バージョン 11

プロファイル機能

「真の発見の旅とは、新しい風景を探すことではなく、新たな視点を持つことである。」

マルセル・プルースト

JMP, A Business Unit of SAS
SAS Campus Drive
Cary, NC 27513

11.2

このマニュアルを引用する場合は、次の正式表記を使用してください : SAS Institute Inc. 2014.
『JMP® 11 プロファイル機能』Cary, NC: SAS Institute Inc.

JMP® 11 プロファイル機能

Copyright © 2014, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA

ISBN 978-1-61290-761-1

All rights reserved. Produced in the United States of America.

印刷物の場合 : この出版物のいかなる部分も、出版元である SAS Institute Inc. の書面による許可なく、電子的、機械的、複写など、形式や方法を問わず、複製すること、検索システムへ格納すること、および転送することを禁止します。

Web からのダウンロードや電子本の場合 : この出版物の使用については、入手した時点で、ベンダーが規定した条件が適用されます。

この出版物を、インターネットまたはその他のいかなる方法でも、出版元の許可なくスキャン、アップロード、および配布することは違法であり、法律によって罰せられます。正規の電子版のみを入手し、著作権を侵害する不正コピーに関与または加担しないでください。著作権の保護に関するご理解をお願いいたします。

U.S. Government Restricted Rights Notice: Use, duplication, or disclosure of this software and related documentation by the U.S. government is subject to the Agreement with SAS Institute and the restrictions set forth in FAR 52.227-19, Commercial Computer Software-Restricted Rights (June 1987).

SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina 27513.

2014 年 7 月、第 1 刷

SAS® Publishing provides a complete selection of books and electronic products to help customers use SAS software to its fullest potential. For more information about our e-books, e-learning products, CDs, and hard-copy books, visit the SAS Publishing Web site at support.sas.com/publishing or call 1-800-727-3228.

SAS® and all other SAS Institute Inc. product or service names are registered trademarks or trademarks of SAS Institute Inc. in the USA and other countries. ® indicates USA registration.

Other brand and product names are registered trademarks or trademarks of their respective companies.

技術ライセンスに関する通知

- Scintilla - Copyright © 1998-2012 by Neil Hodgson <neilh@scintilla.org>.

  All Rights Reserved.

  Permission to use, copy, modify, and distribute this software and its documentation for any purpose and without fee is hereby granted, provided that the above copyright notice appear in all copies and that both that copyright notice and this permission notice appear in supporting documentation.

  NEIL HODGSON DISCLAIMS ALL WARRANTIES WITH REGARD TO THIS SOFTWARE, INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS, IN NO EVENT SHALL NEIL HODGSON BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS OF USE, DATA OR PROFITS, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS ACTION, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.

- Telerik RadControls: Copyright © 2002-2012, Telerik. Usage of the included Telerik RadControls outside of JMP is not permitted.
- ZLIB Compression Library - Copyright © 1995-2005, Jean-Loup Gailly and Mark Adler.
- Made with Natural Earth. Free vector and raster map data @ naturalearthdata.com.
- Packages - Copyright © 2009-2010, Stéphane Sudre (s.sudre.free.fr). All rights reserved.

  Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

  Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.

  Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.

  Neither the name of the WhiteBox nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

  THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS “AS IS” AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT OWNER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS

OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- iODBC software - Copyright © 1995-2006, OpenLink Software Inc and Ke Jin (www.iodbc.org). All rights reserved.

  Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

  – Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.

  – Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.

  – Neither the name of OpenLink Software Inc. nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

  THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL OPENLINK OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- bzip2, the associated library "libbzip2", and all documentation, are Copyright © 1996-2010, Julian R Seward. All rights reserved.

  Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

  Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.

  The origin of this software must not be misrepresented; you must not claim that you wrote the original software. If you use this software in a product, an acknowledgment in the product documentation would be appreciated but is not required.

Altered source versions must be plainly marked as such, and must not be misrepresented as being the original software.

The name of the author may not be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE AUTHOR "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE AUTHOR BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- R software is Copyright © 1999-2012, R Foundation for Statistical Computing.
- MATLAB software is Copyright © 1984-2012, The MathWorks, Inc. Protected by U.S. and international patents. See www.mathworks.com/patents. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See www.mathworks.com/trademarks for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.

目次
プロファイル機能

1 JMPの概要

マニュアルとその他のリソース 11
表記規則 13
JMPのマニュアル 13
JMPドキュメンテーションライブラリ 14
JMPヘルプ 18
JMPを習得するためのその他のリソース 18
チュートリアル 18
サンプルデータテーブル 19
統計用語とJSL用語の習得 19
JMPを使用するためのヒント 19
ツールヒント 19
JMP User Community 20
JMPer Cable 20
JMP関連書籍 20
「JMPスターター」ウィンドウ 20

2 プロファイルについて

応答曲面の視覚化と最適化 21
プロファイルについて 22
JMPのプロファイル機能 22

3 プロファイル

応答曲面の断面を因子ごとに調べる 25
プロファイルの概要 27
プロファイルの解釈 28
「プロファイル」プラットフォームのオプション 31
「予測プロファイル」のオプション 32
満足度プロファイルと最適化 37

満足度関数について . . . 37
満足度関数の使用 . . . 38
満足度プロファイル . . . 39
複数応答変数の満足度関数の例 . . . 40
変数重要度の評価 . . . 41
プロファイルに関するトピック . . . 48
誤差伝播の法則による区間 . . . 48
カスタマイズした満足度関数 . . . 49
配合計画 . . . 50
中間計算式の展開 . . . 51
線形制約 . . . 51
統計的詳細 . . . 53
変数重要度の評価 . . . 53

4 等高線プロファイル

2因子に対する応答変数の等高線図を調べる . . . 55
等高線プロファイルの概要 . . . 57
「等高線プロファイル」プラットフォームのオプション . . . 58
配合効果のロック . . . 59
制約の陰影の設定 . . . 59

5 曲面プロット

3因子に対する応答変数の等高線図を調べる . . . 61
曲面プロットの概要 . . . 63
「曲面プロット」プラットフォームの起動 . . . 63
1つの数学関数をプロット . . . 64
点のみをプロット . . . 65
列の計算式をプロット . . . 66
等値面 . . . 68
「曲面プロット」プラットフォームのオプション . . . 70
「表示形式」設定パネル . . . 70
独立変数 . . . 71
従属変数 . . . 72
曲面プロットの設定パネルと設定 . . . 73
回転 . . . 73

軸の設定 74
ライト 75
曲面のプロパティ 75
その他のプロパティとコマンド 76
キーボードショートカット 77

6 配合プロファイル

三角図で因子の効果を調べる 79
配合プロファイルの概要 81
三角図の軸 82
「配合プロファイル」プラットフォームのオプション 84
線形制約 85
例 86
応答変数が1つの場合 86
応答変数が複数ある場合 88

7 カスタムプロファイル

数値計算により応答曲面を調べる 93
カスタムプロファイルの概要 95
「カスタムプロファイル」プラットフォームのオプション 95

8 シミュレータ

応答に対する変動の効果を調べる 97
シミュレータの概要 99
シミュレーションの実行例 100
因子の指定 102
「応答」レポートのオプション 104
「シミュレータ」レポートのオプション 104
仕様限界の使用 105
一般的なモデルのシミュレーション 107
不適合率プロファイル 110
グラフのスケール 111
不適合率の期待値 111
シミュレーションの手法と詳細 112
不適合率プロファイルの例 112

確率的最適化の例 116
統計的詳細 125
正規加重分布 125

9 誤差因子

誤差因子によるばらつきを減らして工程の安定化を図る 127
誤差因子の概要 129
例 129
他のプラットフォームでの誤差因子の扱い 133

10 Excel プロファイル

Microsoft Excel で保存したモデルを視覚化する 135
Excel プロファイルの概要 137
JMP プロファイルの実行 137
Excel モデルの例 137
線形制約の使用 139
プロファイル線の解像度 139
Excel のモデルを JMP から読み込む 140

A 参考文献

索引

プロファイル機能 143

第 1 章

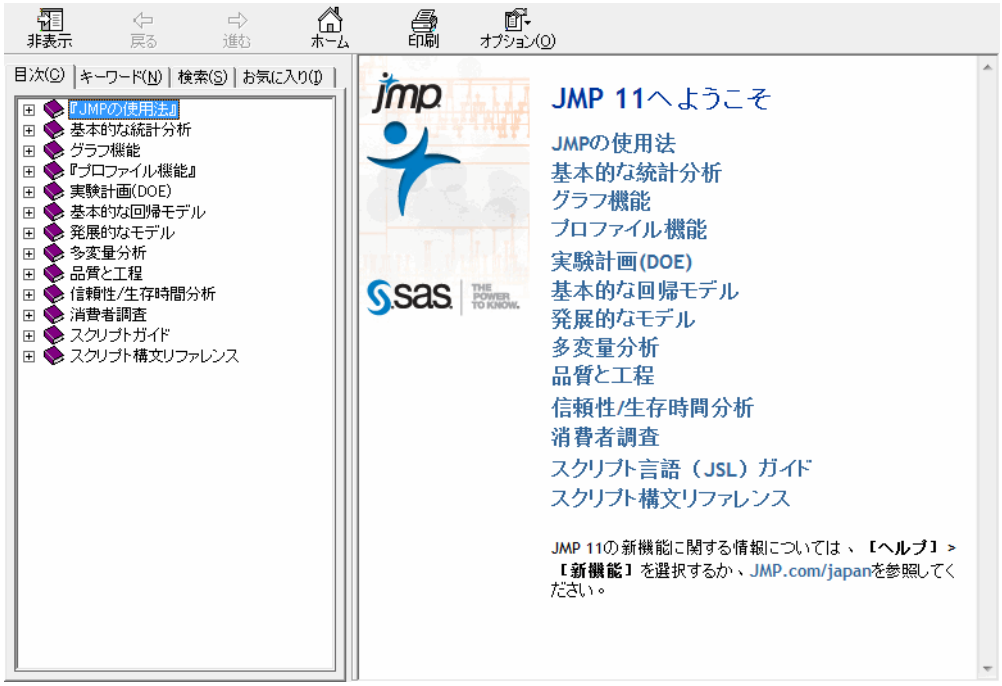
JMP の概要

マニュアルとその他のリソース

この章には以下の情報が記載されています。

- 本書の表記法
- JMP のマニュアル
- JMP ヘルプ
- その他のリソース
  - その他の JMP のドキュメンテーション
  - チュートリアル
  - 索引
  - Web リソース

図 1.1 JMP ヘルプのホームウィンドウ（Windows）



目次

表記規則 13
JMP のマニュアル 13
JMP ドキュメンテーションライブラリ 14
JMP ヘルプ 18
JMP を習得するためのその他のリソース 18
チュートリアル 18
サンプルデータテーブル 19
統計用語と JSL 用語の習得 19
JMP を使用するためのヒント 19
ツールヒント 19
JMP User Community 20
JMPer Cable 20
JMP 関連書籍 20
「JMP スターター」ウィンドウ 20

表記規則

マニュアルの内容と画面に表示される情報を対応付けるために、次の表記規則を使っています。

- サンプルデータ名、列名、パス名、ファイル名、ファイル拡張子、およびフォルダ名は「」で囲んで表記しています。
- スクリプトのコードは `Lucida Sans Typewriter` フォントで表記しています。
- スクリプトコードの結果（ログに表示されるもの）は *`Lucida Sans Typewriter`*（斜体）フォントで表記し、先に示すコードよりインデントされています。
- クリックまたは選択する項目は [] で囲んで太字で表記しています。これには以下の項目があります。
  - ボタン
  - チェックボックス
  - コマンド
  - 選択可能なリスト項目
  - メニュー
  - オプション
  - タブ名
  - テキストボックス
- 次の項目は太字で表記しています。
  - 重要な単語や句、JMP に固有の定義を持つ単語や句
  - マニュアルのタイトル
  - 変数名
- JMP Pro のみの機能には JMP Pro アイコン JMP PRO がついています。JMP Pro の機能の概要については http://www.jmp.com/software/pro/ をご覧ください。

注：特別な情報および制限事項には、この文のように「注:」という見出しがついています。

ヒント：役に立つ情報には「ヒント」という見出しがついています。

JMP のマニュアル

JMP には、印刷版、PDF 版、電子本など、さまざまな形式のマニュアルが用意されています。

- PDF 版は［**ヘルプ**］>［**ドキュメンテーション**］メニューまたは JMP オンラインヘルプのフッタから開くことができます。

- 検索しやすいようにすべてのドキュメンテーションが 1 つの PDF ファイルにまとめられた『JMP ドキュメンテーションライブラリ』と呼ばれるファイルがあります。『JMP ドキュメンテーションライブラリ』の PDF ファイルは［**ヘルプ**］>［**ドキュメンテーション**］メニューから開くことができます。
- 電子本は Amazon、Safari Books Online、および Apple iBookstore でお求めになれます。

JMP ドキュメンテーションライブラリ

以下の表は、JMP ライブラリに含まれている各ドキュメンテーションの目的および内容をまとめたものです。

マニュアル	目的	内容
『はじめての JMP』	JMP をあまりご存知ない方を対象とした入門ガイド	JMP の紹介と、データを作成および分析し始めるための情報
『JMP の使用法』	JMP のデータテーブルと、基本操作を理解する	一般的な JMP の概念と、データの読み込み、列プロパティの変更、データの並べ替え、SAS への接続など、JMP 全体にわたる機能の説明
『基本的な統計分析』	このマニュアルを見ながら、基本的な分析を行う	［分析］メニューからアクセスできる以下のプラットフォームの説明： • 一変量の分布 • 二変量の関係 • 対応のあるペア • 表の作成 ブートストラップを使用した標本分布の近似方法も含まれています。

マニュアル	目的	内容
『グラフ機能』	データに合った理想的なグラフを見つける	［グラフ］メニューからアクセスできる以下のプラットフォームの説明： • グラフビルダー • 重ね合わせプロット • 三次元散布図 • 等高線図 • バブルプロット • パラレルプロット • セルプロット • ツリーマップ • 散布図行列 • 三角図 • チャート 背景マップやカスタムマップの作成方法も記載されています。
『プロファイル機能』	対話式のプロファイルツールの使い方を学ぶ。任意の応答曲面の断面を表示できるようになります。	［グラフ］メニューに表示されるすべてのプロファイルについて。誤差因子の分析が、ランダム入力を使用したシミュレーションの実行とともに含まれています。
『実験計画 (DOE)』	実験の計画方法と適切な標本サイズの決定方法を学ぶ	**［実験計画（DOE）］**メニューのすべてのトピックについて。
『基本的な回帰モデル』	「モデルのあてはめ」プラットフォームとその多くの手法について学ぶ	［分析］メニューの「モデルのあてはめ」プラットフォームで使用できる、以下の手法の説明： • 標準最小 2 乗 • ステップワイズ • 正則化回帰 • 混合モデル • MANOVA • 対数線形 - 分散 • 名義ロジスティック • 順序ロジスティック • 一般化線形モデル

マニュアル	目的	内容
『発展的なモデル』	付加的なモデリング手法について学ぶ	［分析］>［モデリング］メニューで使用できる以下のプラットフォームの説明： • パーティション • ニューラル • モデルの比較 • 非線形回帰 • Gauss過程 • 時系列分析 • 応答スクリーニング ［分析］>［モデリング］メニューの「スクリーニング」プラットフォームについては『実験計画(DOE)』で説明しています。
『多変量分析』	複数の変数を同時に分析するための手法について理解を深める	［分析］>［多変量］メニューで使用できる以下のプラットフォームの説明： • 多変量の相関 • クラスター分析 • 主成分分析 • 判別分析 • PLS
『品質と工程』	工程を評価し、向上させるためのツールについて理解を深める	［分析］>［品質と工程］メニューで使用できる以下のプラットフォームの説明： • 管理図ビルダーと個々の管理図 • 測定システム分析 • 変動性図/計数値用ゲージチャート • 工程能力 • パレート図 • 特性要因図

マニュアル	目的	内容
『信頼性/生存時間分析』	製品やシステムにおける信頼性を評価し、向上させる方法、および人や製品の生存時間データを分析する方法について学ぶ	［分析］>［信頼性/生存時間分析］メニューで使用できる以下のプラットフォームの説明： • 寿命の一変量 • 寿命の二変量 • 再生モデルによる分析 • 劣化分析 • 信頼性予測 • 信頼性成長 • 信頼性ブロック図 • 生存時間分析 • 生存時間(パラメトリック)のあてはめ • 比例ハザードのあてはめ
『消費者調査』	消費者選好を調査し、その洞察を使用してより良い製品やサービスを作成するための方法を学ぶ	［分析］>［消費者調査］メニューで使用できる以下のプラットフォームの説明： • カテゴリカル • 因子分析 • 選択モデル • アップリフト • 項目分析
『スクリプトガイド』	パワフルなJMPスクリプト言語（JSL）の活用方法について学ぶ	スクリプトの作成やデバッグ、データテーブルの操作、ディスプレイボックスの構築、JMPアプリケーションの作成など。
『スクリプト構文リファレンス』	JSL関数、その引数、およびオブジェクトやディスプレイボックスに送信するメッセージについて理解を深める	JSLコマンドの構文、例、および注意書き。

注：［**ドキュメンテーション**］メニューでは、印刷可能な2つのリファレンスカードも用意されています。『メニューカード』はJMPのメニューをまとめた表で、『クイックリファレンス』はJMPのショートカットキーをまとめた表です。

JMPヘルプ

JMPヘルプは、一連のマニュアルの簡易版です。JMPのヘルプは、次のいくつかの方法で開くことができます。

- Windowsでは、F1キーを押すとヘルプシステムウィンドウが開きます。
- データテーブルまたはレポートウィンドウの特定の部分のヘルプを表示します。［**ツール**］メニューからヘルプツール を選択した後、データテーブルやレポートウィンドウの任意の位置でクリックすると、その部分に関するヘルプが表示されます。
- JMPウィンドウ内で［**ヘルプ**］ボタンをクリックします。
- Windowsの場合、［**ヘルプ**］メニューの［**ヘルプの目次**］、［**ヘルプの検索**］、［**ヘルプの索引**］の各オプションを使用して、JMPヘルプ内を検索し、目的の内容を表示します。Macの場合、［**ヘルプ**］>［**JMPヘルプ**］を選択します。
- http://jmp.com/support/help/ でヘルプを検索します（英語のみ）。

JMPを習得するためのその他のリソース

JMPのマニュアルとJMPヘルプの他、次のリソースもJMPの学習に役立ちます。

- チュートリアル（「チュートリアル」（18ページ）を参照）
- サンプルデータ（「サンプルデータテーブル」（19ページ）を参照）
- 索引（「統計用語とJSL用語の習得」（19ページ）を参照）
- 使い方ヒント（「JMPを使用するためのヒント」（19ページ）を参照）
- Webリソース（「JMP User Community」（20ページ）を参照）
- 専門誌『JMPer Cable』（「JMPer Cable」（20ページ）を参照）
- JMPに関する書籍（「JMP関連書籍」（20ページ）を参照）
- JMPスターター（「「JMPスターター」ウィンドウ」（20ページ）を参照）

チュートリアル

［**ヘルプ**］>［**チュートリアル**］を選択して、JMPのチュートリアルを表示できます。［**チュートリアル**］メニューの最初の項目は［**チュートリアルディレクトリ**］です。この項目を選択すると、すべてのチュートリアルをカテゴリ別に整理した新しいウィンドウが開きます。

JMPに慣れていない方は、まず［**初心者用チュートリアル**］を試してみてください。JMPのインターフェースおよび基本的な使用方法を学ぶことができます。

他のチュートリアルでは、円グラフの作成、グラフビルダーの使用など、JMPの具体的な活用法を学習できます。

サンプルデータテーブル

JMPのマニュアルで取り上げる例は、すべてサンプルデータを使用しています。次の操作はすべて［**ヘルプ**］>［**サンプルデータ**］で表示されるウィンドウで行えます。

- サンプルデータディレクトリを開く。
- すべてのサンプルデータテーブルを文字コード順に並べた一覧を表示する。
- カテゴリ別に整理されたリストからサンプルデータテーブルを見つける。

サンプルデータテーブルは次のディレクトリにインストールされています。

Windowsの場合: C:¥Program Files¥SAS¥JMP¥<バージョン番号>¥Samples¥Data

Macintoshの場合: \Library\Application Support\JMP\<バージョン番号>\Samples\Data

JMP Proでは、サンプルデータが（JMPではなく）JMPPROディレクトリにインストールされています。

統計用語とJSL用語の習得

［**ヘルプ**］メニューには、次の索引が用意されています。

統計の索引　統計用語が説明されています。

スクリプトの索引　JSL関数、オブジェクト、ディスプレイボックスに関する情報を検索できます。スクリプトの索引からサンプルスクリプトを編集して実行することもできます。

JMPを使用するためのヒント

JMPを最初に起動すると、「使い方ヒント」ウィンドウが表示されます。このウィンドウには、JMPを使う上でのヒントが表示されます。

「使い方ヒント」ウィンドウを表示しないようにするには、［**起動時にヒントを表示する**］のチェックを外します。再表示するには、［**ヘルプ**］>［**使い方ヒント**］を選択します。または、「環境設定」ウィンドウで非表示に設定することもできます。詳細については、『JMPの使用法』を参照してください。

ツールヒント

次のような項目の上にカーソルを置くと、その項目を説明するツールヒントが表示されます。

- メニューまたはツールバーのオプション
- グラフ内のラベル
- レポートウィンドウ内の結果（テキスト）（カーソルで円を描くと表示される）
- 「ホームウィンドウ」内のファイル名またはウィンドウ名
- スクリプトエディタ内のコード

ヒント：JMP 環境設定で、ツールヒントを表示しないよう設定できます。［**ファイル**］>［**環境設定**］>［**一般**］（Macintosh の場合は［**JMP**］>［**環境設定**］>［**一般**］）を選択し、［**メニューのヒントを表示**］のチェックを外します。

JMP User Community

JMP User Community では、さまざまな方法でJMPをさらに習得したり、他のSASユーザとのコミュニケーションを図ったりできます。ラーニングライブラリには1ページ構成のガイド、チュートリアル、デモなどが用意されており、JMPを使い始める上でとても便利です。また、JMPのさまざまなトレーニングコースに登録して、自己教育を進めることも可能です。

その他のリソースとして、ディスカッションフォーラム、サンプルデータやスクリプトファイルの交換、Webcastセミナー、ソーシャルネットワークグループなども利用できます。

WebサイトのJMPリソースにアクセスするには［**ヘルプ**］>［**JMP User Community**］を選択します。

JMPer Cable

JMPer Cableは、JMPユーザを対象とした年刊の専門誌です。JMPer Cableは次のJMP Webサイトで閲覧可能です。

http://www.jmp.com/about/newsletters/jmpercable/（英語）

JMP関連書籍

JMP関連書籍は、次のJMP Webページで紹介されています。

http://www.jmp.com/japan/academic/books.shtml

「JMPスターター」ウィンドウ

JMPまたはデータ分析にあまり慣れていないユーザは、「JMPスターター」ウィンドウから開始するとよいでしょう。カテゴリ分けされた項目には説明がついており、ボタンをクリックするだけで該当の機能を起動できます。「JMPスターター」ウィンドウには、［**分析**］、［**グラフ**］、［**テーブル**］、および［**ファイル**］メニュー内の多くのオプションがあります。

- 「JMPスターター」ウィンドウを開くには、［**表示**］（Macintoshでは［**ウィンドウ**］）>［**JMPスターター**］を選択します。
- WindowsでJMPの起動時に自動的に「JMPスターター」を表示するには、［**ファイル**］>［**環境設定**］>［**一般**］を選び、「開始時のJMPウィンドウ」リストから［**JMPスターター**］を選択します。Macintoshでは、［**JMP**］>［**環境設定**］>［**起動時にJMPスターターウィンドウを表示する**］を選択します。

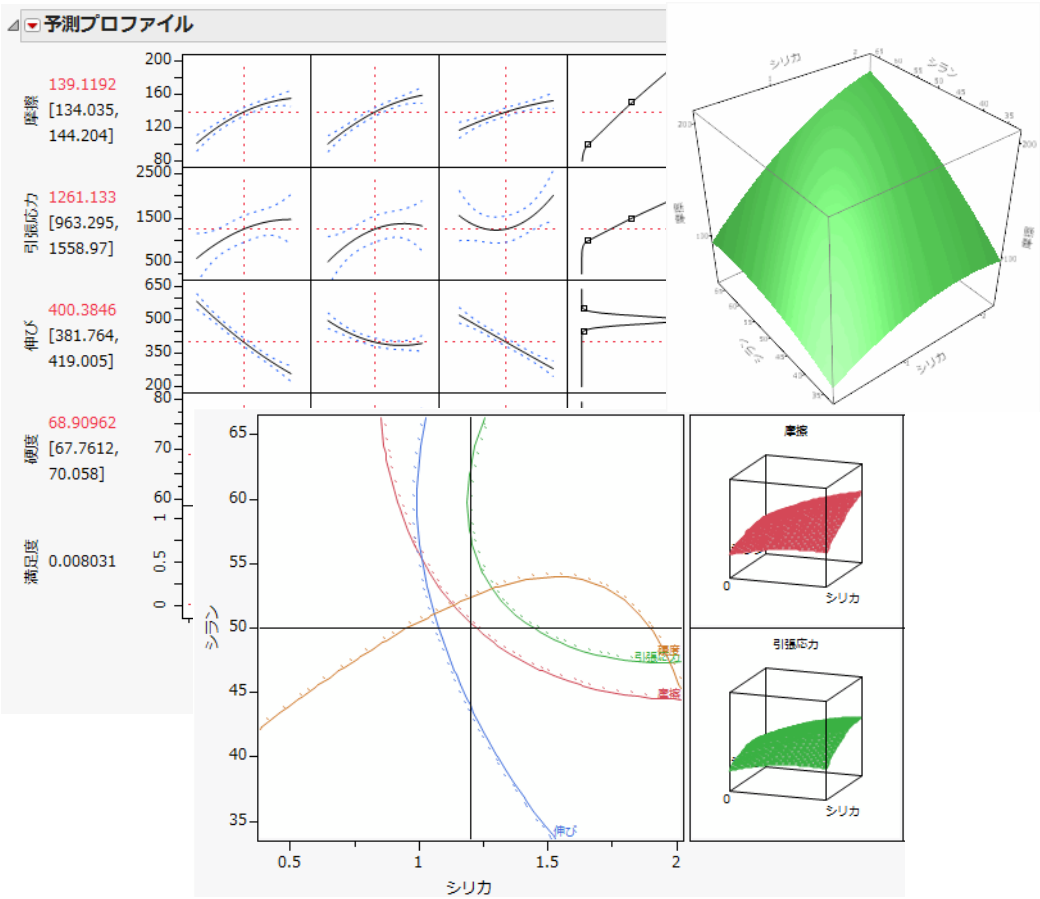
第 2 章

プロファイルについて

応答曲面の視覚化と最適化

プロファイルは、応答曲面を視覚化し、因子を1～2個ずつ変化させた時の変化を調べます。プロファイルには、応答曲面の断面が表示されます。JMPのプロファイルでは、因子空間を対話的に検討できます。モデルをデータにあてはめただけでは、分析は終わりません。モデルの適合度を見て、あてはめた応答曲面を吟味し、そして、応答を最適化する因子の値を求めて、初めて分析は完結します。

図2.1 プロファイルの例



プロファイルについて

応答曲面は、説明変数 X と目的変数 Y が 1 つずつであれば簡単にグラフにできます。しかし、変数が複数あると、グラフで描くのは難しくなります。JMP のプロファイルを使えば、応答曲面のさまざまな断面を、対話的に見ることができます。

最適な因子設定を見つけ、望ましい応答を得るには、満足度プロファイルと最適化の機能が役立ちます。ほとんどのプロファイルは、計算速度を向上させるため、マルチスレッドにも対応しています。因子にばらつき（変動）がある場合には、シミュレーションと不適合率プロファイルによって、因子のばらつきに対してロバスト（頑健）な設定を知ることができます。

JMP のプロファイル機能

JMP には、数種類のプロファイル機能が用意されています。これらは、メインメニューの［グラフ］から呼び出せるだけでなく、様々なプラットフォームのなかで使われています。これらの機能を用いると、データ列の計算式からプロファイルを作成することができます。

表 2.1 プロファイル機能の概要

	説明	機能
プロファイル	各因子で縦にスライスした断面を示す。他の因子は現在値で固定されている	満足度、最適化、シミュレータ、誤差の伝播
等高線プロファイル	2 因子ずつの等高線を表示した横の断面	シミュレータ
曲面プロファイル	2 因子ずつの応答の 3 次元プロット、または 3 因子ずつの等高線図	曲面のグラフ化
配合プロファイル	配合因子の等高線プロファイル	三角図と等高線
カスタムプロファイル	数値を最適化する、グラフでないプロファイル	一般的な最適化、シミュレータ
Excel プロファイル	Excel ワークシートに保存されているモデル（計算式）からプロファイルを作成する	Excel モデルを使ったプロファイル

表 2.2 に、使用できるプロファイルの種類を示します。

表 2.2 JMP プロファイルの場所

場所	プロファイル	等高線プロファイル	曲面プロファイル	配合プロファイル	カスタムプロファイル
［グラフ］メニュー（専用プラットフォーム）	○	○	○	○	○
モデルのあてはめ: 最小 2 乗	○	○	○	○	
モデルのあてはめ: ロジスティック	○				

表 2.2 JMP プロファイルの場所（続き）

場所	プロファイル	等高線プロファイル	曲面プロファイル	配合プロファイル	カスタムプロファイル
モデルのあてはめ: 対数分散	○	○	○		
モデルのあてはめ: 一般化線形	○	○	○		
非線形回帰: 因子と応答	○	○	○		
非線形回帰: パラメータと SSE	○	○	○		
一般化回帰	○				
混合モデル	○	○	○	○	
ニューラルネット	○	○	○		
Gauss 過程	○	○	○		
カスタム計画予測分散	○		○		
寿命の一変量	○				
寿命の二変量	○		○		
選択モデル	○				

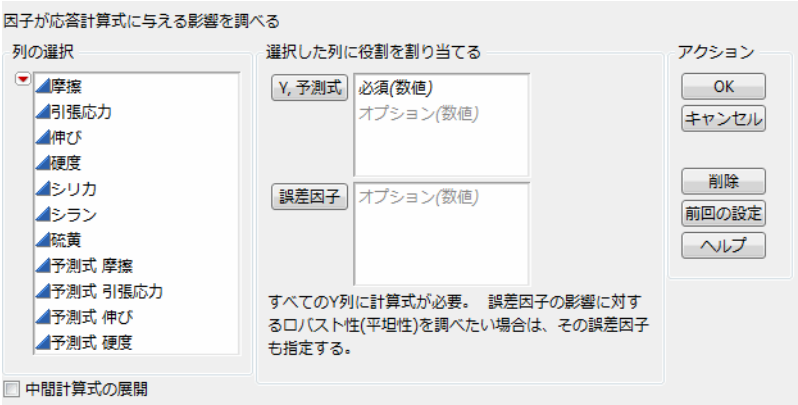
注：本書に出てくる次の用語は、それぞれ同義です。

- 因子、入力変数、X 列、独立変数、設定
- 応答、出力変数、Y 列、従属変数、結果

前述の表中に太字で記載した「**プロファイル**」は、5 種類あるプロファイルのうちの特定の 1 つを指します。特に、他の 4 つのプロファイルと区別する必要がある場合は、この「**プロファイル**」を「**予測プロファイル**」と呼びます。

別のプラットフォームからではなく、メインメニューからプロファイルを起動する場合は、計算式が含まれている列を［**Y, 予測式**］に指定します。ここで指定する計算式の列は、予め、分析プラットフォームなどを利用して保存しておく必要があります。

図 2.2「プロファイル」起動ウィンドウ



計算式の中で参照されている列が、プロファイルの X 列になります（ただし、その列が Y に指定されている場合は、その列は X 列として使われません）。

Y, 予測式　計算式を含む応答列。

誤差因子　微分した式をプロファイルする場合に使用します。詳細は、「誤差因子」（127 ページ）の章を参照してください。

中間計算式の展開　Y 列の計算式に使われている列が、さらに計算式を含んでいる場合に、その内側の計算式が展開され、そこで参照されている列がプロファイルの X 列になります。計算式が展開されないようにするには、列プロパティで「**その他**」を選択し、「計算式の展開」（英語は、「Exapnd Formula」）という名前の列プロパティを作成し、その値を 0 とします。

「**曲面プロット**」プラットフォームについては、別の章に説明があります。「**曲面プロファイル**」と「**曲面プロット**」プラットフォームは似ていますが、「**曲面プロット**」の方がより多くの機能を備えています。「**曲面プロット**」と「**曲面プロファイル**」には、他のプロファイルに共通する一部の機能が備わっていません。

あてはめのグループ

「モデルのあてはめ」プラットフォームで、複数の Y 変数に対して REML またはステップワイズ法の手法を指定した場合、「**あてはめのグループ**」レポートに複数の結果がまとめられて表示されます。このレポートでは、複数の Y 変数を 1 つのプロファイルにまとめて表示できます。「あてはめのグループ」の赤い三角ボタンのメニューに、複数の Y 変数をまとめたプロファイルを作成するためのコマンドがあります。なお、個別にプロファイルを作成したい場合は、それぞれの「モデルのあてはめ」レポートからプロファイルのコマンドを選択してください。

ステップワイズ法で By 変数を指定した場合も、「あてはめのグループ」レポートが作成されます。このレポートでも、複数のモデルが 1 つのプロファイルにまとめられます。

また、スクリプト言語の Fit Group コマンドを使えば、さまざまなプラットフォームであてはめた複数のモデルを、1 つのプロファイルにまとめることができます。詳細は、『スクリプトガイド』を参照してください。

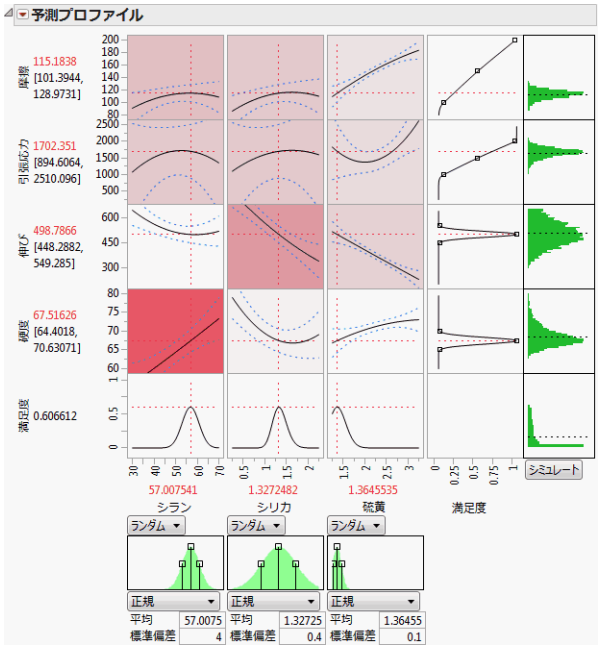
第 3 章

プロファイル
応答曲面の断面を因子ごとに調べる

予測プロファイル（略してプロファイル）では、モデルの様々な情報を確認できます。予測プロファイルでは、次のことを行えます。

- 各因子の設定を変更したときに、予測モデルがどのように変化するかを確認する。
- 1つまたは複数の応答について目標を設定し、その目標を達成するための因子設定を探る。
- 因子の変化に対するモデルの感度を知る。
- 因子の重要度を評価する。この機能は、線形モデルのみならず、非線形モデルなどの複雑なモデルでも使えます。
- 因子や応答を乱数でシミュレートし、シミュレーションの結果を検討する。

図 3.1 4つの応答を指定したプロファイル（シミュレータと重要度の色付けを適用）



目次

プロファイルの概要 27

プロファイルの解釈 28

「プロファイル」プラットフォームのオプション 31

「予測プロファイル」のオプション 32

満足度プロファイルと最適化 37

- 満足度関数について 37
- 満足度関数の使用 38
- 満足度プロファイル 39

変数重要度の評価 41

プロファイルに関するトピック 48

- 誤差伝播の法則による区間 48
- カスタマイズした満足度関数 49
- 配合計画 50
- 中間計算式の展開 51
- 線形制約 51

統計的詳細 53

- 変数重要度の評価 53

プロファイルの概要

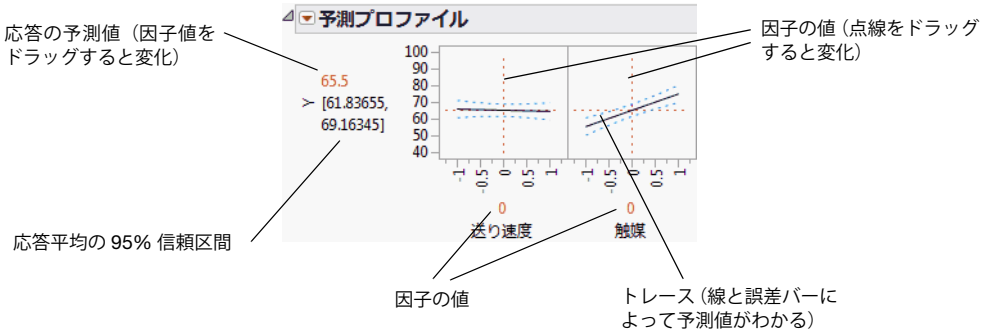
「**プロファイル**」は、各 X 変数の断面図を描画します（図 3.2）。この「**断面図**」は、他の X 変数の値は固定したまま 1 つの X 変数だけを変化させた時の、応答変数の予測値の変化をトレースしたグラフになっています。JMP の**プロファイル**では、X 変数の値を変更すると、応答の予測値が（自動的にリアルタイムで）再計算されます。

