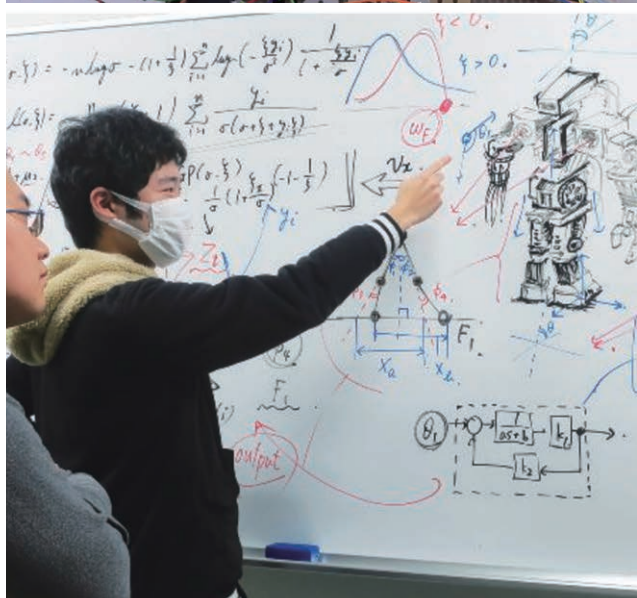
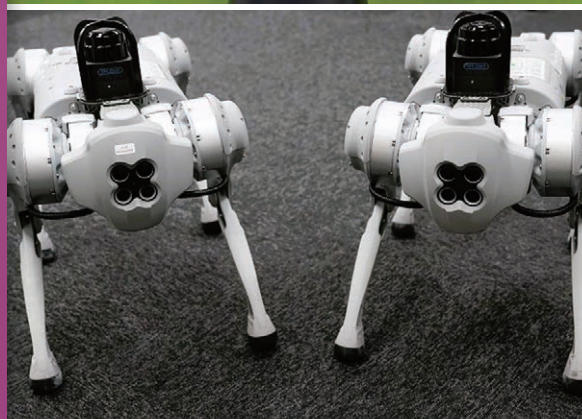
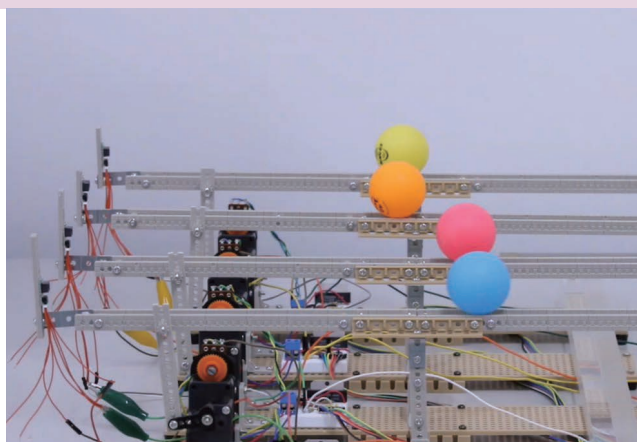


## 情報とシステムの ニューフロンティアを拓く

コンピュータ・ネットワークや生産システムなどの大規模かつ複雑化する人工システムを開発・運用していくための技術がますます重要になっています。

人間—機械—環境の関わり合いの解明、システムのモデル化、構成法の研究、情報通信、画像・知識情報処理、医用工学、応用情報学などの個別の技術の教育・研究を通じて、大規模・複雑なシステム構築のための方法論を探求します。



# 情報を行動に活かす

システム科学コースでは、複数の対象にまたがる共通の動的描像を数理的に捉え、その理解を深めるとともに、それらを制御するための方法論の研究を行っています。機械学習技術の進歩と計算機能力の向上にともない、大規模データ解析の結果として人工知能が静的なデータに何らかの解釈を与える、あるいは新たなデータを生成するなどが可能となってきました。一方で、実世界における動的なシステムをデータから理解し制御するための方法論の開発はいまだ挑戦的な課題です。例えば、ビデオゲームなど仮想世界での意思決定問題において、経験から学習し人間を凌駕する方策を獲得できることを示すことで、強化学習と呼ばれる機械学習技術が注目を集めるようになりました。しかし、実世界で人間のように柔軟に状況を判断し動作を生成することは、ロボットなどの機械においてまだ実現できていません。このような技術は、ロボットのみならず、経済・エネルギー・自動運転など、幅広い分野において共通に求められています。情報を自らの行動選択にどのように役立てるべ

