

# センサーデータ解析と機械学習

## ～ 振動データからの異常検出 ～

MathWorks Japan

アプリケーション エンジニアリング部 (テクニカルコンピューティング)  
太田英司

# 構造ヘルスマニタリング

センサーとコンピュータにより構造物の健全性を自動監視する

- 老朽化する構造物・インフラの数
- 人手のみの監視による限界
- 人間では検知できない故障や異常の予兆



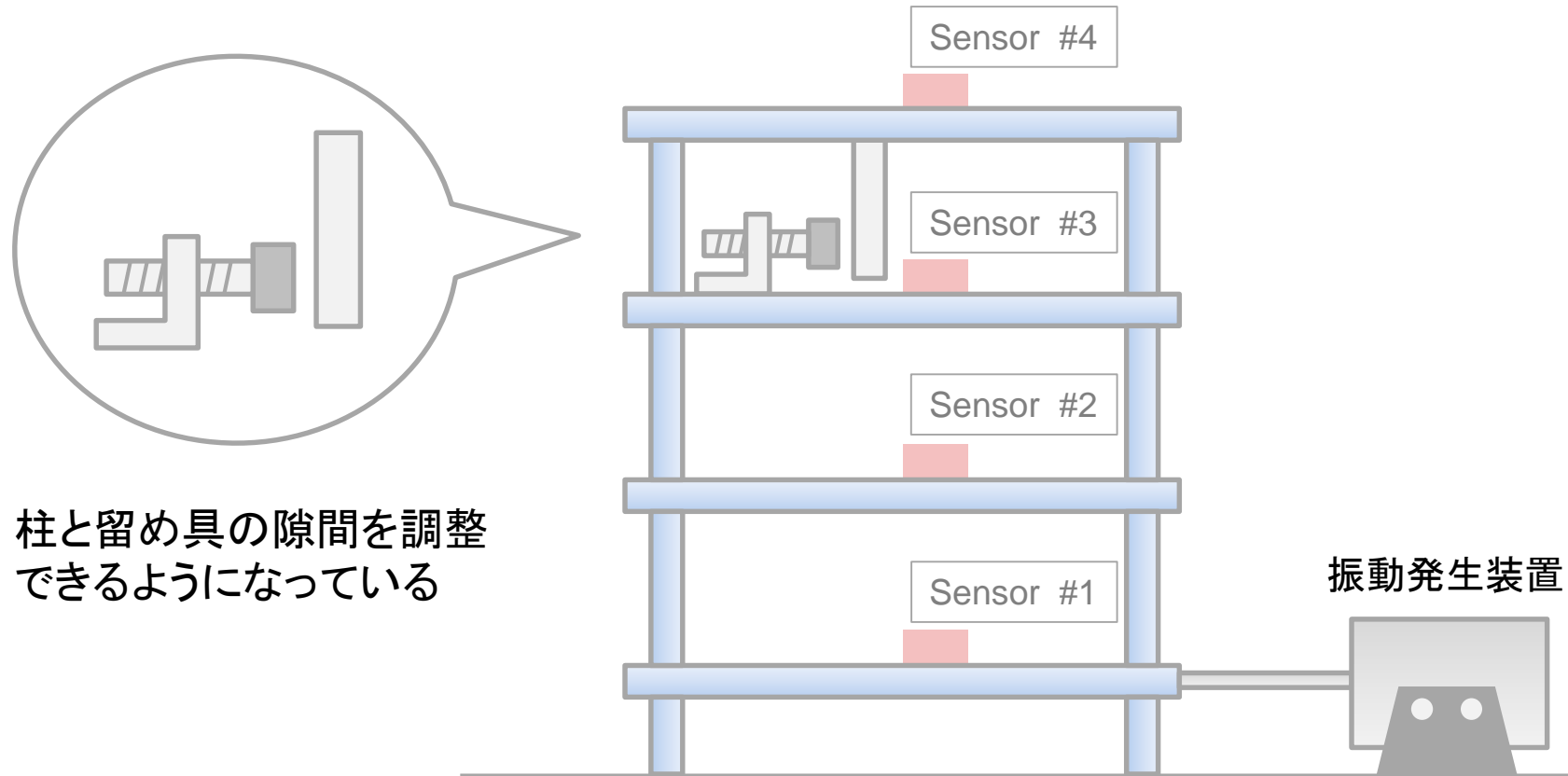
## 【例題】 構造ヘルスマモニタリング



- 実験装置
  - 3階建ての建物の模型
  - 4ヶ所の加速度センサー
  - 1階部分に振動発生装置
  - 人工的な損傷状態の発生
- 実験目的
  - センサーによる異常検出

Reference: Figueiredo, E., Park, G., Figueiras, J., Farrar, C., & Worden, K. (2009). Structural Health Monitoring Algorithm Comparisons using Standard Data Sets. Los Alamos National Laboratory Report: LA-14393

## 【例題】 構造ヘルスマニタリング



Reference: Figueiredo, E., Park, G., Figueiras, J., Farrar, C., & Worden, K. (2009). Structural Health Monitoring Algorithm Comparisons using Standard Data Sets. Los Alamos National Laboratory Report: LA-14393

## 【例題】 構造物ヘルスマニタリング

構造物の模型において、次の条件を変化させて17パターン条件を作り出した。

- 各階への重量 (Mass)
  - 柱の硬さの低減 (Stiffness reduction)
  - 3階部分の柱と留め具の隙間 (Gap)
- } Undamaged
- } Damaged

State	Condition	Description
#1	Undamaged	Baseline condition
#2	Undamaged	Mass = 1.2 kg at the base
#3	Undamaged	Mass = 1.2 kg on the 1st floor
#4	Undamaged	87.5% stiffness reduction in column 1BD
#5	Undamaged	87.5% stiffness reduction in column 1AD and 1BD

## 【例題】 構造ヘルスマニタリング

State	Condition	Description
#6	Undamaged	87.5% stiffness reduction in column 2BD
#7	Undamaged	87.5% stiffness reduction in column 2AD and 2BD
#8	Undamaged	87.5% stiffness reduction in column 3BD
#9	Undamaged	87.5% stiffness reduction in column 3AD and 3BD
#10	Damaged	Gap = 0.20 mm
#11	Damaged	Gap = 0.15 mm
#12	Damaged	Gap = 0.13 mm
#13	Damaged	Gap = 0.10 mm
#14	Damaged	Gap = 0.05 mm
#15	Damaged	Gap = 0.20 mm and mass = 1.2 kg at the base
#16	Damaged	Gap = 0.20 mm and mass = 1.2 kg on the 1st floor
#17	Damaged	Gap = 0.10 mm and mass = 1.2 kg on the 1st floor

上記 17 パターンのそれぞれで 10 回の実験を繰り返し、合計 170 回の実験を行った。



# SHMTools

## Los Alamos National Laboratory

The screenshot shows the website for SHMTools at the Los Alamos National Laboratory Engineering Institute. The header includes the logos for Los Alamos National Laboratory and the National Security Education Center, along with a search bar. The main navigation menu has four items: EDUCATIONAL PROGRAMS, SHM DATA SETS AND SOFTWARE, RESEARCH PROJECTS, and PUBLICATIONS. The current page is titled "SHM Data Sets and Software" and includes a breadcrumb trail: NSEC » Engineering Institute » SHM Data Sets and Software. The page content describes SHMTools as a MATLAB package for structural health monitoring (SHM) processes. It features a "CONTACT" section for Charles Farrar, the Institute Director, and a "SHMTools Software (0.3.0 Beta)" section describing the package's functionality. A "Related Links" section provides links to "Getting Started with SHMTools (pdf)" and "mFUSE Help Manual (pdf)".

