



確率モデリングによるAI技術が拓く社会のデジタル変革 ～ *AI for DX・Society 5.0* ～

国立研究開発法人産業技術総合研究所
人工知能研究センター 首席研究員
人工知能技術コンソーシアム会長
東京工業大学特定教授

神戸大学客員教授, 統計数理研究所客員教授

本村 陽一

Yoichi Motomura



自己紹介(本村 陽一)

1993 通産省(現経産省)工業技術院 電子技術総合研究所入所
1993 ~2001 通産省 Real World Computing project(国家プロジェクト) に従事
2001~産総研 情報処理研究部門 (ベイジアンネットの実用化研究)
2002 IPA 未踏ソフトウェアスーパークリエイター認定(ユーザーモデリング)
2003~デジタルヒューマン研究センター(確率的人間行動モデル)
2008~サービス工学研究センター大規模データモデリング研究チーム長
2011~サービス工学研究センター副研究センター長
2015~ 人工知能研究センター副研究センター長、人工知能技術コンソーシアム会長
2016~ 首席研究員 兼 確率モデリング研究チーム長
東京工業大学特定教授, 神戸大学客員教授も兼務
人工知能学会理事、サービス学会理事、行動計量学会理事などを歴任
通算 200件以上の企業などとの共同研究, AI, DXプロジェクト推進

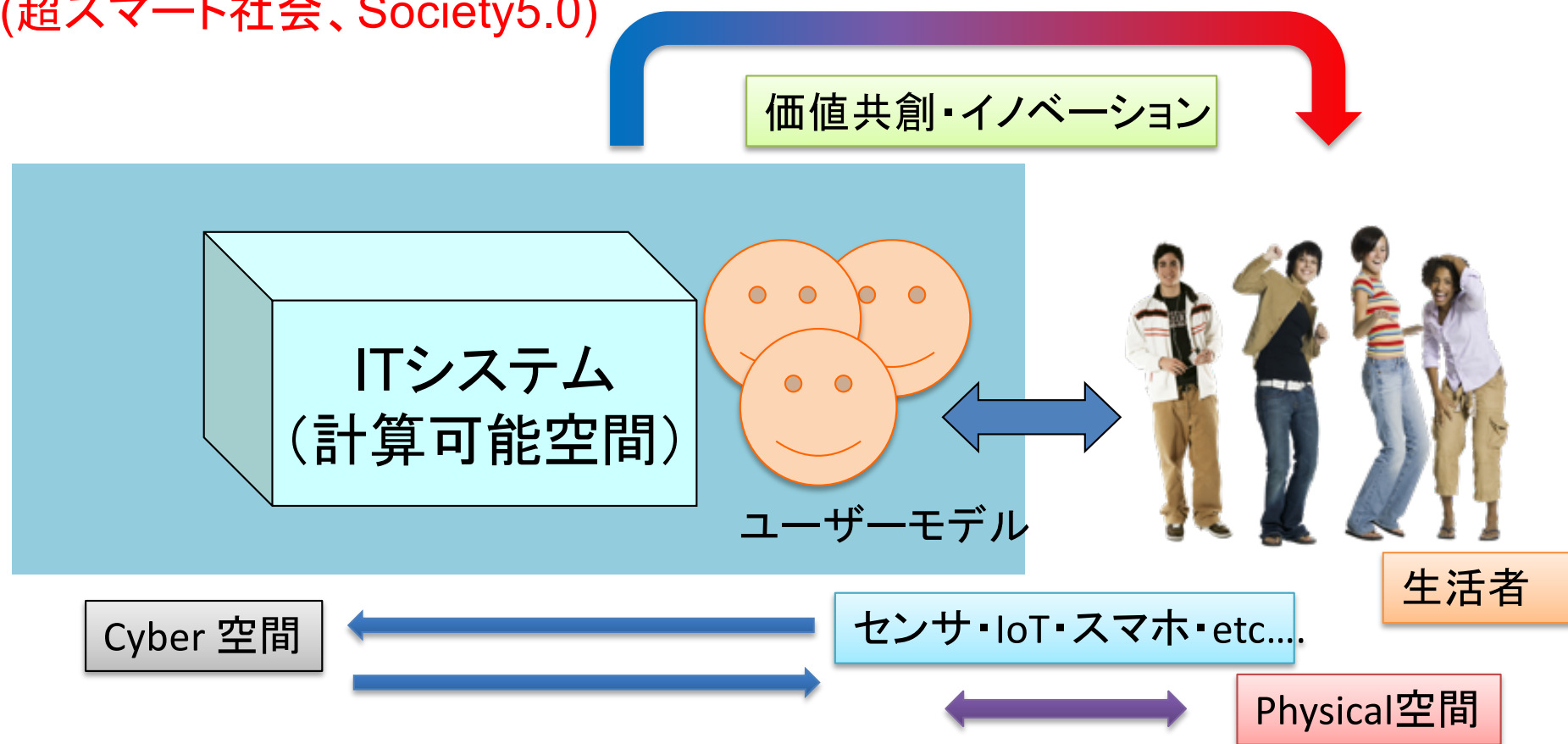
2018~ Society5.0(サイバーフィジカル社会)の実現に向けたAI、DX推進研究開発
NEDOプロ「人と相互理解できる次世代人工知能技術の研究開発」、
JST COI「感性イノベーション拠点」、科研費「裁判支援AI」、AMED「IoT等活用行動変容プロジェクト」などを担当

現在、NEDO「農作物におけるスマートフードチェーンの研究」(研究代表)、
NEDO「サイバーフィジカルバリューチェーンとAI導入加速の研究開発」(研究代表)

社会のデジタルトランスフォーメーション(DX)

リアルな実空間の活動が、デジタル化され、ネット空間と融合する
社会・生活の変革(イノベーション)が進行

実社会現象を計算モデル化、サイバー・フィジカル空間での産業変革、生活変革
(超スマート社会、Society5.0)



情報システムと社会・人々が融合する時代

→実生活の中で常時ビッグデータ観測・活用を行うことが可能に

講演概要

- **社会のデジタル変革(DX)における課題: 価値共創**
- **確率モデリングによるAI技術(人と相互理解できるAI)**
- **ベイジアンネットワークと確率的潜在意味解析(PLSA)**
- **確率モデリング技術によるAI応用システムの事例**
- **AI技術の社会実装、DX推進の取り組み方**
- **プラットフォーム、場づくり、実践コミュニティの育成**

DXを単なるデジタル技術の導入と誤解しないために

デジタルトランスフォーメーション(DX)の守破離

- Step1: 自動化、リモート化、デジタル化

ITの部分導入

既存の業務プロセスを置き換えるAI技術導入【守: まねる】

- Step2: Step1のAI技術によってビッグデータが集積する
このビッグデータを使って、計算モデルの改善が可能になる
その結果、人や組織も進化する 【破: 良い例を取入れ改善】

機械学習＋組織学習

- Step3: Step2の意思決定(現場＋マネジメント層)、意識変容

Step2で進化した組織が全体を俯瞰して、価値の構造を把握し、既存の枠組みを離れ、本来のあるべき姿を再モデル化することで、真の変革(トランスフォーメーション)が始まる【離: 自ら創造できる】

創発＋全体アーキテクチャ構築

守破離: 形式の継承ではなく、根源にある精神・文化の継承

AIによる実社会ビッグデータの活用と課題

■ 今後AI活用が期待される**実社会系のビッグデータ**※

- ビッグデータ: フロー型(モバイル, IoT, センサ, nonSQL-DB)
- 状況依存: そのとき、その場で、その人へ
- 時間、場所、人などの「異質性」、時空間高解像度が特徴
- AI応用: 現場の問題解決、実践型インテリジェンス

このデータを収集、活用する上では社会的価値志向(誰の、何のため)が重要

※ オルタナティブデータ、リアルワールドデータなどとも呼ばれる

- 既存の業務プロセスを置き換えるだけのDXではなく、意思決定者(現場+マネジメント層)を支援するAIにより、全体を俯瞰して、価値の構造を把握し、既存の枠組みを離れ、本来のあるべき姿を再モデル化(リフレーム)できることで、真の変革(トランスフォーメーション)を持続する

→ 価値の創造を持続するためのデータ活用技術と方法論

DXを共創的に進めるために

- DX推進は、「コト」や「仕組み」をアップデートし続ける活動
- そのためには、多様なステークホルダーが多様な価値観、評価基準のもとで、「現状」と「未来」を共通認識する必要
- そのためには共通認識のできる「モデル」表現が重要
- AI技術を活用するためには、「データ」と「計算モデル」が必要なので、データプラットフォームや確率モデルが重要
- 「価値」を表出するためには、価値構造のモデル化
- 活動を継続するために → 場、プラットフォーム、コミュニティ

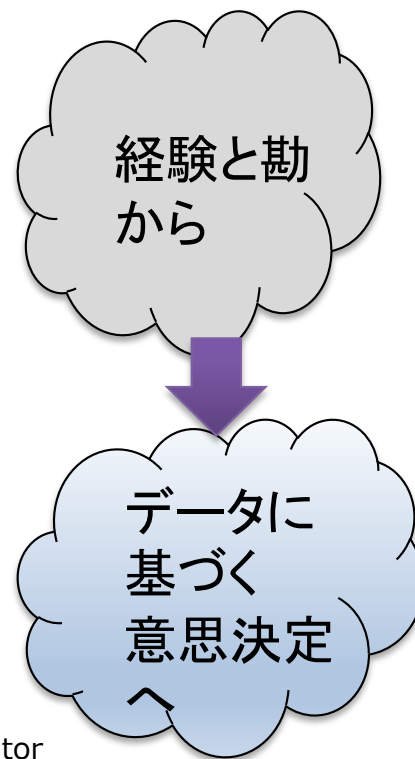
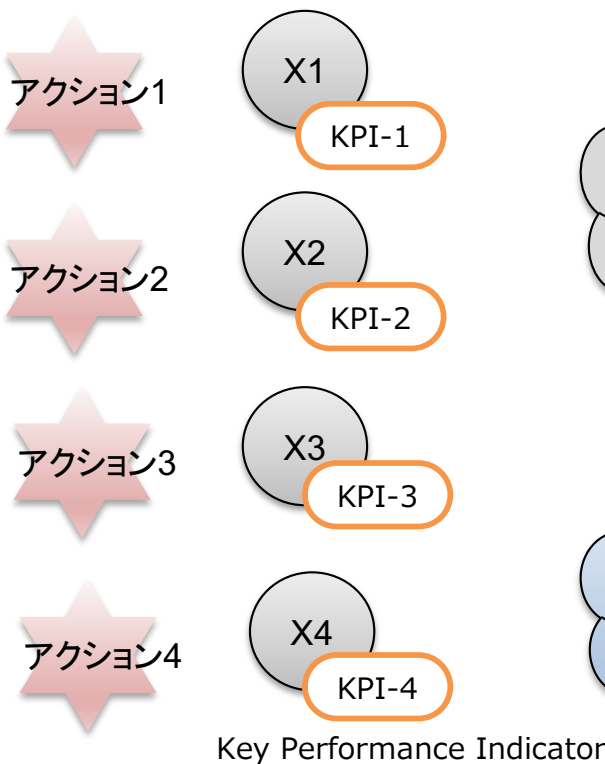
価値構造のモデル化： 実社会ビッグデータに基づく意思決定



こうすれば
よいか？



「誰が(A:ステークホルダー)、
何をすると(B:行動)」 → どうなる？



Key Goal Indicator
= 重要目標達成指標



知った(What)
理解した(What)
おもしろい!(Why)
また来たい!
友達を誘いたい!
活動したい!!(How to)
実際にする

「ある状態(C)で」
「誰の(D)どんな価値(E)」

人と相互理解できる次世代人工知能

[人間協調サービスシステム] AI応用システム using IoT, DL, RPA, etc...



