

(8) 紫外線吸光度

- ・ 累積頻度分布から、生物処理を除くと、粉末活性炭、粒状活性炭、オゾン+生物処理の順番で達成率が高くなる結果となっている。
- ・ 散布図によると、粉末活性炭、粒状活性炭、オゾン+粒状活性炭処理の順に除去率が高くなる傾向が認められる。

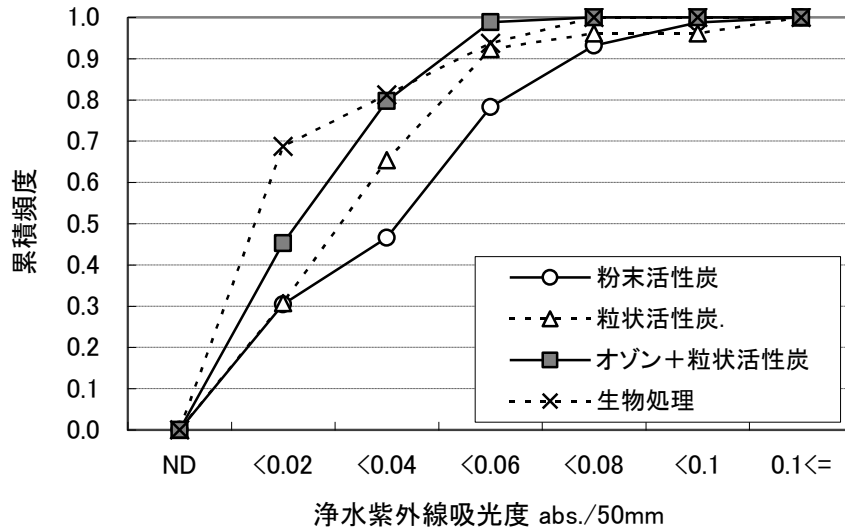


図-3-3-17 処理プロセス別にみた浄水水質の累積頻度分布（浄水 紫外線吸光度）

表-3-3-15 浄水水質別にみた浄水場数の累積比率及び達成率（紫外線吸光度）

浄水処理方式	原水	浄水													
		ND		<0.02		<0.04		<0.06		<0.08		<0.10		0.10 ≤	
		達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数
粉末活性炭処理	0.025~1.021	0%	0	30%	49	47%	26	78%	51	93%	24	99%	9	100%	2
粒状活性炭処理	0.084~0.817	0%	0	31%	8	65%	9	92%	7	96%	1	96%	0	100%	1
オゾン処理+粒状活性炭処理	0.045~0.995	0%	0	45%	38	80%	29	99%	16	100%	1	100%	0	100%	0
生物処理	0.042~0.72	0%	0	69%	11	81%	2	84%	2	100%	1	100%	0	100%	0

