



# Discovery Summit Japan 2022 論文集

期日 : 2022年11月17日(木) ~ 11月18日(金)

会場 : オンライン会議室 (Zoom)

---

SAS およびその他のすべての SAS Institute Inc.の製品名またはサービス名は、米国およびその他の国における SAS Institute Inc.の登録商標または商標です。

その他、本論文集に記載されている会社名、製品名は、一般に各社の商標または登録商標です。

本論文集の一部または全部を無断転載することは、著作権法上の例外を除き、禁止されています。  
本論文集の内容を実際に運用した結果の影響については、責任を負いかねます。

---

# 目 次

【2022-JA-25MP-02】 <b>非線形関数を扱うことができる超設計の教育</b> .....	4
小川 昭 (目白大学) 高橋 武則 (慶應義塾大学)	
【2022-JA-25MP-04】 <b>実践的な質問紙実験</b> .....	15
川崎 昌 (桜美林大学) 高橋 武則 (慶應義塾大学)	
【2022-JA-25MP-07】 <b>医療機能評価からみた医療事故発生割合に関する要因分析</b> .....	29
～ 済生会系列病院における医療の質評価 ～ 佐村 紫帆 (慶應義塾大学)	
【2022-JA-50MP-21】 <b>一般化超設計の理論と応用</b> .....	41
高橋 武則 (慶應義塾大学)	
【2022-JA-50MP-22】 <b>質問紙調査のための仮想実験と最適計画</b> .....	64
高橋 武則 (慶應義塾大学)	

※ 本論文集は、Discovery Summit Japan 2022 の発表のうち、提出のあった論文を掲載している

## 非線形関数を扱うことができる超設計の教育

小川 昭<sup>1</sup> 高橋 武則<sup>2</sup>

Akira OGAWA Takenori TAKAHASHI

### 【要約】

設計は長い間入力因子のない設計(静特性の設計)が行われ、最近になって入力因子のある1次式の設計(動特性)も行われ設計の守備範囲が広がってきた。そして、これからは2次以上の非線形関数を扱う設計(高度な動特性の設計)が重要となる。しかしながら、非線形関数の設計は1次式(線形関数)の設計の延長で扱うことはできない。何故ならば1次式にはない極値(極大値, 極小値)を扱わなければならないからである。これを解決した設計法が超設計である。本研究は2次式の場合をとりあげ、JMPを用いて超設計を易しく学ぶことのできる教育を紹介する。実験はカスタム計画のもとで行い、最適化は満足度プロファイルを用いることで初級者でも簡単に実施することができる。なお、教材としては分かり易い飛球シミュレータを用いている。

【キーワード】 入出力特性, 非線形関数, 超設計, カスタム計画, 最適化

### 1. はじめに

要求される仕様を満足させるため、あるいは特性の目標値を得るためのシステムの設計は、入力 (Input) があり、次に処理 (Process) が行われ、その結果、目標とする出力 (Output) の値が得られることを前提としている。そして、システムを構成する多数の因子から重要な因子を実験により選択し (因子のスクリーニング)、選択した因子を設計因子として出力との関係をモデル化し (特性のモデリング)、得られたモデルを基に、目標値を得るために設計因子と入力因子の最適値を求める (システムの最適化) ことが行われる。最終的にはこれらの取り組みと、最適化されたシステムの妥当性を利害関係者 (ステークホルダー) と協議し、妥当性確認を行ったうえで採用または不採用が決定されることになる。

---

1 小川昭 (Akira OGAWA) 目白大学

2 高橋武則 (Takenori TAKAHASHI) 慶應義塾大学

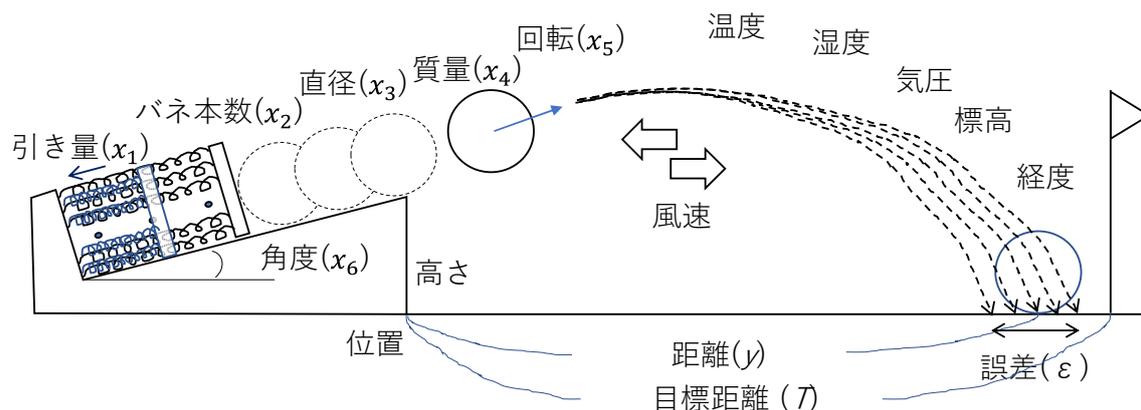


図 1 飛球シミュレーターとその構成要素

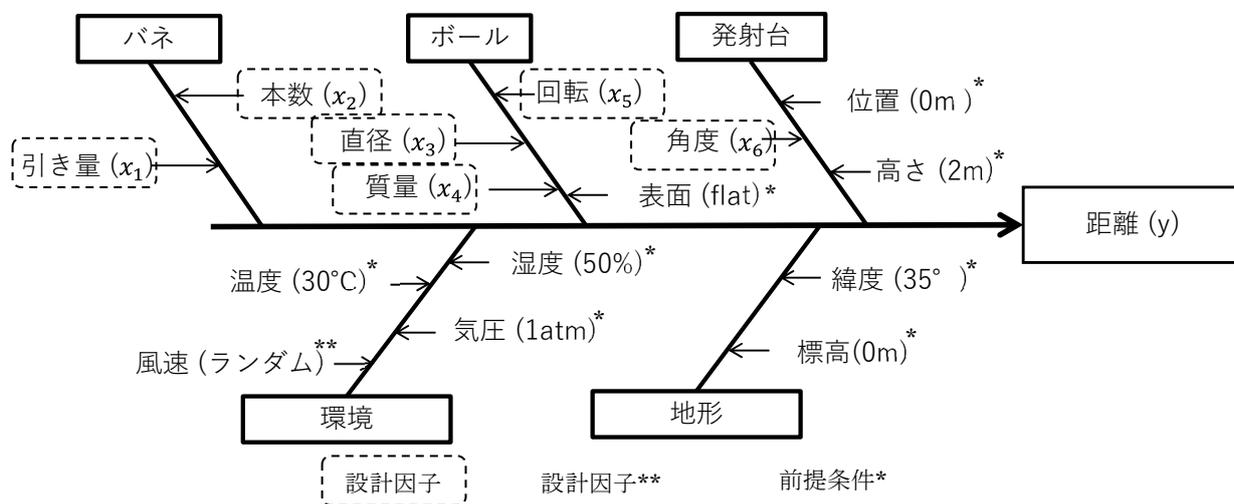


図 2 飛球シミュレータの特性要因図

従来、このような入出力関係をもとにした可変出力の設計も行われていたが、初級技術者を対象とした教育では入力因子がなく、出力も一定のシステム設計が行われることが多かった。また可変出力であっても入出力が 1 次式で表される応答関係のシステム設計が行われていた。この原因の 1 つに、適切な教育プログラムが存在しなかったことが挙げられる。本研究ではこの教育プログラムを図 1 に示す飛球シミュレーターと呼ばれるコンピュータシミュレーションを用いることを提案し、その有用性を示すことを目的としている。

飛球シミュレータの特性要因図を図 2 に示す。また、入力因子として 6 因子を設定し、その時の距離(出力)との関係を図 3 に示す。この図から飛球シミュレーターを用いることで、線形、非線形さまざまな入出力関係を検討することができることがわかる。本研究では従来取り上げられることが少なく、今後その重要性が高まる可能性のある 2 次関数で表される非線形応答関係を取りあげる。これは入力を角度、出力を距離とするものである。

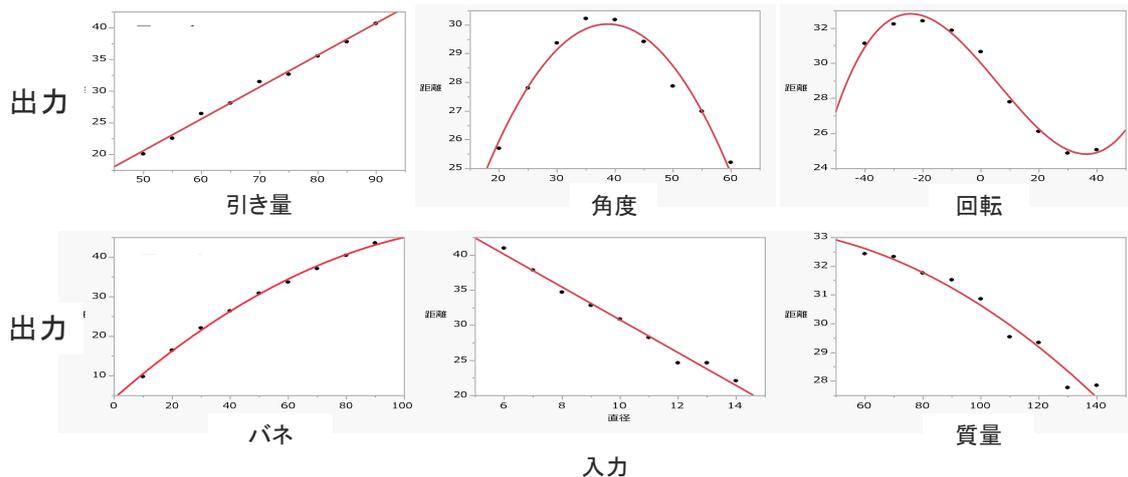


図 3 飛球シミュレータの各種入力と出力（距離）との関係

## 2. 理論

本研究では 2 次関数を取りあげ、最適化 I, II, III を行うため、超設計（Hyper Design）を提案する。

I : 目標値  $T_i$  ( $i=1\sim 9$ )がある場合 (図 4 参照)

飛距離  $y_i$  と目標値  $T_i$  との差 (絶対値) である Gap をできるだけ小さくしたい

→ 最大 Gap の最小化

II : 極値 (極大値, 極小値) がある場合

水準間隔を細かくすれば最大, 最小の値はほぼ極値 (極大値, 極小値) と同じになる。

→ 現実には微分して極値を求める必要ある。最大 Gap の最小化となる。本研究では割愛する。

III : 目標値 がない場合

→ 要約関数による最適化。例えば飛距離  $y$  の最大値  $y_{max}$  をできるだけ大きくしたい。

次節では簡潔な説明をするために簡易形で超設計を説明する。

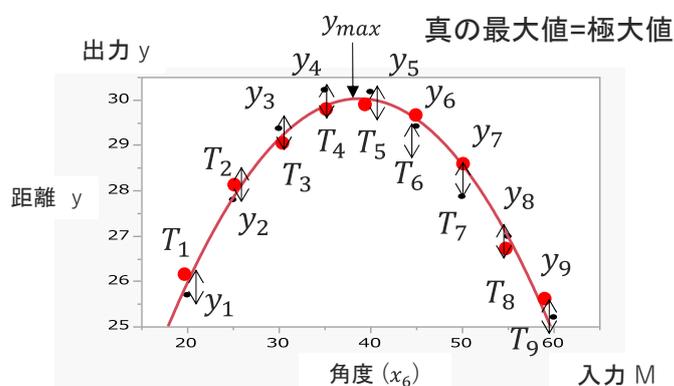


図 4 角度を入力としたときの出力  $y$  と目標値  $T$  及び最大値  $y_{max}$  との関係

## 2.1 超構造関数を求めるための直積実験

回転（3水準）とバネ（2水準）の2因子を設計因子として実験回数6回（Run 6）の最適計画を JMP により作成し、これに角度（4水準）を入力因子とした直積実験を計画した。そして得られた距離の値と推定2次曲線を図5に示す。それぞれの推定2次曲線を構成する2次式の定数項，1次項，2次項の係数をそれぞれ  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  としてその値を表1に記載した。

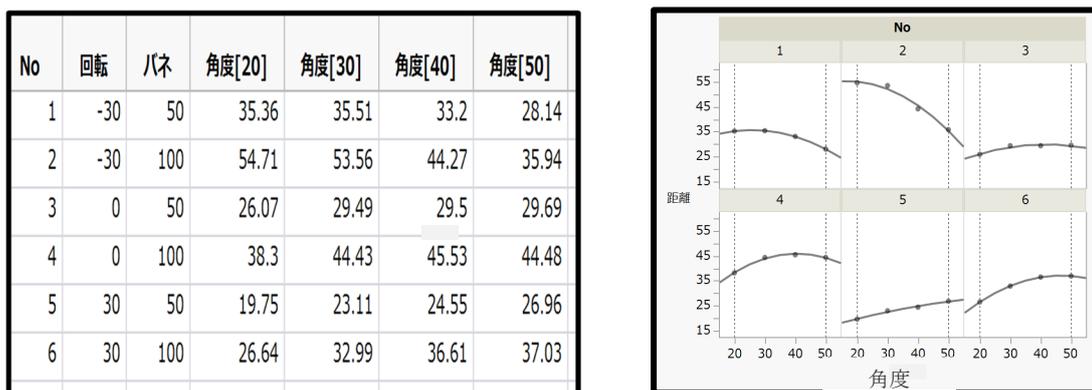


図5 入力（角度）が4水準，設計因子が2因子の場合の直積実験の計画と結果（推定2次式）

表1 推定2次式の定数項，1次項の係数，2次項の係数

No	設計因子		入力因子(角度)				推定回帰係数		
	回転	バネ	[20]	[30]	[40]	[50]	b0	b1	b2
1	-30	50	35.36	35.51	33.20	28.14	27.11	0.672	-0.013
2	-30	100	54.71	53.56	44.27	35.94	50.34	0.601	-0.018
3	0	50	26.07	29.49	29.50	29.69	16.00	0.674	-0.008
4	0	100	38.30	44.43	45.53	44.48	16.57	1.453	-0.018
5	30	50	19.75	23.11	24.55	26.96	12.91	0.397	4.828
6	30	100	26.64	32.99	36.61	37.03	4.83	1.386	-0.015
							<b>b<sub>0</sub>(x)</b>	<b>b<sub>1</sub>(x)</b>	<b>b<sub>2</sub>(x)</b>

ここで各係数は回転とバネの関数で表すことができるとして，係数関数を式(1)のように定義する。

$$b_0 = b_0(x), b_1 = b_1(x), b_2 = b_2(x) \quad (1)$$

この結果，超構造関数は式(2)で定義される。

$$y = F(M; x) = b_0(x) + b_1(x)M + b_2(x)M^2 \quad (2)$$

また代入関数を式(3)のように定義する。

$$f_i(x) = F(M_i; x) \quad (3)$$

この結果，入力4点に関する代入関数は式(4)となる

$$f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x) \quad (4)$$

## 2.4 目標値がある場合の最適化

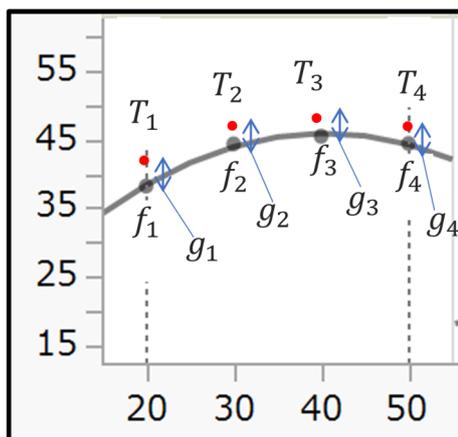


図 6 目標値がある場合の入出力関係

Gap 関数を式(5)で定義する.

$$g_i(x) = |f_i(x) - T_i| \quad (5)$$

4つの Gap 関数は式(6)で定義される.

$$g_1(x), g_2(x), g_3(x), g_4(x) \quad (6)$$

最大 Gap 関数は式(7)で定義され, これを目的関数として最適化を行う.

$$g_{Max}(x) = Max\{g_1(x), g_2(x), g_3(x), g_4(x)\} \quad (7)$$

## 2.5 目標値がない場合の最適化

代入関数を基に要約関数として, 最大値関数, 最小値関数, 範囲関数, 中点関数を定義し, これらを最適化の目的関数に使用する. 要約とは[最大],[最小],[範囲],[中点]等を求めることである.

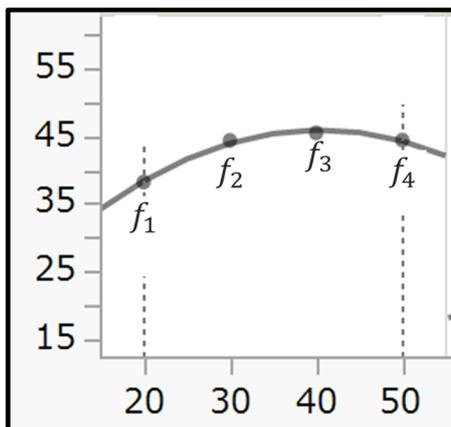


図 7 目標値がない場合の入出力関係

最大値関数は式(8)となる.

$$f_{Max}(\mathbf{x}) = Max(f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), f_3(\mathbf{x}), f_4(\mathbf{x})) \quad (8)$$

最小値関数は式(9)となる.

$$f_{Min}(\mathbf{x}) = Min(f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), f_3(\mathbf{x}), f_4(\mathbf{x})) \quad (9)$$

範囲関数は式(10)となる.

$$f_{Ran}(\mathbf{x}) = f_{Max}(\mathbf{x}) - f_{Min}(\mathbf{x}) \quad (10)$$

中点関数は式(11)となる

$$f_{Mid}(\mathbf{x}) = (f_{Max}(\mathbf{x}) + f_{Min}(\mathbf{x}))/2 \quad (11)$$

ここまでは、設計因子として 2 因子を取り上げ、入力も 4 水準として平易な説明を行った。ここからは、設計因子として 5 因子を取り上げ、入力を 9 水準としてより高度な超設計を解説する。実務的な事例はここで取り上げる例が参考になる。

### 3. JMP カスタム計画

表 2 に示す 5 因子を取り上げ、回転 ( $x_5$ ) は 2 次の効果まで評価するため 3 水準とする。評価する因子効果を表 3 の構造模型表に示す。定数項 1, 主効果 (1 次項) 5, 交互作用 (積項) 4, 2 次項 1 の計 11 を評価するため JMP カスタム計画を使用する。◎と○は必ず評価し、△と? は評価することが望ましい。×は評価不要である。角度=20° , 目標 T[20]=34.1 のとき、飛球の概要を図 8 に、16 回の実験結果を図 9 に示す。

表 2 5 因子の水準

変数	因子	第 1 水準	第 2 水準	第 3 水準
$x_1$	引き量	60	80	—
$x_2$	バネ数	30	70	—
$x_3$	直径	8	12	—
$x_4$	質量	80	120	—
$x_5$	回転	-20	0	20

表 3 5 因子の構造模型表

変数	1 次	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
$x_1$	◎	×	×	×	×	?
$x_2$	◎	—	×	×	×	?
$x_3$	◎	—	—	×	×	△
$x_4$	○	—	—	—	×	△
$x_5$	◎	—	—	—	—	○

◎:強い, ○:ある, △:弱い, ×:なし, ?:不明, —:非該当

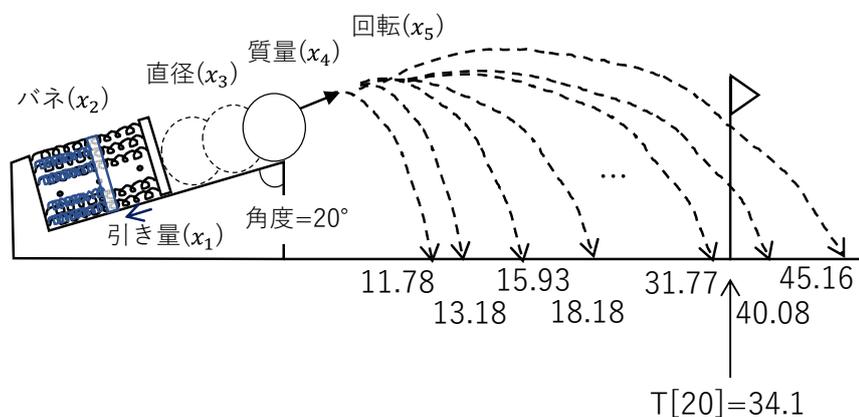


図 8 角度を 20° とし、16 条件で飛球したときの概要

No	引き量	バネ	直径	質量	回転	角度[20]
1	60	30	8	80	0	18.18
2	60	30	8	120	20	13.18
3	60	30	12	80	20	11.78
4	60	30	12	120	-20	15.93
5	60	70	8	120	-20	29.8
6	60	70	8	120	20	23.49
7	60	70	12	80	-20	29.87
8	60	70	12	80	20	17.07
9	80	30	8	80	-20	31.6
10	80	30	8	80	20	22.97
11	80	30	12	120	-20	23.65
12	80	30	12	120	20	14.84
13	80	70	8	80	20	37.41
14	80	70	8	120	-20	45.16
15	80	70	12	80	-20	40.08
16	80	70	12	120	0	31.77

図 9 角度を 20° としたときの JMP の計画表と距離の結果

## 4. 結果

### 4.1 実験結果

入力として角度を  $20^\circ$  から  $60^\circ$  まで 9 水準で変化させる。これは外側に配置した入力である。その各々に対して設計因子である引き量 ( $x_1$ ), バネ数 ( $x_2$ ), 直径 ( $x_3$ ), 質量 ( $x_4$ ), 回転 ( $x_5$ ) を変化させて実験を行った。その結果, 特性値として距離の値をグラフ化したものが図 10 である。

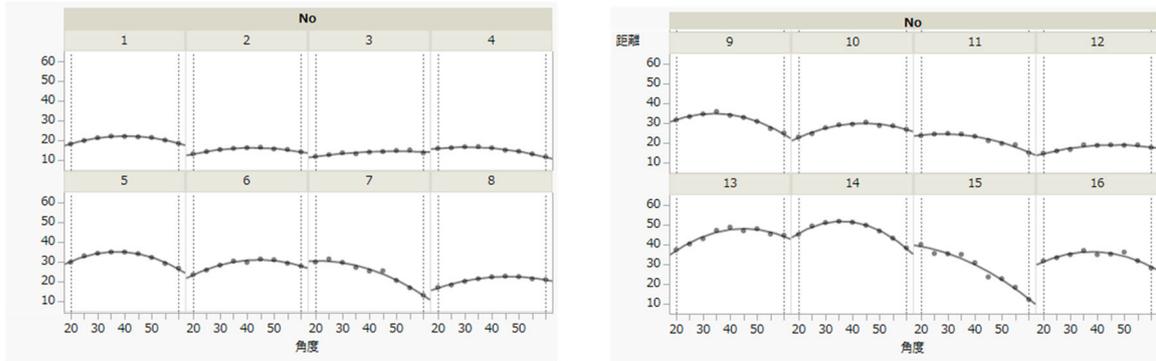


図 10 16 回の実験結果

### 4.2 超構造式

距離  $y$  は入力  $M$  の 2 次式, 係数  $b_0, b_1, b_2$  は設計因子  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$  の関数となる

$$y = F(M; \mathbf{x}) = b_0(\mathbf{x}) + b_1(\mathbf{x})M + b_2(\mathbf{x})M^2$$

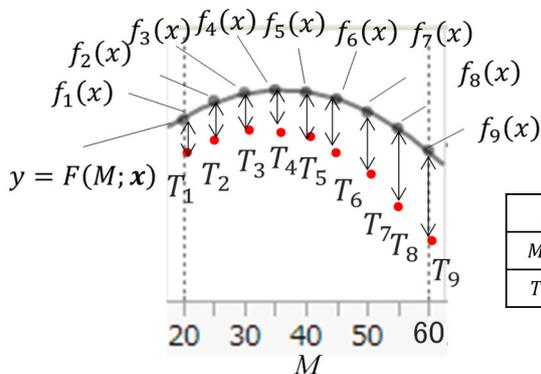
$$b_0(\mathbf{x}) = 28.2 + 0.53x_1 + 0.32x_2 - 2.61x_3 - 0.01x_4 - 0.09x_5 - 0.01x_4x_5$$

$$b_1(\mathbf{x}) = (-6.49 - 0.17x_1 + 0.15x_2 - 2.67x_3 - 0.23x_4 - 0.88x_5 + 0.02x_1x_5 + 0.02x_2x_5 + 0.14x_3x_5 - 0.01x_4x_5 - 0.01x_5^2) \times 0.01$$

$$b_2(\mathbf{x}) = (-1.17 - 0.02x_1 - 0.01x_2 + 0.15x_3 + 0.01x_5) \times 0.01$$

### 4.3 代入関数

代入関数は  $f_i(\mathbf{x}) = F(M_i; \mathbf{x}), i = 1, 2, \dots, 9$ , Gap 関数は  $g_i(\mathbf{x}) = |f_i(\mathbf{x}) - T_i|$  と定義する。



$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$M_i$	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$T_i$	34.1	35.2	35.6	35.2	34.2	32.4	19.9	26.7	22.8

図 11 代入関数と Gap 関数

#### 4.4 目標値のある場合の極値の考慮

図 12 に示すように、入力範囲内に極大値が存在する場合と存在しない場合がある。極大値が存在する場合、その値は超構造式  $F(M; \mathbf{x})$  を微分して求めることになる。このとき入力の間隔が十分に小さければ極大値は代入関数  $f_i(\mathbf{x})$  の最大値とほぼ一致する。本発表においては、入力間隔は十分に小さいとして極大値を求めることはせず、代入関数  $f_i(\mathbf{x})$  の最大値を求めることで対応する。

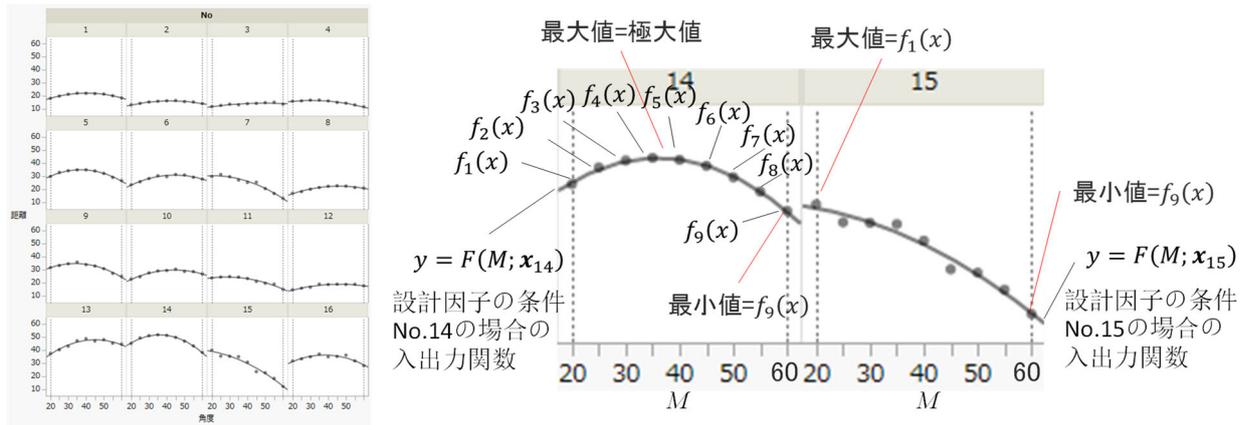


図 12 最大値と極大値

#### 4.5 目標値のある場合

【設計目的】 目標にできるだけ近づけようとする設計である。

Gap 関数:  $g_i(\mathbf{x}) = |f_i(\mathbf{x}) - T_i|$

最大 Gap 関数:  $g_{Max}(\mathbf{x}) = \text{Max}(g_1(\mathbf{x}), g_2(\mathbf{x}), g_3(\mathbf{x}), g_4(\mathbf{x}), g_5(\mathbf{x}), g_6(\mathbf{x}), g_7(\mathbf{x}), g_8(\mathbf{x}), g_9(\mathbf{x}))$

目的関数:  $g_{Max}(\mathbf{x}) \rightarrow \text{Minimize}$

制約条件: なし

最適解 :  $\mathbf{x}^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, x_5^*) = (75, 70, 11.2, 80, -7.6)$

最適値 :  $f_{Max}(\mathbf{x}) = 0.04$

#### 4.6 目標値のない場合（遠くに飛ばず設計）

【設計目的】 できるだけ遠くに飛ばそうとする設計であり、近距離が困難になることに注意が必要。

目的関数:  $f_{Max}(\mathbf{x}) \rightarrow \text{Maximize}$

制約条件: なし

最適解 :  $x^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, x_5^*) = (80, 70, 8, 120, -20)$

$M_4 = 35$  のとき最適値(最大値)49をとる.

