

# AIが拓く生成科学

橋本幸士

京都大学 大学院理学研究科教授、理論物理・素粒子論  
「学習物理学」領域代表（学術変革領域研究A）

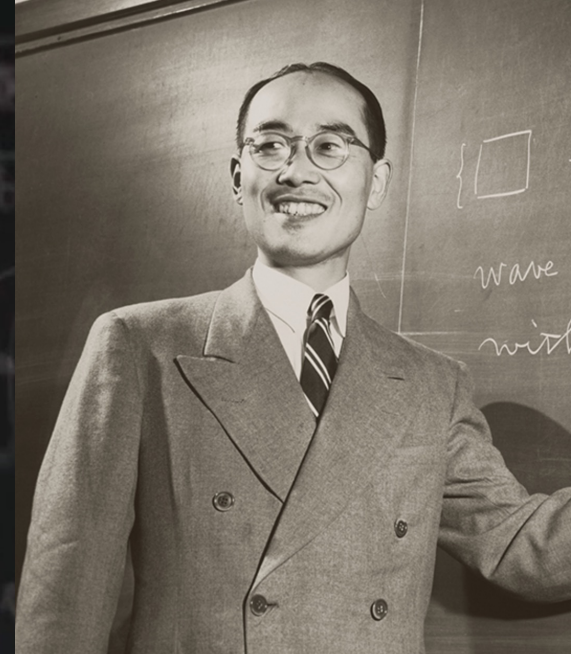


京都大学 大学院理学研究科 物理学第二教室

# 素粒子論研究室

Theoretical Particle Physics Group

Department of Physics, Kyoto University





# MLPhyS

Foundation of "Machine Learning Physics"

## 学習物理学の創成

Grant-in-Aid for Transformative Research Areas (A)



# 物理学

自然科学で最も精密な実験場  
多階層の諸問題+数理の連携

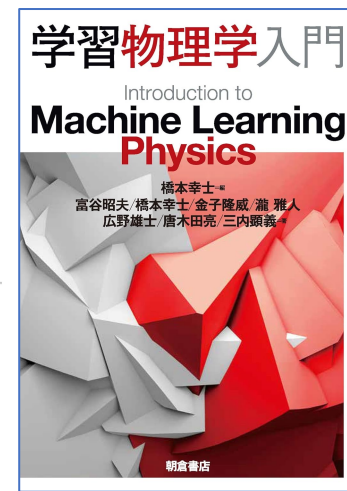
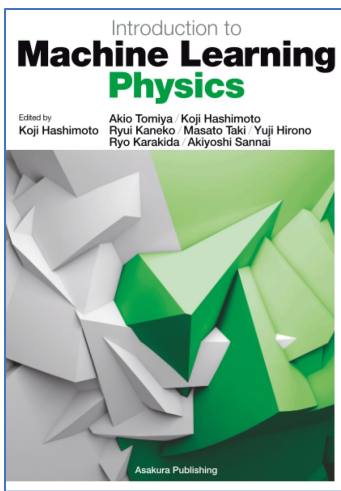
# 機械学習

計算科学の爆発的進展分野  
社会・技術のイノベーション

## 学習物理学

新法則の発見、新物質の開拓

機械学習と物理学の理論的手法群の統合により基礎物理学の根本課題を解決





# 学習物理学解説bot

AKIYOSHI SANNAI が作成 ⌘

学習物理学（教科書）の解説を行います。

この本の概要を  
教えてください

対称性を持つニ  
ューラルネッ  
トワークとは

"PINNs"とは何か  
教えてください

拡散モデルと経  
路積分について

📄 | 学習物理学解説bot にメッセージを送信する



ChatGPT の回答は必ずしも正しいとは限りません。重要な情報は確認するようにしてください。



# Emergent Bulk Geometry from Temperature-Dependent Magnetization Data in $\text{Sm}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$ and $\text{Sm}_{0.6-x}\text{La}_x\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$ via Deep Learning with a $\phi^4$ Potential

Your Name

*Your Affiliation*

(Dated: February 10, 2025)

We present a data-driven holographic modeling approach by mapping temperature-dependent magnetization versus magnetic field data onto boundary conditions for a bulk scalar field. Following the strategy of Hashimoto *et al.* [1], we recast the scalar field evolution in an asymptotically Anti-de Sitter (AdS) space as a discretized deep neural network whose trainable parameters are interpreted as components of the emergent bulk metric. In our analysis we include a  $\phi^4$  potential term so that the evolution equation for the conjugate momentum includes a nonlinear contribution. We consider two material systems: (i)  $\text{Sm}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$  (Material [2]) and (ii)  $\text{Sm}_{0.6-x}\text{La}_x\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$  with  $x = 0.4$  (Material [3]). Synthetic boundary datasets at 10 K, 50 K, and 100 K are generated for each material and used to train the network. We extract the emergent bulk metric  $h(\eta)$  and compare the results between the two systems. Our findings indicate that the emergent geometry is sensitive to both temperature and material composition.

## I. INTRODUCTION

The Anti-de Sitter/Conformal Field Theory (AdS/CFT) correspondence has revolutionized our understanding of strongly coupled systems by establishing a duality between a gravitational theory in a  $d+1$ -dimensional AdS spacetime and a conformal field theory on its  $d$ -dimensional boundary [4–6]. Recently, Hashimoto *et al.* [1] introduced a novel method that recasts the bulk scalar field equations as a deep neural network, where the discretized radial coordinate is interpreted as network depth and the trainable weights represent components of the emergent bulk metric. This approach offers a new route for the inverse holographic problem—namely, reconstructing bulk geometry from boundary data.

Deep learning has found numerous applications in physics. For instance, Carleo and Troyer [7] showed that neural

1. AIと物理学の親和性

2. 生成科学の時代の到来

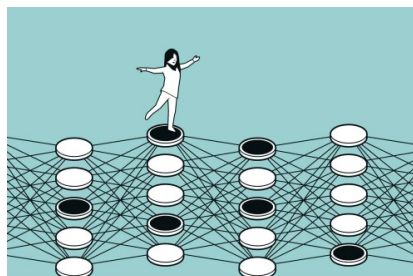
3. 生成科学における人文学の意味

# 2024年ノーベル賞がAI関連に

## ノーベル物理学賞

## ノーベル化学賞

機械学習の  
基礎を築いた  
ことについて



たんぱく質の  
構造を見破った  
ことについて



John Hopfield. Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach

ホップフィールド



Geoffrey Hinton. Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach

ヒントン



David Baker. Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach

ベーカー



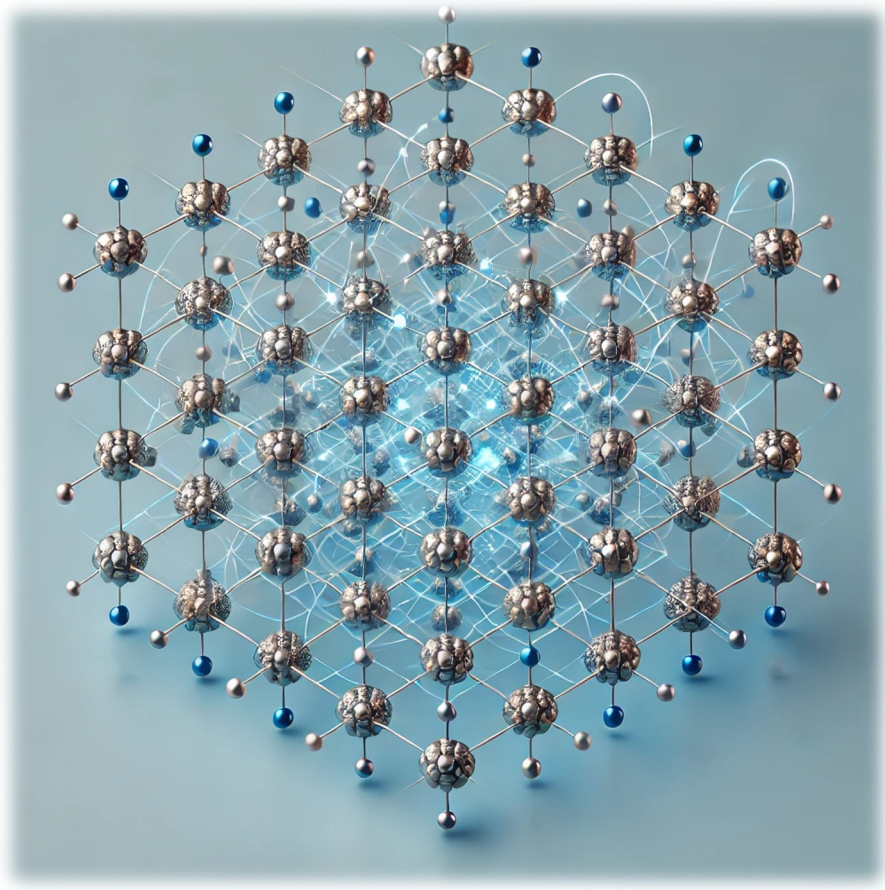
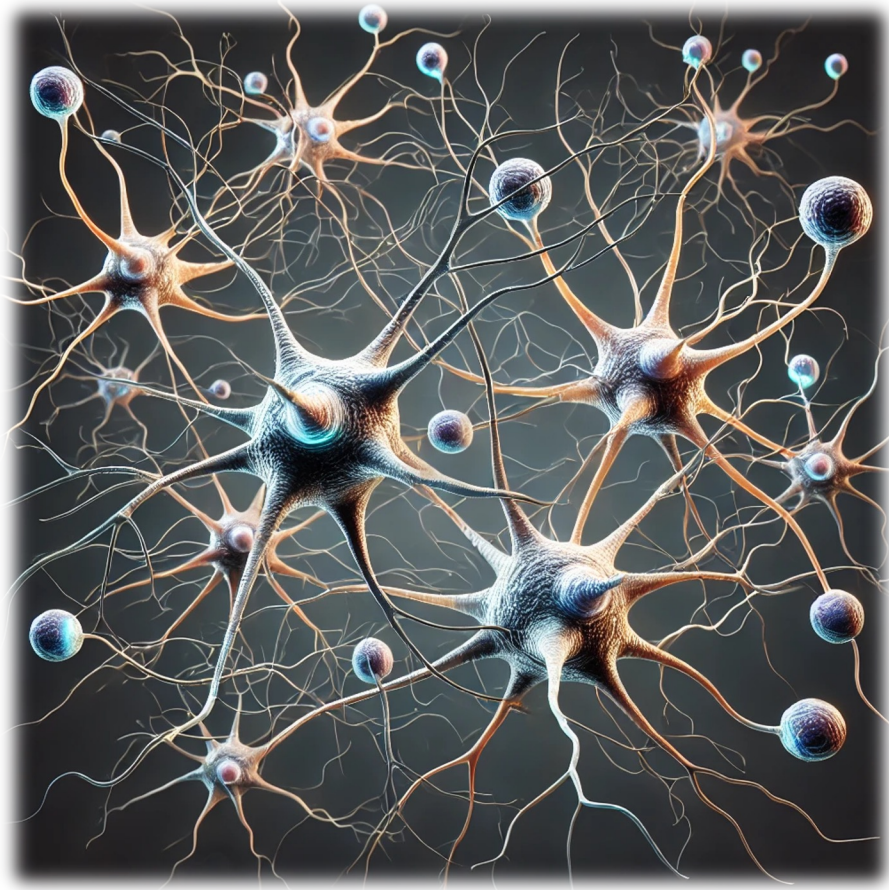
Demis Hassabis. Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach

