

令和3年3月31日

数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアム

「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 ～（案）」に関する意見募集の結果について

標記のことについて、令和3年2月16日から3月15日までの間、意見募集を行った結果、14の大学、団体又は個人からご意見を頂きました。今回ご意見をお寄せいただきました多くの方々に厚く御礼申し上げます。

主な意見の概要とそれに対する考え方は別紙のとおりです。なお、とりまとめの都合上、適宜要約するなどさせていただいております。

本コンソーシアムでは、数理・データサイエンス・AI教育の強化・発展に向けて、当該モデルカリキュラムに準拠した教材開発、実データ等の収集・公開、教育方法等に関するワークショップ等の取組を継続して展開してまいります。引き続きご協力を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

## 「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 ～（案）」

## 意見募集で寄せられた主なご意見の概要と考え方

#	意主な意見の概要	考え方
全般に関する内容		
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・技術・製品を生み出す R&amp;D 人材に加えて、そうした製品をユーザサイドで使いこなすことができる人材の育成が重要。双方が AI のふるまいを適切に理解することで双方向のコミュニケーションが可能になり、結果として更なるイノベーションが産まれる。</li> <li>・技術から社会価値を生み出すイノベーション活動において、AI に関する基本的な知識を技術側だけでなく、マーケティング部門・営業部門が持ち合わせていることが必須。イノベーション創出に参画する様々な部門が共有する共通言語としての AI リテラシーを幅広く普及させる必要がある。</li> <li>・AI が出した結果を鵜呑みにするのではなく、その導出に至るロジックを理解し、AI が潜在的に持つバイアスを踏まえた活用ができる人材の育成が必要。</li> <li>・最先端研究・技術開発で成果を出し論文を執筆できる人材も必要だが、AI 実践の 위해서는、論文執筆、簡単なプログラミング実装、営業、とバランスよい人材を多数育てるような教育プログラムが重要。</li> <li>・企業人が授業で事例を紹介する、事例を分解して技術の問題を掘り下げ・理解するような授業、など実践的な教育が重要ではないか。本カリキュラムは座学が多いように思われる。</li> <li>・カリキュラムをすべて実施しようとする、データサイエンス・AI 学部・学科といった専門教育課程になってしまうのではないかな？</li> <li>・理学系（物理学など）で「理論」を学んだ人材の重要性が指摘できる。そういう人材は、AI やデータサイエンスの技術を企業へ入社してからキャッチアップするだけの素地がある。「多様な人材の育成」という視点を忘れてはいけない。</li> <li>・「心得」は「規則に従っていれば安心」という従来型の日本らしい発想。「何（誰）が正しいか」ではなく「何を正しいと考えるか」といった見極め・判断ができる人を育てる必要があるのではないかな。</li> <li>・その為、「歴史（科学技術と AI の発達史）」を学ぶことが重要。</li> </ul>	<p>ご指摘のとおり、実践的な教育は重要であり、応用基礎レベルの教育の基本的考え方において、社会での事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及び数理・データサイエンス・AI の適切な活用法を学ぶこと、演習や PBL 等を推奨することを明記し、座学のみにならないよう促しています。また、「歴史（科学技術と AI の発達史）」を学ぶことも重要であり、学修項目「3-1.AI の歴史と応用分野」を設定しています。これらのことから、原文のままとしました。</p>
2	<p>今回のカリキュラムモデルの重要性を認識しつつも、実践した場合に大学 1 年生に十分理解されるか危惧している。そもそも、数学（数学以前の問題で、算数といってもいいでしょう）アレルギーを持っている学生が相当数いるという現実を踏まえると、それ以前の教育の見直しも急務と考える。</p> <p>すなわち、高校、あるいは中学校での数学教育のあり方の抜本的な見直し（公式丸暗記が中心となるような詰め込み式ではなく、実生活を事例にして数学（むしろ算数レベルでしょう）が）がいかに社会で生きていくうえで有用であり、かつ、必要であるかをもっと教えることが不可欠であると考えます。</p> <p>その意味では、小学校も含めたデータリテラシーのプラットフォーム教育（プログラミングも大事ですがそれ以上に重要度は高いと考えます）も検討すべきと考えます。</p>	<p>重要なご指摘であり、検討に当たって重視してきた点です。モデルカリキュラムでは「1-6. 数学基礎」を設けるとともに、数理・データサイエンス・AI を学ぶ上で基盤となる学修項目（※）として位置付けました。モデルカリキュラム等の活用により各大学等の数理・データサイエンス・AI 教育が強化されることによって、その効果が初等中等教育にも波及していくことを期待します。</p>
3	<p>「AI（人工知能）」を冠するカリキュラムとされているが、人工知能の一分野である深層学習を中心とする機械学習の一部のみしか実質的には取り上げられていない。人工知能は、知能に関わる様々な要素やパラダイムを扱う広範囲に渡る学問である。「AI」をカリキュラム名に含むことから、正しく人工知能の研究・技術分野全般を含んだものに、改善されたい。</p>	<p>本モデルカリキュラムは 25 万人/年に応用基礎力を身に付けてもらうためのエッセンスであり、研究分野全般を含めることは難しいことから、原文のままとしました。なお、各大学等の教育目的や分野の特性等に応じて、AI（人工知能）に関するより高度な内容を組み入れることを妨げるものではありません。</p>
4	<p>目的は AI についての技術を社会のさまざまな事柄へ適用して問題解決を図るための教育と思うが、社会の問題を数理的にどのように扱うのか、という解析のための「数理モデル」の視点を追加してはどうか。</p> <p>データ分析の際に、取り扱う社会や企業の困りごとの何を解決したいのかという問題へ焦点を当てる数理モデルのための教育が重要だろう。</p> <p>データ分析の手法を学ぶだけでは、それはナイーブなもので、実際の問題及びデータが与えられたときに問題解決するのは難しいのではないかと心配する。例えば「最適化」の視点が（パラメータの同定だけでなく）、必要ではないか。</p>	<p>応用基礎レベルの教育では、数理・データサイエンスについて幅広く学び、これらを活用するための大局的な視座を獲得することを意図しています。コアとして組み入れる学修量も考慮し、最適化やシミュレーションについてはオプションとして記載しているところであり、原文のままとしました。各大学の特性、学生の学習歴や習熟度等に応じて、主体的にカリキュラム編成していただくことを期待します。</p>
5	<p>【STEM 系に偏重したものになっていないか】情報系、理工系を想定した場合、汎用的なモデルカリキュラムとみなせる一方で、人文学系全般、社会科学系の一部（特に経済学部など）にとっては、関連性の低い内容に見受けられる。別の言い方をすると、STEM 系修士学生の就職先となるような企業の AI 技術者トレーニングコースのように設計され</p>	<p>人文学系、社会科学系においては「3-2.AI と社会」を中心に 3-4 までを学んで頂きたいと考えています。一方で、基礎的なデータサイエンススキルは文系理系を問わず必要で</p>

