

図-7.MTS法によって  
異常値を分離した時の散布図

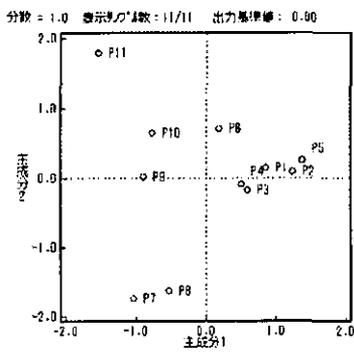


図-8.選手をサンプルとした  
ときの主成分分析結果

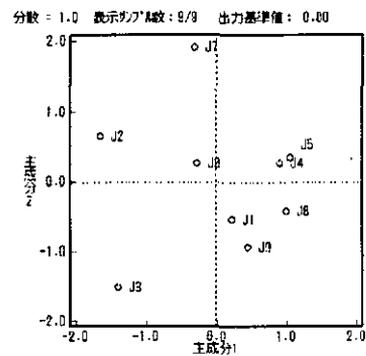


図-9.審判をサンプルとした  
ときの主成分分析結果

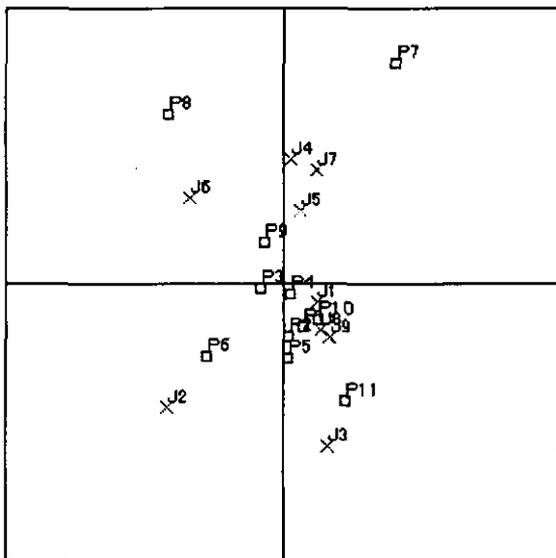


図-10.技術点の対応分析結果

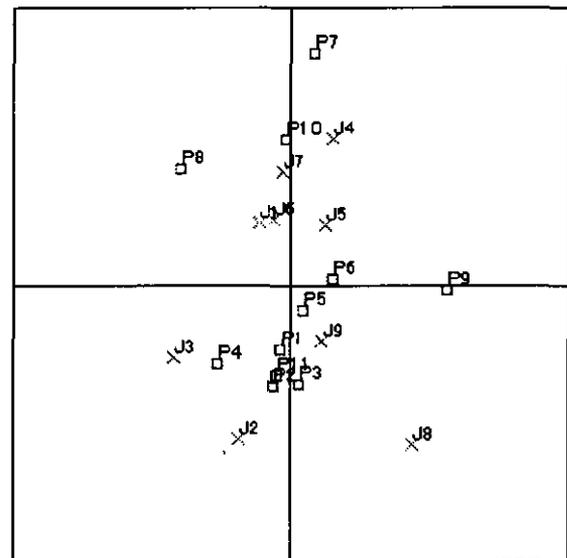


図-11.芸術点の対応分析結果

ルとした主成分分析の主成分得点を示す。これらの結果については次に述べる対応分析とあわせて考察してみたい。

次に、このデータに対し対応分析を行なってみる。対応分析は各サンプルがそれぞれの変数にどう反応しているかというデータを用いて、類似度を分析する目的で用いる。

対応分析の結果は、変数の影響とサンプルの反応を同時に布置すると見やすい。結果を図 10 に示す。これをバイプロットという。各軸の意味は、一番類似性の乖離が大きい軸、2 番目に乖離が大きい軸・・・となっており、各サンプルが布置される様子から、原点に近いものは似たものどおしの多数派、原点から外れるものはパターンに特徴のある少数派ということが言える。

この結果は主成分分析とは大きく異なっている。選手の実力や審判の甘辛が現れない。そのかわり、審判の忖意性が現れ、それがどの選手に対して向けられているかが距離の関係で把握できる。まず図 10 の上側において特徴が見られる。すなわち、P7(ソ)、P8(ソ)の選手が普通とは異なったパターンの採点を受け、そのパターンに近い採点を行なっている審判が J4(日)、J6(西独)、J7(ソ)である。図 10 の下側では、審判の J2(米)、J3(英)が普通とは異なった採点パターンを示しているが、そのパターンの恩恵を受けているのが J2→P6(西独)、J3→P11(伊)であり、逆に不利益を被っているのが P7(ソ)、P8(ソ)である。

審判の忖意的な採点の影響を受けている選手は、主成分分析では第 2 主成分軸の正負の大きい部分に布置されている。しかし、忖意的傾向の「大きさ」と「パターン」とは異

なるため、主成分分析上の布置と、対応分析上の布置とは必ずしも対応しない。

次にこの忖意性が偶然かどうか調べるために、芸術点についても同様に分析した。その結果を図 11 に示す。これより、相変わらず P7(ソ)、P8(ソ)の選手が普通とは異なったパターンの採点を受けていることが分かる。さらに J2(米)、J3(英)、J4(日)、J7(ソ)の審判は技術点のみならず芸術点においても原点から遠ざかった位置に布置されており、もはや忖意性は否定できないと思われる。

ただし対応分析は忖意的採点の大きさは論じていないので注意が必要である。従って主成分分析の結果を併用するとよい。技術点について言えば、図 8 から分かるように P7(ソ)、P8(ソ)の選手の不利益は大きいし、図 9 から分かるように J3(英)、J7(ソ)の審判は悪質である。一方、日本の審判(J4)は気持ちにあったものの良心の呵責が働いたところだろうか、第 2 主成分軸方向の変動分は僅少である。

#### 4. まとめ

以上述べてきたように、記述統計は混沌としたデータを要約し、何らかの特徴を際立たせる統計的手法である。ただし、データの持つどのような側面を際立たせたいかという目的により、使用する記述統計の手法が異なってくる。

主成分分析はデータのばらつきを最大方向に軸を設定することから、重心からの距離が主眼となり、重心から離れているものを際立たせる効果があるのに対して、対応分析は、類似度を元に距離を算出しているため、大小関係は無視されるかわりに

パターンの異なるものが際立つという特徴がある。

例えば、音色の研究はマハラノビスの汎距離ではできない。本稿で述べたとおり、マハラノビスの汎距離の求め方は本質的には主成分分析と同じであり、主成分得点の2乗和がマハラノビスの汎距離の2乗になる。主成分分析はスペクトル分解であるといわれているが厳密にはスペクトルのパワー分解である<sup>(4)</sup>。求められたスカラー量はパワーを反映している。したがって音圧の研究しかできないのである。同様に地震の検出研究でもマハラノビスの汎距離でパワーが検出された時点では手遅れになる。現在の研究はパワー分解を使わない<sup>(5)</sup>。ビルの工事現場の振動や大型トレーラーの振動に埋もれて検出できないような微弱なしかし特徴ある波形を検出する必要があるからである。これには独立成分分析という手法が使用される<sup>(4)</sup>。工業の分野ではウェーブレット解析という波形解析手法も用いられる。

