



# Neural Networkを用いた深発月震源の推定

首都大学東京 大学院 修士1年

菊池 栞

- 月にも地震のような揺れが観測された（月震）
  - NASAが月に地震計を設置して観測
  - 約7年半のデータが取得（1969年～1977年）
  - 現在データの更新は行われていない
- 月震にはいくつか発生要因があることがわかった
  - 特に深発月震は多数発生

深発月震

震源の深さが1000km程度で観測される揺れ

浅発月震

震源の深さが300km程度で観測される揺れ

隕石衝突

隕石の衝突による揺れ

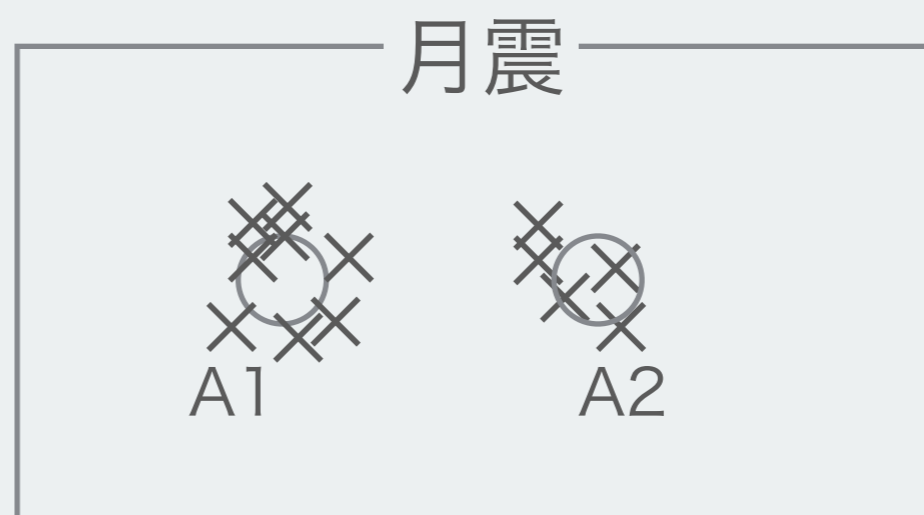
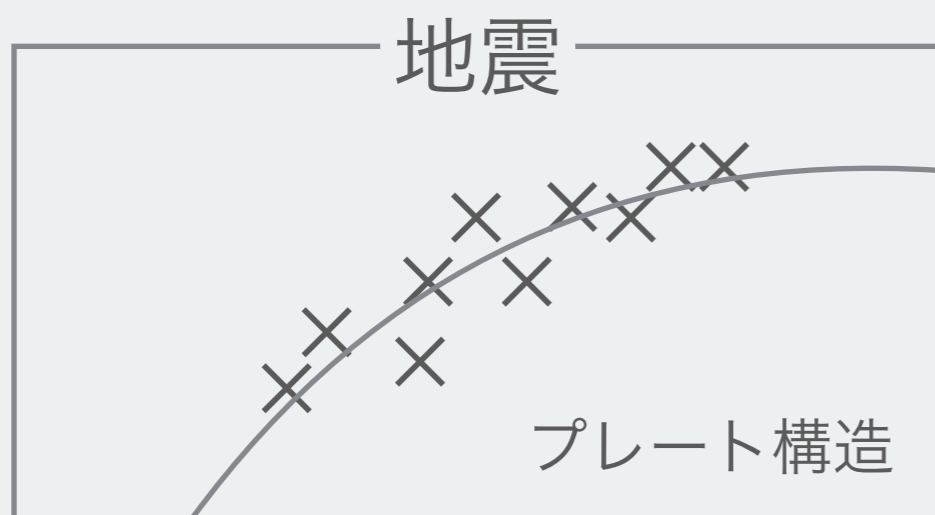
熱月震

熱によって表面がひび割れる時に観測される揺れ

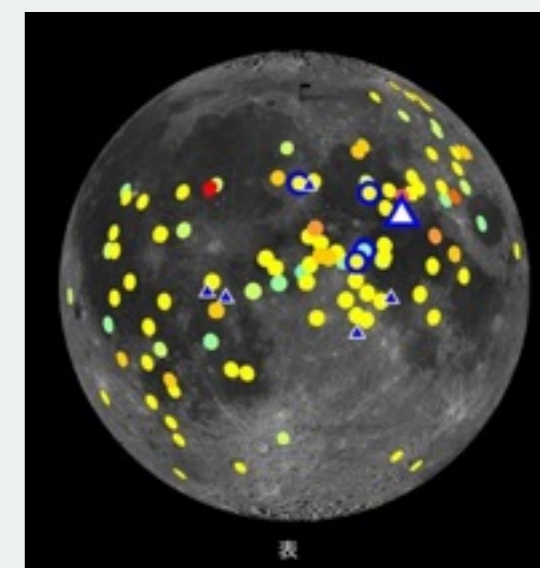
人工衝突

人工的な要因によって引き起こされた揺れ

- **地震とは違い，深発月震は震源が一点に定まる**
  - 現在は109の震源が判明
  - 同一震源からの月震は波形が類似



- **震源を特定することで，以下の分析が可能**
  - 月内部構造
  - 月震発生メカニズム
  - 月内部のダイナミクス



月震の震央分布と観測地点

## 深発月震の 震源を推定することは重要

- **3つの観測点で観測することで震源を推定**
  - しかし、深発月震の振幅が小さい  
→ 3点で観測できる月震がほとんどない
- **深発月震の波形の類似性を用いて、様々な方法で震源推定が行われている**
  - Nakamuraら（2003）は相互相関関数を用いて推定
  - Bulowら（2007）は波形の前処理の方法を変更し、Nakamuraらと同じ方法で震源を推定

