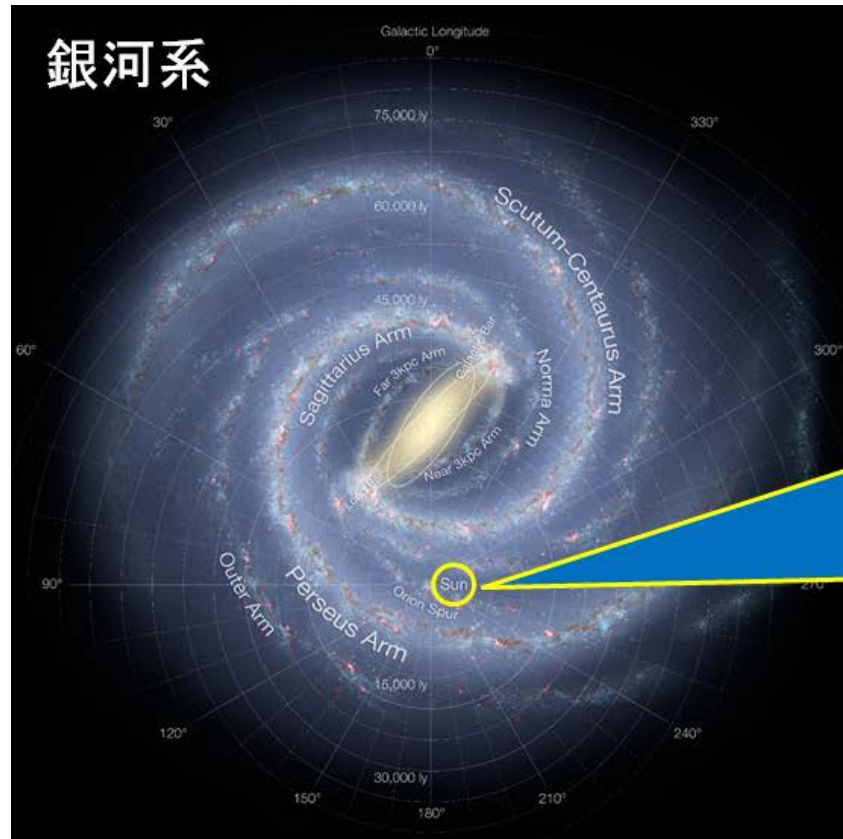
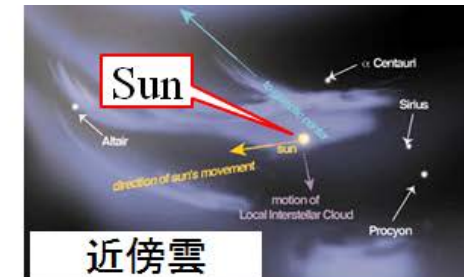


新しい星形成論によるパラダイムシフト： 銀河系におけるハビタブル惑星系の開拓史解明

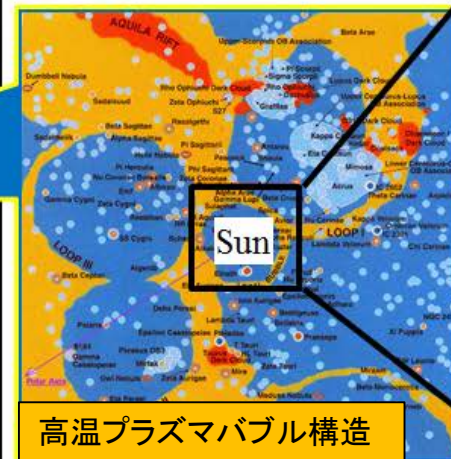
犬塚修一郎(名大・物理)



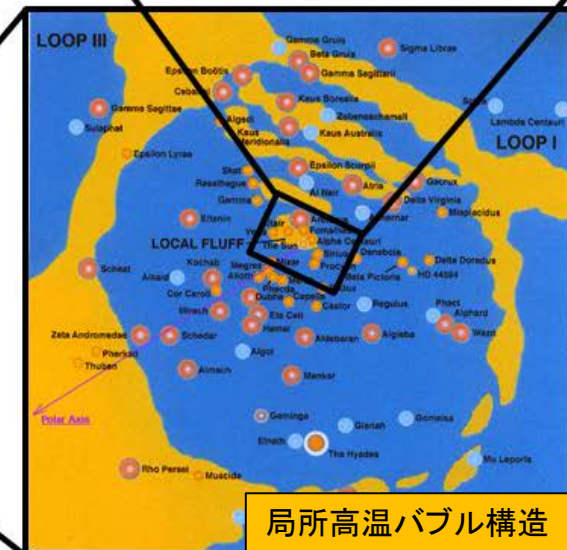
太陽系の環境



近傍雲



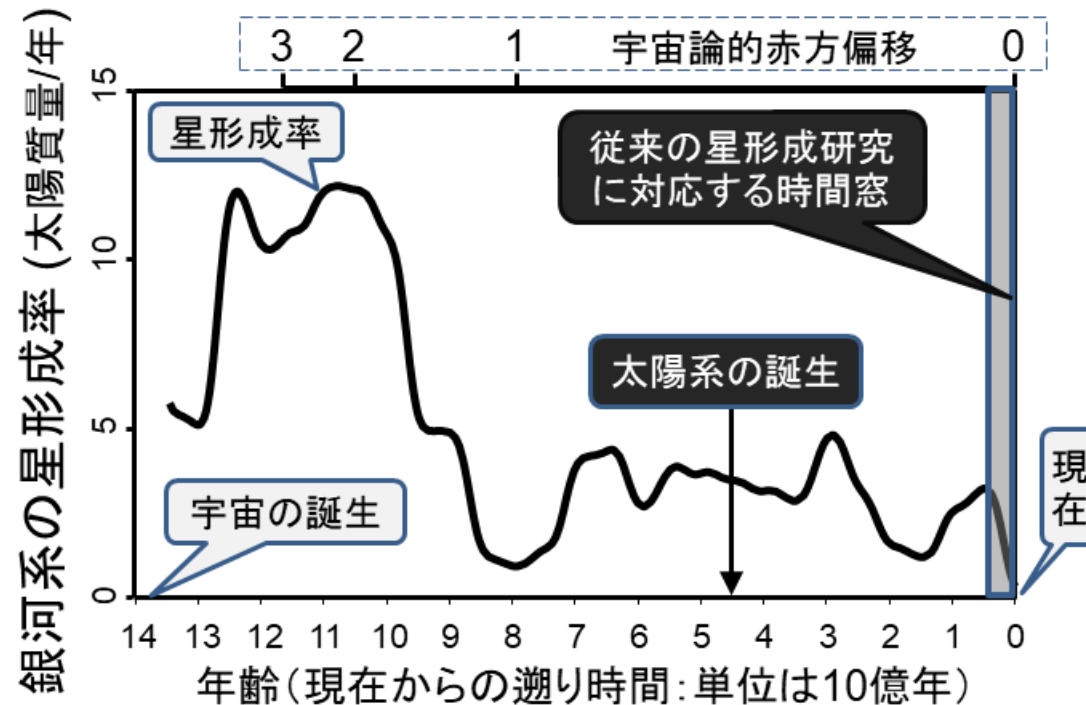
高温プラズマバブル構造



局所高温バブル構造

領域の妥当性・重要性・発展性

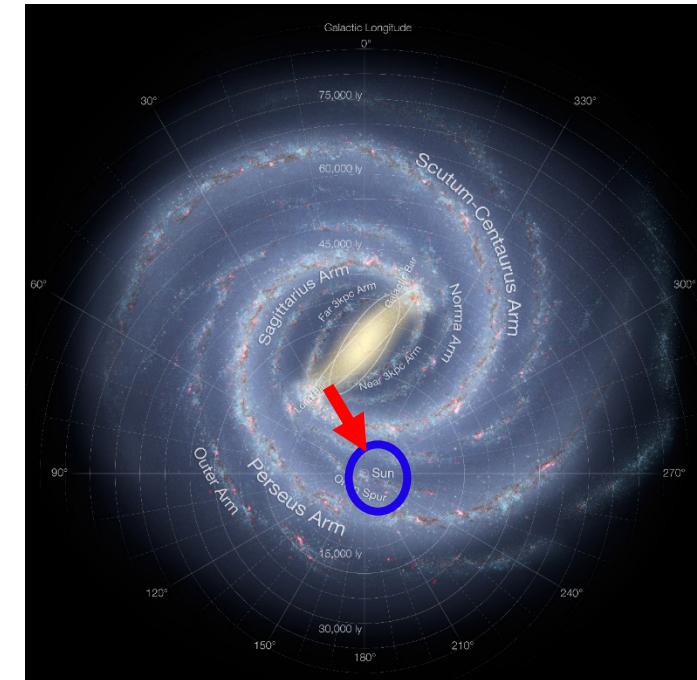
多様な系外惑星系と太陽系の起源を解明するには？



太陽系は46億年前にどこで生まれたのか？

銀河の化学進化 $\div$ 重元素 (H, He以外の元素) の増加
単独星 & 高い重元素量 & 短寿命元素の含有量
→ 銀河系内側領域の星団の超新星残骸の中か？

