

心理データ解析演習：

fMRIデータ解析のための
主成分分析と独立成分分析
(前半)

2014年5月7日
教育学研究科M1
藤野正寛

目次

1. fMRI
2. 主成分分析
3. 主成分分析デモ (SPSS)
4. 次回実施内容
5. 参考文献・参考文献

1-1. fMRI – 概要

機能的磁気共鳴画像法 (functional Magnetic Resonance Imaging)

○脳活動計測法

1次信号: 神経活動電気信号・磁気信号

- ・脳波計測法(EEG)
- ・脳磁界計測法(MEG)

2次信号: 代謝変化・血行動態変化

- ・磁気共鳴スペクトル法(MRS)
- ・陽電子放射断層撮像法(PET)
- ・機能的磁気共鳴画像法(fMRI)
- ・近赤外分光法(fNIRS)



MRI ⇒ 構造画像(写真)

fMRI ⇒ 機能画像(動画) ⇒ BOLD効果

問題1

ある教室に20人の生徒がいました。
8人が上着を脱いでいました。

Q. 教室の温度は何度でしょうか？

A. もちろんわかりません！

問題2

ある教室に20人の生徒がいました。

昨日は8人が上着を脱いでいました。

今日は16人が上着を脱いでいました。

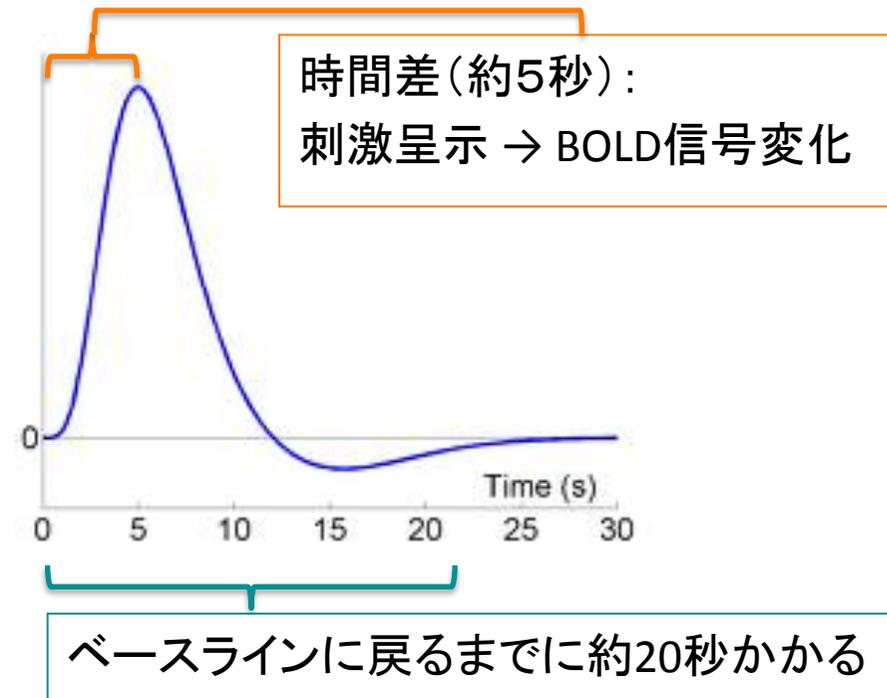
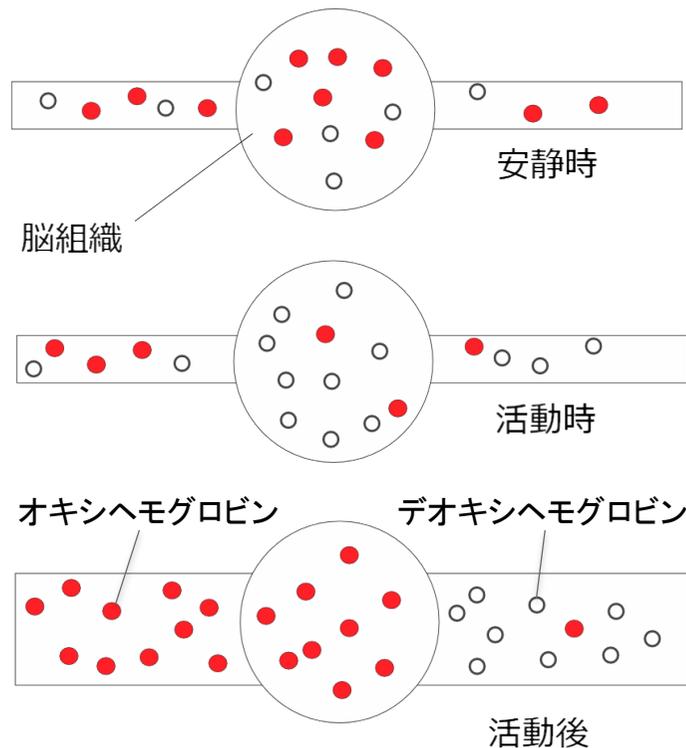
Q. 昨日と今日はどちらが暑いでしょうか？

A. 今日ですね！

1-2-3. fMRI – BOLD効果

BOLD効果 (Blood Oxygenation Level Dependent Effect)

- ・脳活動の局所賦活部における酸素消費量と血流量の変化によって生じる Oxy-HbとDeoxy-Hbの比率の変化によって生じる信号
- ・脳部位の賦活によってBOLD信号が上昇する



BOLD信号では活性の強さはわからない

1-3-1. fMRI – 測定方法 – 差分法

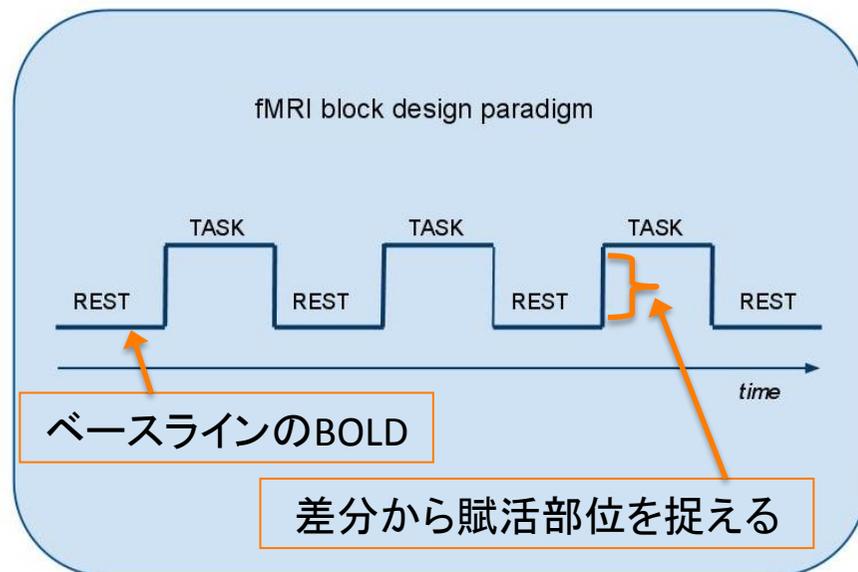
差分法による脳部位の同定

明らかにしたい心的過程が2つの課題の差となるように実験を設計する。

- ・ブロックデザイン (Block design)
- ・事象関連デザイン (Event-related design)