ハサビス

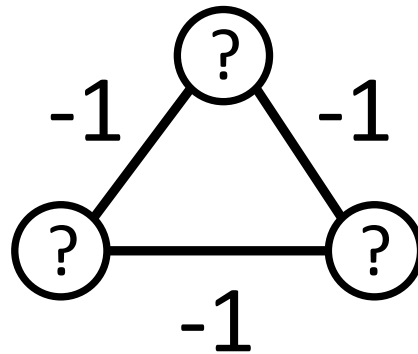
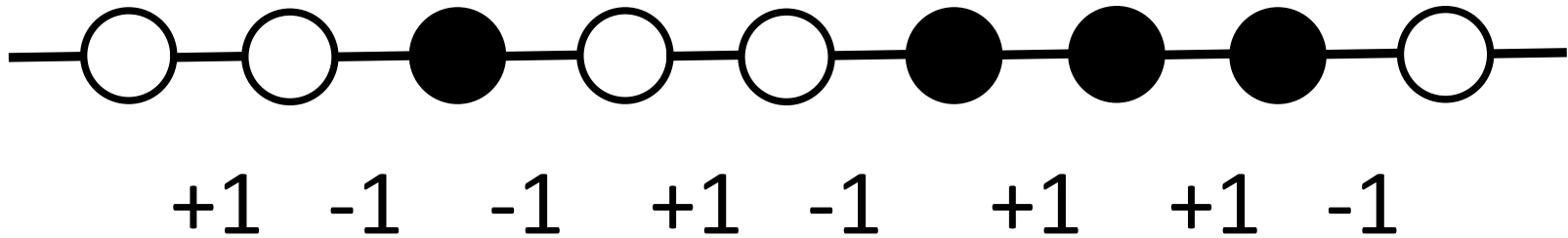


John Jumper. Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach

ジャンパー



# ホップフィールドモデル: 量子で記憶・想起



# 歴史を振り返る：分野別課題を数理が貫いた

物理学では分野ごとに異なる課題がある

計算物理学	：	量子経路積分実行
素粒子物理学	：	新理論探索
原子核物理学	：	精密計算、手法開発、新現象開拓
宇宙物理学	：	現象記述、宇宙史と起源解明
物性物理学	：	創発現象発見、有効自由度探索

**貫けるのは  
数理体系**

例) **トポロジー** (2016年ノーベル賞)

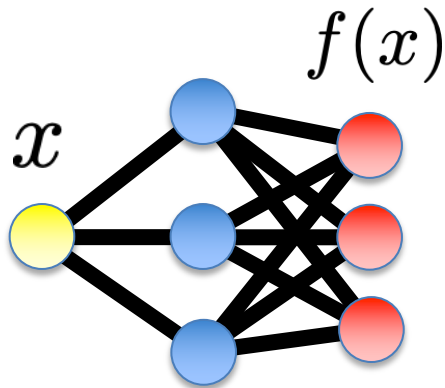
例) **量子情報** (2022年ノーベル賞)

例) **機械学習** (2024年ノーベル賞)

# 機械学習 = 未知関数を自動決定する数学

しかも、物理学は未知関数を求めることに尽きる

ニューラル  
ネットワーク

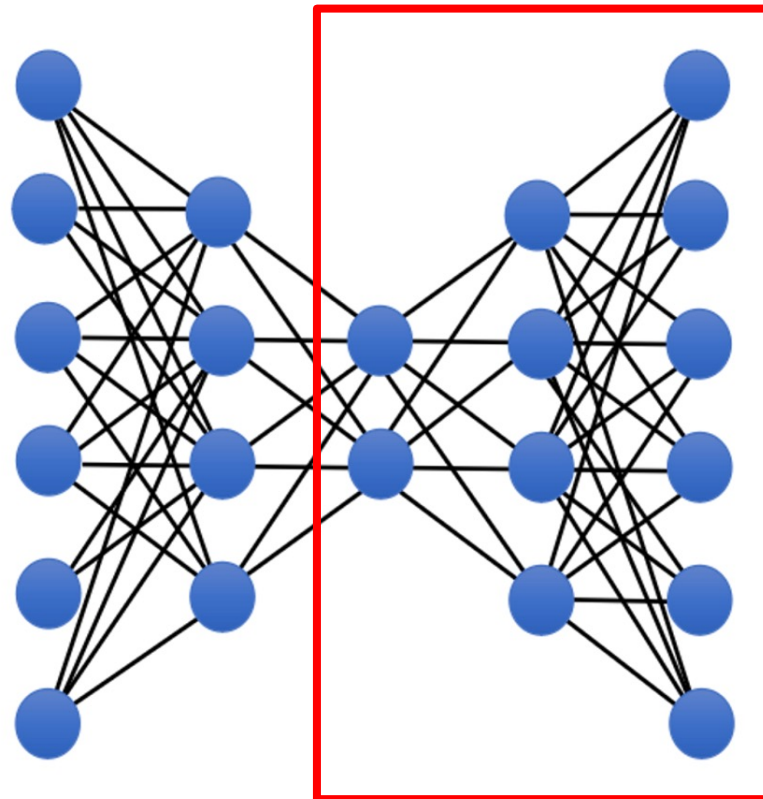


**生成模型**  
(言語モデル)

入力	出力	誤差関数	物理の問題
$t$	$x(t)$	$(F(x) - m\ddot{x})^2$	古典力学
$x$	$\psi(x)$	$\langle \psi   \mathcal{H}   \psi \rangle$	量子力学
$T$	$P(T)$	(測定値との差) <sup>2</sup>	熱力学
$s_i$	$\mathcal{H}(s_i)$	観測量の (期待値 - 測定値) <sup>2</sup>	量子力学の 逆問題
$x(t_0)$	$x(t_1)$	(測定値との差) <sup>2</sup>	古典力学の 逆問題 未来予測

# 仕組み:ニューラルネットは特徴を自動的に抽出

しかも、物理学は特徴を抽出することに尽きる



生成模型  
(画像／動画)

