

平成 28 年度

学士学位論文

トポロジカルデータ分析を用いた
fMRI データの解析

Analysis of functional Magnetic Resonance Imaging
using Topological Data Analysis

1170344 中山 梨奈

指導教員 吉田 真一

2017 年 2 月 28 日

高知工科大学 情報学群

要 旨

トポロジカルデータ分析を用いた fMRI データの解析

中山 梨奈

近年，脳情報デコーディングの研究が活発に行われている．脳情報デコーディングとは，fMRI(functional Magnetic Resonance Imaging) で計測した脳活動を SPM(Statistical Parametric Mapping) や MVPA(Multi-Voxel Pattern Analysis) などを用いて解析を行い，機械学習アルゴリズムを用いて学習することで，脳活動情報から人の認知状態や行動内容，感情などを推定するものである．これまでの脳情報デコーディングでは，一般の画像認識などと異なり，特徴抽出などを行わず，ノイズ軽減などの前処理をしたボクセル値をそのまま用いていた．しかし，ボクセルの数が多く，そのまま全てのデータを用いることは現実的ではない．

そこで，fMRI データにおける特徴抽出として，位相幾何学を利用しデータの分布の形状に着目するトポロジカルデータ分析 (Topological Data Analysis:TDA) を用いて，fMRI から得た脳活動情報を解析する．実験では，fMRI を用いて被験者の指のタッピング運動をしている (tapping) 時と何もしていない (rest) 時の脳活動を計測する．得られた fMRI データから特定ボクセルの時系列データを抽出し，それらを Persistent Diagram およびバーコードの TDA 手法を用いて解析を行う．TDA を用いた解析結果から，fMRI データの分布には形状があり，違いのパターンは不統一ではあるものの rest 時と tapping 時における違いも見られた．このことから，TDA を用いた解析は fMRI データにも活用できる可能性がある．また，従来手法では着目されないボクセルにおいても，rest 時と tapping 時における違いが見られたことから，従来手法では着目されないボクセルから新たな情報を得られ

ることが示唆された.

キーワード fMRI, トポロジカルデータ分析, 脳情報デコーディング

Abstract

Analysis of functional Magnetic Resonance Imaging using Topological Data Analysis

Rina Nakayama

In recent years, brain decoding has been studied by many researchers. SVM (Support Vector Machine) or NN (Neural Network) as supervised learning are used as their machine learning, however, it is difficult to improve the accuracy for small number of training data. Therefore analysis of functional magnetic resonance (fMRI) data using TDA (Topological Data Analysis) is proposed to obtain new knowledge from the data by looking at a the shape of data distribution using topology.

In this study, we measure brain activity when subjects are doing finger tapping (tapping) and when they do not do anything (rest) using fMRI. We obtain time series data of specific voxels from fMRI and analyze using TDA.

The results shows that the distribution of fMRI data have a shape, and that there is a difference between tapping and rest although the difference are inconsistent. Therefore, we find the possibility of TDA analysis for fMRI data, and it suggests that new knowledge can be obtained by using TDA from voxels, which is not focused in conventional methods.

key words fMRI, topological data analysis, brain decoding

目次

第 1 章	序論	1
第 2 章	関連研究	3
第 3 章	提案手法	12
第 4 章	実験および解析	17
4.1	fMRI を用いた脳活動計測実験	17
4.1.1	被験者	17
4.1.2	計測機器	17
4.1.3	実験デザイン	17
4.2	解析前処理	18
4.2.1	SPM における解析のための画像変換	18
4.2.2	SPM における解析の前処理	18
4.2.3	個人解析および特定ボクセルの時系列データ抽出	19
4.2.4	時系列データ分別	22
4.3	TDA を用いた fMRI データ解析	24
4.3.1	12ch, 32ch, 32chMB データ：解析手法 1	24
4.3.2	12ch, 32ch, 32chMB データ：解析手法 2	24
4.3.3	12ch, 32ch, 32chMB データ：解析手法 3	25
第 5 章	結果	26
5.1	解析手法 1	26
5.1.1	被験者 A - 12ch	26
5.1.2	被験者 A - 32ch	28

目次

5.1.3	被験者 A - 32chMB	29
5.1.4	被験者 B - 12ch	30
5.1.5	被験者 B - 32ch	31
5.1.6	被験者 B - 32chMB	32
5.1.7	被験者 C - 12ch	33
5.1.8	被験者 C - 32ch	34
5.1.9	被験者 C - 32chMB	35
5.1.10	被験者 D - 12ch	36
5.1.11	被験者 D - 32ch	37
5.1.12	被験者 D - 32chMB	38
5.1.13	被験者 E - 12ch	39
5.1.14	被験者 E - 32ch	40
5.1.15	被験者 E - 32chMB	41
5.1.16	被験者 F - 12ch	42
5.1.17	被験者 F - 32ch	43
5.1.18	被験者 F - 32chMB	44
5.2	解析手法 2	45
5.3	解析手法 3	47
第 6 章	考察	49
6.1	解析手法 1 の解析結果に関する考察	49
6.2	解析手法 2 の解析結果に関する考察	49
6.3	解析手法 3 の解析結果に関する考察	50
第 7 章	結論	52
第 8 章	謝辞	54

目次

参考文献	57
付録 A 解析結果	59
A.1 解析手法 2	59
A.1.1 被験者 A-32ch	59
A.1.2 被験者 B-32ch	72
A.1.3 被験者 C-32ch	84
A.1.4 被験者 D-32ch	96
A.1.5 被験者 E-32ch	108
A.1.6 被験者 F-32ch	120
A.2 解析手法 3	132
A.2.1 被験者 A-12ch	133
A.2.2 被験者 A-32ch	136
A.2.3 被験者 A-32chMB	139
A.2.4 被験者 B-12ch	142
A.2.5 被験者 B-32ch	145
A.2.6 被験者 B-32chMB	148
A.2.7 被験者 C-12ch	151
A.2.8 被験者 C-32ch	154
A.2.9 被験者 C-32chMB	157
A.2.10 被験者 D-12ch	160
A.2.11 被験者 D-32ch	163
A.2.12 被験者 D-32chMB	166
A.2.13 被験者 E-12ch	169
A.2.14 被験者 E-32ch	172
A.2.15 被験者 E-32chMB	175

目次

A.2.16 被験者 F-12ch	178
A.2.17 被験者 F-32ch	181
A.2.18 被験者 F-32chMB	184

目次

2.1	BOLD 効果のメカニズム：定常状態	8
2.2	BOLD 効果のメカニズム：賦活状態	8
2.3	BOLD 効果のメカニズム：血流量増大	8
2.4	脳情報デコーディング (感情の予測モデル構築)	9
2.5	脳情報デコーディング (感情の推定)	10
2.6	SVM の原理	10
2.7	特徴空間の写像	10
2.8	ニューロンを模倣したモデルとアルゴリズム	11
3.1	穴の種類	15
3.2	1 次元の穴の特徴	15
3.3	2 次元の穴の特徴	15
3.4	データの点の直径の変化に伴う穴の発生と消滅	16
3.5	Persistent Diagram	16
3.6	バーコード	16
4.1	実験デザイン (1 試行分)	18
4.2	12ch および 32ch データの分別方法	23
5.1	被験者 A-12ch : rest 時の PD	27
5.2	被験者 A-12ch : tapping 時の PD	27
5.3	被験者 A-12ch : rest 時の BC	27
5.4	被験者 A-12ch : tapping 時の BC	27
5.5	被験者 A-32ch : rest 時の PD	28
5.6	被験者 A-32ch : tapping 時の PD	28

図目次

5.7	被験者 A-32ch : rest 時の BC	28
5.8	被験者 A-32ch : tapping 時の BC	28
5.9	被験者 A-32chMB : rest 時の PD	29
5.10	被験者 A-32chMB : tapping 時の PD	29
5.11	被験者 A-32chMB : rest 時の BC	29
5.12	被験者 A-32chMB : tapping 時の BC	29
5.13	被験者 B-12ch : rest 時の PD	30
5.14	被験者 B-12ch : tapping 時の PD	30
5.15	被験者 B-12ch : rest 時の BC	30
5.16	被験者 B-12ch : tapping 時の BC	30
5.17	被験者 B-32ch : rest 時の PD	31
5.18	被験者 B-32ch : tapping 時の PD	31
5.19	被験者 B-32ch : rest 時の BC	31
5.20	被験者 B-32ch : tapping 時の BC	31
5.21	被験者 B-32chMB : rest 時の PD	32
5.22	被験者 B-32chMB : tapping 時の PD	32
5.23	被験者 B-32chMB : rest 時の BC	32
5.24	被験者 B-32chMB : tapping 時の BC	32
5.25	被験者 C-12ch : rest 時の PD	33
5.26	被験者 C-12ch : tapping 時の PD	33
5.27	被験者 C-12ch : rest 時の BC	33
5.28	被験者 C-12ch : tapping 時の BC	33
5.29	被験者 C-32ch : rest 時の PD	34
5.30	被験者 C-32ch : tapping 時の PD	34
5.31	被験者 C-32ch : rest 時の BC	34
5.32	被験者 C-32ch : tapping 時の BC	34

図目次

5.33 被験者 C-32chMB : rest 時の PD	35
5.34 被験者 C-32chMB : tapping 時の PD	35
5.35 被験者 C-32chMB : rest 時の BC	35
5.36 被験者 C-32chMB : tapping 時の BC	35
5.37 被験者 D-12ch : rest 時の PD	36
5.38 被験者 D-12ch : tapping 時の PD	36
5.39 被験者 D-12ch : rest 時の BC	36
5.40 被験者 D-12ch : tapping 時の BC	36
5.41 被験者 D-32ch : rest 時の PD	37
5.42 被験者 D-32ch : tapping 時の PD	37
5.43 被験者 D-32ch : rest 時の BC	37
5.44 被験者 D-32ch : tapping 時の BC	37
5.45 被験者 D-32chMB : rest 時の PD	38
5.46 被験者 D-32chMB : tapping 時の PD	38
5.47 被験者 D-32chMB : rest 時の BC	38
5.48 被験者 D-32chMB : tapping 時の BC	38
5.49 被験者 E-12ch : rest 時の PD	39
5.50 被験者 E-12ch : tapping 時の PD	39
5.51 被験者 E-12ch : rest 時の BC	39
5.52 被験者 E-12ch : tapping 時の BC	39
5.53 被験者 E-32ch : rest 時の PD	40
5.54 被験者 E-32ch : tapping 時の PD	40
5.55 被験者 E-32ch : rest 時の BC	40
5.56 被験者 E-32ch : tapping 時の BC	40
5.57 被験者 E-32chMB : rest 時の PD	41
5.58 被験者 E-32chMB : tapping 時の PD	41

図目次

5.59 被験者 E-32chMB : rest 時の BC	41
5.60 被験者 E-32chMB : tapping 時の BC	41
5.61 被験者 F-12ch : rest 時の PD	42
5.62 被験者 F-12ch : tapping 時の PD	42
5.63 被験者 F-12ch : rest 時の BC	42
5.64 被験者 F-12ch : tapping 時の BC	42
5.65 被験者 F-32ch : rest 時の PD	43
5.66 被験者 F-32ch : tapping 時の PD	43
5.67 被験者 F-32ch : rest 時の BC	43
5.68 被験者 F-32ch : tapping 時の BC	43
5.69 被験者 F-32chMB : rest 時の PD	44
5.70 被験者 F-32chMB : tapping 時の PD	44
5.71 被験者 F-32chMB : rest 時の BC	44
5.72 被験者 F-32chMB : tapping 時の BC	44
5.73 被験者 A-32ch-Y2,6,7 : rest 時の BC	45
5.74 被験者 A-32ch-Y2,6,7 : tapping 時の BC	45
5.75 被験者 A-32ch-Y2,6,7 : 図形化 (バツ : rest 時, 赤丸 : tapping 時)	46
5.76 被験者 B-12ch-Y7 : rest 時の BC	47
5.77 被験者 B-12ch-Y7 : tapping 時の BC	47
5.78 被験者 B-12ch-Y7 : 図形化 (バツ : rest 時, 赤丸 : tapping 時)	48
A.1 被験者 A-Y1,2,3 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	59
A.2 被験者 A-Y1,2,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	60
A.3 被験者 A-Y1,2,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	60
A.4 被験者 A-Y1,2,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	60
A.5 被験者 A-Y1,2,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	61

図目次

A.6 被験者 A-Y1,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	61
A.7 被験者 A-Y1,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	61
A.8 被験者 A-Y1,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	62
A.9 被験者 A-Y1,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	62
A.10 被験者 A-Y1,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	62
A.11 被験者 A-Y1,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	63
A.12 被験者 A-Y1,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	63
A.13 被験者 A-Y1,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	63
A.14 被験者 A-Y1,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	64
A.15 被験者 A-Y1,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	64
A.16 被験者 A-Y2,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	64
A.17 被験者 A-Y2,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	65
A.18 被験者 A-Y2,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	65
A.19 被験者 A-Y2,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	65
A.20 被験者 A-Y2,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	66
A.21 被験者 A-Y2,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	66
A.22 被験者 A-Y2,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	66
A.23 被験者 A-Y2,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	67
A.24 被験者 A-Y2,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	67
A.25 被験者 A-Y2,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	67
A.26 被験者 A-Y3,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	68
A.27 被験者 A-Y3,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	68
A.28 被験者 A-Y3,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	68
A.29 被験者 A-Y3,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	69
A.30 被験者 A-Y3,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	69
A.31 被験者 A-Y3,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	69

図目次

A.32 被験者 A-Y4,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	70
A.33 被験者 A-Y4,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	70
A.34 被験者 A-Y4,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	70
A.35 被験者 A-Y5,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	71
A.36 被験者 B-Y1,2,3 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	72
A.37 被験者 B-Y1,2,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	72
A.38 被験者 B-Y1,2,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	72
A.39 被験者 B-Y1,2,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	73
A.40 被験者 B-Y1,2,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	73
A.41 被験者 B-Y1,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	73
A.42 被験者 B-Y1,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	74
A.43 被験者 B-Y1,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	74
A.44 被験者 B-Y1,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	74
A.45 被験者 B-Y1,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	75
A.46 被験者 B-Y1,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	75
A.47 被験者 B-Y1,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	75
A.48 被験者 B-Y1,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	76
A.49 被験者 B-Y1,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	76
A.50 被験者 B-Y1,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	76
A.51 被験者 B-Y2,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	77
A.52 被験者 B-Y2,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	77
A.53 被験者 B-Y2,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	77
A.54 被験者 B-Y2,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	78
A.55 被験者 B-Y2,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	78
A.56 被験者 B-Y2,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	78
A.57 被験者 B-Y2,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	79

図目次

A.58 被験者 B-Y2,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	79
A.59 被験者 B-Y2,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	79
A.60 被験者 B-Y2,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	80
A.61 被験者 B-Y3,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	80
A.62 被験者 B-Y3,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	80
A.63 被験者 B-Y3,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	81
A.64 被験者 B-Y3,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	81
A.65 被験者 B-Y3,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	81
A.66 被験者 B-Y3,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	82
A.67 被験者 B-Y4,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	82
A.68 被験者 B-Y4,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	82
A.69 被験者 B-Y4,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	83
A.70 被験者 B-Y5,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	83
A.71 被験者 C-Y1,2,3 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	84
A.72 被験者 C-Y1,2,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	84
A.73 被験者 C-Y1,2,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	84
A.74 被験者 C-Y1,2,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	85
A.75 被験者 C-Y1,2,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	85
A.76 被験者 C-Y1,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	85
A.77 被験者 C-Y1,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	86
A.78 被験者 C-Y1,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	86
A.79 被験者 C-Y1,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	86
A.80 被験者 C-Y1,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	87
A.81 被験者 C-Y1,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	87
A.82 被験者 C-Y1,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	87
A.83 被験者 C-Y1,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	88

図目次

A.84 被験者 C-Y1,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	88
A.85 被験者 C-Y1,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	88
A.86 被験者 C-Y2,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	89
A.87 被験者 C-Y2,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	89
A.88 被験者 C-Y2,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	89
A.89 被験者 C-Y2,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	90
A.90 被験者 C-Y2,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	90
A.91 被験者 C-Y2,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	90
A.92 被験者 C-Y2,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	91
A.93 被験者 C-Y2,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	91
A.94 被験者 C-Y2,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	91
A.95 被験者 C-Y2,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	92
A.96 被験者 C-Y3,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	92
A.97 被験者 C-Y3,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	92
A.98 被験者 C-Y3,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	93
A.99 被験者 C-Y3,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	93
A.100被験者 C-Y3,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	93
A.101被験者 C-Y3,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	94
A.102被験者 C-Y4,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	94
A.103被験者 C-Y4,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	94
A.104被験者 C-Y4,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	95
A.105被験者 C-Y5,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	95
A.106被験者 D-Y1,2,3 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	96
A.107被験者 D-Y1,2,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	96
A.108被験者 D-Y1,2,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	96
A.109被験者 D-Y1,2,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	97

図目次

A.110被験者 D-Y1,2,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	97
A.111被験者 D-Y1,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	97
A.112被験者 D-Y1,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	98
A.113被験者 D-Y1,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	98
A.114被験者 D-Y1,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	98
A.115被験者 D-Y1,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	99
A.116被験者 D-Y1,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	99
A.117被験者 D-Y1,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	99
A.118被験者 D-Y1,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	100
A.119被験者 D-Y1,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	100
A.120被験者 D-Y1,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	100
A.121被験者 D-Y2,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	101
A.122被験者 D-Y2,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	101
A.123被験者 D-Y2,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	101
A.124被験者 D-Y2,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	102
A.125被験者 D-Y2,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	102
A.126被験者 D-Y2,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	102
A.127被験者 D-Y2,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	103
A.128被験者 D-Y2,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	103
A.129被験者 D-Y2,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	103
A.130被験者 D-Y2,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	104
A.131被験者 D-Y3,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	104
A.132被験者 D-Y3,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	104
A.133被験者 D-Y3,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	105
A.134被験者 D-Y3,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	105
A.135被験者 D-Y3,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	105

図目次

A.136被験者 D-Y3,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	106
A.137被験者 D-Y4,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	106
A.138被験者 D-Y4,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	106
A.139被験者 D-Y4,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	107
A.140被験者 D-Y5,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	107
A.141被験者 E-Y1,2,3 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	108
A.142被験者 E-Y1,2,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	108
A.143被験者 E-Y1,2,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	108
A.144被験者 E-Y1,2,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	109
A.145被験者 E-Y1,2,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	109
A.146被験者 E-Y1,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	109
A.147被験者 E-Y1,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	110
A.148被験者 E-Y1,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	110
A.149被験者 E-Y1,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	110
A.150被験者 E-Y1,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	111
A.151被験者 E-Y1,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	111
A.152被験者 E-Y1,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	111
A.153被験者 E-Y1,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	112
A.154被験者 E-Y1,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	112
A.155被験者 E-Y1,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	112
A.156被験者 E-Y2,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	113
A.157被験者 E-Y2,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	113
A.158被験者 E-Y2,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	113
A.159被験者 E-Y2,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	114
A.160被験者 E-Y2,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	114
A.161被験者 E-Y2,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)	114

図目次

A.162被験者 E-Y2,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	115
A.163被験者 E-Y2,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	115
A.164被験者 E-Y2,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	115
A.165被験者 E-Y2,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	116
A.166被験者 E-Y3,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	116
A.167被験者 E-Y3,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	116
A.168被験者 E-Y3,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	117
A.169被験者 E-Y3,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	117
A.170被験者 E-Y3,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	117
A.171被験者 E-Y3,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	118
A.172被験者 E-Y4,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	118
A.173被験者 E-Y4,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	118
A.174被験者 E-Y4,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	119
A.175被験者 E-Y5,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	119
A.176被験者 F-Y1,2,3 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	120
A.177被験者 F-Y1,2,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	120
A.178被験者 F-Y1,2,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	120
A.179被験者 F-Y1,2,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	121
A.180被験者 F-Y1,2,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	121
A.181被験者 F-Y1,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	121
A.182被験者 F-Y1,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	122
A.183被験者 F-Y1,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	122
A.184被験者 F-Y1,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	122
A.185被験者 F-Y1,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	123
A.186被験者 F-Y1,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	123
A.187被験者 F-Y1,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	123

図目次

A.188被験者 F-Y1,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	124
A.189被験者 F-Y1,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	124
A.190被験者 F-Y1,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	124
A.191被験者 F-Y2,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	125
A.192被験者 F-Y2,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	125
A.193被験者 F-Y2,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	125
A.194被験者 F-Y2,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	126
A.195被験者 F-Y2,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	126
A.196被験者 F-Y2,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	126
A.197被験者 F-Y2,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	127
A.198被験者 F-Y2,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	127
A.199被験者 F-Y2,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	127
A.200被験者 F-Y2,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	128
A.201被験者 F-Y3,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	128
A.202被験者 F-Y3,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	128
A.203被験者 F-Y3,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	129
A.204被験者 F-Y3,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	129
A.205被験者 F-Y3,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	129
A.206被験者 F-Y3,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	130
A.207被験者 F-Y4,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	130
A.208被験者 F-Y4,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	130
A.209被験者 F-Y4,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	131
A.210被験者 F-Y5,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右) .	131
A.211被験者 A-12h-Y1	133
A.212被験者 A-12ch-Y2	133
A.213被験者 A-12ch-Y3	134

目次

A.214被験者 A-12ch-Y4	134
A.215被験者 A-12ch-Y5	134
A.216被験者 A-Y6	135
A.217被験者 A-Y7	135
A.218被験者 A-32ch-Y1	136
A.219被験者 A-32ch-Y2	136
A.220被験者 A-32ch-Y3	137
A.221被験者 A-32ch-Y4	137
A.222被験者 A-32ch-Y5	137
A.223被験者 A-32ch-Y6	138
A.224被験者 A-32ch-Y7	138
A.225被験者 A-32chMB-Y1	139
A.226被験者 A-32chMB-Y2	139
A.227被験者 A-32chMB-Y3	140
A.228被験者 A-32chMB-Y4	140
A.229被験者 A-32chMB-Y5	140
A.230被験者 A-32chMB-Y6	141
A.231被験者 A-32chMB-Y7	141
A.232被験者 B-12ch-Y1	142
A.233被験者 B-12ch-Y2	142
A.234被験者 B-12ch-Y3	143
A.235被験者 B-12ch-Y4	143
A.236被験者 B-12ch-Y5	143
A.237被験者 B-12ch-Y6	144
A.238被験者 B-12ch-Y7	144
A.239被験者 B-32ch-Y1	145

図目次

A.240被験者 B-32ch-Y2	145
A.241被験者 B-32ch-Y3	146
A.242被験者 B-32ch-Y4	146
A.243被験者 B-32ch-Y5	146
A.244被験者 B-32ch-Y6	147
A.245被験者 B-32ch-Y7	147
A.246被験者 B-32chMB-Y1	148
A.247被験者 B-32chMB-Y2	148
A.248被験者 B-32chMB-Y3	149
A.249被験者 B-32chMB-Y4	149
A.250被験者 B-32chMB-Y5	149
A.251被験者 B-32chMB-Y6	150
A.252被験者 B-32chMB-Y7	150
A.253被験者 C-12ch-Y1	151
A.254被験者 C-12ch-Y2	151
A.255被験者 C-12ch-Y3	152
A.256被験者 C-12ch-Y4	152
A.257被験者 C-12ch-Y5	152
A.258被験者 C-12ch-Y6	153
A.259被験者 C-12ch-Y7	153
A.260被験者 C-32ch-Y1	154
A.261被験者 C-32ch-Y2	154
A.262被験者 C-32ch-Y3	155
A.263被験者 C-32ch-Y4	155
A.264被験者 C-32ch-Y5	155
A.265被験者 C-32ch-Y6	156

目次

A.266被験者 C-32ch-Y7	156
A.267被験者 C-32chMB-Y1	157
A.268被験者 C-32chMB-Y2	157
A.269被験者 C-32chMB-Y3	158
A.270被験者 C-32chMB-Y4	158
A.271被験者 C-32chMB-Y5	158
A.272被験者 C-32chMB-Y6	159
A.273被験者 C-32chMB-Y7	159
A.274被験者 D-12ch-Y1	160
A.275被験者 D-12ch-Y2	160
A.276被験者 D-12ch-Y3	161
A.277被験者 D-12ch-Y4	161
A.278被験者 D-12ch-Y5	161
A.279被験者 D-12ch-Y6	162
A.280被験者 D-12ch-Y7	162
A.281被験者 D-32ch-Y1	163
A.282被験者 D-32ch-Y2	163
A.283被験者 D-32ch-Y3	164
A.284被験者 D-32ch-Y4	164
A.285被験者 D-32ch-Y5	164
A.286被験者 D-32ch-Y6	165
A.287被験者 D-32ch-Y7	165
A.288被験者 D-32chMB-Y1	166
A.289被験者 D-32chMB-Y2	166
A.290被験者 D-32chMB-Y3	167
A.291被験者 D-32chMB-Y4	167

図目次

A.292被験者 D-32chMB-Y5	167
A.293被験者 D-32chMB-Y6	168
A.294被験者 D-32chMB-Y7	168
A.295被験者 E-12ch-Y1	169
A.296被験者 E-12ch-Y2	169
A.297被験者 E-12ch-Y3	170
A.298被験者 E-12ch-Y4	170
A.299被験者 E-12ch-Y5	170
A.300被験者 E-12ch-Y6	171
A.301被験者 E-12ch-Y7	171
A.302被験者 E-32ch-Y1	172
A.303被験者 E-32ch-Y2	172
A.304被験者 E-32ch-Y3	173
A.305被験者 E-32ch-Y4	173
A.306被験者 E-32ch-Y5	173
A.307被験者 E-32ch-Y6	174
A.308被験者 E-32ch-Y7	174
A.309被験者 E-32chMB-Y1	175
A.310被験者 E-32chMB-Y2	175
A.311被験者 E-32chMB-Y3	176
A.312被験者 E-32chMB-Y4	176
A.313被験者 E-32chMB-Y5	176
A.314被験者 E-32chMB-Y6	177
A.315被験者 E-32chMB-Y7	177
A.316被験者 F-12ch-Y1	178
A.317被験者 F-12ch-Y2	178

図目次

A.318被験者 F-12ch-Y3	179
A.319被験者 F-12ch-Y4	179
A.320被験者 F-12ch-Y5	179
A.321被験者 F-12ch-Y6	180
A.322被験者 F-12ch-Y7	180
A.323被験者 F-32ch-Y1	181
A.324被験者 F-32ch-Y2	181
A.325被験者 F-32ch-Y3	182
A.326被験者 F-32ch-Y4	182
A.327被験者 F-32ch-Y5	182
A.328被験者 F-32ch-Y6	183
A.329被験者 F-32ch-Y7	183
A.330被験者 F-32chMB-Y1	184
A.331被験者 F-32chMB-Y2	184
A.332被験者 F-32chMB-Y3	185
A.333被験者 F-32chMB-Y4	185
A.334被験者 F-32chMB-Y5	185
A.335被験者 F-32chMB-Y6	186
A.336被験者 F-32chMB-Y7	186

表目次

2.1 fMRI の特徴	9
4.1 Motor Voxel の座標一覧	21
5.1 被験者 A-12ch : rest 時の穴情報	26
5.2 被験者 A-12ch : tapping 時の穴情報	26
5.3 被験者 A-32ch : rest 時の穴情報	28
5.4 被験者 A-32ch : tapping 時の穴情報	28
5.5 被験者 A-32chMB : rest 時の穴情報	29
5.6 被験者 A-32chMB : tapping 時の穴情報	29
5.7 被験者 B-12ch : rest 時の穴情報	30
5.8 被験者 B-12ch : tapping 時の穴情報	30
5.9 被験者 B-32ch : rest 時の穴情報	31
5.10 被験者 B-32ch : tapping 時の穴情報	31
5.11 被験者 B-32chMB : rest 時の穴情報	32
5.12 被験者 B-32chMB : tapping 時の穴情報	32
5.13 被験者 C-12ch : rest 時の穴情報	33
5.14 被験者 C-12ch : tapping 時の穴情報	33
5.15 被験者 C-32ch : rest 時の穴情報	34
5.16 被験者 C-32ch : tapping 時の穴情報	34
5.17 被験者 C-32chMB : rest 時の穴情報	35
5.18 被験者 C-32chMB : tapping 時の穴情報	35
5.19 被験者 D-12ch : rest 時の穴情報	36
5.20 被験者 D-12ch : tapping 時の穴情報	36

表目次

5.21 被験者 D : rest 時の穴情報	37
5.22 被験者 D : tapping 時の穴情報	37
5.23 被験者 D-32chMB : rest 時の穴情報	38
5.24 被験者 D-32chMB : tapping 時の穴情報	38
5.25 被験者 E-12ch : rest 時の穴情報	39
5.26 被験者 E-12ch : tapping 時の穴情報	39
5.27 被験者 E : rest 時の穴情報	40
5.28 被験者 E : tapping 時の穴情報	40
5.29 被験者 E-32chMB : rest 時の穴情報	41
5.30 被験者 E-32chMB : tapping 時の穴情報	41
5.31 被験者 F-12ch : rest 時の穴情報	42
5.32 被験者 F-12ch : tapping 時の穴情報	42
5.33 被験者 F : rest 時の穴情報	43
5.34 被験者 F : tapping 時の穴情報	43
5.35 被験者 F-32chMB : rest 時の穴情報	44
5.36 被験者 F-32chMB : tapping 時の穴情報	44
5.37 被験者 A-32ch-Y2,6,7 : rest 時の穴情報	45
5.38 被験者 A-32ch-Y2,6,7 : tapping 時の穴情報	45
5.39 被験者 B-12ch-Y7 : rest 時の穴情報	47
5.40 被験者 B-12ch-Y7 : tapping 時の穴情報	47

第 1 章

序論

近年、脳情報デコーディングの研究が活発に行われている。脳情報デコーディングは、その人が何かを見ている時や、運動、知覚、認知している時の脳活動を fMRI を用いて計測し、その脳活動を SPM や MVPA などを用いて解析を行い、SVM(Support Vector Machine) やニューラルネットワークなどを用いて機械学習を行う。このようにして得られた予測モデルを用いて、計測した脳活動から脳の状態を解読する技術である。

通常、画像や音声を認識するためには、認識対象の画像や音声の違いをよく表した特徴を用いることが重要であり、何らかの特徴抽出を行う。しかし、fMRI による脳解析においては、確立された特徴が存在せず、生データ（ノイズ軽減などの前処理を行う）を用いて機械学習を行っており、fMRI データは何十万ものボクセル情報を有しているため次元の呪いが発生する。

そこで、本研究では fMRI データにおける特徴抽出に、新しいデータ分析手法として注目されているトポロジカルデータ分析 (Topological Data Analysis:TDA) を用いることを考える。TDA は、位相幾何学を用いてデータの分布の形状を見ることで新たな知見を得る手法であり、様々な分野で応用され始めている。TDA にはデータの分布の形状を捉える手法がいくつか提案されているが、本研究では Persistent Homology を用いる。Persistent Homology とは、データの点の直径を変化させてそれに対する穴の発生と消滅の情報を見ることで、データ集合の特徴や異なるデータ集合との違いを見るものである。この Persistent Homology と Deep Learning(DL) を組み合わせた技術による脳波の時系列データから状態推定を行う分類について、既存手法に比べて 20%精度が向上したと報告されている。そこで、fMRI データに TDA を応用することで、新しい有益な知見を得られるのではないかと

考える [1].

本研究では、fMRI 装置を用いて被験者の指のタッピング運動をしている (tapping) 時と何もしていない (rest) 時の脳活動を計測する。この時、12ch ヘッドコイル、32ch ヘッドコイル、32ch マルチバンド撮像法のそれぞれで計測を行うことで、S/N 比の違う 3 つの計測法が TDA の解析結果に及ぼす影響についても検証を行う。そして、得られた fMRI データから特定ボクセルの時系列データを抽出し、それらを TDA を用いた 3 つの手法で解析を行うことで、TDA を用いた fMRI データ解析の可能性、従来手法では得られない情報を得られるかについて検証を行う。

本論文の構成は、第 2 章では、本研究に用いる要素技術である TDA、TDA で利用されている位相幾何学、脳計測に用いる fMRI 及び脳情報デコーディングについて記す。第 3 章では、実験及び解析として、TDA で解析する fMRI データを得る被験者実験、TDA を用いた解析の前処理、TDA を用いた解析について記す。第 4 章で、第 3 章で行った解析結果を示し、第 5 章で考察を述べる。第 6 章で、本研究の結論を述べる。

第 2 章

関連研究

Brain-Machine Interface(BMI) は，脳の神経活動を何らかの方法で計測し，得られた情報を解読することで，人の脳の状態や気持ち，意思などを推定し，機械の動作制御を行うなど，人の身体の補助を目指すものである．Brain-Computer Interface(BCI) とは，脳とコンピュータ間で直接情報のやり取りを行うシステムであり，身体を動かすことなく考えただけでコンピュータに情報を入力したり，機械を操作するものである．

脳情報デコーディングの研究が近年活発であり，BCI への応用も期待されている．脳情報デコーディングとは，人が知覚した内容や体動，心の内部状態等とその時の脳活動を計測し，脳活動解析を行う．そして，人が知覚した内容や体動，心の内部状態等とその時の脳活動と脳活動の関係を機械学習アルゴリズムを用いて学習することで予測モデルを構築する(図 2.4)．これにより，脳活動の情報のみから，予測モデルにより心の内部状態などの推定を行うというものである(図 2.5)[2]．それぞれの具体的な処理内容を以下に示す．

1. 脳活動計測

人の脳活動を計測する方法として，機能的磁気共鳴画像法 (functional Magnetic Resonance Imaging : fMRI)，陽電子放出断層画像 (Positron Emission Tomography : PET)，近赤外分光法 (Near InfraRed Spectroscopy: NIRS)，脳波 (Electroencephalography : EEG)，脳磁図 (Magnetoencephalography : MEG) などがある．脳情報デコーディングの研究において主に用いられるのは，強い磁場を用いて生体組織を画像化する fMRI である．その理由として，以下の 3 つが挙げられる．1 つ目は，fMRI は PET と

比較して放射線被曝がないということ、2つ目は、NIRS や EEG などは空間分解能が 3 cm 程度であるのに対し、fMRI は条件によっては 1 画素あたり 1 mm 程度の空間分解能での計測が可能であるということ、3つ目は、深部を含めた脳全体の活動を計測することができることである (表 2.1).

この fMRI の原理は、まず MRI 装置によって生み出される強い静磁場により体内の水素原子の向きを捉え、126MHz の電磁波 (RF) を当てることで水素原子に共鳴を起こしす (励起). その後、RF パルスを止めると、励起された水素原子が電磁波を放出し、励起前の状態に戻る (緩和). この時に出る磁気共鳴 (MR) 信号を受信し、画像を得る. fMRI で得られた画像は、脳の賦活を直接的に示しているわけではなく、脳が賦活した可能性の高さを示しており、この賦活の可能性の高さは 1989 年に小川誠二により発見された BOLD(Blood Oxygenation Level Dependency) 効果の原理に基づいて推定している [5][6].

BOLD 効果のメカニズムの流れとしては、まず人の脳では、定常状態において酸素は血中のヘモグロビンと結びついた酸化ヘモグロビン (oxy-Hb) として組織に運ばれる. 神経細胞が活動すると、酸化ヘモグロビンの酸素が組織中に放出され、酸素を含まない還元ヘモグロビンとなり静脈に運ばれる (図 2.1). 脳が賦活状態になり、神経細胞が活発に活動すると酸素消費量が増加し、一時的に酸素濃度の低下を起こす (図 2.2). これを回避するために脳血流量は増加し、それに伴い酸化ヘモグロビンも増加する. すると、神経細胞は酸素を消費しきれなくなり、その結果、神経細胞周辺の酸化ヘモグロビン濃度が上昇し、還元ヘモグロビン濃度が相対的に低下する (図 2.3)[4]. 酸化ヘモグロビンは反磁性体であるのに対し、還元ヘモグロビンは常磁性体と磁性が異なる. 定常状態時は常磁性体である還元ヘモグロビンがもともとの磁場の不均一をもたらし、MR 信号を減少させているが、血流増大時は還元ヘモグロビンの濃度が減少するため、MR 信号が増加する. この MR 信号の増加から、脳が賦活した可能性を推定している [3].

2. 脳活動解析

fMRI で得られた脳活動データを解析する手法として、SPM(Statistical Parametric Mapping) や MVPA(Multivariate Pattern Analysis) などが用いられる。

SPM とは、Functional Imaging Laboratory, University College London のメンバーによって開発された統計解析ソフトウェアである [9]。SPM では、fMRI で得られた脳活動データにおいて、個々のボクセルに対して別々の統計を行っている。具体的には、個々のボクセルで分散を計算し、その結果から個々のボクセルに対して t 検定を行う。そして有意差の出たボクセルを表示する [7]。

この個々のボクセルに対して処理を行う SPM に対して、MVPA では複数のボクセルをパターンとして扱う。というのも、現在、fMRI 実験で用いられているボクセルサイズは $3\text{ mm} \times 3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ の立方体であり、これは脳神経細胞のサイズに比べて非常に大きい。そのため、異なる現象に反応するニューロンがひとつのボクセルに含まれてしまう。そこで、MVPA は複数ボクセルとそれらのボクセルの MR 信号値の強さをパターンとして扱うことで、SPM よりも高精度な解析を目指す [8]。

3. 機械学習

脳活動解析結果と人が知覚した内容や体動、心の内部状態等の関係を学習する機械学習アルゴリズムとして、SVM(Support Vector Machine) やニューラルネットなどが挙げられる。

SVM とは、1995 年頃に V. Vapnik らが提案したパターン認識用の教師あり機械学習であり、汎化能力が高く、高いパターン認識能力を持つとされている。SVM は最適化問題を解くことで、識別したいクラスのデータとの距離が最大になるような識別境界を求める手法である。図 2.6 が、SVM の原理を示した図である。2 次元特徴空間上に複数のベクトルが存在し、それらのベクトルはクラス A とクラス B のいずれかに属するとする。各クラスのベクトルで、もっとも他クラスと近い位置にいるものをサポー

トベクトルという [10]. このサポートベクトルを基準として、マージンが最大になるような識別境界を求める. これにより、汎化能力を高めることができ、未知の入力ベクトルに対しても正確な識別が可能になる. また、SVM は図 2.7 の元の特徴空間では線形分離不可能な場合でも、カーネルトリックを用いることで線形分離を行うことができる. この方法は、元のデータ (図 2.7(左)) を非線形変換し、高次元特徴空間に写像し (図 2.7(右)), 写像した空間内で線形分離を行うことと等価である.

この SVM は、脳情報デコーディングに用いられる 4 つの機械学習アルゴリズム (SVM, ニューラルネットワーク, ランダムフォレスト, Sparse Logistic Regression) の精度や速度を比較した小池の研究において、性能、速度ともに最も高い性能を発揮し、先行研究で用いられることが多かった [11].

ニューラルネットワークは、人間の脳神経回路の構造を模倣することによって、データを分類する教師あり機械学習である [14].

人間の脳はニューロンと呼ばれる神経細胞のネットワークで構成されており、あるニューロンは他のニューロンと接続されているシナプス (他のニューロンとの接合部分) から電気刺激を受け取る. その電位が閾値を超えると発火し、次のニューロンに電気刺激を伝達する. このニューロンを模倣したモデルを図 2.8 に示す. ニューラルネットワークは、これを数学的に表現することで学習を行う. アルゴリズムは、まずあるニューロンが他のニューロンから 0 か 1 の値を受け取り、その値に何らかの重み (ニューロン同士の繋がり の強さ) をかけて足し合わせる. 足し合わせた結果、閾値を超えた場合は 1, 超えなかった場合は 0 になり、次のニューロンに値を受け渡す (2.8). 学習する際にはこの重みづけが重要になる. 例えば、学習として、入力を 2 と 3, 出力として入力 の 2 つを掛け合わせた 6 を与えたとすると、これを満たすように重みを変更する. そして、入力を 2 つと出力として入力 の 2 つを掛け合わせた数を 1 つを与え、重みを変更するということを何度か繰り返す. すると、学習で使わなかった数を入力として 2 つ与えると、入力 の 2 つを掛け合わせた数が結果として出力されるようになる. つまり、入力と出力に対する重みの変更を学習することで、最適な値を出力できるようになる [12][13].

ニューラルネットワークは、脳情報デコーディングに用いられる 4 つの機械学習アルゴリズム (SVM, ニューラルネットワーク, ランダムフォレスト, Sparse Logistic Regression) の精度や速度を比較した小池の研究において、最も低い性能であった。ただし、ハードウェアの性能が向上し、大規模なマルチコア CPU による並列処理が可能になった場合、アルゴリズムの並列化によりこの結果は覆る可能性があると考えられている。

以上の手法により、脳情報デコーディングを行うのが一般的であったが、一つ問題が挙げられると考える。それは、SPM や MVPA を用いた脳活動解析は各ボクセルの値の大小または複数ボクセルをパターンとして扱っているだけで、特徴抽出をしているわけではなく、機械学習にかけているデータはノイズ軽減などの前処理されただけの生データであるということである。fMRI データは何十万ものボクセル情報を有しているため、そのまま機械学習を行うには「次元の呪い」という問題が発生する。これは、特徴空間における距離に差がない、そして必要な学習パターン数が指数関数的に増加するというものである。

過去の研究では、脳神経学の研究結果に基づき選択した領域内のボクセルデータを使用したり、中路の研究では全ボクセルの相関をとり、相関の大きいボクセルデータを使用するなど、ボクセルを選択することで次元削減を行い、次元の呪いを回避している [10]。

本研究では、fMRI データの次元削減を行うだけでなく、特徴抽出も行うことで、脳情報デコーディングにおける問題の解決を目指す。

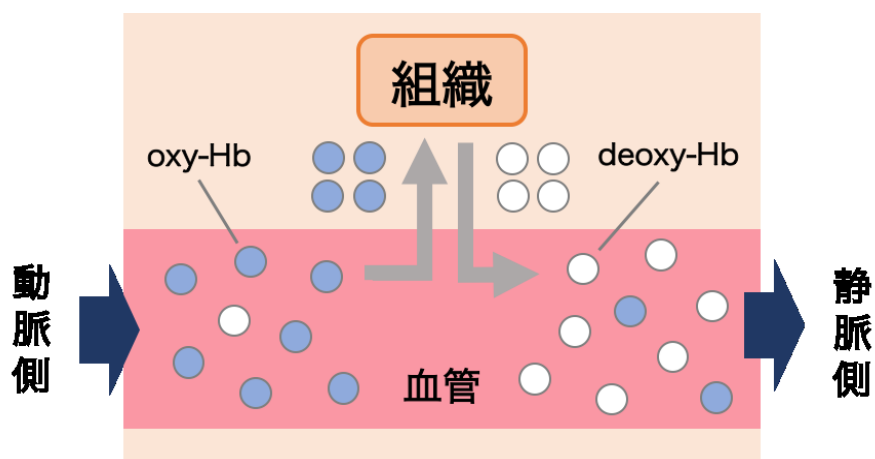


図 2.1 BOLD 効果のメカニズム：定常状態

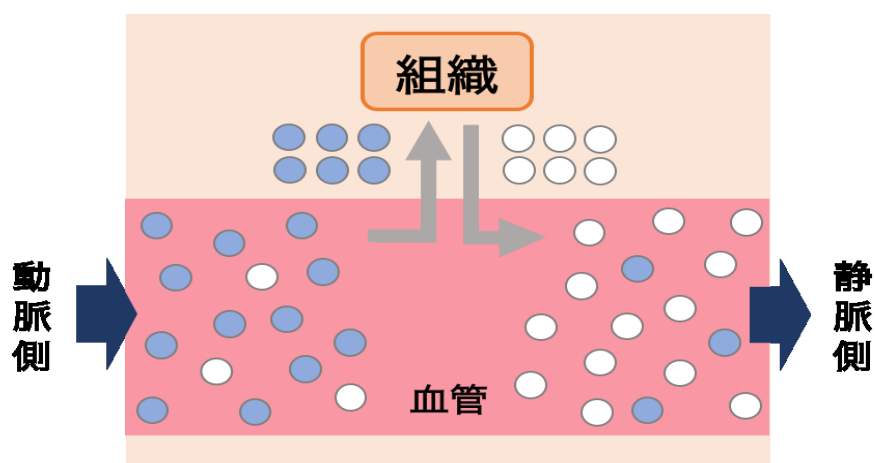


図 2.2 BOLD 効果のメカニズム：賦活状態

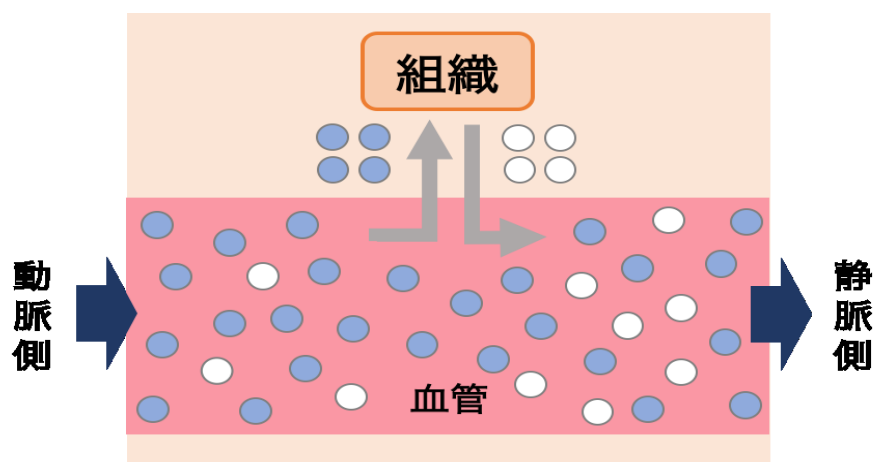


図 2.3 BOLD 効果のメカニズム：血流量増大

表 2.1 fMRI の特徴

長所	短所
・ 放射線被曝がない ・ 空間分解能に優れる ・ コントラスト分解能に優れる ・ あらゆる角度の断面が撮像できる	・ 全脳撮像の場合には時間分解能がそれほど高くない ・ 金属を持ち込めない ・ 刺激に用いる道具に制限がある ・ 体内に磁性体の金属 (心臓ペースメーカーなど) がある被験者は実験できない ・ 金歯や銀歯などの金属の周囲には特有のアーチファクトが現れる

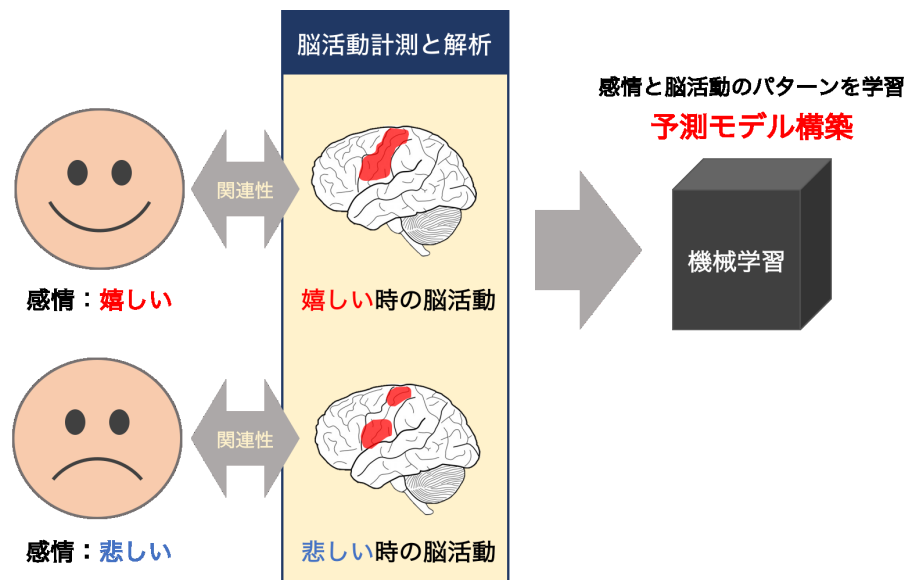


図 2.4 脳情報デコーディング (感情の予測モデル構築)

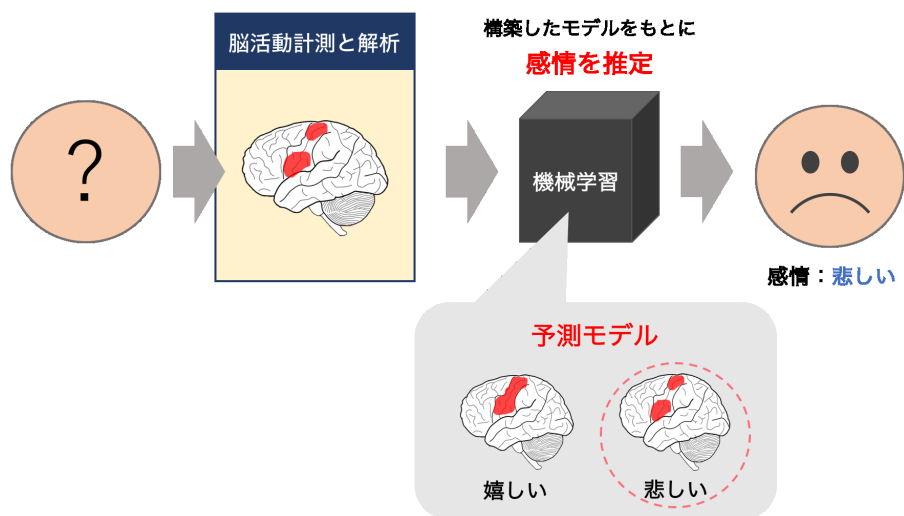


図 2.5 脳情報デコーディング (感情の推定)

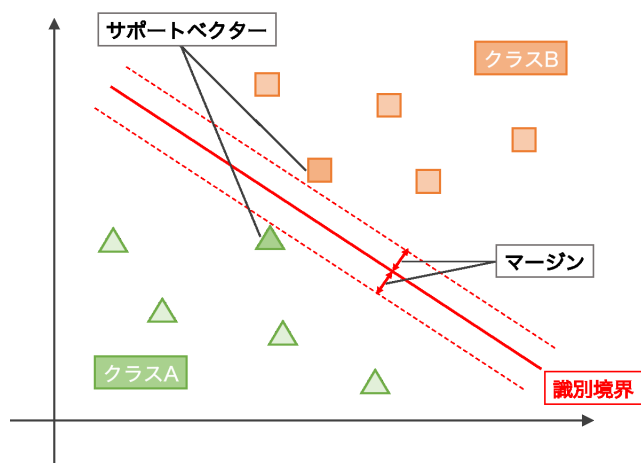


図 2.6 SVM の原理

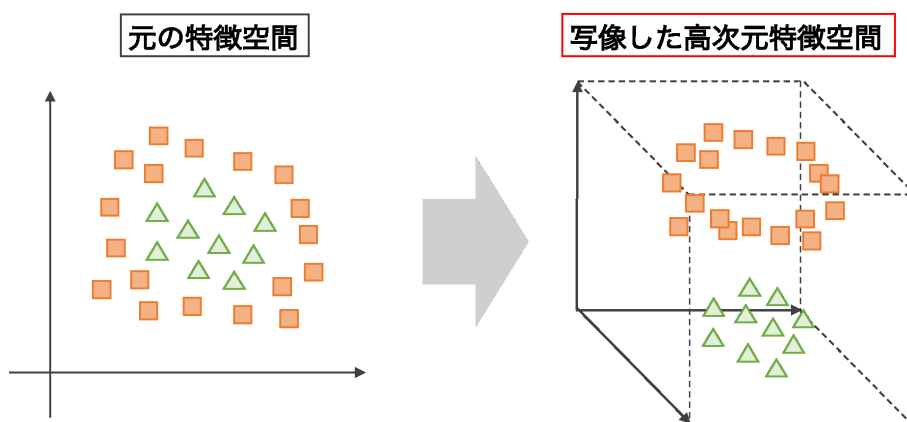


図 2.7 特徴空間の写像

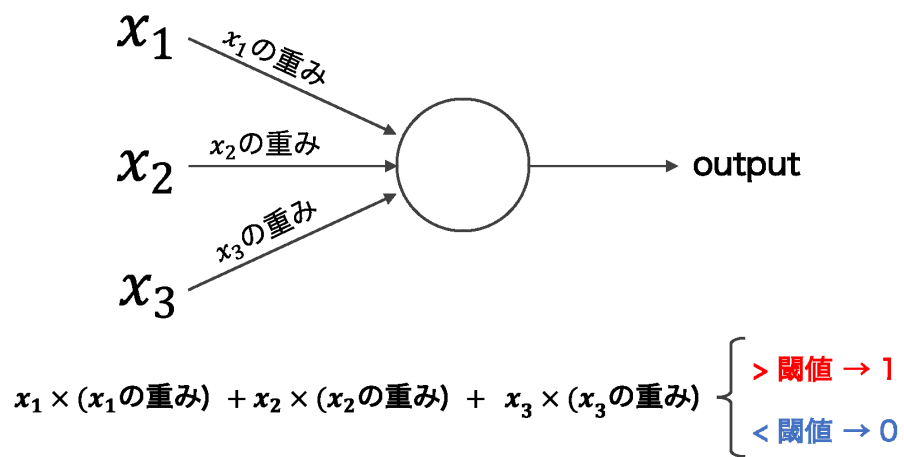


図 2.8 ニューロンを模倣したモデルとアルゴリズム

第 3 章

提案手法

本研究では、fMRI データの次元削減、特徴抽出としてトポロジカルデータ分析 (Topological Data Analysis:TDA) を用いる。TDA は、位相幾何学を用いたデータ分布の形状に着目する新しいデータ分析手法であることから、従来手法とは違う新たな知見を得られることが期待されている。

位相幾何学 (Topology) とは、角度や距離などの様々な幾何学的な性質が失われても残る性質を見るものである。角度や距離などが考慮されない。位相幾何学は、図形を連続的に変形 (切り貼り無しの変形) することが許され、それでも残る性質つまり位相不変量を研究する分野である。本研究では、位相不変量のうち「穴」に着目する。例えば、ドーナツと取っ手のついたコーヒーカップは位相幾何学では同じ性質と捉える。これは、コーヒーカップを変形すればドーナツのような形になりうるからである。

位相幾何学における穴には図 3.1 に示すように、単にデータ点の間の空間を意味する 0 次の穴、一般的な穴のイメージである 1 次の穴、空洞を意味する 2 次の穴というように種類がある。

これらの穴の間の代数構造を定義したものがホモロジー群である。1 次元の穴は、境界のない 1 次元図形で、かつ 2 次元図形の境界になっていない (図 3.2)、2 次元の穴は、境界のない 2 次元図形で 3 次元図形の境界になっていない (図 3.3) という特徴があり、この境界に着目した定式化を行うことで代数化する [15]。ホモロジー群を用いて穴の情報を計算することで、図形のあり方やものの形を求めることをホモロジー理論という。

このホモロジー理論を応用したものが、TDA におけるデータ分布の形状を捉える手法の

一つである Persistent Homology である。Persistent Homology は、データの点の直径の変化に伴う穴の発生と消滅の情報を見ることでデータ全体の形を捉えるものである (図 3.4)。ホモロジー理論を用いてデータ分布の穴の情報を見ようとする、データの集合自体は点の集合であるため、どのようなものを穴とするかという問題がある。また、穴の形状が違うものの区別ができないという問題もある。そこで、Persistent Homology では、データの点をボール状に膨らませることで、連結した図形の穴に着目する。そして、穴の形状により穴の発生と消滅のタイミングは異なるため、形状の違いを捉えることも可能である。

データの点の直径の変化に伴う穴の発生と消滅の情報を可視化する代表的な技術として、Persistent Diagram とバーコードがある。

Persistent Diagram は、穴が発生した時のデータの点の直径を x 軸、穴が消滅した時のデータの点の直径を y 軸にとり、座標上の点としてプロットすることで、具体的な点の配置情報を可視化する。データが正方形と菱形に分布しているものを Persistent Homology で解析し、Persistent Diagram で可視化したものを図 3.5 に示す。丸でプロットされているのは 0 次の穴、三角でプロットされているものは 1 次の穴を示す。0 次の穴は最初から存在しているため、 x 軸の 0 に近い場所にプロットされ、データの点が連結した時のデータの点の直径が y 軸の値になる。1 次の穴は、対角線より離れているほど穴は大きいことを示し、近いほど穴は小さいことを示す。図 3.5 を見ると、正方形に分布しているデータの方が、菱形に分布しているデータより大きい穴が生じているため、Persistent Diagram では対角線から離れている場所にプロットされていることが分かる。

バーコードは、各穴の穴発生時のデータの点の直径と穴消滅時のデータの点の直径を結んだものをプロットすることで、データ集合の配置やバランス情報を可視化する。バーコードを図 3.6 に示す。縦軸は穴の数を示し、横軸は穴の発生時間を示す。0 次の穴は最初から存在しているため、始点は 0 になり、データの点が連結した時のデータの点の直径が終点となる。直線が長いほど、他の点と離れていることを示す。1 次の穴は、直線が長いほど穴は大きいことを示し、短いほど穴は小さいことを示す。バーコードにおいて、データの分布が規則的に並んでいるほど、0 次の穴の直線は同じような長さになり、1 次の穴の直線は短いも

のがほぼ同時に現れる．データの分布がランダムな場合ほど，0 次の穴の直線の長さはバラバラになり，1 次の穴の直線は長さも現れるタイミングもバラバラになる．

Persistent Homology におけるデータの点の直径の変化に伴う穴の発生と消滅の情報は，データの形を表現する「数値」として表現できる．データの形を数値化できたことで，機械学習にデータの形に関する情報を加えることも可能になる [16]．

TDA を用いた研究で，Persistent Homolgy とディープラーニングを組み合わせ，脳波の時系列データから状態推定を行うものがあり，既存手法に比べて 20%精度が向上したという報告がある．

以上のように，TDA は脳のデータ解析の応用もされ始めているだけでなく，距離に依存せず，2 次元に圧縮可能であることから，次元の呪いの回避が期待される．

本実験では，被験者は指のタッピング運動 (tapping) と何もしていない状態 (rest) を交互に行い，この時の脳活動を fMRI 装置を用いて計測を行う．タッピング運動は指を動かし続けている限り脳が活動し続けるため，fMRI の時間分解能が他の脳活動計測方法に比べて劣るという問題は影響しないと考える．

fMRI 装置を用いて脳活動を計測する際は，12ch ヘッドコイルと 32ch ヘッドコイル，32ch ヘッドコイルを用いたマルチバンド撮像法を用いて計測を行う．12ch ヘッドコイルは 32ch ヘッドコイルに比べて空間が広いため，視線追跡用の計測機器を取り付けることができるなど，他の計測機とを使いつつ脳活動を計測する同時計測実験に用いられることが多い．これに対して，32ch ヘッドコイルは 12ch ヘッドコイルに比べてチャンネル数が多く，感度領域が狭くなるため，信号を得られやすくノイズの少ない脳活動が計測できる．32ch ヘッドコイルを用いてマルチバンド撮像法は，一度に脳の複数断面をスキャンすることが可能であるため，12ch ヘッドコイルや 32ch ヘッドコイルを用いた通常の計測より多くのスキャンを同じ時間で得られるというものである．

得られた fMRI データから，従来手法でも着目されるボクセルの時系列データ，従来手法では着目されない場所のボクセルの時系列データを抽出し，TDA を用いて解析を行う．これらにより，S/N 比の違う 3 つの計測方法が TDA を用いた解析結果に及ぼす影響，fMRI

データにおける TDA の有用性，従来手法では得られない情報が得られるかについて検証を行う．



図 3.1 穴の種類

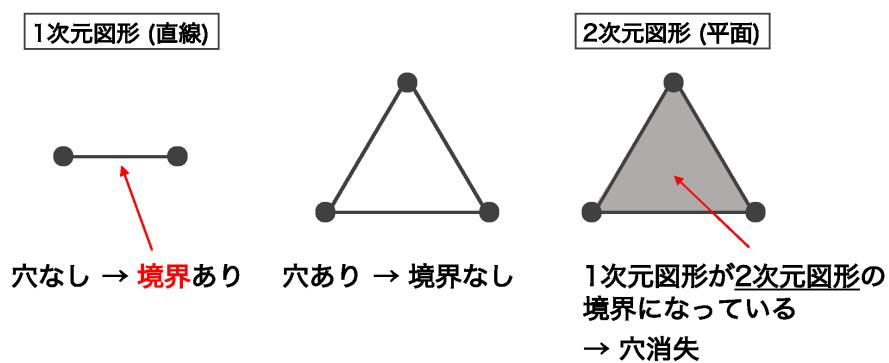


図 3.2 1次元の穴の特徴

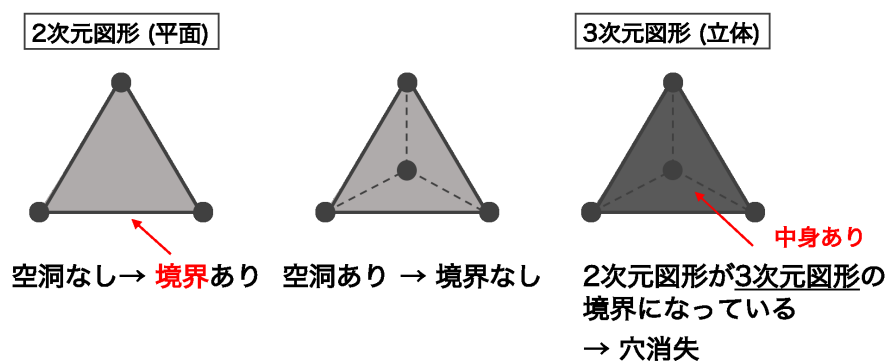


図 3.3 2次元の穴の特徴

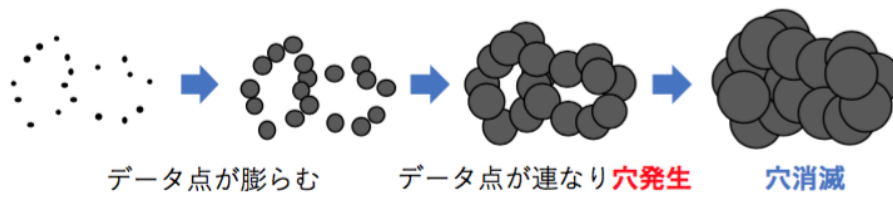


図 3.4 データの点の直径の変化に伴う穴の発生と消滅

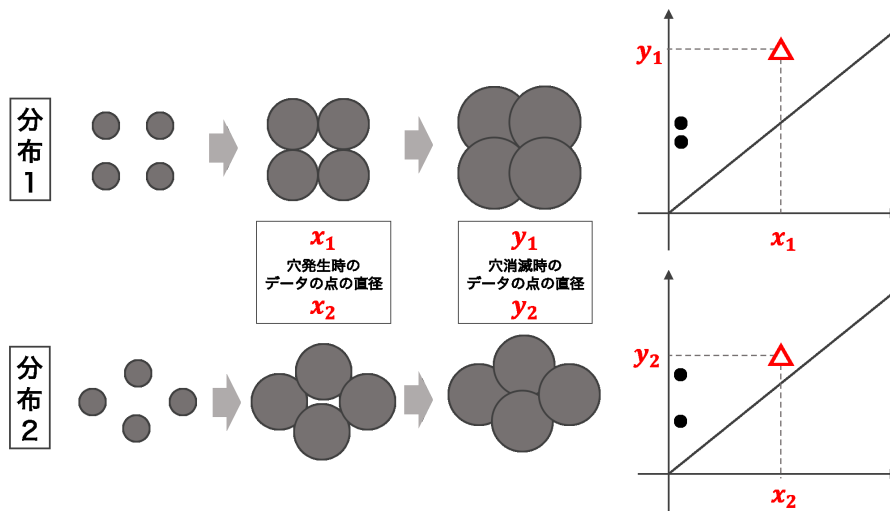


図 3.5 Persistent Diagram

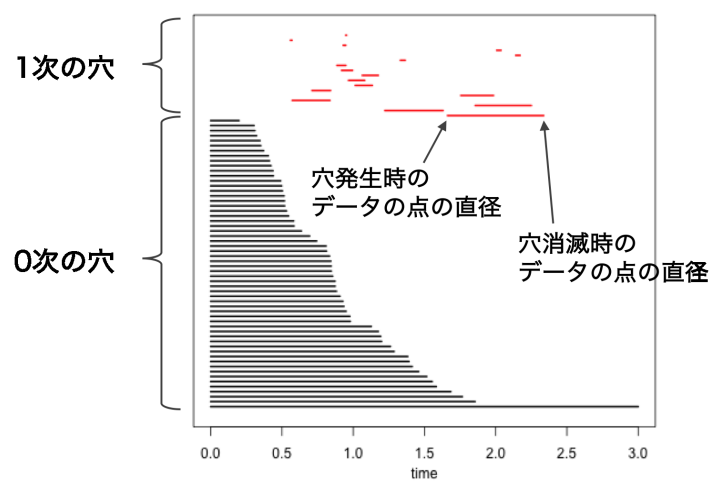


図 3.6 バーコード

第 4 章

実験および解析

4.1 fMRI を用いた脳活動計測実験

4.1.1 被験者

本実験の被験者は、心身ともに健康な 21 歳から 22 歳の学生 5 人 (うち男性 2 名, 女性 4 名) であり, 全員右利きである. 各被験者には, fMRI 装置の原理や実験内容, 所要時間, 安全性, 個人情報保護についての説明を十分に行い, 同意を得る.

4.1.2 計測機器

本研究では, 高知工科大学が保有する fMRI 装置として SIEMENS 社の MAGNETOM Verio(3T) を用いて脳活動の計測を行う. この時, コイルの S/N 比の違いの影響を確かめるため 12ch ヘッドコイルと 32ch ヘッドコイルを用いて TR3000 ms として計測を行う. また, 32ch ヘッドコイルでのマルチバンド撮像法 (以下, 32ch マルチバンド) でも TR1000 ms として計測を行う.

4.1.3 実験デザイン

実験デザインは, 図 4.1 のブロックデザインとする. 本実験におけるタッピング運動では, 被験者に利き手ではない手 (全員左手) で親指と人差し指, 親指と中指といったように, 親指とそれ以外の指を順番にくっつけて離してを繰り返してもらう. また, 慣れてきた場合は早く正確にタッピング運動を行ってもらう.

4.2 解析前処理

1 回の試行で被験者は、何もしていない (レスト) 状態を 30 秒間、タッピング運動をしている (タッピング) 状態を 30 秒間を交互に 6 回ずつ行う。1 試行 360 秒間脳活動を計測する。12ch ヘッドコイル, 32ch ヘッドコイル, 32ch マルチバンド撮像法を用いて各 1 試行ずつ, 計 3 試行の脳活動を計測する。

12ch ヘッドコイル, 32ch ヘッドコイルを用いた脳活動の計測では 1 ブロック 10 スキャンであり, 全ブロックで 120 スキャン, 32ch ヘッドコイルマルチバンド撮像法を用いた脳活動の計測では 1 ブロック 30 スキャン, 全ブロックで 360 スキャンとなる。

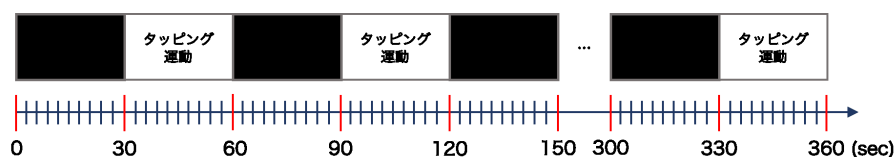


図 4.1 実験デザイン (1 試行分)

4.2 解析前処理

TDA を用いた解析を行う前処理として, 特定ボクセルの時系列データ抽出と分別を行う。特定ボクセルの時系列データの抽出には SPM12(Statistical Parametric Mapping) を用いる。

4.2.1 SPM における解析のための画像変換

fMRI 装置で得られる脳画像は DICOM 形式で保存されるため, SPM で解析処理を行うために NIfTI 形式に変換する。画像変換にはフリーソフトウェアである MRIConvert[17] を用いる。

4.2.2 SPM における解析の前処理

SPM における解析の前処理として, 以下の順番で各処理を行う。

4.2 解析前処理

1. Realignment

1 試行目の最初の fMRI データの脳画像に、それ以降の脳画像の位置を合わせることで、実験中に体動や心拍などによる頭部の動きに伴う脳画像の変動を補正する処理を行う。

2. Normalisation

被験者によって脳の形状、大きさは異なる。そのため、Realignment 処理済みの fMRI データの平均画像を計算し、その平均画像が MNI(Montreal Neurological Institute) 標準脳のテンプレート画像に合致するような変換式を求める。そして、この式をすべての Realignment 処理済みの fMRI データの脳画像に適用することで、標準化する。

3. Smoothing

Realignment や Normalisation の処理によって生じた fMRI データの脳画像の様々なノイズを取り除き、Normalisation により補正しきれない個人間の脳構造の違いを緩和する。

4.2.3 個人解析および特定ボクセルの時系列データ抽出

SPM12 を用いて、各被験者について個人解析、ボクセルの選択、時系列データ抽出を行う。TDA 解析では、全ボクセルの時系列データの解析を行うこともできるが、実際に解析してもほとんど差が出なかった。そこで、ボクセルをいくつか選択し、解析を行う。本研究におけるボクセルの選択方法として検討した 2 種類とそれらの時系列データ抽出方法について、以下に示す。

Active Voxel : タッピング時に賦活している 10 ボクセル

まず、SPM12 を用いて個人解析を行い、タッピング時に賦活してるボクセルを特定する。個人解析の流れを以下に示す。

1. デザインマトリクス (Design Matrix) を作成し、前処理が完了した fMRI データを GLM に組み込む

4.2 解析前処理

2. GLM の説明変数の偏回帰係数を計算する
3. 条件のコントラストを作成する

有意水準は 10^{-6} (uncorrected) に設定し、タッピング時の賦活ボクセルを特定する。ただし、有意水準 10^{-6} にて賦活ボクセル数が 10 より少なかった場合、有意水準の値は大きくする。

タッピング時の賦活ボクセルの特定ができれば、 t 値の高い上位 10 ボクセルの時系列データをそれぞれ抽出する。この 10 ボクセルを Active Voxel とする。抽出したデータには、そのボクセルのスキャン数分の Z スコアが 1 列に記録されている。 Z スコアとは、あるボクセルにおける水素原子の反応の大きさの値 x_i が分布の中でどの辺りに位置するかを、平均値 0、標準偏差 1 の標準正規分布に置き換え表したものである。 Z - score は以下の式で導かれる。

$$Z \text{ スコア} = \frac{x_i - \mu}{\sigma}$$

(x_i : i 個目のボクセル値, μ : 平均, σ : 標準偏差)

x_i が平均値と等しければ Z スコアは 0 となり、平均より高い値ならプラスの値、低ければマイナスの値となる [18]。

Motor Voxel : タッピング運動との関連が予測される 7 ボクセル

Active Voxel とは別に、SPM では活動が観測されなかったボクセルも調べる。ブロードマン地図に従って、タッピング運動との関連が予測されるブロードマンエリア 1~4 から 7 ボクセルを選択する。ブロードマンエリアからボクセルを選択するには、各ブロードマンエリアとそのエリア内のボクセルの Talairach 座標情報を有する Brede データベースを利用する [19]。Talairach 座標とは、神経学者であるタライラッハが脳の正中と前交連の交点を 0 とし、脳に座標を設定したものである。ブロードマンエリア 1~4 それぞれの領域内にはいくつものボクセルが含まれているため、各エリアの複数あるボクセルの平均座標を求める。なお、各エリアが右脳左脳の両方にある場合は、右脳左脳のそれぞれの平均座標を求める。

4.2 解析前処理

次に，求めたブロードマンエリア 1～4 における平均座標を Talairach 座標から MNI(Montreal Neurological Institute) 座標に変換する．Talairach 座標は，平均より小さいサイズの脳を持つ 60 歳のフランス人女性の死後の脳を基にして作られているため，個人の脳に適合すると，誤差が生じてしまう [5]．MNI 座標は，Talairach 座標の軸と大まかな比率は大体一致しているものの，数百人に及ぶ個人の脳を基に作られた．よって，Talairach 座標と MNI 座標は一致せず，また，SPM12 では MNI 座標が用いられているため，変換する必要がある．Talairach 座標から MNI 座標に変換するには，MATLAB 関数 tal2mni.m を用いる [20]．

MNI 座標に変換したブロードマンエリア 1～4 における平均座標から，そのボクセルの時系列データ抽出を行う．Active Voxel と同様に，SPM12 を用いて 1～3 の流れで個人解析を行う．SPM では賦活しているボクセルの時系列データでなければ抽出できなかったため，有意水準は 1 に設定し，全ボクセルが賦活している状態にすることで，どのボクセルの時系列データでも抽出できるようにする．そして，MNI 座標に変換したブロードマンエリア 1～4 における平均座標を SPM に入力して時系列データを抽出する．ただし，SPM に入力する際に座標値が奇数のものは偶数に強制的に変換される．以上の過程で求めた座標の示すボクセルを Motor Voxel とし，その座標を図 4.1 に示す．

表 4.1 Motor Voxel の座標一覧

データ名	ブロードマンエリア	部位名	Talairach 座標	MNI 座標	SPM 入力座標
Y1	1	一次体性感覚	(37, -27, 48)	(37, -30, 51)	(36, -30, 52)
Y2	2	一次体性感覚 (左脳)	(-33, -35, 63)	(-33, -39, 66)	(-34, -38, 66)
Y3		(右脳)	(34, -26, 46)	(34, -29, 49)	(34, -28, 50)
Y4	3	一次体性感覚 (左脳)	(-49, -19, 26)	(-49, -21, 27)	(-50, -20, 28)
Y5		(右脳)	(28, -24, 44)	(28, -27, 46)	(28, -26, 46)
Y6	4	一次運動野 (右脳)	(-34, -14, 50)	(-34, -18, 53)	(-34, -18, 54)
Y7		(左脳)	(37, -13, 45)	(37, -17, 51)	(36, -16, 52)

4.2 解析前処理

4.2.4 時系列データ分別

抽出した時系列データには，そのボクセルのスキャン数分の Z スコアが記録されている．12ch, 32ch データの場合は，120 スキャンであり，最初の 10 スキャンは 1 回目のレスト，次の 10 スキャンは 1 回目のタッピング，次の 10 スキャンは 2 回目のレスト…というように，レスト時とタッピング時の Z スコアが 1 列にまとめて記録されている．TDA で解析しやすいように，条件ごとに 10 スキャンずつ図 4.2 のように分別し，1 列データとする．

32chMB データに関しては，360 スキャンあり，最初の 30 枚は 1 回目のレスト，次の 30 枚は 1 回目のタッピング，次の 30 枚は 2 回目のレスト…というように，1 ブロックごとのスキャン数が 12ch, 32ch データの 3 倍になる．32chMB データも同様に条件ごとに 30 スキャンずつ分別し，1 列データとする．

4.2 解析前処理

あるボクセルの時系列データ

0.55665	↑
-0.62926	
-1.503	
0.25406	
-0.42781	
-2.0617	
1.3973	
1.3799	
-1.3649	
1.7951	
-2.2632	←
0.3264	→
1.8125	
0.34526	
-0.12623	
0.21795	
0.32026	
-0.52589	
0.39929	
0.88149	
0.70714	←
0.12298	→
0.52665	
...	
-1.1889	
-0.12195	
1.3375	
-1.0249	←
-0.34327	→
-1.0026	
1.3664	
-1.6054	
-0.54647	
0.15215	
-0.029448	
1.0637	
2.6751	

120スキャン



レスト

0.55665	↑
-0.62926	
-1.503	
0.25406	
-0.42781	
-2.0617	
1.3973	
1.3799	
-1.3649	
1.7951	
0.70714	←
0.12298	→
0.52665	
...	
-1.1889	
-0.12195	
1.3375	

60スキャン

タッピング

-2.2632	↑
0.3264	
1.8125	
0.34526	
-0.12623	
0.21795	
0.32026	
-0.52589	
0.39929	
0.88149	
...	
-1.0249	↑
-0.34327	
-1.0026	
1.3664	
-1.6054	
-0.54647	
0.15215	
-0.029448	
1.0637	
2.6751	

60スキャン

図 4.2 12ch および 32ch データの分別方法

4.3 TDA を用いた fMRI データ解析

解析前処理から得た各被験者ごとの 12ch, 32ch, 32chMB データにおける, Active Voxel と Motor Voxel の時系列データを TDA を用いて解析を行う. TDA で解析を行うにあたり, R 言語の TDA パッケージを用いる. 解析手法は以下の 3 つの手法である. 以下の手法で解析した結果を, Persisitent Diagram, バーコードで可視化を行う. また, 0 次の穴と 1 次の穴のそれぞれにおいて, 発生した穴の数, 最大発生時間 (発生した 1 次の穴それぞれにおいて, 穴発生時のデータ点の直径と穴消滅時のデータ点の直径の差を計算し, 最も大きい値), 最小発生時間 (発生した 1 次の穴それぞれにおいて, 穴発生時のデータ点の直径と穴消滅時のデータ点の直径の差を計算し, 最も小さい値) などの穴に関する情報も csv ファイルとして抽出する. 解析手法 2 と 3 においては, データ点の分布を見るため, 3 次元空間のグラフにプロットする.

