

情報循環の設計科学 - 問題解決のプラットフォームを目指して -

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・副所長・データ科学研究系・教授
リスク解析戦略研究センター長
国立大学法人 筑波大学大学院ビジネス科学研究科
国際経営プロフェッショナル専攻・教授
権 広計

お品書き

- 情報循環設計の構想
- アプローチとしてのモデリング
- コトの科学の情報循環的課題
- 狭義モデリング学の課題
- おわりに：知の生産性に必要な基盤整備

人間・社会のための情報設計科学

情報循環設計の構想

我々は何を信用するのか？ 中谷(1958)科学の方法，岩波新書

- 再現可能 (= 本当) であることを信用する
 - ある人がある薬を飲んだときに、病気が治ったら、その薬は効いた、とそう簡単にいってしまうことはできない。全然同じ体質の人が二人いて、同じ病気になるって、一方は飲んで治り、一方は飲まなくて治らなかったという場合でないと、薬が効いたかどうかを、確かめることはできないはずである。同じ条件の人が二人いることはないから、確かめてみることはできない。それで偶然に治ったのだと、あくまでも言い張られたら決め手が無いのである。
 - しかし、こういう場合に、科学はそれを取り扱う方法を持っている。それは統計という方法である。…実際に全く同じ条件ということはないのであるから、広い意味で言えば、科学は統計の学問ともいえるのである。
- 科学が統計の学問であるとする、全ての法則には例外がある。
 - そして、科学が**進歩**するということは、その例外の範囲をできるだけ縮めていくことである。
 - Pearsonの自由思想の倫理

科学的認識のプロセスモデル 「科学の文法」: Karl Pearson, 1891

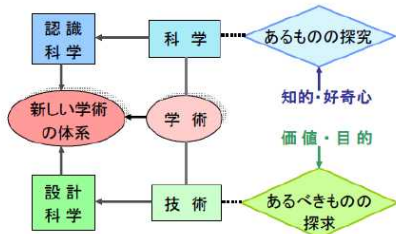
- 科学的認識のプロセス
 - 観測現象の因果関係を分析し仮説的法則を起草する
 - 仮説的法則すなわちモデルを関連する事実当てはめ、経験則を与える。
 - 事実の分類のニーズを検討するために得られたモデルのパフォーマンスをチェックする。
- 知的行動の概念モデル
 - Intelligenceとは、Associationにて、PhenomenaをControlすること也
 - 夏目金之助の1901年ロンドン留学中大学ノート
 - 科学は対象ではなく、そのプロセスで特徴付けられる

F+f: 共通性 + 個性 Beyond the Statistical Sciences

- Pearson(1891)「科学の文法」 統計科学
 - Spearman(1904)の因子モデル 計量心理学
 - F/fを最大化: 個別の価値への依存度を最小化
 - 認識科学の文法
- 夏目(1901)文学論ノート
 - Artを学術にするには上記の認識だけでは不十分
 - 悦楽の非線形最適化問題
 - P(F, f)の最大化
 - F/fが大きくなると理屈っぽく
 - 小さいと馬鹿馬鹿しい
 - » Response Function のバンドパス特性
 - 価値依存部分を認めた設計科学的方法論

社会のための学術とは 認識科学と設計科学

<http://www.scj.go.jp/ja/scj/taikei/index.pdf>



7

日本学術会議18-19期:新しい学術の体系 社会のための学術 「設計科学」

吉田民人レポート

- 知の営みとしての科学
 - 認識科学
 - 価値・目的に依存しない
 - あるものの探究
 - 社会のための科学
 - 設計科学
 - 価値・目的に依存
 - あるべきものの探求
- 学術体系化の3軸
 - 領域の階層構造
 - 物質 < 生物 < 社会
 - 秩序の階層構造
 - 法則
 - < シンボル性プログラム
 - < シグナル性プログラム
 - プログラム
 - » 絶対的なものではない
 - » 違反可能性
 - 価値に対する態度
 - Scope
 - 特定の価値・目的への依存
 - < 普遍的、価値に非依存
- 横断型基幹科学技術
研究団体連合のミッション
 - コトづくりによる社会イノベーション
 - 物・理

