

星間水素ガスの正確な定量と ガンマ線データの関係

名古屋大学 天体物理学研究室
岡本竜治

佐野栄俊 / 早川貴敬 / 大浜晶生 / 鳥居和史 / 山本宏昭 / 立原研悟 / 福井康雄

NANTEN2メンバー

はじめに

水素原子の放つ波長 21 cm の電波が発見された 1951 年以来、水素の観測によって宇宙の成り立ちの理解は大きく前進した。教科書には「21 cm スペクトルは光学的に薄い」と記されている。しかし、プランク衛星の結果を用いて調べると、21 cm スペクトルは光学的に厚いことが分かった。光学的厚さを補正すると、水素の平均密度は 2 倍程度大きくなる。その効果は、分子雲の構造と星形成、銀河の星形成率、星間化学、宇宙線強度など、幅広く宇宙の理解に影響を与える。

天文月報 2015年6月号より

■ これまでの研究の紹介

- 光学的に厚いH_Iガス

- 光学的厚さの補正 → 水素原子 (星間陽子) の正確な定量

■ SNR Vela Jr. 領域で陽子量とガンマ線を比較

- ガンマ線の陽子起源説を支持

これまでの研究

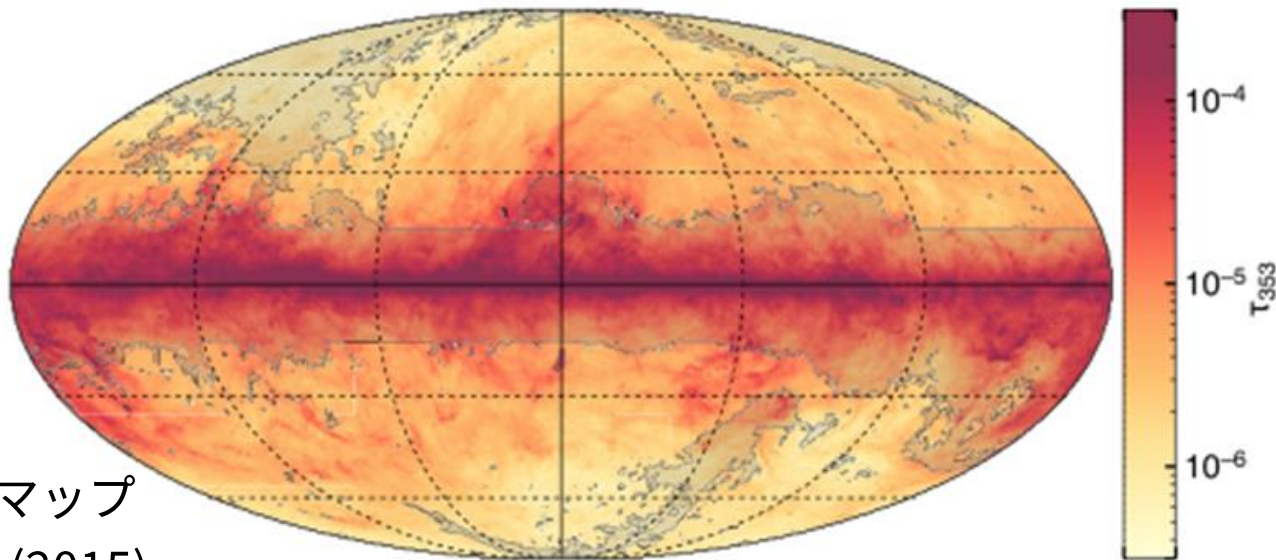
■ Planck衛星のダスト放射データ

□ 353 GHzの光学的厚さ (τ_{353}): 水素原子(陽子)のトレーサ

□ ダスト温度 (T_d)

