

# データサイエンスが描き出す 「モノづくり」の未来シナリオ ~オリエンテーション~

大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構

統計数理研究所 椿 広計

(一社)品質工学会会長・(一社)日本品質管理学会元会長（第45~46年度）

# 自己紹介「古典統計家」：米国職業分類15-2041

2

米国では「統計家」がプロフェッショナルとして定義

■ 統計的方法を用いてデータを収集・分析し、ビジネス、エンジニアリング、科学分野など実世界の問題の**ソリューション提供**を支援

■ 欧米・アジア・アフリカ→統計家育成専門職大学院が確立

■ 統計・数学の専門職修士学位：**データサイエンス時代に出遅れた日本**  
全米約150大学院に設置されている統計学専攻や生物統計学専攻の修了生、

■ 統計家：修士48%，学士28%，博士：20%

■ 生物医学統計家：修士44%，博士：40%，博士取得後研究者：8%

■ 中国：300大学，英国・韓国：50大学前後

■ 日本：総研大統計科学専攻，滋賀大学データサイエンス研究科

■ 米国博士統計学年間600名供給可能⇔日本5~10名程度

■ Q: Deming賞のDemingの職種は？

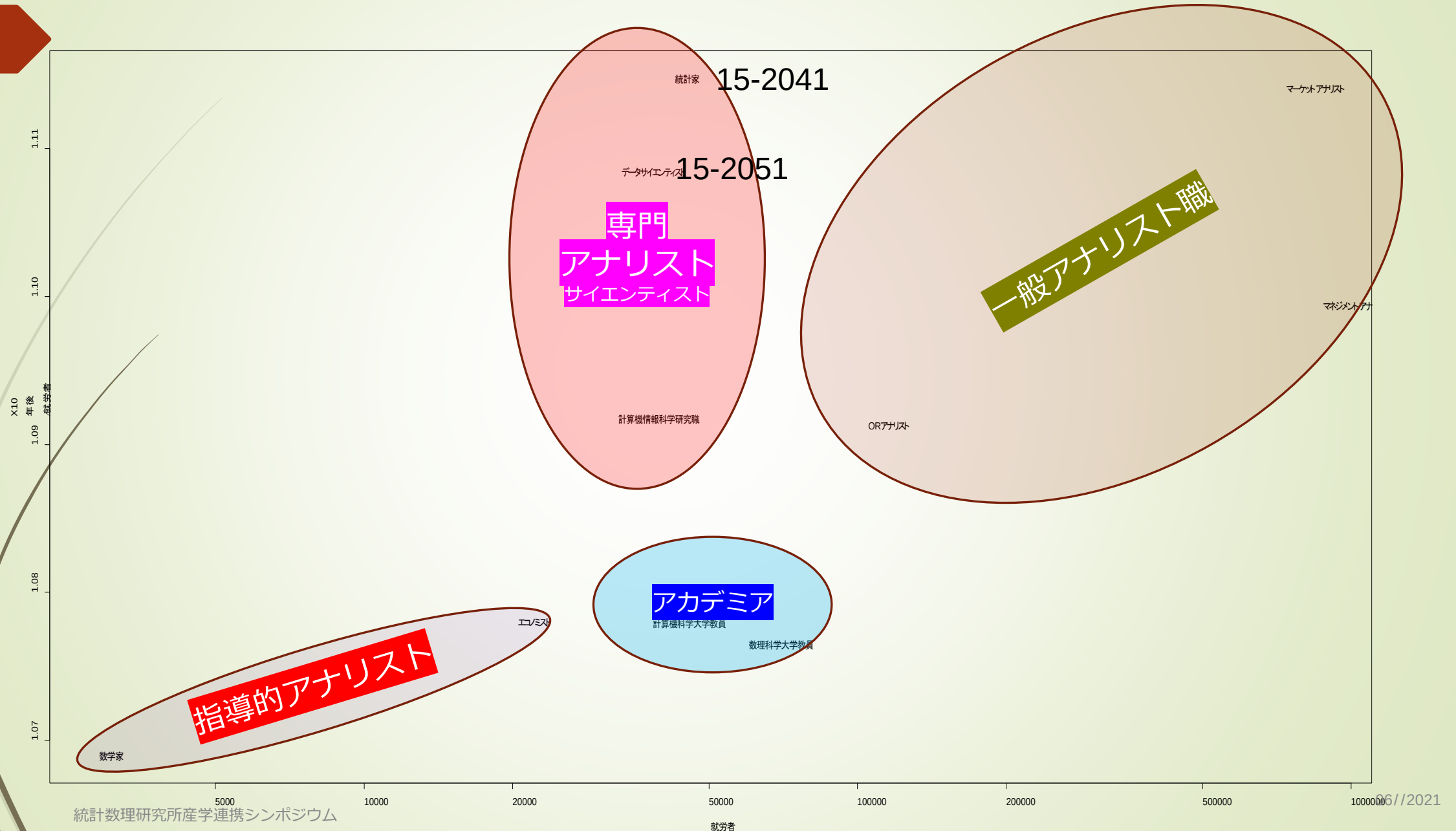
■ [https://en.wikipedia.org/wiki/W.\\_Edwards\\_Deming](https://en.wikipedia.org/wiki/W._Edwards_Deming)

