

オフィスビル外壁の「汚れ感」評価

Psychological evaluation of stain on the impression of office building exterior



エイジング(よりよく老いる)建物を目指して

(株)竹中工務店 技術研究所 武藤 浩 mutou.hiroshi@takenaka.co.jp
建設省 建築研究所 小島 隆矢 takaya@kenken.go.jp

背景

外壁の汚れへの関心が高まっている

1

外壁は汚れてゆく

美観を損なう好ましくないもの

建物を所有・管理する企業の関心

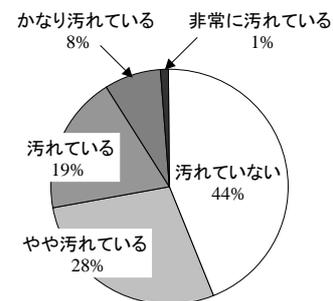
企業イメージの低下
メンテナンスコスト(外壁の洗浄)

低汚染型塗料などの開発も盛ん



汚れの評価基準の確立も必要

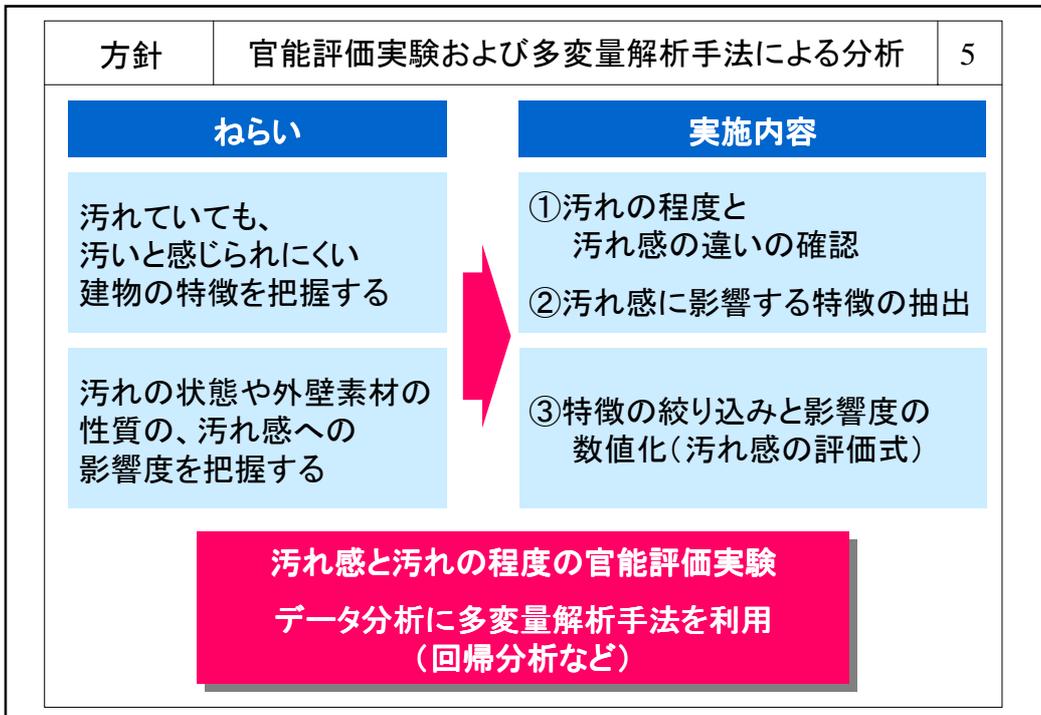
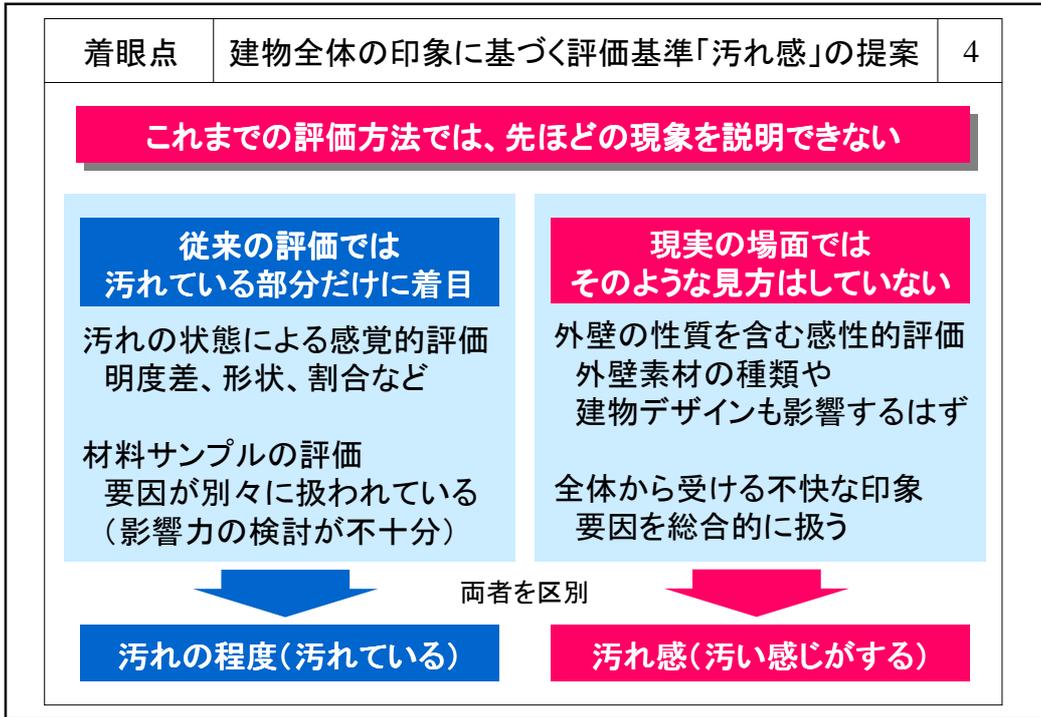
建物の約半分が汚れている