Our Conjecture



現在の銀河系



約46億年前の銀河系

この新学術領域で解明すること

- 星形成
 - 多様な環境における星団形成と銀河系の進化
 - 多様な原始惑星系円盤の形成過程
- 惑星形成：原始惑星系円盤の進化
 - ダスト(重元素・水を含む)の進化と微惑星形成
 - 微惑星→惑星系の形成過程
- 惑星大気
 - 大気形成・進化と惑星の多様性の起源

公募研究採択22課題 ※大きな額の枠にも積極的に応募してください。

佐野 栄俊	名古屋大学	超新星残骸に付随するフィラメント状分子雲の探究	
竹内 努	名古屋大学	銀河系ハビタブルゾーン：化学進化からのアプローチ	理論
木村 宏	千葉工業大学	分子雲における星間ダスト進化モデルの構築	理論
ブラサー ラモン	東京工業大学	Water Delivery, Composition and Formation	理論
癸生川 陽子	横浜国立大学	隕石から探る木星型惑星大移動説	実験
藤井 悠里	名古屋大学	乱流磁場を持つ原始惑星系円盤における宇宙線粒子の伝播とガスの電離	理論
田中 圭	大阪大学	原始惑星系円盤の散逸機構：光蒸発と磁気駆動風の統一理解	理論
門野 敏彦	産業医科大学	原始惑星系円盤における珪酸塩微粒子の新しい衝突付着過程についての実証	実験
荻原 正博	国立天文台	最新の理論モデルを考慮した低質量星周りの惑星形成の解明と種族合成モデルの生成	理論
黒川 宏之	東京工業大学	大気化学・散逸計算によるハビタブル惑星の水量進化の解明	理論
下西 隆	東北大学	電波および赤外線観測で切り拓く銀河系外縁部の星間化学	
土橋 一仁	東京学芸大学	ガイアによるガス・ダスト比の3次元計測と星・星団形成との関係	
小林 かおり	富山大学	振動励起状態に着目した星間有機分子ギ酸メチルのスペクトル線精密計測・解析	実験
元木 業人	山口大学	俯瞰で見る大質量原始星円盤：円盤内奥から電波光球へ	
杉谷 光司	名古屋市立大学	渦状腕の骨格構造を構成する分子雲の磁場の研究	
前澤 裕之	大阪府立大学	非磁化CO2大気の地球型惑星／金星大気の物質循環と中心星の活動の影響評価	
田崎 亮	東北大学	微小ダストの磁場整列で解き明かす円盤のミリ波偏波の起源	理論
大屋 瑤子	東京大学	極めて若い原始星天体に付随した円盤構造とその進化の観測的研究	
中村 昭子	神戸大学	粉体流を用いたダスト集合体の衝突進化の実験的研究	実験
片岡 章雅	国立天文台	偏波観測で探るダストの成長課程	理論
橋本 淳	国立天文台	原始惑星系円盤における岩石型惑星形成領域の高空間分解能観測	
樋口 あや	国立天文台	ALMA望遠鏡を用いたデブリ円盤におけるガス探査	

観測9
理論9
実験4

新学術領域審査の所見

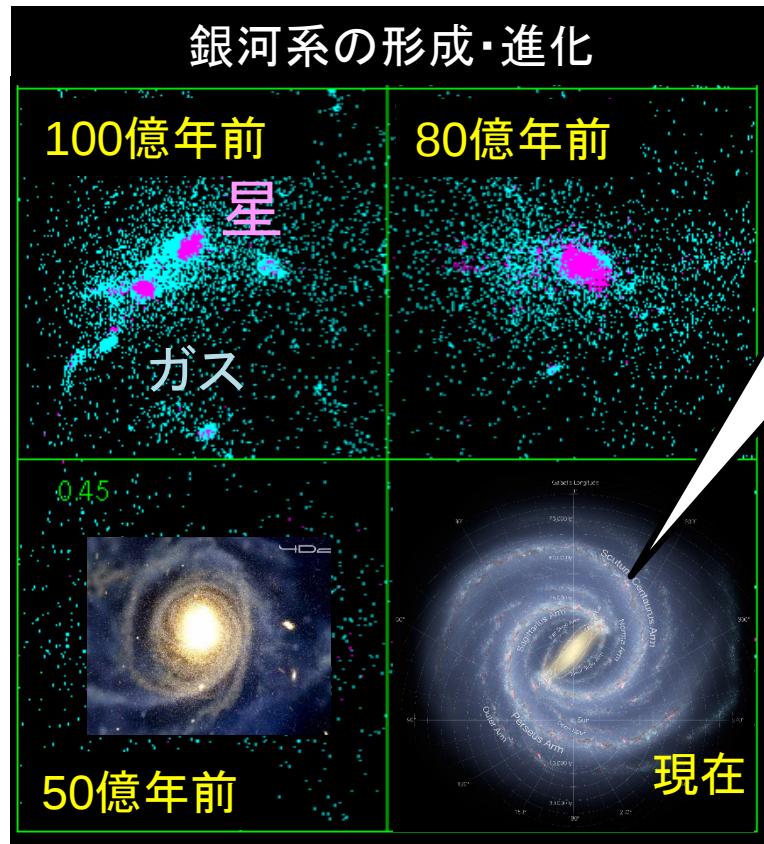
- 研究組織は三つの計画研究からなる観測組織と三つの計画研究からなる理論組織からなり、各計画研究の実施計画は十分に説得力がある。新たな装置開発についても現実的な計画が立てられており、十分に遂行できるものと期待される。
- 一方で、本研究領域の推進のためには、個々の計画研究の核をなすプロジェクト間での密な連携が極めて重要である。研究領域内の有機的なつながりを一層促進するための工夫や、各計画研究間の連携の強化が望まれる。
- 既存の望遠鏡計画の足し合わせとならないよう、それぞれの成果から理論を固めていくという連携を行った上で、領域全体として研究が進展するように総括班を運営することが重要である。

→ 複数の計画研究のジョイント会議・ラボ・ローテーション

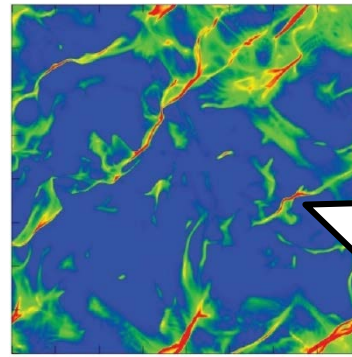
- 総括班、計画研究「A01」「A02」の経費について、他のプロジェクト経費との重複や過度の集中との誤解を受けないよう、丁寧に説明していく必要がある。

