

製造データの因果分析

SEMとグラフィカルモデルを使った
製造データの要因解析

TDK株式会社
品質保証部
野中 英和

製造データの特徴

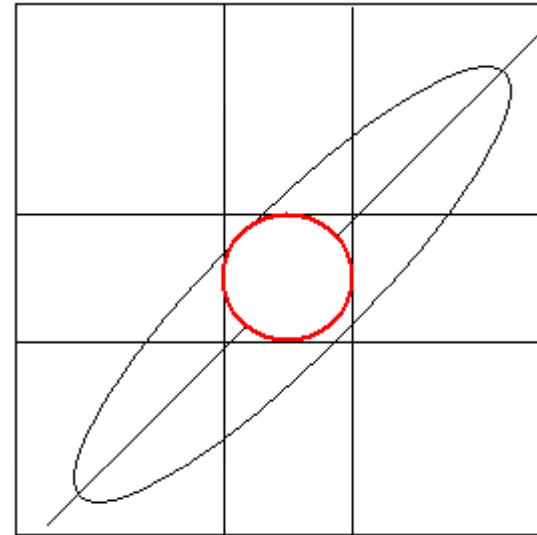
- 製造工程でデータを取る主目的は

「管理状態」

であることを確認するため。

製造データの特徴

- 安定した工程で採取される、製造データは動いていないことが多い。



動いていないデータは安定した工程の証拠。
ただし、データ解析を実施すると寄与率は上がらない。

製造データの特徴

原因系、結果系共に誤差が多い。

例えば、連続生産
している焼成炉の
場合、炉内の温度
は、管理幅内で暴
れる。



製造データの特徴

原因系、結果系共に誤差が多い。

チェックシートデータを原因系とするにはどうするか？

ZST炉 温度チェックシート

月日		ZST-1 450~500	ZST-2 750~800	ZST-3 900~925	ZST-4 1000~1015	ZST-5 980~1000	ZST-6 700~750	ZST-7 400~450	確認
5/1	3:00	475	780	905	1005	990	730	420	山本
	9:00	470	760	900	1000	990	725	420	市川
	15:00	470	770	905	1005	990	725	420	市川
	21:00	470	775	910	1000	985	730	420	山本
5/2	3:00	470	780	900	1005	990	725	425	山本
	9:00	470	775	905	1005	985	730	425	市川
	15:00	470	775	900	1010	990	725	425	市川
	21:00	470	775	900	1010	990	720	420	山本
5/	3:00	465	780	905	1010	990	720	420	山本
	9:00	470	775	900	1005	990	720	425	市川

製造データの特徴

原因系、結果系共に誤差が多い。

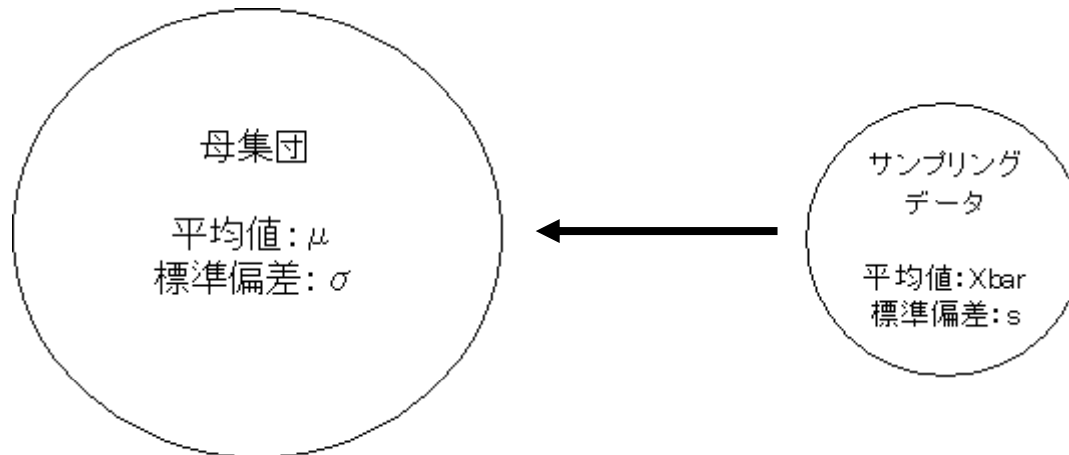
前工程の影響を調べるために、前工程のデータを説明変数、後工程のデータを目的変数として、回帰分析を実施したとする。前工程ではロットから $n=10$ のサンプリングをしたとし、ロットで1点のデータを使って、回帰分析を実施するとしたら、恐らく平均値を回帰分析の説明変数として用いることが多いであろう。

