

電波観測による暗黒物質 の間接探索

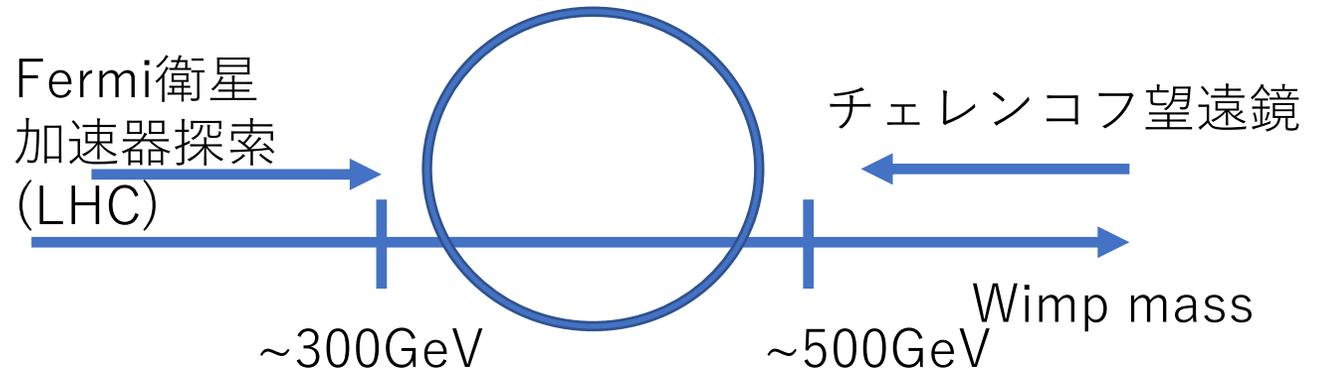
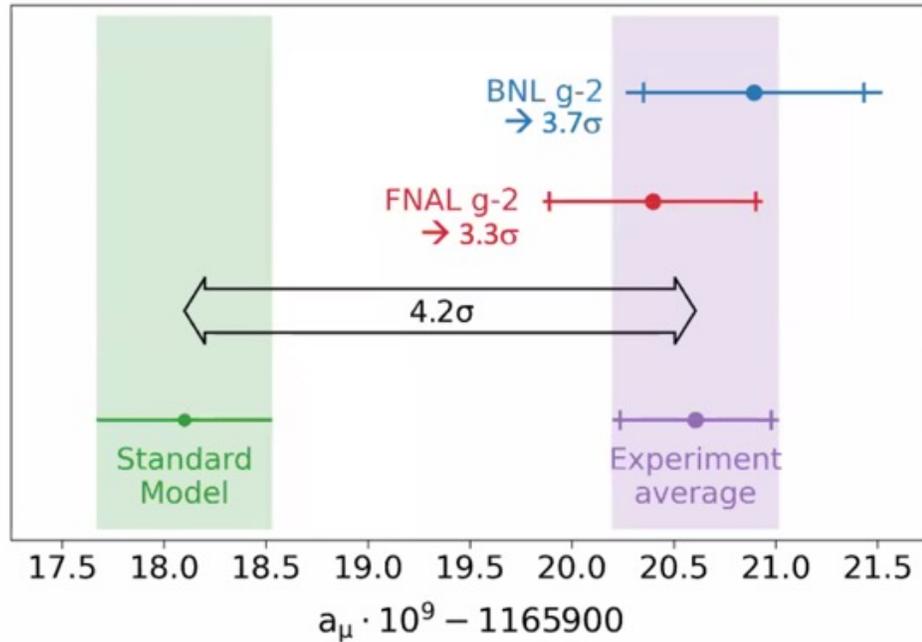
河井力, 浅井祥仁, 難波俊雄^A, 河野孝太郎, 竹腰達哉^B, 大島泰^C

