

(案)

数理・データサイエンス・AI
(応用基礎レベル)
モデルカリキュラム
～ AI×データ活用の実践 ～

2021年2月

数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアム

目次

I	はじめに	P 3
II	数理・データサイエンス・AI 応用基礎レベルの教育の基本的考え方	P 5
III	数理・データサイエンス・AI 応用基礎レベルのモデルカリキュラム	P10
	1. データサイエンス基礎	
	2. データエンジニアリング基礎	
	3. AI基礎	
IV	数理・データサイエンス・AI 応用基礎レベルの教育方法	P23
V	参考資料	P28

I はじめに

はじめに

インターネットの社会への広範囲な浸透、情報通信・計測技術の飛躍的発展によって、従来とは質・量ともに全く異なるビッグデータが産み出されるようになった。ビッグデータや人工知能（ＡＩ）技術の活用領域は予測、意思決定、異常検出、自動化、最適化など多岐に亘って急速に拡大しており、自動運転、画像認識、医療診断、防犯、コンピュータゲームなど、従来の社会システムの在り方を大きく変えつつある例は枚挙に暇がない。近年は、ビッグデータやＡＩの利活用に関し、米国や中国の巨大企業等を中心とした競争が激化しており、国内外の経済成長の要因も従来の労働力・資本・技術革新から、データから価値を生み出す産業領域へと大きくシフトしている。

政府の「ＡＩ戦略 2019」（令和元年6月統合イノベーション戦略推進会議決定）では、「我が国が、人口比ベースで、世界で最もＡＩ時代に対応した人材の育成を行い、世界から人材を呼び込む国となること。さらに、それを持続的に実現されるための仕組みが構築されること」が第一の戦略目標とされた。同戦略を受け、本コンソーシアムでは、文理を問わず、全ての大学・高専生（約50万人卒／年）を対象とした「数理・データサイエンス・ＡＩ（リテラシーレベル）モデルカリキュラム ～データ思考の涵養～」を2020年4月に策定・公表した。この度策定したモデルカリキュラム（応用基礎レベル）は、リテラシーレベルの教育を補完的・発展的に学修することにより、「文理を問わず、一定規模の大学・高専生（約 25 万人卒/年）が、自らの専門分野への数理・データサイエンス・ＡＩの応用基礎力を習得」（ＡＩ戦略2019）することを目標としている。

本コンソーシアムでは、国公立大学、産業界の有識者からなる「モデルカリキュラム（応用基礎レベル）全国展開に関する特別委員会」を設置し、企業が求める人材像や大学への要望等も伺いながら、応用基礎レベルの教育について検討を進めてきた。デジタル・トランスフォーメーション（DX）が各業界に変化をもたらし、国を挙げてデジタル改革が進捗する中、ＡＩがどのような未来を引き起こすのかを理解すること、データ・ＡＩの活用を実践するための基礎を獲得することは、あらゆる領域において必要であり、多くの大学・高専生が獲得すべき重要な素養であると考えている。各大学・高専において、数理・データサイエンス・ＡＩの知識を様々な専門分野へ応用・活用し（データ×ＡＩ×専門分野）、現実の課題解決、価値創造を担う人材を幅広く育成していくことが必要である。

本報告書では、応用基礎レベルの教育の基本的考え方、学修目標・スキルセット、教育方法等を取りまとめている。各大学・高専におけるカリキュラムの具体化に当たり参照して頂ければ幸いである。その際、これに倣い追加的に独立した数理・データサイエンス・ＡＩ教育を用意するということではなく、各大学・高専が主体的にカリキュラムを検証し、専門科目との融合等を図ることを求めたい。また、応用基礎レベルの教育の趣旨に照らし、実データ、実課題を用いた演習など、社会での実例を題材とした教育を行うことを強く推奨する。今後、本コンソーシアムでは、教育に活用可能な実データ等の収集、モデルカリキュラムに対応した教材の開発・公開等に継続的に取り組むとともに、ワークショップ等の活動を通じて各大学・高専と連携・協力し、数理・データサイエンス・AI教育の普及・展開を推進したい。

数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアム

Ⅱ 数理・データサイエンス・AI 応用基礎レベルの教育の基本的考え方

数理・データサイエンス・AI 応用基礎レベルの教育の基本的考え方

世界ではデジタル化が不可逆的に進み、社会・産業の転換が大きく進んでいる。「数理・データサイエンス・AI」は、今後のデジタル社会の基礎知識（いわゆる「読み・書き・そろばん」的な素養）として捉えられ、大学・高専の全ての学生が身に付けておくべき素養である。2020年4月に公表した「数理・データサイエンス・AI（リテラシーレベル）モデルカリキュラム ～データ思考の涵養～」では、数理・データサイエンス・AIを「全ての学生が、今後の社会で活躍するにあたって学び身に付けるべき、新たな時代の教養教育と言うべきもの」とし、活用することの「楽しさ」や「学ぶことの意義」を重点的に教えることなどを基本的考え方として示した。

本モデルカリキュラム（応用基礎レベル）では、応用基礎レベルの教育を**リテラシーレベルの教育と専門教育とを繋ぐ「ブリッジ教育」**として位置づけている。今後のデジタル社会において、基礎的な数理的素養、領域を超えて繋ぎデザインする力は、専門分野を問わず修得することが期待される。特にAIがどのような未来を引き起こすのかを理解した上で、数理・データサイエンス・AIの知識を様々な専門分野へ応用・活用し（AI×専門分野）、現実の課題解決、価値創造を担う人材を幅広く育成することが必要である。

これを基本として、「数理・データサイエンス・AI教育（応用基礎レベル）の学修目標」、「数理・データサイエンス・AI教育（応用基礎レベル）のカリキュラム実施にあたっての基本的考え方」を以下に取りまとめた。

<数理・データサイエンス・AI教育（応用基礎レベル）の学修目標>

数理・データサイエンス・AI教育（リテラシーレベル）の教育を補完的・発展的に学び、**データから意味を抽出し、現場にフィードバックする能力、AIを活用し課題解決につなげる基礎能力**を修得すること。そして、**自らの専門分野に数理・データサイエンス・AIを応用するための大局的な視点**を獲得すること。

【参考：数理・データサイエンス・AI教育（リテラシーレベル）の学修目標】

今後のデジタル社会において、数理・データサイエンス・AIを日常生活、仕事等の場で使いこなすことができる基礎的素養を主体的に身に付けること。そして、学修した数理・データサイエンス・AIに関する知識・技能をもとに、これらを扱う際には、人間中心の適切な判断ができ、不安なく自らの意志でAI等の恩恵を享受し、これらを説明し、活用できるようになること。

