

(10) 電波で見る「天の川」

集中講義：天文学 (宇宙から地球のみらいを考える)

特任准教授 西村淳

国立天文台 野辺山宇宙電波観測所



そもそも、天の川ってなに？

2

みなさんへ質問： 天の川といえは、何を思い浮かべる??

そもそも、天の川ってなに？

3

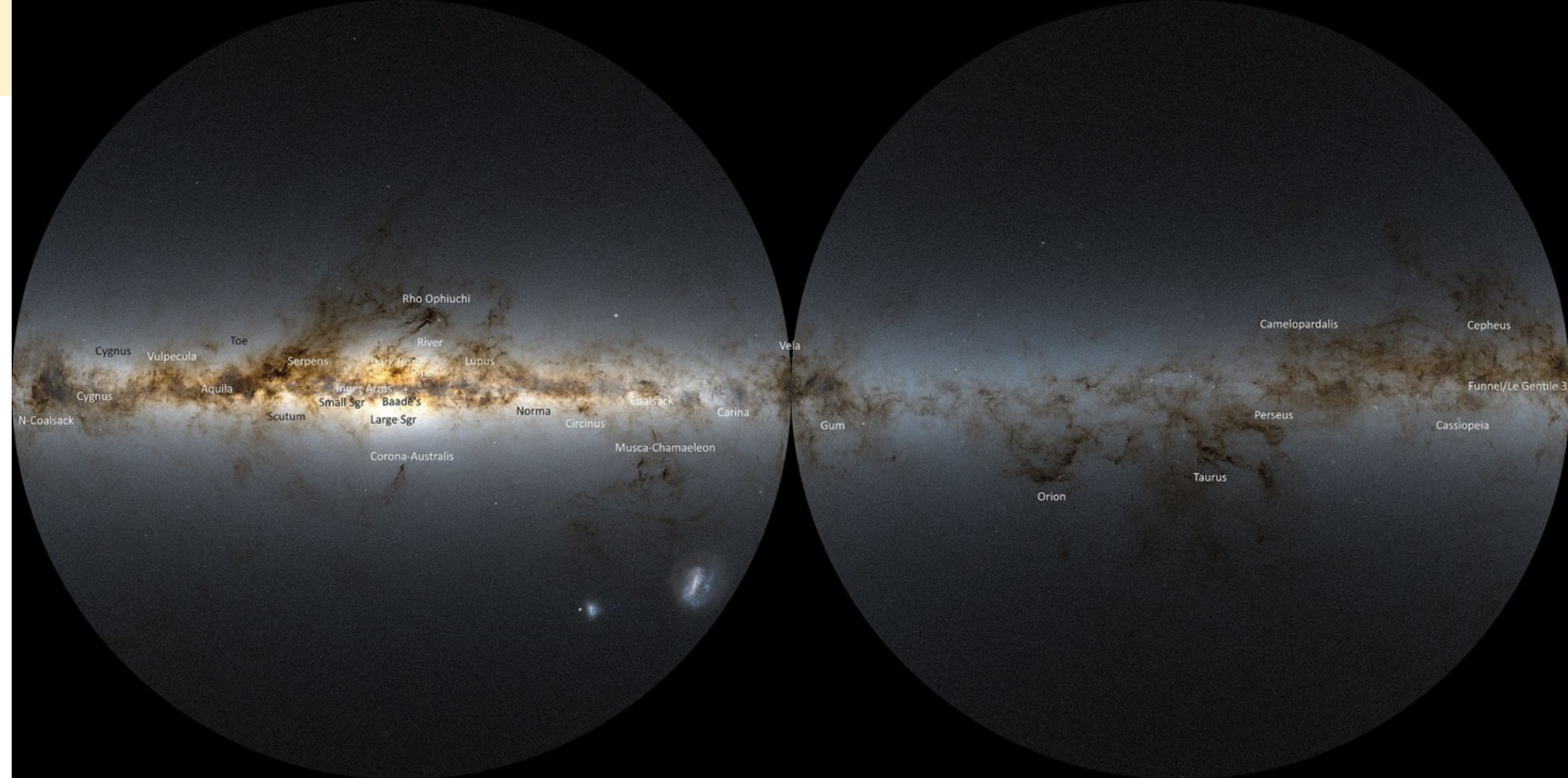
みなさんへ質問： 天の川といえば、何を思い浮かべる??



石原大稔(野辺山観測所・星空撮影会 2019/5/25)



(いらすとや)



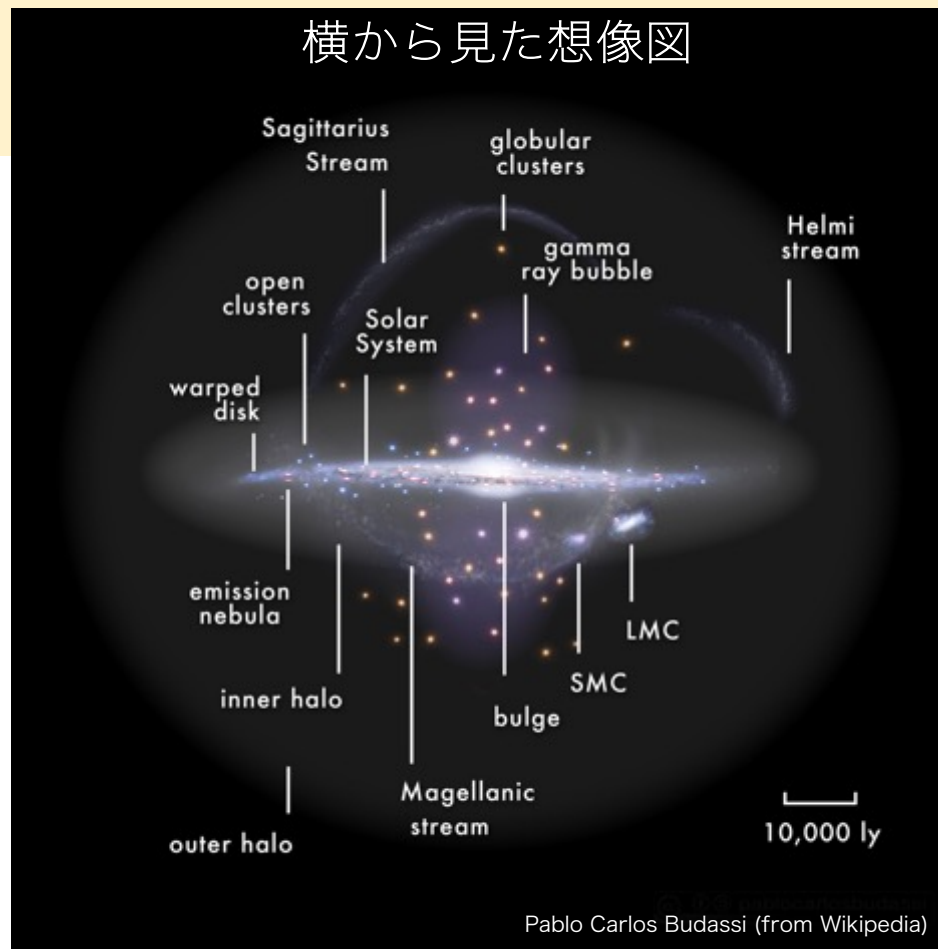
- 数千億の恒星、太陽 1 兆個の重さ (= 銀河)
 - 重さの大半はダークマター。星は 5%、ガスは 0.5 % 程度

天の川銀河・銀河系

上から見た想像図



横から見た想像図



天の川銀河は、棒渦巻き銀河

- 直径 10 万光年
- 円盤の形。中心に棒構造(バー)。腕構造(アーム)が何本かはえている
- 白色：恒星、黒い筋：分子雲、赤色：星形成領域

バラ星雲



Evangelos Souglakos

オリオン大星雲



NASA, ESA, M. Robberto (Space Telescope Science Institute/ESA)
and the Hubble Space Telescope Orion Treasury Project Team

