
2021年 5月

* 「高精度重回帰分析」の紹介 * [著者] 黒田 英夫

<プログラム開発環境>

OS : Windows 10 . . . Windows 7、8でも使用可

言語 : Visual Basic 2017 (Visual Studio 2017 Express)

<本書の配布について>

他者への配布は自由です。内容を引用する場合は出典元を明示してください。

汎用的な高精度重回帰分析ソフトを提供します。このソフトは、独自手法により、多種類の複合因子を自動探索して当てはめの良い重回帰式を算出するものです。従来の線形（1次変数）回帰では回帰精度が悪い場合でも、本ソフトで回帰精度の良い重回帰結果を得ることができます。また、重回帰式を利用した感度分析や最適化も可能です。さらに、重回帰式をX Yグラフや等高線図に表示するためのデータ作成機能も組み込んであります。なお、本ソフトで、従来の線形回帰の計算も実行することができます。

注）X Yグラフを作画するには、グラフ作画ソフトまたは表計算ソフト等が必要です。

また、等高線図を作画するには算生会「汎用等高線」ソフト等の専用ソフトが必要です。

<目次>

	ページ
第1章 計算理論 -----	2
第2章 プログラムの機能・構成 -----	13
第3章 入力データ構成 -----	17
第4章 例題 -----	17
第5章 「データ」処理プログラム -----	19
第6章 「重回帰計算」プログラム -----	23
第7章 「最適化計算」プログラム -----	32
第8章 「グラフデータ」プログラム -----	40
[参考文献] -----	48

第1章 計算理論

重回帰分析とは、ある特性値について、複数の説明変数による関係式を求める分析法です。特性値を y 、説明変数を x_1 、 x_2 、 \dots 、 x_n とすると、通常重回帰分析では次式を算出します。

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n \quad (1-1)$$

ただし、 a_0 、 a_1 、 \dots 、 a_n ：回帰係数

上式は説明変数の1次式になっており、説明変数の影響を大まかに把握するには便利ですが、実際の現象においては、説明変数の1次式であるかどうかは不明で、もっと複雑な式になることが多いです。従って、(1-1)式に固執すると、重回帰の誤差が大きくなってしまいます。そこで、筆者は、説明変数の1次式だけでなく、平方根や2乗、あるいは説明変数どうしの組み合わせ等の多種類の因子を用いて、誤差を減少させる重回帰を提唱・実用化してきました。それを高精度重回帰分析と呼ぶこととします。

高精度重回帰分析では、説明変数 x_1 、 x_2 、 \dots 、 x_n から作成した種々の複合因子 z_1 、 z_2 、 \dots 、 z_n を使用して、次式を算出します。

$$y = a_0 + a_1 z_1 + a_2 z_2 + \dots + a_n z_n \quad (1-2)$$

ただし、 z_i ：複合因子 ----- $x_i^{1.5}$ 、 $x_i^2 x_j$ など

a_0 、 a_1 、 \dots 、 a_n ：回帰係数

ここで、非常に多くの複合因子がありますので、どの因子を重回帰式に使用するのが問題となります。筆者は、多くの複合因子を探索して、影響の大きい因子を重回帰式に取り込む自動探索方式を考案し実用しました。ここでは、この自動探索方式を利用した高精度重回帰分析について説明します。

1.1 重回帰分析の基本的計算方法

(1-1)式の重回帰式について、計算方法を説明します。複合因子を用いた(1-2)式も、因子 z_i を作った後は、計算方法は(1-1)式と同様です。

1) 重回帰に用いるデータ

説明変数が n 個、データ組数が m 個とすると、次の行列データとなります。ただし、計算の都合上、先頭列に1を並べてあります。

$$[D] = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{1n} & y_1 \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{2n} & y_2 \\ 1 & x_{31} & x_{32} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{3n} & y_3 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_{m1} & x_{m2} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{mn} & y_m \end{bmatrix} \quad (1-3)$$

2) 偏差積和行列の計算

(1-3)式の $[D]$ から、下式の積行列 $[A]$ を計算します。ただし、 $[D]^T$ は転置行列を指します。また、 Σ の範囲は、すべて $k=1 \sim m$ とします（以下同じ）。

$$[A] = [D]^T [D]$$

$$= \begin{bmatrix} m & \sum x_{k1} & \sum x_{k2} & \sum x_{k3} & \cdot & \cdot & \cdot & \sum x_{kn} & \sum y_k \\ \sum x_{k1} & \sum x_{k1}^2 & \sum x_{k1} x_{k2} & \sum x_{k1} x_{k3} & \cdot & \cdot & \cdot & \sum x_{k1} x_{kn} & \sum x_{k1} y_k \\ \sum x_{k2} & \sum x_{k2} x_{k1} & \sum x_{k2}^2 & \sum x_{k2} x_{k3} & \cdot & \cdot & \cdot & \sum x_{k2} x_{kn} & \sum x_{k2} y_k \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \sum y_k & \sum y_k x_{k1} & \sum y_k x_{k2} & \sum y_k x_{k3} & \cdot & \cdot & \cdot & \sum y_k x_{kn} & \sum y_k^2 \end{bmatrix} \quad (1-4)$$

次に、(1-4)式の[A]の第1行第1列の要素をカナメにして「第2種の掃出し計算」を行なうことにより、次の行列[B]が得られます。

注)「第2種の掃出し計算」は、普通の第1種の掃出しでは0や1になる行列要素の所へ他の計算値を入れ、全部の掃出しを終了すると同時に逆行列が求まるように進化させたものです。また、同じカナメで再度第2種の掃出しを行なうと、元に戻るという優れた特質を持っています。詳細は参考文献B5)を参照してください。

$$[B] = \begin{bmatrix} 1/m & \bar{x}_1 & \bar{x}_2 & \cdot & \cdot & \cdot & \bar{x}_n & \bar{y} \\ -\bar{x}_1 & S_{x1x1} & S_{x1x2} & \cdot & \cdot & \cdot & S_{x1xn} & S_{x1y} \\ -\bar{x}_2 & S_{x2x1} & S_{x2x2} & \cdot & \cdot & \cdot & S_{x2xn} & S_{x2y} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ -\bar{y} & S_{yx1} & S_{yx2} & \cdot & \cdot & \cdot & S_{yxn} & S_{yy} \end{bmatrix} \quad (1-5)$$

ただし、 $\bar{}$ は平均を表わし、 S_{xixj} 等は偏差積和を示します。

$$\begin{aligned} S_{xixj} &= \sum (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j) \\ &= \sum x_{ki} x_{kj} - \frac{(\sum x_{ki})(\sum x_{kj})}{m} \end{aligned} \quad (1-6)$$

3) 分散・共分散行列の計算

上記行列[B]から、第1行と第1列を取り除き、全要素を(m-1)で割ると、次の分散・共分散行列[V]が得られます。

$$[V] = \begin{bmatrix} V_{x1x1} & V_{x1x2} & \cdot & \cdot & \cdot & V_{x1xn} & V_{x1y} \\ V_{x2x1} & V_{x2x2} & \cdot & \cdot & \cdot & V_{x2xn} & V_{x2y} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ V_{yx1} & V_{yx2} & \cdot & \cdot & \cdot & V_{yxn} & V_{yy} \end{bmatrix} \quad (1-7)$$

$$\text{ただし、} V_{xixj} = S_{xixj} / (m-1) \quad (1-8)$$

上記行列[V]の対角要素の平方根を求めると、各変数の標準偏差 s_{xi} が得られます。

$$s_{xi} = \sqrt{V_{xixi}} \quad (1-9)$$

4) 相関行列の計算

上記の分散・共分散行列[V]の各行各列をそれぞれ対応する標準偏差で割ることにより、次の相関行列[R]が得られます。

$$[R] = \begin{bmatrix} r_{x1x1} & r_{x1x2} & \cdot & \cdot & \cdot & r_{x1xn} & r_{x1y} \\ r_{x2x1} & r_{x2x2} & \cdot & \cdot & \cdot & r_{x2xn} & r_{x2y} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{yx1} & r_{yx2} & \cdot & \cdot & \cdot & r_{yxn} & r_{yy} \end{bmatrix} \quad (1-10)$$

ここで x_i と x_j の相関係数 r_{xixj} は次式で表わされます。

$$r_{xixj} = \frac{V_{xixj}}{\sqrt{V_{xixi}} \sqrt{V_{xjxj}}} \quad (1-11)$$

5) F値の算出と変数の取り込み

重回帰式のあてはめの良否は、残差平方和の大小により評価できます。そして、各変数を重回帰式に取り込んだ場合の残差平方和の変動はF分布になります。そのため、各変数のF値を計算して、基準F値以上で大きなものから重回帰式に取り込みます。基準F値は、データ個数や信頼度設定などにより異なり、ユーザーが決めることができます。データ個数等によらずに一般の基準F値を決めるとすれば、2.5ぐらいにすればよいです。

F値は次の式により計算できます。

$$\begin{aligned} F_{xi} &= \frac{\text{残差平方和減少分}}{(\text{残差平方和} - \text{残差平方和減少分}) \cdot \text{自由度}} \\ &= \frac{S_{xiy}^2 / S_{xixi}}{(S_{yy} - S_{xiy}^2 / S_{xixi})(m - n_r - 2)} \end{aligned} \quad (1-12)$$

ただし、 n_r : 取り込み済みの変数個数

n_r が1以上の場合には、各Sの項は、既取り込み変数のカナメについて第2種の掃出し計算をした後の行列要素を意味します。

(1-12)式から、F値は前述の[B]行列から計算できますが、実際には、[B]行列の変形である[R]行列を用いて計算します。

6) 寄与率の算出

寄与率は決定係数とも言われ、回帰の当てはまりの良さを意味します。具体的には特性値yについて、回帰式で計算した値と実際の値との相関係数を求めると、その2乗が寄与率です。この寄与率は、上記の[R]行列に対して第2種の掃出し計算を施し、

その最終の対角要素を r'_{yy} とすると次式で計算できます。

$$\text{寄与率} = 1 - r'_{yy} \quad (1-13)$$

また、前項でどの変数を取り込むかを比較評価する際に、その変数を取り込むとどれだけ寄与率が増えるかを算出し、これを寄与率増分と呼んで評価尺度の1つとしています。従って、寄与率増分は、取り込み変数を選択する際に毎回計算します。

7) 偏回帰係数の算出

取り込み変数が確定したら、取り込み変数だけで、以上の行列計算を実施し、下記により偏回帰係数を算出します。

標準偏回帰係数 a_i' は、[R]行列で得られています。

$$a_i' = r_{xiy} \quad (1-14)$$

注) 標準偏回帰係数とは、各変数および特性値とも平均0、標準偏差1に変換した場合の偏回帰係数のことです。

求める偏回帰係数 a_i は、既に算出済みの標準偏差を用いて、次式で算出します。

$$a_i = a_i' s_y / s_{xi} \quad (1-15)$$

1.2 従来の重回帰ソフトの問題点

高精度重回帰に対して、従来の重回帰では次のような問題点があります。

1) 回帰誤差が大きいです。

個々の変数（1次変数）をそのまま用いて重回帰するのが一般的で、回帰精度が上がリません。また、変数を組合せて少種類の複合因子を1個ずつ指定して使用できるものもありますが、どの複合因子が良いかがわからないし、あるいは使用できる全変数の数が限定され、あまり効果がありません。

2) 重回帰への変数取り込み・削除が適切かつ自動的に行われません。

重回帰式へ変数を取り込んだり、いったん取り込んだ変数を削除したりする場合に、F値、多重共線性、寄与率増分などをチェックして行なう必要がありますが、通常、ソフト使用者が行なう必要があります。また、これらのチェックは経験的な面が強く、重回帰分析の熟練者でないと的確に実施できません。

1.3 高精度重回帰「Reg Super」の特長

この高精度重回帰ソフトの特長を、図1-1に、従来方法と比較して示します。

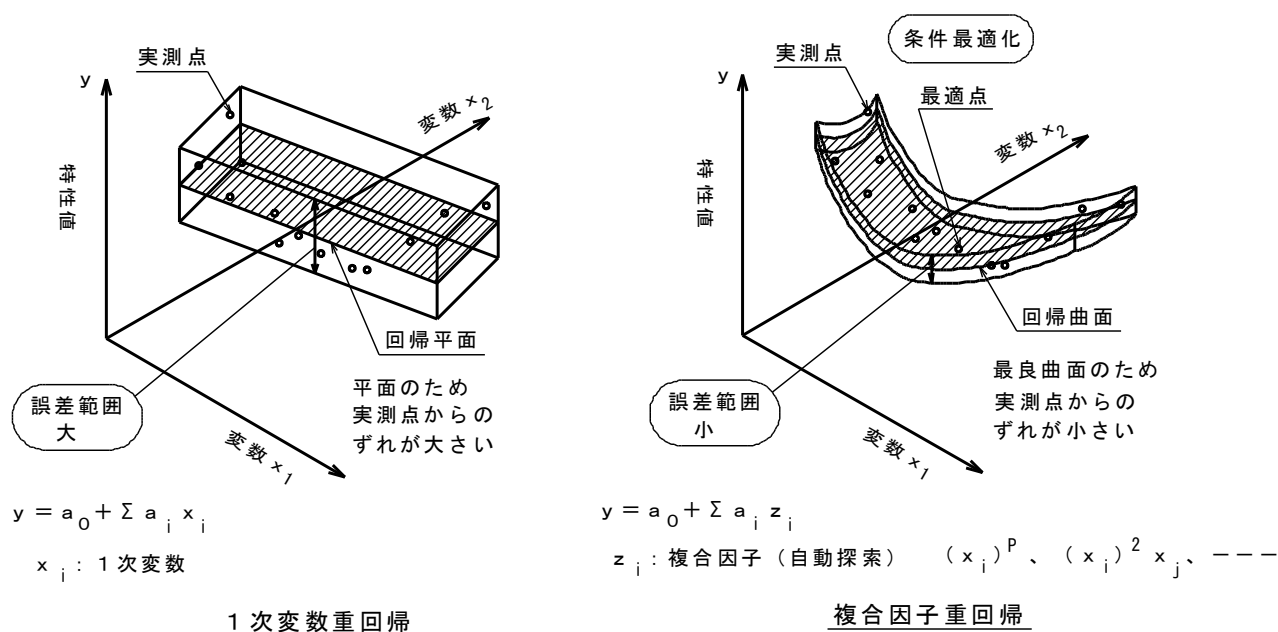


図1-1 1次変数重回帰と複合因子重回帰との比較

本重回帰の主な特長は次の通りです。

1) 多種類の複合因子を使用します。

個々の変数を組合せた非常に多くの複合因子を使用します。たとえば、入力変数20個の場合、全自動計算条件で探索する因子総数は2540にもなります。

2) 複合因子を自動探索します。

個々の複合因子を指定する必要はなく、影響の大きい複合因子が自動探索されて重回帰式に取込まれます。

3) 回帰誤差が小さいです。

図1-1のように、複合因子重回帰では、実測点に合った曲面に回帰できるので、誤差範囲が小さくなります。

4) 条件最適化が可能です。

図1-1のように、回帰曲面上で特性値の最小または最大の点を求めることができます。すなわち、特性値（またはその合成式）を目的関数とする最適化が可能です、その時の変数条件が最適条件となります。