きなのか、人間の脳はどのように得られるデータを意思決定に活用しているのか、システム科学コースでは、このような問題の理解と応用に役立つ方法論について研究することができます。またその研究を行う際に必要となる、本質を見抜く力を養うための学びの環境が用意されています。



MORIMOTO  
淳  
森本

大学院 情報学研究科  
システム科学コース 教授

2001年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了、博士(工学)。2001～2002年カーネギーメロン大学ロボティクス研究所博士研究員を経て、2008年(～現在)国際電気通信基礎技術研究所(ATR)脳情報通信総合研究所研究室長(兼任)。2019～2021年理化学研究所ガウディアンロボットプロジェクトチームリーダー。2021年4月より現職。

# 未知の課題にチャレンジするための「方法」を学ぶ

システム科学コースでは様々な分野の研究を行っています。例えば、生体システムや機械システムなどからセンサーで情報を計測し、内部状態の推定や将来の予測を行い、さらにそれを制御する研究です。脳の神経回路が情報を処理する原理を解明して、不確定で変動する環境に適応し、学習や推論をする能力をもったシステムを作る研究もあります。また、ウェブなどから得られる膨大な画像や文書のデータから推論や発見を行うアルゴリズムとその理論の研究や、そのようなシステムを実現する高性能並列計算の研究も行っています。

これらの研究分野はシステムに関係しているというだけでなく、実はそこで行われている研究には多くの場合、共通する考え方があります。それは情報の流れを意識して数理的なモデルを通して研究を行うことです。異なる対象であっても、数理的なモデルによって同じように扱い、広い視野をもつことができます。例えば、頂点と辺からなる「グラフ」によって、ネットワーク(神経回路網、ウェブのリンク構造、鉄道網など)だけでなくソーシャルメディアでタグつけされた画像のような関連性をもったデータ構造も表現されます。このようにモデル化された対象は数学的な方法で扱うことができるため、さらに研究が発展します。効率的な情報検索のためにグラフ埋め込みという手法が機械学習で盛んに研究されていますが、階層構造をもつグラフはまっすぐなユークリッド空間ではうまく表現できず、双曲空間という曲がった空間を用いることで性能が向上しました。

数理的な研究を抽象的に行うだけではなく、現実世界における対象を強く意識することもシステム科学コースの

特徴です。これまでに体系化された方法を現実世界における課題へ適用することで解決する場合がありますが、困難な課題にチャレンジすることで次の新しい方法が生み出されることもあります。例えば統計学における方法論の研究では、データから推測や予測をするための新しい方法を探求しています。このとき重要となるのはやはり確率論や最適化などの数理的基礎分野です。

このようにシステム科学コースでは数理的基礎と応用領域が相互に影響を与えつつ研究が行われています。大学院における研究や講義を通してその一面を体験し、視野を広げ、問題解決のための普遍的な考え方や姿勢、すなわち「方法」をぜひ身につけてください。そして未知の課題にチャレンジしたり、あたらしい技術や学問を作ったりするきっかけとしていただければ幸いです。



SHIMODA AIRA Hideo  
下平英寿

大学院 情報学研究科  
システム科学コース 教授

1990年3月東京大学工学部計数工学科卒業。1995年3月東京大学大学院工学系研究科計数工学専攻博士課程修了。1995年4月日本学術振興会特別研究員。1996年7月統計数理研究所予測制御研究系助手。2002年6月東京工業大学大学院情報理工学研究科数理・計算科学専攻講師。2005年5月同助教授。2007年4月同准教授。2012年4月大阪大学大学院基礎工学研究科数理科学領域教授。2016年9月(～2022年3月)理化学研究所革新知能統合研究センター数理統計学チームチームリーダー(兼任)。2017年4月より現職。

概要

分野一覧

分野名	担当教員
機械システム制御	東 俊一 教授
ヒューマンシステム論	加納 学 教授 加藤 祥太 助教
統合動的システム論	大塚 敏之 教授 櫻間 一徳 准教授 星野 健太 助教
モビリティ研究グループ	西原 修 准教授
情報数理システム	田中 利幸 教授 小淵 智之 准教授
統計知能	下平 英寿 教授 本多 淳也 准教授
学習機械	森本 淳 教授 八木 聡明 助教
論理生命科学	石井 信 教授 島崎 秀昭 准教授 PARMAS, Paavo 特定助教 HWANG, Jaepung 特定助教
医用工学	今井 宏彦 助教
計算神経科学 (連携ユニット)	川人 光男 連携教授 (国際電気通信基礎技術研究所) 磯村 拓哉 連携准教授 KANG, Louis 連携准教授 (理化学研究所) 銅谷 賢治 連携教授 (沖縄科学技術大学院大学)