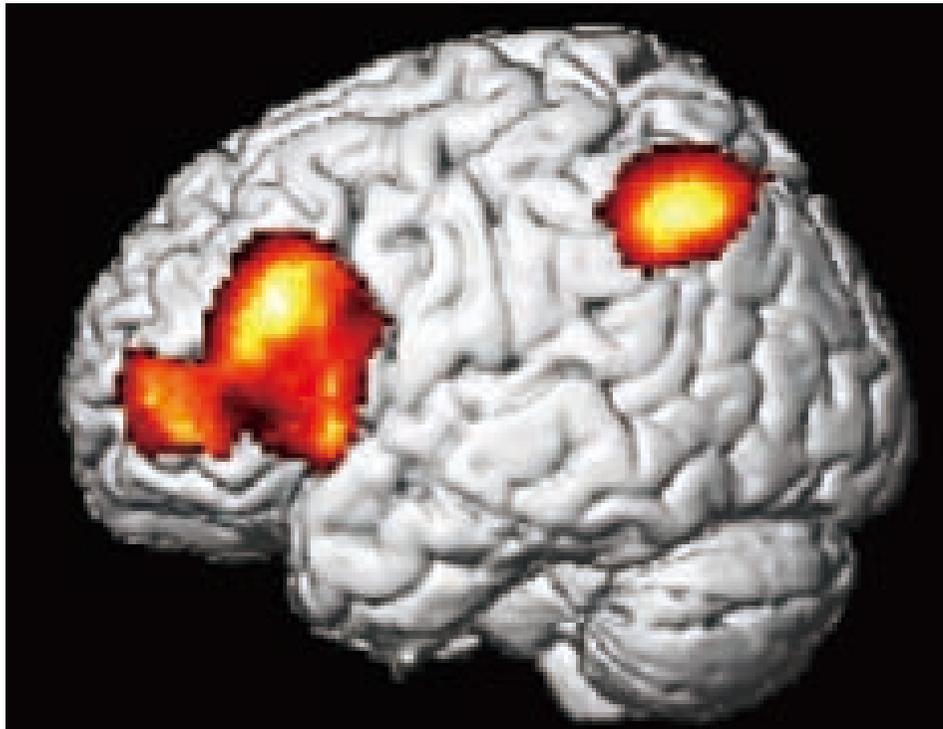
例: ブロックデザイン

- ・「脳部位賦活のためのブロック」と「安静状態を記録するブロック」を1サイクル
- ・刺激や課題を一定時間持続 ⇒ 異なる条件を同様に一定時間持続



1-3-2. fMRI - 測定方法 - 脳活動マップ

差分法によって得られる脳活動マップ (田邊, 2009)



実験者の操作した心的現象

↓ (仮定)

神経細胞の活動

↓ (仮定)

脳のエネルギー消費の差異

↓

BOLD効果の差異

- 脳活動マップの色の意味: 課題間に差異のあった脳部位
(色のない部分が賦活していなかったという意味ではない)
- 差分法で得られるのは、主に**脳機能局在**に関する知見

1-4. fMRI - ネットワーク

デフォルトモードネットワーク(DMN) (Raichle, 2001, Kreutzer, 2011)

定義: 外部刺激の認知的処理 ⇒ 実施時: **活性↓**
未実施時: **活性↑**

複数脳領域で構成されるシステム

領域: 内側前頭前皮質 (mPFC)

楔前部/帯状回後部 (PC/PCC)

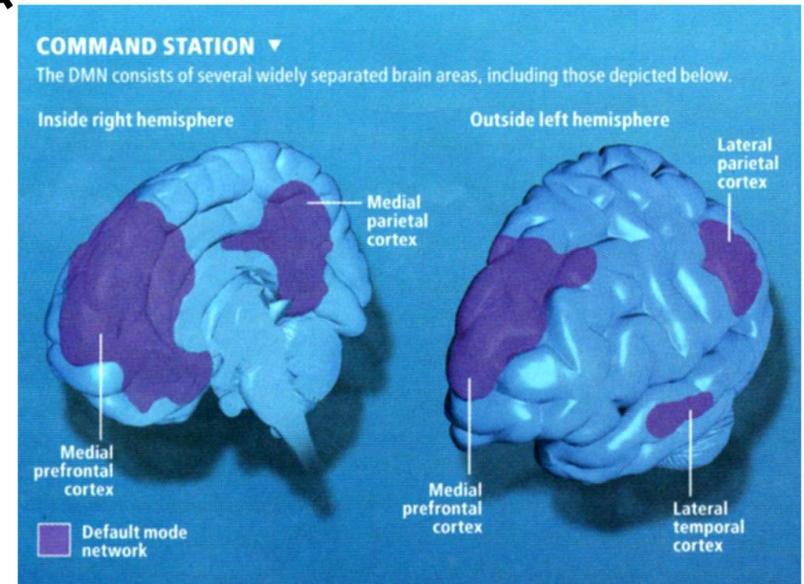
下頭頂小葉 (IPL)

側頭葉外側部 (ITC)

機能: 心的シミュレーション

マインドワンダリング (MW)

