

<b>Course number</b>		U-LAS60 10003 OJ17					
<b>Course title (and course title in English)</b>	統合科学・少人数演習付：数学で見る生命現象 Integrated Liberal Arts and Science with Small Group Seminars :Life and Biological Phenomena through Mathematics			<b>Instructor's name, job title, and department of affiliation</b>	Institute for Liberal Arts and Sciences KOKUBU Hiroshi Graduate School of Science Professor,TAKAHASHI YOSHIKO Graduate School of Science Professor,ISHIMOTO KENTA Graduate School of Informatics Professor,AOYAGI TOSHIO Graduate School of Informatics Associate Professor,TERAMAE JUNNOSUKE Institute for Life and Medical Sciences Professor,MOCHIZUKI ATSUSHI Institute for Life and Medical Sciences Assistant Professor,ISHIKAWA MASATO		
					Part-time Lecturer,TOKUTA YUYA Institute for Advanced Study SUKEKAWA TSUBASA 総合研究推進本部 SHIRAI TETSUYA 総合研究推進本部 TERAOKAWA MAYU		
<b>Group</b>	Interdisciplinary Sciences			<b>Field(Classification)</b>	Interdisciplinary Sciences		
<b>Language of instruction</b>	Japanese			<b>Old group</b>		<b>Number of credits</b>	4
<b>Number of weekly time blocks</b>	2	<b>Class style</b>	Lecture + Seminar (Face-to-face course)		<b>Year/semesters</b>	2025・First semester	
<b>Days and periods</b>	Thu.4・5		<b>Target year</b>	All students		<b>Eligible students</b>	For all majors
<b>[Overview and purpose of the course]</b>							
<p>受精卵に始まる個体発生や形態形成，遺伝子発現の制御機構，脳神経系における学習や知能，そして細胞や個体、あるいはその集団の移動機構・変形・流動などを題材に，生命現象の理解に数学的アイデアや方法がどのように活用されているかの一端を知り，複数の学問が様々な形で互いに影響しあって発展している研究の最前線への展望を得ること，また高校以前は学ぶ機会がなかった数理モデリングやデータ解析などの数理的方法や関連する英語文献の講読，さらに科学的内容をどうすればわかりやすく効果的に表現できるかを学ぶ科学ライティングの演習により，今後の学びに必要なとなるであろうアカデミックスキルの基礎を身につける機会を提供することを目的とする．</p> <p>具体的には，講義では，初回のイントロダクションに続き，発生生物学（生き物の形づくり），脳神経科学（Amari-Hopfield model，人工知能），遺伝子制御ネットワーク，生命流体力学の4つのテーマについて3週ずつの講義が行われ，最終回には受講者による課題の発表を行う．演習については，データ解析，数理モデリング，英語文献講読，科学コミュニケーションの4グループに分かれた演習を7週ずつ，同じ内容で2回繰り返して実施し，受講者は前半7週と後半7週に異なるテーマで2つの演習を受講できるようにする．</p> <p>○統合複合型科目分類【理・理】          主たる課題について理系分野の要素が強く、副たる課題についても理系分野の要素が強いと考えられるもの</p>							
<div style="text-align: right;">Continue to 統合科学・少人数演習付：数学で見る生命現象(2)</div>							

### [Course objectives]

さまざまな生命現象に触れ、その理解に数理的な考え方が有効になる面があることを理解し、異なる学問分野の相互作用による学術の発展の1つの側面を体験することで、今後の本学での学習の指針を得る。また、特に演習を通じて、大学での学びに必要なアカデミックスキルのいくつかを体得する。

### [Course schedule and contents]

(この授業では、講義と少人数演習を併せて学びます。講義のみ、少人数演習のみの出席では授業の到達目標に達しません。なお、講義の初回授業において少人数演習のグループ分けを行いますので、必ず出席してください)

講義 木4・共西31

第1回 導入(担当:全担当教員)

講義の目的、到達目標、成績評価の方法等を説明する。引き続き、各担当教員の分担する内容をダイジェストで紹介する。その後、少人数演習の4つのグループ「データ解析・英語文献講読・科学コミュニケーション・数理モデリング」に受講生を分ける。

第2回～第4回 発生生物学(生き物の形づくり)(担当:高橋淑子)

概要;卵から始まる形づくりを概観する。細胞が社会をつくり、さまざまな性質をもつ組織や器官が形づくられるとき、その背後にある「ルール」を理解することの意義を学ぶ。

キーワード:個体発生、形づくり、細胞の社会、細胞ダイナミクス

授業内容:細胞は、からだの営みを支える最小単位として、ひとときも休むことなく働いている。個体発生の過程では、もとはたった1つの細胞だった受精卵が分裂を繰り返し、多種多様な形と性質をもつ組織を作り出す。胚(ヒトでは胎児)の中で繰り返し広げられるこれらの「細胞ドラマ」を理解することは、私たち自身を深く知ることにつながる。本講義では、細胞ドラマを支えるルールを知る上で数理的な手法が使われていることを学習する。

