

# パルサー・突発天体の電波観測—日本の現状

寺澤敏夫

天文台・早稲田大・東大宇宙線研

1 突発天体：電波観測に関係した最近の話題

→FRB (fast radio bursts) ... 宇宙論的(?)電波源からのsingle pulse

→12月、マグネターXTE1810-197のX線・電波再増光

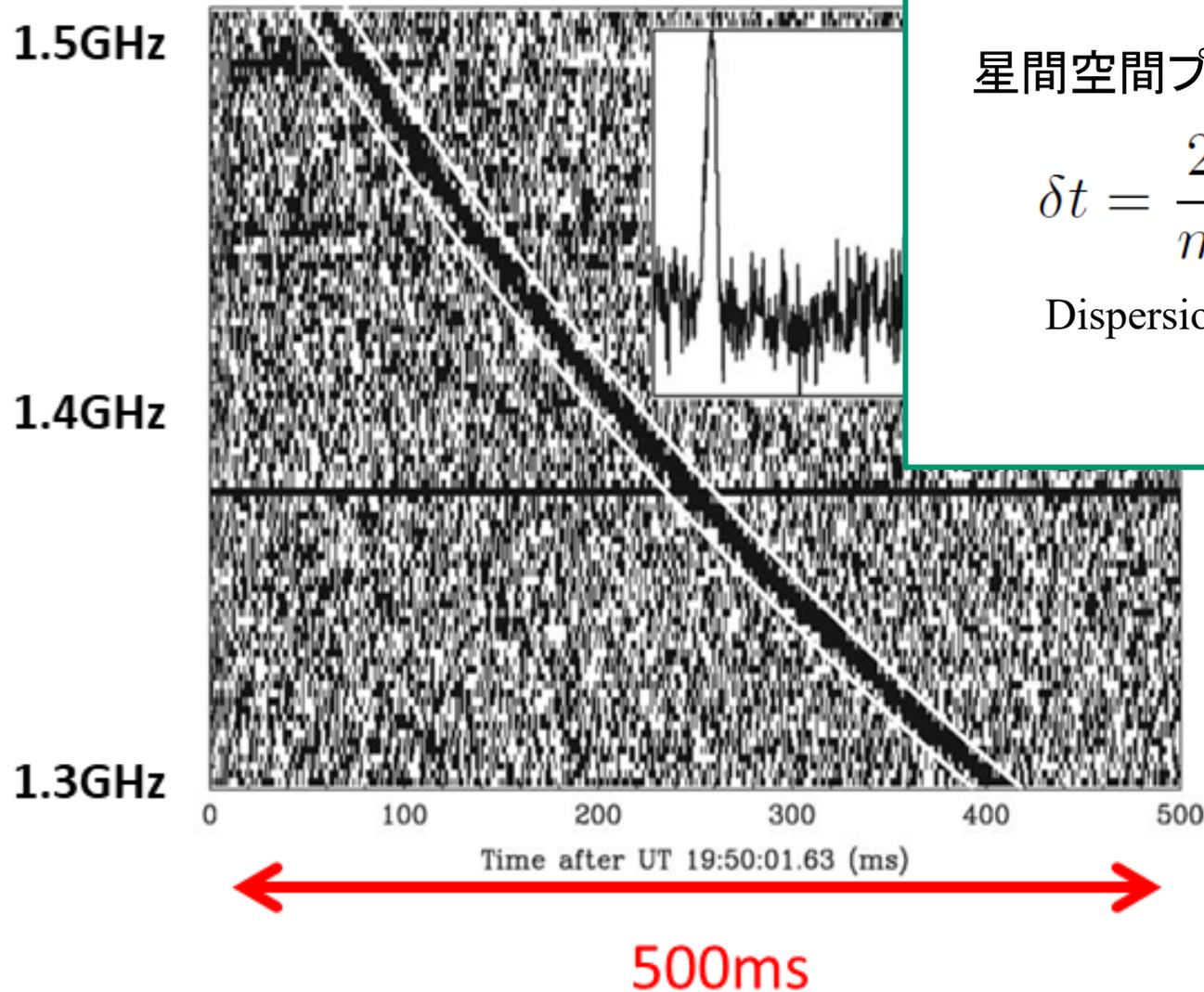
3 (ATEL#12284、#12291、...)

FRBの正体は依然不明だが、有力なモデルとして、若いマグネターからの巨大電波パルス (Giant radio pulses) 説がある。

2 巨大電波パルス (Giant radio pulses) はこれまで20個程度の電波パルサーに見出されているが、こちらも輻射機構などは不明。しかし、最も有名なパルサーの1つであるCrabパルサーがGRPを放出することで知られている。

# FRB(Fast Radio Burst)の発見

(Lorimer et al., 2007, Science)



星間空間プラズマ内伝搬に伴う群遅延

$$\delta t = \frac{2e^2}{m_e c} (f_1^{-2} - f_2^{-2}) DM$$

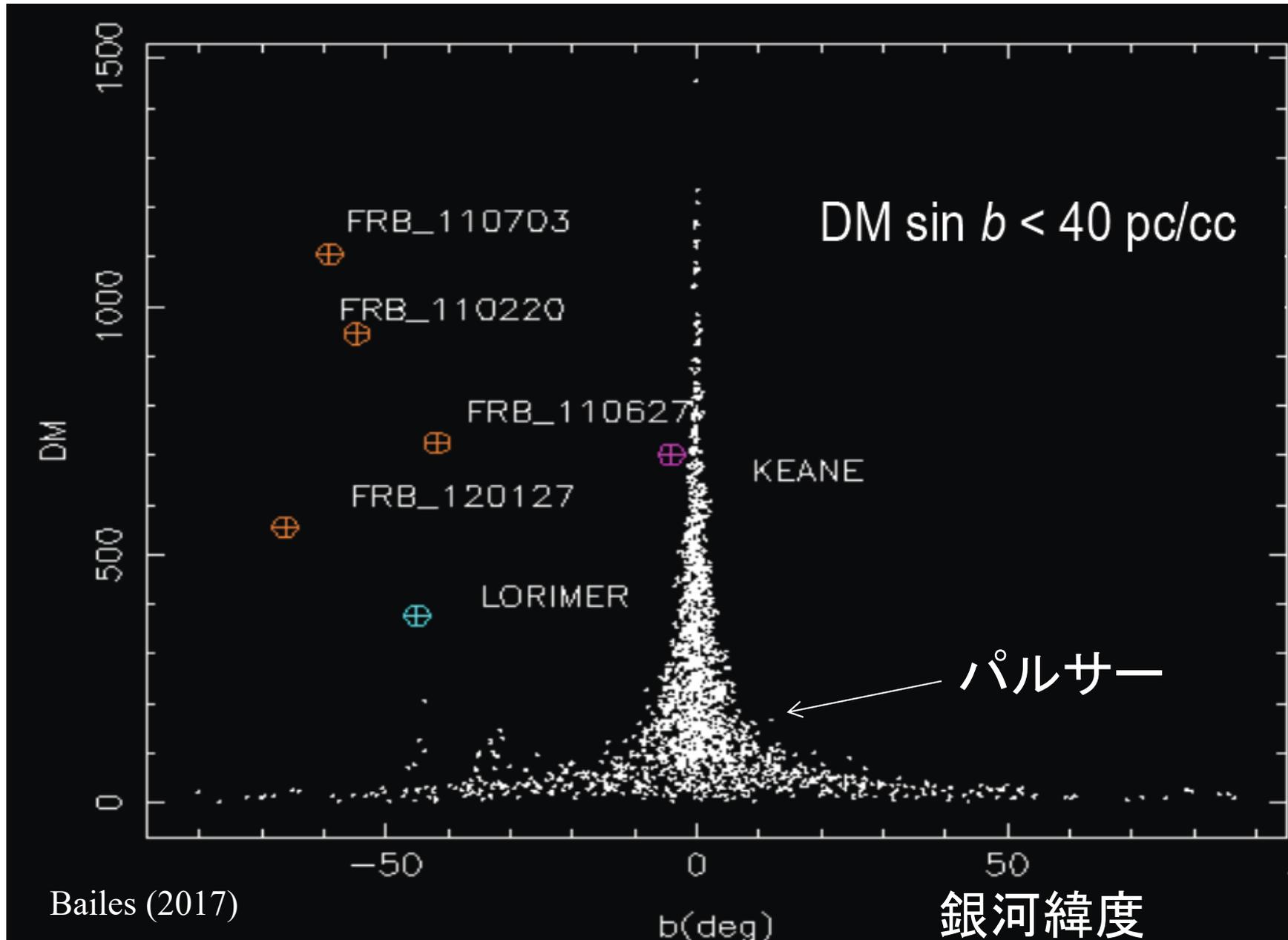
Dispersion measure  $DM \equiv \int_0^L n_0 ds$

←DM ~ 375 pc cm<sup>-3</sup>

DM ~ 375 pc cm<sup>-3</sup> は銀河系内の電波源と考えるには高すぎる。

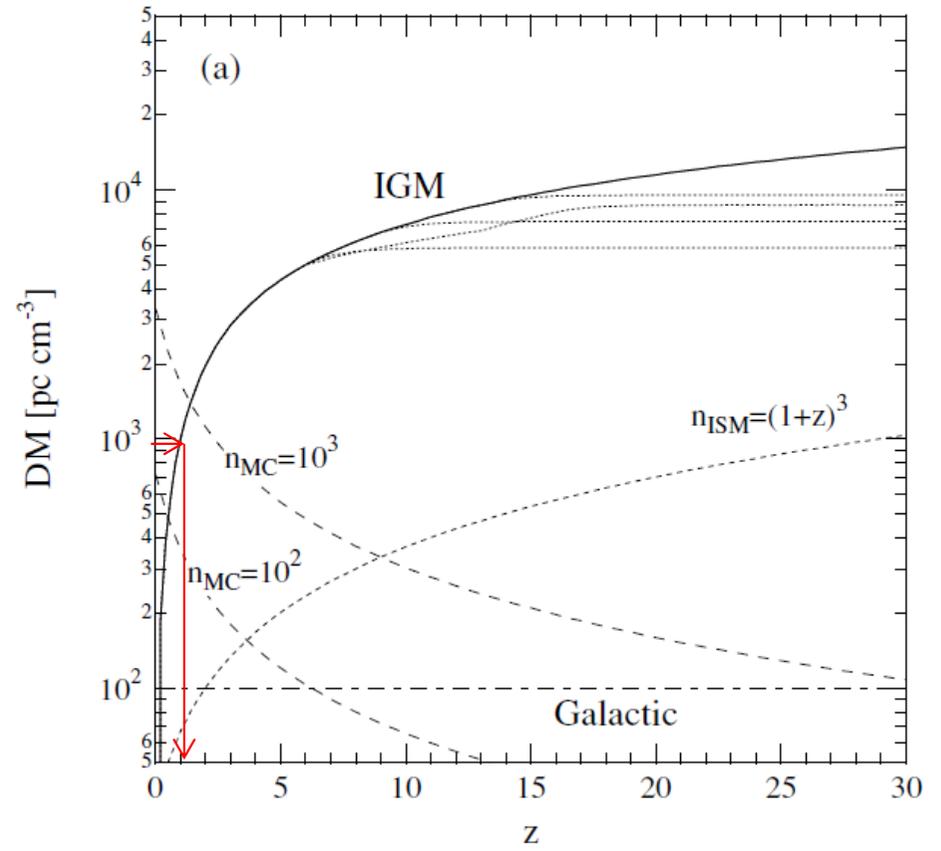
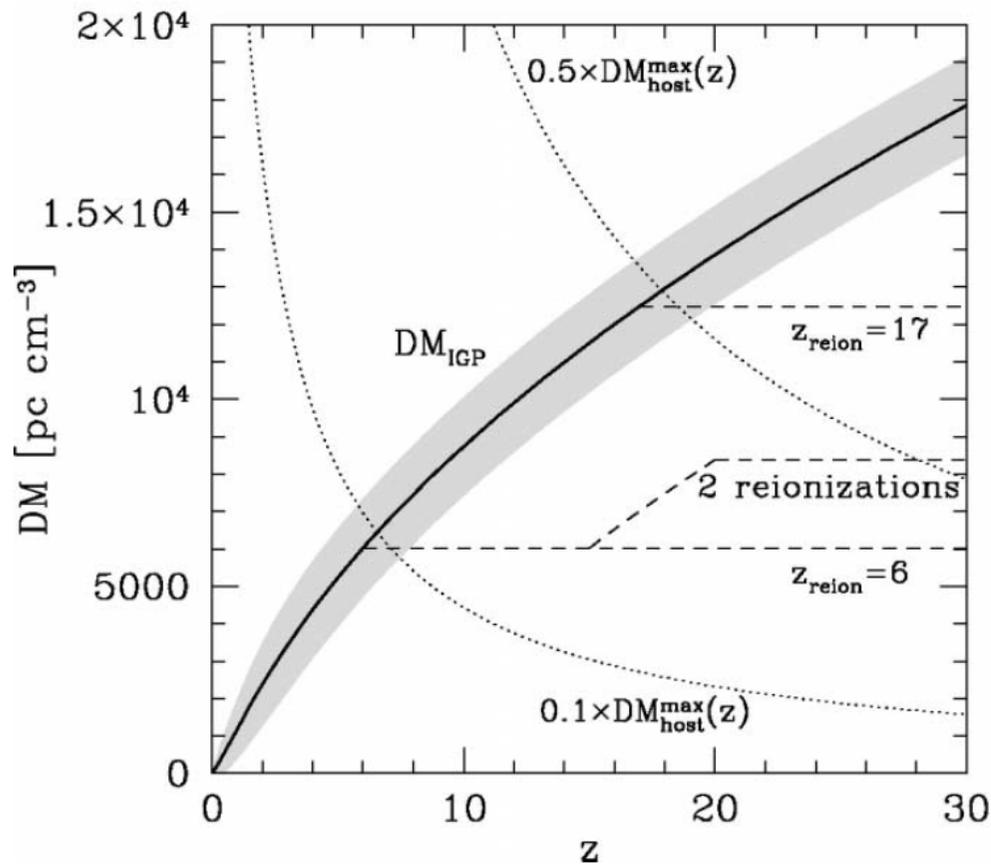
Dispersion Measure (DM) ≡ column density (cm<sup>-2</sup>)    1pc cm<sup>-3</sup> ~ 3 × 10<sup>18</sup> cm<sup>-2</sup>

# FRBのDMはパルサーのDMの銀河緯度依存性とははっきり違う



Dispersion Measure (DM)  $\equiv$  column density ( $\text{cm}^{-2}$ )     $1 \text{ pc cm}^{-3} \sim 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$

先駆的業績： 宇宙論的DM (左:井岡 2003、 右:井上 2004)



DM  $\sim 1000 \text{ pc cm}^{-3}$  のFRB  $\rightarrow$  赤方変偏移  $z \sim 1$

宇宙論的距離にある遠隔天体の可能性が示唆される。  
 これまでに報告された30数個のFRBのうち、1つだけは繰り返し  
 観測され、VLBI観測にも成功 $\rightarrow$ 母銀河同定: 実際 $z \sim 0.2$  (972 Mpc)であった。

(2月の補足: 最近、カナダのCHIME(後述)により2個目の繰り返しFRBが見つかった。  
 $\rightarrow$  CHIME/FRB Collaboration, Nature 9 Jan 2019; arXiv:1901.04525)



# A direct localization of a fast radio burst and its host

S. Chatterjee<sup>1</sup>, C. J. Law<sup>2</sup>, R. S. Wharton<sup>1</sup>, S. Burke-Spolaor<sup>3,4,5</sup>, J. W. T. Hessels<sup>6,7</sup>, G. C. Bower<sup>8</sup>, J. M. Cordes<sup>1</sup>, S. P. Tendulkar<sup>9</sup>, C. G. Bassa<sup>6</sup>, P. Demorest<sup>3</sup>, B. J. Butler<sup>3</sup>, A. Seymour<sup>10</sup>, P. Scholz<sup>11</sup>, M. W. Abruzzo<sup>12</sup>, S. Bogdanov<sup>13</sup>, V. M. Kaspi<sup>9</sup>, A. Keimpema<sup>14</sup>, T. J. W. Lazio<sup>15</sup>, B. Marcote<sup>14</sup>, M. A. McLaughlin<sup>4,5</sup>, Z. Paragi<sup>14</sup>, S. M. Ransom<sup>16</sup>, M. Rupen<sup>11</sup>, L. G. Spitler<sup>17</sup> & H. J. van Langevelde<sup>14,18</sup>

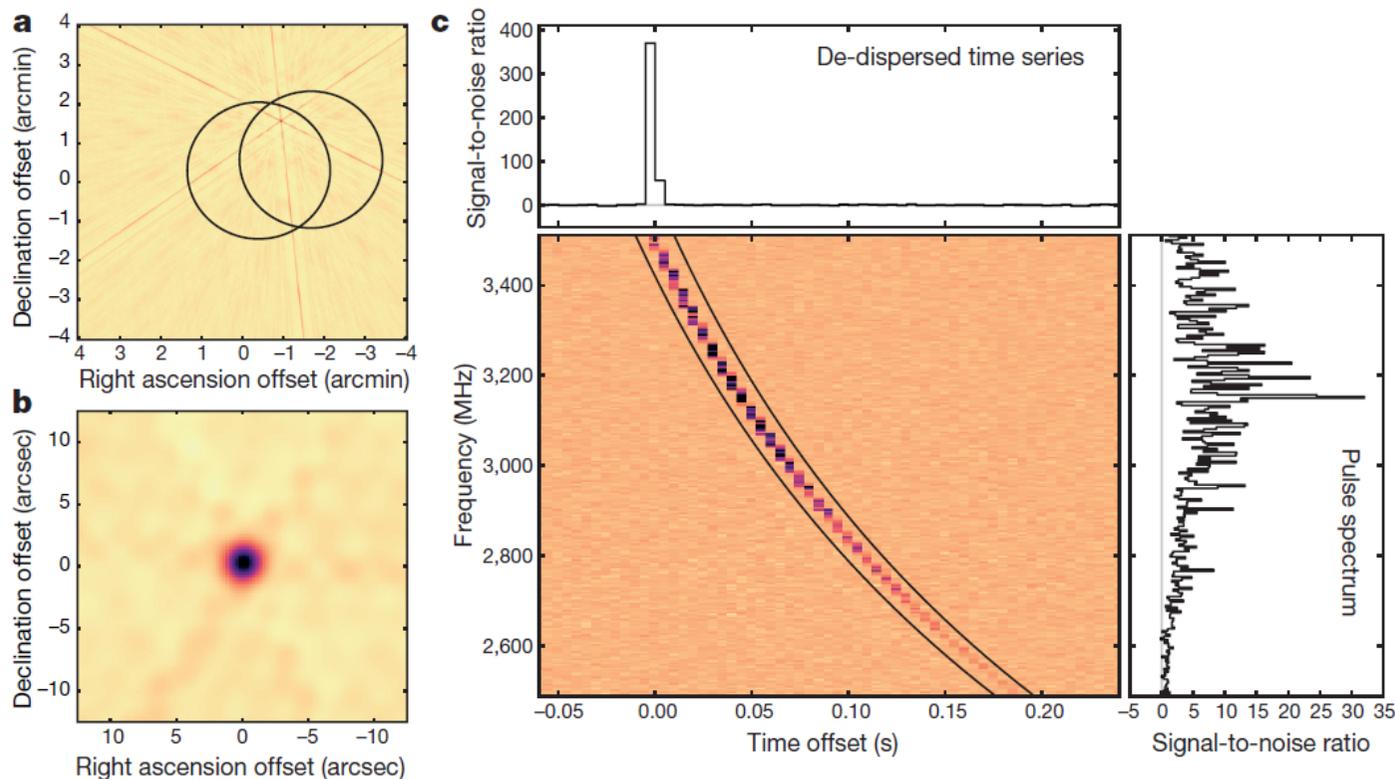


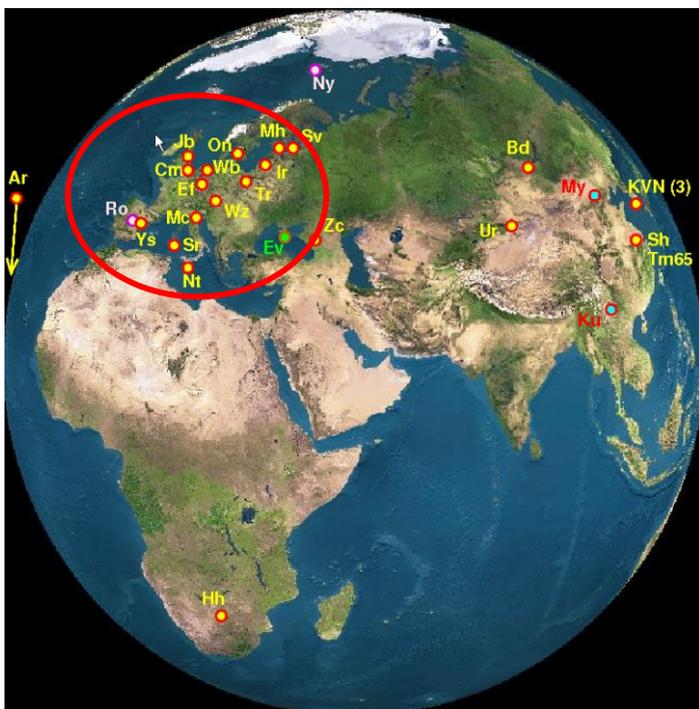
Figure 1 | VLA detection of FRB 121102.