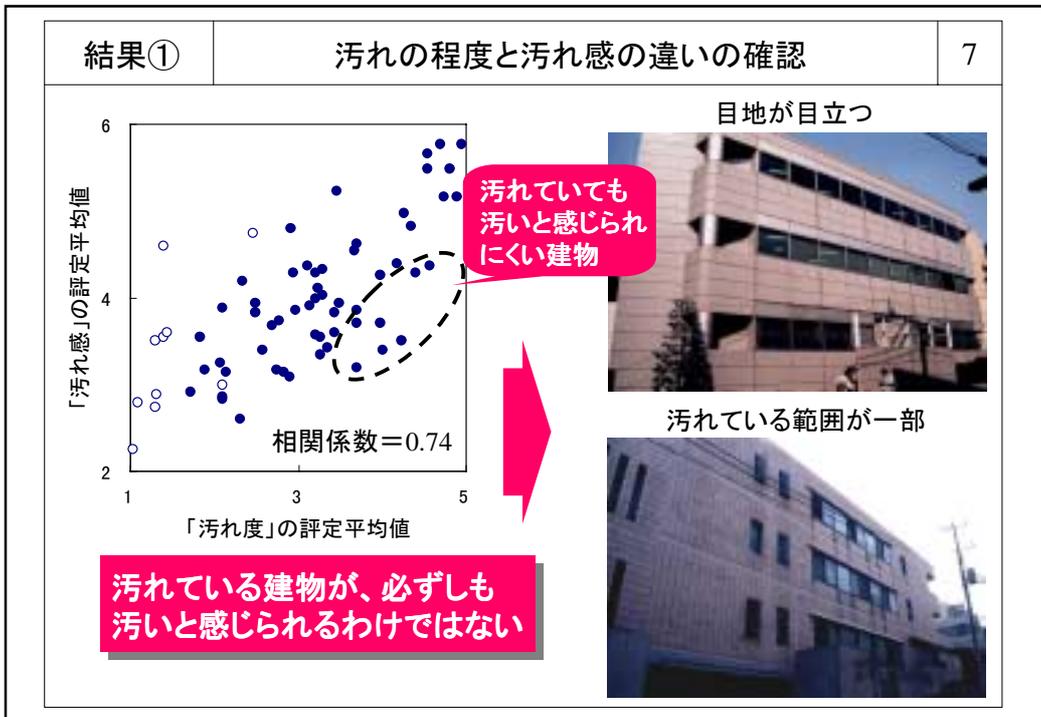
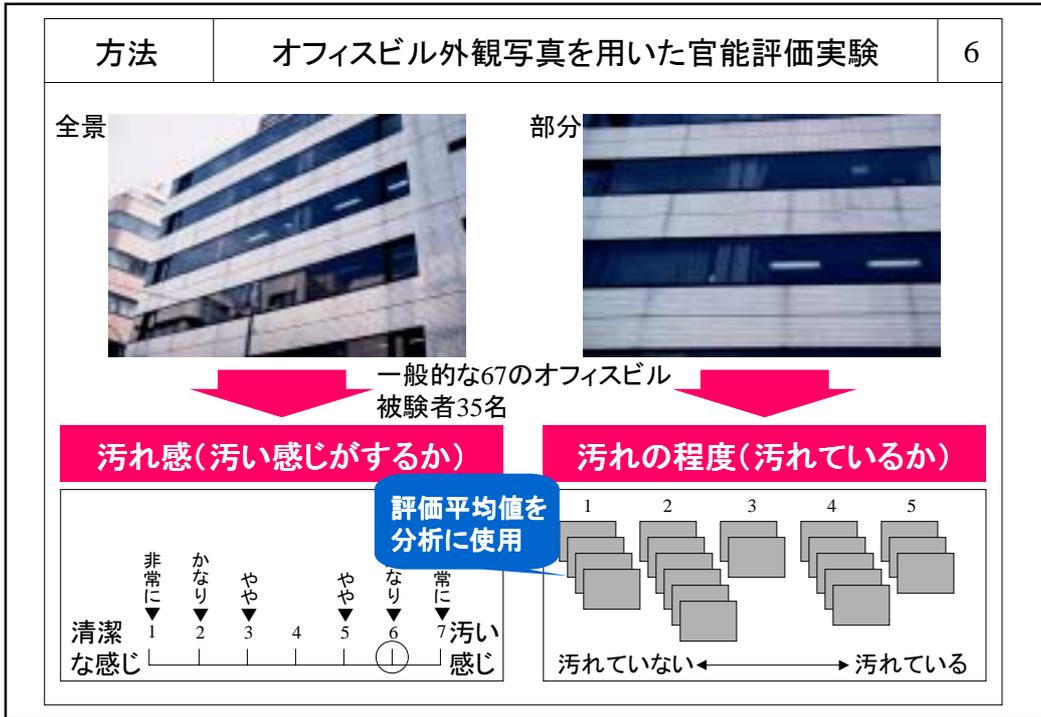


