

ビジネス・サイエンス時代の 統計的心得

筑波大学大学院ビジネス科学研究科

<http://www.gssm.otsuka.tsukuba.ac.jp/bs/>

椿 広計(Hiroe TSUBAKI)

GSSM:

Grammar of Science=Statistical Methodology

自己紹介(個人):自称統計家

- 数理統計・統計モデル
- 統計的方法の標準化
 - 統計的品質管理:ISO・TC 69
 - 計測の不確かさ解析
 - 許容差、検出限界
 - 統計用語
 - 実験計画法用語
 - 医学統計:厚生省
 - 臨床試験の統計解析ガイドライン
 - 中央薬事審議会新薬調査会
 - 市販後調査ガイドライン
 - MEGA Studyデータセンター
 - 官庁統計:統計審議会
 - 調査技術開発部会
- 環境計測のための統計的方法
 - リモートセンシング
 - オゾン層の計測
 - » 国立環境研究所衛星観測チーム、宇宙開発事業団地球環境観測委員会
- 金融・経営管理のための統計的方法
 - 企業格付け・リスク評価
- 環境マネジメントの標準化
 - ISO TC 207
 - 用語
 - 製品規格の環境配慮

職場:GSBS:Graduate School of Balanced Scorecard
ビジネス科学の高度専門職業人教育

- 筑波大学東京キャンパス夜間社会人大学院
 - － 高度専門職業人教育
 - 経営政策科学研究科経営システム科学専攻
 - － 平成元年設立
 - 愛称: **GSSM**:Graduate School of Systems Management
 - － 平成元年誕生の有職社会人のための夜間修士課程
 - － 修了生約500名
 - » 博士進学(企業科学専攻など)20%、起業10%
 - » 経営系大学への就職15%
 - － 平成13年4月夜間大学院初の独立研究科
 - ビジネス科学研究科:東京キャンパス独自の組織
 - **GSBS**:Graduate School of Business Sciences
 - － 内閣法制局クレーム「**ビジネスは科学と相容れない!**」

経営システム科学専攻の研究指導 統計的方法の役割

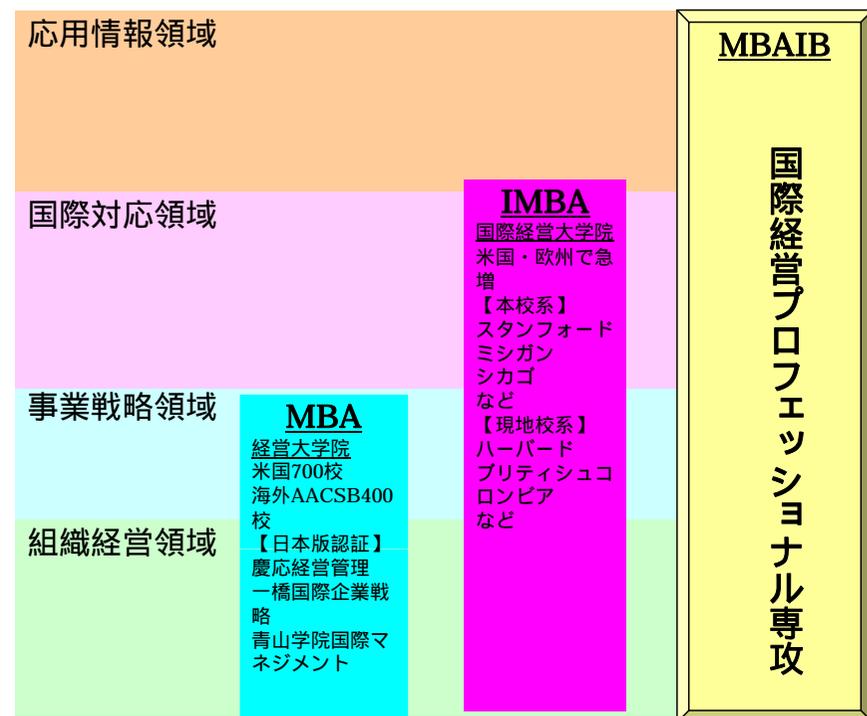
- **経営・数理・情報3分野**教員による共同研究指導
 - 学生はミドルマネジメントクラス(修士入学平均年齢36歳)
- **実証研究支援のために「統計モデル」の受講**
 - 日経リサーチ:鈴木督久先生による**共分散構造分析**の集中講義
- **主要研究分野**
 - 組織行動 & 人材開発(O&H)
 - マーケティング & ストラテジー(M&S)
 - ファイナンス & アカウンティング(F&A)
 - 含 数理ファイナンス
 - ビジネス・インフォマティクス(BI)
 - 含 IT経営, eビジネス
 - オペレーショナル・マネジメント(OM)
 - 含 品質経営, 環境経営

来年からの職場：夜間社会人専門職大学院 国際経営プロフェッショナル専攻

http://www.gssm.otsuka.tsukuba.ac.jp/imba/index_imp.html

- 平成17年4月1日開設,
8月1日新入生入学
- 応用情報
 - プロジェクトマネジメント
 - リスクマネジメント
 - データマイニング
 - 調査技法

国際経営プロフェッショナル専攻の位置づけ



ビジネスモデル = 統計モデル

誤解1: 統計はただの数学

誤解2: ビジネスは科学ではない

筑波大学ビジネス科学研究科は
なぜ数理・計量に偏っていると批判されるか？

筑波大学ビジネス科学研究科編
「ビジネス数理への誘い」, 2003,
朝倉書店

統計科学とは

指針 1 : XXを科学せよ

統計科学の目指すもの なぜビジネスは科学になりえるのか？

統計科学の目的は、関連する事実の集団に関する情報を議論に適した簡潔な表現に要約することである。The Sir Francis Galton(1883) Inquiries into Human Faculty and its Development

科学の作り方

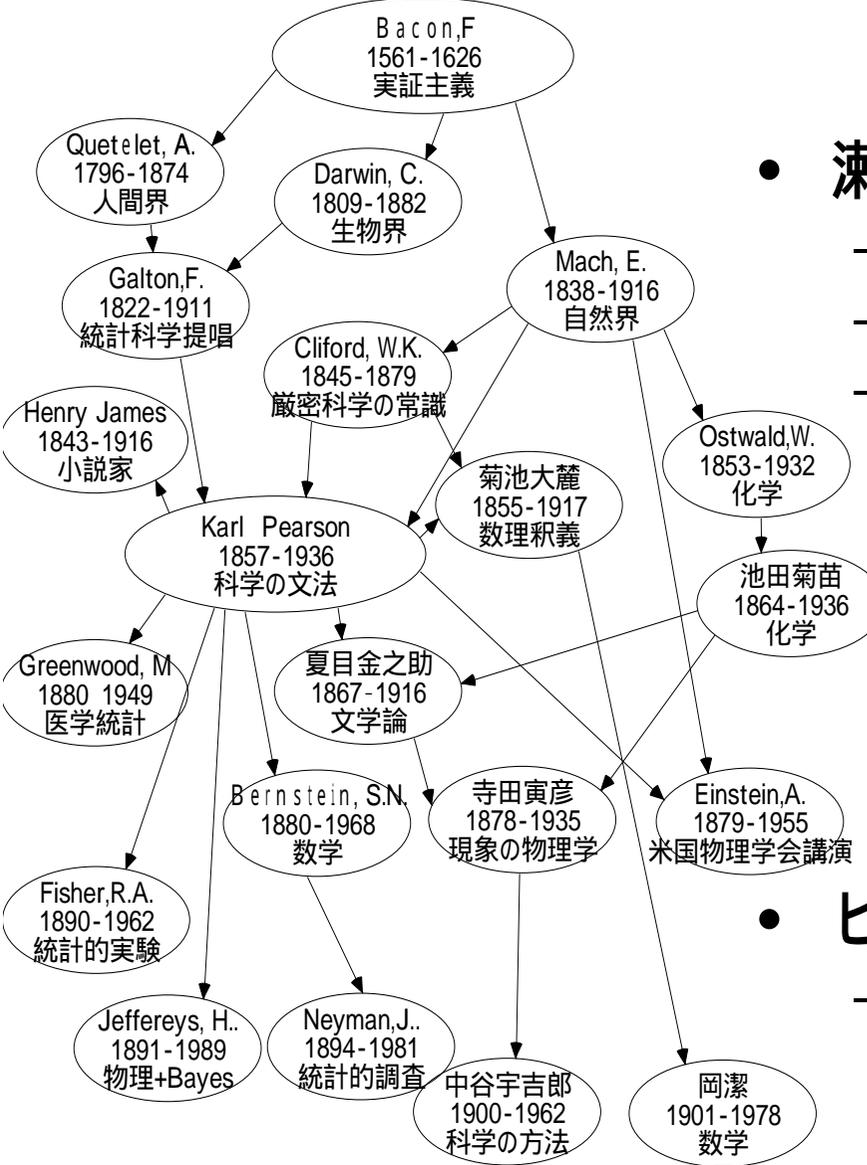
Man Gives a Law to Nature

- 人間の凡ての智識はsensationのexperienceに始まってintelligence (associationにてactionをcontrolすること) より perceptionに移り, conceptionに至る.
- Dataを云えば悉くsense impressionなり. Observation又はexperimentにて得たるimpressionをanalyseし, abstractし, 又之をsynthesiseし, generaliseし, classifyしてlawとなす. 是scienceなり.
- 然らばscienceに在ってはexperience以外のものをassumeすることなきか. 答えて云う. Scienceにてclassifyし, generaliseしlawをdeduceするは, practical convenienceあればなり.