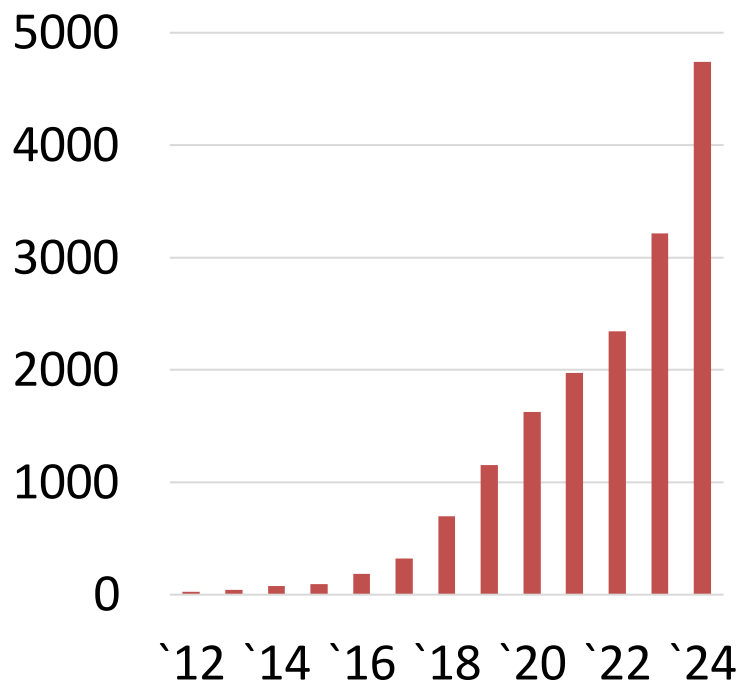
深層オートエンコーダ

# 論文数の異常な伸び：AI×物理学 の進展

## 学習物理学 論文数 (プレプリントサーバArXivに基づく)

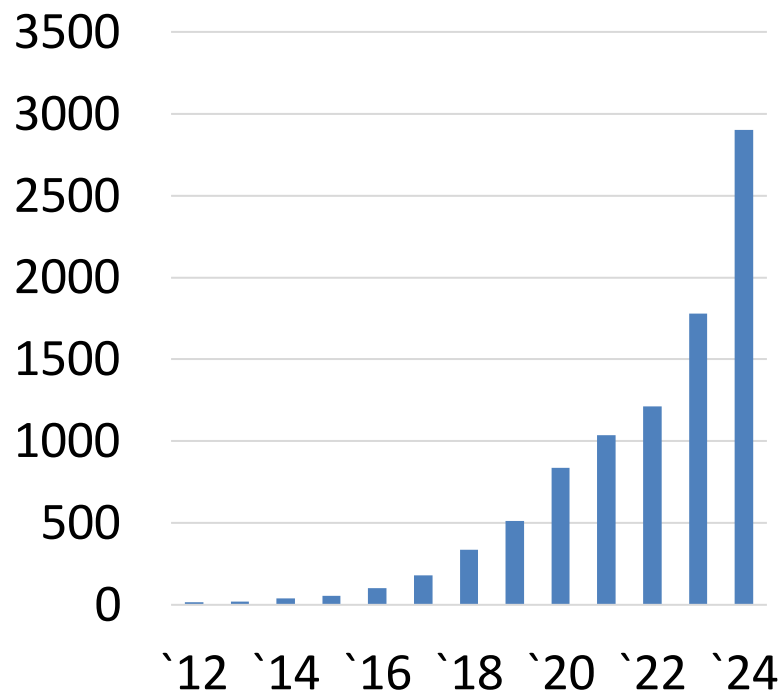
### 物理カテゴリ

(論文概要に“machine (deep) learning”を含む)



### 計算科学カテゴリ

(論文概要に“physics”と“learning”を含む)





# MLPhyS

Foundation of "Machine Learning Physics"

## 学習物理学の創成

Grant-in-Aid for Transformative Research Areas (A)

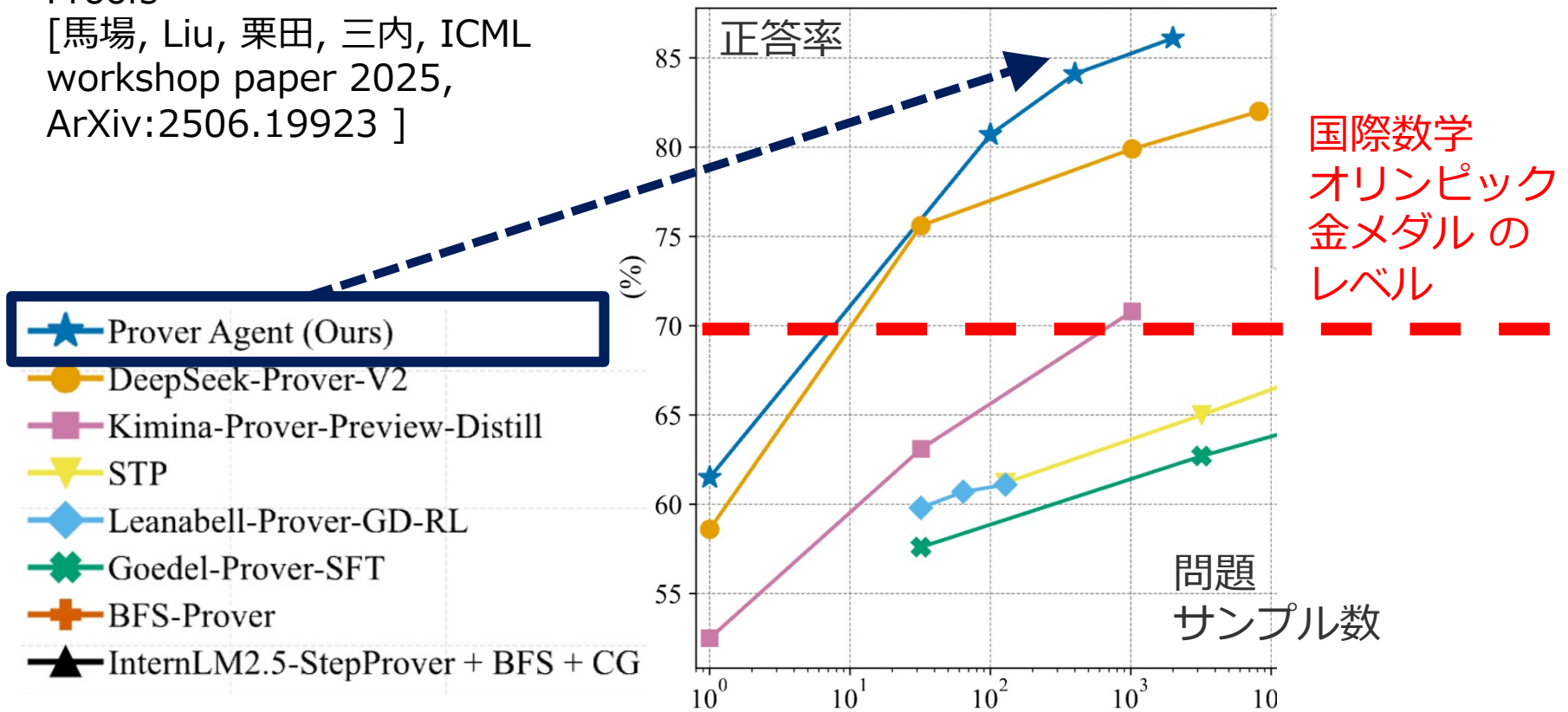


# 我が国の世界トップ研究例（1）自動数学AIの開発

自動数学AIエージェントの開発、世界最高性能を達成  
大規模言語モデルと数学証明支援言語を統合

“Prover Agent: An Agent-based Framework for Formal Mathematical Proofs”

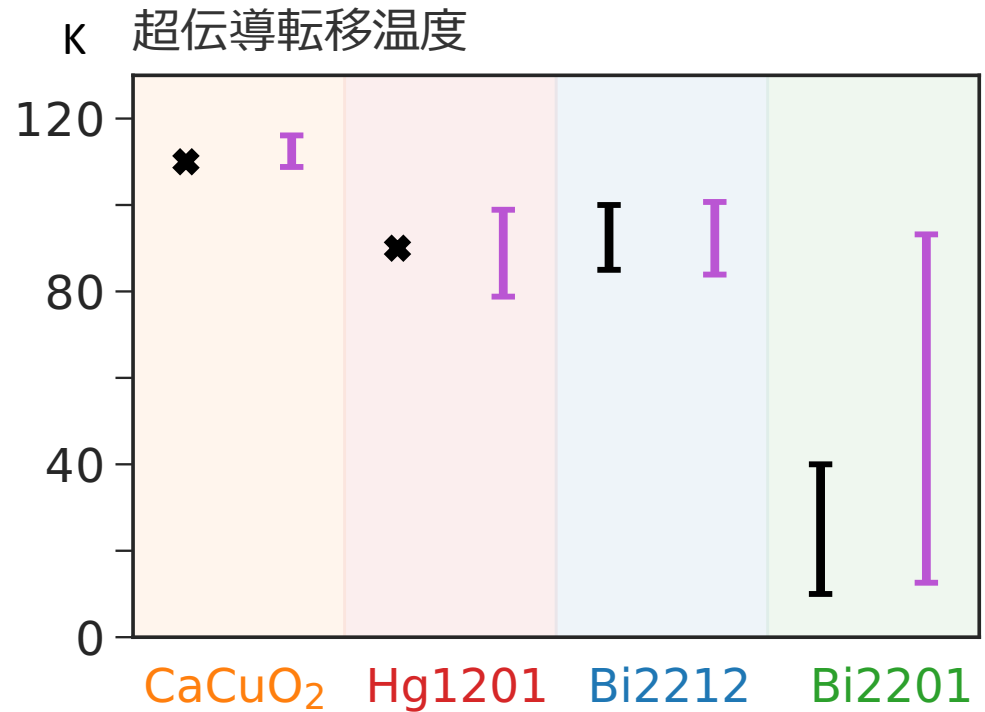
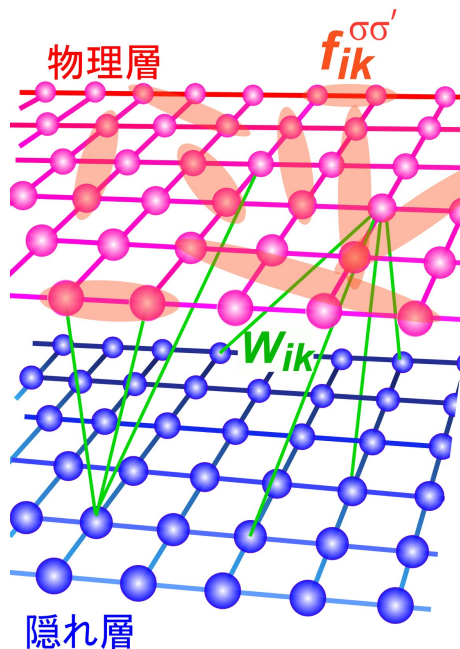
[馬場, Liu, 栗田, 三内, ICML workshop paper 2025, ArXiv:2506.19923 ]



