

タイトル	経営統計学教育を支援する統計的シミュレーション用 Excel VBAプログラムの試作
著者	穴沢, 務
引用	北海学園大学経営論集, 2(2): 1-35
発行日	2004-09-30

経営統計学教育を支援する統計的 シミュレーション用 Excel VBA プログラムの試作

穴 沢 務

1. はじめに

本稿では、主に経営・経済・商学系学部において行われる経営統計学教育の際に生じる困難と、それを軽減するために作成した Excel VBA プログラムの概要および実行方法について説明する。

経営統計学という学問領域は、我が国に学会が存在しないことから見ても、必ずしも一般に認知されたものではなく、その定義も明確ではない。しかしごく荒っぽく言えば、経営統計学は企業で行われる諸活動（市場調査、品質管理、経営分析など）や、経営学に関わる実証分析で利用される統計手法を研究する学問分野といえよう。よって、経営統計学は経営・経済・商学系学部において基礎科目としてコンピュータ・リテラシー科目などとともに早い学年のうちに教育することが望ましく、実際に本学経営学部では1年次第2学期に半期科目として開講されている。

経営統計学で学ぶべき統計手法は、基本的には他の分野でも利用する汎用的な手法なので、その学習項目は下記のように多くの統計

学の教科書で共通に取り扱っているものである。

1. 記述統計（データの視覚化、平均・標準偏差・相関係数などの要約値の計算）
2. 確率と確率分布*（確率の基本概念、確率・期待値の計算、二項分布・正規分布などの確率分布の紹介）
3. 標本分布（標準正規分布、t分布、カイ2乗分布、F分布の紹介）
4. 推定（点推定、区間推定）
5. 仮説検定（平均に関する検定、分散比の検定、独立性の検定など）
6. 多変量解析（分散分析、回帰分析、主成分分析、因子分析、判別分析など）

この中で、経営学との接点が見出しやすいのは第1、4、5、6項目であろう。第2項目の「確率と確率分布」は、確率分布が品質管理などに応用されるとはいえ、主に第3以降の項目の準備となる内容である。また第3項目の「標本分布」は、第4項目以降の手法の理論的な基礎をなす部分である（但し、半期科目では第6項目に踏み入ることは難しいので、これ以降第6項目に関する議論は省く）。

経営・経済・商学系学部の導入科目としての経営統計学では、第1、4、5、6項目に関する公式や計算結果の解釈方法を天下一的に与えてよいという考え方もある。しかし、例えば区間推定における信頼度や仮説検定における有意水準といった概念は第2、3項目

* 拙著 [2] を含むいくつかの教科書では「確率モデル」を「確率分布」と同じ意味で用いている。しかし、確率モデルには確率変数を含む数学モデルとして確定的モデルの対比で用いられることもあるので、本稿では使用しない。但し、試作したプログラムでは教育上の都合から「確率モデル」を使用した。

の内容がわかってはじめて理解できることである。よって経営統計学を教育する立場としては、第2, 3項目の内容は、第4項目以降の手法を学ぶ上で避けて通れないものと確信している。しかし、第2, 3項目の内容は極めて数学的で、経営・経済・商学系学部の（しかも高校では「ゆとり」を考慮した数学すら深く学んでこなかった）学生にとっては、学習の際に苦痛が伴う内容であることは否めない。

そこで、第2, 3項目（とりわけ統計学と確率論の接点となる「標本分布」）については、そのエッセンスをコンピュータ・シミュレーションで視覚的に表現し、統計処理の中で生じる確率的現象を数式的ではなく直感的に理解させることをもって、第4項目以降の内容の導入とすることは、あながち悪い考えではなかろう。幸い、本学経営学部をはじめ多くの文科系学部では、1年次からExcelなどの表計算ソフトの操作法をコンピュータ・リテラシーとして教育している。そこで本稿では、特に標本分布の直感的理解の一助になりそうな統計的シミュレーションの方法について考察し、それを実行するために試作したExcel VBAプログラムについて解説する。

本稿の構成は以下のとおりである。第2章では、経営統計学を教育する上で障害となる事項について検討し、それを克服する手段として統計的シミュレーションが有効であることを示唆する。第3章では、第2章で述べたシミュレーションをExcelの既存のツール群だけで実行するのは困難であることを示し、第4章で今回試作したVBAプログラムの概要を述べる。第5章でプログラムのデモンストレーションを行い、統計的シミュレーションが統計学教育に有効であることを示唆する。

2. 統計的シミュレーションが役立つ学習内容

2.1. 確率・統計用語の整理

確率・統計に関する用語の定義は、統計学に関するさまざまな教科書を見渡すとわかるように、必ずしも統一が取れていない。そればかりか、同じ本の中でも整合性が取れていない場合がしばしばある。だからといって、数学の測度論を基礎におく厳密な確率論に立ち返って用語の定義を行うのは、経営・経済・商学系の統計学教育では非現実的である。そこでこの節では、確率・統計に関する基本的な用語を、本稿での論理展開や実際の教育で混乱しない程度に厳密に、しかし平易な言葉で定義しておきたい。

確率とは、物事の起こりやすさを表す0から1の間の数値である。物事Aが起こる確率を $\Pr\{A\}$ と書く。確率変数とは、取り得る値または区間に確率に対応付けられているような変数であり、そのときの対応付け（または対応付けを表現する数式）を確率分布という。確率分布の表現方法は、確率変数が離散型（離散的な値を取る場合）か、または連続型（連続的な値を取る場合）かにより異なる。確率変数 X が離散型の場合、 X の確率分布は $\Pr\{X=x\}$ を表す x の関数 $p(x)$ で表される。例えば、

$$p(x) = \begin{cases} \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} & (x=0,1,\dots,n) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad \dots(1)$$

は試行回数 n 、成功率 p の二項分布（記号で $B(n,p)$ ）と呼ばれる確率分布である。一方確率変数 X が連続型の場合、（どんな値 x に対しても $\Pr\{X=x\}=0$ となるので） X が区間 $(-\infty, x]$ に入る確率 $\Pr\{X \leq x\}$ を表す x の関数 $F(x)$ で表される。しかし実際には、 $F(x)$ の代わりにその導関数 $f(x)=F'(x)$

(確率密度関数) で確率分布を表すことが多い。例えば

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (-\infty < x < \infty) \quad \dots(2)$$

は平均 μ , 分散 σ^2 (すなわち標準偏差 σ) の正規分布 (記号で $N(\mu, \sigma^2)$) と呼ばれる確率分布の確率密度関数である。なお, 二項分布の n, p や正規分布の μ, σ のように, 関数形を定める量を母数 (パラメータ) という。確率変数 X に確率分布 F が対応するとき, X は F に従う (記号で $X \sim F$) と表現する。例えば, 離散型確率変数 X の確率分布が式(1)のとき, $X \sim B(n, p)$ と書く。また, 連続型確率変数 X の確率分布の確率密度関数が式(2)のとき, $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ と書く。

ある調査対象の調査項目 X に対する観測値の集まりを母集団といい, そのときの X を母集団を構成する変数という。母集団の有限部分集合を標本といい, 特に母集団から無作為に (くじを引くように) 抽出された標本を確率標本という。なおこれ以降, 標本といえば確率標本を指すものとする。統計学における1つの主たる目的は, 母集団の全体的な特徴をその部分集合である標本から推測することである。そのための方法として,

母集団を構成する変数がある確率分布に従う $\dots(3)$

と仮定し, その確率分布が持つ母数に関する何らかの命題を統計量 (標本の関数) から導くことが多い。命題の形式として代表的なものが, 点推定, 区間推定, 仮説検定である。なお, 表現(3)は多くの教科書で「母集団が $\bigcirc \times$ 分布に従う」や「母集団が $\bigcirc \times$ 分布する」などと簡略化されている。

2.2. 教育に困難が伴う事項

第1章で述べたように, 経営統計学の中で現場での利用価値が実感できるのは, 第4, 5項目に相当する部分, とりわけ区間推定と

仮説検定であろう。そこで本稿では, この2つを教育する際に生ずる困難について述べる。

まず前提として, ほとんどの統計学の教科書で行われているように母集団を構成する変数が $N(\mu, \sigma^2)$ に従うと仮定する。しかし, (本稿では深く扱わないが) この仮定において良い理由をうまく説明するのが案外難しい。例えば二項分布を表す式(1)は, 確率の基本演算 (加法定理, 乗法定理など) から導き出せる。しかし, 人の身長・体重や計測誤差など多くの変数が, なぜ確率密度関数(2)のように分布するのかを公理的に説明するには, 中心極限定理を積率母関数 (または特性関数) などで証明しなければならないが, そのために必要な解析学の知識を文科系の授業で前提にすることはできない。その場合は苦肉の策として, 式(2)がいろいろな変数の分布をよく近似することを実データで示し, そうした変数がさまざまな要因の影響を受けていること, そのように無数の要因の影響を受ける変数は正規分布に従うことが数学的に証明されていること (中心極限定理の存在) を説明するにとどめるしかないであろう。

そのようにして, 仮に母集団の正規性を納得してもらったとしよう。それでも区間推定と仮説検定に到達するには多くの障害が立ちだかる。それを示すための例として, 真の標準偏差 σ が未知である場合の, 平均 μ の区間推定と仮説検定について考える。 X_1, X_2, \dots, X_n は母集団から無作為抽出したサイズ n の標本とし, それらの平均 m_x と標準偏差 S_x をそれぞれ

$$m_x \equiv \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad S_x \equiv \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - m_x)^2}$$

と定義する。統計学の標準的な教科書では, 確率分布の項で

①正規分布の定義と性質

② $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ の必要十分条件は $Z \equiv$

$$\frac{X - \mu}{\sigma} \sim N(0, 1) \text{ であること (標準正規分}$$

- 布の導入)
を説明した上で、標本分布の項で
- ③ $m_x \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right)$ であること
- ④ 上記②と③より $z \equiv \frac{\sqrt{n}(m_x - \mu)}{\sigma} \sim N(0,1)$
が成り立つこと
- ⑤ Z_1, Z_2, \dots, Z_n が互いに独立に $N(0,1)$ に従う
とき、 $\chi^2 \equiv \sum_{i=1}^n Z_i^2$ は自由度 n のカイ 2 乗分
布（記号で $\chi^2(n)$ ）に従うこと
- ⑥ $c^2 \equiv \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - m_x)^2}{\sigma^2}$
 $= \frac{(n-1)S_x^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n-1)$ であること
- ⑦ $Z \sim N(0,1)$, $\chi^2 \sim \chi^2(n)$ で Z と χ^2 が互い
に独立なとき、 $T \equiv \frac{Z}{\sqrt{\chi^2/n}}$ は自由度 n の
t 分布（記号で $t(n)$ ）に従うこと
- ⑧ 上記④の z と⑥の c^2 は互いに独立であり、
故に⑦より
- $t \equiv \frac{z}{\sqrt{c^2/(n-1)}} = \frac{\sqrt{n}(m_x - \mu)}{S_x} \sim t(n-1)$
が成り立つこと
- を導く。そしてようやく、区間推定の項で
- ⑨ 区間推定の基本的な考え方
- ⑩ 上記⑧より、 μ の $100 \times \beta\%$ 信頼区間が

$$m_x - t_{\frac{1-\beta}{2}}(n-1) \frac{S_x}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq m_x + t_{\frac{1-\beta}{2}}(n-1) \frac{S_x}{\sqrt{n}}$$

- と得えられること
が示される。また仮説検定の項で
- ⑨' 仮説検定の基本的な考え方
- ⑩' 上記⑧より、基準となる値 a に対して（例
えば）帰無仮説 $H: \mu = a$, 対立仮説 $H': \mu \neq a$
とおくとき、 $\left| \frac{\sqrt{n}(m_x - a)}{S_x} \right| \geq t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1)$ なら
ば H を有意水準 $100 \times \alpha\%$ で棄却してよ
いこと

が示される。なお、 $t_a(k)$ は $t(k)$ に従う確率
変数 T が $\Pr\{T \geq t_a(k)\} = \alpha$ を満たすよ
うな値であり、その数表が多くの教科書に掲載
されている。

このように、上記⑩や⑩'にある実用的な
公式を正攻法で導き出そうとするには、多く
の数学的な手続きを踏まなければならない。
しかも、各手続きをある程度厳密に行うには、
文科系学部の学生にとっては大変高度な数学
を用いなければならない。例えば上記⑤と⑦
を導出するには、積率母関数か、多変量確率
分布からの周辺確率分布の計算が必要になる
が、連続型の場合はいずれも積分計算が伴う。
また、⑥における $c^2 \sim \chi^2(n-1)$ と、⑧にお
ける z と c^2 の独立性については、竹内 [3,
p.126] によって同時に、しかも比較的簡単
な数学で巧妙に示されているが、その証明に
要する計算量は膨大である。加えて、実用上
重要と思われる平均や分散比の検定で直接必
要な確率分布は、標準正規分布、t 分布、F
分布であって、公式の導出過程にしか出てこ
ないカイ 2 乗分布はできれば触れずに済ませ
たい。むしろカイ 2 乗分布はそれが直接利用
される独立性の検定や適合度検定で導入した
方が、聞き手にとって混乱が少なくなると思
われる。

2.3. 統計的シミュレーションの活用

以上により、区間推定や仮説検定を過度に
数理的にならないように導入するには、前節
の⑤～⑦を省略して次のように進める方法が
考えられる。（下記の番号は前節のものに対
応）

- ① 正規分布の定義と性質
② 標準正規分布の導入
⑨ 区間推定の基本的な考え方（この最初に母
集団と標本の間係を述べる）
⑧ $t \equiv \frac{\sqrt{n}(m_x - \mu)}{S_x} \sim t(n-1)$ （このとき $t(k)$
の性質を述べ、 z と c^2 には触れない）