科学法則の意義と その生成プロセス

- Scienceは合理的のimaginationを許す。是hypothesisなり、即ち、lawをapplyするときにuniformity of natureをapplyせずして、lawをgeneraliseするときにunknown quantity xのactionをexistする者と認めてhypothetical lawを造る。此故に此lawが成立するや否やはxのexistするか否かにdependす。
- 古来の発明家は皆imaginationによりて、suggestionを得、然る後、之をverifyせり。Verifyし難しと雖もprobability多ければ、此hypothetical lawは、そのprobabilityの程度にproportionalにvaluableなり。
- 次にScienceは理想を許す(中略)
此idealisationは、煩瑣にしてnegligibleなfactorをeliminateするに必要なり。之をeliminateせざれば、非常な不便なればなり。而して、此idealの起こりは、経験し得る幻象をgeneraliseして、経験し得ざるlimitまでstretchせる者なり。然し、経験し得るpossibilityのある者なり。

統計科学 前後関係



- 漱石への影響
 - 文学論・文芸評論
 - 私の個人主義
 - 寺田・中谷への影響
 - 寺田(1947)物理学序説
 - 中谷(1958)科学の方法
 - 科学が統計の学問であるとすると、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、この例外の範囲をできるだけ縮めていくことである
- ビジネス科学への影響
 - 生産を科学に: 品質管理
 - Shewhart, E.S. Pearson

夏目金之助の科学観

(1903年の東大文学部の講義)

その道の人は科学をこう解釈する。

- 科学はいかにしてということすなわちHowということの研究するもので、なにゆえということすなわちWhyということの質問には応じかねるというのである。
- No objection can be raised to the words explain and explanation if they be used in the sense of the descriptive *how*, and not the determinative *why*.

Grammar of Scienceの一節と比較

さてこのいかにしてすなわちHowということを解釈すると、俗にいう原因結果という答えが出てくる。

漱石：「文芸評論」

高弟：寺田寅彦の絶筆 未完の「物理学序説」

- 太郎は叱られた
 - 何故：悪い子だから
 - 如何に：現象の前後（因果）関係を丹念に追う
- 物（対象）+ 理（対象間の関連性）
- 理の機能を果たすのが「システム」
 - 多入力を多出力に変換する機能（ISO9000）
 - ISOのマネジメントシステムにおける基本原理
 - システムズ・アプローチで経営をとらえる
 - 寺田(1947)物理学序説，岩波書店

文芸は科学たりえたか

夏目金之助と田口玄一

エネルギーへの着目

指針2：入出力システムに法則在り

文藝は科学たりえたか漱石の10年計画と挫折
村岡編(1976)漱石資料－文学論ノート, 岩波書店

- ごく一例: 漱石の生産関数アプローチ

- Pleasure is proportional to the amount of energy spent.

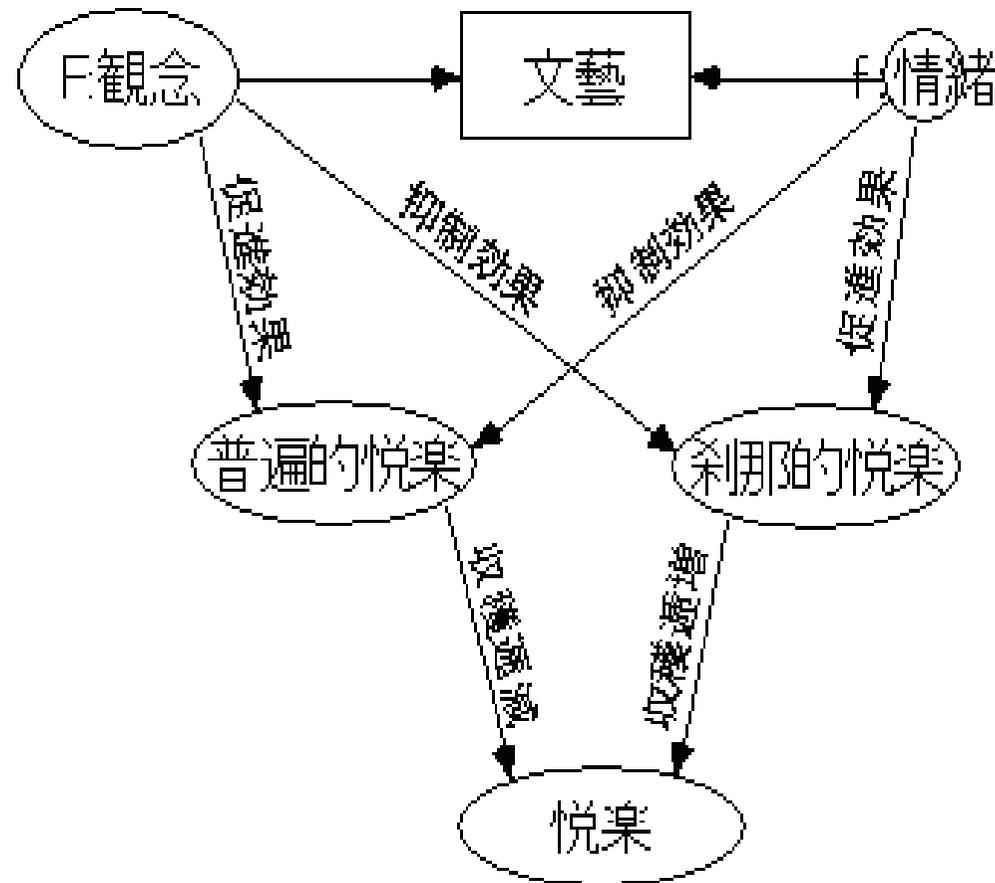
$$R = \frac{\text{P.E. (energy spent at a time)}}{\text{T.E. (sum total of energy)}}$$

$$RL < R < RU \rightarrow \textit{pleasure}$$

$$RL < R < Rl \rightarrow \textit{ease, clearness, unity} \rightarrow \textit{pleasure}$$

$$Ru < R < RU \rightarrow \textit{force, novelty, difficulty} \rightarrow \textit{pleasure}$$