もちろん、 $n=10$ でサンプリングをしているのだから、バラツキ(標準偏差)もあるはずである。

また、サンプリングを行っているならば、サンプリング誤差も発生する可能性が多い。

製造データの特徴

原因系、結果系共に誤差が多い。



サンプリングデータから母集団を推定している。 μ と σ は以下のように現される。

$$\mu = \bar{X} \pm \text{○○}$$

$$\sigma^2 = s^2 \pm \text{○○}$$

製造データの特徴

原因系、結果系共に誤差が多い。

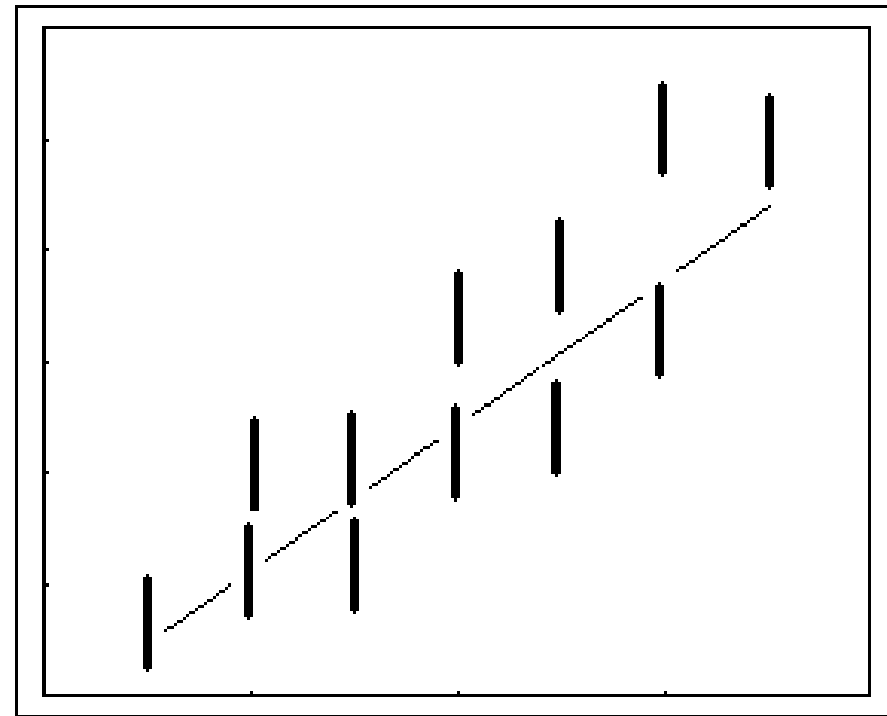
計測を行っているものは、計測誤差が生じる。

→ヒト間バラツキ、測定器間バラツキ、繰り返しバラツキ、
安定性(日間変動)、直線性 . . .

製造データの特徴

原因系、結果系共に誤差が多い。

- 最小二乗法を用いた回帰分析の場合、説明変数(x)には、誤差がなく(値が正しい)、目的変数(y)には誤差があることが前提となっている。
- 原因系にも誤差のある回帰分析はうまくいかないこともある。