東大理, 東大素セ^A, 北見工大^B, 国立天文台^C

日本物理学会2022年秋季大会 2022/09/08

8aA562-6

Motivation



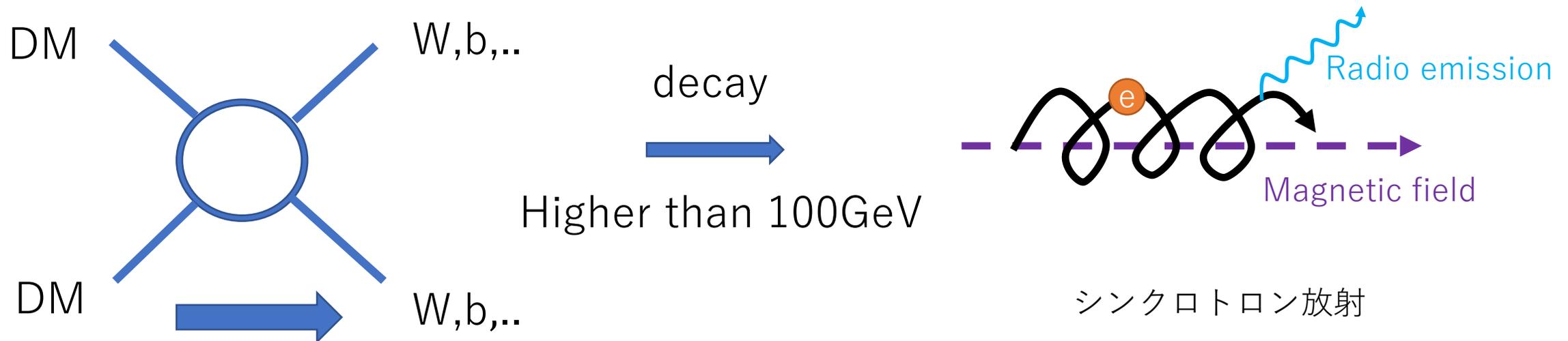
暗黒物質の候補の一つであるWIMPを探したい。

WIMPは、超対称性などのさまざまな標準模型を超える物理が予測する暗黒物質の候補であり、昨年のミュオンg-2のずれやWボソンの質量のanomalyなどが超対称性由来であれば、数百GeV程度の軽いSUSY暗黒物質が示唆される。

まだ間接探索で十分に観測されていない300GeV~500GeVの領域を検証する方法として電波観測による矮小楕円体銀河の観測を提案する。

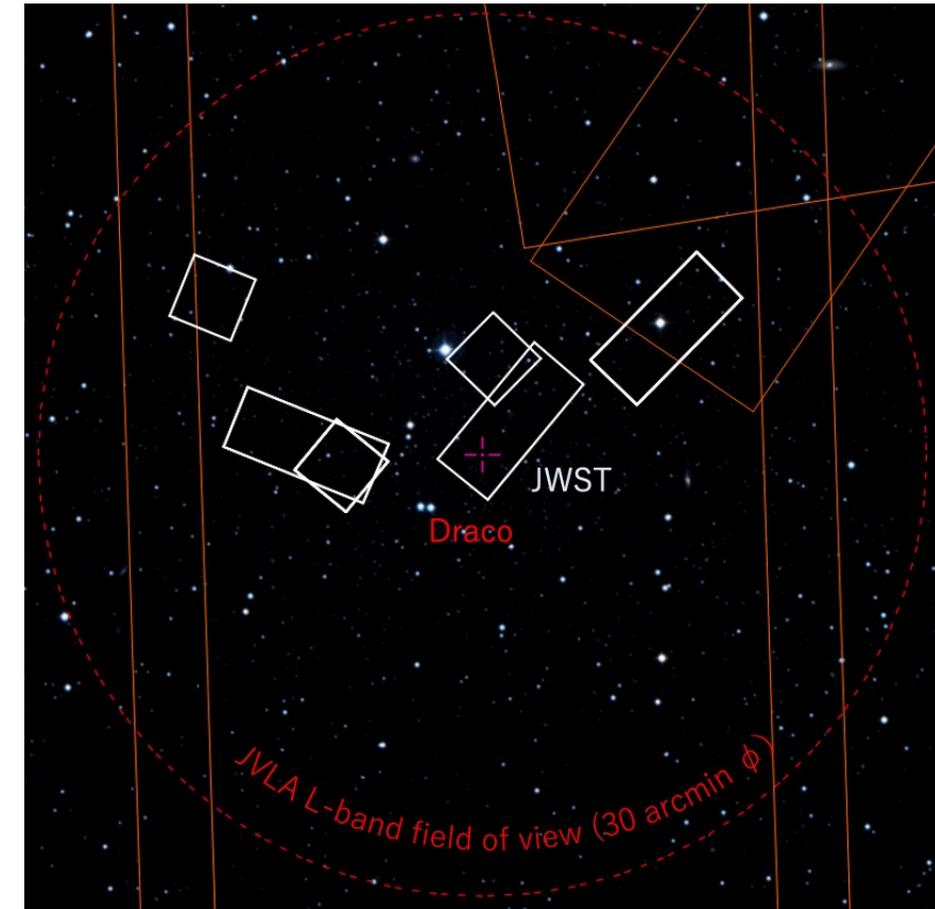
今回の間接探索手法

- 今回考えるような数百GeVのWIMPが暗黒物質であった場合、暗黒物質の対消滅により生じる高エネルギーの電子(\sim 数百GeV)は、磁場が存在すればシンクロトロン放射により電波などのシグナルを出す。
- シンクロトロン放射から期待されるsignalを電波干渉計を用いて観測することが目標。今回は電波干渉計での電波観測による観測可能性に関するシミュレーションの結果を報告する。



Draco 矮小楕円体銀河

- ・矮小楕円体銀河は、DMの占める割合が大きく低backgroundであるため、間接探索の有効な観測候補になる。
- ・その中でもDracoは、DM含有量が多く (large J-factor)、高赤緯(約+58度)に位置し電波干渉計での観測に向く。
- ・Draco のサイズ(half light radius)は 10[arcmin]