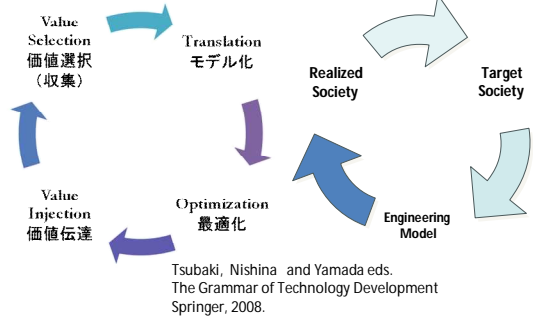
8

吉田民人先生の提起

学術会議の解釈: 情報変換から情報循環へ

- 情報処理 = 情報変換
 - 情報伝達: 空間的変換
 - 情報貯蔵: 時間的変換
 - 媒体変換(コピー)、記号変換(翻訳)、意味変換(推論)、記号化変換(センサー)など
- 物質変換を構成要素とする物質循環の類推
- フィードバックループ概念を一般化した「情報変換を構成要素とする情報循環」という枠組み
- 重要なのは設計科学的観点から、この情報循環を構築すること

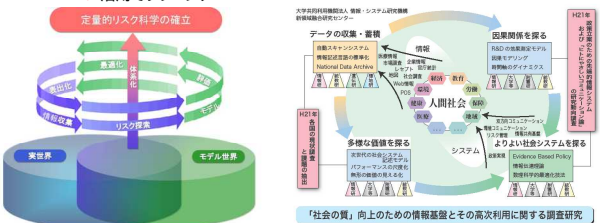
社会のための学術構築には 「設計科学の文法」= 情報循環論構築が必要 Modeling Technology Development: 3 Fields and 4 Steps