研究: アルツハイマー、うつ、統合失調症、ADHD等との関係を示唆



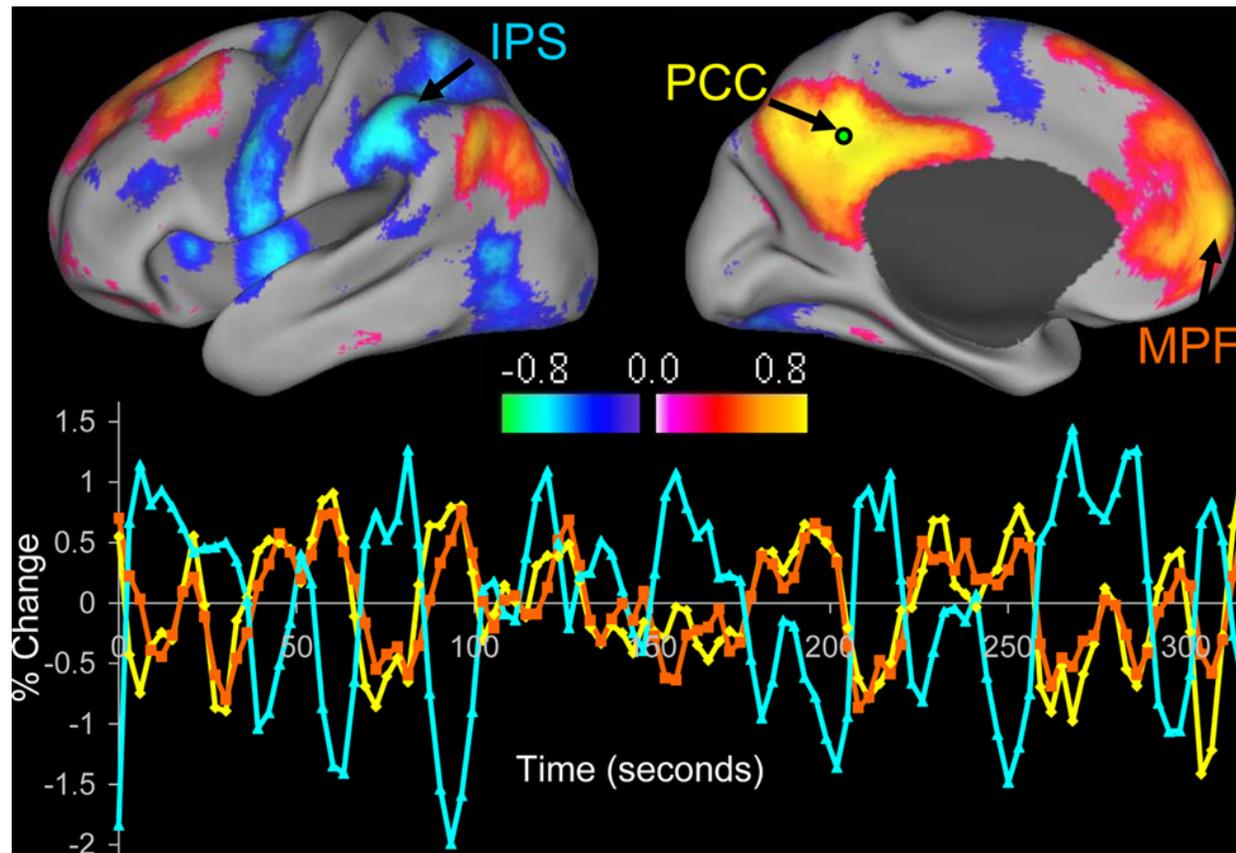
脳は解剖学的にも機能的にも連結し協同的に働くシステム (Friston, 2007)

(他に、エグゼクティブネットワークやセーリエンスネットワーク等もある)

1-5-1. fMRI – 脳機能統合研究

脳機能局在研究 → 脳機能統合研究 (田邊, 2009)

- 主な実験デザイン: 特に何も考えずにリラックスした状態の脳活動を測定
 - 信号変化の相関による脳部位の機能的結合性を捉える
 - 機能的結合性と他の行動指標・課題成績等の結果との相関を捉える

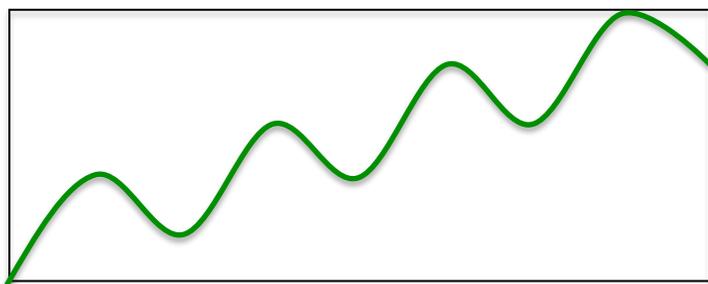


Fox & Greisus (2010)

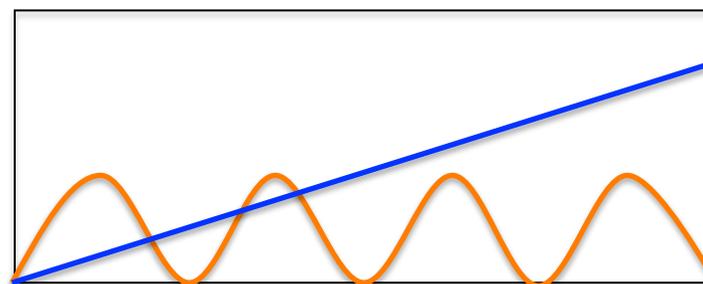
1-5-2. fMRI - 脳機能統合研究 - 注意点

脳機能統合研究の注意点

- ① 信号には、生体由来やMRI由来等のアーチ ファクトなどが含まれている！
・脳活動に由来する信号のみを抽出したい。



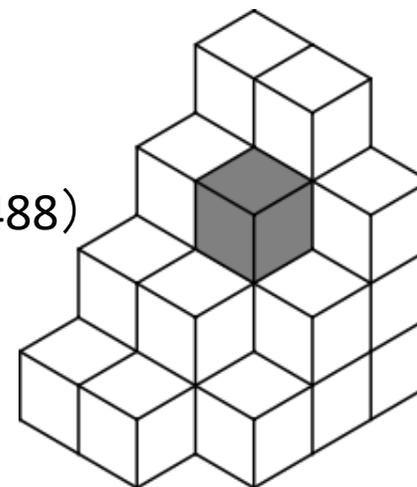
→
分離する
必要がある



⇒ 独立成分分析

- ② MRI画像の情報量が多い！
・例えば、藤野(2014)では、、、
ピクセル数(256×256)×スライス数208＝ボクセル数(13,631,488)
これを180時点、3水準×2水準、4名、、、
・不要な信号を削除したい！

⇒ 主成分分析



独立成分分析法や主成分分析が必要となる

2-1. 主成分分析 - 概要

情報を縮約する手法



次元を縮小する手法

次元縮小

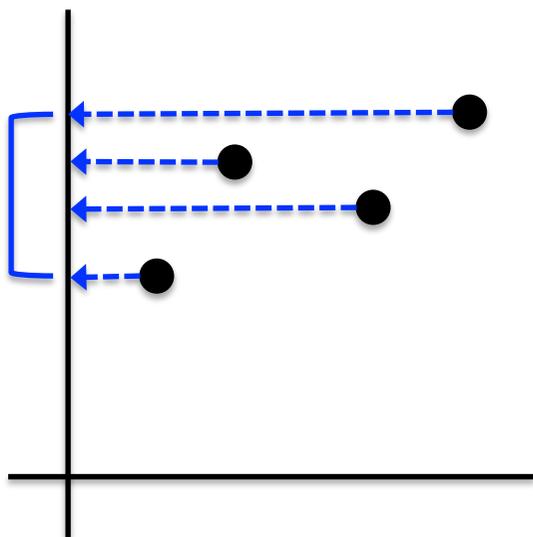
- ・英語、国語、数学、理科、社会の合計点
⇒5次元データから1次元データに縮小
- ・売上高増加率と純利益増加率から求められる成長率
⇒2次元データから1次元データに縮小

