

# 数 理 科 学 科

## 情 報 数 理 科 学 専 攻

### ■情報数理科学:基礎

#### 461001 微分積分学 I

##### 【到達目標】

- ・初等関数の定義と性質（定義域、値域、増減など）について正確に理解する。
- ・連続関数の基本的な性質を理解する。
- ・数列や級数の極限に関する基本的な事項を理解する。
- ・関数の微分係数と導関数について意味を正確に理解し、計算法に習熟する。
- ・関数の不定積分について定義を正確に理解して種々の計算法に習熟する。
- ・微分や不定積分を種々の具体的な問題に適用できるような応用力を身につける。

**【概要】** 微分積分学の基本事項について講義する。実数の連続性を厳密に表現することを学び、それに基づいて定義される数列や級数の収束や実変数関数の連続性に関して基本的な事項を学ぶ。多項式、有理関数、無理関数、指数関数、対数関数、三角関数、逆三角関数などの初等関数を中心とした1変数関数の微分と積分について体系的かつ確実に理解して応用力を身につけることを目標とする。特に、初等関数の正確な定義とその性質、微分と不定積分の概念とその計算法、微分積分学の種々の曲線や物体の運動などへの応用について基礎からていねいに解説する。本科目は微分積分学の導入授業であり、今後の情報科学、AI・データサイエンス、数理科学の学習の基礎となるものである。

#### 461002 微分積分学 II

##### 【到達目標】

- ・定積分の定義とその性質について正確に理解する。
- ・定積分の種々の計算法に習熟する。
- ・テイラー展開の考え方について正確に理解する。
- ・種々の関数のテイラー展開の計算法を身につける。
- ・定積分やテイラー展開を種々の具体的な問題に適用できるような応用力を身につける。

**【概要】** 「微分積分学 I」に引き続き微分積分学の基本事項について講義し、2年次以降の情報科学、AI・データサイエンス、数理科学の学習で必要になる微分積分学の基礎学力を養成することを目標とする。「微分積分学 I」における初等関数の微積分についての基本的な理解をもとに、1変数関数の微積分とその応用についてさらに深く学ぶ。たとえば微分の平均値の定理の拡張としてのテイラーの定理や、区分求積法などについて詳しく学習する。その過程で関数の近似と微分積分学の深い関連について理解を深める。

#### 461003 線形代数学 I

##### 【到達目標】

- ・一般の型の行列について、その和や積を（様々な方法を用いて）計算できる。
- ・（係数にパラメーターを含む）連立一次方程式に対して、その係数行列の階数を求め、解空間の構造を決定できる。
- ・具体的な行列に対して、その行列式および逆行列を求める。

**【概要】** 線形代数学は曲がっていない真っ直ぐな空間に関わる理論である。現代社会でも、たくさんのデータを取り扱う際に、データを行列やベクトルなどで表示した上で、線形化により逐次近似することで、多くの場面で線形代数学の考え方が利用されている。この授業では行列の概念を導入し、その基本的な演算を説明した後に、応用として行列を用いた連立一次方程式の解法について解説する。その後、多重線形交代形式である行列式に関し、主にその計算面に充填をおいて解説する。

#### 461004 線形代数学 II

##### 【到達目標】

- ・（ベクトル空間の）部分空間、一次独立性、基底、次元、線形写像、像、核という基本的な用語の定義を理解し、与えられた実例が、これらの名称で呼べるものであるかどうか判定できるようになる。
- ・与えられた正方行列の固有値と固有空間を求め、行列が対角化可能であるかどうか判定できる。
- ・ベクトルの内積の基本事項を理解し、与えられたベクトルから正規直交系を計算できる。

**【概要】** 線形代数学は曲がっていない真っ直ぐな空間に関わる理論である。現代社会でも、たくさんのデータを取り扱う際に、データを行列やベクトルなどで表示した上で、線形化により逐次近似することで、多くの場面で線形代数学の考え方が利用されている。この授業では線形代数学におけるベクトル空間と線形写像という抽象的概念を導入し、その応用として行列の対角化を解説する。また、応用上重要となる数ベクトルの内積についても解説する。

#### 461005 数学演習 I

##### 【到達目標】

- ・行列の和・スカラー倍・積を計算できる。
- ・行列の基本変形を用いて連立一次方程式が解ける。
- ・多重線形性・交代性を用いて行列式を計算できる。
- ・具体的な行列について、その逆行列が計算できる。
- ・多項式、有理関数、無理関数、べき乗関数、指数関数、対数関数、三角関数、逆三角関数の定義を正確に理解し、その微分や積分の計算に習熟する。
- ・関数の微分に関する基本的な公式を正確に理解し、計算に利用できるようになる。

- ・微分の計算を関数のグラフや増減などの問題、局所的な性質の解析に適用できる。
- ・テイラー展開の意味を理解し、初等関数の局所的な性質をテイラー展開を用いて解析できる。

**【概要】** 「線形代数学 I」、「微分積分学 I」の講義内容に対する補足説明及び問題演習を通じて、理解の定着と計算力を養う。目標達成のため、基本的な演習問題を与え、学生各自がそれを自力で解くことを求める。具体的な内容としては、行列の基本的な演算、行列を用いた連立一次方程式の解法、行列式の基本性質とそれらを用いた計算方法、逆行列の計算方法、初等関数の定義、微分法の基本公式の理解と運用法、微分法を用いた関数の挙動の解析、テイラー展開の意義と初等関数のテイラー展開の計算例など含む。

#### 461006 数学演習 II

##### 【到達目標】

- ・数ベクトルや多項式などの具体例について、一次独立性や基底かどうかの判定ができる。
- ・具体的な部分空間の次元が計算できる。
- ・具体的な行列について、その固有値と固有ベクトルを計算し、対角化判定定理を用いて対角化ができる。
- ・内積の基本的な計算を実行でき、正規直交系を求めることができる。
- ・積分とテイラー展開の意味を理解し、初等関数の局所的・大域的な性質の解析に応用できる。
- ・部分積分公式と置換積分公式を理解し、それを応用した初等関数の積分の計算ができる。
- ・積分で定義された関数の性質を極限などを調べることによって解析できる。

**【概要】** 「線形代数学 II」、「微分積分学 II」の講義内容に対する補足説明及び問題演習を通じて、理解の定着と計算力を養う。目標達成のため、基本的な演習問題を与え、学生各自がそれを自力で解くことを求める。具体的には、数ベクトルや多項式などの具体例において一次独立性や基底をなすことの判定、具体的な部分空間の基底と次元の計算、行列の固有値と固有ベクトルの計算、対角化判定定理の運用、内積の基本的な計算、積分の意味と計算例の理解、部分積分および置換積分を用いた積分計算、積分で表された関数の解析などを含む。

#### 461007 集合と写像

##### 【到達目標】

- ・集合、写像、同値関係に関する諸概念について、基礎的な知識を習得する。
- ・集合の濃度の概念について、特に可算集合と非可算集合の違いを理解する。
- ・論理記号の取り扱いに習熟し、数学的内容の簡潔な表現方法を身に付ける。

**【概要】** 現代の数学における基礎的な言語である集合と写像の概念、及びその数学的取り扱いについての解説を行なう。具体的には、数学においてどの分野でも標準的に要求される集合と写像の基礎的な知識の習得を目標として、集合の概念とその演算、写像の概念とその

諸性質、集合における同値関係の概念と商集合、集合の濃度の概念と可算集合及び非可算集合について詳しい説明を行なう。また、論理記号の取り扱い、及び数学的内容の簡潔な表現方法も合わせて説明し、数理科学において必要となる基本的な文章表現力を養う。

