

# マーケティング・リサーチ特論 ～共分散構造分析～

2024年度1学期: 水曜3限  
担当教員: 石垣 司

1

## 共分散構造分析

### 共分散構造分析とは？

- SEM: Structural Equation Modeling
- 複数の構成概念(潜在変数)間の関係性の実証分析  
因子分析では潜在変数間の関係は無相関を仮定
- 演繹的な仮説検証や理論実証に利用  
探索的アプローチには不向き  
CB-SEM vs PLS-SEM

### マーケティング・リサーチでは？

- 消費者態度などの消費行動に関する構成概念の実証手段
- 主にアンケート調査で利用

2

## パス図

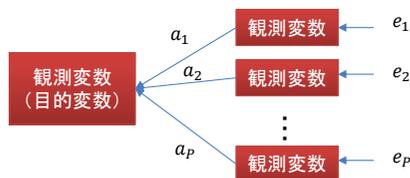
### 変数間の関係を図で表現

- 観測変数: データとして観測できる
- 潜在変数: 直接観測できない変数
- 説明関係: 始点が終点の変数を説明
- 共変動関係: 相関関係

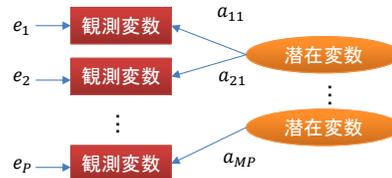


### パス図の例

【重回帰分析】



【因子分析】



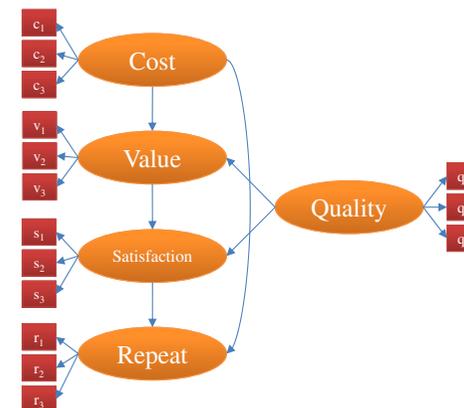
3

## 共分散構造分析のイメージ

### 例: リポート購買への満足度の関与

- HPプリンタ購買者へのアンケート調査  
200人, 7段階尺度(Simulated data)

評価が高ければ7、低ければ1。しかし、Costに関する質問のみ値が逆(評価が高ければ1、低ければ7)

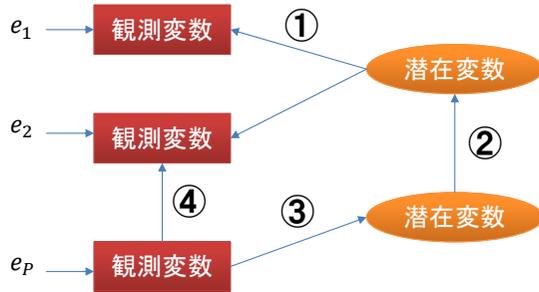


Item	Text
<b>Quality</b>	
q1	The quality of the HP printer I bought is excellent
q2	HP printers are known to be highly reliable
q3	I'm sure my HP printer will last a long time
<b>Cost</b>	
c1	The HP printer was reasonably priced
c2	HP sets fair prices for its products
c3	The HP printers are no more expensive than others
<b>Value</b>	
v1	I feel like I got good value for this purchase
v2	The quality of the printer is worth its cost
v3	I could tell my boss this purchase was good value
<b>CSat</b>	
cs1	I am very satisfied with my newly purchase HP printer
cs2	My printer is better than I expected it would be
cs3	I have no regrets about having bought this printer
<b>Repeat</b>	
r1	I would buy another HP if I had to buy another printer
r2	I would buy other HP products
r3	I would tell my friends and coworkers to buy HPs

