

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

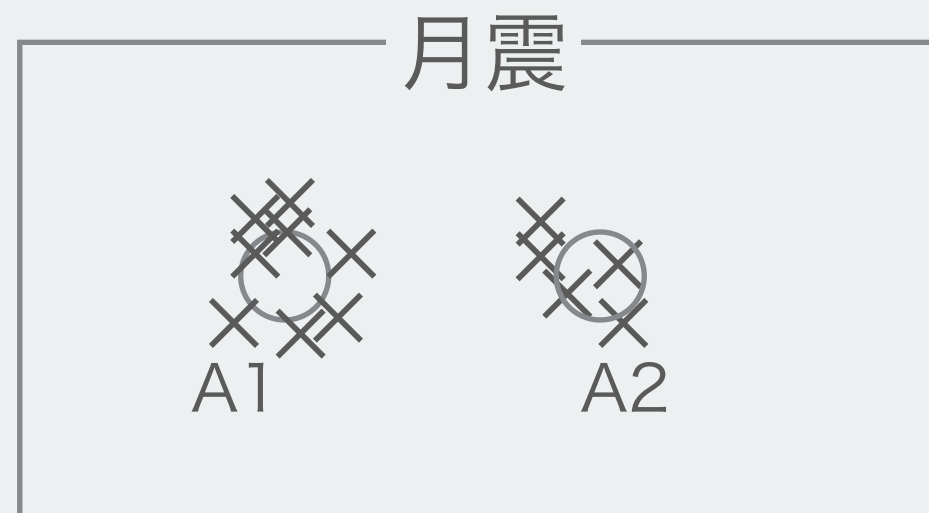
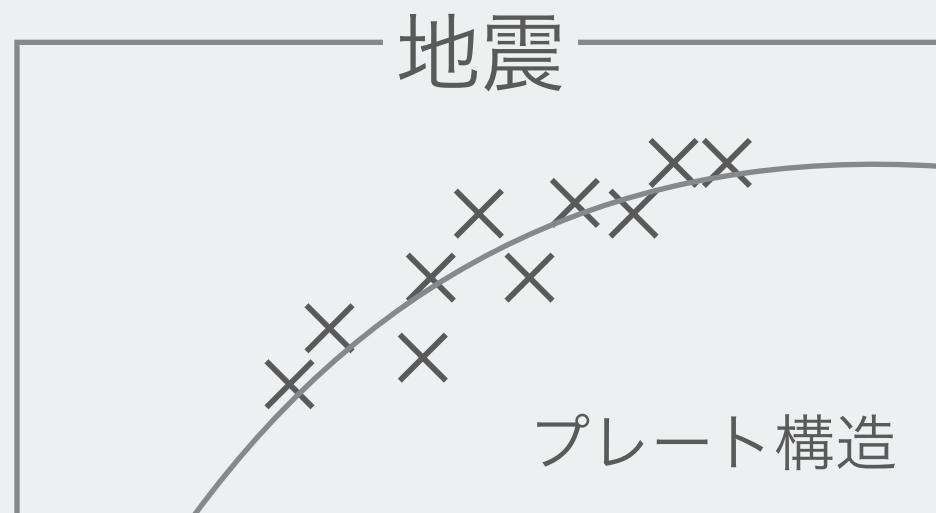
熱月震

