

数理科学を軸とした学際的研究

理化学研究所 数理創造プログラム
RIKEN Interdisciplinary Theoretical and
Mathematical Sciences Program (iTHEMS)
-- 事例紹介と今後の課題 --

初田 哲男
理研 数理創造プログラム プログラムディレクター
東京大学 名誉教授

2020年1月17日

自己紹介

初田哲男

理論物理学：素粒子、原子核、宇宙、物性、生物

1958年 大阪生まれ

1986年 京都大学 理学博士

1986年 高エネルギー物理学研究所 (KEK) 研究員

1988年 ニューヨーク州立大学 研究員

1990年 欧州原子核研究機構 (CERN) 研究員

1990年 ワシントン大学 物理学科 助教授

1993年 筑波大学 物理学系 助教授

1998年 京都大学 理学研究科 助教授

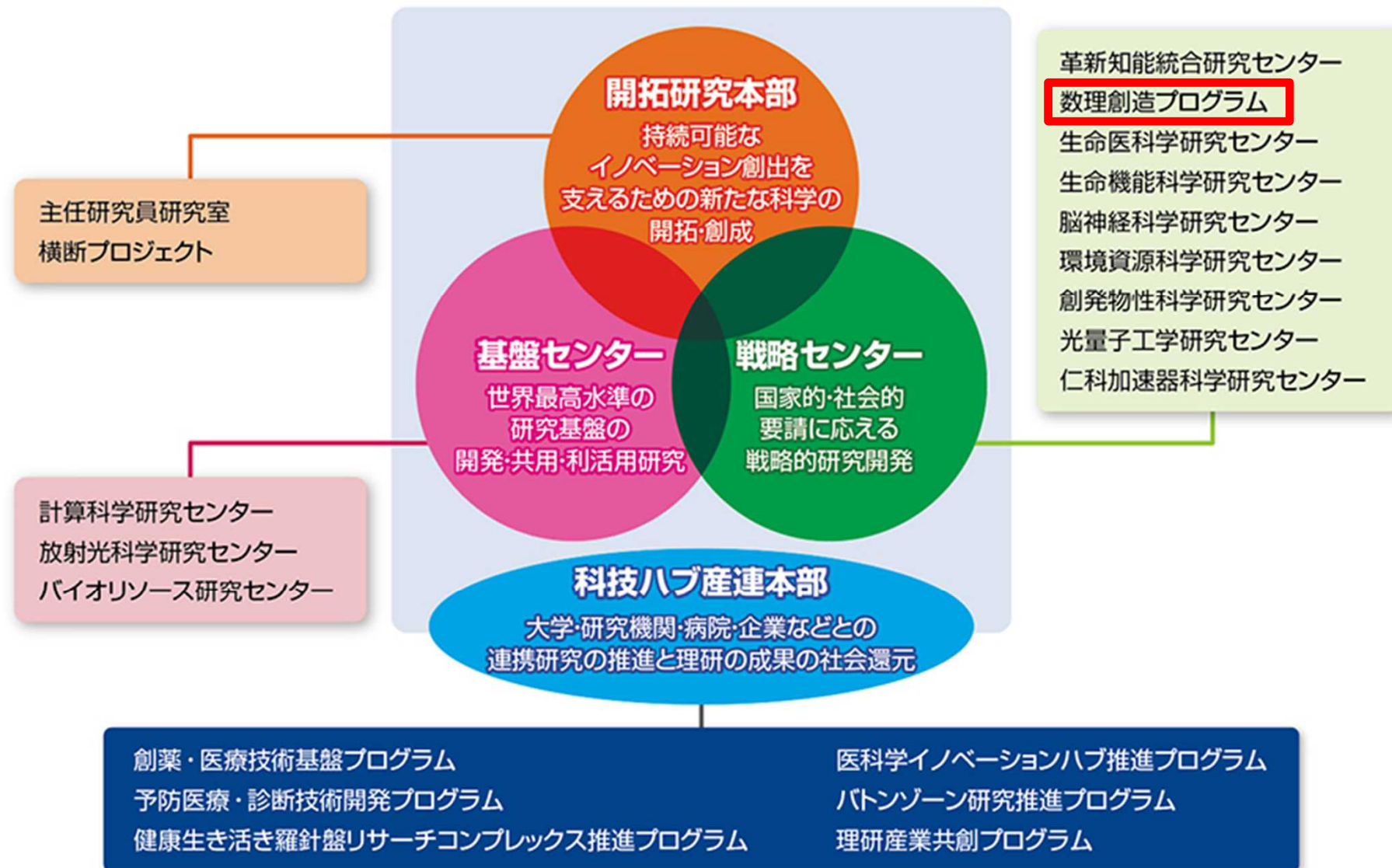
2000年 東京大学 理学系研究科 教授

2012年 理研 仁科加速器研究センター 主任研究員

2016年- 理研 数理創造プログラム (iTHEMS) ディレクター

2019年- 東京大学 名誉教授

理化学研究所(2018からの体制)



