

# マーケティング・リサーチ特論 ～共分散構造分析～

2026年度1学期： 金曜3限  
担当教員： 石垣 司

# 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

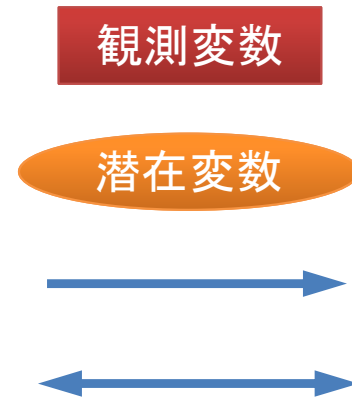
## マーケティング・リサーチでは？

- **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**

# パス図

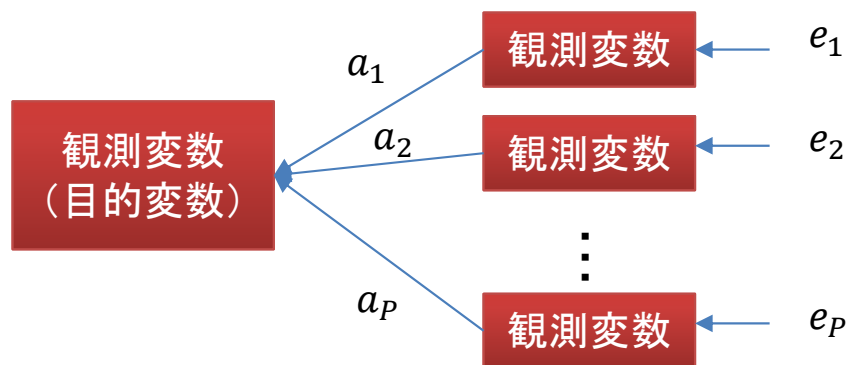
## 変数間の関係を図で表現

- 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

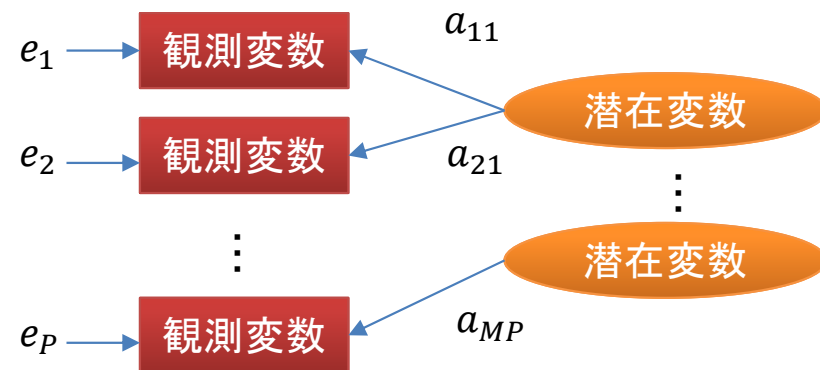


## パス図の例

【重回帰分析】



【因子分析】



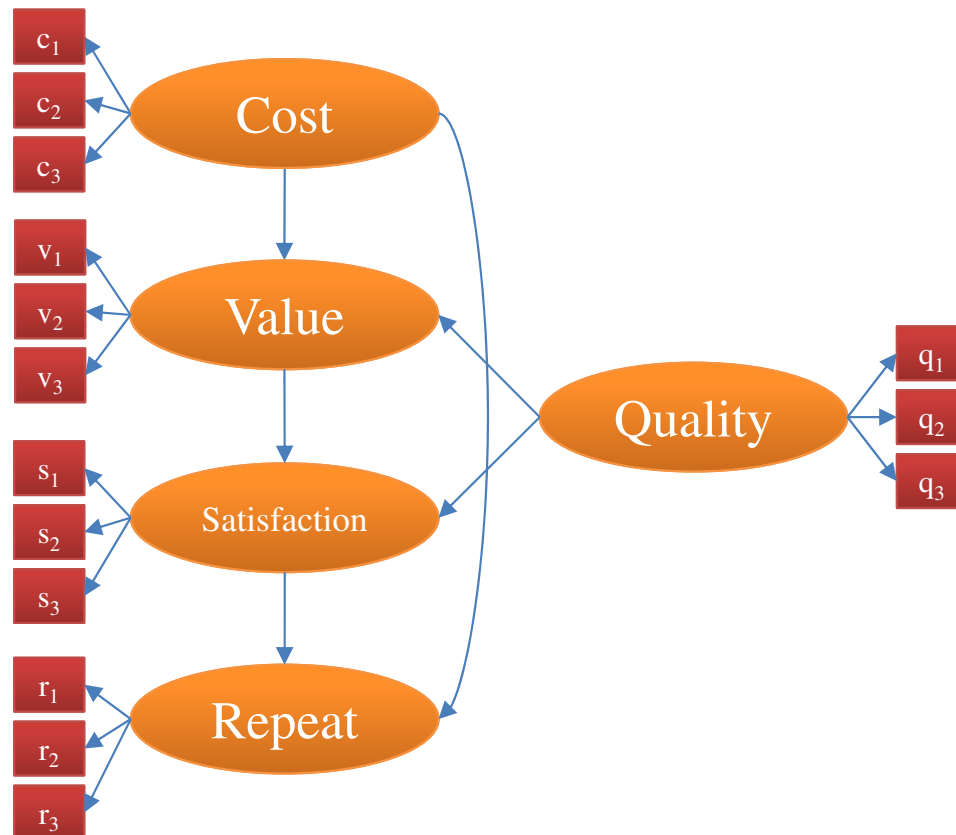
# 共分散構造分析のイメージ

## 例：リピ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)

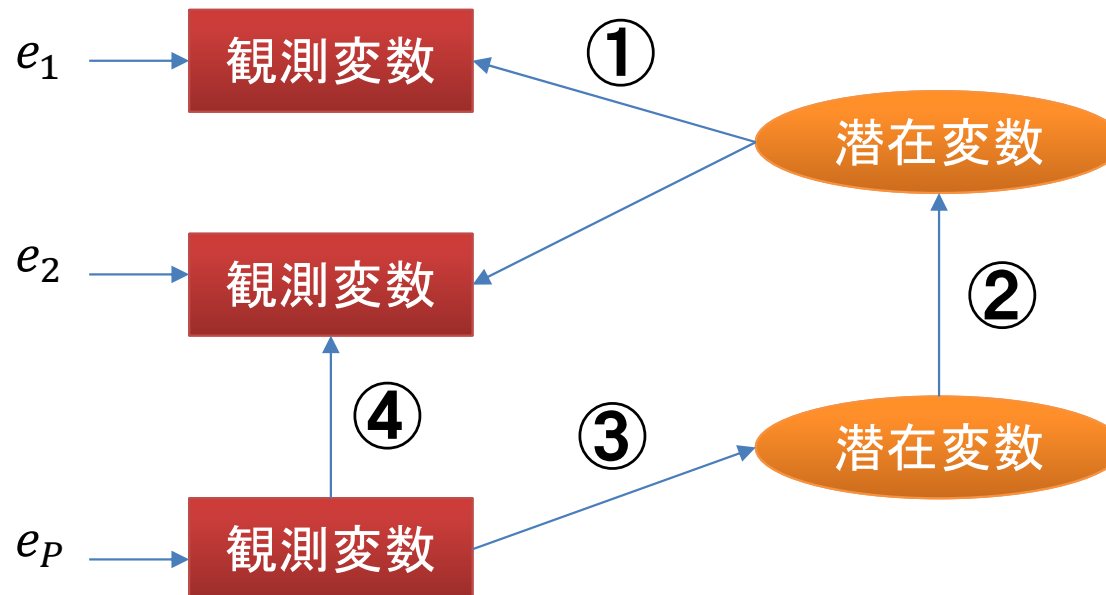
評価が高ければ7、低ければ1。しかし、Costに関する質問のみ値が逆(評価が高ければ1、低ければ7)



