

MIMS / CMMMA News Letter



明治大学
先端数理科学インスティテュート (MIMS)
Meiji University, Meiji Institute
for Advanced Study of Mathematical Sciences (MIMS)



文部科学省 共同利用・共同研究拠点
「現象数理学研究拠点」(CMMMA)
MEXT Joint Usage / Research Center
“Center for Mathematical Modeling and Applications” (CMMMA)

VOLUME

13

March
2021

発行者

明治大学 先端数理科学インスティテュート

〒164-8525 東京都中野区中野4-21-1 明治大学中野キャンパス 高層棟8階

Tel: 03-5343-8067 / FAX: 03-5343-8068

Web site: <http://www.mims.meiji.ac.jp/index.html>

Leader Message

現象数理学とともに育つMIMS

明治大学先端数理科学インスティテュート副所長 西森 拓

昨年4月にMIMSに着任以来まだ一年弱ではありますが、MIMSとのおつきあいは長く2008年のGCOE申請時および同年採択後に広島大学側スタッフとして生田キャンパスを訪ねたことに遡ります。初期のMIMSの建物はトイレのない仮設の平屋であり広さも十分ではありませんでしたが、現象数理学という新しい学問領域を興そうとの活気に溢れていました。GCOEヒアリング直前には、三村昌泰初代所長をはじめとする研究スタッフのみならず、本部の事務スタッフさらに当時の納谷廣美学長までが準備会議に加わり、MIMSの将来像を示したパワーポイントを土台に生田で議論を交わしたことを記憶しています。上記とおりGCOEは無事採択され、その後10年余りの期間で、中野キャンパスの新設、先端数理科学研究科、総合数理学部の開設、文科省共同利用・共同研究拠点としての認定、私立大学ブランディング事業などMIMSおよび関連組織の著しい成長を広島から眺めてきました。その間、アカデミックな活動はもちろん高校生や市民向けの啓蒙活動も含め、若手スタッフ事務スタッフの献身的な働きがあったことも聞き及んでいます。縁あって、今回MIMSのスタッフに迎え入れていただいたことに誇らしく感じております。

ただ、恥ずかしながら、GCOE、研究拠点、私立大学ブランディング事業など各々のタイトルの中に一貫して引き継がれている三村先生提唱の「現象数理学」というキーワードの真の意味を、私は未だ十分に理解していません。現象数理学とは何なのか？ 実は、GCOEのヒアリングに三村先生と納谷先生とともに臨ませていただいた際に核心的な問いが審査委員の一人のノーベル賞受賞者

から発せられました。「数理モデルを介して自然現象を探求する作業はずいぶん前から物理学が担い成功してきたが、それと現象数理学の何が違うのでしょうか」。申請代表者、明治大の代表者のそれぞれの立場から三村・納谷両先生が明快な応答を繰り返すのを後ろから眺めていた私が唯一言葉が発したのはこのタイミング

でした。その際「大自由度の非平衡系に対しての理論的アプローチの手法は物理学においてもまだ全然進んでいないのが現状で、学問の領域を超えて複数の分野が手を携えて開拓するべき宝の山が残っている」旨を述べたのですが、その受け答えが正鵠を得ていたのか現時点でも確信がありません。一方で、物理学との相互関係にとどまらず、生命科学、社会科学、さらに芸術と現象数理学との関係性もMIMSの事業遂行において明確化が望まれる状況となってきました。とはいえ、学問であろうが芸術であろうが、真に価値のあるものほどその全貌は簡単には見えてこないものです。現象数理学という言葉も、今後人口に膾炙する中で真の意味が付与されると思われます。現象数理学がMIMSとともに育ちやがて明確な概念として非研究者を含めた多くの人々に認知されるに至るために少しでもお役に立てばと願っています。



融合教育プログラムの社会的な意義

プログラム運営委員長(プログラムコーディネータ)
大学院長・総合数理学部教授 MIMS所員 小川知之

地球温暖化がさらに深刻度を増していると言われていています。特に北極圏ではそのスピードが早く、2020年7月には海水面積が1979年に人工衛星による観測が開始されて以来最小を記録しました。このペースで温度上昇が続けば2035年までに北極海の夏の海水が消滅するという予測もあります。このことは、実は地球環境ダイナミクスが今までと全く異なるフェーズに入る可能性があるという意味で、もっと恐ろしい事かもしれません。というのは、海水が日光を反射する高アルベド特性を持ち、さらに大気・海洋間の断熱材として働いていることを考えると、北極域の温暖化には正のフィードバックがかかることを意味するからです。系の持つ、このような非線形性により相転移が起こると元の状態に戻すのは容易ではないことが知られています。