熱によって表面がひび割れる時に観測される揺れ

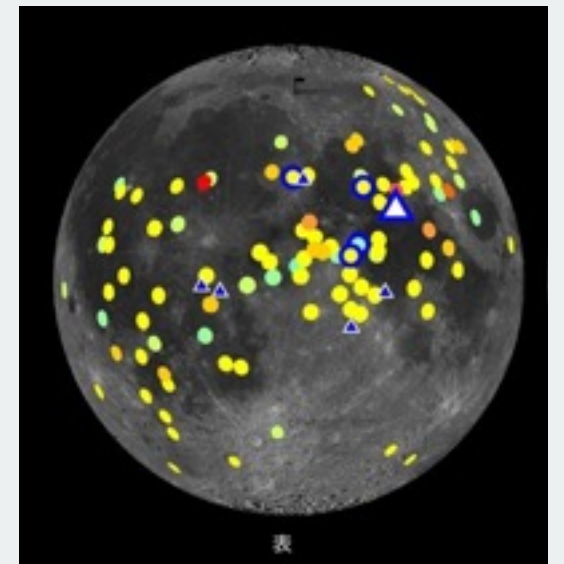
人工衝突

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

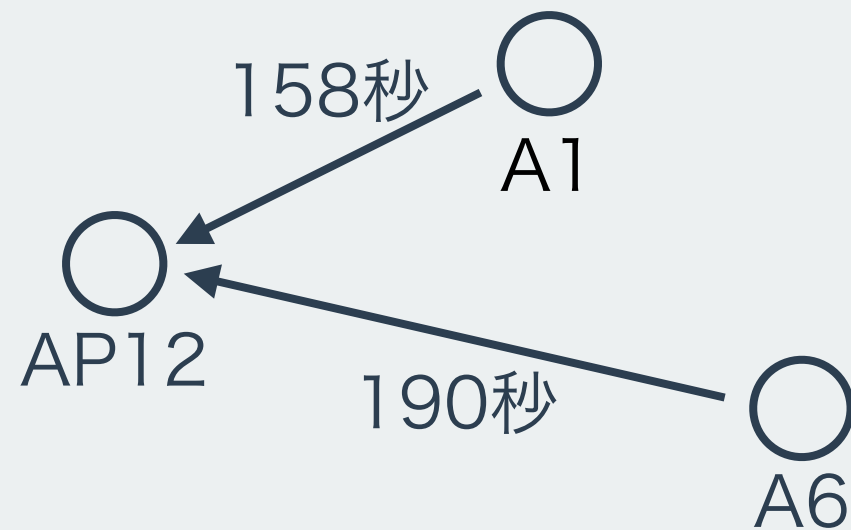
未分類イベント

- 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

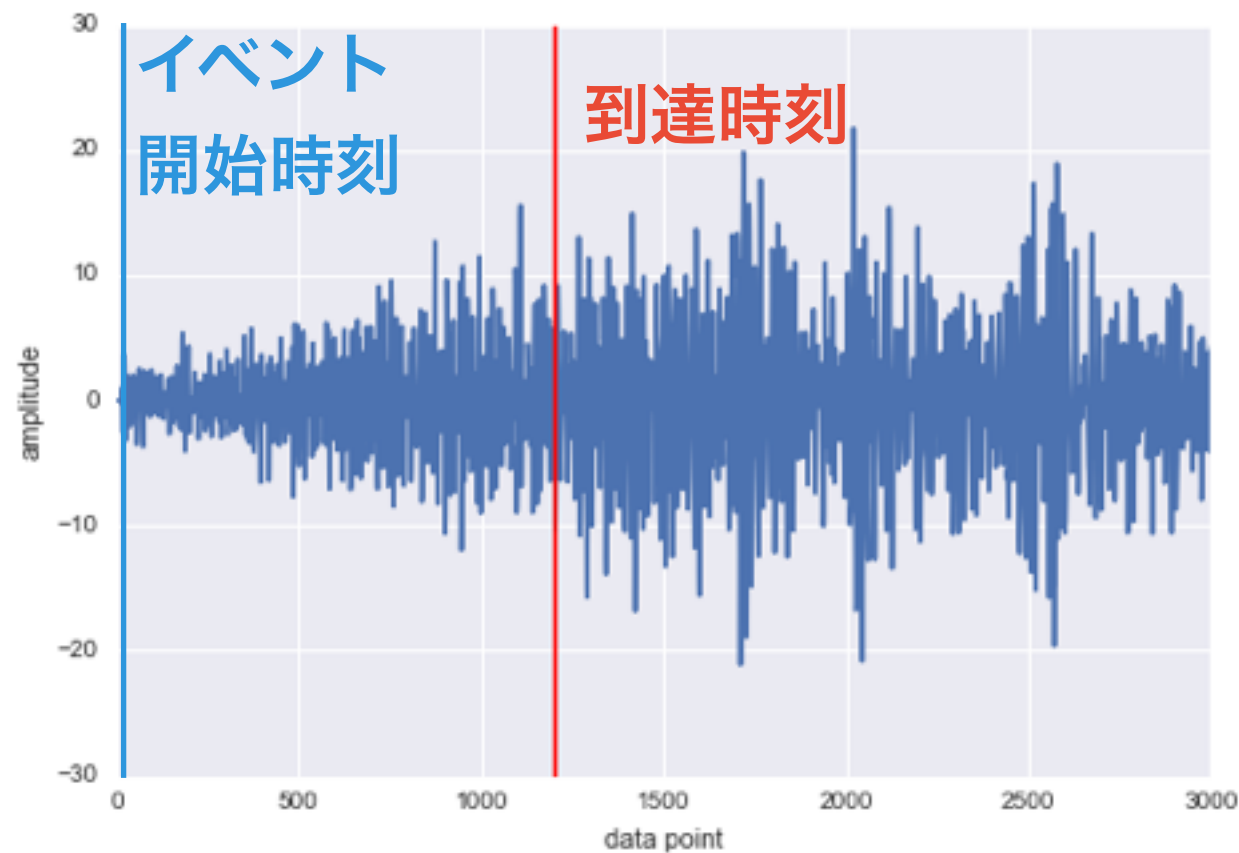
※イベントカタログ参照

未分類イベント分類の問題

9



震源によってイベントの
到達時間が異なる