■ P値という用語の提案者は？ Deming配分とNeyman配分

統計数理研究所産学連携シンポジウム

# アメリカ合衆国10年後就労者増加：合衆国労働統計局予測データより作成 2019/05職種就業者数、2020/05で増大するJob数予測

3



# 統計が切り拓いた過去

## 4 初期の学術・社会利用

- **Gauss:1809**:誤差論：天文学への当てはめ
- **Quetlet:1835**:**社会物理学**
  - **社会的要素を変える原因の影響**
  - Snow：1854,この水道の水を飲むとコレラになる
  - Nightingale:1862,病院管理体系的改善活動
    - 病院統計整備
- **K. Pearson1892**:「**(認識)科学の文法**」
  - 計量生物学の創成
  - 計量心理学(Spearman,1903), 計量諸科学
- **産業応用：Gosset：1900ギネス研究所入所**
  - **ピアソンの指導, t検定の発明と最適麦種探索**
- **Shewhart:1918 Western Electric 入社**
  - **1931品質管理学創生: PDCサイクル**

- **Fisher：1919ロザムステッド農事試験場**
  - 1935 農業分野で実験計画法完成
- **E.S.Pearson+英国規格協会1933**, 品質管理と標準化研究
  - **ISO TC 69「統計的方法の適用」**：1948活動開始
  - **日本工業規格**：統計的品質管理規格1953～（JIS Z9001）
- **Deming：1939Shewhartの統計的品質管理監修出版**
- **Deming：1950** 日本で統計的品質管理講義
- **日科技連 QRG 1951：PDCAサイクル世界初講義**
  - **1960小松製作所:統計的改善の標準シナリオ**
    - **Kaizen全世界展開**
  - **豊田英二：米国自動車殿堂1994：継続的改善**
- **工業実験計画法から田口のRobust Parameter Design**
  - **George Box: 1948 ICI入社**  
応答曲面法, Evolutionary Operation
  - **田口玄一:1950電電公社西堀特研** 直積実験, 直交計画
    - **米国自動車殿堂:1997(日本人3人目)**

# George Box: 1986/06 Bell研若手研究者(V. Nair, Jeff Wuら) と共に 日本（トヨタ）を視察

## R.B. Reich, 1984

- アメリカが10年間で50%以上シェアを落とした製造業リスト
  - Automobiles, Cameras, Stereo Components
  - Medical Equipment, Color Television Sets
  - Hand Tools, Radial Tires
  - Electric Motors, Food Processors
  - Microwave Ovens, Athletic Equipment
  - Computer Chips, Industrial Robots
  - Electron Microscopes, Machine Tools
- 高品質低コスト製品に敗退

