

StatWorks/V5によるMT法の解析事例

※この資料は、StatWorks/V5品質工学編のマニュアルから一部を抜き出し、編集・加工したものです。本資料の内容は予告なく変更されることがあります。

複写機やプリンターの媒体として、市場ではさまざまな用紙が使用されています。J社で用紙の走行性についてテストしたところ、いくつかの用紙でトラブルが発生しました。そこでMTシステムを使って、用紙の特性と走行性のトラブルとの関係を解析することにしました。

まず、室温18℃、湿度55%RHの標準的な使用環境のもとで、ほとんど設計意図どおりに走行した137銘柄をもとに単位空間を作ります。また、走行テストでしばしばトラブルが発生した35銘柄は単位空間に属さない評価データとしました。さらに、今後、中国市場で新しく発売される3銘柄について、適合性を予測することにしました。

なお、用紙物性や送りロールとの相性などを表す用紙特性は、主成分分析を用いて、機械的特性、電気的特性、化学的特性、環境依存特性などの重要な11特性に予め絞り込んでおきます。下表のy1, y2, …, y11は11特性の値を変数変換した値です。

単位空間に属する用紙の特性リスト

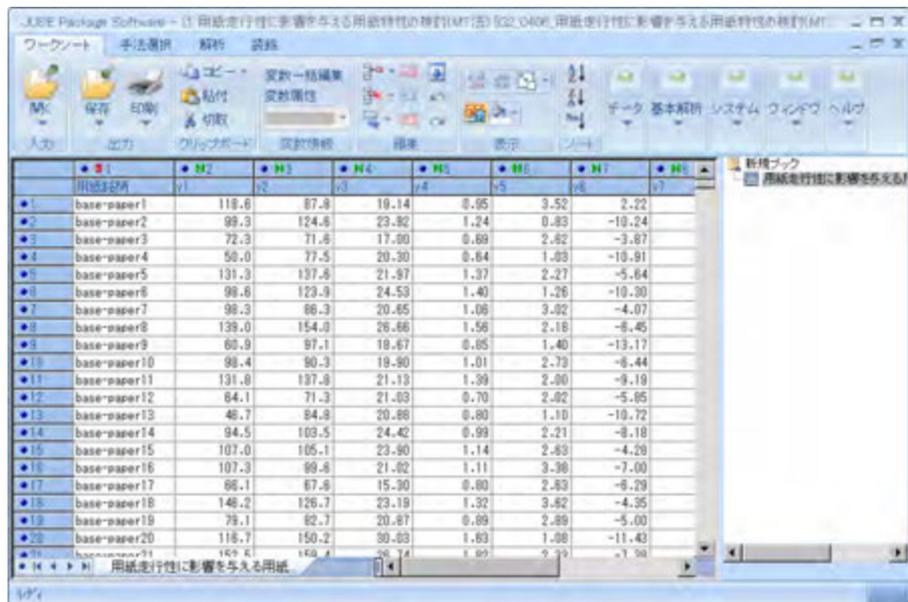
用紙銘柄	機械的特性					電気的特性		化学的特性		環境依存特性	他
	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9		
base-paper1	118.6	87.8	19.14	0.95	3.52	2.22	11.00	1.27	8792	6.35	3.78
base-paper2	99.3	124.6	23.92	1.24	0.83	-10.24	10.91	1.43	5392	7.34	5.95
...
base-paper135	166.7	150.1	25.48	1.70	3.45	-2.65	11.19	1.23	8335	10.23	4.44

参考文献：渡部義晴編著、桜井良著（2007）：「【実践】タグチメソッド」、日科技連出版社
※説明用にデータを加工しています。

手順 1

単位空間に属する 137 サンプルと単位空間に属さない評価データの 35 サンプル、新銘柄 3 サンプルの、全 175 サンプルのデータを入力します。

ここで、各サンプルについて用紙特性 11 項目の値が取られています。13 列目はデータの 카테고리（単位空間データ A, 評価データ B, 未知データ C）となります。



