

電波観測を用いた暗黒物質の間接探索

河井力、浅井祥仁、難波俊雄^A、河野孝太郎、竹腰達哉^B、
大島泰^C、廿日出文洋

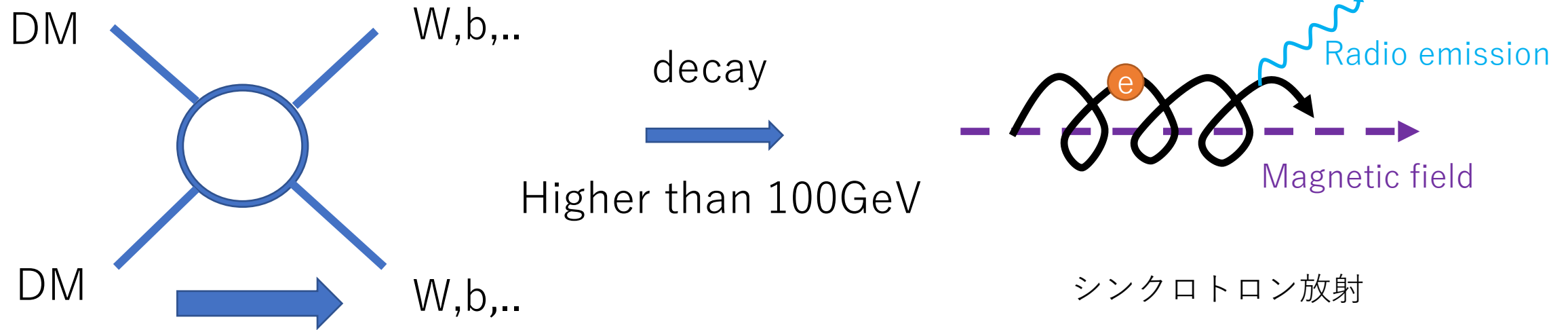
東大理、東大素セ^A、北見工^B、国立天文台^C

2023/03/25

日本物理学会2023年春季大会

講演番号：25pV1-5

Introduction



- 数百GeV程度の比較的軽いNeutralino WIMPがg-2などのanomalyから motivated
- WIMP模型はSelf-Annihilationにより高エネルギーの電子の生成を予言、磁場が存在すればシンクロトロン放射により電波を放出
- この電波のシグナルを矮小楕円体銀河Dracoを電波干渉計を用いて観測・検証することが目標。