数理・データサイエンス・AI 応用基礎レベルの教育の基本的考え方

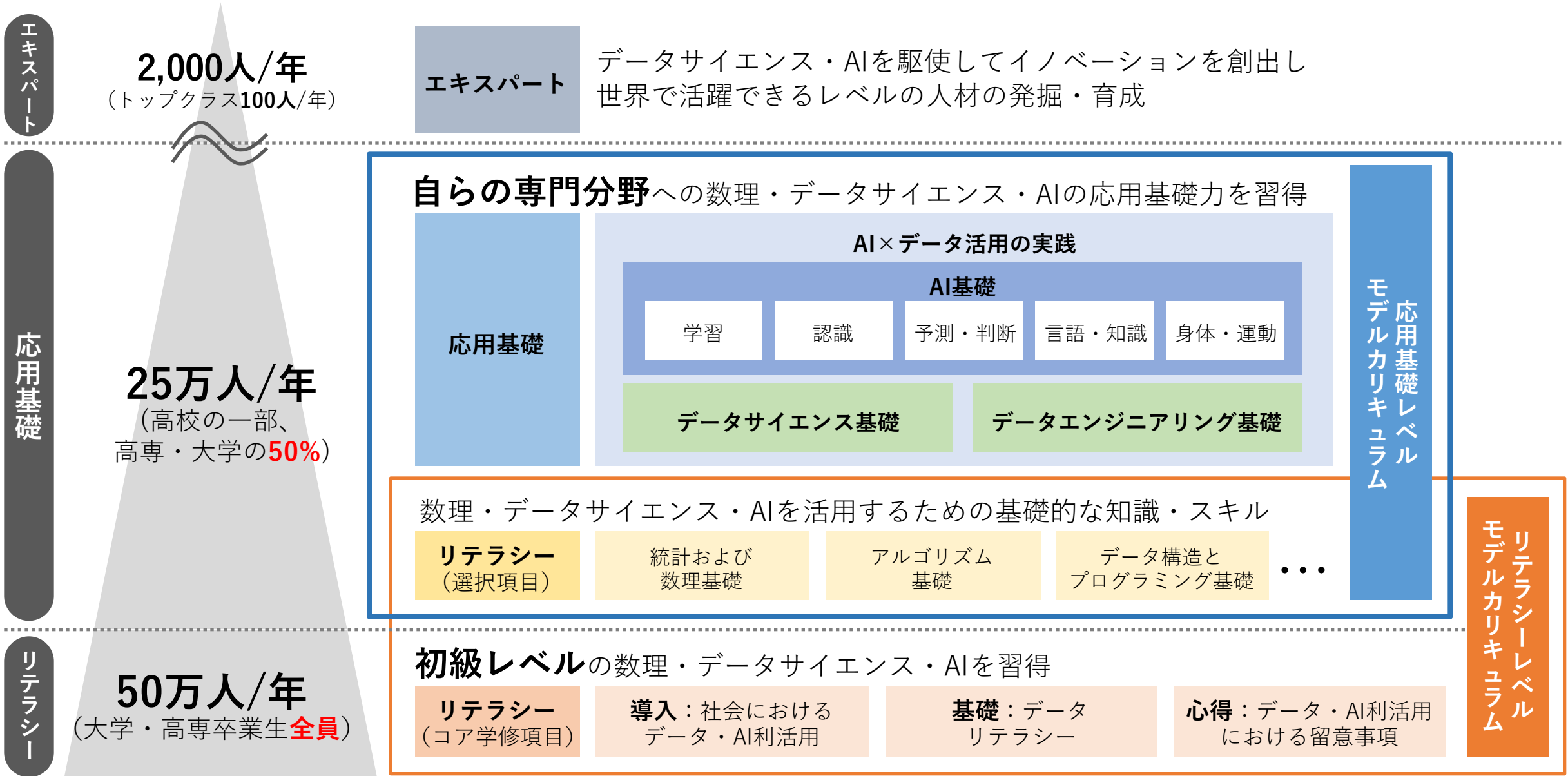
＜数理・データサイエンス・AI教育（応用基礎レベル）のカリキュラム実施にあたっての基本的考え方＞

- ① 基礎的な数理的素養を含め**リテラシーレベルの「選択（オプション）」をカバーする内容**としたうえで、データサイエンス、データエンジニアリング、AIに関する知識・スキルを適切に補強することにより、**自らの専門分野において数理・データサイエンス・AIを応用するための大局的な視点**を身に付ける。
- ② 実データ、実課題を用いた演習など、**社会での実例**を題材とした教育を行うことで、現実の課題へのアプローチ方法および数理・データサイエンス・AIの適切な活用法を学ぶことを組み入れる。
- ③ 主に**学部3、4年を想定**しつつ、個々の大学の実情、専門分野や進路等の多様性、意欲・能力のある学生の学修機会の確保を考慮し、柔軟にカリキュラムを設計する。
- ④ 各大学・高専においてカリキュラムを実施するにあたっては、各大学・高専の教育目的、分野の特性、個々の学生の学習歴や習熟度合い等に応じて、本モデルカリキュラムの中から適切かつ柔軟に**選択・抽出し、有機性を考慮した教育を行う**。
- ⑤ 各専門分野の特性に応じた**演習やPBL等**を効果的に組み入れることにより、実践的スキルの習得を目指すことを推奨する。

なお、各大学・高専においては、本モデルカリキュラムに倣い追加的に独立した数理・データサイエンス・AI教育を用意するということではなく、各大学・高専が主体的にカリキュラムを検証し、専門科目との融合等を図ることが求められる。加えて、オンライン授業のメリットを活かすなど、ウィズコロナ・アフターコロナにおける教育内容・方法の工夫や新たな可能性を模索することが期待される。

また、本モデルカリキュラムは、高等学校学習指導要領の改訂やリテラシーレベルの教育の進展、社会環境や求められる人材像の変化などを踏まえ、概ね**4年後を目途に見直し**を行う。

数理・データサイエンス・AI（応用基礎レベル）の位置づけ



数理・データサイエンス・AI 応用基礎レベルの学修内容と教育方法

応用基礎レベルの学修内容

- データサイエンスおよびデータエンジニアリングの基本的な概念と手法、応用例を学ぶことで、
データから意味を抽出し、現場にフィードバックするための方法を理解する
- AIの基本的な概念と手法、応用例を学ぶことで、**AI技術を活用し課題解決につなげるとは何かを理解する**

応用基礎レベルの推奨される教育方法

- データサイエンス、データエンジニアリング、AIを学ぶ過程において、**演習や課題解決型学習（PBL：Project Based Learning）**等を効果的に組み入れることにより、**実践的スキルの習得**を目指す

学修内容

AI基礎

学習

認識

予測・判断

言語・知識

身体・運動

データサイエンス
基礎

データエンジニアリング
基礎

×

推奨される教育方法

AI・データサイエンス実践 (演習や課題解決型学習)

- 各大学・高専の教育目的、分野の特性に応じた
適切なテーマ設定
- **社会での実例**（実課題および実データ）を
題材とした演習
- 学生自身が実際に手を動かして**AIを体験**

Ⅲ 数理・データサイエンス・AI 応用基礎レベルのモデルカリキュラム

応用基礎レベル モデルカリキュラムの構成

- モデルカリキュラムの構成を以下のとおり「データサイエンス基礎」「データエンジニアリング基礎」「AI基礎」に分類し、学修項目を体系的に示した。
- ☆はコア学修項目として位置付ける。それ以外の項目は各大学・高専の教育目的、分野の特性に応じて、適切に選択頂くことを想定している。
- 次頁よりそれぞれの分類における「学修目標」「学修内容」「スキルセット（キーワード）」をまとめた。
また応用基礎レベルを超える内容ではあるが、より高度な内容を学修する場合に備え、参考として「オプション（高度な内容）」を記載した。