システム学科コースカリキュラム

博士(情報学)					
博士論文					
3年	研究指導				
2年					
1年					
<p><b>コース開設科目(セミナー 4単位を含む計6単位)</b></p> <p>システム学科特別セミナー E (2単位)</p> <p>人間機械共生系特別セミナー A、B E システム構成論特別セミナー A、B E</p> <p>システム情報論特別セミナー A、B E (各2単位)</p>					
修士(情報学)					
修士論文					
2年	研究指導科目 (必修10単位)				
1年					
<p><b>コース開設科目(選択8単位以上)</b></p> <table border="1"> <tr> <td> <p><b>コース専門科目</b></p> <p>システム科学通論II 機械システム制御論 ヒューマン・マンシステム論 統合動的システム論 学習機械論 論理生命科学 医用システム論 複雑システムのモデル化と問題解決 システム生物学E (以上各2単位)</p> </td> <td> <p><b>他コース開設の推奨科目</b></p> <p>(データ)情報論的システム論 (データ)統計的システム論 (各2単位)</p> </td> </tr> <tr> <td> <p><b>コース基礎科目</b></p> <p>システム科学通論I (2単位)</p> </td> <td></td> </tr> </table>		<p><b>コース専門科目</b></p> <p>システム科学通論II 機械システム制御論 ヒューマン・マンシステム論 統合動的システム論 学習機械論 論理生命科学 医用システム論 複雑システムのモデル化と問題解決 システム生物学E (以上各2単位)</p>	<p><b>他コース開設の推奨科目</b></p> <p>(データ)情報論的システム論 (データ)統計的システム論 (各2単位)</p>	<p><b>コース基礎科目</b></p> <p>システム科学通論I (2単位)</p>	
<p><b>コース専門科目</b></p> <p>システム科学通論II 機械システム制御論 ヒューマン・マンシステム論 統合動的システム論 学習機械論 論理生命科学 医用システム論 複雑システムのモデル化と問題解決 システム生物学E (以上各2単位)</p>	<p><b>他コース開設の推奨科目</b></p> <p>(データ)情報論的システム論 (データ)統計的システム論 (各2単位)</p>				
<p><b>コース基礎科目</b></p> <p>システム科学通論I (2単位)</p>					
<p><b>研究科共通科目</b></p> <table border="1"> <tr> <td> <p><b>研究科共通展望科目(選択必修2単位)</b></p> <p>情報学展望1 情報学展望2 情報学展望3E 情報学展望4E 情報学展望5E (各2単位)</p> </td> <td> <p>プラットフォーム学展望(2単位)</p> <p>計算科学入門(2単位) 計算科学演習A(1単位)</p> <p>情報と知財(2単位) イノベーションと情報(2単位)</p> <p>情報分析・管理論(2単位) 情報分析・管理演習(1単位)</p> <p>情報学による社会貢献E(1単位)</p> <p>情報学におけるインターナシップE(1単位)</p> </td> </tr> </table>		<p><b>研究科共通展望科目(選択必修2単位)</b></p> <p>情報学展望1 情報学展望2 情報学展望3E 情報学展望4E 情報学展望5E (各2単位)</p>	<p>プラットフォーム学展望(2単位)</p> <p>計算科学入門(2単位) 計算科学演習A(1単位)</p> <p>情報と知財(2単位) イノベーションと情報(2単位)</p> <p>情報分析・管理論(2単位) 情報分析・管理演習(1単位)</p> <p>情報学による社会貢献E(1単位)</p> <p>情報学におけるインターナシップE(1単位)</p>		
<p><b>研究科共通展望科目(選択必修2単位)</b></p> <p>情報学展望1 情報学展望2 情報学展望3E 情報学展望4E 情報学展望5E (各2単位)</p>	<p>プラットフォーム学展望(2単位)</p> <p>計算科学入門(2単位) 計算科学演習A(1単位)</p> <p>情報と知財(2単位) イノベーションと情報(2単位)</p> <p>情報分析・管理論(2単位) 情報分析・管理演習(1単位)</p> <p>情報学による社会貢献E(1単位)</p> <p>情報学におけるインターナシップE(1単位)</p>				
<p>研究科が提供する その他科目</p>					
入学前	<p>微積分</p> <p>線形代数</p> <p>学部で学習する程度の 各自のコース学術基礎等</p>				