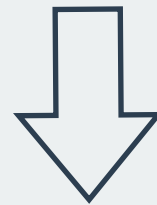


イベント開始時刻からの
波形だとノイズを多く
含んでしまう

**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



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

A1

A6

A8

A18

A20

学習



評価データ

未分類のデータと見なす

A1

A8

A18

A20

A6

A1

教師データ

分類済みのデータ

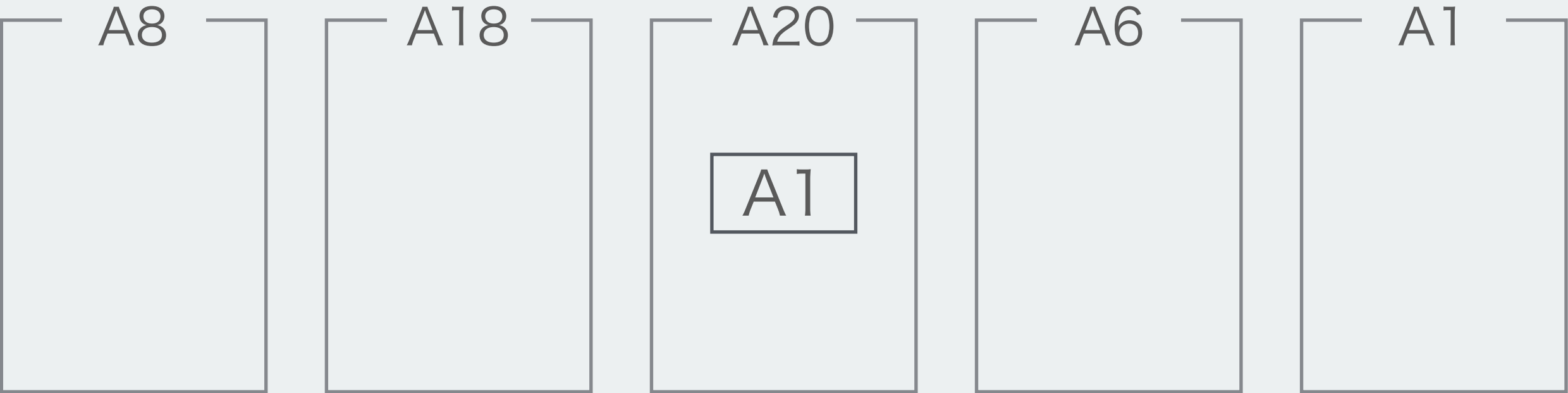


分類



