ものづくりにおける単回帰分析の必要性と活用

松下電器産業株式会社　半導体社
清水貴宏

１．はじめに

現在、モノづくりが高精度化・複雑化となっている。その状況下において完成度の高いモノづくりを実現するためには、微小なデータの変化等を正確に捉える理論的な分析と固有技術の融合が重要である。

そのため、多くのデータを一度に処理し、その規則性等から、特性モデルの構築や品質特性への影響度、あるいは条件の抽出などが重要となってくる。その中で、要因と結果の関係を分析する方法として、散布図での視覚的判断や回帰分析などを用いての定量的判断が用いられることが多い。

２．背景

散布図は一般的に要因と結果の関係を視覚的に判断できる方法として優れている。しかし、ある品質特性に影響する製造条件との因果関係を分析し、定量的な製造条件の抽出を行う場合、散布図は困難である。そこで回帰分析を適用することになる。

回帰分析も単回帰・重回帰など様々な手法が用いられるが、最近の分析は、Excel 等の計算ソフトや Statworks など市販の統計解析ソフトなどが用いられる。データ解析にソフトウェアが使用される目的は、

①作図などが簡単に行える
②複雑な計算を自動的に行ってくれる
③データの解析速度が早く効率的

などが考えられる。

業務上必要なデータ解析ツールが組み込まれたソフトウェアが重要であることは言うまでもない。

以前より、Statworks を活用しながら業務を行っているが、回帰分析、特に単回帰分析について、以下の内容が不足していると感じた。

①回帰母数の検定についてはゼロ検定のみ
②母回帰式の区間推定、あるいはデータの区間推定の信頼率は 90 あるいは 95%に限定
③散布図では層別した散布図が作成できるが単回帰では作成できず、層別した結果、双方のモデルが同一か否かを確認できない

日本科学技術研修所では『Statworks 新機能研究会』があり、その中で、実務上有効な機能について研究し、有用であれば、採用し製品化する仕組みがある。今回、上記内容について次期 Statworks に搭載されるが、①と②については適用事例、③については、一般的に用いられてきたダミー変数法でなく、第 85 回品質管理学会研究発表会で清水が発表した『２つの単回帰モデルにおける回帰母数の直接検定法』を採用している。経緯・理論・事例について紹介する。

３．単回帰分析の適用内容

以下の３点について単回帰分析を適用する必要性と適用事例を説明する

3.1 回帰母数についてゼロ検定だけでなく、任意の回帰母数との検定
3.2 母回帰式およびデータの区間推定における信頼率を任意に設定
3.3 ２つの単回帰モデルの回帰母数についての差の検定

本内容は、次世代 Statworks に新機能として搭載される。

3.1　任意の回帰母数との検定

3.1.1　必要性

現状の Statworks では、単回帰分析を行った際、分散分析を表示させると図１のような結果

を得ることが出きる。

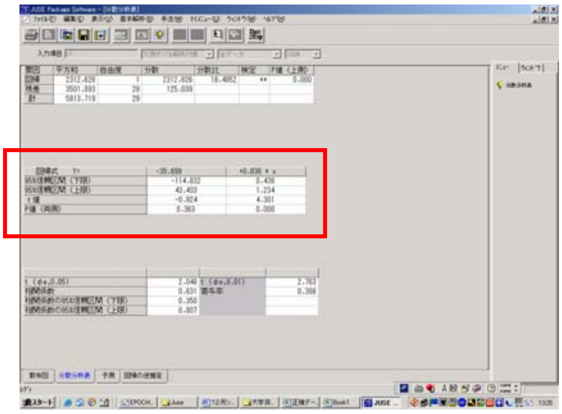


図.1

図.1 の枠中部分は、回帰母数についての『ゼロ検定』を示している。

一般的に、回帰母数、特に母回帰係数：β_1 について、ゼロであるかどうかを検定することは非常に重要である。しかし、ゼロ検定ばかりが重要であるとは言えない。

例えば、2 台の検査機や測定器の一致性を確認する場合、標準試料等を用いて確認を行う。様々な方法を聞くが、図.2 のように、適合／不適合の標準試料を準備して、適合／不適合がきちんと測定できるかという結果をもって一致性を確認するという場合がある。この方法は、一致性の検証にはならない。

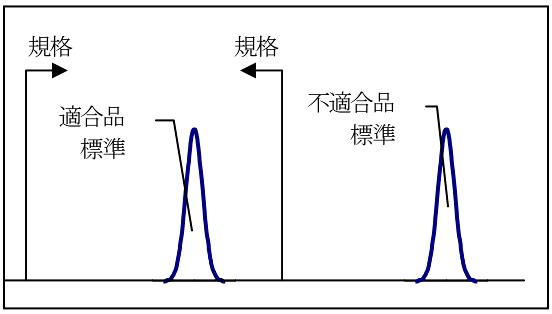


図.2

その理由は、図.3, 図.4 のような状況を考えれば、理解できる。2 台の検査機の一致性を期待するので、$y = x$ が理想となる。しかし先述の方法であれば、理想関係でなくとも、適合／不適合の判別が行えるため、一致性が確認できたとは言えない。