サービス現場支援 etc... イベント空間支援

実証フィールド・実証事業

ユースケース

まず、使い始める(AI1.0)
フィジカル空間へのAI実装



分散データ
統合システム
(MCDDataBinder)

高解像度
データが集まる

アクティブ
ビッグデータ収集

よりよいアクション

確率モデル
確率推論

AIクラウドやネットワーク
を通じて提供



価値
循環

データ・知識融合
機械学習



現象が計算モデル化される
サイバー化が進む(AI2.0)

人が現象を理解できる
気づきが増える

人がAI(計算過程)
を理解 コントロール・マネジメント支援

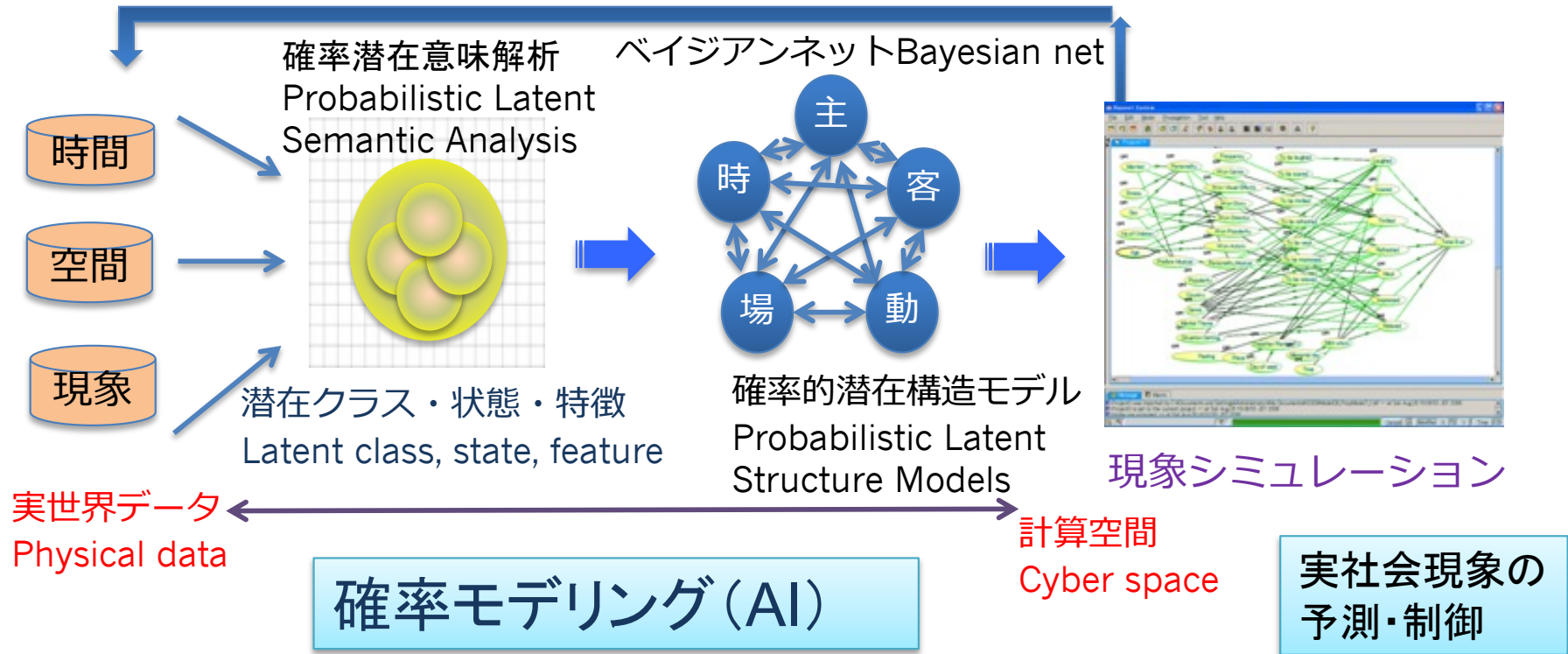
Artificial Intelligence Research Center



先進中核モジュール開発

(PLASMA: PLSA+BN) NEDO次世代人工知能の研究開発の成果

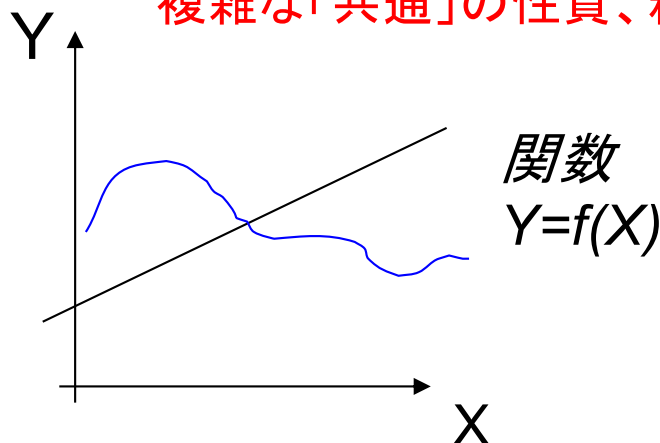
持続的価値創出型DXのための確率モデリング PLSA(時間、空間、意味クラスタリング) +ベイジアンネットによるAIモデル化



実世界ビッグデータから情報量を大きくデジタル化(変数化)
 $P(\text{現象}) = P(\text{現象} | \text{条件}) P(\text{条件})$ をBNでモデル化
 この条件を変化させることで現象の確率を制御

現象モデル駆動アプローチ： AIが使う様々な機械学習、計算モデル

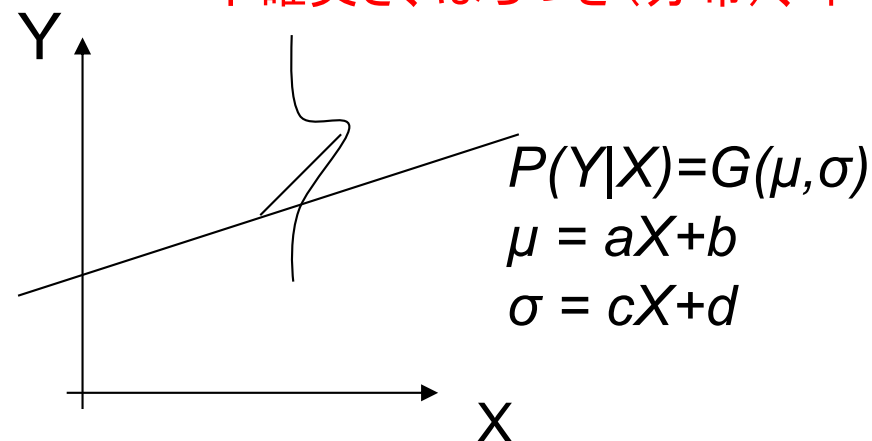
複雑な「共通」の性質、精度



線形:多変量解析・回帰モデル

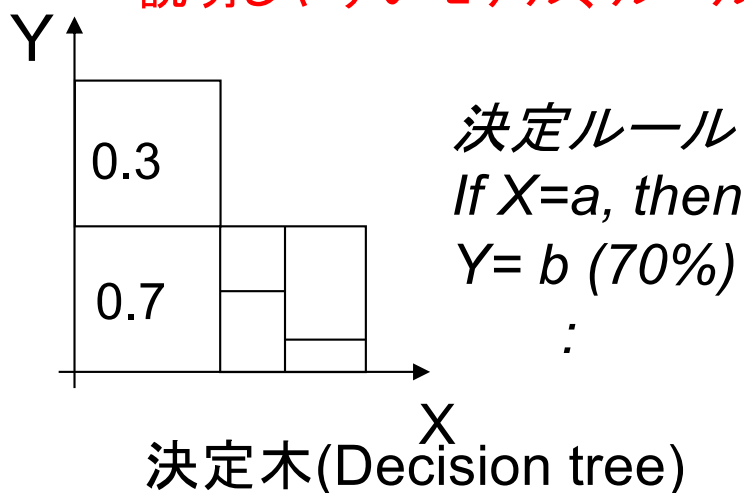
非線形:ニューラルネット,DeepLearning

不確実さ、ばらつき(分布)、平均

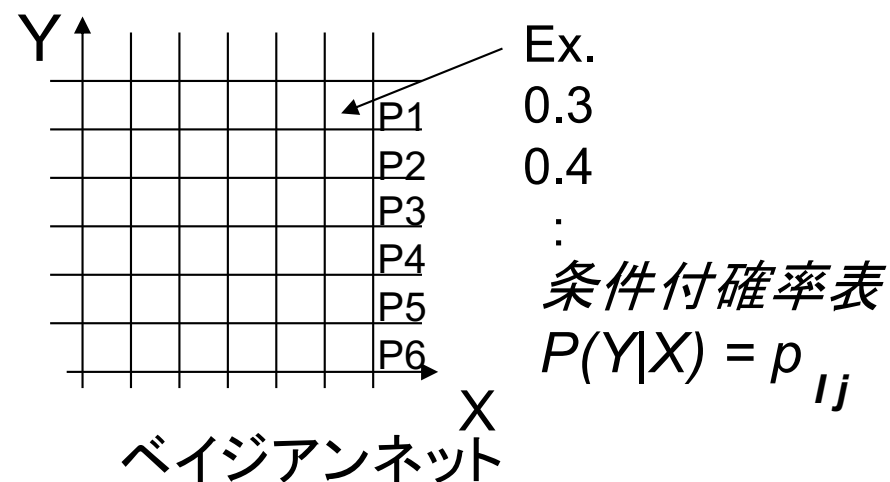


確率分布モデル(線形性・正規性)

説明しやすいモデル、ルール



説明・再利用しやすいモデル、網羅性
(行動やリスクなどを表現・予測・制御)



予測のために使われるモデルと用語

- 線形データを近似 → 線形回帰モデル
- 非線形、高次元データを連続写像として近似 → ディープラーニングなど
- 不確実な現象を確率分布として表現 → 確率分布モデル(ベイジアンネットワーク等)
 - パラメトリックモデル: 分布の密度関数(正規分布など)とパラメータで表現
 - ノンパラメトリックモデル: 分布の密度関数を特定しないで表現
- 計算モデル → モデルを使った独自のアルゴリズム(計算方法)がある
- 現象のモデル → 予測を行う上で、その背後に想定される生成モデル
 - 生成モデル → データを生成、出力すると考える際の計算モデル
 - 認識モデル → 観測データから結果を予測すると考える際の計算モデル