従って、管理・検査の研究をデザインするときには、大小関係を重視するのかパターンを重視するのかに留意しなければならない。

また、現在、心理学分野を中心に因子分析や共分散構造分析などの探索的データ解析が発展しているが、これらの手法は因果構造を解明する手法である。これに対して、本稿で述べた記述統計の手法は観測データの空間内布置構造を理解する手法である。観測データ間に複数の因果関係があるときは探索的データ解析を用いた研究のデザインが必要となるが、観測データの構造が、ひとつの疾病要因

に対する複数の症状という結果系から構成されるときは、ひとまず記述的統計によって構造を明らかにし症状を分類するのが好ましいと言える。

本稿では、量的データの解析法について述べてきたが、反応がある/ない等の質的データに拡張したのが数量化理論である。対応分析に相当するのが数量化Ⅲ類である。これらの手法を医療分野に適用することも試みられており、先駆的研究<sup>(6)</sup>をはじめいくつかの事例をみることができる。今後、ますます適用が進み研究成果がでることを期待したい。

#### 参考文献

1. ジェフリー・R・ノーマンら、中野ら訳「早わかり統計学—臨床データを理解するためのエッセンス—」メディカル・サイエンス・インターナショナル、1999
2. 吉田「現代統計学を学ぶ人のために」世界思想社、1995
3. 宮川「品質を獲得する技術」日科技連、2000、pp219-252
4. 甘利ら「独立成分分析—多変量データ解析の新しい方法—」サイエンス社、2002、pp21-29
5. 池田 計測と制御 Vol.38, No.7, 1999、pp461-467
6. 駒沢 日本公衛誌 Vol.25, No.3, 1978、pp105-117

# うつデータを用いたマハラノビス・タグチの方法における変数選択手法に関する検討

吉野睦 株式会社デンソー  
川村則行 国立精神・神経センター

医療統計にマハラノビス・タグチの方法(MTS法)が適用できるかどうか検討したので報告する。MTS法とは田口が提唱した異常検出の一手法である。MTS法は、基準空間を攪乱する変数を外的基準を用いて削除し系をロバスト化する点に特徴がある。変数を適切に選択することにより、少ない観測コストでより頑健な検査系を構築できるため、工学の分野で多くの適用事例を見ることができる。

しかし、MTS法における変数の選択手順に関しては、望大特性のSN比を特性値とした直交表を用いる事例やシュミットの直交化を用いる事例が混在し、一貫した概念があるとは言えない。

そこで本研究では、基準空間の攪乱が生じても基準空間と外的基準の相関関係は保存されることに着目し、基準空間の構造を主成分分析によって縮約し、外的基準を縮約した空間で分離するという変数削除の方法を提案した。

本稿では、うつ病に関する医療データの提供を受け提案した方法を含め種々の変数選択法の結果を比較したので報告する。

## 1. はじめに

田口が提案したマハラノビス・タグチの方法(以下MTS法)とは、多変量正規分布データで表現される集団の裾にある異常群を検出する検査手法である<sup>(1)</sup>。多変数の観測データに対して適用し、変数間の相関関係を考慮して、個々のサンプルの重心からの距離を算出し、重心から遠いサンプルを異常として検出する手法である。類似の手法は従来から存在するが、MTS法は観測変数を絞り込む点に特徴がある。

工学の分野ではMTS法を適用して効率的な検査系を構築したという事例が数多く報告されている。工学以外の分野では、医療分野において先駆的な研究<sup>(2)</sup>をはじめ、健診データの処理<sup>(3)</sup>の事例を見ることができる。医療データは、扱う変数が正規分布をとらないか、またはノンパラメトリックな場合が多いが、健診データはほぼ正規分布であることに加え医学者が判断した疾病者のデータを用いて異常群の定義が可能であることが適用を可能にしている。

本稿ではMTS法における変数選択手法について「うつ」に関するデータを用いて検討したので報告する。変数選択とは検査の効率化のために観測する変数を絞り込むことを指す。変数選択の方法が異なると、集団データのうち重心の周りに分布する正常群と裾野部に分布する異常群の間の「重なり度合い」が

変化するのだが、その重なり度合いが一番少なくなるように観測変数を選択するのが好ましい。そこで本稿では提供された多変量データを用いて、種々の変数選択手法について比較検討した。

## 2. MTS法の特徴

まず、MTS法の特徴について整理しておく。MTS法では、正常群の多変量データをもとに基準空間を作った上で、別の異常群を外的基準として観測変数を選択し、基準空間を最適化する。以下これを「観測モデル」と呼ぶ。この観測モデルを用いて新たなサンプルのマハラノビスの汎距離を計算し、閾値と比較して異常検出を行なう。

マハラノビスの汎距離によるモデルの縮約は主成分分析と本質的に同じである<sup>(4)</sup>。しかし主成分分析はモデル化後も全ての変数の観測が必要なので、検査のコストダウンを図ることはできない。MTS法は、変数を選択することにより観測モデルを小さくし、モデル化後の検査コストを減らすことができる。

MTS法の変数選択の概念を簡単に述べる。田口は、正常サンプル群である基準空間をノイズに対してロバストにすべきだと主張した。すなわち、MTS法の変数選択は観測モデルをロバストにすることを主眼に行なわれる。例えば医療データでは、肝疾患、心臓疾患、消化器疾患等の因子を含んだ種々の観測変

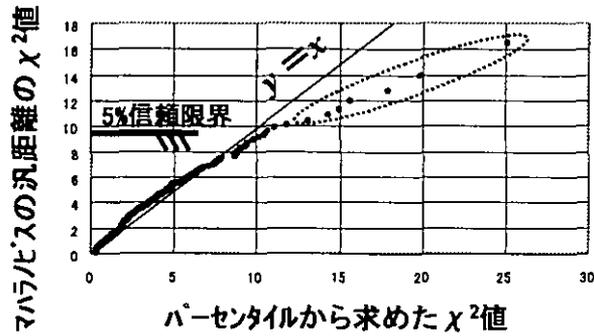


図-1.  $\chi^2$  確率プロット

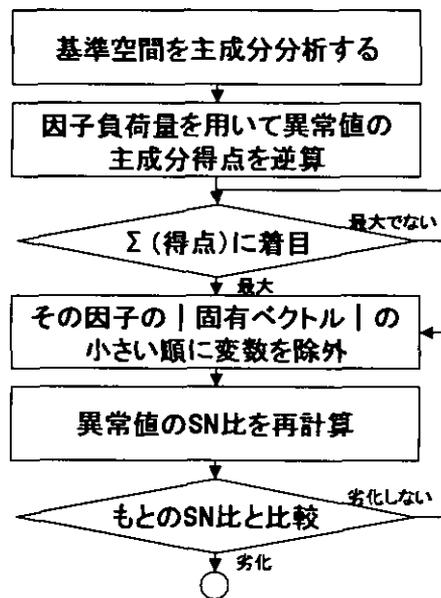


図-2. 既報告済みの変数選択の手順

変数選択手法	除外変数	SN比
田口の直交表	列2, 3, 7	6.786
主成分分析1回	列7	6.581
" (説明できない軸)	列9	6.431
主成分分析毎回	列7	6.581