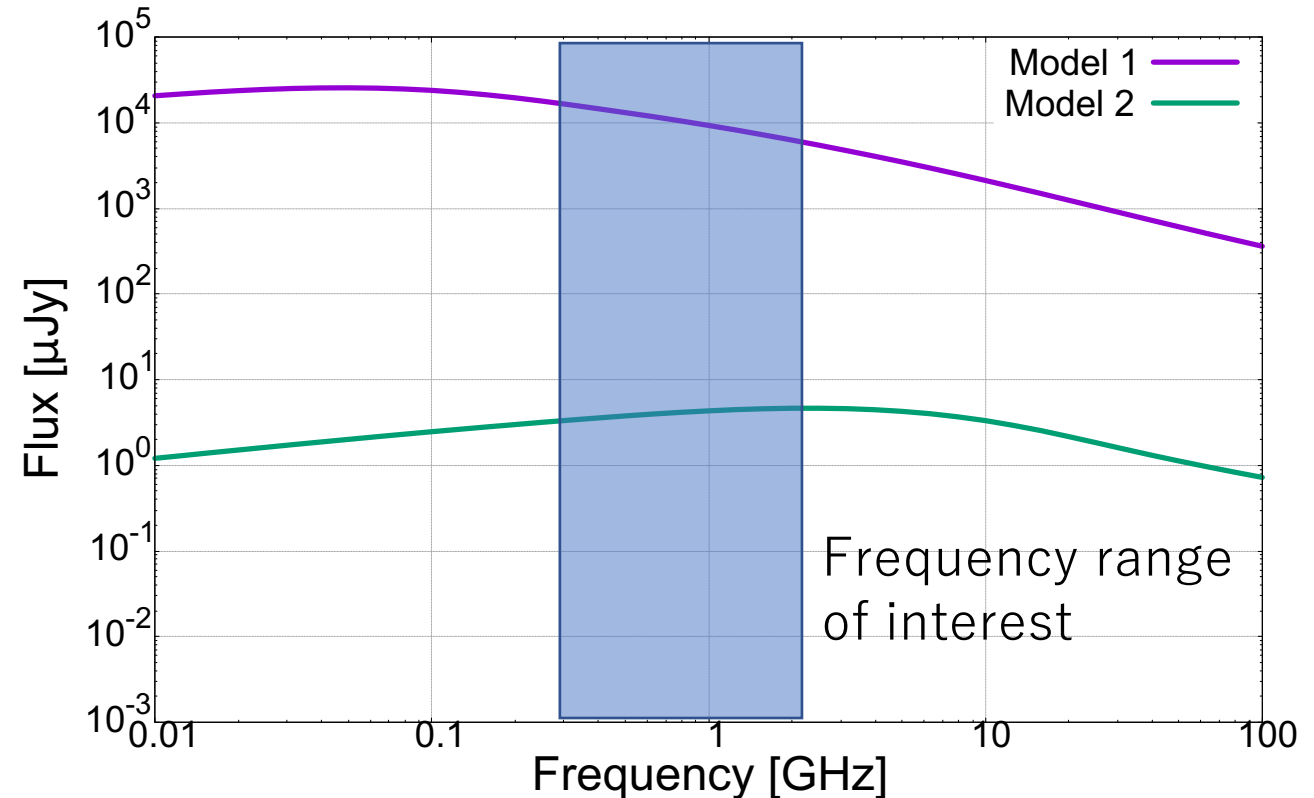
観測対象と期待されるシグナル

矮小楕円体銀河:

- DMの占める割合が大きい
- 低background
- **promising target**

Draco

- サイズ(Half Light Radius):10[arcmin]
- 位置:17h20m12.4s +58d54m55s
- Large J-factor(DM密度 ρ^2 の視線積分)
- 磁場や拡散係数などはわかっていないことも多く、下の二つのモデルを仮定して期待される輝度を計算。