数理・データサイエンス・AI（応用基礎レベル）モデルカリキュラム ～ AI×データ活用の実践 ～

3. AI基礎

3-1. AIの歴史と応用分野（☆）

3-2. AIと社会（☆）

3-3. 機械学習の基礎と展望（☆）

3-4. 深層学習の基礎と展望（☆）

3-5. 認識

3-6. 予測・判断

3-7. 言語・知識

3-8. 身体・運動

3-9. AIの構築と運用（☆）

1. データサイエンス基礎

1-1. データ駆動型社会とデータサイエンス（☆）

1-2. 分析設計（☆）

1-3. データ観察

1-4. データ分析

1-5. データ可視化

1-6. 数学基礎

1-7. アルゴリズム

2. データエンジニアリング基礎

2-1. ビッグデータとデータエンジニアリング（☆）

2-2. データ表現（☆）

2-3. データ収集

2-4. データベース

2-5. データ加工

2-6. ITセキュリティ

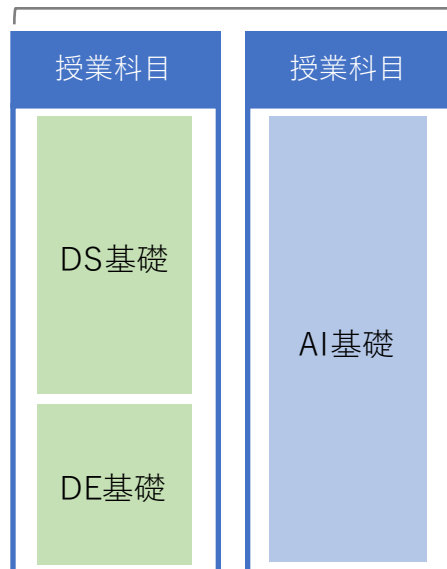
2-7. プログラミング基礎

応用基礎レベル モデルカリキュラムの活用イメージ

- 各大学・高専の教育目的、分野の特性、個々の学生の学習歴や習熟度合い等に応じて、本モデルカリキュラムの中から**適切かつ柔軟に選択・抽出、有機性を考慮**
- データサイエンス基礎、データエンジニアリング基礎等の**順序は固定されたものでなく**、各大学・高専の創意工夫によるカリキュラム編成が可能
- 学生が**自らの専門分野**へ数理・データサイエンス・AIを応用することを見据え、学修項目を適切に選択・抽出することを期待
- 既存のカリキュラムで必要な知識・スキルを十分に習得できている学修項目については、**既存のカリキュラムで読み替え可能**
- 応用基礎レベルの学修量は概ね**4単位相当**程度を想定しているが、各大学・高専の実情に応じて柔軟な設計が可能

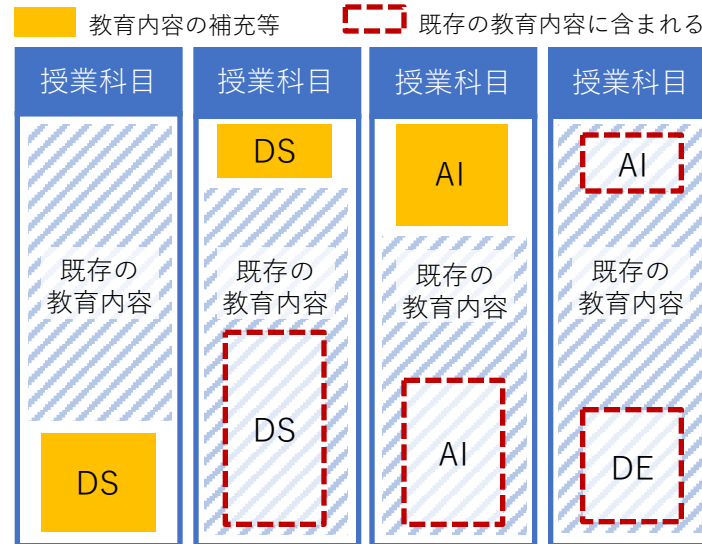
ケース1. 2~3の独立した授業科目で応用基礎レベルの教育を学生が履修

2科目で構成する例



ケース2. 複数の（既存の）授業科目で応用基礎レベルの教育を学生が履修

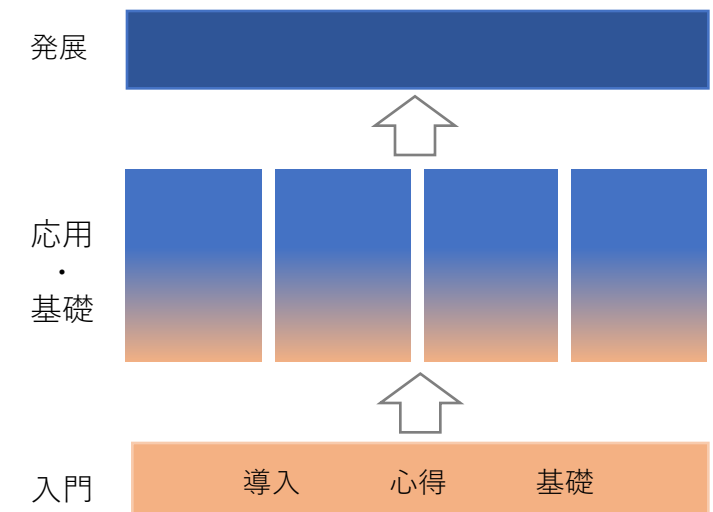
4科目（既存）を活用した例



* 数理・データサイエンス・AI（応用基礎レベル）の履修をディプロマポリシー、カリキュラムポリシーで明確に位置付けていくことが望ましい

ケース3. 大学独自の体系的な教育プログラムの一部として応用基礎レベルの教育を学生が履修

○○○○プログラム



■ 応用基礎レベルの教育内容

これらは考えられるケースの例示であり、自律的な教育改善を図りつつ、**各大学・高専の創意工夫による多様な教育**が展開されることを期待

数理・データサイエンス・AI

リテラシーレベル選択項目と応用基礎レベル学修項目の対応

リテラシーレベル モデルカリキュラム

導入	1. 社会におけるデータ・AI利活用
基礎	2. データリテラシー
心得	3. データ・AI利活用における留意事項
選択	4-1. 統計および数理基礎
	4-2. アルゴリズム基礎
	4-3. データ構造とプログラミング基礎
	4-4. 時系列データ解析
	4-5. テキスト解析
	4-6. 画像解析
	4-7. データハンドリング
	4-8. データ活用実践（教師あり学習）
	4-9. データ活用実践（教師なし学習）

応用基礎レベル モデルカリキュラム

1. データサイエンス 基礎	1-1. データ駆動型社会とデータサイエンス 1-2. 分析設計 1-3. データ観察 1-4. データ分析 1-5. データ可視化 1-6. 数学基礎 1-7. アルゴリズム
2. データエンジニアリング 基礎	2-1. ビッグデータとデータエンジニアリング 2-2. データ表現 2-3. データ収集 2-4. データベース 2-5. データ加工 2-6. ITセキュリティ 2-7. プログラミング基礎
3. AI基礎	3-1. AIの歴史と応用分野 3-2. AIと社会 3-3. 機械学習の基礎と展望 3-4. 深層学習の基礎と展望 3-5. 認識 3-6. 予測・判断 3-7. 言語・知識 3-8. 身体・運動 3-9. AIの構築と運用

1. データサイエンス基礎

○学修目標

- ・データ駆動型社会においてデータサイエンスを学ぶことの意義を理解する（☆）
- ・分析目的に応じ、適切なデータ分析手法、データ可視化手法を選択できる（☆）
- ・収集したデータを観察し、データの重複や欠損に気付くことができる
- ・予測やグルーピング、パターン発見などのデータ分析を実施できる
- ・データを可視化し、意味合いを導出することができる
- ・データを活用した一連のプロセスを体験し、データ利活用の流れ（進め方）を理解する
例）仮説検証、知識発見、原因究明、計画策定、判断支援、活動代替など
- ・仮説や既知の問題が与えられた中で、必要なデータにあたりをつけ、データを分析できる
- ・分析結果を元に、起きている事象の背景や意味合いを理解できる