→ 目玉となる成果・Publicationの充実

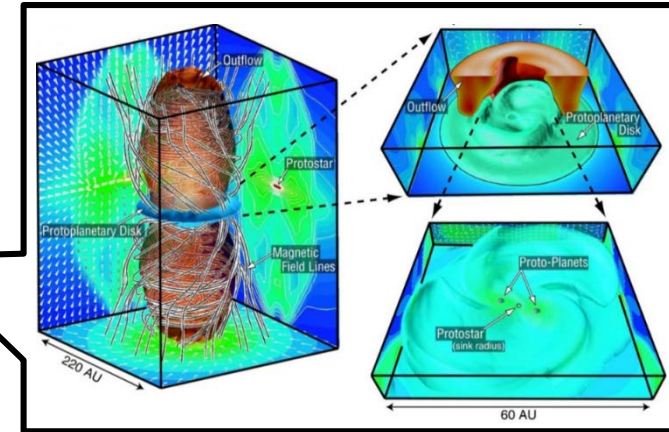
計画研究A01 星団形成論の確立と銀河系進化の理論的解明



星団の形成



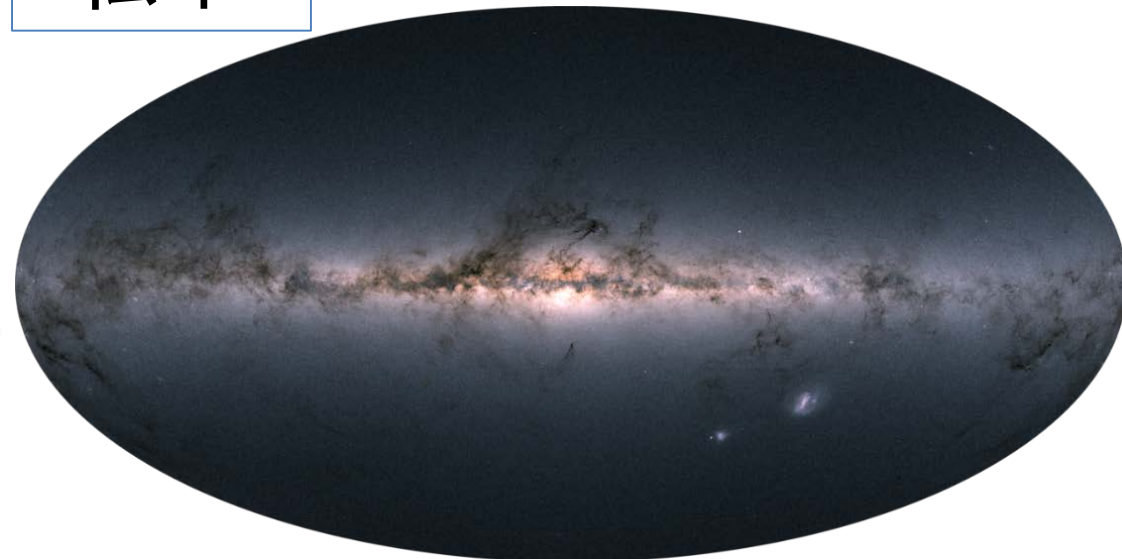
犬塚
松本



塚本

円盤の形成

→ 惑星形成論A02と連携



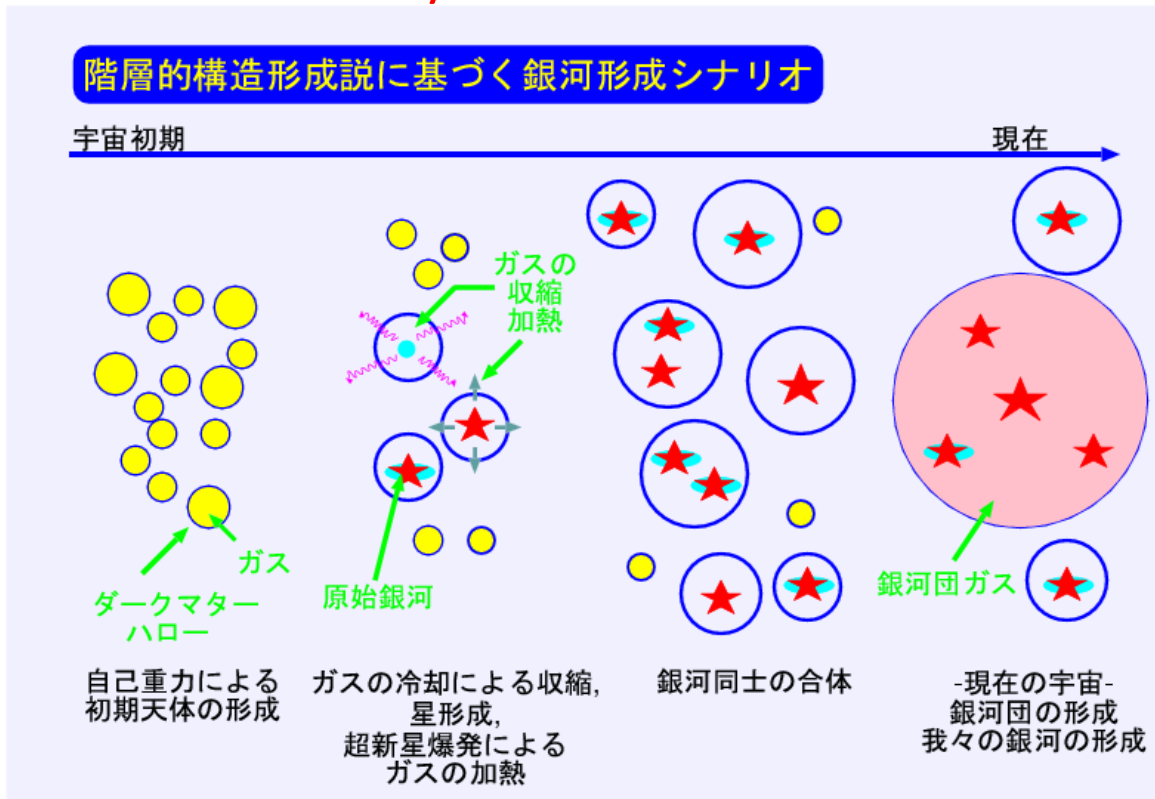
千葉
諏訪

長島

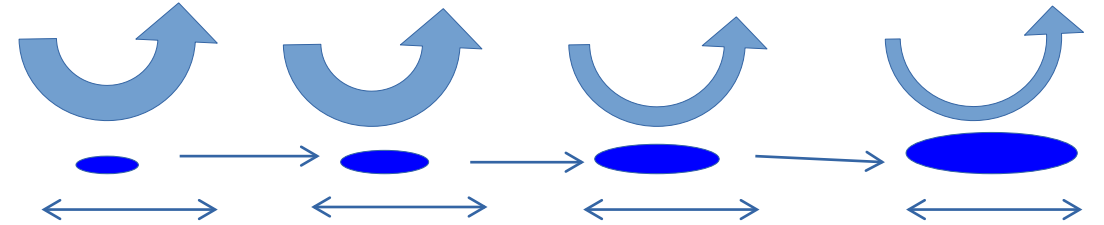
Gaia衛星データによる検証

長島【銀河の形成モデルの構築】

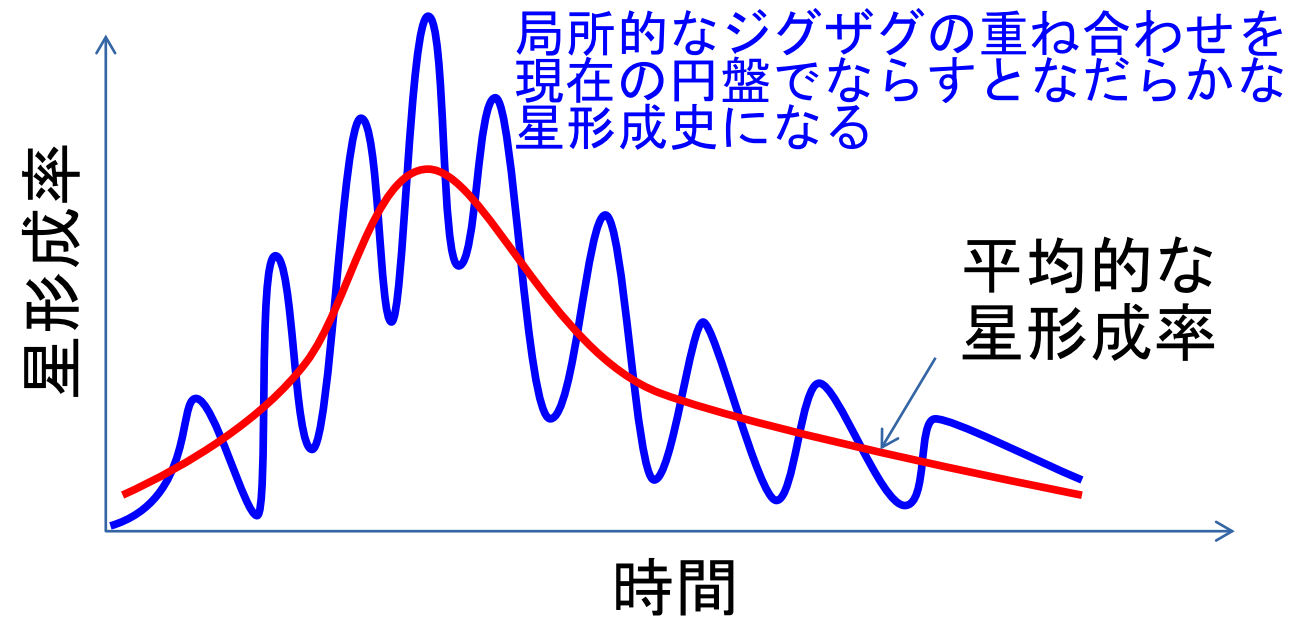
・CDM宇宙論に基づく銀河形成モデルを改良し、
銀河・AGNの諸観測を再現するモデルを構築済
・このモデルから銀河系的銀河(回転速度220km/s)
の銀河は、**星形成タイムスケールは約140Myr**、
星から再放出されたり超新星により銀河円盤外
に放出されるプロセスを含めたガス消費タイム
スケールは**220Myr程度**と推測される