しかし、未だ震源が推定されていない深発月震が  
多数存在している

## 目標

震源が推定されていない深発月震の  
震源を推定



## アプローチ

機械学習を用いて波形を分類



## 本研究の目的

**未分類月震の分類方法を検討**

月震の震源の推定を、  
クラス分類問題とする

### 機械学習を使う理由

- ・ 計算機の発達により、新たなアルゴリズムが使用できるようになった
- ・ 従来手法で分類された月震から、共通する新たな特徴が発見できる可能性がある
- ・ 人的コストを削減できる

イベント = 観測されたひとつひとつの月震

## 未分類イベント

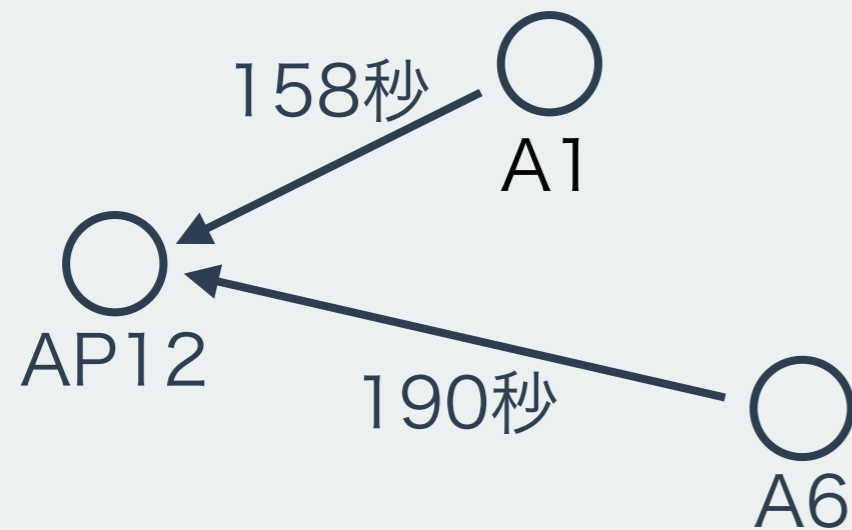
①震源が未知

②深発月震とわかっている

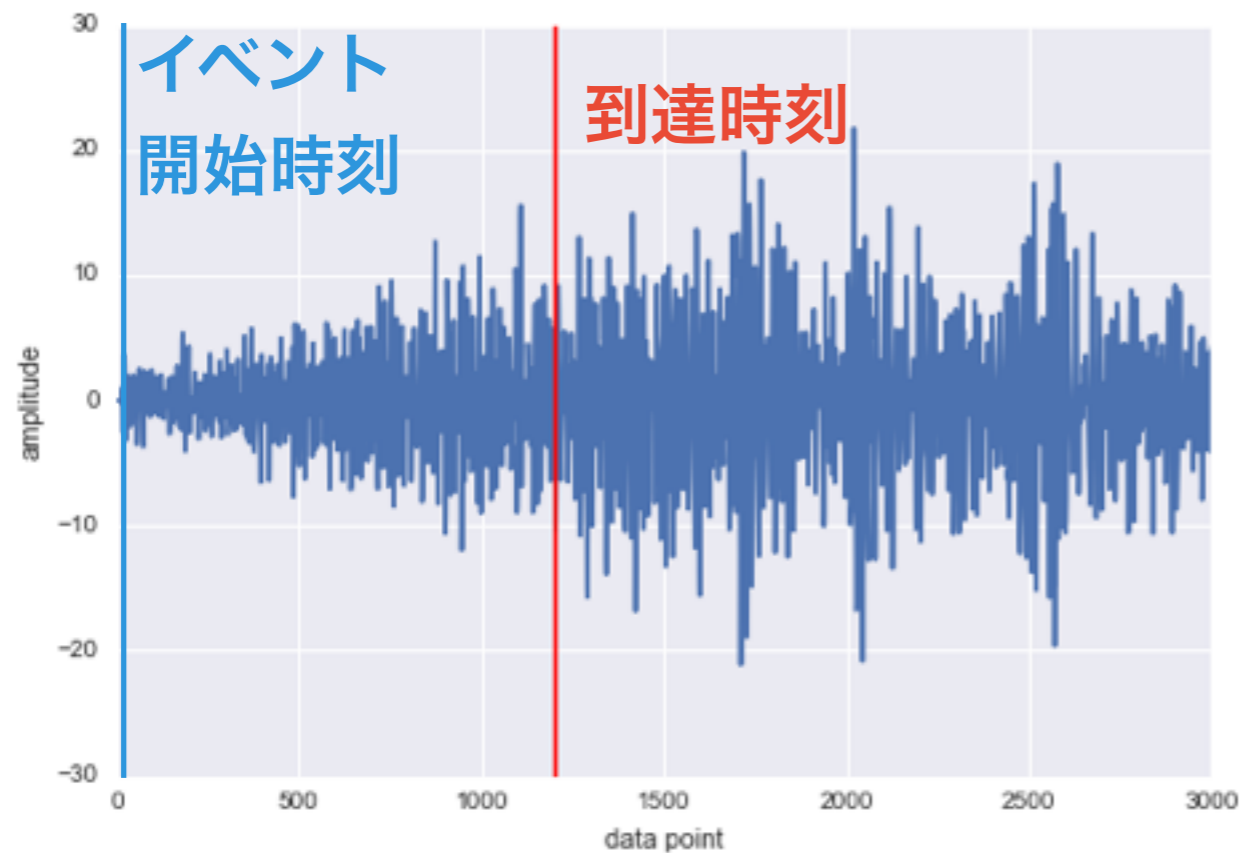
③イベント開始時刻がわかっている

※イベントカタログ参照





震源によってイベントの到達時間が異なる

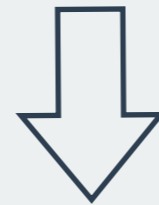


イベント開始時刻からの波形だとノイズを多く含んでしまう