新型コロナウイルス感染拡大防止に関してもそうですが、一体私たちは地球規模の大きな危機にどれだけ真剣に向き合っているでしょうか。地球上の一人一人の行動の影響をどれだけ理解してそしてそれによる将来を想像できているのでしょうか。外出自粛や二酸化炭素排出抑制は私たちの行動を場合によっては著しく制限することになります。世界中の一人一人がこの脅威の意味を正しく理解できなければ、社会全体が経済的・精神的な犠牲を払うことになるような活動に協力してもらえないはずはありません。

地球環境問題であれ、感染症問題であれ、こうした問題はグローバルに進化した現代社会の弱点をついています。問題解決が難しい理由は、多方面での「分断」にあります。学問の中にも分断があります。科学・技術は益々進歩しているのに、逆にその知識が一般の人々にほんの表層部分しか共有できていないという分断です。

こうした状況の中、明治大学大学院ではMIMSのメンバーの協力も得て「現象数理・ライフサイエンス融合教育」プログラムを立ち上げました。そこでは既存の研究科の枠を超えて、他分野の学生どうしが議論できるような場を提供しています。いま世界で活躍している人たちが分野にこだわらず幅広い先進の知識を持ちそれらを融合することで新たな価値を創造していることを伝えていきたいと考えています。

OGAWA
TOSHIYUKI



なぜ研究活動に融合・共創が必要なのか？

- ・ 研究分野の専門化や細分化が進んでいるなかで、異なる分野の協調によって複雑な現象を理解
- ・ 様々な分野の研究者と協調することで、広い視野でSDGsなどの社会的喫緊課題の解決に挑戦

融合的研究 共通の目的や課題解決を達成するために異分野研究が協調して取り組む
分野A × 分野B × … ⇒ 共通課題の解決
#学際的 #異分野融合 #産学連携

共創的研究 異分野の手法などを組み合わせて新たな分野の開拓や真理を探究する
分野A × 分野B × … ⇒ 新しいアイデア
※必ずしも異分野同士である必要はない



2020年度はZoom開催
異分野では研究目的や方法論が大きく違う
互いの文化や言葉の理解が融合共創の第一歩

現象数理ライフサイエンス 融合教育プログラム科目:融合共創プロジェクト資料より
(本学特任教員:萩原健太,白石允祥,山本英司,山本誉士の4氏による)

共同利用・共同研究拠点: 現象数理学研究拠点 2020年度新設「ライフサイエンス・数理科学融合研究支援プログラム」

明治大学先端数理科学インスティテュート (MIMS) は、共同利用・共同研究拠点「現象数理学研究拠点」として、現象数理学研究分野の発展に寄与し、もって実社会で解決が求められている課題の克服に貢献することを目指して活動しています。これらの活動の一環として、2020年度にライフサイエンスと数理科学の融合分野に特化した共同研究支援制度 “「ライフサイエンス・数理科学融合研究支援プログラム」共同研究” を新設しました。

この新設プログラムは、ライフサイエンスと数理科学の融合に関するテーマを広く募集し支援するものです。ここで「ライフサイエンス」とは、狭義の生命科学のみならず、生き物の集団のダイナミクスや生態系・社会システムの安定性の解析など、広い意味での生命現象や生命に関わるシステムを対象とする科学を指しています。制度設計はMIMS「現象数理学研究拠点」共同研究集会の「共同研究型」に準じますが、

- ・研究集会においては研究発表よりも議論に重点を置く
- ・研究構想や未発表の最新成果などが議論できるように非公開での開催も認める
- ・ライフサイエンスの実験科学的特質も配慮して、研究集会開催にかかる費用のみならず研究費の計上も認め、融合研究のスタートアップを支援する

など、これまでの拠点活動を通じてお寄せいただいた意見を反映し、より利用しやすいものとなっています。

2020年度は厳正な審査を経て次の4課題が採択されましたが、予想に違わず「ライフサイエンス」のすそ野の広さを感じさせる結果となりました。

文責: 山口智彦 (MIMS副所長)

2020年度採択課題

「細胞のエネルギー代謝と共生動態の数理・統計学的研究
—がんの増殖メカニズムや脳の高次機能の解明を目指して—」
研究代表・雨宮隆 (横浜国立大学)