1. データサイエンス基礎	学修内容
1-1. データ駆動型社会とデータサイエンス（☆）	データ駆動型社会とデータサイエンスの関連性について学ぶ
1-2. 分析設計（☆）	データ分析の進め方およびデータ分析の設計方法を学ぶ
1-3. データ観察	収集したデータの観察方法を学ぶ
1-4. データ分析	典型的なデータ分析手法を学ぶ
1-5. データ可視化	典型的なデータ可視化手法を学ぶ
1-6. 数学基礎	データ・AI利活用に必要な確率統計、線形代数、微分積分の基礎を学ぶ
1-7. アルゴリズム	データ・AI利活用に必要なアルゴリズムの基礎を学ぶ

☆：コア学修項目

1. データサイエンス基礎

学修項目	キーワード（知識・スキル）	オプション（高度な内容）
1-1. データ駆動型社会とデータサイエンス（☆）	・ データ駆動型社会、Society 5.0 ・ データサイエンス活用事例（仮説検証、知識発見、原因究明、計画策定、判断支援、活動代替など） ・ データを活用した新しいビジネスモデル	
1-2. 分析設計（☆）	・ データ分析の進め方、仮説検証サイクル ・ 分析目的の設定 ・ 様々なデータ分析手法（回帰、分類、クラスタリングなど） ・ 様々なデータ可視化手法（比較、構成、分布、変化など） ・ データの収集、加工、分割/統合	・ 分析目的に応じた適切な調査（標本調査、標本誤差） ・ ランダム化比較試験、実験計画法
1-3. データ観察	・ データの集計、比較対象の設定、クロス集計表 ・ データのバラツキ、ヒストグラム、散布図 ・ データの特異点、相違性、傾向性、関連性	
1-4. データ分析	・ 単回帰分析、重回帰分析、最小二乗法 ・ ロジスティック回帰分析、最尤法 ・ 時系列データ、時系列グラフ、周期性、移動平均 ・ クラスタ分析、デンドログラム ・ パターン発見、Apriori、リフト値	・ 主成分分析、次元削減 ・ 連続最適化問題、組み合わせ最適化問題 ・ ナップサック問題、巡回セールスマン問題
1-5. データ可視化	・ 可視化目的（比較、構成、分布、変化など）に応じた図表化 ・ 1～3次元の図表化（棒グラフ、折線グラフ、散布図、積み上げ縦棒グラフ、散布図行列、ヒートマップなど） ・ 適切な縦軸、横軸候補の洗い出し ・ 不必要な誇張表現、強調表現がもたらす影響	・ ビッグデータの可視化 ・ 関係性の可視化（ネットワーク構造、グラフ構造、階層構造） ・ 地図上の可視化、地理情報システム（GIS） ・ 挙動・軌跡の可視化 ・ ダイナミックな可視化、リアルタイム可視化

1. データサイエンス基礎

学修項目	キーワード（知識・スキル）	オプション（高度な内容）
1-6. 数学基礎	・ 順列、組合せ、集合、ベン図、条件付き確率 ・ 代表値（平均値、中央値、最頻値）、分散、標準偏差 ・ 相関係数、相関関係と因果関係 ・ 名義尺度、順序尺度、間隔尺度、比例尺度 ・ 確率分布、正規分布、独立同一分布	・ ベイズの定理 ・ 点推定と区間推定 ・ 帰無仮説と対立仮説、片側検定と両側検定、第1種の過誤、第2種の過誤、p値、有意水準
	・ ベクトルと行列 ・ ベクトルの演算、ベクトルの和とスカラー倍、内積 ・ 行列の演算、行列の和とスカラー倍、行列の積 ・ 逆行列	・ 固有値と固有ベクトル
	・ 多項式関数、指数関数、対数関数 ・ 関数の傾きと微分の関係、積分と面積の関係 ・ 1変数関数の微分法、積分法	・ 2変数関数の微分法、積分法
1-7. アルゴリズム	・ アルゴリズムの表現（フローチャート） ・ 並び替え（ソート）、探索（サーチ） ・ ソートアルゴリズム、バブルソート、選択ソート、挿入ソート ・ 探索アルゴリズム、リスト探索、木探索	・ 計算量（オーダー）

2. データエンジニアリング基礎

○学修目標

- ・データを収集・処理・蓄積するための技術の概要を理解する（☆）
- ・コンピュータでデータを扱うためのデータ表現の基礎を理解する（☆）
- ・Webサイトやエッジデバイスから必要なデータを収集できる
- ・データベースから必要なデータを抽出し、データ分析のためのデータセットを作成できる
- ・データ・AI利活用に必要なITセキュリティの基礎を理解する
- ・数千件～数万件のデータを加工処理するプログラムを作成できる

2. データエンジニアリング基礎	学修内容
2-1. ビッグデータとデータエンジニアリング（☆）	ICT（情報通信技術）の進展とビッグデータについて学ぶ
2-2. データ表現（☆）	コンピュータでデータを扱うためのデータ表現の基礎を学ぶ
2-3. データ収集	Webサイトやエッジデバイスからのデータ収集方法を学ぶ
2-4. データベース	データベースからのデータ抽出方法を学ぶ
2-5. データ加工	収集したデータの加工方法を学ぶ
2-6. ITセキュリティ	データ・AI利活用に必要なITセキュリティの基礎を学ぶ
2-7. プログラミング基礎	データ・AI利活用に必要なプログラミングの基礎を学ぶ

☆：コア学修項目

2. データエンジニアリング基礎

学修項目	キーワード（知識・スキル）	オプション（高度な内容）
2-1. ビッグデータとデータエンジニアリング（☆）	・ ICT（情報通信技術）の進展、ビッグデータ ・ ビッグデータの収集と蓄積、クラウドサービス ・ ビッグデータ活用事例 ・ 人の行動ログデータ、機械の稼働ログデータ ・ ソーシャルメディアデータ	
2-2. データ表現（☆）	・ コンピュータで扱うデータ（数値、文章、画像、音声、動画など） ・ 構造化データ、非構造化データ ・ 情報量の単位（ビット、バイト）、二進数、文字コード ・ 配列、木構造（ツリー）、グラフ	・ 画像の符号化、画素（ピクセル）、色の3要素（RGB） ・ 音声の符号化、周波数、標本化、量子化
2-3. データ収集	・ IoT（Internet of Things） ・ エッジデバイス、センサーデータ ・ Webクローラー、スクレイピング ・ アノテーション	・ クライアント技術（SDK、APIなど） ・ 通信技術（HTTP、FTP、SSHなど）
2-4. データベース	・ テーブル定義、ER図 ・ 主キーと外部キー ・ リレーショナルデータベース（RDB） ・ データ操作言語（DML）、SQL	・ 正規化手法（第一正規化～第三正規化） ・ データ定義言語（DDL） ・ データウェアハウス（DWH） ・ NoSQL

2. データエンジニアリング基礎

学修項目	キーワード（知識・スキル）	オプション（高度な内容）
2-5. データ加工	・ 集計処理、四則演算処理 ・ ソート処理、サンプリング処理 ・ クレンジング処理（外れ値、異常値、欠損値） ・ 結合処理（内部結合、外部結合） ・ データ型変換処理 ・ データの標準化、ダミー変数	・ フィルタリング処理、正規表現 ・ マッピング処理、ジオコード変換 ・ 名寄せ ・ ビッグデータの分散処理（Hadoop、Sparkなど）
2-6. ITセキュリティ	・ セキュリティの3要素（機密性、可用性、完全性） ・ データの暗号化、復号化 ・ データの盗聴、改ざん、なりすまし ・ 電子署名、公開鍵認証基盤（PKI） ・ ユーザ認証とアクセス管理 ・ マルウェアによるリスク（データの消失・漏洩、サービスの停止など）	
2-7. プログラミング基礎	・ 文字型、整数型、浮動小数点型 ・ 変数、代入、四則演算、論理演算 ・ 関数、引数、戻り値 ・ 順次、分岐、反復の構造を持つプログラムの作成	

