

AGNジェット研究の最前線

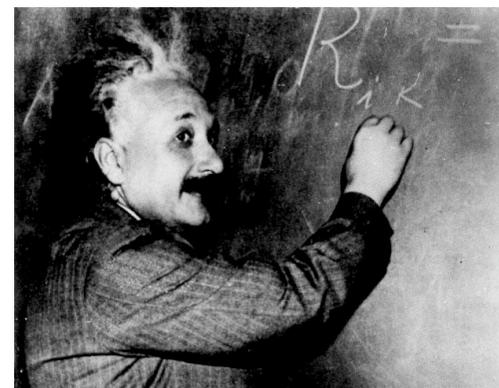
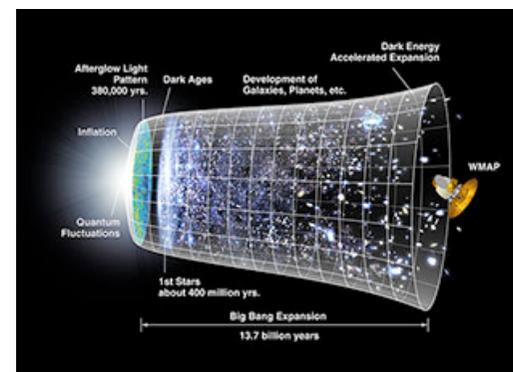
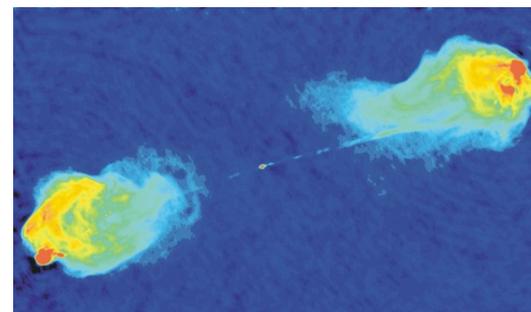
きの もとき

紀 基樹

(国立天文台VSOP-2推進室)

AGN (ジェット)の研究

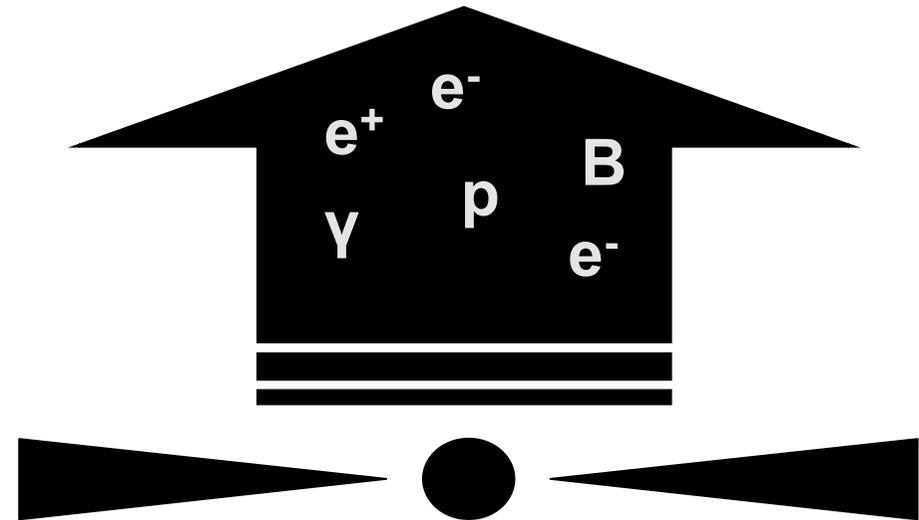
- AGNジェットの物理自体
- AGNフィードバック
- 宇宙論研究の道具
- 一般相対性理論の実験場



目次

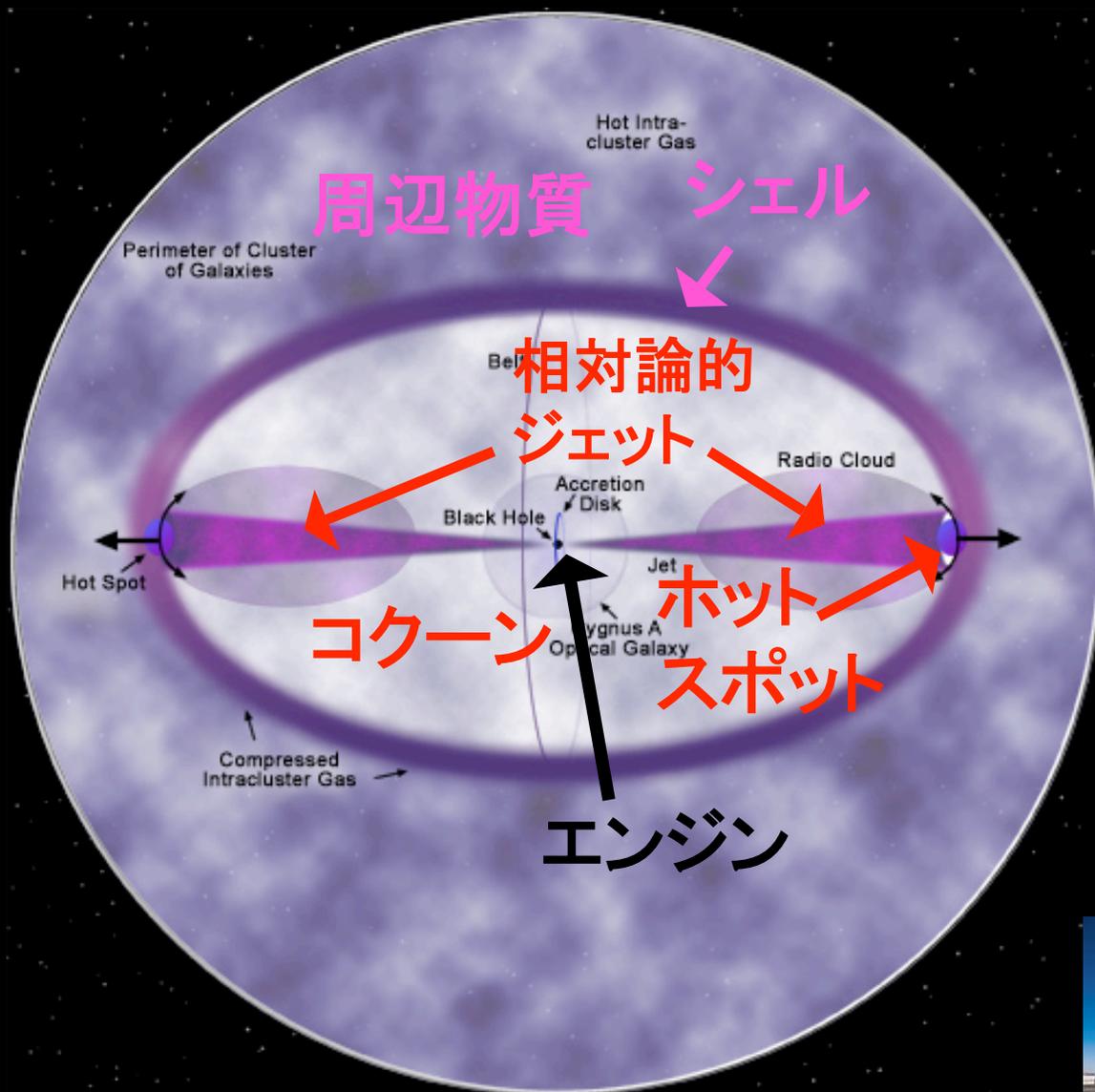
- イントロ: 基本の復習
- 進展と問題点
 - バルク加速
 - プラズマ組成
 - 最高宇宙線
 - エンジン理論
- 展望
 - VLBI天文学の潮流
- まとめ

相対論的ジェット
をどうやって作る?



中心エンジン =
巨大ブラックホール
& 流入流

AGNジェットの基礎：マクロな視点



エジェクタは赤色
周辺物質は桃色

ブラックホールエンジンによる相対ジェットの形成(難問)

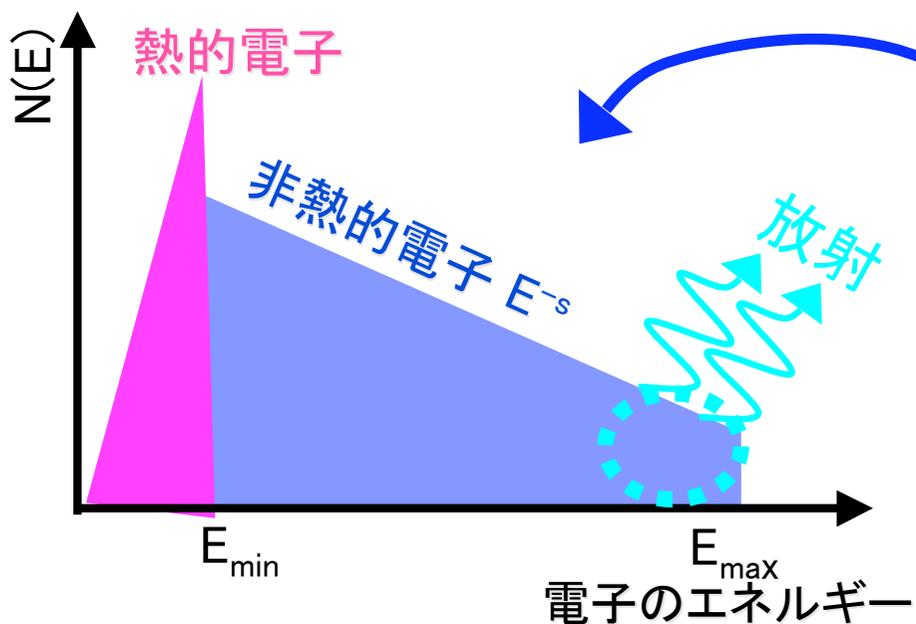
衝撃波 (マクロ)
粒子加速(ミクロ)