夏目の非線形モデル 椿(2003)日経広告手帖



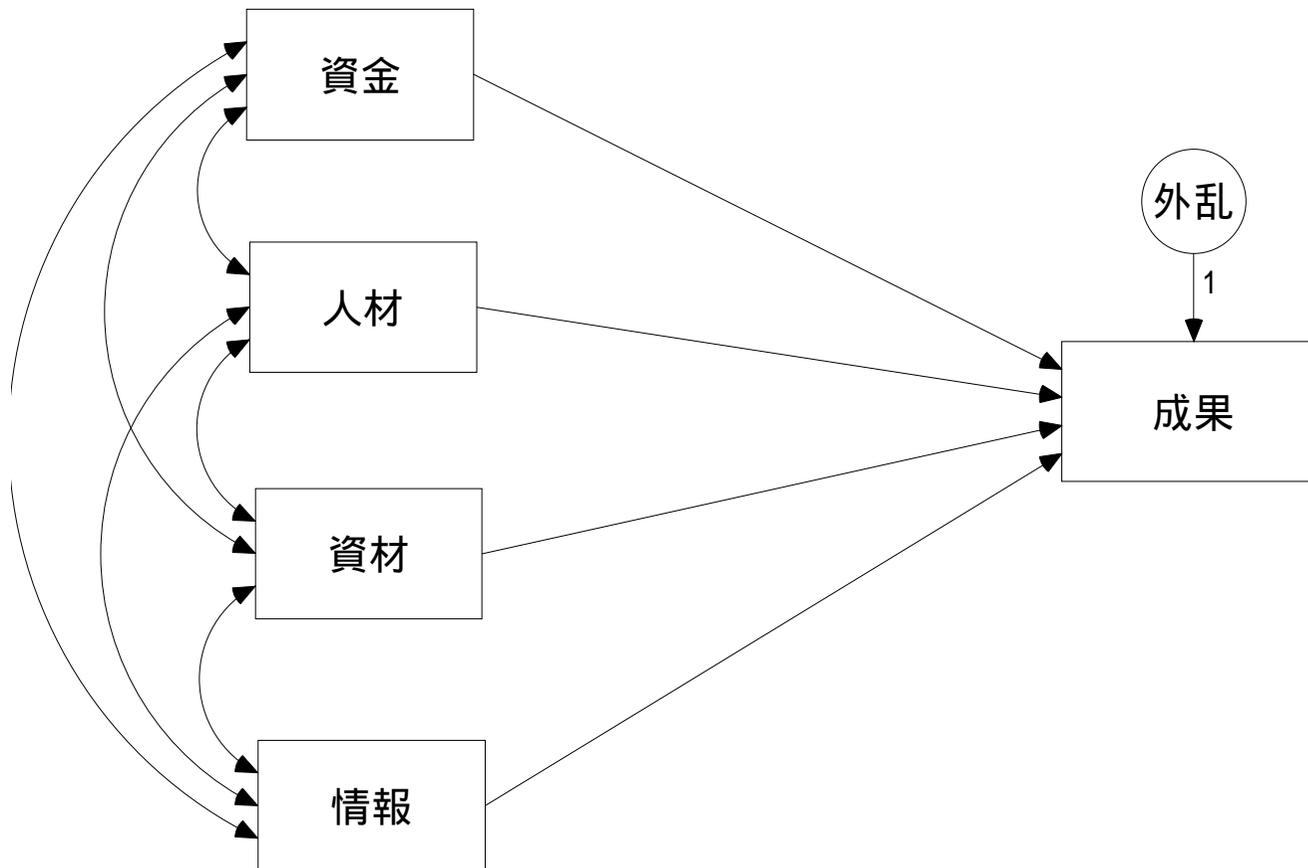
ビジネスは科学たりえるか？

指針3：利益は指標であり法則の
帰結ではない

ビジネスを科学するプロセス 序の口：科学は理想を許す

- 入出力関係と理想機能
 - 線形システム
 - $y = F(x) - F(0)$
 - $F(x_1 + x_2) = F(x_1) + F(x_2)$
 - 対数線形システム
 - $\rho = F(x)/F(0)$
 - $\rho(x_1 + x_2) = \rho(x_1) \times \rho(x_2)$
- 理想機能からの乖離の尺度
 - 法則のperformance尺度
 - Galton-Pearsonの相関係数
 - 田口メソッド(品質工学)の動特性のSN比

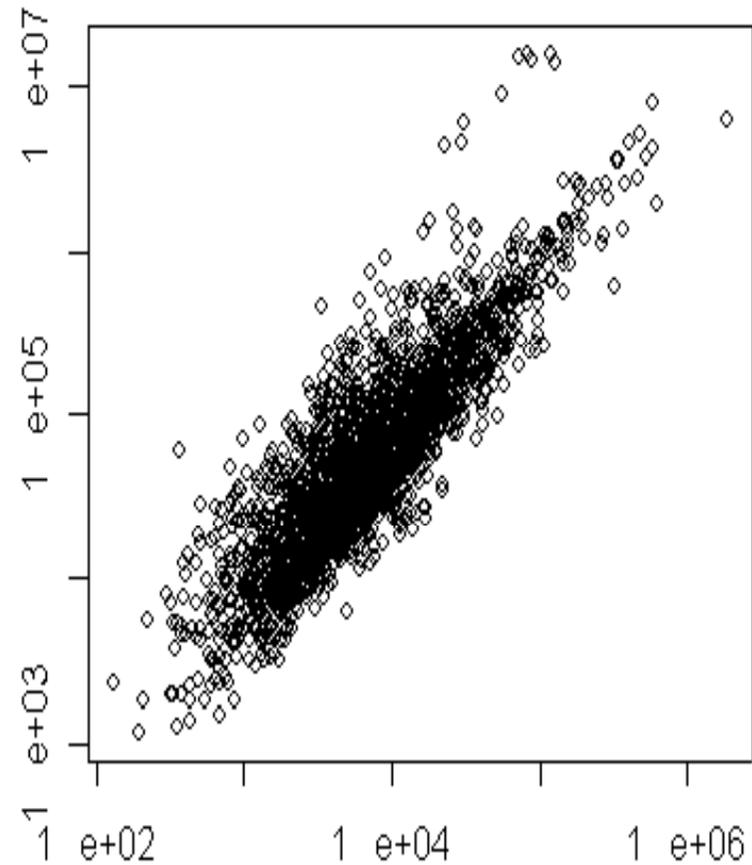
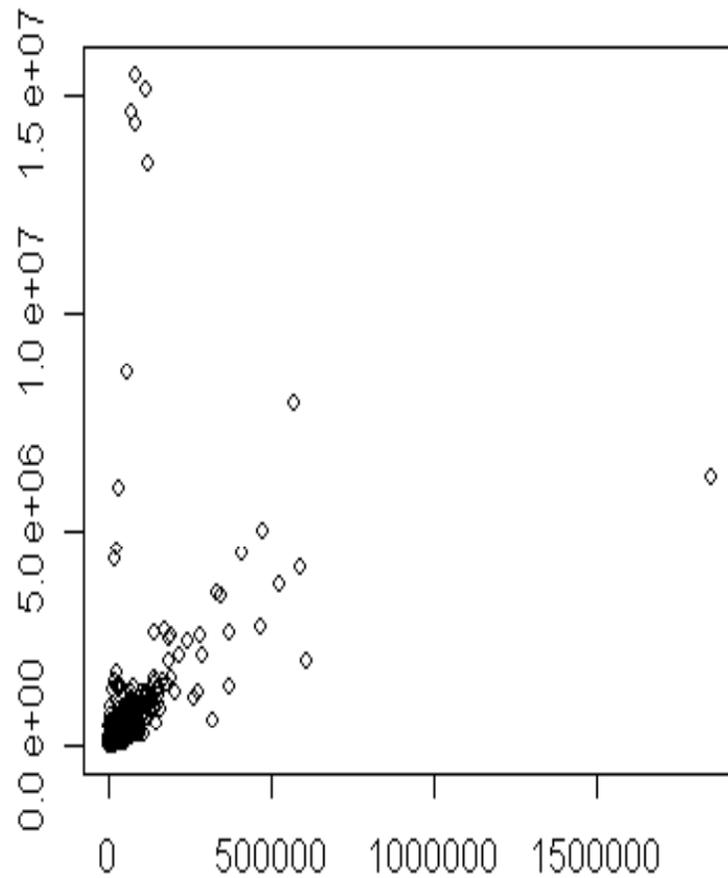
回帰分析からの出発 連関図 = パス図表現