学際的研究と環境整備の一般論

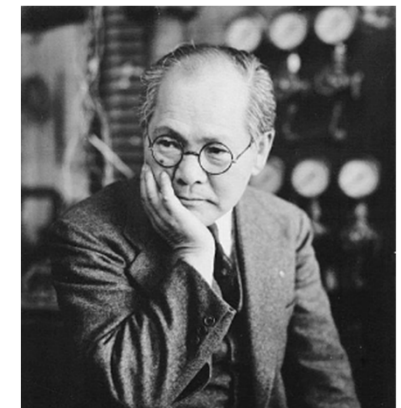
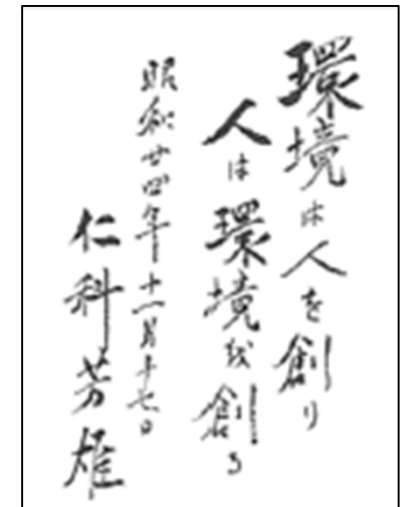
学際的研究 := { $A+B \rightarrow A^*$, $A+B \rightarrow B^*$, $A+B \rightarrow C$ }

ブレークスルーの宝庫、しかし結果であって目的ではない

各分野のエキスパートが切磋琢磨し新たな発展を生み出せる環境を、物理的にも精神的にも整備することが肝要。



1. 縦割りで無い環境:
異分野の研究者を一つ屋根の下に。
2. 余裕を持てる環境:
優秀な若手に5-10年の研究職を。
3. 刺激的な環境:
国内外に頭脳還流のしくみを。



仁科芳雄 (1890-1951) 4

数理創造プログラム(2016.11-2025.3)の事例

物理学, 化学, 数学, 生命科学, 計算・情報科学など
異なる分野の理論研究者が一つ屋根の下に。



若手研究者の要件(国際公募)
専門分野でトップクラス $\cap$ 異分野連携に意欲を持つ

(早期の外部転出を実現: 2019年度では23名中5名が大学常勤職へ)

職名 (赤は専任)	人数
ディレクター	1
副ディレクター	4
コーディネーター	1
科学アドバイザー	4
上級研究員(7年)	7
研究員(5年)	6
特別研究員(3年)	4
基礎科学特別研究員(3年)	6
研究員(兼務)	10
受託院生	2
受託研修生	3
客員主管研究員	10
客員研究員	17
テクニカルスタッフ	1
事務アシスタント	4
合計	80 (34)

iTHEM\$ Coffee Time!

iTHEM\$は数現を共通言語とした分野横断型国際研究拠点です。
「研究セル」というプラットフォームを通じて、
専門分野の枠を超えた連携研究が行われています。
定例のコーヒーミーティングでは、
異なる分野の専門家たちが熱く語り合う姿が見られます。

極限宇宙

Extreme Universe
CELL

数理と
AI

Mathematics and AI
CELL

新しい
幾何学

Future Geometry
CELL

生命
進化

Life and Evolution
CELL

$$\Lambda \frac{d}{dt} z[A] = i \int d\phi \frac{d^2 p}{(2\pi)^2} \left(\phi(p) p^2 m^2 \right) \phi(-p) \frac{d^2 p}{(2\pi)^2} e^{i p \cdot x} + \Lambda \frac{d}{dt} V_{int}(\phi) e^{i p \cdot x}$$

$$\bar{\omega} \Delta \bar{z} = Cov[\omega, z] + E[\omega \Delta \bar{z}]$$

$$P^2 + 2pq + q^2 = 1$$

Viriophysics

$$\frac{\partial x}{\partial t} = f(u, v, w) - \gamma_0 v + D_x \Delta u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = g(u, v) - \gamma_0 v + D_v \Delta v$$

$$\begin{cases} \frac{\partial x}{\partial t} = \alpha x - \beta xy \\ \frac{\partial y}{\partial t} = \delta xy - \gamma y \end{cases}$$

$$\frac{\partial P(x_t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \alpha(x, t) P(x, t) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \sigma(x, t) P(x, t)$$

$$P(B|A) = \frac{P(A|B)P(B)}{P(A)}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} u = D \nabla^2 u + f(u)$$

$$\dot{v} = v - \frac{v^2}{2} - w + I_{ext}$$

$$T \dot{w} = v - a - b w$$

$$Y(M) := \sup_C \inf_{g \in C} \frac{\int_M g d\mu_g}{V_g^{1/n}(M)}$$

$$Index \mathcal{P} = \int_M ch(E) \hat{A}(M)$$

$$\begin{cases} \psi_t = 0 \\ F_t = \sigma(\psi) + 1 \end{cases}$$

$$\partial_\mu J^\mu_S = 2 N_f \frac{e^2}{32\pi^2} F_{\mu\nu} \tilde{F}^{\mu\nu}$$