4.3.1 12ch, 32ch, 32chMB データ : 解析手法 1

Active Voxel の 10 ボクセルの時系列データの値をそれぞれ軸にとり, 10 次元空間に分布しているデータの点に対して TDA を用いた解析を行う. SPM で, タッピング運動時に賦活していると特定されたボクセルの時系列データを TDA で解析することで, TDA を用いた fMRI データ解析の有用性を検証する.

4.3.2 12ch, 32ch, 32chMB データ : 解析手法 2

Motor Voxel の 7 ボクセルから 3 つを選び, その時系列データの値をそれぞれ軸にとり, 3 次元空間に分布しているデータの点に対して TDA を用いた解析を行う. これを全通り, つまり 35 通り解析する. これにより, 従来手法では着目されないボクセルから新たな情報を取り出すことは可能であるか検証する.

4.3 TDA を用いた fMRI データ解析

4.3.3 12ch, 32ch, 32chMB データ : 解析手法 3

Motor Voxel の 7 ボクセルそれぞれの時系列データにおい文献に従い, ある時刻 t の値を x 軸, $t - 1$ の値を y 軸, $t - 2$ の値を z 軸にとり, 3 次元空間に分布しているデータの点に対して TDA を用いた解析を行う. 解析手法 2 と同様に, 従来手法では着目されないボクセルから新たな情報を取り出すことは可能であるか検証する.

第 5 章

結果

被験者 6 人 (A, B, C, D, E, F) の 12ch ヘッドコイル, 32ch ヘッドコイル, 32ch マルチバンドで得た fMRI データを, 3 つの解析手法を用いて解析した結果を示す. 得られた穴の情報, バーコード, Persistent Diagram に対して評価する.

5.1 解析手法 1

各被験者の各撮像法で得た fMRI データを解析手法 1 で解析した結果を以下に示す.

5.1.1 被験者 A - 12ch

被験者 A の 12ch データを, 解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.1, 表 5.2, 図 5.1, 図 5.2, 図 5.3, 図 5.4 に示す. 表 5.1, 表 5.2 の 1 次の穴の数に着目すると, tapping 時は rest 時に比べて多くの穴が発生している. しかし, Persistent Diagram やバーコードに着目すると, 目立った違いは見られない.

表 5.1 被験者 A-12ch : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	2.60623	0.82542
1	26	0.29007	0.00891

表 5.2 被験者 A-12ch : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	2.90096	0.93611
1	33	0.40678	0.00430

5.1 解析手法 1

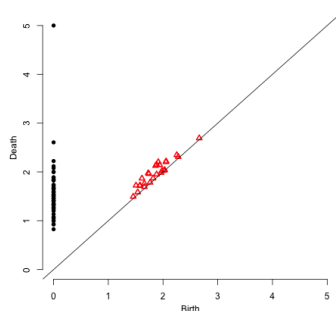


図 5.1 被験者 A-12ch : rest 時の PD

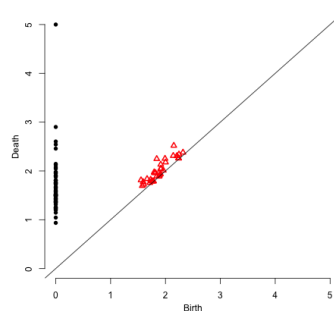


図 5.2 被験者 A-12ch : tapping 時の PD

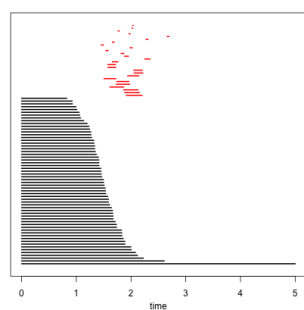


図 5.3 被験者 A-12ch : rest 時の BC

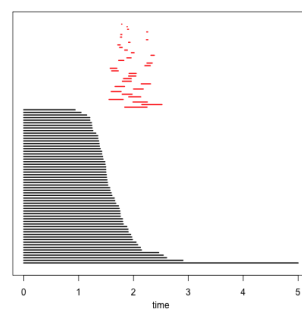


図 5.4 被験者 A-12ch : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.2 被験者 A - 32ch

被験者 A の 32ch データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.3，表 5.4，図 5.5，図 5.6，図 5.7，図 5.8 に示す．Persistent Diagram やバーコードに着目すると，被験者 A-12ch の解析結果より rest 時と tapping 時に若干の違いは見られる．

表 5.3 被験者 A-32ch : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	2.70578	0.90155
1	28	0.28895	0.01118

表 5.4 被験者 A-32ch : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	2.76468	1.09852
1	26	0.33980	0.00268

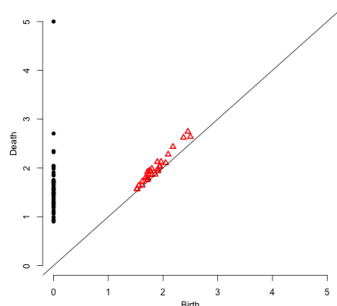


図 5.5 被験者 A-32ch : rest 時の PD

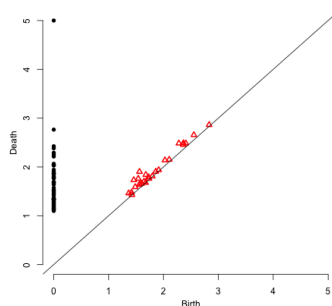


図 5.6 被験者 A-32ch : tapping 時の PD

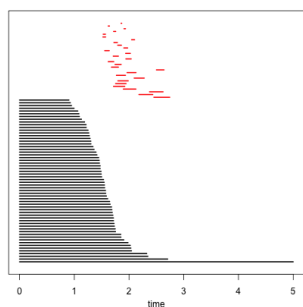


図 5.7 被験者 A-32ch : rest 時の BC

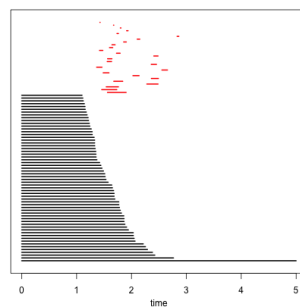


図 5.8 被験者 A-32ch : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.3 被験者 A - 32chMB

被験者 A の 32chMB データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.5，表 5.6，図 5.9，図 5.10，図 5.11，図 5.12 に示す．Persistent Diagram やバーコードに着目すると，rest 時，tapping 時の両方において小さい穴が無数に発生してるが，目立った違いは見られない．

表 5.5 被験者 A-32chMB : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	180	1.67566	0.39228
1	138	0.31440	0.00175

表 5.6 被験者 A-32chMB : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	180	1.65027	0.61366
1	132	0.33858	0.00198

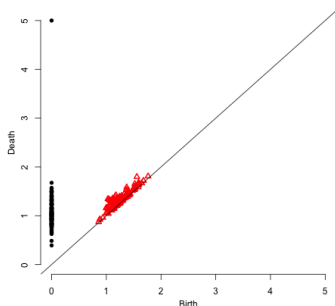


図 5.9 被験者 A-32chMB : rest 時の PD

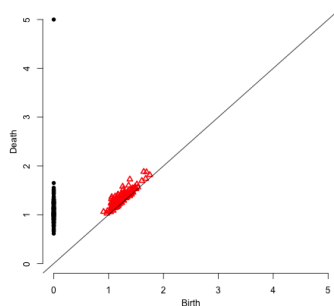


図 5.10 被験者 A-32chMB : tapping 時の PD

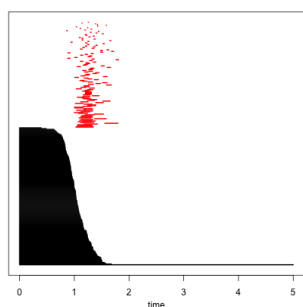


図 5.11 被験者 A-32chMB : rest 時の BC

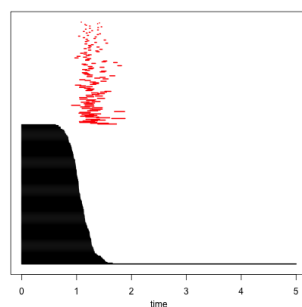


図 5.12 被験者 A-32chMB : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.4 被験者 B - 12ch

被験者 B の 12ch データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.9，表 5.8，図 5.13，図 5.14，図 5.15，図 5.16 に示す．表 5.9，表 5.8 の 1 次の穴の数に着目すると，tapping 時は rest 時に比べて多くの穴が発生している．しかし，Persistent Diagram やバーコードに着目すると，rest 時と tapping 時に違いは見られる．

表 5.7 被験者 B-12ch : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	2.60623	0.82542
1	26	0.29007	0.00891

表 5.8 被験者 B-12ch : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	2.90096	0.93611
1	33	0.40678	0.00430

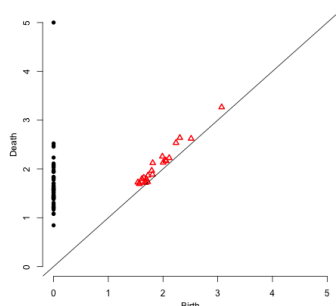


図 5.13 被験者 B-12ch : rest 時の PD

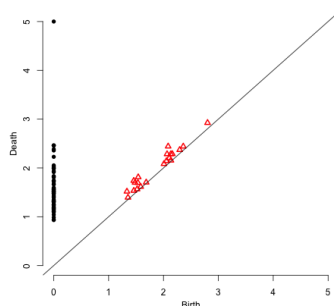


図 5.14 被験者 B-12ch : tapping 時の PD

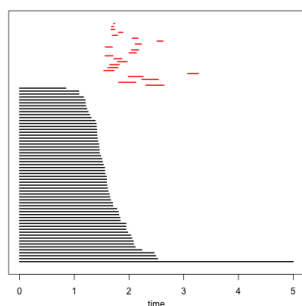


図 5.15 被験者 B-12ch : rest 時の BC

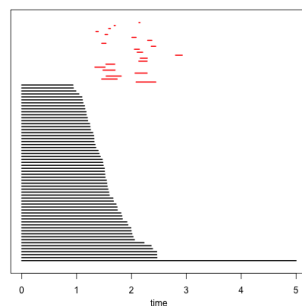


図 5.16 被験者 B-12ch : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.5 被験者 B - 32ch

被験者 B の 32ch データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表??，表 5.10，図 5.17，図 5.18，図 5.19，図 5.20 に示す．Persistent Diagram やバーコードに着目すると，被験者 B-12ch の解析結果より rest 時と tapping 時に違いは見られる．

表 5.9 被験者 B-32ch : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	2.81515	0.72947
1	26	0.26904	0.02189

表 5.10 被験者 B-32ch : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	2.73959	0.69388
1	23	0.23120	0.00140

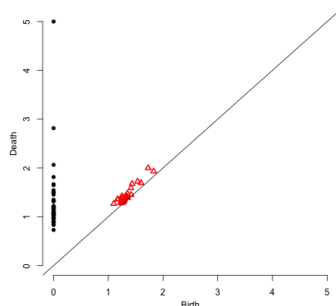


図 5.17 被験者 B-32ch : rest 時の PD

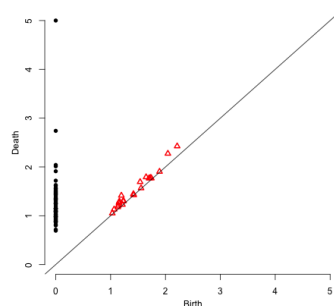


図 5.18 被験者 B-32ch : tapping 時の PD

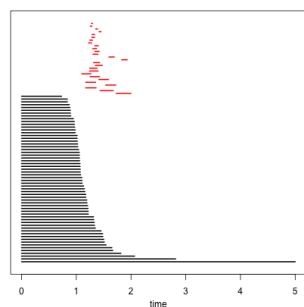


図 5.19 被験者 B-32ch : rest 時の BC

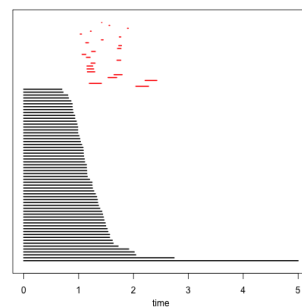


図 5.20 被験者 B-32ch : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.6 被験者 B - 32chMB

被験者 B の 32chMB データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.11，表 5.12，図 5.21，図 5.22，図 5.23，図 5.24 に示す．Persistent Diagram やバーコードに着目すると，rest 時，tapping 時の両方において小さい穴が無数に発生しており，若干の違いが見られる．

表 5.11 被験者 B-32chMB : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	180	2.09689	0.54833
1	133	0.36225	0.00115

表 5.12 被験者 B-32chMB : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	180	2.08700	0.55667
1	138	0.20641	0.00072

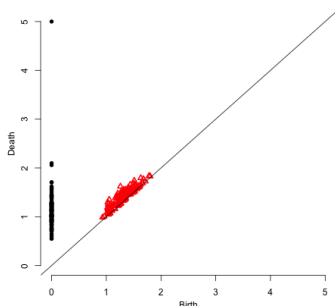


図 5.21 被験者 B-32chMB : rest 時の PD

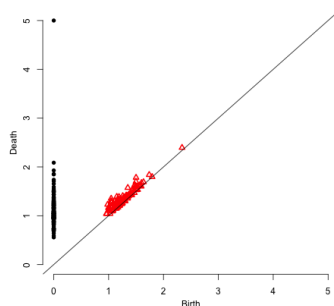


図 5.22 被験者 B-32chMB : tapping 時の PD

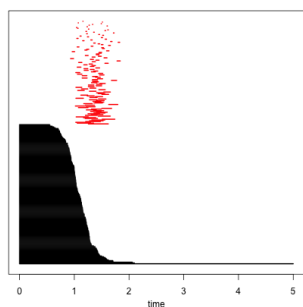


図 5.23 被験者 B-32chMB : rest 時の BC

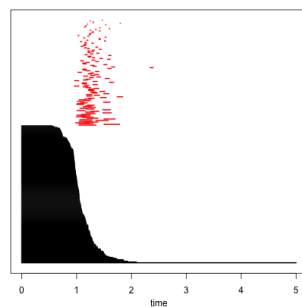


図 5.24 被験者 B-32chMB : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.7 被験者 C - 12ch

被験者 C の 12ch データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.13，表 5.14，図 5.25，図 5.26，図 5.27，図 5.28 に示す．表 5.13，表 5.14，Persistent Diagram やバーコードに着目しても，目立った違いは見られない．

表 5.13 被験者 C-12ch : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	2.20543	0.86950
1	21	0.49668	0.00012

表 5.14 被験者 C-12ch : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	3.44831	0.70647
1	23	0.40186	0.00248

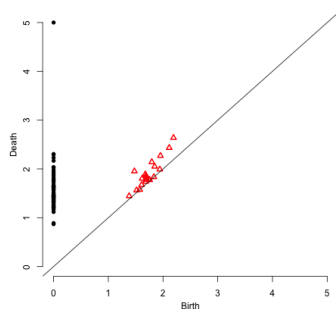


図 5.25 被験者 C-12ch : rest 時の PD

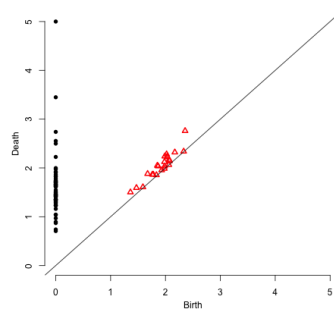


図 5.26 被験者 C-12ch : tapping 時の PD

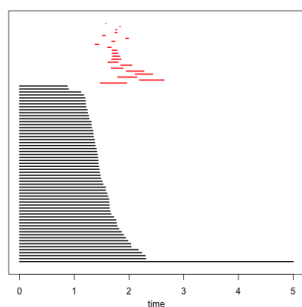


図 5.27 被験者 C-12ch : rest 時の BC

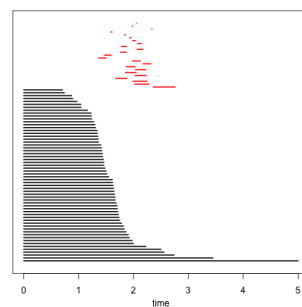


図 5.28 被験者 C-12ch : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.8 被験者 C - 32ch

被験者 C の 32ch データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.15，表 5.16，図 5.29，図 5.30，図 5.31，図 5.32 に示す．Persistent Diagram やバーコードに着目すると，被験者 C-12ch の解析結果より rest 時と tapping 時に違いは見られる．

表 5.15 被験者 C-32ch : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	1.85303	0.76417
1	11	0.24902	0.00097

表 5.16 被験者 C-32ch : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	2.92149	0.61808
1	12	0.41274	0.00101

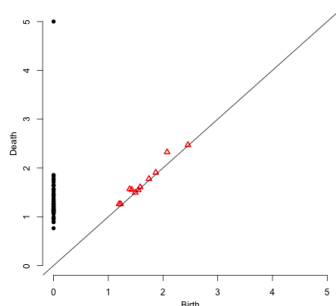


図 5.29 被験者 C-32ch : rest 時の PD

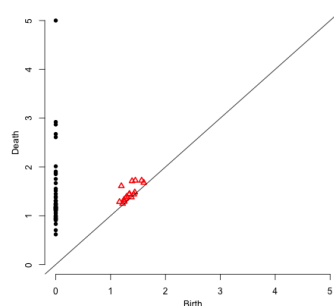


図 5.30 被験者 C-32ch : tapping 時の PD

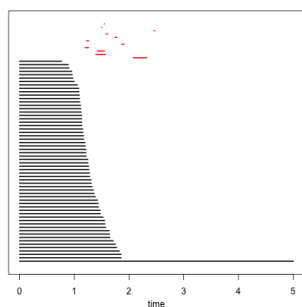


図 5.31 被験者 C-32ch : rest 時の BC

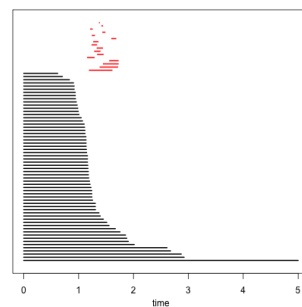


図 5.32 被験者 C-32ch : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.9 被験者 C - 32chMB

被験者 C の 32chMB データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.17，表 5.18，図 5.33，図 5.34，図 5.35，図 5.36 に示す．Persistent Diagram やバーコードに着目すると，rest 時，tapping 時の両方において小さい穴が無数に発生しており，若干の違いが見られる．

表 5.17 被験者 C-32chMB : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	180	3.16093	0.49085
1	122	0.36392	0.00485

表 5.18 被験者 C-32chMB : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	180	2.36786	0.57892
1	120	0.40232	0.00013

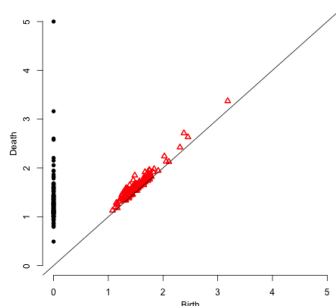


図 5.33 被験者 C-32chMB : rest 時の PD

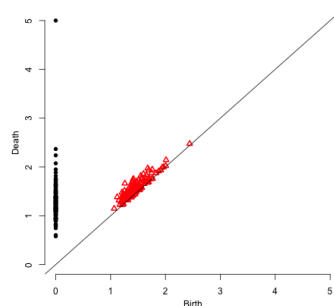


図 5.34 被験者 C-32chMB : tapping 時の PD

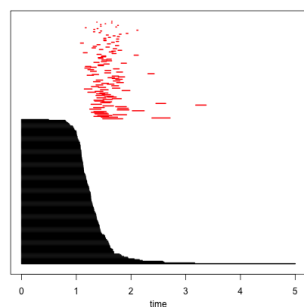


図 5.35 被験者 C-32chMB : rest 時の BC

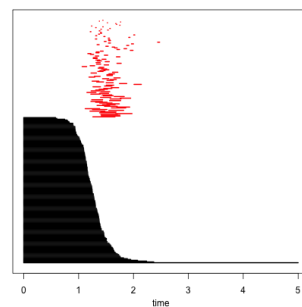


図 5.36 被験者 C-32chMB : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.10 被験者 D - 12ch

被験者 D の 12ch データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.19，表 5.20，図 5.37，図 5.38，図 5.39，図 5.40 に示す．Persistent Diagram やバーコードに着目すると，rest 時と tapping 時に違いは見られる．

表 5.19 被験者 D-12ch : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	2.62907	1.27530
1	23	0.48877	0.48877

表 5.20 被験者 D-12ch : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	3.34127	0.96419
1	24	0.36791	0.00185

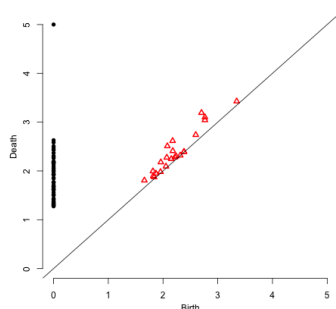


図 5.37 被験者 D-12ch : rest 時の PD

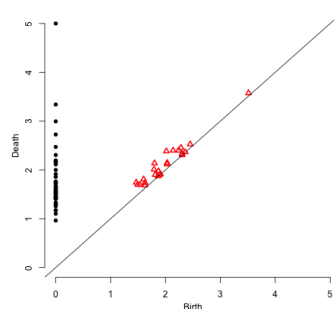


図 5.38 被験者 D-12ch : tapping 時の PD

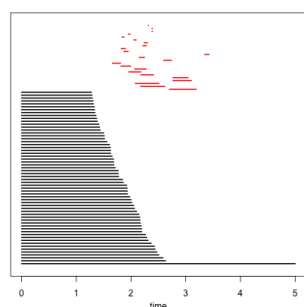


図 5.39 被験者 D-12ch : rest 時の BC

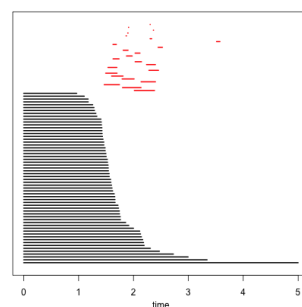


図 5.40 被験者 D-12ch : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.11 被験者 D - 32ch

被験者 D の 32ch データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.21，表 5.22，図 5.41，図 5.42，図 5.43，図 5.44 に示す．Persistent Diagram やバーコードに着目すると，被験者 D-12ch の解析結果より rest 時と tapping 時に違いは顕著に見られる．

表 5.21 被験者 D : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	3.11630	0.78873
1	25	0.30885	0.00001

表 5.22 被験者 D : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	3.47122	0.61882
1	13	0.33879	0.00081

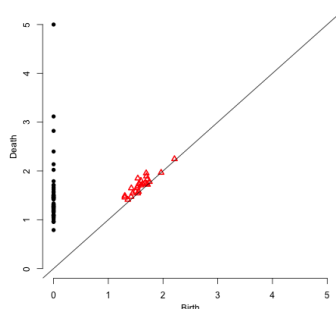


図 5.41 被験者 D-32ch : rest 時の PD

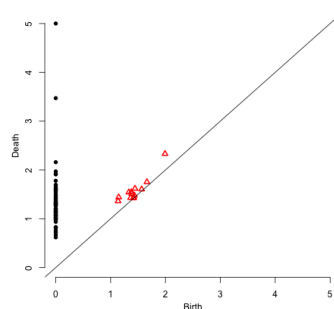


図 5.42 被験者 D-32ch : tapping 時の PD

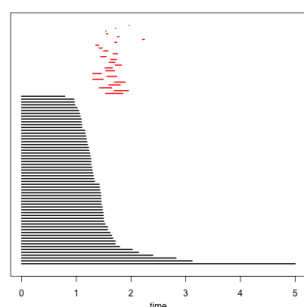


図 5.43 被験者 D-32ch : rest 時の BC

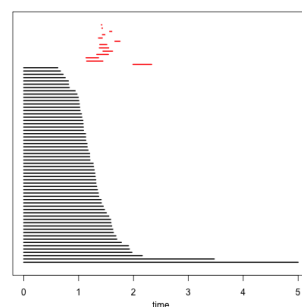


図 5.44 被験者 D-32ch : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.12 被験者 D - 32chMB

被験者 D の 32chMB データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.23，表 5.24，図 5.45，図 5.46，図 5.47，図 5.48 に示す．Persistent Diagram やバーコードに着目すると，rest 時，tapping 時の両方において小さい穴が無数に発生してるが，目立った違いは見られない．

表 5.23 被験者 D-32chMB : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	180	1.93411	0.54968
1	146	0.30131	0.00140

表 5.24 被験者 D-32chMB : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	180	1.86625	0.66512
1	127	0.34479	0.00052

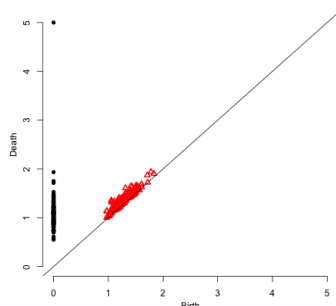


図 5.45 被験者 D-32chMB : rest 時の PD

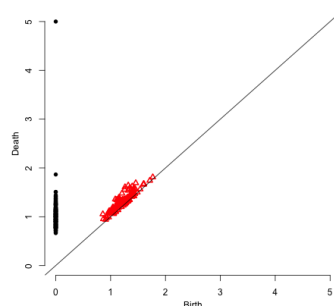


図 5.46 被験者 D-32chMB : tapping 時の PD

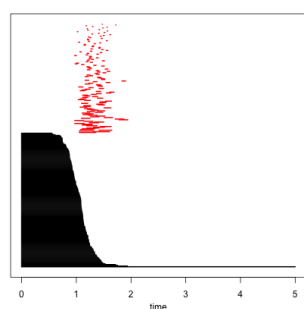


図 5.47 被験者 D-32chMB : rest 時の BC

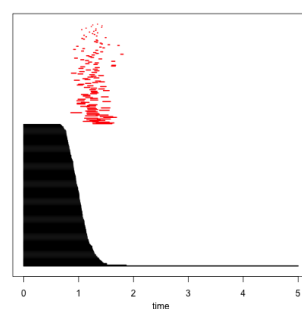


図 5.48 被験者 D-32chMB : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.13 被験者 E - 12ch

被験者 E の 12ch データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.25，表 5.26，図 5.49，図 5.50，図 5.51，図 5.52 に示す．Persistent Diagram やバーコードに着目すると，rest 時と tapping 時に違いは見られる．

表 5.25 被験者 E-12ch : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	2.75456	1.15051
1	30	0.33462	0.00143

表 5.26 被験者 E-12ch : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	3.27334	0.78872
1	29	0.54343	0.00675

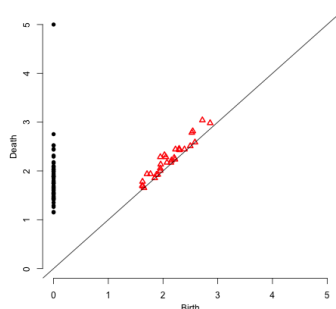


図 5.49 被験者 E-12ch : rest 時の PD

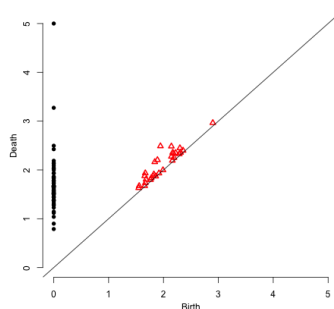


図 5.50 被験者 E-12ch : tapping 時の PD

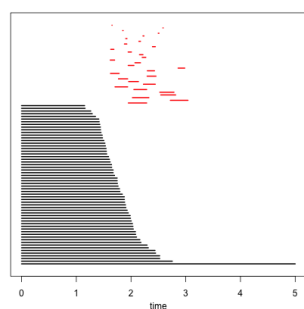


図 5.51 被験者 E-12ch : rest 時の BC

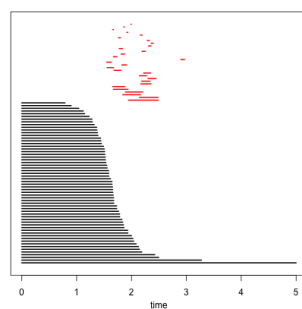


図 5.52 被験者 E-12ch : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.14 被験者 E - 32ch

被験者 E の 32ch データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.27，表 5.34，図 5.53，図 5.66，図 5.55，図 5.56 に示す．Persistent Diagram やバーコードに着目すると，被験者 E-12ch の解析結果より rest 時と tapping 時に違いは顕著に見られる．

表 5.27 被験者 E : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	2.98530	0.84221
1	23	0.32702	0.00537

表 5.28 被験者 E : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	4.05448	0.85629
1	25	0.29912	0.00730

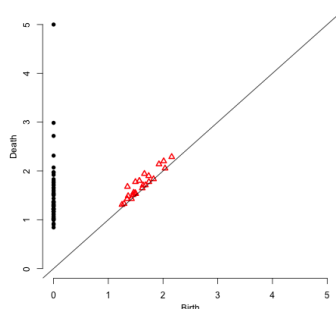


図 5.53 被験者 E-32ch : rest 時の PD

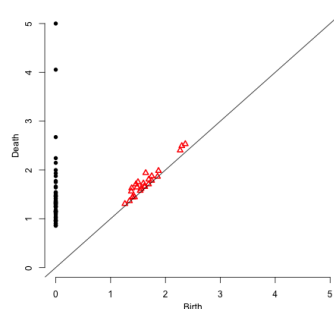


図 5.54 被験者 E-32ch : tapping 時の PD

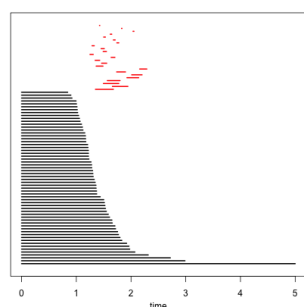


図 5.55 被験者 E-32ch : rest 時の BC

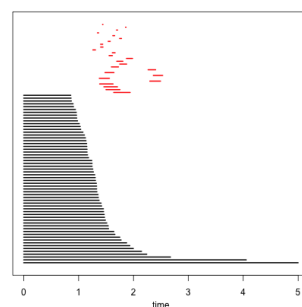


図 5.56 被験者 E-32ch : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.15 被験者 E - 32chMB

被験者 E の 32chMB データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.29，表 5.30，図 5.57，図 5.58，図 5.59，図 5.60 に示す．Persistent Diagram やバーコードに着目すると，rest 時，tapping 時の両方において小さい穴が無数に発生しており，穴の発生タイミングなどの違いが見られる．

表 5.29 被験者 E-32chMB : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	180	3.18433	0.56784
1	109	0.33845	0.00030

表 5.30 被験者 E-32chMB : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	180	5	0.66284
1	127	0.42341	0.00023

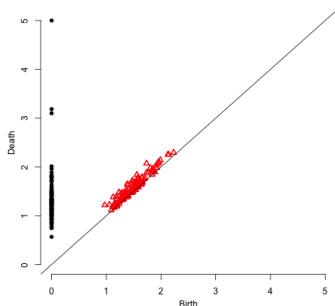


図 5.57 被験者 E-32chMB : rest 時の PD

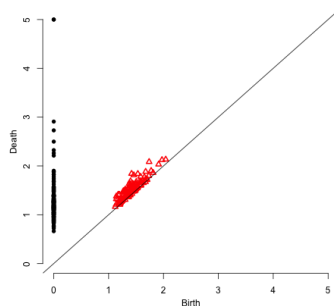


図 5.58 被験者 E-32chMB : tapping 時の PD

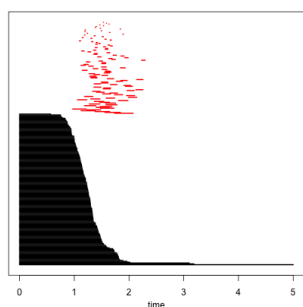


図 5.59 被験者 E-32chMB : rest 時の BC

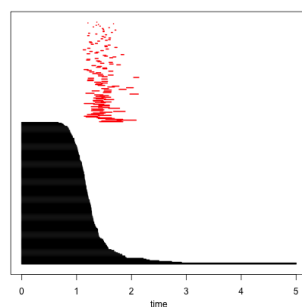


図 5.60 被験者 E-32chMB : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.16 被験者 F - 12ch

被験者 F の 12ch データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.31，表 5.32，図 5.61，図 5.62，図 5.63，図 5.64 に示す．Persistent Diagram やバーコードに着目すると，rest 時と tapping 時に違いは見られる．

表 5.31 被験者 F-12ch : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	2.54819	0.89134
1	19	0.37982	0.02248

表 5.32 被験者 F-12ch : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	30	2.16560	0.92892
1	12	0.39221	0.00231

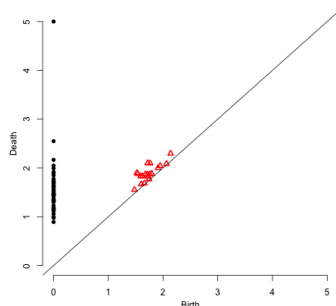


図 5.61 被験者 F-12ch : rest 時の PD

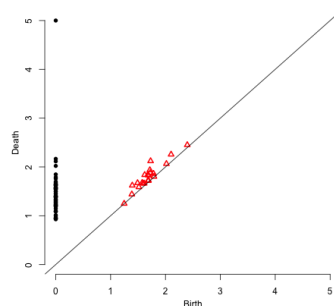


図 5.62 被験者 F-12ch : tapping 時の PD

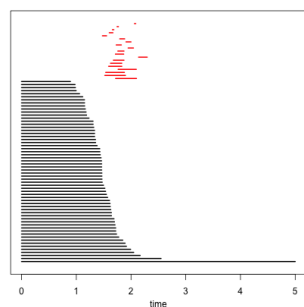


図 5.63 被験者 F-12ch : rest 時の BC

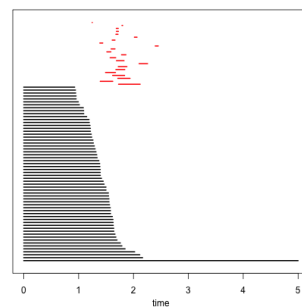


図 5.64 被験者 F-12ch : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.17 被験者 F - 32ch

被験者 F の 32ch データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.33，表 5.34，図 5.65，図 5.66，図 5.67，図 5.68 に示す．Persistent Diagram やバーコードに着目すると，被験者 F-12ch の解析結果より rest 時と tapping 時に違いは顕著に見られる．

表 5.33 被験者 F : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	2.44259	0.50208
1	27	0.37295	0.00155

表 5.34 被験者 F : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	2.81637	0.70667
1	22	0.29812	0.00001

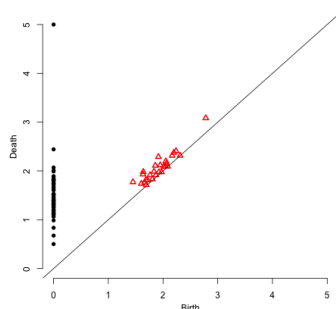


図 5.65 被験者 F-32ch : rest 時の PD

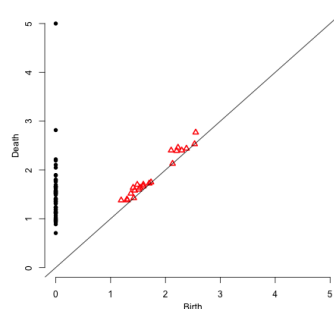


図 5.66 被験者 F-32ch : tapping 時の PD

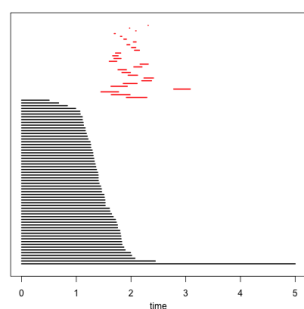


図 5.67 被験者 F-32ch : rest 時の BC

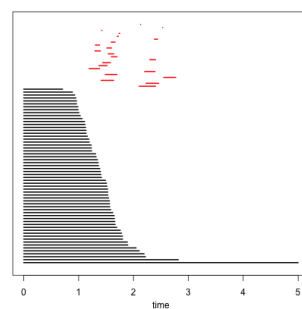


図 5.68 被験者 F-32ch : tapping 時の BC

5.1 解析手法 1

5.1.18 被験者 F - 32chMB

被験者 F の 32chMB データを，解析手法 1 を用いて解析した結果を表 5.35，表 5.36，図 5.69，図 5.70，図 5.71，図 5.72 に示す．Persistent Diagram やバーコードに着目すると，rest 時，tapping 時の両方において小さい穴が無数に発生しており，若干の違いが見られる．

表 5.35 被験者 F-32chMB : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	180	2.40280	0.69819
1	131	0.35645	0.00042

表 5.36 被験者 F-32chMB : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	180	2.04672	0.65902
1	143	0.32076	0.00153

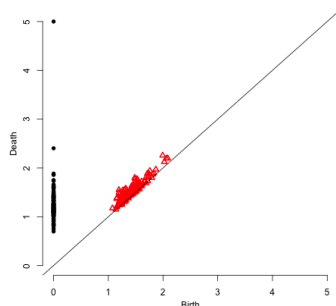


図 5.69 被験者 F-32chMB : rest 時の PD

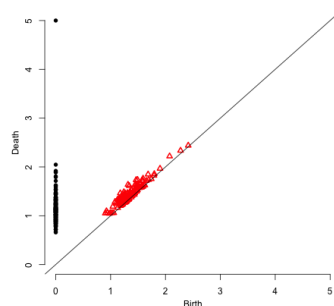


図 5.70 被験者 F-32chMB : tapping 時の PD

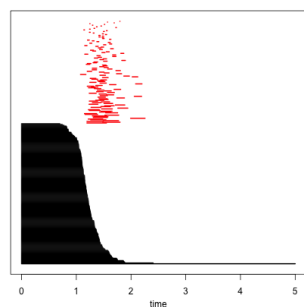


図 5.71 被験者 F-32chMB : rest 時の BC

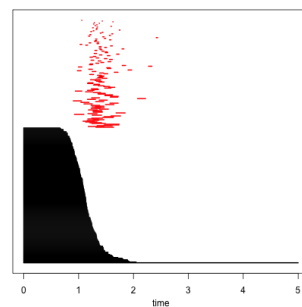


図 5.72 被験者 F-32chMB : tapping 時の BC

5.2 解析手法 2

5.2 解析手法 2

各被験者の各撮像法で得た fMRI データを解析手法 2 で解析した結果を付録に示す。

そのうちから、被験者 A の 32ch データの Y2,6,7 を、解析手法 2 を用いて解析した結果を表 5.37, 表 5.37, 図 5.73, 図 5.74 に示す。図 5.75 は、被験者 A の 32ch データの Y2-6-7 を 3 次元空間に図形化したものである。赤丸は、tapping 時のデータ点の分布、バツは rest 時のデータ点の分布を示す。

図 5.73, 図 5.74 の 1 次の穴に着目すると、rest 時に関しては、他の穴より大きいものが発生しており、tapping 時には穴が発生するタイミングが rest 時に比べてバラバラであることが分かる。0 次の穴に着目すると、rest 次に関しては、データの点は全体的にばらけていることが分かる。

表 5.37 被験者 A-32ch-Y2,6,7 : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	1.15236	0.13412
1	18	0.47365	0.00207

表 5.38 被験者 A-32ch-Y2,6,7 :

tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	60	1.46097	0.09070
1	12	0.22240	0.03810

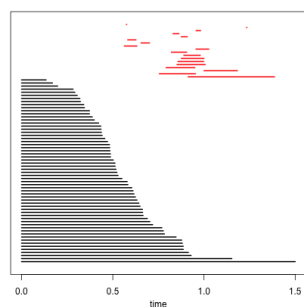


図 5.73 被験者 A-32ch-Y2,6,7 : rest 時の BC

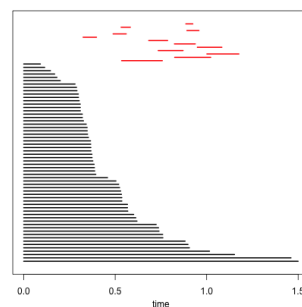


図 5.74 被験者 A-32ch-Y2,6,7 : tapping 時の BC

5.2 解析手法 2

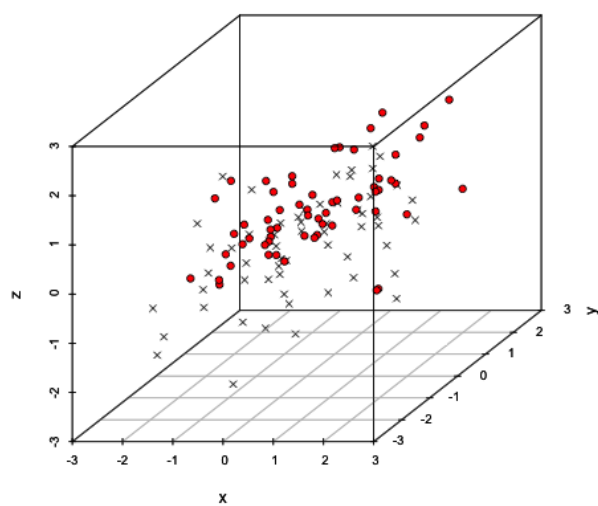


図 5.75 被験者 A-32ch-Y2,6,7 : 図形化 (バツ : rest 時, 赤丸 : tapping 時)

5.3 解析手法 3

5.3 解析手法 3

各被験者の 12ch, 32ch, 32chMB データを, 解析手法 3 を用いて解析した結果を付録に示す.

そのうちから, 被験者 B の 12ch データの Y7 を, 解析手法 3 を用いて解析した結果を表 5.39, 表 5.39, 図 5.76, 図 5.77 に示す. 図 5.78 は, 被験者 B の 12ch データの Y7 を 3 次元空間に図形化したものである. 赤丸は, tapping 時のデータ点の分布, バツは rest 時のデータ点の分布を示す. 図 5.77, 図 5.77 にの 1 次の穴に着目すると, tapping 時には, 他の穴より大きいものが発生していることが分かる. 図 5.78 に着目すると, tapping 時の大きい穴は右上の方で, rest 時の穴は左下の方で発生したのではないかと考えられる. ただし, 発生した場所に関しては図 5.77, 図 5.77 から読み取ることは難しいと言える.

表 5.39 被験者 B-12ch-Y7 : rest 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.77289	0.05375
1	13	0.25922	0.01220

表 5.40 被験者 B-12ch-Y7 : tapping 時の穴情報

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	2.27833	0.15577
1	10	0.66876	0.04320

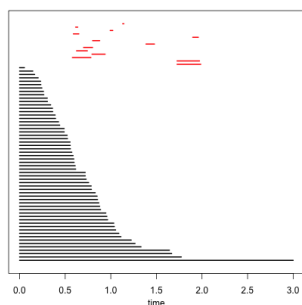


図 5.76 被験者 B-12ch-Y7 : rest 時の BC

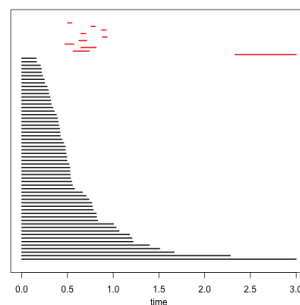


図 5.77 被験者 B-12ch-Y7 : tapping 時の BC

5.3 解析手法 3

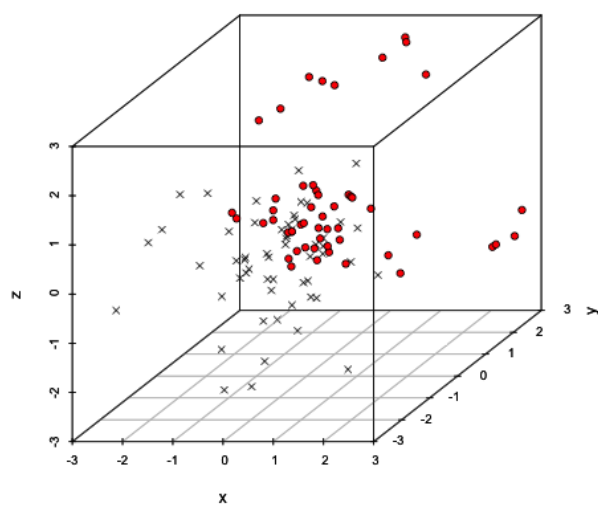


図 5.78 被験者 B-12ch-Y7 : 図形化 (バツ : rest 時, 赤丸 : tapping 時)

第 6 章

考察

6.1 解析手法 1 の解析結果に関する考察

各被験者，各撮像法により，rest 時と tapping 時のデータ分布の形状の違いの有無については統一性の無い結果になった．このことから，撮像法つまりノイズによる違いなのか現段階で結論付けることは難しいと考える．しかし，結果に統一性はないものの rest 時と tapping 時におけるデータ分布の形状に違いがあるものもある，つまり全く結果が出なかった訳ではないことから，TDA を用いた解析は fMRI データにも活用できる可能性はある．

今後の課題として，目視による主観的評価では rest 時と tapping 時のデータ分布の形状に違いがあると捉えていいものかわからないものがあったこと，また違いがあっても統一的な結果ではなかったことから，ボクセルの選択方法や解析手法，そして客観的評価を確立させる必要があると考える．これにより，tapping 時特有のデータ分布の形状を見つけやすくなるのでは無いかと考える．

6.2 解析手法 2 の解析結果に関する考察

どの被験者の 32ch データにおいても，SPM を用いた解析で有意水準 10^{-6} に設定した時，賦活しているとされるボクセルには含まれないもの，かつ，タッピング運動との関連が予測されるボクセルを組み合わせたものにも関わらず，rest 時と tapping 時におけるデータ分布の形状の違いが見られる．このことから，SPM では着目されないようなボクセルから新たな情報を得られることが示唆された．

6.3 解析手法 3 の解析結果に関する考察

また、解析手法 2 は解析手法 1 に比べて、rest 時と tapping 時における違いが現れやすいと考える。これは、解析手法 1 と同様に複数ボクセルをそれぞれ軸に取るという部分は同じであるが、次元数に違いがある。解析手法 1 は 10 次元であるが、解析手法 2 は 3 次元である。つまり、この手法では低次元の方がデータ点の分布の形状を見るのに適していると考えられる。

しかし、本研究では何十万ものボクセル情報を有する fMRI データから特徴抽出を行うことを目的としているため、この手法では不適當であると言える。このことから今後の課題として、この手法とは異なる新しい手法を検討する必要があると考える。

6.3 解析手法 3 の解析結果に関する考察

各被験者、各撮像法により、rest 時と tapping 時のデータ分布の形状の違いがあるかないかは統一性の無い結果になった。ただし、解析手法 1 と比較すると、発生する穴の大きさは大きいものが多く、データ点の分布の形状が特徴的であると言える。

その中でも被験者 B の 12ch データの Y7 は、SPM を用いた解析で有意水準 10^{-6} に設定した時、賦活しているとされるボクセルには含まれないものであるにも関わらず、rest 時と tapping 時における違いが特徴的である。このことから、SPM では着目されないようなボクセルから新たな情報を得られることが示唆された。また、被験者 B の 12ch データの Y7 を 3 次元空間に図形化したものを見ると、rest 時と tapping 時におけるデータ分布の形状の違いや穴の発生場所は目で見ても読み取ることは可能であったが、穴が発生する場所を TDA の解析結果から読み取ることはできないということが分かった。つまり、SPM では分かるデータの位置やばらつき情報は、TDA では得ることができない。

以上のことから考える今後の課題として、穴が発生する位置も特定することで、より有益な情報を取り出すことが挙げられる。そこで、データ点の分布の形状を捉える TDA と、データの平均 (中心) を求める SPM を組み合わせると、穴の発生タイミングや大きさを捉えつつ、その穴がどこに発生しているのかも特定することが可能になり、より良い特徴抽出

6.3 解析手法 3 の解析結果に関する考察

になるのではないかと考える。

また，解析手法 3 は他の解析手法に比べて，データ点の分布の形状に特徴的なものが現れやすいことから，ボクセルの選択方法や時系列データの過去の値をどこまで取るかなど，改良次第では有効な解析手法になりうると考える。

第 7 章

結論

指のタッピング運動をしている (tapping) 時と何もしていない (rest) 時の脳活動を fMRI 装置を用いて計測し、TDA により解析した。その際、12ch ヘッドコイル、32ch ヘッドコイル、32ch マルチバンド撮像法を用いることで、S/N 比の違う計測法が TDA を用いた解析結果に及ぼす影響についても検証を行った。

得られた fMRI データから、SPM を用いて tapping 時に賦活している 10 ボクセル (Active Voxel)、および SPM では検出されないがタッピング運動との関連が予測される 7 ボクセル (Motor Voxel) の時系列データを抽出する。Active Voxel の全ボクセルの時系列データをそれぞれ軸にとった 10 次元特徴空間 (解析手法 1)、Motor Voxel から 3 ボクセル選択しそれらの時系列データをそれぞれ軸にとった 3 次元特徴空間 (解析手法 2)、Motor Voxel の各ボクセルの時系列データのある時間 t の値と $t-1$ の値、 $t-2$ の値をそれぞれ軸にとった 3 次元特徴空間 (解析手法 3) におけるデータに対して、TDA を用いて解析を行った。これにより、fMRI データにおける TDA の有用性、従来手法では得られない情報が得られるかについて検証を行った。

解析手法 1 の結果から、各被験者、各撮像法により、rest 時と tapping 時のデータ分布の形状の違いがあるかないかは統一性の無い結果になった。このことから、撮像法つまりノイズによる違いなのか結論付けることは難しいと言える。しかし、結果に統一性はないものの rest 時と tapping 時におけるデータ分布の形状に違いがあるものもある、つまり全く結果が出なかった訳ではないことから、TDA を用いた解析は fMRI データにも活用できる可能性を見出せたと言える。

解析手法 2 においては、SPM を用いた解析で賦活しているとされるボクセルに含まれな

いボクセルの時系列データにおいても、rest 時と tapping 時における形状の違いが見られた。このことから、SPM では着目されないようなボクセルから新たな情報を得られることが示唆された。また、複数のボクセルの時系列データをそれぞれ軸に取るという手法は解析手法 1 と同様であるが、rest 時と tapping 時における違いが解析手法 2 の方が顕著であったことから、この手法では高次元データの解析には適していないということが分かった。

解析手法 3 においては、その他の手法よりデータ分布の形状に特徴的なものが多いことが分かった。また、TDA は穴の形状は捉えられるもののどこで発生しているのか位置まで特定できなかったことから、データ分布の形状を捉える TDA とデータの位置やばらつきを捉える SPM を組み合わせることで、より良い特徴抽出が可能になるのではないかと考える。

本研究では 3 つの解析手法を用いて解析を行ったが、この中では解析手法 3 が有効的であると考えられる結果となった。また、本研究における問題点としては、目視による主観的評価では、データ分布の形状に違いがあるのか捉えにくいものがあるということ、違いがあっても統一的な結果では無いということが挙げられる。このことから、ボクセルの選択方法、解析手法 3 をベースとした新しい解析手法の更なる検討と高次元データへの適応、客観的評価を行う必要があると言える。

第 8 章

謝辞

本研究を進めるにあたり，終始丁寧なご指導いただきまして高知工科大学情報学群 吉田真一准教授に心より感謝いたします。吉田先生には，研究だけでなく様々な場面でも大変お世話になりました。なかなか進路が決まらず，一人では決断しきれなくなった際には，何度も相談に応じてくださったり，お時間を割いて協力して下さるなど，感謝してもしきれません。人生における大きな選択でしたが，良い決断ができたと思っております。研究に関しては，取り掛かるのが遅くなっただけでなく，何度も研究テーマが変更になったり，いつも時間に追われるようなスケジュールになってしまい申し訳ありませんでした。朝早くや夜遅く，また休日も問わず，丁寧にご指導していただいたおかげで本研究も形となり，論文を執筆することができました。また，学会参加や国際交流，他大学や他研究室と交流する機会を設けてくださり，吉田研究室だからこそ良い経験かつ良い思い出ができたと思っております。深く感謝いたします。

そして，本研究の副査を引き受けていただきました高知工科大学情報学群 岩田誠教授，並びに繁樹博昭准教授に深く感謝いたします。岩田先生には，研究室の合同セミナーでも意見や助言をいただきました。合同セミナーで私が発表した内容の延長である本研究に対し，当時の意見も含めたご指摘をしていただいたことで，より理解を深めるきっかけとなりました。繁樹先生には，梗概を執筆するにあたり苦労した点を気遣っていただきながらアドバイスをいただきました。また，卒論発表の際には私の気づいていないことをご指摘していただいたことで，今後研究を進めるにあたり非常に参考になりました。お二方には，お忙しいにもかかわらず大変お世話になりました。

吉田研究室の皆様にも大変お世話になりました。研究室で楽しく過ごしながら研究ができ

たのも、2年間共に過ごしてきた4年生、卒業された先輩方、配属された3年生の方々ののおかげです。特に、4年生の皆様とは研究室配属が行われた時から、ここまで親しくなるとは予想外でした。佐々木泰一氏は、同じ高校出身でしたがあまり接点がなく、研究室が同じになるまで会話する機会もほぼ皆無でしたが、ここまで不思議で楽しい性格で、面白いエピソードをたくさん持っているとは思いませんでした。もっと早く友達になれていたらと思ったほどです。研究で疲れた時の休憩や、みんなを巻き込んでご飯に食べに行くなどいつも率先して楽しい方向へ誘導してくれました。おかげで、無理せず楽しみながら研究をやり遂げれたと思います。笹谷健文氏は、普段から私を含め研究室のみんなからの無理難題に対して、適当に受け流すこともできるのにいつも真面目に答えてくれました。研究に関して、専門外であるにもかかわらず、自分の時間を割いてまで理解したり、協力してくれました。個人的な悩みや他愛も無い話も、何でも聞いてくれてアドバイスまでくれました。本当に頭が上がりません。修士課程でも、様々な無茶振りがあるかもしれませんが、呆れず付き合っていたら嬉しいです。首藤舞氏は、みんなが親しくなるきっかけで、研究やソフトウェア工学を最後までやり遂げられたキーパーソンであると考えています。とても真面目で、自分に厳しい性格は時に心配になるほどでしたが、首藤氏がみんなを元気付けてくれ、自身の身を削ってまで頑張っている姿に、私たちも頑張らないと思わせてくれました。また、飲み会の席での変貌ぶりにいつも楽しませていただきました。就職しても、無理はしすぎないように、そして、お酒を飲んでも大人な対応を期待しています。鈴木夏美氏は、大学入学して初めてできた友人であり、研究室だけでなく大学4年間本当にお世話になりました。鈴木氏がいなければ、吉田研究室に配属されることがなかったかもしれないと言っても過言では無いほど、助けてもらってばかりでした。また、研究の合間に、他愛も無い話を何時間も話したのは良い思い出です。その時に、いつもは真面目で冷静なのに、たまに関西人として本領発揮するのがツボでした。領内あゆみ氏は、少しでも困っていると親身になって相談に乗ってくれました。4年生の中でも保護者的な存在で、難しいことに取り組む時に領内氏がいるのがとても心強かったです。みんなが焦っている時にも、冷静に状況判断をしている温度差が結構好きでした。また、4年生のイベントごとは領内氏が率先して提案して

くれたことで、このメンバーでたくさんの思い出ができたと思います。皆様が同期で本当に良かったと心より思っております。感謝しています。

3年生の皆様には、あまり先輩らしいことはできませんでしたが、吉田研究室に入ってきてくれたことでより明るく楽しい雰囲気になったと感じております。ありがとうございます。これから、就職活動や院進学、卒業研究と忙しい1年になると思いますが、悔いの残らない学生生活が送れるよう、心より応援しています。

最後に、この大学生活を支えてくれた家族や友人、部活動の先輩、後輩、関わってくれた皆様に深く感謝いたします。皆様のおかげで、悔いの無い楽しい大学生活を送ることができました。私を支えてくれました皆様へ感謝の気持ちと御礼を申し上げたく謝辞に変えさせていただきます。

参考文献

- [1] 富士通研究所, “時系列データを高精度に分析する新たな Deep Learning 技術を開発,”
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2016/02/16.html>, 2017.
- [2] 「脳を動かす」研究会, “ブレイン・デコーディング-脳情報を読む-, ” pp.8-12, オーム社, 2007.
- [3] 田中啓治, “fMRI を用いてヒトの脳活動を見る,”
<http://www.brain.riken.jp/bsi-news/bsinews4/no4/issue1.html>, 2017.
- [4] 菊池吉晃, “SPM8 脳画像解析マニュアル,” p. 3, pp. 11-12, pp. 50-52, 医歯薬出版, 2012.
- [5] Scott A.ueattle, Allen W.song, Gregory McCarthy, “fMRI 原理と実践,” pp. 3, pp. 281-282, MEDSi, 2017.
- [6] 丸山功男, “MRI 装置の基礎 vol.1,”
<http://plaza.umin.ac.jp/~MIF/parts/3rdMRI1.pdf>, 2017.
- [7] Matthew Brett, “Introduction to SPM statistics,”
http://cbsn-mri.umin.jp/resource/intro_spm_statistics_ja.pdf, 2017.
- [8] 小池規伎, “fMRI 信号を用いた脳情報デコーディングにおける特徴選択方に関する研究,” 平成 26 年度高知工科大学修士学位論文, 2015.
- [9] 根元清貴, “SPM セットアップ方法,”
http://www.nemotos.net/wp-content/uploads/spm_setup.pdf, 2017.
- [10] 中路友梨, “fMRI による脳情報デコーディングを用いた図形識別のための相関に基づく特徴抽出,” 平成 26 年度高知工科大学学士学位論文, 2015.
- [11] 小池規伎, “fMRI を用いた脳情報デコーディングに適した機械学習,” 平成 24 年度高知工科大学学士学位論文, 2013.
- [12] 深澤祐援, “ディープラーニングとはなんなのか?,”

参考文献

- <http://credo.asia/2015/07/21/what-is-deep-learning/>, 2017.
- [13] “ニューラルネットワークとパーセプトロン,”
<http://kazoo04.hatenablog.com/entry/agi-ac-15>, 2017.
- [14] 巢籠悠輔, “Deep Learning Java プログラミング,” pp. 32-33, インプレス, 2016.
- [15] 平岡裕章, “柔らかいトポロジーの穴から眺める世界,”
http://www.sci.shizuoka.ac.jp/sciencecafe/news/20160128_02.pdf, 2017.
- [16] 梅田裕平, “データの形が教えてくれること,” 情報処理学会誌, vol.57, no.11, pp.1122-1127, 2016.
- [17] MRIConvert, yanifty DICOM file converter,
<http://lcni.uoregon.edu/downloads/mriconvert>, 2016.
- [18] “Z スコアと標準化,” <http://www.kaizen-link.com/contents/2...>, 2017.
- [19] Brede Database, “WOROI:43 - BRodmann area,”
http://hendrix.imm.dtu.dk/services/jerne/brede/WOROI_43.html, 2017.
- [20] MRC, “The MNI brain and the Talairach atlas,”
<http://imaging.mrc-cbu.cam.ac.uk/imaging/MniTalairach>, 2017.