確率モデリング技術：ベイジアンネットワーク

和文書籍

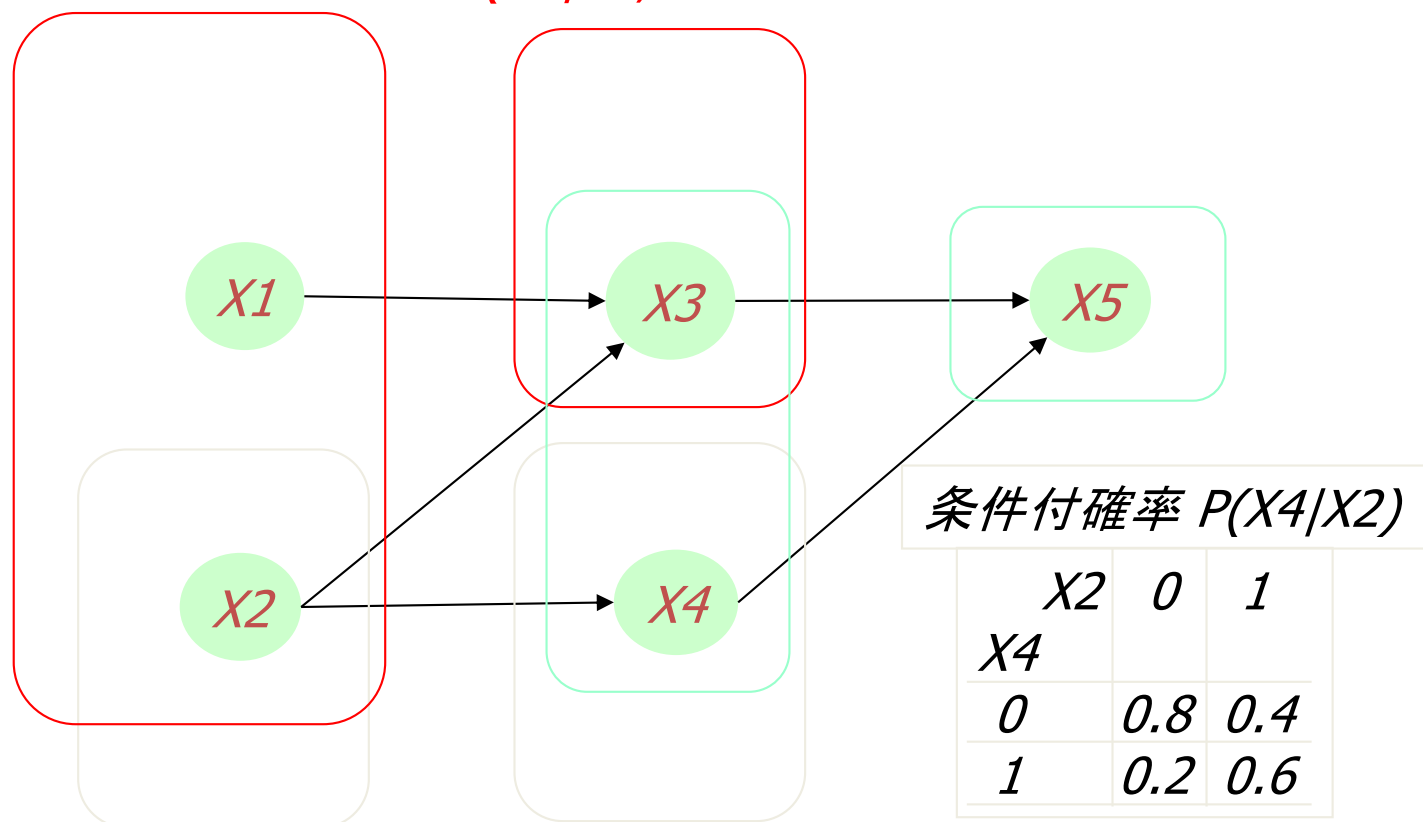
ベイジアンネットワーク技術：東京電機大学出版局（本村・岩崎）

ベイジアンネットワーク概説：培風館（繁梶・植野・本村）

翻訳：「不確定性下の意思決定」 Mykel J. Kochenderfer 著、繁梶・本村 監訳

<https://www.kyoritsu-pub.co.jp/bookdetail/9784320124592>

条件付確率： $P(\text{目的変数}|\text{説明変数})$
条件付確率 $P(X3|X1, X2)$



ベイジアンネットのベイズ的世界観

- ドメインを全て確率変数として表現
 - ドメインの状態は各確率変数の同時分布
 - 観測可能、決定的な場合を包含
 - 末端の変数は事前確率分布を仮定
-
- 目的: 知りたい対象の変数の事後確率分布を計算
 - この時、主要な依存関係のみをグラフとして表し、モデル化することで記述量、計算量を劇的に削減。

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = P(X_1 | X_2) P(X_2 | \dots) P(X_n)$$

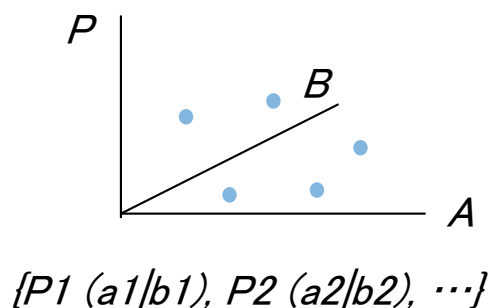
ベイジアンネットワークの構造学習、モデル構築



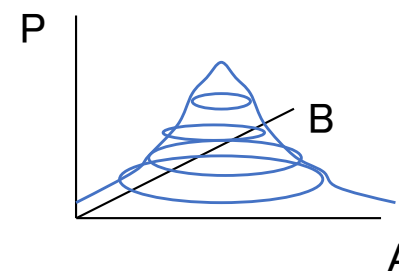
確率変数の選択
 グラフ構造の学習
 条件付確率(パラメータ)の学習

情報量の高い、重要な変数の抽出
 情報量基準による(局所)モデル選択

離散確率変数: 条件付確率表
 事例の頻度分布から確率化

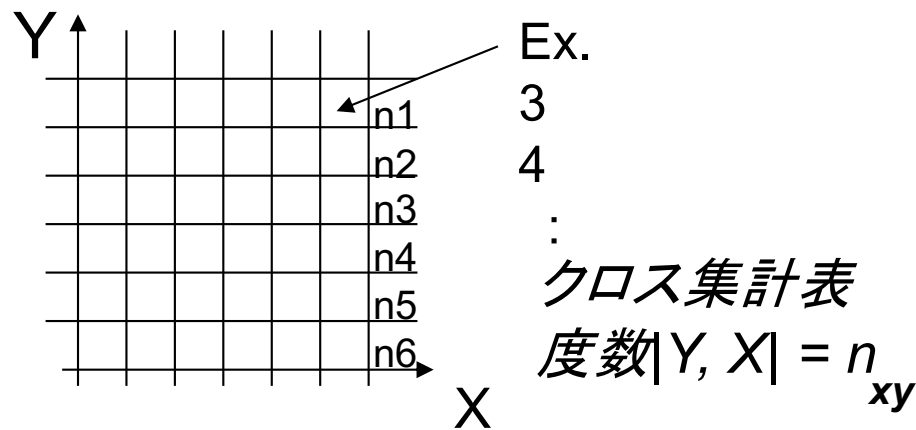


連続変数: パラメトリックモデル
 のパラメータ学習 or 離散化



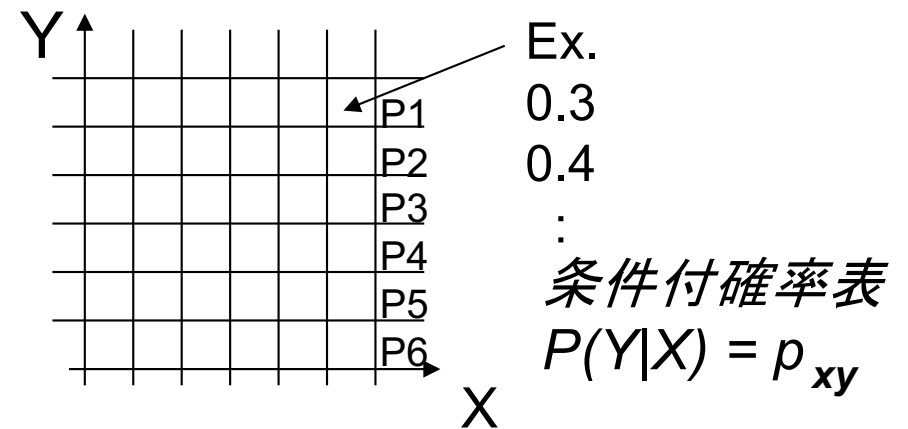
元データを離散変数に変換したモデル化を行うことで、計算効率と多数の変数が扱える表現力の点でリアルワールドの広範な現象を扱うDXの応用では有利

ベイジアンネットの構造学習: 相互作用の探索 (関係性や仮説の自動探索、モデル自動構築)



X, Yに関するクロス集計表

カイ二乗検定により変数間の
独立・従属性を判定



ベイジアンネットの条件付確率表

条件付依存性を情報量基準(AIC, MDL)
により判定しモデルを選択(ベイズ比検定)

この検定を一つの子ノード毎に、複数の親ノードに対して繰り返し行う。

ベイジアンネットワークソフトウェア

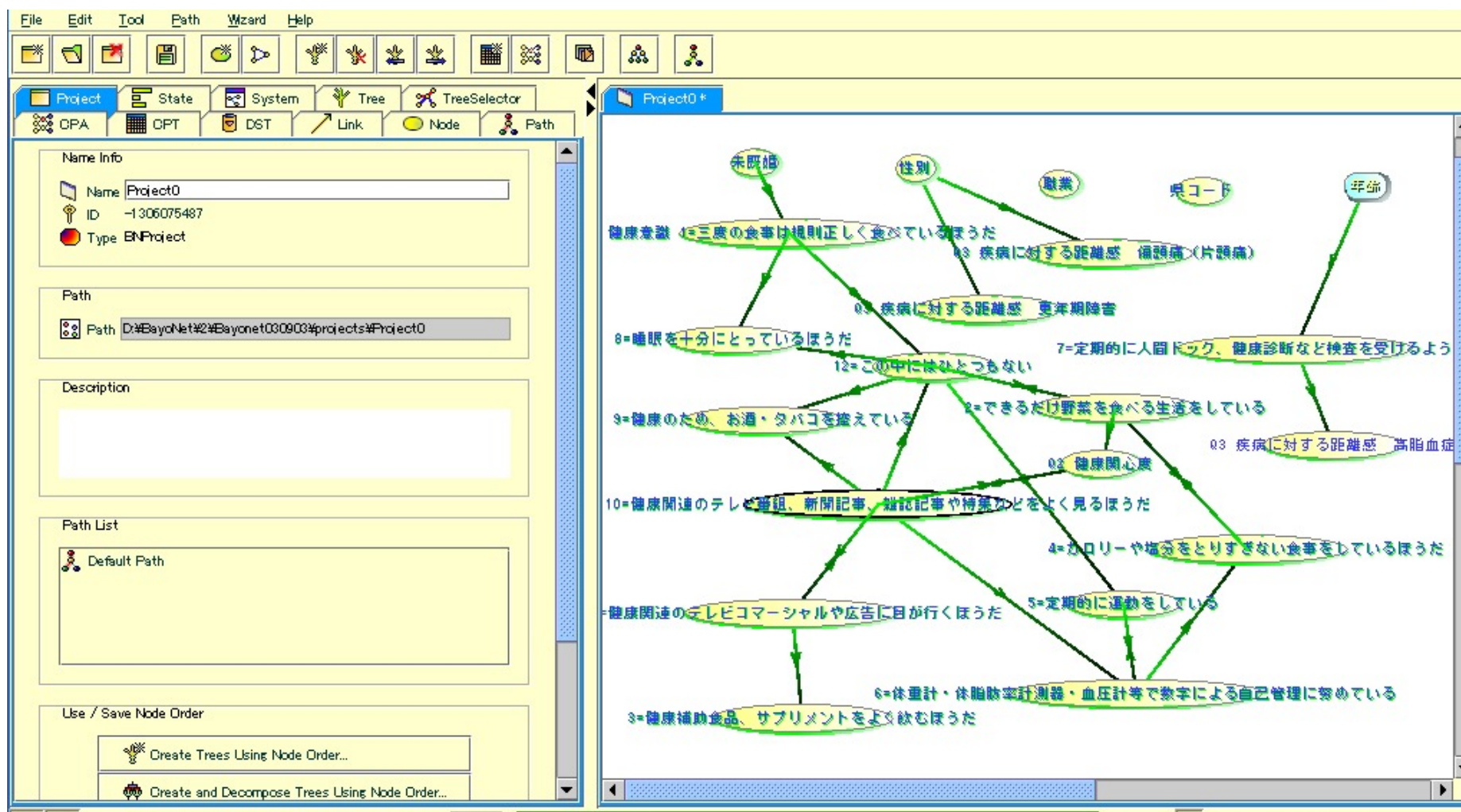
(1998:人工知能学会, IBIS, 計測自動制御学会などにて発表)

