

3次元電磁流体シミュレーション による太陽モートン波の研究

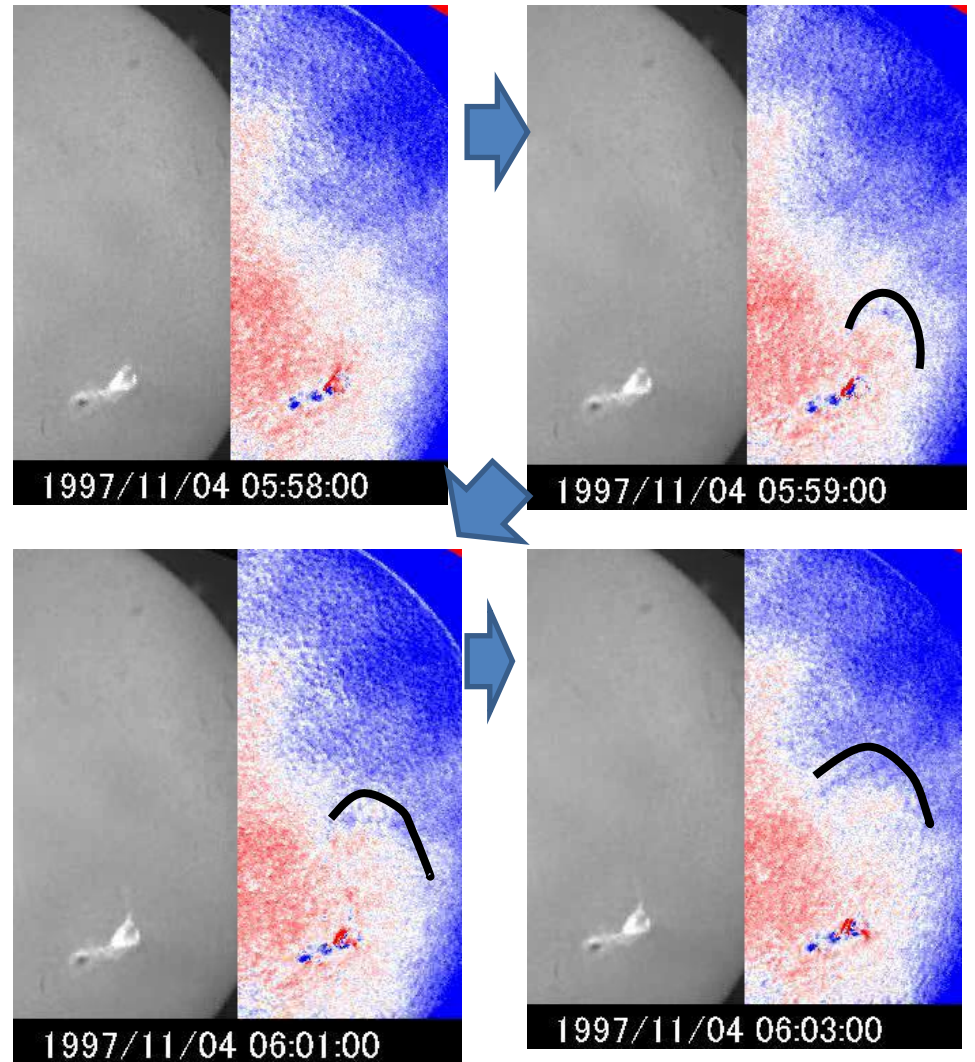
2010/08/03 夏の学校

京都大学宇宙物理学教室・M1

玉澤春史

モーション波

- 1960年MoretonがH α による彩層(光球とコロナの間)観測により発見
- 活動領域(黒点)から大規模フレア(大規模エネルギー解放: 10^{30} erg以上)を契機に発生
- 頻度は10%程度



