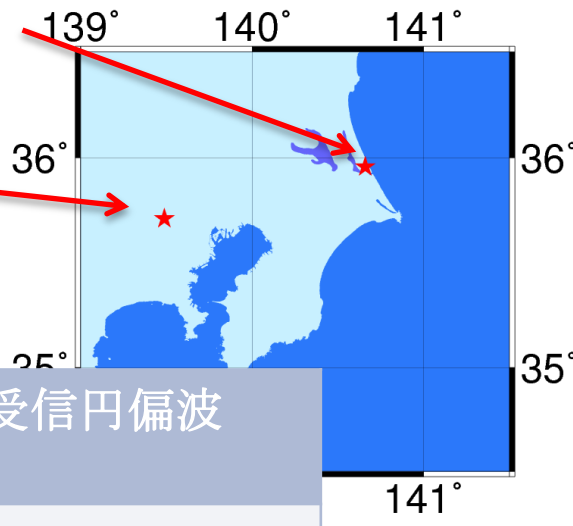


NICT鹿島34mのパルサー観測と 今後の計画について

関戸 衛、岳藤一宏、花土ゆう子



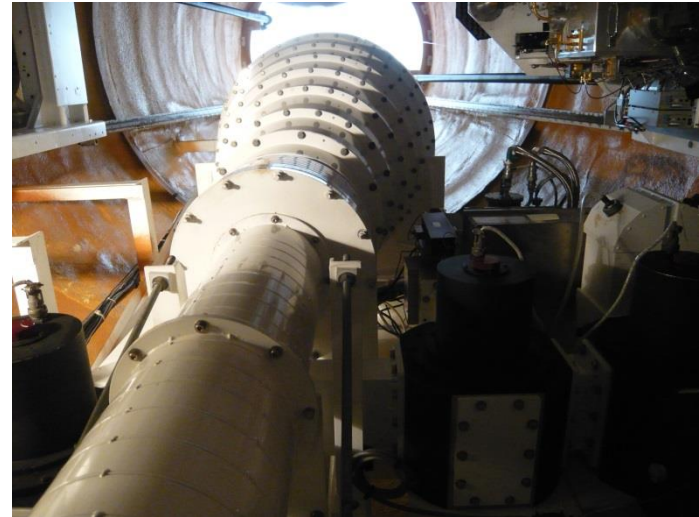
鹿島宇宙技術センター



NICT本部(小金井)

34Mアンテナの受信機

周波数帯	周波数[GHz] とバンド幅	T _{sys} (K)	SEFD(Jy)	受信円偏波
L-band	1.4GHz (35MHz) 1.6GHz(100MHz)	50	200	LHCP/RHCP
S-band	2.19GHz(160MHz)	65	370	LHCP/RHCP
X-band	8.18GHz(900MHz)	60	300	LHCP/RHCP
K-band	22GHz(2GHz)	140	1000	LHCP
Ka-band	31.7GHz(2GHz)	150	1100	RHCP
Q-band	42.3GHz(2.6GHz)	350	4200	--



NICTの34Mアンテナを使ったパルサー観測

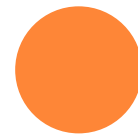
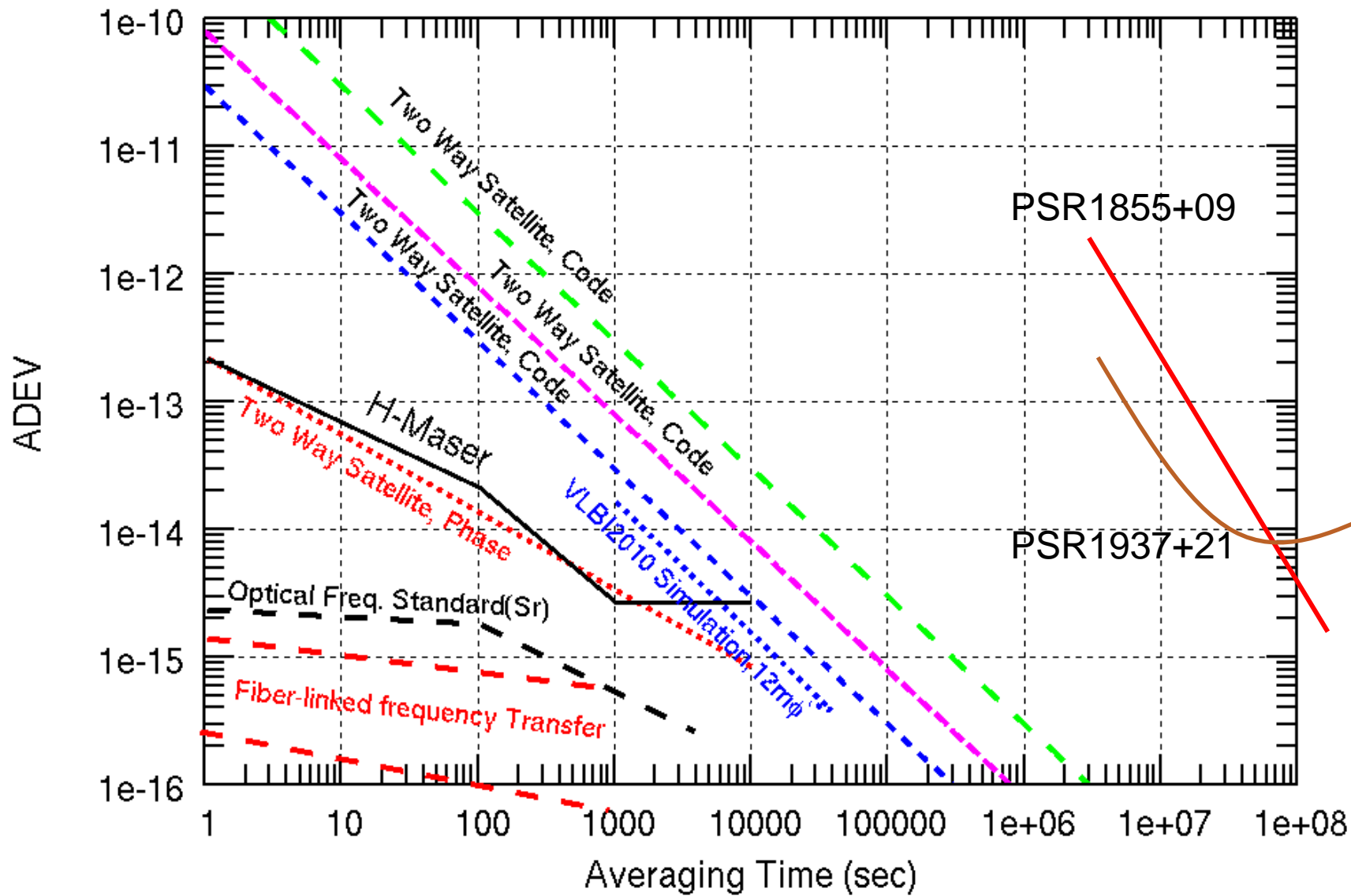
- パルサータイミング観測
 - 長期安定度～原子時計を長期で補完する

- パルサーVLBI
 - 鹿島34m-Kalyazin64m(Russia)7000km 基線
 - 基準座標系の結合：力学座標系(暦)とICRF(クエーサ)
 - パルサーの固有運動

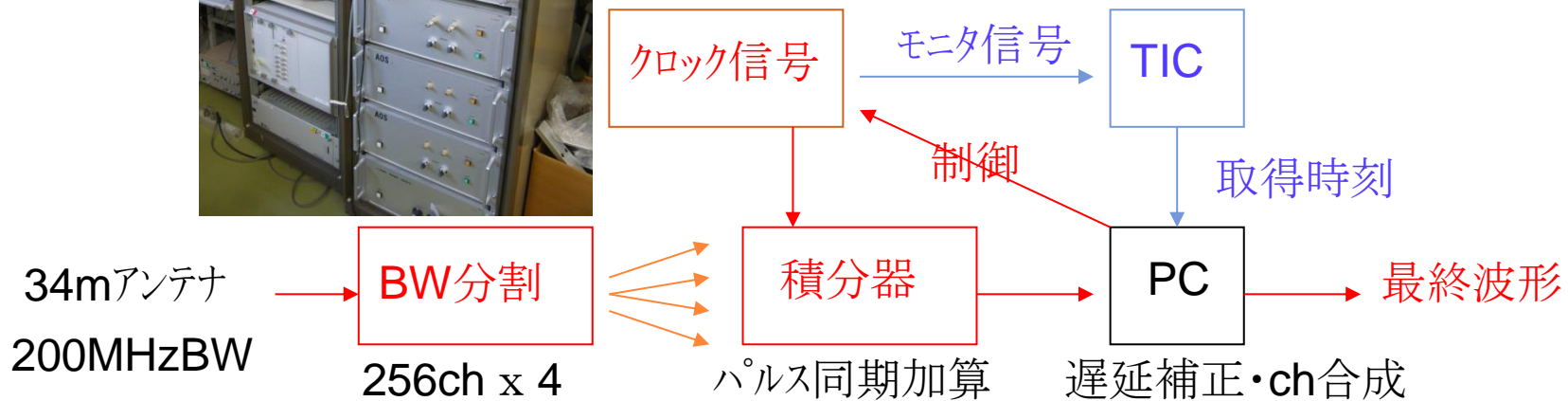
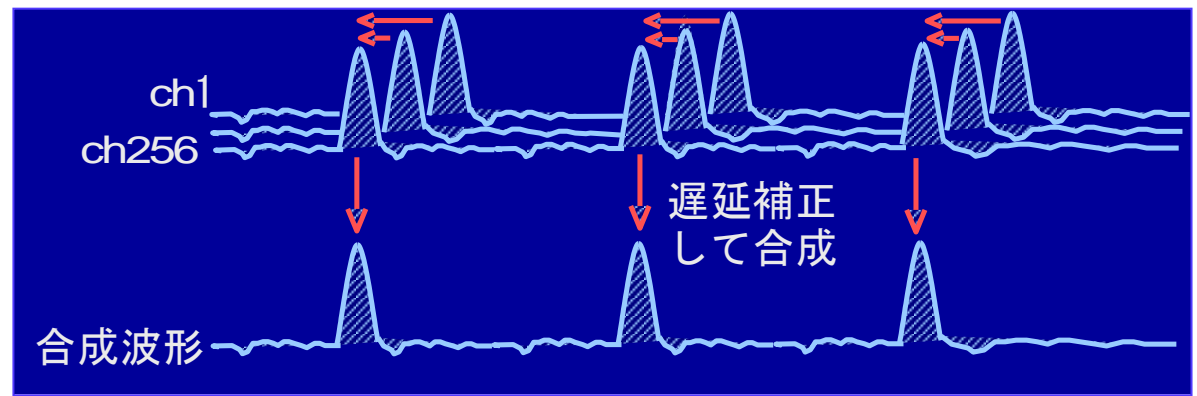
- Giant Radio Pulse(GRP)観測
 - X線との同時観測(寺澤さん)
 - パルスの出現確率(ポアソン分布)とエネルギー頻度分布
- L-band(1.4/1.6GHz)受信機の混信対策・改善



パルサー一時系と原子時計の確度・安定度



計測システム概要



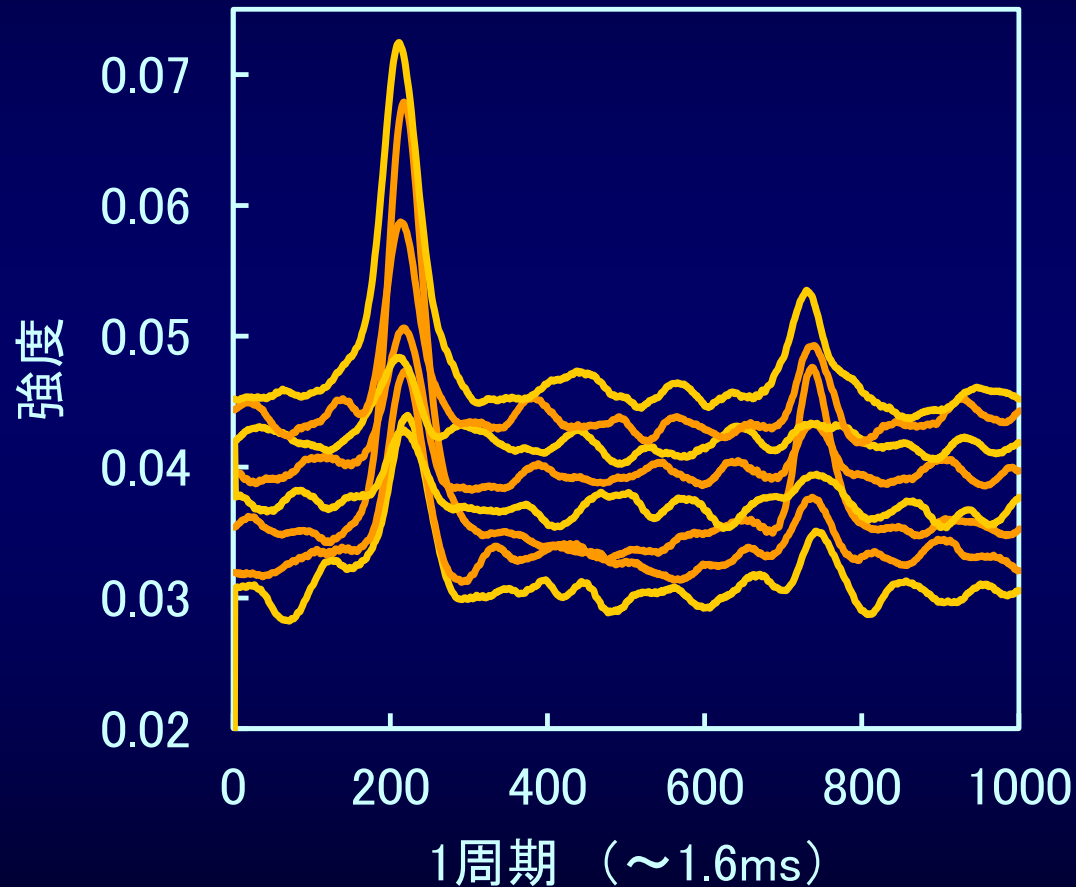
周波数分解能: ~ 200 kHz (256ch x 4unit)
時間分解能 : $\sim 13\mu$ s (100サンプル / 1周期)
加算パルス : Max. 2^{24} 回 (~ 1600 万パルス)