$$y = \sigma(W_0 + (w_1 \sigma(W_1 x) + \dots))$$

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{1}{\lambda} \log E[C_\lambda(u)] = \Theta_L(u)$$

$$W(G, D) = \max_{\mu \in \mathcal{P}_G} E_{\mu} [D(\mu)] - E_{\mu} [D(G(\mu))]$$

$$\mathcal{H} = \sum_{i=1}^n x_i, \dots, x_i I_{i1}, \dots, I_{iL}$$

$$G(t) = \int \frac{\rho M(t)}{x - t} dx$$

$$W(G, D) = \max_{\mu \in \mathcal{P}_G} E_{\mu} [D(\mu)] - E_{\mu} [D(G(\mu))]$$

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{1}{\lambda} \log E[C_\lambda(u)] = \Theta_L(u)$$

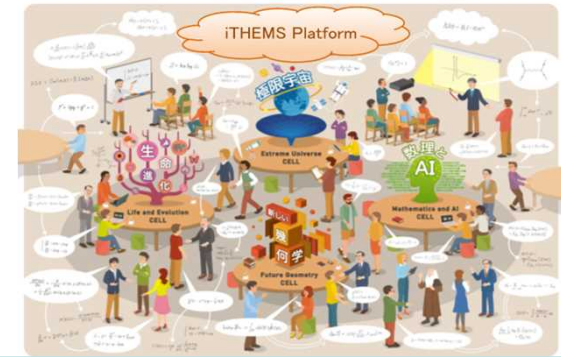
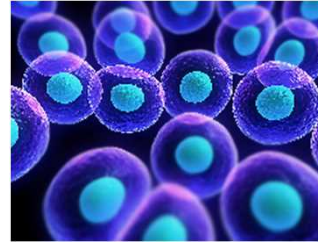
$$W(G, D) = \max_{\mu \in \mathcal{P}_G} E_{\mu} [D(\mu)] - E_{\mu} [D(G(\mu))]$$

数理創造プログラムの仕組み

研究セル

学際的研究の旗頭
[トップダウン]

- 極限宇宙
- 生命進化
- 数理とAI
- 新しい幾何学



ワーキンググループ

内外の若手の提案による
学際的プロジェクト
[ボトムアップ]



ASTRO-AI WG
(2017.7 -)
宇宙ビッグデータと
機械学習

STAMP WG
(2017.12 -)
統計力学と数学

QCoIn WG
(2019.6-)
量子情報科学

EcoP WG
(2019 .6-)
経済物理学

DM WG
(2019.8-)
ダークマター

MeMa WG
(予定 2020 -)
医学と数理

.....

スタディグループ

内外の若手による
情報共有活動
[ボトムアップ]



QCD Club
(2017-)
強相関物質

Big Bang Square
(2018-)
宇宙における
高エネルギー現象

VR Study Group
(2019.-)
仮想現実(VR)の
科学への応用

.....

国内サテライト (SUURI-COOL)

SUURI-COOL Sendai
(東北大 AIMR, 3F)



SUURI-COOL Kobe
(理研, 神戸IIB棟 7F)



SUURI-COOL Kyushu
(九大, 理学研究院 7F)



理研iTHEMS (和光, 研究本館 2F)



東大数理-理研iTHEMS連携
(東大, 駒場 K4棟 1F)



SUURI-COOL Kyoto
(京大, 益川棟 2F)



国際連携と国外サテライト



数理創造プログラムの日常風景(和光)

コモンルーム



セミナールーム



セミナールーム



パターン形成 の数理

予測医療

システム生物学

量子もつれ

ITHEMS-CEMS Joint Colloquium

Bell's Theorem, Entanglement, Quantum Teleportation and All That

Prof. Anthony James Leggett
(University of Illinois at Urbana-Champaign, USA)
Laureate of the Nobel Prize in Physics 2003

2018 **7/19** 16:00 - 17:30 Okochi Hall, RIKEN Wako Campus

ITHEMS Colloquium

Economic Networks: a Physicist's View

Prof. Hideaki Aoyama
(Physics Department, Kyoto University)

2018 **10/3** 15:00 - 16:30 Large Meeting Room, 2F Welfare and Conference Building, RIKEN Wako Campus

経済物理学

ITHEMS Colloquium

Tropical Rain Forest

Prof. Akiko Satake
(Kyushu University)

2019 **2/21** 15:30 - 17:00 Okochi Hall, RIKEN Wako Campus

数理生態学

数理創造プログラム コロキウム

- ・ 隔月開催
- ・ 国内サテライトにTV配信

ITHEMS Colloquium

On the interplay between intrinsic and extrinsic instabilities of spatially localized patterns