製造データの特徴

製造データで解析を実施する目的は

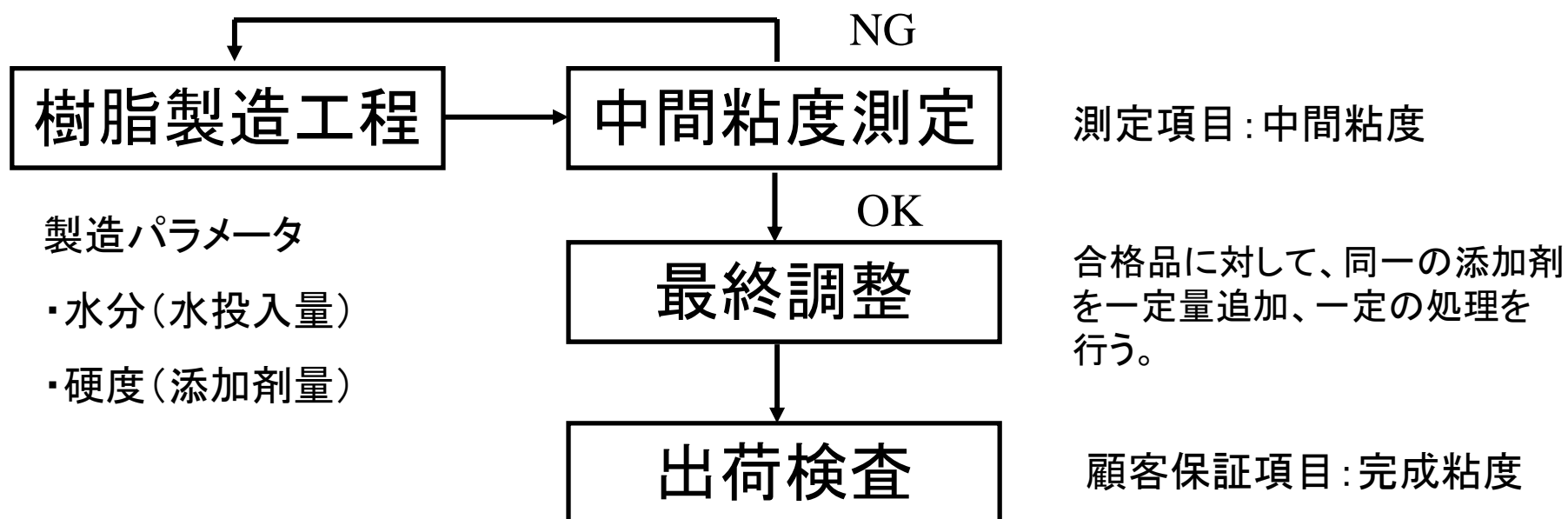
- ・改善を行う上での「ヒント」を探すこと

ではないか？

回帰分析ではヒントが発見できなかったが、SEMを使うことによって、改善のヒントを得られた事例について紹介。

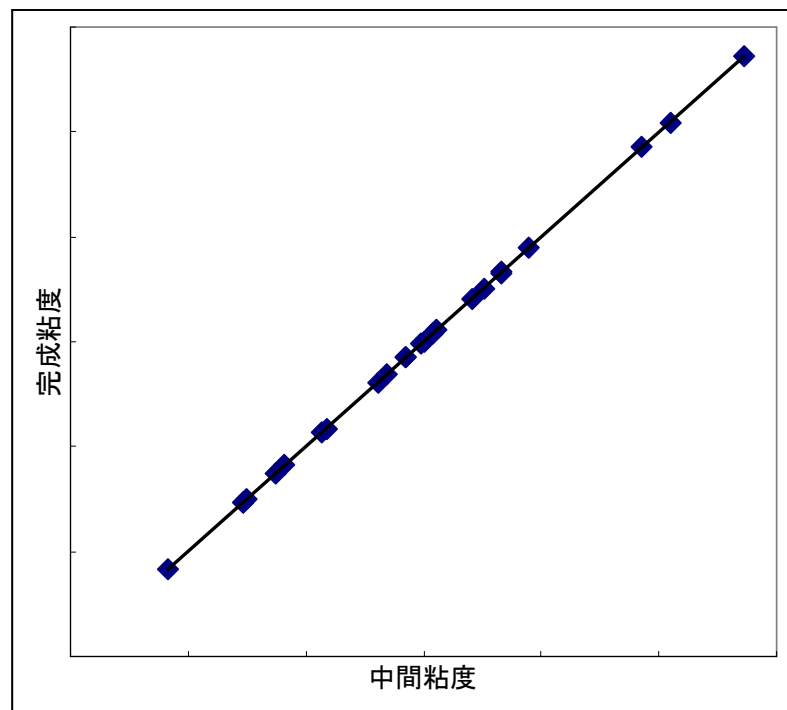
SEM解析事例 樹脂製造工程データ

中間粘度で合格となったものは最終調整に払い出し。不合格品は前工程に戻すことは可能だが、最終調整した製品でNGになると、ロットアウトになる。



•2品種(SとJ)を生産

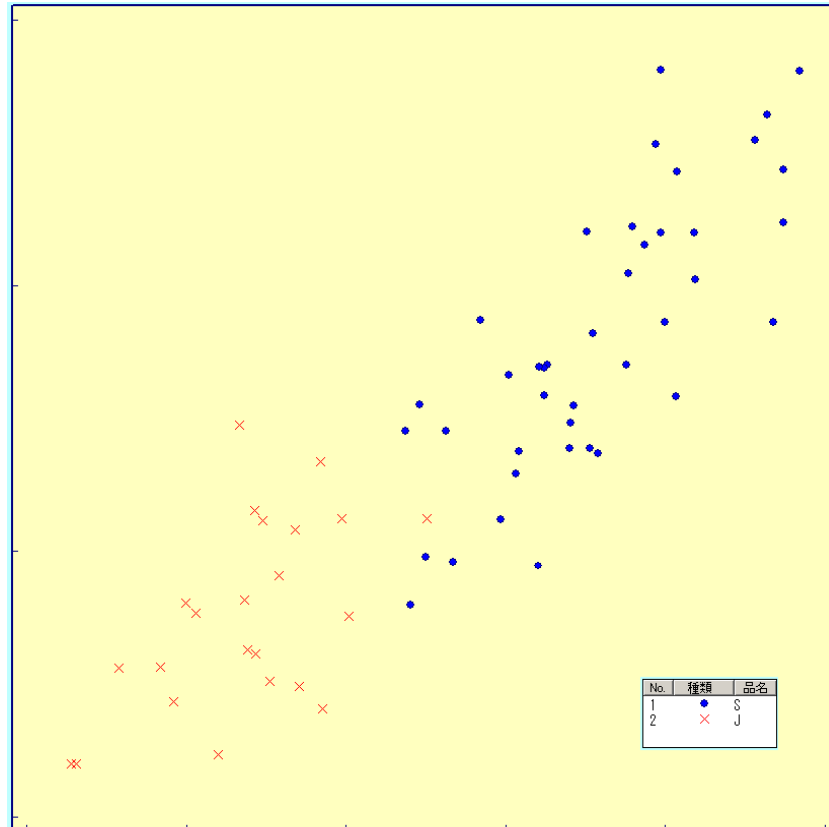
SEM解析事例 樹脂製造工程データ



中間粘度で合格したものは、完成粘度でも合格することを前提として、同一処理の最終調整を行っている。

よって、中間粘度と完成粘度の相関は非常に強いことを期待している。

SEM解析事例 樹脂製造工程データ



実際の間接粘度と完成粘度を調べてみると、
思惑より強い相関とは言えない($R=0.884$)。

中間の判定で最終調整工程に投入するが、
ロットアウト(歩留まり損)の可能性がある。

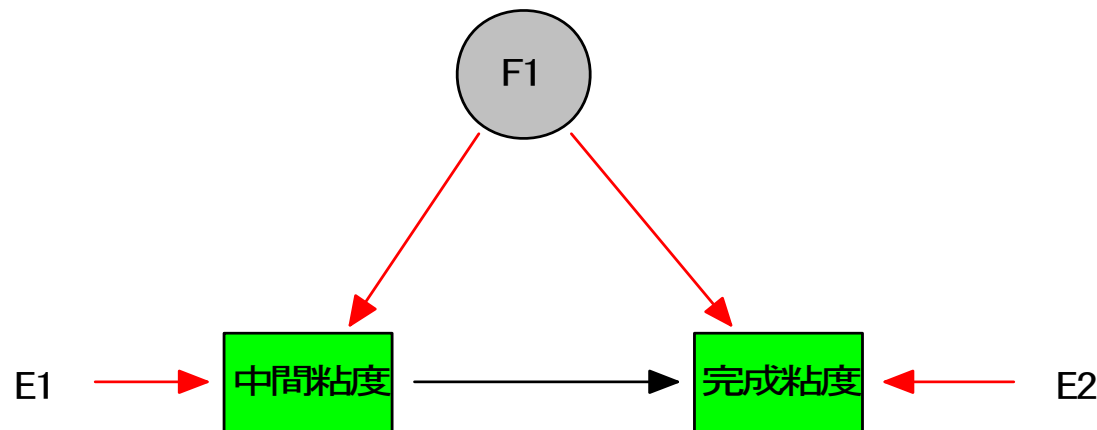
中間粘度と完成粘度の関係が強くない
のは何が原因なのか？

共分散構造分析で樹脂製造工程のモデル化を行う。

SEM解析事例 樹脂製造工程データ

モデルの検討

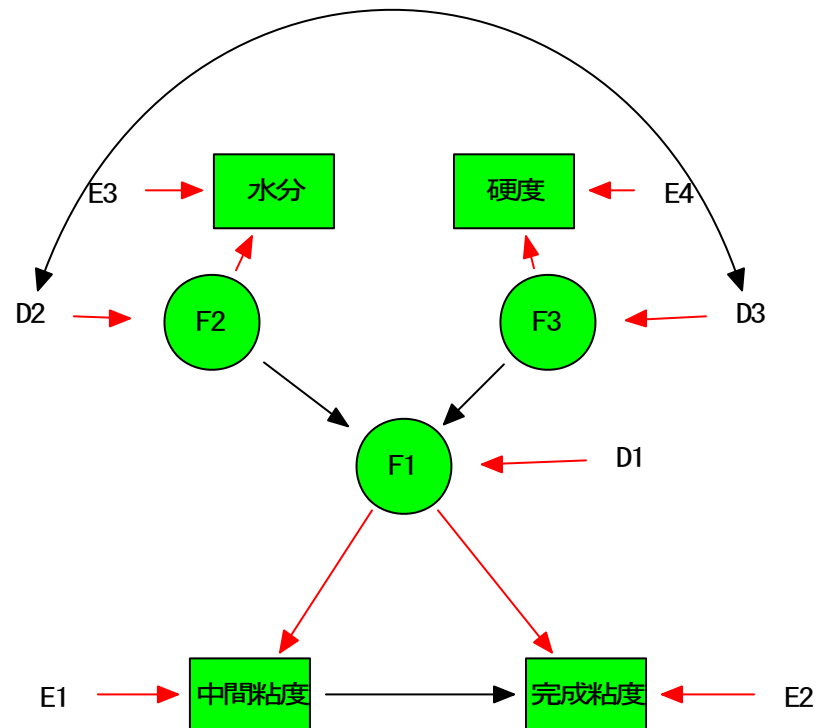
- ・粘度には真の粘度があり、この粘度が中間粘度と完成粘度に現されている。この真の粘度が潜在変数(F1)として扱う。
- ・中間粘度, 完成粘度の観測値には測定誤差(E1,E2)などがある。測定方法は同じなので、E1・E2は同じ大きさと仮定する(等値制約)。



SEM解析事例 樹脂製造工程データ

モデルの検討

- ・真の粘度は水分と硬度に影響を受ける。
- ・水分と硬度にも測定誤差があり、真値(潜在変数)があると仮定する。
- ・真の水分と硬度には共分散がある。

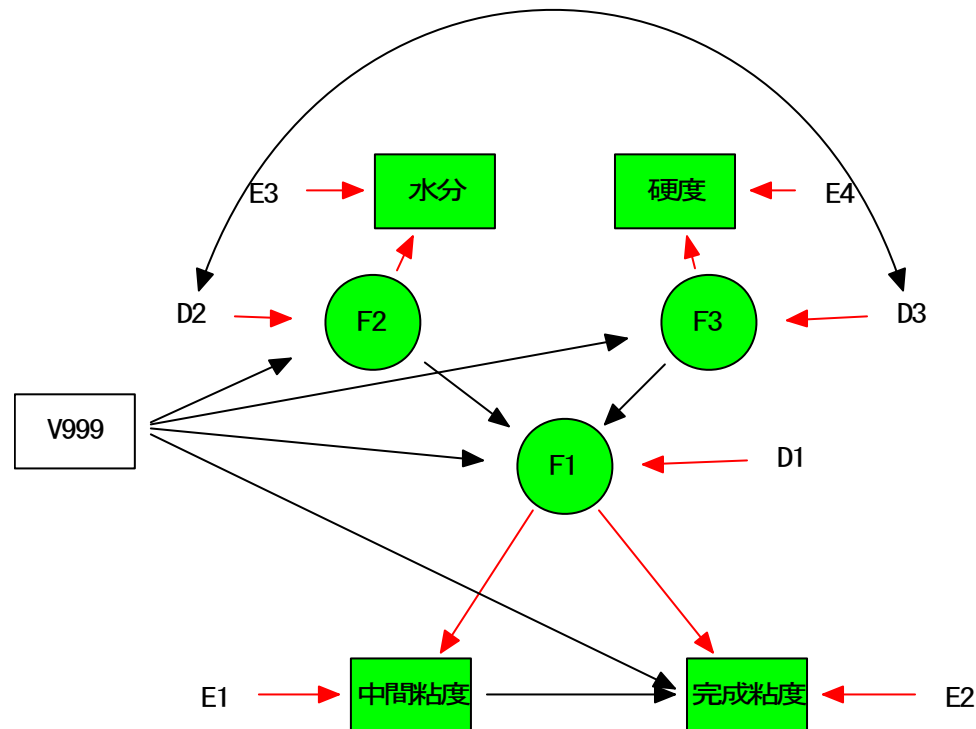


SEM解析事例 樹脂製造工程データ

モデルの検討

- ・二つの材質があるが、傾き(相関関係)は一緒と考える(等値制約)。
- ・二つの材質には平均値の違いがあると考える(切片の違い)。

→平均構造モデル