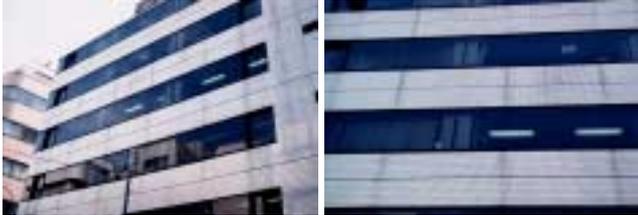
都内200件(1987年以降に施工)を
ランダムサンプリング(1998年6月調査)

現象①	汚れていても、汚いと感じられにくい建物とは	2
<p>一般に、汚れている建物は汚いと感じられるが...</p> <p>汚れていないのに、汚いと感じられやすい建物(左)や汚れているのに、汚いと感じられにくい建物(右)もある</p> <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 20px;">   </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>汚れていても、汚いと感じられにくい 外壁の特徴を把握する → ねらい①</p> </div>		

現象②	汚れ感に影響する要因は何か	3
<p>部分的に濃い汚れがある建物(左)と、全体的に薄く汚れている建物(右)では、どちらが汚いと感じられる？</p> <p>同じ汚れなら、レンガタイルの建物の方が汚いと感じられない？</p> <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 20px;">   </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>汚れの状態や外壁素材の性質の、 汚れ感への影響度を把握する → ねらい②</p> </div>		





結果②	汚れ感に影響する特徴の抽出	8																												
<p>評価者5名へのヒアリングで補足</p> <p>要因を2つに分類、カテゴリーを設定</p>																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 15%;">要因</th> <th style="width: 75%;">カテゴリー</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4" style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">汚れの状態</td> <td>明度差</td> <td>2程度／1程度／0.5程度／それ以下</td> </tr> <tr> <td>規則性</td> <td>規則的／やや規則的／ばらばら</td> </tr> <tr> <td>範囲</td> <td>全体／部分</td> </tr> <tr> <td>形状</td> <td>直線状／紡錘状／雨だれ／雲状・斑状／しみ・くすみ</td> </tr> <tr> <td rowspan="7" style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">外壁素材の性質</td> <td>仕上げ材料</td> <td>ガラス／タイル／石／金属パネル／塗材・素地</td> </tr> <tr> <td>明度</td> <td>9程度／8程度／7程度／それ以下</td> </tr> <tr> <td>色相</td> <td>無彩色／暖色系／寒色系</td> </tr> <tr> <td>模様</td> <td>ある／ない</td> </tr> <tr> <td>目地</td> <td>目立つ／目立たない</td> </tr> <tr> <td>凹凸</td> <td>激しい／少ない／フラット</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				要因	カテゴリー	汚れの状態	明度差	2程度／1程度／0.5程度／それ以下	規則性	規則的／やや規則的／ばらばら	範囲	全体／部分	形状	直線状／紡錘状／雨だれ／雲状・斑状／しみ・くすみ	外壁素材の性質	仕上げ材料	ガラス／タイル／石／金属パネル／塗材・素地	明度	9程度／8程度／7程度／それ以下	色相	無彩色／暖色系／寒色系	模様	ある／ない	目地	目立つ／目立たない	凹凸	激しい／少ない／フラット			
	要因	カテゴリー																												
汚れの状態	明度差	2程度／1程度／0.5程度／それ以下																												
	規則性	規則的／やや規則的／ばらばら																												
	範囲	全体／部分																												
	形状	直線状／紡錘状／雨だれ／雲状・斑状／しみ・くすみ																												
外壁素材の性質	仕上げ材料	ガラス／タイル／石／金属パネル／塗材・素地																												
	明度	9程度／8程度／7程度／それ以下																												
	色相	無彩色／暖色系／寒色系																												
	模様	ある／ない																												
	目地	目立つ／目立たない																												
	凹凸	激しい／少ない／フラット																												
<div style="border: 1px solid blue; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block; background-color: #007bff; color: white;"> 各刺激について該当するカテゴリーを判定 </div>																														

