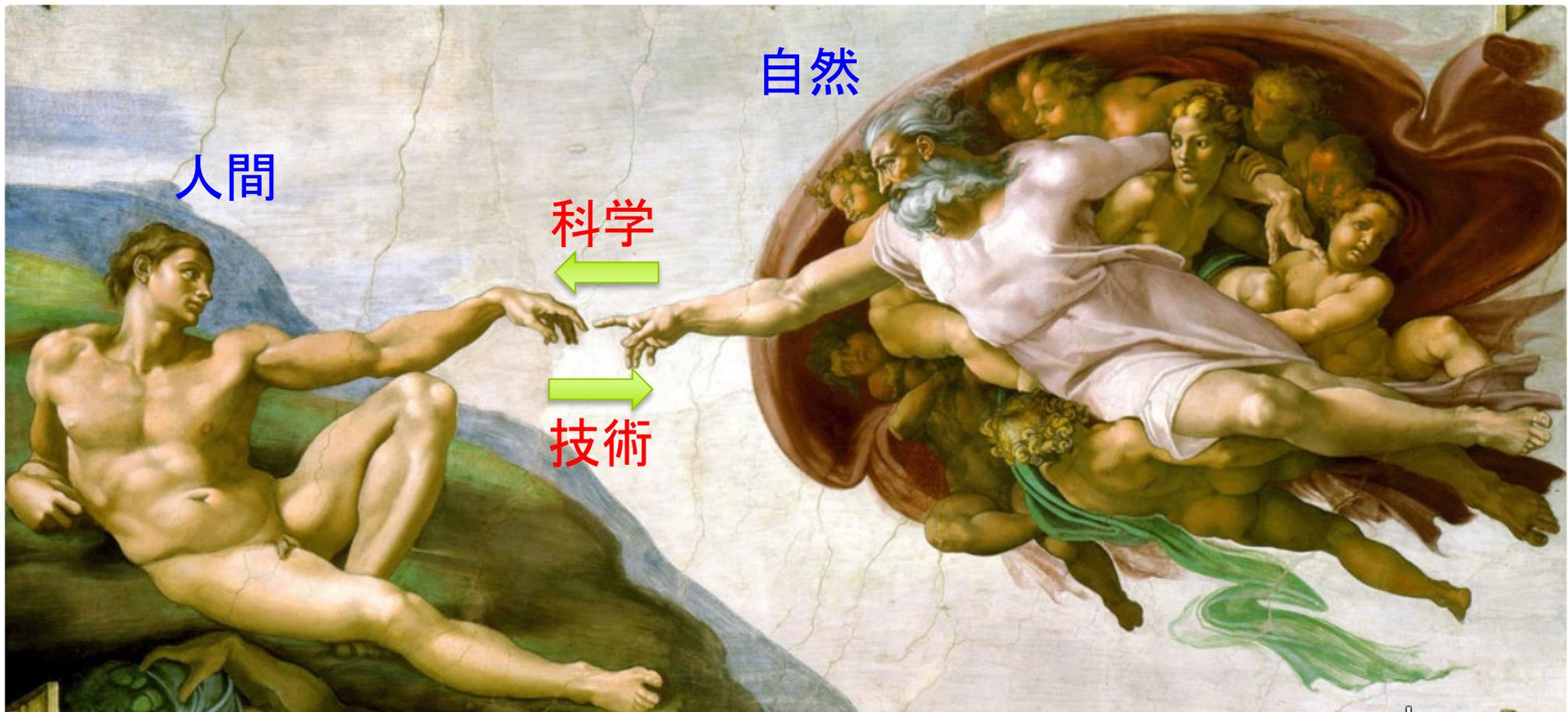


「役に立たない科学」が役に立つ!?



初田哲男
理化学研究所 数理創造プログラム

iTHEM[®]
RIKEN interdisciplinary
Theoretical & Mathematical
Sciences



ミケランジェロ 1511頃

理化学研究所 (1917-): 日本最大の国立研究機関

- ✓ 自然科学全分野（物理学, 化学, 生物学, 医科学, 工学, 計算科学, 情報科学）
- ✓ 13の研究センター（研究者数 約3000名）
- ✓ 大型研究施設

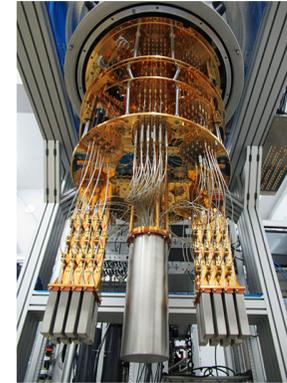
<http://www.riken.jp/en/about/>



大型放射光施設
(Spring-8/SACLA)



スーパーコンピュータ
(富岳)



量子コンピュータ (叡)



重イオン加速器
(RIBF)

理研 数理創造プログラム iTHEMS (2016-)

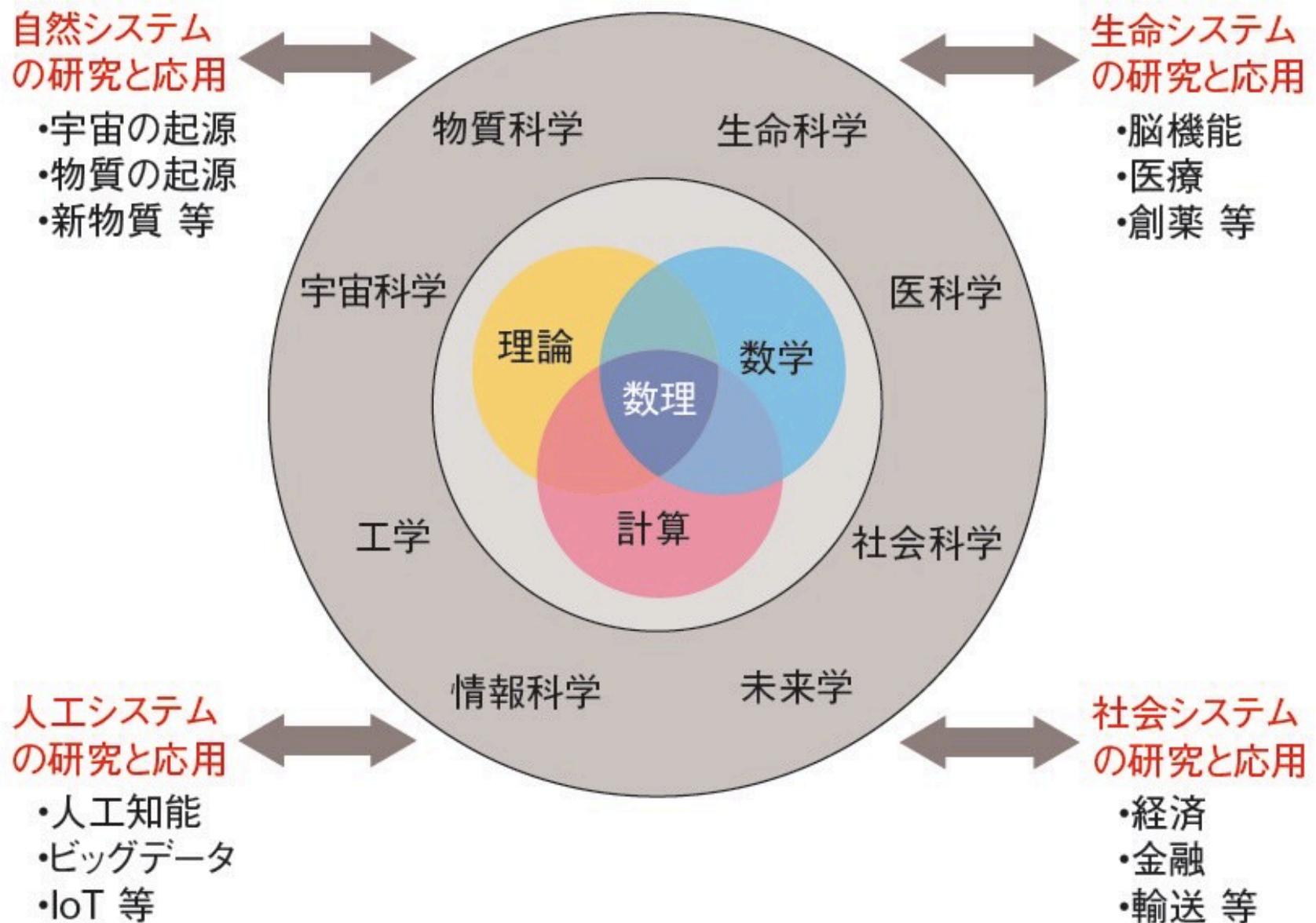


<https://ithems.riken.jp/ja>

分野横断型数理頭脳集団
(現メンバー: 約50名)

- 数学者
- 理論物理学者
- 計算/情報科学者
- 数理生物学者

数理創造プログラムの目標



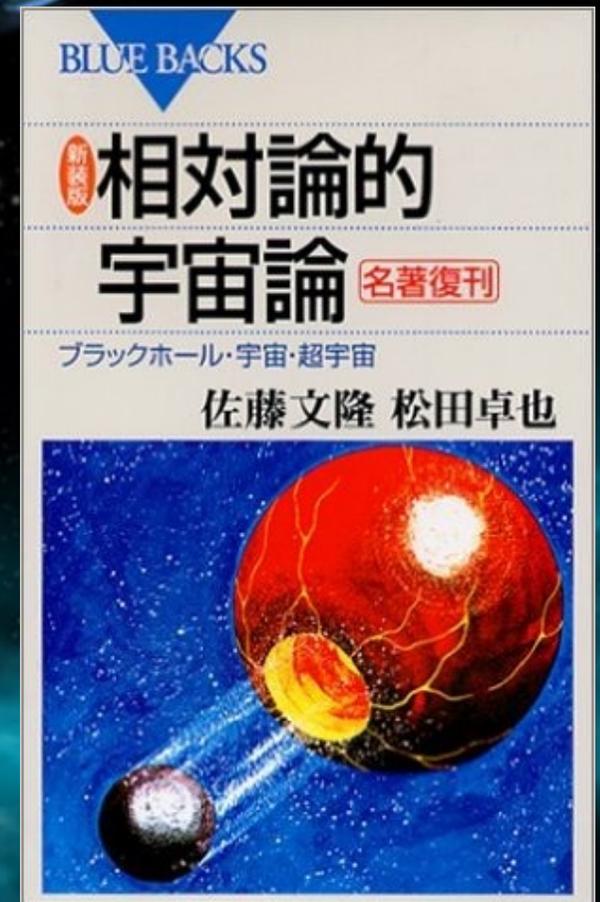
私の高校時代(1974-1977)