Los Alamos National Laboratory National Security Education Center search site

## Engineering Institute

*Addressing national needs by fostering specialized recruiting and strategic partnerships*

EDUCATIONAL PROGRAMS SHM DATA SETS AND SOFTWARE RESEARCH PROJECTS PUBLICATIONS

NSEC » [Engineering Institute](#) » [SHM Data Sets and Software](#)

## SHM Data Sets and Software

SHMTools is a MATLAB package that facilitates the construction of structural health monitoring (SHM) processes.

**CONTACT**  
**Institute Director**  
Charles Farrar  
(505) 665-0860  
[Email](#)

**SHMTools Software (0.3.0 Beta)**  
The package provides a set of functions organized into modules according to the three primary stages of Structural Health Monitoring: Data Acquisition, Feature Extraction, and Feature Classification. A modular function design and set of standardized parameter formats make it easy to assemble and test customized SHM processes.

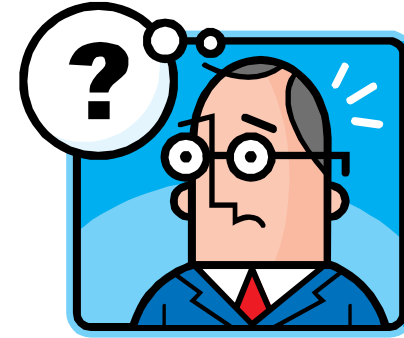
**Related Links**  
[Getting Started with SHMTools \(pdf\)](#)  
[mFUSE Help Manual \(pdf\)](#)

<http://www.lanl.gov/projects/national-security-education-center/engineering/software/shm-data-sets-and-software.php>

## 【例題】 構造ヘルスマモニタリング



センサーからの加速度データ



構造物における損傷の有無



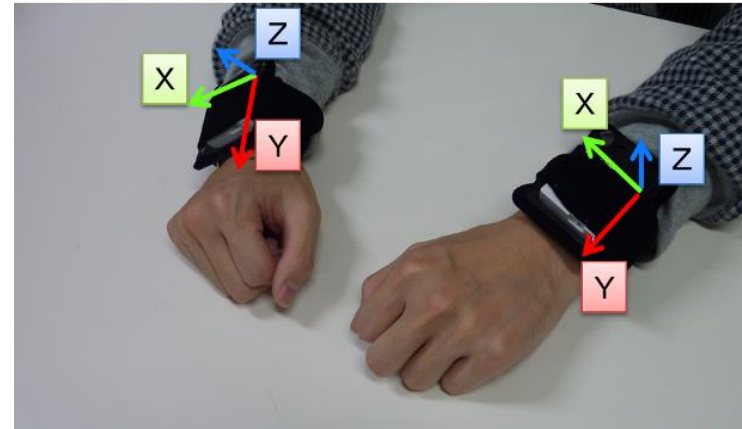
## 振動データに関する幾つかの特徴量

- 振幅の統計量（最大・最小・平均・分散）
- 周波数スペクトル
- 自己回帰モデルの係数

## 【事例】人の活動状態の予測

- 測定装置 : 両手につけた加速度センサー
- 入力 : X, Y, Z 成分の最大・最小・平均・分散
- 出力 : 次の5つのカテゴリ（活動状態）

読書・キーボード操作・マウス操作・文字筆記・静止



提供：神奈川工科大学 情報工学科 田中（博）研究室

# 自己回帰モデルの係数による特徴抽出

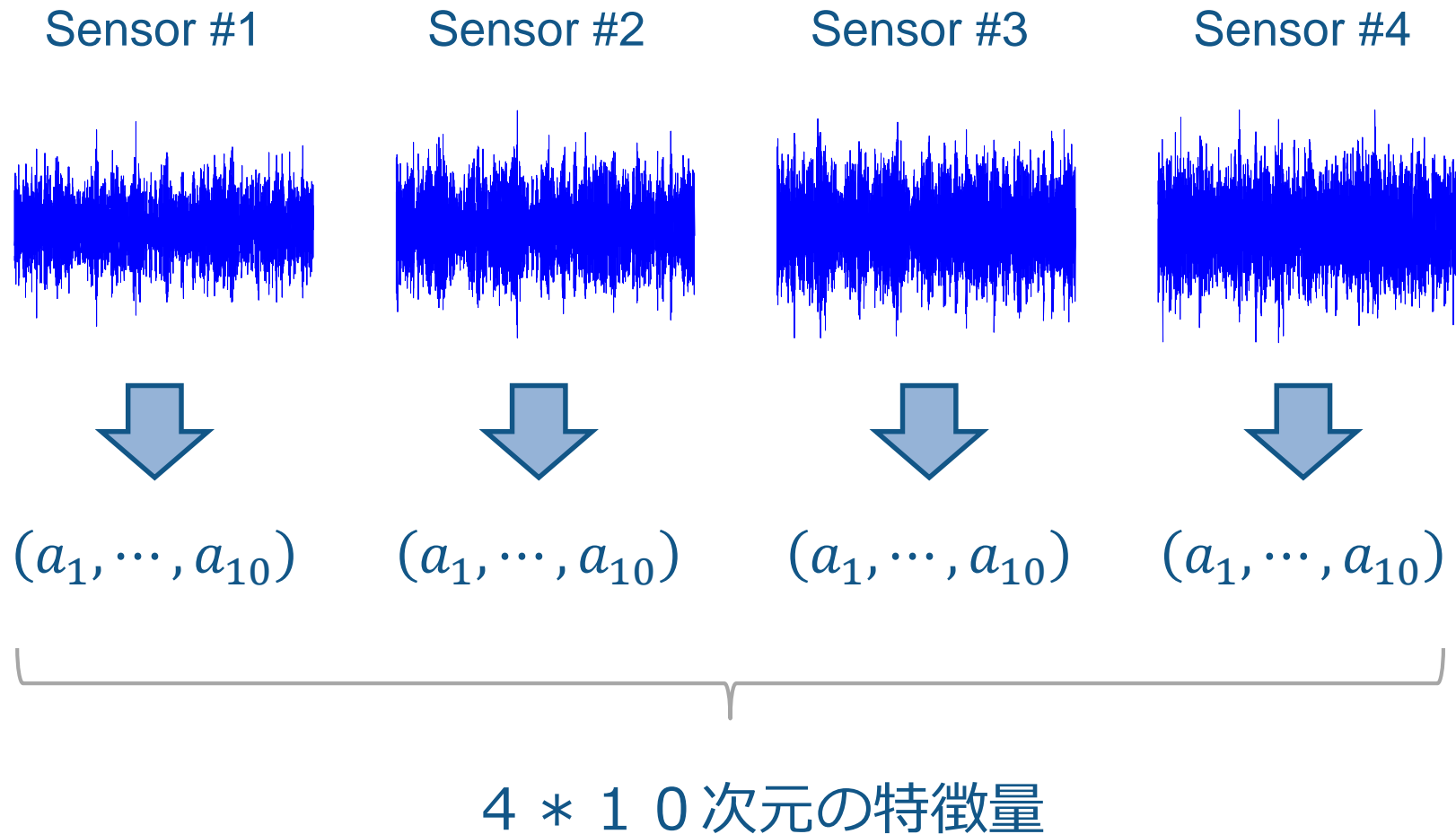
$$X_n = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i X_{n-i} + \varepsilon_t$$