3. AI基礎

○学修目標

- ・ AIのこれまでの変遷、各段階における代表的な成果物や技術背景を理解する（☆）
- ・ 今後、AIが社会に受け入れられるために考慮すべき論点を理解する（☆）
- ・ 自らの専門分野にAIを応用する際に求められるモラルや倫理について理解する（☆）
- ・ 機械学習（教師あり学習、教師なし学習）、深層学習、強化学習の基本的な概念を理解する（☆）
- ・ AI技術（学習、認識、予測・判断、知識・言語、身体・運動）を活用し、課題解決につなげることができる
- ・ 複数のAI技術が組み合わされたAIサービス/システムの例を説明できる（☆）

3. AI基礎	学修内容
3-1. AIの歴史と応用分野（☆）	AIの歴史と活用領域の広がりについて学ぶ
3-2. AIと社会（☆）	AIが社会に受け入れられるために考慮すべき論点について学ぶ
3-3. 機械学習の基礎と展望（☆）	機械学習の基本的な概念と手法について学ぶ
3-4. 深層学習の基礎と展望（☆）	実世界で進む深層学習の応用と革新について学ぶ
3-5. 認識	人間の知的活動（認識）とAI技術について学ぶ
3-6. 予測・判断	人間の知的活動（予測・判断）とAI技術について学ぶ
3-7. 言語・知識	人間の知的活動（言語・知識）とAI技術について学ぶ
3-8. 身体・運動	人間の知的活動（身体・運動）とAI技術について学ぶ
3-9. AIの構築と運用（☆）	AIの構築と運用について学ぶ

☆：コア学修項目

3. AI基礎

学修項目	キーワード（知識・スキル）	オプション（高度な内容）
3-1. AIの歴史と応用分野（☆）	・ AIの歴史、推論、探索、トイプロBLEM、エキスパートシステム ・ 汎用AI/特化型AI（強いAI/弱いAI） ・ フレーム問題、シンボルグラウンディング問題 ・ 人間の知的活動とAI技術（学習、認識、予測・判断、知識・言語、身体・運動） ・ AI技術の活用領域の広がり（流通、製造、金融、インフラ、公共、ヘルスケアなど）	・ AIクラウドサービス、機械学習ライブラリ、ディープラーニングフレームワーク
3-2. AIと社会（☆）	・ AI倫理、AIの社会的受容性 ・ プライバシー保護、個人情報の取り扱い ・ AIに関する原則/ガイドライン ・ AIの公平性、AIの信頼性、AIの説明可能性	・ AIと知的財産権
3-3. 機械学習の基礎と展望（☆）	・ 実世界で進む機械学習の応用と発展（需要予測、異常検知、商品推薦など） ・ 機械学習、教師あり学習、教師なし学習、強化学習 ・ 学習データと検証データ ・ ホールドアウト法、交差検証法 ・ 過学習、バイアス	
3-4. 深層学習の基礎と展望（☆）	・ 実世界で進む深層学習の応用と革新（画像認識、自然言語処理、生成など） ・ ニューラルネットワークの原理 ・ ディープニューラルネットワーク（DNN） ・ 学習用データと学習済みモデル	・ 畳み込みニューラルネットワーク（CNN） ・ 再帰型ニューラルネットワーク（RNN） ・ 敵対的生成ネットワーク（GAN） ・ 深層強化学習 ・ 深層学習と線形代数/微分積分との関係性

3. AI基礎

学修項目	キーワード（知識・スキル）	オプション（高度な内容）
3-5. 認識	・ 認識技術の活用事例 ・ パターン認識、特徴抽出、識別 ・ 数字認識、文字認識 ・ 画像認識、画像分類	・ 物体検出 ・ 指紋認証、顔認証 ・ 音声認識 ・ 音声のテキスト化
3-6. 予測・判断	・ 予測技術の活用事例 ・ 決定木（Decision Tree） ・ 混同行列、Accuracy、Precision、Recall ・ MSE（Mean Square Error） ・ ROC曲線、AUC（Area Under the Curve）	・ ランダムフォレスト ・ サポートベクターマシン（SVM） ・ 離散型・連続型シミュレーション ・ データ同化、気象予測
3-7. 言語・知識	・ 自然言語処理の活用事例 ・ 形態素解析、単語分割、係り受け解析 ・ ユーザ定義辞書 ・ かな漢字変換	・ n-gram、文章間類似度 ・ 機械翻訳、文章生成 ・ 知識表現、オントロジー、意味ネットワーク、知識グラフ ・ 表現学習（エンベディング）
3-8. 身体・運動	・ AIとロボット ・ 家庭用ロボット、産業用ロボット、サービスロボット ・ 自動化機械、センサー、アクチュエータ ・ シーケンス制御、フィードバック制御	・ 自動運転システム ・ ジェスチャー認識 ・ 行動推定
3-9. AIの構築・運用（☆）	・ AIの学習と推論、評価、再学習 ・ AIの開発環境と実行環境 ・ AIの社会実装、ビジネス/業務への組み込み ・ 複数のAI技術を活用したシステム（スマートスピーカー、AIアシスタントなど）	・ AIシステムの開発、テスト、運用 ・ AIシステムの品質、信頼性 ・ AIの開発基盤（大規模並列GPUマシンなど） ・ AIの計算デバイス（GPU、FPGAなど）

IV 数理・データサイエンス・AI 応用基礎レベルの教育方法

数理・データサイエンス・AI 応用基礎レベルの教育方法

➤ 数理・データサイエンス・AI（応用基礎レベル）の実施において、推奨される具体的な教育方法を以下のとおりまとめた。

- データサイエンス基礎、データエンジニアリング基礎、AI基礎を学ぶ過程において、**演習や課題解決型学習**（PBL：Project Based Learning）等を効果的に組み入れることにより、実践的スキルの習得を目指すことを推奨する
- 各大学・高専の教育目的、分野の特性に応じた適切なテーマを設定し、**社会での実例（実課題および実データ）**を題材とした講義を行うことが望ましい
- AIクラウドサービス等を利用し、学生自身が実際に手を動かして**AI技術を体験**できることが望ましい
- 課題解決学習（PBL）では、異なるスキルセットを持つ複数の学生でチームを組むことで、専門領域の異なるメンバとの**コミュニケーションやチームワーク**について学べることが望ましい
- 個々の学生の学習歴や習熟度合いに応じて、数学基礎やプログラミング基礎を学ぶ補講等を準備することが望ましい

課題解決型学習（PBL）の実施項目例 <データ・AI活用 企画・実施・評価>

企画

- ・ 問題および背景の理解、課題定義
- ・ 課題解決方法の検討、仮説立案
- ・ 分析設計、AI技術選定
- ・ データ・AI活用の目標/ゴール設定
- ・ データ・AIを扱う上での留意事項の確認（個人情報保護、プライバシー保護など）
- ・ データ・AI活用の実施計画作成

実施

- ・ データ収集およびデータ加工
- ・ データ分析の実施（仮説検証、知識発見、原因究明、計画策定、判断支援、活動代替など）
- ・ AI技術の適用（学習、認識、予測・判断、知識・言語、身体・運動など）
- ・ 簡易的な試作品（プロトタイプ）の開発