手順 2

メニューから「手法選択」→「品質工学」→「MT法」を選択します。



手順3

まず、「単位空間」グループの「単位データ」タブが表示されるので、単位空間データを入力します。
データ入力方法としては

- ① セル上にデータを直接入力する
- ② StatWorks 上のワークシート上のデータを読み込む
- ③ Excel 上のデータ表をコピー&ペーストする

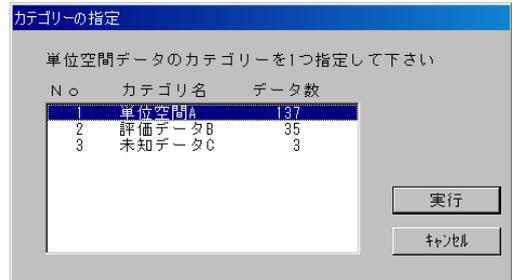
の3つの方法がありますが、ここでは StatWorks のワークシートにあるデータ表を読み込むこととします。「変数指定」ボタンをクリックして、使用する変数を指定します。

特性値として用紙特性の11変数を指定し、「特性値」の「選択」ボタンをクリックします。次に質的変数の「カテゴリー」をクリックして、「カテゴリー」の「選択」ボタンを押します。

指定が終わったら「次へ進む」ボタンをクリックします。



カテゴリー「単位空間 A」を指定して「実行」ボタンをクリックします。



単位空間に属する137サンプルのデータが画面に読み込まれます。



手順4

次に、「変数情報」タブや「モニタリング」タブで、単位空間データの特徴を把握します。

変数の最大値・最小値を見て、外れ値がないかどうかをみます。また「ひずみ」「とがり」の値やヒストグラムの形状により、単位空間のデータが正規分布に従っているかどうか、変数変換をする必要性がないかどうかを確認します。（多くの場合、「ひずみ」や「とがり」の絶対値が1.5以上の時に、正規分布から大きく外れていると見なします）

本事例では、特に外れ値はなく正規性も問題なさそうです。

No	変数名	状態	変数変換	サンプル数	最小値	最大値	平均値	標準偏差	ひずみ	とがり
1	サンプル名	使用		-	-	-	-	-	-	-
2	y1	使用	なし	137	14.9	179.8	96.02	34.865	0.351	-0.300
3	y2	使用	なし	137	39.5	175.3	104.02	27.201	0.225	-0.045
4	y3	使用	なし	137	13.87	31.24	21.681	3.2704	0.250	0.101
5	y4	使用	なし	137	0.37	1.83	1.096	0.3042	0.314	-0.221
6	y5	使用	なし	137	0.13	4.84	2.266	0.9510	0.319	-0.268
7	y6	使用	なし	137	-14.96	2.25	-6.740	3.4005	0.351	0.048
8	y7	使用	なし	137	9.54	11.69	10.857	0.3580	-0.350	0.969
9	y8	使用	なし	137	1.05	1.90	1.430	0.1488	0.178	-0.201
10	y9	使用	なし	137	2590	10306	6736.8	1220.83	-0.252	0.586
11	y10	使用	なし	137	2.14	10.23	5.940	1.7856	0.237	-0.323
12	y11	使用	なし	137	3.18	7.13	5.303	0.8007	-0.184	-0.272

手順5

「相関係数行列」タブでは11項目の相関を確認します。相関の絶対値が0.8以上のものや0.9以上のものが初期表示で着色されます。

No	変数名	状態	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11
2	y1	使用	1.000	0.824	0.619	0.877	0.624	0.528	0.500	-0.524	0.213	0.877	-0.536
3	y2	使用	0.824	1.000	0.804	0.943	0.108	0.131	0.231	-0.207	-0.209	0.833	-0.089
4	y3	使用	0.619	0.804	1.000	0.783	-0.023	0.027	0.099	0.030	-0.222	0.623	0.034
5	y4	使用	0.877	0.943	0.783	1.000	0.250	0.249	0.304	-0.263	-0.042	0.886	-0.218
6	y5	使用	0.624	0.108	-0.023	0.250	1.000	0.712	0.806	-0.644	0.666	0.410	-0.801
7	y6	使用	0.528	0.131	0.027	0.249	0.712	1.000	0.319	-0.513	0.454	0.281	-0.869
8	y7	使用	0.500	0.231	0.099	0.304	0.606	0.319	1.000	-0.424	0.500	0.443	-0.547
9	y8	使用	-0.524	-0.207	0.030	-0.263	-0.644	-0.513	-0.424	1.000	-0.229	-0.330	0.594
10	y9	使用	0.213	-0.209	-0.222	-0.042	0.666	0.454	0.500	-0.229	1.000	0.229	-0.597
11	y10	使用	0.877	0.833	0.623	0.886	0.410	0.281	0.443	-0.330	0.229	1.000	-0.309
12	y11	使用	-0.536	-0.089	0.034	-0.218	-0.801	-0.869	-0.547	0.594	-0.597	-0.309	1.000

