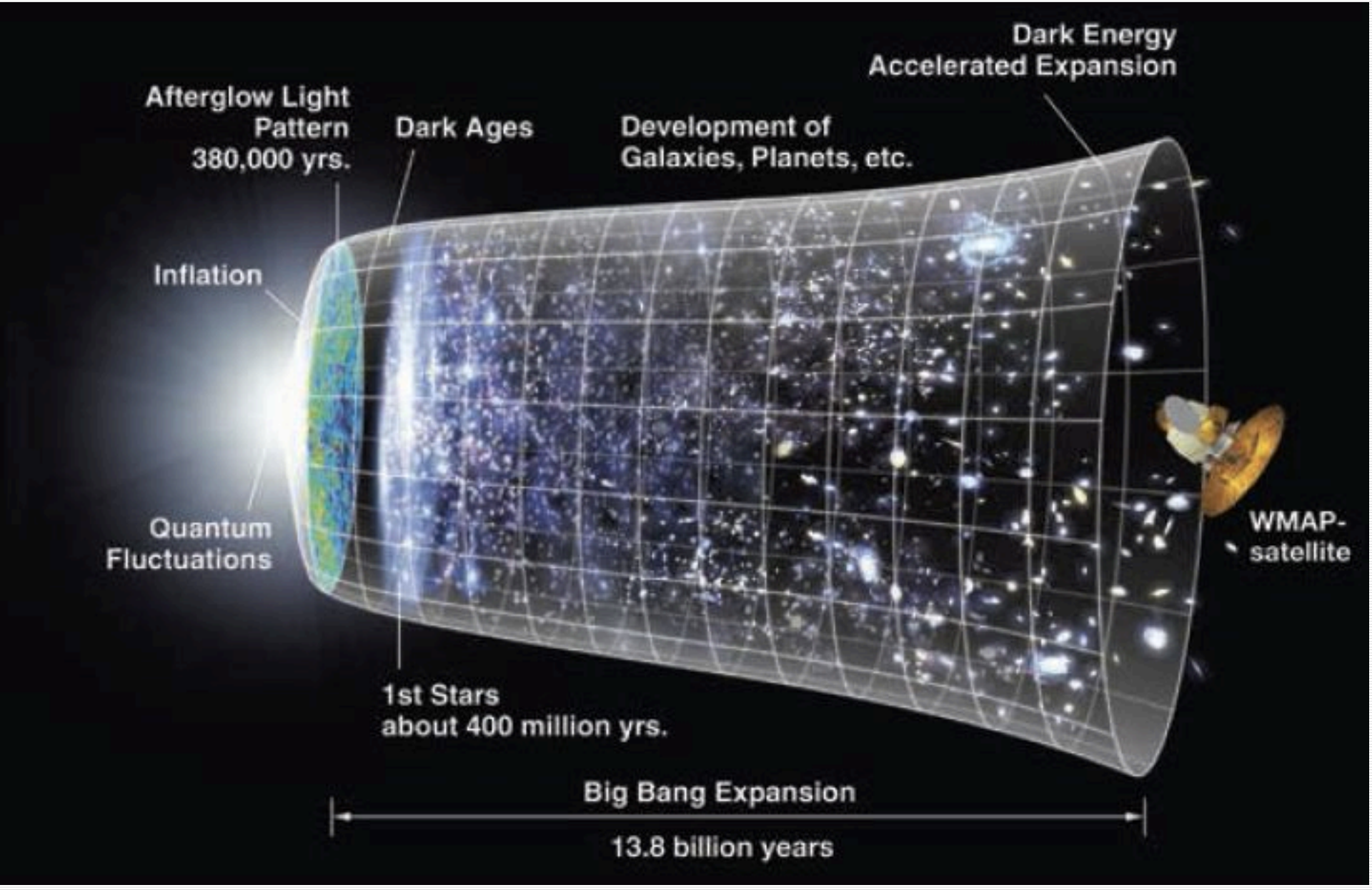

JLG LIFTLUX



CERN: We've Got the 'God Particle'



我々の自然認識

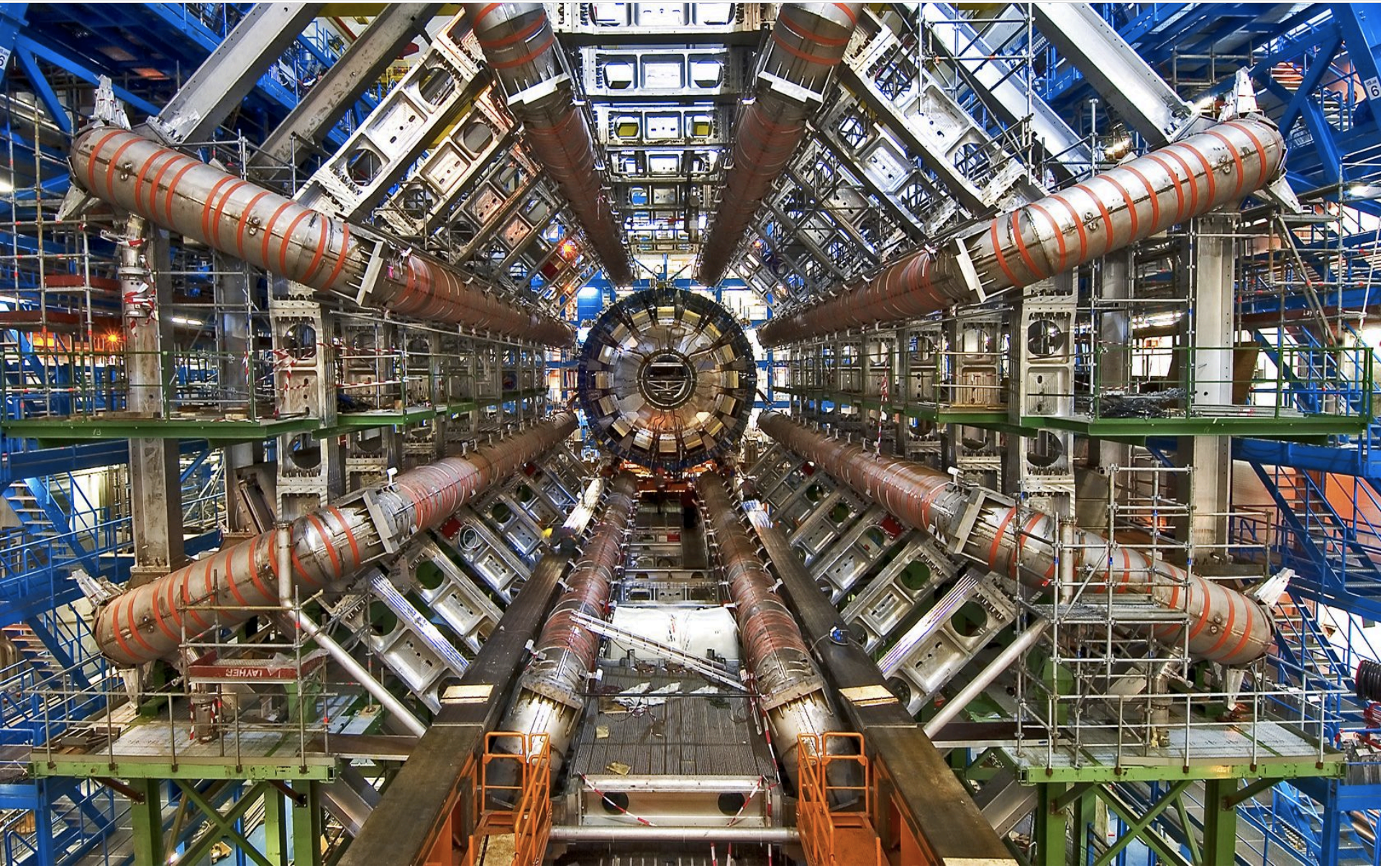

Dark Energy
Accelerated Expansion
Afterglow Light
Pattern
380,000 yrs.
Dark Ages
Development of
Galaxies, Planets, etc.
Inflation
Quantum
Fluctuations
WMAP-
satellite
1st Stars
about 400 million yrs.
Big Bang Expansion
13.8 billion years

機械が
人間の感覚能力の拡大を可能とした

- こうした人間の感覚能力の拡大は、機械によって支えられている。機械の助けなしでは、それは不可能であった。現在の我々人間の自然認識の能力は、機械の能力と一体のものである。
- それでは、これらの機械は感覚を持つのだろうか？　観測機械の振る舞いは、物理過程に帰着する（それは、生物の感覚器官の働きも同様であるのだが）のだが、その結果を人間が解釈することで、それは人間の感覚能力の拡大となる。
- 網膜がそれ自体では視覚を持たないのと同じように、観測機械もそれ自体では、感覚を持っている訳ではない。