→ arcsec uncertainty

# The Repeating Fast Radio Burst FRB 121102 as Seen on Milliarcsecond Angular Scales

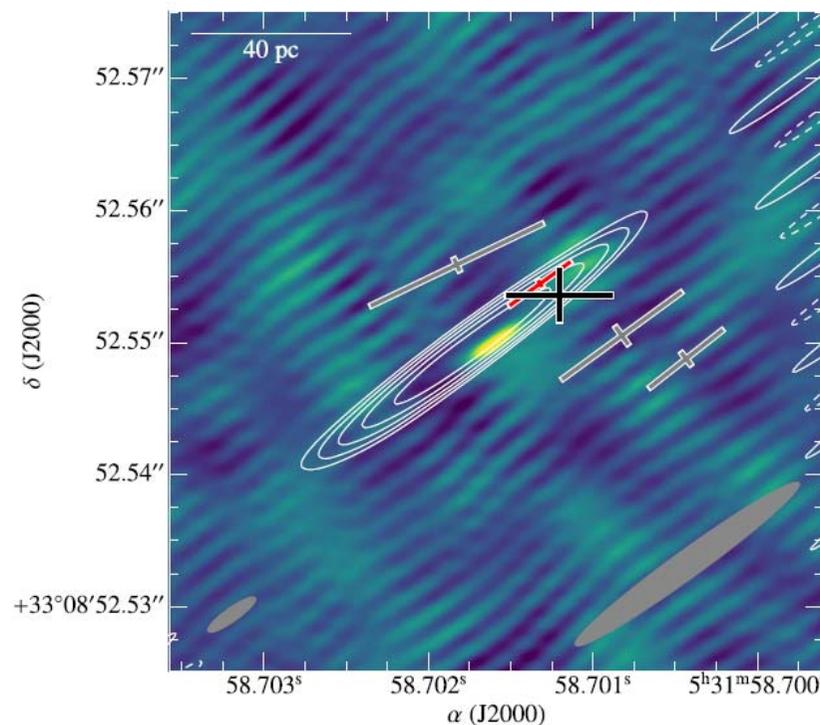
B. Marcote<sup>1</sup>, Z. Paragi<sup>1</sup>, J. W. T. Hessels<sup>2,3</sup>, A. Keimpema<sup>1</sup>, H. J. van Langevelde<sup>1,4</sup>, Y. Huang<sup>5,1</sup>, C. G. Bassa<sup>2</sup>, S. Bogdanov<sup>6</sup>,  
G. C. Bower<sup>7</sup>, S. Burke-Spolaor<sup>8,9,10</sup>, B. J. Butler<sup>8</sup>, R. M. Campbell<sup>1</sup>, S. Chatterjee<sup>11</sup>, J. M. Cordes<sup>11</sup>, P. Demorest<sup>8</sup>,  
M. A. Garrett<sup>12,4,2</sup>, T. Ghosh<sup>13</sup>, V. M. Kaspi<sup>14</sup>, C. J. Law<sup>15</sup>, T. J. W. Lazio<sup>16</sup>, M. A. M. L. L. 9,10, S. M. R. 17, C. J. Salter<sup>13</sup>,  
P. Scholz<sup>18</sup>, A. Seymour<sup>13</sup>, A. Siemion<sup>15,2,19</sup>, L.

4 crosses (red and gray) show the positions of 4 bursts  
A black cross shows their average.



European VLBI network (EVN)

[http://www.evlbi.org/intro/evn\\_map.png](http://www.evlbi.org/intro/evn_map.png)



Persistent at 1.7GHz: white contours

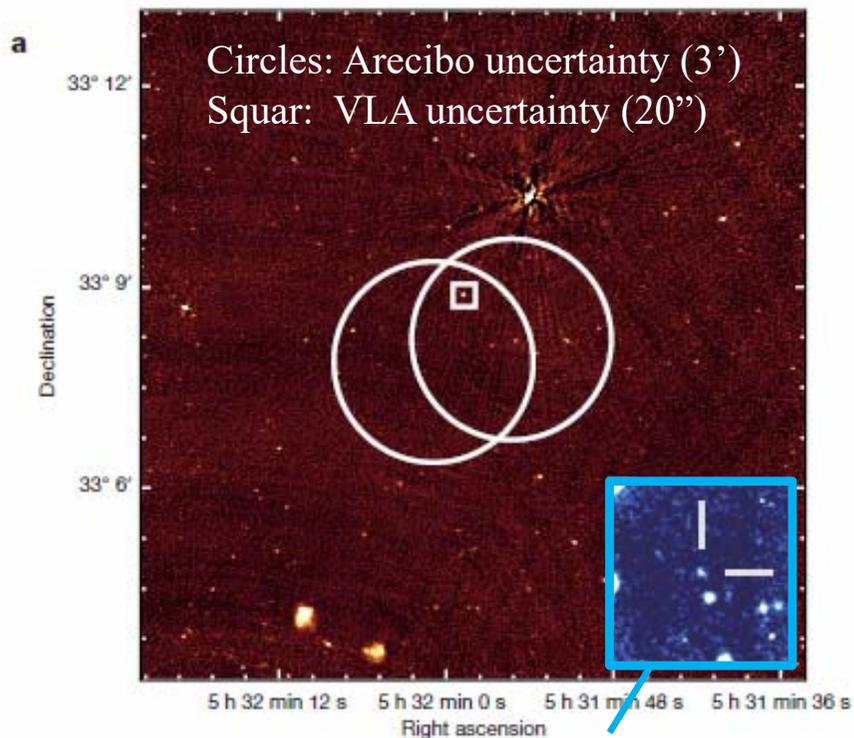
Persistent at 5GHz: color scale

→ milliarcsec uncertainty

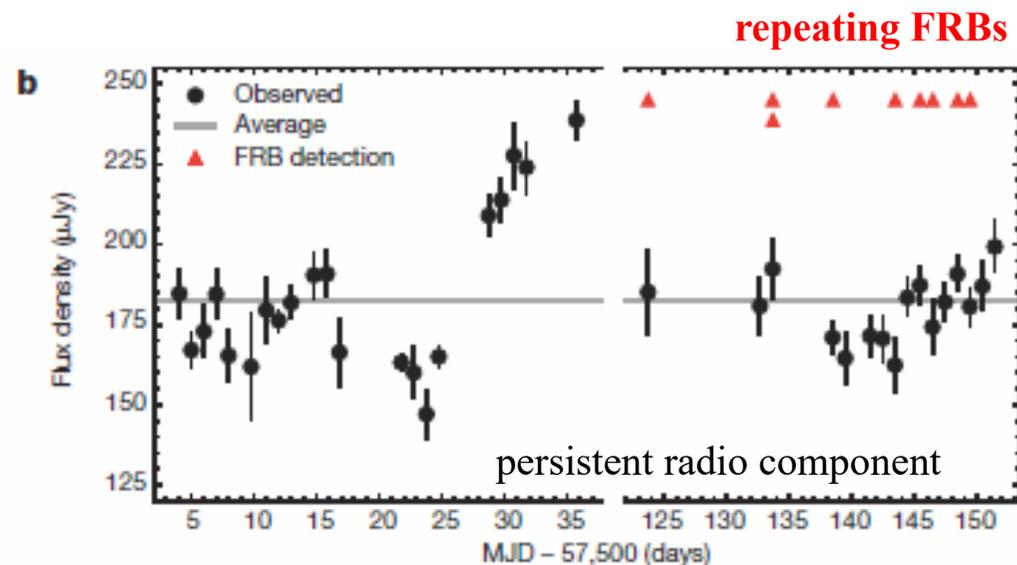
# FRB 121102

10 Jan 2017

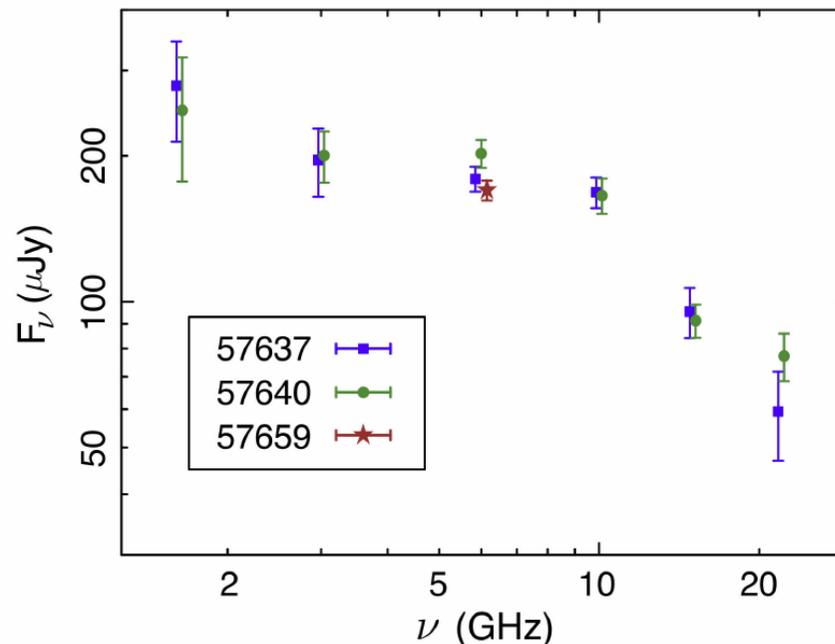
In addition to the repeating FRBs, a persistent counterpart is found (radio & optical).



Gemini r-band image



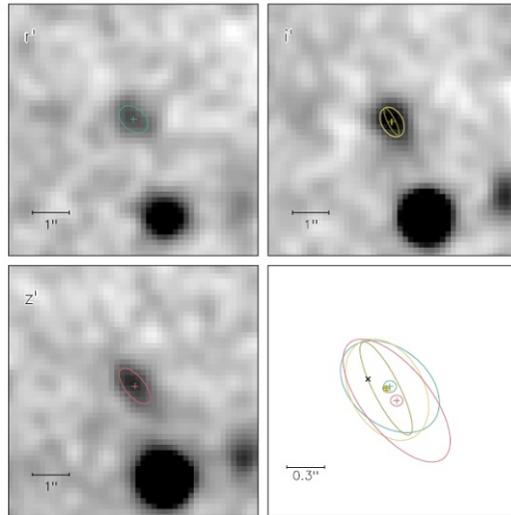
VLA spectrum of the persistent counterpart to FRB121102. The spectrum is non-thermal and inconsistent with a single power law.



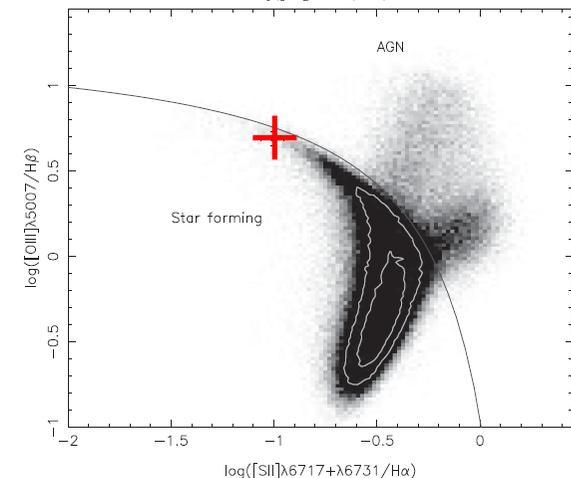
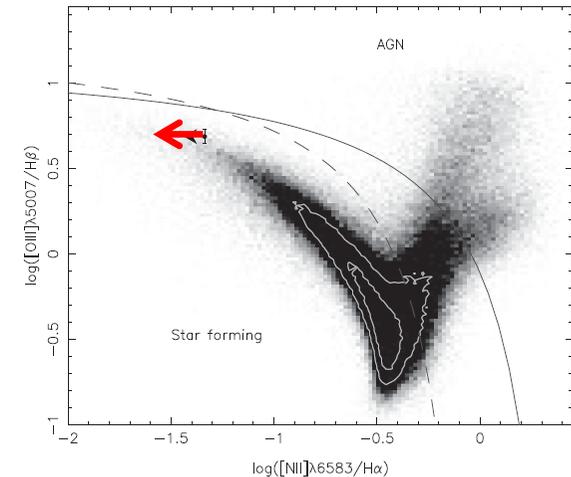
# The Host Galaxy and Redshift of the Repeating Fast Radio Burst FRB 121102

S. P. Tendulkar<sup>1</sup>, C. G. Bassa<sup>2</sup>, J. M. Cordes<sup>3</sup>, G. C. Bower<sup>4</sup>, C. J. Law<sup>5</sup>, S. Chatterjee<sup>3</sup>, E. A. K. Adams<sup>2</sup>, S. Bogdanov<sup>6</sup>, S. Burke-Spolaor<sup>7,8,9</sup>, B. J. Butler<sup>7</sup>, P. Demorest<sup>7</sup>, J. W. T. Hessels<sup>2,10</sup>, V. M. Kaspi<sup>1</sup>, T. J. W. Lazio<sup>11</sup>, N. Maddox<sup>2</sup>, B. Marcote<sup>12</sup>, M. A. McLaughlin<sup>8,9</sup>, Z. Paragi<sup>12</sup>, S. M. Ransom<sup>13</sup>, P. Scholz<sup>14</sup>, A. Seymour<sup>15</sup>, L. G. Spitler<sup>16</sup>,

Gemini Multi-Object Spectrograph (GMOS) atop Mauna Kea



After the identification of the host galaxy, its spectral property as well as  $z$  is determined.



The host galaxy turns out to be a dwarf, star-forming galaxy of  $(4-7) \times 10^7 M_{\text{sun}}$  at  $z=0.19273$  (972Mpc)

Nature on October 10th, 2018.

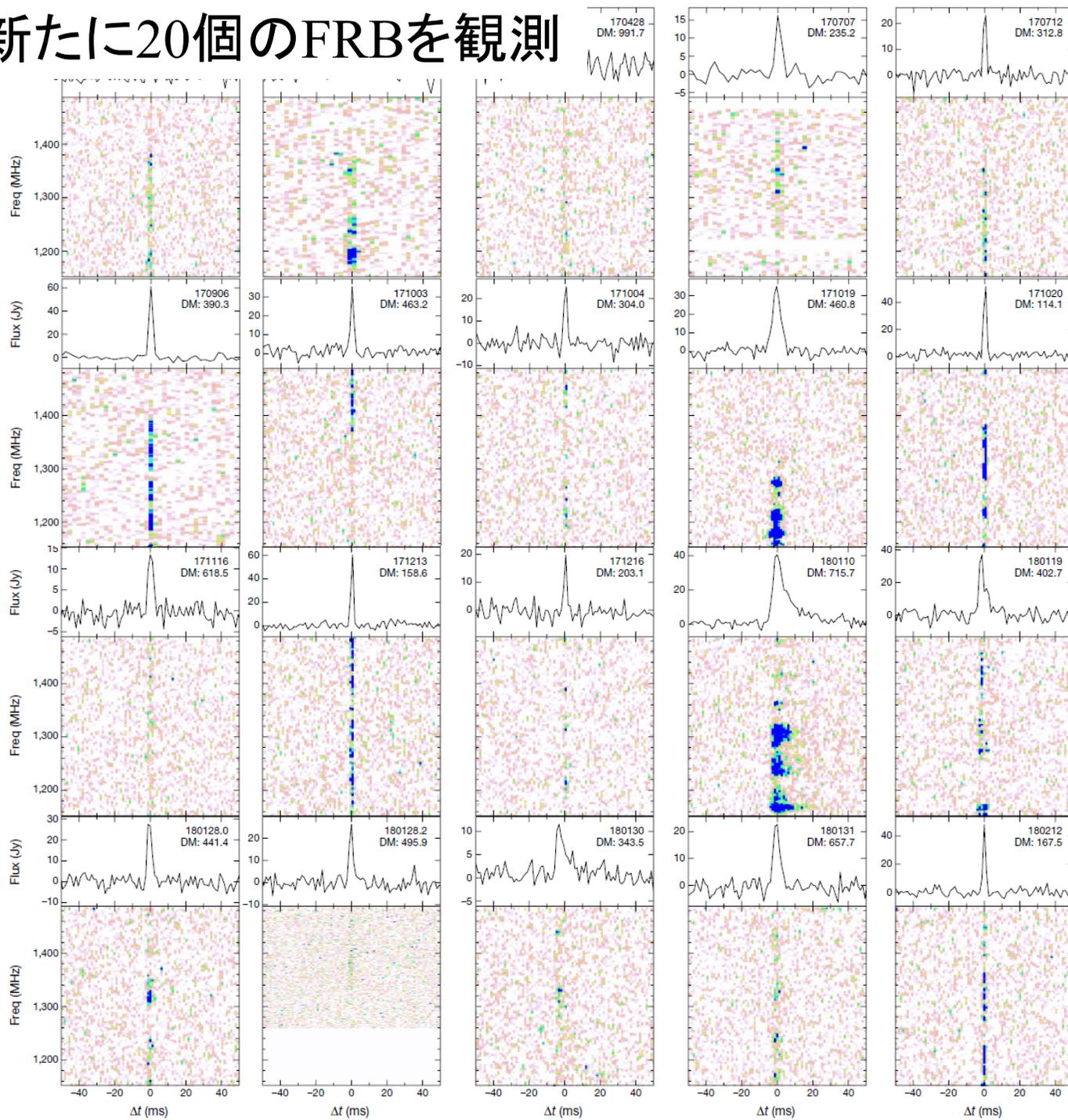
# The dispersion–brightness relation for fast radio bursts from a wide–field survey

R. M. Shannon<sup>1,2,3,4\*</sup>, J. –P. Macquart<sup>3,5\*</sup>, K. W. Bannister<sup>4</sup>, R. D. Ekers<sup>3,4</sup>, C. W. James<sup>3,5</sup>, S. Osłowski<sup>1</sup>, H. Qiu<sup>4,5,6</sup>, M. Sammons<sup>3</sup>, A. W. Hotan<sup>7</sup>, M. A. Voronkov<sup>4</sup>, R. J. Beresford<sup>4</sup>, M. Brothers<sup>4</sup>, A. J. Brown<sup>4</sup>, J. D. Bunton<sup>4</sup>, A. P. Chippendale<sup>4</sup>, C. Haskins<sup>7</sup>, M. Leach<sup>4</sup>, M. Marquarding<sup>4</sup>, D. McConnell<sup>4</sup>, M. A. Pilawa<sup>4</sup>, E. M. Sadler<sup>5,6</sup>, E. R. Troup<sup>4</sup>, J. Tuthill<sup>4</sup>, M. T. Whiting<sup>4</sup>, J. R. Allison<sup>8</sup>, C. S. Anderson<sup>7</sup>, M. E. Bell<sup>4,5,9</sup>, J. D. Collier<sup>4,10</sup>, G. Gürkan<sup>7</sup>, G. Heald<sup>7</sup> & C. J. Riseley<sup>7</sup>



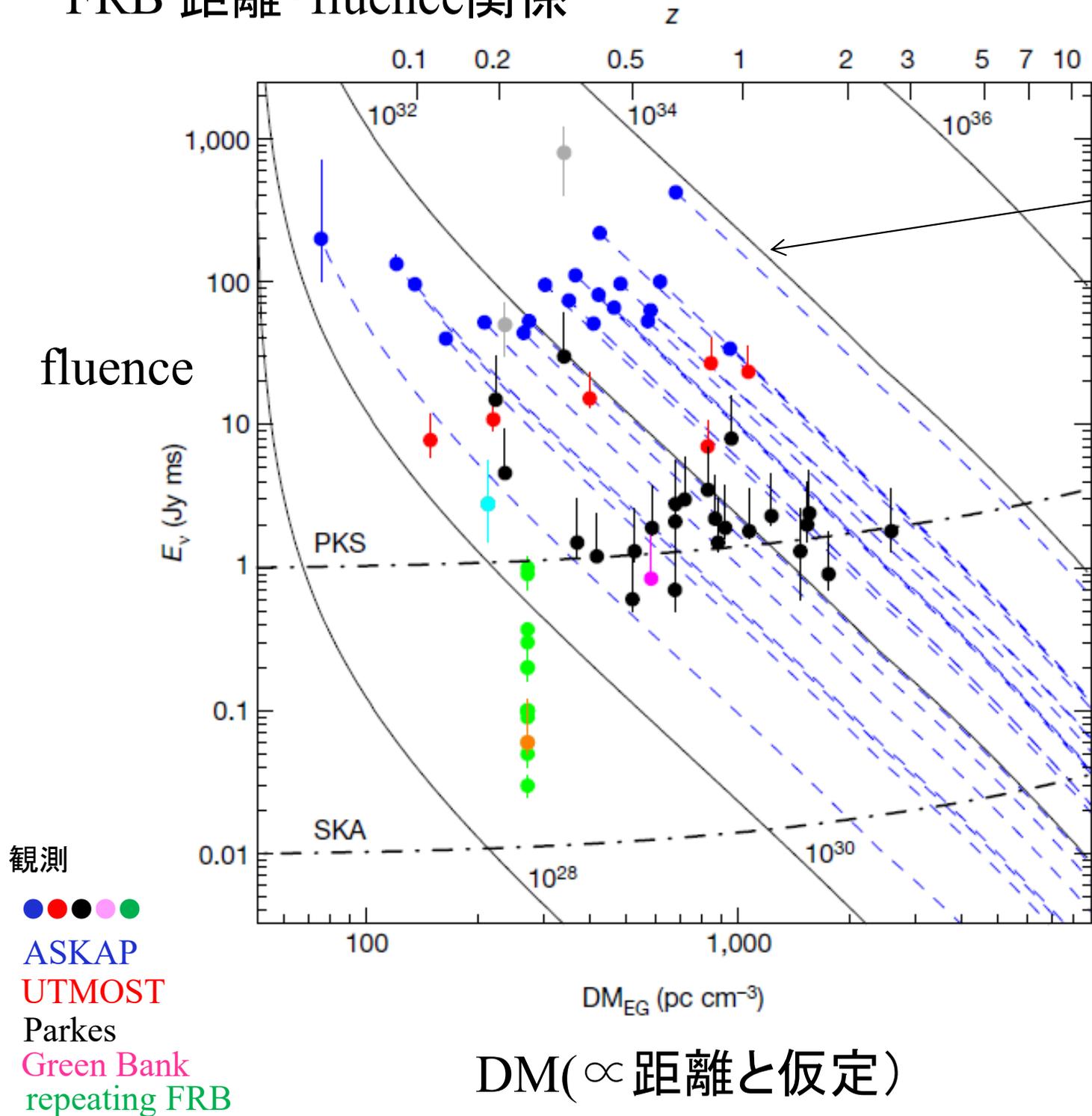
ASKAP: Australian SKA Pathfinder

# ASKAP: 新たに20個のFRBを観測



(TOAの周波数逆二乗遅延は補正済)

# FRB 距離・fluence関係



エネルギー  
一定の曲線  
(この線は  
 $10^{34}$ erg/Hz)

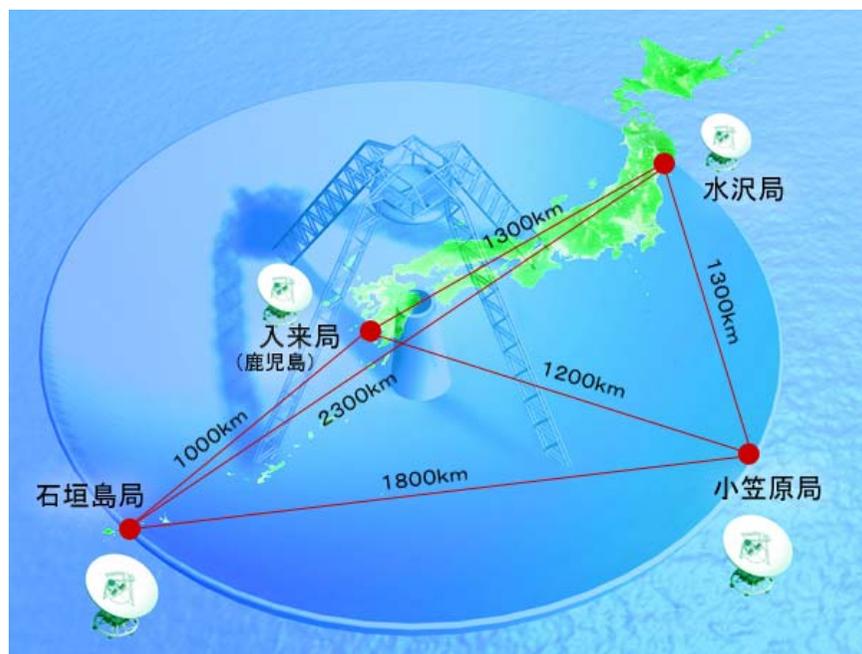
total energy  
 $< 10^{34}$ erg/Hz  $\times$  1GHz  
 $< \sim 10^{43}$ erg

c.f.  
SN  $\sim 10^{51}$ erg  
quasar  $\sim 10^{47}$ erg/s

FRB: 日本からの寄与?