Item	Text
<i>Quality</i>	
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
<i>Cost</i>	
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
<i>Value</i>	
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
<i>CSat</i>	
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
<i>Repeat</i>	
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

# 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

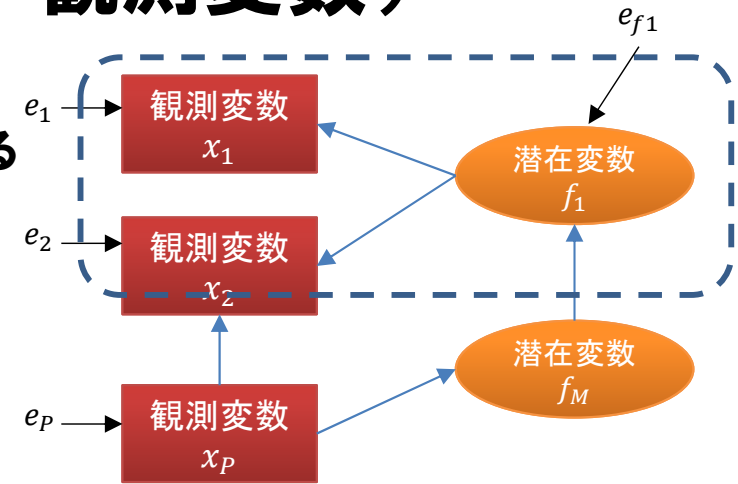
## ① 測定方程式モデル(潜在変数 ⇒ 観測変数)

– 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:  $A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{P1} & \cdots & a_{PM} \end{bmatrix}$