定数項                      過去データの線形和                      白色雑音

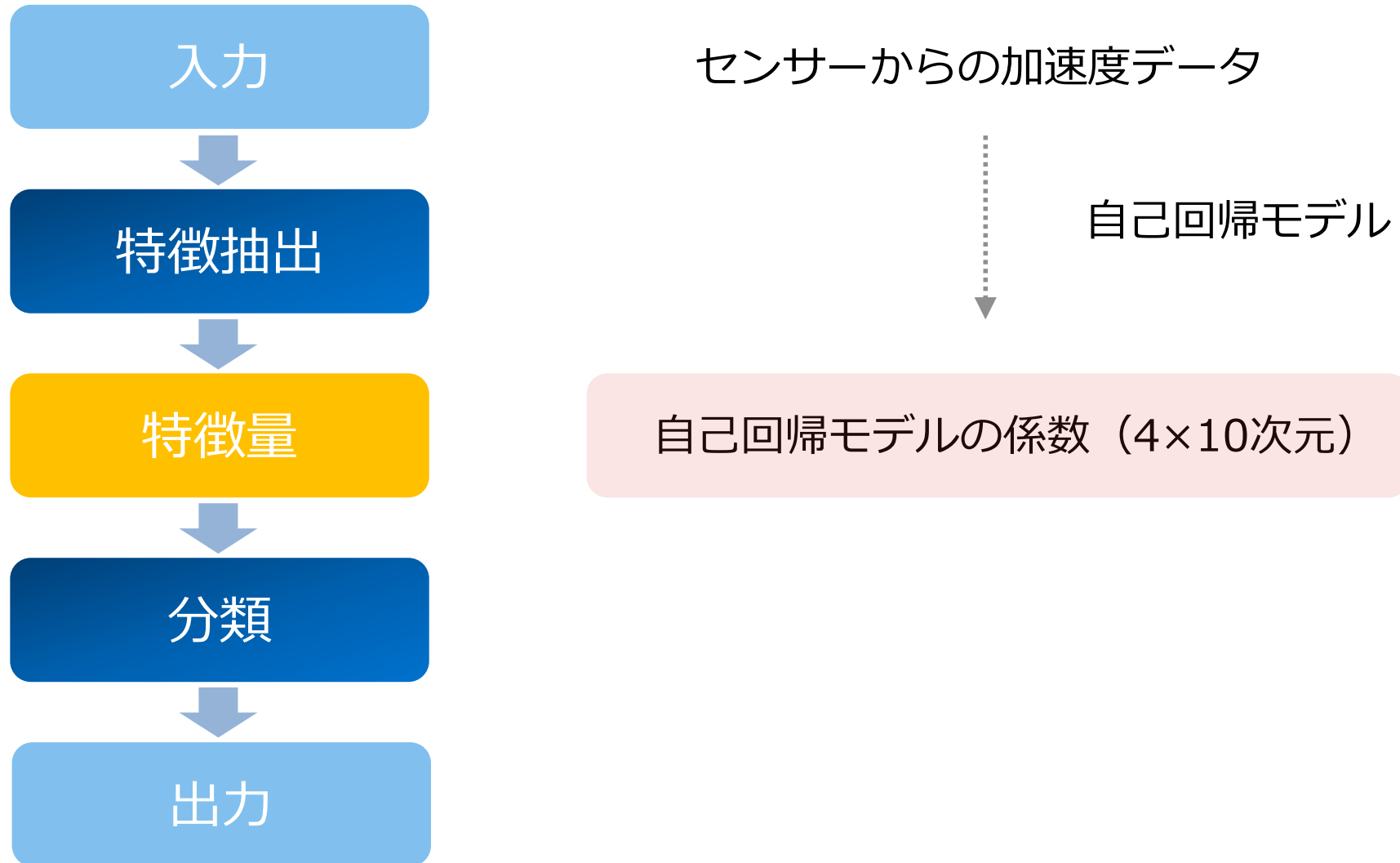


$$(a_0, a_1, \dots, a_N)$$

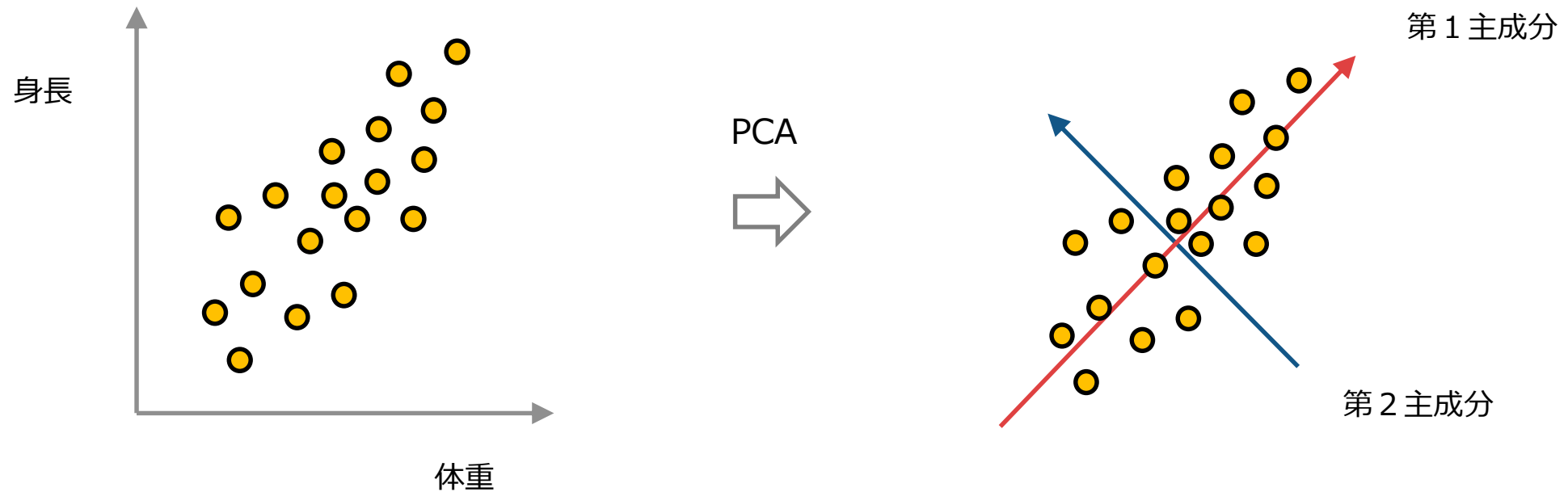
# 自己回帰モデルの係数による特徴抽出



## 【例題】 構造ヘルスマモニタリング



# 主成分分析 (Principal Component Analysis)



$$[\text{coeff}, \text{score}, \text{latent}] = \text{pca}(X)$$



## 【例題】 構造ヘルスマニタリング

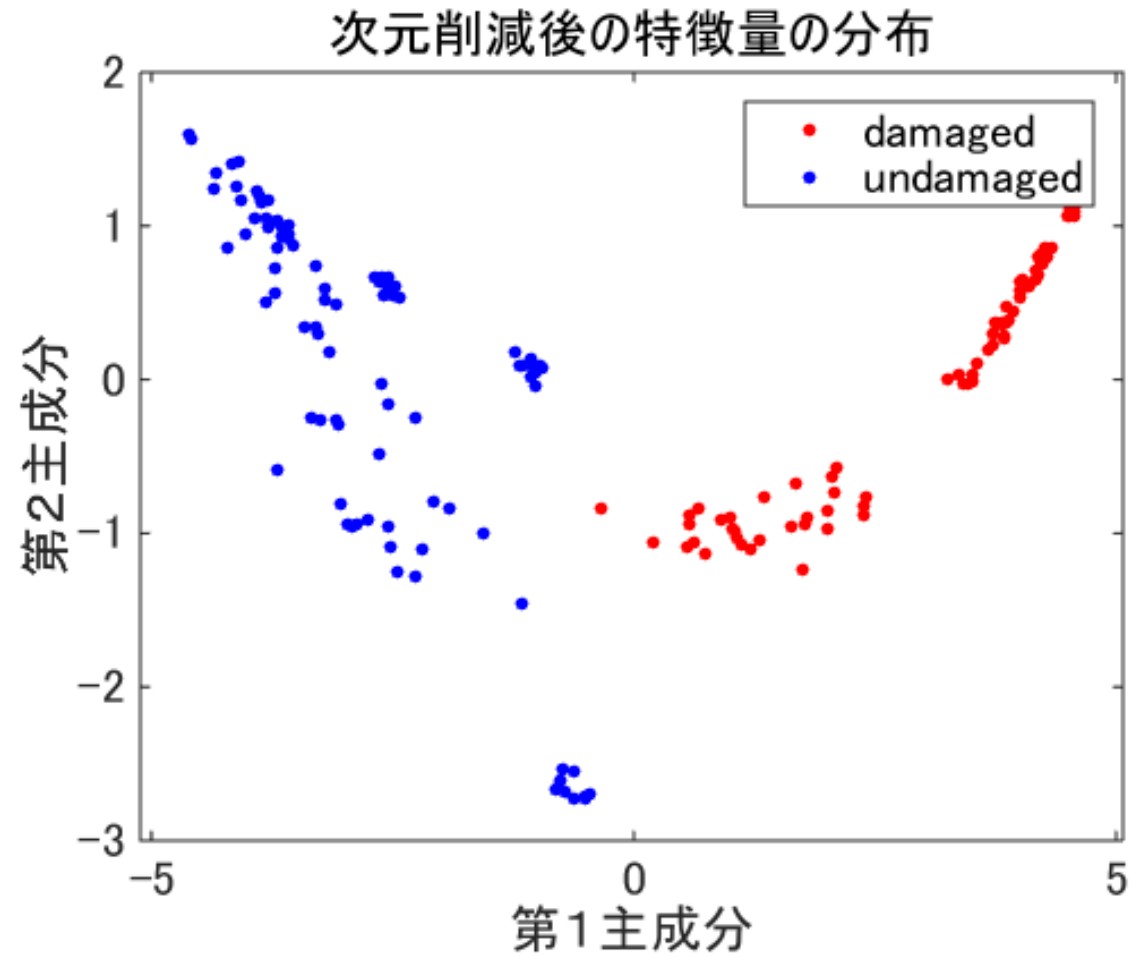


自己回帰モデルの係数 (4×10次元)

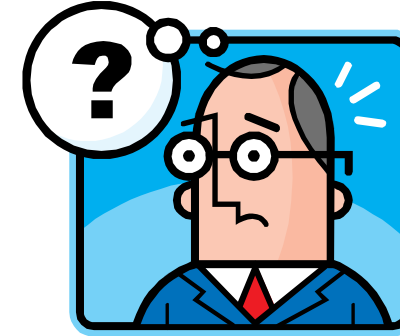
主成分分析

次元削減した特徴量 (2次元)

