

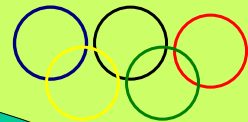
パルサーによる銀河系研究

亀谷 收 (国立天文台
VERA観測所・水沢観測所)

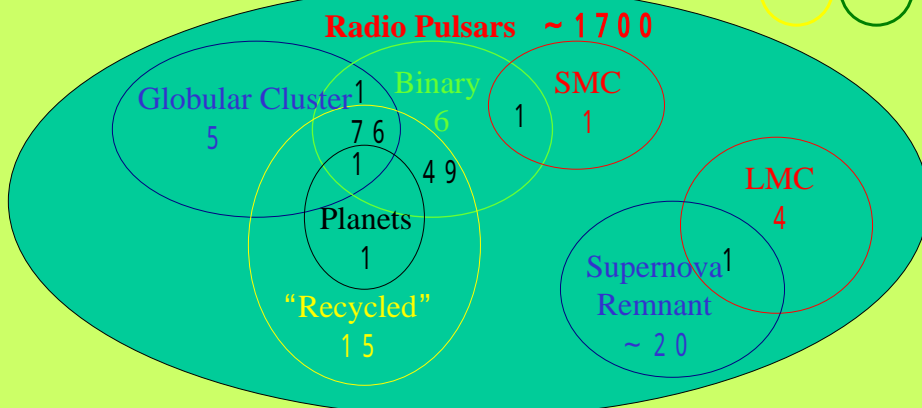
祝！！ 2月20日(本日)より
水沢市 >> 奥州市水沢区

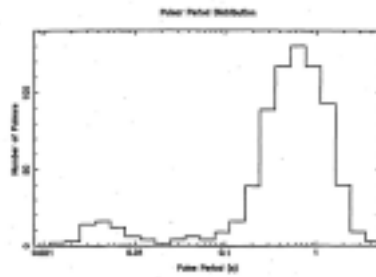
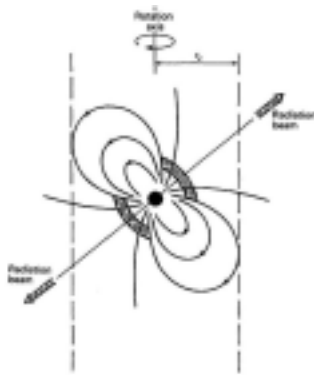


祝トリノ五輪
ガンバレ日本！



Duncan R. Lorimer "Binary and Millisecond Pulsars", 2005





The distribution of the periods of pulsars.

Fig. 2.3. The essential features of a pulsar magnetosphere. Within a radial distance $r_c = c/\Omega$ of the rotation axis there is a charge-separated, co-rotating magnetosphere. The magnetic field lines which touch the velocity-of-light cylinder at radius r_c define the edge of the polar caps. Radio emitting regions in the polar caps are shown cross-hatched. Since the particles are constrained to move only along the field lines, there is a closed region within the field lines which touch the velocity-of-light cylinder, and only particles on the open field lines outside this region can flow out from the magnetosphere. The radio emitting regions are confined to these open polar cap regions.

Lyne & Graham-Smith, 1998, **Pulsar Astronomy**,
Cambridge Univ. Pressより

Dispersion Measure

$$DM = A(t_1 - t_2) \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right)^{-1}, \quad A = 2.410 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3} \text{ pc}$$

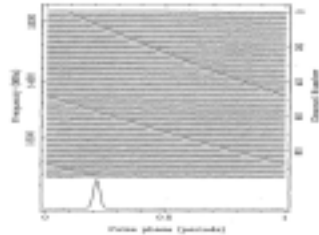


FIG. 2.4. Frequency spectrum as shown above from the PSR B1509-58, observed at the Arecibo Telescope (Greenland, March 2 1982) with a channel width of 1000 kHz.