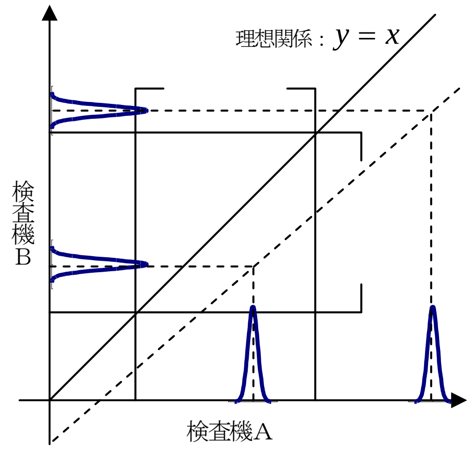


図.3

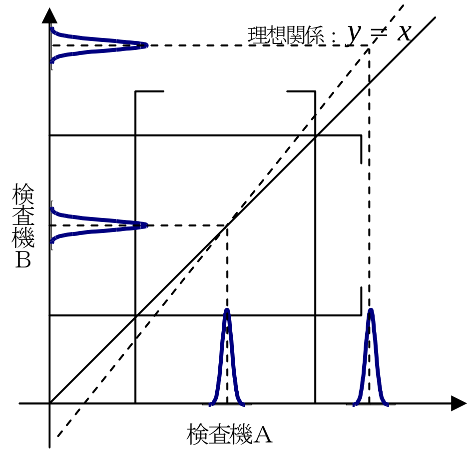


図.4

また、MSA 等で紹介されている検査機の確認方法の図.5 のような標準試料の考え方にも問題があると考える。

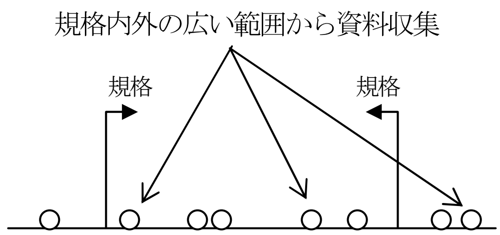


図.5

標準試料の収集方法は正しいと考えるが、これら標準試料を使って、例えば、『対応ある 2 つの平均の差の検定』を用いて、一致性を確認した場合、図.4 についての問題は検出することができない場合がある。

これら問題を解決する方法として、単回帰分析を適用する。

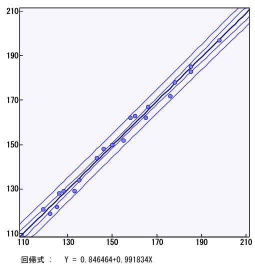
3.1.2　適用事例

図.5 の考え方で収集した標準試料を準備し、2 つの検査機A，Bで測定する。その結果を、表.1 に示す。

表.1

No.	検査機A	検査機B	No.	検査機A	検査機B
1	185	183	11	126	128
2	150	150	12	122	119
3	176	172	13	133	129
4	128	129	14	125	122
5	185	185	15	178	178
6	198	197	16	135	134
7	165	162	17	155	152
8	119	121	18	160	163
9	166	167	19	143	144
10	158	162	20	146	148

散布図及び回帰式を求めると、図.6，式(1)となる。また分散分析の結果は表.2 となる。



項目	横軸	縦軸
変数番号	5	6
変数名	検査機A	検査機B
データ数	20	20
最小値	119.000	119.000
最大値	198.000	197.000
平均値	152.6500	152.2500
標準偏差	23.78915	23.71736
相関係数	0.995	
回帰定数	0.846	
回帰係数1次	0.992	
t 値	41.588	
P値（両側）	0.000	

図.6

$$y = 0.846 + 0.992x \qquad (1)$$

表.2

要因	平方和	自由度	分散	分散比	検定	P値（上側）
回帰	10577.667	1	10577.667	1729.5848	**	0
残差	110.083	18	6.116			
計	10687.75	19				
回帰式　Y=	0.846	+0.992 * x				
95%信頼区間（下限）	−6.89	0.942				
95%信頼区間（上限）	8.583	1.042				
t値	0.23	41.588				
P値（両側）	0.821	0				
t（φe,0.05）	2.101	t（φe,0.01）	2.878			
相関係数	0.995	寄与率	0.99			
相関係数の95%信頼区間（下限）	0.987					
相関係数の95%信頼区間（上限）	0.998					

$$S_{xx} = 10752.6 \quad V_e = 6.116 \quad \bar{x} = 152.7$$

検査機A・Bの検査結果が一致することを期待する。そこで、以下の仮説を設定する。

○回帰係数：β_1 について

$$H_0 : \beta_1 = \beta_{10} \quad (\beta_{10} = 1)$$

$$H_1 : \beta_1 \neq \beta_{10}$$

○回帰定数項：β_0 について

$$H_0 : \beta_0 = \beta_{00} \quad (\beta_{00} = 0)$$

$$H_1 : \beta_0 \neq \beta_{00}$$

共に帰無仮説が棄却されなければ、検査機A・Bの検査結果の関係は、$y = x$ のモデルとなるので、検査結果の一致性が確認できる。

○回帰係数：β_1 について

検定統計量：

$$|t_0| = \frac{|\hat{\beta}_1 - \beta_{10}|}{\sqrt{\dfrac{V_e}{S_{xx}}}} = \frac{|0.992 - 1|}{\sqrt{\dfrac{6.116}{10752.6}}} = 0.342$$