付録 A

解析結果

解析手法 2 の結果は，1 被験者あたり 105 通りと非常に多くなるため，その中から 32ch データを解析した結果を本項で示す．解析手法 3 の結果は，1 被験者あたり 21 通りであり，本項で示す．

A.1 解析手法 2

A.1.1 被験者 A-32ch

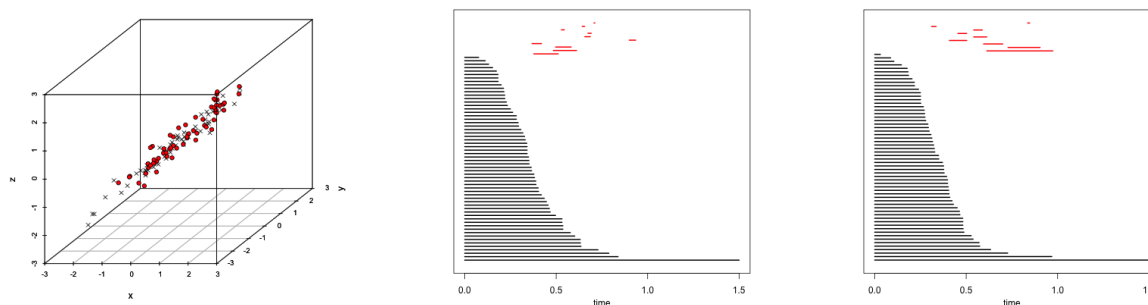


図 A.1 被験者 A-Y1,2,3 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

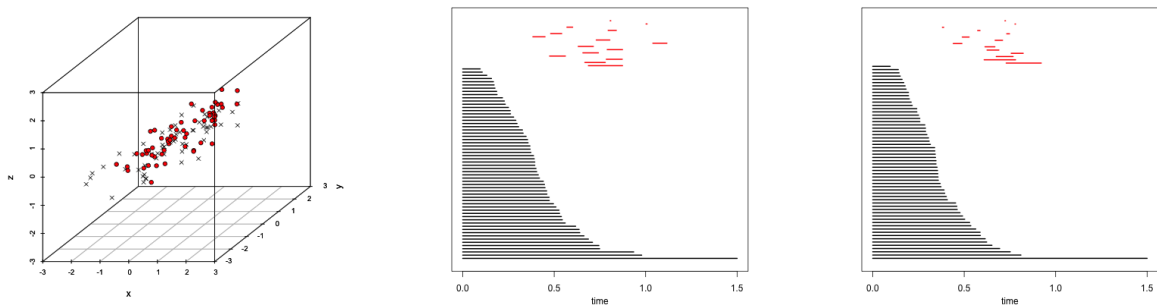


図 A.2 被験者 A-Y1,2,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

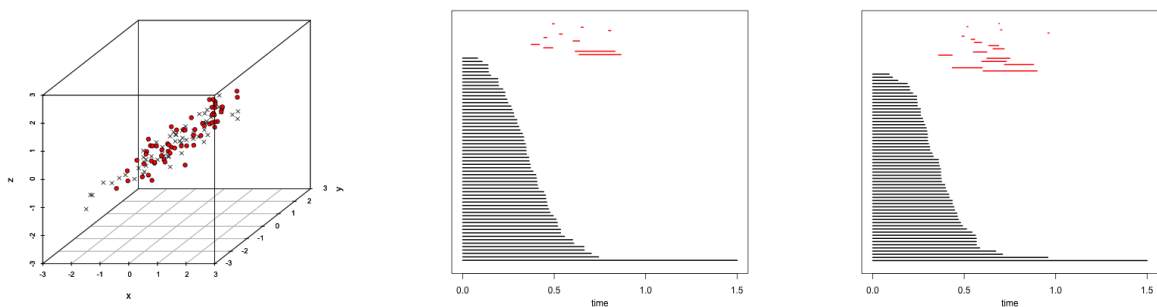


図 A.3 被験者 A-Y1,2,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

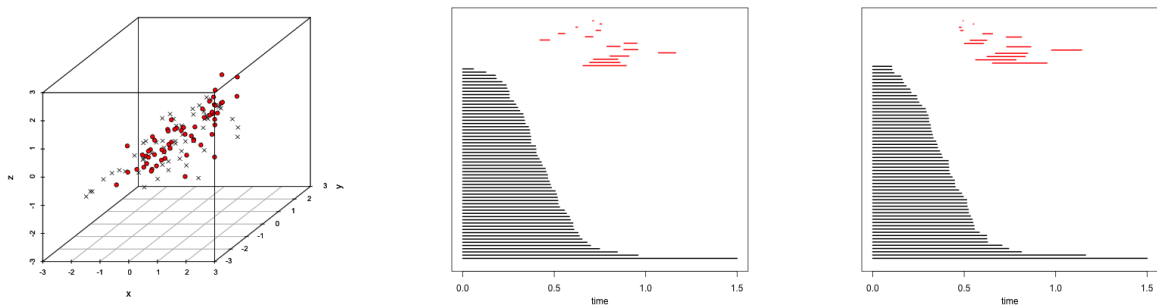


図 A.4 被験者 A-Y1,2,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

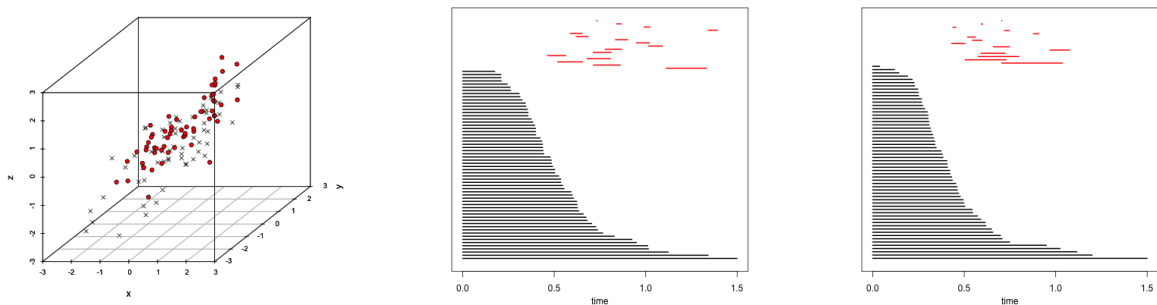


図 A.5 被験者 A-Y1,2,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

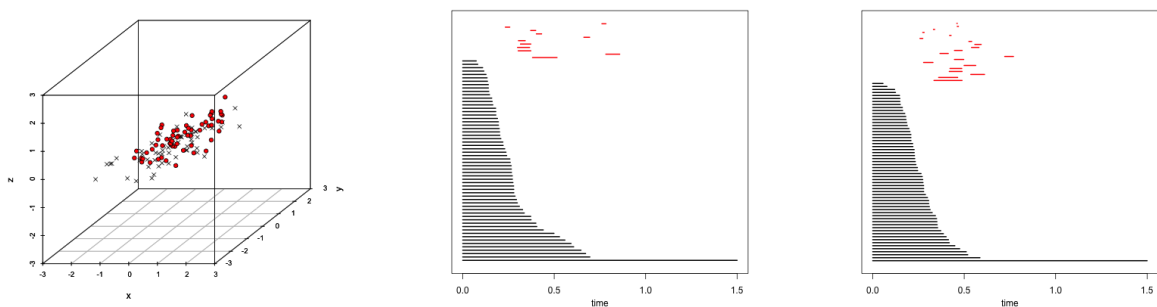


図 A.6 被験者 A-Y1,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

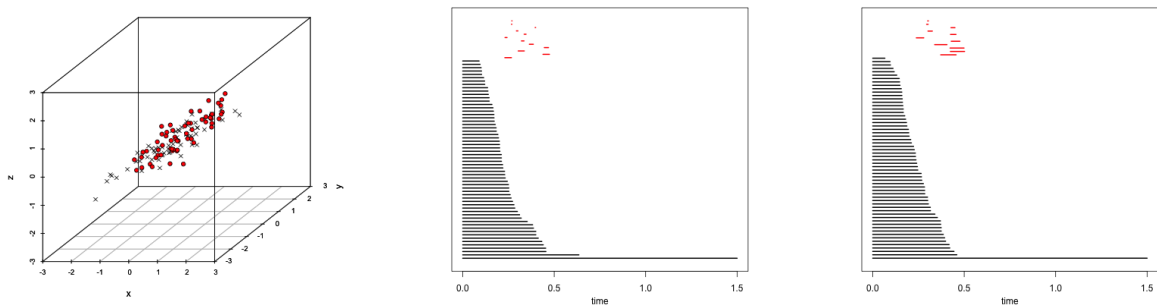


図 A.7 被験者 A-Y1,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

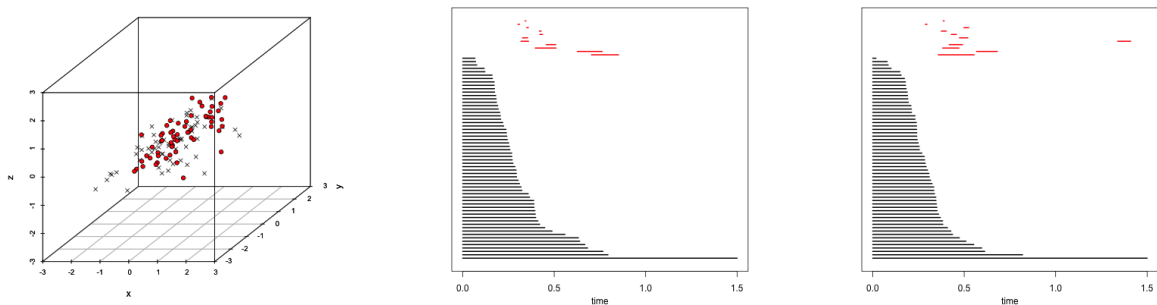


図 A.8 被験者 A-Y1,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

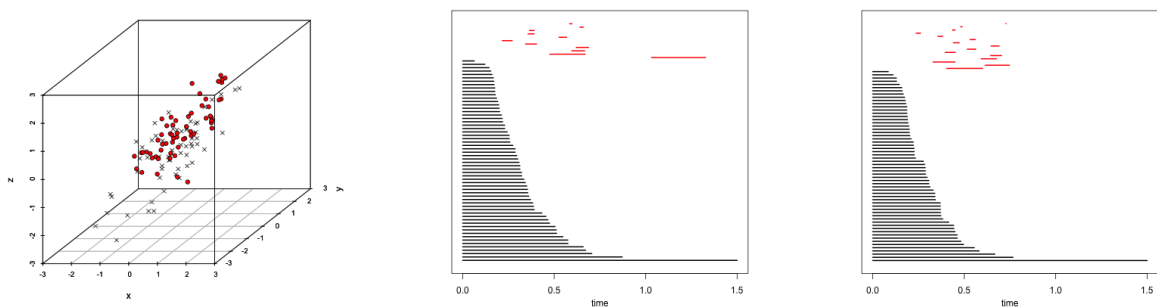


図 A.9 被験者 A-Y1,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

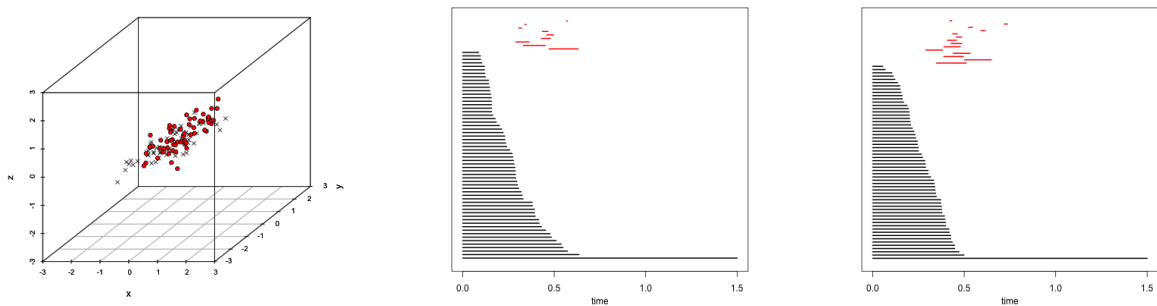


図 A.10 被験者 A-Y1,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

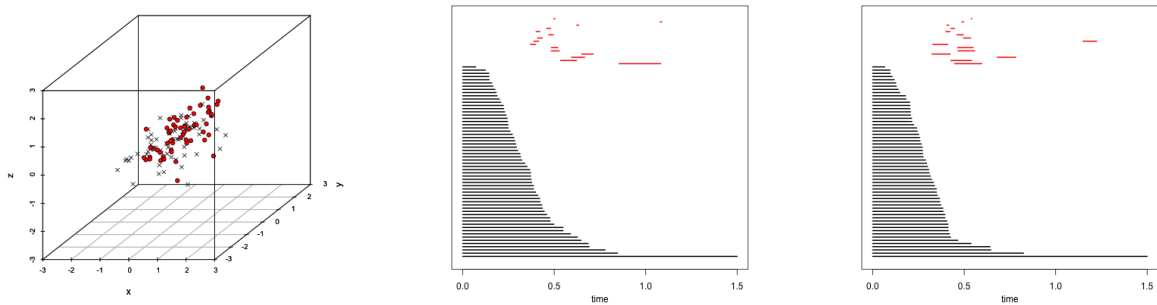


図 A.11 被験者 A-Y1,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

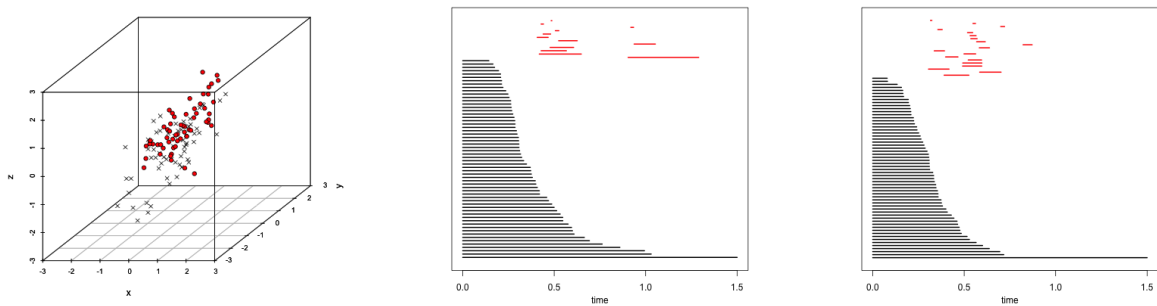


図 A.12 被験者 A-Y1,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

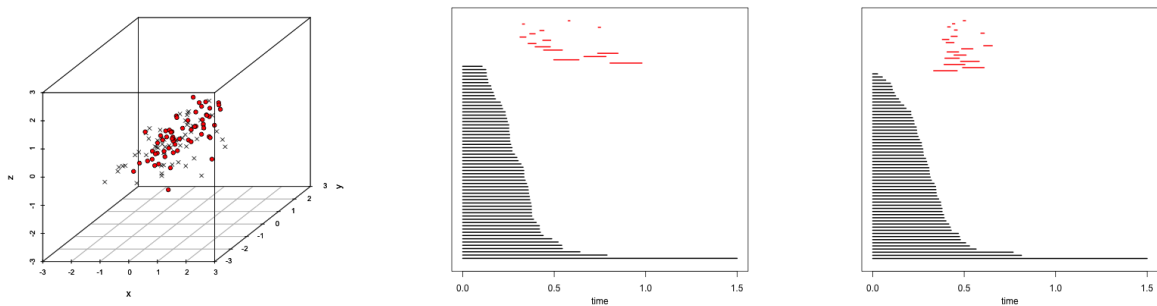


図 A.13 被験者 A-Y1,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

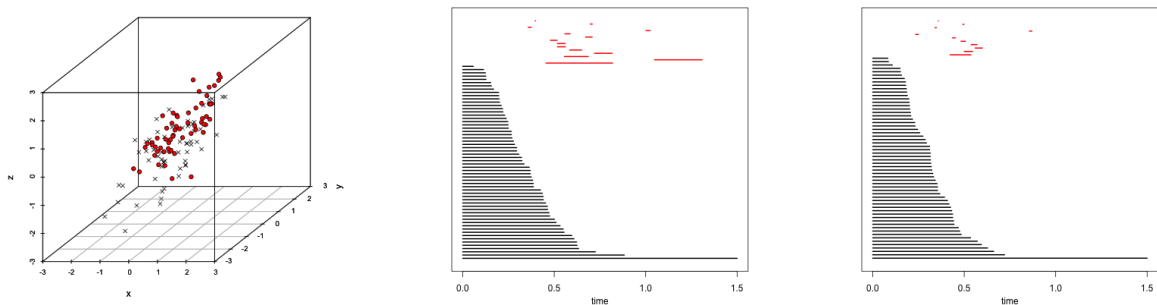


図 A.14 被験者 A-Y1,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

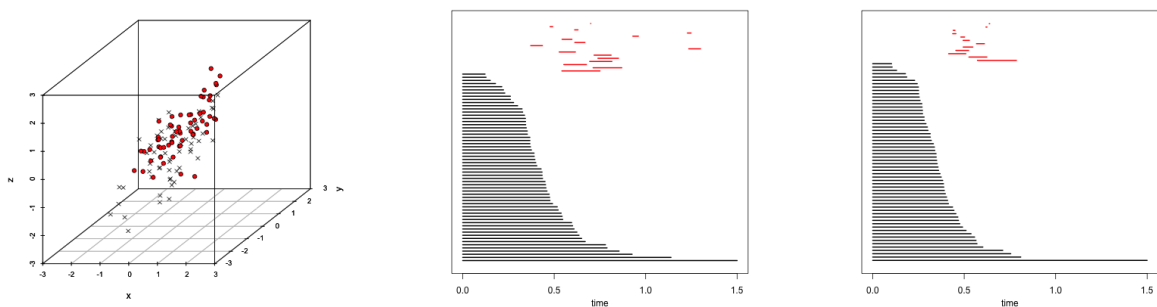


図 A.15 被験者 A-Y1,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

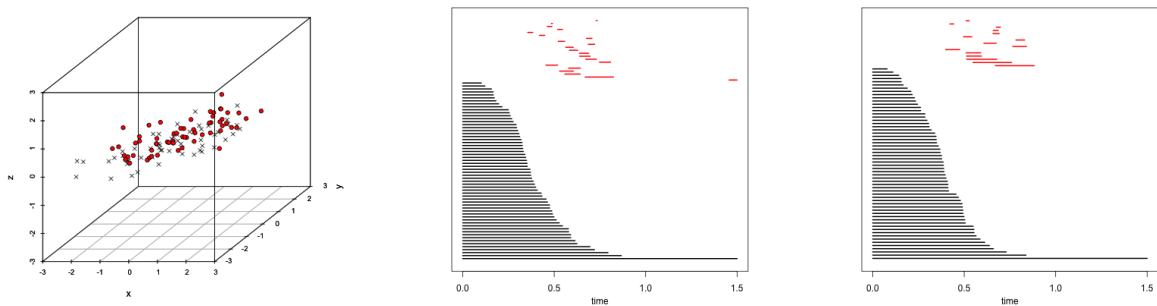


図 A.16 被験者 A-Y2,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

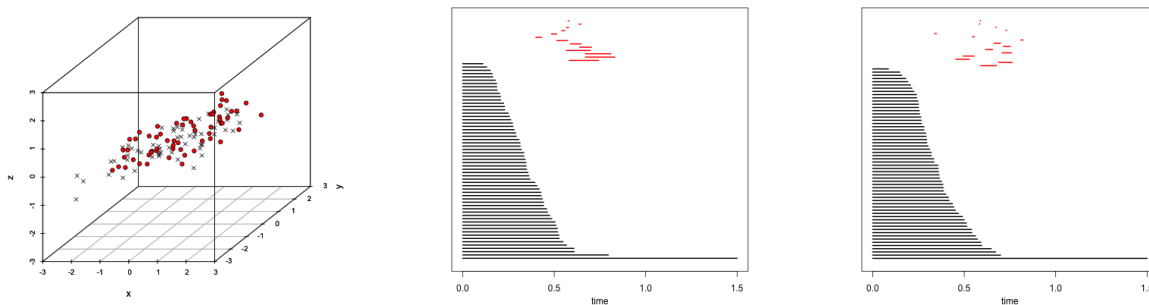


図 A.17 被験者 A-Y2,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

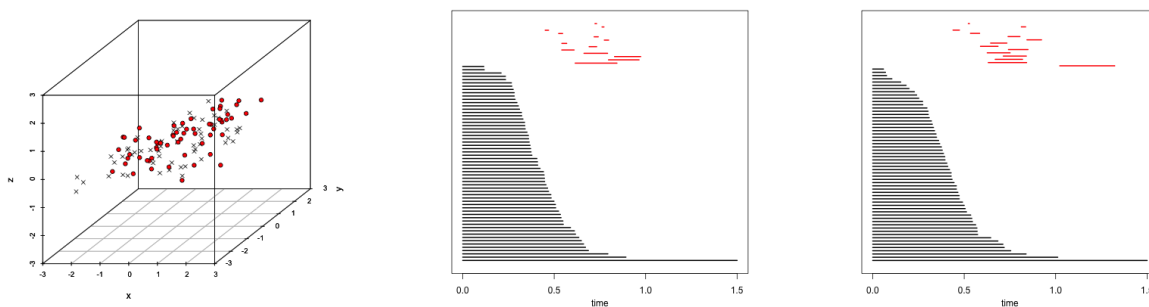


図 A.18 被験者 A-Y2,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

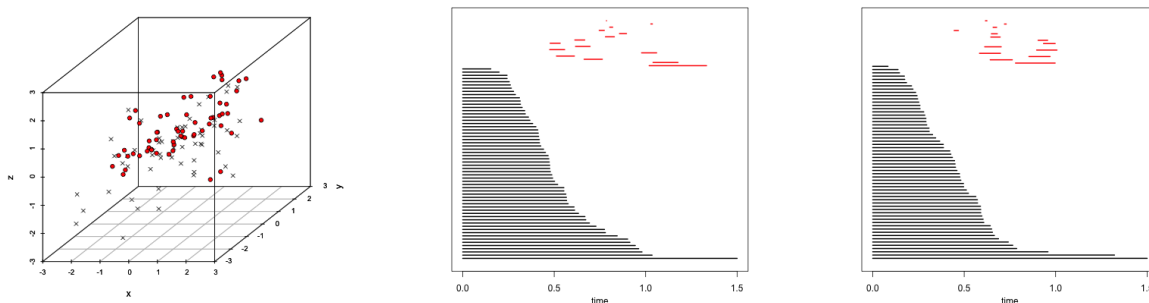


図 A.19 被験者 A-Y2,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

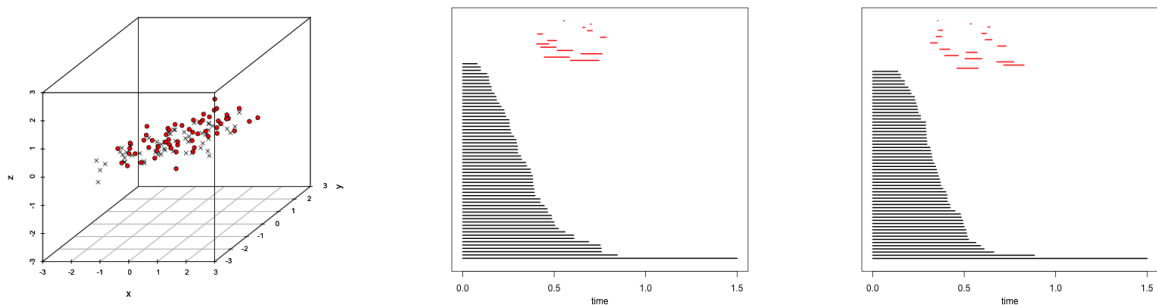


図 A.20 被験者 A-Y2,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

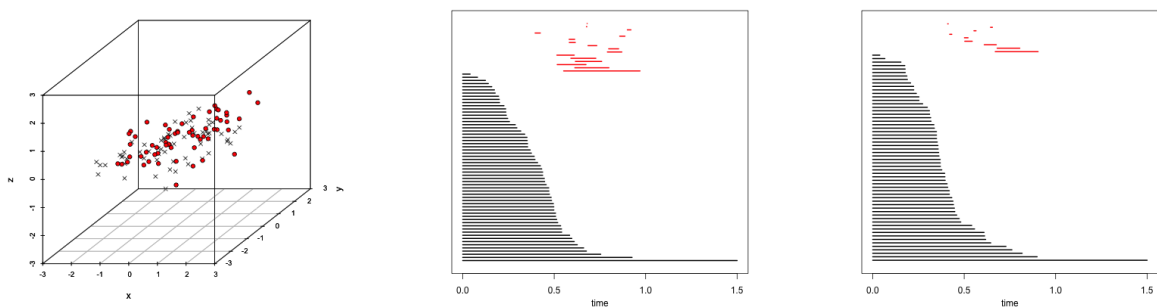


図 A.21 被験者 A-Y2,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

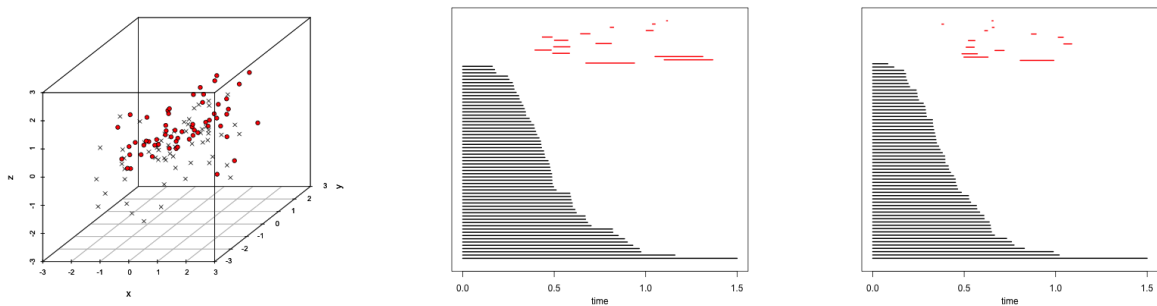


図 A.22 被験者 A-Y2,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

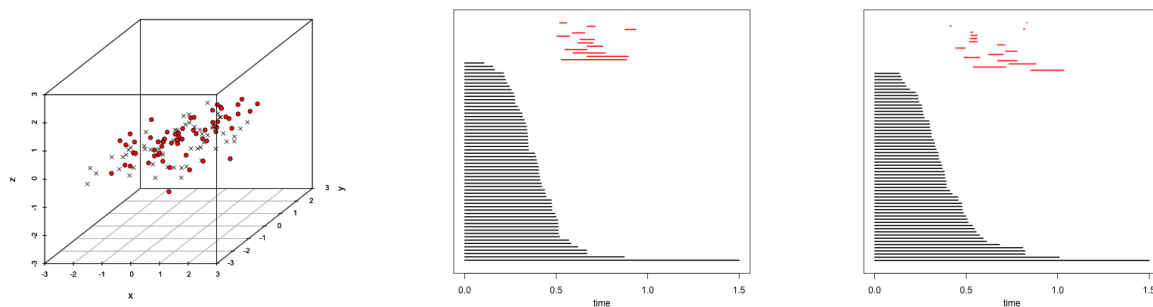


図 A.23 被験者 A-Y2,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

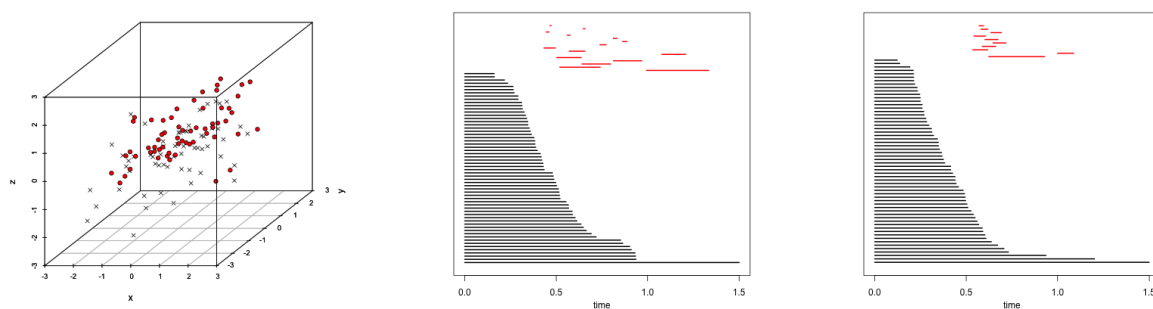


図 A.24 被験者 A-Y2,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

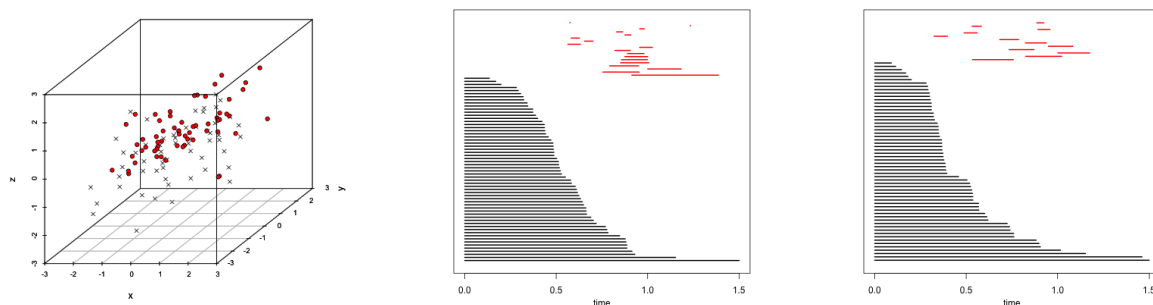


図 A.25 被験者 A-Y2,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

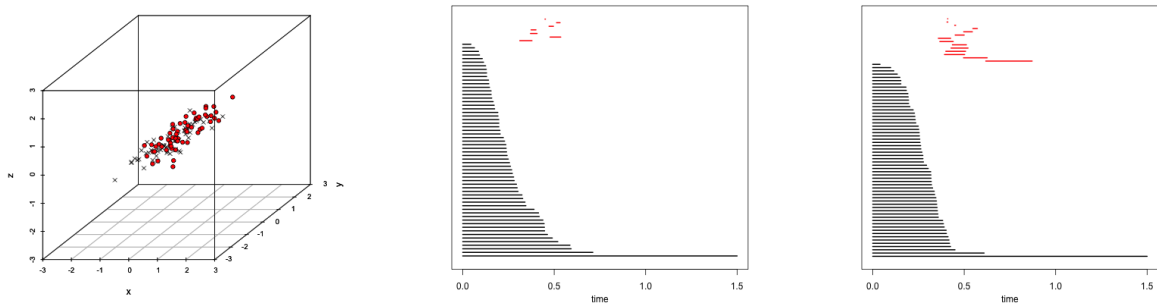


図 A.26 被験者 A-Y3,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

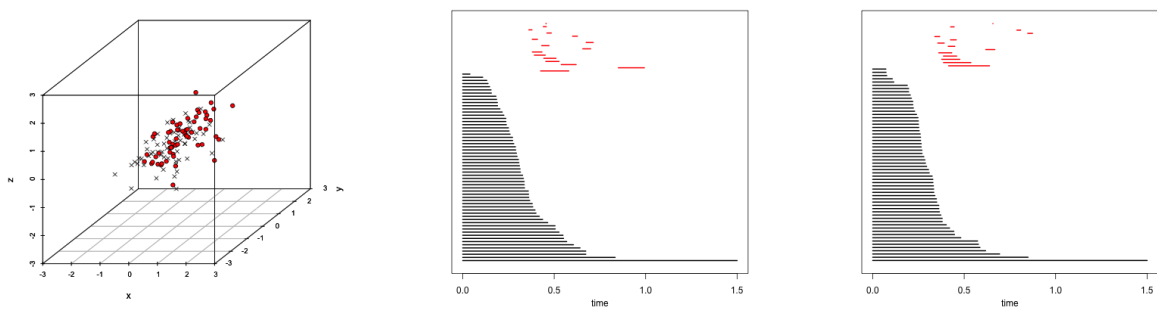


図 A.27 被験者 A-Y3,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

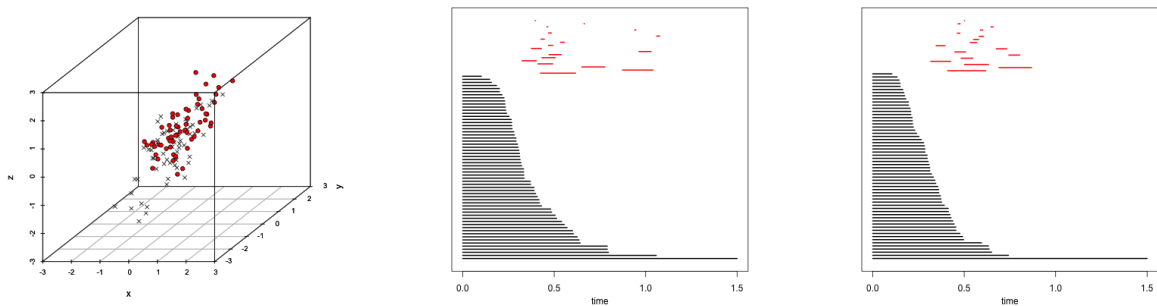


図 A.28 被験者 A-Y3,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

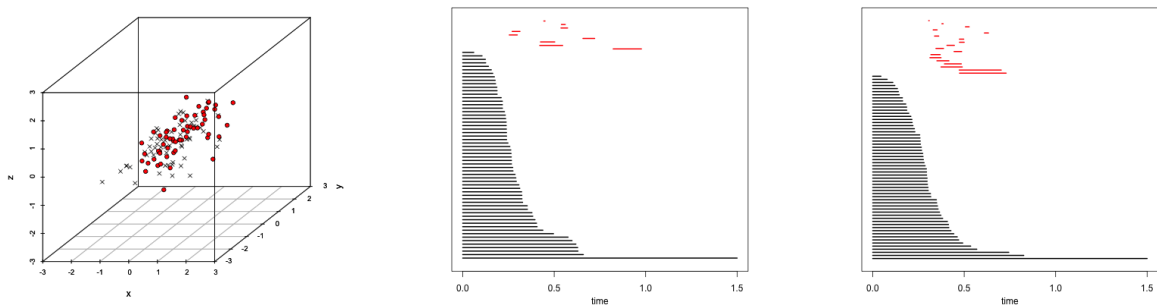


図 A.29 被験者 A-Y3,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

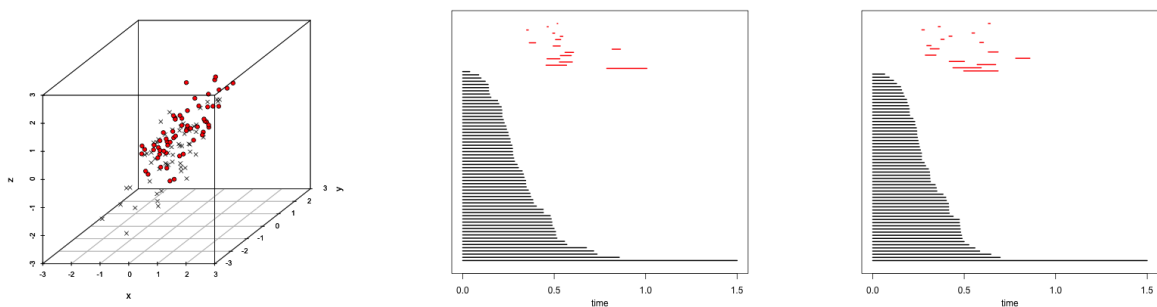


図 A.30 被験者 A-Y3,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

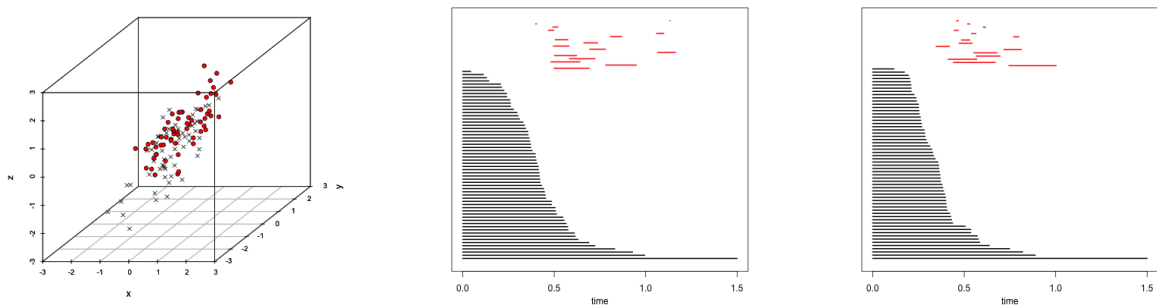


図 A.31 被験者 A-Y3,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

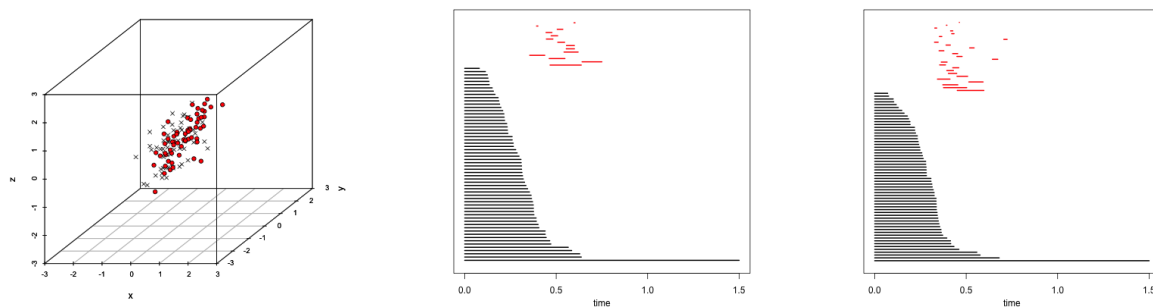


図 A.32 被験者 A-Y4,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

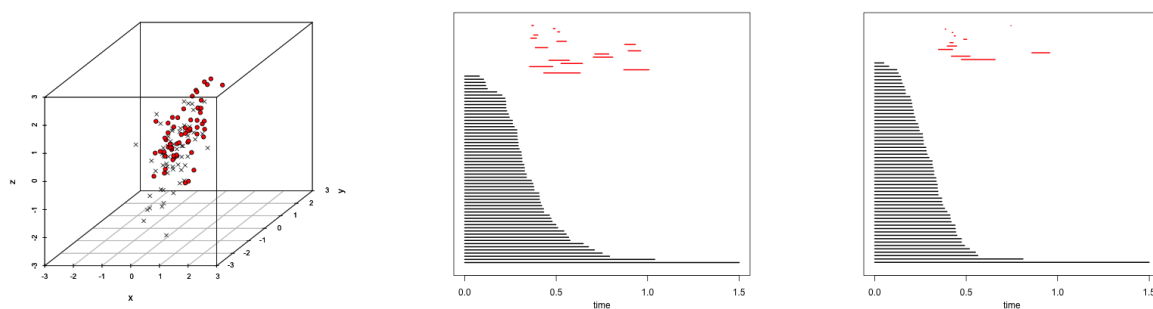


図 A.33 被験者 A-Y4,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

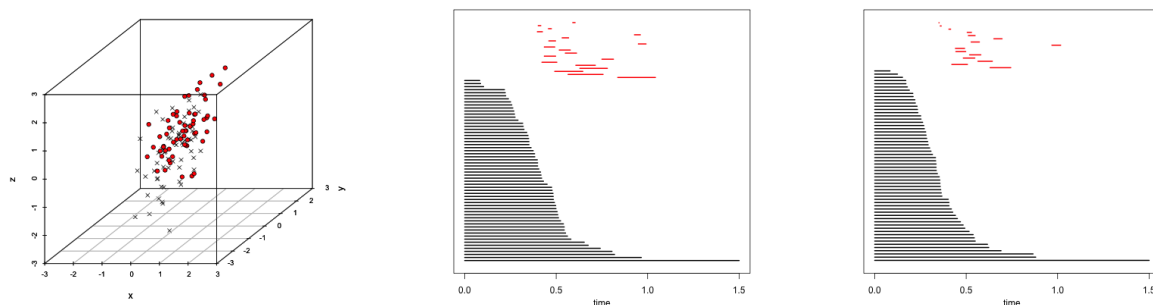


図 A.34 被験者 A-Y4,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

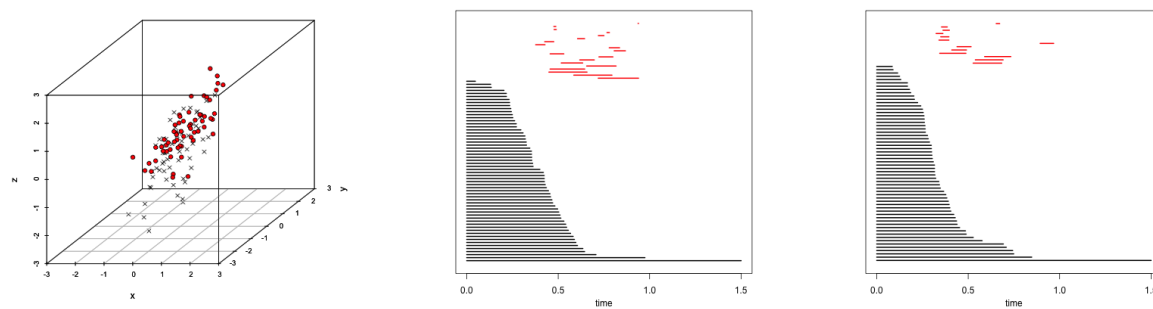


図 A.35 被験者 A-Y5,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

A.1.2 被験者 B-32ch

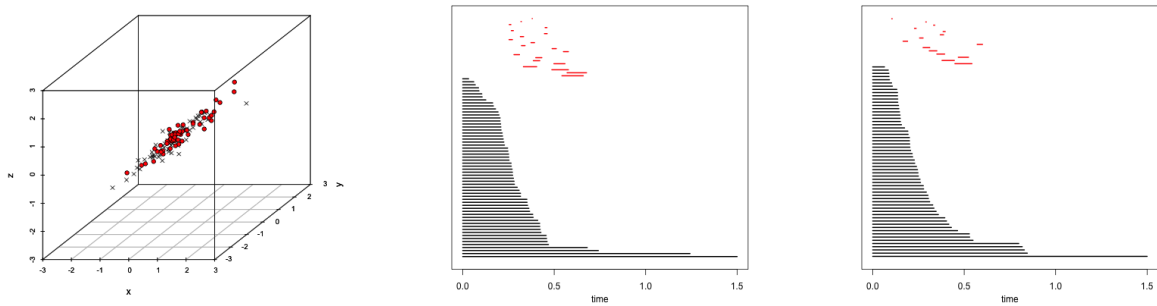


図 A.36 被験者 B-Y1,2,3 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

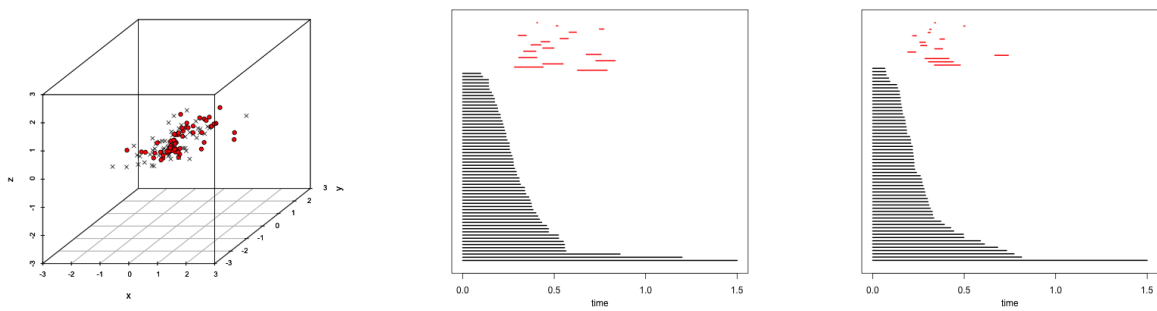


図 A.37 被験者 B-Y1,2,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

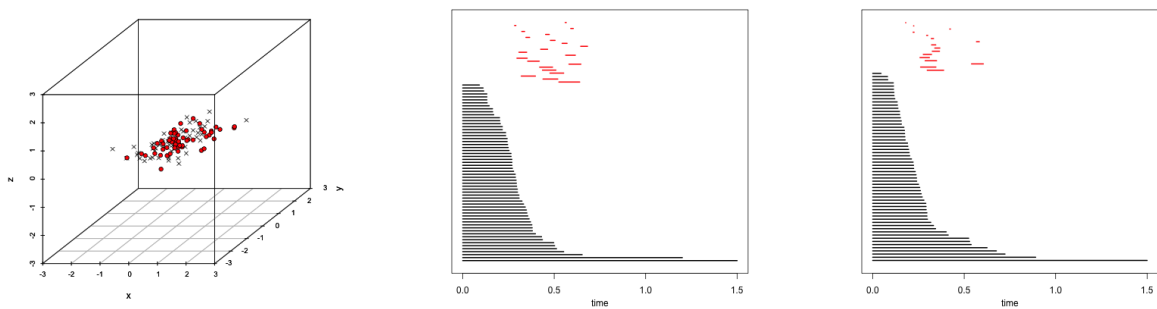


図 A.38 被験者 B-Y1,2,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

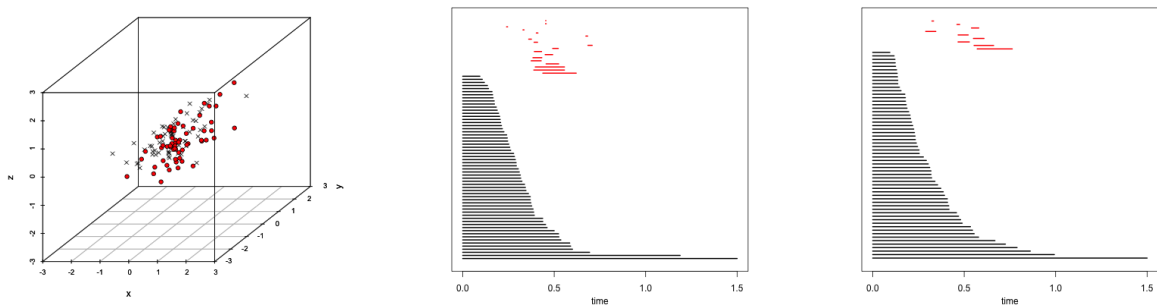


図 A.39 被験者 B-Y1,2,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

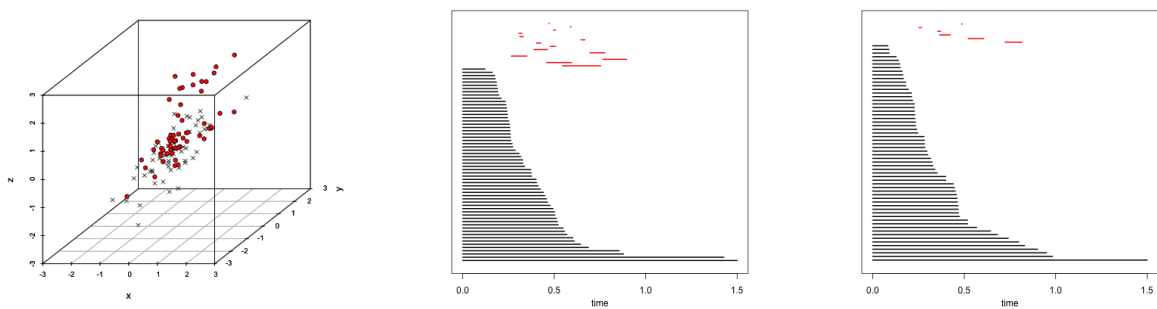


図 A.40 被験者 B-Y1,2,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

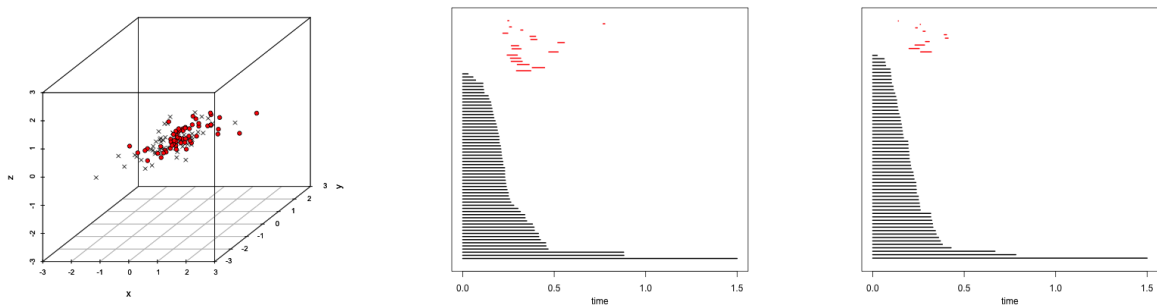


図 A.41 被験者 B-Y1,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

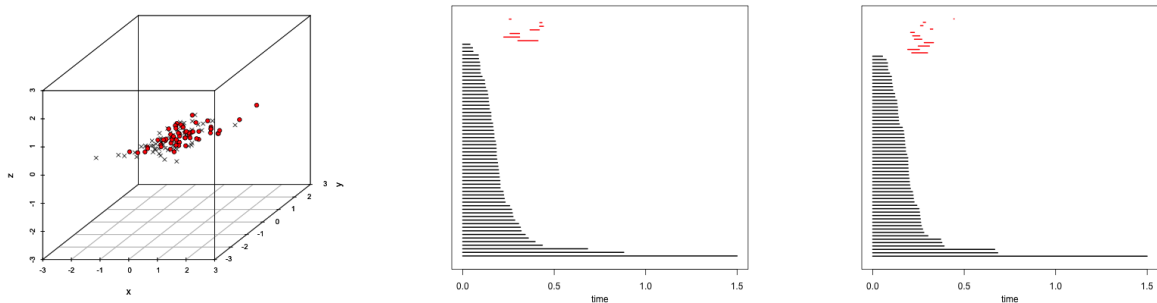


図 A.42 被験者 B-Y1,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

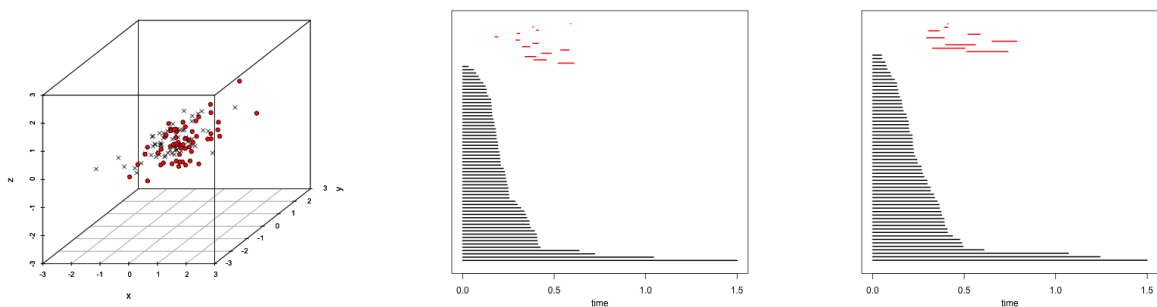


図 A.43 被験者 B-Y1,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

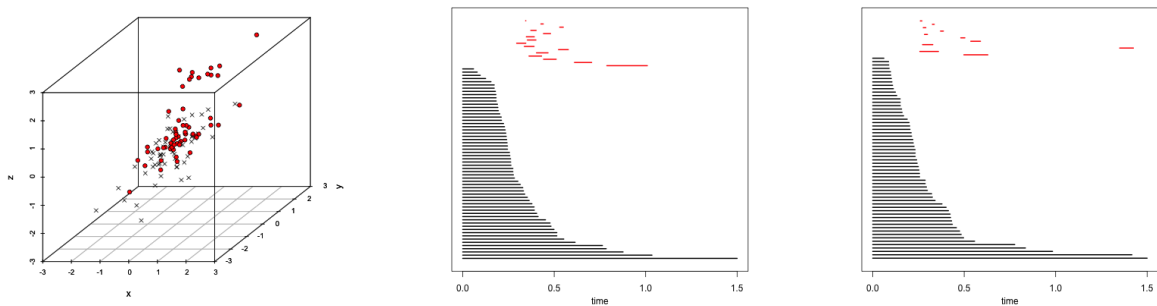


図 A.44 被験者 B-Y1,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

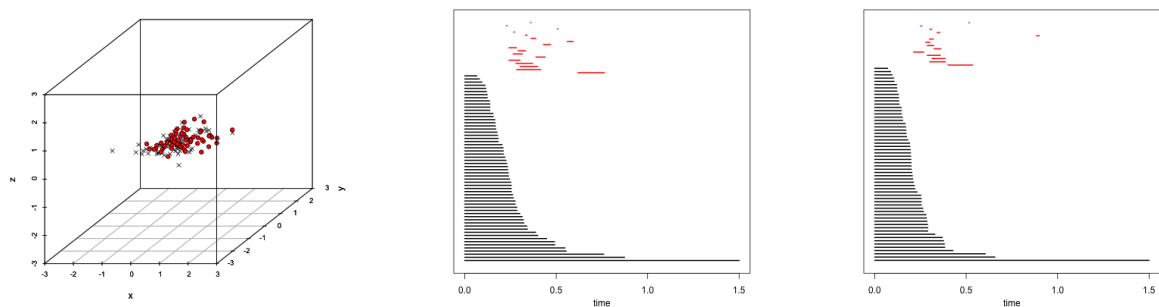


図 A.45 被験者 B-Y1,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

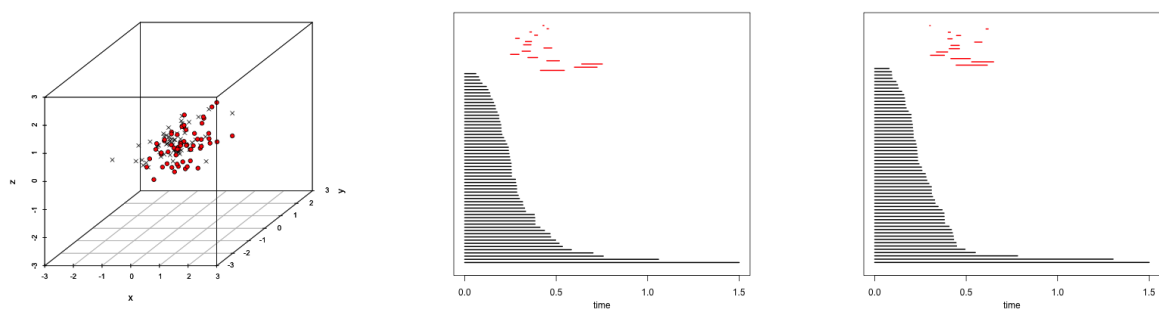


図 A.46 被験者 B-Y1,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

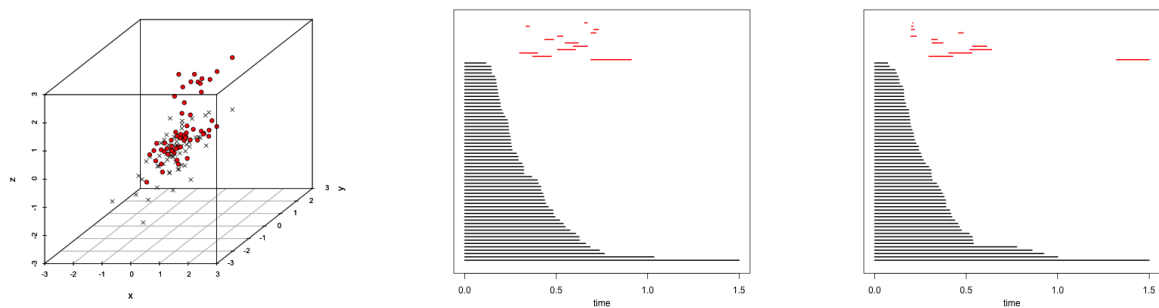


図 A.47 被験者 B-Y1,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

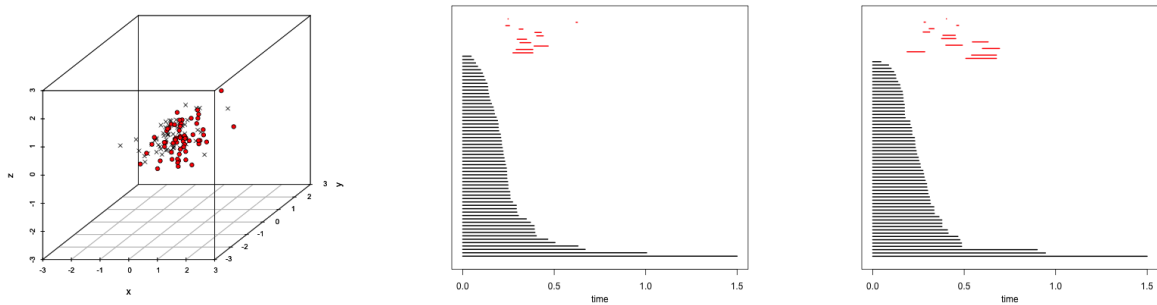


図 A.48 被験者 B-Y1,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

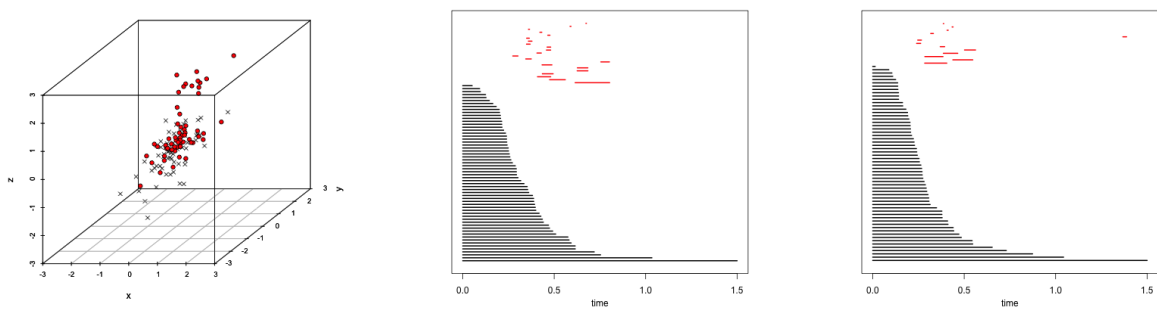


図 A.49 被験者 B-Y1,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

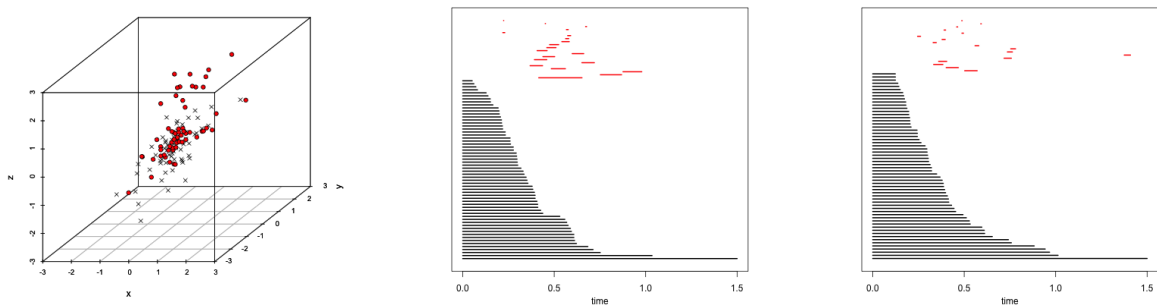


図 A.50 被験者 B-Y1,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

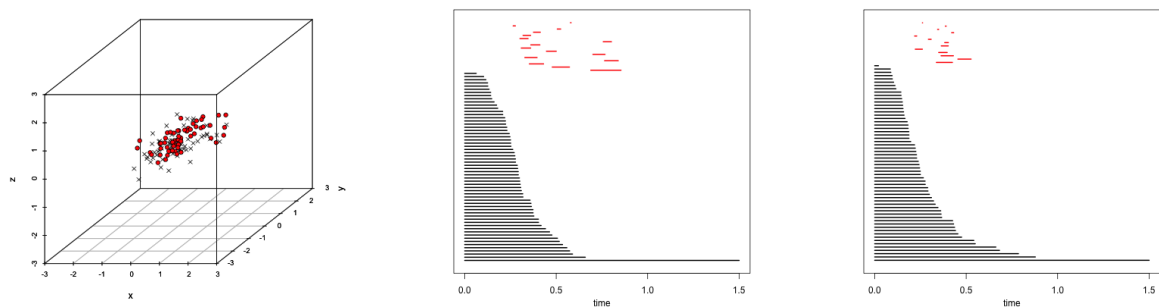


図 A.51 被験者 B-Y2,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

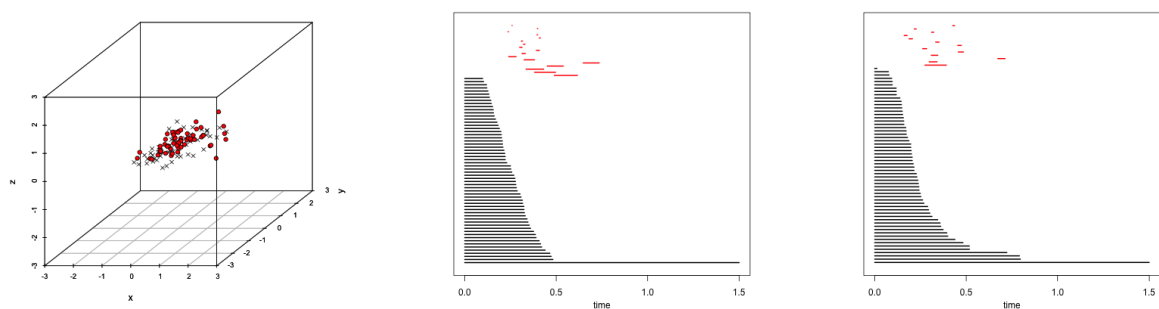


図 A.52 被験者 B-Y2,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

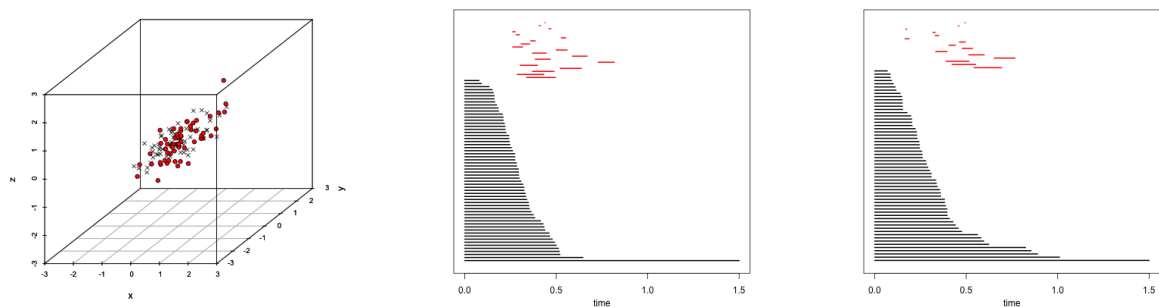


図 A.53 被験者 B-Y2,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

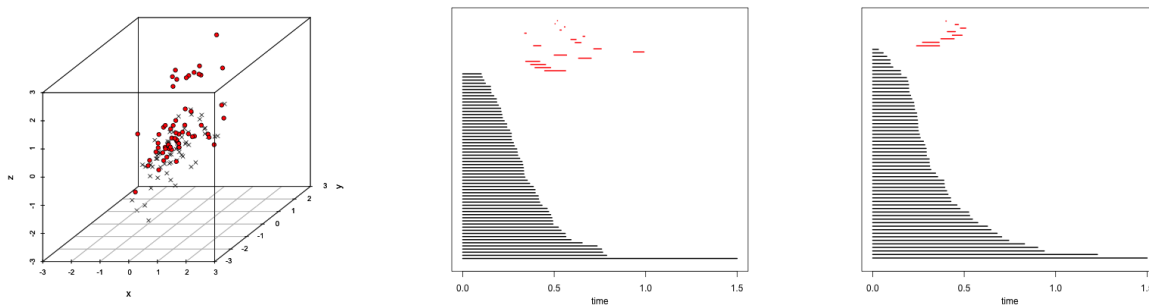


図 A.54 被験者 B-Y2,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

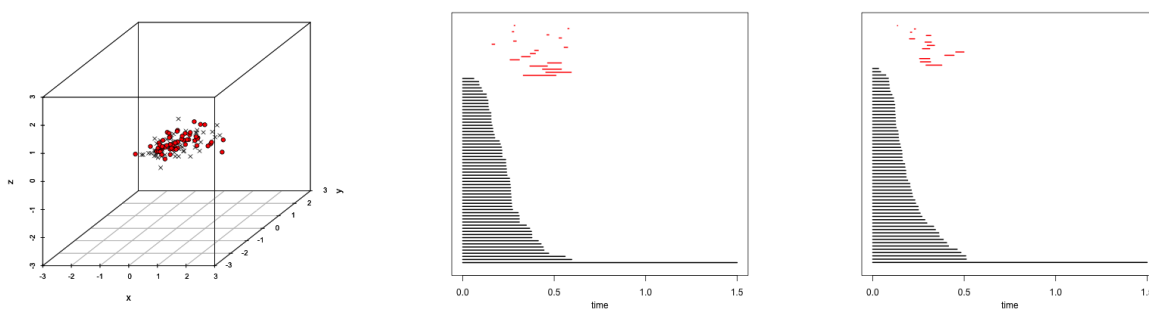


図 A.55 被験者 B-Y2,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

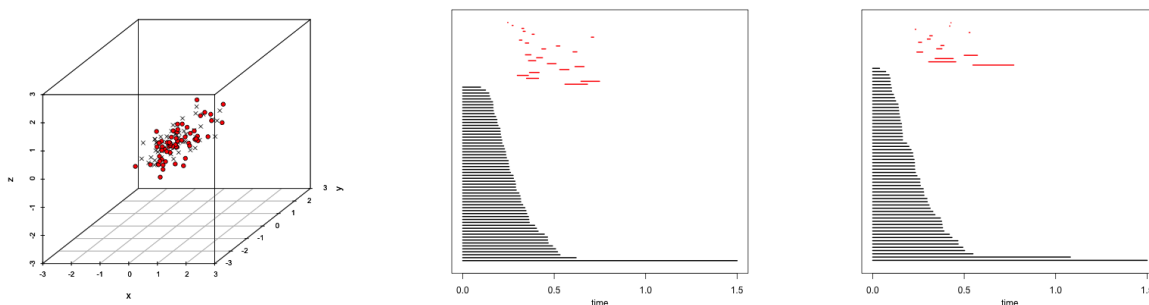


図 A.56 被験者 B-Y2,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

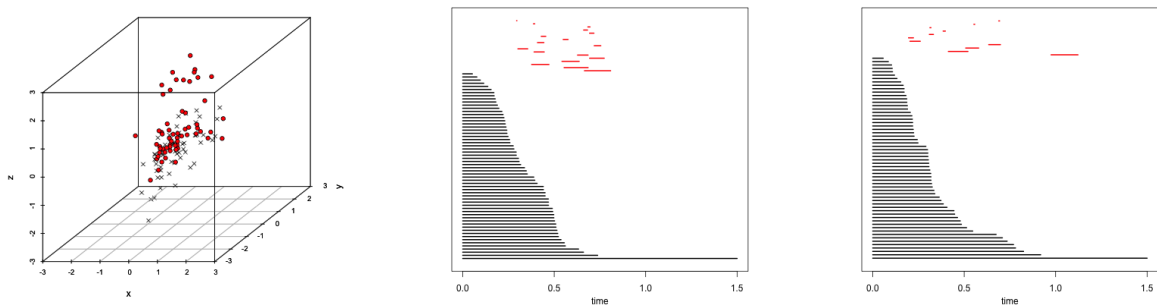


図 A.57 被験者 B-Y2,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

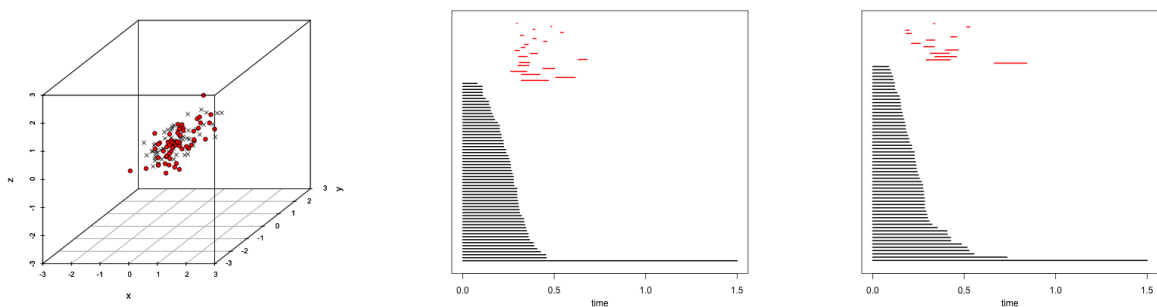


図 A.58 被験者 B-Y2,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

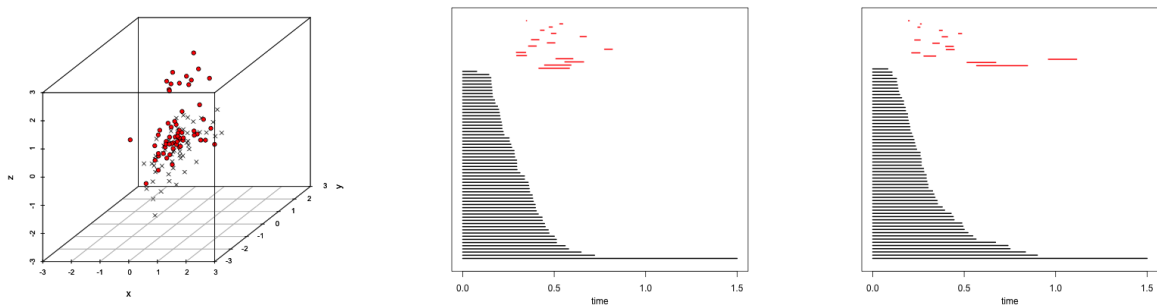


図 A.59 被験者 B-Y2,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

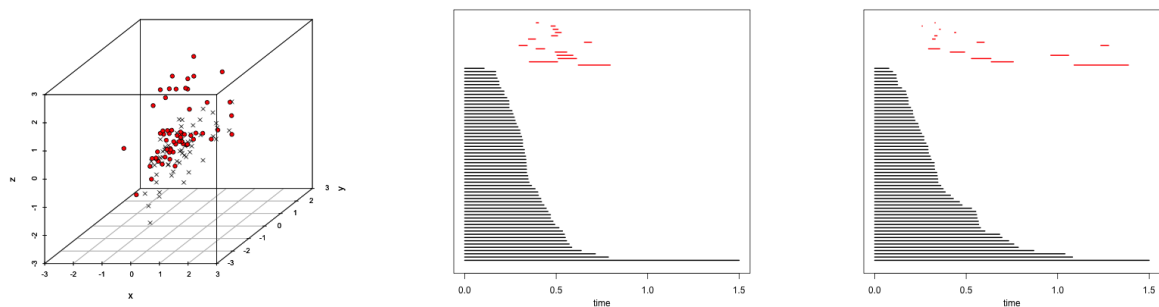


図 A.60 被験者 B-Y2,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

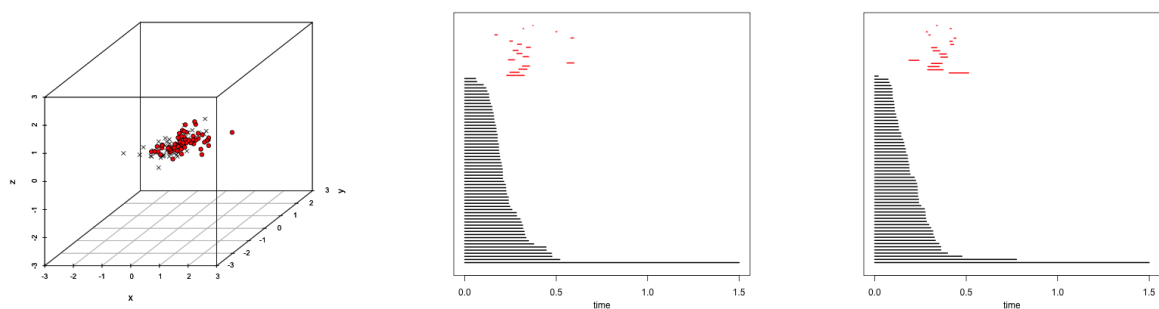


図 A.61 被験者 B-Y3,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

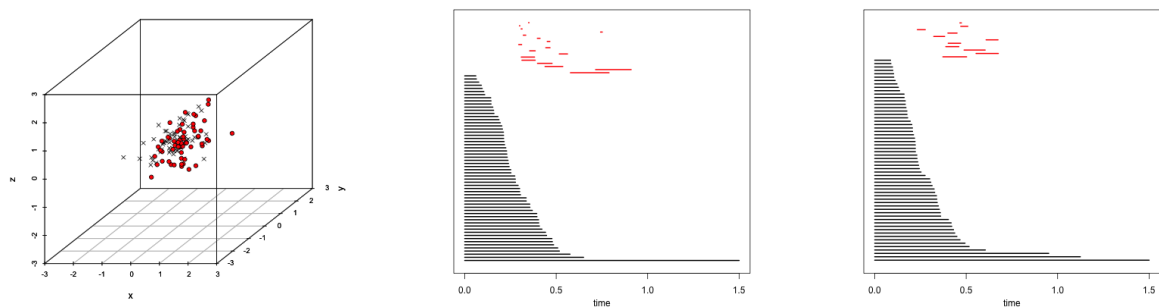


図 A.62 被験者 B-Y3,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

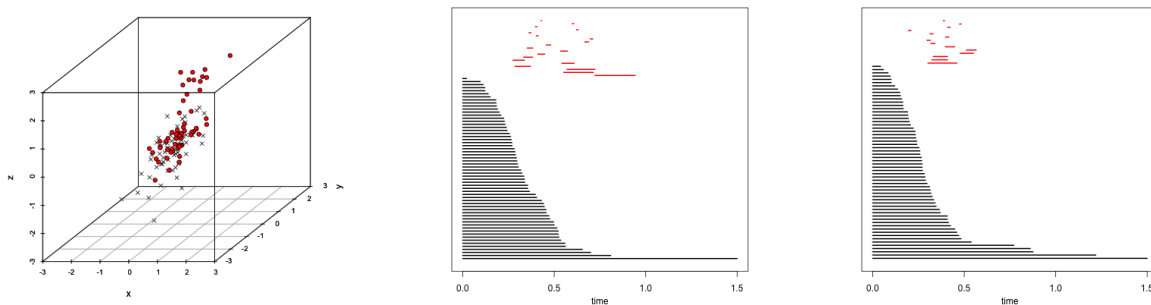


図 A.63 被験者 B-Y3,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

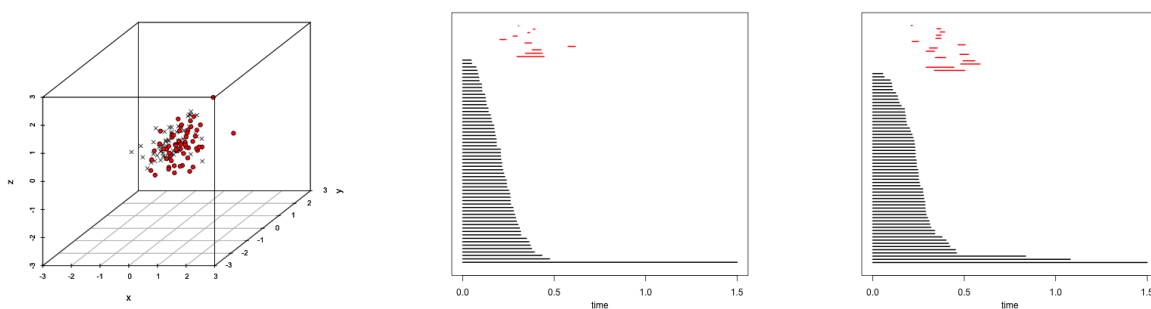


図 A.64 被験者 B-Y3,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

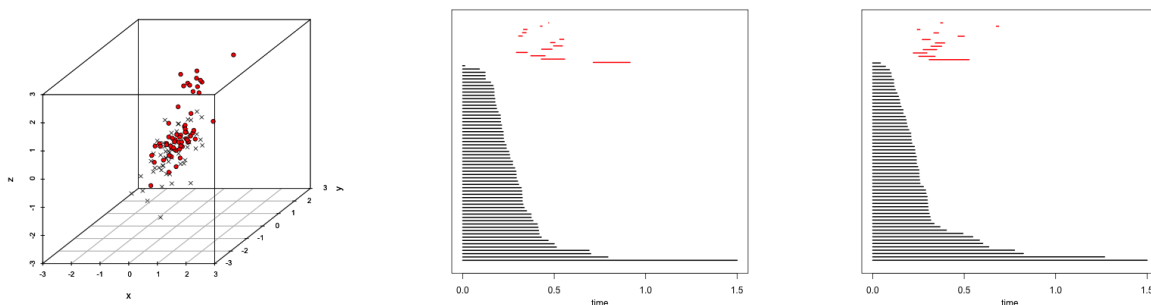


図 A.65 被験者 B-Y3,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

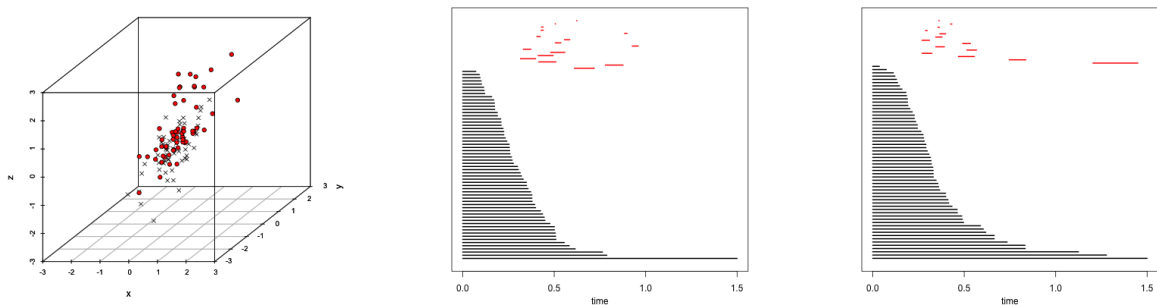


図 A.66 被験者 B-Y3,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

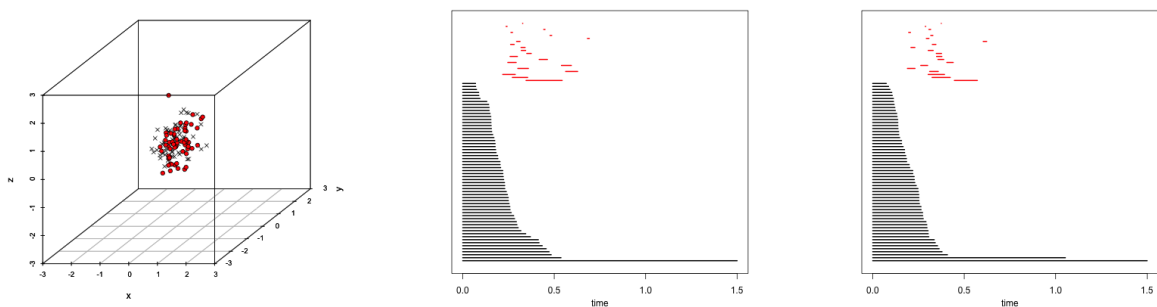


図 A.67 被験者 B-Y4,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

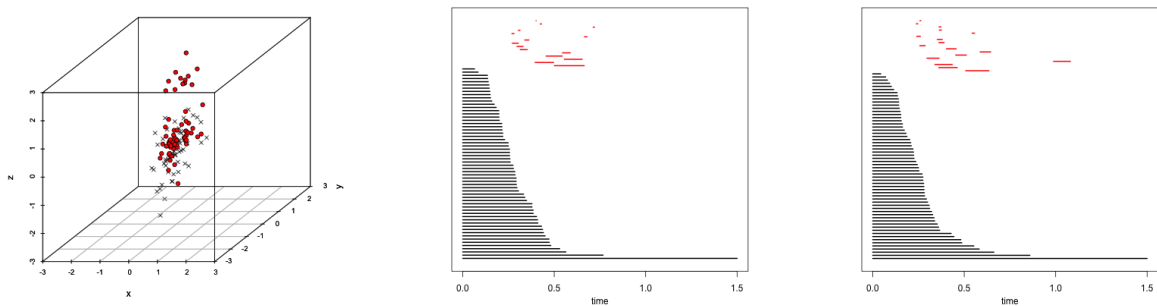


図 A.68 被験者 B-Y4,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

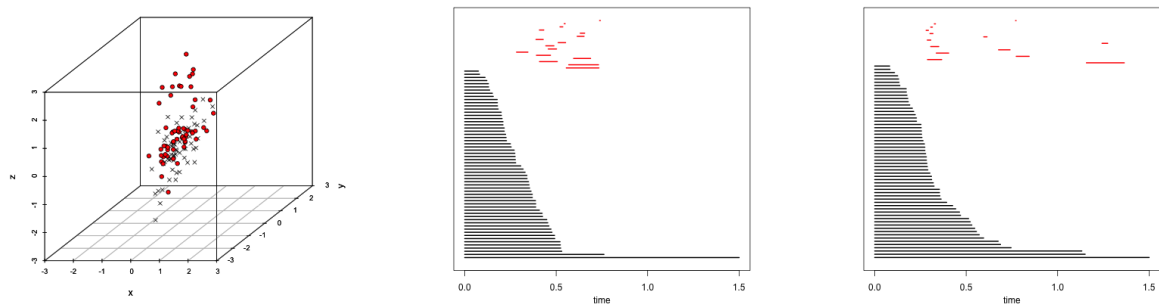


図 A.69 被験者 B-Y4,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

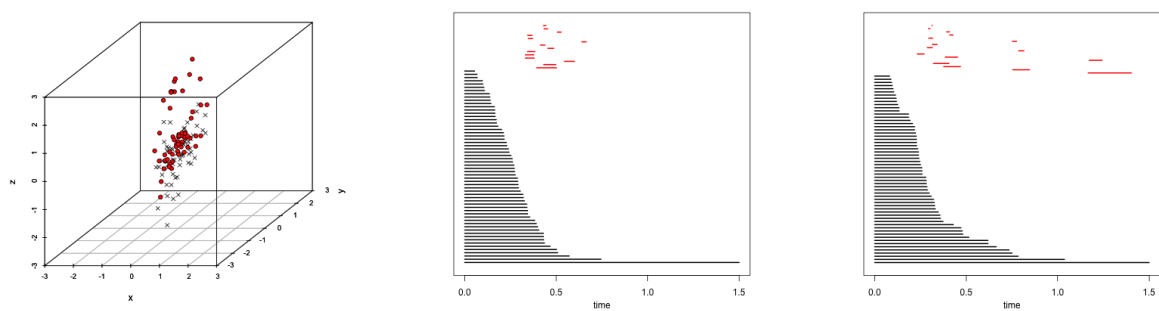


図 A.70 被験者 B-Y5,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

A.1.3 被験者 C-32ch