宇宙への興味

- ・宇宙のはじまりは？
- ・宇宙の終わりは？
- ・宇宙人はいるのか？



きっと物理学で
答えられる？



WWW.STARTREK.COM

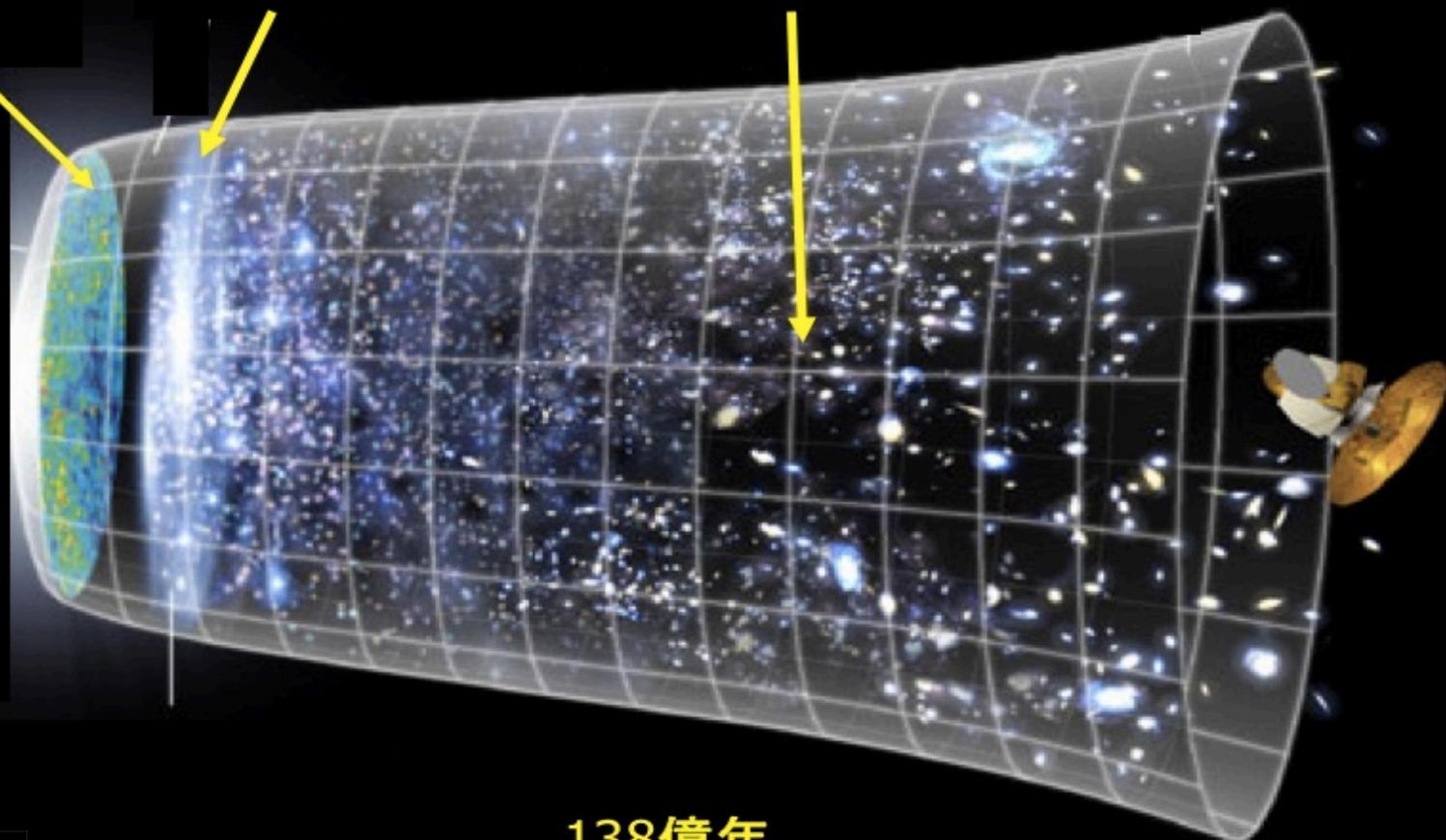
現代の宇宙像 (2023)