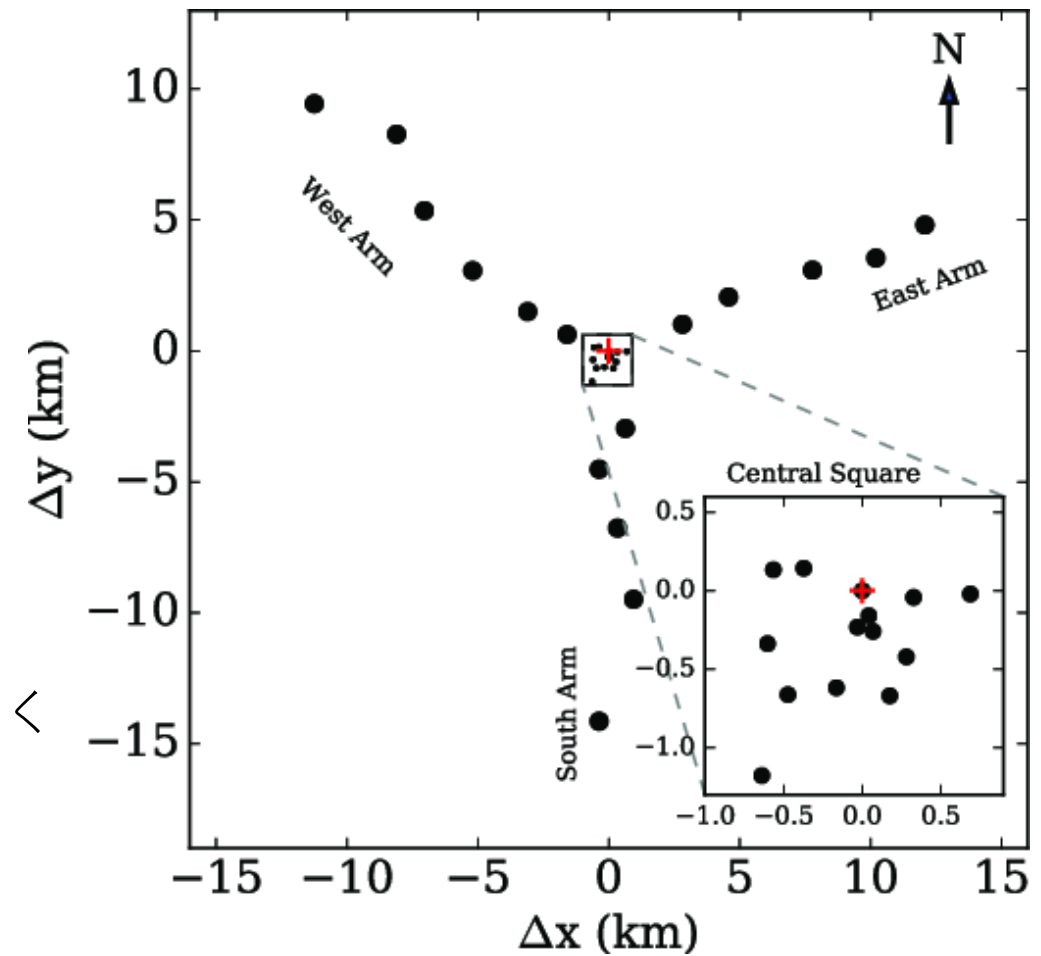
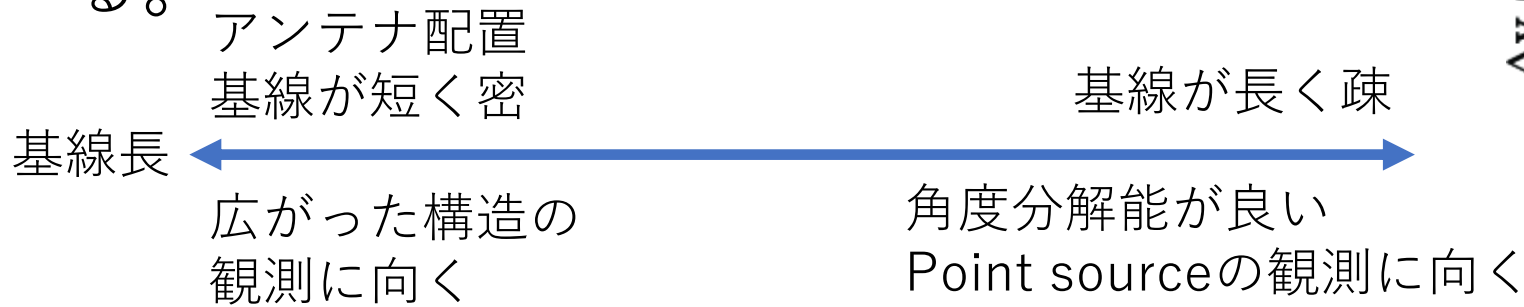


- **1GHzで10[μ Jy]~数[mJy]程度のFlux、10[arcmin]ほどの広がりを持つ放射が期待される。**
- (1Jy = 10^{-26} W/m²/Hz)

	磁場[μ G]	DM Mass[GeV]	拡散係数 [cm ² /s]
Model 1	5.0	300	10^{27}
Model 2	1.0	500	$3 \cdot 10^{28}$

電波干渉計

- 電波干渉計とは:複数の電波望遠鏡で得られた電波を干渉させることで天球面上の輝度分布のフーリエ成分を観測する。



- 他に考慮すべきこととして、Missing fluxがある。最短基線長と周波数により決まる。これが十分小さくないと、空間周波数の小さい成分の情報が得られず、低輝度・大スケールの天体を観測できない。

GMRT(@インド プネー)
アンテナ配置
(N.N.Patra et al., MNRAS 483, 3007–3021 (2019))

解析したデータ

- 観測(GSB)

Date : 2019/09/22

Project Code : 36_065

On source time : 150 [min]

Bandwidth : 33.3 [MHz]

Central Frequency : 607.7 [MHz]

- 解析 :

