

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650068

研究課題名(和文)共起クラスタマイニング法の確立とその環境貢献

研究課題名(英文) Establishment of Co-occurring Cluster Mining and Its Environmental Contribution

研究代表者

福井 健一 (Ken-ichi, Fukui)

大阪大学・産業科学研究所・助教

研究者番号：80418772

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、事象間の相互作用推定を目的として、観測される事象系列データから、事象間で共起するクラスタペアを抽出する新規マイニングアルゴリズムを考案した。まず、人工データにより、提案法は2段階法と比較して、精度良く共起パターンを抽出できることを確認した。次に、本手法を燃料電池の損傷パターン分析に適用し、損傷に起因する弾性波事象の系列データから、構成部材間の力学的相互作用が抽出できることを確認した。最後に、提案法を地震の発生パターン分析に適用し、2011年東日本大震災後の震源リストデータから、アスペリティ間の相互作用を示唆する結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：In this research, as an objective is to infer interaction between events, we developed a novel mining algorithm that extracts pairs of clusters in which events co-occur, from a observed event sequence data. Firstly, by using simulated data, we validated that the proposed method can extract co-occurring clusters more accurately compared with a two-step method. Next, we applied the proposed method to damage analysis on a fuel cell, and confirmed that our method can extract valid mechanical interactions among members of the fuel cell from Acoustic Emission event sequence. Lastly, we also applied the method to analysis of Earthquake occurrences after the 2011 Tohoku Earthquake, and the results suggested interactions among asperities.

研究分野：データマイニング

キーワード：データマイニング クラスタリング 共起 環境貢献 燃料電池 地震 相互作用

1. 研究開始当初の背景

近年、各種センサや衛星画像などの長期に渡る観測データが蓄積されてきている。そこで、膨大な観測データから発見的方法であるデータマイニングにより内在する法則・パターンを抽出することは、自然現象のメカニズムを探るひとつの有力な手段である。そのような法則の中で、事象間の共起パターンは現象の基本的なダイナミクスを理解する上で重要である。

2. 研究の目的

本研究では、観測される自然現象のデータから、系に内在する相互作用を推定するための新たなパターン抽出法を創出する。実数値で計測される事象のクラスタリングと、クラスタ間の時間的な関係性を同時に考慮したパターン抽出アルゴリズムの構築を目指す。従来のクラスタリングによる記号化の後、相関ルール分析を行う2段階法に比べて、共起事象を精度良く抽出できるようになる。

そして、実問題として、燃料電池の損傷計測信号データからの損傷パターン分析、および震源地データからの地震間の共起分析に応用する。燃料電池応用においては、部材間の力学関係が推定できるようになることで、安定な燃料電池の開発や、安全な運転制御、セルの交換時期の予測に役立つ。一方、地震データでは、異なる地域間の連動性を探ることで、地震発生メカニズムの理解に貢献する。

3. 研究の方法

3.1 共起クラスタマイニングアルゴリズムの開発

まず、事象系列データから事象間の共起性を抽出するアルゴリズムの開発を行った。データ空間上のクラスタリングと、時間軸上を考慮して共起するクラスタのペアを抽出する必要がある。従来のクラスタリング法を調査すると共に、文書中のキーワード間の共起性を抽出するキーグラフを参考に開発した。

3.2 人工データを用いた性能評価

提案法の性能を、人工データを用いて定量的に評価した。具体的には、2次元のデータ空間上にガウス分布に従う2クラスのデータを生成し、互いのクラスのデータは時間軸上にある一定割合で共起するように配置した(図1)。

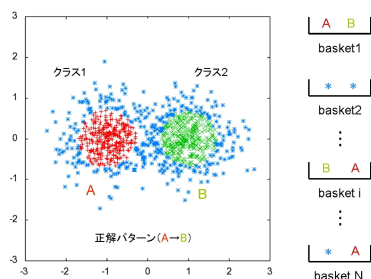


図1 評価用人工データ

共起する割合や数と提案法の抽出精度との関係や、提案法のパラメータの影響を検証した。

3.3 燃料電池の損傷データへの応用

実問題への応用として、提案法を燃料電池の損傷評価の問題へ適用する。燃料電池の損傷評価は、共同研究を行っている東北大学・佐藤一永准教授の研究室にて、損傷時に生じる弾性波をAcoustic Emission法により計測・収集した(図2)。