4

# 変数間の説明関係とパス図

- ① 潜在変数 ⇒ 観測変数 (測定方程式モデル)
- ② 潜在変数 ⇒ 潜在変数 (構造方程式モデル)
- ③ 観測変数 ⇒ 潜在変数
- ④ 観測変数 ⇒ 観測変数 (回帰モデル)

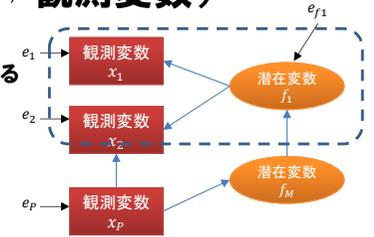


# 測定方程式と構造方程式

## ① 測定方程式モデル(潜在変数 ⇒ 観測変数)

- 観測変数ベクトル:  $x = [x_1, \dots, x_p]^T$   
因子分析同様、平均ゼロ分散1に標準化されている
- 潜在変数ベクトル:  $f = [f_1, \dots, f_M]^T$
- 因子負荷量行列:  $A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{p1} & \dots & a_{pM} \end{bmatrix}$

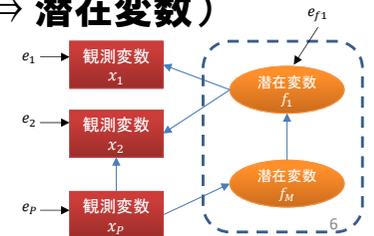
$$x = Af$$



## ② 構造方程式モデル(潜在変数 ⇒ 潜在変数)

- 係数行列:  $B = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{M1} & \dots & b_{MM} \end{bmatrix}$

$$f = Bf$$

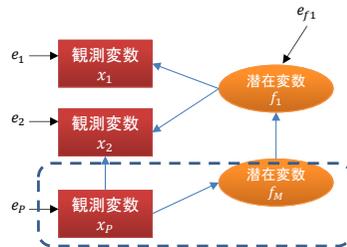


# ③&④ モデル

## ③ 観測変数 ⇒ 潜在変数のモデル

- 回帰係数:  $c_{kj}$  (矢印の元  $k$ , 矢印の先  $j$ )
- 係数行列:  $C = \begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{1P} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{M1} & \dots & c_{MP} \end{bmatrix}$

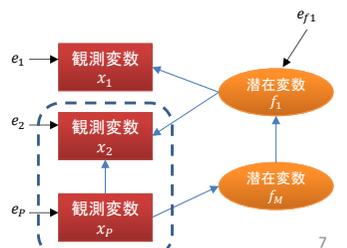
$$f = Cx$$



## ④ 観測変数 ⇒ 観測変数のモデル

- 回帰係数:  $d_{lj}$  (矢印の元  $l$ , 矢印の先  $j$ )
- 係数行列:  $D = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{p1} & \dots & d_{pp} \end{bmatrix}$

$$x = Dx$$



# 共分散構造分析モデル

## ①, ②, ③, ④ + 誤差項をまとめて表記

### 共分散構造分析モデル

$$\begin{bmatrix} f \\ x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B & C \\ A & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f \\ x \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_f \\ e_x \end{bmatrix}$$

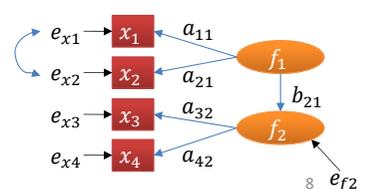
因子分析の授業スライドと因子負荷量行列のNotationを揃えたため、AとBの順序に注意に

## 例

$$f = [f_1 \ f_2]^T, x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T, e_f = [0 \ e_{f2}]^T, e_x = [e_{x1} \ e_{x2} \ e_{x3} \ e_{x4}]^T$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ b_{21} & 0 \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 \\ a_{21} & 0 \\ 0 & a_{32} \\ 0 & a_{42} \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$V[e_f] = \begin{bmatrix} \sigma_{f1}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{f2}^2 \end{bmatrix}, V[e_x] = \begin{bmatrix} \sigma_{x1}^2 & \sigma_{x12} & 0 & 0 \\ \sigma_{x12} & \sigma_{x2}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{x3}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{x4}^2 \end{bmatrix}$$