1.4 重回帰式の種類

重回帰式は、下記に再掲する(1-2)式のように、加算回帰式が普通使用されます。しかし、後述の乗算回帰式も使用されることがあります。本書の「RegSuper」では、いずれの式も選択できるようにし、下記に示す因子種類を使用できるようにしています。なお、因子種類は、2変数までの組み合わせまでに止めてあります。以前に3変数の組み合わせも入れたことがありますが、實際上、3変数の組み合わせ因子が有効となることは極めて

まれであり、現在は除外しています。また、指数の因子を含めてありますが、指数の場合は極端に因子の値が大きくなる場合がありますので、全自動計算では指数因子は除いて計算しています。もし、他に加えたい因子種類があれば、プログラムを変更して対応することも可能です。

1) 加算回帰式 $y = a_0 + a_1 z_1 + a_2 z_2 + \dots + a_n z_n$ (1-2) 再掲

複合因子 z は次の13種類（全自動計算の場合は、①～③、⑦～⑬の10種類）。

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| ① $(x_i)^J$ | $J=0.5、1、\dots、3$ | |
| ② $1/(x_i)^J$ | $J=0.5、1、\dots、3$ | |
| ③ $\text{LN}(x_i)$ | ④ $1/\text{LN}(x_i)$ | ⑤ $\text{EXP}(x_i)$ |
| ⑥ $1/\text{EXP}(x_i)$ | ⑦ $x_i x_j$ | ⑧ x_i/x_j |
| ⑨ $1/(x_i x_j)$ | ⑩ $(x_i)^2 x_j$ | ⑪ $(x_i)^2/x_j$ |
| ⑫ $x_j/(x_i)^2$ | ⑬ $1/\{(x_i)^2 x_j\}$ | |

2) 乗算回帰式 $y = a_0 z_1^{a_1} z_2^{a_2} \dots z_n^{a_n}$ (1-16)

複合因子 z は次の3種類（全自動計算も同じ）。

- | | | |
|---------|--------------------|---------------------|
| ① x_i | ② $\text{LN}(x_i)$ | ③ $\text{EXP}(x_i)$ |
|---------|--------------------|---------------------|

1.5 因子の自動探索方法

上記のように、多種類の複合因子を作成して、重回帰式への取り込みを取捨選択します。その複合因子の数が非常に多くなりますので、その取捨選択を自動的に行なう必要があります。以下に因子の自動探索方法を説明します。

1) 自動探索する複合因子の種類の自動設定

前節に示した複合因子種類からユーザーが画面で選択することは当然可能ですが、全自動計算で自動選択することもできます。自動選択の場合は、和の重回帰式では複合因子を10種類、積の重回帰式では全3種類を自動設定し、各変数についてその全組合せ範囲を自動探索します。

2) 重回帰式に取込む因子の数は自動設定

重回帰式への因子取込みの最大個数は、ユーザーが指定できますが、全自動計算では入力データ変数の個数と同じに自動設定します。

3) 自動探索時、変数増減法* による重回帰式への変数取込み

注) * 小林龍一「相関・回帰分析法入門」日科技連（1983）によります。

F値の最小基準（自動の場合は2.5）により変数の取込み・追出しを判定します。

4) 自動探索時、変数取込みの打ち切りに対する多重共線性、F値基準、寄与率増分基準を自動設定

下記のいずれかが満足されなくなったら、重回帰式への変数取込みを打ち切ります。

イ) 多重共線性の基準（多重共線性チェック有の選択）

各変数を重回帰式に取込む時の相関行列掃出し計算において、

$$\text{判定値 } V > 0.1^{(r-1)} \quad (1-17)^{**}$$

注) ** 小林龍一「パソコンによる統計解析」培風館（1983）によります。

①記号 V : 掃出しカナメの積 r : 取込み変数の数

②多重共線性とは、たとえば重回帰式 $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$ において、下図のように説明変数の x_1 、 x_2 の値が $x_1 \cdot x_2$ 平面の中で 1 次式（直線、平面など）の上に乗ってしまうことです。多重共線性があると、回帰が不安定になります。従って、通常は多重共線性のチェックを入れます（入れなくても可）。

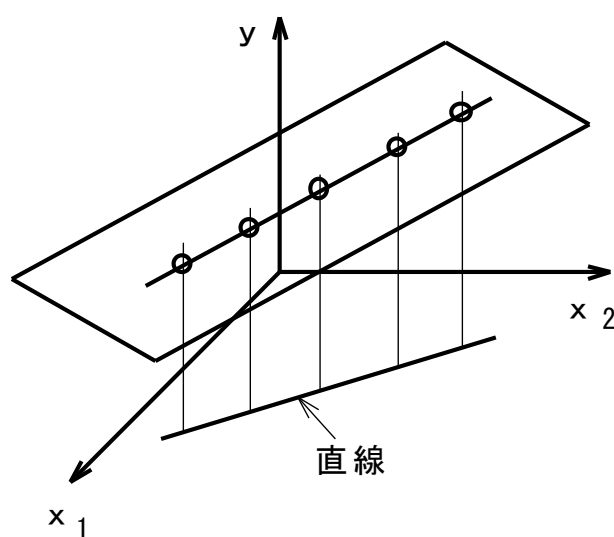


図1-2 多重共線性の説明図

ロ) F値の基準

各因子を重回帰式に取込む F 値の最小基準（全自動の場合は 2.5）以上とします。

注) F 値の意味等は、上記文献「相関・回帰分析法入門」を参照してください。

ハ) 寄与率増分の基準

各因子を重回帰式に取込んだ時の寄与率増分が最小基準（自動の場合は 0.005）以上とします。

5) 重回帰式による特性値の変化範囲の評価

因子の自動探索時に寄与率のみで重回帰式の優劣を判定すると、採用した重回帰式による特性値の予測値が、入力データの特性値から大きくずれることがあります。そのため、全自動計算では、下記のチェックを行ないます。ただし、ユーザー指示により本チェックを外すこともできます。

注) 本チェックは、重回帰式により特性値を外挿予測した時に、入力データの値から

大きくずれるものは、誤差大の危険のため、除こうとするものです。

- ①入力した変数（１次変数）の数 N_x に対して、計算時間を考慮して、次式によりチェック点数 N_a を設定します。

$$N_a = \text{MIN} (2N_x, 15) \quad (1-18)$$

- ②次に、上記 N_a 組の各変数 x_i の値は、各 x_i の最大、平均、最小のいずれかをランダムに与えます。
- ③この N_a 組の各変数 x_i の割当てデータについて、重回帰式により特性値 y_{ak} ($k=1, 2, \dots, N_a$) を計算し、図1-3に示す基準範囲からはみ出た量を次式で合計して、評価値 G を計算します。この評価値 G を特性値ずれと呼び、 G が小さい重回帰式を優先します。

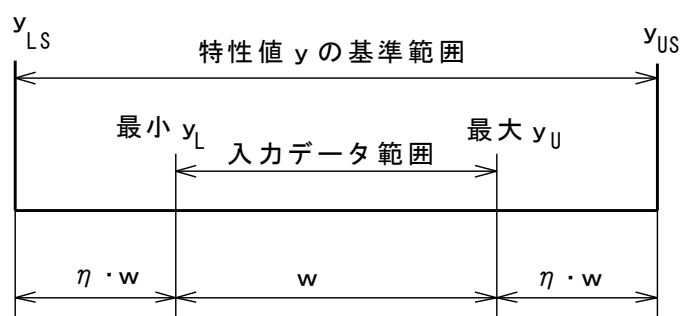
$$\text{特性値ずれ } G = \sum_{k=1}^{N_a} \left(y_{LS} - y_{ak} \right) + \sum_{k=1}^{N_a} \left(y_{ak} - y_{US} \right) \quad (1-19)$$

$$y_{ak} < y_{LS} \qquad y_{ak} > y_{US}$$

注) y_{LS} : y の基準範囲下限

y_{US} : y の基準範囲上限

また Σ の下不等式は、不等式を満足するもののみ合算することを意味する。



$\eta = 0.5$ に設定

図1-3 特性値 y の基準範囲

1.6 高精度重回帰の計算方法

所定の複合因子種類について、すべての入力変数(x_i)番号組合せを、図1-4の手順（部分重回帰の繰返し）で探索します。その結果、最後に最も特性値ずれが小さく、かつ最も寄与率が高い変数組（ n 個の変数）が残ります。

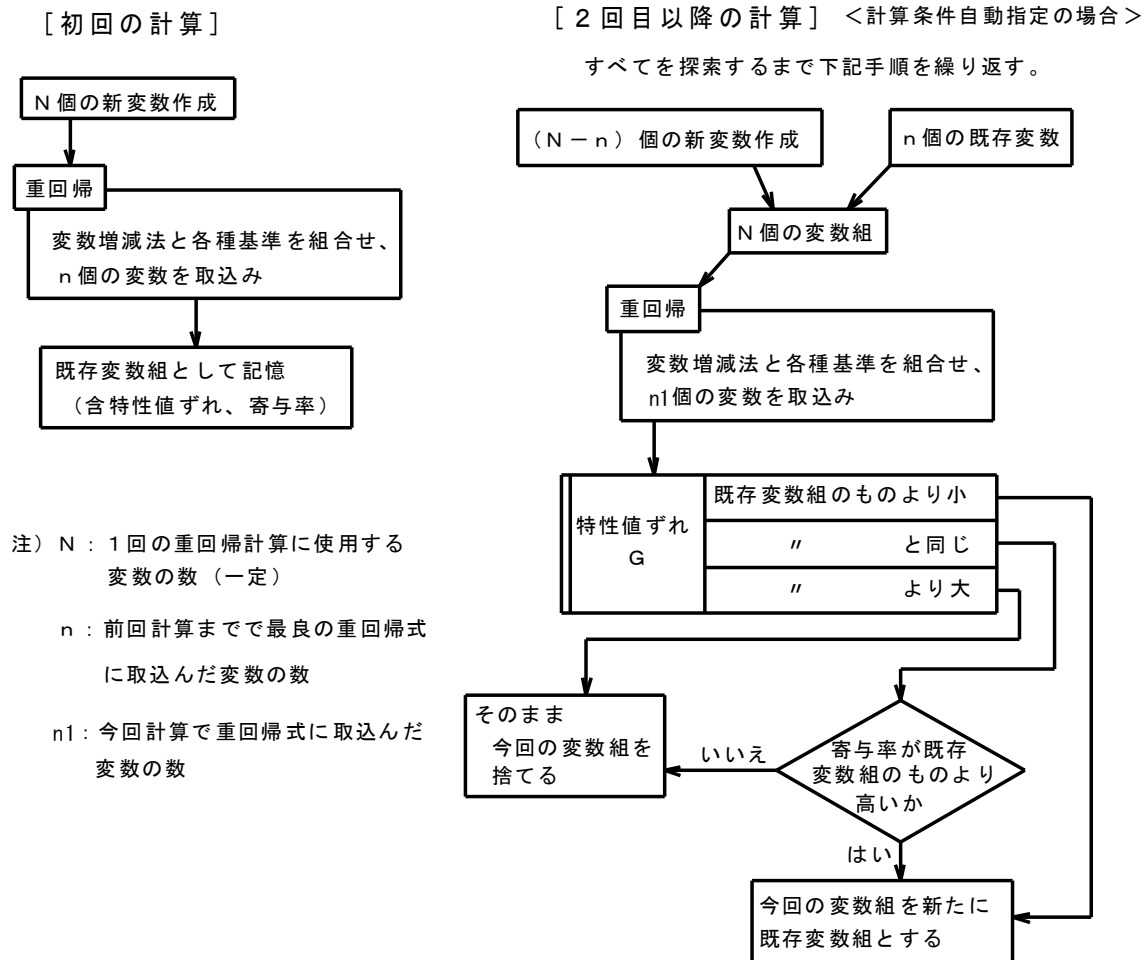


図1-4 重回帰の計算手順

1.7 説明変数の感度計算

入力データの各組データ点毎に各説明変数の感度（影響度）を計算し、その統計量を算出します。これは、特に複合因子の重回帰式のままでは、各説明変数の感度がわかりにくいことも、本計算の必要な理由です。

1) 説明変数の基準変化量

感度計算においては、各説明変数の基準変化量に対して、特性値の変化度合を感度として算出します。すなわち、図1-5のように、基準変化量 Δx に対する感度 Δy を、全入力点について計算します。

そのために、各説明変数の基準変化量を設定します。本ソフトでは、各説明変数の標準偏差 σ_{xi} に対して、 $0.6\sigma_{xi}$ を基準変化量としています。それは、 $\pm 3\sigma_{xi}$ が99%範囲を占めるので、その1割を採用したものです。

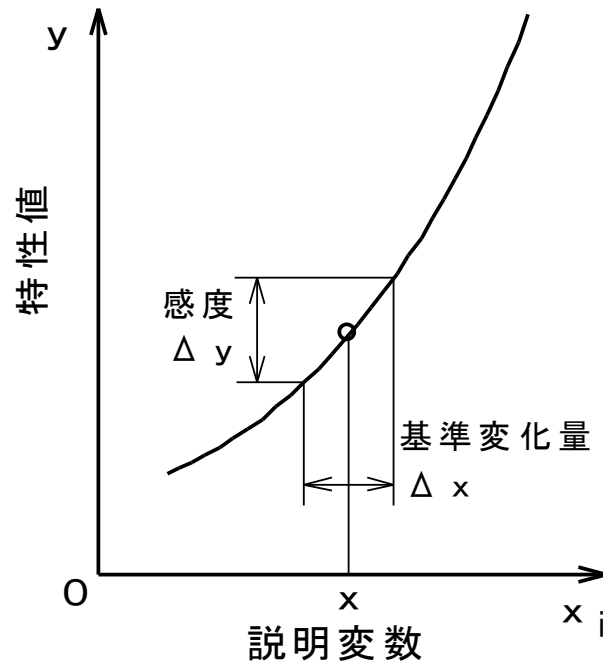


図1-5 基準変化量の説明図

2) 感度の大小評価

感度の大小はユーザーが独自に判断すべきですが、1つの目安を下記に示します。全入力データ点での感度 Δy の絶対値平均を Δy_a とし、次式により指標 e を計算し、評価します。

$$e = \frac{\Delta y_a}{\text{特性値の標準偏差}} \quad (1-20)$$

表1-1 感度評価の目安

eの範囲	感度評価
0.3以上	非常に大
0.15~0.3	大
0.075~0.15	中
0.075未満	小

1.8 最適化の計算

重回帰式を用いて、次の評価式を最大または最小にします。最大か最小かは、ユーザーが選択します。

$$G = \sum_{i=1}^k b_i y_i \quad (1-21)$$

ただし、 b_i : 各特性値の係数（ユーザー指定）

各特性値の大きさや重要度を考慮して設定します。

y_i : 各特性値の重回帰式による予測値

[制約条件]

