

# 動的タイムワーピング距離を用いたX線天文データの類似検索

林 史尊 \*1 天笠 俊之 \*2 \*3 北川 博之 \*2  
海老沢 研 \*3 中平 聡志 \*4

\*1 筑波大学 情報学群 情報科学類

\*2 筑波大学 システム情報系 情報工学域

\*3 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所  
宇宙科学情報解析研究系

\*4 理化学研究所 基幹研究所 宇宙観測実験  
連携研究グループ MAXIチーム

# X線アウトバースト現象

- 天体が自身のエネルギーをX線として短期間かつ大量に放出する現象

天体名：GX 339-4  
観測期間：1650日間  
(2006/9/22～2011/3/29)  
観測装置：MAXI

X線強度が短期間で大きく上昇している

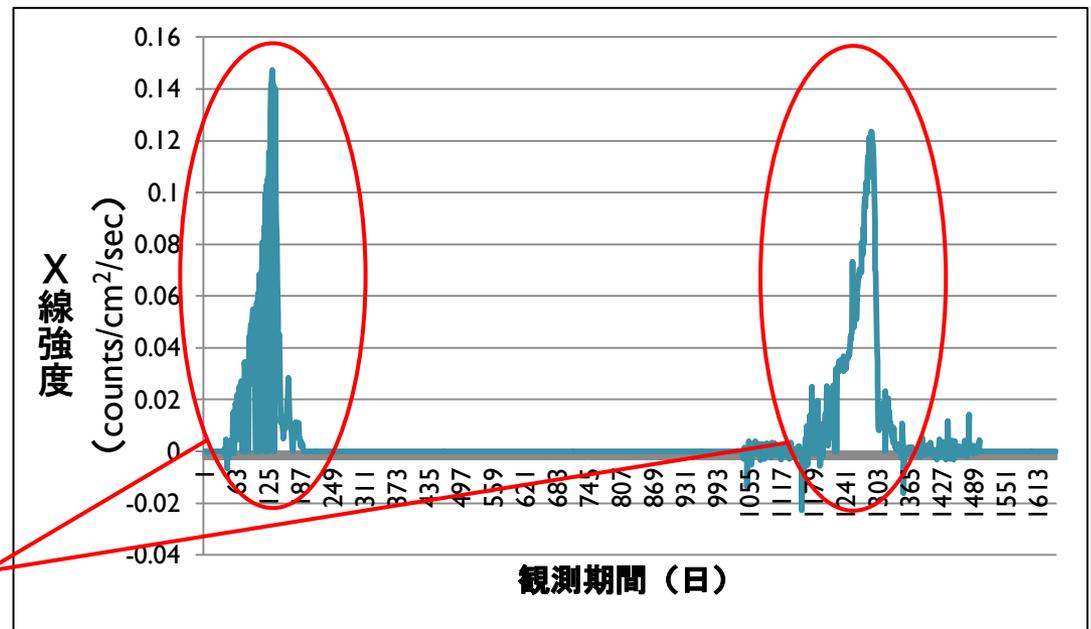


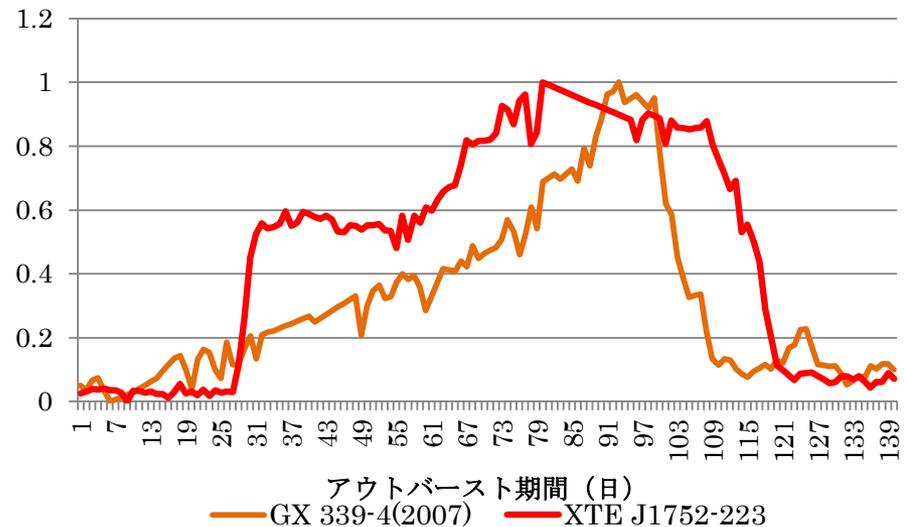
図1.2：X線監視装置から提供される観測データの例

# 類似するアウトバーストパターンの存在

- X線アウトバースト現象の詳しい仕組みは未解明
- 異なるアウトバースト間でまれに類似した形状のものがみついている
  - 物理過程の類似性が存在する可能性
  - 現象の解明に繋がると期待されている
  - 様々なX線アウトバースト現象から類似パターンを検出したい

図1.3：異なる天体の類似するアウトバーストパターンの例

立ち上がり・立ち下りの傾きに部分的な類似が見られる



# 研究の目的

- アウトバーストパターンを対象とした類似検索手法を提案し、それらによって類似パターンを発見できることを示す
- アプローチ
  - 観測データからアウトバーストパターンを抽出
  - 動的タイムワーピング法（DTW法）をベースにした類似検索
    - アウトバーストパターンの特徴や類似検索の要求を考慮し、6種類の検索手法を提案
      - 基本手法
        - DTW法
        - Derivative DTW法（DDTW法）
      - 滑り窓法
      - 二分法

表I.1：6種類の検索手法

(全体)	滑り窓法 (部分)	二分法 (部分)
DTW法	DTW法	DTW法
DDTW法	DDTW法	DDTW法

基本手法を利用した部分的類似の検索

# アウトバーストパターンの抽出と準備

- 実際の観測データからアウトバーストパターンを抽出
  1. 欠損値の補間（線形補間）
  2. アウトバースト部分の検出
  3. スムージング（線形加重移動平均）
  4. 正規化（値を0～1の間に収める）