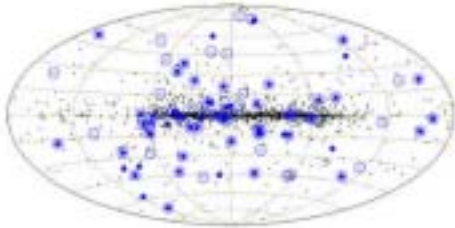
パルサー位置天文学の何が面白いのか

- 銀河系内のパルサーの分布が分かる。パルサー位置天文学の発展
- パルサーの距離を求めると、パルサーの物理量が求まる。理論への貢献
- 視線方向に垂直な実速度が分かる。
(1974年以降64論文)
- パルサーまでの平均電子密度が分かる。

$$DM = d \cdot n$$

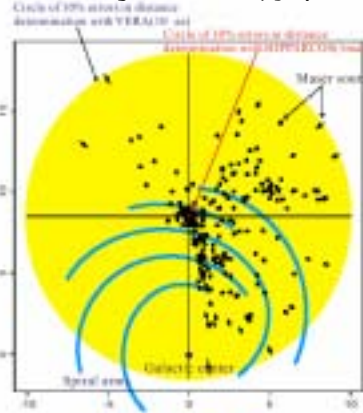
パルサーの銀経銀緯分布

Duncan R. Lorimer "Binary and Millisecond Pulsars", 2005

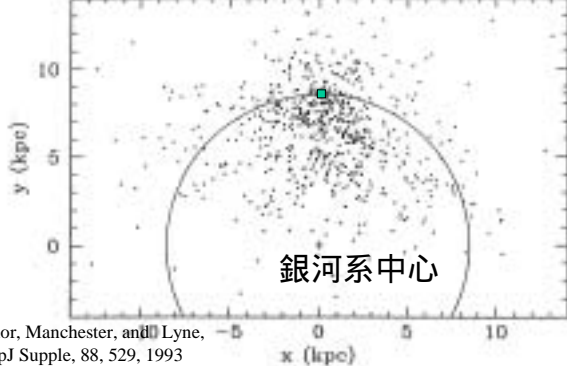


Distribution of known H₂O maser sources near the Galactic plane and their expected errors of distance determination

水メーザー分布

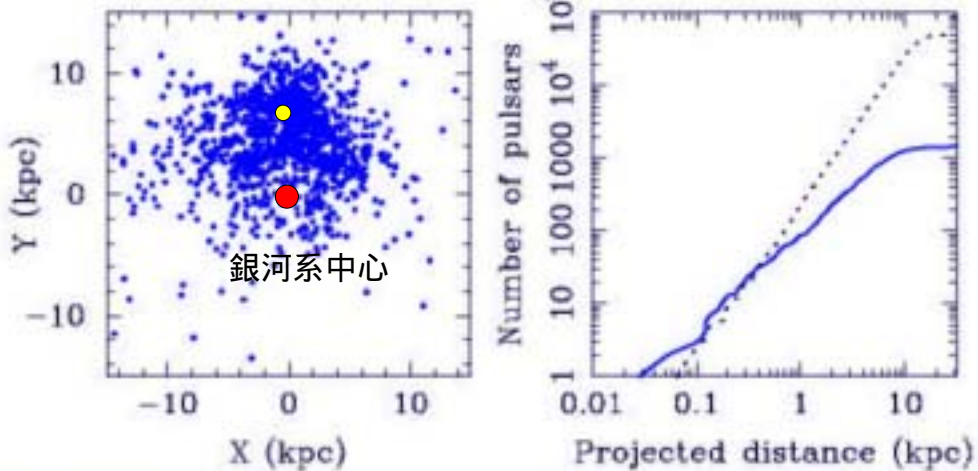


DMから求めた距離による銀河面分布



Taylor, Manchester, and Lyne, ApJ Supple, 88, 529, 1993

DMから求めた距離による銀河面分布



Duncan R. Lorimer "Binary and Millisecond Pulsars", 2005

Figure 11: Left panel: The current sample of all known radio pulsars projected onto the Galactic plane. The Galactic centre is at the origin and the Sun is at (0, 8.5) kpc. Note the spiral-arm structure seen in the distribution which is now required by the electron density model [73, 74]. Right panel: Cumulative number of pulsars as a function of projected distance from the Sun. The solid line shows the observed sample while the dotted line shows a model population free from selection effects.