（ここで示した達成率は、表に示した原水水質の範囲内において適用される）

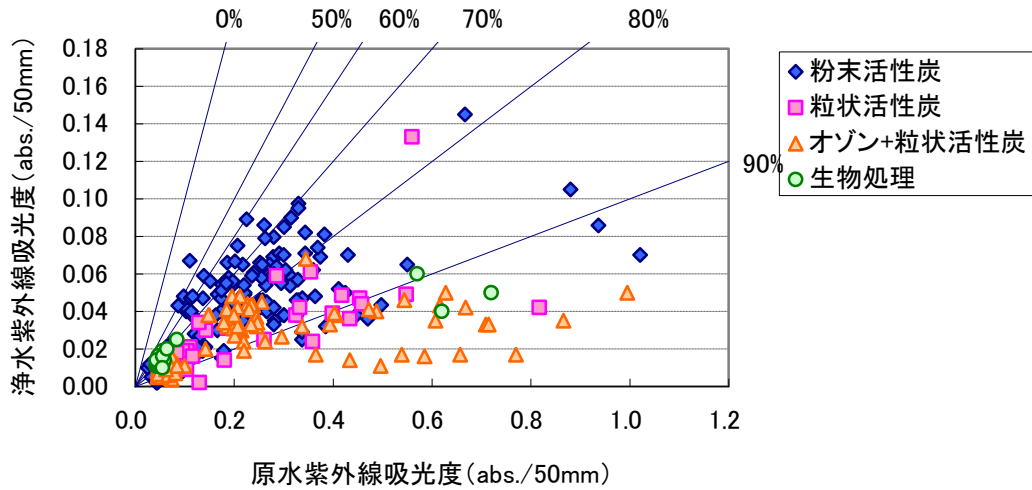


図-3-3-18 原水と浄水の散布図（臭素酸・紫外線吸光度）

表-3-3-16 運転条件範囲

			最大	平均	中央値	最小
粉末活性炭	実接触時間		1967.0	178.0	88.0	20.0
	注入率		120.0	9.8	5.0	0.1
粒状活性炭	通水日数		897.0	295.7	163.0	30.0
	実SV		99.3	10.6	5.0	1.8
	実LV		264.0	142.5	122.5	3.6
	実接触時間		26.6	13.4	11.3	8.2
オゾン+ 粒状活性炭	オゾン注入率		13.5	1.7	1.0	0.3
	実接触時間		42.4	19.0	16.5	0.4
	実滞留時間		94.6	24.8	17.0	7.0
	溶存オゾン濃度		0.5	0.2	0.2	0.0
生物処理	浸漬ろ床・回転円板	実接触時間	-	-	-	-
	生物接触ろ過	実SV	15.0	9.7	10.0	5.2
	生物接触ろ過	実LV	361.7	313.2	349.0	187.2
	生物接触ろ過	実接触時間	12.0	7.7	6.2	5.4

3) 累積頻度分布の活用例

本検討では、我が国で高度浄水処理を導入している 321 箇所の浄水場のうち 244 箇所の浄水場のデータを対象として高度浄水処理方式に応じて累積頻度分布を作成し、対象となる浄水水質が、どの程度にまで低減できるかを数値で示すことを試みた。検討の結果、処理の対象とする原水水質と運転条件が累積頻度分布を作成した範囲内であれば、目標とする浄水水質が得られる目安を達成率として確認することができ、「浄水処理方式候補の選定」を行う際の参考とすることが可能と考えられる。以下に、累積頻度分布の活用例を示す。

(1) 活用手順

① 原水水質の確認

既往の実績をもとに設定する原水水質について、累積比率の一覧表（表-3-3-1、表-3-3-3、表-3-3-5、表-3-3-7、表-3-3-9、表-3-3-11）の範囲内にあることを確認する。

② 運転条件の確認

運転条件の候補について、運転条件の範囲を示した一覧表（表-3-3-2、表-3-3-4、表-3-3-6、表-3-3-8、表-3-3-10、表-3-3-12）の範囲内にあることを確認する。

③ 浄水の目標濃度に応じた達成率の把握

①と②の確認作業において、検討の対象とする浄水処理フローのもとで原水水質と運転条件のいずれも範囲内にあることを確認したのち、累積頻度分布図（図-3-3-3、図-3-3-5、図-3-3-7、図-3-3-9、図-3-3-11、表-3-3-13）において浄水の目標濃度を当てはめ、これに対応する累積頻度（その浄水水質を達成することのできた浄水場数の累積比率（達成率））を読み取る。

(2) 具体例

上記(1)に示した活用手順について、粒状活性炭処理を下記の条件で導入することを検討する場合の活用例を示す。

- ・ 除去対象水質 : 2-MIB
- ・ 原水濃度 : 20ng/L
- ・ 運転条件 : $SV=5\sim 10h^{-1}$ 、 $LV=100\sim 200m/日$ 、実接触時間=6~12分
- ・ 目標浄水水質濃度 : < 4ng/L

① 原水水質の確認

- ・ 対象となる高度浄水処理フローが粒状活性炭であり、かつ除去対象水質が 2-MIB であることから、表-3-3-5 を選択する。

- ・ 原水濃度の設定値 (30 ng/L) について、表-3-3-5 に示した濃度範囲 (0~390 ng/L) に含まれていることを確認する。

② 運転条件の確認

- ・ 対象となる高度浄水処理フローが粒状活性炭であり、かつ除去対象水質が 2-MIB であることから表-3-3-6 を選択する。
- ・ 検討の対象とする運転条件 (SV=5~10h⁻¹、LV=100~200m/日、実接触時間=6~12 分) について、表-3-3-6 に示した範囲に含まれていることを確認する。

③ 浄水の目標濃度に応じた達成率の把握

- ・ 対象となる高度浄水処理フローが粒状活性炭であり、かつ除去対象水質が 2-MIB であることから図-3-3-7 及び表-3-3-5 を選択する。
- ・ 目標浄水水質濃度 (<4ng/L) に該当する達成率をグラフより読み取る。