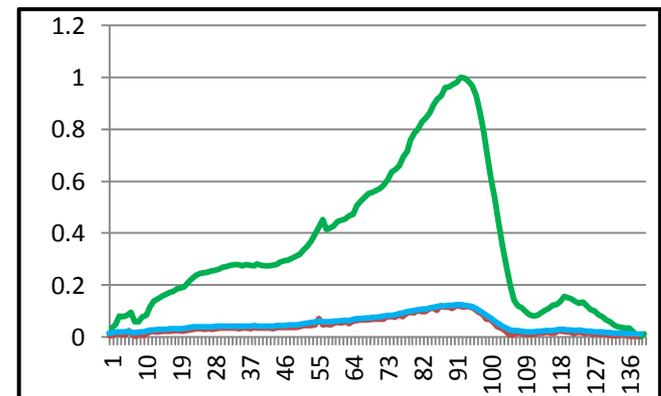
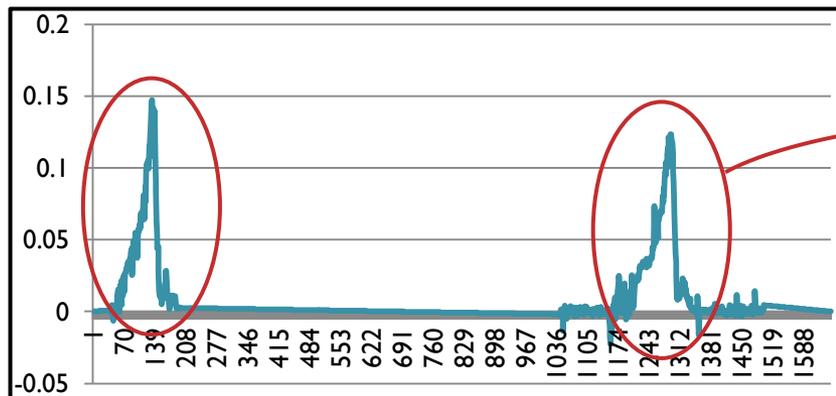


図1.4：アウトバーストパターンの抽出と準備

## DTW法 (Dynamic Time Warping)

- 二つの時系列データの最適なマッチングを動的計画法に基づいて求め、類似度を計算する手法 (H. Sakoe, S. Chiba. 1978)
  - 異なる長さの時系列データにも適用可能
  - 点の対応付けごとに距離を求め、全ての距離を累積することで類似度が求められる
    - この累積距離をDTW距離と呼ぶ

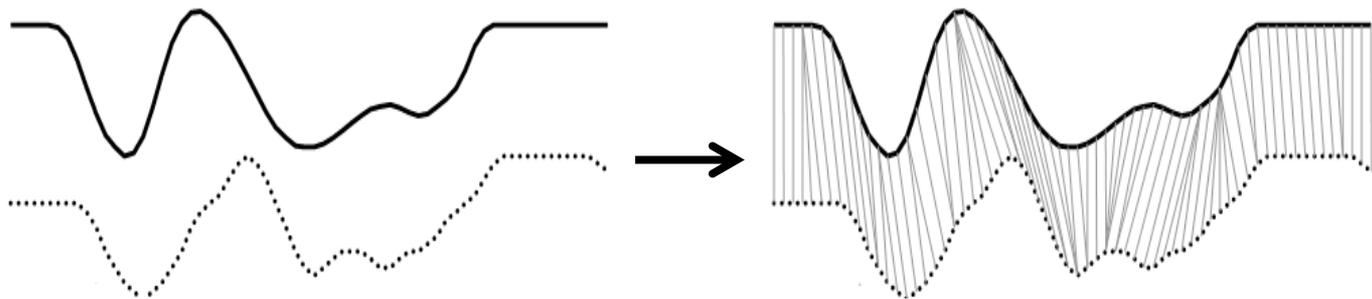


図3.1 : DTW法を用いた二つの時系列データの点の対応付けの例

## DDTW法 (Derivative DTW)

- 変化の様子に着目した類似検索
- DTW法の改良手法の一つ (E. J. Keogh, Michael J. 2001)
  - ある時系列データに対し直接DTW法を適用するのではなく、その時系列データから導出されるデータ値の上昇・下降の度合を示した時系列データに対してDTW法を適用

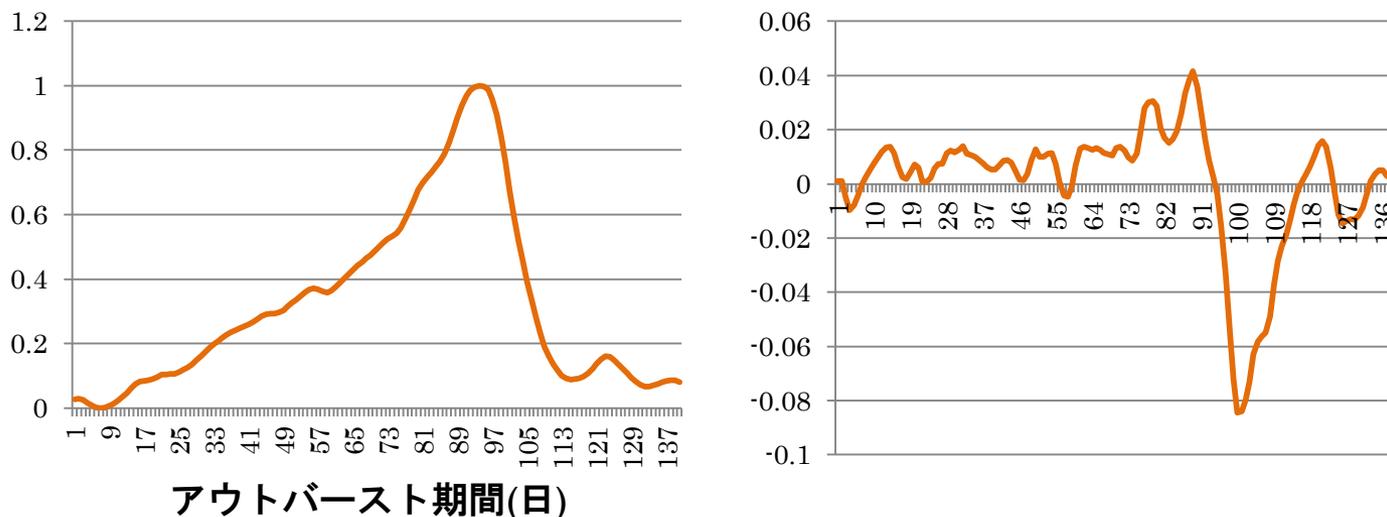


図3.2 : DDTW用変換データの例  
左が変換前、右が変換後のデータ

## 滑り窓法 (滑り窓を用いた部分系列の類似度計算)

- 部分的類似を持つパターンの発見
  - パターンの一部に限定してDTW法, DDTW法を適用
- 滑り窓 (Sliding Window) を用い以下を繰り返す
  - 滑り窓に切り取られた部分区間内でDTW距離を計算
  - 滑り窓をずらす
- 窓幅とずらし幅はデータ長に比例して伸縮
  - 二つのデータ長が異なる場合でも, ずらす回数を固定にする