## Box and Bisgaard, 1987

- The Scientific Context of Quality Improvement
- "They Do It and We Don't"
  - 小原、光藤、椿(2018)
    - 横幹連合コンファレンス
    - 当時のボトムアップ小集団改善活動規模
    - 1988：製造業事業所無作為標本調査
      - 6.6万事業所
      - 75万QCサークル, 550万名
    - 2017：QCC 本部公式登録件数
      - 53,267サークル
      - 489,500名
- 当時：品質管理誌、QCC誌：問題解決ストーリー宝庫
  - 直交表実験・多変量解析の事例も多々含む

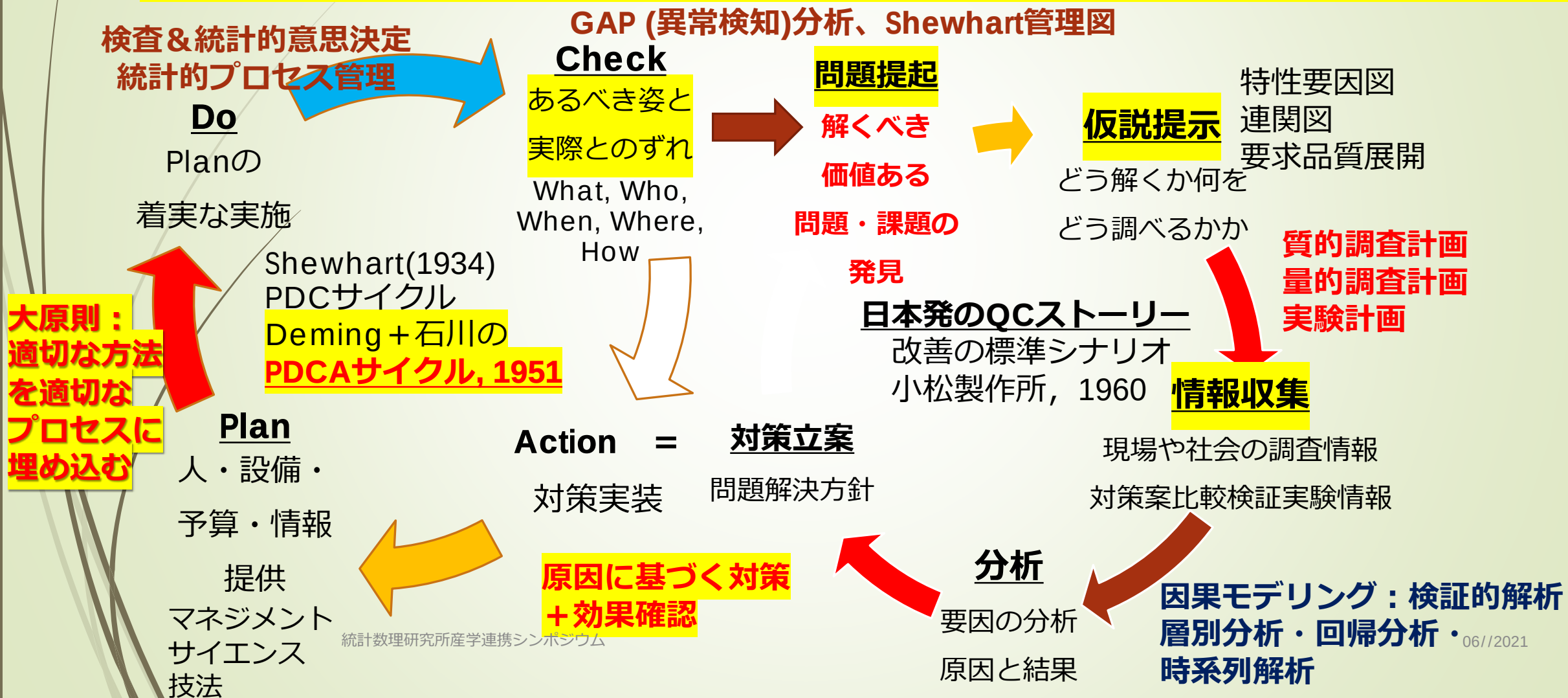
# 日本製造業コトづくり I : 科学的ビジネスの文法 : 認識からデザインへの発展