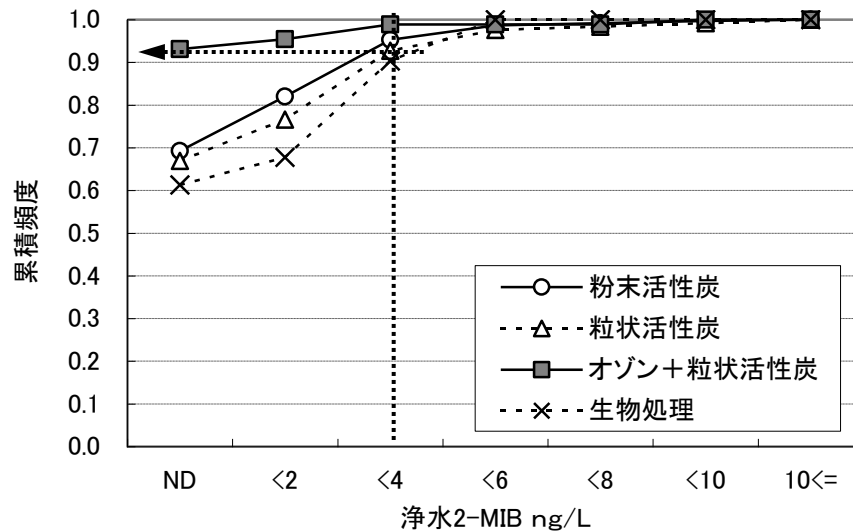


図-3-3-15 処理プロセス別にみた浄水水質の累積頻度分布 (浄水 2-MIB)

表-3-3-13 浄水水質別にみた浄水場数の累積比率及び達成率（2-MIB）

浄水処理方式	原水 ng/L	浄水													
		ND		<2ng/L		<4ng/L		<6ng/L		<8ng/L		<10ng/L		10ng/L≤	
		達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数
粉末活性炭処理	0～71	69%	250	82%	46	95%	48	98%	12	99%	2	100%	2	100%	1
粒状活性炭処理	0～390	67%	83	77%	12	93%	20	98%	6	99%	1	99%	1	100%	1
オゾン処理+粒状活性炭処理	0～1700	93%	81	95%	2	99%	3	99%	0	99%	0	100%	1	100%	0
生物処理	0～72	61%	19	68%	2	90%	7	100%	3	100%	0	100%	0	100%	0

- ・ 上記の検討の結果、達成率は93%となり、2-MIB 除去を目的として粒状活性炭フローを採用した場合、当該条件（原水水質・運転条件）を含む条件範囲で運転している我が国の浄水場のうち、93%の浄水場は浄水水質<4ng/L を達成しているとの情報が得られる。

(3) 留意点

上記のように、累積頻度分布を用いることで、導入を検討している高度浄水処理方式に対して、目標とする浄水水質の達成率を確認することができ、「浄水処理方式候補の選定」の参考になると思われるが、以下の点について留意する必要がある。

- ・ 浄水処理方式は同じではあっても、異なる浄水処理フローを含んでいる。
- ・ この方法は実際の浄水場のデータに基づいて作成していることから、各浄水場の運転年数・稼働率等の影響を含む場合もある。
- ・ この方法は実際の浄水場のデータに基づいて作成していることから、原水水質・運転条件が集計した範囲外である場合には使用することができない。
- ・ 運転条件を範囲として示しているが、個々の設定値を選定することはできない。

3-4 重回帰分析を用いた特徴分析

1) 概要

3-2 では、高度浄水処理を導入している浄水場を対象としたアンケート結果をもとに、施設諸元の傾向を把握し、同一の浄水処理方式の中で個々の施設諸元の範囲を示した。また、3-3 では、高度浄水処理方式ごとに浄水水質の累積頻度分布を作成し、高度浄水処理の対象とする水質項目について、浄水水質がどの程度まで低減できるかを数値化することを試みた。検討の結果、原水水質と運転条件が累積頻度分布を作成した範囲内であれば、目標とする浄水水質が得られる目安（達成率）を確認できることが明らかとなったが、複数の運転条件を組み合わせた場合の傾向について、明らかにすることは困難であった。このため、ここでは複数の変数を同時に考慮しながら、変数間の関連性を検討することができる重回帰分析を用いて、原水水質、浄水水質、施設諸元、運転条件の間の関連性について検討を行った。