原子の誕生
約38万年

星の誕生
約3億年

太陽系の誕生
約91億年

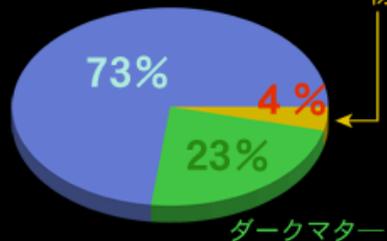
ビッグバン



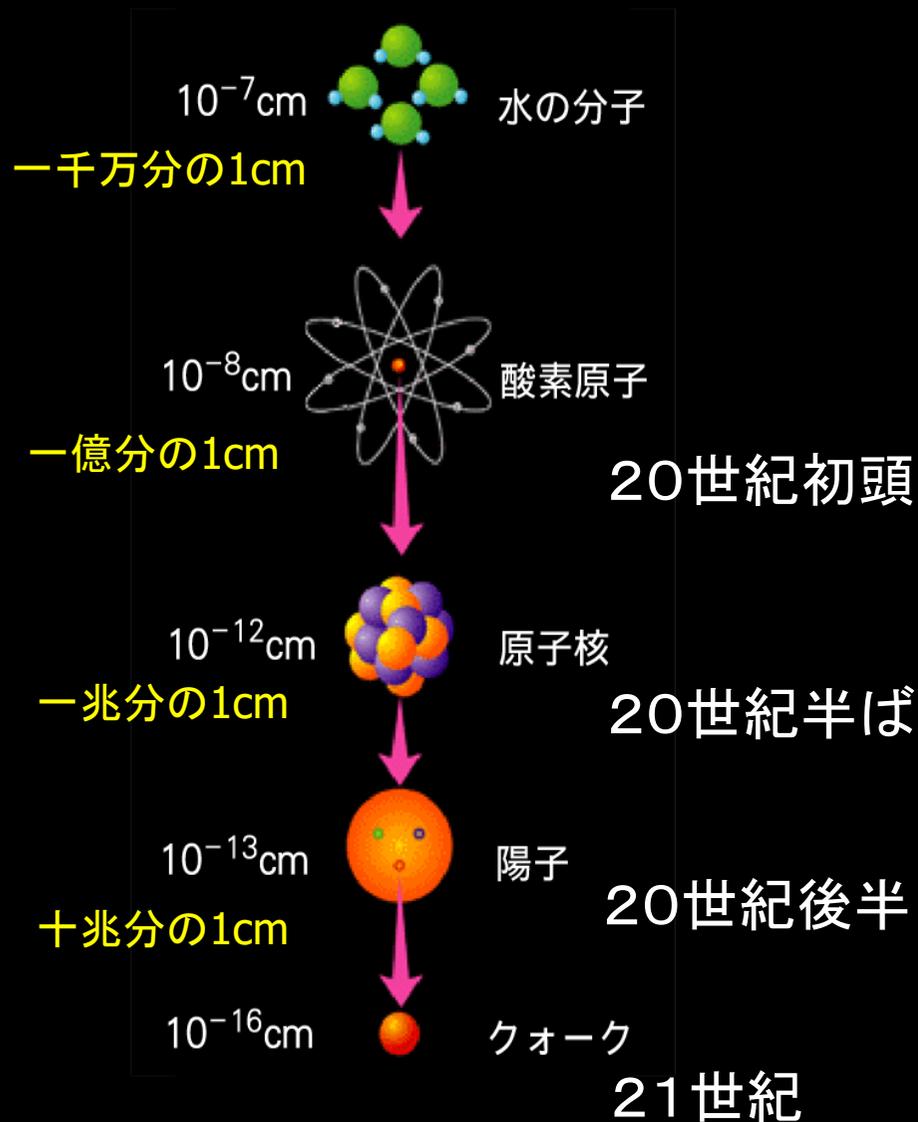
138億年

ダークエネルギー

物質

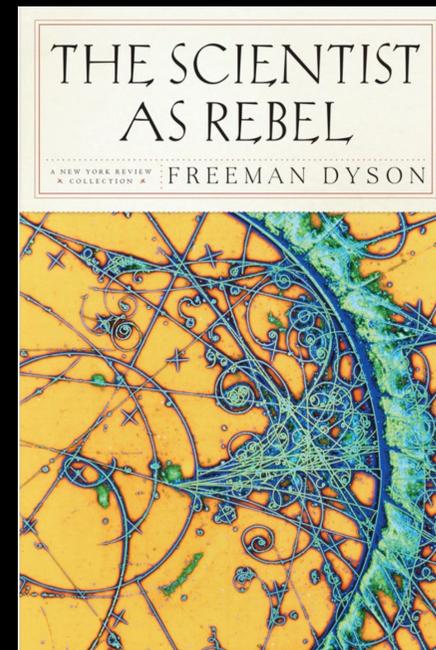


物質は何から出来ているのか？



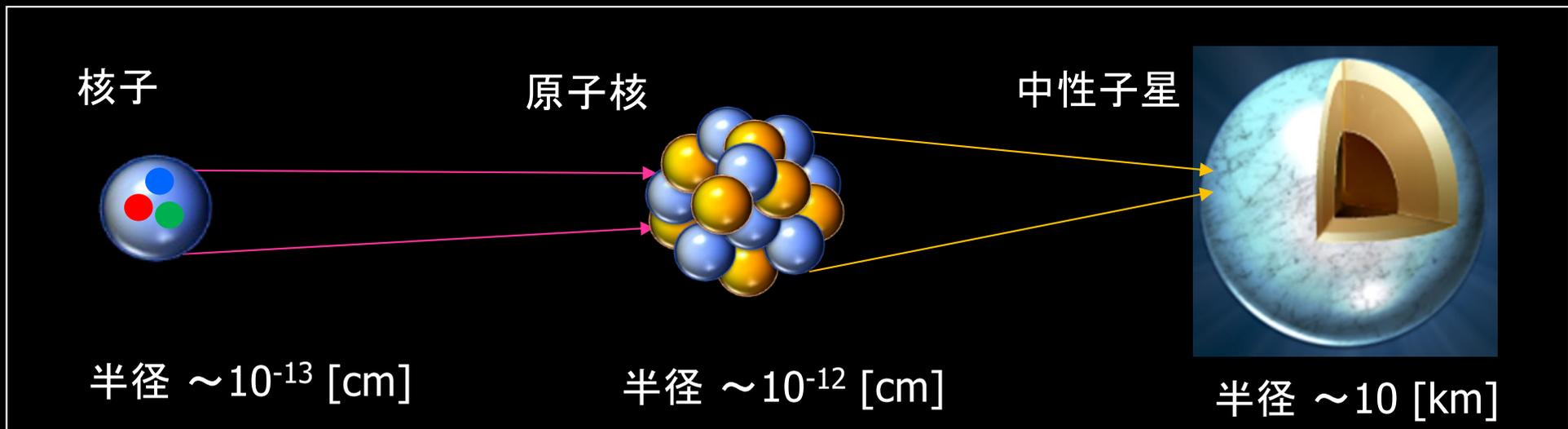
The progress of science requires the growth of understanding in both directions, downward from the whole to the parts and upward from the parts to the whole.

科学の進歩には、全体から部分へ、部分から全体へという双方向の理解の深化が必要です。

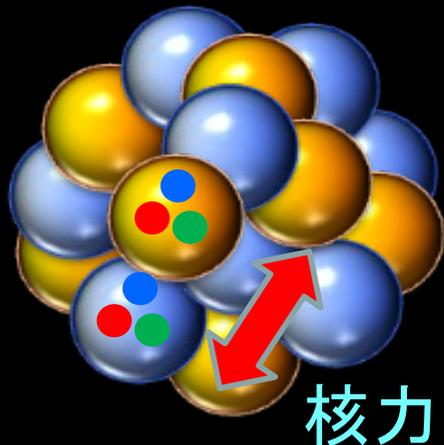


フリーマン・ダイソン
(1923-2020)

部分から全体:クォーク→ 原子核→ 中性子星



なぜ原子核は安定に存在するのか？



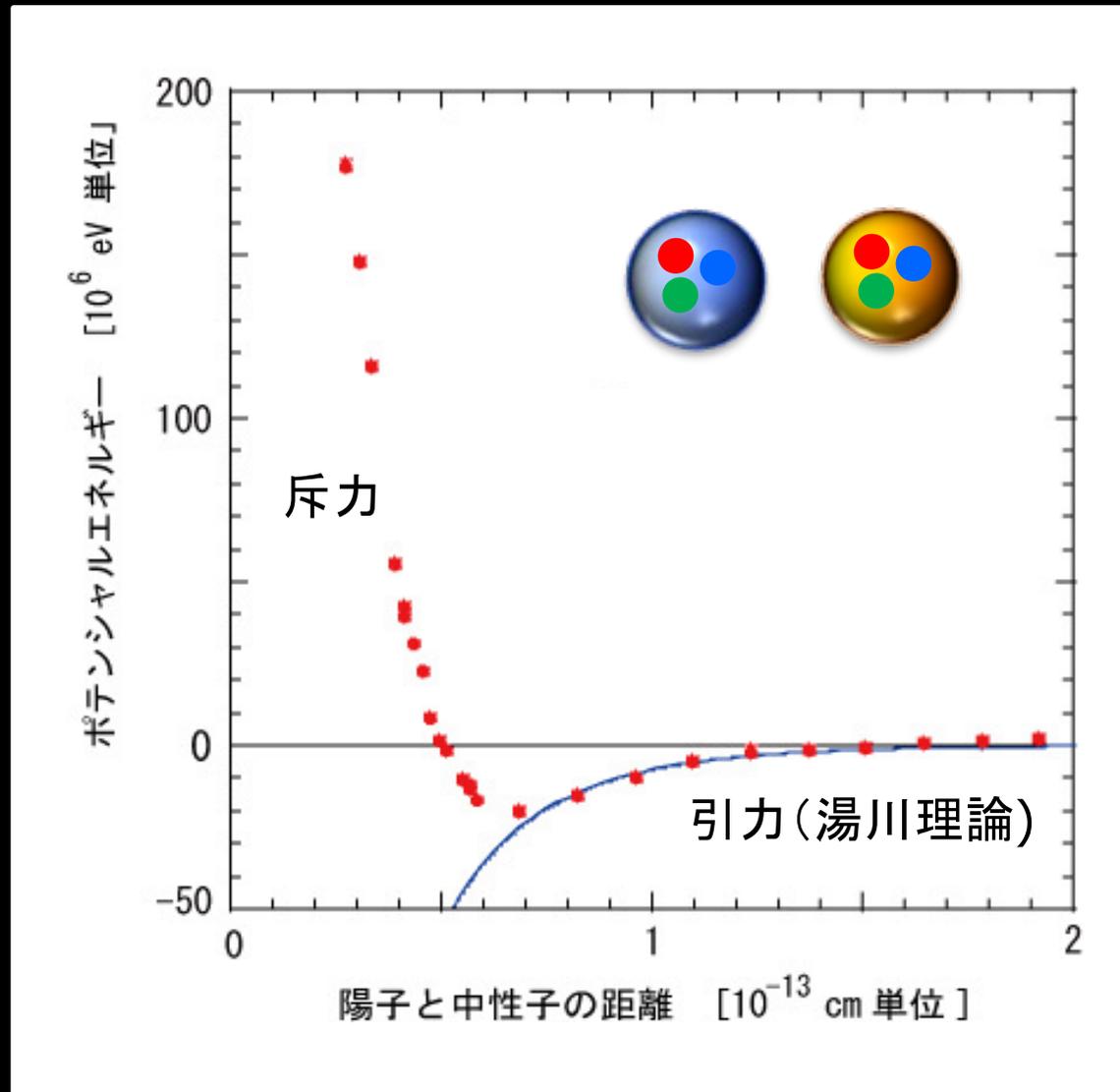
湯川中間子(1935)だけでは
原子核は潰れてしまう。

なぜ原子核は潰れないかを
理論的に計算可能か？

原子核が潰れない理由＝物質の安定性を解明(2007)

Ishii, Aoki, Hatsuda, Phys.Rev.Lett.. (2007)

$$\left\{ \frac{1}{4M_B} \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} - \frac{\partial}{\partial \tau} - H_0 \right\} \mathcal{R}(\mathbf{r}, \tau) = \int d^3 r' U(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \mathcal{R}(\mathbf{r}', \tau),$$



石井理修



青木慎也



初田哲男

新しい理論手法の構築(2007)



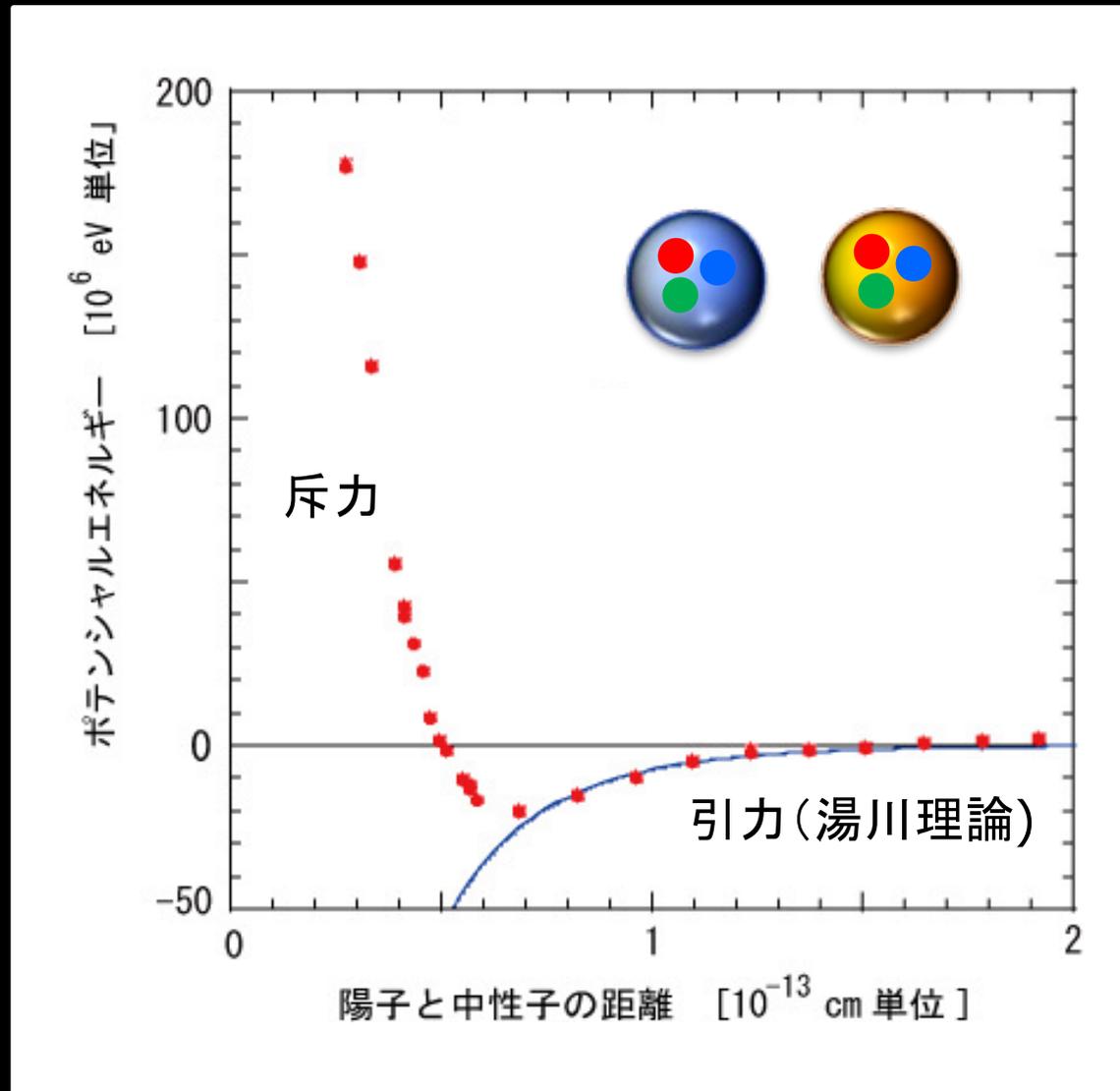
ブルージーン/L (50 TFLOPS)
(高エネルギー加速器研究機構)