結果③	特徴の絞り込みと影響度の数値化(汚れの程度)	9																												
<div style="background-color: #e1f5fe; padding: 5px; border: 1px solid #007bff;"> 回帰分析(目的変数=汚れの程度、説明変数=10要因) </div>																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 15%;">要因</th> <th style="width: 75%;">カテゴリー</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4" style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">汚れの状態</td> <td>明度差</td> <td>2程度>1程度>0.5程度>それ以下</td> </tr> <tr> <td>規則性</td> <td>ばらばら>やや規則的>規則的</td> </tr> <tr> <td>範囲</td> <td>全体>部分</td> </tr> <tr> <td>形状</td> <td>直線状／紡錘状／雨だれ／雲状・斑状</td> </tr> <tr> <td rowspan="7" style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">外壁素材の性質</td> <td>仕上げ材料</td> <td>ガラス／タイル／石／金属パネル／塗材</td> </tr> <tr> <td>明度</td> <td>9程度／8程度／7程度／それ以下</td> </tr> <tr> <td>色相</td> <td>無彩色／暖色系／寒色系</td> </tr> <tr> <td>模様</td> <td>ある／ない</td> </tr> <tr> <td>目地</td> <td>目立つ／目立たない</td> </tr> <tr> <td>凹凸</td> <td>激しい／少ない／フラット</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				要因	カテゴリー	汚れの状態	明度差	2程度>1程度>0.5程度>それ以下	規則性	ばらばら>やや規則的>規則的	範囲	全体>部分	形状	直線状／紡錘状／雨だれ／雲状・斑状	外壁素材の性質	仕上げ材料	ガラス／タイル／石／金属パネル／塗材	明度	9程度／8程度／7程度／それ以下	色相	無彩色／暖色系／寒色系	模様	ある／ない	目地	目立つ／目立たない	凹凸	激しい／少ない／フラット			
	要因	カテゴリー																												
汚れの状態	明度差	2程度>1程度>0.5程度>それ以下																												
	規則性	ばらばら>やや規則的>規則的																												
	範囲	全体>部分																												
	形状	直線状／紡錘状／雨だれ／雲状・斑状																												
外壁素材の性質	仕上げ材料	ガラス／タイル／石／金属パネル／塗材																												
	明度	9程度／8程度／7程度／それ以下																												
	色相	無彩色／暖色系／寒色系																												
	模様	ある／ない																												
	目地	目立つ／目立たない																												
	凹凸	激しい／少ない／フラット																												
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="background-color: #007bff; color: white; padding: 5px; border-radius: 10px;"> 明度差が大きいほど、汚れていると評価されている </div> <div style="text-align: right;"> <p>寄与率R** =0.63</p> <p>残差平方和 =12.70</p> <p>残差標準偏差 =0.50</p> </div> </div>																														
<div style="background-color: #f44336; color: white; padding: 10px; border-radius: 10px; display: inline-block;"> 汚れの状態だけでほぼ説明できる =仕上げ材料の種類によらない </div>																														

結果③	特徴の絞り込みと影響度の数値化(汚れ感)	10
<p>回帰分析(目的変数=汚れ感、説明変数=汚れの程度+10要因)</p>		
要因	カテゴリー	
汚れの程度		
明度差	2程度/1程度/0.5程度/それ以下	
規則性	規則的/やや規則的/ばらばら	
範囲	全体>部分	
形状	雨だれ/雲状・斑状/しみ・くすみ>直線状>紡錘状	
外壁素材の性質		
仕上げ材料	塗材・素地>金属パネル>タイル/石>ガラス	
明度	9程度/8程度/7程度/それ以下	
色相	無彩色/暖色系/寒色系	
模様	ない>ある	
目地	目立たない>目立つ	
凹凸	激しい/少ない/フラット	

汚れの程度で説明できない部分を明らかに

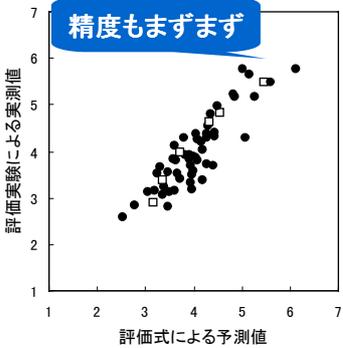
寄与率R** = 0.73
 残差平方和 = 6.96
 残差標準偏差 = 0.39