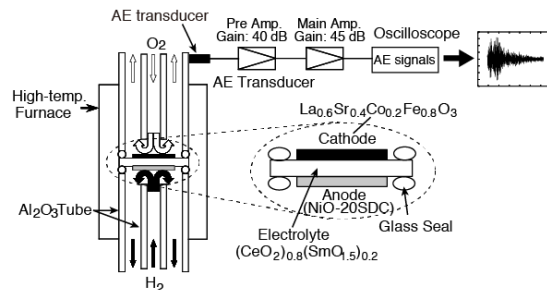


図2 燃料電池損傷評価試験装置

データの前処理として、AE事象の切り出しを行い、各AE事象に対して周波数解析を行い、カーネル自己組織化マップによってAE事象の分類マップを生成した。我々の過去の研究より、この分類マップから主要な損傷タイプが判別可能であることを確認している。

上述の分類マップ上での各AE事象の出現系列に対して、提案共起クラスタマイニングを適用した。異なる部材間の機械的相互作用を推定し、力学的な妥当性の検証や新たな仮説の発見を目指した。

3.4 地震データへの応用

ふたつめの実問題への応用として、震源リストデータに提案法を適用し、地震の発生パターン分析を行った。2011年東日本大震災後の地震に、地震間の相互作用が強く現れていると考え、2011~2012年の日本周辺の震源リストデータを用いた。M4.0以上の地震イベントを対象とし、この期間の5954回の地震を対象とした(図3)。



図3 2011~2012年の日本周辺の震源(M4.0以上)

異なる地域間の相互作用を抽出するため、地震イベントは震源の(緯度,経度,時刻)で表現して提案法により、共起パターンを抽出した。分析結果について、地震学の文献を調査し、アスペリティやすべり量と共起パターンとの関係を調べた。

#### 4. 研究成果

##### 4.1 共起クラスタマイニングアルゴリズム

以下に、提案法の概要を示す。

ステップ 1: データ空間上で階層型クラスタリングにより併合過程を取得し、取り得る全てのクラスタペア(ただし、包含関係のクラスタを除く)を候補共起パターンとして列挙する。

ステップ 2: 各候補パターンに対して、時間軸上のクラスタ間の共起度合いと、データ空間上のクラスタ内の密集度合いの両方を加味した評価関数(図3)により評価値を得る。

ステップ 3: 評価値上位の候補パターンに対して、パターン間の類似性をチェックして、ペアの両クラスタともに包含関係にあるパターンは、評価値の高いパターンのみ採用する。最後に、頻出性を確認し、最小支持度以上の候補パターンの集合を、共起パターンとして出力する。

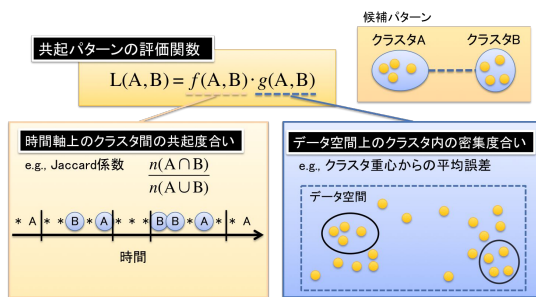


図4 共起パターン評価関数

##### 4.2 人工データを用いた性能評価

図1の人工データに対して、データ空間上でクラスタリングを行った後に、Jaccard係数に基づいて共起パターンを求める2段階法と、提案法の正解クラスタ抽出精度の比較を行った。図1のデータに対して、提案法により抽出されたパターンを図5に示す。正解のクラスタA,Bをうまく抽出できていることがわかる。

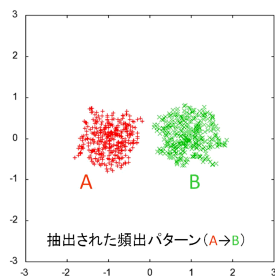


図5 人工データに対する提案法による共起パターン抽出結果

表1 人工データに対する共起パターン抽出性能評価。(2段階法)/(提案法)に対する評価値を示している。

支持度	Precision	Recall	F 値
0.8	0.80/0.912	1.0/0.932	0.889/0.922
0.7	0.70/0.868	1.0/0.932	0.824/0.899
0.6	0.60/0.806	1.0/0.957	0.750/0.875