10

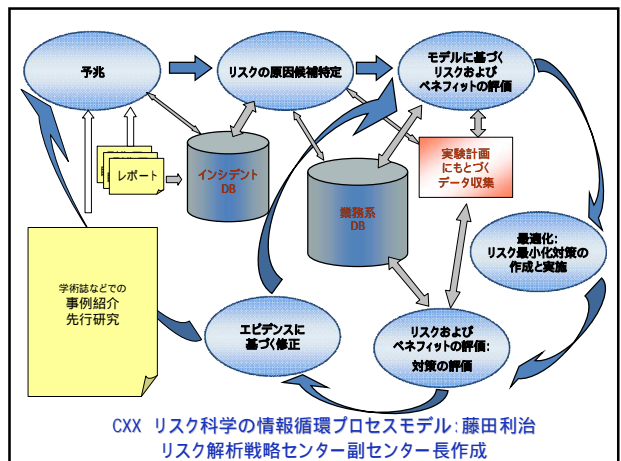
「新たな文法」で次々に学術領域創成 —究極のデータ科学メタウエアー—

情報学・統計学・数理学の融合を
NOE活用でプランニング

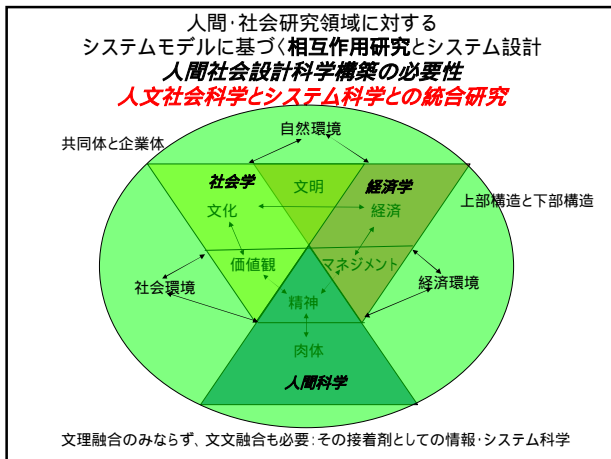


リスク解析戦略研究センターでの色分け
医薬品G上流系, 環境G中流系
金融・保険G下流系
基幹数理学の開発

人文・社会設計科学の実現



CXX リスク科学の情報循環プロセスモデル: 藤田利治
リスク解析戦略センター副センター長作成



講演者のモデリング観:情報循環設計科学の方法

アプローチとしてのモデリング

2010/6/21 20

モノ(Entity)としてのモデルと コト(Activity)としてのモデリング

- モデルとは？
 - 価値(Value)の高い生存に必要な情報縮約的「構造」
 - 生物が状況や行動を完璧に模写し、認識することは不可能
 - 状況認識したり他人に伝達する際
 - あるいは更にそれを利用する際
 - 達成すべき「価値」に基づき、「状況」や「行動」をデザインするには、些細な構造を無視し情報縮約的構造を用いて議論
- モデリングとは？
 - モデルに基づいて「デザインされた一連の行動」
 - 価値の高い生存に適した「モデルをデザインするための一連の行動」
 - 生物は、状況そのものを認識して行動しているのではなく、モデルに基づいて一連の行動をデザインしている

2010/6/21 21

天然モデリングとコトとしてのモデリング

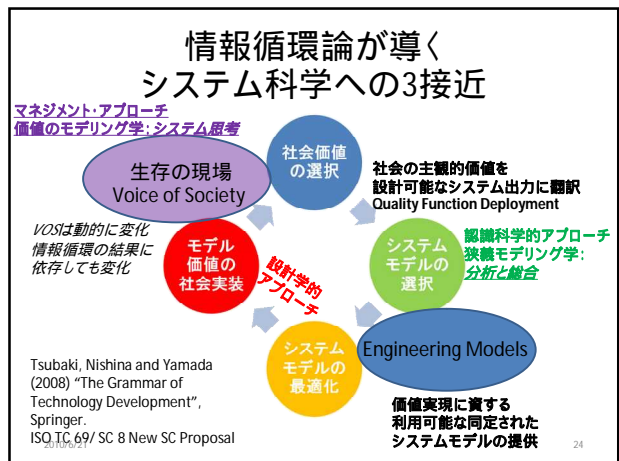
- 自然淘汰が導いた認識モデルやプロセスモデル
 - 動物それぞれの五感は、状況の情報量を生存に適したレベルに要約したもの
- 自発的モデリングは人間の知の営みの特徴付け
 - 人工物としてのモデルを開発
 - モデルの再利用: 他人の知を自分の知として活用
 - 知の成長を歴史として刻むことが可能
- デザインすべき汎用的モデリング科学
 - 天然のモデルを認識する科学自体は周縁情報
 - 物理学、生物学、人文社会科学を含む既存の全ての認識科学領域
 - 人工物としてのモデルをデザインする汎用情報科学技術
 - 天然がデザインしたモデルの利用技術は含む
 - ニューラルネットワークモデル
 - 遺伝的アルゴリズム

2010/6/21 22

知的生存のプロセスモデルとしての 情報循環

- 生存の現場
 - 価値選択行動
 - 価値や問題を発見、認識する行動
- 狭義モデリングの現場
 - 認識の場とデザインの場
 - 必要な意思決定を行う行動
 - 価値を実現するあるいは問題を解決するための「システムを近似したモデル」を選択し、それを用いて最適行動をデザイン
- 生存の現場
 - 価値を実現する行動

2010/6/21 23



広義モデリング科学

- 3接近に対応する3つのモデル対象
 - **マネジメント: 価値や概念のモデル** (価値選択を可能にする)
 - 有形価値の測定モデル: 「数え上げ」から「動的損失(目的関数)」
 - 無形の価値の測定モデル: 「用語」から「潜在変数モデル」
 - **狭義モデリング科学**
 - 状況認識のための「一連のシステムモデル」
 - 入出力関係と環境との相互作用モデル
 - » 法則
 - » シンボル性プログラム, シグナル性プログラム
 - **行動デザインを可能にする一連のプロセス(Activities)のモデル**
 - 情報循環モデルも、価値実現プロセスモデルの類型
 - 狭義モデリングは、プロセスモデルの一つのプロセス
 - » PDCAモデル(科学の文法) Water Fall Model, Fashion Model etc.
 - ×多様なプロセスの**情報接続(Interface)**が殆ど未検討!
- **概ね3つの近似方針**
 - 平均的な挙動を縮約 (Expectation Model)
 - 最良の挙動を縮約 (Frontier Model)
 - 最悪の挙動を縮約 (失敗を学ぶ)