わし星雲



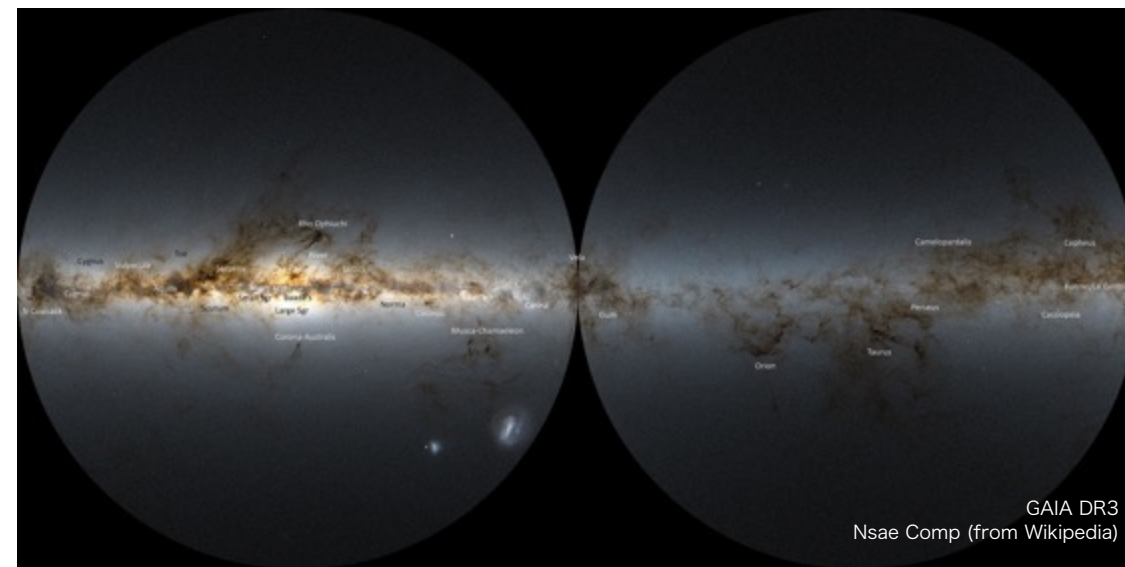
Martin Pugh

オメガ星雲

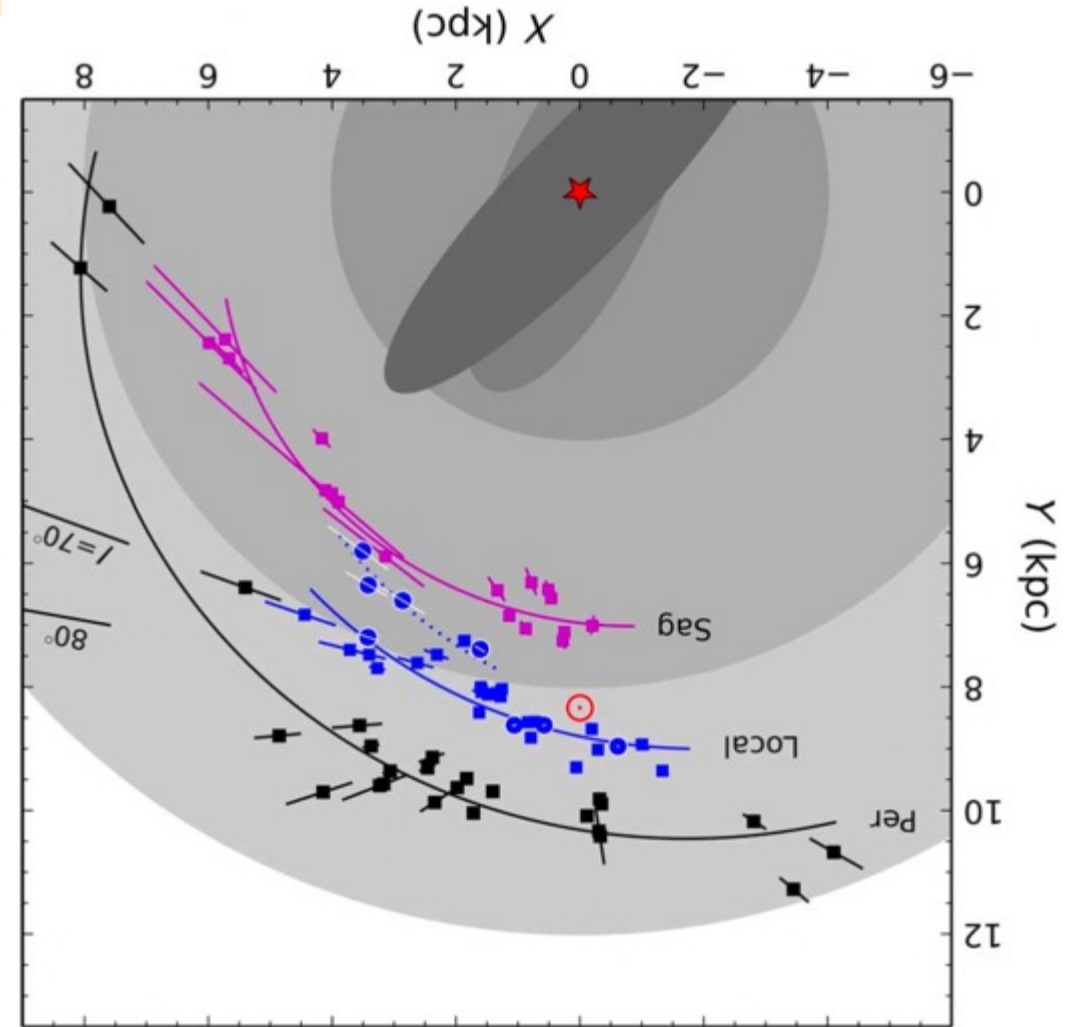


ESO/MPIA/OAC, R.Colombari

- 大質量星が、巨大分子雲の中で生まれると、
 - 高温な大質量星から、強烈な紫外線が放射される
 - 周辺に残った水素ガスは、紫外線に照らされて電離する
 - 陽子と電子に分離される
 - 電子が陽子に再び出会った時(再結合)、赤色で光る ($H\alpha$ 線)



- 太陽系の位置
 - 銀河中心から 2.4 万光年
 - オリオン・アーム上
 - 銀河ハビタブルゾーン



Xu et al. 2016, Science Advances

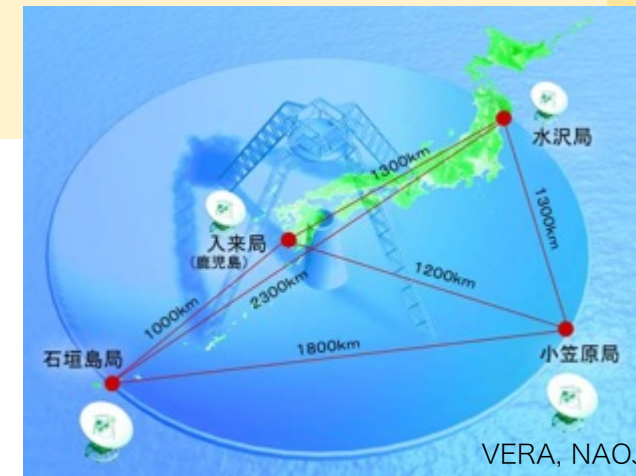
- アームやバーが、どのように作られるかは分かっていない
- オリオン・アームは、長らく、アームから生えた分岐(スパー)だと考えられてきたのだが、2010年代に距離測定が進み、今では主要なアームの一つとみなされている

距離を測る：三角測量



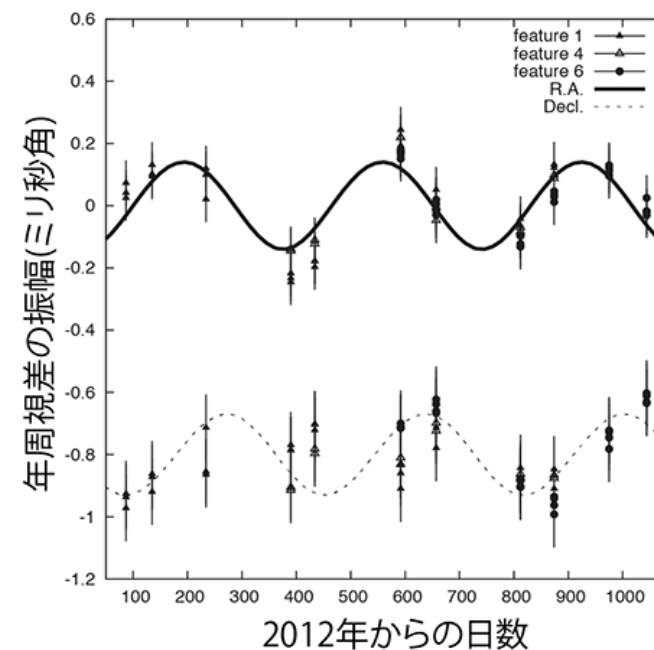
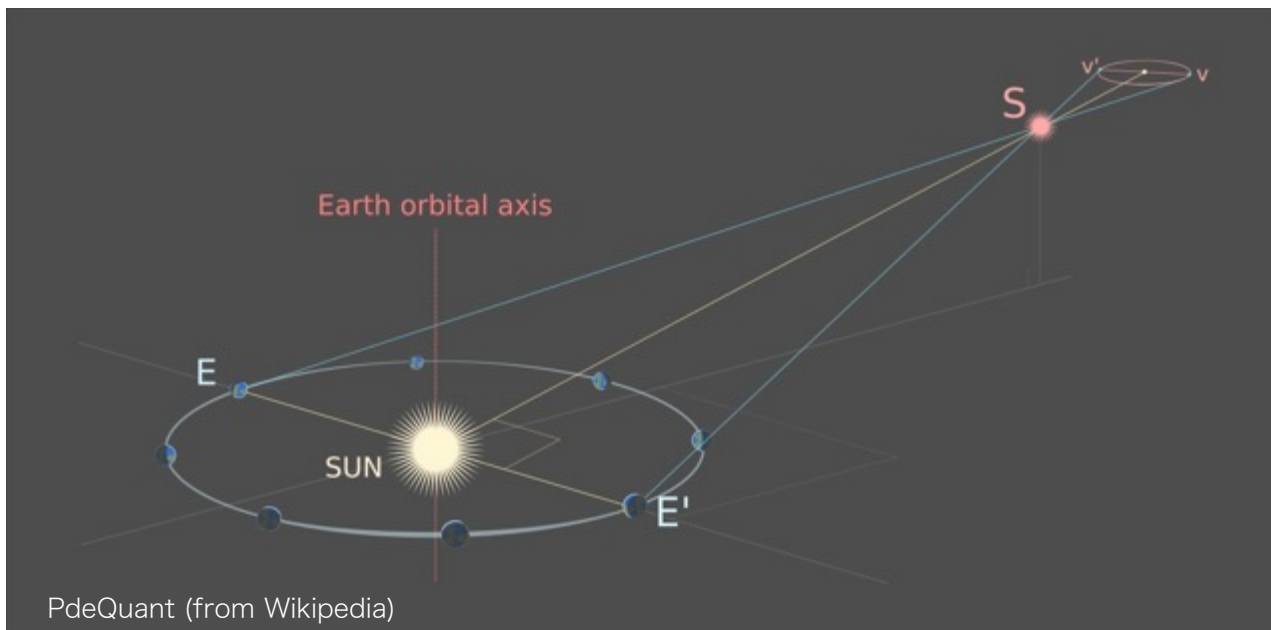
三角測量