主成分分析の目的

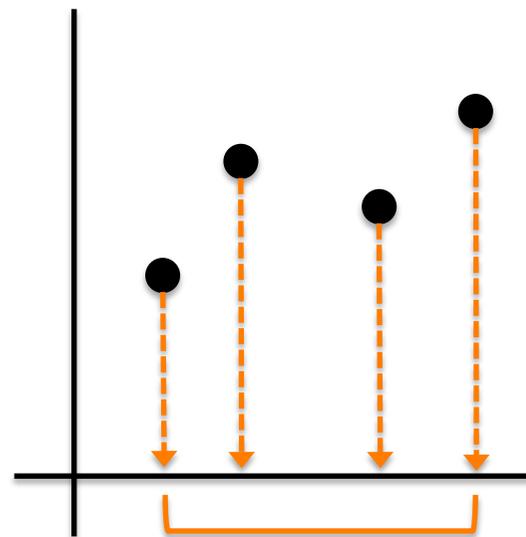
- ・特徴抽出、データの可視化、画像圧縮

2-2. 主成分分析 - 次元縮小

次元縮小



横軸の情報の損失
情報の損失が大きい
分散が小さい
差が生じにくい



縦軸の情報の損失
情報の損失が小さい
分散が大きい
差が生じやすい

射影したデータの分散が最大となる軸を探す

2-3-1. 主成分分析 – 事例① (大村, 1999参照)

事例

K大学では、MRIを用いた認知心理学実験を行える学生を育成するための授業を検討している。このような実験では、「認知心理学」と「神経心理学」の知識が必要であると考えられるが、両科目の全領域が必要なわけではなく、両科目で重複している領域もある。

そこで両科目をあわせた1つの授業を実施することを検討している。

その手がかりを得るために、既にMRIを用いた認知心理学実験で業績をあげているK大学の院生5名に「認知心理学」と「神経心理学」のテストを受けてもらった。結果は以下のとおりである。

	院生A	院生B	院生C	院生D	院生E
認知心理学	10点	9点	8点	4点	4点
神経心理学	9点	7点	10点	6点	8点

このデータから、授業方針を検討しましょう。

2-3-2. 主成分分析 – 事例② (大村, 1999参照)

院生	A	B	C	D	E
傾斜配点	$10a+9b$	$9a+7b$	$8a+10b$	$4a+6b$	$4a+8b$

○第1主成分の決定

- ・射影データの分散が最大となる軸を探す
(傾斜配点の分散を最大にする)

$$s^2=32a^2+18ab+10b^2$$

- ・aやbを無限大にしない $a^2+b^2=1$

$$a=0.942, b=0.336, \theta=\tan^{-1}(b/a)=19.6^\circ$$

○第2主成分の決定

第1主成分と直交する軸

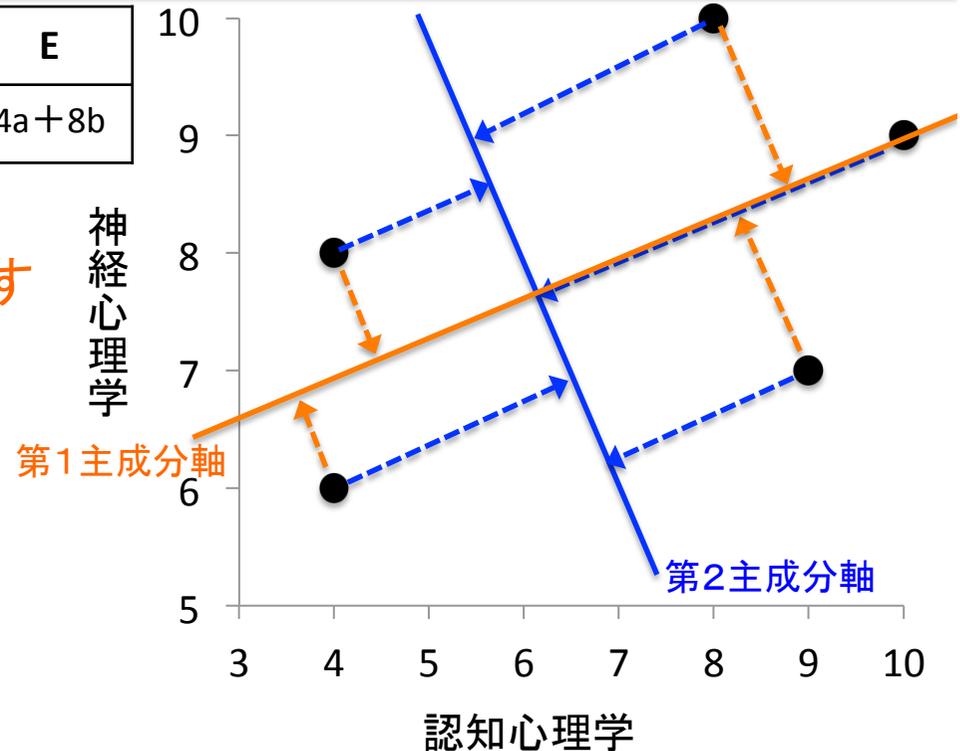
○寄与率

第1主成分の分散: 7.04, 第2主成分の分散: 1.37

第1主成分の寄与率= $7.04/(7.04+1.37)=84\%$, 第2主成分の寄与率=16%

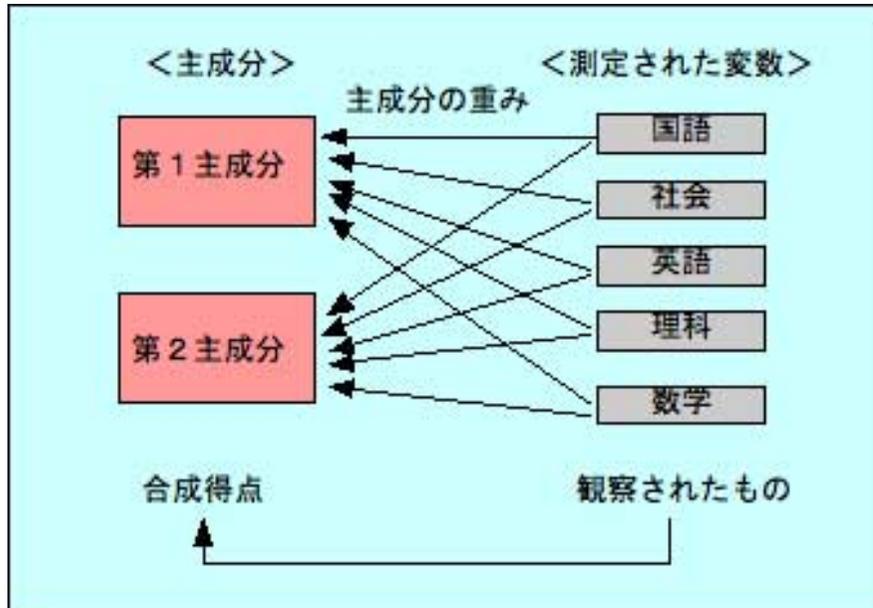
※角度と寄与率は明らかになるが、主成分の内容は明らかにはならない!

※変数が3つ以上でも基本的な考え方は変わらない!