日本でavailableなアンテナは、1つ1つは国際的にみれば中型以下だが、多数を組み合わせることで、展望が開けるのではないだろうか。

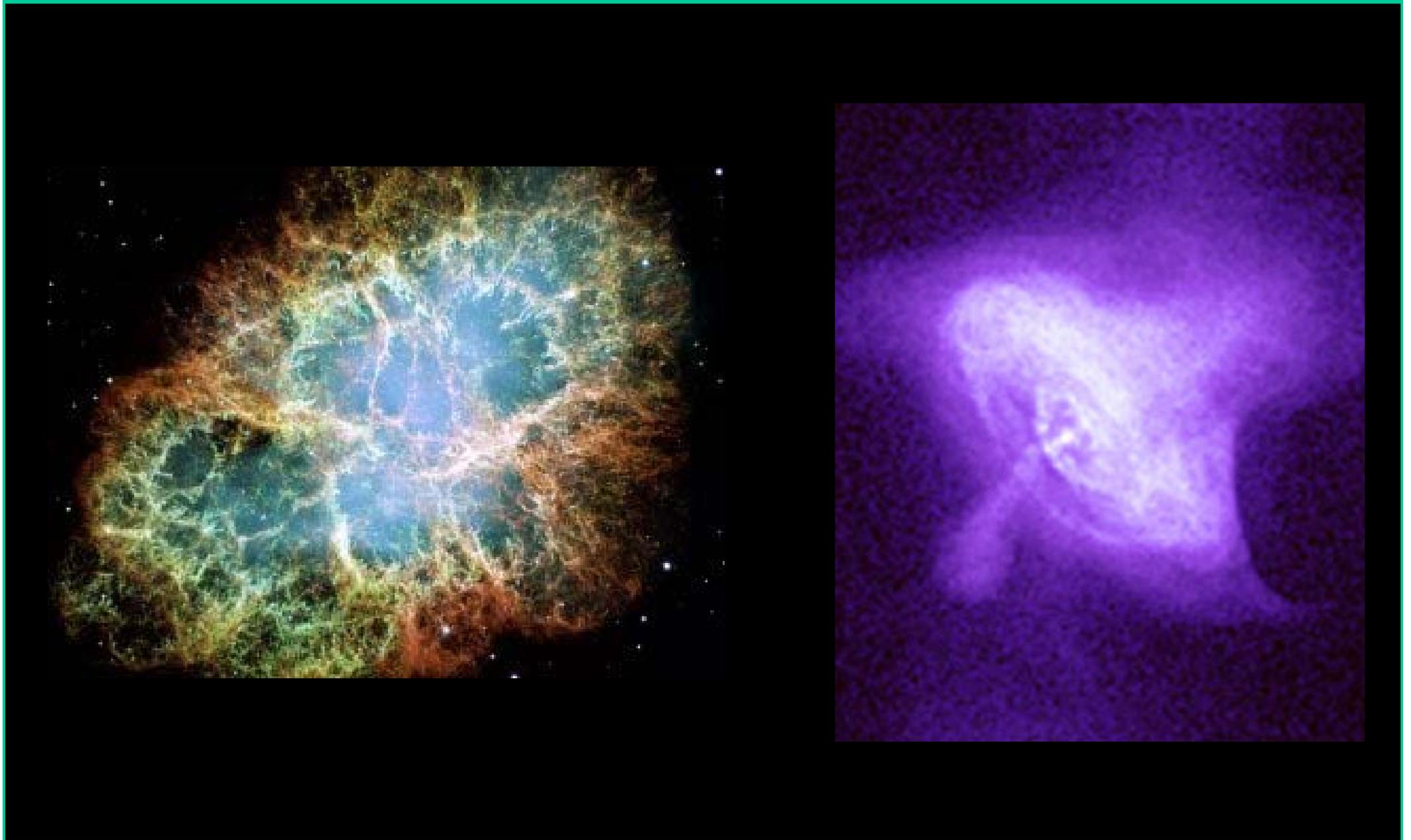
VERAシステム 20m鏡4台  
(通常22GHz、43GHz)



ASKAP: Australian SKA Pathfinder

本間さんを中心にFRB探査計画の企画中  
2019にテスト観測開始の予定(2GHz帯受信機整備)  
(データ処理体制、通報体制の整備が急務)

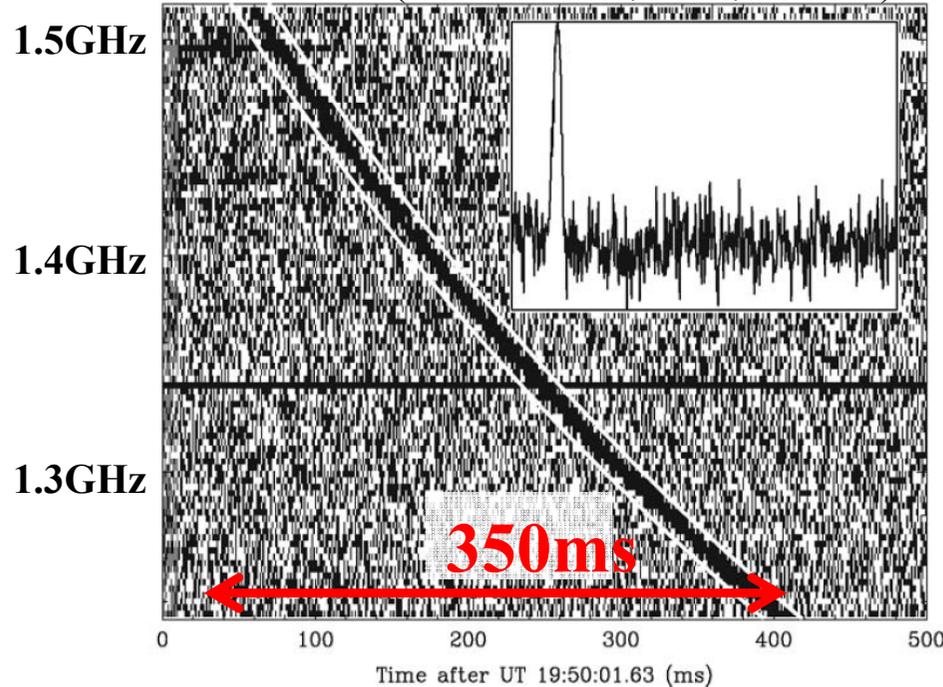
# Crab nebulaとパルサー



(左:すばる光学観測、右:Chandra X線観測)

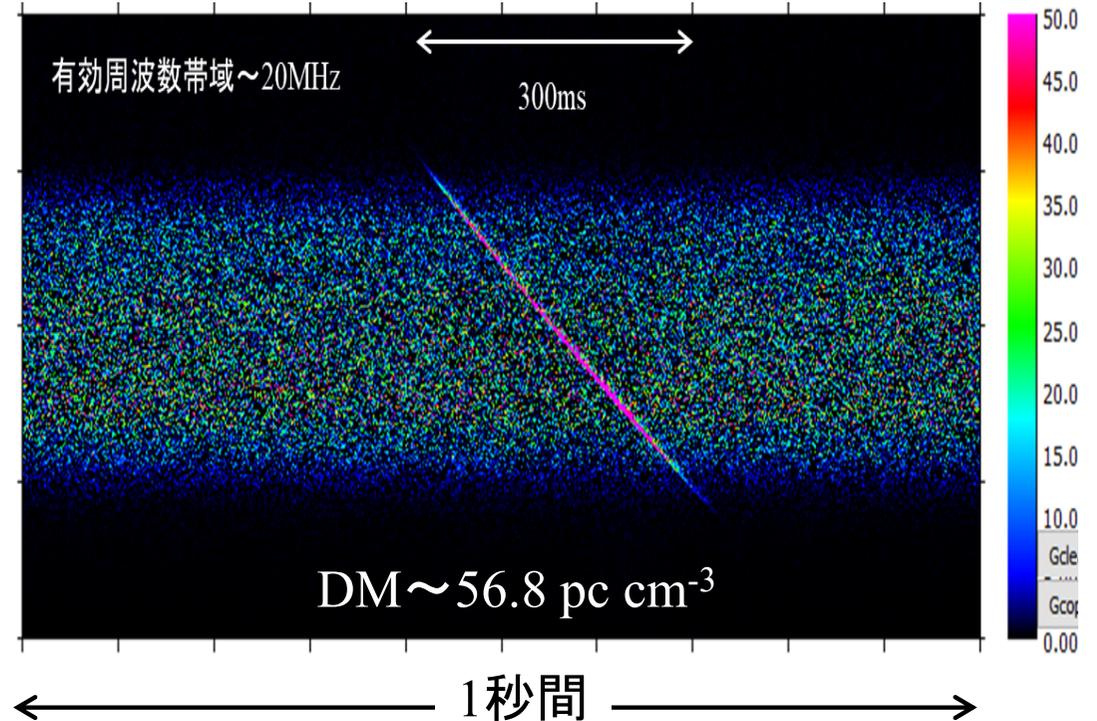
# FRB and Crab pulsar's pulse

FRB “Lorimer burst”  
(Lorimer et al., 2007, Science)



↑DM~375 pc cm<sup>-3</sup>

Crab pulsar's GRP、観測: 名大豊川observatory  
at 327±10MHz (2017)



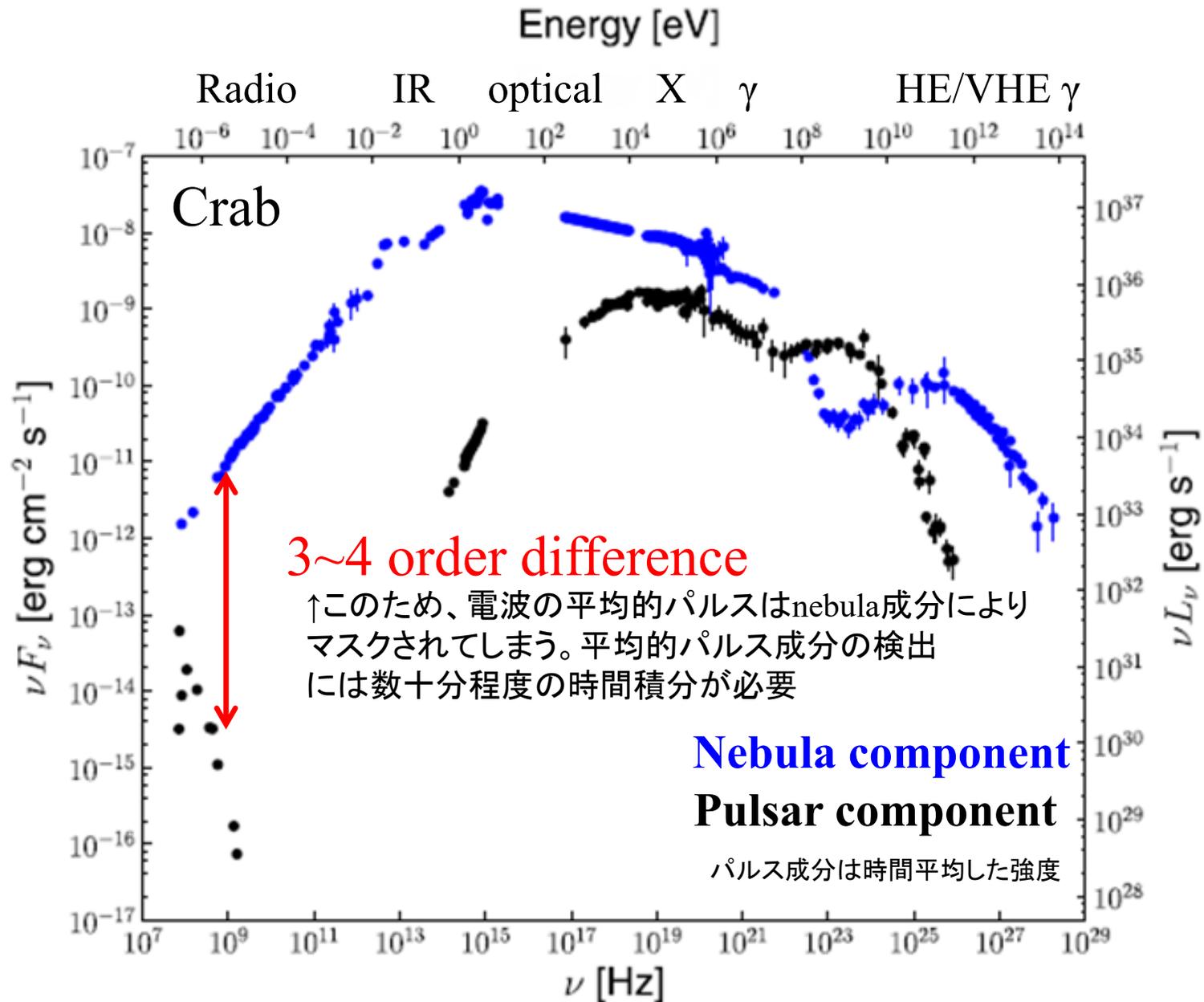
Crabパルサーの周期は約33msなので、上の1秒間には30個のパルスがあるはずだが、見えているのは1つだけである。

→巨大電波パルス (Giant Radio Pulse=GRP) と呼ばれる (それ以外の普通のパルスは Crab nebulaのノイズに埋もれている)

Dispersion Measure (DM)  $\equiv$  column density (cm<sup>-2</sup>)    1pc cm<sup>-3</sup>  $\sim$  3 × 10<sup>18</sup> cm<sup>-2</sup>

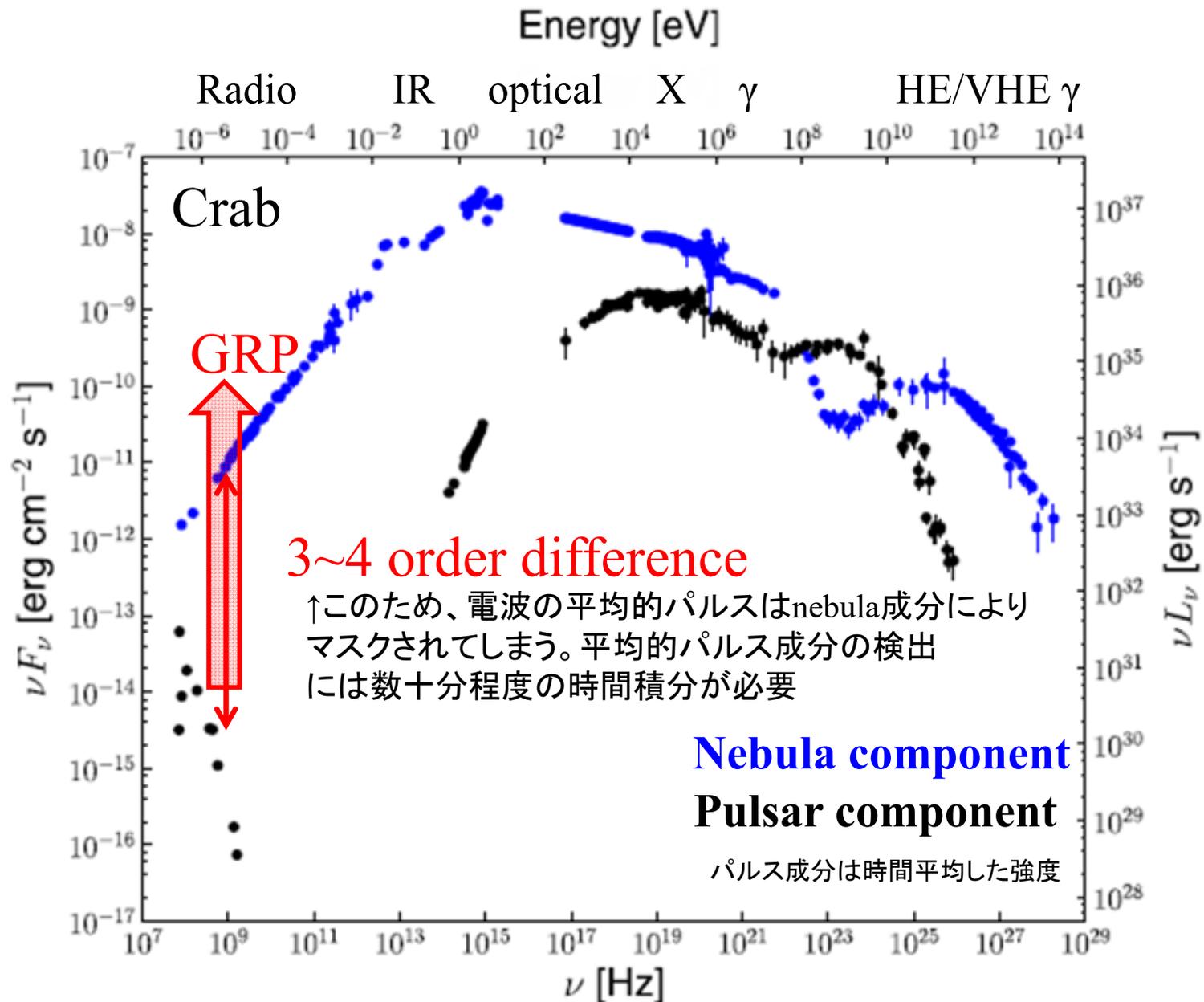
# Radiation from shock-accelerated relativistic electrons in the *Crab nebula*

Radiation from  $e^+/e^-$  accelerated within the **pulsar's** magnetosphere



# Radiation from shock-accelerated relativistic electrons in the *Crab nebula*

Radiation from  $e^+/e^-$  accelerated within the **pulsar's** magnetosphere



# Brightness temperature

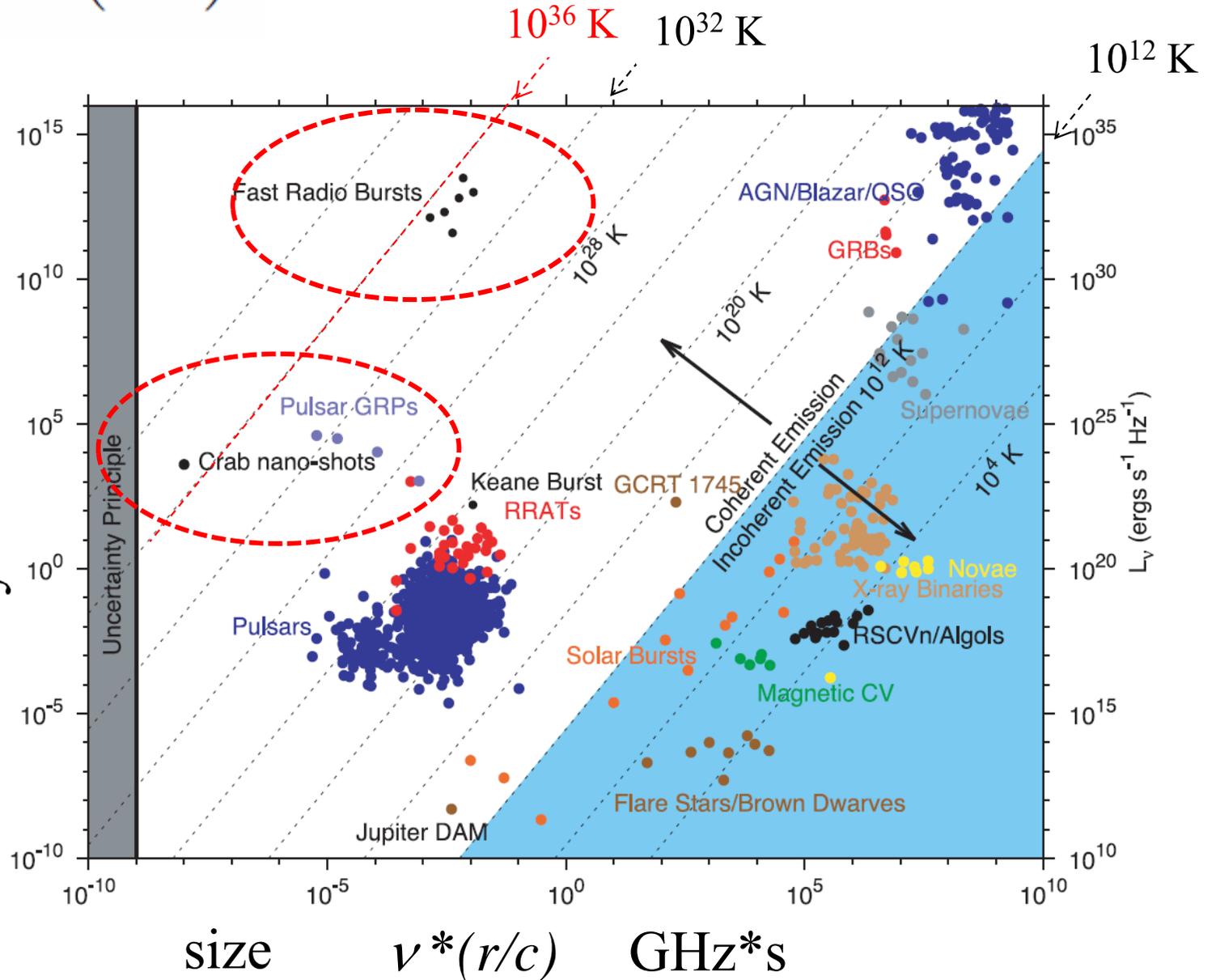
(Pietka+ 2015)

$$T_b = \frac{S_\nu}{2k} \left( \frac{d}{\nu \Delta t} \right)^2 \sim 3 \times 10^{35} \text{ K } S_{\nu, \text{Jy}} (d_{\text{Gpc}} / \nu_{\text{GHz}} \Delta t_{\text{ms}})^2$$