- 各 X 変数に対して表示される縦の点線は、**現在の値**または**現在の設定**を示します。名義尺度の変数の場合、X 軸はカテゴリを示します。詳細については、「プロファイルの解釈」（28 ページ）の節を参照してください。

  各 X 変数の現在の値が、因子名の上に表示されます。この値を変更するには、グラフの中をクリックするか、または点線を任意の値までドラッグします。
- 横の点線は、X 変数の現在値に対する各 Y 変数の**予測値**を示します。
- プロット内の黒色の線を見ると、個々の X 変数の値を変更したときに予測値がどのように変化するかがわかります。あてはめプラットフォームでは、予測値の 95% 信頼区間が、連続変数の場合は点線の曲線、カテゴリカル変数の場合は誤差バーとして、予測トレースの周りに表示されます。

「**プロファイル**」は、一度に 1 つずつ X 変数の値を変化させることで、応答変数の予測値にどのような影響を X 変数が及ぼしているかを描画したグラフです。

図 3.2 トレースの図解



「**プロファイル**」は、次の場合には各列の信頼区間を計算します。ある 1 つの応答列について、予測式の列だけではなく、標準誤差の計算式の列も保存しており、それら 2 列を**プロファイル**に指定した場合、プロファイルがそれらの列ごとに 1 つずつ作成されるのではなく、標準誤差から信頼区間が算出され、予測式と信頼区間が描画されます。

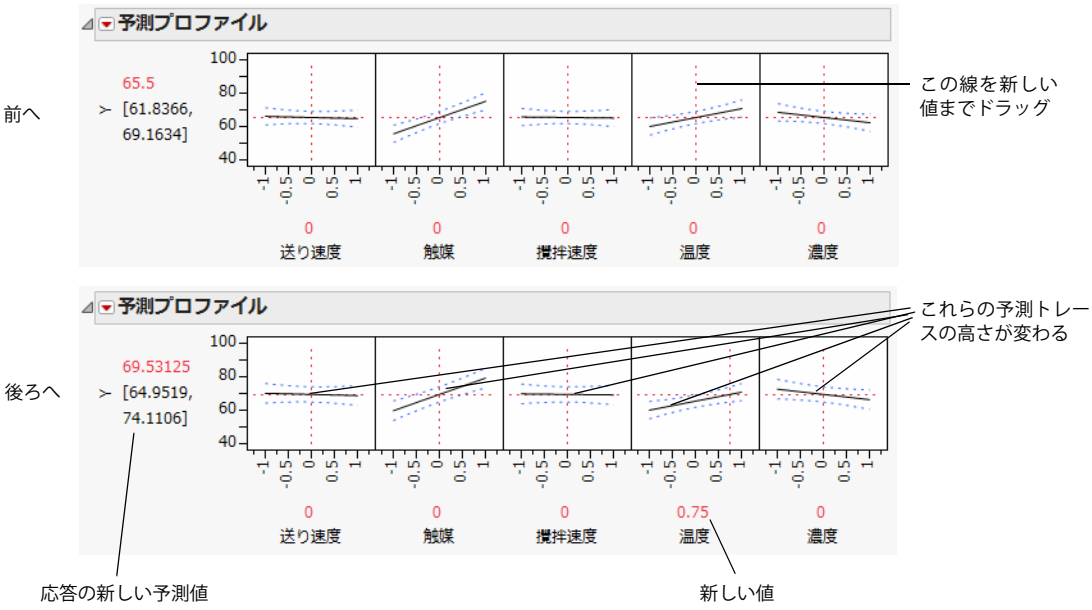
プロファイルの解釈

図3.3は、**プロファイル**の使い方を説明しています。予測プロファイルを解釈する際、次のような点に注意が必要です。

- 因子の重要度は、予測トレースの傾きによって、ある程度まで評価できます。モデルに曲面項（2 乗項など）がある場合は、トレースが曲線になる因子もあります。
- 因子の値を変更してもその因子の予測トレースは変化しませんが、他のすべての因子の予測トレースは変化します。応答変数（Y）の値を示す水平線は、Xの現在値を表す垂直線と予測トレースとの交点を必ず通ります。

注：モデルに交互作用または交差積がある場合は、他の項の値を変更すると、予測トレースの傾きと形が変わります。この変化は、交互作用効果の大きさを表します。交互作用効果がない場合は、トレースの高さが変わるだけで、傾きや形は変わりません。

図3.3 1つの因子を0から0.75に変更



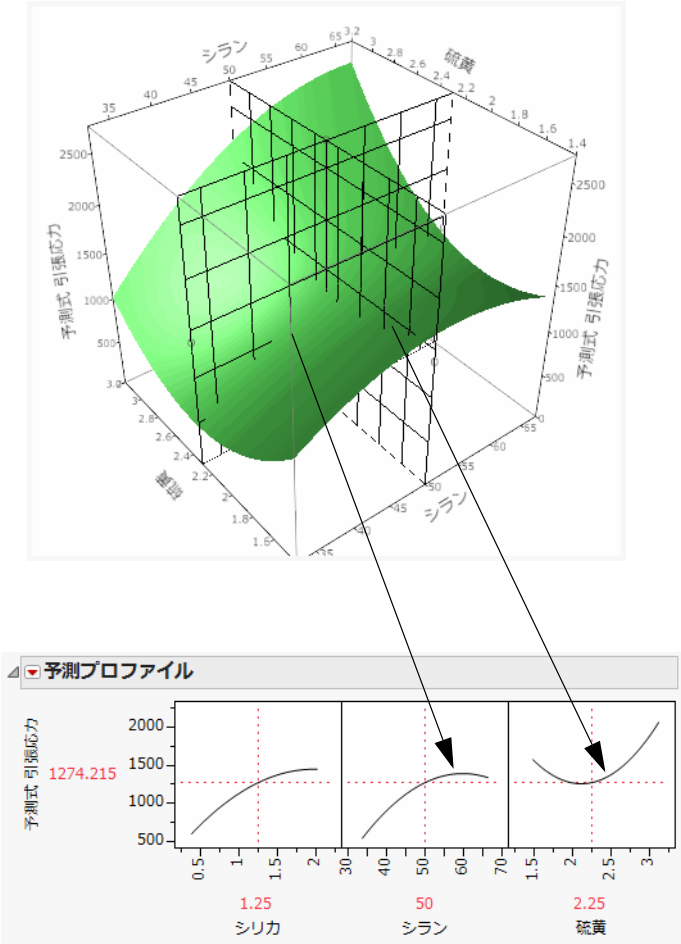
特に、応答変数が複数あり、複雑な基準を使って最適化したい場合は、予測プロファイルが役に立ちます。

グラフの中をクリックするか、現在値の線を左右へドラッグすると、因子の値が変わります。応答変数の値が変化する様子は、グラフ内の横の参照線を見るとわかります。軸をダブルクリックすると、軸の設定を変更するためのウィンドウが開きます。

プロファイルを断面としてとらえる

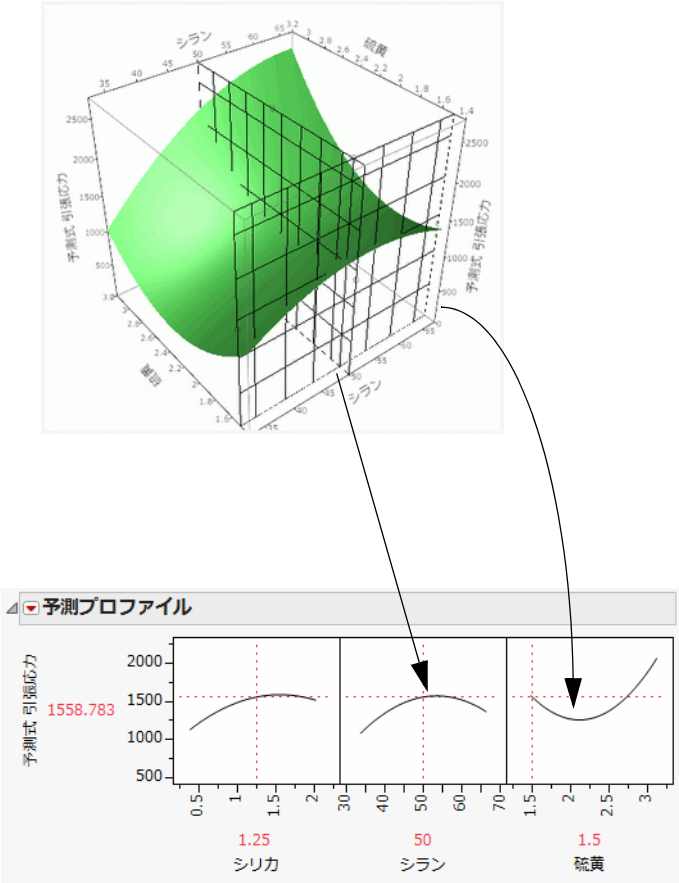
「Tiretread.jmp」データを例として、(「**シリカ**」の値を固定し、)「**引張応力**」を「**硫黄**」と「**シラン**」の関数として表した式の応答曲面を見てみましょう。グリッドは、「**硫黄**」の値2.25において「**シラン**」と平行に曲面を切断しています。グリッドと曲面の交差線に注目してください。この線を下へたどると、「**シラン**」のプロファイルと一致することがわかります。同じように、グリッドは、「**シラン**」の値50において「**硫黄**」と平行に曲面を切断しています。この交差線を下へたどると、「**硫黄**」のプロファイルと一致しています。

図3.4 断面としてのプロファイル



次に、「**硫黄**」の値を2.25から1.5に変えてみましょう。

図 3.5 断面としてのプロファイル

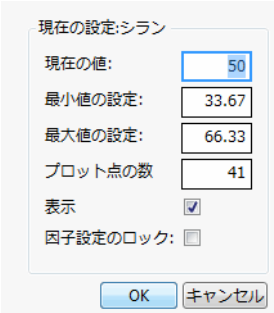


プロファイルを見ると、「**硫黄**」の新しい値は同じ曲線に沿って動いているだけで、「**硫黄**」の曲線自体には変化がありません。しかし、「**シラン**」のプロファイルは、新しい「**硫黄**」の値で作成されているので、変化しています。前よりも位置が全体的に高く、頂点がずれて現在の値（50）に近くなっています。

因子の値の設定とロック

Alt キー（Macintosh の場合は Option キー）を押しながらグラフ内をクリックすると、因子設定を入力するためのウィンドウが開きます。

図 3.6 連続尺度の因子の「因子設定」ウィンドウ



連続尺度の因子については、次の値を指定できます。

現在の値　プロファイルを計算する際の基準となる値。グラフ内では赤色の縦線で表示されます。

最小値の設定　因子の軸に表示される最小値。

最大値の設定　因子の軸に表示される最大値。

プロット点の数　因子の予測トレースをプロットするときに使用する点の数。

表示　因子をプロファイルに表示するかどうかを指定します。

因子設定のロック　因子の値を現在の設定で固定します。

「プロファイル」プラットフォームのオプション

「プロファイル」のタイトルバーにある赤い三角ボタンのメニューを開くと、次のようなオプションが表示されます。

プロファイル　プロファイルの表示／非表示が切り替わります。

等高線プロファイル　等高線プロファイルの表示／非表示が切り替わります。

カスタムプロファイル　カスタムプロファイルの表示／非表示が切り替わります。

曲面プロファイル　曲面プロファイルの表示／非表示が切り替わります。

配合プロファイル　配合プロファイルの表示／非表示が切り替わります。

Flash(.SWF)形式で保存　（機能的に制限された）プロファイルを Adobe Flash ファイルとして保存します。保存された Flash ファイルは、プレゼンテーションや Web アプリケーションで利用できます。HTML ページも保存し、プロファイルをブラウザで表示することもできます。［**Flash (SWF)形式で保存**］コマンド

は、カテゴリカル応答では使用できません。このオプションの詳細については、http://www.jmp.com/support/swfhelp/ja を参照してください。

JMP 上のプロファイルでは JMP 関数がすべて使えますが、Flash ファイルのプロファイルで使える関数は次のものに限られています。Add、Subtract、Multiply、Divide、Minus、Power、Root、Sqrt、Abs、Floor、Ceiling、Min、Max、Equal、Not Equal、Greater、Less、GreaterorEqual、LessorEqual、Or、And、Not、Exp、Log、Log10、Sine、Cosine、Tangent、SinH、CosH、TanH、ArcSine、ArcCosine、ArcTangent、ArcSineH、ArcCosH、ArcTanH、Squish、If、Match、Choose。

注：一部のプラットフォームで作成される列の計算式に対しては、［Flash (SWF) 形式で保存］オプションを使用できません。

計算式の表示　JSL ウィンドウが開き、プロファイルに使われている計算式がすべて表示されます。

OPTMODEL の計算式　SAS プロシジャの OPTMODEL 用コードを作成します。Ctrl キーと Shift キーを押して赤い三角ボタンをクリックすると、［**OPTMODEL の計算式**］を選択できます。

スクリプト　すべてのプラットフォームに共通なオプションが表示されます。『JMP の使用法』を参照してください。

「予測プロファイル」のオプション

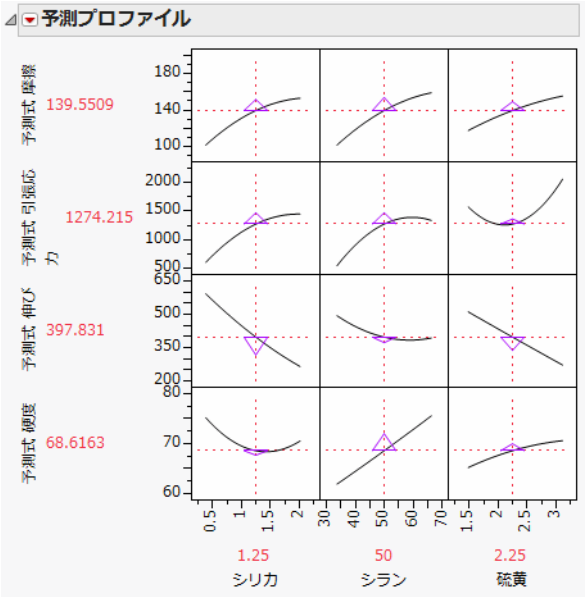
「予測プロファイル」のタイトルバーにある赤い三角ボタンのメニューを開くと、次のようなオプションが表示されます。

誤差伝播の法則による区間　特定の条件が満たされた場合に表示されるオプションです。「誤差伝播の法則による区間」（48 ページ）を参照してください。

信頼区間　信頼区間の表示／非表示が切り替わります。区間は、カテゴリカル因子の場合は棒、連続因子の場合は曲線で示されます。特定のあてはめプラットフォームでプロファイルを作成した場合のみ使用可能です。

感度インジケータ　感度インジケータは、紫色の三角形のことです。その高さと向きにより、現在値におけるプロファイル関数の偏微分値を表します（図 3.7 を参照）。大規模なプロファイルを作成した場合でも、感度の高いセルをすばやく見つけることができます。

図 3.7 感度インジケータ



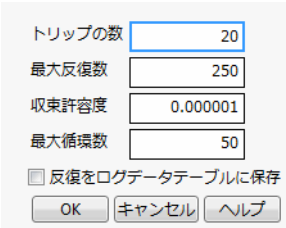
満足度関数　満足度関数の表示／非表示が切り替わります。満足度については、「満足度プロファイルと最適化」（37 ページ）に説明があります。

満足度の最大化　満足度関数が最大になるように因子の値が設定されます。応答の重要度が考慮されます。

最大化して記録　満足度関数を最大にして、そのときの設定を記録します。

最大化オプション　ウィンドウが開き、最大化の設定を調整できます。

図 3.8「最大化オプション」ウィンドウ

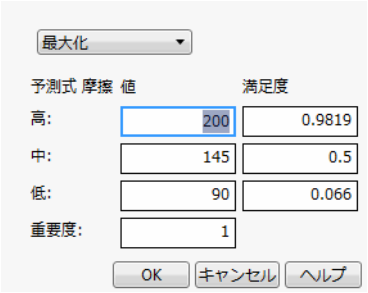


各グリッド点で最大化　少なくとも 1 つの因子がロックされているときに使用できるオプションです。ロックされている因子で等間隔にグリッド点が配置され、そのグリッド点ごとに満足度が最大化されます。カテゴリカル因子に対してこの機能を使うと、因子の水準の組み合わせごとに最適条件を求めることができます。

満足度の保存　満足度関数の設定（3つの設定値と、それに対する満足度）が、データテーブルの各応答列に「応答変数の限界」列プロパティとして保存されます。これらの値は、満足度プロットにおけるハンドルの座標です。

満足度の設定　ウィンドウが開き、満足度の値を指定できます。

図 3.9「応答グリッド」ウィンドウ



満足度計算式の保存　データテーブル内に満足度の計算式を保存した列が作成されます。満足度の計算式は、あてはめた計算式が使用できる場合はその計算式を使用し、あてはめた計算式が使用できないケースでは応答変数を使用します。

因子グリッドのリセット　各値に対し、因子の現在の設定値を入力するためのウィンドウが開きます。詳細については、「因子の値の設定とロック」（30ページ）を参照してください。

因子設定　このサブメニューには、次のオプションが表示されます。

［**設定を記録**］は、現在の設定値を記録します。現在の値が記録された表が、レポートに追加されます。記録した設定の横には、その設定値を選択するためのラジオボタンが表示されます。

［**行のデータを設定**］は、データテーブルの1行に保持されている値を、プロファイルの現在値として設定します。

［**設定スクリプトのコピー**］と［**設定スクリプトの貼り付け**］を使うと、プロファイルにおける現在の値を、別のレポートにあるプロファイルに移すことができます。

［**設定をテーブルに追加**］は、プロファイルにおける現在の値を、データテーブルの最後に追加します。この機能は、現在の値に基づいて追加実験を行いたい場合に便利です。

［**すべてのプロファイルを連動**］でプロファイルを連動させると、あるプロファイルで因子の値を変更した場合に、曲面プロットも含め、すべてのプロファイルに変更が反映されます。これはすべてのプロファイルを対象としたグローバルなオプションなので、設定／解除がすべてのプロファイルに適用されます。

［**スクリプトの設定**］では、因子が変化したときに呼び出されるスクリプトを設定します。スクリプトは、次のような形式の引数リストを受け取ります。

```
{factor1 = n1, factor2 = n2, ...}
```

たとえば、リストをログに書き込むには、次のような関数を定義します。

```
ProfileCallbackLog = Function({arg},show(arg));
```

そして、「**スクリプトの設定**」ダイアログボックスに ProfileCallbackLog と入力します。

因子値をグローバル値に変換するには、次の関数を使います。

```
ProfileCallbackAssign = Function({arg},evalList(arg));
```

1 因子ごとに値にアクセスするには、次のような指定を行います。

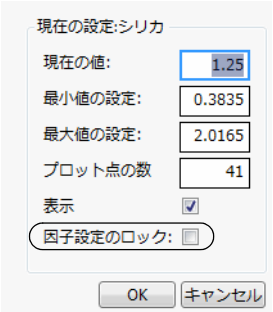
```
ProfileCallbackAccess = Function({arg},f1=arg["factor1"];f2=arg["factor2"]);
```

［**スレッドを使用しない**］を選択すると、マルチスレッド化せずに、プロファイルが実行されます。何らかの理由で、マルチスレッドがうまく機能しないときに使ってください。

グリッドテーブルの出力　因子の各グリッドにおける応答変数と満足度関数の値が、新しいデータテーブルとして作成されます。

因子の数が多いと、［**グリッドテーブルの出力**］コマンドで作成されるデータテーブルは、サイズが大きくなります。サイズが大きくなり、メモリに入りきらないだろう場合には、メッセージが出力されます。そのような場合は、一部の因子をロックして、定数の値しかとらないようにしてください。列をロックするには、予測プロファイルのグラフ内を Alt キーまたは Option キーを押しながらクリックしてウィンドウを開き、［**因子設定のロック**］チェックボックスをオンにします。

図 3.10「因子設定」ウィンドウ



乱数テーブルの出力　シミュレーション回数を入力すると、それと同数の行のデータテーブルが乱数によって作成されます。作成されたデータテーブルには、一様分布の乱数をもつ因子と、それに対する予測値が含まれています。「シミュレータ」を開いてすべての因子に一様分布を設定しても同じ結果が得られますが、このコマンドを使った方が、操作は簡単です。このコマンドは、［**グリッドテーブルの出力**］と似ていますが、因子の値がグリッドではなく乱数で生成されます。

一様分布の乱数に従った因子のデータテーブルを作成する第一の目的は、グラフを使って多変量の因子空間を調べることです。これは**モンテカルロフィルタ**という手法です。

応答の値が特定の範囲に収まるような因子設定を調べたいとしましょう。条件に当てはまらない点を（グラフ上でブラシツールを使うか、データフィルタで）選択し、非表示にすれば、望ましい結果が出る因子空間だけが残ります。

一部の行が、赤い点の付いた選択状態で表示される場合があります。これらは、多変量の満足度関数におけるパレート最適点です。ある因子の満足度を犠牲にしなければ他の因子の満足度を高めることができないという、満足度の均衡状態を表します。

線形制約の変更　線形制約を追加、変更、または削除できます。制約は、**「予測プロファイル」**の処理に組み込まれます。「線形制約」（51 ページ）を参照してください。

線形制約の保存　既存の線形制約を**「制約」**という名前のテーブルスクリプトに保存できます。「線形制約」（51 ページ）を参照してください。

デフォルト水準数　各連続変数のデフォルトの水準数を設定できます。このオプションは、プロファイルが特に大きい場合に便利です。JMP では、トレースを初めて計算する前に、計算にかかる時間が判定されます。計算時間が 3 秒を超える場合は、警告として、デフォルト水準数を減らすと計算が速くなることが通知されます。

条件付き予測　モデルに変量効果が含まれている場合に表示されます。変量効果の予測値が、予測値とプロファイルの計算にも使用されます。

シミュレータ　シミュレータが開きます。シミュレータは、モデルの因子と予測にランダムな誤差を追加してモンテカルロシミュレーションを実行します。一般には、因子を最適な設定で固定し、制御できない因子とモデル誤差に乱数を生成して、応答が仕様限界外になる割合を調べるために使用します。詳細については、「シミュレータ」（97 ページ）の章を参照してください。

交互作用プロファイル　プロファイルの現在値に対応して変化する交互作用プロットが作成されます。因子の現在値を変化させたときに 2 次交互作用がどのように変化するかを見れば、3 次交互作用も視覚的に捉えることができます。ある因子の現在値を変更すると、その因子を含まない交互作用のグラフが変化します。

複数行に配置　横に並べて表示するプロットの数を入力します。プロットを横長に並べるよりも縦長に並べて表示したい場合に便利です。

X 変数の並べ替え　このオプションを選択すると、ウィンドウが開き、因子の順序をドラッグして並べ替えることができます。

Y 変数の並べ替え　このオプションを選択すると、ウィンドウが開き、応答の順序をドラッグして並べ替えることができます。

変数重要度の評価　このコマンドを選択すると、因子の重要度が計算されます。重要度には、3 つの指標があります。この重要度は、連続尺度の応答に対してしか使用できませんが、モデルの種類やあてはめの手法には関係なく使用できます。詳細については、「変数重要度の評価」（41 ページ）を参照してください。

満足度プロファイルと最適化

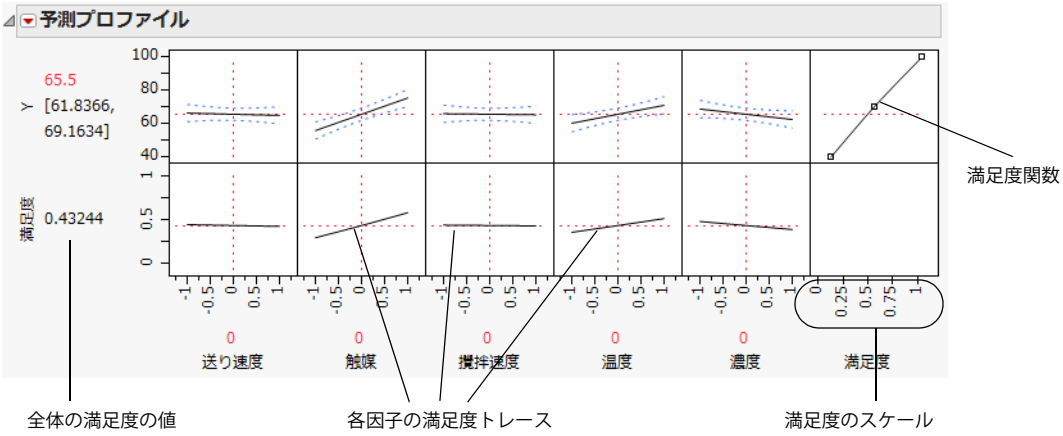
最適化したい応答変数が複数ある場合はよくあります。その場合、複数の応答変数すべてを考慮して、望ましい状態を決めなければいけません。たとえば、ある応答変数を最大化し、別の応答変数を最小化し、もう1つの応答変数を特定の目標値に近づけたいとします。そのような場合には、各応答変数に対して満足度関数を指定します。全体の満足度（望ましさ）は、各応答変数の満足度の幾何平均として定義できます。

満足度関数を使うには、「**予測プロファイル**」のタイトルバーにある赤い三角ボタンをクリックし、メニューから［**満足度関数**］を選択します。

注：応答列に「応答変数の限界」プロパティが設定されている場合、満足度関数はデフォルトで表示されます。

このコマンドによって、プロット行列の一番下に新しい行が追加され、満足度をグラフ化したものが表示されます。図3.11にあるとおり、この行は各因子の**満足度トレース**を示すプロットから成ります。さらに、各Y変数の満足度関数を調整するための列も追加されます。全体の満足度の値は、満足度トレースの行の左側に0～1の範囲で表示されます。

図3.11 満足度関数プロファイル



満足度関数について

満足度関数は、制御点にあてはめて作った滑らかな区分関数です。

- 最小化と最大化の関数は3つの区分から成り、裾の部分は指数関数、中央部は3次関数です。
- 目標に合わせる場合の関数は、関数の両側が別々の正規分布密度関数で構成されています。この関数も、3つの制御点を通る滑らかな区分関数になっています。

このように構成された満足度関数は、最大化、目標に合わせる、最小化といった設定を切り替えるのに適しています。JMPでは、真ん中の値が最小となる満足度関数も設定できます。

JMP では、Derringer and Suich の関数型は使用していません。これらの式は、滑らかでなく、JMP の最適化アルゴリズムでうまく機能しないことがあるためです。

なお、ちょうど 0 または 1 に制御点を設定することはできません。

満足度関数の使用

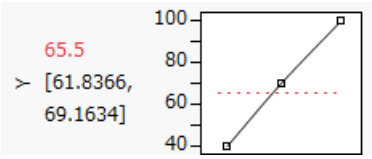
満足度関数の形状を変更するには、関数ハンドルをドラッグし、応答変数の特定の値のところまで動かします。

ハンドルをドラッグして満足度関数を変更すると、その満足度関数に対応した満足度トレースが最後の行に表示されます。満足度トレースにおける横の点線は、現在の因子設定における全体の満足度を表します。全体の満足度の数値は、満足度トレースの行の左側に表示されます。ハンドルをドラッグする代わりに、［**満足度の設定**］を選択してハンドル点の値を入力することもできます。

図 3.12 は、満足度の設定手順を示しています。

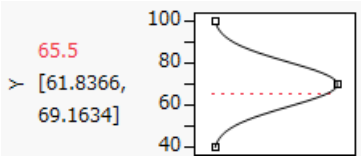
最大化　満足度関数のデフォルトは最大化（望大特性。「大きければ大きいほど良い」）です。上の関数ハンドルは、**Y** が最大、満足度が最高（ほとんど 1）の位置にあります。一方、下の関数ハンドルは、**Y** が最小、満足度が最低（ほとんど 0）の位置にあります。

図 3.12 満足度の最大化



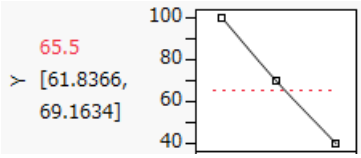
目標値に合わせる　「最適値」となる目標値を指定します（望目特性）。次図の例では、**Y** が 70、満足度が最高（1）の位置に中間の関数ハンドルが置かれています。上と下の関数ハンドルは、それぞれ **Y** が 40 と 90 程度において、満足度が 0 に近くなっています。この設定は、**Y** が 40 や 90 に近づくほど、望ましくない状態になることを示しています。

図 3.13 満足度の目標値の設定



最小化　最小化（望小特性。「小さければ小さいほど良い」）の満足度関数では、応答変数の高い値が低い満足度に、低い値が高い満足度に割り当てられます。最小化の曲線は、最大化の曲線を線対称に反転した形になります。

図 3.14 満足度の最小化



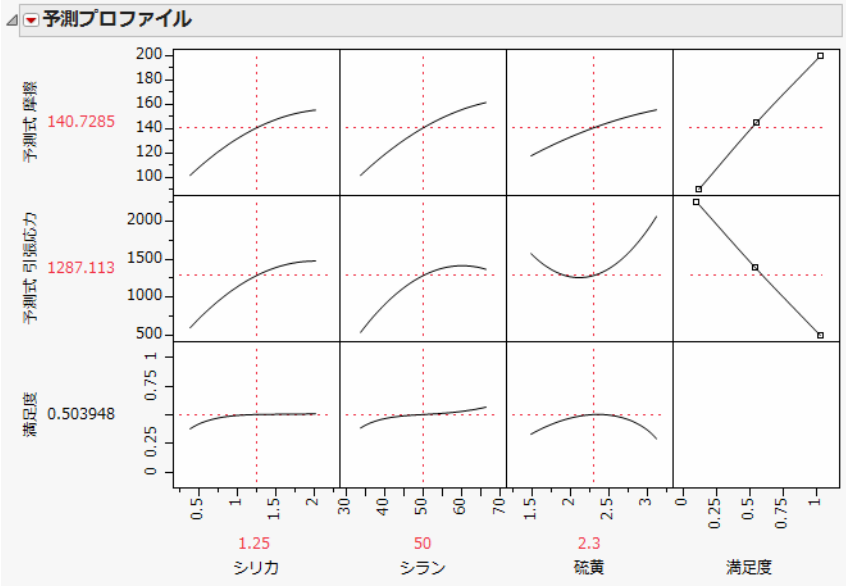
注：最大化または最小化の満足度関数の上下いずれかの点を中間点の Y 値の向こう側にドラッグすると、点が逆の方向に並び、最小化は最大化に、最大化は最小化に変わります。

満足度プロファイル

プロットの最後の行に、全体の満足度のトレースが表示されます。垂直軸の「**満足度**」の隣に表示される数値は、各応答に対する満足度の幾何平均です。この行のプロットは、全体に対する満足度を、因子を 1 つずつ変更したときのトレースとして表しています。

たとえば、図 3.15 は、2 つの応答変数に対する満足度を示しています。この例では、「**摩擦**」を最大化し、「**引張応力**」を最小化するのが目的です。満足度のトレースを見ると、「シリカ」、「シラン」、「硫黄」を高くすると満足度が上がることがわかります。

図 3.15 満足度と因子の値を調整した予測プロファイルプロット



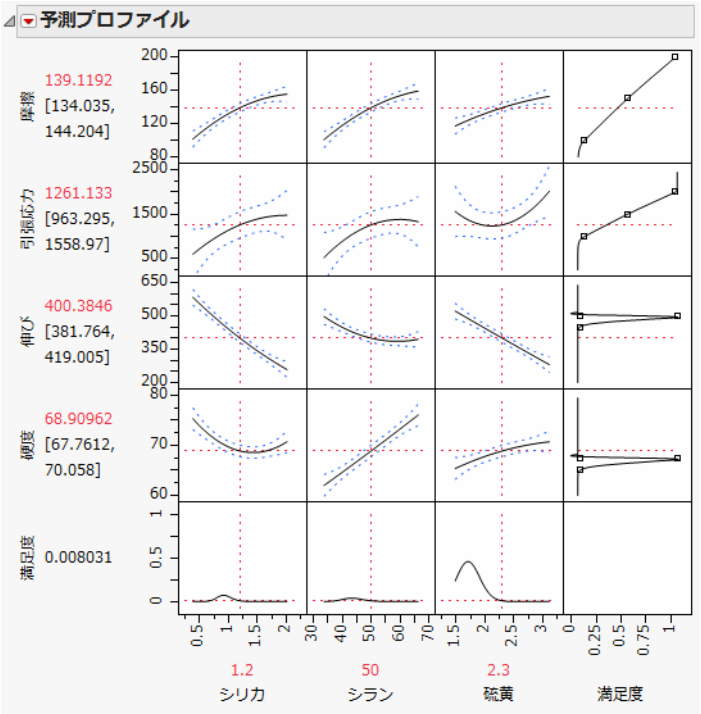
複数応答変数の満足度関数の例

満足度関数は、複数の応答変数がある場合に特に役立ちます。満足度関数のアイデアはDerringer and Suich（1980）によって考案されたもので、次のような例を挙げて説明されています。応答変数は、**「摩擦」**、**「引張応力」**、**「伸び」**、**「硬度」**の4つです。因子は、中心複合計画で使用された**「シリカ」**、**「シラン」**、**「硫黄」**の3つです。

このデータは、サンプルデータのフォルダにある「Tiretread.jmp」テーブルに入っています。データテーブル内の**「4応答の応答曲面モデル」**スクリプトを使うと、4つの応答変数に対し、2次応答曲面モデルが定義されます。すべての応答変数の要約と効果の情報に続いて、予測プロファイルが表示されます（図3.16）。満足度関数には、次のような特徴が見られます。

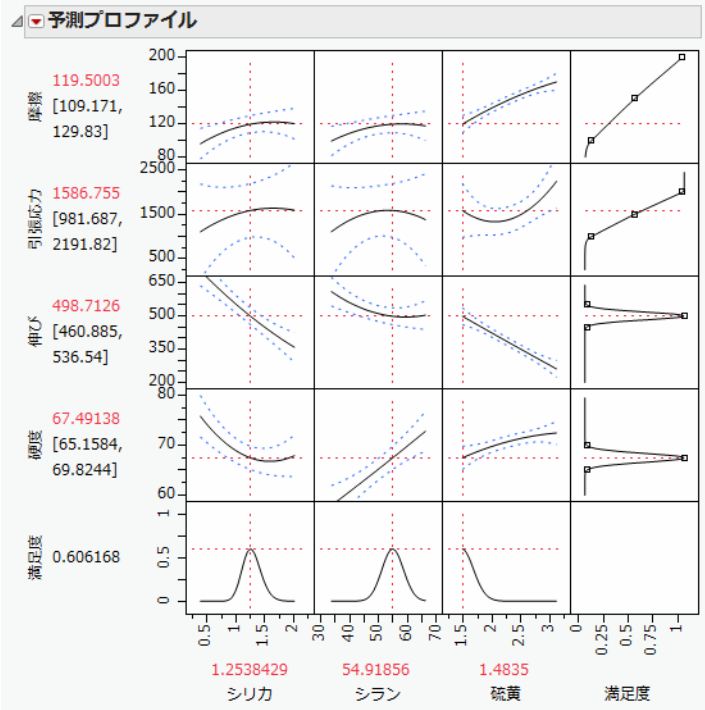
1. **「摩擦」**と**「引張応力」**は値が大きいほど満足度が高い。
2. **「伸び」**は500（目標値）である場合に満足度が最も高い。
3. **「硬度」**は67.5（目標値）である場合に満足度が最も高い。

図3.16 複数応答変数の**プロファイル**（最適化する前）



満足度を最大にするため、**「予測プロファイル」**の赤い三角ボタンのメニューから［**満足度の最大化**］を選択します。結果は図3.17のようになります。一番下に表示されている満足度トレースを見ると、効果の値を現在の値以外の場所にずらせば、満足度が下がることがわかります。つまり、これ以上調整を加えると、全体の満足度が低下してしまうのです。

図 3.17 最適化後のプロファイル



変数重要度の評価

プロファイルでは、応答が連続尺度の場合、変数重要度を計算することができます。モデルの種類やあてはめの手法とは関係なく、応答が連続尺度であれば、このコマンドは使えます。因子重要度の計算において、あてはめたモデルは、応答の予測値を計算するためだけに使われます。各因子をそれぞれの範囲内で変化させることにより、予測値の変動が算出されます。因子が変化したときに応答が大きく変動する場合、「モデルにおいてその因子は重要である」と判断できます。

［変数重要度の評価］は、［グラフ］メニューから「プロファイル」を選択した場合にも使用できます。

統計量の詳細については、「変数重要度の評価」（53ページ）をご覧ください。また、Saltelli（2002）を参照してください。

「変数重要度」レポート

赤い三角ボタンのメニューの「変数重要度の評価」サブメニューには3つのオプションがあり、それぞれ重要度の計算方法が異なります。

独立な一様分布の入力　因子ごとに、データの最小値と最大値で定義される一様分布の乱数を生成します。因子間に相関がなく、分析で求めた範囲全体に値が一様に分布すると想定できる場合は、このオプションを使用してください。

