

大学における工学、特にICT分野の 教育改革の現状と未来

- 科学技術の構造の変化に対応した人材育成
- 新しい教育モデルの導入が必要
- 社会が求める人物像の分布が見えない
- AI、数理・データサイエンスの人材が足りない
- 工学教育の改革に向けた官民の資金の投入が必要
- 構想力、独創性、展開力を持つ人材が必要
- AIの次を狙う人材、トップを維持する人材が必要

東京大学 石川正俊

科学技術の構造の変化 —知的生産の双対構造—

21世紀の知的生産構造

20世紀の知的生産構造

真理の探究 = 実証主義的帰納法
「証拠」から「論」を形成する方法
アナリシス = ディシプリンの形成

学問の自由

新しい真理の発見

「わかる」科学：多くの実績

相補的な協調関係 = 学問の深化

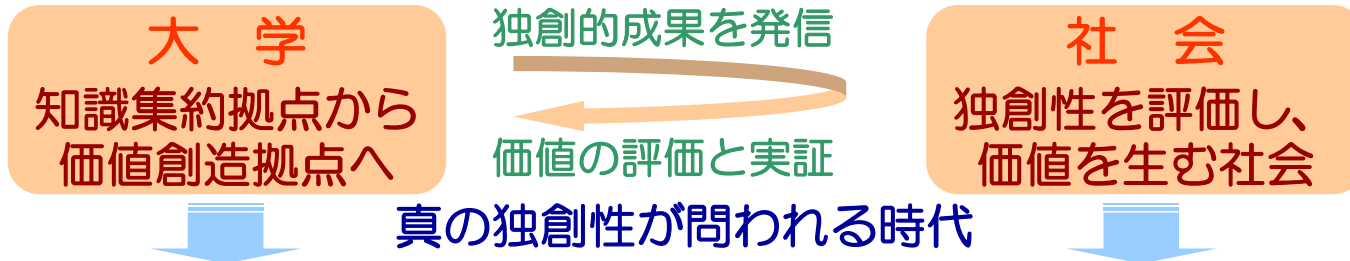
価値の創造 = 構成的仮説演繹法
「仮説」から「実証」による価値の創出
シンセシス = トランスディシプリナリティ

学問の自由

新しい社会的価値の創造

「つくる」科学：将来の価値

価値の創造 = 社会との連携



社会の価値を創造のプロセスに反映

キャッチアップ体質からの真の脱却

政策、経営上の施策と現場の乖離 + 「創造性」教育の難しさ

- 真の独創性に対する理解不足が招く、科学技術の停滞。
- 他国のキャッチアップではなく、日本の現状にあった構想力を持った施策が必要。
- 創造的な人材の養成の緊急性。創造性豊かな人材の流出 → 問題の深刻さにご理解を！

独創性の本質－真の独創性が問われる時代

科学技術の構造が変わった 真理の探究から価値の創造へ

- ・アナリシス: 実証主義的帰納法に加え、シンセシス: 構成的仮説演繹法を導入した双対構造へ
- ・キャッチアップ体質から脱却し、問題を解く科学から、新たな社会的価値を創造する科学へ
- ・科学技術の短命化・多様化・複雑化、自前主義から脱却: = 技術導入の時代、国際競争力の強化

問題点1: 科学技術の構造の変化についてこれられない

- 従来の技術やニーズの延長上でしか評価していないし、それ以外の対応ができない。
- 未来のニーズを把握できない。課題解決では、ものは作れても新たな価値は作れない。
- 今だにリニアモデルにしがみつき、行き過ぎた要素還元主義以外に手段がない。
- もはや「大学が基礎で、企業が応用」の時代ではない。構想力不足から生まれる消極性。
- 旧来の知的生産、特に改良中心のスキームやPDCAサイクル等から脱却できていない。

問題点2: 真の独創性に対する理解不足が招く、科学技術の停滞

- 課題解決型も含め、与えられたディシプリンの深化だけでは新規分野は創出できない。
- 知識をいくら集めても真の独創性は得られない(知識集約型から知能集約型へ)。
- ブレークスルーとイノベーションの混同 = よい要素技術は活用されるという妄想!
- 既存マーケットの枠内での改良は、限られた利益の奪い合いになっている悲哀。
- 独創性のない研究開発戦略からは、キャッチアップの成果しか生まれない。