- * 多ch化をコンパクトに → AOS(音響光学型分光器)導入
- * 周波数標準、時刻基準 → 水素メーザー、GPSからのUTC
- * パルス同期加算 → 変動する周期を外部から制御
- * 留意点 → ノイズ除去、タイミング制御、周波数・時刻キープ



計測データ ～ パルス波形

PSR1937+21 波形



PSR1937+21 :

周期 $\sim 1.6\text{ms}$

強度 $\sim 3\text{mJy}$

(北天で最も強度強い)

観測条件 :

鹿島34mアンテナ

S-band、RHCP

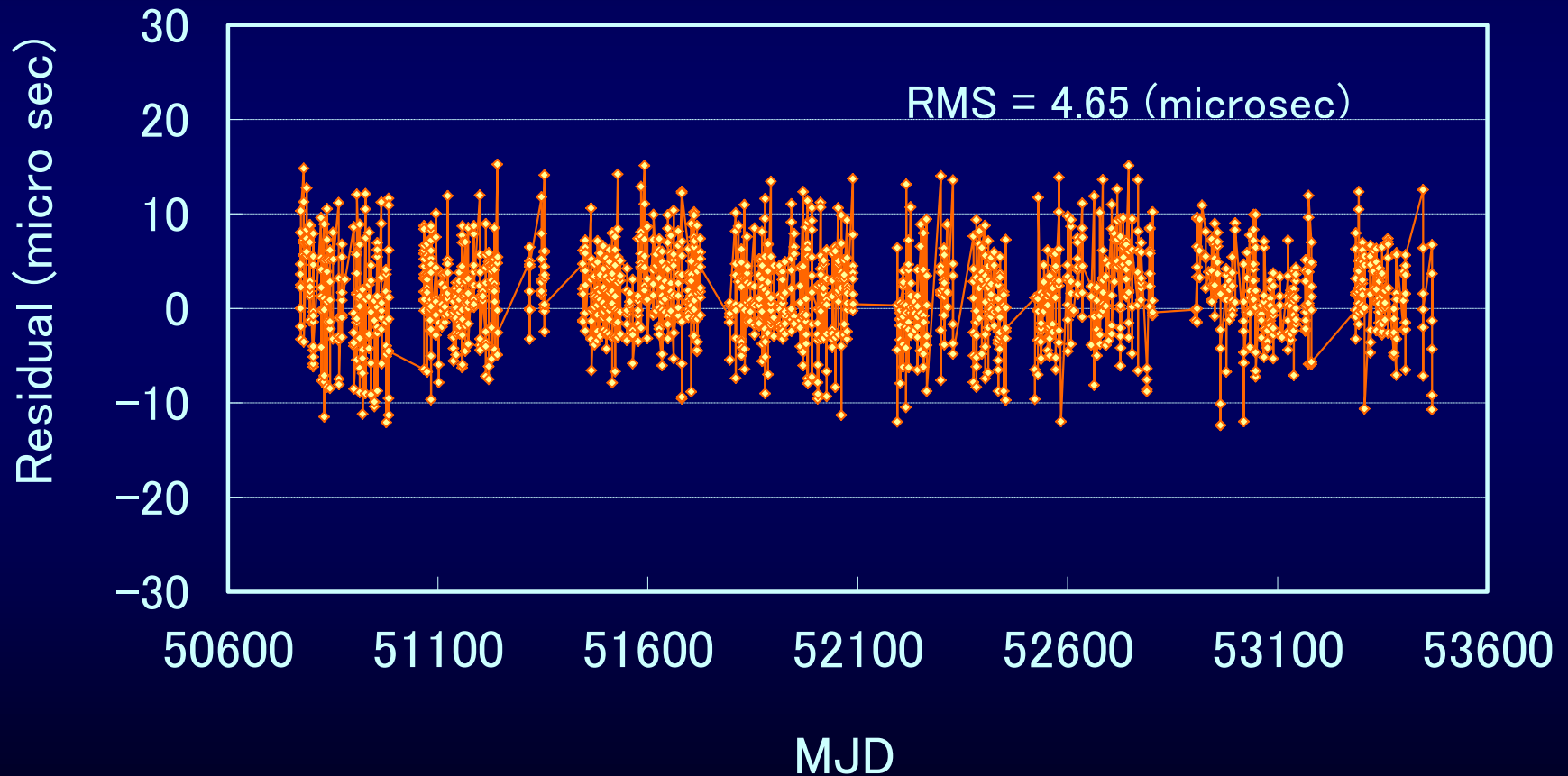
50MHBW・30分積分後

計測結果 ～ タイミング残差

Nov.'97～ Apr.'05(～7年半)、毎週1日4～8時間: 30分積分後の波形

7パラメータフィット後

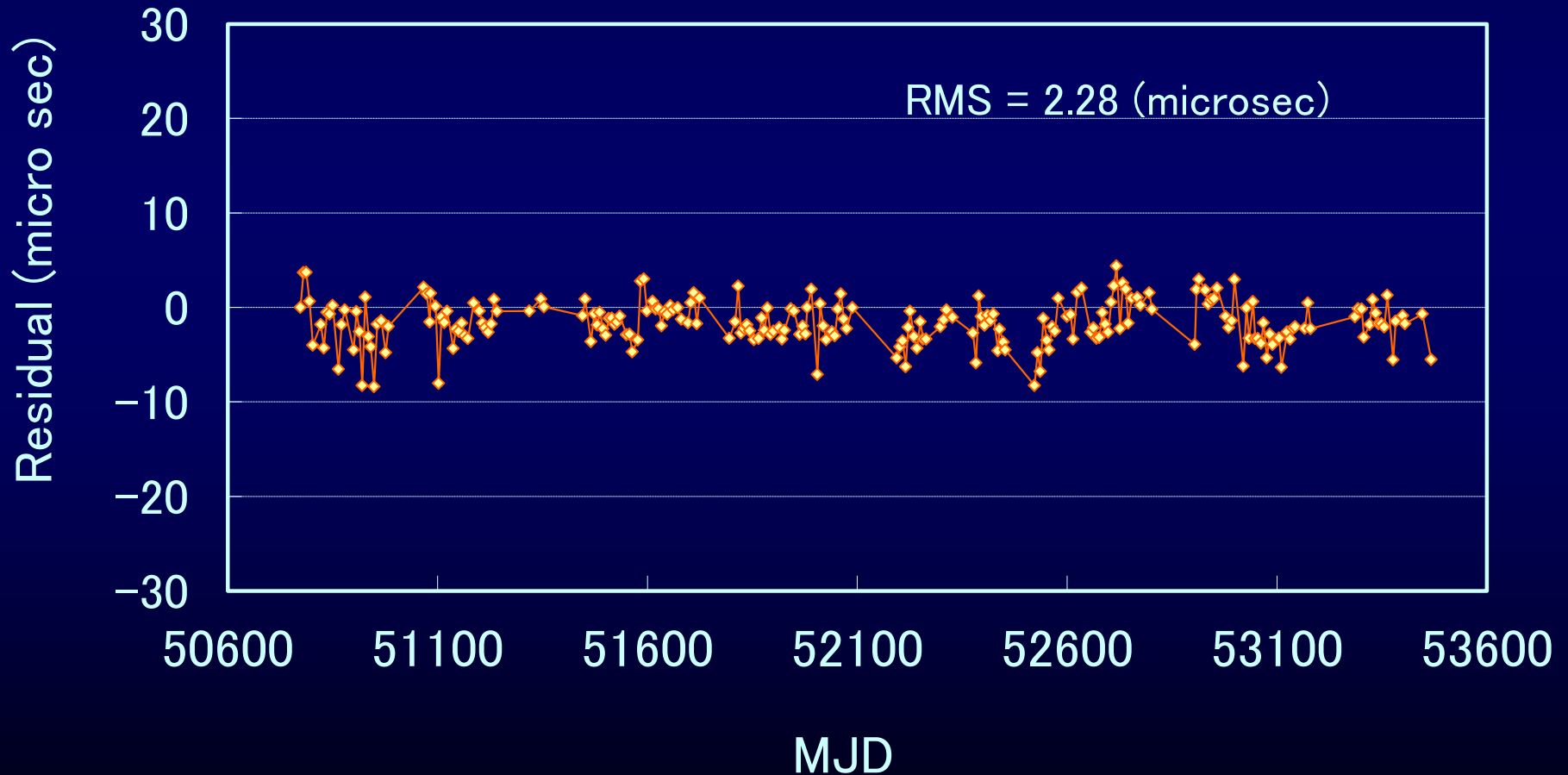
(位置、周波数(2次まで)、固有運動、年周視差)



計測結果 ～ タイミング残差

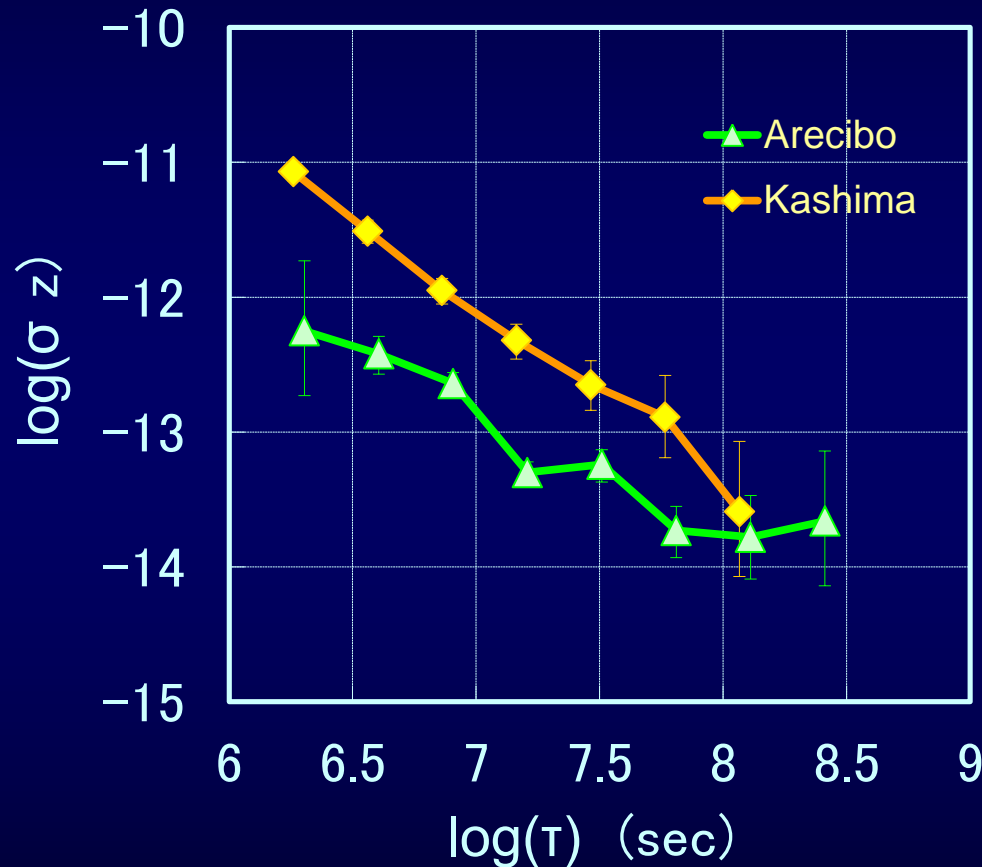
Nov.'97～ Apr.'05(～7年半)、毎週1日4～8時間: 30分積分後の波形

7パラメータフィット後、1日平均
(位置、周波数(2次まで)、固有運動、年周視差)



計測結果 ~ 周波数安定度

PSR1937+21 周波数安定度



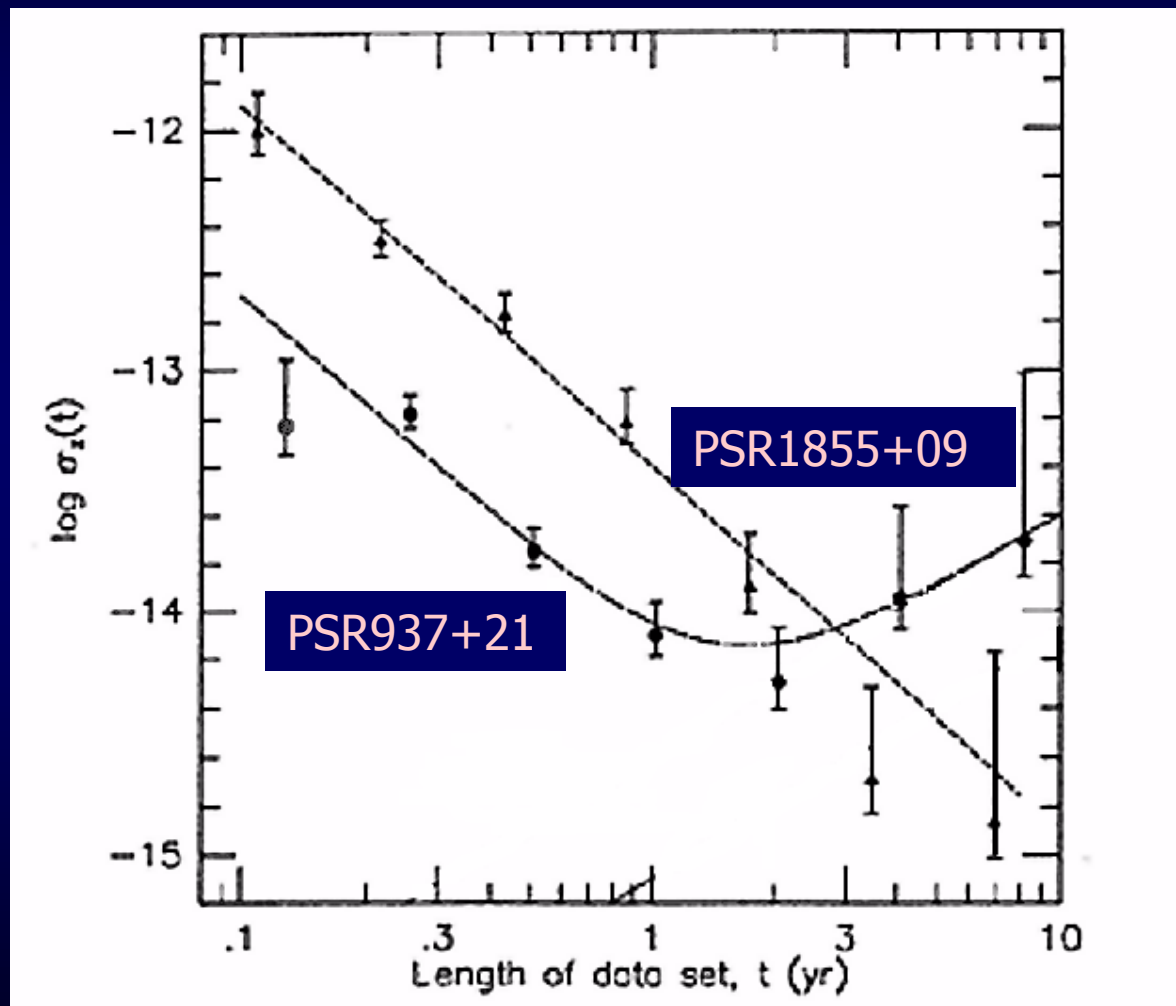
アレシボ局の結果と同程度の安定度が得られてきている。

(アレシボ: 300アンテナ)



