



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY

令和2年度 第2回宇宙史研究センター構成員会議

2020年11月30日
オンライン

銀河における星間ガス質量の 高精度な導出

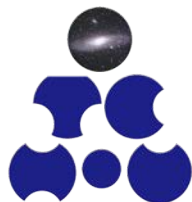
Precise measurement of interstellar gas in galaxies

南極天文学部門宇宙観測研究室 (クロスアポイントメント)
徂徠 和夫

(北海道大学大学院理学研究院物理学部門)



筑波大学
University of Tsukuba



筑波大学

宇宙史研究センター

Tomonaga Center for the History of the Universe

1. 銀河における星生成と分子 ガス



北海道大学



筑波大学



銀河

- 暗黒物質を除く組成
星, ガス, 星間塵
- 現在の銀河は主に
恒星から成る
→ 銀河の形態 \approx 恒星の分布



- 銀河の進化

(<http://imgsrc.hubblesite.org/>より転載)



北海道大学

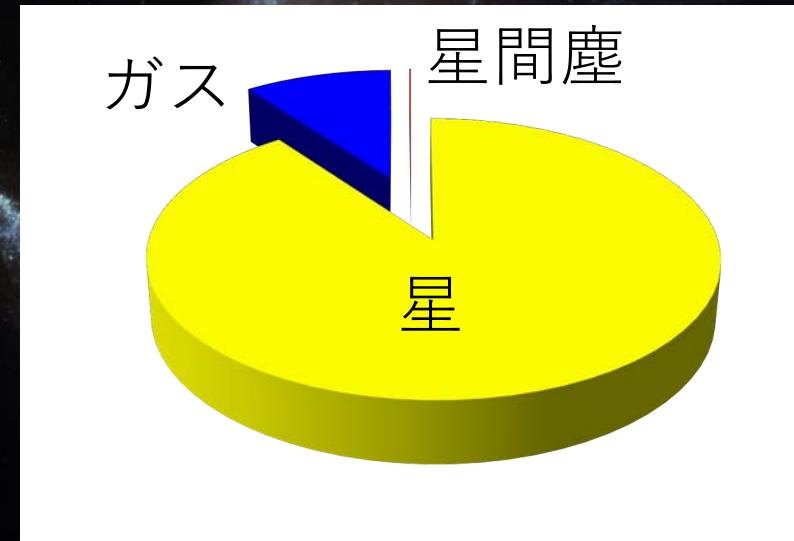


筑波大学



銀河

- 暗黒物質を除く組成
星, ガス, 星間塵
- 現在の銀河は主に
恒星から成る
→ 銀河の形態 \approx 恒星の分布



- 銀河の進化

(<http://imgsrc.hubblesite.org/>より転載)



北海道大学

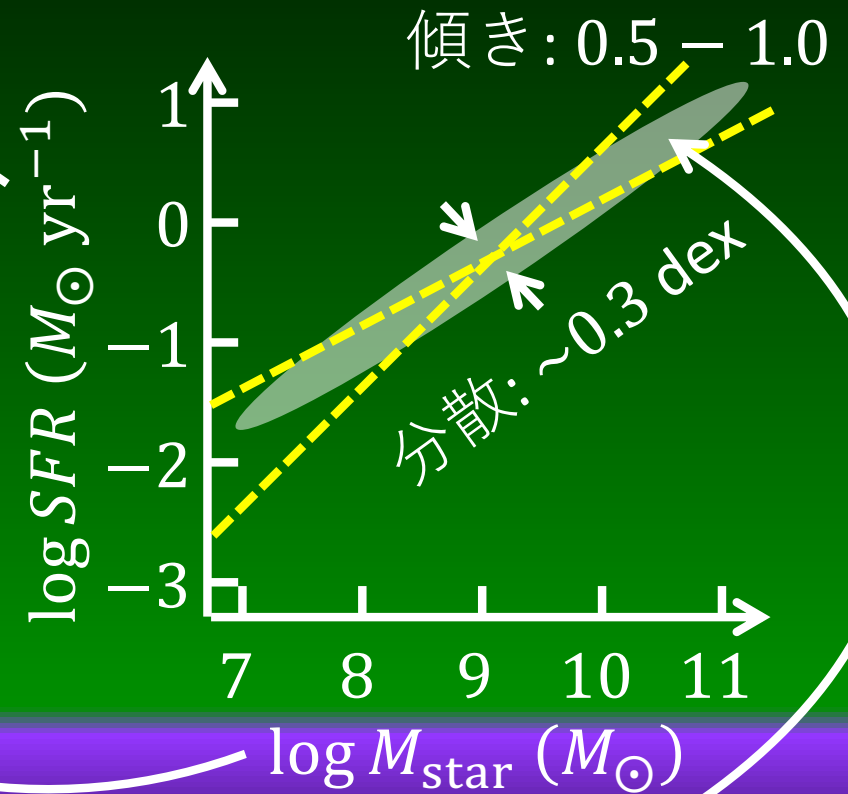


筑波大学

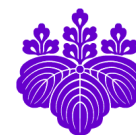


星生成から探る銀河の進化

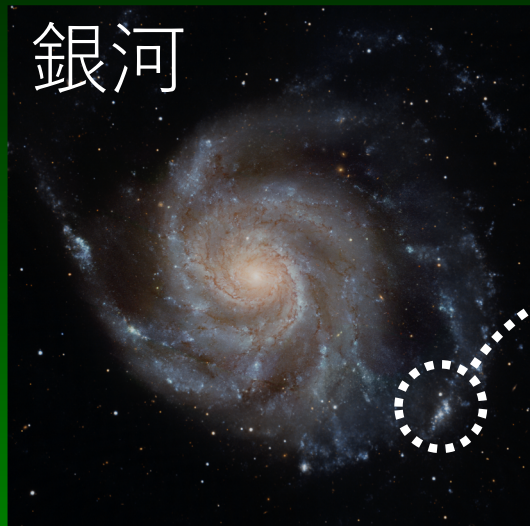
- 星生成率 (SFR)
銀河で単位時間に生成される星の総質量
- 星質量 (M_{star})
銀河を構成する星の総質量