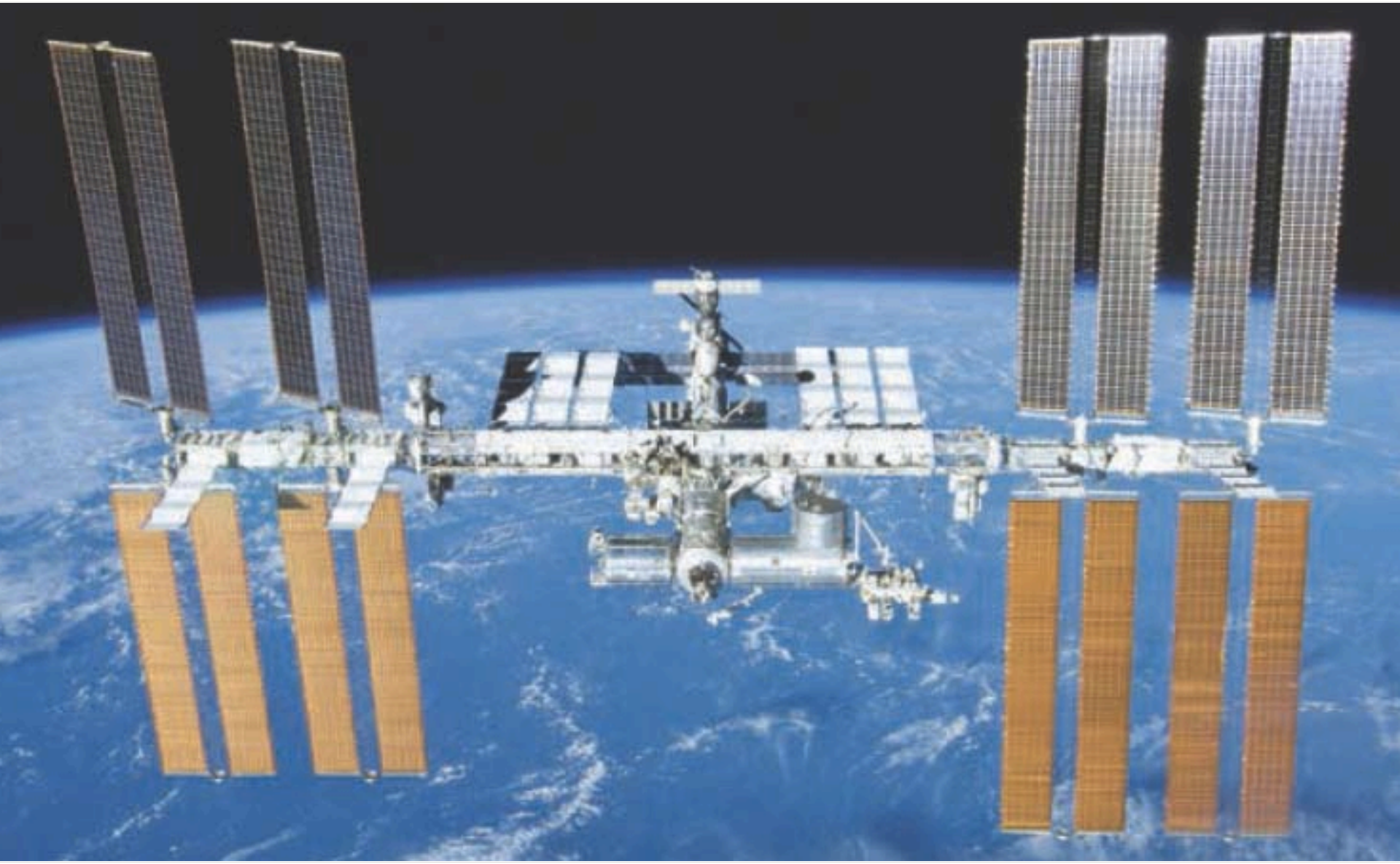
「われわれ＝人類」の感覚器官

- もう一つ重要なことは、宇宙の観測にしろ加速器にしろ、ナショナルあるいはインターナショナルなプロジェクトとして遂行れていることだ。それは、個人の感覚能力の拡大というよりは、集団的な人間の感覚能力の拡大である。



LIGO





認識能力の
数学的認識による拡大

人間は、感覚能力を外的に拡大しただけでなく、他の生物にはない、特殊なやり方で外界を認識する。一つは、言うまでもなく人間のみが持つ言語能力に基づく対象の把握なのだが、もう一つは、数学的な認識に基づく自然の認識である。