## 【例題】 構造ヘルスマモニタリング



## 【例題】 構造ヘルスマモニタリング

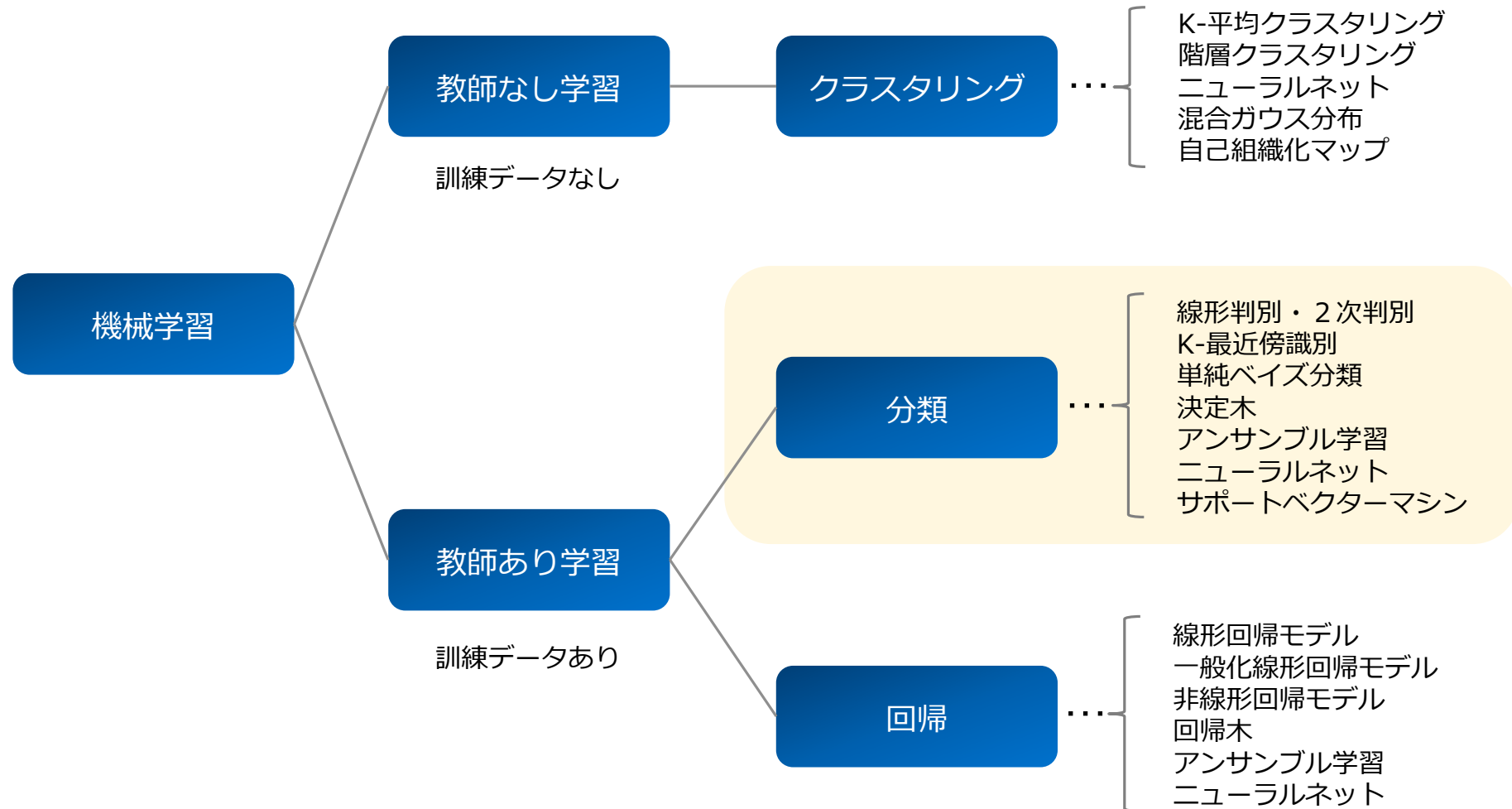


次元削減した特徴量 (2次元)



構造物における損傷の有無

# MATLABにおける機械学習



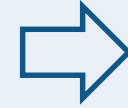
# 回歸·分類

回歸 (Regression)

$x$



$$y = f(x; \theta)$$



$y$

連續值

分類 (Classification)