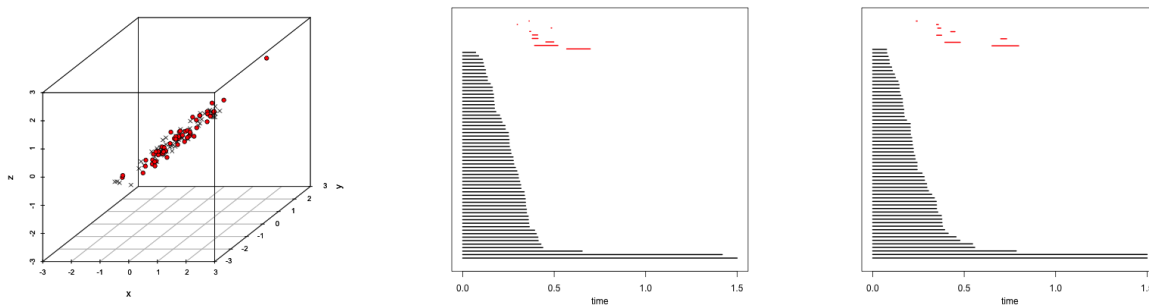


図 A.71 被験者 C-Y1,2,3 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

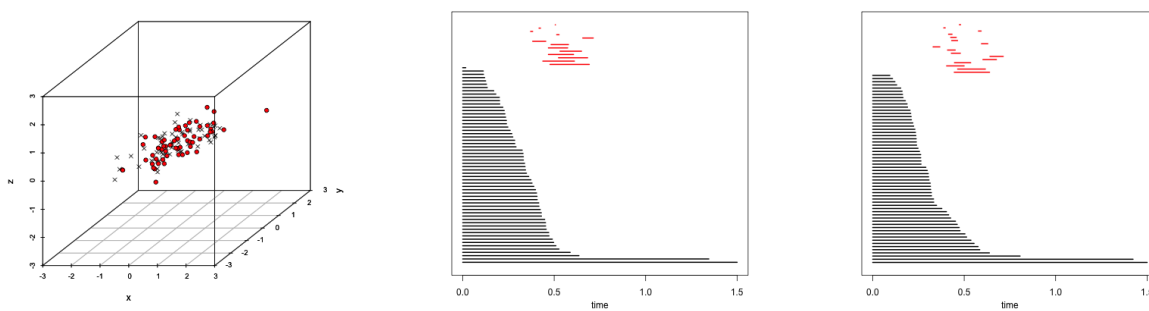


図 A.72 被験者 C-Y1,2,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

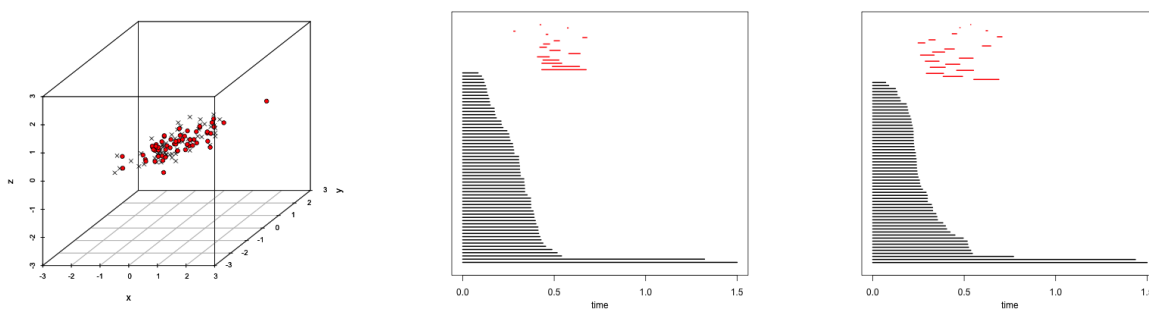


図 A.73 被験者 C-Y1,2,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

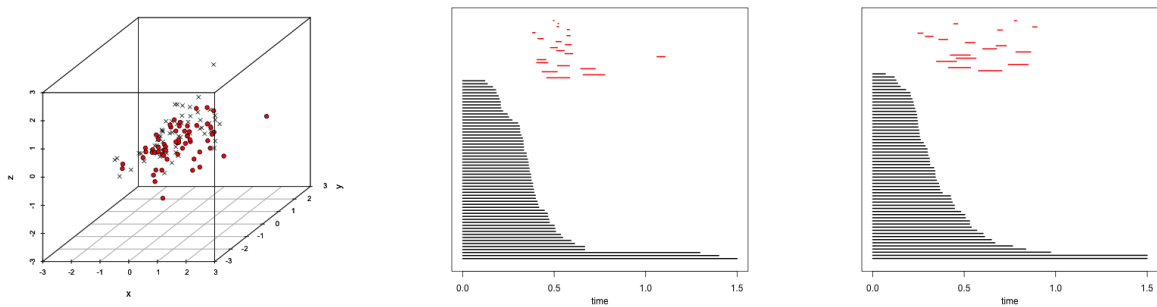


図 A.74 被験者 C-Y1,2,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

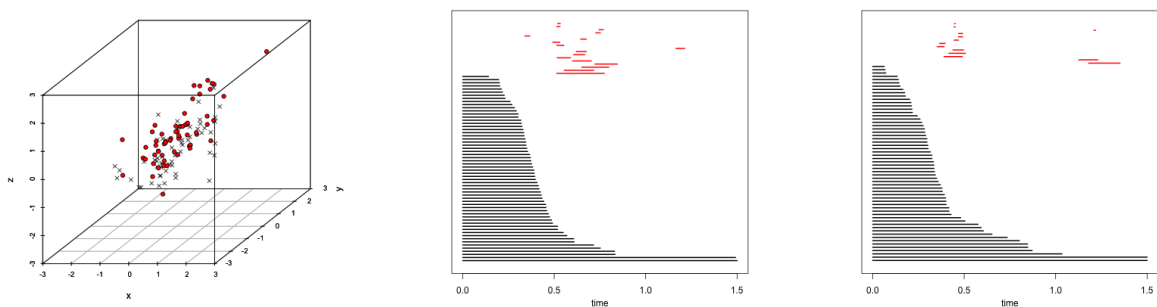


図 A.75 被験者 C-Y1,2,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

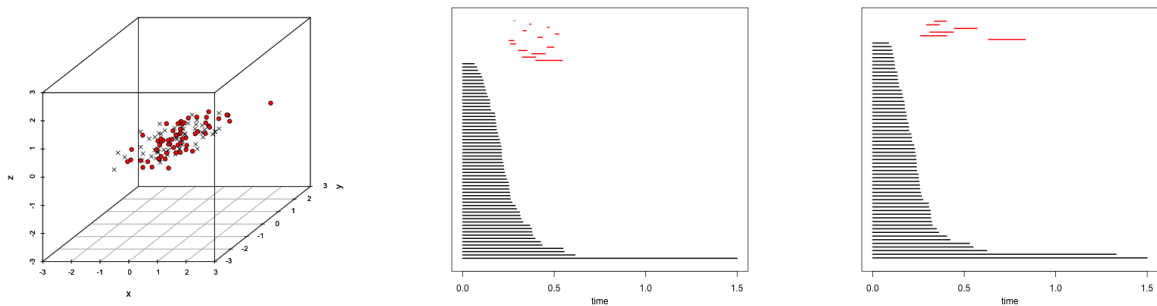


図 A.76 被験者 C-Y1,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

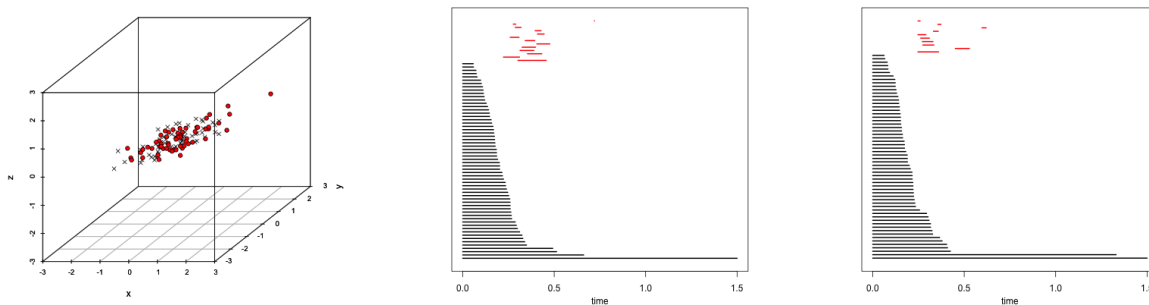


図 A.77 被験者 C-Y1,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

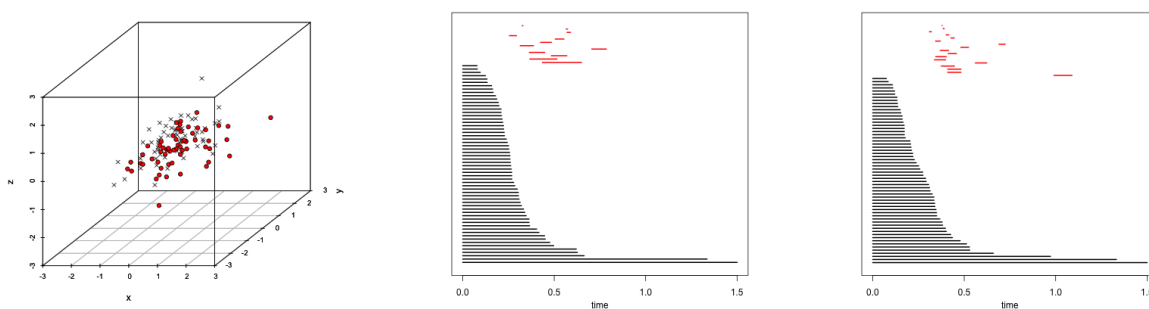


図 A.78 被験者 C-Y1,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

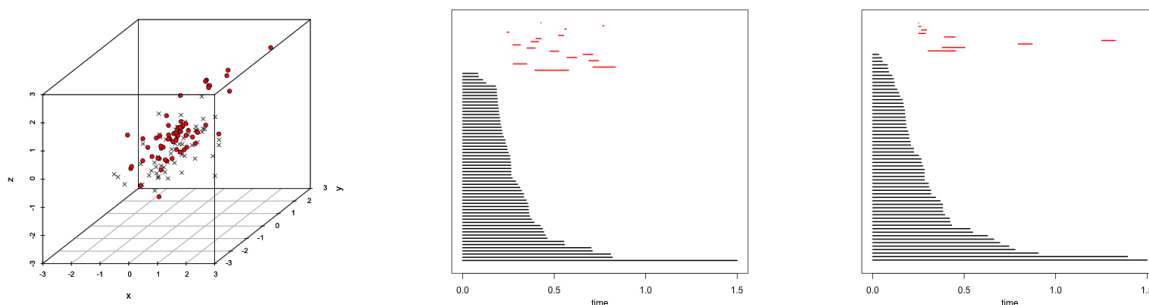


図 A.79 被験者 C-Y1,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

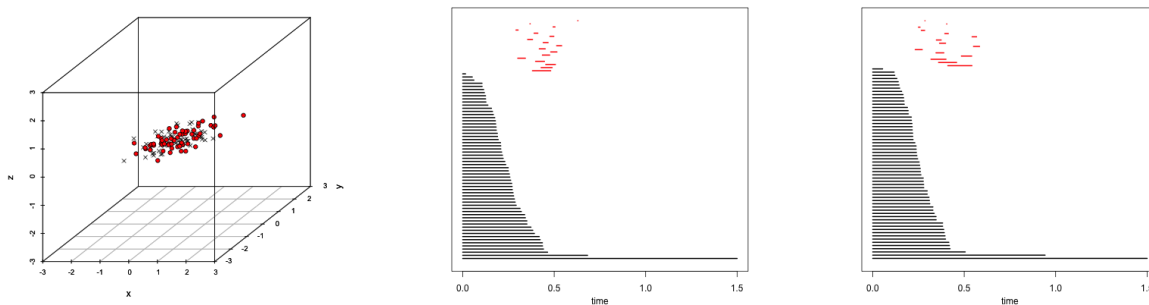


図 A.80 被験者 C-Y1,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

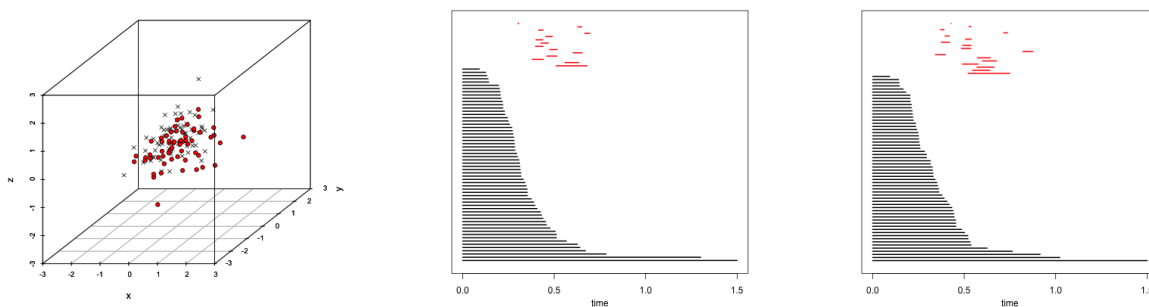


図 A.81 被験者 C-Y1,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

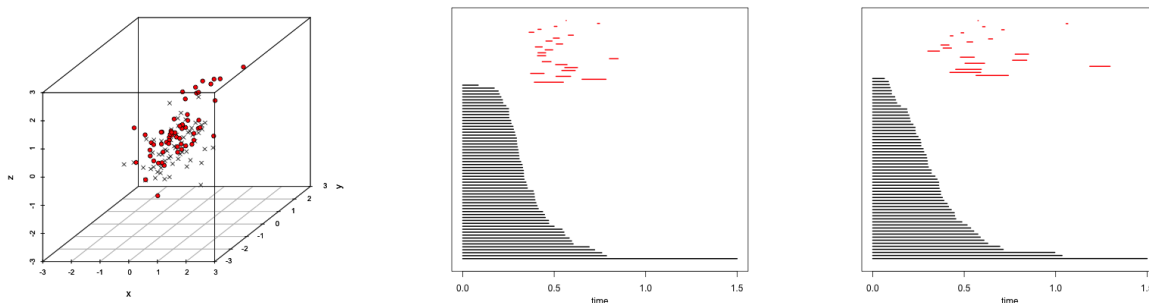


図 A.82 被験者 C-Y1,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

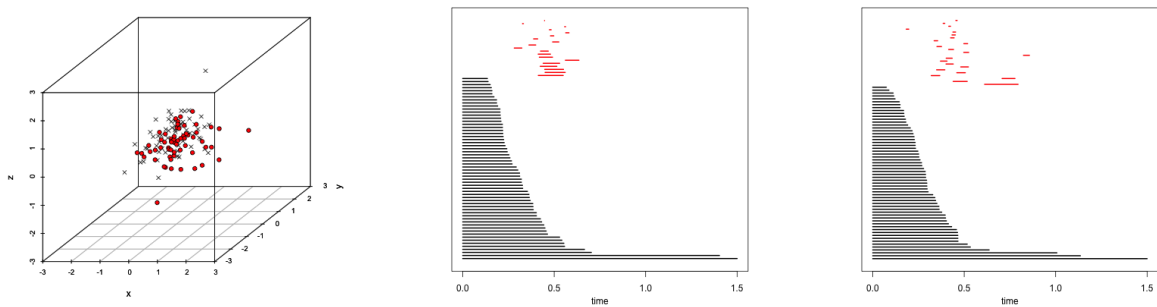


図 A.83 被験者 C-Y1,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

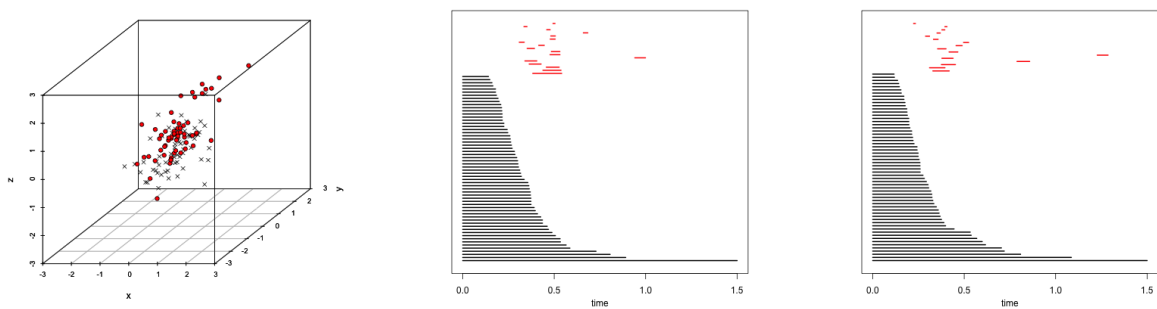


図 A.84 被験者 C-Y1,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

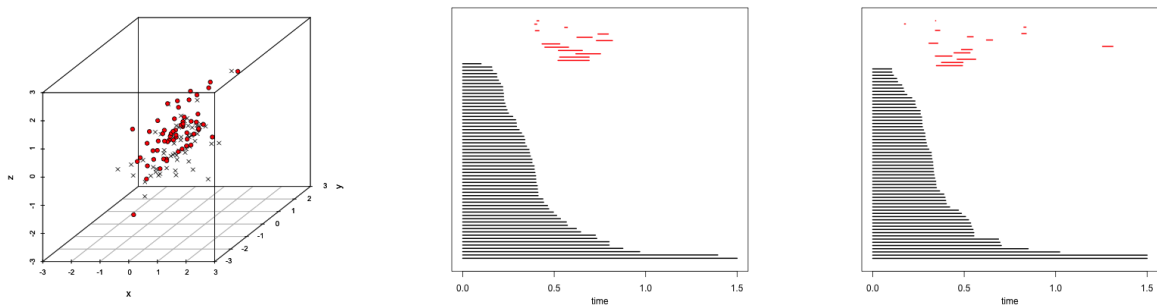


図 A.85 被験者 C-Y1,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

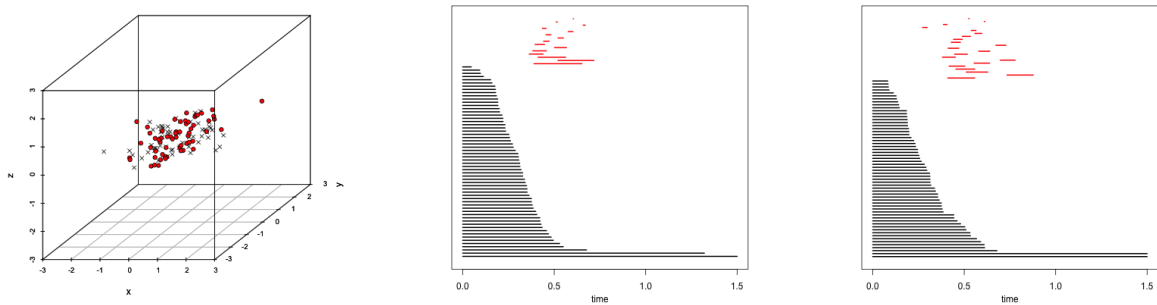


図 A.86 被験者 C-Y2,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

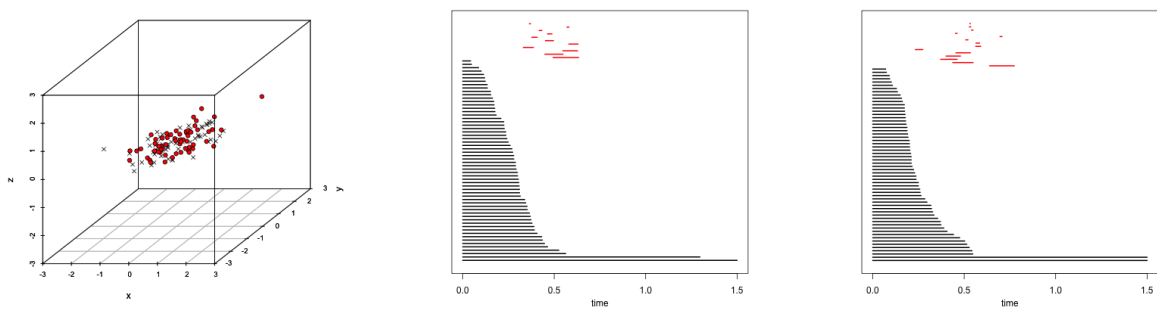


図 A.87 被験者 C-Y2,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

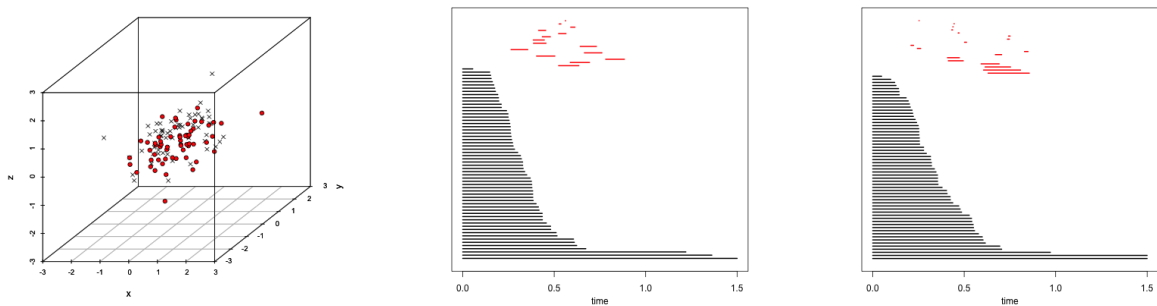


図 A.88 被験者 C-Y2,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

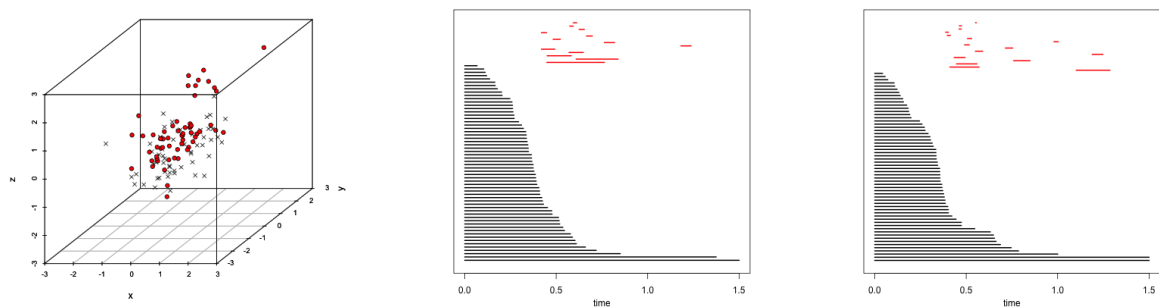


図 A.89 被験者 C-Y2,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

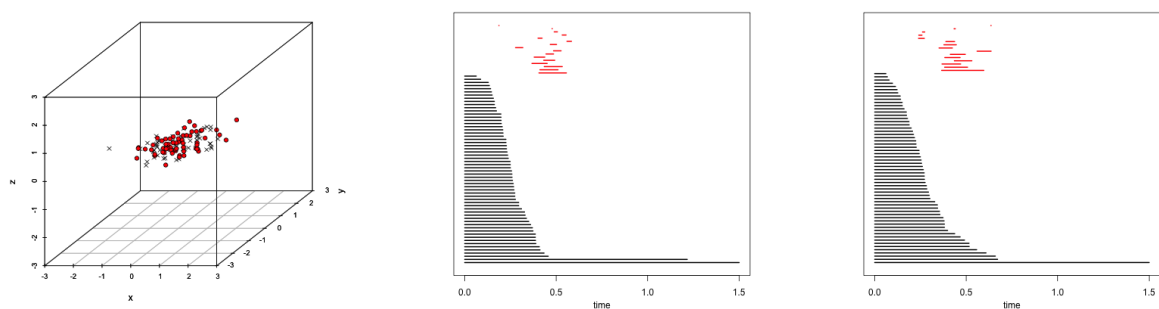


図 A.90 被験者 C-Y2,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

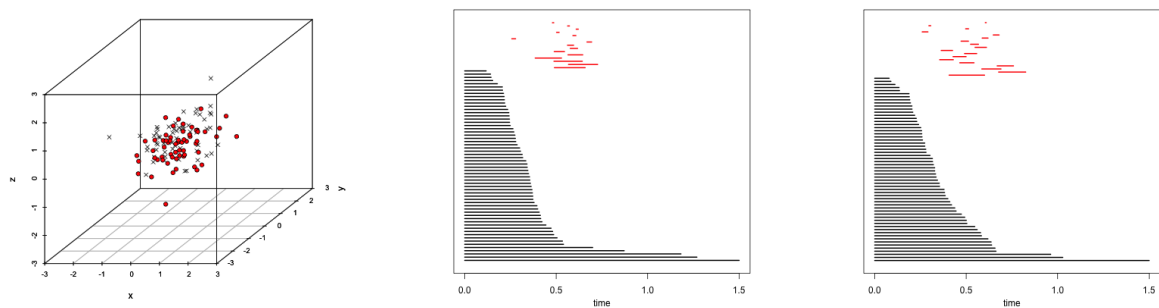


図 A.91 被験者 C-Y2,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

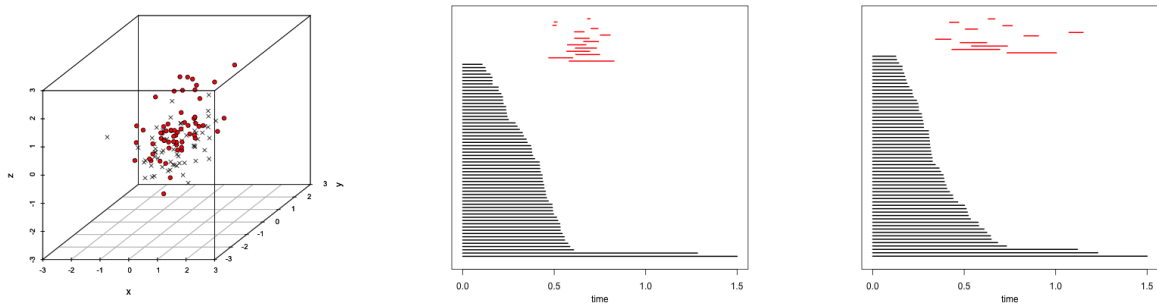


図 A.92 被験者 C-Y2,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

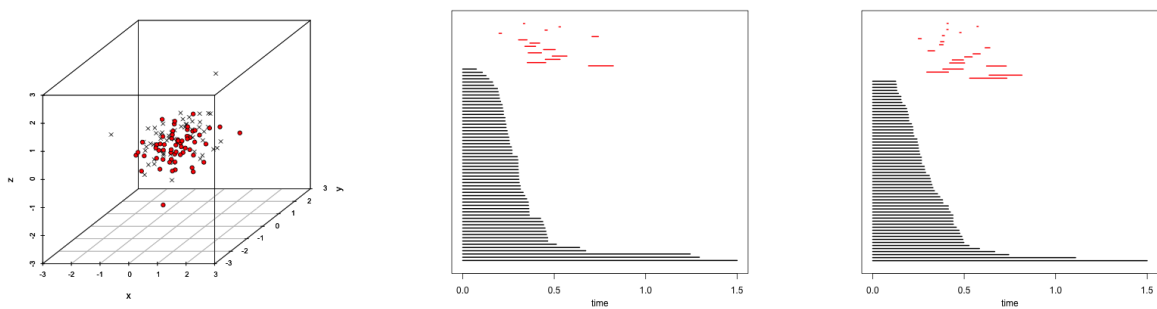


図 A.93 被験者 C-Y2,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

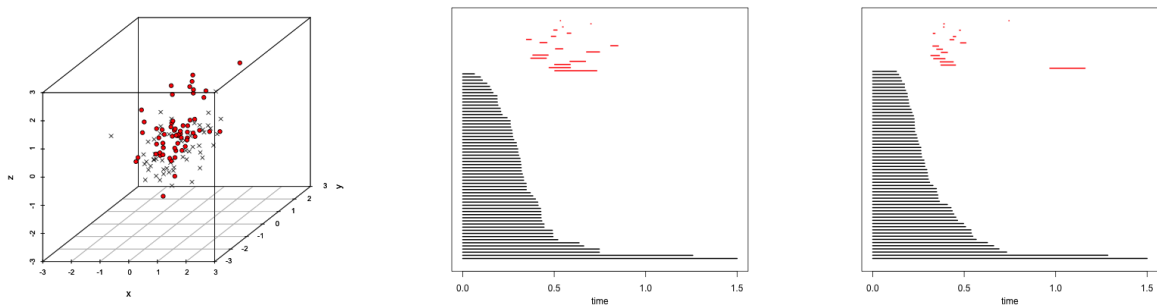


図 A.94 被験者 C-Y2,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

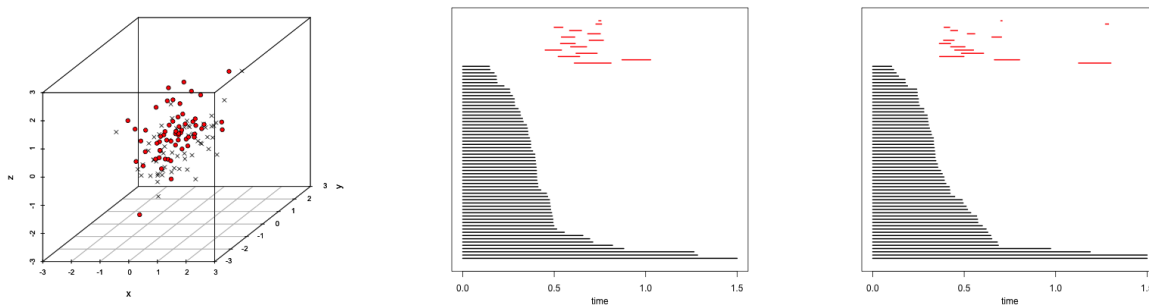


図 A.95 被験者 C-Y2,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

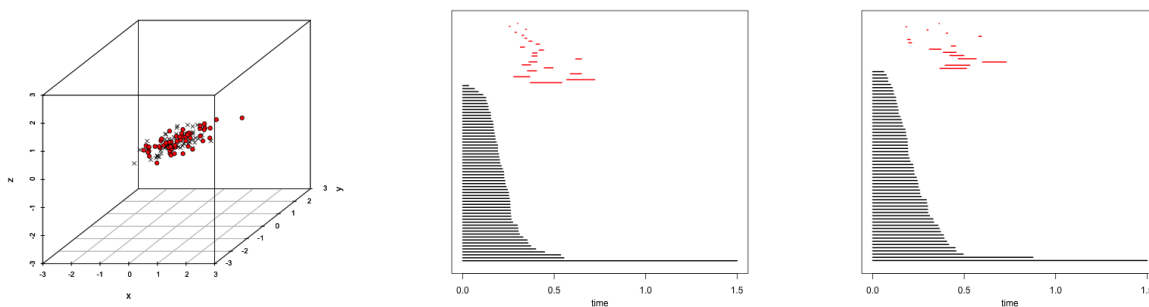


図 A.96 被験者 C-Y3,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

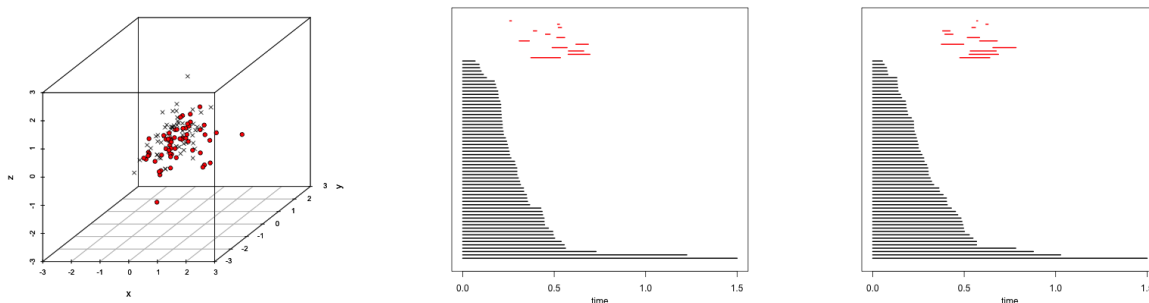


図 A.97 被験者 C-Y3,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

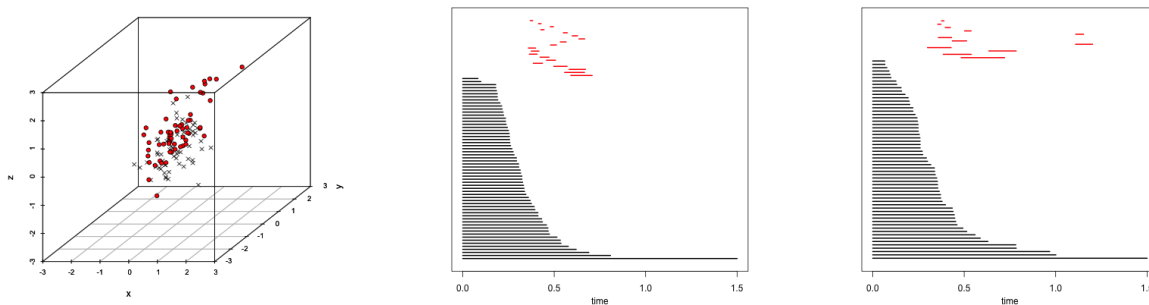


図 A.98 被験者 C-Y3,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

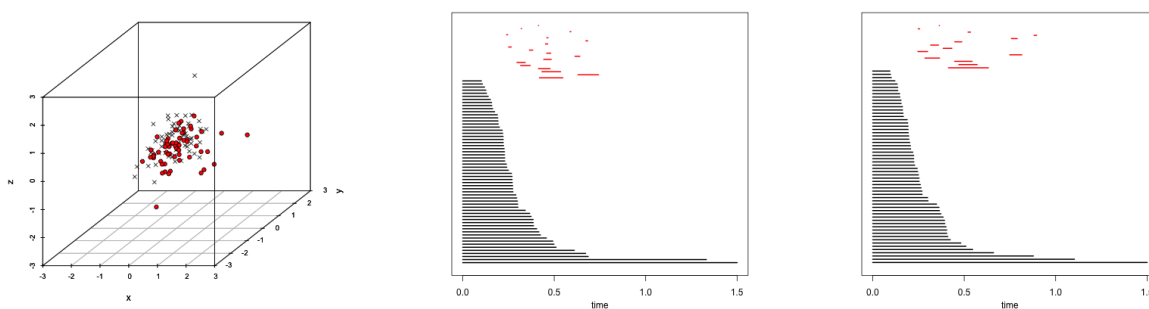


図 A.99 被験者 C-Y3,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

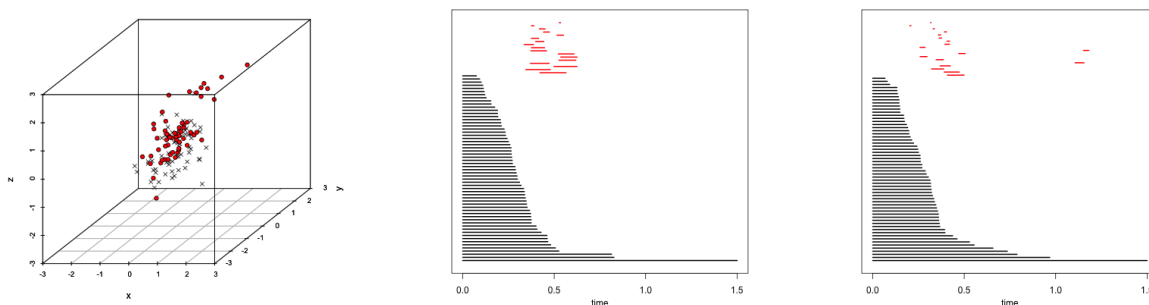


図 A.100 被験者 C-Y3,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

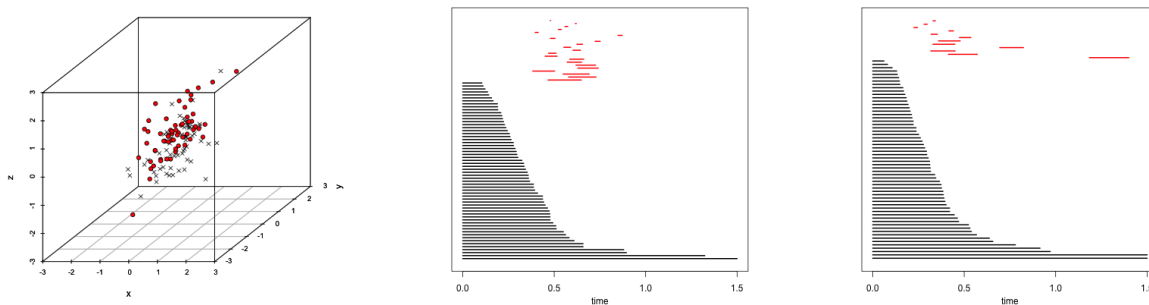


図 A.101 被験者 C-Y3,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

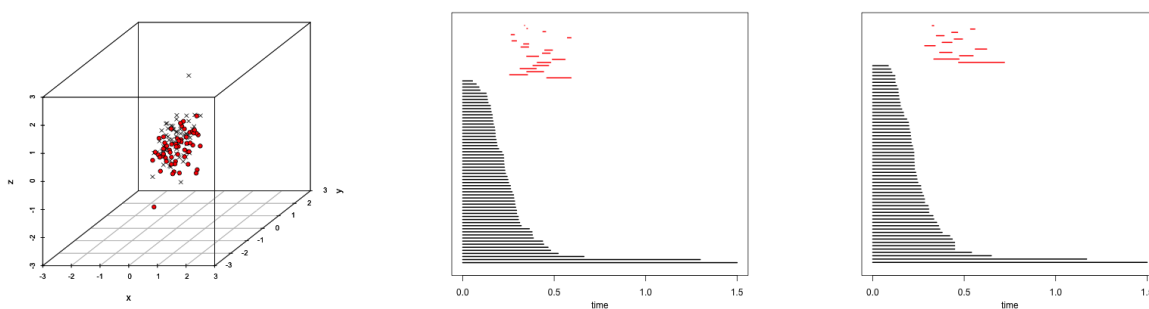


図 A.102 被験者 C-Y4,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

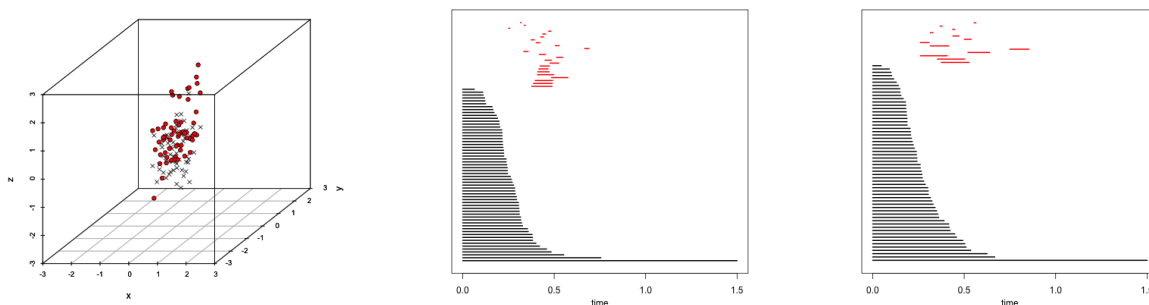


図 A.103 被験者 C-Y4,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

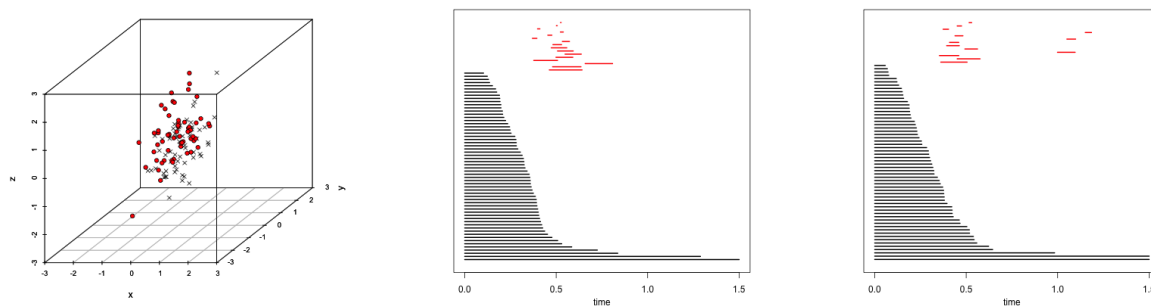


図 A.104 被験者 C-Y4,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

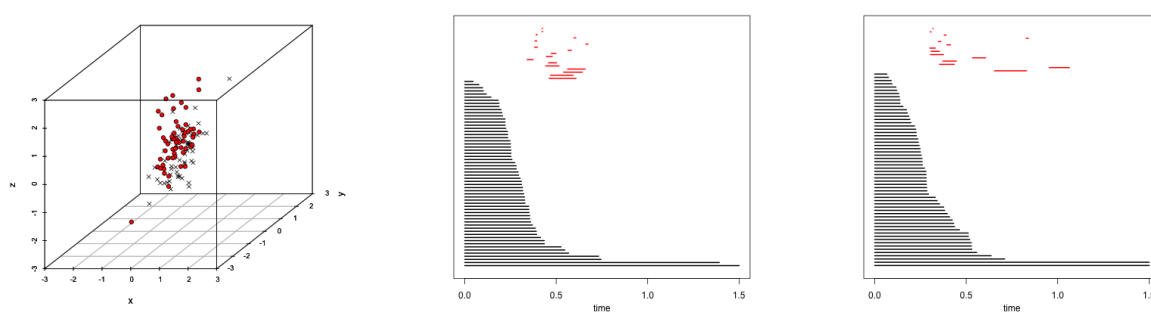


図 A.105 被験者 C-Y5,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

A.1.4 被験者 D-32ch

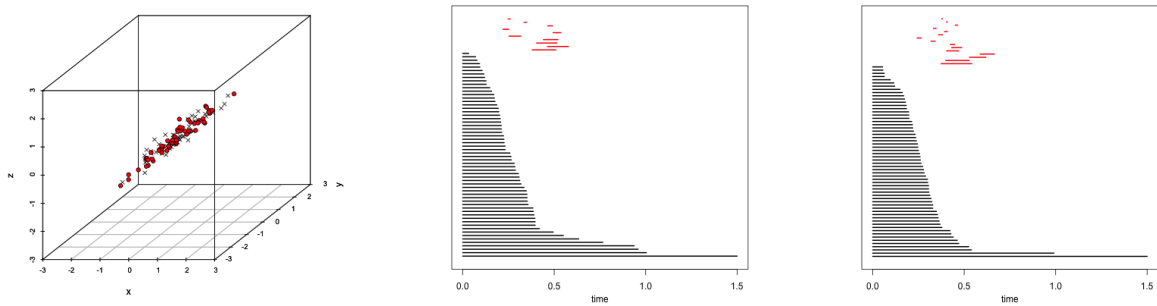


図 A.106 被験者 D-Y1,2,3 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

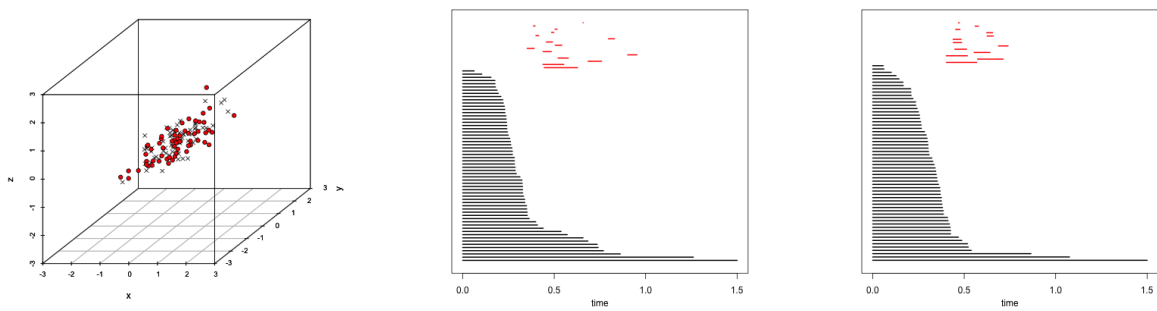


図 A.107 被験者 D-Y1,2,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

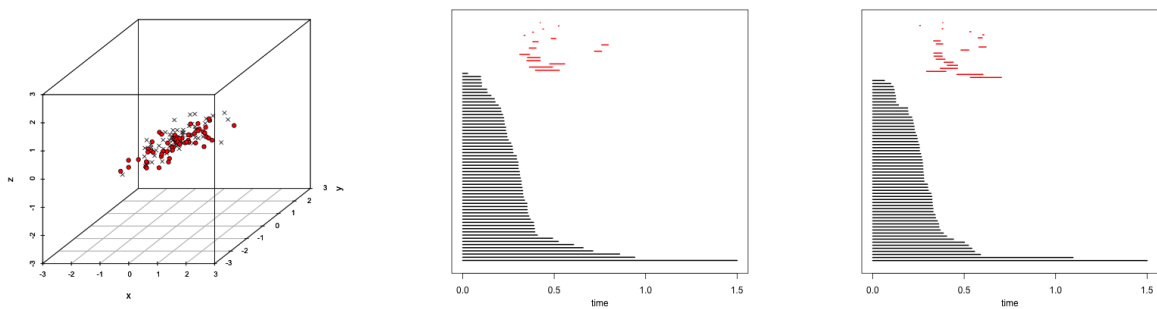


図 A.108 被験者 D-Y1,2,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

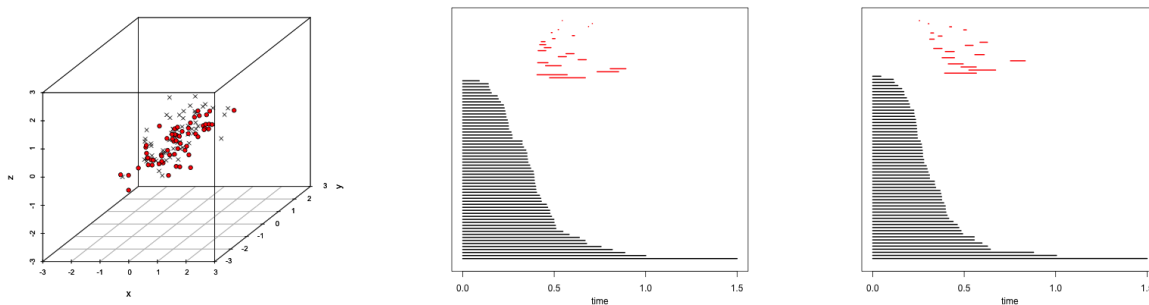


図 A.109 被験者 D-Y1,2,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

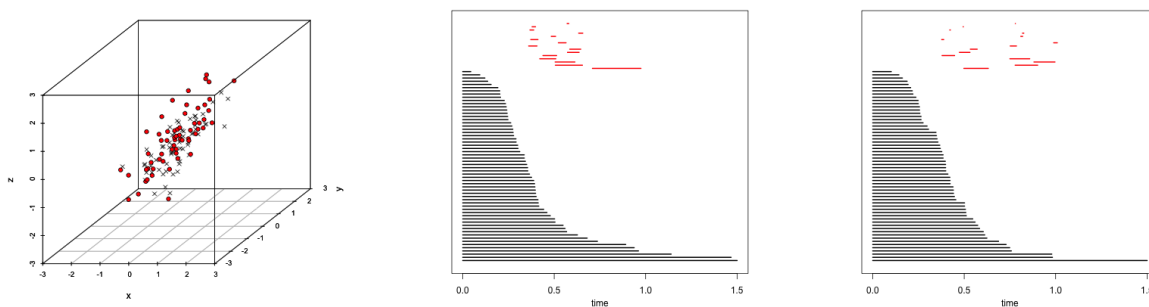


図 A.110 被験者 D-Y1,2,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

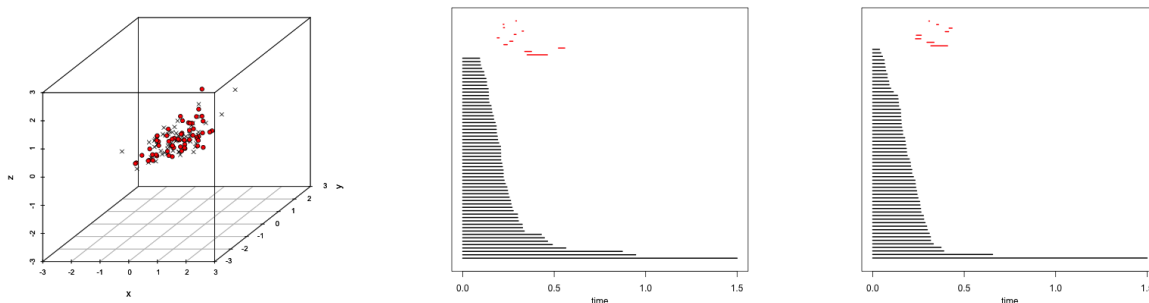


図 A.111 被験者 D-Y1,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

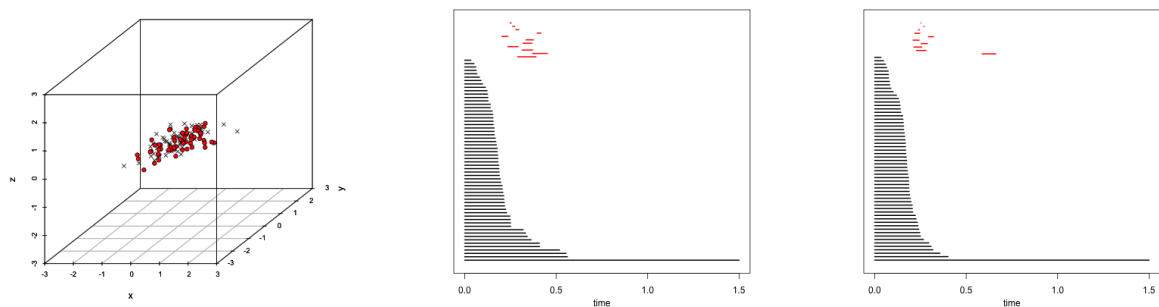


図 A.112 被験者 D-Y1,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

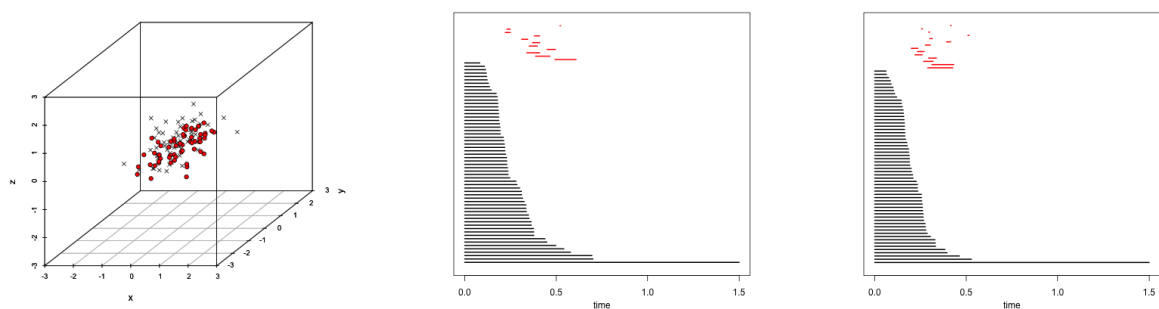


図 A.113 被験者 D-Y1,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

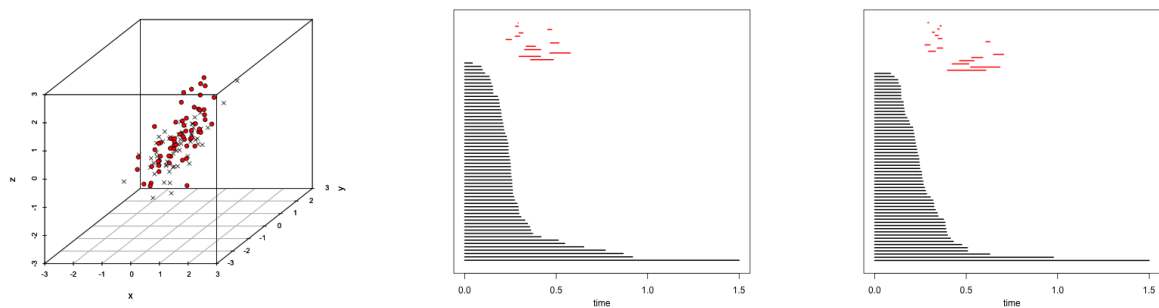


図 A.114 被験者 D-Y1,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

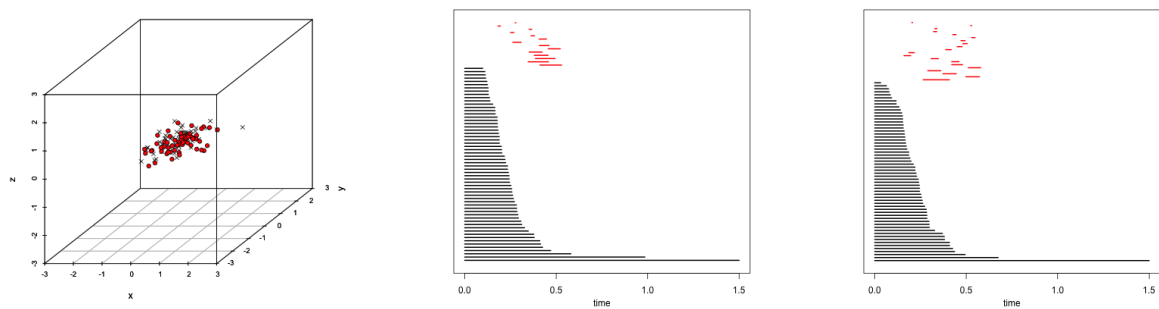


図 A.115 被験者 D-Y1,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

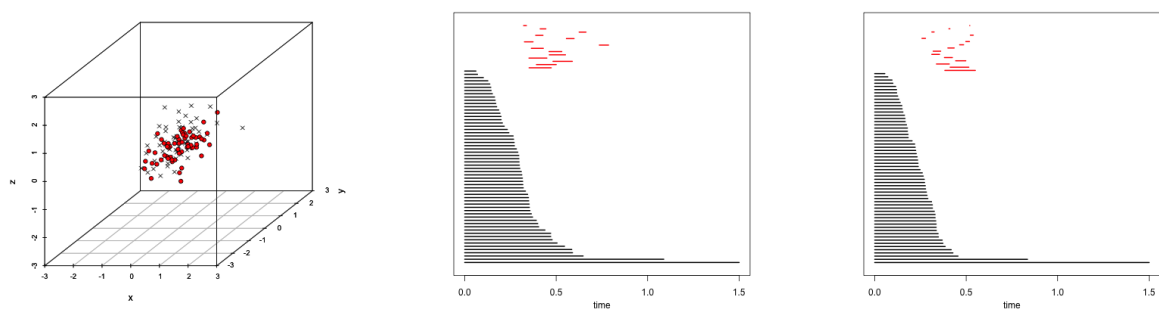


図 A.116 被験者 D-Y1,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

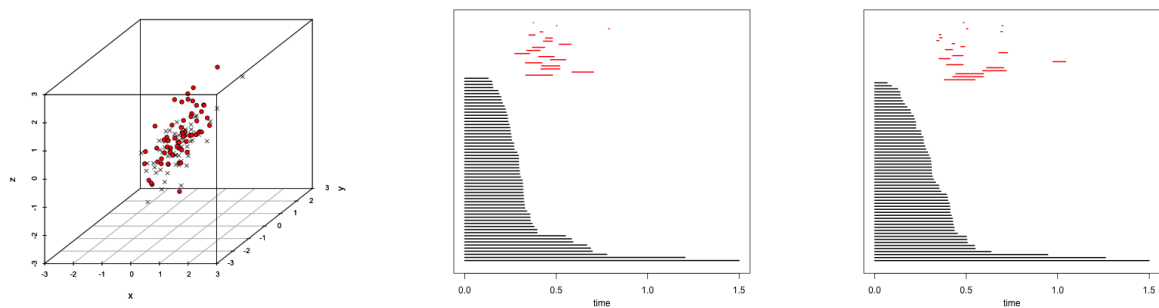


図 A.117 被験者 D-Y1,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

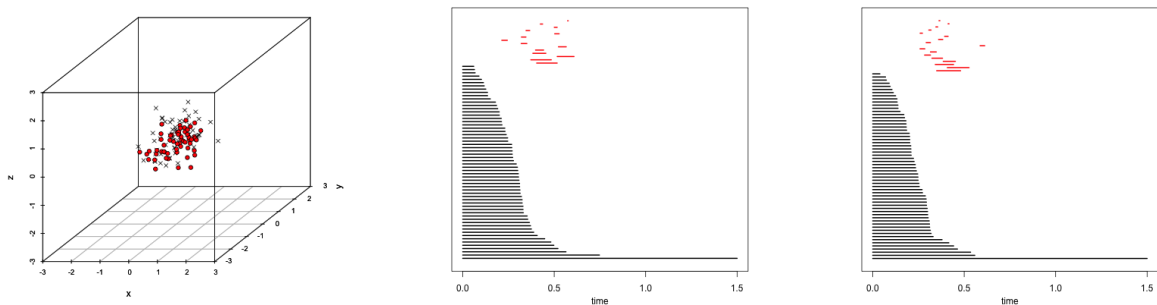


図 A.118 被験者 D-Y1,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

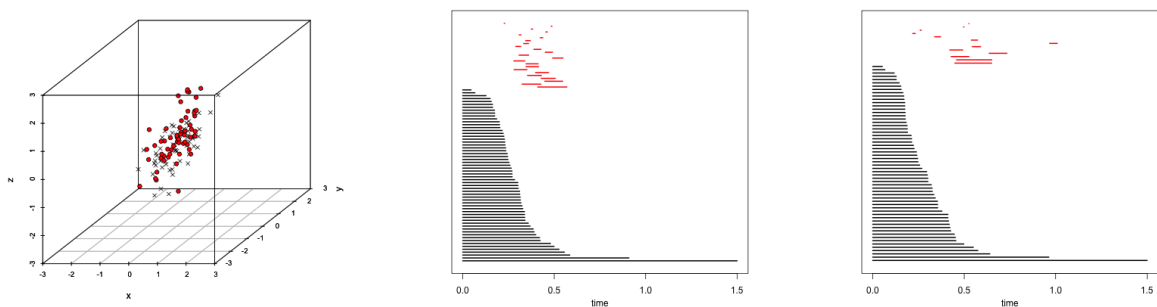


図 A.119 被験者 D-Y1,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

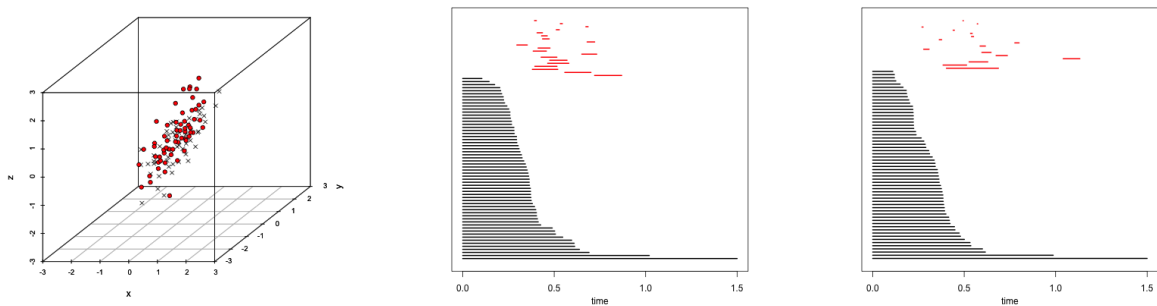


図 A.120 被験者 D-Y1,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

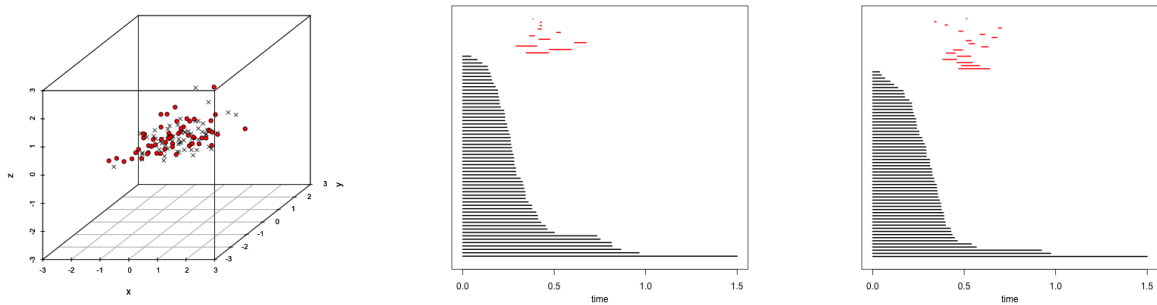


図 A.121 被験者 D-Y2,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

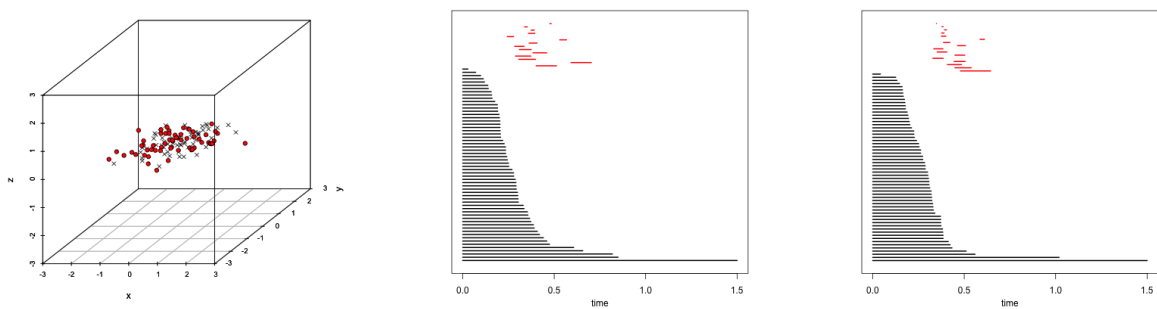


図 A.122 被験者 D-Y2,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

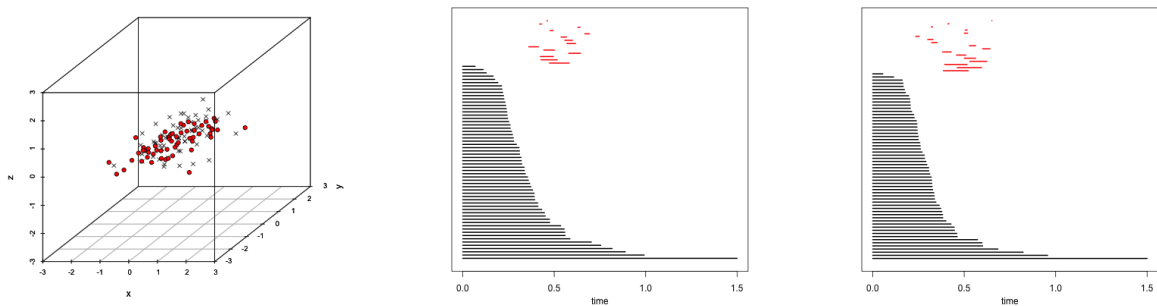


図 A.123 被験者 D-Y2,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

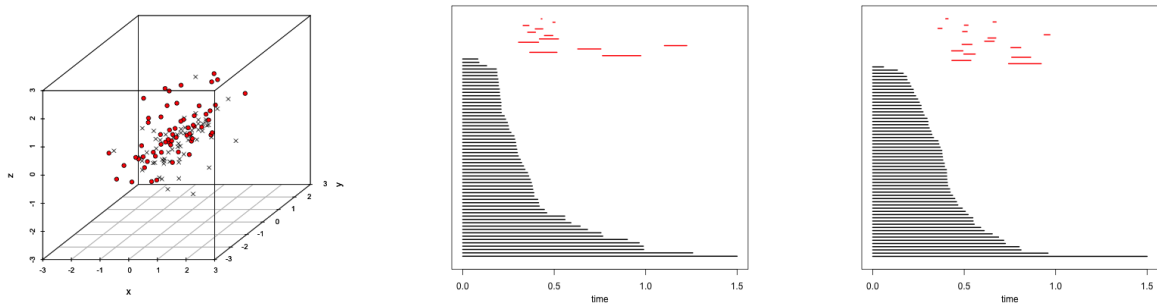


図 A.124 被験者 D-Y2,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

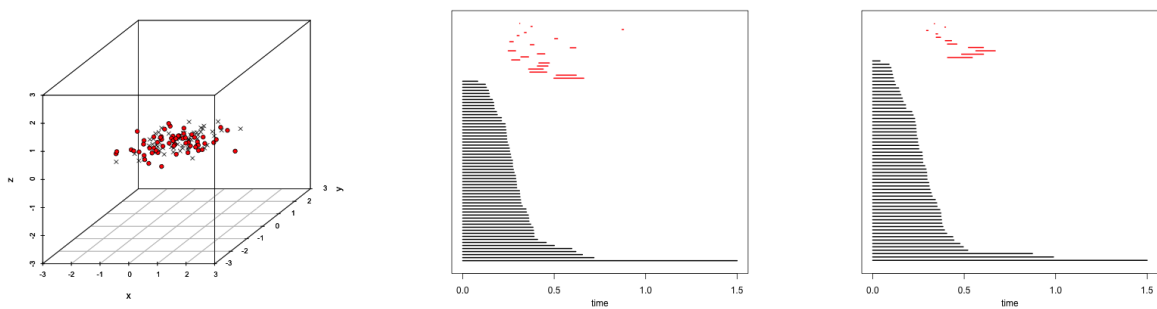


図 A.125 被験者 D-Y2,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

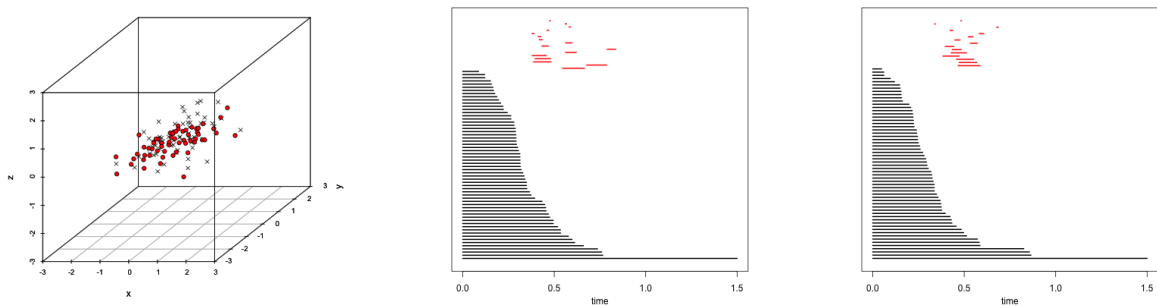


図 A.126 被験者 D-Y2,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

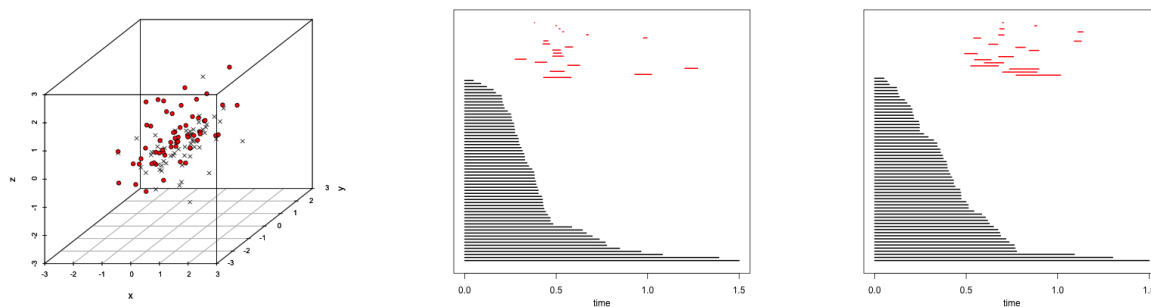


図 A.127 被験者 D-Y2,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

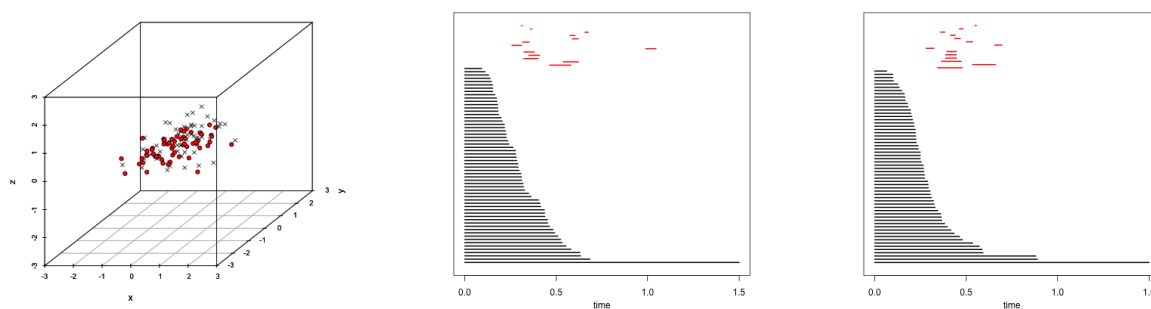


図 A.128 被験者 D-Y2,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

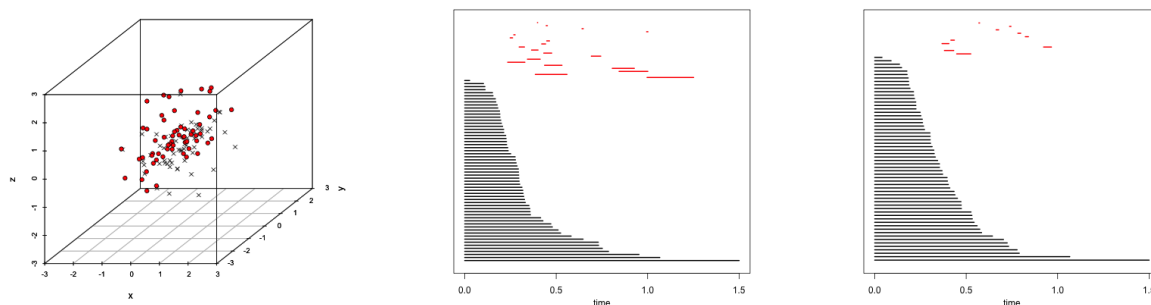


図 A.129 被験者 D-Y2,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

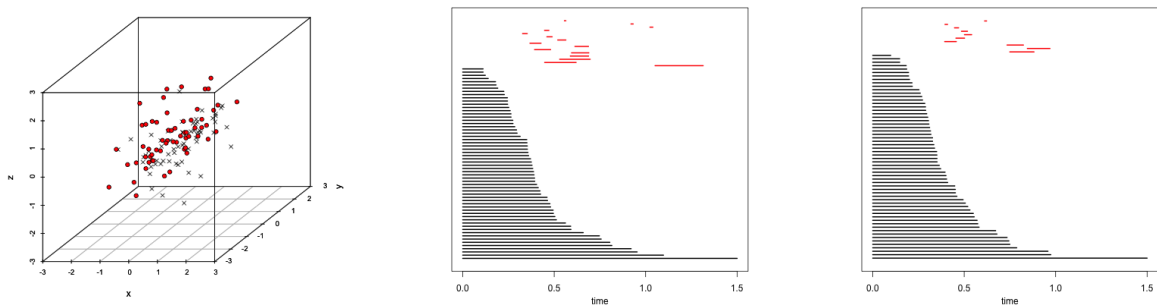


図 A.130 被験者 D-Y2,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

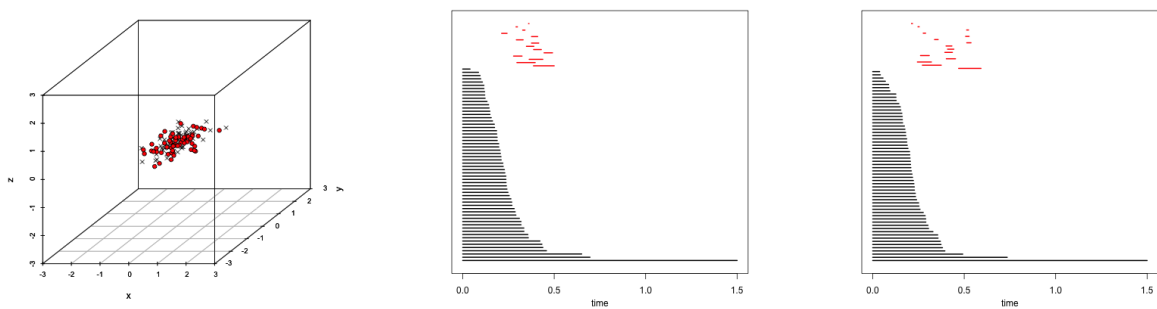


図 A.131 被験者 D-Y3,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

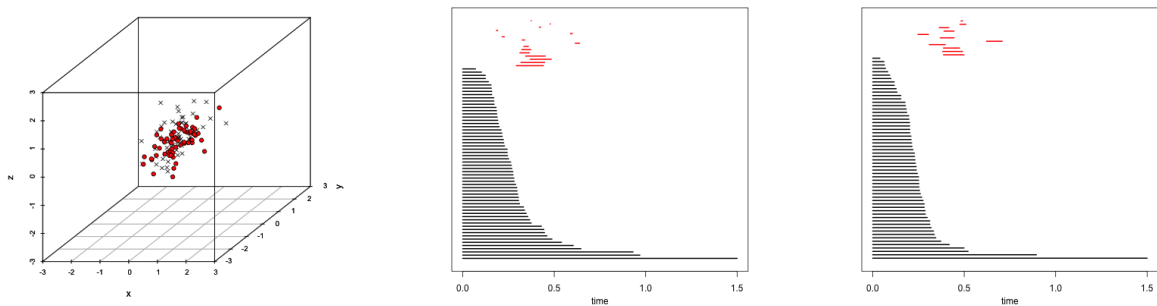


図 A.132 被験者 D-Y3,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

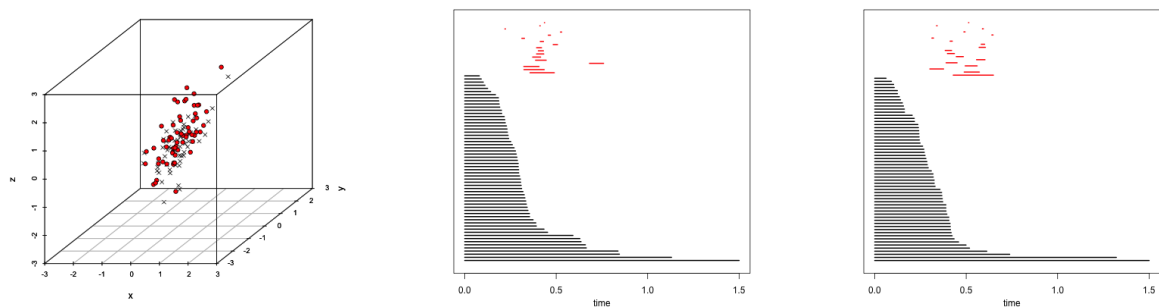


図 A.133 被験者 D-Y3,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

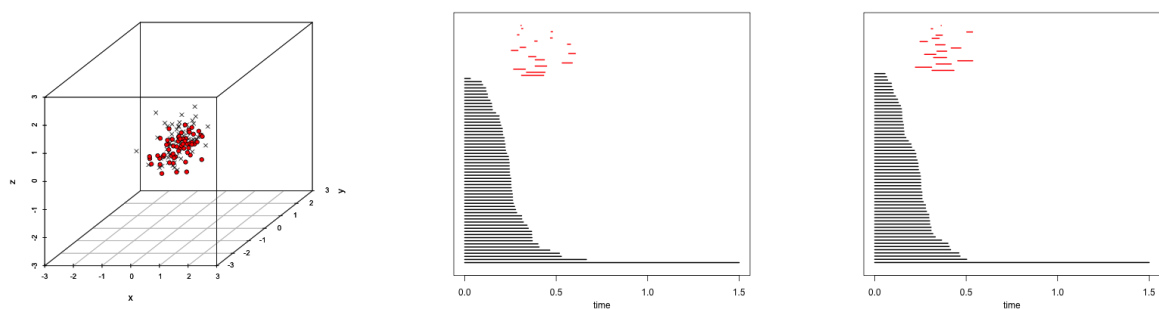


図 A.134 被験者 D-Y3,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

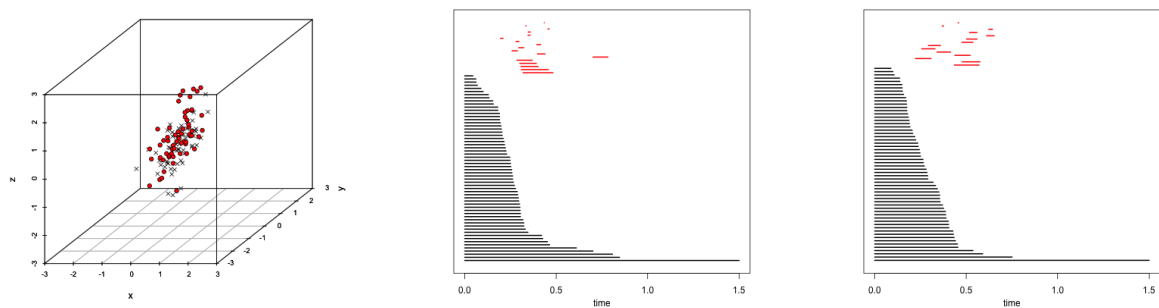


図 A.135 被験者 D-Y3,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

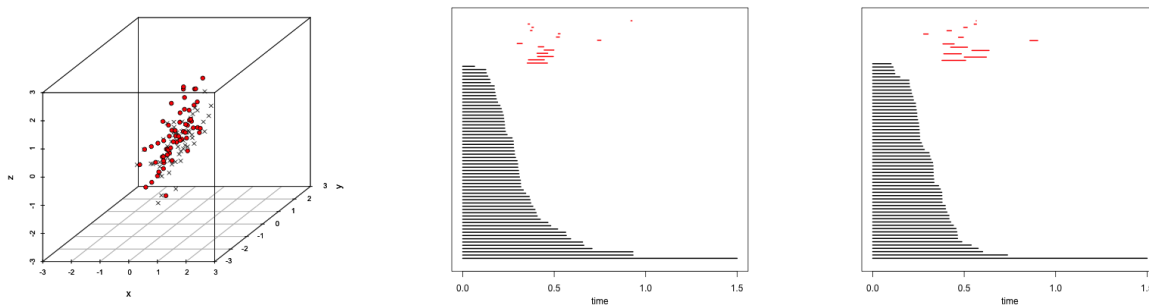


図 A.136 被験者 D-Y3,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

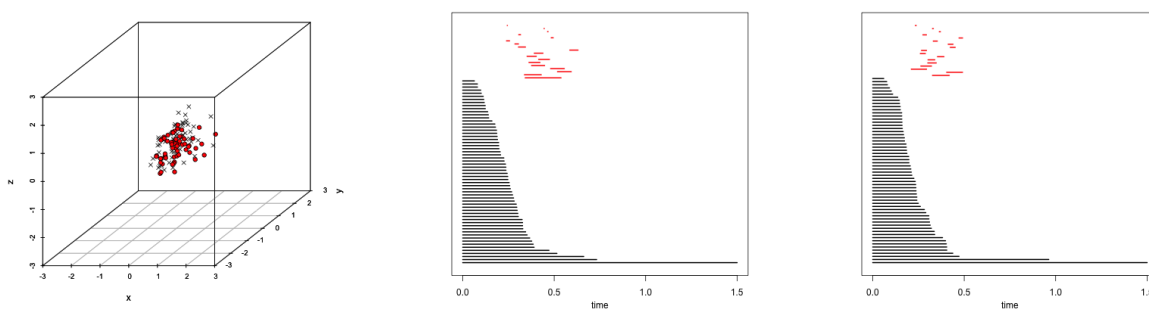


図 A.137 被験者 D-Y4,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

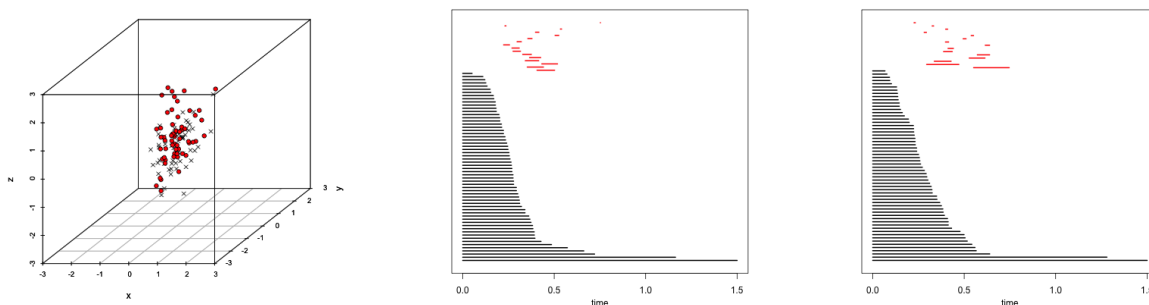


図 A.138 被験者 D-Y4,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

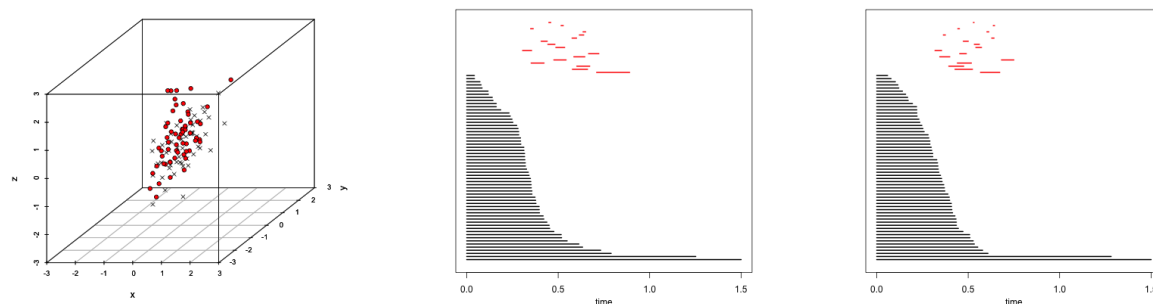


図 A.139 被験者 D-Y4,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

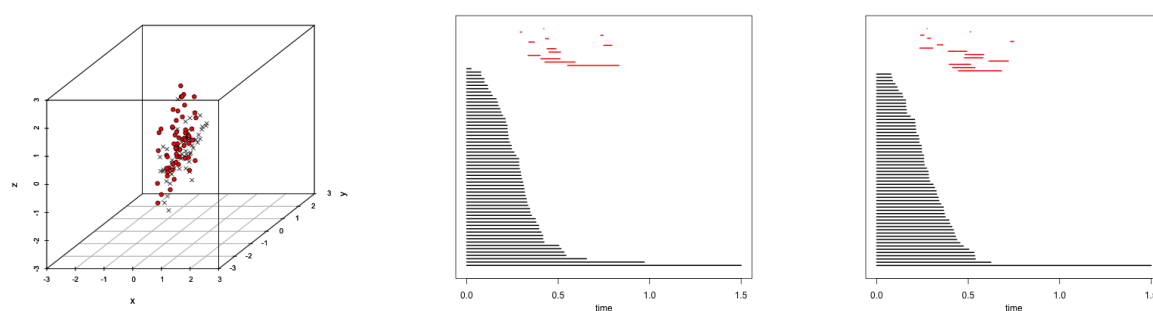


図 A.140 被験者 D-Y5,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

A.1.5 被験者 E-32ch

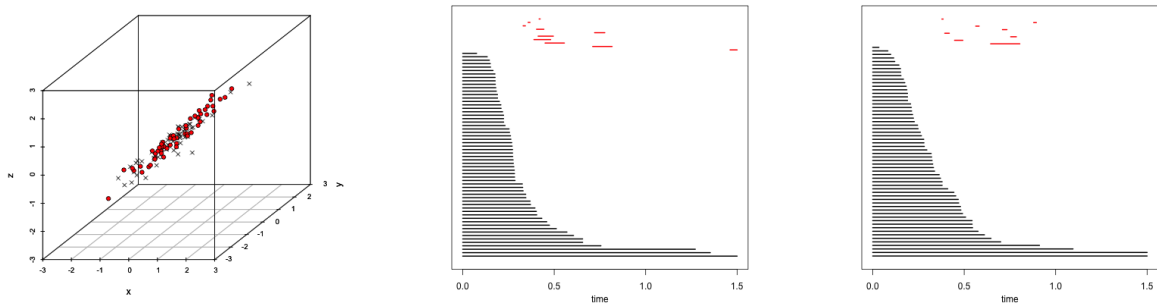


図 A.141 被験者 E-Y1,2,3 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