- 星生成の主系列 (e.g., Noeske+ 07)

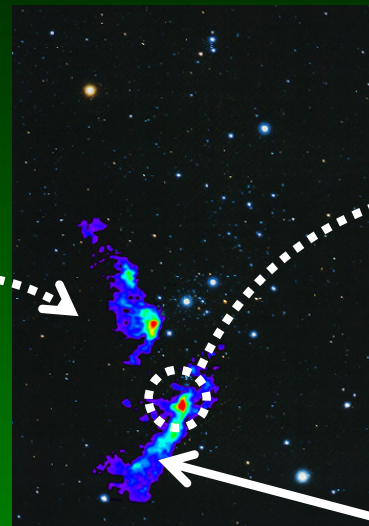


星間ガスと星生成



30 kpc \sim 10²¹ m

10¹¹ M_☉ \sim 10⁴¹ kg



大きさ

質量
温度

星の誕生



巨大分子雲

50 pc \sim 10¹⁸ m

10⁶ M_☉ \sim 10³⁶ kg

20 K

(<http://imgsrc.hubblesite.org/> 及び <http://www.nro.nao.ac.jp/> より転載)



北海道大学

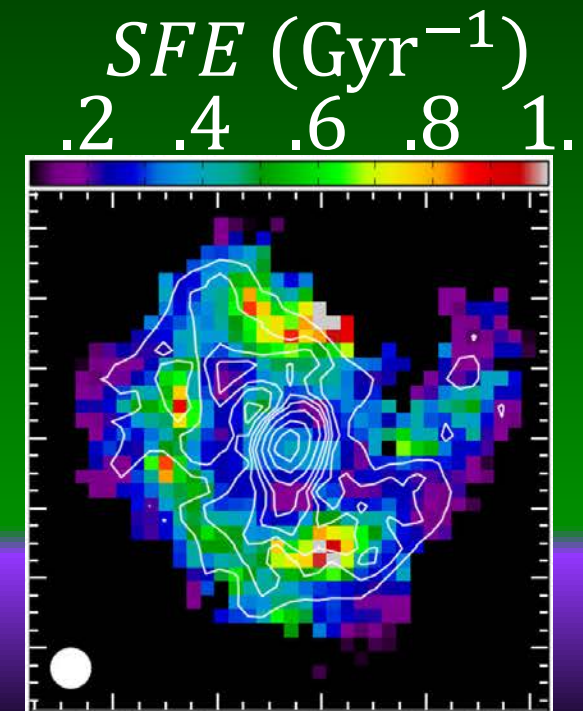


筑波大学



星生成効率の多様性

- 星生成効率 (*SFE*)
単位ガス質量あたりの星生成率
- 銀河内の場所により異なる
分子ガスの運動
→ 分子ガスの密度に影響
- 銀河によっても異なる



(Yajima+ 19を改変)



北海道大学

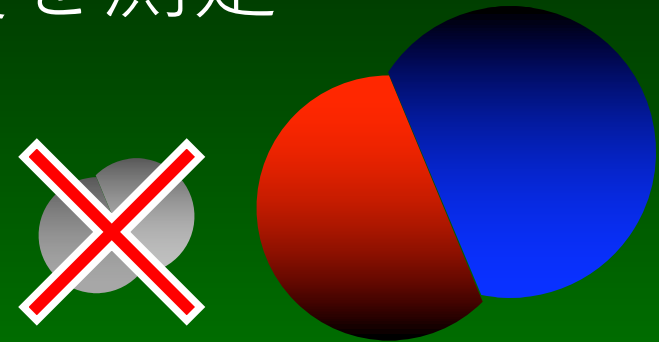


筑波大学



分子ガス量の導出

- CO分子のスペクトル線強度を測定
← 低温のため、水素分子が放射できない



- CO-H₂変換係数 ($X_{\text{CO}}, \alpha_{\text{CO}}$)

$$X_{\text{CO}} \equiv \frac{N(\text{H}_2)}{I_{\text{CO}}} \quad \text{が一定と仮定}$$

$N(\text{H}_2)$ ← H₂の柱密度
 I_{CO} ← COスペクトル線の強度

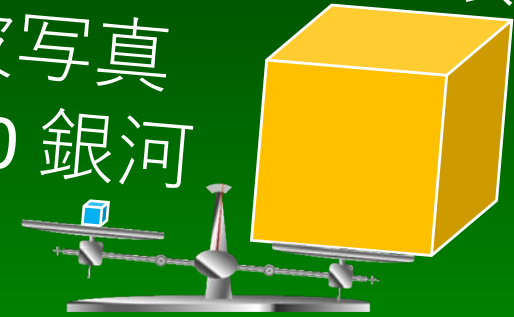


星間ガス量測定の問題点

- 圧倒的に少ない観測
分子ガスはミリ波の観測が必要
← 撮像が困難
- 間接的な測定
CO-H₂変換係数は普遍か？
← $\lesssim 10^{-4}$ のCO分子を観測

光学写真
> 10⁶ 銀河

電波写真
数100 銀河



- 暗黒ガス



北海道大学



筑波大学



2. CO輝線撮像観測プロジェクト



北海道大学



筑波大学



大規模な分子ガス撮像観測

CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies (COMING)

- 国立天文台野辺山45m電波望遠鏡による近傍銀河のCO撮像観測 (CO/ $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ / $^{12}\text{C}^{18}\text{O}$ $J = 1 - 0$) (Sorai+ 19)
- 147銀河
- 今冬さらに約20銀河を追加観測予定



COMING
CO MULTI-LINE IMAGING OF NEARBY GALAXIES



北海道大学



筑波大学



名古屋大学

竹内努

依田萌 *

近藤千紘 *

名古屋大学

Cooray, S.

Shi, W.

大森清顕 クリストファー

北條妙

上越教育大学

金子紘之

国立天文台

Espada, D.

国立天文台

宮本祐介

北海道大学

徂徠和夫

梅井迪子 *

瀬川陽子 *

田代貴美 *

岸田望美 *

矢島義之

柴田修吾 *

梶川明祐実

八嶋裕

清水一揮

北海道大学

Pettitt, A.