スパコンの高速化(2005-)

原子核が潰れない理由＝物質の安定性を解明(2007)

Ishii, Aoki, Hatsuda, Phys.Rev.Lett.. (2007)

$$\left\{ \frac{1}{4M_B} \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} - \frac{\partial}{\partial \tau} - H_0 \right\} \mathcal{R}(\mathbf{r}, \tau) = \int d^3 r' U(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \mathcal{R}(\mathbf{r}', \tau),$$



石井理修



青木慎也



初田哲男

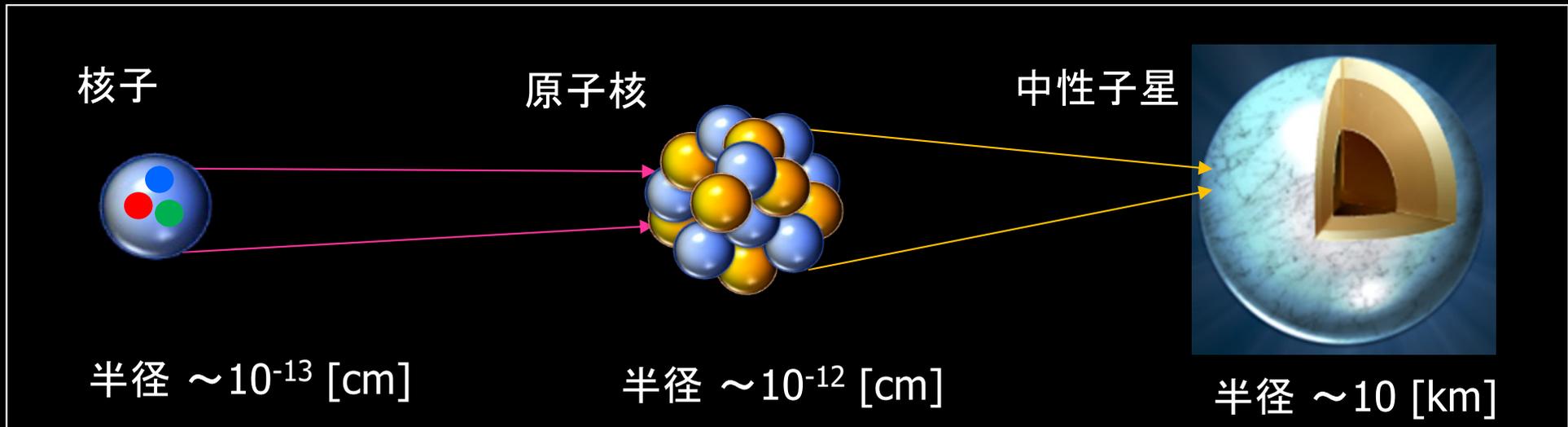
新しい理論手法の構築(2007)



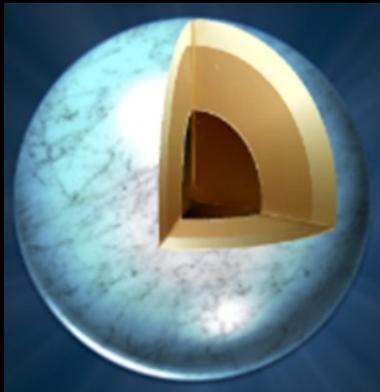
スパコン富岳 440 PFLOPS (2021-)
ブルージーン(2005)の一万倍の速度

新しい原子核の予言

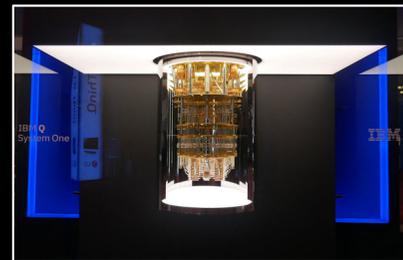
部分から全体:クォーク→ 原子核→ 中性子星



なぜ中性子星は安定に存在するのか？



重い中性子星は自己重力で潰れてブラックホールになってしまう。
限界質量はどこに？



未解決問題

量子コンピュータの出番

私の最近の研究ノート

No. _____
Date _____

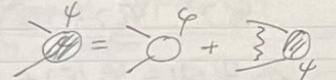
$$\begin{cases} (\hat{H}_0 + \hat{U})|\psi_n\rangle = E_n|\psi_n\rangle \\ \hat{H}_0|\psi_n\rangle = E_n|\psi_n\rangle \end{cases} \quad \hat{H}_0 = \frac{\hat{p}^2}{2\mu}, E_n = \frac{k^2}{2\mu}$$

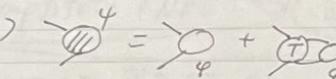
↓ RG ($2\mu=1$)

$$(\hat{p}^2 + \hat{U})|\psi_n\rangle = k^2|\psi_n\rangle$$

$$(\hat{p}^2 + m^2 + \hat{U})|\psi_n\rangle = (k_{\text{eff}}^2 + m^2)|\psi_n\rangle$$

$$|\psi_n\rangle = |\varphi_n\rangle + \frac{1}{E_n - \hat{H}_0 + i\epsilon} \hat{U}|\psi_n\rangle$$

$$= |\varphi_n\rangle + G_0^{(H)}(E_n) \hat{U}|\psi_n\rangle$$


$$= |\varphi_n\rangle + G_0^{(H)}(E_n) \hat{T}(E_n)|\varphi_n\rangle$$


$$(\hat{T}(E) \equiv \hat{U} + \hat{U} G_0^{(H)}(E) \hat{T}(E))$$

$$\overline{\text{T}} = \overline{\text{U}} + \overline{\text{U}} \overline{\text{T}}$$

$$\langle \vec{p} | \hat{T}(E) | \vec{k} \rangle = T(\vec{p}, \vec{k}; E) \quad \text{off-shell T-matrix}$$

$$\left. \begin{aligned} T(\vec{p}, \vec{k}; E) |_{E=E_k} &= T^{(H)}(\vec{p}, \vec{k}) \\ T(\vec{p}, \vec{k}; E) |_{E=E_p} &= T^{(H)}(\vec{p}, \vec{k}) \end{aligned} \right\} \text{half off-shell T-matrix}$$

$$T(\vec{p}, \vec{k}; E) |_{E=E_p=E_k, |\vec{p}|=|\vec{k}|} \quad \text{on-shell T-matrix}$$

$$\boxed{T_{\ell} = -\frac{2\pi}{i\hbar} (S_{\ell} - 1), S_{\ell} = e^{i\delta_{\ell}(k)}}$$

coordinate space \rightarrow ~~⊗~~, finite V \rightarrow ~~⊗~~

No. _____
Date _____

Yang-Feldman eq. in QFT (1950)

real scalar

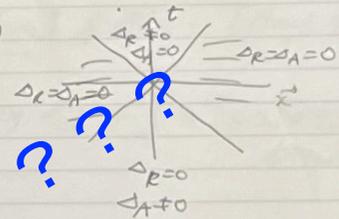
$$\phi(x) = \sqrt{2} \phi_{in}(x) + \int d^4y \Delta_R(x-y; m) j(y)$$

$$= \sqrt{2} \phi_{out}(x) + \int d^4y \Delta_A(x-y; m) j(y)$$

$x = (\vec{r}, t)$

$$j(x) = (\square + m^2) \phi(x) = \underbrace{(m^2 - m_0^2)}_{\text{phys.}} \phi - \underbrace{\frac{\lambda_0}{3!} \phi^3}_{\text{bare } \phi^2 \text{-Higgs}}$$

$$(\square + m^2) \Delta_R(x; m) = \delta^4(x)$$



$$(\square + m^2) \Delta_A(x; m) = -\delta^4(x)$$

“役に立つ”???

$$\phi_{in}(x) = \int \frac{d^3p}{(2\pi)^3 2E_p} (a_{in}(\vec{p}) f_p(x) + a_{in}^\dagger(\vec{p}) f_p^*(x))$$

$$f_p = e^{-i p \cdot x}$$

Fermion

$$\psi(x) = \sqrt{2} \psi_{in}^{\text{out}}(x) + \int d^4y \Delta_R(x-y; m) j(y)$$

$$\left(\Delta_R(x-y; m) = (i \not{\partial}_x + m) \Delta_A(x-y; m) \right)$$

基礎研究の意義

- [1] “役に立つ”とは？
- [2] 基礎研究の意義
- [3] 基礎研究を支える仕組み

[1] “役に立つ”とは？

「あなたの研究は何の役に立つのですか？」という素朴な質問

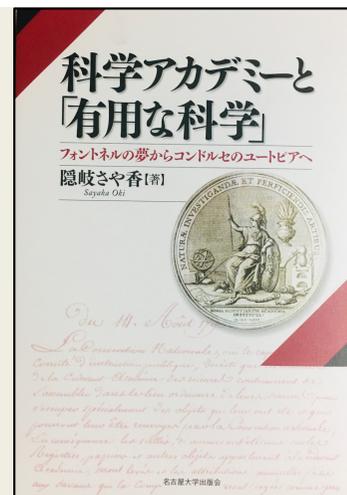
- ・研究成果が生活をどのように便利にしてくれるのか？
- ・産業や社会の問題とどのように関係しているのか？