2010/6/21

25

統計数理・情報学との関係 3つの主要エンジン領域

- エンジンを担う情報システム研究
 - 価値に関わる事実 (Sense Impression) の収集学
 - 価値選択 (対話、文献情報、インターネット環境)
 - データ収集
 - 価値のモデル科学
 - データアーカイブ構築
 - データ解析・モデリング
 - 価値の実装科学
 - 価値の最適化
 - 価値のコミュニケーション (メディア、専門家)

情報循環の視点から

コトの科学の情報循環的課題

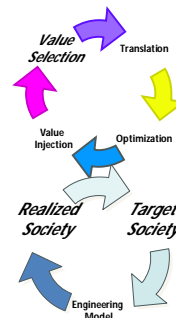
コトを対象とする科学を 困難とする3つの特徴

- 認識科学ではなく設計科学であること
 - 個々の人間の「価値」選択に強く依存する科学
- 更に社会設計科学であること
 - パフォーマンスに影響を与えるシステムが「法則(連続)」ではなく「プログラム(離散的)」を基盤
- しかもその「価値」の変動が大きいこと
 - パフォーマンスや質(損失関数)自体の個体変動(個体間変動、個体内変動、時間変動)が大きく、その決定要因も種々の環境要因、競争要因とその交互作用に支配され、サービスのアウトカムにも依存して「価値」が動的に変化する

仮説: コトの科学にはISO9000質マネジメント8原則は有効
Shewhart, Deming, Juran, 石川, Boxの知の統合

- 価値に対する2原則
 - (1)顧客のための価値を
 - (2)供給者の互恵関係(利益)維持という価値にも意を払いつつ最適化
 - 質マネジメント特有か?
- マネジメントに対する6原則
 - 何をやるのか
 - (3)継続的改善を
 - (4)事実に基づく意思決定で実現
 - 科学的方法による再現性確保
 - どのようにするのか
 - (5)プロセスとその有機的組み合わせとしての(6)システムといった仕事の仕組みをデザインして(パフォーマンス)を達成する
 - 風人的でなく、第三者に説明できる方法で
 - 解決プロセスモデルに基づく高度風人的サービスを否定するものではない
- Humanに対する2原則
 - 誰がやるのか
 - (8)リーダーシップに基づいて、(7)関係する全ての人々で推進
 - 内なるリーダーシップと外からのリーダーシップ

Step 1: 価値の選択

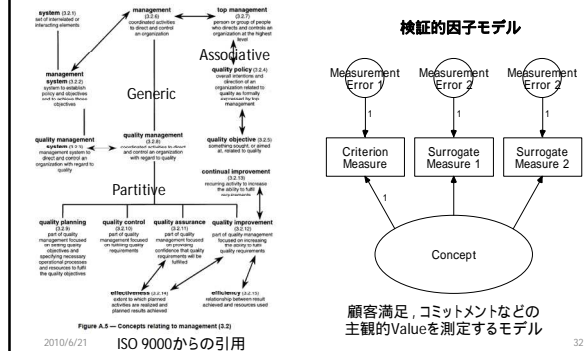


- 目的
 - 認知品質(顧客の声)のあるべき姿を定義
 - 開発者の気づきの促進
- 戦略
 - 現存する社会と投入する製品・技術に影響を受ける社会との乖離(顧客の振る舞いの差)を予測
 - 戦術
 - 消費者行動分析
 - コンジョイント分析
 - 残差分析
 - 発見科学的方法論
 - 探索的分類
 - 知識(チャンス)発見
 - N7,P7
 - 大澤幸生先生のアプローチ

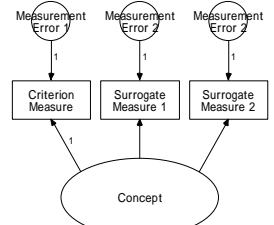
コトの品質 「価値選択過程同定問題」の困難

- サービスの品質
 - サービスの供給者が設定する客観的品質基準
 - Technical Qualityの計測に基づく「客観的品質」に基づく定義
 - ユーザーが、サービスのFunctional Qualityをどのように認知したかに基づいた「主観的品質」
- PZBの先駆的研究以来の合意
 - The only criteria that count in evaluating service quality are those defined by the customer”
 - 人間中心主義

