

SN 比の信頼区間導出に関する支援ソフトの研究

M2013SS005 : 松月 強

指導教員 : 松田 眞一

1 はじめに

近年製造業で高い関心が集まる方法にタグチメソッドがある。この理論に対する研究は過去の先輩が行っているが、統計解析ソフト R を用いて行われているものがほとんどである。しかし R はメジャーなものではなく、扱うことに慣れていない利用者であるとデータの解析、加工などが複雑であり満足な結果が得られるまでに時間を要してしまう可能性がある。

そこで今回の研究では、メジャーなソフトウェアである Excel に注目し Excel からデータを読み込み R で解析を行って Excel に解析結果を出力するプログラムを VBA を用いて作成し、データの扱いを簡単にしたいと考えた。

2 タグチメソッドとは

タグチメソッド (品質工学とも呼ばれる) とは、実験計画法から発展した技術である。実験計画法は、調べたい因子の結果に与える効果について少ない実験回数で評価を行うための統計的実験手法である。実験計画法を用いて、ばらつきや劣化を減らしその上で目標値に合わせるという手法である。また SN 比とは田口氏が導入した入出力の関係におけるノイズに対する強さを数値化したものである。この値が大きいほどばらつきは小さくなり、安定しているといえる。また初めに SN 比の高い条件を選び、次に感度によって目標値に設定することを二段階設計と呼ぶ。ここで感度とは目標値との差を表している。(立林 [3] 参照)

3 静特性について

3.1 静特性とは

出力の目標値が変化しないシステムのことである。

【例】乾電池、蛍光灯など (立林 [3] 参照)

3.2 SN 比の求め方と統計的分布 (一元配置)

制御因子が A のみで、誤差因子が N のみの m 回繰り返し実験によって得られたデータを表 1 とする。

このとき、標本 SN 比は

$$\gamma_{A_i} = 10 \log_{10} \left(\frac{\bar{x}_{A_i}^2}{V_{A_i}} \right) \quad (1)$$

である。ここで得られたデータ x_{ijk} は以下のように分解することができる。

$$x_{ijk} = \mu'_i + n_{ij} + \epsilon_{ijk} = \mu + a_i + n_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (2)$$

μ'_i : 制御因子の各水準での母平均 ($\mu'_i = \mu + a_i$)
 n_{ij} : A_i 水準における誤差因子 N_j 水準の影響の大きさ
 ϵ_{ijk} : データを取る際に生じる誤差因子以外の誤差

表 1 静特性の実験データ

水準	N_1, \dots, N_r	平均	不偏分散	SN 比
A_1	x_{111}, \dots, x_{1r1} \vdots x_{11m}, \dots, x_{1rm}	\bar{x}_{A_1}	V_{A_1}	γ_{A_1}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
A_a	x_{a11}, \dots, x_{ar1} \vdots x_{a1m}, \dots, x_{arm}	\bar{x}_{A_a}	V_{A_a}	γ_{A_a}

\bar{x}_{A_i} : 制御因子 A が i 水準のときの平均
 V_{A_i} : 制御因子 A が i 水準のときの不偏分散

ここで誤差 ϵ_{ijk} は $E(\epsilon_{ijk}) = 0$, $V(\epsilon_{ijk}) = \sigma_i^2$ であり, $\sum_{i=1}^a a_i = 0$, $\sum_{i=1}^a n_{ij} = 0$ である。よって母 SN 比は,

$$10 \log_{10} \frac{(\mu + a_i)^2}{\sum_{j=1}^r \frac{mn_{ij}^2}{(rm-1)} + \sigma_i^2} \quad (3)$$

である。次に、誤差 ϵ_{ijk} に正規性を仮定して確率分布を求めると、

$$\frac{rm\bar{x}_{A_i}^2}{V_{A_i}} \sim F''(1, rm-1; \delta_1, \delta_2)$$

$$\delta_1 = \frac{rm(\mu + a_i)^2}{\sigma_i^2}, \delta_2 = \frac{m \sum n_{ij}^2}{\sigma_i^2} \quad (4)$$

となる。よって静特性 (望目特性) は上記に表される 2 重非心 F 分布に従うことがわかる。また静特性二元配置についても同様に従うことがわかる。(堀井 [7], 永田 [4], 藤井 [5] 参照)

4 動特性について

4.1 動特性とは

出力に対して入力動くシステムのこと【例】車のブレーキ、アクセルなど

4.2 SN 比の求め方と統計的分布 (一元配置)

章 3.2 と同様に動特性も 2 重非心 F 分布に従う。また二元配置も同様である。(堀井 [7], 永田 [4], 藤井 [5] 参照)