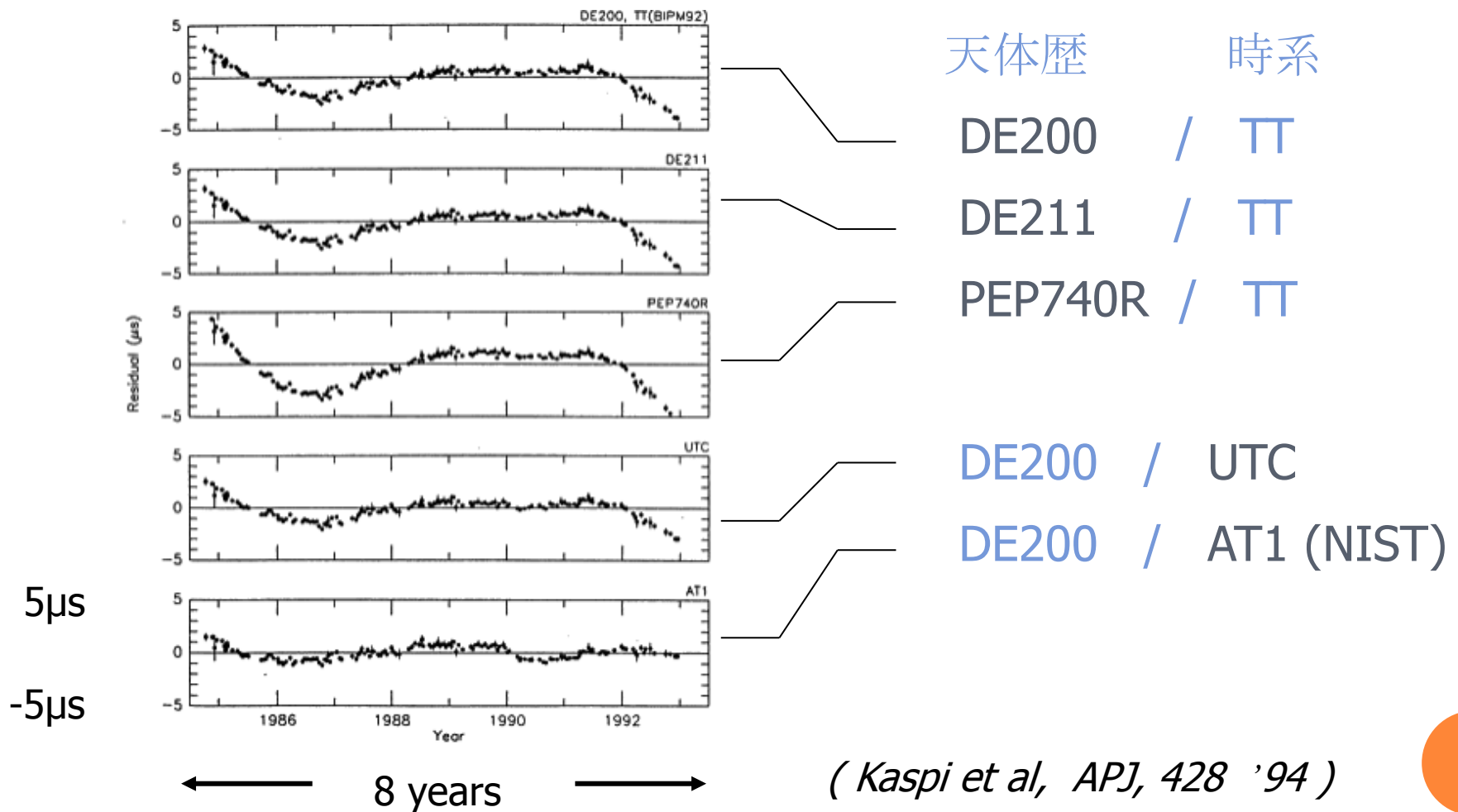
- * データの有効性確認
- * ノウハウの確立
- * 国内唯一の定常観測局

PSR1855+09、PSR1937+21 の周波数安定度



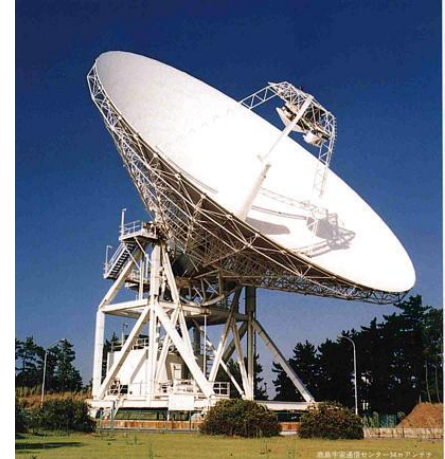
(Kaspi et al, APJ, 428 '94)

天体歴・時系 を変えて 解析した結果の 比較





パルサー VLBI観測



○ 目的

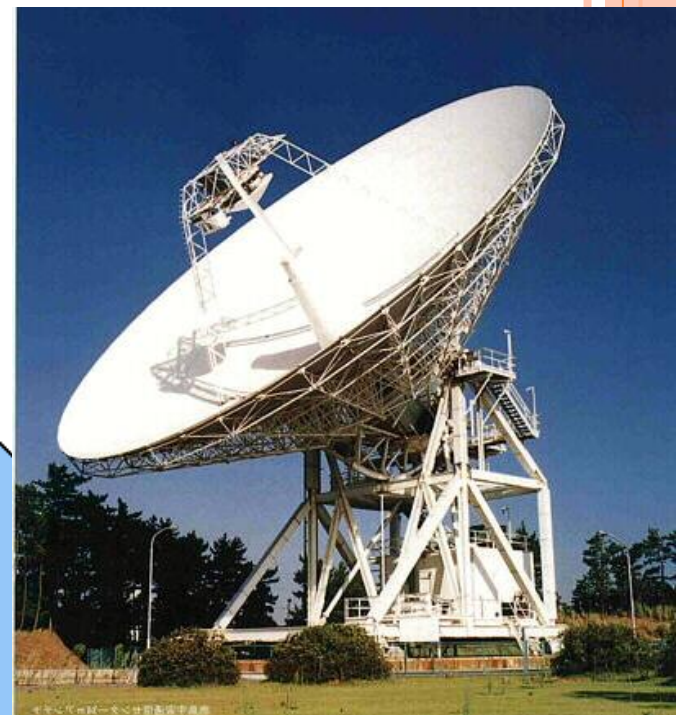
- 基準座標系の結合: 力学座標系とICRFの結合
- 固有運動の計測 → パルサーの速度分布、超新星残骸
- 年周視差の測定 - 距離 → 電子密度分布モデルへの寄与

- 鹿島34mアンテナ
- Kalyazin64mアンテナ(Russia)
- K4 VLBI システム, 水素メーザ
- K4相関器



通信総合研究所-ロシア レベデフ物理学研究所の共同研究

日露科学技術協力協定の「ミリ秒パルサータイミング精密計測及びパルサータイムスケールに関する研究」に基づいて1995年より観測を開始。



Kalyazin 64mアンテナー鹿島34mアンテナ
基線長7000km



観測に成功したPULSAR

- **B0329+54** (P=715msec, D=1.4kpc, $F_{1400}=200\text{mJy}$)
 - 北天で電波で最も明るいPulsar
- **B0355+54** (P=156msec, D=2.1kpc, $F_{1400}=23\text{mJy}$)
 - 過去の観測: Fomalont et al.(1984,1992,1997), Lyne et al.(1982)
- **B0950+08** (P=253msec, D=0.12kpc, $F_{1400}=84\text{mJy}$)
 - Gwinn et al. (1986)がVLBIでparallaxを測定
(μ_α, μ_δ)=(18.7, 36.2), Brisken(-1.6, 29.5)
- **B1933+16** (P=359msec, D=7.94kpc, $F_{1400}=42\text{mJy}$)
 - 過去の観測: Fomalont et al.(1992,1997)
- **B2021+51** (P=529msec, D=1.1kpc, $F_{1400}=27\text{mJy}$)
 - 過去の観測: Fomalont et al.(1984), Lyne et al.(1982),
 - Campbell et al. (1996) がVLBIでparallaxを測定
(μ_α, μ_δ)= (-8.1, 13.4)

PSR0329+54

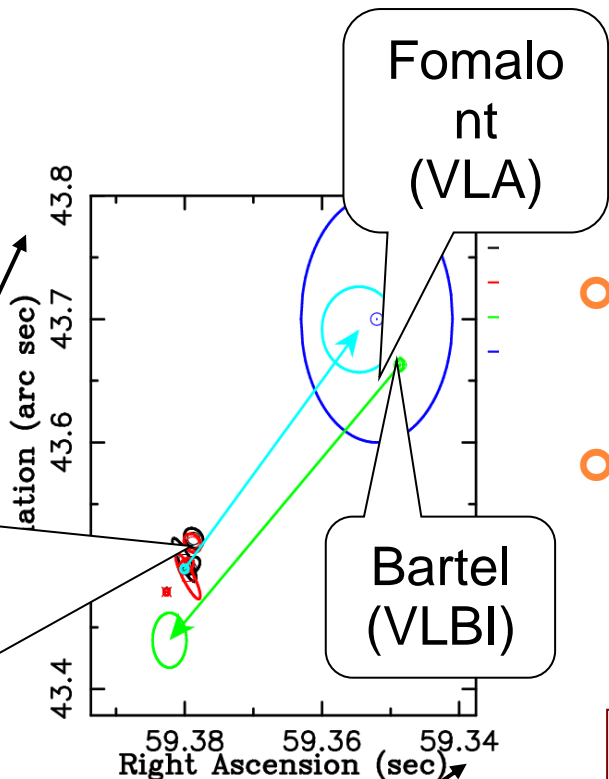
Our Data

$$\alpha : 03^{\text{h}}32^{\text{m}}59.38000 \pm 0.0005$$

$$\delta : 54^{\circ}34'43''.498 \pm 0.004$$

$$\mu_{\alpha} : 13.5 \pm 3.6 \text{ mas/yr}$$

$$\mu_{\delta} : -12.1 \pm 2.8 \text{ mas/yr}$$



- 干渉計観測(VLA, VLBI)の結果とも調和的。
- 更にOur data + Bartel (ICRF)で固有運動を求めると

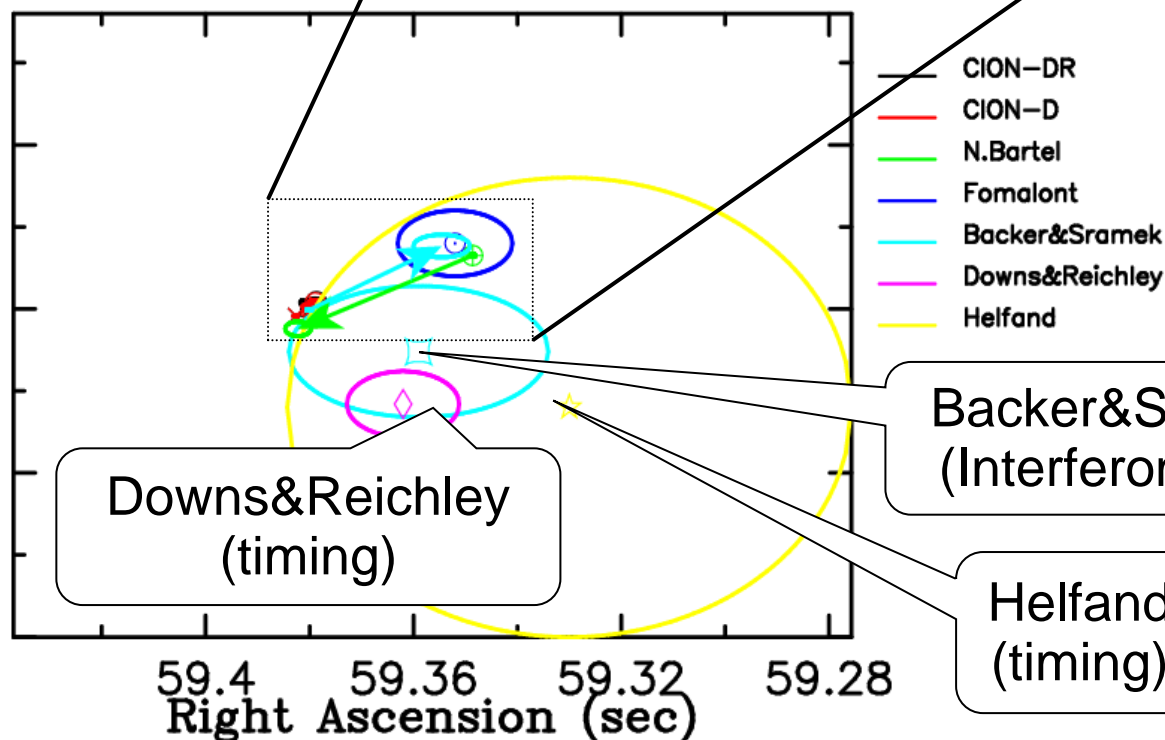
$$\alpha : 03^{\text{h}}32^{\text{m}}59.3758 \pm 0.0004$$

$$\delta : 54^{\circ}34'43''.518 \pm 0.003$$

$$\mu_{\alpha} : 17.2 \pm 0.4 \text{ mas/yr}$$

$$\mu_{\delta} : -10.5 \pm 0.4 \text{ mas/yr}$$

Declination (arc sec)



Backer&Sramek
(Interferometer)

Helfand
(timing)