モートン波

典型的サイズ

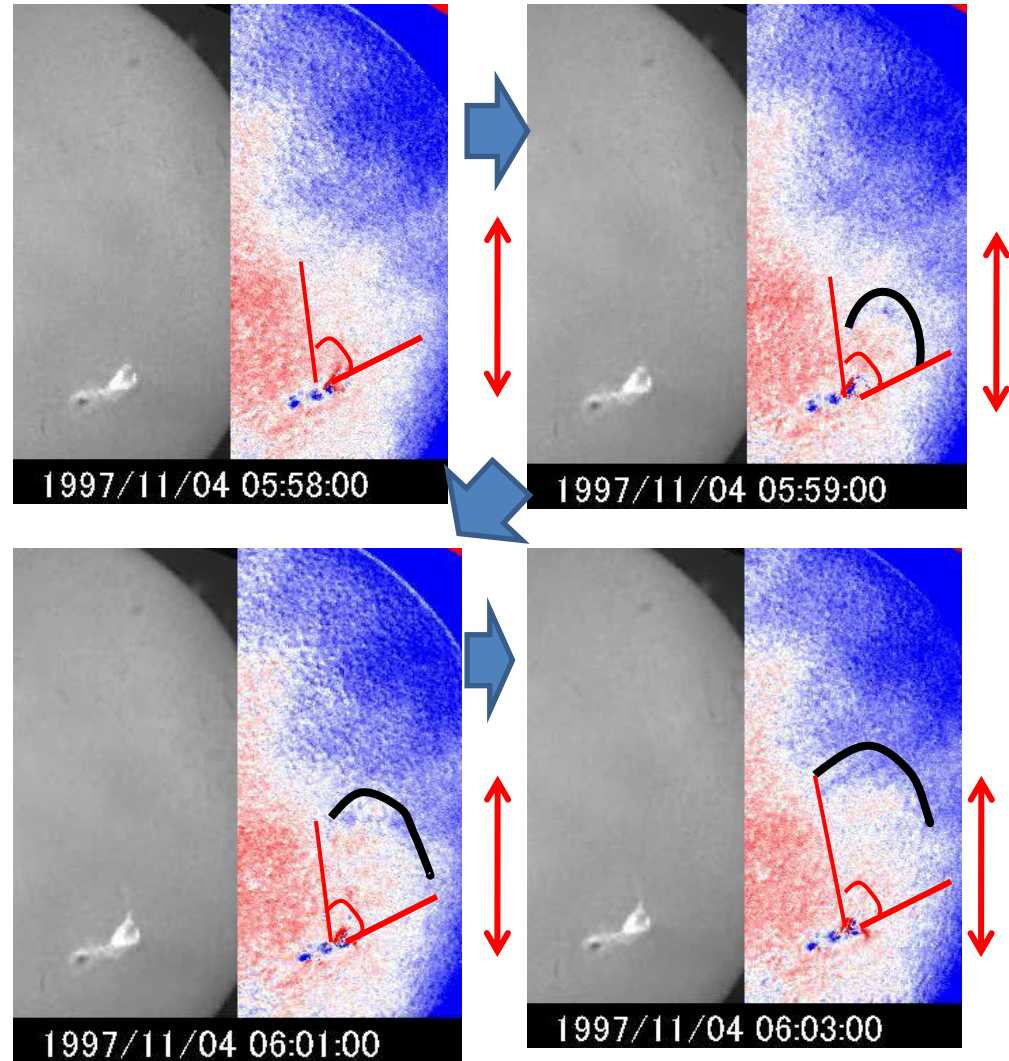
伝播距離: 100000km

伝播速度: 1000km/s

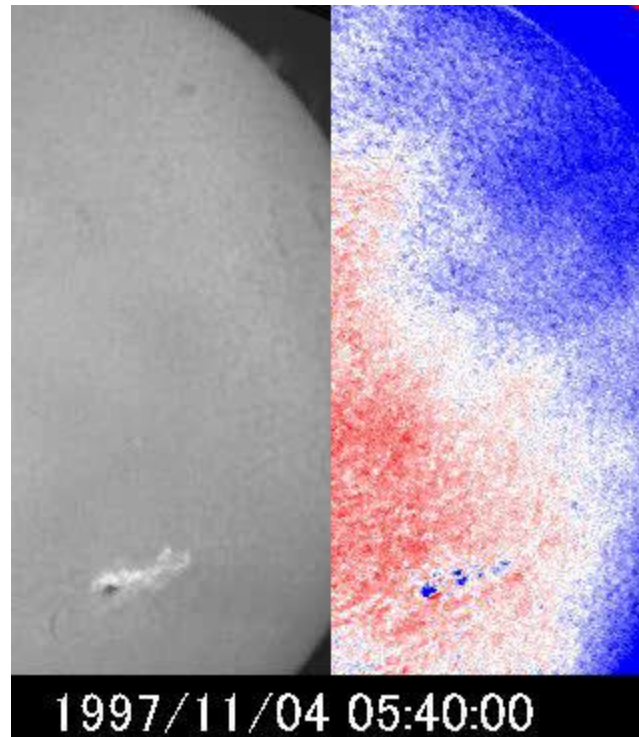
伝播角: 90度

エネルギー解放:
10の30乗erg以上)
を契機に発生

- 頻度は10%程度

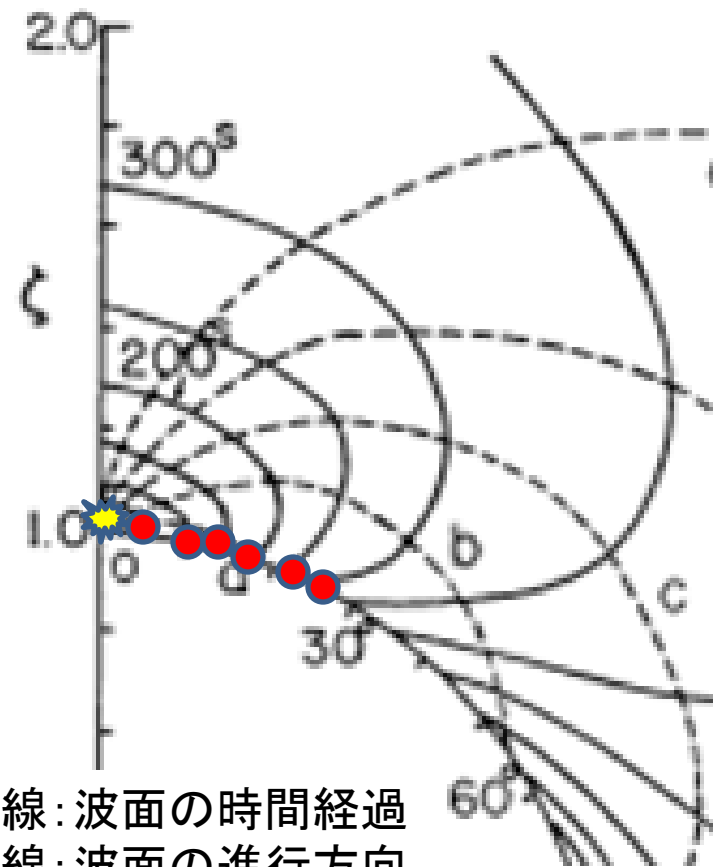


モーション波(映像)



モートン波への解析的アプローチ

- 彩層での衝撃波と考え
るとマッハ100程度
⇒熱散逸により遠方まで届くのが困難
- Uchida et al(1972)
コロナ層でのエネルギー解放による電磁流体fast modeが彩層を
押すことにより伝播が
みられる(波動方程式
近似による)



本研究の内容

- 観測で得られた磁場を初期値として、コロナ層の3次元磁気流体(MHD)シミュレーションによりモートン波の再現を試みる
- 観測結果と比較し、伝播過程を決める物理を探る
- テスト計算、観測結果の反映

基礎方程式とスキーム

$$\begin{aligned}\partial_t \rho + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) &= 0 \\ \partial_t (\rho \mathbf{u}) + \nabla \cdot \left[\rho \mathbf{u} \mathbf{u}^T + \left(P_g + \frac{1}{2} |\mathbf{B}|^2 \right) \mathbf{I} - \mathbf{B} \mathbf{B}^T \right] &= 0 \\ \partial_t \mathbf{B} + \nabla \cdot \left(\mathbf{u} \mathbf{B}^T - \mathbf{B} \mathbf{u}^T + \psi \right) &= 0 \\ \partial_t e + \nabla \cdot \left[\left(e + P_g + \frac{1}{2} |\mathbf{B}|^2 \right) \mathbf{u} - \mathbf{B} (\mathbf{u} \cdot \mathbf{B}) \right] &= 0 \\ \partial_t \psi + c_h^2 \nabla \cdot \mathbf{B} &= -\frac{c_h^2}{c_p^2} \psi\end{aligned}$$