⑩上記⑧を用いた信頼区間の導出

なお、⑨'と⑩'は上記の⑨と⑩の部分で区間推定の代わりに述べても良いし、⑩の次に述べても良い。但し、いずれにしても⑧における t 値が確率分布 $t(n-1)$ に従うことをイメージできないと、信頼区間や棄却条件の意味を理解することは難しい。そこで、⑧を説明する手段として次のような統計的シミュレーションをコンピュータで実施することが考えられる。

- (1) $N(\mu, \sigma^2)$ に従う乱数を大量に (10000 個程度) 発生させ、それを母集団とする
- (2) サイズ n の標本を I 組 (I は 500~1000 程度) 無作為に抽出し、各標本に対する t 値を計算する
- (3) I 個の t 値をヒストグラムで集計する (但し縦軸には各階級の相対度数を各々の階級幅で割った基準化相対度数をとる)
- (4) ヒストグラムに $t(n-1)$ の確率密度関数のグラフを重ね書きし、 $t(n-1)$ が t 値のヒストグラムの輪郭をよく近似することを示す

なお、ここで初めて導入する t 分布については、正規分布と同様に正確な導出が難しいので、 t 値の分布の近似式として古くから研究され活用されてきた確率分布という説明にとどめておくしかないであろう。しかし、このように t 値は確率変数であることが実感できれば、区間推定における信頼度 ($100 \times \beta\%$ の部分) や仮説検定での有意水準 ($100 \times \alpha\%$ の部分) の意味がより明確になることが期待できる。

もちろん上記(1)~(4)の方法は、 σ が既知であるときの μ の区間推定・仮説検定や、分散比の検定を説明する場合にも応用できる。例えば、分散比の検定を導入する場合は、2組の母集団 P_1, P_2 (それらを構成する変数はそれぞれ $N(\mu_1, \sigma_1^2), N(\mu_2, \sigma_2^2)$ に従う) を乱数で作成し、以下の作業を I 回繰り返す。

- P_1 からサイズ m の標本 X_1, X_2, \dots, X_m を、

P_2 からサイズ n の標本 Y_1, Y_2, \dots, Y_n をそれぞれ無作為抽出

$$\bullet \quad m_x = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i,$$

$$S_x^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (X_i - m_x)^2,$$

$$m_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i,$$

$$S_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - m_y)^2,$$

$$F = \frac{S_x^2 / \sigma_1^2}{S_y^2 / \sigma_2^2} \text{ を計算}$$

そして I 個の F 値を (縦軸を基準化相対度数とする) ヒストグラムで集計し、その上に自由度対 $m-1, n-1$ の F 分布 (記号で $F(m-1, n-1)$) の確率密度関数のグラフを重ね書きすることで、 $F \sim F(m-1, n-1)$ を実感することができる。

3. 既存の Excel ツールの限界

前章で述べた統計的シミュレーションは、原理的には Excel の既存のツールで実行可能である。しかし、これから述べるいくつかの点で、機能として不十分といわざるを得ない。

まず、サンプリング (標本抽出) について考える。Excel の「分析ツール」にはサンプリングの機能があり、母集団があるセル範囲、標本サイズ、出力先を指定して標本を抽出することができる。しかし、標本の出力は出力先の先頭セルから縦方向にしか行われぬ。実際のシミュレーションではサンプリングを I 回繰り返す、各標本から計算される統計値 (t 値、 F 値など) を縦に並べて集計をしたいので、標本自体は横方向に記入されるべきである。また、サンプリングを繰り返すには、仮にこの分析ツールをマクロ記録して使うにしても、繰り返し処理をするための VBA プログラムを組む必要がある。さらに、この

ツールでは母集団の値を標本の出力先に「値のみコピー」するが、教育上はどの標本値も確かに母集団から抽出されたことがわかるように、標本値のセルには母集団内の値のセル参照式（"=セル番地"）が入力される方が望ましい。

次に、 I 個の統計値をヒストグラム化することを考える。Excel の分析ツールにはヒストグラムとその基になる度数分布表を一度に作成する機能があり、集計対象データのセル範囲、階級上限値のセル範囲、度数分布表の出力先、ヒストグラムの有無を指定して、所望の出力が得られる。まず、度数分布表の作成機能については、集計結果が数値として直接セルに書き込まれる点が不便である。この方式だと階級幅などを変更しても Excel の再計算機能が働かず、再度ツールを実行しなければならないからである。また、この機能では各階級において「下限値より大きく上限値以下」のデータを度数に数えるが、それを「下限値以上上限値未満」の方式に変更することができない。一方、ヒストグラム化の機能については、ヒストグラムが棒グラフをベースに作成されている点が最大の難点である。実行直後の初期のヒストグラムは、同じ幅の棒が一定の間隔で分離した状態である。これをデータ系列の書式の変更で棒が密着した状態にするところまではできるが、階級幅を表す各棒の幅は一定で任意の長さに変更することができない。本来階級幅は一定である必要がない（むしろ度数の多い部分は短く、少ない部分は長く設定したい）ことからすれば、この欠点は統計実務においてクリティカルである。また、棒グラフであることに起因するもう1つの不都合は、横軸のラベルとして階級上限の値が各棒の下中央に表示されることである。本来階級上限はそれに対応する棒の右境目に表示されるべきなので、この欠点はユーザに誤った解釈を誘発する。その他に、確率密度関数を表す折れ線をヒストグラ

ムに重ね書きする場合、折れ線を構成する点の数をヒストグラムの棒の数と同数にしなければならず、精度の粗い折れ線になるといった問題がある。

さらに、確率密度関数を計算するためのワークシート関数が、ごく一部しか用意されていないことも不便な点である。具体的には、正規分布については normdist 関数の第4引数を FALSE にすることで確率密度関数値を計算できるが、t分布、カイ2乗分布、F分布については、上側（または両側）確率と上側（または両側）パーセント点を計算する関数はあるが、確率密度関数を計算する関数がない。

4. 作成した Excel VBA プログラムの概要

4.1. 全体的な留意点

本稿で紹介する Excel VBA プログラムは、2.3 節で述べた統計的シミュレーションを円滑に実施するためのものである。ここでいう「円滑に」とは前章で述べた不都合がなるべく起こらないようにという意味であるが、具体的には以下のことを留意しながらプログラミングを進めた。

まず、ワークシートのセルにはできる限り数値ではなく式を埋め込むことで、表計算ソフトの利点である再計算機能を最大限活かせるように努めた。例えば、度数分布表を作成するワークシートには原点（第1階級の下限值）と階級幅の値を記入するセルを用意し、階級下限と階級上限はすべて原点と階級幅から求めるようにした。また、度数はプログラムでカウントした度数を直接書き込むのではなく、countif 関数を組み合わせた式で計算するようにした。その結果、原点と階級幅の値を変更すると、各階級の階級下限、階級上限、度数などが連動して修正される仕組みが実現できた。

また、本稿の試作品は教育用ソフトウェアの位置付けであるが、統計実務の面から見ても実用的であるように努めた。例えば、度数分布表とヒストグラムを作成するプログラムは、シミュレーション用としてだけでなく純粹に集計ツールとして活用でき、第3章で指摘した「分析ツール」の欠点を大幅に補強している。また、(細かいことだが)度数分布表の階級下限の列と階級上限の列の間に1つの空列があるが、これは度数分布表を実際に印刷する場合に「~」などの記号を入力できるようにするためである。

以下の各節に、本稿で試作したプログラム(Excel VBA ではプロシージャと呼んでいる)の概要を述べる。但し、各プロシージャ名は「Lxy」(x と y は数字)から始まっている。これは、ワークシートでマクロ(プロシージャと同義)を呼び出す際に、プロシージャ名が実行手順と同じ順番でマクロ一覧に表示されるための工夫である。なお、x が1であるプロシージャは、その実行中に x が2であるプロシージャの一部を呼び出す親プロシージャであることを意味する。

4.2. 「L11 サンプル一括処理」 プロシージャ

「L21 繰返しサンプリング」プロシージャ(4.4節)と「L22 統計量計算」プロシージャ(4.5節)を連続して実行する親プロシージャである。

4.3. 「L12 集計一括処理」プロシージャ

「L23 集計シート作成」プロシージャ(4.6節) → 「L24 度数分布表作成」プロシージャ(4.7節) → 「L25 ヒストグラム作成」プロシージャ(4.8節) → 「L26 確率モデル近似」プロシージャ(4.9節)の順に連続して実行する親プロシージャである。

4.4. 「L21 繰返しサンプリング」 プロシージャ

このプロシージャは、母集団が入力されているセルの範囲、先頭セルがラベルか否か、標本サイズ、サンプリング回数(前章までの I の値)を指定し、標本用ワークシートを新規に作成してそこに母集団から無作為に選ばれた標本値のセル参照式を埋める。分散比のシミュレーションができるように、2組の母集団を指定することが可能である。標本用ワークシートでは、1つの標本に含まれるデータ(のセル参照式)は1つの行に入力され、全部で I 行に渡って入力が行われる。加えて、A列には母集団の平均、標準偏差、そこから抽出される標本のサイズが記録される。母集団が2つある場合は同様の記録がB列になされる。なお、標本用ワークシートにはデフォルトで「_標本_cd」(c, d はそれぞれ0~9の数字)という名前が、重複が起きないように付けられる。

制限事項として、各母集団は縦1列に連続したセルに入力されていなければならない。

4.5. 「L22 統計量計算」プロシージャ

このプロシージャは、標本用ワークシートにある I 組の標本の右隣に、各標本に対する統計量(2.2節④の z 値、⑧の t 値、⑥の c^2 値(カイ2乗値)、2.3節末の F 値)の値を計算するためのExcel計算式を埋める。1標本(B列が空)の場合は z 値、 t 値、 c^2 値の計算が可能である(一度に複数の統計量を指定できる)。2標本(B列に母平均等が入力済み)の場合は F 値のみ選択できる。

制限事項として、このプロシージャはシート名が「_標本_」で始まるワークシートでしか実行できない。

4.6. 「L23 集計シート作成」プロシージャ

このプロシージャは、集計対象となるデータが入力されているセルの範囲、先頭セルが

ラベルか否かを指定し、集計用ワークシートを新規に作成してそのB列にデータを値のみコピーする（A列にはデータに対する通し番号が入る）。加えてデータの数、最小値、最大値、平均、標準偏差を計算する Excel 関数を D、E 列に入力する。ここで集計対象のデータを別のシートにコピーした理由は、データが元々存在するワークシートでは集計以外の作業をする可能性もあるので、そのシートに余計な書きこみをする事なく、集計に特化した作業を柔軟に行いたいからである。なお、集計用ワークシートにはデフォルトで「_集計_cd」（c、d はそれぞれ 0～9 の数字）という名前が、重複が起きないように付けられる。

制限事項として、集計対象のデータは縦 1 列に連続したセルに入力されていなければならない。

4.7. 「L24 度数分布表作成」プロシージャ

このプロシージャは、階級幅の決定ルール、集計方法、区間幅を切りの良い数値に丸めるか否かを指定し、計算された原点（第 1 階級の下限）と階級幅の値を D11：E11 に入力する。また、G 列に階級下限を、I 列に階級上限を、J 列に度数を、K 列に相対度数を、L 列に基準化相対度数を、いずれも数値ではなく Excel 計算式で埋める。ここで、階級幅 w の決定ルールは以下の 2 つから選択できる。

- Sturges のルール（デフォルト）：データ数 n に対して階級数 k を Sturges の公式 $k = \lfloor \log_2 n \rfloor + 1$ で計算し、 $w = (X_{MAX} - X_{MIN}) / (k - 1)$ とおく。但し、 $\lfloor x \rfloor$ は x 以下の整数の最大値を表し、 X_{MIN} 、 X_{MAX} はそれぞれデータの最小値、最大値である。
- Scott のルール：データの標準偏差を S_x とするとき、 $w = 3.5 S_x / \sqrt[3]{n}$ とおく。また、区間幅を切りの良い数値に丸めるを

選択すると、上のいずれかのルールで計算された w を、それに最も近い 2 の累乗、5 の累乗、10 の累乗の倍数に変換する。原点は X_{MIN} を超えない w の倍数の最大値として計算される。階級数は常に 100 設けられるが、度数が 0 でない階級は最初の 20 階級程度に集中する。原点と階級幅はこのプロシージャ実行後でも自由に変更できて、その度に度数、相対度数、基準化相対度数が自動的に再計算される。

制限事項として、このプロシージャはシート名が「_集計_」で始まるワークシートでしか実行できない。

4.8. 「L25 ヒストグラム作成」

プロシージャ

このプロシージャは、ヒストグラムの横軸の最小値と最大値を指定し、前プロシージャで作成した度数分布表を基に、縦軸が基準化相対度数のヒストグラムを描画する。必要な場合は原点と階級幅が変更でき、変更された値は再び D11：E11 に記録される。ヒストグラムのベースになるグラフは散布図である。散布図でヒストグラムを描く原理は、各階級に対応する棒の 4 頂点を表す座標を 4×2 のセル範囲に計算し、それらを階級数分縦に並べたデータを元データとして散布図（マーカーなしの折れ線）を作成する。この方法であれば、階級幅が一定でない度数分布表に対しても正しくヒストグラムを描画できるだけでなく、階級の境界値が棒の境目に表示されるようになる。このプロシージャは、棒の 4 頂点を表す座標の計算式を N2：O401 に 100 階級分埋める。

制限事項として、このプロシージャはシート名が「_集計_」で始まるワークシートでしか実行できない。また、前プロシージャによって度数分布表があらかじめ作られていないワークシートで実行しても、正しい結果が得られない。さらに、ヒストグラムの横軸の