	ており、人文や社会科学といった学術体系の中でどのように活用されるのか、イメージが見えてこない。	あるため、データサイエンス基礎やデータエンジニアリング基礎の一部をコア学修項目(☆)として定義しています。
6	【因果推論に関する学修内容の不足】上記と関連して、たとえば心理学、教育学、社会学、経済学、または医歯薬・生理学などの分野では(実装の形式は違えど)因果推論に関するデータサイエンスが発展している。これらは、EBPMがさかんに叫ばれるようになったわが国において、重要な教育内容と考えられるが、対応する項目が見当たらない。また、因果推論と密接に関連するデータコレクション・メソッド(実験計画、サンプリングプラン)に関する学修内容も項目1-2のオプションとして触れられるのみで、実質的には取りこぼしていると考えられる。 最近では機械学習と因果推論の融合なども見られており、predictingとexplainingの両者をバランスよく学ばせることは、高等教育機関としての大学の意義を支えるものでもあると考える。	本モデルカリキュラムが25万人/年に応用基礎力を身に付けてもらうためのエッセンスであることや、大学等のカリキュラム全体に占める学修量のバランス等を考慮し、必要最小限の内容となるよう精選しています。このため原文のままとしました。なお、各大学等の教育目的や分野の特性等に応じて、ご提示いただいたようなより高度な内容を組み入れることを妨げるものではありません。
7	【数理最適化に関する学修内容の不足】機械学習・AI技術の社会実装の面では、我々の社会を支える基礎技術としての数理最適化に関する学修が欠かせないが、カバーされていない。交通、サプライチェーン、マーケティング、設備管理等々、応用基礎レベルの対象である各分野に関連するものであり、学修項目1-4のオプションとして触れるだけでなく、カリキュラムの中心的なものとして位置付けるべきではないか。	本モデルカリキュラムが25万人/年に応用基礎力を身に付けてもらうためのエッセンスであることや、大学等のカリキュラム全体に占める学修量のバランス等を考慮し、数理最適化に関する内容はオプションとしました。 なお、各大学等の教育目的や分野の特性等に応じて、ご提示いただいたようなより高度な内容を組み入れることを妨げるものではありません。
8	・「数学基礎(ベクトルと行列、固有値問題、主成分分析)」「はリテラシーレベルではないだろうか?」 ・AI基礎のカリキュラムで、数理計画とか最適化関係がごっそり抜け落ちているように見える(一方で「制御」は出てくる)。その結果、「AIによる対処」に該当するものがない。流行りの強化学習も現れない。 ・ゲームのオートプレイや、マルチエージェントとかにも触れるべきだと思う。	応用基礎レベルはリテラシーレベルの「オプション」を包含する内容となっています。数理計画や最適化に関する内容は、学修項目「1-4. データ分析」、「3-6. 予測・判断」のオプションとして挙げています。また、AIによる対処については学修項目「3-9. AIの構築と運用」の「AIの社会実装」、強化学習は学修項目「3-3. 機械学習の基礎と展望」に含まれています。 ゲームのオートプレイやマルチエージェントについては、本モデルカリキュラムが25万人/年に応用基礎力を身に付けてもらうためのエッセンスであることを踏まえ、追加は行わず、原文のままとしました。なお、各大学等の判断により、ご指摘いただいた内容を組み入れることを妨げるものではありません。
9	本モデルカリキュラムの必要性及び重要性については、ご指摘の通りであり、各大学の状況に応じて適切に対応すべきものとする。その中で、全般的にビッグデータ等に関する扱い方などについては詳細なカリキュラム内容となっているが、データの質に関する教育については、若干加えるべき点があると考えられる。 リテラシーレベルでも、応用基礎レベルでも、アンケート調査に関することがあまり触れられていないように思う。 特に、インターネットアンケートに関する誤った理解が、結果として世論操作につながるような事案が少なからず見受けられる。すべての学生に、いわばアンケートリテラシーをしっかりと身につけさせるべきと考える。アンケート票の設計方法やアンケート結果の分析・活用法など基本的な社会調査法に関する講義のコマをどこかで必ず確保すべきと考える。これはリテラシー編でもいいのかもかもしれないが、全体を通じてモデルカリキュラムから、この内容があまり読み取れなかった。	アンケート調査の扱い方の基礎を学ぶことは重要であることから、リテラシーレベルの学修項目「1-2. 社会で活用されているデータ」及び「2-1. データを読む」において関連する内容を組み入れています。また、応用基礎レベルでは、学修項目「1-2. 分析設計」のオプションとして「分析目的に応じた適切な調査」を挙げています。以上のことから、原文のままとしました。
教育の基本的考え方等		
10	大学・高専の数理・データサイエンス、AI教育プログラム認定制度の創設を踏まえ、先端ITを使いこなすAIリテラシーを認定するため、IPAにおいてITパスポート試験を抜本改訂し、データサイエンス分野のスキルセットも追加され「ITパスポート5.0」が令和3年度4月～実施される。 ・応用基礎レベルの学修目標として、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とある。 ・応用基礎レベルの位置づけを見ると、データサイエンス、AIの応用基礎力を習得とあり、リテラシーレベルの「選択(オプション)」をカバーする内容である。 リテラシーレベルも含めての学修目標、応用基礎レベルの位置づけは、「ITパスポート5.0、ITリテラシースタンダード1級」の対象者像および業務と役割に記載されている、先端IT技術(AIリテラシー、データサイエンス、IOTなど)の概要に関する知識をもち、先端ITの導入、活用を提案、推進できる人材すなわち、AIを活用し課題解決につなげる基礎能力を修得と合致していると思慮できる。 ・データサイエンス、AI教育プログラム認定制度のカリキュラムで修得した知識など、先端ITを使いこなすAIリテラシーを認定する「ITパスポート5.0試験」の受験を活	ITパスポートなど、データサイエンス・デジタル人材に関する様々な資格・認定試験が実施されているところであり、モデルカリキュラムの理念や教育内容等と合致する部分もございます。これらの資格・検定試験の活用については、各大学等の特性や教育目的等に応じて、主体的にご判断いただくことを想定しています。