#### 461008 情報学概論

##### 【到達目標】

- ・情報科学の各分野を勉強していくための基礎知識を身につける。
- ・コンピュータで扱われている数値の表現方法を理解する。
- ・論理演算のしくみを理解する。

**【概要】** 情報科学とは何か、人間の歴史における情報活動の変化やコンピュータの歴史など一般的な事柄、コンピュータの基本構成（アーキテクチャ）について概説し、何気なく使っているコンピュータについて理解を深める。次に、情報の大きさについての尺度となる情報量について学ぶ。さらにコンピュータでの情報の表現方法（補数表現、文字コード）、コンピュータの言語と考え方（プログラミング、アルゴリズム）について解説し、演習問題を通して理解を深める。

#### 461009 Cプログラミング I

##### 【到達目標】

- ・C言語を通じて、プログラミングの基本的な概念を身に付ける。
- ・データ型、制御構造などのプログラミングの基本を理解する。
- ・C言語の簡単なプログラムの作成ができるようになる。

**【概要】** コンピュータに対する命令を順に書いたものがプログラムである。プログラムは、オペレーティングシステムやアプリケーションプログラムなど既存のもの以外に、利用者が作成（プログラミング）することもできる。プログラムの仕組みを学んだ後、C言語を用いてプログラミングの基本を学ぶ。基本データ型（整数型、浮動小数点型）、式と演算子、プログラムの制御構造（順次・選択・反復）、関数を理解し、これらを用いたプログラムの作成を行い、数理科学における具体的な計算に応用する。

### ■情報数理科学:発展

#### 461101 微分積分学Ⅲ

##### 【到達目標】

- ・多変数関数の偏微分と全微分の概念を理解する。
- ・多変数関数の偏微分の計算に習熟する。
- ・多変数関数の偏微分を極値問題等に応用できるようになる。
- ・級数、べき級数について理解する。

**【概要】** 「微分積分学 I」および「微分積分学 II」の続きとして、多変数関数についての微分と積分の理論について、適宜問題演習を行いながら体系的に学ぶ。ここでは、主として多変数関数の微分の理論を学ぶ。多変数の関数に対する微分の本質は、関数を1次関数で近似することにあることを認識し、関数のグラフに対する接平面や法ベクトルなどの幾何学的な対象に関連付けて微分の意味を理解して、微分概念と方法を自由に使いこなせるようにする。また、級数、べき級数について理解し、さらに多変数の関数のテイラー展開を使って、関数の極大極小などの局所的な性質を調べる方法を学ぶ。

#### 461102 微分積分学IV

**【到達目標】**

- ・多変数関数の重積分の概念を理解する。
- ・多変数関数の重積分の計算方法に習熟する。
- ・多変数関数の微分と積分を種々の解析学の問題に応用する力を身につける。
- ・関数列、関数項級数について理解する。

**【概要】** 「微分積分学 I」、「微分積分学 II」および「微分積分学 III」の続きとして、多変数関数の微分と積分の理論を体系的に学ぶ。多変数関数の陰関数や逆関数とその存在条件、重積分の定義と計算法およびその応用などを学ぶ。特に重積分の概念を確実に理解することに重点を置く。さらにベクトル解析の入門的な事項、関数列の収束と逐次近似法などにも触れ、簡単な応用にも触れる。講義を主体とするが適宜問題演習を行い、基本事項の理解を確実にすると共に計算法に習熟することを目標とする。

#### 461103 確率統計 I

**【到達目標】**

- ・確率変数および確率分布について、数学的な定義と意味を理解する。
- ・平均、分散、共分散などの計算ができる。
- ・極限定理（大数の法則、中心極限定理）の意味をきちんと理解する。

**【概要】** 確率論の基礎を理解することを目的とする。まず最初に確率空間を紹介した後、ランダムな現象をモデル化するために必要となる確率変数について解説する。続いて確率変数が定める確率分布の定義とその意義を説明し、確率分布の特性量である平均（期待値）、分散、共分散、積率母関数などの定義およびその計算方法について解説する。それぞれの確率分布について、各量の計算について問題演習も行う。最後に、極限定理と呼ばれている大数の法則と中心極限定理について説明を行う。

#### 461104 確率統計 II

**【到達目標】**

- ・統計学における基礎的な知識を習得する。

- ・統計学でよく用いられる確率分布について理解する。
- ・統計的推定および統計的検定の意味について、具体例を通じて理解する。

**【概要】** 統計学の基礎を理解することを目的とする。数理統計学の立場から、その基礎となる理論や具体的な手法について、具体的な例を用いながら解説する。まず最初に確率統計 I で学んだ内容について、簡単に触れる。そして母集団、標本、母集団分布などの基礎事項を紹介した後、統計学でよく用いられる確率分布（カイ 2 乗分布や t 分布など）について説明を行う。次に統計的推定および統計的検定について、基礎概念やそれらが何を意味するのかについて、具体例を挙げながら解説する。

#### 461105 グラフ理論

##### 【到達目標】

- ・グラフ理論に現れる諸概念について、基礎的な知識を習得する。
- ・グラフ理論を通して、離散的な構造の数学的な取り扱いに習熟する。
- ・グラフ理論の典型的な応用例とそのアイデアについて理解する。

**【概要】** ある集合から別の集合の適当な 2 元部分集合族への写像が定める組み合わせ構造をグラフといい、これを離散数学、組合せ論の立場から研究する分野をグラフ理論と呼ぶ。この科目では、グラフ理論の基礎事項について解説を行なう。具体的には、科学に限らず社会一般で生じる問題がグラフ理論によって記述される代表的な例を理解することを目標に、グラフに関する基礎概念、オイラー回路とハミルトン閉路、地図の塗り分けと四色問題、ラムゼー理論について詳しい説明を行なう。

#### 461106 現代数理科学 I

##### 【到達目標】

- ・現代の情報化社会において、数理科学が果たす役割を認識する。
- ・種々の対象から数理的な構造が抽出されるそのメカニズムを理解する。
- ・数理的な構造を理解するための数学的諸概念に習熟する。

**【概要】** 現代の高度情報社会において、数学及び数理科学は、種々の対象に潜んでいる数理的な構造の抽出と理論的な解析をその役割として担っている。この科目では、そのような数理構造の研究の基盤を形成している現代の数理科学の基礎分野から、適宜話題を選んで解説する。具体的には、各対象について、数理構造の抽出とそれに付随する数学的概念の発生のメカニズムを理解することを目標に、その基本的事項と当該の理論の概要について、詳しい説明を行なう。

#### 461107 現代数理科学 II

##### 【到達目標】

- ・現代の情報化社会において、数理科学が果たす役割を認識する。

- ・数理的な構造の理論構築が創り出す具体的対象への応用とそのアイデアを理解する。
- ・数理的な構造を理解するための数学的諸概念に習熟する。

**【概要】** 現代の高度情報社会において、数学及び数理科学は、種々の対象に潜んでいる数理的な構造の抽出と理論的な解析をその役割として担っている。この科目では、そのような数理構造の研究の基盤を形成している現代の数理科学の応用分野から、適宜話題を選んで解説する。具体的には、種々の対象から抽出された数理的な構造の理論構築によって期待される応用のアイデアを理解することを目標に、その基本的事項と当該の理論の概要について、詳しい説明を行なう。

#### 461108 確率特論 A

##### 【到達目標】

- ・ランダムウォークやマルコフ連鎖などのような離散時間の確率過程について、その基礎的な知識を習得する。
- ・得られた結果について、数学的な立場から理解するとともに、その意味を正しく理解する。

**【概要】** ランダムウォークやマルコフ連鎖に代表されるような、離散時間の確率過程について解説する。まず最初に確率論の知識を整理して簡単に説明する。続いて離散時間の確率過程について、その基本的な事柄について説明を行う。その後、マルコフ連鎖に関する再帰性、過渡性に関する話題や、数理ファイナンスにおける二項モデル、そしてその極限操作として連続時間モデルに関するブラック・ショールズ公式が得られることなどのトピックスについて紹介する。