SEM解析事例 樹脂製造工程データ

結果の検討

	変数名	E3	E4	D1	D2	D3
E3	E3	0.00221				
	標準誤差	0.00060				
	z値	3.69848				
E4	E4		0.02251			
	標準誤差		0.00463			
	z値		4.86134			
D1	D1			0.00000		
	標準誤差			0.00001		
	z値			0.00000		
D2	D2				0.02330	-0.00309
	標準誤差				0.01229	0.00106
	z値				1.89537	-2.90597
D3	D3				-0.00309	0.00000
	標準誤差				0.00106	6.39430
	z値				-2.90597	0.00000

E3:水分の測定誤差, E4:硬度の測定誤差→大きい 測定誤差対策は必要

D2:水分の真値→多少大きい D3:硬度の真値→0 水分投入量にバラツキがあるのか?

SEM解析事例 樹脂製造工程データ

結果の検討

	変数名	E1
E1	E1	7184.10000
	標準誤差	0.00002
	z値	401705435.0

E1:粘度の測定誤差

非常に大きい

測定システムの改善が必要

→相関が1にならない理由の一つ？

SEM解析事例 樹脂製造工程データ

結果の検討

パラメータ推定値 (グループ2)

測定方程式 (従属変数が観測変数)

	変数名		推定値	変数名		推定値	変数名		推定値	変数名		推定値	変数名	寄与率
V1	中間粘度	=	1.00000	F1	+	1.00000	E1							0.03462
	標準誤差													
	z値													
V2	完成粘度	=	-1.16310	中間粘度	+	1.00000	F1	+	301.31000	平均	+	1.00000	E2	0.57516
	標準誤差		0.04631						0.00000					
	z値		-25.11661						-					
V3	水分	=	1.00000	F2	+	1.00000	E3							0.00000
	標準誤差													
	z値													
V4	硬度	=	1.00000	F3	+	1.00000	E4							0.50861
	標準誤差													
	z値													

誤差を加味しても、偏相関係数は1にならない。

→調整している可能性大(ハンティング現象?)