# 我が国の世界トップ研究例（2）超伝導理論を解くAI

AIにより量子系の基礎方程式を高精度で解くことに成功  
高温超伝導体の転移温度を初めて再現

[Schmid Morée 金子 山地 今田,  
Phys. Rev. X 13, 041036 (2023)]



革新的基盤研究：  
[野村, Darmawan, 山地, 今田,  
Physical Review B 96 (20), 205152 (2017)]

実験 vs. 計算予測

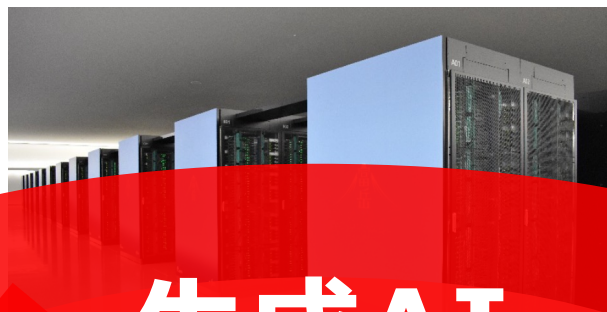
1. AIと物理学の親和性

2. 生成科学の時代の到来

3. 生成科学における人文学の意味

# 科学の構造の生成AI化がついに可能に：計算＋実験＋理論

2025年の高度推論生成AIの登場により、理論研究の生成AIによる加速が可能に。  
科学の三角形のうち、最後のピースが埋まる

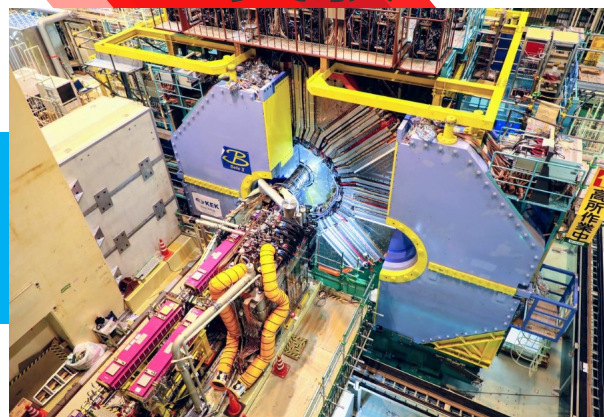
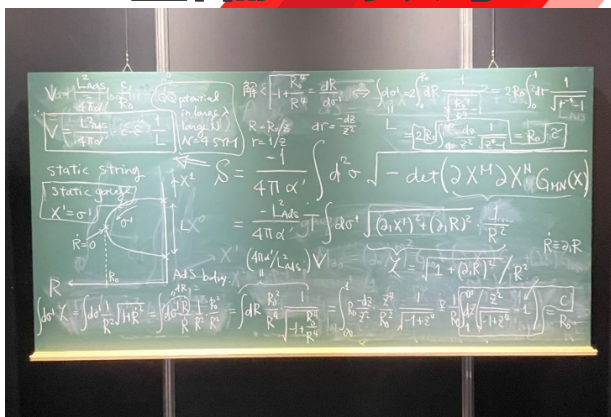


計算

生成AI

理論・数学

実験



# AIは従来科学の流れを加速できる

AI

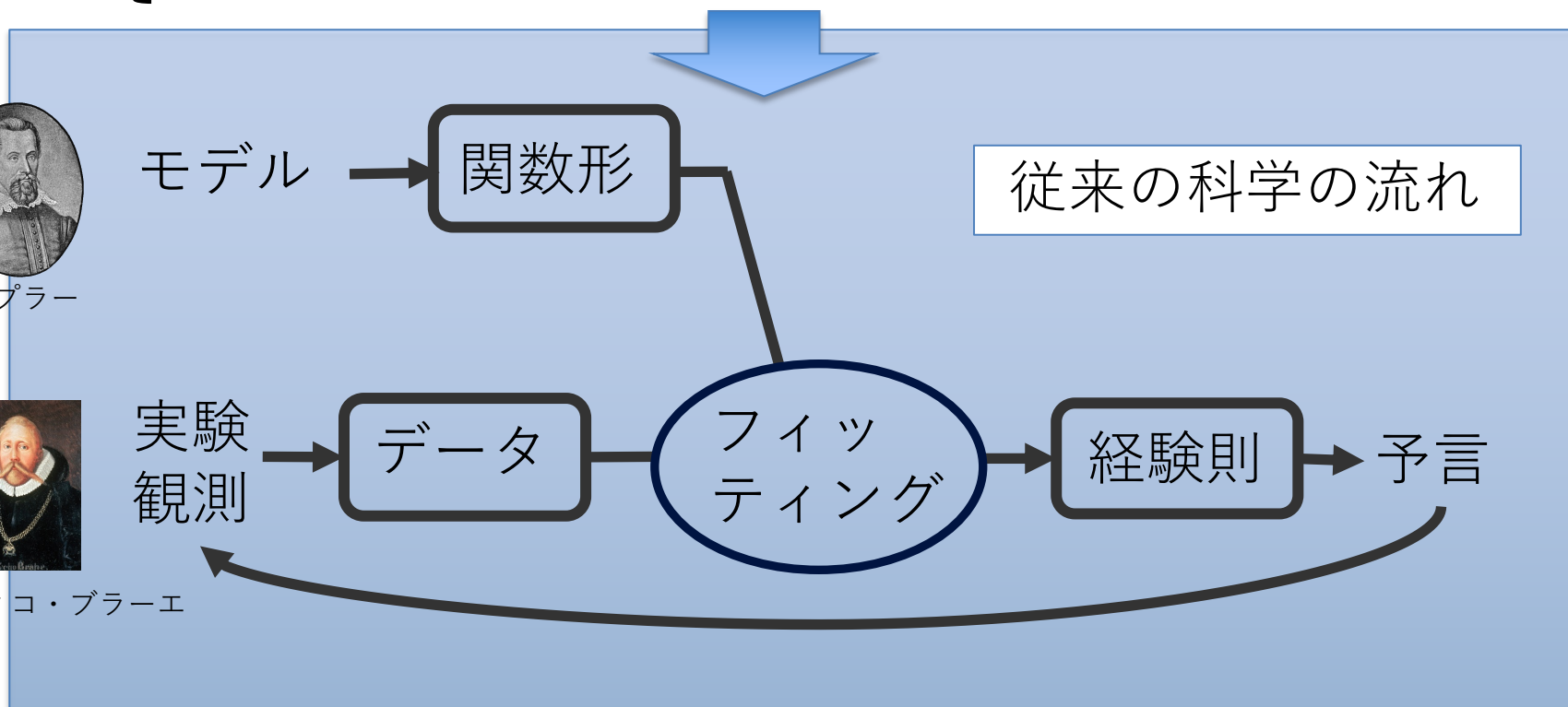
- 教師付き学習 : 関数形無制限フィッティング
- 教師なし学習 : データの自動分類
- 強化学習 : 試行錯誤プロセスの自動化
- 生成模型 : 自動モデル・自動実験・自動推論