Prof. Yasumasa Nishiura
(AIMR, Tohoku University)

June 7th (Thur.) 15:00~ Nishina Hall (Building E02)

ITHEMS Colloquium

Systems Biology of Cellular Rhythms

Prof. Albert Goldbeter
(Université Libre de Bruxelles, Belgium)

2018 **7/2** 15:00 - 16:30 Suzuki Umetaro Hall, RIKEN Wako Campus

ITHEMS Colloquium

The Description of Biological Phenomena as Open System

Every Biological Variable has a Different Dynamic Range

Dr. Kazuhiro Sakurada
(RIKEN Medical Statistics Innovation Unit)

Dr. Jun Seita
(Unit leader, AI based Healthcare and Medical Data Analysis/Standardization Unit)

April 23rd (Mon.) 15:00~ Okochi Hall (Building C32)

ITHEMS Colloquium

Spacetime Geometry of Black Holes, Wormholes, and Time Machines

Prof. Pei-Ming Ho
(National Taiwan University)

2019 **7/2** 15:30 - 17:00 Large Meeting Room, 2F Welfare and Conference Bldg, RIKEN Wako Campus

ブラックホール

ITHEMS Colloquium

Quantum computing: current status and prospects

Prof. Keisuke Fujii
(Kyoto University)

2019 **4/25** 15:00 - 16:30 Suzuki Umetaro Hall, RIKEN Wako Campus

量子コンピューティング

ITHEMS Colloquium

ZetaValue2019-iTHEMS Special Mathematics Colloquium

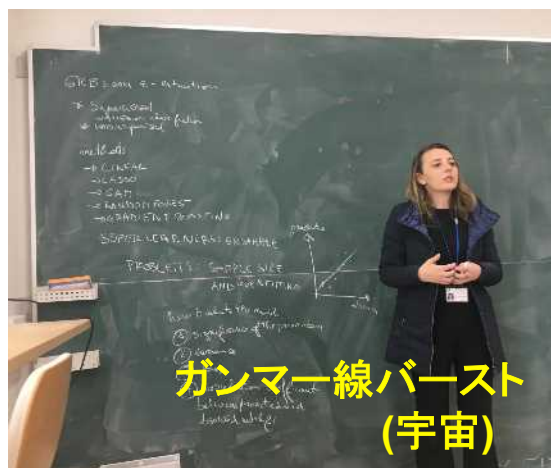
Prof. Kohji Matsumoto
(Nagoya University)

Prof. Jörn Steuding
(University of Würzburg, Germany)

2019 **3/21** 14:00 - 17:30 Okochi Hall, RIKEN Wako Campus

リーマンゼータ関数

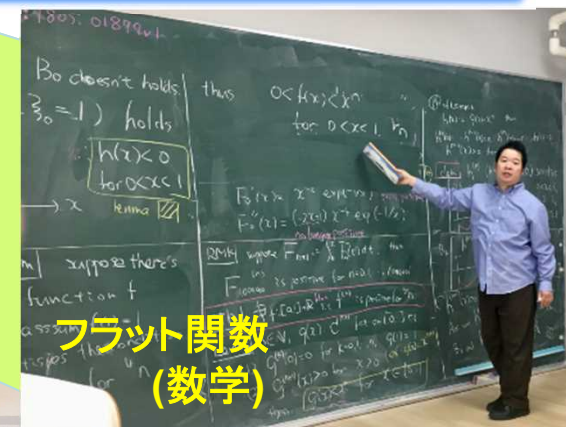
ランチミーティング(毎週金曜12:30-14:00) + 15分ランチトーク



ガンマ線バースト
(宇宙)



老化の数理モデル
(生物)



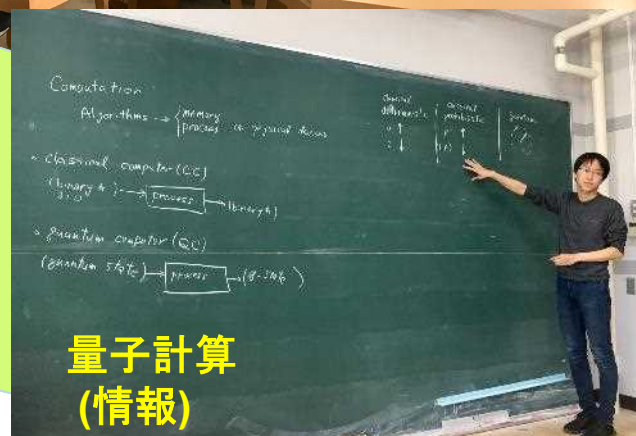
フラット関数
(数学)



金曜ランチ



ダークマター探索
(素粒子)



量子計算
(情報)



iTHEMS専属
コーヒマシーン

若手研究員主催の学際的研究会

物質科学+数学

素粒子+宇宙



RIKEN-NTU Workshop on
“Recent Developments of
Chiral Matter and Topology”
(12/6-9, 2018)



organized by
T. Ozawa (iTHEMS 上級研究員)