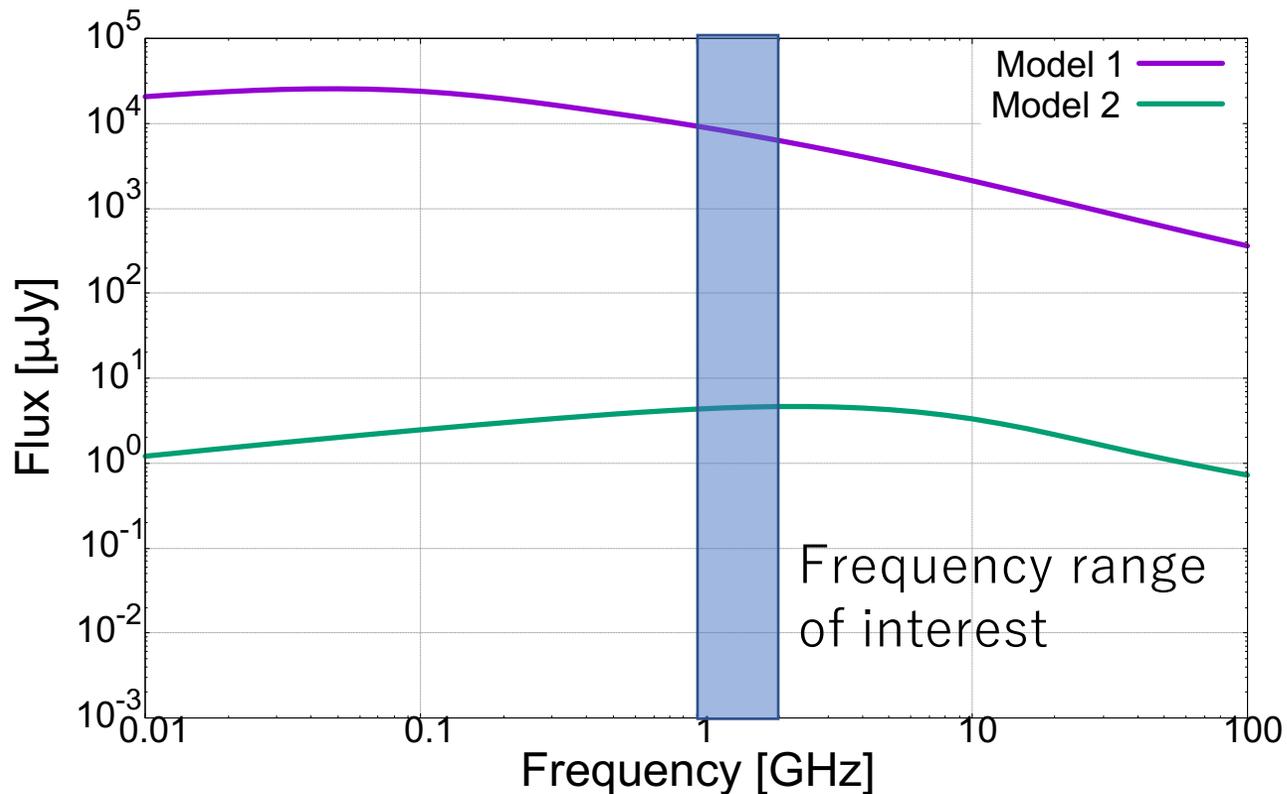
30[arcmin]

可視光(DSS)によるDracoの画像

- ・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。

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

期待されるsignal

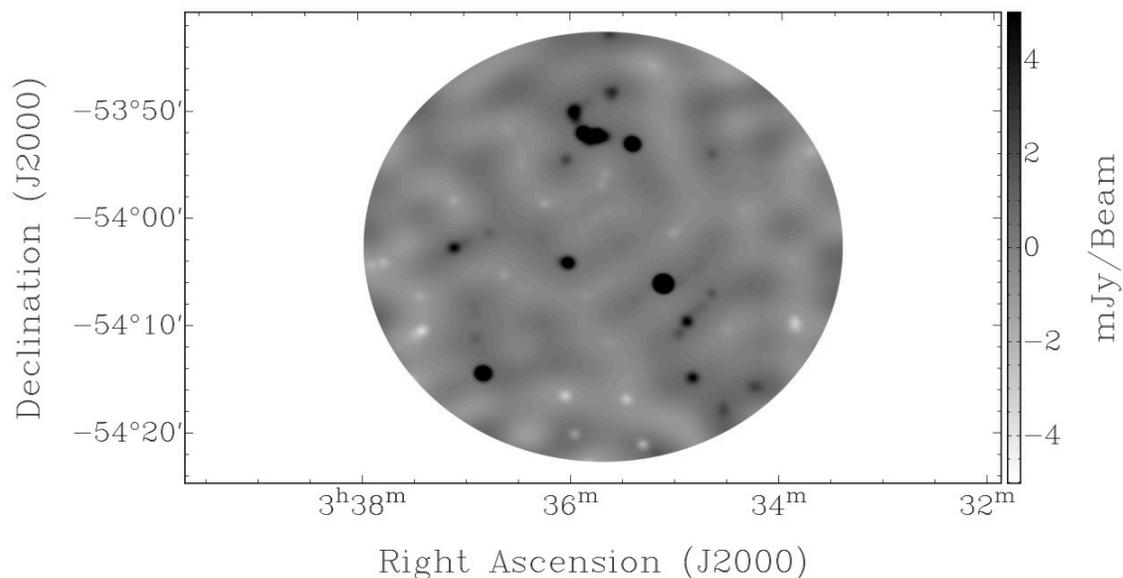


先に仮定した二つのモデルから期待されるFluxのspectrumは左の図のようになる。縦軸はFlux [μJy]横軸は周波数[GHz]。1GHzで10 [μJy]~数[mJy]程度のFlux、10[arcmin]ほどの広がりを持つ放射が期待される。

$$(1\text{Jy} = 10^{-26} \text{ W/m}^2/\text{Hz})$$

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

期待されるsignal



矮小楕円体銀河Reticulum II に対する電波干渉計ATCAを用いた観測で得られたmap
1.1GHz-3.1GHz, $\sigma_{\text{RMS}} = 10 [\mu\text{Jy}/\text{beam}]$
(M. Regis, L. Richter, S. Colafrancesco, JCAP 07 (2017) 025, arXiv:1703.09921)