第5回～第7回 脳神経科学(Amari-Hopfield model,人工知能)(担当:青柳富誌生・寺前順之介)

概要;生物の情報処理の仕組みに着想を得たニューラルネットワークの基礎を学ぶ。

キーワード:脳神経、深層学習、連想記憶、機械学習、情報と力学系

授業内容:脳は進化の過程で獲得された、情報処理に特化した器官である。本講義では、脳の情報処理の基本構造である神経ネットワークの性質と、それを数理モデルとして表現する方法を学ぶ。具体的には、ノーベル賞受賞の対象となったAmariとHopfieldによる連想記憶モデルを起点に、深層学習などの重要概念を扱う。また、これらを学ぶ中で、(物理学の力学のような)一見無関係に思える知識が重要となる事例を示し、幅広い視野を持つことの意義を理解する。

第8回～第10回 遺伝子制御ネットワーク(担当:望月敦史)

概要;染色体上に多数存在する遺伝子は、互いに活性化や不活性化の制御を行っている。この制御関係から生まれる遺伝子活性の時間変化が、細胞の振る舞いや性質を作り出している。本講義では、遺伝子制御ネットワークのダイナミクスを高次元力学系として捉える見方を学び、細胞の振る舞いや性質が生まれる過程を、数学を通して理解する。特に制御ネットワークの構造だけから鍵遺伝子を決定する理論により、細胞の運命を制御する新しい方法を紹介する。

キーワード:力学系、構造理論、グラフ理論、Feedback Vertex Set、細胞分化、ダイレクトリプログラミング

授業内容:

- ・生命システムをネットワークとして捉える。
- ・遺伝子制御システムのダイナミクスを理解する。

- ・遺伝子ネットワークの構造からダイナミクスを制御する鍵因子を決定する。

#### 第11回～第13回 生命流体力学（担当：石本健太）

概要；生命現象の特徴の一つはその流動性にある。その形は成長に伴って変化し、移動するために体の一部を変形させる。細胞間や組織間にはイオンやタンパク質の物質流動があり、呼吸や血流という形でも生物は流体流動を積極的に用いている。鳥の飛翔や魚の遊泳は流体流動を巧みに利用した例であるし、細胞集団が見せる流動的な振る舞いも組織の形成や修復の鍵となっている。細胞スケールから個体スケールまでの様々な階層に現れる流動現象の実例の紹介し、それらを理解するための数学的な手法について解説する。

キーワード：流れ、渦、微分方程式、集団運動、階層性

授業内容：

第11回：生命の流れとベクトル解析。細胞や組織の変形場と流動場。ベクトル場の勾配・回転・発散、細胞や組織の配向場とベクトル場のトポロジー、などについて解説する。

第12回：生命の流れと微分方程式。保存則と流れ、ナビエ・ストークス方程式とレイノルズ数、管の中の流れと血流、渦の定理、流体中の生き物の運動（飛翔・遊泳）、などについて解説する。

第13回：生命の流れと階層性。自己推進粒子、並進運動と回転運動、集団運動とアクティブマター、細胞集団とアクティブ流体、などについて解説する。

#### 第14回 総合討論（担当：講義担当の全教員）

これまでの講義課題について受講者の発表と討論を行う。

#### 第15回 フィードバック

#### 少人数演習

A班 データ解析（担当：徳田有矢）木5・共西11

Pythonを用いて生物学データを解析する。平均や分散、相関等の基本的な統計量の計算やデータの可視化方法を習得した上で、母集団と標本の違いや統計的仮説検定、機械学習の基礎を学ぶ。教師あり学習の例としてサポートベクトルマシンを、教師なし学習の例として主成分分析を取り上げる

< 予定 > 受講者の背景や理解の程度、演習の進捗状況などに応じて内容を若干変更する可能性がある。

第一回：導入と環境構築

- ・データ解析とは

- ・PythonとJupyter Notebookの基本

第二回：1変量データ解析と時系列データ

- ・平均、分散、標準偏差

- ・ヒストグラム、箱ひげ図

- ・時系列データ

第三回：多変量データ解析

- ・共分散、相関

- ・散布図、ヒートマップ

第四回：母集団と標本

- ・母集団と標本の違い

- ・標本統計量

第五回：統計的仮説検定

- ・検定統計量

・t検定

第六回：機械学習の基礎・教師あり学習

・二値分類

・サポートベクトルマシン

第七回：機械学習の基礎・教師なし学習

・次元削減，特徴量抽出

・主成分分析

B班 英語文献講読（担当：石川雅人）木5・共西21

英語文献（論文）を読むことは、最先端の研究を知るために重要である。それだけでなく、教科書に載っているような科学的発見の原典となる文献に当たすることで、内容をより深く理解したり、科学的示唆が得られることもある。本演習では、英語文献を読み、内容をまとめてプレゼンテーションの形で発表し、内容について議論を行う。ただし、文献の内容について詳細に理解することは必ずしも目指さず、英語文献を読み、発表する流れを体験することを目指す。読む英語文献としては、生命現象に対する数理モデリングに関する文献二編、生命科学におけるAI（人工知能）の応用に関する文献一編を指定する。具体的には、以下の論文である。