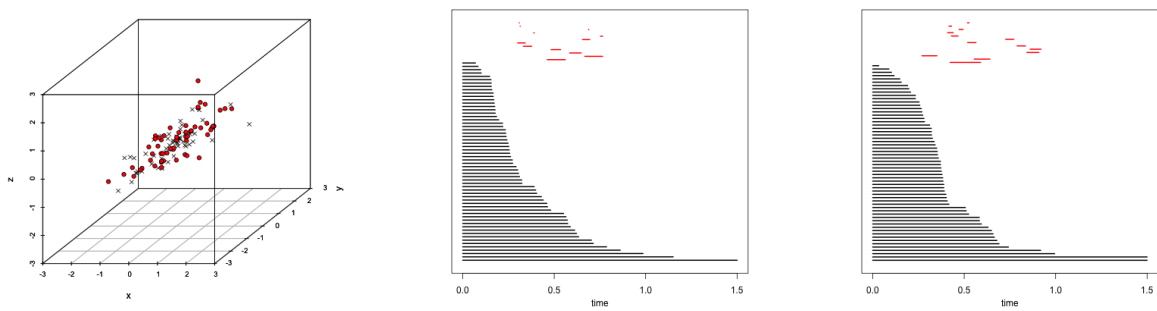


図 A.142 被験者 E-Y1,2,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

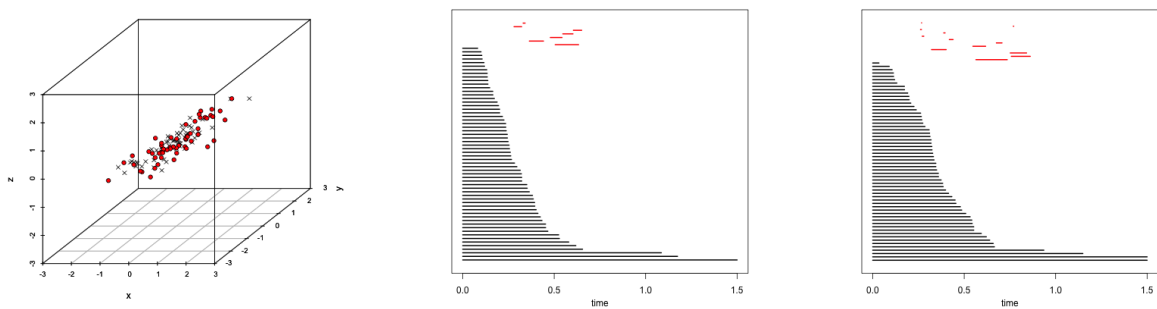


図 A.143 被験者 E-Y1,2,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

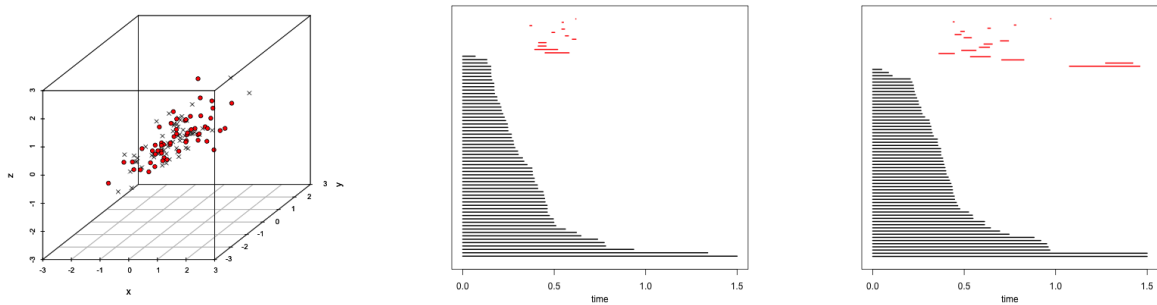


図 A.144 被験者 E-Y1,2,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

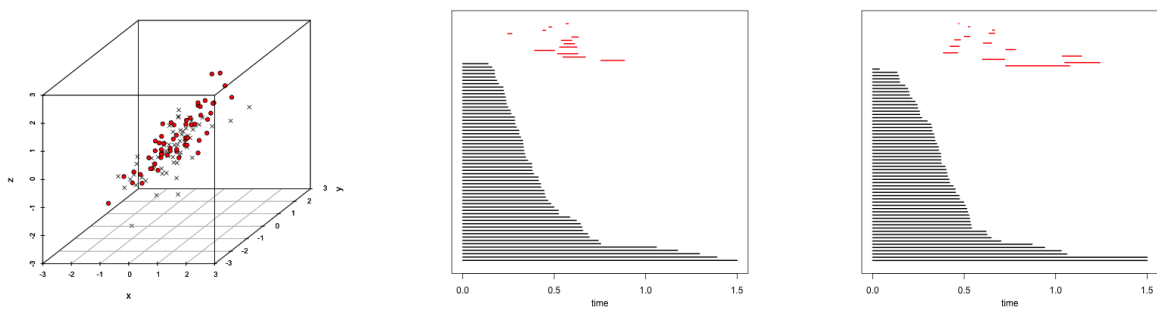


図 A.145 被験者 E-Y1,2,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

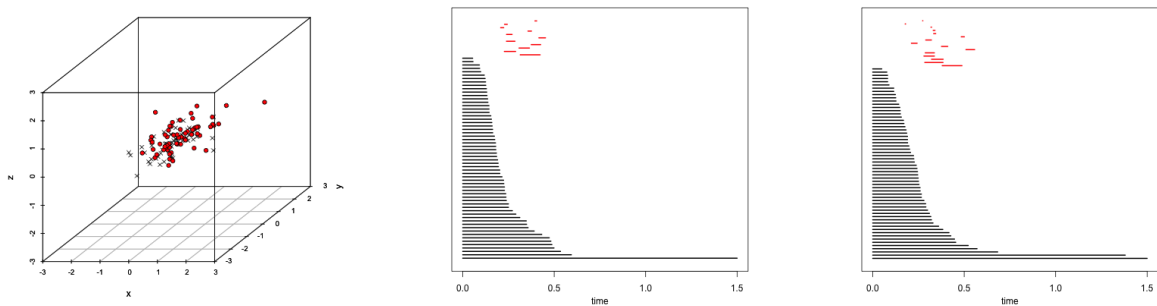


図 A.146 被験者 E-Y1,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

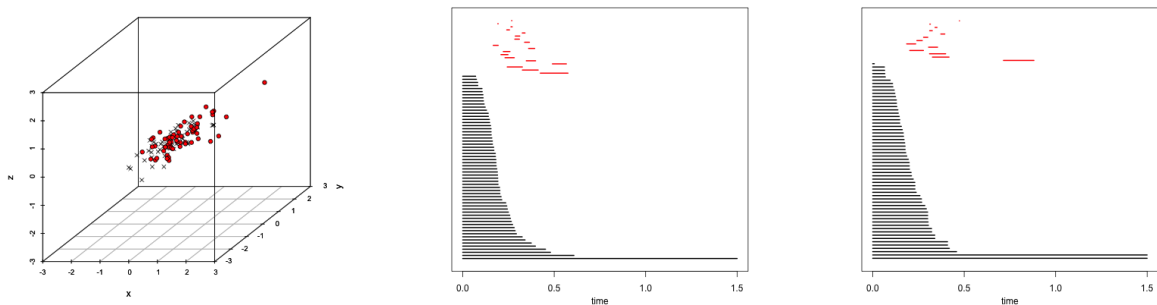


図 A.147 被験者 E-Y1,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

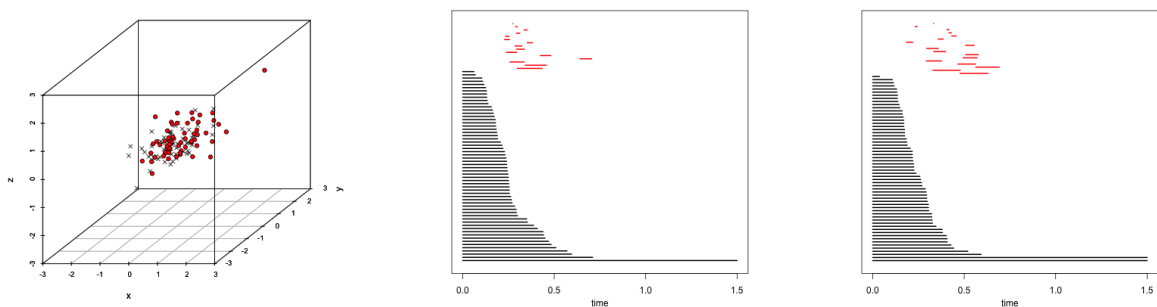


図 A.148 被験者 E-Y1,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

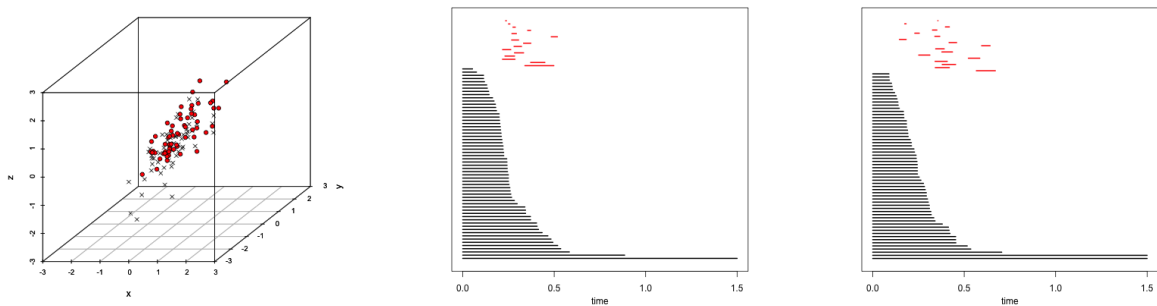


図 A.149 被験者 E-Y1,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

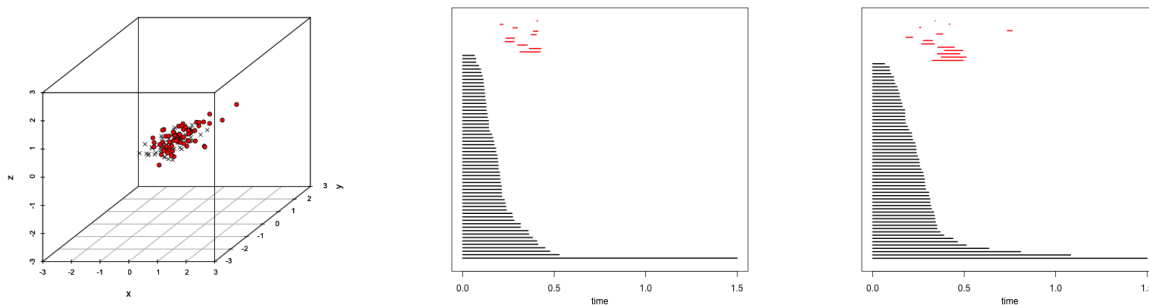


図 A.150 被験者 E-Y1,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

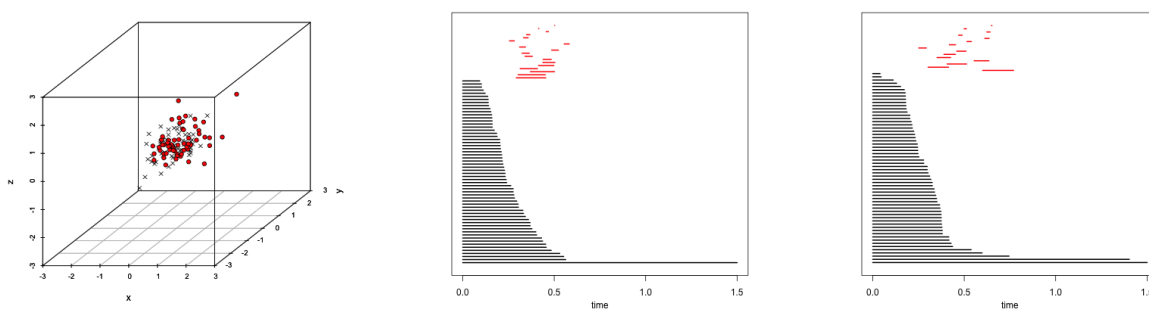


図 A.151 被験者 E-Y1,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

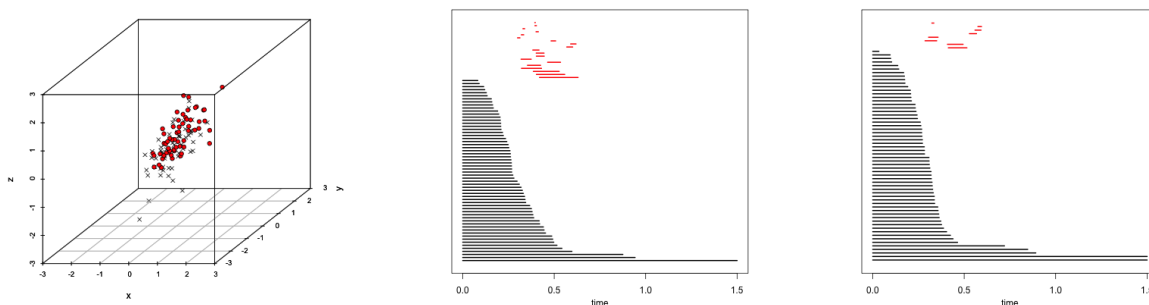


図 A.152 被験者 E-Y1,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

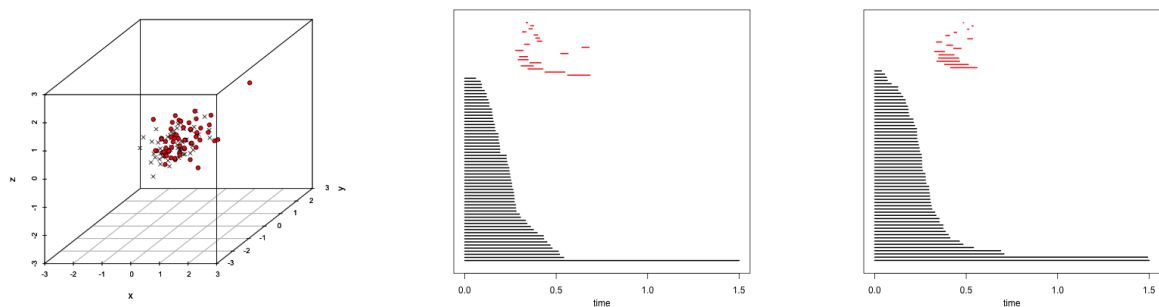


図 A.153 被験者 E-Y1,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

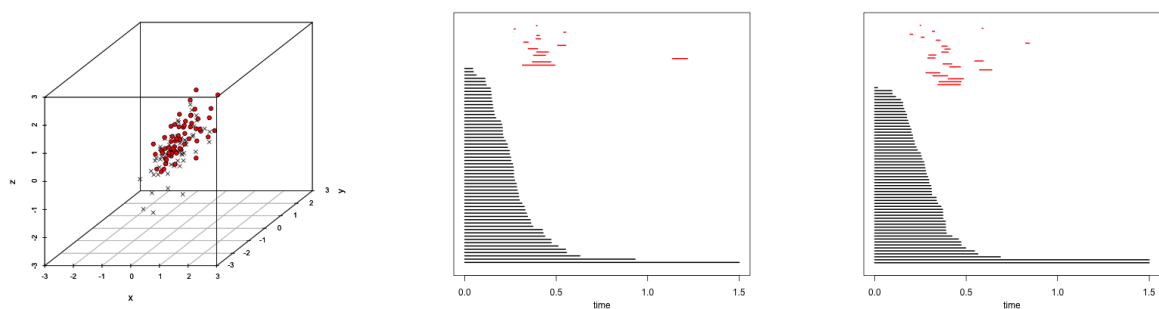


図 A.154 被験者 E-Y1,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

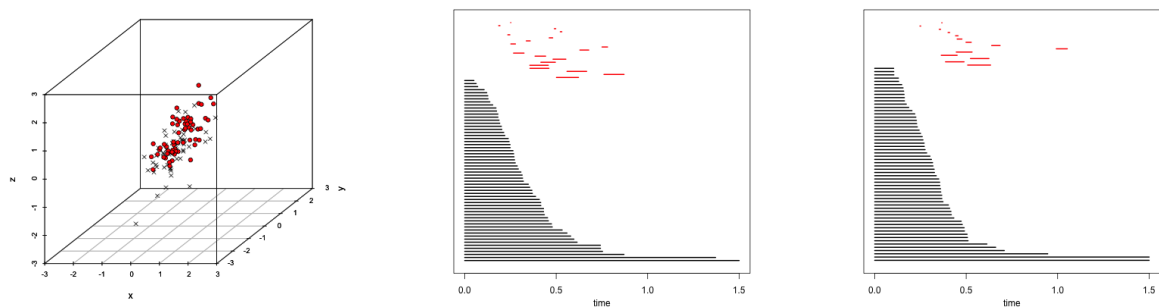


図 A.155 被験者 E-Y1,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

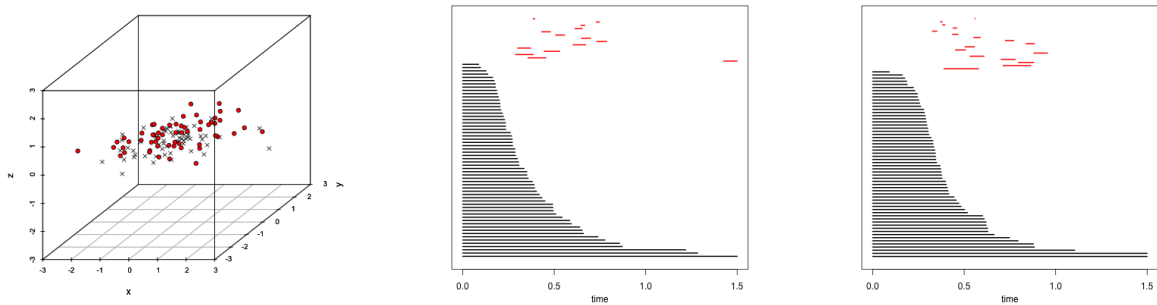


図 A.156 被験者 E-Y2,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

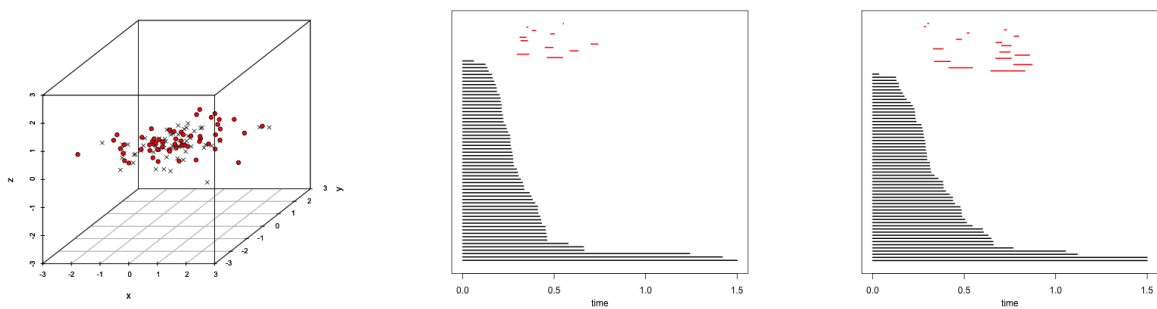


図 A.157 被験者 E-Y2,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

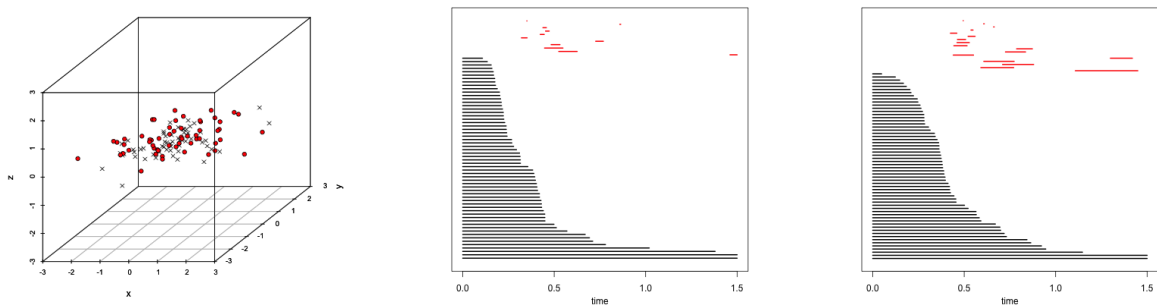


図 A.158 被験者 E-Y2,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

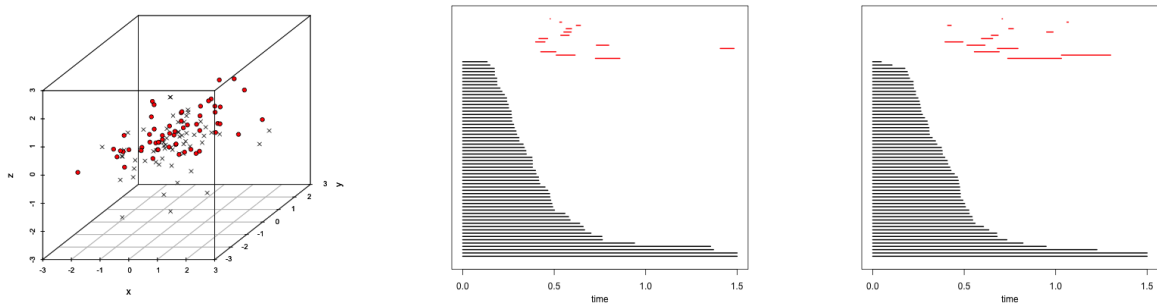


図 A.159 被験者 E-Y2,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

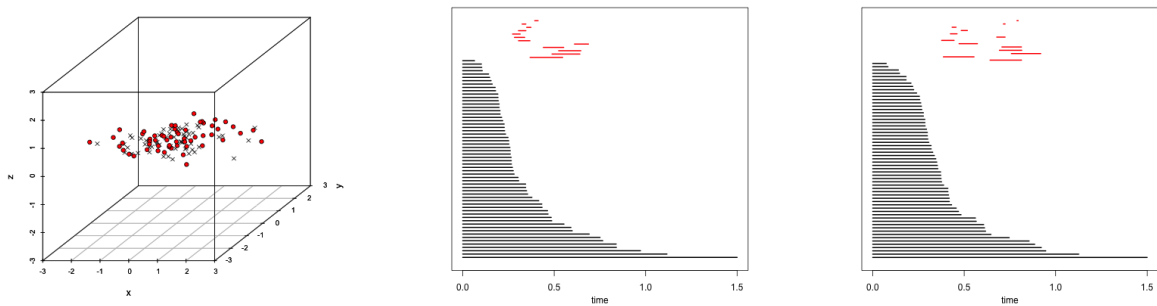


図 A.160 被験者 E-Y2,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

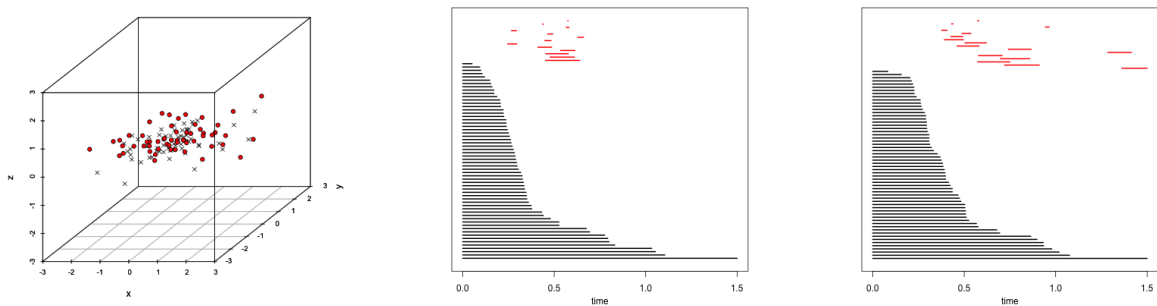


図 A.161 被験者 E-Y2,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

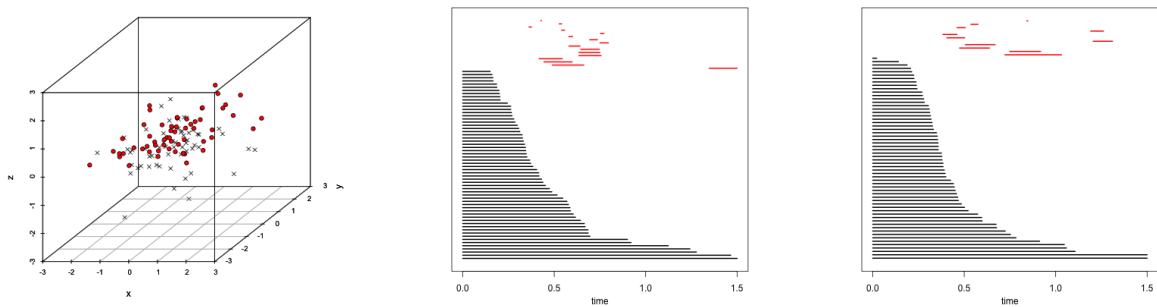


図 A.162 被験者 E-Y2,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

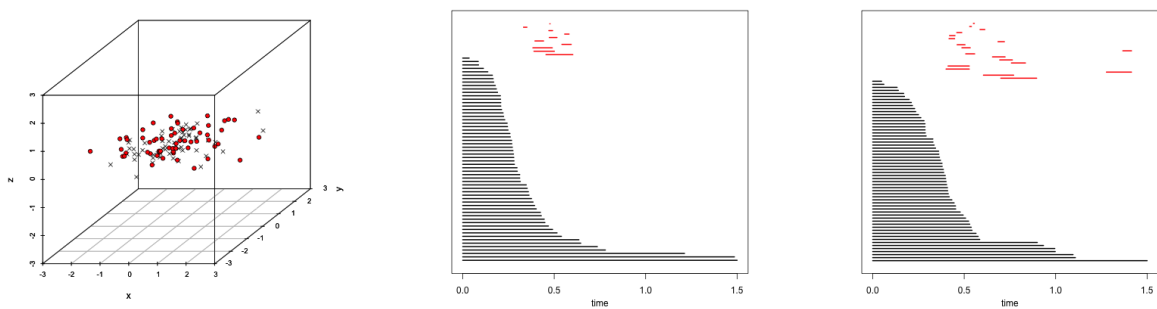


図 A.163 被験者 E-Y2,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

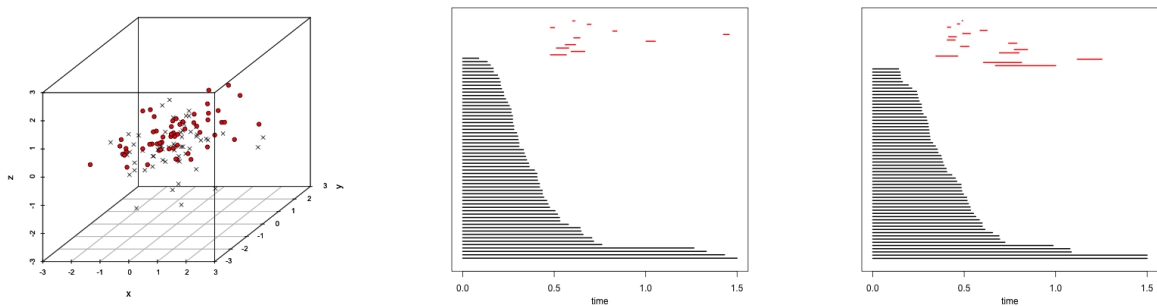


図 A.164 被験者 E-Y2,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

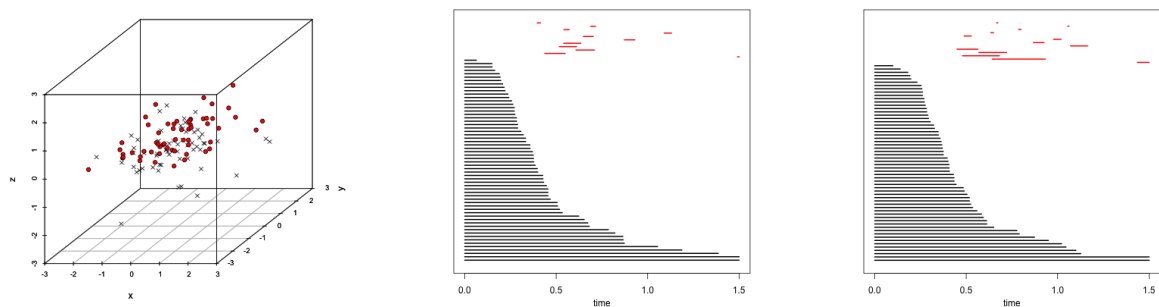


図 A.165 被験者 E-Y2,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

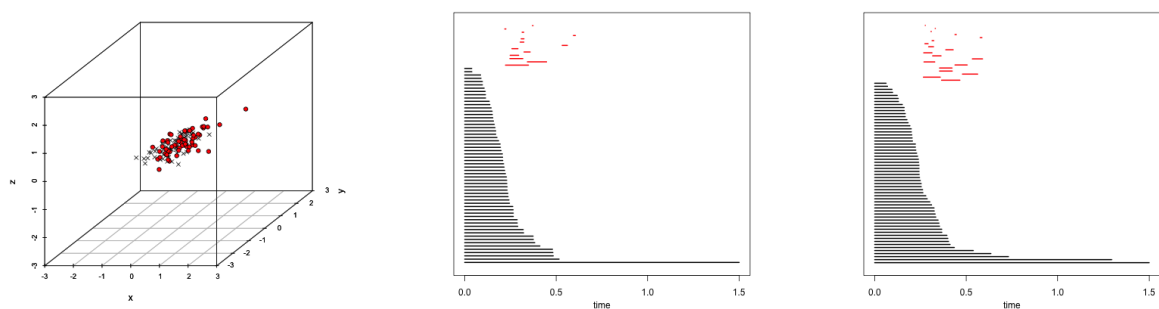


図 A.166 被験者 E-Y3,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

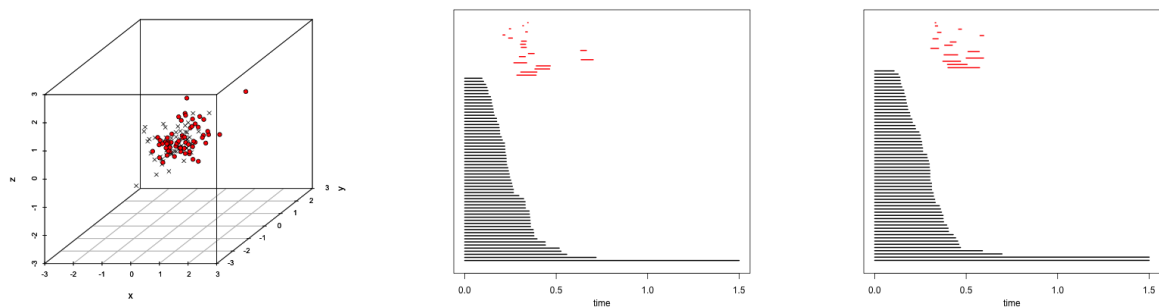


図 A.167 被験者 E-Y3,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

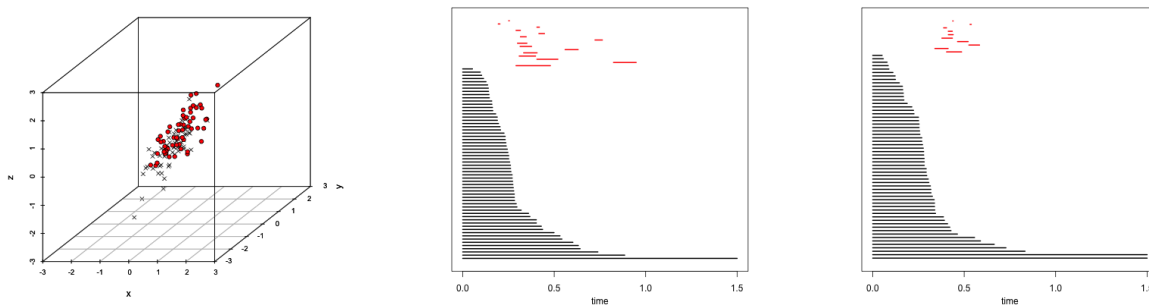


図 A.168 被験者 E-Y3,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

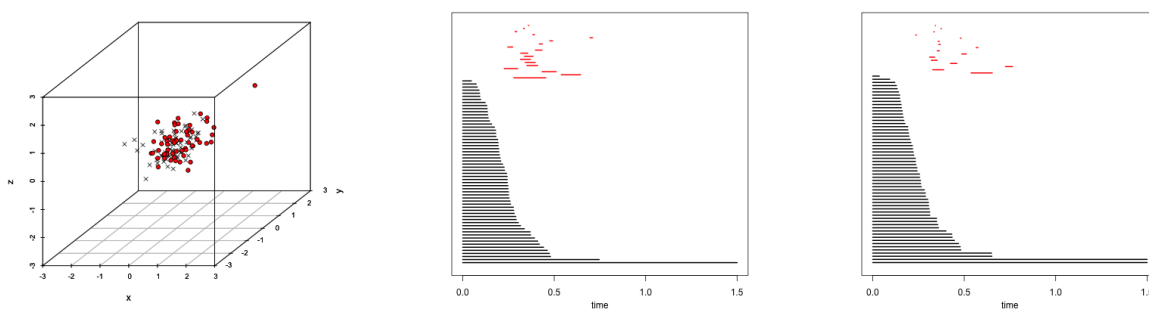


図 A.169 被験者 E-Y3,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

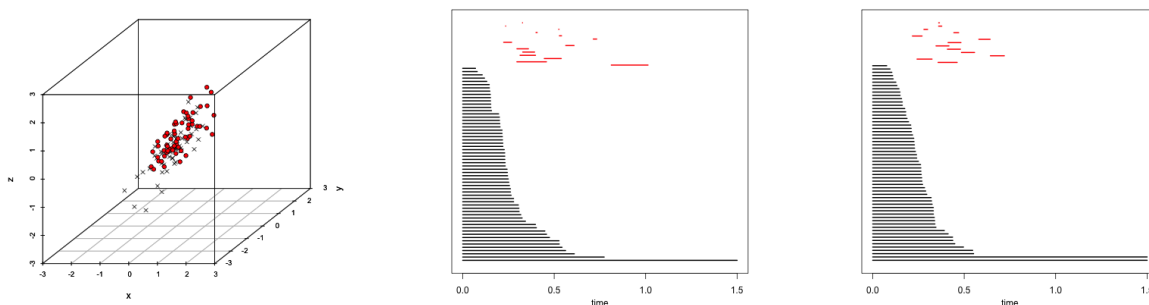


図 A.170 被験者 E-Y3,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

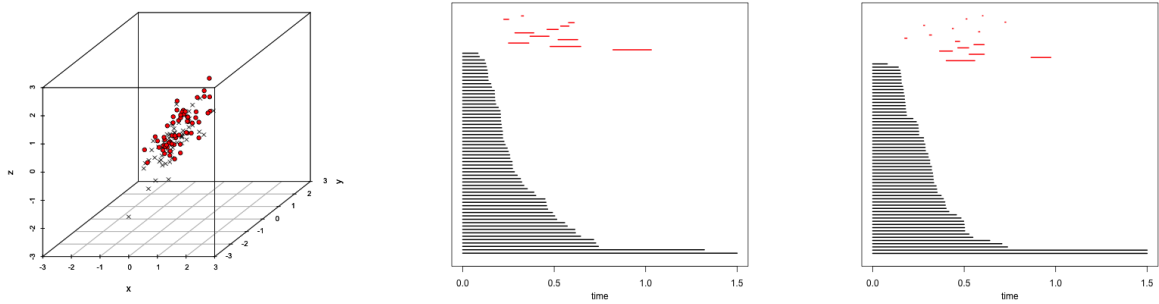


図 A.171 被験者 E-Y3,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

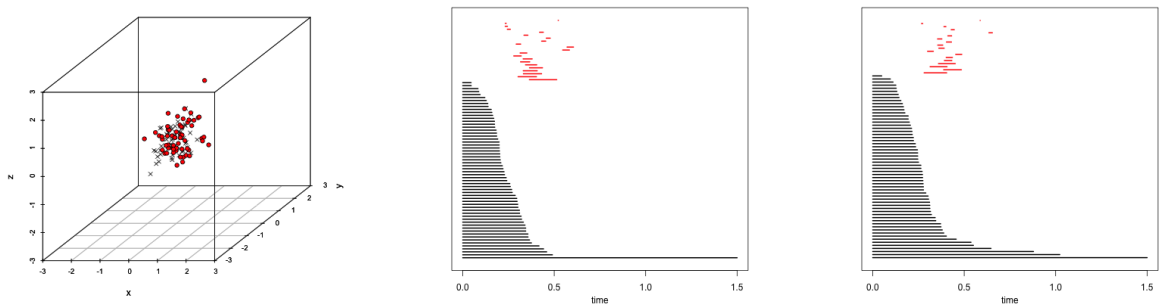


図 A.172 被験者 E-Y4,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

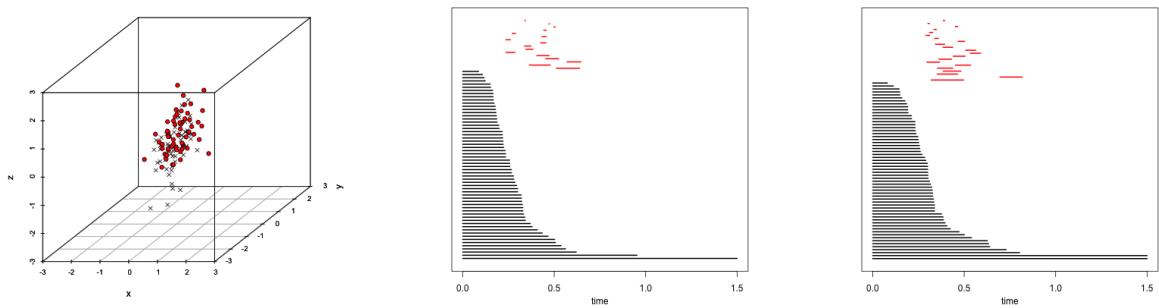


図 A.173 被験者 E-Y4,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

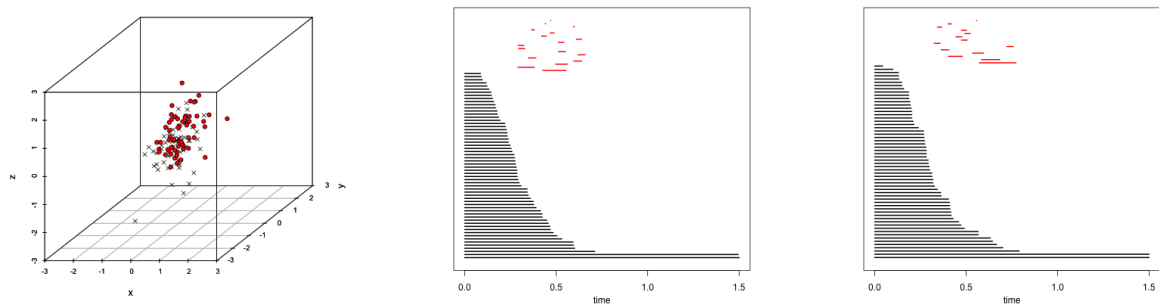


図 A.174 被験者 E-Y4,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

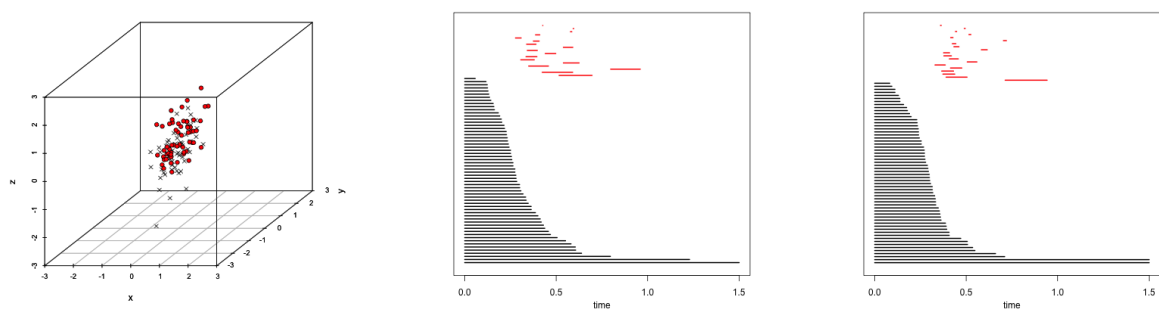


図 A.175 被験者 E-Y5,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

A.1.6 被験者 F-32ch

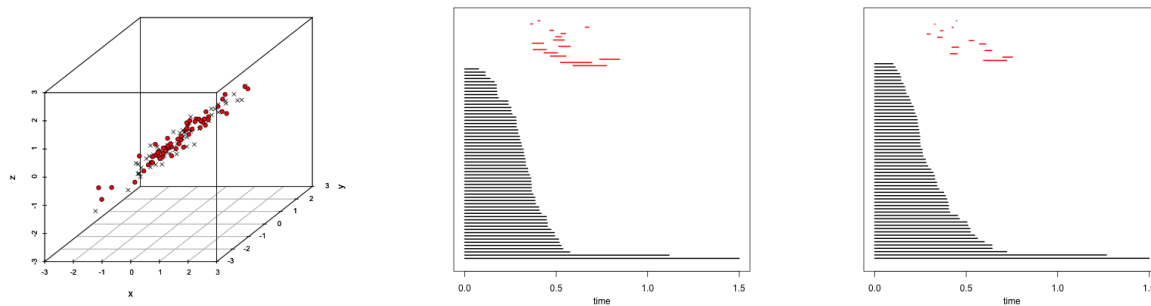


図 A.176 被験者 F-Y1,2,3 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

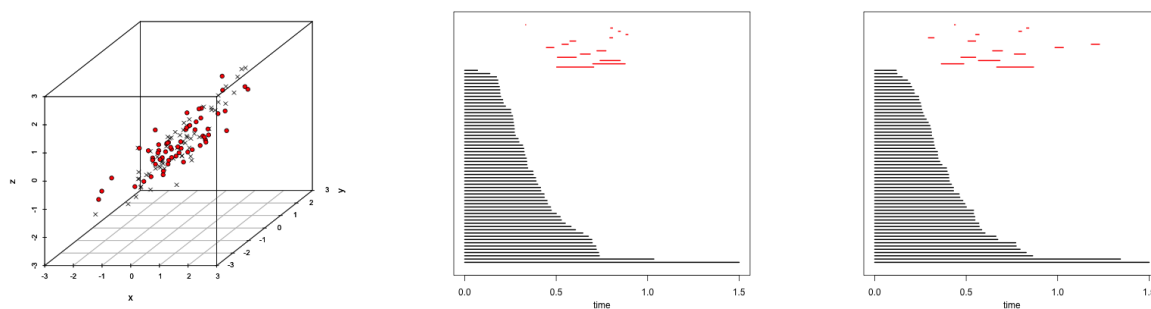


図 A.177 被験者 F-Y1,2,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

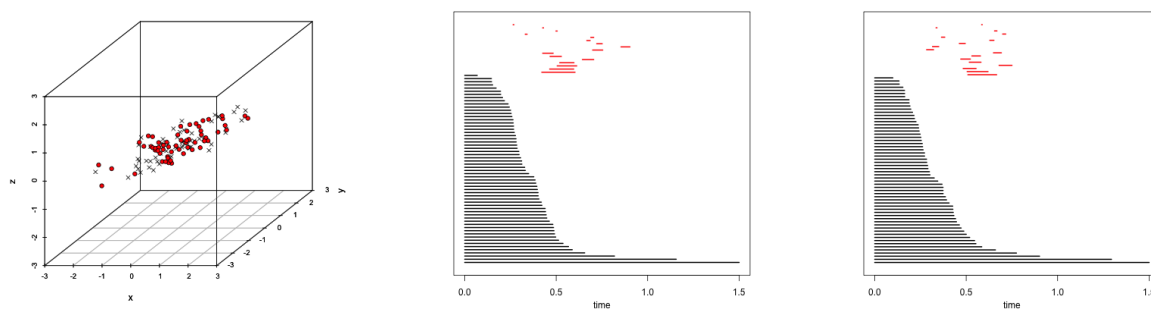


図 A.178 被験者 F-Y1,2,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

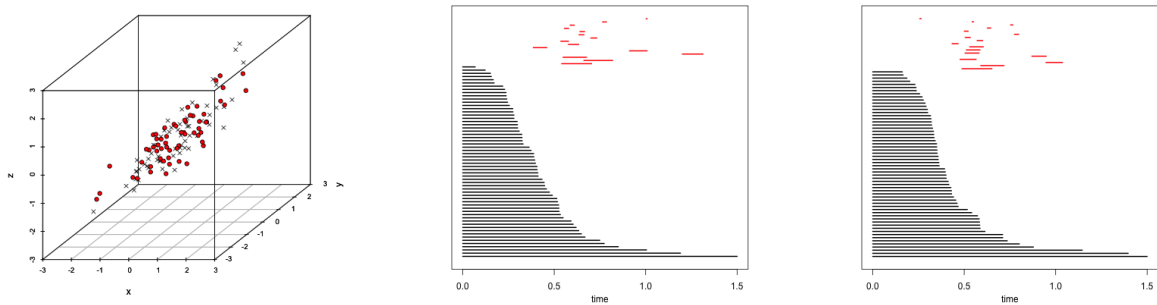


図 A.179 被験者 F-Y1,2,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

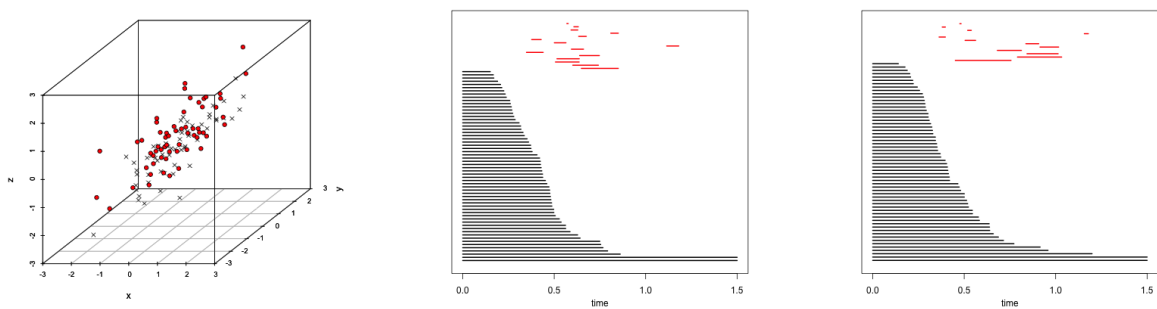


図 A.180 被験者 F-Y1,2,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

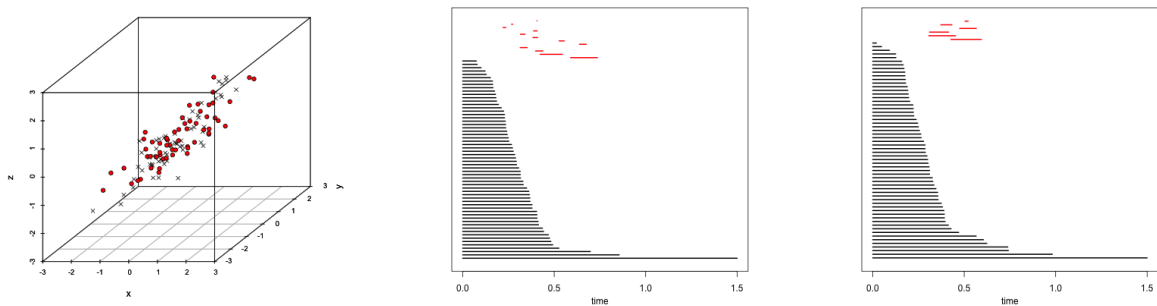


図 A.181 被験者 F-Y1,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

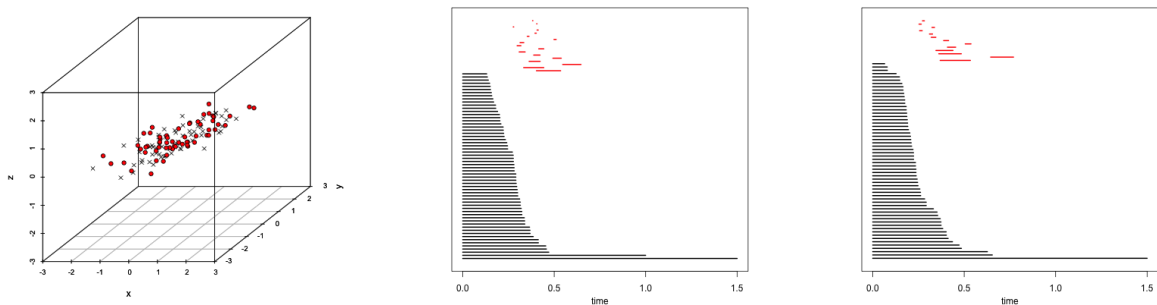


図 A.182 被験者 F-Y1,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

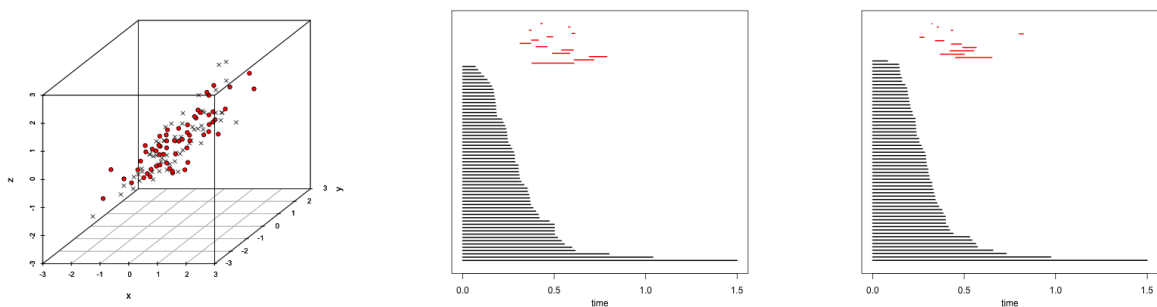


図 A.183 被験者 F-Y1,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

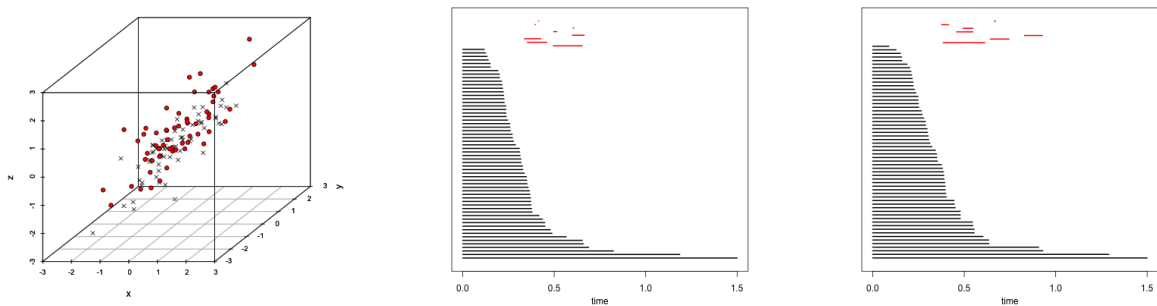


図 A.184 被験者 F-Y1,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

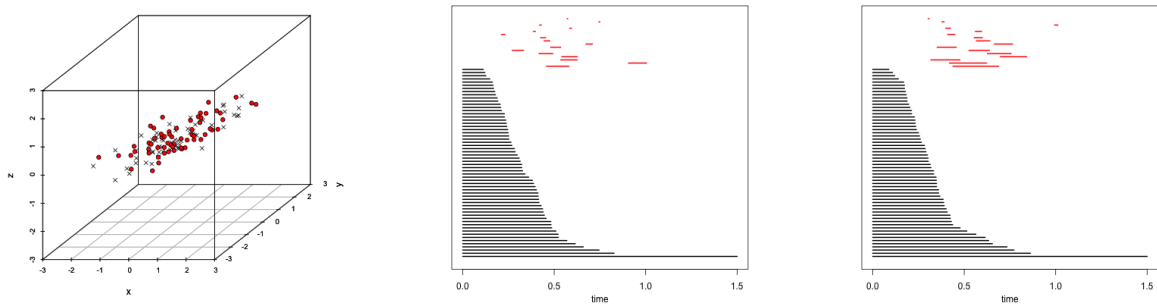


図 A.185 被験者 F-Y1,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

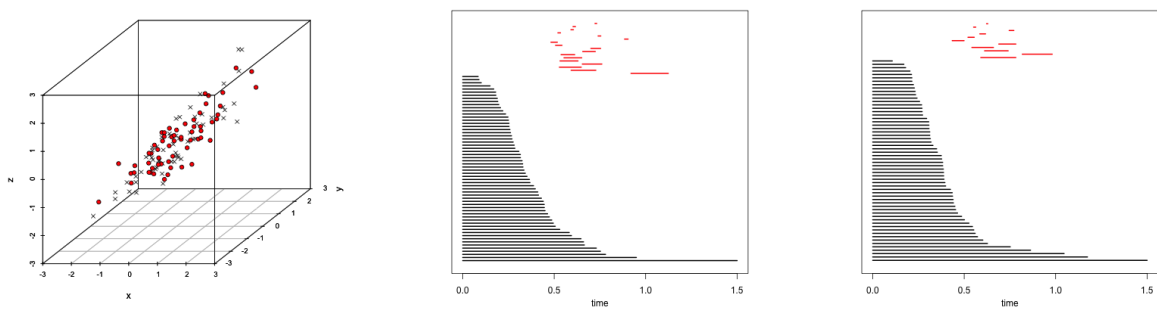


図 A.186 被験者 F-Y1,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

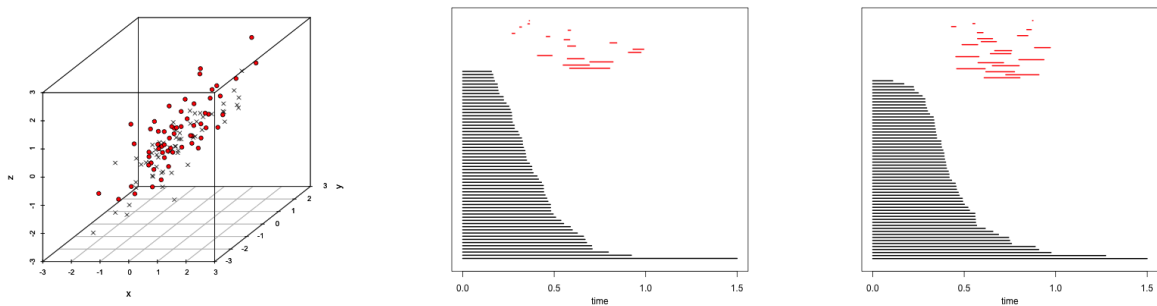


図 A.187 被験者 F-Y1,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

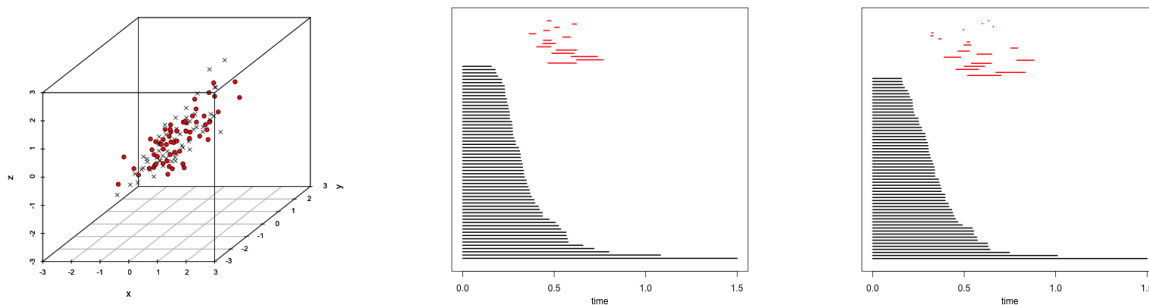


図 A.188 被験者 F-Y1,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

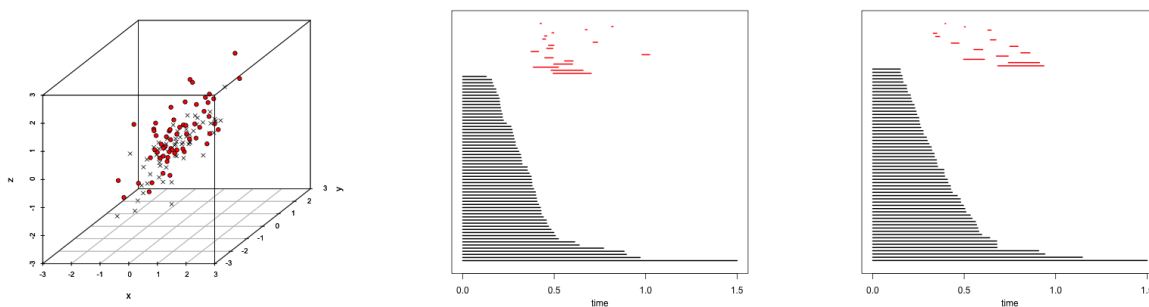


図 A.189 被験者 F-Y1,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

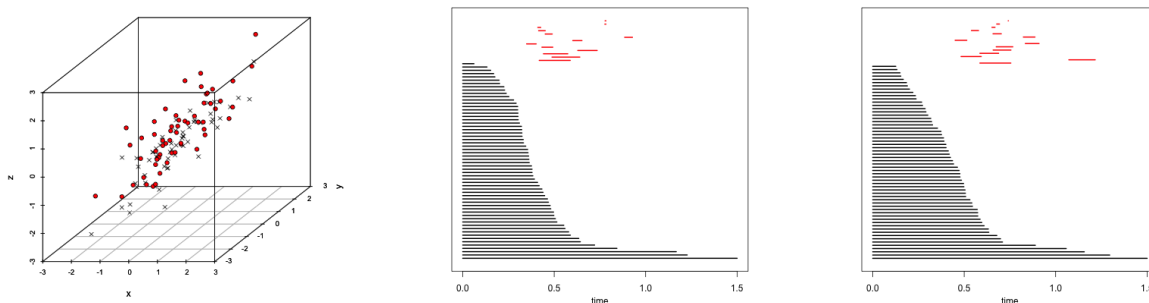


図 A.190 被験者 F-Y1,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

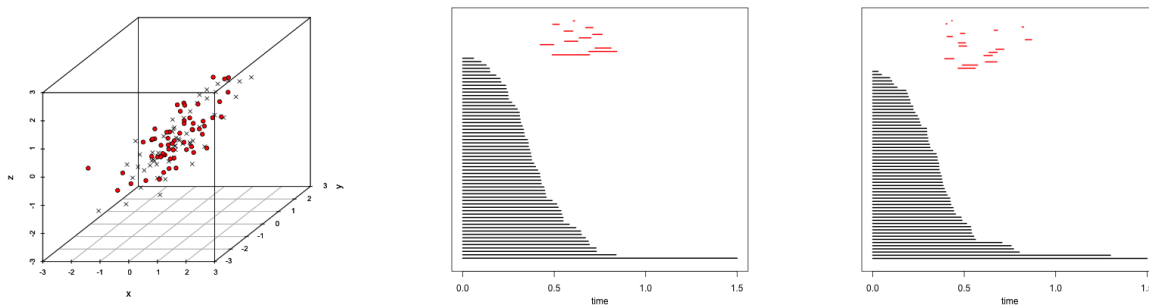


図 A.191 被験者 F-Y2,3,4 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

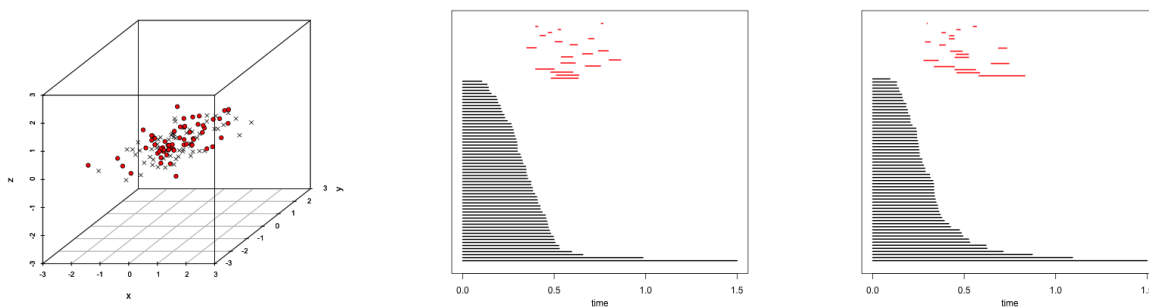


図 A.192 被験者 F-Y2,3,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

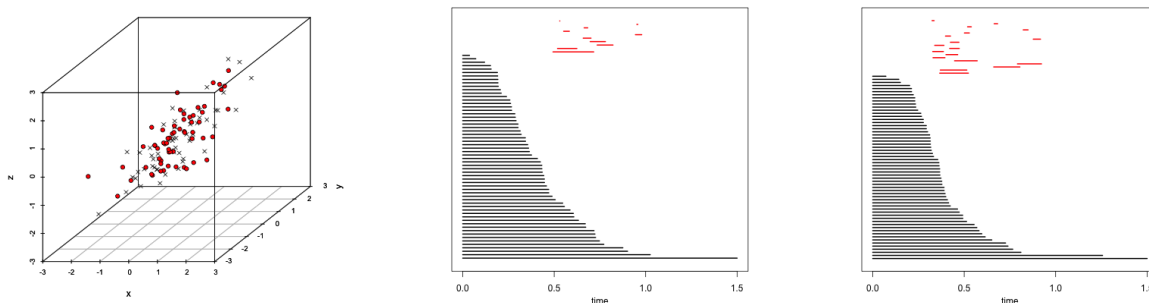


図 A.193 被験者 F-Y2,3,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

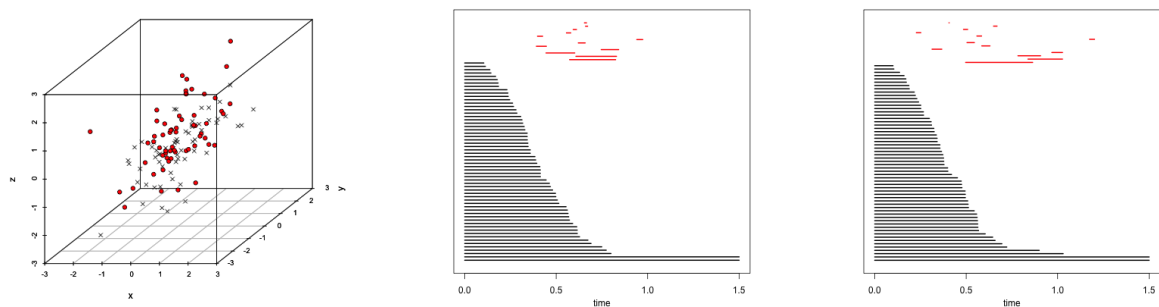


図 A.194 被験者 F-Y2,3,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

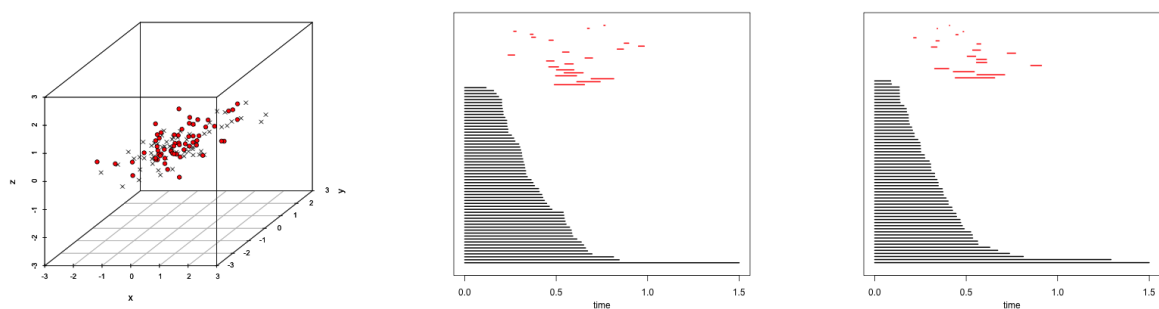


図 A.195 被験者 F-Y2,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

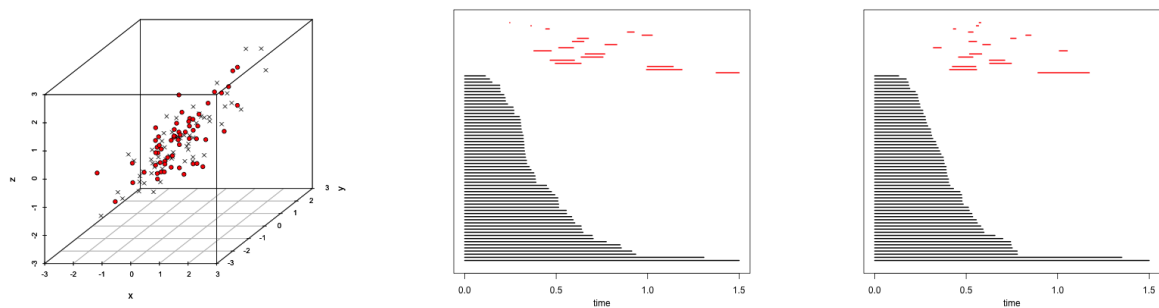


図 A.196 被験者 F-Y2,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

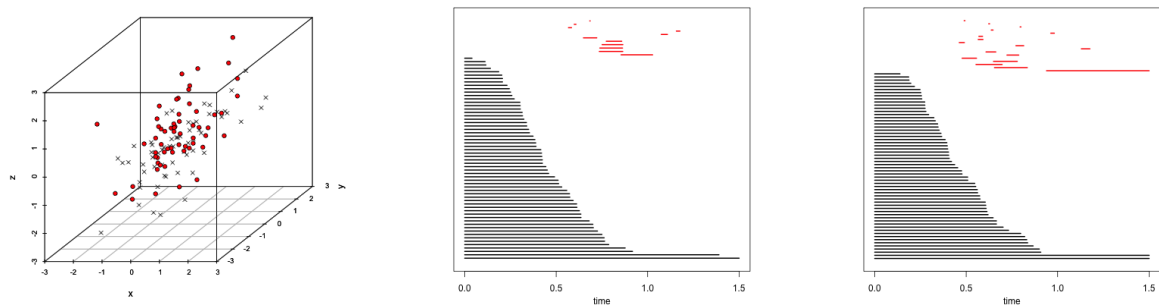


図 A.197 被験者 F-Y2,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

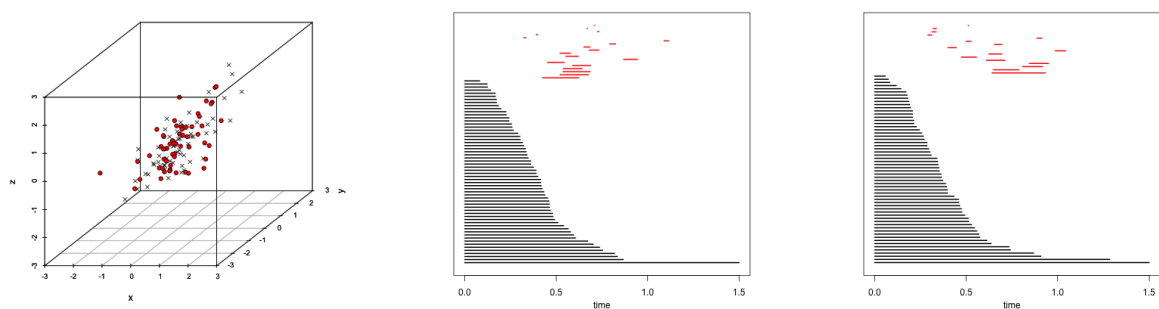


図 A.198 被験者 F-Y2,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

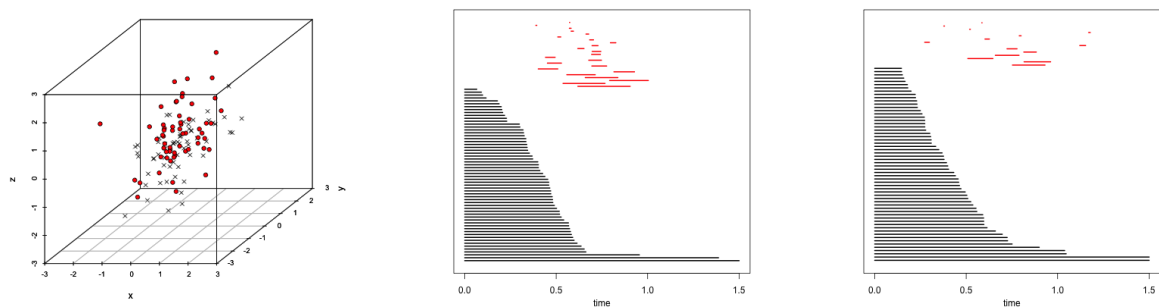


図 A.199 被験者 F-Y2,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

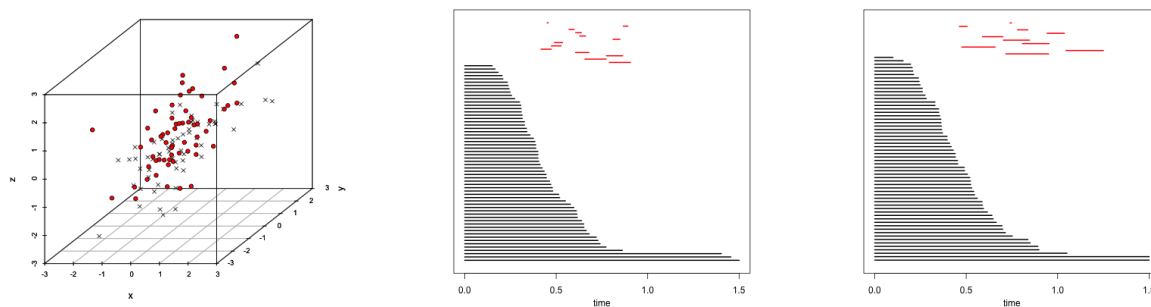


図 A.200 被験者 F-Y2,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

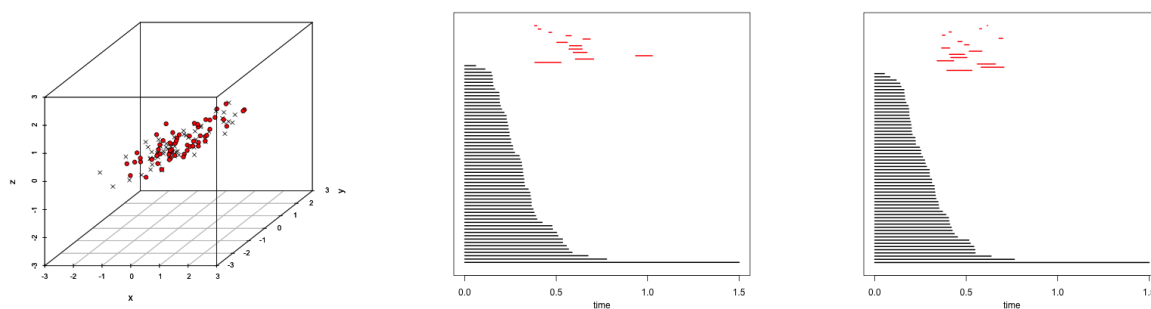


図 A.201 被験者 F-Y3,4,5 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

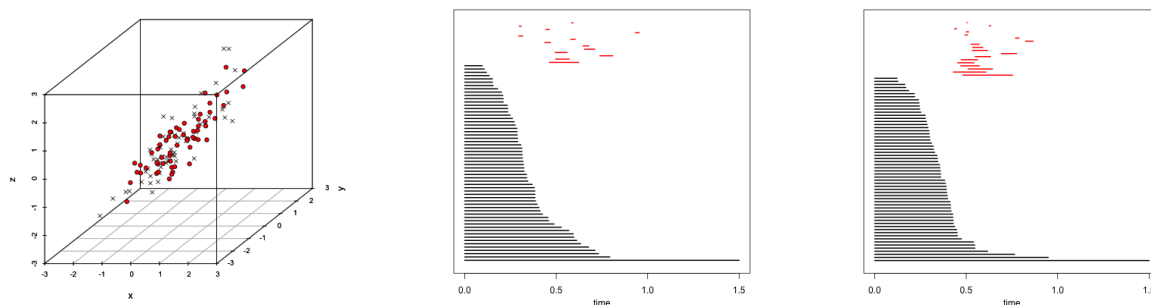


図 A.202 被験者 F-Y3,4,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

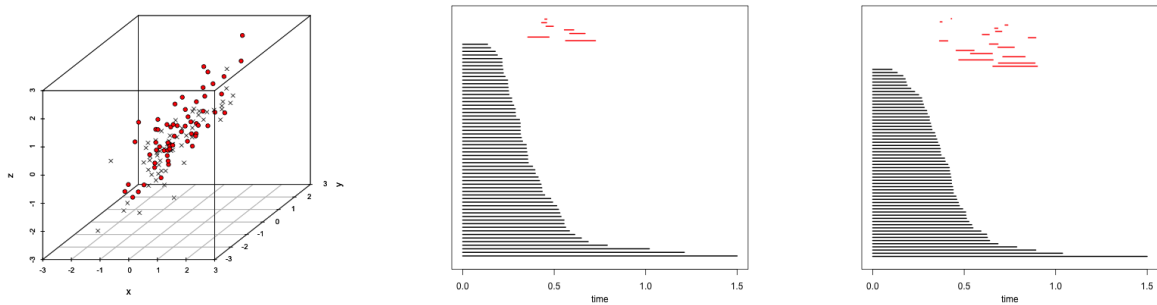


図 A.203 被験者 F-Y3,4,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

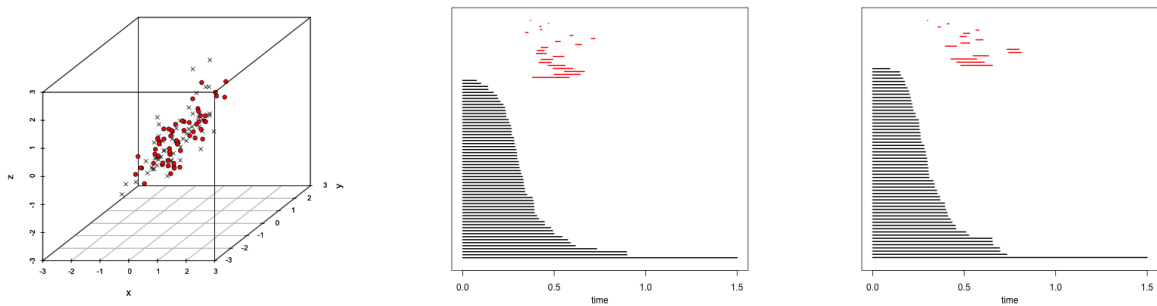


図 A.204 被験者 F-Y3,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

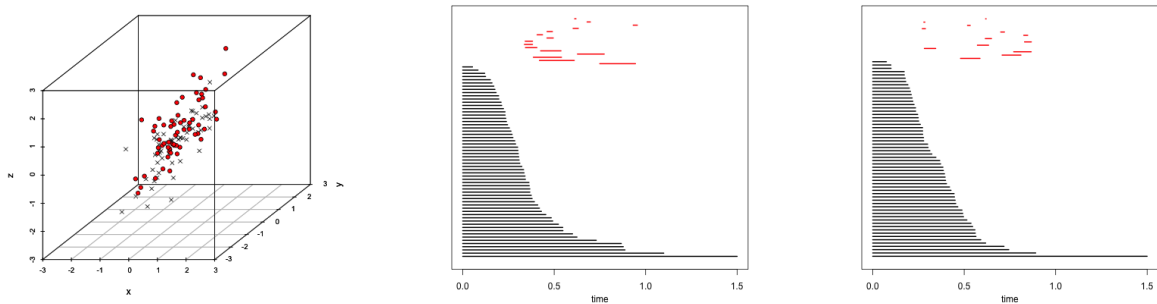


図 A.205 被験者 F-Y3,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

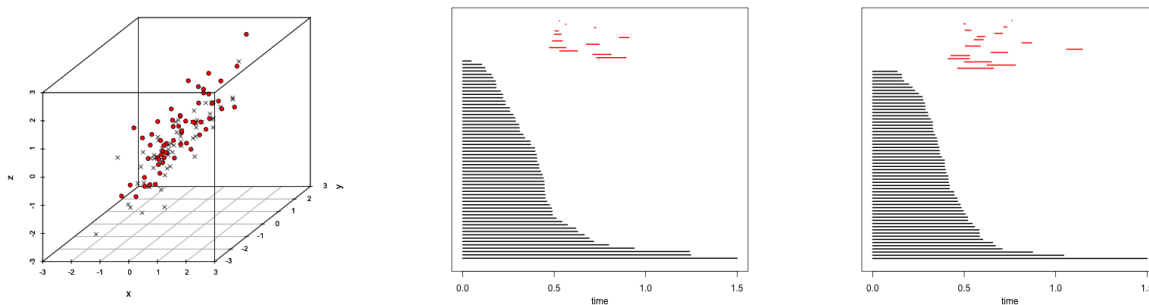


図 A.206 被験者 F-Y3,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

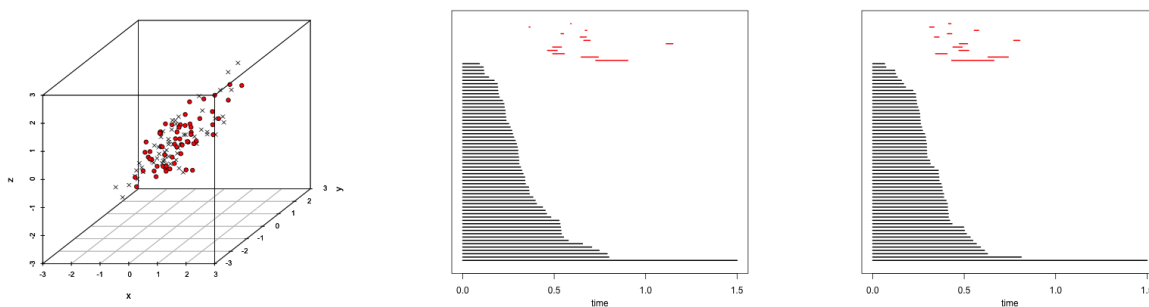


図 A.207 被験者 F-Y4,5,6 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

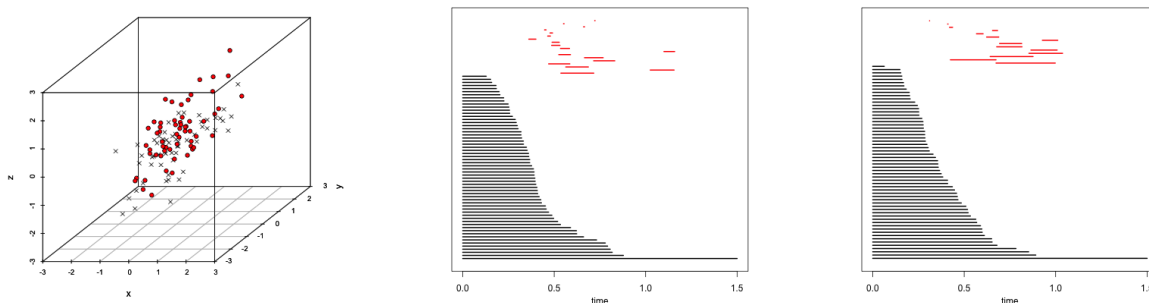


図 A.208 被験者 F-Y4,5,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.1 解析手法 2

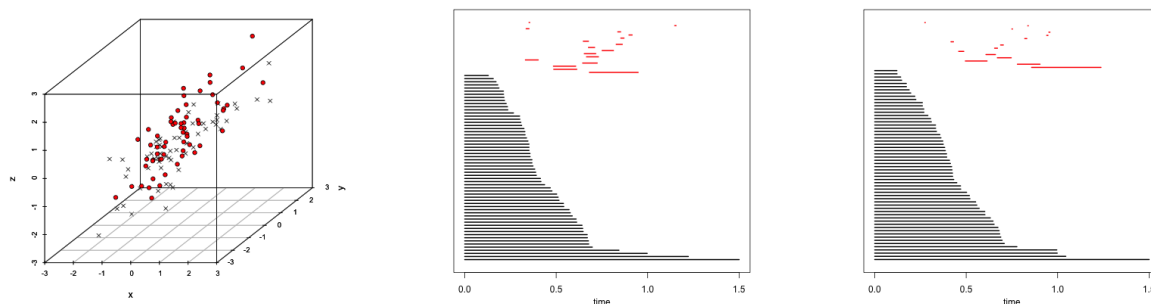


図 A.209 被験者 F-Y4,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

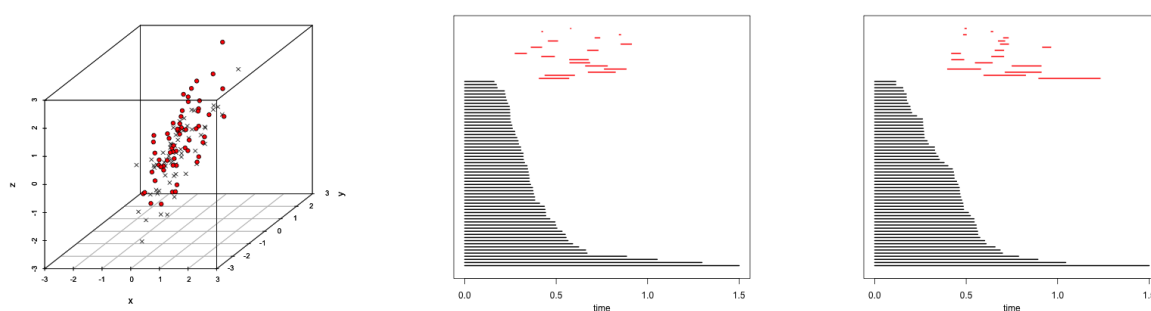


図 A.210 被験者 F-Y5,6,7 : 図形化 (左), rest 時の BC(中央), tapping 時の BC(右)

A.2 解析手法 3

A.2 解析手法 3

A.2 解析手法 3

A.2.1 被験者 A-12ch

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

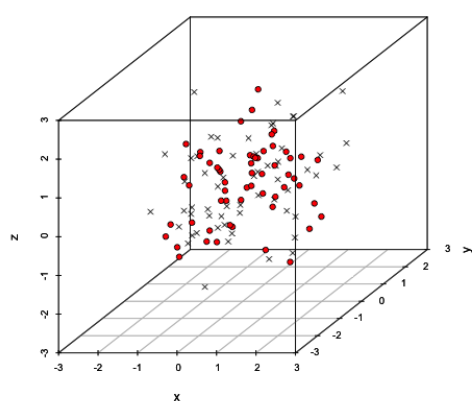
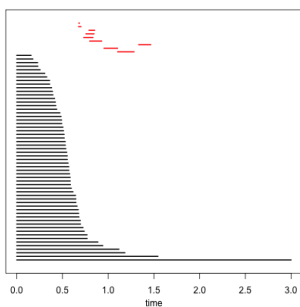