最適値 :  $f_{Max}(x^*) = 49 = f_4(x^*) = F(35; x^*)$

関連値 :  $f_{Min}(x^*) = 35.7$

ここで近距離の場合は 35.7 よりも短い距離は飛ばせないことに注意する.

#### 4.7 目標値のない場合

【設計目的】できるだけ近くに飛ばそうとする設計であり, 遠距離が困難になることに注意が必要.

目的関数:  $f_{Min}(x) \rightarrow \text{Minimize}$

制約条件: なし

最適解 :  $x^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, x_5^*) = (60, 30, 12, 80, -20)$

$M_9 = 60$  のとき最適値(最小値)3.7をとる.

最適値 :  $f_{Min}(x^*) = 3.7 = f_9(x^*) = F(60; x^*)$

関連値 :  $f_{Max}(x^*) = 15.1$

### 5. 考察

1. 非線形関数に関する設計は重要でこの教育に仮想教材は有効である.
2. ただし, 実物教材(例えば紙ヘリコプター)は仮想教材より誤差の低減のノウハウや攪乱因子の意味・扱い方を教育し易いので, 両者の併用が望ましい.
3. 非線形応答では1次項, 積項さらには2次項まで多数の項を評価するため, 実験サイズを圧縮できる最適計画(カスタム計画)が望ましい.
4. 非線形応答の最適化では極値(極大値, 極小値)を考慮する場合がある. このとき入力の水準幅を細かくとれば, 入力値で実務的に問題のない解が得られる.
5. 最適化では利害関係者との合意が重要である. 話し合いに基づいて定式化を変えて求解を繰り返して合意形成を行う.

## 6. おわりに

飛球シミュレータを用いた超設計の教育について提案した。JMP カスタム計画とその実験結果から超構造関数を求め目標値のある場合とない場合の最適化を実施し、超設計による最適化の具体例を示した。非線形関数における極値の扱いや頑健設計の教育については別の機会に発表を予定している。

### 主要参考文献

- [1] 小川昭, 高橋武則 (2022):” 設計および超設計のための包括的設計法の教育” ,「品質」, 52, [2], 16-21
- [2] 小川昭,高橋武則(2022):”非線形入出力関数を扱う直積実験の教育”,JSQC 第 128 回研究発表会発表要旨集, 21-24.
- [3] 高橋武則(2019) :”超設計のパラダイムとメソドロジー”, 「横幹」,13, [2], 91-105.
- [4] 高橋武則(2021):”多重合成関数を用いた高次関数および複雑な関数の頑健設計”,JSQC 第 126 回研究発表会発表要旨集,37-40. 4.
- [5] 高橋武則(2021):”複合型の超設計”,JSQC 第 51 回年次大会研究発表会要旨集, 159-162
- [6] 高橋武則(2022):“超設計の概念とその複合的活用～質のプロセスの始点としての設計～”,「品質」, 52, [2], 4-9
- [7] 高橋武則(2022):”超設計における関数に関する目標の有無と最適化”,JSQC 第 128 回研究発表会発表要旨集, 91-94
- [8] 高橋武則(2022):”一般化超設計による自由出力の頑健設計”,JSQC 第 129 回研究発表会発表要旨集, 49-52

## 実践的な質問紙実験

川崎 昌<sup>1</sup> 高橋 武則<sup>2</sup>

Sho KAWASAKI Takenori TAKAHASHI

### 【要旨】

質問紙調査で手を打つべき主要原因項目が明らかになった場合、具体的な施策を用意するためには因子（何を）と水準（どの状態で）を把握する必要がある。このための方法として質問紙実験がある。質問紙実験はコンジョイント分析とも呼ばれ、これまでいろいろな分野で活用されてきた。しかし、その多くは交互作用を考慮せずに主効果のみの分析となっている。それは用いるプロフィールカードの枚数に制限があるという事情のためであるが、交互作用を無視すると分析結果は信用のおけない結果となり得るリスクを抱えてしまう。したがって、少ないプロフィールカードの枚数で、必要な交互作用を扱うことは重要である。

本研究では、因子を量的に扱い、積項と2次項も取り上げ、実験サイズを圧縮するために最適計画を用いる質問紙実験の特徴および手順を示す。本発表では、ワンルームマンションの質問紙実験データの分析にJMPを活用し、変数選択の重回帰分析で得られた予測式から、数理計画法による多目的最適化を用いて設計を行い、2つの実験グループの結果を比較・考察した事例を報告する。

【キーワード】 質問紙調査、質問紙実験、仮想実験、コンジョイント分析、重回帰分析、多目的最適化、三段階の順位付け法

### 1. はじめに

インターネットを活用したオンライン調査は、社会調査の有力な手段として学術研究および企業の市場調査や組織調査の有力なツールとして幅広く活用されている<sup>[1]</sup>。しかし、オンライン調査は、紙幅の制限がないWebサイトを利用するため、質問数が多くなりやすいという特徴を持つ<sup>[2]</sup>。そのため、これらの調査データの分析を行う際は、多数の質問項目数をどのように扱うかが鍵となる。

因果構造を含む質問項目が多い調査の分析に有効な方法として選抜型多群主成分回帰分析<sup>[3]</sup>や選抜型両側因果分析<sup>[4]</sup>がある。これらの方法は、重点指向（Vital few trivial many）

---

<sup>1</sup> 川崎 昌 (Sho KAWASAKI) 桜美林大学 E-mail: kawasaki\_s@obirin.ac.jp

<sup>2</sup> 高橋 武則 (Takenori TAKAHASHI) 慶應義塾大学大学院

に基づき、原因に関連する質問項目の中から主要原因項目を合理的かつ効率よく選択することができる<sup>5)</sup>。

質問紙調査において主要原因項目が明らかになれば、それに対する施策を検討し提案を行う。施策提案は、特にビジネスの現場で求められる。よって、質問項目数の多いアンケート調査データを分析し、主要原因項目を特定すること、さらに、それに対して具体的な施策を検討し、検討したことに対して提案するというアプローチは重要である。しかし、調査分析に基づく提案の方向性は、あくまでも仮説といえるものである。可能であれば、この提案の方向性を検証することやより具体的な提案施策を設計することが望ましい<sup>6)</sup>。

そこで本研究では、提案の仮説を検証するために、また、より具体的な提案施策の設計のために、質問紙実験によるデータ収集、分析、設計のアプローチを議論する。本発表の目的は、学生を対象に実施したワンルームマンションの質問紙実験の事例を用い、実践的な質問紙実験のアプローチを紹介することである。

## 2. 質問紙実験の特徴

質問紙実験と聞くと、コンジョイント分析（たとえば<sup>7)</sup>）を思い浮かべる人も多い。従来からあるコンジョイント分析は、様々な分野で広く活用されている実験形式のデータ収集に基づくデータの分析手法である。コンジョイント分析の多くは、質的な因子を用いて実験が行われる。また、交互作用という組み合わせ効果を考慮した分析が行われることが少ない。これらが特徴として挙げられる。それによって、質的な因子のみを用いて行われる施策設計の柔軟性が乏しくなってしまうことや重要な組み合わせ効果を見逃してしまったりすることが課題となる。

質的な因子で多くの水準を扱おうとすると、実験に用いるプロフィールカードの枚数が多くなってしまうため、これまであらゆる制限がある中で実験が行われてきた。本研究で提案する質問紙実験（あるいは仮想実験とも呼ぶ）は以下の9つの特徴を持っており、従来のコンジョイント分析の課題を達成することができる手法である。

- ① 直交計画ではなく最適計画を前提とする。
- ② 因子は原則として量的因子とする。
- ③ 積項（交互作用）と2次項を積極的に取り上げる。
- ④ 評価は7段階を原則として最低でも5段階とする。
- ⑤ 直交性は多少譲歩し、必要な項を採用する。
- ⑥ 構造模型表を作成しこれに基づき最適計画を立てる。
- ⑦ 変数選択の重回帰分析でモデル化（モデリング）を行う。
- ⑧ 設計では数理計画法に基づく多目的最適化を行う。
- ⑨ 最後の抑えとして設計後に解の確認調査を行う。

本発表では、④と⑨については割愛するが、その他の項目は事例に基づき手順を示す。

### 3. 質問紙実験の事例

#### 3.1 事例の概要

本研究では、服飾系の大学生 21 名と医療系の大学院生 9 名を対象にワンルームマンションの質問紙実験を実施した。このとき、医療系の大学院生には、昼間は職場で働き、夜間に学ぶ社会人大学生も含まれている。

大学生はファシリテーターが質問紙実験の手順をガイドする対面形式、大学院生はオンライン形式で実験を行った。オンラインでの実施時も、ファシリテーターのガイドと同じ内容の説明をサイト上に掲載し、できる限り実験手順に差異が生じないように工夫した。

#### 3.2 質問紙実験の手順

##### 3.2.1 因子と水準

図 1 にワンルームマンションの平面図を示す。質問紙実験に用いる因子はこの中の設備（据え置き家電を含む）である。因子と水準を表 1 のように準備した。

実験に用いた因子は、ワンルームマンションの部屋の中にあるクローゼットの幅、バスタブの幅、洗面台の幅、キッチンシンクの幅、冷蔵庫の高さの 5 因子である。それらの水準を、例えばクローゼットの幅は、最小規格として 90cm、最大 120cm の 2 水準、キッチンシンクのみ 3 水準を用意した。

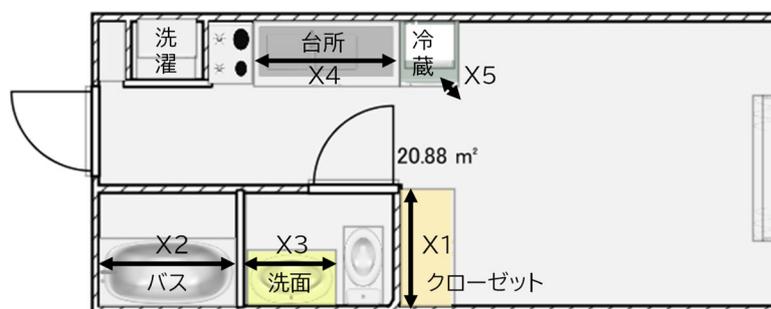


図 1 ワンルームマンションの平面図

表 1 本事例の因子と水準

No.	因子		水準		
1	クローゼット(幅)	X1クロ	90	120	—
2	バスタブ(幅)	X2バス	120	140	—
3	洗面台(幅)	X3洗面	55	90	—
4	キッチンシンク(幅)	X4台所	90	120	150
5	冷蔵庫(高さ)	X5冷蔵	86	120	—

注) 上記の変数および各部位の単位はすべて cm

### 3.2.2 構造模型表

1次項(主効果)、積項(交互作用)、2次項の状態を事前に予想し表形式で表したものが、高橋が提案する構造模型表<sup>8)</sup>である。これは、2次項までを存在可能性も含めて表現できる点で、線点図よりも表現性が高い<sup>6)</sup>。構造模型表には、1次項(主効果)、積項(交互作用)、2次項の状態を事前に予想し、結果(評価)への影響が「◎:強い、○:有り、△:弱い、×:無し、?:不明、-:非該当」のいずれか、この精密表示記号を記入するとよい。

本事例の構造模型表を表2に示す。ワンルームマンションの設備に関し、表中は簡易表示で、「○:効果あり、×:効果がないか、あっても小さい(無視して良い)、?:不明(ないとは言い切れない)」を記入した。表2の予想は、以下の考えに基づくものである。

★X2(バス)×X3(洗面)の積項は○(あると思われる)

【理由】隣り合っている

各々は広い方が良いが、部屋の広さは限られており、一方を広くすると他方を圧迫することになる。

★X4(台所)×X4(台所)の2次項は○(あると思われる)

【理由】適度な広さが望まれる

台所の幅は広い方が良いが、広過ぎるとその分、部屋のスペースを圧迫するので困る。

★X3(洗面)×X4(台所)の積項は?(不明)

【理由】どちらも水場である

台所は洗面所も兼ねて使用できる。したがって両者の間には交互作用があるかもしれない。

表2 本事例の構造模型表

因子	1次効果	X1ク口	X2バス	X3洗面	X4台所	X5冷蔵
X1ク口	○	×	×	×	×	×
X2バス	○		×	○	×	×
X3洗面	○			×	?	×
X4台所	○				○	×
X5冷蔵	○					×

注) 簡易表示 ○:効果あり、×:効果がないか、あっても小さい、?:不明、-:非該当

### 3.2.3 最適計画

次に、構造模型表に基づき統計ソフトウェア JMP® 16 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)を用いて最適計画を立てる。このとき、本研究では、①交互作用の有無が調べられること、②2次項の有無が調べられること、③全数選択のものとの最大 VIF (Variance Inflation Factor) が 1.25 以下になること、④実験回数が少ないこと、⑤3 グループに分けること (3 の倍数の 9, 12, 15 が分けやすいので望ましい) を考慮する<sup>9)</sup>。

本事例では、推定母数が 9 個（定数項 1 個+1 次 5 個+積 2 個+2 次 1 個=9 個）となるため、実験回数は 10 以上が必要である。したがって、実験数 12 を候補とし、もし実験回数が 12 で最大 VIF が 1.25 以下（厳しめの判断）になるならばその計画を採用するという考え<sup>[10]</sup>でアプローチする。

以下にまず、最適計画の作成手順を示す。

- (ア) JMP メニューバーから実験計画 (DOE) その中のカスタム計画を選択する (図 2)。
- (イ) カスタム計画の応答 Y を[評価]、目標を[なし]に変更し、5 つの因子を連続変数で追加する (図 3①)。
- (ウ) 5 つの因子の名前をわかりやすいものに変更する (図 3②)。
- (エ) 各因子の値を正式なものに変更する。その際、水準の最小と最大の値を設定し、続行ボタンをクリックする (図 4)。
- (オ) 1 次項は自動的にモデルに設定される。積項、2 次項は独自に追加し、計画を作成する (図 5)。

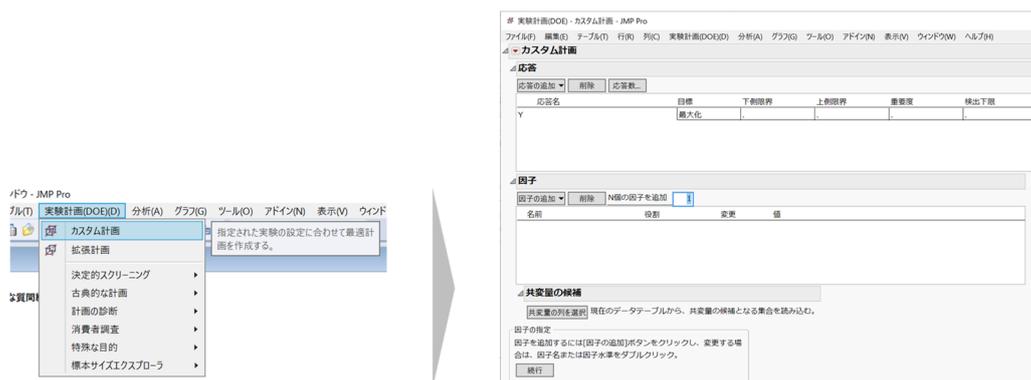


図 2 JMP カスタム計画の設定

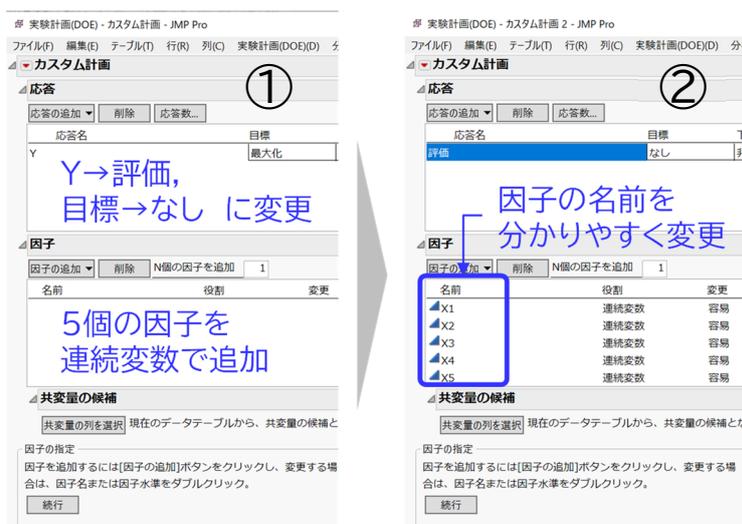


図 3 JMP カスタム計画：因子の設定

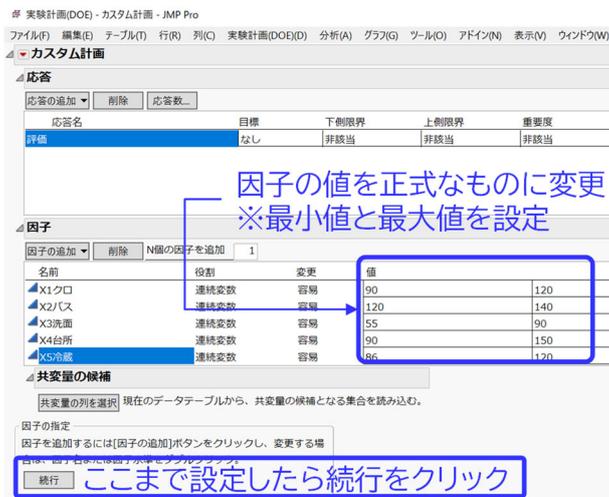


図4 JMP カスタム計画：水準の最小値と最大値を設定

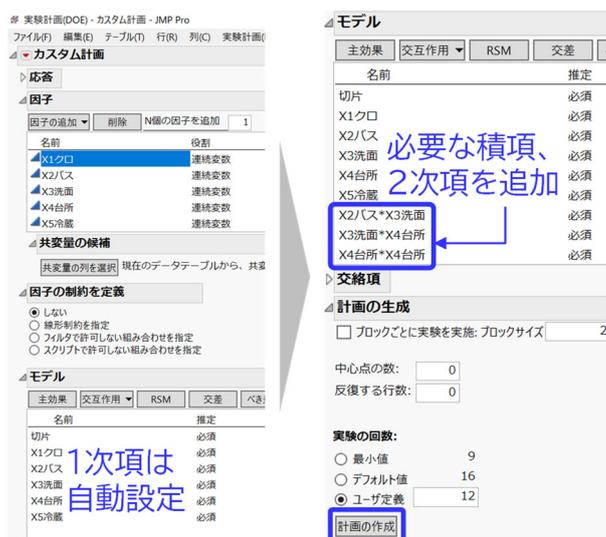


図5 JMP カスタム計画：1次項、積項、2次項の設定

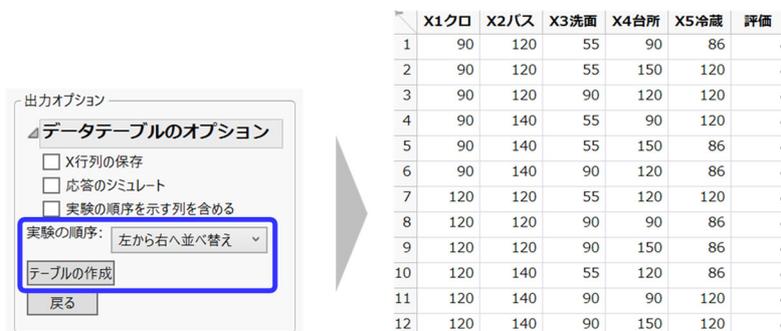


図6 最適計画

表 3 事例の因子と水準を反映した最適計画

Card		X1クロ	X2バス	X3洗面	X4台所	X5冷蔵	評価
A	1	90	120	55	90	86	•
B	2	90	120	55	150	120	•
C	3	90	120	90	120	120	•
D	4	90	140	55	90	120	•
E	5	90	140	55	150	86	•
F	6	90	140	90	120	86	•
G	7	120	120	55	120	120	•
H	8	120	120	90	90	86	•
I	9	120	120	90	150	86	•
J	10	120	140	55	120	86	•
K	11	120	140	90	90	120	•
L	12	120	140	90	150	120	•

計画は乱数の下で作成されるため、常に一定というわけではないことに注意が必要である。出力オプションの中のデータテーブルのオプションで実験の順序を[左から右に並べ替え]を指定した後にテーブル作成を行うと、最適計画の表が見やすくなる（図 6）。事例の因子と水準を反映した最適計画を表 3 に示す。

この後、A~L まで 12 枚のプロファイルカードを作成する前に、交互作用や 2 次項も含めた全数選択の重回帰分析により VIF を求め、最適計画の直交性の譲歩を検討するとよい。その手順を以下に示す。

- イ) [評価] には、仮の適当な数字（順位）を入力する。
- ロ) JMP メニューバーの分析からモデルのあてはめを選択し、全数選択の重回帰分析を行う。
- ハ) 直交性の確認には VIF を用いる。VIF をチェックし、最大 VIF が 1.5 以下、できれば 1.25 以下であることを確認する。

その結果、本事例の場合、最大 VIF は 1.125 であることを確認した（図 7）。これは、直交（全 VIF=1.0）そのものではないが準直交になっており、データ分析を行う上で問題は起きないと考えられる。

パラメータ推定値					
項	推定値	標準誤差	t値	p値(Prob> t )	VIF
切片	-37.35714	2.392e-7	-2e+8	<.0001*	.
クロ	0.1833333	9.93e-10	1.8e+8	<.0001*	1.125
バス	0.15	1.405e-9	1.1e+8	<.0001*	1
洗面	0.0428571	8.51e-10	5e+7	<.0001*	1.125
台所	0.0166667	5.74e-10	2.9e+7	<.0001*	1
冷蔵	0	8.77e-10	0.00	1.0000	1.125
(バス-130)*(洗面-72.5)	0	8.51e-11	0.00	1.0000	1.125
(洗面-72.5)*(台所-120)	0	3.28e-11	0.00	1.0000	1
(台所-120)*(台所-120)	0	3.31e-11	0.00	1.0000	1

図 7 全数選択の重回帰分析の結果の VIF 確認画面

### 3.2.4 前提条件とプロフィールカード

プロフィールカードの作成に際し、はじめにその前提となる条件を明確にする（図 8）。前提条件として、変化条件と固定条件を示す。変化条件は因子に対する水準であり（本実験では 2 水準または 3 水準の間で条件が変化する）、固定条件は「部屋の広さ」と据え置きの「洗濯機」のサイズである。固定条件はすべて同じであり、洗濯機および 5 つの因子のうちの 1 つである冷蔵庫は、備え付きで用意された部屋であることを明記した。

次に、前提条件を示した上で、色使いや見せ方を工夫したプロフィールカードを 12 枚作成する。これらのカードには、文字だけでなく、色分けも用いて、①平面図と②立体図（パース）と③表形式の文字情報を 1 枚のカードに示した。それによって、被験者に文字だけの情報よりワンルームマンションの部屋のイメージを持ってもらいやすくなる。この先の質問紙実験では、スマートフォンでも簡単に作成や閲覧ができるショート動画を活用することも検討できる。

#### ワンルームマンションの変化条件と固定条件(前提条件)

変化条件: ◆平面図では色付きで○の中の番号と以下の条件が対応している。  
◆立体図では変化条件に狭・中・広や高・低で示している。  
固定条件: 以下に下線付きの黒字で明示している。

部屋の広さ: 約4m×約7mの20.88㎡

洗濯機(見取図左上隅に据え置き): 幅52cm×奥行き50センチ×高さ88cm

①クローゼット(幅)

: 90cm(狭)または120cm(広)×奥行き55cm×高さ190cm

②バスタブ(幅) : 120cm(狭)または140cm(広)×奥行き70cm×高さ72cm

③洗面台(幅) : 55cm(狭)または90cm(広)×奥行き57cm×高さ97cm

④キッチンシンク(幅)

: 90cm(狭)または120cm(中), 150cm(広) ×奥行き66cm×高さ105cm

⑤冷蔵庫(高さ) : 86cm(低)または120cm(高)×幅60cm×奥行き66cm

図 8 前提条件の説明事項

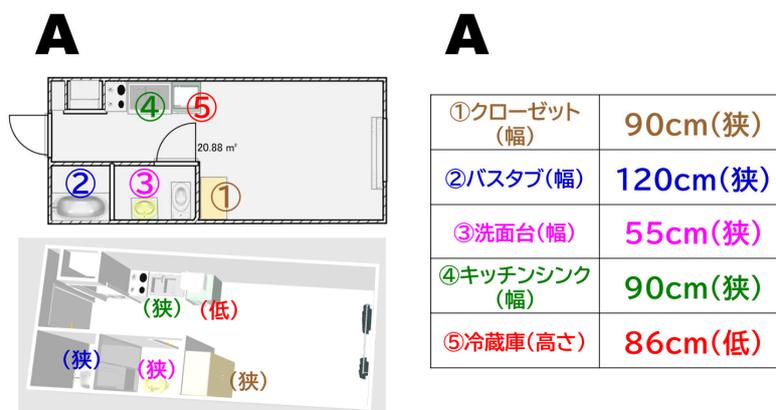


図 9 プロフィールカード (12 枚のうちの 1 枚)

### 3.2.5 実験手順と評価

今回の質問紙実験は、大学生は対面、大学院生はオンラインと双方で実施し、いずれも並べ替えの案内を行った。本研究での並べ替えには3段階の順位付け方法(図10)を用いた。12枚の条件のカードを1枚1枚見比べていると時間がかかってしまい、並べ替えるのは困難である。よって、①まず大きく分けてカードを3分類してみる、②その中で順位付けを行い、③最後に全体の順位をもう一度見直す方法を伝え、並べ替えのガイドを行った。

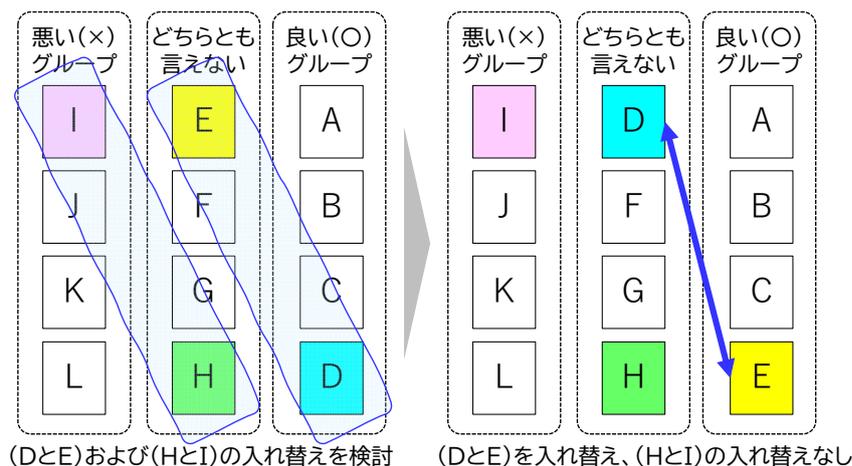


図10 三段階の順位付け方法

### 3.3 分析

#### 3.3.1 分析に用いるデータ

分析に用いるデータを表4、表5に示す。評価には、各カードの評価点を1位→12点、2位→11点、3位→10点...、10位→3点、11位→2点、12位→1点とし、その平均値を算出したものを転記(入力)している。次節で行う変数選択の重回帰分析では、[評価]の列をY(目的変数)とする。

表4 服飾系大学生の実験データ

	クロ	バス	洗面	台所	冷蔵	評価	
A	1	90	120	55	90	86	2
B	2	90	120	55	150	120	4.5
C	3	90	120	90	120	120	5.4
D	4	90	140	55	90	120	3.4
E	5	90	140	55	150	86	5.8
F	6	90	140	90	120	86	6.3
G	7	120	120	55	120	120	7.2
H	8	120	120	90	90	86	6.8
I	9	120	120	90	150	86	9.3
J	10	120	140	55	120	86	9.8
K	11	120	140	90	90	120	8.1
L	12	120	140	90	150	120	9.5