(2001, 2002年IPA未踏ソフトウェアスーパークリエイター認定)

(2003~:NTTデータ数理システムから商用化(現 BayoLinkS))

(2008年~ サービス工学においてビッグデータ対応可能に)

(2015年~ 人工知能研究センターにおける確率モデリングのコア技術にも発展)



データ駆動型、モデル駆動型アプローチ

- データからの機械学習（データフィット）から再現性ある現象の計算モデル化（シミュレーション）へ
- そのためにはデータの生成過程、フレームを意識する
- 正しさ：数学＝無矛盾、科学＝自然であるのにたいし工学＝社会性、再現性
- 相互作用、複雑な関係性を表すグラフィカルモデル
- 目的変数と、それを説明する説明変数を明確に
- 真の因果の推定が必要とは限らない。複数のありえる仮説としての因果構造を確率的に提示して利用

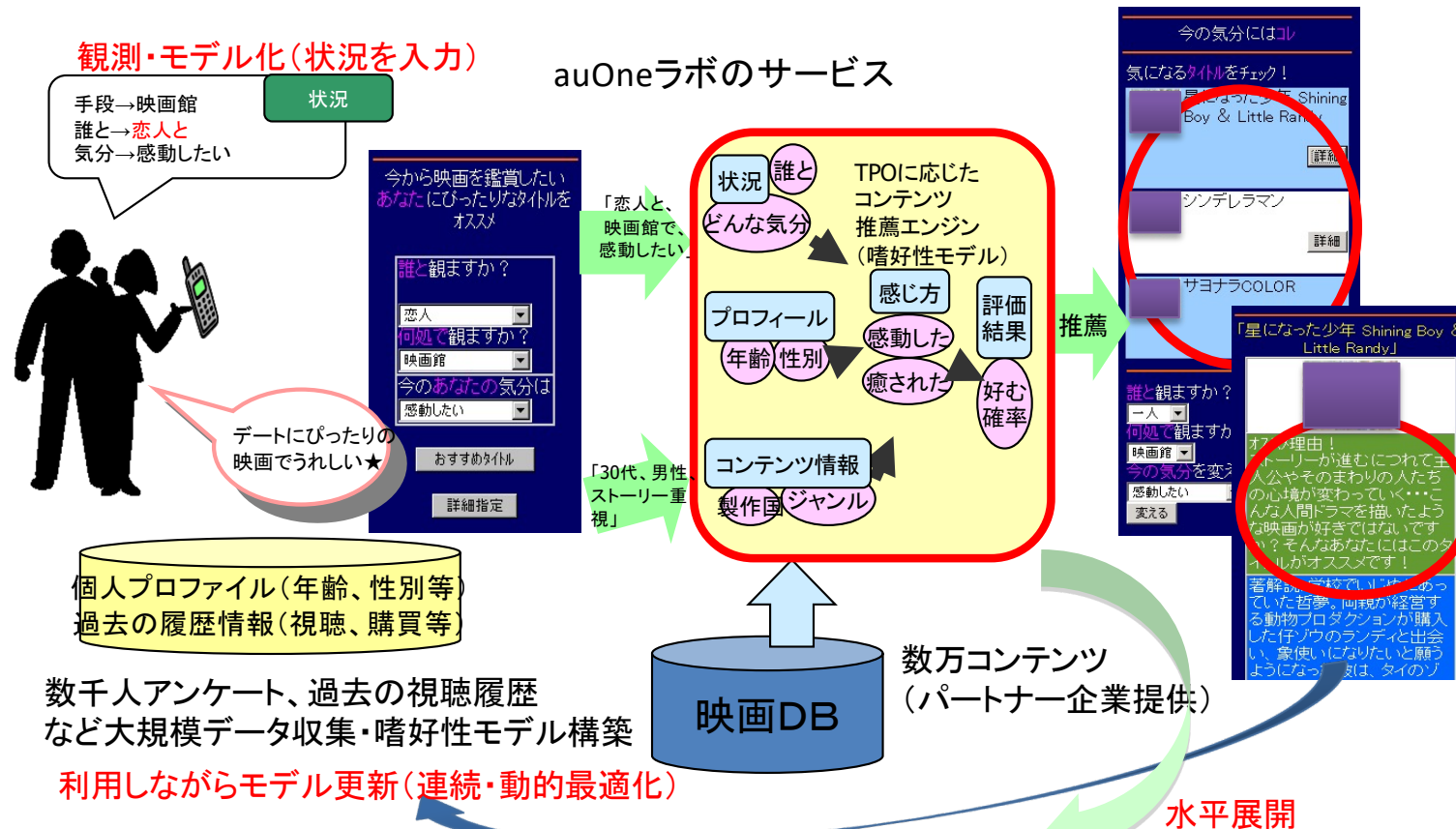
→ AI技術＝実問題に対する対象の計算モデル化
IoTを活用して対象や世界を計算するためのモデル化

講演概要

- 社会のデジタル変革(DX)における課題: 価値共創
- 確率モデリングによるAI技術(人と相互理解できるAI)
- ベイジアンネットワークと確率的潜在意味解析(PLSA)
- 確率モデリング技術によるAI応用システムの事例
- AI技術の社会実装、DX推進の取り組み方
- プラットフォーム、場づくり、実践コミュニティの育成

確率モデリング技術

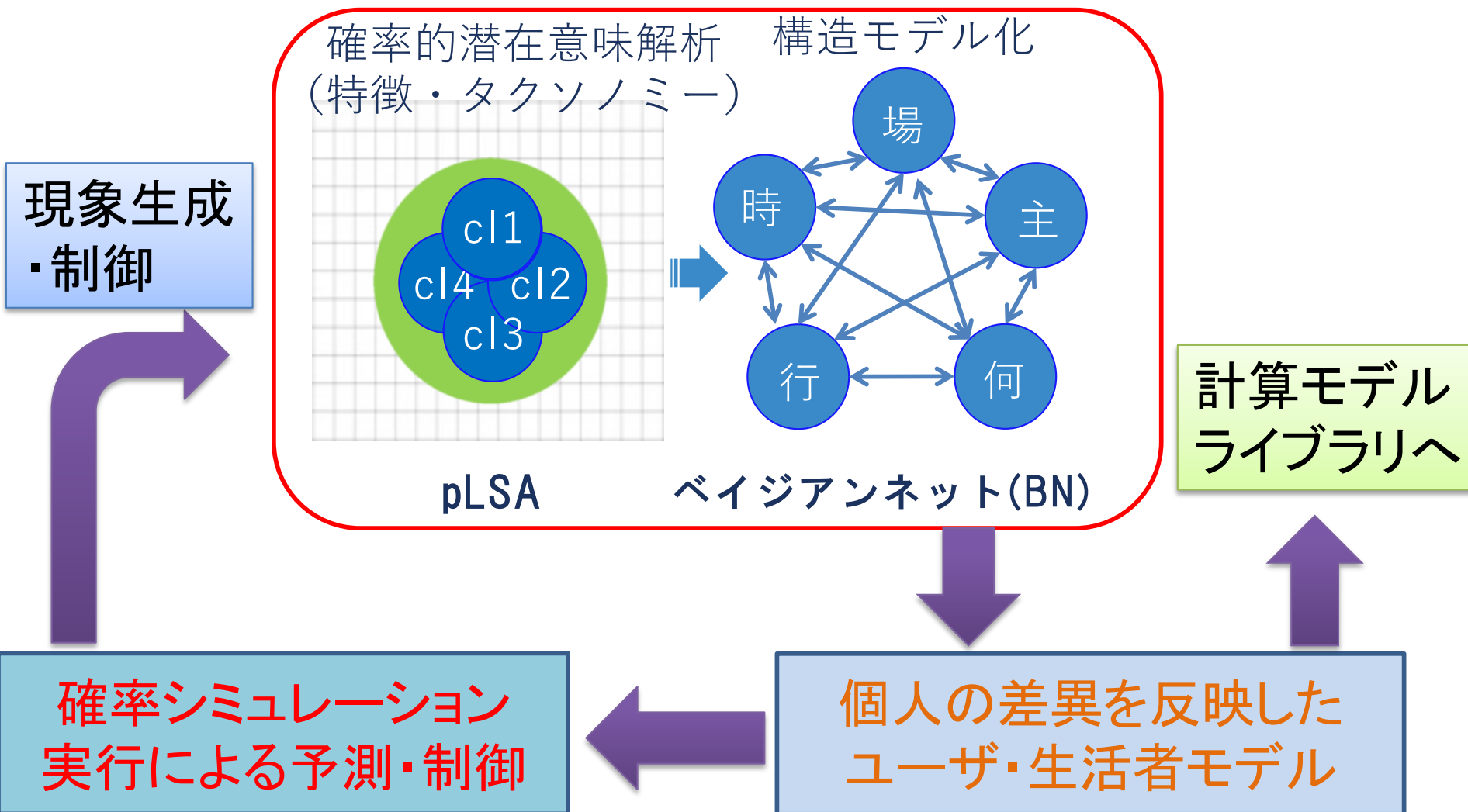
- 映画推薦サービスにより集積する大規模データをマーケティングにも活用
 (KDDI研究所、松竹との共同研究の事例) (小野, 本村, 麻生[信学技法NC2004, UserModeling2007]など)



他のサービスにも利用できる再利用可能な計算モデル(知的基盤)