$$c = P / (2dP/dt) \quad B \quad (P (dP/dt))^{1/2}$$

Lyne & Graham-Smith, 1998, *Pulsar Astronomy*, Cambridge Univ. Pressより

パルサーのPとdP/dtの関係

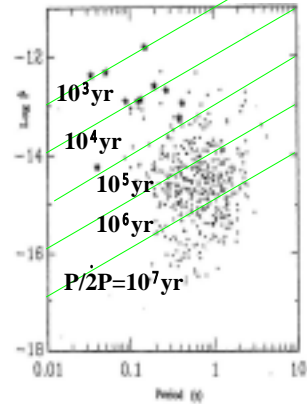
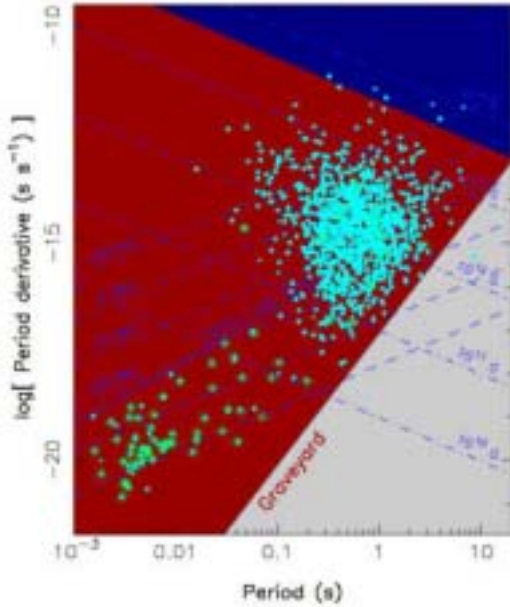


Fig. 5.1. The $P - \dot{P}$ diagram: logarithmic plot of the first derivative of the period against the period. Binary and millisecond pulsars are omitted from this plot: see

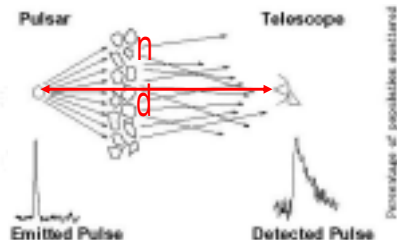
Table 4.3. Pulsar distances from optical associations

PSR	Optical object	Distance (kpc)	Pulsar DM ($\text{cm}^{-2} \text{pc}$)	(%)	Ref.
B0031-72C-N	47 Tuc (GC)	4.6	24.5	0.005	1
J0045-7219	SMC	57	325	0.002	2
B0528-66	LMC	49	125	0.003	3
B0511-37	Coax Nebula (SNR)	2.0	37	0.029	4
B0548-69	SNR in LMC	53	346	0.028	5
B0833-45	Vela (SNR)	8.5	69	0.128	6
B1318+18	M3 (GC)	19	24	0.013	7
B1328-62	G306.8-01 (SNR)	6.9	730	0.165	8
B1509-58	MSH15-52 (SNR)	4.4	235	0.053	9
B1516+02A	M5 (GC)	7.0	28.5	0.004	10
R1510-50	Kaori (SNR)	1-7	403	0.1	11
B0820-38	M6 (GC)	1.8	63	0.035	12
B0829+36A,B	M13 (GC)	5.7	38	0.004	13
B1706-44	M88(15-4 (SNR))	~ 3	78	0.023	14
B1728-19	N20C392 (GC)	13.6	79	0.006	15
B1745-20	N20C440 (GC)	5.9	233	0.031	16
B1744-24A,B	Terzani (GC)	7.1	240	0.034	17
B1756-23	W28 (SNR)	2.5-4.2	3374	0.5	18
B0800-21	W30 (SNR)	5.4-5.2	234	0.043	19
B0862-07	NGC6539 (GC)	3.1	187	0.060	20
B0820-30A,B	NGC6624 (GC)	8.0	67	0.031	21
B0821-34	M28 (GC)	5.5	130	0.022	22
J1010+0004	NGC6760 (GC)	4.1	200	0.040	23
B0951+32	CTB88 (SNR)	2.5±1.5	45	0.02	24
B2127+31A-H	M15 (GC)	80	67	0.007	25
B2334+61	G116.3+0.3 (SNR)	1.8±0.3	38	0.032	26