表-1. 試みた変数選択手法とその結果

数が存在する。サンプルの中から肝疾患予備軍を検出したいときは、心臓疾患、消化器疾患の影響を受ける観測変数はノイズとなる。そのような観測変数を用いると基準空間が攪乱され、重なり度合いが増すからである。そこで明らかに肝疾患である患者のデータを外的基準として用い、これと比較しながら、マハラノビスの距離を変化させないばかりか誤差を増やす攪乱変数を発見し除外する。田口は外的基準との比較にSN比を用い、変数選択に直交表を用いることを提案した<sup>(5)</sup>。

次に異常検出の概念について整理する。マハラノビスの汎距離を用いた異常値検出手法は従来から存在した。それらはマハラノビスの汎距離が $\chi^2$ 分布に従うという性質を利用している。図1は身体測定データ<sup>(6)</sup>の $\chi^2$ 確率プロットである。横軸はパーセンタイルから求めた $\chi^2$ 値、縦軸はサンプルのマハラノビスの汎距離の $\chi^2$ 値である。

異常検出には2つの方法がある<sup>(7)</sup>。ひとつは分布の裾を異常と見なす方法である。例えば実データ分布において上側5%点を越えるものを異常と見なす。図1では5%信頼限界と書いてある線を越えるものを異常とみなす。もうひとつは $\chi^2$ 確率プロットの $y=x$ の直線から外れるものを異常と見なす方法である。例えば図1において破線で囲まれたデータは何らかの攪乱を受けていると考え異常と見なす。データが完全な多変量正規分布空間を形成していれば直線上にプロットされるからである。MTS法は前者の概念で異常検出を行なう。従来と異なるのは、閾値を損失関数等によって決定する点である<sup>(8)</sup>。

以上のように、MTS法は変数選択方法と異常検出方法に特徴を持つ。

### 3. MTS法の問題点

前述した2つの特徴のいずれにも問題点がある。変数選択のステップでは選択の方法に問題がある。異常検出のステップでは閾値決定に関連して適正サンプルサイズの問題がある。本研究では変数選択の問題点を扱う。

以下、変数選択法の問題点について論じる。田口は、異常値も基準空間と同一の群から得られたサンプルだから基準空間にノイズ(攪乱変数)があると異常値のSN比も悪化すると考えた。そこで異常値のみに着目してその望大特性のSN比を求め、変数選択により

このSN比が向上すれば、基準空間のノイズも減ると仮定したのである。基準空間の分布形状に依存する基準空間と異常値の重なり度合いは評価尺度とはしなかった。

基準空間の分散は単に変数の個数 $p$ で決まり、マハラノビス・タグチの距離の場合は $2/p$ である。基準空間の分布形状はデータの質によらず一定と見なせば、異常値を遠ざける選択法(望大特性)に着目したのは一見合理的である。しかし、基準空間と異常値との重なり度合いは基準空間の分散に依存するので、変数の個数 $p$ の影響も強く受ける。そのため、変数の個数を変化させることによって異常値のSN比を改善したとしても、観測モデルが改善されたとは言い切れない。改善効果の有無の議論は、変数の個数固定のもとで組合せを変えて比較した時にのみ厳密に成立する。

田口は変数の増減時に比較ができないという問題の対処方法として、一つの変数を選択する/しないの効果の差異で変数を選択するかどうかを直交表を用いて決めようとした。ところが、変数間には相関関係があり独立ではないので、直交表で主効果のみ考慮して変数を選択することにも無理があると思われる。

過去、この問題点を日本品質管理学会中部支部研究発表会において発表した際に、これらの対策として、基準空間の構造を仮定しそれに基づく変数選択を行なうことを併せて提案した。これを次項で示す。

一方、変数の増減にかかわらず、異常値は攪乱を受けなければ、ばらつきが小さくなり際立ってくるものと考えられる。この点を考慮すると望大特性のSN比を使用するのが好ましいと考えられる。そこで、変数選択法に併せて望大特性のSN比を用いることも上記発表会において提案した。

### 4. 本稿が提案する変数選択方法

既に提案した変数選択方法について簡単に述べておく。特徴は基準空間の構造を考えることである。例えば前述の医療データであれば肝疾患、心臓疾患、消化器疾患等の因子で説明される構造であると仮定する。この場合、因子分析によって潜在因子を想定することが考えられる。しかし、回転の不定性があり主観的な問題となる恐れがあるため、

列番	変数名
列1	toi損害回避
列2	toi自己志向
列3	PBI愛護
列4	PBI干渉
列5	NEO-N
列6	NEO-E
列7	01年要求度
列8	01年裁量権
列9	exnk01-仕事量
列10	exnk01-フィールド14

表-2. 解析に使用したデータの変数名 フィールド14は裁量権2

主成分	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4	主成分5	主成分6	主成分7	主成分8	主成分9	主成分10	
固有値	2.564	1.722	1.425	1.373	0.830	0.528	0.483	0.406	0.391	0.277	
固有ベクトル	列1	-0.454	0.145	-0.021	0.336	-0.117	-0.090	0.399	-0.112	0.682	-0.008
	列2	0.447	-0.174	-0.011	-0.116	-0.361	0.648	0.228	0.227	0.319	0.014
	列3	0.197	-0.227	0.362	0.540	0.111	-0.126	0.534	0.221	-0.349	0.050
	列4	-0.252	0.270	-0.320	-0.477	0.148	0.064	0.598	0.275	-0.271	0.021
	列5	-0.381	0.196	0.126	0.303	0.394	0.676	-0.238	0.160	-0.118	0.033
	列6	0.350	0.001	0.176	-0.224	0.770	-0.090	0.069	0.011	0.431	0.067
	列7	0.045	0.373	0.585	-0.225	-0.119	0.172	0.205	-0.576	-0.135	-0.174
	列8	0.331	0.443	-0.292	0.284	0.058	-0.041	-0.017	0.091	-0.002	-0.718
	列9	0.093	0.571	0.352	-0.033	-0.233	-0.221	-0.190	0.545	0.102	0.307
	列10	0.323	0.354	-0.410	0.281	0.038	0.080	0.077	-0.386	-0.096	0.593
入の平方根で標準化した異常値の主成分得点の平均値	-5.624	0.070	-0.222	-0.086	-0.092	0.155	0.136	0.471	0.075	-0.885	

表-3. 主成分ごとの異常値の説明度

主成分分析を用いる。ここでは、基準空間をどれだけ説明できたかではなく、どの軸が異常値をよく説明できるかが観点となる。

まず基準空間の主成分分析を行なう。次に主成分軸のどれが異常値をよく説明しているか明確にする。それには、基準空間の因子負荷量を用いて異常値の主成分得点を逆算し、主成分軸ごとに異常値の主成分得点を合計あるいは平均し、分散 $\lambda$ で規準化する。これが最大となる主成分軸が異常値をよく説明できていると考える。先述の医療データでは肝疾患軸となるはずである。

次のステップでは変数を除外していく。異常値を説明する軸の|固有ベクトル|が小さい順に変数を除外する。ここで評価尺度を計算し、変数除外前の評価尺度と比較する。評価尺度は異常値の望目特性のSN比を用い、この評価尺度が劣化しないところまで変数の除外を続ける。この手順を図2に示す。

