

AOで探る 系外銀河における星生成 ～系内研究の視点から～

安井千香子 (国立天文台)

共同研究者

小林尚人 (東京大学)

Alan T. Tokunaga (ハワイ大学)

齋藤正雄 (国立天文台 ALMA)

星生成研究の主要テーマ

特に、系内の視点から…

① IMF (Initial Mass Function)

最も基本的な観測量

② 原始惑星系円盤の進化

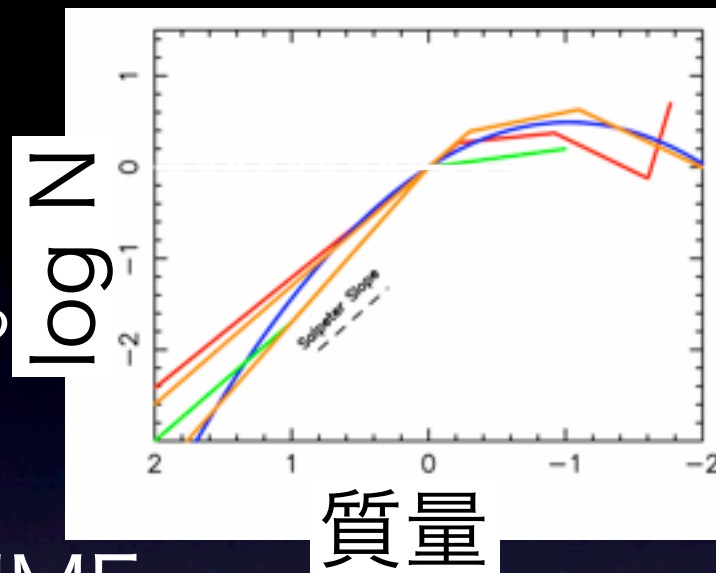
惑星形成への示唆

① IMF

★ IMFとは

集団で生まれる星の質量分布

- ✓ 銀河形成史のモデルを大きく左右する重要な「パラメータ」



★ これまでに系内で調べられているIMF

✓ Field IMF

10pc以内の領域について (e.g., Kroupa+ 1993, Reid&Gizis 1997)

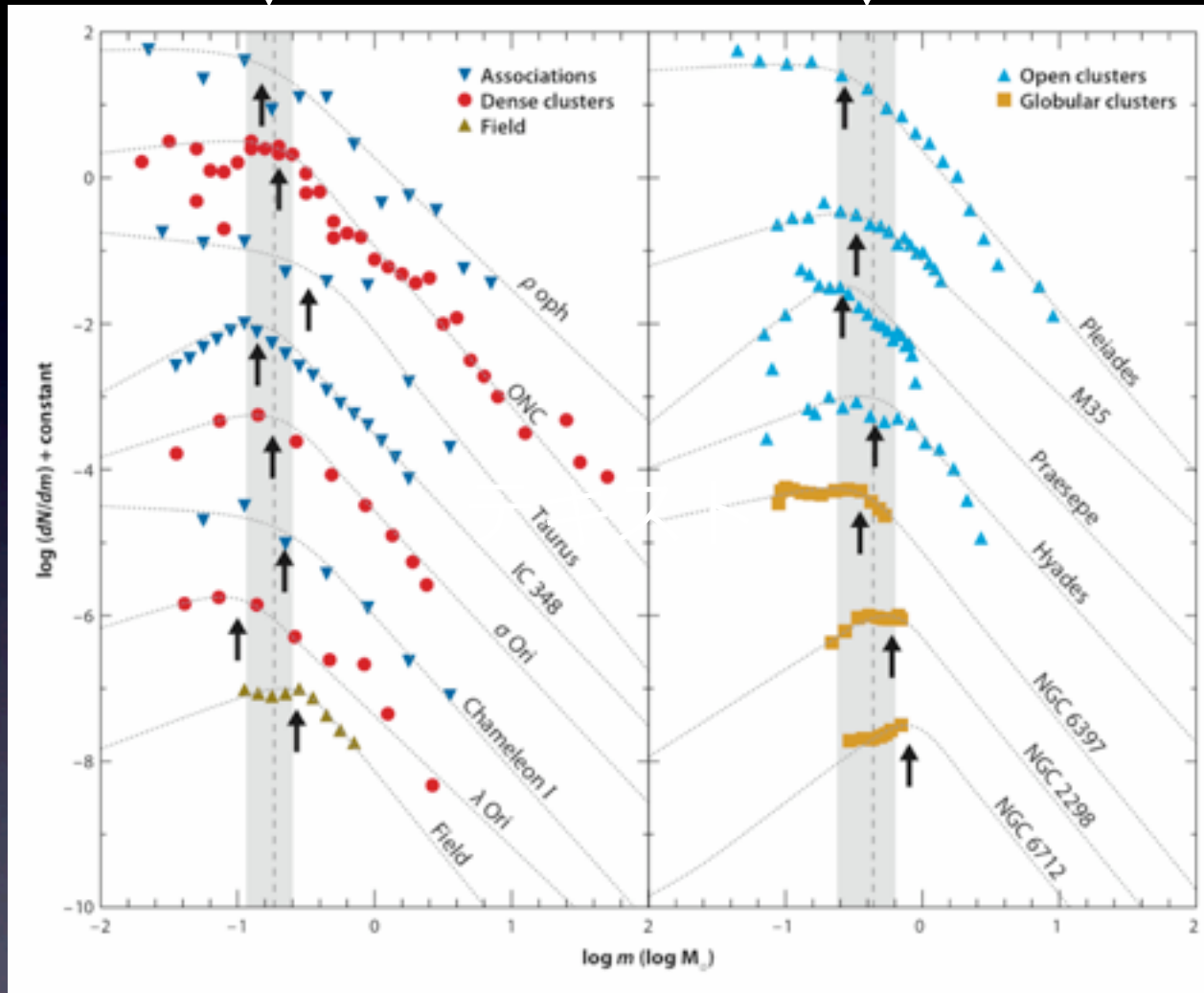
✓ Cluster IMF

色々なyoung, open cluster

※starburst clusterについては、Salpeter IMFではないという示唆も (e.g., Arches cluster, quintuplet, NGC 3603)

◆太陽近傍(@<500pc)のクラスターでの例

characteristic mass ($\sim 0.3M_{\odot}$)