用語学(特性記述)から計量心理モデルへ Concept Diagramから潜在変量モデルへ



検証的因子モデル



顧客満足、コミットメントなどの主観的Valueを測定するモデル

サービスの質定義の困難 決定要因の多様性と交互作用

主観品質評価の2説

- Parasuraman, A., Zeithaml, V. A. and Berry, L.L. (1988) "SERVQUAL": A multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Journal of Retailing*, 67, 420-450
- サービスの認知品質についても、PZBの期待と実態との差で測るというキャップモデル
 - リグレットと考えられる?
- 実際だけで規定されるという説
- 認知品質決定要因
 - 受益者の価値観
 - 受益者の有する情報
 - サービス行為を享受したという経験自体が最も大きな情報
 - 受益者が選択できるサービスの範囲

モノの品質評価

- 探索品質が主要な認知品質
 - 消費者が製品を購入する前に評価できる品質

サービスの品質評価

- 信頼品質が中心
 - 利用開始後時間経過がないとユーザーは評価困難
 - 医師の診断
 - モノに比べて客観的品質情報が入手しにくい

個人的仮説

- サービスの認知品質に関する価値モデルとして有力なのは期待機会損失(regret)評価?

価値モデルの不確実構造 価値の概念モデルとしてのリグレット評価

- リグレット(機会損失)概念によるダイナミズム

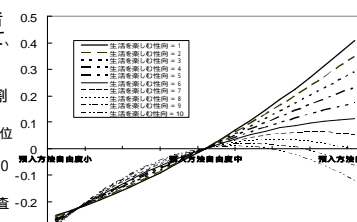
- 「実現した事象から省みれば、当該アクションは最善のアクションに比べて、どれ位損失が大きかったかを評価」
 - 最善のアクションは時代が進むに従って進歩
 - ある治療方法のリグレットは時代が進むにつれて大きくなる
 - Kano Model
 - 魅力的品質 線形品質 当たり前品質
- 将来実現する価値の不確実性に対するマネジメントの確立
 - Enterprise Risk Management
 - シナリオプランニングの重要性和希少確率分岐をウォッチする現場情報の意義
 - 首都大学東京: 中岡英隆教授の提唱

戸谷、西尾、榎(2005)消費者の価値観とリテール金融商品選好、マーケティングサイエンス: Kano Model(狩野紀昭先生)の実証

- 金融サービスの選好は消費者の価値観によって規定
- 価値観と商品属性とを共変量にした質的選択モデルの利用

要因	数値変換	水準1	水準2	水準3
一次項変換	-1	0	1	
二次項変換	1	0	1	
リスク (価値変動)		小	中	大
自己裁量 (自己選控権)		小	中	大
流動性 (解約自由度)		小	中	大
預金方法 (預入方法自由度)		小	中	大
チャネルバーチャル度		小	中	大
付加価値実利性		小	中	大

- コンジョイント測定を被験者価値観共変量導入によって、被験者回答負担低減
 - 交互作用解析の利用
 - L27直交表に商品属性を割付
 - 9プロファイルの選好順位回答
- ある銀行に口座(2001年10月)を持つ800名
 - 事前に5つの価値観調査回答



Step 2: 変換

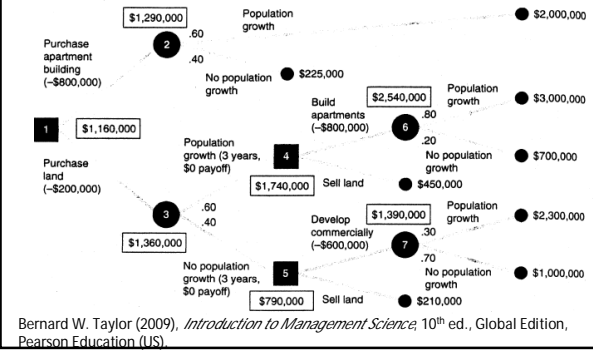


- 目的
 - 社会における認知品質要素を技術モデルにおける機能品質要素に変換
- 戦略
 - 社会のあるべき姿を達成するのに必要なシステムを明確化
 - 戦術
 - 特性要因図
 - 連関図
 - 品質機能展開