- 2ヶ所から角度を測ると、距離が分かる
- 地球の公転を利用して、異なる季節に観測する



VERA

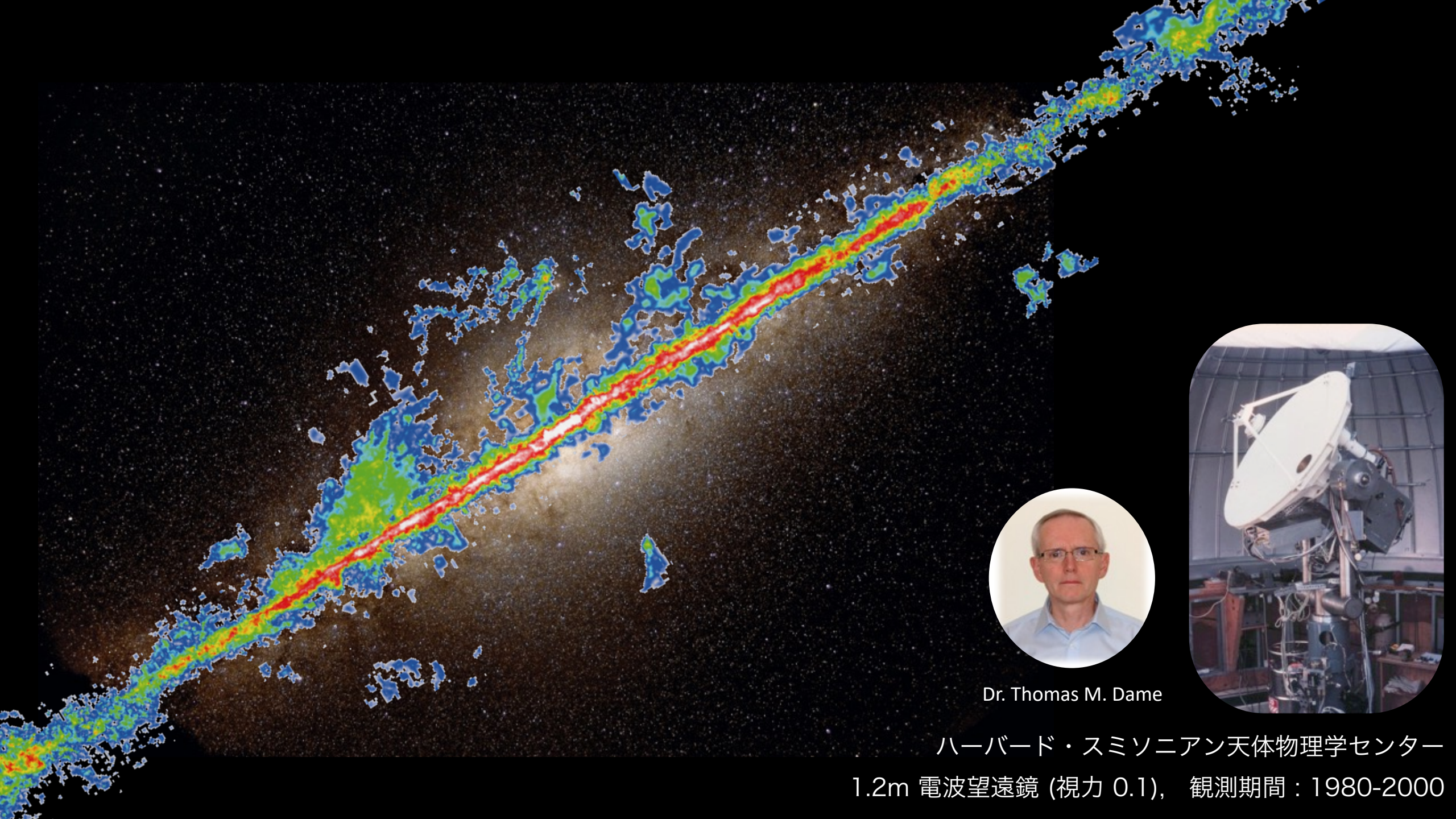
- 三角測量による、天の川銀河地図の作成を目的とした国立天文台の電波干渉計 (視力 6 万)



星形成領域 IRAS 01123+6430 に付随する水メーザーの計測

Koide et al. (2019)

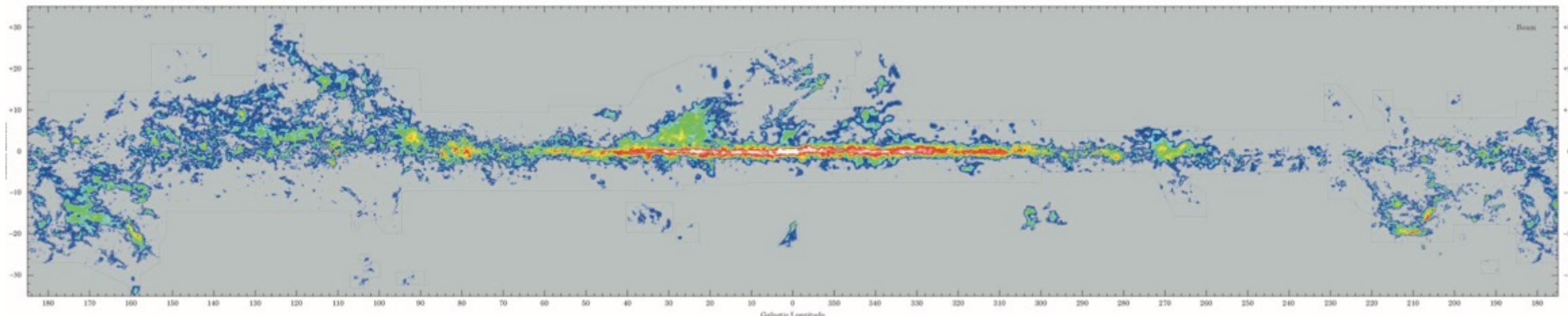




Dr. Thomas M. Dame



ハーバード・スミソニアン天体物理学センター
1.2m 電波望遠鏡 (視力 0.1), 観測期間: 1980-2000

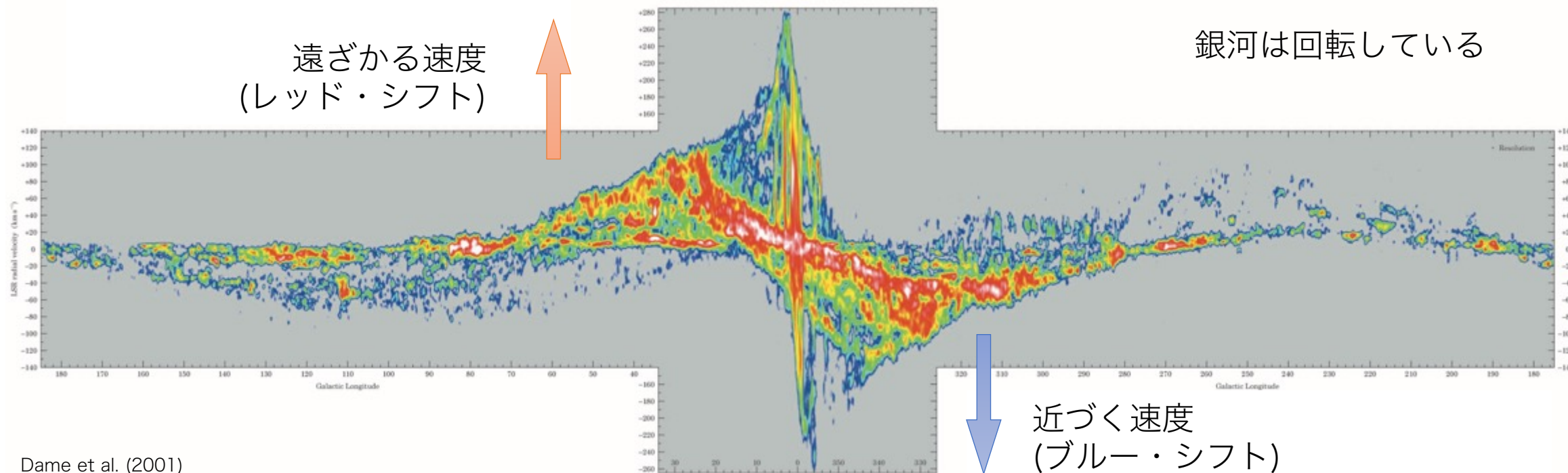


遠ざかる速度
(レッド・シフト)

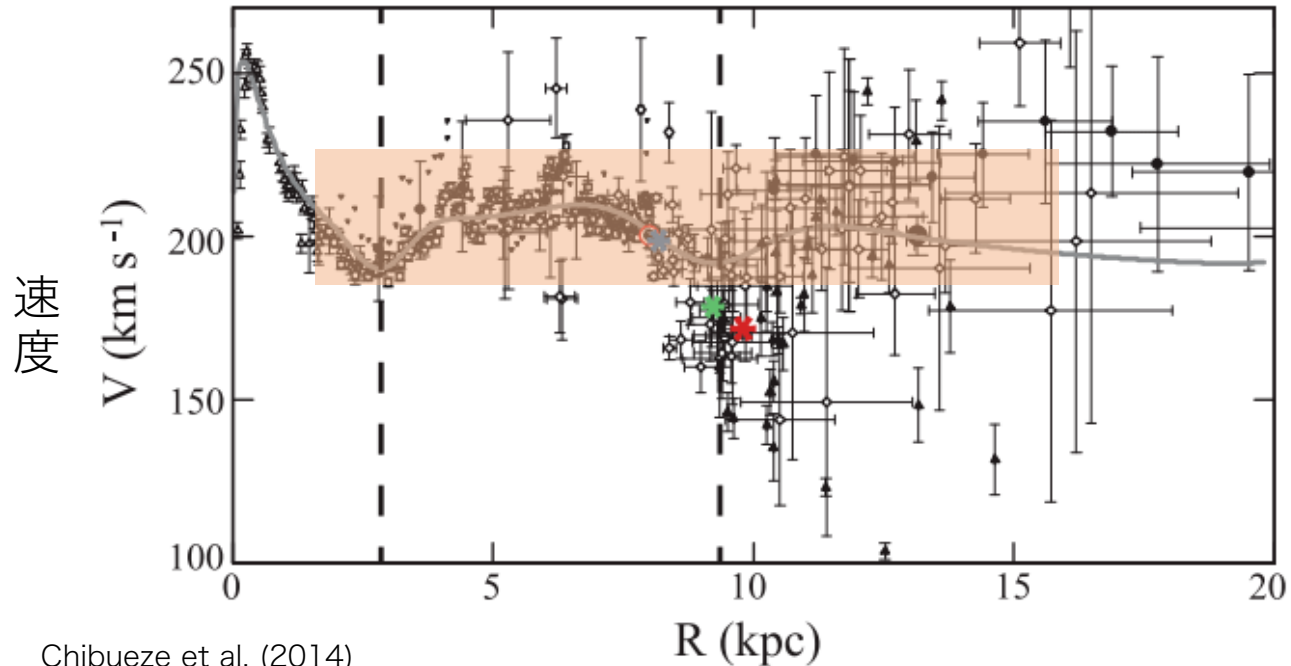


銀河は回転している

速度



近づく速度
(ブルー・シフト)



銀河中心からの距離

- 天の川銀河の回転速度は、中心からの距離に関わらず、ほぼ一定である (差動回転)
- 他の回転の例
 - 剛体回転：中心から離れるほど、速くなる (CD など)
 - ケプラー回転：中心から離れるほど、遅くなる (太陽系など)
- なぜ差動回転するのか？
 - 未知の質量、ダークマターが、銀河全体を包み込んでいる、とすると説明でき、有力視されている。