**震源が未知のイベントは  
イベント開始時刻から  
何秒後に観測点に到達するかが不明**

## 5つの方法を提案

波形の到達時刻が不明でも分類可能な方法



## 交差検定を用いて評価

ラベル付きデータ

教師データ

評価データ

未分類イベントと見立ててイベント開始時刻から  
30,000点のデータを用いる

## 教師データ

分類済みのデータ

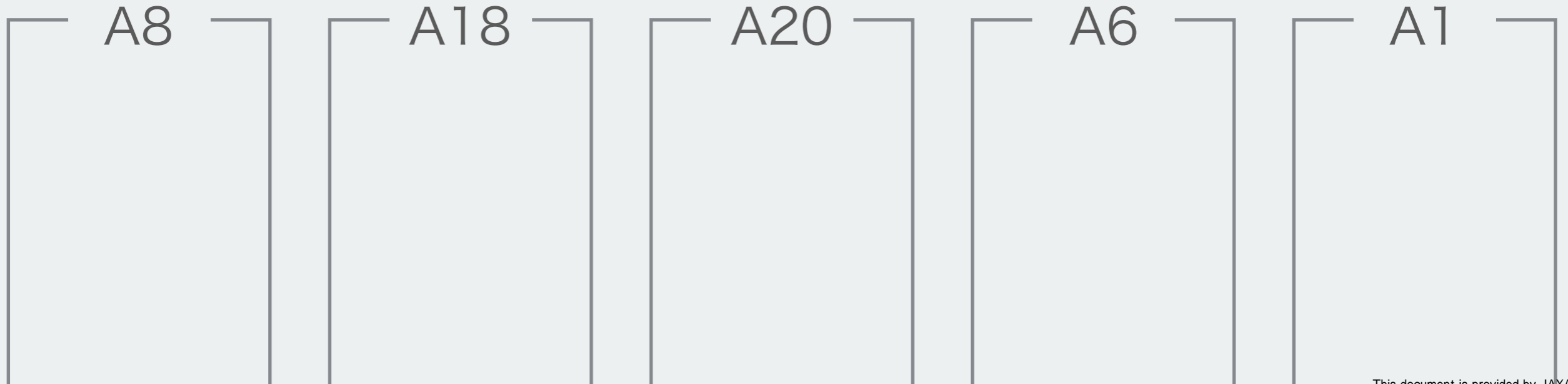


学習



## 評価データ

未分類のデータと見なす



## 教師データ

分類済みのデータ

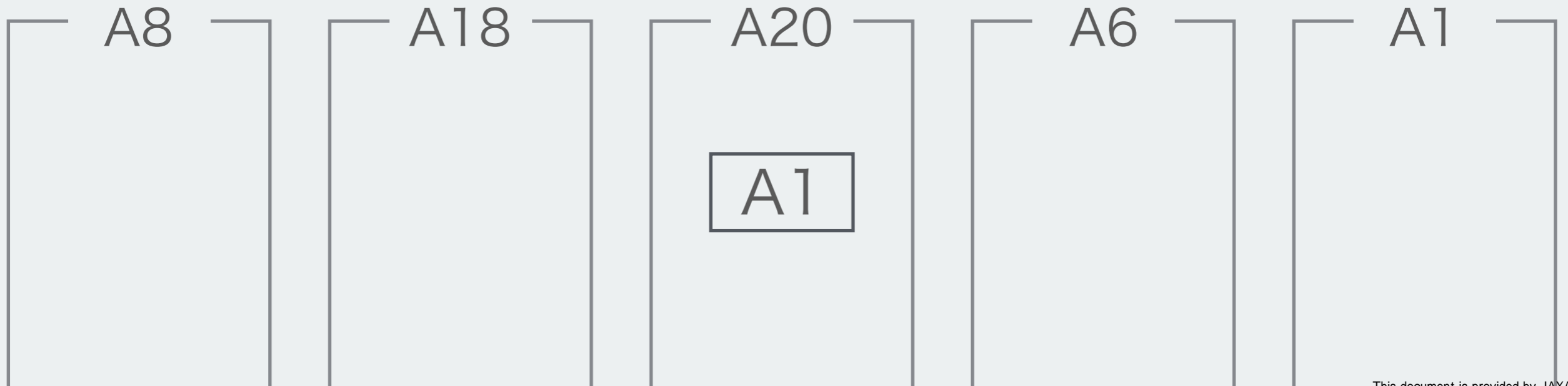


分類



## 評価データ

未分類のデータと見なす



## イベント数が50以上の震源を選択 (AP12のみ)

使用した震源ごとのイベント数

震源名	A1	A6	A8	A9	A10	A14	A18	A20	A23	合計
イベント数	262	85	93	94	108	87	106	106	54	995

## データの条件

Peakモードのみ使用

軸 : Z軸

時間 : 5,962点 (15分)