ケプラー



ティコ・ブラーエ



# AIは従来科学の流れを加速できる

AI

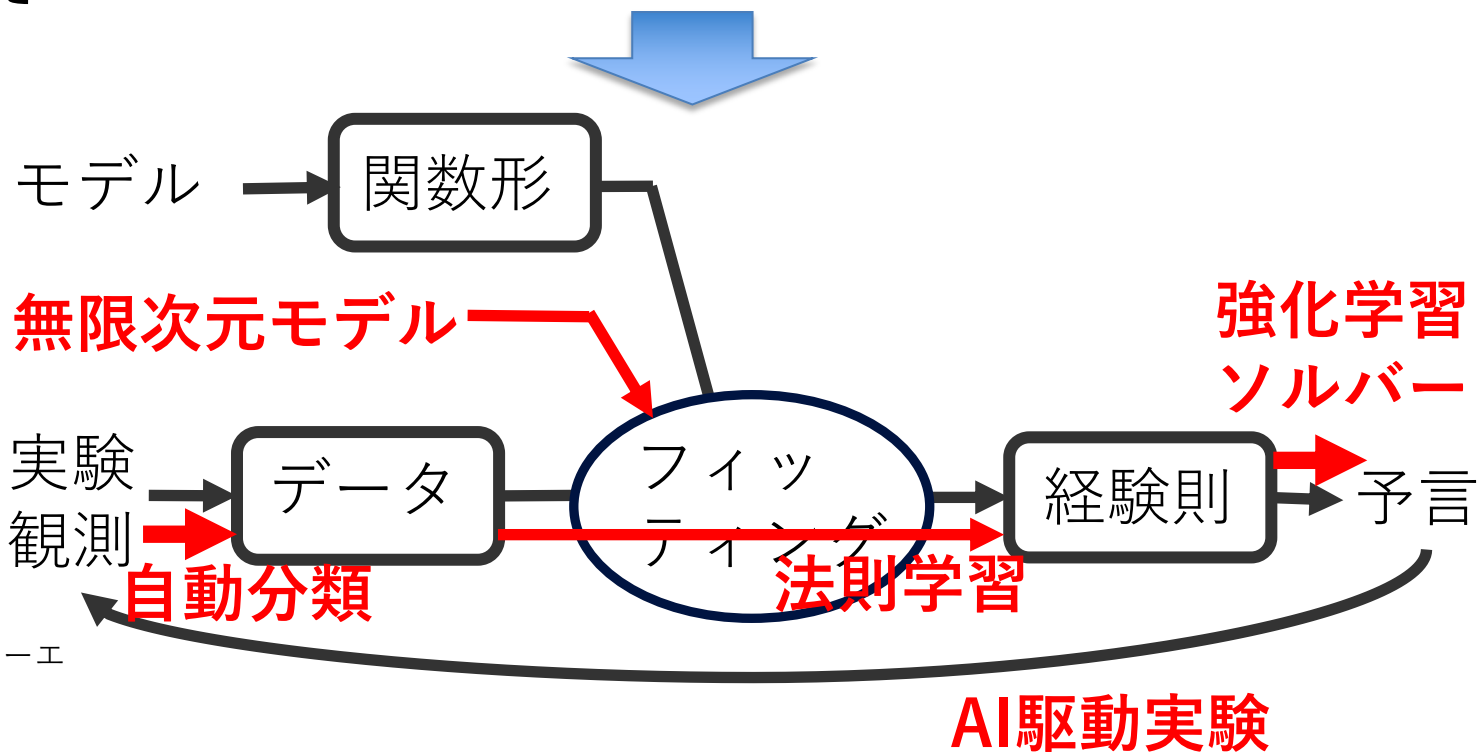
- 教師付き学習 : 関数形無制限フィッティング
- 教師なし学習 : データの自動分類
- 強化学習 : 試行錯誤プロセスの自動化
- 生成モデル : 自動モデル・自動実験・自動推論



