制御因子が2つの場合のSN比の分布に関する研究

藤井 裕之 *　　松田 眞一 †
E-Mail: matsu@nanzan-u.ac.jp

品質工学でよく用いるSN比に関して分布論からのアプローチがある。しかし，これまでの研究では制御因子が一つの場合に限られていた。本研究ではこれを制御因子が2つの場合に拡張し，同様の分布論による理論展開が可能なことを示す。その下でSN比の信頼区間の導出を行い，制御因子が1つの場合と動向が異なるのかを調査した。その結果，SN比の再現性に関して静特性・動特性ともに信頼区間の方がさらに短くなり，静特性の場合は信頼区間を用いないと再現性の確認は甘いものとなることが分かった。

1　はじめに

企業にとってはますます品質は重要であり，そのために問題を未然に防ぐ方法がいくつか存在する。その一つが近年製造業を中心に関心の高いタグチメソッドである。タグチメソッドの中心であるSN比に関して分布論の研究があるが，制御因子が1つのものに限られていたため利用は限定的であった。本論文では，制御因子が2つの場合に理論を拡張し，その性質を調べることを目的とする。

2　過去の研究

堀井・松田 [3] では永田 [6] が示した分布の導出を整備し，そのSN比の計算においては既存の近似法ではなくモンテカルロ法が妥当であると結論づけた。前廣・高橋・松田 [5] では他の近似法についての研究を行い，MCL-M法が有効であると結論づけた。また，実データに基づきSN比の再現性の確認を行い，±3dbは幅6dbに関しては問題がないが，対称性は無いために ±3dbが緩い基準であることがわかった。藤村・松田 [2] では，シミュレーションに基づいてSN比の再現性を確認し，静特性ではすべての結果において下側で ±3dbを切った回数が上回り，動特性では ±3dbの値は緩い基準ではないため変更する必要はないという結果を得て，SN比における ±3dbの妥当性や対称性に関して静特性と動特性は一律の基準ではないと結論づけた。しかし，藤村・松田 [2] までは1因子のみを制御因子として解析しており，データ構造を拡張した場合はどうなるのかを欠点としていた。

3　SN比の再現性

一般には，SN比の再現性は，推定と確認での差が ±3dbの間に入っていれば再現していると判断している。±3dbとは，$10\log_{10}$ をとっているので，約 $\frac{1}{2}$ 〜2倍の間に入っていることを意味している。(立林 [7]・藤村・松田 [2] 参照)

* 南山大学大学院数理情報研究科数理情報専攻
† 南山大学情報理工学部情報システム数理学科

4　制御因子が 2 つのデータ構造に対する SN 比

制御因子を A, B の 2 つで考えるが，主な導出結果は A_i 下の規定のものを表示する。B_j 下の規定でも同様である。導出の過程で堀井・松田 [3]，永田 [6] を参照した。

4.1　静特性 (望目特性) の SN 比

m 回繰り返しの制御因子が A と B で，誤差因子が N だけの実験で得られたデータを表 1 とする。$\bar{x}_{A_i}$ は制御因子 A が i 水準の平均，V_{A_i} は制御因子 A が i 水準の不偏分散

表 1: データ形式 (2 因子静特性)

<table>
<tr><th colspan="2">水準</th><th>$N_1,\ldots,N_r$</th><th>平均</th><th>不偏分散</th><th>SN 比</th></tr>
<tr><td rowspan="3">A_1</td><td>B_1</td><td>$x_{1111},\ldots,x_{11r1}$
$\vdots$
$x_{1b1m},\ldots,x_{1brm}$</td><td rowspan="3">$\bar{x}_{A_1}$</td><td rowspan="3">V_{A_1}</td><td rowspan="3">γ_{A_1}</td></tr>
<tr><td>$\vdots$</td><td>$\vdots$</td></tr>
<tr><td>B_b</td><td>$x_{1b11},\ldots,x_{1br1}$
$\vdots$
$x_{1b1m},\ldots,x_{1brm}$</td></tr>
<tr><td>$\vdots$</td><td>$\vdots$</td><td>$\vdots$</td><td>$\vdots$</td><td>$\vdots$</td><td>$\vdots$</td></tr>
<tr><td rowspan="3">A_a</td><td>B_1</td><td>$x_{a111},\ldots,x_{a1r1}$
$\vdots$
$x_{a11m},\ldots,x_{a1rm}$</td><td rowspan="3">$\bar{x}_{A_a}$</td><td rowspan="3">V_{A_a}</td><td rowspan="3">γ_{A_a}</td></tr>
<tr><td>$\vdots$</td><td>$\vdots$</td></tr>
<tr><td>B_b</td><td>$x_{ab11},\ldots,x_{abr1}$
$\vdots$
$x_{ab1m},\ldots,x_{abrm}$</td></tr>
</table>