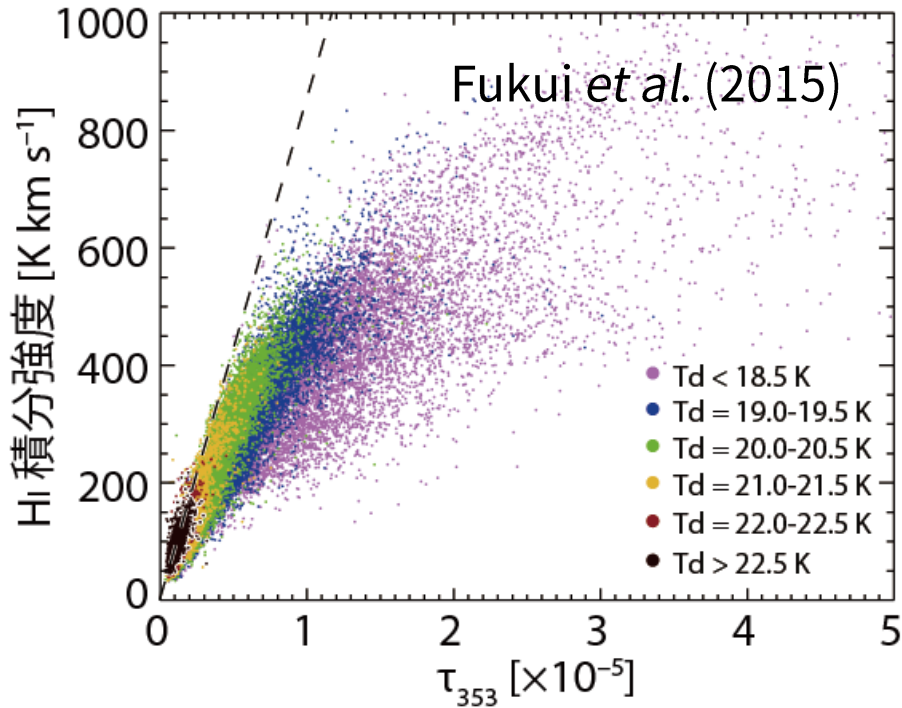
■ HI 21cmスペクトル強度 / COスペクトル強度と比較

⇒ 水素原子の正確な定量 (= 星間陽子の正確な定量)



τ_{353} の全天マップ
Fukui et al. (2015)

これまでの研究



- 21cm スペクトル強度は、**大部分で飽和が見られる**
- T_dが高い部分では、21cm スペクトルは**光学的に薄い**
- T_dが高い部分での τ₃₅₃ と W_{HI}の関係 (破線) から正しい N_pが計算できる

$$N_p(\text{HI}) = (1.8 \times 10^{18}) \times W_{\text{HI}}$$

この式は21cmスペクトルが光学的に薄い場合にのみ有効

$$N_p = (2.1 \times 10^{26}) \times \tau_{353}$$

この式は**21cmスペクトルが光学的に厚くても有効**、誤差 ~ 10%

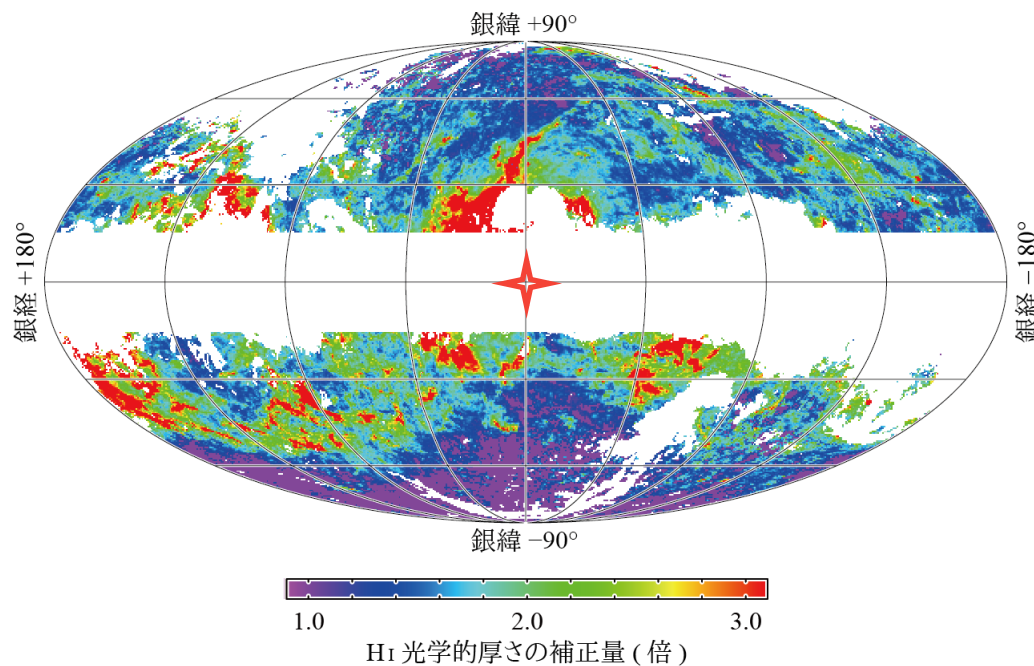
(ただし特定の速度成分の分離は不可)