Bastian+2010 ARAA

いずれのクラスターのIMFも

✓傾きはほぼSalpeterとconsistent

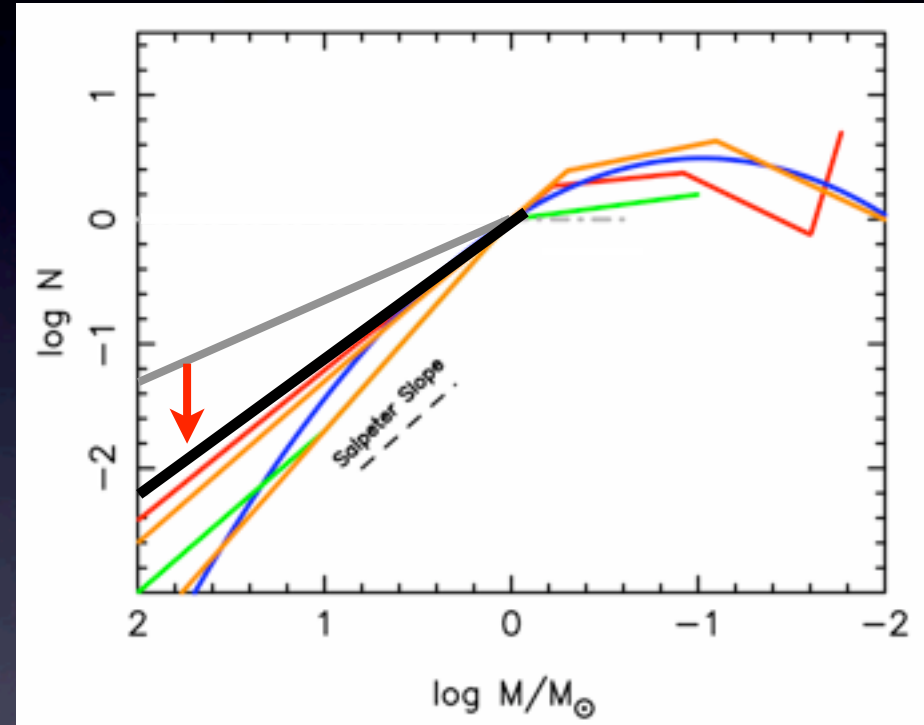
✓Characteristic massはほぼ一様 ($\sim 0.3M_{\odot}$)

◆銀河系中心での例:

Arches cluster (銀河中心から~25pcの位置に存在)

Salpeter IMFでないという指摘もあったが...

Reference	装置	Γ
Figer+1999	NICMOS on HST	0.65 ($>6M_{\odot}$)
Stolte+2002	AO on Gemini-N	0.8
Kim+2006	AO on Keck	0.9
Espinoza+2009	AO on VLT	1.1

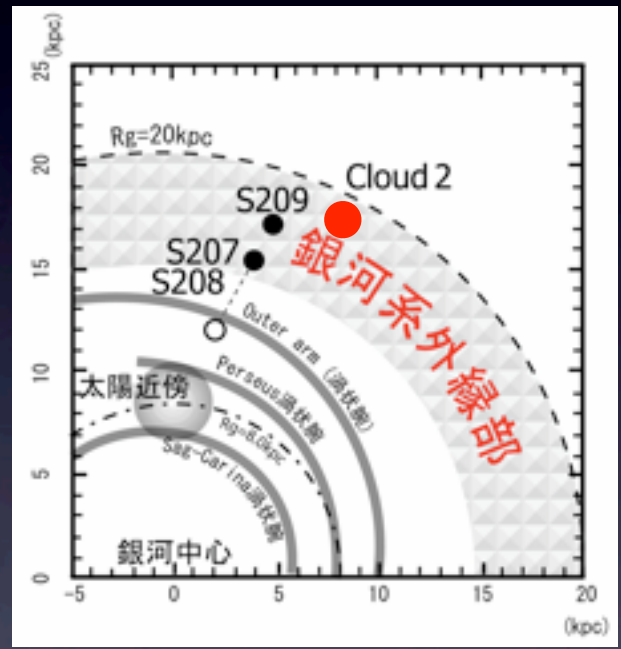


分解能を上げるほど
universal IMFに近づいてくる!

基本は星を1つ1つ数えること

◆銀河系外縁部での例①:

Cloud 2 clusters @Rg=19kpc



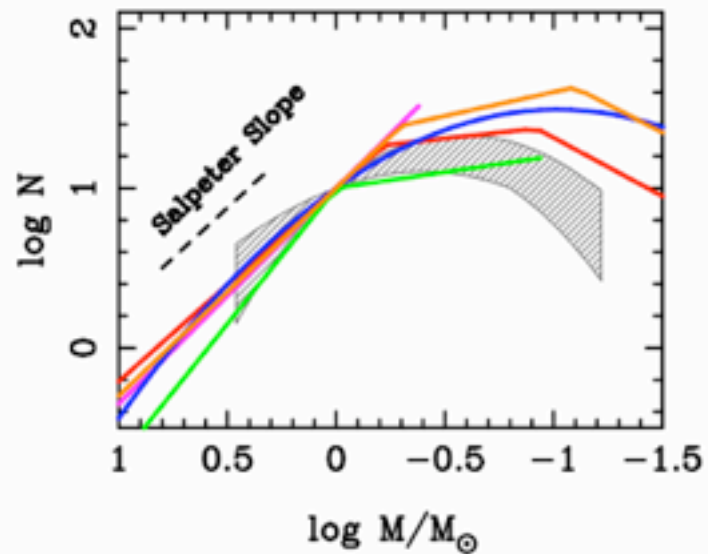
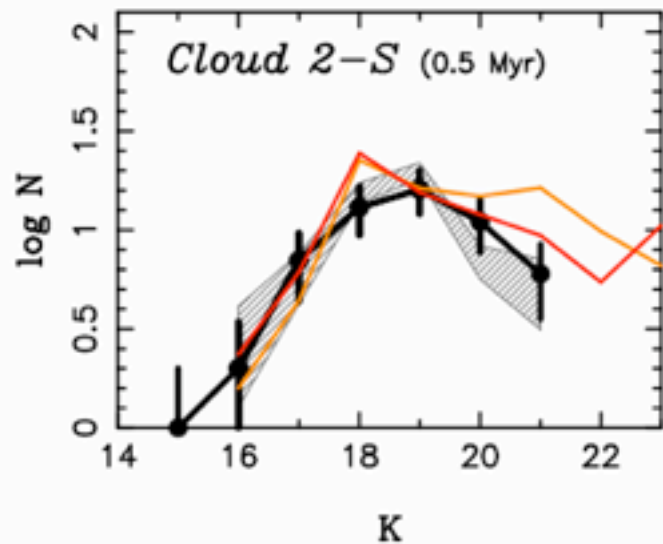
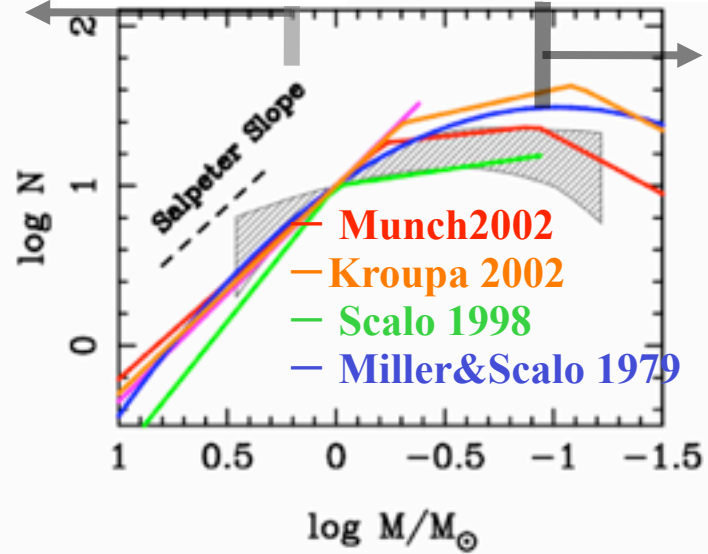
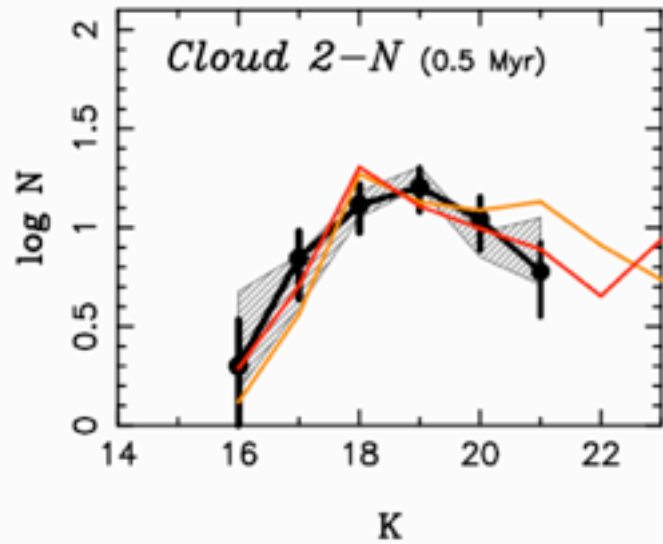
Cloud2-N