FRBとGRPの類似性は表面的なものだけでなく物理的なものである可能性

$S_\nu d^2$

luminosity  $L_\nu$  (Jy kpc<sup>2</sup>)



assumption [characteristic time scale] = size/c

# パルサー電波の周波数依存性

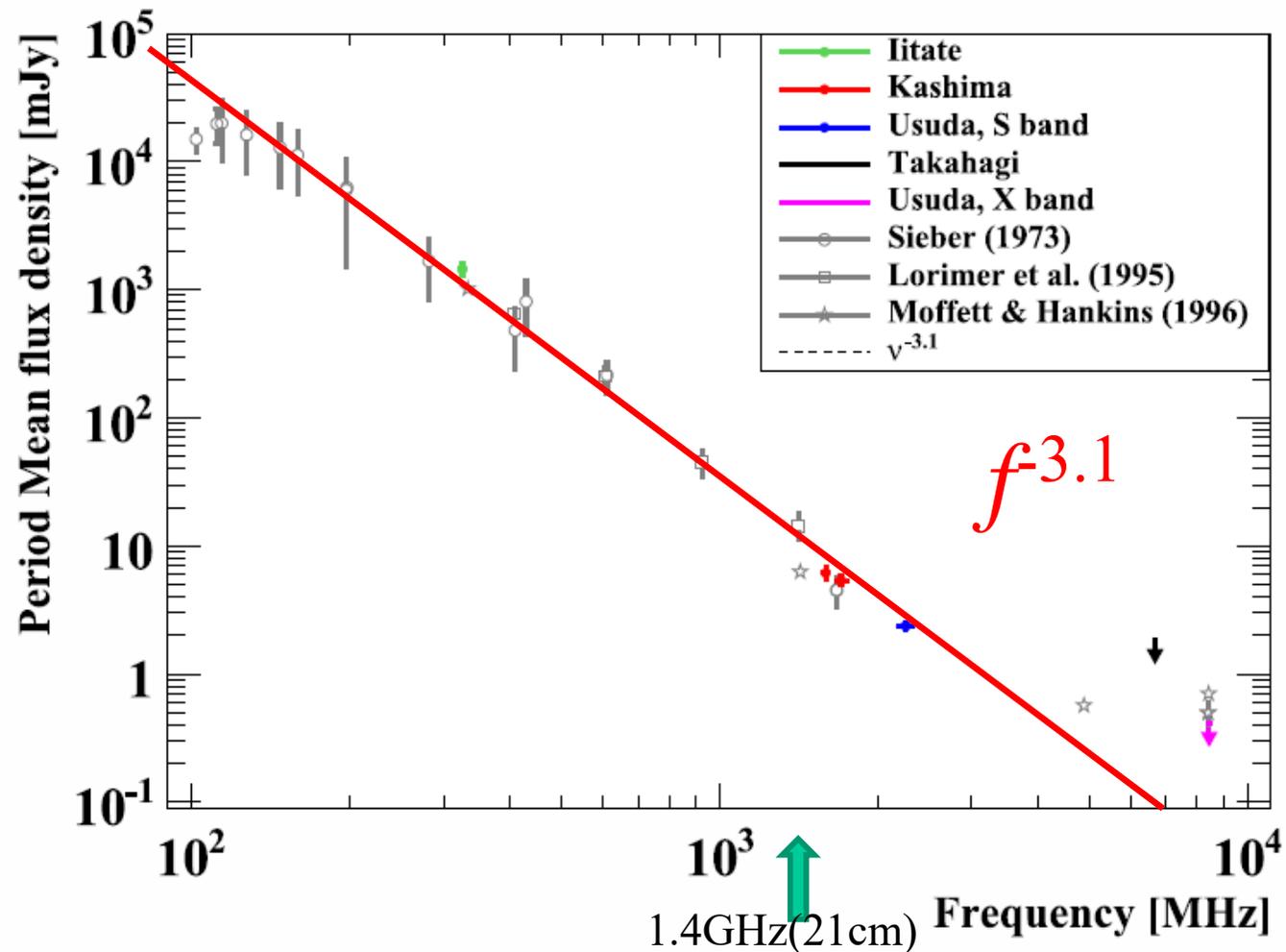
パルサー観測には数百MHz～数GHzが適しており、それ以上では周波数とともに急激に強度が低下

→野辺山45m鏡は高周波数に限られる(40GHz以上)。ALMAも同様。

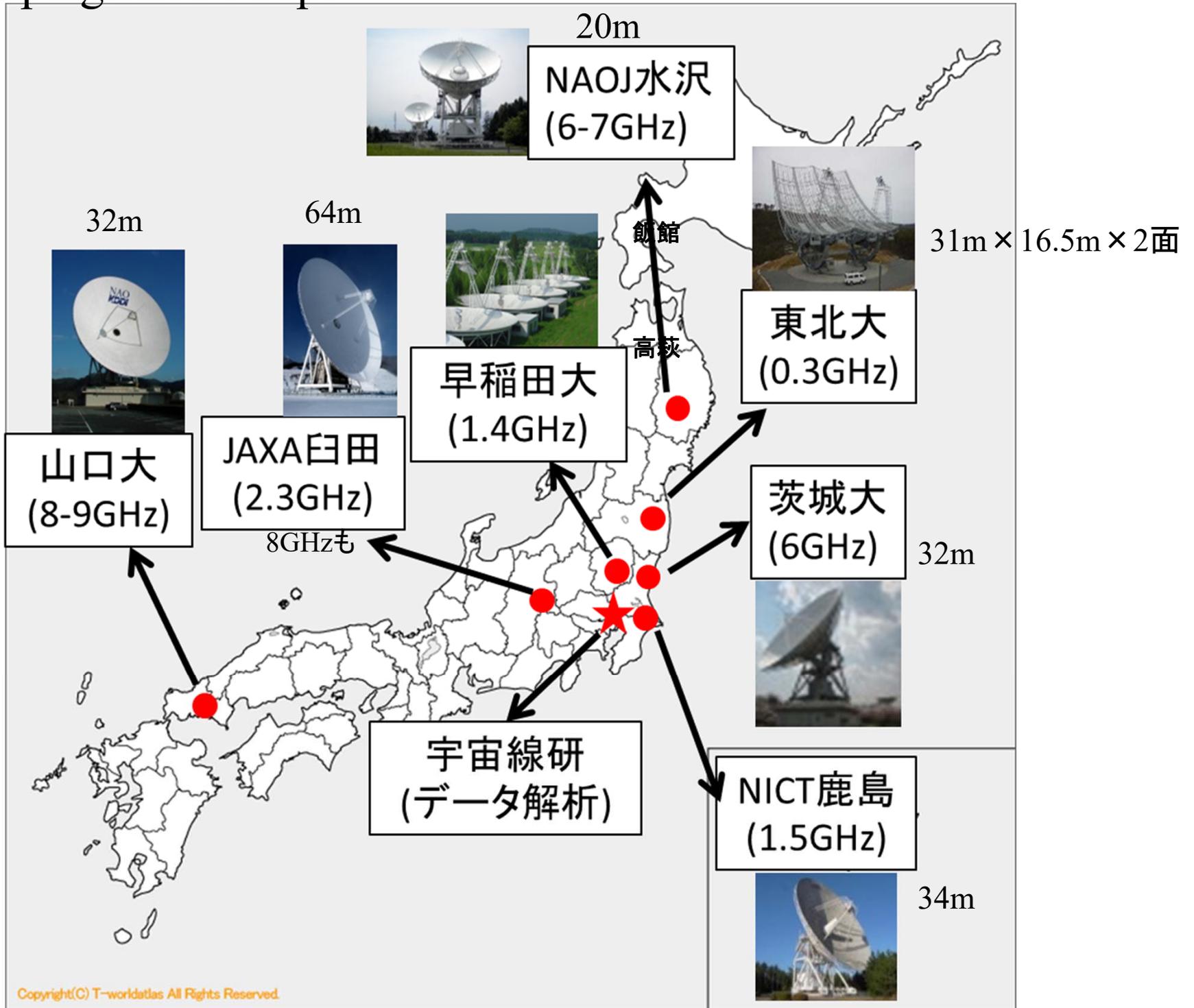
→日本国内の30m超アンテナで1.4GHz(21cm)帯の観測が可能なのは臼田64m鏡と鹿島34m鏡に限られる。

(300MHz帯なら、東北大飯館と名大豊川がある)。

Crabパルサー  
(平均パルス  
強度)



# Crab campaign 2014 Sept



Crab pulsar

2014/09/07

01:32:49-

51UTC

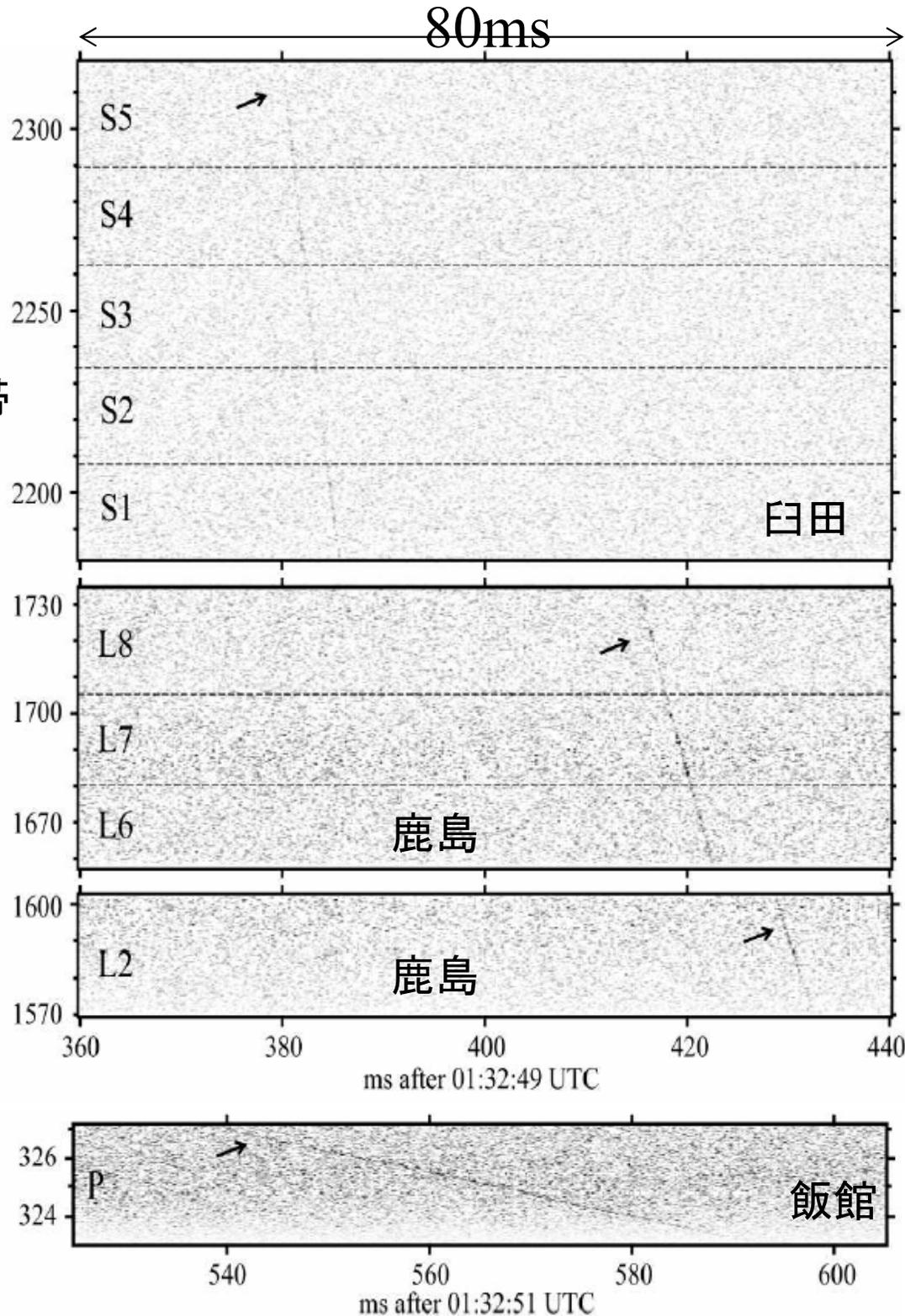
2.2GHz帯

Frequency (MHz)

1.7GHz帯

1.6GHz帯

0.3GHz帯



Mikami+ 2016

見つけたGRPの1つ。

←周波数逆二乗に  
比例した群遅延あり  
(DM~56.78)

6GHz、8GHzではS/N  
が悪く、これと同様  
には示せないが、群遅  
延補正を施すとパルス  
の存在が見えてくる

## Crab pulsar

A GRP observed in all  
frequency bands between  
325MHz and 8.4GHz

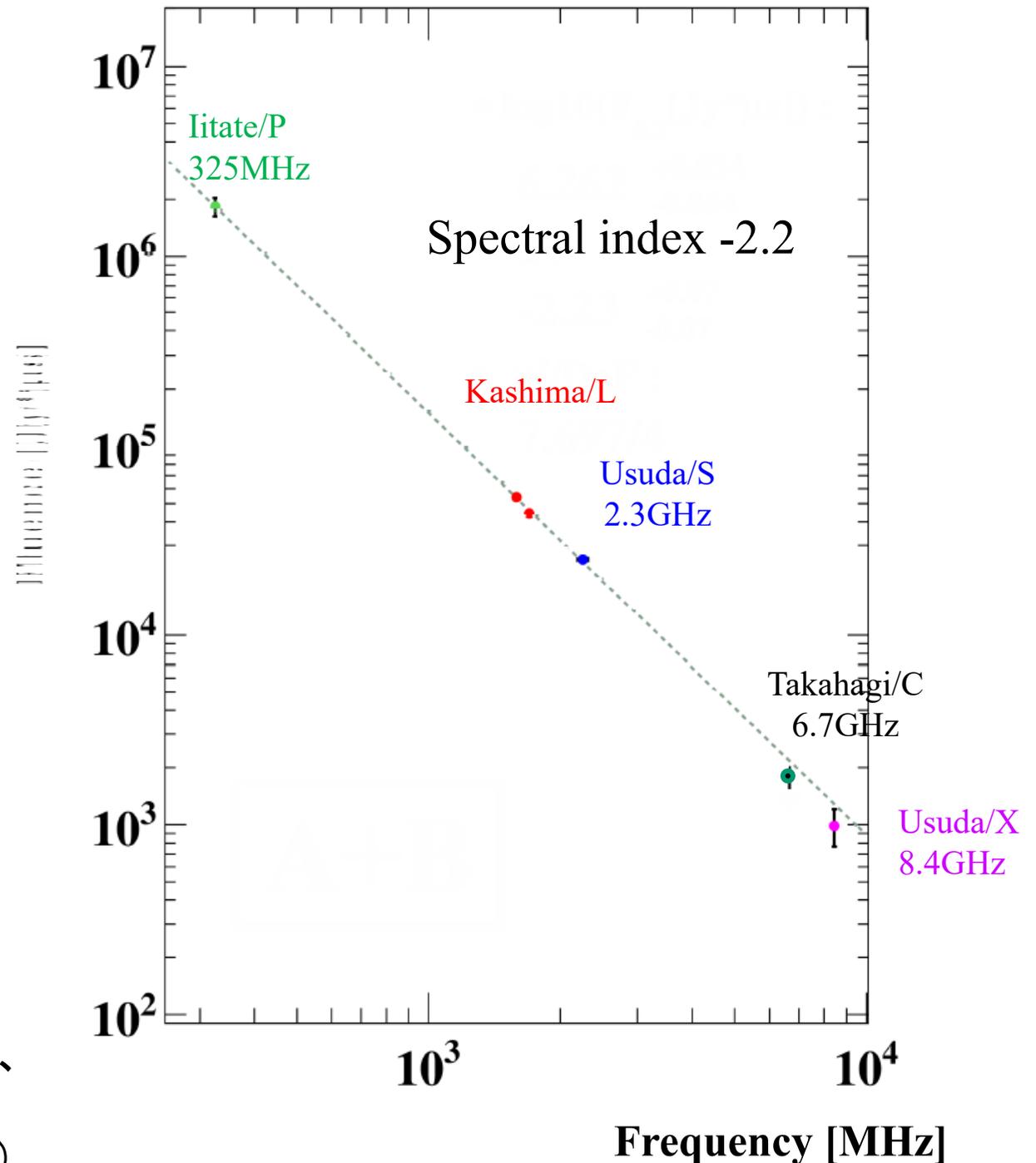
2016現在で報告された  
最も広帯域のMP GRPの例  
となった。(Mikami+2016)  
この例では周波数スペクトル  
はほぼべき型である。

GRP数百個の解析  
→「約半分がべき型、  
そうでないものが残り半分」

三上諒東京大学博士論文(2016.3)

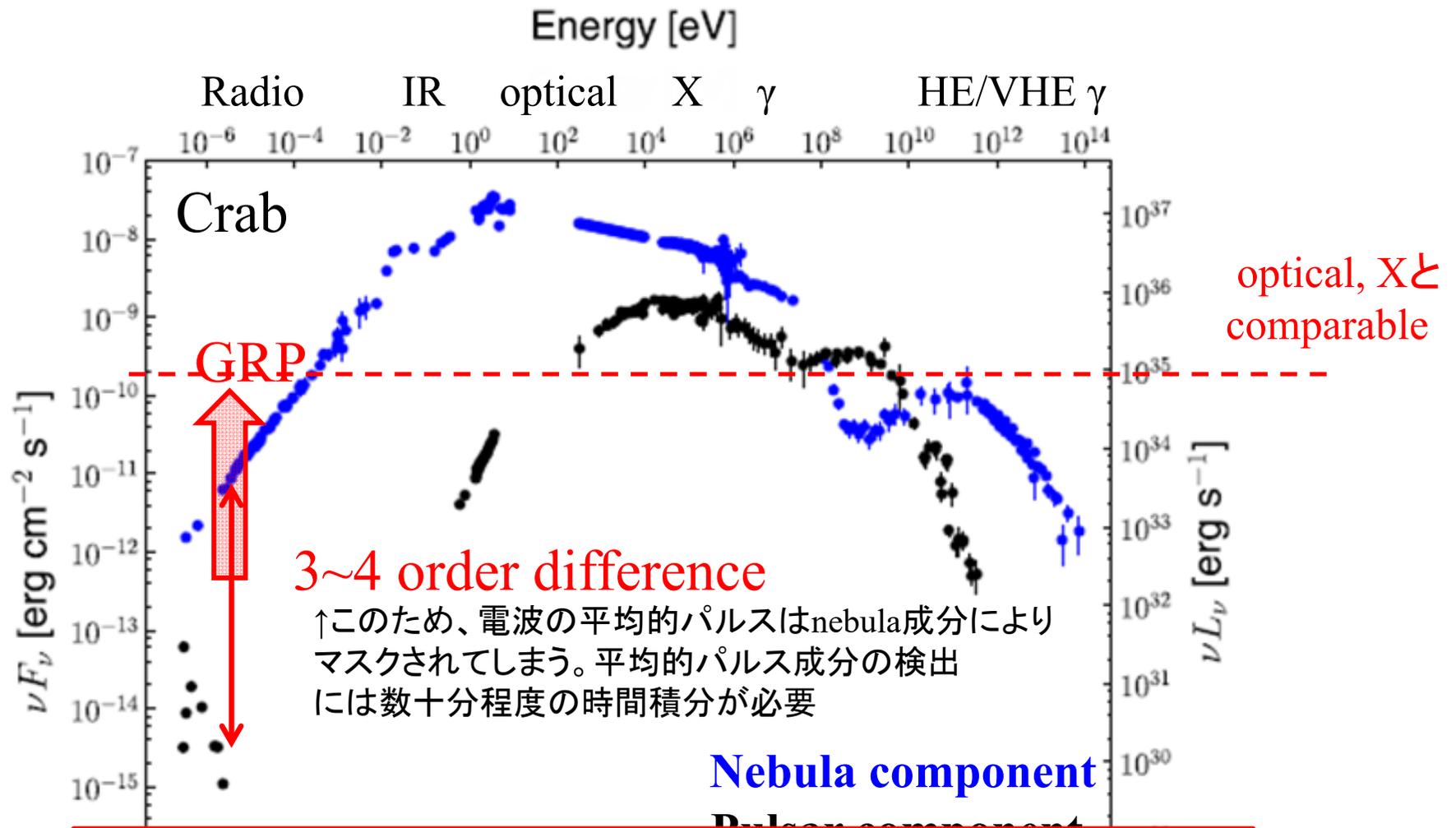
ApJ 832:212 (25pp) 2016 Dec

↑  
Crabパルサー電波観測について、  
日本からの初めての寄与  
(2009観測開始以来7年を要した)