One-day Workshop on
“Quantum Gravity”
(7/4, 2019)



organized by
Y. Yokokura (iTHEMS 上級研究員)

計算科学+量子情報



RIKEN-Berkeley workshop on
“Quantum Information Science”
(1/26-29, 2019)



organized by
C.C. Chang (iTHEMS 研究員)

生命科学+数学



SOKENDAI-RIKEN Workshop
“Genetics meets Mathematics”
(7/7-8, 2019)



organized by
J. Fawcett (iTHEMS 上級研究員)

純粋数学



Int'l Conference on
“Value Distribution of Zeta and
L-functions and Related Topics”
(3/21-27, 2019)



organized by
Ade Irma Suriajaya
(iTHEMS 基礎科学特別研究員)

言葉と概念の壁を破る： 若手数学者による数理レクチャー



“Knot Theory” (14回連続講義, 2017)
Yuka Kotorii (特別研究員)



“Operator Algebras” (9回連続講義, 2018)
Yosuke Kubota (研究員)



“Public-Key Cryptography”
(10回連続講義, 2019)
Eren Mehmet Kiral (客員研究員)

2019年度から: iTHEMS若手数学者による数理入門セミナー

- Galois Theory and Class Field Theory
- Gauge theory and symmetries of 4-D spaces
- Certain invariants as dimension
- Singularity Theory in Algebraic Geometry
- Asymmetric metric and coarse geometry
- Schroedinger Operators
- Magnitude of metric spaces
- ...

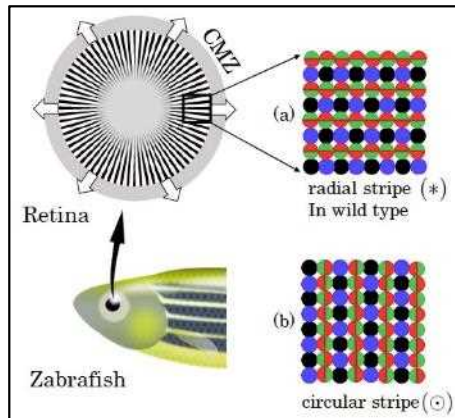
数理創造プラットフォームから生まれた 分野や所属を越える学際的「基礎」研究



素粒子物理学者 (iTHEMS)
+ 数理生物学者 (開拓研究本部)
→ “魚の網膜細胞のパターン形成”

$$T_{ij} = \frac{p_i e^{-\beta \mathcal{E}_{ij}}}{N_j}, \quad N_j = \sum_i p_i e^{-\beta \mathcal{E}_{ij}},$$

$$\mathcal{E}_{ij}(\sigma, \sigma') = -B_i^{(\text{intra})} - B_{ij}^{(\text{inter})} \leq 0.$$



Physical Review E (2017)



T. Hatsuda
(iTHEMS)



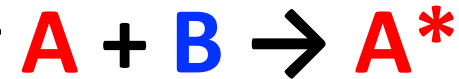
A. Mochizuki
(CPR)



N. Ogawa
(iTHEMS)



M. Tachikawa
(CPR)



計算科学者 (計算科学研究センター)
+ 原子核物理学者 (iTHEMS)
→ “新しい量子計算アルゴリズム”

$$\chi^2 = [P^{(0)} + P^{(1)}(\cdot \mathcal{B} + \circ \mathcal{A} \otimes \mathcal{R} \cdot \psi)^2, \\ + P^{(2)}(\cdot \mathcal{B} + \circ \mathcal{A} \otimes \mathcal{R} \cdot \psi)^2 + \dots]$$



C.C Chang
(iTHEMS)



