

火星探査機中性粒子データの分類とノイズ成分抽出

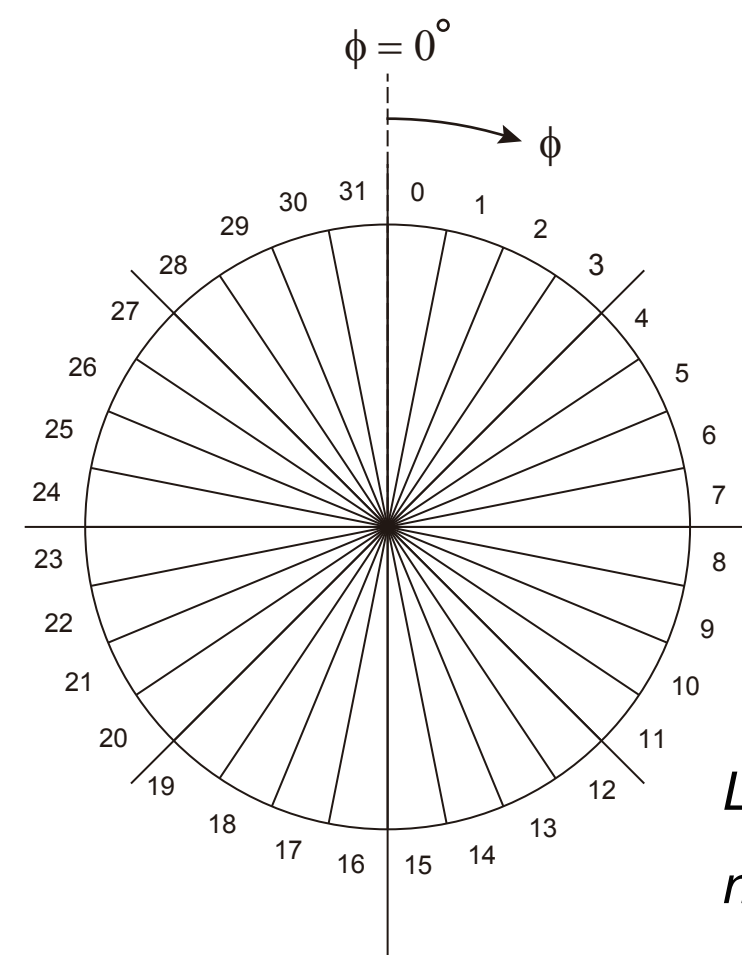
中野 慎也 モデリング研究系・データ同化研究開発センター 助教

NPI on board of Mars Express



Mars Express: ESA の火星探査機。2003 年打ち上げ。火星の表面，大気，火星周辺の宇宙プラズマなど様々な観測を行っている。

Mars Express (This image is provided by ESA.)



NPI (Neutral Particle Imager): 火星周辺の ENA (energetic neutral atom) を観測。視野は $9^\circ \times 360^\circ$ 。図に示すように、 360° の視野が 32 個の sector に分割されており、各 sector で毎秒の count 値が得られる。ENA とは、高エネルギーの荷電粒子（主に太陽風起源）と低エネルギー中性粒子（火星大気起源）とが電荷交換を起こして生成される高エネルギーの中性粒子で、太陽風や火星大気などの様々な情報を持っている。

Layout of the sectors in NPI. The sectors are numbered from 0 to 31.

Method

基本的には、EM アルゴリズムによる混合モデルのあてはめでデータの分類を行った。ただし、32 sectors は、4 sectors ずつの 8 つのグループに分けることができ、異なるグループ間では、データの傾向が異なる。そこで、まず各グループごとにデータの分類を行い、次に全体のデータを分類するという 2 段階で処理を行う。ここで想定しているモデルは、以下のように記述できる。

まず、上の階層では j 番目のグループに分けられる確率が、

$$P(C_1 = j) = \zeta_j$$

となるものとする。次に、上の階層でどのグループに属するかが与えられたもとで、下の階層で k^l 番目のグループに属する確率を

$$P(C_2^l = k^l | C_1 = j) = \eta_{jk}^l$$

のように与えることにする。さらに、下の階層で k^l 番目のグループの属するデータは、次のような正規分布に従うものとする。

$$p(\mathbf{x}_i^l | C_2^l = k^l) = \mathcal{N}(\mathbf{x}_i^l; \mu_k^l, \Sigma_k^l)$$

ここで、 μ_k^l, Σ_k^l はそれぞれ平均ベクトル、分散共分散行列を表す。以上の式を合わせると、データが従う確率密度関数は、

$$p(\mathbf{x}_i) = \sum_{j=1}^J \zeta_j \prod_{l=1}^8 \sum_{k=1}^{K^l} \eta_{jk}^l \mathcal{N}(\mathbf{x}_i^l; \mu_k^l, \Sigma_k^l)$$