数学的認識能力は、シンボルを操作する言語能力を基礎とするのだが、言語能力には還元できない独自の能力である。

言語能力が解明されるべき多くの謎を持つように、数学的能力も謎が多い。

数学的認識の誕生と発展

プリミティブな数学的認識、量的な関係の認識は、文字の誕生と、ほぼ同じ時期に生まれた。

数学的認識の飛躍は、「科学革命」を通じた自然認識の深化の中で起きる。

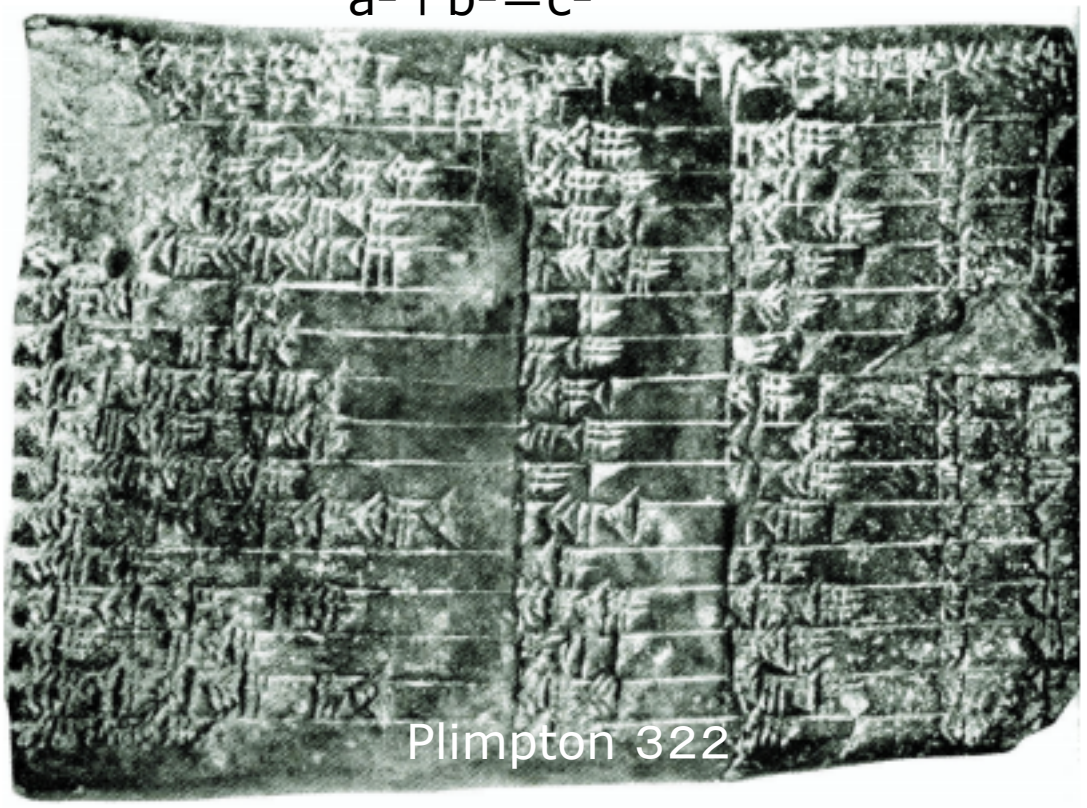
数学は、我々にとって、自然認識の不可欠の手段である。



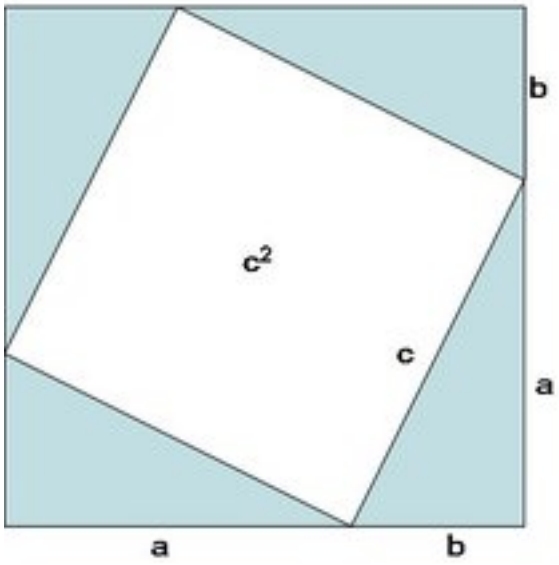
バビロニアの数学
4000年前

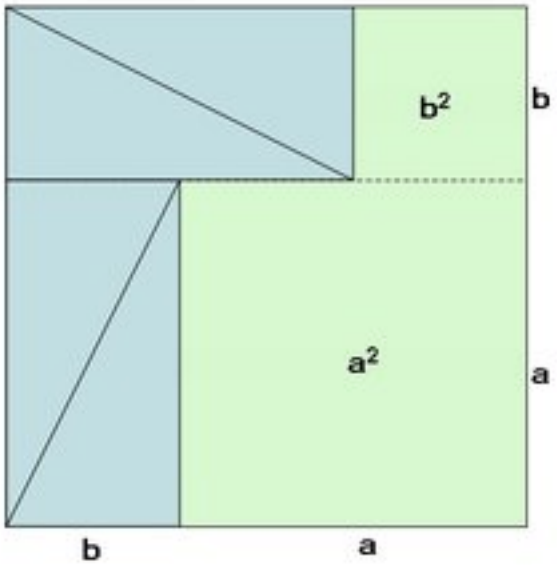
$\sqrt{2} = 1.41421296...$

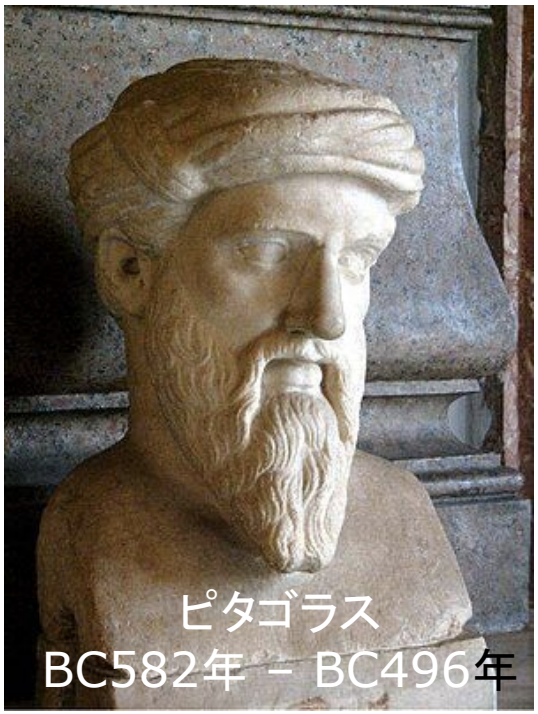
$a^2+b^2=c^2$



http://bit.ly/1vDqN5d

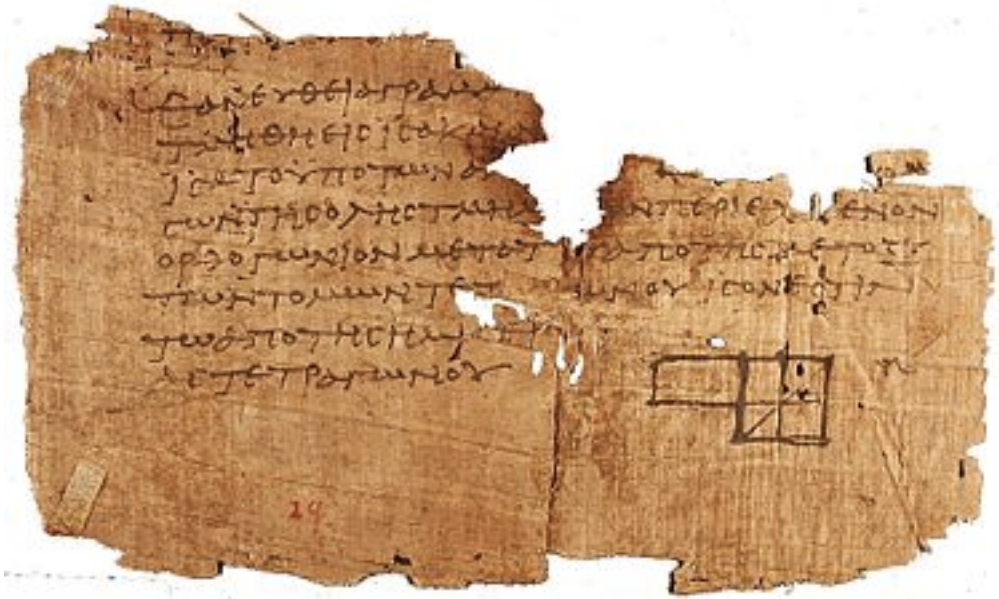




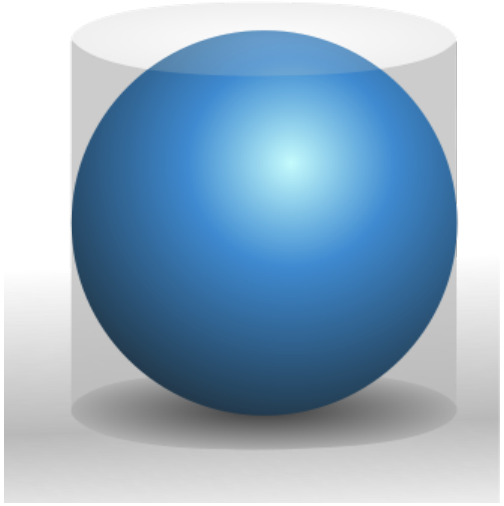


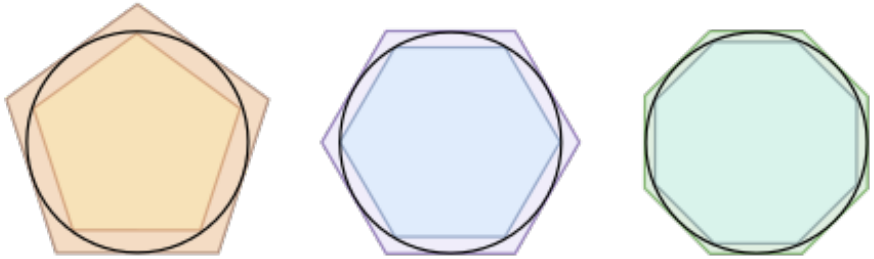
ギリシャの数学

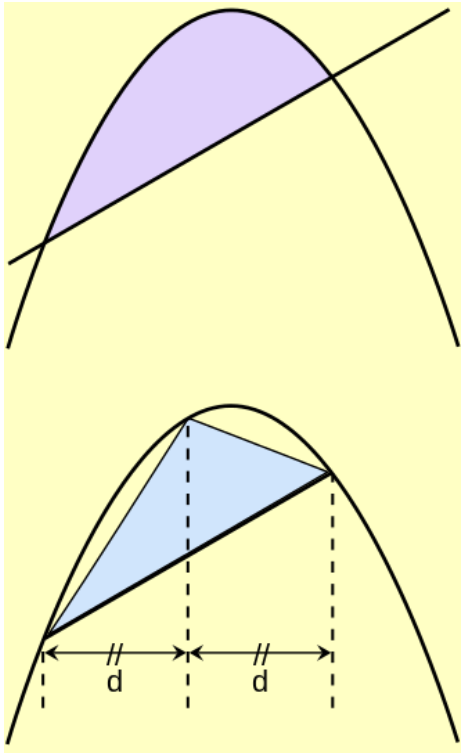


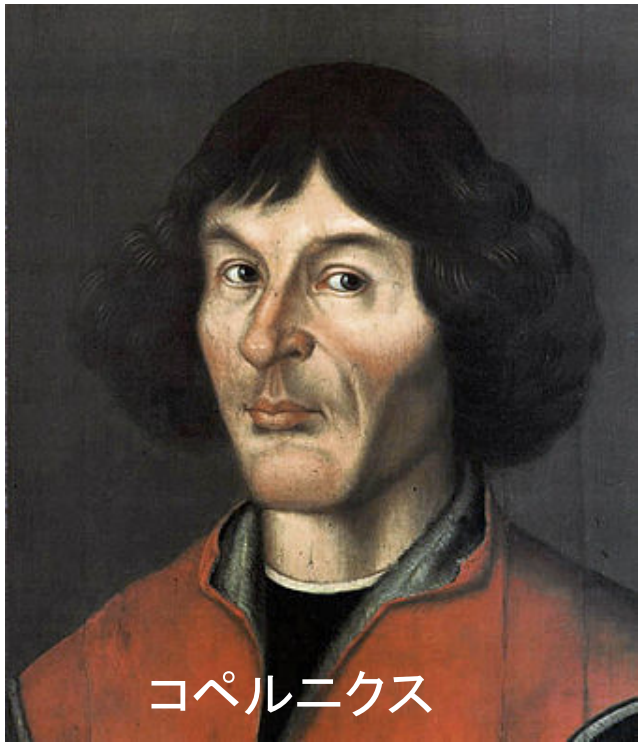


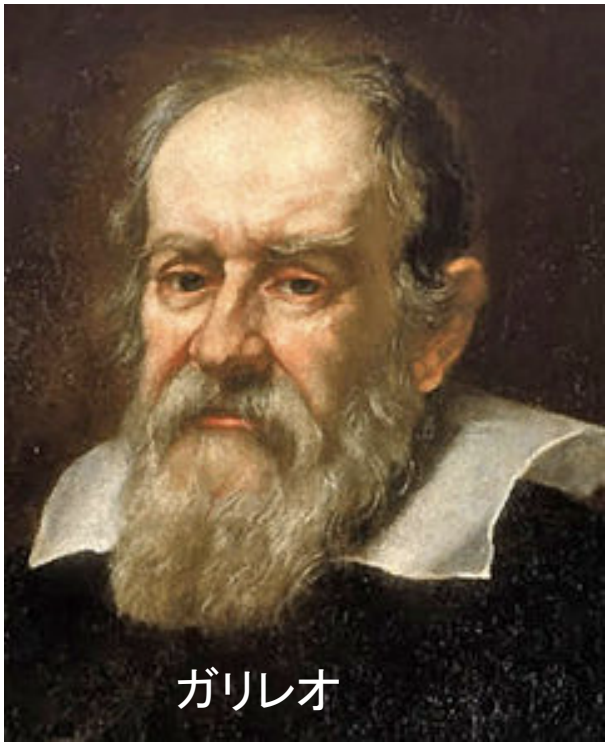

アルキメデス