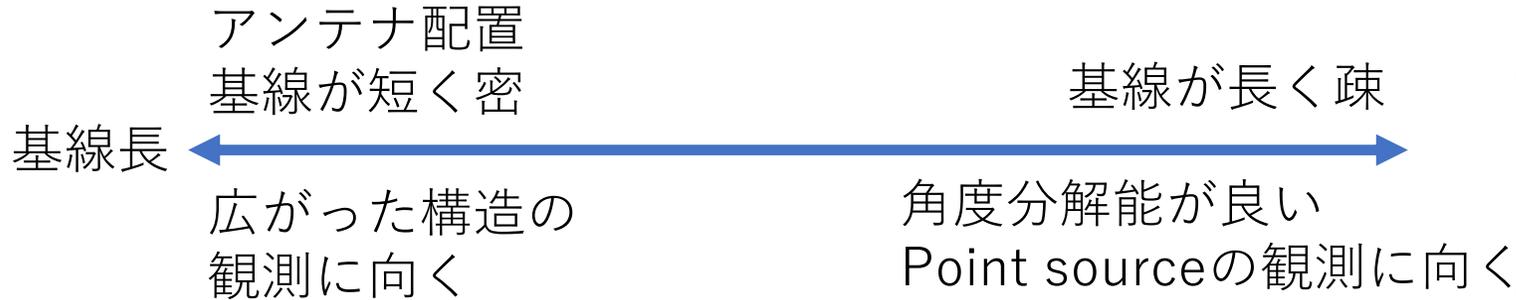
←矮小楕円体銀河Reticulum II に対して電波観測を用いた暗黒物質の間接探索の先行研究の際得られたmap。

実際の観測においては、左の map にも見られるように見たい構造(低輝度で広がりを持った構造)の他に、BackwardのAGNなどによるpoint sourceも存在。(confusion noise)

→GHz帯で広がりを持った構造にもpoint sourceにも対応できる観測をしたい。

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。



- JVLAは4ヶ月ごとに配置を変え、基線の長い観測と短い配置での観測の両方が可能
→JVLAは先の両方の条件を満たせる。

- 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、空間周波数の大き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。

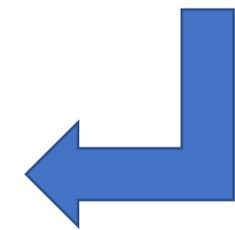
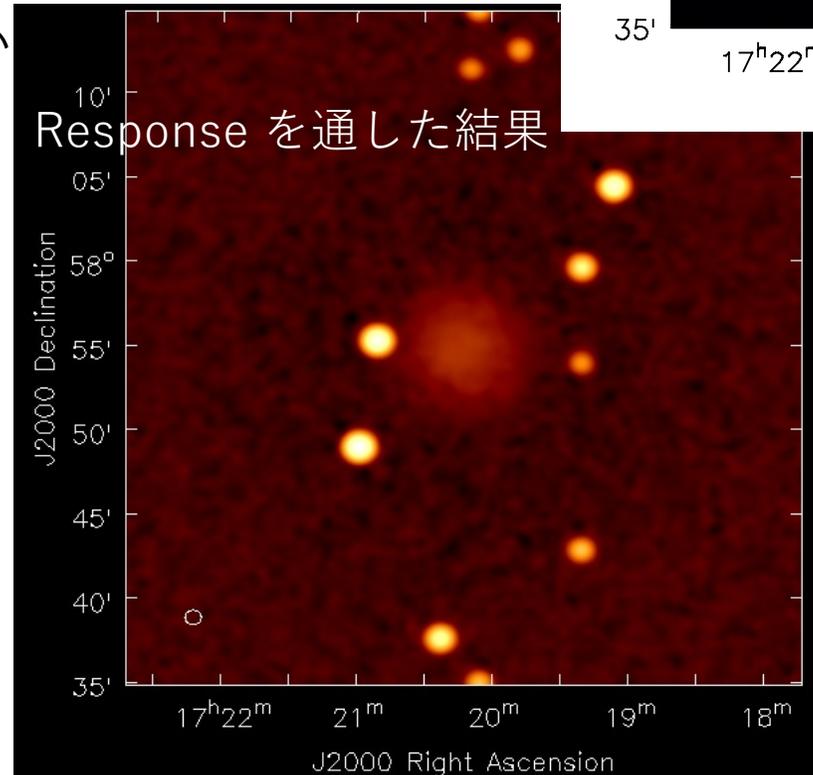
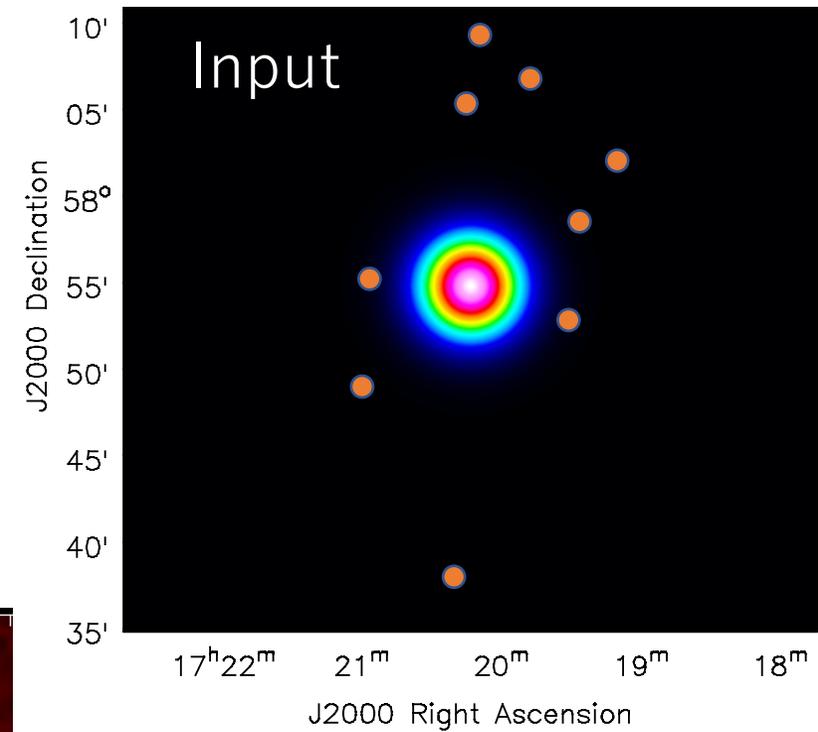