5 感度について

3 章, 4 章の SN 比に対する感度の式は以下のように表すことができる。

静特性一元配置は, $S_{A_i} = 10 \log_{10} \bar{x}_{A_i}^2$ である。動特性一元配置は, $S_{A_i} = 10 \log_{10} \hat{\beta}_{A_i}^2$ である。

また二元配置も同様を求めることができる。

6 SN比の信頼区間の導出について

2重非心F分布に従う確率変数を F'' とすると、

$$Pr\{f_1 \leq F'' \leq f_2\} = 1 - \alpha$$

と表すことができる。信頼区間は $[f_1, f_2]$ である。 f_1, f_2 の計算は $\frac{\alpha}{2}$ ずつ行った。静特性一元配置の信頼区間は $[10 \log_{10} \frac{f_1}{F''M}, 10 \log_{10} \frac{f_2}{F''M}]$ となる。また動特性、二元配置の場合も同様に得られる。(高橋 [2], 藤井 [5] 参照)

7 SN比の再現性について

SN比の再現性については、一般的に推定と確認の差が $\pm 3\text{db}$ に入っていれば再現されているとされている。(立林 [3] 参照)

8 作成したソフトウェアの仕様について

SN比の信頼区間導出に関するソフトウェアについて実際に使用する流れを説明する。以下のような手順になる。

また使用するR関数に関しては藤村 [6] と藤井 [5] が作成したものに感度を加えた。さらに藤村 [6] の動特性のプログラムはバグがあるため修正を加えた。

1. ExcelでRの実行パスをユーザーに指定させて保存
2. データ構造の選択と信頼係数の決定
3. 実験データ、水準などの入力画面の出力を行い、データを入力
4. テキストに入力後、Excelでデータのファイルパスを保存
5. R実行命令文のテキストファイルを作成し、バッチコマンドとしてRを実行し、データから計算を行う
6. Rでの計算結果をRでテキストファイルに書き出す
7. Excelで計算結果のテキストファイルが作成されているか確認する
8. Excelで計算結果を入力するワークシートの初期化を行う
9. ExcelでRの計算結果のテキストファイルを読み込む(計算結果はセル区切りで実装する)
10. 最終的な結果を表形式で出力

8.1 EXCELの起動とRの初期設定

はじめにEXCELを起動すると図1が表示される。ここでRの初期設定を行い図1のように【Rcmd.exe】を設定する。(浅井 [1] 参照)

8.2 データ構造の選択と信頼係数の決定

信頼係数を決定する。今回は90%信頼区間で計算する。図1のメインメニューから、実行するデータ構造を選択する。4種類ある中から今回は静特性一元配置で説明する。

8.3 直積実験表の表示とデータ入力

各水準、繰り返し回数を入力する。そして「メニュー」から「直交表の表示」をクリックすることで直交表が表示されるよう実装した。実行結果を入力すると図2になる。

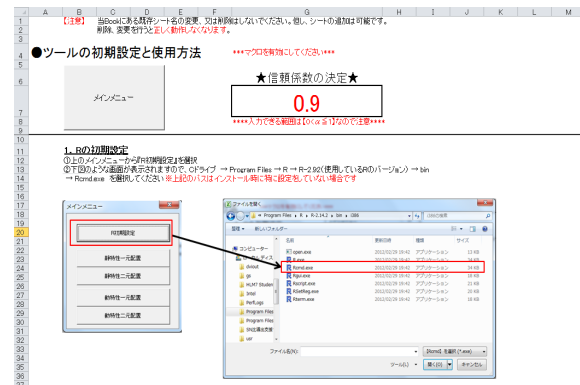


図1 R初期設定

静特性一元配置				水準A	誤差N	実験結果
データ挿入	因子数		1	1	16.173	
水準A	3		1	1	16.29	
誤差N	3		1	2	16.031	
繰り返し	2		1	2	16.149	
			1	3	16.039	
			1	3	16.041	
			2	1	15.092	
			2	1	14.761	
			2	2	14.545	
			2	2	14.775	
			2	3	14.402	
			2	3	14.46	
			3	1	14.019	
			3	1	13.664	
			3	2	13.443	

図2 直積実験表の表示とデータ入力

8.4 R実行命令文の作成と呼び出し

Rでの計算命令文を図2からExcelで作成しRの呼び出し処理を実装した。

8.5 Rの計算結果とExcelへの入力

Rの計算結果をテキストファイルに出力し、Excelに入力するように実装した。また計算結果のテキストファイルが作成されているかを確認し、作成されていない場合はエラーとして返すようにした。処理方法は浅井 [1] を参考にした。