紀元前287年 - 紀元前212年



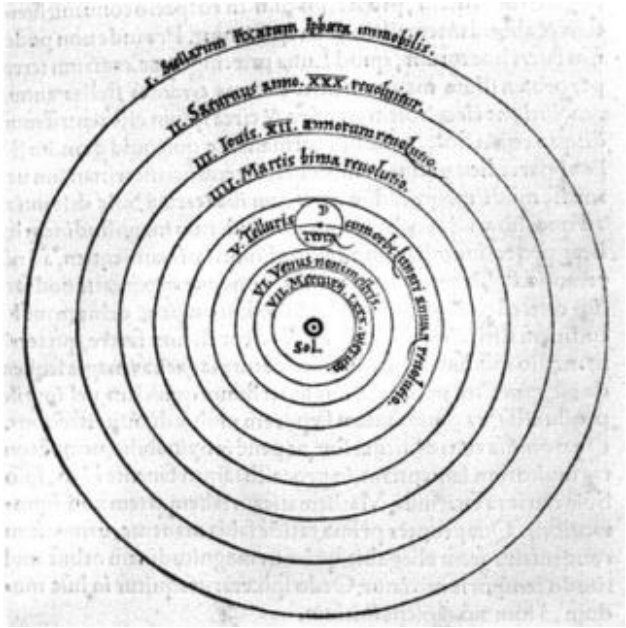



d
d

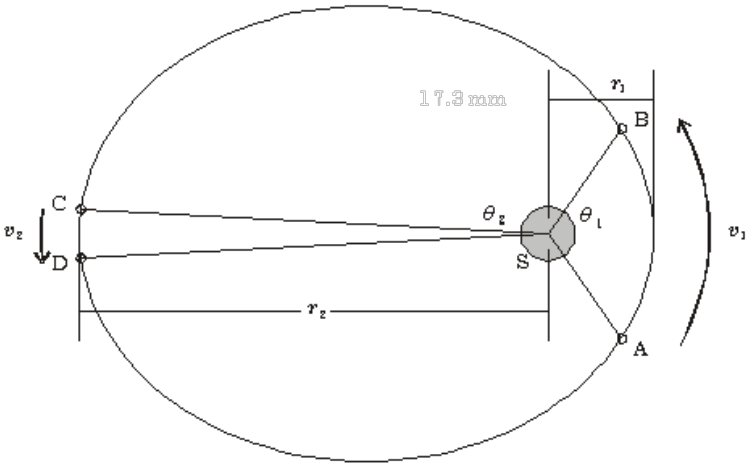

コペルニクス

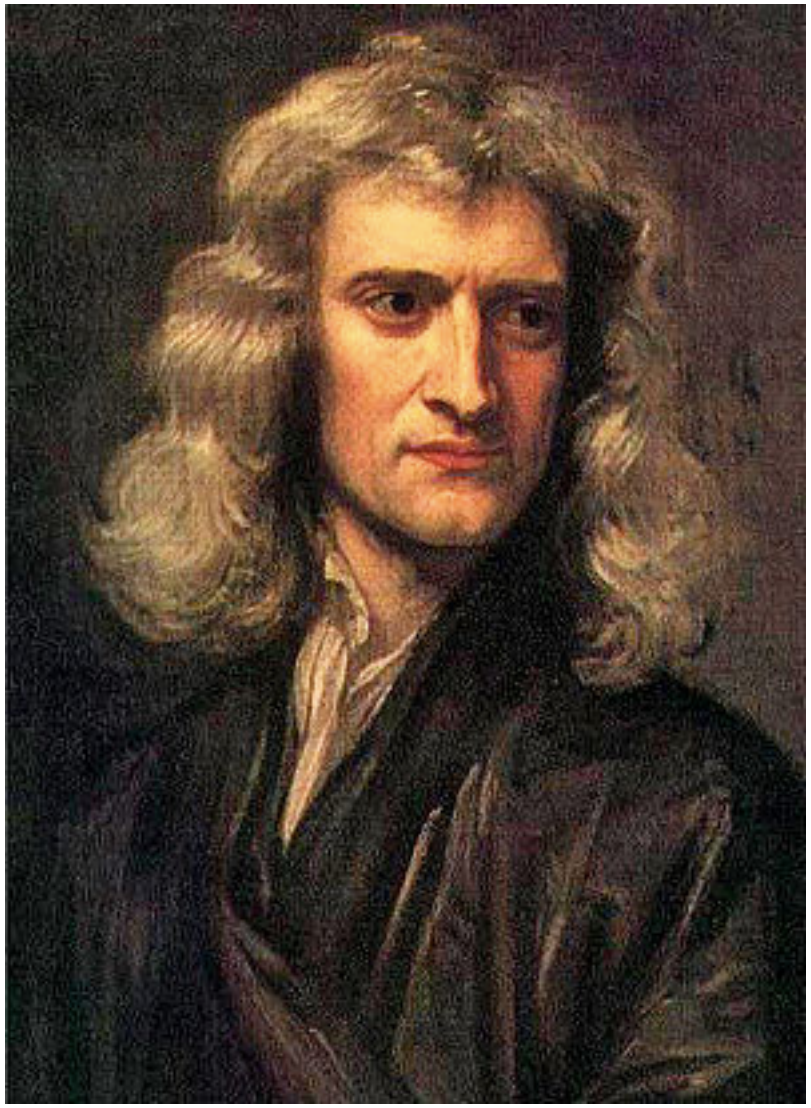

ガリレオ


ケプラー



科学革命





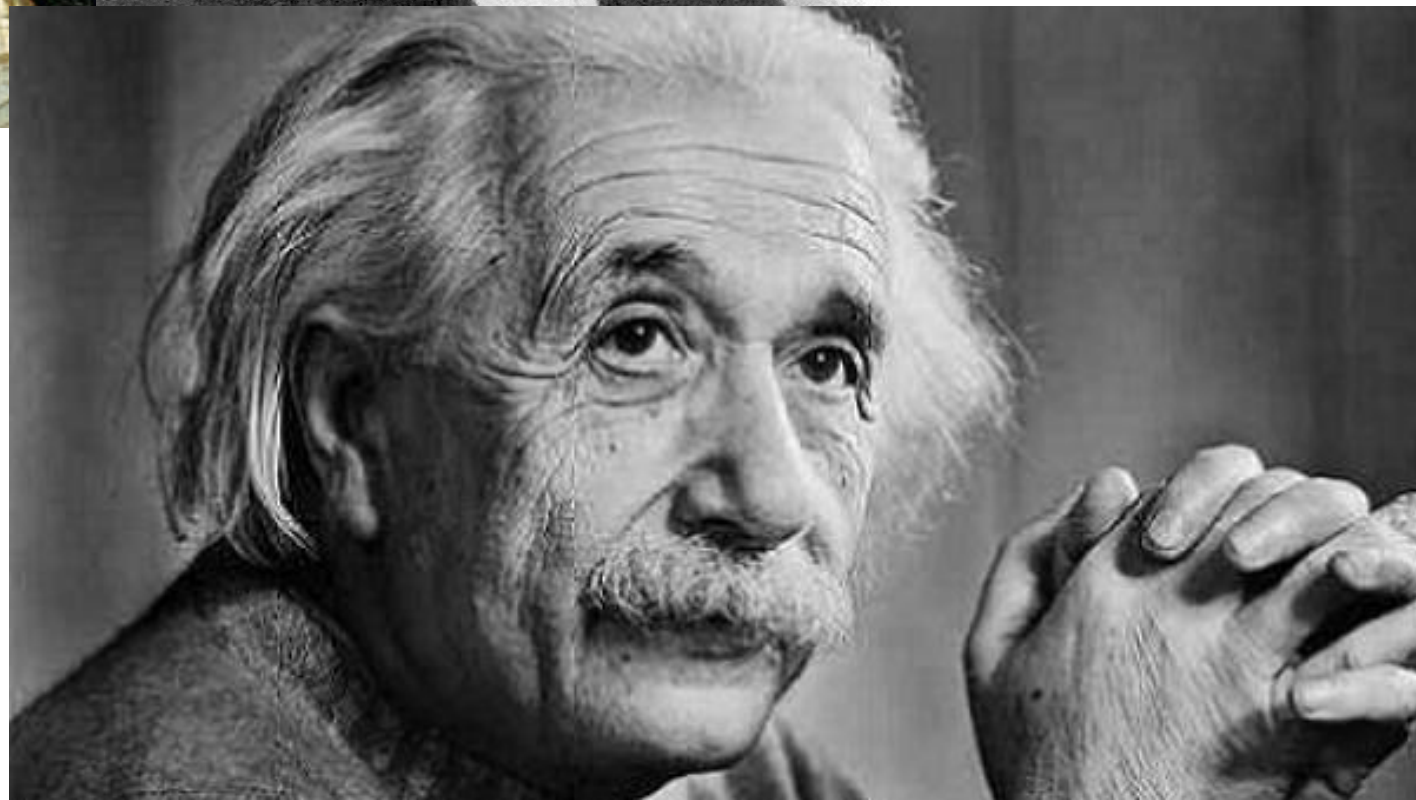


ニュートン、ライプニッツの微積分の発見が、
新しい自然認識を可能にした。





ガウス、リーマンらの数学的達成が無ければ、アインシュタインの理論は生まれなかった



自然認識の「器官」としての数学

数学的・科学的認識の特質
累積的な知

累積的知

- 数学的・科学的認識には、大きな特徴がある。それは、いったん正しいものとして獲得された知識が、時間とともに蓄積されて行くということだ。
- たしかに科学においても、その「正しさ」は、つねに相対的で近似的なものである。科学的認識の累積も、ある意味では、そうした制約の自覚の累積である。
- 別の言葉で言えば、科学的認識は、先行する諸成果を踏まえて、発展するということである。

累積的知の主体

- こうした科学的認識・累積的知の現在の担い手は、我々である。ただ、時間とともに累積される知の主体は、個人ではなく、集団的で社会的なものである。それは、生物学的進化の主体が、個体ではなく、種であるのと同じである。
- こうしたタイプの知の累積とそれによる知の発展を可能にすることが、我々人間の認識能力の重要な特徴である。
- 集団的・社会的に担われた知の発展の契機は、個人の多様性である。