# Radiation from shock-accelerated relativistic electrons in the Crab nebula

## Radiation from e<sup>+</sup>/e<sup>-</sup> accelerated within the **pulsar's** magnetosphere



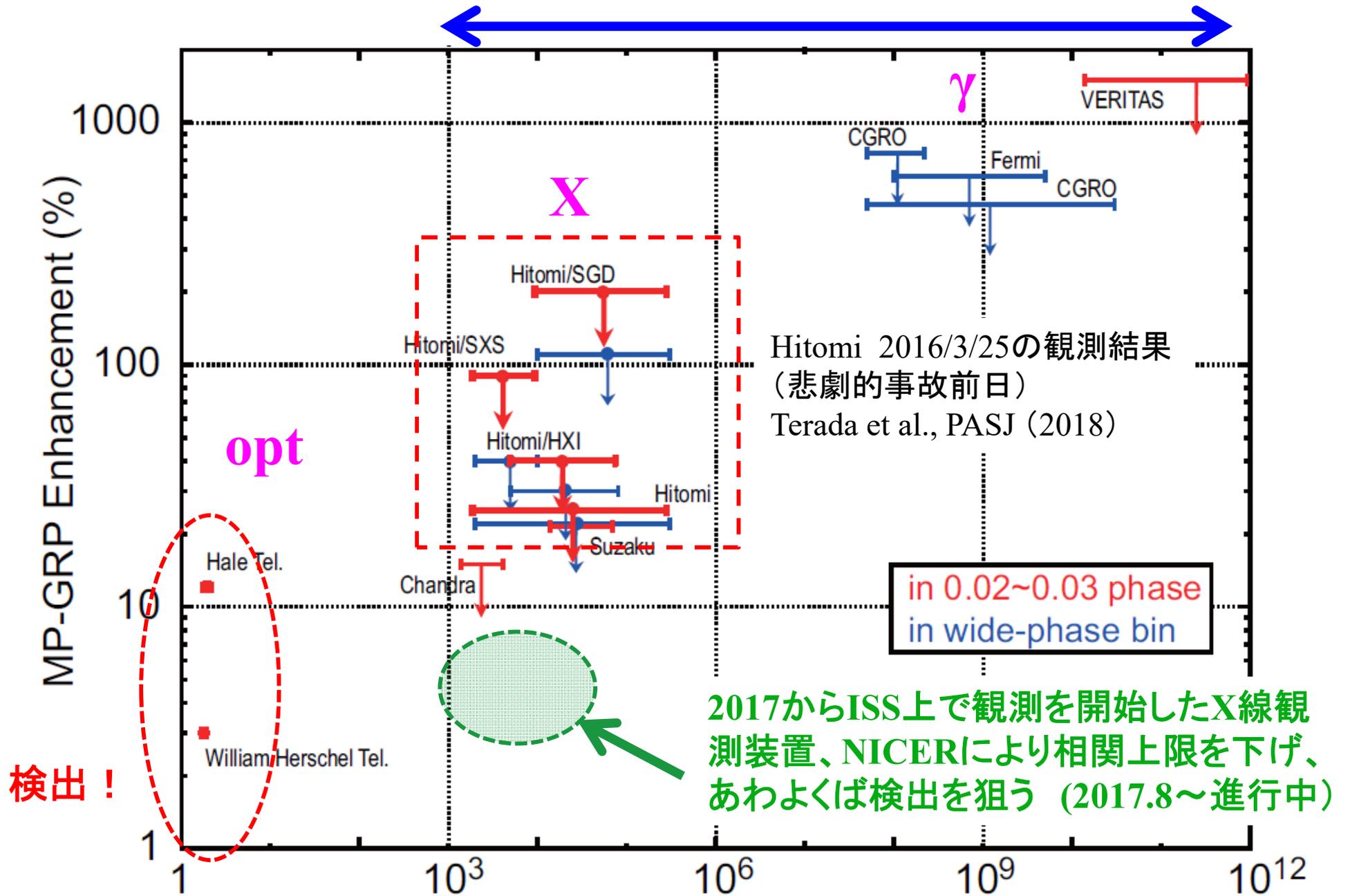
電波はcoherent radiation

opt~X, $\gamma$ はincoherent synchrotron/curvature radiation

と、輻射過程は別のものと思われており、相関は必ずしも期待されていなかった。

# GRPと他波長光子の相関

上限のみ



検出!

2017からISS上で観測を開始したX線観測装置、NICERにより相関上限を下げ、あわよくば検出を狙う (2017.8~進行中)

opt領域で数パーセントの相関あり  
(GRPと同時の光学パルスは数パーセント明るい)

←木曾Tomo-e Gozenで追観測中

# パルサー・突発天体の電波観測—日本の現状

寺澤敏夫

天文台・早稲田大・東大宇宙線研

## 1 突発天体：電波観測に関係した最近の話題

→FRB (fast radio bursts) ... 宇宙論的(?)電波源からのsingle pulse

→12月、**マグネター**XTE1810-197のX線・電波再増光

3 (ATEL#12284、#12297、...)

FRBの正体は依然不明だが、有力なモデルとして、若いマグネターからの巨大電波パルス (Giant radio pulses) 説がある。

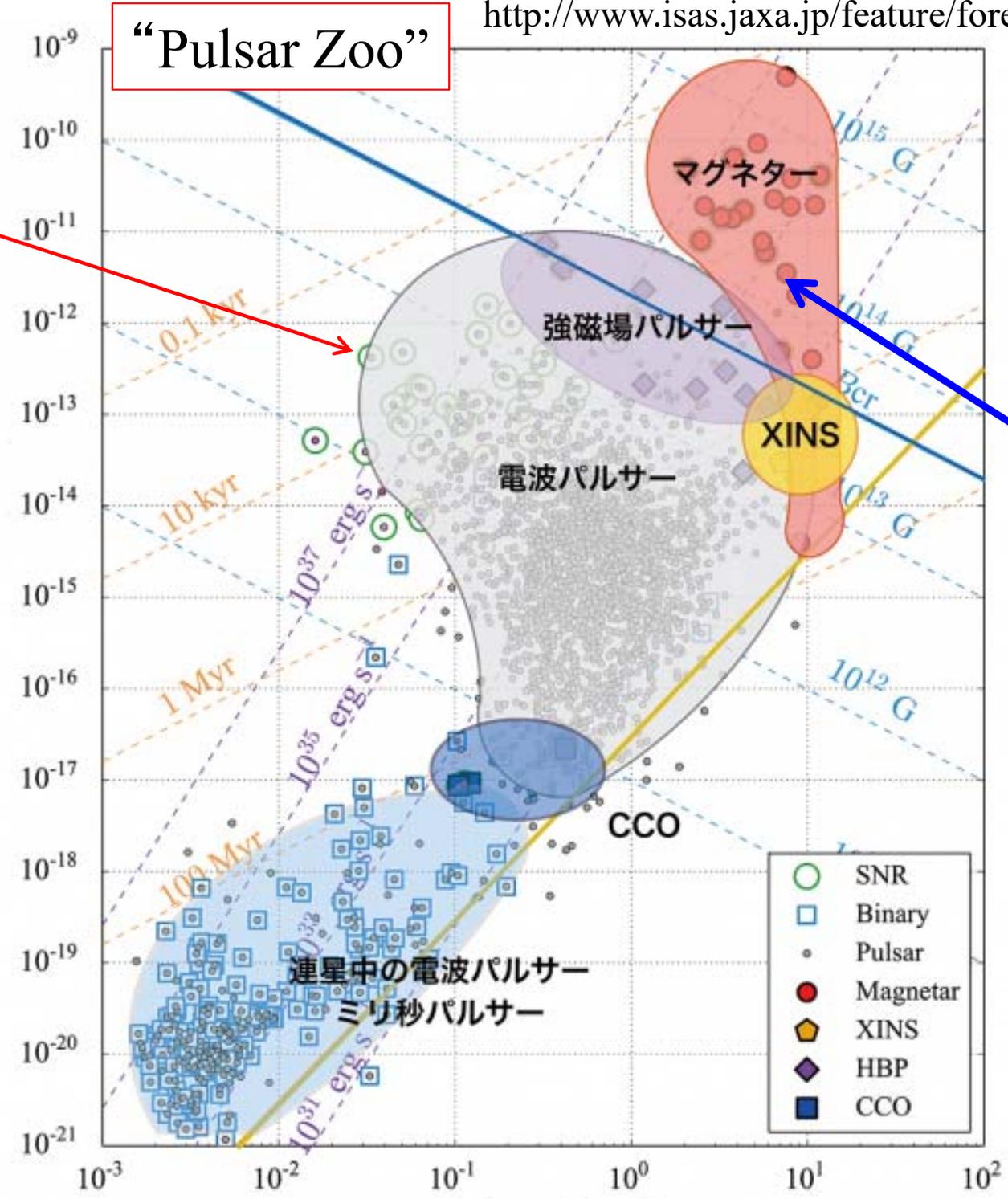
2 巨大電波パルス (Giant radio pulses) はこれまで20個程度の電波パルサーに見出されているが、こちらも輻射機構などは不明。しかし、最も有名なパルサーの1つであるCrabパルサーがGRPを放出することで知られている。

“Pulsar Zoo”

Crab pulsar

$P=0.0337$  s  
 $B=4e12$  G  
 $\tau=1e3$  yr  
 $\dot{E}=4e38$  erg/s

自転周期の変化率 (秒/秒)



XTEJ1810-197

$P=5.54$  s  
 $B=1.27e14$  G  
 $\tau=3.1e4$  yr  
 $\dot{E}=6.6e32$  erg/s

自転周期 (秒)



# Intense radio flare from the magnetar XTE J1810-197

ATel #12284  
*Manchester*,  
*Manchester*

**2018.12.8～に再び電波とX線で活動  
(ATel 12284, 12285, 12288, 12297,...)**

*Lina Levin (University of  
Munich)*  
*Michael Kaloger (University of  
Munich)*  
*Andreas Kluźniak (MPIfR, Bonn)*

*on 11 Dec 2018; 10:30 UT*

*Credential Certification: Lina Levin (Lina.Preston@manchester.ac.uk)*

Subjects: Radio, X-ray, Neutron Star, Pulsar, Magnetar

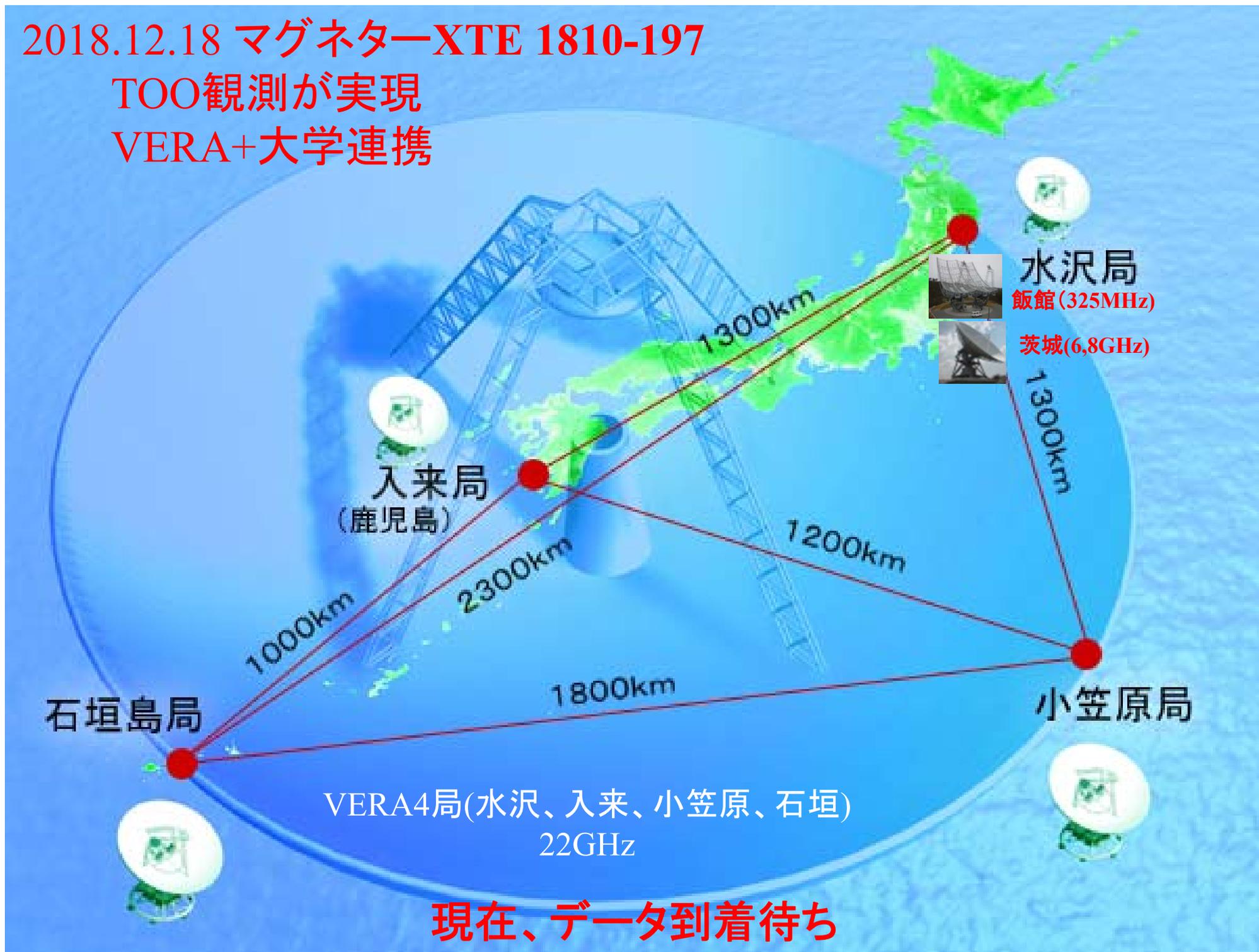
The magnetar XTE J1810-197, discovered following an X-ray outburst in 2003 (Ibrahim et al. 2004), was the first magnetar to have detected radio pulsations (Camilo et al. 2006). The onset of the radio emission appeared to be connected with the X-ray outburst. As the X-ray flux decayed over time (Bernardini et al. 2011), so did the radio flux until late 2008, when the source was no longer visible at radio frequencies (Camilo et al. 2016).

We are regularly monitoring XTE J1810-197 with the 76-m Lovell Telescope at Jodrell Bank Observatory. After 10 years in this quiescent state, intense radio emission from XTE J1810-197 was observed to have resumed on 2018 December 8 (MJD 58460.6), with a signal to noise ratio of over 400 in a 30-minute observation with a 384-MHz wide band centered at 1532 MHz. The spin-period measured over the two days following the re-detection observation ( $P = 5.5414391(1)$  s on MJD 58461.5) is somewhat smaller than value ( $P = 5.541463$  s) obtained from a 460-day extrapolation of the ephemeris derived from XMM-Newton, Chandra and NICER data (Pintore et al. 2018). The pulse shape is not dissimilar to shapes observed during some phases of the previous outburst at the same frequency.

2018.12.18 マグネター-XTE 1810-197

TOO観測が実現

VERA+大学連携



2018.12.18 マグネターXTE 1810-197

18日に先立って14日に飯館、茨城、鹿島で予備観測実施



飯館(325MHz)

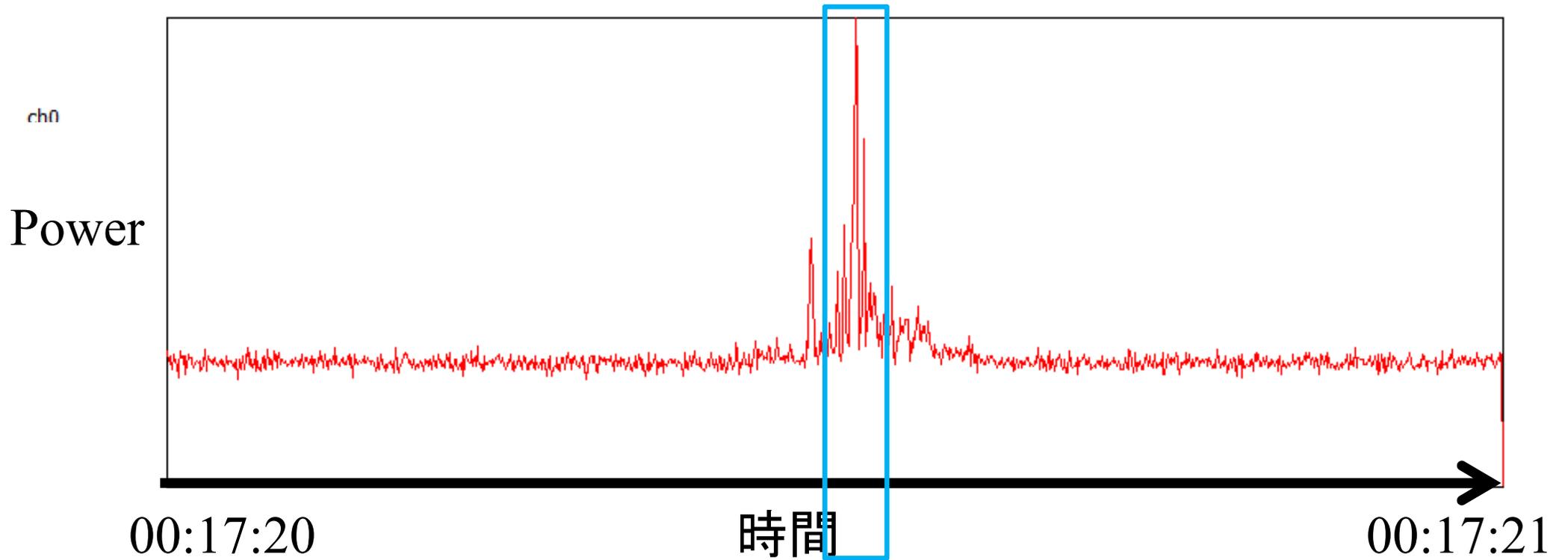


茨城(6,8GHz)

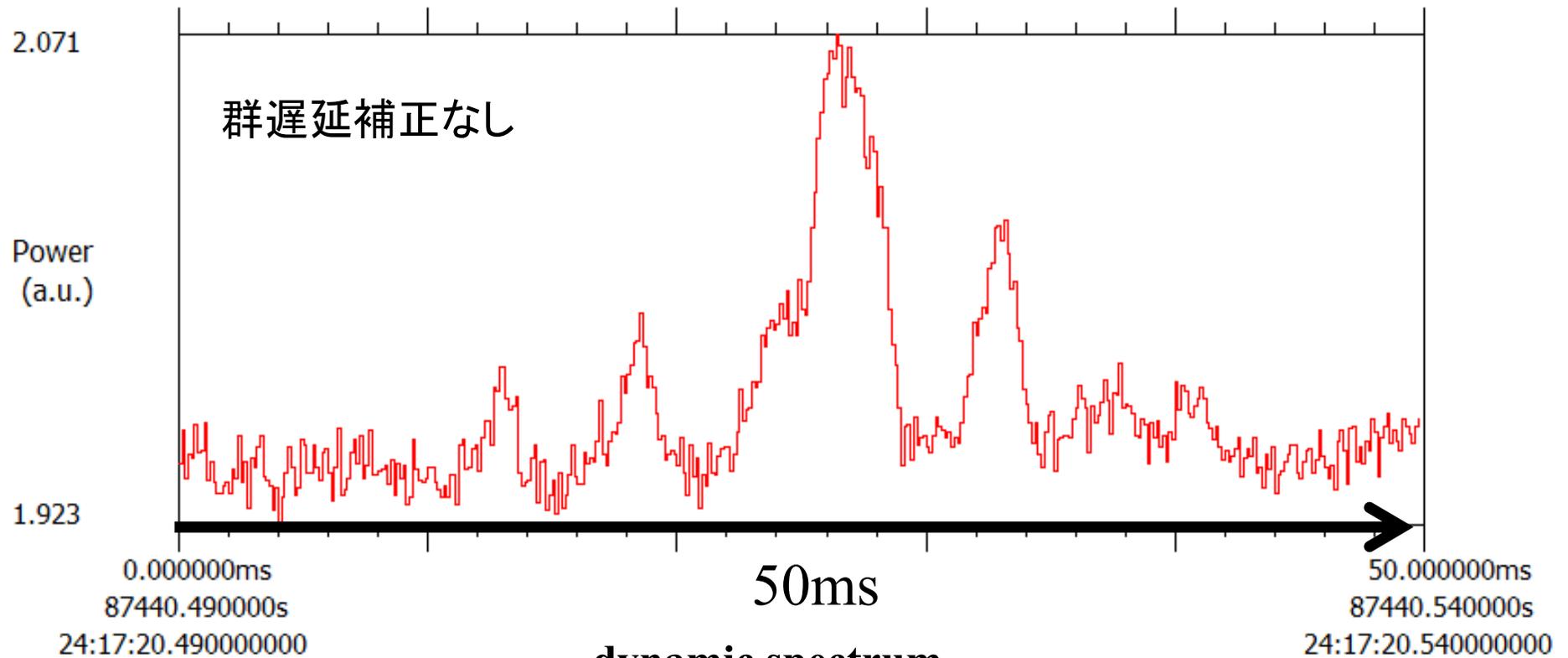


鹿島(2GHz)