※Eと記された科目は英語だけでも修得可

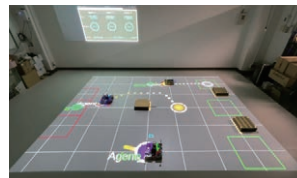


## 機械システム制御分野

### システム制御理論と応用

動的システムのダイナミクス(動き)をデザインするための学術的基盤が「システム制御理論」です。本研究室では、革新的なシステム制御理論を開発し、その成果を先端科学分野や産業界へ展開します。また、新しい未来を拓くような動的システムの創成に挑戦します。これら研究活動を通じて、学界や産業界においてシステム制御のリーダーになれる人材を育成します。

[東 俊一]



搬送ロボットの制御



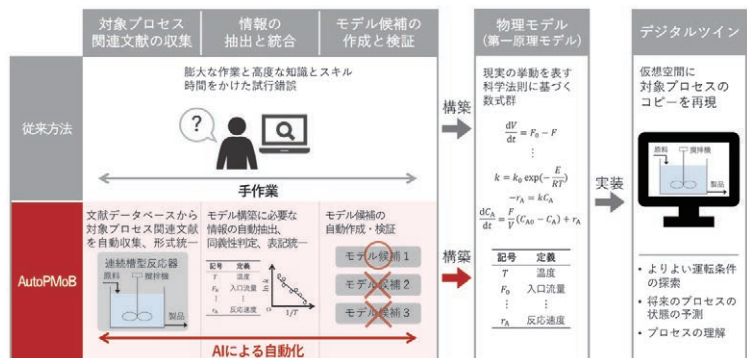
群ロボットシステムの制御

## ヒューマンシステム論分野

### 人間を中心に据えたシステム設計論の構築をめざして

人間を理解し、人間を含めたシステムを設計するためには、実社会や生理学的な現象を数学的に記述したモデルが必要です。しかし、複雑な現象のモデリングは決して容易ではありません。そこで、多様なセンサや被験者実験によって計測・収集されたデータから統計モデルを構築する技術を研究すると共に、その成果で社会に貢献するために、製薬・半導体・鉄鋼・化学・自動車など様々な産業でのデータ解析や制御の応用研究、医療機器開発を行っています。これらの研究を通して、広い視野と志を持つ人材の育成を目指します。

[加納 学・加藤 祥太]



文献情報から物理モデルを自動で構築する人工知能の開発

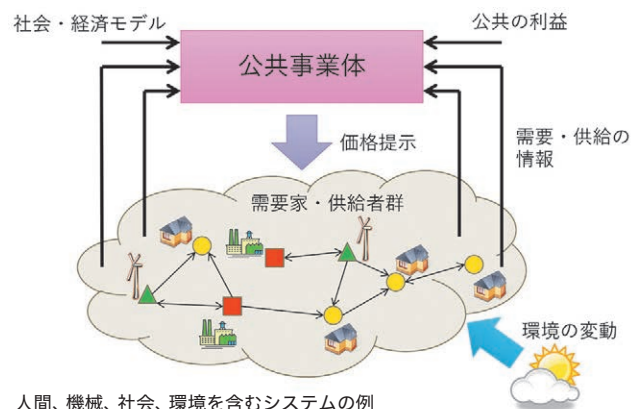
システム科学コース

## 統合動的システム論分野

### 多様なシステムの共生をめざして

人間、機械、社会、環境などさまざまな対象を包含する今までにないシステムを解析・設計し共生と調和を実現するには、システムのモデリング、解析、設計、制御における普遍原理の解明が不可欠です。そのために、さまざまな問題で根本的な困難となる非線形性と不確かさを扱うための新しい方法論や、動的最適化アルゴリズムについて研究します。また、局所的な相互作用をもとに大域的な機能を発現する分散制御の研究も行います。そして、あらゆる分野への応用に取り組み、理論的かつ実践的な教育・研究を行います。

[大塚 敏之・櫻間 一徳・星野 健太]