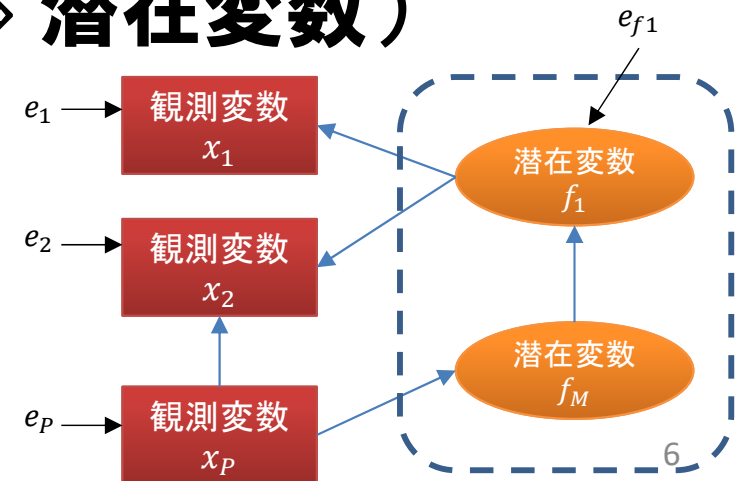
$$x = Af$$



## ② 構造方程式モデル(潜在変数 ⇒ 潜在変数)

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

$$f = Bf$$



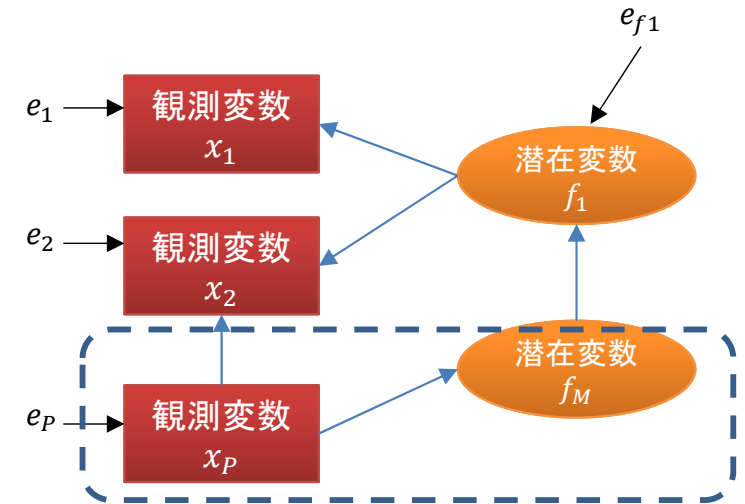
# ③&④ モデル

## 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:  $C = \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1P} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{M1} & \cdots & c_{MP} \end{bmatrix}$

$$f = Cx$$

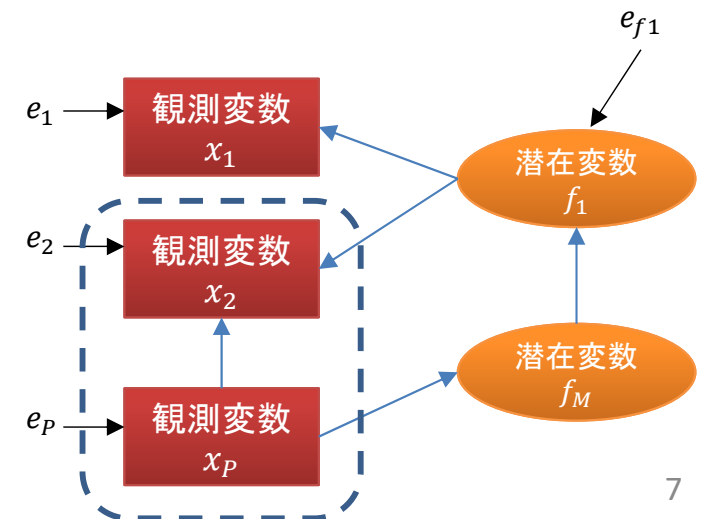


## ④ 観測変数 ⇒ 観測変数のモデル

– 回帰係数:  $d_{lj}$  (矢印の元  $l$ , 矢印の先  $j$ )

– 係数行列:  $D = \begin{bmatrix} d_{11} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{P1} & \cdots & d_{PP} \end{bmatrix}$

$$x = Dx$$



# 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

$$\begin{bmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B & C \\ A & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{x} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{e}_f \\ \mathbf{e}_x \end{bmatrix}$$

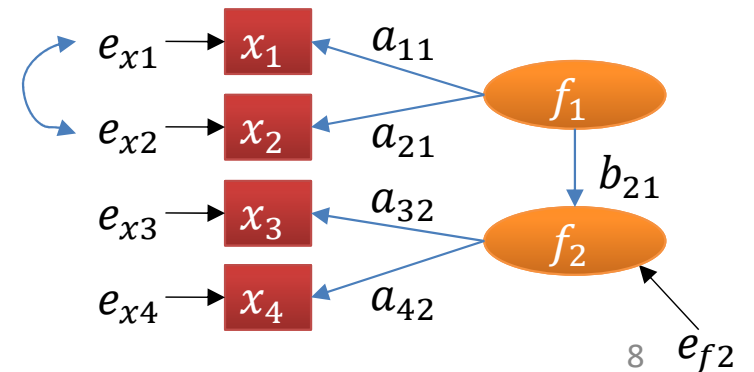
因子分析の授業スライド  
と因子負荷量行列の  
Notationを揃えたため、  
AとBの順序に注意に

例

$$\mathbf{f} = [f_1 \quad f_2]^T, \mathbf{x} = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4]^T, \mathbf{e}_f = [0 \quad e_{f2}]^T, \mathbf{e}_x = [e_{x1} \quad e_{x2} \quad e_{x3} \quad e_{x4}]^T$$

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

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



# 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

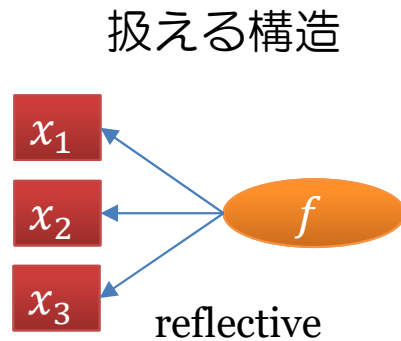
## Partial Least Square ベースの SEM (PLS-SEM)