PSR0355+54

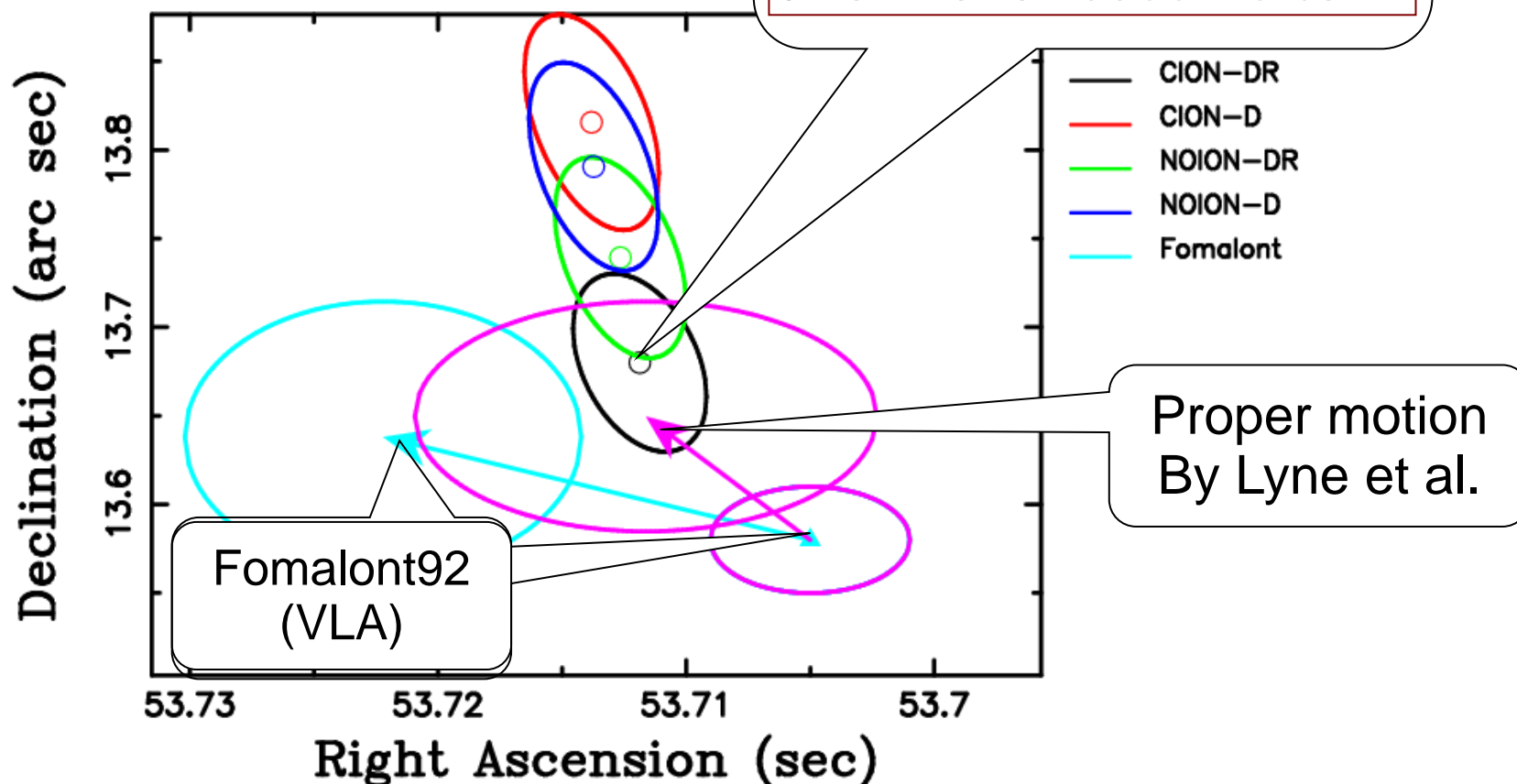
- 干渉計観測 (VLA, MERLIN)の結果とも調和的。

PSR0355+54 at 1998.0

Our Data

$$\alpha : 03^{\text{h}}58^{\text{m}}53^{\text{s}}.7119 \pm 0.003$$

$$\delta : 54^{\circ}13'13''.6800 \pm 0.05$$

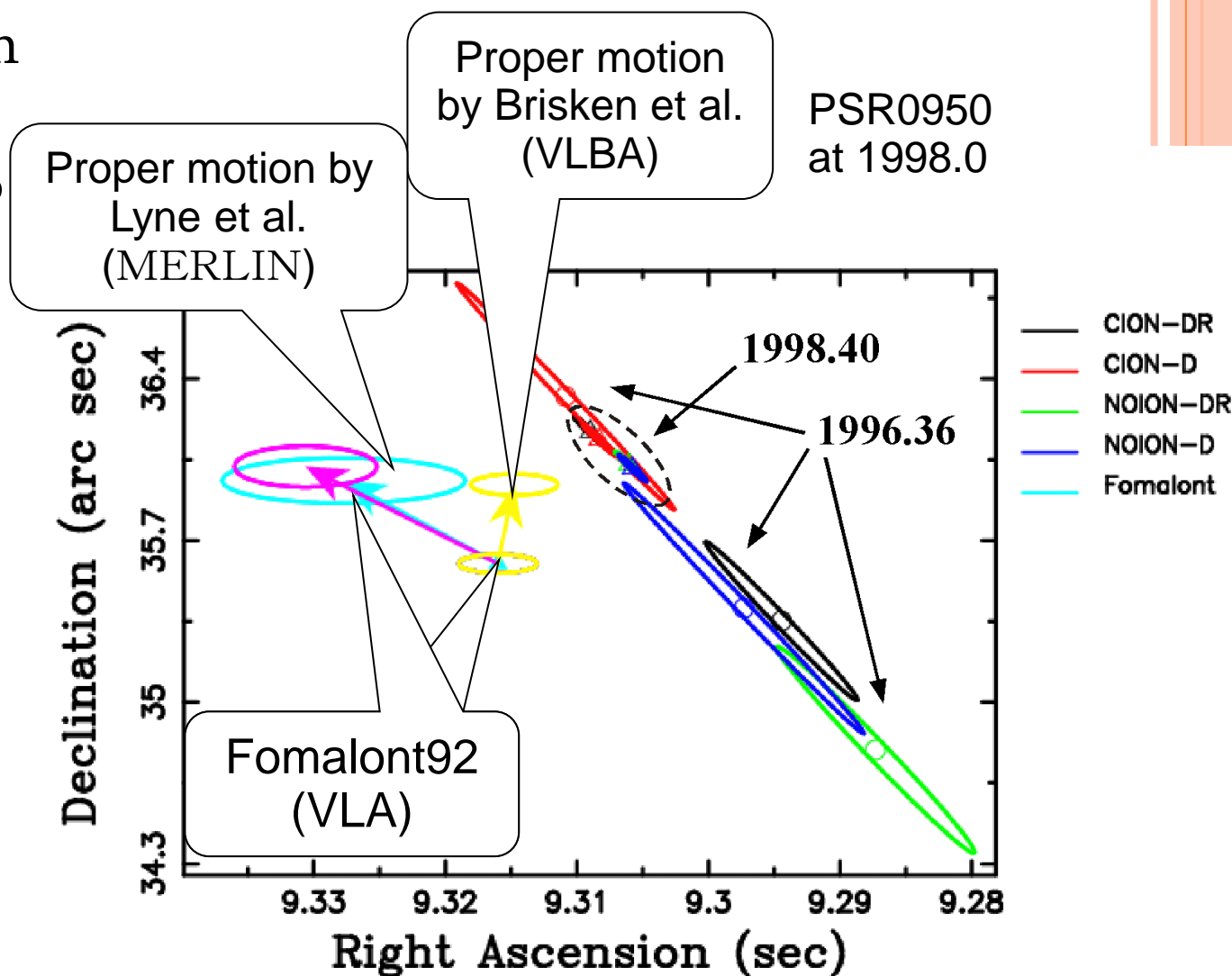


PSR0950+08

$$\alpha : 09^{\text{h}}53^{\text{m}}09.308 \pm 0.001$$

$$\delta : 07^{\circ}55'36''.157 \pm 0.06$$

- Fomalont(1992), Gwinn (1986), Lyne (1982), と Brisken (2000)の異なる固有運動観測結果。
- 絶対位置天文観測の重要性。



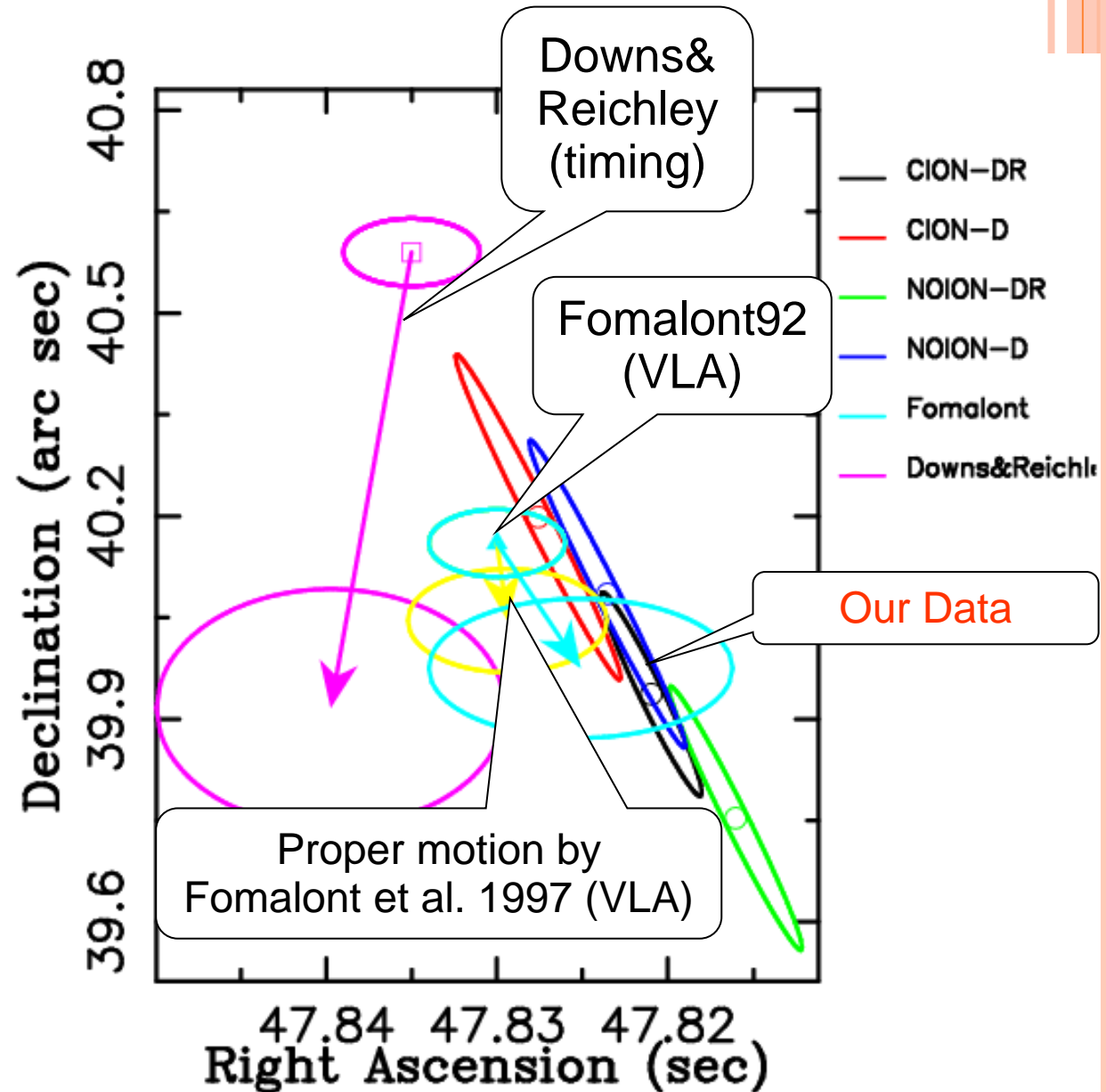
PSR1933+16

PSR1933+16
at 1995.20

$$\alpha : 19^{\text{h}}35^{\text{m}}47.827 \pm 0.004$$

$$\delta : 16^{\circ}16'40''.3 \pm 0.2$$

- Down&Reichley(timing:1983)の結果とはやや差がある。
- VLAによるFomalont et al.(1997)の結果とは誤差内で一致する。

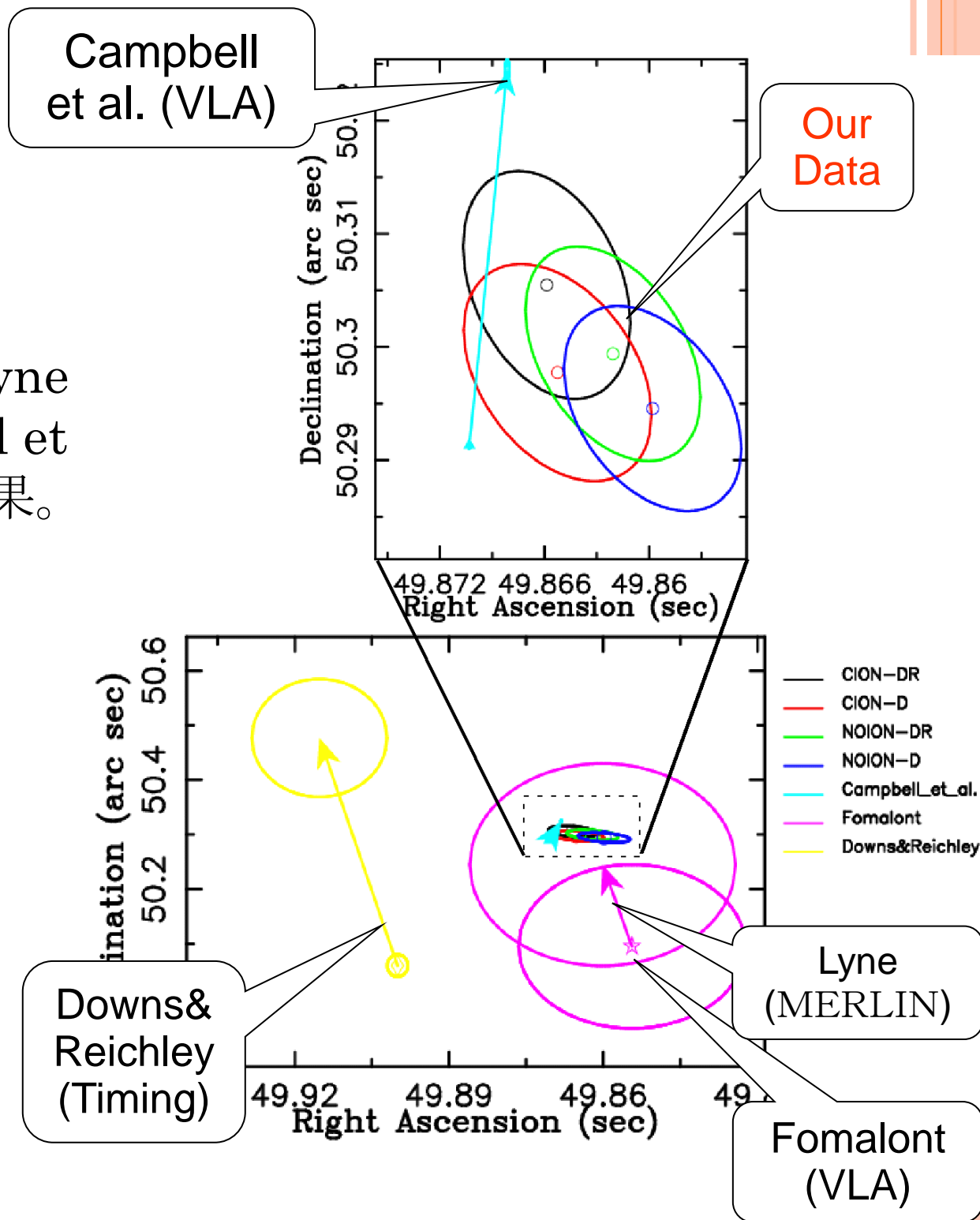


PSR2021+51

$$\alpha : 20^{\text{h}}22^{\text{m}}49^{\text{s}}.866 \pm 0.005$$

$$\delta : 51^{\circ}54'50''.305 \pm 0.01$$

- Fomalont et al. (1992) + Lyne et al. (1982), 及び Campbell et al. (1986) と整合性のよい結果。