人間、機械、社会、環境を含むシステムの例

## 概要

## モビリティ研究グループ

## デザインとオペレーションの最適化

自動車事故を減らすための予防安全技術として実用化されてきている車両運動制御、さらに、エネルギー効率向上、衝突回避システムなど、ヒトやモノの移動に関連する技術領域において、主に力学的制約のもとでの最適化の観点から研究を進めています。 [西原 修]

## 情報数理システム分野

## 大規模確率モデルの数理

不確実性がある環境下での情報処理にまつわる多様な課題を、数理的な観点で横断的に捉えることで解明していくことを目指します。今日の情報処理の多くの課題は大規模な確率モデルにもとづいて定式化でき、確率モデルの大規模さから立ち現れる法則性を活用することが、高度な情報処理を実現する鍵となります。大規模な確率モデルの情報数理を統計力学との類比で議論する情報統計力学や、統計的機械学習や深層学習、データ科学に関わる理論的諸問題の検討などの主題群に取り組んでいます。

[田中 利幸・小淵 智之]



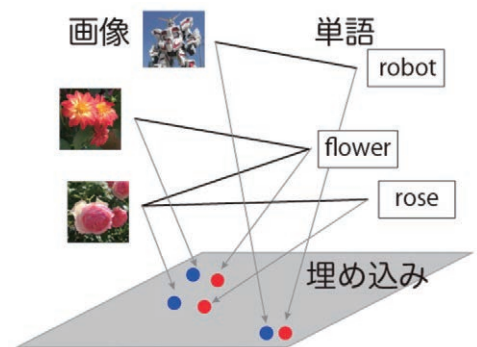
データ科学としてのデジタル通信：多数の信号が混ざり合う「データ」からいかにして所望の情報を取り出すかが、高性能のデジタル通信方式を実現する鍵となります。

## 統計知能分野

## 統計学と機械学習の理論と応用

ビッグデータ、データマイニング、人工知能の流行を支える理論的基盤として統計学は重要な役割を果たしています。ランダム性を考慮してデータから帰納的推論を行う方法論を提供することが統計学の大きな特徴です。これを基礎として、大量のデータからの情報抽出から少量のデータ下での意思決定まで機械学習は近年急速に発展しています。この転換期において、数学とプログラミングを原動力に現実のデータに向き合うことで新たな方法論の発展を目指します。

[下平 英寿・本多 淳也]



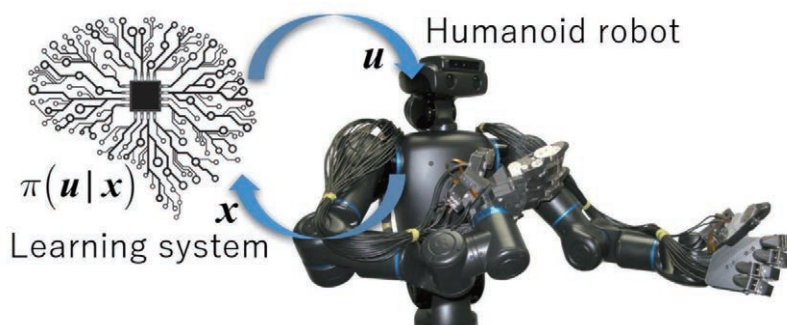
多様なデータの多変量解析  
グラフ埋め込みでデータの次元削減を行い、画像とタグの互換検索を行う。

## 学習機械分野

### 身体を持つ学習機械の実現をめざして

人工知能とロボティクスの融合分野は、これからの産業基盤技術を生み出す分野として期待されています。人間のように限られた経験・データから身体を持つ機械が巧みに学習し、目的とする行動を生み出すための方法論を探求します。動的に変化する開

かれた環境で動作する学習機械の実現を目指し、ロボットの運動学習手法、またその要素となる多自由度ロボットの数理モデルおよび人間の動作意図推定についての基礎技術に関する教育・研究を行います。  
[森本 淳・八木 聡明]