「生物集団の社会的機能発現メカニズムの数理的・実験的解明」
研究代表・白石允梓 (明治大学)

「非平衡系の相律: エントロピー生成による生命・非生命現象の統合解析と制御」
研究代表・伴貴彦 (大阪大学)

「隠れマルコフモデルを用いた行動推定による動物園飼育動物の基礎生態解明」
研究代表・山本誉士 (明治大学)

2021年度の研究課題は現在申請受付中で、応募〆切は2021年4月23日(金)です。詳しくは下記ウェブ・ページをご覧ください。
(http://cmma.mims.meiji.ac.jp/research/entry2021-research_program.html)

動物に教えてもらう動物のこと ～動物目線の行動学～

山本 誉士

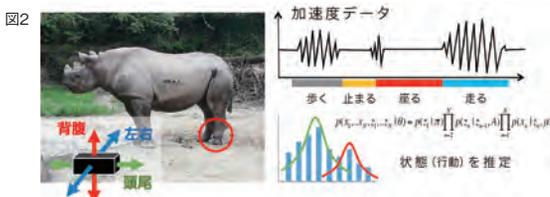
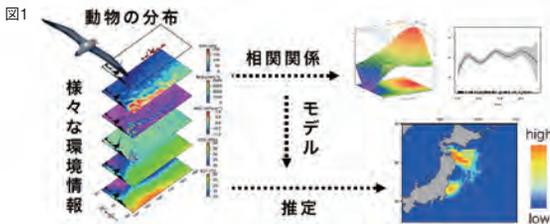
明治大学研究・知財戦略機構 特任准教授/MIMS 研究員



野良猫はどこへ行くのか？スズメのお宿はどこか？私達の身近な動物ですら、行動観察には時間的・空間的な限界があります。近年、動物に小さな記録計（データロガー）を取り付けて行動を記録するバイオロギング手法の発展によって、様々な時空間スケールで、彼らの空間利用の特徴を明らかにできるようになりました。例えば、アルゼンチンに生息するマゼランペンギンでは、近年個体数の減少が危惧されています。そこで、データロガーで彼らの行動を調べたところ、採食域が船舶の往来や漁業活動など人為活動が活発な海域との重複しており、高い死亡率の要因であることを明らかにしました。

一方、データロガーによって動物の空間利用の「現状」を知ることはできますが、地球温暖化や人為開発などによる環境変化が及ぼす影響を定量的に「予測」することは困難です。生物にはそれぞれの種が好む環境の特徴（生態的ニッチ）というものがあります。そして、環境利用の特徴を統計手法によってモデル化することで、環境情報から生物の生息分布と密度を確率的に広域推定できます（ハビタットモデル：図1）。しかし、既存手法では、種にとって好適な環境があれば、実際には生息していないでも「生息確率が高い」と推定されるという課題があります。例えば、好適な環境があったとしても、開発工事などによって移動が妨げられる可能性があります。そのため、より現実的な動物の時空間分布動態を把握するには、移動経路も考慮する必要があります。そこで、データロガーを用いて、道路や傾斜など様々な状況に直面した際の個体の時々刻々の応答（例えば、滞在や忌避など）を記録し、パラメータとしてモデルに組み込むことで、環境情報から動物の移動・分散を推定する手法の開発に取り組んでおります。動物目線で自然環境利用を捉えることで、生物多様性保全や獣害対策、外来種の分散防除などの、効果的かつ効率的な推進に貢献していきたいと考えています。

また、動物の行動計測およびデータ解析の手法を応用し、近年は国内のいくつかの動物園・水族館と共同で、環境エンリッチメントの評価に関する研究、さらにデータロガーを用いた行動モニタリング基盤の確立に取り組んでおります（図2）。本手法は飼育動物の福祉のみならず、肉質と活動量の関係といった、畜産分野における生産性の向上にも貢献できます。今後は解析プロセスを自動化し、リアルタイムで動物の行動を定量化・可視化することで、異常行動の検出や病気の早期発見といった、Internet of Animalsの発展を目指したいと考えています。



集団行動の制御や効率化を 生き物の集団に学ぶ

白石 允梓

明治大学研究・知財戦略機構 特任准教授/MIMS 研究員



私たちは社会の中で自分の役割を果たし（結果的に）互いに助け合うことで生きています。様々な仕事の専門化による効率化により、お互い支え合い余暇を楽しむことができます。社会システムがあることで、その社会の構成員は協力による恩恵に預かれるわけですが、多様な個人がいる社会で全体のシステムはどのように構築・維持されているのか、また構成員の行動はどの程度システムへ影響を与えるのでしょうか。