独立な標本再抽出の入力　モンテカルロ法を用いて、因子ごとにデータから標本を再抽出します。因子間には相関がないが、一様分布には従わないと想定できる場合は、このオプションを使用してください。

従属する標本再抽出の入力　因子間における相関を加味するため、最近傍法に基づいてデータを抽出します。データから計算された分散と共分散が、因子間に存在すると仮定されます。因子間に相関があると想定される場合は、このオプションを使用してください。このオプションは、標本サイズに強く左右されます。標本サイズが小さい場合は、結果の信頼性が低くなります。

これらのアルゴリズムの処理時間は、予測値を評価する計算時間に左右されます。一般的には［独立な一様分布の入力］が一番速く、［従属する標本再抽出の入力］が一番遅くなります。処理が終わらない場合は、［現在の重要度を適用］を選択して、途中で計算を打ち切ることもできます。

注：［独立な一様分布の入力］を選択する場合は、モンテカルロ法で求めた標本を使って重要度が計算されます。このため、1回目に計算した場合と次に計算した場合とで、重要度が若干異なることがあります。

「変数重要度」レポート

［変数重要度の評価］の各オプションを選択すると、「要約レポート」と「周辺モデルプロット」が表示されます。「変数重要度」レポートが開くと、「全効果」の重要度の値に従って、「プロファイル」の因子の並び順が変化します。複数の応答変数が指定されている場合は、「全体」レポートの「全効果」の値に従って因子が並べ替えられます。複数の「変数重要度」レポートを実行した場合、「プロファイル」の因子の並び順は、最後に実行したレポートの「全効果」の値を基準とします。

要約レポート

応答変数ごとに1つずつ、次の要素を示す表が作成されます。

列　対象となる因子。

主効果　該当する因子単独での重要度。他の因子との組み合わせではなく、因子単体の相対的な寄与度。

全効果　関係する他の因子と組み合わせた、全効果の重要度。該当する因子単体の効果と、組み合わせの効果をすべて加味した場合の相対的な寄与度。「全効果」の値は、棒グラフでも示されます。

主効果 標準誤差　主効果の重要度のモンテカルロ法による標準誤差。この列は非表示になっています。表示するには、レポートを右クリックして［**列**］>［**主効果 標準誤差**］を選択します。デフォルトでは、この誤差が0.01未満になるまで標本抽出が継続されます。計算の詳細については、「変数重要度の標準誤差」（54ページ）を参照してください（［従属する標本再抽出の入力］オプションでは、この列は表示されません）。

全効果 標準誤差　全効果の重要度のモンテカルロ法による標準誤差。この列は非表示になっています。表示するには、レポートを右クリックして［**列**］>［**全効果 標準誤差**］を選択します。デフォルトでは、この誤差が0.01未満になるまで標本抽出が継続されます。計算の詳細については、「変数重要度の標準誤差」（54ページ）を参照してください（［従属する標本再抽出の入力］オプションでは、この列は表示されません）。

重み 「全効果」の値を示すプロット。一番右端の列のさらに右側に表示されます。このプロットの表示／非表示を切り替えるには、レポートを右クリックして［**列**］**>**［**重み**］を選択します。

関数評価が欠測値となった割合 モンテカルロ法による標本において、生成された入力値に対して予測値が計算できず、欠測値になってしまった割合。割合がゼロ以外の場合は、表の下部に注記としてこのメッセージが表示されます。

注：応答変数を複数指定した場合、「要約レポート」には「全体」表がまず表示され、各応答の表がその後に続きます。「全体」レポートに表示される重要度は、全応答変数の重要度の平均値です。

周辺モデルプロット

「周辺モデルプロット」レポート（図3.22を参照）には、行列形式でプロットが表示されます。行が応答を、列が因子を表します。因子は、重要度が大きい順に並べられます。この並び替えに使われる重要度は、「全体」表の「全効果」に表示されています。

周辺モデルプロットには、1つの因子ごとに、因子の値に対する周辺平均がプロットされています。この周辺平均が、主効果の重要度を計算するときに使われています。周辺平均プロットは、応答の断面を示すプロファイルのプロットとは異なります。周辺モデルプロットは、因子の主効果を理解するのに役に立ちます。

選択したシミュレーション方法によって、「周辺モデルプロット」にプロットされる値は異なります。また、シミュレートされた入力値に基づくため、滑らかな曲線にならない場合もあります。

「変数重要度」のオプション

「変数重要度」レポートの赤い三角ボタンをクリックすると、次のオプションがメニューに表示されます。

因子を主効果の大きい順に並べ替え 「プロファイル」のセルを主効果の重要度（「主効果」の値）に基づいて並べ替えます。

因子を全効果の大きい順に並び替え 「プロファイル」のセルを因子の重要度（「全効果」の値）に基づいて並べ替えます。

プロファイルの色付け 「プロファイル」のセルを「全効果」の重要度別に色付けします。重要度を赤から白のグラデーションで表します。

注：「要約レポート」の行をクリックすると、データテーブルで該当する列が選択されるので、さらに分析を進めたい場合に便利です。

例

ニューラルネットワークの例

「Boston Housing.jmp」サンプルデータテーブルには、住宅価格の中央値に影響を及ぼしていると考えられる13の因子に関するデータが記録されています。ここでは、ニューラルネットワークを使用してモデルをあてはめてみます。ニューラルネットワークの場合、通常の回帰分析で行われているような仮説検定によっては、重要度を評価できません。そこで、ここでは［変数重要度の評価］オプションを使用してみます。

処理の一部で乱数を用いているため、実際の結果は、以下と違ったものになりますが、おおむね同じになるはずです。この例では、乱数を用いている処理が2個所あります。第1に、ニューラルネットワークをあてはめる際に、*k* 分割交差検証を用います。この時、学習データと検証データに無作為に元のデータが分割されます。第2に、因子重要度の計算で、無作為に抽出した標本を使います。

1. 「Boston Housing.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**モデル化**］>［**ニューラル**］を選択します。
3. 「列の選択」リストで**「持ち家の価格」**を選択し、［**Y, 目的変数**］をクリックします。
4. 「列の選択」リストで他のすべての列を選択し、［**X, 説明変数**］をクリックします。
5. ［**OK**］をクリックします。
6. 「ニューラル」の「モデルの設定」パネルで、**「検証法」**の下のリストから［**K 分割**］を選択します。

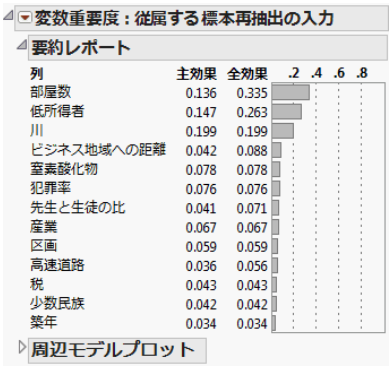
   ［**K 分割**］を選択すると、**「分割数」**が表示され、デフォルト値の5に設定されます。
7. ［**実行**］をクリックします。
8. 「モデル NTanH(3)」レポートの赤い三角ボタンをクリックし、［**プロファイル**］を選択します。

   レポートの末尾に「予測プロファイル」が表示されます。後で比較できるよう、因子の並び順を覚えておいてください。

   因子間に相関関係があるため、その点を考慮して、重要度計算時の標本抽出法として［従属する標本再抽出の入力］を選択します。
9. 「予測プロファイル」の横にある赤い三角ボタンのメニューから［**変数重要度の評価**］>［**従属する標本再抽出の入力**］を選択します。

   「変数重要度: 従属する標本再抽出の入力」レポートが表示されます（図3.18）。「予測プロファイル」のセルの並び順が、レポートの「全効果」の値の大きい順に変化している点を確認してください。図3.18の「全効果」の値から、**「部屋数」**と**「低所得者」**が応答の予測値に大きい影響力を持つ因子だと判断できます。

図 3.18「従属する標本再抽出の入力」レポート



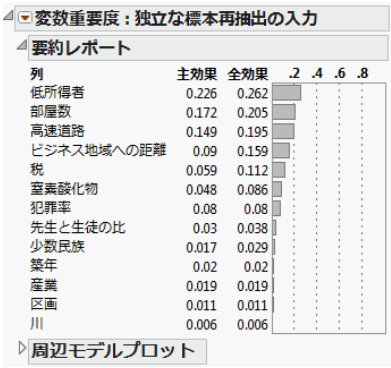
列	主効果	全効果
部屋数	0.136	0.335
低所得者	0.147	0.263
川	0.199	0.199
ビジネス地域への距離	0.042	0.088
窒素酸化物	0.078	0.078
犯罪率	0.076	0.076
先生と生徒の比	0.041	0.071
産業	0.067	0.067
区画	0.059	0.059
高速道路	0.036	0.056
税	0.043	0.043
少数民族	0.042	0.042
築年	0.034	0.034

因子間に相関があると仮定して求めた重要度と、因子が相互に独立であると仮定して求めた重要度を比較してみてもよいでしょう。

10.「予測プロファイル」の横にある赤い三角ボタンのメニューから［**変数重要度の評価**］>［**独立な標本再抽出の入力**］を選択します。

因子間の相関がなく、分布が一様分布でない場合には、この［独立な標本再抽出の入力］オプションを用いるのが良いでしょう。「変数重要度: 独立な標本再抽出の入力」レポートを図3.19に示します。ここでも、予測値に対する寄与率の高い因子として**「低所得者」**と**「部屋数」**の2因子を確認できます。ただし、両者の重要度の値の順序は、先ほどの［従属する標本再抽出の入力］の場合とは逆になっています。

図 3.19「独立な標本再抽出の入力」レポート



列	主効果	全効果
低所得者	0.226	0.262
部屋数	0.172	0.205
高速道路	0.149	0.195
ビジネス地域への距離	0.09	0.159
税	0.059	0.112
窒素酸化物	0.048	0.086
犯罪率	0.08	0.08
先生と生徒の比	0.03	0.038
少数民族	0.017	0.029
築年	0.02	0.02
産業	0.019	0.019
区画	0.011	0.011
川	0.006	0.006

応答変数が複数ある場合の重要度

「Tiretread.jmp」サンプルデータは、直交表を使った実験計画の結果です。直交表を用いているので、因子間の相関はありません。ここでは、因子の値は、計画で定義したものだけではなく、計画領域の範囲で自由に調整できるとします。このような場合は、重要度の計算に用いるシミュレーション法として［独立な一様分布の入力］を選択します。

1. 「Tiretread.jmp」データテーブルを開きます。

2. 「4 応答の応答曲面モデル」スクリプトを実行します。

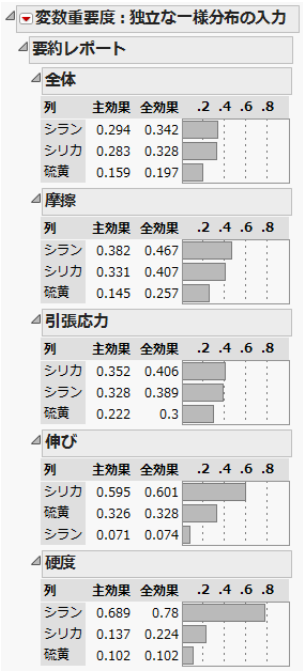
   レポートの末尾に「予測プロファイル」が表示されます。

3. 「予測プロファイル」の横にある赤い三角ボタンのメニューから［**変数重要度の評価**］>［**独立な一様分布の入力**］を選択します。

   図 3.20 のような「要約レポート」が作成されます。重要度は無作為抽出の標本に基づくため、実際の推定値は、下図に示されているものとは若干異なる場合があります。

   レポートには、4 つの応答ごとに 1 つずつ表が表示されます。「全体」表には、因子重要度の 4 応答間の平均が表示されます。「プロファイル」の因子（図 3.21）は、「全体」表の「全効果」に示される重要度の値に従って並べ替えられます。

図 3.20 4 応答の「要約レポート」



変数重要度：独立な一様分布の入力

要約レポート

全体

列	主効果	全効果
シラン	0.294	0.342
シリカ	0.283	0.328
硫黄	0.159	0.197

摩擦

列	主効果	全効果
シラン	0.382	0.467
シリカ	0.331	0.407
硫黄	0.145	0.257

引張応力

列	主効果	全効果
シリカ	0.352	0.406
シラン	0.328	0.389
硫黄	0.222	0.3

伸び

列	主効果	全効果
シリカ	0.595	0.601
硫黄	0.326	0.328
シラン	0.071	0.074

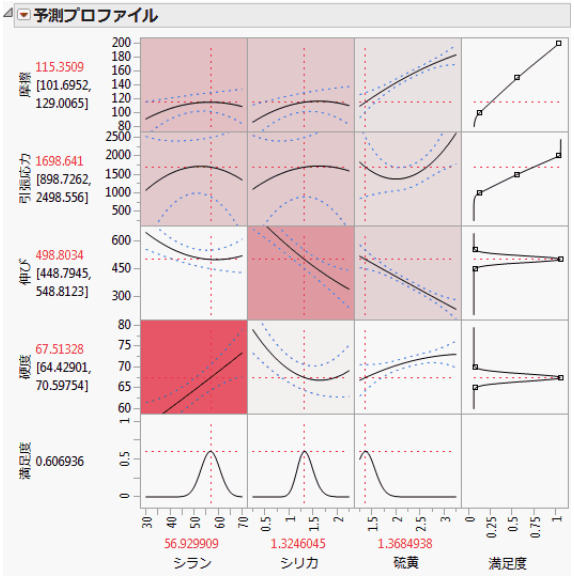
硬度

列	主効果	全効果
シラン	0.689	0.78
シリカ	0.137	0.224
硫黄	0.102	0.102

4. 「変数重要度： 独立な一様分布の入力」の横にある赤い三角ボタンのメニューから［**プロファイルの色付け**］を選択します。

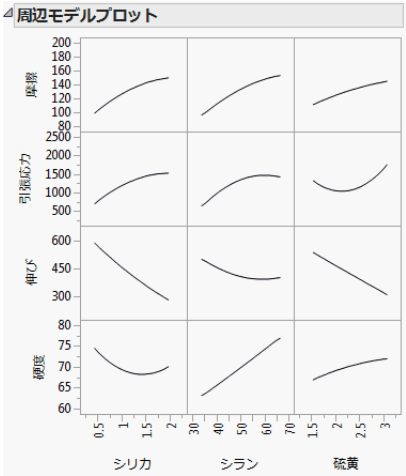
   プロファイルの各パネルが色分けされ、「全効果」の重要度が赤から白のグラデーションで示されます。たとえば、重要度が一番高い因子は、「**硬度**」に対する「**シラン**」であると簡単に見分けることができます。

図 3.21 4 応答のプロファイル



「周辺モデルプロット」（図 3.22）は、因子ごとに、それ以外の 2 つの因子が一様分布に従うとした場合の、応答の周辺平均がプロットされています。

図 3.22 4 応答の「周辺モデルプロット」



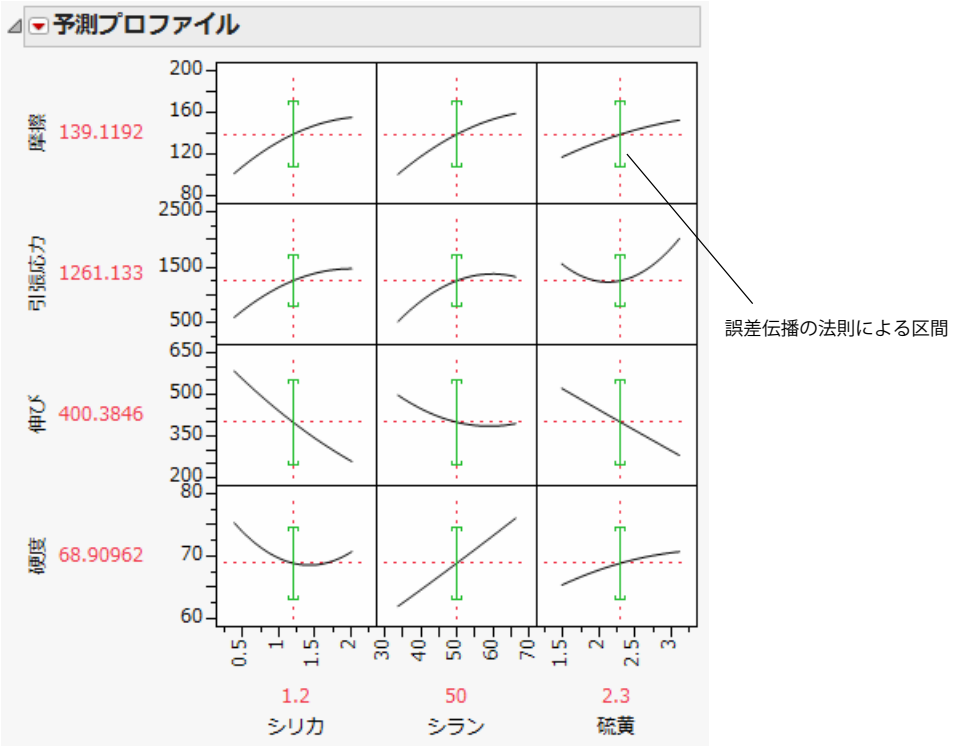
プロファイルに関するトピック

誤差伝播の法則による区間

誤差の伝播（POE: Propagation Of Error）は、因子をあまり正確に制御できないような状況において、因子におけるばらつき（変動）によって、応答の値もばらついてしまう状態を指します。

JMP の**プロファイル**は、まず因子と応答変数に「**Sigma**」の列プロパティがあるかどうかを調べます。「**Sigma**」列プロパティは、列の標準偏差を指定するためのプロパティで、［**列**］>［**列情報**］をクリックすると表示されます。「Sigma」の列プロパティが存在する場合、［**予測プロファイル**］ドロップダウンメニューの［**誤差伝播の法則による区間**］コマンドが選択可能になります。このコマンドを選択すると、因子のばらつきから推定される応答の 3σ 区間が表示されます。

図 3.23 予測プロファイルの誤差伝播の法則による区間



POE はグラフ内に緑色の線で表示されます。この線は、次の式で求められる POE 分散の平方根を 3 倍したものを予測値にプラスマイナスした範囲を示します。

$$\sum_{i=1}^{N}\left(\sigma_{x_i}^2 \times \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2\right) + \sigma_y^2$$

fは予測関数、x_iは第i因子、Nは因子の数です。

現在、これらの偏微分は、次のような数値微分によって計算されています。

δ=xrange/10000 を用いた中心差分

POE の区間は、応答曲面の傾きが大きい部分では広くなります。因子のばらつきに対してロバスト（頑健）にするには、応答曲面が平らになっている場所を探し出し、因子のばらつきが応答に与える影響を最小限に抑えなければいけません。

カスタマイズした満足度関数

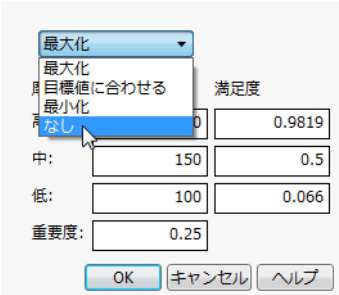
満足度関数は、カスタマイズすることができます。たとえば次の関数を最大化するとしましょう。

図 3.24 関数に基づく満足度の最大化

$$\frac{\text{予測式 摩耗}}{96} + \frac{\text{予測式 引張応力}}{700} + \frac{33}{(|\text{予測式 伸び} - 450| + 1)} + \frac{2}{(|\text{予測式 硬度} - 67| + 1)}$$

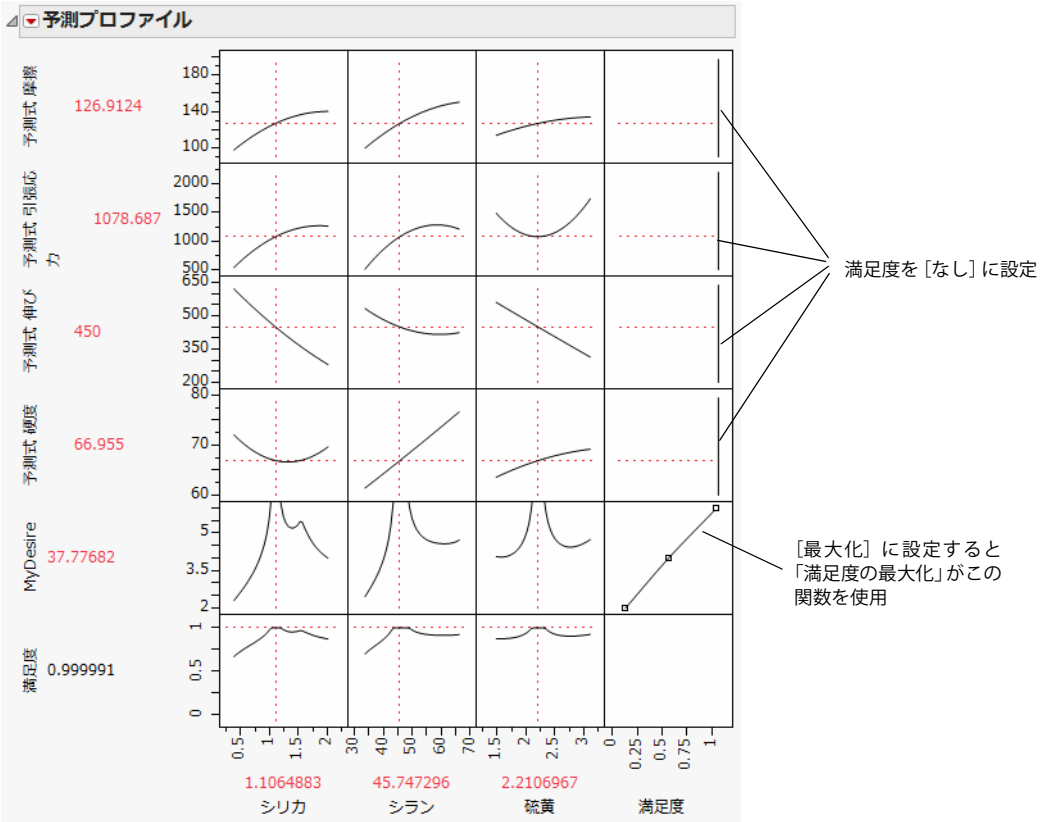
まず、「**MyDesire**」という列を作成して上の計算式を保存します。次に、［**グラフ**］>［**プロファイル**］をクリックして「**プロファイル**」を起動し、「**予測式**」の列すべてと「**MyDesire**」列を含めます。赤い三角ボタンのメニューから［**満足度関数**］を選択し、満足度関数をオンにします。「myDesire」以外の列の満足度関数は、オフにする必要があります。オフにするには、満足度関数のプロットをダブルクリックし、開いたウィンドウで［**なし**］を選択します（図3.25）。「**MyDesire**」の満足度だけを［最大化］に設定します。

図 3.25 応答目標を［なし］に設定



この時点で［**満足度の最大化**］を選択すると、先ほど定義した **MyDesire** 関数だけが使用されます。

図 3.26 カスタム満足度の最大化



配合計画

配合計画は、因子の範囲が制約されています。そのため、プロファイルでも、制約を超えた値を因子に対して設定できないようになっています。配合計画においては、プロファイルの曲線が突然方向を変えることがあるのはそのためです。

配合成分は、通常、0以上1以下を範囲とし、合計すると1になるという制約があります。これ以外の制約をもつ配合成分がある場合は、「**予測プロファイル**」の赤い三角ボタンのメニューに［**限界でのプロファイルの処理**］という新しいサブメニューが表示されます。このサブメニューには次の2つのオプションが含まれます。

限界で折り返し　設定値は、制約条件の境界に沿って続きます。

限界で停止　配合の比を厳密に保てる領域だけプロットします。

中間計算式の展開

「**プロファイル**」起動ウィンドウには［**中間計算式の展開**］というチェックボックスがあります。このオプションをオンにしておくと、プロファイルの作成に使う計算式にさらに他の列への参照を含んだ計算式が入っている場合、中間の計算式ではなく最終的な参照先を考慮してプロファイルが作成されます。

たとえば、2水準（AとB）のロジスティック回帰をあてはめる場合を考えてみましょう。計算式（**Prob[A]** と **Prob[B]**）は、**Lin[x]** 列の関数であり、さらに **Lin[x]** 自体は、別の列 **x** の関数です。そこで、［**中間計算式の展開**］を選択して **Prob[A]** のプロファイルを作成すると、**Lin[x]** ではなく **x** を参照先としてプロファイルが作成されます。

また、［**中間計算式の展開**］チェックボックスがオンになっているときは、プラットフォームの赤い三角ボタンのメニューにある［**展開した計算式を保存**］コマンドが使用可能になります。このコマンドを使用すると、中間の列ではなく最終の列の関数として作成されたプロファイルの計算式が新しい列に保存されます。

線形制約

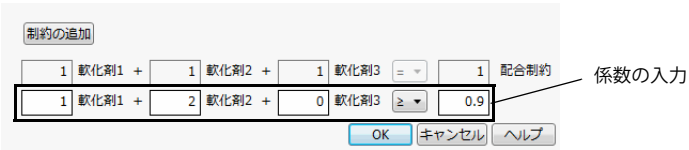
「**予測プロファイル**」、「**カスタムプロファイル**」、「**配合プロファイル**」では、線形制約を設定できます。線形制約を入力する2つの方法について、以下で説明します。

赤い三角ボタンのメニューのオプション

赤い三角ボタンのメニューを使って線形制約を入力する場合は、「**予測プロファイル**」または「**カスタムプロファイル**」のメニューから［**線形制約の変更**］を選択します。

ウィンドウが開いたら、［**制約の追加**］ボタンをクリックし、テキストボックスに係数を入力します。たとえば、$p1 + 2*p2 \geq 0.9$ という制約を入力するときは、図3.27のように係数を入力します。配合計画データからプロファイルを作成する場合は、図にあるように、配合計画に対する制約式が予め設定されています（このデフォルトの制約式は、変更することができません）。

図3.27 係数の入力



［**OK**］をクリックすると、**プロファイル**のトレースが更新され、制約を組み込んだ状態で以降の分析と最適化が行われます。

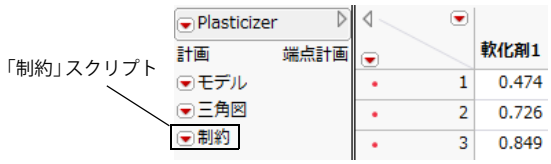
追加しようとした制約に実現可能な解がない場合は、ログにメッセージが記録され、制約は追加されません。制約を削除するには、係数にすべて0を入力します。

あるプロファイルに加えた制約は、保存しない限り、他のプロファイルに適用することができません。たとえば、「**予測プロファイル**」に加えた制約を「**カスタムプロファイル**」で使用することはできません。制約を他のプロファイルに適用するためには、制約を加える際に「**カスタムプロファイル**」の赤い三角ボタンのメニューを使うか、次の節で説明する［**線形制約の保存**］コマンドを使って制約を保存します。

「制約」のテーブルプロパティ／スクリプト

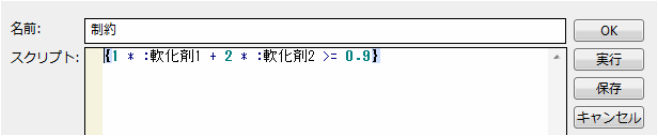
あるプロファイルに加えた制約を他のプロファイルにも適用したいときは、プラットフォームの赤い三角ボタンのメニューにある［**線形制約の保存**］コマンドを使います。たとえば、「**予測プロファイル**」に制約を加えた場合は、「**予測プロファイル**」の赤い三角ボタンのメニューにある［**線形制約の保存**］を選択します。［**線形制約の保存**］コマンドを使うと、「**制約**」という名前のテーブルスクリプトが作成されます。このテーブルプロパティの例を図3.28に示します。

図3.28「制約」テーブルスクリプト



「**制約**」テーブルプロパティは、制約式を含んでいるリストです。このリストは、編集が可能です。また、「制約」テーブルプロパティとして保存しておけば、他のプロファイルでも自動的に使用されますので、処理ごとに制約を入力し直す必要がなくなります。「**制約**」を表示または編集するには、赤い三角ボタンを右クリックし、［**編集**］を選択します。図3.27の制約の内容を図3.29に示します。

図3.29「制約」の例



「**制約**」テーブルスクリプトは手動で作成することもできます。それには、テーブル名の隣にある赤い三角ボタンをクリックしてメニューを開き、［**新規スクリプト**］を選択します。

注：「制約」テーブルスクリプトを手動で作成するときは、必ず「制約」という名前をつけてください。また、制約変数の名前が、大文字と小文字の区別も含め、必ず列名と一致していることを確認してください。たとえば、図3.29で、列名が「**p1**」、「**p2**」である場合には、「P1」、「P2」と入力することはできません。

「**制約**」テーブルスクリプトは、実験計画において線形制約を指定したときにも作成されます。

［**線形制約の変更**］と［**線形制約の保存**］の両コマンドは、「**配合プロファイル**」では使用できません。「**配合プロファイル**」の処理に線形制約を設定するには、この節で説明した方法に従って「**制約**」テーブルスクリプトを作成する必要があります。

統計的詳細

変数重要度の評価

この節では、変数重要度の計算方法について詳説します。

背景

予測モデルを表す関数をf、$x_1, x_2, ..., x_n$をモデルの因子（主効果）とし、$y = f(x_1, x_2 ..., x_n)$という関係が成り立っているとします。

- yの期待値$E(y)$は、$x_1, x_2, ..., x_n$の同時分布において、それらの変数でyを積分したものです。
- yの分散$Var(y)$は、$x_1, x_2, ..., x_n$が同時分布に従うとした場合の$(y - E(y))^2$の積分で定義されます。

主効果

x_jのyに対する主効果を、$Var(E(y \mid x_j))$と定義します。この定義において、まず、x_jが与えられたときの条件付き期待値を求め、そして、その条件付き期待値の分散をx_jの周辺分布から求めます。言い換えると、$Var(E(y \mid x_j))$は、「x_jが与えられたときのyの条件付き平均」の分散になっています。

次に、主効果x_jに対するyの感度（sensitivity）を、$Var(E(y \mid x_j))/Var(y)$という比率によって定義します。「要約レポート」の「主効果」列に示される変数重要度は、乱数シミュレーションによってこの比率を推定した値です（「標本抽出に伴う誤差の調整」（54 ページ）も参照してください）。

全効果

「全効果」は、x_jにかかわる**すべての**項による、$y = f(x_1, x_2 ..., x_n)$の分散への寄与全体を表します。全効果の計算は、関数的分解に基づいています。関数的分解では、関数fが、定数、1 変数だけからなる項、複数の変数を組み合わせた項に分解されます。このように分解された成分は、分散分析における主効果、交互作用や高次の効果に相当します（Saltelli（2002）およびSobol（1993）を参照してください）。

x_jの全効果を計算するにあたっては、まず、分解された成分のうち、x_jを含む項が識別されます。そして、それらの各項について、条件付き期待値の分散が計算されます。その後、それらの各項の分散が合計されます。この合計値は、x_jを含む複数の項が、$Var(y)$に対して、全体としてどれぐらい寄与しているかを示します。各x_jについて、これらの値は、ユーザによって選択された、入力変数のシミュレーション方法に基づいて算出されます。こうして算出された値は、「全効果」という列に表示されます（「標本抽出に伴う誤差の調整」（54 ページ）も参照してください）。

x_1とx_2という 2 因子しかない簡単な場合で、全効果の重要度がどのように算出されるか考えてみましょう。x_1が関係する全効果の重要度は、次式で算出されます。

$$\frac{Var(E(y \mid x_1)) + Var(E(y \mid x_1, x_2))}{Var(y)}$$

標本抽出に伴う誤差の調整

「要約レポート」の「主効果」と「全効果」に出力される推定値は、標本抽出によって算出されているため、誤差が生じます。その標本抽出の誤差は、次に述べる方法で調整される場合があります。「全効果」が、「主効果」より小さくなった場合は、「全効果」が「主効果」と等しい値に設定されます。また、「主効果」の合計が1より大きくなる場合は、合計が1になるように値が正規化されます。

変数重要度の標準誤差

入力変数に対して独立性を仮定した場合には、重要度の標準誤差が計算されます。この標準誤差は、モンテカルロ法の計算精度を表すものです。重要度の計算において、この標準誤差は以下のように使われます。

- ラテン超方格法によって、データを複数組、生成します。
- データの各組ごとに、主効果と全効果の重要度を計算します。
- この重要度に対する標準誤差の推定値が、全因子について閾値の0.01を下回るまで、上記の計算が繰り返されます。

レポートに表示される標準誤差は、反復計算が終了した時点での標準誤差です。

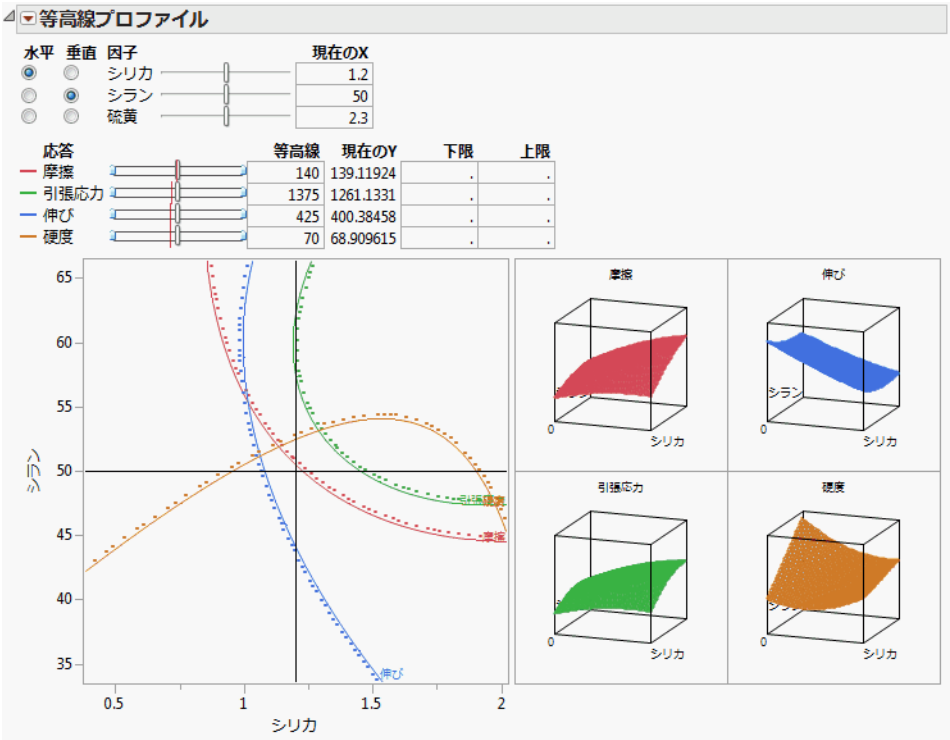
第 4 章

等高線プロファイル

2 因子に対する応答変数の等高線図を調べる

［等高線プロファイル］は、2 因子に対する応答変数の等高線図を表示します。等高線プロファイルを使えば、応答曲面を対話的に最適化できます。

図 4.1 等高線プロファイルの例



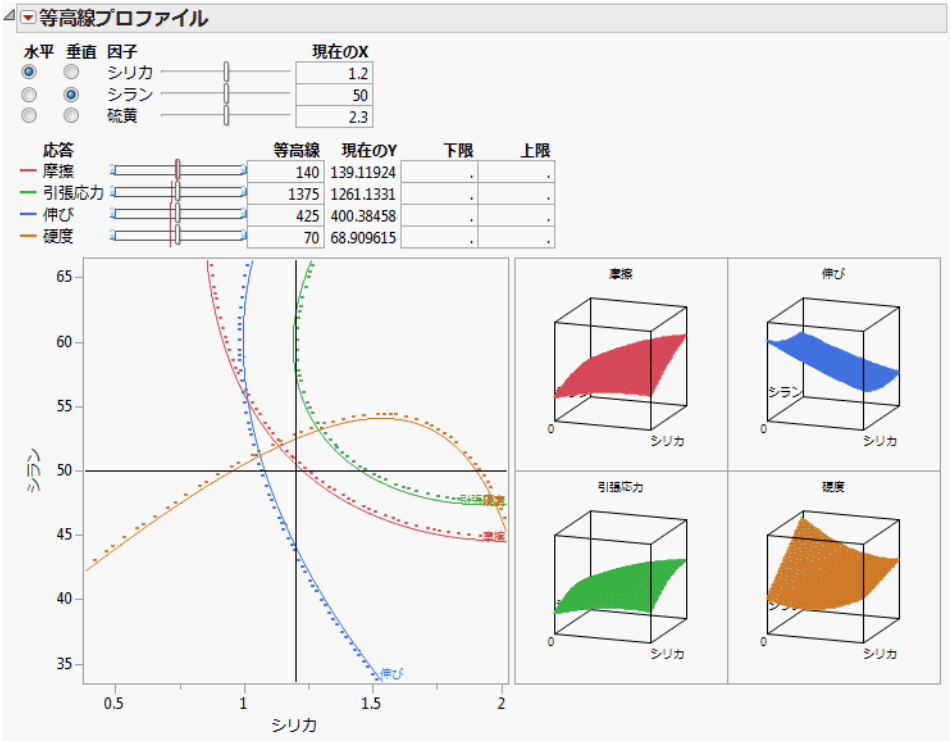
目次

等高線プロファイルの概要 57
「等高線プロファイル」プラットフォームのオプション 58
配合効果のロック 59
制約の陰影の設定 59

等高線プロファイルの概要

［等高線プロファイル］は、2 因子に対する応答変数の等高線図を表示します。等高線プロファイルを使えば、応答曲面を対話的に最適化できます。図 4.2 は、「**Tiretread**」サンプルデータから作成した等高線プロファイルです。