- “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**

# 2種類のSEM #2

## CB-SEM の特徴

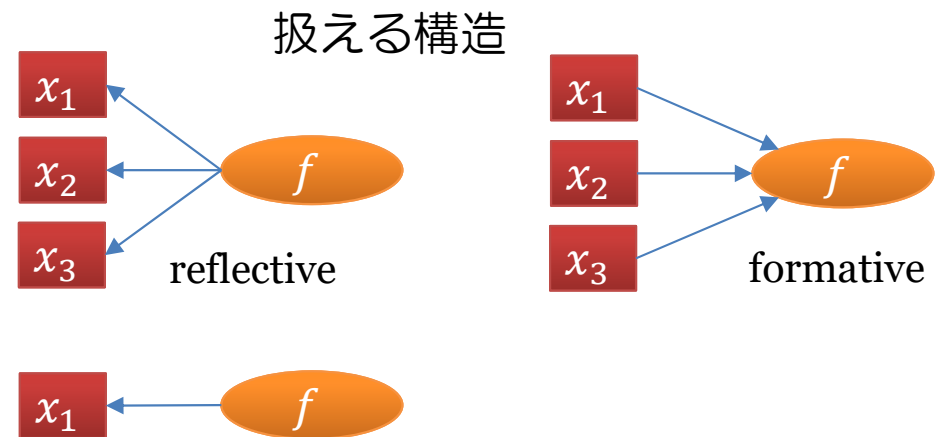


### 構造の制限が必要

- 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 $\Sigma_x$

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

## 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

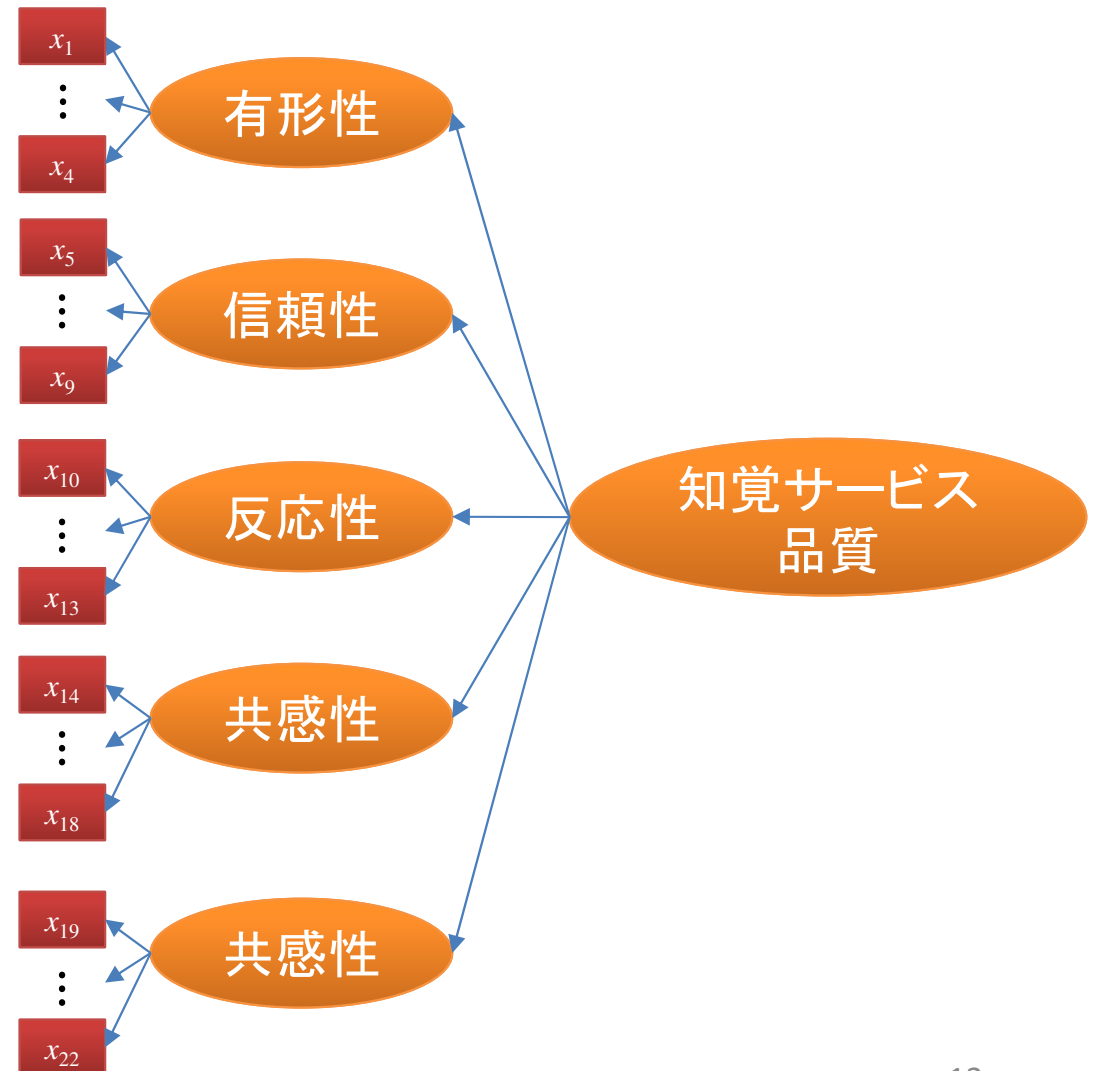
十分条件による識別, 数値解による識別, ノウハウによる識別