特徴量 : PSD (サンプリング点4,096)

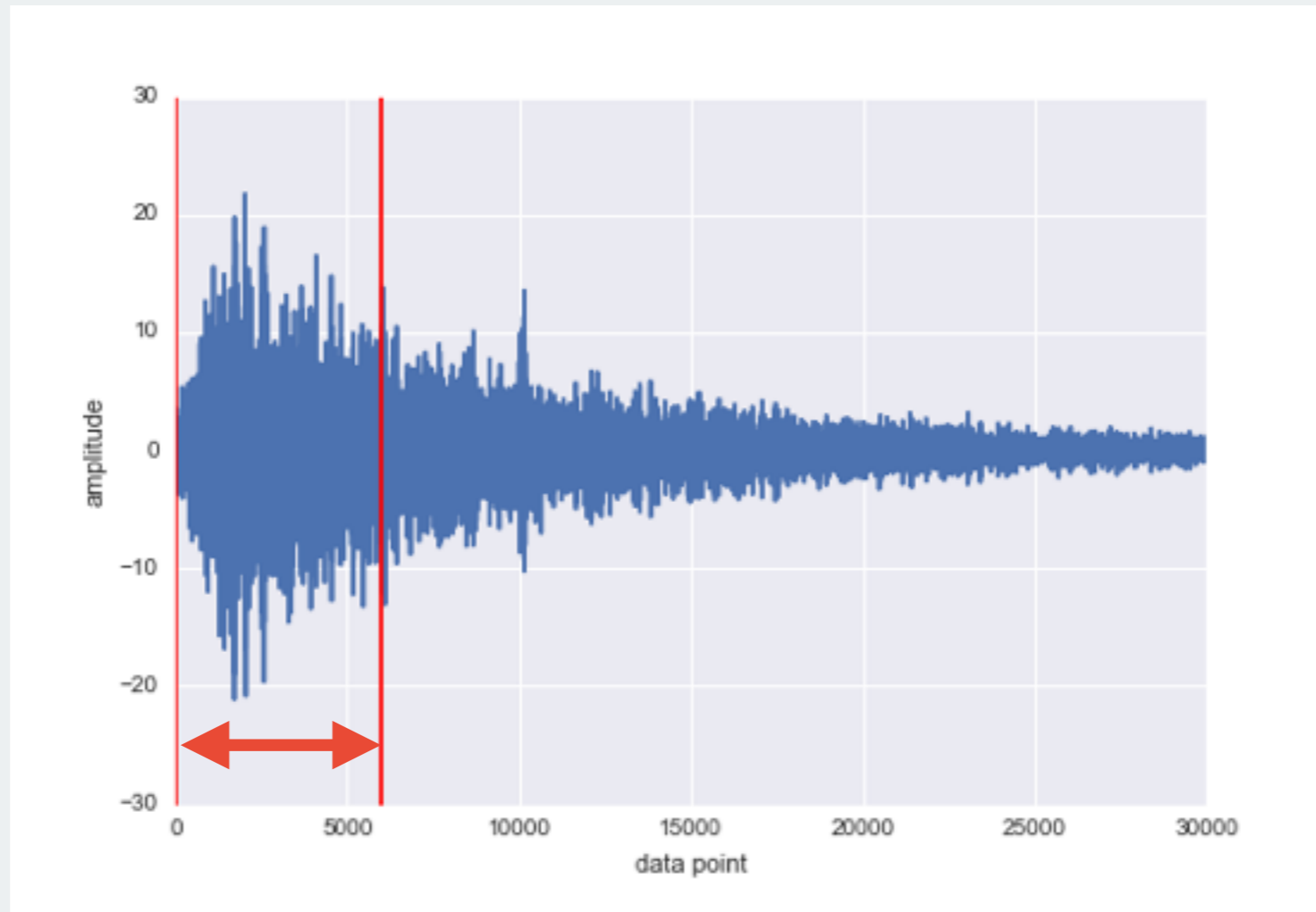
Blowと同様の前処理を行う

## 分類手法にNeural Networkを使用

Neural Networkのハイパーパラメータ

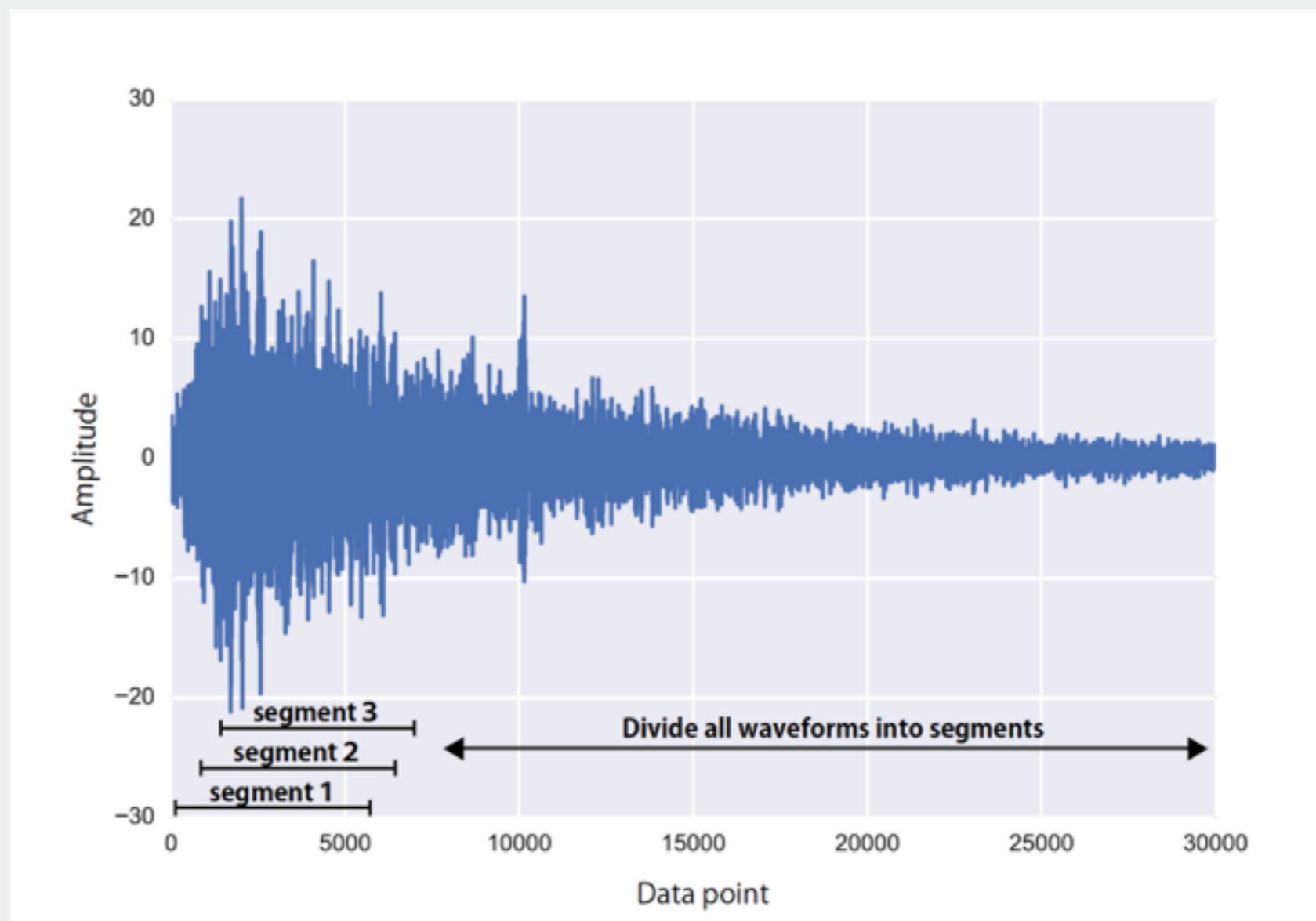
ニューロン数				活性化関数	最適化関数
1層	2層	3層	4層		
1,500	1,000	500	250	tanh	Adam

振幅が最も大きい時刻を中心とした波形を用いて分類



F値 : 0.21

## 波形をセグメントに分けて分類



セグメントの長さは固定（15分）

10点づつスライドしてセグメントを作る



各セグメントの分類結果の最も多かったラベルを  
波形のラベルとする

	A1	A6	A8	A9	A10	A14	A18	A20	A23	ラベル
セグメント1	8%	10%	5%	5%	10%	1%	1%	5%	55%	A23
セグメント2	10%	5%	10%	2%	9%	2%	2%	2%	58%	A23
セグメント3	70%	4%	2%	1%	2%	1%	10%	5%	5%	A1
				⋮						

最も多いラベルを  
分類結果とする

F値 : 0.21

