

Cf.) Shimoda et al. 2018, MNRAS, 473 Shimoda & Laming 2019a, MNRAS, 485 Shimoda & Laming 2019b, MNRAS, 489

Collaborators for today's talk:

J. M. Laming³; S. Katsuda⁴

1. Nagoya Univ., 2. Tohoku Univ., 3. Naval Research Lab., 4. Saitama Univ.

高エネルギー宇宙物理学研究会,2019,12/5

最近の研究と共著の皆様

□SNRでのHα偏光による宇宙線加速の検証

Shimoda & Laming (2019 a,b)

□SNRでの電波シンクロトロン放射による乱流磁場スペクト ルの検証

Shimoda, Akahori, Lazarian, Inoue & Fujita (2018) ■突発天体AT2018cowの電波偏光観測の解釈

Huang, Shimoda, Urata, Toma, Yamaoka, Asada, Nagai, Takahashi, Pettipas, & Tashiro (2019)

□GRB残光の電波偏光モデルの構築

Shimoda & Toma in prep.

■Milky Way Gas Halloの精査

Shimoda, Inutsuka on going

最近の研究と共著の皆様

□SNRでのHα偏光による宇宙線加速の検証 Shimoda & Laming (2019 a,b)

□SNRでの電波シンクロトロン放射による乱流磁場スペクトルの検証

Shimoda, Akahori, Lazarian, Inoue & Fujita (2018)

□突発天体AT2018cowの電波偏光観測の解釈

Huang, Shimoda, Urata, Toma, Yamaoka, Asada, Nagai, Takahashi, Pettipas, & Tashiro (2019)

□GRB残光の電波偏光モデルの構築

Shimoda & **Toma** in prep.

■Milky Way Gas Halloの精査

Shimoda, Inutsuka on going

Summary

□宇宙線変調衝撃波がSNRで実際に起き ているかどうか知りたい.

ロ~数kpcの距離にあるプラズマの、10% 程度の速度変化の有無を判別しなければな らない.

□Hαの偏光方向を見れば**判別可能**.



Supernova Remnant (SNR)



X-ray: ~TeVくらいの電子は存在し ている(シンクロトロン放 射より) (e.g. Warren & Hughes 04). H α : 一般に衝撃波近傍で光って いる (e.g. Hovey+15).

SNR 0509-67.5 (Chandra & HST) Blue: 1.5 – 7.0 keV Green: 0.2 – 1.5 keV Red: Hα

最も信頼されている加速機構 (Diffusive Shock Acceleration; DSA) 仮定: downstream upstream ①衝撃波は「無衝突衝 撃波| である. Alfven wave ② Alfven 波などに散乱さ れ、上流と下流を往復 する粒子が存在する. $\frac{dN_k}{dp} \propto p^{-s} \ s = 1 + \frac{3u_2}{u_0 - u_2}$ ベキ指数は圧縮比で shock 決まることが知られ ている。





流体力学的な衝撃波の場合,ランキン・ユゴニオ関係 から圧縮比がわかる.マッハ数が大きいと4.







upstream

downstream

□ 無衝突衝撃波では、「粒子間衝突による運動量交換が不十分なため」、マクスウェル分布から逸脱した粒子が存在しうる. → 宇宙線もいてOK!

□ Shock jump conditionは、「どれだけの非熱的粒子を生成したか」と「それらの粒子の運動量スペクトルの形」に依存する.

2

□ DSAで加速する宇宙線の運動量スペクトル(エネル ギースペクトル)は, shock jump conditionで決ま る圧縮比により特徴付けられる.



upstream 👔 🚦 downstream ▶ これまでの理論研究:「宇宙線の圧力〜上流のラ ム圧」という状況が期待されてきた. ▶ ガンマ線とX線の観測を同時に説明することができ なかった(e.g. Abdo+11). →理論の敗北? 周辺媒質の理解が不十分だっため、ガンマ線観測の解 釈を間違えていた可能性が指摘されている(e.g. Inoue+12, Inoue 19).

そもそも、「宇宙線圧力~ラム圧」の観測的な直接証拠はない(示唆はあった).









Cosmic-Ray Modified Shock (CRMS)



Cosmic-Ray Modified Shock (CRMS)



Supernova Remnant (SNR)



X-ray: ~TeVくらいの電子は存在し ている(シンクロトロン放 射より) (e.g. Warren & Hughes 04). H α : 一般に衝撃波近傍で光って いる $(\alpha \sigma H \alpha \nu \alpha \nu + 15)$

Hαは衝撃波周辺のプラズマ状態を反映して光る (e.g. Raymond 91 for review).

Red: $H\alpha$

$H\alpha$ emission from upstream



Distance from the peak ["]

$H\alpha$ emission from upstream



SNR Cygnus Loop (Katsuda, SJ+2016)













Polarization angle for Ly $\beta \rightarrow H\alpha$















Polarization angle for Ly $\beta \rightarrow H\alpha$





$H\alpha$ emission from upstream

- □ Lineの輻射輸送とatomic population (rate-eq.)
 を偏光と同時に解く. → 極めて複雑!
 □ 簡単化して偏光度を評価する:
- 1. atomic populationは偏光なしで解く (SJ & Laming 19a). Stokes Iはちゃんと計算できる.
- 2. Lyβ は完全に無偏光であるとする.
- 3. Stokes Qに対して,上流の3p状態は,Lyβ to Hαのラマン散乱 (i.e. radiative excitation)だけ に由来するとして評価する.

See, SJ & Laming 19b for details





Line Transfer Model





Pure hydrogen plasma. 励起準位は4fまで解かれている.

Results: Ionization Structure of H



Results: Radiative vs. Collisional



Results: Polarization of $\text{H}\alpha$



Results: Polarization of $\text{H}\alpha$



ロ 偏光方向で「減速」の有無が分かる! ロ 上流は明るい.

□ 偏光度~数%は観測できうる (Sparks+15).

Discovery of polarized H α emission @ bright filament of SN 1006 (Sparks+ 15)





 Linear Polarization
 Polarization angle : perpendicular to the shock
 Degree : 2.0 ± 0.4 %



Polarization of H α vs others



Outcome





Summary

□宇宙線変調衝撃波がSNRで実際に起き ているかどうか知りたい.

ロ~数kpcの距離にあるプラズマの、10% 程度の速度変化の有無を判別しなければな らない.

□Hαの偏光方向を見れば**判別可能**.

➢ 将来観測により世界で初めてCRMSを identifyする!(with 勝田さん@埼玉大)