図 4.2 等高線プロファイル



- X 変数と Y 変数の両方に、調整スライダと編集フィールドが用意されています。
- **現在の X** 値によって**現在の Y** 値が決まります。グラフ上に十字で表示されているのが、**現在の X** の位置です。調整スライダの中に赤い縦棒で表示されているのが、**現在の Y 値**です。
- グラフには、複数の応答変数の等高線も表示されます。これらの等高線の値は、Y の調整スライダ、もしくは「**等高線**」列での入力によって変更できます 応答変数ごとに色の違う等高線（この例では 4 本）が表示されます。
- 応答変数の下限と上限を入力すると、それに応じて陰影の付いた領域が作成されます。上下限を設定するには、Y の調整スライダにおける両脇の部分をクリックしてドラッグするか、または「**下限**」列と「**上限**」列に値を入力します。応答列の「**仕様限界**」列プロパティで下側限界または上側限界の値が設定されている場合、これらの値が「**下限**」と「**上限**」の初期値になります。

- 3 つ以上の因子がある場合は、プロットの左上にあるラジオボタンを使って、別の因子のグラフに切り替えられます。
- 調整スライダを右クリックし、［**スライダのスケール変更**］を選択すると、スライダのスケールを変更できます。
- 等高線の片側に表示される点線は、応答変数の値が大きくなったときに線がどちらの方向に移行するかを示します。
- 応答の色を変更するには、応答変数の凡例の色（**「応答」**の下）を右クリックします。

「等高線プロファイル」プラットフォームのオプション

グリッド密度　メッシュプロット（曲面プロット）のメッシュ（グリッド）の密度を設定します。

グラフの更新　等高線プロファイルの更新のしかたを指定します。プロファイルが［**マウスを移動するたびに**］更新される方法と、マウスボタンを放したときに更新される［**マウスボタンを放すたびに**］の2通りの方法があります（ただし、高速のマシンでは差がほとんどわからないことがあります）。

曲面プロット　メッシュプロットの表示／非表示が切り替わります。

等高線ラベル　等高線ラベルの表示／非表示が切り替わります。ラベルは、等高線と同じ色で表示されます。

等高線グリッド　等高線プロファイル上に、ユーザが指定した間隔で等高線が描かれます。

因子設定　このサブメニューには、等高線プロファイルの設定を保存してJMPの別の部分に移すためのコマンドが含まれています。詳細は、「因子設定」（34ページ）を参照してください。

シミュレータ　**シミュレータ**が開きます。「シミュレータ」（97ページ）の章を参照してください。

増加方向を表す点線　各等高線に対する点線の表示／非表示が切り替わります。この点線は、応答の増加方向を示しています。

等高線を現在値に設定　等高線が現在のＹ値の位置を通るようにリセットします。つまり、等高線がすべて等高線図上の十字ツールの交点を通り、Ｙの調整スライダの設定も一致します。

Ｘコントロールを左側に並べる　ＸとＹの設定パネルを横に並べてＸの設定パネルを左側に配置するか、縦に並べてＸの設定パネルを上部に配置するかを切り替えます。

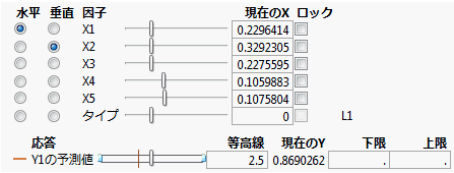
Ｘ設定を表示しない　Ｘの設定パネル（「因子」セクション）の表示／非表示が切り替わります。

Ｙ設定を表示しない　Ｙの設定パネル（「応答」セクション）の表示／非表示が切り替わります。

配合効果のロック

配合実験で因子が4つ以上ある場合、**等高線プロファイル**に［**ロック**］というチェックボックスが表示されます（図4.3）。このコマンドを使って配合効果の値の設定をロックすると、他の配合効果が変更されたために配合の調整が必要になっても、ロックした設定には影響が及びません。ロックした列がある場合、それによって制限された領域が陰影つきで表示されます。

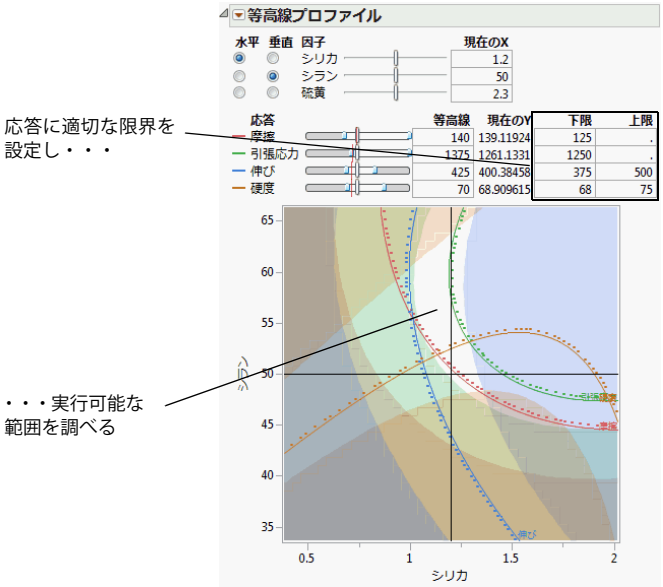
図4.3 列をロックするためのチェックボックス



制約の陰影の設定

Yの値に対して限界を設定すると、限界の外側の領域に陰影がつきます（図4.4）。陰影のない白色の部分が条件に合った領域です。

図4.4 等高線プロファイルに陰影をつける設定



応答列の「**仕様限界**」列プロパティで下側限界または上側限界の値が設定されている場合、これらの値が「**下限**」と「**上限**」の初期値になります。

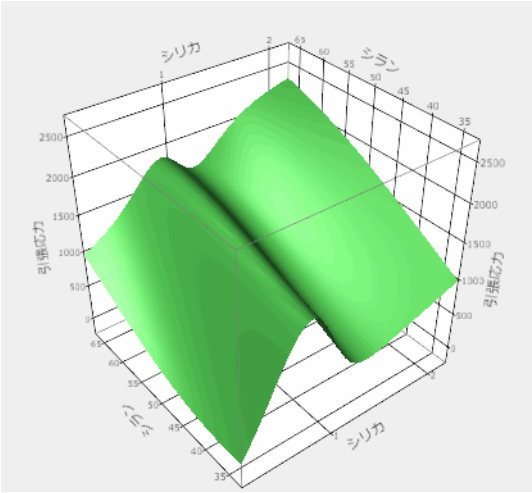
第 5 章

曲面プロット

3 因子に対する応答変数の等高線図を調べる

「曲面プロット」プラットフォームは、独立したプラットフォームとしてだけでなく、「モデルのあてはめ」プラットフォーム内のオプションとして開くこともできます。別々の曲面を4つまで同じプロットに表示できます。プロットの下の「従属変数」において、4つの曲面の設定を変更するためのオプションが表示されます。ここで設定できるオプションは、どのような要素（面、点、線、等値面、密度グリッド）が描かれているか、および、計算式にパラメータが含まれているかどうかによって変わってきます。

図 5.1 曲面プロットの例



目次

曲面プロットの概要 63
「曲面プロット」プラットフォームの起動 63
1つの数学関数をプロット 64
点のみをプロット 65
列の計算式をプロット 66
等値面 68
「曲面プロット」プラットフォームのオプション 70
「表示形式」設定パネル 70
独立変数 71
従属変数 72
曲面プロットの設定パネルと設定 73
回転 73
軸の設定 74
ライト 75
曲面のプロパティ 75
その他のプロパティとコマンド 76
キーボードショートカット 77

曲面プロットの概要

「曲面プロット」プラットフォームは、点と曲面を3次元でプロットするために使用します。

曲面プロットは、独立したプラットフォーム（[**グラフ**] > [**曲面プロット**]）で作成できるだけでなく、多数のレポートにオプション（[**曲面プロファイル**]）として用意されています。どちらで使用した場合も、機能は同じです。

プロットする対象は点または面です。曲面プロットを（プロファイルでなく）専用のプラットフォームで作成した場合、プロットの点はデータテーブルとリンクしています。これらの点は、クリックやブラシツールでの選択が可能です。また、データテーブルで割り当てられた色やマーカーを使って、これらの点は描画されます。曲面は、数式、または、点の集合で定義されるポリゴンによって描かれます。数式によって定義される滑らかな曲面や、点の集合によって定義されるメッシュを描くことができます。また、曲面に等高線を描いたり、ラベル、軸、ライトを変更したりもできます。

曲面プロットは、JMP スクリプト言語（JSL）の3D シーンコマンドを使って構築されます。OpenGL 形式のシーンコマンドの詳細は、『スクリプトガイド』を参照してください。

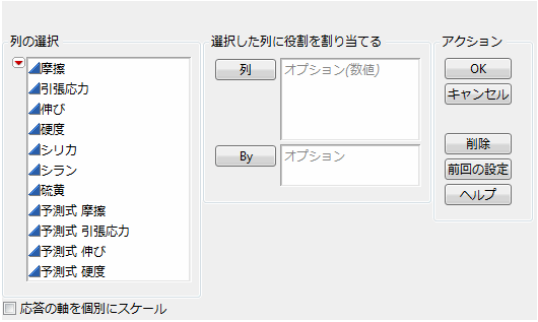
このプラットフォームには以下のような機能があります。

- マウスで曲面をドラッグし、位置を変更します。
- 曲面を右クリックし、背景色を変更したり、天体球（ArcBall）を表示したりします（これは、曲面の位置調整に便利です）。
- ハードウェアアクセラレーションを利用してパフォーマンスを向上させます（システムでサポートされている場合）。
- ライトをいろいろな位置にドラッグしたり、色を変えたり、オン／オフを切り替えたりします。

「曲面プロット」プラットフォームの起動

プラットフォームを起動するには、[**グラフ**] メニューから [**曲面プロット**] を選択します。データテーブルが開いている場合は、図5.2のようなウィンドウが表示されます。曲面の描画にデータテーブルを使用しない場合は、列を指定しないまま [**OK**] をクリックすると、開かれているデータテーブルがない場合には、図5.3のような曲面プロットが表示されます。

図 5.2「曲面プロット」起動ウィンドウ



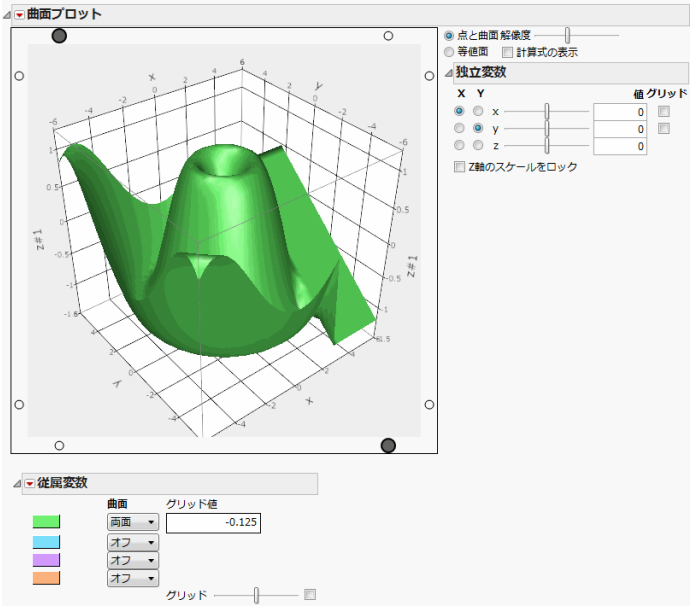
プロットに含める列に［列］の役割を割り当てます。［列］の役割を割り当てることができるのは数値変数だけです。変数に［By］の役割を割り当てると、By 変数の各水準ごとに個別の曲面プロットが作成されます。

［応答の軸を個別にスケール］チェックボックスをオンにすると、プロット上で応答ごとに個別のスケールが使用されます。オフにすると、すべての応答の軸スケールが、［列］の役割に最初に追加した項目のスケールと同じになります。

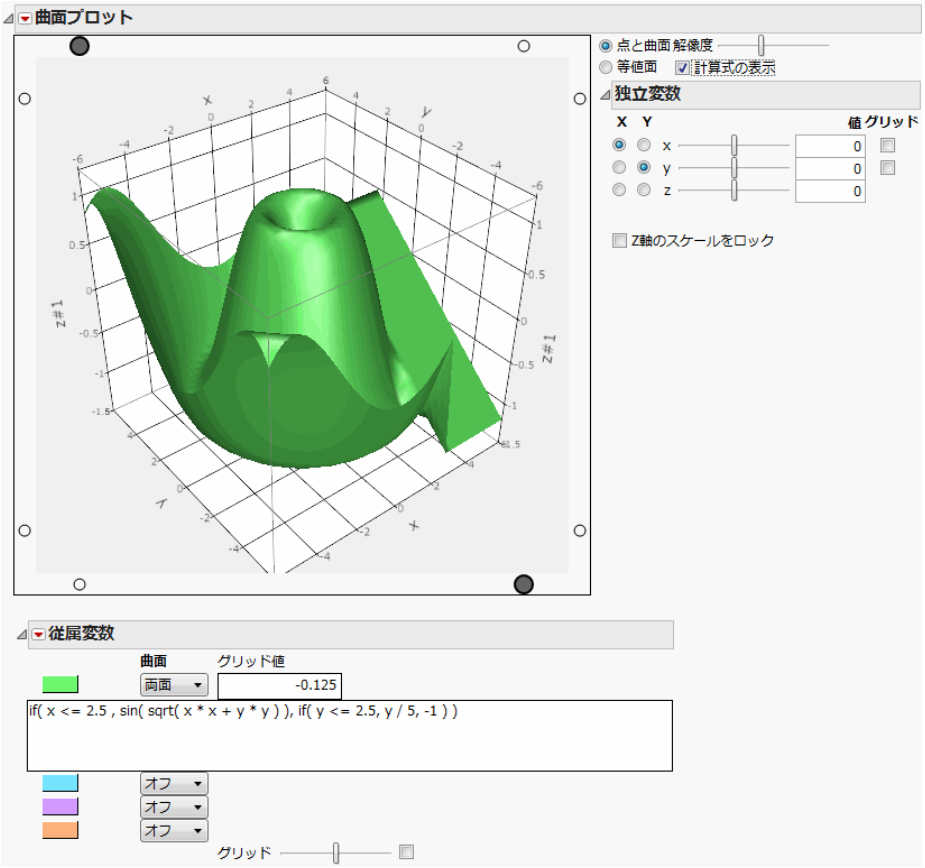
1 つの数学関数をプロット

データを使わずに数学関数のグラフを作成する場合は、起動ウィンドウで列に役割を割り当てないでください。列を指定せずに［OK］をクリックすると、図 5.3 のようなデフォルトのプロットが表示されます。

図 5.3 デフォルトの曲面プロット



［**計算式の表示**］チェックボックスを選択すると、計算式のテキストボックスが表示されます。

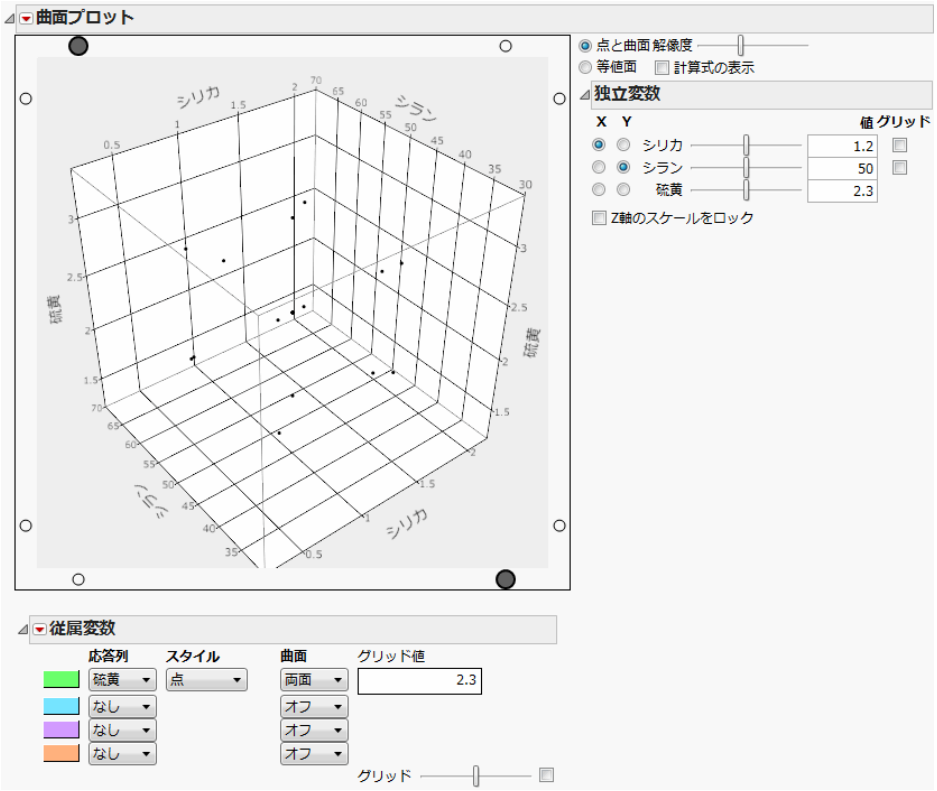


ボックスにはデフォルトの関数が表示されます。独自の関数をプロットしたいときは、その関数をボックスに入力します。

点のみをプロット

点の3次元散布図を作成するには、「列の選択」リストから X、Y、Z の列を［**列**］ボックスに追加します。たとえば、「Tiretread.jmp」データテーブルを開いてください。そして、［**行**］>［**行の属性をクリア**］を選択し、次に、［**グラフ**］>［**曲面プロット**］を選択します。起動ダイアログにて、「**シリカ**」、「**シラン**」、「**硫黄**」に［**列**］の役割を割り当て、［**実行**］をクリックします。

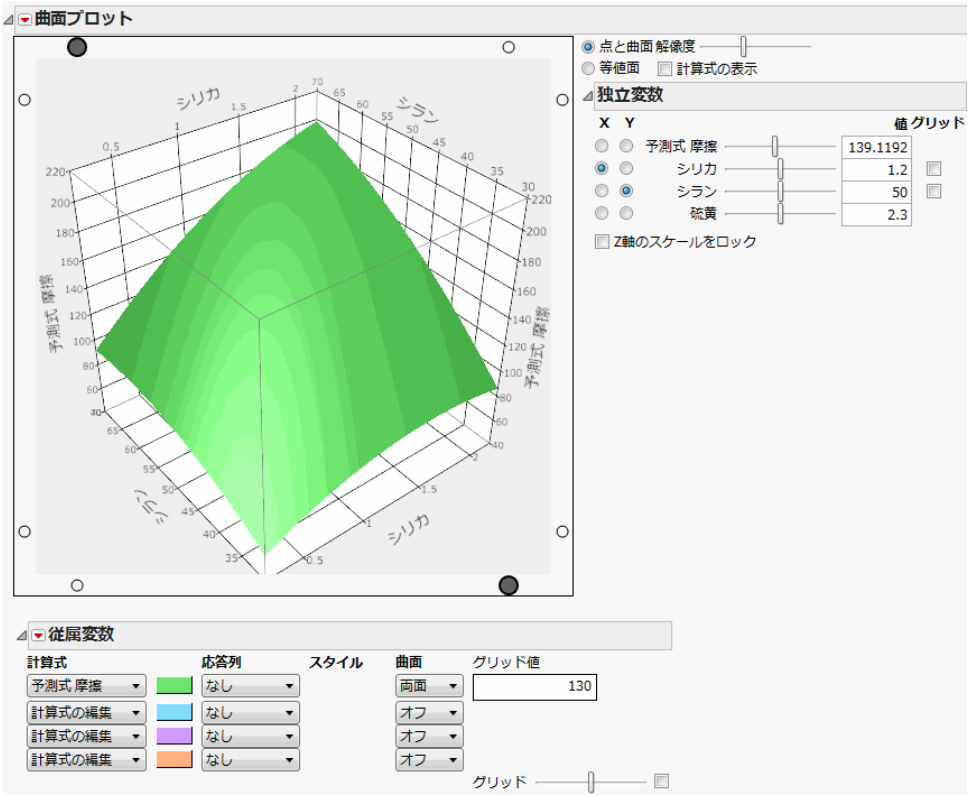
図 5.4 3D 散布図: 起動ダイアログボックスと分析結果



列の計算式をプロット

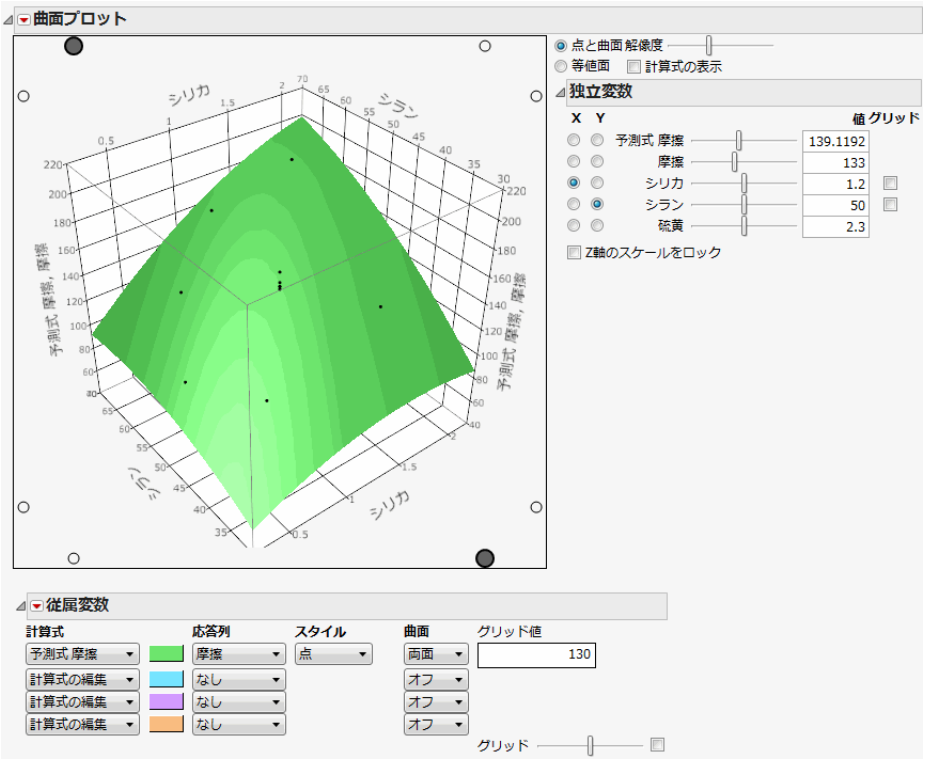
計算式（データテーブルの列にある計算式）をプロットする場合は、該当する列を［**列**］ボックスに追加します。たとえば、「Tiretread.jmp」データテーブルを開いた後、［**グラフ**］>［**曲面プロット**］を選択してください。そして、起動ダイアログにて、「**予測式 摩擦**」に［**列**］の役割を割り当て、［**実行**］をクリックします。因子は計算式から自動的に抽出されるので、指定する必要がありません。

図 5.5 計算式の起動ダイアログボックスと分析結果



ここでは予測曲面だけがプロットされます。計算式に加えて実測値もプロットするには、「**摩擦**」と「**予測式 摩擦**」に［**列**］の役割を割り当てます。図 5.6 に結果を示します。

図 5.6 計算式とデータ点：起動ダイアログボックスと出力

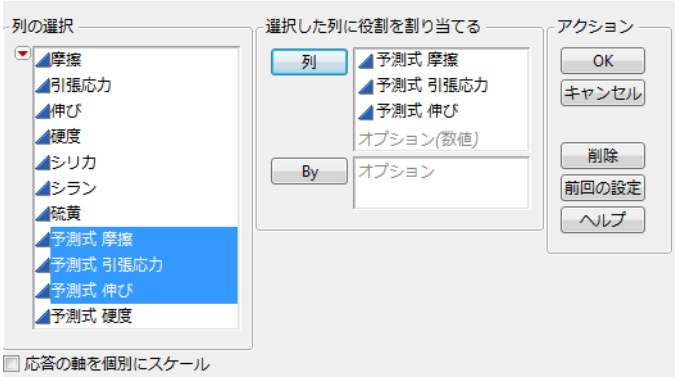


等値面

等値面は、2 次元上に描かれる等高線図を、3 次元に拡張したものです。等値面を作成するには、独立変数が 3 つある計算式が必要です。解像度のスライダは、計算式を **n × n × n** 個の点について評価するときの n の値を指定します。「従属変数」セクションにある「値」スライダは、等値面の値（等高線のレベル）を指定します。

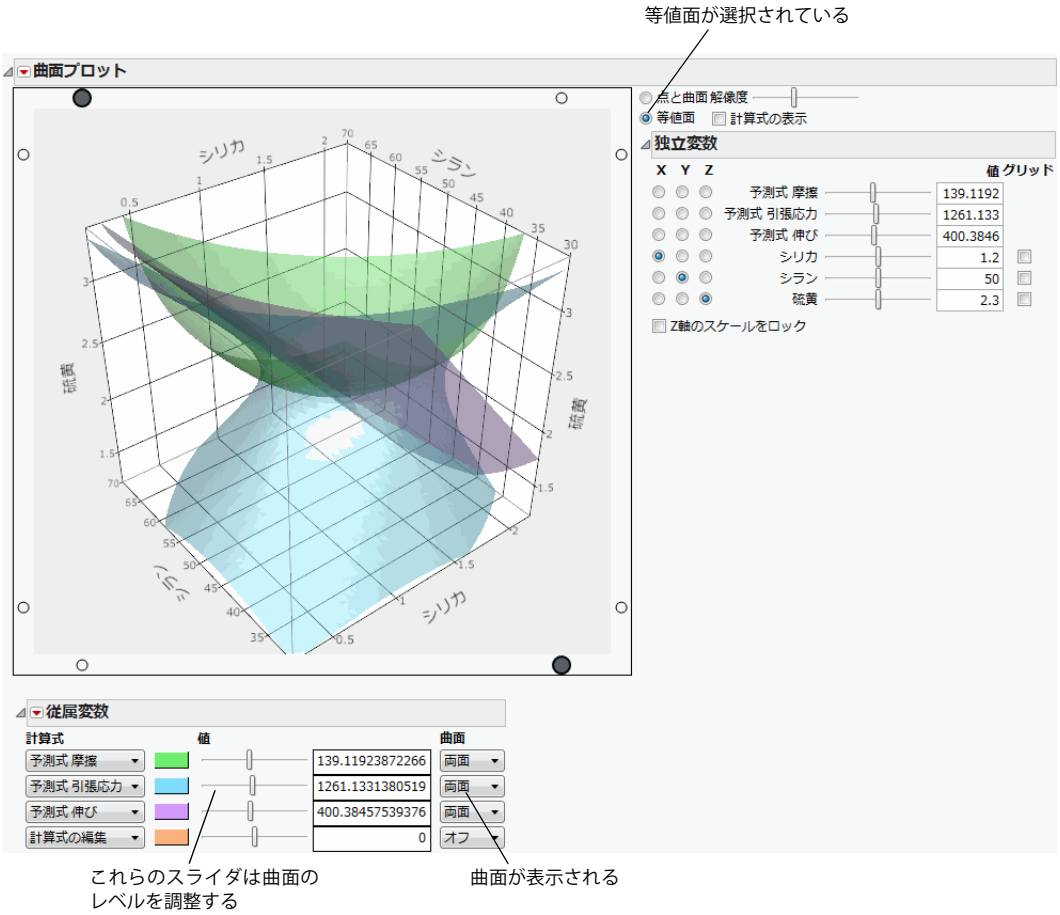
例として「Tiretread.jmp」データテーブルを開き、「4 応答の応答曲面モデル」スクリプトを実行してみましょう。すると、**「摩擦」**、**「引張応力」**、**「伸び」**、**「硬度」**を従属変数とした応答曲面モデルが作成されます。

次に、「曲面プロット」プラットフォームを起動し、プロットする列として先ほどのモデルから保存された 3 つの予測式列を指定します。



レポートが開いたら、［等値面］ラジオボタンをクリックします。**「従属変数」**セクションですべての変数に［**両面**］を指定します。

図 5.7 3 変数の等値面



「Tiretread」のデータにおいて、「硬度」はある程度大きく、「伸び」はある程度以上小さいことが望まれているとします。「硬度」の値を許容できる最小値に、「伸び」を許容できる最大値に固定して、**「引張応力」**のスライダを動かせば、**「引張応力」**のどの値が他の2つの曲面によって示される許容範囲内にあるかがわかります。

「曲面プロット」プラットフォームのオプション

「曲面プロット」タイトルバーの赤い三角ボタンのメニューには、次のコマンドがあります。

設定パネル　設定パネルの表示／非表示が切り替わります。

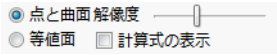
応答の軸を個別にスケール　応答の軸を個別にスケールします。図 5.2（64 ページ）の説明を参照してください。

スクリプト　すべてのプラットフォームに共通なオプションが表示されます。『JMP の使用法』を参照してください。

設定パネルは、いろいろなオプションを含んだセクションに分かれています。

「表示形式」設定パネル

冒頭にある設定オプションは、曲面プロットの全体的な外観を指定するために使います。



点と曲面　面、点、線を表示します。

等値面　等値面（「等値面」（68 ページ）を参照）の表示に変わります。

計算式の表示　プロットする計算式を入力するための編集ボックスが表示されます。

「解像度」スライダは、計算式で評価される点の数を調整します。解像度が粗すぎると、鋭く変化する関数がうまく表現できませんが、解像度が高すぎると曲面の評価と表示にかかる時間が長くなります。

他のプラットフォームでの曲面プロファイルの「表示形式」設定パネル

「モデルのあてはめ」、「非線形回帰」、「Gauss 過程」、または「ニューラル」プラットフォームで［**曲面プロファイル**］を選択した場合、「表示形式」設定パネルに［**データ点は**］という追加のオプションが表示されます。以下から選択できます。

オフ　データ点を非表示にします。

曲面＆残差　曲面に残差を足したものを、点として表示します。残差とは、実測値から予測値を引いた値のことです。

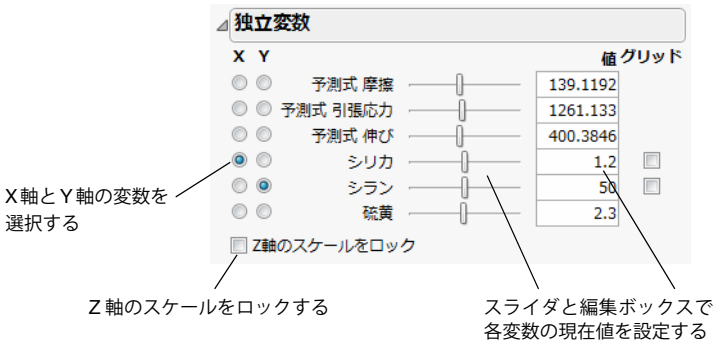
実測値　実測値の点を表示します。

残差　残差値を表示します（残差は0の周りに分布するため、多くの場合、プロットの範囲から外れて表示されます）。

独立変数

「独立変数」の設定パネルは、図5.8のような構成になっています。

図5.8「独立変数」設定パネル

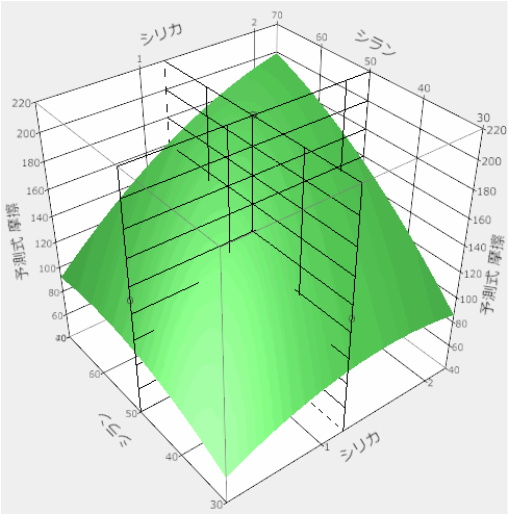


説明変数が3つ以上ある場合、X軸およびY軸に表示する変数をラジオボタンで指定することができます。スライダおよびテキストボックスは、各変数の現在値の設定に使用します。現在値の設定は、軸に表示されない変数にとって特に重要です。このプロットは、テキストボックスの値における3次元の断面ということができます。スライダを動かしていろいろな断面を見てみましょう。

［**Z軸のスケールをロック**］は、**Z**軸を現在の値でロックします。軸になっていない変数のスライダを動かす際に便利です。

［**グリッド**］チェックボックスは、各軸に平行なグリッドを表示させるときに使用します。グリッドの位置は、スライダを動かして調整します。各グリッドの解像度は、軸の設定で調整できます。図5.9は、X軸とY軸のグリッドを表示した例です。

図 5.9 X軸とY軸のグリッド



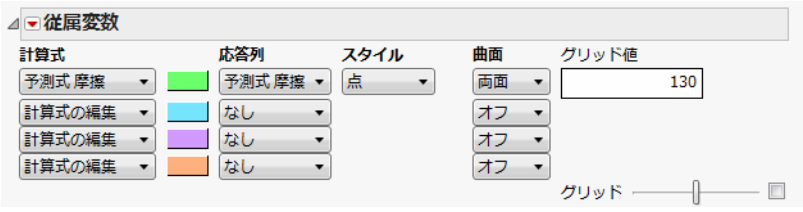
従属変数

「従属変数」に表示される設定の種類は、「表示形式」設定パネルで「**点と曲面**」または「**等値面**」のどちらを選択したかによって異なります。

点と曲面の設定パネル

図 5.10 は、「従属変数」の設定パネルとデフォルトのメニューです。

図 5.10「従属変数」設定パネル



計算式　プロットに曲面として表示する計算式を選択します。

応答列　プロットに点として表示する値の列を選択します。

スタイル　「**応答列**」で列を選択すると、「スタイル」のメニューが表示されます。「スタイル」のメニューでは、点の表示方法として［**点**］、［**垂線**］、［**メッシュ**］、［**曲面**］、［**オフ**］（表示しない）のいずれかを選択します。［**点**］は、個々の点を、データテーブルの行の属性で設定された色およびマーカーで表示します。［**垂線**］は、*X*-*Y* 平面から点へ垂直に線を引きます。曲面もプロットされている場合は、曲面から点へ線

を引きます。［**メッシュ**］は、点を三角のメッシュでつなぎます。［**曲面**］は、点を通る曲面を三角平面で描きます。

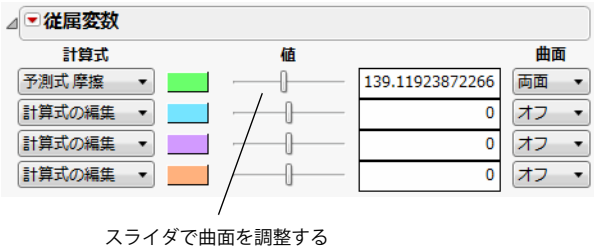
曲面　曲面の上部または下部の表示／非表示を切り替えることができます。［**表のみ**］または［**裏のみ**］を選択すると、曲面の反対側が暗くなります。

グリッド　チェックボックスをオンにすると、従属変数に対するグリッドが描かれます。グリッドの位置は、スライダで調整するか、もしくは、スライダの上にある「**グリッド値**」ボックスに値を入力します。

等値面の設定パネル

「**等値面**」の設定パネルは、「**点と曲面**」のものとほぼ同じです。図5.11に示すように、若干、異なる部分があります。

図5.11　等値面の「従属変数」設定パネル



「従属変数」のオプション

「従属変数」設定パネルの赤い三角ボタンのメニューには、次のオプションが用意されています。

計算式　「計算式」ドロップダウンリストの表示／非表示が切り替わります。

曲面　「曲面」ドロップダウンリストの表示／非表示が切り替わります。

点　「応答列」ドロップダウンリストの表示／非表示が切り替わります。

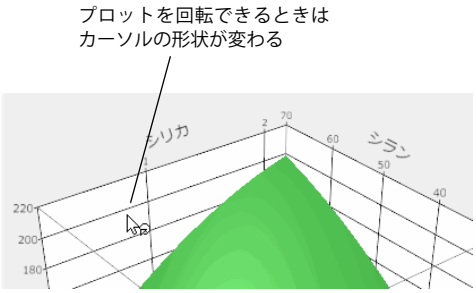
応答グリッド　グリッドの設定オプションの表示／非表示が切り替わります。

曲面プロットの設定パネルと設定

回転

プロットはドラッグして任意の方向に回転できます。プロットをドラッグして回転させます。

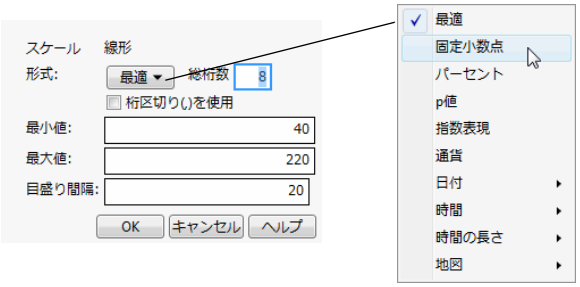
図 5.12 プロットを回転する場合のカーソル位置の例



上下左右の矢印キーを使用してプロットを回転させることもできます。

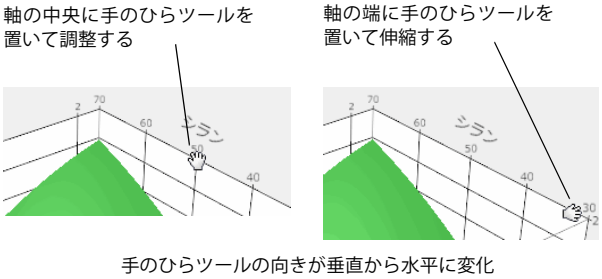
軸の設定

軸をダブルクリックすると、軸を設定するためのウィンドウが表示されます（次の図を参照してください）。このウィンドウで軸の**最小値**、**最大値**、**目盛り間隔**、**目盛りラベルの形式**を変更できます。