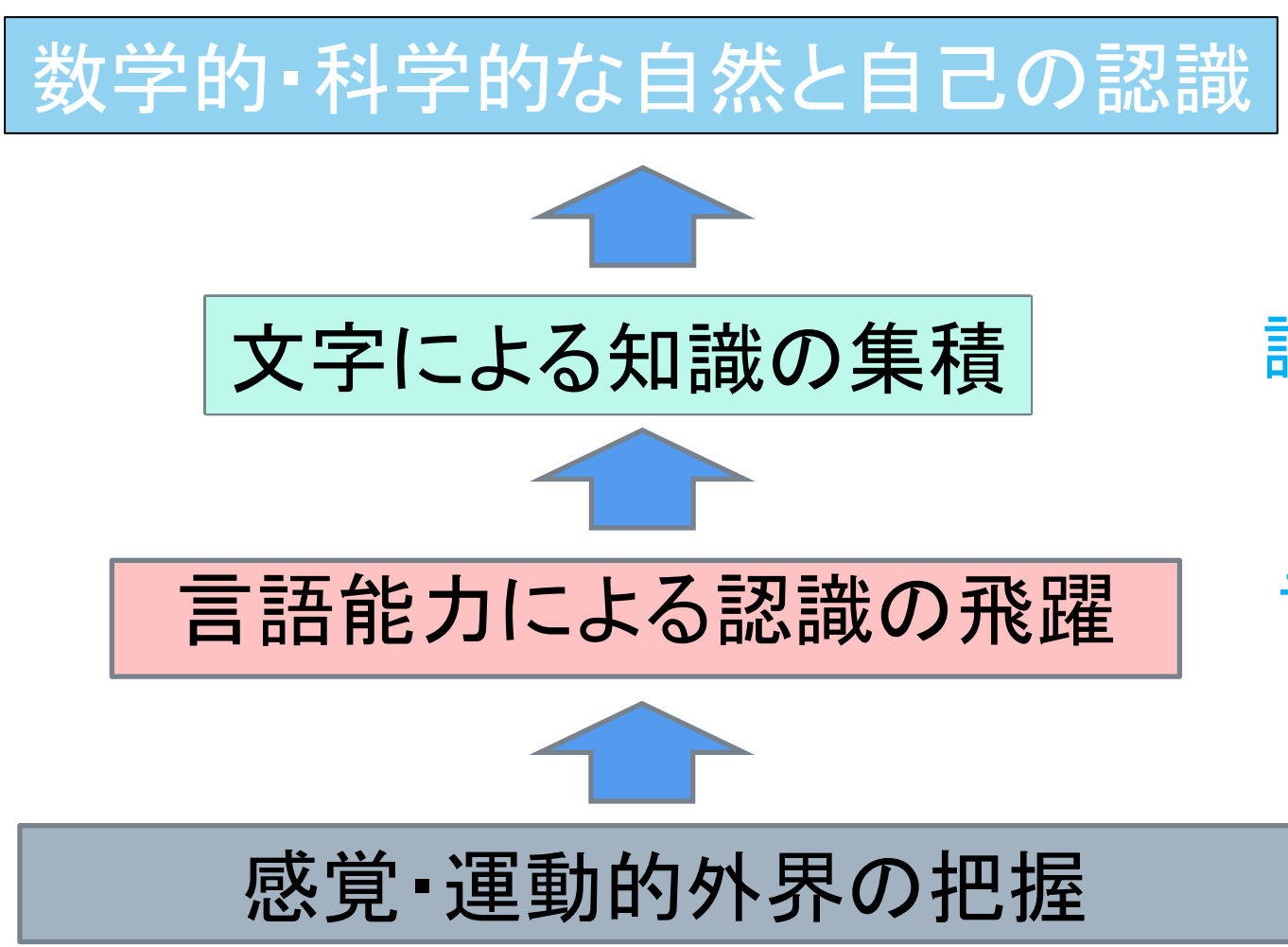
人工知能研究のパースペクティブ

ここでは、人間の認識能力の発展と、歴史的に形成されたその階層について考えてみる。これらの諸階層に対応した人工知能技術が、本来、必要となる。

現状を見る限り、弱い環があるのは明らかなのだけれど、それを直ちに埋めることは容易ではないのかもしれない。

ただ、それは、けっしてペシミスティックな展望ではない。研究すべき多くの課題があるということは、むしろ好ましいことだと僕は考えている。

人間の認識の発展と階層

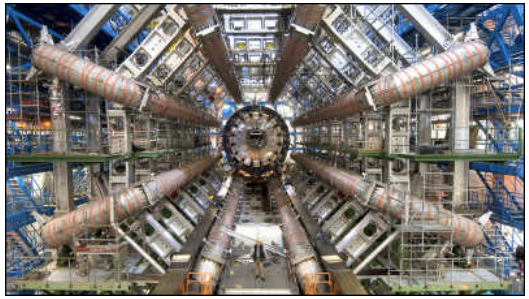


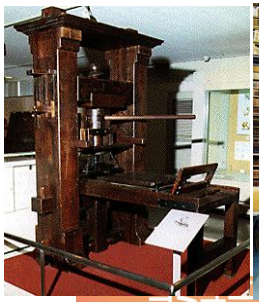
科学と技術

諸メディア

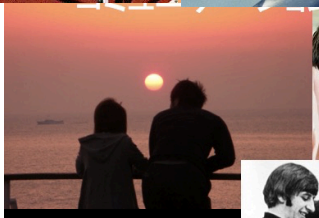
音声言語

思考の言語

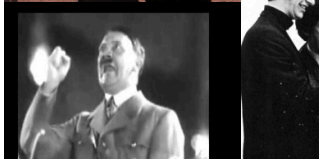








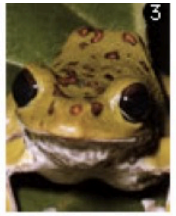
















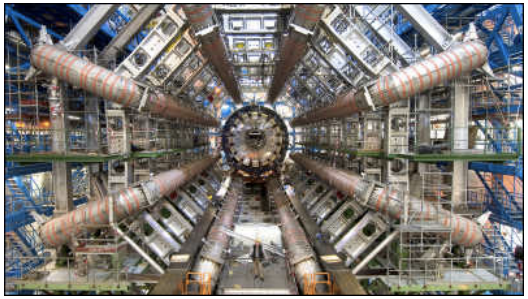


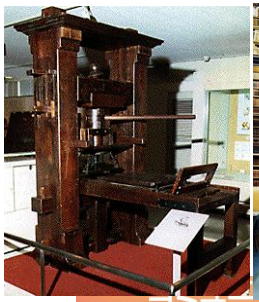
数学的・科学的な自然と自己の認識