ガスの流入(冷却)・消失(星形成)・流出(超新星)



1サイクルが高々0.2Gyr程度



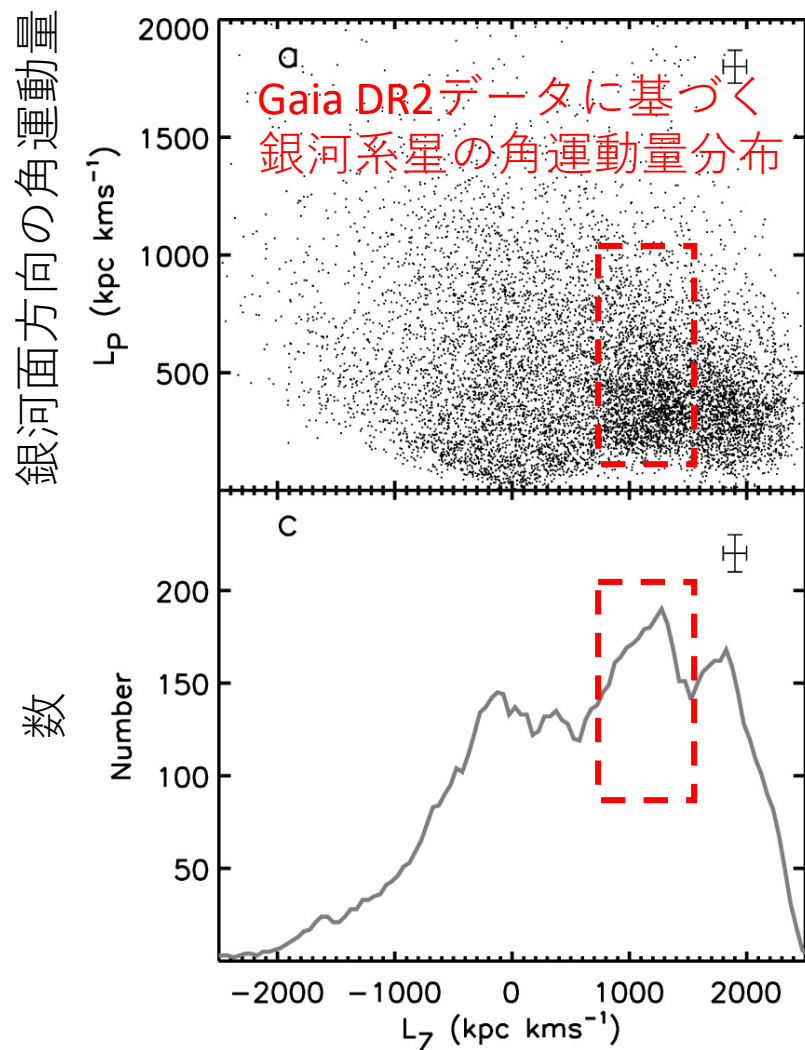
・いつどれくらいハローができるのか、即ち冷却によって円盤に持ち込まれるガスの量は、ダークマター構造形成によって決まる

千葉：銀河系円盤の第3成分の証拠：厚い銀河円盤のプレカーサーか？

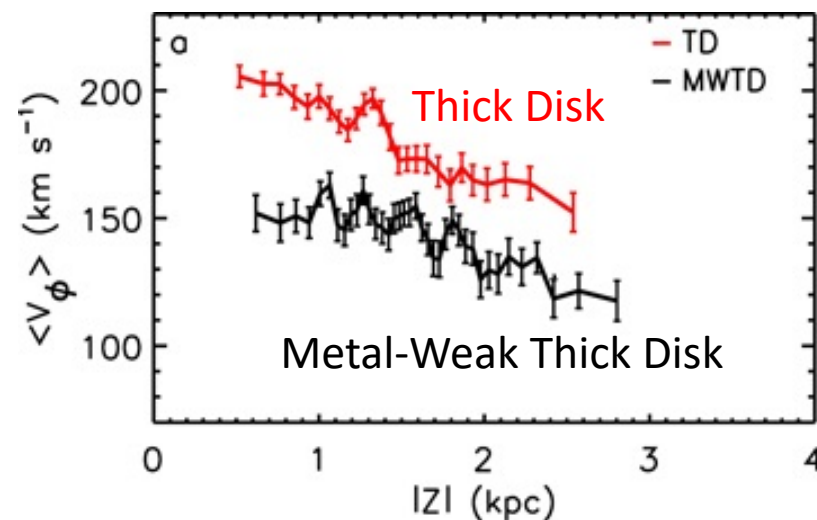
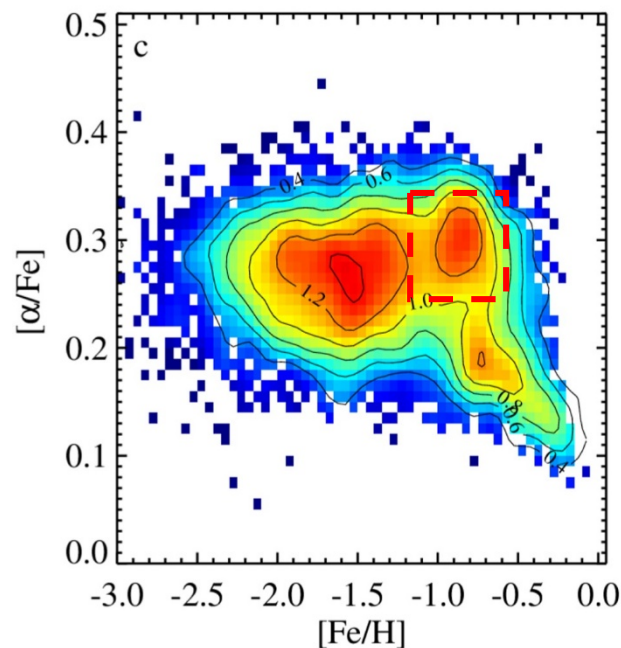
Carollo, Chiba, Ishigaki, et al. 2019, ApJ, 88, 22

第3成分：Metal-Weak Thick Disk

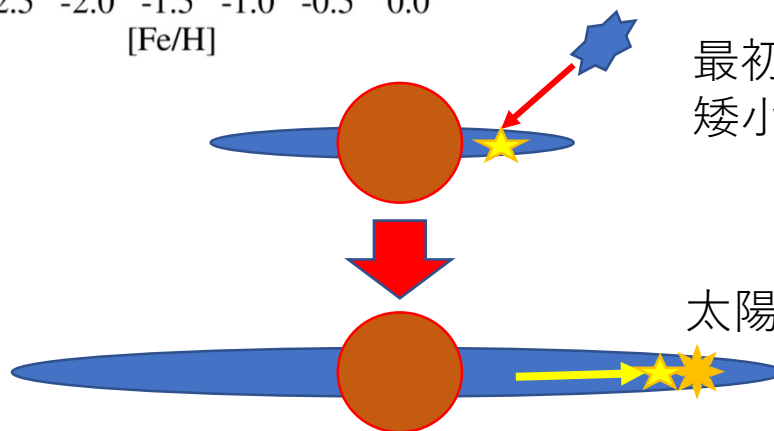
$\langle V_\phi \rangle \sim 150 \text{ km/s}$, $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.2 \sim -0.6$, $[\alpha/\text{Fe}] > +0.2$