評価

- ・ データ・AI活用結果の共有
- ・ データ・AI活用結果の評価、改善事項の確認

応用基礎レベル モデルカリキュラムの授業科目設計

応用基礎レベルの授業科目を設計する際は、それぞれの専門分野へ数理・データサイエンス・AIを応用することを見据え、「コア学修項目（☆）」に加え「コア以外の学修項目」の中から必要となる学修項目を適切に選択することを想定。

数理・データサイエンス・AI（応用基礎レベル）授業科目

応用基礎レベル モデルカリキュラム 「コア学修項目（☆）」

DS	1. データサイエンス基礎
	1-1. データ駆動型社会とデータサイエンス（☆）
	1-2. 分析設計（☆）
	コア以外の学修項目から適切に選択
DE	2. データエンジニアリング基礎
	2-1. ビッグデータとデータエンジニアリング（☆）
	2-2. データ表現（☆）
	コア以外の学修項目から適切に選択
AI	3. AI基礎
	3-1. AIの歴史と応用分野（☆）
	3-2. AIと社会（☆）
	3-3. 機械学習の基礎と展望（☆）
	3-4. 深層学習の基礎と展望（☆）
	コア以外の学修項目から適切に選択
	3-9. AIの構築と運用（☆）

選択

選択

選択

応用基礎レベル モデルカリキュラム 「コア以外の学修項目」

1. データサイエンス基礎	
1-3. データ観察	1-4. データ分析
1-5. データ可視化	1-6. 数学基礎
1-7. アルゴリズム	
2. データエンジニアリング基礎	
2-3. データ収集	2-4. データベース
2-5. データ加工	2-6. ITセキュリティ
2-7. プログラミング基礎	
3. AI基礎	
3-5. 認識	
3-6. 予測・判断	
3-7. 言語・知識	
3-8. 身体・運動	

学部系統ごとの応用基礎レベル授業科目設計イメージ (1/2)

情報系（情報系学部など）

DS	1. データサイエンス基礎 1-1. データ駆動型社会とデータサイエンス (☆) ① 1-2. 分析設計 (☆) 1-3. データ観察 1-4. データ分析 1-5. データ可視化
DE	2. データエンジニアリング基礎 2-1. ビッグデータとデータエンジニアリング (☆) ② 2-3. データ収集 2-5. データ加工 ④
AI	3. AI基礎 3-1. AIの歴史と応用分野 (☆) 3-2. AIと社会 (☆) 3-3. 機械学習の基礎と展望 (☆) 3-4. 深層学習の基礎と展望 (☆) ③ 3-5. 認識 3-6. 予測・判断 3-7. 言語・知識 3-8. 身体・運動 3-9. AIの構築と運用 (☆)

- ① 実社会におけるデータ（特にビッグデータ）の**分析方法**について学ぶ
- ② 実社会におけるデータ（特にビッグデータ）の**収集/加工方法**について学ぶ
- ③ 実社会で活用が進む**複数のAI技術**について学ぶ
- ④ DS基礎、DE基礎、AI基礎の履修後に、具体的な課題に取り組むPBL等を実施し、データサイエンス・AIを活用した**課題解決プロセス**を体験する

◆ 既存のカリキュラムで必要な知識・スキルを十分に習得できている場合は、既存のカリキュラムで読み替え可能（データ表現やデータベース、ITセキュリティなどの学修内容は既存の授業科目で履修していることを想定）

理工系（理学部、工学部など）

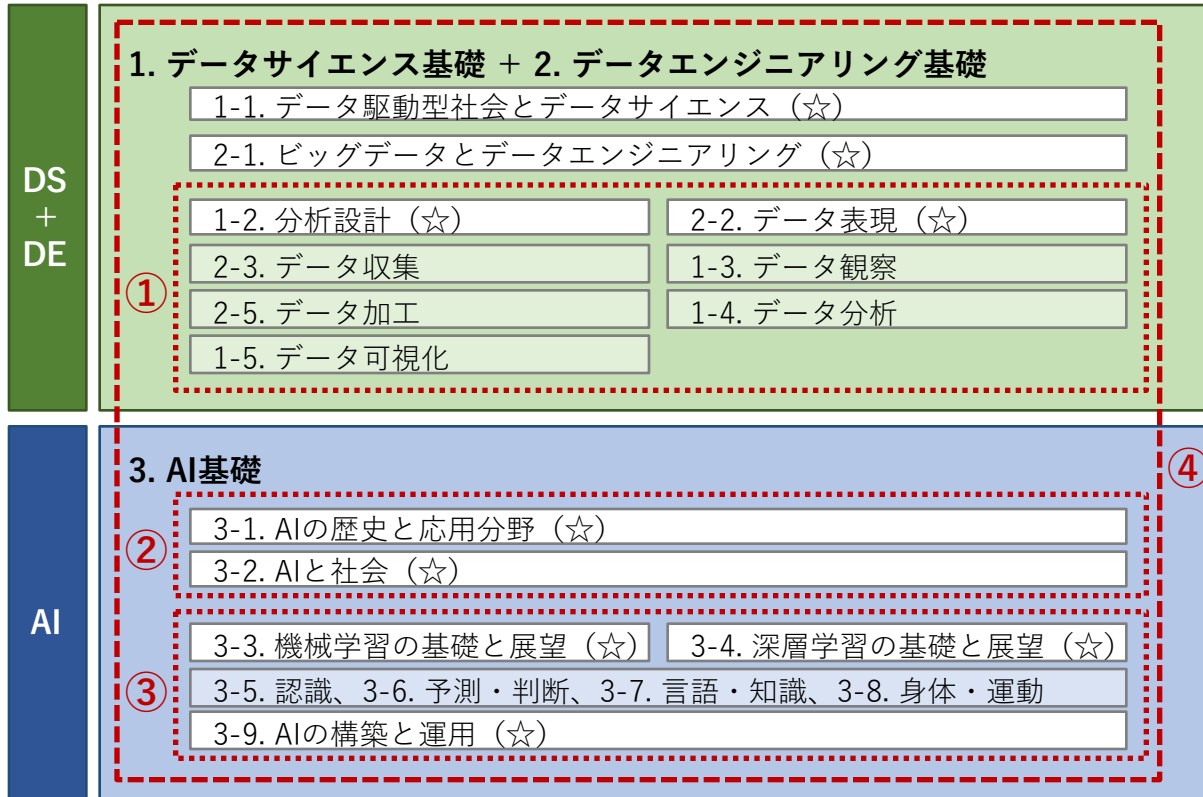
DS	1. データサイエンス基礎 1-1. データ駆動型社会とデータサイエンス (☆) ① 1-2. 分析設計 (☆) 1-3. データ観察 1-4. データ分析 1-5. データ可視化
DE	2. データエンジニアリング基礎 2-1. ビッグデータとデータエンジニアリング (☆) ② 2-2. データ表現 (☆) 2-3. データ収集 ④ 2-4. データベース 2-5. データ加工 2-6. ITセキュリティ 2-7. プログラミング基礎
AI	3. AI基礎 3-1. AIの歴史と応用分野 (☆) 3-2. AIと社会 (☆) 3-3. 機械学習の基礎と展望 (☆) 3-4. 深層学習の基礎と展望 (☆) ③ 3-5. 認識、3-6. 予測・判断、3-7. 言語・知識、3-8. 身体・運動 3-9. AIの構築と運用 (☆)