文字による知識の集積

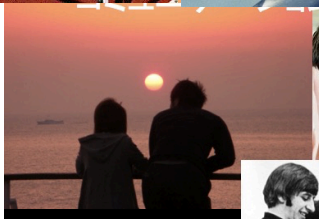
言語能力による認識の飛躍

感覚・運動的外界の把握

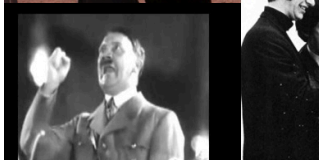








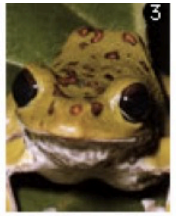


















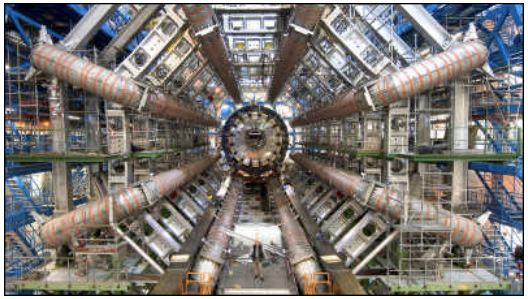
数学的・科学的な自然と自己の認識

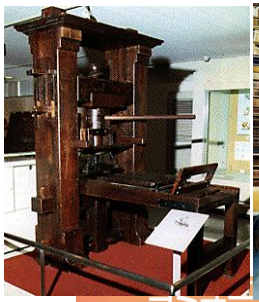
文字による知識の集積

言語能力による認識の飛躍

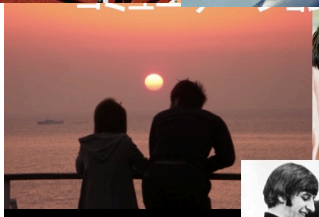
感覚・運動的外界の把握

感覚の力

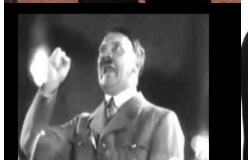








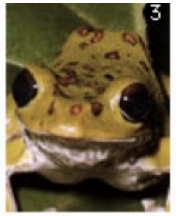


















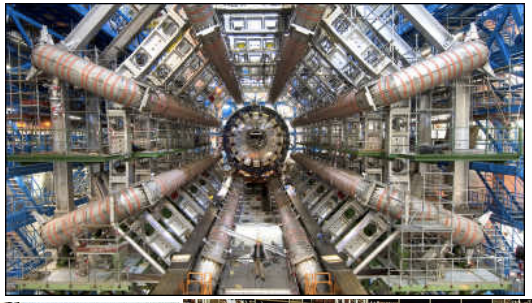
数学的・科学的な自然と自己の認識

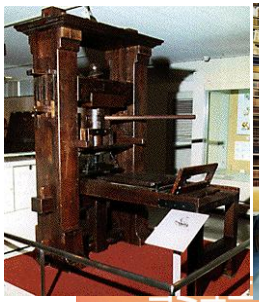
文字による知識の集積

言葉の力