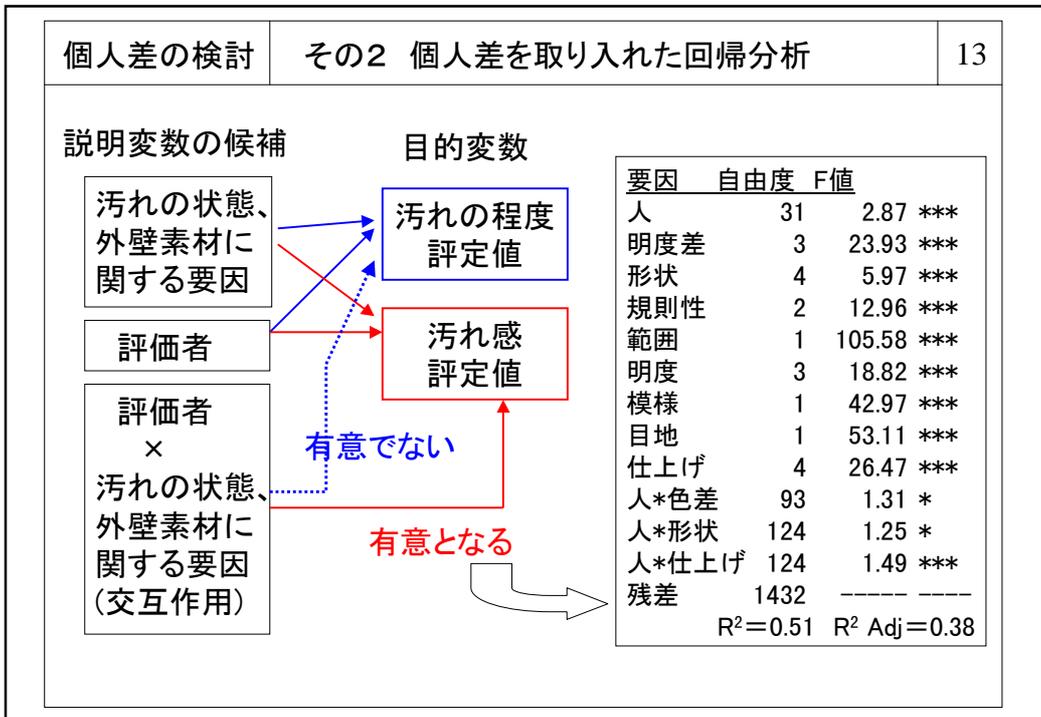
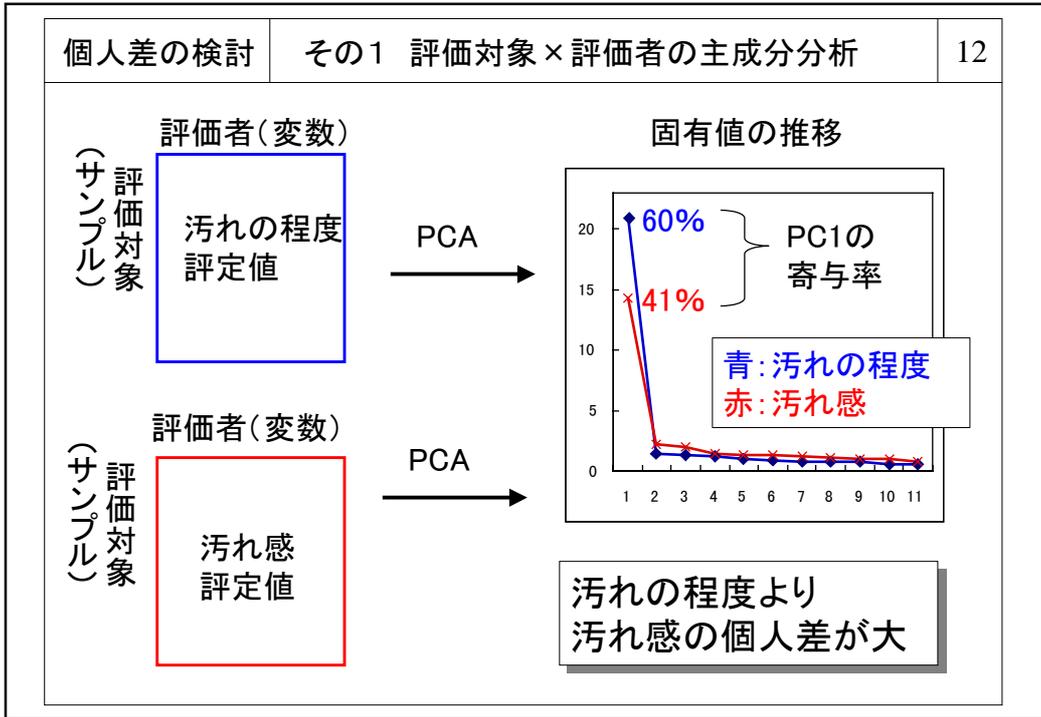
汚れの程度だけでは説明できない
 = 外壁素材の性質も影響