次に、人工データに埋め込む正解パターンのデータ点数の割合(支持度)を変化させて、抽出されたクラスタの正解クラスタに対するF値を評価した(表1)。2段階法ではノイズを含み正解クラスタを全て抽出するので、Recallは1.0となる反面、ノイズが多くなるに従ってPrecisionが低下する。一方、提案法は高いRecallを保ちつつ、ノイズの増加に対してPrecisionの低下を押しさえることができています。

##### 4.3 適用例 1: 燃料電池の損傷パターン分析

提案法を燃料電池の損傷試験データ(60時間分, 1429事象)に適用した結果を図6に示す。

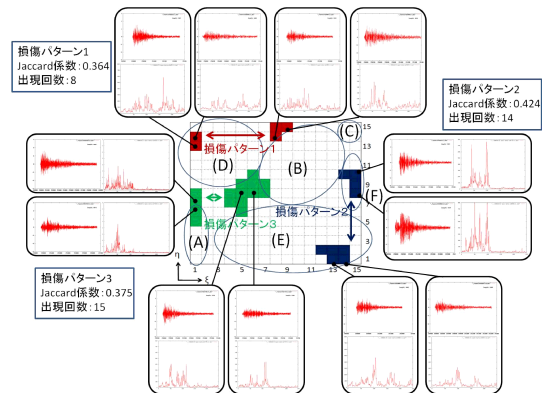


図6 提案法により抽出された燃料電池損傷パターンの代表例。中央はカーネルSOMによる損傷事象の分類マップを示している。

図中央は、先行研究に基づくカーネルSOMを用いた損傷事象の分類マップを示している。その上に、代表的な共起パターンを3つ例示している。損傷パターン1は、(B)初期欠陥の進展による損傷と(D)電解質の亀裂の共起パターンを示している。損傷パターン2は、(E)ガラスシール材の損傷と(F)電極材の亀裂を伴う剥離のパターンである。これらの損傷パターンは、機械的にも妥当な結果であった。そして、損傷パターン3は、従来研究では発見されなかった損傷タイプの共起を示している。単独の頻度は低いものの、共起性を考えることで初めて抽出された興味深い結果であった。この損傷タイプに関しては、今後、再現実験をするなど検証の必要がある。

4.4 適用例 2: 地震の発生パターン分析  
次に、提案法を東日本大震災後の日本周辺の震源リストデータに適用した結果を示す。いくつかの共起パターンは共起クラスタを共有しているため、これらを重ね合わせることで、影響度の高い地域を特定した(図7)。

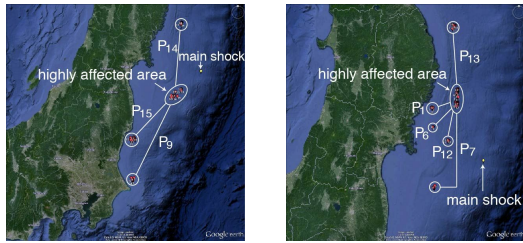


図7 提案法により推定された東日本大震災後に地震間の影響度の高い地域の例

これら影響度の高い地域は本震周辺の三陸沖に位置し、震災前後で特にすべり量が大きかった領域と一致していた。また、地震学では、海溝型地震において、普段固着しているアスペリティ間の相互作用が指摘されており、本手法により震源リストから帰納的にアスペリティ間の相互作用を見いだしている可能性が示唆された。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