#### 461109 確率特論 B

##### 【到達目標】

- ・ブラウン運動などのような連続時間の確率過程について、その基礎的な知識を習得する。
- ・得られた結果について、数学的な立場から理解するとともに、その意味を正しく理解する。

**【概要】** ブラウン運動に代表されるような、連続時間の確率過程について解説する。まず最初に確率論の知識を整理して簡単に説明する。続いて連続時間の確率過程について、その基本的な事柄について説明を行う。その後、連続時間の確率過程について、マルチンゲールや確率積分などの確率解析の基礎的な話題や、数理ファイナンスにおけるブラック・ショールズ・モデルに関するオプション価格付けなどのトピックスを取り上げ、詳しい説明を行う。

#### 461110 統計特論 A

##### 【到達目標】

- ・回帰分析について、その基礎的な知識を習得し、数学的な背景について理解する。
- ・いろいろな例を用いて、PC を使って計算実習を行い、得られた結果についての意味を正しく理解する。

**【概要】** 多変量解析の基本的な手法の一つである回帰分析について、その理論について解説する。まず統計学の知識を整理して簡単に開設した後、単回帰分析、重回帰分析について基礎的な知識を説明する。その際、単なる計算手法の解説や統計パッケージの使用法の説明だけでなく、それらの解析手法の背景にある理論的な話について解説を行う。講義と並行して PC 用のソフトウェアを用いて、模擬データや実際のデータについて計算を行い、その結果の意味について解説する。

#### 461111 統計特論 B

##### 【到達目標】

- ・判別分析や主成分分析などについて、その基礎的な知識を習得し、数学的な背景について理解する。
- ・いろいろな例を用いて、PC を使って計算実習を行い、得られた結果についての意味を正しく理解する。

**【概要】** 多変量解析の基本的な手法の一つである判別分析、主成分分析などについて、その理論について解説する。まず統計学の知識を整理して簡単に開設した後、判別分析、主成分分析等について基礎的な知識を説明する。その際、単なる計算手法の解説や統計パッケージの使用法の説明だけでなく、それらの解析手法の背景にある理論的な話について解説を行う。講義と並行して PC 用のソフトウェアを用いて、模擬データや実際のデータについて計算を行い、その結果の意味について解説する。

### ■情報科学

#### 461201 C プログラミング II

##### 【到達目標】

- ・C 言語を通じて、プログラミングの応用的な概念を身に付ける。
- ・C 言語の配列やポインタ、文字列、構造体、ファイルの入出力を理解する。
- ・C 言語を用いて実践的なプログラムを作成できるようになる。

**【概要】** C プログラミング I に引き続き、C 言語を用いてプログラミングの基本を学ぶ。配列、文字列、ポインタ、構造体、ファイル入出力などを理解する。配列は複数の同じ型のデータを扱うもので、プログラミングにおける重要なデータ構造の一つである。配列の利用例として整列を取り上げる。文字列にも配列が使われる。構造体は複数の異なるデータを扱うもので、応用上重要である。ポインタは C 言語に特徴的な機能で、高度なプログラミングには必須である。ポインタは配列とも密接な関係にあり、ファイル入出力もポインタを利用する。

## 461202 コンピュータアーキテクチャ

### 【到達目標】

- ・コンピュータの基本構造とその動作原理を理解する。
- ・コンピュータシステムを高性能化するための各種技術・方式を理解する。
- ・簡易な論理回路を設計できる能力を身につける。

**【概要】** コンピュータの基本構成要素であるプロセッサ、メモリ、入出力装置の機能、動作、およびこれらの要素間の相互関係について、ハードウェア、ソフトウェアの両面から学習する。機械語命令とその動作、論理代数、論理関数、論理回路設計について解説し、これらに基づき、コンピュータが論理回路としてどのように実現されているのかを講義する。性能、コスト、消費電力等を考慮しながら、目的に応じたコンピュータシステムを設計する手法を学ぶ。

## 461203 デジタル画像処理

### 【到達目標】

- ・アナログとデジタルの違い、原理を理解する。
- ・マルチメディア（文字、音声、画像）処理技術を理解する。
- ・コンピュータでの画像加工技術について理解する。

**【概要】** コンピュータはアナログデータを処理することはできないため、入力された文字、音声、画像、音声などのデータをデジタルデータに変換する必要がある。まずは、このデジタル化の原理を理解し、データがどのように処理、加工されるのか、それらの仕組みやアルゴリズムについて学ぶ。特に画像処理ソフトで行う画像の加工処理についての仕組みについて解説し、python を用いて実際に画像処理の演習を行うことにより、理解を深める。

## 461204 データベース

### 【到達目標】

- ・リレーショナルデータベースの基礎について、体系的に理解する。
- ・リレーショナルデータベースの設計方法について理解し、適切に設計できる。
- ・SQL を用いて、リレーショナルデータベースへの問合せを行うことができる。

**【概要】** 現代社会においては、社会活動から生み出される「情報」が大きな価値を持つが、この情報を有意義に活用するための鍵を握る要素のひとつがデータベースシステムである。本講義ではデータベースシステムの基礎について、主に実践面から習熟することを目的とする。リレーショナルデータベースを中心に、データモデル、DBMS の基礎を学ぶ。実習を交えながら実際にデータベース設計などを行うことにより、データベースの実践面の理解を深める。

## 461205 コンピュータ化学 I

### 【到達目標】

- ・化学現象の数理モデルと数値シミュレーションの基本事項を習得する。
- ・数値シミュレーションの基本的なプログラムを作成できる。
- ・シミュレーション結果を解析する基本的な手法を身につける。

**【概要】** 化学反応における物質の濃度変化を記述する微分方程式の数値シミュレーションおよびその基礎としての化学反応速度論を学ぶ。実習を通してプログラミングの基本事項を習得し、Python 言語によるシミュレーションプログラムを作成する。反応速度定数や初期濃度分布が及ぼす影響について、解析を行う手法を学ぶ。物質の拡散現象のモデルとして、ランダム・ウォークのシミュレーションを実習する。確率過程の統計解析に関する基礎理論と解析手法を学ぶ。

## 461206 コンピュータ化学 II

### 【到達目標】

- ・化学現象の数理モデルと数値シミュレーションの発展事項を習得する。
- ・数値シミュレーションの発展的なプログラムを作成できる。
- ・シミュレーション結果を解析する発展的な手法を身につける。

**【概要】** 化学シミュレーションの発展的手法の基礎理論を学び、プログラミング実習を通して習得する。言語は Python を使用する。必要に応じて、Fortran 言語による Python ライブラリの開発手法も学ぶ。具体的には、古典力学（ニュートン方程式）、ランダムな外力を導入したブラウン運動（ランジュバン方程式）、分子振動とスペクトル解析、分子動力学シミュレーション、分子軌道法（ヒュッケル法とハートリー・フォック法）について学ぶ。

## 461207 数値計算

### 【到達目標】

- ・数値計算のアルゴリズムを理解する。
- ・アルゴリズムに基づき、電卓などを用いて数値計算ができる。
- ・数値計算のプログラムを読んで理解する。
- ・数値計算のアルゴリズムの性質や誤差を理解する。
- ・数値計算のプログラムを作成する。

**【概要】** 自然科学、社会科学、工学などの問題をモデル化し数学の問題として定式化した後、場合によっては数値計算により近似解を求めたり、数値計算を用いた可視化を行う。本講義では問題解決のために数値計算を利用する上での初歩的な事項や数値計算法を理解し修得することを目的とする。各項目に対し数学的背景を述べた上で、アルゴリズムは素朴なものや標準的なものを取り上げる。それぞれのアルゴリズムに対し、電卓やコンピュータを用いた実習を行う。