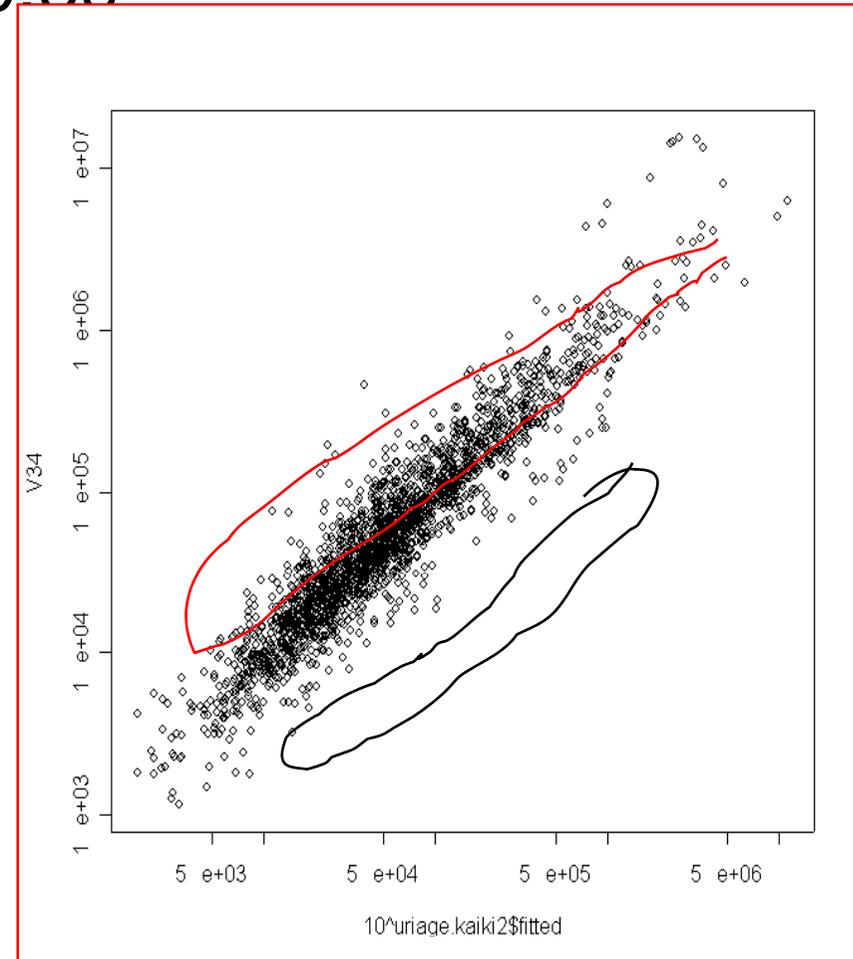
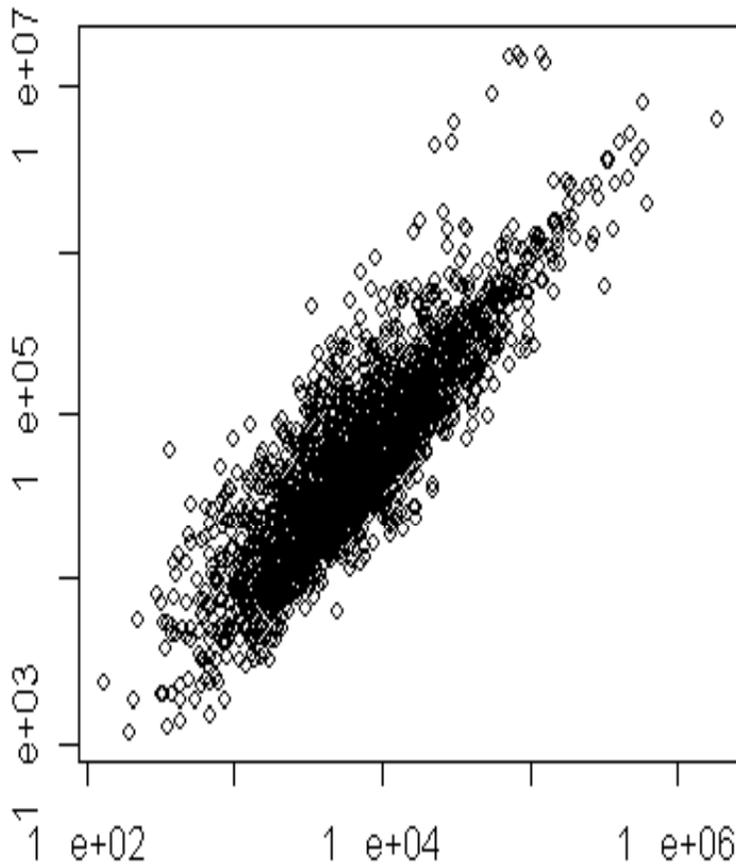
コブダグラス生産関数：人件費→売り上げ

$$\text{対数売上} = 1.07 + 0.95 \times \text{対数人件費}$$

$$r^2 = 0.745$$



ヒト + モノ + カネ → 売上
対数売上 = 0.31 + 0.29対数人件費 +
0.45対数資産 + 0.26対数負債
 $r^2 = 0.89$



分類のニーズと残差分析

法則に一致しない例：発見とは？

表 2 1a 売上が予測売上より著しく低い企業 表 2 1b 売上が予測売上より著しく高い企業

企業名	実売上	予測売上	企業名	実売上	予測売上
Chugai Mining	4516	18450	ITOCHU	15491756	2608342
Green Cross	18149	76328	Marubeni	14659263	2420678
Keisei Electric Railway	87654	371998	TOMEN	6018589	1008105
Nankai Electric Railway	117487	527056	Nichimen	4550632	941959
Kobe Electric Railway	18709	100471	KANEMATSU	4313403	753726
Sanyo Electric Railway	20798	103288	CHUO GYORUI	192781	23507
WESCO	3179	14753	MITSUI & CO.	15182013	3325918
Koshien Tochi Kigyo	1783	8338	TOHTO SUISAN	149232	22868
売上の単位は、いずれも 100 万円			TSUKIJI UOICHIBA	129734	21311
			OSAKA UOICHIBA	306496	51773
			DAITO GYORUI	168806	25985
			SUMITOMO	14388659	83078
			Nissho Iwai	8688598	1796016
			TOKYO SANGYO	459118	38631
			CHUBU SUISAN	74260	14049
			SHINKO GYORUI	76341	11268

係数の違い 経営要素が潜んでいる

業界	切片	人件費	資産	負債	係数合計
商業 180社	0.02	0.27	0.59	0.25	1.11
運輸 50社	0.22	0.73	0.57	-0.29	1.01
その他	0.28	0.38	0.23	0.41	1.02
全体	0.31	0.29	0.46	0.26	1.01

Don't Measure Quality If You Want to Improve Quality

By Gennichi Taguchi

統計技術と統計科学の差異

- 技術ニーズに即した分析の誤謬
- 例：売上ではなく、売上利益の予測？
 - 目的変数は？
 - 技術的接近ならば予測したい変数が目的変数
 - 科学的接近：理想機能を考えるために分析的思考
 - 売上げには入出力関係がありそう
 - (売上げ - 売上利益) 原価にも入出力関係ありそう
 - 原価の決定要因と売上 / 原価の決定要因とは違いそう

技術の立場: 利益を目的変数 赤字企業は負のデータ 電気電子機器業界

• $\log_{10}(\text{利益} + 5000)$

$= 0.72$

$+ 0.33$ 対数人件費

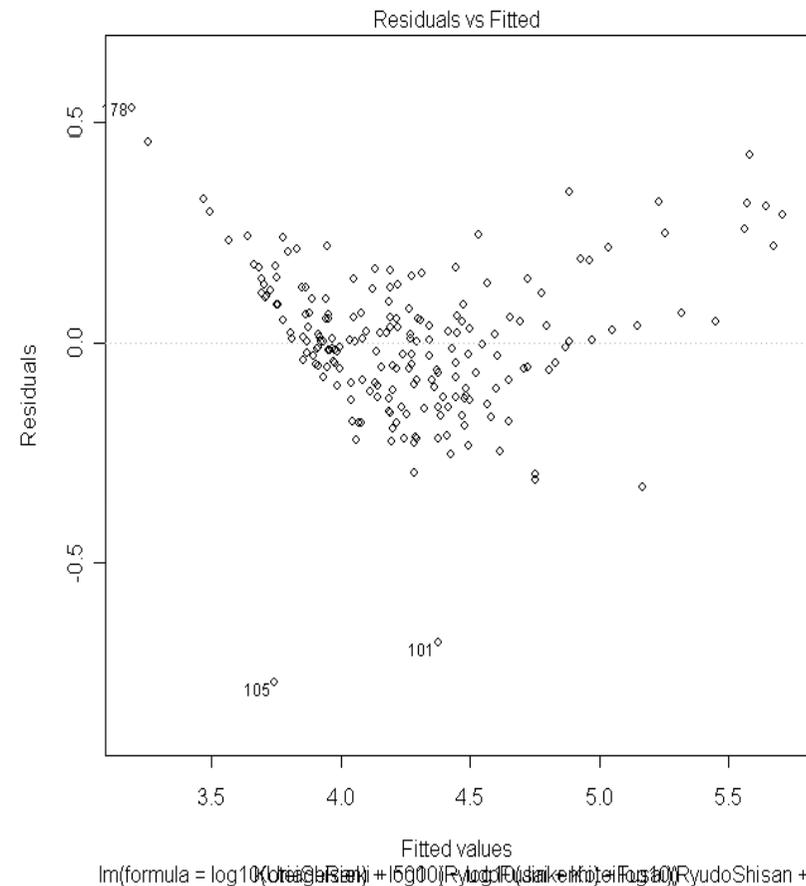
$+ 0.55$ 対数資産

$- 0.09$ 対数負債

$R^2 = 0.88$

負債は有意でない!