①最適化のために、各説明変数 x_i の変域を定めます（必須）。

$$x_{iL} \leq x_i \leq x_{iU} \quad (1-22)$$

ただし、 x_{iL} : x_i の下限

x_{iU} : x_i の上限

これらの上下限値はユーザーが設定しますが、入力データの上下限値に自動設定することもできます。

②各特性値について、その値域を限定することも可能です（オプション）。

これは、各特性値を所望の値にしたい場合に設定します。

$$y_{iL} \leq y_i \leq y_{iU} \quad (1-23)$$

ただし、 y_{iL} : y_i の下限

y_{iU} : y_i の上限

[初期値]

最適化計算の出発点として、各説明変数 x_i の初期値を設定します。初期値はユーザーが設定できますが、入力データの最適点に自動設定することもできます。

以上の最適化は、別途開発した最適化計算方法（KH法）を用いて実施します。ここでは、本最適化方法の説明は省略します。

なお、実際の実用化現場では、最適化計算結果の説明変数条件により追加試験を行ない、そのデータを再度、重回帰・最適化に利用します。そして、一層の条件改善を図っていきます。

第2章 プログラムの機能・構成

[VBプロジェクト名] RegSuper

表2-1に本ソフトの解析機能を示します。同表のように、重回帰式タイプは、一般に使用される「1)加算回帰式」と、特殊なケースで使用する「2)乗算回帰式」の2種類を用意しています。

表2-1 「RegSuper」解析機能

重回帰式タイプ	式の形	因子種類 z		因子探索
		1 次因子	複合因子	
1) 加算回帰式	$y=a_0+a_1z_1+a_2z_2+\cdots+z_nz_n$	○	○	自動
2) 乗算回帰式	$Y=a_0z_1^{a_1}z_2^{a_2}\cdots z_n^{a_n}$	○	○	自動

注) 1 次因子：説明変数の 1 次式 (x_1 、 x_2 など)

複合因子：説明変数 2 個以下の複合式 (x_i^p 、 $x_i^p x_j$ など)

○印：対応

本ソフトの立ち上げ画面は、図2-1のメニュー画面です。同図のように、基本メニューは「データ」、「重回帰計算」、「最適化計算」、「グラフデータ」、「終了」の5つです。「データ」メニューでは入力データを作成し、「重回帰計算」メニューでは重回帰分析を実行し、「最適化計算」メニューでは重回帰式を利用して特性値（複数の場合は合成式）の最適化計算を実行します。また、「グラフデータ」では重回帰式をXYグラフや等高線図に表示するためのデータを作成します。そして、ソフトを終了させる際は、「終了」をクリックします。

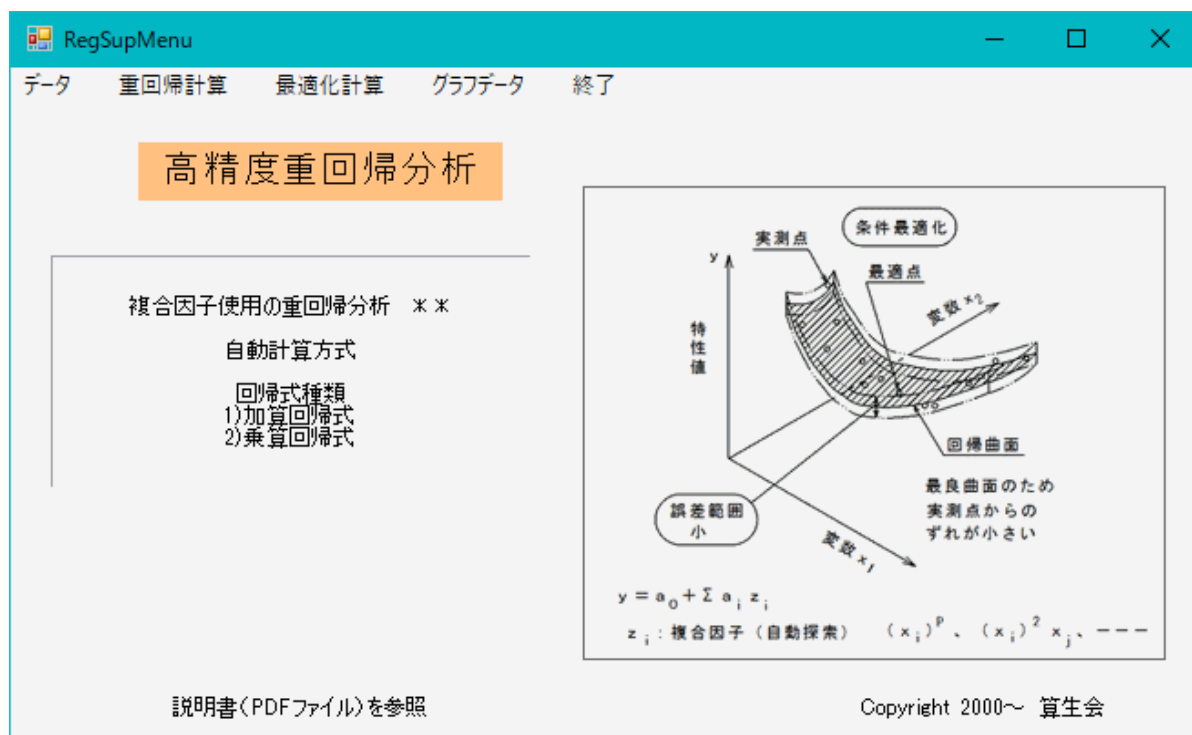


図2-1 「RegSuper」ソフトのメニュー画面

次に、図2-2にプログラム構成を示します。同図のように、全体を「メニュー」の RegSupMenuモジュール* で制御し、その下に「データ」、「重回帰計算」、「結果まとめ」、「最適化計算」、「グラフデータ」の5つのプログラム群に分かれています。

注) *モジュール名と各フォーム名は、ファイル名と名前を一致させてあります。

データファイルは、「入力データファイル」、各計算の「結果データファイル」および「重回帰サブファイル」の種類があります。これらデータファイルはいずれもテキスト形式であり、エディターや表計算ソフトで閲覧・印刷することができます。

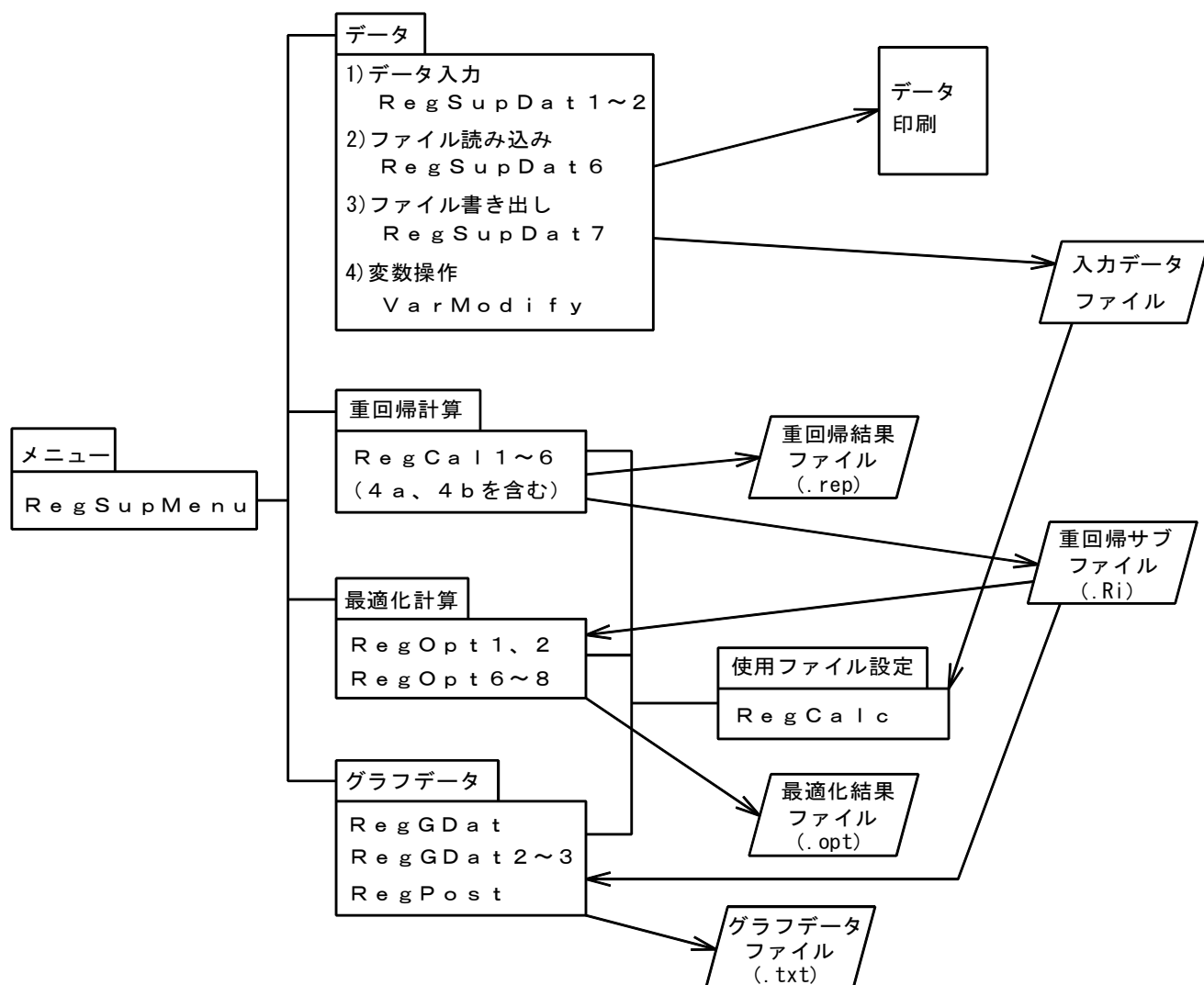


図2-2 「Reg Super」ソフトのプログラム構成

表2-2に本ソフトのファイルリストを示します。同表で、[全般]の内、RegCalc.frmは、「最適化計算」と「グラヌデータ」の区分で共通に使用される設定用プログラムです。また、[データ]の内、Vardel.frm～VarShift.frmの4つのファイルは、「変数操作」の各処理プログラムです。

表2-2 (1/2) 「R e g S u p e r」ソフトのファイルリスト

[全般]

ファイル名	内容
RegSupCom. vb	共通変数の宣言とサブルーチンの定義
RegSupMenu. vb	メニューの提示・選択
RegCalc. vb	使用ファイルの設定

[データ]

ファイル名	内容
RegSupDat1. vb	データ仕様の入力
RegSupDat2. vb	各組の説明変数・特性値データの入力
AnalDat6. vb	データファイルの入出力
VarModify. vb	変数の操作

[重回帰計算]

ファイル名	内容
RegCal2. vb	計算に使用するデータの設定
RegCal3. vb	使用する説明変数・データ組の絞り込み
RegCal4. vb	計算方法の選択
RegCal4a. vb	因子既知の取り込み因子の指定
RegCal4b. vb	探索因子範囲の設定
RegCal5. vb	重回帰因子の取り込み条件の設定
RegCal6. vb	重回帰計算の実行

表2-2 (2/2) 「R e g S u p e r」ソフトのファイルリスト

[最適化計算]

ファイル名	内容
RegOpt1. vb	最適化の特性値の設定
RegOpt2. vb	重回帰結果サブファイルの設定
RegOpt6. vb	最適化の処理条件の設定
RegOpt7. vb	最適化計算の実行
RegOpt8. vb	評価予測計算の実行

[グラフデータ]

ファイル名	内容
RegGDat. vb	グラフデータの仕様の設定
RegGDat2. vb	説明変数の固定値の入力
RegGDat3. vb	グラフデータ作成の計算実行
RegPost. vb	特性値の指定

第3章 入力データ構成

重回帰分析で使用する入力データファイルの構成を図3-1に示します。データファイルはテキスト形式であれば、拡張子（.dat、.txt等）は任意です。他のソフトのデータファイルからコピーする場合は、本ソフトで各個数を設定した空のデータファイルを作成して実施すると便利です。

注) ①タイトルには、「 , (コンマ)」を使用できません。

②数値データ間の区切りは、「 , (コンマ)」でも「 (ブランク)」でもよいです。

③本ソフトにより出力される入力データファイルでは、下記の1行目の前にプログラム名の行が挿入されます。ただし、プログラム名の行がなくても本ソフトで読み込み可能です。

(1行目)	タイトル
(2行目)	"説明変数(X)の数", n
(3行目)	"特性値(Y)の数", k
(4行目)	"データ組の数" m
(5行目)	"<組番号、各説明変数、各特性値>"
(6行目)	1, X ₁₁ , X ₁₂ , X ₁₃ , . . . X _{1n} , Y ₁₁ , Y ₁₂ , . . . , Y _{1k}
以降	2, X ₂₁ , X ₂₂ , X ₂₃ , . . . X _{2n} , Y ₂₁ , Y ₂₂ , . . . , Y _{2k}

	m, X _{m1} , X _{m2} , X _{m3} , . . . X _{mn} , Y _{m1} , Y _{m2} , . . . , Y _{mk}

図3-1 入力データファイルの構成

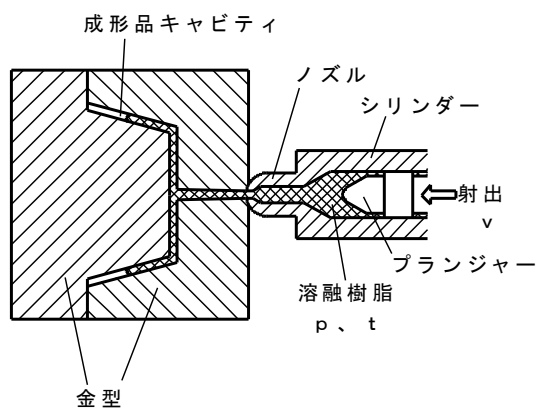
第4章 例題

次章以降においては、次の例題を使用して、プログラム説明を行ないます。図4-1に例題の内容を示します。本例はプラスチックの射出成形試験のものです。射出成形は、図4-1の説明図のように、プラスチックを加熱・溶融させ、溶融樹脂を金型の成形品キャビティ内へ射出し冷却固化して成形品を得るものです。本例の成形品は長方形箱で、図に示すように、反りとウェルドラインの2つの不良品質を特性値として評価しています。同図の表に示すように、説明変数はX1～X5の5個で、全部で12組のデータを使用しています。