## 461208 計算生物学

### 【到達目標】

- ・数理モデルとシミュレーションの基礎について理解する。
- ・基礎的な数値シミュレーションのプログラムを作成できる。
- ・生物学に関する各種現象の数理モデルを理解する。

**【概要】** 生物学に関するテーマを対象に、各種現象を数理モデルとして表現し、コンピュータシミュレーションにより解析を行うための手法を学習する。分子生物学、生体計測学、生命科学、人工生命、生態学などのうちから具体的な問題をいくつか取り上げ、数理モデルとシミュレーションプログラムの構築を通して、その重要性を理解する。数値シミュレーションを行うための計算機科学に関する知識を習得するために、コンピュータを利用した実習を取り入れながら講義を進める。

## 461209 オペレーティングシステム

### 【到達目標】

- ・オペレーティングシステム概念と、その原理について理解する。
- ・オペレーティングシステムにおける各機能の実現方法を理解する。
- ・オペレーティングシステムが提供する各機能を活用する能力を身につける。

**【概要】** オペレーティングシステム (OS) は、コンピュータのハードウェアを抽象化し、資源管理や制御を行う基盤ソフトウェアである。本講義では、OS の基本的な機能であるプロセス管理、メモリ管理、ファイル管理、入出力などの概念を学ぶとともに、マルチメディア処理、セキュリティなどの最近のトピックについても学習する。OS が提供する機能を活用する能力を習得するために、コンピュータを利用した実習を取り入れながら講義を進める。

## 461210 アルゴリズムとデータ構造

### 【到達目標】

- ・アルゴリズムとデータ構造を理解する。
- ・アルゴリズムを具体例に適用できる。
- ・アルゴリズムの時間計算量を理解する。
- ・データ構造を用いて記述したアルゴリズムのプログラムを読んで理解できる。
- ・データ構造を用いてアルゴリズムのプログラムを作成できる。

**【概要】** Cプログラミング I および Cプログラミング II に深く関連する科目である。良いプログラムを作成するためには、適切なアルゴリズムとデータ構造を選択する必要がある。そのため、リストや木などを用いた基本的データ構造、整列や探索などの基本的アルゴリズムとその計算量などについて、コンピュータを用いた演習を交えながら講義する。一つの問題に対して、それを解く計算量の異なる複数のアルゴリズムが存在することを理解する。基

本事項の習熟に重点を置く。

#### 461211 数理モデルとシミュレーション A

##### 【到達目標】

- ・数理モデルとシミュレーションの基礎について理解する。
- ・数値シミュレーションに必要な数値計算法の基礎を習得する。
- ・基礎的な数値シミュレーションのプログラムを作成できる。

**【概要】** 数理モデルとシミュレーションの基礎について理解することを目標とする。自然現象などをモデル化して現れる方程式を数値計算によって解き、その現象のシミュレーションを行うことを数値シミュレーションという。数値シミュレーションは、コンピュータの発展に伴い様々な分野でその重要性を増し、実験とともに理論を検証するための非常に重要な位置を占めるに至っている。この授業では、数理モデルやシミュレーションの基本について、できるだけコンピュータを用いた実習を取り入れながら学習する。

#### 461212 数理モデルとシミュレーション B

##### 【到達目標】

- ・数理モデルとシミュレーションの基礎について理解する。
- ・様々な不確かさを持つ実現象を対象に、確率論的モデルを構築できる。
- ・基礎的な数値シミュレーションのプログラムを作成し、その結果を解析することにより、現象を理解する能力を身につける。

**【概要】** 不確かさを持つ実現象を確率的な数理モデルとして表現し、コンピュータシミュレーションにより解析を行うための手法を学習する。待ち行列モデル、マルチエージェントモデル、ベイイズフィルターなどの中からいくつかを取り上げて解説し、それらをコンピュータに実装するアルゴリズムとプログラミングの方法を学ぶ。数値シミュレーションを行うための計算機科学に関する知識を習得するために、コンピュータを利用した実習を取り入れながら講義を進める。

#### 461213 コンピュータネットワーク

##### 【到達目標】

- ・情報通信ネットワークの基礎を理解する。
- ・情報通信ネットワークの具体的な利用法を習得する。
- ・情報通信ネットワークの構築・制御法を理解する。

**【概要】** 情報通信ネットワークの基礎について講義する。コンピュータにおける通信システムの基盤となる TCP/IP を中心に、どのような原理でパケット通信が実現しているのか、コンピュータがネットワークで結ばれることによりどのようなことができるようになるのか等を解説する。さらに、情報通信ネットワークの構築・制御法について、具体的な実習を

交えながら講義を行う。ネットワークの構成、アーキテクチャについて学んだ後、設計・制御のための基礎理論についても学習する。

#### 461214 オートマトン

##### 【到達目標】

- ・オートマトン理論について理解する。
- ・コンピュータにおける計算の原理を論理的に理解する。
- ・有限オートマトン、プッシュダウンオートマトンについて理解し、正規言語、文脈自由言語との関連性を理解する。

**【概要】** オートマトンとは、コンピュータの動作をモデル化したもので、ある入力に対し、定められた処理を実行し、結果を出力するシステムである。これを状態遷移図と呼ばれる図を用いて表現する。オートマトンが受理する形式言語には、正規言語や文脈自由言語がある。この講義では、有限オートマトンとプッシュダウンオートマトンをとりあげ、その仕組みや動作、受理する言語との関係について解説する。また、計算機で解くことのできる問題とできない問題についても触れる。

#### 461215 コンピュータグラフィックス

##### 【到達目標】

- ・コンピュータグラフィックス (CG) の原理を理解する。
- ・CG 制作過程における座標変換、モデリング、レンダリングなどの手法について理解する。
- ・アニメーション CG の原理と技術を理解する。

**【概要】** コンピュータグラフィックス (CG) は今やテレビや映画に欠かすことのできない技術となっている。本講義では、どのようにして架空の画像や動画が作られるのか、モデリング、テクスチャや質感の設定、陰面処理、光源の設定など、その制作の過程、およびそこで使われている技法について、また、CG に必要な数学的知識について解説する。アニメーション CG についても触れる。後半では実際に演習を行い、作品を作ることによって CG についての理解を深める。

#### 461216 ソフトウェア工学

##### 【到達目標】

- ・ソフトウェア開発の全体について、基本的な考え方を理解する。
- ・ソフトウェアの様々な側面について適切な記述方法で記述する方法を理解する。
- ・簡単な例題について、ソフトウェアの設計を記述できる。

**【概要】** 現代の情報化社会において、ソフトウェアは社会の活動を支えるインフラのひとつになっている。このような重要なソフトウェアを高品質に、計画的かつ効率的に開発するための理論とその実践的技術がソフトウェア工学である。本講義では、ソフトウェア開発と

は何か、どのような問題があり解決のためにはどんな技術があるのかという観点から、ソフトウェア工学の基礎を広く学ぶ。特に、ソフトウェアの設計に関する技術について重点的に学ぶ。

## ■AI・データサイエンス

### 461301 最適化の数理

#### 【到達目標】

- ・最適化の数理についての基礎的概念を身に付ける。
- ・最適化に用いられる数学を理解する。
- ・最適化の数理的手法を具体例に適用できる。

**【概要】** 最適化の数理の基礎について理解することを目標とする。その解決に最適化の数理的手法を必要とする問題は、自然科学、社会科学、工学などの幅広い分野において現れる。この授業では、最適化の数理的手法そのものを学ぶだけでなく、様々な分野における具体的な問題に対して最適化の数理的手法を適用してその有効性を確認することで、最適化の数理の基本を習得する。初年次に学ぶ数学が具体的に用いられることを理解する機会にもなる授業である。