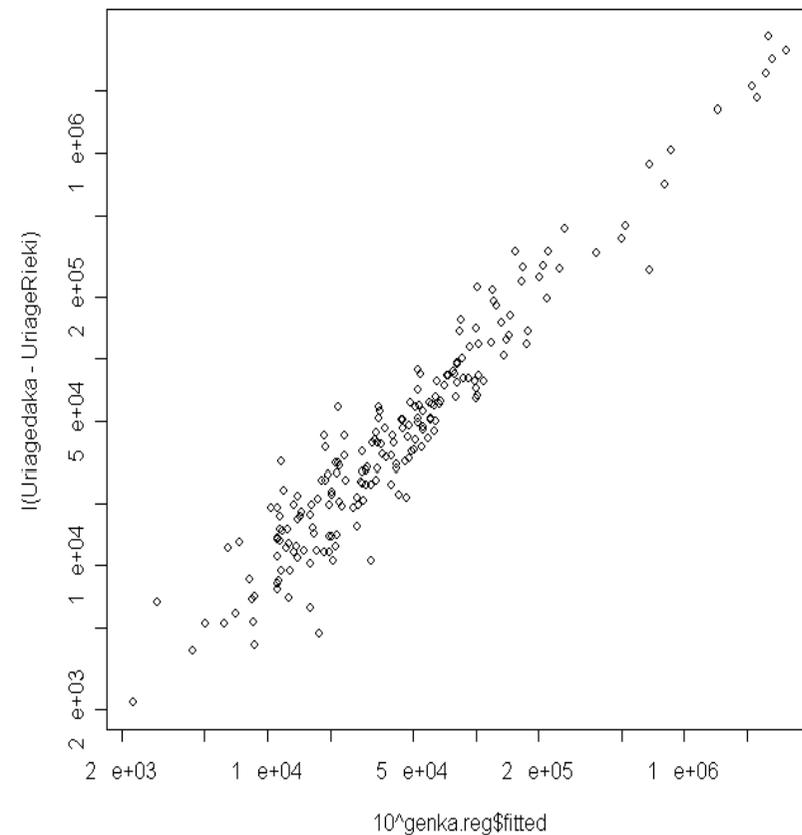
しかし残差に非線形性



統計科学的接近

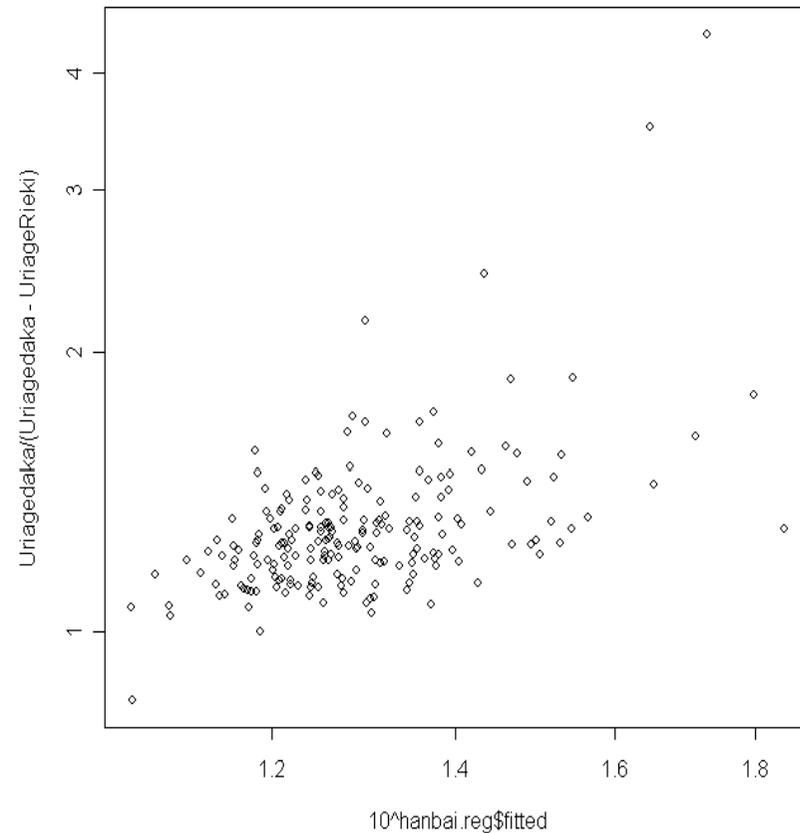
第一段階：売上高－売り上げ利益

- 対数原価 = 0.27 +
+0.26対数人件費
+0.26対数資産
+0.46対数負債
= 0.27+0.98対数資産
+0.26対数人件費率
+0.46対数負債率
- $R^2 = 0.93$
- 原価の世界の
対数線形性に
問題は少ない



第2段階 売り上げ / 原価

- 対数(売上 / 原価) =
0.18対数資産
-0.18対数負債
= -0.18(対数負債率)
- $R^2 = 0.27$
- 法則性としては弱い
 - 非線形性などは
顕著ではない。



解釈の統合

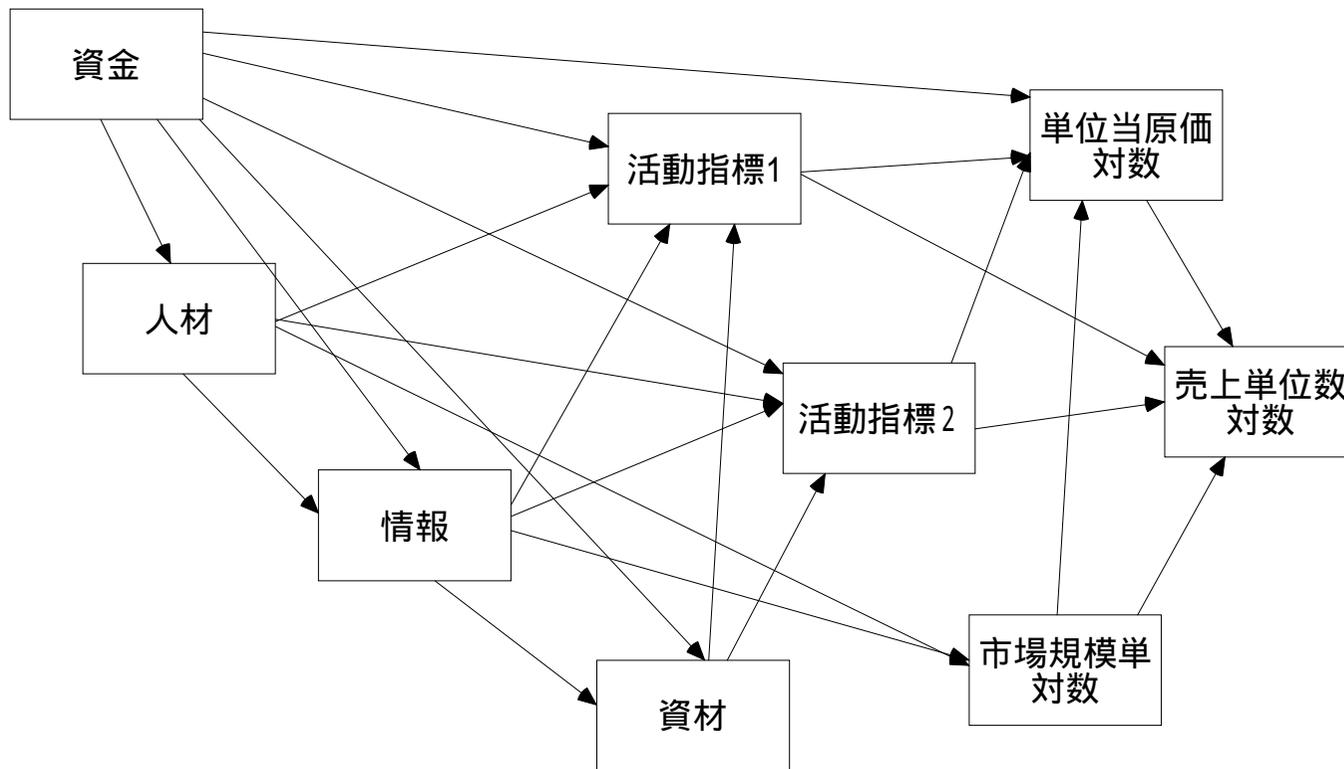
- 売上利益 = 原価 × 利益率
= $10^{0.27} \text{人件費}^{0.26} \text{資産}^{0.26} \text{負債}^{0.46}$
× $\{(\text{資産} / \text{負債})^{0.18} - 1\}$
- 非線形性が出るのが当然
- 利益は人間が作り出している目標であって、
ビジネスの法則による記述の対象ではない
- ブラック・ボックス接近で仮説は成長するか？
– 現象に対する合理的想像こそ人間の成すべきこと