	<p>用し、奨励していくことは学生にとって「分かりやすさ」を重視した教育の実施となり、次の学修への意欲、動機付けになるような「学びの相乗効果」を生み出すことにつなげていけないのではないか。</p> <p>・「AI戦略2019」に資格制度の活用とある様に「ITパスポート5.0」の活用促進を明記してはどうか。</p> <p>推奨される教育方法、カリキュラムの活用</p> <p>・令和3年度4月～以降のITパスポート5.0試験の受験における合格を単位認定(単位互換等)してはどうか。</p> <p>・数理・データサイエンス、AI教育プログラム認定制度の各大学等での全国展開にあたり、ITリテラシースタンダード(ITLS)初版(2018年12月28日公開)講習を通じたITリテラシーの習得を想定した「ITLSモデルカリキュラム」</p> <p><a href="https://www.ipa.go.jp/files/000071019.pdf">https://www.ipa.go.jp/files/000071019.pdf</a></p> <p>および「ITパスポート5.0」シラバス</p> <p><a href="https://www.jitec.ipa.go.jp/1_13download/syllabus_ip_ver5_0_henkou.pdf">https://www.jitec.ipa.go.jp/1_13download/syllabus_ip_ver5_0_henkou.pdf</a></p> <p>も参照してはどうか。</p>	
11	「応用基礎レベル」は「応用」と「基礎」の並列となっていて意味が少しわかりにくい。	「AI戦略2019」の具体目標(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)に対応したものであり、原文のままとしました。
12	なるべく日本語を使用することが望ましいため、「ブリッジ教育」は「橋渡し教育」とすべき。	ご意見を踏まえ、「橋渡し教育」に修正しました。
13	AI基礎、データサイエンス基礎、データエンジニアリング基礎という学修内容のイメージが書かれている。検討中かもしれないが、イメージよりもむしろ「何ができるようになるべきであるか」を明記したほうが良いと考える。また、そのためにコンピテンシーに落とした方が良いのではないかと考える。	「AI基礎」、「データサイエンス基礎」、「データエンジニアリング基礎」の各分類において、学修目標を示していますので、学修項目、キーワード等と併せてご参照ください。コンピテンシー等については、各大学等の教育目的や分野の特性等に照らして主体的に設定していただくことを想定しています。
応用基礎レベルモデルカリキュラムの活用イメージ 関係		
14	応用基礎レベルは、リテラシーレベルと専門を繋ぐ「ブリッジ教育」として位置付けられている(p.6)が、P11にある「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」にはコア学修項目とされる(☆)も8つあり、これらを4単位で構成することは容易ではない印象があるため、「学修量は概ね4単位相当程度を想定している」根拠などを明確にしてください。	活用イメージで示した学修量は、本モデルカリキュラムが25万人/年に応用基礎力を身に付けてもらうためのエッセンスであることや、大学等のカリキュラム全体に占める学修量のバランス等を考慮したものです。各大学等の実情に応じて、本モデルカリキュラムの中から適切かつ柔軟に選択・抽出することも可能ですし、また、各大学等の判断により、4単位を超える学修量を設定することを妨げるものではありません。
15	「25万人/年」という数字に引きずられたのかもしれないが、基本的考え方で示された学修内容と教育方法に対して、4単位程度の学修量では不足する。ここで示された学修内容を教えるには、8～16単位程度のカリキュラムが必要になるだろう。	活用イメージで示した学修量は、本モデルカリキュラムが25万人/年に応用基礎力を身に付けてもらうためのエッセンスであることや、大学等のカリキュラム全体に占める学修量のバランス等を考慮したものです。各大学等の判断により、4単位を超える学修量を設定することを妨げるものではありません。
2月26日付の大学設置基準の改正に伴って盛り込まれた連携開設科目や、新型コロナ禍に伴って普及したオンライン教育を積極的に活用して、このモデルカリキュラムに基づいた教育を推進されることを期待している。		
貴コンソーシアムには大学等連携推進法人になって頂き、DSモデルカリキュラム(リテラシーレベル、応用基礎レベル)に関する大学間の連携や教育コンテンツの共同利用を推進する役割を担っていただけるよう期待する。		
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 関係		
16	リテラシーレベル選択項目と応用基礎レベル学修項目との間に、ある程度の線引きをした方が良いのではないかと考える。	各大学の教育目的や分野の特性、学生の学習歴や習熟度等に応じて、各大学で柔軟に適用していただくことを想定しており、原文のままとしました。
1. データサイエンス基礎 関係		
17	<1-2. 分析設計> オプション(高度な内容)に、「サンプルサイズ的设计」を含めてはいかがか。	ご意見を踏まえ、学修項目「1-2. 分析設計」のオプションとして「サンプルサイズ的设计」を追記しました。
18	<1-3. データ観察> キーワード(知識・スキル)の「データのバラツキ、ヒストグラム、散布図」に、「箱ひげ図」を含めてはいかがか。	ご意見を踏まえ、「箱ひげ図」を追加しました。なお、応用基礎レベルにおける学修内容に鑑み、学修項目「1-5. データ可視化」に記載しました。
19	<1-4. データ分析> キーワード(知識・スキル)の「パターン発見、Apriori、リフト値」は、分野によっては馴染みが項目のため、発展的な内容に思える。オプション(高度な内容)へと移動さ	ご意見を踏まえ、「パターン発見、アソシエーション分析、リフト値」に修正しました。なお、ビッグデータの中からビールと紙お

	れてはいかがか。同様に Apriori やリフト値という用語に馴染みがない分野もあるので、「パターン発見、アソシエーション分析」または「パターン発見、データマイニング」などと言い換えてはどうか。	むつの関係を見つけ出す方法を知ることが重要であるため、記載位置はキーワードのままとしました。
20	<1-4. データ分析> オプション（高度な内容）の「連続最適化問題、組み合わせ最適化問題」と「ナップザック問題、巡回セールスマン問題」は、データ分析（課題解決）のためのアルゴリズムという位置づけで、「1-7. アルゴリズム」のオプション（高度な内容）へと移動してはどうか。	ご指摘のとおりアルゴリズムに位置付けることも可能と考えますが、データ分析の観点から学ぶことにウエイトを置き、原文のままとしました。
21	<1-4. データ分析> 組み合わせ最適化問題、ナップザック問題、巡回セールスマン問題は、「1-7. アルゴリズム」に移動し、計算量（オーダー）と一緒に学修する方法もある。	ご指摘のとおりアルゴリズムに位置付けることも可能と考えますが、データ分析の観点から学ぶことにウエイトを置き、原文のままとしました。
22	<1-4. データ分析> オプション（高度な内容）に、「バイズ統計・モデリング」、「生存時間解析」、「機械学習」、「因果推論」、「高次元データ」を含めてはどうか。	本モデルカリキュラムが 25 万人/年に応用基礎力を身に付けてもらうためのエッセンスであることや、大学等のカリキュラム全体に占める学修量のバランス等を考慮し、必要最小限の内容となるよう精選しています。このため原文のままとしました。なお、各大学等の教育目的や分野の特性等に応じて、ご提示いただいたようなより高度な内容を組み入れることを妨げるものでありません。
23	<1-6. 数学基礎> キーワード（知識・スキル）の「確率分布、正規分布、独立同一分布」に、「確率変数」、「二項分布」、「一様分布」を追加してはどうか。	確率分布に含まれると捉えて、原文のままとしました。なお、各大学等の判断により、ご提示いただいた内容を組み入れることを妨げるものでありません。
24	<1-6. 数学基礎> オプション（高度な内容）の「固有値と固有ベクトル」に「数値計算と線形代数」を、「2変数関数の微分法、積分法」に「数値積分」をそれぞれ追加してはどうか。	本モデルカリキュラムが 25 万人/年に応用基礎力を身に付けてもらうためのエッセンスであることや、大学等のカリキュラム全体に占める学修量のバランス等を考慮し、必要最小限の内容となるよう精選しています。このため原文のままとしました。なお、各大学等の教育目的や分野の特性等に応じて、ご提示いただいたようなより高度な内容を組み入れることを妨げるものでありません。
2. データエンジニアリング基礎 関係		
25	<2-4. データベース> 任意の関係スキーマは、ボイス-コード正規形の関係スキーマに情報無損失分解できるため、「～第三正規形」は、「～ボイス-コード正規形」にすべきである。	ご指摘のとおりですが、ボイスコードや第 4 正規化など記載すると複雑になることから、原文のままとしました。
26	<2-5. データ加工> 結合処理（内部結合、外部結合）は、主キー、外部キーの概念と合わせて理解すべきであり、「2-4. データベース」に移動すべきである。	データベースではなく、R や Python で結合処理を行うこともあるため、敢えて「2-5. データ加工」に記載しています。このため原文のままとしました。
27	重複がみられる 例：p. 16 数学基礎、アルゴリズム p. 19 プログラミング基礎	アルゴリズムとプログラミング基礎は密接に関わっているため教える内容に重複が出る可能性はありますが、モデルカリキュラム上の文言は重複がないように整理しているため、原文のままとしました。
3. AI 基礎 関係		
28	[項目]AI 判断の受入または拒否をどう思考するか [内容]医療の現場では画像診断に AI 技術の積極的な利用・開発が進展している。検査装置の条件設定などにも AI 技術が導入が普及している。今後 IoT 技術の進展も含めて多くの医療上判断に AI 導入が急速に進むと感じている。大学の初学年生が就職するときには多くの現場で AI によるアドバイス(判断)が導入されると考えられる。こうした状況を踏まえると、これからの教育には AI 判断と自分の知識・思考に基づく判断に齟齬がある場合どのように考えていくか、患者にどのように説明することが医療従事者としての責任を果たすことになるのかなど、AI 技術と医療技術を倫理面から考察し患者に接することが求められる。そうした視点を教育することが必要と思われる。ただし、教員自体がその実情を把握できないのが現状だと考えられる。データサイエンスは重要であるが、多くの社会人にとっては AI の結論を受け入れるか否か、どのような思考で AI 判断を拒否するのが差し迫った課題となりつつある。 データサイエンスが分かっていることと、AI 判断を受け入れることは別の問題である。特に生命に関わる医療の現場としては重要な課題であると考え。以前からあるトロッコ問題と類似した問題で解答がないと思われる。	ご指摘の点は、学修項目「3-2. AI と社会」に該当するものと考えています。各大学の教育目的や分野の特性等に照らし、創意工夫を図りながら、積極的にカリキュラムに組み入れられることを期待します。
29	<3-4. 深層学習の基礎と展望>	ご意見を踏まえ、次のとおり修正しました。