JVLA(@アメリカニューメキシコ)
(<https://www.cv.nrao.edu/~sransom/web/Ch8.html>)

Simulation Flow

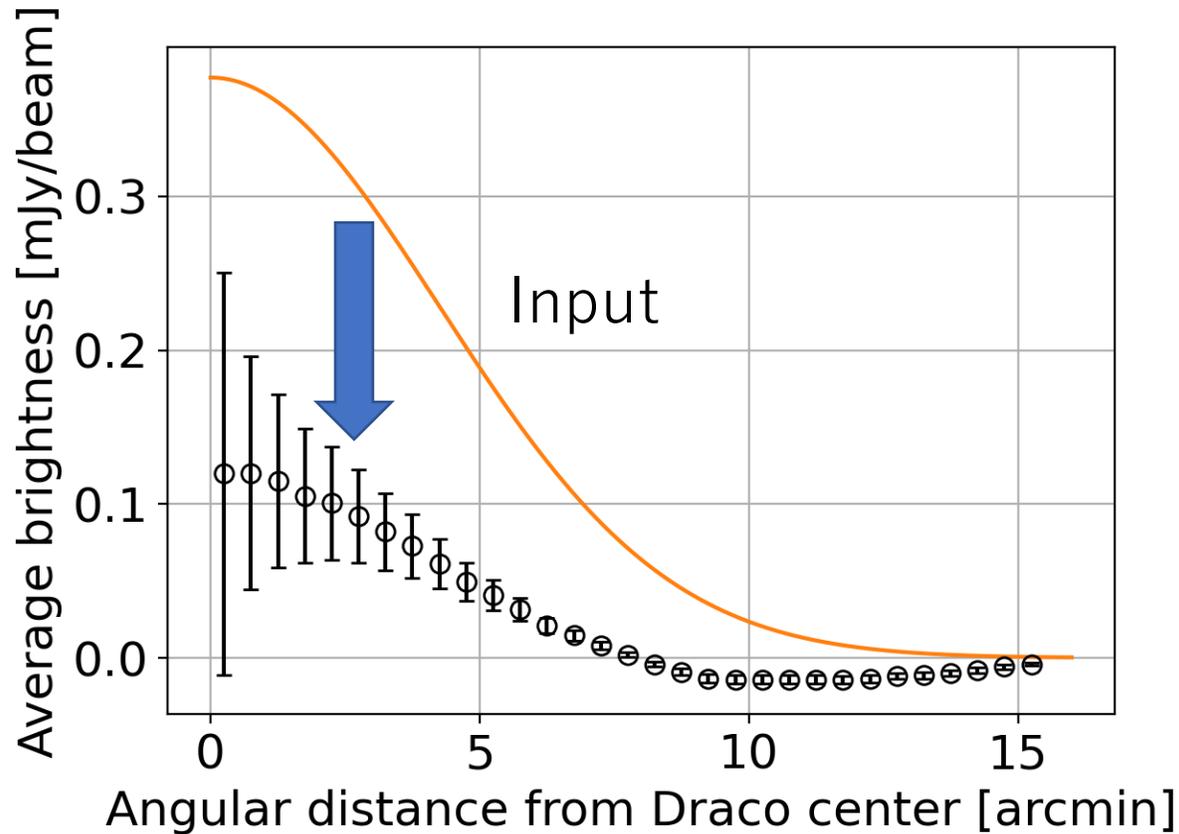
- CASA(NRAOから配布されているJVLAのデータ解析やシミュレーションを行えるpackage,そのうちの一つ simpbserve)を用いてシミュレーション
- True Sky modelとして、Draco(Gaussian) + point source background (VLASS catalogから15[arcmin]以内のsource)を仮定し、