$x$



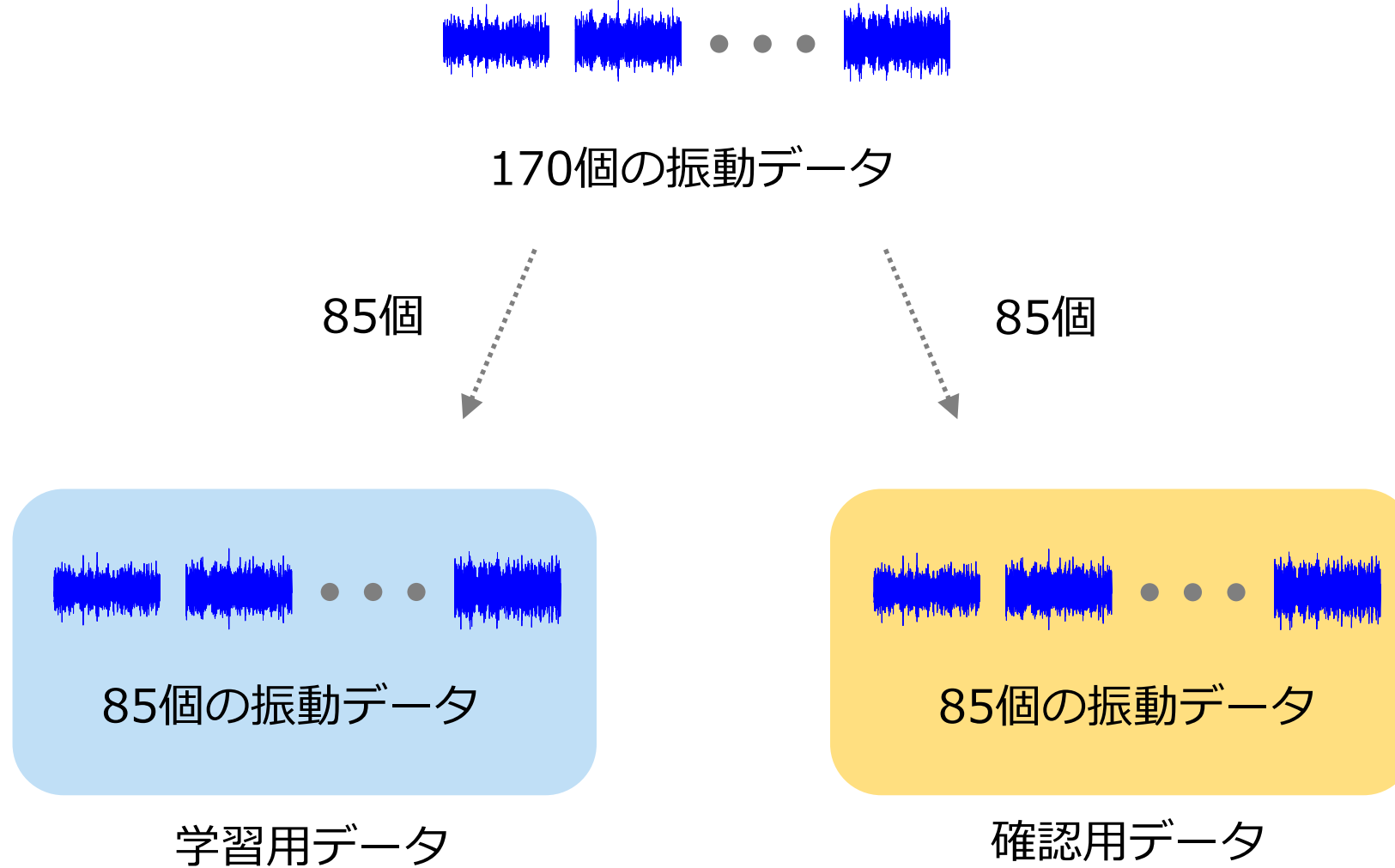
$$y = f(x; \theta)$$



$y$

離散值

## 【例題】 構造ヘルスマニタリング

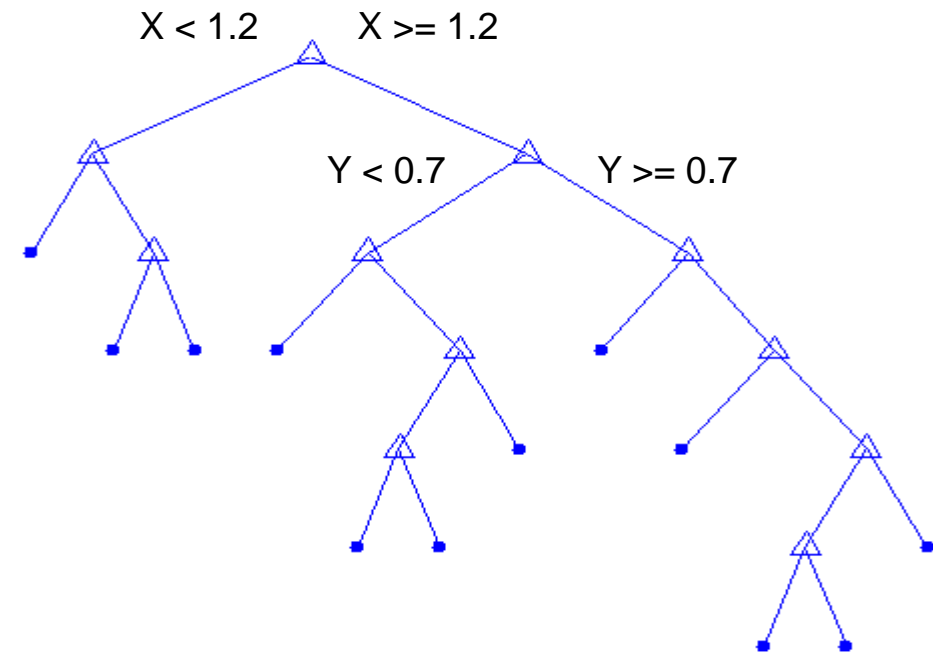
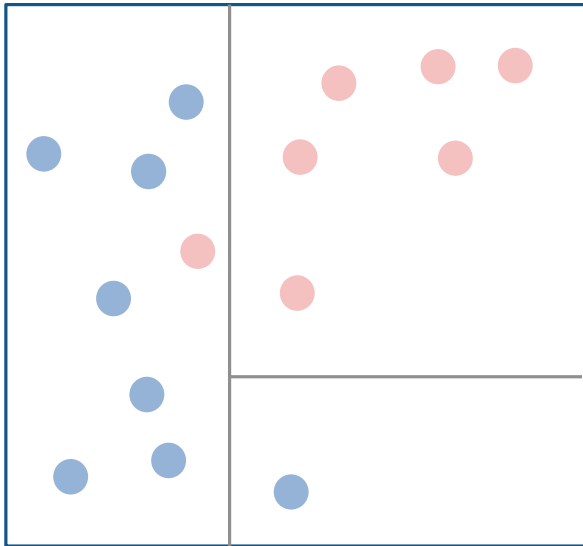