## 2種類のSEM #1

### 共分散構造ベースのSEM (CB-SEM)

- “Reflective” な統計モデル  
通常, SEM といえばこちらを指す  
日本版顧客満足度指数はCB-SEM
- 理論の検証が主眼 ⇒ パラメータの統計的性質が重要

### Partial Least Square ベースのSEM (PLS-SEM)

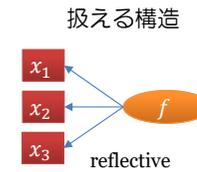
- “Formative” な統計モデル  
近年, 様々な分野での使用が盛んに  
アメリカ版顧客満足度指数はPLS-SEM
- 構成概念の予測や発見が主眼 ⇒ とにかく推定できる

### CB-SEM と PLS-SEM の使い分けが必要

9

## 2種類のSEM #2

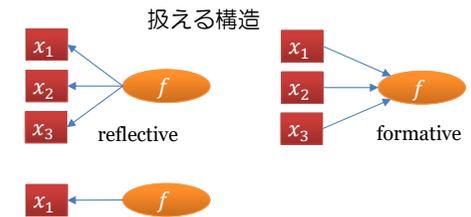
### CB-SEM の特徴



#### 構造の制限が必要

- 一つの潜在変数に対して観測変数は3つ以上が望ましい
  - 潜在変数から観測変数へのパス
- 推定: 信頼区間などの統計学の枠組みで係数の推定の性質を議論できる

### PLS-SEM の特徴



#### 構造は比較的的自由

推定: 観測変数と潜在変数の誤差分散が小さくなるパラメータを探す。係数の推定値を信頼区間などで議論できない。  
(Bootstrap法で結果を検証)

#メモ: PLS-SEMの利用に肯定的な人たちの意見が書かれた論文 JF. Hair et al., PLS-SEM: Indeed a Silver Bullet, *Journal of Marketing Theory and Practice*, 19(2) (2011)  
PLS-SEMの利用に否定的な人たちの意見が書かれた論文 M. Ronkko et al., On the Adoption of Partial Least Squares in Psychological Research: Caveat Emptor. *Personality and Individual Differences*, 87 (2015)

## CB-SEM のパラメータ推定

#メモ: これ以降はCB-SEMの推定法を見ていく

### 観測変数ベクトル $x$ の母分散共分散行列 $\Sigma_x$

$$\Sigma_x = V[x] = W_1 W_2 \Sigma_e W_2^T W_1^T$$

$$W_1 = [0_M \quad I_P], W_2 = (I_{P+M} - \begin{bmatrix} B & C \\ A & D \end{bmatrix})^{-1}, \Sigma_e = \begin{bmatrix} Cov[e_f, e_f] & Cov[e_f, e_x] \\ Cov[e_f, e_x] & Cov[e_x, e_x] \end{bmatrix}$$

### パラメータの推定

- $\Sigma_x$  と標本共分散行列  $S$  を近づける (因子分析の回を参照)
- 最小2乗法: minimize  $tr\{(\Sigma_x - S)(\Sigma_x - S)^T\}$
- 最尤法: maximize  $L(\Sigma_x | \{e_f, x_i\}) = tr(\Sigma_x^{-1} S) + \log|\Sigma_x^{-1} S| - N$