Calibration, Imaging等に

CASA(一般的な電波天文解析ソフトウェア)を用いる

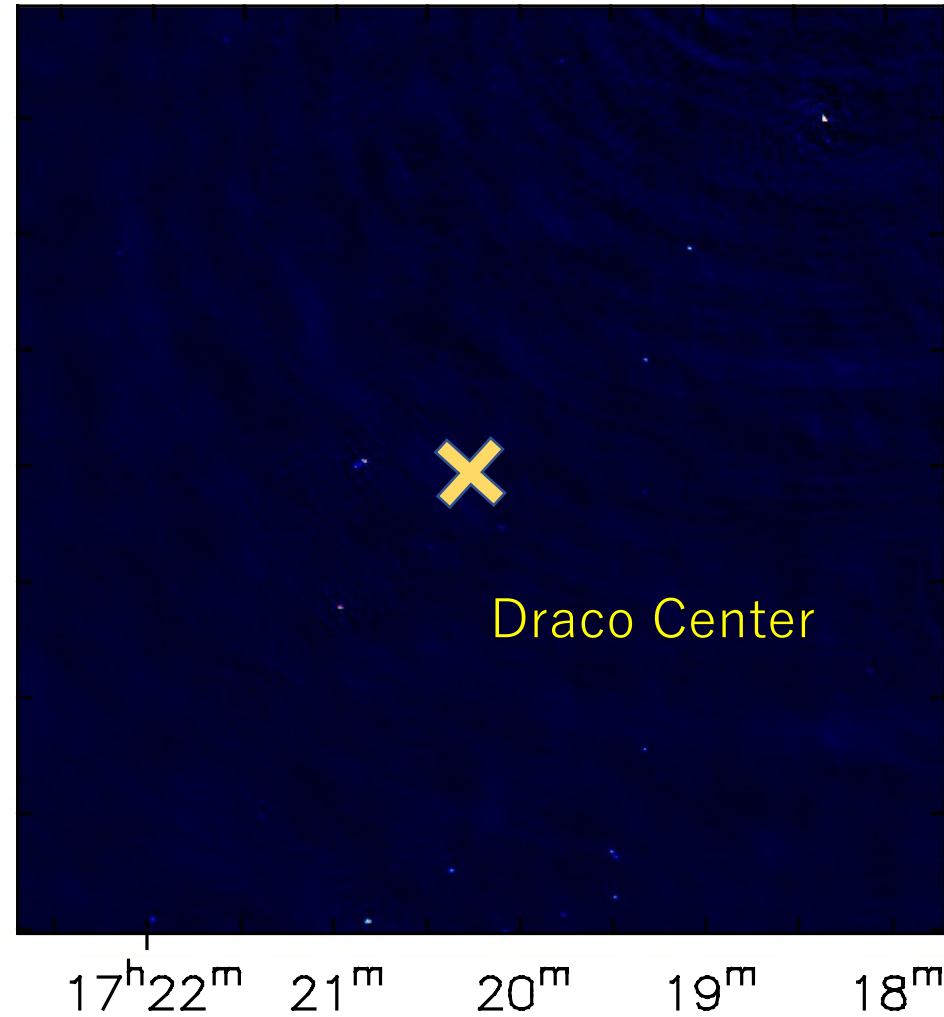
- 明るい点源がROI内に存在**(主に star forming galaxyやAGN)

10
[arcmin]



J2000 Declination

10'
05'
58°
55'
50'
45'
40'
35'



J2000 Right Ascension
Synthesized Beam:

Major Axis = 9.09 [arcsec]

Minor Axis = 4.18 [arcsec]

(Jy/beam)