# 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

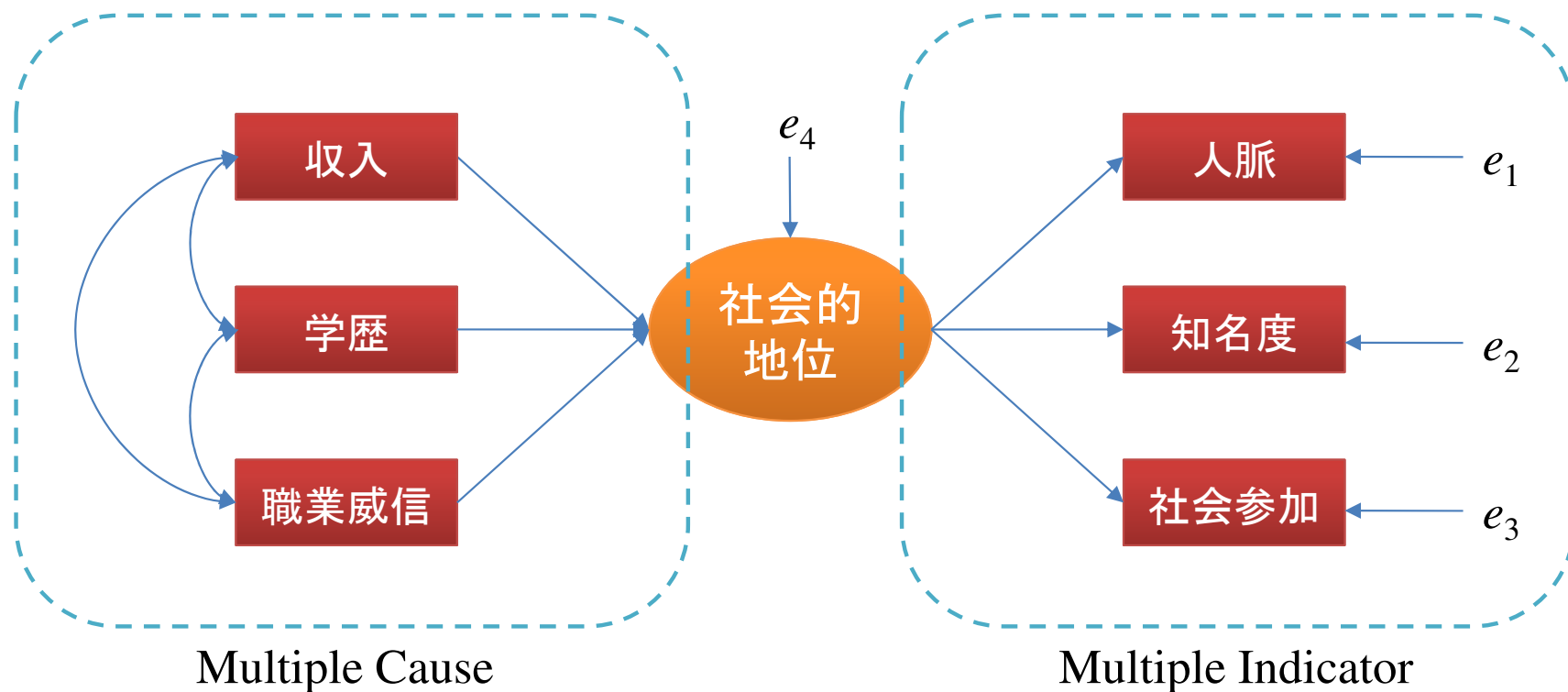
- 5つの構成概念
- 22の質問項目



# 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

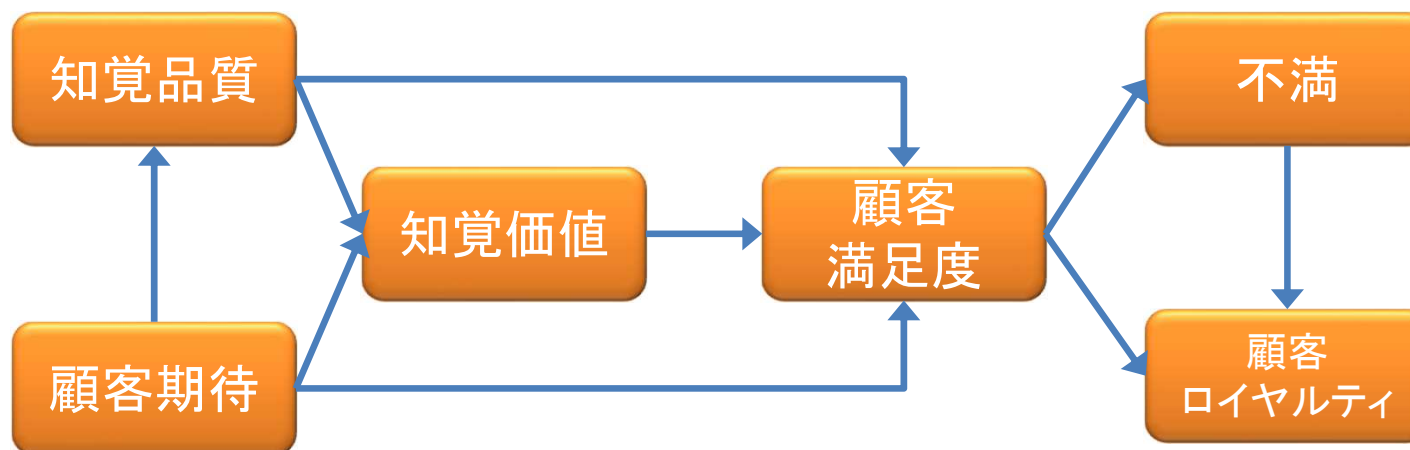


# SEMによる顧客満足度指数の測定 #1

## 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



# 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

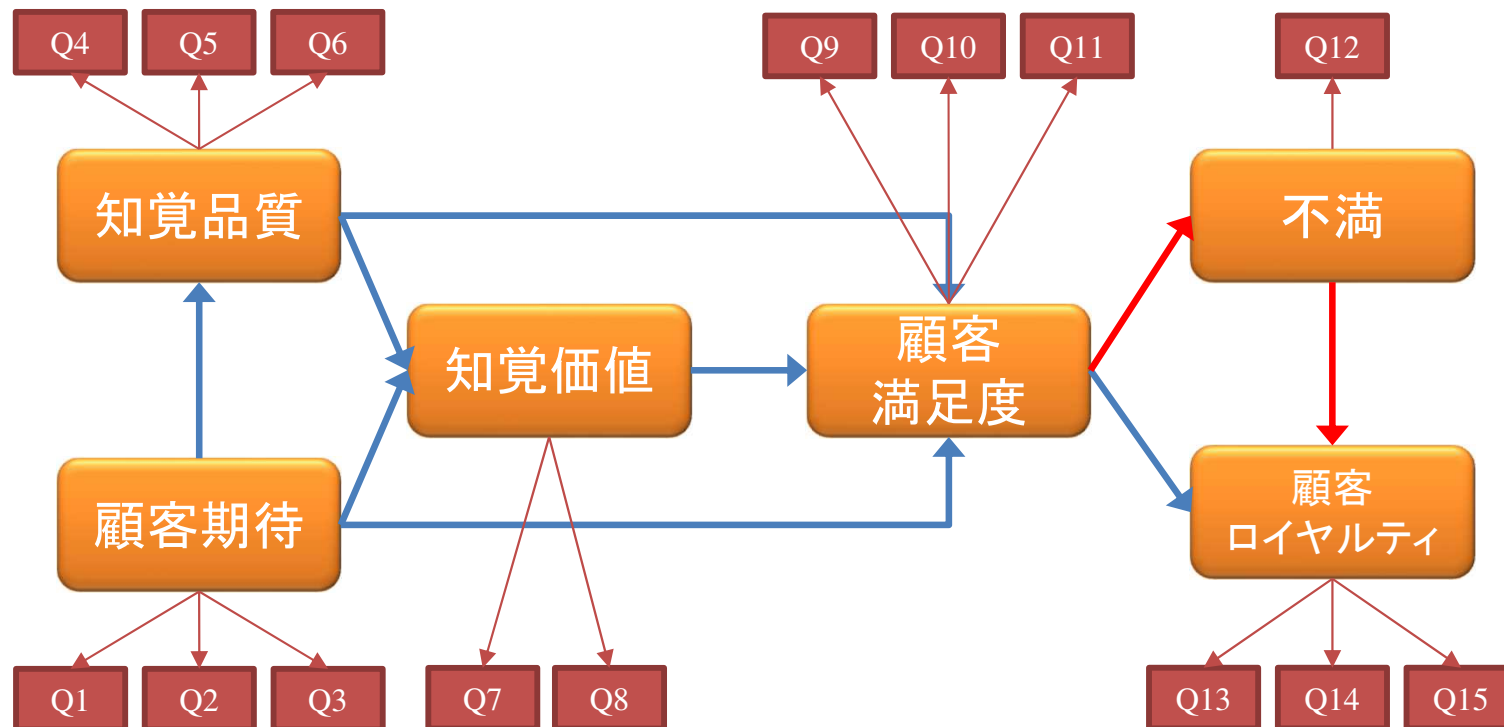
	質問項目	構成概念
Q1	購買前の期待した総合品質	顧客期待
Q2	購買前のカスタマイズへの期待 (要望への合致)	
Q3	購買前の信頼性への期待	
Q4	利用経験での総合的品質評価	知覚品質 (製品/サービス別)
Q5	利用経験でのカスタマイズへの評価 (要望への合致)	
Q6	利用経験での信頼性への評価	
Q7	品質に対する価格の評価	知覚価値
Q8	価格に対する品質の評価	
Q9	総合的な満足	顧客満足
Q10	パフォーマンスは期待を上回ったか?	
Q11	理想的な製品・サービスと比較したときのパフォーマンス	
Q12	公式または非公式にでも苦情を言ったか?	不満
Q13	再購買への意向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