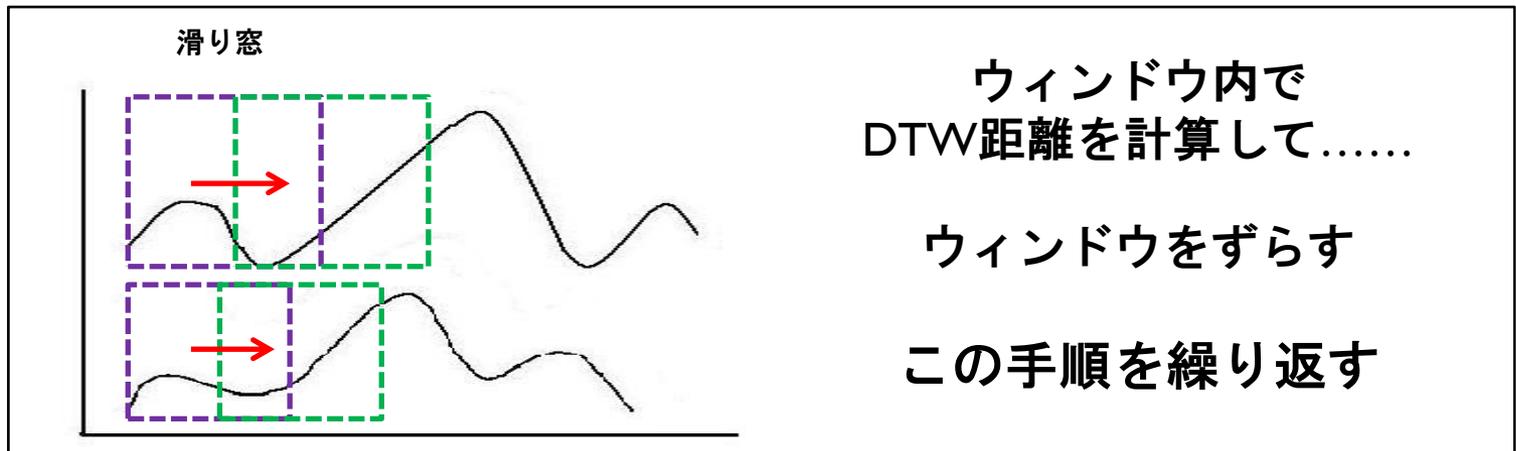


図3.3 : 滑り窓を用いたDTW距離の計算

## 二分法 (パターンを頂点で二分した類似度計算)

- 立ち上がり, 立ち下がりの様子に着目した類似検索
  - アウトバーストの頂点 (最大値) でデータを二分割し, 前部, 後部のそれぞれでDTW距離を計算

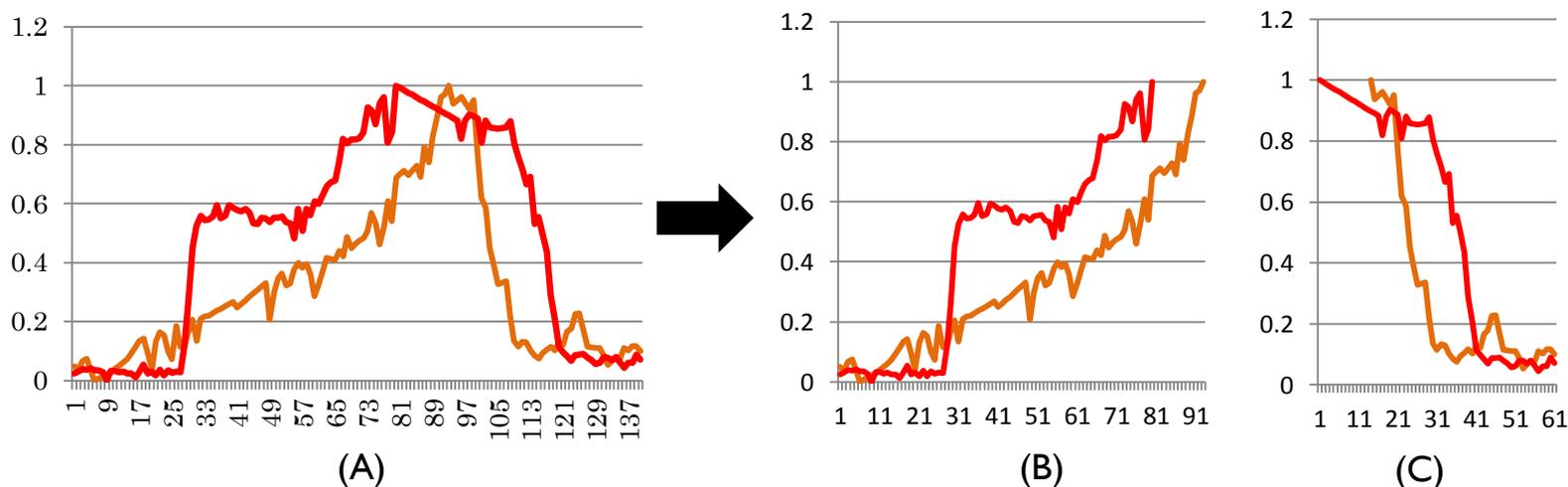


図3.4：二分法の例

(A) 元のパターン (B) 立ち上がり部分のパターン  
(C) 立ち下がり部分のパターンを左右反転したもの

# データセット

- NASA の管理する衛星 Swift に設置されたX線監視装置 BAT が観測する天体の内，一定以上のX線強度を持つ155個の天体の観測データを使用
  - 1個の天体の観測データから複数のアウトバーストが検出された場合，発生期間の長い二つのみを抽出
    - 計算時間が膨大になってしまうことを防ぐため
  - 抽出されたアウトバーストパターンは合計153個

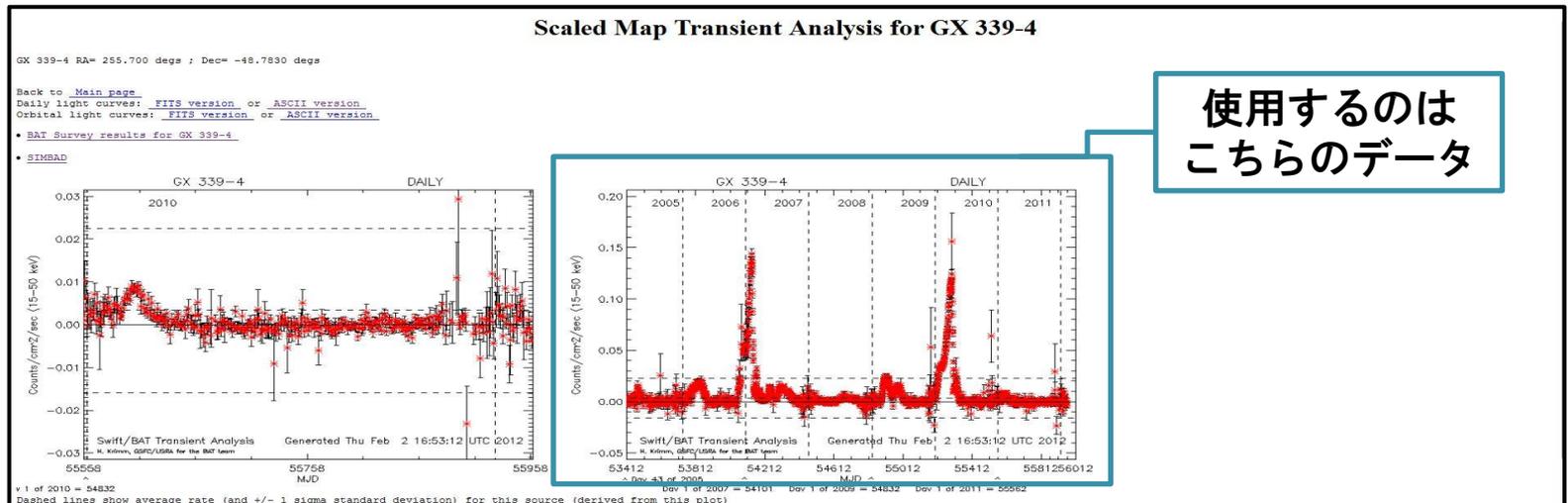


図4.1：BATから提供される観測データの例（Webページのスクリーンショット）

# 実験内容

- 目的
  - 提案した類似検索手法により，類似するアウトバーストパターンが検出できることを示す
- 三種類の実験
  - 実験 1：単純なDTW法，DDTW法の適用
  - 実験 2：滑り窓法を用いたDTW法，DDTW法の適用
  - 実験 3：二分法を用いたDTW法，DDTW法の適用
- 評価
  - 結果を類似度順に並べ，上位20件について実際の波形を目視で確認