問題点3: 開発リスクを取らないから真の独創性は生まれない

- 研究段階では社会的価値は見えない(価値が見えるようであれば、独創性は低い)。
- 研究開発が投資的行為(独創性は多くの失敗を招く) = リスクであることへの無策。
- リスク分散、研究開発投資の効率化等に対する手段を持たず、死の谷を克服できない。
- イノベーションを標榜しても、具体策がなければ新規産業分野は生まれない。

問題点4: 研究者の社会受容性に対する感度不足と事業化スキームへの無関心

- オープンイノベーションに対応しきれておらず、社会の知能を活用する手段がない。
- 事業化スキームの経験不足から来る事業化に対する構想力不足がもたらす消極性。
- 現状のニーズを分析してテーマを設定し、それに合った技術を開発してしまう悲哀!
- マーケットドリブン以外のスキームを持っていない。出口の見えない出口戦略!

- 論文や特許が出ただけで、「優れた研究成果」としていないか?
- 予算を配れば、一定の成果は必ず出ると考えていないか?
- 効果的な事業化の実現手段(シナリオ)を構想しているか?
- マーケットがない技術、欧米に競争相手がいない事業、科学技術基本計画にない分野を推進できるか?
- 行き過ぎた重点化で多様性を失っていないか?
- 日本で、Google、Facebook、Cisco、Oracle等を排出できるか? そのためのスキームを社会が持っているか?
- 政策・経営上の施策と現場の乖離はないか? 現場の意識変革は進んでいるか?
- 外国(欧米、韓国、台湾、中国等)の事業化攻勢に勝てるか?

未来の価値は社会が決める 社会受容性を意識した研究開発へ

- ・ 課題解決型ではなく、社会受容性を意識したシステム価値創造型研究開発の積極的推進
- ・ 知的生産のリスクマネジメント手法、特に日本型テクノロジーファイナンスの確立
- ・ 新技術・新規産業分野創出に向けた研究開発の構造的改革と持続的発展のための環境整備

価値創造のための研究開発戦略 — 今、何をすべきか？

現状認識 — なぜ研究成果は事業化されないのか？

膨大な国費が研究開発に投下されている（平成23年度約4.7兆円）が、その多くが事業化に至っていない。
→ 研究開発投資（国費）は、うまく活用されていない。応用されなかった研究成果は山ほどある。

戦略1：社会受容性に基づくシステム価値を意識した研究の積極的推進

- 自前主義から脱却し、分野間の融合や技術導入による独創的な新規分野の開拓
- 課題解決型ではなく、社会受容性を意識したシステム価値創造型研究開発の推進
- 抽象的な構想ではなく、具体的なシステム価値や事業化構想に基づく評価の導入
- 政策としても、要素還元主義からの脱却、システム価値・構想力の重視への変革

戦略2：知的生産のマネジメント、特に日本型テクノロジーファイナンスの確立

- 自前主義を排した、技術導入・共同研究による研究開発投資とリスクの分散化の推進
- 独創的研究のリスク分散に向けた、大学・公的機関（＝国の公的研究投資）の有効活用
- 研究開発と事業化のギャップを埋める公的ファイナンスの実現とその投資基準の改革
- 正当な失敗を見分け、チャレンジを続ける積極的なリスクマネジメント基盤の確立
- ファイナンス、研究者の立場、解散時価値に配慮したリスクテイクの構造の確立

戦略3：新技術・新規産業分野創出に向けた構造的改革と環境整備

- 新規産業分野を柱として、新規の雇用・技術人材を生み出す持続可能な構造の確立
- マーケットを持たない技術の価値評価、解散時価値の適正化、研究に市場原理の導入
- 新規スキーム（ベンチャー活用、クラウドファンディング、信託等）の積極的導入
- 積極的知財戦略、国際競争力強化、社会知能の活用、ギャップファンド、税制優遇等