点源

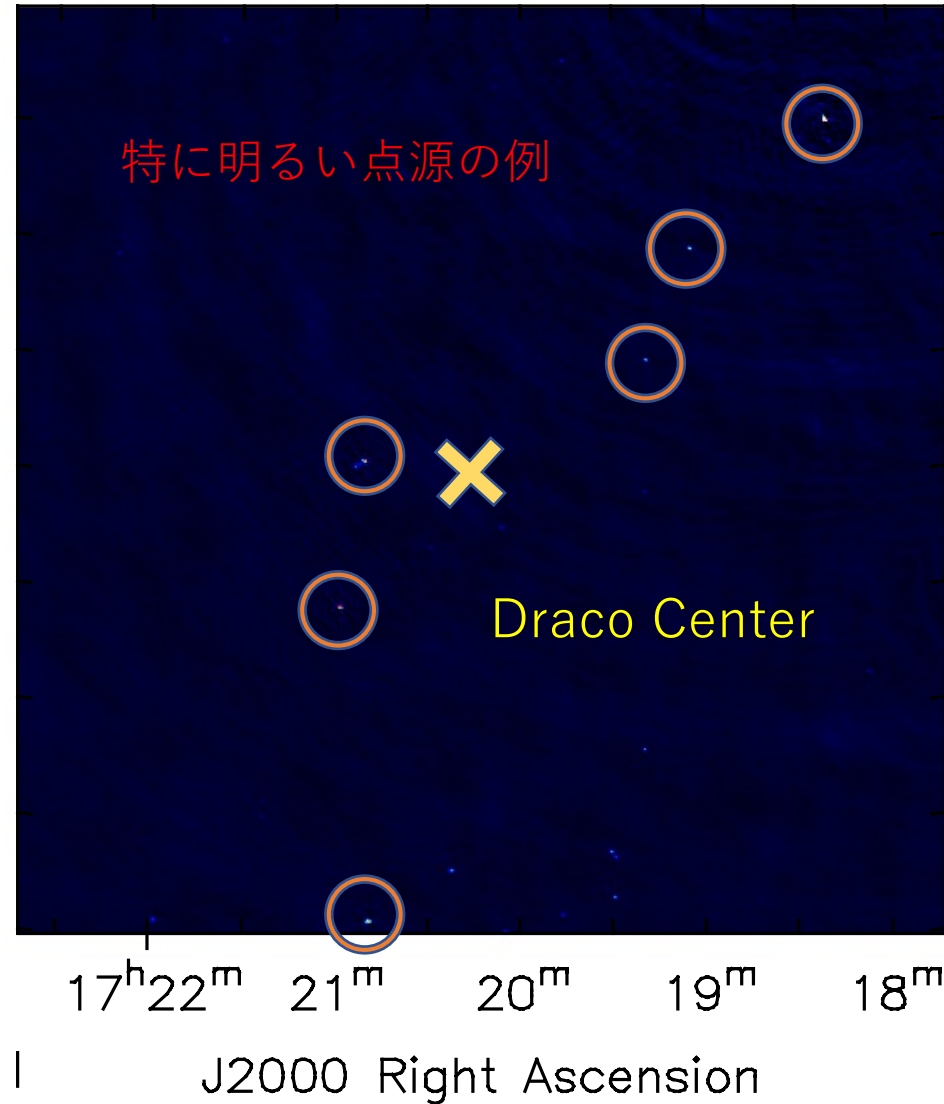
- ROI内にBackgroundとなる点源
- 5- σ 以上の明るさを持つ点源をPyBDSF (2015ascl.soft02007M)を用いて特定する。
- →FoV内で、1mJy~300mJyまでの明るさの点源~50個を特定(VLASS ~10個)
- このカタログを用いて点源を除く。

10
[arcmin]



J2000 Declination

10'
05'
58°
55'
50'
45'
40'
35'