Cloud2-S

高質量側

超低質量側

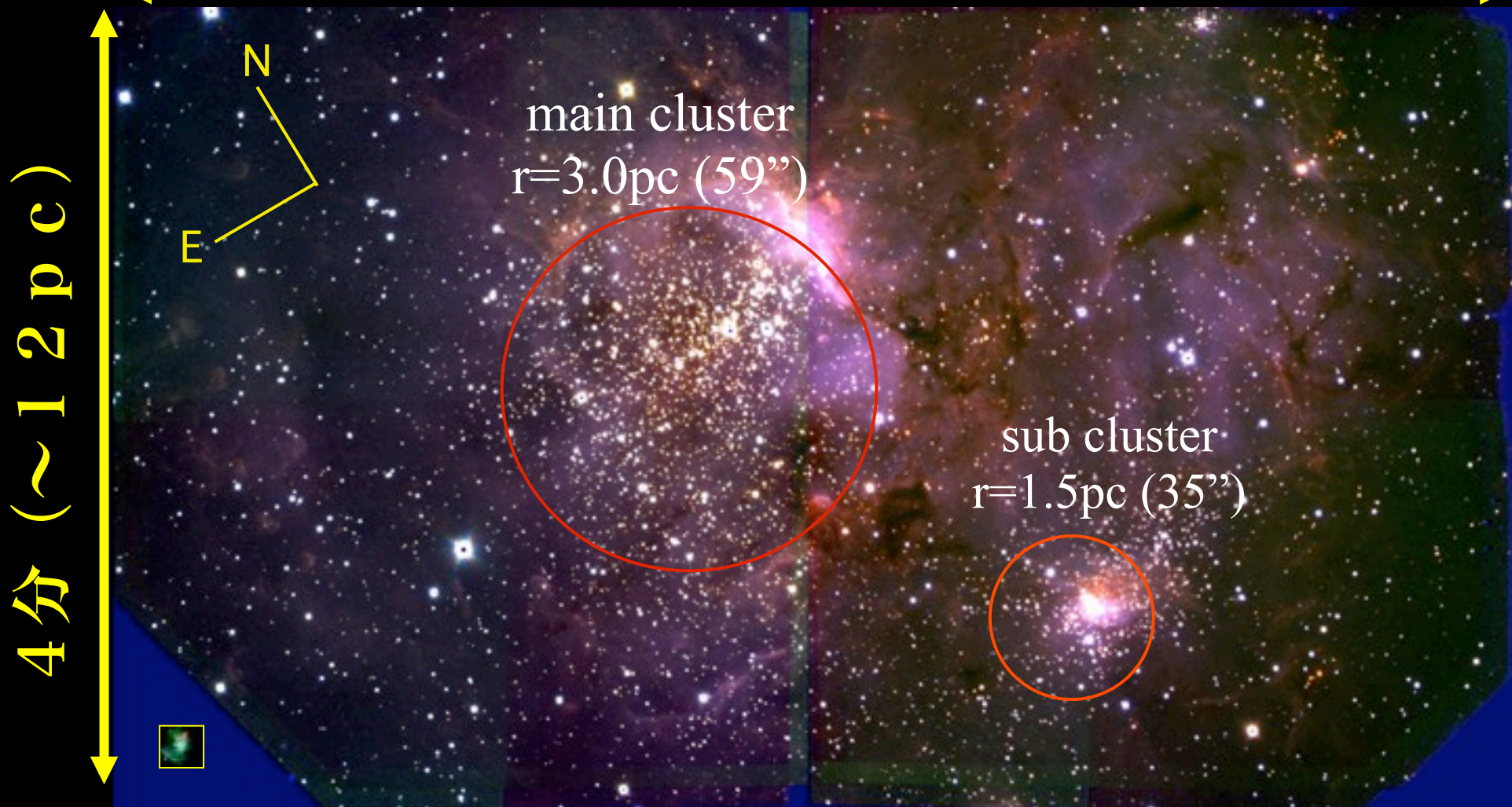


Yasui+2007

密度がオーダーで約1異なる
2つの低金属量下のクラスターについて
Salpeter IMFとconsistentであると導いた

◆銀河系外縁部での例②: Sh2-209@Rg=17.5kpc

~7分

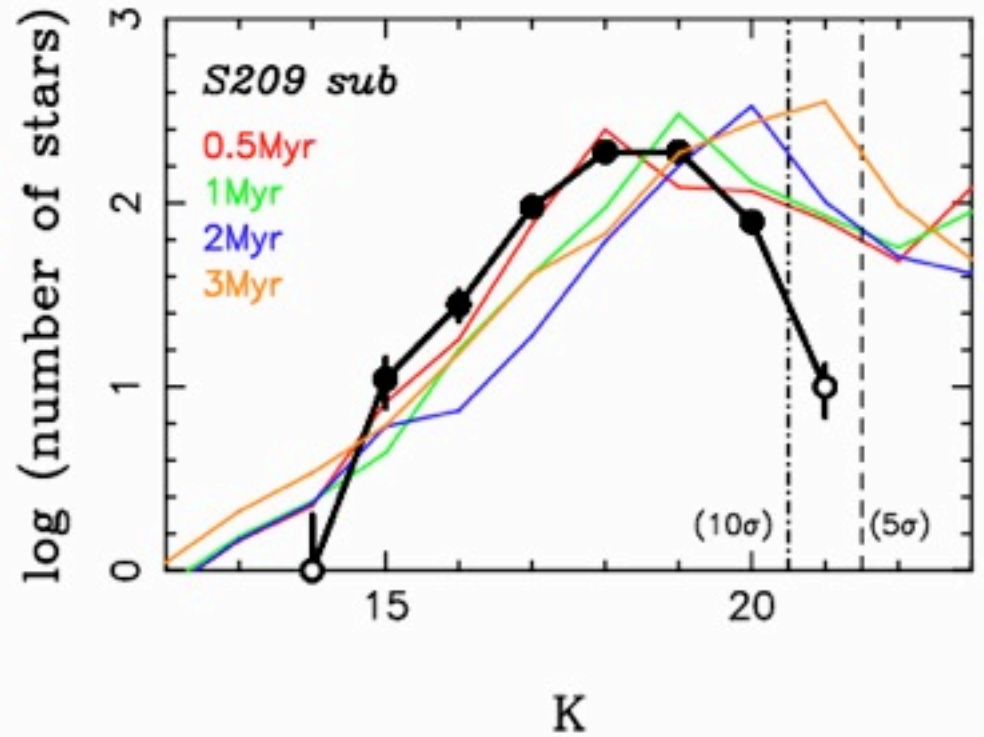
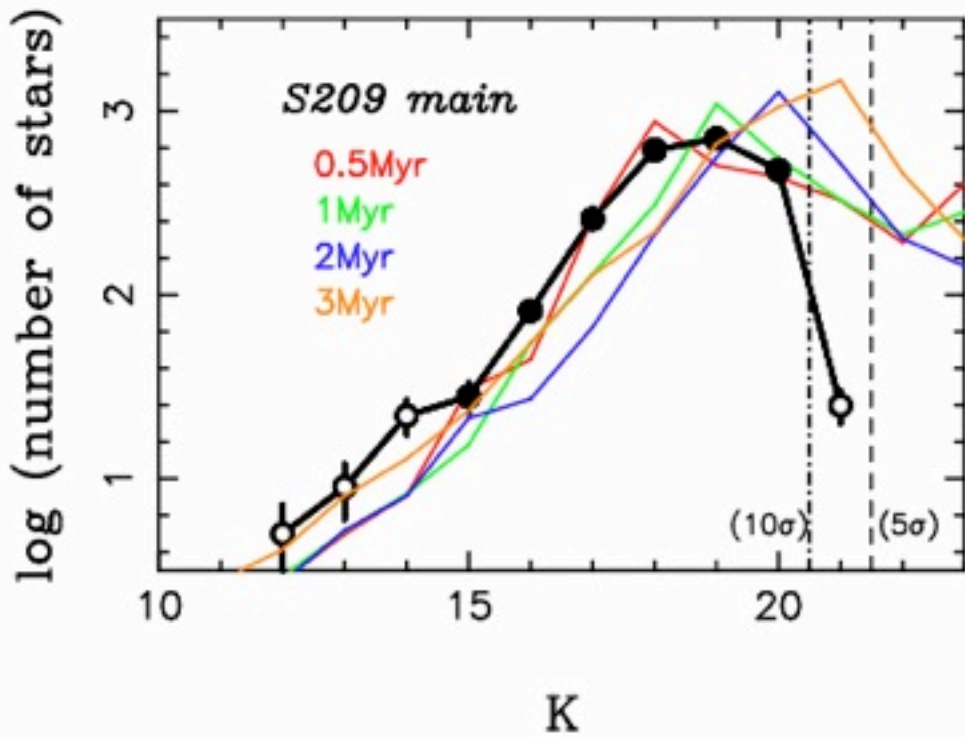


*多天体(~1000個)のため
非常によい統計が得られる

Yasui+2010

◆ S209 main

◆ S209 sub



●の等級(K=15-20)でfit

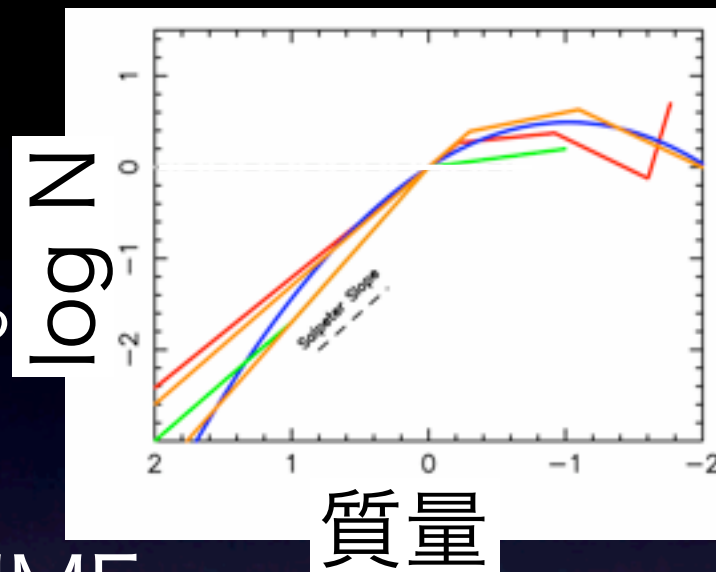