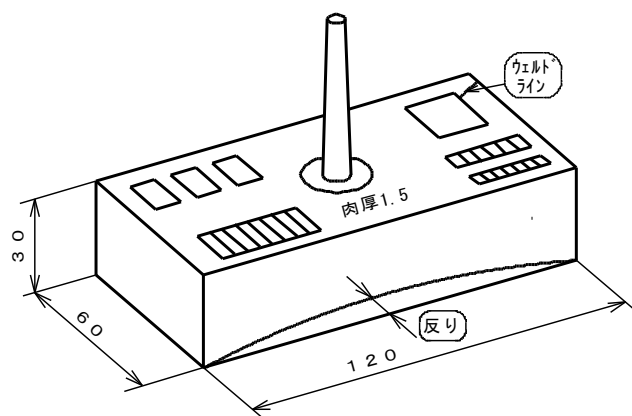
[成形品]長方形箱

[樹脂]ABS白

組番号	X1 金型温度 ℃	X2 シリンダー温度 ℃	X3 射出速度 %	X4 射出保持圧力 %	X5 射出保圧時間 s	Y1 反り量 mm	Y2 ウェルド深さ μm
1	30	215	10	30	6	0.30	7.4
2	30	230	10	50	2	0.76	5.5
3	30	230	50	50	2	0.94	2.8
4	30	230	50	30	4	0.39	3.9
5	40	200	30	70	4	0.33	3.8
6	40	215	50	30	2	0.69	5.1
7	40	215	30	70	4	0.26	5.3
8	40	230	10	50	4	0.10	9.2
9	50	200	30	50	6	0.35	4.4
10	50	200	50	30	6	0.31	6.3
11	50	200	30	70	6	0.33	3.7
12	50	215	10	70	2	0.69	4.5



射出成形説明図



長方形箱

図4-1 重回帰の例題（射出成形試験）

第5章 「データ」処理プログラム

5.1 サブメニュー画面

「メニュー」プログラムにおける「データ」のサブメニュー選択画面を図5-1に示します。同図に示すように、6つのサブメニューがあります。全く新たにデータを作成する場合は「データ入力・修正」を選択しますが、既存ファイルを修正して新たなファイルを作成する場合は先に「ファイル読み込み」を行ないます。また「変数操作」では、さらに下位に2次サブメニューが4つあり、それらは一旦作成したデータについて特別な変数操作を行なうものです。

また、「オプション」→「バックアップファイル作成」にチェックを入れると、データ読み込み時にバックアップファイル（.bak）が自動作成されます。チェックを外すと作成されなくなります。

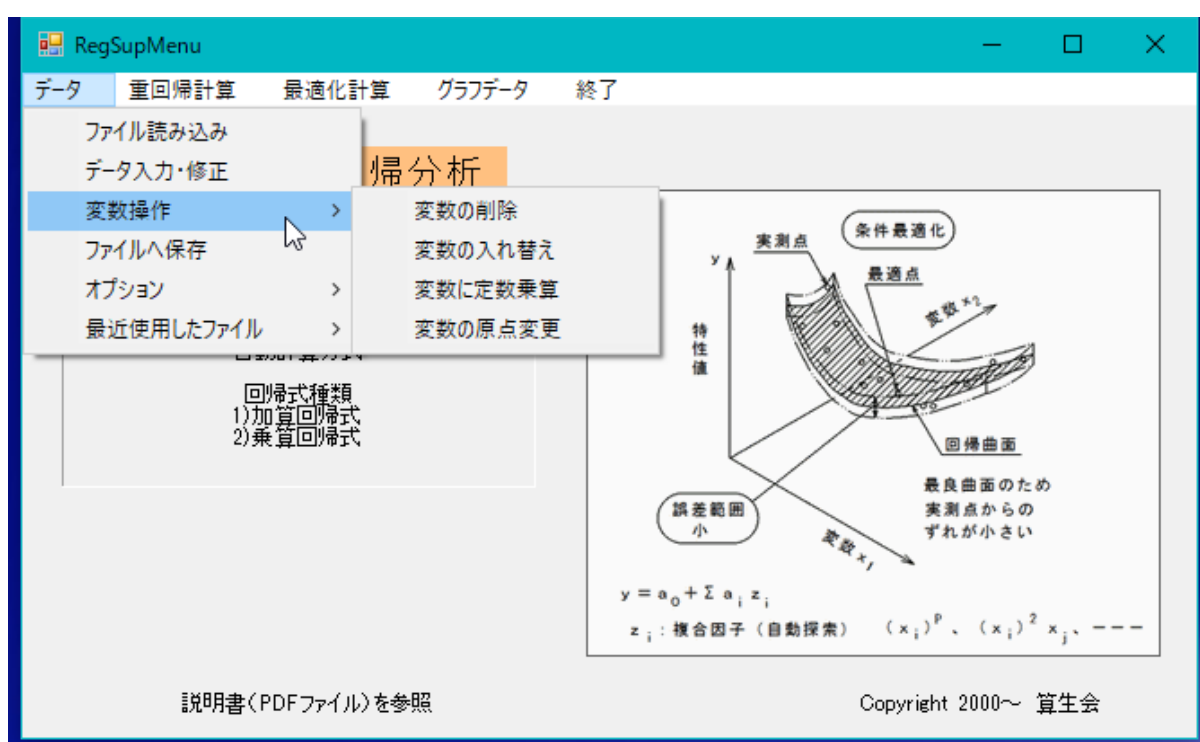


図5-1 「データ」サブメニュー画面

5.2 ファイル読み込み

サブメニューの「ファイル読み込み」を選択すると、コモンダイアログでファイルを開く画面となり、入力データファイルを選定して読み込みます。なお、入力データファイルのデフォルトの拡張子は、「.dat」です。

5.3 データ入力・修正

サブメニューの「データ入力・修正」を選択すると、図5-2のデータ仕様入力画面となります。本画面の入力について、以下に補足説明します。

- ①タイトルは、任意の題名を入力できます。
- ②説明変数（X）の数、特性値（Y）の数、およびデータ組数をそれぞれ入力します。

◇これらの個数は、後から変更することができます。

- ③本画面の「設定」ボタンをクリックすると、次の各組データの入力画面に移ります。
- ④各組データ入力が終了すると、本画面に戻るので、そこで「すべて確定」コマンドをクリックすると入力データが確定します。

The screenshot shows a Windows-style dialog box titled 'RegSupDat1'. Inside, the text 'データを入力してください。' (Please input data.) is at the top. Below it are three input fields: 'タイトル' (Title) with the text '長方形箱の射出成形試験データ(ABS樹脂)', '説明変数(X)の数' (Number of explanatory variables (X)) with the value '5', and '特性値(Y)の数' (Number of characteristic values (Y)) with the value '2'. Below these is a 'データ組数' (Number of data groups) field with the value '12'. At the bottom are three buttons: '設定' (Settings), '中止' (Cancel), and 'すべて確定' (All OK).

図5-2 データ仕様入力画面

5.4 各組データ入力画面

図5-3に各組データ入力画面を示します。

- ①X1に「-99」を入力すると、その行を削除して前詰めします。
- ②「コピー」、「貼り付け」ボタンにより、通常のクリップボード利用ができます。
 - ◇「取り消し」ボタンを押すと直前の貼り付けを取り消せます。
- ③すべてのデータを入力し終わったなら、「設定」ボタンをクリックして、図5-2のデータ仕様入力画面に戻ります。

5.5 変数操作

サブメニュー「変数操作」の2次サブメニュー4つの内、「変数の原点変更」について補足説明します。「変数の原点変更」は、その変数の値が全データ組で少ししか変化しない場合に、変化度合の大きいデータに作り変え、重回帰分析で影響を把握しやすくするために実施します。

図5-4に「変数の原点変更」画面を示します。同図で原点変更方式の「自動変更」を選択すると、変数の最小値より変化幅の1割下を新原点にデータ修正します。また、「原点入力」を選択して、自由に新原点の値を入力することもできます。

RegSupDat2

各組データの入力 X1に -99を入力すると、その行を削除・前詰めします。

組毎に説明変数(X)と特性値(Y)を入力してください。

組番号	X1	X2	X3	X4	X5	Y1	Y2
▶ 1	30	215	10	30	6	.3	7.4
2	30	230	10	50	2	.76	5.5
3	30	230	50	50	2	.94	2.8
4	30	230	50	30	4	.39	3.9
5	40	200	30	70	4	.33	3.8
6	40	215	50	30	2	.69	5.1
7	40	215	30	70	4	.26	5.3
8	40	230	10	50	4	.1	9.2
9	50	200	30	50	6	.35	4.4
10	50	200	50	30	6	.31	6.3
11	50	200	30	70	6	.33	3.7
12	50	215	10	70	2	.69	4.5
*							

設定 戻る コピー 貼り付け 取り消し

図5-3 各組データ入力画面

VarModify

変数の原点変更

原点変更の方法を指定してください。

[変数の数]説明変数(X) 5個、特性値(Y) 2個

原点変更方式

☒ 自動変更

☐ 原点入力

変数の種類

☒ 説明変数

☐ 特性値

変数番号 2

自動変更の場合に、0を入れると全変数

設定 中止

図5-4 「変数の原点変更」画面

5.6 ファイルへの保存

サブメニューの「ファイルへの保存」を選択すると、コモンダイアログでファイルを保存する画面となり、入力データファイルを設定すると、データが書き出されます。新たなファイル名を入力すると新ファイルが作成されます。先に入力データファイルを読み込んである場合に、同ファイルを選定すると上書きとなります。

図5-5に本例題の入力データファイルを示します。

"プログラム名", "RegSuper"								
"長方形箱の射出成形試験データ (ABS樹脂)"								
"説明変数(X)の数", 5								
"特性値(Y)の数", 2								
"データ組の数", 12								
"<組番号、X1、X2、X3、X4、X5、Y1、Y2>"								
1,	30,	215,	10,	30,	6,	.3,	7.4	
2,	30,	230,	10,	50,	2,	.76,	5.5	
3,	30,	230,	50,	50,	2,	.94,	2.8	
4,	30,	230,	50,	30,	4,	.39,	3.9	
5,	40,	200,	30,	70,	4,	.33,	3.8	
6,	40,	215,	50,	30,	2,	.69,	5.1	
7,	40,	215,	30,	70,	4,	.26,	5.3	
8,	40,	230,	10,	50,	4,	.1,	9.2	
9,	50,	200,	30,	50,	6,	.35,	4.4	
10,	50,	200,	50,	30,	6,	.31,	6.3	
11,	50,	200,	30,	70,	6,	.33,	3.7	
12,	50,	215,	10,	70,	2,	.69,	4.5	

図5-5 入力データファイル例

5.7 最近使用したファイルの選択

サブメニュー「最近使用したファイル」のポップアップで、ファイルリストから選択できます。

注) 新版ソフトでファイルが使用されないとリスト表示されません。

第6章 「重回帰計算」プログラム

6.1 サブメニュー画面

「メニュー」プログラムにおける「重回帰計算」のサブメニュー画面を図6-1に示します。サブメニューは「加算回帰式」と「乗算回帰式」の2つがあり、いずれかのサブメニューをクリックすると、次の使用ファイル設定画面に移ります。

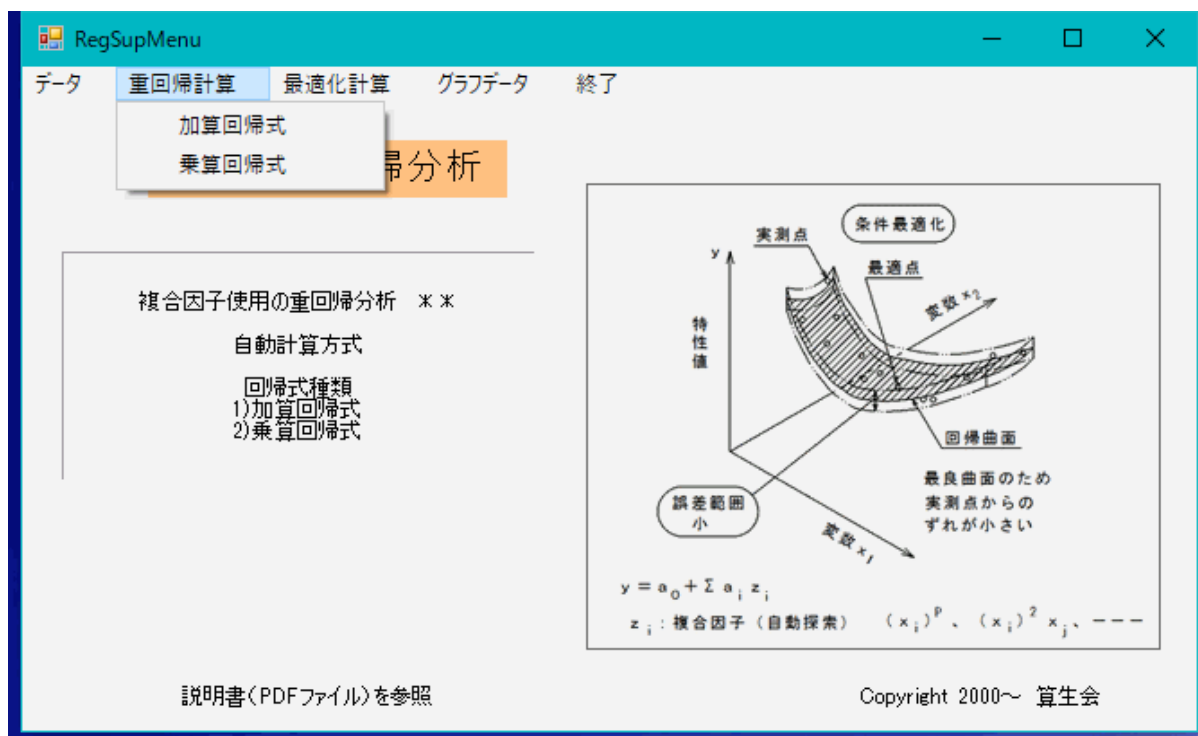


図6-1 「重回帰計算」サブメニュー画面

6.2 使用ファイルの設定

図6-2に使用ファイル設定画面を示します。同画面で、「入力データファイル指定」ボタンをクリックすると、コモンダイアログで入力データファイルを選定できます。そして、再び使用ファイル設定画面に戻ると、「入力データファイル指定」のテキストボックスには選定済み入力ファイル名が、また「計算結果ファイル指定」の方には入力ファイル名の拡張子を「.rep」に変更したファイル名が表示されます。もし、他のファイル名に変更したい場合は、テキストボックスで修正できます。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、次の使用データ指定画面に移ります。