本事例では、相関係数が0.8や0.9を超えるものがあり、多重共線性に注意が必要です。

他画面に移ると、多重共線性（相関係数行列の固有値の最小値が0.1未満となる）の注意のメッセージが出ますが、ここでは固有技術的な判断から問題ないものとして、解析を進めます。

手順6

「グラフ」タブでは、単位空間データのマハラノビスの距離の度数分布を確認できます。

ここで、マハラノビスの距離が大きいデータがあれば、単位空間から外すことを検討します（単位空間から外す距離は4.0以上を目安にすることがあります）。本事例では特に単位空間から外すデータはありません。



手順 7

「評価」グループに移ります。ここでは、単位空間に属さない評価データのマハラノビスの距離を計算し、それからが大きく、単位空間データと正しく識別ができているかどうかを確認します。

手順 3 と同様に、「変数指定」ボタンをクリックして、量的変数の 11 項目と質的変数の「カテゴリー」を指定します。カテゴリーの指定では「評価データ B」を指定して「実行」ボタンを押します。

単位空間に属さない 35 サンプルのデータが画面に読み込まれます。

JUSE Package Software - [評価: 信号データ]

ワークシート 手法選択 解析 装飾

保存 印刷 コピー 出力 表示 ソート 解析支援

解析アドバイザー 変数再指定 信号因子 データ貼付 変数指定 初期化 オプション 変数登録

閉 全開 並び ヘルプ 製品 トレック

新規ブック 用紙走行性に影響を与え

MT法

- 単位空間
 - 単位データ
 - 変数情報
 - モニタリング
 - 相関係数行列
 - マハラノビス距離
 - グラフ
 - 度数分布表
- 評価
 - 信号データ
 - 正常データ
 - 基本統計量
 - モニタリング
 - マハラノビス距離
 - グラフ
 - 度数分布表
 - 判別表
- 項目選択
 - 直交表
 - 要因効果図
 - 項目選択
- 判定
 - 判定データ
 - 判定結果

単位空間 評価 項目選択 判定 原因分析

信号データ 正常データ 基本統計量 モニタリング マハラノビス距離 グラフ 度数分布表 判別表

表示列数: 12 (カテゴリー名: 1 使用: 11 不使用: 0 マスク: 0) 表示行数: 35 (解析対象: 35 マスク: 0)

No	1	2	3	4	5	6	7	8
	サンプル名	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7
138	ex-paper1	53.8	84.4	19.04	0.78	1.07	-9.42	
139	ex-paper2	155.6	192.4	24.65	1.50	1.88	-9.02	
140	ex-paper3	210.7	245.0	27.57	2.02	1.73	-8.95	
141	ex-paper4	80.0	77.6	17.87	0.67	2.12	-9.21	
142	ex-paper5	98.7	108.7	19.28	1.28	2.04	-9.06	
143	ex-paper6	85.3	95.7	20.85	1.09	2.04	-9.95	
144	ex-paper7	83.0	89.0	18.74	0.82	1.80	-10.33	
145	ex-paper8	45.6	73.1	17.75	0.55	1.62	-19.25	
146	ex-paper9	149.2	184.8	23.50	1.44	1.78	-8.62	
147	ex-paper10	95.8	105.5	18.69	1.24	1.98	-8.82	
148	ex-paper11	67.5	84.8	19.95	0.87	1.71	-10.89	
149	ex-paper12	204.1	233.9	32.12	1.96	1.35	-13.33	
150	ex-paper13	216.0	251.0	28.35	2.07	1.79	-7.16	

レディ

「基本統計量」や「モニタリング」タブでは、単位空間に属さないデータの特徴を把握することができます。

JUSE Package Software - [評価: 基本統計量]