検証	評価式の精度(汚れ感)	11			
<p>検証用サンプルの例</p>					
	説明変数名	残差平方和	変化量	分散比	偏回帰係数
	定数項	8.29	1.34	9.05	1.22
	汚れ度	18.66	11.70	79.06	0.58
	仕上げ材料	10.42	3.47	7.81	
	ガラス				0
	タイル*				0.28
	石*				0.44
	金属パネル				1.00
	塗材・素地				
	範囲	8.54	1.59	10.72	
	全体				0
	部分				-0.41
	目地	8.73	1.78	12.01	
	目立つ				0
	目立たない				0.43
	形状	8.57	1.81	5.45	
	直線状				0
	紡錘状				-0.27
	雨だれ*				0.24
	雲状・斑状*				
しみ・くすみ*					
模様	7.88	0.93	6.26		
ある				0	
なし				0.33	
明度	6.27	-0.69	1.60		
凹凸	6.82	-0.14	0.46		
色相	6.83	-0.12	0.41		
明度差	6.83	-0.13	0.28		
規則性	6.93	-0.03	0.10		

汚れ感の予測値 = 4.45
(実測値 = 4.91)

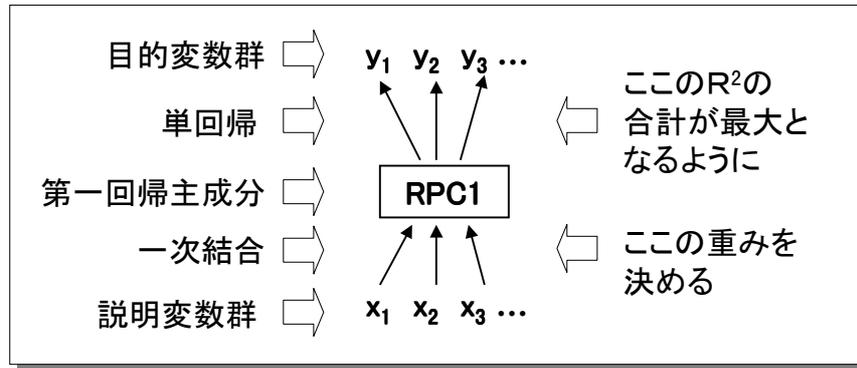
精度もまずまず





回帰主成分分析とは？ 参考文献: 奥野忠一ほか「続 多変量解析法」日科技連 (1976)

→複数の目的変数を総合的によく説明する合成変数を求める



第一回帰主成分RPC1とは無相関という制約のもと...
→ RPC2, RPC3, ...