6.3 使用データの設定

図6-3に使用データ設定画面を示します。同図は、「全変数使用」で「全組使用」となっており、データの絞り込みは実施しません。従って、本図で「設定」ボタンをクリックすると次の重回帰の計算方法設定画面に移ります。

もし、「変数絞り込み」または「組の絞り込み」を選択すると、別画面で使用する変数や組を指定できます。

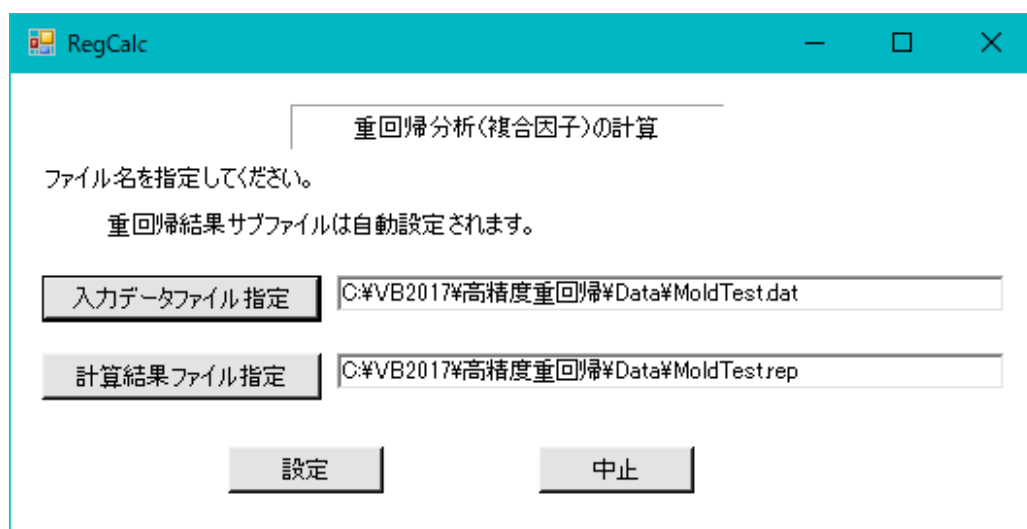


図6-2 使用ファイル設定画面

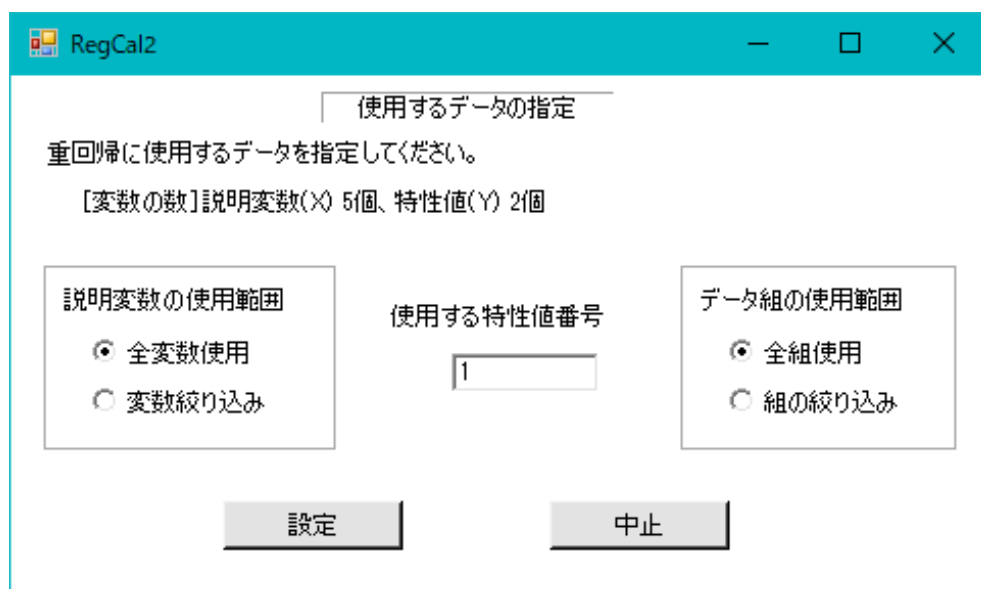


図6-3 使用データ設定画面

6.4 重回帰の計算方法の設定

図6-4に計算方法設定画面（全自動）を示します。同図では、「全自動」が選択されています。「全自動」の具体的内容は、後述の図6-7～6-8に示します。本図で「設定」ボタンをクリックすると、重回帰計算が実行されます。

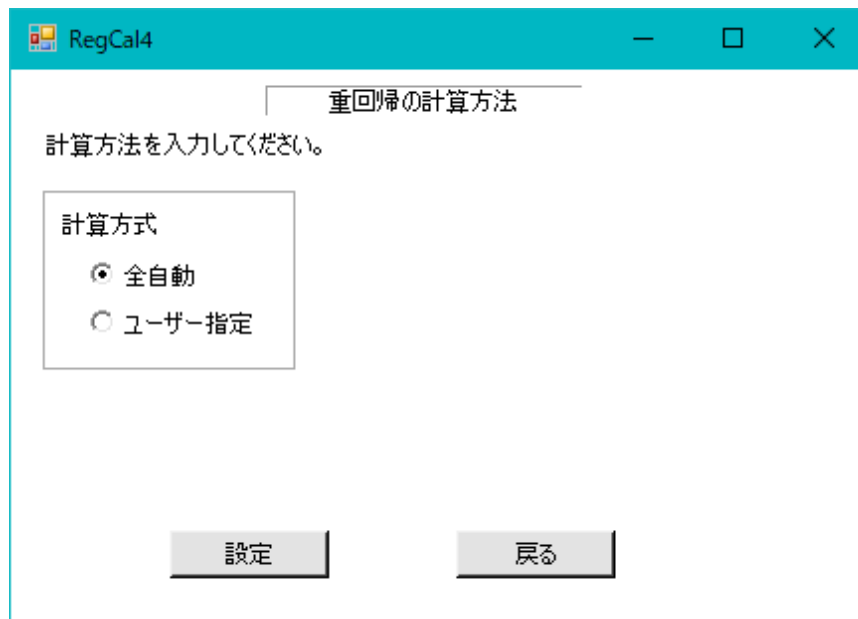


図6-4 重回帰の計算方法設定画面（全自動）

6.5 計算終了

図6-5に計算終了画面を示します。同図では、かかった計算時間と、計算確認のダイアログに回帰の寄与率が表示されています。本例の計算時間は0秒台で、寄与率は0.993と非常に高い値が得られています。本画面で、計算確認ダイアログの「OK」ボタンをクリックすると、立ち上げ時のメニュー画面に戻ります。

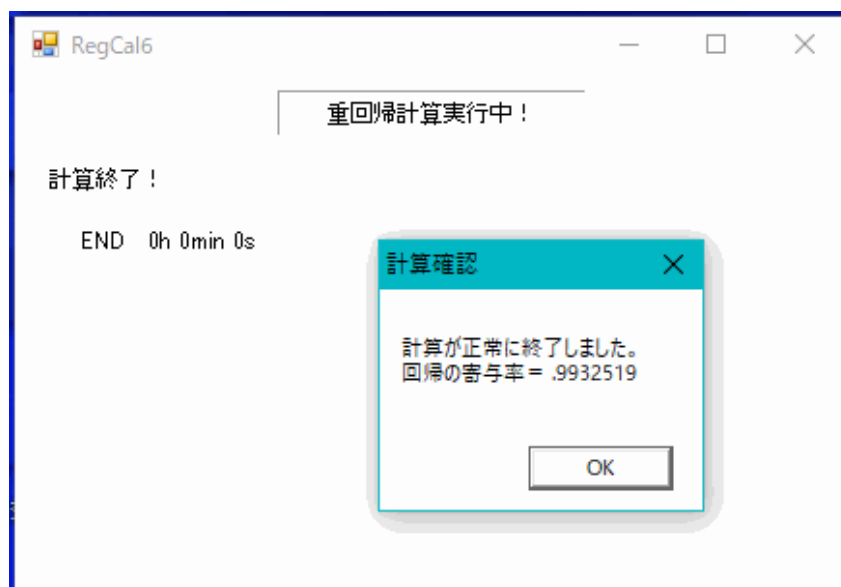


図6-5 計算終了画面

6.6 ユーザー指定の計算方法

上記の6.4節で「ユーザー指定」を選択すると、図6-6の画面となります。因子の条件は、「全変数の1次因子」、「取り込み因子既知」、「因子範囲を指定」のいずれかを選択します。同図の状態は、「全自動」の計算方法と同じです。

図6-6で「設定」ボタンをクリックすると、図6-7の探索因子範囲の設定画面に移ります。図6-7で、探索する因子種類をチェックして選択します。同図の状態は、「全自動」の計算方法と同じです。

図6-7で「設定」ボタンを選択すると、図6-8の重回帰因子の取り込み条件設定画面に移ります。図6-8で、F値や寄与率増分を指定するかどうかを選択でき、選択した場合はそれらの値も入力します。また、最終の選択因子数(MAX)、回帰式の選択基準や多重共線性チェック有無も入力します。同図の状態は、「全自動」の計算方法と同じです。

注) 入力項目については、第1章 1.5節の説明を参照してください。

本図で「設定」ボタンをクリックすると、重回帰計算が実行されます。

図6-6 重回帰の計算方法設定画面（ユーザー指定）

RegCal4b

探索因子範囲の設定

探索する因子範囲を指定してください(個数は制限なし)。

因子種類
P=0.5,1,1.5,2,...J

☒ (1) $X(I)^P$

☒ (2) $1/(X(I)^P)$

☒ (3) $\text{LN}(X(I))$

☐ (4) $1/\text{LN}(X(I))$

☐ (5) $\text{EXP}(X(I))$

☐ (6) $1/\text{EXP}(X(I))$

☒ (7) $X(I)*X(J)$

☒ (8) $X(I)/X(J)$

☒ (9) $1/(X(I)*X(J))$

☒ (10) $X(I)^2*X(J)$

☒ (11) $X(I)^2/X(J)$

☒ (12) $X(J)/X(I)^2$

☒ (13) $1/(X(I)^2*X(J))$

次数 J

次数 J

設定

戻る

図6-7 探索因子範囲の設定画面

RegCal5

重回帰因子の取込み条件の設定

重回帰の因子の取込み方法の番号

0)制限なし

1)F値指定

2)F値と寄与率増分を指定

F値の必要最小値

寄与率増分の最小値

最終の選択因子数(MAX)

回帰式の選択基準の番号

多重共線性のチェック

0)寄与率のみ

1)特性値ずれと寄与率

0)なし

1)有り

設定

中止

図6-8 重回帰因子の取り込み条件設定画

6.7 計算結果

上記6.2節で指定した出力ファイルに重回帰計算結果が書き出されます。図6-9に例題の計算結果ファイルへの出力を示します。同図で○印を付した数字の部分について補足説明します。

- ①特性値番号は1、すなわちY1についての重回帰です。
- ②自動計算条件の探索因子リストです。
- ③因子の取り込み方法等の計算条件が示されています。
- ④偏回帰係数と寄与率を示しますが、複合因子はZ(1)～Z(4)の4個です。すなわち、選択因子数は最大5個が条件でしたが、取り込んだ有効な因子は4個でした。
- ⑤相関係数の行列を示します。

- ⑥F値を計算してその最大の因子を取り込み、再度F値を計算する手順を繰返しています。
- ⑦行列式の値は、掃出し計算のカナメの積です。この値で多重共線性をチェックしますが、本例の0.1235は問題ありません。
- ⑧回帰式を示します。各因子Z(i)の詳細は⑩の因子リストに示します。
- ⑨寄与率0.993は非常に大きく、精度良く回帰できています。また、特性値ずれは0であり全く問題ありません。
- ⑩因子のリストを示します。因子内容の他、寄与率の増分と取り込み順位も示されています。

- ⑪変数・特性値の統計値リストを示します。
- ⑫各データ組の特性値について、入力データの実績値と重回帰の予測値と比較し、誤差を計算しています。
- ⑬誤差の平均や最大などを出力しています。本例では、平均誤差率4.5%、最大誤差率10.5%、最大誤差0.0366となっています。
◇最大誤差率10.5%は少し大きいように見えますが、入力データの実績値は成形品の反り計測値で相当な誤差を含んでおり、10%程度の最大誤差率なら非常に良いと判断できます。
- ⑭変数関係項とは、重回帰式において各説明変数の含まれる項のことです。本リストでは、各説明変数について、変数関係項（複数の場合は合計）の統計値を示します。
変数関係項の標準偏差が大きいほど影響が大きいです。
- ⑮感度とは、重回帰式において、各説明変数を基準変化量（ ΔX ）だけ変化させた場合に、特性値がどれだけ変化するかを意味します。本リストでは、各説明変数について、感度の統計量を示します。「感度が大（正負両方の相間）」などの感度評価も示しています。

重回帰分析の計算

〔回帰式のタイプ〕 加算回帰式

$$Y=A0+A1*Z1+A2*Z2+---+AN*ZN$$

〔入力データファイル〕,C:¥VB2017¥高精度重回帰¥Data¥MoldTest. dat

長方形箱の射出成形試験データ (ABS樹脂)

使用する説明変数番号 全部 (5個)

使用する特性値番号 1

使用するデータ組番号 全部 (12個)

自動計算条件

(1) $X(I)^P$ $P \sim 3$

(2) $1/(X(I)^P)$ $P \sim 3$

(3) $LN(X(I))$

(7) $X(I)*X(J)$

(8) $X(I)/X(J)$

(9) $1/(X(I)*X(J))$

(10) $X(I)^2*X(J)$

(11) $X(I)^2/X(J)$

(12) $X(J)/X(I)^2$

(13) $1/(X(I)^2*X(J))$

①

②

重回帰の因子の取込み方法 F値MIN 2.5 寄与率MIN .005

選択因子数 (MAX) 5

回帰式選択基準 --- 特性値ずれと寄与率

特性値の基準 (下、上) = -.32 、 1.36

多重共線性のチェック 有

③

平均と偏差積和行列

行 (0) は平均を示し, 1 / 組数, Z 1, Z 2, ---, Y の順

行 0

2.022068E-05, .04841821, 1400, .0008890664, .4541667

偏回帰係数, 寄与率

Z(1), 16144.93, .1022674

Z(2), 4.354004, .8122976

Z(3), 6.45272E-05, .03373514

Z(4), 666.9373, .07256593

④

標準偏差 (Z 1, Z 2, ---, Y の順)

1.283822E-05 .05675339 741.0067 .0002742958 .2512319

相関行列 (Z 1, Z 2, ---, Y の順)

行 1

.9999999, .2567143, -.1782658, -.9176598, .3753852

行 2

.2567141, 1, -.08982016, -.3575403, .9179239

行 3

-.1782658, -.08982016, 1, .2396469, .1294068

行 4

-.9176602, -.3575404, .2396469, .9999999, -.3349832

行 5

.375385, .9179241, .1294068, -.3349832, 1

⑤

図6-9 (1/3)

重回帰計算結果ファイルへの出力例

F 値

Z(1) 1.640278 Z(2) 53.52614 Z(3) .1703133

Z(4) 1.263972

Z(2) 寄与率の増分 = .8425845 掃出しカナメ = 1

F 値

Z(1) 1.378264 Z(2) -53.52614 Z(3) 3.630518

Z(4) .003021789

Z(3) 寄与率の増分 = .04524755 掃出しカナメ = .9919323

.....