連続の式
運動方程式
誘導方程式
エネルギーの式
divBの補正

- 3次元球座標MHDコード
- 数値流速評価: HLLD
- 空間精度: MUSCL二次
- 時間発展: 修正Euler
- メッシュ: 180x224x224
- コロナ層(1~2.5太陽半径)を計算

初期条件

- 圧力・密度は静水圧平衡
- 等温
- 観測で得られた光球表面磁場から計算されたポテンシャル磁場
- フレア相当分のエネルギーを圧力で与える

$$T = T_0$$

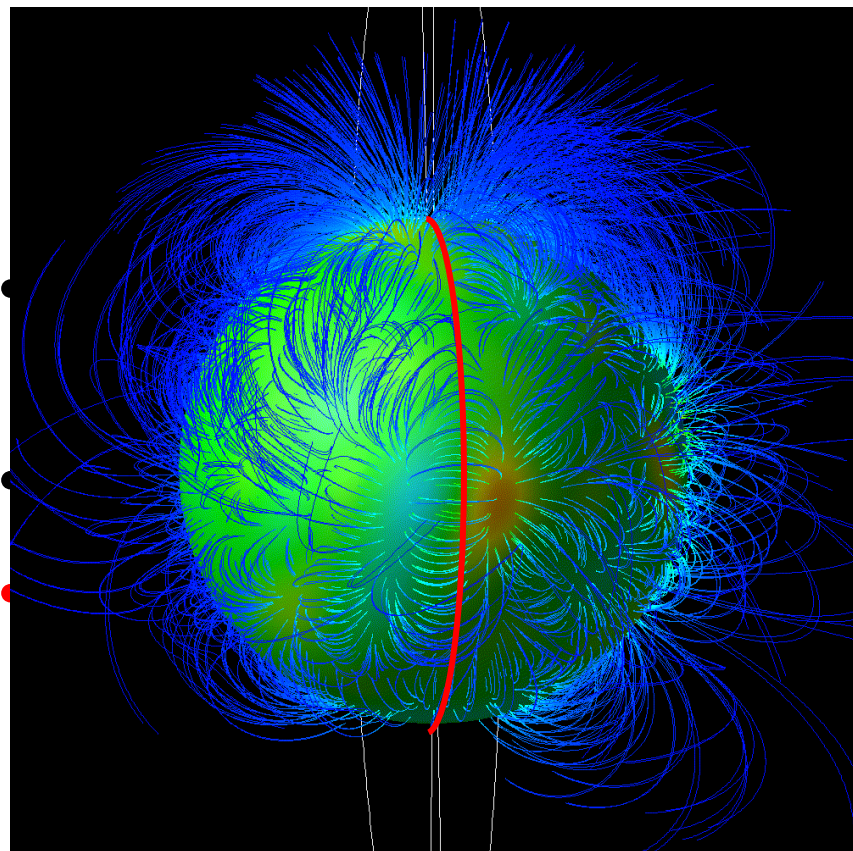
$$p = p_0 \exp\left(-\frac{k}{r}\right)$$