戦略4：事業化シナリオ重視の政策と課題設定

- 行き過ぎた重点分野指定の弊害としての多様性の欠如からの脱却＝多様性の維持
- 要素還元主義、課題解決型ではないシナリオ＝独創的応用システムの具体的イメージ
- 抽象的課題、ユーザーシナリオ（社会受容性）、システムデザイン、仕様の一体化

構造的なリスクテイクをベースに独創的な発想の重視

→ システム価値創造につながる豊かな発想の研究者像と社会基盤の確立

→ 「ナノテクノロジー」、「材料・デバイス」、「安全安心」は、具体的デザインがなく、研究者の解釈任せになっていて、政策誘導になっていない。

→ 例えば、「安全安心のためのデバイス技術の開発」は、誤謬があり、具体策が伴わず、マーケットは開拓できない。安全安心なんて誰でも言える。

→ 必要なのは、具体性を持ったデザインとそれに基づくスペックで、そこに価値がある。今までその価値をないがしろにしてきた。

→ 日本のデバイス技術は応用開発を怠っており、与えられた用途だけでは市場は立ち上がらない。

→ 事業化の観点で何の成果も出していない、食い逃げの研究テーマが多すぎる。

→ 新規性のない施策から、新規市場やイノベーションは起こらない。

新しい教育モデルの必要性 —未来への投資—

教育の議論の前提

1. 理念論は多少意味があるが、理想論は意味がない。実装可能なプランで議論すべき。
2. 教育に対して、責任を持つ発言が必要。
「…な人材が必要」という発言をするなら、その予算は確保すべきだし、その人材は採用すべき。
3. 学生が何を考え何を指すのかと、社会がどのような人材を必要としているかの現状分析が重要。
4. 教育改革には時間がかかる。学部で4年後、修士で2年後、博士で3年後を想定した議論が必要。

新しい教育モデル —以下の状況への対応が必要

1. 技術分野の多様化と短命化が進んでいる。一方で、技術基盤を支える重要な技術の維持も必要。
2. 将来、分野の展開あるいは革新が必ず来る。そのときにどのようなスキルが必要かを考慮すべき。
3. 一つの技術分野を極めるだけの教育のモデルは、もう使えない。新しい教育モデルが必要。

現場の努力と苦悩

1. 現存する講義の枠の中で取り入れているものもある。ただし、講義のタイトルはあまり変えないので外からは見えない。構造的な改革には時間（年次進行）が必要。
2. 問題点は、そうでない講義もあることと、全体としての輩出人数の割合が期待に合っていない。
3. 社会の要請が正確に把握できない。
 - 線形代数は古くさいから必要ないが、ビッグデータ解析やデータサイエンスの講義は必要（笑）
 - 熱伝導の偏微分方程式は使わないから講義は不要だが、フィンテックの数理の講義は必要（笑）
 - 情報、数理、データサイエンスのスキルを持っていても、会社の採用人事では考慮されにくい。

AI, 数理・データサイエンスから学ぶもの

AI, 数理・データサイエンスの人材が足りないのは明白

1. 早急な対応には、(研究ではなく)教育のための資金の集中投資と教育のための人材が必要。
2. 社会が求める人物像に関する「正確な調査」が必要。
→ 基本的な技術を学ぶべきという意見もあれば、先端技術を学びたいという意見もある。

実は、足りないのは、構想力、独創性、展開力を持つ人材

1. AI、数理・データサイエンスの重要性を予見できなかった社会、福島邦彦先生や甘利俊一先生の成果を評価できなかった社会、日本のロボット技術やVR技術の優位性を評価できない社会。
→ この社会では、すぐにキャッチアップに走ってしまっ、先頭に立てない。
2. AIの次に先頭を狙う力が必要。
→ 次の技術を生み出す力、次の技術を探索あるいは予見する力が必要。
→ 現在優位に立っている分野をさらにリードすることも必要。