表5 医療系大学院生の分析データ

	クロ	バス	洗面	台所	冷蔵	評価	
A	1	90	120	55	90	86	4.7
B	2	90	120	55	150	120	3.6
C	3	90	120	90	120	120	5.6
D	4	90	140	55	90	120	7.3
E	5	90	140	55	150	86	5.2
F	6	90	140	90	120	86	6.4
G	7	120	120	55	120	120	7.8
H	8	120	120	90	90	86	6.8
I	9	120	120	90	150	86	4.8
J	10	120	140	55	120	86	8.3
K	11	120	140	90	90	120	9.7
L	12	120	140	90	150	120	7.9

### 3.3.2 服飾系大学生の実験データ分析結果

JMP のメニューバーの分析からモデルのあてはめを選択し、重回帰分析を行う。手法はステップワイズ（変数選択法）に切り替える。目的変数 Y には[評価]、モデル効果の構成には構造模型表の結果の予想で○や?と予想した、説明変数となる 1 次項、積項、2 次項を設定した（図 11）

手法をステップワイズ法に切り替えて実行し、次に、ステップワイズ回帰の設定画面で、停止ルールを [閾値 p 値]、方向を [変数増減] に切り替えて実行した（図 12）。その結果を図 13 に示す。



図 11 モデルのあてはめにおけるモデルの指定画面



図 12 ステップワイズ回帰の設定画面

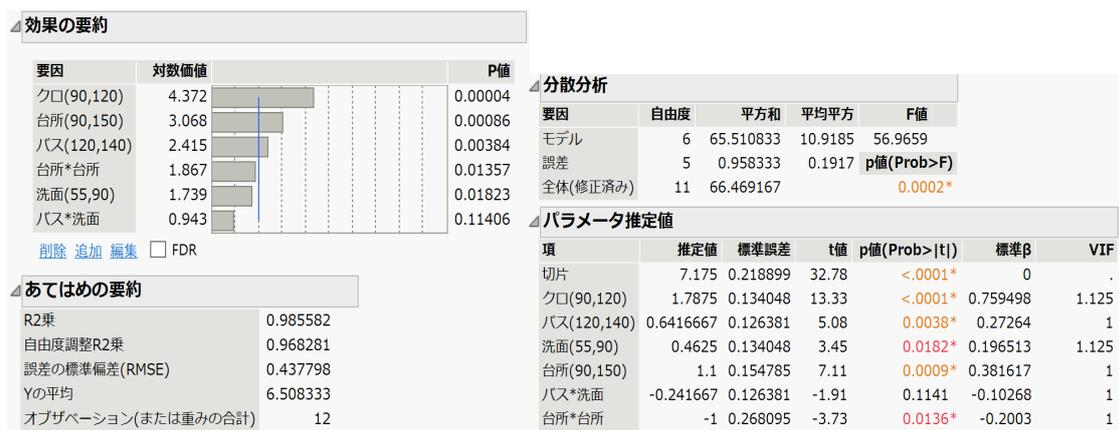


図 13 服飾系大学生の重回帰分析結果

重回帰分析の結果、モデルの当てはまりは良く、自由度調整済 R2 乗は 0.97 と高い寄与率を示した。VIF にも問題はなく、クローゼットが最も評価に影響していること、次いで台所の影響が強いことが確認できた。1 次項(主効果)として冷蔵庫は選択されていなかった。また、洗面×台所の交互作用も見られなかった。バス×洗面は選択されていたが、影響度合いは弱かった。台所は 2 次項もかなり効いていることが確認できた。

### 3.3.3 医療系大学院生の分析結果

同様の分析を医療系大学生でも行った。その結果を図 14 に示す。こちらもモデルの当てはまりは良く、自由度調整済 R2 乗は 0.98 と高い寄与率を示した。VIF を確認すると、すべて直交していることが確認でき、問題はなかった。

クローゼットが最も評価に影響しているが、その強さは服飾系の大学生ほどではない。バスタブの広さも重要であることが確認できた。医療系大学院生は、冷蔵庫が 1 次項(主効果)として選択されていた。台所の 2 次項もかなり効いていることが明らかになった。

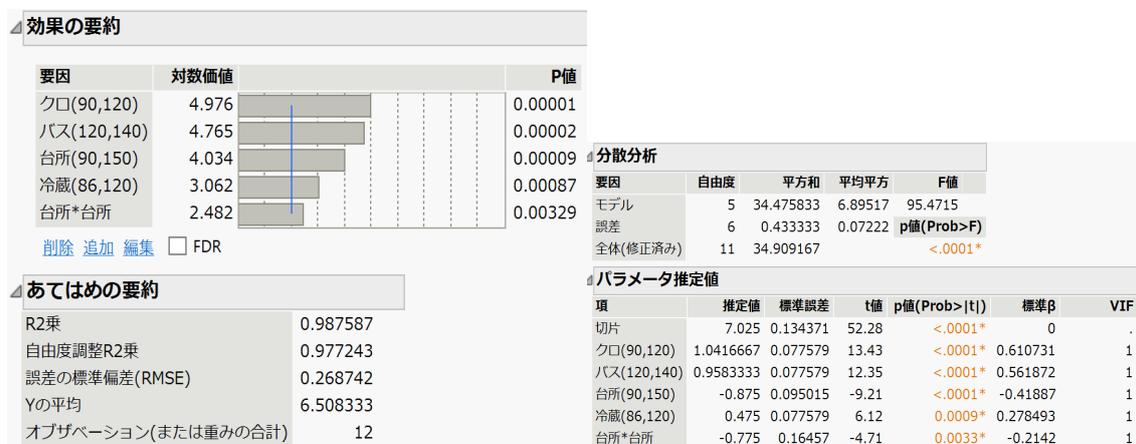


図 14 医療系大学院生の重回帰分析結果

### 3.4 事例の考察

#### 3.4.1 服飾系大学生の質問紙実験結果に基づく考察

クローゼットの寄与率が圧倒的に高いのは、服飾分野が専門の大学生であるため、自身の着るものが多いからだと考えられる。また、洗面が選択されていたのは身だしなみや化粧品もトータルファッションの要素であり、気にしているからではないか。

洗面×台所の積項が選択されなかったのは、同じ水周りではあるが全く別の目的で利用したいと考えているためと推測される。冷蔵庫が選択されなかったのは、コンビニエンスストアの利用が多いためという可能性がある。

台所は1次項が正で2次項が負で効いているので、大きい方が好まれるが大き過ぎるのは避ける必要がある。

#### 3.4.2 医療系大学院生の質問紙実験結果に基づく考察

クローゼットの影響は服飾分野が専門の大学生より弱い。ただし、収納のスペースなので相対的には最も影響していると考えられる。次いで、バスタブの広さが重視されているのは、お風呂で疲れを癒すこと、くつろぎの空間を求めているためではないか。

また、冷蔵庫が選択されたのは、忙しい中で、食材のまとめ買いを保管する必要があるからではないかと推測される。また、洗面が選択されなかったのは身だしなみや化粧品に強い関心がないためという可能性がある。

洗面×台所の積項は、服飾系大学生と同様で、選択されていない。これはやはり同じ水場であっても目的を分けて使用しているからではないか。台所は1次項が正で2次項が負で効いていることも同様の傾向であり、大きい方が好まれるが大き過ぎるのは避ける必要がある。

### 3.5 設計

重回帰分析結果の予測式を保存し、JMPのメニューバーから[グラフ]→[プロファイル]を使用することで設計(最適化)が可能になる。服飾系大学生の施策設計を図15、医療系大学院生の施策設計を図16に示す。

服飾系大学生は、クローゼット(幅)120、バス(幅)140、洗面(幅)90、台所(幅)139.5(広めだが、広すぎず)、冷蔵(高)は選択されなかった。

医療系大学院生は、クローゼット(幅)120、バス(幅)140、台所(幅)102.6(広めだが、広すぎず)、冷蔵(高)120、洗面(幅)は選択されなかった。

服飾系の大学生と医療系の大学院生の施策設計を比較し、どちらも満足度を最大にする因子と条件が揃っていれば、それはすぐに採用できる。よって、クローゼット幅は120、バス幅は140で決定となる。

片方にしか挙がっていない因子もあり、洗面台の幅は服飾系大学生にだけ、冷蔵庫の高さは医療系の大学院生だけに選ばれている。満足度に影響する要因として変数選択されてい

ないということは、条件は何でも良いということなので、変数選択されている方の条件をそのまま採用しても、もうひとつのグループに影響はない。したがって、このまま、洗面幅は90、冷蔵庫の高さは120を確定の条件とする。

台所はどちらも2次項の影響があり、満足度を最大にする条件には139.5と102.6と差がある。キッチンシンクは簡単に取り換えられるものではないため、賃貸のワンルームマンションを大家として経営するのであれば、物件の周りを事前に調査して、その地域や予想される入居者層に合わせて判断する必要がある。

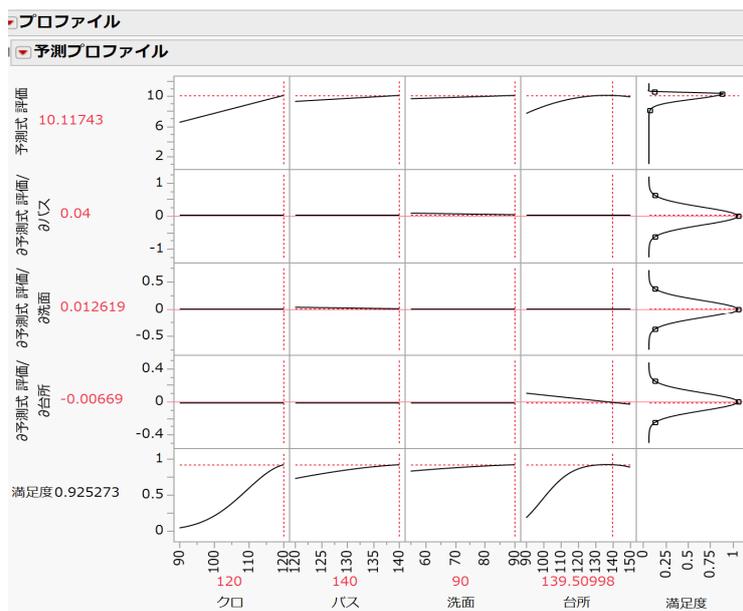


図 15 服飾系大学生の施策設計

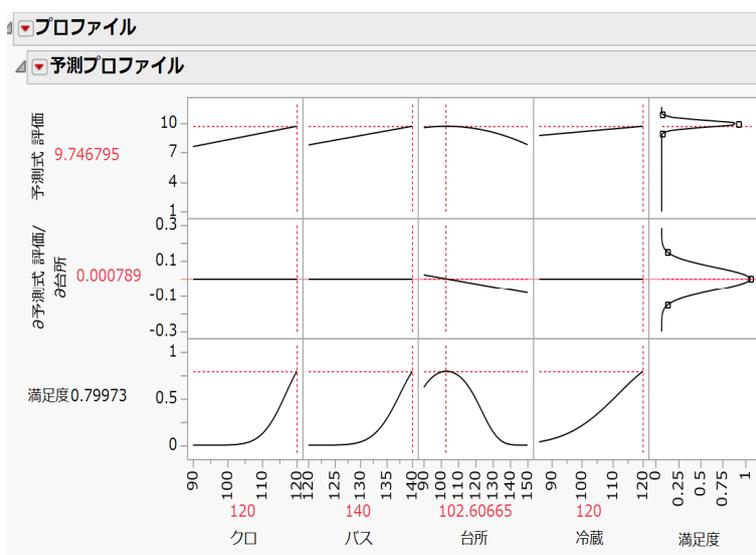


図 16 医療系大学院生の施策設計

#### 4. おわりに

本発表では、学生を対象に実施したワンルームマンションの質問紙実験の事例を用い、実践的な質問紙実験のアプローチを紹介した。本稿では、提案の仮説を検証するために、また、より具体的な提案施策の設計のために、本研究で提案する質問紙実験と従来のコンジョイント分析との違い、および実験によるデータ収集、分析、設計の手順を JMP での分析手法も交えて示した。

今後の課題は以下の 2 点である。1 つが実践的な質問紙実験の教育事例を増やすこと。もう 1 つが層別に基づき、その教育効果を検証することである。

#### 引用文献

- [1] 康永秀生, 井出博生, 今村知明, & 大江和彦 (2006): インターネット・アンケートを利用した医学研究 本邦における現状. 日本公衆衛生雑誌, 53(1), 40-50.
- [2] 川崎昌, & 高橋武則 (2019): オンラインによる調査と実験. 目白大学経営学研究, (17), 35-47.
- [3] Kawasaki, S., Takahashi, T., Suzuki, K. (2014): “The effect of autonomous career actions on self-career formation from the Viewpoint of Quality Management”, *Proc. of the International Conference on Quality 2014*, 152-163.
- [4] 高橋武則 (2022): “複眼因果分析の概念とその構造的活用 ～質のプロセスの終点としての満足度調査～”, 「品質」, 52, (2), 10-15.
- [5] 川崎昌, 高橋武則 (2022): “複眼因果分析の応用研究”, 「品質」, 52, (2) 22-27.
- [6] 川崎昌, 高橋武則 (2022): “データサイエンスの教育における座学とアクティブラーニング”, JSQC 第 130 回研究発表会発表要旨集, 9-12.
- [7] 菅民郎 (2013): 「Excel で学ぶ多変量解析入門」, オーム社.
- [8] 高橋武則 (2019): 「HOPE 入門テキスト」, SAS Institute Japan.
- [9] 川崎昌, 高橋武則 (2022): “仮想実験としての質問紙実験”, JSQC 第 52 回年次大会発表要旨集, 155-158.
- [10] 高橋武則 (2022): “仮想実験としての質問紙実験”, JSQC 第 52 回年次大会発表要旨集, 133-136.

## 医療機能評価からみた医療事故発生割合に関する要因分析 ～済生会系列病院における医療の質評価～

佐村 紫帆<sup>1</sup>  
Shiho Samura

### 【要旨】

本研究は、ドナベディアン<sup>®</sup>の医療の質評価の3側面のうち、構造（ストラクチャー）に着目した医療機能評価から、結果（アウトカム）指標の一つである医療事故の発生割合に関する要因分析を行うことが目的である。そこで、概念図と特性要因図を作成することで分析項目を洗い出し、病院機能評価機構の審査結果と厚生労働省の医療の質の評価・公表推進事業の臨床指標（QI：クオリティ・インディケーター）からデータセットを作成した。本研究では、一貫した評価基準と調査方法で臨床指標を収集し公開している済生会系列病院を分析対象病院とした。重回帰分析の結果、「臨床の倫理的課題への病院の方針決定」「安全確保体制」「療養環境整備」「医療機器管理機能」に関する審査項目の評価が高いほど、医療事故（3B以上のアクシデント）の発生割合が低いことが明らかとなった。

【キーワード】 医療事故、病院機能評価、構造、結果、重回帰分析

### 1. はじめに

我々は、修士1年の春学期に病院機能評価という授業を受講した。その授業では、医療の質を科学的に評価する指標として「ドナベディアン<sup>®</sup>の医療の質評価の3側面（構造・過程・結果）」において、特に構造（ストラクチャー）に着目する必要性について学んだ。実際、病院機能評価機構は認定の評価対象領域として4領域挙げており、その中の全項目が構造（ストラクチャー）に着目した審査項目となっている。一方で、結果（アウトカム）は医療の結果や成果を表す重要な指標であるが、客観性の確保が難しいことから医療機能情報提供制度の対象となっていない。そこで、本研究の目的は医療機能評価からみた医療事故の発生割合に関する要因分析を済生会系列病院のデータをもとに分析することである。

#### 1.1. 本研究で使用する言葉の説明

- **医療の質**：医療の質とは、提供する医療の質、提供主体の組織の質、組織構成員全員の質などがあり多面的なものである。医療を適切かつ円滑に行うためには、組織的運営が必要であるとされている<sup>1)</sup>。組織（チーム）医療とは、診療部門と支援部門を含めた、部門横断的な連携を言う。「後工程はお客様」を医療に当てはめると、患者だけではなく、業務を引き継ぐ職員・同僚も顧客であると言える。

<sup>1</sup> 佐村 紫帆 (Shiho Samura) 慶應義塾大大学院

- **医療の質の評価**：近年、医療の効率化と質向上を目指して医療の質評価の仕組みが急速に進みつつある。医療は、質を重視して評価する分野であり、古くは、Codmanが外科手術の成績（アウトカム）を評価するEnd Result System を提唱した（1914）。また、Donabedian は医療の質の要素は、構造、過程、結果であるとした（1966）。医療の結果（アウトカム）は、視点により多様である。すなわち、1）最終生産物（診療の結果・アウトプット）だけではなく2）生産過程・サービス提供の過程（診断・治療・看護・事務処理・プロセス）3）事後（治療後）の経過観察・苦情処理（アフターサービス）4）最終処理（死亡・死後の病理解剖・診断書記載）等の全経過を含む<sup>1)</sup>。これらの視点で医療の質は評価されている。病院機能評価事業では、組織横断的な質改善活動を支援するツールであると言える<sup>4)</sup>。
- **病院**：病院とは、20 床以上の入院施設を有し、科学的かつ組織的な医療を提供する医療機関をいう（医療法第1条の5）。20 床以上は必要条件で、後段の“科学的かつ組織的” 運営が達成されて病院といえる（十分条件）。医療法の規定を満たす（必要十分）ためには、“科学的かつ組織的” 運営を基本概念とする質管理の考え方や方法を導入することが近道であるとされている。これが質管理を重視し、導入を推奨する理由である<sup>1)</sup>。
- **医療事故**：医療事故とは、提供した医療に起因し、又は起因すると疑われる死亡又は死産であって、当該管理者が当該死亡又は死産を予期しなかったものとして厚生労働省令で定めるもの（医療法第6条の10）である。本研究では、インシデント・アクシデントの分類基準から患者影響度レベル3Bから5である有害事象を伴うアクシデントを「医療事故」とする。インシデント・アクシデントの分類基準を表1に示す。

表1 インシデント・アクシデントの分類基準

患者への影響度	内容
レベル0	間違ったことが実施されるまえに気づいた場合
レベル1	間違ったことが実施されたが、患者には変化がなかった場合
レベル2	A 事故により患者に変化が生じ、一時的な観察が必要となったが、治療の必要がなかった場合
レベル2	B 事故により患者に変化が生じ、継続的な観察や安全確認のための検査が必要となったが、治療の必要がなかった場合
レベル3	A 事故のために一時的な治療が必要になった場合
レベル3	B 事故のために継続的な治療が必要になった場合
レベル4	事故により長期にわたって障害が残った場合
レベル5	事故が死因となった場合
その他	自殺企図や暴力、クレームなど

- **済生会系列病院**：済生会は、明治天皇が医療によって生活困窮者を救済しようと明治44(1911)年に設立された。100年以上にわたる活動をふまえ、今、次の三つの目標を掲げ、日本最大の社会福祉法人として全職員約64,000人が40都道府県で医療・保健・福祉活動を展開している<sup>3)</sup>。①生活困窮者を済(すく)う、②医療で地域の生(いのち)を守る、③医療と福祉、会を挙げて切れ目のないサービスを提供。さらに、済生会保健・医療・福祉研究所(済生会総研)は、本会創設100周年記念事業として、平成29年2月25日に発足した。済生会総研は、済生会の理念を具体化するための「研究」と「人材開発」の二つの重要な任務を担っている。今回分析対象として済生会総研が発行している「平成29年度医療の質の評価・公表推進事業における臨床評価指標(DPC対象病院)」の報告書を参考にデータセットの作成を行った。

## 1.2. 概念図

医療の質を評価する3つの視点の概念図を図1に示す。医療の質を評価するにはドナベディアンモデルでは3つの側面があると言われている。まず、医療機能の土台となる構造(ストラクチャー)である。病院の構造を4つの側面から評価することで、医療の質を図ることが可能となる。この4つの側面は、医療機能評価機構の審査項目を参考にした。次に過程(プロセス)である。病院で行われる医療がどのようになされているか評価するためにいくつかの方法があるが、特に診療ガイドラインやクリニカルパスが遵守されているか等を自己評価し公開するための臨床指標(QI:クオリティ・インディケーター)がある。最後に、医療の最終目的である結果(アウトカム)である。結果を測定する指標はいくつかあるが、ここでは患者満足度や医療安全、健全な組織運営についてあげている。本研究では、特に医療安全(医療事故の発生)に着目する。

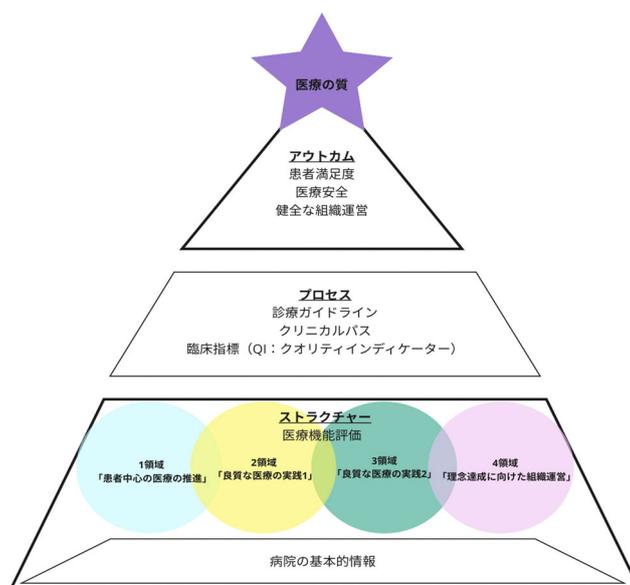


図1 医療の質を評価する3つの視点の概念図

## 2. 先行研究

### 2.1. 重回帰分析を用いたDPC対象病院の機能評価係数IIに影響する要因の検討

中島ら（2016）は、機能評価係数Ⅱと構成する6指数に対してDPCデータがどのように影響しているか重回帰分析し、さらに機能評価係数Ⅱの予測式を作成して検討した<sup>7)</sup>。DPC対象病院（Ⅰ群80、Ⅱ群90、Ⅲ群1,326病院）の平成24年DPCデータのうち手術有、化学療法有、放射線療法有、救急車搬送有、在院日数平均値を選び重回帰分析の説明変数とした。また平成25年機能評価係数Ⅱと構成する6指数のうち、Ⅰ、Ⅱ群の効率性指数、複雑性指数、カバー率指数、救急医療指数、およびⅠ、Ⅱ、Ⅲ群の機能評価係数Ⅱは正規分布であった。これらの指数を重回帰分析の目的変数とし重回帰分析を行い、目的変数の予測に有用な説明変数を選択した。さらに回帰係数より機能評価係数Ⅱの予測式を作成した。その結果、予測値は実測値と相関し、機能評価係数Ⅱの評価に有用であったとしている。

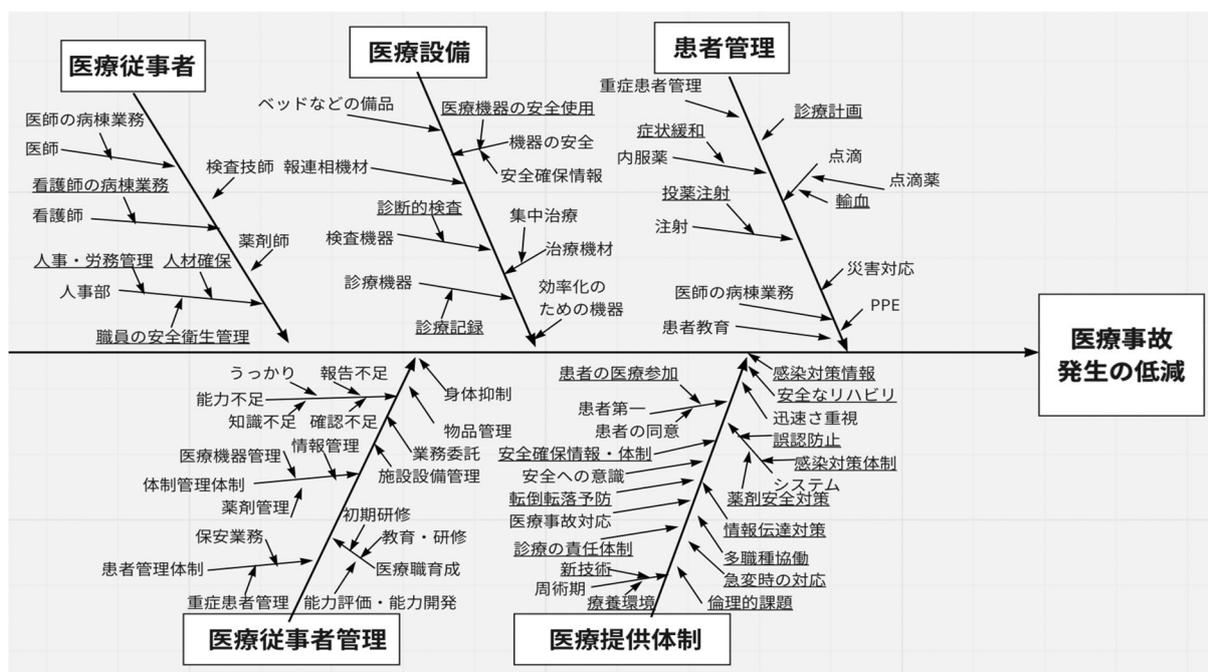


図2 医療の質の要因と決定に関する特性要因図

### 2.2. 医療の質と病院経営の質の関係性についての研究

西野（2012）は、公的病院の大きな位置を占める済生会病院グループに焦点を当て、経営の質と医療の質の相互関係を実証的に明らかにすることを試みた<sup>8)</sup>。

病院経営の質評価の側面である「医療の機能性」「医療の収益性」「医療の生産性」「医療の安定性」について、医療の質評価の側面である「患者満足度」「プロセス（病院体制プロセス、疾患プロセス）（地域連携プロセス）」、「アウトカム（福祉アウトカム、疾患アウトカム、合併症対策アウトカム、回復期アウトカム）」に対する統計分析をおこない、経営の質、特に入院患者数、入院診療単価、純利益率は、医療の質を表

す患者満足度、疾患プロセス、地域連携プロセス、疾患アウトカムと正の相関関係があることがわかった。さらに病院経営評価指標と医療の質評価指数との重回帰分析を行い、患者満足度、疾患プロセス、地域連携プロセス、疾患アウトカムといった医療の質の指標が共に経営評価指標である純利益率と密接な関係にあることが明らかになったとしている。

### 3. 特性要因図と変数候補

#### 3.1. 特定要因図

特性要因図を図2に示す。本研究では医療の質の要因と決定に関する特性要因図を用い、医療事故発生の低減に影響すると考えられる構成要素を示した。なお、構成要素については、医療従事者、医療設備、患者管理、医療従事者管理、医療提供体制の観点から複数の医療従事者や非従事者と共に作成した。

#### 3.2. 変数候補

本研究で用いる変数の候補について詳細は、病院機能評価事業から評価の視点や評価の要素の詳細を参照されたい<sup>9)</sup>。各変数の説明とその仮説は、表2に示す。

### 4. 方法

#### 4.1. 対象者選定方法

今回、病院機能評価機構の審査結果と臨床指標（QI：クオリティ・インディケーター）を用いて、構造が結果に与える要因の分析を行うこととした。病院機能評価機構の審査結果に関しては、認定を受けるどの病院も研修を受けた評価調査者（サーベイヤー）によって中立性および公平性を持って審査される。