ワークシート 手法選択 解析 装飾

保存 印刷 コピー 出力 表示 ソート 解析支援

解析アドバイザー 変数再指定 オプション 機説説明画面

閉 全開 並び ヘルプ 製品 トレック

新規ブック 用紙走行性に影響を与え

MT法

- 単位空間
 - 単位データ
 - 変数情報
 - モニタリング
 - 相関係数行列
 - マハラノビス距離
 - グラフ
 - 度数分布表
- 評価
 - 信号データ
 - 正常データ
 - 基本統計量
 - モニタリング
 - マハラノビス距離
 - グラフ
 - 度数分布表
 - 判別表
- 項目選択
 - 直交表
 - 要因効果図
 - 項目選択
- 判定
 - 判定データ
 - 判定結果

単位空間 評価 項目選択 判定 原因分析

信号データ 正常データ 基本統計量 モニタリング マハラノビス距離 グラフ 度数分布表 判別表

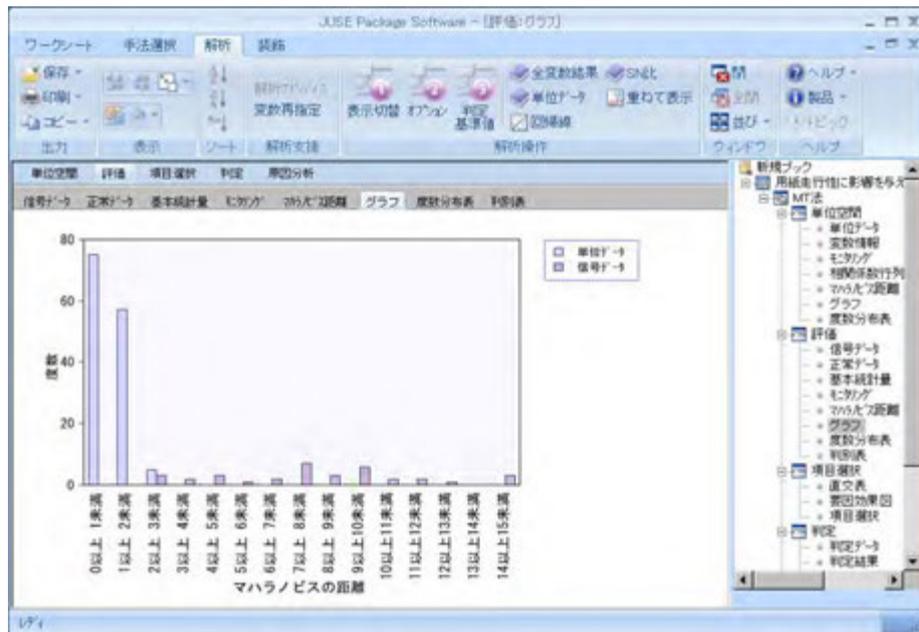
データ表列数: 12 (カテゴリー名: 1 使用: 11 不使用: 0)

No	変数名	変数変換	データ種類	カテゴリー数	最小値	最大値	平均値	標準偏差	ひずみ
2	y1	なし	信号データ	35	45.6	216.0	106.06	58.607	0.882
		なし	単位データ	137	14.9	179.8	96.02	34.865	0.351
3	y2	なし	信号データ	35	73.1	251.0	134.14	61.420	0.936
		なし	単位データ	137	39.5	175.3	104.02	27.201	0.225
4	y3	なし	信号データ	35	17.30	33.00	21.987	3.9708	1.232
		なし	単位データ	137	13.87	31.24	21.681	3.2704	0.250
5	y4	なし	信号データ	35	0.55	2.07	1.180	0.4773	0.675
		なし	単位データ	137	0.37	1.83	1.096	0.3042	0.314
6	y5	なし	信号データ	35	1.07	2.17	1.708	0.2988	-0.490
		なし	単位データ	137	0.13	4.84	2.266	0.9510	0.319
7	y6	なし	信号データ	35	-20.45	-6.61	-10.349	3.2723	-2.019
		なし	単位データ	137	-14.96	2.25	-6.740	3.4005	0.351
8	y7	なし	信号データ	35	10.00	12.92	11.329	0.7828	0.149
		なし	単位データ	137	9.54	11.89	10.857	0.3580	-0.350

レディ

手順 8

「グラフ」タブでは、単位空間データと評価データのマハラノビス距離を並べて比較することができます。
 評価データのマハラノビスの距離は 2.099~14.835 であり、いずれも 2 以上で大きく、単位空間と識別できていることが分かります。