# 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

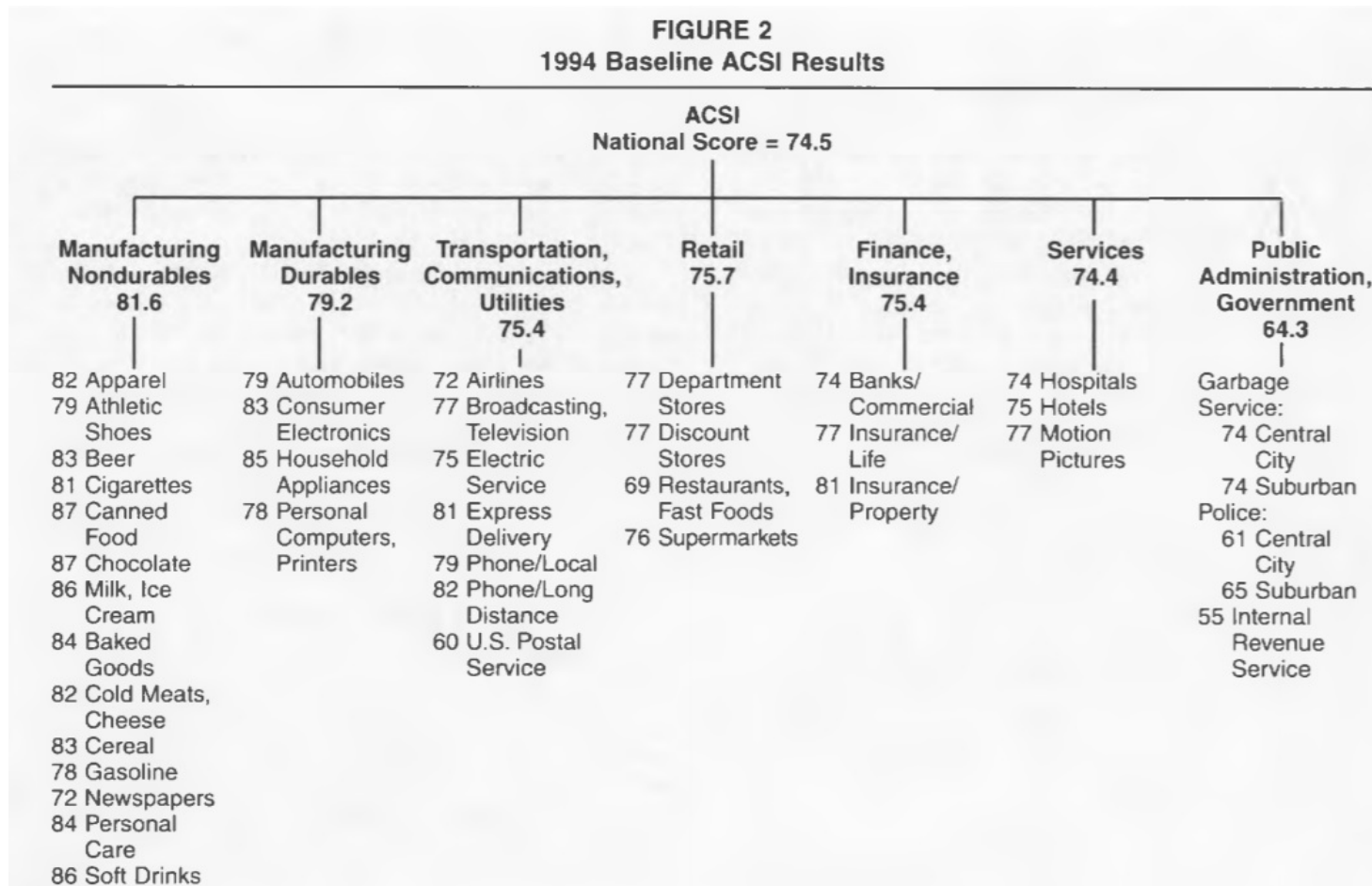
単純なアンケートの得点のみではなく、各構成概念間の関係によって顧客満足度を評価している



# 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



# 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)



日本版顧客満足度指数のご案内  
Japanese Customer Satisfaction Index

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/JCSI\\_pamphlet.pdf](https://www.service-js.jp/uploads/fckeditor/JCSI_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：リピート購買への満足度の関与