明星大学

小野寺幸子

三浦飛未来 *

関西学院大学

中井直正

野間勇斗 *

瀬田益道

山口大学 / 国立天文台

松本尚子 *

鹿児島大学

中西裕之

齊田智恵 *

上野紗英子 *

江副聡一 *

Max-Planck-Institut für Astronomie

PAN, H-A.

大阪府立大学

村岡和幸

馬路博之 *

武田美保 *

柳谷和希 *

黒田麻友 *

東北大学

小林将人

芝浦工業大学

渡邊祥正

東京理科大学

大井渚

東京大学

諸隈松井佳菜

筑波大学

久野成夫

Salak, D.

畠山拓也 *

田中隆広

富安悠人 *

佐藤佑哉 *

保田敦司

喜多将一郎 *

小松崎龍聖 *

川原裕佑 *

山本剛大 *

柴田和樹

(徂徠和夫)

筑波大学

井上茂樹

(*: 卒業生, 青字: サブワーキンググループのメンバー)



COMING
CO MULTI-LINE IMAGING OF NEARBY GALAXIES

WISE 3.4 micron-band images

molecular gas mass

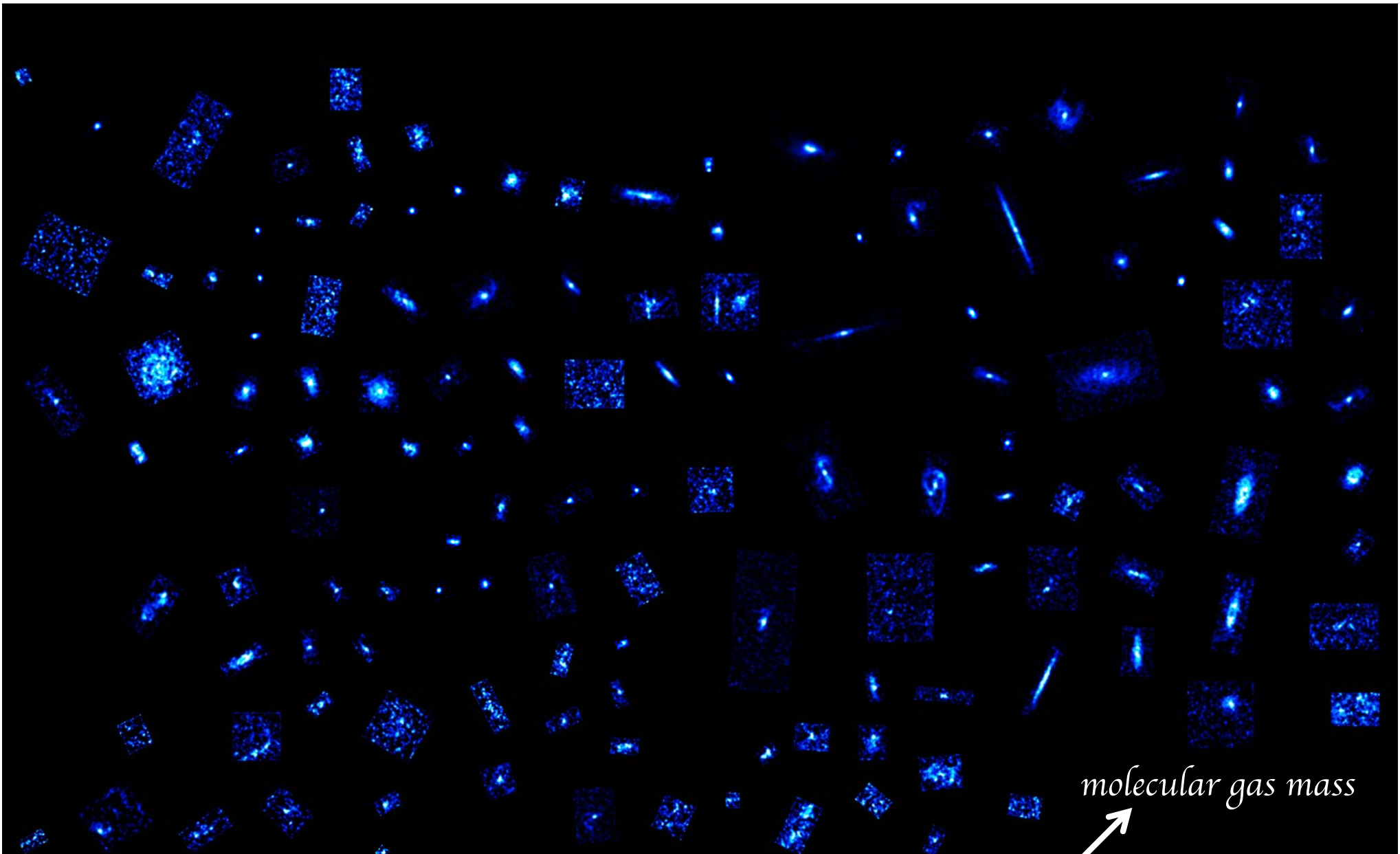
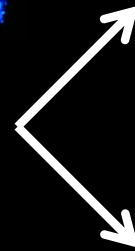
stellar mass