手順 9

「判別表」タブでは、マハラノビスの距離を使って、単位空間データと評価データの正常と判定されたサンプルの数と、異常と判定されたサンプルの数を確認できます。

本事例では、評価データのうち 5 個のサンプルが正常、30 個のサンプルが異常と判定されています。

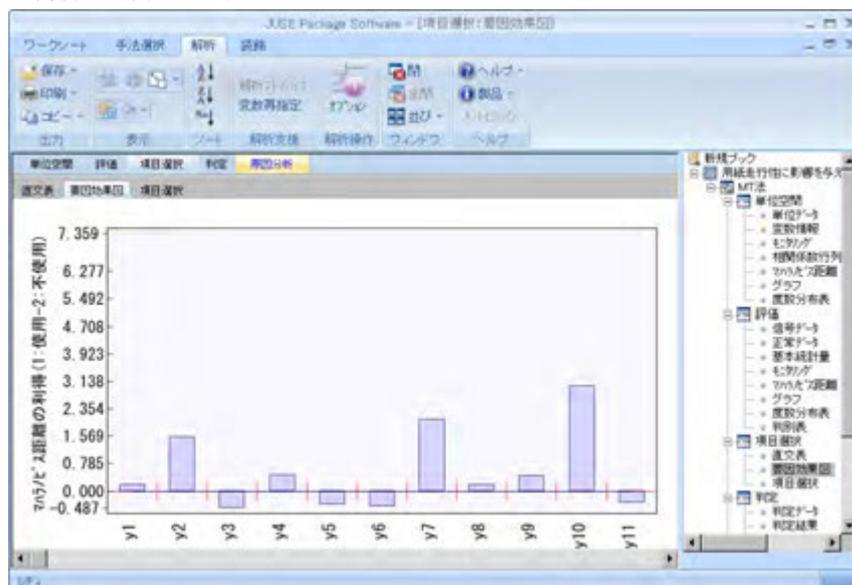
		判定基準値: 4.0 (正常: マハラノビス距離 < 4.0 異常: マハラノビス距離 ≥ 4.0)		項目数 (全変数)	
	グループ	データ種類	正常	異常	合計
全変数	単位空間	単位データ	137	0	137
	評価	信号データ	5	30	35
項目選択後	単位空間	単位データ	137	0	137
	評価	信号データ	5	30	35

手順 10

「項目選択」グループに移ります。「項目選択」では、どのような項目がマハラノビスの距離に影響を与えているのかを吟味します。具体的には、Paley の 2 水準系の直交表を使って、各変数を使用した場合 (第 1 水準) と使用しない場合 (第 2 水準) のマハラノビスの距離の差を求めます。

ここでは、項目数の 11 の 2 倍以上の列数を持つ L44 を用いて解析を行います。

「要因効果図」タブで、マハラノビスの距離の利得 (= 第 1 水準を使用した場合のマハラノビスの距離 - 第 2 水準を使用した場合のマハラノビスの距離) を確認します。



手順 1 1

「項目選択」タブでは、マハラノビスの距離の利得をもとに、どのような項目が判定に影響を与えるかを確認します。

本事例では、特に項目 1, 8 (y1, y8) の利得や F 比が 2.0 より小さいことから、項目 1, 8 は単位空間と単位空間以外を識別する能力が低いと考えます。

No	変数名	状態	マハラノビス距離		分散分析表			検定
			利得(1-2)	1: 使用	2: 不使用	F値	p値	
2	y1	使用	0.1591	5.9454	5.7864	0.350	0.5583	
3	y2	使用	1.5222	6.8270	5.1048	32.052	0.0000	**
4	y3	使用	-0.4863	5.8228	6.1091	3.272	0.0799	
5	y4	使用	0.4495	6.0907	5.6412	2.795	0.1043	
6	y5	使用	-0.3958	5.8680	6.0638	2.167	0.1507	
7	y6	使用	-0.4371	5.6474	6.0845	2.643	0.1138	
8	y7	使用	2.0327	6.8822	4.8496	57.154	0.0000	**
9	y8	使用	0.1763	5.9541	5.7778	0.430	0.5167	
10	y9	使用	0.4206	6.0762	5.6556	2.447	0.1276	
11	y10	使用	2.9837	7.3577	4.3741	123.144	0.0000	**
12	y11	使用	-0.3411	5.6954	6.0365	1.610	0.2137	