最小値と最大値は D14 : E14 に記入されるが、このプロシージャ実行後に D14 : E14 の値を変更してもグラフには反映されない。

4.9. 「L26 確率モデル近似」プロシージャ

このプロシージャは、前プロシージャで作成したヒストグラムに、指定した確率分布の確率密度関数 $f(x)$ のグラフを重ね書きする。指定できるのは正規分布、t 分布、カイ 2 乗分布、F 分布の 4 種類である。Q2 : Q102 には、 x の値としてヒストグラムの横軸の最小値 (D14) から最大値 (E14) までの値が (最大値 - 最小値) / 100 の刻み幅で埋められるが、いずれも Excel 計算式で入力される。R2 : R102 には、Q2 : Q102 の各値に対する確率密度関数を計算する Excel 関数が埋められる。但し、正規分布は既存の normdist 関数を用いるが、その他については筆者が新規に作成した以下のユーザ定義関数を用いる。

- t 分布 : mytdist(x , 自由度)
- カイ 2 乗分布 : mychidist(x , 自由度)
- F 分布 : myfdist(x , 自由度 1, 自由度 2)

なお、確率密度関数のパラメータは S 列と T 列に記入される。

制限事項として、このプロシージャはシート名が「_集計_」で始まり、かつ前プロシージャで作成したヒストグラムが存在するワークシートでしか実行できない。また、2 つ以上の確率密度関数のグラフを重ね書きすることはできない。さらに、ヒストグラムの横軸の最小値・最大値 (D14 : E14) の変更は確率密度関数の計算に反映されるが、それをグラフ自体に反映させるには軸ラベルの書式設定を別途変更する必要がある。

5. 実行例

5.1. 準備

本稿で試作したプログラム群はいわゆるマクロ集なので、まず Excel でマクロが利用可能になるような設定を行う。

セキュリティの緩和 Excel でマクロを利用可能とするには

- ① Excel を起動
- ② 「ツール」 → 「マクロ」 → 「セキュリティ」の順にクリック
- ③ セキュリティレベルを「中」にして「OK」をクリック
- ④ Excel を終了

次に、マクロ集と例題ファイルが格納されている圧縮ファイル (入手方法については最終章を参照) を解凍する。

圧縮ファイルの解凍 圧縮ファイル「StatSim1.EXE」を解凍するには

- ① StatSim1.EXE のアイコンをダブルクリック
- ② インストールするフォルダを選択して「OK」をクリック

※指定したフォルダにマクロ集と例題ファイルのあるフォルダ「StatSim1」が作成される。

以下では、StatSim1 フォルダ内にある例題ファイル「テスト用データ 1.xls」を用いて、本試作品の実行例を示したい。そのためには、まず例題ファイルにマクロ集およびそこで用いるユーザフォーム群をインポートする必要がある。

マクロ集等のインポート 例題ファイル「テスト用データ 1.xls」にマクロ集等をインポートするには

- ① 例題ファイル「テスト用データ 1.xls」を

開く

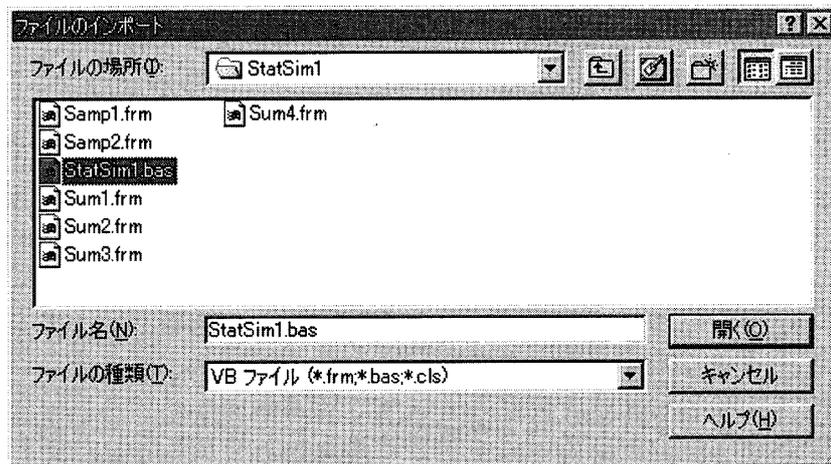
- ② VBE を起動（「ツール」→「マクロ」→「Visual Basic Editor」の順にクリック）
- ③「ファイル」→「ファイルのインポート」の順にクリック
- ④図 5.1.1 のように、ファイルの場所を今開いている「StatSim1」とし、ファイル一覧から「StatSim1.bas」を選択して「開く」をクリック
- ⑤手順③、④を繰り返して、以下の6つのファイルもインポート
Samp1.frm, Samp2.frm, Sum1.frm,

Sum2.frm, Sum3.frm, Sum4.frm

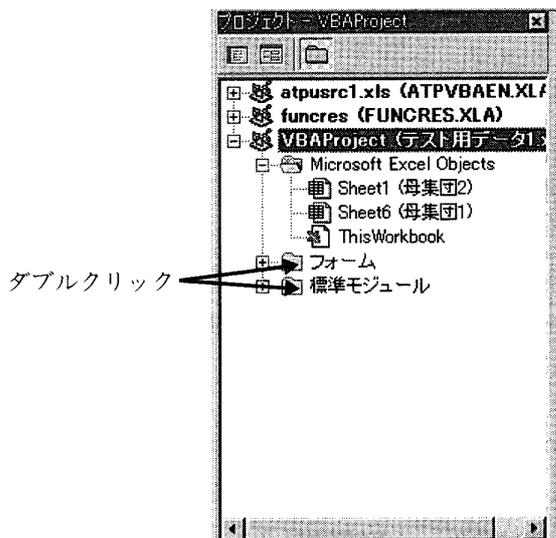
- ⑥図 5.1.2 の「フォーム」と「標準モジュール」をダブルクリックし、図 5.1.3 のようにすべてのインポートしたファイル名（括弧を除外）が表示されることを確認
- ⑦ワークシートに戻る（「表示」→「Microsoft Excel」の順にクリック）

5.2. z 値, t 値, c² 値の計算と近似

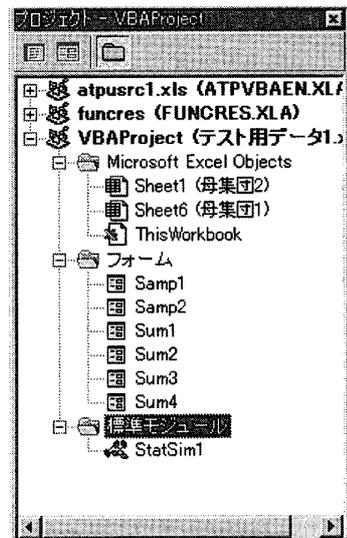
例題ファイル「テスト用データ1.xls」において、「母集団1」シートにあるデータは $N(300,2^2)$ に従う 10000 個の乱数であり、「母



(図 5.1.1)



(図 5.1.2)



(図 5.1.3)

集団 2」シートにあるデータは $N(300,4^2)$ に従う 10000 個の乱数である。例えば「母集団 1」シートには図 5.2.1 のように B2 にラベルが、B3 : B10002 に母集団となる乱数がそれぞれ入力されている(「母集団 2」のレイアウトも同様)。

ここではまず、「母集団 1」シートにあるデータからサイズ $n (= 8)$ の標本を $I (= 500)$ 組無作為に抽出し、各標本から計算される z 値, t 値, c^2 値のヒストグラムがそれぞれ $N(0,1)$, $t(n-1)$, $\chi^2(n-1)$ の確率密度関数で近似できることをデモンストレーションしてみよう。

繰返しサンプリング

- ①「母集団 1」シートをアクティブにする
- ②「ツール」→「マクロ」→「マクロ」の順にクリック
- ③図 5.2.2 では「L21 繰返しサンプリング」を選択して「実行」をクリック
- ④図 5.2.3 のように指定・入力して「OK」をクリック

※「_標本_01」シートが新たに作成され、図 5.2.4 のように標本が C2 : J501 に 500 組抽出される。

但し、標本を構成する各セルには、数値ではなく「母集団 1」シートのデータセルに対

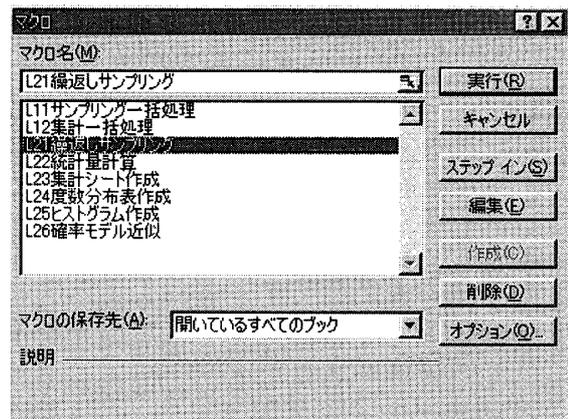
	A	B	C
1			
2		母集団1	
3		299.3995	
4		297.4446	
5		300.4885	
6		302.5529	
7		302.3967	
8		303.4663	
9		295.6328	
10		299.5316	
11		302.19	
12		297.8266	
13		298.6196	
14		296.6191	

(図 5.2.1)

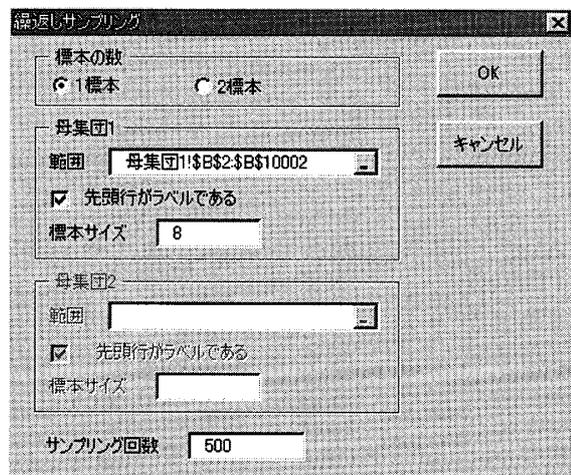
する参照式が入力されている。例えば、C2 に「=母集団 1!\$B\$7058」という式が入っているならば「母集団 1」シートの B7058 に「300.9326」という数値が入っていることが確認できる。このことは、「_標本_01」シートにある標本がすべて「母集団 1」シートから抽出したものであることを示す。

統計量計算

- ①「_標本_01」シートをアクティブにする
- ②「ツール」→「マクロ」→「マクロ」の順にクリック
- ③図 5.2.5 では「L22 統計量計算」を選択して「実行」をクリック
- ④ここでは図 5.2.6 のように選択できるすべ



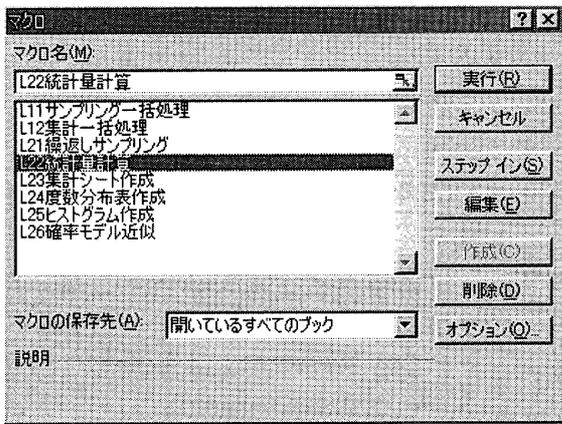
(図 5.2.2)



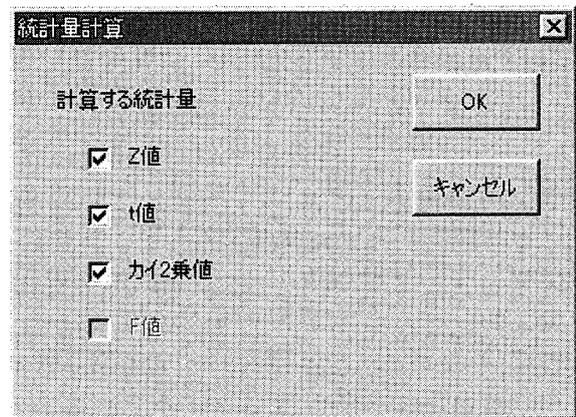
(図 5.2.3)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	母平均1		標本1								
2	299.9921		300.9326	300.7059	302.1914	302.481	302.2113	302.9587	300.3757	301.0613	
3	母標準偏差1		301.2581	297.4843	301.8317	301.6498	300.0745	296.6964	304.7908	300.2225	
4	1.998626		301.2358	303.2423	301.3833	299.5593	298.9076	298.7034	302.3989	300.6496	
5	標本サイズ1		302.7331	302.2608	296.0715	302.4581	304.6139	299.0685	296.7947	301.677	
6	8		301.869	301.5987	299.3753	300.8282	300.859	302.632	299.981	299.8276	
7			299.3454	302.72	299.3486	302.9343	302.8414	298.6044	300.8526	300.6114	
8			299.7272	299.8305	299.6319	301.6279	298.7935	298.6401	300.6755	300.6677	
9			297.4096	299.0737	299.0625	302.357	301.6071	297.9704	299.2238	298.2833	
10			300.5854	301.4432	297.3993	300.8728	302.2366	299.1286	300.1034	301.7697	
11			298.272	298.6228	295.0258	298.8786	298.5017	298.0081	305.0622	300.2178	

(図 5.2.4)



(図 5.2.5)



(図 5.2.6)