## 全セグメントの分類確率の最も大きかったラベルを 波形のラベルとする

	A1	A6	A8	A9	A10	A14	A18	A20	A23	ラベル
セグメント1	8%	10%	5%	5%	10%	1%	1%	5%	<b>55%</b>	A23
セグメント2	10%	5%	10%	2%	9%	2%	2%	2%	<b>58%</b>	A23
セグメント3	<b>70%</b>	4%	2%	1%	2%	1%	10%	5%	5%	A1
				⋮						
最大確率	<b>70%</b>	10%	10%	5%	10%	2%	10%	5%	58%	<b>A1</b>

全セグメントで最も  
分類確率が高い  
ラベルを  
分類結果とする

F値 : 0.30

各セグメントの分類確率の平均が、最大のラベルを  
波形のラベルとする

	A1	A6	A8	A9	A10	A14	A18	A20	A23	ラベル
セグメント1	8%	10%	5%	5%	10%	1%	1%	5%	<b>55%</b>	A23
セグメント2	10%	5%	10%	2%	9%	2%	2%	2%	<b>58%</b>	A23
セグメント3	<b>70%</b>	4%	2%	1%	2%	1%	10%	5%	5%	A1
				⋮						
平均確率	10%	5%	5%	10%	<b>50%</b>	3%	4%	3%	10%	A10