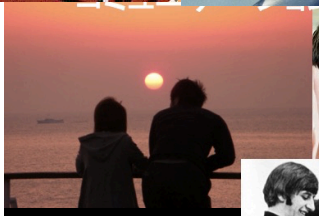
言語能力による認識の飛躍

感覚・運動的外界の把握

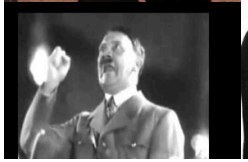








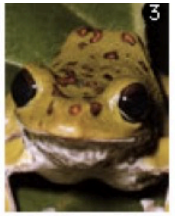


















数理の力

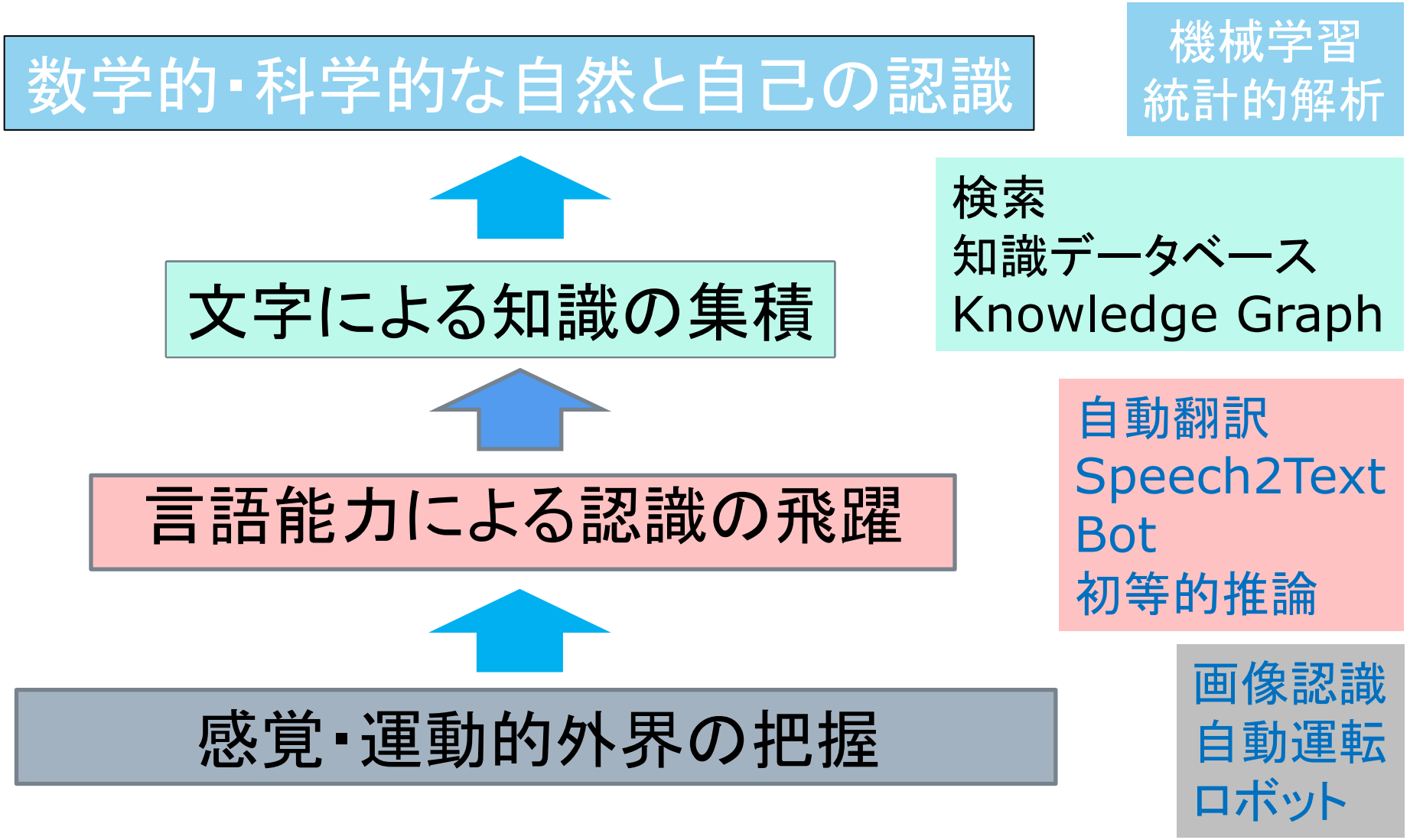
数学的・科学的な自然と自己の認識

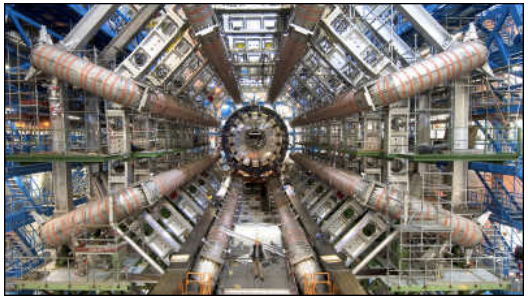
文字による知識の集積

言語能力による認識の飛躍

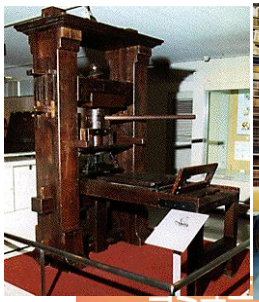
感覚・運動的外界の把握

人間の認識の発展の階層と対応する人工知能技術





数学的推論能力

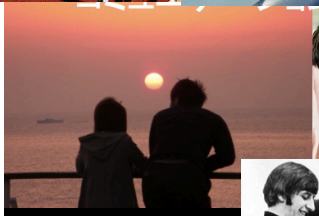




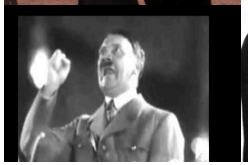
知識検索

機械学習
統計的解析

検索
知識データベース
Knowledge Graph







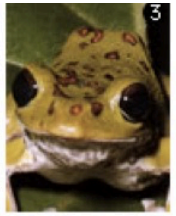


自動翻訳
Speech2Text
Bot
初等的推論

言語能力







感覚能力
自律的運動能力

画像認識