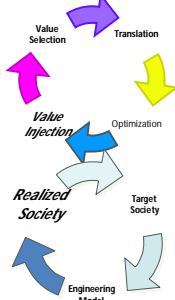
不確実性の下での最適決定 統計的決定理論と制約付き最適化

- モデルに基づいてリスク(期待損失関数)を最小化するアクションを選択
 - 単純な集団最適化ではなく、
個体に対する一定以上の損失を許容しない。
 - The loss greater than xx shall not be realized at greater probability more than zz %
 - この種の配慮に基づく制約条件付きの最適化
 - 制約条件はある種の法的・倫理的な要請から生じる
 - 一個を尊重するという倫理
 - 行政計画は、多目的の価値パレート最適
 - 政治はその中からの選択
- 事実に基づけない決定は保守的になる

Solver: 将来シナリオ (プログラム) + 合理的意思決定 Risk and Evidence Based Policy Making



Step 4: 価値の注入 コミュニケーションの数理の欠如



- 目的
 - 技術的に実現した機能品質と対応する実社会の認知品質を整合させる
- 戦略(品質経営戦略の欠如):
 - 顧客の気付きの促進
 - 戦術
 - コミュニケーション
 - 情報マネジメント???
- 大澤幸生先生のアプローチに注目!

当面のコツクリの目標: 完璧なものを目指すのではなく
継続的改善が可能な問題解決型プロセスの初期モデルを作る

- 政策目標の質的設定: Visionと戦略
 - 政策実現シナリオの記述
 - 失敗のシナリオも記述: PDPC, 二項ツリー
- シナリオの実現確率を記述する一次近似システムモデルの構築:
 - Nature(政策, ステークホルダーの行動, 環境パラメータ)の挙動(コストも含む)を記述する不確実性を考慮したモデルをシナリオのマイルストーンに張り付ける
 - 統計モデル, ファジーモデル, ゲーミングシミュレーションモデル
 - はじめての発表を準備する
 - この記述の不確実性の尺度を明らかにし, PDCAが回り出せばよい
- 政策の多次元パフォーマンス尺度の設定
 - 様々な効果尺度を主要なステークホルダー毎に作成
 - その安定性尺度, 費用など
- パフォーマンス尺度に対する倫理制約条件の設定
- 政策の条件付きパレート最適曲面の決定
 - オプション理論 + 組み合わせ最適化
- パレート最適な政策群からの意思決定と達成価値の再配分施策の立案

2010/6/21

46

思いのまま

狭義モデリングプロセスの課題

2010/6/21

47

狭義モデリングのプロセスモデル PDC STEP.1 探索(モデル・プランニング)

- 関連する現象を分析し総合
 - 状態推移やプロセスを観察・理解
 - プロセスが類似し, パフォーマンスメジャー向上にとって合理的と判断される「現象群をひとまとめ」
 - 理論検討に基づく現象へのモデル付与
- 人間が一般的に考案する原初モデル
 - 定量的な記述能力を持たない
 - 定性的な外界の記述に留まり, 目的に対するパフォーマンスは低い
- モデル・プランニングを決定する要素
 - 現象に対する理論, それに対応する数学
- モデル・プランニングを支援・自動化する情報技術
 - データ・マイニング
 - 数式でシステムモデルの構造を記述する代わりに, 論理式規則やパラメータに依存しない無限自由度の関数でモデルを表現
 - 予測性や適合性の高いモデルを原初モデルとして与えることが可能
 - メカニズムに本当に迫れるのか? (ひとまとめの整理には有効)

2010/6/21

48

STEP 2 適合: モデル・フィッティング

- 定量的総合化プロセスとしてのフィッティング
 - モデルを「様々なState of Nature変動が存在する現象」に対して、「パフォーマンスメジャー」を最適化する操作
- モデル利用目的に応じてパフォーマンスメジャー自体をどのように変える?**
 - 予測・制御・最適化・解釈といったシステムモデルの利用目的に応じてフィッティングやモデルの評価をどのように切り替えるのか?
 - 長期予測と短期予測
 - 現状での数理的評価指標は、モデルが将来利用される場合は、モデルをチューニングしている場と同一であるとの前提
 - モデルの利用の場が限定できる場合のフィッティングの方法論開発についてはかなりの研究課題が残っている