ての統計量を選択して「OK」をクリック
 ※図 5.2.7 のように、K列からM列に各標本
 に対する統計量の値が計算される。

この例の場合、K2, L2, M2 には統計量
 を計算するための以下のような式が入力され
 ている。

$$K2 := \text{SQRT}(\$A\$6) * (\text{AVERAGE}(C2:J2) - \$A\$2) / \$A\$4$$

$$L2 := \text{SQRT}(\$A\$6) * (\text{AVERAGE}(C2:J2) -$$

$$\$A\$2) / \text{STDEV}(C2:J2)$$

$$M2 := (\$A\$6 - 1) * \text{STDEV}(C2:J2)^2 / \$A\$4^2$$

次に、K列で求めた 500 個の z 値をヒス
 トグラムで集計し、それが $N(0,1)$ の確率密
 度関数で近似できることを確かめてみよう。

集計シート作成

- ①「_標本_01」シートをアクティブにする
- ②「ツール」→「マクロ」→「マクロ」の順
 にクリック

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	母平均1		標本1								Z値	t値	カイ2乗値
2	299.9921		300.9326	300.7059	302.1914	302.481	302.2113	302.9587	300.3757	301.0613	2.296317	4.808029	1.596716
3	母標準偏差1		301.2581	297.4843	301.8317	301.6498	300.0745	296.6964	304.7908	300.2225	0.720153	0.562075	11.49102
4	1.998626		301.2358	303.2423	301.3833	299.5593	298.9076	298.7034	302.3989	300.6496	1.086729	1.333232	4.650816
5	標本サイズ1		302.7331	302.2608	296.0715	302.4581	304.6139	299.0685	296.7947	301.677	1.015497	0.664668	16.33979
6	8		301.869	301.5987	299.3753	300.8282	300.859	302.632	299.981	299.8276	1.244262	2.224715	2.189639
7			299.3454	302.72	299.3486	302.9343	302.8414	298.6044	300.8526	300.6114	1.295082	1.48043	5.356937
8			299.7272	299.8305	299.6319	301.6279	298.7935	298.6401	300.6755	300.6677	-0.06061	-0.1205	1.771275
9			297.4096	299.0737	299.0625	302.357	301.6071	297.9704	299.2238	298.2833	-0.87556	-1.00759	5.285684
10			300.5854	301.4432	297.3993	300.8728	302.2366	299.1286	300.1034	301.7697	0.00000	0.00000	1.000000
11			298.272	298.6228	295.0258	298.8786	298.5017	298.0081	305.0622	300.2178	0.00000	0.00000	1.000000

(図 5.2.7)

③図 5.2.8 では「L23 集計シート作成」を選択して「実行」をクリック

④図 5.2.9 のように入力して「OK」をクリック

※「_集計_01」シートが新規に作成され、図 5.2.10 のように z 値のコピー (B 列) とその基本的な統計量が計算される。

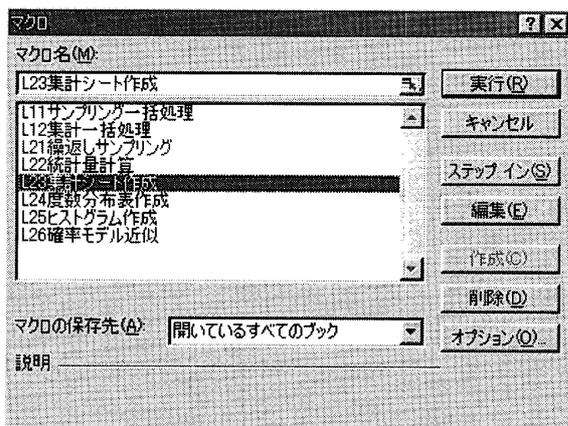
度数分布表作成

①「_集計_01」シートをアクティブにする

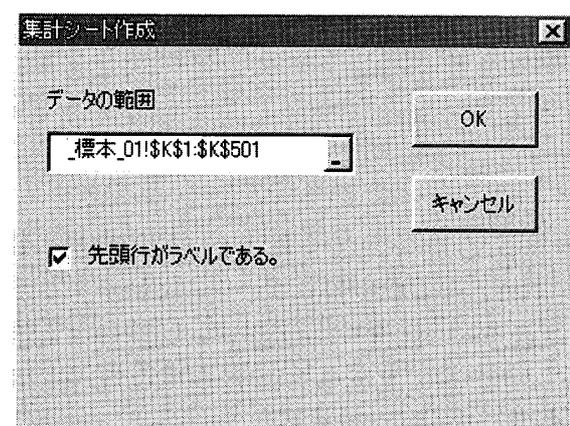
②「ツール」→「マクロ」→「マクロ」の順にクリック

③図 5.2.11 では「L24 度数分布表作成」を選択して「実行」をクリック

④ここでは図 5.2.12 のように指定して



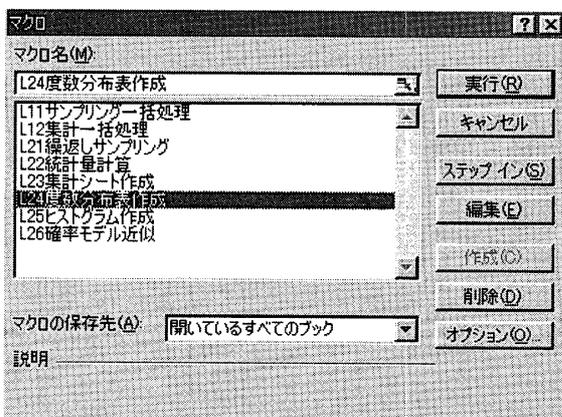
(図 5.2.8)



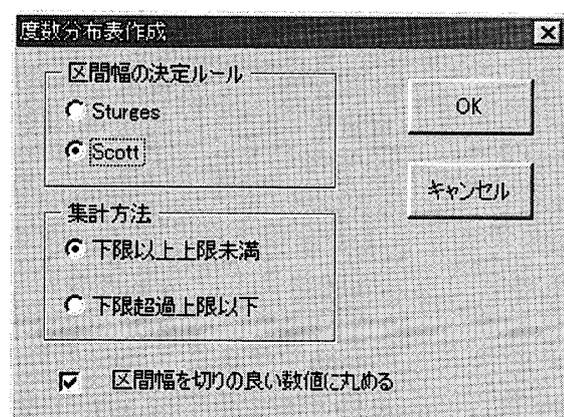
(図 5.2.9)

	A	B	C	D	E	F
1	ID	データ		データ数		
2	1	2.296317		500		
3	2	0.720153				
4	3	1.086729		最小値	最大値	
5	4	1.015497		-3.16398	3.206097	
6	5	1.244262				
7	6	1.295082		平均	標準偏差	
8	7	-0.06061		-0.03918	1.028309	
9	8	-0.87556				
10	9	0.637201				

(図 5.2.10)



(図 5.2.11)



(図 5.2.12)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	ID	データ		データ数			階級下限		階級上限	度数	相対度数	基準化相対度数	
2		1 2.296317		500			-3.5		-3	1	0.002	0.004	
3		2 0.720153							-2.5	4	0.008	0.016	
4		3 1.086729		最小値	最大値		-2.5		-2	11	0.022	0.044	
5		4 1.015497		-3.16398	3.206097				-1.5	23	0.046	0.092	
6		5 1.244262					-1.5		-1	48	0.096	0.192	
7		6 1.295082		平均	標準偏差		-1		-0.5	83	0.166	0.332	
8		7 -0.08061		-0.03918	1.028909		-0.5		0	84	0.168	0.336	
9		8 -0.87556					0		0.5	89	0.178	0.356	
10		9 0.637201		原点	階級幅		0.5		1	75	0.15	0.3	
11		10 -1.26624		-3.5	0.5		1		1.5	49	0.098	0.196	
12		11 -0.79365					1.5		2	27	0.054	0.108	
13		12 -2.28756					2		2.5	4	0.008	0.016	
14		13 -1.72004					2.5		3	1	0.002	0.004	
15		14 1.002006					3		3.5	1	0.002	0.004	
16		15 -0.85342					3.5		4	0	0	0	
17		16 -0.49483					4		4.5	0	0	0	
18		17 -0.32296					4.5		5	0	0	0	

(図 5.2.13)

「OK」をクリック

※図 5.2.13 のように D11:E11 に原点と階級幅の推奨値が入力され、それらに基づいて階級下限 (G列), 階級上限 (I列), 度数 (J列), 相対度数 (K列), 基準化相対度数 (L列) がすべて数式で入力される。

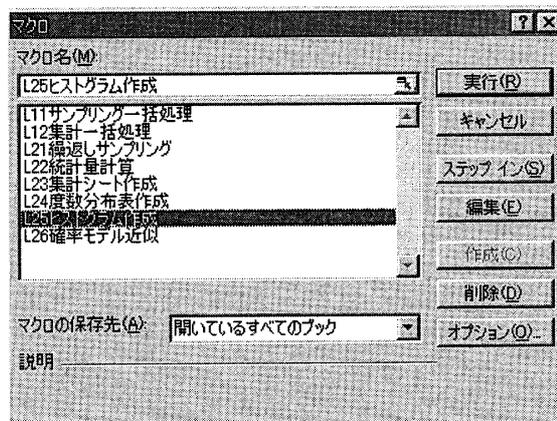
なお、ここで区間幅の決定ルールに「Scott」を選んだ理由は、「Sturges」ではデータ数が 200 以上のとき過度に平滑化されたヒストグラムを作る傾向があるからである (Hyndman [1])。

ヒストグラム作成

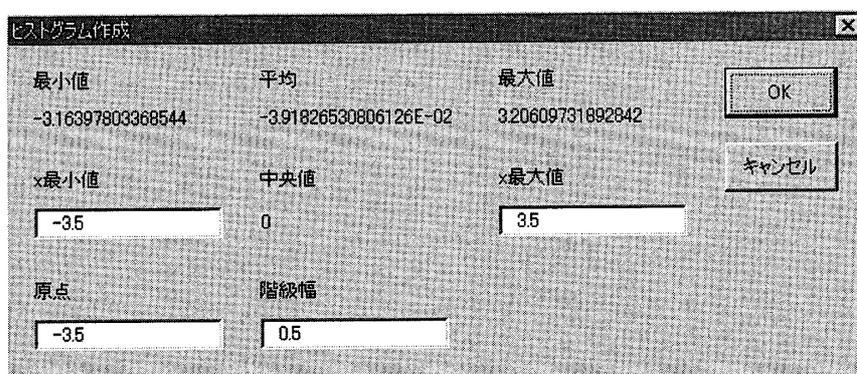
- ①「_集計_01」シートをアクティブにする
- ②「ツール」→「マクロ」→「マクロ」の順にクリック

③図 5.2.14 では「L25 ヒストグラム作成」を選択して「実行」をクリック

④ここでは例えば図 5.2.15 のようにヒストグラムの横軸の範囲を -3.5~3.5, 原点と階級幅を D11:E11 の値どおりとして



(図 5.2.14)



(図 5.2.15)