私は人間集団も含めた生物が示す集団現象の中で、その社会全体と個体の関係に興味を持っています。現在は、理論的研究に加え実験的研究の両輪でアリのコロニーの研究を通して、生物の集団が集団で生きていくための社会的メカニズムや効率的な集団行動するメカニズムの理解に取り組んでいます。例えば、アリの集団採餌では、フェロモンと呼ばれる化学物質を目印として餌場情報を共有し餌の大量搬送を可能にしていますが、働きアリのフェロモンの知覚能力は人間のように一様ではありません。一見知覚能力が高いものが多ければより正確な情報が得られるので、効率を向上しそうです。しかし、それは餌場の空間配置に依存し、一定数の低感度個体がいることはある環境下では全体の採餌効率を向上することをこれまでの研究で数値解析により示しました。また、アリの役割分担メカニズムを明らかにするために実験研究に取り組み、個体ごとの活動回数を計測していて観測データの解析から、理論モデルでは見られなかった時間的分業構造が存在していることが示されました。

アリの研究ではすでに多くの理論研究・実験研究が進められていますが、実際の生物を観測すると、まだ多くの未解明な現象が見られています。これからも理論的研究と実験的研究を両立しながら社会を維持するメカニズムを知る知見を得ていきたいと考えています。



Fig.1 クロオオアリの活動回数の計測の様子。背部にタグを添付したアリがセンサーの下を通過する。左から右に向かって時間が経過する

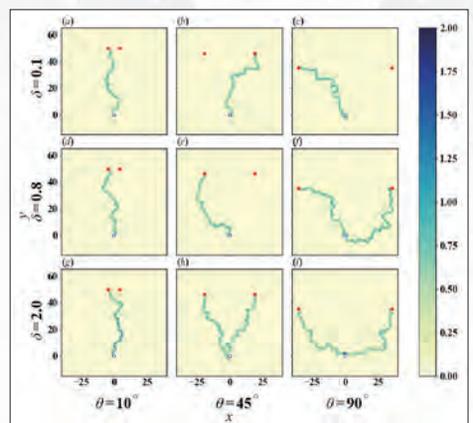


Fig.2 二つの餌場がある環境下で形成されるフェロモン濃度場。シミュレーションではこのフェロモンを感知しながらアリが餌場（赤い印）を探し出し、巣（黒い印）へ持ち帰る。横軸は餌場間の角度、縦軸は餌場が供給する餌の量を示す。フェロモン濃度の高い部分が餌場と巣をつないでいる状態は餌が効率的に運搬できていることを示す。環境によってコロニーが効率的に採餌できているかが異なることがわかる。

引用： Shiraiishi, M., Takeuchi, R., Nakagawa, H., Nishimura, S. I., Awazu, A. & Nishimori, H. Diverse Stochasticity Leads a Colony of Ants to Optimal Foraging. *Journal of theoretical biology* 465, (2019).

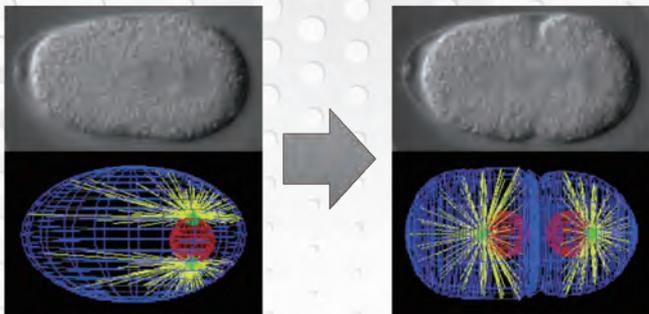
細胞建築学の数理をめざして

木村 暁
国立遺伝学研究所 教授/MIMS研究員



「細胞」は生物の最小単位と言われてます。生き物は細胞がたくさん集まってできていますし、単一の細胞で個体として生きることもできます。細胞はとても小さいですが、個々の細胞の中には様々なミクロの構造物が秩序だって配置されています。私の研究目標は『このような高度な構造が、明確な設計図や指導者が不在の状態、いかにして自己組織的に構築されているか?』という謎を解明することです。これまで私は、いわゆる実験細胞生物学のアプローチ、すなわち、細胞の顕微鏡観察などを通じてこの課題に取り組んでまいりました。具体的には、細胞核が細胞の大きさや形によらずに細胞中央に配置できる仕組みや、細胞質流動の発生および方向転換の仕組み、さらには胚発生時に種に固有の細胞の配置の頑強性と多様性が生まれる仕組みなどの理解を進めてきました。これらの研究を通じて、建築学において重力や風に耐えられるかを力学的に計算する構造計算が欠かせないのと同様に、細胞という建築を理解するためには定量化、そして数理的な解析が重要であることに気がきました。まさに細胞の建築は現象数理学の良い研究対象だと思われまます。