図 A.211 被験者 A-12h-Y1

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.54376	0.15681
1	9	0.71976	0.00814



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.02756	0.07514
1	16	0.48722	0.00386

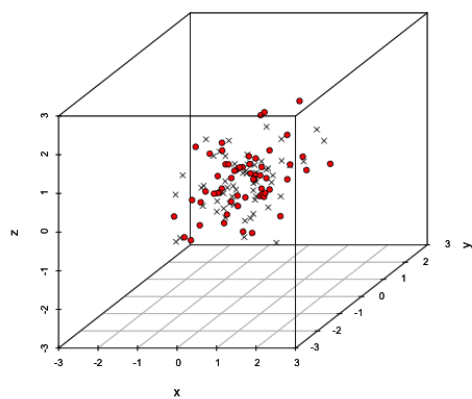
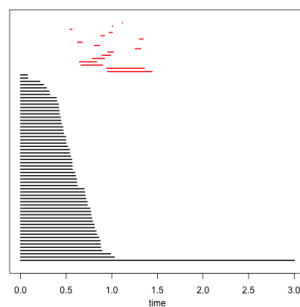
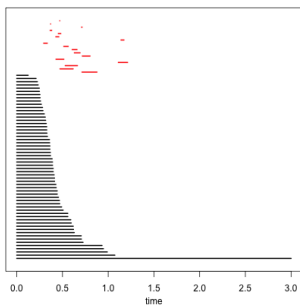
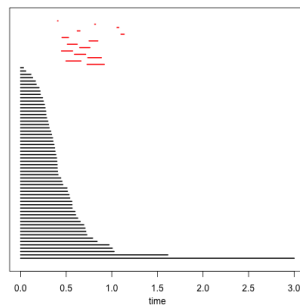


図 A.212 被験者 A-12ch-Y2

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.07266	0.12470
1	17	0.16385	0.00028



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.61431	0.03050
1	14	0.18838	0.00555



A.2 解析手法 3

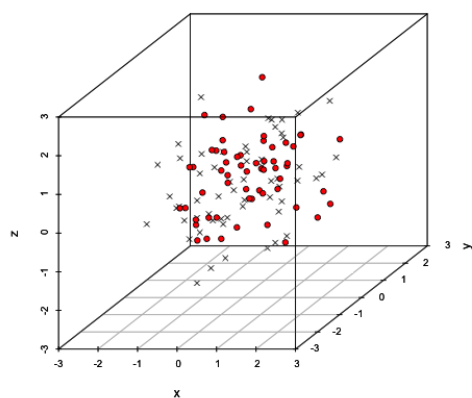
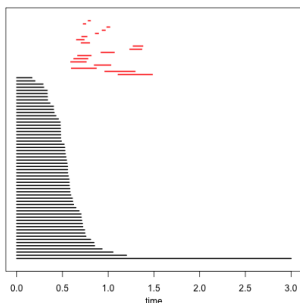


図 A.213 被験者 A-12ch-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.19933	0.16568
1	18	0.37409	0.02293



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.23178	0.06412
1	20	0.43097	0.00028

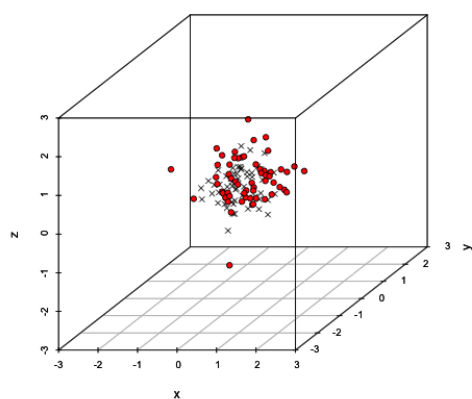
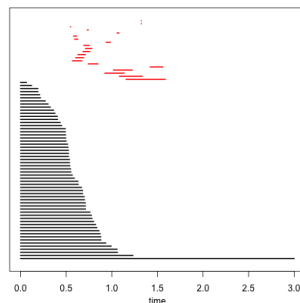
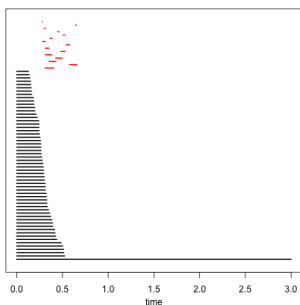


図 A.214 被験者 A-12ch-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.52258	0.12600
1	15	0.09248	0.00026



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.50433	0.09236
1	15	0.26207	0.00419

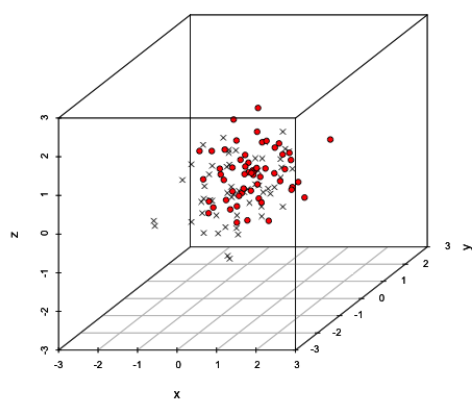
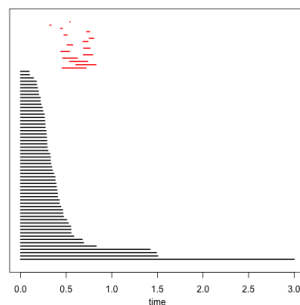
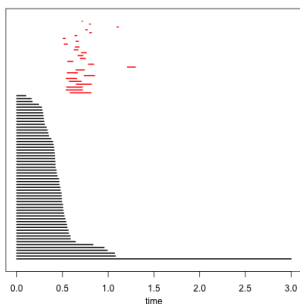
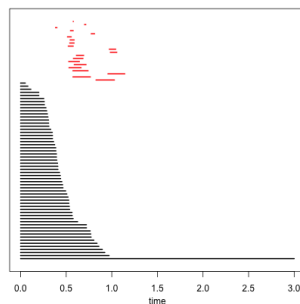


図 A.215 被験者 A-12ch-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.07838	0.00988
1	26	0.22642	0.00385



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.96989	0.05125
1	20	0.20147	0.00243



A.2 解析手法 3

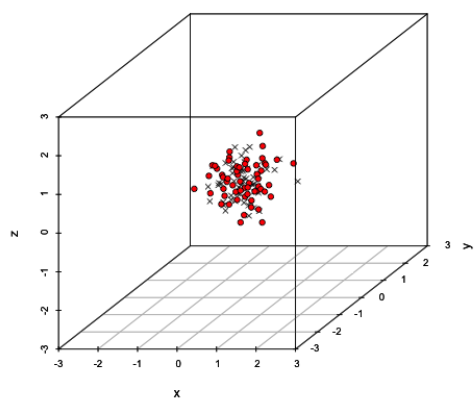
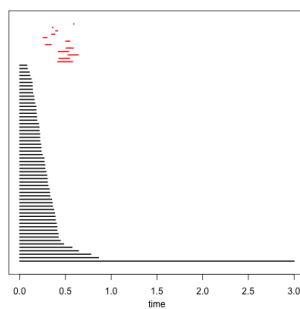


図 A.216 被験者 A-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.86085	0.07709
1	12	0.16310	0.00604



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.69850	0.10430
1	18	0.15378	0.00582

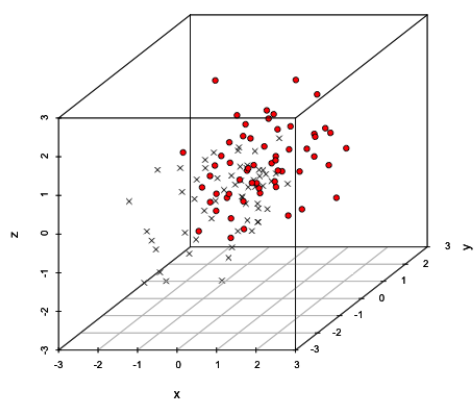
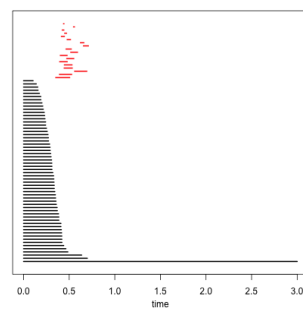
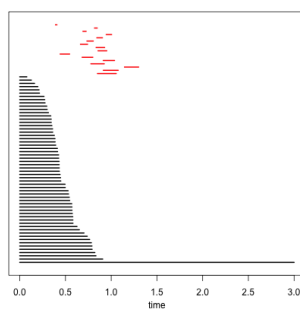
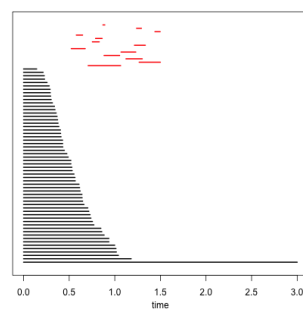


図 A.217 被験者 A-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.90702	0.07719
1	16	0.20502	0.01631



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.17944	0.14329
1	13	0.35605	0.02067



A.2 解析手法 3

A.2.2 被験者 A-32ch

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

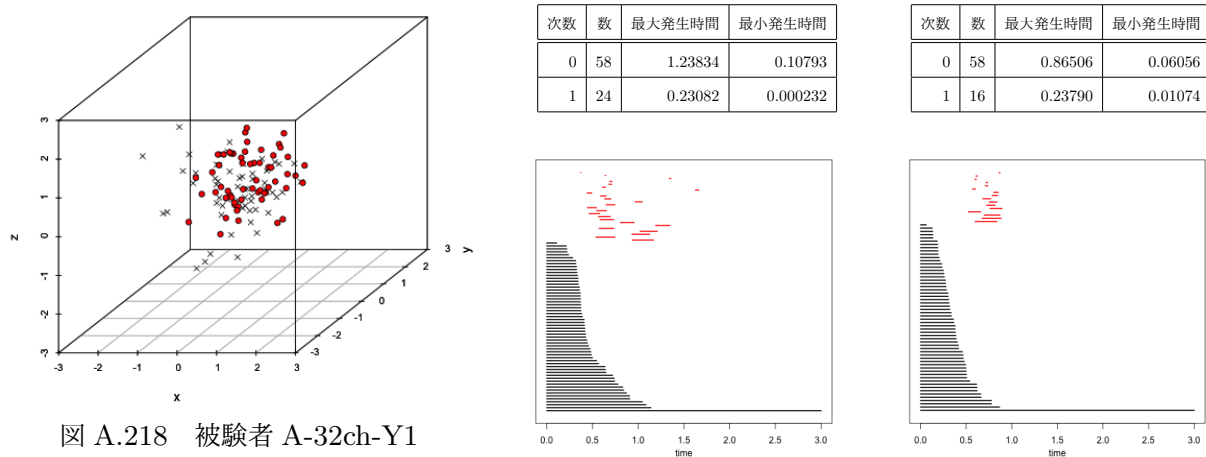


図 A.218 被験者 A-32ch-Y1

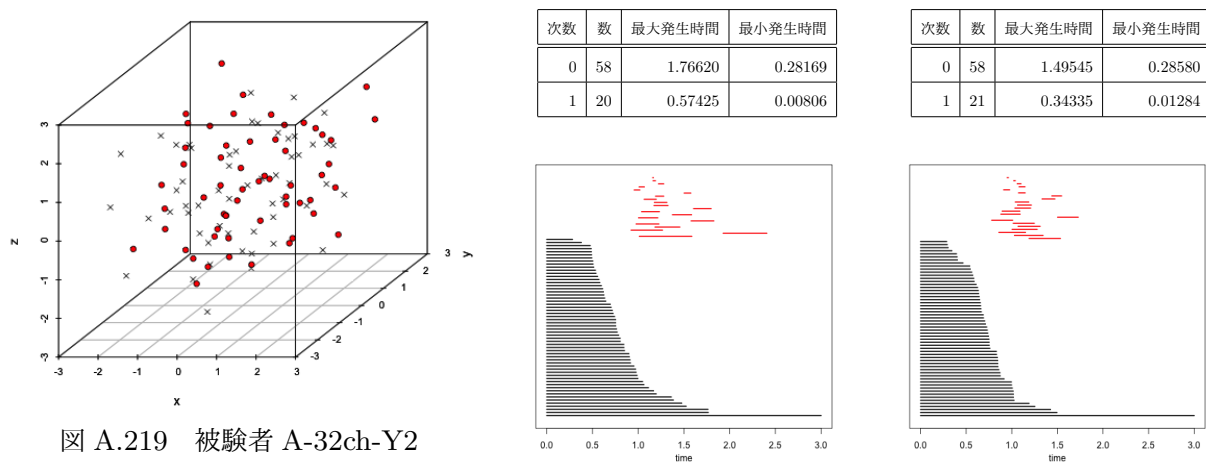


図 A.219 被験者 A-32ch-Y2

A.2 解析手法 3

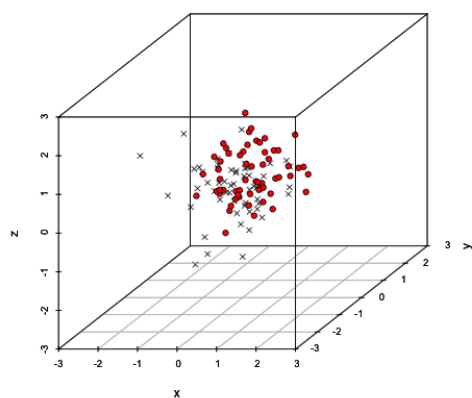
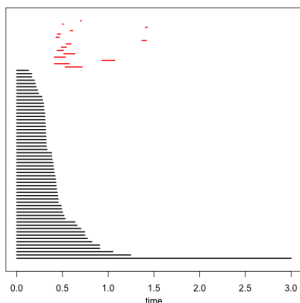


図 A.220 被験者 A-32ch-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.24461	0.12912
1	15	0.18457	0.00793



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.01333	0.13648
1	16	0.29907	0.00084

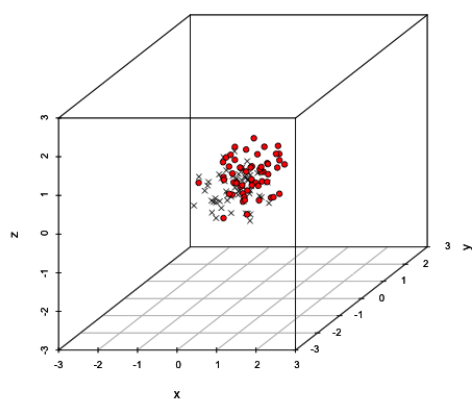
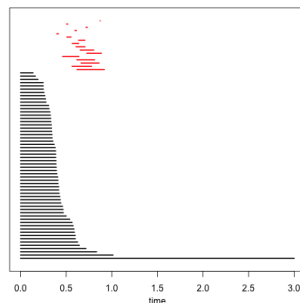
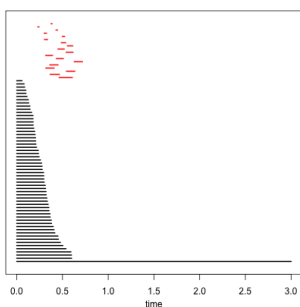


図 A.221 被験者 A-32ch-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.59993	0.05773
1	18	0.14472	0.01222



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.59118	0.07483
1	16	0.18144	0.00290

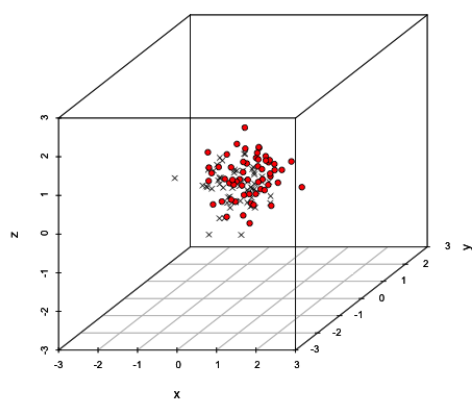
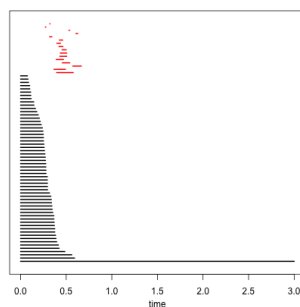
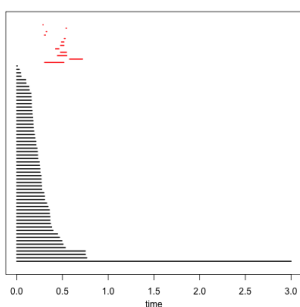
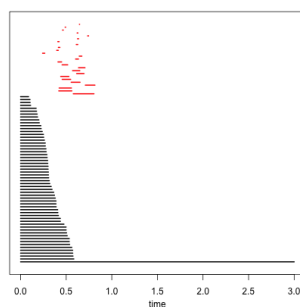


図 A.222 被験者 A-32ch-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.76538	0.00662
1	12	0.21002	0.00154



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.58375	0.08699
1	25	0.22643	0.00243



A.2 解析手法 3

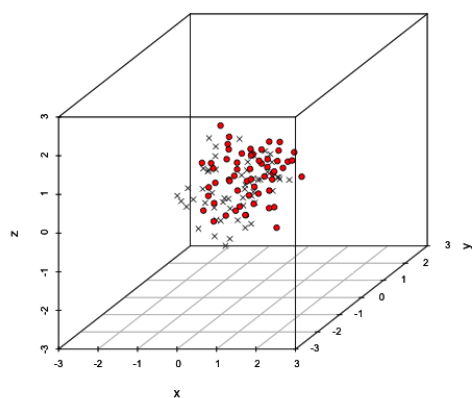
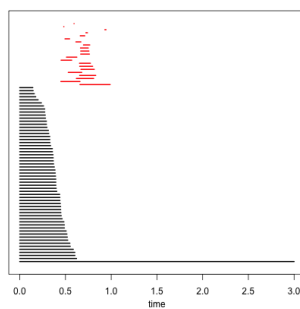


図 A.223 被験者 A-32ch-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.62890	0.14269
1	21	0.32984	0.00048



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.72806	0.09834
1	20	0.26268	0.00195

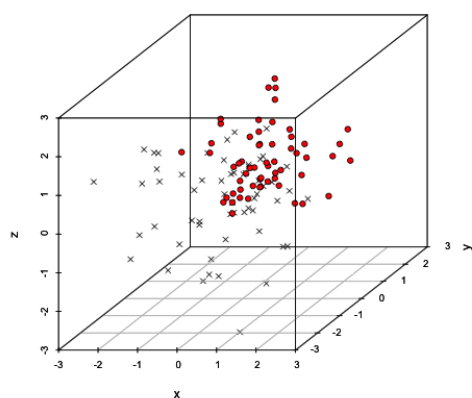
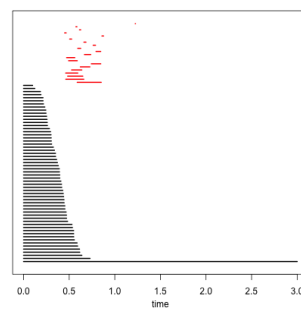
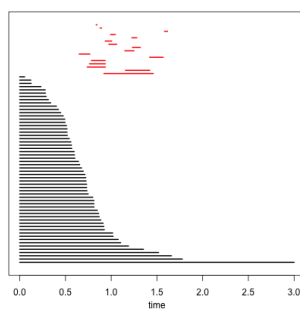
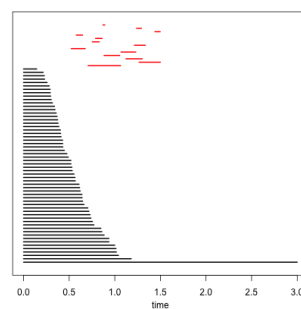


図 A.224 被験者 A-32ch-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.77723	0.05280
1	16	0.53905	0.00901



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.07590	0.13269
1	15	0.20425	0.00795



A.2 解析手法 3

A.2.3 被験者 A-32chMB

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

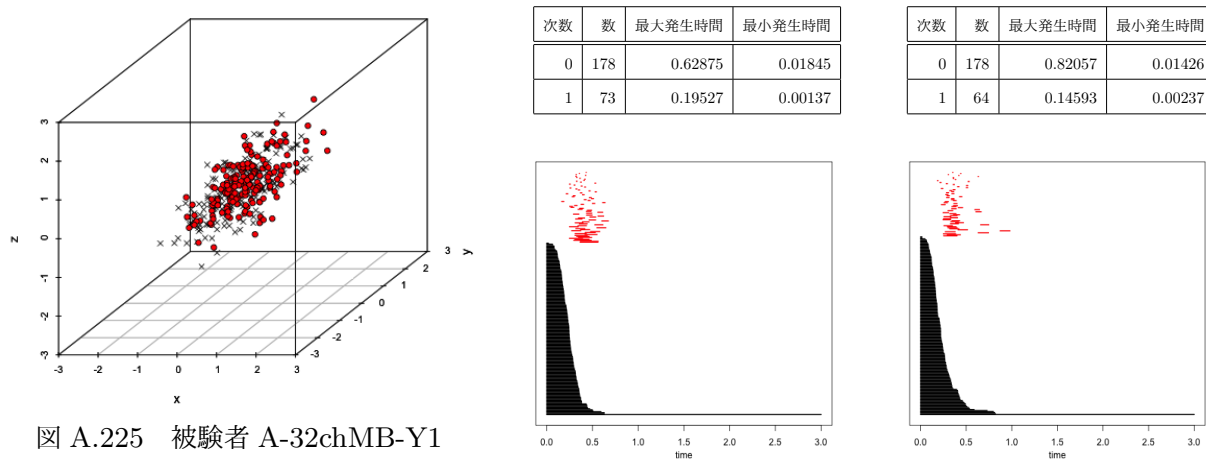


図 A.225 被験者 A-32chMB-Y1

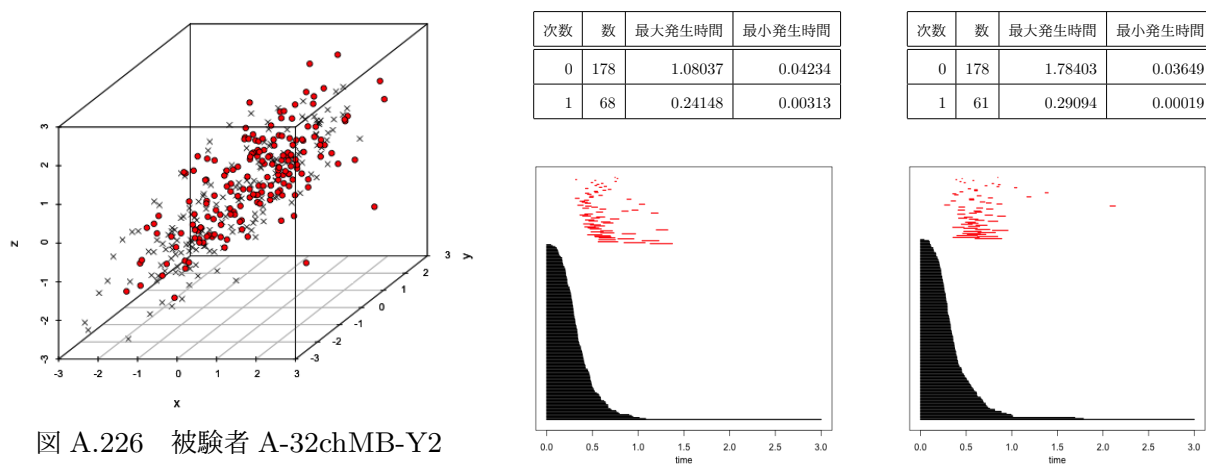


図 A.226 被験者 A-32chMB-Y2

A.2 解析手法 3

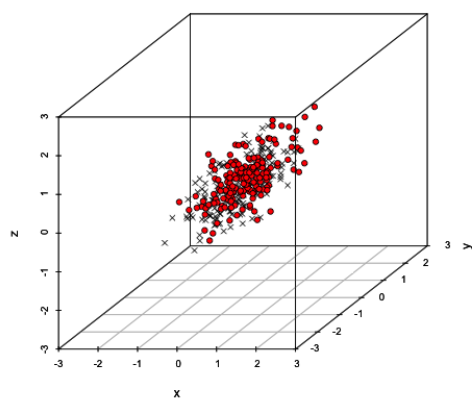
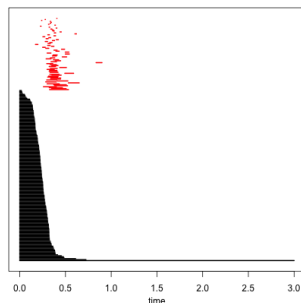


図 A.227 被験者 A-32chMB-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.72410	0.01776
1	75	0.20636	0.00132



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.63249	0.02591
1	57	0.23356	0.00014

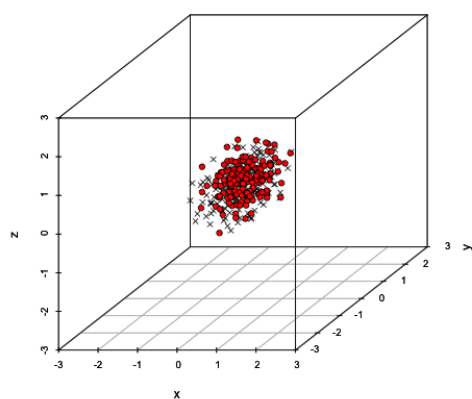
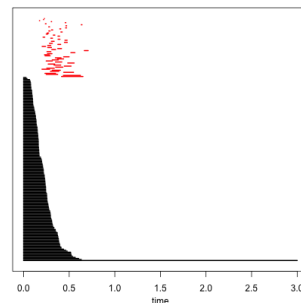
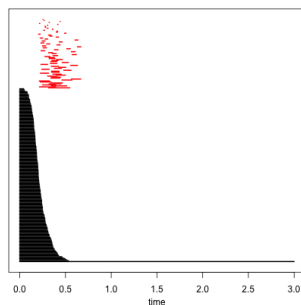


図 A.228 被験者 A-32chMB-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.83163	0.04204
1	71	0.23130	0.00018



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.68036	0.02148
1	66	0.15633	0.00070

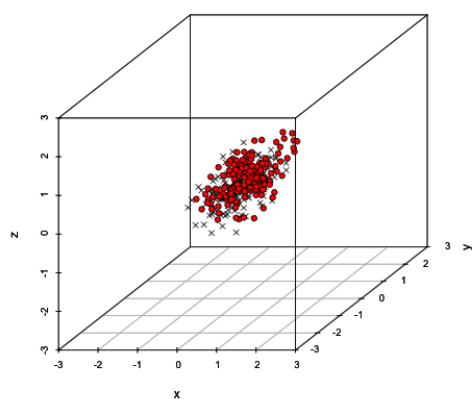
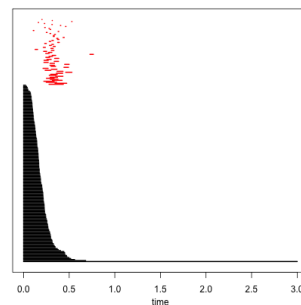
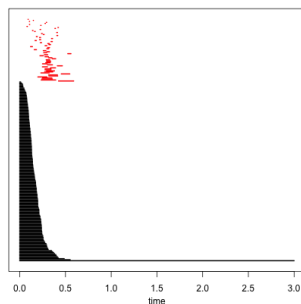
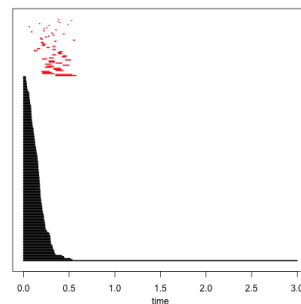


図 A.229 被験者 A-32chMB-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.55131	0.01000
1	62	0.16524	0.00054



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.52091	0.01953
1	55	0.22116	0.00033



A.2 解析手法 3

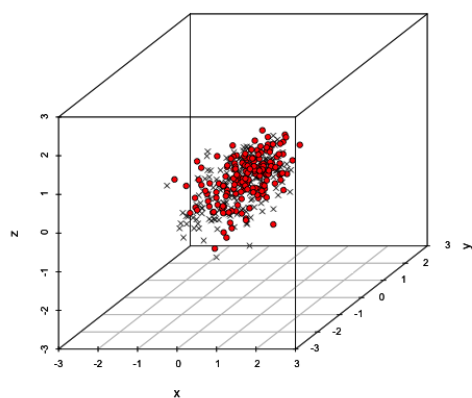
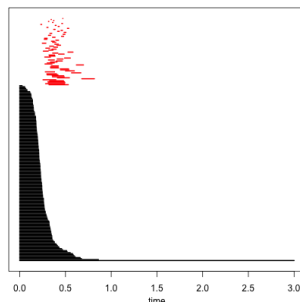


図 A.230 被験者 A-32chMB-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	30	8.57966	2.21784
1	4	0.45466	0.02988



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.82046	0.04885
1	70	0.17990	0.00137

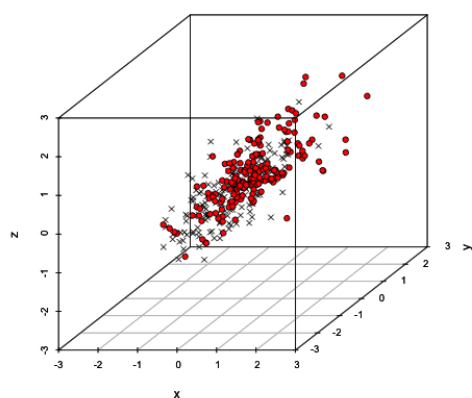
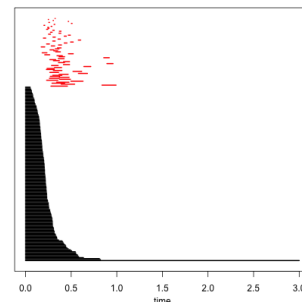
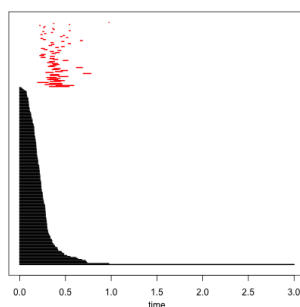
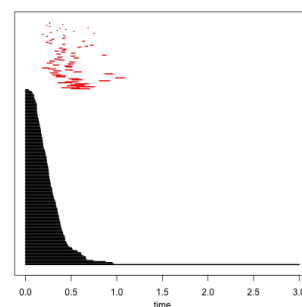


図 A.231 被験者 A-32chMB-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.97326	0.01117
1	65	0.21406	0.00048



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.996040	0.02778
1	68	0.20158	0.00010



A.2 解析手法 3

A.2.4 被験者 B-12ch

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

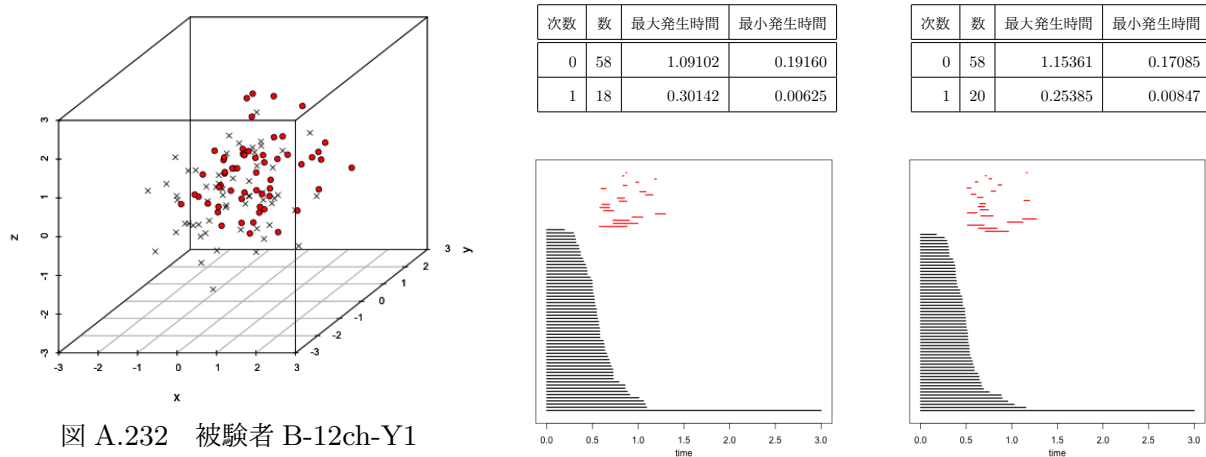


図 A.232 被験者 B-12ch-Y1

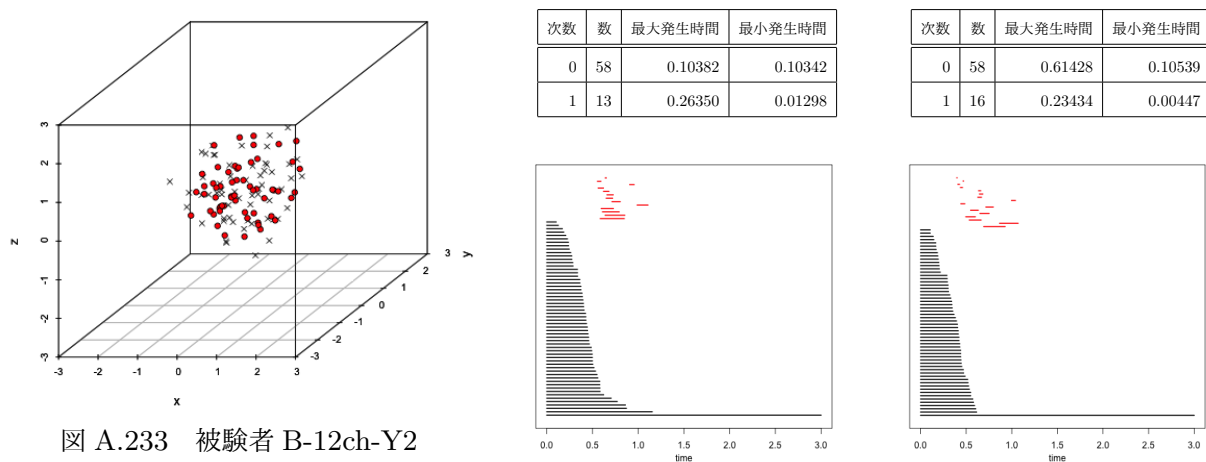


図 A.233 被験者 B-12ch-Y2

A.2 解析手法 3

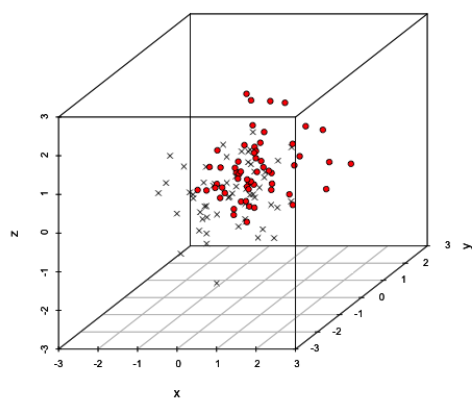
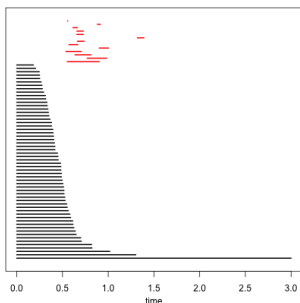


図 A.234 被験者 B-12ch-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.30153	0.18192
1	13	0.35010	0.00335



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.13516	0.13322
1	15	0.16457	0.00799

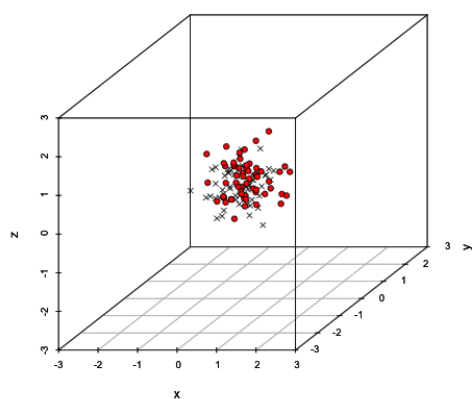
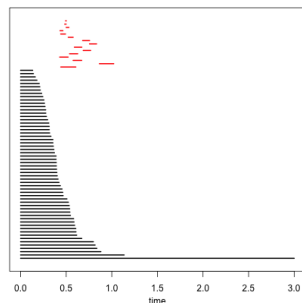
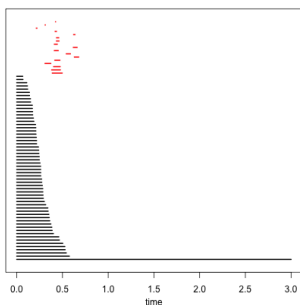


図 A.235 被験者 B-12ch-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.57500	0.06521
1	17	0.10934	0.00191



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.87446	0.07893
1	15	0.415247	0.00527

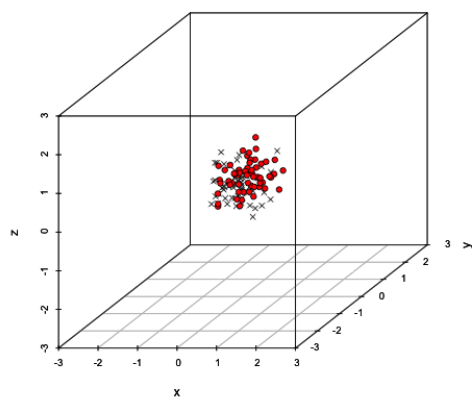
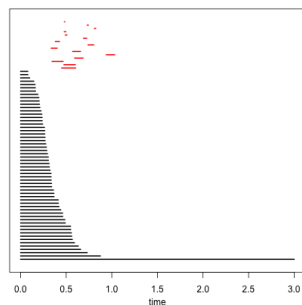
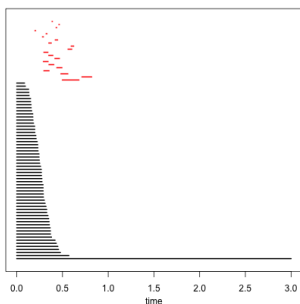
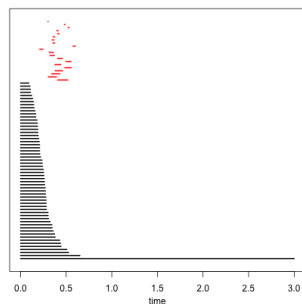


図 A.236 被験者 B-12ch-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.56959	0.08473
1	20	0.18216	0.00495



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.649744	0.00901
1	4	0.11292	0.00311



A.2 解析手法 3

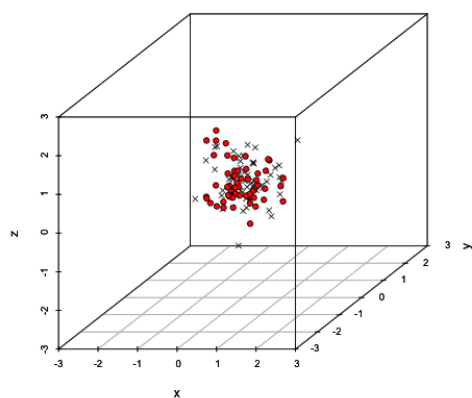
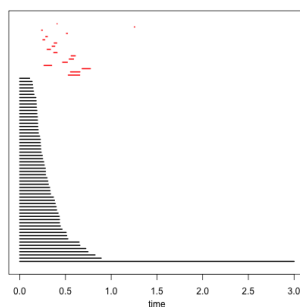


図 A.237 被験者 B-12ch-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.88993	0.10725
1	17	0.12446	0.00056



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.60626	0.09528
1	14	0.18920	0.00687

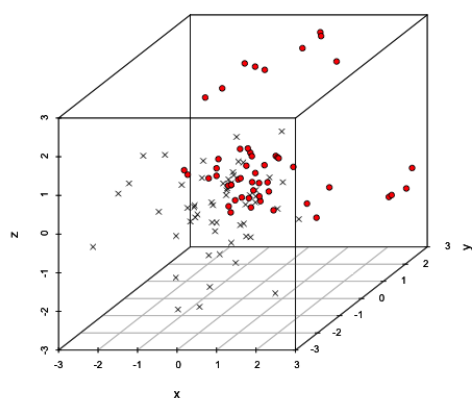
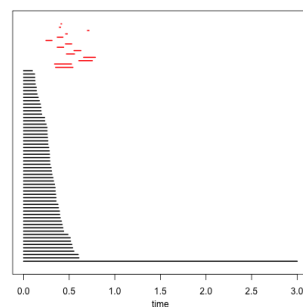
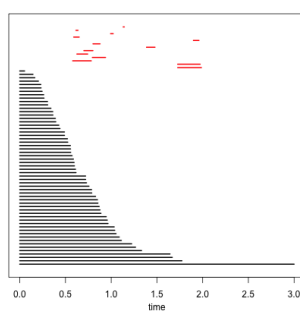
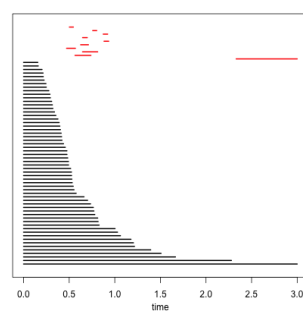


図 A.238 被験者 B-12ch-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.77289	0.05375
1	13	0.25922	0.01220



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	2.27833	0.15577
1	10	0.66876	0.04320



A.2 解析手法 3

A.2.5 被験者 B-32ch

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

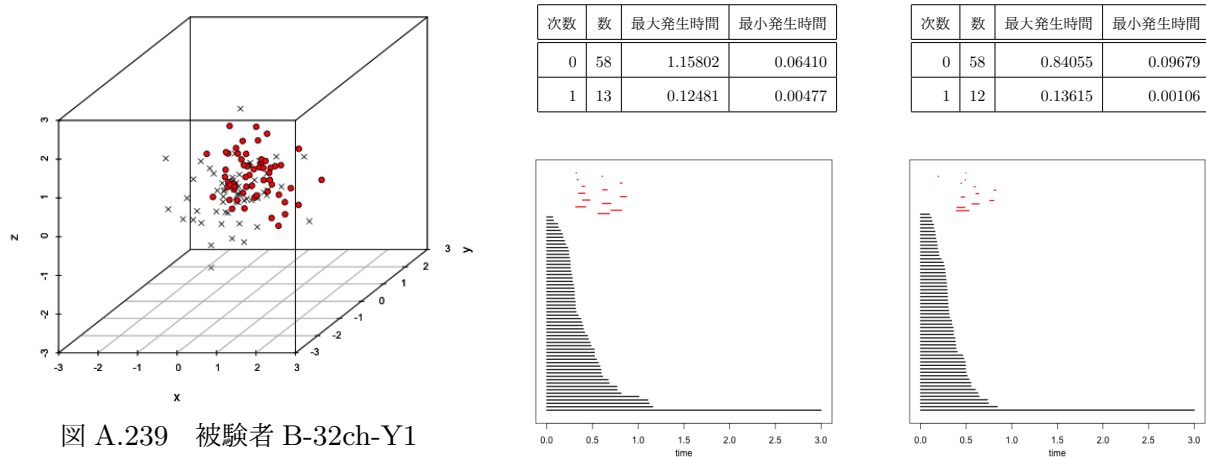


図 A.239 被験者 B-32ch-Y1

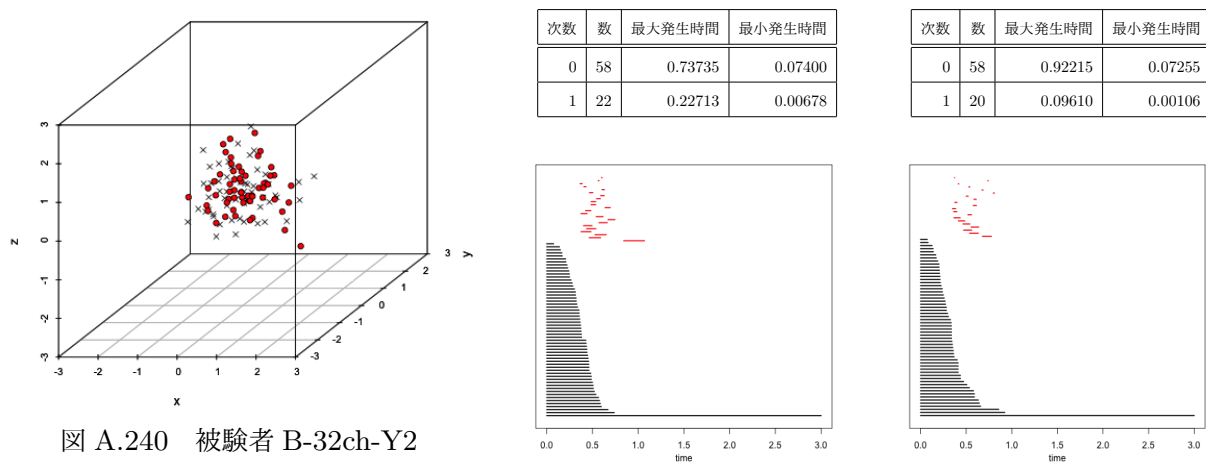


図 A.240 被験者 B-32ch-Y2

A.2 解析手法 3

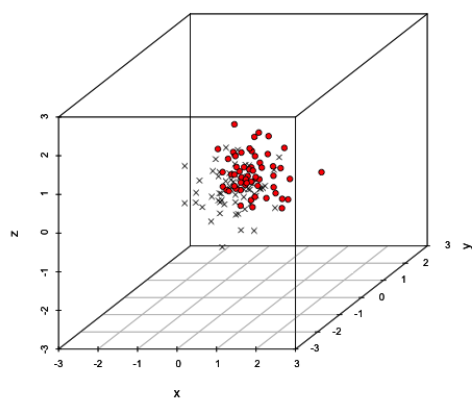
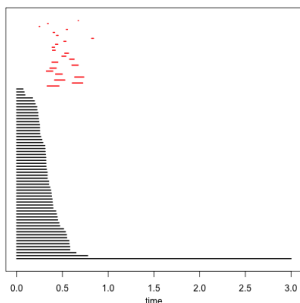