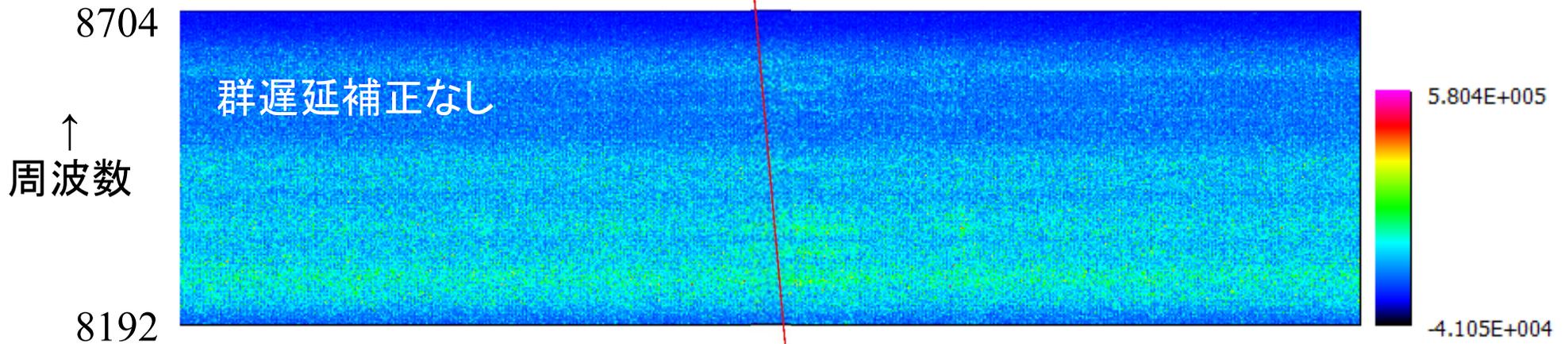
茨城の結果が昨日得られた。



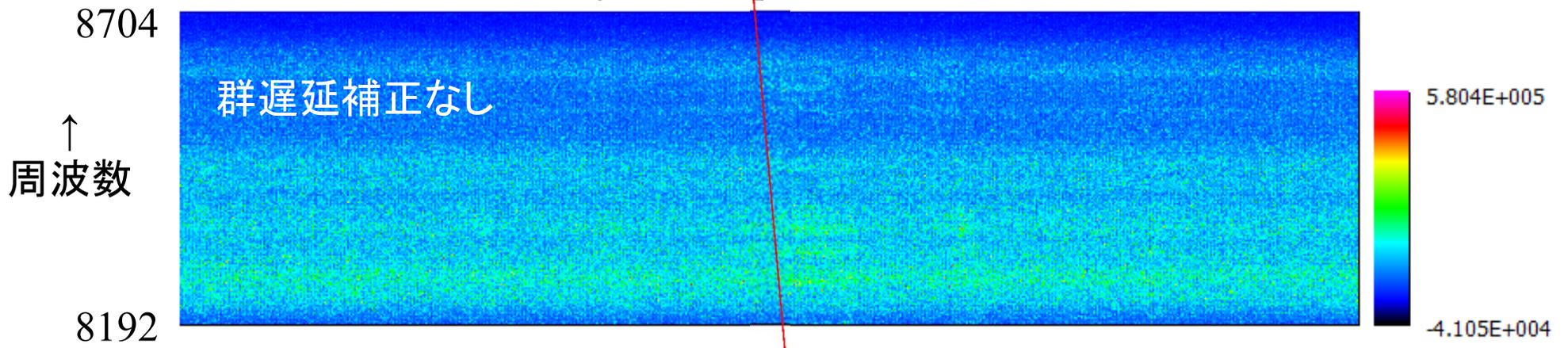
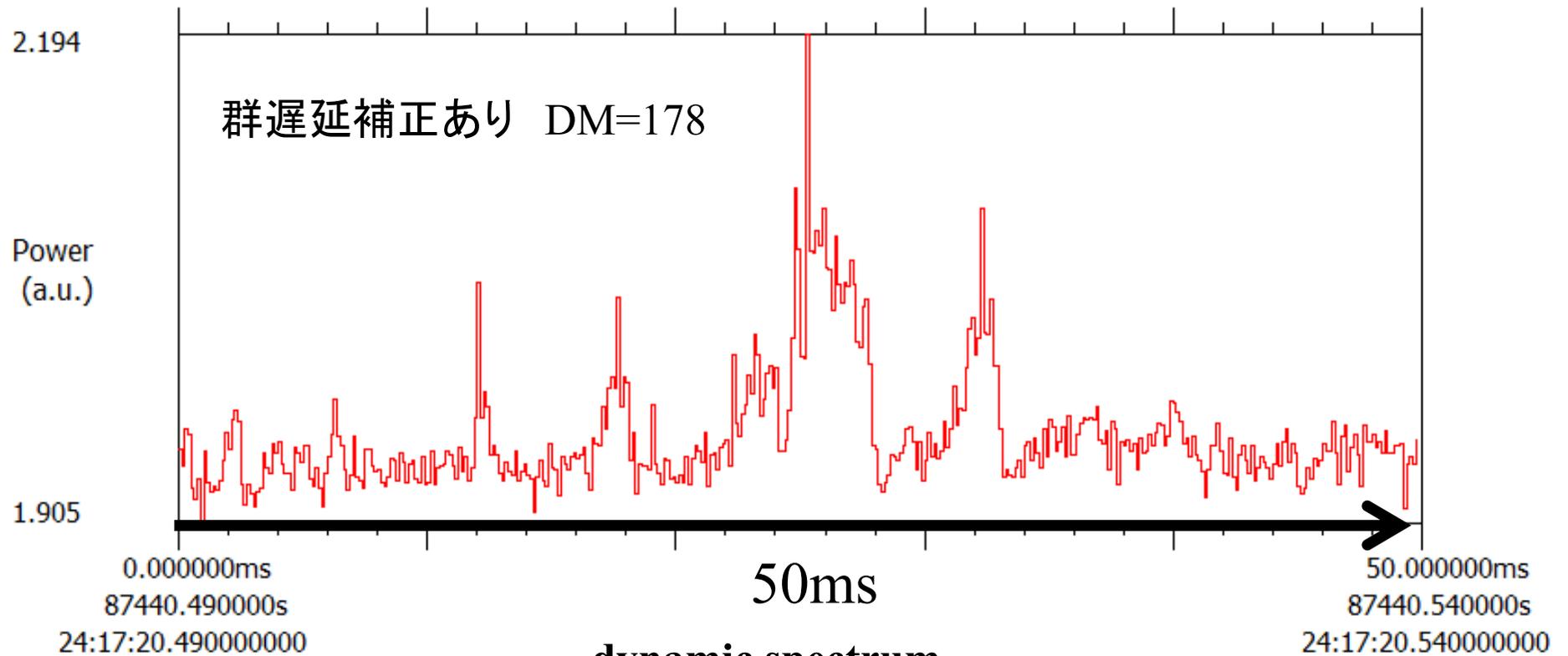
この部分を拡大して示す



dynamic spectrum



DM~178に対応した周波数依存性をもつ群遅延(1.3ms)

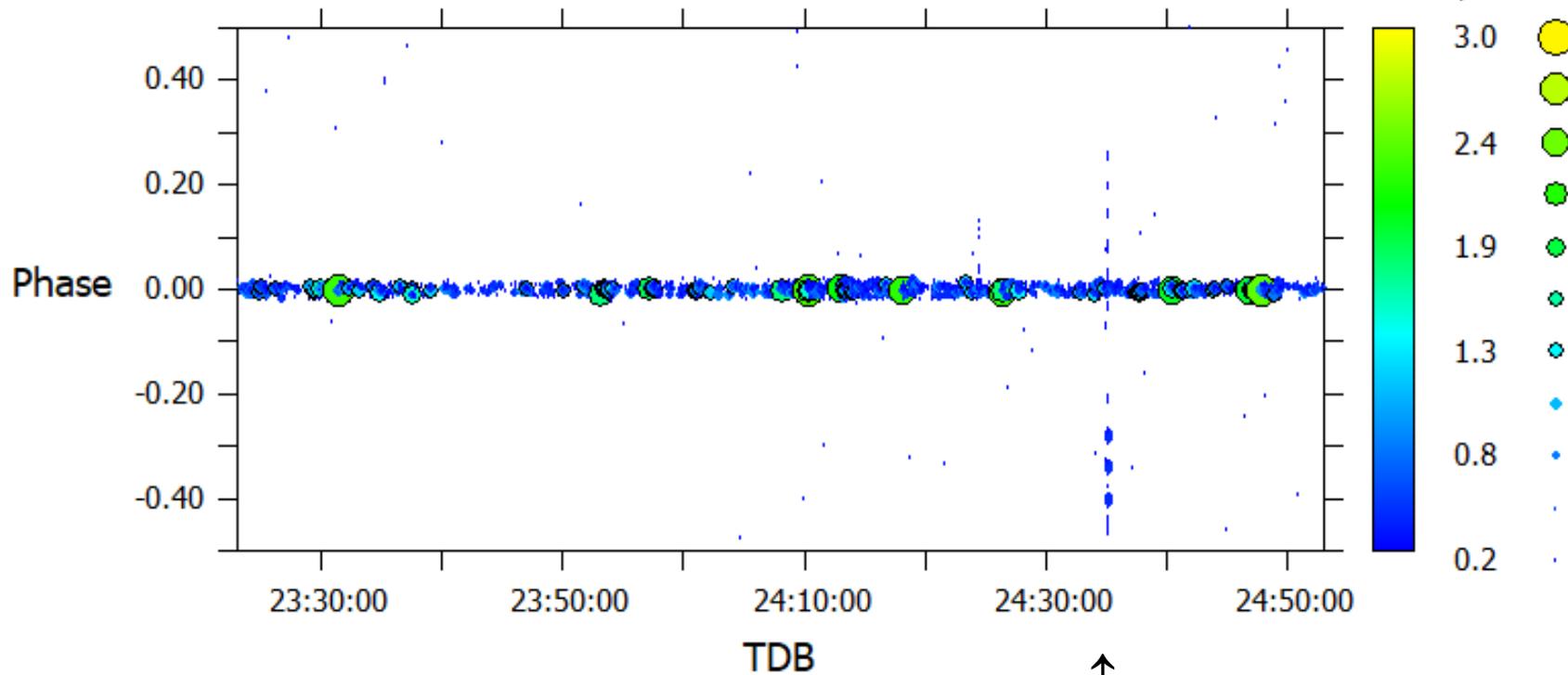


DM~178に対応した周波数依存性をもつ群遅延(1.3ms)

# 茨城高萩局8GHz

群遅延補正あり  
DM=178

マグネターの自転周期5.541428624sで折り返したところ、パルスの整列が見出された。下図では整列の中心を位相=0として図示してある。



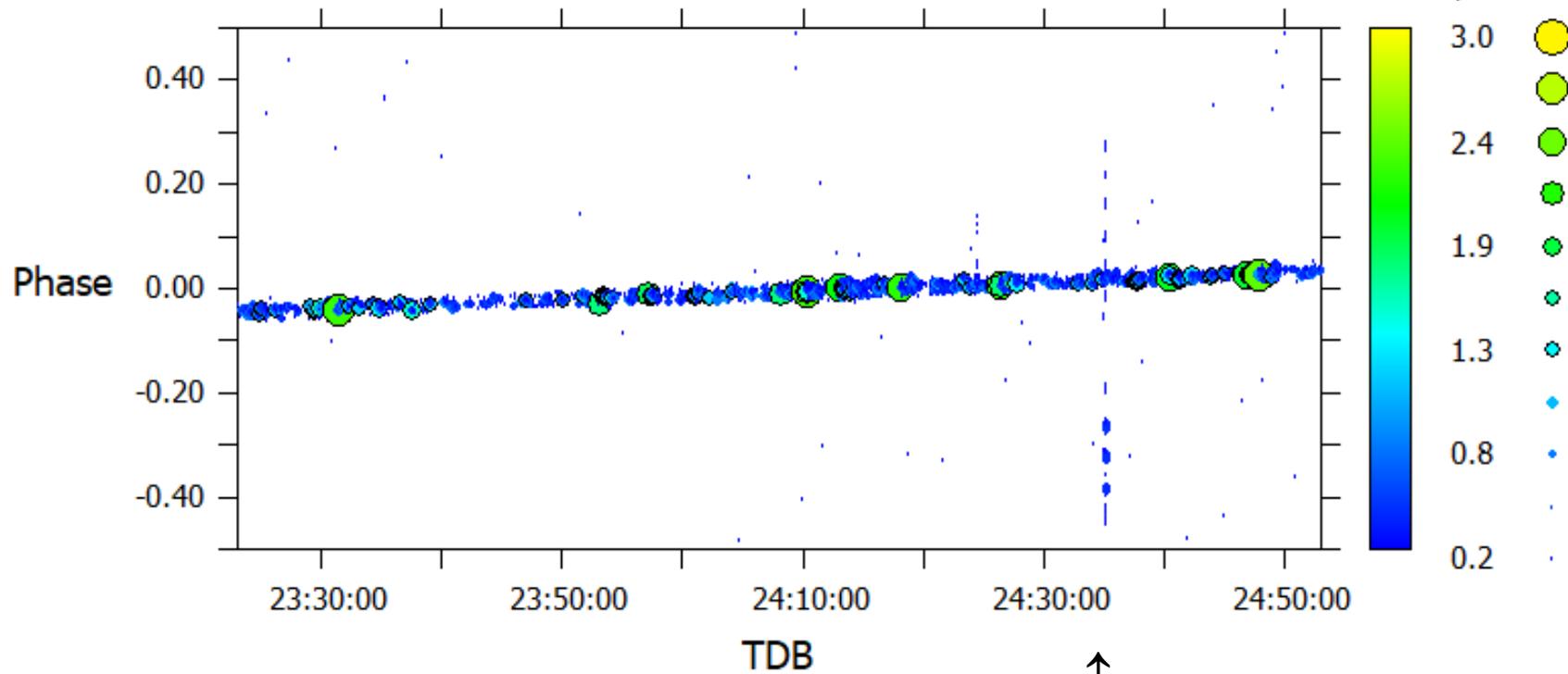
↑  
RFI

(Radio Frequency Interference)  
人工電波混信

# 茨城高萩局8GHz

群遅延補正あり  
DM=178

マグネターの自転周期5.54100000sと間違えると:



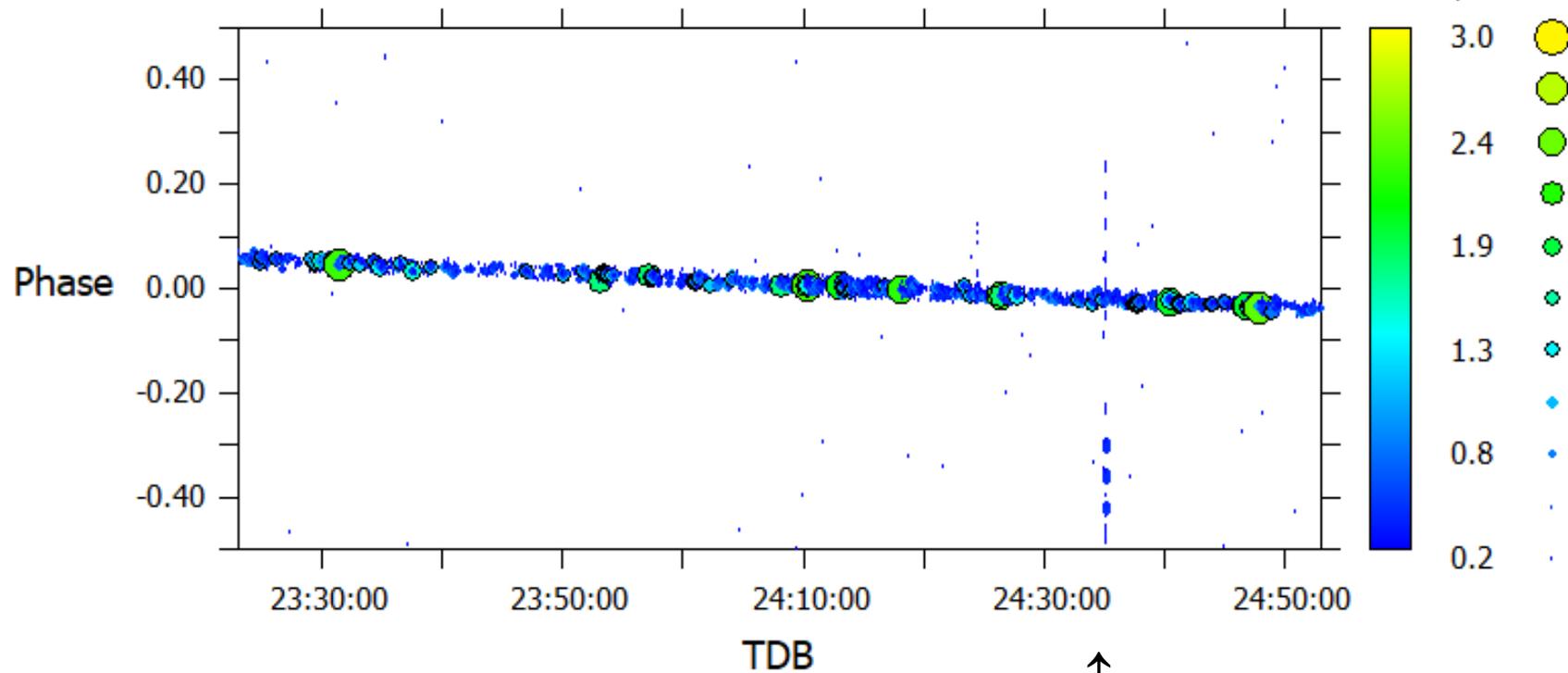
↑  
RFI

(Radio Frequency Interference)  
人工電波混信

# 茨城高萩局8GHz

群遅延補正あり  
DM=178

マグネターの自転周期5.542000000sなら:



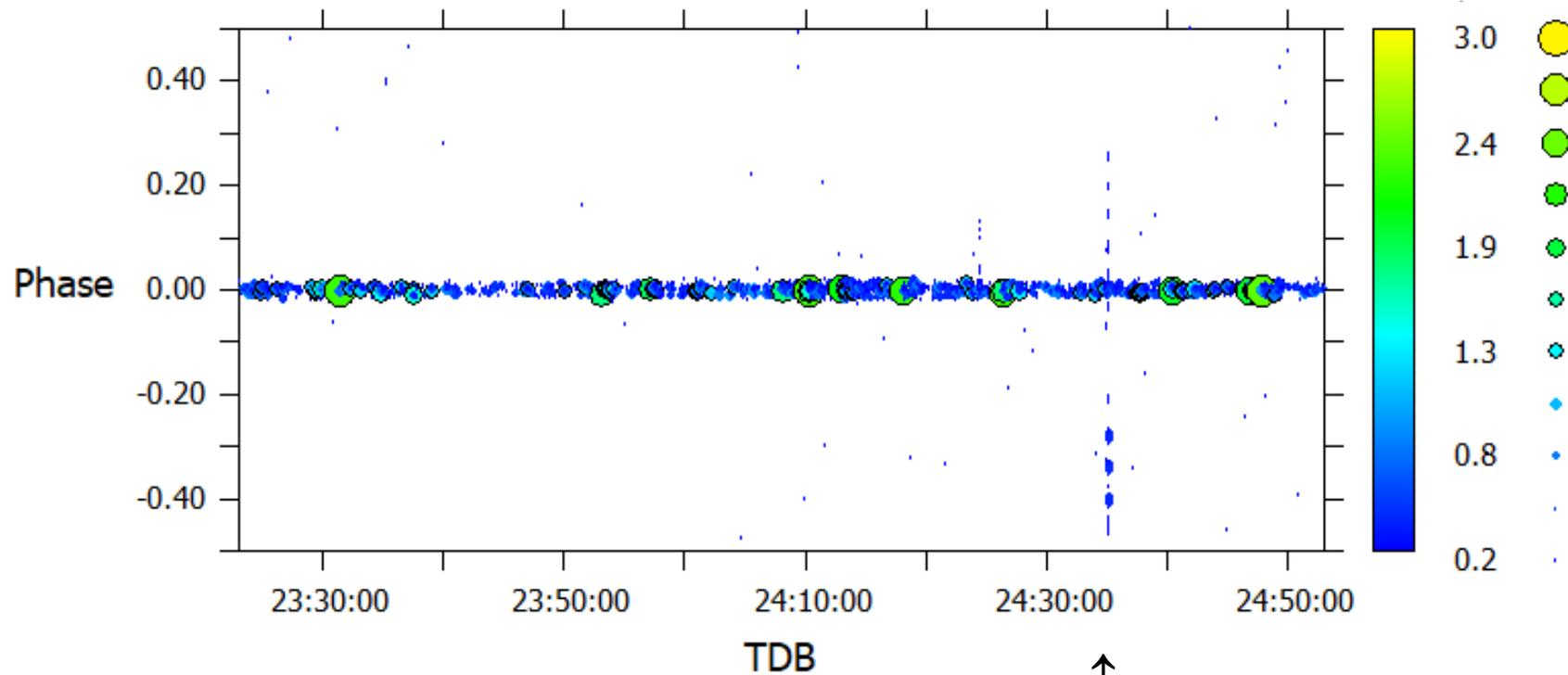
↑  
RFI

(Radio Frequency Interference)  
人工電波混信

# 茨城高萩局8GHz

群遅延補正あり  
DM=178

マグネターの自転周期5.541428624sで折り返したところ、パルスの整列が見出された。下図では整列の中心を位相=0として図示してある。



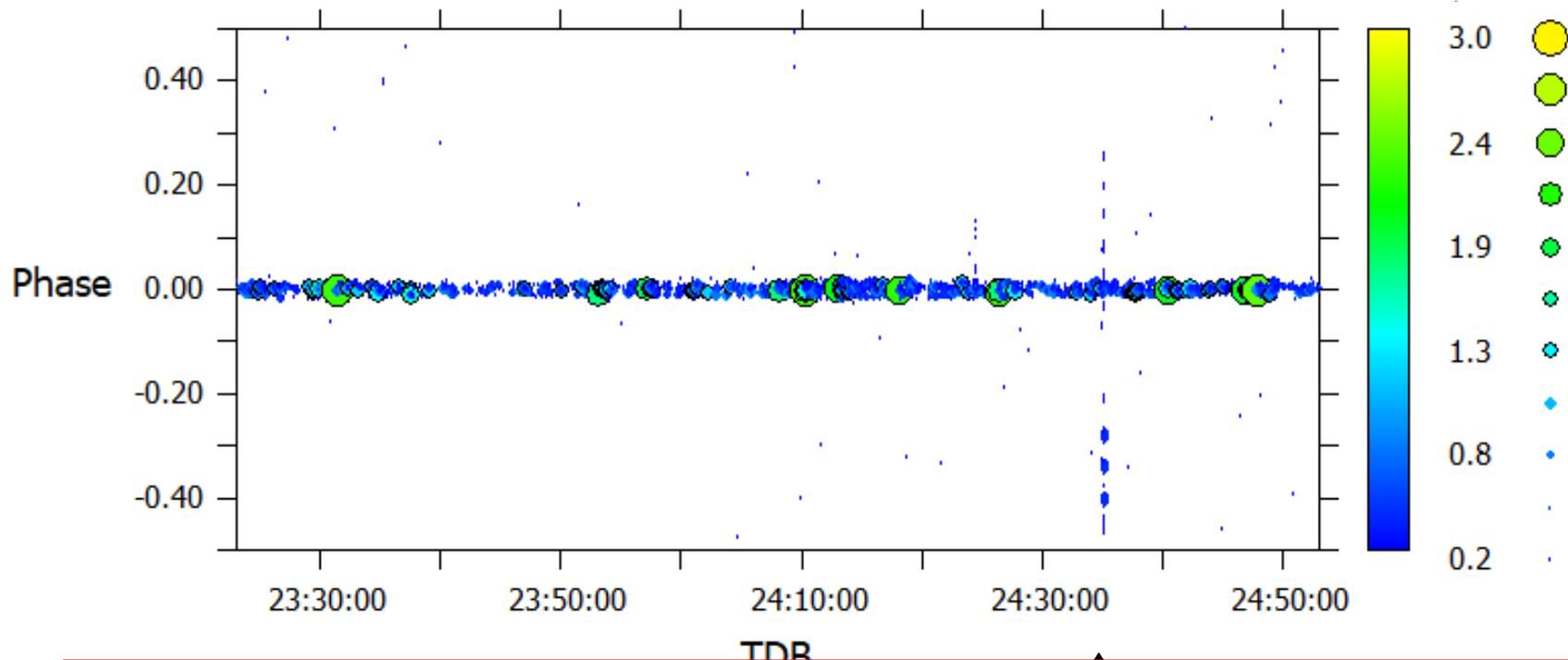
↑  
RFI

(Radio Frequency Interference)  
人工電波混信

# 茨城高萩局8GHz

群遅延補正あり  
DM=178

マグネターの自転周期5.541428624sで折り返したところ、パルスの整列が見出された。下図では整列の中心を位相=0として図示してある。



まだ解析を始めたばかりであり、日本の観測がどのくらい寄与できるか未知数であるが、なんとか世界水準に達したいものである。

# 付録

## 日本の低周波アンテナ

日本で一番開口面積の大きい電波望遠鏡は？

臼田64mか？



Jaxa Usuda Observatory

64m parabolla antenna

Aperture:  $3217\text{m}^2$

1.4, 2.3, 6.7, 8 GHz



日本で一番開口面積の大きい電波望遠鏡は？

臼田64mか？



Jaxa Usuda Observatory

64m parabolla antenna

Aperture:  $3217\text{m}^2$

1.4, 2.3, 6.7, 8 GHz

日本第3位である





# 京都大学信楽MULレーダー

日本第1位

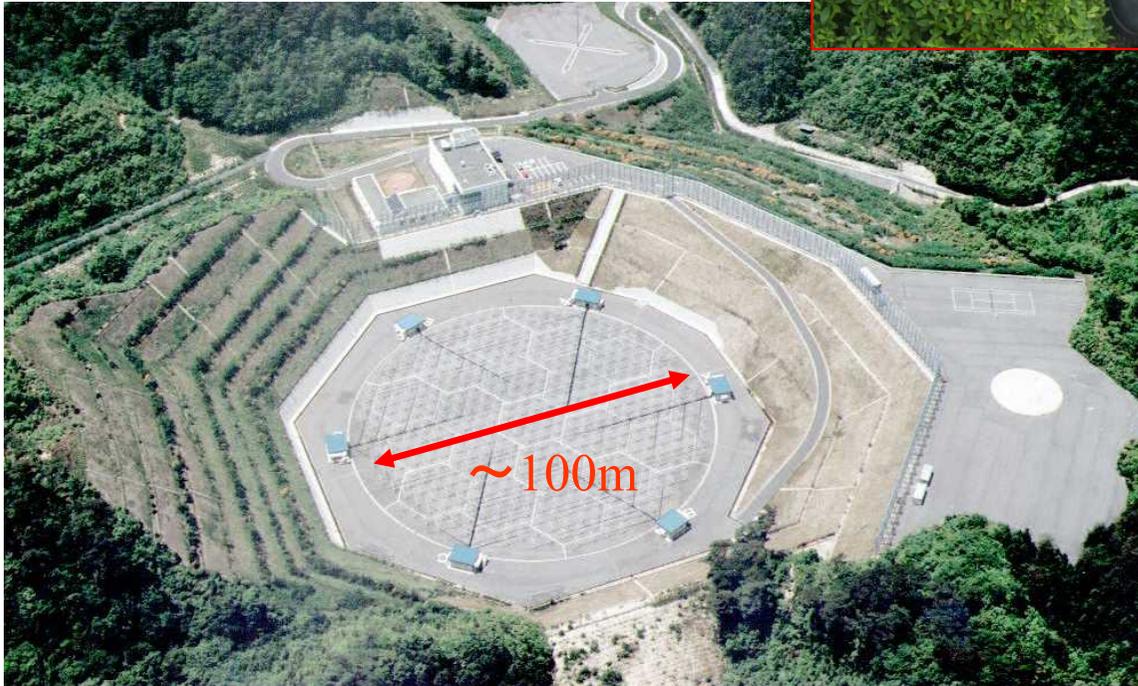


1km

国有林の中



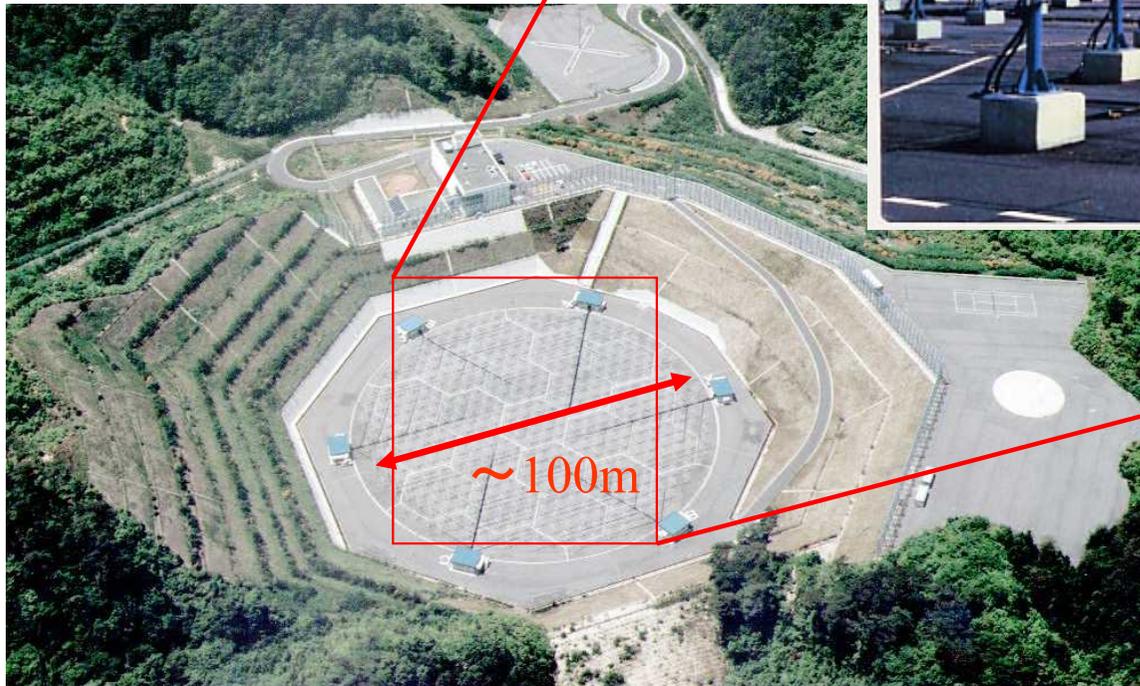
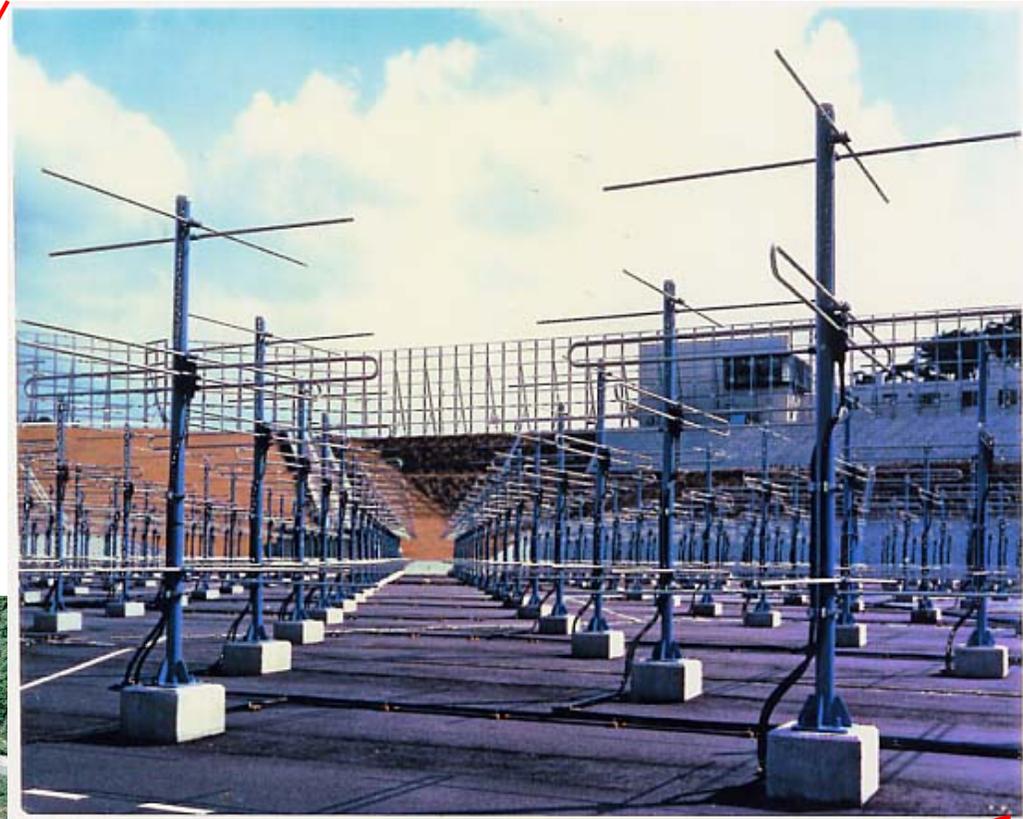
日本第1位



Active phased array of  
475 Yagis antennas  
Effective area: **8330m<sup>2</sup>**  
Freq: 46.5MHz ( $\lambda=6.45\text{m}$ )  
Beam width: 3.6度  
peak power: 1MW  
Average power: 50 kW

Shigaraki MU radar operated by RISH Kyoto University

# 京都大学信楽MULレーダー



Active phased array of  
475 Yagis antennas

Effective area: **8330m<sup>2</sup>**

Freq: 46.5MHz ( $\lambda=6.45\text{m}$ )

Beam width: 3.6度

peak power: 1MW

Average power: 50 kW

Shigaraki MU radar operated by RISH Kyoto University

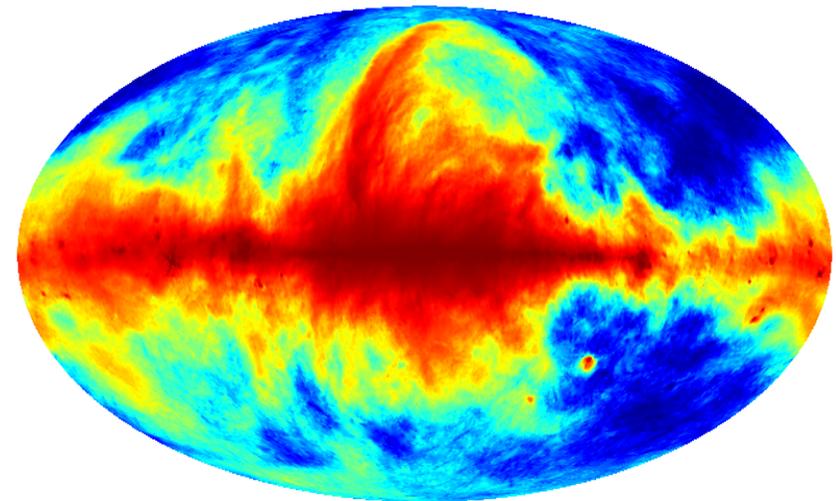
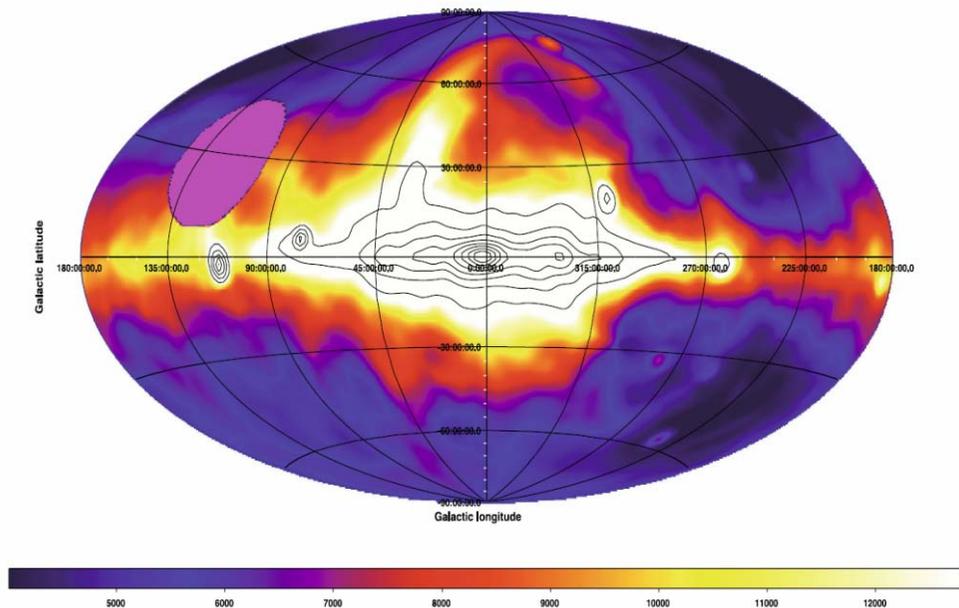
# All-sky Galactic radiation at 45 MHz and spectral index between 45 and 408 MHz<sup>\*</sup>

北天46.5MHz ... MU ←周波数を45MHzに補正して組み合わせている  
南天45MHz      チリのアンテナ

Haslam+ (1981, 1982)

45MHzにおけるmap

408MHzにおけるmap



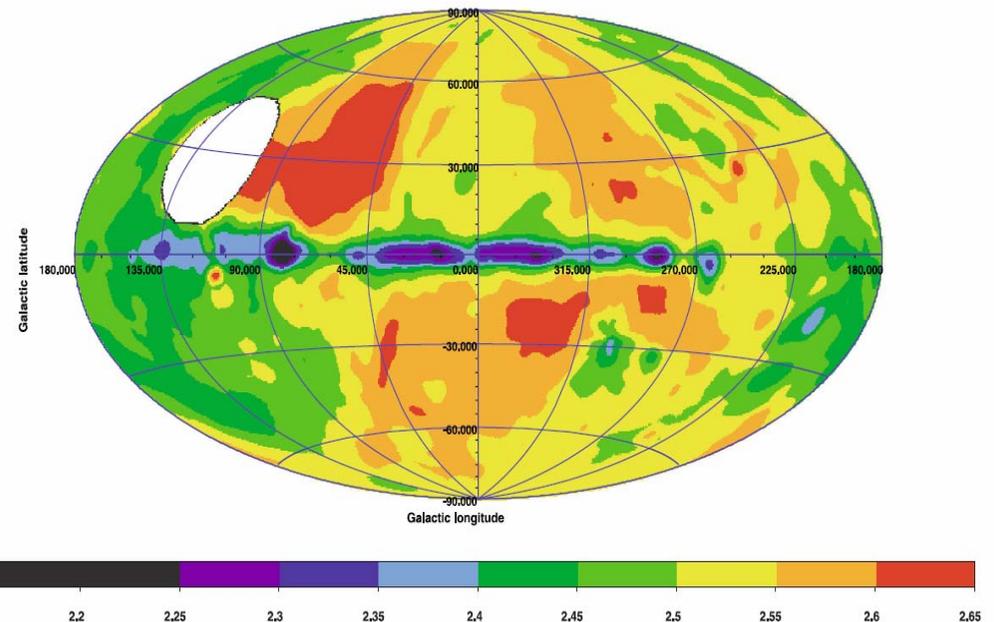
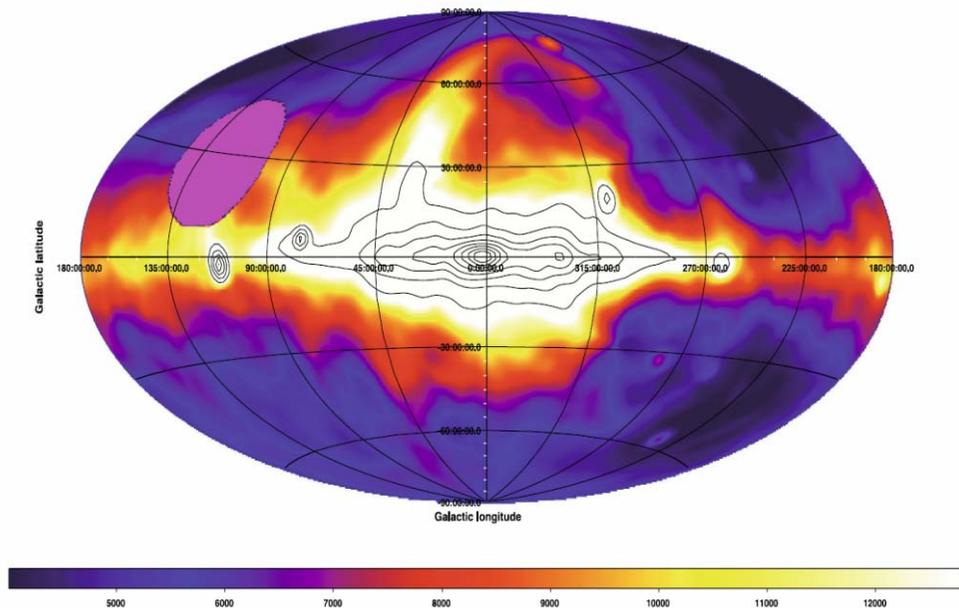
# All-sky Galactic radiation at 45 MHz and spectral index between 45 and 408 MHz<sup>\*</sup>

北天46.5MHz ... MU ←周波数を45MHzに補正して組み合わせている

南天45MHz チリのアンテナ

45MHzと408MHzの比から  
求めたスペクトル指数のmap

45MHzにおけるmap



シンクロトロン輻射をになう宇宙線電子の  
スペクトル指数を決められる

# 日本のアンテナ面積ランキング

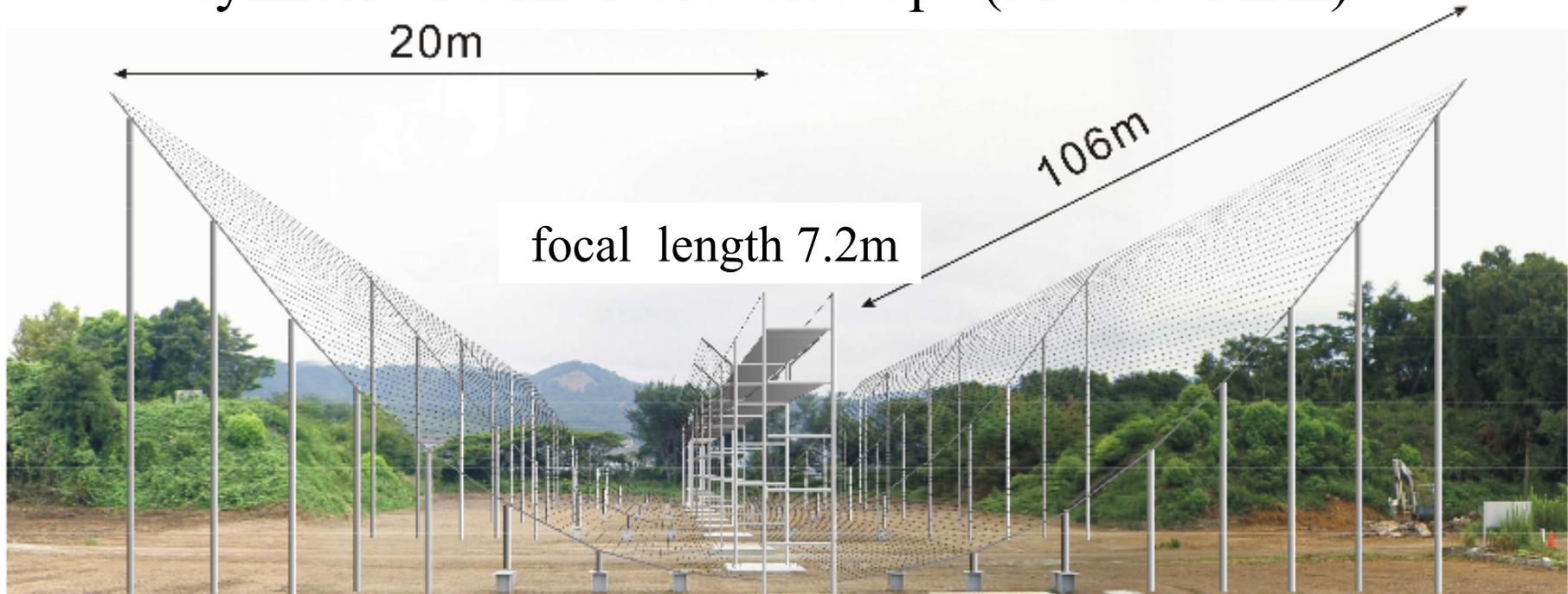
1 <sup>st</sup> largest: phased-array antenna in Shigaraki MU radar	8330m <sup>2</sup>
3 <sup>rd</sup> largest: 64m parabola in Jaxa Usuda station	3217m <sup>2</sup>