判定基準：

$$t\left(\phi_e, \frac{\alpha}{2}\right) = t(18, 0.025) = 2.101$$

したがって、帰無仮説は棄却されない。

○回帰定数項：β_0 について

検定統計量：

$$|t_0| = \frac{|\hat{\beta}_0 - \beta_{00}|}{\sqrt{\left\{\dfrac{1}{n} + \dfrac{\bar{x}^2}{S_{xx}}\right\} V_e}} = \frac{|0.846 - 0|}{\sqrt{\left\{\dfrac{1}{20} + \dfrac{152.7^2}{10752.6}\right\} \times 6.116}}$$

$$= 0.230$$

判定基準：

$$t\left(\phi_e, \frac{\alpha}{2}\right) = t(18, 0.025) = 2.101$$

したがって、帰無仮説は棄却されない。

以上の結果から、検査機 A・B の検査結果は $y = x$ の関係にあることが検定でき、検査結果が一致していると判断できる。

3.2　データの区間推定の任意の信頼率設定

3.2.1　必要性

現状の Statworks では、単回帰分析の際に図.7 のように母回帰式の区間推定とデータの区間推定が表示される。

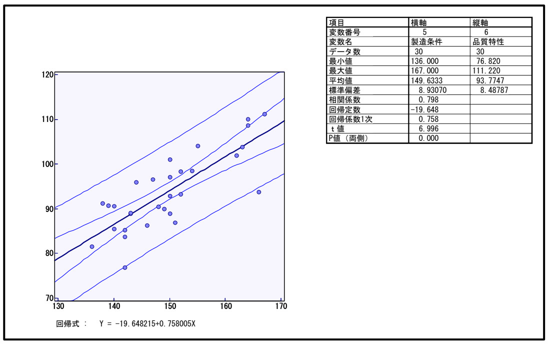


図.7

図.8 に示すように、母回帰式の区間推定における信頼区間は 95%と 90%のいずれか選択、データの区間推定については 95%固定となっている。

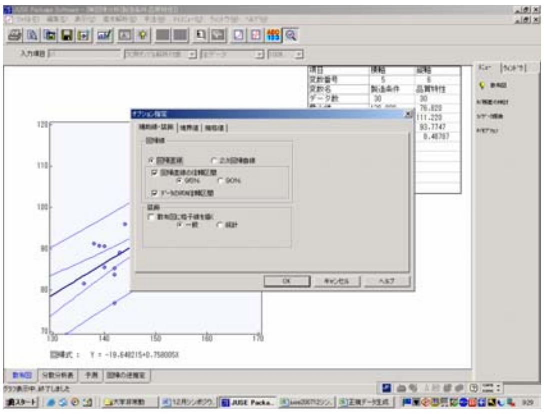


図.8

単回帰分析を用いて、品質特性の規格に対して、どのような製造条件に設定すれば、高い歩留で製造できるかということをよく行う。その際、以下の 3 つの方法で製造条件を求めている場合がある。