改善するポイントの発見

(ヒントの発見) 19

トレードオフの検討 回帰分析からGMへ

製造での最大の悩み

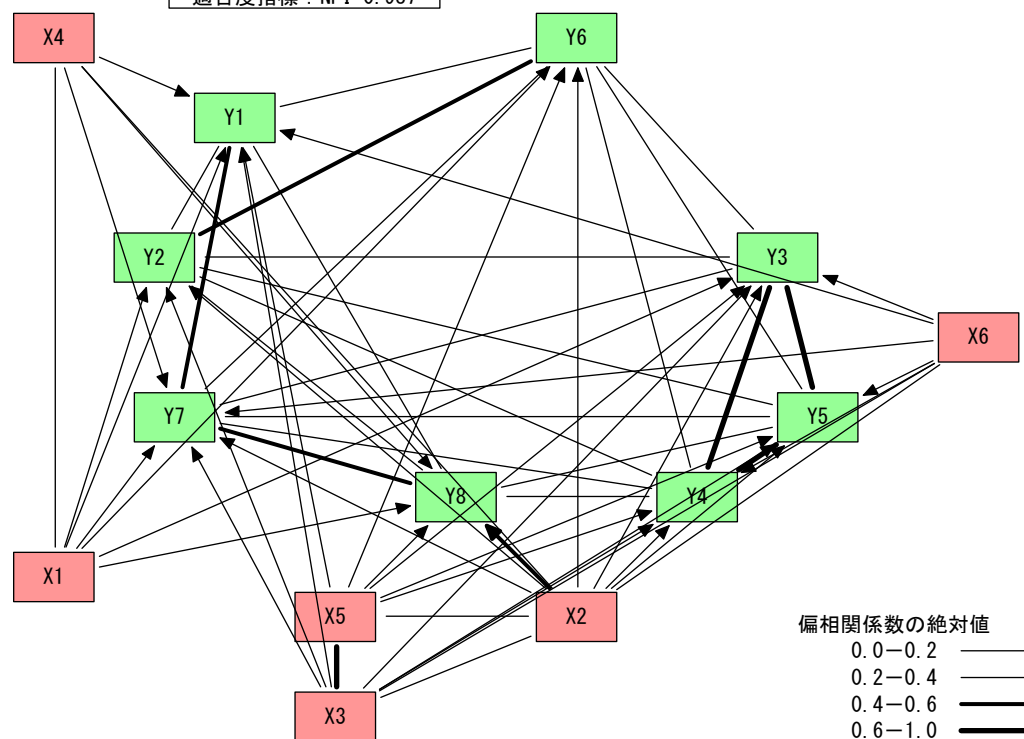
- ・結果系が多い。よって、トレードオフが発生する。
- ・原因系も実験ではないので、独立で動かしにくい。

一つの問題がでたときに、管理項目を動かす際に細心の注意が必要になる。

トレードオフの検討 回帰分析からGMへ

フルモデルとの比較：逸脱度=18.319 自由度=29 p値=0.9375

適合度指標：NFI=0.987



原因系と結果系の因果関係がモデル化できれば、問題が起きたときの対処方法検討が容易になる。

トレードオフの検討 回帰分析からGMへ

複数の結果があるとき、

$$Y_1 = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + z_1$$

$$Y_2 = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + z_2$$

.....

回帰分析をすべてのyに対してやるのも面倒、またトレードオフもわかりにくい。

トレードオフの検討 回帰分析からGMへ

偏相関係数行列を使用した、グラフィカル モデリング (GM) を使用して、真の相関関係を抽出し、偏回帰係数の大きいもののみで、パス図を作成する。

データ数 : 121
 《モデル全体》
 フルモデルとの比較 : 逸脱度=18.319 自由度=29 p値=0.9875
 適合度指標 : NFI=0.987

《第2群》
 フルモデルとの比較 : 逸脱度=6.491 自由度=21 p値=0.9889
 直前のモデルとの比較 : 逸脱度=0.258 自由度=1 p値=0.6117
 適合度指標 : GFI=0.967 AGFI=0.834 NFI=0.995 SRMR=0.012

