

# カオス理論を用いた時系列データ解析技術

🔊 データ解析, 異常検知, 傾向分析

\* 林 孝則 Takanori Hayashi

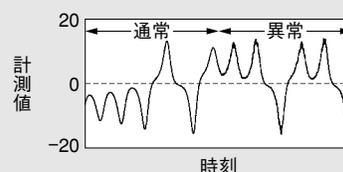
\* 蓬田倫之 Tomoyuki Yomogida

## 概要

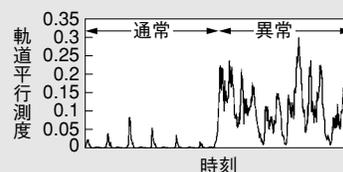
プラント設備などで計測する時系列データの波形を解析し、オンラインで通常とは異なる波形を検知する技術を開発した。この技術によって、過去データからの傾向の変化を数値的に捉えて異常検知につなげることができる。

この技術を検証するため、電力需要を題材に傾向分析を行い、平日と土日祝日などの傾向の違いを数値化して検知できることを示した。同時にその内容を把握するためには個別のデータに対する理論付けが必要であることも再確認した。

今後は実際の設備で計測している多様な時系列データを分析して異常検知・故障検知技術として実用できるように目指していく。



(a) 計測波形データ



(b) 通常波形との異なり具合(軌道平行測度)の推移

## 異常検知のイメージ

### 1. ま え が き

社会インフラを支える電気設備など、各種設備の多くは経済性を維持しつつ高い信頼性が求められる。また産業分野におけるプラント設備や機器も信頼性の持続を確保するために適切な維持管理が求められる。特に設備の異常や故障をいち早く検知し適切な処置を施すことは、メンテナンスコストの低減だけでなく、利用者への安全・安心を担保するために必要不可欠である。

このような設備では、以前から様々な情報を計測し、時系列データとして監視制御システムなどに記録している。その一部はもちろん異常検知にも利用しているが、定型的な異常の検知のみであった。しかし昨今のコンピューティング能力の向上で、大量の時系列データに対する解析ができるようになってきた。このため新たな切り口での

データ解析で、時系列データに隠された傾向を発見し、潜在的な異常の検知や異常の予測につなげることが期待される。

これまで当社は、機器の異常検知や異常予測を効率的に行うためにカオス理論に基づく基礎技術を開発してきた<sup>(1)(2)</sup>。今回、従来の軌道平行測度法(TPMM: Trajectory Parallel Measure Method)をオンライン検知向けに改良することで、更に実用性の高い逐次軌道平行測度法<sup>(3)</sup>(STPMM: Successive Trajectory Parallel Measure Method)を開発した。

また、STPMMを電力需要の傾向分析に適用し、その検知性能を確認した<sup>(4)</sup>。

本稿では、STPMMとSTPMMを適用した電力需要の傾向分析について紹介する。

\*システム技術研究所

## 2. 異常検知手法

当社は、以前にカオス理論に基づく異常検知手法として、TPMMを開発した。今回、TPMMをオンライン検知向けに改良したSTPMMを開発したので併せて紹介する。

### 2.1 TPMM

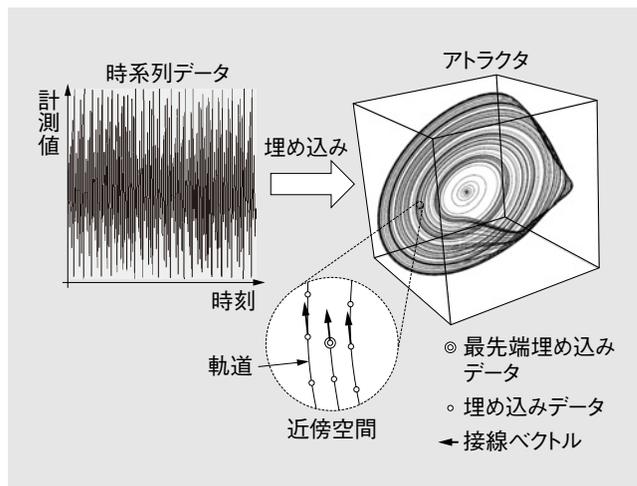
カオス理論に基づく異常検知手法にTPMMがある。この手法は時系列データの高次元空間への埋め込みで構築された軌跡（アトラクタ）が、決定論的な規則性を持つのか、あるいは確率論的な性質を持つのかを評価する。評価には、アトラクタの局所空間を通過する軌道の接線ベクトルのばらつき具合を使う。