電磁波放射

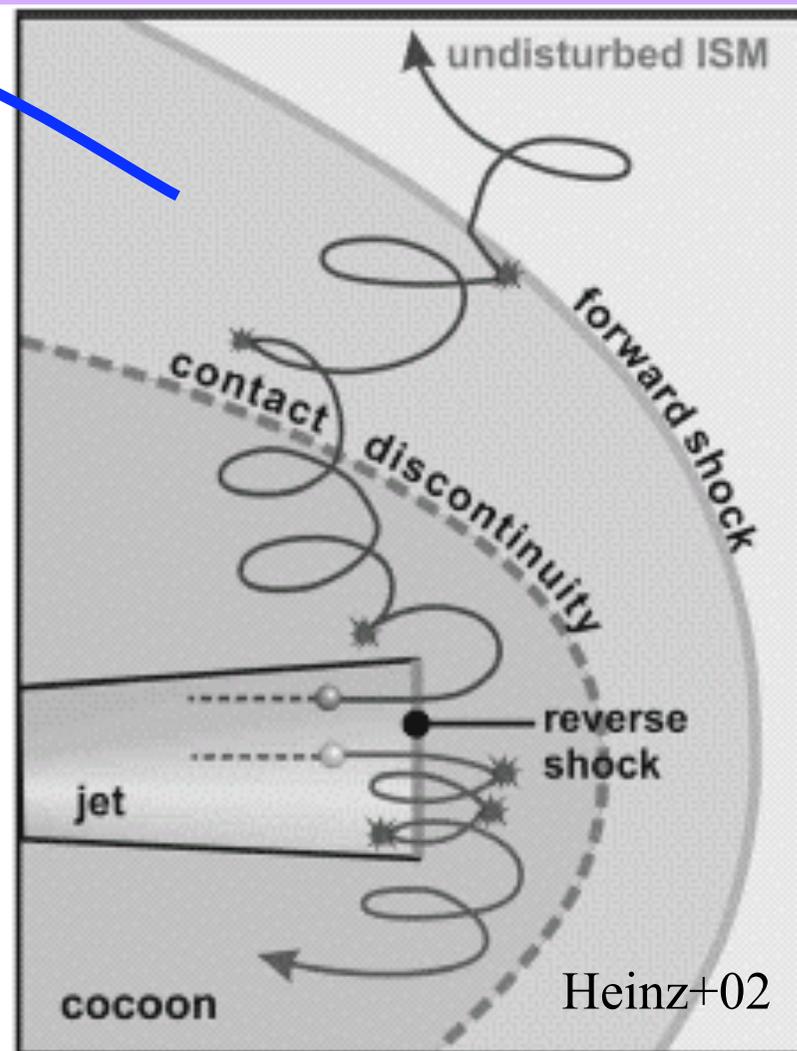


AGNジェットの基本:ミクロな視点

電子の分布関数

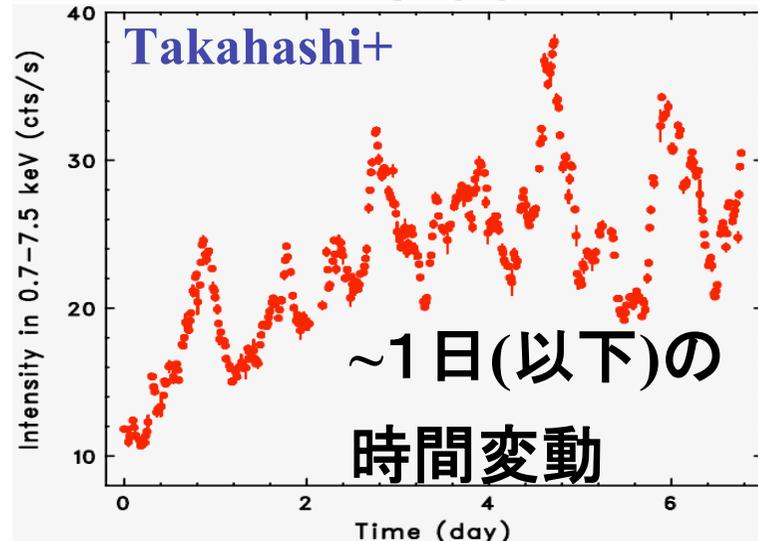
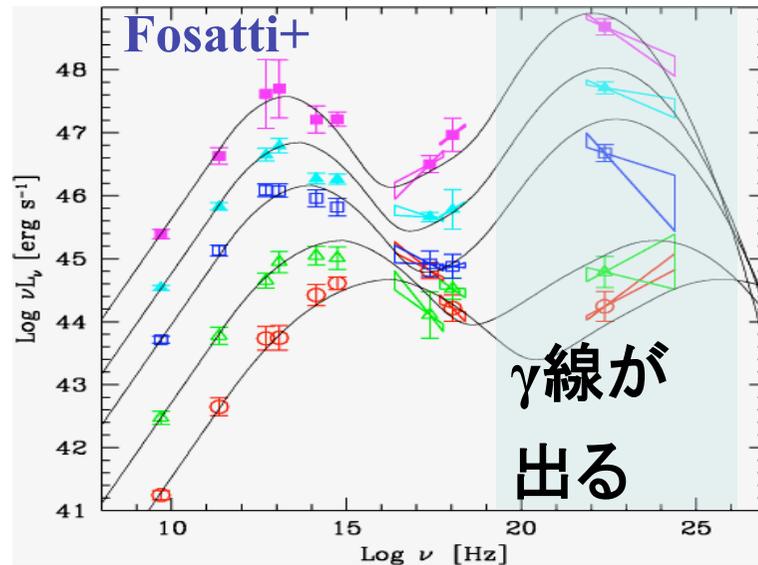


「衝撃波&粒子加速」の世界



直接観測できる放射は一部の
高エネルギー電子によるもの。
大半の粒子は“見えない”！

バルク加速(復習): ブレーザーから学んだこと



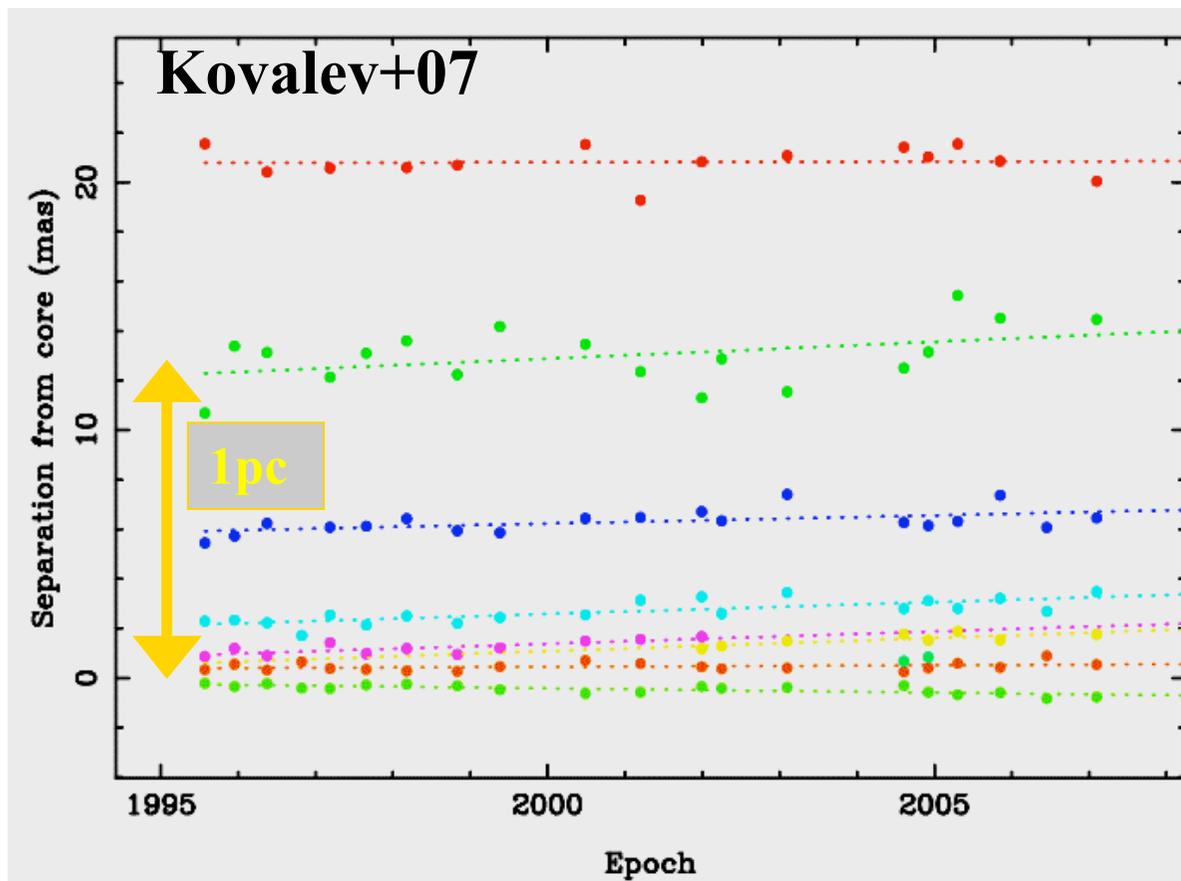
◆ローレンツ因子
 $\Gamma \sim 10$

◆放射領域サイズ
 $R \sim 10^{16} \text{cm}$

◆放射領域の位置
 $D \sim ct_{\text{var}} \Gamma^2$
 $\sim 10^{17} \text{cm}$

sub pc以内でバルク
加速($\Gamma \sim 10$)が必要

~Sub pcで超光速運動が見えない?!



M87(Virgo A)

Distance =

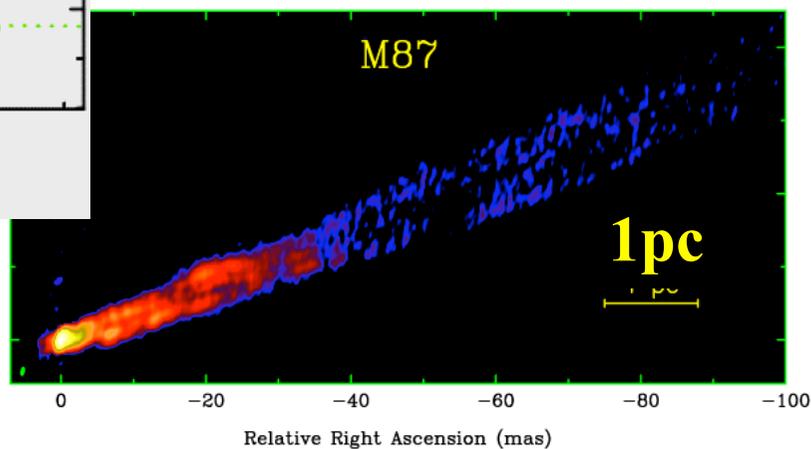
16Mpc

1mas=0.08c;

1mas/yr =0.25c

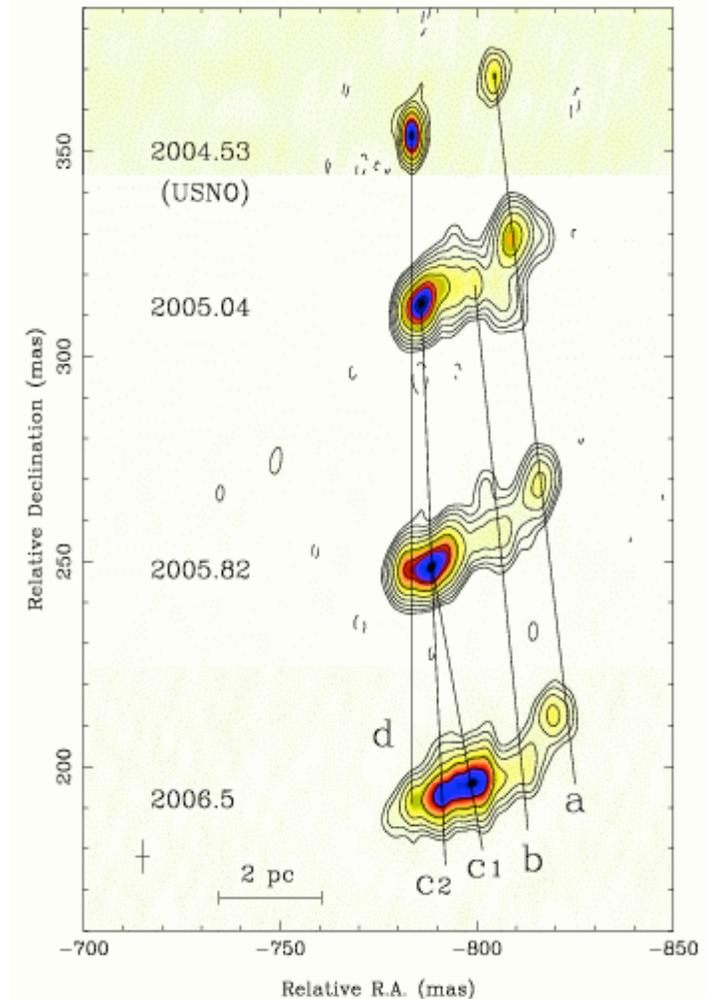
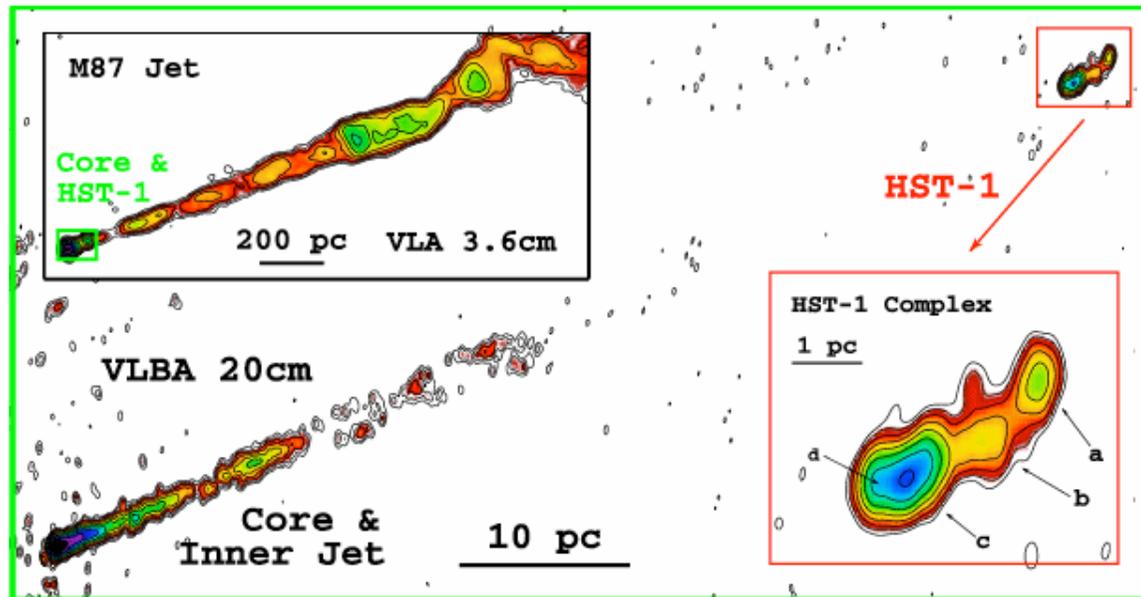
超高速運動が無い!