となる。但し、 $\mathbf{x}_i = (\mathbf{x}_i^{1,T}, \dots, \mathbf{x}_i^{8,T})^T$ 。

なお、パラメータ推定の手順としては、まず、各 l について混合ガウスモデル

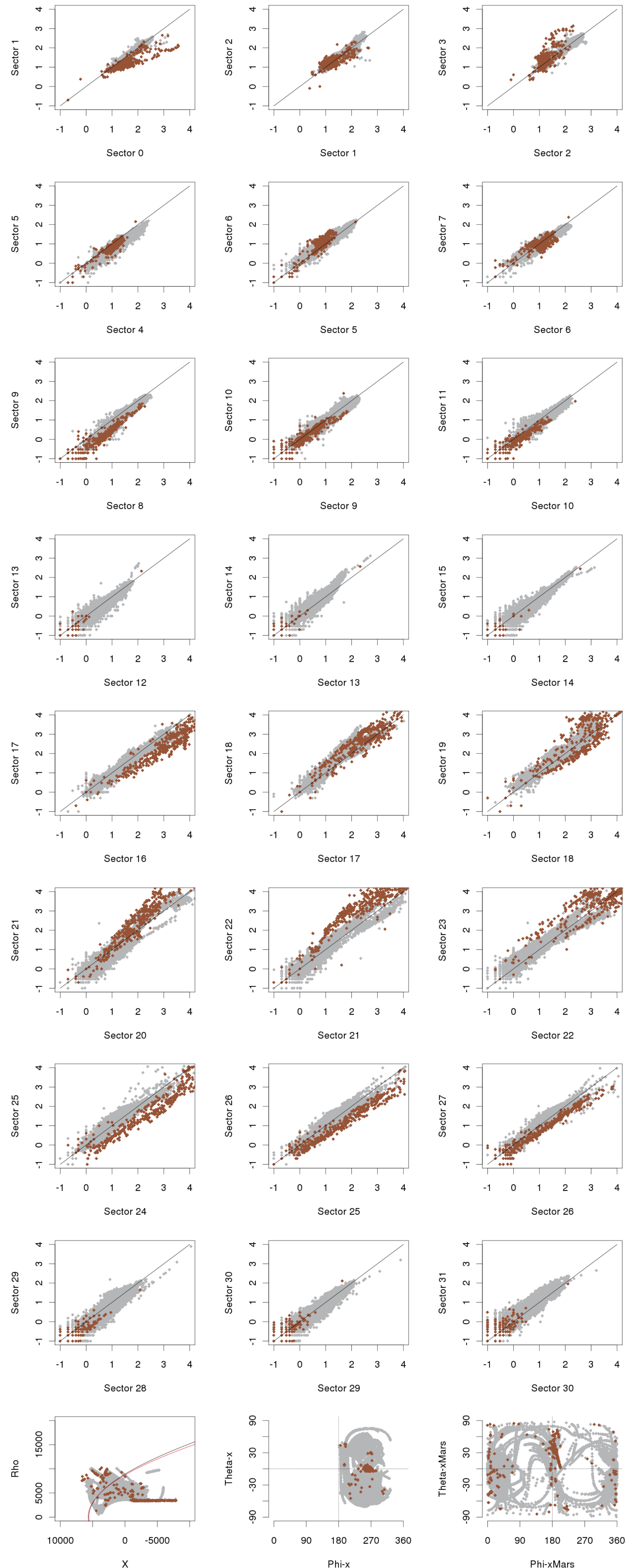
$$p(\mathbf{x}_i^l | \theta_j^l) = \sum_{j=1}^{J^l} \eta_j^l \mathcal{N}(\mathbf{x}_i^l; \mu_j^l, \Sigma_j^l)$$

をあてはめ、次に上層のモデルのパラメータを推定を行っている。また、それぞれの階層の成分数を決める必要があるが、ここでは取り敢えず 1 つずつ成分数を増やして推定を行うということを繰り返し、BIC が最小になった時点で成分数を増やすのをやめるという方法を取っている。

右図に、推定の結果得られた成分のうち、観測器から見て太陽が特定の方向に見える場合に対応しているものを例として挙げる。下の 3 つを除く 24 個の図は、隣り合う sector 同士で観測値を比較しており、全観測値の plot の上に推定された成分を overplot している。下の 3 つの図は、この成分がどのような条件の時に取得されたものなのかを示している。

This work is in collaboration with Dr. Y. Futaana (Swedish Institute of Space Physics).

Example of the results



火星を中心とした座標系での位置
(単位 km)

NPI 座標系で見た太陽の向き
NPI 座標系で見た火星の向き
 $\theta=0$ を中心に $\pm 4.5^\circ$ が視野。 ϕ は $0^\circ < \phi < 11.25^\circ$ が sector 0 に対応