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）

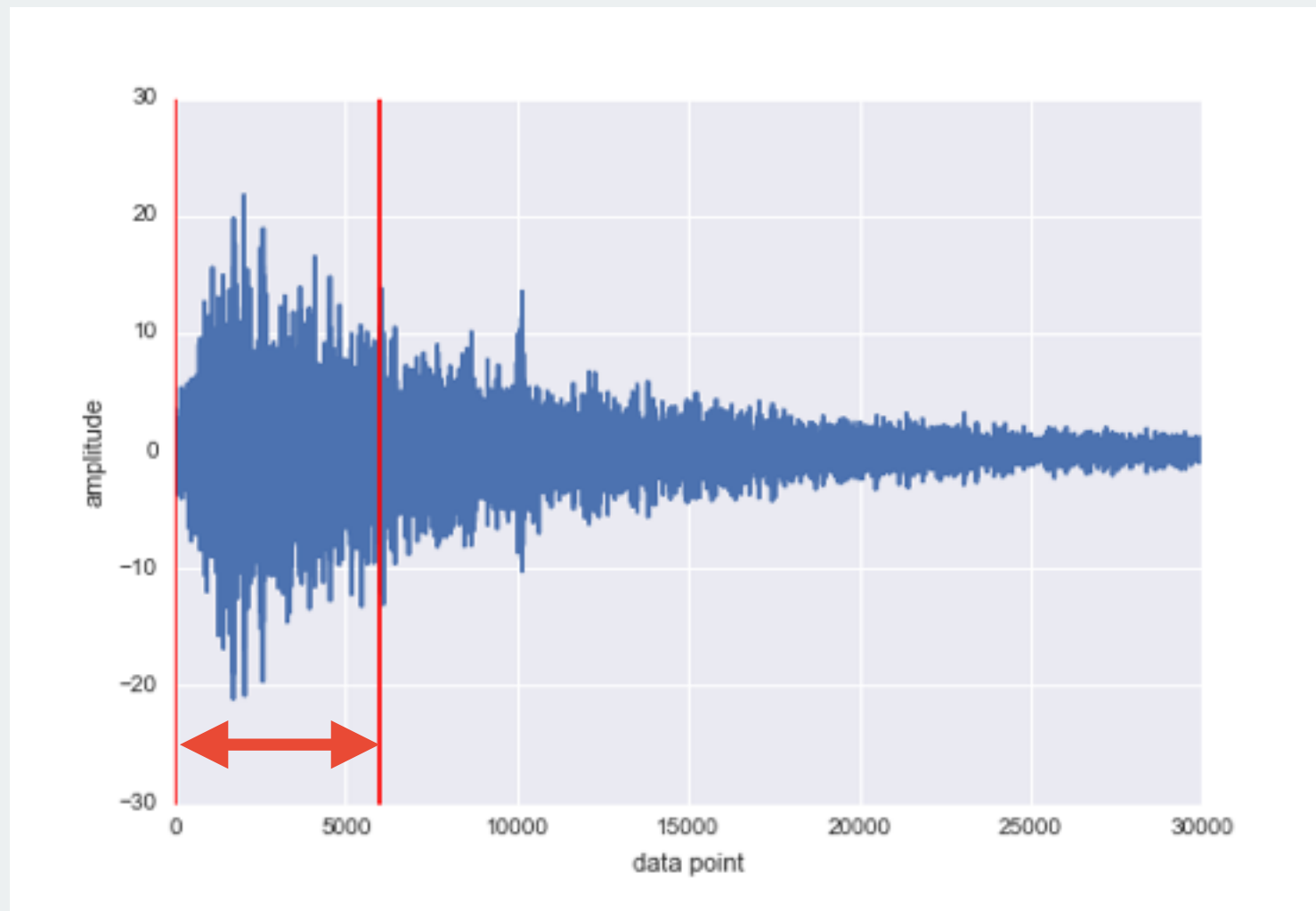
Blowと同様の前処理を行う

分類手法にNeural Networkを使用

Neural Networkのハイパーパラメータ

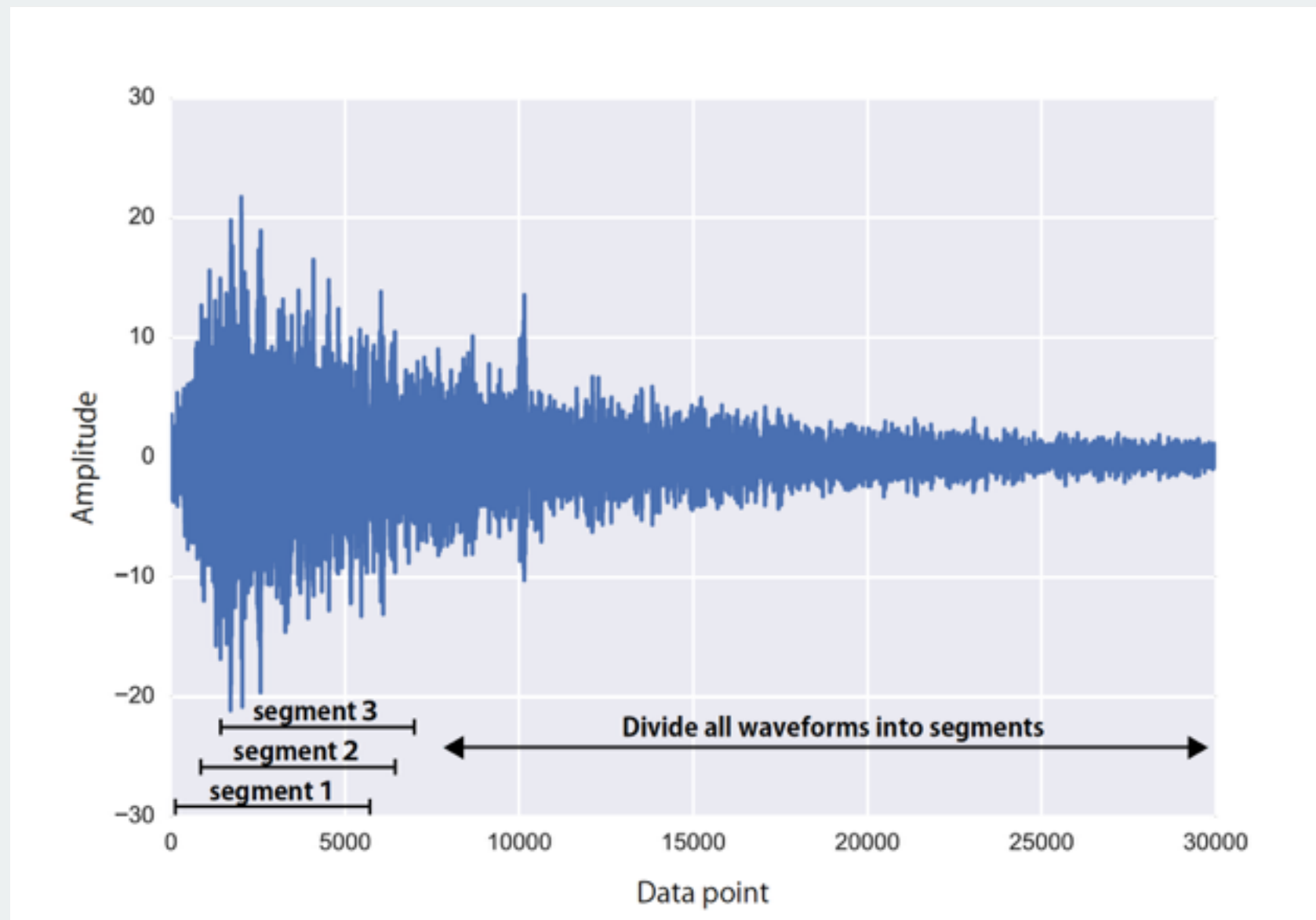
ニューロン数				活性化関数	最適化関数
1層	2層	3層	4層		
1,500	1,000	500	250	tanh	Adam

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点ず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

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%	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
				⋮						
最大確率	70%	10%	10%	5%	10%	2%	10%	5%	58%	A1

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%	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
				⋮						
平均確率	10%	5%	5%	10%	50%	3%	4%	3%	10%	A10