	<p>・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)の部分、非構造データの主要な3種類は、画像・音声・テキストであり、「生成」を入れるのであれば、「音声」を入れるほうが自然。「生成」という言葉を入れるのであれば、「認識」と「生成」とをペアにして、言及するのが良い。</p> <p>*リテラシーレベルのカリキュラムでも、4. オプション&lt;スキルセット&gt;に、テキスト解析と画像解析は入っているのに、音声データは入っていないという偏った状況がある。応用基礎レベルにて、音声データが無視されないようお願いしたい。</p>	<p>旧) 画像認識、自然言語処理、生成など 新) 画像認識、自然言語処理、音声生成など</p> <p>また、学修項目「3-5. 認識」のキーワードに「音声認識」を追加しました。</p>
30	<p>・認識の項目に画像はあっても、音声はオプションになっているのが、不自然に思われる。メディア理解と言えば、画像と音声は必ず出てくる。</p> <p>・音声画像などのメディア認識技術は、あらゆるシステムにおけるデータ入力の基本として、その役割が今後ますます拡大していくと予想される。</p>	<p>ご意見を踏まえ、学修項目「3-5. 認識」のキーワードとして「音声認識」を追加しました。</p>
31	<p>&lt;3-7. 言語・知識&gt; ここで扱うことになっている「・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」は、自然言語処理のかなり具体的な基礎技術の話で、それ自体はよいのだが、他のモダリティ(主に画像・音)と比較すると、言語だけこの粒度で取り上げるのは、バランスが悪い。これをやるなら、他のモダリティについても同程度の具体的な基礎技術についても取り上げるべき。受講する学生さん自身も、身近な応用技術として画像(例えば顔認識)や音(例えば音声認識)に関するAI技術を日常的に使っているのだから、関心も高いはず。</p>	<p>ご意見を踏まえ、「音声認識」を学修項目「3-5. 認識」のキーワードとして追加しました。なお、同学修項目のキーワード「画像分類」については、比較的高度な内容となることから、オプションとして整理しました。</p>
<p>数理・データサイエンス・AI 応用基礎レベルの教育方法 関係</p>		
32	<p>PBL が強く推されているが、PBL を実施するには教員の技量と労力が高いレベルで必要になるため、人材不足から応用基礎教育を断念する大学が多数出てくるように思われる。25万人レベルの達成を目指すならば、PBL は努力目標程度にすべきだろう。</p>	<p>ご指摘の点を考慮し、PBL等は「推奨」としており、原文のままとしました。</p>
33	<p>「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」とされているが、学部系統ごとに参考となる事例を示して頂けるとイメージしやすいのではないかと。</p>	<p>数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアムでは、産業界の協力を得ながら実課題・実データの収集・公開を進めています。また、ワークショップ等において多様な事例を共有しています。</p>
<p>学部系統ごとの応用基礎レベル授業科目設計イメージ 関係</p>		
34	<p>データベース、ITセキュリティなどは通常3年次で履修する科目であり、これらを履修していることを想定した科目設計であるならば、4年次に全てを履修しなければならない、授業設計のスケジュールに無理があるように思われる。</p>	<p>各内容の履修時期については、各大学の実情に応じて、柔軟に設定していただくことを想定しています。また、カリキュラム設計に当たっては、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・抽出していただくことを想定しています。</p>
<p>その他</p>		
35	<p>内閣府で検討中の数理・データサイエンス AI 教育プログラム認定制度(応用基礎レベル)との対応関係を明確にすべきではないかと。</p>	<p>本モデルカリキュラムは、各大学等におけるカリキュラム具体化の参考に資することを目的としたものであり、数理・データサイエンスAI教育プログラム認定制度と直接的に対応するものではありませんが、コア学修項目(☆)や、数学基礎、アルゴリズム、プログラミング基礎といった数理・データサイエンス・AIを学ぶ上で基盤となる学修項目(※)については、認定制度の要素に対応するものと考えています。</p> <p>なお、モデルカリキュラムと認定制度の対応については、追って参考情報として提供する予定です。</p>

# 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3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・計測技術の飛躍的發展によって、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、国公私立大学、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のではなく、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。



## 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「橋渡し教育」**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を日常の生活、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、不安なく自らの意思でAI等の意思を享受し、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>