これまでの研究

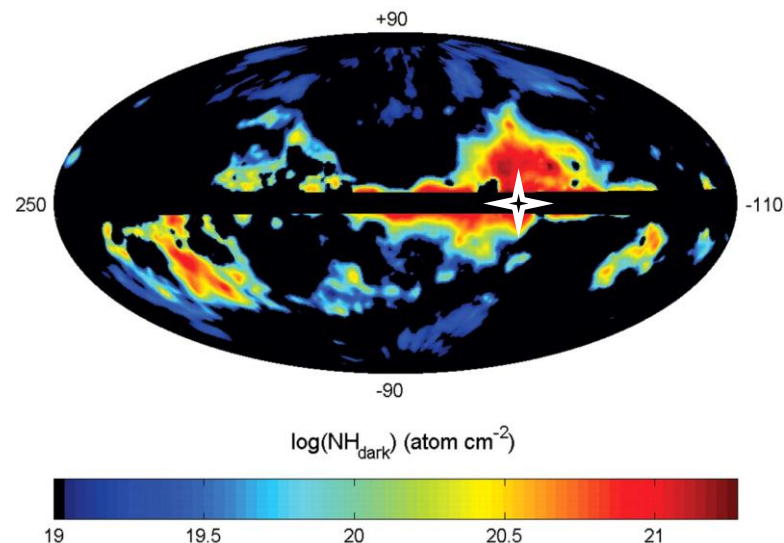
■ HI 21cmスペクトルの光学的厚さの効果の補正

□ HIの存在量 約2倍 (星間陽子量にも補正が必要)

□ 「ダークガス」は「光学的に厚いHIガス」で説明可能



天文月報 2015年6月号より



ダークガスの柱密度
Grenier *et al.* (2005)