2-4. 主成分分析 - 特徴(因子分析との比較から)

主成分分析



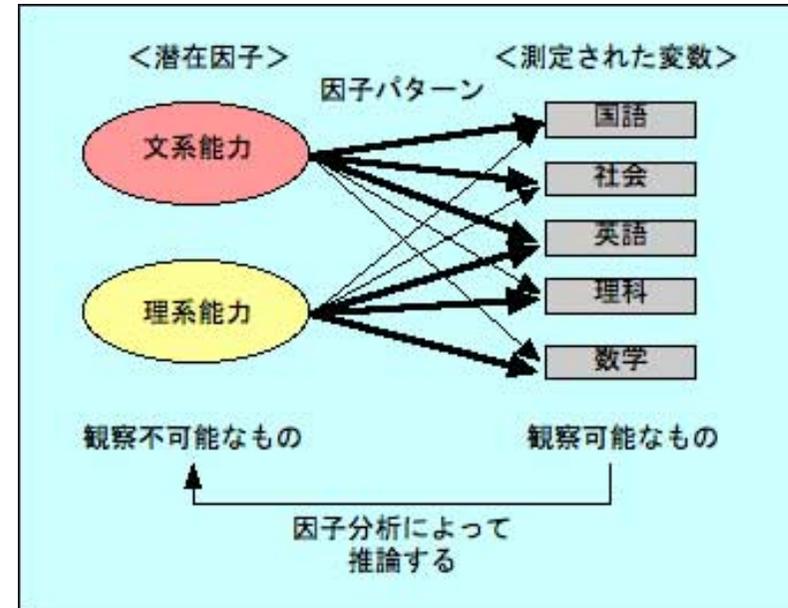
(小塩真司研究室HP:http://psy.isc.chubu.ac.jp/~oshiolab/teaching_folder/datakaiseki_folder/add_folder/daad_01.html)

第1主成分が分散を最大限

説明するための計算

1. 観測変数が共有する情報を、合成変数として集約する
2. 主成分は従属変数
3. 主成分は誤差を含む
4. 多重共線性が問題にならない

因子分析



複数の因子が観測変数全体の分散を

説明するための計算

1. 観測変数がどのような潜在因子から影響を受けているかを探る
2. 因子は独立変数
3. 共通因子は誤差を含まない
4. 多重共線性が問題になる

3-1. 主成分分析デモ (SPSS) - データ

データ

MRIを用いた認知心理学実験を行えるために必要な知識の試験結果
かっこ内は満点を表示

	論文 (100)	認知心理学 (100)	統計 (100)	英語 (200)	神経心理学 (50)	合計 (550)
院生A	92	83	77	156	38	446
院生B	97	82	68	114	33	394
院生C	100	100	93	176	44	513
院生D	89	77	100	158	46	470
院生E	95	79	75	140	37	426
院生F	99	96	84	174	42	495
院生G	97	87	98	190	49	521
院生H	93	77	73	132	35	410
院生I	89	75	72	132	35	403
院生J	98	93	70	186	37	484

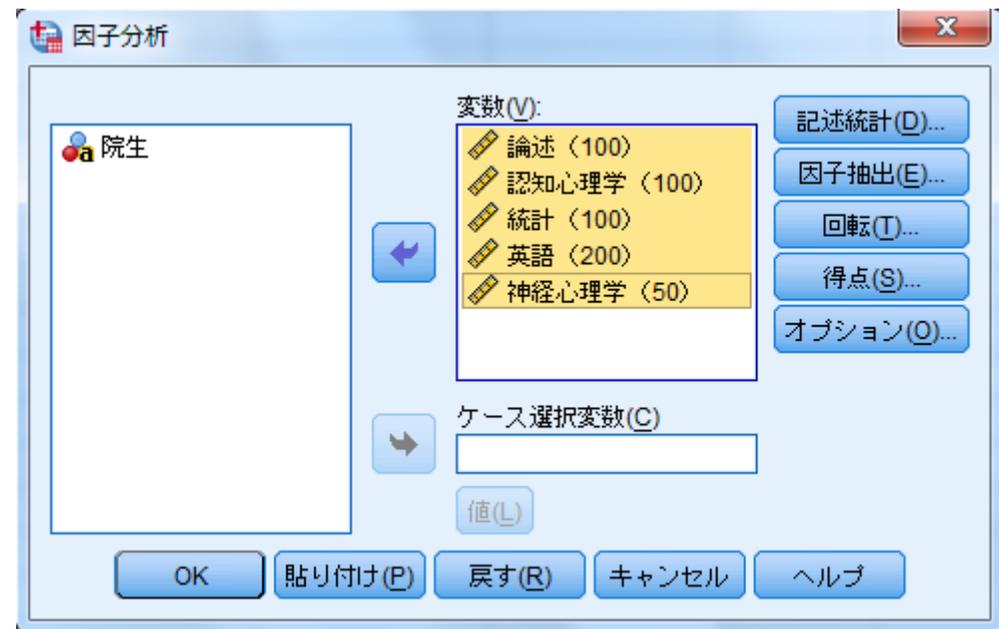
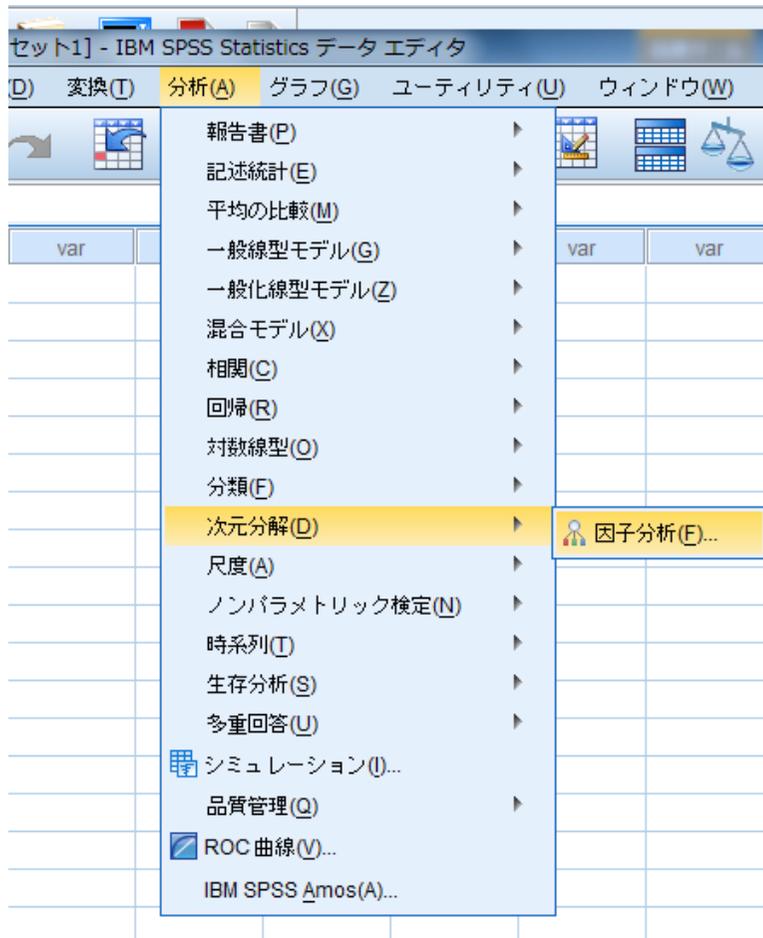
3-2-1. 主成分分析デモ (SPSS) - 入力①