自動運転
ロボット

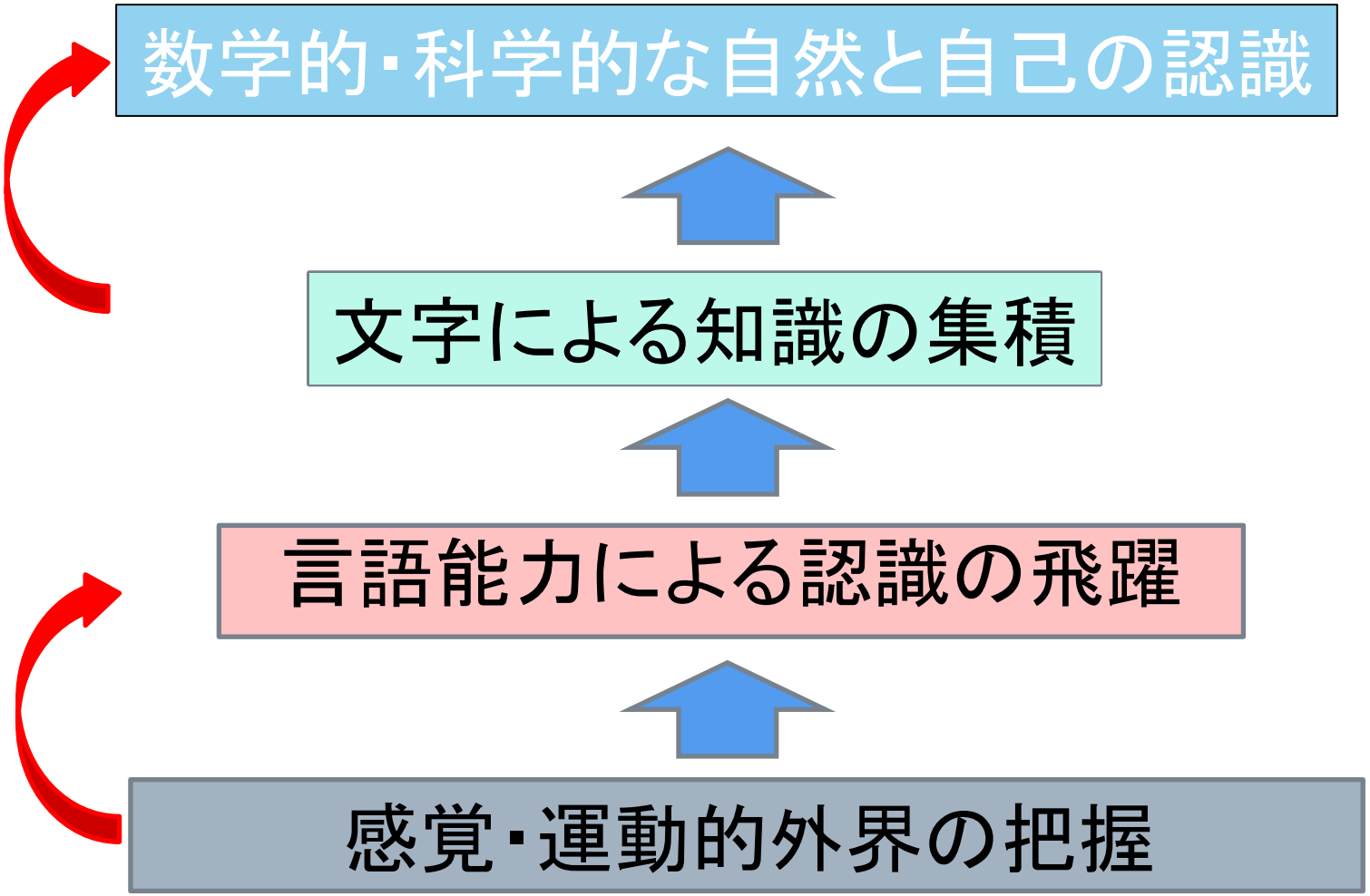




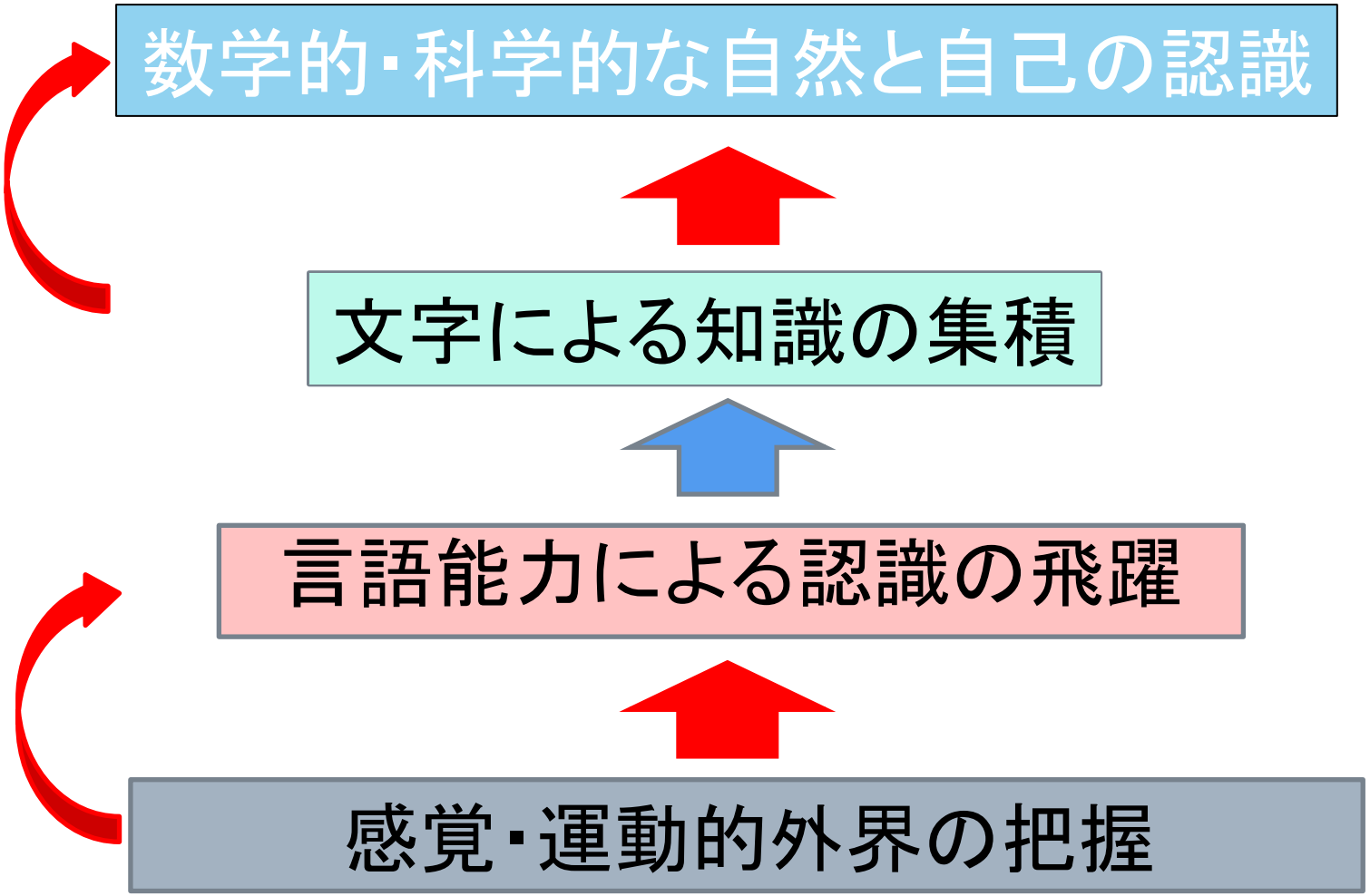


多方向からのアプローチが
行われている。

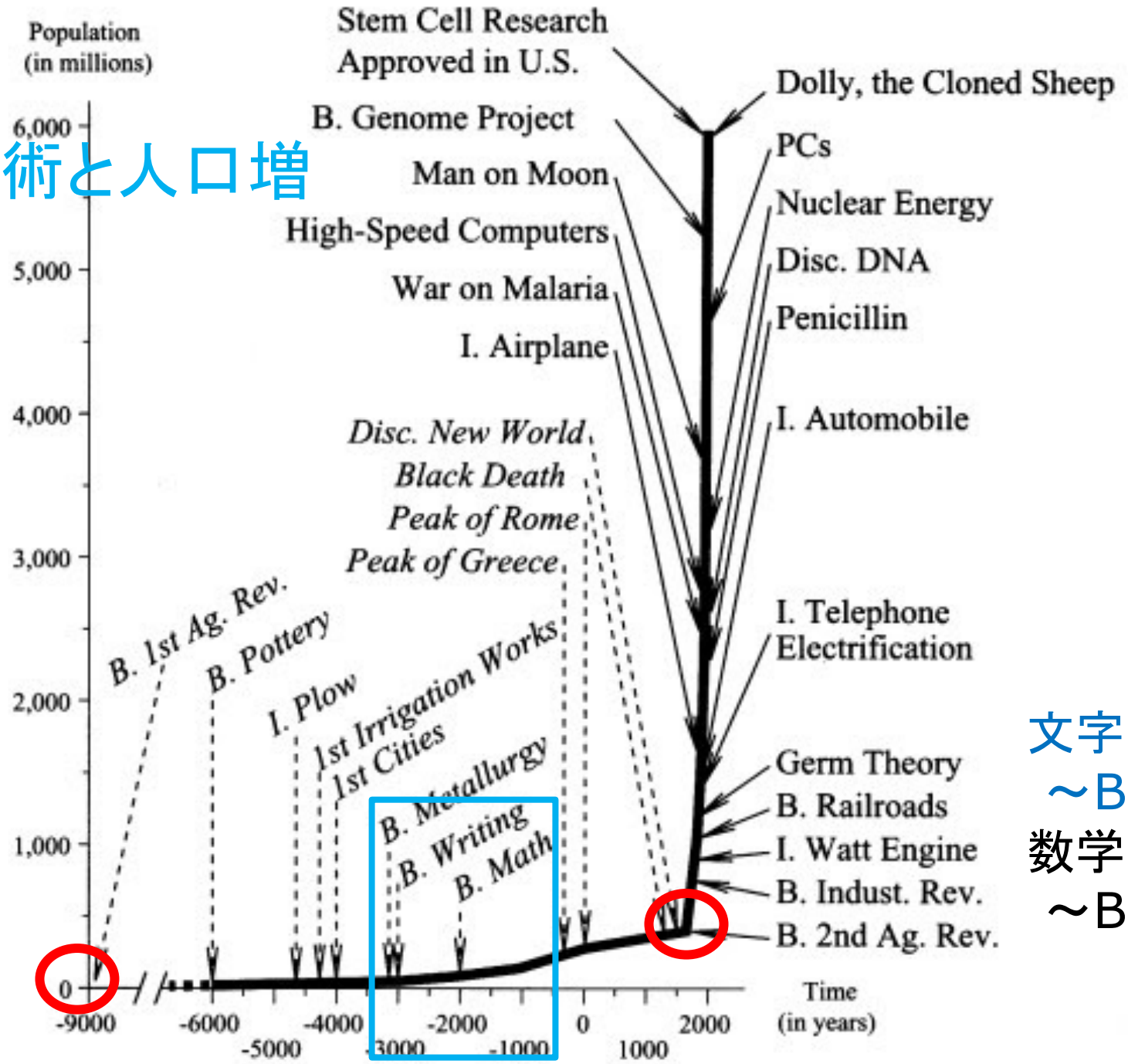
人間の認識能力の
大きな飛躍は二つある



人間の認識能力の
大きな飛躍は二つある

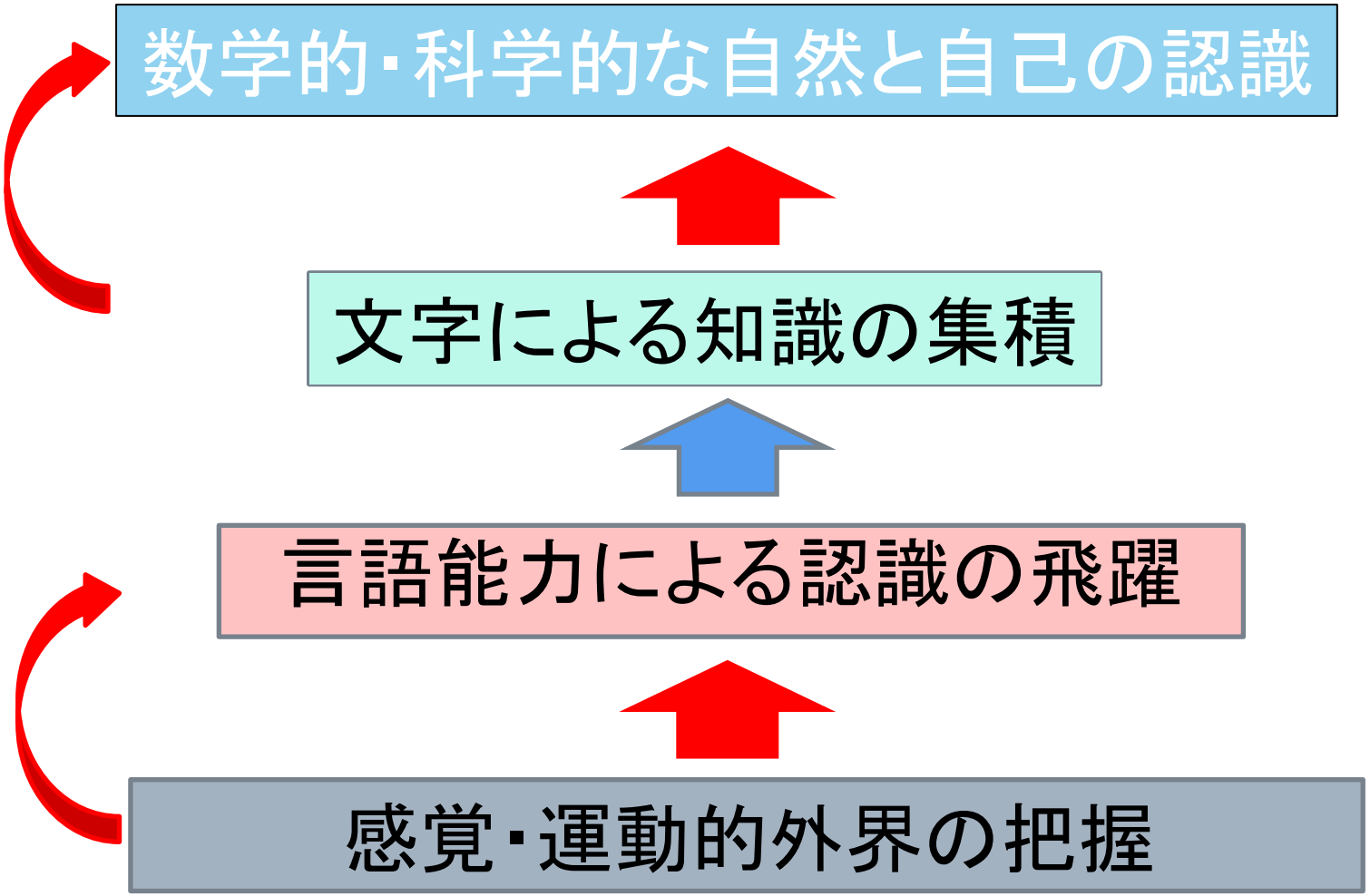


技術と人口増

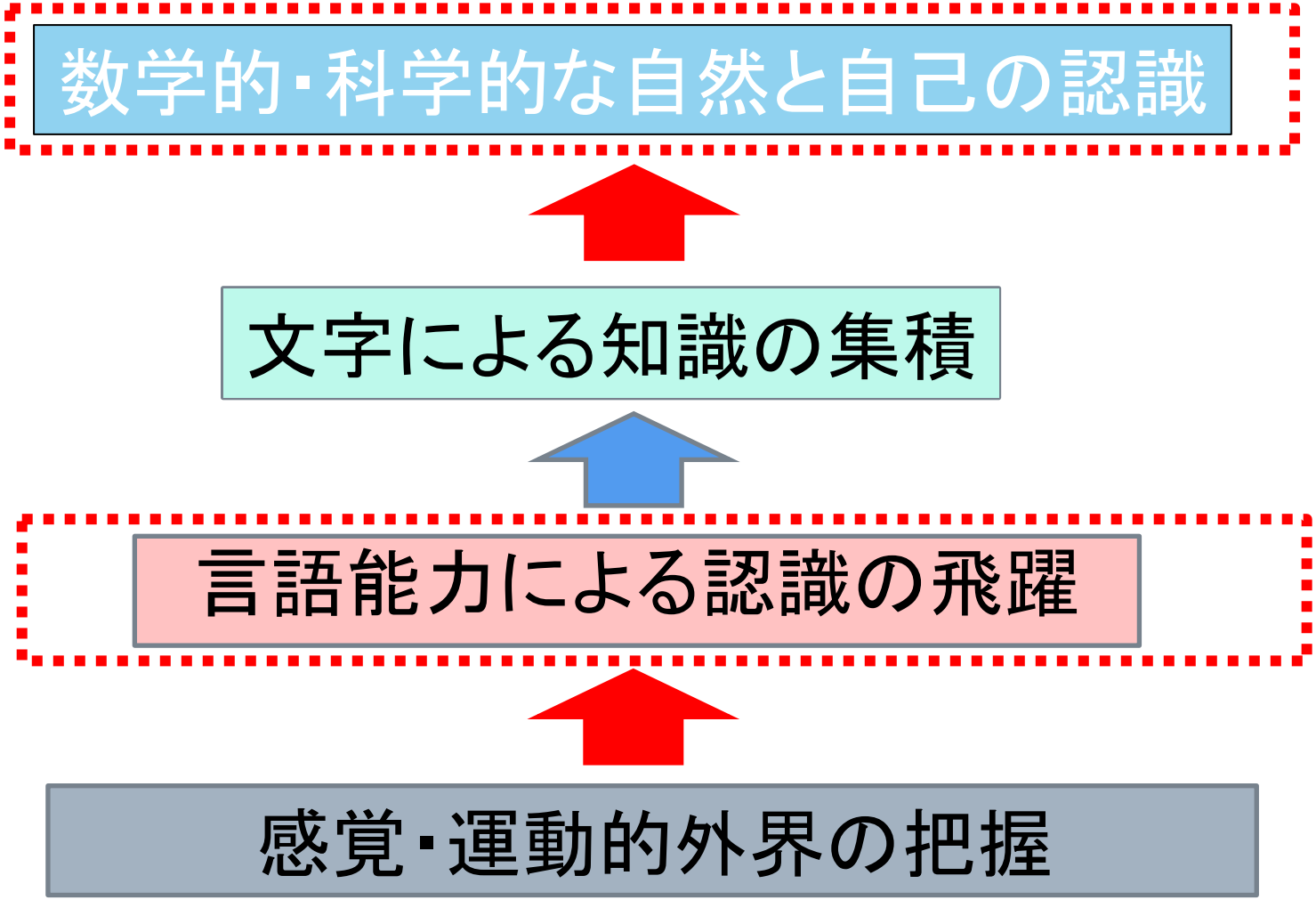


文字の誕生
～BC3000年
数学の誕生
～BC2000年

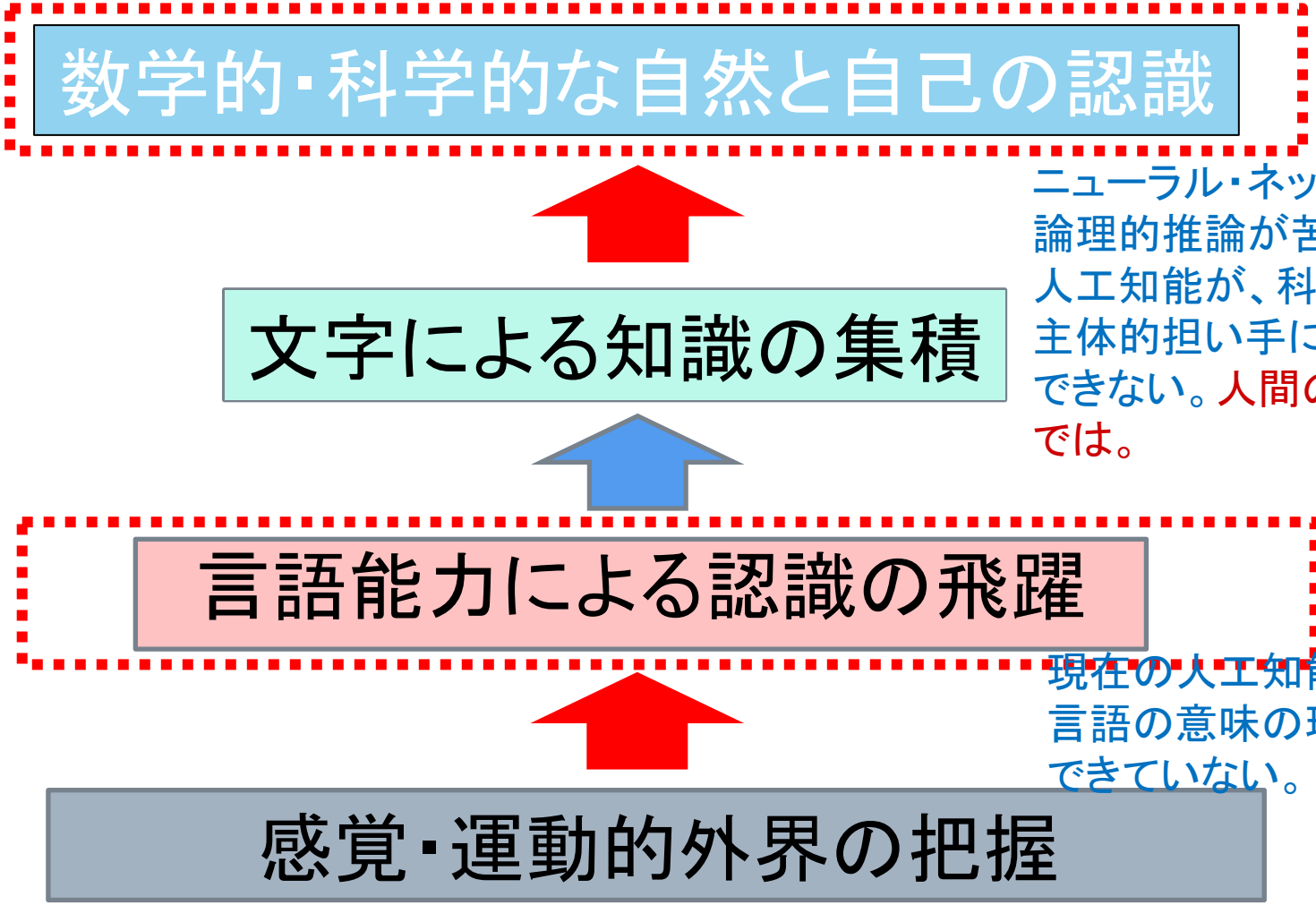
人工知能技術に求められる
飛躍も二つある



そして、これらの課題は、現在の人工知能が攻めあぐねている課題である



そして、これらの課題は、現在の人工知能が攻めあぐねている課題である



ニューラル・ネットワークは、論理的推論が苦手である。人工知能が、科学や技術の主体的担い手になることはできない。人間の助けなしでは。

現在の人工知能技術は、言語の意味の理解が、できていない。

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。