この研究

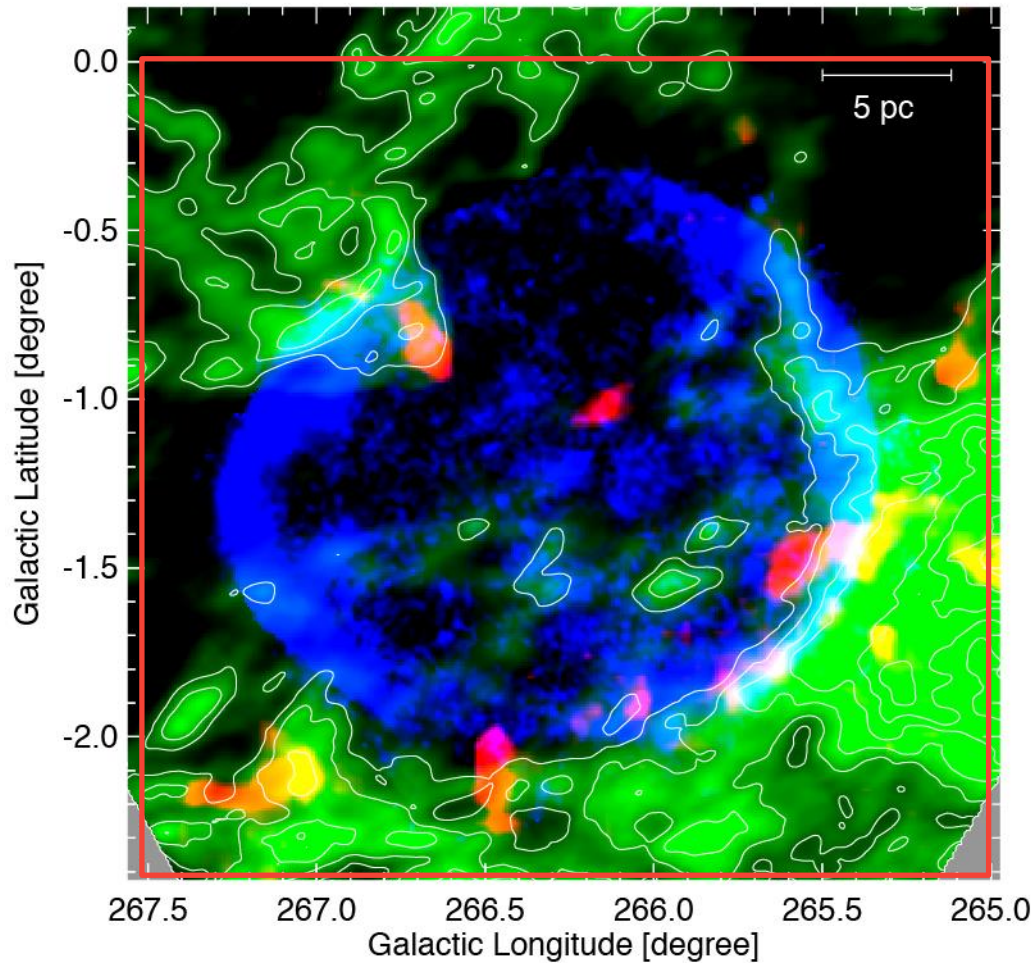
目的

- 我々の手法を別の独立なデータを用いて検証する
- ガンマ線 (別の星間陽子のトレーサ) との関係は？
 - ガンマ線の起源

手法

- ガンマ線で明るい / HIが支配的な領域
 - SNR Vela Jr. (Fukui 2013)
- SNR Vela Jr. 領域で、我々の手法で求めた星間陽子の量とガンマ線データの空間分布を比較する

超新星残骸 Vela Jr.

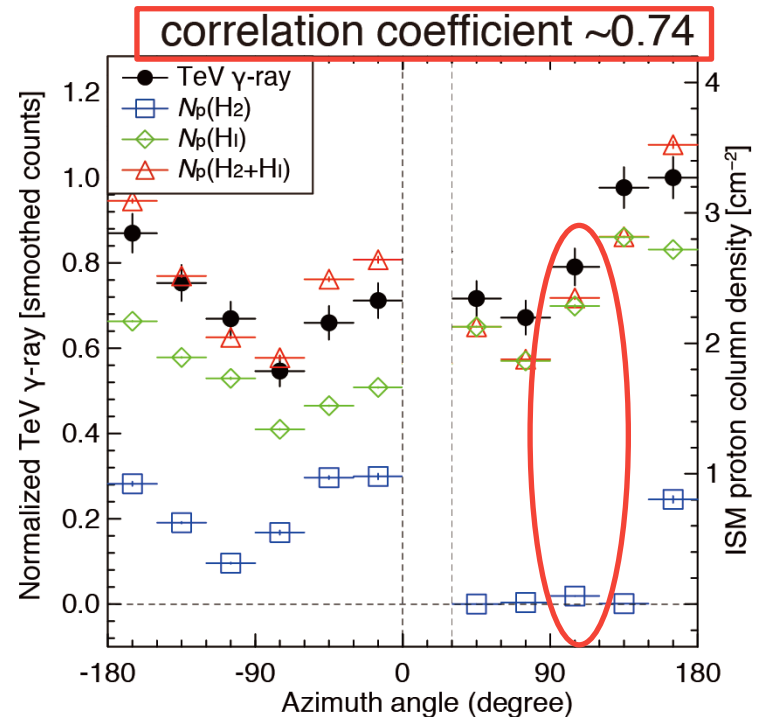
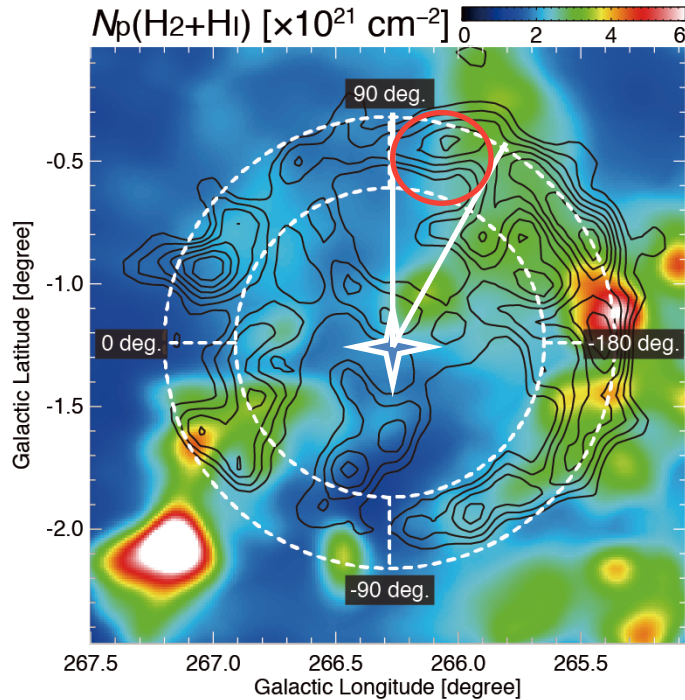