* 一時近似的には、Salpeter IMFとconsistent

① IMF

★ IMFとは

集団で生まれる星の質量分布

- ✓ 銀河形成史のモデルを大きく左右する重要な「パラメータ」



★ これまでに系内で調べられているIMF

✓ Field IMF

10pc以内の領域について (e.g., Kroupa+ 1993, Reid&Gizis 1997)

✓ Cluster IMF

色々なyoung, open cluster

※starburst clusterについては、Salpeter IMFではないという示唆も (e.g., Arches cluster, quintuplet, NGC 3603)

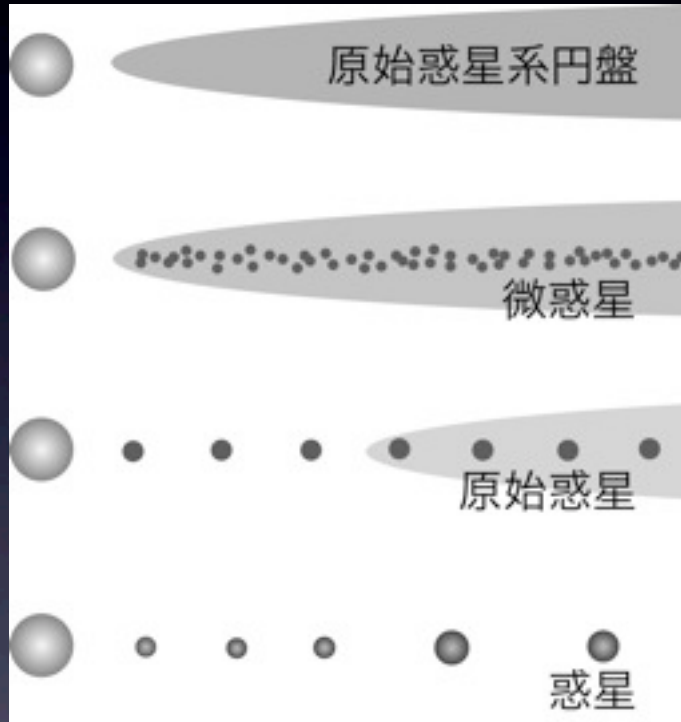
銀河系内でのIMFは、
いずれもおおよそ”universal”とconsistent