①十分な精度が確保できない少ないデータ数（$n < 30$）での場合

②サンプルから抽出した回帰式を用いて、図.9 のように回帰式と規格の交点を条件とする場合

③サンプルから抽出した回帰式を用いて、図.12 のように何らかの余裕度を設定して製造条件を算出する場合

①については、データの信頼度という根本的な問題を含むので、今回の解説からは省く。

②についての問題点は、あくまでも、用いたデータがサンプルデータであり、母集団そのもので算出したものではない。

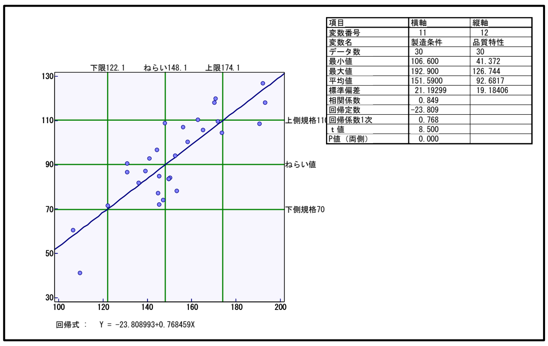


図.9

今回、サンプルのみの結果で条件を設定する危険性を証明するために、N=300 を母集団とする散布図を図.10 のように作成した。

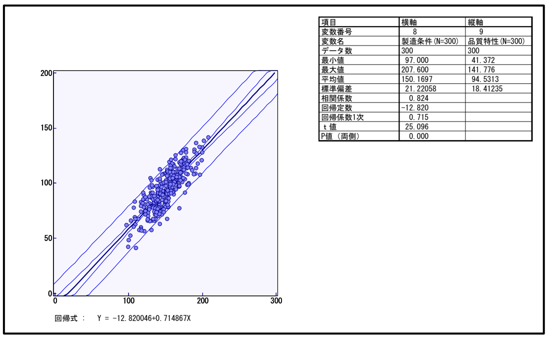


図.10

この N=300 の仮想母集団からランダムサンプリングにより、n=30 のデータを 5 回収集したときの散布図を図.11 に示す。

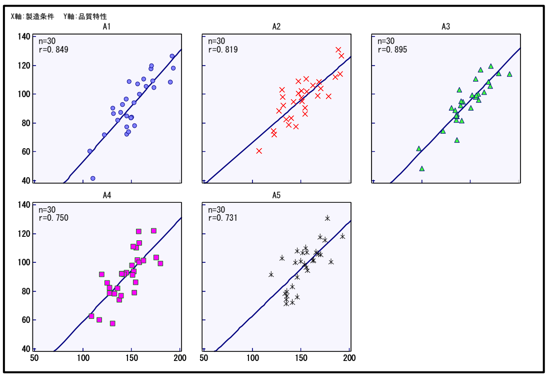


図.11

図.9 のように品質特性規格：90±20 を満たす製造条件を算出すると、表.3 の結果となる。

表.3

サンプリング	製造条件		
	下限	ねらい	上限
1回目	122.1	148.1	174.1
2回目	106.2	140.3	174.5
3回目	113.6	142.0	170.4
4回目	115.7	143.9	172.1
5回目	111(推定量)	141.7	172.4

製造条件がすべて異なることが分かる。また、この算出方法は、回帰式：$y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$ と品質特性規格との交点を求めている。回帰式は、目的変数：y の期待値を、説明変数：x の関数で表したものである。つまり、データのばらつきを考えると、妥当な条件設定とは言えないので、②の方法は不適切となる。③の方法は、ばらつきには考慮した条件設定を行いたいが、理論的な方法を知らないために、ある余裕度を設けて条件設定をしている。

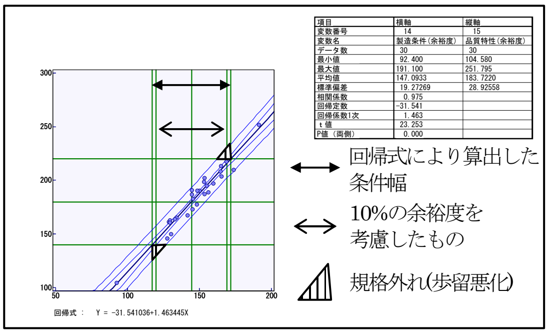


図.12

条件設定に用いている回帰式：$y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$ はサンプルデータに基づき算出されたものである。したがって用いるサンプルが変わると、回帰式そのものが変わる。また、回帰直線は目的変数：y の期待値の集合なので、ばらつきが考慮されない。したがって、図.12 に記載するように、規格外れが発生する危険性がある。

これらの問題を解決する方法として、単回帰におけるデータの区間推定を用いる。

3.2.2　適用事例

ある製品の品質特性：Yに影響すると考えられる、製造条件：Xについて、95%以上の歩留ができる製造条件：Xの規格を決めたい。ある程度の結果精度を確保するために、n=30 のサンプルデータを表.4 のように抽出した。

表.4

No.	製造条件	品質特性	No.	製造条件	品質特性
1	137.3	62.2	16	159.6	80.5
2	175.2	81.2	17	139.9	74.1
3	192.9	78.9	18	127.8	44.5
4	172.1	74.7	19	171.1	84.2
5	142.1	62.6	20	130.8	55.0
6	147.7	73.5	21	131.2	58.4
7	163.7	70.6	22	128.9	56.3
8	136.9	68.2	23	122.7	50.2
9	160.8	73.4	24	140.4	53.0
10	156.0	63.4	25	148.6	62.8
11	200.2	84.7	26	161.8	78.1
12	126.4	69.2	27	123.4	53.0
13	106.1	49.5	28	125.3	59.0
14	172.2	73.8	29	125.4	55.4
15	150.9	67.7	30	159.9	72.5

単回帰分析を行うと、図.13 及び表.5 の分散分析表を得ることができる。

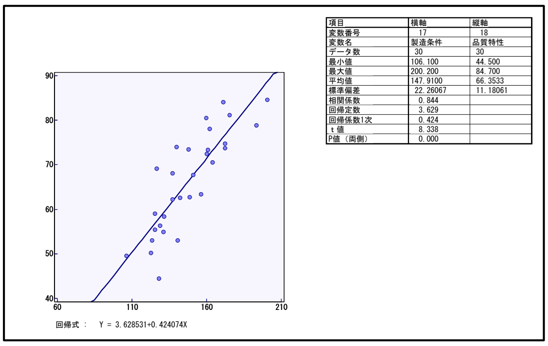


図.13

表.5

要因	平方和	自由度	分散	分散比	検定	P値（上側）
回帰	2584.39	1	2584.39	69.5273	**	0
残差	1040.785	28	37.171			
計	3625.175	29				

回帰式　Y=	3.629	+0.424 ＊ x
95%信頼区間（下限）	-11.948	0.32
95%信頼区間（上限）	19.205	0.528
t値	0.477	8.338
P値（両側）	0.637	0

t（φe,0.05）　2.048　t（φe,0.01）　2.763
相関係数　0.844　寄与率　0.713
相関係数の95%信頼区間（下限　0.696
相関係数の95%信頼区間（上限　0.924

次に、母回帰式とデータの区間推定を行う。Statworks ではオプションにその機能がついているが、データの区間推定は、95%固定なので今回は、『歩留 95%以上を得ることができる製造条件を設定したい』とする。データの区間推定と母回帰式の区間推定ラインを入力すると、図.14 を得ることができる。