ロボットの運動学習

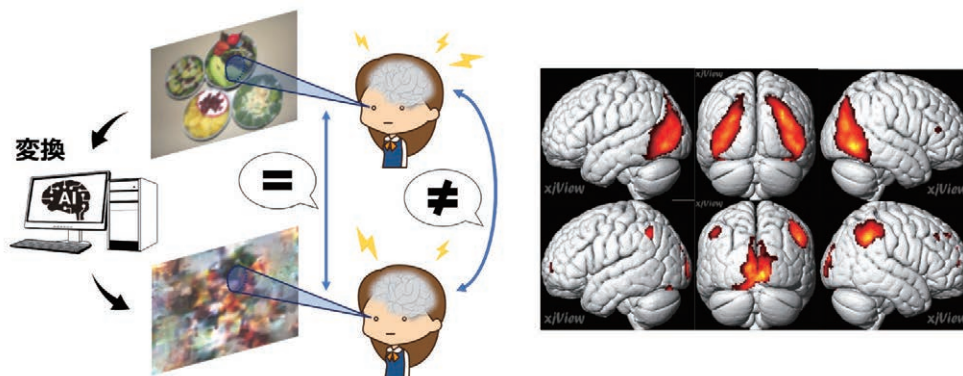
## 論理生命学分野

### 知性と生命のモデル化とその情報処理原理の理解をめざして

知性(脳)や生命は、不確実で変動する環境に適応する複雑システムです。その情報処理原理の解明を目指して、計算論的神経科学、システム生物学、バイオインフォマティクスなどのモデル化

(理論)研究を実施しつつ、生物に学んだ柔軟な情報処理機構のロボット応用などの実用化研究へと展開します。生命システムに関する学際的な教育・研究を実施します。

[石井 信・島崎秀昭・PARMAS, Paavo・HWANG, Jaepyung]



(左) 深層画像変換技術GANSIDは「自然な」画像からヒトの注意(視線)を惹く部分をそのままに「自然でない」画像へ変換する。  
(右) 「自然な」画像と「自然でない」画像を見ている際の脳活動は異なる。



概要

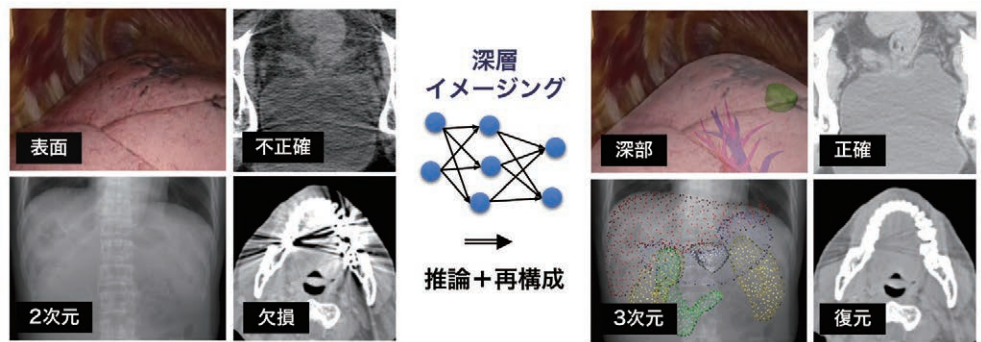
医用工学分野

生体の物理特性と機能を解明する

画像診断などの生体機能計測システムや遺伝子解析におけるデータ処理システムに代表されるように、情報システムは現代の医学・医療を支える重要な基盤となっています。医用システムに関する研究には情報とバイオという2つのキーワードを結びつける学際的な展開が求められます。医学部をはじめとした幅広

い分野との共同研究体制のもとで手術ナビゲーションシステムや生体イメージング法の開発あるいは生体特性の新しい計測・表現手法の確立などを目標に、医学・医療を対象とした情報システムに関する教育・研究を行います。

[今井 宏彦]



三次元画像を用いた生体・医学知識のモデル化と診断・手術支援

計算神経科学 国際電気通信基礎技術研究所(連携ユニット)

■脳を創ることによって脳を知る

(a)脳と人工知能をつなぐ

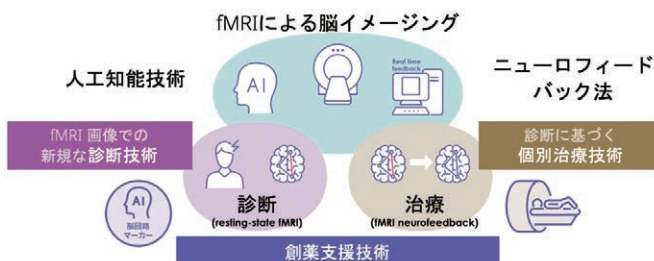
ヒトを含む動物は、少数のサンプルから学習できることが知られています。それに対してディープニューラルネットワークを含む現在の人工知能はパラメータと同じ程度の数の学習サンプルを必要とします。メタ認知、生成・解析モデルの多重階層性、神経活動の同期などが脳の秘密と考えられます。脳のこのような特徴を理解して、次世代の人工知能の開発を目指します。