「OK」をクリック

※図 5.2.16 のように、D14:E14 にヒストグラムの横軸範囲の推奨値が入力され、N列と O列には各階級に対応する棒の 4 頂点の座標が入力される。

確率モデル近似

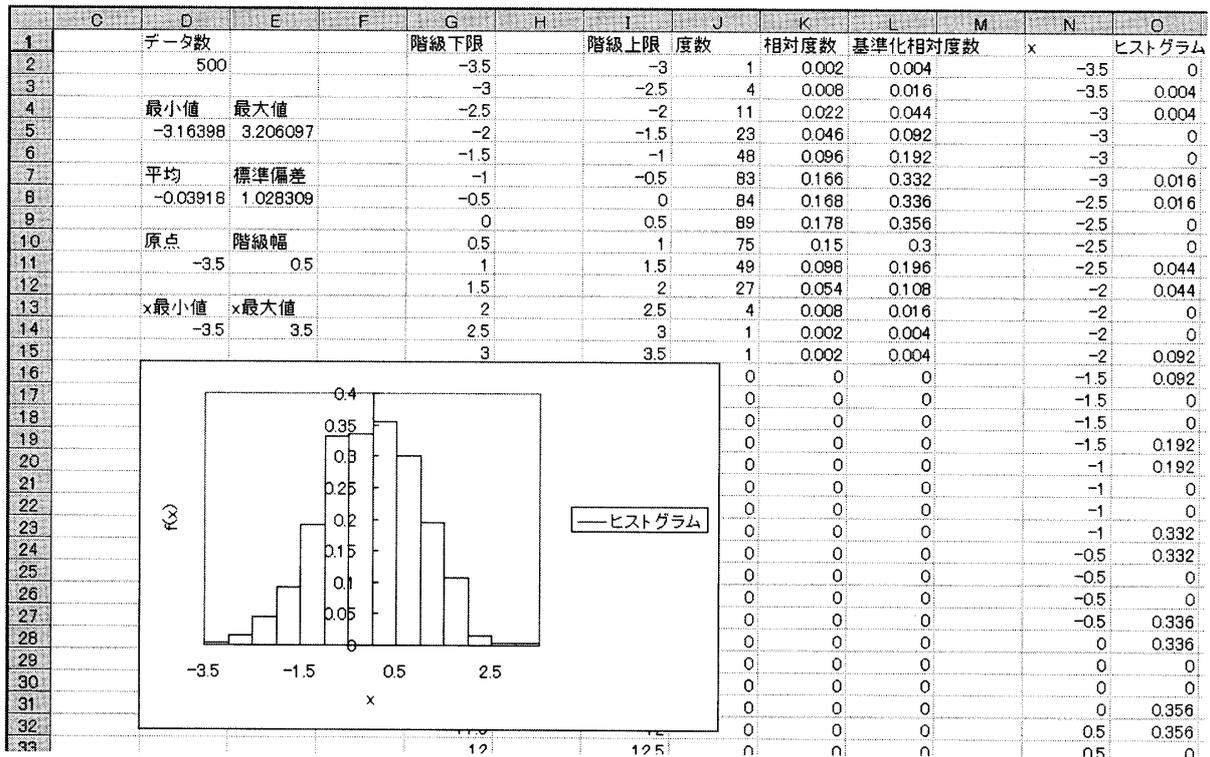
①「_集計_01」シートをアクティブにする

②「ツール」→「マクロ」→「マクロ」の順にクリック

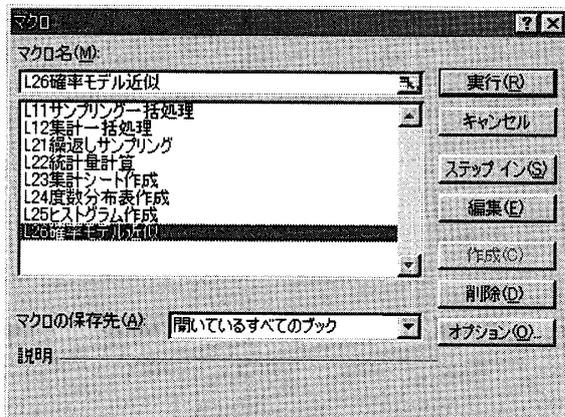
③図 5.2.17 では「L26 確率モデル近似」を選択して「実行」をクリック

④ここでは図 5.2.18 のように指定・入力して「OK」をクリック

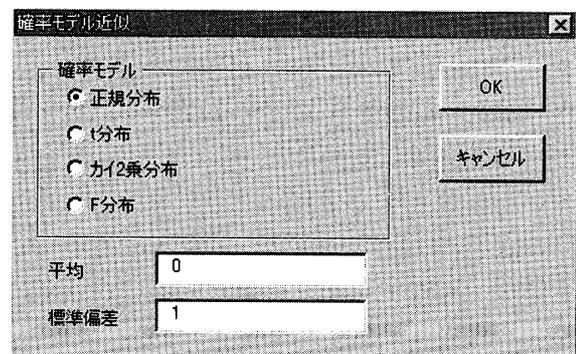
※図 5.2.19 のように、Q列に x の値（ヒストグラム横軸の最小値～最大値）が、R列に



(図 5.2.16)



(図 5.2.17)

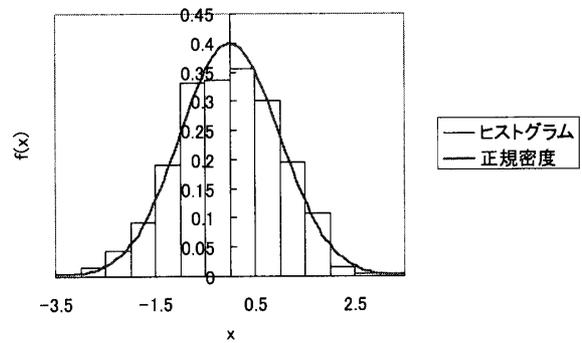


(図 5.2.18)

	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	x	ヒストグラム		x	正規密度	平均	標準偏差	
2	-3.5	0		-3.5	0.000873	0	1	
3	-3.5	0.004		-3.43	0.001112			
4	-3	0.004		-3.36	0.001411			
5	-3	0		-3.29	0.00178			
6	-3	0		-3.22	0.002236			
7	-3	0.016		-3.15	0.002794			
8	-2.5	0.016		-3.08	0.003475			
9	-2.5	0		-3.01	0.004301			
10	-2.5	0		-2.94	0.005296			
11	-2.5	0.044		-2.87	0.006491			
12	-2	0.044		-2.8	0.007915			
13	-2	0		-2.73	0.009606			
14	-2	0		-2.66	0.0116			

(図 5.2.19)

各 x に対する確率密度関数 $f(x)$ の値がそれぞれ計算される。また、Q列とR列の値に基づくグラフがヒストグラムを構成する散布図に図 5.2.20 のように重ね書きされる。このグラフを見ると、 $N(0,1)$ の確率密度関数が z 値のヒストグラムをよく近似していることがわかる。これにより、標本から計算される z 値が $N(0,1)$ に従うことが実験的に確かめられる。



(図 5.2.20)

t 値と c^2 値についても、上記の「集計シート作成」から同様の方法でシミュレーションが実行できるので、確かめられたい。

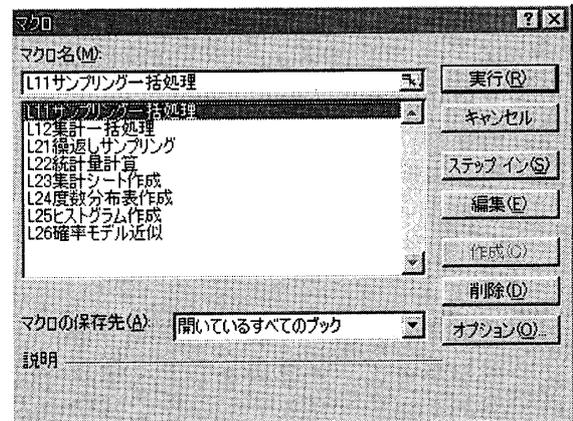
5.3. 2 標本からの F 値の計算と近似

次に、「母集団 1」シートにあるデータからサイズ $m (= 6)$ の標本を、「母集団 2」シートにあるデータからサイズ $n (= 4)$ の標本を、それぞれ $I (= 500)$ 組無作為に抽出し、各標本から計算される F 値が $F(m-1, n-1)$ の確率密度関数で近似できることをデモンストレーションしてみよう。

ここでは、前節で実行したプロシージャを一括して実行する 2 つの親プロシージャでシミュレーションをしてみよう。

サンプリング一括処理

①「ツール」→「マクロ」→「マクロ」の順



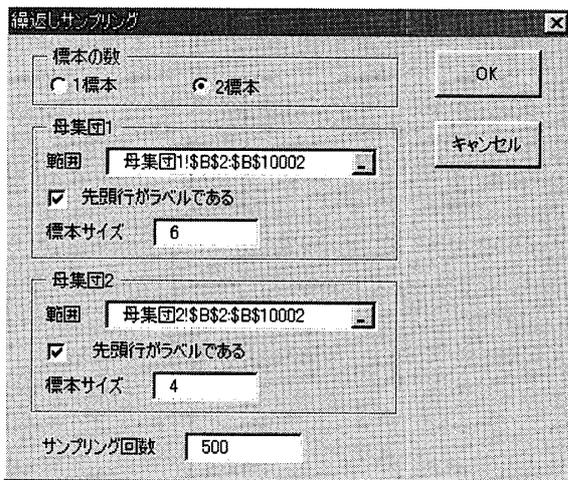
(図 5.3.1)

にクリック

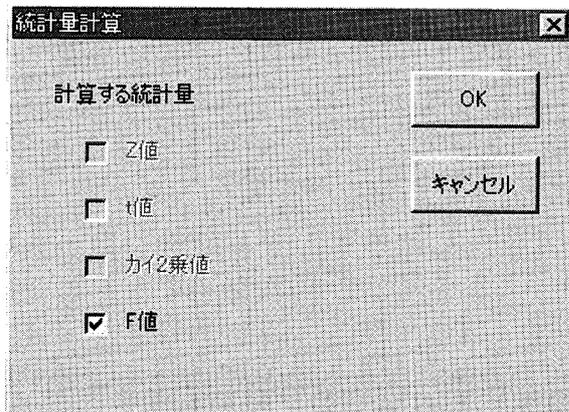
②図 5.3.1 では「L11 サンプリング一括処理」を選択して「実行」をクリック

③ここでは図 5.3.2 のように指定・入力して「OK」をクリック

④標本抽出完了後、図 5.3.3 では「F 値」を



(図 5.3.2)

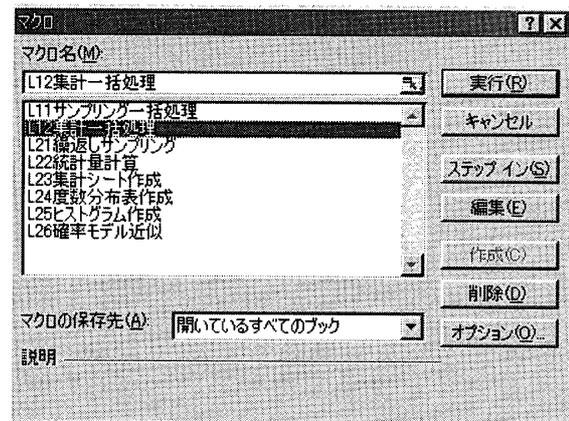


(図 5.3.3)

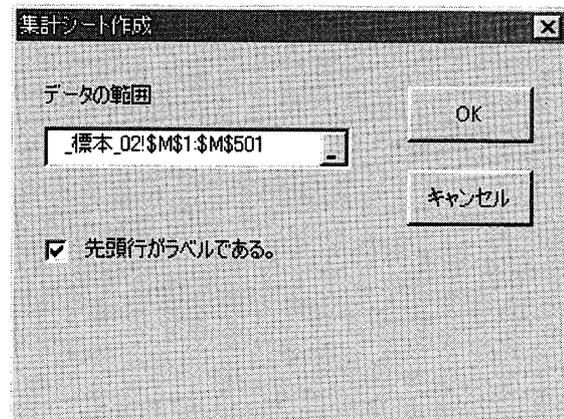
選択して「OK」をクリック

集計一括処理

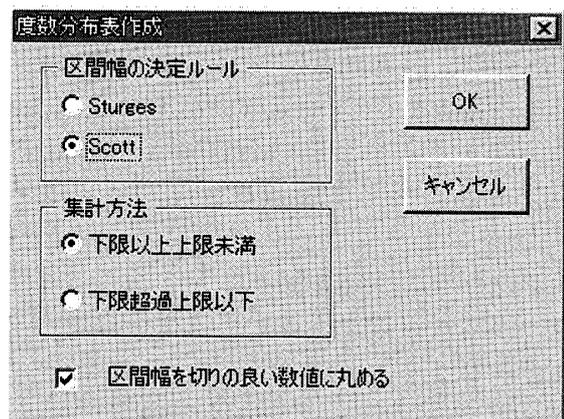
- ① F 値が計算されたワークシート (「_標本_02」) をアクティブにする
- ② 「ツール」 → 「マクロ」 → 「マクロ」の順にクリック
- ③ 図 5.3.4 では「L12 集計一括処理」を選択して「実行」をクリック
- ④ ここでは図 5.3.5 のように指定して「OK」をクリック
- ⑤ 集計用シート (「_集計_02」) が作成されたら、図 5.3.6 のように選択して「OK」をクリック
- ⑥ 度数分布表が作成されたら、ここではとり



(図 5.3.4)



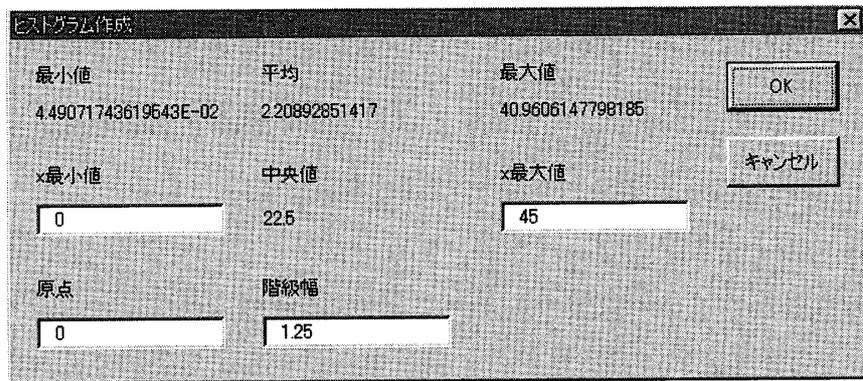
(図 5.3.5)



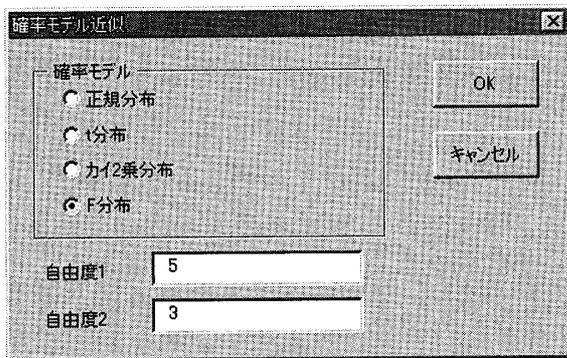
(図 5.3.6)

あえず図 5.3.7 のままで「OK」をクリック (横軸範囲等は後で修正)

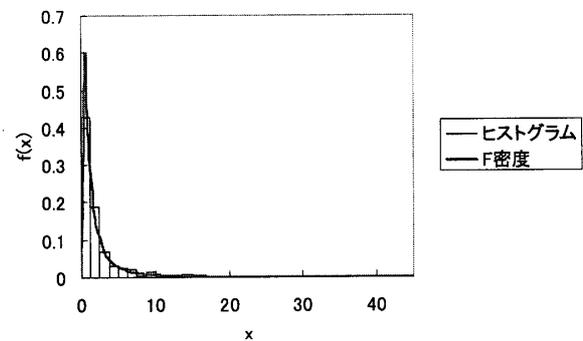
- ⑦ ヒストグラムが作成されたら、図 5.3.8 のように指定・入力して「OK」をクリック



(図 5.3.7)



(図 5.3.8)