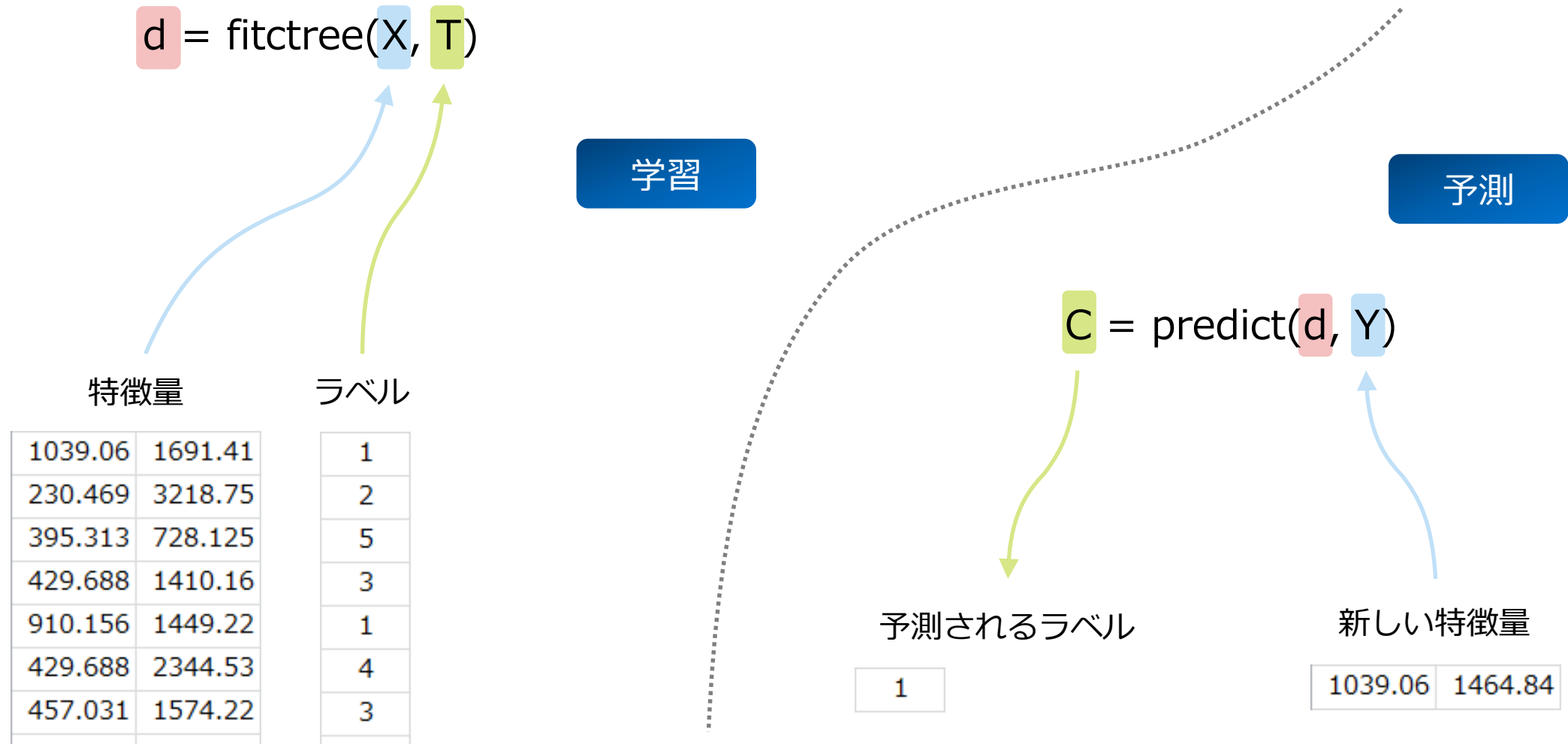
## 【例題】構造ヘルスマニタリング

決定木 (Decision Tree) とは？

- 変数をひとつ選び、閾値を決めて、サンプルを2つに分ける
- なるべく同じクラス同士が同じグループに入るようにしたい
- 混ざり具合の基準 (Gini 係数等) を使う