COMING
CO MULTI-LINE IMAGING OF NEARBY GALAXIES

^{12}CO ($J=1-0$) integrated intensity maps

molecular gas mass

stellar mass



これまでの成果

- 空間分解した星生成の主系列
- X_{CO} の金属量 (重元素量) 依存性
- 高励起線による質量推定

※未発表の図があるため、割愛。興味のある方はご連絡ください。



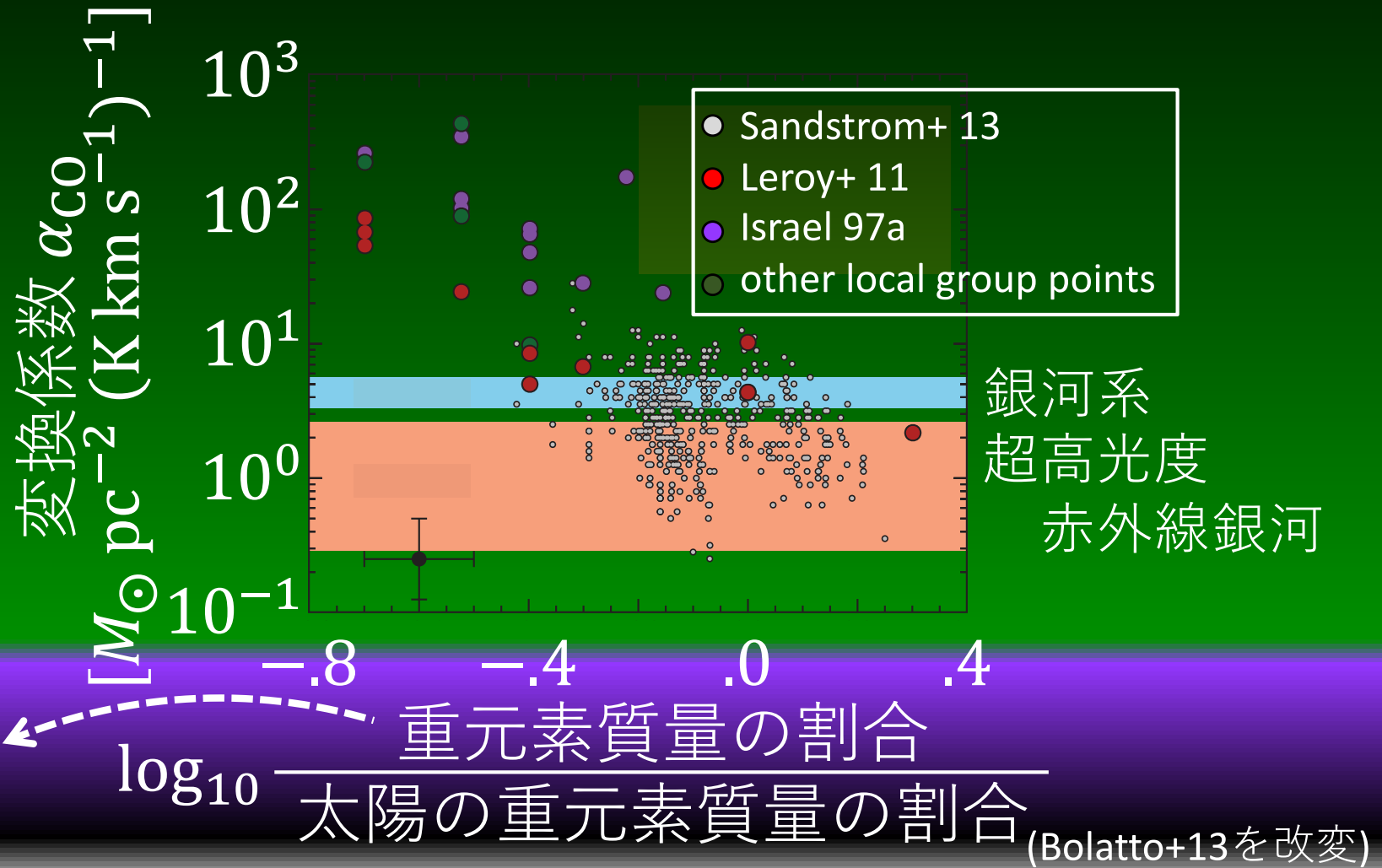
北海道大学



筑波大学

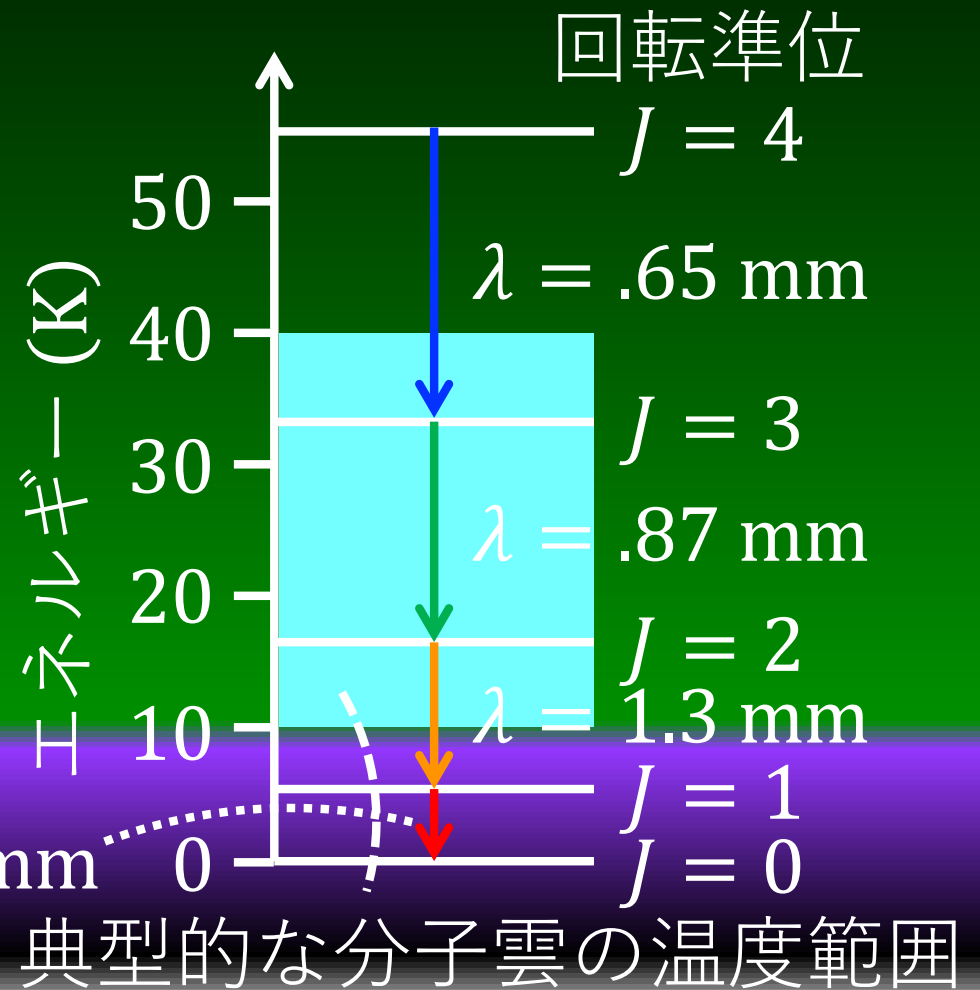
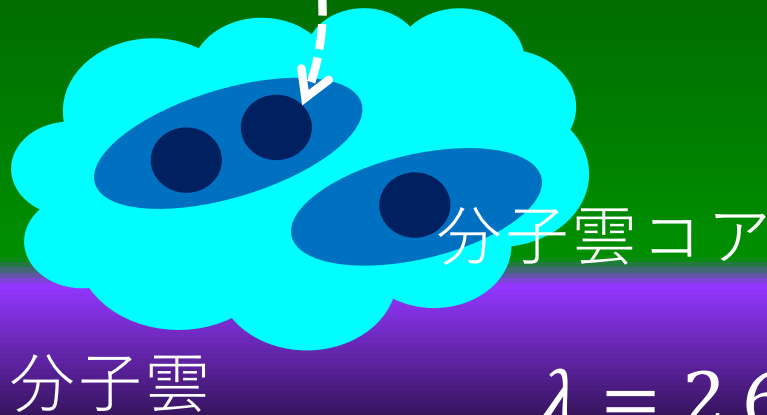