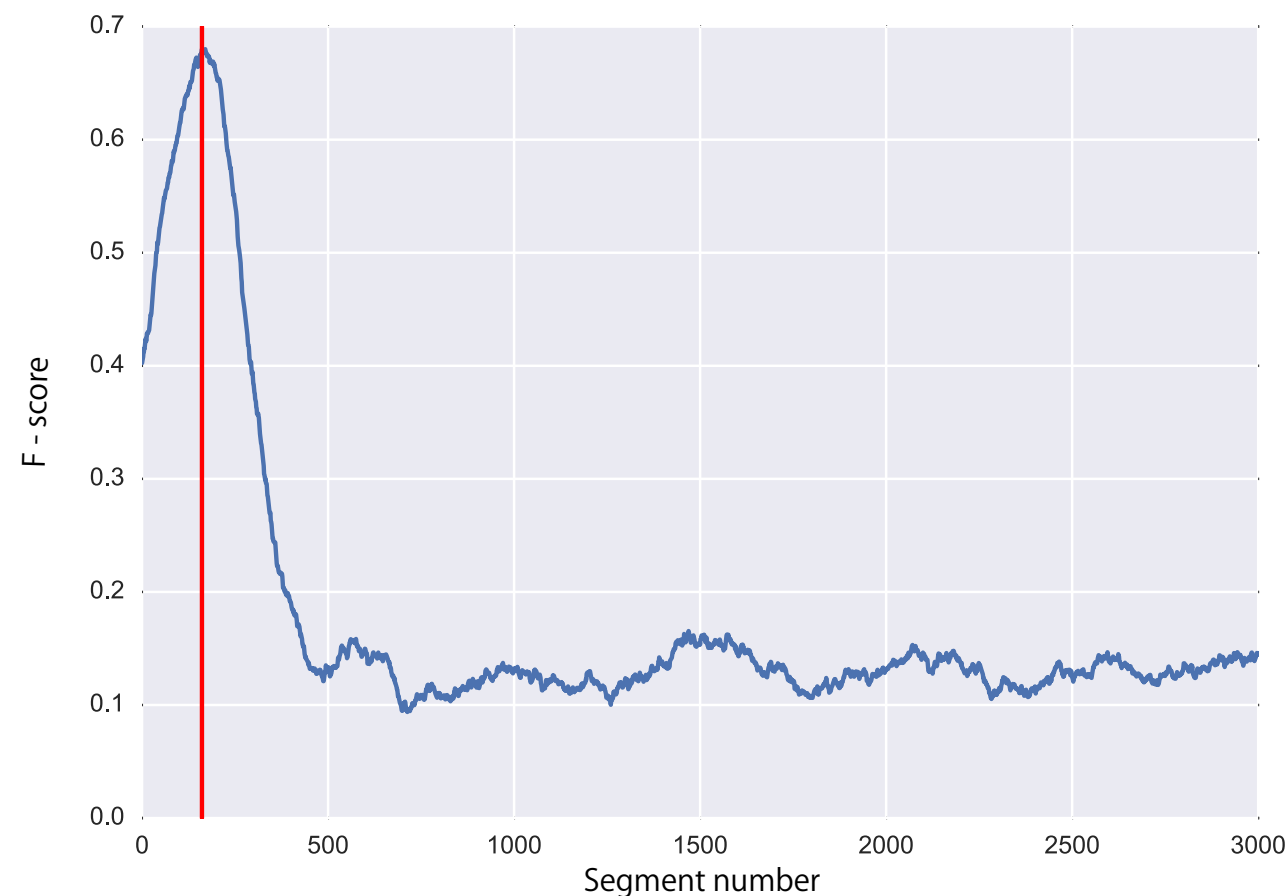
分類確率の平均で
最も大きいラベルを
分類結果とする

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

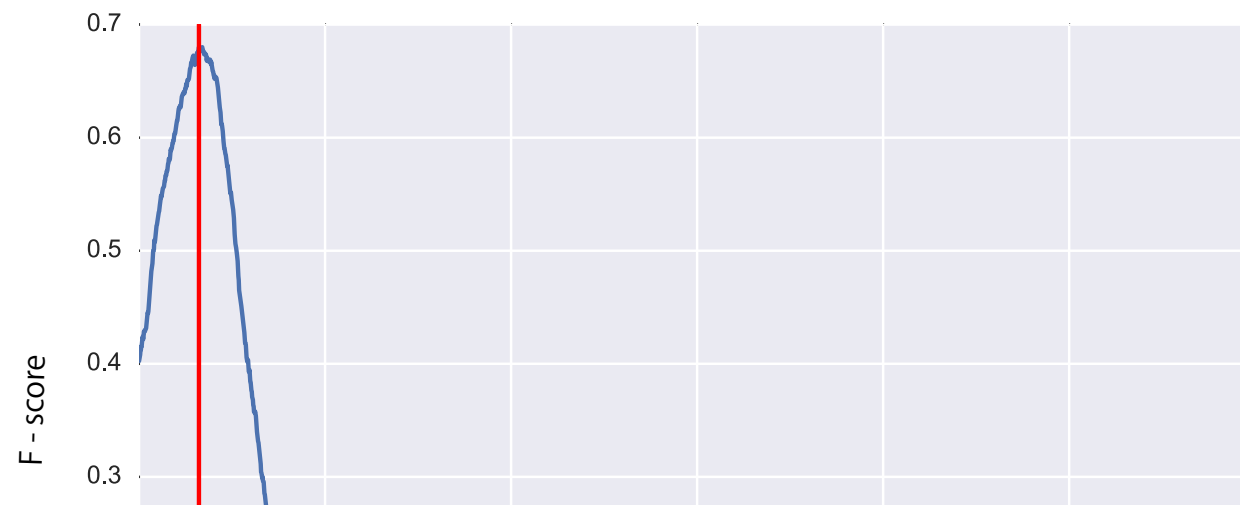


167番目のセグメントが
最もF値が高い
→1670点 (252秒)
からのセグメント

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)