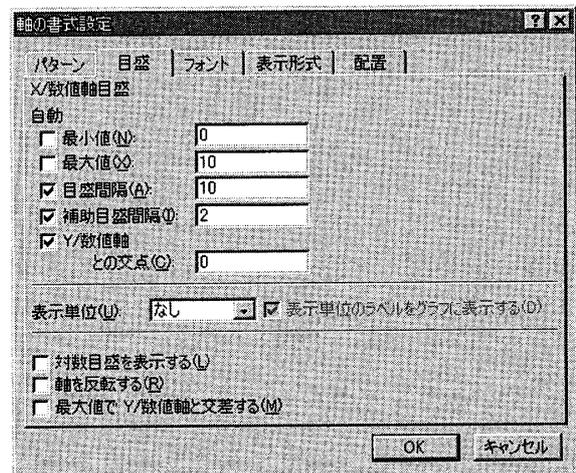
(図 5.3.9)

ここまでの作業で、図 5.3.9 のようなグラフが作成されるはずである。

しかし、このグラフは基準化相対度数、確率密度関数が共にほとんど 0 である範囲まで広く横軸を取っているため、近似の様子が不明確である。そこで、横軸範囲を 0～10 と狭くして、その分階級幅を小さくしてみよう。

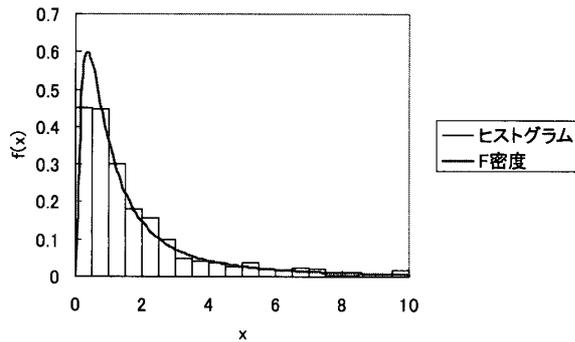
ヒストグラムの微調整

- ① グラフの横軸にあるいずれかの数を右クリック
- ② 「軸の書式設定」 → 「目盛」の順にクリック
- ③ 図 5.3.10 のように修正して「OK」をクリック
- ④ 横軸の最大値 (E14) の値を 10 に修正
- ⑤ 階級幅 (E11) の値を例えば 0.5 に修正



(図 5.3.10)

以上の作業の結果、グラフは図 5.3.11 のように変化する。しかし、それでも確率密度関数の変化が急激な 0～1 の部分が十分近似しきれていない。そこでさらに、0～1 の部分だけ階級幅を 0.5 から 0.25 へと細かくし



(図 5.3.11)

てみよう。

階級幅の部分変更

①以下の各セルの式を次のように変更（いずれも下線部を追加）

$$I2: =G2+\$E\$11 \rightarrow =G2+\$E\$11*0.5$$

$$I3: =G3+\$E\$11 \rightarrow =G3+\$E\$11*0.5$$

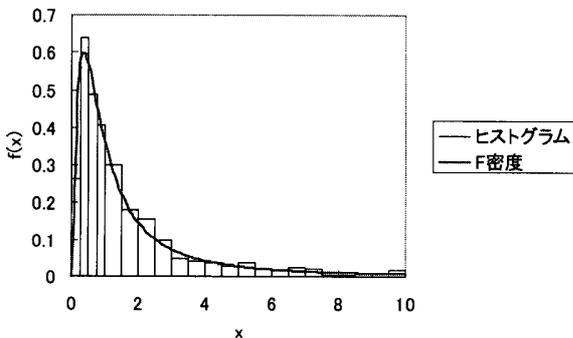
$$I4: =G4+\$E\$11 \rightarrow =G4+\$E\$11*0.5$$

$$I5: =G5+\$E\$11 \rightarrow =G5+\$E\$11*0.5$$

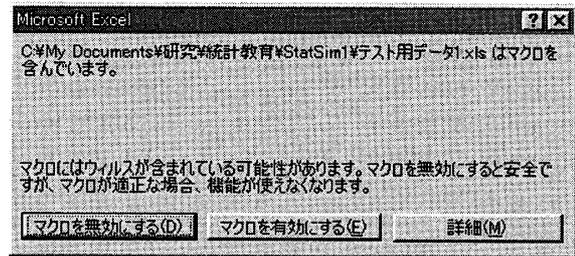
この操作によりグラフは図 5.3.12 のよう
に変化し、 $F(m-1, n-1)$ の確率密度関数が
 F 値のヒストグラムをよく近似する様子が、
細部に渡って明らかになる。

なお、マクロ集をインストールした Excel
ファイルを一旦閉じてから再び開くと、図
5.3.13 のようなウィンドウが表示される。

この場合は「マクロを有効にする」をク
リックすると、上記で行ったシミュレーシ
ョンを再び実行することができる。



(図 5.3.12)



(図 5.3.13)

6. 結語に代えて

本稿では、経営統計学を教育する際に生じ
る困難について論じた上で、その困難を軽減
させるための Excel VBA プログラムの概要
について述べた。具体的には、経営・経済・
商学系の学生に正規分布を仮定した母集団に
基づく区間推定や仮説検定を正攻法で教育す
ることがいかに難しいかを述べた上で、その
際にコンピュータ上での統計的シミュレー
ションが有効であることを示し、そのために
試作したプログラムのデモンストレーシ
ョンを行った。

しかし、本稿で紹介したプログラムを単に
学生に配布して一切の説明無しにプログラ
ムを実行させても、統計学の理解には直結し
ないであろうことは、本稿のデモンスト
レーションからも推察できるであろう。本稿の
プログラムはあくまでも補助教材であり、学
生の理解を促すには適切な口頭説明が必要
であることは、蛇足ながら付け加えておき
たい。また、本稿のプログラムが本当に教
育的效果があるかどうかについては、しっ
かりと実証分析する余地が残されている。

なお、本稿の Excel VBA プログラムを
格納した圧縮ファイル「StatSim1.EXE」(5.1
節を参照)は、学生向けに本学講義支援シ
ステム GOALS で、またその他の読者向けに
筆者のホームページ (<http://www.econ.hokkai-s-u.ac.jp/~anazawa/>) でそれぞれ公
開する。

参考文献

[1] R. J. Hyndman: The problem with Sturges' rule for constructing histograms, unpublished paper (obtained from <http://www-personal.buseco.monash.edu.au/~hyndman/papers/sturges.htm>, 1995).

buseco.monash.edu.au/~hyndman/papers/sturges.htm, 1995).

[2] 杉本英二, 穴沢務: 『Excel で学ぶ経営科学入門シリーズII 統計解析』, 実教出版 (2000).

[3] 竹内啓: 『数理統計学』, 東洋経済 (1963).

付 録

プログラムリスト (StatSim1.bas)

```
'-----  
' グローバル定数  
'-----  
  
Public Const 標本シート名 = "_標本_"  
Public Const 集計用シート名 = "_集計_"  
Public Const maxclass = 100  
Public Const maxgrad = 101  
  
'-----  
' グローバル変数 (全フォーム共通)  
'-----  
  
Public button As String  
  
'-----  
' グローバル変数 (Samp1)  
'-----  
  
Public one_or_two As Integer  
Public popaddr1 As String  
Public popaddr2 As String  
Public poplabeled1 As Boolean  
Public poplabeled2 As Boolean  
Public size1 As Integer  
Public size2 As Integer  
Public iter As Integer  
  
'-----  
' グローバル変数 (Samp2)  
'-----  
  
Public stat(1 To 4) As Boolean  
  
'-----  
' グローバル変数 (Sum1)  
'-----  
  
Public addr As String  
Public labeled As Boolean  
  
'-----  
' グローバル変数 (Sum2)  
'-----  
  
Public binwidth As String  
Public method As String  
Public toberounded As Boolean
```

経営統計学教育を支援する統計的シミュレーション用 Excel VBA プログラムの試作(穴沢)

```

' -----
' グローバル変数 (Sum3)
' -----

Public newxmin As Double
Public newxmax As Double
Public neworg As Double
Public newbw As Double

' -----
' グローバル変数 (Sum4)
' -----

Public param1 As Double
Public param2 As Double
Public pmodel As String

' -----
' サンプルング用プロシージャ群 (一部他群でも利用)
' -----

Function 番号付シート追加(sn As String) As String
'
' sn に 2 桁の整数を付加した名前のワークシートを
' 名前の重複がないように追加
'
    Dim max As Integer, k As Integer
    Dim new_sn As String
    max = 0
    For Each s In Worksheets
        If Left(s.Name, Len(sn)) = sn Then
            k = Val(Right(s.Name, 2))
            If k > max Then
                max = k
            End If
        End If
    Next
    new_sn = sn
    If max < 9 Then
        new_sn = new_sn & "0"
    End If
    new_sn = new_sn & max + 1
    Worksheets.Add.Move after:=Worksheets(Worksheets.Count)
    ActiveSheet.Name = new_sn
    番号付シート追加 = new_sn
End Function

Function discunif0(n As Integer) As Integer
'
' 0 以上 n-1 以下の一様離散乱数を返す
'
    discunif0 = Int(Rnd * n)
End Function

Sub L21 繰返しサンプリング()
'
' 指定した母集団から指定したサイズの標本を指定回数だけ抽出
'
    Dim sn1 As String, sn2 As String, new_sn As String
    Dim popsize1 As Integer, popsize2 As Integer, i As Integer, j As Integer
    On Error GoTo exist_error
    Do
        Sampl.Show
        If button = "キャンセル" Then
            Exit Sub
        End If
        If one_or_two = 1 And popaddr1 <> "" Then

```

```

Exit Do
ElseIf one_or_two = 2 And popaddr1 <> "" And popaddr2 <> "" Then
Exit Do
End If
MsgBox "母集団範囲の指定が不十分です", vbOKOnly + vbExclamation, "警告"
Loop
sn1 = Range(popaddr1).Worksheet.Name
If one_or_two = 2 Then
sn2 = Range(popaddr2).Worksheet.Name
End If
new_sn = 番号付シート追加(標本シート名)
If poplabeled1 Then
popaddr1 = Range(popaddr1).Offset(1, 0).Resize(Range(popaddr1).Rows.Count - 1).Address
Else
popaddr1 = Range(popaddr1).Address
End If
If one_or_two = 2 Then
If poplabeled2 Then
popaddr2 = Range(popaddr2).Offset(1, 0).Resize(Range(popaddr2).Rows.Count - 1).Address
Else
popaddr2 = Range(popaddr2).Address
End If
End If
Sheets(new_sn).Select
Range("A1").Value = "母平均 1"
Range("A2").Formula = "=average(" & sn1 & "! " & popaddr1 & ")"
Range("A3").Value = "母標準偏差 1"
Range("A4").Formula = "=stdevp(" & sn1 & "! " & popaddr1 & ")"
Range("A5").Value = "標本サイズ 1"
Range("A6").Value = size1
popsizel = Range(sn1 & "! " & popaddr1).Count
If one_or_two = 2 Then
Range("B1").Value = "母平均 2"
Range("B2").Formula = "=average(" & sn2 & "! " & popaddr2 & ")"
Range("B3").Value = "母標準偏差 2"
Range("B4").Formula = "=stdevp(" & sn2 & "! " & popaddr2 & ")"
Range("B5").Value = "標本サイズ 2"
Range("B6").Value = size2
popsize2 = Range(sn2 & "! " & popaddr2).Count
End If
Set org1 = Range("C1")
org1.Value = "標本 1"
For i = 1 To iter
For j = 0 To size1 - 1
org1.Offset(i, j).Formula _
= "=" & sn1 & "! " _
& Cells(Range(popaddr1).Row + discunif0(popsizel), Range(popaddr1).Column).Address
Next
Next
If one_or_two = 2 Then
Set org2 = Range("C1").Offset(0, size1)
org2.Value = "標本 2"
For i = 1 To iter
For j = 0 To size2 - 1
org2.Offset(i, j).Formula _
= "=" & sn2 & "! " _
& Cells(Range(popaddr2).Row + discunif0(popsizel), Range(popaddr2).Column).Address
Next
Next
End If
Exit Sub
exist_error:
MsgBox "予期しないエラーが発生しました。", vbOKOnly + vbExclamation, "エラー発生（繰返しサンプリング）"
End Sub
Function 書込み先シート(sn As String) As Boolean
'
' アクティブシートの名前が sn で始まる時真を返す
'