赤: CO 緑: HI 青: X線

- RX J0852.0-4622
- 年齢 ~ 1700 年
- 距離 ~ 750 pc
- 視直径 ~ 2°
- X線/TeVガンマ線 強い
- HIが支配的 (Fukui 2013)
- HIの空洞
- COのクランプ

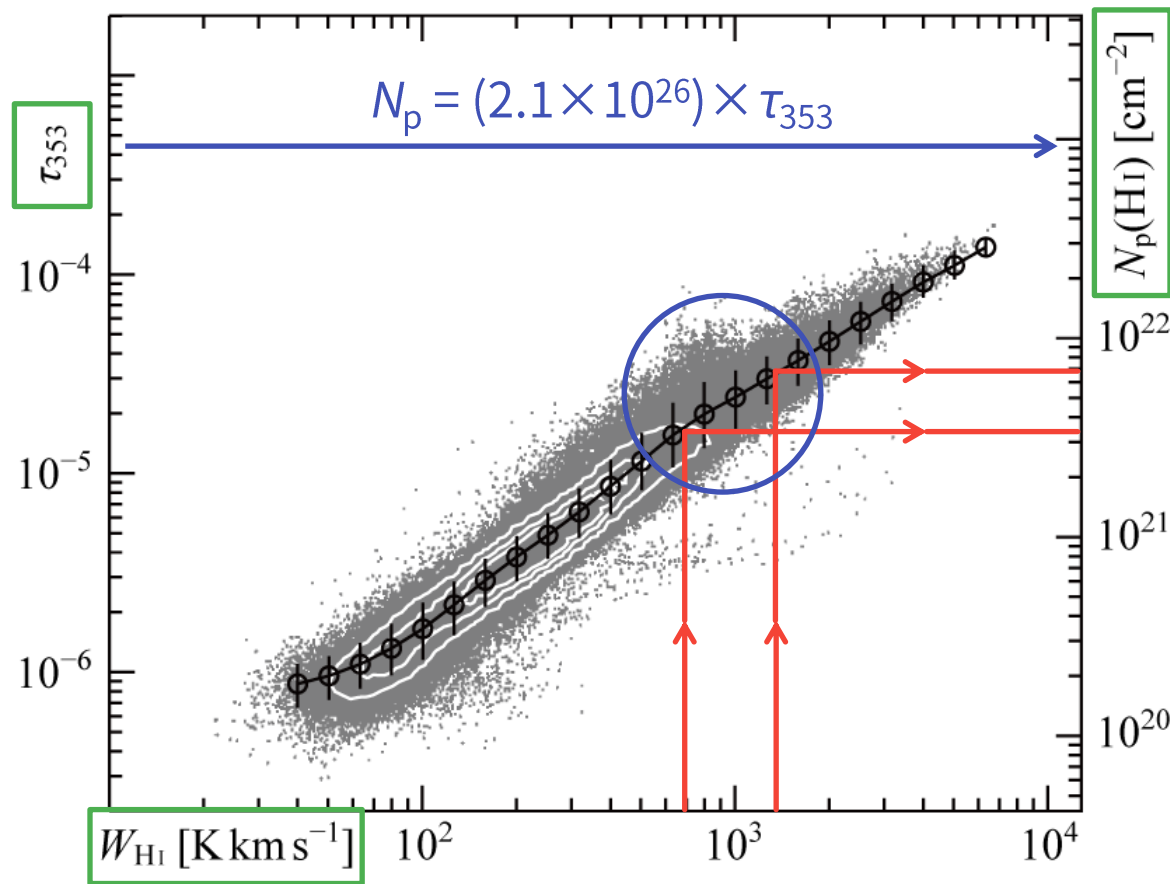
陽子柱密度 vs. ガンマ線

- 21cmスペクトル 光学的厚さの補正をしない場合
- ドーナツ状の領域を切り出し、中心からの方位角ごとにガンマ線強度と陽子柱密度 ($H\text{I} + H_2$) を比較 (Fukui 2013)



