

鈴木 秀幸

東京大学生産技術研究所・准教授

再生可能エネルギーの大量導入を考慮した電力システムの
複雑ネットワーク動力学モデル構築とその最適化理論の創成

§1. 研究実施体制

(1) 研究代表者グループ

① 研究代表者: 鈴木 秀幸 (東京大学生産技術研究所、准教授)

② 研究項目

- ・結合振動子系と複雑ネットワーク理論に基づく数理モデル構築と解析
- ・ネットワーク最適化理論の応用
- ・自然エネルギー短期予測理論の構築

§ 2. 研究実施内容

再生可能エネルギーが大量導入される様々な状況の下で、電力システムの挙動を理解・解析・最適化するためには、電力システムの数理モデルが必要となる。本研究では、電力システムの定性的・定量的モデルの橋渡しが可能な複雑ネットワーク動力学モデルを構築し、その分散協調的ダイナミクスの理論的解明とネットワーク最適化の実現を目指している。

平成 24 年度は本研究の初年度であり、現実の電力システムが有する性質・問題点および既存の数理モデル・手法の調査を行い、数理モデルの構築および数理的手法の開発に向けた基礎的研究を行った。具体的には以下の通りである。

1. 結合振動子系と複雑ネットワーク理論に基づく数理モデルの構築

本研究項目では、電力システムの複雑ネットワーク動力学モデルを構築するために、(1) 定性的モデルに現実性を加味するアプローチと、(2) 定量的モデルを縮約・簡略化するアプローチを

検討しており、そのための予備調査・実験を以下のように行った。

- (1) 既存の定性的な電力ネットワーク動力学モデルの調査を行った。発電機の電力供給量の変動や、断線の影響、現実的な電力フローが考慮されていないなど、現実の電力システムのモデルとして不十分な点を確認した。また、東日本電力網の接続性を数値データ化し、そのデータを用いて周波数同期に関する予備的な実験を行った。この結果は国際会議 NOLTA 2013 で発表予定である。
- (2) 電気学会が公表している電力系統標準モデルを調査し、それらは区分線形性を有する高次元システムで記述されるため、そのままではシステムダイナミクスの理論的解析が困難であることを確認した。また、Mathworks 社の SymPowerSystems を用いて、電力システム内に見られる典型的な部分網(パーツ)を調査した。

以上の結果に基づき、今後は次の方針で研究を進める予定である。

- (1) 既存モデルの欠点を克服し、より現実性の高い定性的モデルを構築する。また、東日本電力網等の周波数同期のために重要なネットワーク構造を特定するための解析を行う。
- (2) 各パーツからシステムダイナミクスを記述する数理モデルを導出し、縮約の方法を検討する。また、ある程度大きな規模の電力系モデルに対して簡略化手法を検討する。

2. ネットワーク最適化理論の応用

本研究項目では、電力システムに対する最適化アルゴリズム設計と最適化理論構築のために、「モデルの実用性・妥当性」と「計算複雑度などに基づいた理論的な扱いやすさ」の両方を兼ね備えるような電力システムの数理モデルについて検討を行った。高度な最適化技術として、ネットワーク上の「流れ」の最適化を扱うネットワークフロー最適化やその一般化に対応する離散凸最適化理論、加えて行列の疎性を利用した最適化などがある。これらの最適化技術と、再生可能エネルギーの有する「不確実性」をモデル化するための手段である確率計画法の技術やオンライン最適化の枠組みを組み合わせた最適化モデルについて調査・検討を行った。また、平成 25 年 3 月 28 日に「電力システムと最適化」ワークショップを開催して情報交換・意見交換を行った。本年度に得られた知見に基づき、今後はアルゴリズム設計と理論解析に取り組む予定である。

3. 自然エネルギー短期予測理論の構築

本研究項目では、太陽光発電量などの非負多変量時系列データの時空間構造を特徴づける解析手法を提案した。太陽光発電量は非負の量であるため、非負性を考慮に入れてデータを解析する必要がある。そのため、提案手法では、非負値行列分解 (Non-Negative Matrix Factorization) を用いた。太陽光発電量の多変量時系列データに対して非負値行列分解を用いて二つの非負値行列の積に分解することで、空間的な解釈が可能な成分と時間的な変化を伴う成分に分解することができる。また、提案手法では、与えられた実データに対して最適な成分数を決定するために赤池情報量規準を用いた。さらに、方向性結合の検定の手法 (Hirata and Aihara, Phys. Rev. E, 2010 等) を用いて、分解された各成分の時間的な変化が持つ依存関係を

検定することにより、有向グラフとして解釈可能な形で提示できる解析手法を構築した(図1)。

提案手法を日射量の実データに応用した解析例を、平成 25 年電気学会全国大会で発表したほか、国際会議 NOLTA 2013 でも発表する予定である。解析結果において、各非負成分は空間的にそれぞれ 1 つのピークを持つ傾向があり、これは各地域の日射量として解釈できる。また、各成分間には複雑な依存関係があることを示唆する結果を得た。すなわち、各地域の個別の太陽光発電量の予測を積み上げて全体の発電量を予測するより、全体として発電量の予測を与えるほうが良いということを示唆するものと考えられる。これらの示唆に基づき、今後は全体として予測を与えるようなリアルタイムマルチステップ短期予測手法を構築していく予定である。

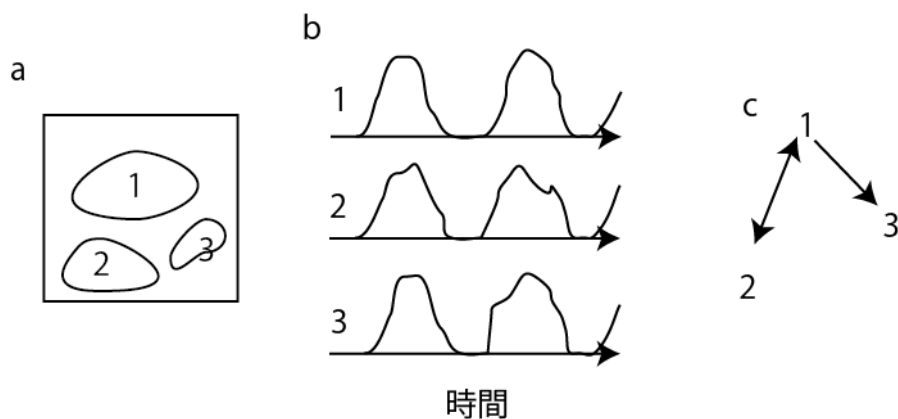


図1 提案した非負多変量時系列データの解析手法の概念図。太陽光発電量の多変量時系列データに対して非負値行列分解を用いることにより、(a)空間的な解釈が可能な成分と(b)時間的な変化を伴う成分に分解される。(c)提案手法により、各成分の時間的な変化が持つ依存関係を、有向グラフとして解釈可能な形で提示できる。