(基礎科学)研究者の典型的回答パターン

1. 「アインシュタインの一般相対性理論が何十年も経てGPSに应用されているように、私たちの基礎研究も100年後には予想もしない形で日常生活に役立つかもしれません」。
2. 「私の研究は何の役にも立ちません。むしろ芸術と同様の文化活動としての意義があります」。

いずれも、受け手に自分事として捉えてもらうには困難さが伴う。 → なぜなのか？



隠岐 さや香 氏

名古屋大学 経済学研究科
教授 (科学史)

「役に立つ」「役に立たない」は検証の言葉と
いうよりは、未来における承認を賭けた説得の
言葉である

民主的な社会においては、特にこのことを気をつ
けねばならない

初田哲男×大隅良典×隠岐さや香 オンライン座談会

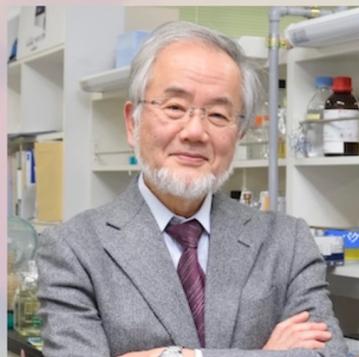
Presented by iTHEMS & academist

「役に立たない」科学が役に立つ



初田 哲男 氏

理化学研究所 数理創造プログラム
プログラムディレクター



大隅 良典 氏

東京工業大学 科学技術創成研究院
細胞制御工学研究センター 特任教授



隠岐 さや香 氏

名古屋大学 経済学研究科
教授 (科学史)

<https://www.youtube.com/watch?v=gsTpXNjKKy8>

2020年8月22日 13:00-15:30 オンライン開催

(登録者: 906名、参加者: 約600名)



[2] 基礎研究の意義

教科書的な定義

基礎研究＝原理の追究・普遍性の探究

応用研究＝可能性を拓げる研究

科学者の常識

1. 科学の発展は**循環的**: ... →応用→基礎→応用→基礎→ ...
2. 基礎研究には、**長期的**視点が必要である。
3. 基礎研究は、**波及効果**が大きい。
4. 基礎研究には、**好奇心**が本質的である。

「選択と集中」はそもそも基礎研究とは相容れない概念。

[2] 基礎研究の意義

教科書的な定義

基礎研究＝原理の追究・普遍性の探究

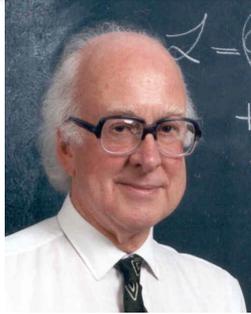
応用研究＝可能性を拓げる研究

科学者の常識

1. 科学の発展は**循環的**: … → 応用 → 基礎 → 応用 → 基礎 → …
2. 基礎研究には、**長期的**視点が必要である。
3. 基礎研究は、波及効果が大きい。
4. 基礎研究には、好奇心が本質的である。

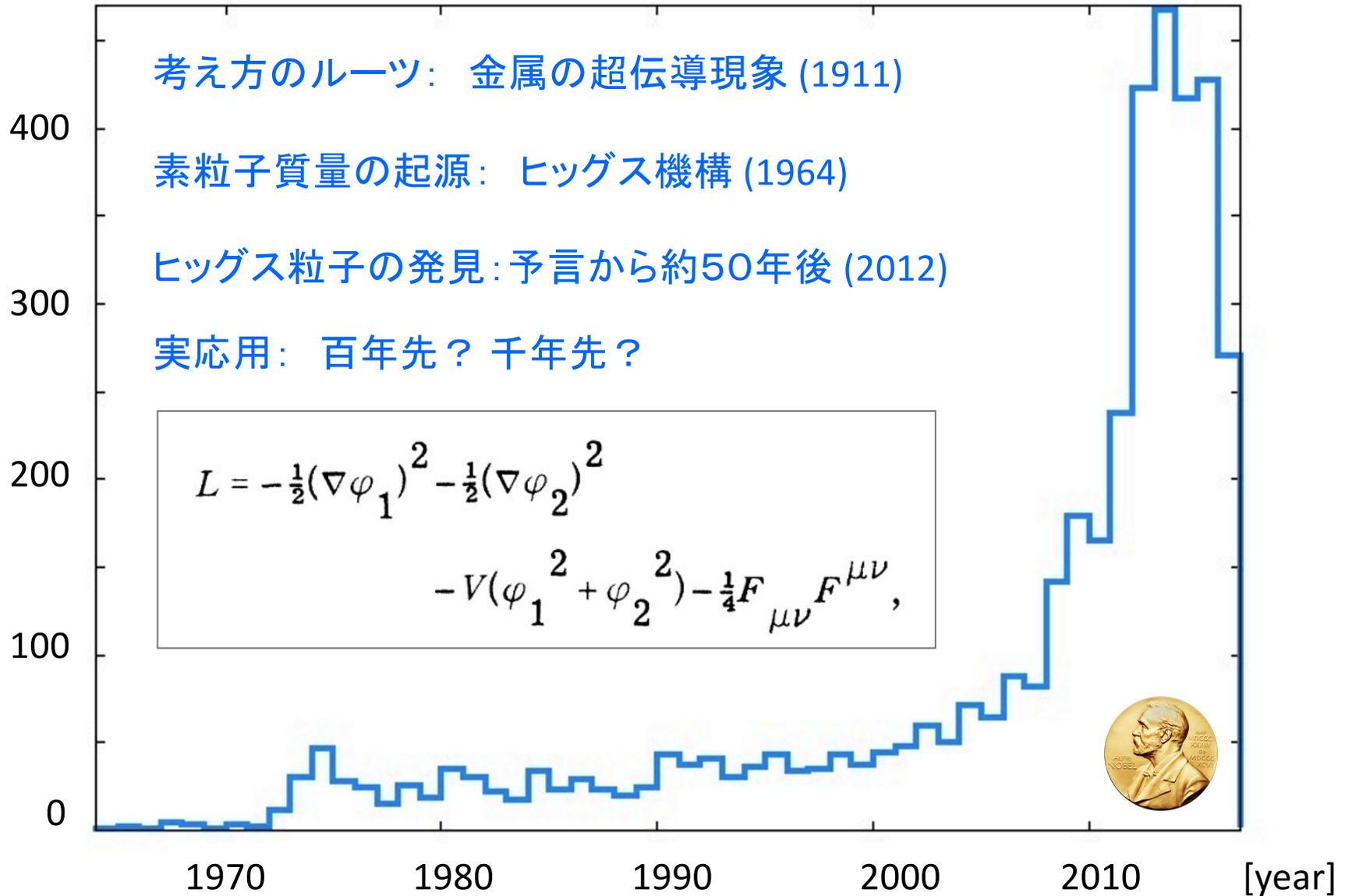
「選択と集中」はそもそも基礎研究とは相容れない概念。

基礎研究の循環性と長期性



ピーター・ヒッグス

ヒッグス論文の
被引用回数



[2] 基礎研究の意義

教科書的な定義

基礎研究＝原理の追究・普遍性の探究

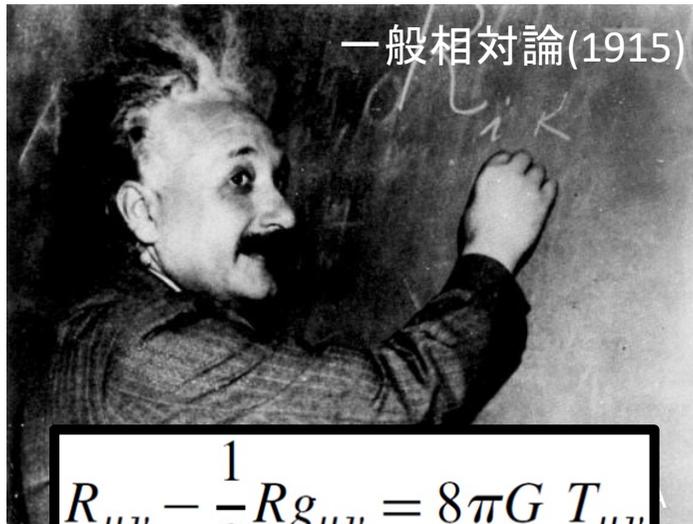
応用研究＝可能性を拓げる研究

科学者の常識

1. 科学の発展は循環的: $\dots \rightarrow$ 応用 \rightarrow 基礎 \rightarrow 応用 \rightarrow 基礎 $\rightarrow \dots$
2. 基礎研究には、長期的視点が必要である。
3. **基礎研究は、波及効果**が大きい。
4. 基礎研究には、好奇心が本質的である。

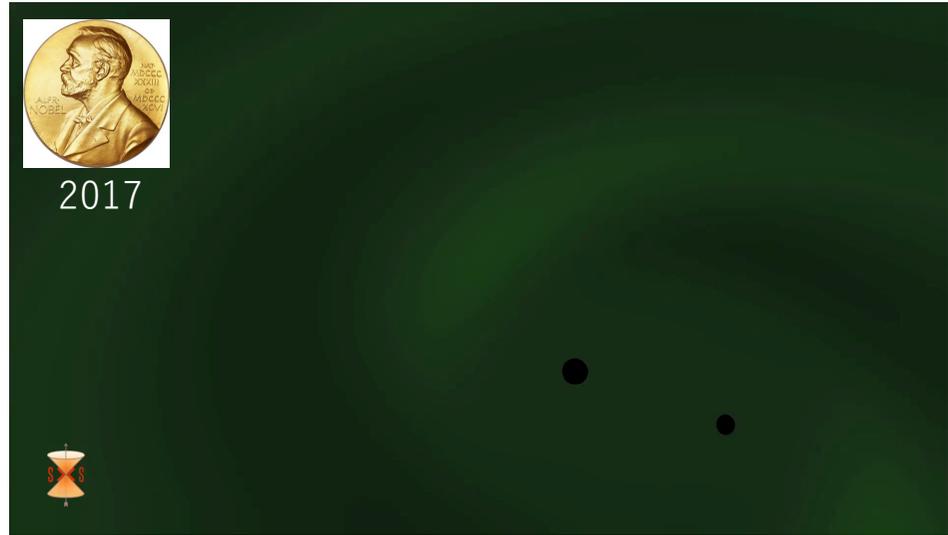
「選択と集中」はそもそも基礎研究とは相容れない概念。

基礎研究の波及効果(一般相対性理論)