図 A.241 被験者 B-32ch-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.77530	0.0677
1	23	0.12891	0.00159



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.09280	0.11358
1	20	0.10440	0.00409

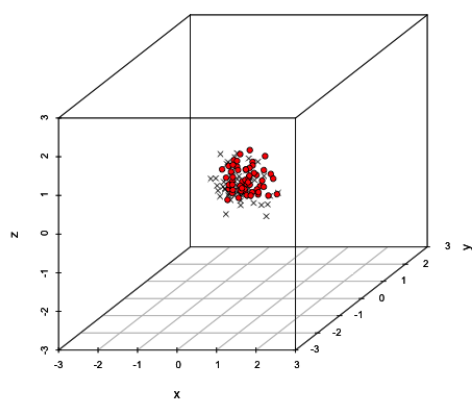
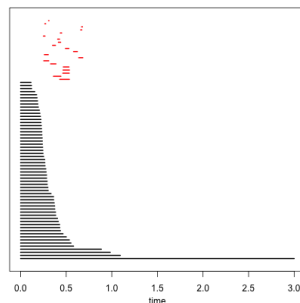
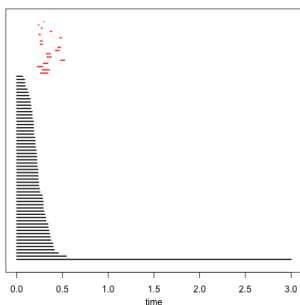


図 A.242 被験者 B-32ch-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.54045	0.06191
1	17	0.07983	0.00123



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.46098	0.06557
1	20	0.12162	0.00300

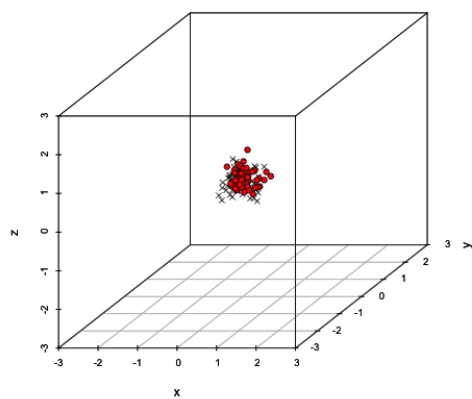
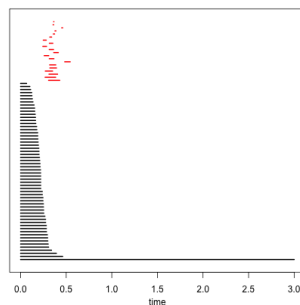
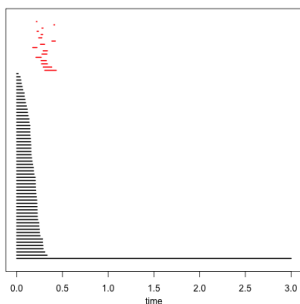
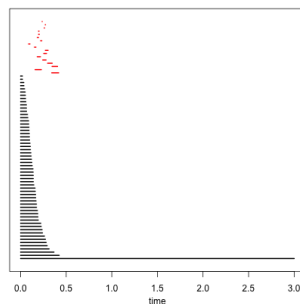


図 A.243 被験者 B-32ch-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.33139	0.01509
1	16	0.12379	0.00655



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.42270	0.01945
1	17	0.07537	0.00036



A.2 解析手法 3

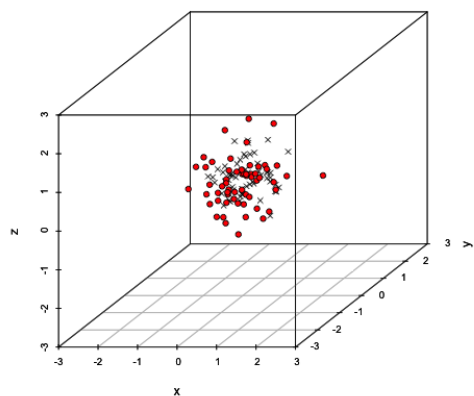
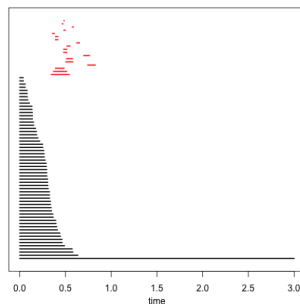


図 A.244 被験者 B-32ch-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.63510	0.03801
1	18	0.19735	0.00417



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.19021	0.10096
1	16	0.24903	0.00001

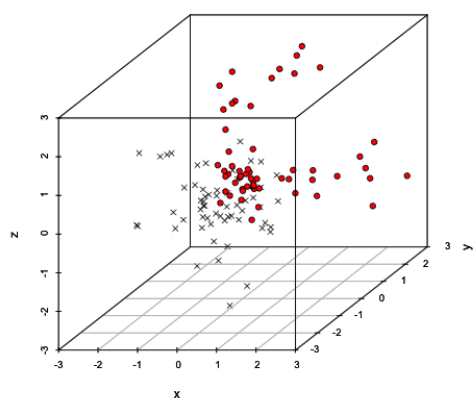
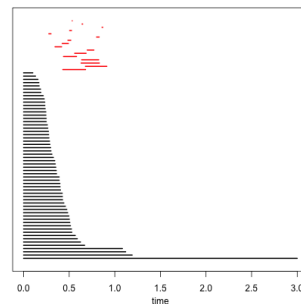
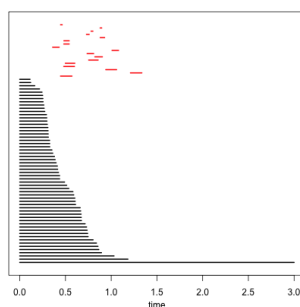
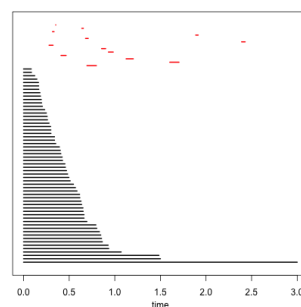


図 A.245 被験者 B-32ch-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.18267	0.11232
1	17	0.12488	0.01771



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.49981	0.08339
1	13	0.10303	0.00061



A.2 解析手法 3

A.2.6 被験者 B-32chMB

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

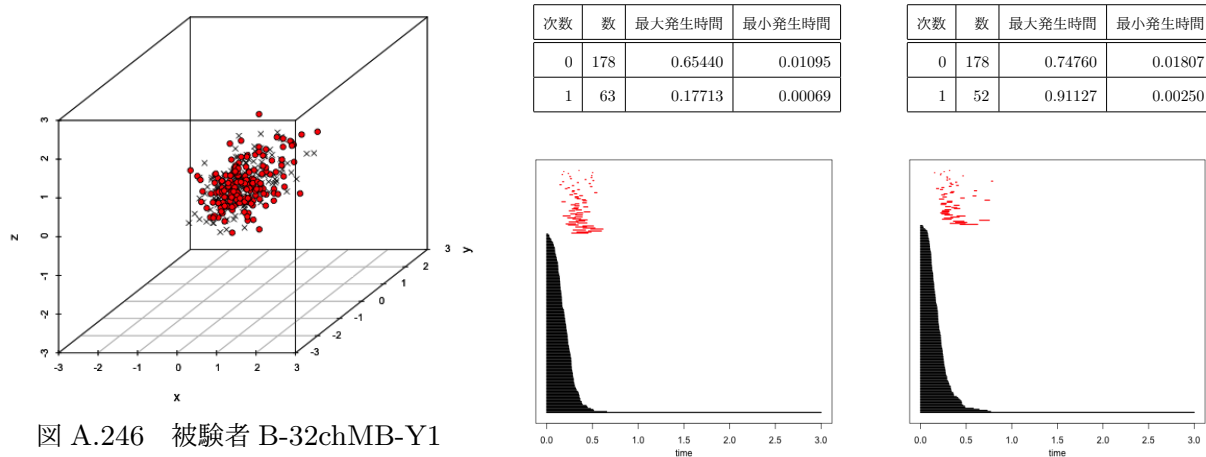


図 A.246 被験者 B-32chMB-Y1

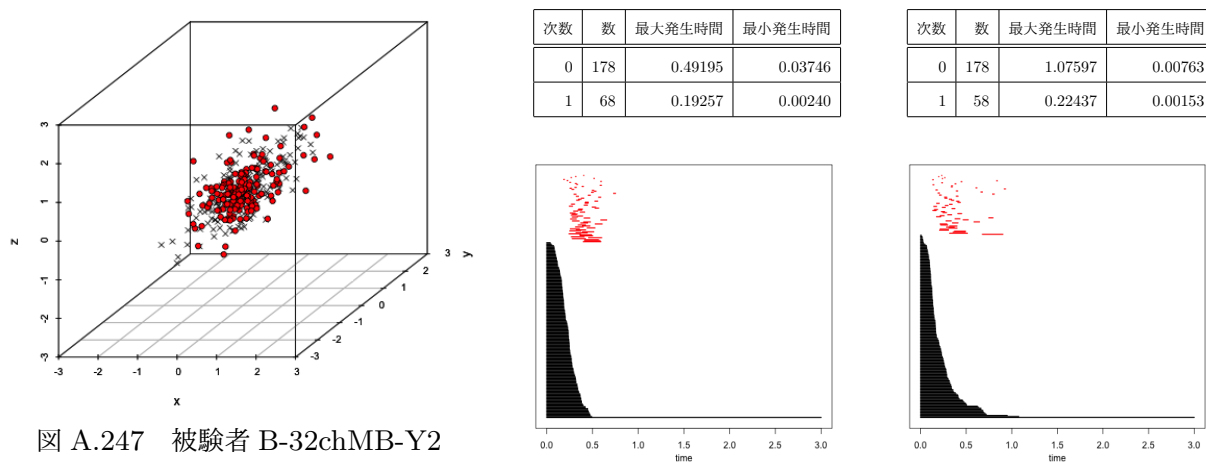


図 A.247 被験者 B-32chMB-Y2

A.2 解析手法 3

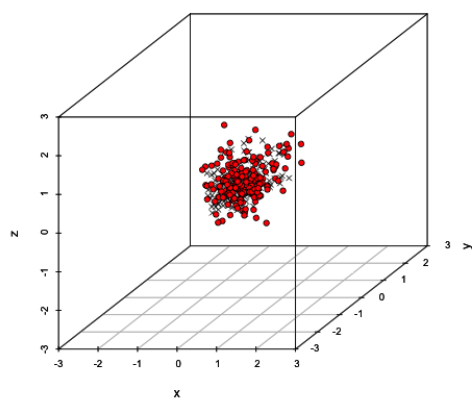
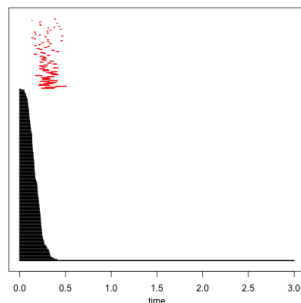


図 A.248 被験者 B-32chMB-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.40737	0.00960
1	73	0.13522	0.000001



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.65898	0.00447
1	64	0.13534	0.00032

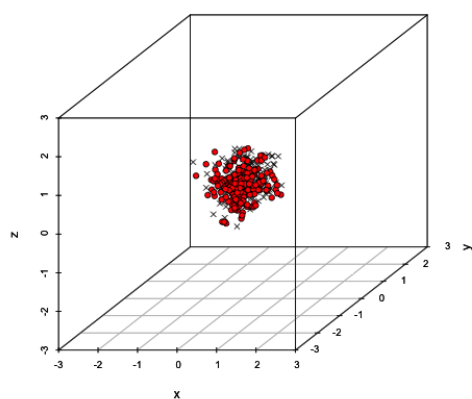
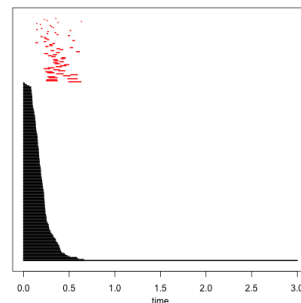
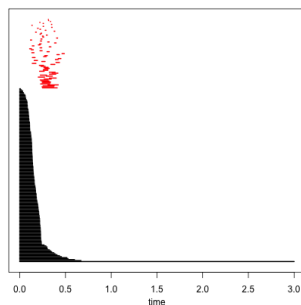


図 A.249 被験者 B-32chMB-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.66904	0.00758
1	71	0.158988	0.00053



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.54911	0.00763
1	63	0.13416	0.00072

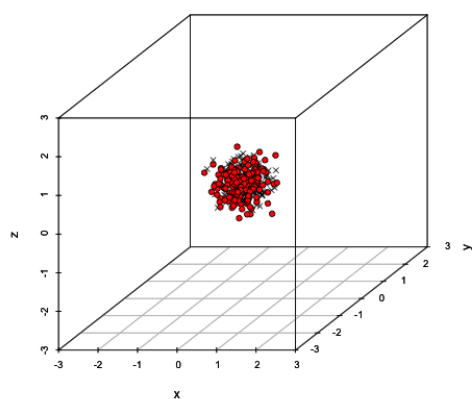
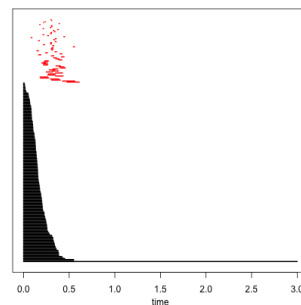
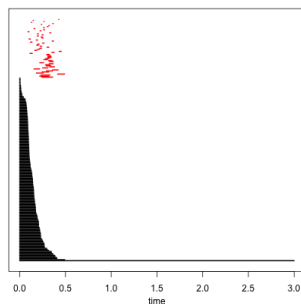
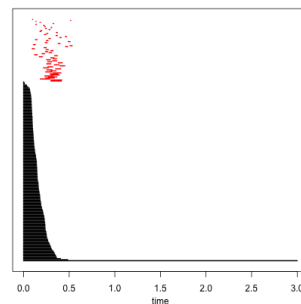


図 A.250 被験者 B-32chMB-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.49107	0.00374
1	4	0.11995	0.00065



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.48413	0.00291
1	62	0.11672	0.0.00033



A.2 解析手法 3

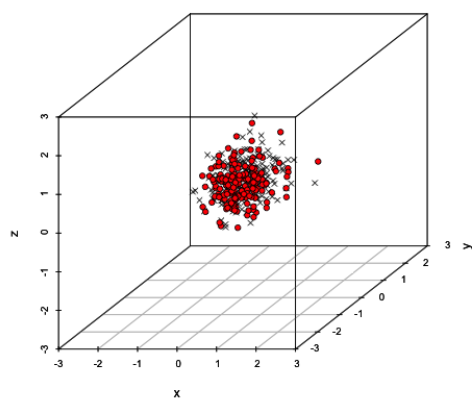
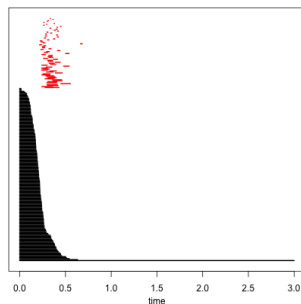


図 A.251 被験者 B-32chMB-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.63237	0.01294
1	72	0.15104	0.00062



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.71763	0.03239
1	63	0.16762	0.00067

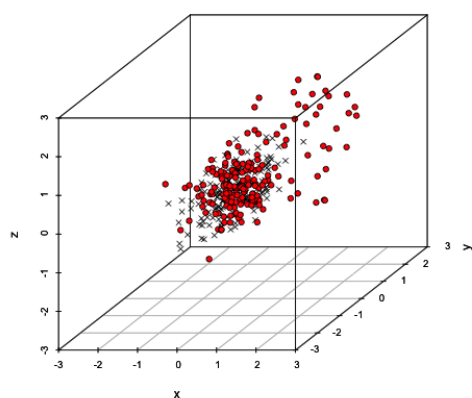
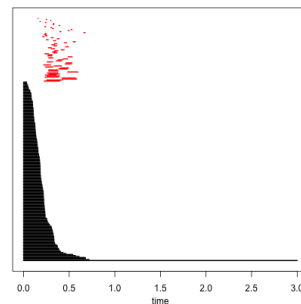
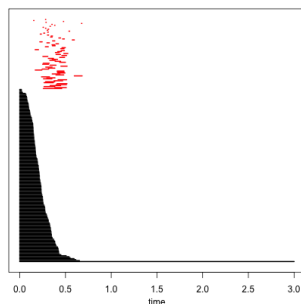
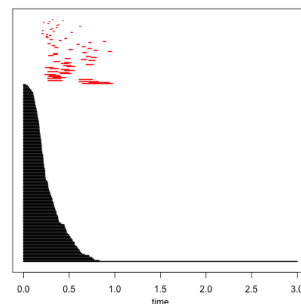


図 A.252 被験者 B-32chMB-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.65281	0.01767
1	72	0.20103	0.00259



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	30	8.57966	2.21784
1	4	0.45466	0.02988



A.2 解析手法 3

A.2.7 被験者 C-12ch

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報
 に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest
 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

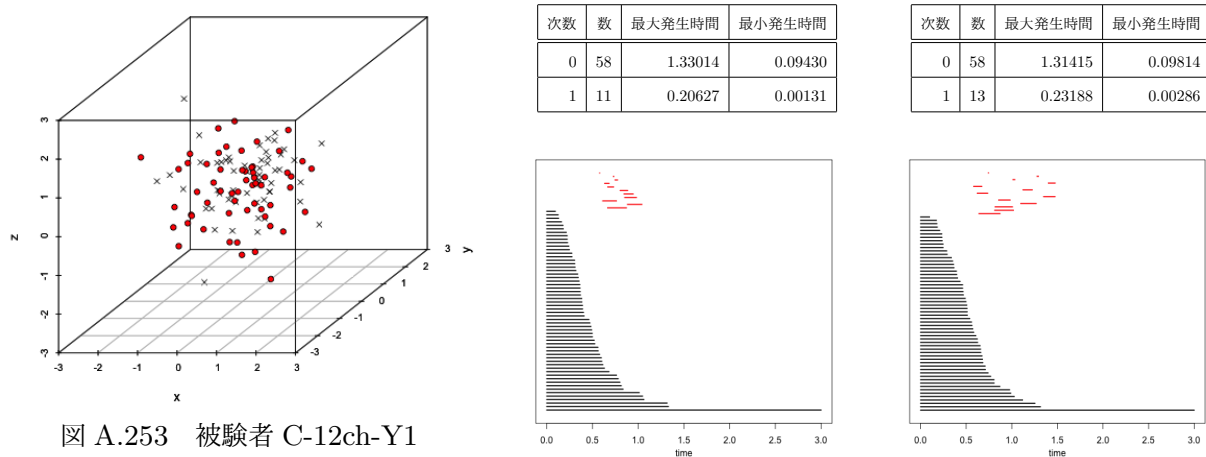


図 A.253 被験者 C-12ch-Y1

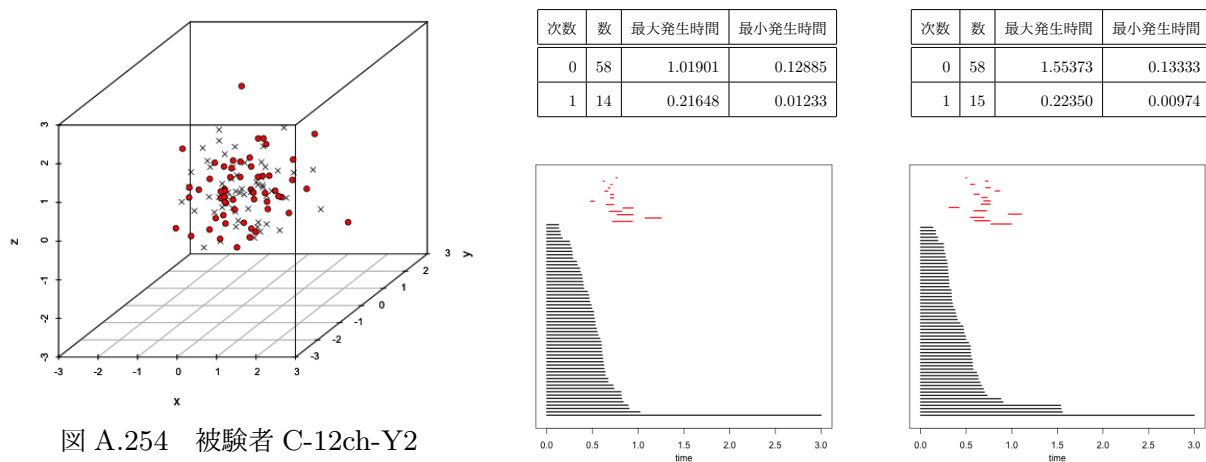


図 A.254 被験者 C-12ch-Y2

A.2 解析手法 3

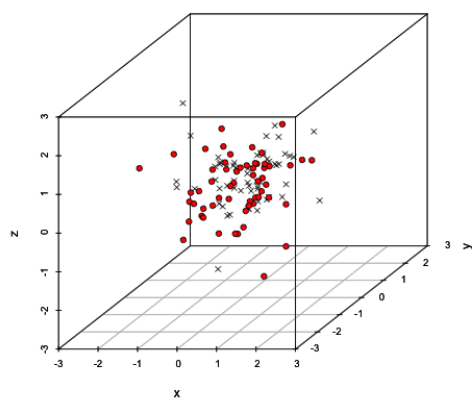
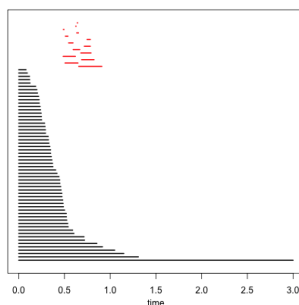


図 A.255 被験者 C-12ch-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.30765	0.07948
1	14	0.25255	0.00410



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.08063	0.12022
1	14	0.18529	0.00147

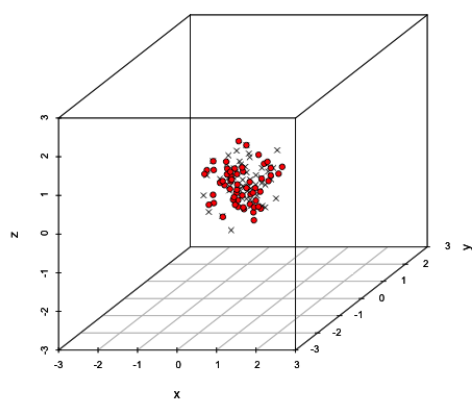
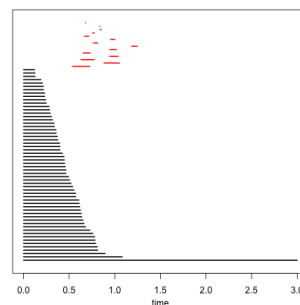
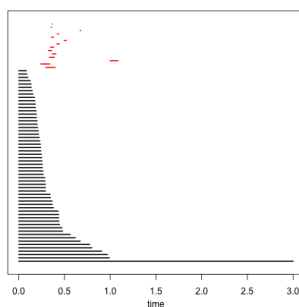


図 A.256 被験者 C-12ch-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.98928	0.08314
1	14	0.10225	0.00038



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.82979	0.10458
1	20	0.28200	0.00471

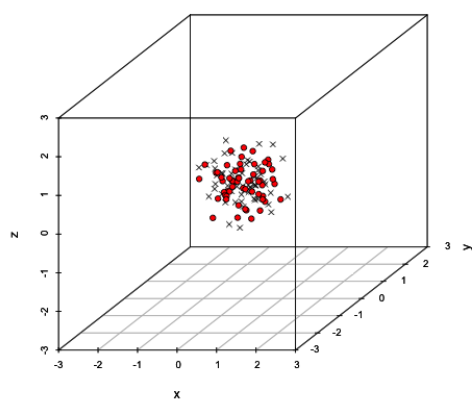
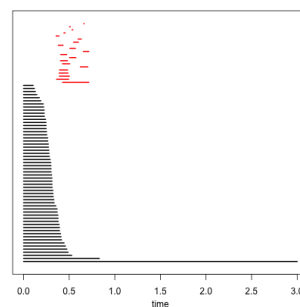
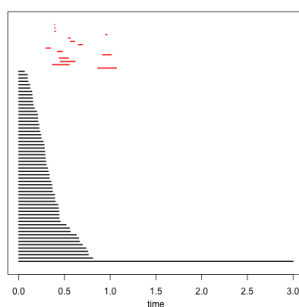
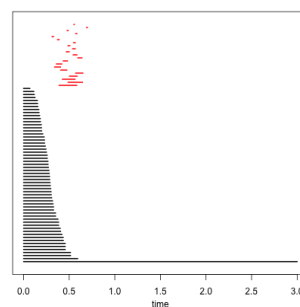


図 A.257 被験者 C-12ch-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.80722	0.06087
1	14	0.20220	0.00050



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.59338	0.06884
1	21	0.19838	0.00700



A.2 解析手法 3

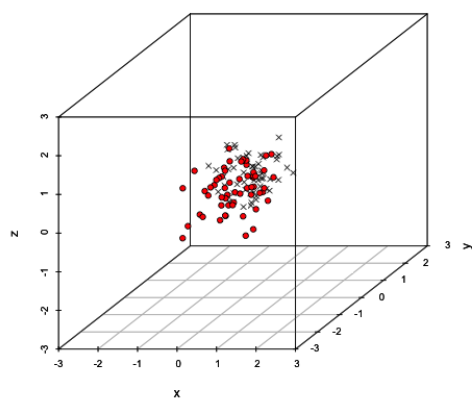
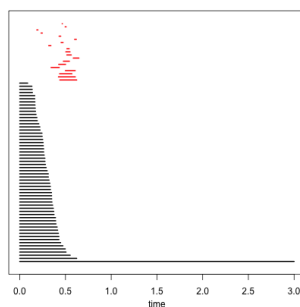


図 A.258 被験者 C-12ch-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.62252	0.08636
1	19	0.18488	0.00255



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.83904	0.09822
1	16	0.18728	0.00095

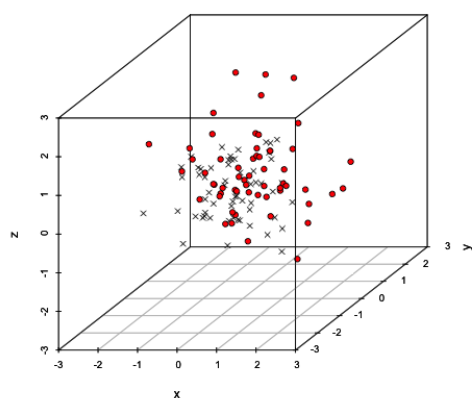
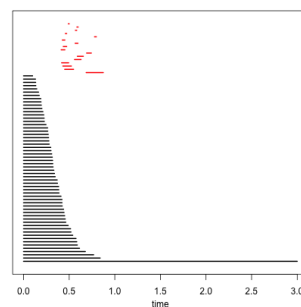
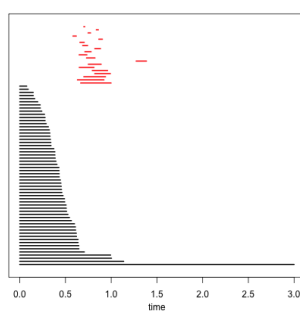
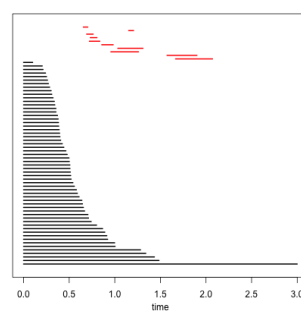


図 A.259 被験者 C-12ch-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.13642	0.07626
1	19	0.33250	0.01045



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.48409	0.09930
1	10	0.40467	0.048745



A.2 解析手法 3

A.2.8 被験者 C-32ch

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報
 に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest
 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

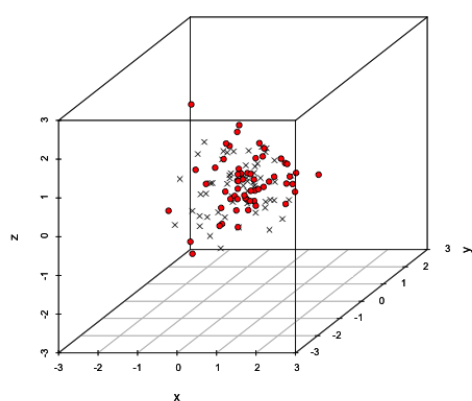
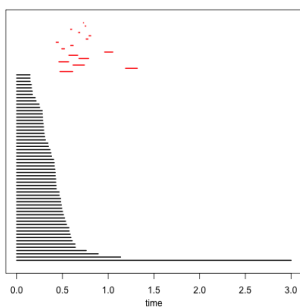


図 A.260 被験者 C-32ch-Y1

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.13462	0.14406
1	16	0.13176	0.00127



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.34126	0.09578
1	20	0.45466	0.00442

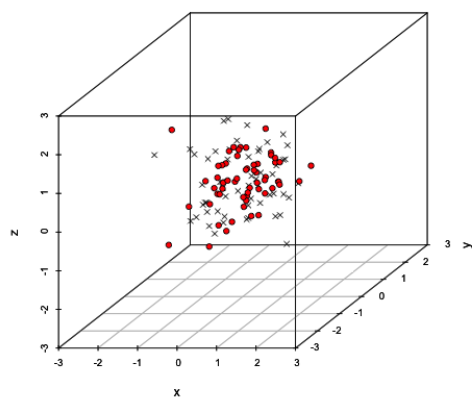
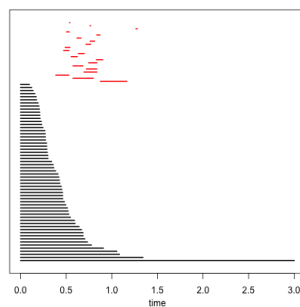
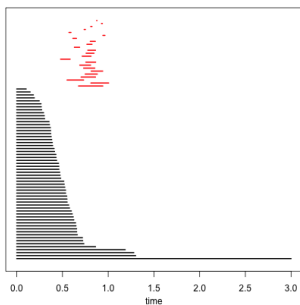
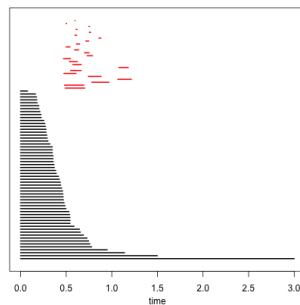


図 A.261 被験者 C-32ch-Y2

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.30004	0.10292
1	23	0.26506	0.00344



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.49875	0.07502
1	23	0.21434	0.00009



A.2 解析手法 3

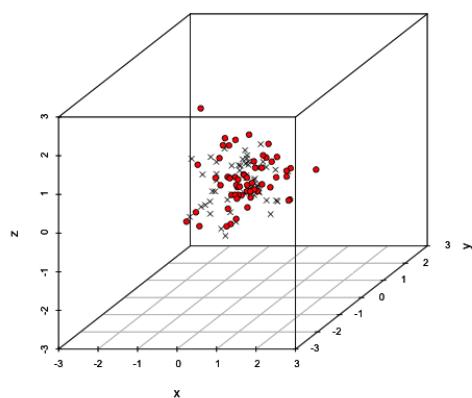
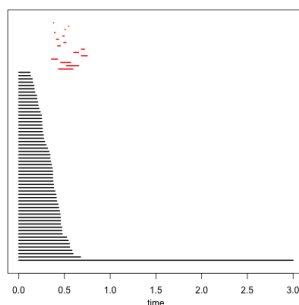


図 A.262 被験者 C-32ch-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.67442	0.12303
1	15	0.15628	0.00247



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.02645	0.09405
1	10	0.25492	0.00482

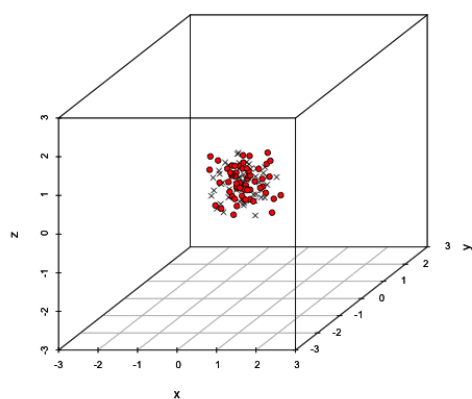
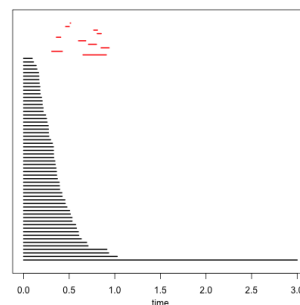
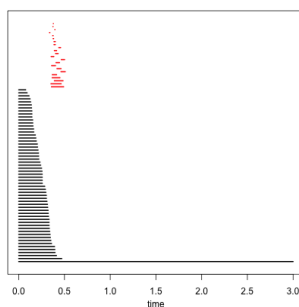


図 A.263 被験者 C-32ch-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.47001	0.07595
1	22	0.13333	0.00023



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.58284	0.04954
1	17	0.13810	0.00658

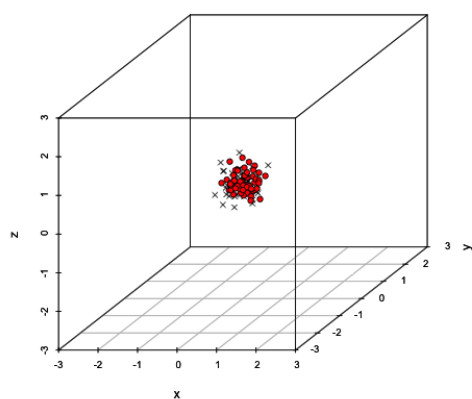
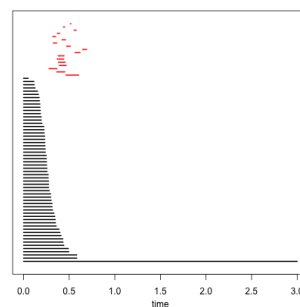
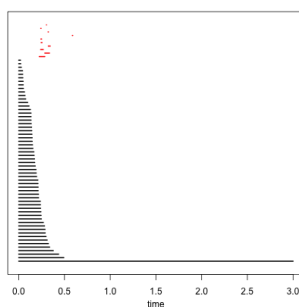
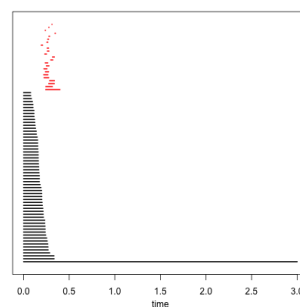


図 A.264 被験者 C-32ch-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.49255	0.01881
1	10	0.06050	0.00001



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.33442	0.07679
1	23	0.15583	0.00142



A.2 解析手法 3

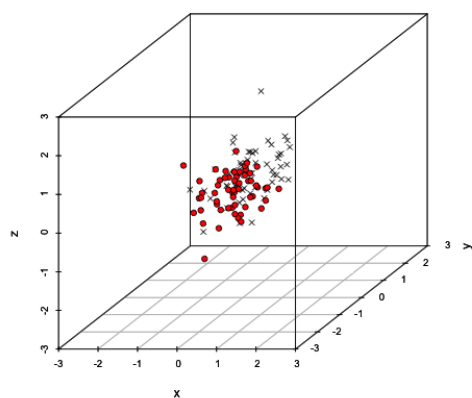
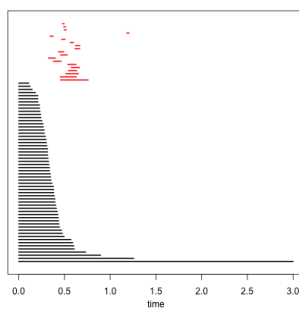


図 A.265 被験者 C-32ch-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.25620	0.10932
1	19	0.29995	0.01833



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.08347	0.13299
1	18	0.12241	0.00341

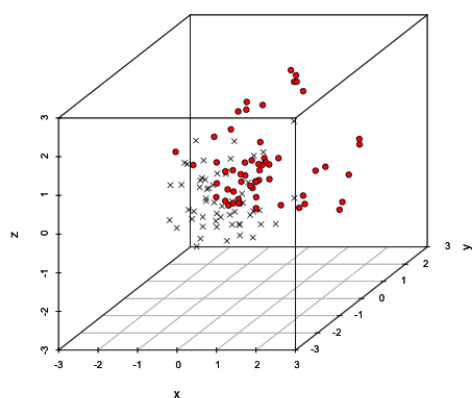
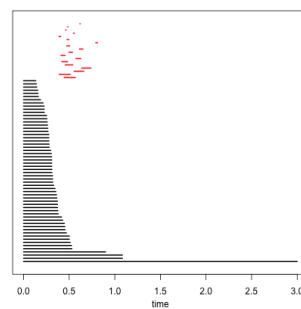
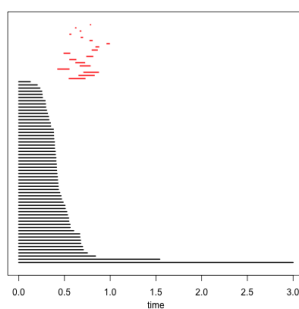
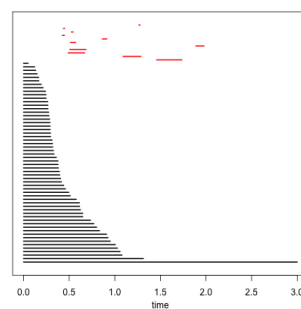


図 A.266 被験者 C-32ch-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.54141	0.12553
1	18	0.17481	0.00306



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.31289	0.04909
1	11	0.27723	0.01353



A.2 解析手法 3

A.2.9 被験者 C-32chMB

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

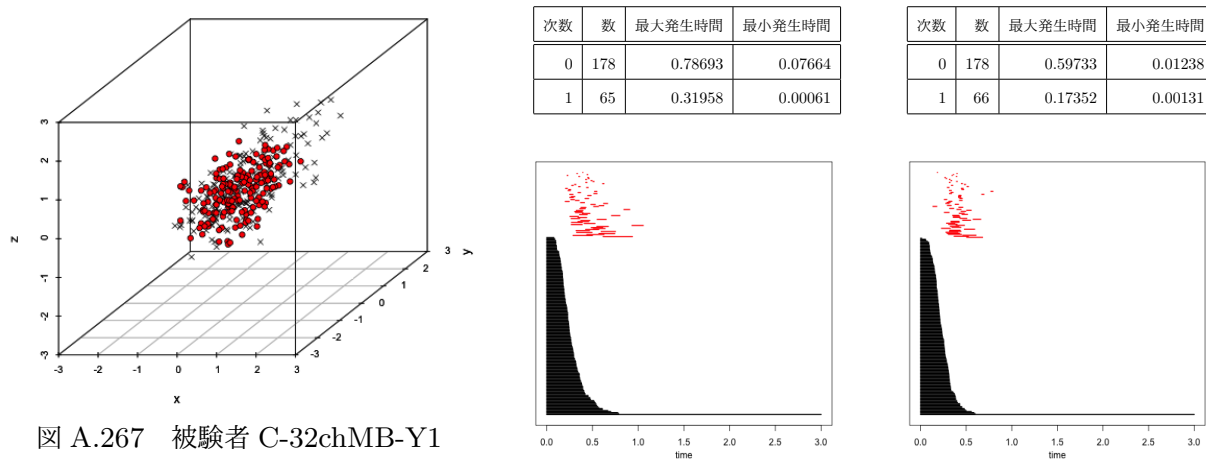


図 A.267 被験者 C-32chMB-Y1

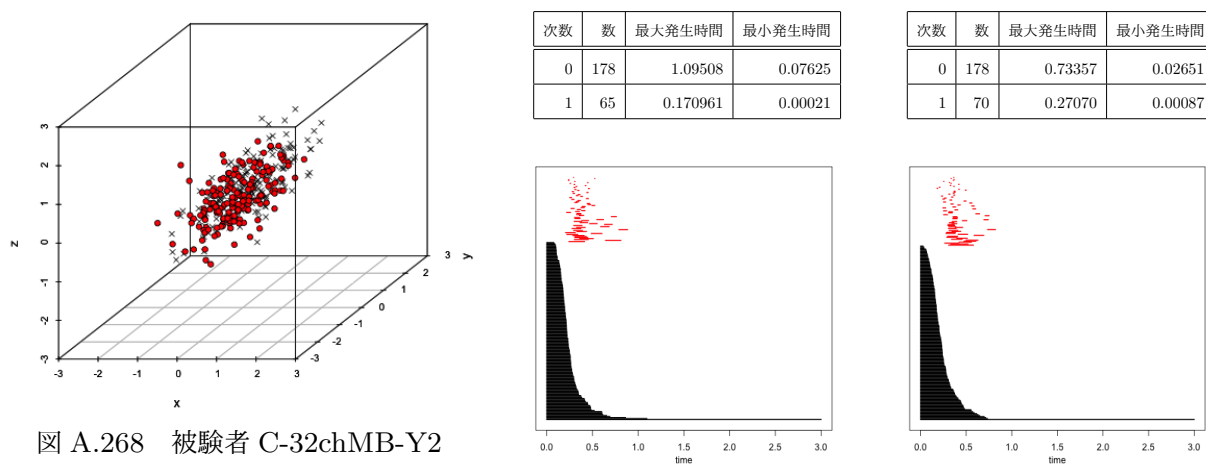


図 A.268 被験者 C-32chMB-Y2

A.2 解析手法 3

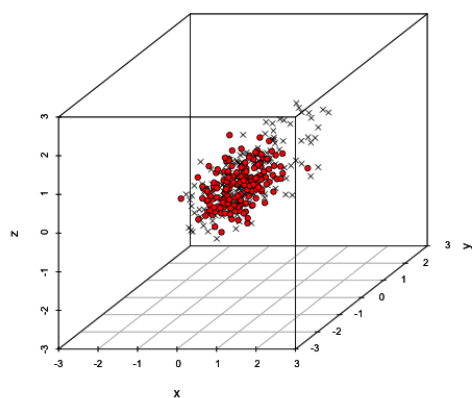
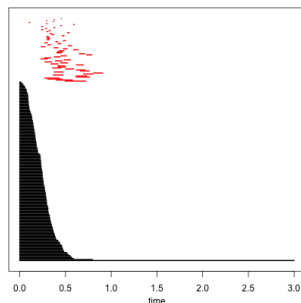


図 A.269 被験者 C-32chMB-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.79370	0.01101
1	63	0.22565	0.00011



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.63824	0.02666
1	56	0.16368	0.00183

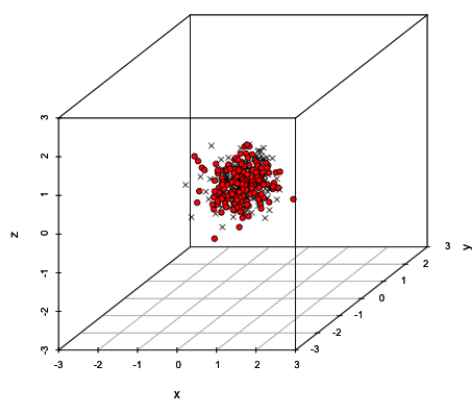
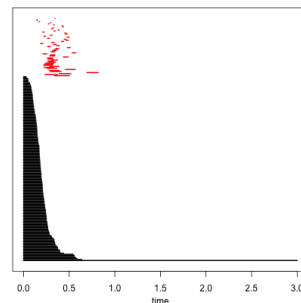
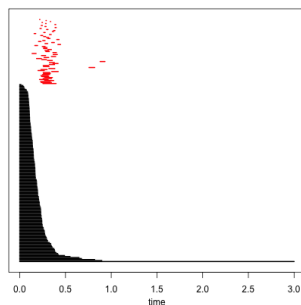


図 A.270 被験者 C-32chMB-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.89742	0.01298
1	65	0.14285	0.00237



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.66199	0.04172
1	70	0.13413	0.00044

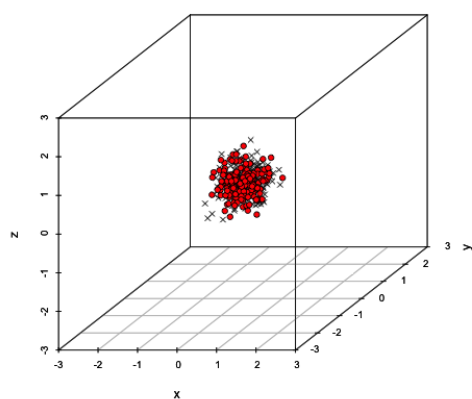
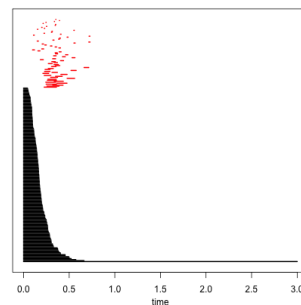
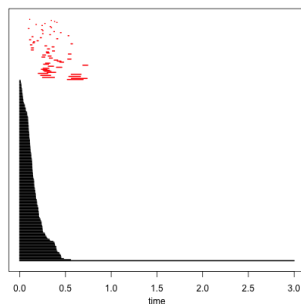
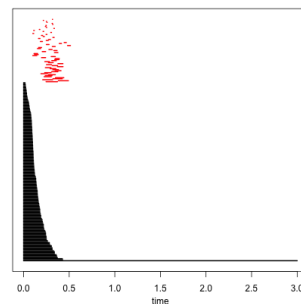


図 A.271 被験者 C-32chMB-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.55512	0.00575
1	60	0.17160	0.00038



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.42817	0.01598
1	63	0.12413	0.00104



A.2 解析手法 3

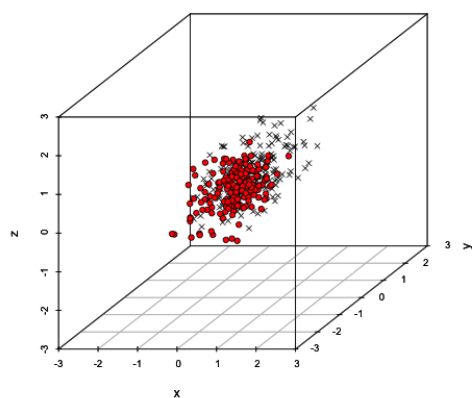
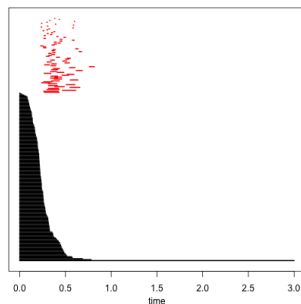


図 A.272 被験者 C-32chMB-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.77909	0.00356
1	79	0.16262	0.00091



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.52540	0.01587
1	57	0.15347	0.00111

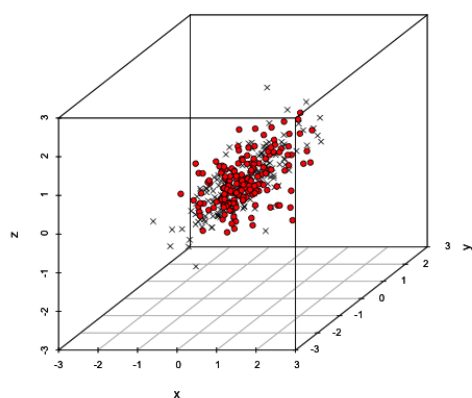
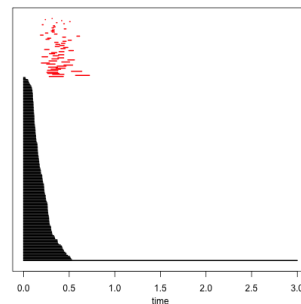
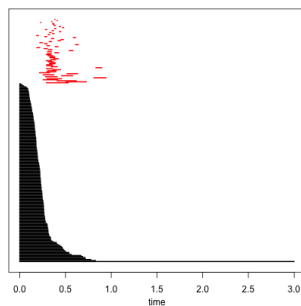
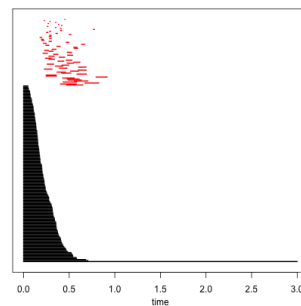


図 A.273 被験者 C-32chMB-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.82880	0.00912
1	64	0.23957	0.00205



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.70486	0.04696
1	67	0.17936	0.00089



A.2 解析手法 3

A.2.10 被験者 D-12ch

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報
 に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest
 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

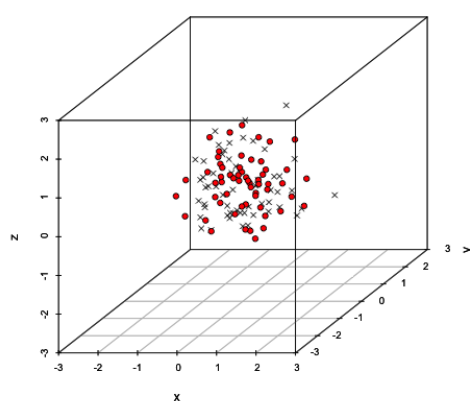
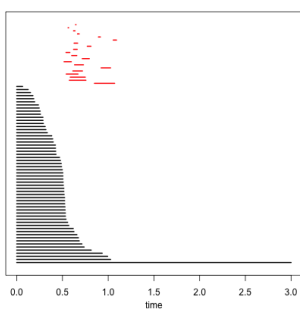


図 A.274 被験者 D-12ch-Y1

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.02541	0.06349
1	20	0.22033	0.00426



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.76925	0.09753
1	23	0.28433	0.00732

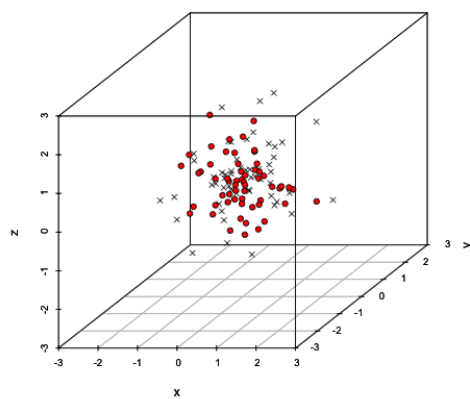
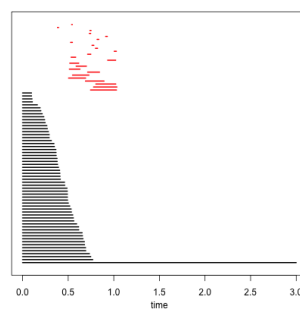
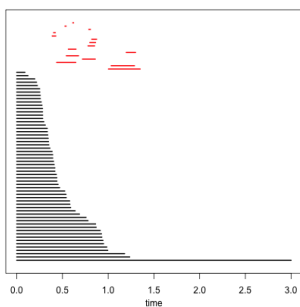
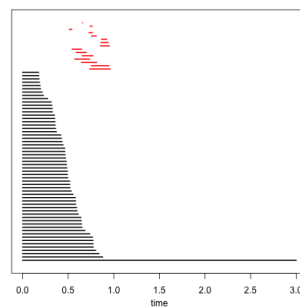


図 A.275 被験者 D-12ch-Y2

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.23485	0.08954
1	15	0.34684	0.00939



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.87777	0.17541
1	15	0.22528	0.00063



A.2 解析手法 3

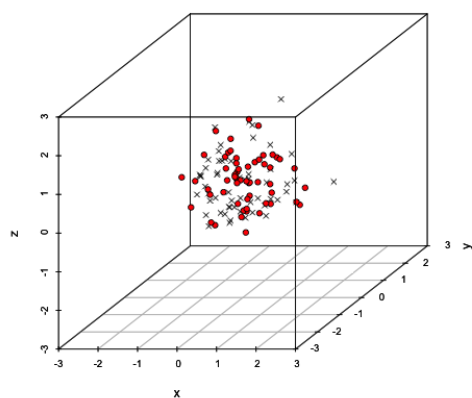
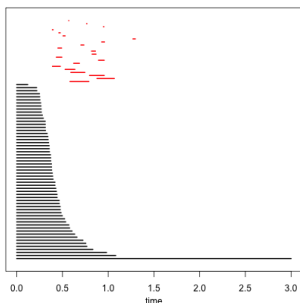


図 A.276 被験者 D-12ch-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.11978	1.08195
1	21	0.20568	0.00095



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.97760	0.08092
1	13	0.14683	0.00306

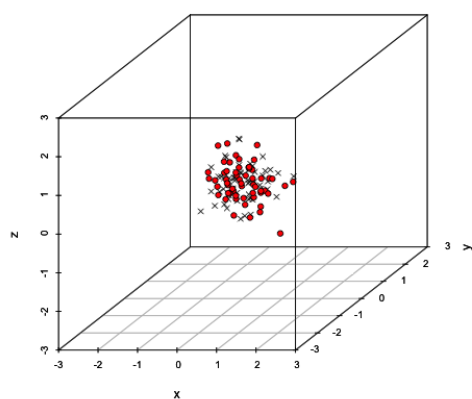
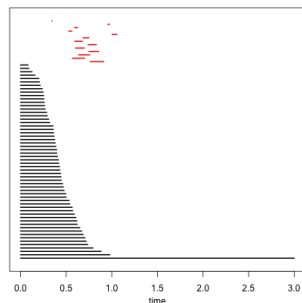
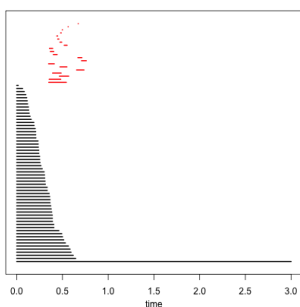


図 A.277 被験者 D-12ch-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.64394	0.01610
1	20	0.19166	0.00056



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.78302	0.08468
1	18	0.09229	0.00014

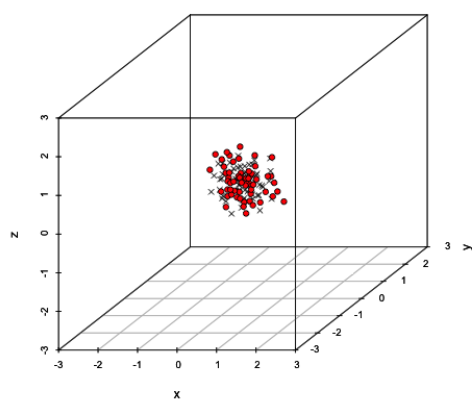
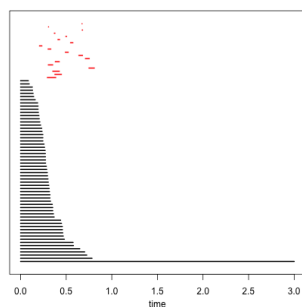
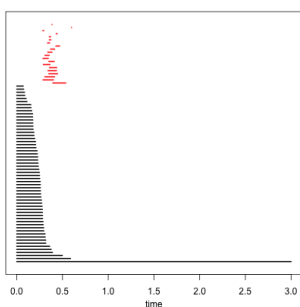
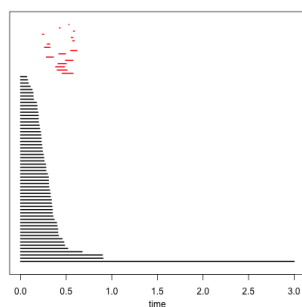


図 A.278 被験者 D-12ch-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.58750	0.07066
1	20	0.14189	0.00110



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.90360	0.06699
1	16	0.11716	0.00361



A.2 解析手法 3

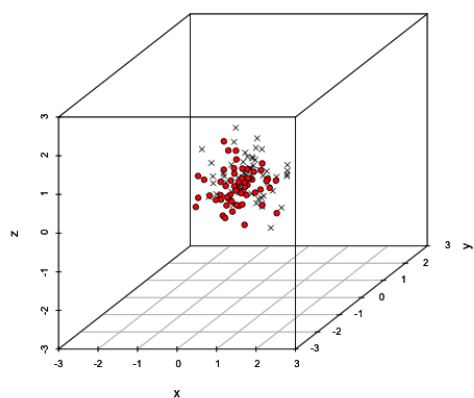
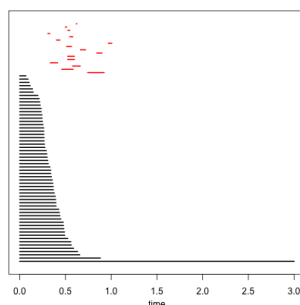


図 A.279 被験者 D-12ch-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.88070	0.06694
1	16	0.17970	0.00641



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.96787	0.03253
1	14	0.16441	0.00194

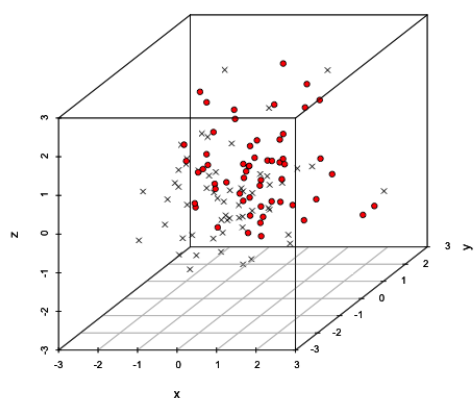
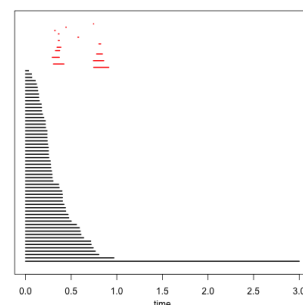
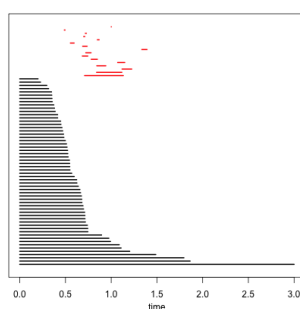
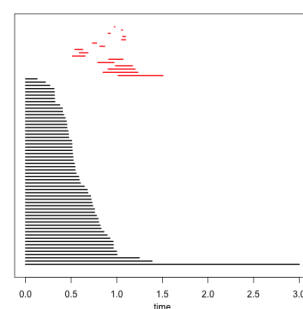


図 A.280 被験者 D-12ch-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.86289	0.20003
1	16	0.42276	0.00117



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.38639	0.12601
1	16	0.49164	0.00695



A.2 解析手法 3

A.2.11 被験者 D-32ch

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

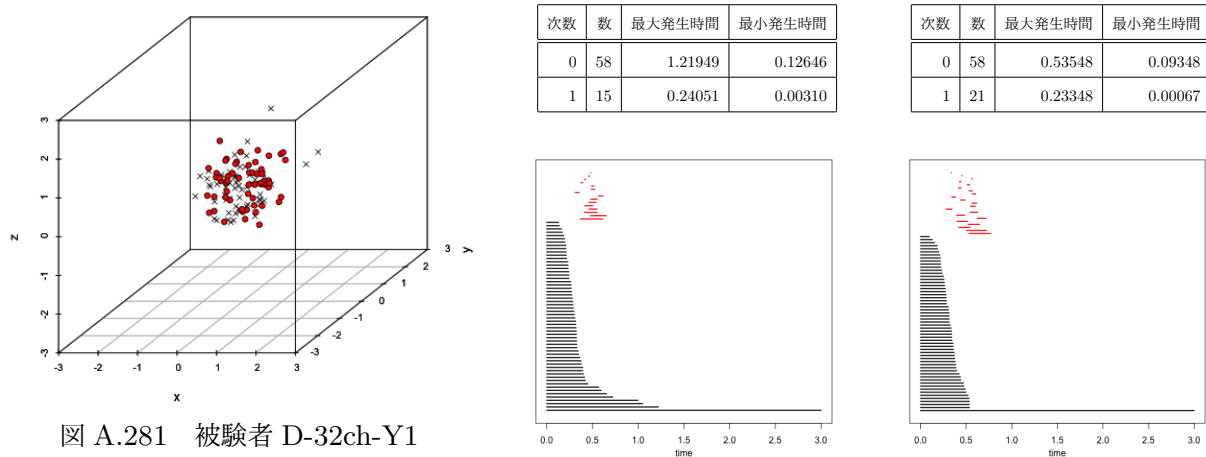


図 A.281 被験者 D-32ch-Y1

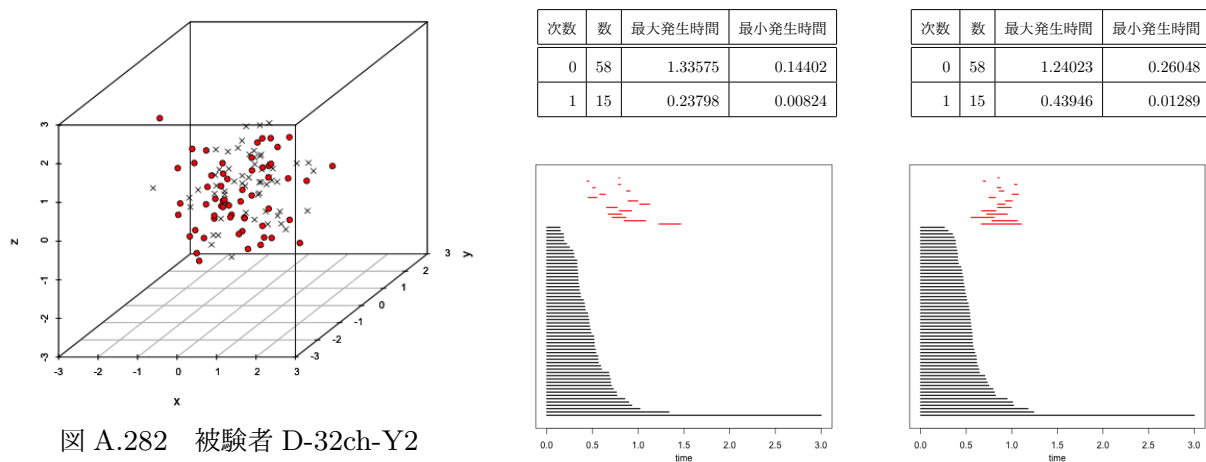


図 A.282 被験者 D-32ch-Y2

A.2 解析手法 3

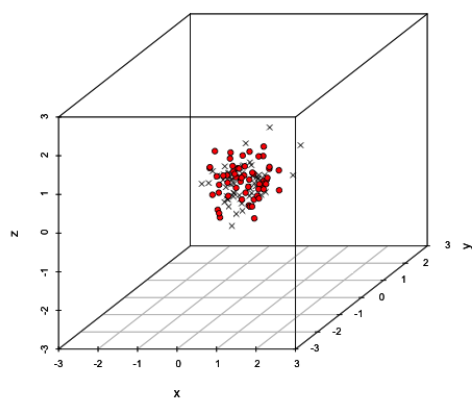
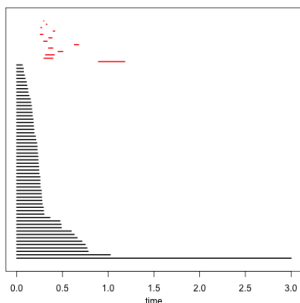


図 A.283 被験者 D-32ch-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.02235	0.06001
1	13	0.28691	0.00095



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.52041	0.09314
1	25	0.19267	0.00052

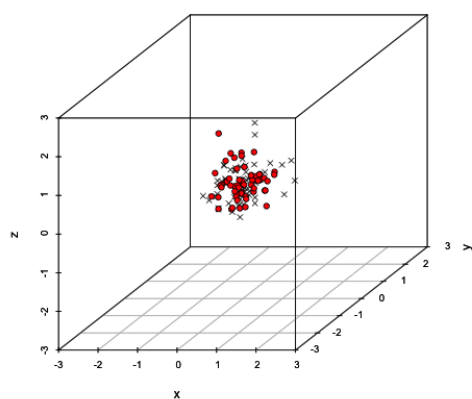
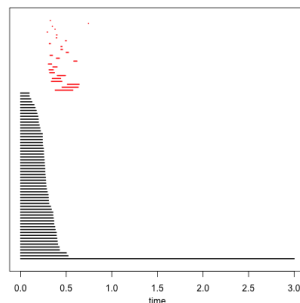
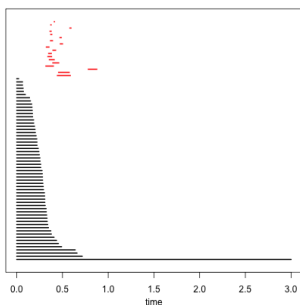


図 A.284 被験者 D-32ch-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.71587	0.02062
1	18	0.14302	0.00460



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.92184	0.33123
1	17	0.13406	0.00001

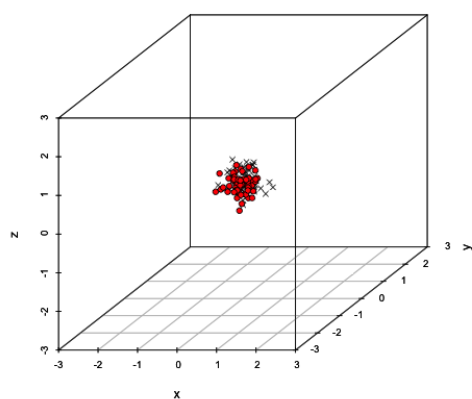
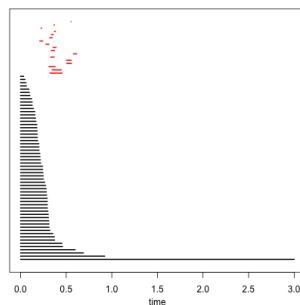
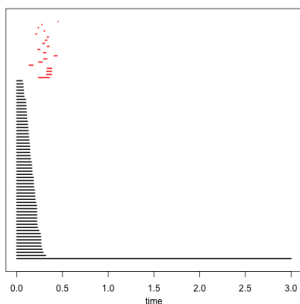
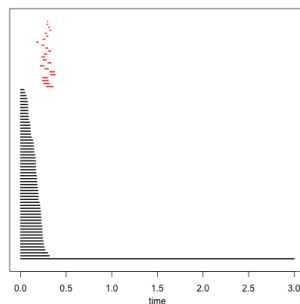


図 A.285 被験者 D-32ch-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.31636	0.06018
1	19	0.11769	0.00108



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.31363	0.03743
1	23	0.07276	0.00332



A.2 解析手法 3

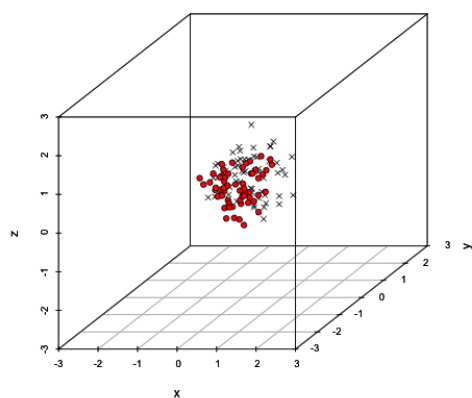
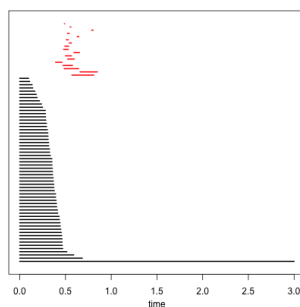


図 A.286 被験者 D-32ch-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.68412	0.96586
1	17	0.23888	0.00242



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.53649	0.08773
1	19	0.18591	0.00268

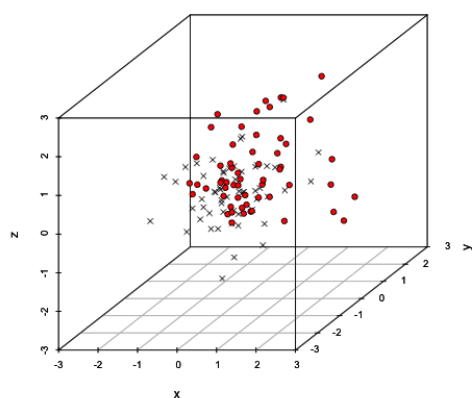
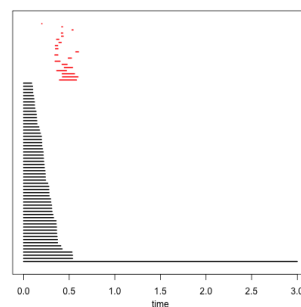
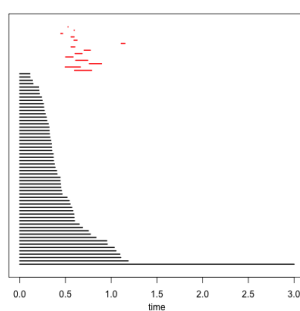
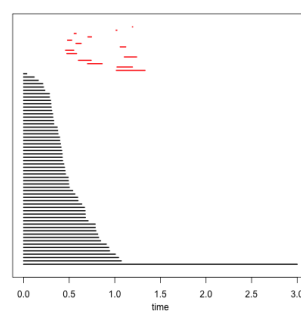


図 A.287 被験者 D-32ch-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.18512	0.10993
1	14	0.01862	0.00082



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.07085	0.03428
1	14	0.31481	0.00375