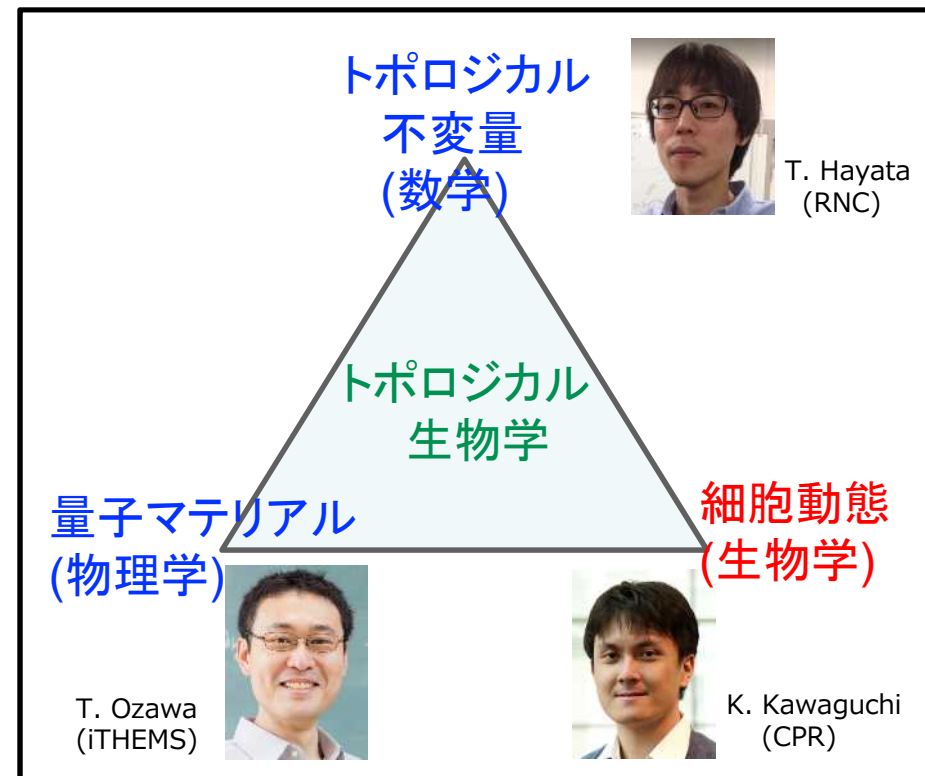
S. Sota
(CCS)

Scientific Reports (2019)

数理創造プラットフォームから生まれた 分野や所属を越える学際的「基礎」研究

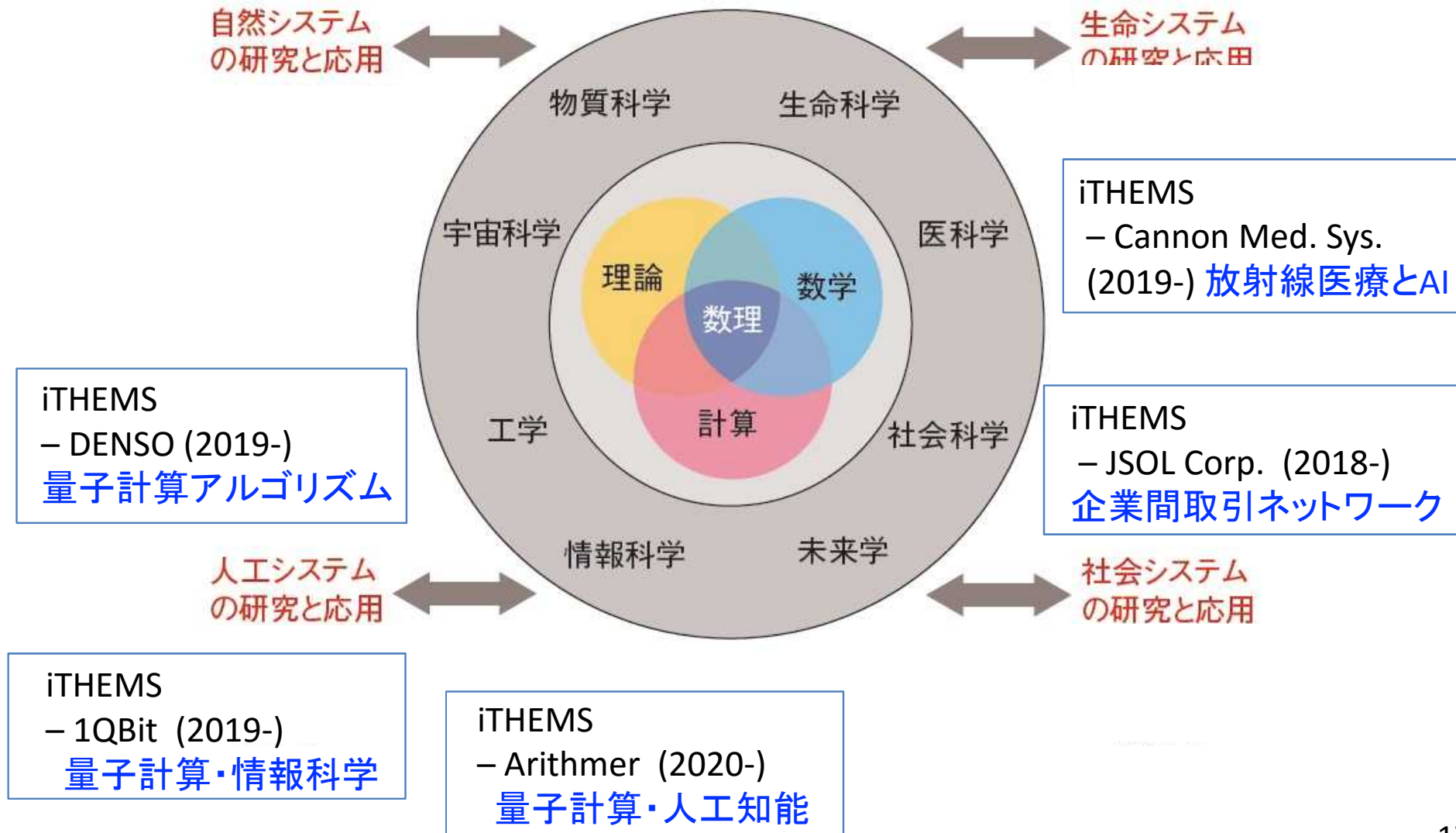
$$A+B \rightarrow C$$

理論物理学者 (iTHEMS)
+ 数理物理学者 (仁科センター)
+ 細胞生物学者 (開拓研究本部)
→ “トポロジカル生物学”



paper in preparation (2020)