Relative De



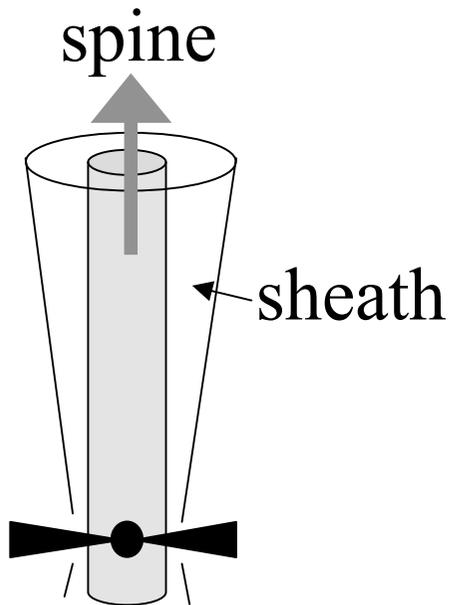
~70pcで超光速運動?!

- HST-1 VLBA 20cm 超光速運動
(Cheung+2007) 2.5 - 4.5 c。(さらに
X-ray-TeVフレアとも相関!)

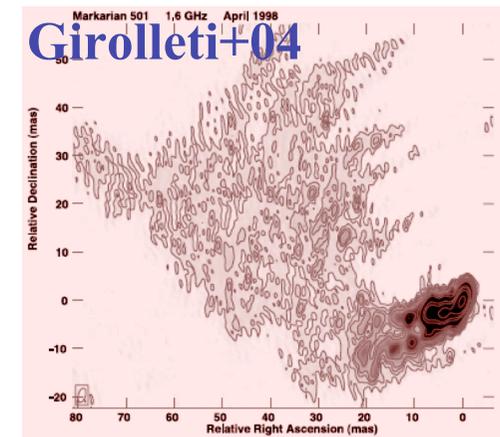
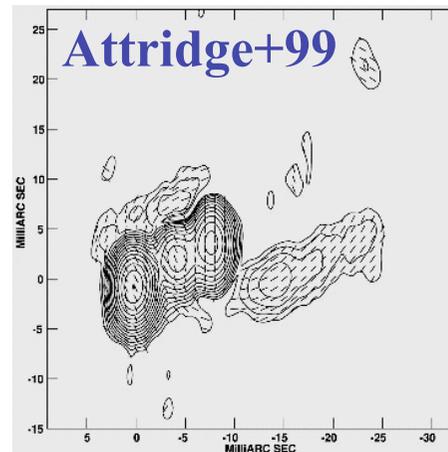


内部構造をもつジェット？

“見かけ”の速度 \neq 真の速度？ \Rightarrow ジェットは内部構造を持ち、ブレーザー=spine; 電波銀河=sheath を見てる? (Ghisellini+05)



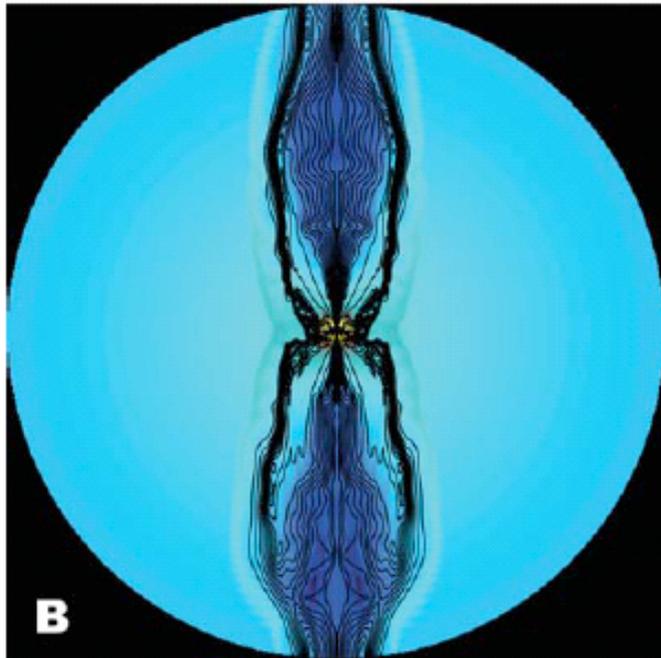
“見かけ”上、spine-sheath 構造を持つ天体も多数有り



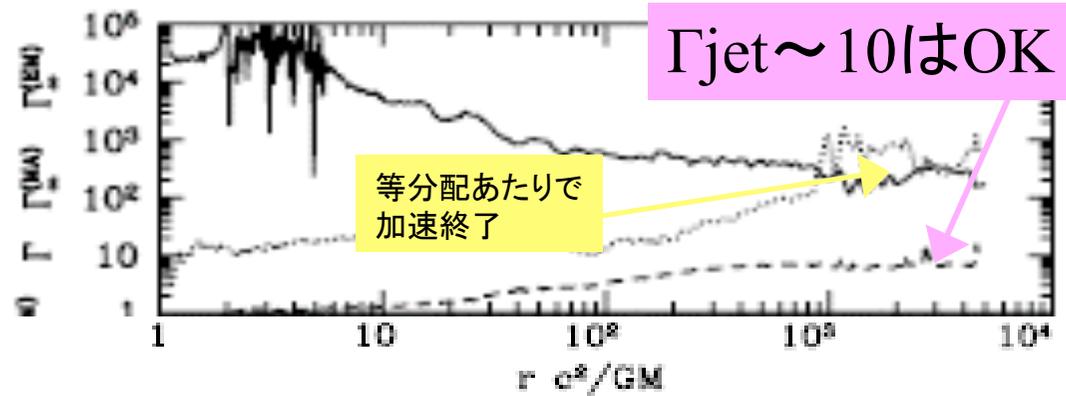
“見かけ”の量だけで議論を進めると危険。複数の情報 (異なる波長、空間スケール) の総合検討が不可欠。

理論モデル1 磁気ファンネルジェット

磁場優勢な磁気
ファンネルジェット



McKinney (2006)



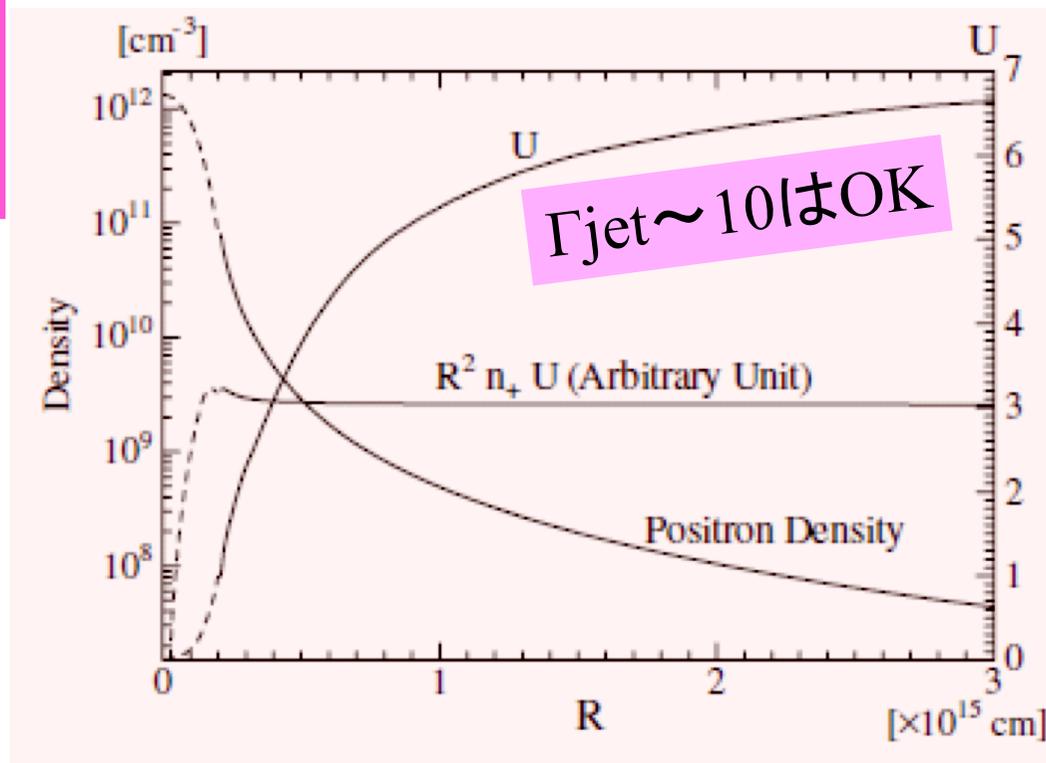
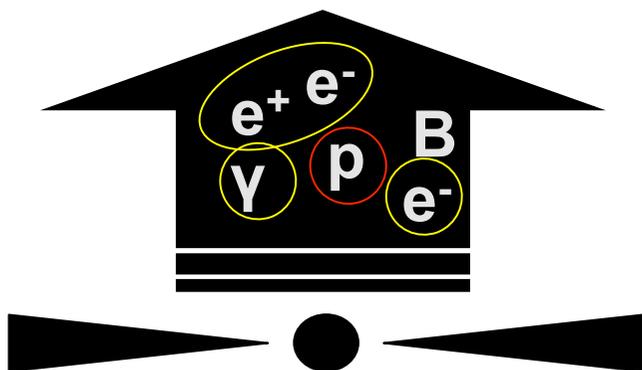
初期の円盤内は高プラズマ β 。MRIで低プラズマ β ファンネルBH磁気圏が出来る。BHのスピンのエネルギー駆動Poyntingジェット。

理論モデル2 Wien火の玉

Iwamoto & Takahara (02, 04)

Asano & Takahara (07, 08)

輻射優勢流体の
加速膨張(火の玉)



簡単のため球対称近似。

光子とペアがコンプトン散乱を介して一流体。

GRB火の玉との違いは、熱平衡ではなくWien平衡を仮定。

理論モデルの現状 (私見)

	B funnel (McKinney)	Wien fireball (AT07,08; IT02)	Global B (ext.) (Vlahakis+)
E source	BH spin	Accretion	Accretion
Pros	$\Gamma \sim 10$	$\Gamma \sim 10$	$\Gamma \sim 10$
	collimation	Efficiency $\sim 1/60 * L_{\text{tot}}$	collimation
Cons	Low efficiency Less than 1%	No collimation	external B?
Obs.test	Polarization?	Bump @MeV?	Polarization?