0.07

0.06

0.05

0.04

0.03

0.02

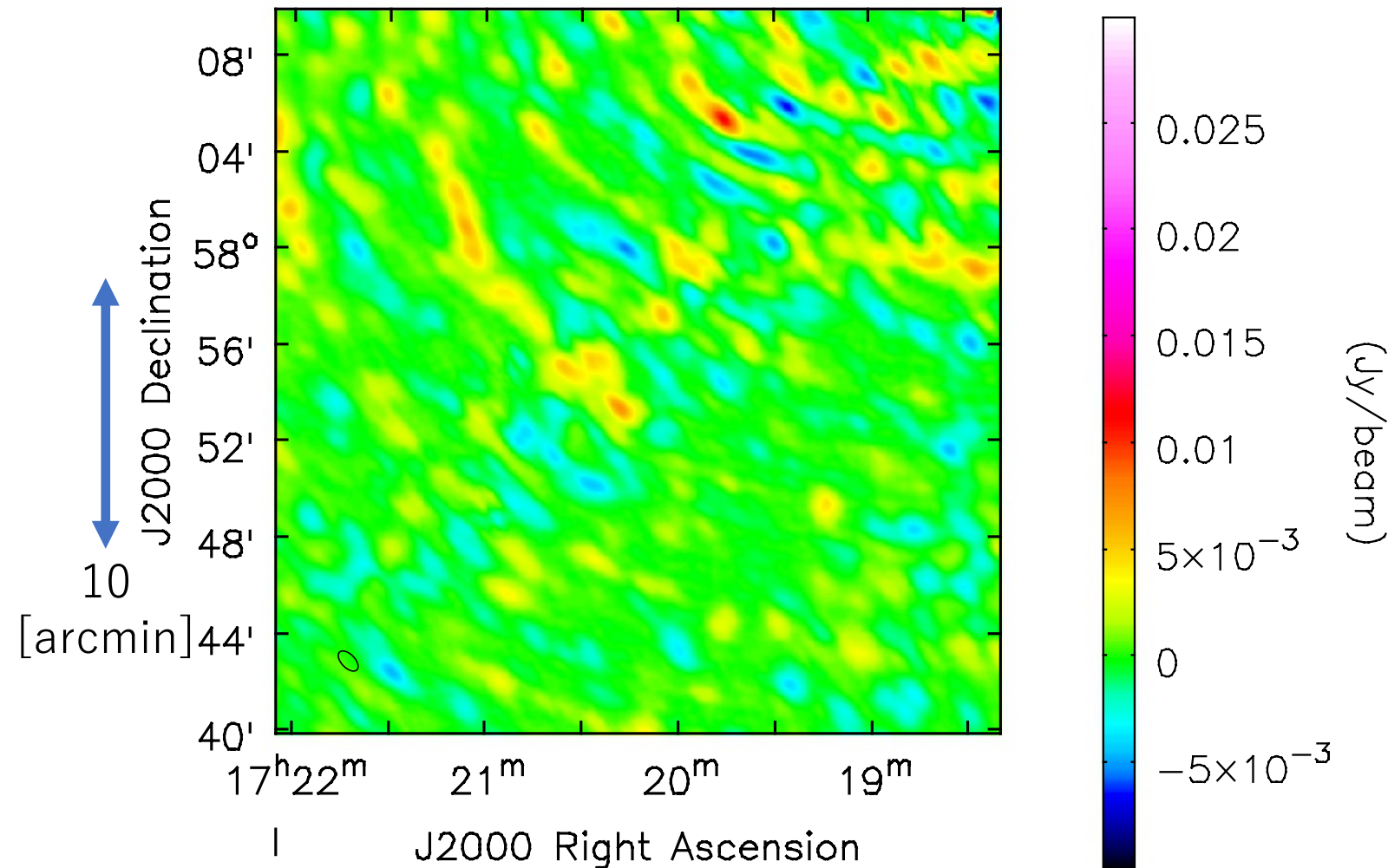
0.01

0

(Jy/beam)

Resulting image (Preliminary Result)