$$\rho = \rho_0 \exp\left(-\frac{k}{r}\right)$$

$$k = \frac{GM_{sun}}{a^2}$$

$$v = 0$$

$$rotB = 0$$



条件

$$T = T_0$$

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{k}{r}\right)$$

$$\rho = \rho_0 \exp\left(-\frac{k}{r}\right)$$

$$k = \frac{GM_{sun}}{a^2}$$

$$v = 0$$

$$rot B = 0$$

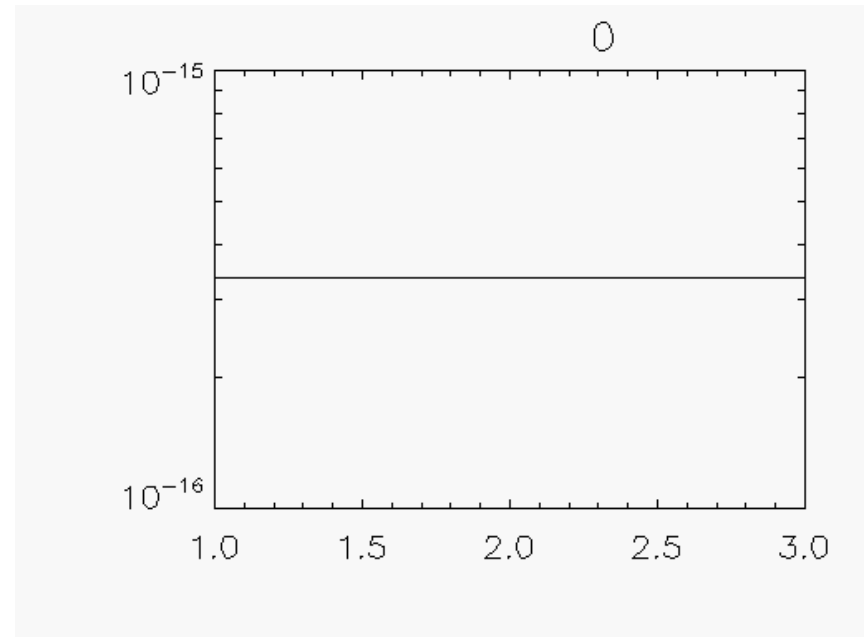
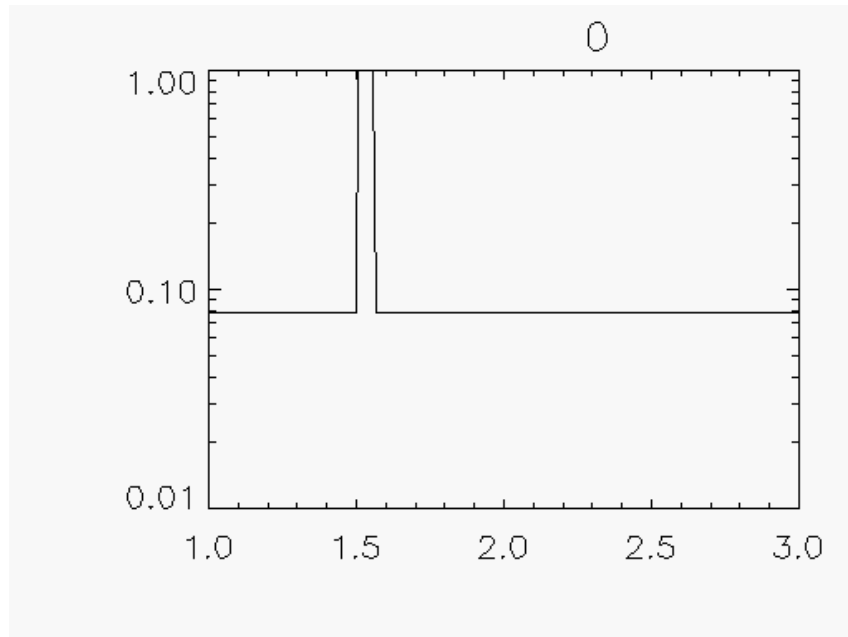
- フレア相当分のエネルギーを圧力で与える

Case1(test)

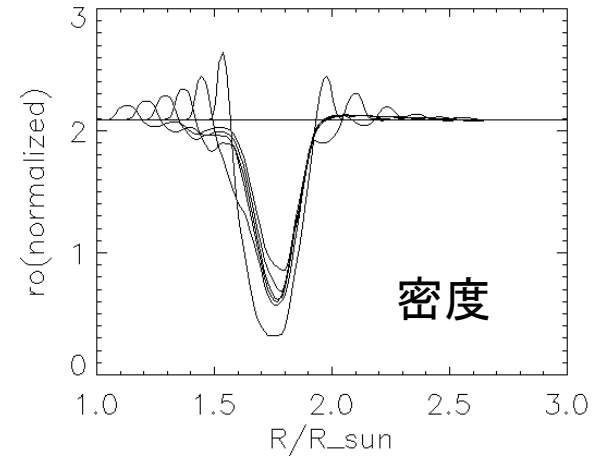
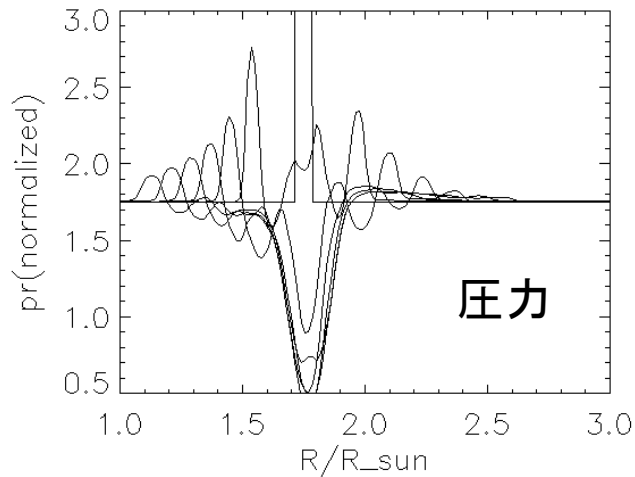
伝搬の非等方性