## 5. 上記方法に対する疑問点とその対応

この方法の疑問点は以下の通りである。

- (1) この方法とは逆に異常値を一番説明できない軸に関して|固有ベクトル|が最大の変数から除外していく方法も考えられないか。
- (2) 複数の主成分で異常値の分離が説明される場合はどう対応するのか。
- (3) 最初に1回だけ主成分分析を行ない、全変数に序列を付けそれに基づき変数を除外していくが、変数を除外するたび間接効果や擬相関の関係が失われるので偏相関関係も変化する。その都度、主成分分析をやり直すべきではないか。

これらの疑問点に対して、表1に示す各種方法を比較することにした。なお、田口の直交表を用いる変数選択方法は確認のために実施した。なお、今回は疑問点(2)の複数の主成分軸が必要な場合の検討は行なわなかった。

## 6. 検討用データ

実際の検討に用いたデータは、変数の個数が10個、サンプル数は健常者で構成された基準空間755サンプル、うつ病患者である

異常値30サンプルから構成された医療データである。各列の変数名の一覧を表2に示す。10変数全てのデータの分布の状況を図3に示す。

## 7. 実験結果と考察

まず、既に報告した方法を試みた。基準空間を主成分分析し、主成分軸ごとにどれだけ異常値を説明しているか整理した。これを表3に示す。これによると異常値を一番よく説明しているのは第1主成分で、変数の除外順序は列7→列9→列3→…とすべきであると判る。変数除外毎のSN比の変化を図4に示す。図4より除外すべき変数は1個のみと判明した。その時の最大のSN比は6.581であった。

次に疑問点(1)の検討として、異常値を一番説明できない主成分軸からの除外変数の発見方法を試した。表2より、異常値を一番説明できない主成分軸は第2主成分であり、変数の除外順序は列9→列8→列7→…とすべきであると判る。上と同様に変数の除外を行なったところ、除外すべき変数は1個のみと判明した。その時のSN比変化は5.255→6.431→6.034→6.010→…であった。

さらに疑問点(3)の検討として、毎回主成分分析をやり直す方法で、異常値を一番説明できる主成分軸に着目して試したが、これは主成分分析1回のみで順位付けした場合と全く一致した。

最後に比較のために、田口の変数選択を行なった。変数を選択する/しないをL16直交表に割付け、特性値として望目特性のSN比を取った。要因効果図を図5に示す。これより、除外する変数は列2, 3, 7であると判る。この時のSN比は6.786であった。

以上より、SN比を最大にするという観点では、今回は田口の直交表を用いる方法が一番優れていた。(田口の方法で変数選択した場合のマハラノビスの距離の分布を図6に示す。前出の図3において異常値である黒点は正常値群と殆ど重なり合っていたが、図6では分離が明瞭になり、検出可能であることが分かる。)

一方、主成分分析を用いる方法は、選択のルールを変更すると除外すべき変数が異なってくるという新たな疑問点が判明した。

しかし異常値を一番説明できない主成分軸から|固有ベクトル|が最大の変数を除外して

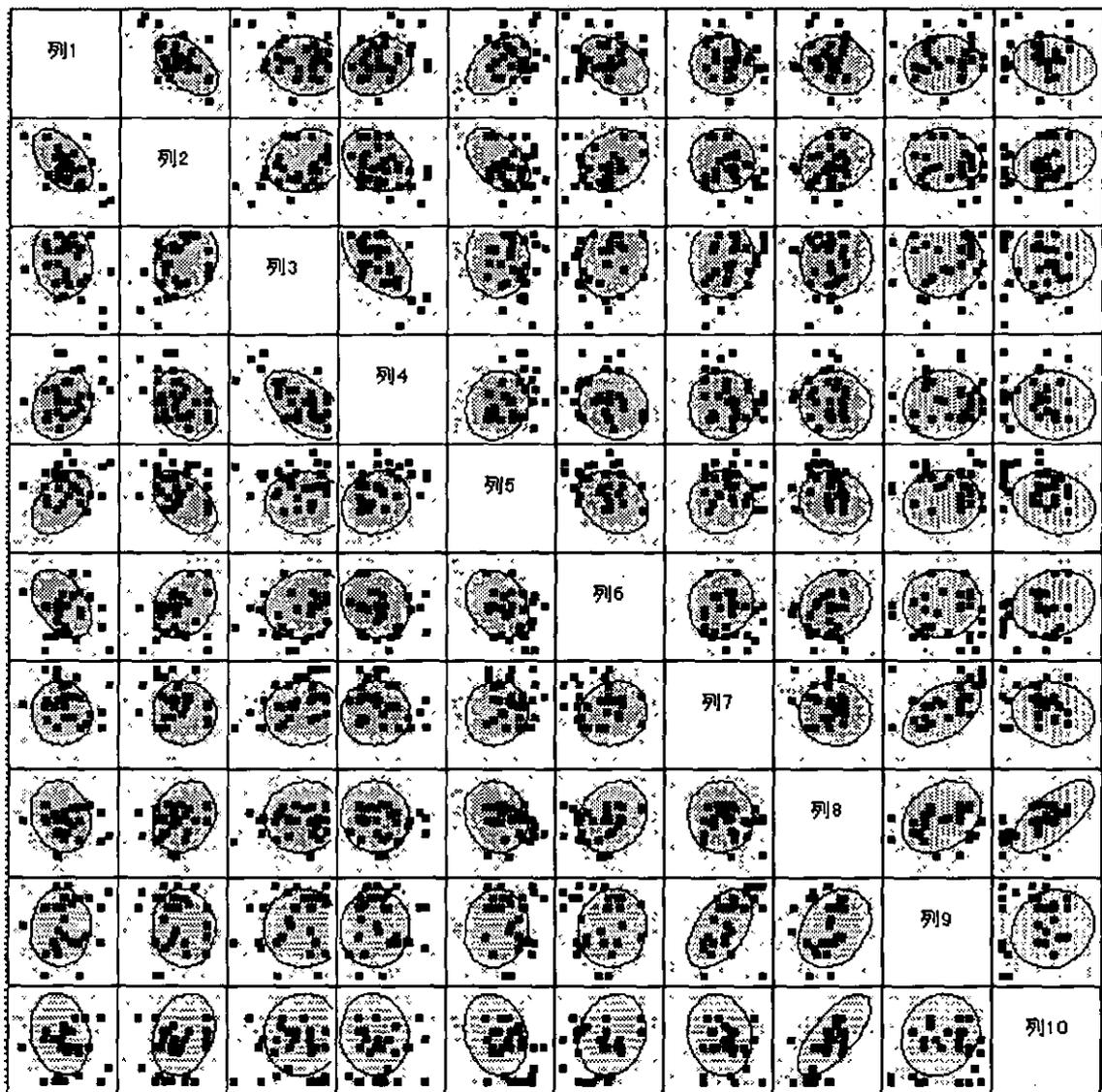


図-3. データの散布図行列 (黒点は異常値)