▪ 主成分分析を実施しましょう。

分析 (A)
→ 次元分解 → 因子分析 (F)



変数 (V) に 5 科目
→ 因子抽出 (E) をクリック

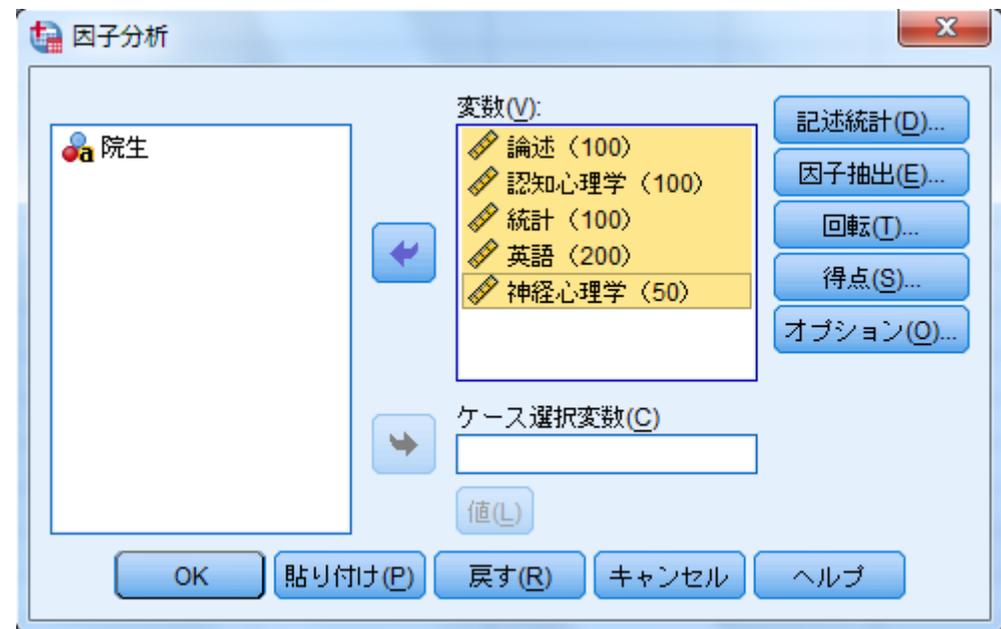
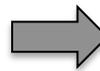
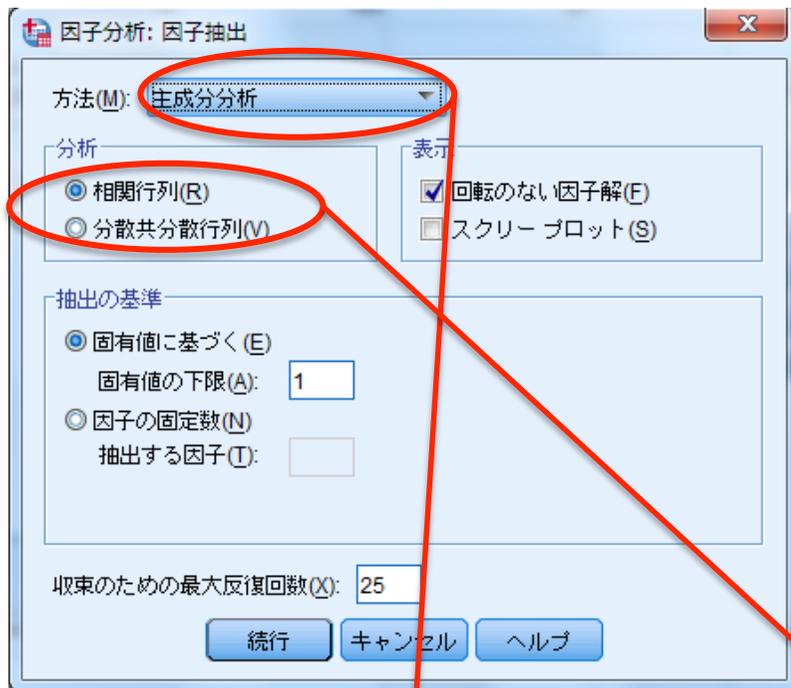