表2 各変数の説明

変数記号	略記	上位概念	変数	仮説（全部）	備考
X1	倫理の課題	医療提供体制	臨床における倫理的課題について病院の方針を決定している	臨床における倫理的課題について病院の方針を決定している評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X2	安全確保体制	医療提供体制	安全確保に向けた体制が確立している	安全確保に向けた体制の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X3	感染対策体制	医療提供体制	医療関連感染制御に向けた体制が確立している	医療関連感染制御に向けた体制の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X4	感染対策情報	医療提供体制	医療関連感染制御に向けた情報収集と検討を行っている	医療関連感染制御に向けた情報収集と検討の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X5	新技術	医療提供体制	倫理・安全などに配慮しながら、新たな診療・治療方法や技術を導入している	倫理・安全配慮と新たな診療・治療方法や技術導入の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X6	療養環境の整備	医療提供体制	療養環境を整備している	療養環境の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X7	診療の責任体制	医療提供体制	診療・ケアの管理・責任体制が明確である	診療・ケアの管理・責任体制明確化の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X8	診療記録	医療設備	診療記録を適切に記載している	診療記録の適切な記載の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X9	誤認防止対策	医療提供体制	患者・部位・検体などの誤認防止対策を実施している	患者・部位・検体などの誤認防止対策の実施の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X10	情報伝達対策	医療提供体制	情報伝達エラー防止対策を実施している	情報伝達エラー防止対策の実施に関する評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X11	薬剤安全対策	医療提供体制	薬剤の安全な使用に向けた対策を実施している	薬剤の安全な使用に向けた対策の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X12	急変時の対応	医療提供体制	患者等の急変時に適切に対応している	患者等の急変時対応の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X13	多職種協働	医療提供体制	多職種が協働して患者の診療・ケアを行っている	患者の診療・ケアに関して多職種協働の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X14	診療計画	患者管理	診断・評価を適切に行い、診療計画を作成している	診断・評価と診療計画作成の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X15	投薬注射	患者管理	投薬・注射を確実・安全に実施している	投薬・注射を確実・安全に実施の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X16	輸血	患者管理	輸血・血液製剤投与を確実・安全に実施している	輸血・血液製剤投与の確実・安全に実施の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X17	安全なリハビリ	医療提供体制	リハビリテーションを確実・安全に実施している	リハビリテーションの確実・安全に実施に関する評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X18	身体抑制	医療従事者管理	安全確保のための身体抑制を適切に行っている	安全確保のための身体抑制の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X19	薬剤管理	医療従事者管理	薬剤管理機能を適切に発揮している	薬剤管理機能の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X20	医療機器管理	医療従事者管理	医療機器管理機能を適切に発揮している	医療機器管理機能の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X21	人材確保	医療従事者	役割・機能に見合った人材を確保している	役割・機能に見合った人材確保の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X22	人事・労務管理	医療従事者	人事・労務管理を適切に行っている	人事・労務管理の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X23	職員の安全衛生管理	医療従事者	職員の安全衛生管理を適切に行っている	職員の安全衛生管理の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X24	教育・研修	医療従事者管理	職員への教育・研修を適切に行っている	職員への教育・研修の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X25	能力評価開発	医療従事者管理	職員の能力評価・能力開発を適切に行っている	職員の能力評価・能力開発の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
X26	保安業務	医療従事者管理	保安業務を適切に行っている	保安業務の評価が高いほど、3B以上インシデントの発生割合が低い。	
Y			医療事故（3B以上アクシデント）発生割合		医療事故発生割合をロジック変換し分析

一方で、QI：クオリティ・インディケーターについては、病院が独自に行っているもので、客観的な第3者視点やデータの収集時の公平性も欠けている可能性が高い。このように、病院間で同じ項目を同じように調査していないので、異なる系列の医療機関を同等に分析対象とみなすことができなかつた。そこで、本研究では済生会系列の病院に着目することとした。済生会系列の病院は「保健・医療・福祉総合研究所」と連携しているため、同じようにQI：クオリティ・インディケーターを調査しており、一つの報告書にまとめ公開している。以上の理由から、本研究では済生会系列の病院を分析対象とした。

#### 4.2. データセットの作成方法

まず、「公益社団法人日本医療機能評価機構病院機能評価結果の情報提供<sup>5)</sup>」のサイトから認定病院一覧キーワードで「済生会」と検索した。ヒットした45件の病院は、社会福祉法人恩賜財団済生会系列の病院で、かつ病院機能評価の認定を受けた病院である。その中で、医療の質の評価・公表推進事業における臨床評価指標を評価し公表している病院は40病院（一般1を主機能にもつ5病院と、一般2を主機能にもつ35病院）であった<sup>6)</sup>。ここで、QI：クオリティ・インディケーター（医療の質の評価・公表推進事業における臨床評価指標）を評価・公開していない病院に関しては、結果系の変数（Y）である患者満足度やインシデントについて不明であるため分析対象から除外することとした。以上より、本研究の分析対象病院は37病院とした。



表3 データセット

Y_医療事故	X1_看護	X2_安全	X3_感染	X4_緩和	X5_薬	X6_療養	X7_診療	X8_診療	X9_診療	X10_情報	X11_薬剤	X12_患者	X13_多	X14_診療	X15_救急	X16_輸血	X17_安全	X18_身体	X19_薬剤	X20_医療	X21_人材	X22_人	X23_職員	X24_費	X25_能力	X26_保	
	の課題	確保体制	対策体制	対策体制	前	責任の	記録	防止対策	伝達対策	実地対策	再対応	機能	評価	法則	評価	評価	評価	評価	評価	評価							
医療機能二〇二〇病院	0.0378	5	3	5	3	5	5	5	5	5	3	5	2	3	5	3	5	3	5	5	5	5	5	3	5	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 埼玉済生会山口総合病院	0.0330	3	5	5	3	5	5	5	5	5	3	3	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	3	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 済生会大分病院	0.0310	5	5	3	5	3	5	5	5	3	3	5	5	5	5	3	5	3	5	5	5	5	5	1	3	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 徳島済生会病院	0.0275	3	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3	5	5	5	3	5	5
岡山済生会総合病院	0.0244	5	5	7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	7	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 北海道済生会小樽病院	0.0182	5	5	3	5	5	3	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5
済生会津島病院	0.0178	3	5	3	5	5	3	5	5	5	5	5	5	3	5	5	3	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5
大分済生会総合病院	0.0160	3	5	5	5	5	5	3	3	3	5	5	5	5	3	5	5	3	3	3	3	3	1	3	3	3	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 大原済生会千歳病院	0.0145	3	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 熊本済生会宇都宮病院	0.0141	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 済生会徳島中央病院	0.0133	3	5	5	3	5	3	5	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 済生会徳島西病院	0.0120	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5	3
石川済生会総合病院	0.0121	5	5	3	5	5	3	5	3	3	5	3	5	3	5	5	3	5	5	3	3	5	5	5	5	5	5
大原済生会総合病院	0.0119	5	3	3	3	5	5	3	3	3	5	5	5	3	5	5	3	5	3	5	5	5	3	5	3	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 済生会長崎病院	0.0119	5	3	5	5	7	5	3	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
徳之島済生会病院	0.0115	5	3	5	5	5	3	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	3	5	5	5	5	3	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 福岡済生会八幡総合病院	0.0114	3	5	3	3	5	3	5	3	5	3	5	5	3	3	5	3	3	3	3	5	3	5	5	3	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 福岡済生会西宮病院	0.0111	3	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	3	5	5	1	5	5	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 福岡済生会西宮病院	0.0104	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5	5
済生会山口総合病院	0.0103	3	5	5	3	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	3	5	5	3	5	5	3	5	5
福岡済生会総合病院	0.0103	5	5	5	7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 済生会西宮病院	0.0094	3	5	5	3	5	5	3	5	3	5	5	5	5	5	5	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 香川県済生会病院	0.0090	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	3	3	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 大分済生会日田病院	0.0096	5	5	5	3	5	5	3	3	3	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 済生会佐賀病院	0.0078	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	3	5	3	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 済生会佐賀病院	0.0077	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
大原済生会中央病院	0.0076	5	5	5	5	5	3	5	3	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 大原済生会野江病院	0.0075	5	5	5	3	5	5	3	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	3	5	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 大原済生会野江病院	0.0060	5	7	7	5	5	5	3	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 山形済生会病院	0.0054	3	5	5	3	5	5	3	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	3	5	5
富山済生会西宮病院	0.0054	3	5	5	3	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	3	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 徳島済生会徳島病院	0.0049	5	5	5	5	5	3	5	3	5	3	5	5	5	5	5	3	5	3	5	3	5	5	5	5	5	3
富山済生会西宮病院	0.0034	5	5	5	5	5	5	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3
社会福祉法人 豊前財団済生会 千歳済生会豊前西院	0.0025	5	3	3	5	5	3	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
社会福祉法人 豊前財団 済生会豊前総合病院	0.0015	5	5	5	3	5	5	5	3	5	5	3	5	3	5	3	5	3	3	3	3	3	1	3	5	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 徳島済生会 徳島川島病院	0.0014	5	5	5	5	5	5	3	5	5	3	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
社会福祉法人恩賜財団済生会支援 徳島済生会 徳島川島病院	0.0013	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5

次に、本研究の概要をまとめた概念図と漏れのない質問項目を設定するための特性要因図から、病院機能評価機構の審査結果と臨床指標（QI：クオリティ・インディケーター）を用いてデータセットを作成した。目的変数は、医療事故（3B以上アクシデント）の発生割合をロジット変換した1項目で、説明変数は表2で示す26項目である。作成したデータセットを表3に示す。37病院のうち一般1を主機能にもつ5病院を濃い橙色で、一般2を主機能にもつ32病院を薄い橙色で示した。目的変数「Y\_医療事故」は、医療事故の割合が高い順に赤色の濃淡を付けて示している。そのほかの説明変数は、医療機能評価の審査結果が高い順に濃淡を示している。

#### 4.3. 分析方法

本研究は、医療機能評価からみた医療事故発生割合に関する要因分析を行うために、重回帰分析を用いて分析することとした。目的変数は、表1で示す全てのインシデント・アクシデントのうち医療事故（3B以上アクシデント）の発生割合をロジット変換した1項目を設定した。説明変数は、医療機能評価機構の審査結果S, A, B, Cを連続尺度7, 5, 3, 1に変換した26項目とした。

ここで、等間隔の連続尺度に変換した理由を2つ示す。まず、図3より病院機能評価事業において公開されている「機能種別版評価項目<3rdG:Ver2.0>評価の定義」から、ABCについては等間隔の評価であることが予想される。一方、S評価は大変素晴らしいことであるため等間隔にできるかは疑問がある。しかし、病院機能評価は「今回、評価Sとされた取り組みを継続しても5年後の審査では評価Sにならない場合もあり、また、他の病院で評価Sとされた取り組みをしても評価Sにならない場合はある。」<sup>8)</sup>と公式に発表しており、S評価の基準や素晴らしさの程度が不明である。

そのため、今回はABCと同様にSも等間隔「S, A, B, C →7, 5, 3, 1」と連続尺度に変換して分析をすることにする。加えて2つ目に、不等間隔「S, A, B, C →5, 3, 2, 1」にした場合の分析を行ったが、分析の結果、不等間隔であっても結果や考察には大きな影響はなかった。以上の理由から、今回は等間隔「S, A, B, C →7, 5, 3, 1」を採用し分析をすることとした。

評価の定義

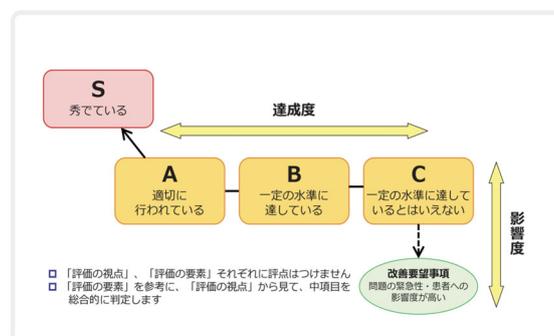


図3 機能種別版評価項目<3rdG:Ver2.0>評価

## 5. 結果

### ◎全37病院の分析

(1)R2乗 : 0.66495

(2)誤差の標準誤差 : 0.573209

(3)重回帰予測式

$$\begin{aligned} Y = & -3.87858347 \\ & + -0.40668117 \times \text{倫理的課題} \\ & + -0.570808241 \times \text{安全確保体制} \\ & + 0.2591567288 \times \text{感染対策体制} \\ & + 0.2021868137 \times \text{新技術} \\ & + -0.431768269 \times \text{療養環境の整備} \\ & + 0.4260117485 \times \text{薬剤管理} \\ & + -0.680030475 \times \text{医療機器管理} \\ & + 0.3202689227 \times \text{人材確保} \\ & + 0.5239076905 \times \text{人事・労務管理} \\ & + -0.191822203 \times \text{能力評価開発} \\ & + 0.442260654 \times \text{保安業務} \end{aligned}$$

分析の結果について、略記で以下に示す。37病院全ての分析では「倫理的課題」(p値0.0033)、「安全確保体制」(p値0.0025)、「療養環境の整備」(p値0.0097)、「薬剤管理」(p値0.0037)、「医療機器管理」(p値0.0012)、「人材確保」(p値0.0211)、「人事・労務管理」(p値0.0029)が有意水準5%を下回り有意となった。そのうち、「倫理的課題」「安全確保体制」「療養環境の整備」「医療機器管理」ではパラメータ推定値が負の符号であることより、評価が高いほど医療事故が減少するという仮説通りの結果を得ることができた。それらは、標準 $\beta$ の絶対値から以下の順で影響度が強いと言える。「医療機器管理」(標準 $\beta$  : -0.5188) > 「安全確保体制」(標準 $\beta$  : -0.5029) > 「倫理的課題」(標準 $\beta$  : -0.4678) > 「療養環境の整備」(標準 $\beta$  : -0.3889)の順である。

しかし一方で、「薬剤管理」「人材確保」「人事・労務管理」は、評価が高いほど医療事故が増加するという結果となった。これらについては、仮説立証とならなかったため、6.考察で扱うこととする。

### ◎医療事故発生割合の高い18病院群の分析

(1)R2乗 : 0.924808

(2)誤差の標準偏差 : 0.168938

(3)重回帰予測式

$$\begin{aligned} Y = & -10.31471093 \\ & + 0.2896421483 \times \text{新技術} \\ & + -0.208468934 \times \text{診療の責任体制} \\ & + 0.2656222305 \times \text{診療記録} \\ & + 0.3478281646 \times \text{誤認防止対策} \end{aligned}$$

- + 0.4338903285×多職種協働
- + 0.1755599851×身体抑制
- + 0.0906690814×人材確保
- + -0.235556684×教育・研修
- + 0.1530410821×保安業務

分析の結果について、略記で以下に示す。医療事故発生割合が高い18病院の分析では「新技術」(p値0.0034)、「診療記録」(p値0.0021)、「誤認防止対策」(p値0.0035)、「他職種協働」(p値0.0027)、「身体抑制」(p値0.0256)、「教育研修」(p値0.0011)が有意水準5%を下回り有意となった。そのうち、「教育・研修」(p値0.0011)ではパラメータ推定値が負の符号であることより、評価が高いほど医療事故が減少するという仮説通りの結果を得ることができた。「教育・研修」の影響度は、(標準 $\beta$ :-0.559)である。

しかし一方で、「薬剤管理」「人材確保」「人事・労務管理」は、評価が高いほど医療事故が増加するという結果となった。これらについては、仮説立証とならなかったため、6.考察で扱うこととする。

また、VIFが2.0を超えている「診療記録」(VIF:2.2117)と「身体抑制」(VIF:2.4694)については今回は触れないが、注意が必要となる可能性が高い。

#### ◎医療事故発生割合の低い19病院群の分析

(1)R2乗:0.777009

(2)誤差の標準誤差:0.409045

(3)重回帰予測式

$$Y = -11.30348827$$

- + -0.311375618×診療の責任体制
- + 0.8191160297×診療計画
- + 0.2258863348×人材確保
- + 0.4861495822×人事・労務管理
- + -0.339447572×教育・研修
- + 0.407090145×保安業務

分析の結果について、略記で以下に示す。医療事故発生割合が低い19病院の分析では「診療計画」(p値<0.0001)、「人事・労務管理」(p値0.0091)、「教育・研修」(p値0.0177)が有意水準5%を下回り有意となった。そのうち、「教育・研修」(p値0.0177)ではパラメータ推定値が負の符号であることより、評価が高いほど医療事故が減少するという仮説通りの結果を得ることができた。「教育・研修」の影響度は、(標準 $\beta$ :-0.476)である。

しかし一方で、「診療計画」(p値<0.0001)、「人事・労務管理」(p値0.0091)は、評価が高いほど医療事故が増加するという結果となった。これらについては、仮説立証とならなかったため、6.考察で扱うこととする。

## 6. 考察

### ◎全37病院の分析結果の考察

「薬剤管理」については、病院機能評価でC評価すなわち低評価が付きやすい項目として知られており、審査前の準備が可能であることが挙げられる。よって、本来の因果関係が示されていない可能性があり、医療事故の要因を説明するための項目にはなり得ないと解釈できる。「人材確保」については、規定された人員や病院の業務量に見合った人員を確保していると評価されたとしても、人数と人材の質が伴っていない可能性がある。医療人材の確保と医療の質の関係性については他の研究を参照する必要がある。

「人事・労務管理」については、就業規則が整っていることで働く職員の働きやすさを保証し、心に余裕を持って業務に取り組むことで医療事故を低減できると予想した。しかし、働きやすさが直接医療事故の低減に関与していない可能性があり、今回評価されていない他の項目との関連について明らかにする必要がある。

また、今回仮説と反する結果が得られたことを踏まえ、さらに医療事故発生割合の高い病院群と医療事故発生割合の低い病院群でそれぞれ重回帰分析を行った。その結果、全体での分析とは異なる項目が有意となり、それぞれの群での特徴を表している可能性が示された。

### ◎医療事故発生割合の高い18病院群の考察

まず医療事故発生割合の高い病院群では、「新技術」「診療記録」「誤認防止対策」が仮説と反する結果となっている。「新技術」については、新技術導入のための体制は整っているが、実際に安全に技術を提供できていない、現場が技術の発展に迫っていない可能性がある。「診療記録」については、「薬剤管理」の項目と同様、評価認定の前に病院が準備をできてしまうことから、機能評価のために体裁を整えることが可能であり、実際は診療記録が十分に記載されていない可能性がある。「誤認防止対策」についても同様で、患者誤認防止対策の仕組みが存在し、認定調査員が来院中のみ意識的に普段より正確に確認行動をとっている可能性がある。「多職種協働」については、最も事故発生率が高いA病院でのみS評価すなわち特別良い評価を得ており、これはA病院の特色であると考えられるため、見せかけの相関であるといえる。以上から、病院機能評価の審査時のみ普段以上の働き方をすることで、本来の病院の状態を評価できていない可能性が示唆された。認定を受けるための行動として実際に著者の1人も経験していることだが、良い評価を得たからと慢心せずに、常に認定時の水準を維持し、医療の質の指標である結果（アウトカム）の向上を目指す必要がある。

### ◎医療事故発生割合の低い19病院群の考察

次に医療事故発生割合の低い病院群では、「診療計画」「人事・労務管理」が仮説と反する結果となっている。「診療計画」では、どの病院もC評価すなわち低評価がないため、認定水準を保持できているといえる。現場では医療資源の適切な配分を行い、直接的な患者安全等の項目に力を入れていることができていると考えられる。医療事故発生割合の低い病院の状態を分析することは、医療現場の資源をどのように分配し割り当てるのが有効かを知ることに繋がるといえる。

## 7. おわりに

### 7.1. 結論

どの病院でも、「倫理的課題」「安全確保体制」「療養環境の整備」「医療機器管理」「教育・研修」は今後も維持向上活動を続けることで医療事故の発生を低減することが期待できる。

特に、「教育・研修」については、インシデントレポートの提出を徹底する等の内容を充実させることを提案する。理由としては、本研究の限界として、インシデント・アクシデントに関する全数が報告されているのかは不確実であり、医療事故発生割合が高い病院は3B以下のインシデント報告の数が少ない可能性があるということが挙げられる。よって、今回医療事故発生割合を低減させるために重要であると明らかになった「教育・研修」の一環としてインシデントレポートの提出を徹底する等引き続き指導を行う必要があると考える。

一方で、今回仮説と反する結果を得られた「薬剤管理」「人材確保」「人事・労務管理」については、より詳細な分析のために追加の調査が必要であると考えられる。

### 7.2. 今後の課題

上記の考察については注意すべき点がある。1つ目は、医療機能評価項目の限界である。医療機能評価では構造（ストラクチャー）の評価を行っており、過程（プロセス）の評価は行っていない。すなわち、良い構造があっても、良い過程に結びつかなければ医療の質は向上せず、結果（アウトカム）としての医療事故の低減には繋がらない。2つ目は、今回得たデータに収集の限界が存在することである。今回使用した医療事故発生割合のデータは病院全体の情報であり、どの部署でどのように発生したのかは不明である。また、インシデント・アクシデントの全数が報告されているかは不明であり、医療事故発生割合が高い病院は3B以下のインシデント報告の数が少ない可能性がある。3つ目は逆因果の可能性である。医療事故の多い病院が力を入れやすい項目が存在する可能性があるが、今回はそれを解明するだけの情報は得られていない。医療の質を考える上で構造（ストラクチャー）の評価は重要であり、医療事故発生割合の低い病院の分析結果からも分かる通り、それぞれの項目がどのように結果（アウトカム）に結びついているかについて今後も引き続き調査と分析を行う必要がある。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、分析・解釈の点でご支援いただいた慶應義塾大学健康マネジメント研究科教授山本渉先生と、授業「クオリティマネジメント」のグループワークで共に取り組んだメンバーの方々に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 公益社団法人全日本病院協会, 「病院のあり方に関する報告書」, <https://www.ajha.or.jp/voice/arikata/2016/02.html> (2022/07/05閲覧).
- 2) 国立大学附属病院長会議常置委員会医療安全管理体制担当校, 国立大学附属病院における医療上の事故等の公表に関する指針(改訂版), 2012, [http://nuhc.jp/Portals/0/images/activity/report/sgst\\_category/safety/kohyosisin201206.pdf](http://nuhc.jp/Portals/0/images/activity/report/sgst_category/safety/kohyosisin201206.pdf) (2022/07/05閲覧).
- 3) 社会福祉法人恩賜財団済生会, <https://www.saiseikai.or.jp/about/> (2022/07/05閲覧).
- 4) 公益社団法人日本医療機能評価機構ガイドブック, [https://www.jq-hyouka.jcqh.or.jp/wp-content/uploads/2016/09/guidebook\\_nandarou-1.pdf](https://www.jq-hyouka.jcqh.or.jp/wp-content/uploads/2016/09/guidebook_nandarou-1.pdf)
- 5) 公益社団法人日本医療機能評価機構病院機能評価結果の情報提供, [https://www.report.jcqh.or.jp/search\\_result\\_keyword/](https://www.report.jcqh.or.jp/search_result_keyword/)
- 6) 平成29年度医療の質の評価・公表推進事業における臨床評価指標 DPC対象病院, 2020年3月社会福祉法人恩賜財団済生会済生会 保健・医療・福祉総合研究所.
- 7) 中島尚登, 矢野耕也, 長澤薫子, 小林英史, 横田邦信, 重回帰分析を用いたDPC対象病院の 機能評価係数IIに影響する要因の検討, 厚生学の指標. 63(4), 2016-04, 厚生労働統計協会
- 8) 西野正人, 医療の質と病院経営の質の関係性についての研究: 済生会病院における実証分析, 商大ビジネスレビュー 2 (1), 193-208, 2012-09 兵庫県立大学大学院経営研究科.
- 9) 病院機能評価データブック2019年度 別冊 ~評価Sの事例~.

# 一般化超設計の理論と応用

高橋武則

Takenori TAKAHASHI

## 【要旨】

超設計は超因子に基づく2重構造の関数であるところの超構造関数を用いて数理計画法で最適化するという数理的な設計である。この方法は設計の可能性を高めるとともに設計の適用対象の範囲を広げ、従来はできなかった高度なレベルの設計を可能にしている。ただし、初期に開発された超設計は全区間を一つの関数で高精度に近似できることを必要としている。しかし、近年は水準数のかなり多い実務事例が増えており、水準数が10前後からそれ以上になると全区間を一つの関数で高精度に近似することが困難になる。このような場合には全区間を小区間に分割して各小区間を高精度に近似するという複合近似を用いることが合理的である。しかし、そのことにより設計で扱うパラメータ(係数)が格段に多くなるためにそれに対する工夫した対応が必要である。本研究はそのための方法を紹介する。すなわち、基本的な超設計の概念と数理構造に明らかにした上でそれを3つの方向での進化(一般化, 柔軟化, 圧縮化)させたものを提案する。

融通性が高くで高度に解析的な設計(微分と積分を活用する設計)は従来の実験計画法のもとでの分散分析のアプローチでは困難で、複合近似というモデル化に基づく数理計画法による最適化で可能になる。このアプローチが一般化である。そして実務における設計で重要になるのは「設計のPDCAサイクル」を廻すアプローチである。本研究では設計を関係者の合意形成ととらえ、それを数理計画法に基づく「設計のPDCAサイクル」の廻すアプローチで実現する方法についても提案する。合意形成の過程では様々な可能性を柔軟に検討する必要がある。超設計の高度な応用として超因子を自由自在に指定・追加・削除・交換することの可能な柔軟設計についても提案する。そして、このような設計アプローチのための実験はサイズがかなり大きくなるというアキレス腱を持っている。これに対しては最適計画を用いて実験サイズを小さくする圧縮化という方法を提案する。

【キーワード】 超設計, 超因子, 超構造関数, 複合関数近似, 行方向関数, 列方向関数, 代入関数, 採用列関数, Gap関数, 頑健設計, 合成関数, 多重合成関数

## 1. はじめに

超設計<sup>1)</sup>は二重構造関数である超構造関数に基づく最適化である。すなわち超構造関数は特別に指定した設計因子である超因子の多項式で、その係数は他の設計因子の関数という構造の関数である。超因子は他の設計因子との交換が可能なので柔軟な設計ができ、あるいは他の設計因子を超因子として加えた多入力的设计も可能である。そして超構造関数はその超因子に水準値を代入して代入関数にすればその後これを自由に扱うことができる。

---

高橋武則 (Takenori TAKAHASHI) 慶應義塾大学大学院

超設計が必要とされる時代背景として近年では設計に関して以下の示す大きな3つの変化が起きている。

[変化1] 出力の要求の多様化 (超因子としての入力因子)

固定出力 (静特性) → 自由出力 (動特性)  
(特定の値のみの出力) (入力因子で望む任意の値の出力)

[変化2] 自由出力のレベルの複雑化 (難化)

比例式 (線形) → 非線形式 (非線形) → 複雑な非線形式 (非線形)  
(傾きのみ) (全区間を2次式で十分な近似) (全区間を一つの関数での近似は不可)

[変化3] 攪乱因子 (誤差因子) への対応 (減衰)

通常設計 (攪乱因子なし) → 頑健設計 (攪乱因子あり)  
(攪乱因子は層別で対応) (攪乱因子をとりあげてその影響を減衰)

本研究はこれらの変化に対応ができる超設計とその進化形について論じる。

## 2. 超設計の基本

### 2.1 「超設計」とは何か?

最初に概念 (考え方) と数理 (方法) の概要を説明したうえで分かり易い例 (教材) を用いて具体的に説明する。超設計の最も重要なキーワードは「超因子」で、これを持たないのが従来の設計で、これを持つのが超設計である。

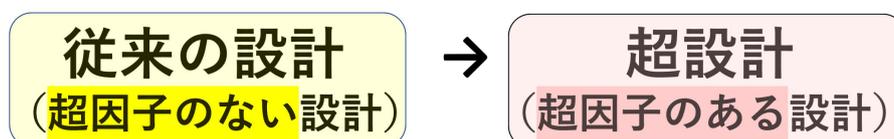


図1 従来の設計と超設計の違いの本質は超因子の有無

### 2.2 基盤関数と超因子と超構造関数

数理的な設計で不可欠なものは特性 (出力) と設計因子の関係 (因果構造) を数式で明らかにする数理的モデル化である。この数理モデルは多変数関数でそれは以下の関数で表現され、本研究ではこれを基盤関数と呼ぶ。

$$y = F(\mathbf{v}) \tag{1}$$
$$\mathbf{v} = (v_1, \dots, v_{p+1})$$

式(1)は  $p+1$  個の設計因子による多変数関数で、超設計の本質を議論する段階ではその具体的な構造 (式の具体的な記述) は行わない。ここで重要なことは、この多変数関数においてすべての設計因子は対等であるということである。そして、この基盤関数があれば従来の設計である通常の設計は可能である。この式に基づいて設計因子の水準を決定すればよいのである。

多変数関数は多数の独立変数 (以後は因子と呼ぶ) を有しているが、その中から選んだ (指定した) 因子を超

因子 M と呼び、これに注目して(これに基づいて)構成した多項式が超構造関数である。

$$y = F(M; \mathbf{x}) = b_0(\mathbf{x}) + b_1(\mathbf{x})M + b_2(\mathbf{x})M^2 + \dots \quad (2)$$
$$\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_p)$$