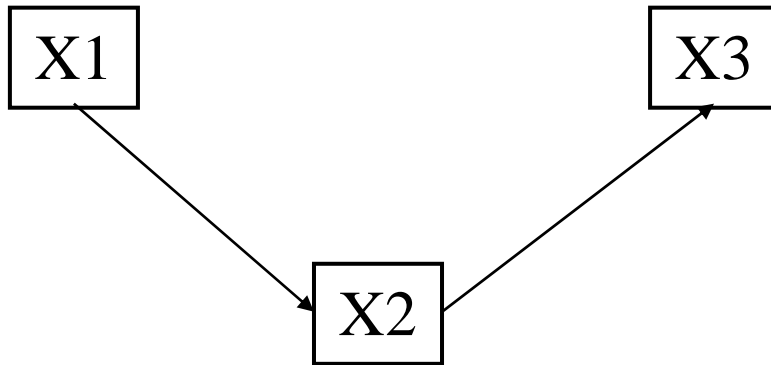
下三角 : 偏相関係数 上三角 : 相関係数の残差

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
V1 X1	***										-0.0083	0.00205		
V2 X2		***					-0.0205							
V3 X3			***										0.00339	0.00256
V4 X4				***			0.04961	0.02615	0.0624	0.05615		-0.0575		
V5 X5					***		-0.0109						-0.0139	
V6 X6						***	-0.0163					-0.0022		0.00279
V7 Y1	-0.0567	0.00000	-0.0872	-0.2225	-0.1701	0.06051	***		0.03791	-0.0008	0.02183			
V8 Y2	0.10148	-0.1859	0.08930	0.00000	0.00000	0.00000	0.10422	***					-0.0098	
V9 Y3	0.10409	0.17032	0.11384	0.00000	0.12604	-0.2301	-0.0000	-0.3365	***					-0.0035
V10 Y4	0.00000	-0.3778	-0.1018	0.00000	-0.0843	0.20836	0.00000	-0.3526	0.68112	***				
V11 Y5	-0.0000	-0.1511	-0.1341	0.00000	-0.1679	0.28225	-0.0000	0.18259	0.92217	-0.7754	***			
V12 Y6	0.07821	0.21426	0.00000	-0.0000	-0.1153	0.00000	0.20319	0.54064	0.27768	0.25356	-0.2865	***		0.01450
V13 Y7	-0.2736	0.23176	0.10080	0.07755	0.00000	-0.1943	-0.5490	-0.0000	-0.1144	0.13679	0.27118	0.35260	***	
V14 Y8	-0.1415	0.49442	-0.0000	-0.0940	-0.2322	-0.0000	-0.2584	0.14313	0.00000	0.13713	0.12869	0.00000	-0.4013	***

共分散選択

トレードオフの検討 回帰分析からGMへ

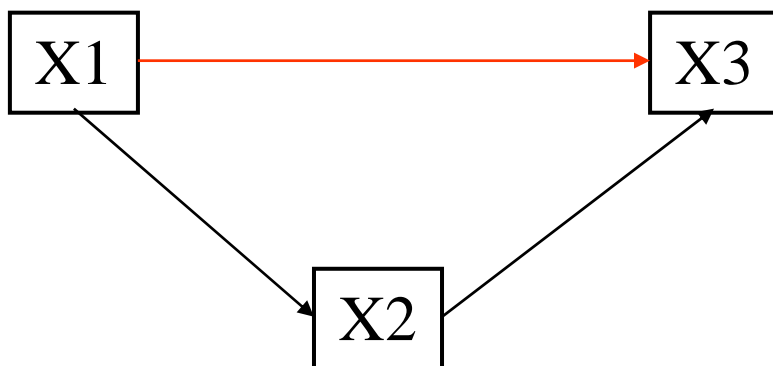
※偏相関係数とは？(イメージ)



X1とX2・X2とX3に相関関係があるとき

トレードオフの検討 回帰分析からGMへ

※偏相関係数とは？(イメージ)