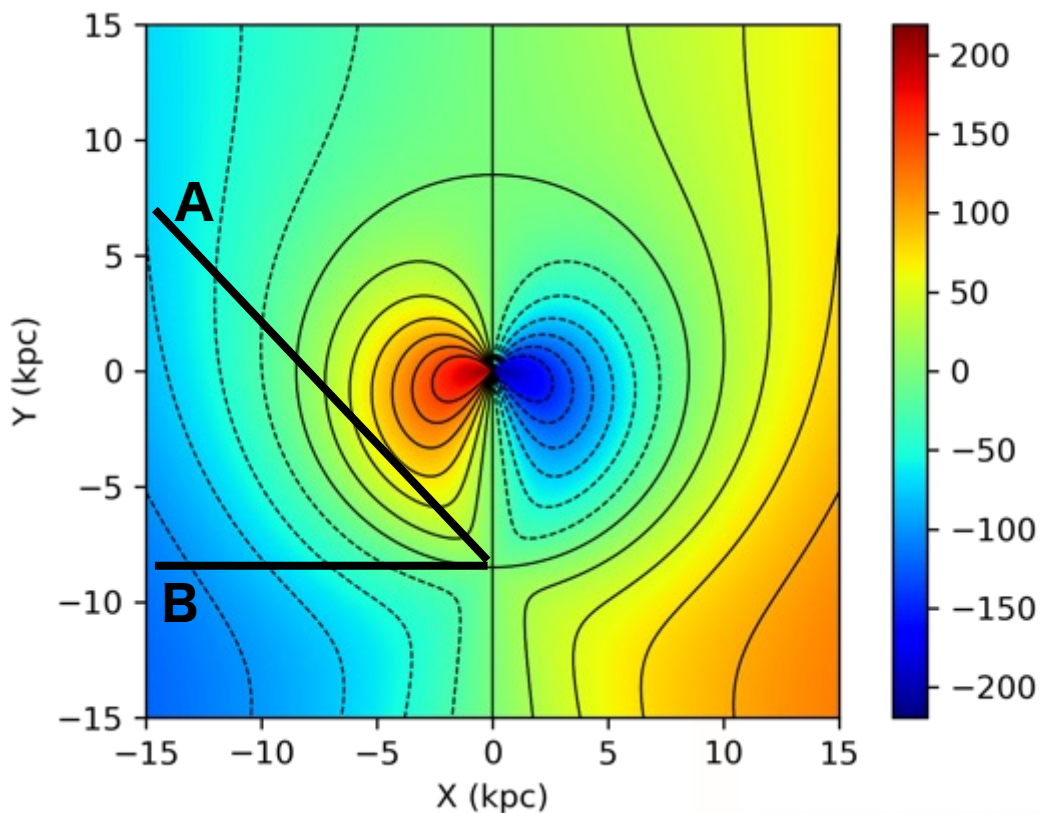


最新のシミュレーション

Baba et al. (2022)

Credit: 馬場淳一、中山弘敬、国立天文台 4次元デジタル宇宙プロジェクト





- 天の川銀河は、一定の速度で回転しているのので、どの場所が、どの速度で動いて見えるのか、予想することができる (運動学的距離)
- 同じ速度が2回現れるところがあり (例：Aの方向)、判別が難しかった (near/far 問題)

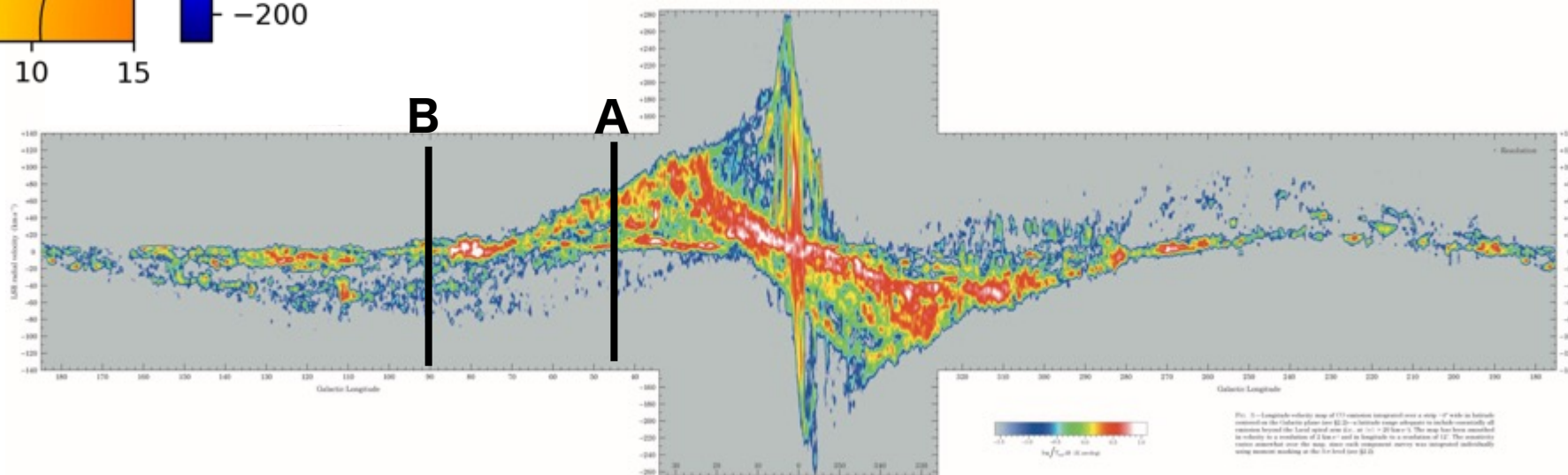
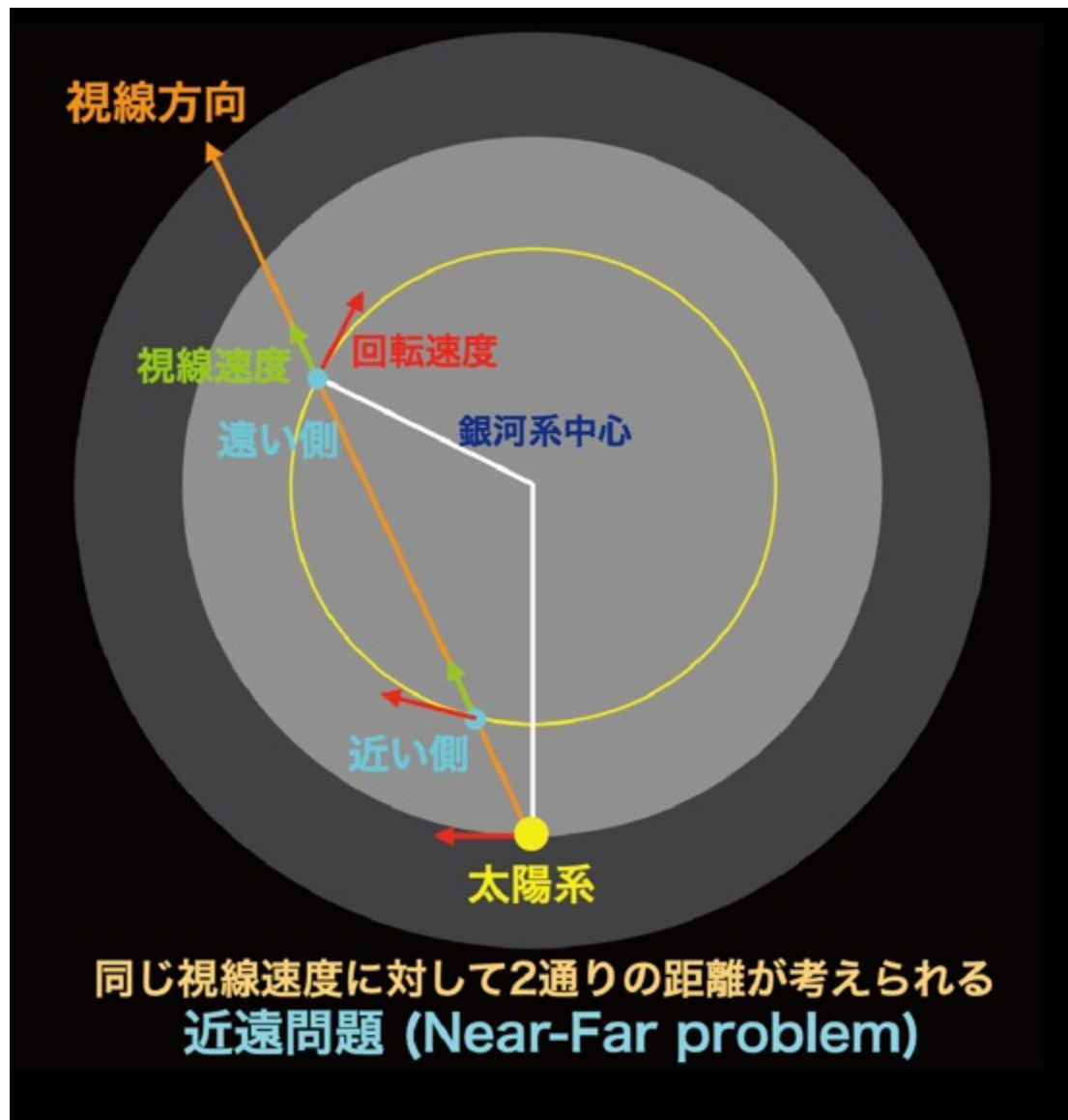
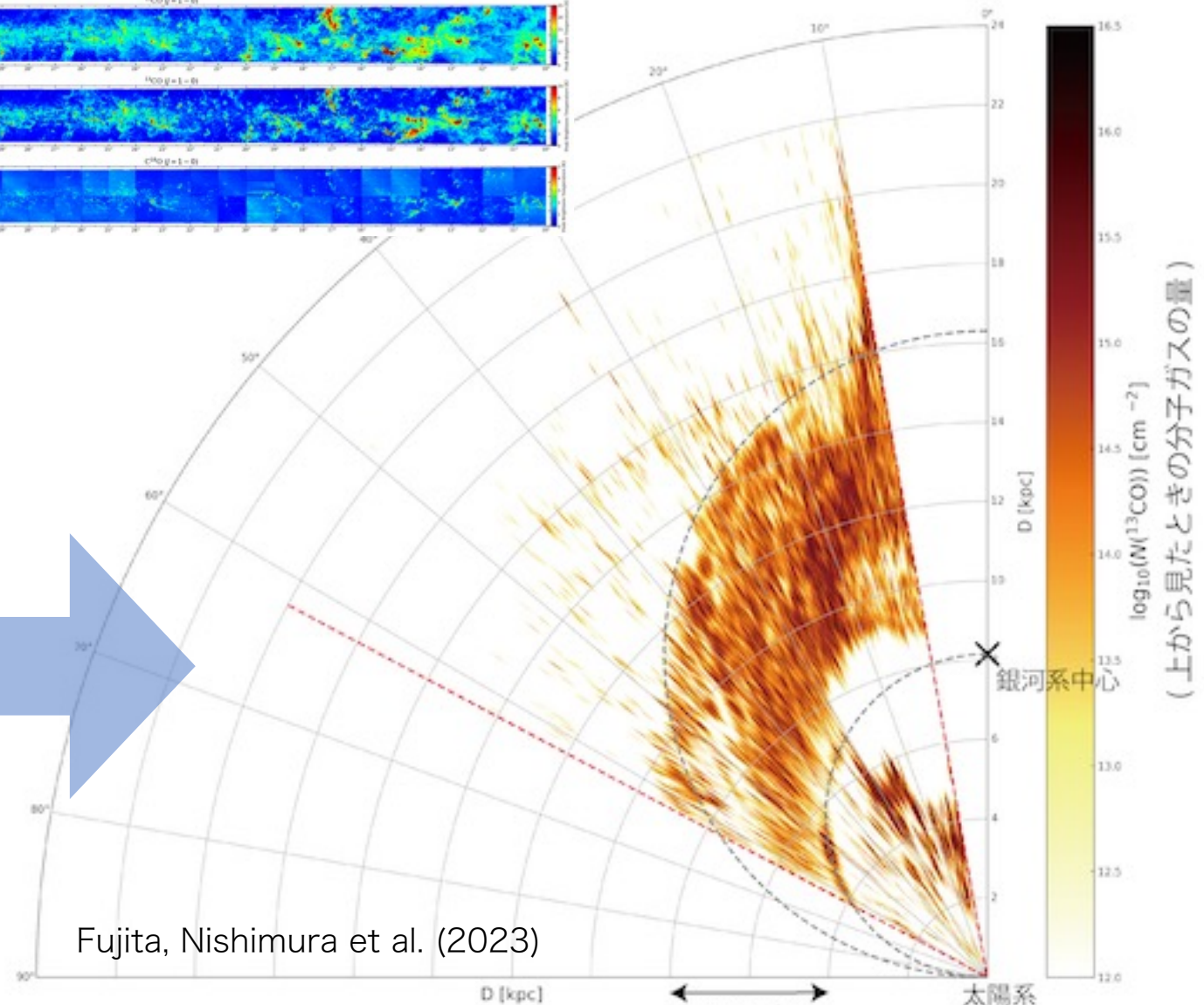
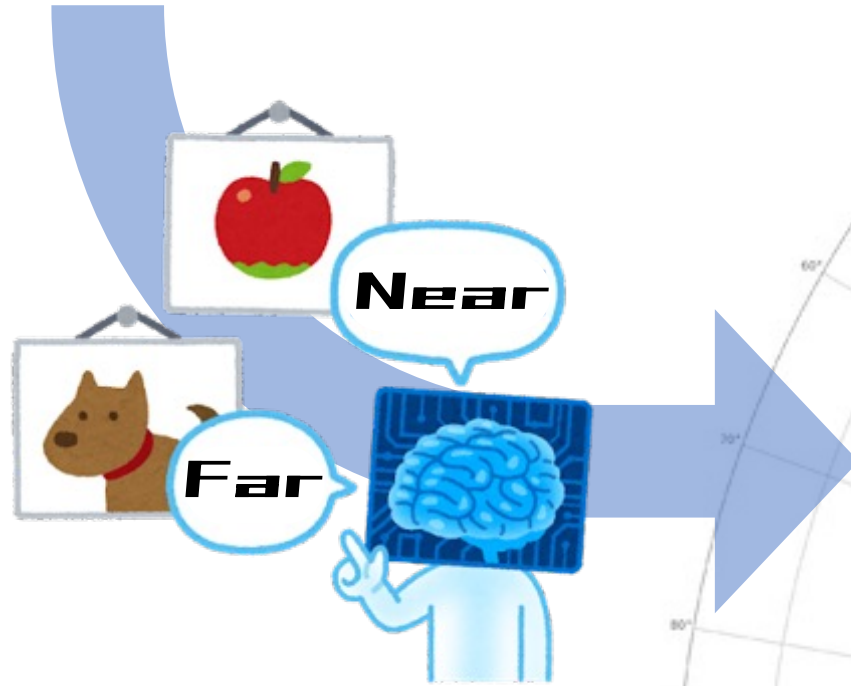
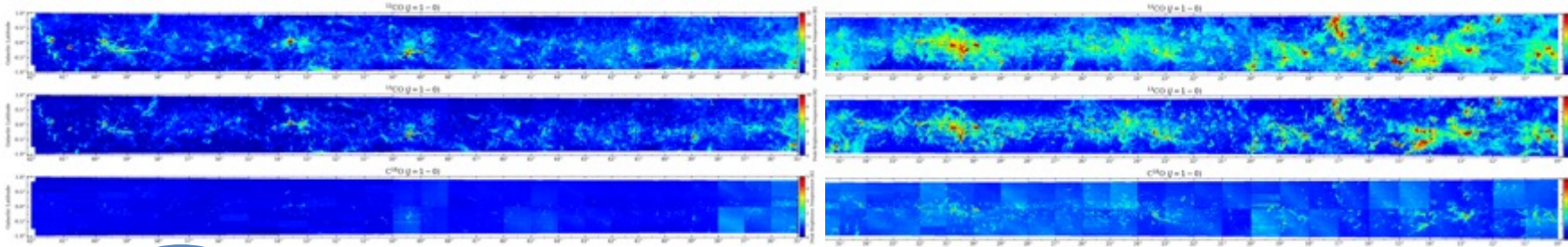