# 分類木 (Decision Tree)



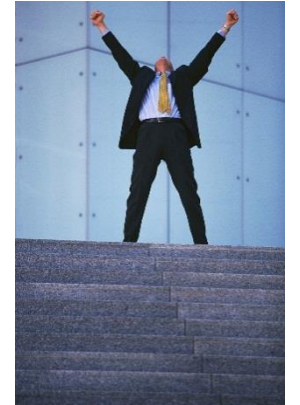
## 【例題】構造ヘルスマモニタリング



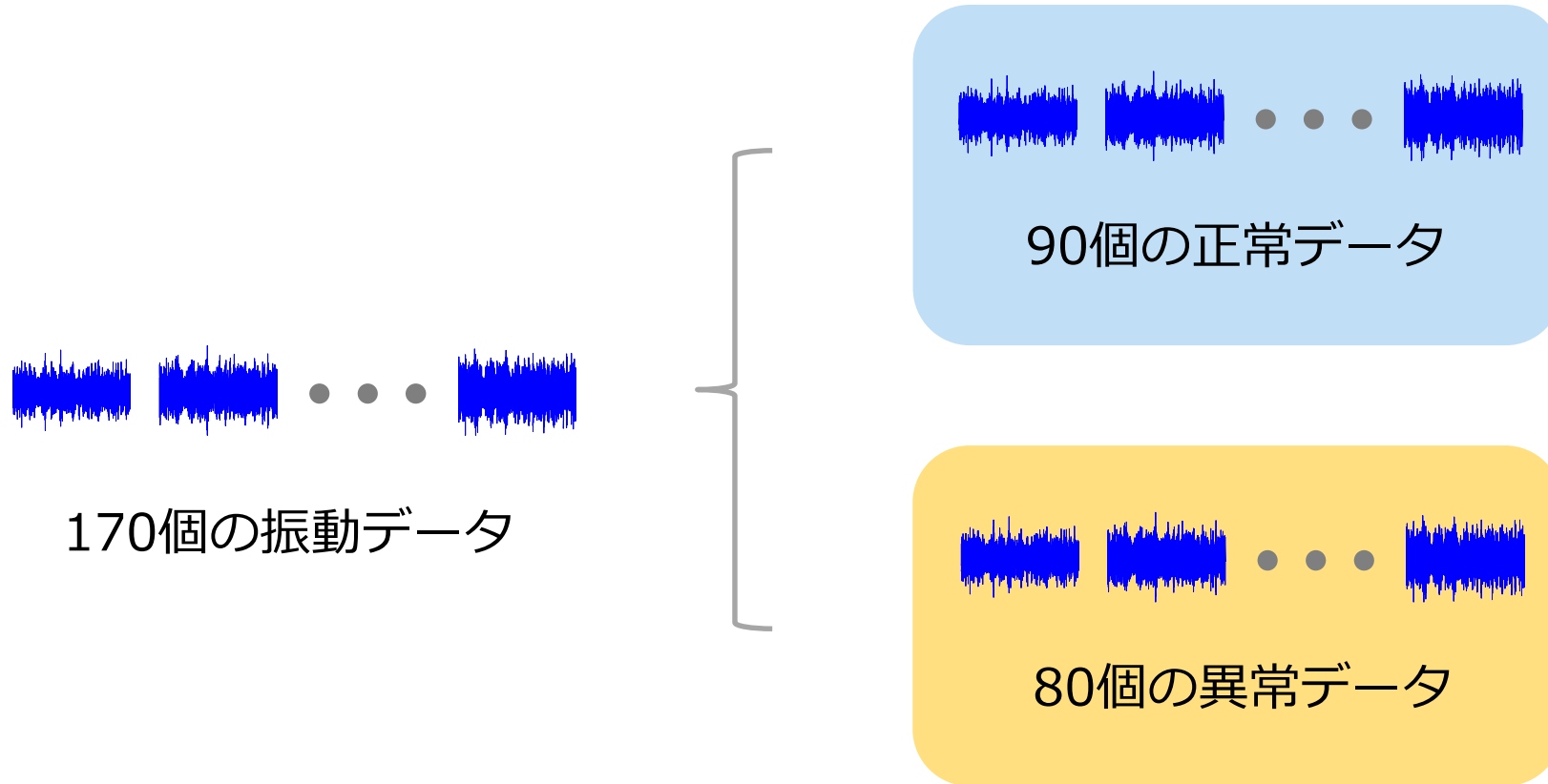
次元削減した特徴量 (2次元)

決定木

構造物における損傷の有無



## 【例題】 構造ヘルスマモニタリング



異常データをそんなにたくさん集められる？

## 【例題】 構造ヘルスマニタリング

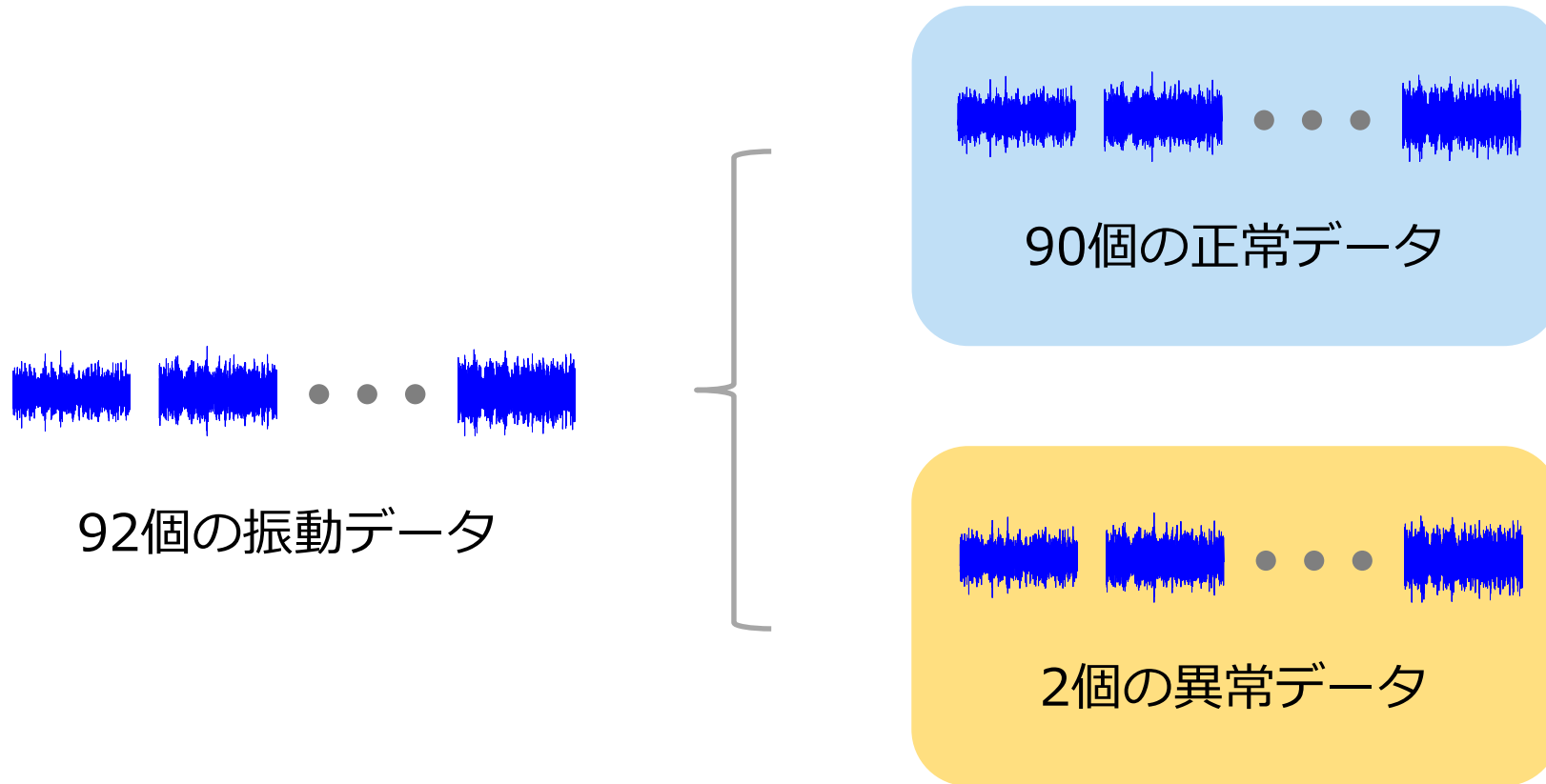
### データに関する疑問

- 正常データと異常データを同じくらい集めることができるか？
- 正常データと異常データを判定することはたやすいだろうか？

### 典型的な回答

- 異常データの数は正常データの数よりもずっと少ない
- 正常と異常の判定には人手などのコストがかかる
- ラベルなしのデータはずっと集めやすい
- クラスのデータ数のバランスの悪さが分類器の性能を劣化させる