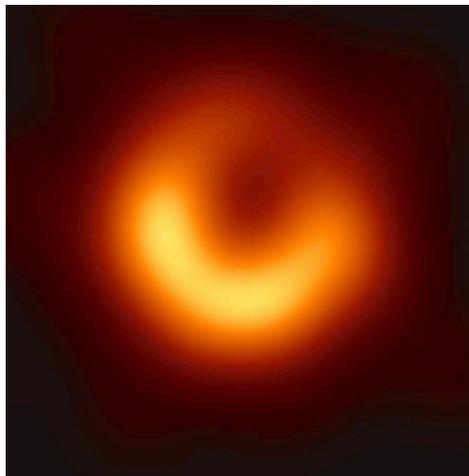
一般相対論(1915)

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

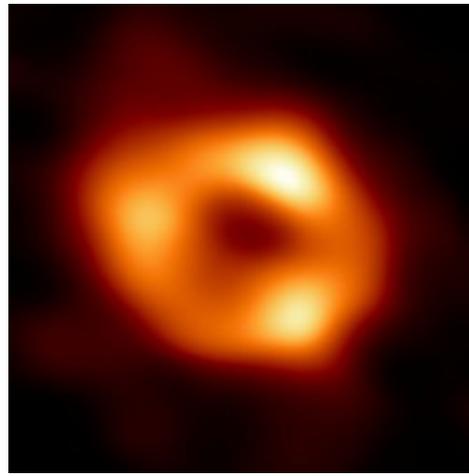


2017

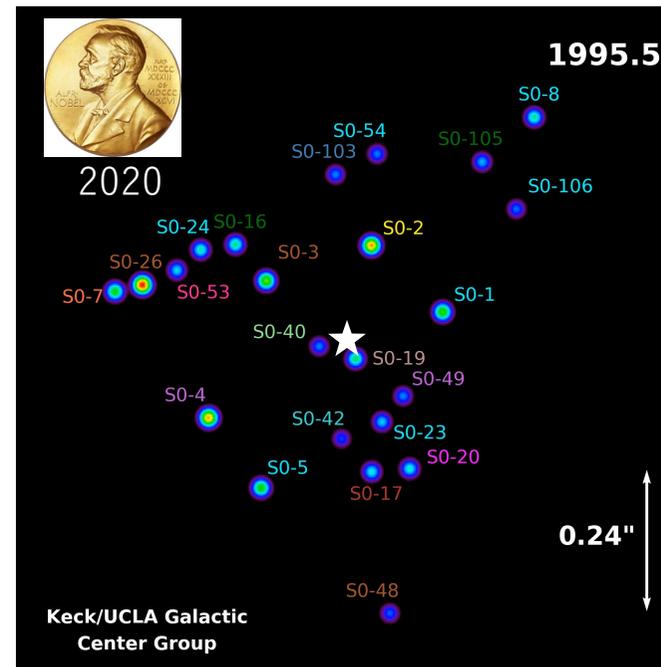
ブラックホールが合体からの重力波観測



M87の巨大ブラックホール
周辺の撮像 (2019)



銀河中心の巨大ブラックホール
周辺の撮像 (2022)

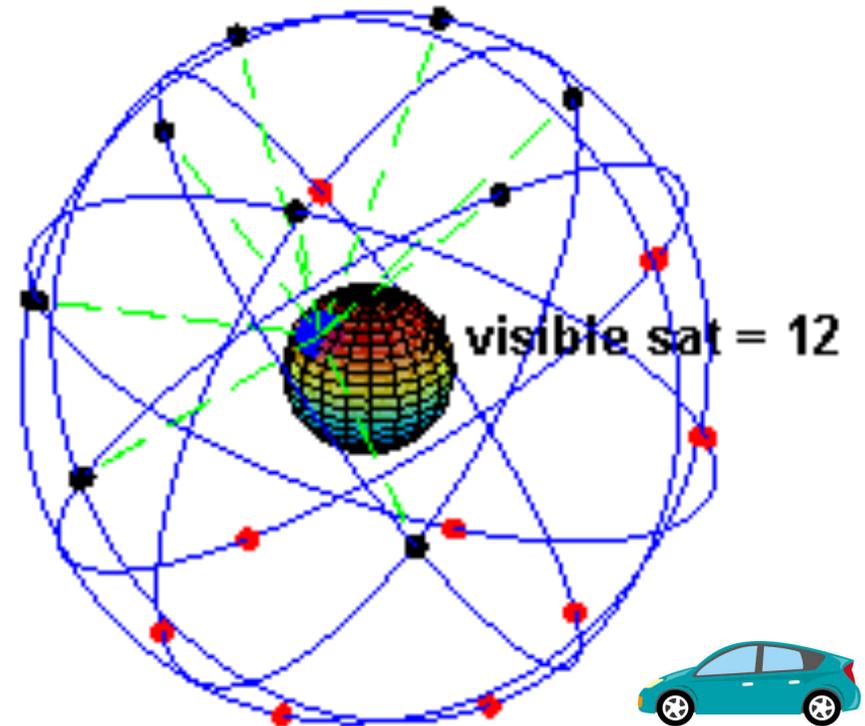


銀河中心の巨大ブラックホール観測

基礎研究の波及効果(一般相対性理論)

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

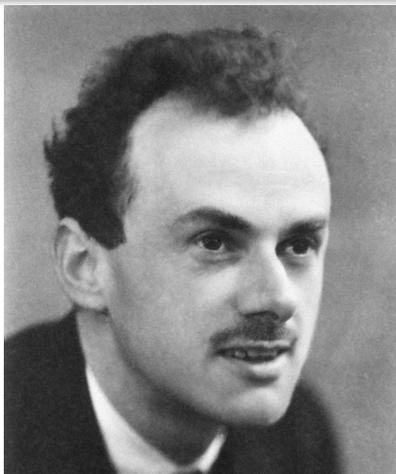
一般相対性理論 (1915)



全地球測位システム GPS (1994-)

基礎研究の波及効果(相対論的量子力学)

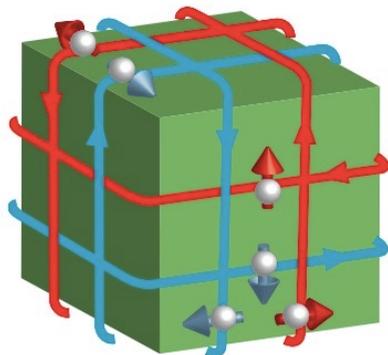
ディラック
相対論的
量子力学
(1928)



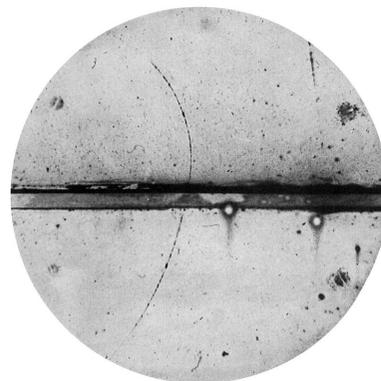
$$i\gamma_{\mu}D^{\mu}\Psi = m\Psi$$

トポロジカル絶縁体(Bi_2Se_3)
の発見 (2009年)

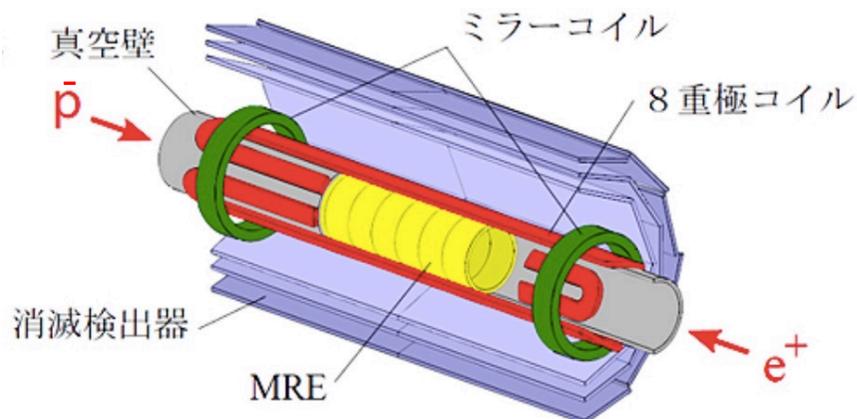
エレクトロニクス
から
スピントロニクス
へ



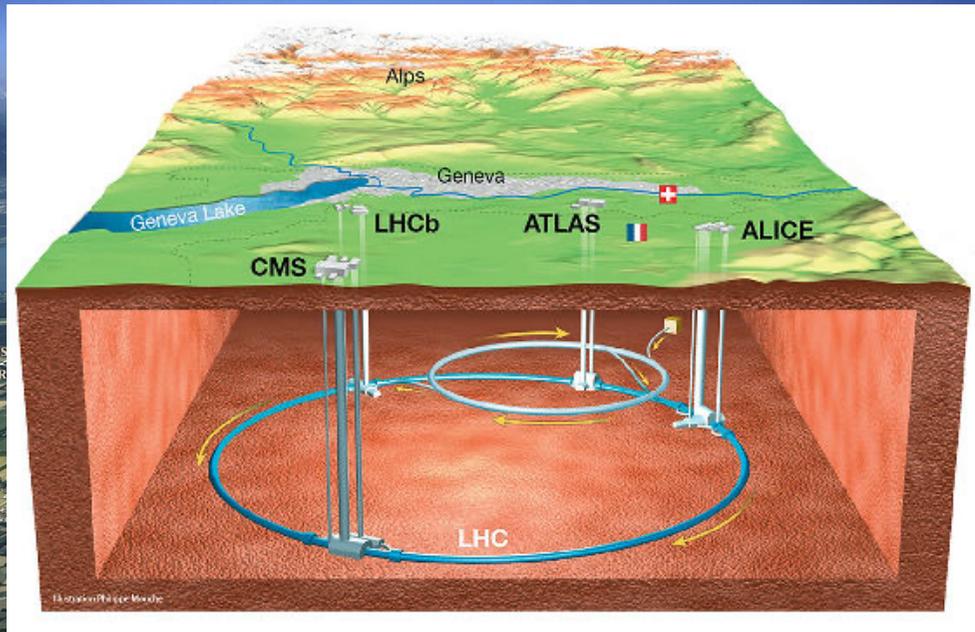
反物質の発見
1932年(陽電子), 1955年(反陽子)