# 実験1

- 目的
  - 類似度の高いアウトバーストパターンが検出できているか確認する
- 方法
  - 全てのデータに対し、相互の類似度をDTW法，DDTW法によりそれぞれ求める
  - 類似度の高いペア20件について、実際の波形を目視で確認し、類似しているかを判定

# 実験 1 の結果

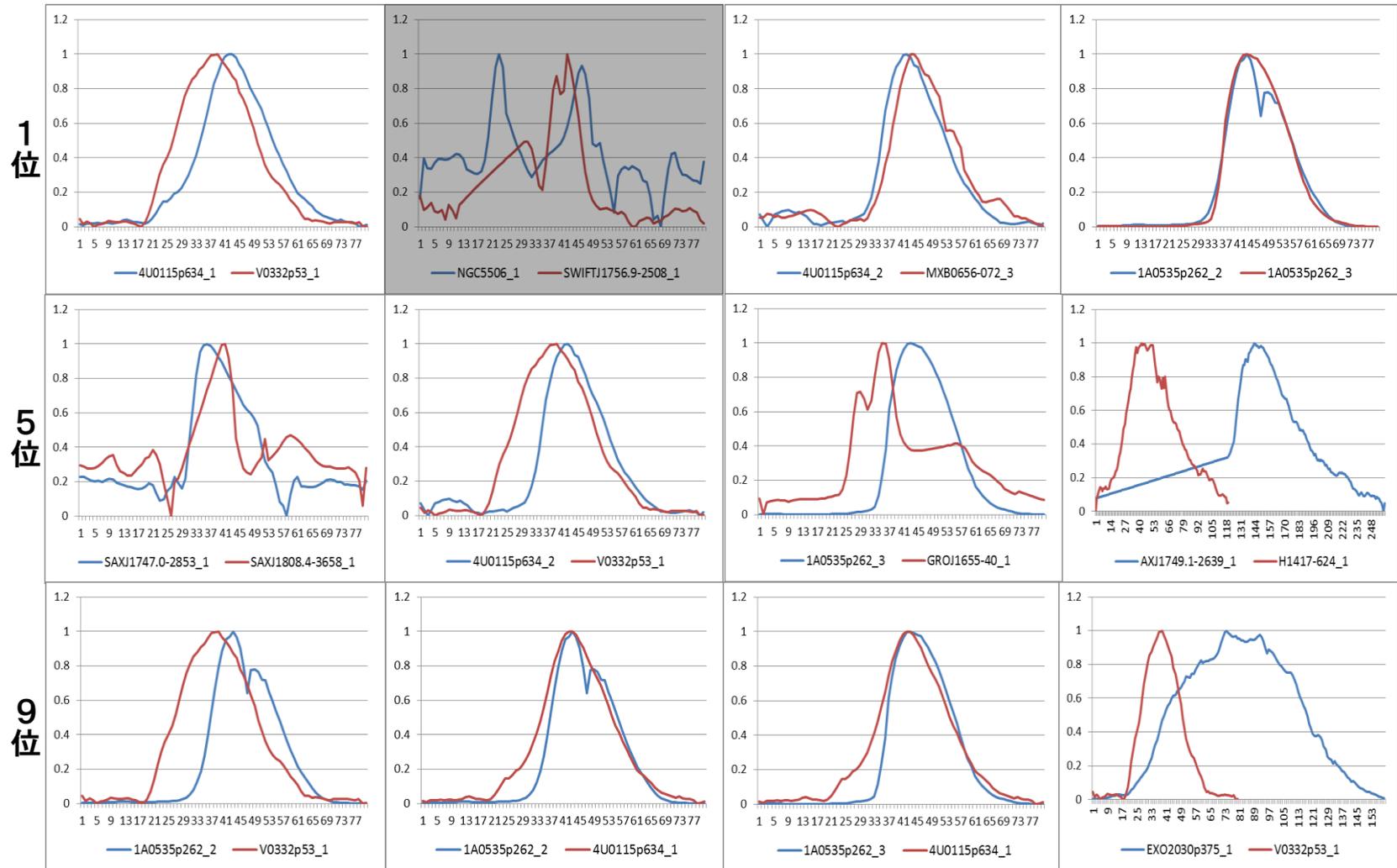


図4.2.1：実験 1 の結果 (DTW法)