とするとき，因子 A に対する静特性の標本 SN 比は，

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

となる。ここで得られたデータ x_{ijkl} の構造を以下のように成り立つと考える。

$$x_{ijkl} = \mu'_{ij} + n_{ijk} + \epsilon_{ijkl} = \mu + a_i + b_j + (ab)_{ij} + n_{ijk} + \epsilon_{ijkl} \tag{2}$$

$$\begin{cases} \mu'_{ij} : \text{制御因子の各水準での母平均} \\ (\mu'_{ij} = \mu + a_i + b_j + (ab)_{ij}) \\ n_{ijk} : A_iB_j\text{水準での誤差因子 } N_k\text{水準の影響の大きさ} \\ (n_{ijk} = n_k + (an)_{ik} + (bn)_{jk} + (abn)_{ijk}) \\ (\text{繰り返しなし } (m=1) \text{ のときは，} n_{ijk} = n_k + (an)_{ik} + (bn)_{jk}) \\ \epsilon_{ijkl} : \text{データを取る際に生じる誤差因子以外の誤差} \end{cases}$$

ここで，誤差は $E(\epsilon_{ijkl})=0$，$V(\epsilon_{ijkl})=\sigma_i^2$ (ただし，A_i の下で規定) とし，$\sum_{i=1}^a a_i=0$，$\sum_{j=1}^b b_j = 0$，$\sum_{k=1}^r n_{ijk} = 0$ である。また，$(ab)_{ij}$ は制御因子が A_i，B_j のときの交互作用であり，$\sum_i (ab)_{ij} = \sum_j (ab)_{ij} = 0$ である。$c_{ijk} = b_j + (ab)_{ij} + n_{ijk}$ とすると $\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r c_{ijk} = 0$ が成り立ち，

$$x_{ijkl} = \mu + a_i + c_{ijk} + \epsilon_{ijkl} \tag{3}$$

と表せる。このとき，

$$\begin{aligned} S &= \frac{(\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r \sum_{l=1}^m x_{ijkl})^2}{brm} \\ &= mbr(\mu+a_i)^2 + 2(\mu+a_i)\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r \sum_{l=1}^m \epsilon_{ijkl} + \frac{(\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r \sum_{l=1}^m \epsilon_{ijkl})^2}{brm} \end{aligned} \tag{4}$$

を用いて，不偏分散は

$$\begin{aligned} V_{Ai} &= \frac{\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r \sum_{l=1}^m x_{ijkl}^2 - S}{brm-1} \\ &= \frac{m\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r c_{ijk}^2 + 2\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r \sum_{l=1}^m c_{ijk}\epsilon_{ijkl}}{brm-1} \\ &\quad + \frac{\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r \sum_{l=1}^m \epsilon_{ijkl}^2 - \frac{(\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r \sum_{l=1}^m \epsilon_{ijkl})^2}{brm}}{brm-1} \end{aligned} \tag{5}$$

となる。V_{Ai} に期待値をとると

$$E(V_{Ai}) = \frac{m\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r c_{ijk}^2}{brm-1} + \sigma_i^2 \tag{6}$$

である。したがって，母 SN 比は $E(\bar{x}_{A_i}) = \mu + a_i$ より，

$$10\log_{10} \frac{(\mu+a_i)^2}{\frac{m\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r c_{ijk}^2}{brm-1} + \sigma_i^2} \tag{7}$$