現場の真実

1. 米国のAIの大手企業の幹部が、私の研究室によく来る。理由は、今のAIの次を探るため。
2. 日本のロボット研究者、VR研究者は、米国の反応が独創性に対して敏感なことを日頃から実感している。日本の社会・企業は、なかなか反応しない。チャンスを逃している。
3. 現代の工学教育自身が、総合的な見地に立ったテクノロジーマネジメントを駆使する必要がある。
4. 学生、特に有能な学生は、日本の既存企業とのミスマッチ（行かない、行っても能力を発揮できない）を起こしている。

短期, 中期, 長期の戦略に対応した人材教育

- 第4次産業革命やsociety5.0、そしてその先の時代に対応し、我が国の成長を下支えする産業基盤を強化しながら、新たな産業を創出していく人材を育成するため、世界をリードする高いレベルの工学教育を実践するための改革を進める。
- 国や産業界による工学教育の新たな取り組みへの重点投資が必要。
- 産業界と連携に基づき、社会が求める人物像を共有したうえで、必要な人材を輩出。産業界からの積極的な支援が必要。
- 革新的・創造的な教育プロジェクトへの支援

参考 文部科学省「大学における工学系教育の在り方について（中間取りまとめ）」平成29年6月

今の技術を先導する力

短期的人材養成 (2,3年~5年)

現在の技術分野を牽引する人材、
社会の要請に的確に応える人材の
養成。トップ人材と中間層人材。

- 社会人学生の受け入れ（社会人再教育）
- 情報を基盤として工学諸分野との融合
- AI, ICT, データ科学等のスキルをもつ学生。リテラシー教育の強化
- 問題を解く能力、先端技術を取り込む能力
- 演習の強化。逆転学習やe-Learningの導入
- カリキュラムの標準化

次の技術を生み出す力

中期的人材養成 (5年~10年)

次の技術を創造し、牽引する人材、
新しい技術、新しい分野を創造する
力をもった人材の養成。

- 6年制、9年制一貫教育による学生
- デザインシンキング、アクティブラーニング、PBL
- アントプレナーシップ強化
- 海外を含むインターンシップの改良
- 問題を発見し解決する能力
- 学際領域や文理融合の視点の重要性
- 博士人材の専門の深い知識と同時に幅広い知識を持つ人材
- 卒業論文、修士論文等で、プロジェクトの参加経験がある学生

技術革新に適応する力

長期的人材養成 (10年~20年)

技術の変化に対して、共通基盤技術、
要素技術を理解し、分野内、
分野間の構造を築く人材の養成

- 将来社会の姿をデザインし、その達成に向けた人材養成
- 将来に向けて基盤となる技術の深化
- 将来基盤となる講義、共通講義も必要
- 一般教養の数学・物理の専門基礎知識を持った学生
- 原理・原則を理解する力
- 将来の産業構造の変化を許容する人材育成

工学教育改革の具体的方策のイメージ

1. 学部・大学院の教育体制の改革

- 1) 学科・専攻定員制度の廃止
 - 分野構成・定員管理・教育体制の柔軟な運用が可能に
 - 教育組織の統合・集約的運用が可能に
 - 時代の要請・科学技術の構造の変化・産業分野の変化に迅速に対応
- 2) 学部・大学院における学位プログラム制の積極的導入(教員組織と教育組織の分離)
 - 幅広い分野の知識と専門の深い知識の習得が可能に

【学部段階における基礎教育の強化】
- 3) 工学基礎教育の必修科目の設定(コア・カリキュラムの策定、e-learningや教材の開発)
 - 必須科目：数学、物理、バイオ、化学、情報（情報セキュリティを含む）・数理・データサイエンス
 - 推奨科目：倫理・安全、マネジメント（知的財産を含む）、アントレプレナーシップ、技術英語等

※一般教育における人文社会科学分野の学修も必須
- 4) 卒論のあり方の見直し（社会とのつながりの理解）
 - 積極的活用、PBLへの転換等による展開力、課題設定・解決能力の醸成型に転換
 - 低学年からのPBLやインターンシップの導入