# 実験 1 の結果

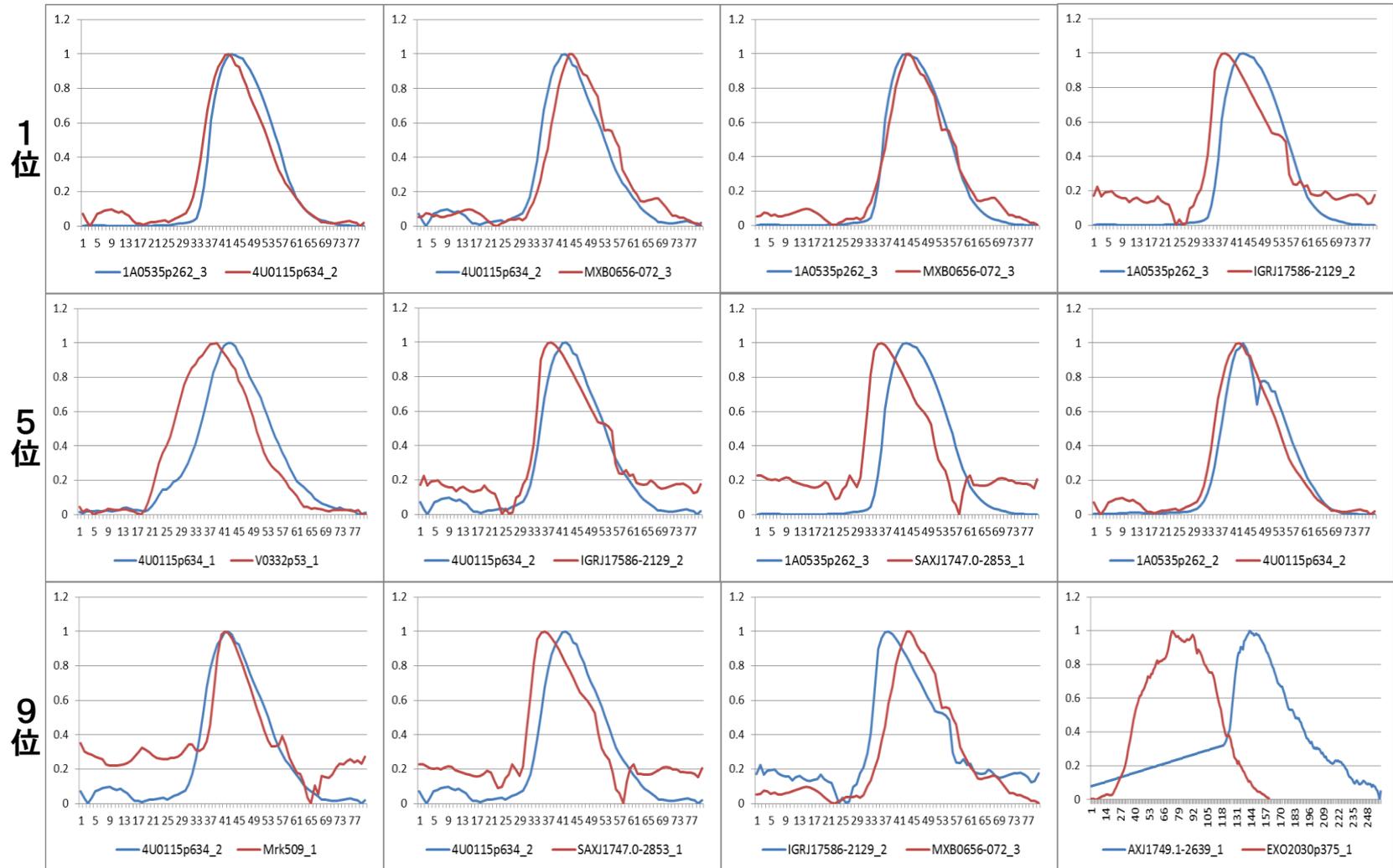


図4.2.2：実験 1 の結果 (DDTW法)

## 実験2

- 目的

- 滑り窓法を用いて部分的類似を含むパターンが検出できているか確認する

- 方法

- 全てのデータに対し、相互の類似度を滑り窓法（DTW法，DDTW法を用いる）により求める
- 指定したしきい値以下のDTW距離を持つ区間を部分類似区間とし，部分類似区間を三つ以上持つペアを抽出
- 類似部分区間のDTW距離の平均値を求め，平均値が小さいペア20件について，実際の波形を目視で確認し，部分的類似が発見できているかを判定