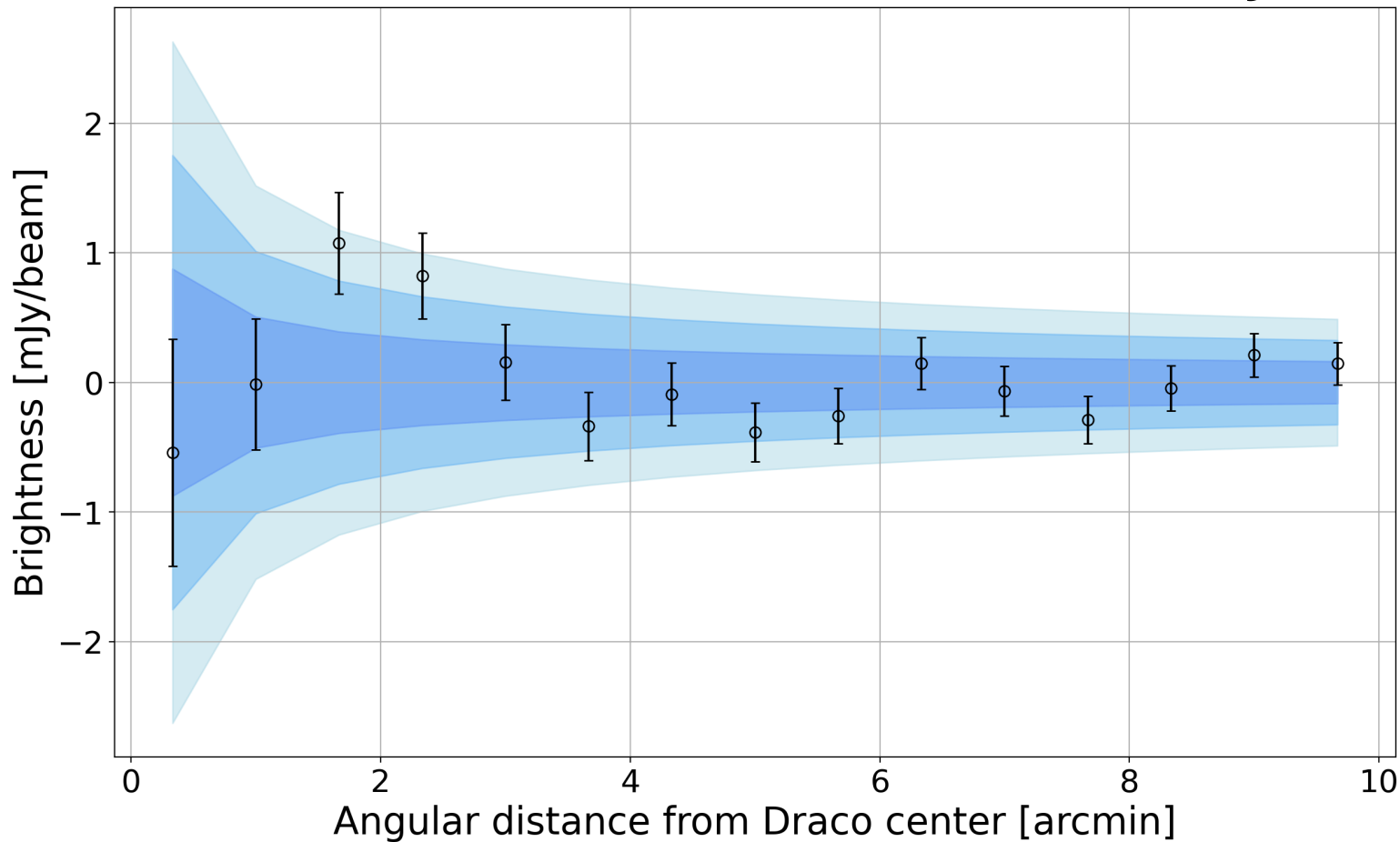
25pV1-5



Synthesized Beam:
Major Axis = 61.7 [arcsec]
Minor Axis = 33.7 [arcsec]

- 点源を除き、空間周波数の小さい構造に感度をもつように再度 Imaging (uvtaper)
- 最終的なimageの $\sigma_{\text{rms}}=1.28$ [mJy/beam]
- 右上にあるBackgroundとなる点源の除去の限界から、同心円状の構造が残る。

Radial distribution (Preliminary Result)



点源を取り除き再度CLEANを行なった
imageのradial distribution

横軸:Draco中心からの距離[arcmin]
縦軸:輝度 [mJy/beam]