JMP の他のグラフと同様、手のひらツールを使って軸を調整および伸縮できます。軸の上にカーソルを置くと、カーソルが手のひらツールに変わります。

図 5.13 手のひらツール

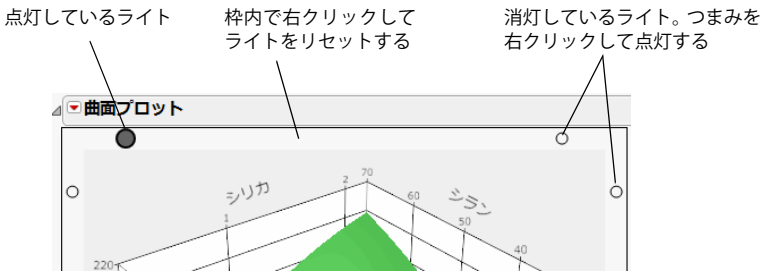


手のひらツールの向きが垂直から水平に変化

ライト

デフォルトでは、プロットにはライトが当たっています。プロット上には、ライトの位置と色を変更するためのつまみが8個あります。ライトによって、プロットの各所を明るくしたり、影を付けたりできます。次の図では、8つのうちの4つのつまみを示しています。

図 5.14 ライトの設定つまみ

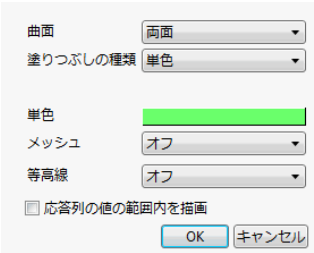


- つまみを右クリックしてライトのオンとオフを切り替えることができます。点灯するライト数が多いほどプロットが明るくなり、少なくすると暗くなります。
- ライトの位置を変更するには、つまみをドラッグします。
- つまみを右クリックしてライトの色を変更できます。デフォルトの色は白です。

曲面のプロパティ

プロットの対象として［**点と曲面**］を選択した場合は、シートを右クリックして［**曲面のプロパティ**］を選択すると、曲面のプロパティを変更するためのウィンドウが表示されます。

図 5.15「曲面のプロパティ」ウィンドウ



曲面　曲面の上部または下部の表示／非表示を切り替えることができます。［**表のみ**］または［**裏のみ**］を選択すると、曲面の反対側が暗くなります。

塗りつぶしの種類　曲面を単色で塗りつぶすか、連続または不連続なグラデーションで塗りつぶすことができます。グラデーションを選択した場合は、曲面を右クリックした時に呼び出されるメニューから、［**凡例の表示**］オプションを選択できるようになります。

メッシュ　*X*軸または*Y*軸の片方向または双方向で曲面のメッシュの表示／非表示を切り替えることができます。表示するように選択した場合は、［**メッシュの色**］オプションが表示され、色を変更できます。

等高線　上下または曲面上の等高線の表示／非表示を切り替えることができます。表示するように選択した場合は、［**等高線の色**］オプションが表示され、色を変更できます。

応答列の値の範囲内を描画　プロットの範囲を応答列のデータの範囲に制限します（応答列が選択されている場合）。このチェックボックスをオンにすると、プロットが応答列のデータの範囲外に描画されなくなります。

このオプションに相当するJSLコマンドは`Clip Sheet( Boolean )`です。このメッセージを特定の応答列に送るには、その応答列の番号を添えます。たとえば、`Clip Sheet2( 1 )`とした場合、プロットの範囲が第2応答列のデータの範囲に限定されます。例については、［**ヘルプ**］メニューの［スクリプトの索引］を参照してください。

プロット対象として［**等値面**］を選択した場合は、曲面を右クリックして［**曲面のプロパティ**］を選択すると似たようなウィンドウが表示されます。曲面の色や不透明度を変更したり、メッシュの表示／非表示を切り替えたりできます。

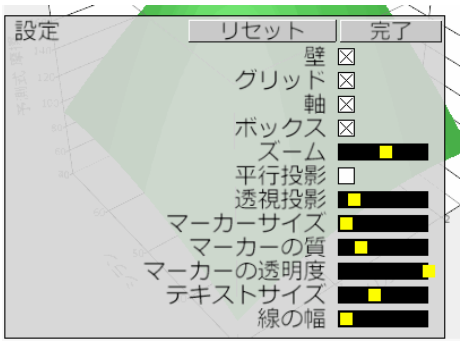
その他のプロパティとコマンド

プロット上の任意の位置を右クリックすると、次のオプションが表示されます。

凡例の表示　曲面にグラデーションで色をつけた場合は、凡例が表示されます。

リセット　プロットを最初の視点に戻します。壁や背景の色を変更した場合は、変更後の色が維持されます。

設定　各種のプロット設定を変更するためのウィンドウが表示されます。



ライト枠を非表示　ライトの設定パネルの表示／非表示が切り替わります。

壁の色　プロットの壁の色を変更できます。

背景色の設定　プロットの背景色を変更できます。

行　行の色やマーカーを変更したり、表示／非表示を切り替えたり、点のラベルを表示したりできます。

ハードウェアアクセラレーションを使用　画面の描画速度が速くなります。たとえば、プロットを回転しているときの再描画速度が遅い場合などは、このオプションで描画速度が向上する可能性があります。

天体球の表示　天体球の使用に関するオプションが表示されます。天体球はプロットの周囲に表示される球体で、回転の方向をわかりやすく示します。

キーボードショートカット

曲面プロットは、次のキーボードショートカットで操作できます。プロットを元の位置に戻すには、プロットを右クリックして［**リセット**］を選択します。

表 5.1 曲面プロット用キーボードショートカット

キー	関数
左／右／上／下向き矢印	回転
Home、End	斜め回転
Enter（Return）	仮想天体球の表示／非表示を切り替え
Delete	反時計回りにロール
Ctrl	回転速度を 10 倍にアップ
Shift	連続回転

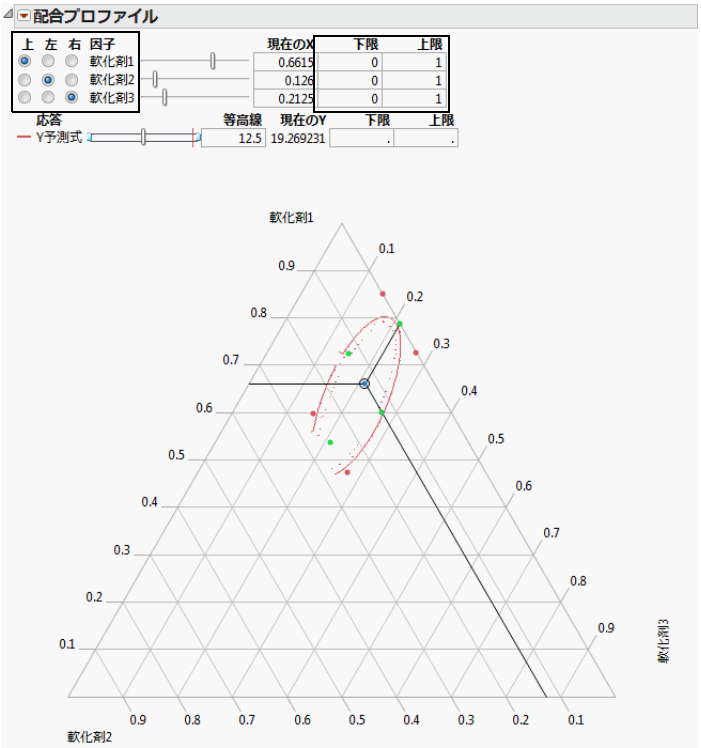
第 6 章

配合プロファイル

三角図で因子の効果を調べる

「配合プロファイル」は、3つ以上の配合成分をもつ配合計画モデルをもとに、応答変数の等高線を表示します。**「配合プロファイル」**は、配合計画の応答曲面を視覚化し、最適化するのに便利です。

図 6.1 配合プロファイルの例



目次

配合プロファイルの概要 81
三角図の軸 82
「配合プロファイル」プラットフォームのオプション 84
線形制約 85

配合プロファイルの概要

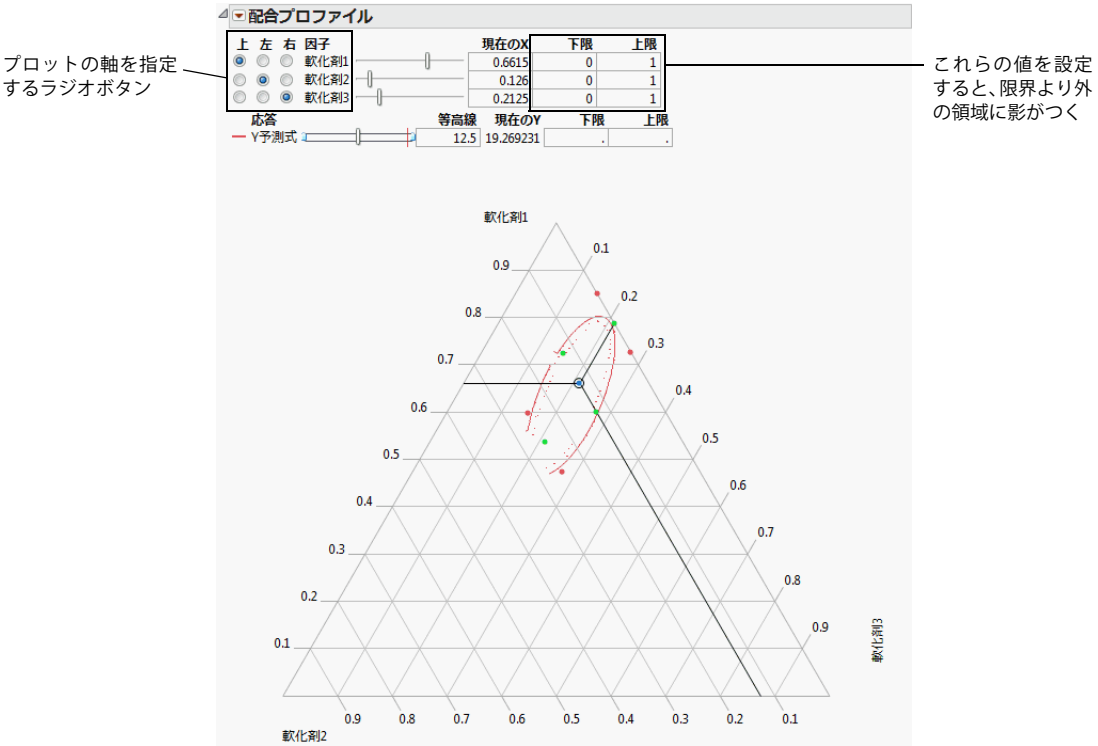
「配合プロファイル」は、3つ以上の配合成分をもつ配合計画モデルをもとに、応答変数の等高線を表示します。**「配合プロファイル」**は、配合計画の応答曲面を視覚化し、最適化するのに便利です。

図 6.2 は、「Plasticizer.jmp」サンプルデータから作成した配合プロファイルです。この図と同じプロファイルを作成するには、まず［**グラフ**］メニューにある［**配合プロファイル**］を選択します。「配合プロファイル」起動ウィンドウが開いたら、**「Y 予測式」**に［**Y, 予測式**］の役割を割り当て、［**OK**］をクリックします。**「軟化剤 1」**、**「軟化剤 2」**、**「軟化剤 3」**の「下限」と「上限」の値を削除します。

機能の多くは、「「等高線プロファイル」プラットフォームのオプション」（58 ページ）で説明されている**「等高線プロファイル」**のものと同じです。**「配合プロファイル」**に固有の特徴として、次のようなものが挙げられます。

- 直交座標のプロットではなく、三角図が使用されます。三角図を使うことで、3 つの配合因子を同時に確認することができます。
- 3つ以上の因子がある場合は、**「配合プロファイル」**ウィンドウの左上にあるラジオボタンを使って、表示する因子を切り換えることができます。ラジオボタンとプロット軸について詳しくは、「三角図の軸」（82 ページ）を参照してください。
- 因子に制約がある場合は、**「下限」**列と**「上限」**列に限界の値を入力することができます。すると、プロファイル内の、条件に合わない領域に影がつきます。**「等高線図」**の場合と同様、下限と上限は応答に対しても設定できます。

図 6.2 配合プロファイル



三角図の軸

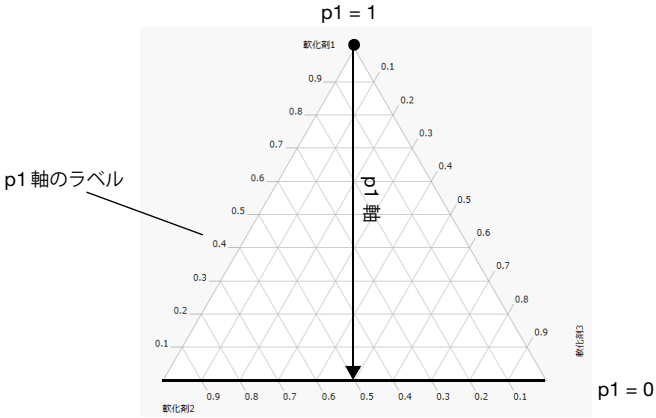
配合計画では、配合因子の合計が定数になっています。通常、その合計は1となっています（以下、合計が1であるとして説明をします）。配合因子は、0以上1以下の値になっています。三角図の軸は、**3つ**の因子に対応します。

合計が1となる3因子の配合計画では、上の頂点では、その因子が1で、残りのすべての因子が0になっています。頂点の反対側の底辺では、その因子が0で残りの因子の合計が1になっています。三角図の軸は、上の頂点から下の底辺へと垂直方向に伸びています。図6.3を参照してください。

たとえば図6.3の場合、「**軟化剤1**」の割合は、頂点で1、底辺で0となります。この因子の目盛りは、プロットの左側に表示されています。「**軟化剤2**」と「**軟化剤3**」についても同様です。

配合因子が4つ以上ある配合計画の三角図の軸については、「配合因子が4つ以上ある場合」（83ページ）を参照してください。

図 6.3「軟化剤 1」の軸



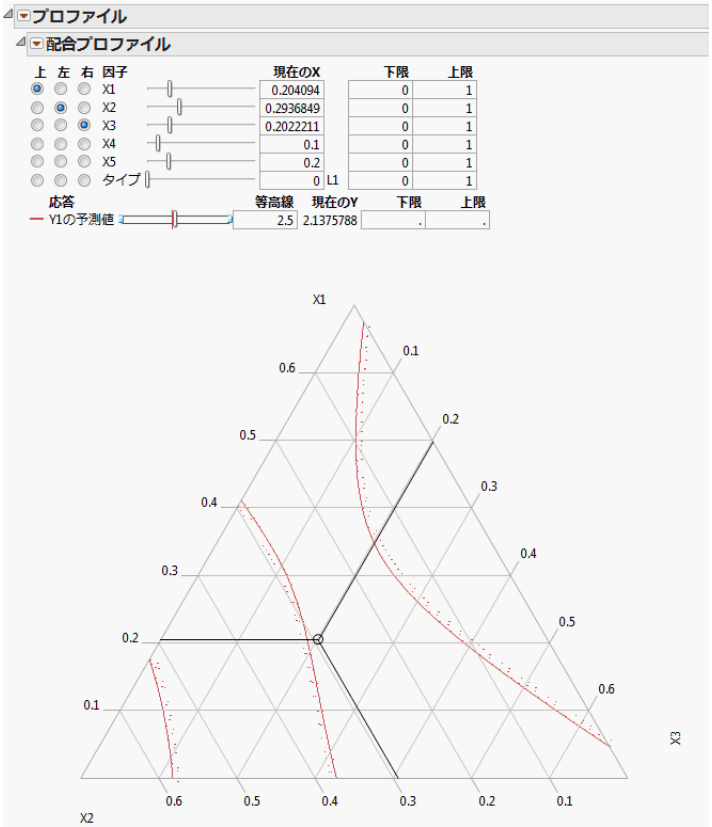
配合因子が 4 つ以上ある場合

三角図では、一度に3つの因子しか表示できません。プロファイルを作成する配合計画モデルに因子が4つ以上ある場合、表示されている3つの因子の合計は、1から表示されていない因子の合計を引いた値になります。また、4因子以上の場合には、プロット軸の最大値は、1から表示されていない因子の合計を引いた値になります。

図6.4は、因子が5つある配合計画の**「配合プロファイル」**です。「Five Factor Mixture.jmp」データテーブルを使い、**「Y1 の予測値」**列を計算式としています。プロットに表示されている因子は、**x1**、**x2**、**x3** の3つで、**x4** と **x5** は表示されていません。**x4** の値は0.1、**x5** の値は0.2で、合計0.3です。したがって、**x1**、**x2**、**x3** の合計は、1－0.3=0.7に等しくならなければなりません。実際に3つの因子の**「現在の X」**の値は、合計で0.7です。また、プロット軸の最大値が1ではなく0.7になっています。

x4 または **x5** の値を変更すると、**x1**、**x2**、**x3** の値も、因子すべての合計が1になるという制約と、各因子の割合を考慮した上で変更されます。

図 6.4 表示されていない因子の合計を考慮してスケールされた軸



「配合プロファイル」プラットフォームのオプション

「配合プロファイル」の赤い三角ボタンのメニューには、次のようなコマンドがあります。

目盛の表示　プロット軸上のラベルの表示／非表示が切り替わります。

線の表示　プロット上のグリッド線の表示／非表示が切り替わります。

点の表示　プロット上の計画点の表示／非表示が切り替わります。このオプションは、配合因子が4つ以上ある場合には使用できません。

現在値の表示　プロット上で交差する3本の線の表示／非表示が切り替わります。線が交差する点は、現在の因子値を示します。プロットの上側に表示されている「**現在のX**」の値は、3本の線が交差する点の座標を示しています。

制約の表示　因子の制約を表す陰影の表示／非表示が切り替わります。これらの制約は、プロットの上にある「**下限**」列と「**上限**」列に入力するか、因子の「配合」の列の属性に入力します。

増加方向を表す点線　各等高線に対する点線の表示／非表示が切り替わります。この点線は、応答の増加方向を示しています。

等高線グリッド　ユーザが指定した間隔で等高線が描かれます。

等高線グリッドの削除　プロットから等高線グリッドを削除します。

因子設定　このサブメニューには、**配合プロファイル**の設定を保存してJMPの別の部分に移すためのコマンドが含まれています。コマンドの詳細については、「因子設定」（34ページ）にある予測プロファイルのコマンドの説明を参照してください。

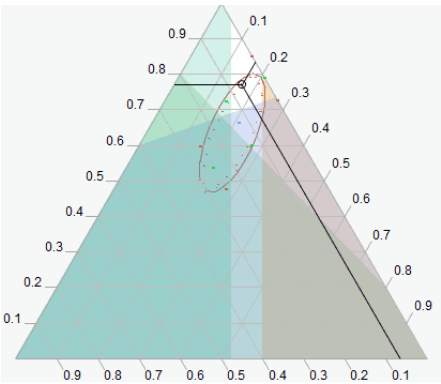
線形制約

「配合プロファイル」でも、線形制約を設定することができます。ただし、「配合プロファイル」は、データテーブルの**「制約」**テーブルスクリプトでしか制約を設定できません。テーブルスクリプトを作成する方法については、「プロファイル」の章の「線形制約」（51ページ）を参照してください。

制約を使用しているときは、プロファイル上の実現不可能な領域にカラーの陰影がつきます。図6.5の配合プロファイルには、4つの制約があり、それぞれが陰影として表示されています。陰影のない白色の部分が条件に合った領域です。制約は次のとおりです。

- $4*p2 + p3 \leq 0.8$
- $p2 + 1.5*p3 \leq 0.4$
- $p1 + 2*p2 \geq 0.8$
- $p1 + 2*p2 \leq 0.95$

図6.5 線形制約を示すカラーの陰影



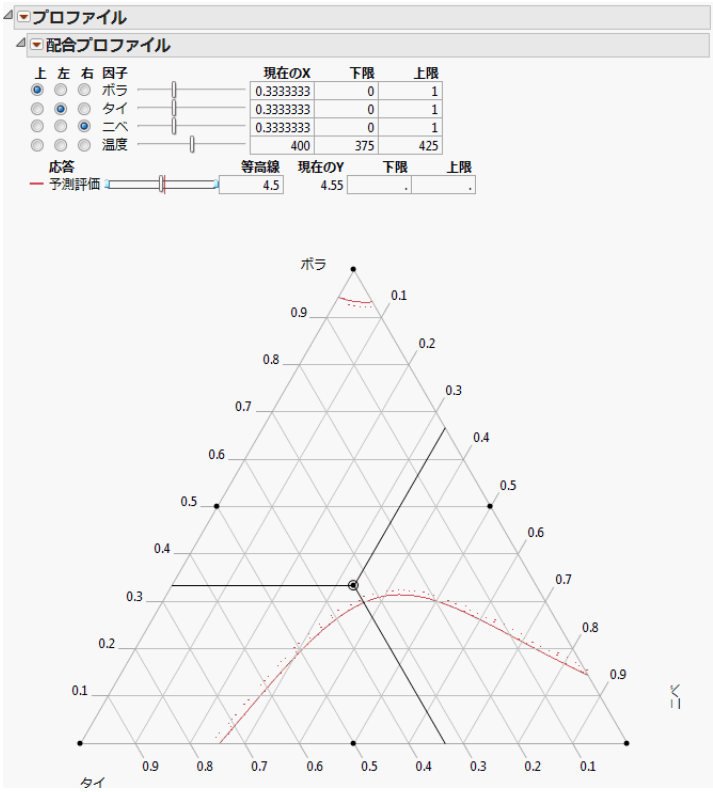
例

応答変数が 1 つの場合

ここでは、Cornell（1990）で取り上げられている、魚のパティの舌触りを最適化するための実験データをアレンジしたデータテーブルを使います。まず、「Fish Patty.jmp」を開いてください。「**ボラ**」、「**タイ**」、「**ニベ**」の各列は、パティに使われた魚肉の割合を示します。「**温度**」列は、パティを焼いたときのオーブンの温度です。応答変数である「**評価**」列は、舌触りの良さを測定したもので、値が大きいほど良い評価を表します。データに応答曲面モデルがあてはめられ、その予測式が「**予測評価**」という列に保存されています。

「**配合プロファイル**」を起動するには、［**グラフ**］>［**配合プロファイル**］を選択します。「**予測評価**」に［**Y, 予測式**］の役割を割り当て、［**OK**］をクリックします。分析レポートは、図6.6のようになります。

図6.6「配合プロファイル」のレポート



メーカー側は、評価を5以上にしたいと考えています。「**予測評価**」の調整スライダを使って等高線を5に近づけてみましょう。または、「**等高線**」テキストボックスに「5」と入力し、等高線の値を5に設定することもできます。等高線は、図6.7のようになります。

図 6.7「予測評価」が 5 のときの等高線

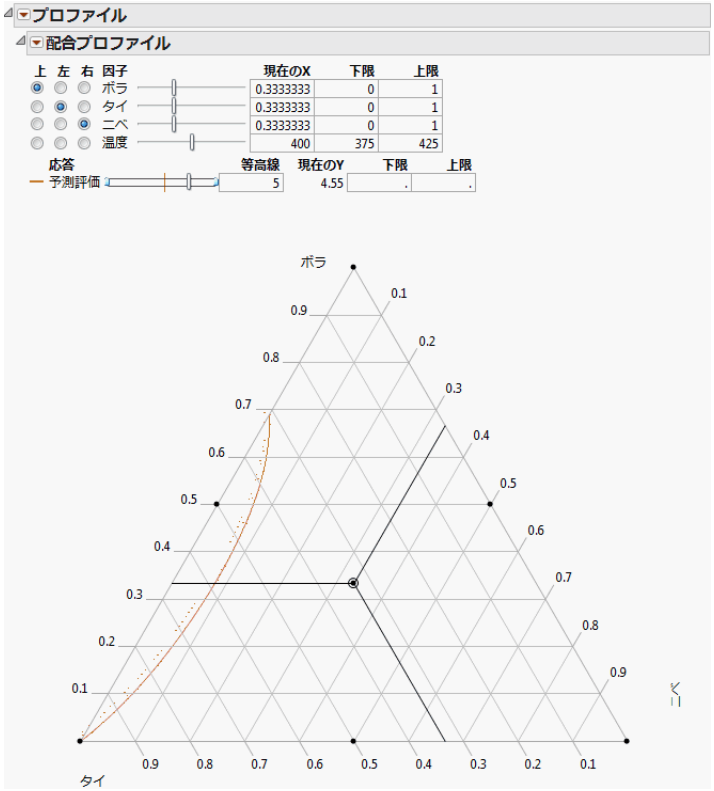
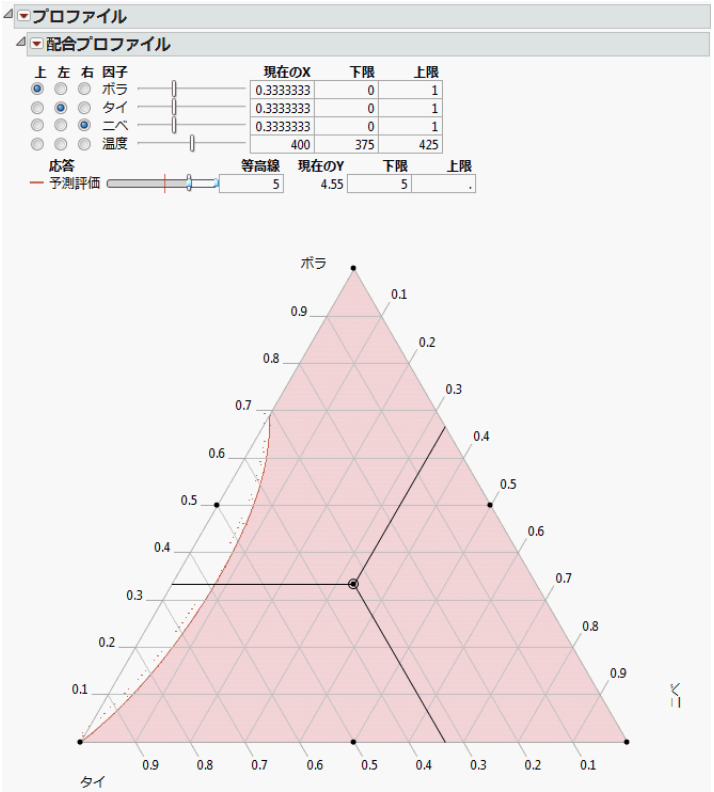


図 6.7 の等高線に付随した点線は、「**予測評価**」の増加方向を示しています。「**下限**」テキストボックスに「5」を入力します。すると、プロットにカラーの陰影が表示されます（図 6.8）。陰影つきの領域における因子の組み合わせでは、評価が 5 を下回ります。評価が 5 以上のパティを製造するためには、条件に合った（陰影のついていない）領域に因子を設定する必要があります。

陰影が付いていない領域では、評価が 5 以上になります。この領域を見ると、条件を満たすには、「**ニベ**」の割合を低く（10% 未満）、「**ボラ**」の割合をやや低く（70% 未満）、「**タイ**」の割合をやや高く（30% 以上）しなければいけないことがわかります。

図 6.8「予測評価」が 5 以上になる領域



ここまでは、4 つ目の因子である「**温度**」が常に 400 度で固定されていました。「**温度**」の調整スライダを動かして条件に合う領域が変化するのを確認してみましょう。

この後の分析作業としては、次のようなものが考えられます。

- 4 つの因子すべてを同時に考慮して応答を最適化する。「カスタムプロファイル」（93 ページ）の章または「プロファイル」の章の「満足度プロファイルと最適化」（37 ページ）を参照してください。
- 応答を、因子とモデル誤差に見られる確率変動の関数としてシミュレーションする。「シミュレータ」（97 ページ）の章を参照してください。

応答変数が複数ある場合

ここでは、「Five Factor Mixture.jmp」データテーブルを使います。このデータテーブルには、連続量の因子が 5 つ（「**x1**」～「**x5**」）、カテゴリカルな因子が 1 つ（「**タイプ**」）、応答が 3 つ（「**Y1**」、「**Y2**」、「**Y3**」）あります。各応答に応答曲面モデルをあてはめ、その予測式を保存したものが「**Y1 の予測値**」、「**Y2 の予測値**」、「**Y3 の予測値**」です。

「**配合プロファイル**」を起動し、3つの予測値の列に［**Y, 予測式**］を割り当て、［**OK**］をクリックします。「**Y3の予測値**」の「**等高線**」テキストボックスに「3」を入力して等高線を追加します。分析レポートは、図6.9のようになります。

図6.9 5因子の配合の分析レポート

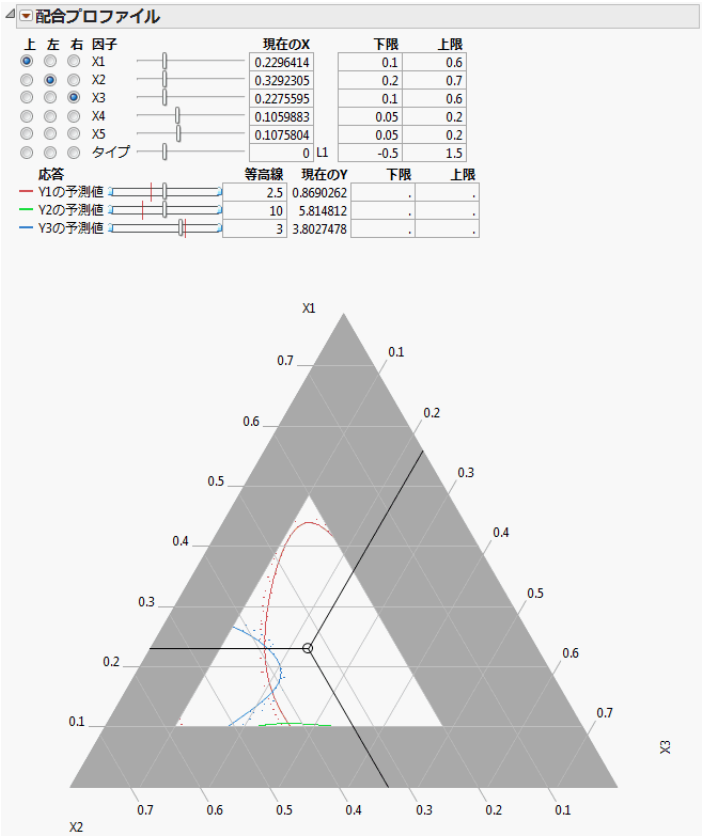


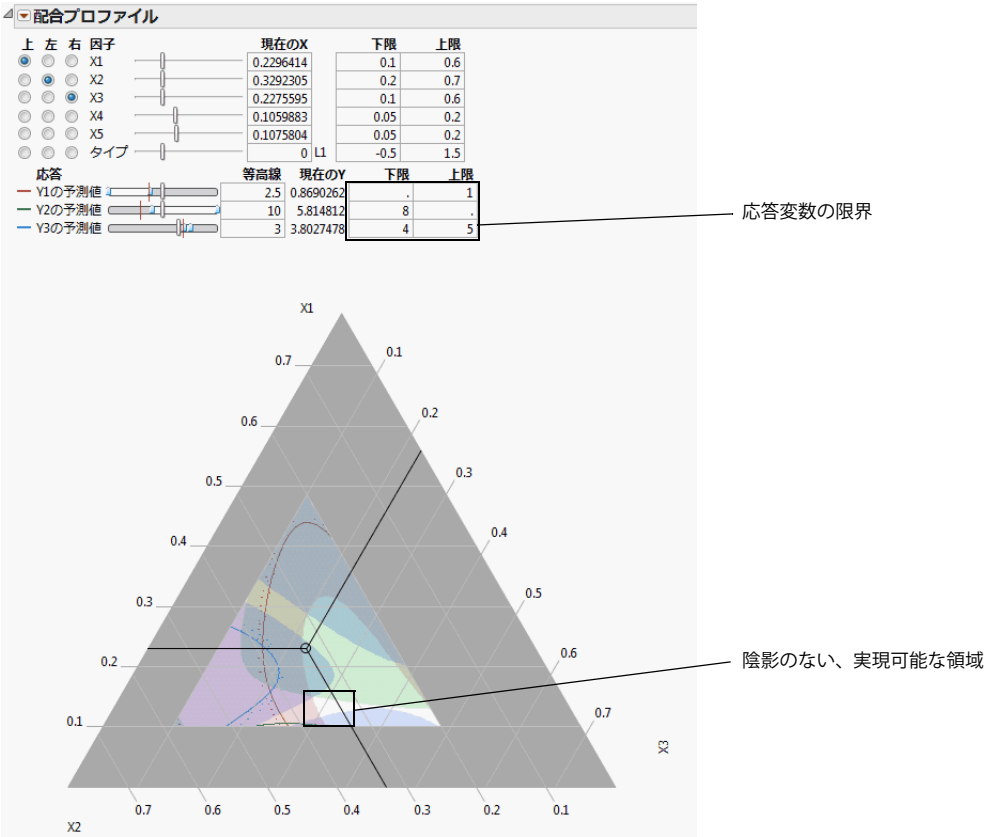
図6.9のレポートについて、詳しく見てみましょう。

- 因子はすべてウィンドウの上部に表示されています。配合因子には、下限と上限があり、列プロパティとしてあらかじめ入力されていた値が使用されます。列プロパティの入力方法については、『JMPの使用法』を参照してください。また、「**下限**」と「**上限**」のテキストボックスに値を直接入力することもできます。
- プロットのうち、陰影がついている領域は、上限と下限の範囲外であることを示します。
- プロットに表示されている「**x1**」、「**x2**」、「**x3**」は、ラジオボタンがオンになっています。
- カテゴリカルな因子である「**タイプ**」にもラジオボタンが表示されていますが、この因子をプロットに含めることはできません。「**タイプ**」の現在の値、L1は、「**現在のX**」テキストボックスのすぐ右に表示されています。「**タイプ**」の「**現在のX**」テキストボックスには、L1の代わりに「0」が表示されています。
- 3つの予測式は、すべてプロットに含まれており、色分けして表示されています。

メーカーは、「**Y1**」を1未満、「**Y2**」を8以上、「**Y3**」を4～5（目標は4.5）にしたいと考えています。さらに、因子の下限と上限も考慮に入れなければなりません。「**配合プロファイル**」を使えば、応答曲面を調べ、最適な因子設定を特定することができます。

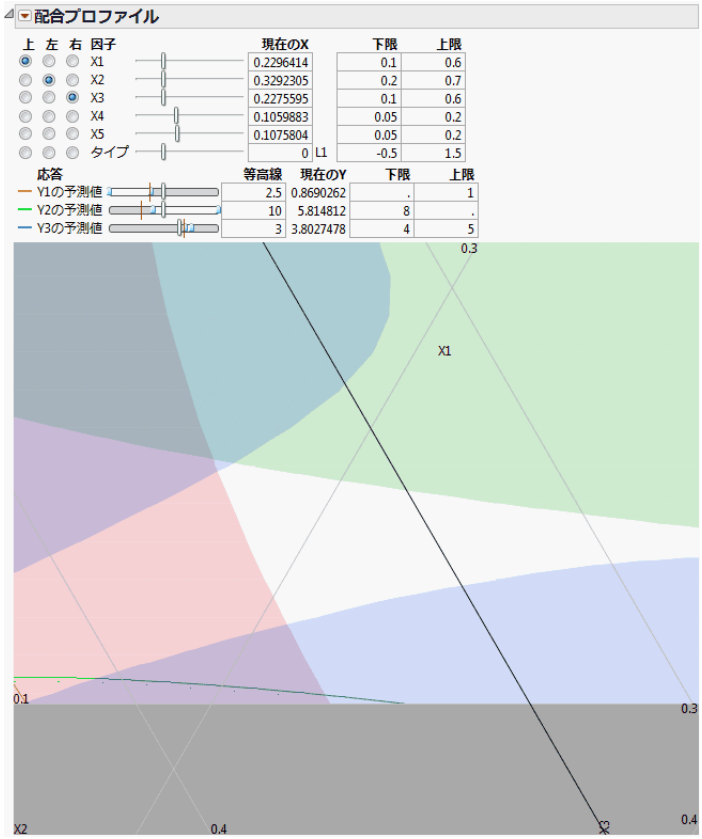
まず、X4およびX5に対して値を入力します。次に、「**下限**」と「**上限**」のテキストボックスに応答の制約を入力します（図6.10）。プロット上に、実現不可能な領域を示すカラーの陰影が表示されます。陰影のない、白い部分が実現可能な領域です。「**応答**」の調整スライダを使って等高線を実現可能な領域に配置します。