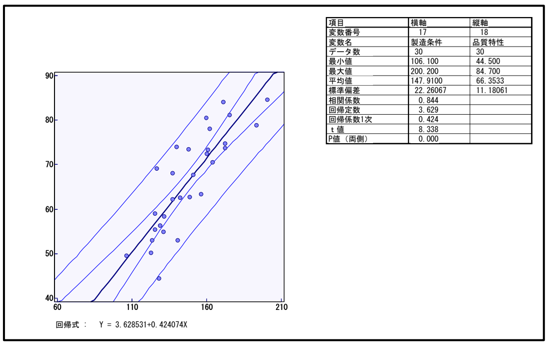


図.14

品質特性の規格を、70±20 とする。この品質特性が歩留 95%以上となる製造条件を算出するには、図.15 のように品質特性の上側規格：S_U とデータの区間推定式の上側との交点、品質特性の下側規格：S_L とデータの区間推定式の下側との交点を求めればよい。

$$S_U = \left(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i\right) + t\left(\phi_e, \frac{\alpha}{2}\right)\sqrt{\left\{1 + \frac{1}{n} + \frac{\left(x_i - \bar{x}\right)^2}{S_{xx}}\right\} V_e}$$

$$S_L = \left(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i\right) - t\left(\phi_e, \frac{\alpha}{2}\right)\sqrt{\left\{1 + \frac{1}{n} + \frac{\left(x_i - \bar{x}\right)^2}{S_{xx}}\right\} V_e}$$

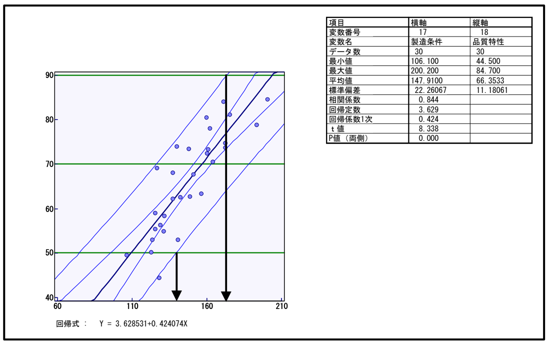


図.15

Statworks では回帰の逆推定を用いて、図.16 の赤枠部分が歩留 95%以上を満たす、製造条件規格の上限と下限を算出することができる。計算結果は、

$x_{upper} = 173.1 \quad x_{lower} = 139.4$

となり、図.17 の斜線部が品質特性の規格内で製造されることになる。製造条件の上限・下限で製造されたとしても、歩留 95%以上が確保できることになる。

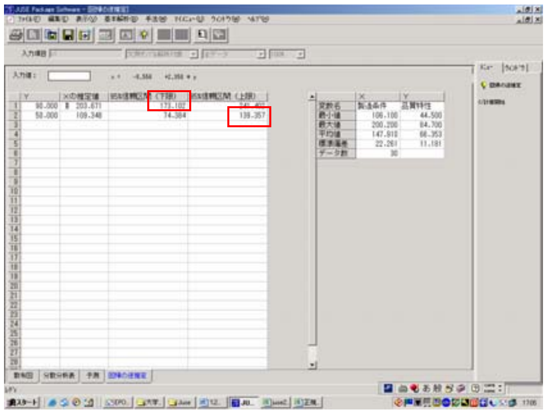


図.16

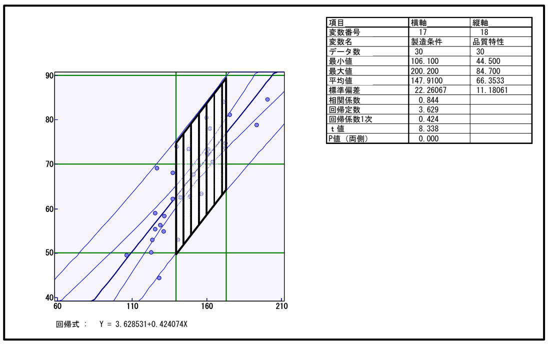


図.17

3.3 2つの単回帰モデルの回帰母数の差の検定

3.3.1 必要性

現状の statworks では、複数の単回帰モデルを作図する場合は、散布図で図.18 が作成できる。

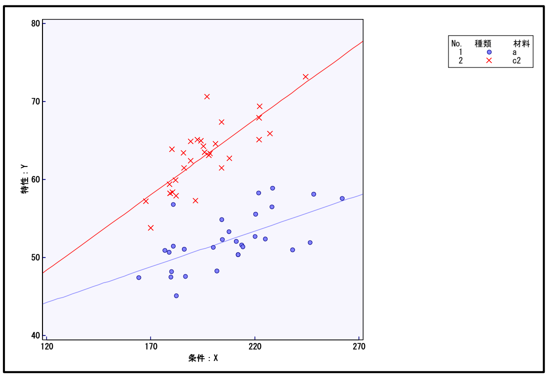


図.18

この時、２つの単回帰モデルは異なるものかを統計的に判断する方法はない。そのため、視覚的判断を行うか、ソフトウェアを用いずに、一般的にはダミー変数法を用いることになる。ダミー変数法は、

①モデルを想定する
②ダミー変数をモデルに導入する
③モデルの一致性を検証する

という手順で行う。ここではダミー変数法について詳細な説明は省く。今回は、ダミー変数法を用いずに、〔2007 清水〕が提案した『２つの単回帰モデルにおける回帰母数の直接検定法』を活用する。