回帰分析から因果分析へ

指針4 : ネットワーク思考で
システムをモデル化

指針5 : 効果 = 直接効果 + 間接効果

連立方程式で考えると あちらこちらの因果関係を ネットワーク化する



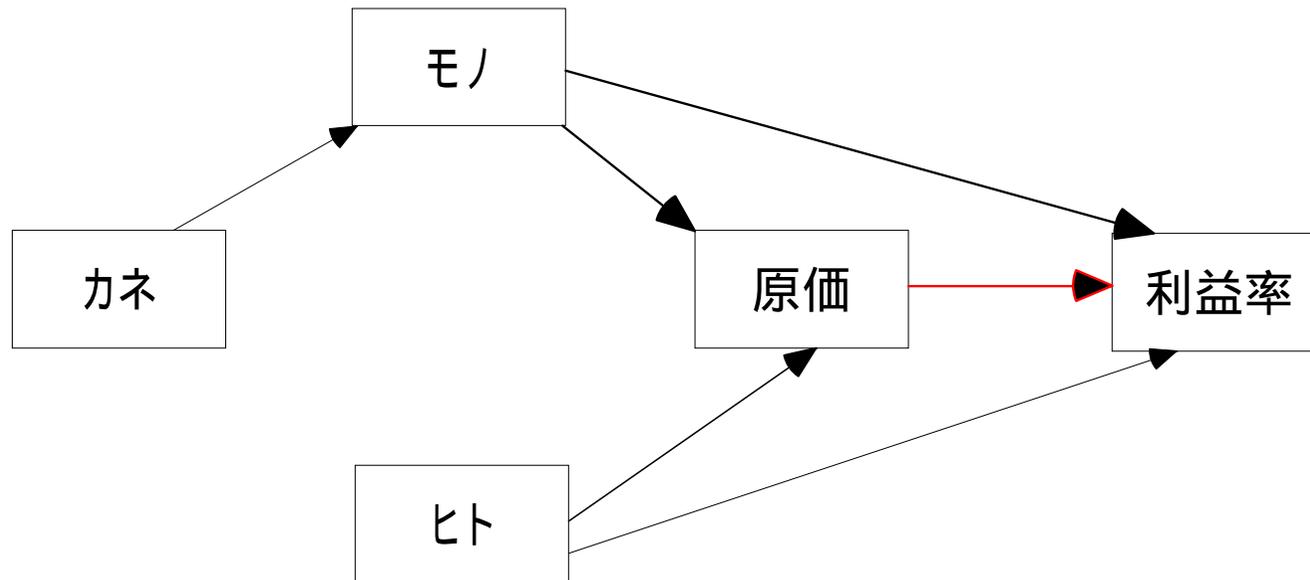
回帰分析から因果分析へ

Yule (Pearson)の偏相関(左下三角)

1+利益率	原価	人件費	資産	負債
1	-0.12	0.10	0.14	-0.05
-0.66	1	0.90	0.94	0.94
0.39	0.52	1	0.89	0.87
0.67	0.61	-0.07	1	0.93
-0.21	0.24	0.06	0.45	1

グラフィカル・モデルとパス解析

赤矢線は負の影響



マルコム・ボルドリッジ賞やBSCも 統計的因果モデル？

- ・マネジメント・システム
- ・情報システム
- ・オペレーション・システム
- ・非財務パフォーマンス
- ・財務パフォーマンス

などの中での因果関係

筑波大学ビジネス科学研究科「IT経営度プロジェクト」

Kadono and Tsubaki, 高尾, 松本らの検討

角埜(2005)ビジネス価値を創造するIT経営の進化,
日科技連出版

実際の計量事例:角埜氏の研究

角埜(2005)日科技連出版.

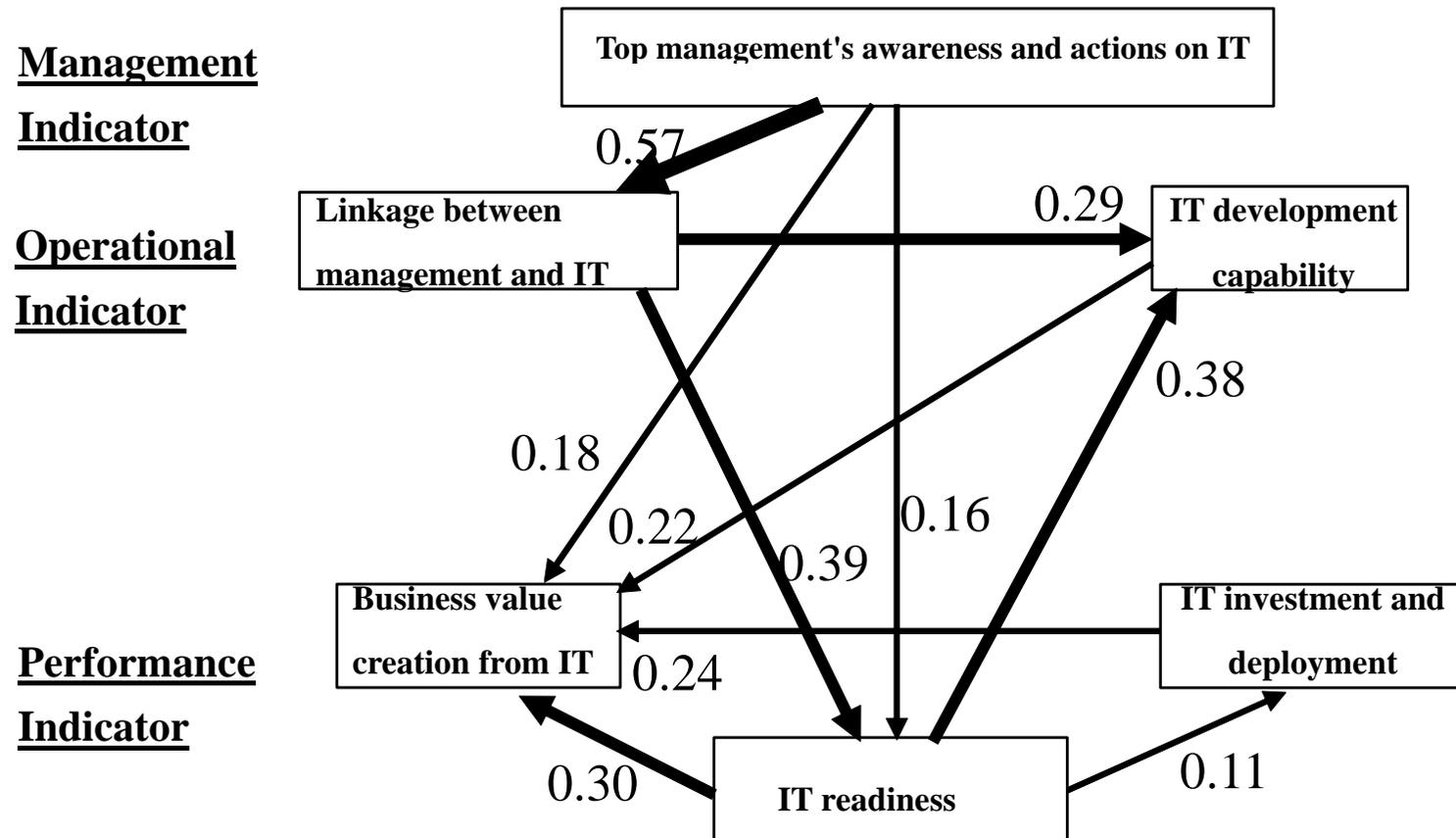


Fig. 4. Estimation of the modified structural model

発表の構成

- 自己紹介と事業宣伝
- 統計科学とは？
- ビジネスは科学たりえるか？
- ***品質管理的統計技術の汎用性***
- おわりに

品質管理的統計の汎用性

検査・プロセス管理・実験計画が
種々のビジネス分野で活躍

Shewhart(1939)の示唆 管理行為を科学行為に

- 管理の3成分
 - 達成されるべき
目標を規定する行為
 - 規定された目標を
達成しようとする行為
 - 目標が達成されたか
どうかを判断する行為
- Deming's PDCA
Cycleの基盤
- 科学的方法
 - 仮説
 - 実験
 - 仮説検定
- 大量生産
 - 仕様
 - 生産
 - 検査