Fig. 1. Longitudinal velocity map of the Galactic plane over a range of 180° in Galactic longitude. The map shows the velocity distribution in the Galactic plane over 180° in Galactic longitude. The map has been smoothed to a resolution of 2.5 kpc and is binned in a resolution of 10 km/s. The color bar shows the velocity in km/s. The map is divided into four quadrants by the Galactic center and the Galactic plane.



- 天の川銀河は、一定の速度で回転しているので、どの場所が、どの速度で動いて見えるのか、予想することができる(運動学的距離)
- 同じ速度が2回現れるところがあり(例：Aの方向)、判別が難しかった
(near/far 問題)

Near / Far 問題の新しい解法



AIにより判別させる試みも

Fujita, Nishimura et al. (2023)

プレスリリース：世界初！ AIが描く 天の川銀河のガス雲分布

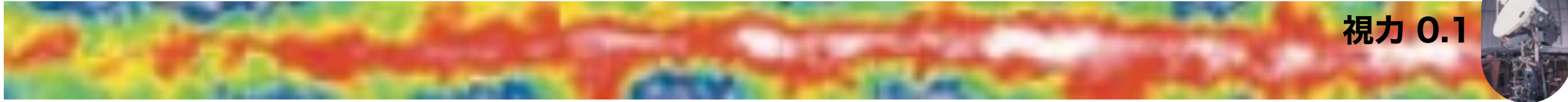
13000 光年

太陽系

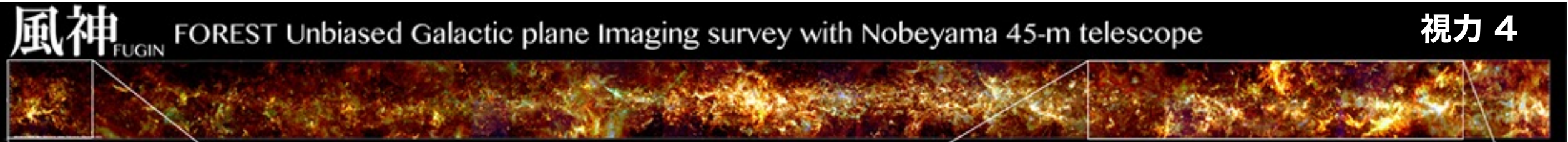
可視光



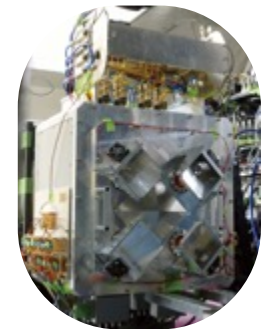
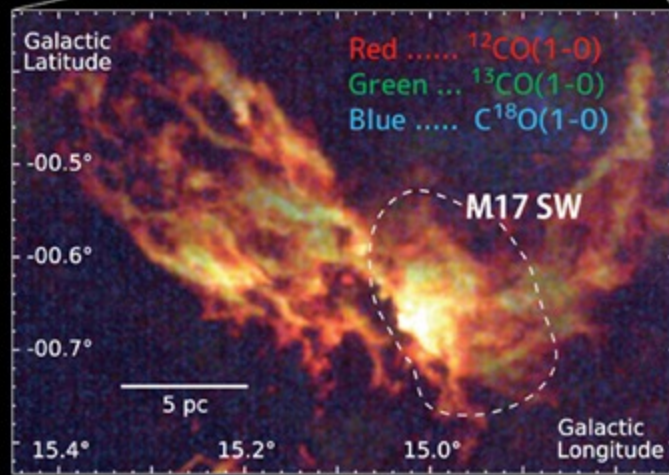
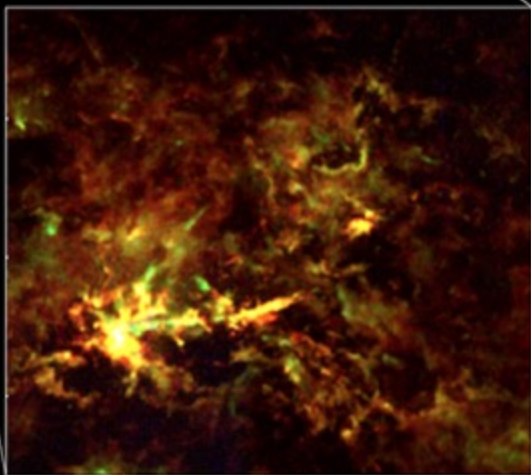
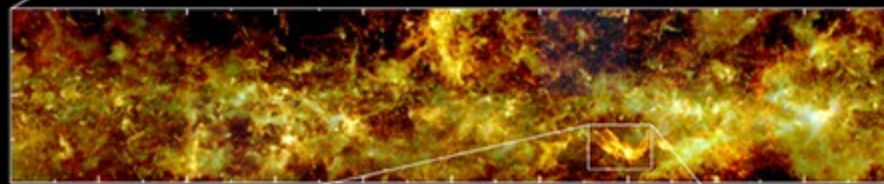
GAIA DR3
Nsaie Comp
(from Wikipedia)