Gaia DR2データに基づく
銀河系星の角運動量分布



最初にできた銀河円盤と
矮小銀河の落下 + 衝突

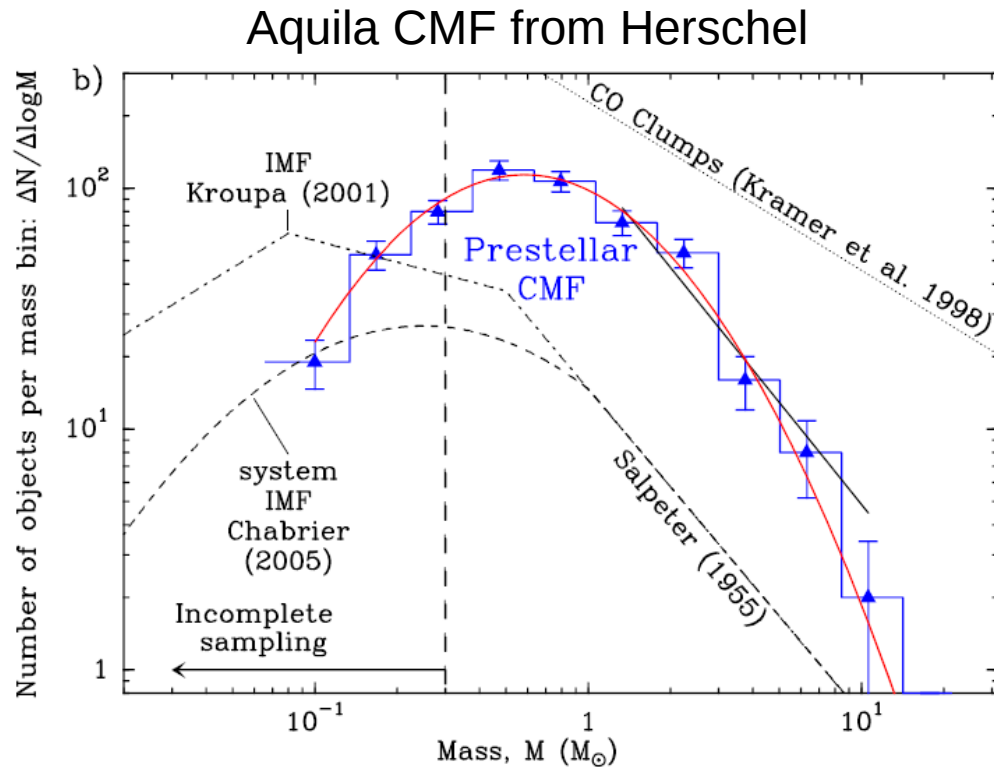


バー形成と
恒星の動径移動

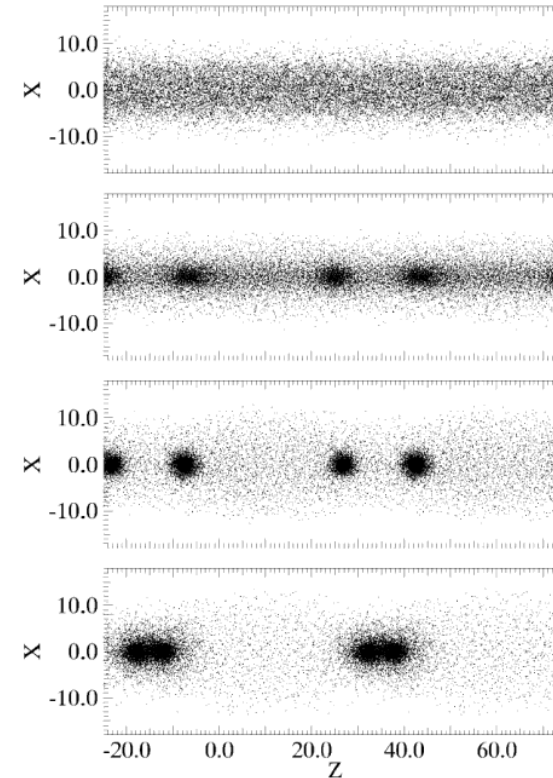
太陽

回転軸方向の角運動量

Mass Function of Dense Core? IMF?



André+2010; Könyves+2010



SI & Miyama 1997

Larger Wavelength
→ Massive Core

Mass Function of Cores in a Filament

Inutsuka 2001, ApJ 559, L149

Line-Mass Fluctuation of Filaments

Initial Power Spectrum

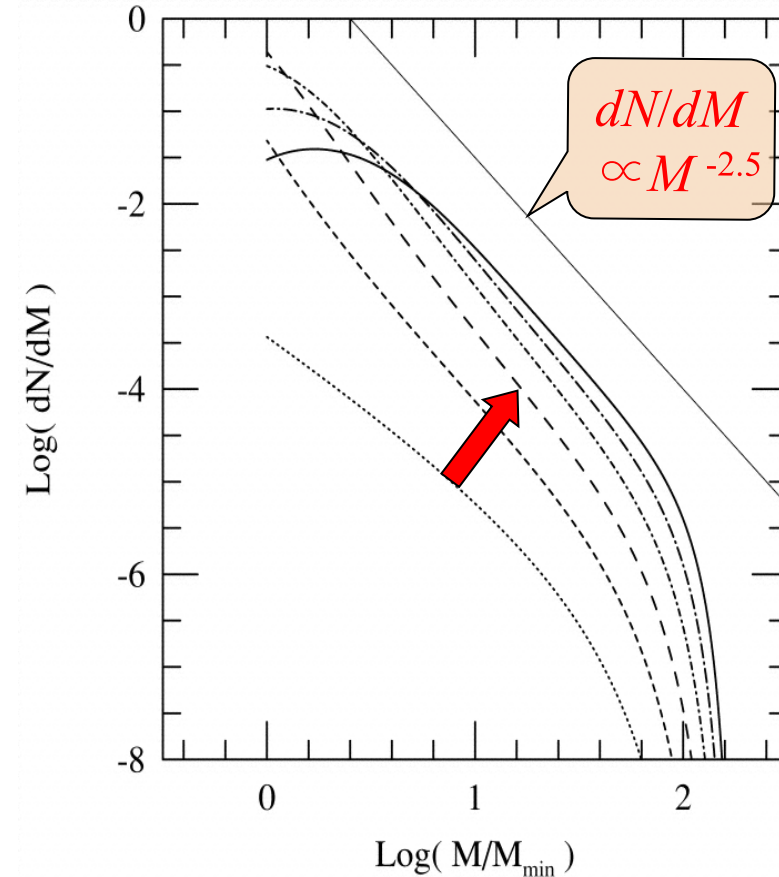
$$P(k) \propto k^{-1.5}$$

Mass Function

$$dN/dM \propto M^{-2.5}$$

Observation of Both Fluctuation
Spectrum and Mass Function

→ Clear and Direct Test!