② 原始惑星系円盤の進化 ~ 惑星形成への示唆 ~

★ 原始惑星系円盤: 星周のガス+ダスト ディスク

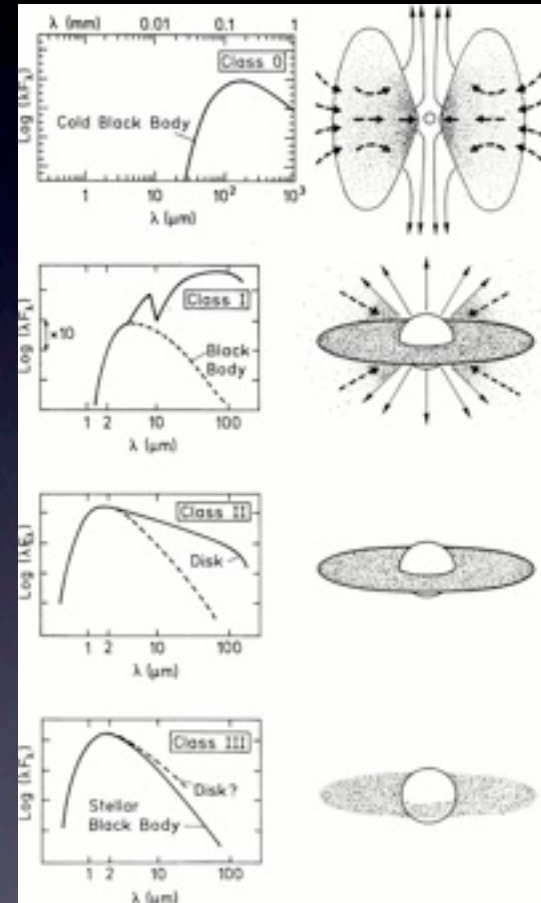
◆ 惑星の形成

◆ 原始惑星系円盤の消失



~core accretionの場合~
(Safronov 1969, Hayashi et al. 1985)

惑星の形成 = 原始惑星系円盤の消失



Bachiller (1996)

~ 10^4 yr

~ 10^5 yr
(0.1 Myr)

~ 10^6 yr
(1 Myr)

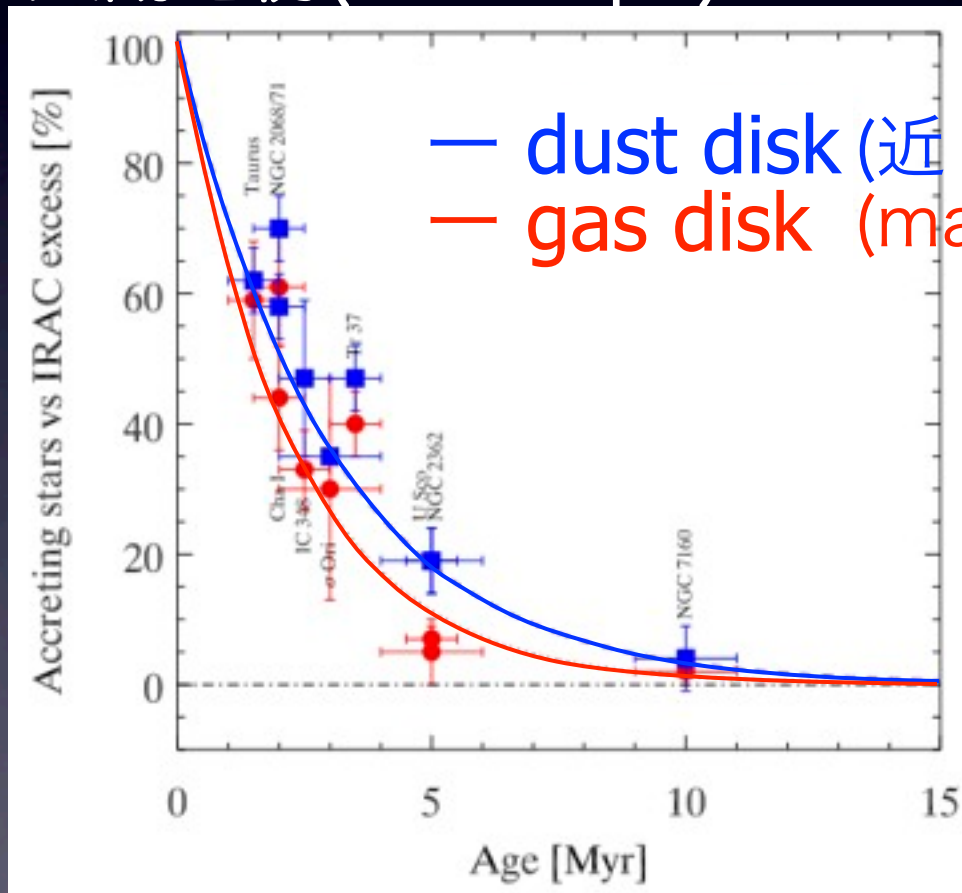
~ 10^7 yr
(10 Myr)