### モデルの識別性

- 識別のための必要十分条件は分かっていない
- 詳細は右の参考文献を参照
- 十分条件による識別, 数値解による識別, ノウハウによる識別



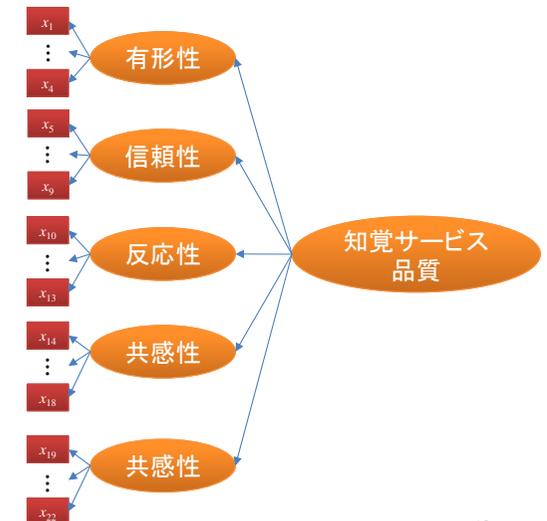
参考文献: 豊田秀樹, 共分散構造分析[入門編], 朝倉書店 (1998)

11

## 識別性を確保できるモデル~2次因子モデル

### 例: サービス品質測定モデルSERVQUAL

- 5つの構成概念
- 22の質問項目



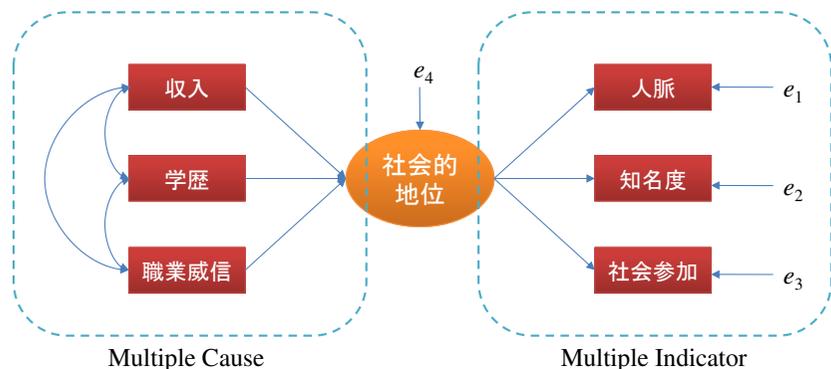
A. Parasuraman, et al. "A Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research", *Journal of Marketing*, 49(4), pp. 41-50 (1985)

12

# 識別性を確保できるモデル～MIMICモデル

## 例：MIMICモデル

- Multiple Indicator Multiple Cause Model
- 観測変数⇒潜在変数(③)があるモデル



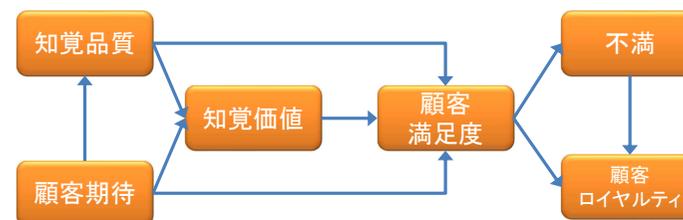
参考文献：豊田秀樹、共分散構造分析[入門編]、朝倉書店(1998)

# SEMによる顧客満足度指数の測定 #1

## アメリカ顧客満足度指数 (ACSI: American Customer Satisfaction Index)

1. 製品やサービスの質の顧客視点の満足度指数
2. 国家レベルの指標化が可能
3. 異分野の製品・サービスも企業間・産業間で比較可能
4. 指数と顧客行動の関係を分析可能

ミシガン大学が開発。1994年から毎年結果公表  
構成概念の関係を消費者理論からモデル化



C. Fornell, et al. "The American Customer Satisfaction Index: Nature, Purpose, and Findings", *Journal of Marketing*, 60(4), 1996