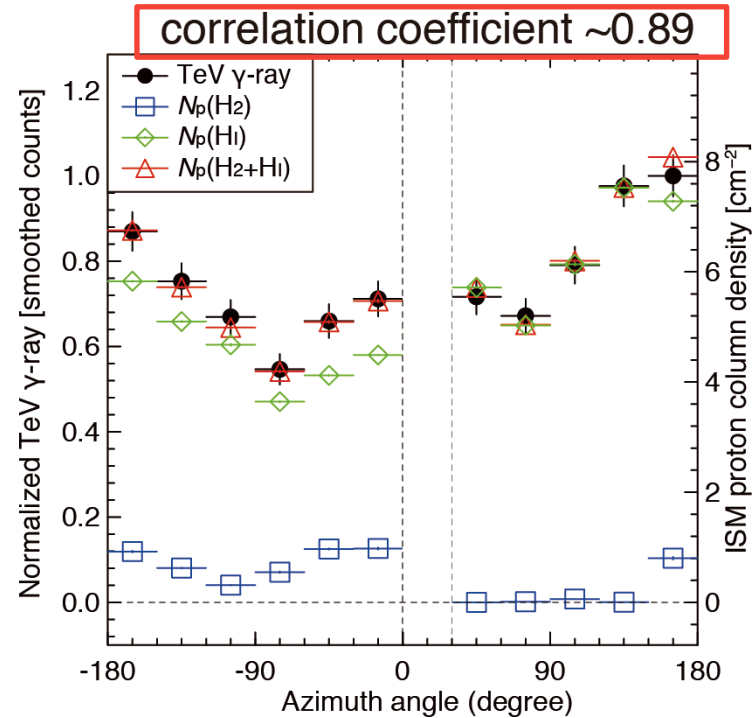
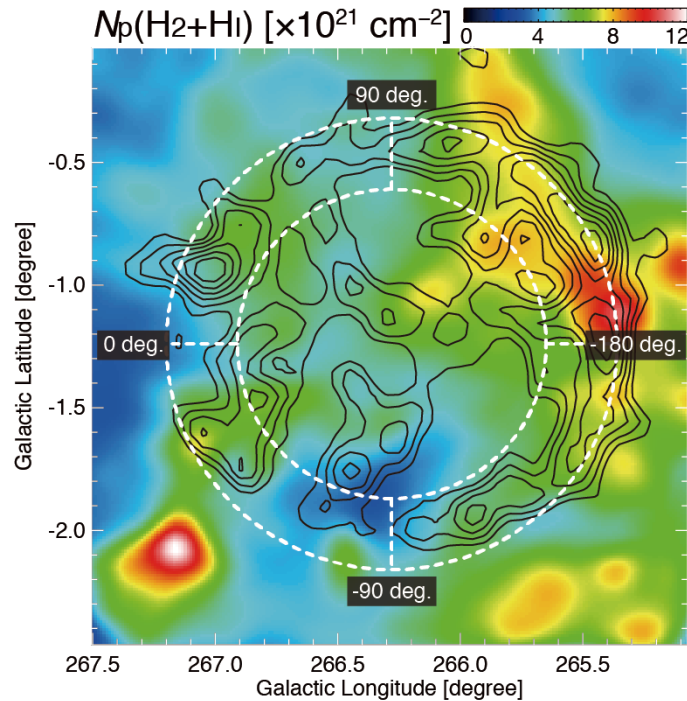
$$N_p(H_2+HI) = N_p(HI) + 2 N_p(H_2) = (1.8 \times 10^{18}) \times W_{HI} + 2 X_{CO} W_{CO}$$