現実の天体でのプラズマ組成 & 磁場は？

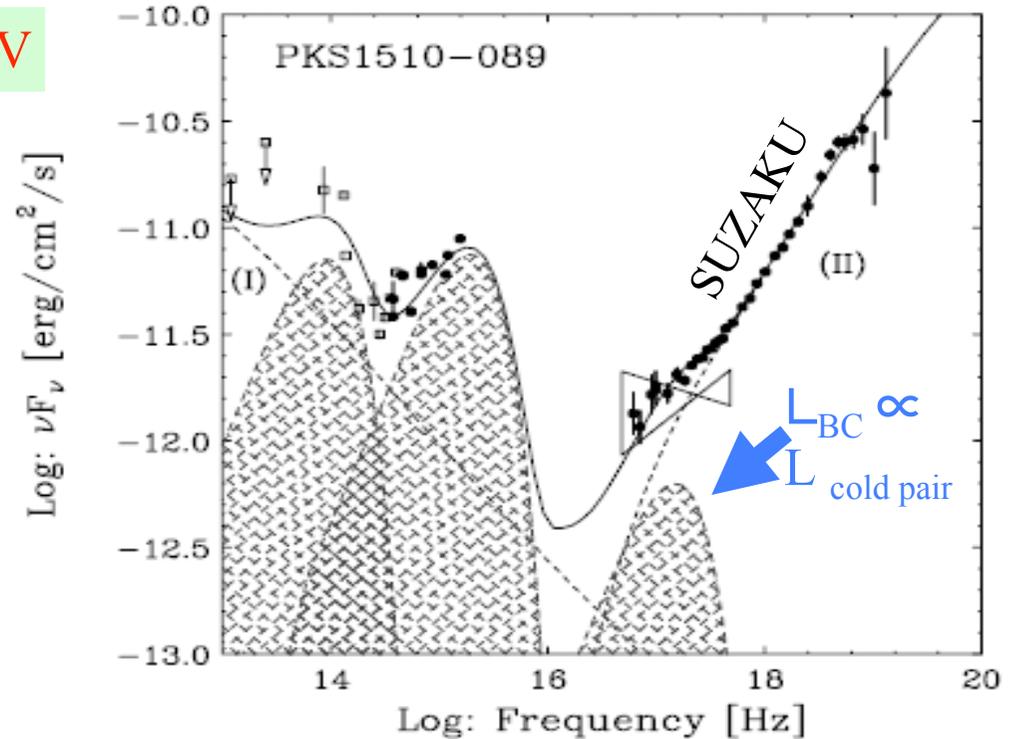
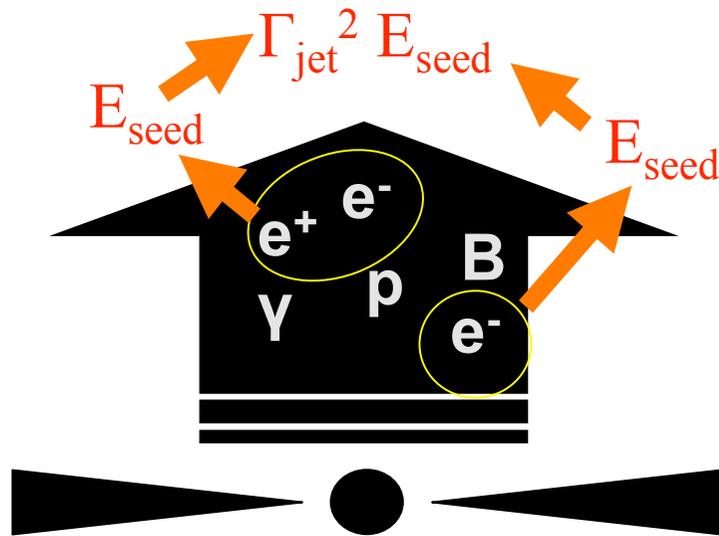
プラズマ組成 (1/2)

バルクコンプトンによる“冷たい(陽)電子”への制限

ジェット中の冷たい(陽)電子が、バルク運動($\Gamma_{\text{jet}} \sim 10$)で
周辺の軟光子を叩きあげる(バルクコンプトン; Sikora bump)。

Kataoka+07

$$E_{\text{BC}} \sim \Gamma_{\text{jet}}^2 E_{\text{seed}} \sim 10^2 \cdot 10\text{eV} \sim 1\text{keV}$$



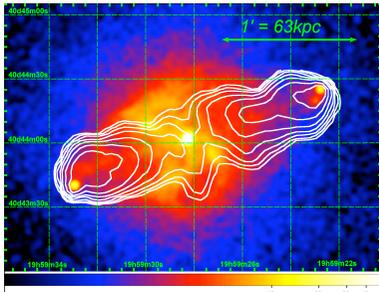
少なくともバルクコンプトン成分の上限値は得られた。

プラズマ組成 (2/2)