# SEMによる顧客満足度指数の測定 #2

## アメリカ顧客満足度指数 (ACSI: American Customer Satisfaction Index)

各質問項目を10段階得点で回答

質問項目	構成概念
Q1 購買前の期待した総合品質	顧客期待
Q2 購買前のカスタマイズへの期待 (要望への合致)	
Q3 購買前の信頼性への期待	
Q4 利用経験での総合的品質評価	知覚品質 (製品/サービス別)
Q5 利用経験でのカスタマイズへの評価 (要望への合致)	
Q6 利用経験での信頼性への評価	知覚価値
Q7 品質に対する価格の評価	
Q8 価格に対する品質の評価	顧客満足
Q9 総合的な満足	
Q10 パフォーマンスは期待を上回ったか?	不満
Q11 理想的な製品・サービスと比較したときのパフォーマンス	
Q12 公式または非公式にでも苦情を言ったか?	顧客ロイヤルティ
Q13 再購買への意向	
Q14 再購買時にどの程度の値上りを許容できるか	
Q15 どの程度値下がりすれば再購買したいか	

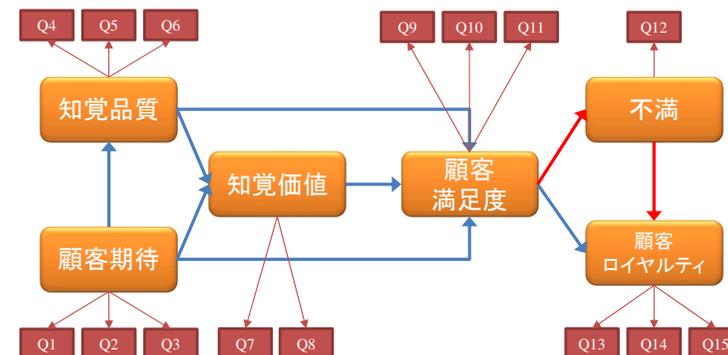
C. Fornell, et al. "The American Customer Satisfaction Index: Nature, Purpose, and Findings", *Journal of Marketing*, 60(4), 1996

# SEMによる顧客満足度指数の測定 #3

## アメリカ顧客満足度指数 (ACSI: American Customer Satisfaction Index)

- 共分散構造分析によって構成概念間の関連性を測定

単純なアンケートの得点のみではなく、各構成概念間の関係によって顧客満足度を評価している

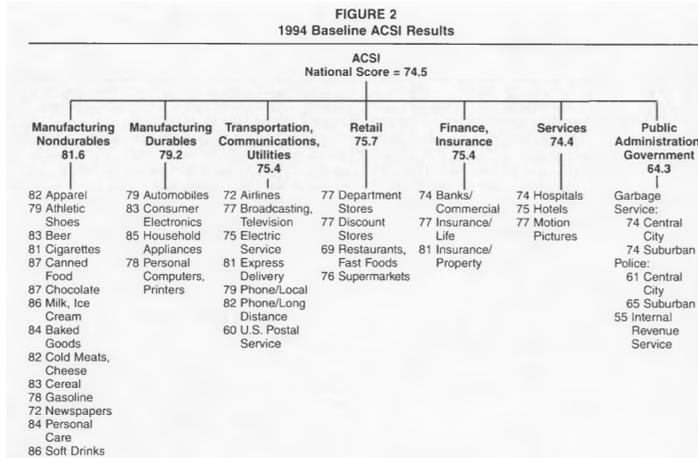


C. Fornell, et al. "The American Customer Satisfaction Index: Nature, Purpose, and Findings", *Journal of Marketing*, 60(4), 1996

# SEMによる顧客満足度指数の測定 #4

## アメリカ顧客満足度指数 (ACSI: American Customer Satisfaction Index)

– 異分野間の顧客満足度が比較可能



C. Fornell, et al. "The American Customer Satisfaction Index: Nature, Purpose, and Findings", *Journal of Marketing*, 60(4), 1996

# JCSI: 日本版顧客満足度指数の測定

## 日本版顧客満足度指数 (JCSI: Japanese Customer Satisfaction Index, 2009)



サービス産業生産性協議会による  
JCSIの説明パンフレット

[https://www.service-js.jp/uploads/fckeditor/JCSL\\_pamphlet.pdf](https://www.service-js.jp/uploads/fckeditor/JCSL_pamphlet.pdf)