数理創造プラットフォームから生まれた 学際的「応用」研究

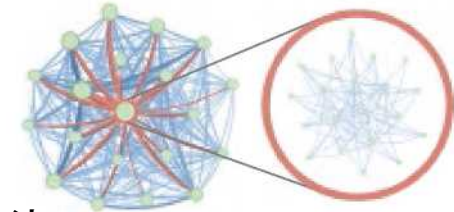


数理創造プラットフォームから生まれた 学際的「応用」研究の事例

企業間取引ネットワークの数理解析 (メガバンク、ICT企業との共同研究, 2018-)

メガバンクから提供される実ビッグデータのネットワーク解析。
(他分野の数理解法の適用、新しいデータ分析手法の開発。)

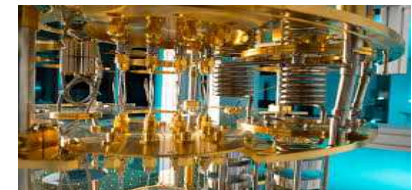
→ 特許や論文。金融機関業務、企業経営、金融政策への活用を期待。



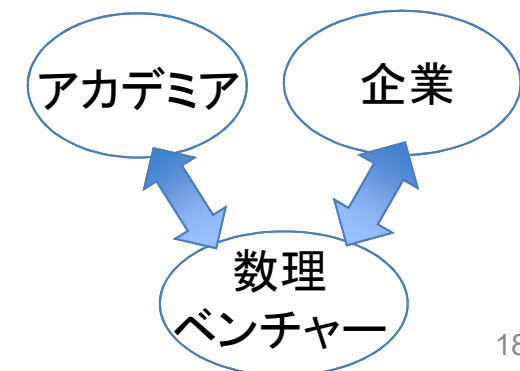
量子コンピュータのアルゴリズム開発 (大手自動車部品メーカーとの共同研究, 2019-)

豊富な量子人材プールを原資に、企業との連携が可能に。

→ 特許や論文。最適化問題など実応用への期待。



- 学際的応用研究は「アカデミア」にも「企業」にもメリットあり。
- 学際的基礎研究に比べてスピード感あり。
- 研究面で対等に寄与することが重要。
- より系統的な学際的応用研究の仕組み(右図)。



数理創造プログラム諮問委員会レポート (2019.8.28)

結び:

iTHEMSの存在とその活動は未来に大きな勇気を与える。
なぜなら、日本の研究環境は、短期的なビジョンに偏り、
そのため研究計画や研究活動が金太郎飴のように、過度
に均一となり、多様性が失われる傾向があるからである。
要約すれば、いくつかの未開拓分野にだけ政府資金が配
分される現状に鑑みて、我々は、iTHEMSが、人類の未来
のために、新しくかつ基本的な方向性の探求を理論的視点
から主導していくことを期待している。



若山正人博士	(議長、数学)	九州大学副学長、日本
ロジャー・ブランドフォード博士	(宇宙物理学)	スタンフォード大学、素粒子・宇宙物理学教授、米国
磯暁博士	(素粒子物理学)	高エネルギー加速器研究機構、KEK理論センター長、日本
御手洗奈美子博士	(数理生物学)	コペンハーゲン大学、ニールスボーア研究所准教授、デンマーク
佐野雅己博士	(ソフトマター)	東京大学名誉教授、日本
高田章博士	(産業界)	ユニバーシティカレッジロンドン特別教授、英国
山田道夫博士	(計算科学)	京都大学、数理解析研究所所長、日本

学際的「応用」研究のこれから

書籍「The Fourth Paradigm: Data-intensive Scientific Discovery」

MICROSOFT: Tony Hey et al. (2009)

第一のパラダイム	経験科学
第二のパラダイム	理論科学
第三のパラダイム	計算科学
第四のパラダイム	データ科学
第五のパラダイム	予測科学*

(* 三好建正(理研)の命名)

学際的「応用研究」としての予測科学

数学者、物理学者、医学者、経済学者、計算科学者、工学者らの知を結集し、計算科学(第三パラダイム)とデータ科学(第四パラダイム)を融合することで、第五パラダイム(予測科学)を確立し、人類が“予測と制御”を可能にしたい。