- ① 実社会におけるデータの**分析方法**について学ぶ
- ② 実社会におけるデータの**収集/加工方法**について学ぶ
- ③ **自らの専門領域で必要となるAI技術**を選択し学ぶ
- ④ DS基礎、DE基礎、AI基礎の履修後に、具体的な課題に取り組むPBL等を実施し、データサイエンス・AIを活用した**課題解決プロセス**を体験する

◆ 既存のカリキュラムで必要な知識・スキルを十分に習得できている場合は、既存のカリキュラムで読み替え可能（数学基礎やアルゴリズムなどの学修内容は既存の授業科目で履修していることを想定）

学部系統ごとの応用基礎レベル授業科目設計イメージ (2/2)

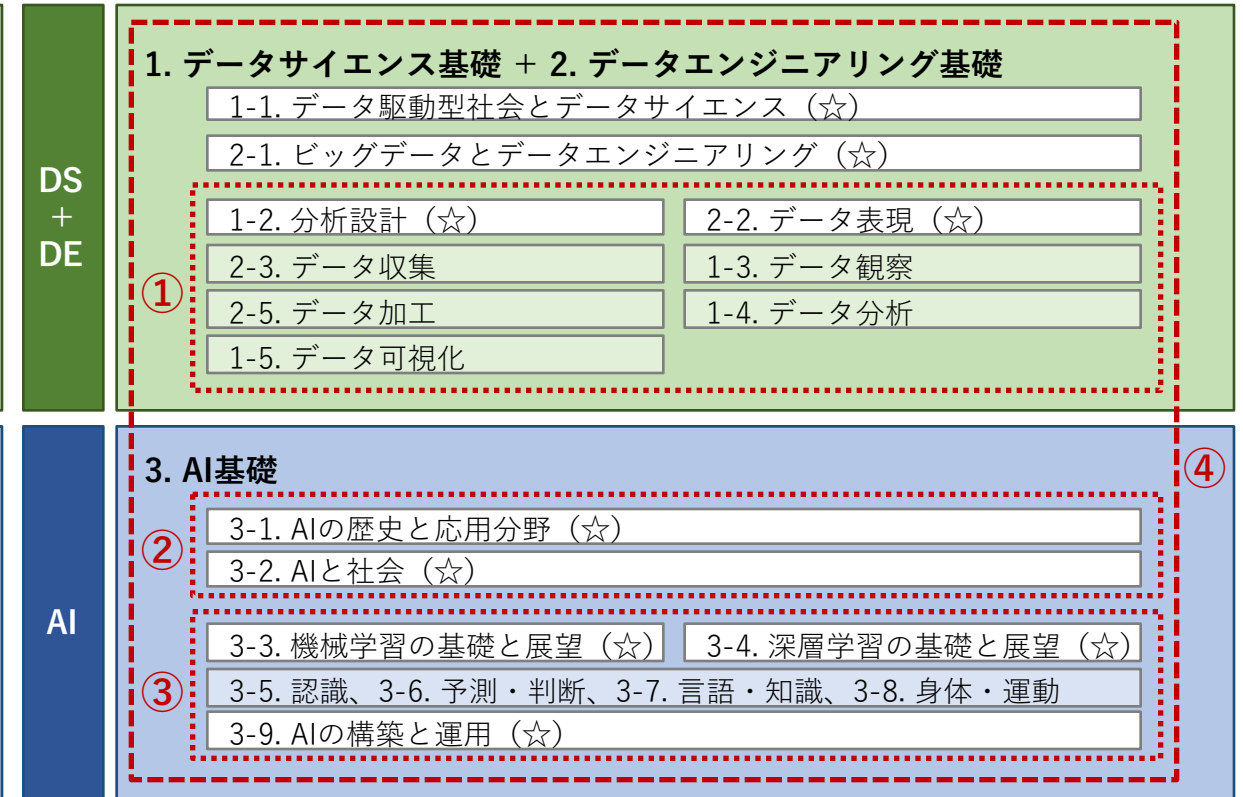
人文学系 (文学部など)



- ① 実社会におけるデータを対象とした演習等を効果的に組み入れ、**一連のデータ活用プロセス**を体験する
- ② AIの活用領域の広がりや**AIの社会的受容性**について学ぶ
- ③ 言語・知識など**自らの専門領域で必要となるAI技術**を選択し体験する
- ④ DS基礎+DE基礎、AI基礎の履修後に、具体的な課題に取り組むPBL等を実施し、データサイエンス・AIを活用した**課題解決プロセス**を体験する

◆ 既存のカリキュラムで必要な知識・スキルを十分に習得できている場合は、既存のカリキュラムで読み替え可能 (個々の学生の学習歴や習熟度合いに応じて、数学基礎やアルゴリズムなどを学ぶ補講等を準備)

社会科学系 (経済学部、経営学部など)



- ① 実社会におけるデータを対象とした演習等を効果的に組み入れ、**一連のデータ活用プロセス**を体験する
- ② **AIの社会実装**と**AIの社会的受容性**について学ぶ
- ③ 予測・判断など**自らの専門領域で必要となるAI技術**を選択し体験する
- ④ DS基礎+DE基礎、AI基礎の履修後に、具体的な課題に取り組むPBL等を実施し、データサイエンス・AIを活用した**課題解決プロセス**を体験する

◆ 既存のカリキュラムで必要な知識・スキルを十分に習得できている場合は、既存のカリキュラムで読み替え可能 (個々の学生の学習歴や習熟度合いに応じて、数学基礎やアルゴリズムなどを学ぶ補講等を準備)

V 参考資料



数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアムの概要

どの大学・どの学部に進学しても、全ての学生が今後必要となる数理的思考力とデータ分析・活用能力を体系的に身に付けることが出来る環境の構築を目指す

■ コンソーシアムの沿革

- 2016年度 大学の数理・データサイエンス教育の強化方策（文部科学省）
拠点校選定
（6大学：北海道大学、滋賀大学、大阪大学、東京大学、京都大学、九州大学）
- 2017年度 コンソーシアム設立
- 2019年度 協力校選定（20大学）、全国展開に向けた6ブロック化
- 2020年度 協力校（3大学）・特定分野協力校（7大学）選定
連携校の公募を開始（2021年1月現在78大学、2短大、国立高等専門学校機構）