直接検定法の原理は、

回帰モデル：$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$

に対して検定対象となる標本回帰係数 $\hat{\beta}_1$ の分布を考える。このとき、β_1 の推定量は、

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

で与えられる。ここに、S_{xx} は説明変数の偏差平方和であり、S_{xy} は x と y の偏差積和である。説明変数は任意に設定できる非確率変数であることから、S_{xy} は y の一次関数と考えることができる。したがって、回帰係数の推定量：$\hat{\beta}_1$ の期待値と分散は、

$$E(\hat{\beta}_1) = \beta_1 \quad , \quad V(\hat{\beta}_1) = \frac{\sigma^2}{S_{xx}}$$

として得られる。

この結果、回帰係数の推定量：$\hat{\beta}_1$ は、

$$\hat{\beta}_1 \sim N\left(\beta_1, \frac{\sigma^2}{S_{xx}}\right)$$

となり、図.19 のような正規分布にしたがうことがわかる。

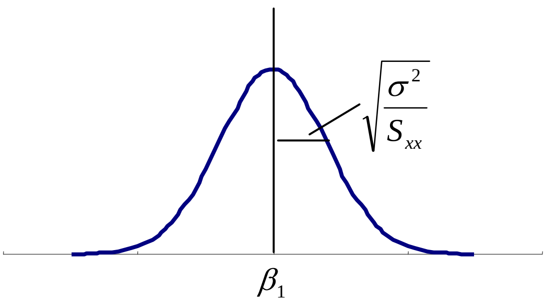


図.19

この結果をより、２つの単回帰モデルを考えた場合、

$$y_a = \beta_{0a} + \beta_{1a} x_a + \varepsilon_a$$

の回帰係数の推定量：$\hat{\beta}_{1a}$ は、

$$\hat{\beta}_{1a} \sim N\left(\beta_{1a}, \frac{\sigma_a^2}{S_{x_a x_a}}\right)$$

の正規分布にしたがい、他方の単回帰モデル

$$y_b = \beta_{0b} + \beta_{1b} x_b + \varepsilon_b$$

については、回帰係数の推定量：$\hat{\beta}_{1b}$ は、

$$\hat{\beta}_{1b} \sim N\left(\beta_{1b}, \frac{\sigma_b^2}{S_{x_b x_b}}\right)$$

の正規分布にしたがうことがわかる。したがって、図.20 のような関係を考えることにより、回帰係数の差を検定することができる。

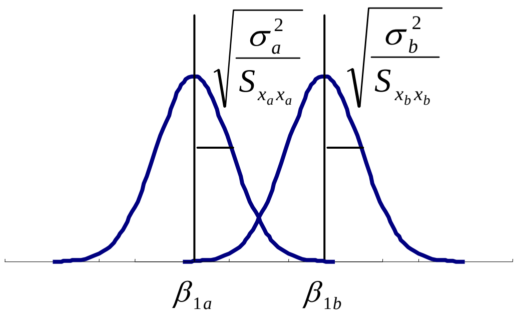


図.20

したがって、母分散未知の母平均の差の検定を行う場合には、

$$t_0 = \frac{\hat{\beta}_{1a} - \hat{\beta}_{1b}}{\sqrt{\frac{V_{ea}}{S_{x_a x_a}} + \frac{V_{eb}}{S_{x_b x_b}}}}$$

なる t 検定統計量を用いることができると考えた。ここに、V_{ea}, V_{eb} はそれぞれ σ_a^2, σ_b^2 の推定量である。このとき、判定基準値に用いる自由度をどのように算出するかが問題となる。一般的に、自由度は誤差分散：V_{ea}, V_{eb} に依存するため、検定のための判定基準値に用いる自由度

は異なる。そこで、

$$H_0:\sigma_a^2=\sigma_b^2 \quad vs \quad H_1:\sigma_a^2\neq\sigma_b^2$$

なる仮説検定を考え、帰無仮説が採択された場合には、判定基準の自由度として、

$$\phi_e=n_a-2+n_b-2=n_a+n_b-4$$

分散として、

$$V_{eab}=\frac{S_{ea}+S_{eb}}{n_a+n_b-4}$$

を用いる。ここに、n_a は、

$$y_a=\beta_{0a}+\beta_{1a}x_a+\varepsilon_a$$

を仮定した際に採取された標本数であり、n_b は、

$$y_b=\beta_{0b}+\beta_{1b}x_b+\varepsilon_b$$

を仮定した際に採取された標本数である。一方、帰無仮説が棄却された場合には、調整した自由度を求める必要がある。そこで、本報告ではサタースウェイトの方法を用いて、

$$\phi_e^{\,*}=\frac{\left(\dfrac{V_{ea}}{S_{x_ax_a}}+\dfrac{V_{eb}}{S_{x_bx_b}}\right)^2}{\dfrac{\left(\dfrac{V_{ea}}{S_{x_ax_a}}\right)^2}{\phi_{ea}}+\dfrac{\left(\dfrac{V_{eb}}{S_{x_bx_b}}\right)^2}{\phi_{eb}}}$$