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2		水準	上側SN比	下側SN比	SN比	感度	
3		A1	47.05434	38.28609	43.87232	24.14757	
4		A2	38.9669	31.62272	35.14912	23.33008	
5		A3	36.20579	27.50643	31.15601	22.71198	
6							
7							

図3 SN比と感度の出力

8.6 ExcelでのSN比計算結果表示

図2で「計算結果の表示」をクリックすることでこの出力までを自動で行うように実装した。出力は図3のようになる。また今回はこちらで説明したが、他の3種類

のプログラムに関しても同じフローで動くように実装してある。

9 解析例について

全ての解析例のデータは、あるサーキットでの RC カーレースにおける 1 周のタイムをシミュレーションにより採取したデータである。

9.1 静特性二元配置の実行例

各因子の水準は表 2 のように定めた。(藤井 [5] 参照)

表 2 カーシミュレーションの水準 (静特性二元配置)

水準	ギア比 (A)	グリップ (B)	モーター (N)
水準 1	3	1.3	マブチ 540SH
水準 2	5	1.6	Johnson540
水準 3	-	1.9	Sport-Tune

ギア比が制御因子 A(3 水準), グリップが制御因子 B(3 水準), モーターが誤差因子 N(3 水準) である。この実験を各水準ごとに 2 回の繰り返し実験で得られたデータが表 3 である。この実験結果をプログラムにかけ、図 4 を得た。

表 3 カーシミュレーションの実験結果 (静特性二元配置)

水準		N1	N2	N3
A1	B1	16.09	16.01	15.99
		16.21	16.00	15.95
	B2	14.58	14.50	14.44
		14.51	14.42	14.41
	B3	13.60	13.29	13.28
		13.49	13.42	13.29
A2	B1	16.33	16.41	16.13
		17.27	16.20	16.16
	B2	15.51	15.80	14.60
		16.37	15.03	14.78
	B3	14.99	14.94	13.84
		15.58	14.01	13.98

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2		水準	上側SN比	下側SN比	SN比	感度	
3		A1	22.57103	22.01411	22.30967	23.3095	
4		A2	24.32292	21.08059	23.9903	23.77326	
5		B1	33.96405	28.06597	33.1676	24.20592	
6		B2	28.20086	22.76173	27.29622	23.47101	
7		B3	26.10558	20.9785	25.08524	22.90755	
8							
9							

図 4 プログラムの出力結果 (静特性二元配置)

9.2 出力結果の考察 (静特性二元配置)

SN 比の信頼区間の幅の平均は水準 A で 1.90db, 水準 B で 5.49db となった。再現性 ± 3 db と比較してみると、全体的には上側寄りであることがわかる。上側の平均の幅は、水準 A で 0.30db, 水準 B で 0.91db, 下側の平均の幅は水準 A で 1.60db, 水準 B で 4.58db となった。水準 A, B どちらにも言えることは上側は再現性に対して 3db を切っている。水準 B の下側は 3db を切らない結果となっている。

この結果から、再現性 ± 3 db という基準は二元配置の場合緩い基準になる可能性が高いということがわかった。また、対称性に関しては上側に寄る結果となった。

感度に関しては、水準 A, B ともに SN 比を大きく変えずに感度の変化が大きいものは出現しなかった。二段階設計をする上で、目標値への調整は難しい可能性がある。

9.3 動特性一元配置の実行例

信号因子をトルクとし、各因子の水準を表 4 のように定めた。(高橋 [2] 参照)

表 4 カーシミュレーションの水準 (動特性一元配置)

	ギア比	グリップ	トルク
水準 1	4	1.3	1
水準 2	5	1.6	1.5
水準 3	6	1.9	2
水準 4	-	2.0	-

ギア比が制御因子 A(3 水準), グリップが誤差因子 N(4 水準) である。また、信号因子 x をトルク (3 水準) とし、実験で得られたデータが表 5 である。この実験結果をプログラムにかけ、図 5 を得た。

表 5 カーシミュレーションの実験結果 (動特性一元配置)

		x1	x2	x3
A1	N1	16.648	16.287	16.101
	N2	15.767	14.831	14.583
	N3	15.238	14.354	13.976
	N4	14.902	13.714	13.156
A2	N1	17.348	16.474	16.968
	N2	16.105	15.685	15.574
	N3	16.248	14.876	14.456
	N4	15.496	15.362	15.245
A3	N1	19.489	17.572	17.509
	N2	18.922	18.142	16.567
	N3	19.130	18.470	16.742
	N4	17.682	16.568	18.329