管理のための統計的概念

歴史的には下流から上流へ

- 検査 仮説検定: 統計的決定理論
- Shewhart流管理 適合度検定: 外れ値
- 技術改善・工程改善 データ解析・実験計画法
- 企画改善 市場調査・実験計画(コンジョイント分析)

抜き取り検査→意思決定

指針6：科学的経営は統計モデルから
ロス最小ないしはゲイン最大の
決定を行なう

ビジネス決定教育事例

倒産予測方式と投資決定

予測精度が上がるとどうして儲かるか？

- 安全性がC,CCとなる確率の予測：東洋経済財務カルテ
ロジスティック回帰分析
– $\text{Log } p/(1-p)$:ロジットに対する回帰式
 - 倒産予測方式 1) 従業員数のみ
- | | 回帰係数 | 標準誤差 | z 値 | P値 | |
|----------|---------|--------|--------|----------|-----|
| • 切片項 | -7.4048 | 1.8349 | -4.036 | 5.45e-05 | *** |
| • 対数従業員数 | 7.4320 | 1.4188 | 5.238 | 1.62e-07 | *** |
| • 2乗項 | -1.8293 | 0.2723 | -6.719 | 1.83e-11 | *** |
- よりましな予測方式を使うと、投資がどのように変わるか？

方式2：負債、原価など導入

	回帰係数	標準誤差	z 値	P値	
• 切片項	-22.3483	8.9369	-2.501	0.012396	*
• 対数従業員数	26.5917	3.4440	7.721	1.15e-14	***
• 2乗項	-5.5927	0.6545	-8.545	< 2e-16	***
• 対数総資産	46.3226	14.2871	3.242	0.001186	**
• 2乗項	-8.9402	1.6937	-5.278	1.30e-07	***
• 対数負債	-44.0496	11.6140	-3.793	0.000149	***
• 2乗項	9.1200	1.4668	6.218	5.05e-10	***
• 対数売上高	-8.0281	1.7234	-4.658	3.19e-06	***
• 対数経費	4.4332	1.5196	2.917	0.003530	**

企業安全性予測暫定モデル

1996年上場企業2019社

- 安全性がC,CCとなる確率の予測：東洋経済財務カルテ
ロジスティック回帰分析

	回帰係数	標準誤差	z 値	P値	
• 切片項	-22.3483	8.9369	-2.501	0.012396	*
• 対数従業員数	26.5917	3.4440	7.721	1.15e-14	***
• 2乗項	-5.5927	0.6545	-8.545	< 2e-16	***
• 対数総資産	46.3226	14.2871	3.242	0.001186	**
• 2乗項	-8.9402	1.6937	-5.278	1.30e-07	***
• 対数負債	-44.0496	11.6140	-3.793	0.000149	***
• 2乗項	9.1200	1.4668	6.218	5.05e-10	***
• 対数売上高	-8.0281	1.7234	-4.658	3.19e-06	***
• 対数経費	4.4332	1.5196	2.917	0.003530	**

$\Pr(\text{Default}|\mathbf{x}) < (r_2 - r_1) / (1 + r_2)$
が成立したら投資

$r_1 = 0$ 、 $r_2 = 0.04$ として、敷居値は0.038

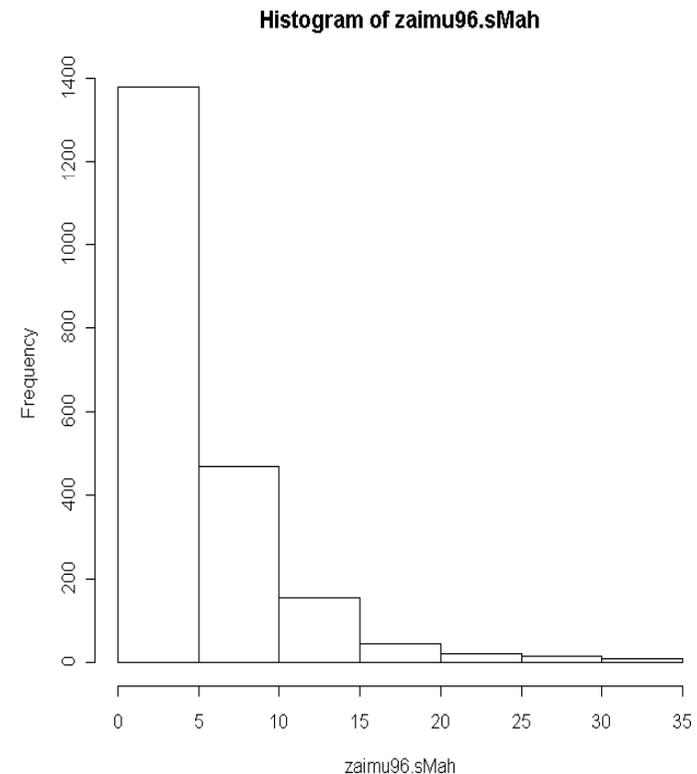
- 方式 1) の場合
 - CC以下となる予測確率 < 0.038 の企業
 - すなわち、投資適格会社は、421社（2091社中）
 - 421社に1単位ずつ投資, 1670単位を銀行預金
- 会社の期待利得 $= \{1 - \Pr(\text{Default}|\mathbf{x})\} (1 + r_2)$
= 2102.4単位
- 方式 2) の場合：1260社が投資対象
 - 期待利得；2136.7単位
 - 利益が34単位増大が統計モデルの改善による