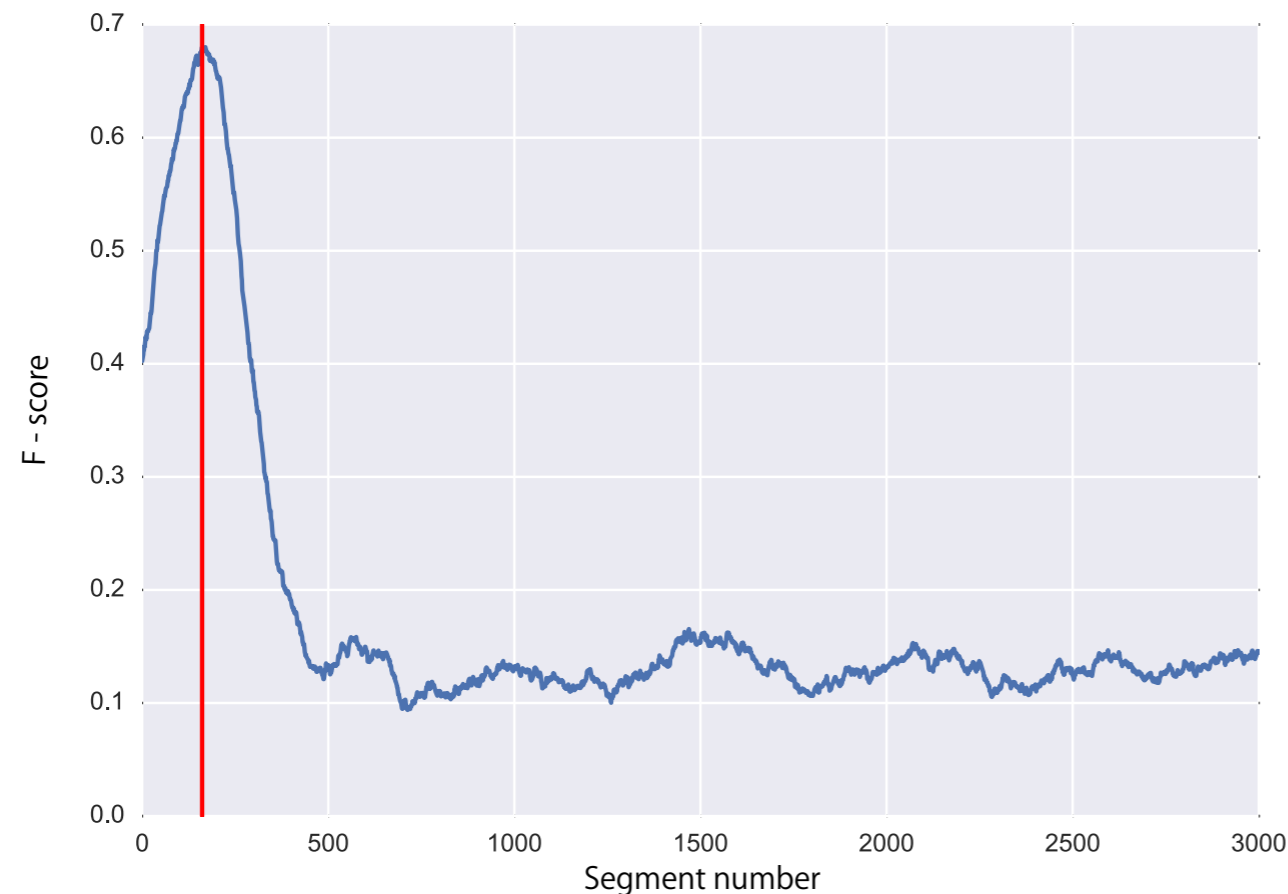
分類確率の平均で  
最も大きいラベルを  
分類結果とする

F値 : 0.19

特定のセグメントを準備実験により決定し、  
その時間からの波形を用いて分類

## 準備実験

同一時間のセグメントを用いて分類を行い、  
最も大きいF値のセグメントを特定のセグメントとする

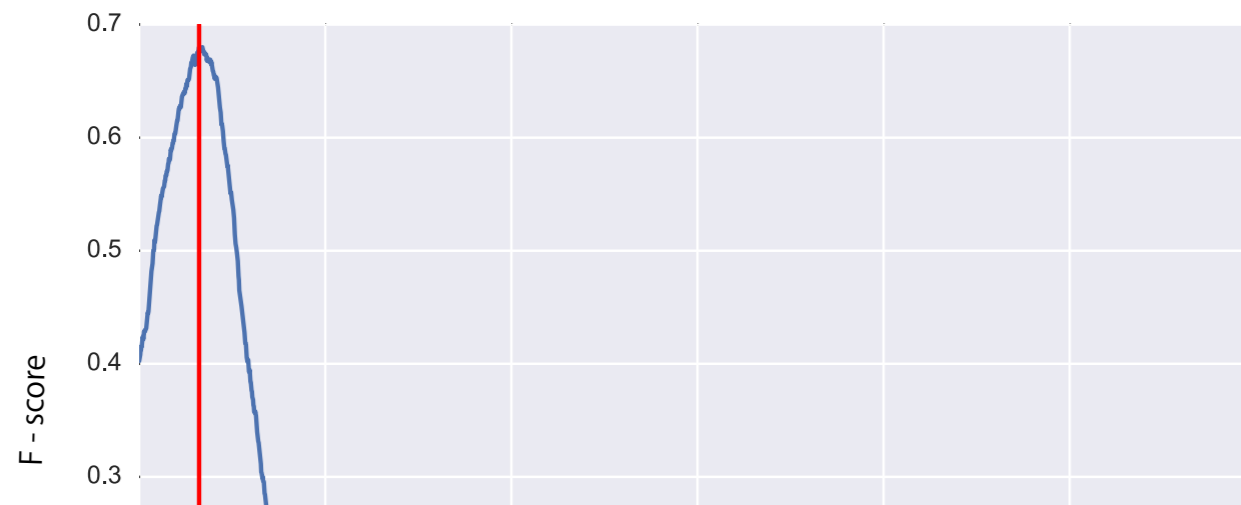


167番目のセグメントが  
最もF値が高い  
→1670点 (252秒)  
からのセグメント

特定のセグメントを準備実験により決定し、  
その時間からの波形を用いて分類

## 準備実験

同一時間のセグメントを用いて分類を行い、  
最も大きいF値のセグメントを特定のセグメントとする



167番目のセグメントが  
最もF値が高い  
→1670点 (252秒)