このような式の構成を行うためには超因子は他の因子との積項(交互作用)を持つ因子でなければならない。逆に言えば、他の因子との積項(交互作用)を持つ因子ならばどの因子も超因子に指定することができる。このような超因子と超構造関数の構造は本質的に「蜜蜂の女王蜂」の組織と似ている。この関係は超設計の本質を表しているので、しばらくは「蜜蜂のシステム」について解説する。

### 2.3 超因子の比喩としての女王蜂

式(1)から明らかなように、超因子は多数の設計因子の中から特別に指定されたものである。この場合に注意すべきことは、どの設計因子を超因子に指定しても良いのである。ただし、後ほど触れるが、厳密に言えば積項を持たない設計因子だけは超因子の対象にはならない。

「超因子」は例えて言えば蜜蜂の「女王蜂」である。女王蜂は特異な遺伝子を持ってロイヤルファミリーとして女王蜂になるべき運命で生まれてくるのではなく、他の多くの働き蜂と同様の遺伝子で雌蜂として誕生する。しかし、雌蜂の中の特別な蜂(王台と呼ばれる場所に産み付けられた雌蜂)だけにロイヤルゼリーが与えられることによって女王蜂になるわけである。そして他の雌蜂は働き蜂となり女王蜂とともに蜂の巣を築き運営していく。蜂の巣をシステム(プロセス、機械、製品)と考え、働き蜂を設計因子、女王蜂を超因子と考えれば、超設計の本質的な構造は蜂の巣というシステムの構造と同じであるということが言える。超因子に関する多項式が本質的な構造で、その係数が関数因子の関数(係数関数)となっているのが超構造関数である。

### 2.4 超設計と蜜蜂の違い

しかし、蜜蜂の場合との違いは2つある。1番目の違いは、蜜蜂の場合は女王蜂が一匹であるが、超設計の場合には超因子を複数指定できる点である。これにより、例えば入出力設計では出力の幅(範囲)が広がるし、同じ出力を出す場合に様々な組み合わせが可能になるので、その中から望ましい条件の組み合わせを選ぶことができる。

そして、2番目の違いは蜜蜂の場合は女王蜂の交代はできないが、設計の場合には超因子と設計因子を自由に交換することができる点である。置かれている状況が変化するとか、設計目的が変化した場合には超因子を交換する必要がある。あるいは、設計時点でいろいろな設計因子を超因子にして設計をしてみて、最終的に最も望ましいものを超因子にすることも可能である。

### 2.5 超因子の指定による超構造関数の構成

設計因子の中で積項を持つものを超因子Mに指定すればそれに関する多項式の構成ができる。これを超構造関数と呼び、これは超設計に用いられる二重構造の関数である。すなわち、超構造関数は指定された設計因子である超因子の多項式で、その係数が他の設計因子の関数という構造なのである。

$$y = F(\overline{M}; \mathbf{x}) = \overline{b_0(\mathbf{x})} + \overline{b_1(\mathbf{x})} \overline{M} + \overline{b_2(\mathbf{x})} \overline{M^2} + \dots$$
$$\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_p)$$
(3)

超構造関数の係数部分は設計因子の関数なのでこれの設計により望む多項式を設計できる。

$$\overline{b_0(\mathbf{x})}, \overline{b_1(\mathbf{x})}, \overline{b_2(\mathbf{x})}, \dots$$
(4)

## 2.6 超設計の基本形の構造

本研究で述べる超設計の基本形は以下のものから構成されている。

[1]設計とは何か (Design)

設計因子の望ましい水準を決定すること

[2]超設計 (Hyper Design) とは何か

超因子 (特別に指定された設計因子) のもとでの設計のこと

[3]超構造関数 (Hyper Structure Function) とは何か

超因子に着目した多項式のこと。

その係数が他の設計因子の関数である数式構造 (二重構造) のこと

[4]超連結 (Hyper Link) とは何か

多種多様な設計因子の関数が相互に連結している (参照できる) こと。

設計で取り上げる全ての項目は設計因子の関数なので連結している。

## 2.7 超設計の進化形の構造

本研究で行う超設計の進化のためのアプローチにはいかに示す3つの方向がある。

[A]超設計の一般化 (汎用化) : 複合超設計

超因子のどのようなタイプの関数にも適用できるようにすること

[B]超設計の柔軟化 (自在化) : 柔軟超設計

事後に超因子を自由に組み換える (増やす, 交換する) こと

[C]超設計の圧縮化 (効率化) : 最適計画超設計

大きくなりがちな超設計の実験サイズを小さくすること

## 2.8 超設計の数理的なベース: 鍵を握るのは積項

超構造関数は設計因子の中で積項 (交互作用) を持つものであればそれを超因子に指定して構成することができる。したがって、超設計のポイントは基盤関数に積項 (交互作用) があることである。

### (1) 基盤関数に積項が1つの場合: 2次の積項が1個

基盤関数: すべての設計因子は対等な多項式

$$y = f(x_1, x_2) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2$$
(5)

【特徴】 この例においては  $x_1$  と  $x_2$  のいずれでも入出力の設計 (動特性の設計) が可能である。

**(2) 基盤関数に積項が多数の場合：2次の積項が3個，3次の積項が1個**

基盤関数：すべての設計因子は対等な多項式

$$y = f(x_1, x_2, x_3) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (6)$$

【特徴】 この例においては X1, X2, X3 から任意の 2つを選べば 2 入力の設計が可能である。

超構造関数の本質と柔軟設計の基礎（超因子が1つの場合）

基盤関数：すべての設計因子は対等な多項式

$$y = f(x_1, x_2) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2$$

超構造関数その1：X1を超因子に指定しこれに着目して整理した多項式

$$y = F_1(X_1; x_2) = (b_0 + b_2x_2) + (b_1 + b_{12}x_2)X_1 = B_0(x_2) + B_1(x_2)X_1$$

超構造関数その2：X2を超因子に指定しこれに着目して整理した多項式

$$y = F_2(X_2; x_1) = (b_0 + b_1x_1) + (b_2 + b_{12}x_1)X_2 = B_0(x_1) + B_1(x_1)X_2 \quad (7)$$

【超設計の例】 → 傾きの関数（係数関数）である  $B_1(x_1)$  に注目

- \* 超因子が入力因子ならば係数関数の絶対値を大きくすれば感度の高い設計ができる。
- \* 超因子が攪乱因子ならば係数関数の絶対値を小さくすればその影響を減衰することができる。

超構造関数の本質と柔軟設計の応用（超因子が複数の場合）

基盤関数：すべての設計因子は対等な多項式

$$y = f(x_1, x_2, x_3) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3$$

超構造関数の高度化：X1とX2を超因子に指定しこれに着目して整理した多項式  
\* 2入力の設計ができる。→かなり広い範囲の出力が可能になる。

$$y = F(X_1, X_2; x_3) = (b_0 + b_3x_3) + (b_1 + b_{13}x_3)X_1 + (b_2 + b_{23}x_3)X_2 + (b_{12} + b_{123}x_3)X_1X_2 = B_0(x_3) + B_1(x_3)X_1 + B_2(x_3)X_2 + B_{12}(x_3)X_1X_2 \quad (8)$$

**3. 基本的な超設計**

**3.1 説明のための教材としての「飛球シミュレーター」（斜方投射）**

分かり易い説明のための具体的な例として教材を用いる。後ほど一般化超設計の議論をするために複雑な入出力関係を扱いたいので、それが可能な「飛球シミュレーター」を用いる。これは斜方投射による放物運動を扱うもので、本研究では図2に示す3種類の球を投射（飛球）する。投射の条件はたくさんあるが、本研究では話を簡潔にするために3つだけを用いる。

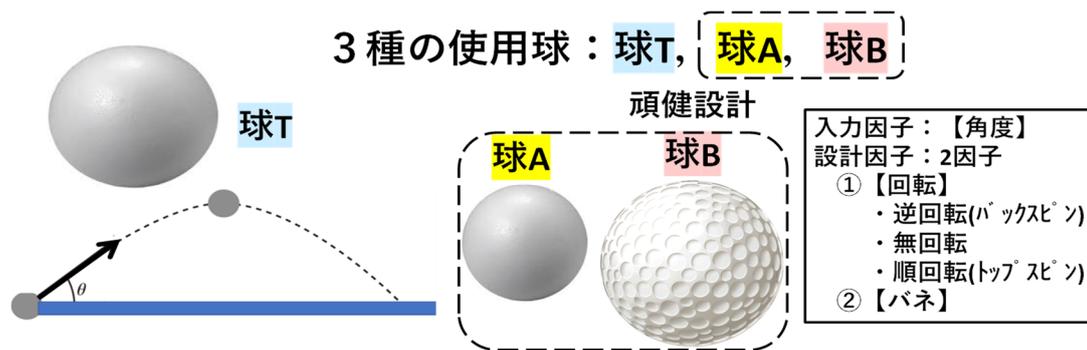
- \* 入力因子として「角度」

\*設計因子として「回転」と「バネ」

ちなみに回転には方向があり、大別すると以下の3種類である。

逆回転（バックスピン、スライス）、無回転、順回転（トックスピン、ドライブ）

特に、球Bは軽くて大きな球で表面に凹凸（ディンプル）があるため強い回転をかけると複雑な飛び方をするようになる。



球Tと球Aは素直な球（表面に凹凸(ディンプル)無し）による斜方投射(放物運動)：  
→高精度で2次(順回転のみの場合)あるいは3次近似(順回転と逆回転の混在の場合)可能

★球Bはとんでもない球（表面に凹凸(ディンプル)有り）による斜方投射(放物運動)：  
→3次（順回転と逆回転の混在の場合）でも近似は困難

図2 飛球シミュレーターと使用する3種の球(球T, 球A, 球B)

### 3.2 基本的な自由出力の設計（攪乱因子のない場合の設計）

超設計の数理的しくみを説明するために球Aを用いて図#に示す直積実験を行った。この直積表に基づいて基本的な自由出力の数理構造を明らかにする。単にある狙った位置に飛ばすという固定出力の設計であれば超因子のないこれまでの設計で可能である。ここでは、自由に希望する位置に飛ばすという自由出力の設計を取り上げる。

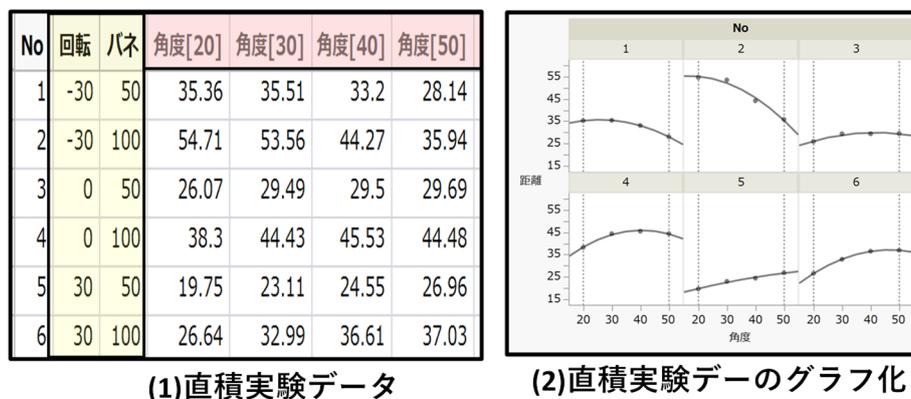


図3 直積実験データとそのグラフ化

直積実験と設計の概要

- \* 球T (質量[100], 直径[10], 表面[平]) を角度を入力因子として用いてその都度狙った位置に着地させること (自由な出力を実現すること) のできる飛球システムを実現する.
- \* 角度は 20, 30, 40, 50 度の条件で飛球のための入出力関数を手に入れる.
- \* 設計因子は回転とバネである.

### 3.3 直接推定と間接推定

直積表は列方向 (縦方向) と行方向 (横方向) から構成されている. これは繊維における経糸と緯糸の関係に似ている. 列方向の各列は通常実験 (従来の実験) で, これが前提条件の角度が異なる 4 個 (複数) 合体している状態と見ることができる. 行方向の各行は各々が回帰 (2 次の回帰) となっており, これが前提条件の回転とバネの組合せが異なる 6 個 (複数) 合体している状態と見ることができる. したがって, 2 方向の推定を行うことができる.

#### 1) 直接推定

列ごとに回転とバネに関する回帰式を推定すれば列関数 (列ごとの距離の値に関する関数) を推定することができる.

#### 2) 間接推定

最初に行ごとに角度に関する 2 次の回帰式を推定して切片, 傾き, 2 次項の係数 (偏回帰係数) を求める. 次に求めた推定係数に関して縦方向に回帰式を推定することができる. これを係数関数と呼び, これは推定値を用いた推定なので 2 重の推定となっている. さらに, 係数関数を用いて角度の多項式である超構造関数を構成する. 最後に, この超構造関数に角度の値を代入することで代入関数が作成できる. この 2 重の推定に基づいて求めた代入関数と直接推定で求めた列関数は推定方法は異なるが, 同じものを求める関数である. どちらが好ましいかは以下の状況によって好ましい方を採用する.

- \* 行関数が高精度に近似が可能であれば代入関数を列関数とする.
- \* 行関数が高精度に近似ができない場合には直接推定のものを列関数とする.

結果的に採用されたものを採用列関数と呼び, これを以後の設計で使用する.

なお, 飛球シミュレーターを用いた多くの条件のもとでは, 代入関数で議論ができるので, しばらくは高精度で関数近似が可能な場合をベースにして話を進める. しかし, 実際の事例の場合には近似に問題がある場合もあるわけであるが, その際には直接推定を用いればよい. 入力因子の水準が多い場合についてはいろいろなことが起きるが, それについては後で超設計の一般化のところで詳述する. ここでは結果として良い方を採用し, それを「採用列関数」と呼んでこの後の設計に用いる.

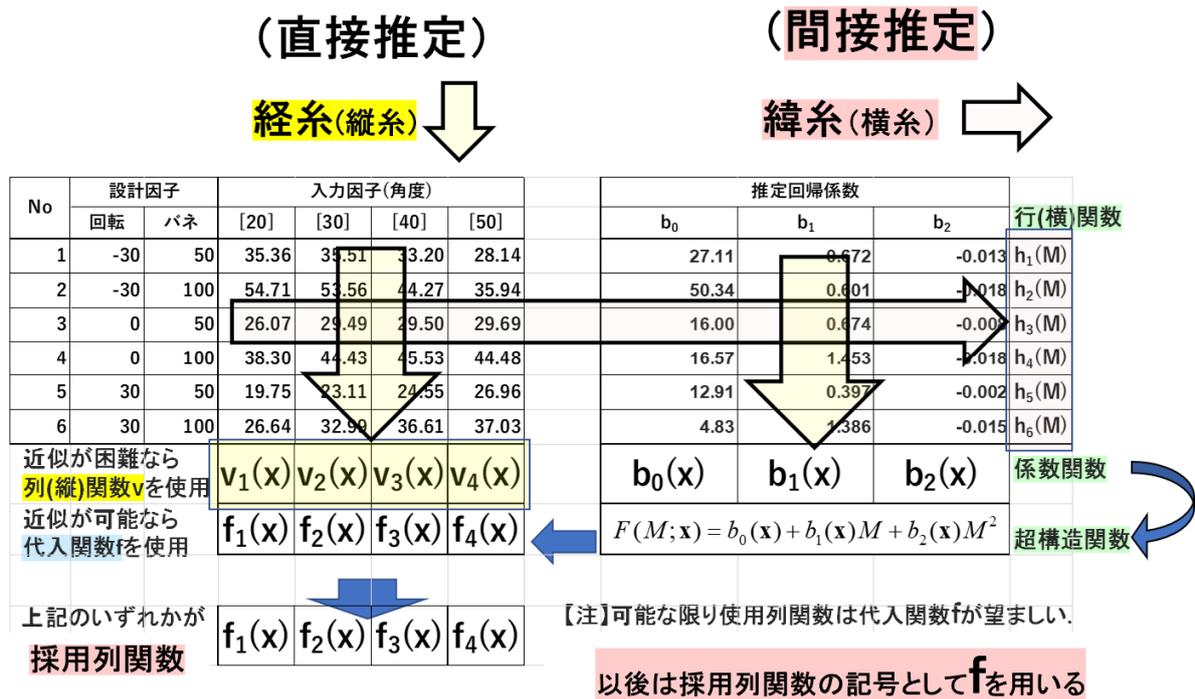


図4 直積実験データに対する直接推定と間接推定



図5 間接推定の列関数: 推定係数→係数関数→超構造関数→代入関数

### 3.4 入出力関数の目標値が与えられた場合のGap関数

実務事例の多くの場合には入出力関数の目標値が与えられている。この目標を実現する設計においては図6に示すようにGap関数を求めたうえでその最大である「最大Gap関数」を用いて設計すればよい。

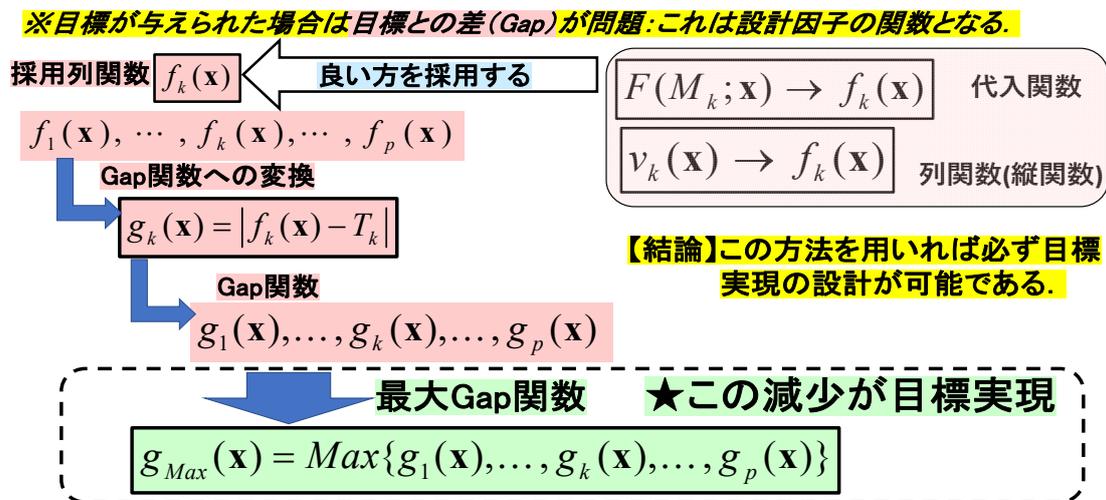


図6 目標が与えられた場合における Gap 関数と最大 Gap 関数

Gap 関数と最大 Gap 関数のロジックは少し分かりにくいので、これらを分かり易く工夫して可視化を試みて表現したものが図7である。なお、図7ではMの水準が9個の場合(水準数が多い場合の例示)を取り上げており、スペースの都合でGap 関数は  $g_9(x)$  のみを示している。

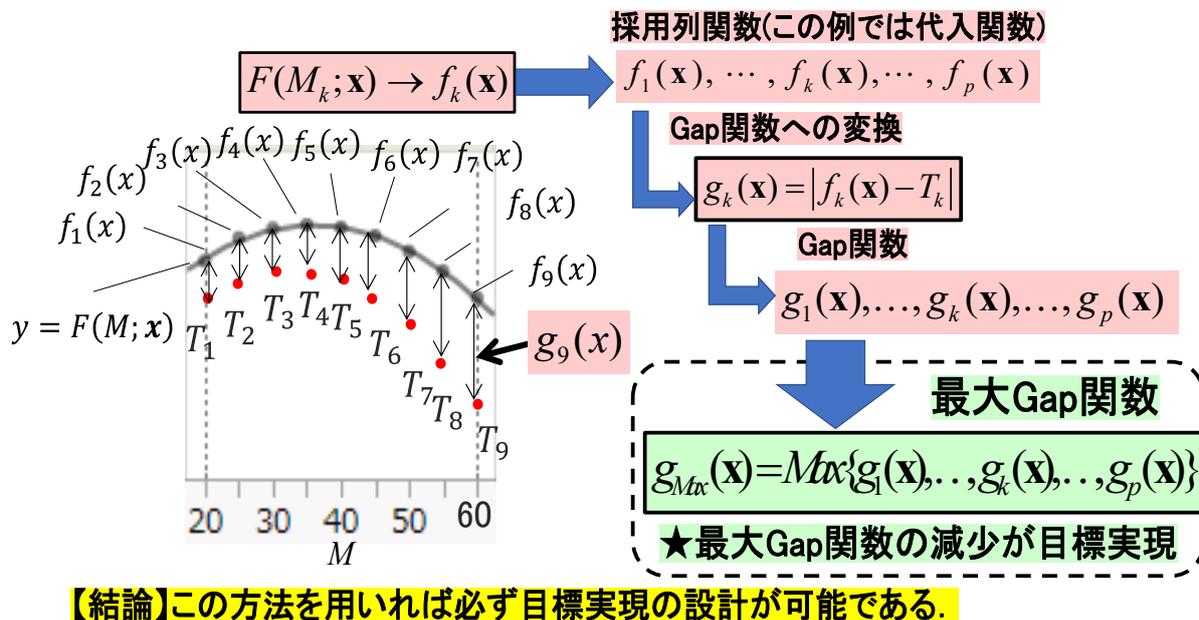


図7 分かり易い図で表現した Gap 関数と最大 Gap 関数

入出力関数が比例式(原点を通る1次式, 係数は傾きのみ)以外は複数の回帰係数を持っている。このために複数の回帰係数を相手にした最適化は複数の回帰係数の間でバランスをとることが難しい。しかし, Gap 関数を用いて最大 Gap 関数に落とし込めばこの最小化でよいので設計は明快である。

ただし, 設計で極値(極大値, 極小値)を扱う場合には超構造関数を微分(Mで偏微分)することで

極値をとる横座標や縦座標の関数が得られるのでこれらを用いて設計を行う。

#### 4. ハイパー構造 (超構造) と超設計

Hyper の日本語訳は形容詞として「興奮した, 緊張した, 活発な」という意味が最初に登場する。そして IT 分野では「Hyper Link」という用語が頻繁に登場する。

Hyper Link とは, A の内容が他の内容 B と関連が強い場合に B に関する用語が用意されていて, それをクリックする B に飛ぶという連結の仕組みである。A から多数の  $B_1, B_2, \dots$  に飛ぶこともあるし, 飛んだ  $B_i$  からさらに  $C_{i1}, C_{i2}, \dots$  とさらに飛ぶこともある。ときにはさらにまた飛んだ  $C_{ij}$  から  $D_{j1}, D_{j2}, \dots$  とつぎつぎと飛ぶことも少なくない。このようにリンクが張り巡らされることで相互に高度な連結構造を持つ体系が構築される。

超設計では多種類の設計因子の関数およびそれらの合成関数を用い, さらには合成関数の合成関数という多重構造の合成関数も用いて設計する。ここに登場する各種の関数はその根源に設計因子があるために互いに連結しているのである。本章では例として図 2 に示している複葉型紙ヘリコプターを用いて具体的に説明する。

##### 4.1 超連結構造 (ハイパーリンク構造) の設計

設計とは設計因子の水準を決定することであるが, これは多面的にとらえての最適化が重要である。

[1] 2重構造のモデル: 超構造関数

\*特性に関する関数 \*係数に関する関数

[2] QCDS E: 製品は総合的で Q のみが重要なのではない

\*QCDS E の各要素はすべて設計因子の関数 (次頁に示す図 9, 図 10, 図 11)

Q (Quality: 品質), C (Cost: 費用), D (Delivery: 納期・数量),

S (Safety: 安全), E (Environment: 環境)

上記の多種の関数は全て設計因子の関数である。そして, 合成関数 (関数の関数) も多数存在し, さらには多重構造の合成関数もしばしば登場する。これらはいずれも根源的には設計因子に基づく関数なので, 図 3 と図 4 と図 5 が示す様に互いにリンク (連結) している。このようなリンクのはられた構造は超連結構造 (ハイパーリンク構造) と呼ばれ, これをベースにした設計を超設計 (Hyper Design: ハイパーデザイン) と呼ぶ。そして, 超設計は以下の構造で数理計画法で最適化する。

- ①目的関数: 最適化したい関数に対して最適化 (望大化, 望小化, 望目化) を行う。
- ②制約条件: 必要な関数に条件を付ける。等式制約, 片側制約, 両側制約
- ③関連関数: 関連する関数に最適解を代入して関連値を求めて詳細な状態の把握を行う。

【注】①, ②, ③の全体を吟味することで時には定式化を変えて解き直すことがある。

超設計は以下の特徴を有する設計である。

- \*多種類の関数・合成関数・合成関数の合成関数のいずれも定式化に取り上げられる。
- \*どれを目的関数, 制約条件, 関連関数にしてもよい。
- \*最適解が求まったら, それを代入することで知りたいすべての情報が把握できる。
- \*①, ②, ③の全体を吟味して必要なら定式化を変えて解き直すことができる。

- \* 解き直しの定式化は以下のことが自由にできる。
  - ・ 制約条件の内容や目的関数の最適化を変更することができる。
  - ・ 目的関数と制約条件と関連関数を自由に交換することができる。
- \* 柔軟設計では、超因子を交換したり追加したり外したりすることができる。

#### 4.2 超連結構造 (ハイパーリンク構造) の設計の具体例

図8は複葉型紙ヘリコプターの製作過程を示している。そして図9は同じ時間で飛ぶ2つの設計の比較を示している。この図において、生産性・経済性・取扱性の点で右の設計の方が優れている。単に飛行時間だけで比べたら両者には差がないが、総合的な観点からは2つの設計には圧倒的な差がある。これらに関する関数という観点からの相互関係を示しているのが図10である。すべては設計因子を根源としてハイパー構造になっていることが分かる。これを一般化して表現したものが図11である。このようなハイパー構造を視野に入れた設計が超設計 (Hyper Design) の本質である。したがって、設計は必然的に数理計画法を用いた最適化が不可欠なものとなる。

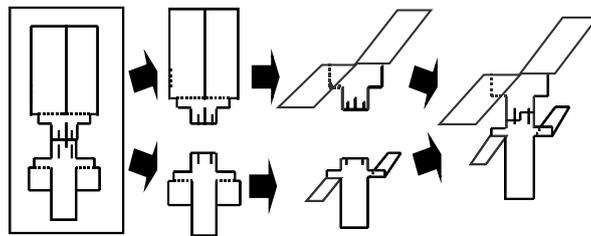


図8 複葉型紙ヘリコプターの製作過程

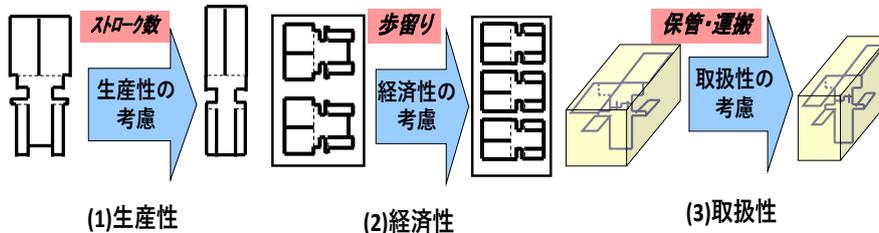


図9 2つの設計の比較 (右の設計の方が優れている)