# 実験2の結果

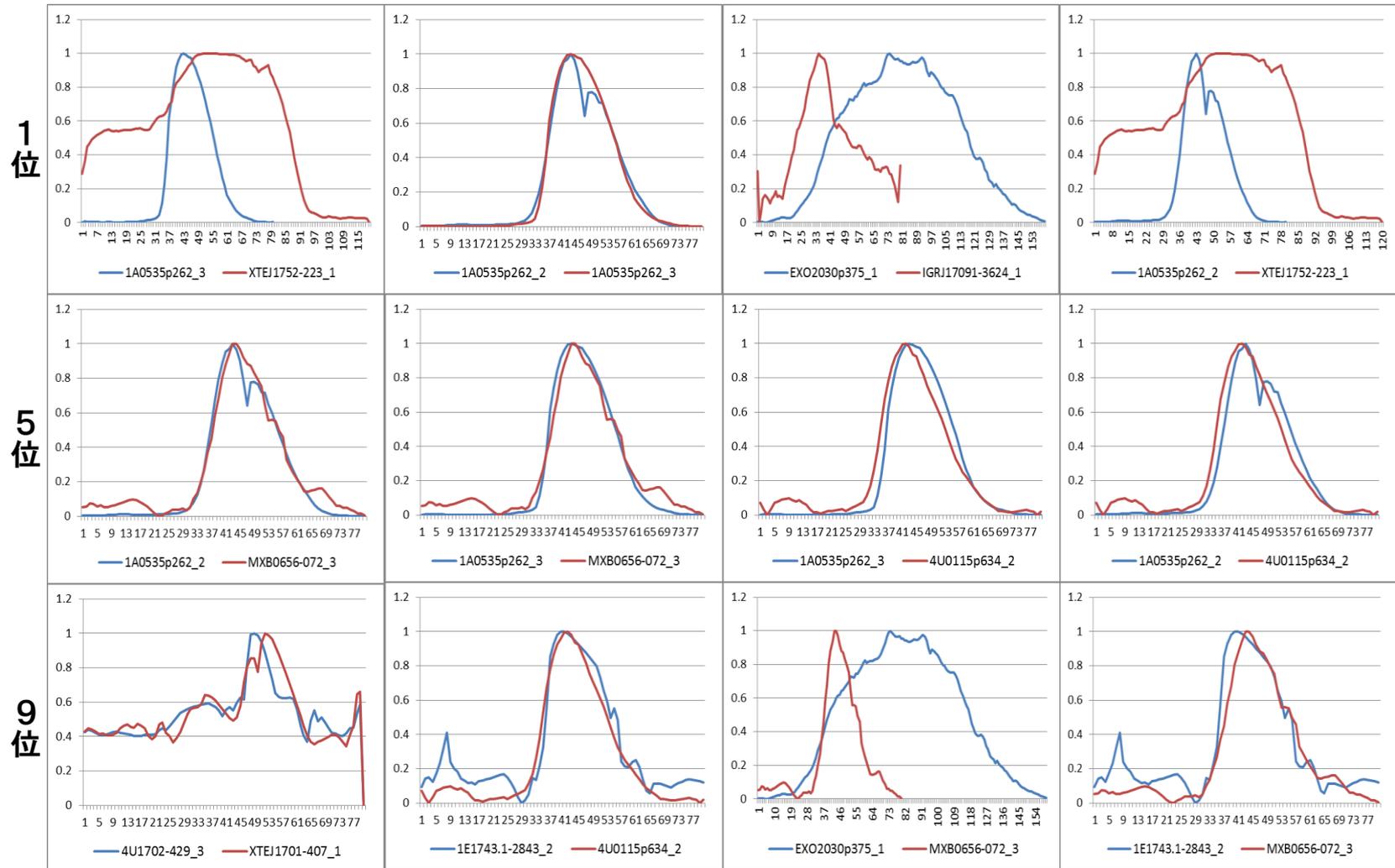


図4.3.1：実験2の結果（DTW法）

# 実験 2 の結果

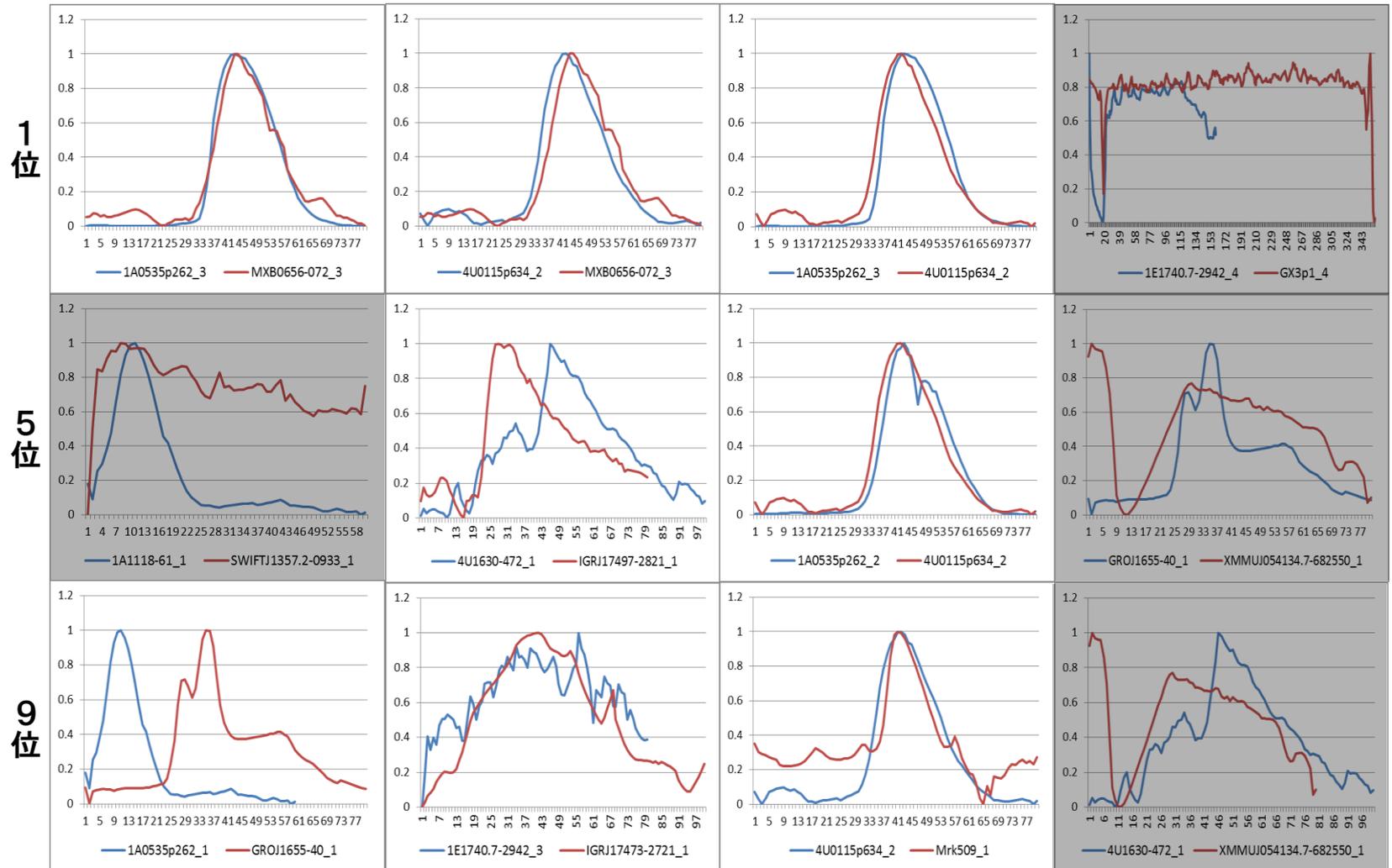


図4.3.2：実験 2 の結果 (DDTW法)

## 実験3

- 目的
  - 二分法を用いて、立ち上がり(下がり)部分が類似するアウトバーストパターンが検出できているか確認する
- 方法
  - 全てのデータに対し、相互の類似度を二分法（DTW法，DDTW法を用いる）により求める
  - 立ち上がり部分，立ち下がり部分のそれぞれで，類似度の高いペア20件について実際の波形を目視で確認し，類似しているかを判定