➔ **原始惑星系円盤の寿命**は惑星形成に重要

★ 寿命の統計的導出

星生成cluster中の disk fraction の時間変化より求める
=diskを持つ星の割合

◆ 太陽近傍 (@ < 500pc) のクラスターについて



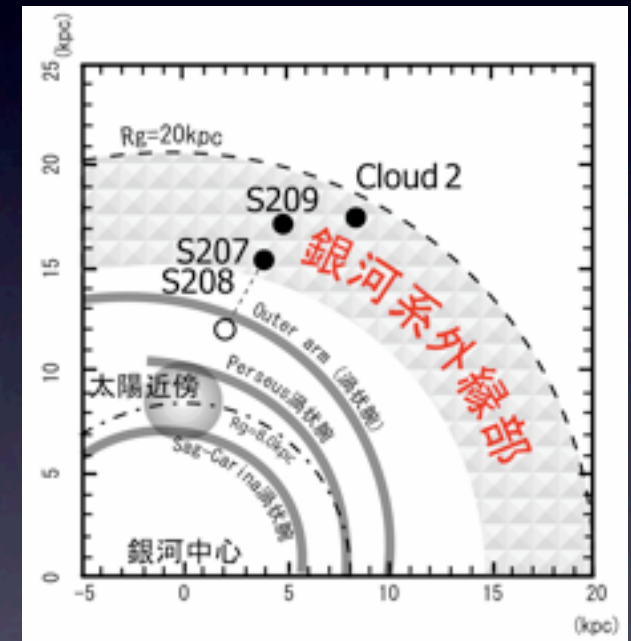
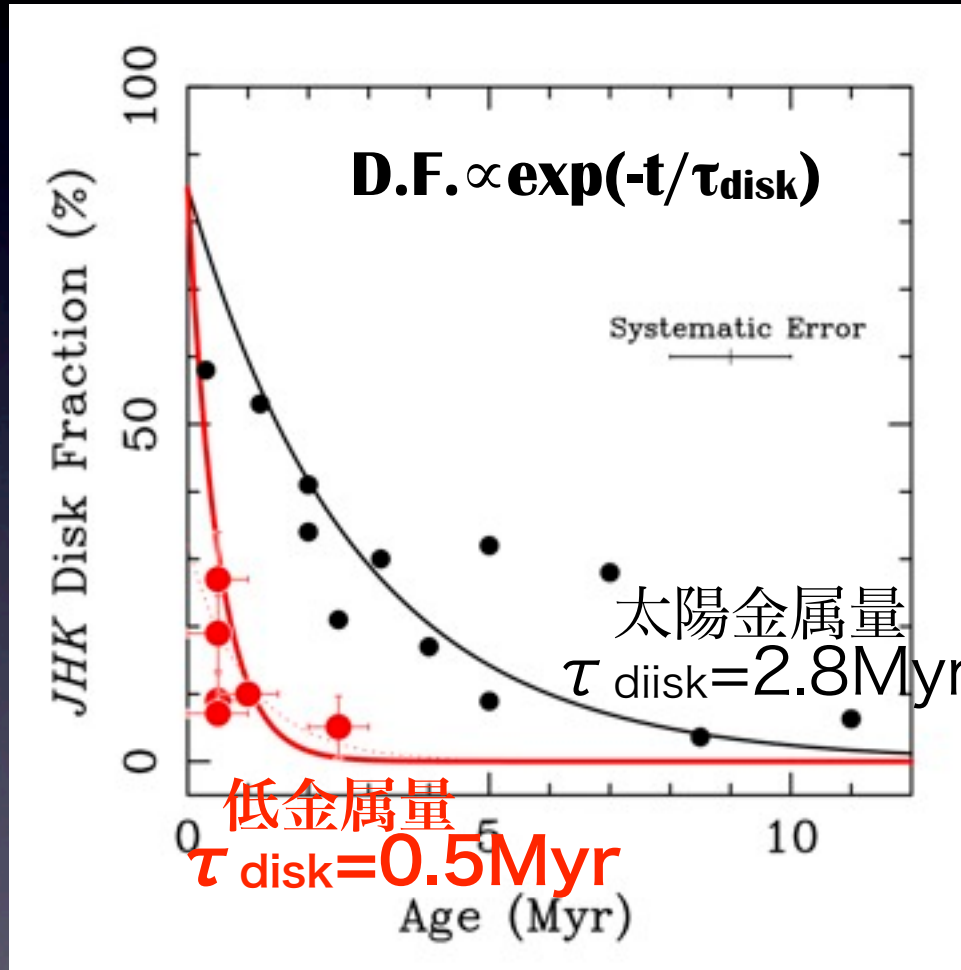
— dust disk (近・中間赤外超過を持つ星)
— gas disk (mass accretionが見られる星)
 $\geq 10^{-11} M_{\odot}/\text{yr}$
(disk mass: $\sim 10^{-6} M_{\odot} (10^{-3} M_J)$)

e.g., Fedele+ 2010

* 太陽金属量下での寿命は5–10 Myr

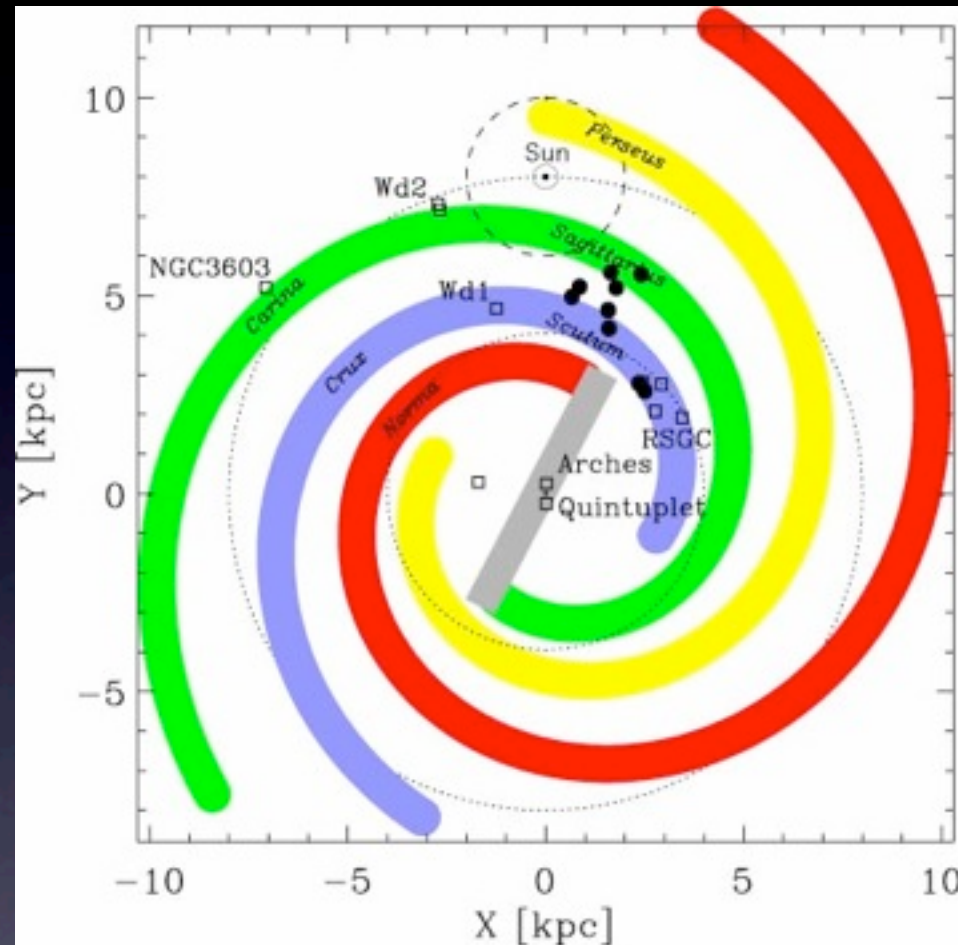
★ 銀河系スケールでの原始惑星系円盤研究

◆ 銀河系外縁部での例



Yasui+ (2009, 2010)