.....

行列式の値, .1235115

⑦

回帰式

⑧

Y=-.7663988

+(16144.95) * Z(1)

+(4.354006) * Z(2)

+(6.452716E-05) * Z(3)

+(666.9382) * Z(4)

寄与率 = .9932519 特性値ずれ（合計） = 0

⑨

因子

因子内容

寄与率の増分

取込順位

⑩

Z(1) 1/(X(1)^3) .03285 3

Z(2) 1/(X(5)^3) .84258 1

Z(3) X(3)*X(4) .04525 2

Z(4) X(1)/X(2)^2 .07257 4

変数・特性値の統計値

⑪

番号

平均

最大

最小

標準偏差

X(1) 40 50 30 8.528028

X(2) 215 230 200 12.79204

X(3) 30 50 10 17.05606

X(4) 50 70 30 17.05606

X(5) 4 6 2 1.705606

Y .4541667 .94 .1 .2512319

注）説明変数の感度計算の基準変化量は標準偏差の6割に設定

⑫

特性値計算結果

⑫

データ番号

実績値

回帰予測値

誤差

誤差率

1 .3 .3039204 .003920376 .01306792

2 .76 .7863024 .02630246 .03460849

3 .94 .9153568 -.02464324 -.02621621

4 .39 .3746102 -.0153898 -.03946103

5 .33 .3563427 .02634269 .07982633

6 .69 .7040309 .01403093 .02033469

7 .26 .2665279 .006527871 .0251072

8 .1 .09046212 -.009537883 -.09537883

9 .35 .3133817 -.03661826 -.1046236

10 .31 .3133817 .003381729 .0109088

11 .33 .352098 .02209803 .06696374

12 .69 .6735848 -.01641524 -.0237902

図6-9 (2/3) 重回帰計算結果ファイルへの出力例

平均誤差率（絶対値） = .04502392 最大誤差率（絶対値） = .1046236 最大誤差（絶対値） = .03661826 誤差の標準偏差 = .02063939						⑬

変数関係項の諸数値						⑭
変数	**絶対値平均**	平均	最大	最小	標準偏差	
X(1)	** .9194142 **	.9194142	1.030804	.756566	.08268376	
X(2)	** .5929523 **	.5929523	.8336728	.3782258	.1829385	
X(3)	** .09033802**	.09033802	.1613179	.01935815	.04781507	
X(4)	** .09033802**	.09033802	.1613179	.01935815	.04781507	
X(5)	** .2108132 **	.2108132	.5442507	.02015743	.2471046	

感度の諸数値						⑮
変数	**絶対値平均**	平均	最大	最小	標準偏差	
X(1)	基準 ΔX= 5.116817	感度は大（正負両方の相関）				
	** .07170735 **	-.04967958	.03591394	-.1606375	.08401235	
X(2)	基準 ΔX= 7.675226	感度は大（負の相関）				
	** .04248977 **	-.04248977	-.02656543	-.0604828	.0136034	
X(3)	基準 ΔX= 10.23363	感度是中（正の相関）				
	** .03301737 **	.03301737	.04622436	.01981038	.01126293	
X(4)	基準 ΔX= 10.23363	感度是中（正の相関）				
	** .01981043 **	.01981043	.0330174	.006603479	.01126293	
X(5)	基準 ΔX= 1.023363	感度は非常に大（負の相関）				
	** .1523443 **	-.1523443	-.01516747	-.386701	.1739221	

[重回帰結果サブファイル] , C:\¥VB2017¥高精度重回帰¥Data¥MoldTest. R1						
特性値番号 1						
変数の数 5						
取込み因子数 4						

END, 0h 0min 0s						

図6-9 (3/3) 重回帰計算結果ファイルへの出力例

第7章 「最適化計算」プログラム

「メニュー」プログラムで「最適化計算」をクリックすると、次の使用ファイル設定画面となります。

7.1 使用ファイルの設定

図7-1に使用ファイル設定画面を示します。同画面で、「入力データファイル指定」ボタンをクリックすると、コモンダイアログで入力データファイルを選定できます。そして、再び使用ファイル設定画面に戻ると、「入力データファイル指定」のテキストボックスには選定済み入力ファイル名が、また「計算結果ファイル指定」の方には入力ファイル名の拡張子を「.opt」に変更したファイル名が表示されます。もし、他のファイル名に変更したい場合は、テキストボックスで修正できます。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、次の特性値設定画面に移ります。



図7-1 使用ファイル設定画面

7.2 特性値の設定

図7-2に特性値設定画面を示します。本画面で、最適化に使用する特性値を指定します。特性値は何個でも指定できます。本例では特性値が2個ですが、説明の簡素化のため、ここではY1だけを選択しています。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、次の重回帰結果サブファイル設定画面に移ります。

7.3 重回帰結果サブファイルの設定

図7-3に重回帰結果サブファイル設定画面を示します。本画面で、前項で指定した各特性値に対して、重回帰結果のサブファイル名が自動表示されています。このサブファイル名は、重回帰計算で自動設定されていますが、もしサブファイル名が他の名前であった場合は、該当セルで修正できます。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、次の最適化評価式設定画面に移ります。

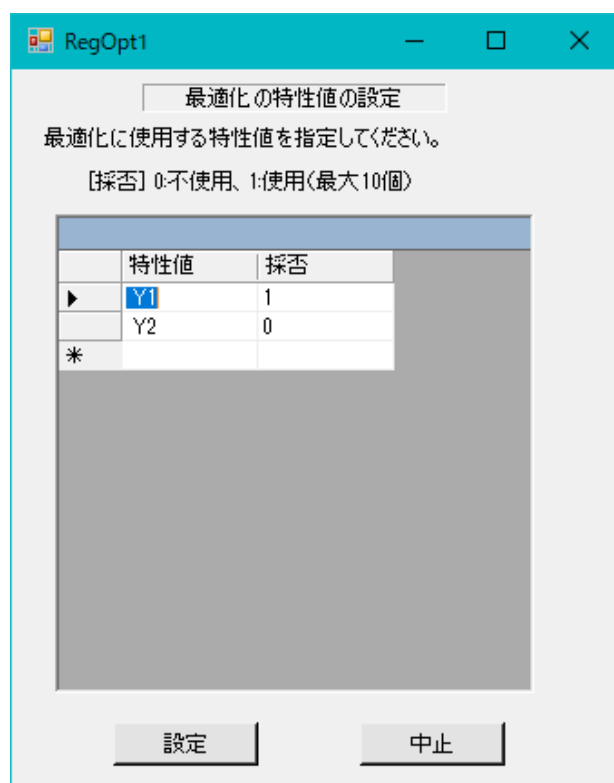


図7-2 特性値設定画面

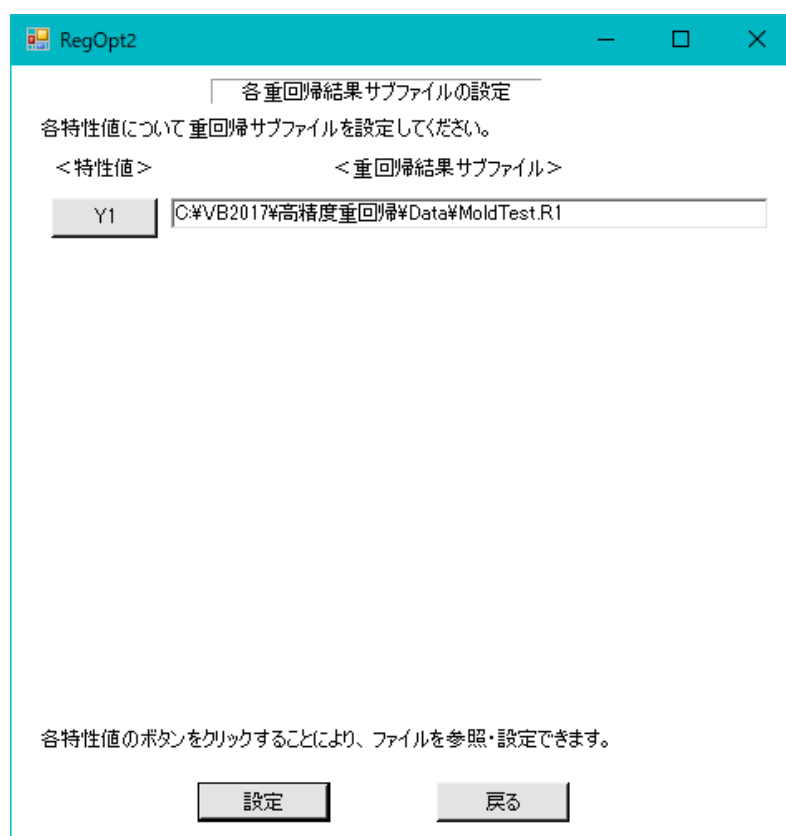


図7-3 重回帰結果サブファイル設定画面

7.4 最適化評価式の設定

図7-4に最適化評価式設定画面を示します。まず、評価式区分で「最大化」か「最小化」

を選択します。本例では、特性値（反り）が成形品の不良品質なので、「最小化」を選択しています。

次に、特性値の重み係数を入力します。本例のように特性値を1個だけ使用する場合は、重み係数は意味がないので、1のままで結構です。複数の特性値を使用する場合は、各特性値の数値桁や重要度を考慮して重み係数を入力します。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、次の説明変数の制約条件設定画面に移ります。

最適化評価式の設定

最適化評価式の区分と各促成値の重み係数を入力してください。

[評価式] $G=W1 \cdot Y1+W2 \cdot Y2+\dots+Wn \cdot Yn$

Wi: 各特性値の重み係数、 Yi: 各特性値

評価式区分

☐ 最大化

☒ 最小化

	特性値	重み係数
▶	Y1	1
✱		

設定 戻る

図7-4 最適化評価式の設定画面

7.5 説明変数の制約条件の設定

図7-5に説明変数の制約条件設定画面を示します。本画面で、各説明変数の最小値と最大値を入力します。最適化は、各説明変数の変化範囲を定めて実施しますので、この制約条件の設定は必須です。もし、制約したくない場合は、最小値は非常に小さい値に、最大値は非常に大きい値にしておきます。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、次の特性値の制約条件設定画面に移ります。



図7-5 説明変数の制約条件設定画面

7.6 特性値の制約条件の設定

図7-6に特性値の制約条件設定画面を示します。本画面で、先ず特性値の値について、「制約しない」か「制約する」かを選択します。本図は、「制約しない」を選択した画面になっており、もし「制約する」を選択すると各特性値の最小値と最大値を入力できます。最適化を行なうにあたり、必ずしも特性値を制約する必要はありませんが、もし各特性値の値を一定の範囲におさめたい場合にはその制約条件を設定しなければなりません。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、次の初期条件設定画面に移ります。

7.7 初期条件の設定

図7-7に最適化の初期条件設定画面を示します。最適化は、各説明変数の初期値から出発して、最適化評価式の値を最適（最大または最小）にする説明変数値を見出すものです。そこで、本画面では先ず初期値として「元データの最適値」か「ユーザー入力」を選択します。「元データの最適値」を選択すると、重回帰の入力データにおける最適値が表示されます。もし他の初期値を使用したい場合は、「ユーザー入力」を選択して自由に初期値を入力できます。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、最適化計算が実行されます。

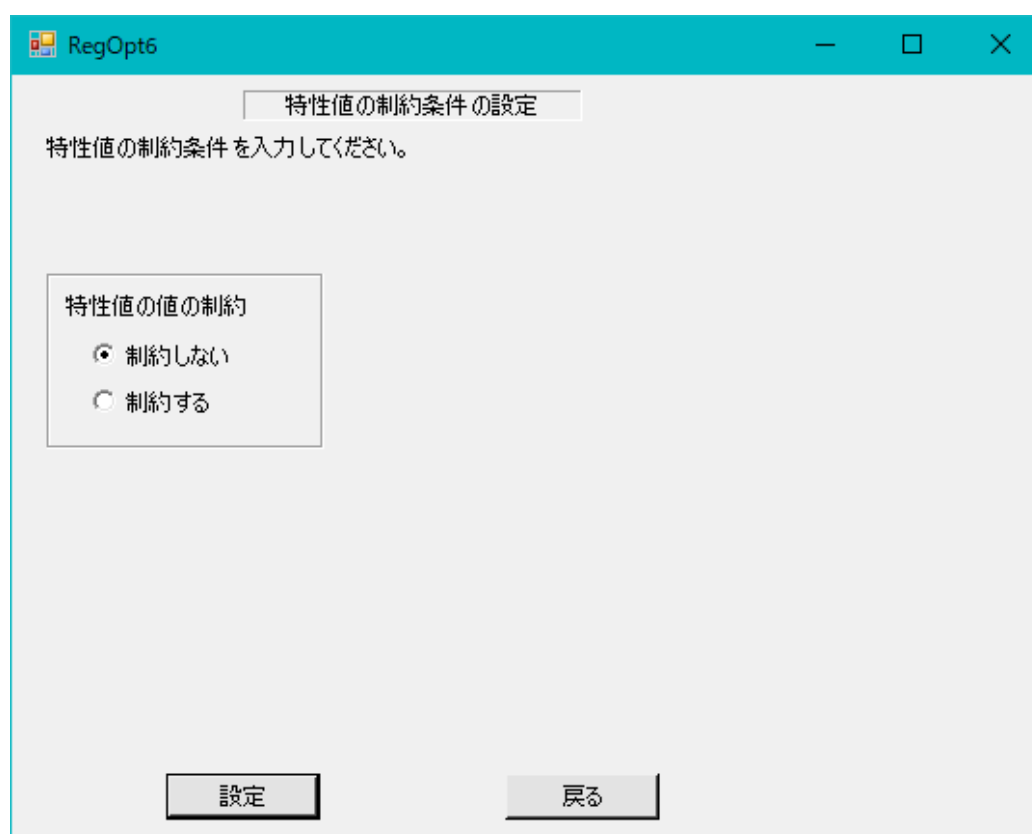


図7-6 特性値の制約条件設定画面



図7-7 最適化の初期条件設定画面

7.8 最適化計算の終了

図7-8に最適化計算の終了画面を示します。計算結果は、上記7.1節で指定した出力ファイルに書き出されます。

また、図7-8のダイアログに示すように、結果の評価値が表示され、さらに評価予測計算を続けることができます。ここで、評価予測計算とは、最適化結果の各説明変数値について、値を変更した場合の評価式値を予測計算することです。本画面で評価予測計算のダイアログで、「はい」をクリックすると次の評価予測計算画面に移ります。