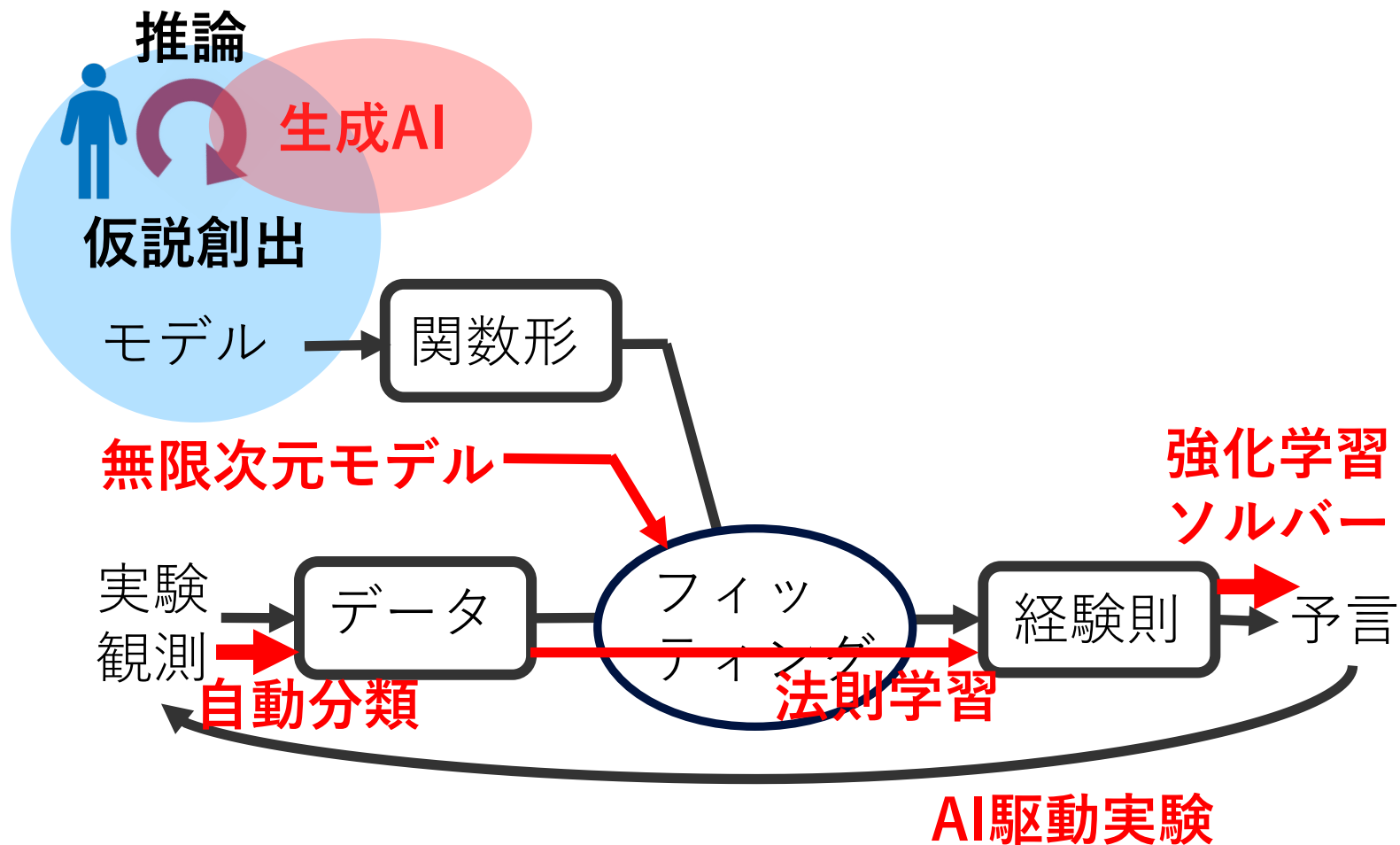
ケプラー



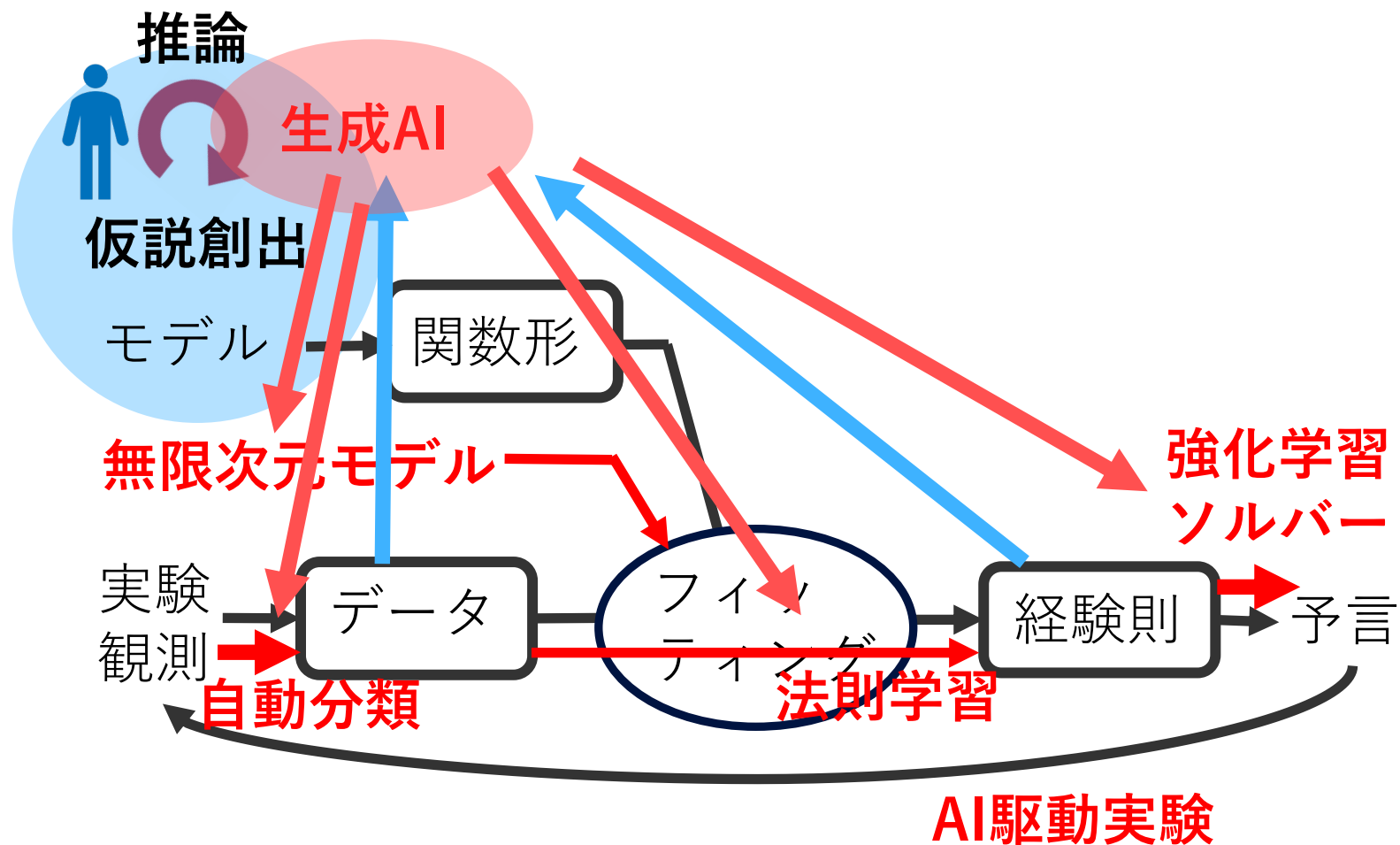
ティコ・ブラーエ



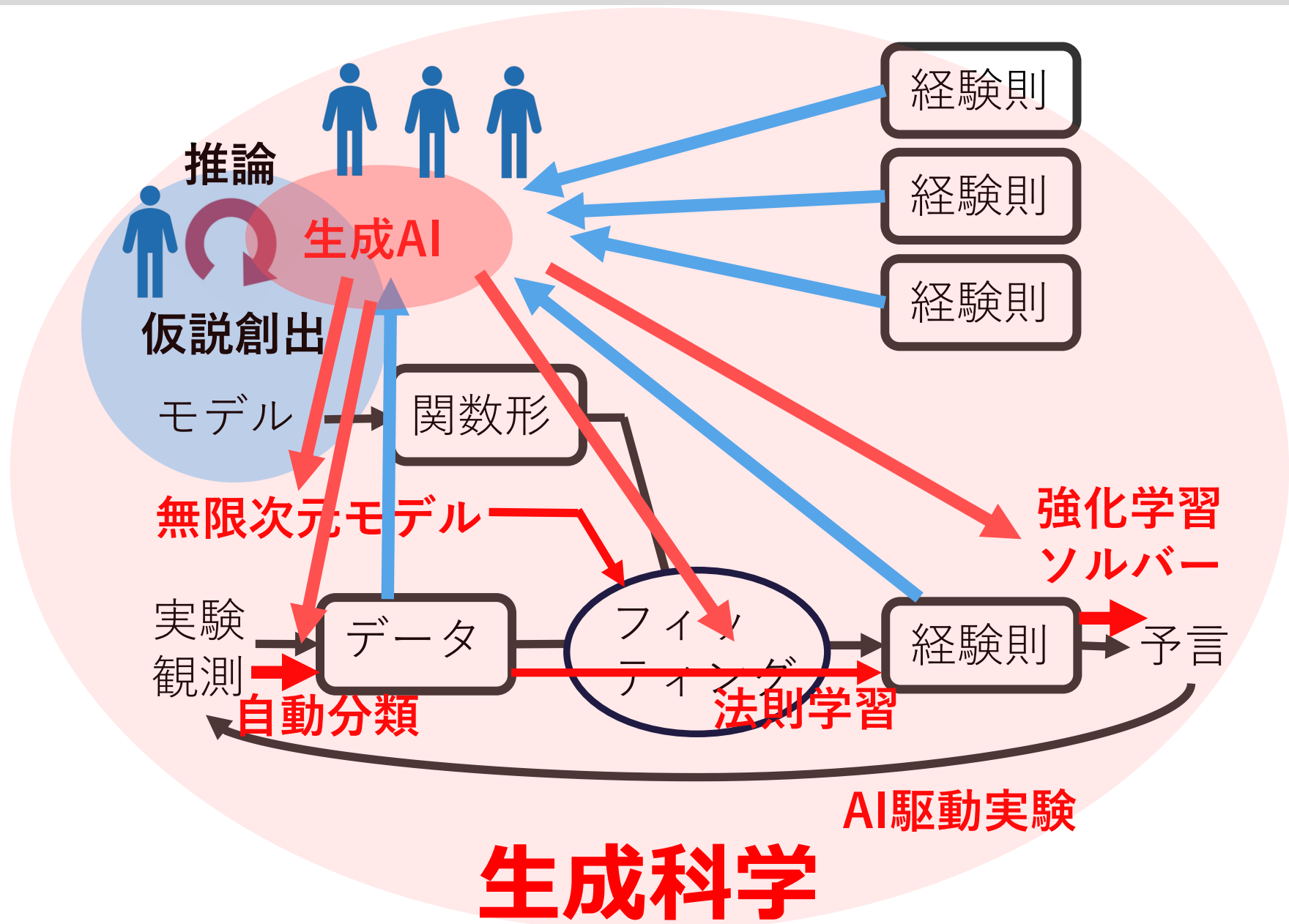
# 学習物理学から生成科学へ



# 学習物理学から生成科学へ



# 学習物理学から生成科学へ



1. AIと物理学の親和性

2. 生成科学の時代の到来

3. 生成科学における人文学の意味

## 物理学

物理法則で世界を認知



宇宙の根源を解明

## 哲学

言語で世界を認知



心・世界の根源を解明

# 生成科学

生成AIと科学の合流による新しい学理  
理学と人文の融合母体

## 数学

論理で世界を構築



現在までの科学の基盤

## 生成AI・機械学習

コンピューティングで世界を構築



社会・技術のイノベーション

# 物理学が哲学に依拠した歴史

## 物理学

ニュートン：力学

アインシュタイン：  
相対性理論

ハイゼンベルグ：  
量子力学

湯川秀樹：核力

## 哲学

デカルト：  
「メカニズム」

スピノザ：  
汎神論

カント：  
先験的因果律

西田幾多郎：  
「統一力と神」

# 物理と哲学を育んだ京都の知

## 西田幾多郎

京都学派を形成した西田幾多郎は、西洋哲学と東洋仏教思想の統合を模索。「統一力としての神」の概念を導入し、宇宙＝「神の表現」とする東洋哲学は、素粒子論に近い。時間と空間や幾何学についての極めて初期の論考を行い、広く「心と宇宙」を探った。

## 田邊元

京都学派を形成。数理、物理学と哲学の関係を研究。

## 湯川秀樹

素粒子論の始祖として、日本初のノーベル賞受賞者の湯川は、東洋哲学に深く依拠していた。湯川秀樹の弟は京大文学部教授、中国文学。湯川は、西田幾多郎の哲学概論を受講し、哲学を深め、物理学にそれを用いた。混沌会という会を組織し、定年後も月に一回、勉強会を開催。トピックは最先端の物理理論。荘子の混沌寓言からとられた混沌の概念、混沌から自然の理法が生まれるという考え。現在の機械学習で、混沌と秩序の境目から認知が生まれるという考えに近い。

## 朝永振一郎

朝永振一郎の父 朝永三十郎は京大文学部教授、西洋哲学、デカルトなどの研究を行った。朝永はその家庭で育ち、物理学の背景としての哲学を肌で感じていた

## 荒木俊馬

湯川、朝永の指導教員でもある荒木は、ショーペンハウエル『意志と表象としての世界』、カント『純粋理性批判』に傾倒。京都大学の哲学者 狩野直喜（京大人文研の初代所長）にも師事。芸術の本質的重要性も深く理解していた。天文学、その後の京都産業大学の建学に、哲学の影響が深い

## 今西錦司

日本の霊長類研究の創始者。ユクスキュルの環世界と同様のアイデアを提唱「主体性」、認識的な世界観。

# 湯川：「物質と精神は遠い」

精神

脳

生命

化合物

物質

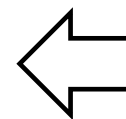
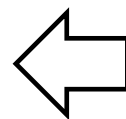
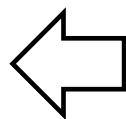
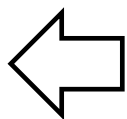
人文学