アンテナ配置や観測時間、観測方向からpsfやMissing flux、thermal noiseの影響を含めて観測をシミュレーションし、得られたデータからpoint sourceを取り除き実際の観測の際の解析を行い観測可能性を評価する。

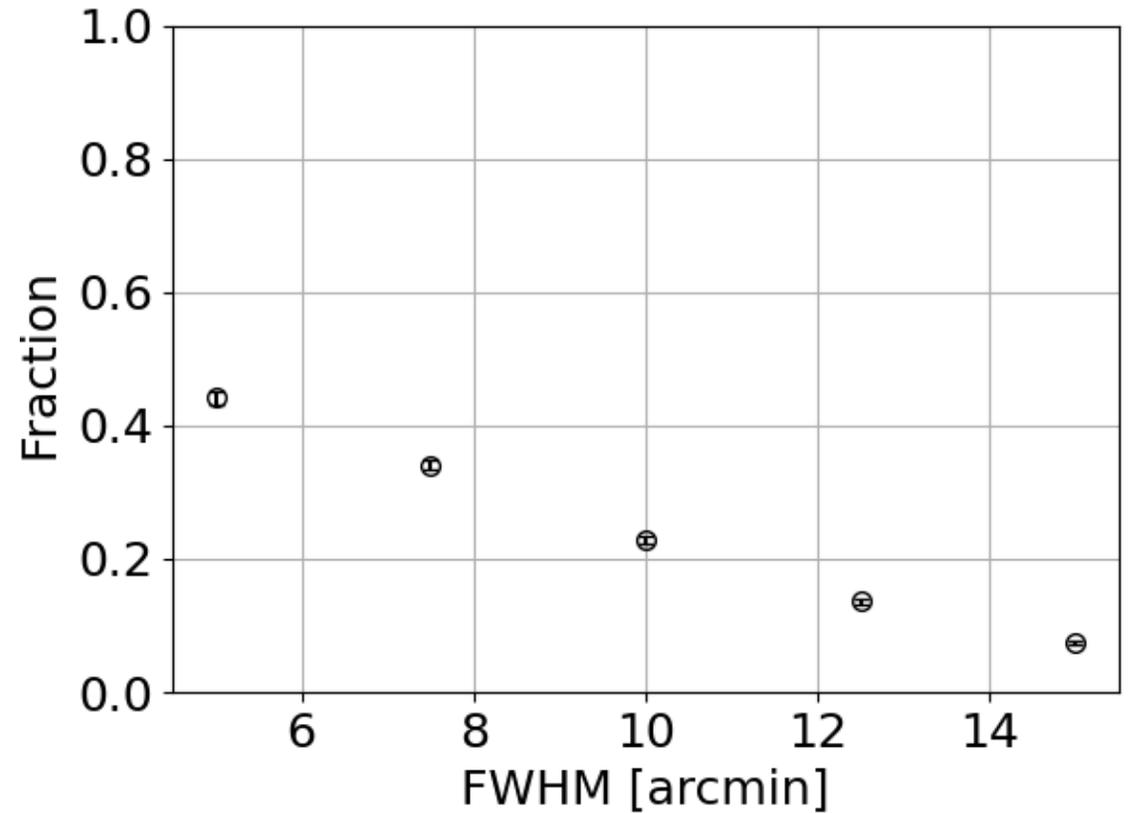


Missing Fluxの影響

まずはMissing Fluxの影響のみを考えるため、point sourceを加えず、InputとしてGaussianのみを仮定し、輝度をそろえFWHMを変えsimulation。左図は再現される輝度分布とinputの輝度の比較、右図はモデルのFluxと再現されるFluxの比。
→Missing fluxの影響を考慮しても20%程度のFluxは再現される。