# 実験3の結果

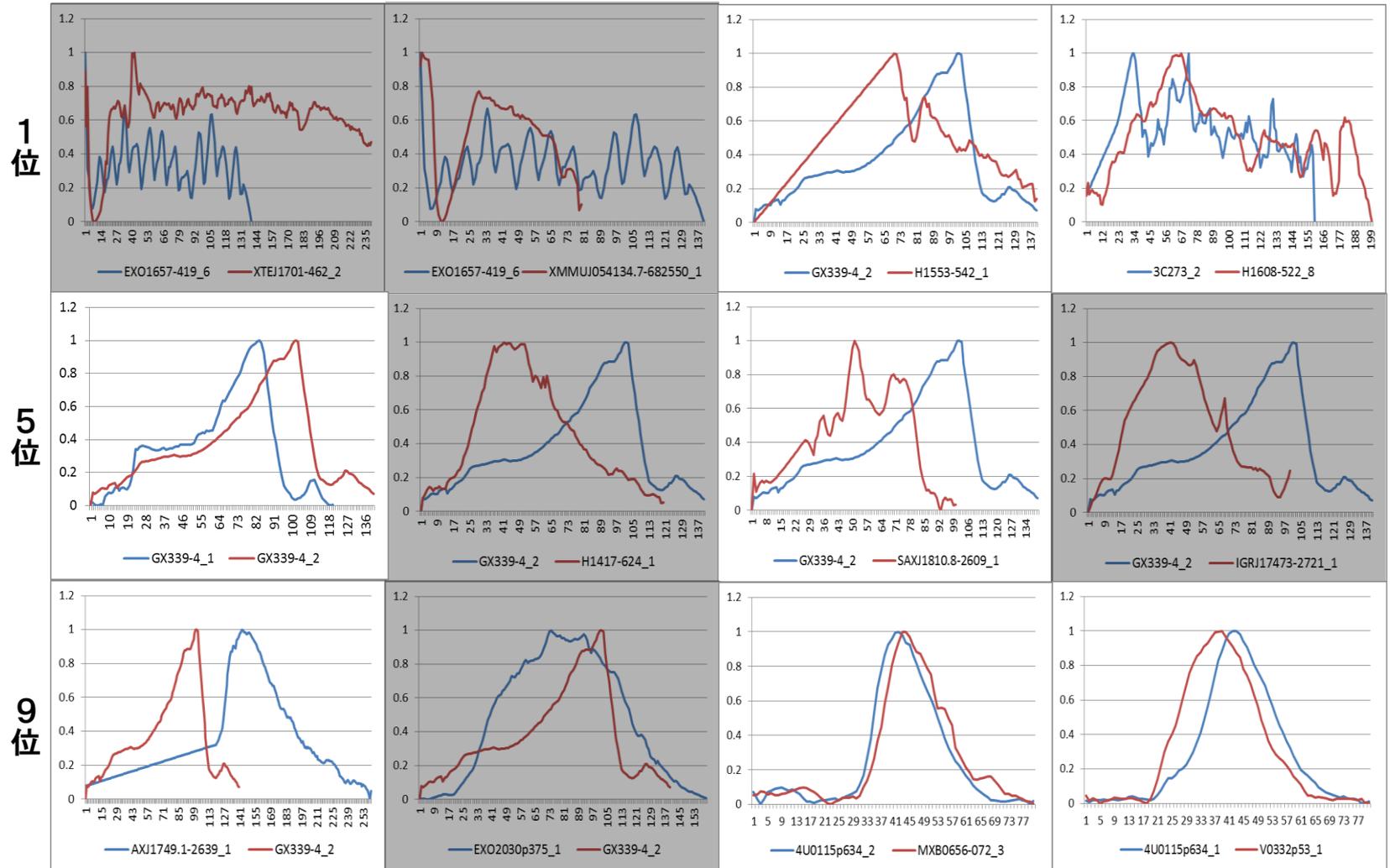


図4.4.1：実験3の結果（DTW法，立ち上がり部分）

# 実験3の結果

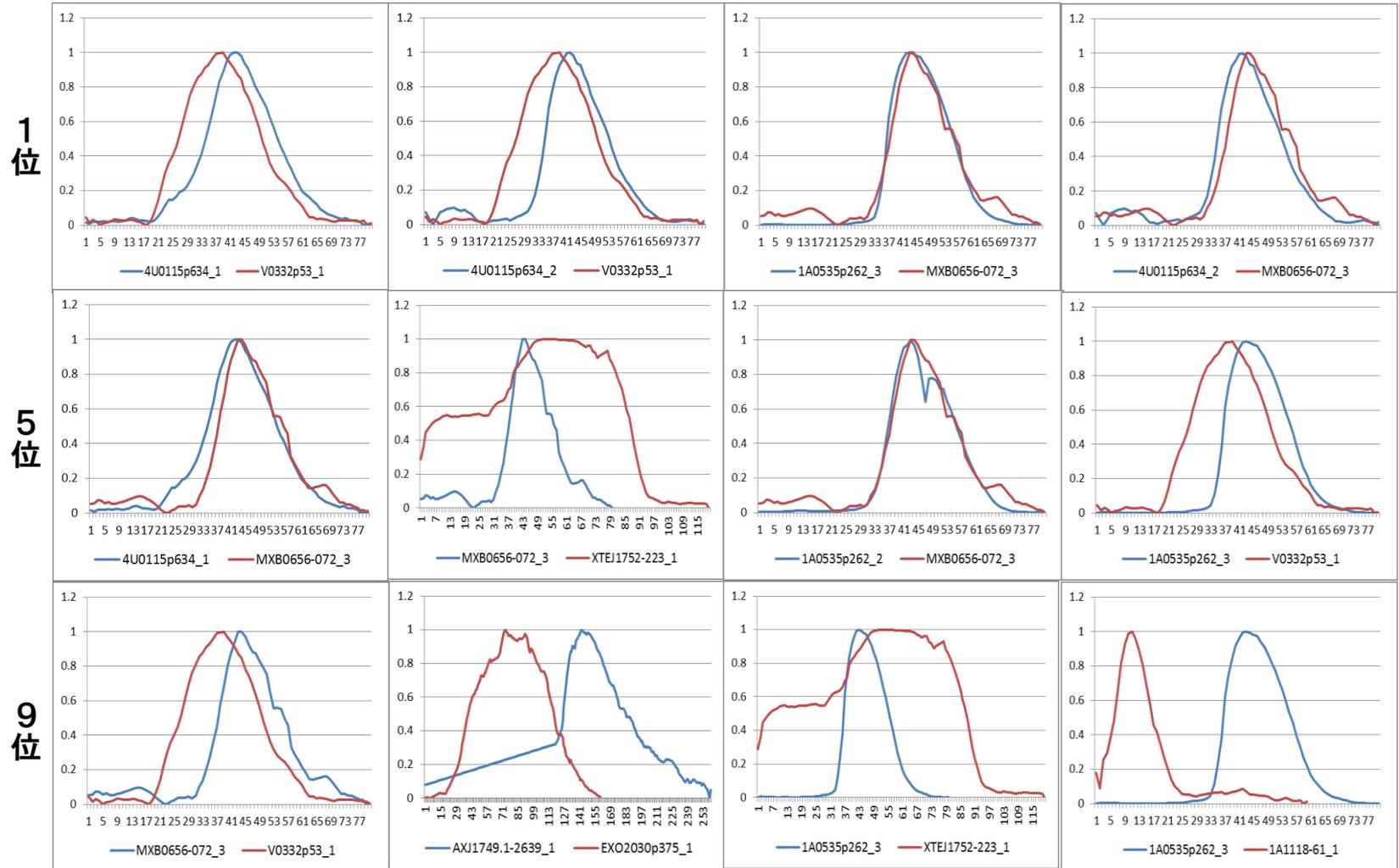


図4.4.1：実験3の結果（DTW法，立ち下がり部分）

# 実験3の結果

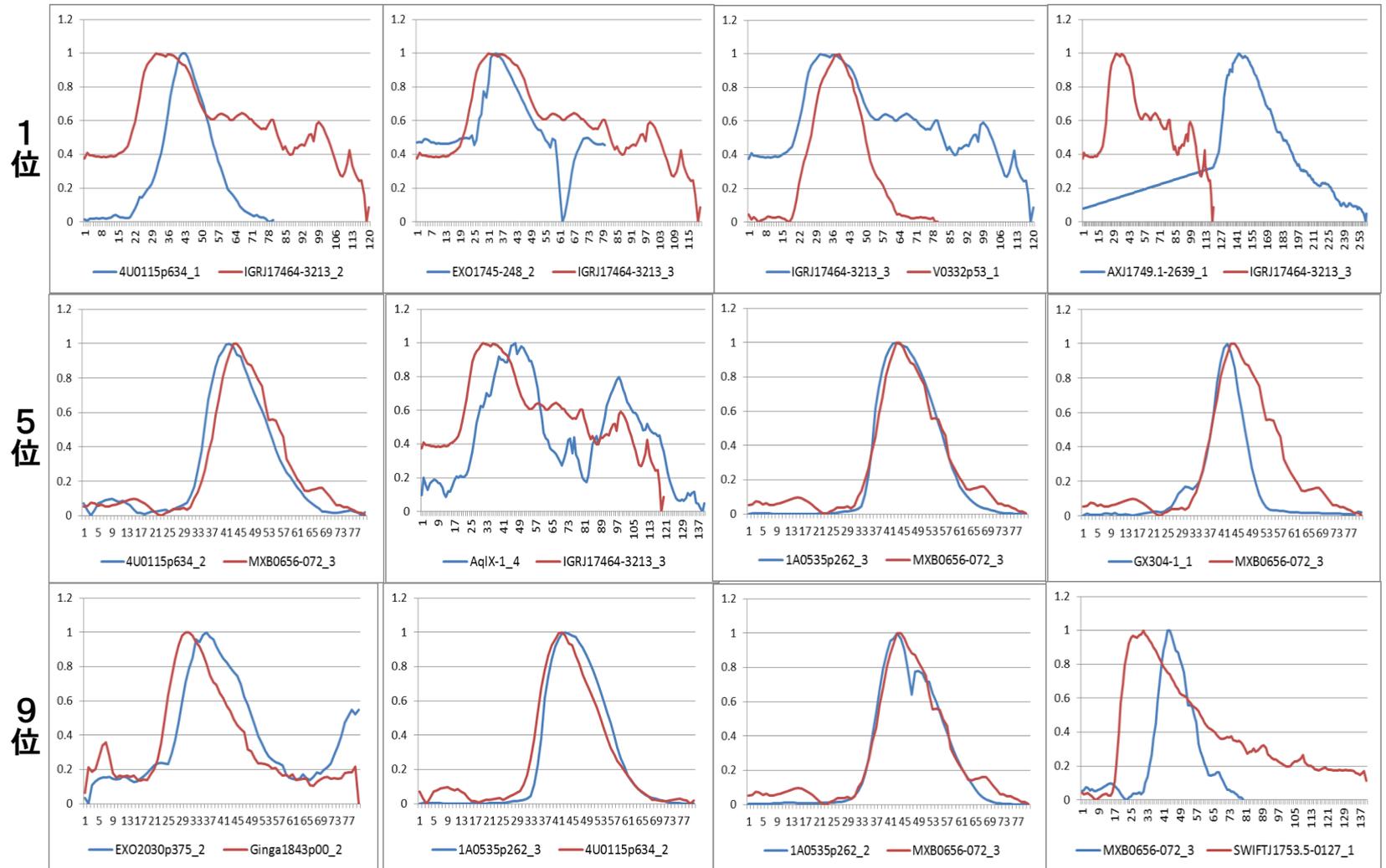


図4.4.2：実験3の結果（DDTW法，立ち上がり部分）

# 実験3の結果

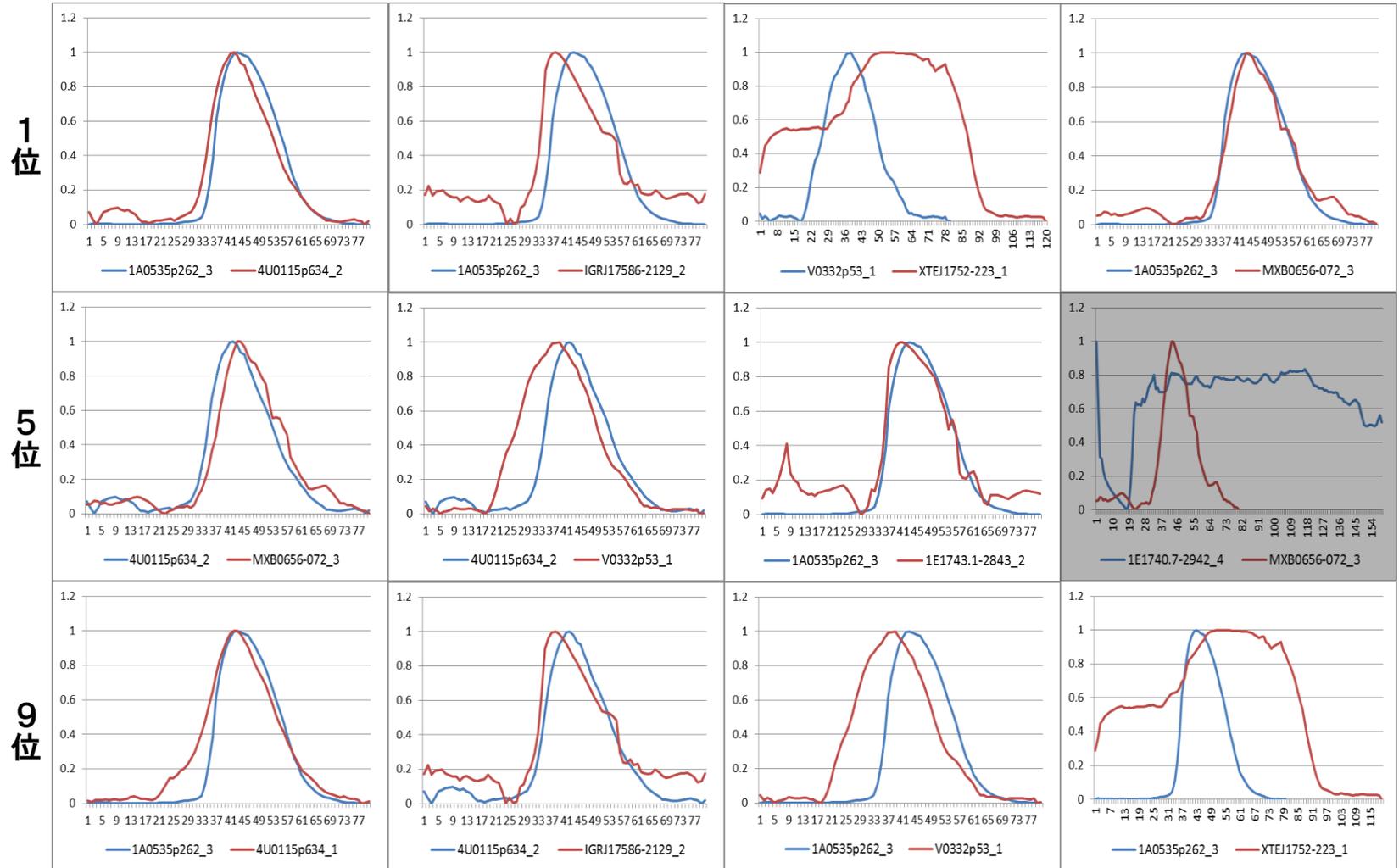


図4.4.2：実験3の結果（DDTW法，立ち下がり部分）

# 全体の結果

表4.1：各実験における上位20件中の類似判定件数

実験の種類		類似判定件数 (20件中)
単純 (DTW法)		18
単純 (DDTW法)		20
滑り窓法 (DTW法)		18
滑り窓法 (DDTW法)		13
二分法 (DTW法)	立ち上がり部分	13
	立ち下がり部分	20
二分法 (DDTW法)	立ち上がり部分	20
	立ち下がり部分	18

## まとめ

- **本研究では，X線アウトバーストの類似パターンを検出する手法を提案し，それらを使って実際に類似パターンを発見できるか検証した**
  - 実験1で，DTW法とDDTW法を用い，全体的に類似したパターンを発見できることを示した
  - 実験2で，滑り窓法を用い，部分的類似を含むパターンを発見できることを示した
  - 実験3で，二分法を用い，立ち上がり，立ち下がり部分の類似を持つパターンを発見できることを示した

## 今後の課題

- アウトバーストパターンの抽出方法を改良
- 実験結果を専門家に送って意見を求め、要求に対する最も適切な手法を検討
- 二つのX線観測データを入力とし、アウトバーストパターンの類似検索を行うアプリケーションを作成
  - Webサービスとして提供