X_{CO} の金属量 (重元素量) 依存性



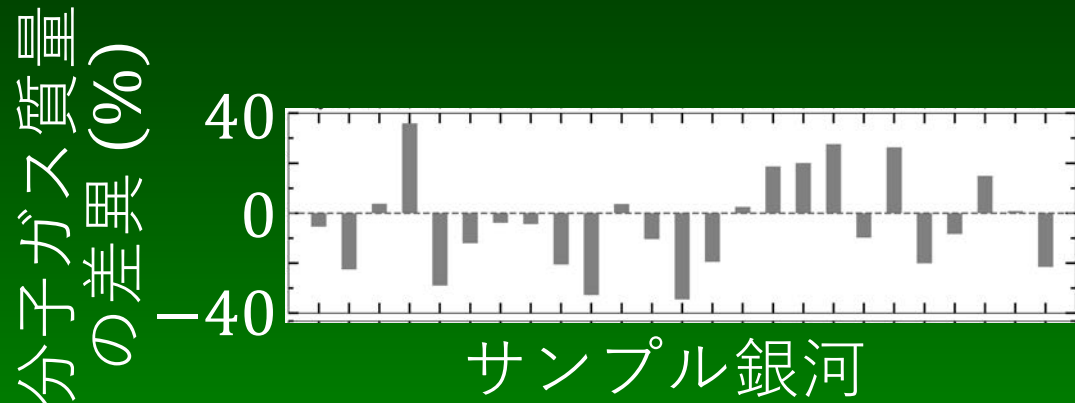
COスペクトル線とエネルギー

- 高励起の遷移は
温度・密度の高いガスを選択的に観測



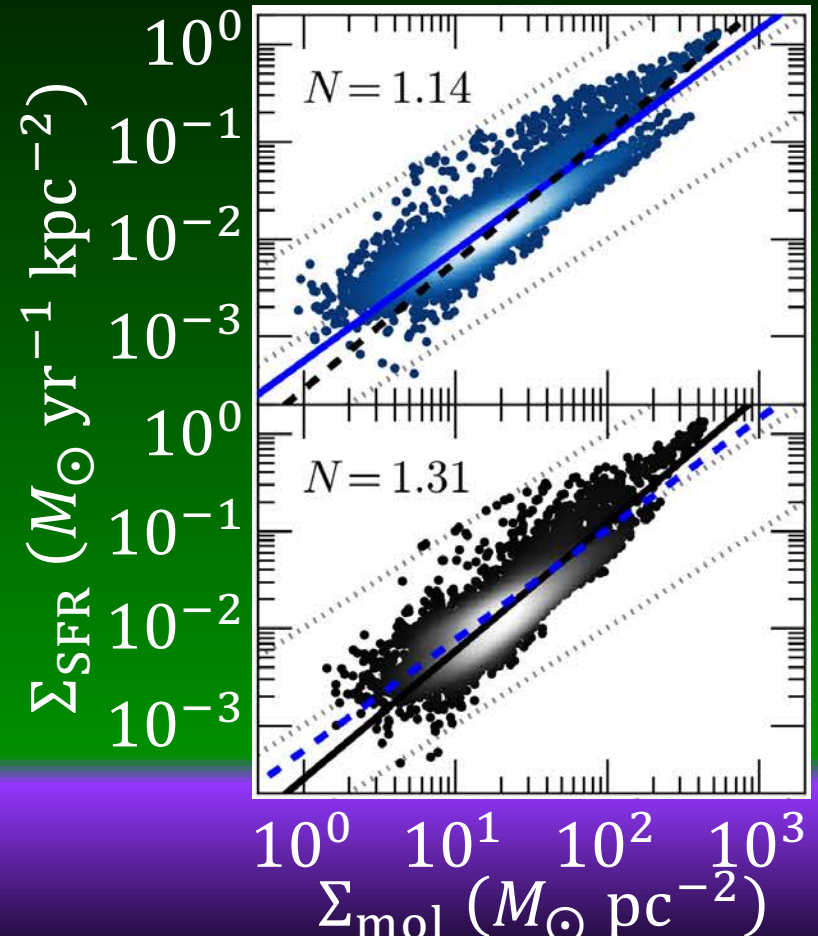
高励起線による質量推定

- 分子ガス質量を誤推定



- 影響

- スケーリング則の解釈
- 遠方銀河のガス質量



(Yajima+ 20, submitted を改変)