圧力

密度



伝播の非等方性(子午線方向)



←北極 南極→

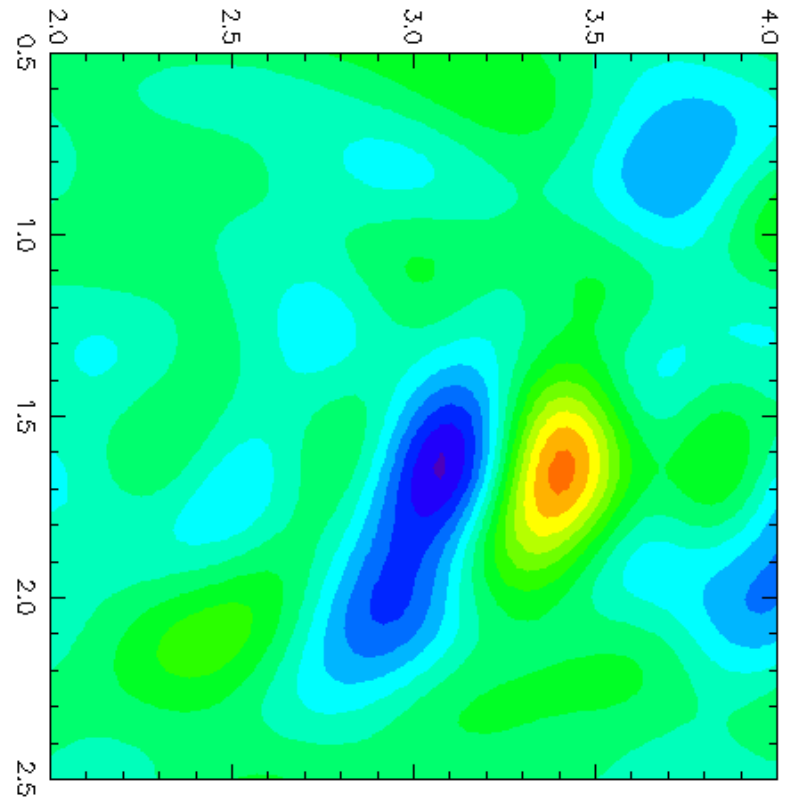
子午線方向の伝播(太陽半径で規格化された距離)
北極方向(横軸左方向)により大きな振幅で伝播

伝播の球面上の様子

- Color: 磁場 (赤がN、青がS、黄緑が0)
- Contour (黒): 密度 (周囲より3倍以上の部分)