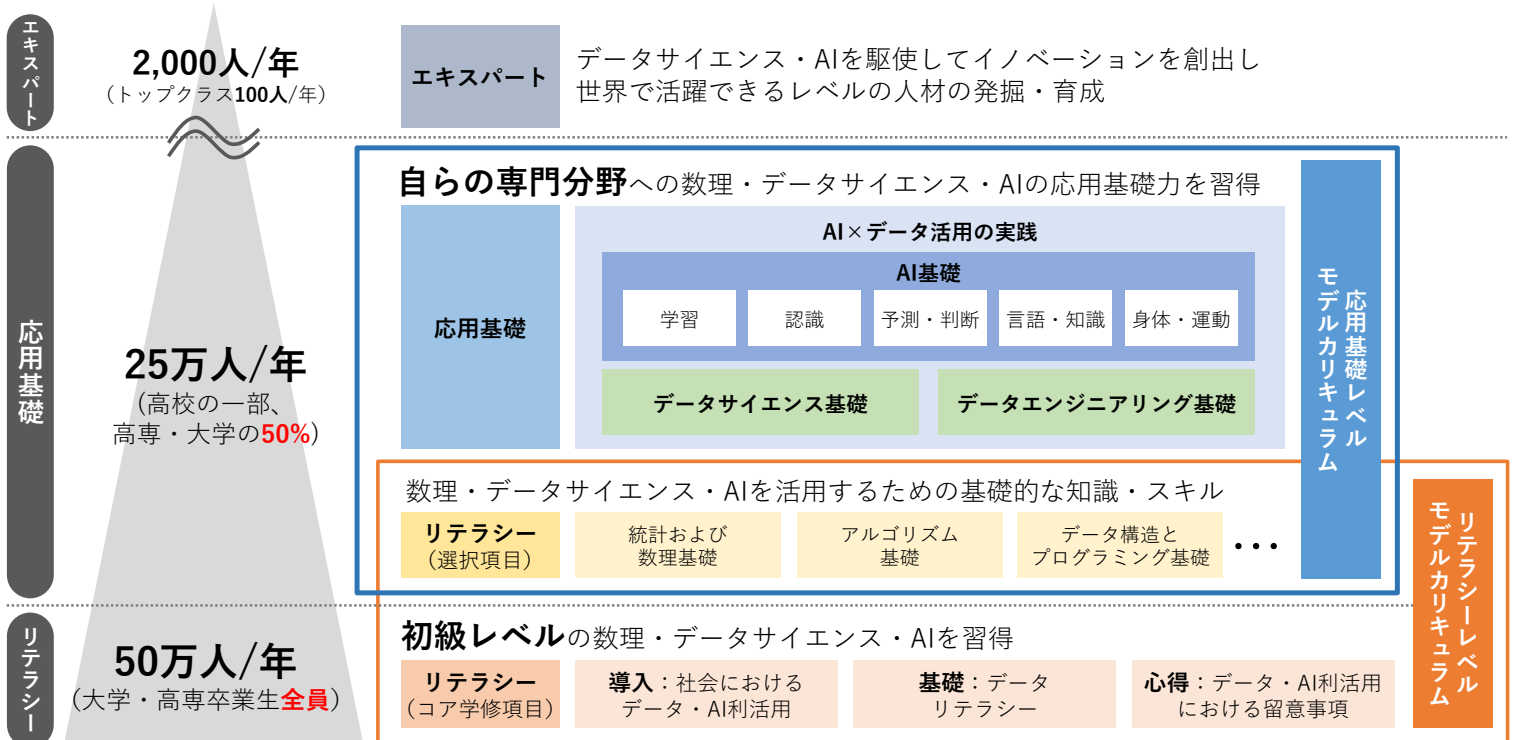
- ① 基礎的な数理的素養を含め **リテラシーレベルの「選択（オプション）」をカバーする内容**としたうえで、データサイエンス、データエンジニアリング、AIに関する知識・スキルを適切に補強することにより、**自らの専門分野において数理・データサイエンス・AIを応用するための大局的な視点**を身に付ける。
- ② 実データ、実課題を用いた演習など、**社会での実例**を題材とした教育を行うことで、現実の課題へのアプローチ方法および数理・データサイエンス・AIの適切な活用法を学ぶことを組み入れる。
- ③ 主に **学部3、4年を想定**しつつ、個々の大学の実情、専門分野や進路等の多様性、意欲・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のではなく、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。

7

## 数理・データサイエンス・AI（応用基礎レベル）の位置づけ



8

# 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

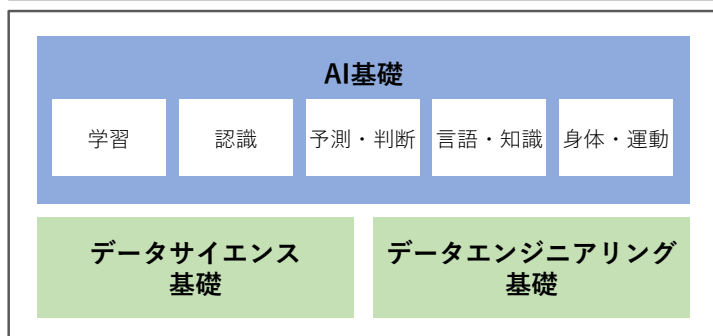
## 応用基礎レベルの学修内容

- 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**

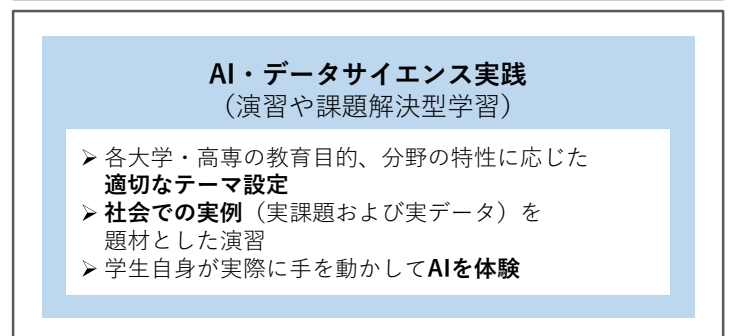
## 応用基礎レベルの推奨される教育方法

- 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



### 推奨される教育方法



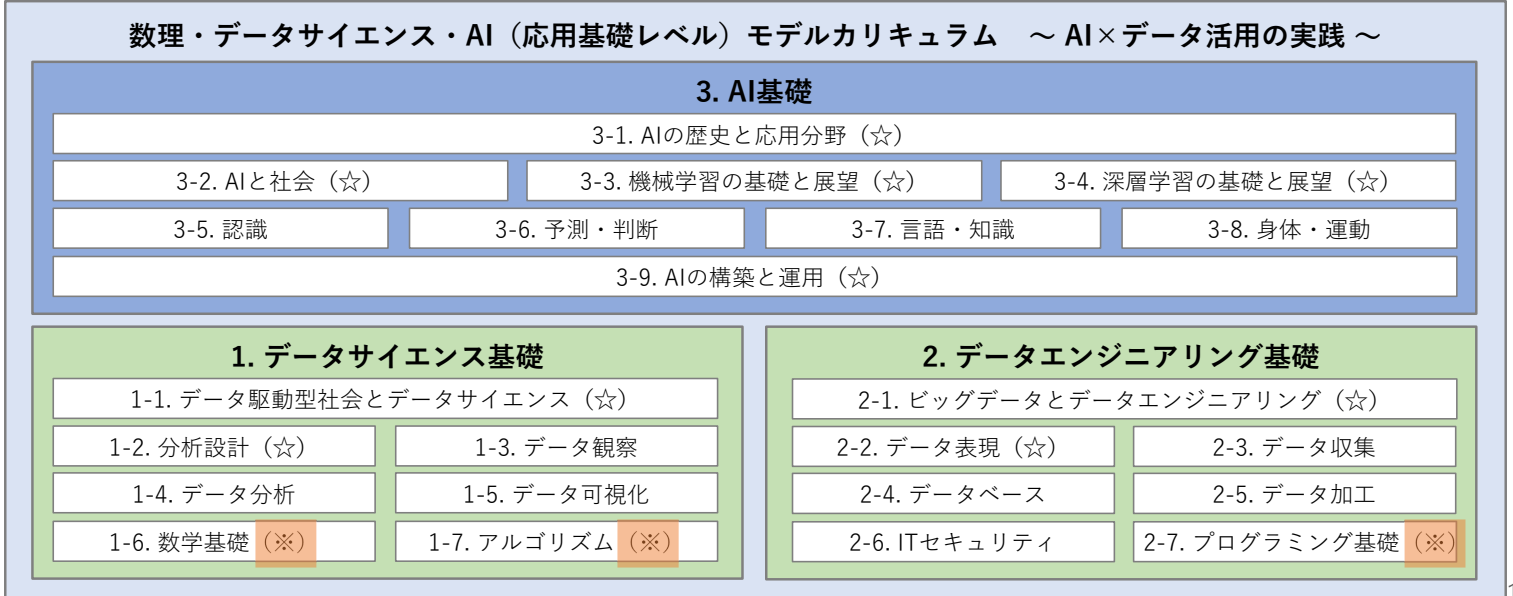
×

9

## 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。
- ▶ 数理・データサイエンス・AIを学ぶ上で基盤となる学修項目については(※)を付記した。
- ▶ 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。