### 461302 機械学習

#### 【到達目標】

- ・機械学習の基本概念を理解する。
- ・機械学習の各種モデルに習熟する。
- ・機械学習モデルを種々の問題に応用する力を身につける。

**【概要】** 機械学習はコンピュータに学ぶ能力を与えることを目的とした研究分野である。この科目では、機械学習の基礎的事項を体系的に学ぶ。まず、学習、検証、テスト、汎化といった機械学習の基本的枠組みを解説する。次に、回帰問題あるいは分類問題に対する個々の機械学習モデルを学ぶ。これらを通して、機械学習とはどのようなものであるかを学び、応用する際にどのモデルを使い、どのように評価すれば良いのかといった基礎的な能力を、数理科学の視点から身につける。

### 461303 人工知能概論

#### 【到達目標】

- ・人工知能に関する基礎知識（探索、推論、学習など）を習得する。
- ・人工知能の学問体系としての発展の歴史を理解する。
- ・人工知能の活用方法と今後の展望について理解する。

**【概要】** 人工知能は、人間のような知的な機械をつくりたいという要求に対し、知的思考

や行動をコンピュータ上に実現する方法を考察する学問体系として発展してきた。このような研究の流れの中で確立されてきた様々な理論や技術について、基礎知識と応用技術に関する講義を数理学の視点から行う。つまり、人工知能の黎明期に研究された理論や技術から始めて、近年活発に研究されている手法までを取り上げて解説する。さらに、人工知能の活用事例や今後の展望についても紹介する。

#### 461304 統計モデリング

##### 【到達目標】

- ・ 統計モデリングの基礎概念を理解する。
- ・ 基本的な統計モデリング手法に習熟する。
- ・ ベイズ的モデリングの基礎に習熟する。

**【概要】** 統計モデリングは自然現象や社会現象の不確実性を定量的に理解することを可能にする技術である。この科目では、統計モデリングの基礎的事項を体系的に学ぶ。すなわち、与えられたデータを基にして、それらデータを生成した確率分布を推定するための各種手法を解説する。まず、基本的な確率分布とその性質について解説した後、基本的な統計的モデリング手法を学ぶ。次に、ベイズの考え方および様々な確率分布を用いたベイズ的モデリングを解説する。

#### 461305 情報分析と可視化

##### 【到達目標】

- ・ 情報分析と可視化の基礎的概念を身に付ける。
- ・ 情報分析と可視化に用いられる数学を理解する。
- ・ 情報分析と可視化の手法を具体例に適用できる。

**【概要】** 情報分析と可視化の基礎について理解することを目標とする。自然科学、社会科学、工学などの幅広い分野において、得られたデータを分析し、適切な方法で可視化することはそのデータを理解するための第一歩となる。この授業では、情報分析と可視化の手法を学び、様々な分野における具体的な問題に対して情報分析と可視化の手法を適用してその有効性を確認することで、情報分析と可視化の基本を習得する。用いられる数理的手法の意味を視覚的に理解する機会にもなる。

#### 461306 時系列データ解析

##### 【到達目標】

- ・ 時系列の基礎的概念を身に付ける。
- ・ 時系列データ解析に用いられる数学を理解する。
- ・ 時系列データ解析の手法を具体例に適用できる。

**【概要】** 時系列データ解析の基礎について理解することを目標とする。自然科学、社会科

学、工学などの幅広い分野において得られる多くのデータは時間とともに変動するデータであり、時系列データ解析の対象となる。この授業では、線形時系列解析や非線形時系列解析などの手法を学び、様々な分野における具体的な問題に対して時系列データ解析の手法を適用してその有効性を確認することで、時系列データ解析の基本を習得する。用いられる数理的な手法の理解に重点を置く。

#### 461307 深層学習

##### 【到達目標】

- ・ 深層学習の基本概念を理解する。
- ・ 深層学習の各種モデルに習熟する。
- ・ 深層学習モデルを種々の問題に応用する力を身につける。

**【概要】** この科目では、深層学習の数理的基礎を体系的に学ぶ。深層学習はニューラルネットワーク上で展開される。そこで、まずはニューラルネットワークの基礎を学ぶ。ニューラルネットワークを構成するニューロンモデルやニューラルネットワークの学習について理解する。次に深層学習特有の基礎理論、手法の数理的側面を解説する。そして、様々な深層学習の各種モデルについて学ぶ。これらを通して、深層学習を応用する際のモデルの選択、評価方法といった基礎的な能力を身につける。

#### 461308 情報検索

##### 【到達目標】

- ・ 情報検索の基本概念を理解する。
- ・ 情報検索に必要な手法を習得し、必要な情報検索の技術を身につける。
- ・ 集めた情報から必要なデータを取り出す手法を身につける。

**【概要】** ネット上にはデータがあふれていて、日々の暮らしには不可欠な情報源となっている。その膨大なデータの中から必要な情報を検索し、収集するためのデータマイニングやスクレイピングといった処理技術の基本を体系的に学ぶ。データは収集しただけでは使い物にならず、加工し、分析し、検証して有益な情報を得ることができる。そのためいくつかの手法を学び、演習を通して実際に体験することによって、情報検索技術がどのように現代社会に活用されているかを理解する。

#### 461309 画像データ解析

##### 【到達目標】

- ・ 画像データ解析の基本概念を理解する。
- ・ 2次元画像データ解析に習熟する。
- ・ 3次元画像データ解析に習熟する。

**【概要】** コンピュータビジョンは、コンピュータに眼の機能を与えることを目的とした研

究分野である。この科目では、コンピュータビジョンに取り組む際に必須である「画像データ解析」の基礎的事項を体系的に学ぶ。まず、画像データ表現などの基本的な考え方と原理を概観する。次に、2次元画像データから直接情報を抽出する2次元画像データ解析、そして3次元構造を考慮した解析を行う3次元画像データ解析に関する様々な手法の仕組みを解説する。

#### 461310 テキストデータ解析

##### 【到達目標】

- ・テキストデータ解析の基本概念を理解する。
- ・言語資源および言語モデルに習熟する。
- ・テキストデータ解析の基本的手法に習熟する。

**【概要】** テキストデータ解析はコンピュータで自然言語を処理する技術である自然言語処理に含まれる。この科目では、テキストデータ解析の基礎的事項を体系的に学ぶ。まず、自然言語をコンピュータで処理する際に土台となる標準的な言語資源および言語モデルについて学ぶ。次に、テキストの構造を解析するための様々な基本的手法を解説する。そして、それらの手法の様々な具体的な問題への適用を解説して、その有効性を確認することで、テキストデータ解析の基本を習得する。

### ■ 数理科学

#### 461401 解析学 I

##### 【到達目標】

- ・常微分方程式の意味を理解する。
- ・簡単な常微分方程式の解法に習熟する。
- ・自然現象や社会現象を微分方程式を用いてモデル化する方法を理解する。

**【概要】** 微分方程式の初歩的な理論とその応用について学ぶ。微分方程式とは、未知関数とその導関数の間に成り立つ関係式のことである。自然現象や社会現象の裏に潜む法則は、しばしば微分方程式の形に定式化される。ここでは、微分方程式のうち主に常微分方程式、すなわち独立変数が1個の微分方程式を扱い、その数学的理論と解法の初歩的部分について、多くの具体例や問題演習を交えながら解説する。具体例として自然現象や社会現象の数理モデルを取り上げ、解析学の応用の一端に触れる。