彩層直上の伝播

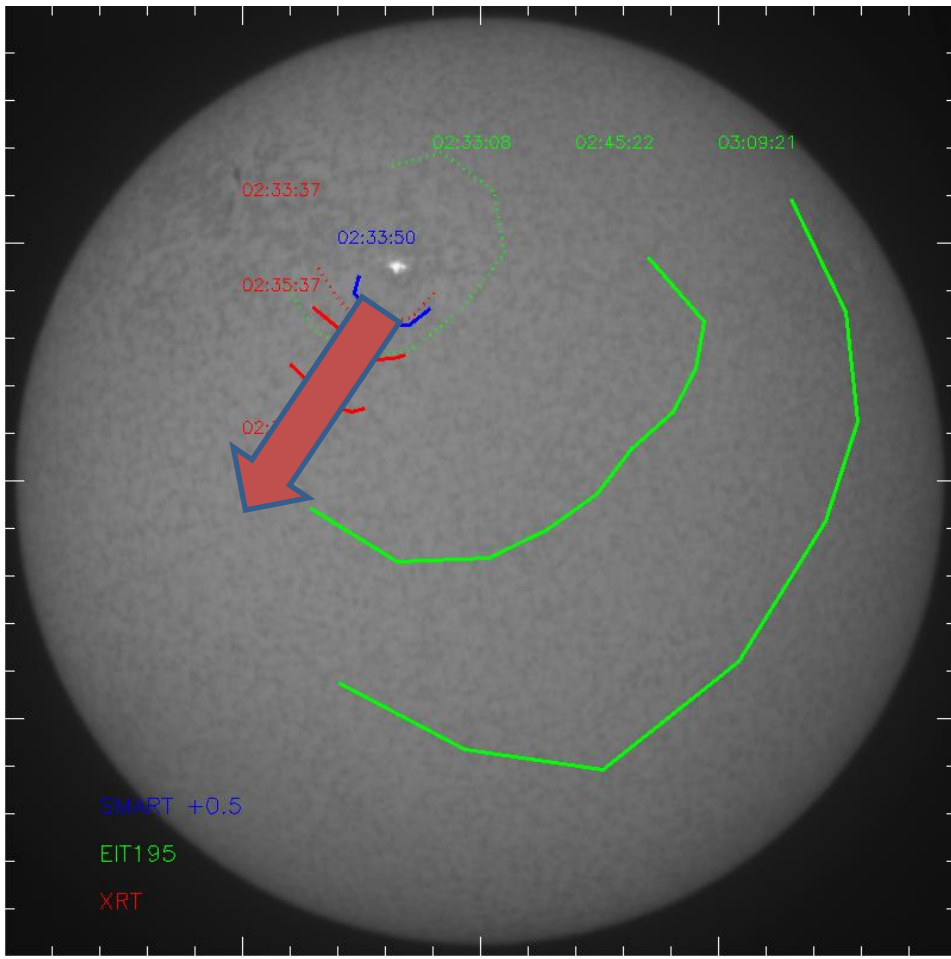
- 磁場を避けるように伝播が進む→圧力のみでも非等方性は現れる



Case2(観測データ解析の反映)