となる。次に誤差に正規性を仮定して確率分布を求める。

　スペースの関係上 $I = m\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r c_{ijk}^2$ とする。

$$\frac{\bar{x}_{A_i}^2}{V_{A_i}} = \left\{\frac{\bar{x}_{A_i}}{\sqrt{V_{A_i}}}\right\}^2 =$$

$$\left\{\frac{(\bar{x}_{A_i}-\mu-a_i)/\sqrt{\sigma_i^2/brm} + (\mu+a_i)\sqrt{brm}/\sigma_i}{\sqrt{\sigma_i^2\chi^2(brm-1,\frac{I}{\sigma_i^2})/(brm-1)}/\sqrt{\sigma_i^2/brm}}\right\}^2 \tag{8}$$

と変形できるので，次のような分布になる。ここで，t'' は 2 重非心 t 分布を表す。

$$\frac{brm\bar{x}_{Ai}^2}{V_{Ai}} \sim \left\{t''\left(brm-1, \sqrt{brm}\frac{\mu+a_i}{\sigma_i}, \frac{I}{\sigma_i^2}\right)\right\}^2 \tag{9}$$

2 重非心 t 分布の 2 乗は 2 重非心 F 分布となるので

$$\frac{brm\bar{x}_{Ai}^2}{V_{Ai}} \sim F''(1, brm-1; \delta_1, \delta_2)$$
$$\delta_1 = \frac{brm(\mu + a_i)^2}{\sigma_i^2}, \delta_2 = \frac{I}{\sigma_i^2} = \frac{m\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} c_{ijk}^2}{\sigma_i^2} \tag{10}$$

となる。これより静特性 (望目特性) は上記で表される 2 重非心 F 分布と関連付けられる。

4.2 動特性 (ゼロ点比例式) の SN 比

信号因子が $x_1,\ldots,x_m$ で制御因子が A と B で，誤差因子が N だけの実験で得られたデータを表 2 とする。

表 2: データ形式 (2 因子動特性)

水準			$x_1,\ldots,x_m$	傾き	残差分散	SN 比
	B_1	N_1	$y_{1111},\ldots,y_{11r1}$	$\hat{\beta}_{A_1B_1N_1}$		
		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
		N_r	$y_{1b1m},\ldots,y_{1brm}$	$\hat{\beta}_{A_1B_1N_r}$		
A_1	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	V_{eA_1}	γ_{A_1}
	B_b	N_1	$y_{1b11},\ldots,y_{1br1}$	$\hat{\beta}_{A_1B_bN_1}$		
		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
		N_r	$y_{1b1m},\ldots,y_{1brm}$	$\hat{\beta}_{A_1B_bN_r}$		
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	B_1	N_1	$y_{a111},\ldots,y_{a1r1}$	$\hat{\beta}_{A_aB_1N_1}$		
		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
		N_r	$y_{a11m},\ldots,y_{a1rm}$	$\hat{\beta}_{A_aB_1N_r}$		
A_a	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	V_{eA_a}	γ_{A_a}
	B_b	N_1	$y_{ab11},\ldots,y_{abr1}$	$\hat{\beta}_{A_aB_bN_1}$		
		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
		N_r	$y_{ab1m},\ldots,y_{abrm}$	$\hat{\beta}_{A_aB_bN_r}$		

このとき，因子 A に対する動特性の標本 SN 比は，

$$\gamma_{Ai} = 10\log_{10}\left(\frac{\hat{\beta}_{Ai}^2}{V_{eA_i}}\right) \tag{11}$$

となる。ただし，$\hat{\beta}_{Ai}$=$\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\hat{\beta}_{AiBjNk}/br$ である。次に，y_{ijkl} のデータを各 A_i 全体の傾きと入力信号 x_l，A_i を誤差因子 N_k で場合分けしたときの傾きと誤差 ϵ_{ijkl} で以下のように成り立つと考える。

$$y_{ijkl} = \beta_{Ai}x_l + (\beta_{AiBjNk} - \beta_{Ai})x_l + \epsilon_{ijkl} \quad (A_i\text{規定}) \tag{12}$$