デミング・石川のマネジメント・プロセスモデル+支援技法の習熟

6

Japanese PDCA : 日常管理(Control)と改善行動(Improvement)の合体

V. Nair, 2015 国際統計協会会長講演 : 統計学産業界への最大の貢献はDeming-石川の統計哲学



# 専門知に依存する統計知

## 田口玄一1975/11 東大教養学部「統計学」

### どのような研究アプローチが適切かを知る

#### ■ 研究とは

■ 目的：個性・着想, 手段：技術力・創造力

■ 評価：実験の計画・確実性・能率

#### ■ 日本製造業コトづくりⅡ：関数形[専門知の水準]による統計的研究技法の分類

■ **開発調査研究** （技術的事前情報が無情報的）

■ 関数形(メカニズム)がある領域で不明：調査・実験計画

■ 理論の評価 （技術パラメータの事前情報が存在）

■ 関数形は予想がついているが未知母数がある：回帰分析（今日的には、データ同化）

■ **設計計算** （樁注：技術パラメータの事前情報が無限大）

統計数理研究所 田口玄一 関数形が完全に所与：数値解析（シミュレーション）、摂動解析（ロバスト設計）

# 日本流製造業コトづくりⅢ：要因の分類とその技術分析戦略への影響

8

椿(2019) 田口玄一の統計学に対する貢献,横幹、13(2)、110-116.

- 田口玄一，実験計画法(上)，(下)，丸善，(1957, 1958)からの発展
- 産業界の要因解析の目標⇒×予測，○制御因子最適化と技術知識獲得
- **変動要因の分類：統計だけで重要なわけではない！**
  - 制御因子：技術を最適化するために調整する因子
    - 意図的にその水準（変数値）を制御可能
    - 要因効果を推定すべき因子
  - 標示因子：**制御因子の最適化に影響を与える**可能性のある要因
    - 観測可能で，意図的に実験で観測
    - その水準を制御することは不可能な因子
- **AI時代でも重要な区別：ただの入力変数ではなりえない**

# 最適行動決定を踏まえた技術分析戦略 価値最適化の場合分けを知る

- 行動決定のための統計的要因解析
  - 標示因子と制御因子の交互作用を明らかにし  
標示因子の水準毎に制御因子を最適化
  - 制御因子間の交互作用存在
    - 交互作用の少ない制御因子の合成・交互作用の消去技法
- 日本製造業コトづくり：ロバストパラメータ設計
  - 伊那製陶タイル実験, 1953
  - ロバストな制御因子最適化：
    - 標示因子の一部を制御因子と敵対するノイズと見なす直積実験
    - 制御因子 vs ノイズ因子のゲームの落としどころ
    - AIの敵対的学習への先駆的業績

# 海外学校教育は1990年代以降統計強化に何故変わったのか？

U.S. Department of Labor (1991) “What Work Requires of Schools” A SCANS Report for AMERICA 2000,  
<https://wdr.doleta.gov/SCANS/whatwork/whatwork.pdf>

## 欧米初中等高等統計教育の転換点

- 米国労働省レポート
  - 21世紀スキル
  - 日本の労働者が90%持つスキル
    - **自立的問題解決能力**
  - 米国労働者60%保有せず
    - 手直し. 品質劣化, 納期遅延
- **初中等学校教育の転換**
  - **PPDACサイクル**に基づく  
問題解決教育数学教育に
- **日本では産業界内教育**
  - **海外：品質管理教育の学校教育化**

