

全変動最小化を使った ドップラー・トモグラフィー

植村誠（広島大学）、
加藤太一、野上大作（京都大学）、
Ronald Mennickent（コンセプション大学）

Outline

研究の背景

- ドップラー・トモグラフィーとは
- 全変動最小化とは

人工データを使った デモ

- 3つの光源
- 円盤+スポット

観測データへの応用

- 矮新星 TU Men
(静穏時)
- 矮新星 WZ Sge
(増光時)

ドップラー・トモグラフィとは

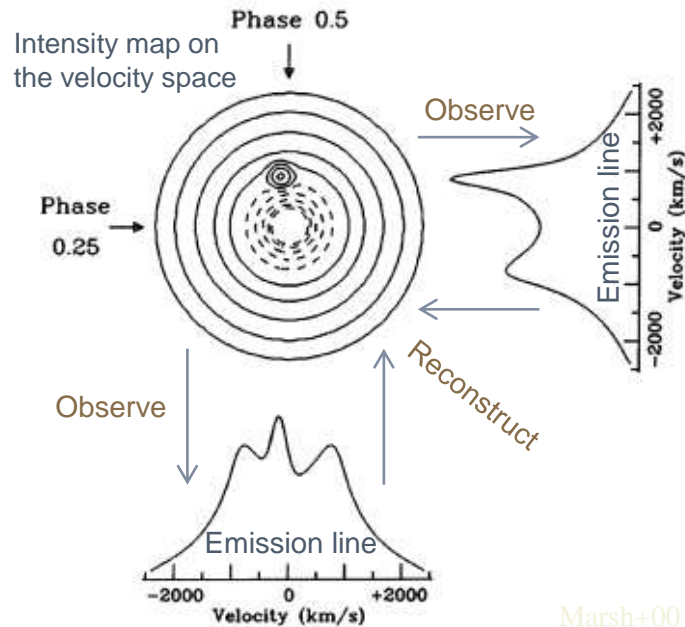
- 輝線輪郭の時間変化から速度空間上の輝度分布を再構成
 - Marsh & Horne (1988)
- 不良設定の逆問題
- 従来の解法
 - 最大エントロピー法
 - フィルタリングバックプロジェクション

$$\hat{\mathbf{x}} = \operatorname{argmin} \left\| \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_m \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \right\|_2 + \lambda f(\mathbf{x})$$

Data Observation Matrix image

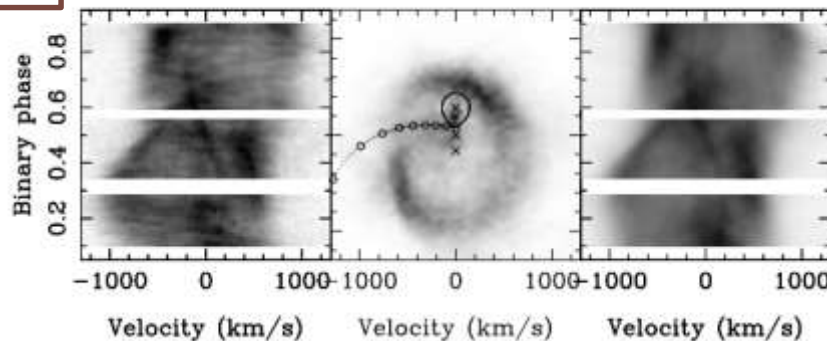
Least-square term

Regularization term
Ex. MEM, TVM



Marsh+00

He II 4686 Doppler image model data



IP Peg (Harlaftis+99)

全変動最小化とは

- **Total Variation Minimization (TVM)**
 - 画像の隣接ピクセル間の「差」の総和を最小化する
 - 画像の微分空間でスパースにする
 - 科研費・新学術「スパースモデリングによる高次元データ駆動科学の創成」

$$TV(\mathbf{x}) = \sum \sqrt{(\Delta^h \mathbf{x})^2 + (\Delta^v \mathbf{x})^2}$$