により自由度を算出する。以上の結果を踏まえて、母回帰係数に対する仮説検定として、

$$H_0:\beta_{1a}=\beta_{1b} \quad vs \quad H_1:\beta_{1a}\neq\beta_{1b}$$

を考え、

(1) $\sigma_a^2=\sigma_b^2$ と考えられる場合

$$|t_0|=\frac{\left|\hat\beta_{1a}-\hat\beta_{1b}\right|}{\sqrt{\dfrac{V_{eab}}{S_{x_ax_a}}+\dfrac{V_{eab}}{S_{x_bx_b}}}}\geqq t\left(n_a+n_b-4,\frac{\alpha}{2}\right)$$

(2) $\sigma_a^2\neq\sigma_b^2$ であると考えられる場合

$$|t_0|=\frac{\left|\hat\beta_{1a}-\hat\beta_{1b}\right|}{\sqrt{\dfrac{V_{ea}}{S_{x_ax_a}}+\dfrac{V_{eb}}{S_{x_bx_b}}}}\geqq t\left(\phi_e^{*},\frac{\alpha}{2}\right)$$

となるとき、有意水準：α で帰無仮説が棄却すると考えればよい。

また、回帰定数項の差に関する検定は、回帰係数の差に関する検定原理を応用して行うことができる。

切片：$\hat\beta_0$ の分布は、

$$\hat\beta_0\sim N\left(\beta_0,\left(\frac{1}{n}+\frac{\bar{x}^2}{S_{xx}}\right)\sigma^2\right)$$

図.21 のように正規分布にしたがう。

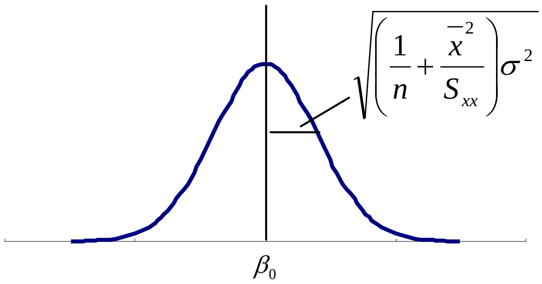


図.21

このことから、回帰定数項の差に関する検定の検定統計量は

(1) $\sigma_a^2=\sigma_b^2$ と考えられる場合

$$|t_0|=\frac{\left|\hat\beta_{0a}-\hat\beta_{0b}\right|}{\sqrt{\left(\dfrac{1}{n_a}+\dfrac{\bar{x}_a^2}{S_{x_ax_a}}\right)V_{eab}+\left(\dfrac{1}{n_b}+\dfrac{\bar{x}_b^2}{S_{x_bx_b}}\right)V_{eab}}}$$

$$\geqq t\left(n_a+n_a-4,\frac{\alpha}{2}\right)$$

(2) $\sigma_a^2 \neq \sigma_b^2$ であると考えられる場合

$$|t_0| = \frac{\left|\hat{\beta}_{0a} - \hat{\beta}_{0b}\right|}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_a} + \frac{\bar{x}_a^2}{S_{x_a x_a}}\right)V_{ea} + \left(\frac{1}{n_b} + \frac{\bar{x}_b^2}{S_{x_b x_b}}\right)V_{eb}}}$$

$$\geqq t\left(\phi_e^*, \frac{\alpha}{2}\right)$$

となる。ここで判定基準値の自由度：ϕ_e^* は、

$$\phi_e^* = \frac{\left\{\left(\frac{1}{n_a} + \frac{\bar{x}_a^2}{S_{x_a x_a}}\right)V_{ea} + \left(\frac{1}{n_b} + \frac{\bar{x}_b^2}{S_{x_b x_b}}\right)V_{eb}\right\}^2}{\frac{\left\{\left(\frac{1}{n_a} + \frac{\bar{x}_a^2}{S_{x_a x_a}}\right)V_{ea}\right\}^2}{\phi_{ea}} + \frac{\left\{\left(\frac{1}{n_b} + \frac{\bar{x}_b^2}{S_{x_b x_b}}\right)V_{eb}\right\}^2}{\phi_{eb}}}$$

で計算される。

3.3.2　適用事例

金型に樹脂を流し込んで型を形成する場合に樹脂剤の粘性と形成温度が大きく影響する。コストを削減するために安価な樹脂剤で現在使用している樹脂剤と形成温度における粘性の関係が同等で品質特性に影響しない材料を探している。Tという材料が候補にあがり、従来材料：Dと形成温度における粘性の特性実験を行った。結果を表.6 に示す

表.6

	温度:XD	粘性:YD	温度:XT	粘性:YT
1	186.2	45.4	182.5	49.8
2	227.4	54.9	191.3	50.4
3	194.6	47.7	234.1	51.5
4	188.1	47.8	203.8	53.8
5	202.7	48.1	211.4	48.4
～	～	～	～	～
28	168.6	45.4	214.7	52.1
29	217.5	50.1	190.5	51.3
30	156.6	40.5	192.7	50.2