項目 1 の利得が小さい理由は、他の項目との相関が高いため、他の項目で項目 1 の分を含めてマハラノビスの距離の長短を説明していると考えられるからです。項目 8 も同様です。

No	変数名	状態	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11
2	y1	使用	1.000	0.824	0.619	0.877	0.624	0.528	0.500	-0.524	0.213	0.877	-0.536

以上より、項目 1, 8 は判定から外します。項目 1 (y1) と項目 8 (y8) の行をクリックして、「不使用 (判定に使用しない)」に設定します。

さらに、利得が負の項目 3, 5, 6, 11 も使用するとマハラノビスの距離が小さくなるため、「不使用 (判定に使用しない)」に設定します。

No	変数名	状態	マハラノビス距離		分散分析表			検定
			利得(1-2)	1: 使用	2: 不使用	F値	p値	
2	y1	不使用	0.1591	5.9454	5.7864	0.350	0.5583	
3	y2	使用	1.5222	6.8270	5.1048	32.052	0.0000	**
4	y3	不使用	-0.4863	5.8228	6.1091	3.272	0.0799	
5	y4	不使用	0.4495	6.0907	5.6412	2.795	0.1043	
6	y5	不使用	-0.3958	5.8680	6.0638	2.167	0.1507	
7	y6	不使用	-0.4371	5.6474	6.0845	2.643	0.1138	
8	y7	使用	2.0327	6.8822	4.8496	57.154	0.0000	**
9	y8	不使用	0.1763	5.9541	5.7778	0.430	0.5167	
10	y9	使用	0.4206	6.0762	5.6556	2.447	0.1276	
11	y10	使用	2.9837	7.3577	4.3741	123.144	0.0000	**
12	y11	不使用	-0.3411	5.6954	6.0365	1.610	0.2137	

手順 1 2

項目選択後のマハラノビス距離がどう変わったかを確認します。「評価」グループの「マハラノビス距離」タブに戻ると、全変数を使用した時と項目選択後のマハラノビスの距離が並べて表示されます。

項目選択後のマハラノビスの距離が大きく、単位空間ときちんと識別ができていることを確認します。

No	サンプル名	データ種類	マハラノビス距離		基準化データ		
			全変数	項目選択後	y1	y2	y3
138	ex-paper1	信号データ	2.099	3.240	-1.211	-0.354	-0.808
139	ex-paper2	信号データ	7.978	11.253	1.709	3.249	0.908
140	ex-paper3	信号データ	8.138	14.886	3.289	5.183	1.801
141	ex-paper4	信号データ	14.835	27.778	-1.033	-0.971	-1.165
142	ex-paper5	信号データ	11.877	17.024	0.077	0.172	-0.734
143	ex-paper6	信号データ	9.028	12.535	-0.307	-0.306	-0.315
144	ex-paper7	信号データ	3.059	4.455	-0.947	-0.552	-0.899
145	ex-paper8	信号データ	9.251	7.300	-1.446	-1.137	-1.202
146	ex-paper9	信号データ	6.704	8.659	1.525	2.970	0.556
147	ex-paper10	信号データ	11.806	17.074	-0.006	0.054	-0.915
148	ex-paper11	信号データ	7.257	9.345	-0.818	-0.339	-0.529
149	ex-paper12	信号データ	9.933	16.018	3.100	4.775	3.192
150	china-paper	異常データ	0.989	18.375	0.441	5.499	0.899

手順 1 3

次に「判定」グループに移ります。正常/異常が未知である china-paper の 3 銘柄について、正常/異常の判定を行います。

手順 3 と同様に「変数指定」ボタンを押して、「未知データ C」のデータを読み込みます。



手順 1 4

「判定結果」タブに移ると、これらの未知データについて正常/異常を判定した結果が表示されます。

china-paper1 は距離が 1 以内なので、走行トラブルは起こしにくいと考えられます。一方、china-paper2 は「正常」と判定されていますが、距離が 1~4.5 の間のため、念のためテストを行います。china-paper3 は距離が 4.5 以上となっており、市場でトラブルを起こしやすいと考え、テストせずにその情報を営業にフィードバックすることにしました。