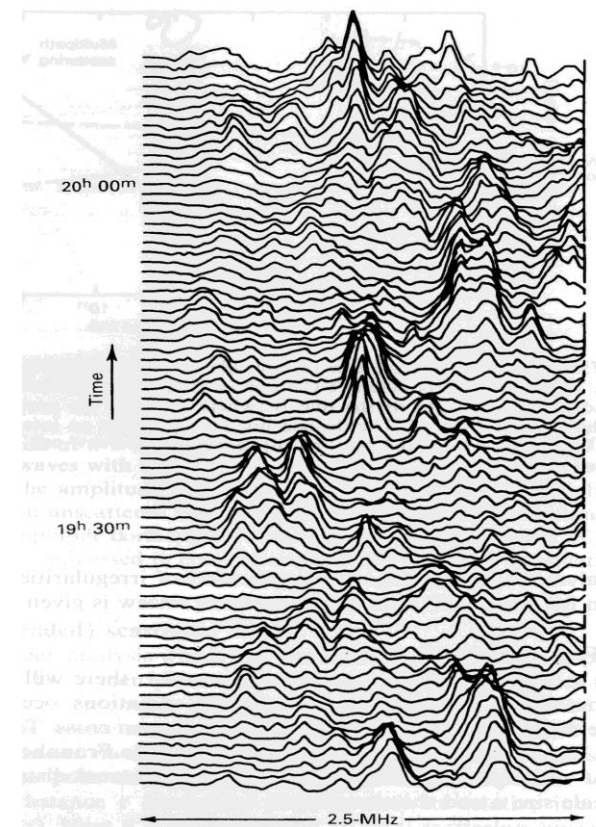
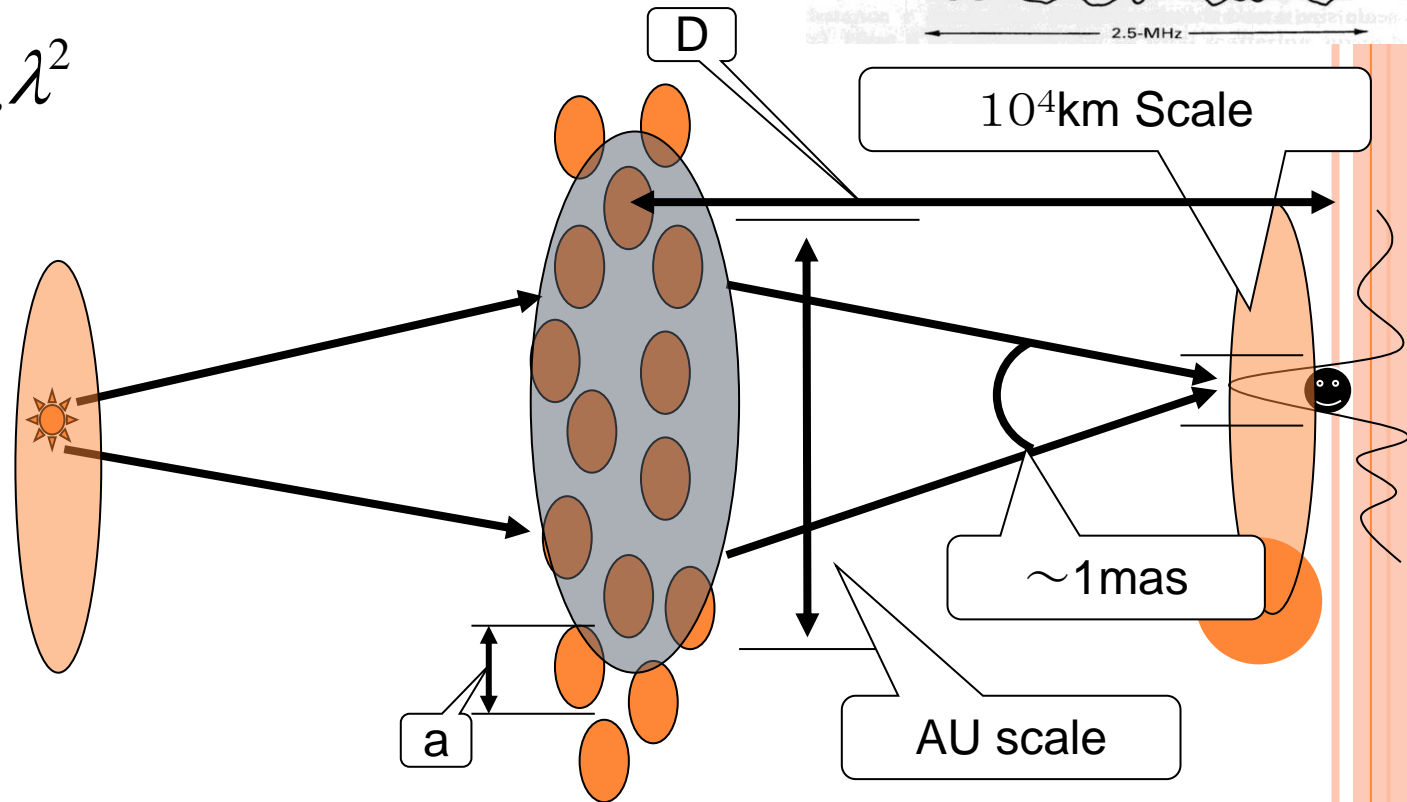
INTERSTELLAR SCINTILLATION

- Scattering Disk Size: θ_{sc}
- Scintillation Bandwidth: B_{sc}
- Scintillation time scale: τ_{sc}

$$\theta_{scat} \approx \frac{1}{2\pi} \left(\frac{D}{a} \right)^{1/2} r_e \Delta n_e \lambda^2$$

$$B_s \approx \frac{8\pi^2 ac}{D^2 r_e^2 (\Delta n_e)^2 \lambda^4}$$

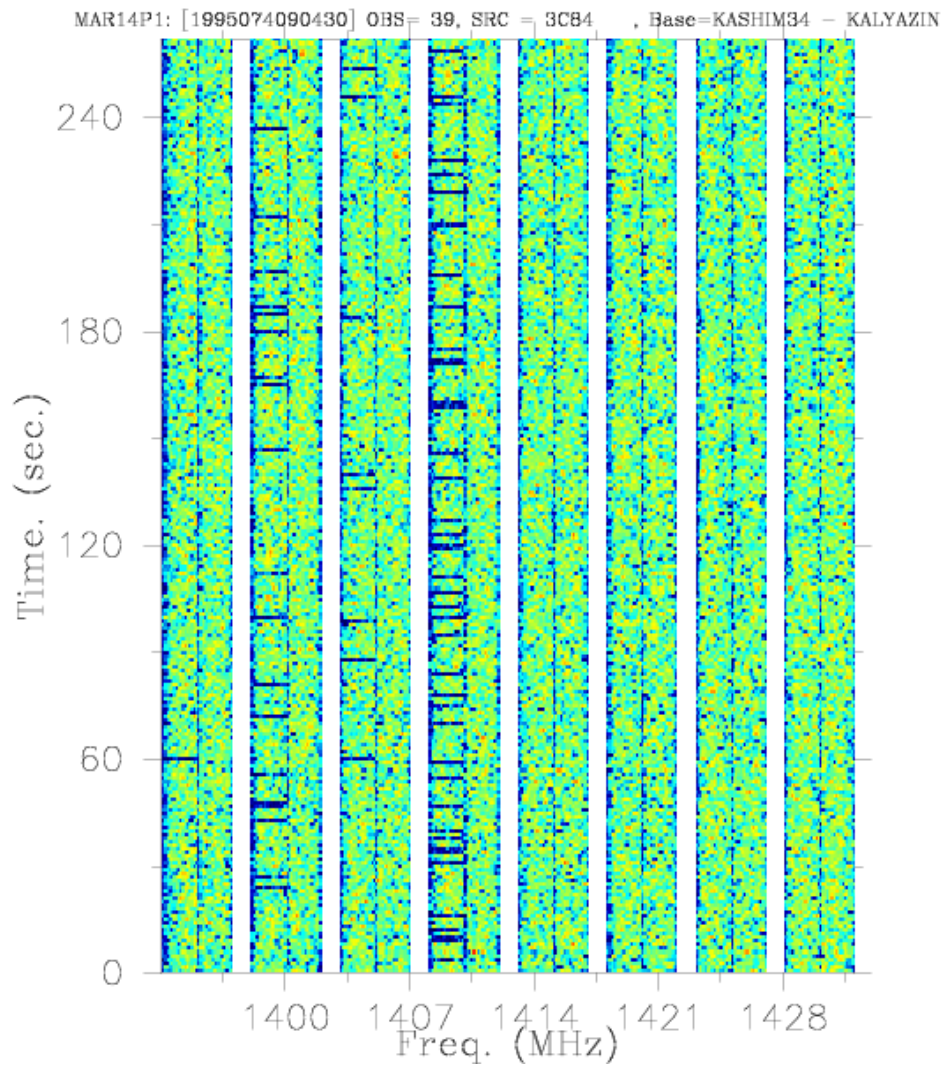
$$\tau_s \approx \left(\frac{D}{a} \right)^{1/2} \frac{1}{V_{sc} r_e \Delta n_e \lambda}$$