評価値として算出する軌道平行測度（TPM：Trajectory Parallel Measure）は、0から1の値である。接線ベクトルの向きがそろっているほど0に近く、決定論的性質が強いことを示す。逆に接線ベクトルがばらつくほど大きな値となり、0.5に近いほど確率論的性質が強いことを示す。なお0.5を大きく超え1に近い値は、特異データを示す。TPMMによる異常検知では正常データが決定論的規則性を持ち、異常データでは確率論的性質が強くなると仮定する。これによってTPM値での異常検知を可能とする。

### 2.2 STPMM

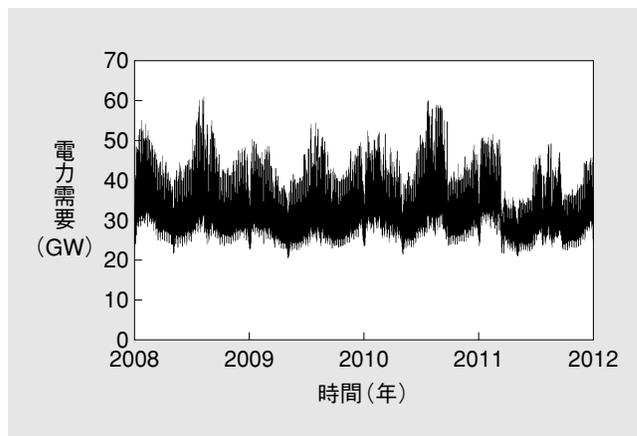
TPMMは、時系列データを埋め込んだアトラクタの中から複数の評価点を確率的に選択し、それぞれの評価点でのTPMの平均値で対象とする時系列データを評価する。そのため逐次的にデータを収集して都度の結果を求められるようなオンライン系の異常検知に対して必ずしも十分な手法ではない。第1図にSTPMMのイメージを示す。本手法では、従来のTPMMの評価点を最先端の埋め込み点に変えることで、逐次変化するデータの分析ができる。この方式では、時系列データのアトラクタから最先端の点を評価点として選択し、その近傍空間における接線ベクトルを計算する。

この方法をSTPMMと呼ぶ。評価点とその近傍空間内の複数点の接線ベクトルを時刻の変化とともに逐次更新しながらTPMを計算する方式だからである。



第1図 STPMMのイメージ

時系列データを逐次的に埋め込んでアトラクタを形成し、最先端データの近傍空間での接線ベクトルのばらつきを見る。



第2図 東京電力(株)管内の電力需要データ (2008～2011年)

東京電力(株)のWebサイトで公開されている東京電力(株)管内全体の1時間ごとの電力需要データから作成したグラフを示す。

## 3. 電力需要の傾向分析

TPMはアトラクタ軌道がそろっているほど0に近く、ばらつくほど大きくなる。このことから時系列データの周期性が高ければ0に近い値で推移し、異常などの要因で周期が乱れると大きな値になることが推測される。

一般に電力需要は人の活動に伴う一日の周期性があるが、平日・土日・祝日によって傾向が変わる。このような傾向の違いがTPMにどのように表れるか分析した。

### 3.1 分析対象データ

第2図に東京電力(株)管内の電力需要データ(2008～2011年)を示す。分析は、東京電力(株)がWebサイトで公開している東京電力(株)管内の1時間

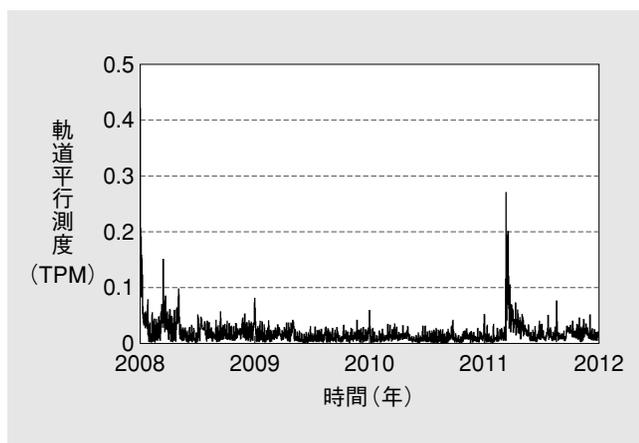
ごとの電力需要データ4年分で行った。季節ごとに最大電力など違いがあることは分かるが、このグラフから日々の傾向を読み取ることは困難である。

### 3.2 計算条件

STPMMには、アトラクタ作成時の埋め込み次元・遅れ時間・TPM計算時に参照する近傍数という三つのパラメータが存在する。今回は事前評価の結果と日周期性を見る目的のために、埋め込み次元24、遅れ時間1、近傍数10とした。また分析にあたって、1日の変動を最も反映する23時のTPMで1日の傾向を代表させた。