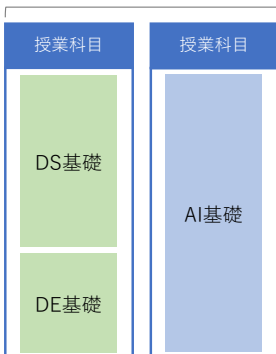
11

# 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

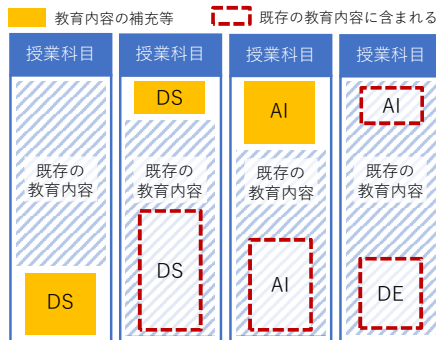
ケース1. 2～3の独立した授業科目で応用基礎レベルの教育を学生が履修

2科目で構成する例



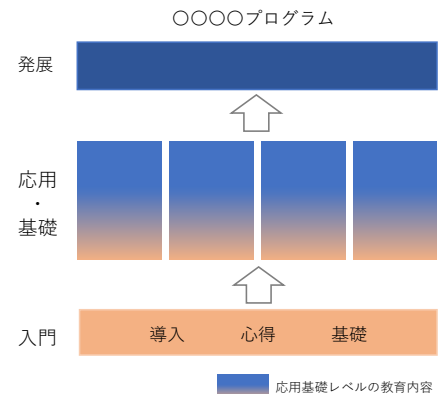
ケース2. 複数の(既存の)授業科目で応用基礎レベルの教育を学生が履修

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



これらは考えられるケースの例示であり、自立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

12

# 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活用
基礎	2. データリテラシー
心得	3. データ・AI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

13

## 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活用に必要なアルゴリズムの基礎を学ぶ

☆：コア学修項目

※：数理・データサイエンス・AIを学ぶ上で基盤となる学修項目

14

# 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（☆）	<ul style="list-style-type: none"> <li>データ駆動型社会、Society 5.0</li> <li>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）</li> <li>データを活用した新しいビジネスモデル</li> </ul>	
1-2. 分析設計（☆）	<ul style="list-style-type: none"> <li>データ分析の進め方、仮説検証サイクル</li> <li>分析目的の設定</li> <li>様々なデータ分析手法（回帰、分類、クラスタリングなど）</li> <li>様々なデータ可視化手法（比較、構成、分布、変化など）</li> <li>データの収集、加工、分割/統合</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>分析目的に応じた適切な調査（標本調査、標本誤差）</li> <li>サンプルサイズ的设计</li> <li>ランダム化比較試験、実験計画法</li> </ul>
1-3. データ観察	<ul style="list-style-type: none"> <li>データの集計、比較対象の設定、クロス集計表</li> <li>データのバラツキ、ヒストグラム、散布図</li> <li>データの特異点、相違性、傾向性、関連性</li> </ul>	
1-4. データ分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>単回帰分析、重回帰分析、最小二乗法</li> <li>ロジスティック回帰分析、最尤法</li> <li>時系列データ、時系列グラフ、周期性、移動平均</li> <li>クラスター分析、デンドログラム</li> <li>パターン発見、アソシエーション分析、リフト値</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>主成分分析、次元削減</li> <li>連続最適化問題、組み合わせ最適化問題</li> <li>ナップサック問題、巡回セールスマン問題</li> </ul>
1-5. データ可視化	<ul style="list-style-type: none"> <li>可視化目的（比較、構成、分布、変化など）に応じた図表化</li> <li>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、箱ひげ図、散布図行列、ヒートマップなど）</li> <li>適切な縦軸、横軸候補の洗い出し</li> <li>不必要な誇張表現、強調表現がもたらす影響</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ビッグデータの可視化</li> <li>関係性の可視化（ネットワーク構造、グラフ構造、階層構造）</li> <li>地図上の可視化、地理情報システム（GIS）</li> <li>挙動・軌跡の可視化</li> <li>ダイナミックな可視化、リアルタイム可視化</li> </ul>

15

# 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（※）	<ul style="list-style-type: none"> <li>順列、組合せ、集合、ベン図、条件付き確率</li> <li>代表値（平均値、中央値、最頻値）、分散、標準偏差</li> <li>相関係数、相関関係と因果関係</li> <li>名義尺度、順序尺度、間隔尺度、比例尺度</li> <li>確率分布、正規分布、独立同一分布</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ベイズの定理</li> <li>点推定と区間推定</li> <li>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</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>ベクトルと行列</li> <li>ベクトルの演算、ベクトルの和とスカラー倍、内積</li> <li>行列の演算、行列の和とスカラー倍、行列の積</li> <li>逆行列</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>固有値と固有ベクトル</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>多項式関数、指数関数、対数関数</li> <li>関数の傾きと微分の関係、積分と面積の関係</li> <li>1変数関数の微分法、積分法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2変数関数の微分法、積分法</li> </ul>
1-7. アルゴリズム（※）	<ul style="list-style-type: none"> <li>アルゴリズムの表現（フローチャート）</li> <li>並び替え（ソート）、探索（サーチ）</li> <li>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</li> <li>探索アルゴリズム、リスト探索、木探索</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>計算量（オーダー）</li> </ul>

16

## 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

※：数理・データサイエンス・AIを学ぶ上で基盤となる学修項目

17

## 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（☆）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ICT（情報通信技術）の進展、ビッグデータ</li> <li>・ビッグデータの収集と蓄積、クラウドサービス</li> <li>・ビッグデータ活用事例</li> <li>・人の行動ログデータ、機械の稼働ログデータ</li> <li>・ソーシャルメディアデータ</li> </ul>	
2-2. データ表現（☆）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンピュータで扱うデータ（数値、文章、画像、音声、動画など）</li> <li>・構造化データ、非構造化データ</li> <li>・情報量の単位（ビット、バイト）、二進数、文字コード</li> <li>・配列、木構造（ツリー）、グラフ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・画像の符号化、画素（ピクセル）、色の3要素（RGB）</li> <li>・音声の符号化、周波数、標本化、量子化</li> </ul>
2-3. データ収集	<ul style="list-style-type: none"> <li>・IoT（Internet of Things）</li> <li>・エッジデバイス、センサーデータ</li> <li>・Webクローラー、スクレイピング</li> <li>・アノテーション</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・クライアント技術（SDK、APIなど）</li> <li>・通信技術（HTTP、FTP、SSHなど）</li> </ul>
2-4. データベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>・テーブル定義、ER図</li> <li>・主キーと外部キー</li> <li>・リレーショナルデータベース（RDB）</li> <li>・データ操作言語（DML）、SQL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・正規化手法（第一正規化～第三正規化）</li> <li>・データ定義言語（DDL）</li> <li>・データウェアハウス（DWH）</li> <li>・NoSQL</li> </ul>