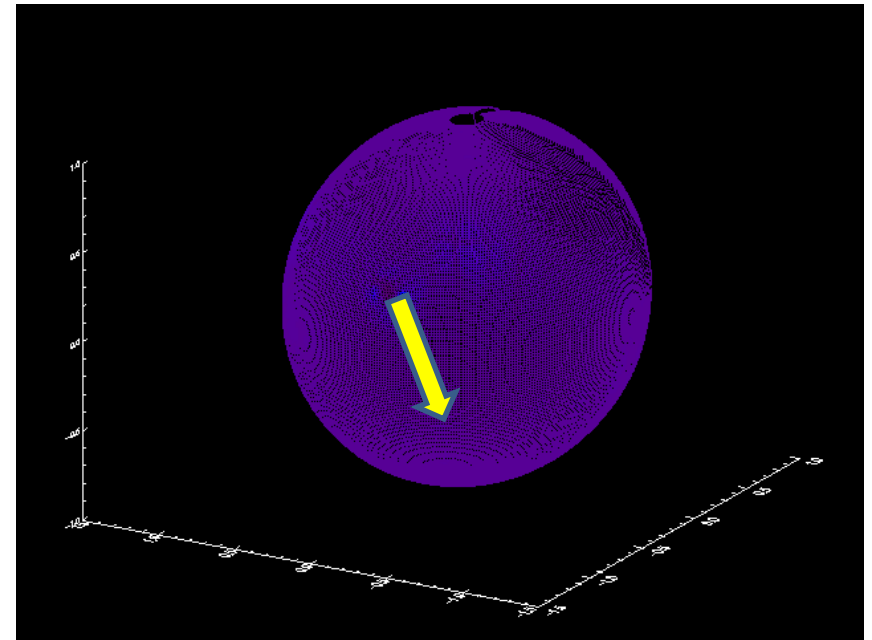
2010. 02. 07



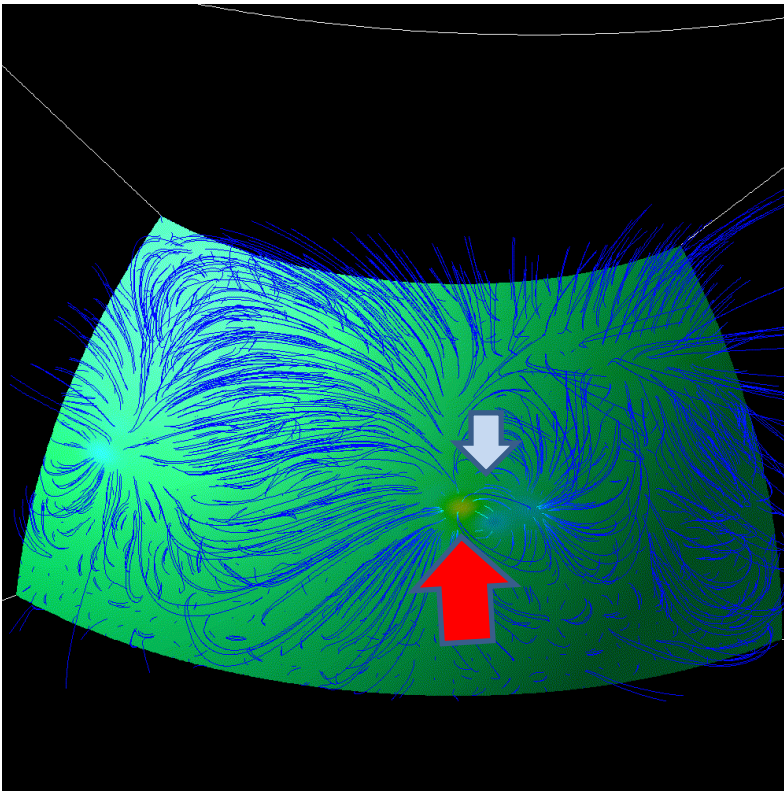


解析を反映させた計算の結果

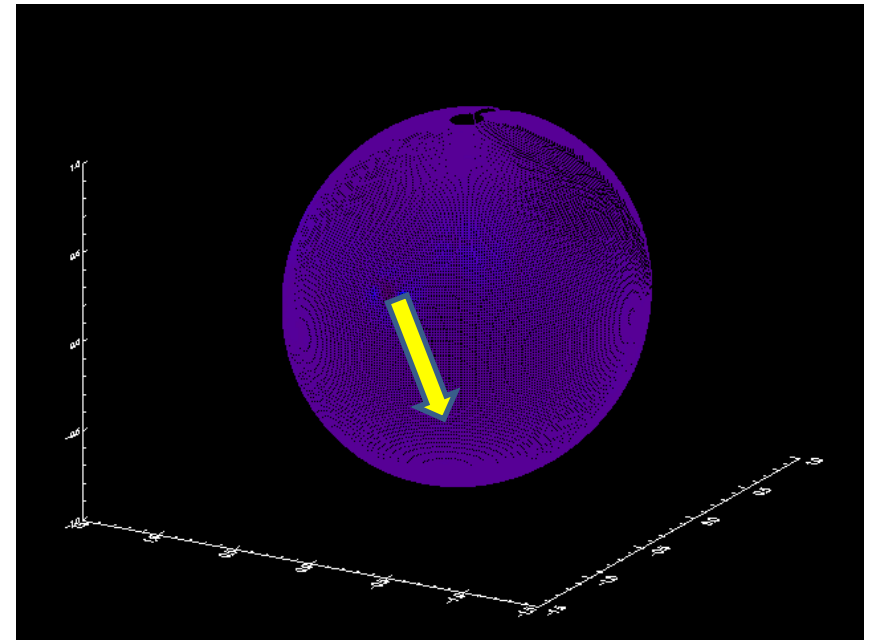
- フレア発生ポイント, エネルギーを絞り込み、爆発点として与える (N20, E12) (M5)
- 右図: 圧力変化
- 観測とは方向が違う
- 磁場分布を考えると予想される方向とは一致



せた計算の結果



- 観測とは方向が違う
- 磁場分布を考えると予想される方向とは一致



結果、今後の課題

結果

- 磁場を避けるように伝播が進むことで非等方性の一部が発生することを確認
- フレア発生場所での爆発では、単純点源爆発モデルだと観測とずれを生じる

今後の課題

- エネルギーの与え方の違い(速度場を与えた場合など)による比較
- 密度モデルなど、初期条件を変化させた場合の伝播過程への影響の確認
- 観測データの反映による精度の向上
→構造、頻度との関連性を確認