- Δx : differential operator = $x_{i+1} - x_i$

TVMで
解いてみた

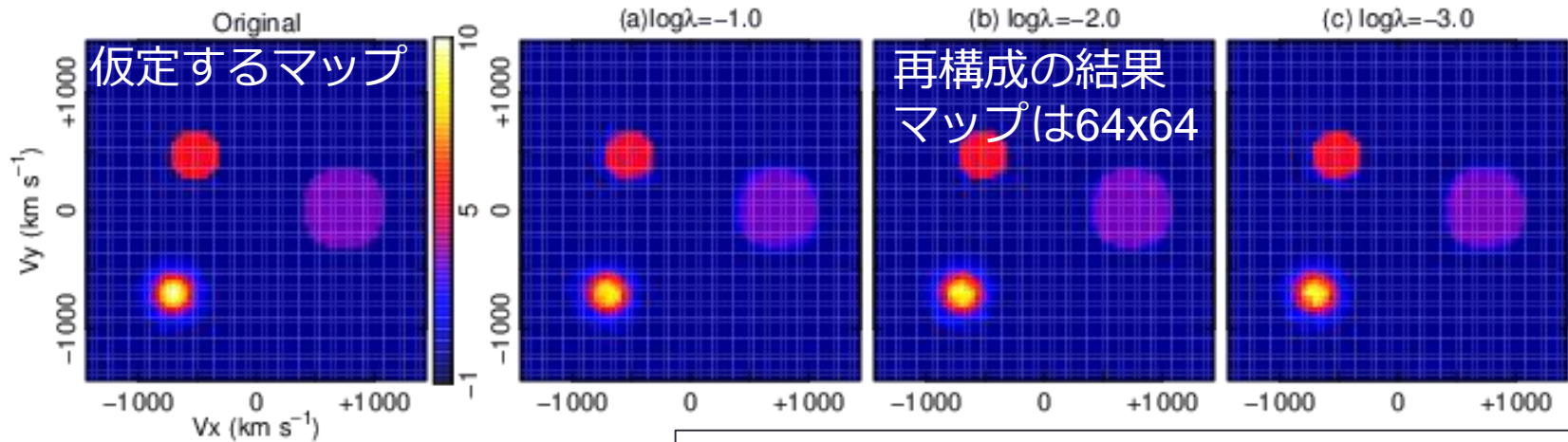
- **Maximum Entropy Method (MEM)**
 - デフォルトイメージの時に情報エントロピーが最大になる

$$S = - \sum_{i=1}^M p_i \ln \frac{p_i}{q_i}$$

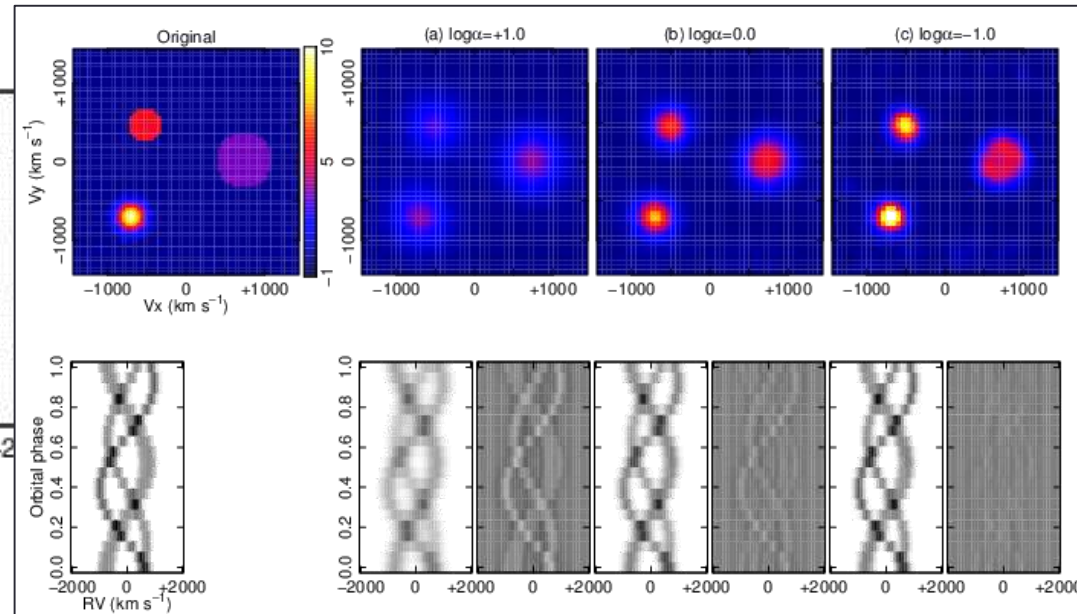
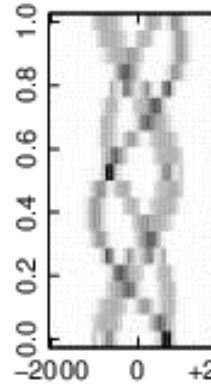
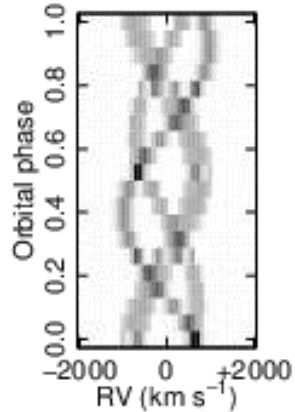
$$q_i = \frac{D_i}{\sum_{j=1}^M D_j}$$