18

## 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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・集計処理、四則演算処理</li> <li>・ソート処理、サンプリング処理</li> <li>・クレンジング処理（外れ値、異常値、欠損値）</li> <li>・結合処理（内部結合、外部結合）</li> <li>・データ型変換処理</li> <li>・データの標準化、ダミー変数</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フィルタリング処理、正規表現</li> <li>・マッピング処理、ジオコード変換</li> <li>・名寄せ</li> <li>・ビッグデータの分散処理（Hadoop、Sparkなど）</li> </ul>
2-6. ITセキュリティ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セキュリティの3要素（機密性、可用性、完全性）</li> <li>・データの暗号化、復号化</li> <li>・データの盗聴、改ざん、なりすまし</li> <li>・電子署名、公開鍵認証基盤（PKI）</li> <li>・ユーザ認証とアクセス管理</li> <li>・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）</li> </ul>	
2-7. プログラミング基礎 (※)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・文字型、整数型、浮動小数点型</li> <li>・変数、代入、四則演算、論理演算</li> <li>・関数、引数、戻り値</li> <li>・順次、分岐、反復の構造を持つプログラムの作成</li> </ul>	

19

## 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

20



### 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（☆）	<ul style="list-style-type: none"> <li>AIの歴史、推論、探索、トイプロBLEM、エキスパートシステム</li> <li>汎用AI/特化型AI（強いAI/弱いAI）</li> <li>フレーム問題、シンボルグラウンディング問題</li> <li>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）</li> <li>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）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
3-2. AIと社会（☆）	<ul style="list-style-type: none"> <li>AI倫理、AIの社会的受容性</li> <li>プライバシー保護、個人情報の取り扱い</li> <li>AIに関する原則/ガイドライン</li> <li>AIの公平性、AIの信頼性、AIの説明可能性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AIと知的財産権</li> </ul>
3-3. 機械学習の基礎と展望（☆）	<ul style="list-style-type: none"> <li>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）</li> <li>機械学習、教師あり学習、教師なし学習、強化学習</li> <li>学習データと検証データ</li> <li>ホールドアウト法、交差検証法</li> <li>過学習、バイアス</li> </ul>	
3-4. 深層学習の基礎と展望（☆）	<ul style="list-style-type: none"> <li>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、音声生成など）</li> <li>ニューラルネットワークの原理</li> <li>ディープニューラルネットワーク（DNN）</li> <li>学習用データと学習済みモデル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>畳み込みニューラルネットワーク（CNN）</li> <li>再帰型ニューラルネットワーク（RNN）</li> <li>敵対的生成ネットワーク（GAN）</li> <li>深層強化学習</li> <li>深層学習と線形代数/微分積分との関係性</li> </ul>

21

### 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	<ul style="list-style-type: none"> <li>認識技術の活用事例</li> <li>パターン認識、特徴抽出、識別</li> <li>数字認識、文字認識</li> <li>画像認識、音声認識</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>画像分類</li> <li>物体検出</li> <li>指紋認証、顔認証</li> <li>音声のテキスト化</li> </ul>
3-6. 予測・判断	<ul style="list-style-type: none"> <li>予測技術の活用事例</li> <li>決定木（Decision Tree）</li> <li>混同行列、Accuracy、Precision、Recall</li> <li>MSE（Mean Square Error）</li> <li>ROC曲線、AUC（Area Under the Curve）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ランダムフォレスト</li> <li>サポートベクターマシン（SVM）</li> <li>離散型・連続型シミュレーション</li> <li>データ同化、気象予測</li> </ul>
3-7. 言語・知識	<ul style="list-style-type: none"> <li>自然言語処理の活用事例</li> <li>形態素解析、単語分割、係り受け解析</li> <li>ユーザ定義辞書</li> <li>かな漢字変換</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n-gram、文章間類似度</li> <li>機械翻訳、文章生成</li> <li>知識表現、オントロジー、意味ネットワーク、知識グラフ</li> <li>表現学習（エンベディング）</li> </ul>
3-8. 身体・運動	<ul style="list-style-type: none"> <li>AIとロボット</li> <li>家庭用ロボット、産業用ロボット、サービスロボット</li> <li>自動化機械、センサー、アクチュエータ</li> <li>シーケンス制御、フィードバック制御</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動運転システム</li> <li>ジェスチャー認識</li> <li>行動推定</li> </ul>
3-9. AIの構築・運用（☆）	<ul style="list-style-type: none"> <li>AIの学習と推論、評価、再学習</li> <li>AIの開発環境と実行環境</li> <li>AIの社会実装、ビジネス/業務への組み込み</li> <li>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）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AIシステムの開発、テスト、運用</li> <li>AIシステムの品質、信頼性</li> <li>AIの開発基盤（大規模並列GPUマシンなど）</li> <li>AIの計算デバイス（GPU、FPGAなど）</li> </ul>