確率モデリング技術

確率的潜在意味解析(PLSA)と Bayesian networkを連携、統合した応用

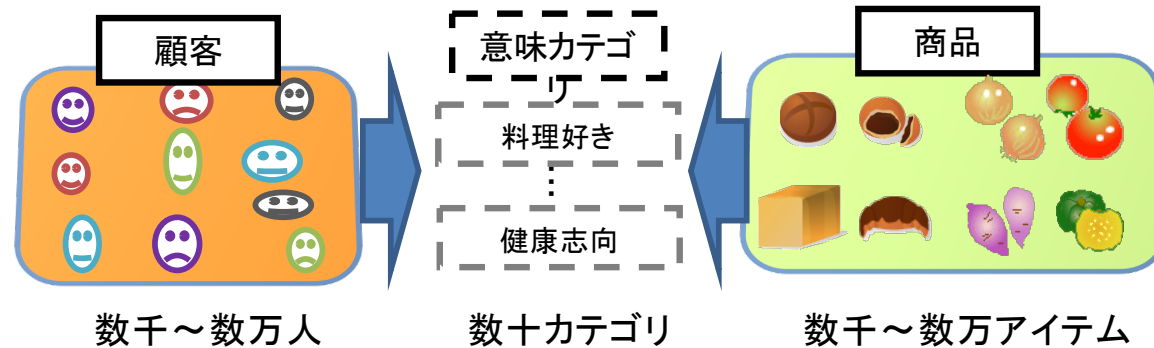


人と相互理解できる確率的潜在意味構造モデル

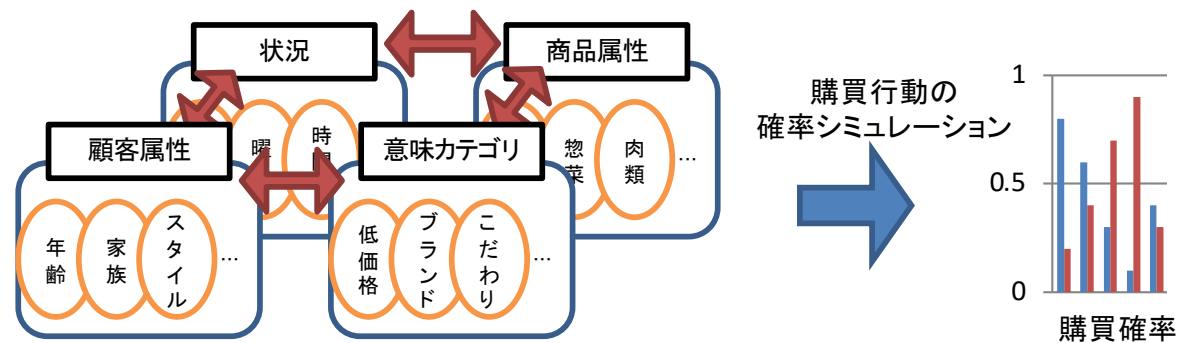
PLSA+BNによる顧客行動のモデル化

購買行動履歴（ID-POSデータ）からベイジアンネットワークを構築し、顧客行動を予測、シミュレーションして需要予測やマーケティングに応用

① PLSAにより数千～数万の顧客や商品を数十個のカテゴリに次元圧縮（変換）

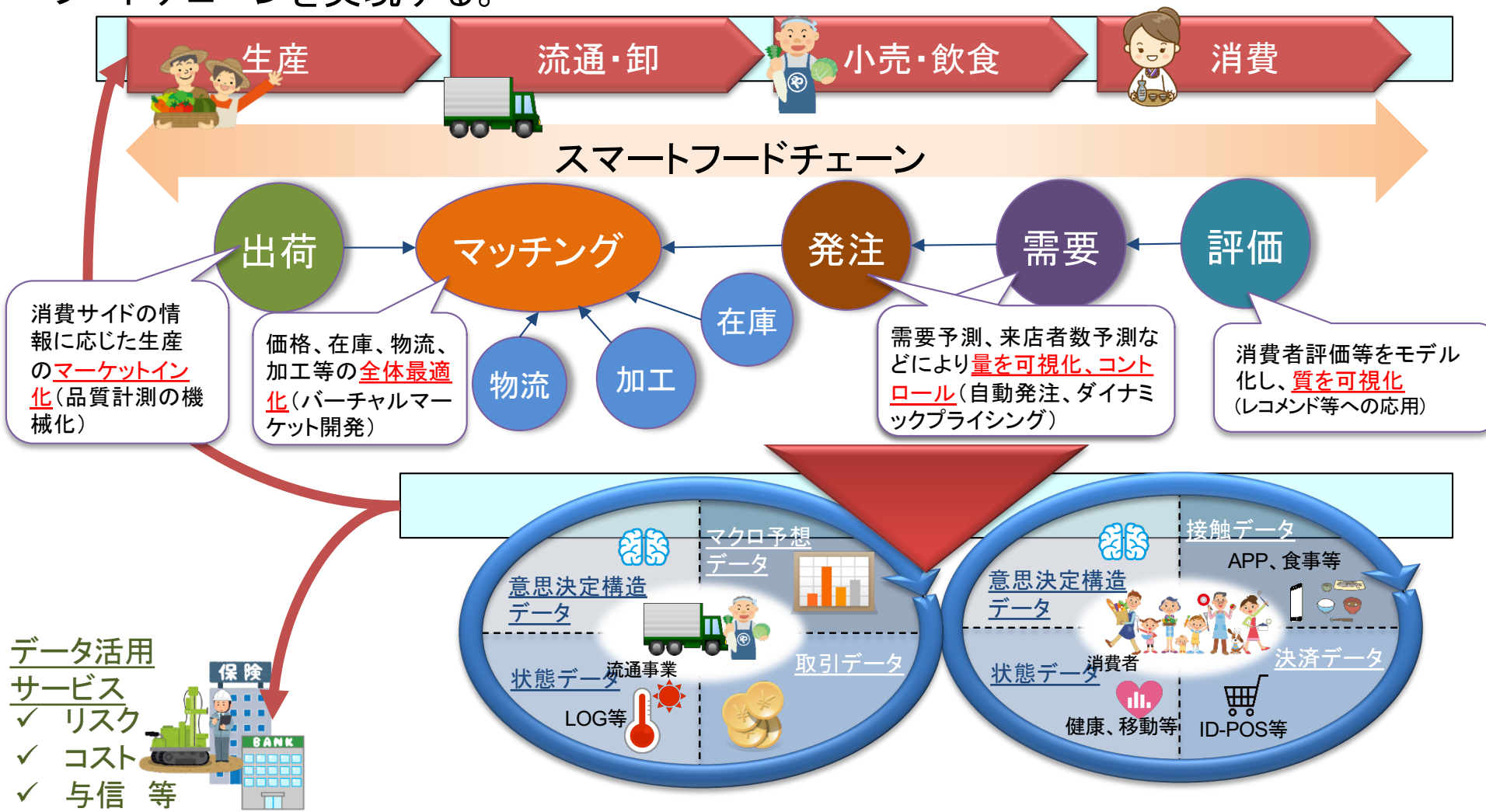


② 変換した意味カテゴリと顧客属性、商品属性、状況を表すベイジアンネットワークを構築
 → 個人性、状況依存性を因果的にモデル化し、確率推論により購買行動が予測できる



NEDOプロジェクト:農作物における スマートフードチェーンの研究開発(2018~)

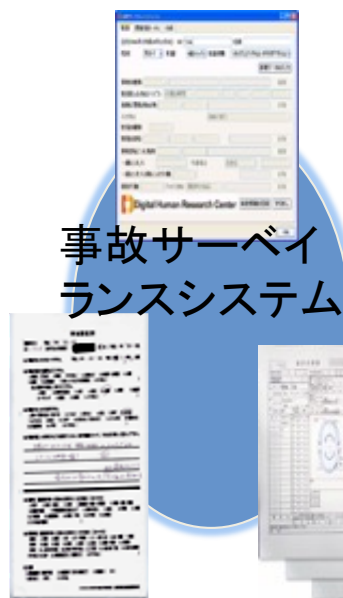
農作物の生産から消費の間に蓄積されたデータに基づいて、需要予測、品質推定、自動受発注を行う**AI技術開発**と、それを支える**基盤的プラットフォーム構築**により、農作物の生産から消費における効率的で付加価値を生むスマートフードチェーンを実現する。



こどもの事故予測・予防に活用できる確率モデルの構築

病院内で収集した
子どもの事故データ(約200件/月)

Artificial Intelligence Research Center



事故サーベイ
ランスシステム

事故調査表 カルテ

子供の属性、生活時間

人間の特徴(年齢, 性別)

0歳~1歳 1歳~2歳 2歳~3歳 性別

環境(時間)

夕方(16時~18時) 夜(19時~23時)
朝方(0時~9時) 昼(10時~15時)

子供の日常生活行動

上下動作 上半身動作 静止する前の動作
振り分けられない行動 切断可能
水平動作 静止 モノを取った後の動作
モノを触る動作

環境要因

突起 高温液体 把持可能 開閉機能
割れる 高い 高热
乗れる 口に入る
モノの特徴



ベイジアンネット

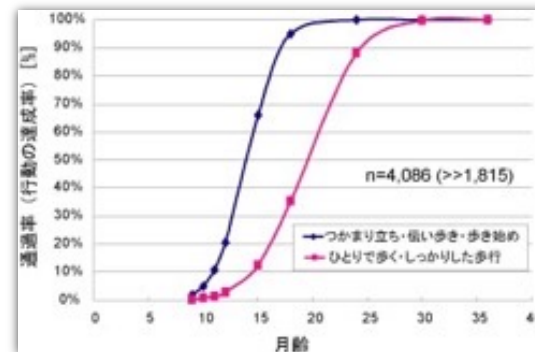
切る 転落 やけど 衝突 はさむ 誤飲 交通事故 転倒

骨折 異物の侵入 脱臼 打撲傷 熱傷 擦過傷 異物誤飲 挫傷 刺傷・切り傷

事故の程度・確率

怪我の部位(3種類) 治療状況

育児支援サービスを通じたビッグデータ収集



科学的知見

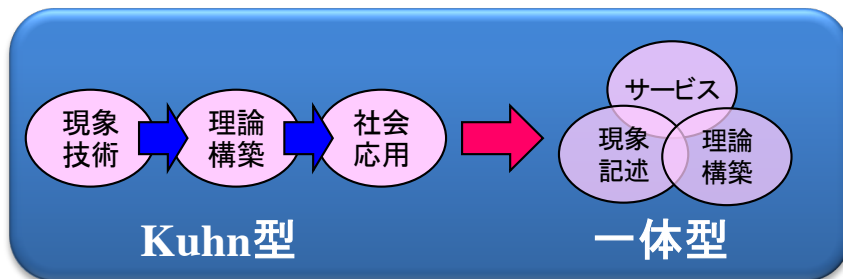
(国家レベル)
事故予防による
医療費の削減

アンケート
21,482件 (07/1/29現在)

事故
データベース

ユーザ履歴
データベース

ユーザの理解・
モデル化



社会・研究の進化・深化

WEB
サービスの
改善

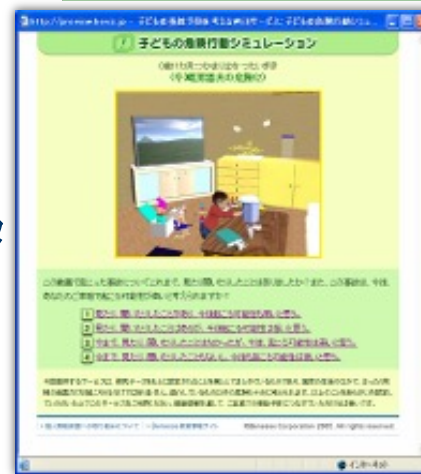
WEBサービスの
提供・アンケート

子どもの事故予知支援サービス



05/12/12開始

行動モデル・事故シミュレータ
で動画作成
(保護者の知らない事故
・最近多発している事故)



(個人レベル)
安心・安全
サービス

4,471人保護者に
61,147件動画配信
(07/1/29現在)

現場の行動シミュレーション： ビッグデータからの確率的行動モデリングの例

- 利用者（顧客、生活者、ユーザ）の行動履歴とその人の属性、周辺の状態などを網羅的にビッグデータ化
- データから、**条件付確率** $P(\text{現象} | \text{条件})$ という確率モデルを構築し、もっとも良く行動を説明できる「**条件**」を探索する。
- 条件：「ある状況にある（とある現象が起こる）」
- 例1：「潜在ニーズを持った人が何かを見た時」など。潜在ニーズはライフスタイルなどに関係する
- 例2：「児童相談所で子供を保護すべきかどうか（リスク）」
- 発展：現象変化が起こりやすい「何か」を発見し、提供するコンテンツのデザインに活用する