3.3.2.1 母回帰係数の差に関する検定

表.6 の結果を図.22 の散布図に示す。

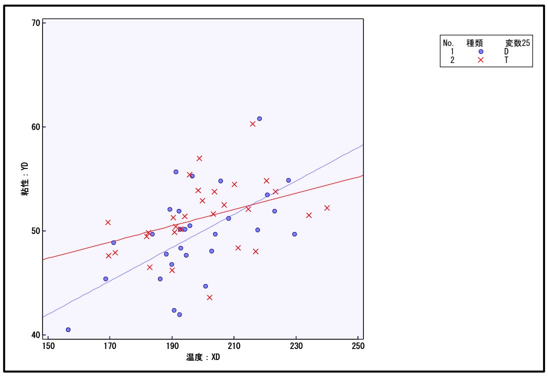


図.22

材料 D・Tの回帰分析の分散分析表を表.7，8 に示す。

(1)従来材料Dにおける分散分析

表.7

要因	平方和	自由度	分散	分散比	検定	P値(上側)
回帰	251	1	250.999	18.1446	**	0
残差	387.33	28	13.833			
計	638.33	29				

回帰式　Y=	17.887	+0.161 * x	
95%信頼区間(下限)		2.689	0.083
95%信頼区間(上限)		33.086	0.238
t値	2.411	4.26	
P値(両側)	0.023	0	
t(φe,0.05)	2.048	t(φe,0.01)	2.763
相関係数	0.627	寄与率	0.393
相関係数の95%信頼区間(下限)			0.345
相関係数の95%信頼区間(上限)			0.805

$$y_D = 17.887 + 0.161 x_D$$

(2)新規材料Tにおける分散分析

表.8

要因	平方和	自由度	分散	分散比	検定	P値(上側)
回帰	54.506	1	54.506	5.3191	*	0.029
残差	286.92	28	10.247			
計	341.43	29				

回帰式　Y=	35.603	+0.078 * x	
95%信頼区間(下限)		21.639	0.009
95%信頼区間(上限)		49.566	0.148
t値	5.223	2.306	
P値(両側)	0	0.029	
t(φe,0.05)	2.048	t(φe,0.01)	2.763
相関係数	0.4	寄与率	0.16
相関係数の95%信頼区間(下限)			0.046
相関係数の95%信頼区間(上限)			0.664

$$y_T = 35.603 + 0.078 x_T$$

これらの解析結果から得られる誤差分散の推定量：V_{eD}, V_{eT} を用いて、まず、誤差分散の検定を行う。

$$H_0 : \sigma_a^2 = \sigma_b^2 \quad vs \quad H_1 : \sigma_a^2 \neq \sigma_b^2$$

$$F_0 = \frac{V_{eD}}{V_{eT}} = \frac{13.833}{10.247} = 1.350$$

$$F\left(\phi_{eD}, \phi_{eT}, \frac{\alpha}{2}\right) = F(28, 28, 0.025) = 2.130$$

$$F_0 = 1.350 < F(28, 28, 0.025) = 2.130$$

帰無仮説は棄却されない。

$$V_{eDT} = \frac{S_{eD} + S_{eT}}{n_D + n_T - 4} = \frac{387.33 + 286.92}{30 + 30 - 4} = 12.040$$

以上より、母回帰係数の差の検定統計量を求めると、

$$|t_0| = \frac{|0.161 - 0.078|}{\sqrt{\frac{12.040}{9735.01} + \frac{12.040}{8874.79}}} = 1.614$$

$$t\left(\phi_e, \frac{\alpha}{2}\right) = t(56, 0.025) = 2.003$$

したがって、帰無仮説は棄却されないので、特性の傾向は従来と同等と推定できる。

3.3.2.2　回帰定数項の差に関する検定

回帰係数同様に、表.6 の結果に対して、回帰定数項の検定を行う。

$$|t_0| = \frac{|17.887 - 35.603|}{\sqrt{\left\{\frac{1}{30} + \frac{196.0^2}{9735.01}\right\} \times 12.040 + \left\{\frac{1}{30} + \frac{199.9^2}{8874.79}\right\} \times 12.040}}$$
$$= 1.750$$

$$t\left(\phi_e, \frac{\alpha}{2}\right) = t(56, 0.025) = 2.003$$

したがって、帰無仮説は棄却されない。つまり、新材料Tは従来材料Dの形成温度に対する粘性が同等と判断できる。

４．まとめ

これらの内容について、日本科学技術研修所およびStatworks 新機能研究会で、議論しながら有効性ならびに数理理論の課題について議論を進めながら、より実務に有効性を発揮する次世代統計解析ソフトについて検討し、導入の予定に至っている。

５．謝辞

本報告に関連して有益なご指導をいただいた早稲田大学の永田靖先生、筑波大学の山田秀先生、大阪大学の黒木学先生、神戸大学の稲葉太一先生に深く感謝いたします。

参考文献：

〔1〕棟近雅彦・奥原正夫　『JUSE-StatWorksによる回帰分析入門』日科技連出版　2007 年

〔2〕棟近雅彦・奥原正夫　『JUSE-StatWorksによる QC７つ道具，検定・推定入門』日科技連出版　2007 年

〔3〕山田　秀　『実験計画法－方法編－』日科技連出版　2004 年

〔4〕永田　靖　『入門統計解析法』日科技連出版　1992 年

〔5〕清水貴宏　『２つの単回帰モデルにおける回帰母数の差の直接検定法の提案』第 85 回品質管理学会関西支部研究発表会　2007 年

■公開資料ページ
弊社ウェブページで各種資料をご覧いただけます http://www.i-juse.co.jp/statistics/jirei/

■お問い合わせ先
(株)日科技研 数理事業部 パッケージサポート係 http://www.i-juse.co.jp/statistics/support/contact.html