### 3.3 分析

第3図に4年間のTPMの推移グラフを示す。期間の初めは大きな値であるが、これは近傍を個数で選択しているため最初は遠いものも選ばれてはばらつきやすいためである。その後はおおむね0.1以下の値だが、およそ1週間周期の変動がみられる。

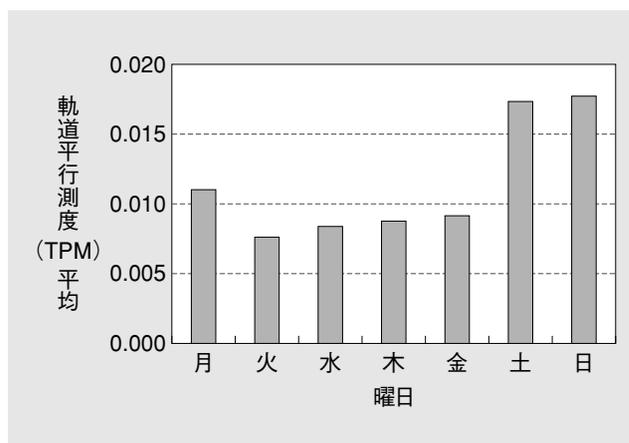


第3図 TPMの推移 4年間 (2008~2011年)  
第2図のデータからSTPMMでTPMを計算して各日23時の値を抜粋したグラフを示す。

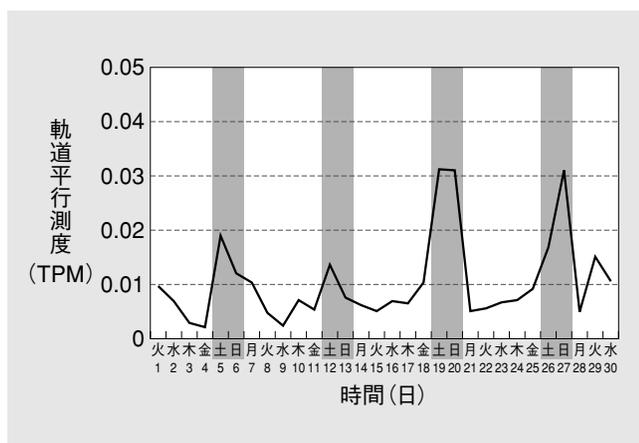
また、年ごとに小さくなる傾向もあり、類似パターンが増えるためにより近い近傍点を得ると推定される。なお2011年の大きな値は、東日本大震災によるものである。

以降は2010年のデータを中心に分析する。第4図に2010年6月の1か月を抜粋したTMPの推移を示す。土日にTPMが大きくなる傾向が分かる。また、第5図に曜日ごとのTMP平均値を示す。2010年の1年間では、土日が高いことが確認できる。これは変動傾向が類似する平日との傾向の違いがTPMに反映されるためと考えられる。平日の中で月曜日が高めの値になるが、これは明け方まで休日の傾向が残るためと推測される。

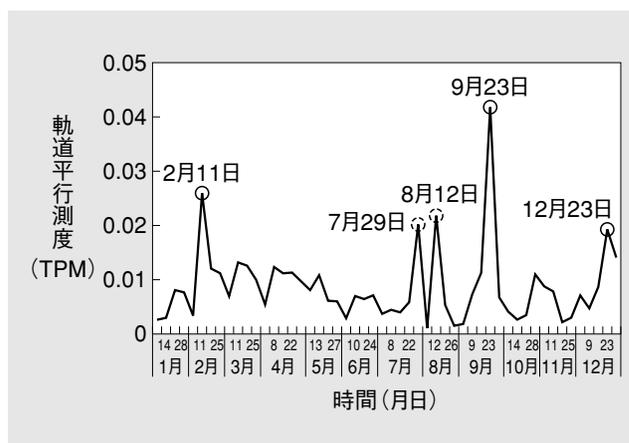
次に祝日の影響を見るため、平日である木曜日のTPMだけを抜粋して作成したグラフを第6図に示す。祝日の2月11日、9月23日、12月23日でTPMが高く、祝日も平日と比べて高い値を示すことが



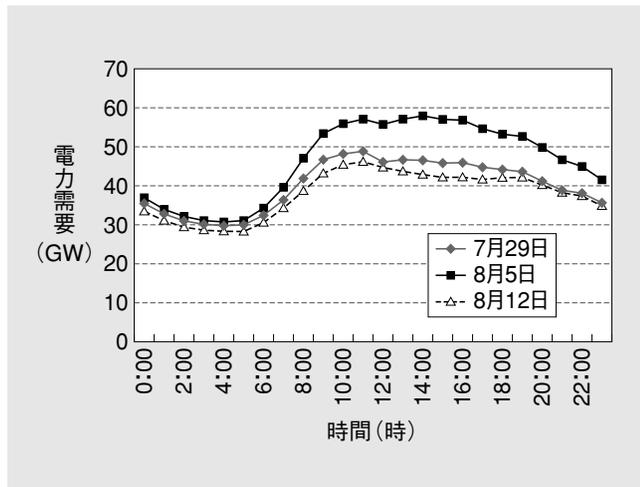
第5図 曜日ごとのTPM平均値  
2010年のTPMを曜日ごとに平均化したグラフを示す。土日の値が高いことが分かる。また月曜日も平日の中では高い。