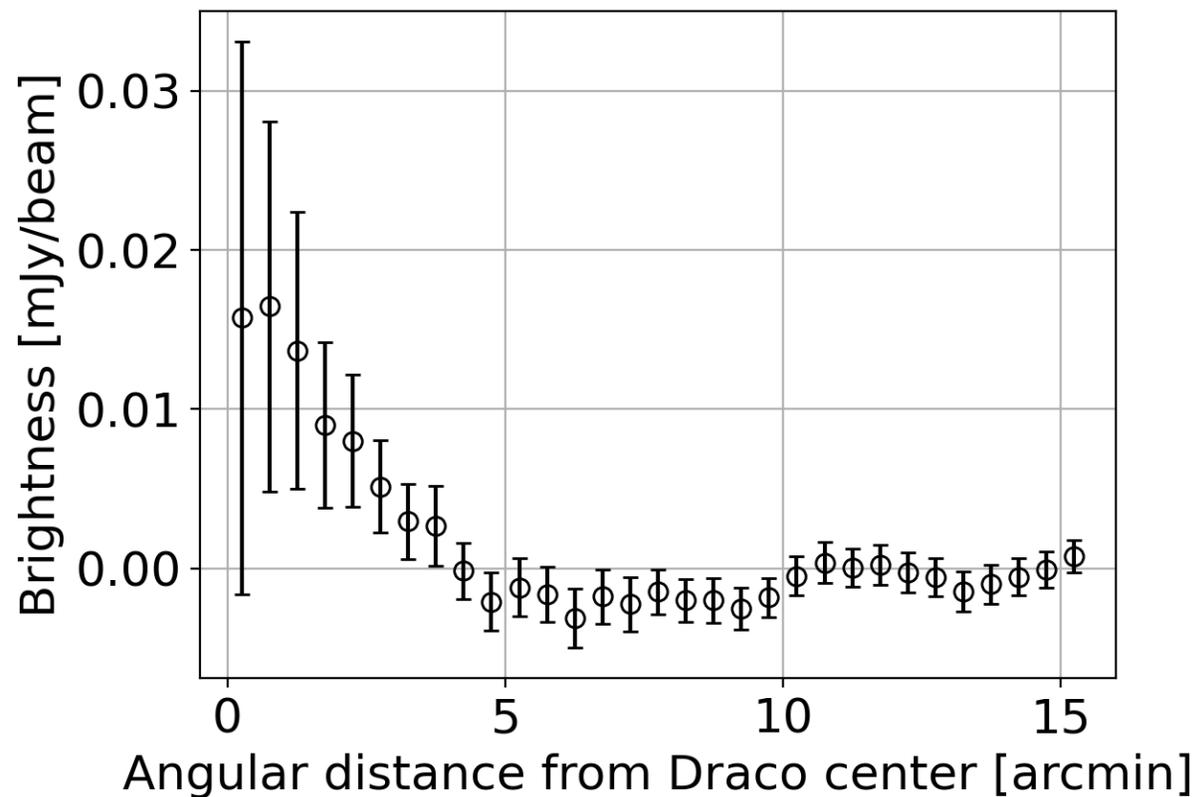
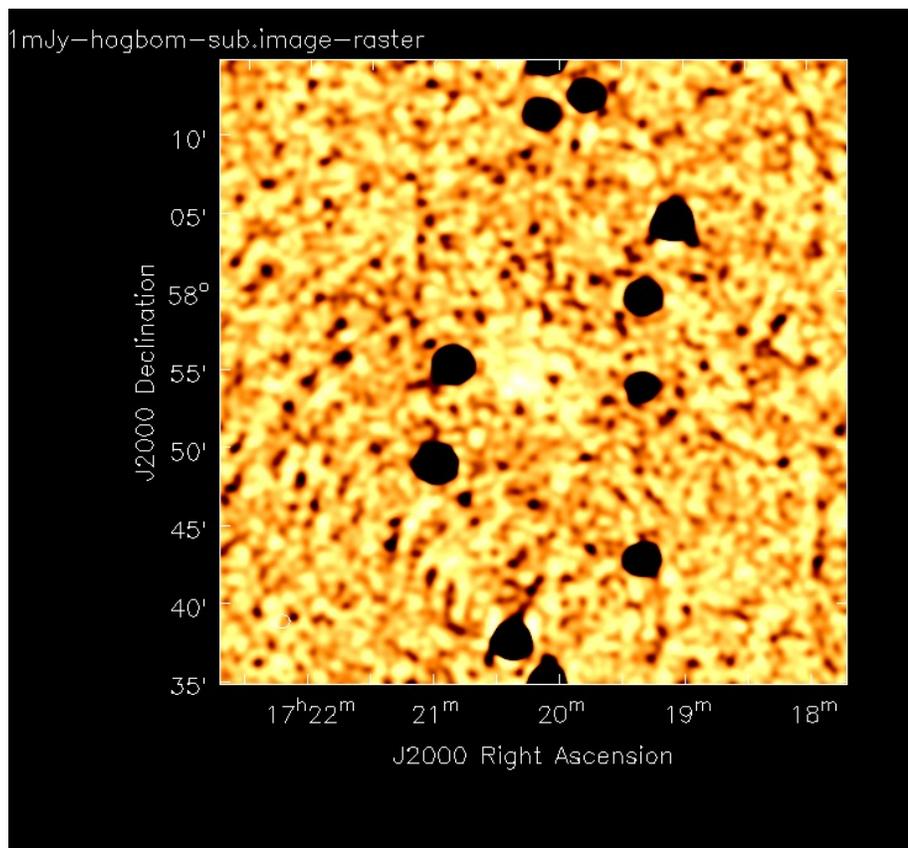
FWHM=10[arcmin]での例



Inputと再現されるfluxのfraction 8

Radial distribution

- Point source backgroundを除きcleanでdeconvolveし、maskをかけた場合の輝度の分布。横軸は中心からの距離を角度で表したものの、縦軸は輝度[mJy/beam]。Fluxが1mJy程度なら中心に期待される輝度分布が再現される。