子供虐待予防支援： 児童相談所の業務支援をしながら、 リスクアセスメントできるAIを学習

業務量が多すぎる



アプリで手軽に
記録・証拠保全

クラウドで即時の
情報共有

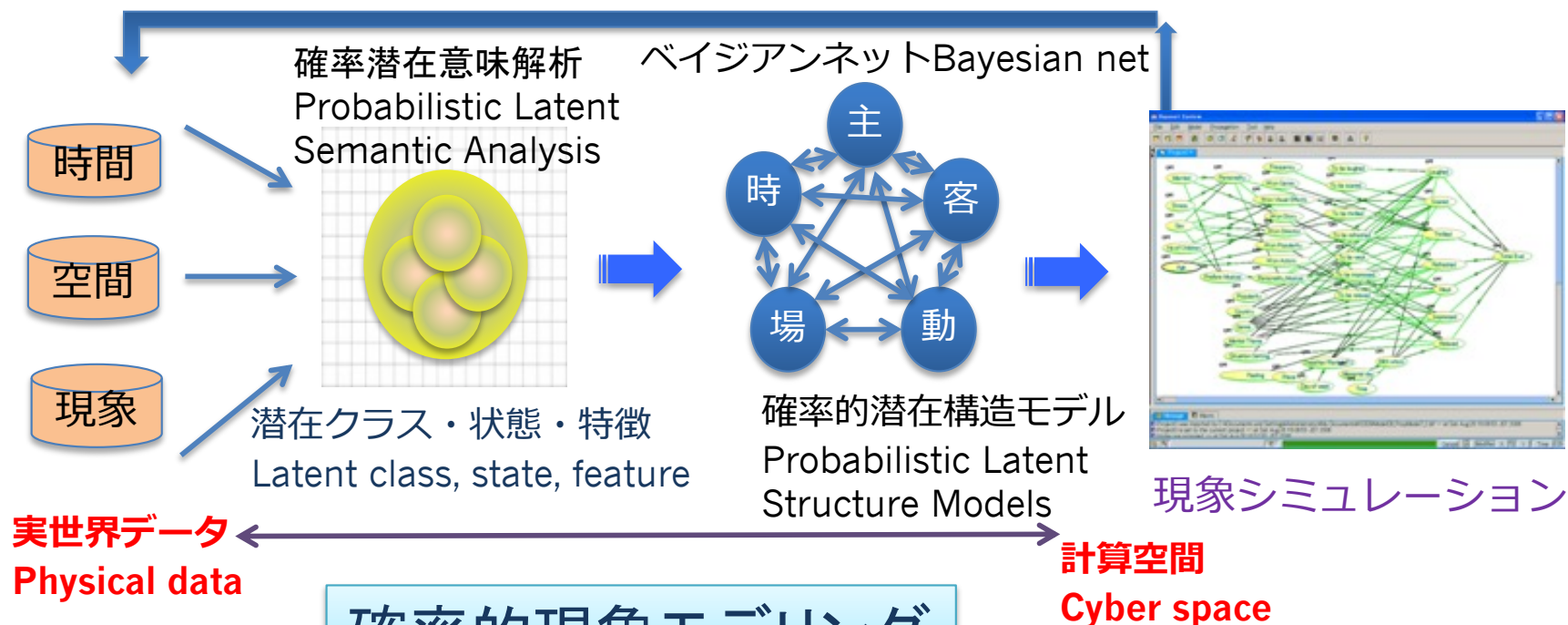


Ai CAN(高岡他2018)

逼迫する業務を効率化し、負担を軽減

「サービス」のデジタルトランスフォーメーション

実データからの**計算モデル**構築と社会現象の予測、生成
 (背景、状況、その変化=「**コト**」の確率推論を可能に)



確率的現象モデリング

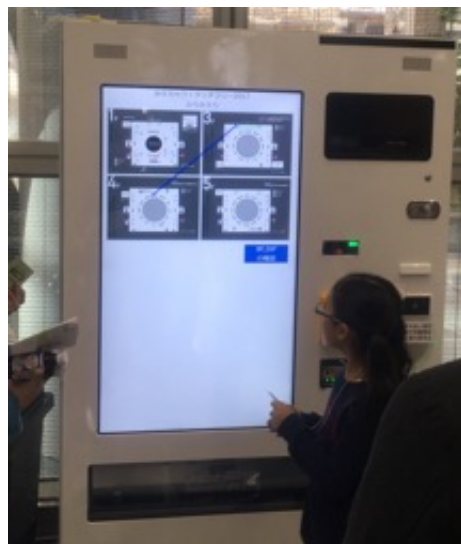
確率的現象の
 予測・生成へ

実世界ビッグデータから情報量を大きくデジタル化(変数化)
 $P(\text{現象}) = P(\text{現象} | \text{条件}) P(\text{条件})$ をBNでモデル化
 この条件を変化させることで現象の確率を制御

AI応用システムの例（現場でのビッグデータ活用）

（売り場やイベント空間での行動データ観測・分析・推論・推薦）

Artificial Intelligence Research Center



次世代自動販売機



健康イベント支援



科学未来館でのイベント支援

店舗内
買物行
動分析



2019年
百貨店
で実証



大規模展示イベント出展



ビール記念館での実証実験

実フィールドの環境デザイン、リサーチデザイン、ユースケースデザイン

リアルサービスのDX推進の事例： 数千人～1万人規模の意識・行動ビッグデータからの確率モデリング

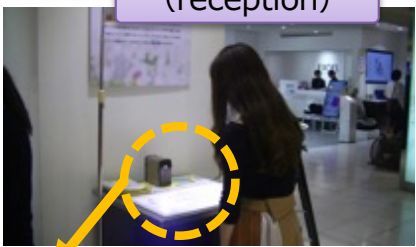
大規模集客施設（商業施設や日本科学未来館）での実証実験（2019～）

Artificial Intelligence Research Center

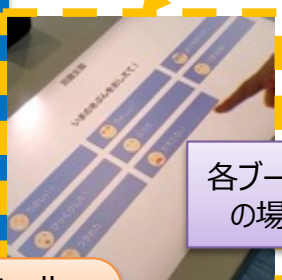


Touching with ID card

NFC-IDcard (reception)

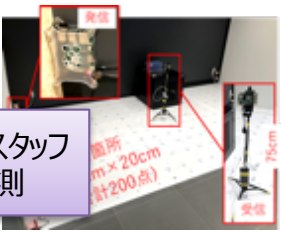


各ブース体験直後にその場で心象を選択



Controller

ビーコンによるスタッフのデータ計測



Behavior(Staff)

In store IoT devices



Behavior

Recommend services

ステークホルダー



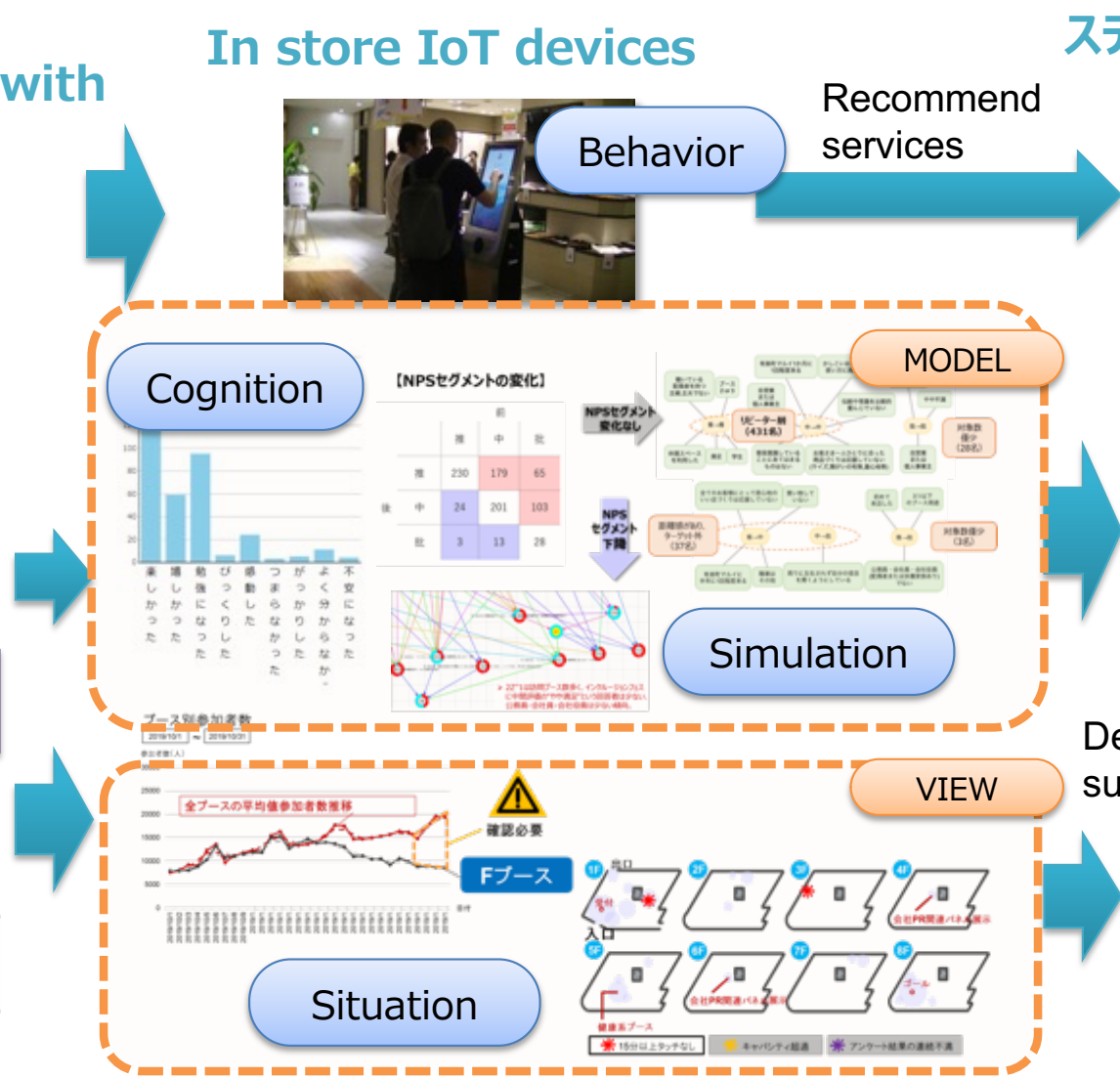
参加者 customer



経営層管理者 manager



現場スタッフ staff



未来館での実証実験

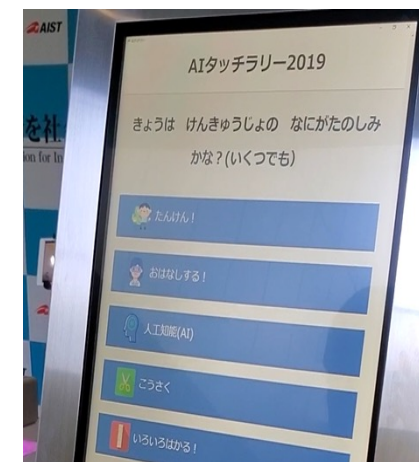
日本科学未来館での実証実験
 「優しい人工知能“reco!”ータッチでキづく、キミとのキズナ」と
 題して2020年2月～実施中



ゴール地点でのAI自販機



展示レコメンド



受付時のアンケート

月別の各クラスターの人数

	2月	7月
4Z1的	86	130
4Z2的	253	308
4Z3的(5F)	292	615
4Z4的	354	232
受付のみ	726	531
総計	1603	1702