No	サンプル名	判定結果	マハラノビス距離	基準化データ	y2	y4	y7	y9
173	china-paper	正常	0.904	-0.001		0.144		-1.472
174	china-paper	正常	1.121	-0.622		-0.546		1.489
175	china-paper	異常	6.378	-1.530		-2.157		1.880

手順 1 5

最後に、手順 14 でマハラノビスの距離が大きかった china-paper2 と china-paper3 について、原因分析を行ってみます。「原因分析」グループに移り、手順 13 と同様に、「変数指定」ボタンを押して、未知データを読み込みます。

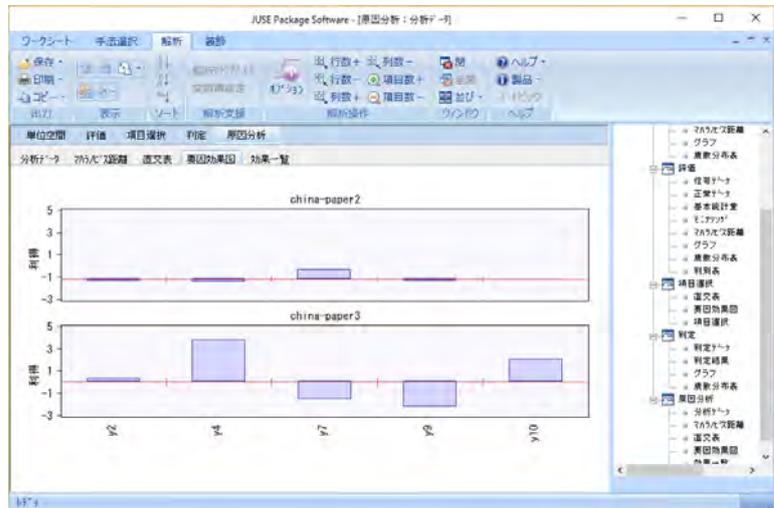
一旦、3 個のデータが読み込まれますが、china-paper1 は対象としないため、china-paper1 の行をクリックして「行削除」ボタンを押します。



手順 1 6

「要因効果図」タブでは、china-paper2 と china-paper3 について、マハラノビスの距離の利得（第 1 水準を使用した場合のマハラノビスの距離から第 2 水準を使用した場合のマハラノビスの距離を引いた差）を示します。

これを見ると china-paper2 では項目 7 の利得が正の方向で若干大きくなっていることが読み取れます。また、china-paper3 では項目 4 と 10 の利得が正の方向でかなり大きく、影響を与えていそうです。すなわち、これらの項目の影響で、china-paper2 と china-paper3 のマハラノビスの距離が大きくなっていることが分かりました。



これまでの解析より、以下のことが分かりました。

- 単位空間に属するとされた 137 サンプルは、外れ値がなく、正規性にも問題はありませんでした。さらにマハラノビス距離に特に大きいものはなく、単位空間としてほぼ適切なデータが選ばれていたようです。
- 一方、単位空間に属しないとされた評価データ 35 サンプルのマハラノビス距離は大きく、単位空間データとほぼよく識別できていることが分かりました。
- マハラノビスの距離の利得により、項目 1, 3, 5, 6, 8, 11 が単位空間と単位空間以外を識別する能力が低いことが分かりました。よってこれらの 2 項目は判定の計算には使用しないことにしました。
- 未知データの china-paper の 3 銘柄のうち、2 銘柄のマハラノビスの距離が大きくなっていました。特に china-paper3 の距離が大きく、異常と判定されました。原因分析を行ったところ、china-paper2 では項目 7、china-paper3 では項目 4 と 10 が影響していることが分かりました。

本著作物は原著作者の許可を得て、株式会社日本科学技術研修所（以下弊社）が掲載しています。本著作物の著作権については、制作した原著作者に帰属します。

原著作者および弊社の許可なく営利・非営利・イントラネットを問わず、本著作物の複製・転用・販売等を禁止します。

所属および役職等は、公開当時のものです。

■公開資料ページ

弊社ウェブページで各種資料をご覧ください <http://www.i-juse.co.jp/statistics/jirei/>

■お問い合わせ先

(株)日科技研 数理事業部 パッケージサポート係 <http://www.i-juse.co.jp/statistics/support/contact.html>