3-2-2. 主成分分析デモ (SPSS) - 入力②

- 主成分得点を求めてみましょう。

方法 (M) の主成分分析を選択
→ 相関行列 (R)
→ 続行をクリック

得点 (S) をクリック



因子分析のデフォルトが主成分分析になっているため、注意が必要

共分散は、最大値, 最小値なし

⇒ データ量を保持できる

相関 (r) は、 $-1 \leq r \leq +1$ の範囲に標準化

⇒ 測定変数の単位が異なる時に比較可

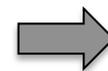
3-2-3. 主成分分析デモ (SPSS) - 入力③

▪ 主成分得点を求めてみましょう。

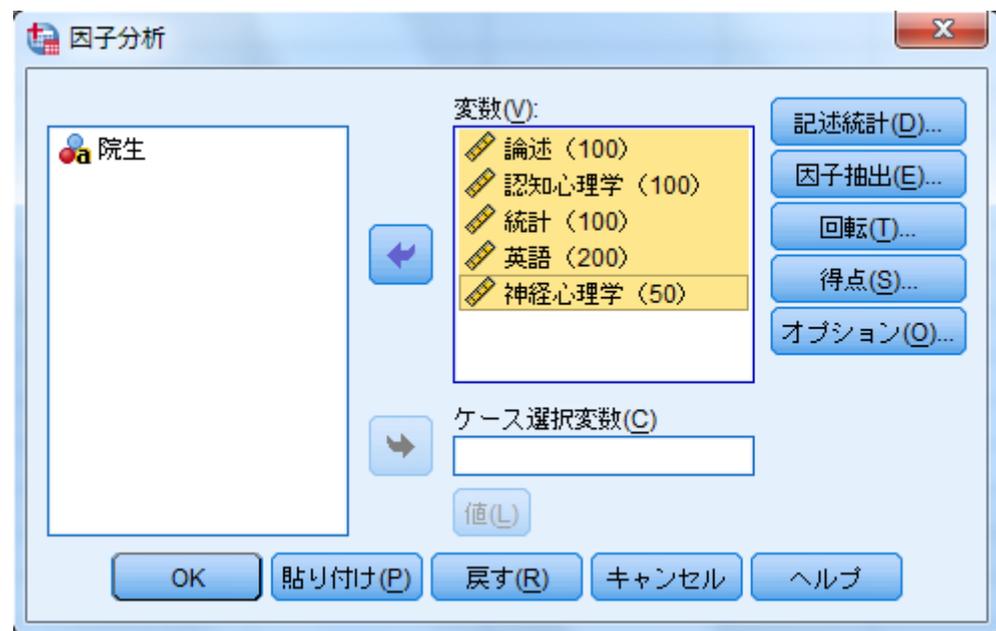
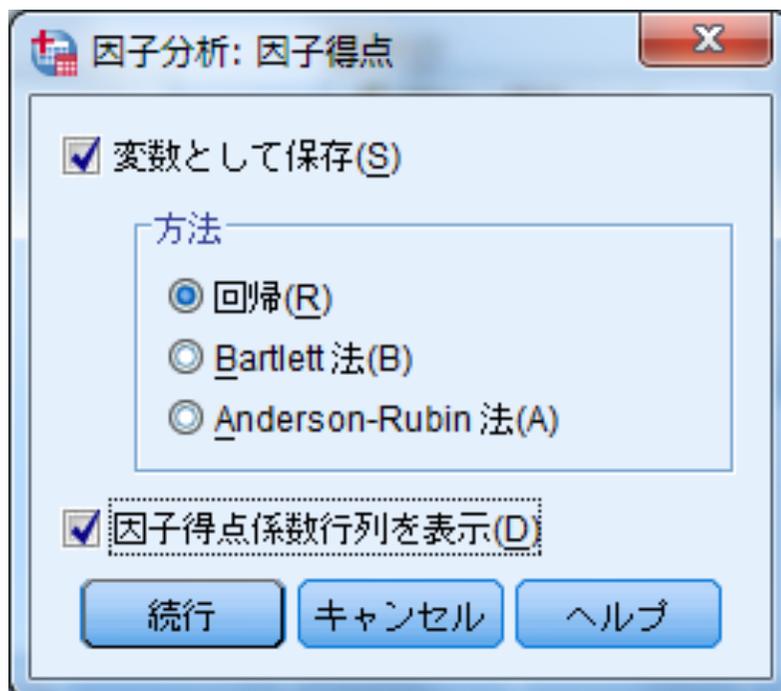
変数として保存(S)をチェック

→ 因子得点係数行列を表示(D)チェック

→ 続行をクリック



OKをクリック



このページの作業は主成分得点算出のために実施する。

3-3-1. 主成分分析デモ (SPSS) - 出力①

SPSSの出力

共通性

	初期	因子抽出後
論述 (100)	1.000	.915
認知心理学 (100)	1.000	.952
統計 (100)	1.000	.947
英語 (200)	1.000	.827
神経心理学 (50)	1.000	.987

因子抽出法: 主成分分析

共通性

因子分析の際に用いられる指標。

各変数が因子群によってどれだけ説明できるかを示す。

0から1の値で、導かれた因子群ですべて説明できるときに1となる。

1の場合、独自因子(誤差)項が0であることを意味する。

3-3-2. 主成分分析デモ (SPSS) - 出力②

SPSSの出力

説明された分散の合計

成分	初期の固有値			抽出後の負荷量平方和		
	合計	分散の %	累積 %	合計	分散の %	累積 %
1	3.119	62.376	62.376	3.119	62.376	62.376
2	1.510	30.200	92.576	1.510	30.200	92.576
3	.281	5.613	98.189			
4	.087	1.735	99.923			
5	.004	.077	100.000			

因子抽出法: 主成分分析

固有値の合計は成分数と一致する
(この場合5)

明確な基準はないが、1を超えない
主成分は重要性が低い

寄与率

全分散のうち2つの主成分で92.6%
説明できる。

3-3-3. 主成分分析デモ (SPSS) - 出力③

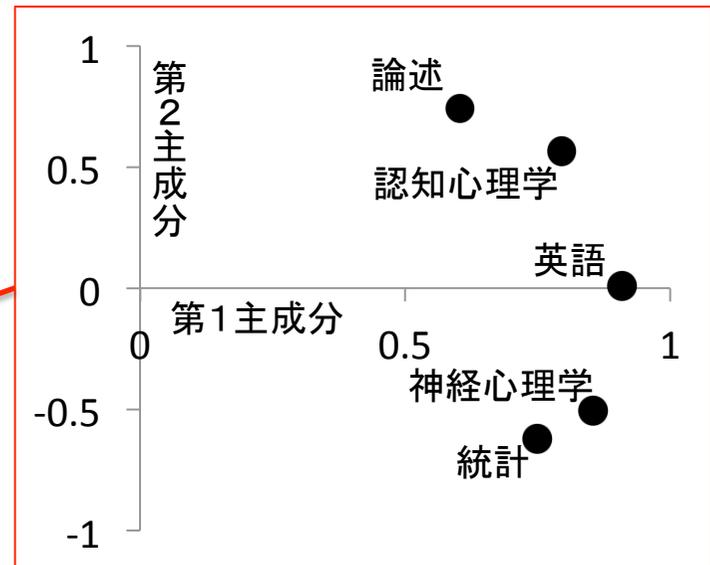
SPSSの出力

成分行列^a

	成分	
	1	2
論述 (100)	.603	.743
認知心理学 (100)	.796	.564
統計 (100)	.750	-.621
英語 (200)	.909	.001
神経心理学 (50)	.855	-.506