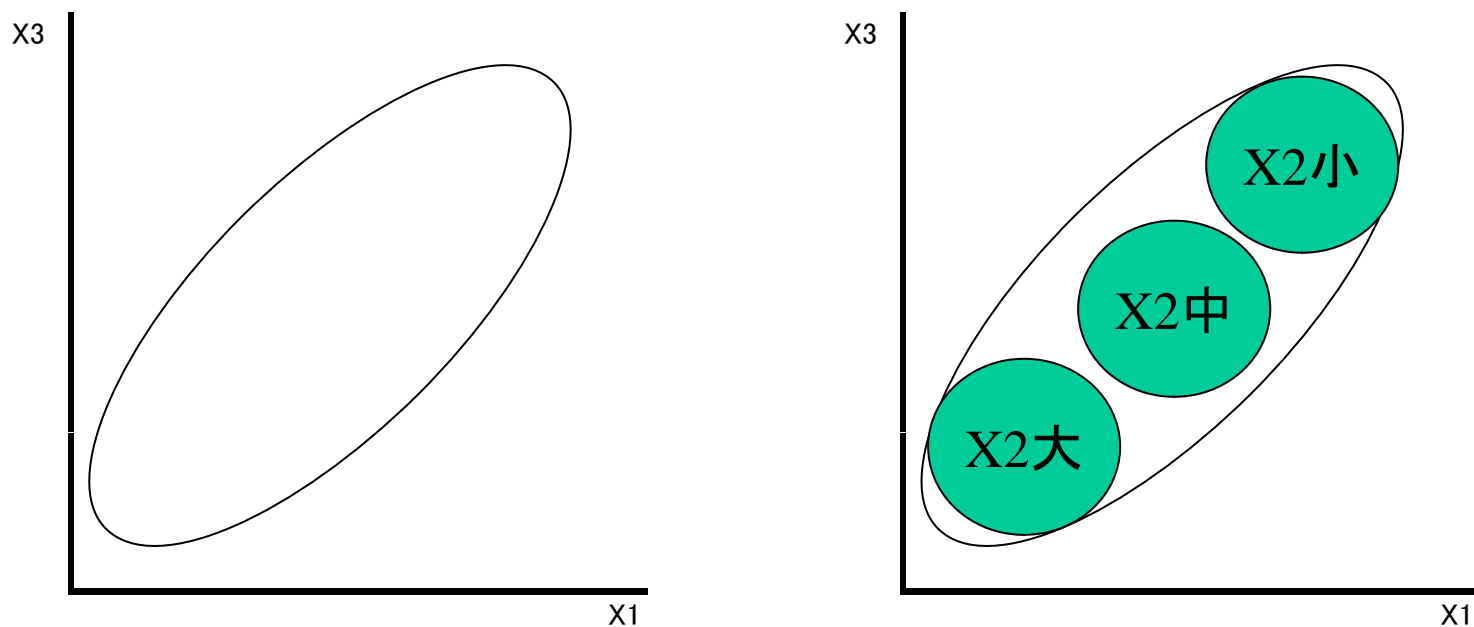


X1とX3に相関関係があるように見えてしまう

X1とX3の真の相関関係を見るときは、X2を固定した条件での相関関係を見る必要がある。このX2を固定したときの相関係数を偏相関係数²⁵という。

トレードオフの検討 回帰分析からGMへ

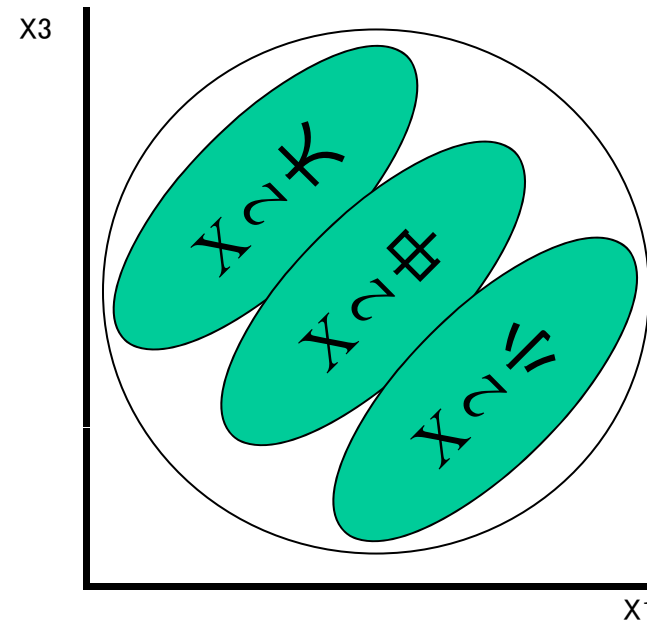
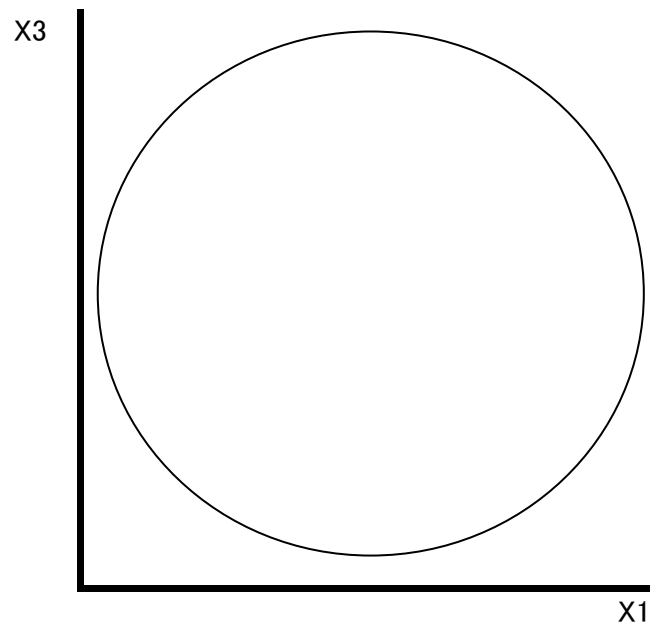
※偏相関係数とは？(イメージ)



計量値 X2の値を3分割(大中小)に層別してみると、X1とX3の相関が本当はないかもしれない。

トレードオフの検討 回帰分析からGMへ

※偏相関係数とは？(イメージ)



計量値 X_2 の値を3分割(大中小)に層別してみると、 X_1 と X_3 の相関が本当はあるかもしれない。

GM解析事例 某製品 初期流動データ

原因系

X1～X6(材料組成条件:実測値)

結果系

Y1～Y8(Y3,Y4,Y5は寸法、その他は製品固有の特性)