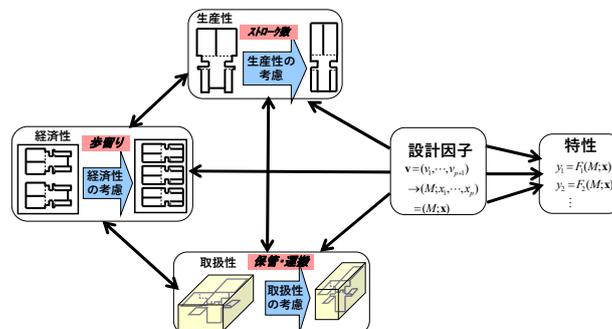


図10 設計因子が根源の関数のハイパー構造の具対例

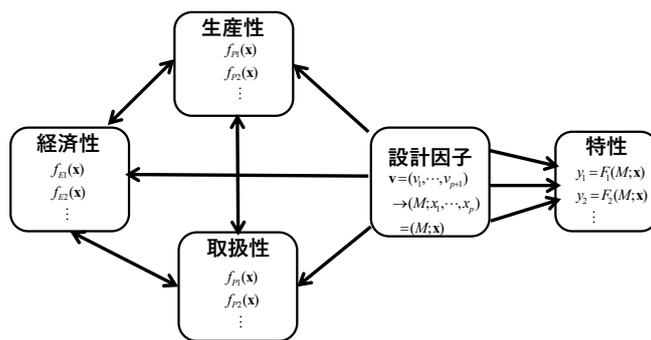


図 11 設計因子が根源の関数のハイパー構造の一般形

## 5. 超設計による頑健設計

### 5.1 超設計のスタンスに立つ頑健設計の考え方

自由出力の頑健設計は近年最も注目されている設計である。しかも、入力因子の水準数は近年になった多い場合が増えている。したがって、全区間が精度の高い一つの関数近似が困難なもとの頑健設計が必要となっている。全区間が精度の高い一つの関数近似が困難な場合については超設計の進化形の中で議論するとして、本章では、全区間が精度の高い一つの関数近似が可能な場合で議論する。

**非頑健設計: 一つの超構造関数だけが対象**

$$y = F(M; \mathbf{x}) = b_0(\mathbf{x}) + b_1(\mathbf{x})M + b_2(\mathbf{x})M^2$$



**頑健設計: 複数の超構造関数が対象**

$${}_i y = {}_i F(M; \mathbf{x}) = {}_i b_0(\mathbf{x}) + {}_i b_1(\mathbf{x})M + {}_i b_2(\mathbf{x})M^2$$

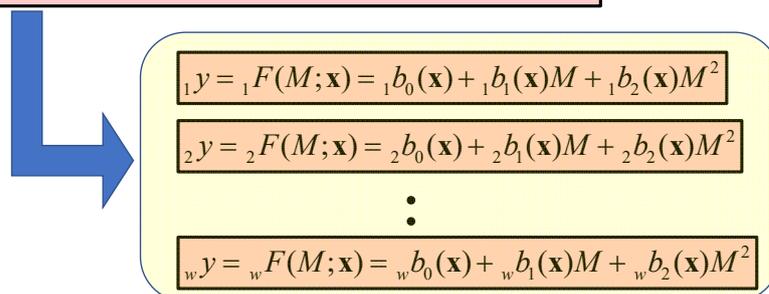


図 12 数式（超構造関数）で表現した非頑健設計と頑健設計の比較

攪乱因子のある場合の自由出力の設計は、攪乱因子がない場合の自由出力の設計を発展させればよい。これは数式的には図#に示す様に超構造関数が複数になった場合であり、グラフ的には図 13 に示す様に回帰が複数の場合である。したがって、これまでの一つの超構造関数の話を複数に拡張すればよいのである。

これまでの話(攪乱因子のない場合)を拡張すればよい。  
→直積表が攪乱因子の水準の数だけあると考えればよい。

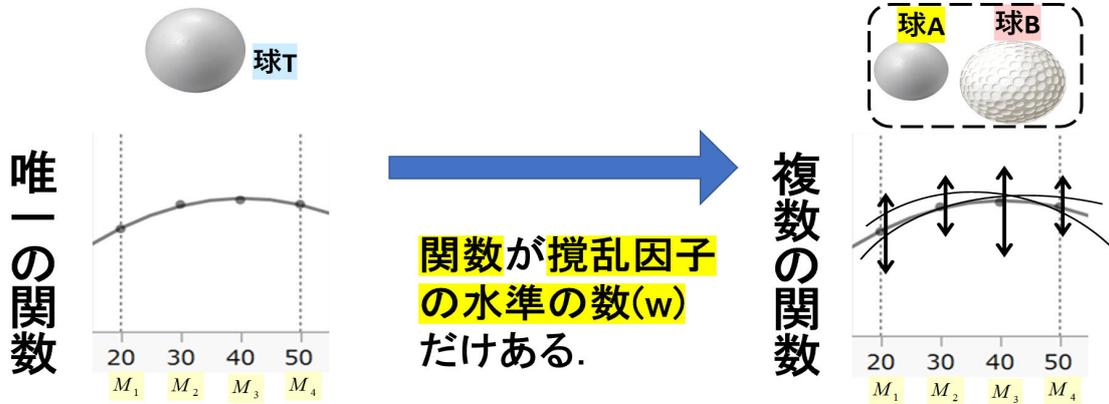


図13 グラフで表現した非頑健設計と頑健設計の比較

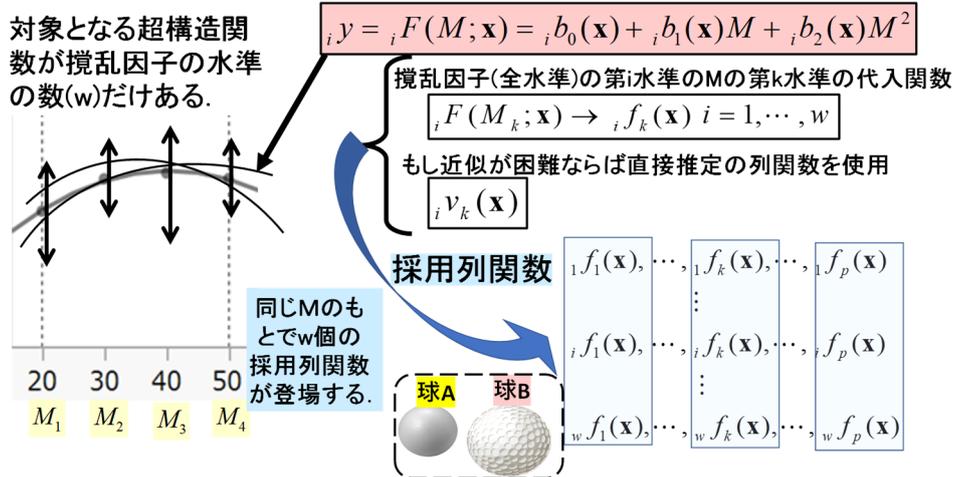


図14  $M_k$  の水準における攪乱因子の水準の数だけ存在する採用列関数の構造

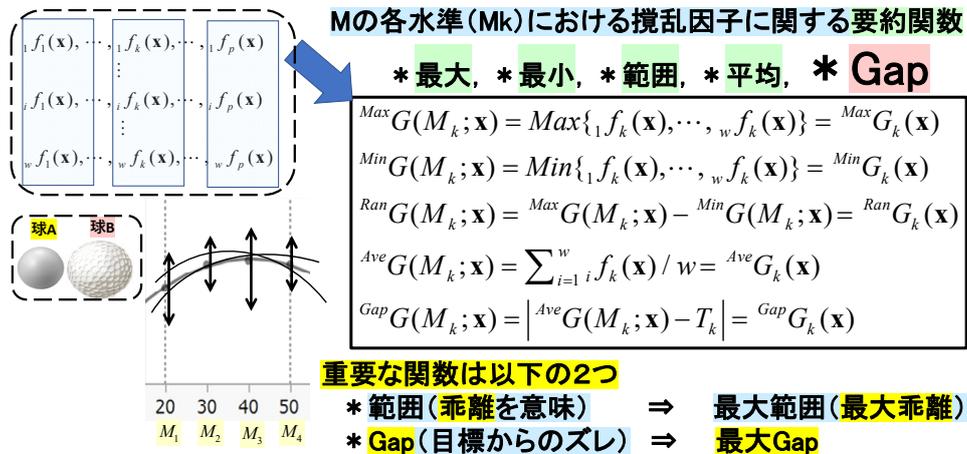


図15  $M_k$  の水準における攪乱因子の水準の数の間での要約関数

## 5.2 乖離と Gap

最初のポイントは、入力因子の水準ごとに攪乱因子の水準の数だけの列関数（採用列関数）を対象にするということである。したがって、同じ入力因子の水準のもとで複数の列関数が存在するのでこれらに対して要約関数を考える。要約関数とは要約統計量の発展版である。対象が多数ある場合にはそれらを何らかの視点で要約する（纏め上げる）ことが必要である。多数のデータを要約する（纏め上げる）統計量は要約統計量と呼ばれている。代表的な要約統計量には最大値、最小値、範囲、平均値、中央値、中点値などがある。本研究はこれになぞらえて、要約統計量の関数版として要約関数を定義する。すなわち図#に示す様に、入力因子の各水準における多数の列関数（正確には採用列関数）に対して最大関数、最小関数、範囲関数、平均関数などを定義する。そして、平均関数を用いてそれと目標値Tkとの差の絶対値がGap関数であり、その最大Gap関数を定義する。攪乱因子がない場合と同様に、最大Gap関数を最小化することが目標実現の本質である。しかし、頑健設計では次に述べるものが重要になる。

攪乱因子の影響の減衰に関しては図 16 に示す図と式の様子、乖離状態を表す範囲に着目すればよい。この場合の範囲とは攪乱因子の水準間の範囲のことで、これは頑健設計で低減しなければならない対象の乖離状態を意味している。もちろん乖離とはばらつきなのでこの状態を分散や標準偏差を用いても良いが、乖離を範囲という形にするのが直感的に理解し易い。ちなみに、固定出力の頑健設計は入力因子のない場合で唯一の乖離を小さく（可能なら最小化）すればよい。これは自由出力の場合の頑健設計の退化したもののなのでその説明について本研究では割愛する。

要約関数とは対象となる多数の関数に対して最大、最小、範囲、平均などに要約したものである。これらはいずれも設計において有効に活用できる関数である。そして、このうちの範囲は攪乱因子によって生じる乖離を意味し、目標値Tkとの差の絶対値がGap関数である。

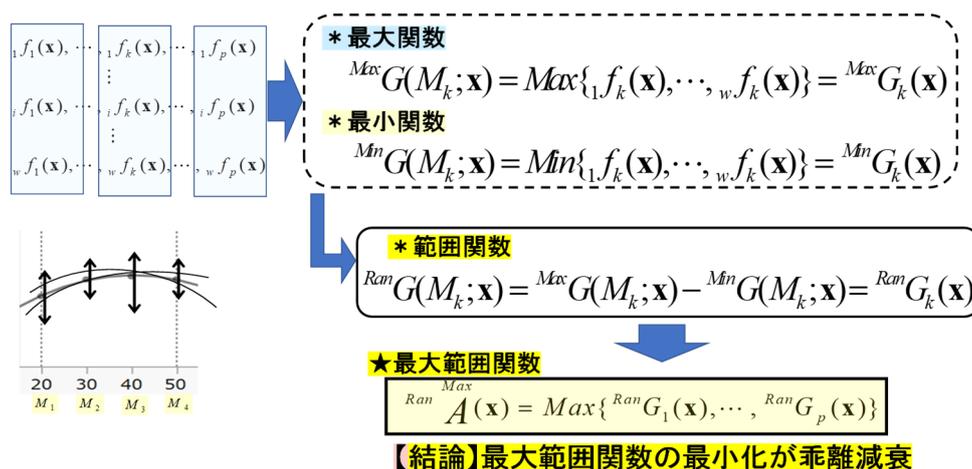


図 16 範囲関数（乖離関数）と最大範囲関数（最大乖離関数）

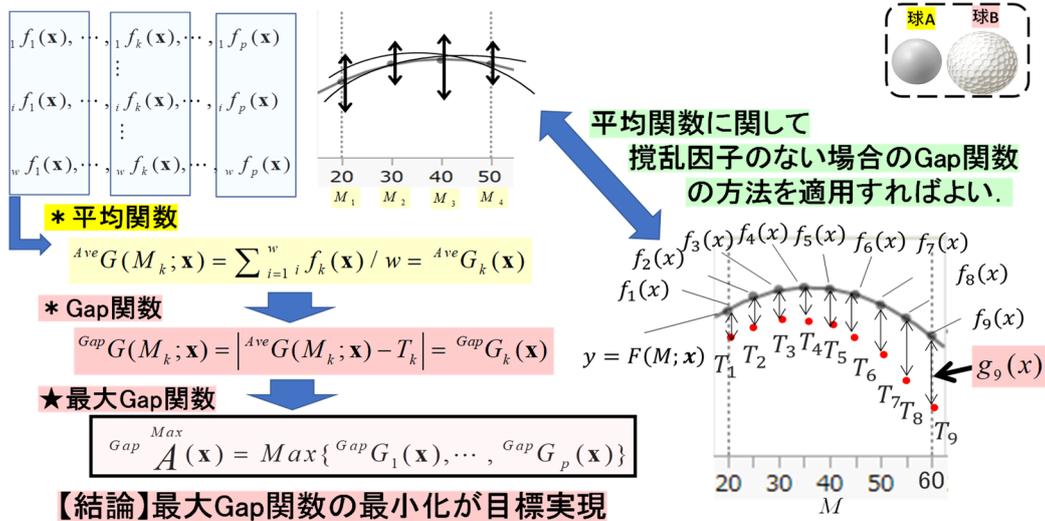


図17 Gap 関数（平均関数との Gap）と最大 Gap 関数：非頑健設計の場合との比較

### 5.3 自由出力の頑健設計における本質的な2つの対象とトレードオフ

自由出力の頑健設計では最大乖離関数と最大 Gap 関数の両方を減衰することである。しかし、両者を同時に減衰するのは特別な場合で、通常は両者はトレードオフの関係になる。したがって、設計のための最適化は3ステップになる。

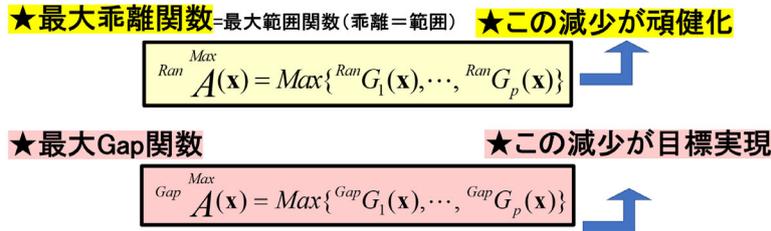


図18 頑健超設計のベースとなる2つの関数

頑健設計の基本：トレードオフの調整が本質

- [1] 一方の最小化で減衰の限界を調べかつその時の他方の状態も把握する。単独の最小化①
  - [2] もう一方の最小化で減衰の限界を調べかつその時の他方の状態も把握する。単独の最小化②
  - [3] 2つのうちのより重要な方を制約条件にして他方を目的関数として最適化（最小化）
- ※より重要な方は制約条件にすることで必要なレベルをしっかりと確保することが大切である。

以下の2点は重要な注意点である。

- 【注1】** 設計因子が平均に効くものと乖離に効くものに分離していないと2ステップ法は無理である。  
 ※そのような幸運はまれである。→提案方法は分離していなくても可能

【注2】設計が傾きの最小化(ゼロ点比例式)ならば第2ステップも設計ができるがそれ以外は困難である。

※実際のニーズ(目標)は多様である。しかし、提案方法はどのような目標にも対応が可能である。

### 5.4 頑健設計の事例

3ステップによる頑健設計の事例を紹介する。この例では球Aと球Bを用いて両社の乖離が小さくかつ目標に近い飛び方をするように設計する。図#には直積実験のデータとグラフと目標が示されている。

この事例は代表的な事例で以下の特徴を有している。

- \* 球を限定し入力因子をどれかの水準に固定すれば通常の設計(従来の設計)になる。
- \* 入力因子をどれかの水準に固定すれば固定出力の頑健設計になる。
- \* 球を限定すれば頑健設計の無い自由出力の設計になる。
- \* 水準数を増やして区間を分割すれば複合超設計になる。

複合超設計は少し手順が込み入るがアプローチの本質は変わらない。

採用列関数に落とし込んだ後はまったく同じアプローチになる。

\* 設計の定式化に他の項目(設計因子の関数)を加えれば実践的な設計になる。

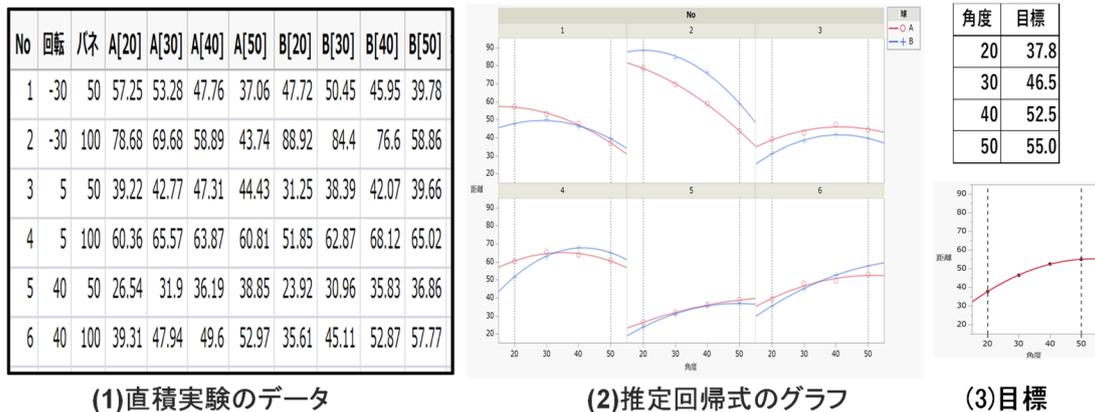


図19 球Aと球Bによる頑健設計

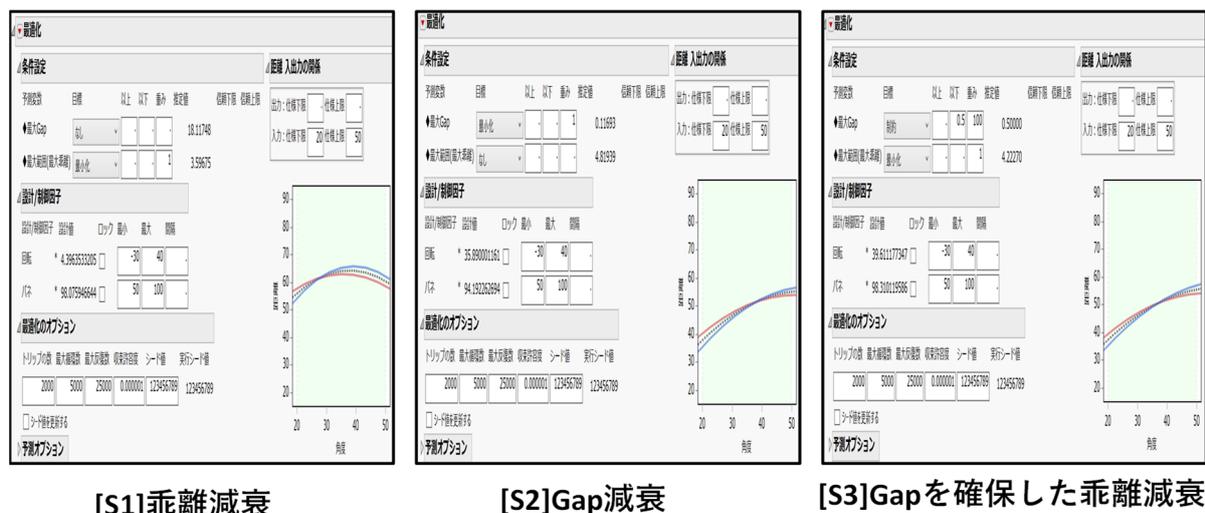


図 20 3ステップによる超設計の頑健設計

[S1(Step 1)]

まずは最大範囲の最小化で様子を見る。とにかく乖離はどこまで減衰ができるのかの限界を把握する。最大乖離の限界が3.60であることを把握した。このとき目標とのGapの最大(最大Gap)は18.11ととんでもない値になっている。とてもこの解は受容れができない。

[S2(Step 2)]

次に最大Gapの最小化で様子を見る。とにかく最大Gapはどこまで減衰ができるのかの限界を把握する。このとき最大乖離は4.82となっているが、最大乖離の限界の3.60に比べればとんでもない値ではない。しかしこの解はこのままでは受容れができない。最大Gapを譲歩して最大乖離を改善する。

[S3(Step 3)]

前の2回のトライを踏まえて、最大Gapを0.5まで譲歩したもとの最大乖離の最小化を試みる。この時の最大乖離は4.22である。最大乖離の限界が3.60よりは多少大きいだがこれならば受け入れが可能である。理想の解などは求まらない。結局設計とは関係者の合意形成である。したがって、図#に示す設計のPDCAサイクルを廻して科学的に合意形成をすることが重要である。

## 設計とは関係者の合意形成(PDCA)

求解(最適化)の結果を見て

\* 何かを良くするためには別の何かを譲歩する。

\* 合意が形成されるまでこれを繰り返す。

【注】最初に各々の限界値を把握しておくが良い。



図 21 設計=関係者の合意形成=設計のPDCAサイクルの回転

### 6. 超設計の進化

すでに述べた基本的な超設計をさらに強力な設計方法にするために工夫を行うことによって進化させてその汎用性・自在性・有効性・効率性をより高める。このための方向には以下に示す3つある。

[1]一般化: 多種の関数に対して使用可能にすること

[2]柔軟化: 超因子を自由自在に組み換えること

[3]圧縮化: 実験のサイズを小さくすること

すなわち, [1]の一般化によりどのような関数も設計できるようにし, [2]の柔軟化により超因子の自由な組換えを可能にし, [3]の圧縮化においては最適計画の活用により実験のコンパクト化(小型化, 効率化)

を高めることである。

### 6.1 超設計の一般化（超設計の進化その1）

一般化の意味は広く普遍的に通用させることである。したがって、一般化を別の表現で言い換えれば普遍化あるいは汎用化ということになる。これを超設計で考えると、超設計の一般化とは超設計をどのような形状の関数にも通用させることである。それが可能な超設計アプローチのことを本研究は一般化超設計と呼ぶ。

さて、基本的な超設計の大前提の条件は、すでに示したように行方向の関数（超因子の関数）が以下の条件を満たしているということである

超因子の関数は全区間が一つの関数で全体を高精度に近似ができることである。しかし、実際の設計では常にこのことが可能ではなく、むしろそうでない場合も少なくないのである。

したがって、それができない場合には超設計は機能しない。ということはいかなるタイプ行の方向の関数に対しても使用できるわけではないということの意味している。そこで、いかなるタイプの行方向の関数でも使用することができるようにする一般化を考える。なお、一般化した超設計を「一般化超設計」と呼ぶ。

超設計の一般化とは、行方向の関数が如何なるタイプのものでも超設計を可能にしたアプローチのことである。これを行うためには以下の応用的なアプローチが必要になる。

- \*複合近似：区間を分割すれば精度の高い近似ができる。最後の手段は直接推定を行えばよい。
- \*代入関数とその活用：多数のパラメータに振り回されずに最大乖離と最大Gapで対応できる。
- \*多項目による設計：設計因子の超連結の関数を必要なだけ用いて総合的な最適化を行う。

区間分割すると隣り合った区間に重複点が生じる多め、そこでは2種類の列関数が重複する。これに対しては重複した2つの採用列関数の平均を用いればよい。

複雑な形状でも区間を分割すれば超設計は可能である。

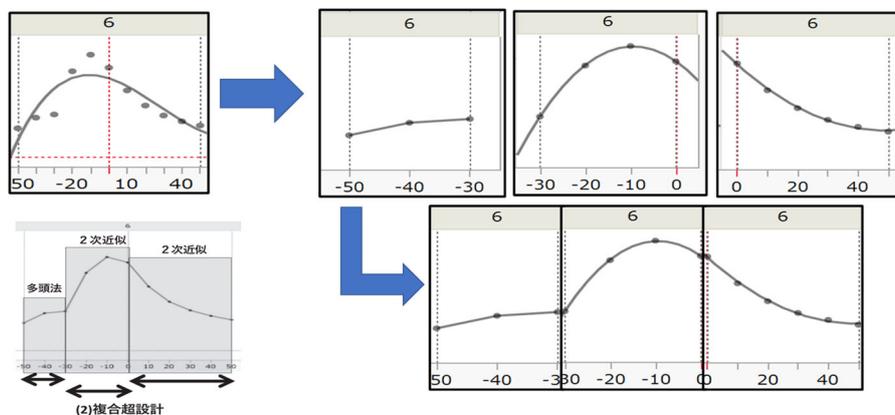
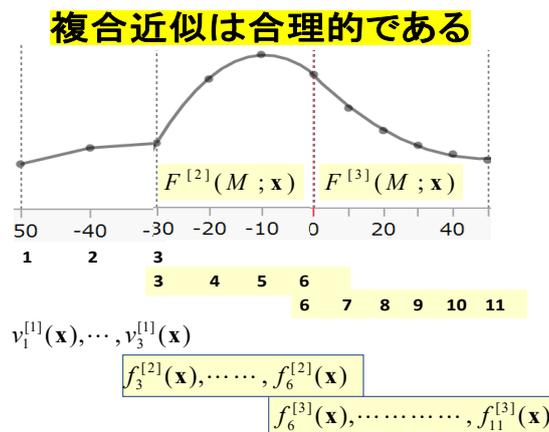


図 22 複合近似に基づく複合設計＝一般化超設計（どのような形状の場合も可）



**【注】重複部は平均を用いる**

図 23 重複部分は 2 つの採用列関数の平均を採用

**6.2 超設計の柔軟化 (超設計の進化その 2)**

柔軟設計の最も基本的な数理についてはすでに第 2 章の 2.6 節で解説している。ここでは柔軟設計の全体の状況について構造的に整理をしたものを解説する。

1) 入力因子の交換

幾つかの設計因子を入力因子としてみて比較し、望ましいものを採用することが合理的な設計である。

2) 多入力システムの採用

入力因子は複数を用いて多入力にする  $k$  とが可能である。以下は入力因子を複数にするメリットである。

- \* 幅広い出力が実現可能となる。
- \* 多数の同じ出力の組合せから選べる。 ※他項目の最適化ができる。

3) 攪乱因子の変更および交換

最も高度な柔軟設計は攪乱因子の交換である。

攪乱因子は制御できない・制御が困難であるなどの理由からその影響（出力の攪乱）を減衰するという対象になったものである。しかし、もし改善や工夫あるいは高度な設備・装置の導入・開発でそれまでの攪乱因子が制御可能になれば、その（それまでの）攪乱因子を設計因子や入力因子に変更することが可能になる。これとは逆に、何これまでとか苦勞して制御していた入力因子や設計因子を攪乱因子にしてその苦勞から解放するという設計が可能である。つまり、柔軟設計はこのような高度な設計も可能なのである。

**6.3 超設計の圧縮化 (超設計の進化その 3)**

超設計の要は積項（交互作用）である。多数の積項や高次の積項（3 次の積項や 4 次の積項）があれば高度で柔軟な設計が可能になる。

多数の積項や高次の積項は直積実験を用いれば低くはない可能性のもとで比較的容易に手に入れることができる。

[1]内側計画が 1 次構造] × [外側計画が 1 次構造] から 2 次の積項が見い出せる。

[2]方の構造は1次だが他方に2次の積項があれば3次の積項が見い出せる。

[3][内側計画に2次の積項構造]×[外側計画に2次の積項構造]から3次と4次の積項が見い出せる。ただし、高次の積項を取り出すとなると実験サイズが大型化するという問題に直面する。この時に有効な最適計画である。最適計画を用いることで実験サイズを合理的に圧縮することができる。

最適計画を用いるためには因子水準表と構造模型表を用いる。

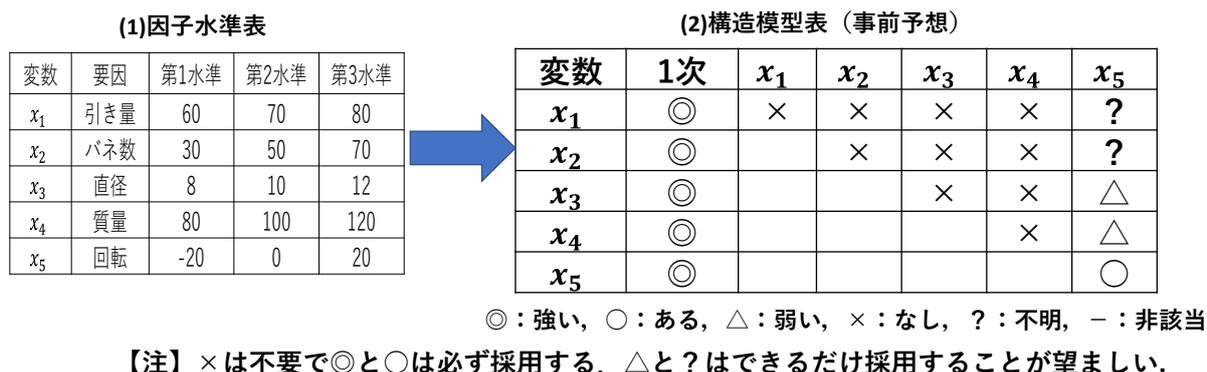


図 24 因子水準表と構造模型表 (事前予測)

最適計画に関しては3つの用い方がある。

- ①内側計画の圧縮：多くの場合は内側計画の圧縮となる。
  - \*内側計画は因子が多く積項と2次項を考慮すると大きめの計画になる。
  - \*もし実施がたいへんな場合には内側計画を最適計画で圧縮する。
- ②外側計画の圧縮：外側計画はシンプルな場合が多いので圧縮することは少ない。
  - \*時に外側が大きくなる場合もあるので、その時は圧縮すると良い。
- ③計画全体の圧縮：実験全体の中における無駄をできるだけ圧縮したい場合に行う。
  - \*内側計画の模型と外側計画の模型の積の模型を作成する。
  - \*その中で削除できる項を削除した模型を改めて作成する。
  - \*改めて作成した模型に基づいて最適計画を立てる。
  - \*設計に当たっては注目する設計因子に関する超構造関数を作成して用いる。

**【注】** この方法は複雑なので「どうしても」という場合に検討すればよい。

構造模型表を作成して必要な項を確保し、これに基づいて最適計画を立てると実験サイズを圧縮することができる。ただし、実験回数を決める際に直交性の劣化に注意する。このためには回帰分析を用いて最大VIFを確認するとよい。計画の段階なので出力(特性)には適当な数字を入れる、その上で全数選択してVIFを求めて以下のようにアプローチを行う。

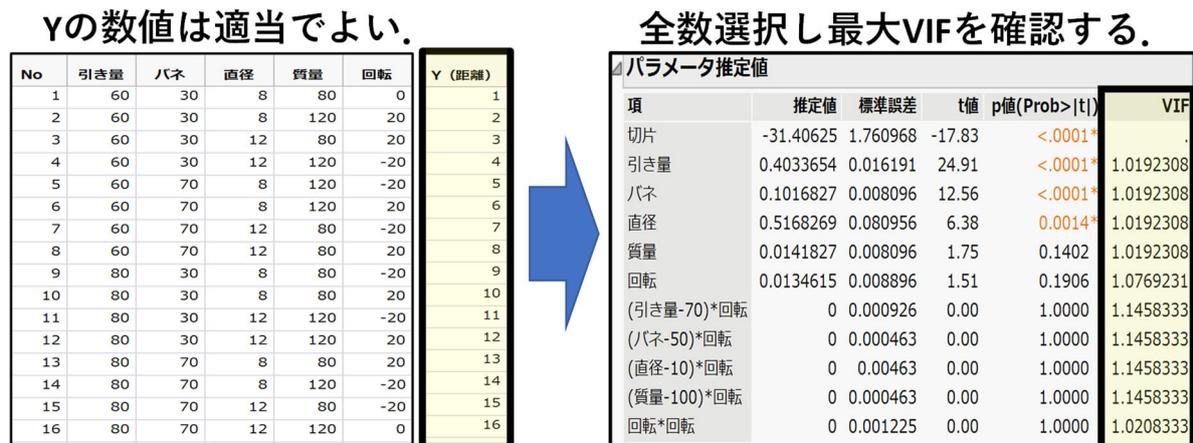


図 25 VIF による最適計画の直交性の確認

\*VIF が最悪の場合である全数選択し最大 VIF を確認する.