図6.10 応答の限界と陰影



実現可能な領域はかなり狭くなっています。虫めがねツール（ ）を使い、で実現可能な領域（図6.10の枠内）にズームインしてみましょう。拡大した領域を図6.11に示します。

図 6.11 実現可能な領域を拡大したところ



メーカーの目標は、Y1を最大化し、Y2を最小化し、Y3を4.5にすることです。

- **「Y1 の予測値」**の調整スライダまたは**「等高線」**テキストボックスを使って、実現可能な領域内で赤い等高線を最大化します。増加方向を表す点線を見れば、応答の予測値の増加方向がわかります。
- **「Y2 の予測値」**の調整スライダまたは**「等高線」**テキストボックスを使って、実現可能な領域内で緑色の等高線を最小化します。
- **「Y3 の予測値」**の**「等高線」**テキストボックスに「4.5」を入力して、青い等高線を目標値へ移動させます。

こうして設定した3つの等高線は、1点で交差しないため、多少の妥協が必要になります。それには、3本の直線の交差する点を、等高線で囲まれた領域の中央に配置し、それぞれの因子の水準を調べます。

図 6.12 因子設定

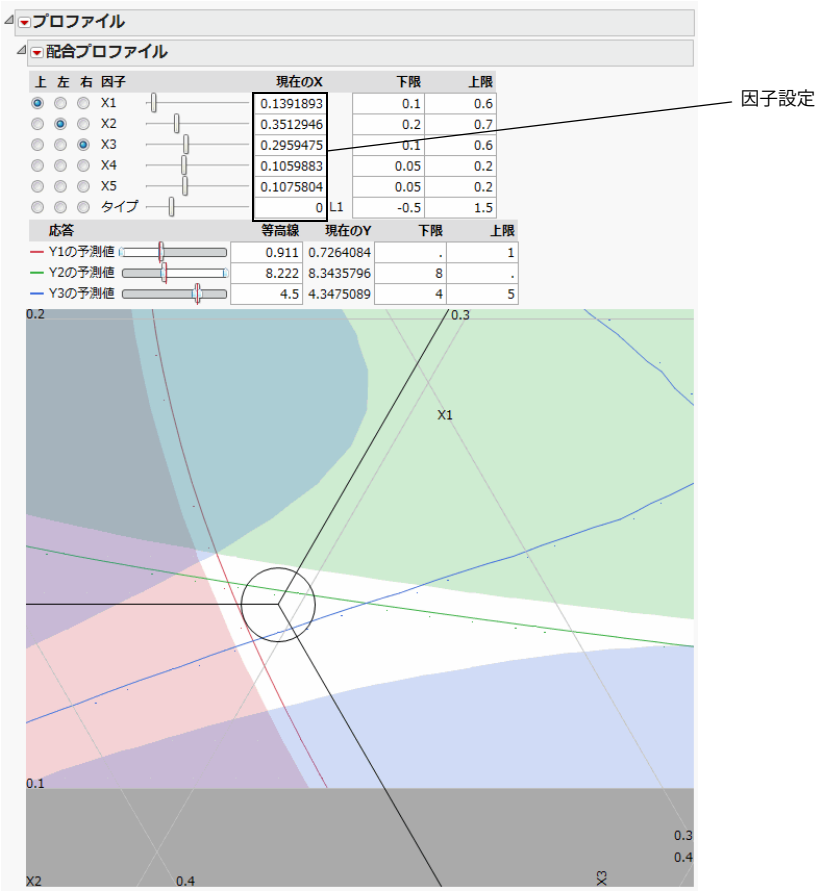
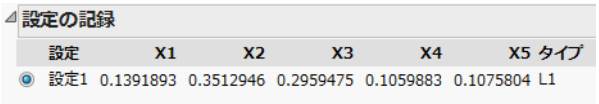


図 6.12 にあるように、最適な因子設定は「**現在の X**」テキストボックスに表示されています。

これらの最適解は、「**x4**」、「**x5**」、「**タイプ**」の現在の値に対して成り立っています。「**配合プロファイル**」の赤い三角ボタンのメニューから［**因子設定**］>［**設定を記録**］を選択し、現在の設定を保存します。設定は、レポートウィンドウの末尾に次のような形で表示されます。

図 6.13 設定の記録



現在の設定を保存してから、「**x4**」、「**x5**」、「**タイプ**」の値を変更し、実現可能な領域の変化を見てみます。「**設定の記録**」レポートを見れば、「**タイプ**」の各水準における因子設定と応答値を比較することができます。

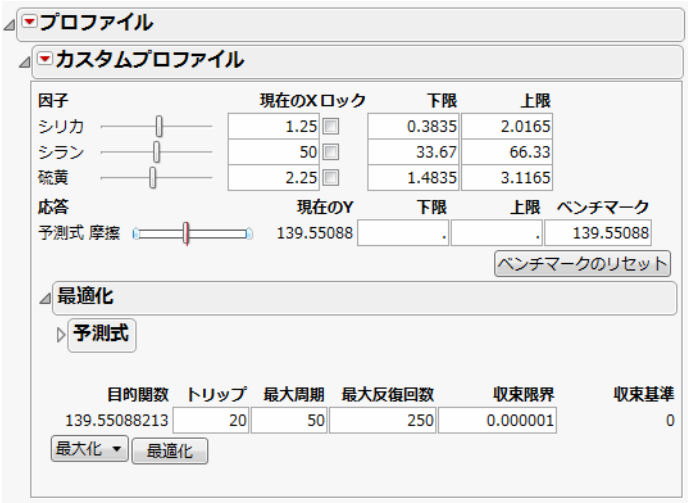
第 7 章

カスタムプロファイル

数値計算により応答曲面を調べる

「カスタムプロファイル」では、グラフを表示せずに、計算だけによって因子設定を最適化します。これは、問題が大規模で、視覚的に把握しようとするとグラフの数が多くなってしまう場合に有効な方法です。

図 7.1 カスタムプロファイルの例



目次

カスタムプロファイルの概要 95
「カスタムプロファイル」プラットフォームのオプション 95

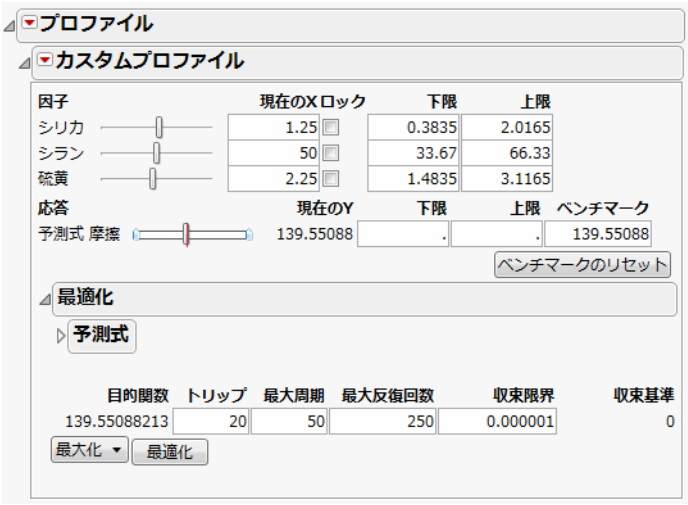
カスタムプロファイルの概要

「カスタムプロファイル」では、グラフを表示せずに、計算だけによって因子設定を最適化します。これは、問題が大規模で、視覚的に把握しようとするとグラフの数が多くなってしまう場合に有効な方法です。

フィールドの多くは、他のプロファイルと同じです。**「ベンチマーク」**フィールドの値は、現在の設定で計算した予測式の値です。［**ベンチマークのリセット**］をクリックすると、結果が更新されます。

「最適化」アウトラインノードでは、最適化の対象とする計算式や、最適化の反復計算に関する詳細を指定します。［**最適化**］ボタンをクリックすると、現在の設定で最適化が行われます。

図 7.2 カスタムプロファイル



「カスタムプロファイル」プラットフォームのオプション

因子設定　「プロファイル」の章の「因子設定」（34 ページ）で説明しているサブメニューと同じものです。

反復のログ出力　反復をテーブル形式で出力します。

線形制約の変更　線形制約を追加、変更、削除できます。設定された線形制約のもとで、**「カスタムプロファイル」**の最適化が行われます。「プロファイル」の章の「線形制約」（51 ページ）を参照してください。

線形制約の保存　既存の線形制約を**「制約」**という名前のテーブルプロパティ／スクリプトに保存できます。「プロファイル」の章の「線形制約」（51 ページ）を参照してください。

シミュレータ　シミュレータが開きます。「シミュレータ」（97 ページ）の章を参照してください。

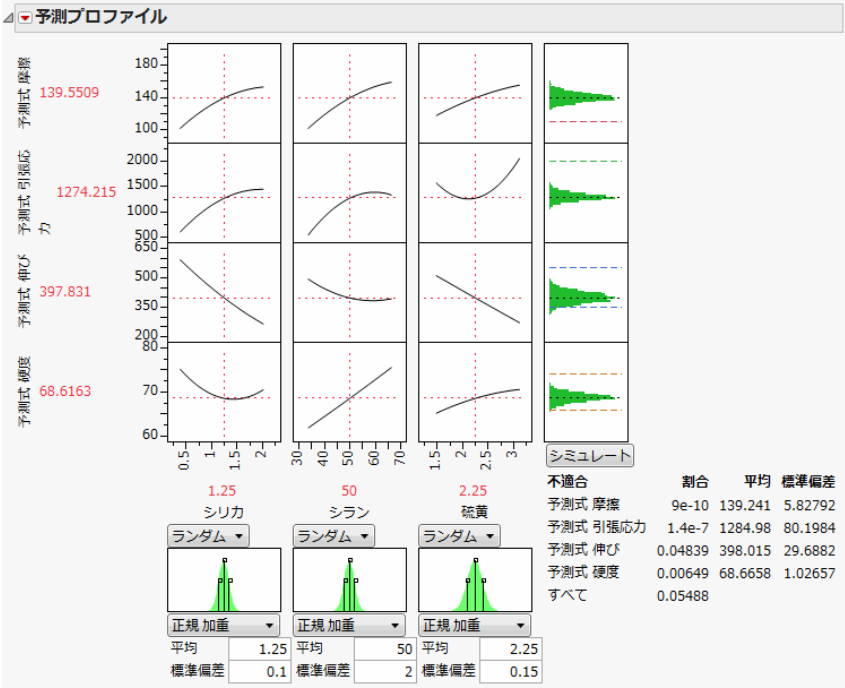
第 8 章

シミュレータ

応答に対する変動の効果を調べる

シミュレーション機能では、因子や誤差に対して乱数を生成し、それらに対する応答の分布を調べることができます。この機能では、因子や誤差の確率分布を指定した後、乱数シミュレーションを行います。結果は、データテーブルに保存することもできます。「予測プロファイル」のシミュレータは、グラフによって視覚的に設定や結果が描かれます。各因子に対する確率分布の設定が、プロファイルのグラフの下に描かれます。また、応答のヒストグラムが、グラフの右に描かれます。

図 8.1 プロファイルとシミュレータの例



目次

シミュレータの概要 99
因子の指定 102
「応答」レポートのオプション 104
「シミュレータ」レポートのオプション 104
仕様限界の使用 105
一般的なモデルのシミュレーション 107
不適合率プロファイル 110
グラフのスケール 111
不適合率の期待値 111
シミュレーションの手法と詳細 112

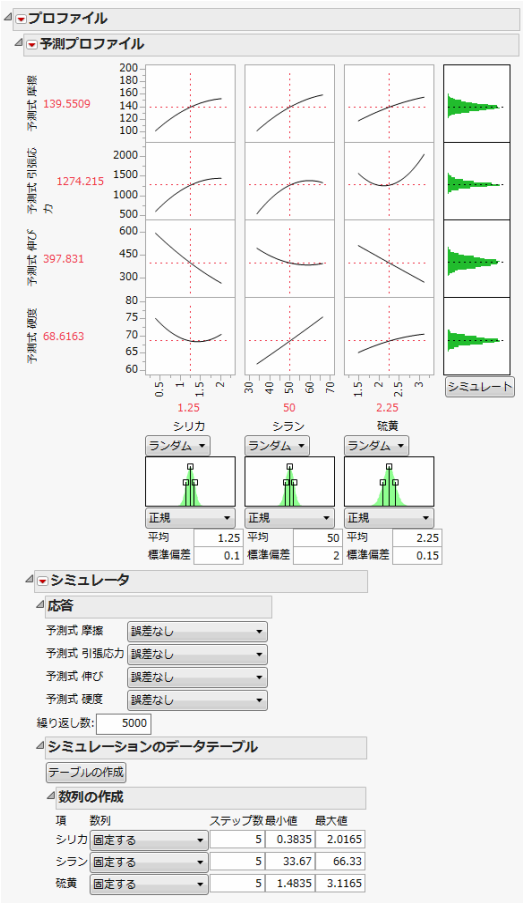
シミュレータの概要

「プロファイル」のシミュレーション機能では、因子や誤差に対して乱数を生成し、それら対する応答の分布を調べることができます。この機能では、因子や誤差の確率分布を指定した後、乱数シミュレーションを行います。結果は、データテーブルに保存することもできます。

この機能には、工程の不適合率（不良率）を予測したり、因子のばらつき（変動）に対してロバストかどうかを調べたりするなどの用途があります。応答に仕様限界が設定されている場合は、それがシミュレーション出力に適用されるので、新しい因子設定を適用した時の工程能力をシミュレーションにより事前に分析することができます。

「予測プロファイル」の**シミュレータ**は、グラフによって視覚的に設定や結果が描かれます。各因子に対する確率分布の設定が、プロファイルのグラフの下に描かれます。また、応答のヒストグラムが、グラフの右に描かれます。

図 8.2 プロファイルとシミュレータ



「予測プロファイル」以外のプロファイルでは、**シミュレータ**の設定や結果は、視覚的なグラフになっていません。ヒストグラムも表示されず、全体にテキスト中心のインターフェースです。ただし、内部的に行われる処理や、出力されるデータテーブルなどはまったく同じです。

シミュレーションの実行例

ヒント：乱数の生成と一緒に、［**テーブルの作成**］や「数列の作成」のオプションを利用することができます。なお、「数列の作成」のオプションは、分布が「正規」、「一様」、「三角」の場合にしか指定できません。

シミュレータで乱数を生成するには、まず、シミュレーションの回数を、**「繰り返し数」**ボックスに入力します。

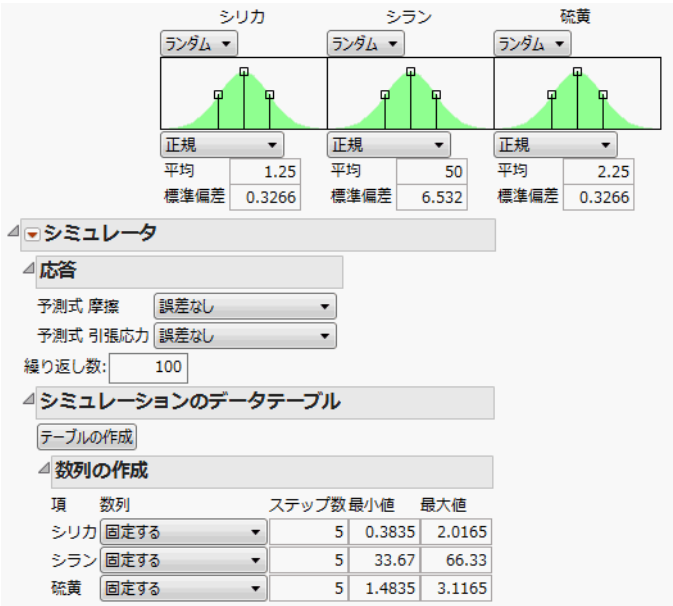
次に、因子と応答の分布を指定します。最後に、［**シミュレート**］ボタンをクリックすると、シミュレーションが実行されます。もしくは、［**テーブルの作成**］ボタンをクリックすると、**「繰り返し数」**に指定した数だけの行を含むデータテーブルが作成されます。各行に、指定した分布の乱数が生成され、それに対する応答の値が計算されます。仕様限界が与えられているときは、応答変数の値が仕様限界の内にあるか外にあるかを示す列も作成されます。

「数列の作成」にあるオプションを使えば、入力値の平均が変化したとき（「位置母数の等差数列」）や、ばらつきが変化したとき（「尺度母数の等差数列」）に、応答の分布がどのように変化するかを確認できます。

「数列の作成」の例

1. 「Tiretread.jmp」データテーブルを開きます。
2. ［**グラフ**］>［**プロファイル**］を選択します。
3. **「予測式 摩擦」**と**「予測式 引張応力」**を選択し、［**Y, 予測式**］をクリックします。
4. ［**OK**］をクリックします。
5. 「予測プロファイル」のタイトルバーにある赤い三角ボタンをクリックし、［**シミュレータ**］を選択します。
6. 各因子を［**固定**］から［**ランダム**］に変更します。
7. **「繰り返し数」**の値を100に変更します。
8. 「シミュレーションのデータテーブル」を開き、そこにある「数列の作成」も開きます。

図 8.3 シミュレータの設定



ここでは、因子の平均が変化したときに、応答がどのように変化するかを調べていきましょう。

9. **「シリカ」**の「数列」として［**位置母数の等差数列**］を選択します。「ステップ数」は 5 のままにしておきましょう。シミュレータにおける正規分布の平均は、1.25 になっています。ここでは、「最小値」を 1、「最大値」を 2 に変更しましょう。
10. **「シラン」**の「数列」として［**位置母数の等差数列**］を選択します。「ステップ数」は 5 のままにしておきます。シミュレータにおける正規分布の平均は 50 になっています。ここでは、「最小値」を 40、「最大値」を 50 に変更しましょう。
11. **「硫黄」**の「数列」として［**位置母数の等差数列**］を選択します。「ステップ数」は 5 のままにしておきます。シミュレータにおける正規分布の平均は 2.25 になっています。ここでは、「最小値」を 2、「最大値」を 3 に変更しましょう。

図 8.4「数列の作成」の設定

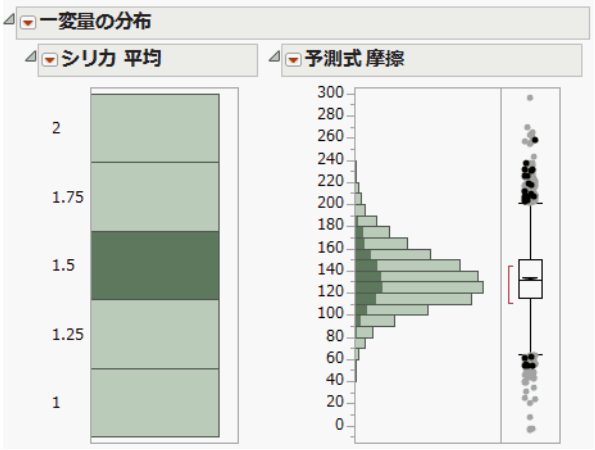
12. ［**テーブルの作成**］をクリックします。

「シリカ 平均」、**「シラン 平均」**、**「硫黄 平均」**の各列に、指定した各値範囲内の 5 つのステップ（**「シリカ 平均」**の場合は 1、1.25、1.5、1.75、2、**「シラン 平均」**の場合は、40、42.5、45、47.5、50 など）が入

力されています。「**予測式 摩擦**」列と「**予測式 引張応力**」列の値が、値の組み合わせごとに計算されているため、因子値の変化に伴う応答変数の変化の様子を把握できます。

13. ［**分析**］ > ［**一変量の分布**］を選択します。
14. 「**予測式 摩擦**」と「**シリカ 平均**」を選択し、［**Y, 列**］をクリックします。
15. ［**OK**］をクリックします。

図 8.5 「シリカ 平均」と「予測式 摩擦」の分布



「**シリカ 平均**」のヒストグラムの棒をクリックすると、選択された平均に対し、「**予測式 摩擦**」の値がどのように分布しているかを確認できます。

因子の指定

因子（入力）と応答（出力）は「**プロファイル**」ですでに役割が与えられています。シミュレータでは、因子や誤差に対する乱数を設定します。

どのような値を割り当てるかに関して、因子ごとに次のような方法が選択できます。

固定　因子を指定の値で固定します。初期値として表示されるのは予測プロファイルでの現在の値なので、最適化によって得られた値をそのまま使用できます。

ランダム　因子に分布と分布パラメータを割り当てます。

乱数関数の大部分は、『JMP の使用法』で説明されています。カテゴリカル因子の場合、各カテゴリに対して指定された確率によって分布が決められます。なお、指定された確率は、合計が 1 になるように正規化されます。

「**正規 加重**」は、与えられた平均と標準偏差を持つ正規分布に従いますが、層別化と加重を伴う特殊な乱数生成法が使われています。これは、分布の裾に位置する非常に稀なイベントをシミュレートするためで

す。低い不適合率の値を正確に算出したいときに有効です。「統計的詳細」（125 ページ）を参照してください。

「正規 切断」は、下限と上限で切断された正規分布です。生成された乱数のうち、限界を超えているものは破棄され、限界内にある値だけが採用されます。検査システムにおいて入力が仕様限界を満たさない場合に廃棄または返送されるような場合をシミュレートするのに用います。

［正規 打ち切り］は、下限と上限で打ち切られた正規分布です。生成された乱数のうち、限界を超えているものがその限界値に一致するものとして扱われるので、限界の箇所に点の塊ができます。入力が仕様限界を満たさない場合に限界内に収まるまでやり直されるようなシステムをシミュレートするのに用います。

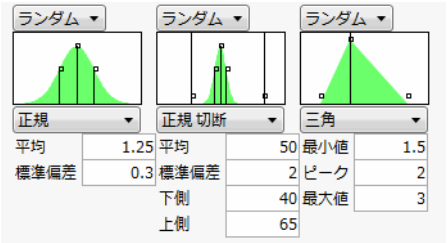
［標本］は、データテーブル内のその列からランダムに値を抽出します。

［外部］は、別のデータテーブル内の列からランダムに値を抽出します。ユーザーがテーブルと列を選択します。

［連携］チェックボックスは、［標本］または［外部］オプションで複数のソースから値を抽出する場合に使用します。チェックマークをつけると、値がテーブル内の同じ行からランダムに抽出されます。これは、2 つの列の間の相関構造を維持したいときに有効です。［連携］オプションを、異なるテーブルに属する 2 つの列の連携に使用したいときは、各列の行数が等しいことを確認してください。

「プロファイル」では、連続分布の場合、分布の形状をグラフ上で設定できます。グラフ上に点 (ハンドル) が表示されており、この点をドラッグすると分布が変化します。正規分布の場合、平均と、平均±1 標準偏差に点が配置されています。切断正規分布と打ち切り正規分布では、上下限値にも点があります。一様分布では上下限値、三角分布では上下限値と最頻値に点が配置されています。

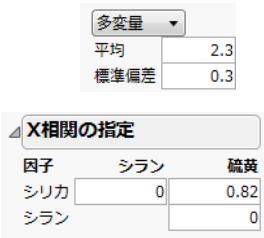
図 8.6 分布



式　JMP スクリプト言語（JSL）で書いた独自の式をフィールドに入力します。乱数関数を用いて新しい分布を自由に作成することができます。たとえば、負の値が生じないように打ち切った正規分布を作るには、`Max(0,RandomNormal(5,2))` といった式にします。また、文字列の結果に対応しているので、たとえば、`If(Random Uniform() < 0.2, "M", "F")` といった式も可能です。式を入力した後、［**リセット**］ボタンをクリックすると式が設定されます。

多変量　相関する因子がある場合に多変量正規分布を作ることができます。因子の平均と標準偏差を指定し、それとは別に相関行列を指定します。

図 8.7 相関行列の使用



「応答」レポートのオプション

因子からだけでなく、誤差によってもランダムな影響を応答変数が受けていると考えられる場合、その誤差を「応答」にて指定することができます。選択肢は次のとおりです。

誤差なし モデルの応答のみが評価され、ランダム誤差は追加されません。

ランダム誤差の追加 指定された標準偏差を持つ正規分布に従う誤差を、モデルから得られる値に加算して、応答の値を計算します。

加重ランダム誤差の追加 分布は［ランダム誤差の追加］の場合と同じですが、重み付きの乱数生成が行われ、裾の方にある極端な値に対する推定精度が高まります。

多変量誤差の追加 まず、指定された相関行列をもとに、多変量正規分布に従う乱数のベクトルを生成します。それに、指定された標準偏差を掛け合わせ、その値をモデルから得られる値に加算します。

「シミュレータ」レポートのオプション

ヒストグラムの自動更新 ヒストグラムの自動更新機能のオン／オフが切り替わります。この機能をオンにすると、すべてのヒストグラムが自動的に変更されます。つまり、（分布上にある点をドラッグする操作によって）分布の形状を変更するごとに、新しいシミュレーション値でヒストグラムが描かれます。

不適合率プロファイル 不適合率(不良率)を、各因子ごとに、その因子の関数として表示します。このコマンドは、後述のとおり、仕様限界が設定された場合に使用できます。

不適合率パラメトリックプロファイル 不適合率を、各因子ごとに、その因子の分布パラメータの関数として表示します。不適合率プロファイルを起動すると使用可能になります。

シミュレーション実験　複数の分布位置に対するシミュレーション実験を実行します。ウィンドウが開いたら、計画点の数と使用する因子空間の割合、実験に含める因子を指定します。実験に含めない因子については、プロファイルに表示されている現在値が実験で使用される値となります。

実験計画の種類は、ラテン超方格法です。計画点と同数の行が作成されます。作成されるデータテーブルには、応答変数ごとの不適合率と、全体の不適合率が含まれます。全体の不適合率（または、その根や対数）には、Gauss 過程モデルをあてはめるとよいでしょう。

シミュレーション実験では、指定された分布どおりの乱数を生成するわけではありません。前述のとおり、計画の種類はラテン超方格法です。各計画点において、**「繰り返し数」**と同数の乱数が生成されます。その乱数は、計画点を中心とし、ばらつきと形状は指定された分布のものが使用されます。

仕様限界　仕様限界を表示し、編集します。

層数　通常は非表示になっているオプションで、Shift キーを押しながら「シミュレータ」の赤い三角ボタンのメニューを開くと表示されます。このオプションを使うと、正規加重分布の層数を指定できます。詳細は、「統計的詳細」（125 ページ）も参照してください。

乱数シード値の設定　通常は非表示になっているオプションで、Shift キーを押しながら**「シミュレータ」**の赤い三角ボタンのメニューを開くと表示されます。このオプションを使うと、シミュレーションのシード値を指定できます。シード値を 0 以外の値に設定すれば、シミュレーション結果を再現することができます。デフォルトではシード値が 0 に設定されています。［**テーブルの作成**］ボタンで作成されるデータを再現したい場合には、シード値に 0 以外の同じ値を指定してください。

仕様限界の使用

プロファイルは、仕様限界のある応答に対応しており、さまざまな機能が用意されています。

- **「プロファイル」**は、データテーブルに満足度の座標を示す**「応答変数の限界」**プロパティが設定されていない場合、**「仕様限界」**プロパティを探し、それらの**仕様限界**に従って満足度関数を作成します。
- 「シミュレータ」でシミュレーションテーブルを作成するときは、**「仕様限界」**が出力テーブルにコピーされるので、不適合率と工程指数の計算が簡単になります。
- **仕様限界**を指定すると、［**不適合率プロファイル**］機能が使えるようになります。

次の例では、以下のような**仕様限界**を使用します。

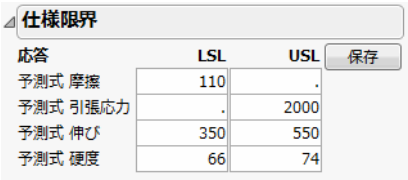
表 8.1「Tiretread.jmp」データテーブル用の仕様限界

応答	LSL	USL
摩擦	110	
引張応力		2000
伸び	350	550
硬度	66	74

データテーブルでこれらの限界値を設定するには、列を強調表示し、［**列**］ > ［**列情報**］を選択します。次に、［**列プロパティ**］ボタンをクリックし、［**仕様限界**］プロパティを選択します。

すでにプロファイルから**シミュレータ**にアクセスしている場合は、「**シミュレータ**」の赤い三角ボタンのメニューにある［**仕様限界**］コマンドを使って限界値を入力する方法もあります。

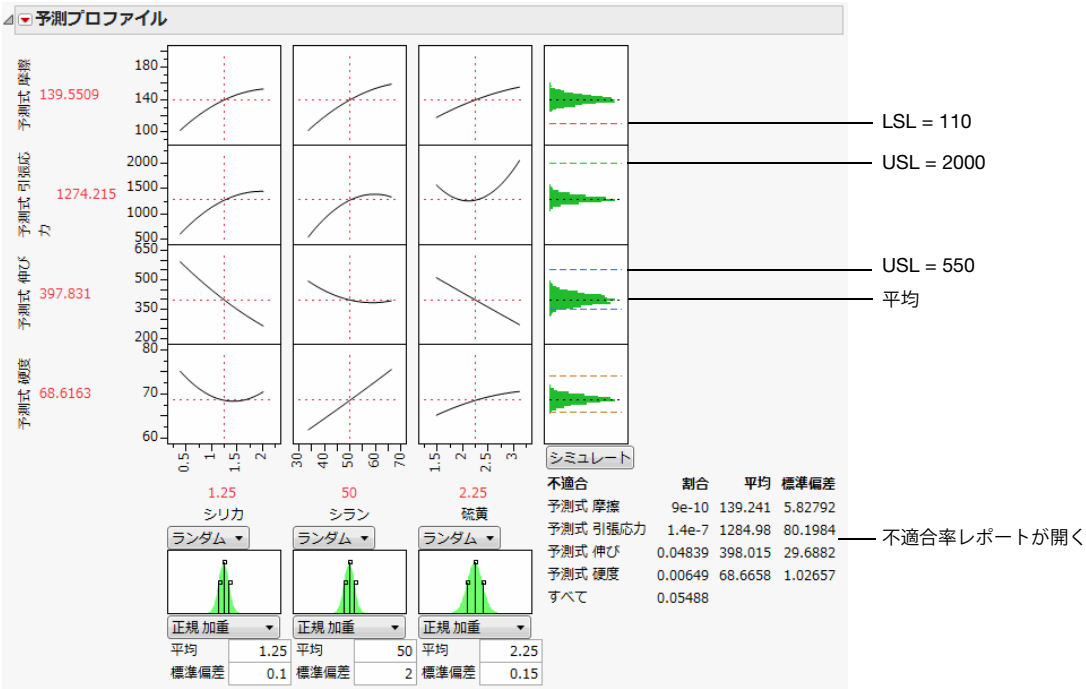
図 8.8 仕様限界



入力した仕様限界は、プロファイルに組み込まれます。仕様限界を列プロパティとしてデータテーブルに保存したいときは、［**保存**］ボタンをクリックします。

これらの仕様限界を使い、図 8.2 に表示されている分布を指定して、［**シミュレート**］ボタンをクリックします。ヒストグラムに仕様限界の線が表示されています。

図 8.9 予測プロファイルの仕様限界



「**摩擦**」のヒストグラムを見てみましょう。下側仕様限界が分布のはるか下にあり、不適合率はかなり小さいのですが、**シミュレータ**によってその推定値を求めることができます。たった5000回のシミュレーションで推定値が計算できています。このような希少なイベントの推定は、[**正規 加重**] 分布を使うと可能になります。

全体の不適合率（0.05226）が「**伸び**」変数の不適合率（0.0476）に近いことから、不適合の大部分が「**伸び**」に関連することがわかります。

この加重を伴うシミュレーションの計算過程を見るには、[**テーブルの作成**] ボタンをクリックし、「**重み**」列を調べます。

シミュレーションでは、極端な値も生成されていますが、それらに対する重みは小さくなっています。「**一変量の分布**」プラットフォームは、（分位点の計算などに関して）重みに対応しておらず、度数にしか対応していないので、度数の列も用意されています。この列の値は、重みに 10^{12} を掛け合わせたものです。

作成されたデータセットには、シミュレーションデータを工程能力分析で分析する「**一変量の分布**」スクリプトが保存されています。

一般的なモデルのシミュレーション

プロファイルとシミュレータは、「モデルのあてはめ」で保存された計算式をおもに使用します。しかし、列に保存された計算式であれば、どんな式でも用いることができます。特定の確率分布に従った財務モデルの結果を調べる際にも、シミュレーションを用いることができます。そのようなシミュレーションをJMPで実行するには、モデルの計算式を列に保存したデータテーブルを作成した後、プロファイルを呼び出し、各因子の確率分布を指定します。

表 8.2 財務シミュレーションのための因子と応答

入力（因子）	売上数量	1000～2000を範囲とする一様分布乱数
	単位価格	固定
	単位原価	平均が2.25、標準偏差が0.1の正規分布乱数
出力（応答）	収益	計算式: 売上数量 x 単位価格
	合計原価	計算式: 売上数量 x 単位原価 + 1200
	利益	計算式: 収益 - 合計原価

次のJSLスクリプトを実行すると、入力変数の上下限を含んだ下図のようなデータテーブルが作成されます。出力変数には計算式が保存されます。また、プロファイルも実行されます。

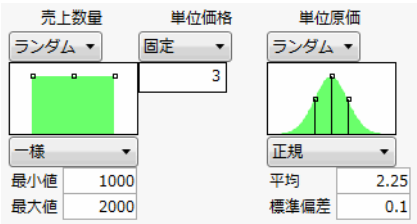
```
dt = newTable("売上モデル");
dt<<newColumn("売上数量",Values({1000,2000}));
dt<<newColumn("単位価格",Values({2,4}));
dt<<newColumn("単位原価",Values({2,2.5}));
dt<<newColumn("収益",Formula(:売上数量*:単位価格));
dt<<newColumn("合計原価",Formula(:売上数量*:単位原価 + 1200));
dt<<newColumn("利益",Formula(:収益-:合計原価), Set Property("仕様限界",{LSL(0)}));
```

```
Profiler(Y(: 収益 ,: 合計原価 ,: 利益 ), Objective Formula( 利益 ));
```

図 8.10 スクリプトから作成したデータテーブル

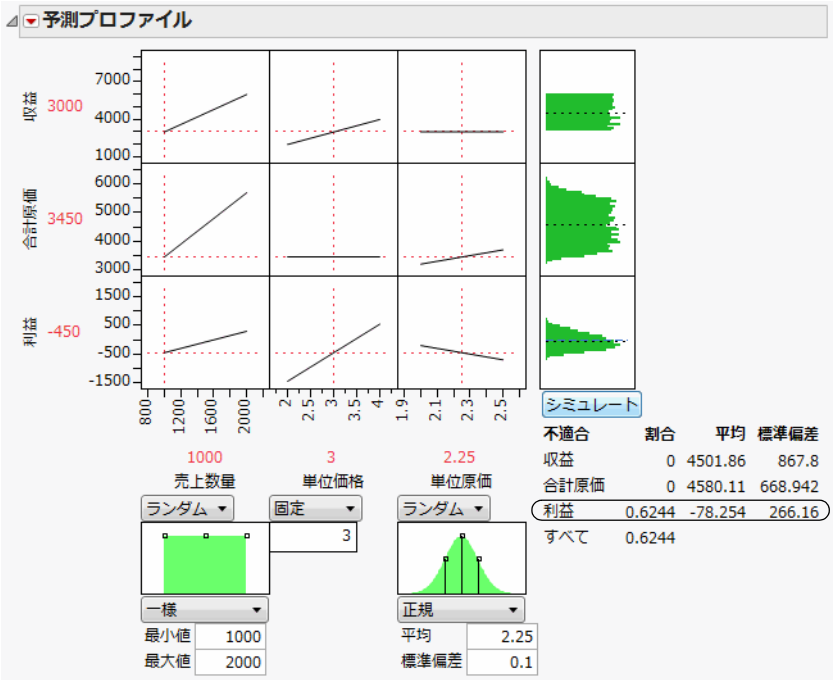
データが作成されたら、「**予測プロファイル**」から［**シミュレータ**］を選択します。シミュレータに表 8.2（107 ページ）の設定を入力します。

図 8.11 データテーブルを使ったプロファイル



シミュレーションを実行すると、「**プロファイル**」に次のようなヒストグラムが作成されます。

図 8.12 シミュレータ



これを見ると、あまり利益が上がらないことが予想されます。「**利益**」の下側仕様限界を 0 とした場合、不適合率レポートによれば利益が上がらない確率は（このデータでは）62% です。

そこで、「**単位価格**」を $3.25 に引き上げ、シミュレーションを再実行してみましょう。すると、利益が上がらない確率はおよそ 20% にまで下がりました。

図 8.13 結果

不適合	割合	平均	標準偏差
収益	0	4877.99	936.071
合計原価	0	4580.19	667.987
利益	0.2138	297.795	324.838
すべて	0.2138		

利益が上がらない確率をさらに下げたいのに、単位価格を引き上げることができない場合は、原価を抑えるか、売上を増やす方法を検討しなければなりません。

不適合率プロファイル

不適合率プロファイルは、他の因子はランダムに分布しているという条件のもとで、不適合の確率（仕様から外れた状態の確率、不良率）を各因子ごとにその因子の関数として表します。工程がどの因子の分布の変化に最も敏感かが調べられるので、品質の改善とコストの削減に役立ちます。