2010/6/21

49

STEP 3 検証: モデル・チェックング モデルの弱点を改善する必要性を検討するプロセス

- モデルの弱点抽出**
 - 総合的パフォーマンスメジャー
 - 個別の現象に対するモデルフィッティングの問題
 - モデルの残差に関するマイニング技術適用**
 - 系統的接近技法やチェック自身のプロセスモデルは未整備
 - チェックプロセスが十分活用されていないため、開発されたモデルが陳腐化
- Verification (一貫性確認)
 - 背景理論とモデル入出力関係との一貫性をチェック
- Validation (妥当性確認)
 - モデル入出力関係とモデルフィッティング範囲内の現象との一貫性をチェック
- Generalizability (一般化可能性確認)**
 - フィッティング範囲内の現象が一般社会で再現するかをチェック

2010/6/21

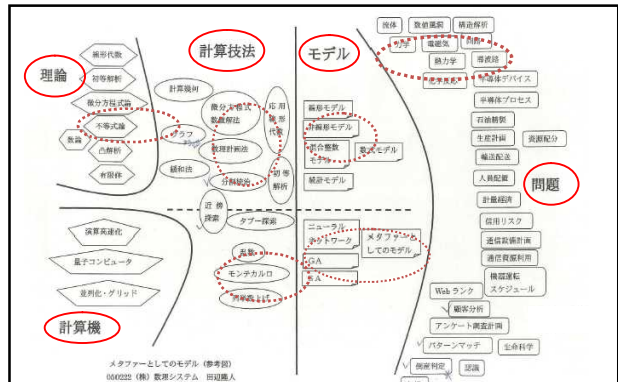
50

古典的狭義モデリング学内の課題 課題: 数理的方法のScope Management

- 認識 (既に紹介)**
 - 入力信号発生メカニズムの研究
 - 入出力関係の記述と同定方法の研究
- 設計 (既に紹介)**
 - 入力最適化アルゴリズムの研究
 - 制約条件の倫理的設定
 - 計算数理
- 「法則 = 問題」の複雑さと間尺のあった狭義モデリングプロセスの俯瞰**
- モデリング科学の知識ベース整備
 - 数理システム: 田辺氏の重要な提言

2010/6/21

51



付図 CAE * SOC適用にあたって(理論 * 計算技法 * モデル * 計算機 * 問題)
(天坂, 橋, 田辺他, 2005, で数理システム田辺氏提供) 52

Scope Managementのために

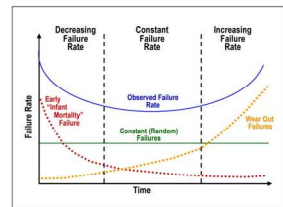
モデリングの持ち駒を俯瞰することも既に困難?

- モデルの分類とそのScopeの明確化**
 - 利用目的による分類
 - 予測モデル, 制御モデル, 意思決定モデル
 - 近似したい状態による分類
 - 理想状態, 標準状態
 - 静的, 動的(時空間)
 - 記述様式による分類
 - 決定論的, 非決定論的(確率論的, 主観的)
 - マクロ的, ミクロ的
 - 連続的, 離散的
- モデルのパフォーマンスメジャーとそのScope**
 - 妥当性, 有効性, 頑健性の尺度
 - AIC, Cross Validation, BIC, リスク関数

2010/6/21

53

例: 素朴なベストプロセスモデル: 金さん銀さんに学ぶ
最良のパフォーマンスを持つ対象の行動と類似行動をとる
最良のパフォーマンスは、どうして生まれるかの入出力モデル
狭義モデリング科学のプロセスモデリングへの寄与
Qualitative Choice Modeling, Stochastic Frontier Modeling



<http://www.geocities.co.jp/SilkRoad-Ocean/2002/nati0000.htm>

バスタブ曲線は普遍的存在
http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Bathtub_curve.jpg