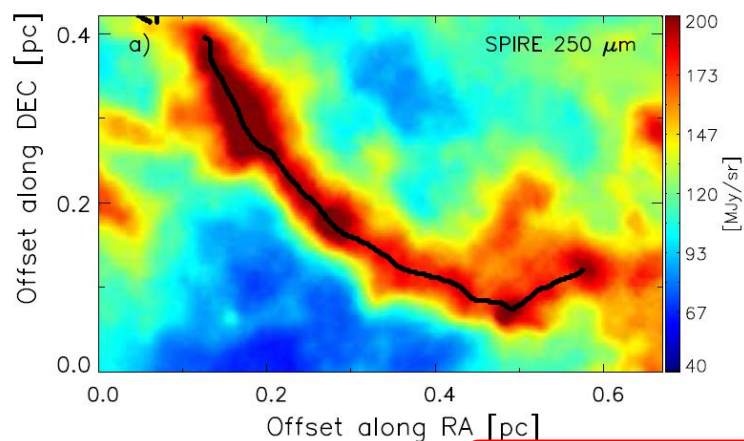


$$P(k) \propto k^{-1.5}$$

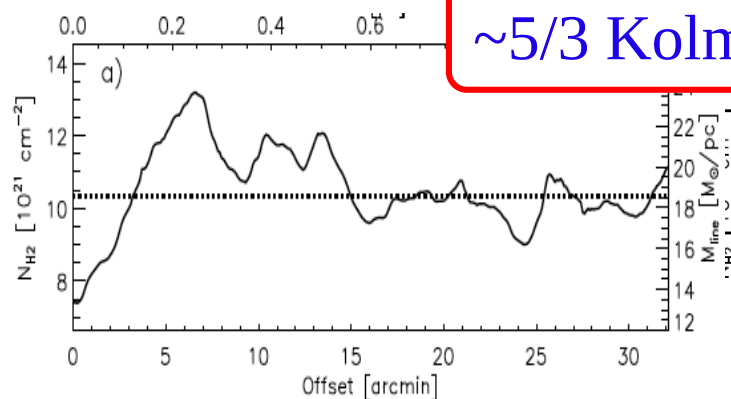
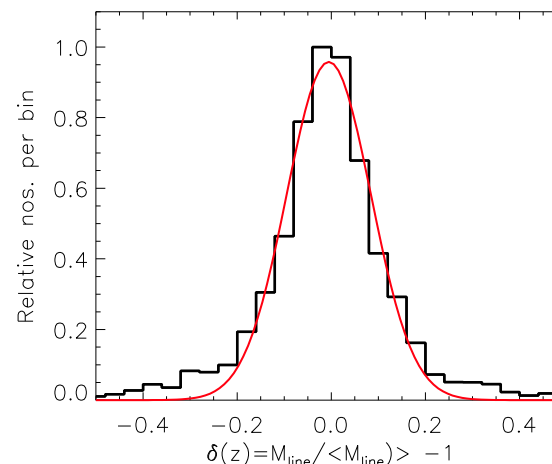
$t/t_{ff} = 0$ (dotted), 2, 4, 6, 8, 10 (solid)

“A possible link between the power spectrum of interstellar filaments and the origin of the prestellar core mass function”

Roy, André, Arzoumanian et al. (2015) A&A 584, A111



$\delta \dots$
Gaussian

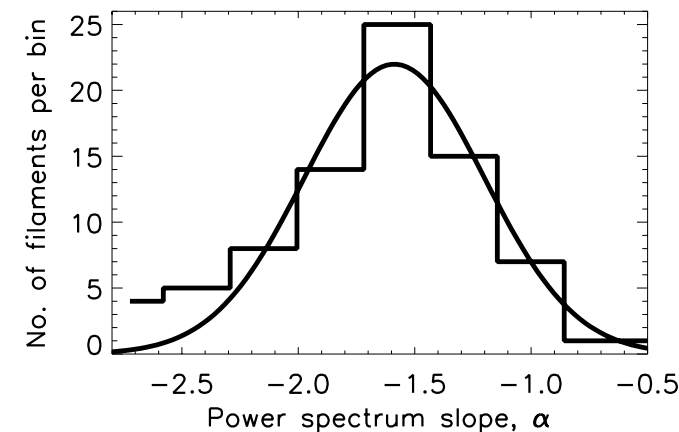


$\sim 5/3$ Kolmogorov

$P(k)$

$\propto k^n$

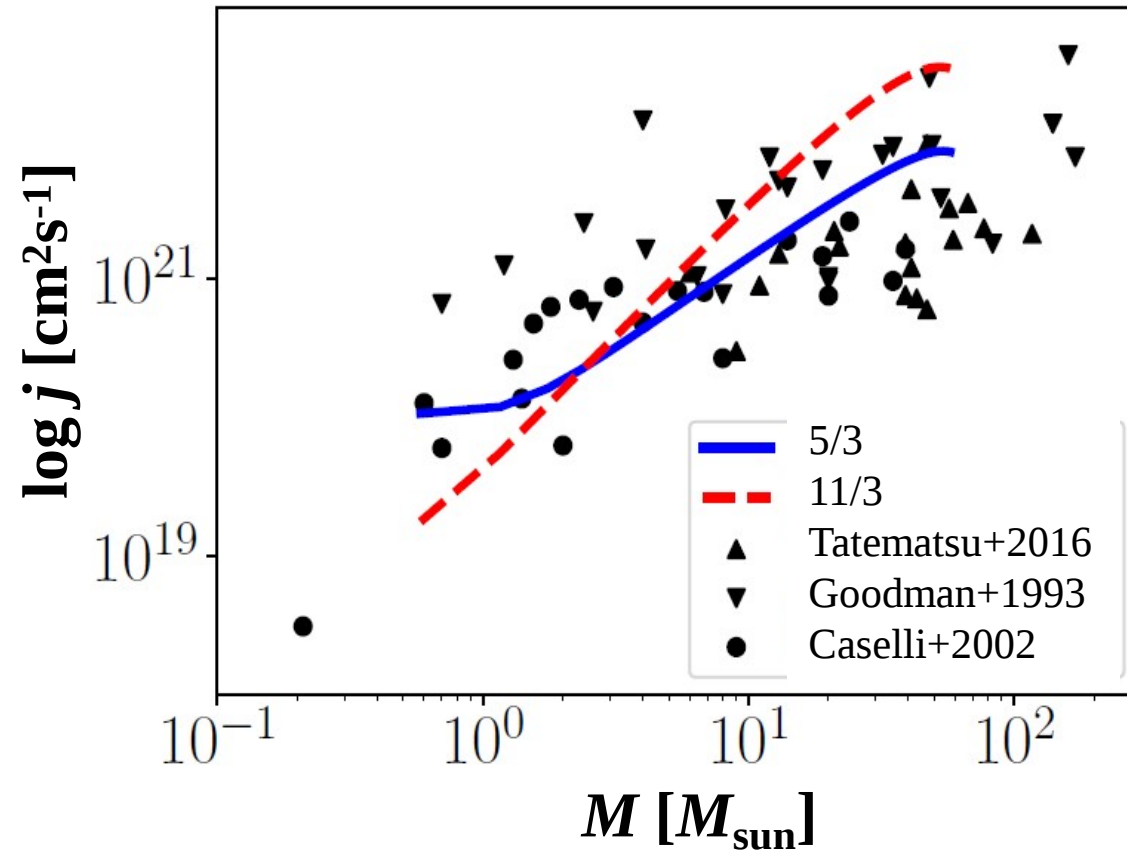
$n = -1.6 \pm 0.3$



Supporting Inutsuka 2001

Angular Momenta of Cores from Filament Fragmentation

Misugi, SI, & Arzoumanian (2019) ApJ **881**, 11



1D Kolmogorov:
 $P(k) \propto k^{-5/3}$

c.f.
3D Kolmogorov: $P(k) \propto k^{-11/3}$

Surprisingly Good Fit from 1D Kolmogorov-like
Spectrum $P(k) \propto k^{-5/3}$ with $\sigma_{3D} = \sqrt{\langle \delta v^2 \rangle} = C_s$

Why 1D Kolmogorov -5/3 in Filaments? ← Low Star Formation Rate

Misugi, SI, & Arzoumanian (2019), ApJ 881, 11 (arXiv:1905.08071)

Fluctuation along the Axis

$$P_{\tilde{v}}(k_z) = \sum_{k'_x} \sum_{k'_y} P(k'_x, k'_y, k_z)$$

$$\sim \frac{L_x L_y}{(2\pi)^2} A \int_0^{k_{\max}} \int_0^{k_{\max}} (k'^2_x + k'^2_y + k_z^2)^{-11/6} dk'_x dk'_y$$

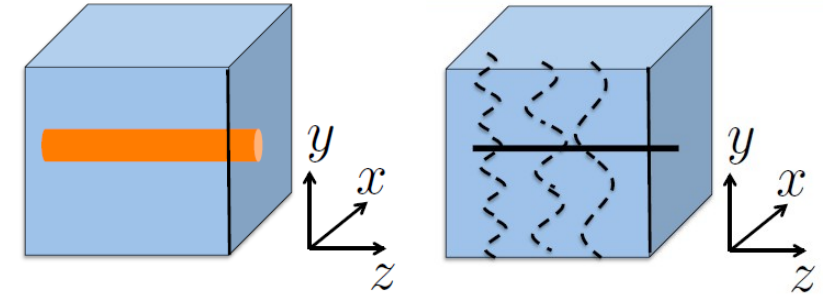
$$\sim \frac{L_x L_y}{(2\pi)^2} A \int_0^\infty \int_0^\infty (k'^2_x + k'^2_y + k_z^2)^{-11/6} dk'_x dk'_y$$

$$= \frac{L_x L_y}{(2\pi)^2} A \int_0^\infty (k'^2_r + k_z^2)^{-11/6} \frac{\pi}{2} k'_r dk'_r$$

$$\propto k_z^{-5/3}, \quad \text{If Mass in Filament is Larger,} \\ \text{Exponent} \rightarrow \text{closer to } 11/3$$

3D:

-11/3



分子雲スケールの物理が
惑星の公転軸分布を決定!!