(1) 解析モデルの基本形

- ・ 取水した水道原水に浄水用薬品を投入して浄水処理を行い、製品としての浄水を製造するプロセスを模式的に考えると、以下の式に示すように、浄水水質は原水水質の関数として表すことができ、その関数を規定するものは施設諸元、運転条件、他の原水水質と捉えることができる。

－ 解析モデルの基本形 －

$$\text{基本形} \quad C_t^i = f^i(C_r^i)$$

C_t^i : 浄水水質*i* (*treated water concentration*)

C_r^i : 原水水質*i* (*raw water concentration*)

i : 水質項目

f^i : 処理による水質項目*i*の変換

f^i は施設諸元、運転条件、他の原水水質の関数である。

(2) 重回帰モデルによる定式化

- ・ 本検討では、アンケートによって得られた高度浄水処理を導入している全国の浄水場のデータが上記の考え方に従っているという仮説のもと、原水から浄水への水質変化の状態を定式化することを試みた。
- ・ データ系列間の関連性を検討する解析方法として、例えば一対の変数間の線形の相関関係に着目した単相関分析があるが、この方法では他の項目の影響を考慮することに限界があるため、多変量解析の手法の一つである重回帰分析を適用した。
- ・ 重回帰分析において有意性が高いと判断された説明変数は、当該水質項目の処理性に対して何らかの影響を及ぼしていると考えられる。

— 重回帰式による定式化 —

$$C_t^i = \sum_i \alpha^i C_r^i + \sum_j \beta^j X^j + \sum_k \gamma^k Y^k + \delta$$

浄水水質	原水水質	施設諸元	運転条件	定数項

$\alpha^i, \beta^j, \gamma^k$: 偏回帰係数

X^j : キーになる施設諸元

Y^k : キーになる運転条件

- ・ 上記の方法は *e-Water II* の機能評価委員会でも適用しており（参考資料-1-2）、検討結果の一例として、粉末活性炭処理の場合の浄水 2-MIB を目的変数とした重回帰モデルを表-3-4-1、各説明変数の偏相関係数、重相関係数を図-3-4-1 に示す。
- ・ 有意な説明変数と判断された項目は、原水 2-MIB 濃度（X1）、粉末活性炭注入率（X2）、沈澱池形状（高速凝集沈澱池の有無）（X3）、原水最高 KMnO4 濃度（X4）、原水最低色度（X5）、原水平均色度（X6）であり、浄水処理技術の知見が比較的良好に反映された結果が得られている。

