

シューマン共鳴の経験モデル作成

(鹿児島高専 情報工学科¹、鹿児島高専 一般教育科²、九工大³、九州大学⁴)

○久永学実¹・池田昭大²・藤本晶子³・古川翔大¹・

吉川顕正⁴・魚住禎司⁴・阿部修司⁴

キーワード：機械学習、非線形回帰モデル、地上磁場、シューマン共鳴

1. 緒言

シューマン共鳴 (Schumann resonance) は全世界の雷活動で励起される地表と電離圏 (高度約 60km 以上のプラズマの領域) 間の電磁波の共鳴である^[1]。誘導磁力計による地上磁場観測などにより常時観測され、固有モードが約 8.0Hz の変動として現れる。

シューマン共鳴の変動には、主に全世界の雷活動と電離圏の変動の影響が現れ、それらは特徴的な季節変化、日変化を見せる。さらに、太陽フレアなど突発的な現象に伴う電離圏電子密度の増加などは、シューマン共鳴の変化を引き起こす。つまり、シューマン共鳴を定量的に調査することにより、このような電離圏変動を推定できる可能性がある^[2]。定量的な議論をするためには、シューマン共鳴の背景変化を除去して議論する必要がある。

本研究では、機械学習によってシューマン共鳴変動の経験モデルを作成しシューマン共鳴の背景変化を捉える。経験モデルの作成には非線形回帰モデルを用いる。

2. データセット

シューマン共鳴の観測データは九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター (ICSWSE) が 2003 年より大分県久住町 (北緯 33°、東経 131°) で観測している誘導磁力計データを用いた。サンプリング周波数は 50 Hz であり、高速フーリエ変換 (FFT) を用いて 8.0Hz 付近のピーク周波数とそのピークでの強度を求め、それらをシューマン共鳴の周波数と強度とし、時系列データを作成した。北向き (H 成分) と東向き (D 成分) の磁場変動に現れるシューマン共鳴を解析の対象とした。

3. 解析手法

経験モデル $fit(DOY, LT)$ は、ある日 (DOY) のある時間 (世界標準時、(UT)) におけるシューマン共鳴の強度や周波数の値を表す関数である。 $fit(DOY, UT)$ は日変化 $f(DOY)$ と時間変化 $g(UT)$ を持つ関数である。 $f(DOY)$ と $g(UT)$ は \sin, \cos を組み合わせた周期性の波の重ね合わせで表現され、電離圏変動などの経験

モデルとして同様の式が使用された例がある^[2]。経験モデルの式は次のように表される。

$$fit(DOY, UT) = f(DOY) + g(UT)$$

$$f(DOY) = a_1 + \sum_{k=1}^n [a_{2k} \sin\left(2\pi k \cdot \frac{DOY}{365}\right) + a_{2k+1} \cos\left(2\pi k \cdot \frac{DOY}{365}\right)]$$

$$g(UT) = b_1 + \sum_{k=1}^n [b_{2k} \sin\left(2\pi k \cdot \frac{UT}{24}\right) + b_{2k+1} \cos\left(2\pi k \cdot \frac{UT}{24}\right)]$$

実際のモデル作成では、 $f(DOY)$ と $g(UT)$ の適当な n の値を平均的な 1 年変化と 1 日変化から求める。 n の値を決定した後、観測データとの比較から調査するモデル $fit(DOY, UT)$ の係数 $a_1 \sim a_{2k+1}$ 及び $b_1 \sim b_{2k+1}$ は、観測データとの平均二乗誤差を最小化するように決定する。

4. 解析結果

日変化のモデル $f(DOY)$ の適当な n を求めるため、シューマン共鳴 H 成分の強度 (SR 強度 H) の平均的な 1 年変化 (季節変化) を n の値を段階的に増加させつつ、平均的な SR 強度 H の日変化と $f(DOY)$ がよく一致するような n を特定した。図 1 は $n=4$ の場合であるが、観測データとモデルがよく一致していることがわかる。

同様に時間変化 $g(UT)$ についても、平均的な 1 日変化とモデルの比較から $n=5$ 程度でよく一致することがわかった (図 2)。これらの n の値を用いて、経験モデル $fit(DOY, UT)$ と観測データの平均二乗誤差が最小になるように各係数を決定した。