仕様限界により、どういう状態が不適合なのかが定義されます。また、確率変動するランダムな因子が、シミュレーションにおける変動を作り出し、不適合を発生させます。そのため、意味のある不適合率プロファイルを作成するには、仕様限界とランダムな因子の両方を設定する必要があります。

因子のうち少なくとも1つを「**ランダム**」に指定しないと、不適合率のシミュレーションは意味がありません。「**ランダム**」に設定された効果がない場合、シミュレーションの結果は定数になります。各因子の分布は、シミュレータにあるフィールドで指定します。

重要 : 非常に低い不適合率を推定するときは、［**正規**］ではなく［**正規 加重**］を選択してください。これにより、100万個につき数個というような低い不適合率でも数千回のシミュレーションを行うだけで精確な推定値が計算できます。

許容差設計について

許容差設計（**tolerance design**）とは、入力のばらつき（変動）を制御することにより、出力の不適合率をどれだけ制御できるかを調べることです。

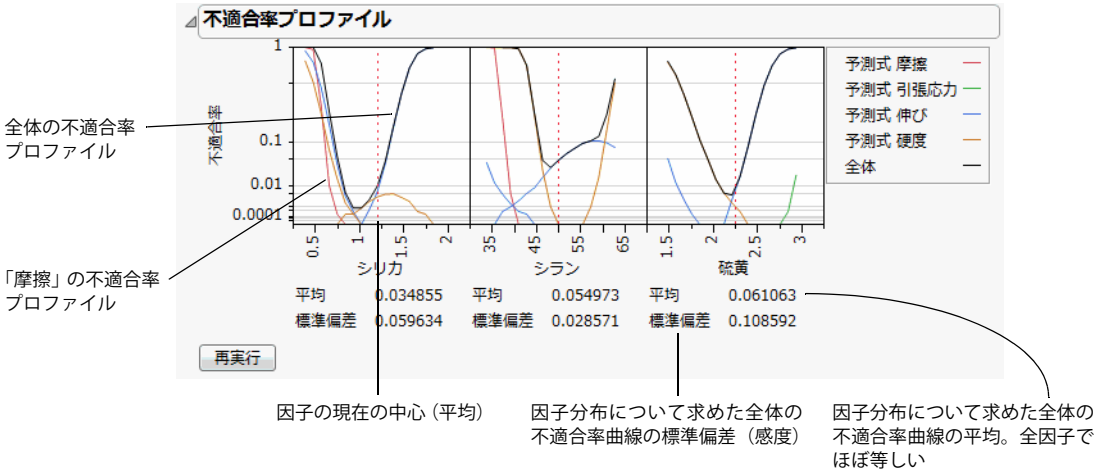
入力となる因子には、ばらつきがあります。供給業者に対して、仕様限界を示すことにより、入力の許容範囲を通知します。その後、供給業者から受け取った顧客により、入力が工程に投入され、出力が許容範囲内かどうかが判断されます。

許容差設計の分析により、入力の仕様限界が厳しすぎることが判明した場合は、仕様限界を緩めれば品質を落とさずに製造コストを下げることができます。これは、許容差設計がコストの削減につながるケースです。

また、仕様限界をより厳しくするか、目標値を変更すれば品質が向上することが判明する場合もあります。いずれにしろ、出力の不適合率がどの入力に対して最も敏感に反応するかは、貴重な情報です。

次のグラフは、不適合率を各因子の関数として示したものです。X軸に描かれる各因子だけが定数のように扱われ、その他の因子は指定されたランダムな分布に従っているとされます。複数の出力に仕様限界が設定されている場合は、不適合率の曲線が出力別に異なる色で表示されます。黒色の曲線は、全体の不適合率を示します。そのため、必ず他の色の曲線より高い位置にあります。

図 8.14 不適合率プロファイル



グラフのスケール

不適合率のグラフには、3 乗根のスケールが使用されるので、低い不適合率が詳しく調べられる一方、高い不適合率も表示されます。率がゼロであることは珍しくないので、ゼロが計算できない対数ではなく、3 乗根がスケールとして採用されています。

不適合率の期待値

不適合率プロファイルのプロットの下には、平均と標準偏差（SD）が表示されています。平均は、全体の不適合率を表します。この値は、不適合率曲線を、その因子に指定された確率分布で積分することにより求められています。

この例の場合、すべての因子の下に表示されている平均は、ほぼ同じ値になっています。この平均は、（［**シミュレート**］ボタンをクリックしたときに）ヒストグラムの下に表示される全体シミュレーションの不適合率と同じぐらいの値になるはずです。乱数に依存するため、これらの率の推定値は多少異なる場合もあります。これらの率の差が大きい場合は、シミュレーションの回数を増やしてください。また、因子スケールの範囲が十分な幅を持ち、積分する範囲内に分布が十分収まっていることを確認ください。

標準偏差は、不適合率がどれほど因子の変化に対して敏感かを示す指標です。因子プロファイルが平坦になっているか、もしくは、因子の分布の分散が十分に小さければ、この標準偏差は小さくなります。因子別の標準偏差を比較すると、どの因子のばらつきを減らすべきかがわかります。

平均と標準偏差は、因子の分布を変更すると更新されます。これを利用すると、因子の設定値をどのように変更すれば、不適合率を減らせるかを検討できます。因子の分布上にあるハンドルをドラッグし、因子の分布の変化によって平均と標準偏差がどのように変わるかを調べてください。ただし、因子の分布に対する変更をすべてに反映させるためには、［**再実行**］ボタンをクリックしてシミュレーションをもう一度実行する必要があります。

シミュレーションの手法と詳細

因子「**X1**」の不適合率プロファイルがどのように作成されるかを説明します。**X1** において、均等な間隔で k 個のグリッド点を選び出し、そのグリッド点ごとに「繰り返し数」と同数のシミュレーションを実行します（JMP では、k を通常、17 に設定します）。各グリッド点において、仕様限界を満たさない不適合が m 個生じた場合、そのグリッド点における不適合率は m/n と計算されます。なお、［正規 加重］が選ばれている場合は、計算には重みが使われます。こうして計算された不適合率をつなげて、**X1** の連続関数としてプロットします。

メモ

再計算　分布を変更した場合、その因子の不適合率の平均や標準偏差は自動的に再計算されますが、プロファイルの曲線は再計算されません。これは、シミュレーションに多少時間がかかることを配慮した設定です。

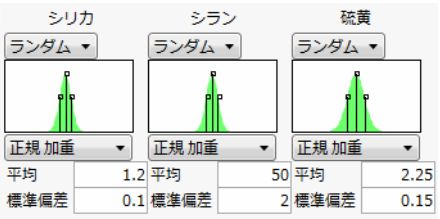
プロファイルを用いる目的　プロファイルの目的は、一般的な最適化ではありません。ここで、「一般的な最適化」とは、問題のあらゆる側面を考慮した関数を使って、コストと見合せながら品質を最適化するというものです。Space Filling 計画で実験計画を立てて、代用モデルを用いてモデル化することが、一般的な最適化の助けになるかもしれません。

不適合率プロファイルのぎざぎざ　不適合率プロファイルは、率が低い部分でぎざぎざになる傾向があります。これは、3 乗根のスケールでは低い値の差が誇張して表示されるためです。全体の不適合率曲線（黒色）が滑らかで、不適合率がある程度一貫していれば、シミュレーションの回数は十分と判断できます。黒色の線がそれほど低くないのにぎざぎざしている場合は、回数を増やしてください。通常は、2 万回に設定すれば曲線が安定します。

不適合率プロファイルの例

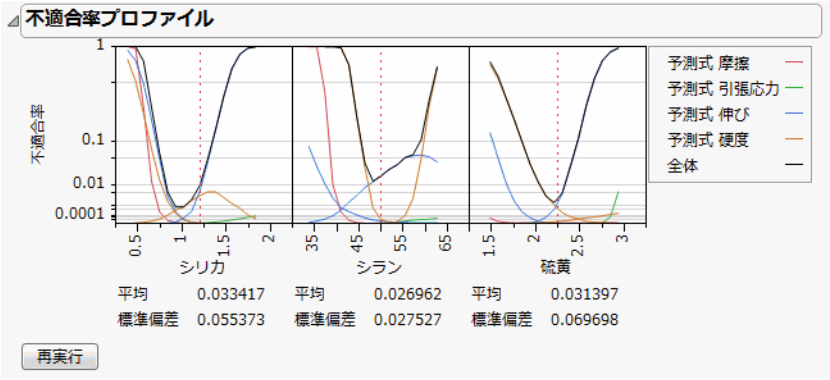
ここでは、「Tiretread.jmp」データテーブルと表 8.1 の仕様限界を使用して、不適合率プロファイルの標準的な使用手順を解説します。3 つの因子は、ランダムに変動する効果として次のように設定します。

図 8.15 プロファイル



［**不適合率プロファイル**］を選択して不適合率プロファイルを表示します。曲線、平均、標準偏差は、シミュレーションのたびに異なりますが、だいたい同じ値になります。

図 8.16 不適合率プロファイル



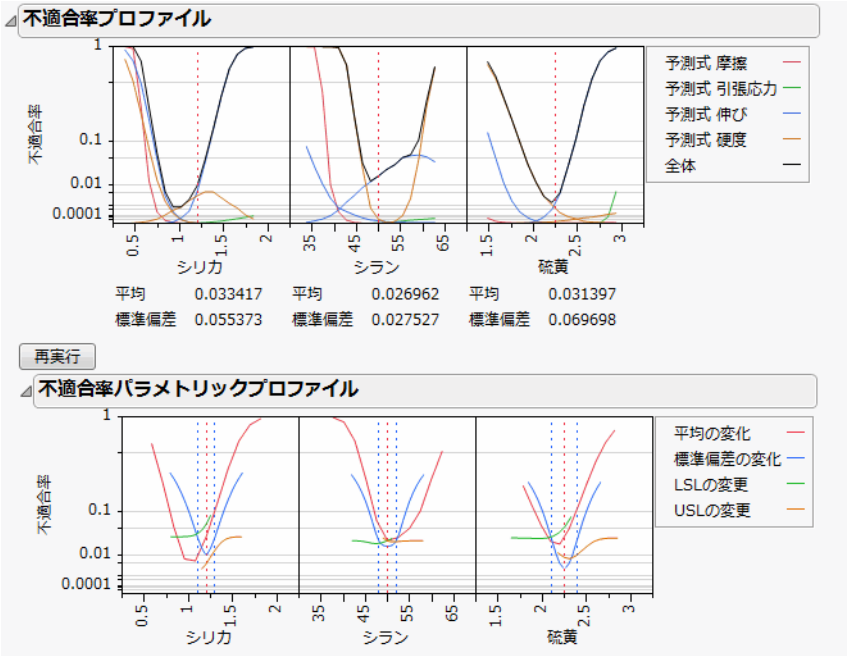
各因子の黒色の線は、他の因子はランダムに変動しているが、該当する因子はある X 値で固定している場合の不適合率を示します。

「**シリカ**」の曲線を見てみましょう。「**シリカ**」の値が 0.95 のとき、不適合率は 0.001 ですが、「**シリカ**」が 0.4 または 1.8 のときには 1 にまで上昇しています。「**シリカ**」は、それ自体、ランダムに変動する因子です。「**シリカ**」の不適合率プロファイルをその確率分布で積分した結果、不適合率の平均は 0.033 程度に推定されています。これは、「**シリカ**」全体における不適合率の平均値を表します。この値は、シミュレーションのヒストグラムの下に表示される全体の不適合率を推定したものですが、全体のシミュレーションではなく、数値積分によって求められています。その他の因子の平均も同様です。求め方が異なっているため、各因子ごとに表示されている平均値と、ヒストグラムの下に表示されている不適合率は、まったく同じ値にはなりません。また、「**シリカ**」の変動を考慮した不適合率の標準偏差も推定されています。「標準偏差」の値は 0.055 です。標準偏差は、その因子に対する不適合率の感度を表しています。

3 つの因子の標準偏差を見てみると、「**硫黄**」が「**シリカ**」よりずっと高い値であること、「**シリカ**」は「**シラン**」よりずっと高い値であることがわかります。つまり、不適合率を改善するためには、「**硫黄**」の分布を改善するのが近道のようです。分布を改善する方法としては、平均を変化させる、標準偏差を変化させる、特定の仕様限界を満たさない部品を拒絶することで分布を切断する、の 3 つが挙げられます。

「**シミュレータ**」の赤い三角ボタンのメニューには、これらの変化を視覚化するために［**不適合率パラメトリックプロファイル**］というコマンドが用意されています。これは、各因子分布の変化が不適合率にどのような影響を及ぼすかを示したグラフです。

図 8.17 不適合率パラメトリックプロファイル



「**硫黄**」について詳しく調べてみましょう。必要に応じてグラフを拡大し、詳細を確認できるようにします。

まず、現在の不適合率（0.03）が 4 つの曲線でそれぞれに表現されていることに注目します。

赤色の曲線は、「**平均の変化**」を表します。この赤色の曲線が、縦の赤い点線と交わっているところが現在の不適合率です。「平均の変化」の曲線は、平均を変化させたときの、全体の不適合率の変化を示しています。平均をわずかに左にずらせば、不適合率が低くなります。このプロット上で十字ツールを使うと、平均をずらすことで不適合率がおよそ 0.02 まで低くなることがわかります。

青色の曲線は、「**標準偏差の変化**」を表します。この青色の曲線が、2 本の青い点線と交わっているところが現在の不適合率です。青色の曲線は、因子の標準偏差を変化させたときの、全体の不適合率の変化を示しています。平均 ±1 標準偏差の位置に、青色の縦点線は引かれています。青色の曲線は、中心に対して左右対称に引かれます。通常、青色の曲線は中心において最小値となります。これは、標準偏差が 0 のときの不適合率です。「**硫黄**」の変動を完全に取り除いた場合、不適合率はおよそ 0.003 ということになります。これは、0.03 よりずっと良い値です。他の不適合率パラメトリックプロファイルを見ると、他の因子の変動を減らすより、「**硫黄**」の変動を減らす方が効果的なことがわかります。これは、「**硫黄**」の標準偏差の値から予想される結果に一致します。

LSL の変更を表す緑色の曲線には、問題解決の鍵が見当たりません。全体の分布が現在の不適合率より高い位置にあるためです。このことから、ばらつきを減らすために、「**硫黄**」が少なすぎる素材を棄てても、全体の不適合率は低下しないと言えます。

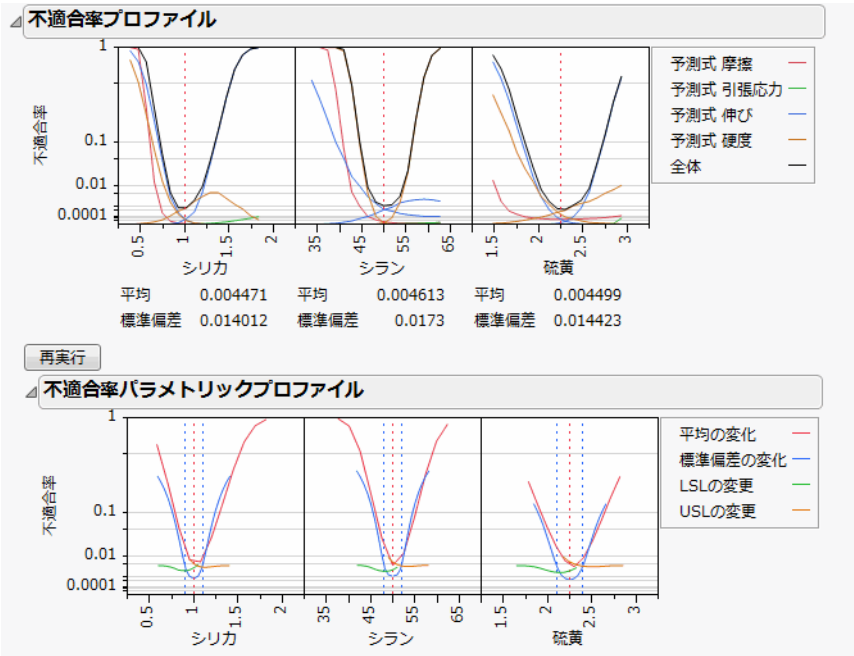
USL の変更を表すオレンジ色の曲線には、問題解決の鍵が隠れています。右から左へたどってみると、曲線は現在の不適合率（0.03）から始まり、**「硫黄」**の USL を小さくして、**「硫黄」**が多すぎる素材を棄てれば、全体の不適合率が改善するのがわかります。しかし、「硫黄」の仕様限界を中心ぐらいまでずらすのは、素材の半分を捨ててしまうことになるので、現実的な案とは言えません。

こうしてすべての因子について調べた結果、最初に行うべき改善処置は 2 つ考えられます。一つは、**「シリカ」**の平均を 1 に変更すること、もう一つは、**「硫黄」**の変動を減らすことです。一般に、工程平均の方が工程変動よりも変更が簡単なので、**「シリカ」**の平均を 1 に変更するのが妥当でしょう。

図 8.18「シリカ」の平均の変更

「シリカ」の平均を変更すると不適合率の曲線すべてが無効になるので、再実行が必要です。［**再実行**］をクリックすると新しい曲線が表示されます。

図 8.19 調整後の不適合率



不適合率は、およそ0.004と大幅に改善されています。不適合率をさらに下げたい場合は、パラメトリックプロファイルを引き続き検討し、分布に変更を加え、シミュレーションを再実行します。

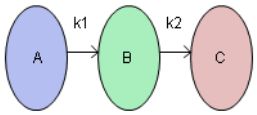
不適合率がさらに小さな値になると、因子ごとに計算されている不適合率平均の近似精度が、多少悪くなります。計算精度を上げたいときは、**プロファイル**の範囲内に因子の分布が収まるように設定し、分布の積分の計算精度を高める必要があります。

しかし、実践上は、これほどまで細かい微調整はあまり意味がないでしょう。なぜなら、応答曲面モデルの推定のもとになった実験自体が精度が非常に高いことは稀だからです。範囲を調整したら、最適解に近い領域に焦点を当ててもう一度実験を行う必要があるでしょう。

確率的最適化の例

ここでは、Box and Draper（1987）の著作から借用し、アレンジした「Stochastic Optimization.jmp」データテーブルを使います。ある化学反応プロセスで、化学物質「A」が化学物質「B」に変化するとしましょう。化学物質「B」の量は、反応時間と反応温度の関数として表されます。反応時間が長く、反応温度が高いほど、「B」の量は多くなります。ところが、反応時間を長く、反応温度を高くすると、「B」の一部がまた別の化学物質「C」に変化してしまうという問題があります。どの反応時間、どの反応温度のときに、「B」の量が最大になり、「A」、「C」の量が最小になるのでしょうか。反応時間を短くし、温度を上げるべきか、反応時間を長くし、温度を下げるべきかを調べてみましょう。

図 8.20 化学反応



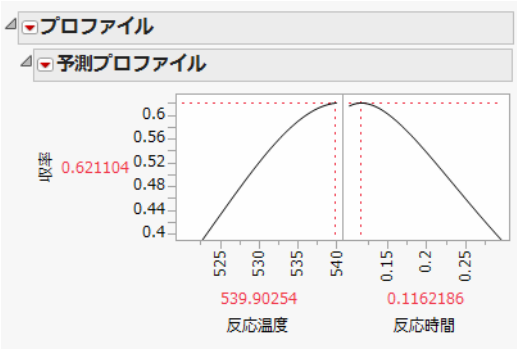
分析の目的は、化学物質「B」の量を最大化することです。アプローチの1つとして、実験を行い、反応収率（化学物質「B」の量）を時間と温度の関数とした応答曲面モデルをあてはめる方法が考えられます。しかし、アレニウスの法則に従った化学反応モデルが広く普及しており、それを使えば、反応収率を直接計算することができます。**「収率」**列に収率の計算式が保存されています。計算式は、**「時間」**と反応率の**「k1」**および**「k2」**の関数です。反応率は、**「温度」**（ケルビン温度）と既知の物理定数、θ_1、θ_2、θ_3、θ_4の関数です。そのため、**「収率」**は**「時間」**と**「温度」**の関数ということになります。

図 8.21 収率の計算式

$$\frac{\left(k1*\left(\mathrm{Exp}\left(-k1*\text{時間}\right)-\mathrm{Exp}\left(-k2*\text{時間}\right)\right)\right)}{\left(k2-k1\right)}$$

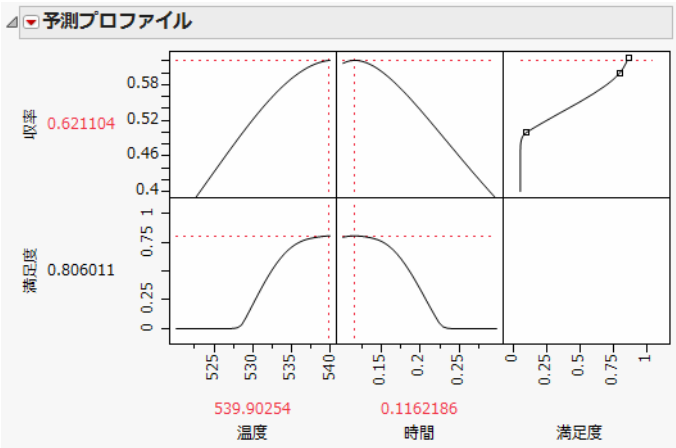
「**収率**」の最大値を求めるには、「**プロファイル**」を使用します。「Stochastic Optimization.jmp」を開き、保存されている「**シミュレーション用プロファイル**」というスクリプトを実行します。次の図のような応答のプロファイルが作成されます。

図 8.22「**収率**」のプロファイル



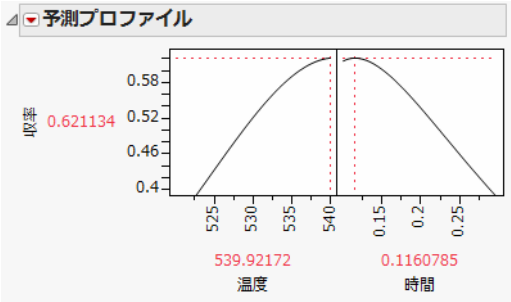
満足度関数を使って「**収率**」を最大化します。「プロファイル」の章の「満足度プロファイルと最適化」（37 ページ）を参照してください。スクリプトの中には、満足度関数が 1 つ組み込まれています。この関数を表示したいときは、「**予測プロファイル**」の赤い三角ボタンのメニューから［**満足度関数**］を選択します。

図 8.23 満足度の予測プロファイル



「**収率**」を最大にするため、「**予測プロファイル**」の赤い三角ボタンのメニューから［**満足度の最大化**］を選択します。すると、「**収率**」が最大化され、グラフの「**時間**」と「**温度**」の値が最適値に設定されます。

図 8.24「収率」の最大値

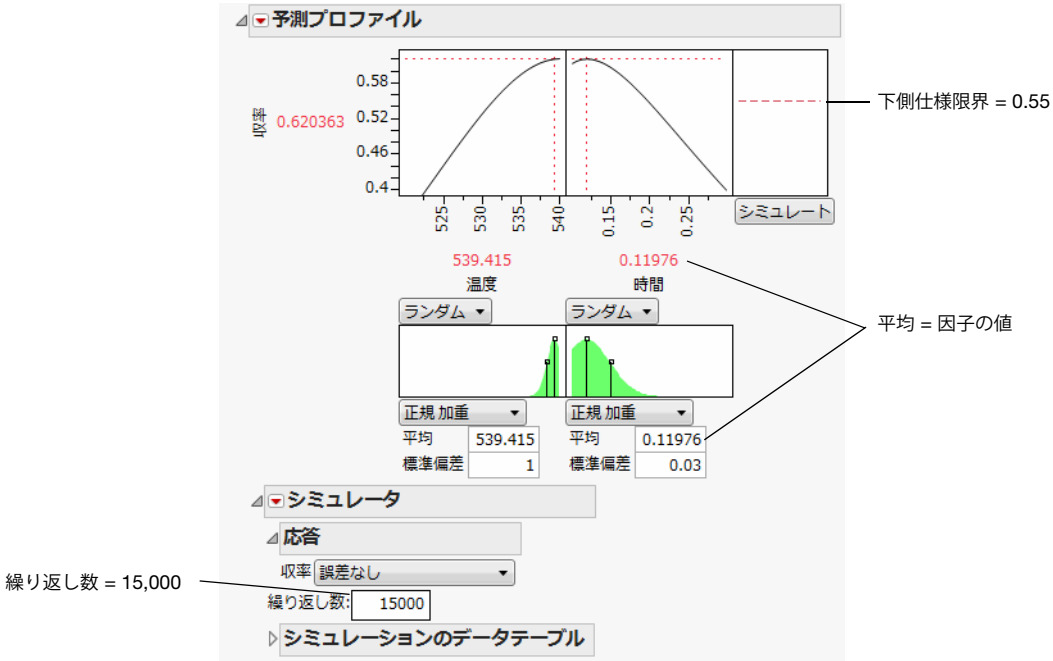


「**収率**」の値が最大（およそ 0.62）になるのは、「**時間**」が 0.116、「**温度**」が 539.92 度のときです。つまり、温度が高く、時間が短いのが最適と言えます。（最適化プロセスでは、ランダムな初期値が使用されるので、結果は分析のたびにわずかに異なります。最適化の設定を変更する（厳しくする）には、「**予測プロファイル**」のポップアップメニューから［**最大化オプション**］を選択します。「**収束許容度**」の値を小さくすると、同じような解を再現させることができます。）

生産環境では、工程の入力因子を常に正確に制御できるとは限りません。入力因子（「**時間**」と「**温度**」）に確率変動があった場合、「**収率**」にはどのような影響が及ぶでしょうか。さらに、「**収率**」に仕様限界がある場合、仕様外れとして廃棄される製品の割合は、何パーセントでしょうか。「シミュレータ」を使えば、「**時間**」と「**温度**」の変動をもとに、「**収率**」の変動と不適合率を調べることができます。

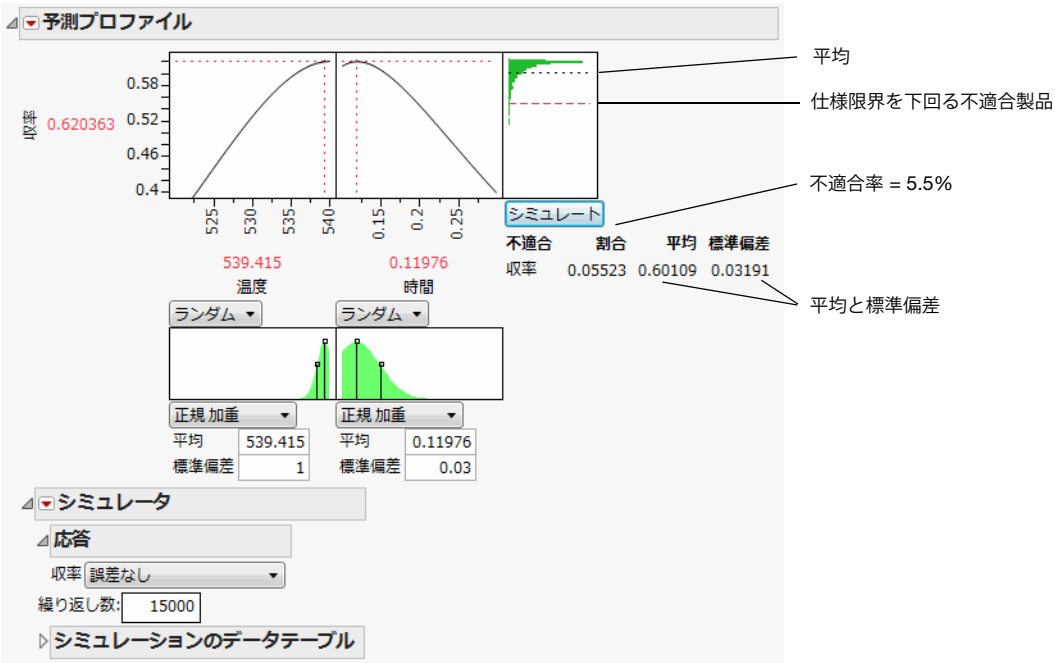
「**予測プロファイル**」の赤い三角ボタンのメニューから［**シミュレータ**］を選択します。図 8.25 に従って、因子パラメータの入力を行います。「**温度**」は［**正規 加重**］分布で標準偏差が 1、「**時間**」は［**正規 加重**］分布で標準偏差が 0.03 です。「**平均**」パラメータは、デフォルトで現在の因子の値に設定されます。「繰り返し数」を 15,000 に変更します。「**収率**」には、列プロパティとして 0.55 の下側仕様限界が設定されており、グラフ上に赤色の線として表示されます。仕様限界の線が表示されない場合は、「**シミュレータ**」の赤い三角ボタンのメニューから［**仕様限界**］を選択します。

図 8.25「シミュレータ」の設定



入力因子の確率変動を設定したら、シミュレーションを実行し、「**収率**」の変動と不適合率を調べることができます。[**シミュレート**] ボタンをクリックします。

図 8.26 シミュレーションの結果

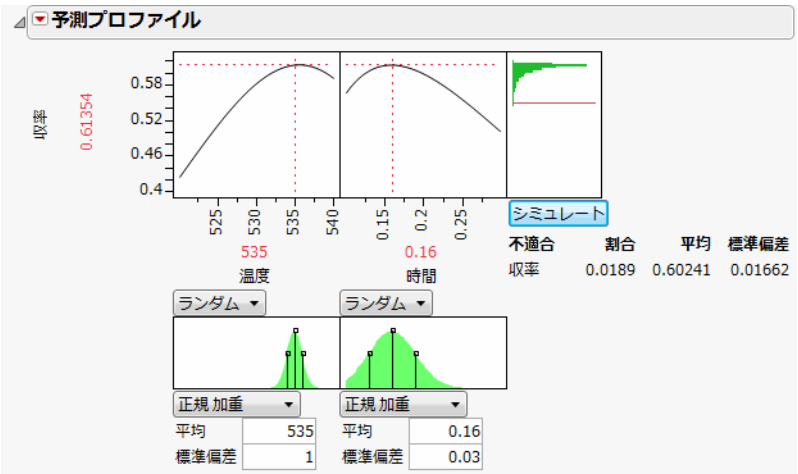


「**収率**」の予測値は 0.62 ですが、因子の変動を考慮に入れると、「**収率**」の平均が 0.60、標準偏差が 0.03 になります。

不適合率はおよそ 5.5 です。これは、全製品のおよそ 5.5% が廃棄されることを意味します。このように高い不適合率を許容することはできません。

「**温度**」と「**時間**」の設定を変えると、不適合率はどうなるでしょうか。「**温度**」を 535 に変更し、「**時間**」を「**収率**」が最大になるような値に設定してみましょう。図 8.27 に従って設定を行い、[**シミュレート**] をクリックします。

図 8.27「温度」が 535 のときの不適合率



不適合率は、およそ 1.8% にまで下がり、5.5% から大幅に改善されたと言えます。つまり、因子にはばらつきがなく、特定の値に固定できるものとして得られた最適設定は、因子にばらつきがあるとして得られた最適設定とは一致しないことがわかります。

［**シミュレーション実験**］を実行すると、不適合率を最小にする「**温度**」と「**時間**」の設定が特定できます。それには、「**温度**」と「**時間**」を使った計画の各計画点で不適合率をシミュレートし、求められた不適合率に予測モデルをあてはめ、そして不適合率を最小化するような「**温度**」と「**時間**」を求めます。

［シミュレーション実験］を実行する前に、後で参照できるよう、「**収率**」を最大化する因子設定を保存しておきます。それには、図 8.25 の因子設定（平均と標準偏差）を入力し直し、「**予測プロファイル**」の赤い三角ボタンのメニューから［**因子設定**］>［**設定を記録**］を選択します。ウィンドウが開いたら、設定の名前を入力して［**OK**］をクリックします。レポートウィンドウに設定が表示されます。

図 8.28 設定の記録

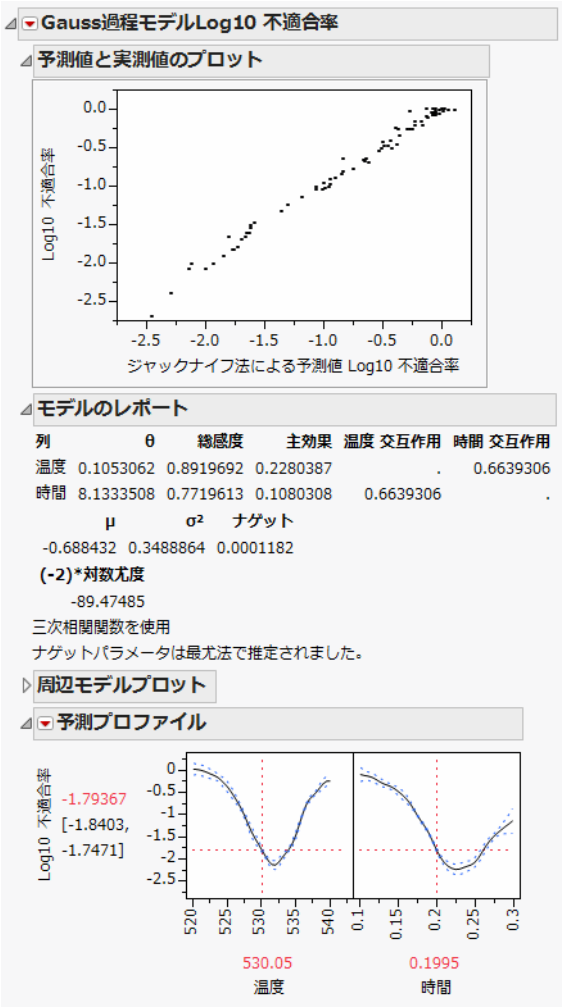
設定の記録

設定	温度	時間	収率	満足度
最大収率	539.94	0.116	0.6211612	.