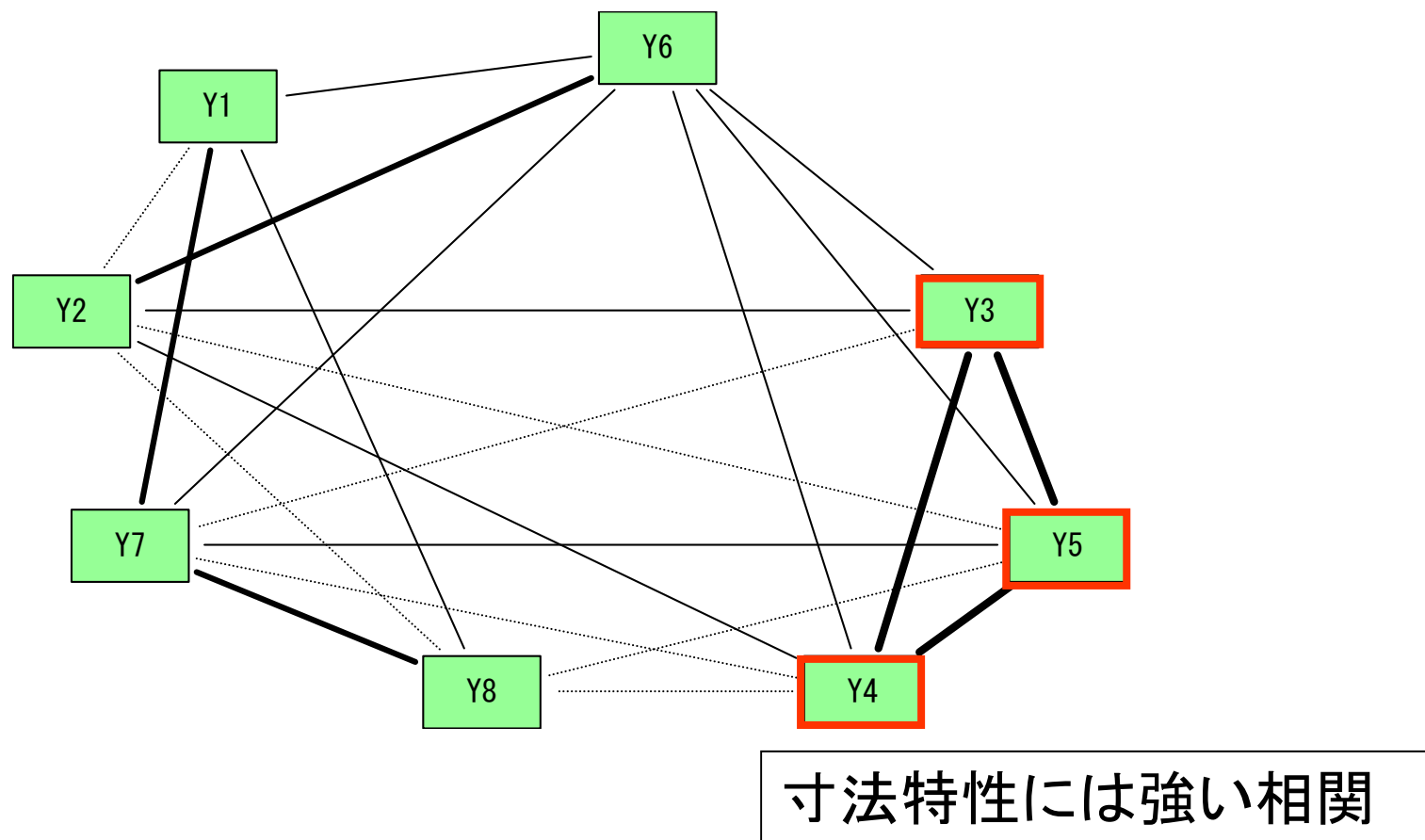
N=121 試作、初期流動中のデータ

早めに原因系と結果系の関係を調べておき、本量産の準備資料としたい。



GM解析事例 某製品 初期流動データ

結果系

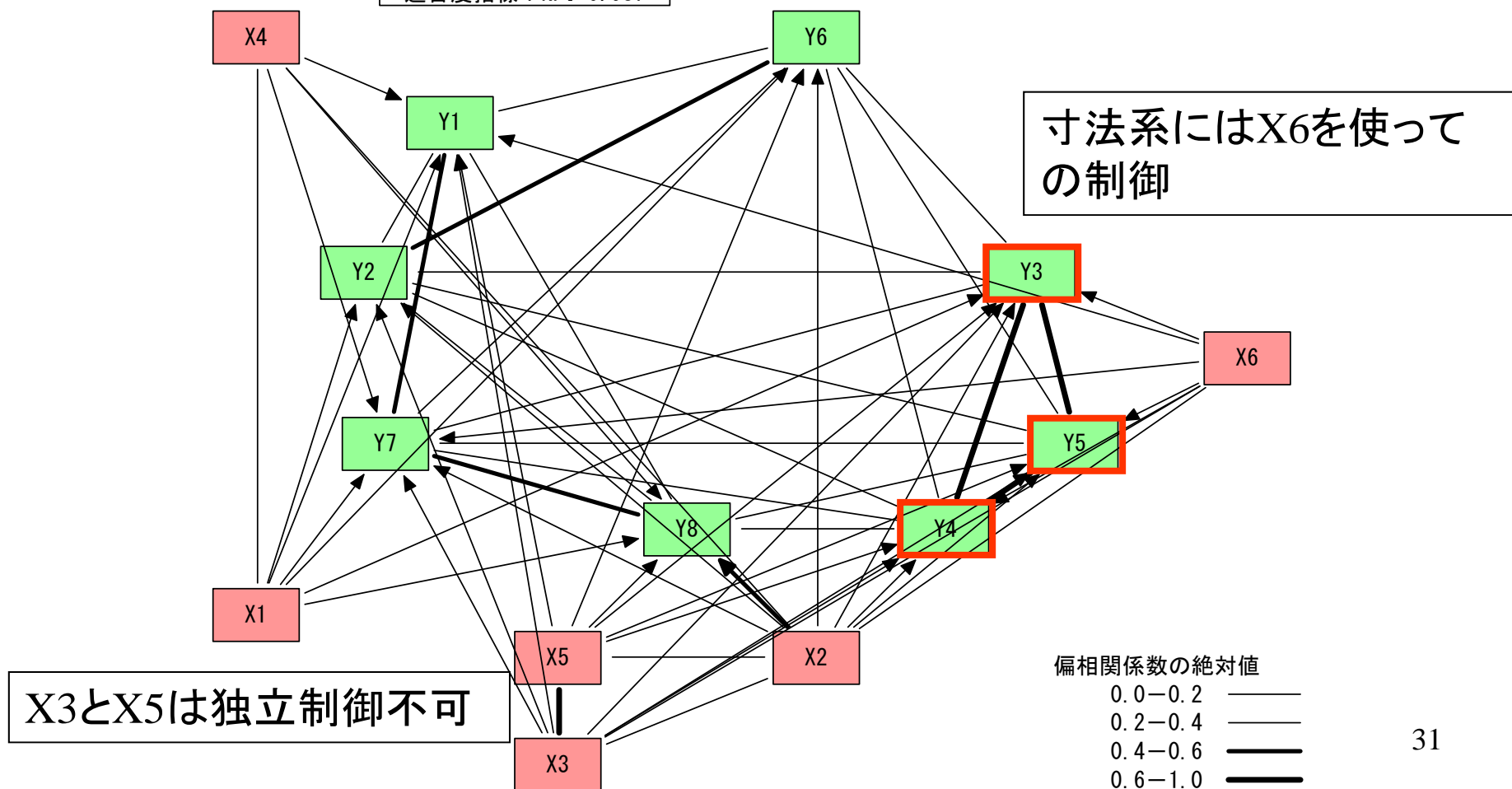


GM解析事例 某製品 初期流動データ

原因系 → 結果系

フルモデルとの比較：逸脱度=18.319 自由度=29 p値=0.9375

適合度指標：NFI=0.987



参考文献

SEM

・AMOS EQS LISRELによるグラフィカル多変量解析
狩野 裕著 現代数学社(1997)

・共分散構造分析(入門編)
豊田 秀樹著 朝倉書店(1998)

・原因をさぐる統計学(共分散構造分析入門)
豊田 秀樹・前田 忠彦・柳井 晴夫著 講談社(1992)

・入門 共分散構造分析の実際
朝野 熙彦・鈴木 督久・小島 隆矢著 講談社(2005)

参考文献

SEMとグラフィカルモデリング

・Excelで学ぶ共分散構造分析とグラフィカルモデリング

小島 隆矢著 オーム社(2003)

グラフィカルモデリング

・グラフィカルモデリング

宮川 雅巳著 朝倉書店(1997)

・グラフィカルモデリングの実際

日本品質管理学会 テクノメトリックス研究会編 日科技連出版(1999)

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いただけます <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>