コクーン膨張+周辺密度 => “全”圧

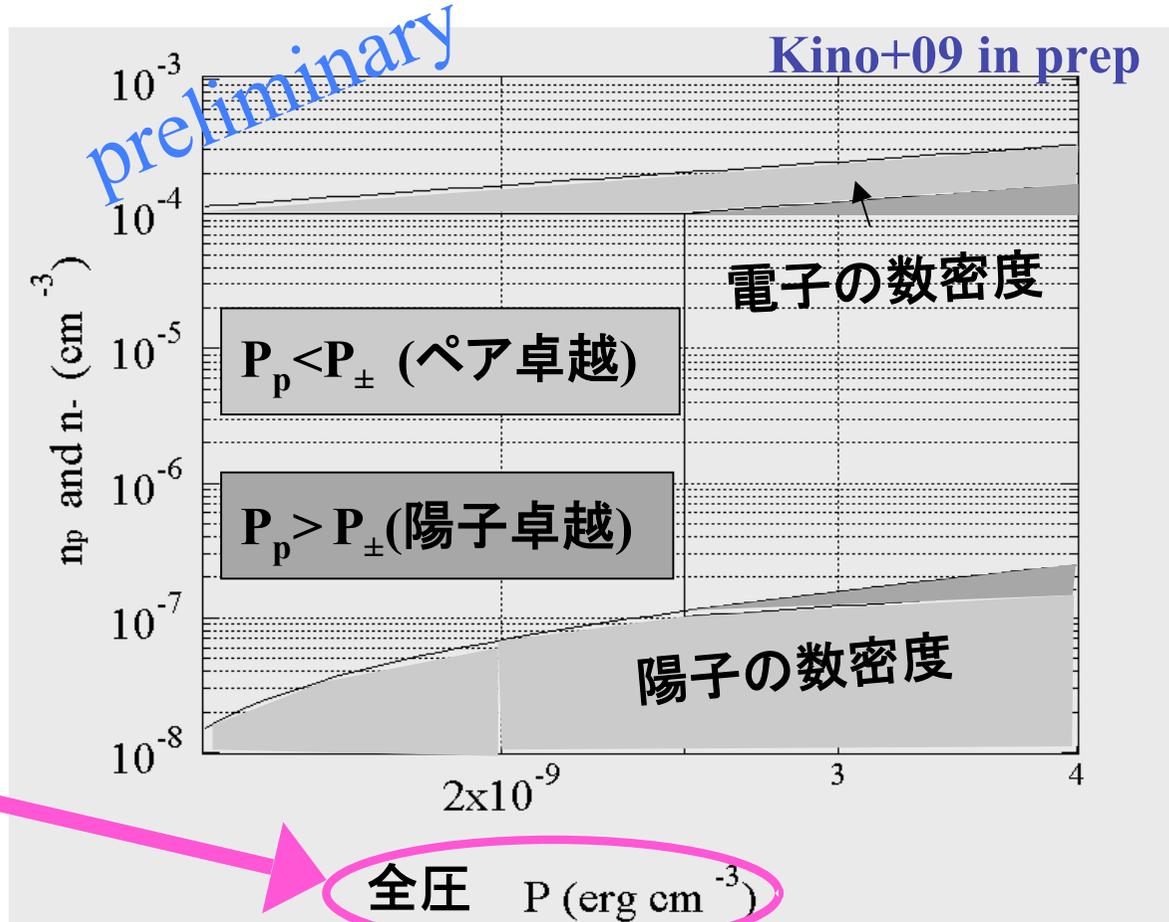
“見えない”粒子も力学には寄与する。

Cygnus A



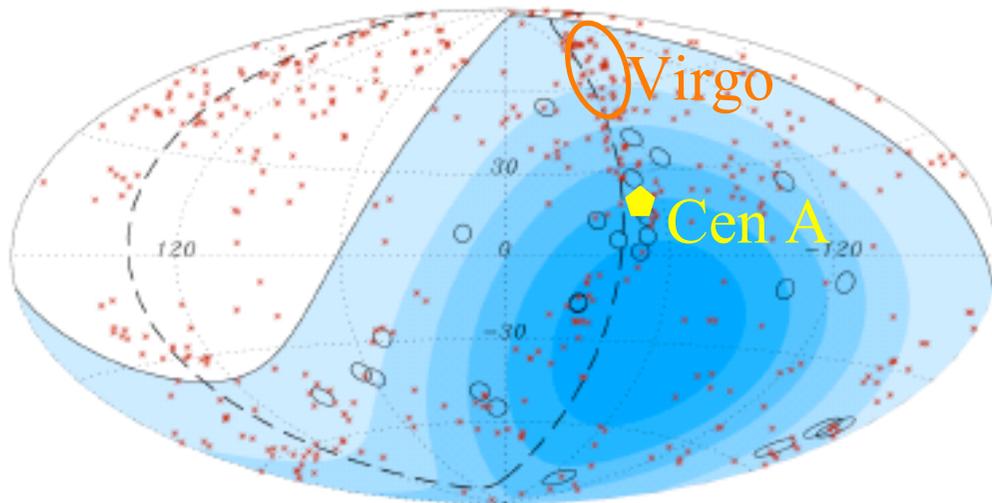
矢治さんポスターもご覧下さい

モデルと観測の比較 Ito+08



「ペア卓越」と「陽子卓越」の領域の棲み分けが評価できた

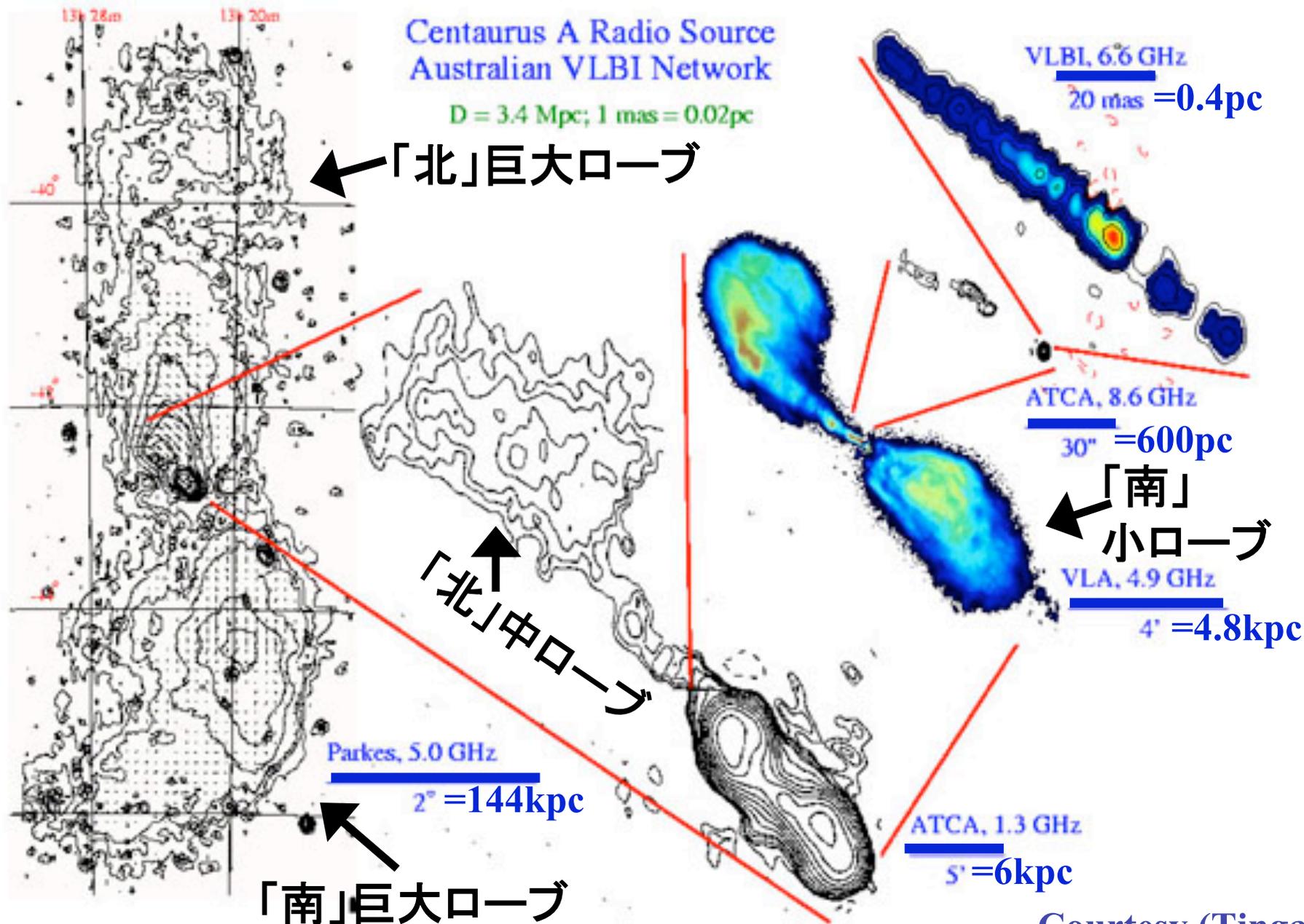
Auger 時代の幕開け: ～見えてきた非等方性～



Pierre Auger Observatory, Science 2007



- AGNや銀河との相関(PAO, 07, 08)
- Cen A方向からイベント有り。Virgo方向イベント無し。
- 相関がありそうなAGNは 低光度AGN(Moskalenko+08)



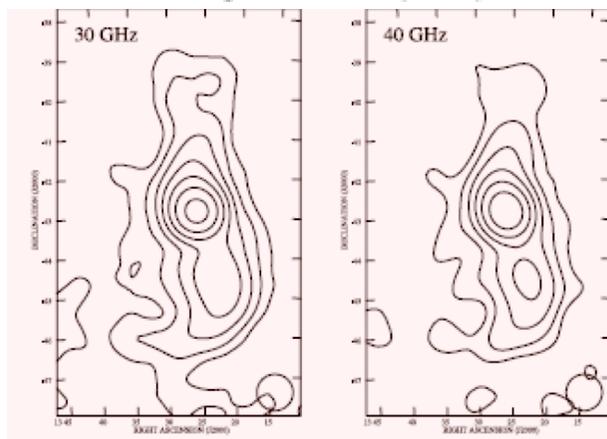
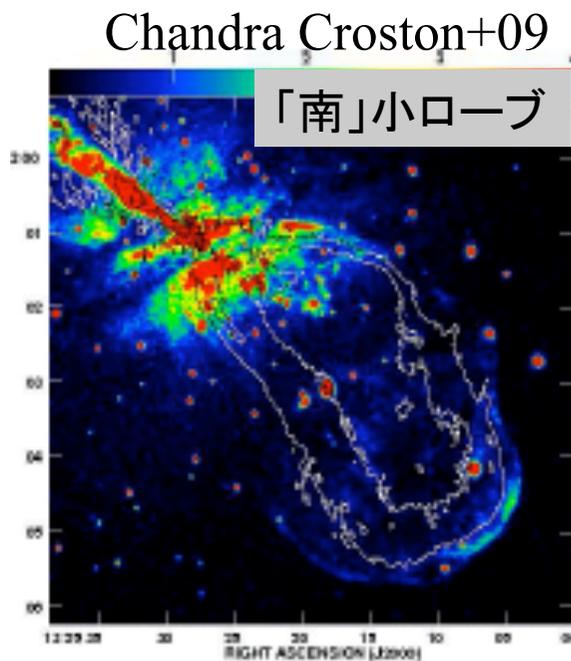
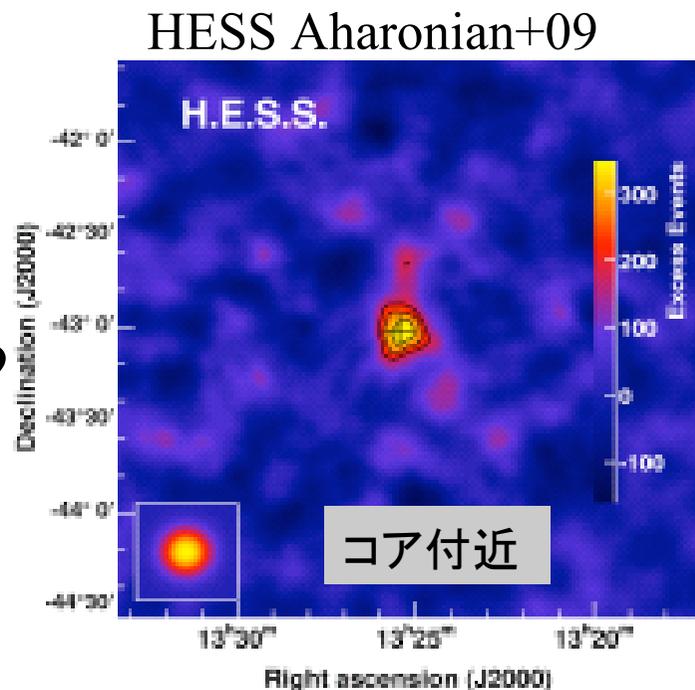
Courtesy (Tingay)

Cen A: UHECR候補地はどこ？

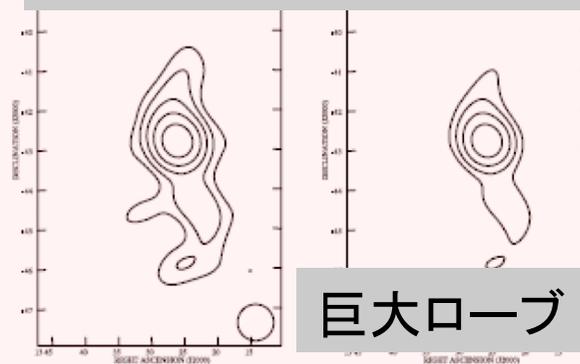
- コア付近？
- 小ローブ？
- 巨大ローブ？

新観測も
続々！

さてFermi検出
はどの部位？



WMAP Hardcastle+09



「進展」と「問題点」

■ 「エンジン理論」:

ローレンツ因子 $\Gamma \sim 10$ が理論モデルで実現(McKinny+06; Asano & Takahara 08)。磁場モデルは変換効率が低い。現実のエンジン近傍の「プラズマ組成 & 磁場」は分かっていない。

■ 「バルク加速」:

M87 sub pcスケールでは遅く、HST1 (~ 70 pc)で超光速運動(Kovalev+07; Cheung+07)。ブレーザーの概念($\Gamma \sim 10$ @sub pc)と矛盾。“見かけ”の運動 \neq 真の運動? 内部構造は解のひとつ。

■ 「プラズマ組成」:

Sikoraバンプの観測的研究スタート(Kataoka+08)。「ペアの存在 & 力学は陽子支配」というシナリオ(Sikora+他)。真のパワー(=全パワー)の力学的推定の追求(Kino+09 準備中)

■ 「最高エネルギー宇宙線」:

Auger時代の幕開け。Cen A新結果が続々(WMAP, Chandra, HESS, Fermi)。どの天体か? まだ不明。無衝突プラズマ中の粒子加速の基礎物理。

展望：VLBI天文学の潮流

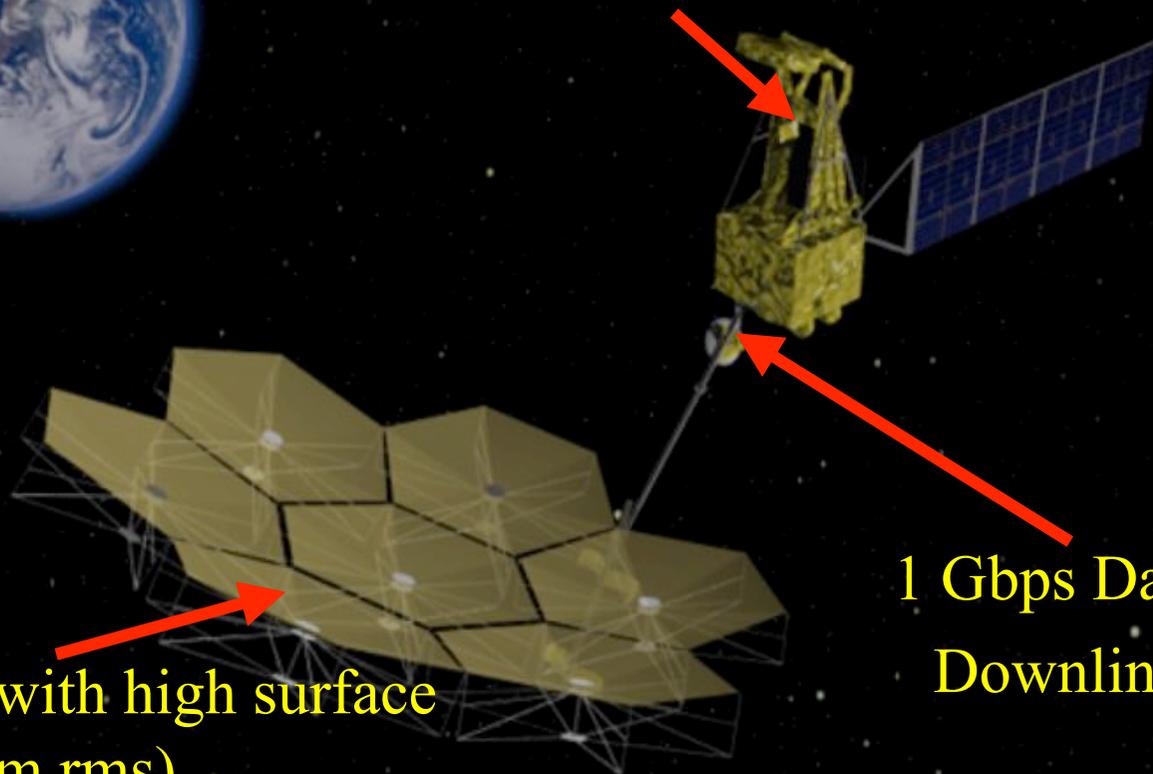
ブラックホール天文学を目指して

望遠鏡の空間分解能 = 波長 / 口径(基線長)