ここで，誤差は $E(\epsilon_{ijkl})=0$，$V(\epsilon_{ijkl})=\sigma_i^2$ (ただし，A_i の下で規定) である。このとき，

$$\begin{aligned}\hat{\beta}_{Ai} &= \frac{\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\sum_{l=1}^{m} y_{ijkl}x_l}{\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\sum_{l=1}^{m} x_l^2} \\ &= \beta_{Ai} + \frac{\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\sum_{l=1}^{m} x_l\epsilon_{ijkl}}{br\sum_{l=1}^{m} x_l^2} \end{aligned} \tag{13}$$

であり，期待値をとると，

$$E(\hat{\beta}_{Ai}) = \beta_{Ai} + \frac{\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\sum_{l=1}^{m} x_l E(\epsilon_{ijkl})}{br\sum_{l=1}^{m} x_l^2} = \beta_{Ai} \tag{14}$$

となる。一方，S_{eAi} を下記のようにおいて計算すると，

$$\begin{aligned} S_{eAi} &= \sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\sum_{l=1}^{m}\{y_{ijkl}-\hat{\beta}_{Ai}x_l\}^2 \\ &= \sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\beta_{AiBjNk}-\beta_{Ai})^2\sum_{l=1}^{m}x_l^2 + \sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\sum_{l=1}^{m}\epsilon_{ijkl}^2 \\ & \quad -\frac{\left(\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\sum_{l=1}^{m} x_l\epsilon_{ijkl}\right)^2}{br\sum_{l=1}^{m}x_l^2} \\ & \quad +2\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\sum_{l=1}^{m}(\beta_{AiBjNk}-\beta_{Ai})x_l\epsilon_{ijkl} \end{aligned} \tag{15}$$

となる。$V_{eAi}=\frac{S_{eAi}}{brm-1}$ より，V_{eAi} の期待値をとると，

$$E(V_{eAi}) = \frac{\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\beta_{AiBjNk}-\beta_{Ai})^2\sum_{l=1}^{m}x_l^2}{brm-1} + \sigma_i^2 \tag{16}$$

である。したがって，母 SN 比は，

$$10\log_{10}\frac{\beta_{Ai}^2}{\frac{\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\beta_{AiBjNk}-\beta_{Ai})^2\sum_{l=1}^{m}x_l^2}{brm-1}+\sigma_i^2} \tag{17}$$

となる。次に，誤差 ϵ_{ijkl} に正規性を持たせ，静特性と同様に式変形行う。

スペースの関係上 $J=\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\beta_{AiBjNk}-\beta_{Ai})^2\sum_{l=1}^{m}x_l^2$ とする。

標準化を行うため，$V(\hat{\beta}_{Ai})=\frac{\sigma_i^2}{br\sum_{l=1}^{m}x_l^2}$ より，

$$\frac{\hat{\beta}_{Ai}^2}{V_{eAi}} = \left\{\frac{\hat{\beta}_{Ai}}{\sqrt{V_{eAi}}}\right\}^2$$

$$= \left\{\frac{\sqrt{br\sum_{k=1}^{m}x_l^2}(\hat{\beta}_{Ai}-\beta_{Ai})/\sigma_i + \sqrt{br\sum_{k=1}^{m}x_l^2}\beta_{Ai}/\sigma_i}{\sqrt{\sigma_i^2\chi'^2(brm-1,\frac{J}{\sigma_i^2})/(brm-1)}/\sqrt{\sigma_i^2/br\sum_{l=1}^{m}x_l^2}}\right\}^2 \tag{18}$$

となる。ゆえに，以下の分布に従うことがわかる。

$$\frac{(br\sum_{l=1}^{m}x_l^2)\hat{\beta}_{Ai}^2}{V_{eAi}} \sim \left\{t''\left(brm-1, \sqrt{br\sum_{l=1}^{m}x_l^2}\frac{\beta_{Ai}}{\sigma_i}, \frac{J}{\sigma_i^2}\right)\right\}^2 \tag{19}$$