Implication: Mass in a star forming filament should be small!

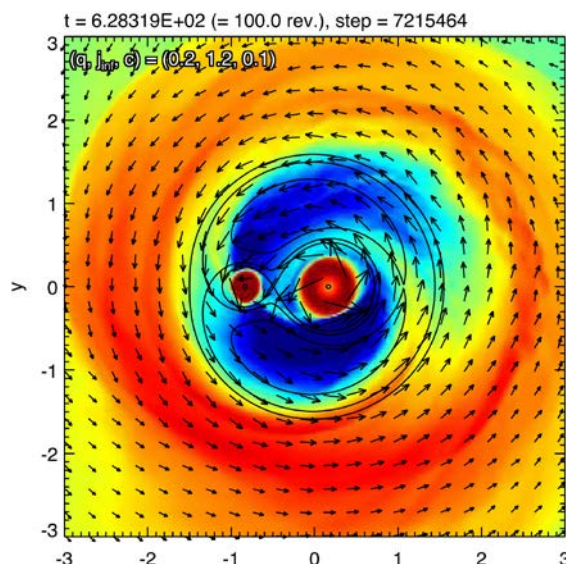
Star Formation Rate → IMF & Angular Momentum Distribution

→ Probability of Disk Misalignment → Misaligned Planets

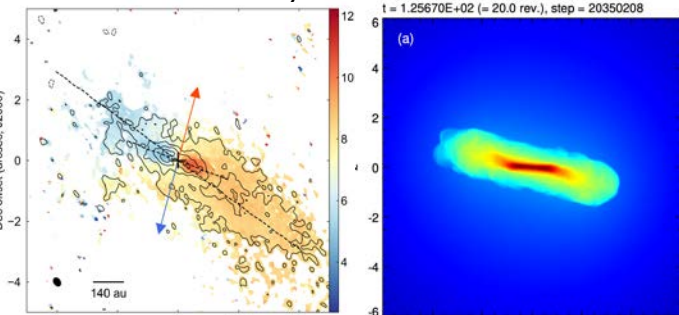
2018-2019年度成果 (A01松本)

論文: 16報
(理論: 6、観測: 10)

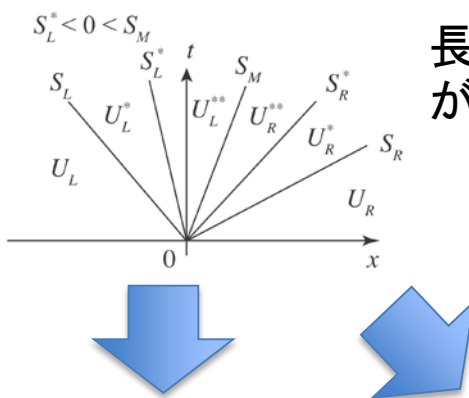
周連星円盤の渦状腕・非対称性
Matsumoto, Saigo, Takakuwa 2019



ALMAの結果と比較(計画
進行中) C.f., Sai et al.



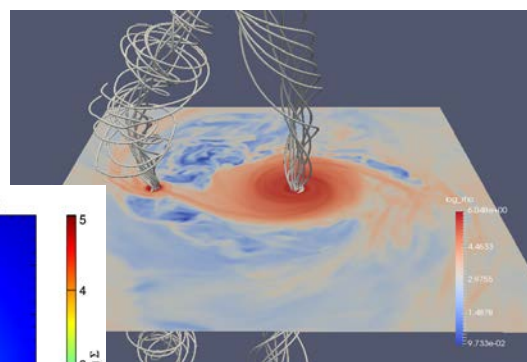
新しいスキーム
アルフヴェン波低減法
Matsumoto, Miyoshi, Takasao 2019



長時間進化
が可能

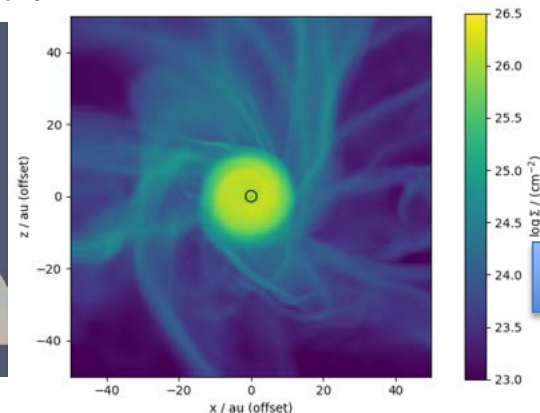
連星のMHD計算

Matsumoto, Stone 投稿準備中

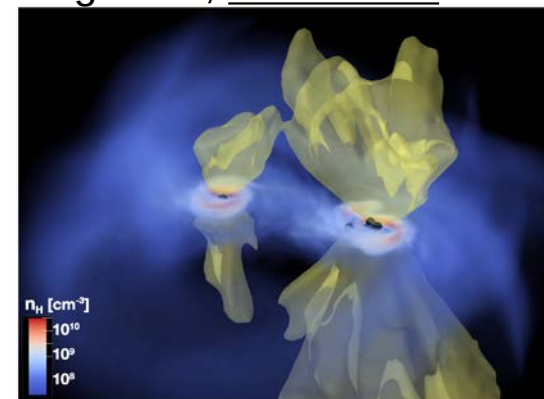


円盤の長時間進化

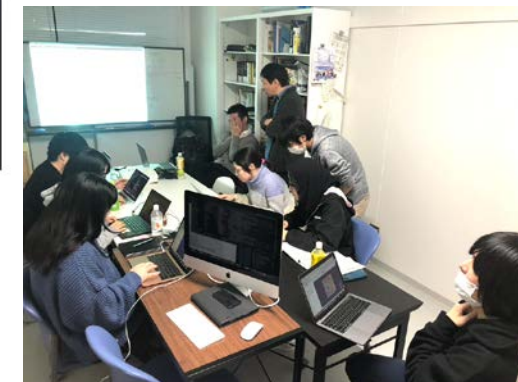
Matsumoto et al. 投稿準備中



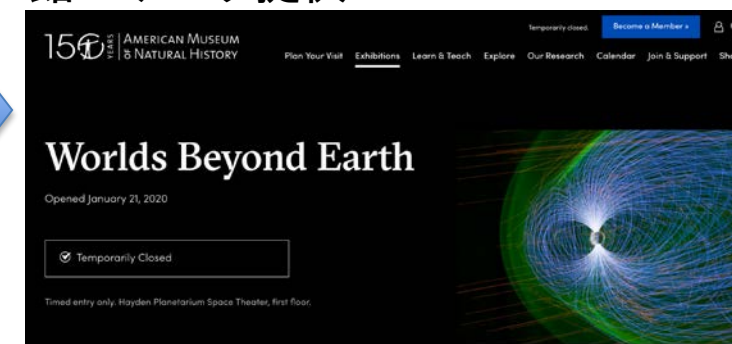
Pop III 大質量連星 (UVフィードバック)
Sugimura, Matsumoto et al. 2020 in press



AMRコード講習会@九大
1/29-30



アウトリーチ: アメリカ自然史博物
館へデータ提供



A01班:塚本 多様な星形成環境下での 原始惑星系円盤の形成進化

• 研究成果:

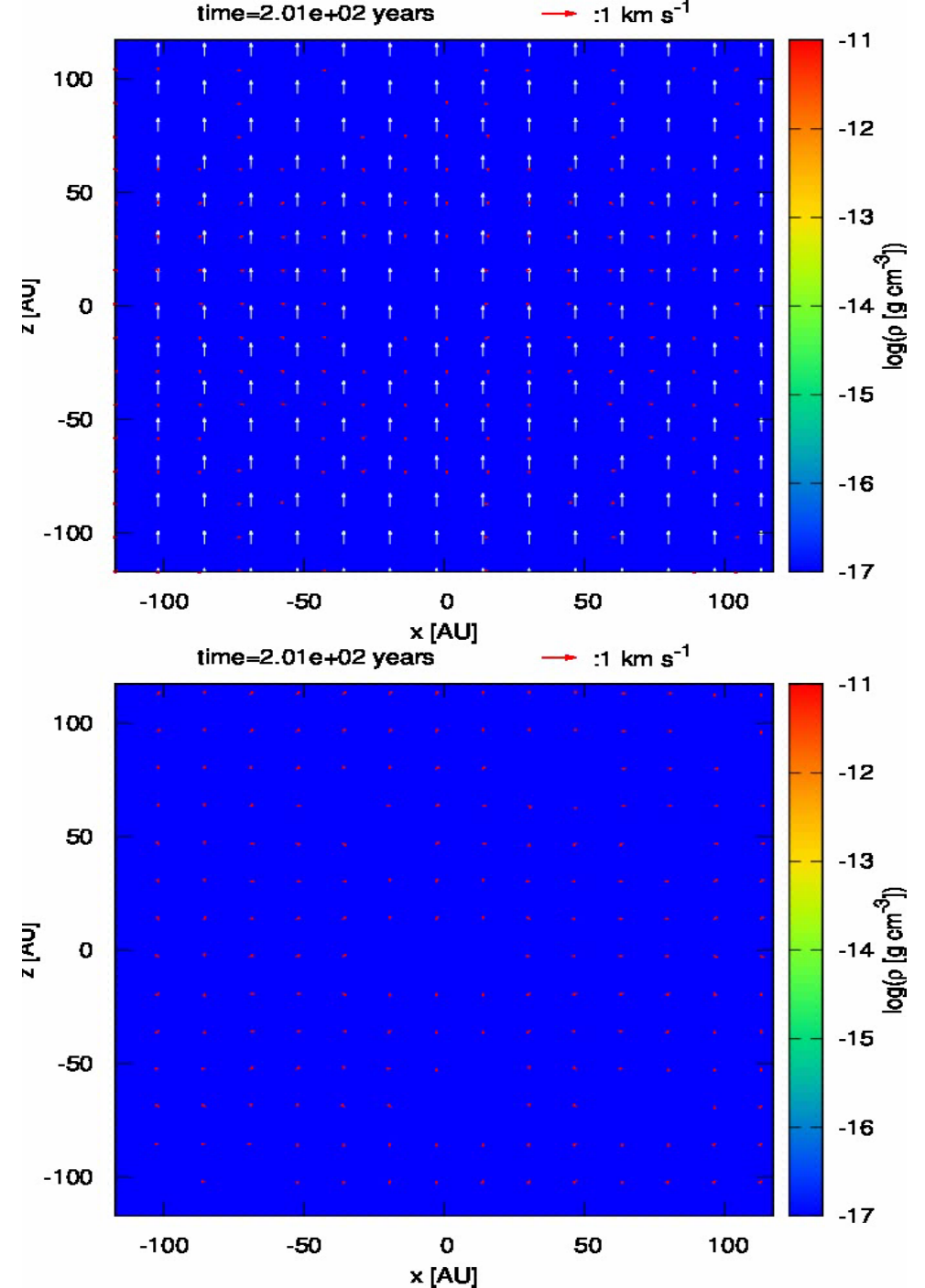
1. 多様な星間環境(宇宙線、紫外線)、
金属量、化学反応ネットワークに対応した磁気抵抗計算コードの開発
2. 1を用いた原始惑星系円盤の初期進化
におけるダストモデル依存性の研究
(論文投稿中:図)
3. 1を用いた原始星エンベロープ内での
磁場の飽和値の研究(論文準備中)

• 今後の研究

1. 多様な星形成環境における原始惑星
系円盤の形成進化過程の解明
2. 超大規模シミュレーションによる
星団内での原始惑星系円盤の形成過
程の解明

A02班の研究への橋渡し

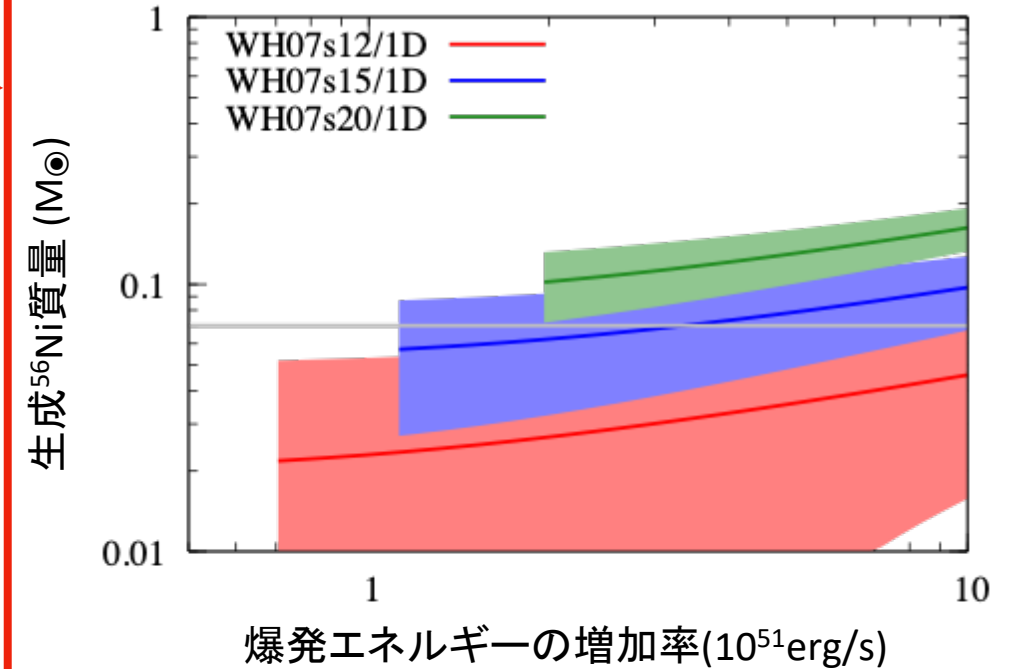
世界
トップ



星の進化の最終段階：諏訪雄大(京産大&京大)

● 出版論文

- **Suwa**, Yoshida, Shibata, Umeda, Takahashi, MNRAS, 481, 3305 (2018)
超新星でつくられる中性子星の最小質量
- **Suwa**, Tominaga, Maeda, MNRAS, 483, 3607 (2019)
元素合成で探る超新星爆発機構
- **Suwa**, Sumiyoshi, Nakazato, Takahira, Koshio, Mori, Wendell, ApJ, 881, 139 (2019)
銀河系内超新星からのニュートリノ解析手法開発
- **Suwa**, Tahara, Komatsu, PTEP, 2019, 083E04 (2019)
ニュートリノ版カンパニーツ方程式の導出と解



Q. 超新星の典型的な ^{56}Ni 観測量 $0.07M_{\odot}$ を生成するのに必要な条件は？

A. 大きな爆発エネルギーの増加率。現存する3Dニュートリノ輻射流体計算の数倍の値が必要？

計画研究A01 星団形成論の確立と銀河系進化の理論的解明

- **B03**と連携して、星間媒質の**相転移現象**としての**巨大分子雲の形成過程**を調べて、星団形成を解明(犬塚・松本)
- **A02, B02**と連携して原始星＋ガス円盤形成の解明(塚本)
- 放出される**(重)元素量**を計算し**銀河動力学と位置天文学**
Gaia衛星のデータ解析を介して銀河の化学進化を定量的に記述(千葉・長島・諏訪)

- 2020年初旬にA01班研究会の開催
- ラボ・ローテーションの積極的利用による有機的結合

期待される成果

- 星団形成過程の解明
- 重元素量増加と銀河進化の解明
- 多様な環境下で多様な円盤形成過程の解明