- 従来の標準的な手法
- **ドップラー・トモグラフィに最適か？**
 - MEMは鋭い構造をなまらせる傾向がある
 - 衝撃波、局所的な明るいスポット

人工データによるデモ その1

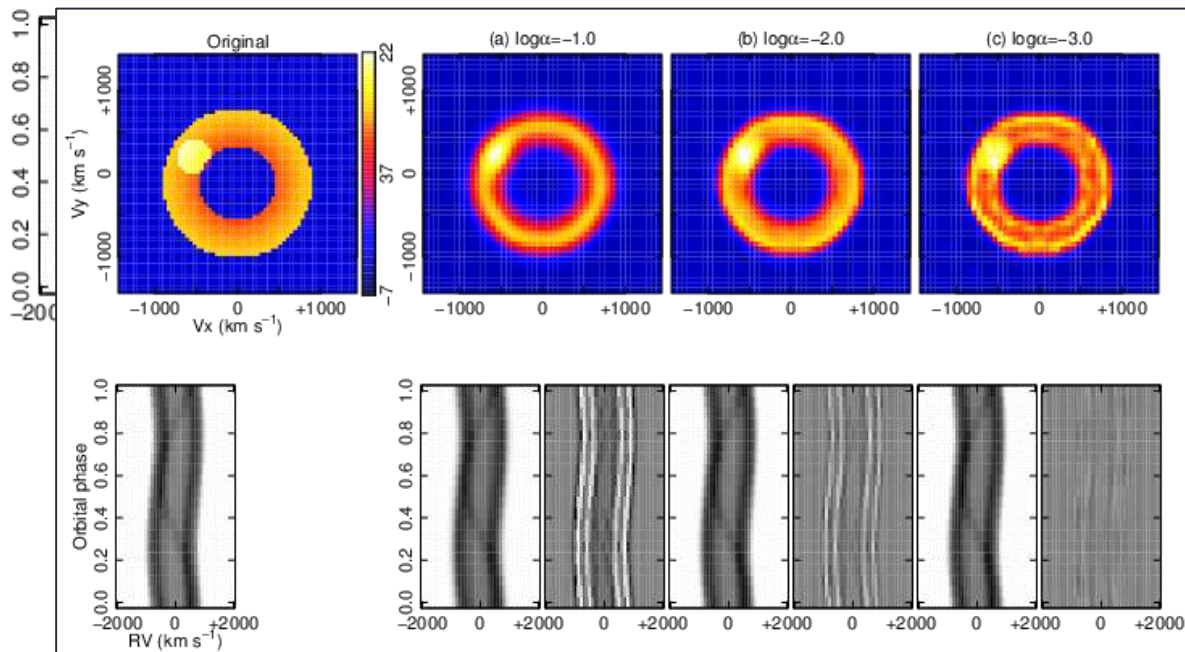
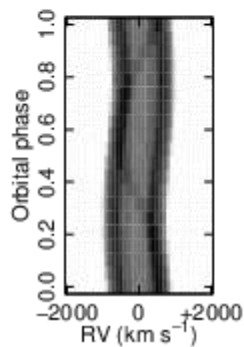
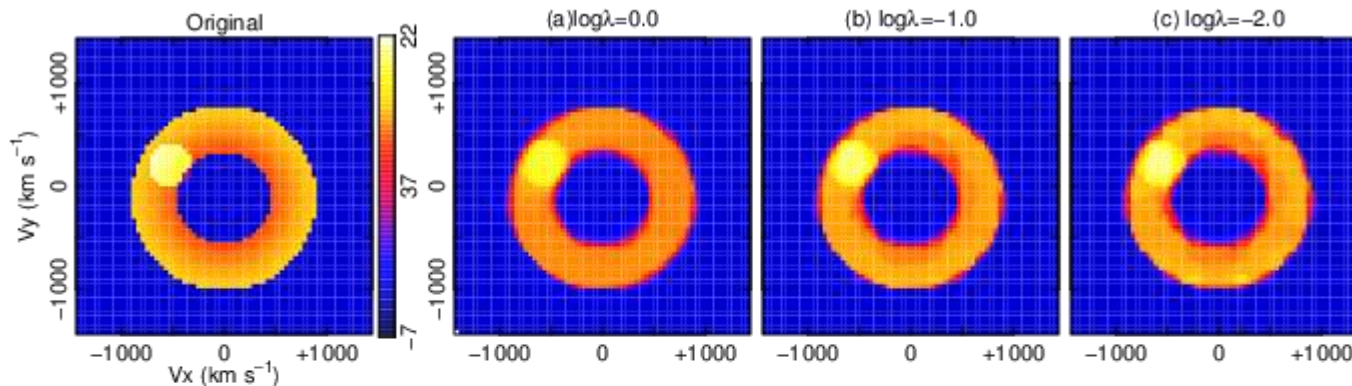