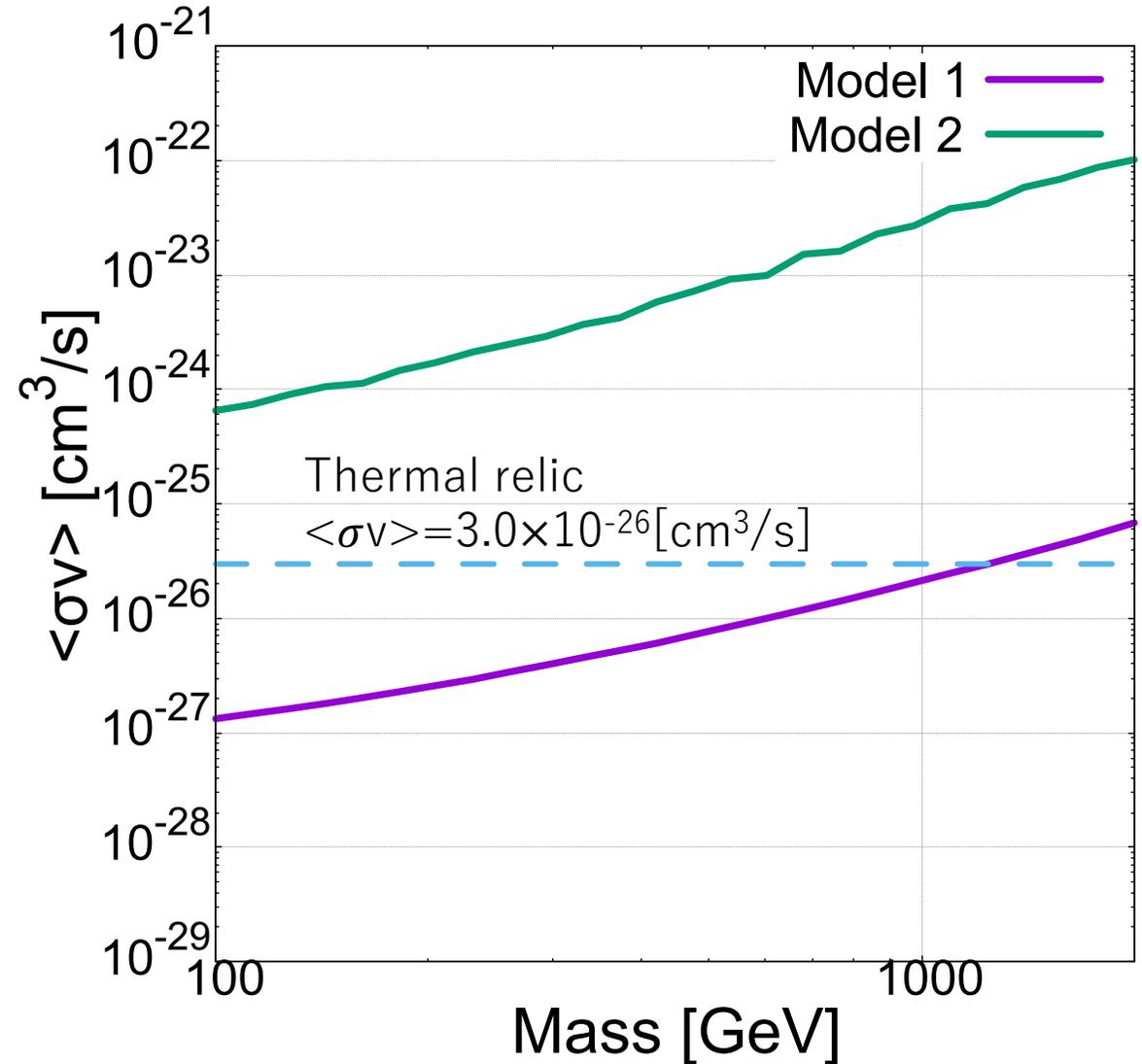
InputのFluxが1mJyの場合のradial distribution

1mJyでの探索可能領域

先に見たようにFluxが1mJy程度で5[arcmin]の広がりを持った放射がある場合は観測が可能である。この時先に仮定した二つのモデルでどの程度の領域まで探索可能かを右の図に示す。

Model1の場合、数百GeV程度まで探索可能であり、期待されるようなDM Modelを検証可能になる。

仮定するModelにより期待されるFluxのuncertaintyが大きいため、Draco以外のdSphの観測を行うことでこのuncertaintyを減らしていきたい。



まとめ

- ・ Draco矮小楕円体銀河由来のシンクロトロン放射のFluxは1GHzで10[μ Jy]~数[mJy] 程度が期待される。
- ・ Draco由来の5[arcmin]で1mJy程度のFluxを持つsignalは観測可能であり、期待されるいくつかのmodelは検証可能であることを示した。
- ・ sky surveyよりもより深いpoint source detectionを行い観測の感度を向上させるための基線長の長い配置での観測提案を提出。

Observing Application

Date: Proposal ID: VLA/2022-07-008 PI: Chikara Kawai Type: Regular Category: Normal Galaxies, Groups, and Clusters Total time: 12.0

An ultra-deep search for dark matter annihilating signal in the dSph Draco

Abstract:

We propose single-pointing, 1.4-GHz observations of Draco, a dwarf spheroidal (dSph) galaxy, to search for extended synchrotron emission from weakly interacting massive particle (WIMP) dark matter (DM) annihilations in