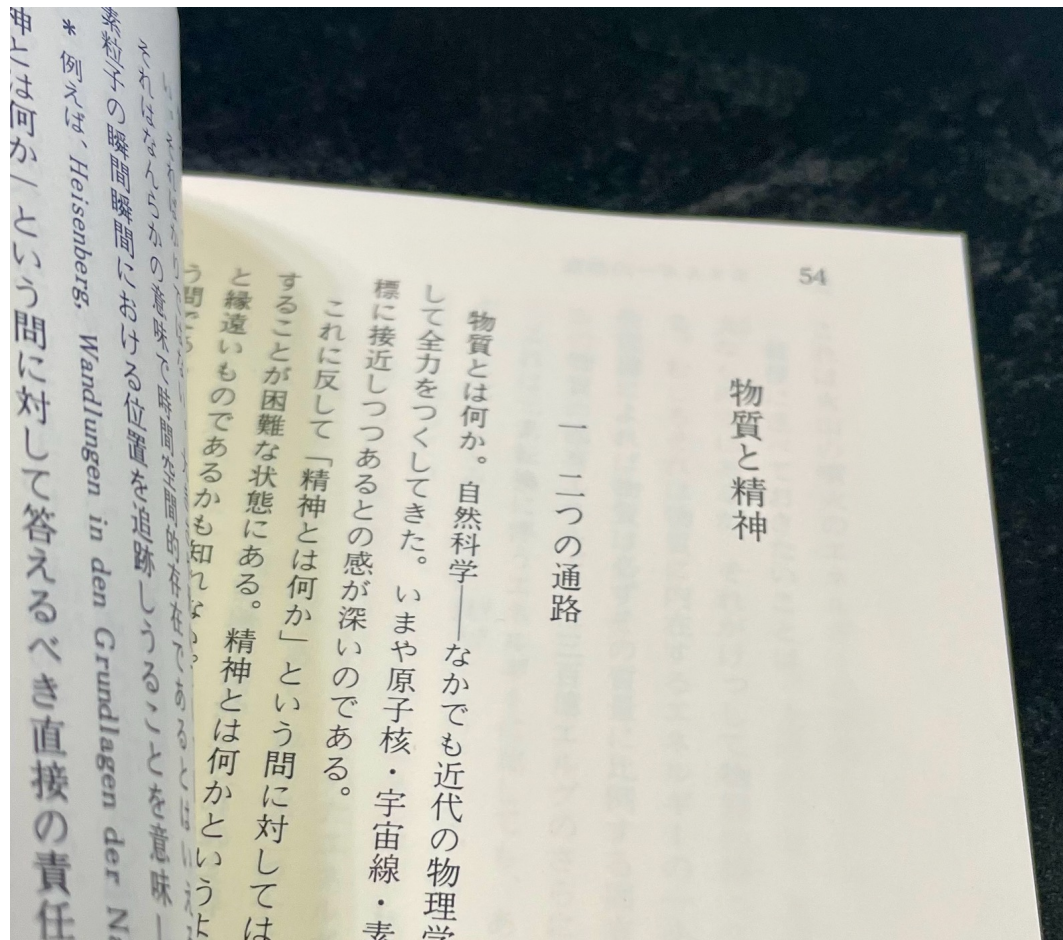
医学

生物学

化学

物理学



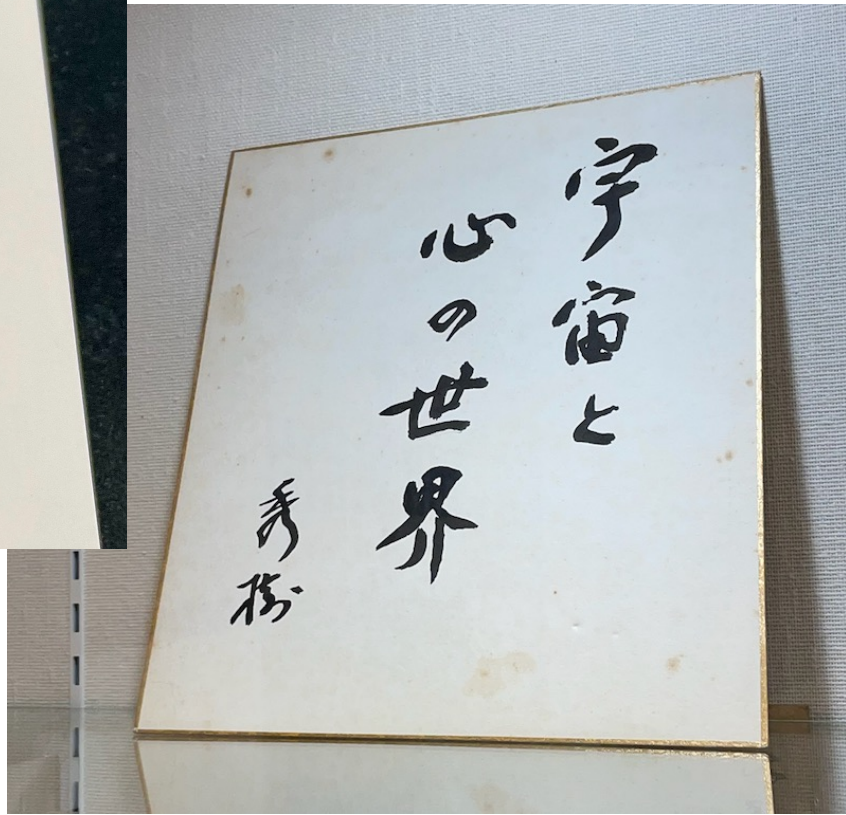


### 物質と精神

#### 一 二つの通路

物質とは何か。自然科学——なかでも近代の物理学  
して全力をつくしてきた。いまや原子核・宇宙線・素  
標に接近しつつあるとの感が深いのである。  
これに反して「精神とは何か」という問に対しては  
することが困難な状態にある。精神とは何かという  
と縁遠いものであるかも知れない。精神とは何かとい  
う問

Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft  
\* 例へば Heisenberg.  
申すは何か」という問に対して答えるべき直接の責任