21cmスペクトル 光学的厚さの補正



- ある W_{HI} から、 τ_{353} で求めた陽子柱密度 (N_p) へ変換
- 特定の速度成分の分離ができる → 低銀緯領域などに有効

光学的厚さを補正すると



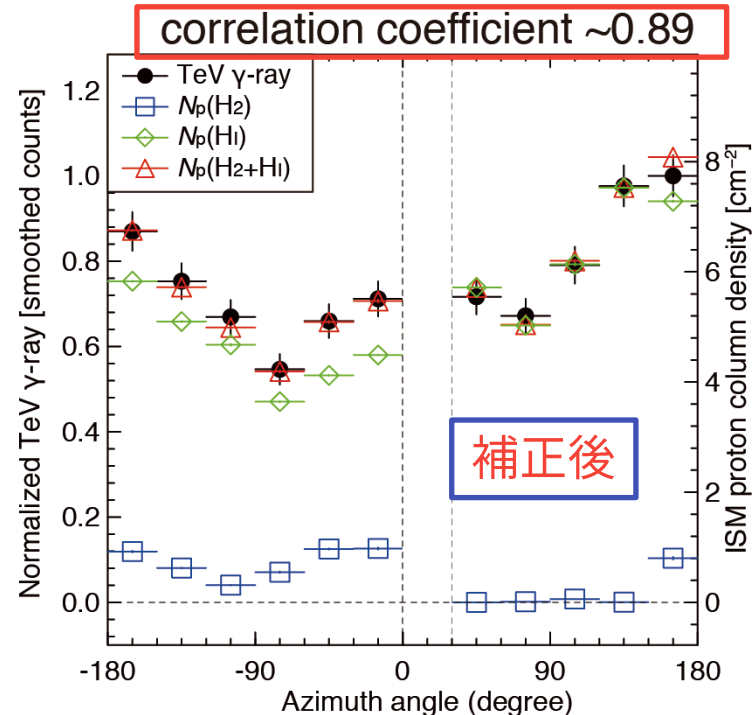
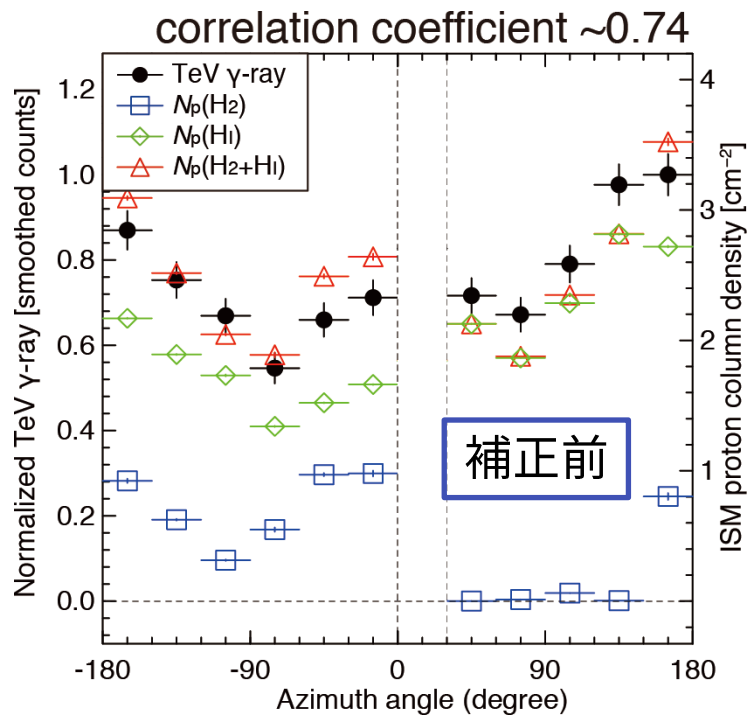
- 陽子量とガンマ線の分布が大変よく一致 (相関係数 ~ 0.89)

⇒ この領域ではガンマ線の陽子起源説が支持される

- 「HI」と「COで見える H_2 」だけでガンマ線をトレース可能

- 21cmスペクトルの光学的厚さの補正は妥当かつ重要

光学的厚さを補正すると



- 陽子量とガンマ線の分布が大変よく一致 (相関係数 ~ 0.89)
 - ⇒ この領域ではガンマ線の陽子起源説が支持される
- 「HI」と「COで見えるH₂」だけでガンマ線をトレース可能
- 21cmスペクトルの光学的厚さの補正は妥当かつ重要

まとめ

- Vela Jr. 領域でガンマ線と星間陽子の空間分布が一致
 - **ガンマ線の宇宙線陽子起源**を強く支持
 - 「**HI**」と「**COで検出されたH₂**」でガンマ線をトレース可能
 - 「COで見えないH₂」は不要
 - **光学的に厚いHI**の定量手法の確立 (*Planck*ダスト、ガス)
 - 星間物理学にとって大変重要
- CTAの高品質のガンマ線データにより、**さらに多くの天体**で星間物質との統計的な比較研究が可能