- より長い基線長へ (地上から空へ)
=> Space VLBI
- より短波長へ (センチ波からサブミリ波へ)
=> sub-mm VLBI

VSOP-2 Mission

Dual pol. @ 8, 22, 43 GHz
Phase-referencing capability
10 cm Orbit Determination

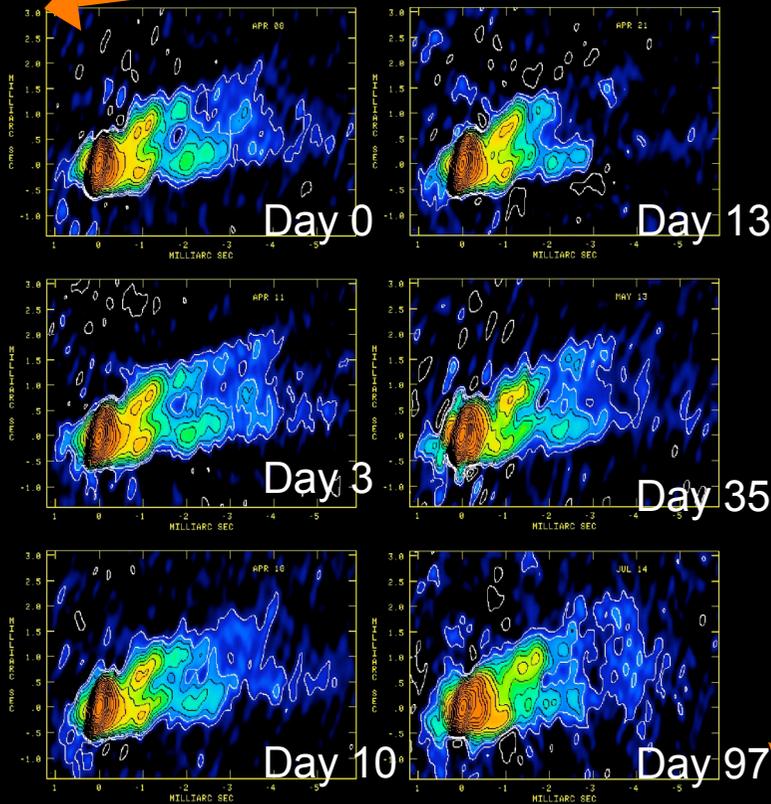


9.3 m Antenna with high surface accuracy (0.4mm rms)
precision pointing (0.005deg)

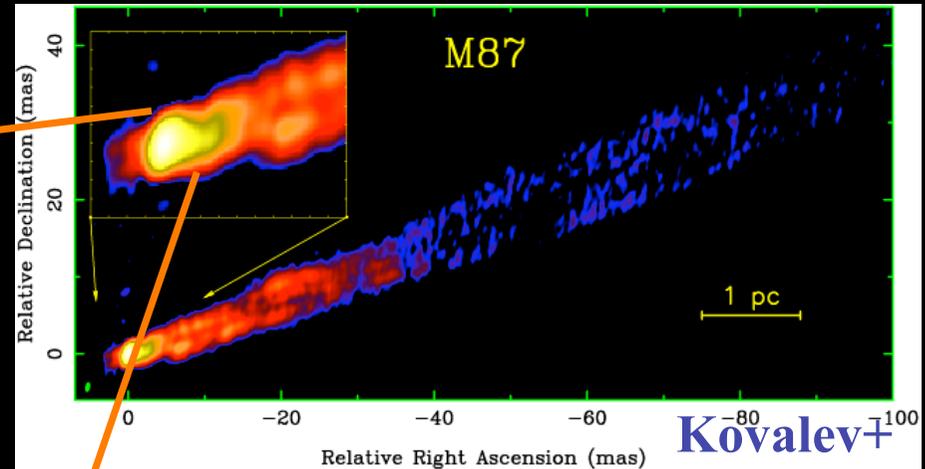
1 Gbps Data Downlink

M87: ジェットの根元 & 降着円盤

時間変動のPilot studyが始動。
100R_gのオーダー



Walker+VSOP-2 sympo (2007)

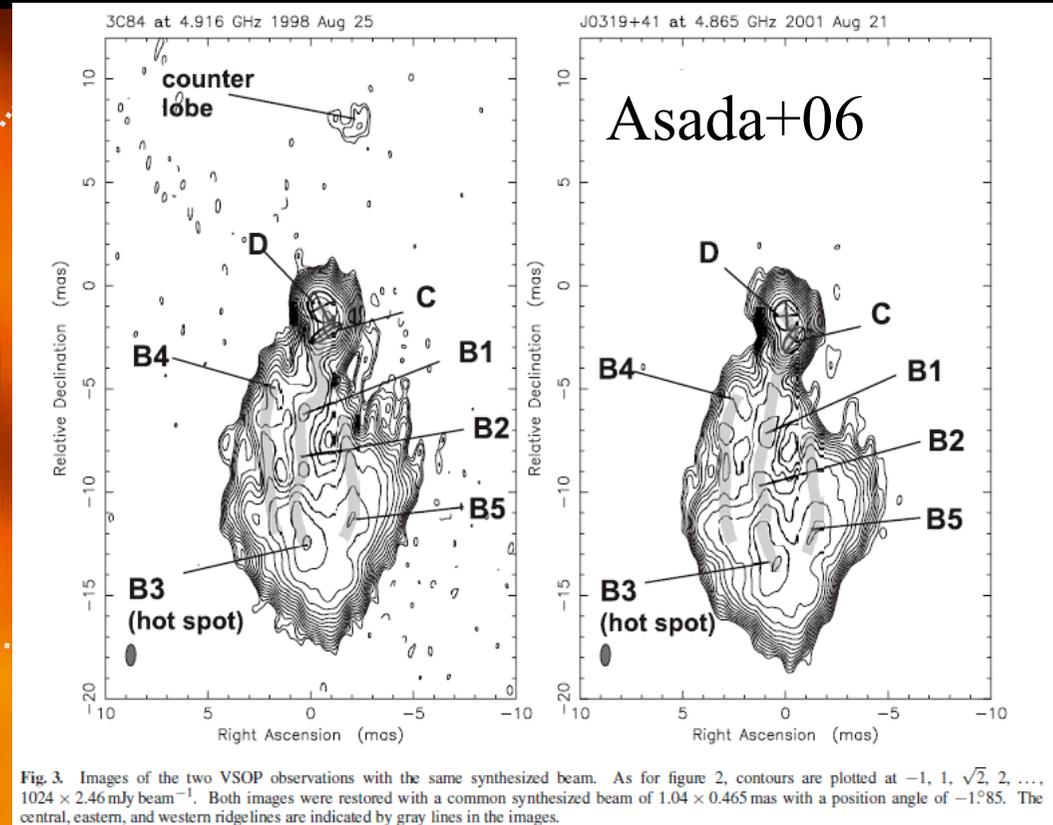


VSOP-2の狙い

- 降着円盤成分の検出 (分解能 & 感度の向上)
- Bの形状 (両偏波)
- セレンディピティ?

ペルセウスの心臓: HALCAの成果

Chandraでみたperseus銀河団
Fabian+



高分解能ゆえに

⇒ バブル膨張の直接観測が可能に。

⇒ 年齢 ~50才; サイズ~10 pc

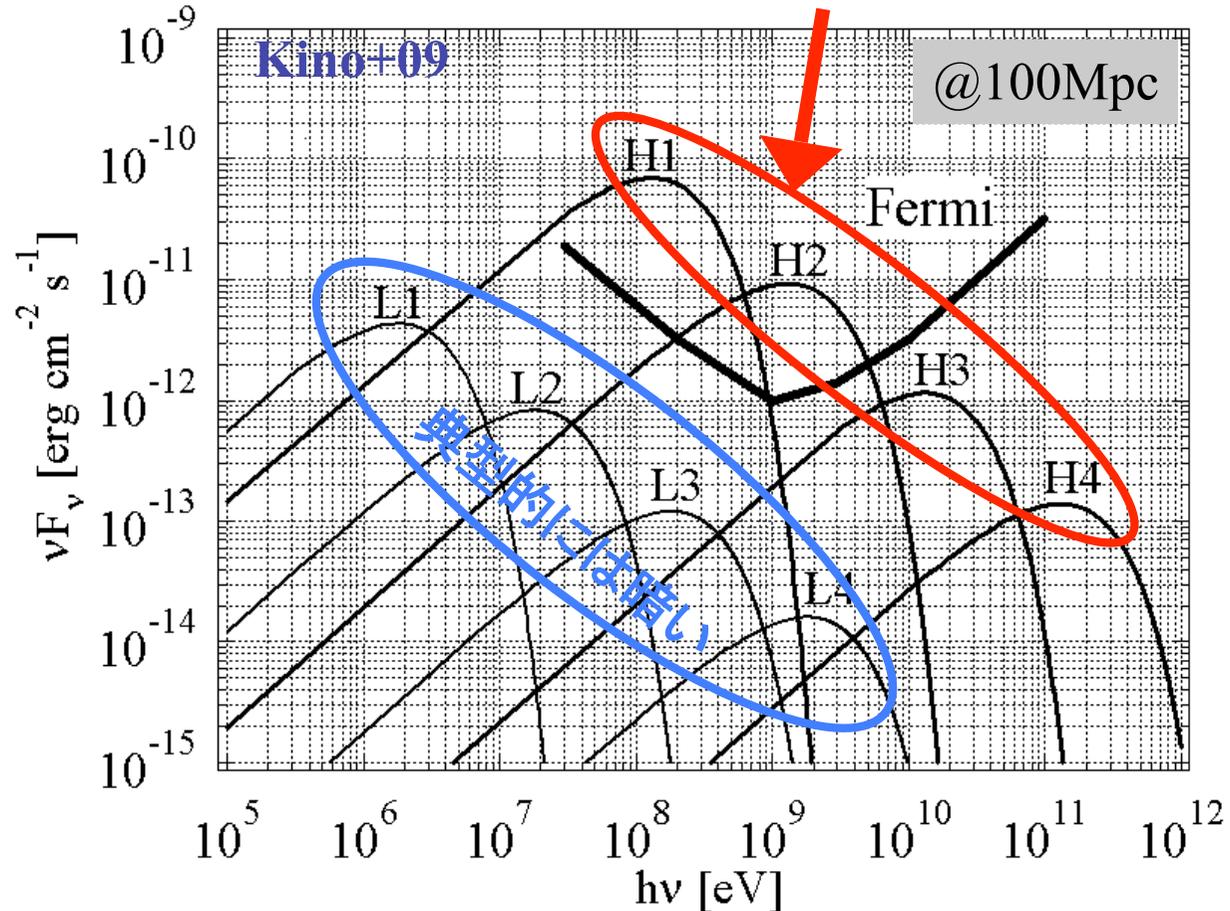
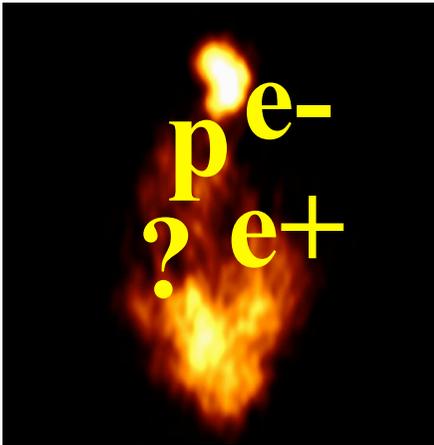
⇒ 若い電波ローブの物理を探る貴重な天体