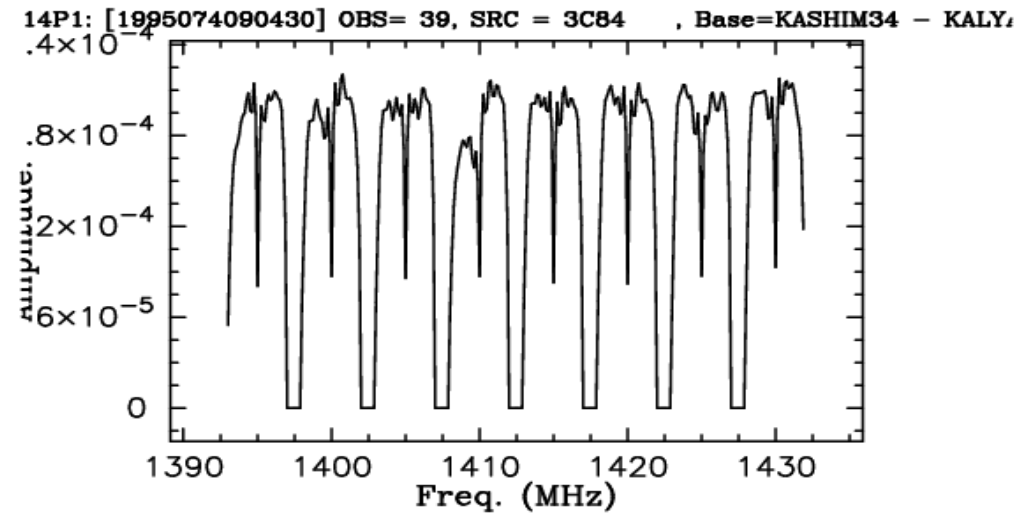
Cross Power Spectrum

3C84 @1.4GHz

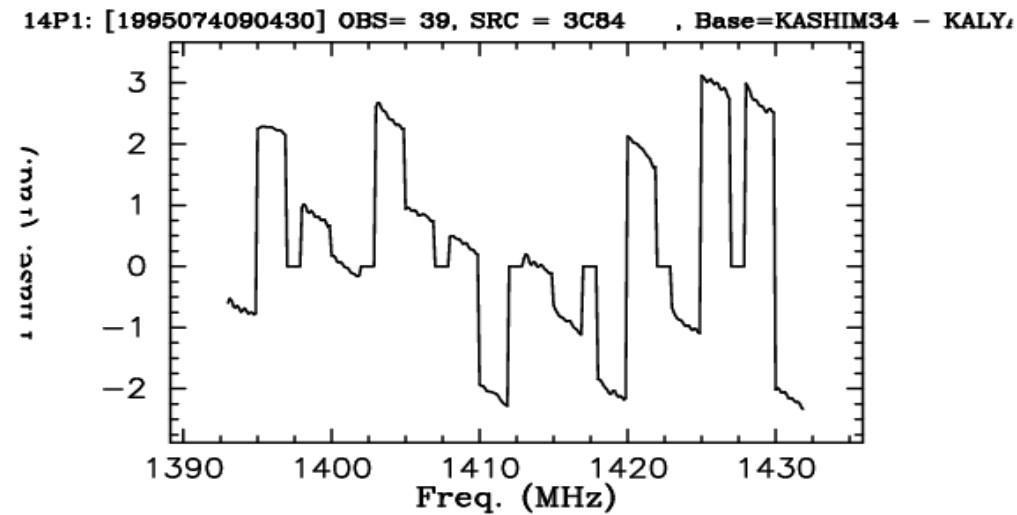
Dynamic Spectrum



Cross Spectrum



Cross Spectrum



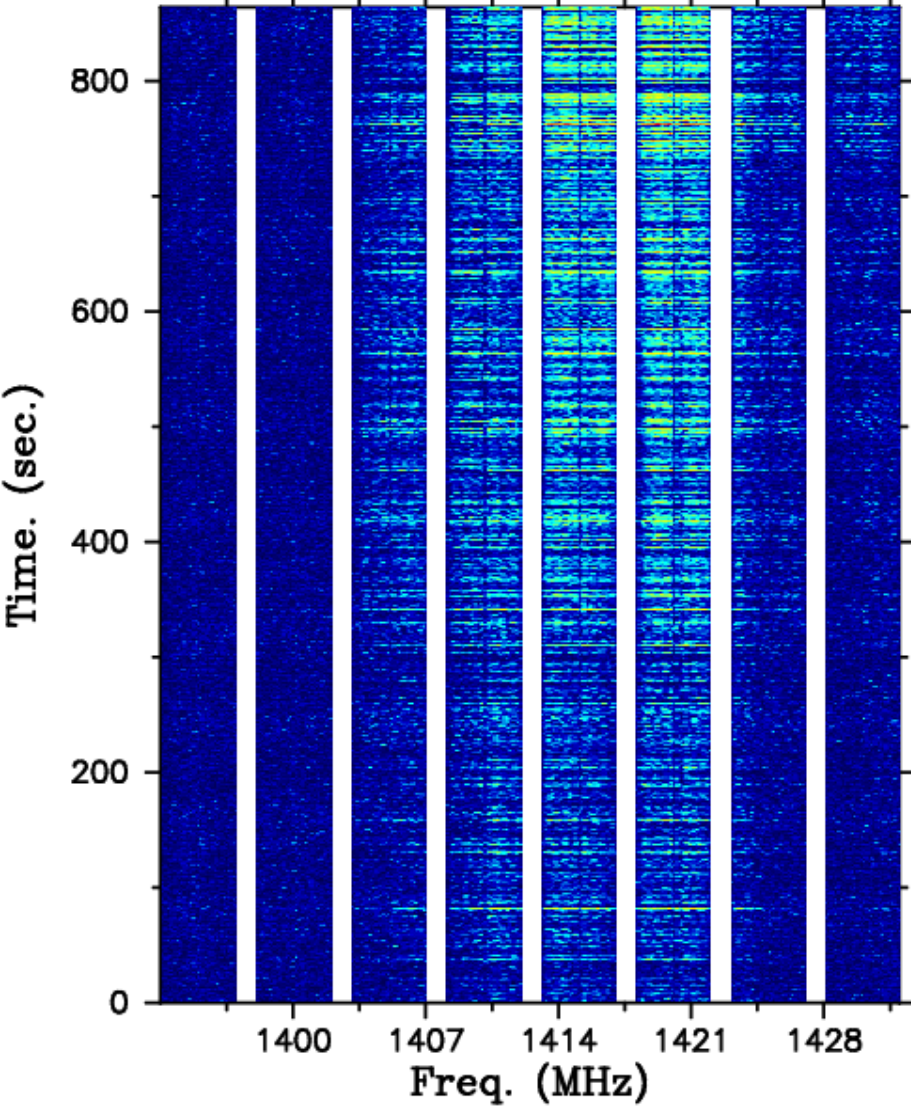
Cross Power Spectrum

PSR0329+54 @1.4GHz

$B_{SC} \sim 15\text{MHz}$

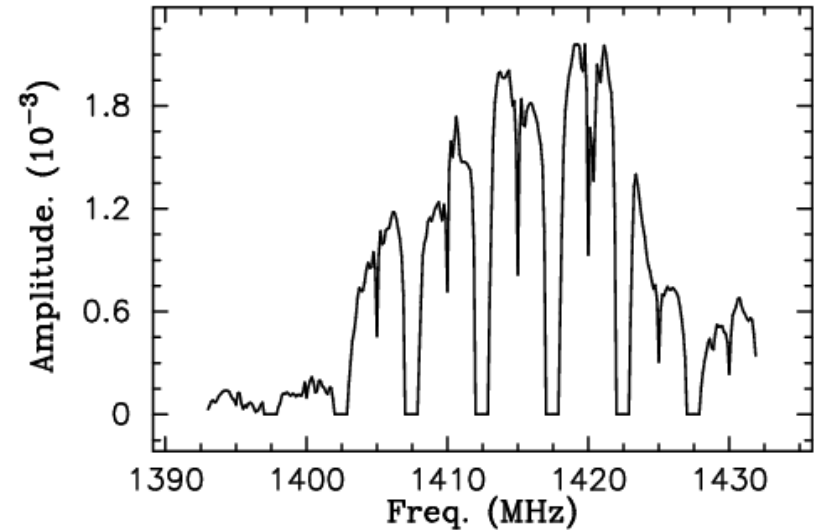
Dynamic Spectrum

MAR14P1: [1995074083230] OBS= 37, SRC = PSR0329 , Base=KASHIM34 - KALYAZIN



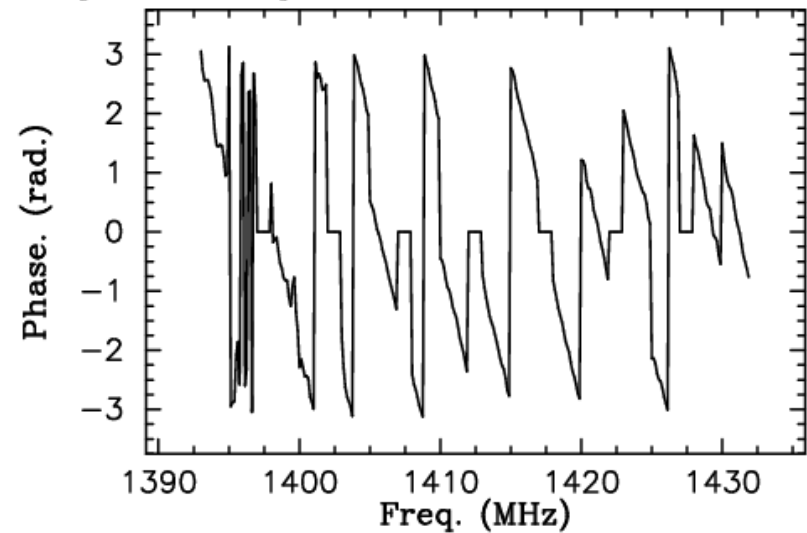
Cross Spectrum

14P1: [1995074083230] OBS= 37, SRC = PSR0329 , Base=KASHIM34 - KALY



Cross Spectrum

14P1: [1995074083230] OBS= 37, SRC = PSR0329 , Base=KASHIM34 - KALY



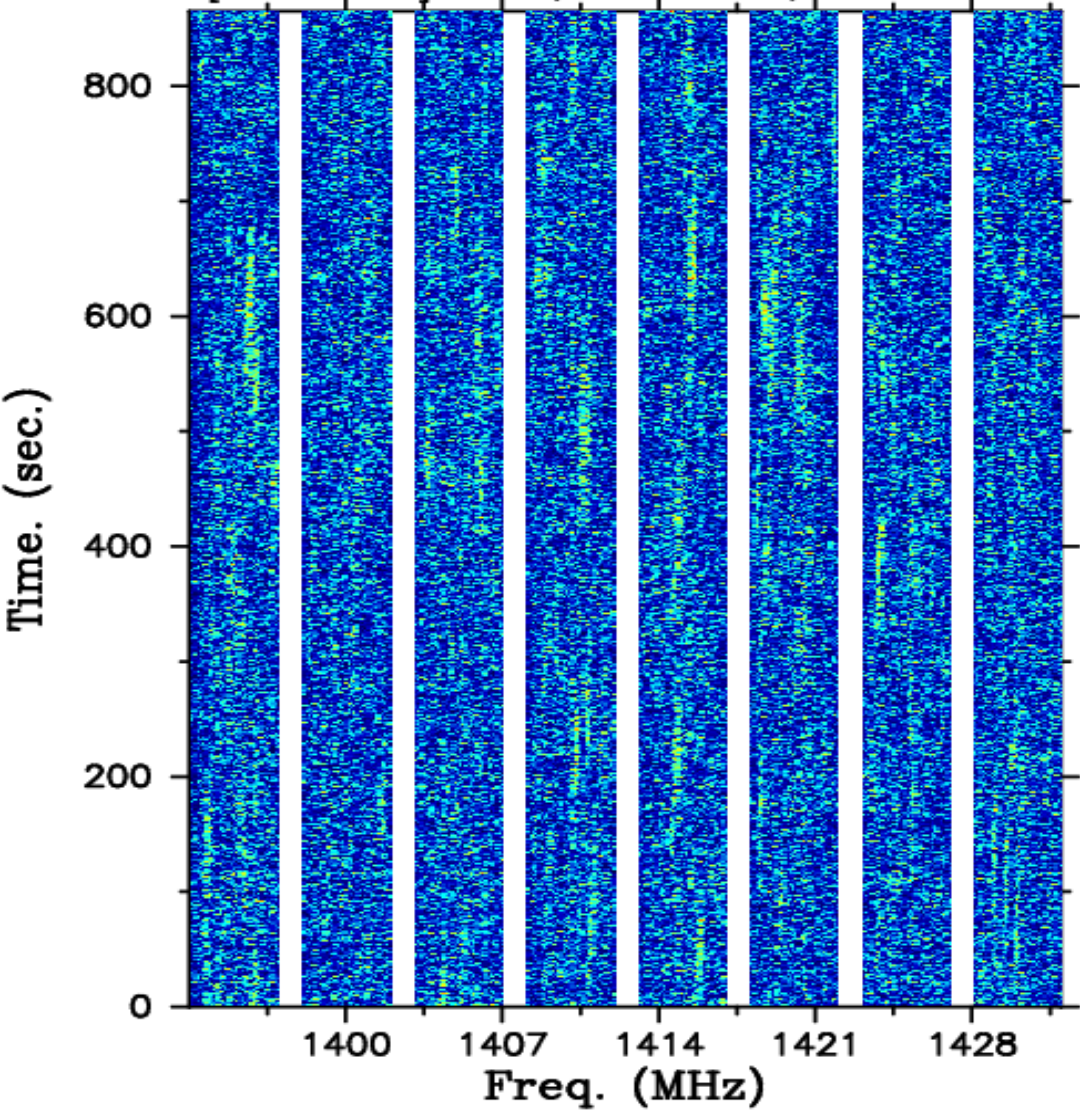
Cross Power Spectrum

PSR1933+16 @1.4GHz

$B_{SC} \sim 70-150\text{kHz}$

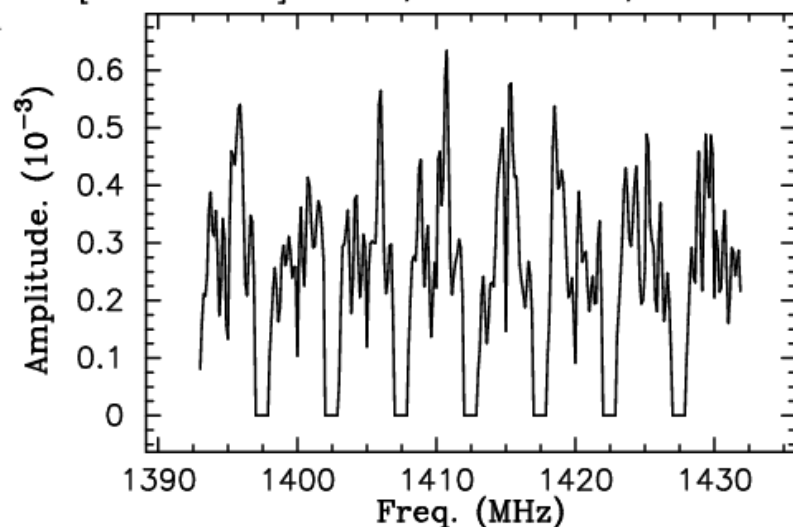
Dynamic Spectrum

MAR14P1: [1995074024530] OBS= 16, SRC = PSR1933 , Base=KASHIM34 - KALYAZIN