2010/6/21

54

課題:計量モデル同定から得た知識で主張できる事
 叙述のプロセスモデル(価値の伝達プロセス)とそれに対応したアクションの設計

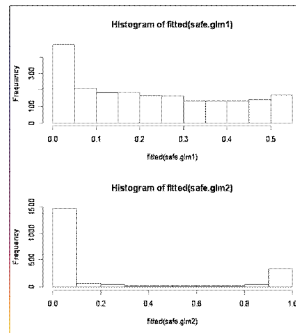
- 証拠力水準に対応したコミュニケーションプロセスモデル？
 - 審判審報:
 - 発見:「FがRの原因となっている可能性が示唆される」
 - 社会で日常用いられている物質や情報に何らかのリスクがあり、「再検討を開始」すべきという場合に必要証拠力は発見で十分と考えられている
 - 空襲審報:
 - 選択:「どちらかといえば、FがRの原因となっていると考えることが妥当である」
 - 決定理論に基づき叙述に起因するリスクを最小化
 - 損失に関する厳密定式化が可能ならば、合理的叙述を導く。
 - 敵機来襲:
 - 保証:「FがRの原因となっていることをある程度確実に保証できる」
 - 今までにない物質や情報が社会に導入され、我々に不可逆的「影響」を及ぼす可能性があるときには、その導入を決定する最終的な叙述の証拠力としては、統計的推測理論に基づく「保証」が要求されることが多い。

課題:モデリングの経済学

- 色々課題を掲げたが、これを解決し、より正しいモデリングプロセスに置換するとどの程度の経済効果が生まれるのか？
- どの課題の解決が喫緊の課題なのか？

投資の事例 $Pr(\text{倒産}|A) < 1/(1+r)$
 利息年率 $r=0.04$, $P < 0.038$ 投資

- 倒産確率予測
 - 仮想事例
- 簡単なロジットモデル
 - $\#(P < 0.038) = 421$
($N=2091$)
- 若干の改善
 - $\#(P < 0.038) = 1394$
($N=2091$)



知の生産性に必要な基盤

おわりに

モデリング科学を有効にする 基盤整備の必要性

- 情報・データ基盤
 - 健康・環境・家庭・企業・経済・社会などのデータ機構整備
 - 政府収集情報の公共財としての利活用基盤
 - 匿名化データベースとオンサイト分析拠点
- データベースだけあっても モデリングの知識ベース基盤
 - モデリング、モデルに関するメタ知識の収集と利活用促進
 - 適用範囲+フリーソフトウェアの提供
 - モデリングの知的財産権は？
- 情報循環プロセスの各ステージでの入出力情報の標準化
 - 分野別には進行？
 - より汎用的な情報構造は？
 - 例:モデルの出力は最適化の入力
- モデリング専門家(研究者とは異なる)の系統育成
 - 欧米・アジアでの統計学修士課程の歴史的役割

参考文献

- K.Pearson (1892) "The Grammar of Science". 現在Doverより第三版が入手可能
- 日本学術会議(2003)新しい学術の体系-**社会のための学術と文理の融合-**, p.181.
 - <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/18youshi/1829.html#p>
- 日本学術会議(2005)新しい学術の在り方-**真のscience for societyを求めて-**, p.104.
 - <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-19-11032-11.pdf>
- 権(2007)統計科学の横断性と設計科学への寄与, 横幹, Vol.1, No.1, pp.22-28.
- 権(2007)「リスク評価とは何か」, 岩波シリーズリスク学入門1収録
 - 権(2007)検証、選択、発見の架構, 人工知能学会誌, 2007
- 権(2008)品質管理プロセスを支える横断的管理技術, クオリティのひろば, No.50, p.37, 日科技連.
- Tsubaki, Nishina and Yamada eds. (2008) *The Grammar of Technology Development*, p.221, Springer.
- Kadono, Tsubaki, and Tsuruho (2008) A survey on management of software engineering in Japan, in *Current Themes in Engineering Technologies: Selected Papers of the World Congress on Engineering and Computer Science*, No. Amouzegar and Chen eds. pp. 267-277, American Institute of Physics.
- 権, 河村(2008)設計科学におけるタグチメソッド, 日科技連