2 重非心 t 分布の 2 乗は 2 重非心 F 分布となるので，

$$\frac{(br\sum_{l=1}^{m} x_l^2)\hat{\beta}_{Ai}^2}{V_{eAi}} \sim F''(1, brm-1; \delta_1, \delta_2)$$

$$\delta_1 = \frac{(br\sum_{l=1}^{m} x_l^2)\beta_{Ai}^2}{\sigma_i^2}, \delta_2 = \frac{J}{\sigma_i^2} = \frac{\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\beta_{AiBjNk} - \beta_{Ai})^2 \sum_{l=1}^{m} x_l^2}{\sigma_i^2} \tag{20}$$

が導かれる。よって，動特性も 2 重非心 F 分布と関連付けられる。（藤村・松田 [2] までは非心母数にミスがあるので注意する。）

5　2 重非心 F 分布

2 重非心 F 分布 $F''(v_1, v_2, \lambda_1, \lambda_2)$ は複雑な密度関数を持つために直接的な分布計算は困難である。（詳細は前廣・高橋・松田 [5] 参照）本研究では前廣・高橋・松田 [5] で作成された MCL-M 法の R 関数を近似として利用する。

6　SN 比の信頼区間の導出

2 重非心 F 分布に従う確率変数を F'' とし，下側点・上側点の真値を f_1，f_2 とすると

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

と表せる。f_1, f_2 の計算は信頼区間の外側の確率が $\frac{\alpha}{2}$ ずつになるように行う。

静特性の場合の SN 比の信頼区間は $\left[10\log_{10}\frac{f_1}{brm}, 10\log_{10}\frac{f_2}{brm}\right]$ となる。

動特性の場合の SN 比の信頼区間は $\left[10\log_{10}\frac{f_1}{br\sum x_k^2}, 10\log_{10}\frac{f_2}{br\sum x_k^2}\right]$ となる。(前廣・高橋・松田 [5] 参照)

7　シミュレーションの手順

シミュレーションに使用するプログラムは，藤村・松田 [2] で使用されているものを基に作成を行った。

1. シミュレーションに使用する実験データを定める。
2. 実験データに対応する制御因子水準，誤差因子水準，有意水準などの数値を定める。
3. 以上により定められたデータ，数値を元に，制御因子の各水準での母平均または制御因子の各水準での傾き，データを取る際に生じる誤差因子以外の誤差，制御因子の各水準ごとの母分散などを推定する。
4. 誤差因子以外の誤差に正規乱数を与えることで 1000 回分のシミュレーションデータを作成し，その分析結果を得る。
5. 分析結果より，SN 比や幅などの出力を行う。

静特性と動特性ともに，結果の上限 SN 比 (個)，下限 SN 比 (個)，SN 比 (個) はそれぞれ 1000 回中で計算が可能であったデータ数を示し，上限 SN 比，下限 SN 比，SN 比はそれぞれの平均値を示し，上幅 (回)，下幅 (回)，幅 (回) は信頼区間の端点がそれぞれ 3db, 3db, 6db を下回った回数を示す。

8　静特性シミュレーション

ある合板の接着力を高めるために，因子として接着剤の種類 A を 3 水準，前処理の方法 B を 3 水準設定し，繰り返し 3 回の 2 元配置実験を行って，実験データを表 3 のように得ている。(藤村 [1]，立林 [7] 参照) 本論文では繰り返しのところを誤差因子と解釈して解析した。

表 3: 合板実験データ

	B1	B2	B3		B1	B2	B3		B1	B2	B3
	31	35	35		50	60	45		40	45	42
A1	35	40	30	A2	40	50	45	A3	39	46	39
	31	35	35		40	55	50		34	40	36