#### 461402 代数学 I

##### 【到達目標】

- ・群の概念を理解し、与えられた実例が群をなすかどうか判定できるようになる。また、群が与えられたとき、その元の積や位数を計算できる。

・部分群および剰余類の概念を理解し、ラグランジュの定理を用いて部分群や剰余群の位数を計算できる。

・準同型写像の概念を理解し、与えられた実例についてその核や像を計算できる。

**【概要】** 数学において現れる様々な対称性の持つ性質を抽象化し、定式化した概念が群である。この授業では可換群・非可換群の両方の具体例を多く取り扱い、例を通じて、群論における基本的な概念を解説していく。具体的な内容としては、置換群や行列群、モジュラー演算による整数の剰余群などの種々の群の例を紹介し、置換群における交代群や、一般線形群における特殊線形群などの部分群および正規部分群、剰余類と剰余群、準同型写像の核と像、準同型写像などを解説していく。

#### 461403 代数学Ⅱ

##### 【到達目標】

・環・群・体・部分環・イデアル・剰余環の定義を正確に理解し、与えられた実例がこれらの名称で呼べるものであるか判定できる。

・環における除法が可逆元による積で定式化されることを理解し、単数群や除法を定義にもとづいて正確に計算できる。

・同値関係による類別を理解し、剰余環における簡単な計算ができる。

・準同型定理の内容を理解し、具体的な例について、計算が実行できる。

**【概要】** 私達にとって身近な整数を一般化・抽象化したものが環という概念である。集合に2項演算が備わった体系を一般に代数系と呼ぶ。この授業では代数系の一例として、和と積が備わった体系として環を導入し、様々な環の例を紹介する。差については和に関する逆元による和として定式化されることなど、環の公理とその帰結を解説した後に、環における単数群や除法の行える可換環として体の概念を導入する。環の考え方を通じて群・環・体という代数系の基礎全般について学んで行く。

#### 461404 位相数学Ⅰ

##### 【到達目標】

・ユークリッド空間の位相の諸概念について、基礎的な知識を習得する。

・微分積分学における連続関数の概念を、ユークリッド空間の位相の観点から理解する。

・ユークリッド空間の位相が距離空間の位相に自然に拡張されることを通じて、数学の抽象的思考に慣れる。

**【概要】** 位相空間とは、集合において各元の繋がり具合を規定する位相という構造が加わったものであり、特に解析学や幾何学の礎を成している。この科目では特にユークリッド空間、及びその一般化である距離空間の位相についての解説を行なう。具体的には、ユークリッド空間及び距離空間の位相に関する標準的内容を理解することを目標に、距離空間における開集合と閉集合の概念、微分積分学における連続関数の一般化としての距離空間上の連続

写像、距離空間のコンパクト性、連結性について詳しい説明を行なう。

#### 461405 位相数学Ⅱ

##### 【到達目標】

- ・一般の位相空間の諸概念について、基礎的な知識を習得する。
- ・距離空間上の連続写像の概念を、一般の位相空間の観点から理解する。
- ・距離空間の位相が更に一般の位相空間に自然に拡張されることを通して、数学の抽象的思考に慣れる。

**【概要】** 位相空間とは、集合において各元の繋がり具合を規定する位相という構造が加わったものであり、特に解析学や幾何学の礎を成している。この科目では、距離空間を含むより一般の位相空間の諸概念についての解説を行なう。具体的には、距離空間を特別な場合として含む一般の位相空間の基本的内容を理解することを目標に、開集合と閉集合の概念、連続写像の概念、ハウスドルフ性、コンパクト性及び連結性の概念について、より一般的な立場から詳しい説明を行なう。

#### 461406 化学概論

##### 【到達目標】

- ・元素の性質や化学結合を記述する電子論の基礎を習得する。
- ・化学現象をエネルギーの観点から理解するための基礎概念を学ぶ。
- ・身の回りの現象を化学的に考察するための素養を身につける。

**【概要】** 原子の構造、電子配置、元素の性質と周期表、イオン結合と共有結合、混成軌道の概念、電子対反発理論と分子構造、化学反応とエネルギー、化学反応と速度について学ぶ。物質の三態（気体、液体、固体）および溶液状態の性質を、分子間相互作用の観点から理解するための基本事項を習得する。これらの基礎を踏まえて、日常生活における身近な現象を化学の視点から考察する素養を身につける。授業の一部として化学実験室での実験を行う場合がある。

#### 461407 生物学概論

##### 【到達目標】

- ・生命現象に関する基礎的知識を体系的に習得する。
- ・生物学の視点から生命現象を統一的に理解する。
- ・実験を通して知識を実感の伴ったものとして身につける。

**【概要】** 生命現象について、さまざまな生物に共通する側面に重点をおいて、基礎的知識の習得をめざす。そのことにより関連科目の理解を容易にする。講義内容としては、生命とは何か、細胞の構造と分裂、物質代謝、呼吸と光合成、生殖と発生、環境に対する反応と調節、遺伝と分子生物学、自然淘汰による適応進化、生物の系統分類など、広範な話題をとり

あげるが、他の専門科目でとりあげる内容については簡潔な解説にとどめる。講義に加えて数回の実験を行う。

#### 461408 物理学概論

##### 【到達目標】

- ・空間1次元からはじめて3次元まで一般化した、運動の基本法則、および保存則とはどういうものか、力学の原理を理解する。
- ・物理を理解する上で必要な物理数学に親しむ。
- ・物理学の重要な概念である振動および波動の基本的な理解を得る。

**【概要】** 自然現象を基本法則に基づいて理解する物理学の原理について解説する。力学の基本法則が微分積分を用いて簡潔に表現されることについて学ぶ。最初に1次元の運動からスタートし、これを3次元へと拡張する。物体が受ける力による運動の変化や、保存則の意義について掘り下げる。物理数学についても基礎的なことを一通り触れる。また、波動の基本的な取り扱いについても説明する。物理学が日常の現象から微視的な世界、そして無限の宇宙までを説明する科学の根本にあることを理解し、その基礎となる力学の考え方になじむことを目指す。

#### 461409 電磁気学

##### 【到達目標】

- ・静止している電荷、すなわち静電気によるクーロン力、電場、電位、静電エネルギーについて理解を深める。
- ・電流が生成する磁気の多様な特性を理解する。
- ・マクスウェル方程式から電磁波（光）の存在が導かれることを理解する。

**【概要】** 電磁気学の基本について解説する。まずは、静止している電荷、つまり静電気が引き起こすクーロン力やそれが生み出す電場について探求する。さらに、電場が生み出す位置エネルギー、つまり電位と静電エネルギーについて説明する。その後、電荷の動き、すなわち電流が生み出す磁場について議論する。最後に、全ての電磁気学の法則が一つに集まったマクスウェルの方程式から電磁波（光）の存在が派生することについて、時間が許す限り解説する。

#### 461410 量子力学（基礎）

##### 【到達目標】

- ・現代物理学の重要な柱である量子力学の基本的な概念と考え方を理解し、身につける。
- ・量子力学の中心的な方程式であるシュレディンガー方程式の意味と適用方法を理解する。

**【概要】** この科目では、現代物理学の大きな柱のひとつである量子力学を、初歩的なレベルから解説する。原子や分子の微視的な世界では、光のように伝統的に波とみなされてきた

ものが粒子性を示し、反対に電子のような粒子とみなされてきたものが波の性質を示すという現象を解説する。量子力学の基本的な運動方程式であるシュレディンガー方程式の導出を行い、この方程式を用いてエネルギーが離散的になる束縛状態や、トンネル効果といった量子力学独特の現象が発生することを説明する。