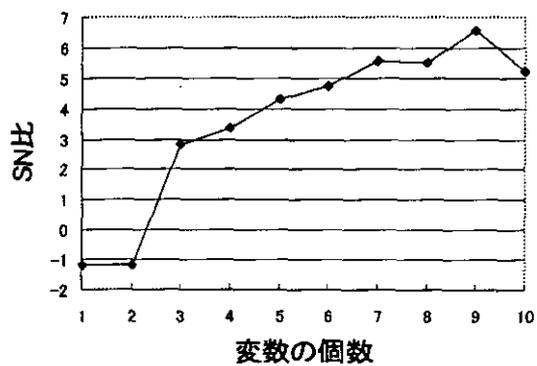


図-4. 変数選択毎のSN比変化

いく方法において、今回のデータは、主成分 2 に加えて主成分 4, 5, 9 など複数の軸が必要な場合に相当するので、この点を考慮すれば手法によらず一定の除外ルールの確立が可能ではないかと考える。しかしながら、異常値を説明できない軸の固有値は今回の事例の主成分 5, 9 のように 1 以下のこともある。1 を切るようなゴミのような成分に着目して変数選択する方法には議論が生ずると思われる。したがって一般的方法として採用するにはまだ改善の余地がある。

以上より今後引き続き、複数の主成分軸で異常値が説明されるケースについて検討を進めたい。

#### 8. 上記解析結果の医学的意義

本研究においては、追加データを待って交差妥当性の評価を行なうべきである。「ジャックナイフ法」等でこの解析手順でさらに追加解析して、この解析結果を評価することが重要である。

#### 9. 謝辞

本研究を進めるにあたり、貴重なご意見を頂きました皆様に謝意を表します。

#### 10. 参考

本稿で提案した方法と他の方法を比較した研究報告が、2003 年 11 月の日本品質管理学会第 33 回年次大会でなされている<sup>(9)</sup>。この報告において本稿の方法の有効性が検証されている。

#### 参考文献

1. 田口 標準化と品質管理 Vol.52, No.10, 1999, pp63-69
2. 兼高 標準化と品質管理 Vol.40, No.10, 1987, pp57-64
3. 長谷川ら 品質工学 Vol.7, No.2, 1999, p67-74
4. 宮川 「品質を獲得する技術」日科技連, 2000, pp219-252
5. 田口 品質工学 Vol.2, No.5, 1994, pp2-5
6. 石村 「統計解析のはなし」東京図書,

1989, pp2-8

7. 柳井ら 「人間行動と計量分析」 東京大学出版会, 1990, pp131-154
8. 田口, R.ジュグラム 品質工学 Vol.8, No.4, 2000, pp47-52
9. 末広ら 日本品質管理学会研究発表会要旨集 2003, pp95-98

#### 【用語解説】

##### 基準空間

MTS を適用して異常判定を行なう際に、異常値と対極をなす正常値群。多変量正規分布空間であるという仮定がある。

##### マハラノビスの汎距離

分散共分散行列を  $\Sigma$ 、相関係数行列(標準化した値の分散共分散行列は相関係数行列と一致)を  $R$  とすると、マハラノビスの汎距離  $D$  は、次の式で表される。

$$D^2 = (x - \mu)' \Sigma^{-1} (x - \mu) = u' R^{-1} u$$

この値の持つ意味は、例えば身長と体重を散布図にプロットすると身長と体重に相関関係があるため楕円形に布置されるが、このとき集団データの重心から楕円の外縁の距離を等しくなるよう変換したのがマハラノビスの汎距離。対極にユークリッドの距離がある。

##### 直交表

例えば効果を測りたい 3 つの変数 A, B, C があるとき、水準を -1, 1 として総当たり実験をすると  $2^3=8$  回となる。しかし、下表のような割付けをすれば、A が -1 のときも 1 のときも、B, C は -1 と 1 がそれぞれ同数回現れてキャンセルされ、たった 4 回の実験で効率的に各変数の効果が計算できる。下表で列をベクトルと見なしてベクトル A とベクトル B の内積を計算すると 0 になる。どの列どおしも内積は 0 で各ベクトルは直交するため A, B, C の効果が独立に計算できるのである。このような実験計画を直交計画といい下表を直交表という。

実験 No.	A	B	C
1 回目	-1	-1	-1
2 回目	-1	1	1
3 回目	1	-1	1
4 回目	1	1	-1

$\chi^2$  分布

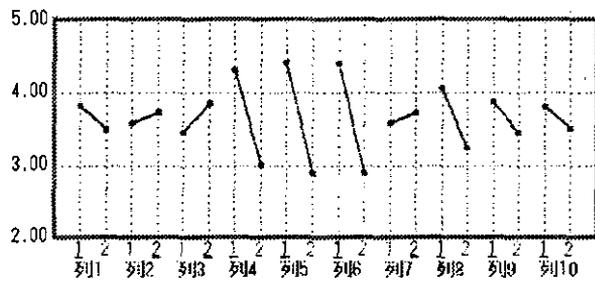


図-5. 要因効果図(水準1; 選択する)

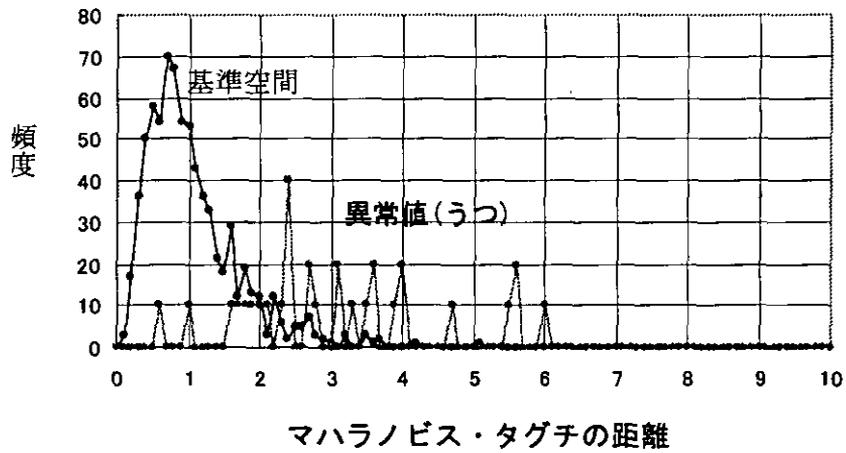


図-6. サンプルのマハラノビス・タグチの距離  
(異常値の頻度は見やすくするため10倍してある)

正規分布のような確率分布のひとつ。マハラノビスの汎距離は  $\chi^2$  分布に従うということが知られている。

#### 損失関数

お客様の被る損失を、不具合の発生確率や検査の間隔などから算出する関数。

#### 望大特性

大きければ大きいほど好ましいような観測値。例えば反応槽における収率など。逆に、負値を含んで小さければ小さいほど好ましい観測値のことを望小特性という。

#### 望目特性

一定の値にあることが好ましいような観測値。例えば酸素レギュレータの時間当たり流量など。なお、0 になることが好ましい観測値をゼロ望目特性と呼んで区別することがある。

#### 主成分分析

多変量データの空間散布図を見たとき、いろんな方向に視点を変えるとデータの分散が最も大きくなる方向がある。主成分分析はその方向を探す分析である。

## ストレス脆弱性モデルについての概説

澁谷美穂子 武蔵野大学大学院人間関係学

ストレス脆弱性モデルは精神科学の中で発展を遂げてきた。この考え方と心理社会生物学的も出るに関する考え方は、極めて類似しており、ここでは、精神科領域に限定してストレス脆弱性モデルに関して敷衍する。