輝線輪郭をシミュレート



視線速度分解能 100km/s
 + 位相分解能 0.05
 = 入力データ数 820

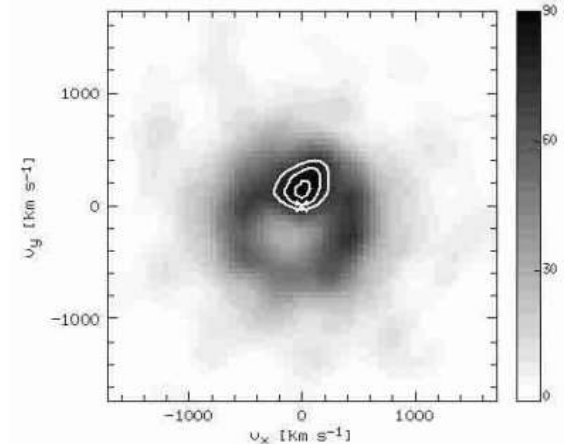
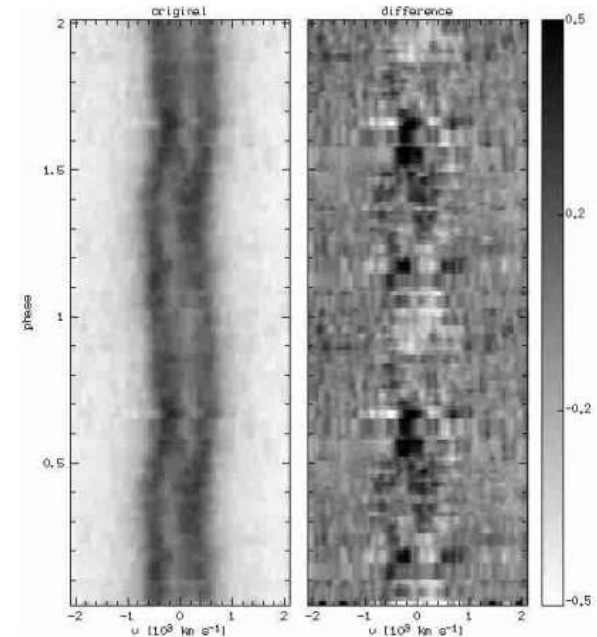
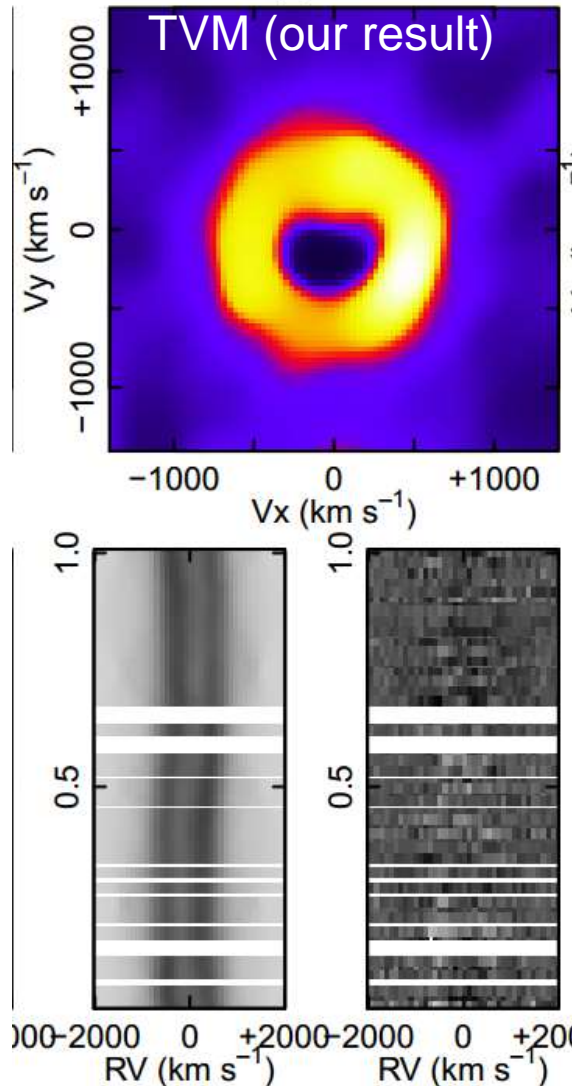
人工データによるデモ その2