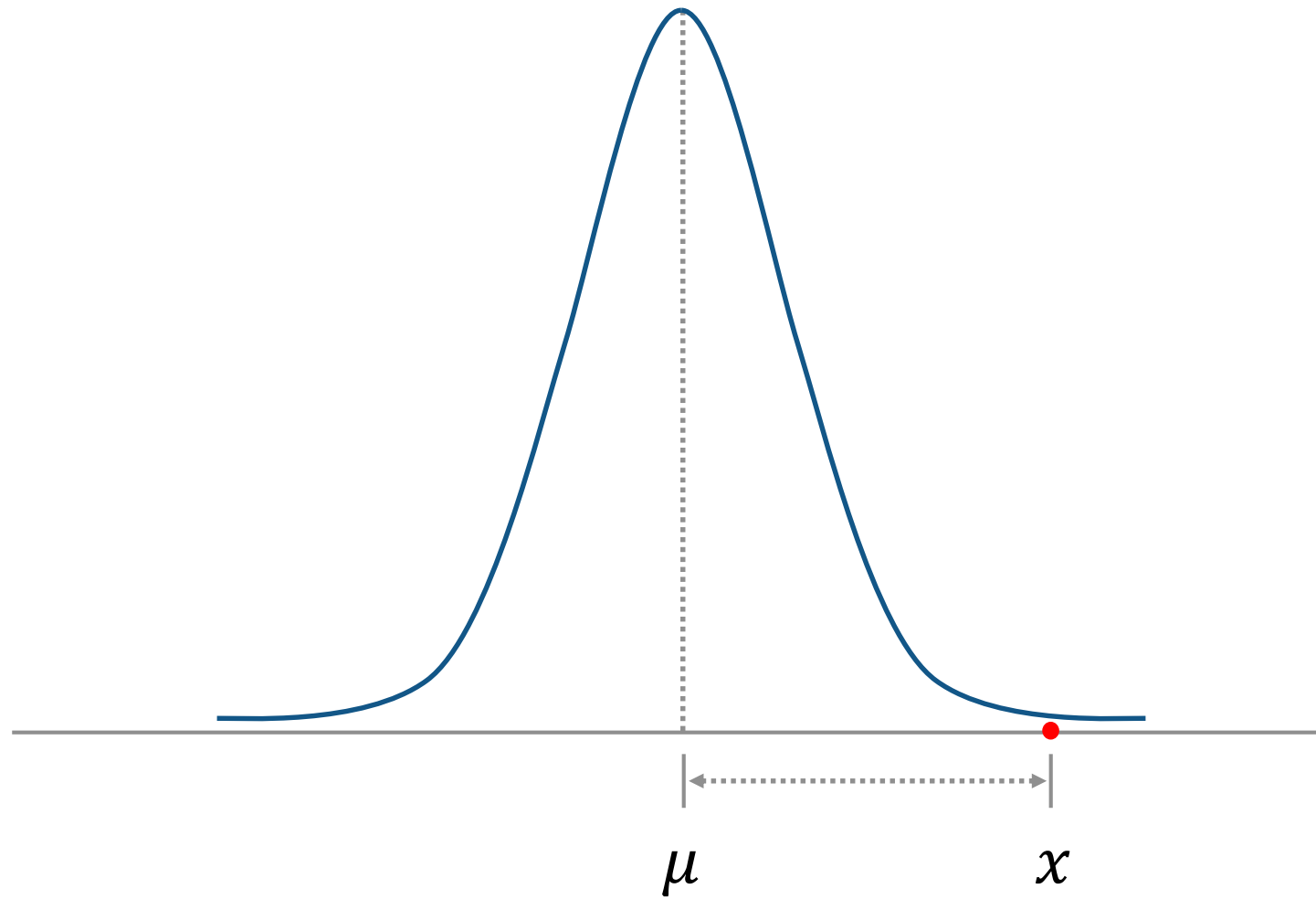
## 【例題】 構造ヘルスマモニタリング



異常データを見分けることができるか？



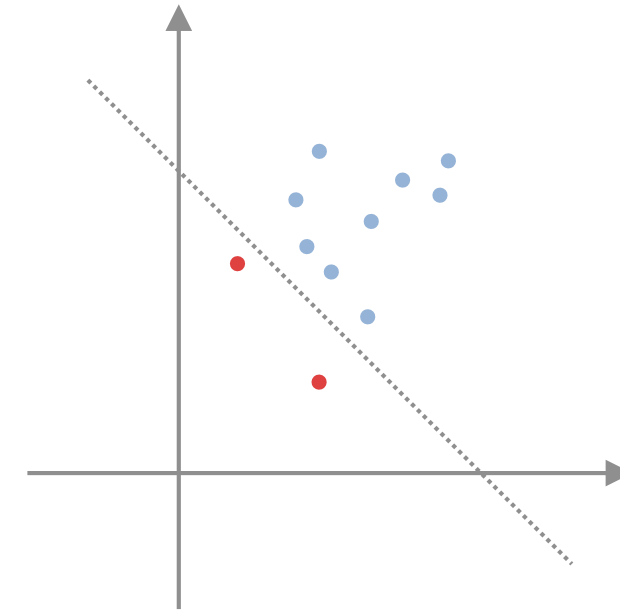
# 外れ値検出



# 1 クラス SVM による異常検出



$\phi$   
特徴写像



$$f(x) = \omega^T \phi(x)$$

$f(x) \geq \rho$  のとき、正常値

$f(x) < \rho$  のとき、異常値

# 1 クラス SVM による異常検出

- 正常値のクラスタはなるべくまとまっていて欲しい .....  $\rightarrow$   $\rho$  を大きく  
 外れ値はなるべく少なくなるようになって欲しい .....  $\rightarrow$  損失関数を小さく

$$\min_{\rho > 0} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_{\rho}(f(x^{(i)})) + \frac{1}{2} \alpha^T K \alpha - \nu \rho$$

正則化項

$$r_{\rho}(f(x)) = \max\{0, \rho - f(x)\} \quad : \text{損失関数}$$

外れ値において正の値を取る

# 【製品紹介】 構造ヘルスマニタリング

- 探索的なデータ解析
  - 記述統計量・ヒストグラム
  - 平行座標プロット
  - 周波数スペクトラム
- 特徴抽出
  - 自己回帰モデルの係数推定
- 次元削減
  - 主成分分析
- 教師あり学習
  - 決定木による損傷の有り無しの判定
- 教師なし学習
  - One-Class SVM による異常検出

Signal Processing Toolbox

System Identification Toolbox

Statistics and  
Machine Learning Toolbox



© 2015 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See [www.mathworks.com/trademarks](http://www.mathworks.com/trademarks) for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.