9.4 出力結果の考察 (動特性一元配置)

SN 比の信頼区間の幅は最大で 6.87db, 最小で 6.80db となった。SN 比の再現性の ± 3 db と比較してみると、対

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2		水準	上側SN比	下側SN比	SN比	感度	
3		A1	10.30863	3.460102	6.346811	19.28116	
4		A2	10.70869	3.904727	6.750007	19.79631	
5		A3	10.19532	3.329491	6.200837	20.8454	
6							
7							

図5 プログラムの出力結果(動特性一元配置)

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2		水準	上側SN比	下側SN比	SN比	感度	
3		A1	8.415857	1.746899	6.252549	19.44576	
4		A2	8.177859	1.408153	6.082673	20.07987	
5		B1	8.358529	1.666426	6.199343	19.77068	
6		B2	8.193251	1.435082	5.99147	19.76652	
7							
8							

図6 プログラムの出力結果(動特性二元配置)

象ではなく3水準とも下側による結果となっている。しかし、6dbを切るものはなかった。

このため、再現性 ± 3 dbは動特性一元配置の場合、緩い基準ではないことがわかる。

9.5 動特性二元配置の実例

信号因子をトルクとし、各因子の水準は表6のように定めた。(藤井[5]参照)

表6 カーシミュレーションの水準(動特性二元配置)

水準	ギア比	回転部分相当重量	グリップ	トルク
水準1	4	0.15	1.3	1
水準2	5	0.25	1.6	1.5
水準3	-	-	1.9	2

ギア比が制御因子A(2水準)、回転部分相当重量が制御因子B(2水準)、グリップが誤差因子N(3水準)である。また、信号因子 x をトルク(3水準)とし、実験で得られたデータが表7である。この実験結果をプログラムにかけ、図6を得た。

表7 カーシミュレーションの実験結果(動特性二元配置)

			x1	x2	x3
A1	B1	N1	16.718	16.423	16.096
		N2	15.743	14.834	14.926
		N3	14.632	13.770	13.841
	B2	N1	16.954	16.187	16.097
		N2	15.486	14.907	14.535
		N3	14.940	13.937	13.780
A2	B1	N1	17.439	16.894	16.556
		N2	17.340	16.596	15.496
		N3	16.221	15.474	15.378
	B2	N1	18.470	17.000	17.027
		N2	16.634	16.268	15.326
		N3	16.192	16.199	14.755

9.6 出力結果の考察(動特性二元配置)

SN比の信頼区間の平均の幅は水準Aで6.72db、水準Bで6.73dbとなった。再現性 ± 3 dbと比較すると水準A、

Bともに上側寄りになることがわかった。水準Aの上側の幅の平均は2.13db、水準Bは2.18dbとなった。また下側の幅の平均は水準Aで4.59db、水準Bで4.54dbとなった。

今回幅に関しては ± 3 dbを切るものは現れなかったが、二元配置になると上下幅 ± 3 dbを切るものは現れているので、動特性二元配置の場合は信頼区間を使うべきなのではないのかという結論を得られる。また対称性に関しては上側に寄る結果になった。

感度に関しては、水準AでSN比をあまり変化させずに感度を変えることができるため、二段階設計をする上で目標値への調整が可能ではないかという推測が得られた。

10 おわりに

本研究では、ExcelからRを実行させて静特性一元配置から動特性二元配置までのSN比と感度を出力するプログラムを作成することができた。今後の課題としては、水準数がさらに多くなった場合の再現性や信頼区間の研究を行い、より実践的な研究を行っていくことだと感じた。

参考文献

- [1] 浅井悟史:『従業員満足の因果分析に関する研究』, 南山大学大学院数理工学専攻修士論文, 2012.
- [2] 高橋知也:『タグチメソッドのSN比における信頼区間の適用方法の研究』, 南山大学大学院数理工学専攻修士論文, 2011.
- [3] 立林和夫:『入門タグチメソッド』. 日科技連, 2004.
- [4] 永田靖:統計的手法におけるSN比. 第一回横幹連合総合シンポジウム, 2006.
- [5] 藤井裕之:『データ構造を拡張したSN比の分布に関する研究』, 南山大学大学院数理工学専攻修士論文, 2014.
- [6] 藤村良介:『タグチメソッドのSN比における信頼区間の性質に関する研究』, 南山大学大学院数理工学専攻修士論文, 2012.
- [7] 堀井里佳子:『タグチメソッドのSN比の統計的分布について』, 南山大学大学院数理工学専攻修士論文, 2010.