### 1. ストレス脆弱性仮説・素因ストレスモデルの定義

ストレス脆弱性仮説、素因ストレスモデルまたは特異質ストレスモデル(村瀬,1998)とは、「生物学的・心理学的な素因のある人が、強い社会的ストレスを受けたときに、精神病理を発症する」(下山・丹野,2002a)という考え方に基づくモデルであり、精神病理学的概念とされる。また、異常心理の原因追求の中では、最も影響力のある病気の発生モデル(氏原,1992)とされている。この生物学的・心理学的な素因のある人とは、遺伝的、気質あるいはパーソナリティに一定の素因を持つ人、すなわち、認知構造としての抑うつや不安に対する脆弱性を素因として有する人を指す(下山他)。Wachtel (1999)によれば、生物学的要因と社会的な要因を、心理学的な要因に結びつけるモデルのひとつとされる。この考え方は、様々な精神障害の発症を説明する理論への適用が試みられ、抑うつ、不安障害、統合失調症等について提案されている(下山他)。

### 2. 概念の歴史

従来、精神病理の発症に関して、素因としての生物学的要因や心理学的要因を重視する立場がある一方で、対人関係のストレス

やライフイベント等の社会学的な要因を重視する立場がある。しかし、いずれかのみでは精神病理の発生を十分には説明できないことから、近代の長期予後研究や遺伝学的研究などの成果を背景として、その相互作用を重視する形での新モデルとして素因ストレスモデルが考案された(丹野,2001)。

この素因ストレスモデルは、Beck 理論への批判から生まれてきたとされる。つまり、Beck によって、抑うつは認知の歪みから生じるとの説明が試みられたことに、心理学における抑うつの実証的な研究の起源があるが、その後、社会心理学や認知心理学の成果が融合し、多彩な抑うつ理論や様々な精神病理の発生に関する理論が発展してきたとされる(下山・丹野,2002b)。その中で、行動学的理論から認知的理論への流れの過程において提唱されたのが、学習性無力感理論、改訂学習性無力感、素因ストレスモデル、そして絶望感理論である(丹野 2001)。以下に、その歴史的経緯について述べていきたい。

#### 2.1. 学習性無力感理論から絶望感理論へ

学習性無力感理論から絶望感理論への歴史的経緯については、村瀬(1998)や丹野(1996)、下山・丹野(2002b)、に詳しいため、以

下に要約する。

Beck が、抑うつ発生の発生に関して抑うつスキーマという脆弱性を重視したのに対し、セリグマンらが、ストレスの影響を重視し行動学的な知見からの説明を試みたのが、学習性無力感理論である。この理論では、抑うつは、行動と結果の非随伴性の学習による動機づけの低下に起因するとされた。しかし、全ての人に適用されないとの批判から、Abramson らによって個人差としての帰属スタイルを仮定した改訂学習性無力感理論が発表された。この理論における核心は、社会心理学で発展してきた帰属過程の考え方を取り入れた点であり、原因帰属のあり方が抑うつ発生を説明できている。そして、1982年に Metalsky らがこの理論を発展させ、ネガティブな出来事と帰属スタイルとの交互作用を考える素因ストレスモデルを提唱した。改訂学習性無力感理論では、コントロール不能な出来事が因果パスウェイの最初に位置づけられていたのに対し、素因ストレスモデルではコントロールの可否にかかわらず、ネガティブなライフイベントがストレスとなり、抑うつを引き起こすものとなることとした(丹野,1996)。さらに1988年には、これを改訂・吸収する形で Alloy や Abramson によって絶望感理論が生まれた。情報の同意性・一貫性・弁別性の3次元からなる状況的手がかりを新たな要因として追加し、原因帰属を決めるものは、ネガティブなライフイベント、抑うつ的帰属スタイル、状況的手がかりの3要因の相互作用としている。つまり、ネガティブな出来事の原因を、安定性と普遍性に帰属する帰属スタイルと、その出来事に対し悲観的な結果を予期する傾向や、自己評価の低下のしやすさが、抑うつ発生の発生と持続を規定することとした(丹野)。

### 3. 抑うつ

#### 3.1. 抑うつ発生の素因ストレスモデル

抑うつに対する脆弱性を持つ人が、ネガティブなライフイベントなどのストレスを経験して発病するというモデルとされる。その素因としては、Beck の抑うつスキーマにはじまり、抑うつ認知パターン、抑うつ的帰属スタイル、完全主義など多くの要因が挙げられている(丹野,2001)。また、遺伝的素因については、病前より前シナプスからのモノアミン遊離が少なく、代償的に後シナプス膜のモノアミン受容体の感受性が増大しており、この状態でストレスが負荷されるとモノアミンの遊離が増大し、後シナプス膜の受容体は過剰反応して破綻をきたし、うつ状態に陥るとするモノアミン受容体仮説を提唱している(渡辺,1999)。素因ストレスモデルでは、こうした要因を持つことが抑うつへの脆弱性であると考えられる。また、原因帰属の考え方に限定された改訂学習性無力感理論に対して、具体的な原因帰属と帰属スタイルは区別されている。抑うつ的帰属スタイルとは、ネガティブな体験の原因を、内的、安定的、全般的と帰属しやすく、逆にポジティブな体験の原因を外的、不安定的、特殊的と帰属しやすい傾向のことである(丹野,1996)。また、Beck 理論同様、帰属スタイルとストレスをちょうど錠と鍵の関係とみて、領域合致の仮定が成り立つとし、ある特定の領域で脆弱性の偏りがある人は、その同じ領域のライフイベントに直面したときに、抑うつに陥りやすいとされる(丹野)。

こうした素因ストレスモデルを中心とした、抑うつ発症の理論として代表的な仮説の中には以下のものがある。

#### 3.2. 抑うつ発症理論

##### 3.2.1. Beck の抑うつ発症理論

外界の出来事自体ではなく、その出来事の解釈つまり認知によって、抑うつ感情が生じるとした点で、精神病理学におけるパラダイムシフトと捉えられ、素因ストレスモデルがこの理論の中核に位置付けられる。

この理論の特徴は、抑うつスキーマ、推論、自動思考という3つのレベルに認知を分けて考える点にある。第一に、否定的な認知である自動思考は、直接に抑うつ感情を引き起こすとし、第二に、体系的な誤りを有する推論の歪みが、自動思考を生じさせるとする。そして第三に、より深層にある認知構造や信念体系である抑うつスキーマは、ネガティブなライフイベントの体験によって活性化された結果、ネガティブな自動思考が生じるとする。この抑うつスキーマは、それ自体は適応的だが、環境の変化に対応できない認知とされる。また、幼児期の体験などがその起源として重視され、ネガティブな体験などによって形成されるとしている。さらに、人によって抑うつを起こしやすい体験の領域は様々で、どの領域が合鍵となるかは人それぞれの幼児体験により異なるとする領域合致を仮定している。具体的には、うつ病に関連したパーソナリティとして対人志向性格と自律性格の2つを挙げている(丹野,2001)。上記3つの認知レベルのうち自動思考と抑うつスキーマを対比的に考えたBeckは、抑うつ症状は、抑うつスキーマの二次的形成物である自動思考の減少によるのではなく、抑うつスキーマの変更によって軽減されるとして、抑うつスキーマ仮説を提唱した。

Beckは、抑うつは喪失を、不安は危険をテーマとするとして抑うつ理論を不安にも適用し、こうした違いは思考の内容にあるのだとする認知的内容特異性仮説を考えた(丹野,1996)。