では第2位は？

# Toyokawa observatory

Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University

## cylindrical UHF radio telescope (317-337MHz)



## cylindrical (i.e. 2D) parabolla

Aperture: 3344 m<sup>2</sup>

日本第2位

Efficiency: 59%

Tsys: 146K

1<sup>st</sup> largest: phased-array antenna in Shigaraki MU radar

8330m<sup>2</sup>

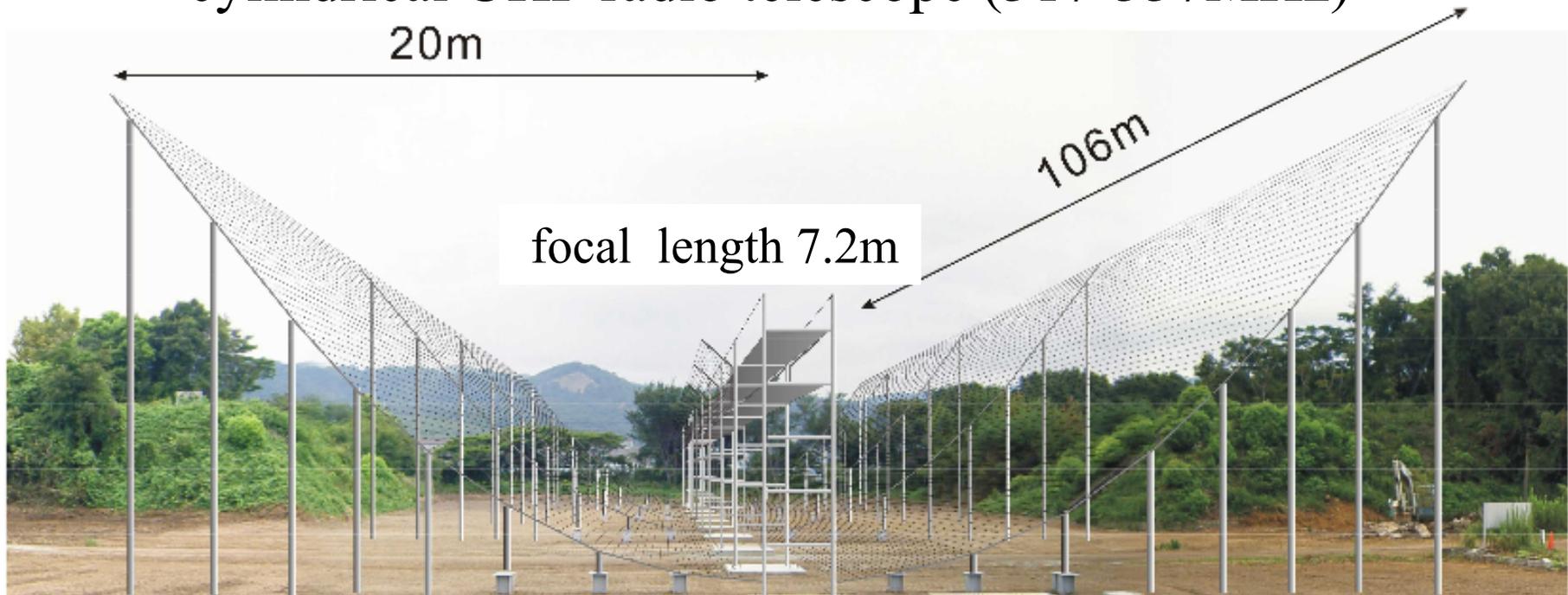
3<sup>rd</sup> largest: 64m parabola in Jaxa Usuda station

3217m<sup>2</sup>

Toyokawa observatory

Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University

cylindrical UHF radio telescope (317-337MHz)



cylindrical (i.e. 2D) parabolla

Aperture: 3344 m<sup>2</sup>

Efficiency: 59%

Tsys: 146K

主目的: 太陽風プラズマによる電波シンチレーションを観測し、  
太陽風の速度、密度の情報を得る

# Toyokawa observatory

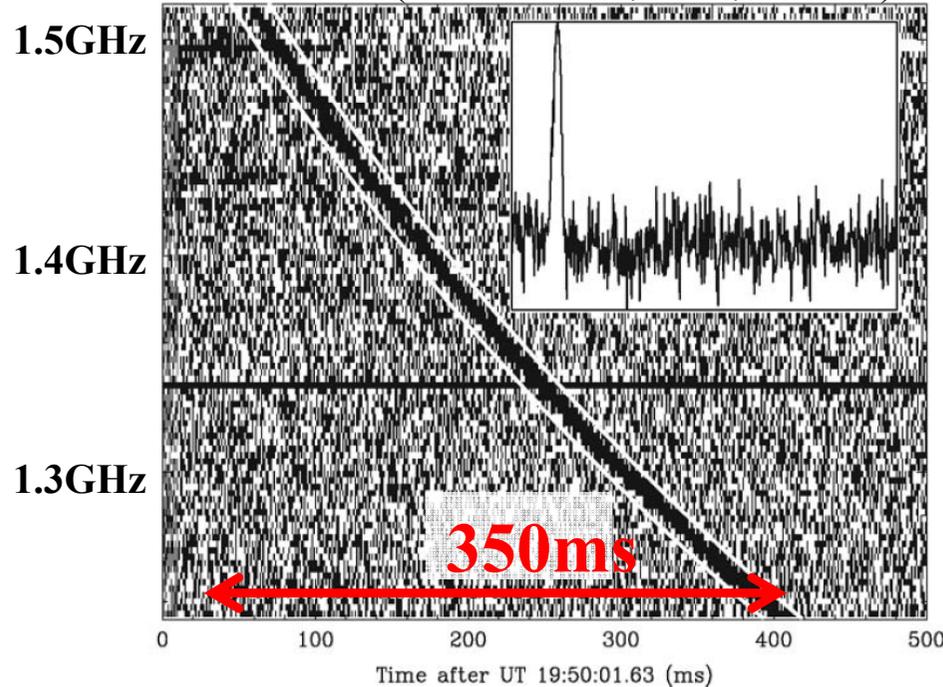
Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University



FRB & Crab

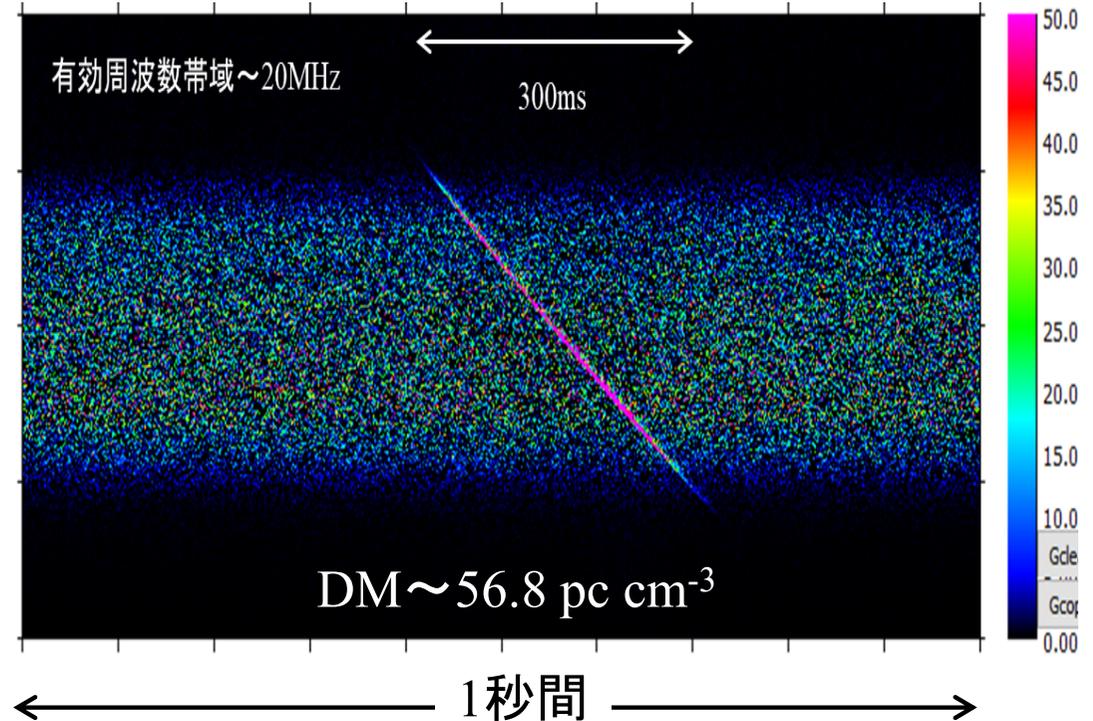
# FRB and Crab pulsar's pulse

FRB “Lorimer burst”  
(Lorimer et al., 2007, Science)



↑DM~375 pc cm<sup>-3</sup>

Crab pulsar's GRP、観測: 名大豊川observatory  
at 327±10MHz (2017)



Crabパルサーの周期は約33msなので、上の1秒間には30個のパルスがあるはずだが、見えているのは1つだけである。

→巨大電波パルス (Giant Radio Pulse=GRP) と呼ばれる (それ以外の普通のパルスは Crab nebulaのノイズに埋もれている)

Dispersion Measure (DM) ≡ column density (cm<sup>-2</sup>)    1pc cm<sup>-3</sup> ~ 3 × 10<sup>18</sup> cm<sup>-2</sup>

# The CHIME Fast Radio Burst Project: System Overview

The CHIME/FRB Collaboration

M. Amiri<sup>1</sup>, K. Bandura<sup>2,3</sup>, P. Berger<sup>4,5</sup>, M. Bhardwaj<sup>6,7</sup>, M. M. Boyce<sup>6,7</sup>, P. J. Boyle<sup>6,7</sup>, C. Brar<sup>6,7</sup>, M. Burhanpurkar<sup>8</sup>, P. Chawla<sup>6,7</sup> , J. Chowdhury<sup>6,7,9</sup>, J.-F. Cliche<sup>6,7</sup>, M. D. Cranmer<sup>6,7</sup>, D. Cubranic<sup>1</sup>, M. Deng<sup>1</sup>, N. Denman<sup>10,11</sup>, M. Dobbs<sup>6,7</sup>, M. Fandino<sup>1</sup>, E. Fonseca<sup>6,7</sup>, B. M. Gaensler<sup>11</sup> , U. Giri<sup>12</sup>, A. J. Gilbert<sup>6,7</sup>, D. C. Good<sup>1</sup>, S. Guliani<sup>1</sup>, M. Halpern<sup>1</sup>, G. Hinshaw<sup>1</sup>, C. Höfer<sup>1</sup>, A. Josephy<sup>6,7</sup>, V. M. Kaspi<sup>6,7</sup> , T. L. Landecker<sup>13</sup>, D. Lang<sup>10,11,12</sup>, H. Liao<sup>6</sup>, K. W. Masui<sup>1</sup>, J. Mena-Parra<sup>6,7</sup>, A. Naidu<sup>6,7</sup>, L. B. Newburgh<sup>14</sup>, C. Ng<sup>11</sup>, C. Patel<sup>6</sup>, U.-L. Pen<sup>4,11,12</sup>, T. Pinsonneault-Marotte<sup>1</sup>, Z. Pleunis<sup>6,7</sup>, M. Rafiei Ravandi<sup>12</sup>, S. M. Ransom<sup>15</sup> , A. Renard<sup>11</sup>, P. Scholz<sup>13</sup>, K. Sigurdson<sup>1</sup>, S. R. Siegel<sup>6,7</sup>, K. M. Smith<sup>12</sup>, I. H. Stairs<sup>1</sup>, S. P. Tendulkar<sup>6,7</sup>, K. Vanderlinde<sup>10,11</sup>, and D. V. Wiebe<sup>1</sup>



**Figure 1.** Photograph of the CHIME telescope on 2016 September 15, looking northwest. The shipping containers housing the X-Engine and CHIME/FRB back end can be seen adjacent to the rightmost cylinder. The receiver huts containing the F-Engine are beneath the reflectors and cannot be seen here. The DRAO Synthesis Telescope (Kotthes et al. 2010) can be seen in the background. See Table 1 for detailed properties of CHIME.

# The CHIME Fast Radio Burst Project: System Overview

The CHIME/FRB Collaboration

M. Amiri<sup>1</sup>, K. Bandura<sup>2,3</sup>, P. Berger<sup>4,5</sup>, M. Bhardwaj<sup>6,7</sup>, M. M. Boyce<sup>6,7</sup>, P. J. Boyle<sup>6,7</sup>, C. Brar<sup>6,7</sup>, M. Burhanpurkar<sup>8</sup>, P. Chawla<sup>6,7</sup> , J. Chowdhury<sup>6,7,9</sup>, J.-F. Cliche<sup>6,7</sup>, M. D. Cranmer<sup>6,7</sup>, D. Cubranic<sup>1</sup>, M. Deng<sup>1</sup>, N. Denman<sup>10,11</sup>, M. Dobbs<sup>6,7</sup>, M. Fandino<sup>1</sup>, E. Fonseca<sup>6,7</sup>, B. M. Gaensler<sup>11</sup> , U. Giri<sup>12</sup>, A. J. Gilbert<sup>6,7</sup>, D. C. Good<sup>1</sup>, S. Guliani<sup>1</sup>, M. Halpern<sup>1</sup>, G. Hinshaw<sup>1</sup>, C. Höfer<sup>1</sup>, A. Josephy<sup>6,7</sup>, V. M. Kaspi<sup>6,7</sup> , T. L. Landecker<sup>13</sup>, D. Lang<sup>10,11,12</sup>, H. Liao<sup>6</sup>, K. W. Masui<sup>1</sup>, J. Mena-Parra<sup>6,7</sup>, A. Naidu<sup>6,7</sup>, L. B. Newburgh<sup>14</sup>, C. Ng<sup>11</sup>, C. Patel<sup>6</sup>, U.-L. Pen<sup>4,11,12</sup>, T. Pinsonneault-Marotte<sup>1</sup>, Z. Pleunis<sup>6,7</sup>, M. Rafiei Ravandi<sup>12</sup>, S. M. Ransom<sup>15</sup> , A. Renard<sup>11</sup>, P. Scholz<sup>13</sup>, K. Sigurdson<sup>1</sup>, S. R. Siegel<sup>6,7</sup>, K. M. Smith<sup>12</sup>, I. H. Stairs<sup>1</sup>, S. P. Tendulkar<sup>6,7</sup>, K. Vanderlinde<sup>10,11</sup>, and D. V. Wiebe<sup>1</sup>



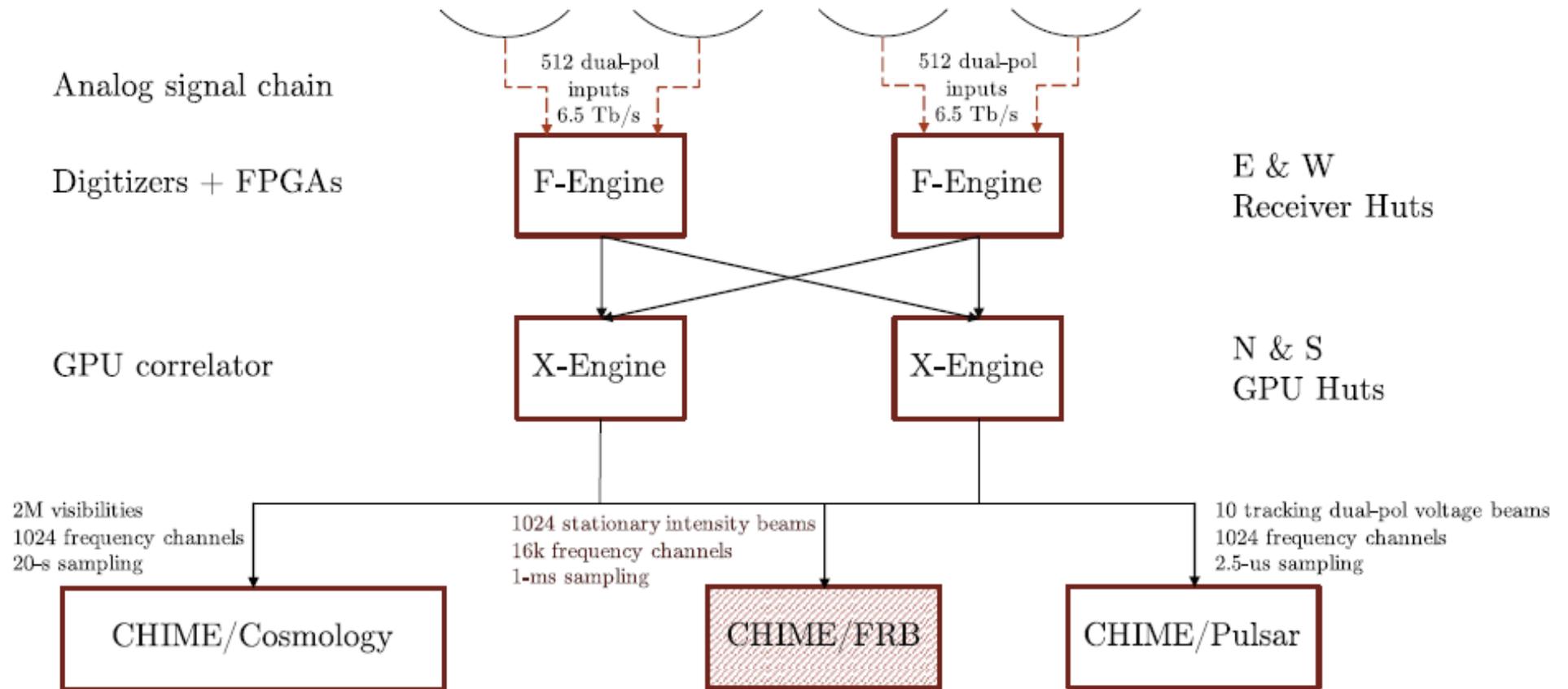
Figure 1. Photograph of the CHIME telescope on 2016 September 15, looking can be seen adjacent to the rightmost cylinder. The receiver huts containing the Telescope (Koches et al. 2010) can be seen in the background. See Table 1 for

Table 1

Key Properties of the CHIME Telescope Relevant to the CHIME/FRB Project<sup>a</sup>

Parameter	Value
Collecting area	8000 m <sup>2</sup>
Longitude	119°37'25"25 West
Latitude	49°19'14"52 North
Frequency range	400–800 MHz
Polarization	orthogonal linear
E–W FOV	2°5–1°3
N–S FOV	~110°
Focal ratio, $f/D$	0.25
Receiver noise temperature	50 K
Number of beams	1024
Beam width (FWHM)	40'–20'
FRB search time resolution	0.983 ms
FRB search frequency resolution	24.4 kHz
Source transit duration	Equator: 10–5 minutes 45°: 14–7 minutes North celestial pole: 24 hr

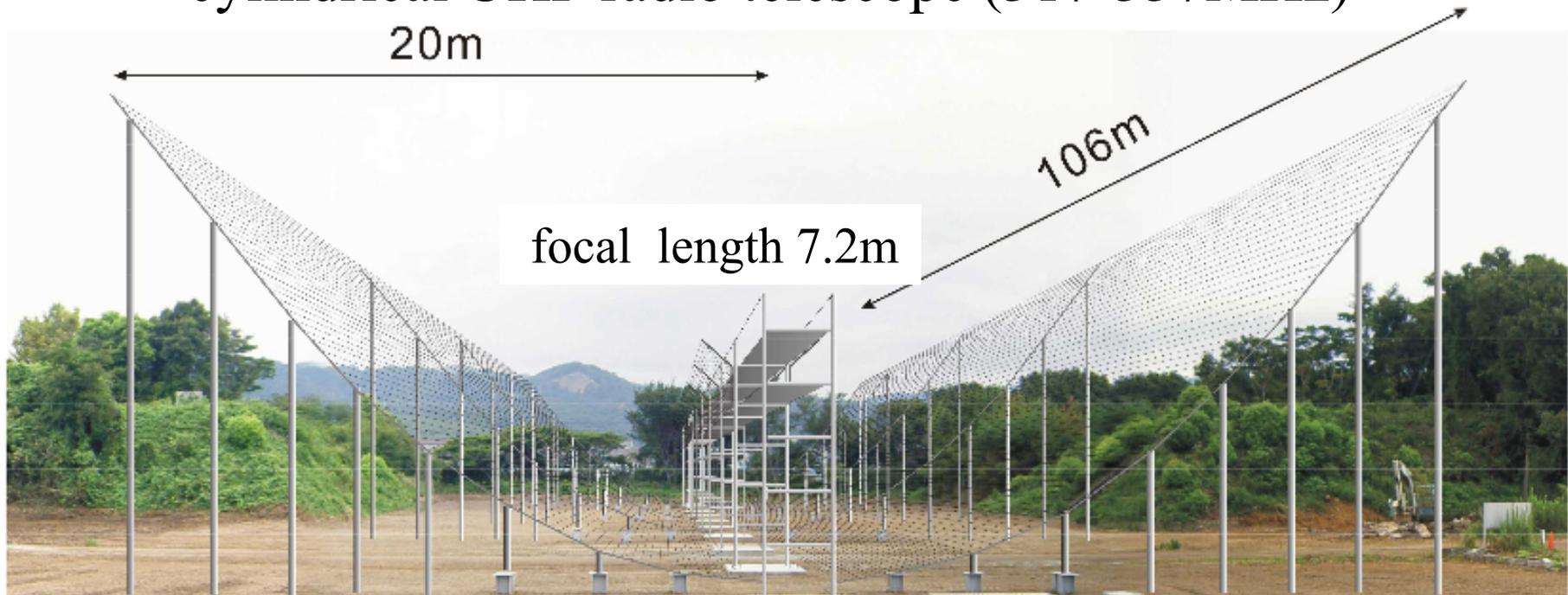
# The CHIME Fast Radio Burst Project: System Overview



Toyokawa observatory

Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University

cylindrical UHF radio telescope (317-337MHz)



cylindrical (i.e. 2D) parabolla

Aperture: 3344 m<sup>2</sup>

Efficiency: 59%

Tsys: 146K

主目的: 太陽風プラズマによる電波シンチレーションを観測し、  
太陽風の速度、密度の情報を得る