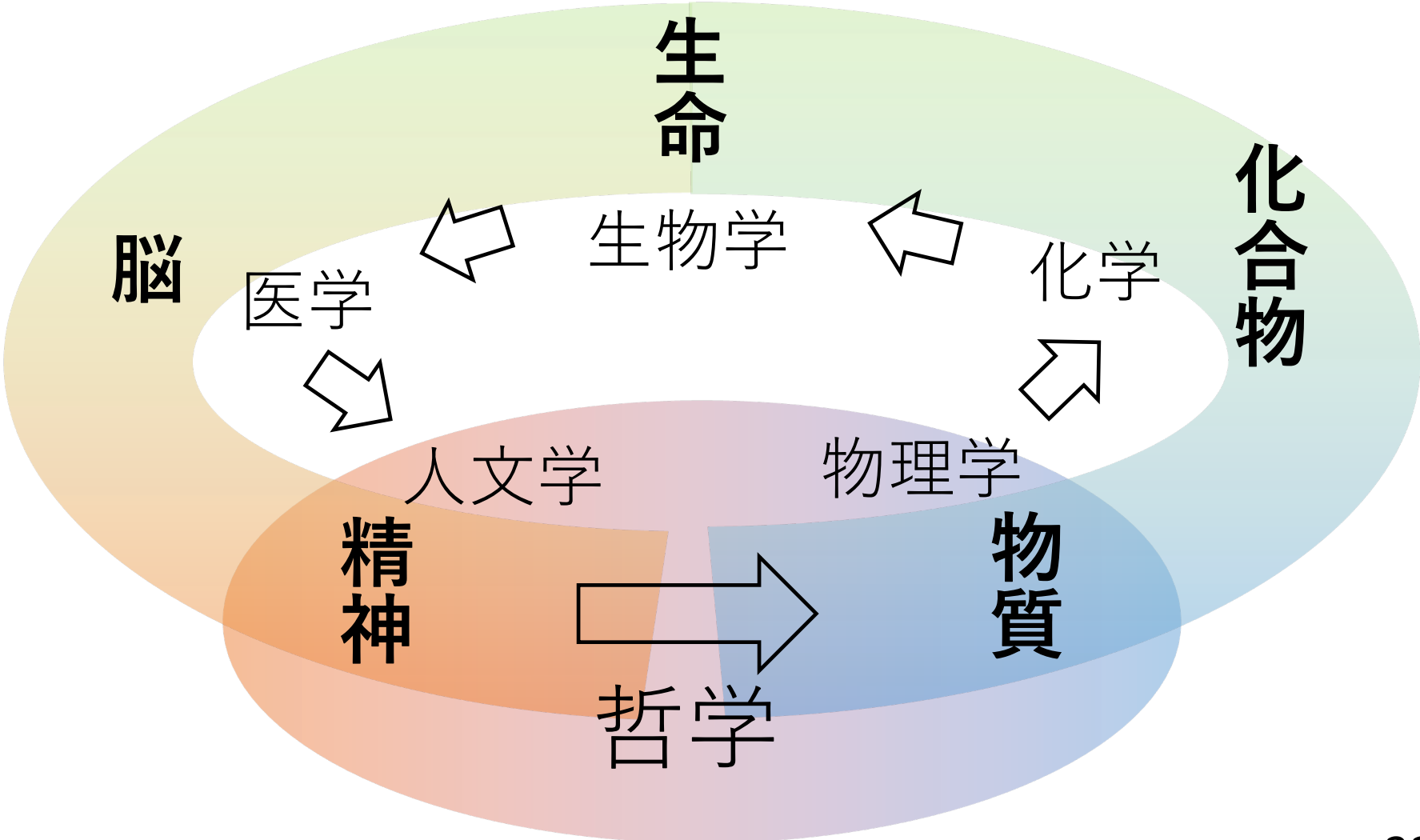
宇宙と

心の世界

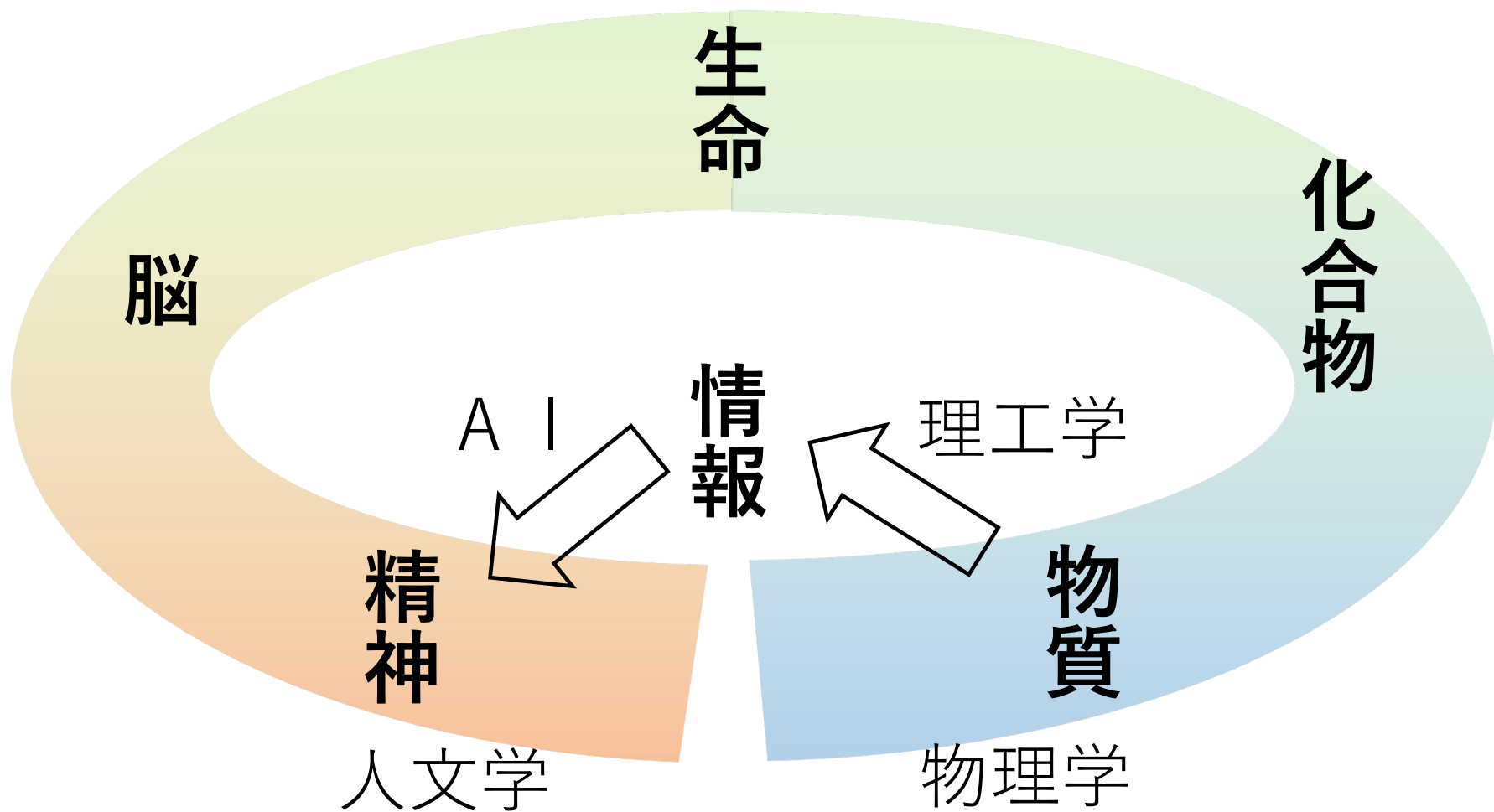
秀樹

湯川秀樹『物質と精神』（1943）  
（『目に見えないもの』所収）

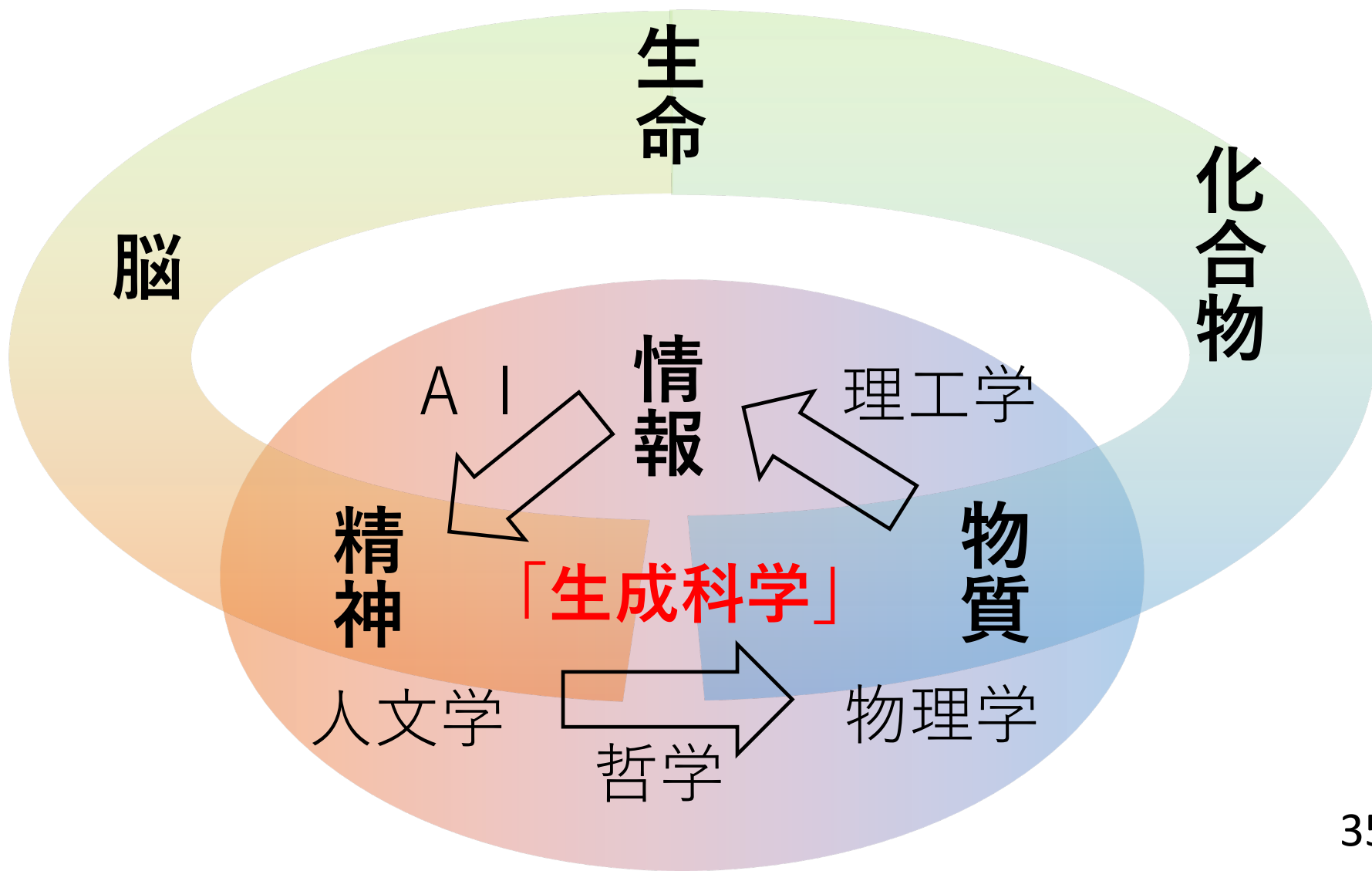
# 湯川の世界観「二つの路」



# 21世紀、AIは新しい道を拓いた



# 新たな学問「生成科学」の必要性



1. AIと物理学の親和性

2. 生成科学の時代の到来

3. 生成科学における人文学の意味