### 3.2.2. Teasdaleの抑うつ理論:抑うつ処理活性仮説

Beckの抑うつスキーマ仮説を批判的に修正することで、別の脆弱性の考え方を提出した理論とされる(丹野,1996;丹野,2001)。第一の相違点は、抑うつへの脆弱性を抑うつ的情報処理とした点にある。そして、それは抑うつ時のみ顕在化し、回復時には潜在するとした。第二に、脆弱性とストレスの領域合致を考えずに、どんな領域のストレスでも、抑うつ的処理を活性化させ、さらに両者間のフィードバックが、抑うつ持続の要因であると考えた。第三に、認知と感情の方向について、その双方向性を考え、抑うつ気分と認知の相互増強サイクルによって、抑うつ状態からの回復が妨げられるとした。そして、環境的、生物学的、心理学的の3要因によって、このサイクルに巻き込まれやすいか否かが決定されるとした。すなわち、嫌悪的・コントロール不能で、対人的援助が少ない環境であること、シナプスの神経伝達物質の枯渇のしやすさといった生物学的な脆弱性によって最初の抑うつ気分が高まりやすいこと、抑うつ気分になったときに、認知処理にネガティブなバイアスがかかりやすいことによって、このサイクルに巻き込まれやすいとした。

## 4. 不安への脆弱性

### 4.1. 不安の素因ストレスモデル

不安の脆弱性をもたらす要因としては、幼児期の養育に親による罰の使用が存在すること、気質においては変化への適応の個人差が存在すること、パーソナリティ特性においては神経質(丹野,1996)であること等が挙げられている。また、生理的要因としては、吸気中の二酸化炭素に対する過敏性の存在や5-HTの

感受性亢進がそれぞれパニック発作と関連することが示されている(下山・丹野,2002a)。また、その持続要因とされる不安スキーマと予期については、数多くの理論が提出されている。

素因ストレスモデルを中心とした不安障害の理論は、様々な病態に適用されているが、ここではパニック発作の発症と維持に関する、Barlow(1988)による「誤った警報理論」と Clark (1986)による認知理論について述べる。前者は、生物学的脆弱性を持つ人は、初めてパニック発作や強い不安を経験したときに、誤った警報によって身体感覚が条件づけられ、また心理学的脆弱性によって、将来のパニック発作に対する不安を抱くことから、同様の身体感覚を経験するとパニック発作が生じると考える。一方、後者では、誤帰属によって不安の身体感覚を破局的に解釈する結果、心配が増強し覚醒の亢進を引き起こすと、その破局的解釈をさらに強めるとの考えに基づくモデルとされる。そして、こうした認知と生理の相互作用による悪循環が繰り返されてパニック発作が生じるとしている(下山他)。

#### 5. 心的外傷後ストレス障害(PTSD)への脆弱性

外傷的出来事への曝露自体が PTSD 発症の十分条件とはならず、また、一部の者に限定した発症とされる一方で、慢性化をたどる者の存在も見られる。こうした事実から、PTSD 発症、あるいは蔓延には個体側における何らかの脆弱性の関与が考えられるとし、その探索が繰り返されてきた(Yehuda,1999)。それらについて、飛鳥井(松下,2000)を中心に、以下にまとめる。

まず、外傷的出来事のストレスの強度については、量-反応関係が存在するが、強

度が低い場合や時間経過後の PTSD 発症には元来の脆弱性の影響がより大きくなる。第二に、身体的危険を伴う暴力等の場合には女性の方が発症しやすいとする Kessler らによる報告から、性別発症率は外傷的出来事の種類によって異なるとされる。第三に、近年の家族研究や双生児研究によって、一定の遺伝的素因の関与として、PTSD 発症者あるいはその家族に不安、抑うつ、精神病、反社会的行動などがより多く認められ、神経内分泌的にも、ストレスに対するコルチゾール反応の低さが報告されている(西澤,2001)。第四に、神経質や内向などの一定の性格特徴を有すること(Breslau,1995)に加え、Schnurr(1993)らによる戦争従軍経験者を対象とした PTSD 症状と過去の MMPI の結果の検討からは、PTSD 症状群では心気症尺度、精神病質的偏奇性尺度、性度尺度、偏執性尺度の平均点が有意に高かったことが示された。しかし、性格傾向自体が、直接の脆弱性となるのか、結果としての脆弱性なのか、あるいは外傷体験後のコーピングに影響を及ぼす媒介要因となるのか等いくつかの可能性が考えられ、脆弱性となる根拠の解明は不十分である。第六に、過去の心的外傷歴、さらに、幼少期の親との別離、幼少期の虐待の既往、親の貧困などの劣悪な養育環境が挙げられる。また、知的機能レベルの低さが危険因子であることを支持するものとして、ベトナム帰還兵を対象とした Macklin ら(1998)による研究や、ハーバード大学卒業生を対象とした Leeら(1995)による研究が挙げられるが、逆に知的機能レベルの高さが防御因子となることを示唆するものであるとしている。

#### 6. 統合失調症への脆弱性

統合失調症の発病や経過に関する病態仮

説としても、生物学的な理論に基づく立場に対し、Zubin のストレス脆弱性仮説や Ciompi の分裂病の長期展開モデルなどが提唱されている(佐藤・吉田・沼知,2000)。前者は、遺伝要因やその他多要因に脆弱性のある個人に、ストレスが特異的引き金となり、病前性格や社会的ネットワークなど複数要因の相互作用の結果として、前駆状態、急性精神病エピソードに至るとの考えに基づくモデルとされる(松岡ら,2001)。また、後者は、統合失調症における脆弱性をストレスに対する過感受性と情報処理過程の障害とし、生物学的因子と心理社会的因子の相互作用によって生じるとするものである(高橋,1999)。これらは、脆弱性には遺伝子レベルで決定される素因性と、神経発達の経過において形成される獲得性が存在することを示唆しているとされる。つまり、その発症のしやすさは生物学的な要因に規定される脆弱性の程度と、その人が経験した心理社会的なストレスの程度の相互作用によるものとの考え(酒井,2000)に基づいた素因ストレスモデルといえる。この脆弱性の実体は、認知心理学、神経心理学、精神生理学など、近年の研究によって一種の認知障害とされ、知覚・注意、思考、記憶、実行機能の 4 領域の障害に集約されている(佐藤ら)。例えば、怒りや恨みの感情を持っていたり、ネガティブな内容の幻聴の素因がある人は、ストレスを受けたときに被害観念を持ちやすいとされる(丹野,2001)。一方、心理的対人的ストレスとして、患者の対処能力を超えるライフイベント、症状に対する患者の否定的な情緒的反応、家族の感情表出(EE)等を挙げている(丹野,1996)。