最新の調査結果

<https://www.jpc-net.jp/research/jcsi/>

#メモ: ヨーロッパ、中国、韓国、シンガポール版など各国で測定されている。

# Rによる共分散構造分析の例

## 例: リポート購買への満足度の関与

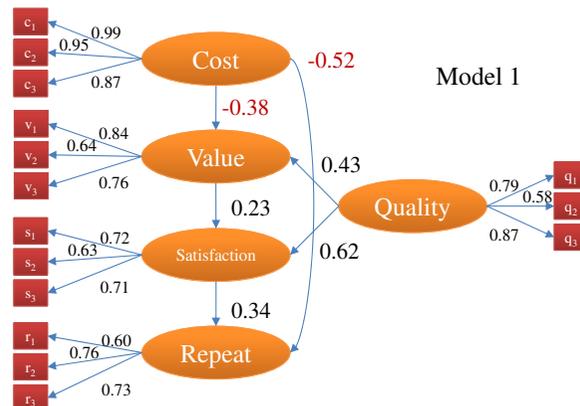
– 係数の推定の後

⇒ 適合度指標やモデル選択基準で他のモデルと比較

```
library(lavaan)
Data = read.csv("http://goo.gl/MhghRq")

Model1 = "Quality =~ Sat + Value +q1+q2+q3
Cost =~ Value + Repeat +c1+c2+c3
Value =~ Sat +v1+v2+v3
Sat =~ Repeat +cs1+cs2+cs3
Repeat =~ r1+r2+r3"

Fit.sem1 = sem(Model1, data=Data, std.lv=TRUE)
summary(Fit.sem1)
```



C. Chapman, E.M. Feit, "R for Marketing Research and Analytics", Springer 2015

# モデルの評価指標

## $\chi^2$ 乗検定

- 帰無仮説  $H_0$ : モデルは真
- 仮説が棄却できない方が望ましい

## 適合度指標 (GFI, AGFI, CFI)

- 値の大きい方が (0.9以上) が望ましい

## 平均2乗誤差に基づく指標 (RMSEA, SRMA)

- 値の小さい方が望ましい

## 情報量基準 (AIC, BIC)

- 値の小さい方が望ましい

GFI: Goodness of Fit Index  
AGFI: Adjusted Goodness of Fit Index  
CFI: Comparative Fit Index  
RMSEA: Root Mean Square Error of Approximation  
SRMA: Standardized Root Mean Square Residual  
AIC: Akaike Information Criterion  
BIC: Bayesian Information Criterion

# モデルの比較

## モデル選択

```
Model2 = "Quality =~ Sat + Value
+q1+q2+q3
Cost =~ Value +c1+c2+c3
Value =~ Sat +v1+v2+v3
Sat =~ Repeat +cs1+cs2+cs3
Repeat =~ r1+r2+r3"
```

```
Fit.sem2 = sem(Model2, data=Data,
std.lv=TRUE)
summary(Fit.sem2)
```

```
fitMeasures(Fit.sem1, c("chisq", "df",
"pvalue", "GFI", "AGFI", "RMSEA", "SRMR",
"AIC", "BIC"))
fitMeasures(Fit.sem2, c("chisq", "df",
"pvalue", "GFI", "AGFI", "RMSEA", "SRMR",
"AIC", "BIC"))
```

```
> fitMeasures(Fit.sem1, c("chisq", "df", "pvalue", "GFI", "AGFI", "RMSEA", "SRMR", "AIC", "BIC"))
chisq  df  pvalue  gfi  agfi  rmsea  srmr  aic  bic
84.067 83.000 0.447 0.951 0.928 0.008 0.047 9175.555 9297.593
> fitMeasures(Fit.sem2, c("chisq", "df", "pvalue", "GFI", "AGFI", "RMSEA", "SRMR", "AIC", "BIC"))
chisq  df  pvalue  gfi  agfi  rmsea  srmr  aic  bic
104.518 84.000 0.064 0.939 0.914 0.035 0.070 9194.006 9312.746
```