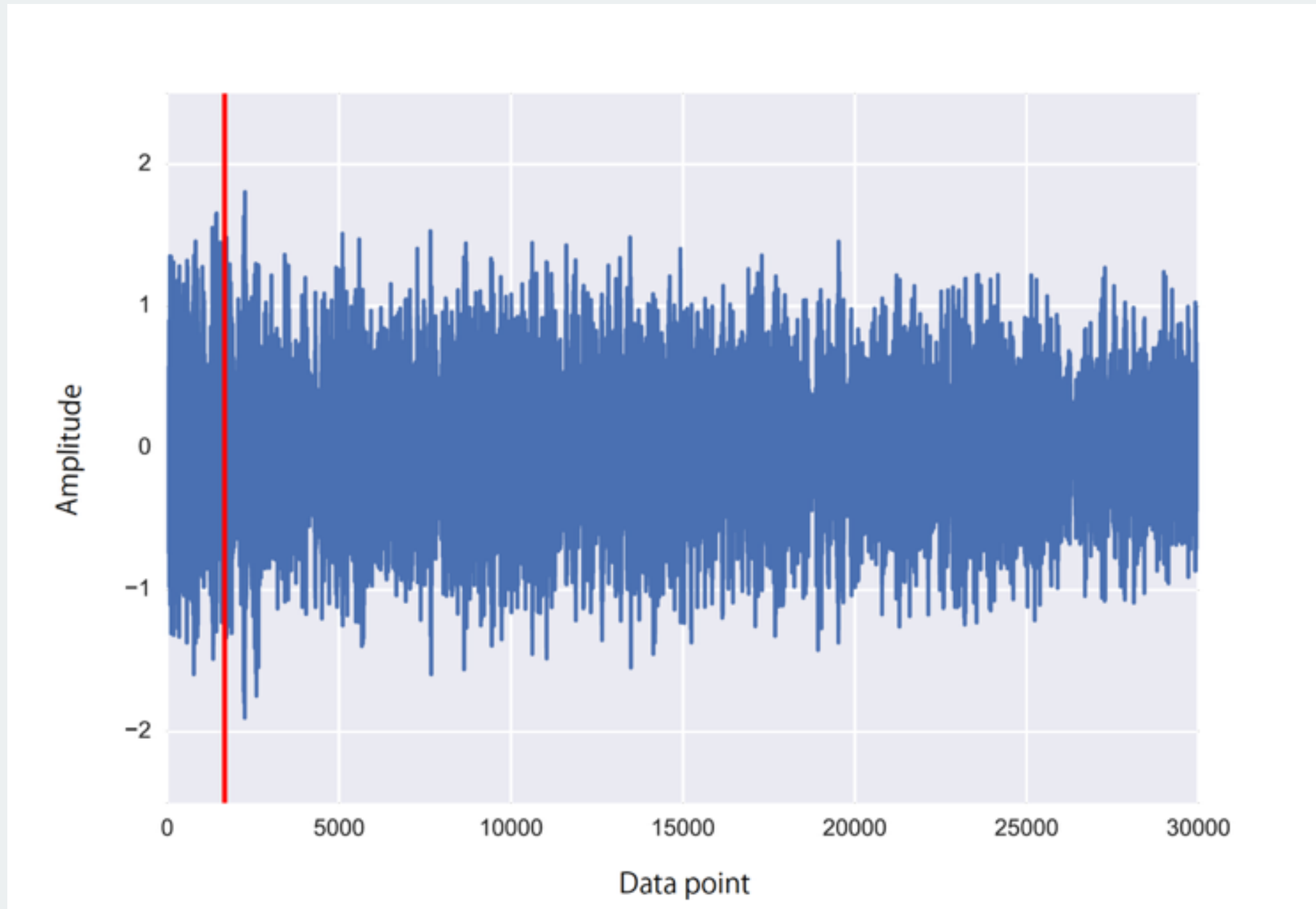
特徴量 : PSD (サンプリング点4,096)