**F値 : 0.68**

## 各分類方法のF値

分類方法	分類方法	F値
1	振幅最大	0.31
2	ラベル多数決	0.21
3	分類確率最大	0.30
4	分類確率平均	0.19
5	特定セグメント	0.68

最もF値が高くなった

1つのセグメントを  
用いているため  
ノイズに影響されない

イベント開始時刻から1670点（252秒）後の波形を使用  
今回使用した各震源のイベント到達時間の中央値の  
1583点（238秒）と近い値になっている

## 各分類方法のF値

分類方法	分類方法	F値
1	振幅最大	0.31
2	ラベル多数決	0.21
3	分類確率最大	0.30
4	分類確率平均	0.19
5	特定セグメント	0.68

F値は低い結果となった

振幅が最大の部分が  
ノイズの部分と  
なってしまったため

## 各分類方法のF値

分類方法	分類方法	F値
1	振幅最大	0.31
2	ラベル多数決	0.21
3	分類確率最大	0.30
4	分類確率平均	0.19
5	特定セグメント	0.68

**F値は低い結果となった**

分類に有用な部分より  
ノイズの部分が多く  
含まれてしまったため



# 未分類イベントの分類

## 先程の分類方法5を使用

特定のセグメントを用いる方法

### 未分類イベント：43件

AP12で観測

Peakモードで観測

深発月震とわかっている

軸 : Z軸

時間 : 5,962点 (15分)

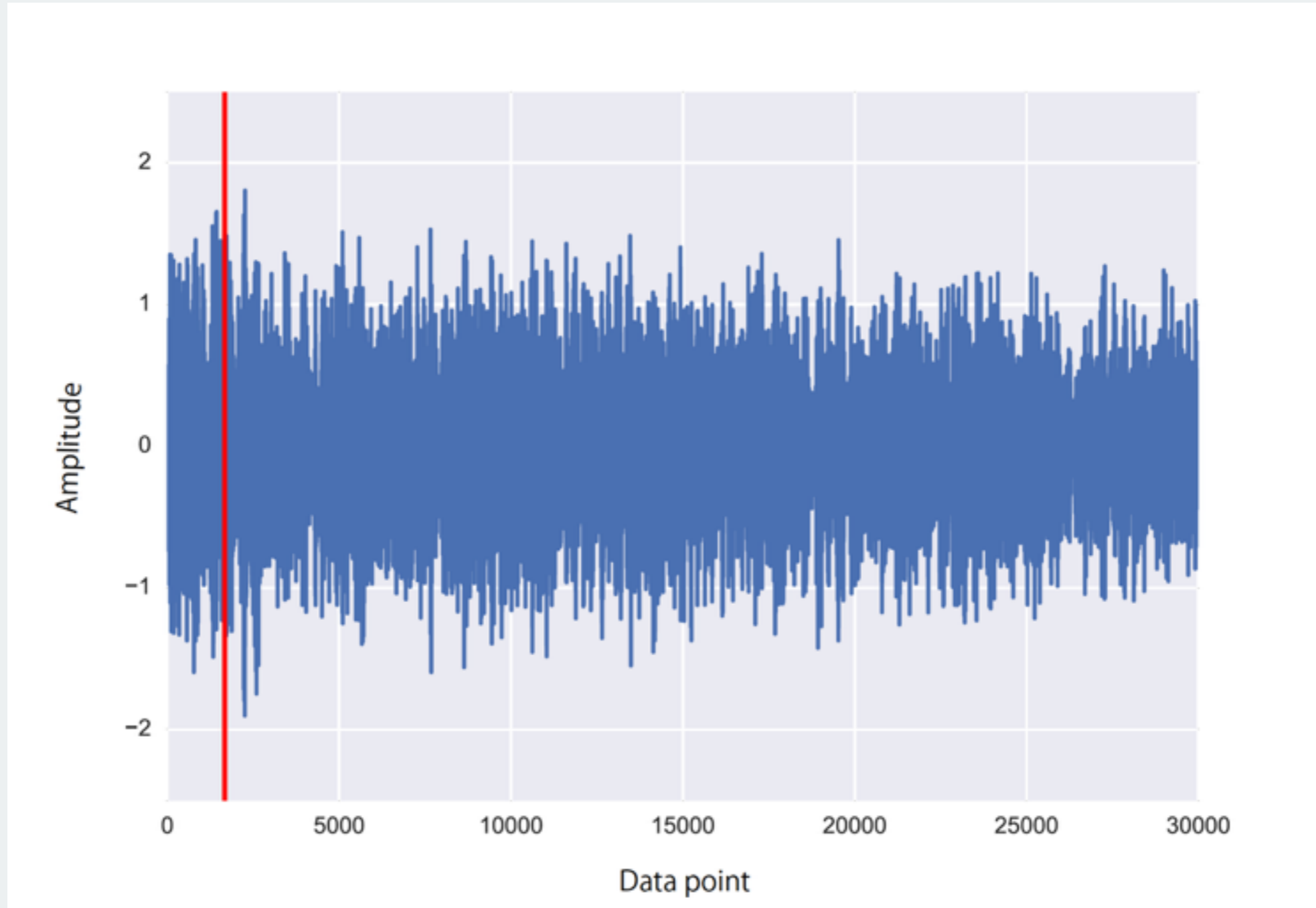
特徴量 : PSD (サンプリング点4,096)