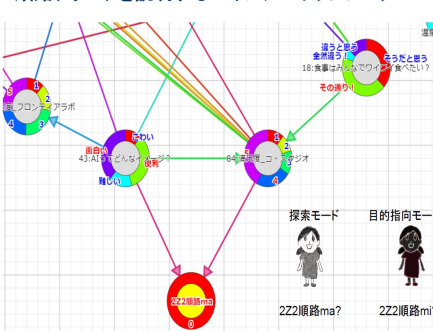
※複数のクラスターに所属する人がいる為、4Z1的～受付のみの合計は総計

月別の各クラスターの人数割合

	2月	7月
4Z1的	5%	8%
4Z2的	16%	18%
4Z3的(5F)	18%	36%
4Z4的	22%	14%
受付のみ	45%	31%

※複数のクラスターに所属する人がいる為、合計は100%を超える

順路クラスターを説明するページネットワーク



PLSA/BN解析結果

- 来場者クラスター
- 各クラスターの特性

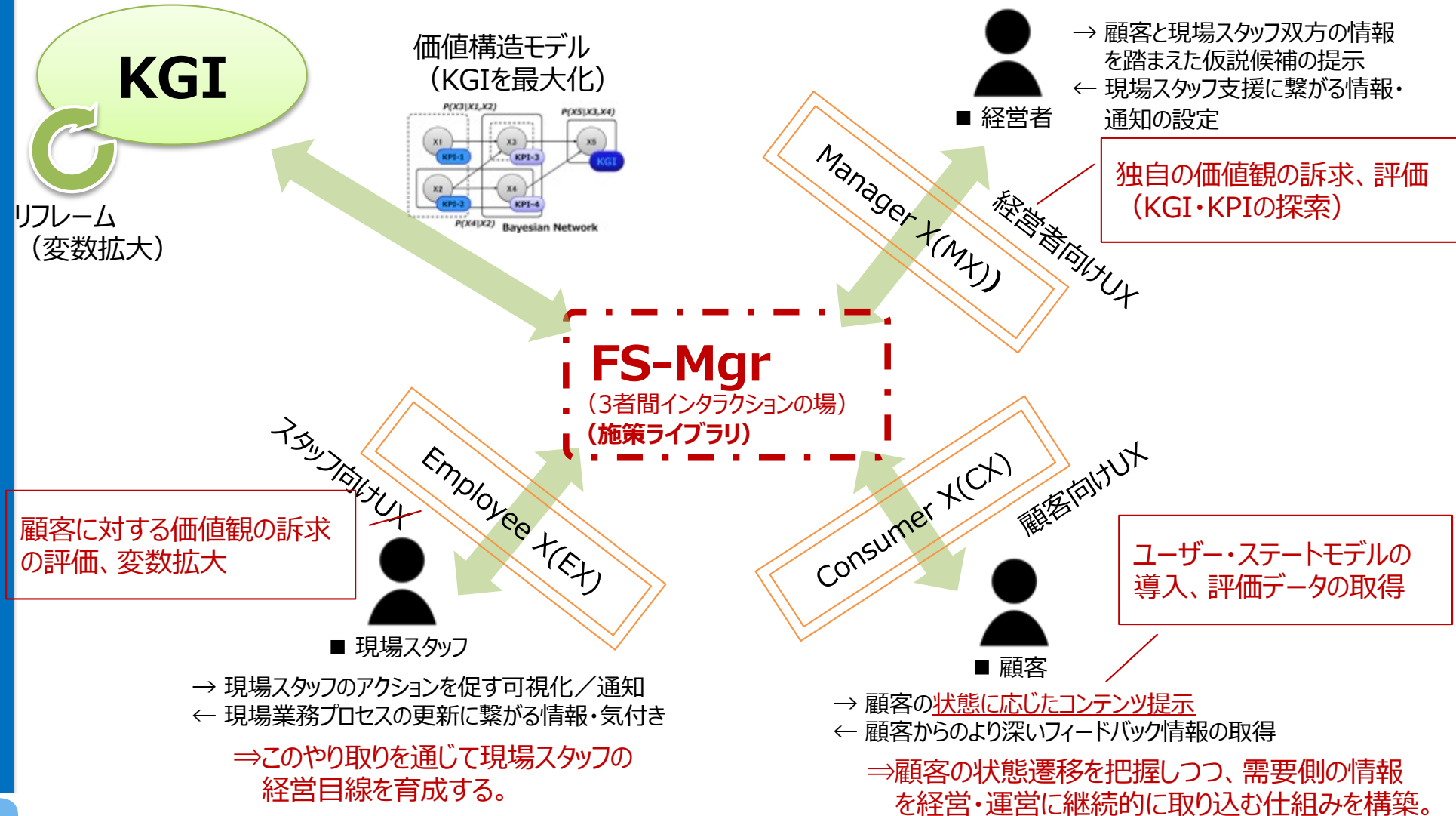
来場者の
行動分析

AI技術の社会実装の課題

- 本来の目的(価値の創出)、新しいAIの使い方
- 持続的なデータ収集のためにAI技術を実装する
この時、「目的変数」(ベネフィット、リスクなど)を明示する
- ビッグデータを収集するためのデータ活用サービス
- 実社会ビッグデータと人や社会のフレーム・知識とを融合
- 日常的プロセスとしての埋込みと運用
(価値:効用と損失、リスクを考慮)
- 以上のために、先導的なユーザーの想定と高い関与を、価値あるユースケースを設計し、目的変数の変化を検証すること

組織学習: 三者間インタラクション

◎ サービスにおける3者間インターフェースの構築、3者間インタラクションデータの取得、変数拡大による、組織学習の支援



ユースケースと目的変数の探索

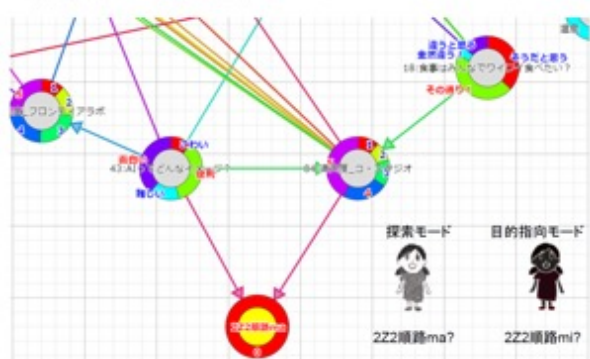
ステークホルダー毎のインターフェース(UX)による
三者間インタラクションの可視化 (価値の見える化)、目的変数の探索

経営者向け : Manager X(MX)

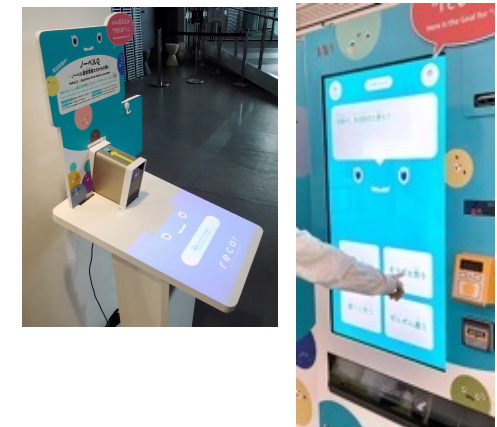
現場スタッフ向け : Employee X(EX)

顧客向け : Consumer X(CX)

順路クラスタを説明するベイジアンネットワーク



一時間内回ったブース数と人数の関係図



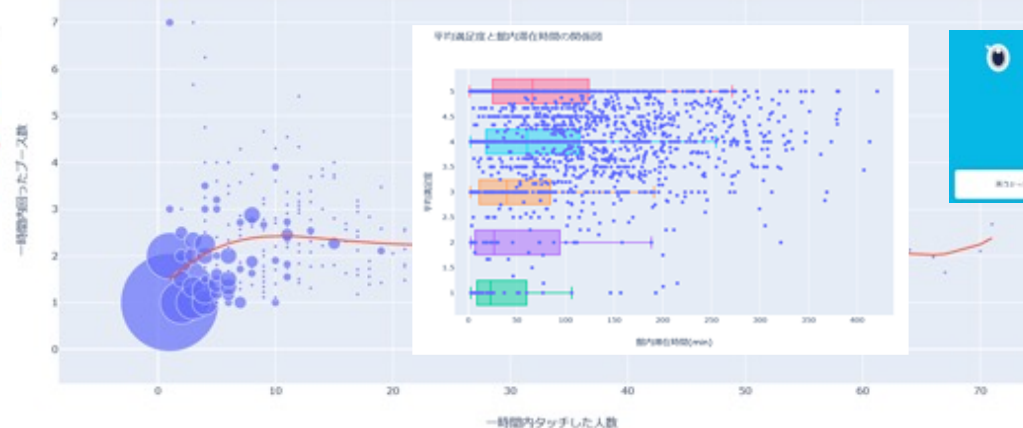
月別の各クラスタの人数

	2月	7月
4Z1的	86	130
4Z2的	253	308
4Z3的(5F)	292	615
4Z4的	354	232
受付のみ	726	531
総計	1603	1702

月別の各クラスタの人数割合

	2月	7月
4Z1的	5%	8%
4Z2的	16%	18%
4Z3的(5F)	18%	36%
4Z4的	22%	14%
受付のみ	45%	31%

※複数のクラスタに所属する人がいる為、合計は100%を超える



次世代ヘルスケアサービスへの展開

三者間インタラクションとして実証、効果指標の探索

ヘルスケア領域への応用・展開方針

健康イベント
(URの団地にて月次開催)



直接価値提供者 X

(現場医療従事者)
日常データや過去データに基づくユーザー・ステートを踏まえた相談や助言。



リアルワールド健康データの計測

QRコード、画像認識等によるデータ計測支援ツール



統括価値マネージャー Z

(監督医師：保健管理センター)
現場スタッフの施策の実施状況と参加者のユーザー・ステートの状態遷移を横断的に俯瞰。



最終価値評価者 Y

(参加者：周辺住民)
日常的なデータ蓄積の支援とともに、リアルタイムかつユーザー・ステートに応じた適切なコンテンツ提示によって参加者の行動変容を促進。

スマホ、ウェアラブル機器を活用した日常データの蓄積・リアルタイム連携



FS-Mgr

⇒サイバー・フィジカルデータの統合
⇒三者間インターフェースの提供
⇒ユーザーステートの分析

社会における確率モデルの再利用と共有

認知評価構造の理解とモデルを活用した生活支援サービスへ

Artificial Intelligence Research Center

日常の 大量データ

センサ統合

データ統合

アンケート
・インタビュー

サービス適用

生活支援サービス

人間の認知評価構造・
生活行動モデル
認識モデル

説明変数
を類型化

生成モデル

意識・行動変容

楽しい

動きが
~だから

場所が
~だから

状況が
~だから

...