■ 3分科会及び特別委員会を設置して活動

カリキュラム分科会

- 標準カリキュラムの作成

教材分科会

- 教科書シリーズの企画編集
- 講義動画・スライド等の収集・公開

教育用データベース分科会

- 教育用各種データの収集・公開
- 教育に活用可能な実データ・課題の収集・公開

■ その他の活動

- 情報発信・活動紹介(ホームページ、ニュースレター、SNS)
- シンポジウム等の主催・後援
- 各種調査活動

モデルカリキュラム（リテラシーレベル） の全国展開に関する特別委員会

- モデルカリキュラム（リテラシーレベル）の検討（2020年4月公表）

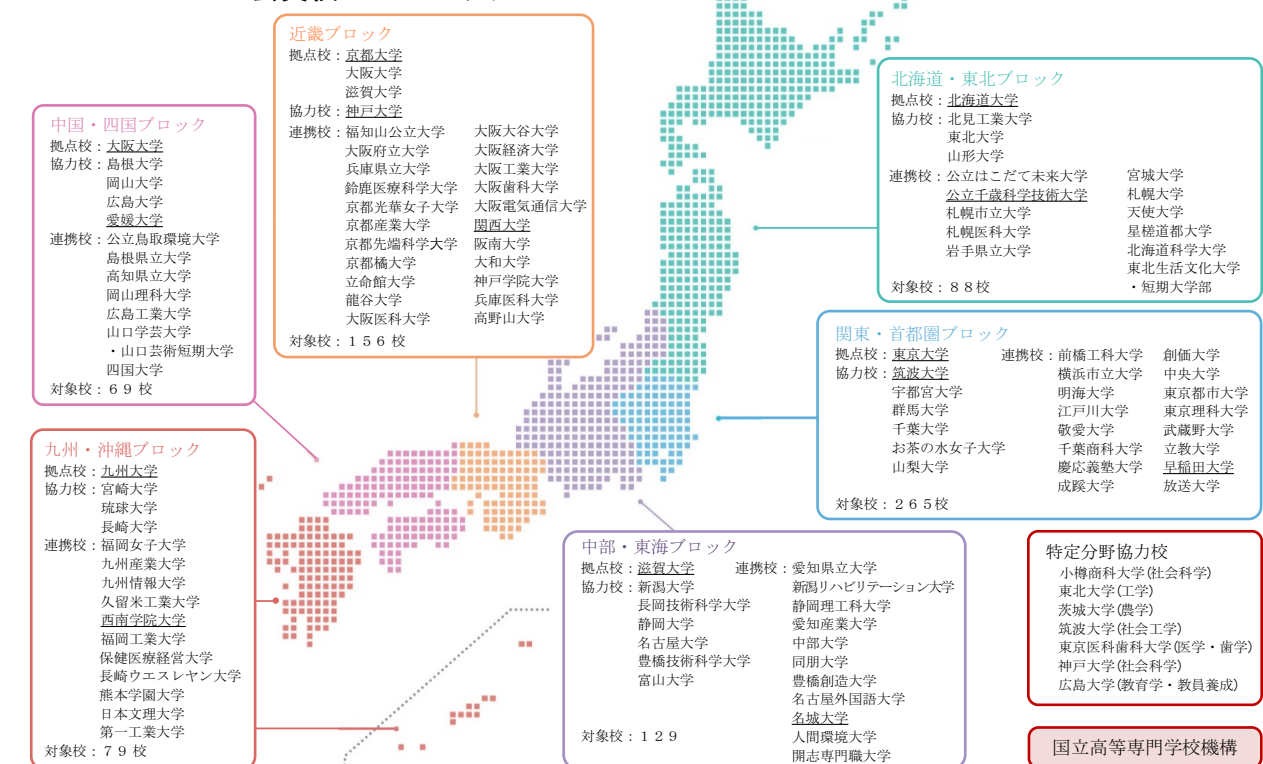
モデルカリキュラム（応用基礎レベル） の全国展開に関する特別委員会

- 産業界・私大メンバーを中心に構成
- 応用基礎レベルの数理・データサイエンス・AI教育のモデルカリキュラムの策定
- 数理・データサイエンスAI教育プログラム認定制度の検討と連携・連動

■ コンソーシアムの主な役割

- 全国的なモデルとなる**標準カリキュラム・教材を協働して作成**するとともに、他大学への普及方策（例えば全国的なシンポジウムの開催等）の検討・実施
- 各大学のセンターにおける教育内容・教育方法の好事例を共有し、より取組を進展させるための議論を行うなど、センターの情報交換等を行うための**対話の場の設定**

■ コンソーシアム会員校と6ブロック



※ 下線の大学は拠点校又はブロック別の代表校を示す。これらの大学でコンソーシアム運営会議を構成。

数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアム

(議長及び拠点校センター長)

議長	北川 源四郎	東京大学数理・情報教育研究センター 特任教授
	長谷山 美紀	北海道大学数理・データサイエンス教育研究センター長
	駒木 文保	東京大学数理・情報教育研究センター長
	竹村 彰通	滋賀大学データサイエンス教育研究センター長
	山本 章博	京都大学国際高等教育院附属データ科学イノベーション教育研究センター長
	関根 順	大阪大学数理・データ科学教育研究センター長
	内田 誠一	九州大学数理・データサイエンス教育研究センター長

モデルカリキュラム（応用基礎レベル）の全国展開に関する特別委員会

主査	岡本 和夫	大学改革支援・学位授与機構参与
	安宅 和人	慶應義塾大学環境情報学部教授、ヤフー株式会社CSO
	岡田 陽介	株式会社ABEJA 代表取締役社長CEO
	河合 玲一郎	東京大学数理・情報教育研究センター、大学院総合文化研究科教授、数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアム カリキュラム分科会主査
	北川 源四郎	東京大学数理・情報教育研究センター 特任教授 数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアム 議長
	孝忠 大輔	日本電気株式会社AI・アナリティクス事業部 AI人材育成センター長
	丸山 宏	株式会社Preferred Networks PFNフェロー
	巳波 弘佳	関西学院大学学長補佐 理工学部教授
	山口 和範	立教大学 経営学部 学部長・教授
	山中 竹春	横浜市立大学学長補佐・医学部教授・大学院データサイエンス研究科長

カリキュラム分科会

主査	河合 玲一郎	東京大学数理・情報教育研究センター、大学院総合文化研究科教授
副主査	林 和則	京都大学高等教育院附属データ科学イノベーション教育研究センター教授
	行木 孝夫	北海道大学大学院理学研究院教授
	姫野 哲人	滋賀大学データサイエンス教育研究センター准教授
	高野 渉	大阪大学数理・データ科学教育研究センター特任教授
	増田 弘毅	九州大学大学院数理学研究院教授

教材分科会

主査	清水 昌平	滋賀大学データサイエンス学部教授
副主査	内田 誠一	九州大学数理・データサイエンス教育研究センター長、大学院システム情報科学研究科教授
	遠藤 俊徳	北海道大学大学院情報科学研究科教授
	寒野 善博	東京大学数理・情報教育研究センター、大学院情報理工学系研究科教授
	中野 直人	京都大学国際高等教育院附属データ科学イノベーション教育研究センター特定講師
	朝倉 暢彦	大阪大学数理・データ科学教育研究センター特任講師

教育用データベース分科会

主査	湧田 雄基	北海道大学数理・データサイエンス教育研究センター特任准教授
副主査	中澤 嵩	大阪大学数理・データ科学教育研究センター准教授
	森 純一郎	東京大学数理・情報教育研究センター、大学院情報理工学系研究科准教授
	梅津 高朗	滋賀大学データサイエンス学部准教授
	關戸 啓人	京都大学国際高等教育院附属データ科学イノベーション教育研究センター特定講師
	溝口 佳寛	九州大学マス・フォア・インダストリ研究所教授

モデルカリキュラム（応用基礎 レベル） 審議経過

（2020年）

- 4月14日 数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアム会合
・モデルカリキュラムの検討の進め方
- 5月26日 数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアム会合
・特別委員会設置について
- 6月30日 国公立大学・産業界有識者による意見交換会
- 10月 1日 第1回 特別委員会
・モデルカリキュラムの検討の方向性、作業分担の決定
- 10月20日 第2回 特別委員会
・モデルカリキュラム方針の検討
- 11月13日 第3回 特別委員会
・モデルカリキュラム方針の検討
- 12月16日 特定分野協力校（社会科学：小樽商科大学、神戸大学）
との意見交換
- 12月25日 第4回 特別委員会
・企業におけるデータサイエンス・AI人材育成に関する取組紹介
・モデルカリキュラムの検討

（2021年）

- 1月26日 第5回 特別委員会
・モデルカリキュラム素案の検討
- 2月 2日 数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアム運営会議
・モデルカリキュラム検討状況報告
- 2月10日 第6回 特別委員会
・モデルカリキュラム（案）の審議
- 2月16日～ 意見公募
3月15日