#### 461411 熱・統計力学

##### 【到達目標】

- ・熱力学の基本的な概念を理解し、習得する。
- ・統計力学の基本的な概念を理解し、習得する。

**【概要】** 物理学の重要な分野である熱力学と統計力学について、その基本的な概念と要点を紹介する。はじめに熱力学について、相加変数を基本的な変数に取ることによって、相転移があっても破綻しない堅固な論理構成を、単純系だけでなく複合系にも適用できる一般的な原理を通じて紹介する。現実の物質が大量の原子や分子の集合体であるために統計的性質が現れること、そしてその統計的手法を用いて温度、圧力、磁化などの物質の多様な特性（物性）について議論する方法を学ぶことを目指す。

#### 461412 数理生物学

##### 【到達目標】

- ・生物学における数理的手法の考え方を理解する。
- ・基礎的・代表的な数理モデルを理解する。
- ・数理モデルを用いた基本的な計算ができる。

**【概要】** 数理生物学は、数理モデルの構築、解析、計算機シミュレーションなどによって生命現象を研究する分野である。講義内容は、動植物の行動や分布、個体数変動、種間関係、生物群集・生態系の挙動、進化過程などのマクロ生物学の分野、および生物個体内部で起きる生化学的反応の分子機構、個体発生の機構、神経ネットワークの機能などのマイクロ生物学の分野から取り上げ、数理モデルおよびモデル構築に必要な数学について講義および演習を行う。

#### 461413 解析学Ⅱ

##### 【到達目標】

- ・バナッハ空間の基本的な性質を理解する。
- ・ヒルベルト空間の基本的な性質を理解する。
- ・関数解析の理論を解析学の問題に応用する方法を身につける。

**【概要】** 解析学を数理科学へ応用する際に重要な関数解析学の基本的な事項について講義する。関数解析とは、線形代数や距離空間を始めとする様々な幾何学的な考え方を、適当な条件を満たす関数全体の作る集合（関数空間）において展開する理論である。この授業では、

バナッハ空間やヒルベルト空間などの関数解析の基本概念を導入して、基本的な理論を解説し、更にその理論を簡単な関数方程式の解の解析に応用するなど、具体例を通して関数解析の考え方に親しむ。

#### 461414 応用解析学 A

##### 【到達目標】

- ・複素数とその平面上の表示について理解し、平面幾何への応用力を身につける。
- ・正則関数の定義とその判定法について理解し、種々の関数に適用する力を身につける。
- ・複素数を変数とする初等関数の写像としての性質について理解し、運用能力を身につける。
- ・コーシーの定理や留数定理など複素関数論の基礎となる定理の証明と意味を正確に理解する。
- ・複素数を変数とするべき級数について正確に理解し、運用能力を身につける。

**【概要】** 複素数の世界での微分と積分についての基礎的な事項について講義する。まず複素数と複素平面についての基本事項を述べ、複素数の数式による表現とその幾何学的な意味について学ぶ。それを基礎として、今まで実数の世界で考えてきた多項式、指数関数、三角関数などの初等関数を複素数の世界へ拡張する。これらの関数は複素数の世界でも微分可能な関数、すなわち正則関数になっていることを理解する。さらに正則性の判法、正則関数による写像、べき級数で定義される正則関数などについて学ぶ。

#### 461415 応用解析学 B

##### 【到達目標】

- ・関数の近似法、関数のノルム、種々の関数空間などを、簡単な具体例について理解する。
- ・関数解析を関数方程式の解析に応用する方法の基本を理解する。
- ・関数の作る具体的な関数空間の性質を理解する。
- ・周期関数のフーリエ級数展開について正確に理解し計算できる力を身につける。

**【概要】** 関数解析の理論と、関数解析の理論を微分方程式や積分方程式などの解析に応用するための具体的な手法を学ぶ。フーリエ解析を通して、解析学を他分野へ応用するための基本的手法について学ぶ。特に、関数解析学の基礎理論を簡単な関数方程式の解の解析に応用することなどを学ぶ。周期関数のフーリエ級数展開について正確に理解して計算できる力を身につけることも含め、具体的計算演習を通して他分野へ応用するための基本的手法を確かなものにする。

#### 461416 代数学Ⅲ

##### 【到達目標】

- ・多項式環から体の拡大が構成できることを理解し、単純拡大の例について、剰余環を經由

した四則演算など、基本的な計算が行える。

- ・代数拡大の基本的な性質を理解し、多項式の最小分解体の存在と原理的な構成法を習得する。
- ・正標数の素体の代数拡大として有限体を理解し、原始元の存在や有限体間の包含関係など、有限体に関する基本事項を習得するとともに、簡単な具体例について、これらの事項について、計算を実行できるようになる。

**【概要】** 体の理論について、基礎から解説する。可換環のうち、零元以外の元が積に関して可逆元であるものが体である。有理数体および素数位数の有限体を基礎体として議論の出発点とし、基礎体上の多項式環と環の準同型定理を用いて、体の拡大が構成できることを示し、代数拡大と同型写像、代数閉包の存在と一意性など、体の拡大に関する一般論を展開する。そして、情報科学において重要となる有限体について、その構成法や構造、そして一意性について解説する。

#### 461417 代数学特論

##### 【到達目標】

- ・この授業で解説される数学的対象を正確に理解し、いくつかの実例について、定義条件を満たしているか確認できる。
- ・この授業で解説される様々な概念や性質を理解し、与えられた具体例に対し、解説された内容について定義に基づいて吟味できる。
- ・この授業で解説される様々な概念や性質について、その数学的意義を理解し、そこから導かれる基本事項について、正しく推論し、必要ならば証明を与えられる。

**【概要】** この授業では、代数学における群論、環論、体論や、それら複数の分野にまたがる話題から一つ選び、発展的な内容について、解説していく。解説するテーマは年度によって異なる。具体的には、群論に関わる分野からは群の作用と表現、環論に関わる分野からは加群論入門や多元代数入門、体論とそれに関わる分野からはデデキント環や二次体の整数論、表現論に関わる分野からはリー群とリー代数や圏論入門などからテーマを選んで解説する。

#### 461418 幾何学 I

##### 【到達目標】

- ・トポロジーの諸概念について、基礎的な知識を習得する。
- ・オイラーの多面体定理、及び正多面体の分類定理を理解する。
- ・多様体の概念についての基礎的な知識を習得し、特にコンパクト曲面の分類定理を理解する。

**【概要】** 図形を切ったり貼ったりせず連続的に変形しても不変な性質を調べる幾何学である、トポロジー(位相幾何学)と呼ばれる現代の数学の視覚的かつ直観的な入門講義を行なう。具体的には、我々のまわりに満ち溢れている様々な図形が思いもかけない深いトポロジ的

性質を持つことを幾つかの話題を通して理解することを目標として、同相写像の概念、オイラーの多面体定理と正多面体の分類、多様体の概念とコンパクト曲面の分類定理を題材として取り上げ、トポロジーの発想及び数学的理論を通して、柔軟な思考力と論理的な考察力の双方を養う。

#### 461419 幾何学Ⅱ

##### 【到達目標】

- ・多様体の概念とそのアイデアを、ユークリッド空間との違いを意識して理解する。
- ・現実には生じる幾何学的現象において、多様体が自然に現れることを認識する。
- ・多様体の理論の諸概念、及び標準的内容を身に付ける。

**【概要】** 多様体とは、大雑把に言えば局所的にユークリッド空間であるような図形のこと、現代の数学、特に幾何学における主要な対象のひとつである。この科目では、多様体をめぐる現代の幾何学の基礎分野から適宜話題を選び、その標準的な内容についての解説を行なう。具体的には、多様体の概念を考えるそのアイデアと、現実的に生じる種々の幾何学的問題から派生する研究の動機、課題と目標を理解することを目標に、その基本的な事項及び理論の発展と応用について、詳しい説明を行なう。