反水素原子を磁気瓶に16分以上
閉じ込め (2011年)



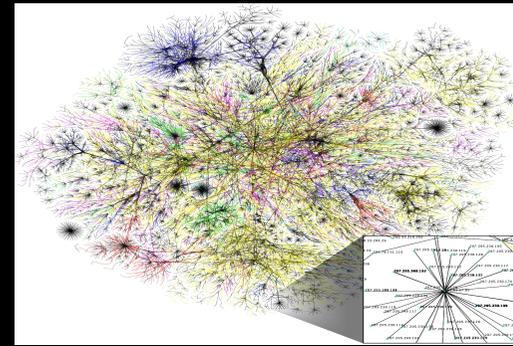
基礎研究の波及効果(素粒子物理とWWW)



CERN (欧州原子核研究機構)
宇宙や物質の創生解明を目指す

ワールドワイドウェブ (WWW) 1990.12.10

バーナズ・リーがCERNの情報伝達のために創始し世界中に広まった



LHC コンピューティンググリッド 2002-

42か国170以上のコンピュータセンターを連結し、セルンの高エネルギー加速器実験で得られる膨大なデータ(年間約25ペタバイト)を世界のどこからでも閲覧・解析できる。



[2] 基礎研究の意義

教科書的な定義

基礎研究＝原理の追究・普遍性の探究

応用研究＝可能性を拓げる研究

科学者の常識

1. 科学の発展は循環的: $\dots \rightarrow$ 応用 \rightarrow 基礎 \rightarrow 応用 \rightarrow 基礎 $\rightarrow \dots$
2. 基礎研究には、長期的視点が必要である。
3. 基礎研究は、波及効果が大きい。
4. 基礎研究には、**好奇心**が本質的である。

「選択と集中」はそもそも基礎研究とは相容れない概念。

基礎研究における好奇心の重要性



「CRISPRは好奇心に端を発した自然現象の研究から生まれた。CRISPRの物語は、画期的発見が思いもよらない場所から生まれることを、そして自然を理解したいという強い思いの導かれるまま歩むことの大切さを教えてくれる。」



ノーベル賞 真鍋淑郎さん単独インタビュー 「好奇心が大事」

2021年10月5日 21時48分

ノーベル賞2021

[3] 基礎研究を支える仕組み

➤ 基礎研究に対する2つの視点:

1. 知の探究
2. 未来への投資



両者の比重は、すでに
17世紀から議論されてきた。

➤ 基礎研究を財政的に支えてきたもの:

王侯貴族、国家、企業などがパトロン

➤ 21世紀前半の基礎研究:

- **パイの奪い合い(日本)**: 科学技術 vs. 社会福祉 vs. 安全保障
- **選択と集中(日本)**: 多様性・自由な発想・研究時間の確保が危機に
- **基礎・応用一体分野の出現**: 人工知能、量子コンピュータ、CRISPRなど

プリンストン高等研究所 (1930-)

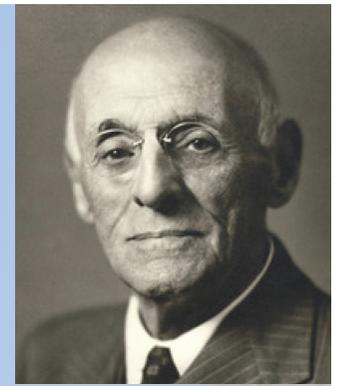
初期メンバー

アルベルト・アインシュタイン、
ヘルマン・ワイル、
ジョン・フォン・ノイマン、
アラン・チューリング(大学院生)、
...



プリンストン高等研究所創設者

エイブラハム・フレクスナー（1939年のエッセイ）



「有用性という言葉を手放して、人間の精神を開放せよ。」

「科学の歴史を通して、後に人類にとって有益だと判明する真に重大な発見のほとんどは、有用性を追う人々でなく、単に**好奇心**を満たそうとした人々によってなされた。」

➤ 科学研究の**進み方**

「科学はミシシッピ川のように、遠い森の中の小さな流れから始まる。次第に他の流れが加わって、水嵩が増していく。そして**無数の源流**が集まり、やがて堤防を決壊させるほどの力強い川が形成される。」

➤ 源流を生み出す**理念**

「**精神の自由**を重んじることは、科学分野であれ、人文学分野であれ、独創性よりはるかに重要である。それは人間どうしのあらゆる相違を受け入れることを意味するからだ。」

➤ 源流を生み出す**環境**

「プリンストン高等研究所は組織として、考え得る限り、もっともシンプルでもっとも**形式にとらわれていない**。決まりごとはなく、教授、メンバー、ビジターの区別もない。こうしてアイデアのある人々は、熟考と話し合いに適した環境を享受する。」

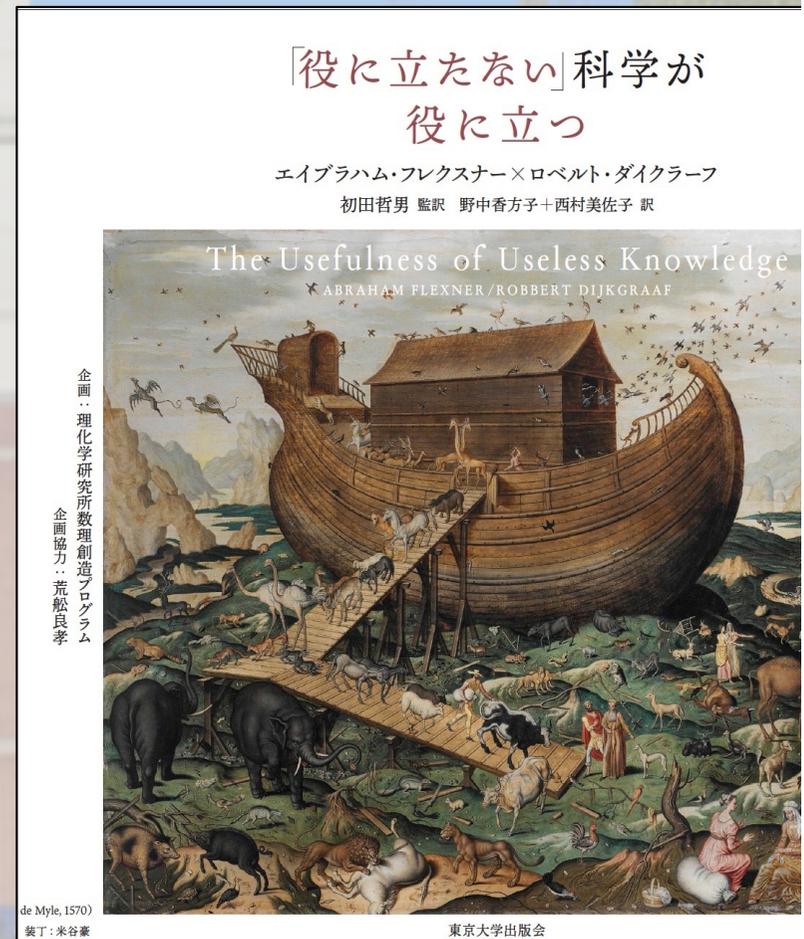
プリンストン高等研究所 ロベルト・ダイクラーフ 所長 (2017年のエッセイ)



「役に立つ知識と役に立たない知識との間に、不明瞭で人為的な境界を無理やり引くのはもうやめよう。」

- 基礎研究は、
 1. それ自身知識を向上させる。
 2. 予想外の形で新しい技術をもたらす。
(例: WWW)
 3. 世界最高レベルの学者を惹き付ける。
 4. 得られた知識は、公共の財産となる。
 5. 具体的な効果は、スタートアップ企業としてあらわれる。(例: Google)

- 科学者の役割
「(基礎研究の) 目標と価値を伝えるのに最適な立場にあるのは、研究をおこなっている**科学者や学者自身だ。**」



[3] 基礎研究を支える仕組み

➤ 基礎研究に対する2つの視点:

1. 知の探究
2. 未来への投資



両者の比重は、すでに17世紀から議論されてきた。

➤ 基礎研究を財政的に支えてきたもの:

王侯貴族、国家、企業などがパトロン

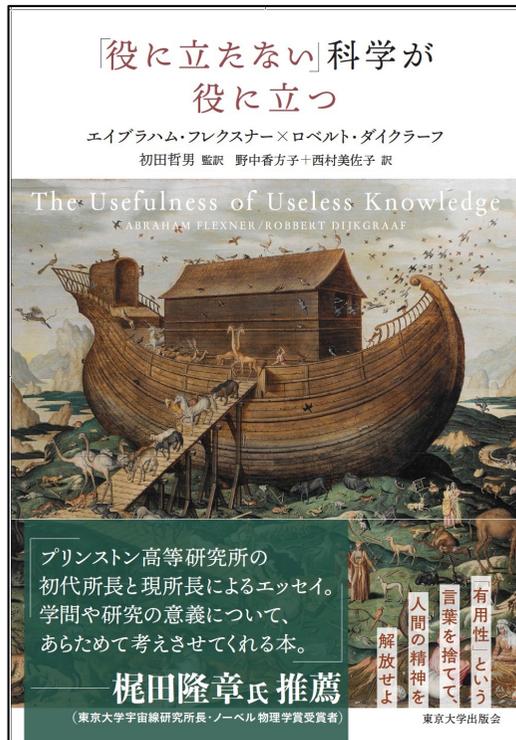
➤ 21世紀前半の基礎研究:

- **パイの奪い合い(日本)**: 科学技術 vs. 社会福祉 vs. 安全保障
- **選択と集中(日本)**: 多様性・自由な発想・研究時間の確保が危機に
- **基礎・応用一体分野の出現**: 人工知能、量子コンピュータ、CRISPRなど

➤ 21世紀後半の基礎研究を支えるには?