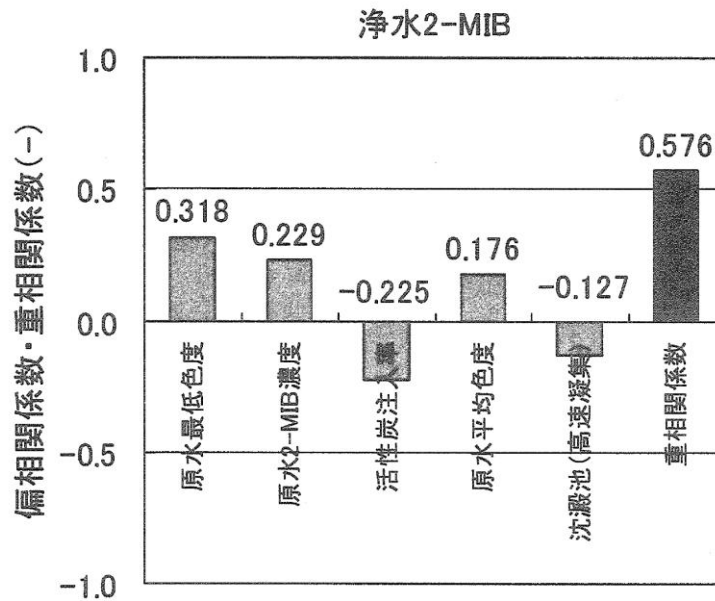
表-3-4-1 浄水 2-MIB を目的変数とした重回帰モデルの例

重相関係数:0.576

変数名	単位	記号	偏回帰係数	記号	最小値	中央値	最大値	標準偏差	説明変数の変化	目的変数への効果
浄水2-MIB濃度	ng/L	-	-	y	0	2	9	1.88	-	-
水質 原水2-MIB濃度	ng/L	a ₁	0.037	X ₁	0.1	6	150	13.7	10ng/L 上昇	0.37ng/L 上昇
運転条件 活性炭注入率	mg/L	a ₂	-0.031	X ₂	0	10	150	16.6	10ng/L 上昇	0.31ng/L 下降
施設諸元 沈殿池形状 (高速凝集)	有1.無0	a ₃	-0.926	X ₃	0	1	1	0.23	有→無	0.93ng/L 上昇
水質 原水最高 過Mn消費量	mg/L	a ₄	0.013	X ₄	14.4	34.2	65	14.6	10mg/L 上昇	0.13ng/L 上昇
水質 原水最低色度	度	a ₅	0.575	X ₅	0.7	5	5	1.1	10mg/L 上昇	5.75ng/L 上昇
水質 原水平均色度	度	a ₆	0.117	X ₆	3	13	13.4	2.76	10mg/L 上昇	1.17ng/L 上昇
定数項	-	-	-2.257	b						

$$y (\text{浄水2-MIB}(\text{ng/L})) = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + b$$

[e-Water II最終報告書 (機能評価委員会) より引用]



説明変数(偏相関係数絶対値上位5位)

[e-Water II最終報告書 (機能評価委員会) より引用]

図-3-4-1 浄水 2-MIB 濃度に関する抽出説明変数

2) 単相関分析の結果

- 重回帰分析を行うに先立ち、各変数間の相関関係を明らかにするための単相関分析を行い、重回帰式に採用する説明変数の抽出を試みた。
- 単相関分析結果の一例は表-3-4-2 に示すとおりであり、原水水質と原水水質、あるいは原水水質と浄水水質の間では、例えばトリハロメタン生成能と総トリハロメタンの相関

が比較的高い等、水質の一般的な性質を表す結果が得られた組合せもあるが、運転条件と浄水水質のように、必ずしも期待するような結果が得られなかった組合せも存在した。

- ・また、原水同士の水質相関を算出したにも関わらず、相関係数の値が処理方式によって異なる結果も得られており、数多くのデータの中から一对のデータによって算出する単相関分析のみによって、要因間の関連性を明らかにすることは困難であった。
- ・以上のことから、重回帰分析の説明変数を選択する際には、単相関分析の結果を踏まえつつ、水処理工学の知見を反映させる必要があると判断された。

表-3-4-2 単相関分析結果の一例

組合せ	相関係数 (データ数)	考察
原水 2-MIB 原水ジエオスミン	+0.325 (2884) +0.451 (907) +0.468 (786) +0.181 (146)	<ul style="list-style-type: none"> ・どちらも藍藻類や放線菌が産生するかび臭物質であり、発生の傾向が比較的類似しやすいと考えられる。 ・粉炭と粒炭では同等の相関が得られたが、オゾンと生物処理では明確な相関が見られなかった。
原水 THMFP 原水紫外線吸光度	+0.692 (661) +0.566 (205) +0.633 (473) +0.145 (85)	<ul style="list-style-type: none"> ・紫外線吸光度は分子構造の中に不飽和二重結合有する難分解性有機物の一つの指標である。一般にトリハロメタン生成能と相関が高いとされており、生物処理を除き、このことが実際のデータから検証された。
原水 TOC 浄水色度	+0.076 (3094) -0.030 (1250) -0.188 (978) -0.061 (322)	<ul style="list-style-type: none"> ・色度は主にフミン質に由来し、有機物と比較的高い相関があるとされているが、凝集剤、オゾン、活性炭による除去効果があることから、原水 TOC と浄水色度の間には明確な傾向が認められなかった。
原水 THMFP 浄水総トリハロメタン	+0.384 (682) +0.340 (251) +0.452 (411) +0.273 (86)	<ul style="list-style-type: none"> ・THM 前駆物質は各種の高度浄水処理による低減効果を有する。オゾンや生物処理ではほとんど相関が認められないが、粉炭と粒炭については、やや正の相関が見られており、これらの処理では、原水の水準が浄水に対してやや影響を及ぼしていることが推察される。
PAC 注入率 浄水紫外線吸光度	-0.020 (1562) +0.130 (340) +0.099 (571) +0.059 (196)	<ul style="list-style-type: none"> ・紫外線吸光度は凝集剤による低減効果を有するため、一般には負の相関を有すると考えられる。活性炭やオゾンによる低減、あるいは原水の水準の影響も含まれているため、生物処理以外では明確な傾向が認められなかった。
粉末活性炭注入率 浄水紫外線吸光度	+0.025 (1643) -0.241 (41) +0.146 (159) -0.069 (172)	<ul style="list-style-type: none"> ・粉末活性炭は紫外線吸光度を除去する効果を有するため、一般には負の相関を有するとされるが、他の要因も含まれるため、粉末活性炭について明確な相関が得られなかった。
オゾン注入率 浄水臭素酸	*(0) *(0) +0.065 (745) *(0)	<ul style="list-style-type: none"> ・臭素酸はオゾン処理による副生成物であり、オゾン注入率、臭化物イオン、pH 値が高いほど生成が進行することが知られているが、単相関分析では明確な相関が得られなかった。