北海道大学

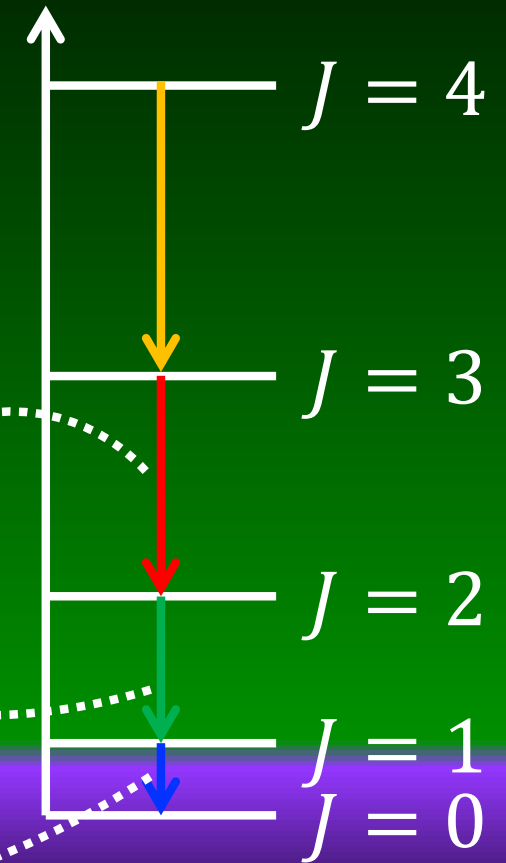
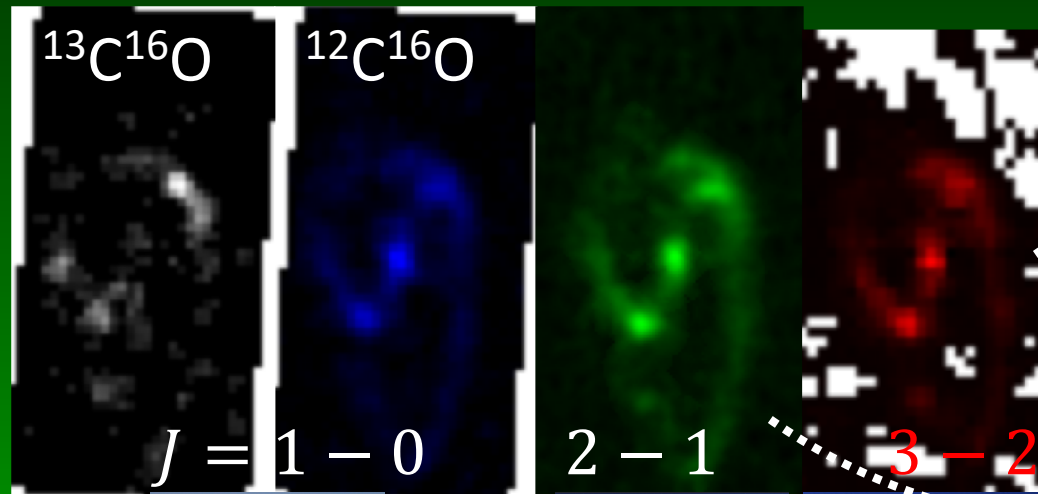


筑波大学

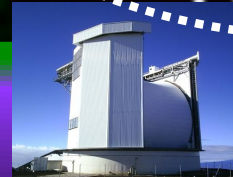


複数輝線を用いた励起解析

- ガスの密度・温度を決定



→ 質量



(Sorai+ 19; Leroy+ 09, Wilson+ 09 より);

<http://www.iram-institute.org/> 及び <http://www.eaobservatory.org/> より転載)



北海道大学



筑波大学



3. 今後の計画



北海道大学

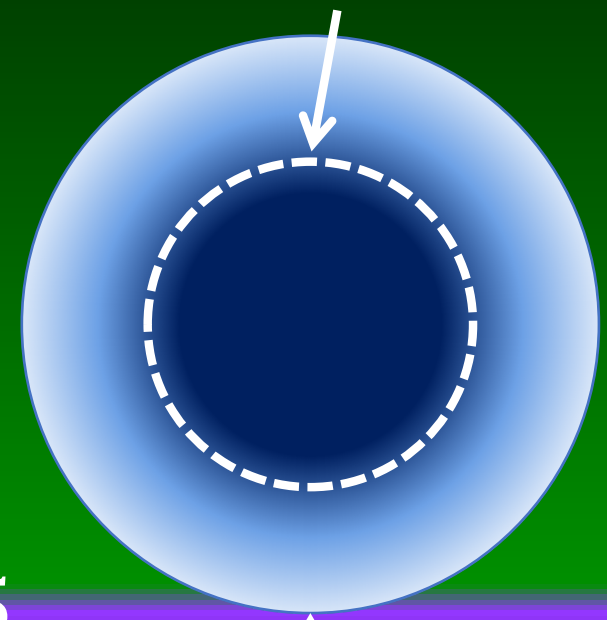
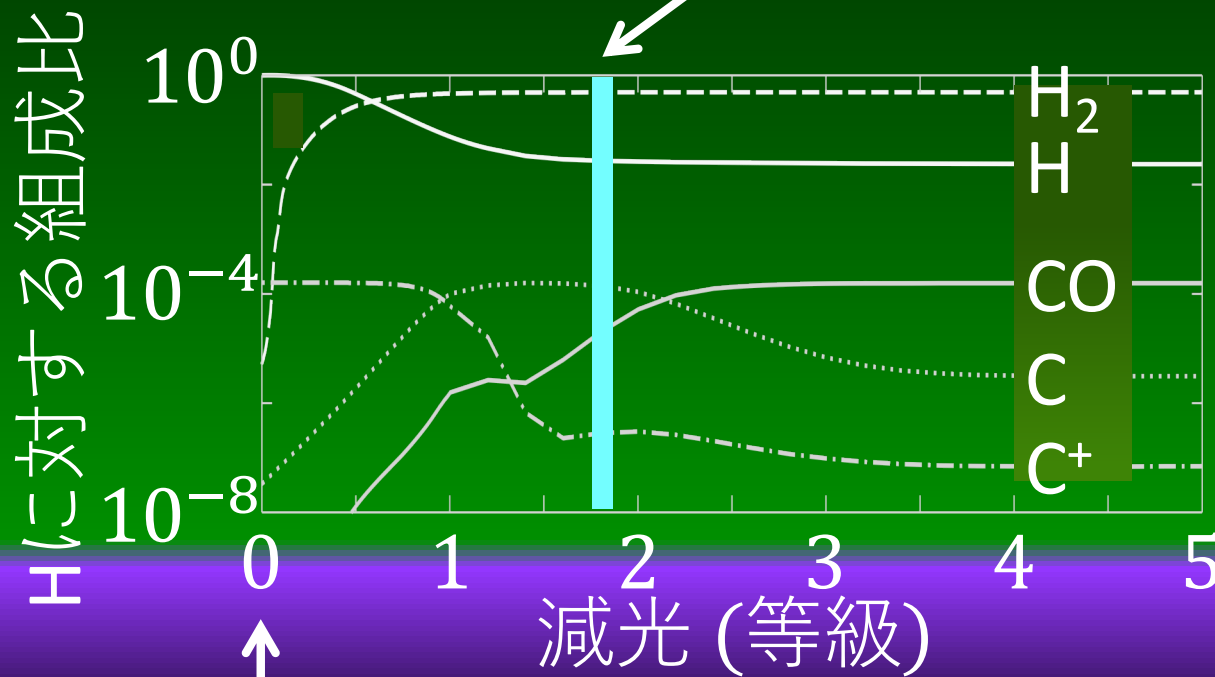