◆銀河系中心方向では？



共同利用2011A(MOIRCS)で進行中

星生成研究の主要テーマ

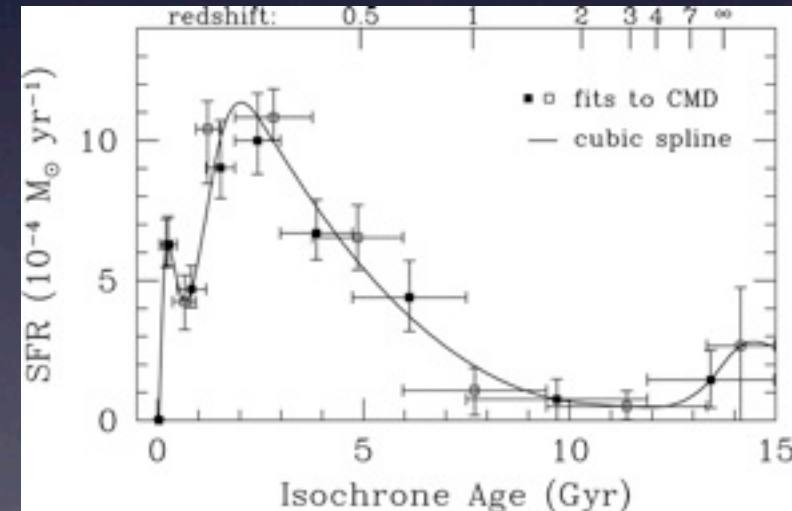
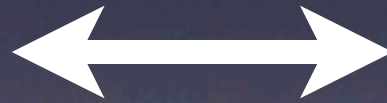
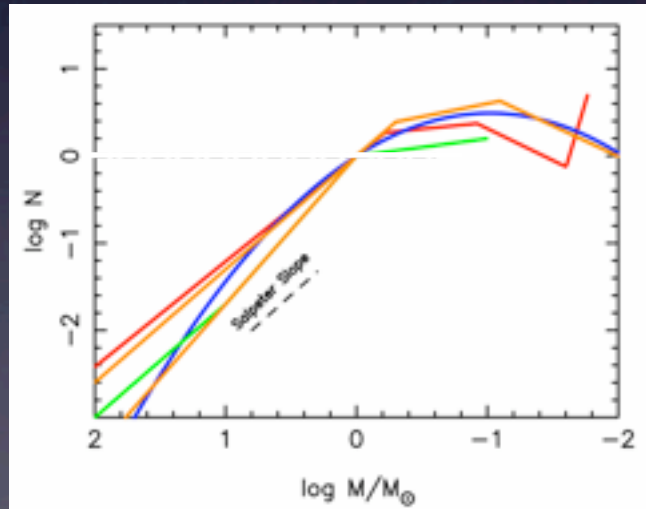
特に、系内の視点から…

① IMF (Initial Mass Function)

最も基本的な観測量

② 原始惑星系円盤の進化

惑星形成への示唆



これらを系外銀河に拡張できないか？

★系外銀河への拡張

AOでどこまで届くか？

※クラスター中の星の典型的separation: ~ 0.1 pc

Distance [kpc]	代表的な銀河	星の separation	DM [mag]	限界質量※ (K=23mag)
10pc				
10kpc	outer G	2''	15	$\sim 0.1 M_{\odot}$
50kpc	LMC	0.4''	18.5	$\sim 0.5 M_{\odot}$
100kpc		0.2''	20	$\sim 1 M_{\odot}$
500kpc		0.04''	23.5	$\sim 3 M_{\odot}$
1Mpc	M31, Local	0.02''	25	$\sim 10 M_{\odot}$
5Mpc		0.004''	28.5	
10Mpc		0.002''	30	

8m

30m

100m

※ Lejeune&Schaerer2001のstellar evolution modelを使用

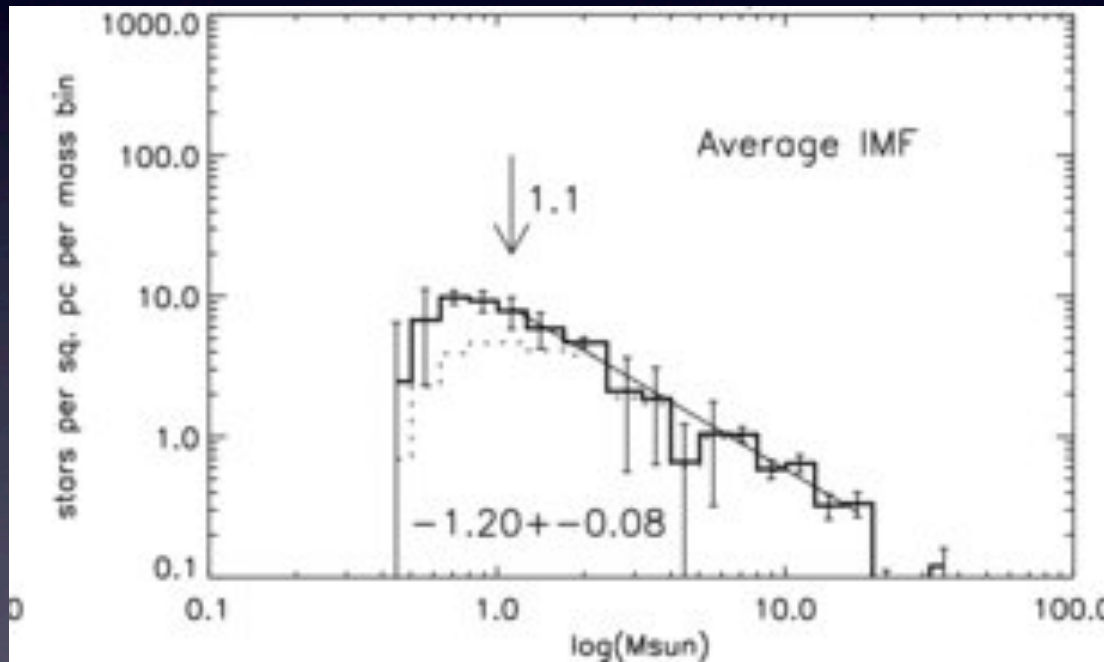
◆D=50kpcまでは既に研究が進んでいる

LMC/SMC

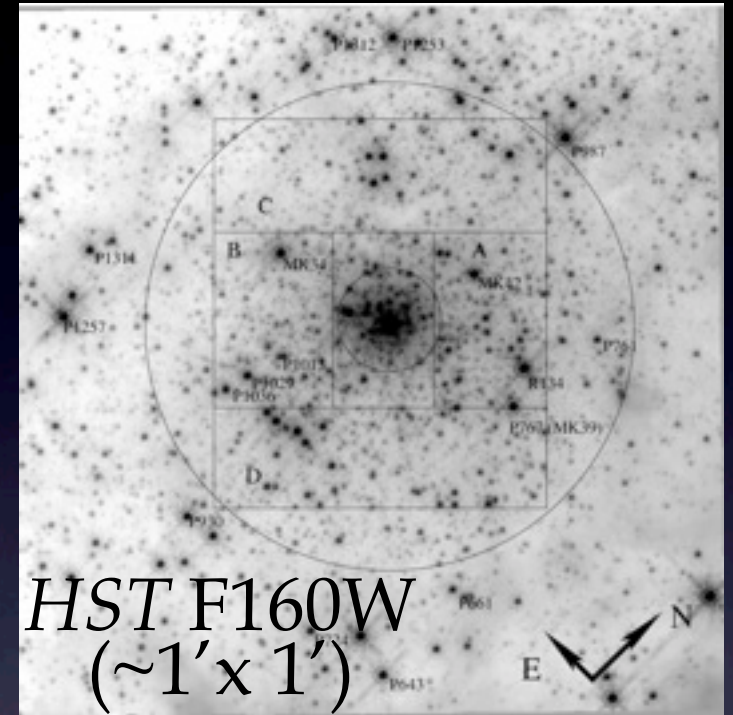
✓不規則銀河 (Irregular galaxy)

✓金属量

1/2-1/3 太陽金属量



LMC R136 in 30Dor



Andersen+2009

*得られたIMFは、およそ"universal"