若い電波ローブからのMeV~GeV 「熱的」 γ 線放射の理論予言

電子温度~陽子温度のモデル

「熱的電子圧」
で~100pcローブ
が~0.1c膨張



「熱的」電子に対する直接的な制限を与えられ
る。

前述の若いローブ「3C84」への応用も検討中

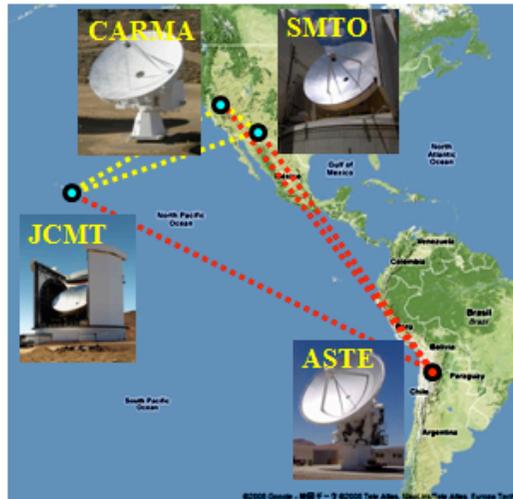
サブミリ波VLBIの胎動

Doeleman+08の結果に刺激されてsub mm VLBIにもものすご〜く高い関心。
(試みはもう20年くらい前から。現在の様子は、cm波の開拓期を髣髴。)

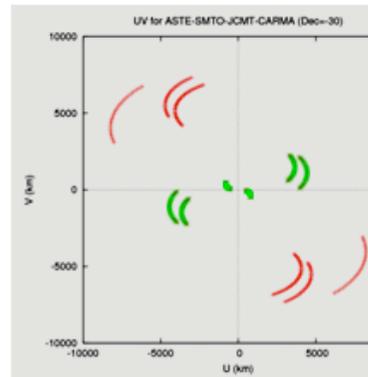
ASTEを使った計画(本間さん+)

アレイ配置

ASTEはSgr A*の観測において鍵を握る観測局
(良好なサイト、長い基線の確保)



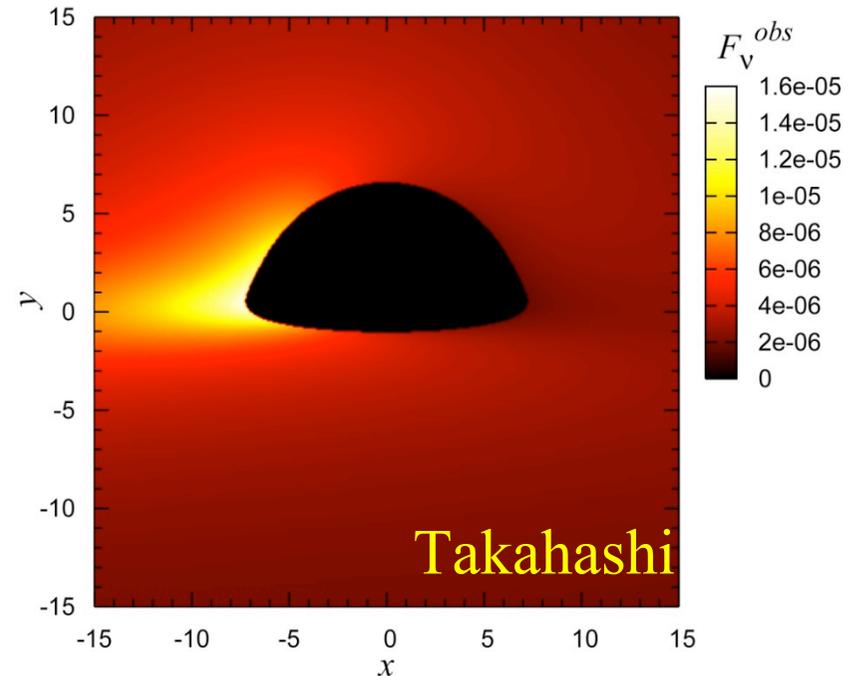
サブミリ波VLBIアレイの局配置図



Sgr A*を観測した場合のUV
(赤がASTE参加によるUV)

最小分解能 37 μ as

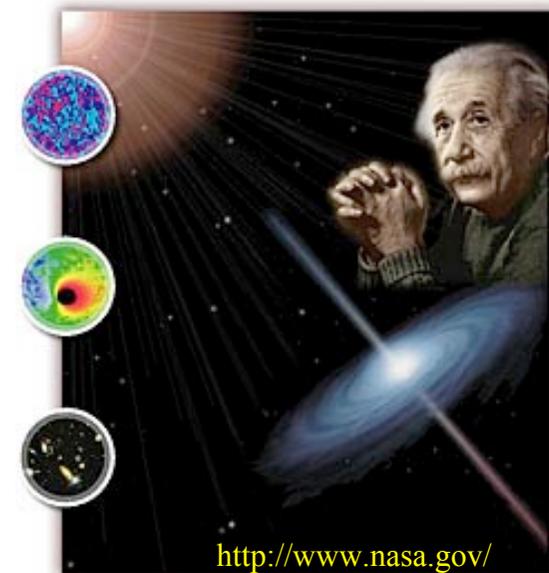
目指すは“時空の物理”



“ほらいずん望遠鏡”計画も有(三好さん)

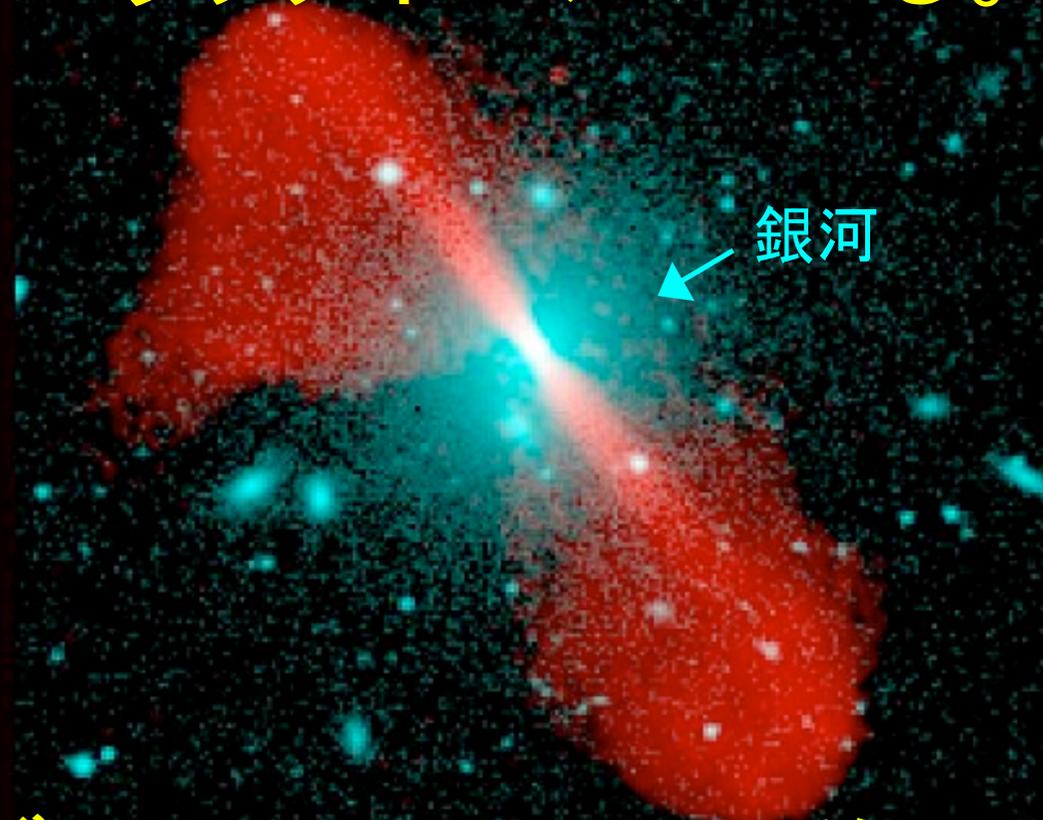
まとめ

- 「進展」&「問題点」は前述の通り。
- 「加速」「磁場」「プラズマ組成」「宇宙線」等は、**切っても切れない関係**であることが本質。
- よって、問題を解くには
「全波長の観測グループ」
「理論」の**協力と連携が必要**



appendix

ほとんどの銀河の中心には
ブラックホールがいる。



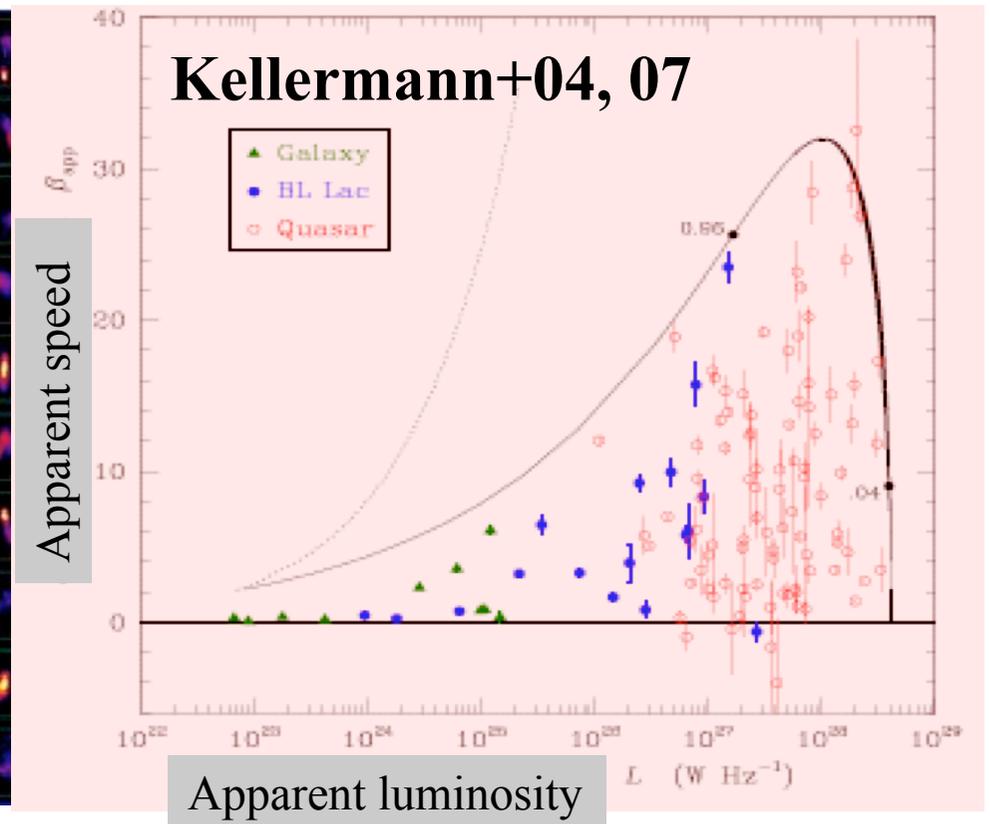
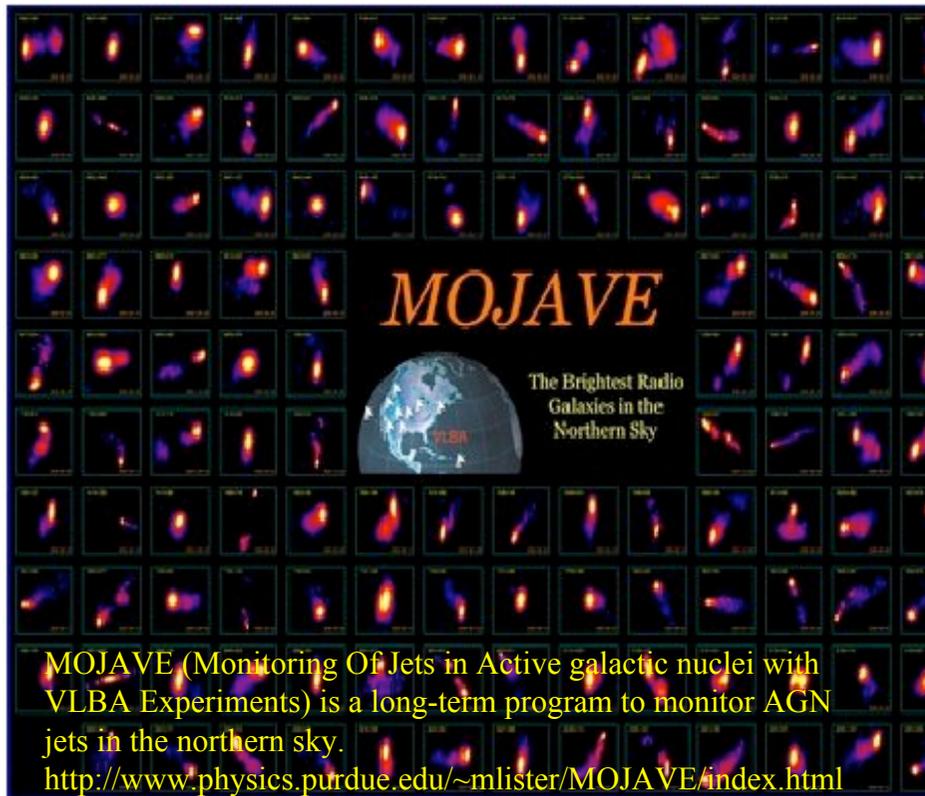
ブラックホールは普遍的