(b)ブレイン・マシーン・インタフェース

脳と機械を直接繋ぐ技術ブレイン・マシーン・インタフェースは、感覚・運動・中枢機能に障害を持つ方のみならず、健常者の能力増進を図るブレインテックの一部として、注目されています。特に、非侵襲的な脳活動計測データにデコーティング手法を適用し、それを報酬として被験者にフィードバックするデコーデッドニューロフィードバックで脳の特定の部位に特定の情報に対応した活動パターンを誘導できます。この手法により、精神疾患の治療、因果的な神経科学の確立を目指します。

BMI技術を用いた精神疾患の診断、最適治療選択、創薬支援、治療技術の開発

[国際電気通信基礎技術研究所連携:川人 光男]



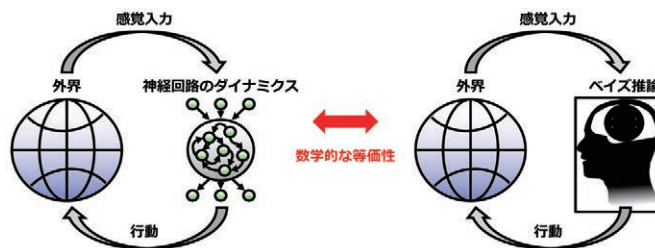
## 計算神経科学 理化学研究所(連携ユニット)

### ■ 神経回路から知能が創発する仕組みを探る

脳を構成する神経細胞やシナプス結合は、どのように生物の優れた知能を実現しているのでしょうか？この謎を解明するため、私たちは神経回路の力学系理論やベイズ統計学、機械学習、自由エネルギー原理などの数理アプローチを駆使し、脳の普遍理論構築に取り組んでいます。特に、大脳皮質における内部モ

デルの学習や、海馬における記憶や空間認識のメカニズムに着目しています。成果を応用することで、新たな人工知能アルゴリズムや精神疾患モデルの開発を目指します。

[理化学研究所連携:磯村 拓哉・KANG Louis]



神経回路のダイナミクスや可塑性は潜在的にベイズ推論を実行している

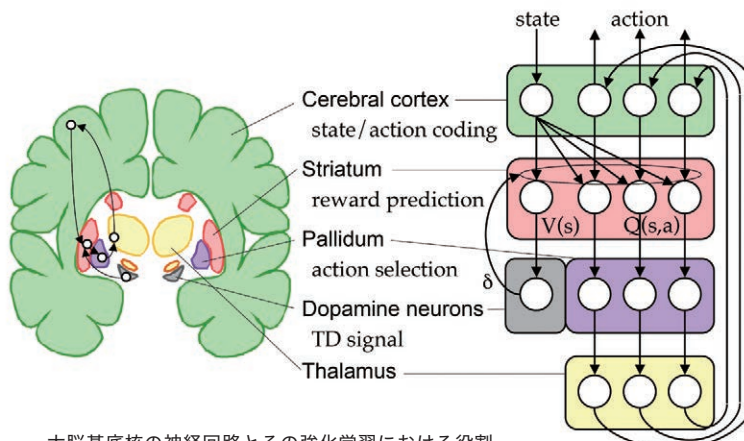
## 計算神経科学 沖縄科学技術大学院大学(連携ユニット)

### ■ 行動学習の計算理論と脳の学習機構を解明する

人間や動物は様々な環境に応じて新たな行動を獲得することができます。これを支えている脳の働きはどのようなものなのでしょうか？その理解には、多様な環境での行動学習のための計算理論やアルゴリズムの開発と、脳の神経細胞や分子のネットワークの働きを相補的に進める必要があります。私たちの研究室では、強化学習とベイズ推定の新たなアルゴ

リズムの開発、そのロボットの行動学習や生命情報学への応用、ラットやマウスの大脳皮質や基底核、セロトニン神経の活動計測や制御実験、人の行動学習と脳活動の解析、ロボット集団行動の目標や学習のしかたの進化など、沖縄の海を臨むキャンパスで様々な分野、国の出身の研究者を集めて研究を進めています。

[沖縄科学技術大学院大学連携:銅谷 賢治]



大脳基底核の神経回路とその強化学習における役割