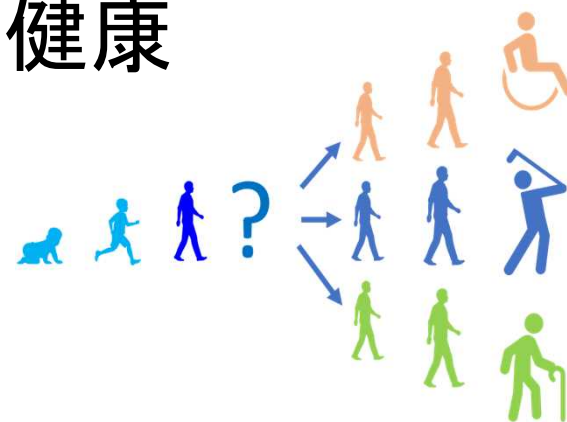
災害



経済



健康



この目的意識を持ったボトムアップの全国組織作りが始まっている。

三好建正 主任研究員 理研開拓研究本部 予測科学研究室
理研 数理創造プログラム 副プログラムディレクター
理研 計算科学研究センター チームリーダー



数理科学を軸とした学際的研究 (まとめ)

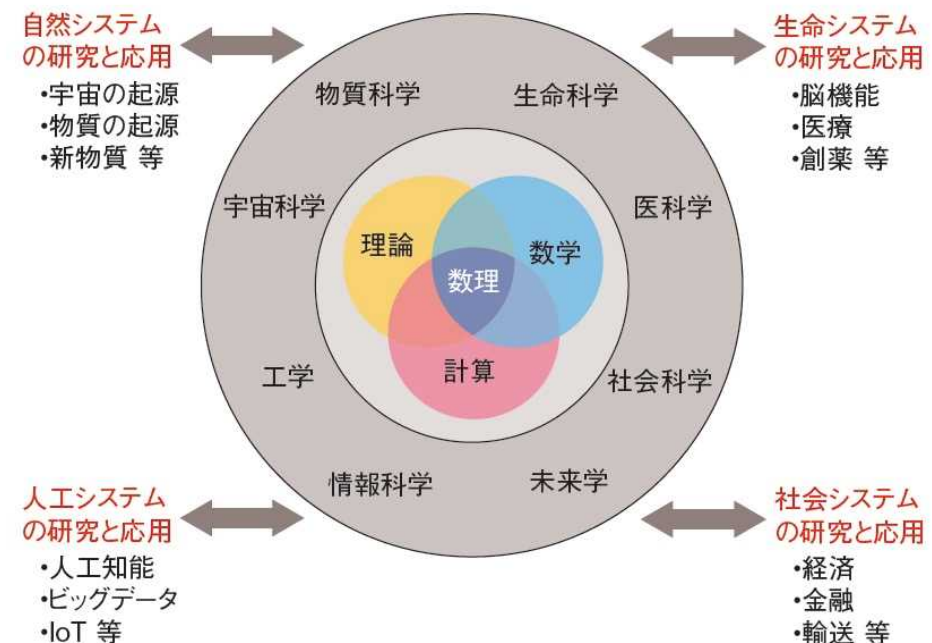
学際的「基礎」研究

- 好奇心駆動型(curiosity driven)研究が適合。
- 若手研究者の自律的研究活動が鍵。
- 環境(若手研究者のるつぼ、アイデアのるつぼ)の整備が肝要。
- 短期的な成果を求めるべきでない。

学際的「応用」研究

- 使命達成型(mission oriented)研究が適合。
- アカデミアと企業の研究者が対等に寄与することが鍵。
- テーマ選定が肝要。
- 基礎研究に比べてスピード感あり。

数理を軸とする
学際的研究は、
基礎科学と社会を
繋ぐ要になる。



学際的研究：今後の課題と国への期待

	るつぽ型センター	連携型センター
体制	少数のマネジャー ＋多数の若手研究者(任期制)	多数の研究室主宰者 ＋それらを繋ぐ若手研究者(任期制)
対象	理論系は可能。実験系は？	理論・実験ともに可能
若手環境	自由度は大きい	自由度は大きくない
サイズ	ダンバー数(～100名)の壁	一体感を持つのに努力が必要

[国への期待]

1. 「るつぽ型センター」(Melting Pot Center) を複数新設する。
「MPC」のミッション: 次世代の科学・技術エンジン (=人材とアイデアの創出源) となること。
2. 費用対効果の観点のみによらない長期的視野での評価。
(参考) iTHEMSの外部諮問委員会レポート(2019.8.28)
3. 「MPC」と「連携型センター」の絆をサポートする。
(参考) iTHEMS-SACRA(京大理学サイエンス連携探索センター)連携 <https://sacra.sci.kyoto-u.ac.jp/interdisciplinary.html>
4. アカデミアと企業を自由に往来する若手研究者を応援する。
↔ 数理科学分野ではアカデミアと企業の境界が消えつつある。
5. 数学分野の活用: 21世紀の数学を基礎科学や応用・産業分野に還元する。