→変数選択をすれば最大 VIF はこれよりも良くなる.

\*計画が直交していればすべての VIF は 0 となる.

\*直交性の多少の劣化は実務的な解析では問題はない.

\*最大 VIF は 1.5 以下を目指し、できれば 1.25 以下が望ましい.

\*実験数を少なくすると VIF は (当然最大 VIF も) 劣化する. ※この例の場合は最大 VIF は 1.15 で問題はない.

## 7. おわりに

本研究では基本的な超設計を明らかにしたうえでこれを進化させる 3つの方向である柔軟化と一般化と圧縮化について議論した. 柔軟化により超因子の自由な組換え (交換, 追加, 削減のすべて) を可能にした. そして, 一般化によりどのような関数も設計できるように汎用性を高めた. さらに, 圧縮化においては最適計画の活用によりややもすると大型になる直積実験のコンパクト化 (小型化, 効率化) を実現した. 以上の内容を整理すると以下ようになる.

\*近年は設計アプローチに関して3つの大きな変化があることを指摘した.

①固定出力から自由出力, ②出力関数の複雑化, ③攪乱因子への対応

\*本研究はこれに対して「超設計」を示すとともに「その進化形」を提案した.

\*超設計の基本形では以下のことを明らかにした.

[1]設計とは [2]超因子とは [3]超構造関数とは [4]超設計とは

\*超設計の進化形では以下の提案を示した.

[A]一般化 [B]柔軟化 [C]圧縮化

\*本研究で提案した超設計の基本形と超設計の進化形は様々なタイプの (ほとんどの場合の) 設計を合理的に行うことを可能にした.

参考文献

- [1] 井上清和,中野恵司,林裕人,柴野広志,大場章司(2008):「入門パラメータ設計」,日科技連出版社.
- [2] 河村敏彦, 高橋武則(2013),「統計モデルによるロバストパラメータ設計」, 日科技連出版社.
- [3] Miller, A. and Wu, C.F.J. (1996):” Parameter Design for Signal -Response Systems: A Different Look at Taguchi’s Dynamic Parameter Design”, *Statistical Science*, 11, 122-136.
- [4] 宮川雅巳(2000) :「品質を獲得する技術」,日科技連出版社.
- [5] 森輝夫(2005),「タグチメソッドの応用と数理」,トレンドブック.
- [6] Myers R. H., Montgomery D.C., and Anderson Cook C. M., (2009): Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments, Wiley, New York.
- [7] 高橋星太,濱口勝重,高橋武則(2015):”HOPE 手法を用いた水晶発振子の設計パラメータの最適化”,JSQC 第 109 回研究発表会発表要旨集, pp. 39-42.
- [8] Takahashi, T. (2015):” Proposal of Flexible Design and its Application”, Proc. of the Asian Network for Quality Congress 2015 in Taipei, CD proceeding, PP.1-10.
- [9] 高橋武則(2017) :“超構造関数による柔軟設計”,日本品質管理学会第 113 回研究発表会発表要旨集, pp.157-160.
- [10] Takahashi, T. (2017):” Hyper Design based on Hyper Factors”, Proc. of the Asian Network for Quality Congress 2017 in Kathmandu, CD proceeding, PP.1-12.
- [11] 高橋武則(2019):”描写因子による形態設計と極座座標描写”,目白大学研究紀要, 第 17 号, pp. 19-34.
- [12] 高橋武則(2019) :” 調査・実験の教育ための概念図と特性要因図と構造模型表および変数計量化”, 日本品質管理学会第 119 回研究発表会発表要旨集, pp.149-152.
- [13] 高橋武則(2019) :”超設計のパラダイムとメソドロジー”, 横幹」,13, [2], pp.91-105.
- [14] 高橋武則(2020):”関数の形状が特異な場合の設計”, JSQC 第 122 回研究発表会発表要旨集, pp.143-146.
- [15] 高橋武則(2020):”超設計による攪乱因子が量的な場合の頑健設計”,SAS Discovery Summit Japan 2020, pp.1-11.
- [16] 高橋武則(2020) :” 関数の形状が特異な場合の設計”, JSQC 第 122 回研究発表会発表要旨集, 143-146.
- [17] 高橋武則(2021) :” 多重合成関数を用いた高次関数および複雑な関数の頑健設計”, JSQC 第 126 回研究発表会発表要旨集, 37-40.
- [18] 高橋武則(2021) :” 複合型の超設計”, JSQC 第 51 回年次大会研究発表会要旨集, 159-162.
- [19] 高橋武則(2022) :” 超設計における関数に関する目標の有無と最適化”, JSQC 第 128 回研究発表会発表要旨集, 91-94.
- [20] 高橋武則(2022) :” 一般化超設計による自由出力の頑健設計”, JSQC 第 129 回研究発表会発表要旨集, 49-52.
- [21] 高橋武則(2022) :” 一般化超設計における複合近似”, SQC第130回研究発表会発表要旨集, 21-24.
- [22] 椿広計 (2006) :「ビジネスへの統計モデルアプローチ」, 朝倉書店.
- [23] 椿広計 (2006) :”統計科学の横断性と設計科学への寄与”,「横幹」,1, [1], 22-28.

- [24] 椿広計,河村敏彦 (2007) : 「設計科学におけるタグチメソッド」,日科技連出版社.
- [25] 吉野睦, 仁科健(2009): 「シミュレーションと SQC」,日本規格協会.
- [26] Wu, C. F. J. and Hamada, M. (2009) : Experiments: Planning, Analysis, and Optimization (2nd ed.) ,  
Wiley, New York.

# 質問紙調査のための仮想実験と最適計画

高橋武則

Takenori TAKAHASHI

## 【要旨】

質問紙調査の事例の多くはデータを分析したうえで考察をするという段階で終わっている。一部には考察に基づいた提案を行うケースも存在するが、その場合の提案はあくまでも仮説発想（頭で考えたアイデアを示すこと）で止まっており、その先の施策の立案とそれを実施して仮説検証（検証実験）までを行うケースは殆どない。一方、質問紙実験であるコンジョイント分析の事例は多く発表されているが、その殆どはコンジョイント分析に特化した実験単体のアプローチである。そして、それらのコンジョイント分析には実験計画の工学的な応用の観点から吟味すると次の3つの問題点が存在している。①量的因子も質的に扱っていること、②積項（交互作用）や2次項を無視していること、③解析・設計は分散分析に基づいてシンプルな条件決定（本質的には数量化I類による格子点解の求解）を行っていることである。

上記の3点は相互に絡み合っており、これらを総合的に解決する方法として次の3つが有効である。[1]最適計画（カスタム計画）を採用すること。[2][1]で採取したデータで重回帰分析の変数選択を採用すること。[3][2]でモデル化した推定重回帰式に基づいて数理計画法を実施すること。本研究は質問紙調査と質問紙実験をコラボさせるとともに質問紙実験の問題点を克服するための工夫を行った方法を提案する。

【キーワード】 仮想実験, 構造模型表, 最適計画, 順位評価, 階差評価

## 1. はじめに

顧客満足の質問紙調査で実情を把握すると手を打つべき対象を把握することができる。しかし、そのような実情の把握と手を打つべき対象の把握の段階に留まらず、その結果に基づいて然るべき対策・方策を立案することは重要である。しかしその場合、単に頭で考えた考察的な提案ではそれを実行する具体案が明確にならないために、漠然とした提案に留まる。

これまではこのための方法としてコンジョイント分析がよく用いられている。しかし、これは因子を質的に扱っていることに起因して2次項が扱えない等の様々な限界（問題）を抱えている。本研究はそれらの限界を明らかにし、それを克服する仮想実験（質問紙実験）を提案する。

## 2. CS向上のために必要な2つの取組み：調査と実験

CS（Customer Satisfaction:顧客満足）の向上をしっかりと行うためには以下に示す前半と後半をセットにした一連の取組みが必要である。

対策の設計(何をすべきか)：質問紙実験＝仮想実験

---

高橋 武則 (Takenori TAKAHASHI) 慶應義塾大学大学院

\* C S 向上の取組みの[前半]

現状の把握(状況はどうか)：質問紙調査

\* C S 向上の取組みの[後半]

両者は相互に強く関連しており、それぞれを単体で行うことも意味はあるが両者をセットにして行うことで大きな効果を挙げるができる。両者には以下の関連がある。

\*前半をやらないと、後半の成功は難しい。

いきなり後半をやるのはギャンブルである。

\*後半をやらなければ効果は表れない

前半だけで終わるのは中途半端である。

【注】イソップ物語の「猫の首に鈴」

猫の首に鈴を付ければ鼠は猫の接近が早く察知できて危険を回避できることは話として問題はない。しかし、猫の首に鈴を付ける方法がなければ画餅である。

本研究は[後半]の仮想実験を取り上げる。

仮想実験はプロフィールカードを用いたイマジナリーな実験であるためにその計画や実施にあたっては周到な準備といろいろな工夫を行うことが必要である。

人間相手の仮想実験には4つのポイントがある。

- ①積項(交互作用)と2次項を無視してはならない。
- ②評価は工夫して間隔尺度に近づける。
- ③実験サイズを大きくしない。 ※12回前後で16回を限度(上限)とする。
- ④4種類の解があることを理解してこれらを有効活用する。

本研究はこのために以下の4つの提案を行う。

- [1]模型予想の明示→構造模型表(積項と2次項の事前予想)を作成する。
- [2]評価方法の工夫→「工夫した順位評価」かできれば「階差評価」を行う。
- [3]実験の圧縮→構造模型表に基づいて最適計画(カスタム計画)で実験を圧縮する。
- [4]4種類の解→内挿解(主)、外挿解(従)、格子点解(予備)、実験点解(切り札)

### 3. 仮想実験の具体的なポイント

#### 3.1 全体の概要

仮想実験はプロフィールカード(Profile Card, 以下これをP Cと略記する)を用いた人間による実験(評価)であるが、その鍵を握るのは以下の9つのポイントである。

1) 仮想実験の要点(ポイント)

- [A]特性要因図：主な原因の体系的な整理
- [B]因子水準表：取り上げる因子と水準の明示
- [C]構造模型表：模型構造の事前予測の可視化
- [D]最適計画：直交性を譲歩した効率的実験計画
- [E]対象の可視化：イラスト、図(平面図、立体図)、写真、ショート動画

2) 仮想実験の基盤（インフラ）

[F]前提条件：重要だが実験では固定する条件→【注】明示

[G]属性情報：回答者自身の情報（層別で吟味）→【注】層別解析

3) 仮想実験での評価（エバリュエーション）

[H]順位評価：3ステップの並べ替え→【注】直接の全体順位付けは避ける。

[I]階差評価：順位が前後の差(階差)の評価→【注】当該の階差に集中する。

上記の仮想実験の9つのポイントを「ワンルームマンションの間取り」という簡単な例で説明する。この例における実験の概要を示すために仮想実験で用いるプロフィールカードの例を図#に示している。仮想実験は可視化された対象（代表例がプロフィールカード）を評価することでデータを獲得する実験である。したがって、どのようにプロフィールカードを準備し、それを用いてどのように評価し、獲得したデータをどのように分析するかについて考え方と分析方法について議論する。

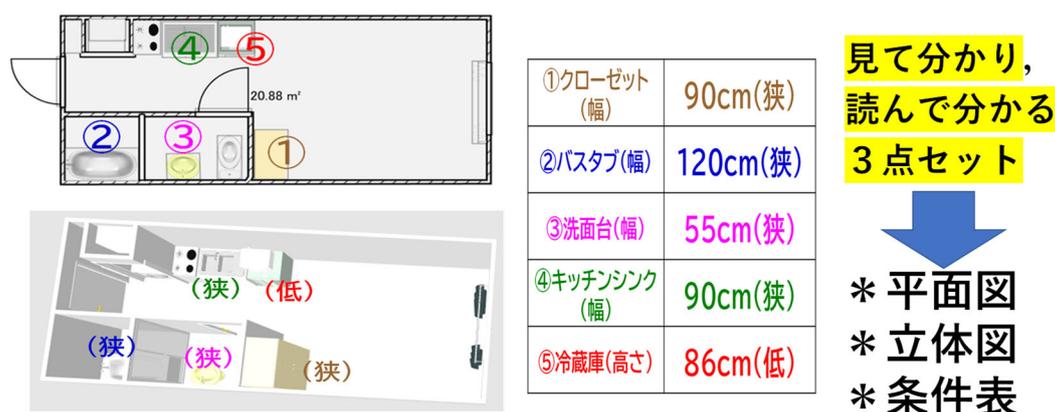


図1 仮想実験に用いるプロフィールカードの例

### 3.2 仮想実験の9つのポイントの説明

9つのポイント（要点）のそれぞれを具体的な例を用いて説明する。

#### [A]特性要因図：因子の候補（主な原因）の体系的な整理（可視化）

特性（結果）として何を取り上げるのか、そして取り上げたものに対して因子（原因）として何を取り上げるのかは仮想実験の根幹である。これは視点の取り方の問題で、どの角度（切り口）からアプローチするのかが決めることである。ただし、重要なものはすべて因子として取り上げるわけではない。因子として取り上げるものは実験においてその条件（水準）をふるが、実験の目的によってはかなり重要なものでも因子として取り上げないものもある。この場合に注意しなければならないことは、重要なものだが因子として取り上げない場合には前提条件としてその固定した条件（水準）を明示するということである。何故ならば、その固定した条件が異なると結果が大きく異なるからである。

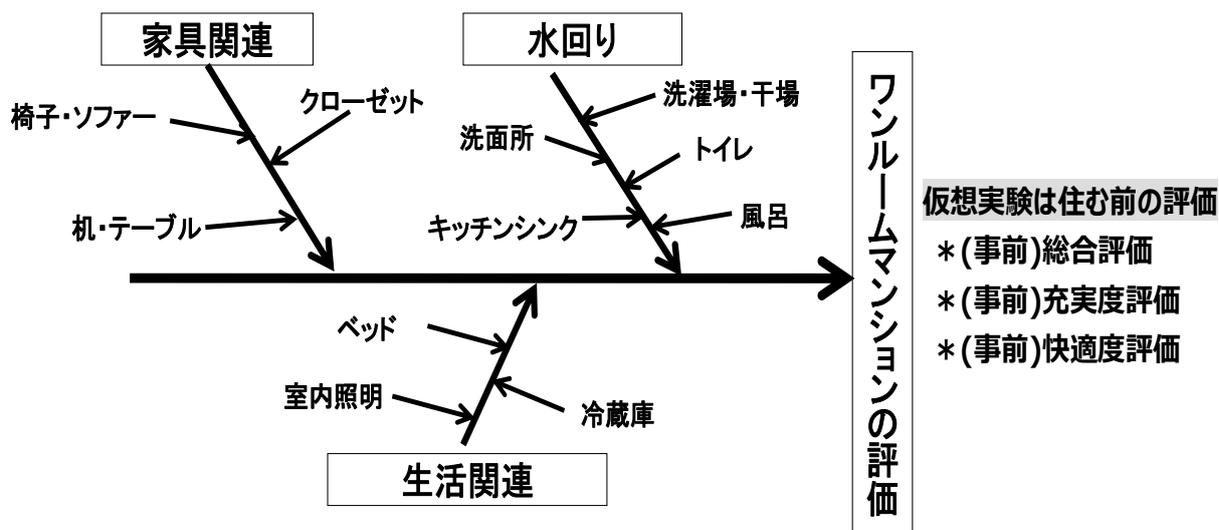


図2 特性要因図

### [B] 因子水準表：取り上げる因子と水準の明示

因子が決定されても、それがとる水準（実験でふる状態）を明らかにしなければならない。同じ因子をとりあげても、それがとる水準が変わると結果は大きく変わることが多いからである。また、通常はそれぞれの因子に対して2水準を用意するが、もし2次項が考えられる因子に対しては3水準を用意しなければならない。表#の例ではキッチンシンク（X4台所）には3水準が用意されている。

表1 因子水準表

No.	因子		水準		
1	クローゼット(幅)	X1クロ	90	120	—
2	バスタブ(幅)	X2バス	120	140	—
3	洗面台(幅)	X3洗面	55	90	—
4	キッチンシンク(幅)	X4台所	90	120	150
5	冷蔵庫(高さ)	X5冷蔵	86	120	—

注) 上記の変数および各部位の単位はすべてcm

### [C] 構造模型表：模型構造の事前予測の可視化

実験の計画を立てるうえでどのような効果があるのかを予想する必要がある。何故ならば、予想されることを調べるために実験が行われるからである。この事前の予想がいい加減だと実験の計画がおかしな計画となり、正しい状態を把握することが困難になり、その後の設計は失敗することになる。

数理的な意味でのポイントは、しっかりと効果のある項を外すと欠陥模型（重要な項の欠落した数式）

が作成され、このことはそれをベースにした対象の状態の把握を誤るとともに設計も失敗することになる。あると思った項がない場合にはその部分は無駄な実験をしたことになるが、状態は正しく把握することはでき、その後の設計もきちんと行うことができるのである。しかし、何でもかんでも実験に取り入れると実験サイズが大きくなり、人間相手の実験ではナンセンスな事態（時間がかかり過ぎる、回答者の負荷がきつ過ぎる、評価データに信頼が置けないなど）に陥る。したがって、構造模型表を作成することが重要である。

表2に示している構造模型表は各種の項（各種の効果）の事前予想である。それまでの経験や情報に基づいて二元表を作成し、表の中の各セルにはそれぞれの項の効果の有無とその強さの予想を明示する。この表示は可能ならいねいな精密表示をした方が良いが、時には簡易表示をすることも選択肢である。この構造模型表に元すいて次の段階の実験計画が立てられる。

表2 構造模型表（事前予想）

因子	1次効果	X1ク口	X2バス	X3洗面	X4台所	X5冷蔵
X1ク口	○	×	×	×	×	×
X2バス	○		×	○	×	×
X3洗面	○			×	?	×
X4台所	○				○	×
X5冷蔵	○					×

[簡易表示] (○有, ×:無, ?:不明, -:非該当)

可能なら [精密表示] (◎:強, ○有, △:弱, ×:無, ?:不明, -:非該当) の表現が望ましい。

#### [D]最適計画：直交性を譲歩した効率的実験計画

構造模型表にはいろいろな情報が載っている。明らかに無視してよい×以外はできたら実験に採用した方がよい。実験を行えばその効果の有無がハッキリと分かるからである。しかし、多くの項を取り上げると実験サイズはかなり大きくなり、人間が評価する実験では過剰な実験サイズになることが起こる。

【注】人間が評価を行う対象の数(実験サイズ)は12前後を目安に多くても16を越えない方がよい。

このとき合理的な計画の立て方として最適計画がある。これは必要な項が調べられるようにしたもとの実験サイズを小さくすることができる計画である。最低必要な実験回数以上なら実験回数をいくつにしてもよいので、人間が実験回数を決める必要がある。ただし、実験回数をかなり少なくすると直交性が劣化するので注意が必要である。うまい計画は、直交性をある程度譲歩して実験サイズを少なくするというアプローチで作成し計画である。これについて具体例で説明する。

構造模型表があれば最適計画(カスタム計画)はJMPで容易に作成ができる。

積項(交互作用)や2次項を取り上げると実験サイズが大きくなる。

→実験サイズを合理的に圧縮できるのが最適計画(加減計画)

合理的とは必要な項（積項や2次項）を確実に取り込んで実験サイズを圧縮ができること、構造模型表があれば最適計画(カスタム計画)はJMPで容易に作成ができる。

→ソフトが要求に対応してくれる。しかし、実験回数は人間が選択する。

実験回数を少なくすると直交性が劣化するので注意（最大VIFで確認）が必要である。

この具体的な内容については図4に示している。

表3 適計画(カスタム計画)

Card	X1クロ	X2バス	X3洗面	X4台所	X5冷蔵
A	90	120	55	90	86
B	90	120	55	150	120
C	90	120	90	120	120
D	90	140	55	90	120
E	90	140	55	150	86
F	90	140	90	120	86
G	120	120	55	120	120
H	120	120	90	90	86
I	120	120	90	150	86
J	120	140	55	120	86
K	120	140	90	90	120
L	120	140	90	150	120

積項(交互作用)や2次項を取り上げる  
→と実験サイズが大きくなる。  
→最適計画(カスタム計画)で圧縮する

直交性の劣化に注意



VIFで直交性の確認

図3 適計画(カスタム計画)とその直交性の劣化に対する注意とVIFによる確認

	クロ	バス	洗面	台所	冷蔵	評価
1	90	120	55	90	86	1
2	90	120	55	150	120	2
3	90	120	90	120	120	3
4	90	140	55	90	120	4
5	90	140	55	150	86	5
6	90	140	90	120	86	6
7	120	120	55	120	120	7
8	120	120	90	90	86	8
9	120	120	90	150	86	9
10	120	140	55	120	86	10
11	120	140	90	90	120	11
12	120	140	90	150	120	12

- \* 実験回数少ない最適計画を作成する
- \* できた最適計画に適切な数値を入れる。
- \* 回帰分析で全数選択を行う。
- \* VIFを表示して最大VIFを把握する。
- \* VIFが1.5以下ならばOKである。
- \* VIFが1.5を越えたら実験回数を増やして再度最適計画を作成する。

パラメータ推定値					
項	推定値	標準誤差	t値	p値(Prob> t )	VIF
切片	-37.35714	2.392e-7	-2e+8	<.0001*	.
クロ	0.1833333	9.93e-10	1.8e+8	<.0001*	1.125
バス	0.15	1.405e-9	1.1e+8	<.0001*	1
洗面	0.0428571	8.51e-10	5e+7	<.0001*	1.125
台所	0.0166667	5.74e-10	2.9e+7	<.0001*	1
冷蔵	0	8.77e-10	0.00	1.0000	1.125
(バス-130)*(洗面-72.5)	0	8.51e-11	0.00	1.0000	1.125
(洗面-72.5)*(台所-120)	0	3.28e-11	0.00	1.0000	1
(台所-120)*(台所-120)	0	3.31e-11	0.00	1.0000	1

- 最大VIFは1.125である。
- 完全な直交 (VIF=1.0) ではないが、準直交になっている。
- この計画ならば分析上の深刻な問題は起きない。

図4 直交性の確認方法→VIFを利用

[E] PCによる対象の可視化：イラスト面図, 立体図, 写真, ショート動画

仮想実験は人間による対象の評価である。このため、負荷少なく短時間で信頼のおけるデータを手に入れるためにはPC（プロファイルカード）の工夫が鍵を握る。図#の例が示す様に工夫が必要である。近年の情報機器の活用でシート動画は有効である。動きのある対象の場合にはシート動画を活用することを推奨する。

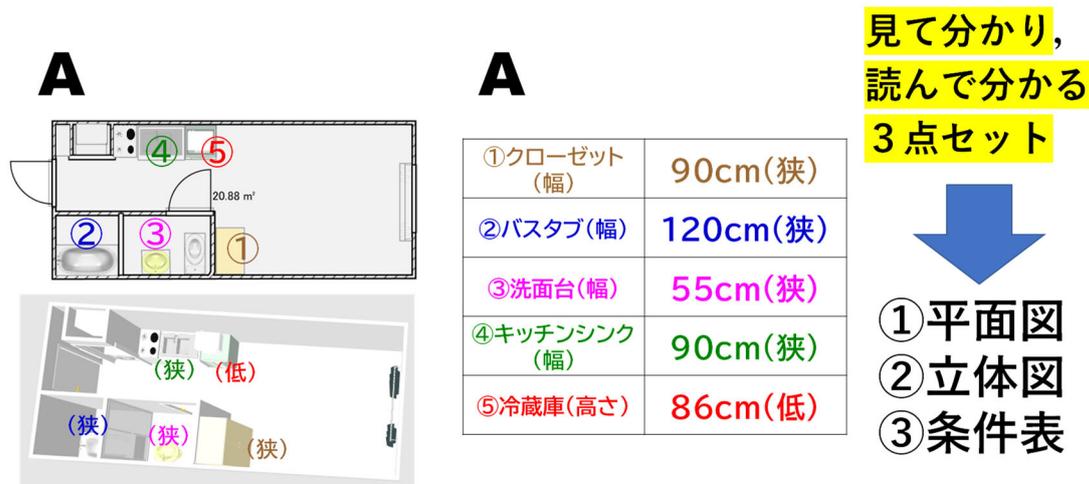


図5 PC (プロフィールカード) の例 (再掲)

**【F】前提条件：重要だが実験では固定する条件→【注】明示しないと誤解**

特性要因図のところで説明したように、重要な原因であっても実験因子として取り上げない場合がある。しかし、これは分析に大きな影響を与えるので実験に当たっては前提条件として固定する条件（水準）を明示する必要がある。このような場合には図6に示す様に前提条件を文字や数字や図で明示する。

マンションやホテルやドミトリ(寮)などの部屋の間取りの事例において、多くの場合は部屋の大きさ（縦サイズ×横サイズ）は定まっている。その中をどう間仕切るのが問題である。