8.1　シミュレーションの考察

ここでは結果のまとめ (表 4，5) を載せておき，それについて考察を行う。

表 4: 合板データの結果 1

水準	上側 SN 比 (個)	下側 SN 比 (個)	SN 比 (個)	上側 SN 比	下側 SN 比	SN 比
A1	1000	1000	1000	23.36	19.06	20.98
A2	1000	1000	1000	18.74	16.27	17.30
A3	1000	1000	1000	20.99	18.38	19.86
B1	1000	1000	1000	17.37	15.25	16.32
B2	1000	1000	1000	15.24	13.81	14.54
B3	1000	1000	1000	16.96	14.42	15.47

SN 比の信頼区間の平均の幅は A では 4.29db〜2.48db，B では 2.54db〜1.44db となった。次に，幅の 1000 回の内容に関しては，約 8 割〜全部が 6db を切る結果になった。

SN 比の再現性 ±3db と比較してみると，上幅の平均は A では 2.38db〜1.13db，B では 1.49db〜0.70db，下幅の平均は A では 1.92db〜1.04db，B では 1.07db〜0.73db となり，A, B 水準共に上幅の方が広い結果になった。次に，1000 回の内容を見てみると，上幅・下幅ともに ±3db を切る割合が多く，A3 のみ上寄りだが，その他は全て下寄りになっている。

藤村 [1] の研究ではデータ構造が制御因子を A の 1 つと考え，B を誤差因子として SN 比の研究をしており，そのときの信頼区間の平均の幅は 7.72db〜7.42db で，幅は約 2 割が

表 5: 合板データの結果 2

水準	上幅 (回)	下幅 (回)	幅 (回)
A1	698	854	872
A2	981	1000	1000
A3	995	965	999
B1	996	996	1000
B2	1000	1000	1000
B3	956	997	996

6db を切った。これに比べると，データ構造の制御因子が 2 つであるときの SN 比の信頼区間の幅は短くなるというという結果になった。繰り返しを誤差因子とみなした影響もあるであろうが，他のデータでも同様の傾向を示した。

また，上幅・下幅に関しても，藤村 [1] の研究では上幅は 1 割以下，下幅は約 1〜2 割が $\pm$3db を切る結果になったが，データ構造が 2 元配置のときの $\pm$3db を切る割合は上幅・下幅共に約 7 割〜全部と割合が高くなり，上幅・下幅共に短くなるというという結果になった。しかし，$\pm$3db が対称にならない点は共通している。

9 動特性シミュレーション

あるサーキットでの RC カーレースにおける 1 周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。制御因子 A をギア比 (2 水準)，制御因子 B を回転部分相当重量 (2 水準)，誤差因子をグリップ (3 水準)，信号因子をモータートルク (3 水準) とした。(かわにし [4] 参照) 各因子の水準は表 6 の通りである。その設定での実験から表 7 のデータを得ている。

表 6: RC カー (動) の水準

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

9.1 シミュレーションの考察

ここでは結果のまとめ (表 8，9) を載せておき，それについて考察を行う。

また，藤村・松田 [2] の動特性の式には瑕疵があり，プログラムは修正してあるためシミュレーション結果は直接比較にはならない。

SN 比の信頼区間の平均の幅は A では 8.03db〜8.10db，B では 8.03db〜8.11db となった。次に，幅に関しては，ほとんどが 6db を切らない結果になった。

SN 比の再現性 $\pm$3db と比較してみると，上幅・下幅ともに $\pm$3db を切る割合は上幅は 1 割未満，下幅は約 1〜2 割で，上寄りになっている。上幅の平均の幅は A では 3.877db〜

表 7: RC カー (動) のデータ

水準			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	18.780
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

表 8: RC カー (動) の結果 1

水準	上側 SN 比 (個)	下側 SN 比 (個)	SN 比 (個)	上側 SN 比	下側 SN 比	SN 比
A1	1000	1000	1000	8.83	0.80	4.96
A2	1000	1000	1000	8.74	0.64	4.86
B1	1000	1000	1000	8.79	0.76	4.88
B2	1000	1000	1000	8.70	0.60	4.82

3.872db，B では 3.89db〜3.92db，下幅の平均の幅は A では 4.16db〜4.22db，B では 4.11db〜4.22db となり，A, B 水準共に下幅の方が広い結果となった。