## 7. おわりに

素因ストレスモデルあるいはストレス脆弱性仮説は、例えば、その悲観的な予後が懸念されていた統合失調症という疾患に対し、異なる側面から捉え直す視点を提供したと言えよう(松岡ら,2001)。他方、Metalsky らにより考案された素因ストレスモデルの臨床研究に基づけば、どのような素因を持つ人がどのようなストレスを体験したときに、精神病理発症の割合が高くなるかということを予測できることになると言える(丹野,2001;高橋,1999)。すなわち、縦断調査と階層的重回帰分析を用いた素因ストレスモデルを因果的に分析する方法「準実験法」によって、素因が精神病理の原因あるいは結果であるかどうかの確認が可能になったと考えられる(下山・丹野,2002b)からである。また、ストレス脆弱性研究の進展に伴い、慢性疾患に代表されるような継続した問題を抱える人々に対する疾病教育や、再発防止のための効果的な心理教育が発展してきた(後藤,2001;山口,2000)。これらの背景をもとに、何らかの素因が高い人に対して、予め心理教育を行い、自分がどのようなストレスに弱いのか、また、そのストレスをどのように回避あるいは対処するのかといった、ストレスケアマネジメントについての情報を個々に応じて提供できたとしたら、精神病理の発生に予防的措置を講じることが可能になるかもしれない。

脆弱性あるいは素因とストレスの相互作用によって精神病理の発症を考えるモデルの提唱によるパラダイムシフトは、上述のような予防的アプローチをより現実的な形で取り組むことを可能にすると思われる。

### 【引用・参考文献】

下山晴彦・丹野義彦 講座 臨床心理学 3 異常心理学 I 東京大学出版会 2002a

下山晴彦・丹野義彦 講座 臨床心理学 4 異

常心理学Ⅱ 東京大学出版会 2002b  
氏原寛編 心理臨床大辞典 町沢静夫 p.50  
培風館 1992  
丹野義彦 エビデンス臨床心理学 認知行動  
理論の最前線 日本評論社 2001  
丹野義彦 認知臨床心理学入門 認知行動ア  
プローチの実践的理解のために 東京6. 大  
学出版会 1996  
村瀬孝雄監訳 異常心理学 誠心書房 1998  
松岡洋夫, 松本和紀 精神分裂病の脆弱性と  
その臨床指標 精神医学 43(3):236-249,  
2001  
渡辺義文 ストレス脆弱性とうつ病 臨床精神  
医学 28(3):283-290, 1999  
佐藤光源, 吉田寿美子, 沼知陽太郎 ストレス  
脆弱性モデルによる精神分裂病の病因と予  
防 臨床精神医学 29(4):375-380, 2000  
松下正明編 臨床精神医学講座 S6 外傷後  
ストレス障害(PTSD) 中山書店 2000  
西澤哲監訳 B.A.ヴァン・デア・コルク編 トラ  
ウマティックストレス 誠信書房 2001  
Yehuda, Rachel Risk Factors for  
Posttraumatic Stress Disorder American  
Psychiatric Press, Inc 1999  
Breslau, Naomi et.al, Risk factors for  
PTSD-related traumatic events: a prospective  
analysis. American Journal of Psychiatry 1995  
山口一 本人・家族に対する心理教育(サイコ  
エデュケーション) 臨床精神医学  
29(8):1075-1082, 2000  
後藤雅博 心理教育の歴史と理論 臨床精神  
医学 30(5):445-450, 2001

## 職域におけるストレスと健康 ～ストレス因子の解明～

杉本日出子 豊田工機株式会社 環境企画部 安全衛生推進室  
川村則行 国立精神神経センター

職域に於けるストレスと健康に関して、本研究で使用した尺度等を用いて行った活動に関してまとめた。内容は三つに分かれており、①ストレスを代用する尺度②ストレスは職種によって変わるのか？③ストレスへの介入はどのようにして行うのか。に関して書かれた。

### 1. はじめに

企業を取り巻く劇的な環境変化に伴い、雇用形態や業務形態が大きく変わりつつあり、そこで働く労働者の心身への負荷増加が懸念されている。負荷の増加につれて、その人個人が置かれている現状への不満や悩み、それに将来への漠然とした不安感などにより、ストレスを感じる労働者が年々増加傾向にある。

このように、ストレスいわゆる心の健康問題が企業で働く人々とその家族、企業に与える負の影響は、無視できない状況に直面しつつあると思われる。

ストレスの増大による病気の中でも、自ら尊い生命を断ち切ることにもつながりかねないうつ病に関しては、初期症状を早期に発見するとともに、適切な処置を施すことが必要である。

一般に、心療内科や精神科領域ではうつ病を診断するために心理分析や心理テストが行われるが、心の健康状態やストレスの状態を包括的に測定する方法は未だ確立されていないのが現状である。このことから、心の健康状態やストレスの状態を定量的かつ総合的

に測定する目的で、信頼性や妥当性が既に検討された既存の心理尺度や、汎用されているが定量性や信頼性妥当性に乏しい生活習慣尺度、新たに作成した心理尺度などを検討し、個人の心理社会的要因を総合的に判定できるように、自己記述式のストレス調査表を構成した。

今回、従業員の心理社会的状態を総合的に測定して、ストレスに影響を与える主要因子はいかなるものであるかを解明した。

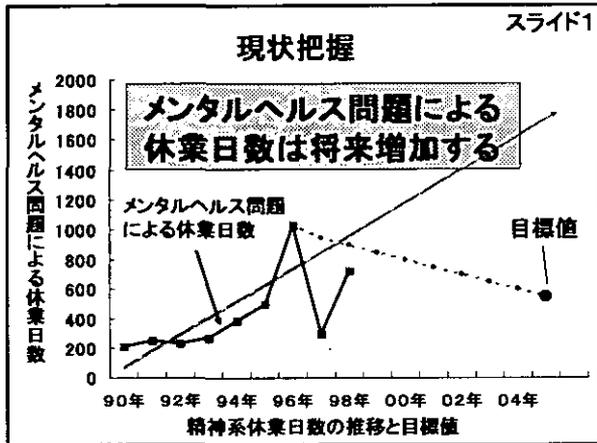
### 2. 現状把握

当社の精神系休業日数の推移から目標値を設定するために、精神系休業日数の回帰式を求めたところ、将来は予測がつかないほど大幅に増加する可能性があることがわかった。(スライド 1)

1990年から1995年までのうつ病休業者は平均 4 人であったが、1996年は 11 人となり休業日数も急増した。

### 3. ストレス調査の方法

従業員のストレスの状態や仕事上の問題、気質性格などの個人の要因を



### ストレス調査の実施 スライド2

健診時に実施

ストレスと生活習慣調査

インフォームドコンセント

仕事上のストレス

回収率 90%

SDS(抑うつ尺度)

ストレス調査票

質問項目

1. ストレッサー
  - ・仕事の要求・裁量権
  - ・仕事の状態尺度
2. 緩衝要因
  - ・ソーシャルサポート
  - ・気質、性格
  - ・自我強度尺度
  - ・生活習慣
  - ・親の養育態度
3. ストレス反応
  - ・SDS(抑うつ尺度)
  - ・不安尺度
  - ・睡眠状態

### ストレス調査内容 スライド3

名称	キーワード	質問数	項目数
プロフィール (年齢・職種・年齢・性別)	個人属性	4	4
仕事の裁量権 仕事の状態尺度	ストレス	職務ストレス	5
ソーシャルサポート		職務ストレス	3
気質・性格	緩衝要因	個人要因	10
自我強度尺度		個人要因	14
生活習慣 (食・運動)		個人要因	2
親の養育態度		個人要因	2
抑うつ尺度 (SDS)	ストレス反応	抑うつ傾向	1
不安尺度		不安傾向	1
睡眠状態		不眠傾向など	4
合計		358 問	48 項目

### ストレス調査結果個人報告書 スライド4