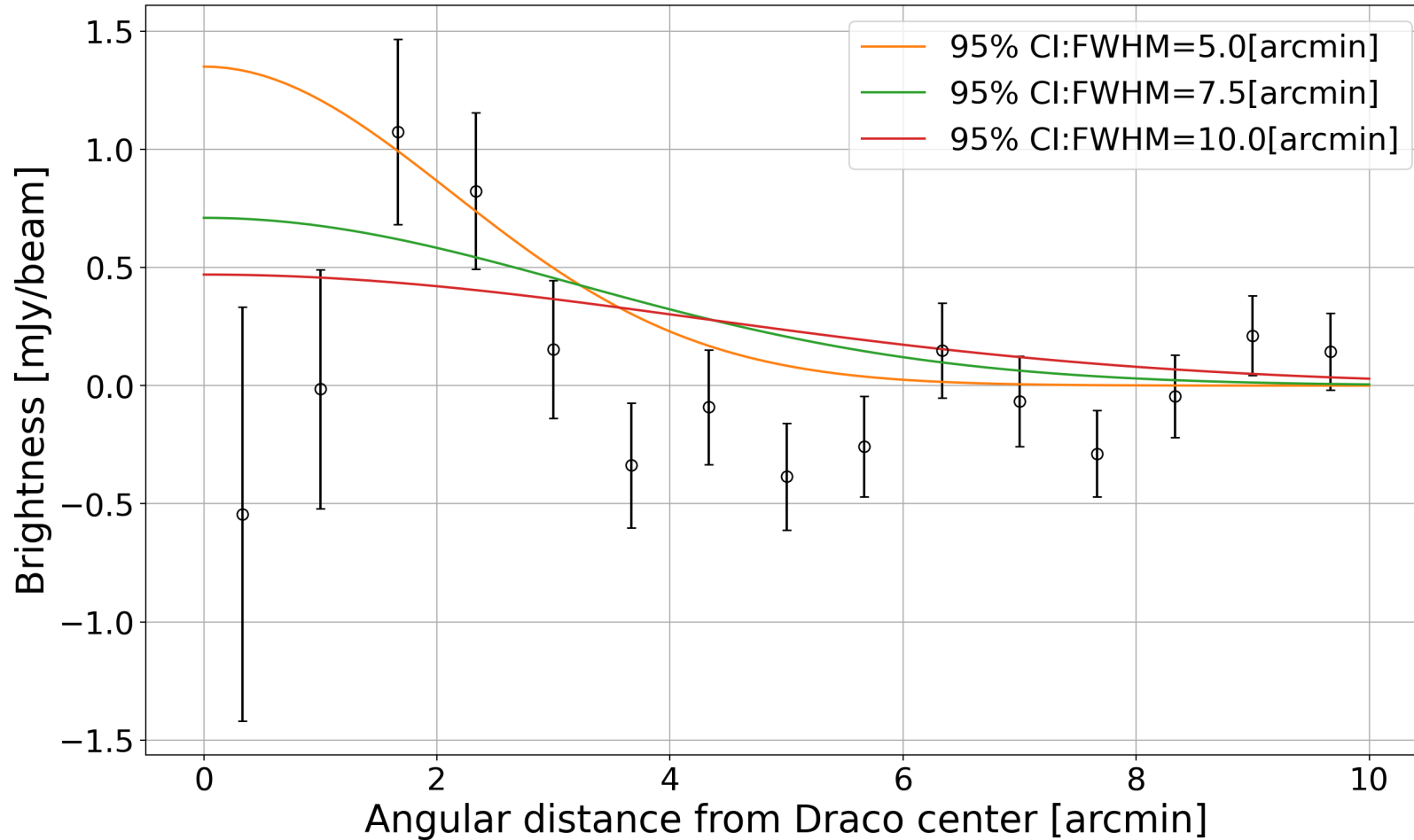
Null detectionの場合に期待される $1, 2, 3\sigma$
の領域を着色

輝度分布としてFWHM = 5.0, 7.5, 10.0 [arcmin]のGaussianを仮定した時の、
Null detection (flux = 0)に対する有意度は以下の表

FWHM [arcmin]	5.0	7.5	10.0
Statistical significance	2.06 σ	1.34 σ	0.87 σ

→Draco由来のDiffuse emission
は見えていない

Upper Bounds(Preliminary Result)



輝度分布としてFWHM = 5.0, 7.5, 10.0 [arcmin]の Gaussianを仮定して Fluxに対する95% C.I.を計算。

Missing fluxの影響を考慮しないUpper Bounds (Preliminary)は以下の表 → **Model1に届かず**

FWHM [arcmin]	5.0	7.5	10.0
Upper Bound for Integrated Flux [mJy] without missing flux	58.4	69.1	81.4

+Missing Flux
 現在評価中 最悪数倍

Observing Application

Date: Feb 01, 2023
Proposal ID: VLA/23B-173
Legacy ID: AK1109
PI: Chikara Kawai
Type: Regular
Category: Normal Galaxies, Groups, and
Clusters
Total time: 40.0

まとめと今後の展望

**AN ULTRA-DEEP SEARCH FOR DARK MATTER
ANNIHILATING SIGNAL IN THE DSPH DRACO**

- **まとめ：**
- GMRTを用いたDraco矮小楕円体銀河に対する観測データを解析
- Diffuse emissionは見えず。
- **今後の展望：**
- Missing fluxを含めたfluxに対するupper boundを定量的に計算する手法を開発している。
- 明るい点源に対する取り扱いの改善を目指す。
- またさらに感度を上げた観測を行うためにVLA(GHz帯で最も感度の良い電波干渉計の一つ)に観測提案を提出。