1. 福井健一, 沼尾正行. “事象系列データからの共起性マイニング 燃料電池の損傷間および地震間の相互作用抽出”, *人工知能学会誌*, 3(2), pp. 238-246, 2015.
2. K. Fukui, D. Inaba, and M. Numao. “Discovering Seismic Interactions after the 2011 Tohoku Earthquake by Co-occurring Cluster Mining”, *Transactions of Japanese Society for Artificial Intelligence*, 29(6), pp. 493-502, 2014. (査読有り)
3. 佐藤一永, 福井健一, 高藤淳, 橋田俊之, 水崎純一郎. “完全固体電池開発のための人工知能技術の必要性”, *人工知能学会誌*, 28(4), pp.529-534, 2013.
4. 福井健一, 高藤淳, 佐藤一永, 沼尾正行, 溝口理一郎. “データマイニング・オントロジー工学による燃料電池の信頼性診断・知識管理基盤技術”, *人工知能学会誌*, 28(4), pp.535-542, 2013.
5. 稲場大樹, 福井健一, 佐藤一永, 水崎純一郎, 沼尾正行. “燃料電池における損傷パターン抽出のための共起クラスタマイニング”, *人工知能学会論文誌*, 27(3), pp.

121-132, 2012. (査読有り)

6. D. Inaba, K. Fukui, K. Sato, J. Mizusaki, and M. Numao. “Co-occurring Cluster Mining for Damage Patterns Analysis of a Fuel Cell”, *Lecture Notes in Artificial Intelligence (Proc. PAKDD2012)*, 7301, pp. 49-60, 2012. (査読有り)

[学会発表](計12件)

1. 岡田佳之, 稲場大樹, 福井健一, 沼尾正行. “共起クラスタマイニングによる東日本大震災の地震活動の相互作用の抽出”, *第28回人工知能学会全国大会*, 2014.
2. 福井健一, 稲場大樹, 沼尾正行. “共起クラスタマイニングによる地震発生パターン抽出”, *第27回人工知能学会全国大会*, 2013.
3. K. Fukui, D. Inaba, K. Sato, and M. Numao. “Data Mining for Revealing Damage Phenomena in a Fuel Cell”, *The 16th SANKEN International Symposium*, pp. 32-33, 2013. (招待講演)
4. 稲場大樹, 福井健一, 沼尾正行. “東日本大震災における地震発生パターンの共起分析”, *日本地球惑星科学連合2013年度連合大会*, 2013.
5. 稲場大樹, 福井健一, 沼尾正行. “共起クラスタマイニング—数値観測量の事象系列に対する頻出パターン抽出—”, *第75回情報処理学会全国大会*, 5M-2, 2013.
6. K. Fukui, K. Sato, T. Hashida, J. Mizusaki, and M. Numao. “Intelligent Analysis For Evaluating Physical Degradation Using Acoustic Emission”, *The 13th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XIII)*, 2013.
7. 稲場大樹, 福井健一, 沼尾正行. “共起クラスタマイニングを用いた東日本大震災における地震発生パターンの抽出”, *人工知能学会 第3回データ指向構成マイニングとシミュレーション研究会 (SIG-DOCMAS)*, 2012. (研究会優秀賞)
8. 佐藤一永, 福井健一, 沼尾正行, 桑田直明, 河村 純一, 橋田 俊之. “固体型電池の信頼性向上のための情報処理技術の活用”, *日本機械学会2012年度年次大会*, 2012. (講演優秀賞)
9. 稲場大樹, 福井健一, 佐藤一永, 水崎純一郎, 沼尾正行. “共起クラスタマイニン

グによる燃料電池の損傷パターン分析”，  
第26回人工知能学会全国大会，2012. (大会優秀賞)

10. D. Inaba, K. Fukui, K. Sato, J. Mizusaki, N. Kuwata, J. Kawamura, and M. Numao. “Damage Evaluation of Solid Cells by Intelligent Information Processing on Acoustic Emission Events”, *Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiME 2012)*, 2012.

11. K Fukui, “Revealing Damage Mechanism of a Fuel Cell: Data Mining for a Physical Phenomenon”, *Workshop on Computation: Theory and Practice (WCTP-2012)*, 2012. (招待講演)

12. 佐藤一永, 橋田俊之, 福井健一, 高藤淳, 沼尾正行, “固体エネルギー変換デバイス信頼性向上のための情報処理技術の必要性”, 第26回人工知能学会全国大会(OS招待講演), 2012.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者  
福井健一(大坂大学)

研究者番号：80418772

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究

佐藤一永(東北大学)

研究者番号：50422077

水崎純一郎(東北大学)

研究者番号：90092345

沼尾正行(大阪大学)

研究者番号：30198551