【学部・修士課程段階における融合教育の推進】
- 5) 学部・修士の6年一貫制教育のための大学院制度の創設(仮称：工学・情報大学院：当面は当該領域を優先)
 - 工学と情報学等のダブル・メジャー・システム
 - 卒論を廃止し、PBLを活用し、修士論文のみ
 - 共通基盤教育(学部前期・後期)と専門教育(学部後期・修士)の柔軟な年次区分が可能に
 - 工学基礎力・展開力・適応力の強化
- 6) メジャー・マイナー制の導入
 - 複数の専門分野の修得、分野融合人材の養成が可能に
 - バイオ、医学、社会学、経済学、心理学、MBA等、広範な分野と工学の融合強化
 - キャップ制の緩和
 - 企業側の修得学生に対する評価が必要
- 【学部・博士課程教育によるリーダーの育成の充実】
- 7) 9年制による工学・情報系人材の量的拡大・質的充実
 - 学生オリエンティドのオーダーメイド・プログラム
 - 産業界と学術界の出口を見据えた平行型
 - 産業界と共同研究を通じた社会人の学びなおし教育
- 8) 博士課程におけるダブル・メジャー・システムの推進
 - 他分野（バイオ、医学、社会学、経済学、心理学等）の複数メジャー
 - 学内クロス・アポイントメントの導入
 - 分野横断的学位審査の推進
- 9) 教員組織構成・雇用形態の多様化・柔軟化
 - 教員の学内クロスアポイント制度の導入（エフォート管理と第三者評価）
 - 教育専任教員の導入（シニア教員の参画、TAの育成等）
 - 企業からの教員派遣（実務家教員制度の導入：論文、博士学位なし）
 - 教員組織と教育体系の関連性を柔軟化することが可能に
- 10) カリキュラムの体系化と学生ごとのカスタム化
 - 支援ツールの導入により、個人のキャリア設計に応じたカリキュラムの選択が可能に
- 11) 希少となった工学教育の保持・継承
 - 産業界のニーズが高い希少工学教育の機会の保持・継承が可能に

2. 情報科学技術の工学共通基礎教育の強化と先端人材教育の強化

- 1) 工学基礎教育としての情報科学技術教育の強化による工学諸分野との融合技術の創出
 - 非情報関連分野の人材の情報関連スキルの向上
 - 情報技術応用分野の拡大
 - スキル別教育の導入による教育効果の向上
- 2) 情報系人材の育成の量的拡大と質的充実
 - 不足する情報関連人材の養成が可能に