## 今日の状況？

- They Do It, We ???
- 時代変化
  - データ産業革命
    - データと分析の価格崩壊
      - サイバー空間データ
      - 数値実験データ
  - サービスプロセスの付加価値
    - モノづくりとコトづくりの合体
- 人材育成はわが国は周回遅れ
  - **どう立ち向かうのか？**

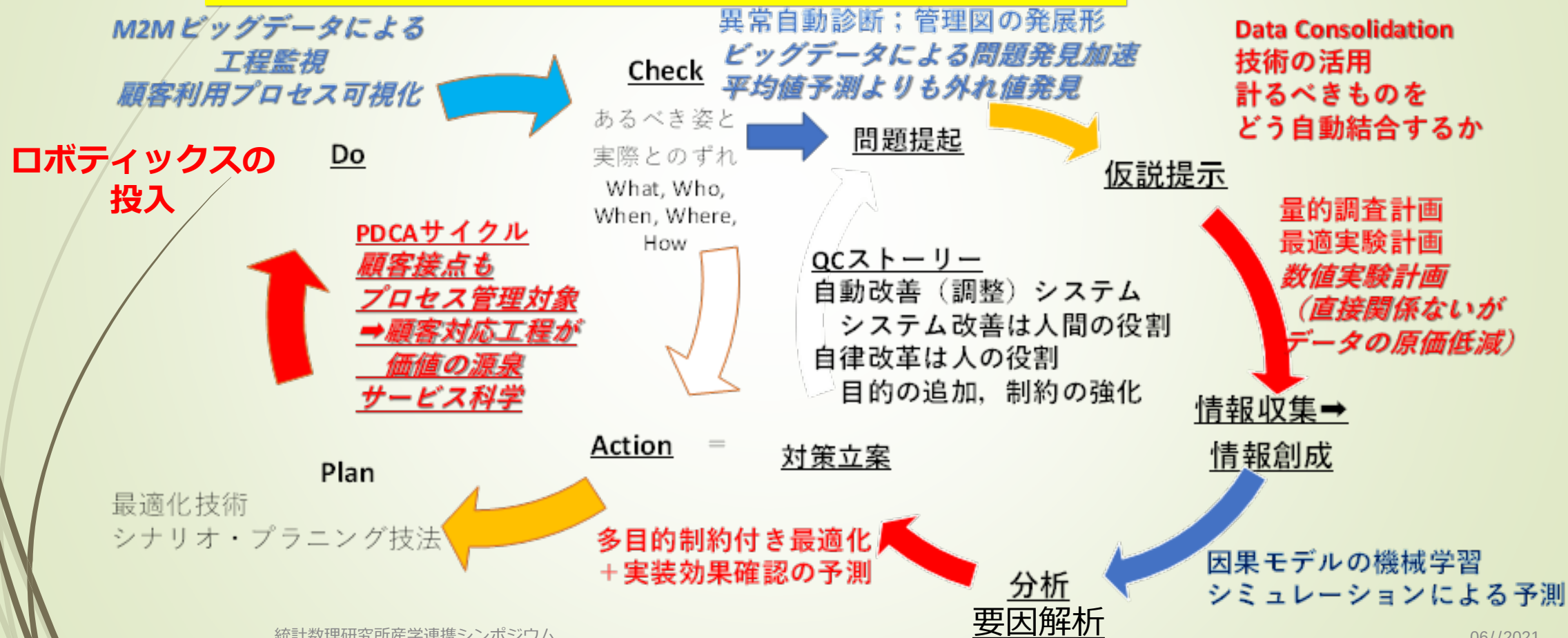
# DX：データを原料の一部にし、 統計家のサービスを自動化する産業への転換

- 短期的発展産業
  - **マネジメント自動化サービス（人工知能ビジネス）**
    - 製品・サービスの基本機能＋情報サービスの付加価値＝魅力的品質
    - 海外では自社内に要員配置
- 中期的発展産業
  - **最適オペレーション自動化サービス（ロボティクス実装ビジネス）**
    - 物質と物理エネルギーを要するモノとコトとの最適結合体
    - 物質と物理エネルギーを殆ど必要としない仮想化されたプログラムの付加
- この転換に資する専門職の育成
  - **Functional Managerとしてのデータサイエンティスト**：下記の実装技術
    - Goodfellow et al. (2016) *Deep Learning*, MIT press.
    - Thrun et al. (2005) *Probabilistic Robotics*, MIT Press.
- **総合職としてのGeneral Managerは何をすべきか？**