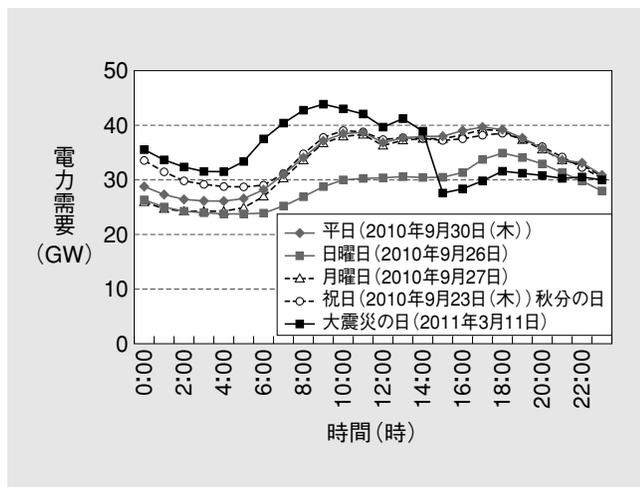
第4図 TPMの推移 1か月間 (2010年6月)  
第3図のグラフから2010年6月分を抜粋し、土日に影付けしている。土日のTPMが高くなっていることが分かる。



第6図 平日のTPMの推移 (木曜日)  
2010年の木曜日だけ抽出したTPMの推移グラフである。祝日は値が高いことが分かる。一方で祝日以外にも値の高い日がある。



**第7図 平日でTPMが高い日の電力需要**  
 第6図で平日にもかかわらずTPMが高い7月29日，8月12日と，両日の間でTPMが低い8月5日との一日の電力需要グラフを示す。昼間の需要差がTPMに影響を与えていると考えられる。



**第8図 平日・日曜日・月曜日・祝日などの電力需要**  
 2010年9月の平日・日曜日・月曜日・祝日と2011年大震災の日の電力需要グラフを示す。傾向の違いが見られる。

確認できる。一方，祝日ではない7月29日や8月12日もTPMが高いが，理由は一概に明らかではない。**第7図**に平日でTPMが高い日の電力需要を示す。昼間の電力需要が，TPMの小さい8月5日と比べて大きく下がっていることが分かる。さらに需要低下の理由を説明するには，天候などの別情報が必要である。

**第8図**に平日・日曜日・月曜日など幾日かの電力需要を示す。日曜日は平日に比べ全般に需要が小さい。月曜日は明け方まで日曜日と近く，それ以降は平日に近くなる。祝日である秋分の日は明け方までの電力需要が平日より大きい，その後は平日と近い傾向である。東日本大震災の日は，

他と季節が異なるため高めに推移するが，15時前の震災によって15時以降は大きく落ち込んでいる。

#### 4. む す び

本稿では，開発したSTPMMを紹介し，それを使った電力需要分析の事例を示した。需要傾向の違いがTPMに反映され，頻度の少ない傾向が異常として検出できることが分かる。一方でTPMが高くなる理由は様々であり，異常検知に適用するには実データに対応した理論付けが不可欠である。

今後は，実際の設備で計測している多様な時系列データを分析して実適用できる異常検知・故障検知技術として完成を目指していく。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは，それぞれの会社の商標又は登録商標である。

#### 《参考文献》

- (1) 五百旗頭・菅家・藤本・鈴木：「カオス的時系列の短期予測のための局所ファジィ再構成法」，日本ファジィ学会誌，Vol.7，No.1，1995，pp.186-194
- (2) 藤本・五百旗頭・谷村：「観測された時系列データの決定論的性質を測る軌道平行測度法」，日本ファジィ学会誌，Vol.9，No.4，1997，pp.580-588
- (3) 蓬田・林：「時系列データから異常検知する逐次軌道平行測度法」，平成24年電気学会全国大会講演予稿集，第1分冊，2012，pp.146-147
- (4) 蓬田・林：「逐次軌道平行測度法による電力需要分析」，平成25年電気学会全国大会講演予稿集，第1分冊，2013，pp.121-122

#### 《執筆者紹介》



林 孝則 Takatori Hayashi  
 情報通信関連の開発に従事



蓬田倫之 Tomoyuki Yomogida  
 情報通信関連の開発に従事