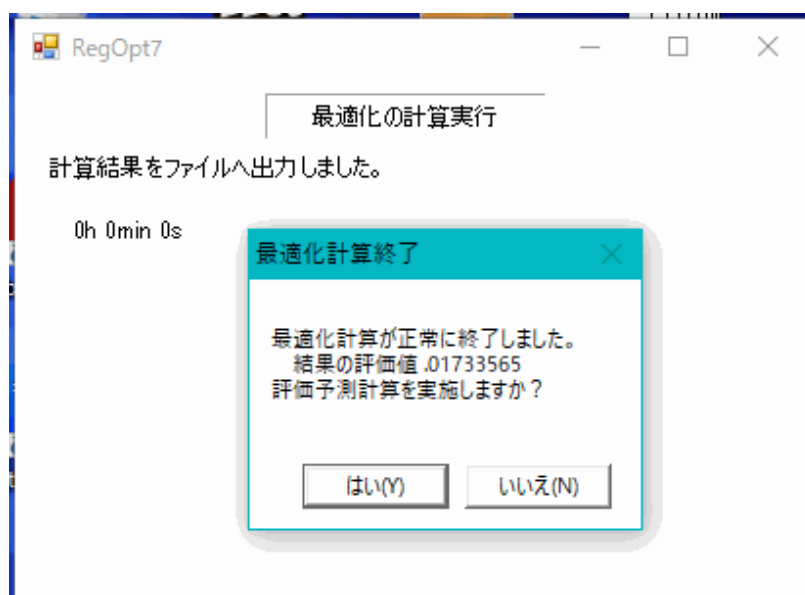


図7-8 最適化計算の終了画面

7.9 評価予測計算

図7-9に評価予測計算画面を示します。本画面で、各説明変数の条件値を任意に変更入力し、「計算実行」ボタンをクリックすると評価予測計算が実行されます。本計算は何度でも繰り返し実行でき、「終了」ボタンをクリックすると完了します。なお、評価予測計算の状況は、同画面表示の予測結果ファイルへ出力されますので、後でエディター等で見るができます。

説明変数	条件値
X1	44.26578
X2	230
X3	10
X4	30
X5	6
*	

前回評価値
.01733565

計算実行 終了

図7-9 評価予測計算画面

7.10 計算結果

図7-10に最適化結果の出力ファイル例を示します。同図で○印を付した数字の部分について補足説明します。

- ①最適化の評価式を示します。
- ②説明変数の制約条件を示します。
- ③最適化の初期値を示す。その評価値（反り）は0.0905です。
- ④最適化までの繰り返し計算回数は16回となっています。
- ⑤最適条件値を示します。評価値（反り）は0.0173で、初期値の0.0905より改善されています。また、説明変数の値は、X(1)、X(4)、X(5)の値が初期値から変更になっています。

重回帰式による最適化計算	
[入力データファイル], C:\¥VB2017¥高精度重回帰¥Data¥MoldTest. dat	
使用する特性値の数 1	
特性値 Y (1) ファイル名=C:\¥VB2017¥高精度重回帰¥Data¥MoldTest. R1	
加算回帰式 $Y=A0+A1*Z1+A2*Z2+-----+AN*ZN$	

使用する変数	
X(1), X(2), X(3), X(4), X(5)	

最適化評価式 (最小化)	①
G= 1 * Y(1)	

制約条件	②
X(1) 30 To 50	
X(2) 200 To 230	
X(3) 10 To 50	
X(4) 30 To 70	
X(5) 2 To 6	

Y は制約しない	

評価値, .09046212	③
X(1), 40	
X(2), 230	
X(3), 10	
X(4), 50	
X(5), 4	
Y(1), .09046212	

最適化計算開始	
最大繰返し計算回数 (計算打ち切り), 50	

最終結果 (繰返し計算回数), 16	④

評価値, .01733565	⑤
X(1), 44.26578	
X(2), 230	
X(3), 10	
X(4), 30	
X(5), 6	
Y(1), .01733565	

END, 0h 0min 0s	

図7-10 最適化計算の出力ファイル例

第8章 「グラフデータ」プログラム

8.1 サブメニュー画面

「メニュー」プログラムにおける「グラフデータ」のサブメニュー画面を図8-1に示します。サブメニューは「XYグラフ用」と「等高線図用」の2つがあり、いずれかのサブメニューをクリックすると、次の使用ファイル設定画面に移ります。

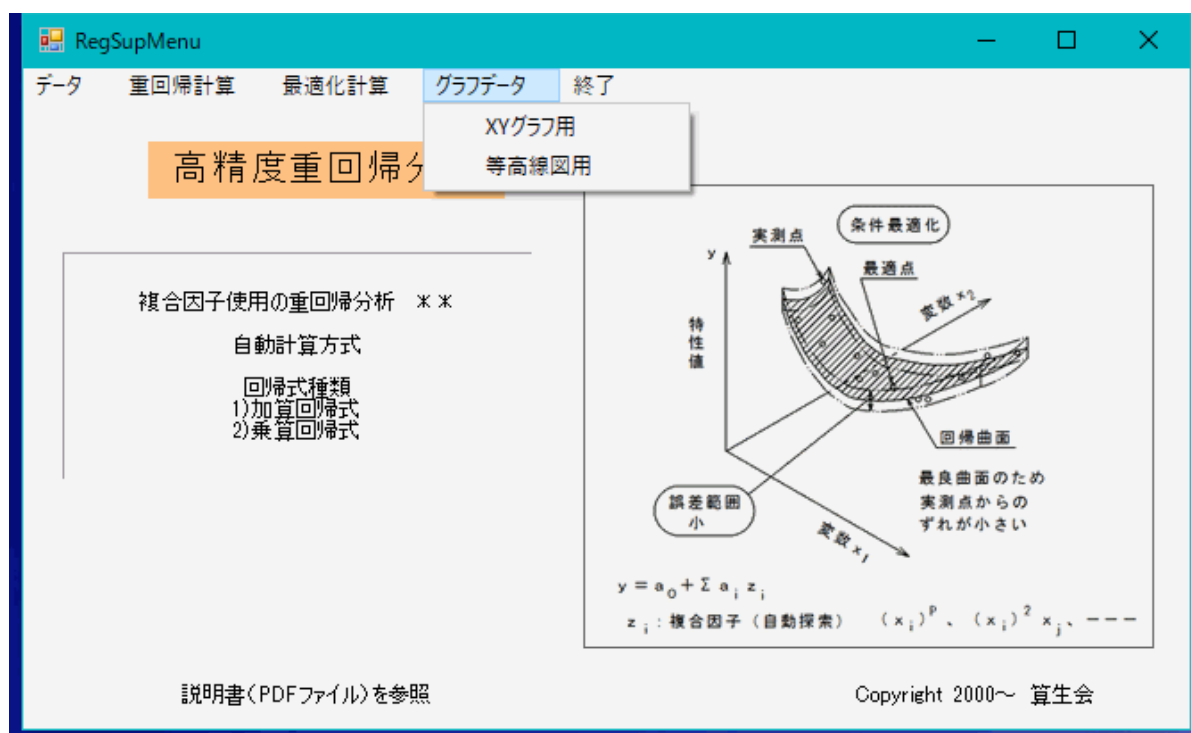


図8-1 「グラフデータ」サブメニュー画面

8.2 使用ファイルの設定

図8-2に使用ファイル設定画面を示します。本画面で、「入力データファイル指定」ボタンをクリックすると、コモンダイアログで入力データファイルを選定できます。そして、再び使用ファイル設定画面に戻ると、「入力データファイル指定」のテキストボックスには選定済み入力ファイル名が、また「計算結果ファイル指定」の方には下記のように自動変更したファイル名が表示されます。もし他のファイル名に変更したい場合は、テキストボックスで修正できます。

◇XYグラフ用の場合は、入力データファイルのベース名（拡張子を除去した部分）に「XY」を付加し、さらに拡張子を「.txt」変更したファイル名を表示します。

◇等高線図用の場合は、入力データファイルのベース名（拡張子を除去した部分）に「CT」を付加し、さらに拡張子を「.txt」変更したファイル名を表示します。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、次の特性値設定画面に移ります。

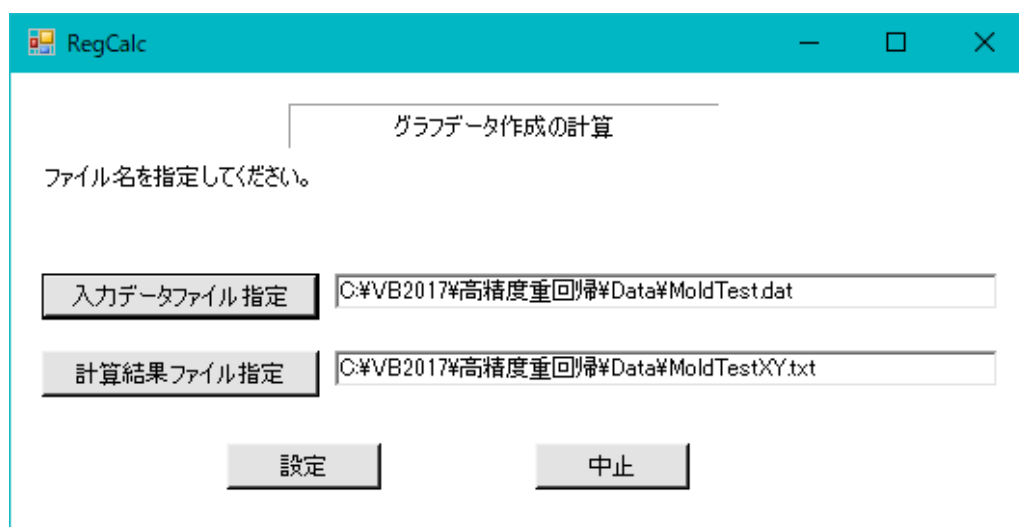


図8-2 使用ファイル設定画面

8.3 特性値の設定画面

図8-3に特性値設定画面を示します。本画面で、特性値番号を入力する（Returnキー）と、「重回帰結果サブファイル指定」のテキストボックスにファイル名が自動表示されます。このサブファイル名は、重回帰計算で自動設定されていますが、もしサブファイル名が他の名前であった場合は、テキストボックスで修正できます。

本画面で、「設定」ボタンをクリックすると、次のグラフデータ仕様設定画面に移ります。

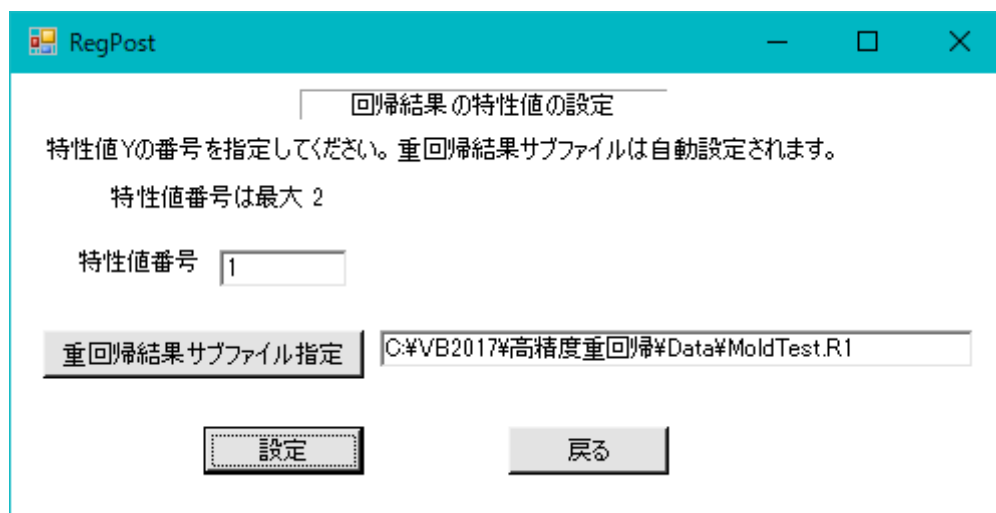


図8-3 特性値設定画面

8.4 グラフデータ仕様の設定画面（X Yグラフ用）

図8-4にX Yグラフ用のグラフデータ仕様設定画面を示します。本画面で、X軸とパラメーターについて、説明変数番号と、その変数値の最小、最大、分割数を入力します。パラメーターが不要の場合は、その入力省略できます。ここで、パラメーターとは、X、Y以外にもう1つ変化させる変数のことで、パラメーター毎のグラフ曲線を作画できます。X軸、Y軸、パラメーター以外の変数は、固定値となります。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、固定変数値設定画面に移ります。

図8-4 グラフデータの仕様設定画面（X Y グラフ用）

8.5 グラフデータ仕様の設定画面（等高線図用）

図8-5に等高線図用のグラフデータ仕様設定画面を示します。本画面で、X軸とY軸について、説明変数番号と、その変数値の最小、最大、分割数を入力します。X軸、Y軸、Z軸以外の変数は、固定値となります。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、固定変数値設定画面に移ります。

8.6 固定変数値の設定

図8-6に固定変数値設定画面を示します。本画面で、重回帰式に取り込まれた残りの説明変数について、固定値を入力します。入力後、「設定」ボタンをクリックすると、グラフデータ作成の計算が実行されます。