私の考える細胞建築学は、細胞という建築物を「力学的に理解する」「多様性を理解する」「中枢なき調和を理解する」「時間変化を理解する」という4つの柱から成り立っています(参考:拙著「細胞建築学入門」2019年、工学社)。私はこの春からMIMS研究員にいただきました。MIMSの皆様と議論を重ねながら、これら4つの細胞建築学の柱について数理的な理解を進めてまいりたいと考えております。



線虫C. elegans胚の細胞分裂。上段は実際の胚の顕微鏡像で、下段は定量的シミュレーション。下段で青が細胞膜、赤が細胞核、黄色が細胞骨格(微小管)、緑が中心体を表している。

眼にモノ見せる生命科学の数学

傳田光洋
株式会社資生堂 ELシニアスペシャリスト/MIMS研究員



大学で化学熱力学を専攻して、話せば長い事情で、化粧品屋で皮膚の研究をする事になった。慌てて皮膚医学の専門誌を読み、国内の皮膚科学の学会に参加したが、そこで話題になっていたのは「皮膚病」の臨床科学。化粧品屋が欲しいのは「肌に乾燥がよくない」「ストレスも肌に影響します」といった「普通の人の肌の悩み」。仕方がないので表皮の最先端研究を進めていたカリフォルニア大学サンフランシスコ校の研究室に2年ほど留学し、そこで学んだ知識を基に「化粧品屋の皮膚科学研究」を始めた。

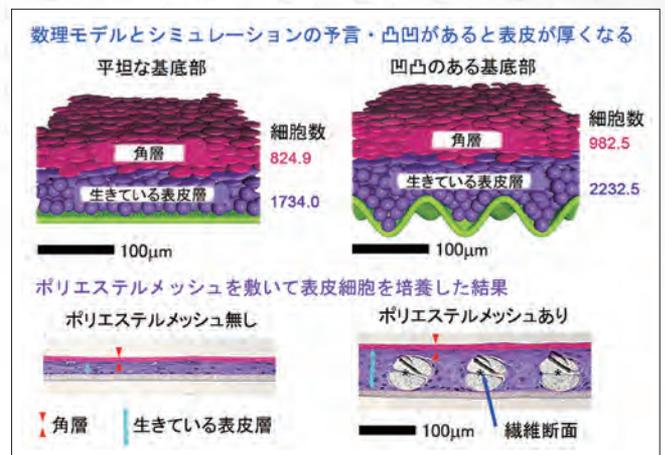
時代は分子生物学真っ盛り。遺伝子がどうしたこうした、という研究が皮膚科学でも主流だった。「あの遺伝性皮膚疾患の原因遺伝子特定!」などという論文が高い評価を受ける。アカデミックな先生方はimpact factorが高い雑誌に論文を掲載すりゃそれでよからう。しかし化粧品屋の研究員は「お客様が実感できる」科学成果を要求される。培養した皮膚の細胞をつづいているだけでは話にならない。

分子原子論を巨視的な熱力学につなげたのが統計力学だ。だったら、一つの細胞を基点として、それが隣の細胞と相互作用する。そこから細胞集合体としての組織、目に見える生命現象を記述する科学がありうるのではないか?

大学から放り出されて長い歳月が経ち、数学を忘れていた。そこで、自分の空想につきあってくれる化学者、物理学者、数学者を探し始めたのが今世紀初頭。幸い、優れた研究者たちと知り合いになって、培養した皮膚細胞の素過程の実験、生きている人間の皮膚の中で起きている目に見える実感できる現象、それをつなげたのは数学だった。

科学技術振興機構CRESTの御支援もいただき、数理モデルとコンピュータシミュレーションは、厚く元気で高機能の表皮を構築する方法を予言した。詳細は論文をご覧ください。

Sci Rep 8: 17999, 2018. 数学はすばらしい。



MIMS 現象数理学研究拠点オンラインチュートリアルシリーズ

オンラインWebセミナーによる、数学系学部学生、大学院学生向けの講習会を企画、開催しました。

数値計算法入門と可視化法入門 / 講師: 秋山正和(明治大学研究・知財戦略機構 特任准教授)