```

経営統計学教育を支援する統計的シミュレーション用 Excel VBA プログラムの試作(穴沢)

```

書き込み先シート = False
If Left(ActiveSheet.Name, Len(sn)) = sn Then
    書き込み先シート = True
End If
End Function

Sub L22 統計量計算 ()
'
' 指定した統計量を各標本に対して計算
'
Dim i As Integer, j As Integer, k As Integer
Dim size1 As Integer, size2 As Integer, frm As String
On Error GoTo exist_error
If 書き込み先シート(標本シート名) Then
    With Samp2
        If IsEmpty(Range("B1")) Then
            .CheckBox4.Enabled = False
            .Label15.Enabled = False
        Else
            .CheckBox1.Enabled = False
            .Label2.Enabled = False
            .CheckBox2.Enabled = False
            .Label3.Enabled = False
            .CheckBox3.Enabled = False
            .Label4.Enabled = False
        End If
        .Show
    End With
    size1 = Range("A6").Value
    size2 = Range("B6").Value
    Set org = Range("C1").Offset(1, size1 + size2)
    j = 0
    For k = 1 To 4
        If stat(k) Then
            If k = 1 Then
                org.Offset(-1, j).Value = "Z 値"
                frm = "=sqrt(r6c1)*(average(r[0]c[" & -size1 - j & "]:r[0]c[" & -1 - j & "])-r2c1)" _
                    & "/r4c1"
            ElseIf k = 2 Then
                org.Offset(-1, j).Value = "t 値"
                frm = "=sqrt(r6c1)*(average(r[0]c[" & -size1 - j & "]:r[0]c[" & -1 - j & "])-r2c1)" _
                    & "/stdev(r[0]c[" & -size1 - j & "]:r[0]c[" & -1 - j & "])"
            ElseIf k = 3 Then
                org.Offset(-1, j).Value = "カイ 2 乗値"
                frm =="(r6c1-1)*stdev(r[0]c[" & -size1 - j & "]:r[0]c[" & -1 - j & "])^2" _
                    & "/r4c1^2"
            Else
                org.Offset(-1, j).Value = "F 値"
                frm = "=stdev(r[0]c[" & -size1 - size2 - j & "]:r[0]c[" & -1 - size2 - j & "])^2/r4c1^2" _
                    & "/(stdev(r[0]c[" & -size2 - j & "]:r[0]c[" & -1 - j & "])^2/r4c2^2)"
            End If
            i = 0
            Do While Not IsEmpty(org.Offset(i, j - 1))
                org.Offset(i, j).FormulaR1C1 = frm
                i = i + 1
            Loop
            j = j + 1
        End If
    Next
Else
    MsgBox 標本シート名 & "で始まるシートを選んでください。", vbOKOnly + vbExclamation, "警告"
End If
Exit Sub
exist_error:
MsgBox "予期しないエラーが発生しました。", vbOKOnly + vbExclamation, "エラー発生 (統計量計算)"
End Sub

```

```

Sub L11 サンプリング一括処理()
'
' 「L21 繰返しサンプリング」→「L22 統計量計算」の順に一括処理
'
    L21 繰返しサンプリング
    If button = "キャンセル" Then
        MsgBox "「L21 繰返しサンプリング」から再開してください。", , "中止"
        Exit Sub
    End If
    L22 統計量計算
    If button = "キャンセル" Then
        MsgBox "「L22 統計量計算」から再開してください。", , "中止"
        Exit Sub
    End If
End Sub

'-----
' 集計用プロシージャ群
'-----

Sub L23 集計シート作成()
'
' 集計用シートを新規に作成してそこにデータをコピーし
' データの基本統計量を計算
' (マクロ記録を援用)
'
    Dim n As Integer, i As Integer, sn As String, new_sn As String, data As String
    On Error GoTo exist_error
    Sum1.RefEdit1.Text = Selection.Address
    Sum1.Show
    If button = "OK" Then
        sn = ActiveSheet.Name
        new_sn = 番号付シート追加(集計用シート名)
        Sheets(sn).Select
        If labeled Then
            Range(addr).Offset(1, 0).Resize(Range(addr).Rows.Count - 1).Select
        Else
            Range(addr).Select
        End If
        n = Selection.Rows.Count
        Selection.Copy
        Sheets(new_sn).Select
        Range("B2").Select
        Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _
            False, Transpose:=False
        Range("B2").Select
        Application.CutCopyMode = False
        For i = 1 To n
            Range("A1").Offset(i, 0).Value = i
        Next
        Range("A1").Value = "ID"
        Range("B1").Value = "データ"
        data = Range("B2", Range("B2").End(xlDown)).Address
        Range("D1").Value = "データ数"
        Range("D2").Formula = "=count(" & data & ")"
        Range("D4").Value = "最小値"
        Range("D5").Formula = "=min(" & data & ")"
        Range("E4").Value = "最大値"
        Range("E5").Formula = "=max(" & data & ")"
        Range("D7").Value = "平均"
        Range("D8").Formula = "=average(" & data & ")"
        Range("E7").Value = "標準偏差"
        Range("E8").Formula = "=stdev(" & data & ")"
    End If
    Exit Sub
exist_error:
    MsgBox "予期しないエラーが発生しました。", vbOKOnly + vbExclamation, "エラー発生 (集計シート作成)"
End Sub

```

経営統計学教育を支援する統計的シミュレーション用 Excel VBA プログラムの試作(穴沢)

```

Function Sturges 階級幅(n As Integer, min As Double, max As Double) As Double
,
' Sturges の方法による階級幅を返す
,
    Dim k As Integer
    k = Int(Log(n) / Log(2))
    Sturges 階級幅 = (max - min) / k
End Function

Function Scott 階級幅(n As Integer, sd As Double) As Double
,
' Scott の方法による階級幅を返す
,
    Scott 階級幅 = 3.5 * sd * n ^ (-1 / 3)
End Function

Sub 仮数指数分解(x As Double, m As Double, e As Integer)
,
' x = m * 10^e を満たす m と e を計算
' 但し x > 0, 1 <= m < 10
,
    Dim L As Double
    L = Application.WorksheetFunction.log10(x)
    e = Int(L)
    m = x / 10 ^ e
End Sub

Function between(x As Double, low As Double, upp As Double) As Boolean
,
' low <= x < upp のとき真を返す
,
    between = False
    If low <= x And x < upp Then
        between = True
    End If
End Function

Function myround(binw As Double) As Double
,
' binw の「切の良い」近似値を返す
,
    Dim m As Double, e As Integer
    Dim w(1 To 9) As Double, i As Integer
    w(1) = 1
    w(2) = 1.25
    w(3) = 2
    w(4) = 2.5
    w(5) = 4
    w(6) = 5
    w(7) = 6.25
    w(8) = 8
    w(9) = 10
    仮数指数分解 binw, m, e
    If m < (w(1) + w(2)) / 2 Then
        myround = w(1) * 10 ^ e
        Exit Function
    End If
    For i = 2 To 8
        If between(m, (w(i - 1) + w(i)) / 2, (w(i) + w(i + 1)) / 2) Then
            myround = w(i) * 10 ^ e
            Exit Function
        End If
    Next
    myround = w(9) * 10 ^ e
End Function

```

```

Function 原点(w As Double, min As Double) As Double
,
' w の倍数で min 以下の最大値を返す
' (w が階級幅、min がデータ最小値のときの度数分布表の原点を返す)
,
    原点 = Int(min / w) * w
End Function

Sub 階級幅原点入力(bw As String, rounded As Boolean)
,
' 指定された階級幅計算法と丸め選択により度数分布表の原点と階級幅を
' ワークシートに記入
' (bw : 階級幅計算法、rounded : 階級幅を「切の良い」値にするとき真)
,
    Dim n As Integer, min As Double, max As Double, sd As Double, w As Double, o As Double, k As Integer
    Range("B2").Select
    n = Range("D2").Value
    min = Range("D5").Value
    max = Range("E5").Value
    sd = Range("E8").Value
    If bw = "Sturges" Then
        w = Sturges 階級幅(n, min, max)
    Else
        w = Scott 階級幅(n, sd)
    End If
    If rounded Then
        w = myround(w)
    End If
    o = 原点(w, min)
    Range("E11").Value = w
    Range("D11").Value = o
End Sub

Sub L24 度数分布表作成()
,
' 指定された階級幅計算法・カウント法・丸め選択により
' 度数分布表を作成
,
    Dim i As Integer, data As String, op As String
    On Error GoTo exist_error
    If 書込み先シート(集計用シート名) Then
        Sum2.Show
        If button = "OK" Then
            data = Range("B2", Range("B2").End(xlDown)).Address(True, True, xlR1C1)
            If method = "下限以上上限未満" Then
                op = "<"
            Else
                op = "<="
            End If
            Range("D10").Value = "原点"
            Range("E10").Value = "階級幅"
            階級幅原点入力 binwidth, toberounded
            Range("G1").Value = "階級下限"
            Range("I1").Value = "階級上限"
            Range("J1").Value = "度数"
            Range("K1").Value = "相対度数"
            Range("L1").Value = "基準化相対度数"
            Set org = Range("H1")
            For i = 1 To maxclass
                If i = 1 Then
                    org.Offset(i, -1).Formula = "=D11"
                Else
                    org.Offset(i, -1).FormulaR1C1 = "=r[-1]c[2]"
                End If
                org.Offset(i, 1).FormulaR1C1 = "=r[0]c[-2]+r11c5"
                org.Offset(i, 2).FormulaR1C1 = _
                    "=countif(" & data & ", "" & op & "" & r[0]c[-1])" & _

```

経営統計学教育を支援する統計的シミュレーション用 Excel VBA プログラムの試作(穴沢)

```

        "-countif(" & data & ", "" & op & "" & r[0]c[-3])"
    Next
    org.Offset(maxclass + 2, 2).FormulaR1C1 = "=sum(r2c10:r" & maxclass + 1 & "c10)"
    For i = 1 To maxclass
        org.Offset(i, 3).FormulaR1C1 = "=r[0]c[-1]/r" & maxclass + 3 & "c[-1]"
        org.Offset(i, 4).FormulaR1C1 = "=r[0]c[-1]/(r[0]c[-3]-r[0]c[-5])"
    Next
    End If
Else
    MsgBox 集計用シート名 & "で始まるシートを選んでください。", vbOKOnly + vbExclamation, "警告"
End If
Exit Sub
exist_error:
    MsgBox "予期しないエラーが発生しました。", vbOKOnly + vbExclamation, "エラー発生 (度数分布表作成)"
End Sub

Sub x 範囲(w As Double, min As Double, max As Double, xmin As Double, xmax As Double)
'
' 度数分布表の階級幅 w, データの最小値 min, 最大値 max からヒストグラムの
' 横軸の最小値 xmin, 最大値 xmax を「切の良い」値に計算
'
    Dim ww As Double, m As Double, e As Integer
    仮数指数分解 w, m, e
    If m <= 5 Then
        ww = 5 * 10 ^ e
    Else
        ww = 10 * 10 ^ e
    End If
    xmin = Int(min / ww) * ww
    If xmin = min Then
        xmin = xmin - ww
    End If
    xmax = (Int(max / ww) + 1) * ww
End Sub

Private Sub x 範囲入力()
'
' プロシージャ「x 範囲」の計算結果をワークシートに記入
'
    Dim w As Double, min As Double, max As Double, xmin As Double, xmax As Double
    min = Range("D5").Value
    max = Range("E5").Value
    w = Range("E11").Value
    x 範囲 w, min, max, xmin, xmax
    Range("D14").Value = xmin
    Range("E14").Value = xmax
End Sub

Private Sub 座標算出()
'
' ヒストグラムの各棒の4頂点になる座標を度数分布表から求める式を
' ワークシートに記入
'
    Dim i As Integer, k As Integer
    Set org = Range("N1")
    k = 1
    For i = 1 To maxclass
        org.Offset(k, 0).Formula = "=G" & i + 1
        org.Offset(k, 1).Value = 0
        k = k + 1
        org.Offset(k, 0).Formula = "=G" & i + 1
        org.Offset(k, 1).Formula = "=L" & i + 1
        k = k + 1
        org.Offset(k, 0).Formula = "=I" & i + 1
        org.Offset(k, 1).Formula = "=L" & i + 1
        k = k + 1
        org.Offset(k, 0).Formula = "=I" & i + 1
    Next

```

```

        org.Offset(k, 1).Value = 0
        k = k + 1
    Next
End Sub

Private Sub 値域設定()
'
' ヒストグラムのある散布図の横軸の最小値・最大値を
' ワークシートから読み込んで設定
' (マクロ記録を援用)
'
    Dim xmin As Double, xmax As Double
    xmin = Range("D14").Value
    xmax = Range("E14").Value
    If xmin < xmax Then
        ActiveSheet.ChartObjects(1).Activate
        ActiveChart.ChartArea.Select
        ActiveChart.Axes(xlCategory).Select
        With ActiveChart.Axes(xlCategory)
            .MinimumScale = xmin
            .MaximumScale = xmax
            .MinorUnitIsAuto = True
            .MajorUnitIsAuto = True
            .Crosses = xlAutomatic
            .ReversePlotOrder = False
            .ScaleType = xlLinear
            .DisplayUnit = xlNone
        End With
    End If
End Sub

Sub L25 ヒストグラム作成()
'
' 度数分布表よりヒストグラムを作成
' (マクロ記録を援用)
'
    Dim sn As String
    On Error GoTo exist_error
    If 書込み先シート(集計用シート名) Then
        sn = ActiveSheet.Name
        Range("D13").Value = "x 最小値"
        Range("E13").Value = "x 最大値"
        x 範囲入力
        With Sum3
            .Label4.Caption = Range("D5").Value
            .Label5.Caption = Range("D8").Value
            .Label6.Caption = Range("E5").Value
            .TextBox1.Text = Range("D14").Value
            .TextBox2.Text = Range("E14").Value
            .Label10.Caption = (Val(.TextBox1.Text) + Val(.TextBox2.Text)) / 2
            .TextBox3.Text = Range("D11").Value
            .TextBox4.Text = Range("E11").Value
            .Show
        End With
        If button = "OK" Then
            Range("D14").Value = newxmin
            Range("E14").Value = newxmax
            Range("D11").Value = neworg
            Range("E11").Value = newbw
        Else
            Exit Sub
        End If
        Range("N1").Value = "x"
        Range("O1").Value = "ヒストグラム"
        座標算出
        Range("N1:O" & maxclass * 4 + 1).Select
        Charts.Add
    
```

