

機械学習を用いた発光スペクトル分析によるプラズマの元素推定

Elemental estimation of plasma by emission spectrum analysis using machine learning

松本晃、上田良夫、リハンテ、伊庭野健造
Kou Matsumoto, Yoshio Ueda, Heun Tae Lee, Kenzo Ibano

大阪大学工学研究科
Graduate School of Engineering, Osaka University

1. Introduction

現在、プラズマを構成する元素を特定する手法として、スペクトルのピーク分析が行われている。イオンの発する発光スペクトルの波長と発光強度などに注目し、構成元素を特定する手法である。ピーク分析には、他元素由来のピークと重複しない波長のピークを選択する必要があるが、現在はプラズマ条件の情報と合わせて、経験則などに基づいた解析が主流になっている。プラズマ条件に依存せず、自動的に構成元素の特定が行える推定方法が望まれる。本研究では、スペクトルに関する経験則を用いずに構成元素を特定することを目標として、Non-negative Matrix Factorization (NMF) アルゴリズムのピーク分析への有効性を調べた。

2. SSNMF(Semi Supervised Non-negative Matrix Factorization)

NMF とは、ある非負値行列(Y)を2つの非負値行列(F と G)の積(FG)に近似する手法である。

発光スペクトルの分解を行う場合、 F は Y に含まれる基底行列であり、 Y の特徴が現れる。 G は基底行列 F の現れる波長とその大きさを表すアクティベーション行列である。

次に SSNMF では事前に抽出したい信号を教師情報として用いることで、目的信号のみを抽出する。まず NMF を用いて、信号は基底行列とそのアクティベーション行列に分解し、得られた基底行列 F を目的信号の抽出に用いる。SSNMF を用いた目的信号抽出は以下のように表され、観測信号 Y が目的信号 FG 、余信号 HU で近似される。

$$Y = FG + HU$$

3. Condition

教師データとして用いる OPEN-ADAS から7つの元素を用意した。それら7つから3つを選択し合成し35通りの観測スペクトル Y を作成した。そこに実際の観測データから作成したノイズを付加し観測スペクトルとした。7つのスペクトルおよびノイズスペクトルは最大強度 1.0 に規格化した。また以下のようにノイズ強度を変化させ、ノイズの及ぼす影響を観察した。

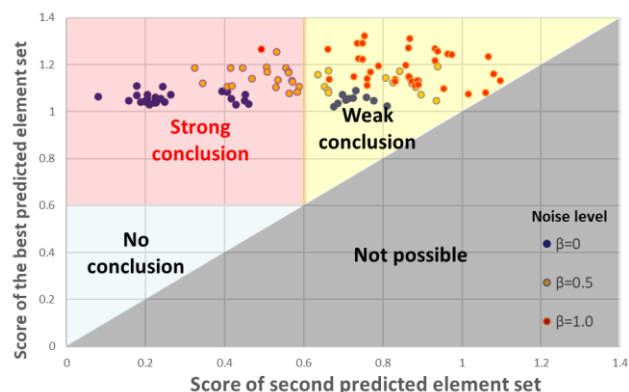
$$Y + \beta \cdot \text{Noise} \quad \beta = [0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.8, 1.0]$$

元素の特定方法としては、観測スペクトルに対して、3つの構成元素として考える全ての教師データの組み合わせを用いて分解を行い、抽出した3つの信号強度のうちの最小のものをその教師データセットのスコアとした。正しい教師データセットを用いて分解を行った場合にのみ高いスコアを得られることが期待される。

4. Results

元素推定を行った結果、ノイズ強度 $\beta = [0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.8, 1.0]$ において、正答率[1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 0.97, 1.0]が得られた。また、各推定にて推定され第1位と第2位の元素組のスコアとノイズの関係を示す。縦軸の第一位のスコアと横軸の第2位のスコアの差が大きいほど信頼性の高い推定結果と結論付けることができるが、ノイズの付加によってスコアの差が小さくなっていることが分かる。

以上より、SSNMF はノイズの大きいデータにおいても、ピーク分析に対して有効な手法であることが確認された。ただし、推定元素の教師データの準備が重要であり、教師データ・観測信号間の親和性が今後の課題となる。



図：推定第1位・第2位のスコアとノイズの関係