因子抽出法: 主成分分析

a. 2 個の成分が抽出されました



第1主成分は全て正

⇒ 総合成績

英語の固有ベクトルが最大

⇒ 英語が最も影響

第2主成分は論述・認知心理学が正、英語が0、統計・神経心理学が負

⇒ 「文系⇔理系」だろう

固有ベクトル

$$Z_1 = 0.603x_1 + 0.796x_2 + 0.750x_3 + 0.909x_4 + 0.855x_5$$

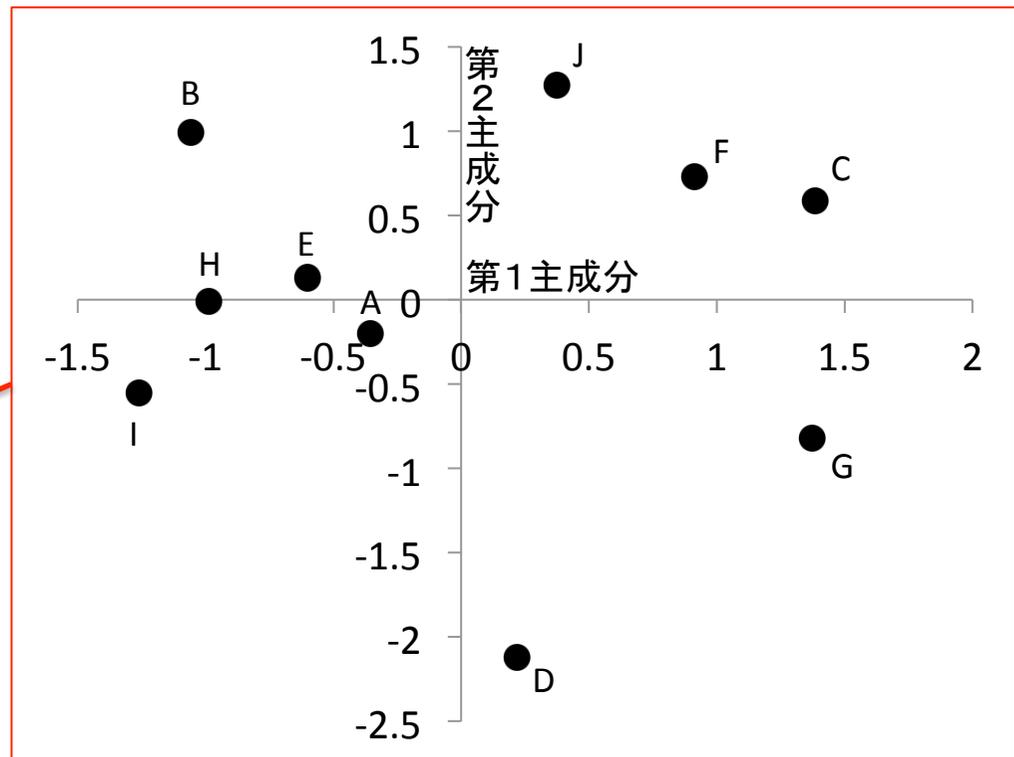
$$Z_2 = 0.743x_1 + 0.564x_2 - 0.621x_3 + 0.001x_4 - 0.506x_5$$

3-3-4. 主成分分析デモ (SPSS) - 出力④

SPSSの出力

院生	FAC_1	FAC_2
C	1.38366	0.58529
G	1.37511	-0.82385
F	0.91238	0.72585
J	0.37438	1.26919
D	0.21863	-2.11848
A	-0.35642	-0.20114
E	-0.60025	0.12965
H	-0.98923	-0.00846
B	-1.0565	0.99493
I	-1.26177	-0.55298

※FAC_1で降順に並べ替えている



主成分得点

Cが第1主成分得点で最高で文系寄り

⇒Cが総合成績トップで文系科目が得意

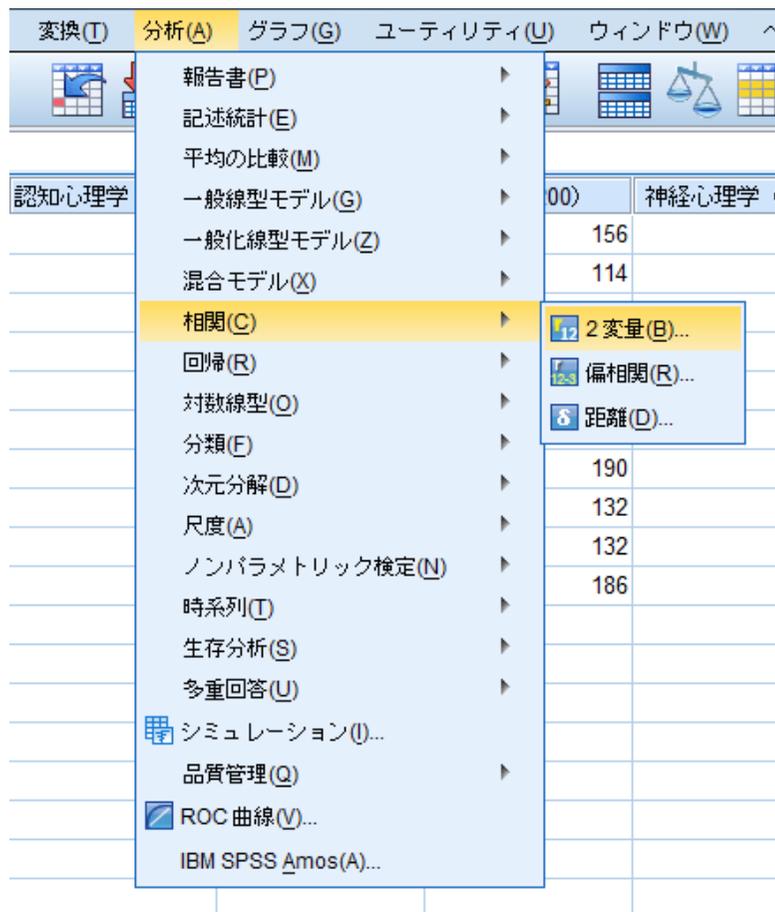
3-4-1. 主成分分析デモ (SPSS) – 確認①

第1主成分と第2主成分の相関を確認しておきましょう。

分析(A)
→相関(C)→2変量(B)



変数(V)に第1主成分・第2主成分
→OKをクリック



3-4-2. 主成分分析デモ (SPSS) – 確認②

SPSSの出力

相関分析

		REGR factor score 1 for analysis 1	REGR factor score 2 for analysis 1
REGR factor score 1 for analysis 1	Pearson の相関係数	1	.000
	有意確率 (両側)		1.000
	度数	10	10
REGR factor score 2 for analysis 1	Pearson の相関係数	.000	1
	有意確率 (両側)	1.000	
	度数	10	10

第1主成分と第2主成分の相関は0

⇒主成分はお互いに無関係である

⇒「第1主成分が文系、第2主成分が理系」などにはならない。

主成分分析では軸の回転を行わずに、得られた直交解を利用しているため。

⇒第1主成分の寄与率が高くなる

4. 次回実施内容

1. 独立成分分析の概要
2. fMRIデータ解析における主成分分析と独立成分分析の違い
3. MATLABとGIFTによる主成分分析と独立成分分析のデモ

5. 引用文献・参考文献

〈引用文献〉

- Friston, K.J. (2007). Functional Connectivity. In Friston, K.J., Ashburner, J.T., Kiebel, S.J., Nichols, T.E., & Penny, W.D. (Eds), Statistical Parametric Mapping (pp471–491). London, UK: Academic Press.
- Fox MD & Greicius M (2010) Clinical applications of resting state functional connectivity. Front Syst Neurosci 4(19): eCollection.
- Kreutzer, J. S., DeLuca, J., & Caplan, B., eds. (2011). Default mode Network. Encyclopedia of Clinical Neuropsychology. Berlin: Springer.
- Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., & Shulman, G. L. (2001). A default mode of brain function. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 98(2), 676-682.
- 小塩真司研究室
http://psy.isc.chubu.ac.jp/~oshiolab/teaching_folder/datakaiseki_folder/add_folder/daad_01.html
- 田邊宏樹.(2009). ヒト脳機能イメージングの歴史と現状 教育研究. 国際基督教大学, 52:81-87.

〈参考文献〉

- 大村平.(1999). 多変量解析の話 第21刷. 日科技連出版社.
- 内田治, 菅民朗, 高橋信. (2005). 文系にもよくわかる多変量解析 増補改訂版第1刷. 東京図書株式会社
- 統計科学研究所 http://statistics.co.jp/reference/software_R/statR_9_principal.pdf

ありがとうございました