Blowと同様の前処理を行う

分類確率の高い5件

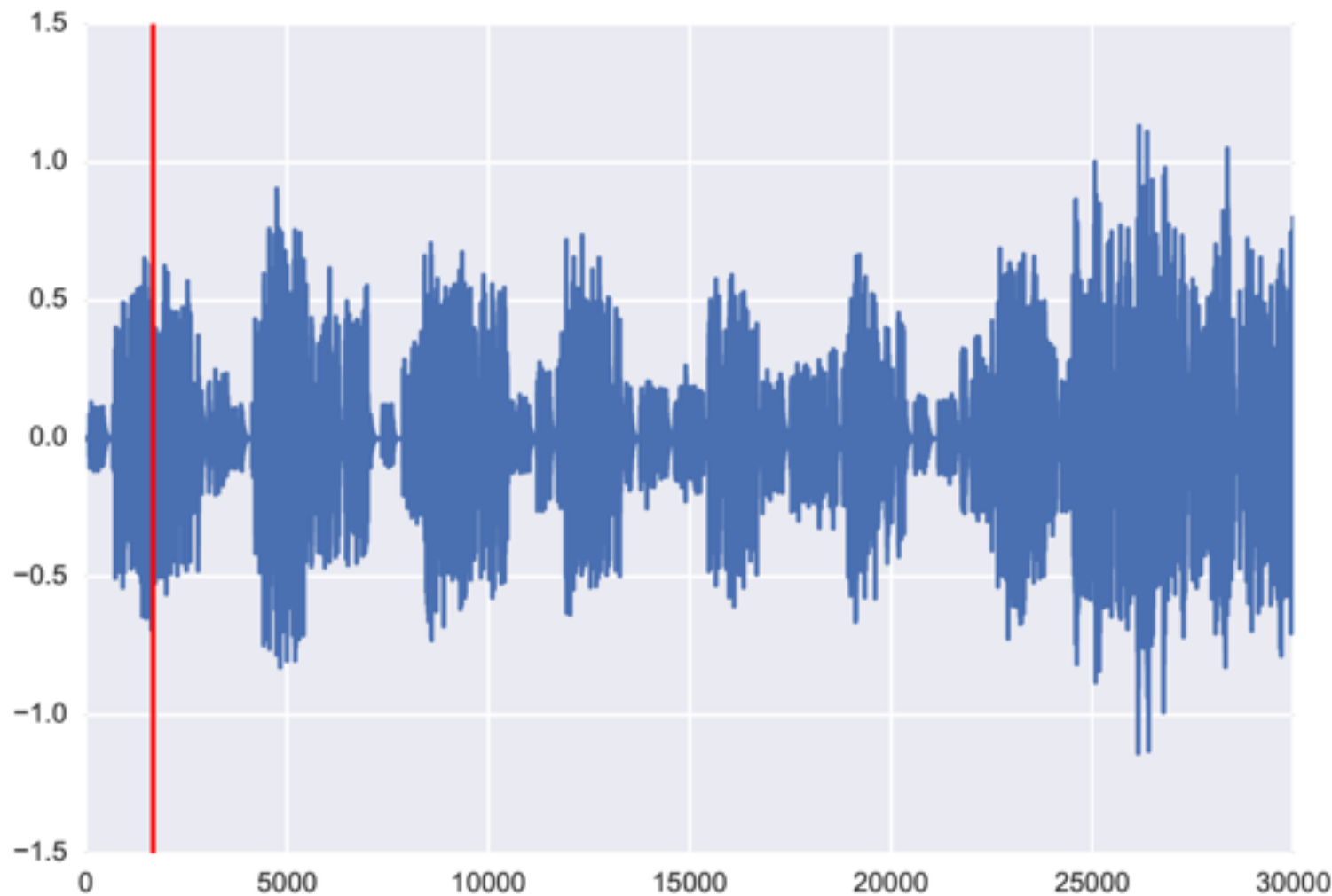
イベント	震源	分類確率
1974-06-28-13:49	A1	0.99993
1972-12-09-01:39	A10	0.99992
1972-05-10-07:43	A1	0.99985
1972-05-15-18:06	A20	0.99982
1977-04-27-15:41	A10	0.99944

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