下記の順番に相関係数とデータ数を並べている

- 粉末活性炭
- 粒状活性炭
- オゾン+粒状活性炭
- 生物処理

3) 重回帰分析の結果

(1) 分析方法

- ・ 単相関分析の結果を踏まえつつ、浄水処理技術の知見をもとに重回帰分析に用いる説明変数（原水水質、運転条件）を選定し、浄水水質を目的変数とする重回帰分析を行った。
- ・ 目的変数と説明変数の組合せは表-3-4-3 に示すとおりであり、6 項目（TOC、総トリハロメタン、臭素酸、紫外線吸光度、ジェオスミン、2-MIB）について、3 通りの処理方式（粉末活性炭、粒状活性炭、オゾン+粒状活性炭）毎に重回帰式を作成した。また、各々の組合せにおいて、2 通りの説明変数の組合せを設定した。
- ・ 目的変数である浄水水質が定量下限値以下（解析上は 0 と設定）の場合、除去量（原水水質－浄水水質）とこれに対応する運転条件の関係が一致していない可能性があるため、抽出された全てのデータを用いたものをデータ数 1、浄水が定量下限値以下のデータを除外したものをデータ 2 と表記した上で、データ 2 をもとに重回帰分析を行った（表-3-4-4）。

(2) 分析結果

表-3-4-3 に示した説明変数を対象として、変数増減法^{*}によって重回帰分析を行った結果を表-3-4-4 に示す。表中では、重回帰式の適合度を示す寄与率が比較的高かった式（0.5 以上）を着色し、以下では処理方式ごとに重回帰モデルとしての評価を行った。

※ 重回帰分析における変数選択手法について

(1) 変数増加法 (forward selection method)

説明変数を選択する際、ステップ毎に寄与率の増加が最も高くなるものを 1 つずつ加えていく方法である。

- ① 与えられた複数の説明変数のうち、目的変数との単相関係数が最大のものを選択し、これをもとに単回帰式を作成する。
- ② ①で選択した以外の説明変数の中から、寄与率が最大となる説明変数を 1 つ追加して重回帰式を作成する。
- ③ 上記の手順を打ち切り基準に達するまで繰り返して重回帰式を作成する。
[打ち切り基準]
計算をどこで打ち切るかを定める規則としては以下の 3 通りがある。
 - ・ 予め選択する説明変数の数 r を決めておき、 r に達した時点で打ち切る。
 - ・ 重回帰式の適合度を表す寄与率 R^2 （または重相関係数 R ）の値を予め決めておき、 R^2 または R に達した時点で打ち切る。
 - ・ 変数を 1 つ追加することによる寄与率の増分に注目し、これが予め決めておいた値以下になれば打ち切る。

(2) 変数減少法 (backward elimination method)

変数増加法とは逆に、全ての説明変数で重回帰式を作成し、それから変数を 1 つずつ取り除く方法である。

(3) 変数増減法 (stepwise method)

変数増加法と変数減少法を補うように組み合わせた手法である。変数増加法では一度取り込まれた変数が後で取り除かれることはない。一方、変数減少法では一度取り除かれた変数が再び取り込まれることはない。しかし、ある段階では寄与率の増加をもたらす有用な変数であっても、その後で他のいくつかの変数が取り込まれた段階では、重回帰式の寄与率が低下することがある。この点を改良して、一定の基準のもとで変数の除去と取り込みを繰り返しながら重回帰式を作成する方法である。