22

## 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

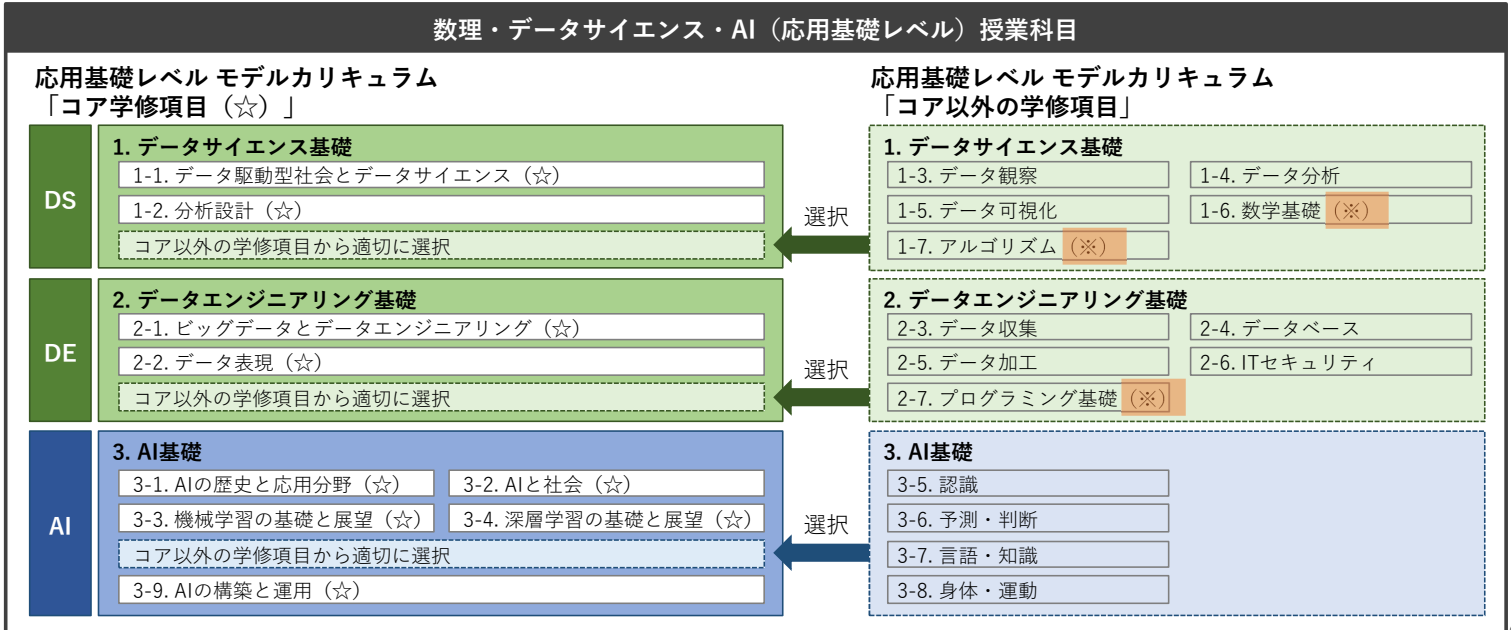
#### 評価

- ・ 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

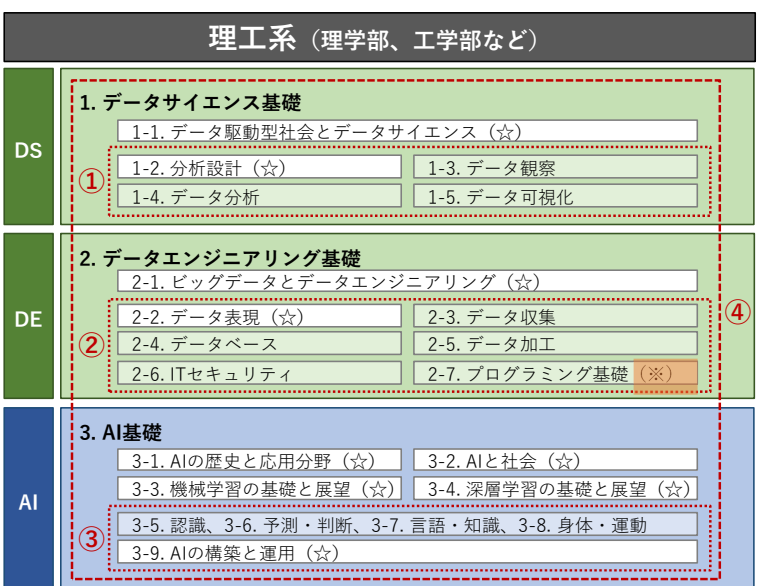
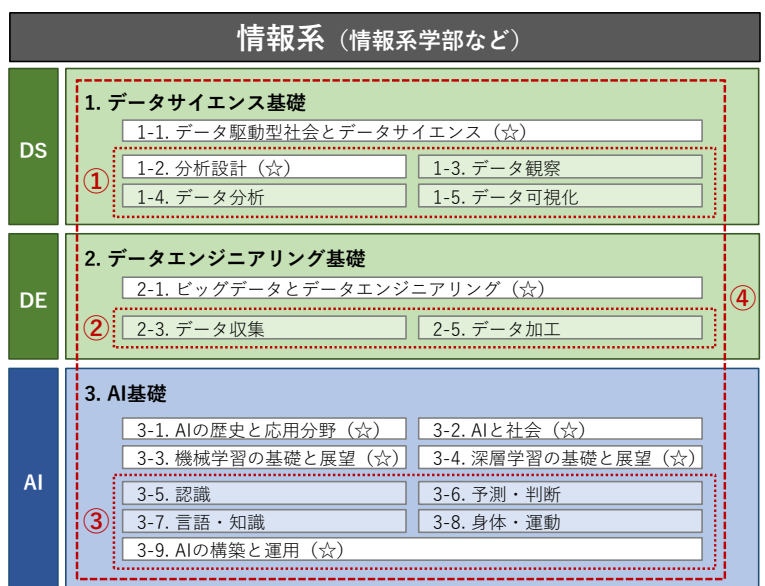
応用基礎レベルの授業科目を設計する際は、それぞれの専門分野へ数理・データサイエンス・AIを応用することを見据え、「コア学修項目（☆）」に加え「コア以外の学修項目」の中から必要となる学修項目を適切に選択することを想定。

## 数理・データサイエンス・AI（応用基礎レベル）授業科目



25

## 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）



- 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

- 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に必要な知識・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）

◆既存のカリキュラムに必要な知識・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）

26

# 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)

DS + DE	<b>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</b> ① 1-1. データ駆動型社会とデータサイエンス (☆) 2-1. ビッグデータとデータエンジニアリング (☆) 1-2. 分析設計 (☆)      2-2. データ表現 (☆) 2-3. データ収集      1-3. データ観察 2-5. データ加工      1-4. データ分析 1-5. データ可視化
	<b>3. AI基礎</b> ④ ② 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 (☆)

AI	<b>3. AI基礎</b> ④ ② 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)

DS + DE	<b>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</b> ① 1-1. データ駆動型社会とデータサイエンス (☆) 2-1. ビッグデータとデータエンジニアリング (☆) 1-2. 分析設計 (☆)      2-2. データ表現 (☆) 2-3. データ収集      1-3. データ観察 2-5. データ加工      1-4. データ分析 1-5. データ可視化
	<b>3. AI基礎</b> ④ ② 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 (☆)

AI	<b>3. AI基礎</b> ④ ② 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3月現在82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	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
<ul style="list-style-type: none"> <li>標準カリキュラムの作成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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）</li> </ul>
教材分科会	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
<ul style="list-style-type: none"> <li>教科書シリーズの企画編集</li> <li>講義動画・スライド等の収集・公開</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>産業界・私大メンバーを中心に構成</li> <li>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</li> <li>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・運動</li> </ul>
教育用データベース分科会	
<ul style="list-style-type: none"> <li>教育用各種データの収集・公開</li> <li>教育に活用可能な実データ・課題の収集・公開</li> </ul>	

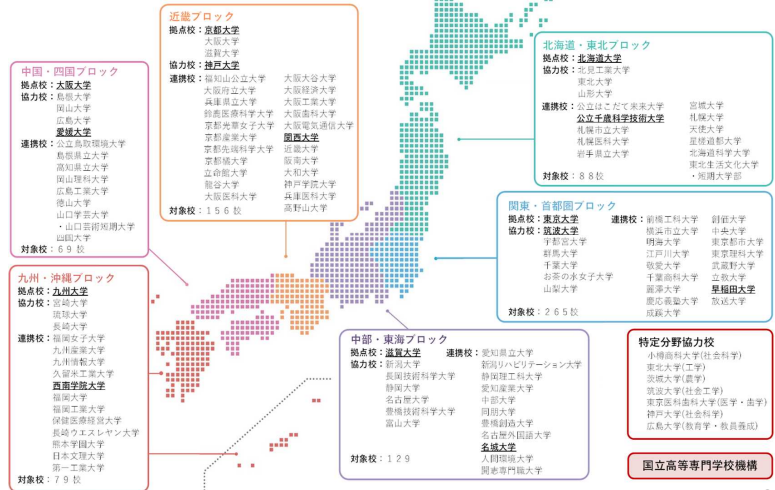
## ■ その他の活動

- 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

## ■ 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



## 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 弘佐	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学部准教授
	高野 涉	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 高	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
	関戸 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	九州大学マクス・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及び作業分担の決定
- 10月20日 第2回 特別委員会  
・基本的考え方・構成等の検討
- 11月13日 第3回 特別委員会  
・基本的考え方・構成等の検討
- 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
- 3月19日～ 第7回 特別委員会（メール審議）  
3月25日 ・モデルカリキュラム（最終案）の審議
- 3月29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の承認