「**シミュレータ**」の赤い三角ボタンのメニューにある［**シミュレーション実験**］をクリックします。実験回数を 80、因子空間の割合を 1 に指定します。指定された因子の空間から、ラテン超方格法によって 80 の計画点を持つ計画が作成されます。そして、80 個の各計画点において「**繰り返し数**」に指定した個数だけ乱数が生成されます。乱数の分布は計画点を中心とし、ばらつきと形状には因子に指定した分布のものが使用されます。

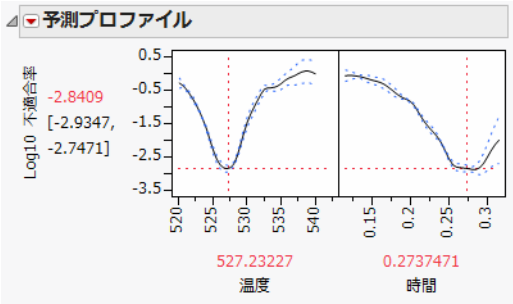
実験結果を収めたデータテーブルが作成されます。「**全体 不適合率**」は、各計画点において計算されます。これで、不適合率を「**温度**」と「**時間**」の関数とした予測モデルをあてはめる準備ができました。予測モデルをあてはめるには、データテーブルに保存されている「**Gauss 過程**」のスクリプトを実行します。結果は下の図のようになります。シミュレーションでは乱数が使われるため、実際の結果は多少異なります。

図 8.29「Gauss 過程」であてはめたモデル



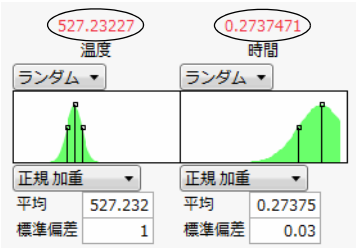
「**Gauss 過程**」プラットフォームでは、自動的に「**予測プロファイル**」が起動します。満足度関数は、不適合率の最小化を目標としてすでに設定されています。不適合率が最小になる「**温度**」と「**時間**」を特定するため、「**予測プロファイル**」の赤い三角ボタンのメニューから［**満足度の最大化**］を選択します。

図 8.30 不適合率を最小化する設定



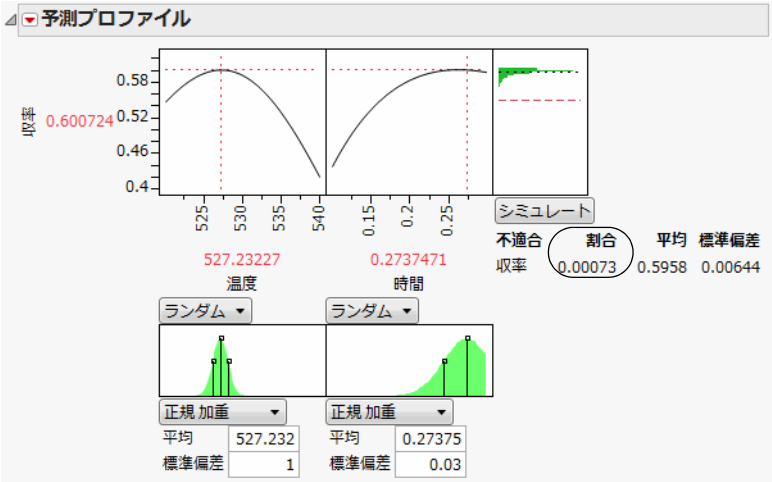
不適合率を最小にする設定は、「**温度**」がおよそ 527、「**時間**」がおよそ 0.27 です。「**予測プロファイル**」の赤い三角ボタンのメニューから［**因子設定**］>［**設定スクリプトのコピー**］を選択します。元の「**プロファイル**」レポートウィンドウに戻り、［**因子設定**］>［**設定スクリプトの貼り付け**］を選択します。これで、「**温度**」と「**時間**」が不適合率を最小化する値に設定されます。再び［**設定を記録**］を使って新しい設定を記録します。

図 8.31 不適合率が最小になる設定



新しい設定が記録されたところで、［**シミュレート**］ボタンをクリックし、不適合率を推定します。

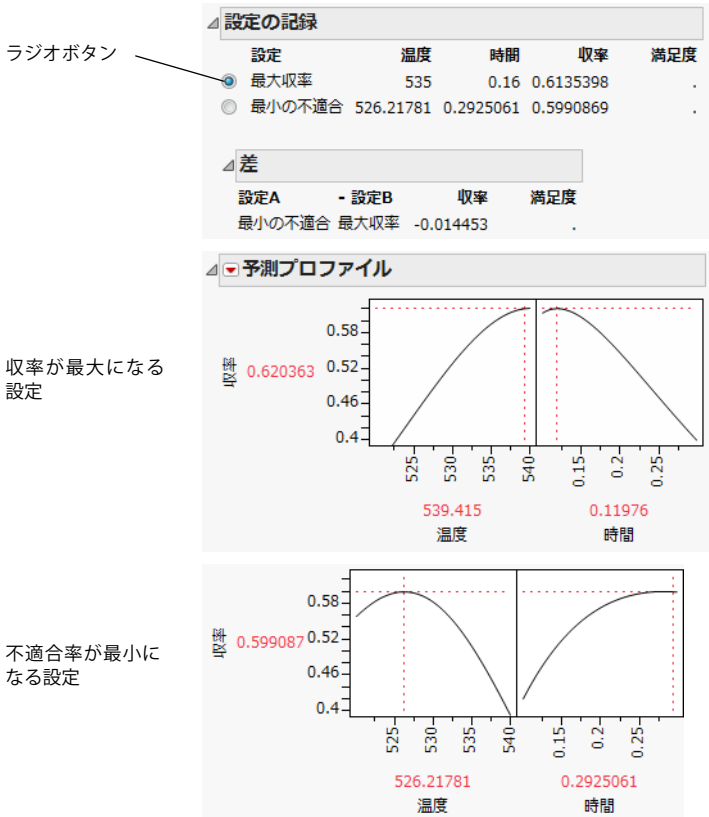
図 8.32 不適合率の低下



不適合率は約 0.07% になり、「**収率**」の最大化を目標としたときの約 5.5% に比べ、大幅に改善されています。その改善率は数十倍にもなります。最初の設定では、「**収率**」の平均が 0.60 でした。新しい平均は 0.59 です。0.01 という下げ幅は、不適合率が数十倍も改善されることを考えれば、許容できる値です。

［**設定を記録**］を使って設定を保存してあるので、前の設定と新しい設定を簡単に比較することができます。「差」レポートには差の要約が表示されます。各設定のプロファイルを見るには、［**設定を記録**］ラジオボタンをクリックします。

図 8.33 設定の比較



これで、どの設定を使用すれば工程の品質が向上するかが判明しました。因子にばらつき（変動）がないなら、温度を高く、時間を短くすれば「**収率**」が最大になります。しかし、工程の入力因子に、この例で行ったシミュレーションのようなばらつきがある場合は、「**収率**」を最大にすると不適合率まで高くなってしまいます。そのため、因子にばらつきがある場合に不適合率を最小化するには、温度を低く、時間を長くする必要があります。

統計的詳細

ここでは、シミュレータの統計的詳細について説明します。

正規加重分布

分布として［**正規 加重**］が選ばれた場合、多変量正規分布の中心からの距離で層別にした乱数生成法を用います。この方法は、極端に大きな値や小さな値を考慮しなければいけない時の方法として、他の重点サンプリング法よりも良い結果をもたらすと考えられます。

まず層を定義し、それに対応する確率と重みを計算します。各層は、d 個の因子において半径を次に示す区間ごとに分けたものです。

表 8.3 層の距離

層の番号	内側の距離	外側の距離
0	0	$\sqrt{d}$
1	$\sqrt{d}$	$\sqrt{d+\sqrt{2d}}$
2	$\sqrt{d+\sqrt{2d}}$	$\sqrt{d+2\sqrt{2d}}$
I	$\sqrt{d+(i-1)\sqrt{2d}}$	$\sqrt{d+i\sqrt{2d}}$
N_{Strata} - 1	前項	∞

デフォルトの層数は 12 です。層数を変更する場合は、Shift キーを押したまま［**シミュレータ**］の赤い三角ボタンをクリックすると、非表示のコマンド［**層数**］が表示されるので、それを選択します。標本サイズが層の数でちょうど割り切れない場合は、標本サイズをその分だけ増やします。

シミュレーション実験ごとに、次の手順を行います。

1. 第 i 個目の乱数生成に対する層として mod(i - 1, N_{Strata}) を選択します。
2. n 次元におけるランダムな方向を求めるために、n 個の独立な正規分布に従う乱数を生成し、その大きさを 1 にします。
3. 一様分布の乱数を、該当している層に対応したカイ 2 乗分布の分位点に変換することにより、中心からの距離の乱数を生成します。
4. 大きさ 1 に基準化されたランダムな方向をもつベクトルを、その距離の大きさになるように尺度変換します。
5. 最後に、生成された乱数を各因子の平均と標準偏差に合わせて変換します。

できあがった乱数の分布は、正しく加重して推定したときの平均と標準偏差を持った多変量の正規分布となります。「一変量の分布」プラットフォームにおいて、重みを使って標準偏差などを計算しても、適切な推定値が計算されないことに注意をしてください。ただし、重みに大きな値（たとえば 10^{12}）を掛け合わせ、それを［度数］として使えば、正しい標準偏差になります。

第 9 章

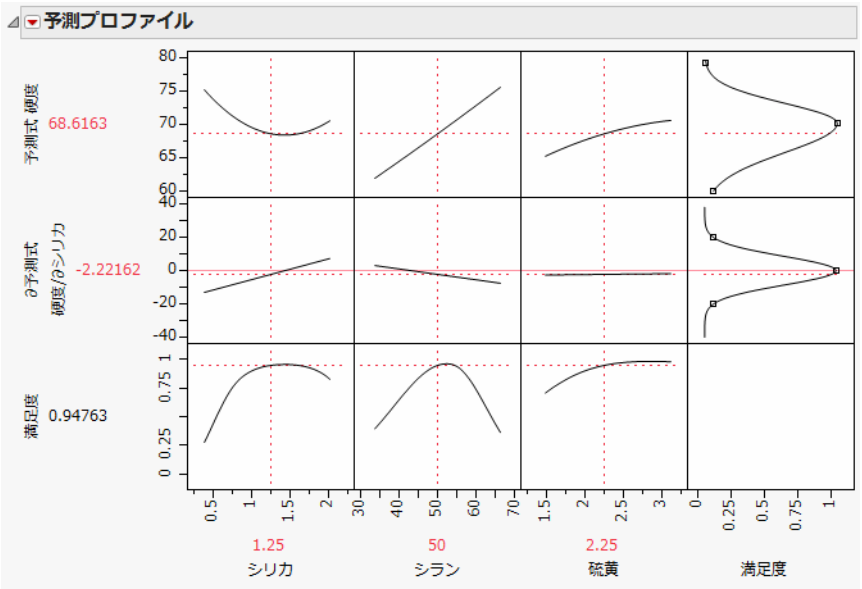
誤差因子

誤差因子によるばらつきを減らして工程の安定化を図る

工程に対するロバストエンジニアリングは、工程変数にばらつき（変動）がある状況でも、安定して許容範囲内の製品を製造するための技術です。実験では制御できる因子のなかには、実際の現場では制御できないばらつきをもつものもあります。一般的に、因子がもつばらつきは、応答に対して影響を与えます。応答に伝達されたばらつきを、伝達変動（transmitted variation）と呼びます。このようなばらつきのある因子を誤差因子といいます。その一部は、環境誤差因子など、まったく制御できない性質のものです。一部の因子の平均は制御が可能ですが、標準偏差は制御できません。異なる工程や製造段階から生じる中間生産物的な因子は、標準偏差が制御できないケースがほとんどです。

工程をロバストにするには、誤差因子に関して応答曲面が最も平坦になるところに設定を合わせ、誤差因子が工程に及ぼす影響を最小限に抑えるアプローチが有効です。数学的に言えば、各応答を各誤差因子について一次微分した式(1 階導関数)が 0 になるようなところです。JMP のプロファイルには、微分式を自動的に計算する機能もあります。

図 9.1 誤差因子の例



目次

誤差因子の概要 129
他のプラットフォームでの誤差因子の扱い 133

誤差因子の概要

工程に対するロバストエンジニアリングは、工程変数にばらつき（変動）がある状況でも、安定して許容範囲内の製品を製造するための技術です。実験では制御できる因子のなかには、実際の現場では制御できないばらつきをもつものもあります。一般的に、因子がもつばらつきは、応答に対して影響を与えます。応答に伝達されたばらつきを、**伝達変動（transmitted variation）**と呼びます。このようなばらつきのある因子を**誤差因子**といいます。その一部は、環境誤差因子など、まったく制御できない性質のものです。一部の因子の平均は制御が可能ですが、標準偏差は制御できません。異なる工程や製造段階から生じる中間生産物的な因子は、標準偏差が制御できないケースがほとんどです。

工程をロバストにするには、誤差因子に関して応答曲面が最も平坦になるところに設定を合わせ、誤差因子が工程に及ぼす影響を最小限に抑えるアプローチが有効です。数学的に言えば、各応答を各誤差因子について一次微分した式(1 階導関数)が 0 になるようなところです。JMP のプロファイルには、微分式を自動的に計算する機能もあります。

誤差因子のあるモデルは、次の手順で分析します。

1. 適切なモデルを（［**モデルのあてはめ**］などで）あてはめます。
2. ［**保存**］>［**予測式**］コマンドを使ってモデルをデータテーブルに保存します。
3. ［**プロファイル**］を起動します（［**グラフ**］メニュー）。
4. 予測式に［**Y, 予測式**］の役割を割り当て、誤差因子に［**誤差因子**］の役割を割り当てます。
5. ［**実行**］をクリックします。

作成されたプロファイルには、応答関数を誤差因子で微分した式が表示されています。微分式に対する満足度関数は、0のときに満足度が最大になるように設定されています。

6. ［**プロファイル**］メニューから［**満足度の最大化**］を選択します。

これにより、誤差因子から生じる伝達変動を最小に抑えながら、因子の最適設定が探し出されます。

例

例として「Tiretread.jmp」データテーブルを分析してみましょう。このデータテーブルは、タイヤメーカーが**シリカ**、**シラン**、**硫黄**の含有量を因子とし、タイヤの**硬度**を目標値の70.0に合わせることを目的に行った実験の結果です。**シラン**と**硫黄**の量は簡単（かつ精確）に制御が可能ですが、**シリカ**には無視できないばらつきがあります。

比較のため、まず誤差因子のばらつきを考慮せずに、硬度を最適化するための因子設定を見つけます。

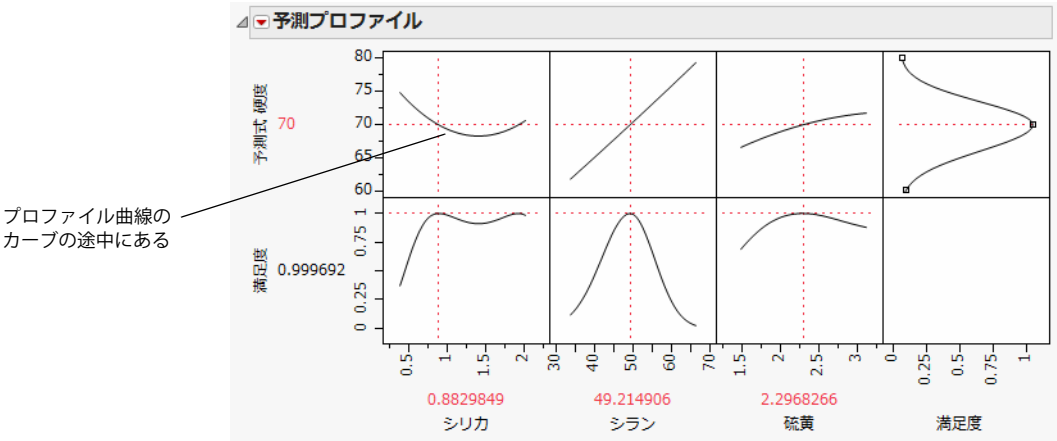
1. ［**グラフ**］>［**プロファイル**］を選択して**プロファイル**を起動します。
2. 「**予測式 硬度**」に［**Y, 予測式**］の役割を割り当てます。
3. ［**OK**］をクリックします。

4. 「予測プロファイル」のメニューから［**満足度関数**］を選択します。
5. 満足度関数のプロットをダブルクリックすると、「応答目標」ウィンドウが開きます。リストから［**目標値に合わせる**］を選択します。
6. ［**満足度の最大化**］を選択して「**硬度**」を目標値に一致させるような因子設定を見つけます。

プロファイルは次の図のようになります。「**シリカ**」の最適値がプロファイル曲線のカーブの途中にあることに注意してください。これは、「**シリカ**」のばらつきの多くが、応答の「**硬度**」に伝達されることを示しています。

注：目標値を達成する因子設定の組み合わせは1つとは限らないので、ユーザによる分析の結果がここで紹介するものと一致しないこともあります。

図 9.2「硬度」の満足度の最大化

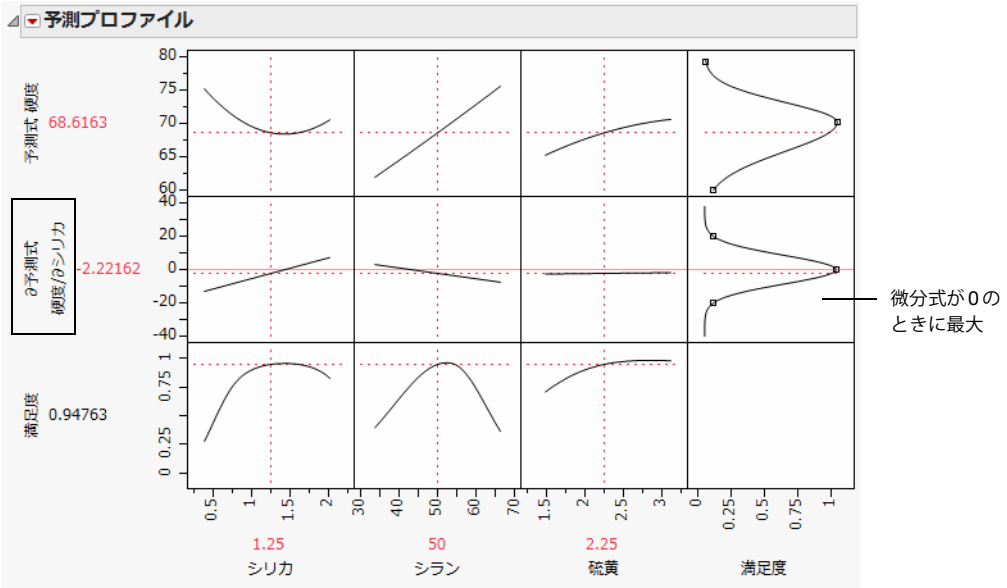


そこで今度は、「**硬度**」を目標値に合わせるだけでなく、因子の値が「**シリカ**」の曲線の平坦な部分にくるようにします。次の手順により、「**シリカ**」を誤差因子として追加します。

1. ［**グラフ**］>［**プロファイル**］を選択します。
2. 「**予測式 硬度**」を選択し、［**Y, 予測式**］をクリックします。
3. 「**シリカ**」を選択し、［**誤差因子**］をクリックします。
4. ［**実行**］をクリックします。
5. 前に行ったように「**予測式 硬度**」の満足度関数を変更します。

作成されたプロファイルでは、誤差因子についてのモデルの微分式が0、つまり最も平坦な点で最大化されています。

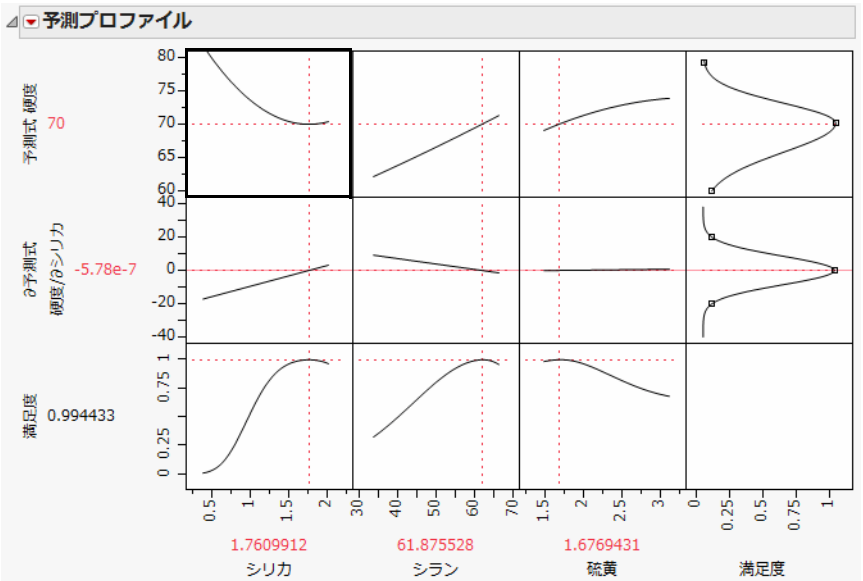
図 9.3 シリカについての予測式の微分



6. ［**満足度の最大化**］を選択すると、誤差因子を考慮した上での工程因子の最適値が算出されます。

今度は、「**硬度**」が目標値に一致しただけでなく、「**シリカ**」の値が平坦な領域に位置しています。これにより、「**シリカ**」のばらつきは、あまり「**硬度**」に伝達されないことがわかります。

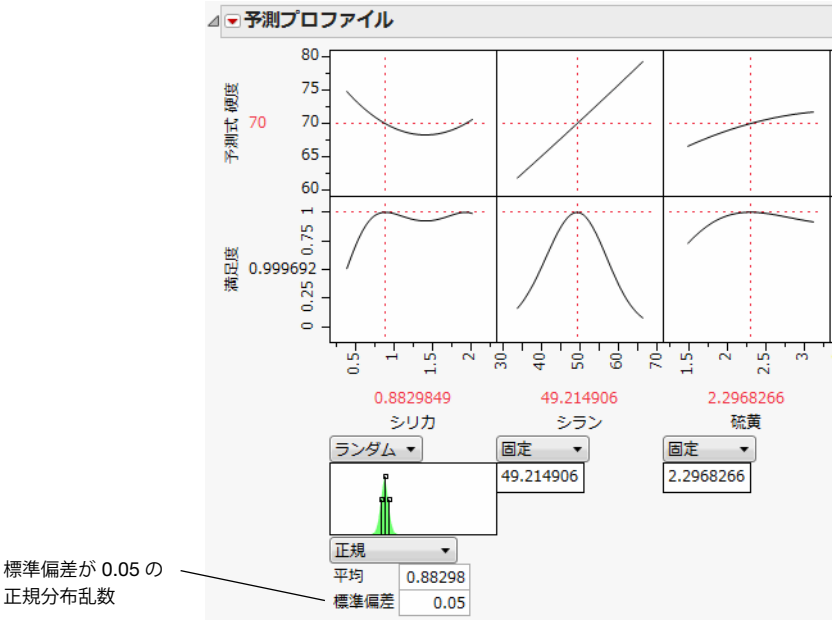
図 9.4 満足度の最大化



これらの設定の違いによって、出力の分散がどれぐらい異なるかは簡単に調べることができます。それには、各プロファイル（誤差因子のあるものと、ないもの）で次の手順を行います。

1. プラットフォームのメニューから［**シミュレータ**］を選択します。
2. 「**シリカ**」に［ランダム］を選択し、標準偏差が0.05の正規分布の乱数を割り当てます。

図 9.5 ランダム正規分布の設定

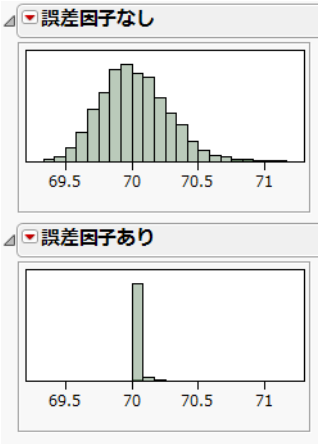


3. ［**シミュレート**］をクリックします。
4. ［**シミュレーションのデータテーブル**］ノードの下にある［**テーブルの作成**］ボタンをクリックします。

   誤差因子を考慮しなかった場合と、考慮した場合では、シミュレーションの結果は大きく異なります。これら2つの結果を比較するために、いずれかの結果を別のデータテーブルにコピーしましょう。比較が可能な予測ヒストグラムを作成するためには、2つの予測列を1つのデータテーブルに保存しておく必要があります。

5. シミュレーションテーブルの片方から「**予測式 硬度**」列をコピーし、他方のテーブルに貼り付けます。2つの列に、それぞれ「**誤差因子なし**」、「**誤差因子あり**」など、異なる名前をつけます。
6. ［**分析**］>［**一変量の分布**］を選択し、両方の予測列に［**Y**］の役割を割り当てます。
7. ヒストグラムが表示されたら、「**一変量の分布**」タイトルバーにある赤い三角ボタンのメニューから［**スケールの統一**］を選択します。

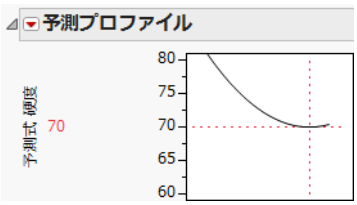
図 9.6 誤差因子を考慮しなかった場合と考慮した場合の比較



ヒストグラムを見ると、分析に誤差因子を含めない場合の方が「**硬度**」のばらつきがずっと大きいことがわかります。

また、誤差因子を含めた場合のヒストグラムは、興味深い形状になっています。上のヒストグラムの比較を見ると、「**誤差因子あり**」の分布では、データが一方向だけに延びています。予測が歪んでいるのは、「**硬度**」は「**シリカ**」との関係において最小となるためです（図 9.7）。そのため、「**シリカ**」にばらつきがあれば、「**硬度**」は増加する一方です。ロバストでない解を使用した場合、ばらつきはどちらの方向にも伝達されます。

図 9.7「**シリカ**」に対する「**硬度**」の最小値を示したプロファイル



他のプラットフォームでの誤差因子の扱い

誤差因子の最適化は、**等高線プロファイル**、**カスタムプロファイル**、**配合プロファイル**でも使用できます。「等高線プロファイル」（55 ページ）の章、「カスタムプロファイル」（93 ページ）の章、および「配合プロファイル」（79 ページ）の章を参照してください。

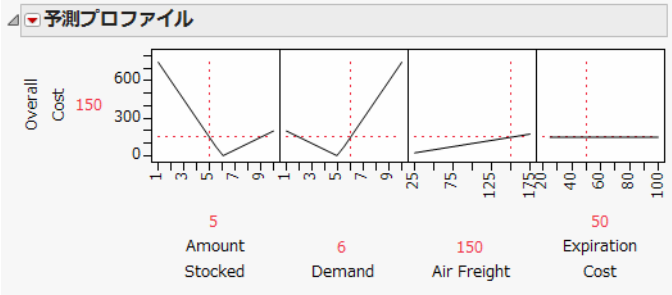
第 10 章

Excel プロファイル

Microsoft Excel で保存したモデルを視覚化する

JMP の Excel 用アドインは、Excel ワークシートに保存されているモデル（計算式）からプロファイルを作成します。この Excel 用アドインは、JMP のインストール時に自動的にインストールされます。

図 10.1 Excel モデルを使用したプロファイルの例



目次

Excel プロファイルの概要 137
JMP プロファイルの実行 137
線形制約の使用 139
プロファイル線の解像度 139
Excel のモデルを JMP から読み込む 140

Excel プロファイルの概要

JMP の Excel 用アドインは、Excel ワークシートに保存されているモデル（計算式）からプロファイルを作成します。この Excel 用アドインは、JMP のインストール時に自動的にインストールされます。Excel 用アドインでプロファイルを作成するには、2 つの手順を実行します。

1. ［**モデルの作成 / 編集**］ボタン（Excel 2007 ～ 2013）をクリックして、JMP で必要なモデル情報を入力します。これは、各モデルで 1 回だけ行います。詳細については、「モデルの作成 / 編集」ウィンドウの**ヘルプ**ボタンをクリックしてください。
2. ［**モデルの実行**］ボタン（Excel 2007 ～ 2013）をクリックして、JMP のプロファイルを起動し、Excel モデルを実行します。詳細は、「JMP プロファイルの実行」（137 ページ）を参照してください。

注：［**環境設定**］、［**データテーブル**］、［**グラフビルダー**］、［**一変量の分布**］の各ボタンは、Excel モデルのプロファイルを作成する際には使用しません。これらの機能の詳細については、『JMP の使用法』を参照してください。

JMP プロファイルの実行

Excel 用アドインで作成したモデルは、JMP プロファイルで実行できます。Excel 用アドインで次のアクションを実行します。

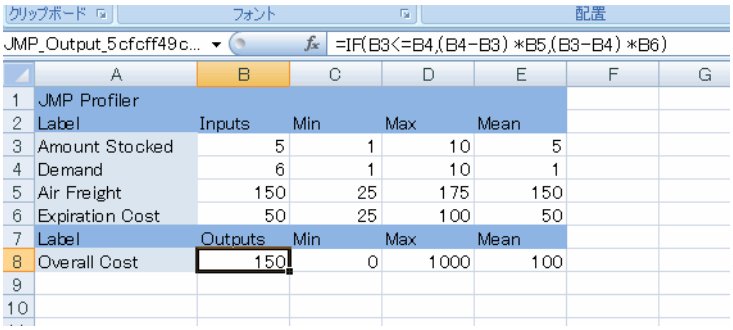
1. ［**モデルの実行**］ボタン（Excel 2007 ～ 2013）をクリックします。
2. 実行したいモデルを選択します。
3. ［**JMP でのプロファイル**］をクリックします。

注：元の Excel スプレッドシートが変更されないよう、JMP は Excel のコピーを作成し、それをプロファイルの計算に使用します。

Excel モデルの例

Excel においてモデルを定義する場合、1 つまたは複数の Excel の数式を用います。どの数式も、1 つまたは複数のセルを参照していなければいけません。この例では、Demand.xls ファイルを使用します。このファイルは、C:¥Program Files¥SAS¥JMP¥<**バージョン番号**>¥Samples¥Import Data) にあります。

図 10.2 Excel で定義された需要モデル



	A	B	C	D	E	F	G
1	JMP Profiler						
2	Label	Inputs	Min	Max	Mean		
3	Amount Stocked	5	1	10	5		
4	Demand	6	1	10	1		
5	Air Freight	150	25	175	150		
6	Expiration Cost	50	25	100	50		
7	Label	Outputs	Min	Max	Mean		
8	Overall Cost	150	0	1000	100		
9							
10							

B8 のセルに、**総支出**（**Overall Cost**）を算出する計算式が保存されています。数式バーで確認すると、次の 4 つのセルを参照していることが分かります。

- **在庫**（**Amount Stocked**）。製品の在庫量です。
- **需要**（**Demand**）。製品に対する顧客の需要です。
- **航空貨物料金**（**Air Freight**）。需要が在庫量を上回ったときに、不足分を空輸するのにかかる、1 個あたりの送料です。
- **処分コスト**（**Expiration Cost**）。需要が在庫量を下回ったときに、過剰分の廃棄にかかる、1 個あたりのコストです。

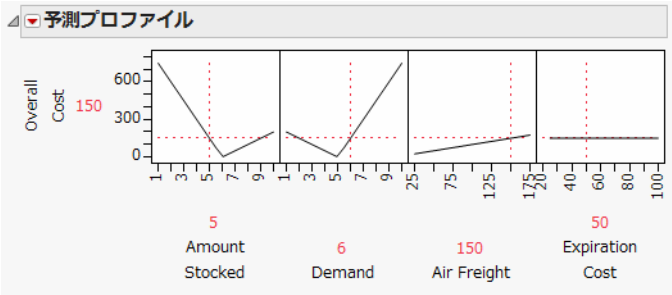
計算は次のように行われます。

- **在庫**が**需要**を下回る場合、会社は、「（**需要 - 在庫**）x **航空貨物料金**」を払って不足分を空輸する必要があります。たとえば、需要が 8 で、在庫が 6 しかない場合、8-6=2 個を空輸するために 2x150=300 を払わなければなりません。
- **在庫**が**需要**を上回る場合、会社は、「（**在庫 - 需要**）x **処分コスト**」を払って過剰分の製品を処分する必要があります。たとえば、需要が 5 で、在庫が 8 しかない場合、8-5=3 個を空輸するために 3x50=150 を払わなければなりません。
- **在庫**が**重要**に等しい場合は、空輸コストも処分コストもかかりません。
- 空輸と処分が同時に発生することはありません。

現在の Excel シートにおいては、入力値の 1 つの組み合わせに対してだけ、総支出が計算されています。入力値が変化したときに、出力値がどのように変化するかを視覚化するのは簡単ではありません。入力値を変えて影響を調べることはできますが、多数の組み合わせを確認するのは面倒です。

JMP のプロファイルを使えば、入力値が出力値に与える影響が一目でわかります。さらに、出力値が取りうる範囲をすばやく確認することもできます。

図 10.3 Excel モデルを使ったプロファイルの例



線形制約の使用

JMP プロファイルでは、モデルの入力値を制限するために線形制約を変更することができます。Excel ワークブックに制約を保存するかどうかを尋ねるダイアログボックスが表示されます。Excel ワークブックに制約を保存すると、Excel 用アドインでこのモデルのプロファイルが作成されるたびに制約が組み込まれます。

1. 「予測プロファイル」の赤い三角ボタンをクリックし、メニューから［**線形制約の変更**］を選択します。
2. ［**制約の追加**］をクリックします。
3. 制約の値を入力します。
4. ［**実行**］をクリックします。
5. 「予測プロファイル」の赤い三角ボタンをクリックし、メニューから［**線形制約の保存**］を選択します。

   Excel ワークブックに制約を保存するかどうかを尋ねるダイアログボックスが表示されます。
6. ［**はい**］をクリックします。

注：.xls ファイルを Excel 2007 で保存すると、互換性エラーが発生することがあります。発生したら、［**続行**］をクリックしてファイルを保存します。

Excel でワークブックが開きます。モデルを実行すると、JMP プロファイルに制約が反映されます。線形制約の詳細については、「プロファイル」の章の「線形制約」（51 ページ）を参照してください。

ヒント：線形制約を削除するには、すべての制約値をゼロに設定します。

プロファイル線の解像度

「予測プロファイル」の赤い三角ボタンのメニューにある［**デフォルト水準数**］オプションは、プロファイル線の解像度を左右します。次の点に注目してください。

- デフォルト水準数は、Excel シートのモデルでは 17 です。
- JMP で作成したモデルでは 41 です。

このため、Excel と JMP においてまったく同じモデルを作成した場合でも、プロファイルの曲線の見栄えは異なるかもしれません。Excel シートのモデルに対して、デフォルト水準数を多くすると、処理速度が低下します。

Excel のモデルを JMP から読み込む

Excel ファイルでモデルの入力値と出力値を指定した後、JMP 側からそのファイルを読み込み、プロファイルを作成することもできます。

1. ［**グラフ**］>［**Excel プロファイル**］を選択します。
2. モデルを含む Excel ファイルを選択し、［**開く**］をクリックします。
3. Excel ファイルに複数のモデルが含まれている場合、プロファイルを作成するモデルを選択する必要があります。

Excel プロファイルは、次に示すようにスクリプトでも実行可能です。

```
Excel Profiler( " ワークブックのパス ", <" モデル名 "> ) ;
```

複数のモデルが存在するのにモデルを指定しなかった場合、使用可能なモデルをリストしたウィンドウが開きます。Excel プロファイルのスクリプトについては、『スクリプトガイド』を参照してください。

付録 A

参考文献

Box, G.E.P. and Draper, N.R. (1987), *Empirical Model–Building and Response Surfaces*, New York: John Wiley and Sons.

Cornell, J.A. (1990), *Experiments with Mixtures*, Second Edition, New York: John Wiley and Sons.

Derringer, D. and Suich, R. (1980), "Simultaneous Optimization of Several Response Variables," *Journal of Quality Technology*, 12:4, 214-219.

Saltelli, A. (2002), "Making best use of model evaluations to compute sensitivity indices," *Computer Physics Communications*, 145, 280-297.

Sobol, I.M. (1993), "Sensitivity Estimates for Nonlinear Mathematical Models," *MMCE*, 1:4, 407-414.

索引
プロファイル機能

A
Alt クリック 30

E
Excel プロファイル 137

F
Fish Patty.jmp 86
Five Factor Mixture.jmp 88
Flash (SWF) 形式で保存 31

J
JMP スターター 120
JMP スターターウィンドウを閉じる 120
JMP チュートリアル 118

K
K シグマ (kxσ) 48

L
LSL の変更 114

O
Option クリック 30
OPTMODEL の計算式 32

S
Stochastic Optimization.jmp 116

T
Tiretread.jmp 29, 65, 66, 112, 129

U
USL の変更 115

W-Z
Y, 予測式 24
Z 軸のスケールをロック 71

ア
あてはめのグループ 24
アレニウス 116

イ
因子グリッドのリセット 34
因子設定 34, 95
因子設定のロック 31, 35

オ
応答変数の限界 105

カ
各グリッド点で最大化 33
加重ランダム誤差の追加 104
カスタムプロファイル 95
感度インジケータ 32

キ
行のデータに設定 34
曲面の塗り 75
曲面プロット 63
　従属変数 72
　設定パネル 70
　定数 77
　変数 71
曲面プロット 58

曲面プロファイル 63

ク

グラフの更新 58
グリッドテーブルの出力 35
グリッド密度 58

ケ

計算式の表示 32
限界で折り返し 50
限界で停止 50
現在値 31
現在値の表示 84
現在の予測値 27

コ

交互作用 28
交互作用プロファイル 36
交差積の項 28
誤差因子 129
誤差因子 24
誤差伝播の法則による区間 32, 48
誤差なし 104
固定 102

サ

最小化 38
最小値の設定 31
最大化 38
最大化オプション 33
最大値 31

シ

式 103
実験回数 100
シミュレーション実験 105
シミュレーション値のヒストグラム 99
シミュレータ 35, 99
シミュレータ 36
シミュレート 111
従属する標本再抽出の入力 42
仕様限界 105, 106
条件付き予測 36
信頼区間 32

ス

スクリプトの設定 34
すべてのプロファイルを連動 34

セ

正規 打ち切り 103
正規 加重 102, 107
正規 切断 103
制約 51
制約の表示 84
設定スクリプトのコピー 34
設定スクリプトの貼り付け 34
設定を記録 34, 92
設定をテーブルに追加 34
線形制約 85
線形制約 51
線形制約の変更 36, 95
線形制約の保存 36, 95
線の表示 84

ソ

増加方向を表す点線 58, 85
層数 105

タ

多変量 103
多変量誤差の追加 104

チ

チュートリアル 118
チュートリアルの例
　等高線プロファイル 57, 59
　満足度関数プロファイル 40, 41
中間計算式の展開 24, 51

ツ

ツールヒント 119

テ

データフィルタ 35
テーブルの作成 100, 107
デフォルト水準数 36
展開した計算式を保存 51
天体球 77
伝達変動 129
点の表示 84

ト

等高線グリッド 58, 85
等高線グリッドの削除 85
等高線プロファイル 57, 129
等高線ラベル 58
等値面 68
独立な一様分布の入力 42
独立な標本再抽出の入力 42
ドラッグ 27, 28, 38, 57

ハ

ハードウェアアクセラレーション 77
配合プロファイル 81
反復のログ出力 95

ヒ

ヒストグラムの自動更新 104
表示 31
標準偏差の変化 114
標本 103
開く
　JMP スターターウィンドウ 120

フ

複数の応答変数 28, 40
防ぐ
　列の展開 24
不適合率パラメトリックプロファイル 104, 113
不適合率プロファイル 110
不適合率プロファイル 104, 112
プロット点の数 31
プロファイル
　従属する標本再抽出の入力 42
　独立な一様分布の入力 42
　独立な標本再抽出の入力 42
　変数重要度の評価 41
プロファイル 27
プロファイル、概要 21, 24
プロファイルトレース 27

ヘ

平均のシフト 114
変数重要度 41
変量効果 102

マ

マウスの移動 58
マウスを離す 58
満足度関数 33, 37
満足度計算式の保存 34
満足度信頼曲線 27
満足度トレース 37
満足度の最大化 33
満足度の設定 34, 38
満足度の保存 34

メ

メッシュ 76
メニューのヒント 119
目盛りの表示 84

モ

目標値 38
モデルのあてはめプラットフォーム
　例 40, 41, 57, 59
モンテカルロフィルタ 35

ヨ

予測プロファイル 27

ラ

乱数シード値の設定 105
乱数テーブルの出力 35
ランダム誤差の追加 104

レ

列の展開を防ぐ 24

ロ

ロバストなエンジニアリング 129