プロセス管理→知識発見

指針7:外れ値の検出は
新たな現象・必要データの
発見に繋がる

多変量管理

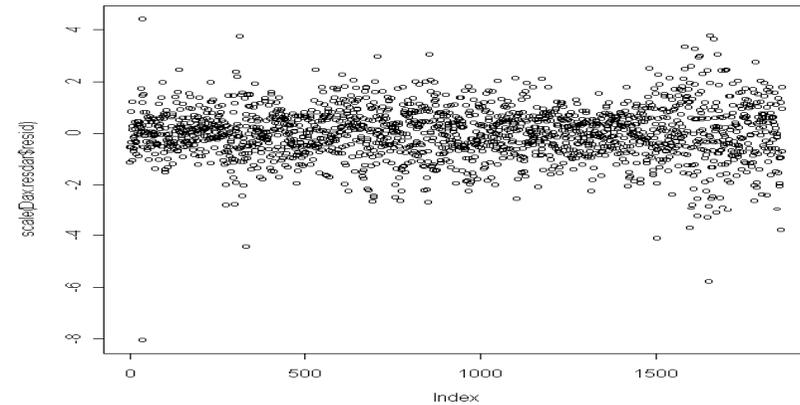
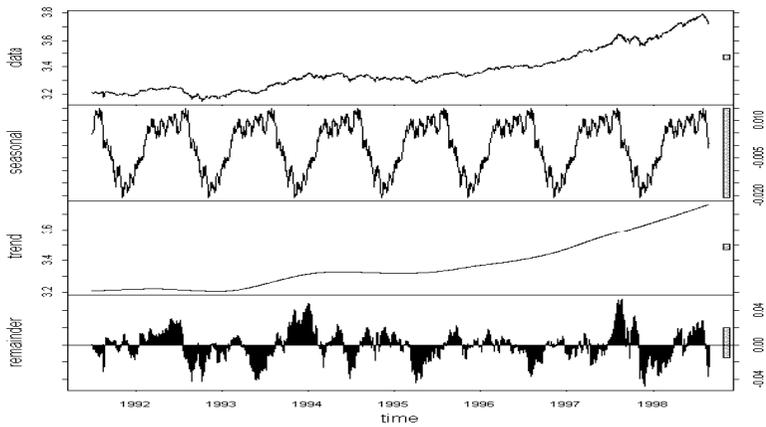
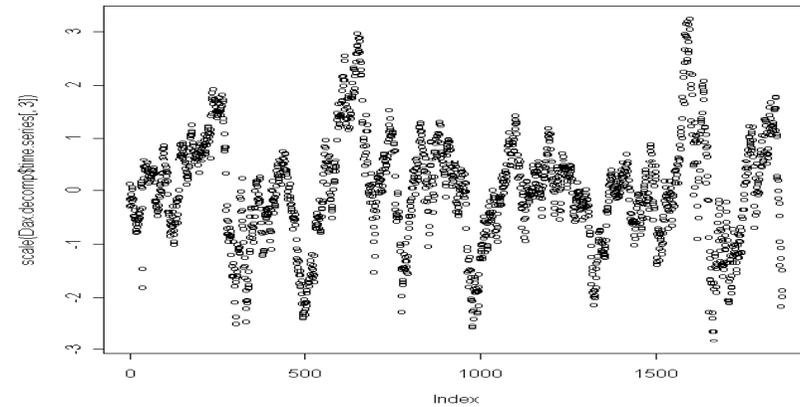
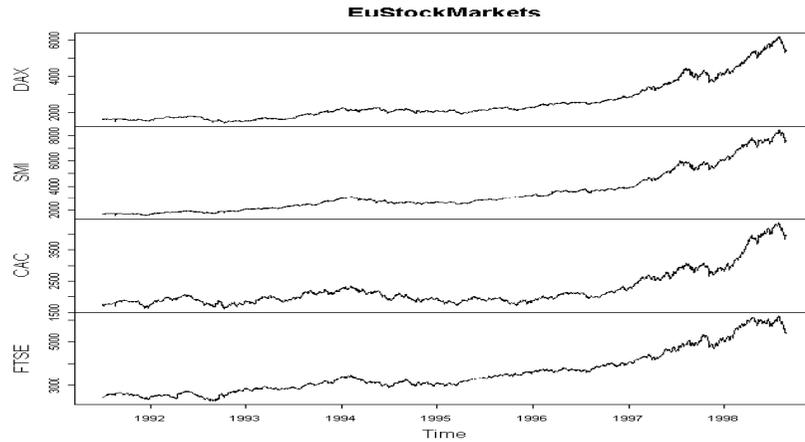
- 従業員数、固定資産、流動資産、
- 負債、売上高を用いて
- 重心ベクトルからのマハラノビス距離を計算
- 距離 2.5 以上を抽出：2091 社中 22 社
 - [1] Chugai Mining
 - [3] MIYAKOSHI
 - [5] ITOCHU
 - [7] SUMITOMO
 - [9] Sumitomo Realty & Development
 - [11] East Japan Railway
 - [13] Fuji Kisen
 - [15] Tokyo Electric Power
 - [17] Kansai Electric Power
 - [19] Tohoku Electric Power
 - [21] Kyushu Electric Power
 - ORIX INTERIOR
 - FANUC
 - Marubeni
 - TOKYO SANGYO
 - HOKKAIDO SHINKO
 - SEA-COM
 - Nihonbashi Warehouse
 - Chubu Electric Power
 - Chugoku Electric Power
 - Shikoku Electric Power
 - Hokkaido Electric Power



シューハート管理図の見直し

時系列分析(加法モデル、残差へのモデル当てはめ)

プロセス管理としての位置付け



実験計画→価値計測

指針 8 : 認知品質と機能品質の整合
技術とマーケティング・
マネジメントとの結合

製品企画における決定支援 コンジョイント分析

次の8機種種のPCの内、貴方が購入したい順位を答えなさい。

P4 (GHz)	Memory (MB)	CD	Monitor	HD (GB)	Windows	APPLICATION	価格
1.7	128	CD R/W	CRT17	20	ME	なし	175400
1.7	128	CD R/W	TFT17	40	2000	OFFICE Personal	286400
1.7	256	DVD+CD R/W	CRT17	20	2000	OFFICE Personal	231400
1.7	256	DVD+CD R/W	TFT17	40	ME	なし	273400
2	128	DVD+CD R/W	CRT17	40	ME	OFFICE Personal	257400
2	128	DVD+CD R/W	TFT17	20	2000	なし	311400
2	256	CD R/W	CRT17	40	2000	なし	252400
2	256	CD R/W	TFT17	20	ME	OFFICE Personal	326400

1日何時間使っているかも聴く

コンジョイント分析

コックス回帰（質的選択）：商品企画7つ道具

- n= 144

●	回帰係数	標準誤差	z 値	P値	
•	X1 0.1879	0.0996	1.886	0.0590	ペンティアム 2 Gは魅力的でない傾向
•	X2 0.0129	0.0960	0.134	0.8900	メモリーは関係ない。
•	X3 -0.2076	0.0996	-2.083	0.0370	DVD付きは魅力的（5%有意）
•	X4 -0.3080	0.1123	-2.742	0.0061	液晶は大いに魅力的（1%有意）
•	X5 -0.1765	0.0986	-1.790	0.0730	HDの大きいのは魅力的な傾向
•	X6 -0.1974	0.0969	-2.036	0.0420	Window2000は魅力的
•	X7 -0.1314	0.0979	-1.341	0.1800	アプリプレインストールは魅力的傾向

参考：更に突っ込んだトレードオフ解析 共変量の影響

	coef	exp(coef)	se(coef)	z	p	
• X1	0.14803	1.160	0.2362	0.6266	0.5300	
• X2	-0.05134	0.950	0.2217	-0.2316	0.8200	
• X3	-0.61660	0.540	0.2353	-2.6199	0.0088	DVD大いに魅力的
• X4	-0.72297	0.485	0.2635	-2.7441	0.0061	TFT大いに魅力的
• X5	-0.22253	0.800	0.2323	-0.9577	0.3400	
• X6	0.21142	1.235	0.2278	0.9281	0.3500	
• X7	-0.17454	0.840	0.2221	-0.7858	0.4300	
• X1:V7	0.01124	1.011	0.0324	0.3464	0.7300	
• X2:V7	0.00995	1.010	0.0300	0.3319	0.7400	
• X3:V7	0.06337	1.065	0.0323	1.9648	0.0490	利用時間の短い人ほどDVD魅力的
• X4:V7	0.05860	1.060	0.0334	1.7525	0.0800	利用時間の短い人ほどTFT魅力傾向
• X5:V7	0.00257	1.003	0.0312	0.0825	0.9300	
• X6:V7	-0.06554	0.937	0.0326	-2.0077	0.0450	利用時間長い人程2000が魅力的
• X7:V7	0.00864	1.009	0.0302	0.2858	0.7800	
•	1日長い時間使う人向けのPCとそうでないPCとの構成を変えるということが当然企画段階で検討					

おわりに

- 統計的思考は科学的思考の片輪
 - 固有技術の演繹的思考と相まって両輪
- ビジネスは科学的思考に支えられるべきである
 - 何故、米国のNSFでナノテクやバイオ以外に数学や統計が重視されているのか？
 - 技術競争力の源泉の一つと考えられている
 - 何故、米国のビジネススクールでは計量的方法が重視されているのか
 - プロの経営者のコンピテンスに統計的思考を求めている
- 日本はこの分野で弱いのか？
 - 日本のSQCは1980年代後半まで世界最強
 - 科学的経営における世界の模範

ビジネス科学・技術に 必要な統計教育

- マイニングなど統計技術は必要
- 経営理論・固有技術を核とした
ビジネス現象のモデル化能力
(これが統計科学の考え方)
- 合理的決定能力
 - 不確実性の下でリスクを
適切にとれない人のために

掲載されている著作物の著作権については、制作した当事者に帰属します。

著作者の許可なく営利・非営利・イントラネットを問わず、本著作物の複製・転用・販売等を禁止します。

所属および役職等は、公開当時のものです。

■公開資料ページ

弊社ウェブページで各種資料をご覧ください <http://www.i-juse.co.jp/statistics/jirei/>

■お問い合わせ先

(株)日科技研 数理事業部 パッケージサポート係 <http://www.i-juse.co.jp/statistics/support/contact.html>