筑波大学



暗黒ガス

- 分子雲の構造 COの観測で見えている表面



(Bolatto, Wolfire, Leroy 2013, ARA&A, 51, 207を改変)



北海道大学

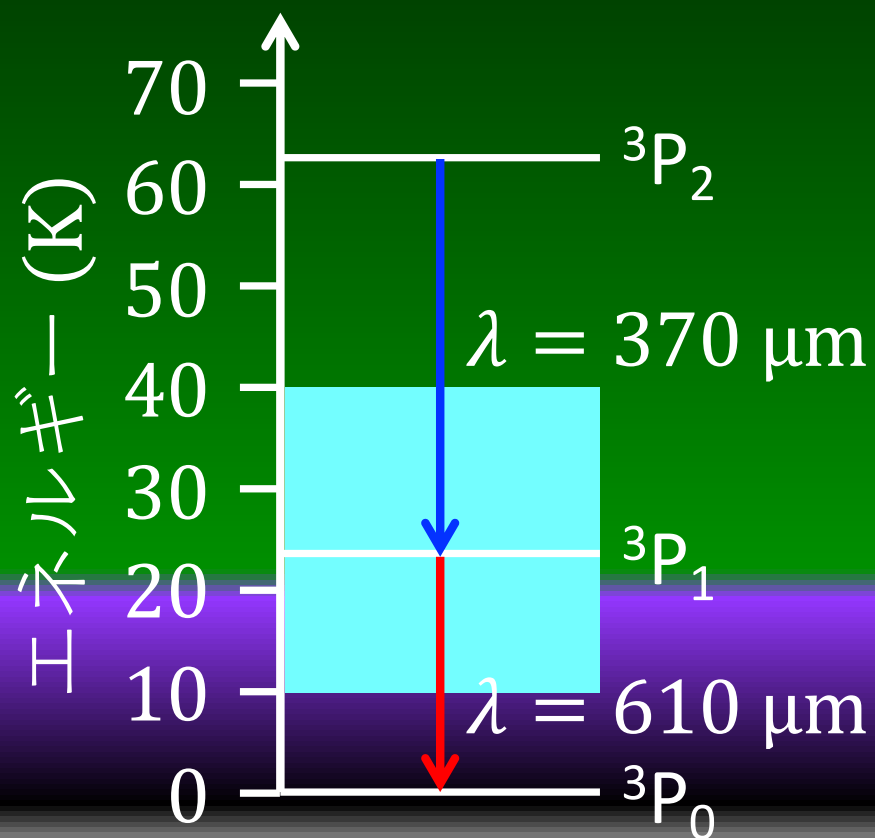


筑波大学

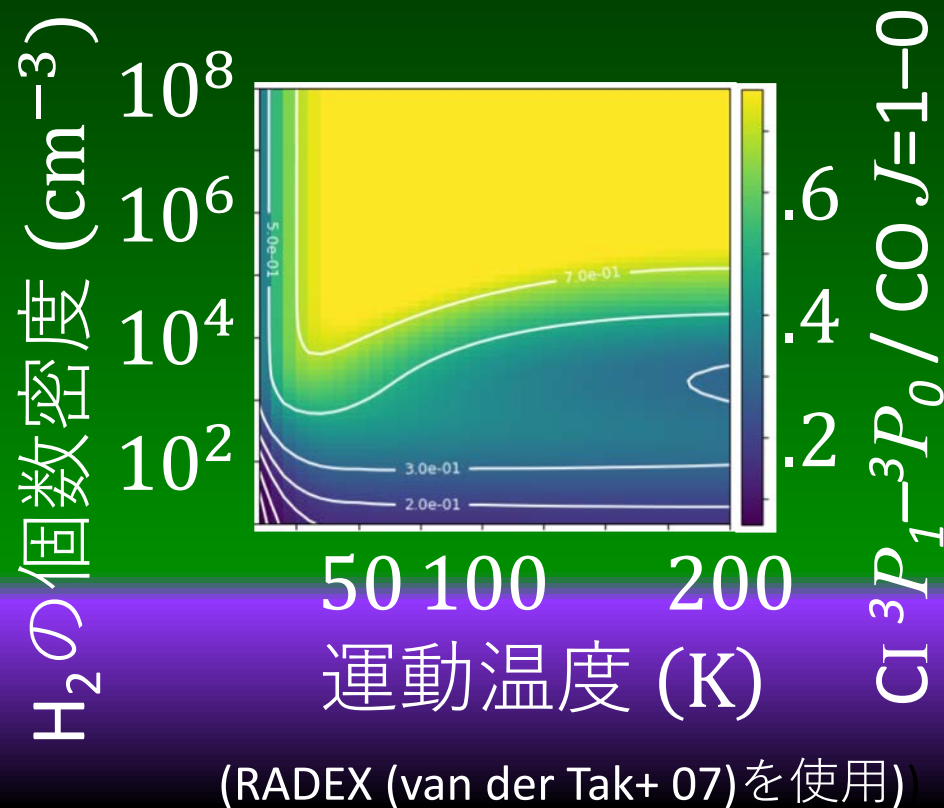


炭素原子のスペクトル線観測

エネルギー準位



励起計算例



北海道大学



筑波大学



南極30cm望遠鏡による観測

- 暗黒ガスはどのくらい存在するか？

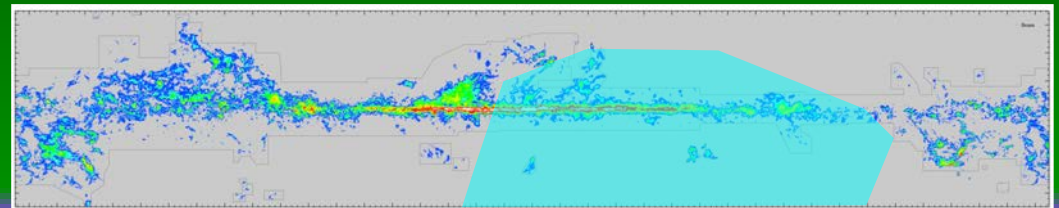
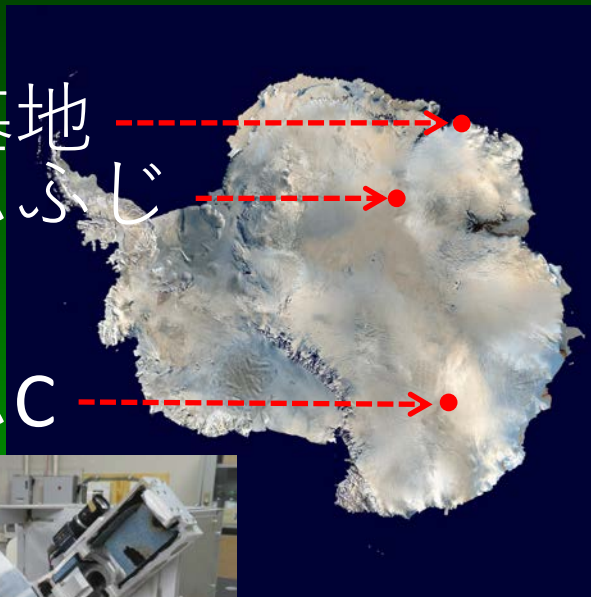
銀河系, マゼラン雲

CI $^3P_1-^3P_0$ & CO $J=4-3$

(CI $^3P_2-^3P_1$ & CO $J=7-6$)

昭和基地
ドームふじ

ドームC



(Dame+ 01を改変; <http://mwmw.gsfc.nasa.gov/>より転載)



北海道大学