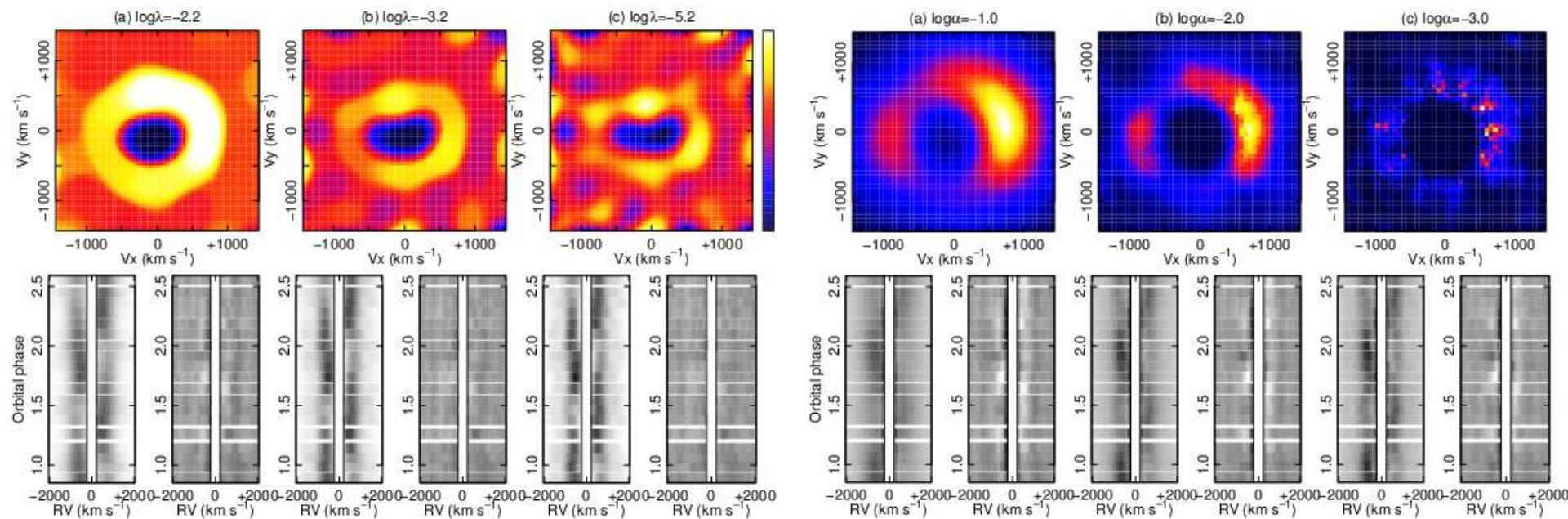
矮新星 TU Men (静穏時)

Tappert+03

- Tappert et al. (2003)
 - MEM
 - データとの残差が大きい
→ 非等方的な放射成分が多いのだろう
- TVMで解くと目立った残差がでない
→ 非等方な放射領域を支持する積極的な理由はない。



矮新星 WZ Sge (増光時)



TVM

- ✓ 降着円盤全体が楕円にひしゃげた形状
- ✓ 伴星付近と円盤の一部に局所的な構造
- ✓ データとの残差が小さい

MEM (コードは Spruit 1988を使用)

- ✓ 円盤全体はほぼ円
- ✓ 2本腕のスパイラル構造
- ✓ 腕内部は滑らかな構造
- ✓ 回転する残差成分

MEMでは再構成しきれなかった局所的な構造をTVMでは再構成可能

まとめ

- ドップラー・トモグラフィーをTVM（全変動最小化）で解いた
- 従来のMEMと比べて、局所的で鋭い傾斜をもつような構造の再構成が得意
 - 特にデータ数が少ない時に差が顕著
- この手法を使った別の研究でポスターを出しています。
 - J203b 「WZ Sge型矮新星の増光早期における輝線の起源」
- 科研費・新学術「スパースモデリングによる高次元データ駆動科学の創成」では、統計・情報科学の先端技術を自然科学に応用することを目的にしています。
興味のある方は声をかけてください。