経営統計学教育を支援する統計的シミュレーション用 Excel VBA プログラムの試作(穴沢)

```

ActiveChart.ChartType = xlXYScatterLinesNoMarkers
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets(sn).Range("N1:O" & maxclass * 4 + 1), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=sn
With ActiveChart
    .HasTitle = False
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "x"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "f(x)"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlRight
ActiveChart.PlotArea.Select
With Selection.Border
    .ColorIndex = 16
    .Weight = xlThin
    .LineStyle = xlContinuous
End With
With Selection.Interior
    .ColorIndex = 2
    .PatternColorIndex = 1
    .Pattern = xlSolid
End With
ActiveChart.Axes(xlValue).MajorGridlines.Select
With Selection.Border
    .ColorIndex = 2
    .Weight = xlHairline
    .LineStyle = xlContinuous
End With
    値域設定
ActiveSheet.Shapes(1).IncrementLeft -393.75
ActiveSheet.Shapes(1).IncrementTop 89.25
Range("A1").Select
Else
    MsgBox 集計用シート名 & "で始まるシートを選んでください。", vbOKOnly + vbExclamation, "警告"
End If
Exit Sub
exist_error:
    MsgBox "予期しないエラーが発生しました。", vbOKOnly + vbExclamation, "エラー発生 (ヒストグラム)"
End Sub

Function mygammadist(x As Double, a As Double, b As Double) As Double
    ' パラメータ a, b のガンマ密度関数 f(x) の値を返す
    mygammadist = Application.WorksheetFunction.GammaDist(x, a, b, False)
End Function

Function mychidist(x As Double, n As Double) As Double
    ' 自由度 n のカイ 2 乗密度関数 f(x) の値を返す
    mychidist = mygammadist(x, n / 2, 2)
End Function

Function mygammaln(x As Double) As Double
    ' ln Γ(x) の値を返す
    mygammaln = Application.WorksheetFunction.GammaLn(x)
End Function

Function myfdist(x As Double, m As Double, n As Double) As Double
    ' 自由度対 m, n の F 密度関数 f(x) の値を返す

```

```

Dim z As Double
z = mygammaLn((m + n) / 2) - mygammaLn(m / 2) - mygammaLn(n / 2) _
  + (m / 2) * Log(m / n) - (m + n) / 2 * Log(1 + m * x / n)
myfdist = Exp(z) * x ^ (m / 2 - 1)
End Function

Function mypi() As Double
,
' πの値を返す
,
  mypi = Application.WorksheetFunction.Pi()
End Function

Function mytdist(x As Double, n As Double) As Double
,
' 自由度 n の t 密度関数 f(x) の値を返す
,
  Dim z As Double
  z = mygammaLn((n + 1) / 2) - 0.5 * Log(mypi() * n) - mygammaLn(n / 2) _
    - (n + 1) / 2 * Log(1 + x ^ 2 / n)
  mytdist = Exp(z)
End Function

Sub L26 確率モデル近似()
,
' 指定された確率モデルとパラメータ値に対する密度関数のグラフを
' ヒストグラムのある散布図にオーバーレイする
' (マクロ記録を援用)
,
  Dim sn As String, frm As String
  Dim i As Integer
  On Error GoTo exist_error
  If 書込み先シート(集計用シート名) Then
    Range("A1").Select ' グラフ選択を解除するため
    sn = ActiveSheet.Name
    Sum4.TextBox1.Text = Range("D8").Value
    Sum4.TextBox2.Text = Range("E8").Value
    Sum4.Show
    If button = "OK" Then
      If pmodel = "正規分布" Then
        Range("R1").Value = "正規密度"
        Range("S1").Value = "平均"
        Range("S2").Value = param1
        Range("T1").Value = "標準偏差"
        Range("T2").Value = param2
      ElseIf pmodel = "t 分布" Then
        Range("R1").Value = "t 密度"
        Range("S1").Value = "自由度"
        Range("S2").Value = param1
        Range("T1").ClearContents
        Range("T2").ClearContents
      ElseIf pmodel = "カイ 2 乗分布" Then
        Range("R1").Value = "χ 2 密度"
        Range("S1").Value = "自由度"
        Range("S2").Value = param1
        Range("T1").ClearContents
        Range("T2").ClearContents
      Else
        Range("R1").Value = "F 密度"
        Range("S1").Value = "自由度 1"
        Range("S2").Value = param1
        Range("T1").Value = "自由度 2"
        Range("T2").Value = param2
      End If
      Set org = Range("Q1")
      org.Value = "x"
      org.Offset(1, 0).Formula = "=D14"
      For i = 2 To maxgrad

```

経営統計学教育を支援する統計的シミュレーション用 Excel VBA プログラムの試作(穴沢)

```

        org.Offset(i, 0).FormulaR1C1 = "=r[-1]c[0]+(r14c5-r14c4)/" & maxgrad - 1
    Next
    For i = 1 To maxgrad
        If pmodel = "正規分布" Then
            frm = "=normdist(r[0]c[-1],r2c19,r2c20,FALSE)"
        ElseIf pmodel = "t 分布" Then
            frm = "=mytdist(r[0]c[-1],r2c19)"
        ElseIf pmodel = "カイ 2 乗分布" Then
            frm = "=mychidist(r[0]c[-1],r2c19)"
        Else
            frm = "=myfdist(r[0]c[-1],r2c19,r2c20)"
        End If
        org.Offset(i, 1).FormulaR1C1 = frm

    Next
    ActiveSheet.ChartObjects(1).Activate
    ActiveChart.ChartArea.Select
    ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
    ActiveChart.SeriesCollection(2).XValues = "=" & sn & "!R2C17:R" & maxgrad + 1 & "C17"
    ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "=" & sn & "!R2C18:R" & maxgrad + 1 & "C18"
    ActiveChart.SeriesCollection(2).Name = "=" & sn & "!R1C18"
    ActiveChart.SeriesCollection(2).Select
    With Selection.Border
        .ColorIndex = 57
        .Weight = xlMedium
        .LineStyle = xlContinuous
    End With
    With Selection
        .MarkerBackgroundColorIndex = xlNone
        .MarkerForegroundColorIndex = xlNone
        .MarkerStyle = xlNone
        .Smooth = True
        .MarkerSize = 3
        .Shadow = False
    End With
    Range("A1").Select
End If
Else
    MsgBox 集計用シート名 & "で始まるシートを選んでください。", vbOKOnly + vbExclamation, "警告"
End If
Exit Sub
exist_error:
If Err = 1004 Then
    MsgBox "「ヒストグラム」プロシージャがまだ実行されていません。", vbOKOnly + vbExclamation, _
        "エラー発生 (確率モデル近似)"
Else
    MsgBox "予期しないエラーが発生しました。", vbOKOnly + vbExclamation, "エラー発生 (確率モデル近似)"
End If
End Sub

Sub L12 集計一括処理()
,
' 「L23 集計シート作成」 → 「L24 度数分布表作成」 → 「L25 ヒストグラム作成」
' → 「L26 確率モデル近似」の順に一括処理
,
L23 集計シート作成
If button = "キャンセル" Then
    MsgBox "「L23 集計シート作成」から再開してください。", , "中止"
    Exit Sub
End If
L24 度数分布表作成
If button = "キャンセル" Then
    MsgBox "「L24 度数分布表作成」から再開してください。", , "中止"
    Exit Sub
End If

```

```

L25 ヒストグラム作成
If button = "キャンセル" Then
    MsgBox "「L25 ヒストグラム作成」から再開してください。", , "中止"
    Exit Sub
End If
L26 確率モデル近似
If button = "キャンセル" Then
    MsgBox "「L26 確率モデル近似」から再開してください。", , "中止"
    Exit Sub
End If
End Sub

```

繰返しサンプリング用イベントプロシージャ(Samp1.frm)

```

Private Sub CommandButton1_Click()
    button = Me.CommandButton1.Caption
    If Me.OptionButton1.Value Then
        one_or_two = 1
    Else
        one_or_two = 2
    End If
    popaddr1 = Me.RefEdit1.Text
    poplabeled1 = Me.CheckBox1.Value
    size1 = Val(Me.TextBox1.Text)
    If one_or_two = 2 Then
        popaddr2 = Me.RefEdit2.Text
        poplabeled2 = Me.CheckBox2.Value
        size2 = Val(Me.TextBox2.Text)
    End If
    iter = Val(Me.TextBox3.Text)
    Unload Me
End Sub

```

```

Private Sub CommandButton2_Click()
    button = Me.CommandButton2.Caption
    Unload Me
End Sub

```

```

Private Sub OptionButton1_Click()
    Me.Frame3.Enabled = False
    Me.Label4.Enabled = False
    Me.RefEdit2.Enabled = False
    Me.CheckBox2.Enabled = False
    Me.Label5.Enabled = False
    Me.Label6.Enabled = False
    Me.TextBox2.Enabled = False
End Sub

```

```

Private Sub OptionButton2_Click()
    Me.Frame3.Enabled = True
    Me.Label4.Enabled = True
    Me.RefEdit2.Enabled = True
    Me.CheckBox2.Enabled = True
    Me.Label5.Enabled = True
    Me.Label6.Enabled = True
    Me.TextBox2.Enabled = True
End Sub

```

統計量計算用イベントプロシージャ(Samp2.frm)

```

Private Sub CommandButton1_Click()
    Dim i As Integer
    button = Me.CommandButton1.Caption
    For i = 1 To 4
        stat(i) = False
    Next
    If Me.CheckBox1.Value Then
        stat(1) = True
    End If
End Sub

```

経営統計学教育を支援する統計的シミュレーション用 Excel VBA プログラムの試作(穴沢)

```
End If
If Me.CheckBox2.Value Then
    stat(2) = True
End If
If Me.CheckBox3.Value Then
    stat(3) = True
End If
If Me.CheckBox4.Value Then
    stat(4) = True
End If
Unload Me
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton2_Click()
    button = Me.CommandButton2.Caption
    Unload Me
End Sub
```

集計シート作成用イベントプロシージャ(Sum1.frm)

```
Private Sub CommandButton1_Click()
    button = Me.CommandButton1.Caption
    addr = Me.RefEdit1.Text
    labeled = Me.CheckBox1.Value
    Unload Me
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton2_Click()
    button = Me.CommandButton2.Caption
    Unload Me
End Sub
```

度数分布表作成用イベントプロシージャ(Sum2.frm)

```
Private Sub CommandButton1_Click()
    button = Me.CommandButton1.Caption
    If Me.OptionButton1.Value Then
        binwidth = Me.OptionButton1.Caption
    Else
        binwidth = Me.OptionButton2.Caption
    End If
    If Me.OptionButton3.Value Then
        method = Me.OptionButton3.Caption
    Else
        method = Me.OptionButton4.Caption
    End If
    toberounded = Me.CheckBox1.Value
    Unload Me
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton2_Click()
    button = Me.CommandButton2.Caption
    Unload Me
End Sub
```

ヒストグラム作成用イベントプロシージャ(Sum3.frm)

```
Private Sub CommandButton1_Click()
    button = Me.CommandButton1.Caption
    newxmin = Me.TextBox1.Text
    newxmax = Me.TextBox2.Text
    neworg = Me.TextBox3.Text
    newbw = Me.TextBox4.Text
    Unload Me
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton2_Click()
    button = Me.CommandButton2.Caption
    Unload Me
End Sub
```

```
Private Sub TextBox1_Change()
    Me.Label10.Caption = (Val(Me.TextBox1.Text) + Val(Me.TextBox2.Text)) / 2
End Sub

Private Sub TextBox2_Change()
    Me.Label10.Caption = (Val(Me.TextBox1.Text) + Val(Me.TextBox2.Text)) / 2
End Sub
```

確率モデル近似用イベントプロシージャ(Sum4.frm)

```
Private Sub CommandButton1_Click()
    button = Me.CommandButton1.Caption
    If Me.OptionButton1.Value Then
        pmodel = Me.OptionButton1.Caption
        param1 = Me.TextBox1.Text
        param2 = Me.TextBox2.Text
    ElseIf Me.OptionButton2.Value Then
        pmodel = Me.OptionButton2.Caption
        param1 = Me.TextBox1.Text
    ElseIf Me.OptionButton3.Value Then
        pmodel = Me.OptionButton3.Caption
        param1 = Me.TextBox1.Text
    Else
        pmodel = Me.OptionButton4.Caption
        param1 = Me.TextBox1.Text
        param2 = Me.TextBox2.Text
    End If
    Unload Me
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton2_Click()
    button = Me.CommandButton2.Caption
    Unload Me
End Sub
```

```
Private Sub OptionButton1_Click()
    Me.Label1.Enabled = True
    Me.Label1.Caption = "平均"
    Me.TextBox1.Enabled = True
    Me.TextBox1.Text = Range("D8").Value
    Me.Label2.Enabled = True
    Me.Label2.Caption = "標準偏差"
    Me.TextBox2.Enabled = True
    Me.TextBox2.Text = Range("E8").Value
End Sub
```

```
Private Sub OptionButton2_Click()
    Me.Label1.Enabled = True
    Me.Label1.Caption = "自由度"
    Me.TextBox1.Enabled = True
    Me.TextBox1.Text = 5
    Me.Label2.Enabled = False
    Me.Label2.Caption = "(未使用)"
    Me.TextBox2.Enabled = False
End Sub
```

```
Private Sub OptionButton3_Click()
    Me.Label1.Enabled = True
    Me.Label1.Caption = "自由度"
    Me.TextBox1.Enabled = True
    Me.TextBox1.Text = 5
    Me.Label2.Enabled = False
    Me.Label2.Caption = "(未使用)"
    Me.TextBox2.Enabled = False
End Sub
```

経営統計学教育を支援する統計的シミュレーション用 Excel VBA プログラムの試作(穴沢)

```
Private Sub OptionButton4_Click()  
    Me.Label1.Enabled = True  
    Me.Label1.Caption = "自由度 1"  
    Me.TextBox1.Enabled = True  
    Me.TextBox1.Text = 5  
    Me.Label2.Enabled = True  
    Me.Label2.Caption = "自由度 2"  
    Me.TextBox2.Enabled = True  
    Me.TextBox2.Text = 5  
End Sub
```