モノが
~だから

確率分布を出力

好き・嫌い

怖い・危険

控える

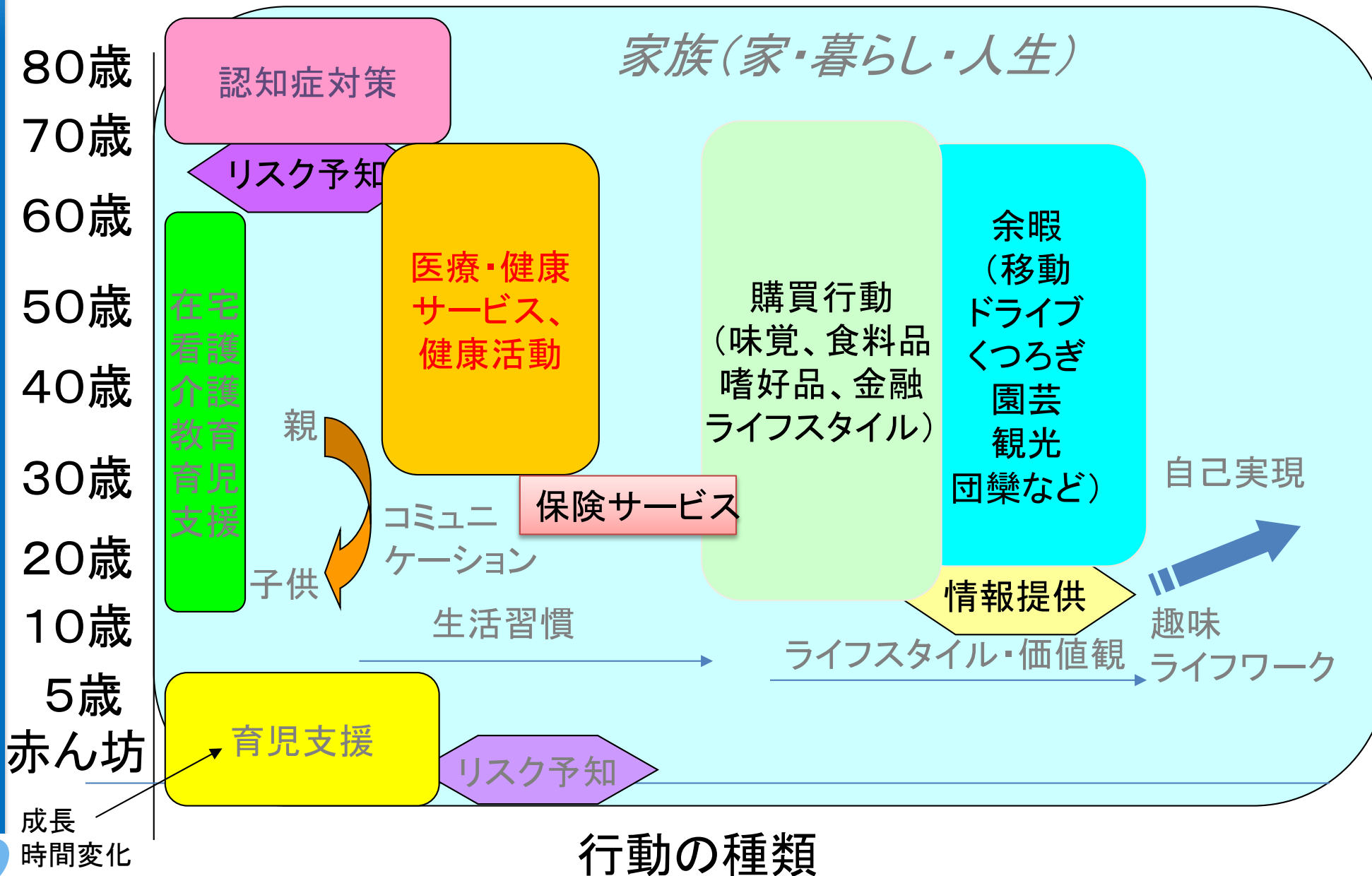
欲しい・
買いたい

快適・安心

行動

再利用可能で、説明可能な確率モデル

購買、サービス利用履歴とのデータ共有による AI活用生活関連サービス適用領域の拡大(計画)



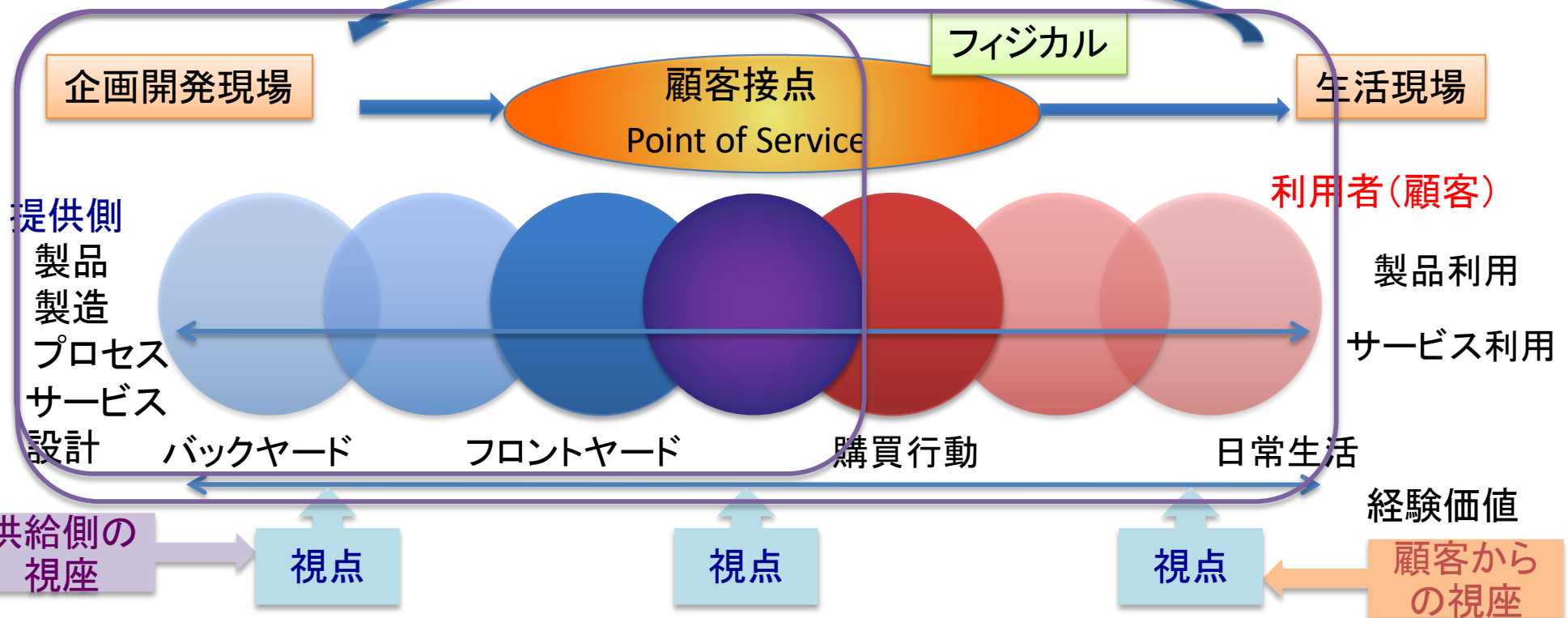
データ／サービスプラットフォーム (Demand chain)

ビッグデータをAI技術で幅広く活用するための共有基盤

サービス利用者のビッグデータを
サービス事業者が共有し連携

サイバー

ユーザ側 (demand)
からのフィードバック



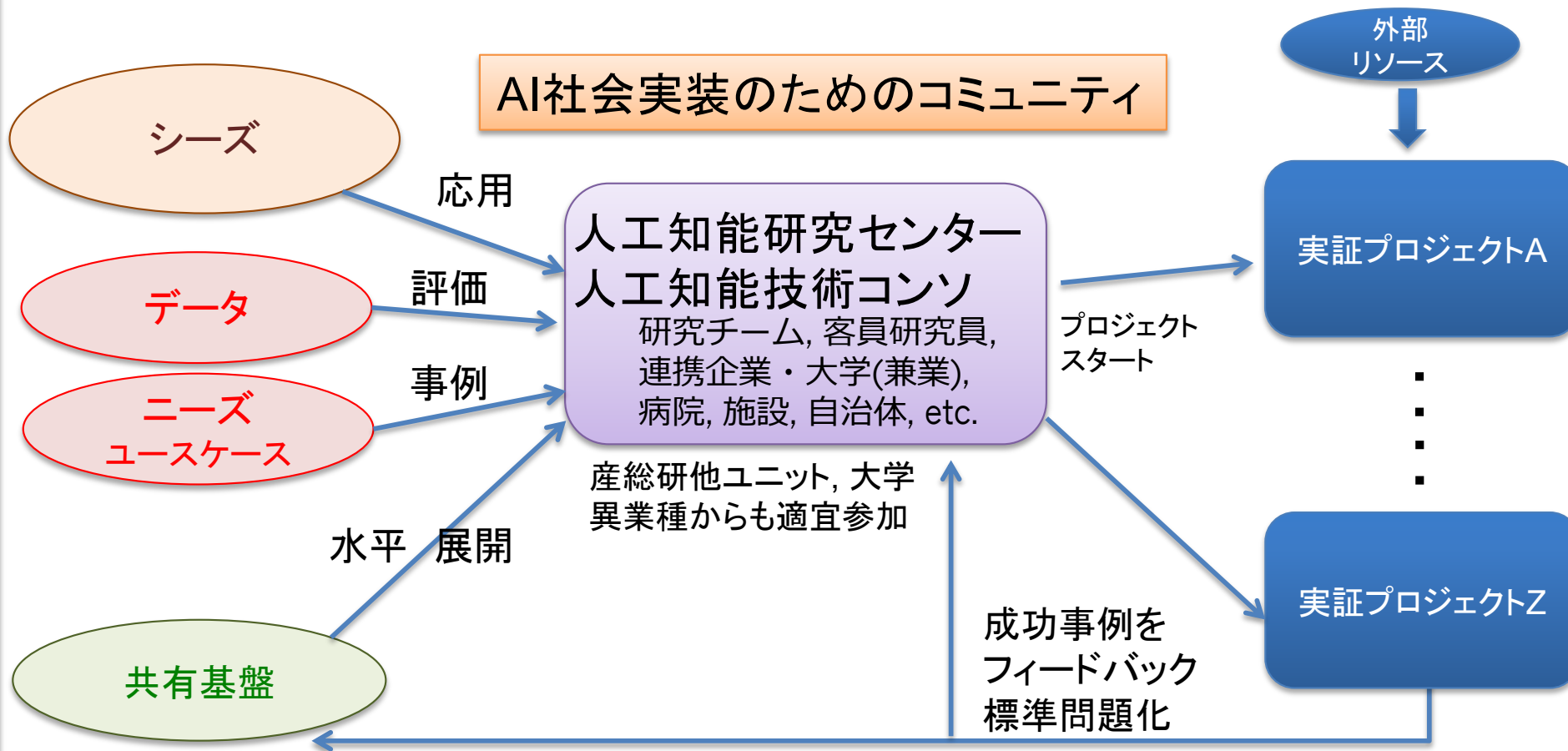
「経験価値 (User eXperience:UX)」の創出のために
供給側だけではなく利用者側の情報を積極的に扱う
ビッグデータによる循環型バリューチェーンの実現

価値共創型DXの推進のために



産総研人工知能技術コンソーシアム

シーズ/データ/ニーズをマッチングして
ビッグデータの成長スパイラルを回す
AI, DX技術の社会実装の場



2021年度: 幅広い業種から約200社が参加、関西・九州・東海・神戸支部も活動
【競争社会から共創、協調社会への実証実験、アライアンス、協業支援】



新たなユースケースの開拓、産業応用: AIIST 産総研人工知能技術コンソーシアム

Artificial Intelligence Research Center

地域展開

↑
アプリケーション
(フィールド実証など)

↑
共通基盤技術
(データ共有・標準化
プラットフォーム化)

↑
シーズ技術
活用ノウハウ化

↑
産総研
AIRC

関西支部
WG

九州支部
WG

東海支部
WG

神戸支部
WG

Human Life WG

ものづくりWG

社会課題解決WG

サイバーフード
WG

ユースケース
WG

観光WG

医用画像WG

HR-WG

VD-WG

AISS-WG

教育WG

データ・知識
融合WG

データプラット
フォームWG

データマイニングWG

AIツールWG

AIリビングラボWG

深層学習WG

2015年5月 (10数社)~2021年 (約200社)
各WG内では複数のプロジェクトを同時に推進
協業支援、ベンチャー支援コンテストなども実施

2017~2022大阪にて
毎年、ビジネスアイデア
創出コンテスト実施



AI技術社会実装, 社会変革(DX)への共創的取り組み

具体的なDXプロジェクトを実践し、産業の価値創出・生産性を向上しながら、AI技術の活用事例を広げる仕組みの構築 → 人材育成と仕組み自体も広く波及



AITeC: AIとビッグデータを活用した価値創出型DXと標準的なユースケース検証、効果評価の事例を共有できるコミュニティを確立、アプリケーション開発と人材育成を通じて組織変革、社会変革を加速し、その活動や環境も多様なWG、地域支部を通じ波及する

→ Society 5.0の実現に向けた技術と社会や人との共進化