視力 0.1

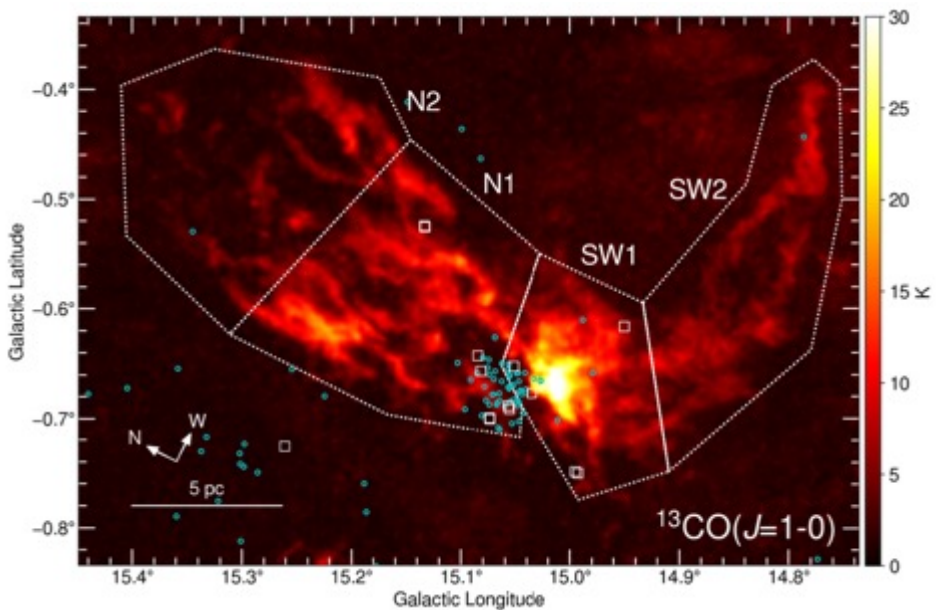


Umemoto, Nishimura et al. (2017)

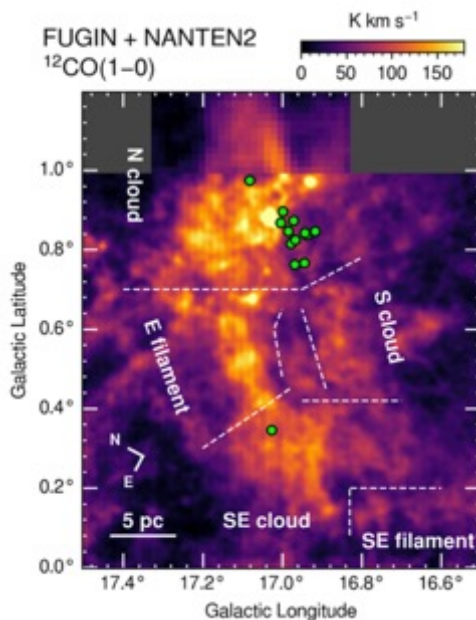


- 最も高精細な、天の川の分子ガス地図
- 数千-万個の巨大分子雲

風神で見た、天の川銀河の巨大分子雲

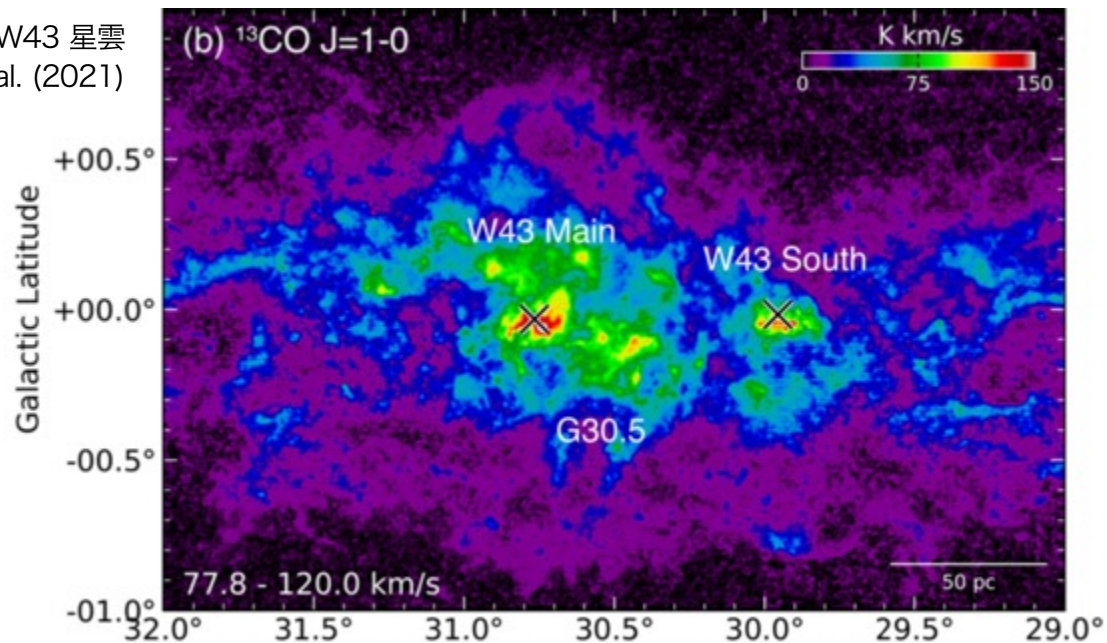


M17 (オメガ星雲)
Nishimura et al. (2018)

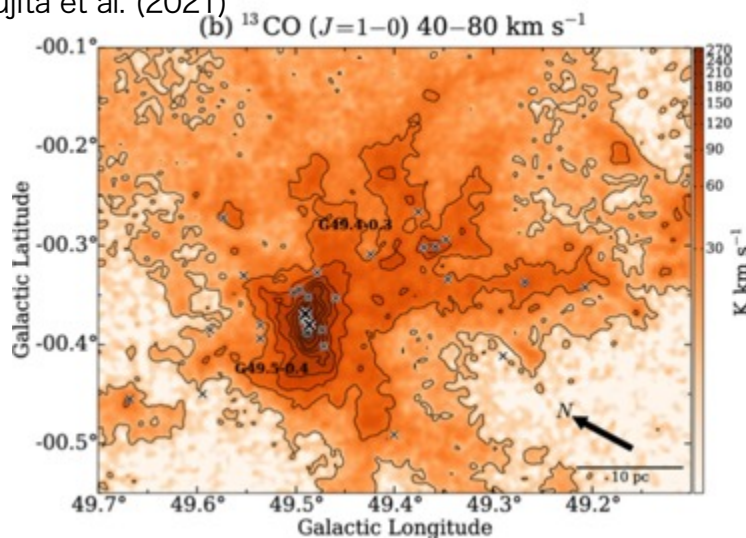


M16 (わし星雲)
Nishimura et al. (2021)

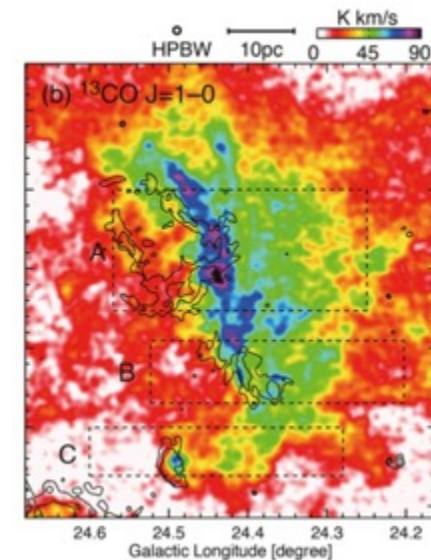
W43 星雲
Kohno et al. (2021)

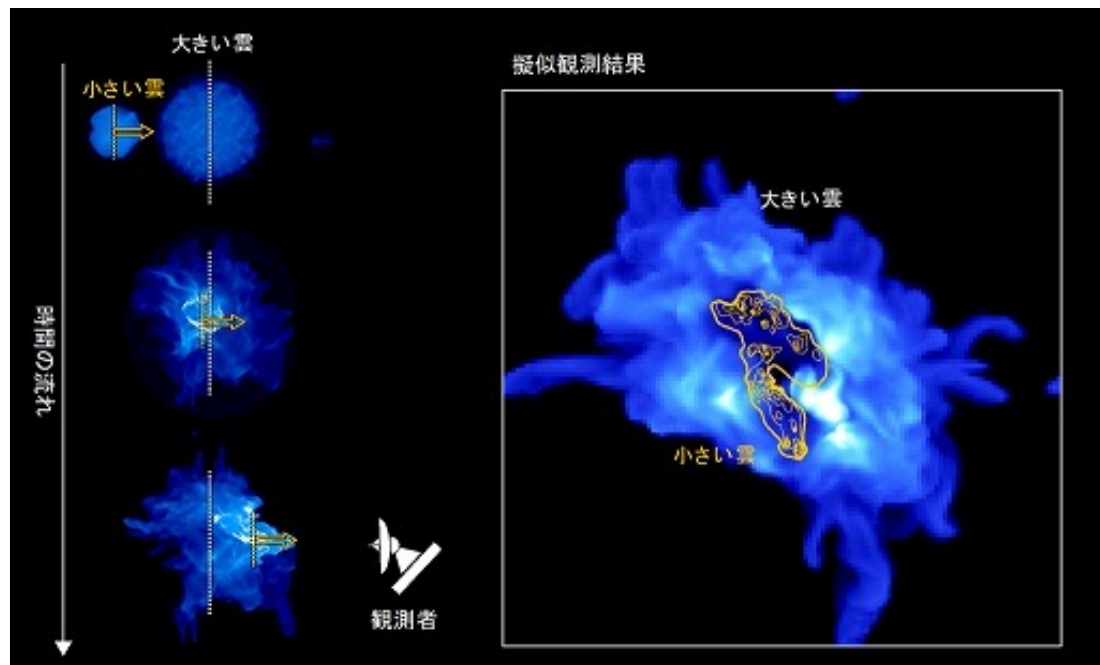


W51 星雲
Fujita et al. (2021)



N35 星雲
Torii et al. (2018)