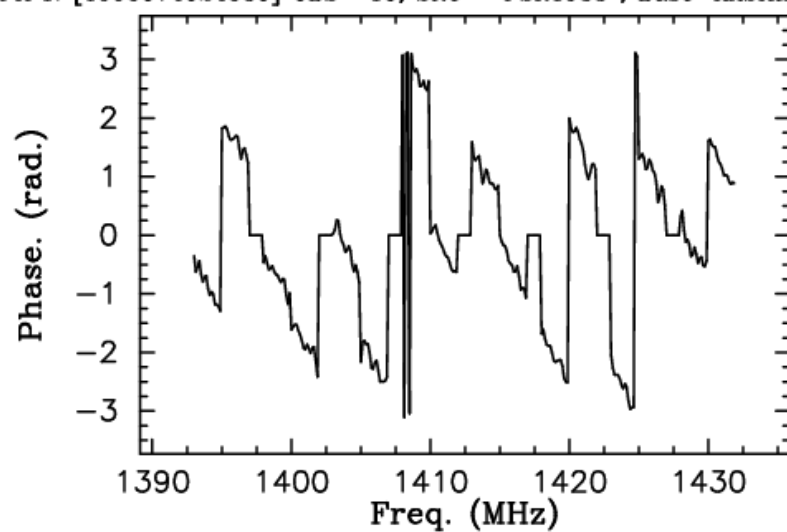
Cross Spectrum

14P1: [1995074024530] OBS= 16, SRC = PSR1933 , Base=KASHIM34 - KALY



Cross Spectrum

14P1: [1995074024530] OBS= 16, SRC = PSR1933 , Base=KASHIM34 - KALY

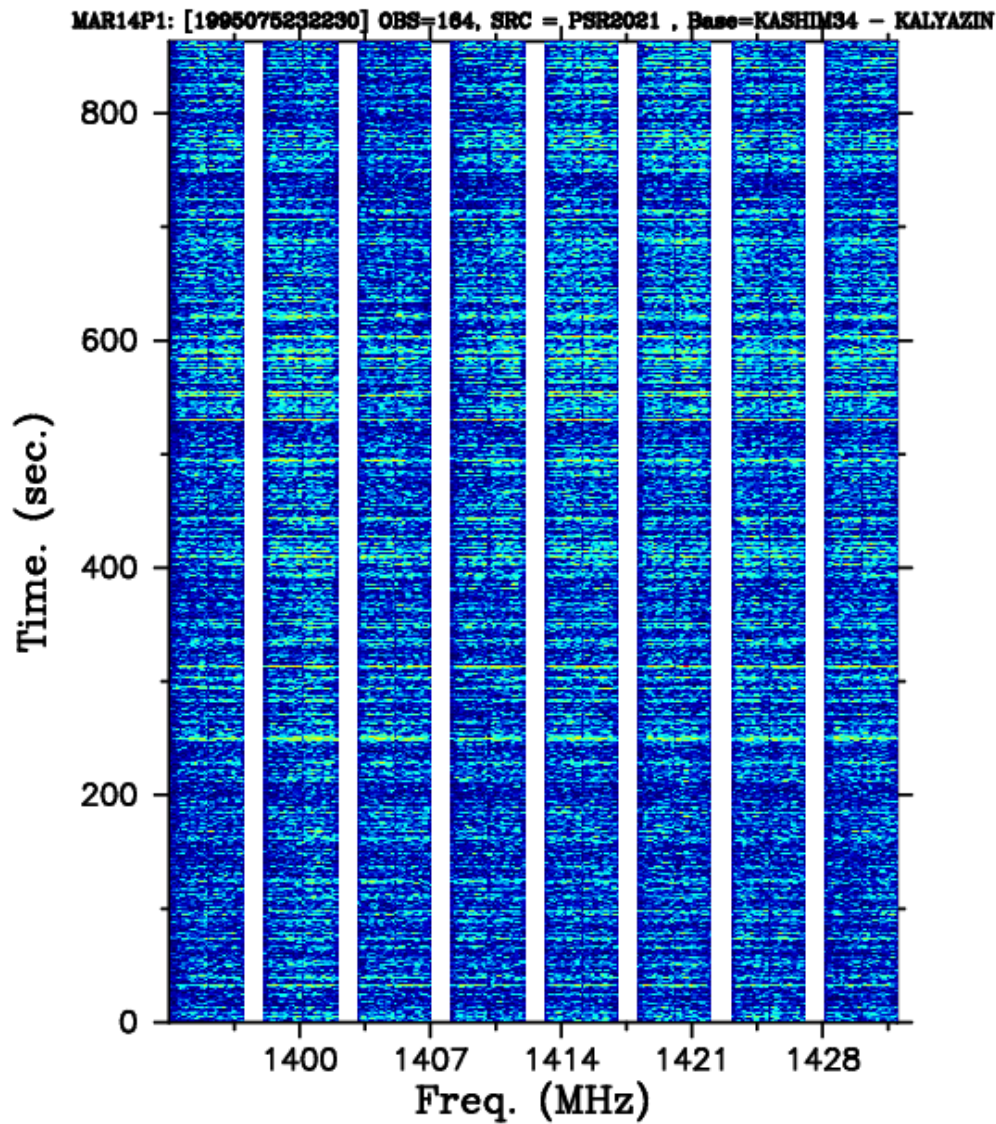


Cross Power Spectrum

PSR2021+51@1.4GHz

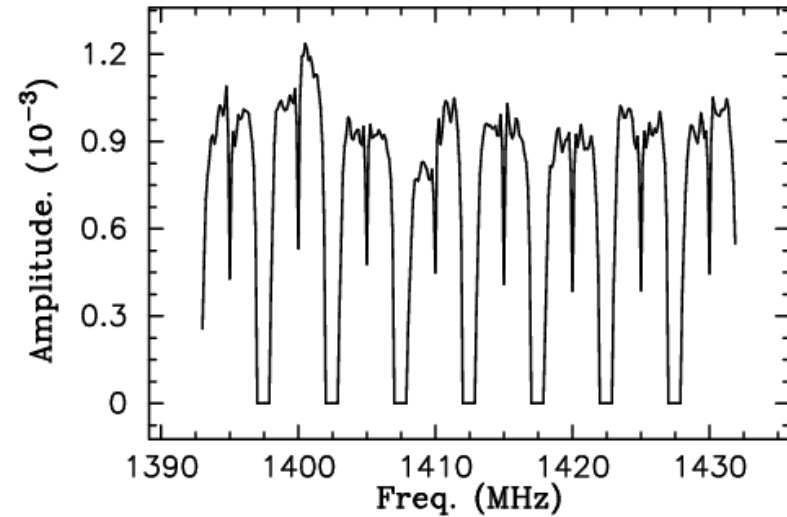
$B_{SC} > 40\text{MHz}$

Dynamic Spectrum



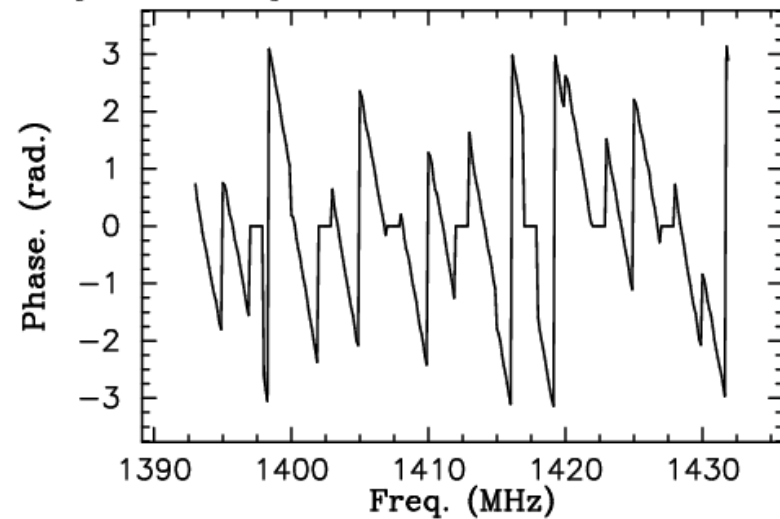
Cross Spectrum

14P1: [1995075232230] OBS=164, SRC = PSR2021, Base=KASHIM34 - KALY



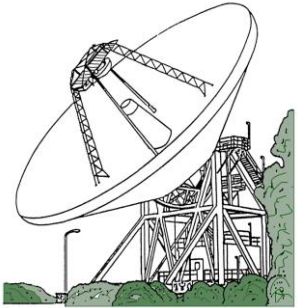
Cross Spectrum

14P1: [1995075232230] OBS=164, SRC = PSR2021, Base=KASHIM34 - KALY



Giant Radio Pulse(GRP) の観測

観測システム (L-band)



IF: 155-185MHz



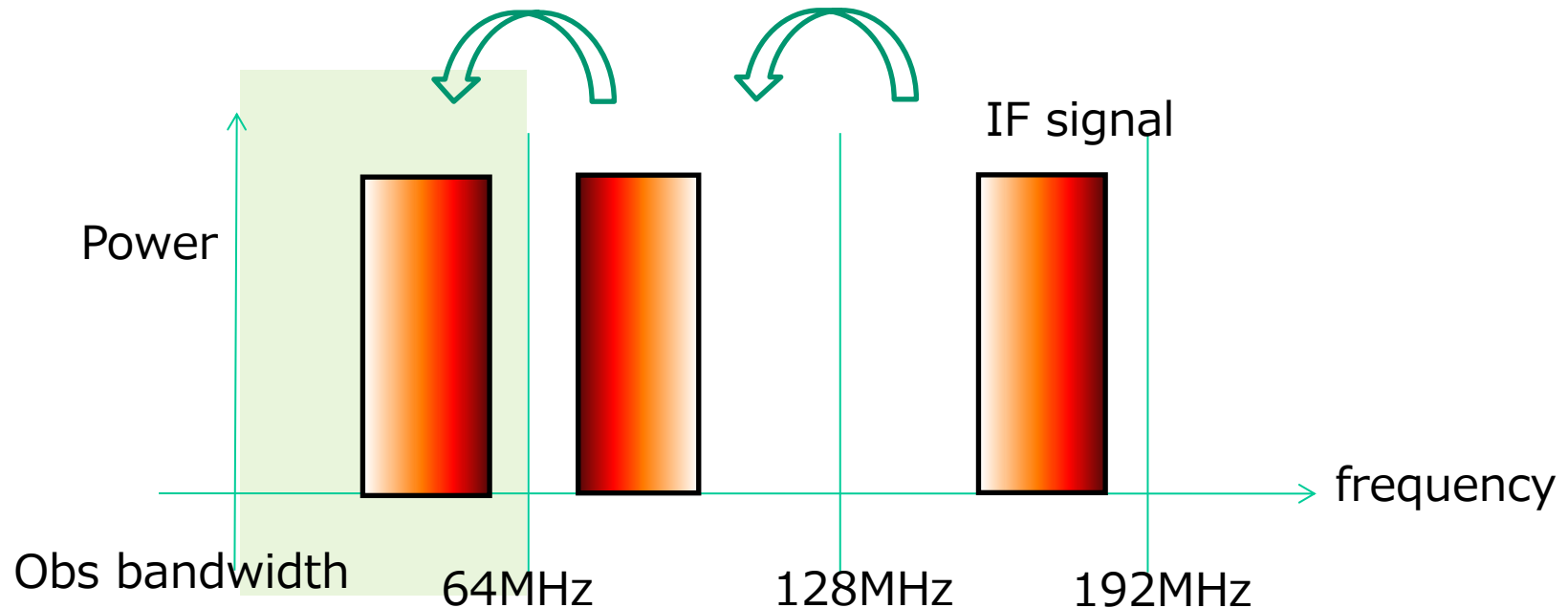
34m L-BAND
RF: 1405-1435MHz



ADS3000+
128Msps 8bit



K5/VSI card



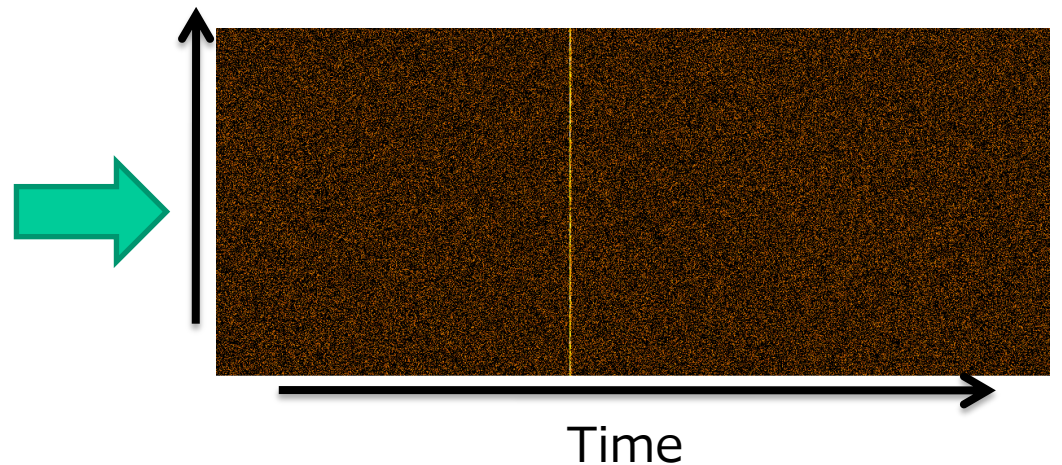
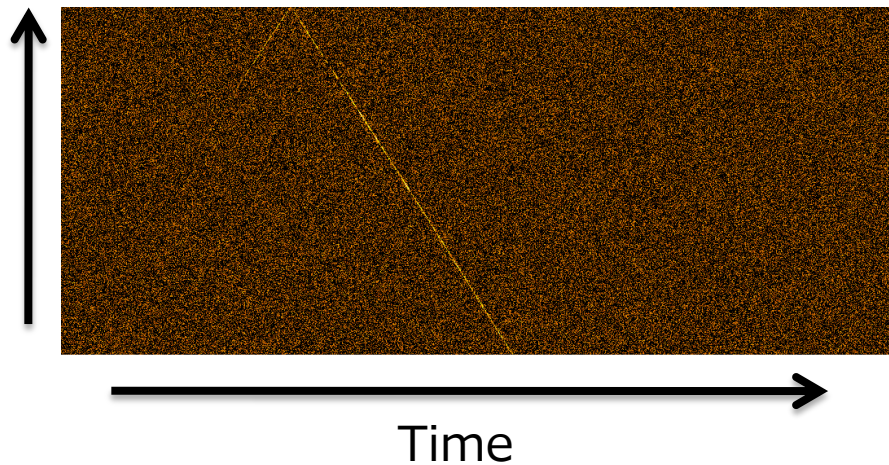
Dispersion Removal