A.2 解析手法 3

A.2.12 被験者 D-32chMB

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

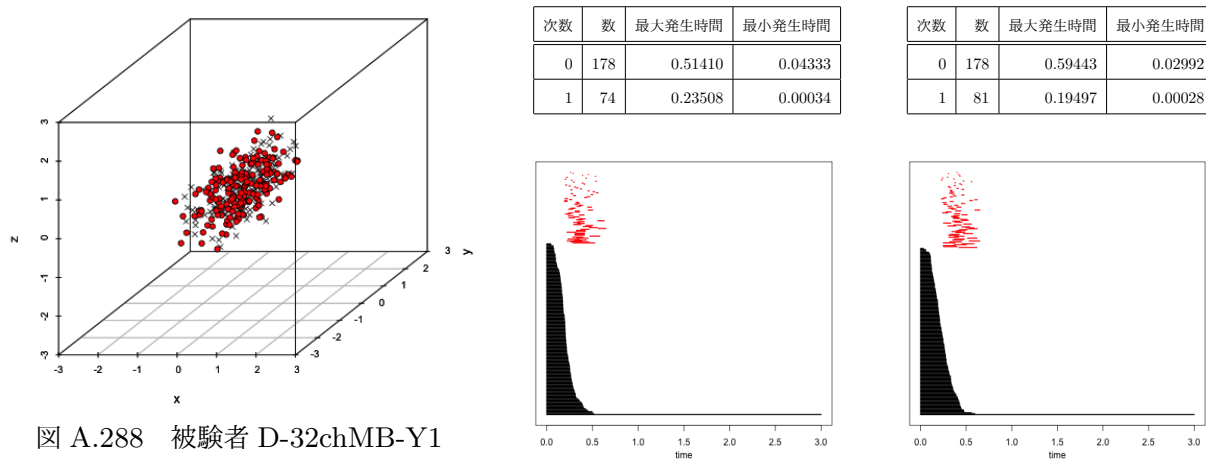


図 A.288 被験者 D-32chMB-Y1

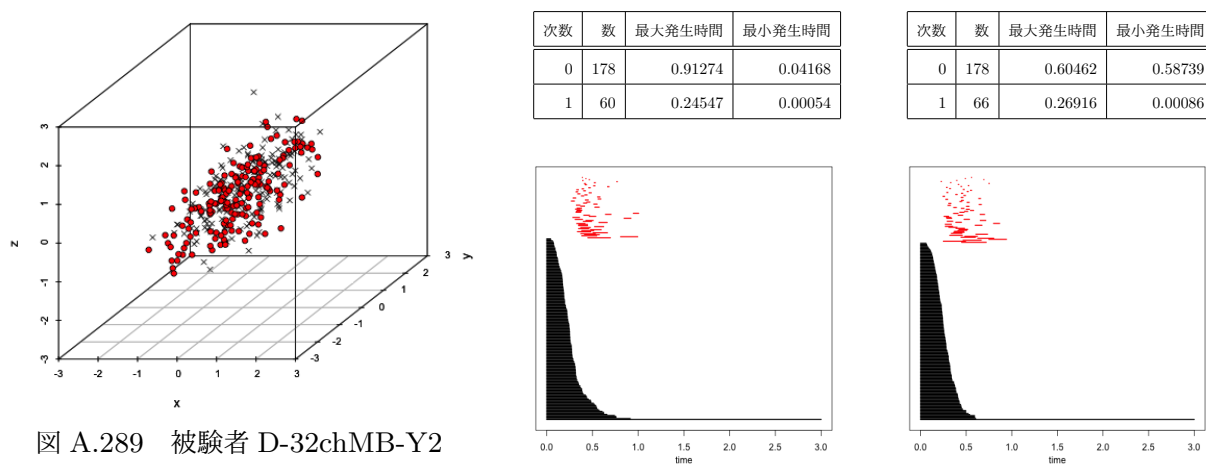


図 A.289 被験者 D-32chMB-Y2

A.2 解析手法 3

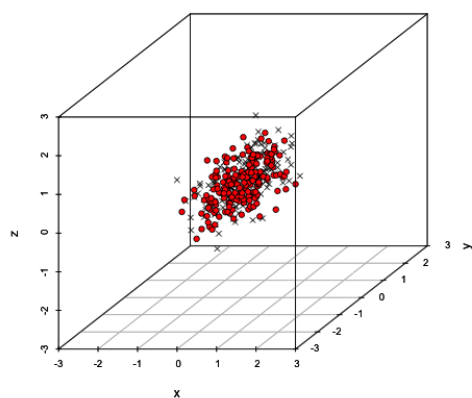
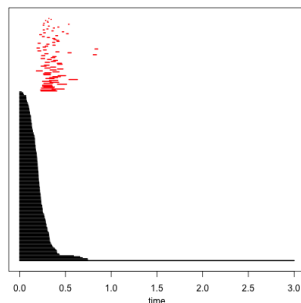


図 A.290 被験者 D-32chMB-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.74103	0.17112
1	77	0.172385	0.00150



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.49540	0.04933
1	69	0.19631	0.00014

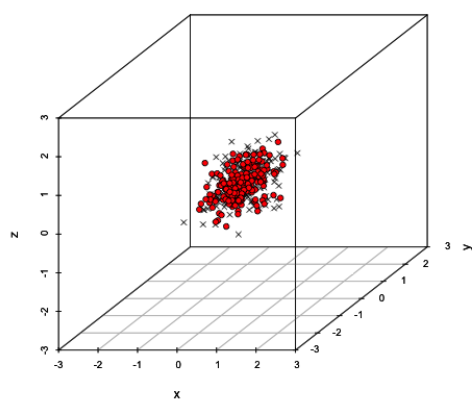
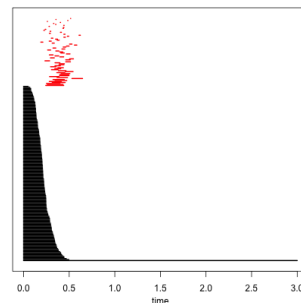
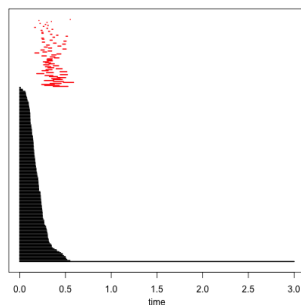


図 A.291 被験者 D-32chMB-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.54800	0.00623
1	69	0.16006	0.00025



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.66981	0.02793
1	66	0.17508	0.00057

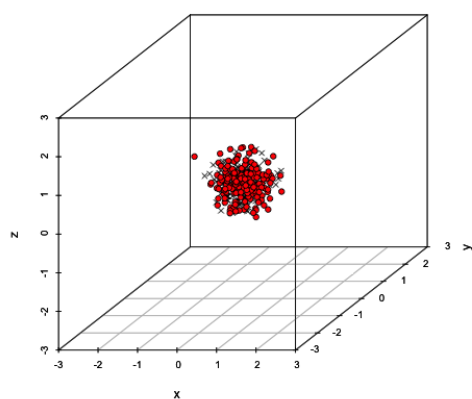
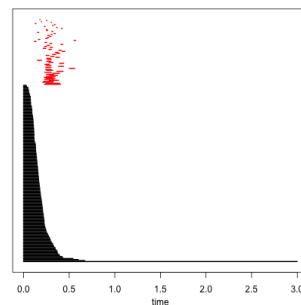
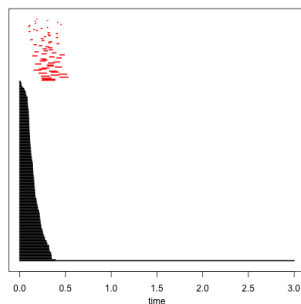
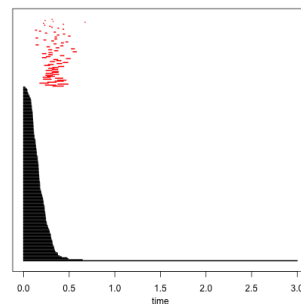


図 A.292 被験者 D-32chMB-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.38904	0.00653
1	61	0.14187	0.00048



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.64352	0.01271
1	69	0.011469	0.000003



A.2 解析手法 3

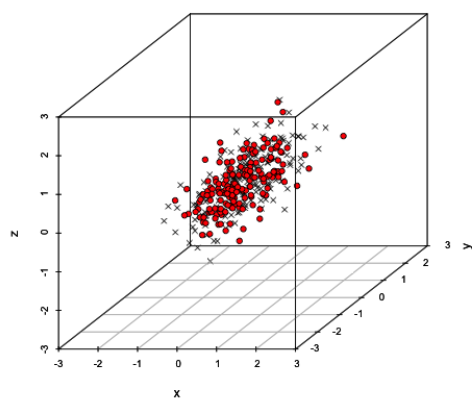
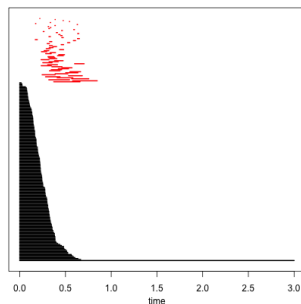


図 A.293 被験者 D-32chMB-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.66588	0.01459
1	64	0.28640	0.00024



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.91922	0.03429
1	72	0.20166	0.00088

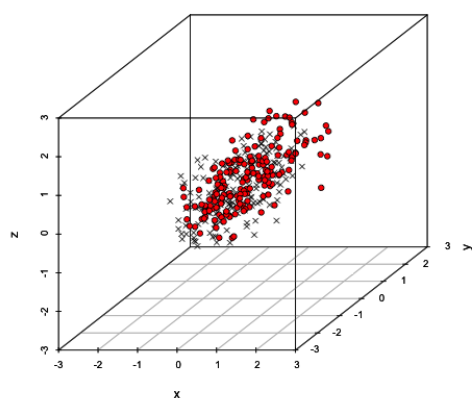
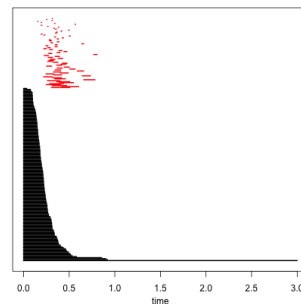
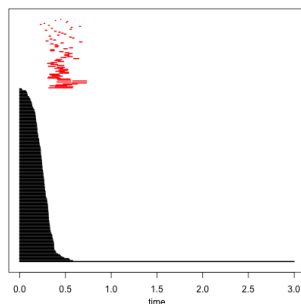
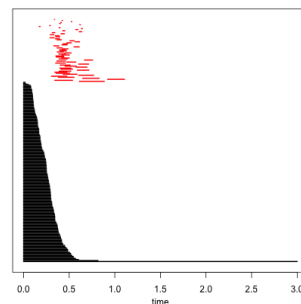


図 A.294 被験者 D-32chMB-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.57756	0.01768
1	71	0.25413	0.00107



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.81527	0.01597
1	62	0.27320	0.00087



A.2 解析手法 3

A.2.13 被験者 E-12ch

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

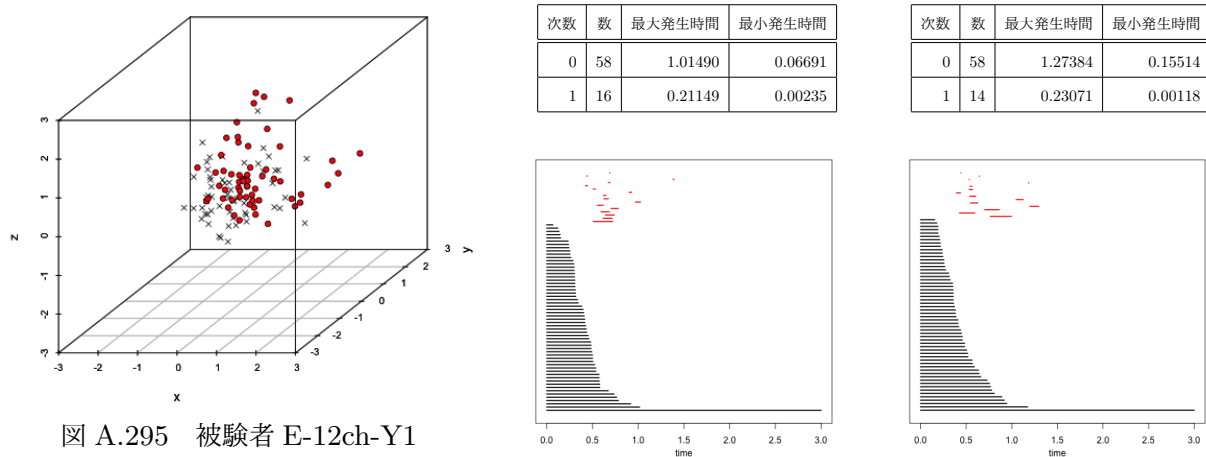


図 A.295 被験者 E-12ch-Y1

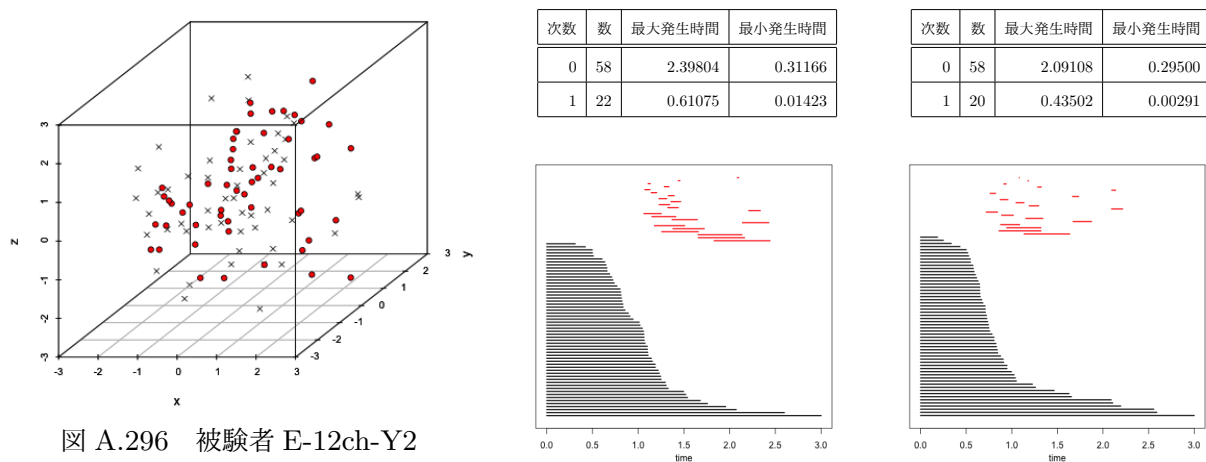


図 A.296 被験者 E-12ch-Y2

A.2 解析手法 3

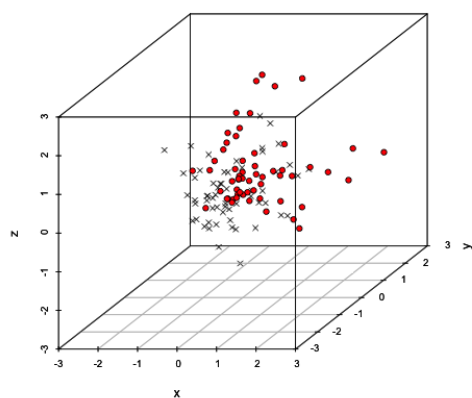
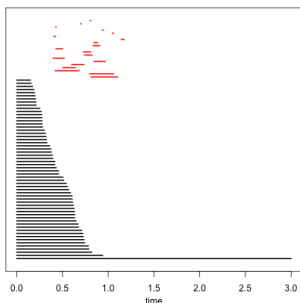


図 A.297 被験者 E-12ch-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.92864	0.14955
1	19	0.29130	0.00874



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.06722	0.12842
1	16	0.09855	0.00537

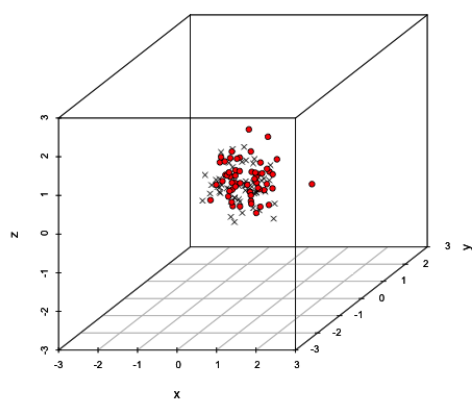
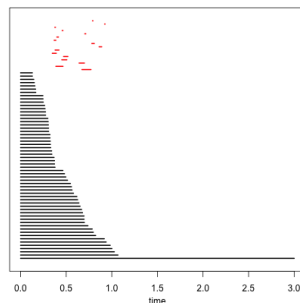
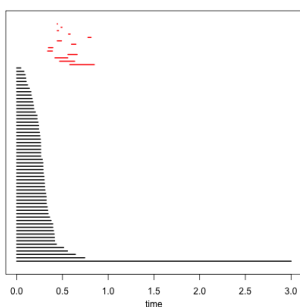


図 A.298 被験者 E-12ch-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.74314	0.04391
1	13	0.26728	0.00319



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.98546	0.09609
1	27	0.13420	0.00135

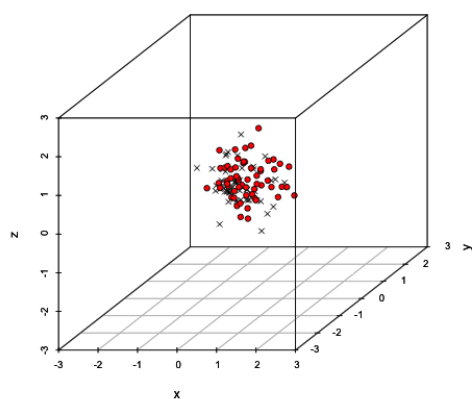
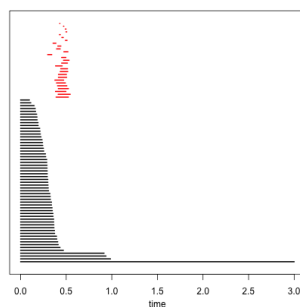
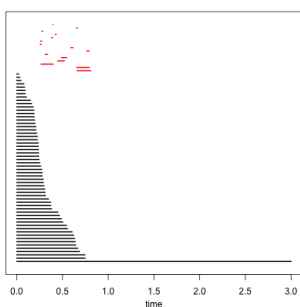
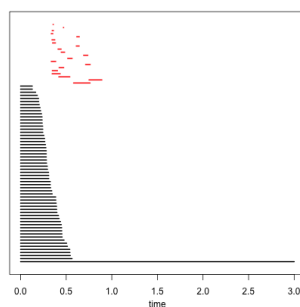


図 A.299 被験者 E-12ch-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.74835	0.02055
1	15	0.15130	0.00191



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.56392	0.12782
1	20	0.18066	0.00331



A.2 解析手法 3

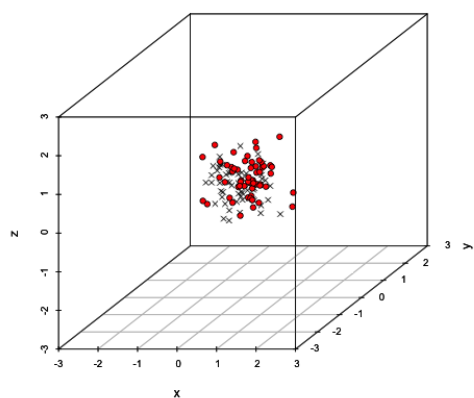
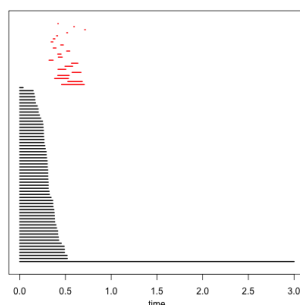


図 A.300 被験者 E-12ch-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.51984	0.03621
1	21	0.24756	0.00435



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.71197	0.03821
1	17	0.13532	0.00263

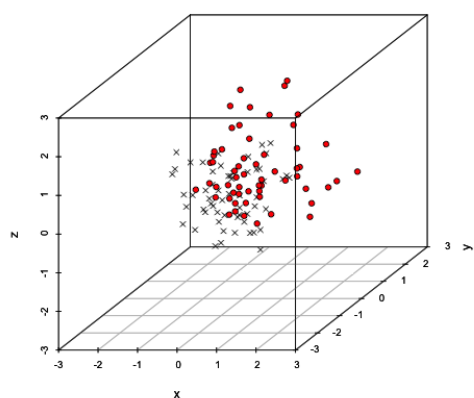
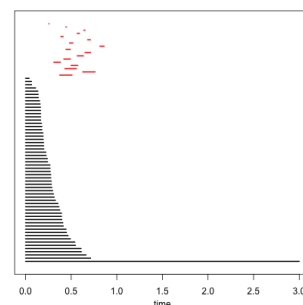
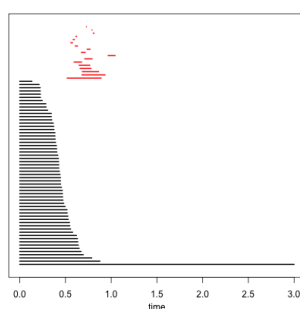
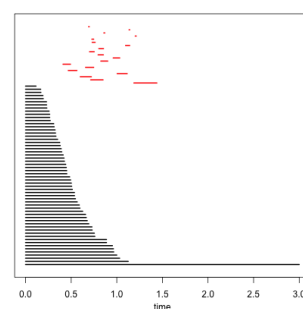


図 A.301 被験者 E-12ch-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.87637	0.13277
1	17	0.37117	0.00082



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.12510	0.11380
1	19	0.25176	0.00761



A.2 解析手法 3

A.2.14 被験者 E-32ch

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報
 に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest
 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

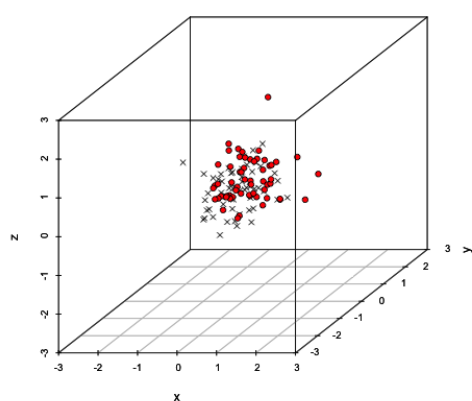
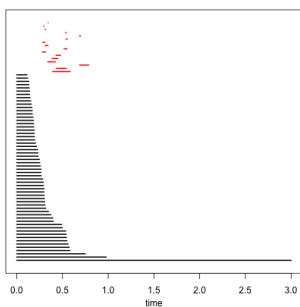


図 A.302 被験者 E-32ch-Y1

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.97863	0.11001
1	16	0.19102	0.00024



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.33241	0.06750
1	19	0.17967	0.00852

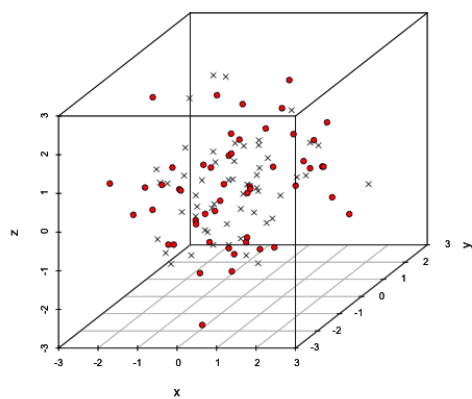
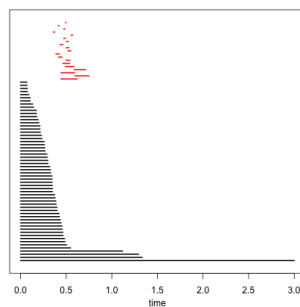
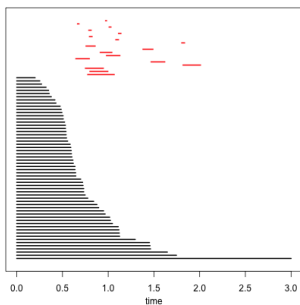
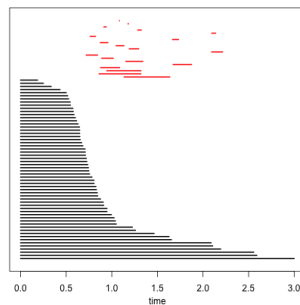


図 A.303 被験者 E-32ch-Y2

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.74593	0.10900
1	18	0.29145	0.01273



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	2.59018	20.1858
1	19	0.50061	0.00112



A.2 解析手法 3

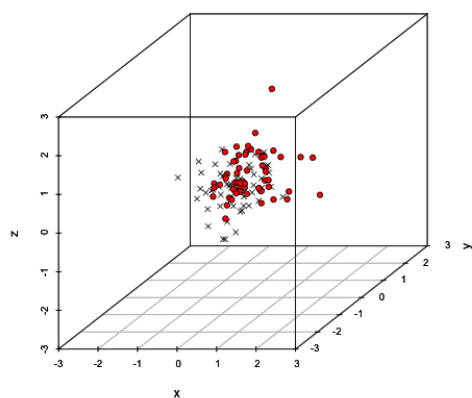
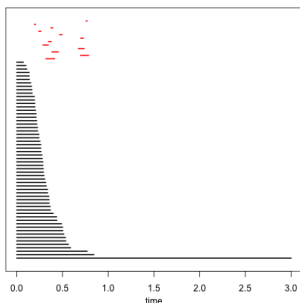


図 A.304 被験者 E-32ch-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.84301	0.07161
1	12	0.09433	0.01275



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.47375	0.04509
1	17	0.19639	0.00351

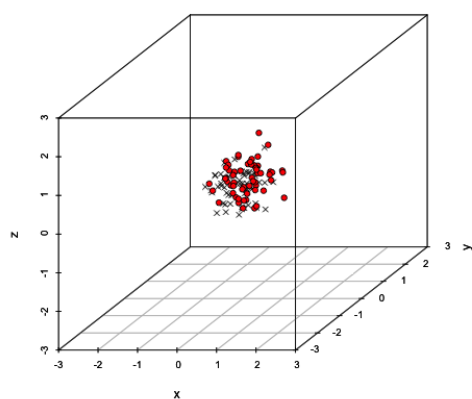
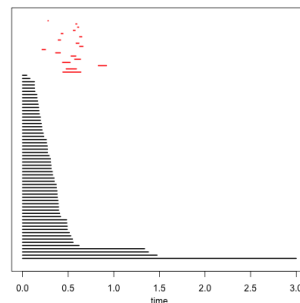
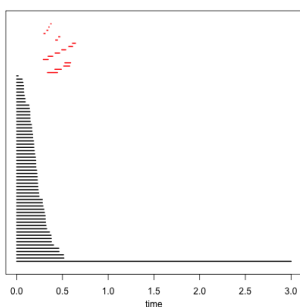


図 A.305 被験者 E-32ch-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.51456	0.01508
1	16	0.10838	0.00325



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.64739	0.07396
1	16	0.15778	0.00269

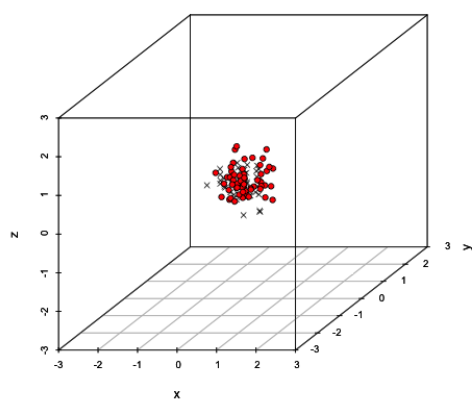
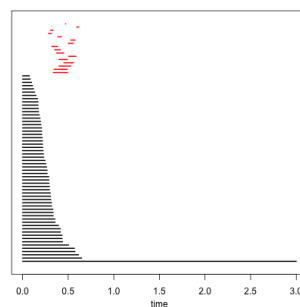
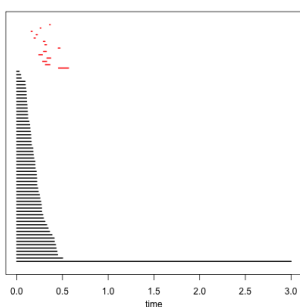
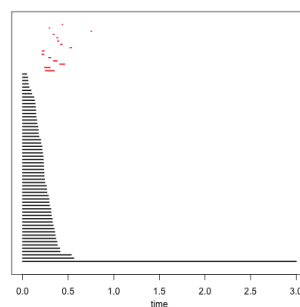


図 A.306 被験者 E-32ch-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.50148	0.02598
1	14	0.10921	0.00657



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.56123	0.04485
1	15	0.09747	0.00470



A.2 解析手法 3

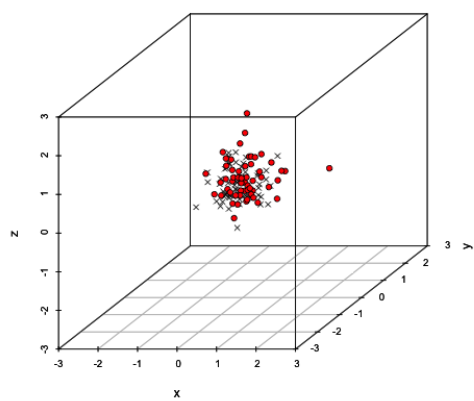
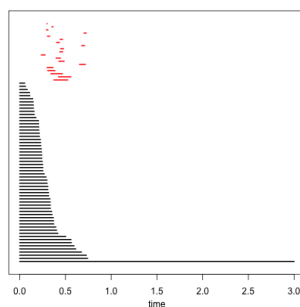


図 A.307 被験者 E-32ch-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.74195	0.05469
1	19	0.15221	0.00225



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.03909	0.10867
1	10	0.20016	0.02522

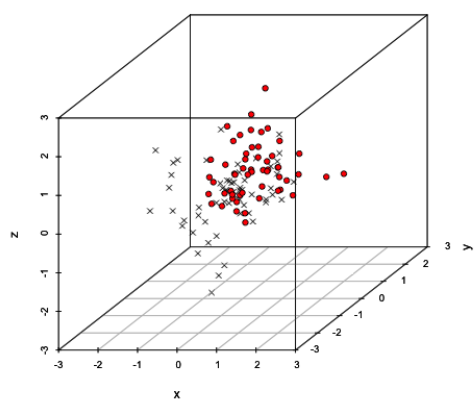
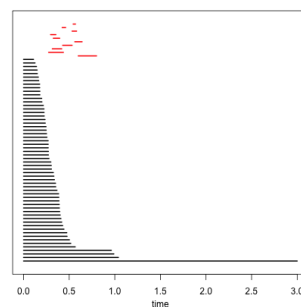
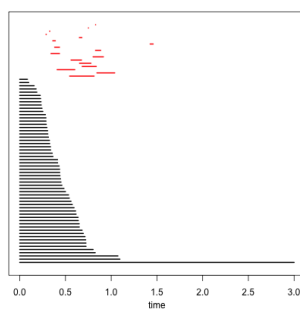
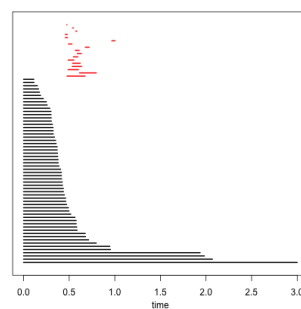


図 A.308 被験者 E-32ch-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.09467	0.08377
1	17	0.26681	0.00056



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	2.07021	0.11197
1	17	0.19647	0.00184



A.2 解析手法 3

A.2.15 被験者 E-32chMB

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

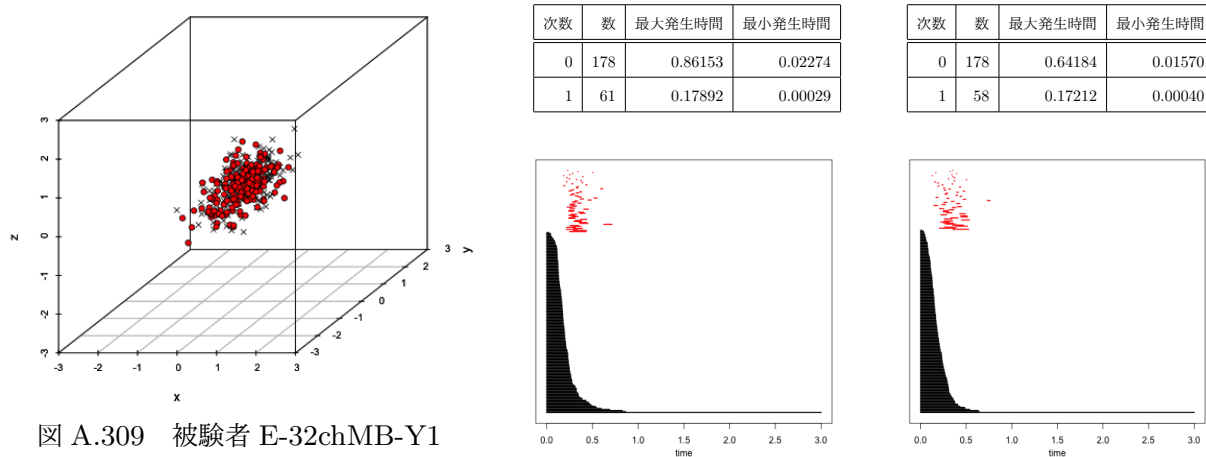


図 A.309 被験者 E-32chMB-Y1

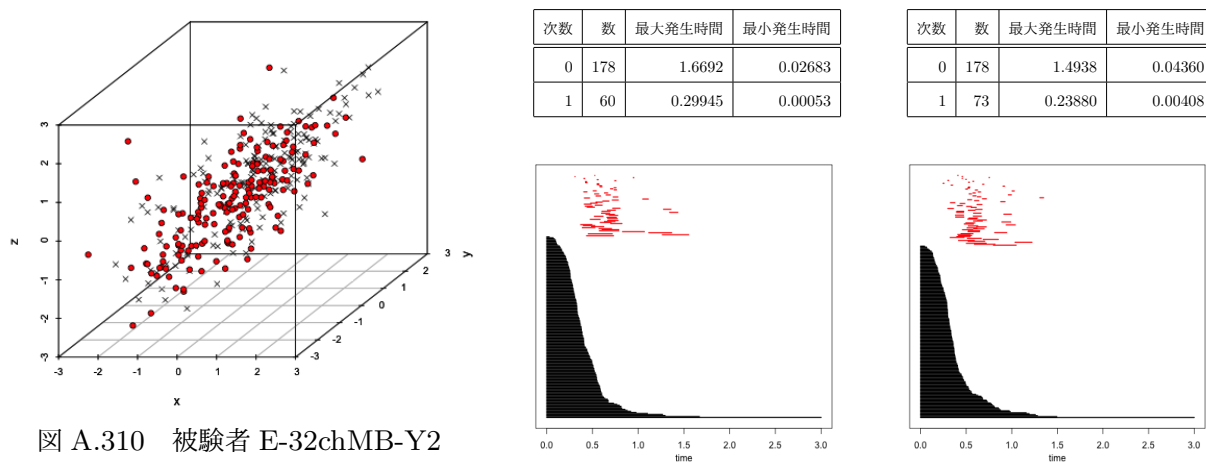


図 A.310 被験者 E-32chMB-Y2

A.2 解析手法 3

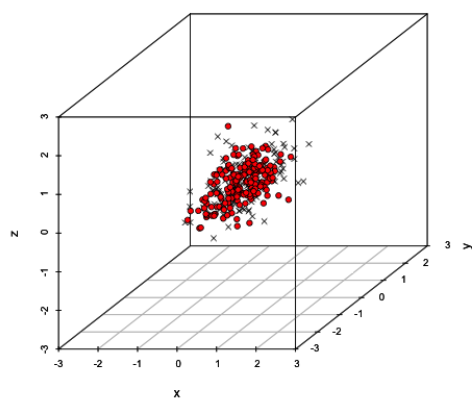
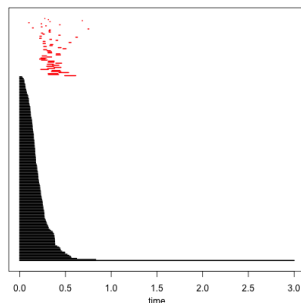


図 A.311 被験者 E-32chMB-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.83005	0.02114
1	56	0.11940	0.00011



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.91226	0.01746
1	77	0.17510	0.00054

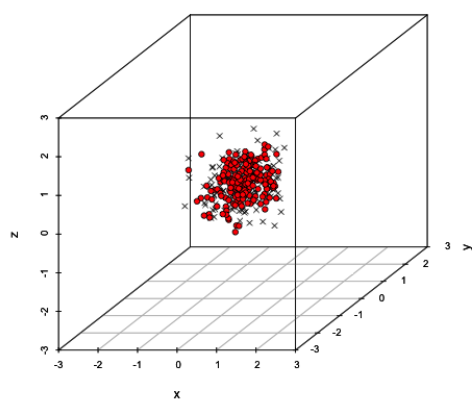
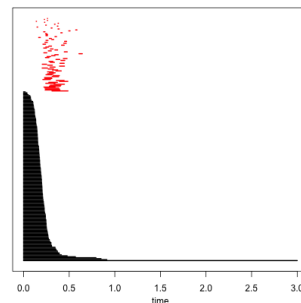
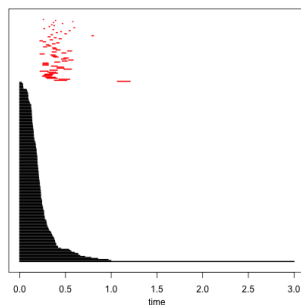


図 A.312 被験者 E-32chMB-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.99607	0.01680
1	62	0.14019	0.00301



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.78312	0.02215
1	58	0.13743	0.00074

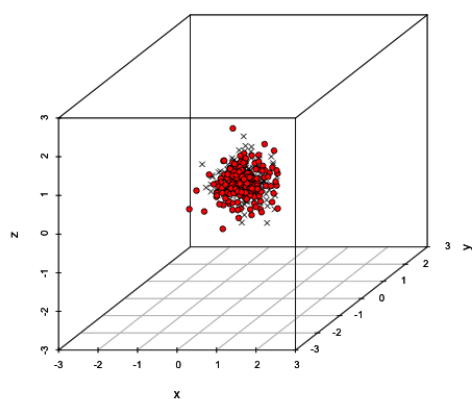
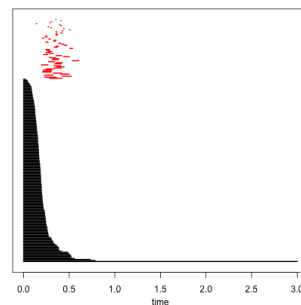
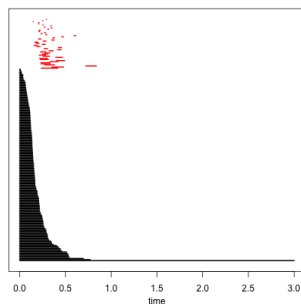
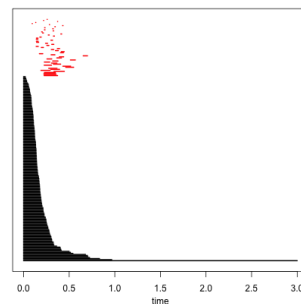


図 A.313 被験者 E-32chMB-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.76984	0.00612
1	46	0.17979	0.00053



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.96681	0.0179
1	55	0.14762	0.00019



A.2 解析手法 3

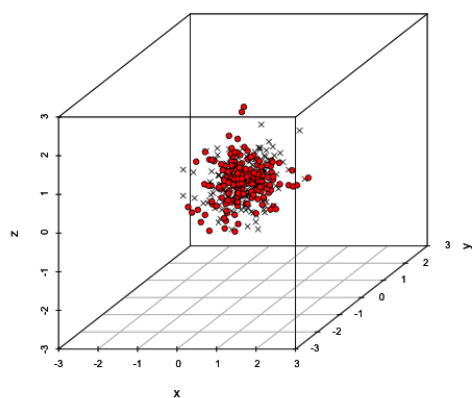
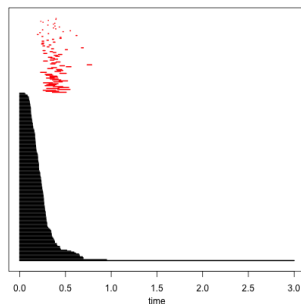


図 A.314 被験者 E-32chMB-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.82129	0.05158
1	79	0.14985	0.00001



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.94890	0.01872
1	61	0.18490	0.00055

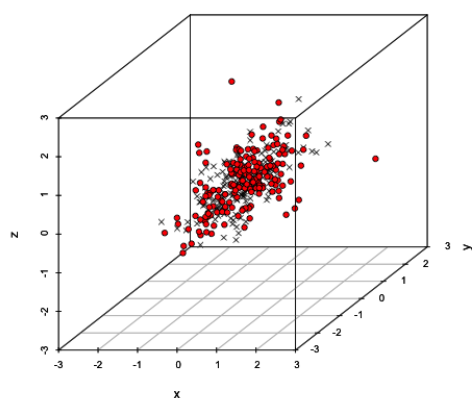
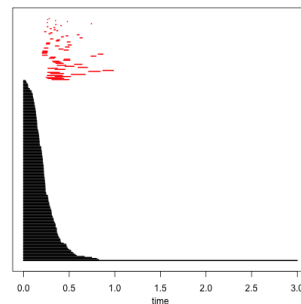
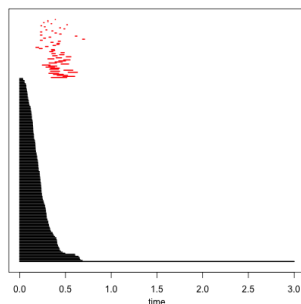
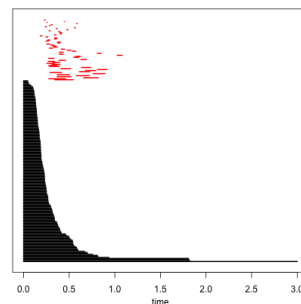


図 A.315 被験者 E-32chMB-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.68246	0.03093
1	57	0.16864	0.00166



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	1.8210	0.04431
1	60	0.20039	0.00011



A.2 解析手法 3

A.2.16 被験者 F-12ch

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

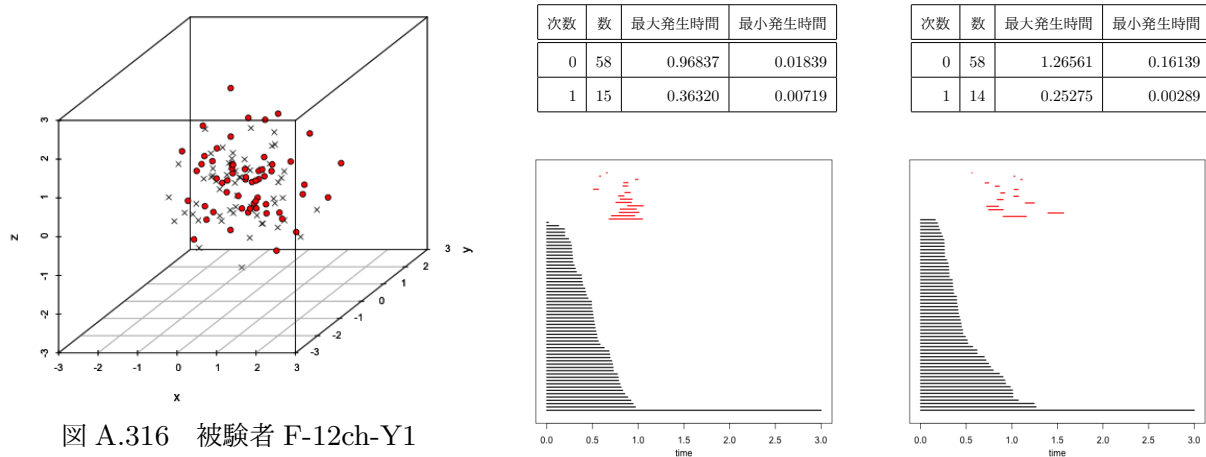


図 A.316 被験者 F-12ch-Y1

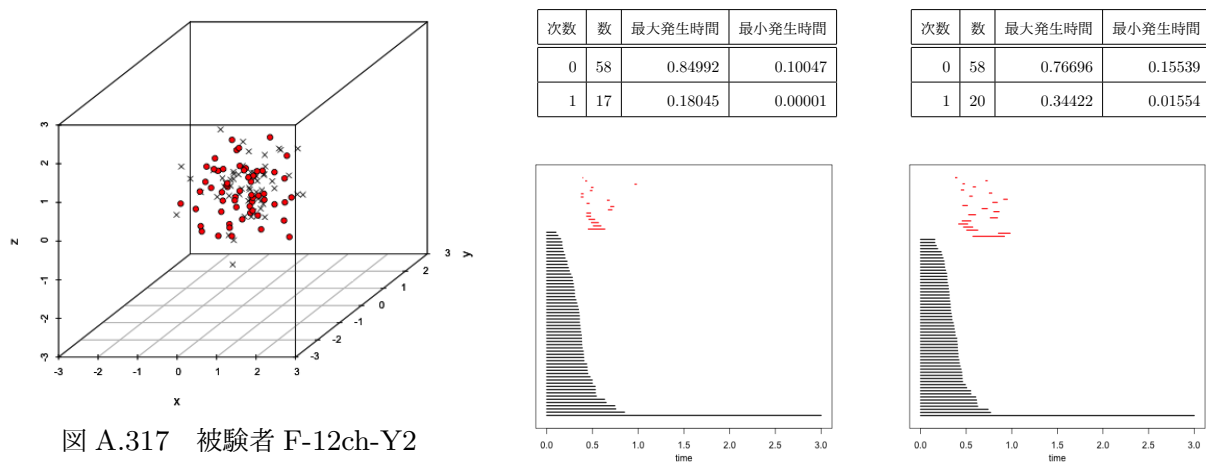


図 A.317 被験者 F-12ch-Y2

A.2 解析手法 3

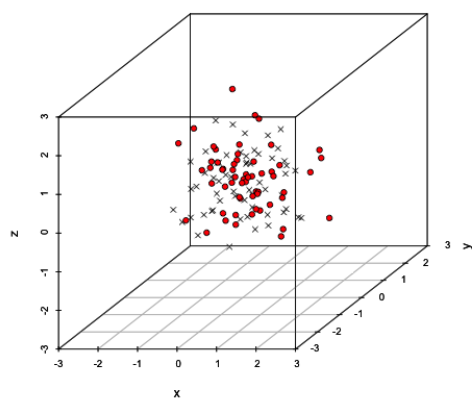
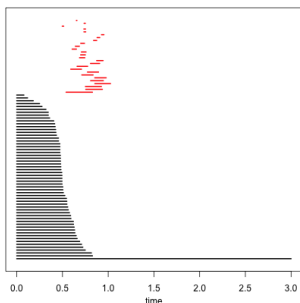


図 A.318 被験者 F-12ch-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.82740	0.07818
1	26	0.28773	0.00615



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.22732	0.05797
1	14	0.19895	0.00381

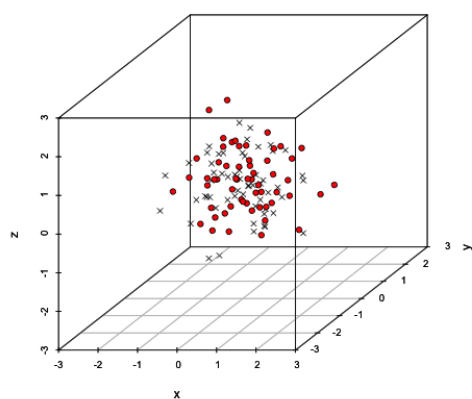
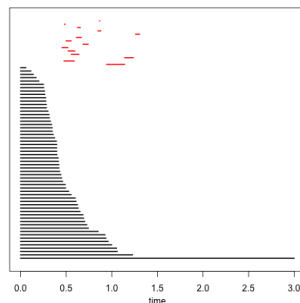
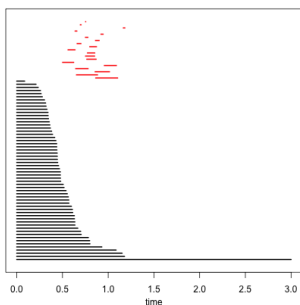


図 A.319 被験者 F-12ch-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.17822	0.08511
1	19	0.23056	0.00230



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.01812	0.10861
1	24	0.30983	0.00233

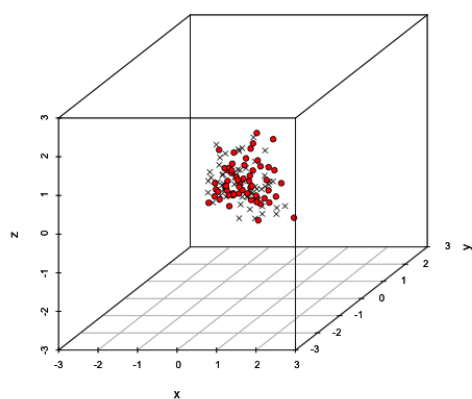
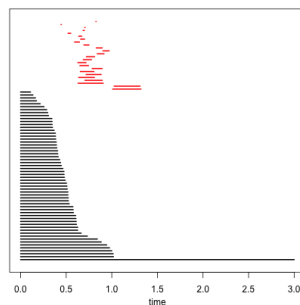
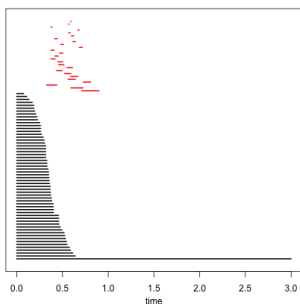
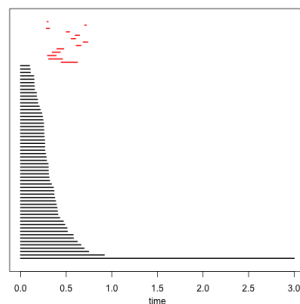


図 A.320 被験者 F-12ch-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.63892	0.07538
1	25	0.18980	0.00449



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.91746	0.09607
1	13	0.17751	0.01012



A.2 解析手法 3

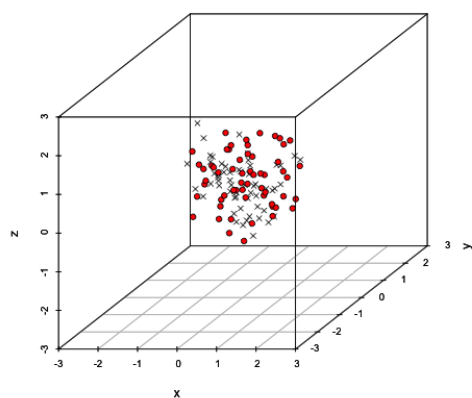
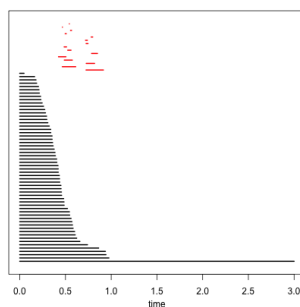


図 A.321 被験者 F-12ch-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.97493	0.04662
1	15	0.18962	0.00001



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.79410	0.15953
1	24	0.21919	0.00461

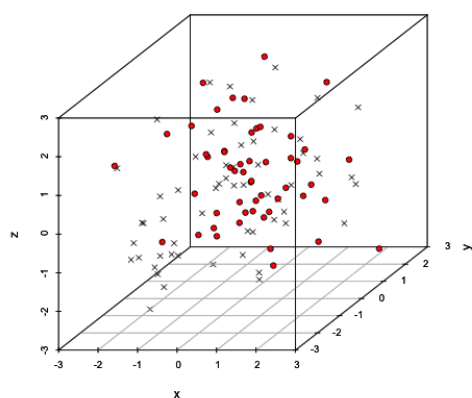
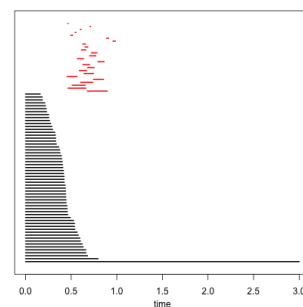
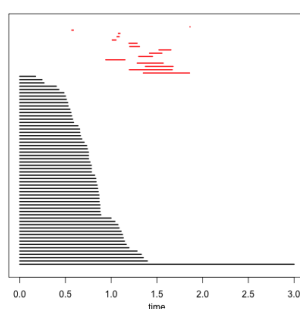
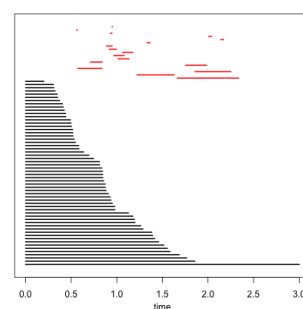


図 A.322 被験者 F-12ch-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.39554	0.17211
1	15	0.50538	0.00214



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.85503	0.19921
1	17	0.67490	0.00642



A.2 解析手法 3

A.2.17 被験者 F-32ch

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

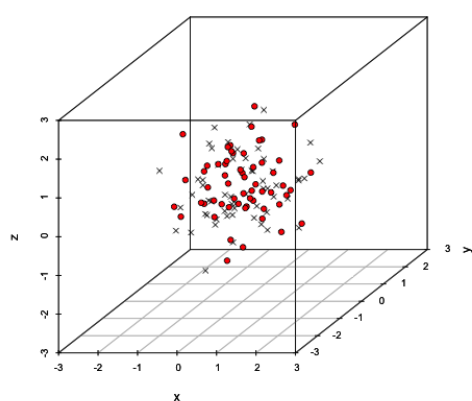
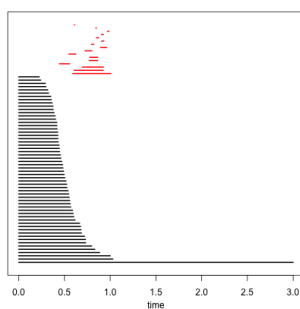


図 A.323 被験者 F-32ch-Y1

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.02903	0.22322
1	16	0.41699	0.00375



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.27955	0.18445
1	12	0.21980	0.01309

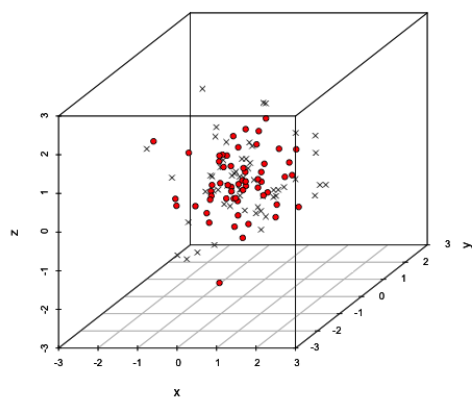
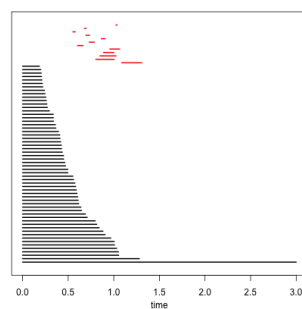
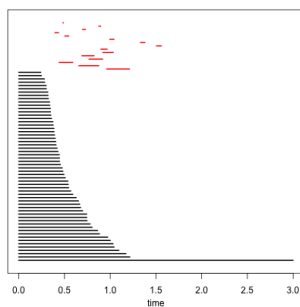
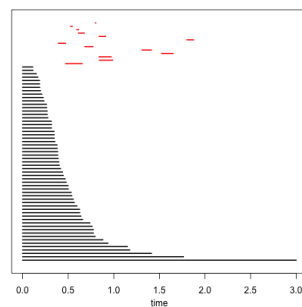


図 A.324 被験者 F-32ch-Y2

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.21487	0.24068
1	15	0.24850	0.00573



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.76488	0.11062
1	13	0.18251	0.00611



A.2 解析手法 3

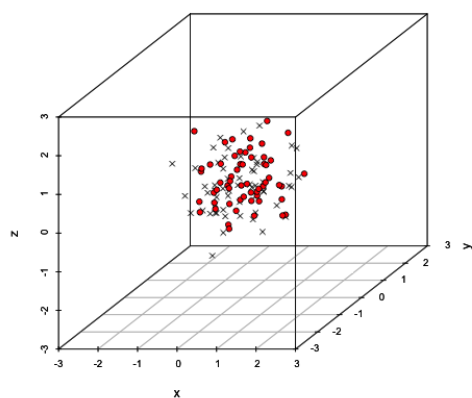
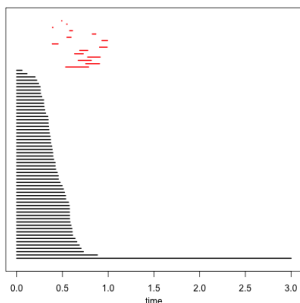


図 A.325 被験者 F-32ch-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.88143	0.00574
1	15	0.24935	0.00388



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.94393	0.16129
1	12	0.29736	0.00769

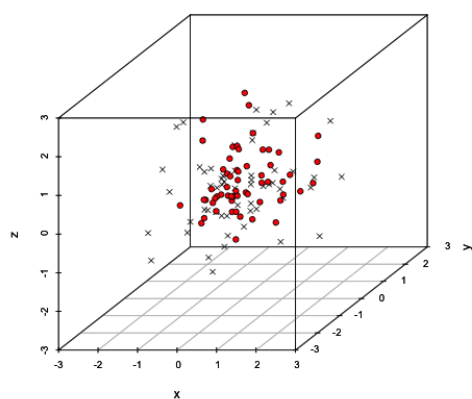
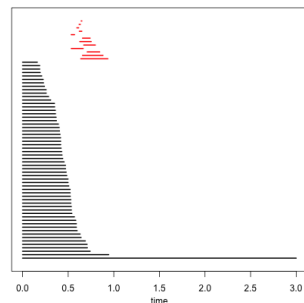
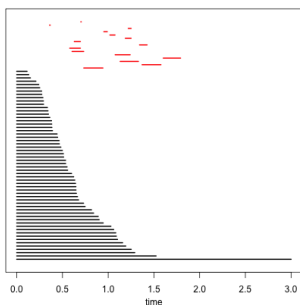


図 A.326 被験者 F-32ch-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.52356	0.11267
1	15	0.20880	0.00437



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.99969	0.13728
1	20	0.33432	0.00279

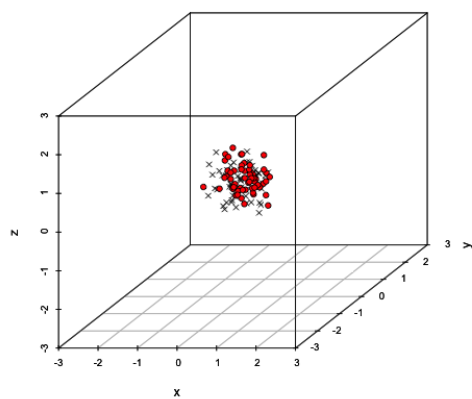
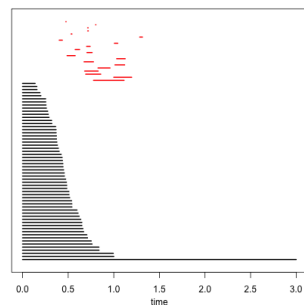
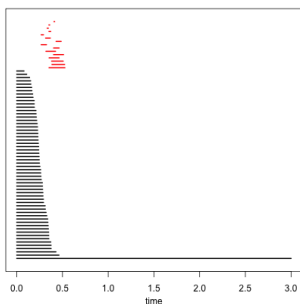
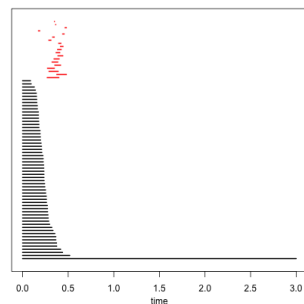


図 A.327 被験者 F-32ch-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.46163	0.07920
1	15	0.17405	0.00755



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	0.51683	0.08639
1	19	0.12764	0.00114



A.2 解析手法 3

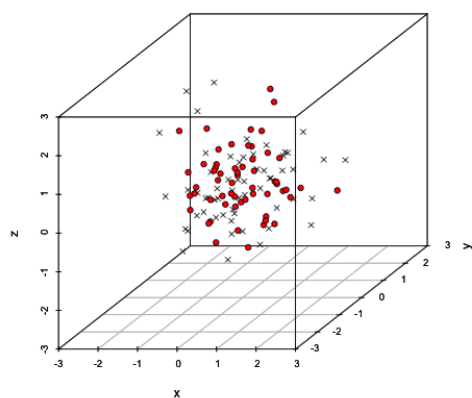
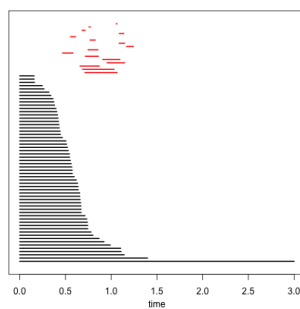


図 A.328 被験者 F-32ch-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.29625	0.15663
1	16	0.35075	0.00842



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.40347	0.08451
1	15	0.23434	0.00765

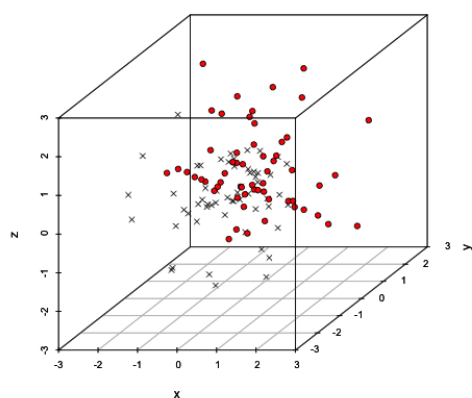
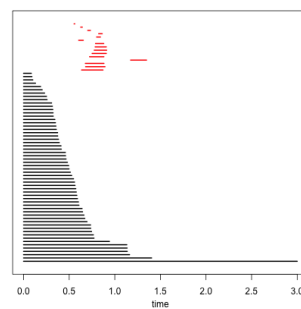
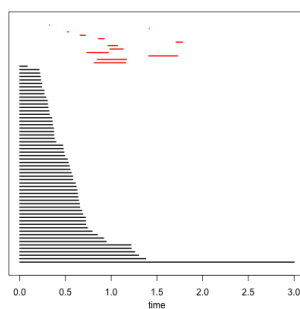
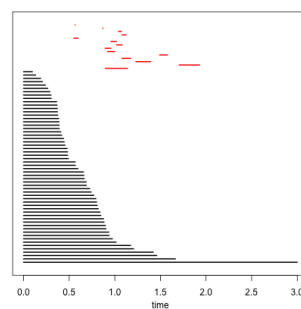


図 A.329 被験者 F-32ch-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.27713	0.08169
1	12	0.34250	0.00030



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	58	1.66337	0.09599
1	14	0.24370	0.00001



A.2 解析手法 3

A.2.18 被験者 F-32chMB

時系列データを 3 次元空間にしたもの (左図), rest 時と tapping 時の穴の発生/消滅情報に関する表 (rest 時 : 左表, tapping 時 : 右表), rest 時と tapping 時のバーコード (rest 時 : 中央図, tapping 時 : 右図) を以下に示す.

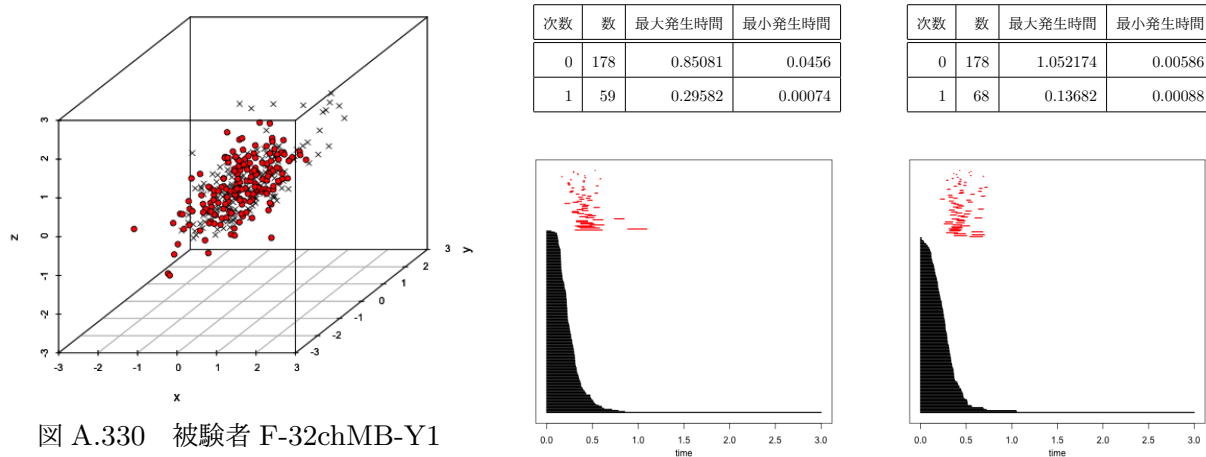


図 A.330 被験者 F-32chMB-Y1

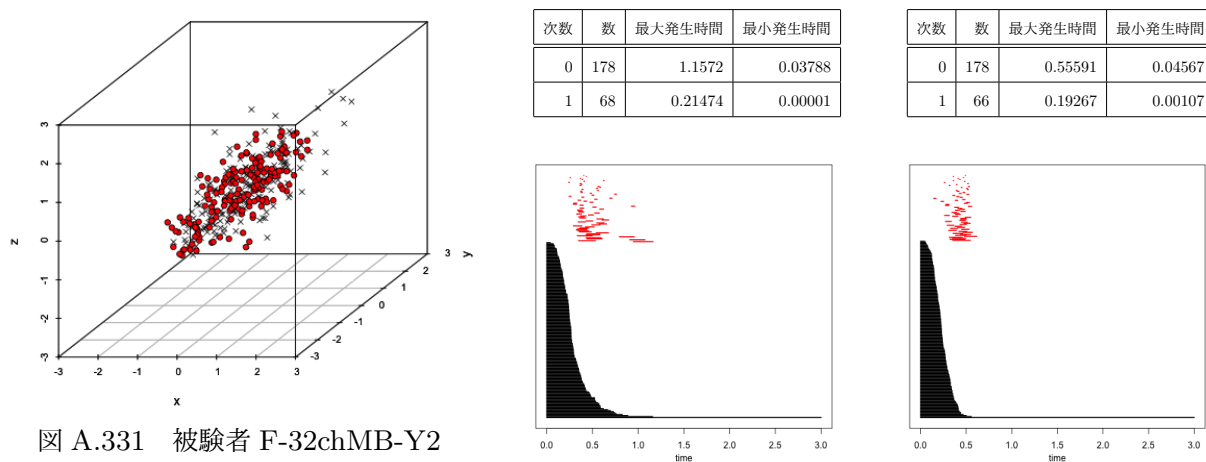


図 A.331 被験者 F-32chMB-Y2

A.2 解析手法 3

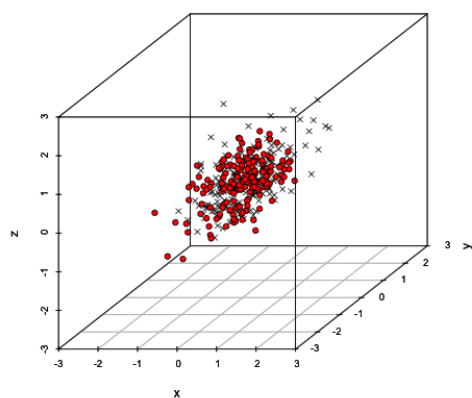
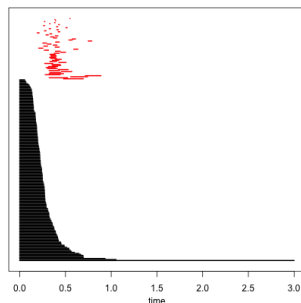


図 A.332 被験者 F-32chMB-Y3

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	1.05301	0.05300
1	60	0.21572	0.00087



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.78948	0.01258
1	72	0.24808	0.00063

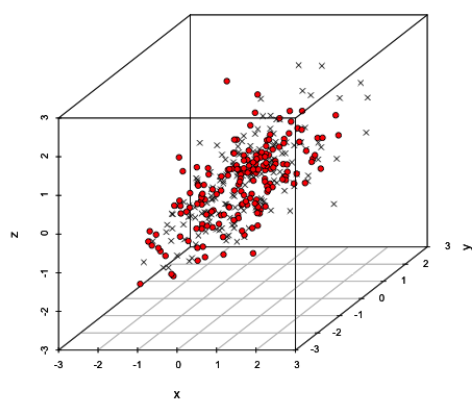
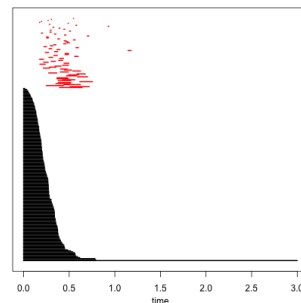
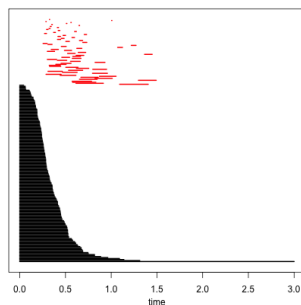


図 A.333 被験者 F-32chMB-Y4

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	1.31218	0.041997
1	66	0.31214	0.00177



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.94566	0.07664
1	70	0.24643	0.00122

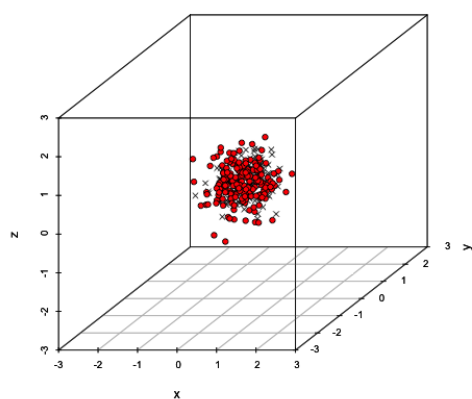
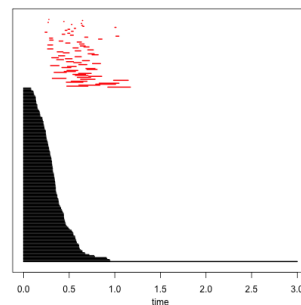
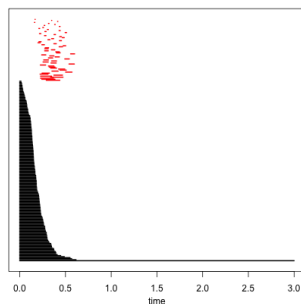
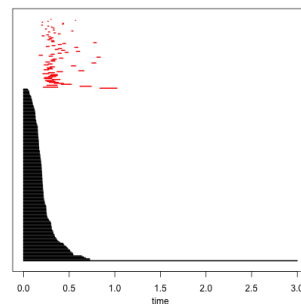


図 A.334 被験者 F-32chMB-Y5

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.61523	0.01338
1	61	0.14825	0.00050



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.72469	0.04052
1	72	0.18597	0.00019



A.2 解析手法 3

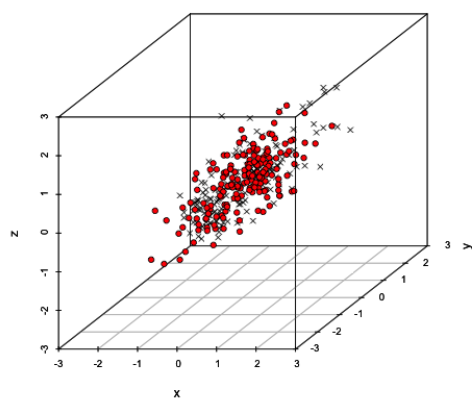
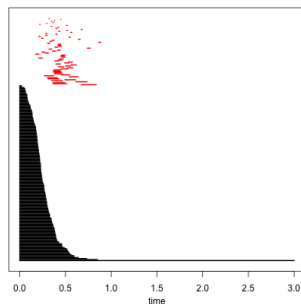


図 A.335 被験者 F-32chMB-Y6

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.84822	0.01775
1	68	0.16126	0.00001



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	0.82762	0.03472
1	70	0.24495	0.00043

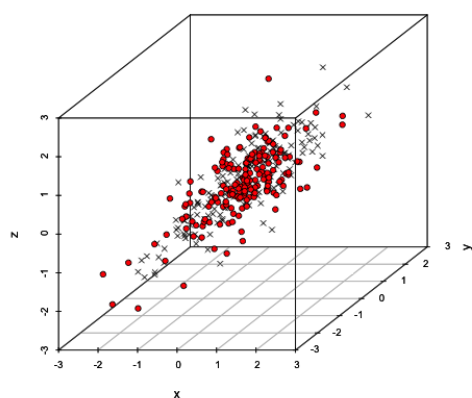
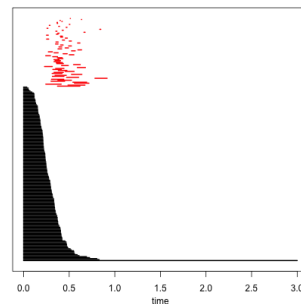
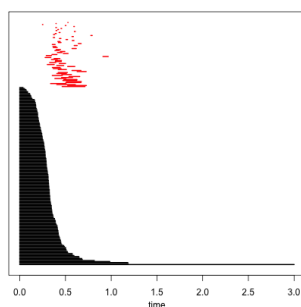


図 A.336 被験者 F-32chMB-Y7

次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	1.18573	0.03554
1	65	0.24867	0.00156



次数	数	最大発生時間	最小発生時間
0	178	1.30113	0.05828
1	70	0.20346	0.00104