**【積項（交互作用）】** に関して

\*この空間の中にいろいろなスペース（トイレ、風呂場、台所ほか）をとったり様々な家具（クローゼット、机、ほか）や多種の家電（冷蔵庫、洗濯機ほか）を置いたりすることになる。

\*この場合、部屋が狭いと互いに関連する状況が発生する。

どれかを広く・大きくするとそれは他のものに影響を与える（他のものを狭く・小さくするせざるを得ない）ために積項（交互作用）を持つことになる。

**【2次項（ピークやボトム）】** に関して

\*ベッドに注目すると、それと壁との間の空間はベッドが大きくなることで利用できる空間（スペース）が狭くなる。

\*この場合、ベッドは狭いよりは広い方が望ましいが、部屋の広さが一定なのでそれと壁との間の空間のことを考えると広ければ広いほど良いわけではなくピークが存在する。このことは2次項が必要となることを意味する。

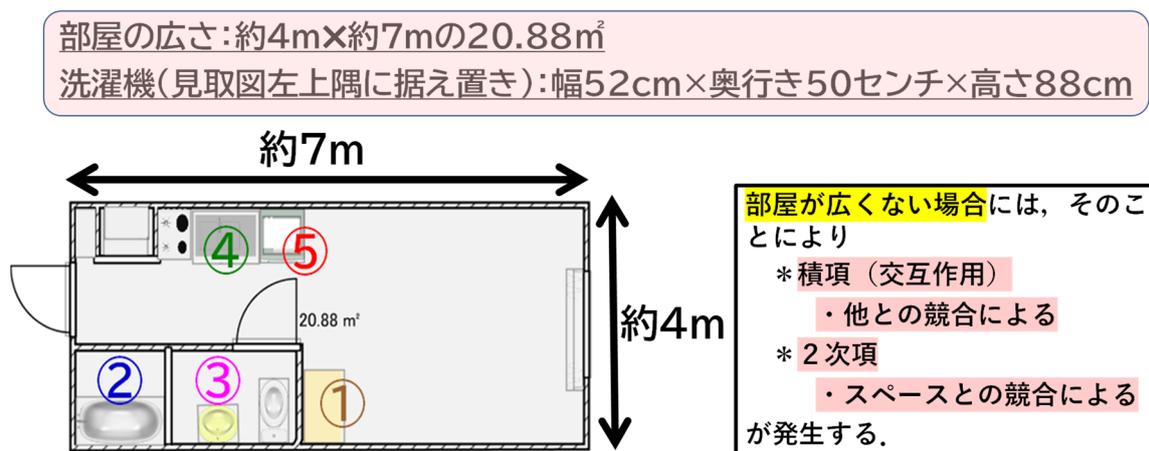


図6 前提条件の明示と積項および2次項との関係

**[G]層：【属性情報】 回答者自身の情報 (層別で吟味) → 【注】 層別解析がポイント**

人間相手の分析では層別が鍵を握ることが多い。層が異なると結果が大きく異なることは頻繁に発生する。したがって、いろいろな視点から層別分析を試みるのがポイントで、図#に示す様な属性 (回答者自身の情報) をしっかりと採っておかなければならない。これはフェイスシート項目と呼ばれて調査・実験の場合に最初に聞く場合が多いが、近年では調査・実験に影響を与えないために (最初に置くと調査・実験の意図を把握してデータに影響を与えることがあるために) 最後に聞くケースも増えている。

- はじめに、**あなた自身のことについて**、当てはまる番号に○を付けてください。
  - F1性別:(1)男性 (2)女性
  - F2年代:(1)10代 (2)20-24歳 (3)25-29歳 (4)30代以上
  - F3区分:(1)学生 (2)大学院生 (3)社会人大学院生 (4)社会人
    - ※学生・大学院生・社会人大学院生の方は専門分野を書いて下さい。
    - 【専門分野】→[\_\_\_\_\_]
  - F4コンビニの利用頻度:(1)毎日 (2)週5~6回程度 (3)週3回~週4回程度 (4)週1~2回程度 (5)月2~3回程度 (6)月1回程度 (7)年数回程度 (8)まったく利用しない
  - F5スーパーの利用頻度:(1)毎日 (2)週5~6回程度 (3)週3回~週4回程度 (4)週1~2回程度 (5)月2~3回程度 (6)月1回程度 (7)年数回程度 (8)まったく利用しない

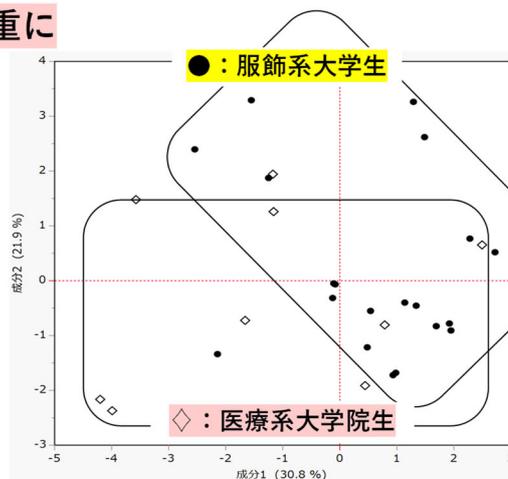
図7 属性情報の取得

仮想実験では個人のデータでも解析はできるが、層ごとに平均をとって層としての特徴を把握することが多い。ただし、層別の必要性をチェックするうえで、図7のように属性 (この場合は専門領域) の異なるデータに対して個人レベルのデータを用いて主成分分析を行って因子負荷量図を描くことは有効である。図#は層別が必要なことを示唆している。

※層については慎重に

固有値	固有値			累積寄与率
番号	固有値	寄与率	20 40 60 80	累積寄与率
1	3.695328	30.794		30.794
2	2.631916	21.933		52.727
3	1.905299	15.877		68.605
4	1.216998	10.142		78.746
5	0.904192	7.535		86.281
6	0.706646	5.889		92.170
7	0.328199	2.735		94.905
8	0.240626	2.005		96.910
9	0.187725	1.564		98.474
10	0.124049	1.034		99.508
11	0.059024	0.492		100.000

(1)寄与率のパレート図



(2)因子負荷量図

●：服飾系大学生  
◇：医療系大学院生

2つの層の間には違いがありそうである。



この例の場合には層別して層ごとに解析を行う必要がある。

図8 属性情報に基づく主成分分析を活用した層別に関する検討

**[H]順位評価：2段階3手順の並べ替え→【注】直接の全体順位付けは避ける。**

点数評価はハードルが高いので順位評価がを用いるのが現実的である。その場合、直接に全体を一気に順位付けするのは避けた方が良い。これは回答者に強い付加をかけるとともに時間もかかり、得られた順位にあまり信用が置けない場合が多い。

推奨する順位評価は図9と図10に示している2段階3手順（2ステージ3ステップ）の並べ替えである。この方法は回答者の負担が軽減でき、短い時間で実施ができ、得られた順位に信用を置くことができる場合が多い。

なお、順位評価された結果は図#に示す様に順序付けに基づいて点数を付与する。このデータを層ごとに平均値を求めて分析を行う。

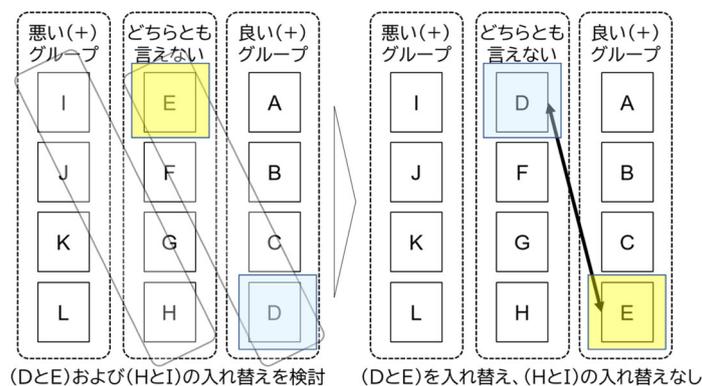


図9 2段階3手順（3手順）の順序付けの

2段構え（3手順）で評価すると負荷が少なく良いデータが採れる。

- [1]大分類：大胆に3グレード（良，悪，他）のグループ（G）に分ける。
- [2]G内の精密順位：グループ（G）ごとにていねいに順位を付ける。
- [3]全体の精密順位：上Gの下位と下Gの上位を比較し精密に順位付ける。

- [4]最後に念のために全体の順位を確認するとよい。
- [5]カード n 枚の場合の第 k 順位の点  $Y_k$  以下とあり。

$$Y_k = n + 1 - k$$

【例】カードが12枚なら

1位→12, 2位→11, 3位→10, …, 11位→2, 12位→1

図 10 2段構え3手順の順序付けに基づく点数の付与

これは順位間が等間隔としているために、厳密な議論をするには粗い情報である。もしより詳細な情報を得たい場合には「次に説明する階差評価」を行うとよい。

### [I]階差評価：順位が前後の差(階差)の評価→【注】当該の階差に集中する。

本研究が原則としている内挿解や外挿解を得るためにはデータは間隔尺度であることが望ましい。しかし、全PCに対して点数評価を求めることは以下の理由で避けた方がよい。

- ・回答者にかなり大きな負担をかける。
- ・時間がかかりかかる。
- ・データはあまり信用が置けない。

可能であれば、推奨する方法は「階差評価」である。

- ・「階差」とは隣り合った前後の差（差分ともいう）のことである。
- ・順位がついているもとで「階差」を評価する。

※順位は2段構え（3手順）でつけると良い。

- ・評価した「階差」を積み上げることで評点とする。

この前段として2段構え3手順の順位付けで順位がつけられれば、この結果を利用して以下に示す「階差評価」により準間隔尺度データをとることができる。

階差評価：順位が前後の差(階差)の評価

以下の5段階の評価点のデータをとる。

内挿解や外挿解を得るためにはデータは間隔尺度である必要がある。

2段構え（3手順）の順位付けで順位がついているのでこの結果を利用して準間隔尺度データをとる。

**階差評価：順位が前後の差(階差)の評価  
以下の5段階の評価点のデータをとる。**

- |              |               |
|--------------|---------------|
| 5：極端に大きな差がある | 2：小さいが差がある    |
| 4：かなり大きな差がある | 1：かなり小さいが差はある |
| 3：しっかりと差がある  | 0：差はない        |

図 11 順位評価に基づく階差評価による準間隔尺度データの採取

階差評価のデータから評価点を計算する。この計算は図#が示す様に積み上げ計算である。図#にはPCが5枚の場合の具体的な例を示している。

カードがn枚のもとで1位と2位の差を $d_1$ とし、以下第i位と第i+1位の差を $d_i$ とする。これらをもとに第k順位の評価点  $y_k$  を積重ねて点数化する。

$$y_k = d_n + d_{n-1} + \dots + d_{k+1} + d_k \quad \text{【注】 } d_n=0$$

これは本来の（厳密な）間隔尺度評価には及ばないが、かなりそれに近づくもの（準ずるもの）である。したがってこれを準間隔尺度と呼ぶ。重要なことは「回答者に過度の負担をかけず、できるだけきめ細かなデータをとるためには工夫が必要である」ということである。

**【注】** ここでは $d_n = 0$ としているが、 $d_n$ に特別な値を与えてもよい。

図 12 階差評価による積み上げデータの計算方法

$$y_k = d_n + d_{n-1} + \dots + d_{k+1} + d_k \quad \text{【注】 } d_n=0$$

順位	階差	評点	順位
1位	$d_1$	$y_1 = d_4 + d_3 + d_2 + d_1$	1位
2位	$d_2$	$y_2 = d_4 + d_3 + d_2$	2位
3位	$d_3$	$y_3 = d_4 + d_3$	3位
4位	$d_4$	$y_4 = d_4$	4位
5位	$d_5 = 0$	$y_5 = 0$	5位

**【注】** ここでは $d_n = 0$ としているが、 $d_n$ に特別な値を与えてもよい。

図 13 例（PC が5つの場合）における階差評価による積み上げデータの計算方法

#### 4. 仮想実験における重要事項

##### 4.1 仮想実験における13のポイント

仮想的な対象を用いた実験はこれまでコンジョイント分析と呼ばれている。本研究はこれを敢えて「仮想実験」あるいは「質問紙実験」と呼ぶ。その理由は以下に示す13の点において従来のコンジョイント分析とは決定的に異なるからである。

- 1) 直交計画ではなく最適計画を前提にしている。
- 2) 因子はできるだけ工夫し原則として量的因子とする。
- 3) 交互作用（積項）と2次項を積極的に取り上げる。
- 4) 評価は7段階を原則として最低でも5段階とする。
- 5) 直交性は多少譲歩し必要な項を採用する。

※積項（交互作用）と2次項はできるだけ取り入れる。

実験数は12~15を目指し16を限度とする。

- 6) 構造模型表を作成しこれを用いて最適計画を立てる.
- 7) 変数選択の重回帰分析で模型化(モデリング)を行う.
- 8) 設計では数理計画法に基づく多目的最適化を行う.
- 9) 最後の抑えとして設計後に解の確認調査を行う.
- 10) 前提条件を明示している.
- 11) 層別を強く意識して属性情報を丁寧に採っている.
- 12) 最適化では内挿及び多少の外挿を対象としている.

※コンジョイント分析は実験点の組合せで求解

- 13) 水準の位置と幅に注意する.

#### 4.2 積項(交互作用)と2次項の重視

最適計画は構造模型表に基づいている。ここで問題となる積項や2次項は前提条件で大きく異なるとともに、層によっても大きく異なるためこれらの情報は実験条件と強く絡むので不可欠の情報である。また、図14のように同じ因子に対しても水準の位置と幅で効果の判断が大きく異なる。実験においては取り上げた因子が同じでも

\*水準をどこに取るか

\*水準数をいくつにするか \*幅はどうとるか

で話は大きく変わることに注意が必要である。

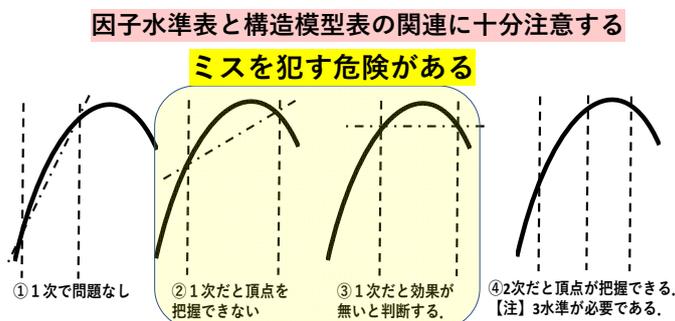


図14 水準のとり方による結果の出方と考察への影響

例えばマンションやホテルやドミトリー(寮)などの部屋の間取りをとりあげる。これらは多くの場合部屋の大きさ(縦サイズ×横サイズ)は定まっている。その中をどう間仕切るのが問題である。この空間の中にいろいろなスペース(トイレ、風呂場、台所ほか)をとったり様々な家具(クローゼット、机、ほか)や多種の家電(冷蔵庫、洗濯機ほか)を置いたりすることになる。

この場合、どれかを広く・大きくするとそれは他のものに影響を与える(他のものを狭く・小さくするせざるを得ない)ために積項(交互作用)を持つことになる。あるいはベッドを例でにとると、それと壁との間の空間はベッドが大きくなることで利用できる空間が狭くなる。この場合、ベッドは狭いよりは広い方が望ましいが、部屋の広さが一定なのでそれと壁との間の空間のことを考えると広ければ広いほど良いわけではなくピークが存在する。そのことは2次項が必要となることを意味する。従来のコンジョイント

ト分析においてはこれらの配慮をしていない。本研究はこれに対して具体的な提案を行う。

### 4.3 4種類の解（設計）

設計とは最適化で、最適化とは最適解（条件）を選ぶことである。そして解には以下の4種類のものがある。

- <1>実験点解（実験点のみが対象）
- <2>格子点解（実験点の組合せが対象）
- <3>内挿解（実験水準の全範囲が対象）
- <4>外挿解（実験水準の全範囲の外側も対象）

【注】少しの外挿ならば外挿解は実現することが多い。

これまでのコンジョイント分析では<2>の実験点の組合せで求解している。しかし因子が量的の場合には実験点の間が重要で、これは内挿解を対象にすべきである。そして場合によっては多少の外挿解も対象にすべきである。

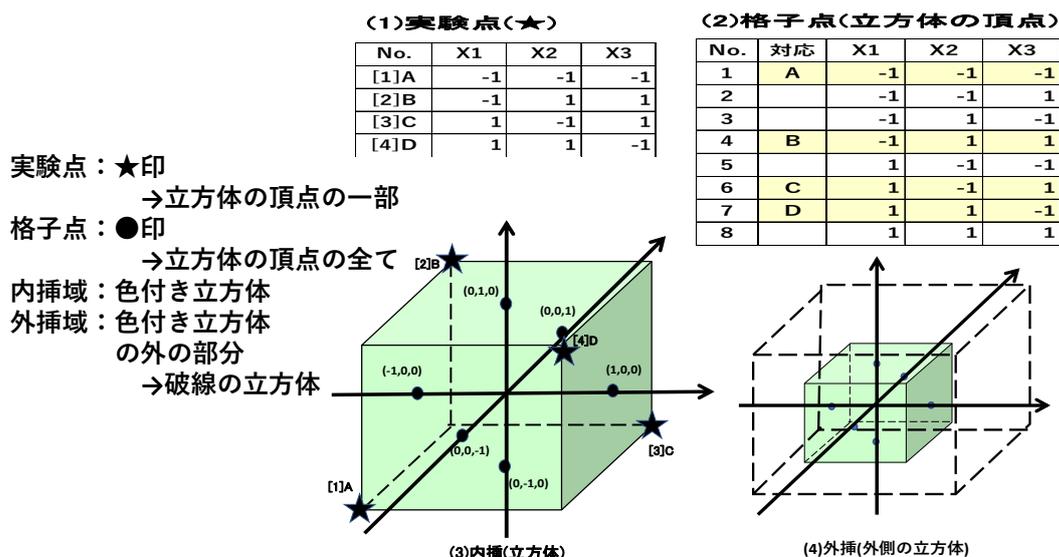


図15 実験点と格子点と内挿域と外挿域（破線の立方体）

最終的には解の実現確認を行うので、もし問題があればそこで見つけることができる。したがって、内挿解や多少の外挿解を得るチャンスを失ってはならない。

多くのコンジョイント分析は格子点解を対象としている。しかしこれは本当に良い解（ベストの解）を見つけることが困難であるとともに因果構造（模型、数式）の把握も雑である。原則は内挿解を求めるべきであり、より高い可能性を望む場合には外挿解も注目すべきである。したがって以下の捉え方をすることが望ましい。

本研究は以下のアプローチを推奨する。内挿解をベースにして外挿解も試してみる。内挿解が実現しない場合には格子点解を安全解として用い、それが実現しない場合には実験点解を用いる。もしも実験点解

すらも実現しなかった場合には、仮想実験は根本的に（致命的に）おかしなことになっていると考えなければならぬ。

#### 4.4 設計のための重要な項の判断

仮想実験のデータに対して変数選択の重回帰分析を行うと効いているものと効いていないものが把握できるとともに重回帰式という形で因果模型（因果モデル）を数理的に可視化することができる。

\*変数選択で何が効いて何が効かないのかを把握する。

\*寄与率によりパワー（影響力）を把握して設計をする。

・推定式全体のパワー、・個別の項のパワー

\*個別の項のパワーに関する情報は以下の3つがある。

①標準偏回帰係数：中心化変換し標準偏差で割る

Y を中心化変換し標準偏差で割った値の式

※したがって、Y への影響力を吟味するだけ。

②尺度化偏回帰係数：中心化変換し範囲の半分で割る

Y の値を求める式

※Y への影響力の吟味も Y の計算もできる。

③個別の項の寄与率：変動の比（調整あり）

式ではないので Y の値を求めることはできない。

式ではないので Y の因果構造も分からない。

##### 【推奨する使い方】

尺度化偏回帰係数を用いた式が最も有用である。

- ・Y の値を求めることができる。
- ・各項の Y への影響力が把握できる。
- ・係数の意味（符号と絶対値）も理解できる。
- ・必要なら式を展開して簡略表現にする。

更に加えて補助的に個別の項の寄与率を参考にする。

※寄与率は Y へのパワーの比較に関して変動の割合を示すものなので直感的理解は可能だが、因果構造は把握できない。したがって尺度化偏回帰係数をメインに判断して寄与率を補助的に用いるとよい。

$$\text{項}i\text{の寄与率} = (S_i - \phi_i \times V_e) / S_T \quad (1)$$

変数選択されたからと言ってその全ての因子に手を打つことはない。変数選択された因子の間に結果に与える影響（効果）の大きさである重要性の優劣がある。推定回帰式の係数はこれに関する一つの情報であるが、単位に依存するという問題に注意しなければならない。

効果の大きさをよりよく理解して比較するためには、尺度不変な（スケールに左右されない）値で検討しなければならない。各項の係数の推定値の大きさが効果の大きさ（重要性）を反映する値を用いることが

重要である。あるいは、各項の結果に対する効果の大きさを反映することのできる指標を用いることも選択肢である。

図 16 に尺度化偏回帰係数と標準偏回帰係数を示している。そして、図 17 には各項の寄与率 (式(1)で計算) を示している。寄与率は直交の場合が前提であるが、採用した最適計画は準直交なので直交の場合に準じて解釈ができる。

パラメータ推定値						
項	推定値	標準誤差	t値	p値(Prob> t )	標準β	VIF
切片	7.175	0.218899	32.78	<.0001*	0	.
ク口(90,120)	1.7875	0.134048	13.33	<.0001*	0.759498	1.125
バス(120,140)	0.6416667	0.126381	5.08	0.0038*	0.27264	1
洗面(55,90)	0.4625	0.134048	3.45	0.0182*	0.196513	1.125
台所(90,150)	1.1	0.154785	7.11	0.0009*	0.381617	1
バス*洗面	-0.241667	0.126381	-1.91	0.1141	-0.10268	1
台所*台所	-1	0.268095	-3.73	0.0136*	-0.2003	1

$$\begin{aligned}
 & 7.175 \\
 & + 1.7875 \cdot \left( \frac{\text{ク口} - 105}{15} \right) \\
 & + 0.641666667 \cdot \left( \frac{\text{バス} - 130}{10} \right) \\
 & + 0.4625 \cdot \left( \frac{\text{洗面} - 72.5}{17.5} \right) \\
 & + 1.1 \cdot \left( \frac{\text{台所} - 120}{30} \right) \\
 & + \left( \frac{\text{バス} - 130}{10} \right) \cdot \left( \frac{\text{洗面} - 72.5}{17.5} \right) \cdot (-0.241666667) \\
 & + \left( \frac{\text{台所} - 120}{30} \right) \cdot \left( \frac{\text{台所} - 120}{30} \right) \cdot (-1)
 \end{aligned}$$

(1) 尺度化偏回帰係数と標準偏回帰係数と VIF (2) 尺度化した推定値

図 16 尺度化偏回帰係数と標準偏回帰係数と VIF

分散分析表							
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	p値(Prob>F)	寄与率	.2 .4 .6 .8
ク口	34.0817	1	34.0817	177.817	<.0001*	61.27	
バス	4.9408	1	4.9408	25.778	0.0038*	8.59	
洗面	2.2817	1	2.2817	11.904	0.0182*	3.78	
台所	9.6800	1	9.6800	50.504	0.0009*	17.15	
バス*洗面	0.7008	1	0.7008	3.657	0.1141	0.92	
台所*台所	2.6667	1	2.6667	13.913	0.0136*	4.47	
モデル	65.5108	6	10.9185	56.966	0.0002*	96.19	
誤差	0.9583	5	0.1917			3.81	
全体(修正済み)	66.4692	11					

図 17 各項の寄与率 (式(1)で計算)

## 5. おわりに

本研究は仮想実験としての質問紙実験について議論した。その結果として得られた結論は以下に示す 5 点である。

- \* 因子は工夫により原則として量的に扱い、積項と 2 次項を視野に入れて構造模型表を作成したうえで最適計画を用いて効率的な実験をする。
- \* 最適計画の作成では最大 VIF を確認することで準直交を確保して安全に実験回数を圧縮する。
- \* 解には実験点解、格子点解、内挿解、外挿解があるが、内挿解を原則とし外挿解にも挑戦する。
- \* プロファイルカードの評価は 2 段階 3 手順による順位評価をベースにして、もし可能ならその後に階差評価 (準間隔尺度評価) を行う。

\* 因子の重要度は尺度化偏回帰係数をベースにして寄与率を補助情報として用いる。  
本研究の提案方法の事例への適用が今後の課題である。

#### 参考文献

- [1] 菅民郎(2013): 「Excel で学ぶ多変量解析入門」, オーム社.
- [2] 川崎昌, 高橋武則 (2017). インターネット調査における多群質問項目の解析と提案. 情報システム学会誌, Vol.12 No.2, 1-16.
- [3] 川崎昌, 高橋武則 (2019). オンラインによる調査と実験. 目白大学経営学研究, (17), 35-47.
- [4] Kawasaki, S. and Takahashi, T.(2021): Application of selective dual-sided causal analysis and structural equation modeling in online survey, *Proc. of the Asian Network for Quality Congress 2021 in Singapore*, pp.1-17.
- [5] 川崎昌, 高橋武則 (2021). 選抜型両側因果分析で得た結果にもとづく構造方程式モデリングへの接近. Discovery Summit Japan 2021, Session ID: 2021-JA-50MP-23, 1-15.
- [6] 川崎昌, 高橋武則(2022):”データサイエンスの教育における座学とアクティブラーニング”, JSQC 第 130 回研究発表会発表要旨集, 9-12.
- [7] 川崎昌, 高橋武則(2022):” データサイエンスに基づく積項と 2 次項を対象とした質問紙実験”, JSQC 第 130 回研究発表会発表要旨集,印刷中.
- [8] 宮川雅巳 (1997). グラフィカルモデリング, 朝倉書店.
- [9] 佐村紫帆, 山内慶太(2021). 初診患者満足度の因果構造を俯瞰的に把握する解析～脳神経クリニックにおける適用事例～, Discovery Summit Japan 2021, Session ID: 2021-JA--25MP-08,, 1-15.
- [10] 高橋武則 (2018): “HOPE 理論に基づく戦略的包括型設計法”, 目白大学経営学研究, 16, 39-54.
- [11] 高橋武則, 川崎昌. (2019). アンケートによる調査と仮想実験 - 顧客満足度の把握と向上 -, 日科技連出版社
- [12] Takahashi, T. (2021): Dual -sided Causal Analysis and Structural Equation Modeling - Principal Component as a Catalyst in Causal Analysis - *Proc. of the Asian Network for Quality Congress 2021 in Singapore*, pp.1-13.
- [13] 高橋武則 (2021). 選抜型両側因果分析から反転因果分析への進展. Discovery Summit Japan 2021, Session ID: 2021-JA-50MP-21, 1-20.
- [14] 高橋武則(2020):”質問数の多いアンケート調査のための両側因果分析”, SAS Discovery Summit Japan 2020, pp.1-14.

## ◆ Discovery Summit Japan 2022 コミッティー

産業技術総合研究所／電気通信大学	遠藤 幸一
九州大学	岸本 淳司
慶應義塾大学	高橋 武則
株式会社村田製作所	濱口 勝重
株式会社リコー	廣野 元久
Satin Design	三井 正

※ 五十音順

## ◆ Discovery Summit Japan 事務局

SAS Institute Japan 株式会社 JMP ジャパン事業部

〒106-6111 東京都港区六本木 6-10-1 六本木ヒルズ森タワー11 階

TEL : 03-6434-3780 FAX : 03-6434-3781

E-mail : [jpnmktg@jmp.com](mailto:jpnmktg@jmp.com)

<http://www.jmp.com/japan/>

## Discovery Summit Japan 2022 論文集

---

2022年11月17日 初版発行

発行

SAS Institute Japan 株式会社 JMP ジャパン事業部



## Discovery Summit Japan 2022 論文集

---

2022年11月17日発行

発行 SAS Institute Japan 株式会社 JMP ジャパン事業部  
〒106-6111 東京都港区六本木 6-10-1 六本木ヒルズ森タワー11階  
TEL : 03-6434-3780 FAX : 03-6434-3781  
E-mail : [jpnmktg@jmp.com](mailto:jpnmktg@jmp.com)  
<http://www.jmp.com/japan/>