- 第一回: 2020年 9月25日 初級者向け企画「コマンドライン操作と数値計算法入門」
- 第二回: 2020年 11月26日 初級者から中級者向け企画「数値計算・可視化法入門」
- 第三回: 2021年 2月26日 初級者から中級者向け企画「可視化法入門」

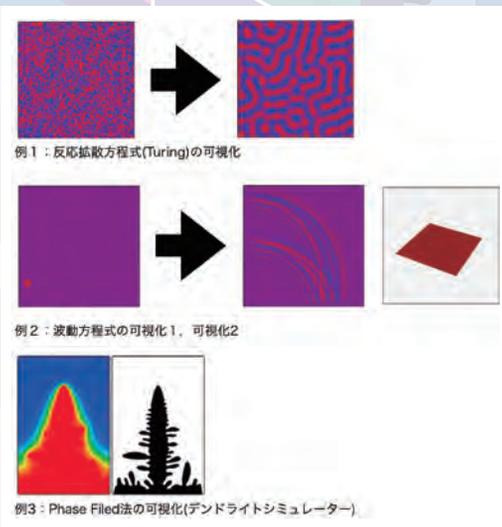
概要

数理モデルから、現象解明のために様々な情報を得るためには、数理解析は欠かせません。数理解析では手で解析的に解くことができるケースは稀で、大抵の場合は数値的に計算して大まかな特徴を捉えることとなりますが、捉えた特徴から、思わぬ証明のアイデアを得ることもあります。本講習会では、3回シリーズ(予定)で、数値計算と可視化の方法を実践的に学んでいきます。

第一回目は、初級者向けの企画として、3時間程度で「コマンドライン操作と数値計算法入門」を行います。数値計算を効率的に行う上で、コマンドライン(シェル)を用いた操作は欠かせませんが、体系的に勉強をしたことはないという方向けに、コマンドラインの操作方法や、便利な使い方などに関してレクチャーをします。続いて、C言語を用いて、常微分方程式の数値計算法に関してレクチャーをします。

第二回目は、初級者から中級者向けの企画として、3時間程度で「数値計算・可視化法入門」を行います。第一回目の内容から継続して行います。

第三回目は、初級者から中級者向けの企画として、3時間程度で「可視化法入門」を行います。可視化では、皆さんのPCに可視化ソフト(拙作のGLSC3D)を導入して、可視化の基礎から応用例を扱います。1、2回目に参加していない方でも、わかるように進めるつもりです。



Pythonによるデータ解析と数値計算入門 / 講師: 白石允梓(明治大学研究・知財戦略機構 特任准教授)



- 第一回: 2020年 11月10日 「Pythonによるデータの取り扱いと可視化」
- 第二回: 2020年 12月 1日 「Pythonによるライブラリを用いたクラスタリングと数理モデル化」
- 第三回: 2020年 12月22日 「Pythonによるライブラリを用いた非線形現象の数値解析」

概要

コンピュータはすでに日常的に用いられる一般的な道具です。科学の世界でもコンピュータなしに研究を進めていくことは考えにくい時代です。一方で、一般的な用途に比べるとコンピュータは研究者や分野に依存して利用方法が特化していることも多く、研究上利用するにはそれぞれの特別な数値計算方法や処理方法を学ぶ必要がありました。しかし、コンピュータの発展は著しく科学の世界で用いられる利用方法も一般化し、数値計算方法の詳細な知識や経験が少なくとも利用できるシステムが増えつつあります。

本講習会で学ぶpythonは、近年深層学習の発展に伴うデータサイエンスの広がりに合わせて研究者から一般企業での技術者など多くの人に利用されています。その理由が一から自身で開発しなくてもシステムを用いることでデータがあればすぐに取り組めるようになっているからでもあります。

pythonはデータサイエンスに限らず、一般的な科学技術計算に用いられる手法が多く準備されており、これまでの研究で主に使っていなかった人でも手軽に始めることが出来るようになっています。

本講習会では、あえて統計処理や数値計算方法の詳細を深く学ぶのではなく、数学的概念に対応したpythonでの処理方法を集中して学ぶことを目的としています。

数値計算の勉強を始める上で、初めに問題になることは数値計算を行うコンピュータの環境整備が難しいことがあげられます。そのため、本講習会では誰でもすぐに同じ環境で始められるGoogleによるオンラインサービスを利用して学習を進めていきます。