#### 461420 相対性理論

##### 【到達目標】

- ・相対性理論の考え方に触れ、走ると物体の長さが縮み、時計が遅れる等の、相対性理論特有の現象がいかんにして導かれるのかを理解する。
- ・もう一つの帰結として、物質がエネルギーに変わり得ること、それが太陽の発する莫大なエネルギーの起源であることを理解する。
- ・一般相対論の基礎に触れる。

**【概要】** 相対性理論について講義する。相対性理論によると光速度は観測者によらず一定である。この光速不変性から、運動すると時計が遅れるといった、一見不思議な結論が得られることを解説する。その際、観測者に依り時間・空間座標がどう変換されるかを記述する「ローレンツ変換」を導出する。また、質量とエネルギーの等価性とその帰結についても議論する。時間の許す限り一般相対性理論にも触れる。一般相対論については、基礎的な定式化については講義で取り扱う予定。可能であればブラックホールや宇宙論などにも触れる。

#### 461421 量子力学（発展）

##### 【到達目標】

- ・量子力学における対称性がユニタリ変換で表されることを理解し、それを空間並進、時間並進、ガリレイ・ブーストなど具体的な対称性について深める。
- ・水素原子を例として二体系の量子力学的あつかいを理解し、これに関連する重要な概念を

習得する。

- ・回転対称性とスピン、角運動量多重項と角運動量の合成について習得する。この過程で、ボソンとフェルミオンの違いも理解する。

**【概要】** はじめに量子力学における対称性について学ぶ。これにはユニタリ変換、空間並進、時間並進、対称性と保存量、時間反転、ガリレイ・ブーストなどが含まれる。次に、二体系、特に水素原子のモデルを見る。この過程で時間に依らないシュレディンガー方程式、中心ポテンシャル、ラプラシアン、動径方向と角度方向の変数分離などの概念を習得する。最後に回転対称性とスピン、角運動量多重項と角運動量の合成について習得する。この過程で、ボソンとフェルミオンの違いも理解することが期待される。時間があれば、摂動、変分法などについても触れる。

#### 461422 物理化学

##### 【到達目標】

- ・熱力学の基本概念を習得する。
- ・熱力学の化学への応用を学ぶ。
- ・自然現象を自由エネルギーの観点から考察するための基礎学力を身につける。

**【概要】** 熱力学の化学への応用を学ぶ。熱力学第一法則と第二法則の基本事項から始め、仕事と熱、状態量、示量変数と示強変数、エンタルピー、エントロピー、自由エネルギー、化学ポテンシャルといった概念を学ぶ。これらによって、化学反応の方向や釣り合い（平衡定数）を記述する考え方の基礎を習得する。さらに、目に見えない分子の微視的な挙動が、巨視的な現象とどのように結び付くかを考察する。授業の一部として化学実験室での実験を行う場合がある。

#### 461423 現代生物学 A

##### 【到達目標】

- ・生態学に関する基礎的知識を習得する。
- ・生命現象を個体レベル以上で捉える考え方を理解する。
- ・生態学研究で用いられる基本的な計算ができる。

**【概要】** この科目では、マクロ生物学の分野から生態学を学ぶ。生態学は、生命現象を個体群、群集、生態系など、個体レベル以上で捉え、研究する分野である。講義内容としては、個体群（個体群構造、個体数変動とそのメカニズムなど）、種間関係（競争と共存、捕食・被捕食、寄生など）、生物群集（ニッチ、群集構成、群集多様性など）、生態系（構造、食物網、エネルギー流、物質循環、地球上にみられる多様な生態系の特徴と分布）などの話題をとりあげる。

## 461424 現代生物学 B

### 【到達目標】

- ・生命現象を化学の視点から理解する。
- ・核酸やタンパク質などの情報高分子の構造と機能等、分子生物学の基礎を習得する。
- ・遺伝子工学の成果の適用などについて科学的に理解する。

**【概要】** この科目では、ミクロ生物学の分野から分子生物学を学ぶ。生命現象を分子レベルで解明しようとする分子生物学について、基礎的な内容の解説を行う。多くの生体分子は、比較的単純な単位の分子が長くつながって組み立てられた高分子である。核酸やタンパク質などの情報高分子について、化学の視点からその構造や特性について学ぶ。さらに、それらを介した遺伝情報の複製や伝達機構等について学ぶ。また、分子生物学の進歩により発達してきた遺伝子工学など、最新の研究成果にも触れる。

## 461425 量子化学

### 【到達目標】

- ・量子力学の基本概念を習得する。
- ・量子力学の化学への応用を学ぶ。
- ・化学現象を電子の振舞いから考察するための基礎学力を身につける。

**【概要】** 量子力学の化学への応用を学ぶ。基礎事項として、プランクの輻射式、光電効果、水素原子のボーアモデル、ド・ブロイ波、シュレーディンガー方程式について学ぶ。化学への応用として、共役系色素分子の箱型ポテンシャルモデル、原子オービタル、分子軌道法、分子と光の相互作用、ヒュッケル近似などを学ぶ。これらにより、化学現象を微視的な観点から考察するための考え方の基礎を習得する。授業の一部として化学実験室での実験を行う場合がある。

## ■基盤演習

## 461501 1年次演習

### 【到達目標】

- ・プログラミングの基本的な概念を理解する。
- ・数学に関連するソフトウェアの基本的な使用法を習得する。
- ・レポート作成のマナー、文献調査方法、著作権等の扱い、プレゼンテーションなど、知的思考活動における基本的能力を身に付ける。

**【概要】** 情報数理科学の素養を育むための初年次教育を行う。プログラミングの基本的な概念を解説し、簡単なプログラムの作成実習を通じてプログラミングの実践を経験する。また、数学的内容を含むアカデミックなレポートを作成するためのライティング技術、文献調査方法と著作権、数学的内容に関するプレゼンテーション、数学関連ソフトウェアの基本的

な使用法などについても扱い、情報数理学を学ぶために必要な論理的思考力と技法を習得する。

## ■ 講究

### 461601 情報数理学講究 1

#### 【到達目標】

- ・内容を丹念に確かめながら自主的にテキストを読み、正確に理解する能力を身につける。
- ・テキストや課題の内容を正確に表現し、分かりやすく解説するプレゼンテーション能力を身につける。
- ・情報科学、AI・データサイエンス、数理学における特定のテーマに関する基礎的な手法を学び、問題を解決する力を養い、情報数理学講究 2 につなげて行く。

【概要】 それぞれの分野での 3 年次までの学習の集大成として、テキストの輪読や問題演習、学問的な討論などを通して、理解を深め、引き続いて開講される情報数理学講究 2 につなげて行く。担当教員のゼミに所属し、その中で学生が主体的に学習を進め、学習してきた内容をゼミの中で説明し、担当教員やゼミ参加者たちとの討論を通して理解を深めてゆく。これらの学習を通じて、計画の立案や問題解決のために必要となる能力、プレゼンテーション能力を養う。

### 461602 情報数理学講究 2

#### 【到達目標】

- ・内容を丹念に確かめながら自主的にテキストを読み、正確に理解する能力を身につける。
- ・テキストや課題の内容を正確に表現し、分かりやすく解説するプレゼンテーション能力を身につける。
- ・情報数理学講究 1 に続いて、情報科学、AI・データサイエンス、数理学における特定のテーマに関する応用力を身につけ、問題解決力を養う。

【概要】 それぞれの分野での 3 年次までの学習の集大成として、情報数理学講究 1 で学んだことを踏まえ、テキストの輪読や問題演習、学問的な討論などを通して、理解をさらに深める。学生が主体的に学習を進め、学習してきた内容をゼミの中で説明し、担当教員やゼミ参加者たちとの討論を通して理解を深めてゆく。最後に研究してきた成果を卒業研究としてまとめる。これらの学習を通じて、計画の立案や問題解決のために必要となる能力、プレゼンテーション能力を養う。