8.7 計算結果

上記8.2節で指定した出力ファイルに計算結果が書き込まれます。例題について、図8-7にX Y グラフ用、図8-8に等高線図用の出力例を示します。

図8-7（X Y グラフ用）では、①にパラメーター値が示され、②に示された項目のデータが③以降に1行ずつ出力されています。

また、図8-8（等高線図用）では、①に節点数、②に要素数が示され、③以降に要素データが出力され、④以降に節点データが出力されています。

注）グラフデータの各数値をコンマで区切っているのは、表計算ソフト等で呼び込むためです。

RegGDat

重回帰式による等高線図データ作成

グラフデータの仕様を入力してください。

説明変数(X)の数は 5個です。

[X軸データ] 説明変数番号 1

最小値 30

最大値 50

分割数 10

[Z軸データ] 特性値 Y 1

[Y軸データ] 説明変数番号 3

最小値 10

最大値 50

分割数 10

設定 戻る

図8-5 グラフデータの仕様設定画面（等高線図用）

RegGDat2

グラフデータの固定変数値の設定

説明変数の固定値を入力してください。

	説明変数	固定値
	X2	230
	X4	30
▶	X5	6
*		

設定 戻る

図8-6 固定変数値設定画面

重回帰式によるグラフデータ

[入力データファイル], C:\¥VB2017¥高精度重回帰¥Data¥MoldTest. dat

固定値 X2= 230 X4= 30 X5= 6

パラメータ-X3

** 10 20 30 40 50

説明変数X1、各パラメータ値に対応する特性値Y1データ

30,	.2493037,	.2686619,	.28802,	.3073782,	.3267363
30.2,	.2400237,	.2593818,	.27874,	.2980981,	.3174562
30.4,	.2310521,	.2504103,	.2697684,	.2891266,	.3084847
30.6,	.2223791,	.2417372,	.2610954,	.2804536,	.2998117
30.8,	.213995,	.2333531,	.2527113,	.2720695,	.2914276
31,	.2058905,	.2252487,	.2446068,	.263965,	.2833231
31.2,	.1980567,	.2174148,	.236773,	.2561311,	.2754892
31.40001,	.190485,	.2098432,	.2292013,	.2485595,	.2679176
31.60001,	.1831674,	.2025255,	.2218837,	.2412418,	.2605999
31.80001,	.1760956,	.1954538,	.214812,	.2341701,	.2535282
32.00001,	.1692622,	.1886203,	.2079785,	.2273366,	.2466947
32.20001,	.1626597,	.1820179,	.201376,	.2207342,	.2400923
32.40001,	.1562812,	.1756393,	.1949975,	.2143556,	.2337137
32.60001,	.1501197,	.1694779,	.188836,	.2081942,	.2275523
32.80001,	.1441687,	.1635269,	.182885,	.2022432,	.2216013
33.00001,	.1384219,	.1577801,	.1771382,	.1964964,	.2158545
33.20001,	.1328731,	.1522312,	.1715894,	.1909475,	.2103057
33.40001,	.1275164,	.1468745,	.1662327,	.1855908,	.204949
33.60001,	.1223463,	.1417044,	.1610626,	.1804207,	.1997789
33.80001,	.117357,	.1367152,	.1560733,	.1754315,	.1947896
34.00002,	.1125435,	.1319016,	.1512598,	.1706179,	.1899761
34.20002,	.1079005,	.1272587,	.1466168,	.165975,	.1853331
34.40002,	.1034232,	.1227814,	.1421395,	.1614977,	.1808558
34.60002,	.09910685,	.118465,	.1378231,	.1571813,	.1765394
34.80002,	.09494674,	.1143049,	.133663,	.1530212,	.1723793
35.00002,	.09093845,	.1102966,	.1296547,	.1490129,	.168371
.....					
.....					
48.00007,	.02426493,	.04362309,	.06298119,	.08233935,	.1016975
48.20007,	.02497673,	.04433489,	.06369299,	.08305115,	.1024093
48.40007,	.02571839,	.04507655,	.06443465,	.08379281,	.103151
48.60007,	.02648908,	.04584724,	.06520534,	.08456349,	.1039217
48.80007,	.02728838,	.04664654,	.06600463,	.08536279,	.104721
49.00007,	.02811575,	.04747391,	.06683201,	.08619016,	.1055483
49.20007,	.0289706,	.04832876,	.06768686,	.08704501,	.1064032
49.40007,	.02985215,	.04921031,	.06856841,	.08792657,	.1072847
49.60007,	.03076017,	.05011833,	.06947643,	.08883458,	.1081927
49.80008,	.03169399,	.05105215,	.07041025,	.08976841,	.1091266
50.00008,	.03265321,	.05201137,	.07136947,	.09072763,	.1100858

①
②
③

図8-7 グラフデータ出力例 (X Y グラフ用)

```

重回帰式によるグラフデータ
[入力データファイル], C:\¥VB2017¥高精度重回帰¥Data¥MoldTest.dat
固定値  X2= 230  X4= 30  X5= 6
[X軸]説明変数X1
最小値、最大値、分割数, 30, 50, 10
[Y軸]説明変数X3
最小値、最大値、分割数, 10, 50, 10
[Z軸]特性値Y1
節点数, 121
要素数, 200
要素データ (要素番号、3節点番号)
1, 1, 12, 2
2, 2, 13, 3
3, 3, 14, 4
4, 4, 15, 5
5, 5, 16, 6
6, 6, 17, 7
7, 7, 18, 8
8, 8, 19, 9
9, 9, 20, 10
10, 10, 21, 11
. . . . .
. . . . .
196, 106, 116, 117
197, 107, 117, 118
198, 108, 118, 119
199, 109, 119, 120
200, 110, 120, 121
節点データ (節点番号、X座標、Y座標、Z値)
1, 30, 10, .2493037
2, 30, 14, .257047
3, 30, 18, .2647902
4, 30, 22, .2725335
5, 30, 26, .2802767
6, 30, 30, .28802
7, 30, 34, .2957633
8, 30, 38, .3035065
9, 30, 42, .3112498
10, 30, 46, .318993
. . . . .
. . . . .
117, 50, 34, .07911229
118, 50, 38, .08685553
119, 50, 42, .09459877
120, 50, 46, .1023421
121, 50, 50, .1100853

```

①
②
③

④

図8-8 グラフデータ出力例（等高線図用）

8.8 グラフの作画

上記8.7節のグラフ用データファイルは、一般のグラフ作画ソフトで読み込めます。ただし、グラフ作画ソフトによっては、データファイルの最初の部分を編集し直す必要があります。

先ず、図8-9にX Yグラフ作画例を示します。同図は、表計算ソフトのOpen Office Calcで、図8-7の出力ファイルをそのまま読み込み、作画したものです。同グラフから、特性値Y1は説明変数X1が45の付近で最小となることが明確に読み取れます。

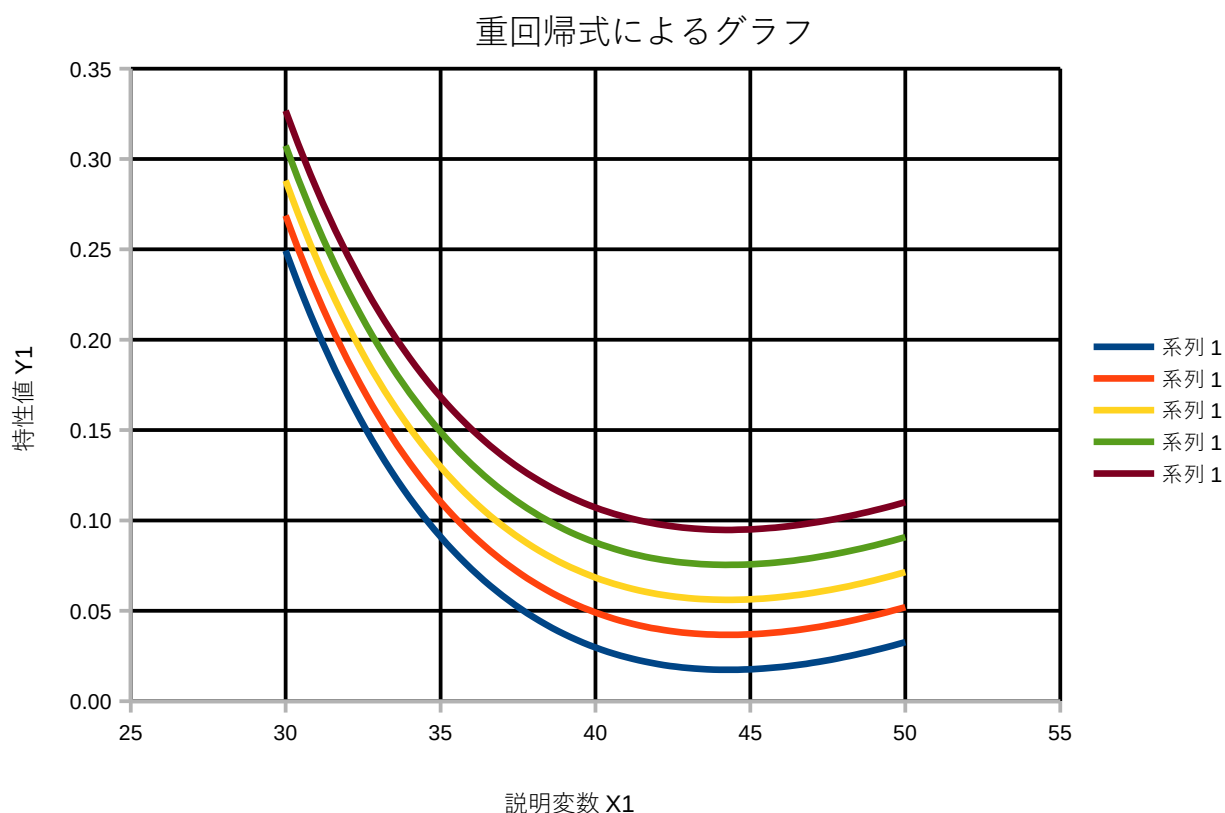


図8-9 X Y グラフ作画例
注) Open Office Calc 使用

次に、図8-10に等高線図作画例を示します。同図は、算生会「汎用等高線」ソフトを使用して作画したものです。ただし、図8-8の出力ファイルに対して、先頭行のタイトルを変更したファイルを使用しています。

本グラフから、特性値Y1の大小の分布が視覚的に良くわかります。

長方形箱の射出成形<特性値Y1の等高線>

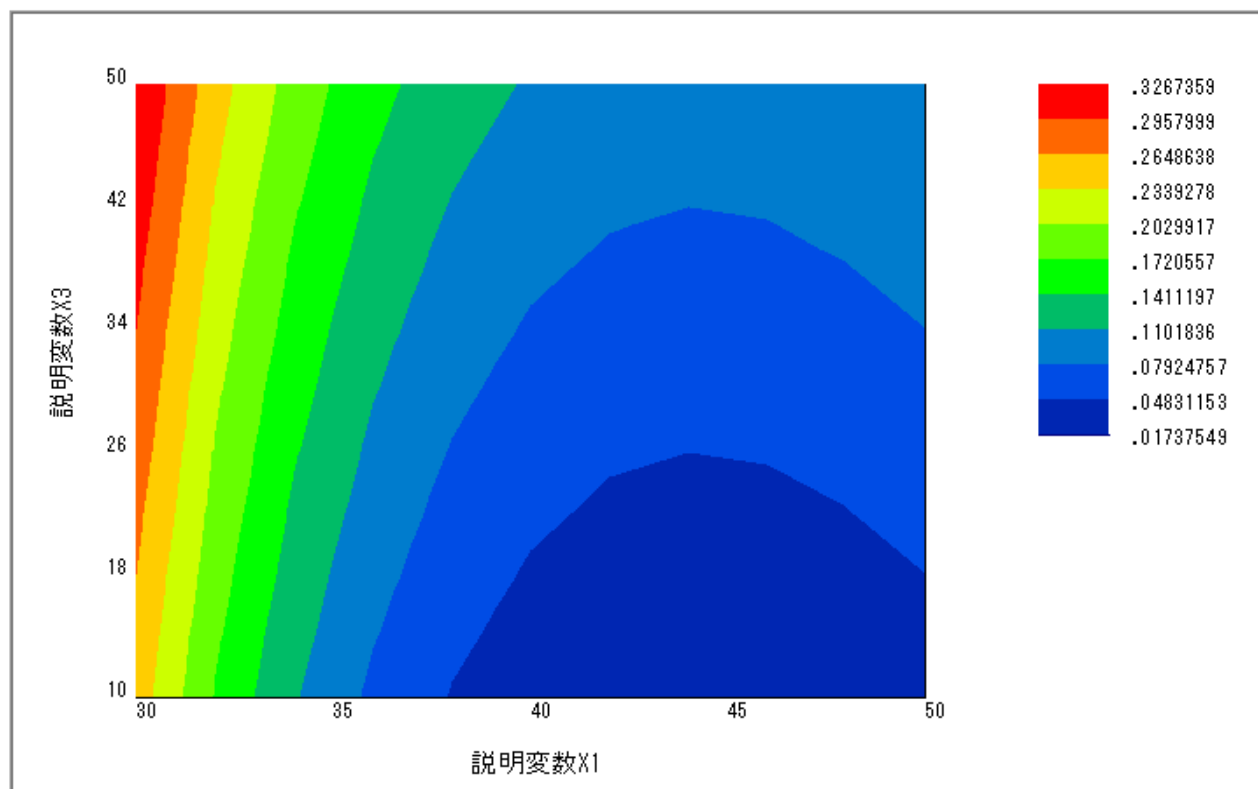


図8-10 等高線図作画例（カラーフィル有り）
注）算生会「汎用等高線」ソフト使用

[参考文献]

<A>Visual Basic言語

- A1) 「Visual Basic for Windows プログラミング・パーツ」、河西 朝雄、
(株) ナツメ社、1994
- A2) 「Visual Basic リファレンス・ブック」、相沢 文雄、
(株) ナツメ社、1994
- A3) 「Microsoft Visual Basic プログラミング ガイド」、
マイクロソフト (株)、1997
- A4) 「Visual Basic 応用プログラミング」、林 晴比古、
ソフトバンク (株)、1997
- A5) 「かんたんプログラミング Visual Basic.NET 応用編」、田中 亨、
(株) オーム社、2002
- A6) 「プログラミング Visual Basic.Net Vol.2 活用編」、Francesco Balena、
(株) ドキュメントシステム 訳、日経BPソフトプレス、2002
- A7) 「実力アップ Visual Basic.NET 基礎編」、川口 輝久、
(株) 技術評論社、2003
- A8) 「Visual Basic 2005 [実践] プログラミングテクニック」、谷尻 かおり、
技術評論社、2007

数値計算・統計解析・グラフィックス

- B1) 「数値計算プログラム BASIC」、J.ハイルバーン 編、大矢 建正 訳、
(株) マグロウヒル好学社、1982
- B2) 「応用・BASIC (数値解析とその手法)」、対馬 勝英 他、
(株) パワー社、1981
- B3) 「パソコン BASIC 数値計算Ⅱ」、町田 東一 他、
東海大学出版会、1984
- B4) 「数学公式・数表ハンドブック」、スティーゲル 著、氏家 勝巳 訳、
マグロウヒル ブック (株)、1984
- B5) 「パソコンによる統計解析」、小林 竜一、
(株) 培風館、1983
- B6) 「相関・回帰分析法入門」、小林 龍一、
(株) 日科技連出版社、1983
- B7) 「多変量統計法」、柳井 晴夫 他、
(株) 朝倉書店、1985
- B8) “複合変数自動探索方式重回帰分析の産業機械への適用”、黒田 英夫、
「第11回 多変量解析シンポジウム 発表要旨」p7~12、(財) 日本科学技術連盟、1987
- B9) 「数値解析とその応用」、名取 亮、
コロナ社、1992
- B10) “射出成形 A I システムによる成形条件最適化”、黒田 英夫 他、
「成形加工 '93」p29~30、プラスチック成形加工学会、1993
- B11) 「Visual Basicによる工学計算プログラム」、黒田 英夫、
CQ出版社、2001