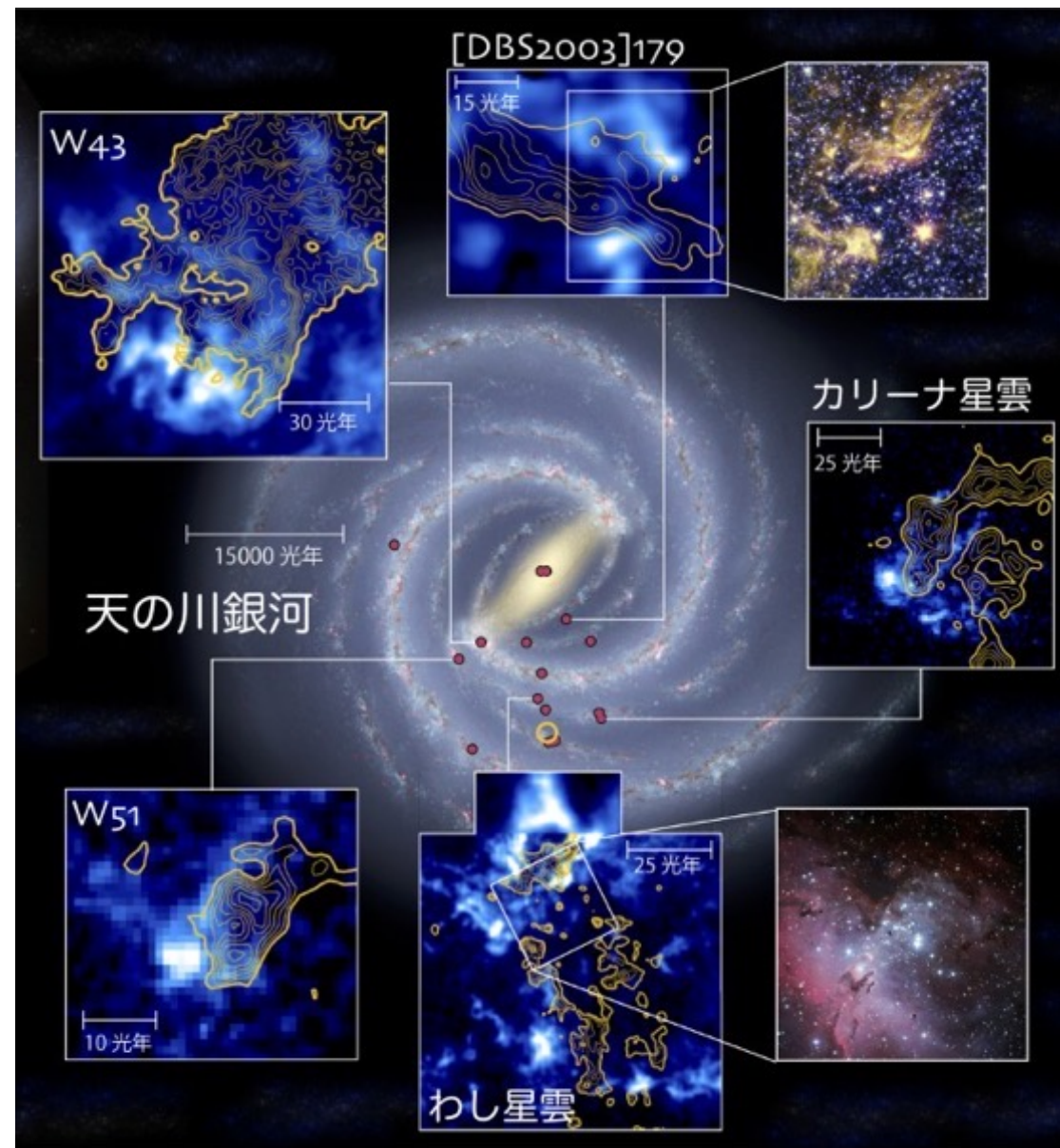




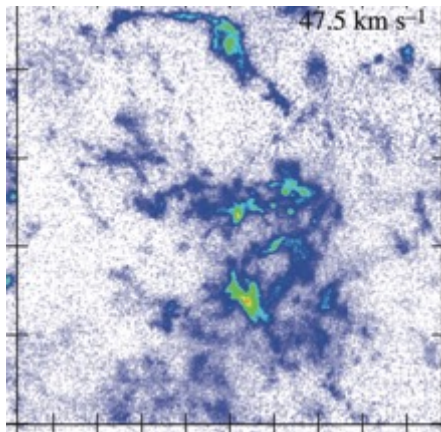
- 分子雲と分子雲がぶつかると、穴を開ける
- FUGIN の高精細データにより、たくさんの衝突分子雲が発見された

Nishimura et al. (2021)
Fujita, Nishimura et al. (2021)
Kohno, Nishimura et al. (2021)
Torii, Nishimura et al. (2021)

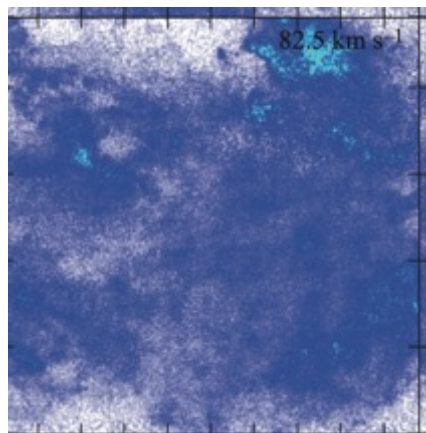
Fujita, Nishimura et al. (2019)
Nishimura et al. (2018)
Kohno, Nishimura et al. (2018)
Torii, Nishimura et al. (2018)



A. 腕のガス



B. 腕の間のガス

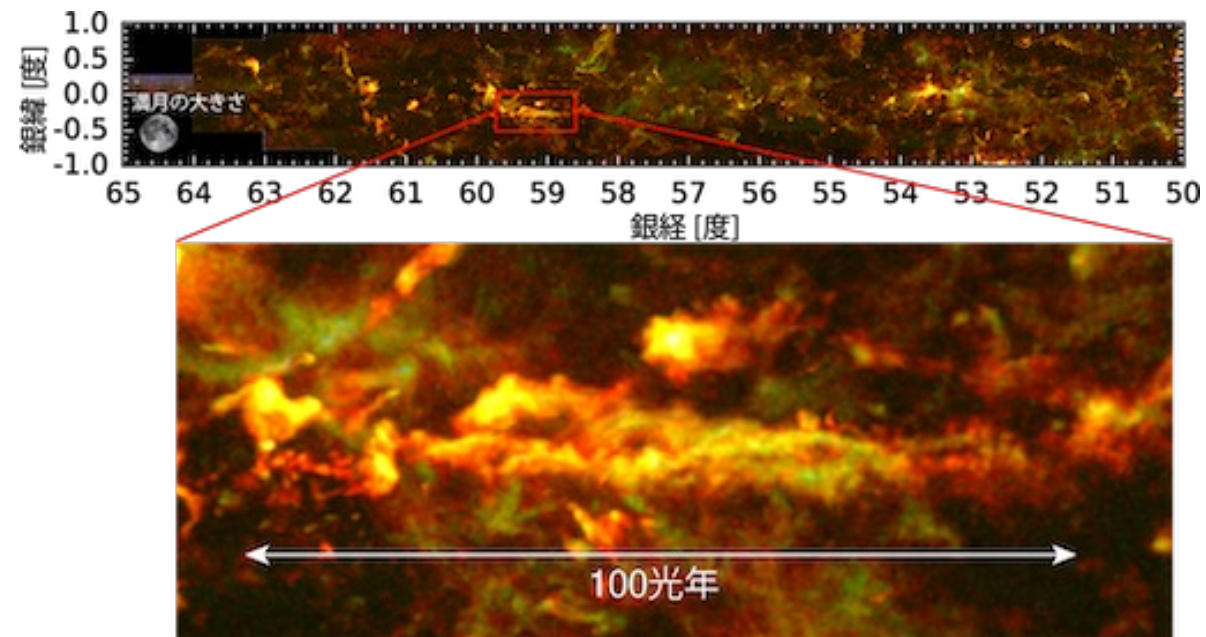


Sawada et al. (2012)



C. スパーのガス

(腕の間だが、少しガスが多い)



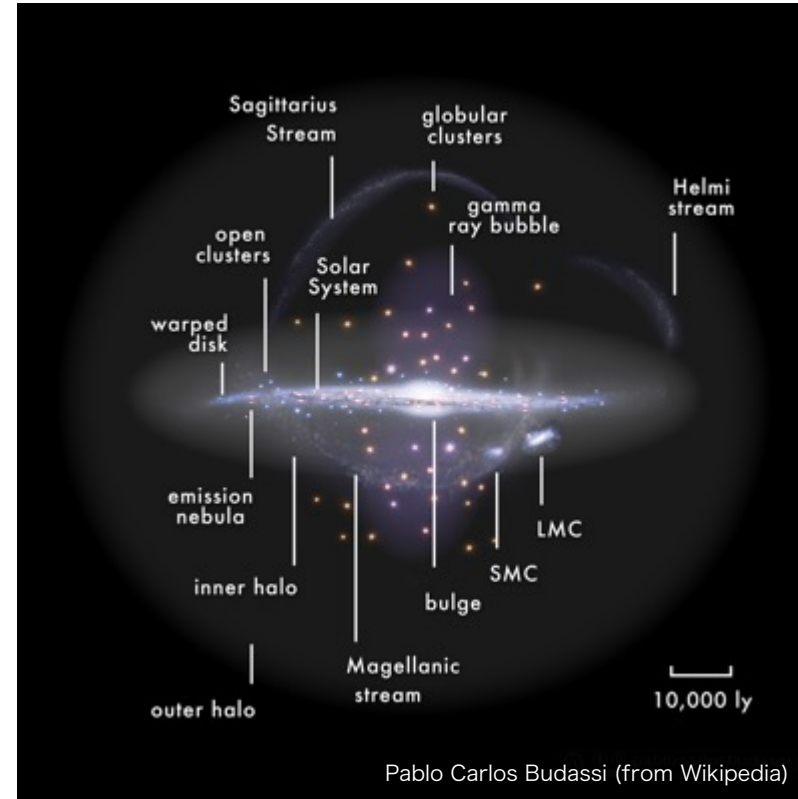
Kohno, Nishimura et al. (2022)