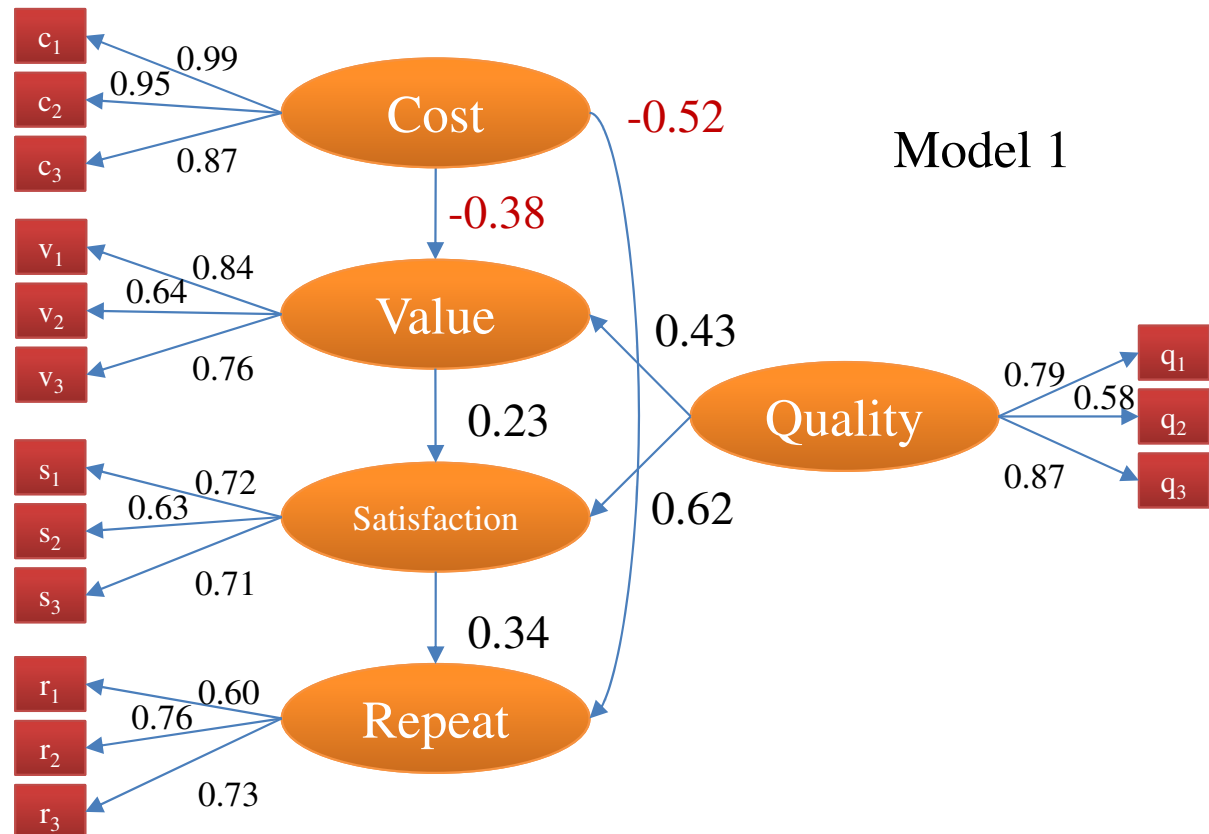
– 係数の推定の後

⇒ 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)
```



# 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

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

## 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)

- 値の小さいが望ましい

## 情報量基準 (AIC, BIC)

- 値の小さい方が望ましい

# 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
```

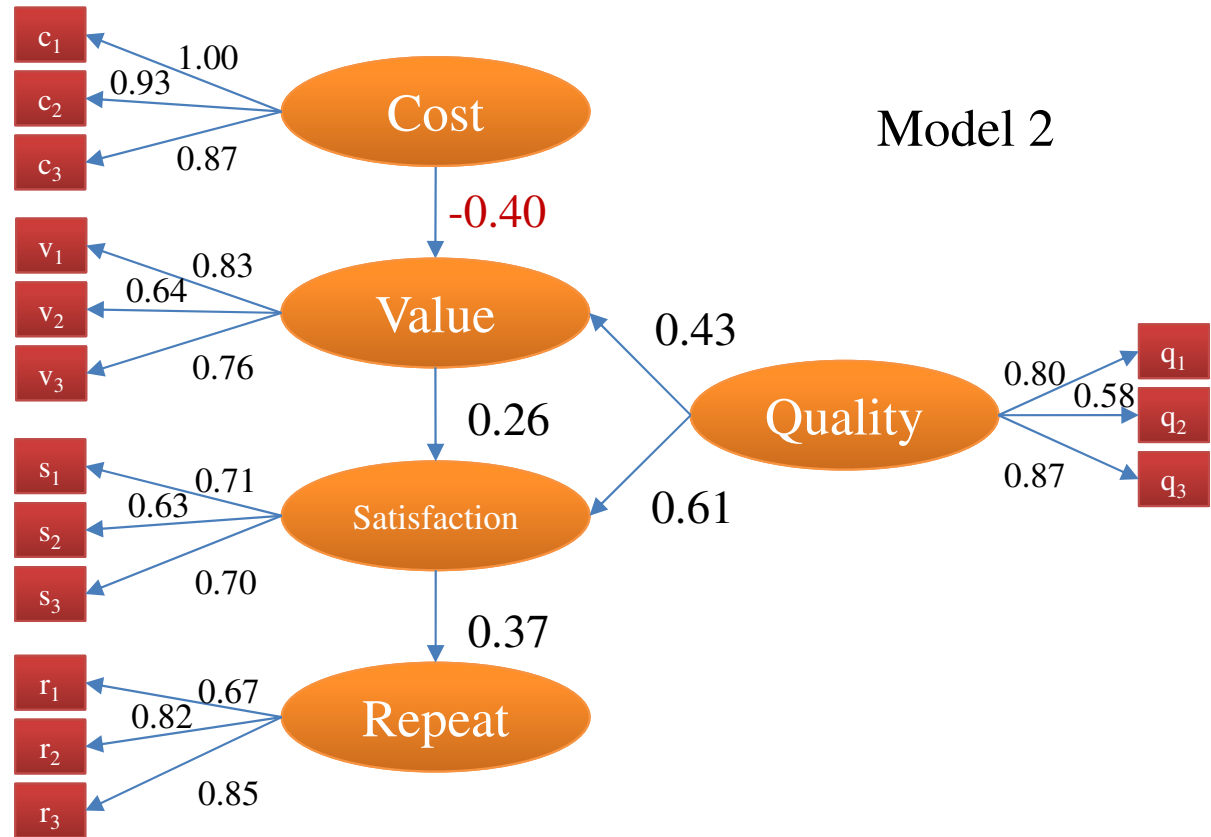
```
Sat =~ Repeat +cs1+cs2+cs3
```

```
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
```