藤村・松田 [2] の研究では，動特性の制御因子が 1 つのとき，上下幅が ±3db，信頼区間の幅が 6db を切るものはないと結論づけられている。しかし，制御因子が 2 つのときは，上下幅が ±3db を切るものが現れ，信頼区間の幅も 6db を切るものが極少数ながら現れた。このことからは，動特性も制御因子が 2 つになると，幅が短くなることがわかった。しかし，静特性ほどは短くならなかった。

したがって，制御因子が 2 つの動特性の再現性基準 ±3db は，幅に対しては極まれに緩くなるが，対称性はなく ±3db が緩くなることがあるので信頼区間を使うべきだといえる。

表 9: RC カー (動) の結果 2

水準	上幅 (回)	下幅 (回)	幅 (回)
A1	41	137	3
A2	42	143	2
B1	37	161	5
B2	32	136	2

10　まとめ

制御因子を 2 つにしたモデルの理論式は，藤村・松田 [2] の従来のモデルを基に，永田 [6] の導出方法で導いた。これと同様に SN 比の信頼区間も前廣・高橋・松田 [5] の導出方法で導いた。シミュレーションで用いたプログラムは藤村・松田 [2] を基に作成した。

理論に基づくシミュレーションでの SN 比の再現性の確認では，幅 6db に対して，1000 回平均については静特性と動特性共に各シミュレーションの一番 SN 比の値がいいものだけを見ると，静特性の場合は全てが 6db を切る結果になったが，動特性の場合は全てが 6db を切らない結果になった。また，制御因子が 1 つの場合と比較して，1000 回の内容については，幅が 6db を切る割合を調べてみると，静特性では約 8 割〜全てという非常に高い割合で 6db を切る結果になった。動特性では，幅が 6db を切る割合は極わずかだったが，±3db を切る割合は約 1 割以下〜約 2 割と制御因子が 1 つの場合に比べると短くなっていることがわかる。どちらの場合も，制御因子が 1 つの場合に比べると幅が短くなるが，静特性はその傾向が顕著に出てる結果になった。したがって，制御因子が 2 つの場合のデータにおける SN 比の再現性は，静特性のときは非常に緩い基準になった。動特性の場合でも幅に対してはまれに緩くなることがあり，±3db の対称性はなく，上下幅は緩くなることがある。よって，静特性・動特性いずれの場合でも信頼区間を使うべきという結論に至った。

11　おわりに

今回，制御因子を 2 つの場合に理論を拡張し，シミュレーションでその動向を確認できたことはよかった。一方，理論やプログラムを構築するにも基となった理論・プログラムを理解した上で構築する必要があり，そういった点では苦労することが多かった。参考にした文献に誤りがあることもあり，理論の丁寧な理解が重要であると感じた。

参考文献

[1] 藤村良介 (2012): タグチメソッドの SN 比に対する信頼区間の性質に関する研究, 南山大学大学院数理情報研究科 2011 年度修士論文要旨集, 178-181.

[2] 藤村良介・松田眞一 (2012): タグチメソッドの SN 比に対する信頼区間の性質に関する考察, 南山大学紀要『アカデミア』情報理工学編, **12**, 57-66.

[3] 堀井里佳子・松田眞一 (2010): 2 重非心 F 分布のパーセント点近似法の評価と SN 比のへの応用, 南山大学紀要『アカデミア』情報理工学編, **10**, 27-37.

[4] かわにし (2004): お気楽 RC!, http://homepage3.nifty.com/kawanish/ .

[5] 前廣芳孝・高橋知也・松田眞一 (2011): 2 重非心 F 分布のパーセント点近似法を用いたタグチメソッドの SN 比の信頼区間, 南山大学紀要『アカデミア』情報理工学編, **11**, 55-75.

[6] 永田靖 (2006): 統計的手法における SN 比, 第一回横幹連合総合シンポジュウム.

[7] 立林和夫:『入門タグチメソッド』, 日科技連, 2004.