図 4 に係数を決定した $fit(DOY, UT)$ と実際の観測値を比較した例を示す。この例は 2008

年 5 月 29 日の 1 日データの比較である。世界標準時で 18-21 時ごろに極小を取る傾向などはモデルでも示され、強度の値もモデルと観測値の差は約 5.6%であった、ただし 21-24 時頃などは、観測値と経験モデルの差が大きかった。

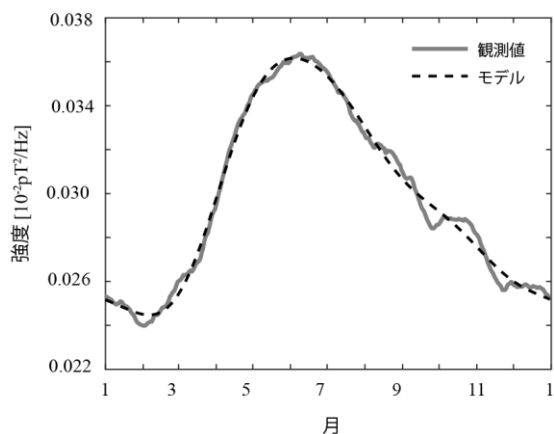


図 1. SR 強度 H の平均的年変化を $f(DOY)$ でフィッティングしたもの。フィッティング関数は $n=4$ としたもの。

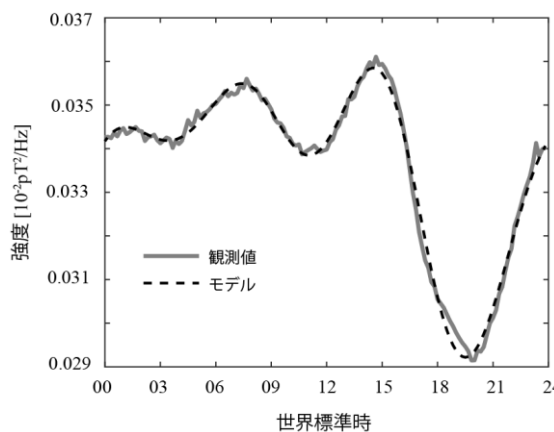


図 2. SR 強度 H の平均的日変化を $g(UT)$ でフィッティングしたもの。フィッティング関数は $n=5$ としたもの。

5. 今後の展望

今後はさらに観測値と経験モデルの差の傾向を調査するとともに、経験モデルに組み込むべき式を検討していく。シューマン共鳴は日々の変動 (day-to-day variation) が大きいいため、このような変動に対応した関数を用意する必

要がある。将来的には太陽フレア時のシューマン共鳴の応答なども経験モデルを使用して調査を進める。

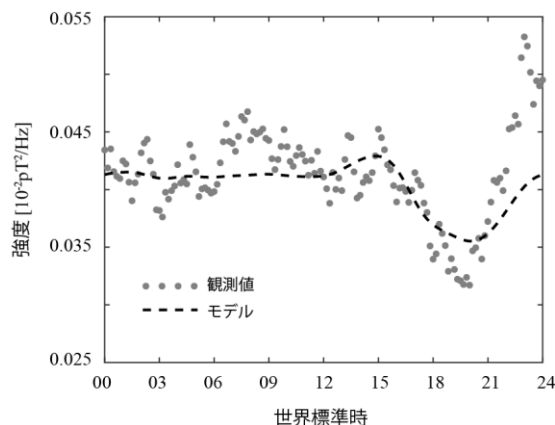


図 3. 2008 年 5 月 29 日の SR 強度 H とフィッティングモデル $fit(DOY, UT)$ 。

参考文献

- [1] Balsler, M., Wagner C. A., Observation of earth-ionosphere cavity resonances, Nature, 188, 638-641, 1960.
- [2] Roldugin V C, Maltsev Ye P, Vasilljev A N, Vashenyuk E V (1999) Changes of the first Schumann resonance frequency during relativistic solar proton precipitation in the 6 November 1997 event. Ann. Geophysicae 17, 1293-1297
- [3] Kakinami, Y., C. H. Chen, J. Y. Liu, K. - I. Oyama, W. H. Yang, and S. Abe (2009), Empirical models of total electron content based on functional fitting over Taiwan during geomagnetic quiet condition, Ann. Geophys., 27, 3321-3333.

お問い合わせ先

氏名：池田昭大

E-mail：a-ikeda@kagoshima-ct.ac.jp