- アカデミアと市民の**共進化** → アウトリーチ。学術系クラウドファンディング
- アカデミアと企業の**共進化** → 科学者と企業の協働

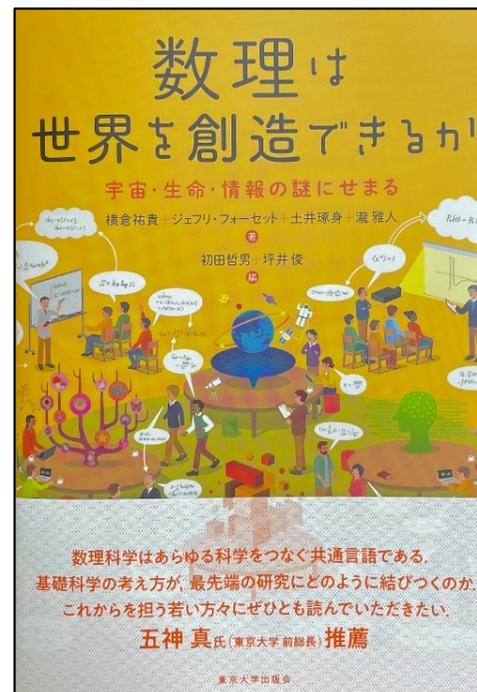
数理科学が開く未来世界



2020年7月 刊行
(東大出版会)



2021年4月 刊行
(柏書房)



2021年6月 刊行
(東大出版会)



2021年11月 刊行
(岩波書店)

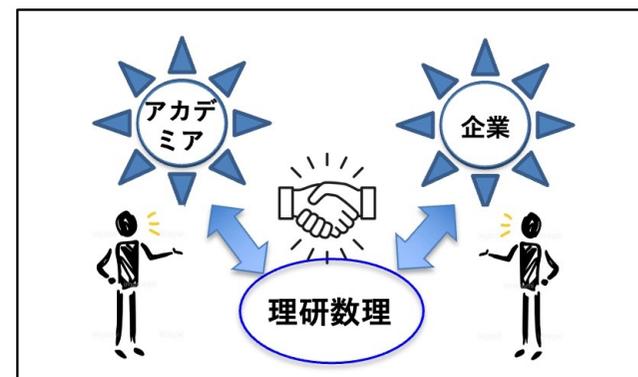
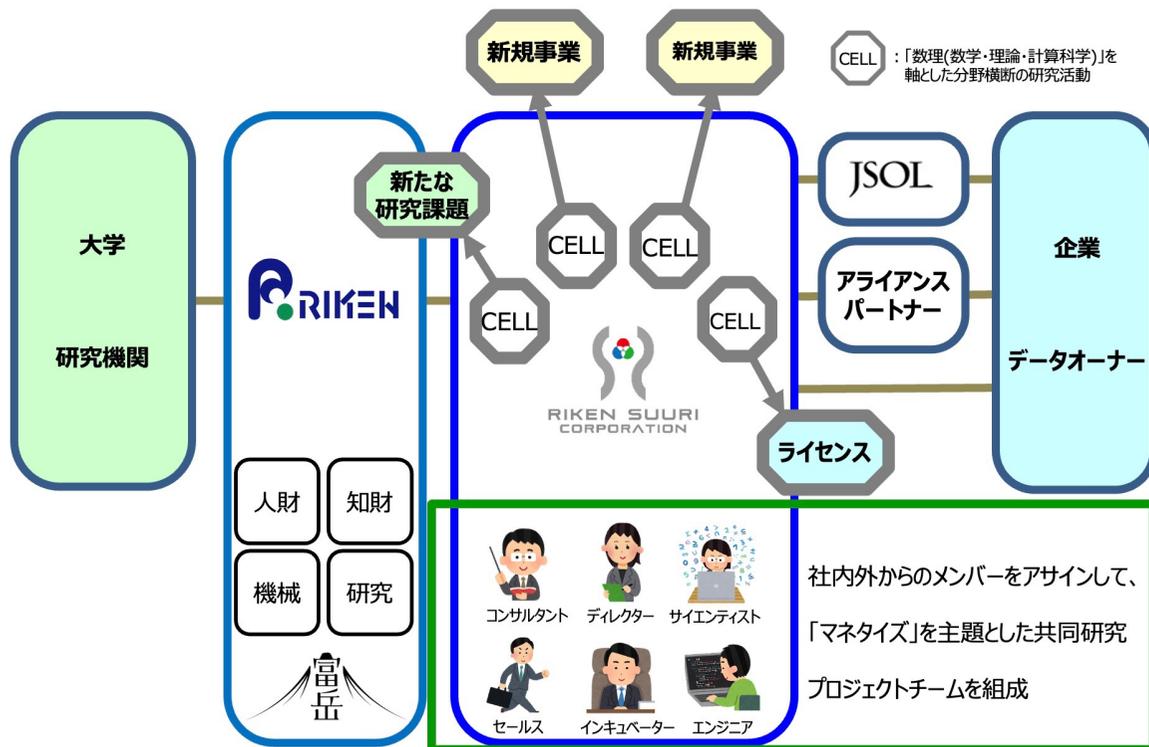
(株)理研数理

<https://www.riken-suuri.jp/>

1. アカデミアの研究者と産業界の研究者・技術者が、垣根を越えて協働と人材還流し、科学と技術の共進化を加速。
2. 得られた価値や収益は、経済発展と基礎科学の振興に還元。

→ 21世紀後半における科学・技術イノベーションの先進的モデルを目指す

理研をはじめとしたアカデミアの研究シーズと、民間企業のニーズをマッチングさせ、共同研究を組成し、一定の成果を達成するだけでなく、新規事業の創出までを目標としています。



CEO (JSOL)



CSA: 理論物理学者
(理研数理創造プログラム)



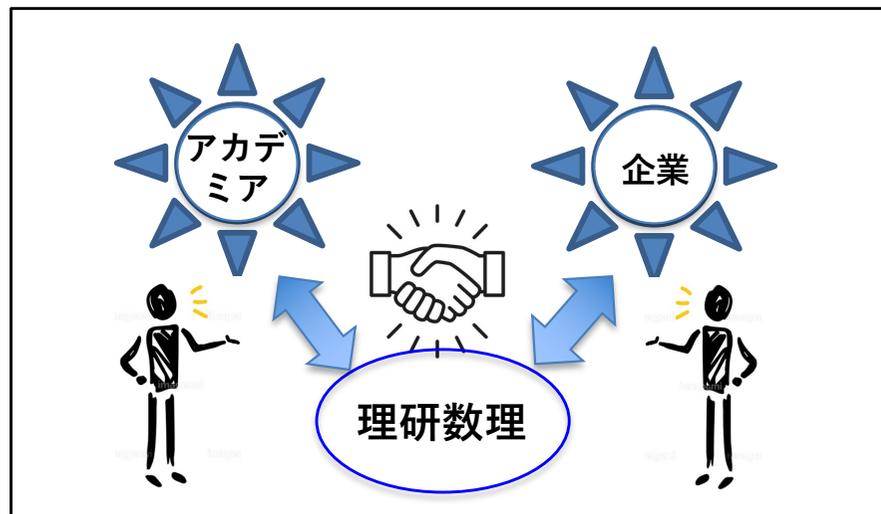
CSA: 数学者
(NTT基礎数学センタ)



CAA: 宇宙物理学者
(理研数理創造プログラム)

(株)理研数理の設立

国立研究開発法人によるベンチャー出資の第一号 (2020.10.1)



RIKEN SUURI
CORPORATION

<https://www.riken-suuri.jp/>



江田 哲也
RIKEN SUURI CORPORATION CEO
株式会社理研数理 代表取締役



Chief Science Advisor
初田 哲男
理化学研究所 iTHEMS プログラムディレクター



Chief Science Advisor
若山 正人
理化学研究所 iTHEMS 特別顧問
NTT基礎数学センタ



Chief Analytics Advisor
長瀬 重博
理化学研究所 iTHEMS 副プログラムディレクター

理研数理は、高い数理能力を有するアカデミアの研究者と産業界の研究者や技術者が、垣根を越えて協働と人材還流を行う新しいプラットフォームを構築し、科学と技術の共進化を一層加速しながら新しい価値を生み出すことを目指します。そこで得られた価値や収益は、豊かな人間生活と経済発展の両立に資するとともに、基礎科学の振興にも供されます。

私達は、これが21世紀後半における科学・技術イノベーションの先進的モデルになると信じています。

「役に立たない科学」は役に立つ!?



高校時代(1974-1977) → 50年後(2024)

様々な発見 → 謎は深まる

1. ブラックホールの謎

2. 暗黒物質、暗黒エネルギーの謎

3. 未知の次元の謎

4. 生命誕生の謎

- ・ 理論(紙と鉛筆)
- ・ 実験(加速器、衛星)
- ・ スーパーコンピュータ
- ・ 人工知能
- ・ 量子コンピュータ

研究の旅はまだまだ続く...

WWW.STARTREK.COM