Blowと同様の前処理を行う

## 分類確率の高い5件

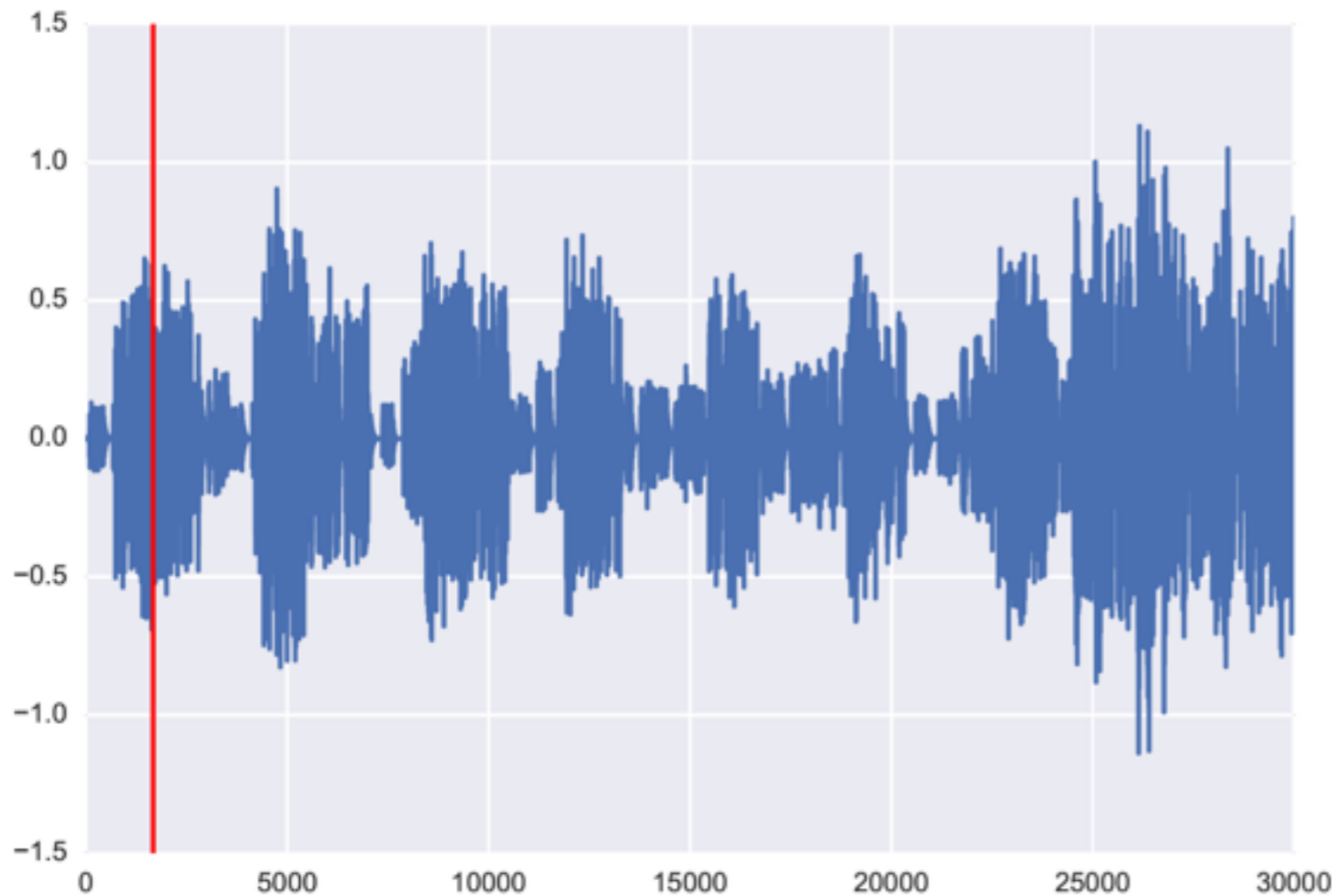
イベント	震源	分類確率
1974-06-28-13:49	A1	0.99993
1972-12-09-01:39	A10	0.99992
1972-05-10-07:43	A1	0.99985
1972-05-15-18:06	A20	0.99982
1977-04-27-15:41	A10	0.99944

1974-06-28-13:49 (A1に分類)



## 前処理の誤りがあるイベントがある

1972-05-20-08:45



振幅の増減が  
激しい箇所が存在

デスパイキングのパラメータに検討の余地がある

## 未知の震源に対応できない

教師あり学習のため、既知の震源にのみ分類されてしまう

## 今回使用した震源以外のイベントを分類できない

他の震源はデータ数が少ないため、学習が困難

## まとめ

### 未分類イベントの 分類方法の提案

1,670点からのセグメントを  
用いての分類が最も  
F値が高い

**F値：0.68**

## 今後の課題

### 分類性能の向上

前処理を行わず、観測された  
波形をそのまま用いる

### 分類できる震源の拡大

イベント数の少ない震源を  
1つのクラスとする