Radio Galaxy 3C296

Radio/optical superposition

Copyright (c) NRAO/AUI 1999

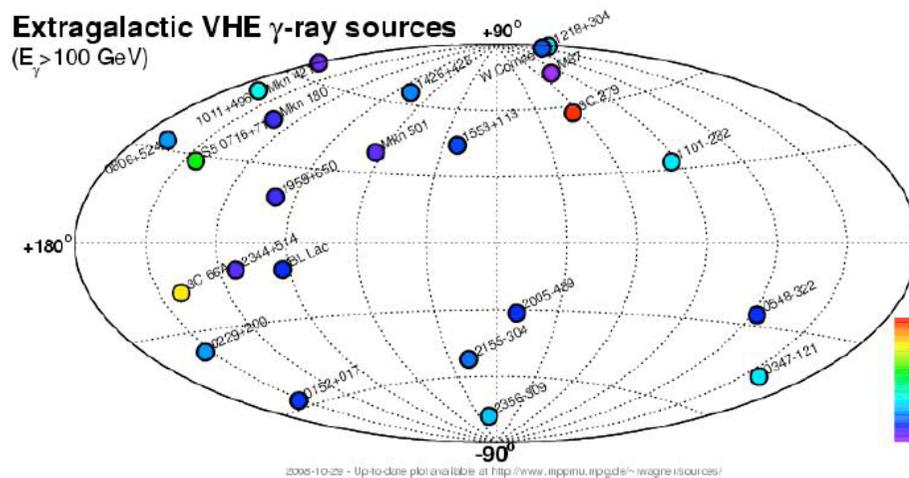
MOJAVE survey



- Long term monitor of motions by VLBA for ~ 200 objects.
- Maximum $\beta_{app} \sim 30$.
- Radio Loud Quasars seems to have larger β_{app} than BL Lacs.

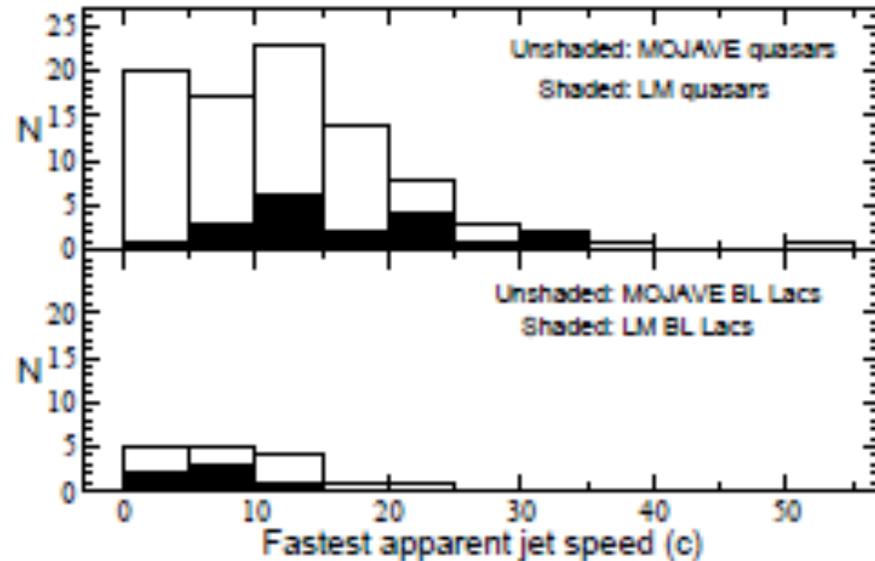
最近のサーベイ研究

VHEガンマ線で観測されたAGN



R. M. Wagner

www.mppmu.mpg.de/~rwagner

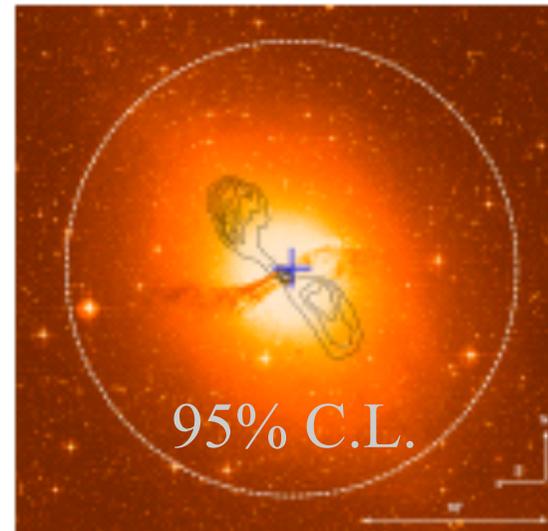
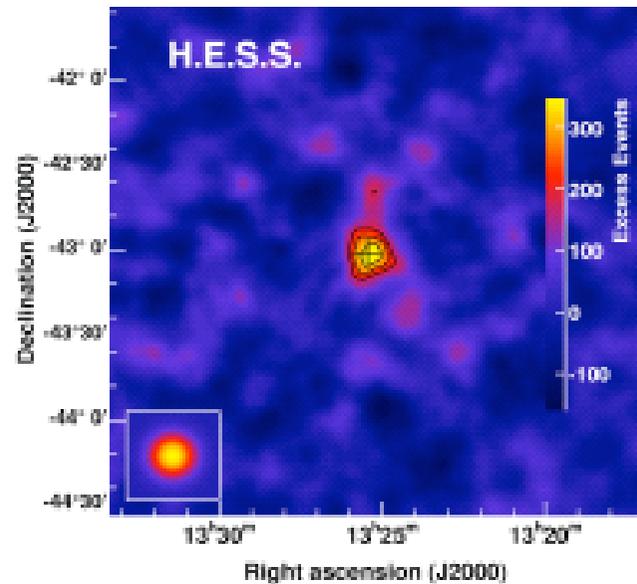


- 統計的研究。Gamma \sim 100だと観測確率立体角に影響がでるのでは？
サーベイ重要=>Fermi/MAXI
- MOJAVE – Fermi の結果がrelease (Lister +09; Kovalev+09)

Cen A : HESS観測

HESS! Aharonian+09

1' = 1.1 kpc

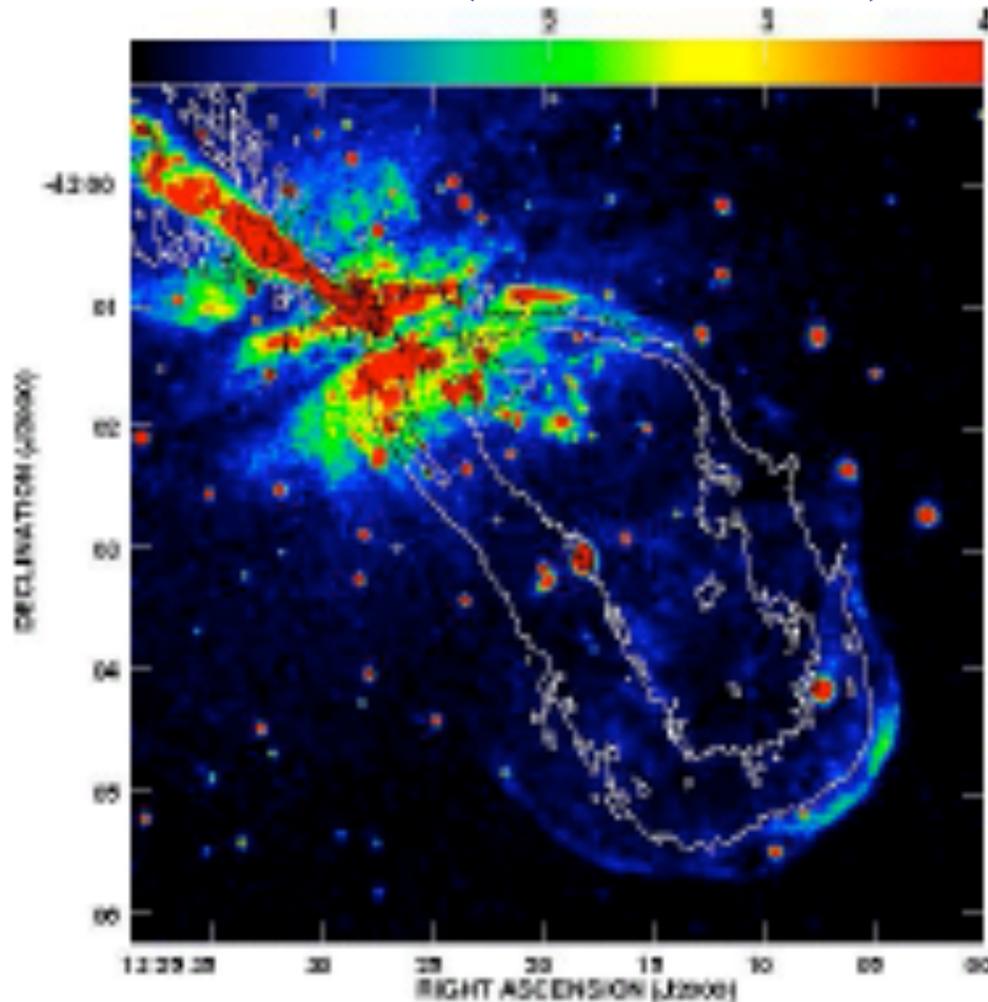


- HESSの受けた放射は、コア付近か小ローブ、どちらからでもOK. 巨大ローブとは不一致

Cen Aの近況

“X線シェル@南西ローブ”の検出

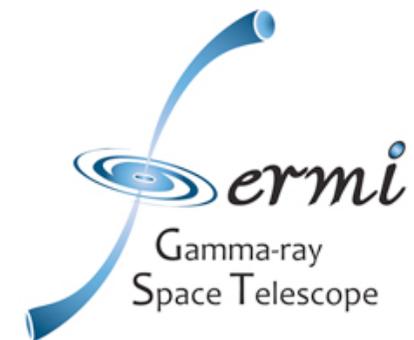
Croston+09 (740ksec Chandra)



- シェルX線の起源が「非熱的シンクロトロン」と判明 (Croston+09)
- 電波で暗め。まだ検出は1例。何故？
- シェルの物理
=>伊藤さんトーク

展望

- 「電波天文学」の“高精度化”
- 「X線、ガンマ線天文学」の“全盛”
- 「荷電粒子天文学」の“開闢”
- 「数値実験天文学」の“躍進”
- その他



universe-review.ca/R15-20-accelerators.htm