パルサーの信号は地球に達するまでに、星間媒質により周波数に依存した遅延を受ける。

$$\Delta\tau(f) = 4.149 \times 10^3 \frac{DM}{f_{MHz}^2} \text{ [sec]}$$

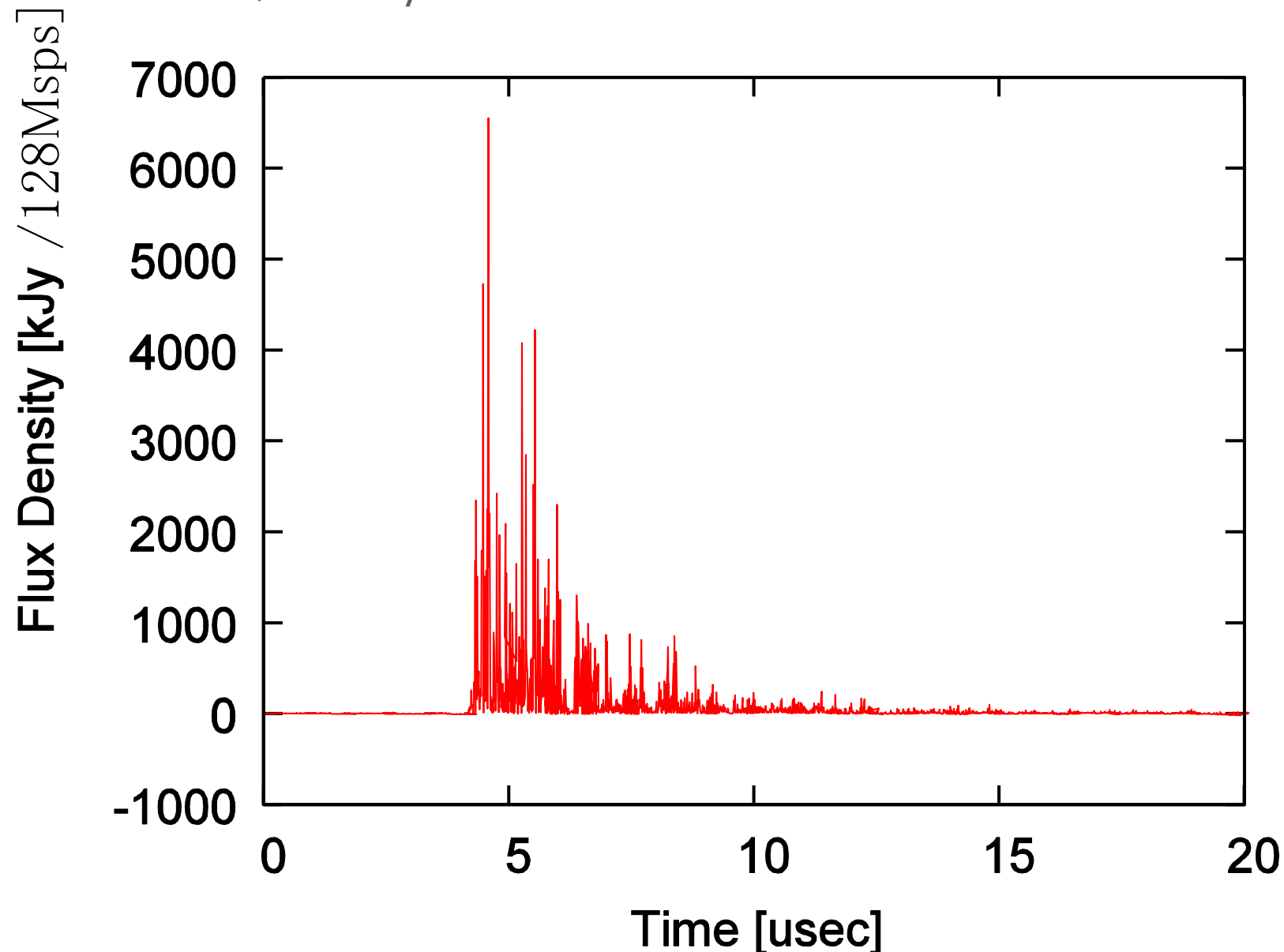
FFTにより時間領域へ変換し、 $\exp[+j\Delta\tau(f)]$ を掛けてディスペーションを補正する。

freq 1.4GHz Dynamic spectrum of GRP



CRABパルサーからの特大GRP

DM: 6.7656、2010/339 16:46:39

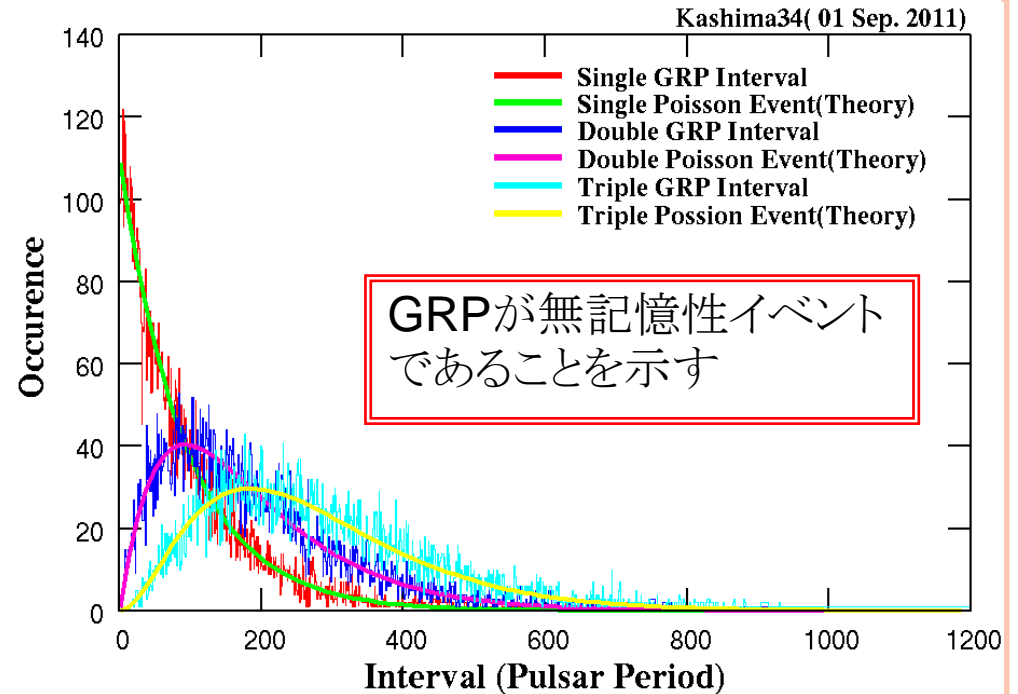


GRPの確率分布～ポアソン分布に従うことを確認

$$\frac{d}{dt} P(N_t \geq 1) = \lambda e^{-\lambda t} \dots\dots(1)$$

$$\frac{d}{dt} P(N_t \geq 2) = \lambda^2 t e^{-\lambda t} \dots\dots(2)$$

$$\frac{d}{dt} P(N_t \geq 3) = \frac{\lambda^3}{2} t^2 e^{-\lambda t} \dots\dots(3)$$

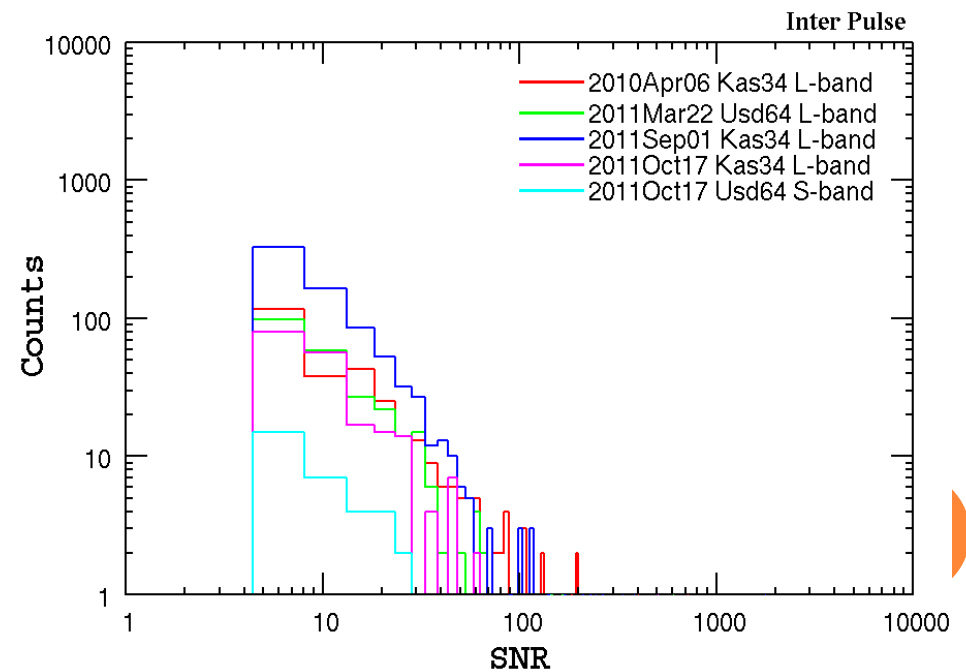
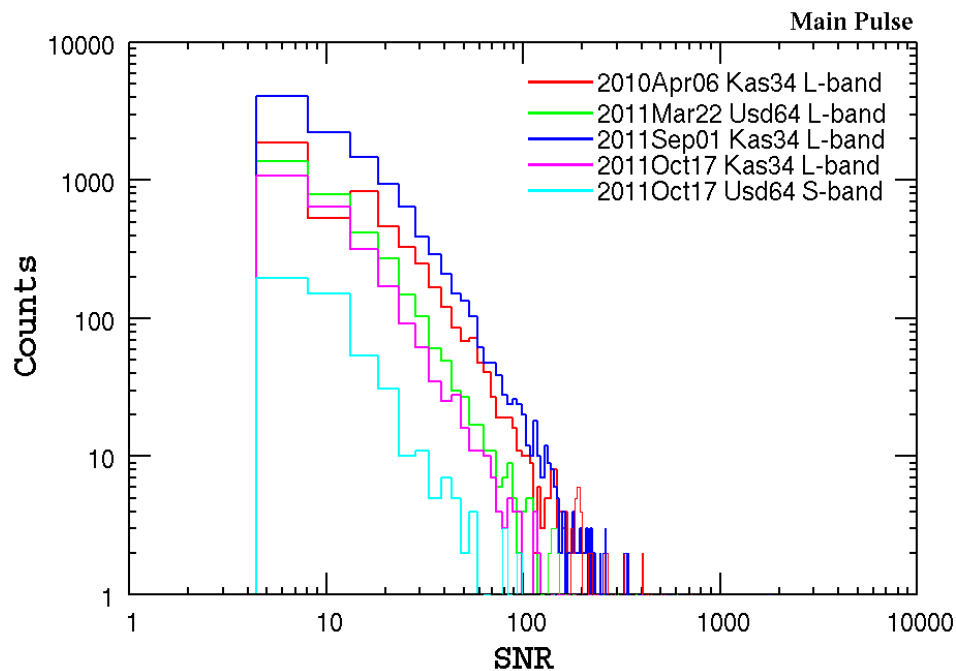


Epoch	Antenna	Band	GRP rate	平均出現間隔	
			[/period]	[period]	[sec]
2010Apr06	Kas34	L-band	0.00617	162.1	5.36
2011Mar22	Usd64	L-band	0.00690	144.9	4.79
2011Mar22	Usd64	S-band	0.00110	909.1	30.07
2011Sep01	Kas34	L-band	0.01074	93.1	3.08
2011Oct17	Kas34	L-band	0.00679	147.3	4.87
2011Oct17	Usd64	S-band	0.00053	1886.8	62.42

かにパルサーの

GRPのMAINパルスとINTERパルスのSNR分布

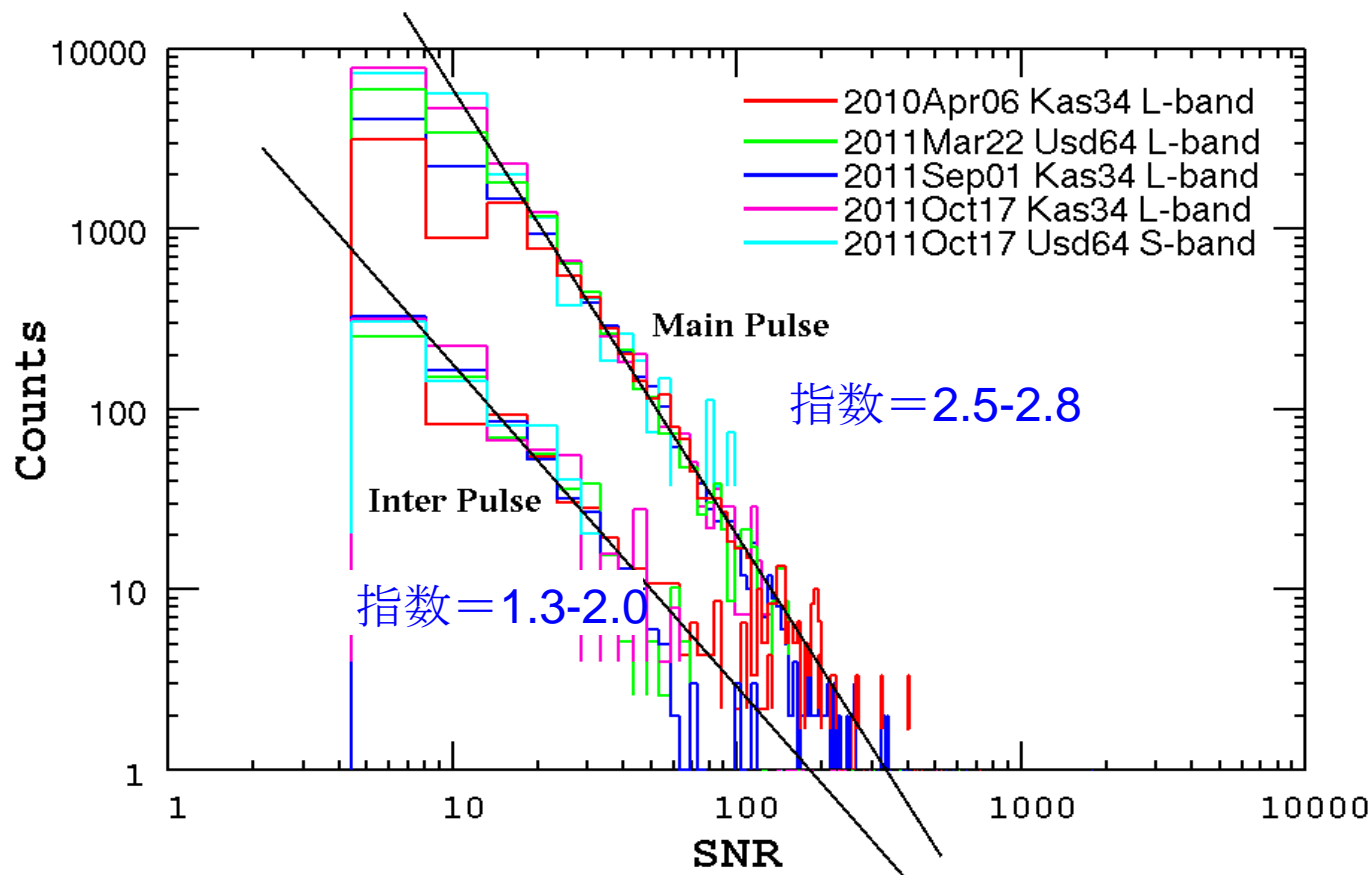
- 横軸SNRはエネルギーと読み替えることができる。
- 頻度分布が変化しないならば、平均時間を延ばすと分布の形を変えずにグラフは右にシフトする。
- →ヒストグラムを重ねてみると・・・



かにパルサーの

GRPのMAINパルスとINTERパルスのSNR分布

- 横軸SNRはエネルギーと読み替えることができる。
- 頻度分布が変化しないならば、平均時間を延ばすと分布の形を変えずにグラフは右にシフトする。
- →ヒストグラムを重ねてみると・・・



今後の計画

- GRPの観測
 - 2周波(1.4/1.6GHz)によるDM測定など
- VLBI観測 - ロシア 6 4 m
 - 固有運動の計測
- タイミング観測の再開
 - デジタルフィルタによるシステムの改良・自動化
 - Nulling On/Off mode change 似伴う dP/dt の変化など興味深い
 - IAU Division-I(Fundamental Astronomy)のComission31(Time)のWGで TTへの寄与にPulsar Timeを含めるかどうか検討するWGの設置