- 腕間のガスは、薄く、広がっている
- 腕のガスは、濃く、コンパクト
- スパーのガスは、薄いですが、稀に濃い部分もある

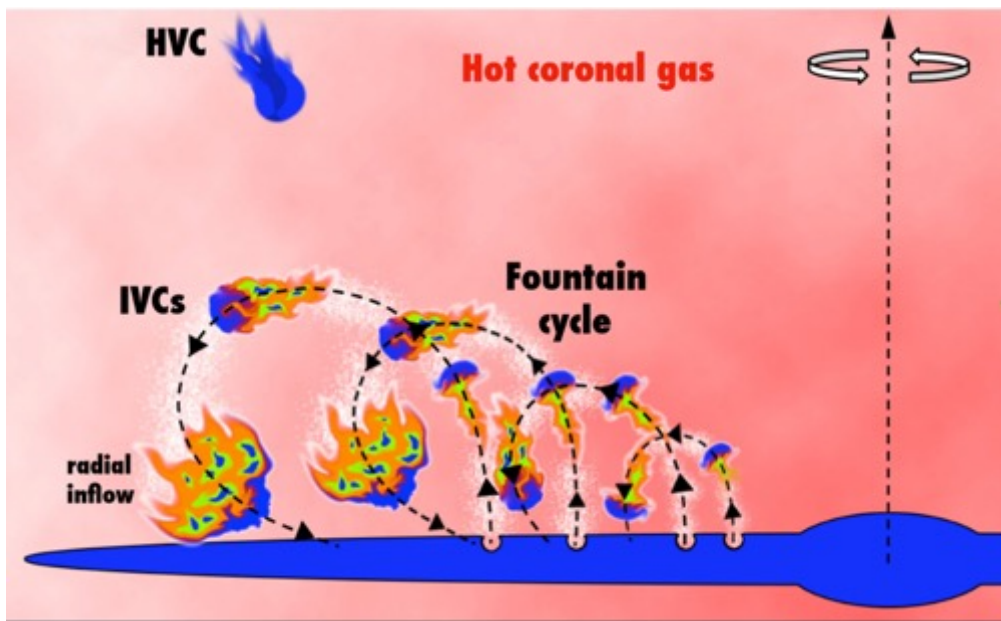
上から見た
想像図



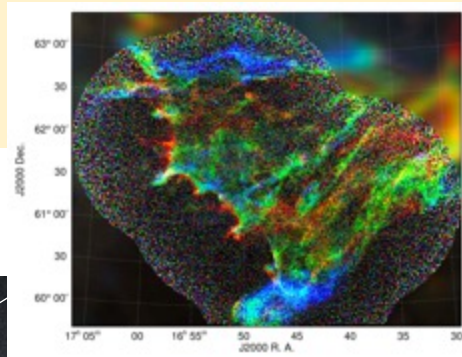
横から見た
想像図



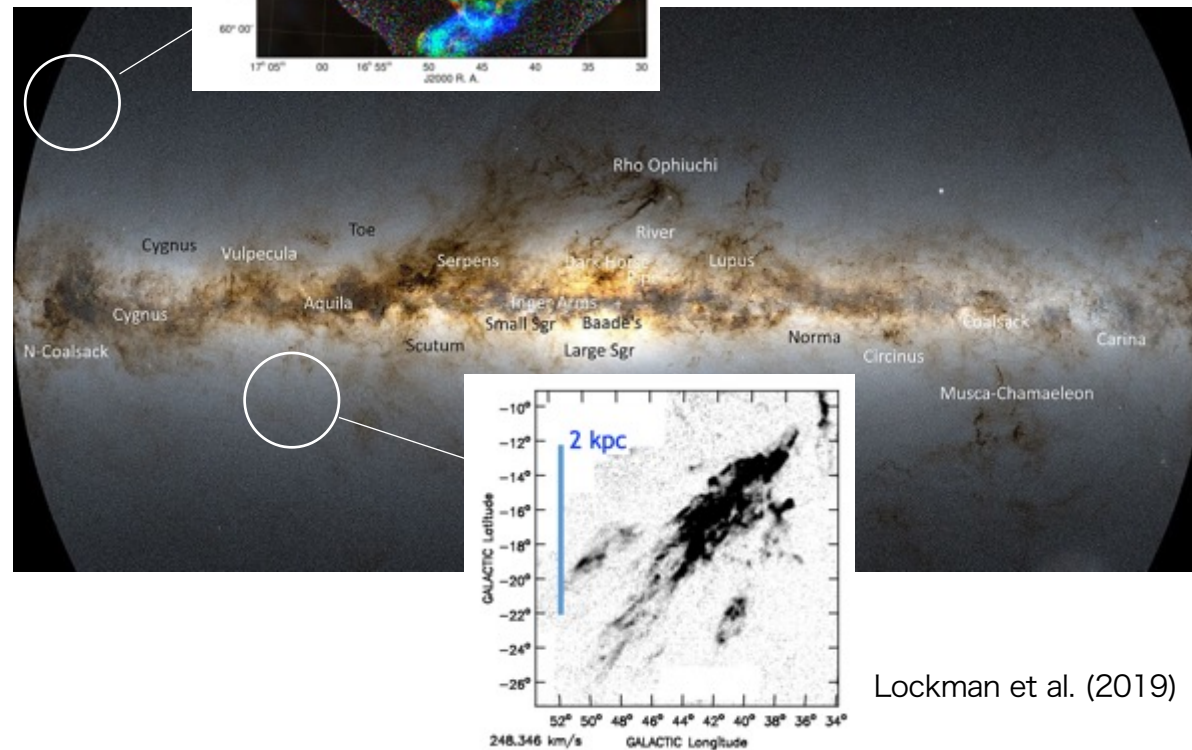
- 天の川銀河では、今も、星形成が継続している
- だが、これは不思議である。なぜなら、天の川銀河に存在するガスの量はとても少なく、今のペースで星を作り続けたとすると、たかだか10億年でガスを使い果たしてしまう。これは、天の川銀河の年齢のわずか1/10である。
- ガスが今もなお、どこかから供給され続けているはずなのだが、まだ分かっていない



Marasco et al. (2013)

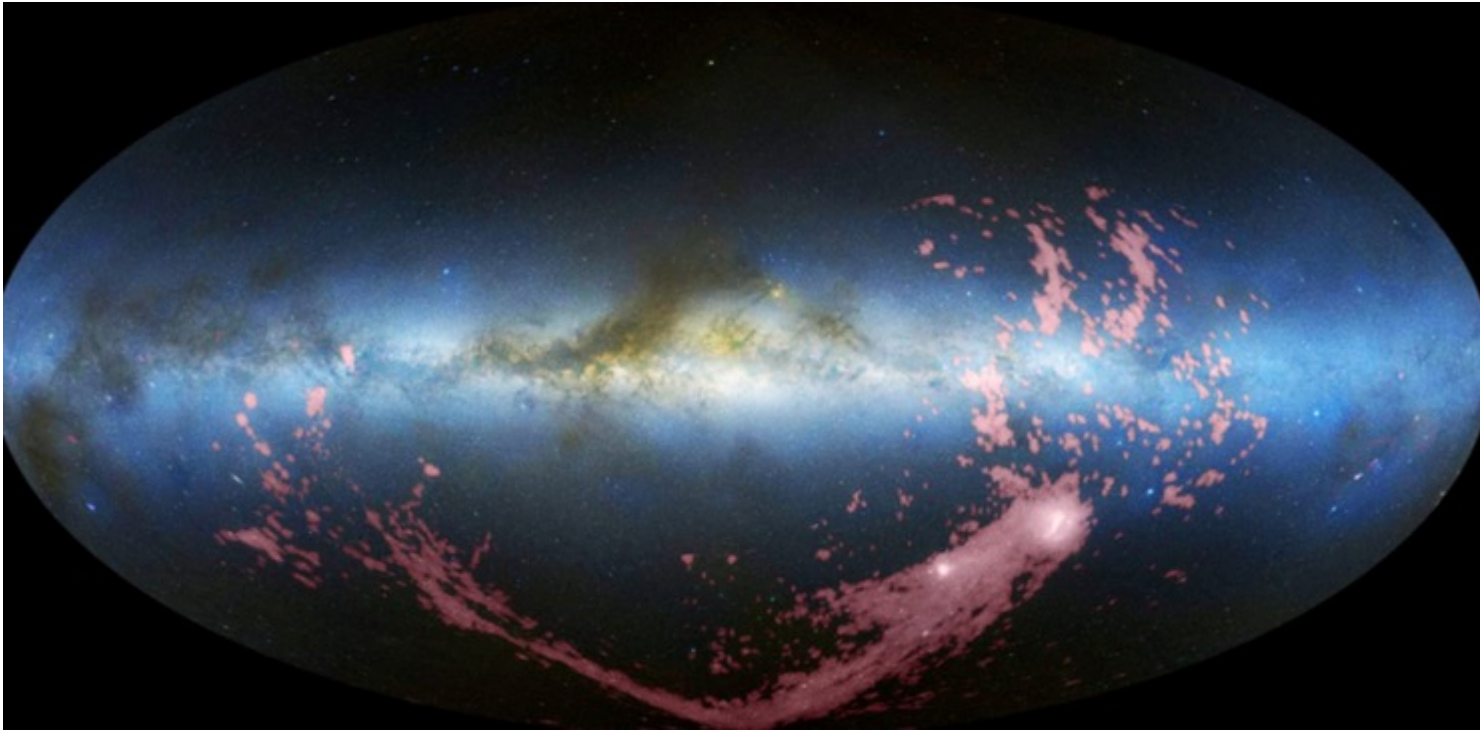


Blagrove et al. (2017)



Lockman et al. (2019)

- ガス供給源として可能性が高いは、銀河円盤の外から落ちてくるガスである
- 通常、高速度で落下してくるので高速度雲 (High Velocity Cloud) と呼ばれる
- 数百の HVC, IVC が発見されているが、ガスの供給量としてはまだ足りていない



Nidever et al. (2010)



Andrew Z. Colvin (from wikipedia)

- 最も大きい HVC
- 天の川銀河の隣の銀河、大マゼラン銀河・小マゼラン銀河のガスが剥ぎ取られ、天の川銀河に飛んで来ている

- 天の川銀河の構造：棒、腕、スパー、腕の間
 - 星やガスは腕に集中している。腕のガス雲はよく衝突するようだ
 - 腕間には薄いガスが広がっている
 - スパーは、薄いガスが広がっている中に、稀に濃い部分があり星形成している
- 各構造までの距離を求めるのは難しく、真の姿はまだ分からない
- 銀河のガスは、星形成してすぐになくなってしまふ。銀河の外からの質量供給が重要なはずだが、まだ全貌は分かっていない