工学教育改革の具体的方策のイメージ

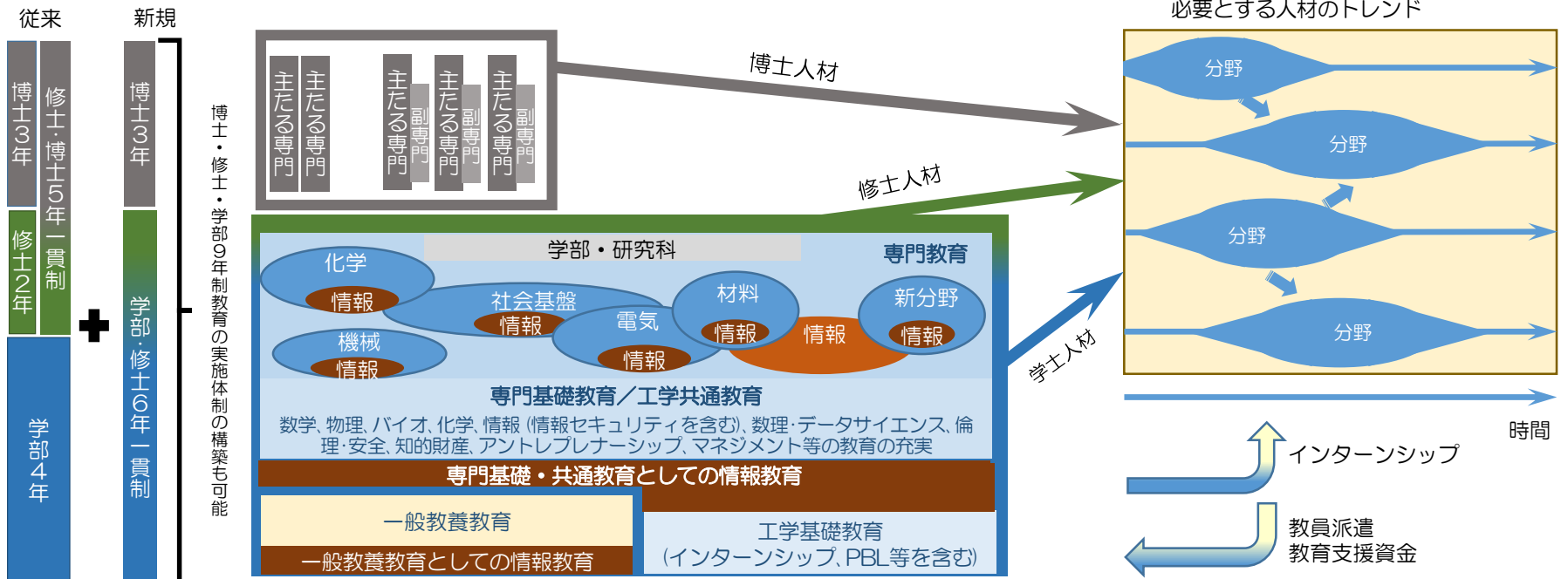
3. 産学共同教育体制の構築

- 1) 企業からの教員派遣、学外クロスアポイントメントの推進
→ 工学を学ぶ目的意識の醸成
- 2) 産学協同による(就活目的でない)教育効果の高いインターンシップの推進
→ 早期に企業活動を知ることによって生まれるカリキュラム選択への目的意識の醸成
→ 組織対組織を促進する産学協同のコンソーシアムの構築
- 3) 社会人教育の推進、産業界との共同研究を通じた社会人の博士課程教育の推進
→ 目的意識を持った社会人の仮説演繹型知的生産の活性化
- 4) 産学連携による協働プログラムの開発・提供
→ 国と産業界のマッチングファンドによる革新的・創造的なプロジェクトの創出支援

4. 国や産業界による工学教育改革への投資

我が国の成長を支える産業基盤を強化し、新たな産業を創出していくため、世界トップレベルの工学教育を実践する改革を進めるための重点投資が必要。国や産業界が責任を持って大学の教育プログラムを開発するためには、企業からの投資も積極的に推進する。その際、以下の点に留意。

- 1) 企業の教育に対する投資の税制上の優遇措置
- 2) 企業における大学院生の知的財産の問題の整理
- 3) 「一企業からの提供」でなく、一産業分野の「組織的な提供」へ移行