# コトづくりのためのデータサイエンス

- ➡ **広義データサイエンス定義：**
  - ➡ 価値の実現を目途にデータを取得(創生)
  - ➡ 実際に価値ある情報に加工・通信
  - ➡ 目的価値を創出させるオペレーション
- ➡ これらの**価値生成（コトづくり）プロセス**を対象とする工学
- ➡ 広義データサイエンス
  - ➡ 椿(2018)データサイエンスと品質マネジメント:その方法と教育,品質,48(4),27-32
- ➡ **「情報に基づくオペレーションの設計科学」**と呼びたい
  - ➡ **設計科学**（吉田民人元日本学術会議副会長）
    - ➡ **必要な価値を選択し，価値を実現するために既存の工学概念を一般化**
    - ➡ **「社会のための科学(Science for Society)」**

# データ駆動型時代でも骨格は維持 フェイズ毎の適用技術が進化するだけ 今、自分はどの立ち位置で人工知能を活用しているかを知る



## モデル要求工学領域

### 目標・要求の明確化

改善すべき現象  
改革すべき行動  
社会制約  
物理・コスト制約

### 対象社会

複雑  
多様  
不透明  
不確実  
利害の相反

テキストマイニング、  
チャンス発見、  
行動科学

社会・モデラー・  
モデル利用知を  
円滑に繋ぐ

コミュニケーション  
システム  
科学領域

制御工学、最適化科学  
シミュレーション、設計工学  
マネジメント科学・政策科学  
シナリオプランニング  
品質保証・信頼性工学

統計数理研究所産学連携シンポジウム  
モデル適用の知  
諸システム科学群

対象の表現理論の探索  
自然科学法則  
社会科学仮説の知識ベース

設計

関連現象と  
必要なモデル機能  
系列の  
プロトタイピング

### モデラーの知

プロセスの表現⇔システムの表現

論理による表現⇔数理による表現

システム単体表現⇔合成システム表現

経験則に基づく表現⇔理論に基づく表現

傾向の表現⇔ベストパフォーマンスの表現

不確かさのある表現⇔決定論的表現

一時点・一地点の表現⇔時空間的表現

集団全体の特徴表現⇔各個体の特徴表現

企画

モデル  
利用

モデル群合成による  
最適システム・最適  
プロセスの表現

モデル利用環境情報の  
フィードバック

合成

必要機能を  
表現する  
単体モデル群  
の明確化

データ  
との  
同化

利用する  
単体モデル  
群の同定

## モデル要素科学領域

必要モデルの明確化・モジュール化  
品質機能展開など管理技術高度化  
現象のモデル表現

数理科学・計量科学モデル

行動のモデル表現 for コトづくり

離散・論理表現モデル  
グラフィカルモデル

## Data Curating システム 科学領域

価値ある情報の選択的収集

・構築データベース・専門家事前情報・  
サイバースペースからの情報収集技法  
・実験・調査計画法

正則化・安定化の数理  
情報量規準とモデル選択  
ロバスト・パラメータ設計  
公理論的設計技法

Verification & Validation

同定モデル単体並びに  
単体モデルの連結・合成の  
パフォーマンス評価と最適化  
モデル進化プロセス工学領域

科学技術  
振興機構  
平成22年度  
モデリング  
分科会活動

モデリング学  
の仮説活動

プロセス  
モデルへの  
管理技術の  
埋め込み

どのような  
管理技術を  
引き出しから  
出すかを知る

# We Shall Do It !

本日のシンポジウム  
明日のオープンキャンパス  
よろしくお願いします。