回帰主成分分析の適用法

ダミー変数化

説明変数群	目的変数群
明規 度則 差性 ...	評価者 1 2 3 ... 35

評価対象

汚れの状態 外壁素材の 性質	汚れ感 評定値
----------------------	------------

全て質的変数
→ **ダミー変数化**

解法

相関行列 $\begin{matrix} x_1 & \dots & y_1 & \dots \\ \vdots & & \vdots & \\ y_1 & & & \end{matrix} \begin{pmatrix} \mathbf{R}_{xx} & \mathbf{R}_{xy} \\ \mathbf{R}_{yx} & \mathbf{R}_{yy} \end{pmatrix}$

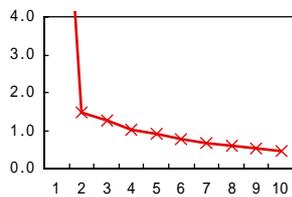
固有方程式

回帰主成分分析
 $\mathbf{R}_{xy}\mathbf{R}_{yx} - \lambda \mathbf{R}_{xx} = \mathbf{0}$
正準相関分析
 $\mathbf{R}_{xy}\mathbf{R}_{yy}^{-1}\mathbf{R}_{yx} - \lambda \mathbf{R}_{xx} = \mathbf{0}$

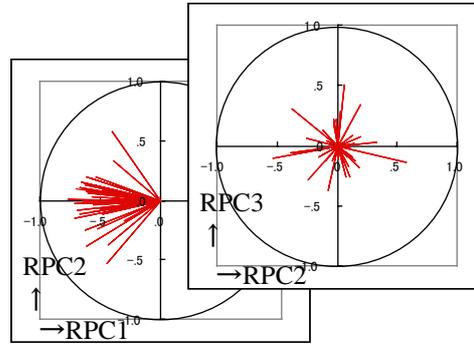
↪ $\mathbf{R}_{yy} = \mathbf{I}$ に書き換え,
正準相関分析の
プログラムを使う

固有値 (R²の合計)

	固有値	寄与率
RPC1	11.81	33.7%
RPC2	1.48	4.2%
RPC3	1.26	3.6%
RPC4	1.02	2.9%
RPC5	0.91	2.6%
⋮	⋮	⋮



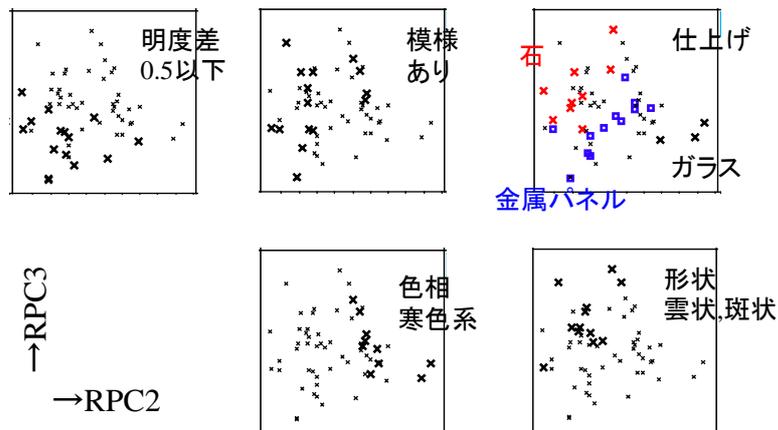
個人別汚れ感ベクトル



*回帰主成分と汚れ感評定値との相関係数を成分としたベクトル

⇒ RPC2・3に意味はあるか？

回帰主成分スコアの層別散布図(RPC2 × RPC3)



⇒ 汚れ感の個人差の原因となる要因の候補

まとめ	建物全体の印象に基づく評価基準「汚れ感」を構築	18
ねらい	<ul style="list-style-type: none"> ①汚れていても、汚いと感じられにくい建物の特徴 ②汚れの状態や外壁素材の性質の、汚れ感への影響度 	
	<p>オフィスビル外観写真を用いた官能評価実験  回帰分析などの多変量解析手法</p>	
結果	<ul style="list-style-type: none"> ①汚れの程度と汚れ感は一致しない 「汚れていても、汚いと感じられにくい建物がある」 ②汚れの程度は、汚れの状態(明度差、規則性、範囲)でほぼ説明できる(仕上げ材料の種類によらない) ③汚れ感は、汚れの程度だけでは説明できない 外壁素材の性質(仕上げ材料、模様、目地)も影響 ④個人差は、汚れの程度より汚れ感で大きい 	