*原始惑星系円盤研究はまだほとんどされていない

★系外銀河への拡張

AOでどこまで届くか？

※クラスター中の星の典型的separation: ~ 0.1 pc

Distance [kpc]	代表的な銀河	星の separation	DM [mag]	限界質量※ (K=23mag)
10pc				
10kpc	outer G	2''	15	$\sim 0.1M_{\odot}$
50kpc	LMC	0.4''	18.5	$\sim 0.5M_{\odot}$
100kpc		0.2''	20	$\sim 1M_{\odot}$
500kpc		0.04''	23.5	$\sim 3M_{\odot}$
1Mpc	M31, Local	0.02''	25	$\sim 10M_{\odot}$
5Mpc		0.004''	28.5	
10Mpc		0.002''	30	

— 8m
— 30m
— 100m

※ Lejeune&Schaerer2001のstellar evolution modelを使用

◆例：NGC6822

- ✓近傍銀河 @D=500kpc
- ✓矮小不規則銀河 (dwarf Irregular galaxy, dI's)
- ✓金属量が低い

$12+\log[\text{O}/\text{H}]=?$
(1/10 太陽金属量)

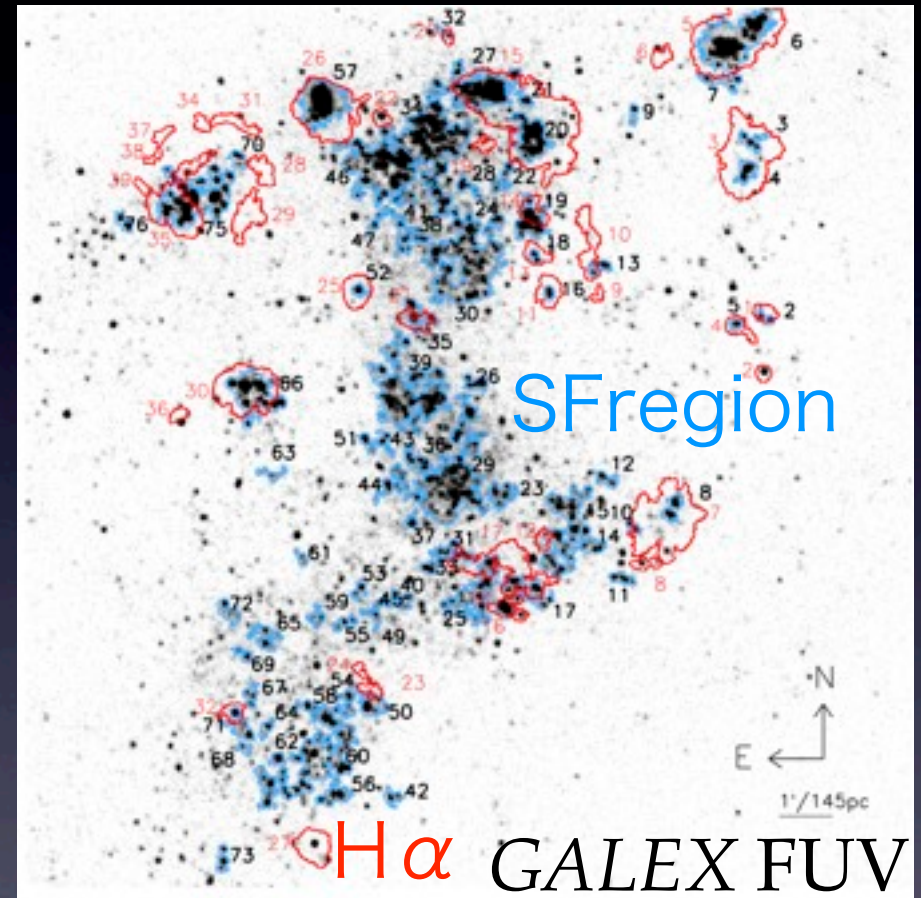
- ✓実際に若い星生成領域
が見つかりつつある
<4Myrの40–70 M_{\odot} の星も
(HST: Bianchi & Efremova 2006)

3 M_{\odot} 以上のIMFを導出

◆その他の例

IC10, LeoA @800kpc

非常に若い星生成領域(~1Myr)であれば~5 M_{\odot} まで!
(初期のArches cluster IMF 研究と同程度の感度)

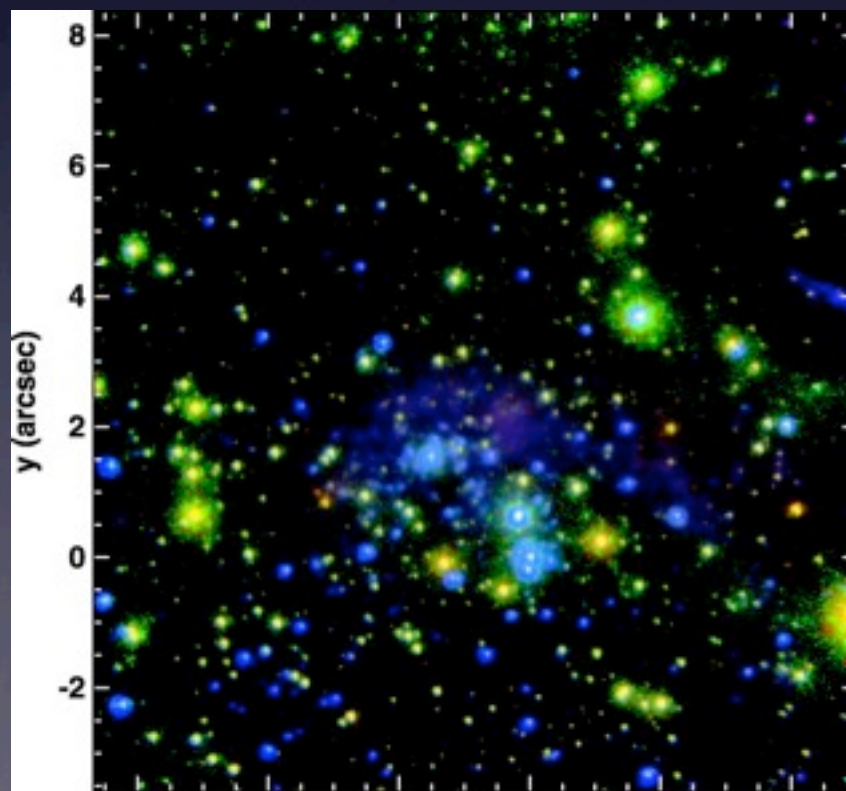


Efremova+2011

次世代AOへの期待： とにかく高いStrehl Ratio (高い空間分解能)

- ✓ 視野や感度は、空間分解能を上げることである程度補える
- ✓ 遠くのクラスターの広がりコンパクト

◆ IC10@800kpcの例
Keck w/LGSAO
(約10"四方)



今後の展望：TMTに向けて

★ 30m望遠鏡を用いた (2018?~)
近傍の系外銀河での星生成研究

✓ IMF/disk fractionの導出

w/AOで $\Delta\theta \sim 0''.01$

感度: $K \sim 27\text{mag}$

→ Local Group @ $D < \sim 1\text{Mpc}$ でも

1万AUの空間分解能

$\sim 1M_{\odot}$ の星まで到達可能



M31