### 【数理モデリング】

数理モデリングに関しては、以下の二編のうち、どちらかを選んで読み、発表する。

Elowitz, Michael B., and Stanislas Leibler. "A synthetic oscillatory network of transcriptional regulators." *Nature* 403.6767 (2000): 335-338.

大腸菌で振動する遺伝子回路（repressilator）を作成したことを報告している。

Gardner, Timothy S., Charles R. Cantor, and James J. Collins. "Construction of a genetic toggle switch in *Escherichia coli*." *Nature* 403.6767 (2000): 339-342.

大腸菌でスイッチ的な動作をする遺伝子回路（toggle switch）を作成したことを報告している。

### 【AI】

Jumper, John, et al. "Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold." *Nature* 596.7873 (2021): 583-589.

本論文は2024年のノーベル化学賞を受賞したJohn Jumper, Demis Hassabisらのチームによる論文である。アミノ酸配列からタンパク質三次元構造を予測するAIであるAlphaFoldについて報告している。

### < 演習項目・内容 >

第一回：チュートリアル（英語文献の探し方、読み方、プレゼン方法）

第二回：数理モデリング文献（内容理解）

第三回：数理モデリング文献（発表・議論）

第四回：数理モデリング文献（発表・議論）

第五回：AI文献（内容理解）

第六回：AI文献（発表・議論）

第七回：AI文献（発表・議論）

C班 科学コミュニケーション（担当：白井哲哉・寺川まゆ）木5・共西22

### < 到達目標 >

- ・科学コミュニケーションとは何かについて学ぶ
- ・研究を専門外の人に伝え対話する必要性および、その技術について学ぶ
- ・研究を専門外の人に伝え議論し相互理解と共感できる素養を身につける

< 演習項目・内容 >

第一回：科学コミュニケーション概論 【白井】

- ・URAとは
- ・科学コミュニケーション・研究広報とは

第二回：科学コミュニケーション概論 【白井】

- ・倫理的・法的・社会的課題（ELSI）とクリティカルシンキングとは

第三回：対話・クリティカルシンキング演習 【白井】

第四回：対話・クリティカルシンキング演習 【白井】

第五回：プレゼンテーション概論【白井】

- ・専門外の人に研究を伝える技術

第六回：プレゼンテーション演習 【寺川】

- ・プレゼン作成に向けた講義
- ・プレゼン作成演習

第七回：プレゼンテーション演習 【寺川】

- ・プレゼン発表演習
- ・プレゼン振り返り

D班 数理モデリング（担当：祐川翼・國府寛司）木5・共西23

簡単な定数係数線形微分方程式の意味とその解法を踏まえ，人口増加モデルとしてのロジスティック方程式や捕食者・被捕食者モデルや感染症モデルなどを題材として取り上げ，そのモデリングの基本的考え方を学ぶと共に，Python を用いた数値シミュレーションを通して，数理モデルの解と生命現象の対応をさまざまな角度から理解する演習を行う．

より具体的には以下のような内容を扱う：

- ・微分方程式とは，簡単な微分方程式，Pythonのインストールと簡単な使い方
- ・現象の数理モデルとしての微分方程式の例，数値シミュレーション
- ・ロジスティック方程式，ロトカ・ヴォルテラ方程式
- ・感染症の数理モデル
- ・遺伝子制御ネットワーク
- ・結合振動子モデル

[Course requirements]

高校の数学IIIまでの数学の内容は前提とするが，それ以外の特別な予備知識は必要とせず，全学部生向けに授業を行う．

[Evaluation methods and policy]

13回の授業と1回の総合討論での平常点（出席と参加の状況・個別内容の理解力を確かめるためのレポート課題）で評価を行う．各評価項目の割合の詳細は，初回の授業で説明する．フィードバック授業は評価の対象外である．

[Textbooks]

Not used

**[References, etc.]**

(References, etc.)

Introduced during class

**[Study outside of class (preparation and review)]**

授業において配布した資料や指示した参考資料を基に毎回の要点を復習すると共に、提示した課題に取り組む過程で、インターネットや関連図書を通じて受講者各自で調査し、授業内容と関連して考えて、理解を深めるように努めること。

**[Other information (office hours, etc.)]**

オフィスアワーは特に設けないが、質問は随時、受け付ける。積極的な授業参加を期待する。