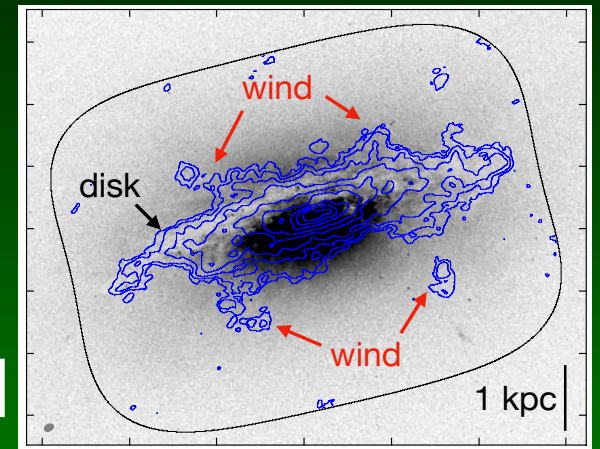
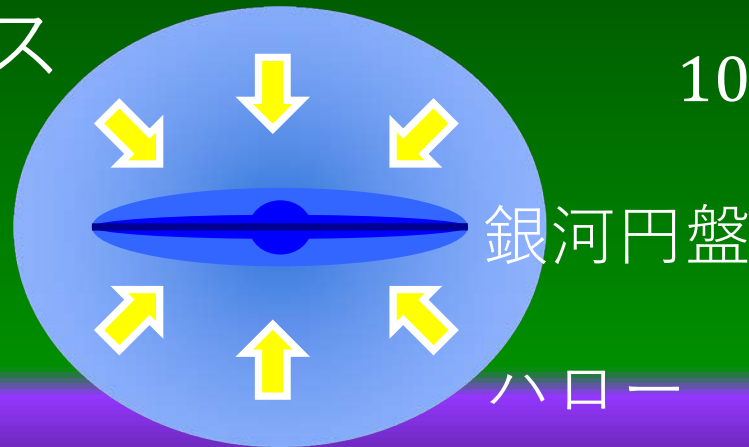


筑波大学



銀河間ガスとの収支

- 銀河から吹き上がる分子ガス
- ハローから降り積もる希薄なガスの量は？



銀緯
10''

赤経
(Salak+ 20を改変)

- $H \leftrightarrow H_2$ の転換量は？



北海道大学



筑波大学



4. まとめ



北海道大学



筑波大学



分子ガス量測定の高精度化

- 分子ガスの分布
 - COMING + 追加観測
 - 高励起線から質量導出することへの注意
- CO-H₂変換係数
 - 銀河依存性あり
 - 金属量依存性 今冬観測予定
- 複数輝線による励起解析
 - 解析開始



暗黒ガス + ガスの流出入

- 中性炭素原子のサブミリ波観測
→ 銀河系・マゼラン雲の掃天観測
@南極30cm望遠鏡

- 銀河アウトフロー
- ハローからのガス
- HとH₂の間の転換

物質循環

← 今後検討

(科研費基盤研究(C) 20K04008)



北海道大学



筑波大学