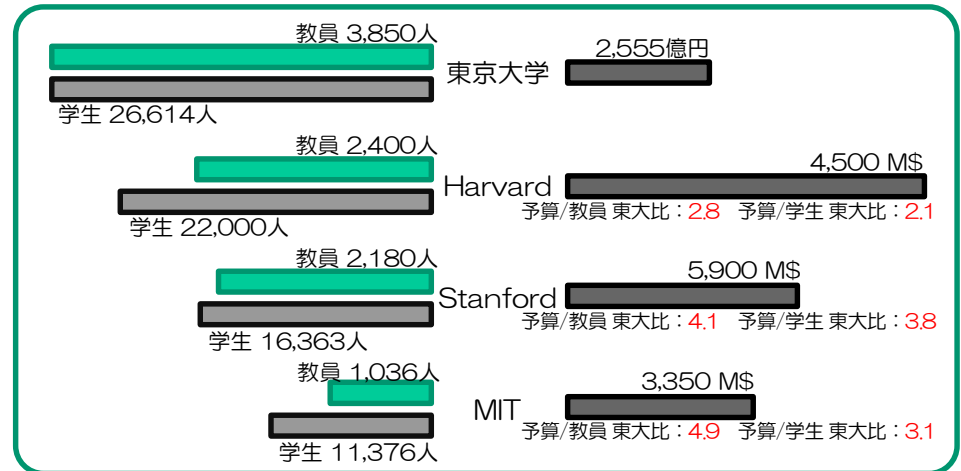
[参考資料] 大学予算の日米比較

各大学の教員、学生、予算の比較

	東京大学	Harvard (概数)	Stanford	MIT
Faculty	3,850	2,400	2,180	1,036
Students (Undergraduates)	14,047	6,700	7,032	4,524
Students (Graduate)	12,567	15,250	9,304	6,852
Students (Total)	26,614	22,000	16,363	11,376
予算 (Million\$ or 億円)	2,555	4,500	5,900	3,350
予算/Faculty (Ten thousand\$ or 百万円)	66	187	271	323
(東大を1とした比率)	1.0	2.8	4.1	4.9
予算/Student (Ten thousand\$ or 百万円)	9.6	20.5	36.1	29.4
(東大を1とした比率)	1.0	2.1	3.8	3.1
Endowment (Million\$)	-	37,600	22,400	-

注意：

上の表は、現在Webで手に入る最新のデータを集めたものですが、各大学によって、教員、学生、予算、年度等の定義が違うので、正確な比較ができる数字ではありません。概略的な数字とお考えください。



▷ 東大の予算は、大学規模を考えると、米国3大学のそれぞれ1/2から1/5.

- スタッフの数が違う。教員の数はほぼ同じ割合か、少し多い。⇒ 日本の大学では、教員がスタッフの仕事をしている。
- 授業料の額が違う。貸与奨学金比率が違う。⇒ 米国の大学では、実質的に、大学収入が高く、学生負担が少ない。
- Endowmentの額が2桁違う。運用方法が違う。運用益が違う。⇒ 米国の大学では、財務の安定化、長期的教育投資に寄与。
- 寄付、共同研究の額が違う。⇒ 米国では、民間からの信金が、教育研究に回っている。

▷ 社会資本をどうやって教育に還元するかの全体像の設計が必要.

- 大学の教育改革の裁量を拡大するには、財務の安定化と長期的教育投資の仕組みが必要。
 - 財務の安定化 → 上限コントロールを平均値コントロールに転換する必要がある。
 - 基金(Endowment)相当の資金の担保が重要で、長期的教育投資に対する財源の確保。
- 教育ただ乗りの回避
- 社会受容性を基盤とした財務体質の改善により、心理的安定性の確保が必要。

東京大学 数理・情報教育研究センター

本事業の目的：世界に先駆けた「超スマート社会」の実現（Society5.0）に向けて、我が国の産業活動を活性化させるために必要な数理・データサイエンスの基礎的素養を持ち、課題解決や価値創出につなげられる人材育成。専門分野の枠を超えた全学的な数理・データサイエンス教育機能を有するセンターを整備し、専門人材の専門性強化と他分野への応用展開の双方を実現し相乗効果を創出。

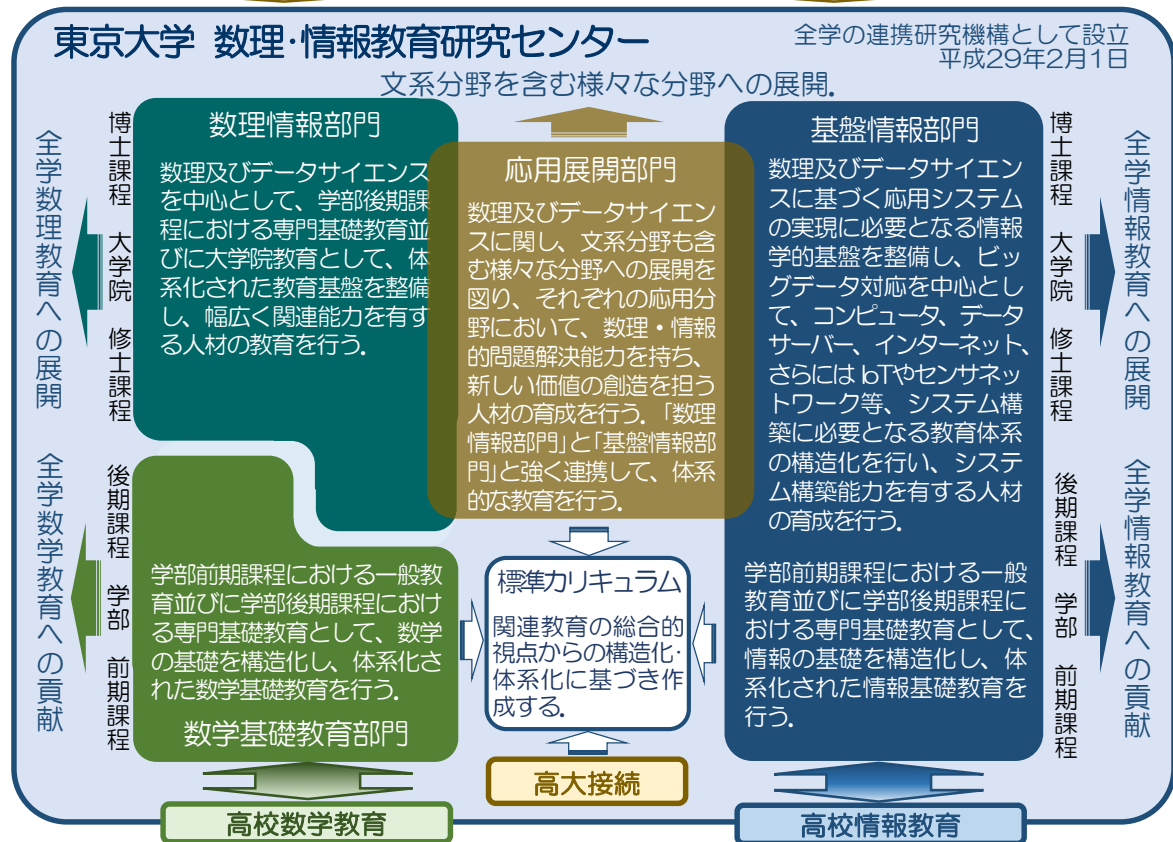
一般教養教育・専門教育による数理・情報人材の裾野の拡大、産業界との連携による人材の供給

6大学コンソーシアム
標準カリキュラムなどを通して他大学等全国展開
幹事校

産業界コンソーシアム
関連教育における大学→産業界で連携した人材育成
強い産学連携

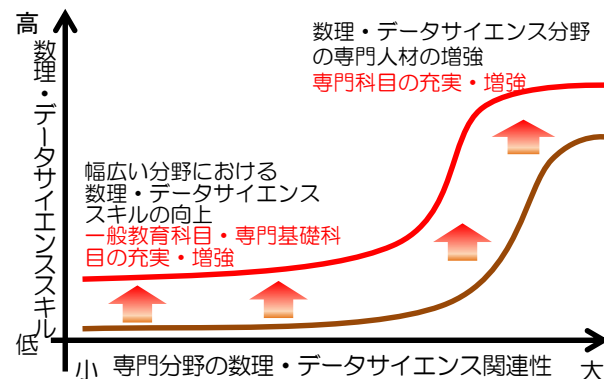
世界的研究成果の創出、先端的研究人材の育成

次世代知能科学研究センター
人工知能技術を総合的に研究する。社会実装も含めた世界トップの研究成果の創出並びに関連分野をリードする研究人材の育成を行う
平成28年10月1日に全学の連携研究機構として機構として設立。



強い連携

文系分野も含み、輩出する人物像に合わせた幅広い人材の育成



工学並びに情報教育の未来 –もう一度の恐怖–

人材育成もデータに基づいた議論が必要

社会が求める人物像とその分布、教育に求められるニーズ、講義名に捕らわれない教育内容の正確な把握が必要。迅速な教育改革には十分な資金と人材の投入が必要。

来てほしくない数年後の世界

数年後（学部教育では4年後、修士まで入れると6年後）に、「米国で新しくXXが重要視されている。日本は遅れているから強化せよ」という意見が出ることは避けたい。

にわかAI標榜者、にわかデータサイエンス標榜者の悲哀

今までの日本の研究開発の中で、社会が反応しなかったが故に先頭に立てなかった技術があることも知らず、またそれを見極める力を持たずに、はやりと言うだけで重要性を説く悲哀。

イノベーション標榜者のパラドックス

米国発の「イノベーション」を標榜することは最もイノベティブでない。独創性のない政策からは、独創的な成果は生まれない。