距離が分かれば、DMから推定される星間物質密度

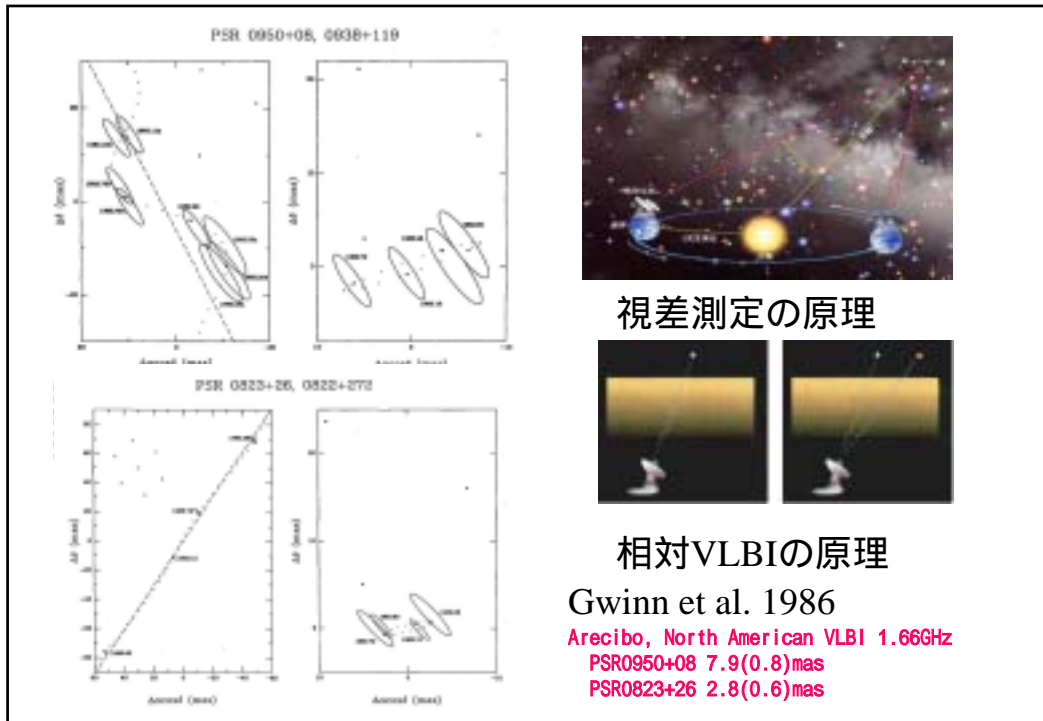
Lyne & Graham-Smith, 1998, *Pulsar Astronomy*, Cambridge Univ. Pressより

パルサーまでの平均電子密度が分かる。
 $DM = d \cdot n$



1. Manchester et al. (1991b)
2. Lyne et al. (1987)
3. McCulloch et al. (1993)
4. Wolzsten (1989)
5. Seward et al. (1984)
6. Lazio et al. (1983)
7. Anderson et al. (1989a)
8. Caswell et al. (1982)
9. Seward & Huxford (1982)
10. Wolzsten et al. (1989b)
11. Casseo (1991)
12. Lyne et al. (1988)
13. Anderson et al. (1989b)
14. McAdam et al. (1991)
15. Lyne et al. (1993)
16. Lyne et al. (1996)
17. Lyne et al. (1990a)
18. Ford et al. (1993)
19. Kasian & Weiler (1990)
20. D'Amico et al. (1990)
21. Biggs et al. (1990)
22. Lyne et al. (1987)
23. Deich et al. (1993)
24. Kalbani et al. (1988)
25. Wolzsten et al. (1989)
26. Kalbani et al. (1993)

For distances and other characteristics of globular clusters see Weisback (1985)



2006年1月までに21個のパルサーの視差

- Briskenが10個
- Chatterjeeが5個

の天体の視差測定を行っている。

- 100 μ 秒を切る観測精度は7天体

PSR J0030+0451	3.4(0.6)mas	Lommen et al. 2005
PSR B0329+54	0.94(0.11)mas <1.5mas	Brisken et al. 2002 Chatterjee et al. 2004
PSR B0355+54	0.91(0.16)mas	Chatterjee et al. 2004
PSR B0656+14	3.47(0.36)mas	Brisken et al. 2003 Golden et al. 2005
PSR B0809+74	2.31(0.04)mas	Brisken et al. 2002
PSR B0823+26	1.8(0.4)mas 2.8(0.6)mas	Gwinn 1984 Gwinn et al. 1986
VELA pulsar	3.4(0.7)mas 3.5(0.2)mas	Caraveo et al. 2001 HUBBLE Dodson et al. 2003
PSR B0919+06	0.31(0.14)mas 0.83(0.13)mas	Fomalont et al. 1999 Chatterjee et al. 2000
PSR B0950+08	7.9(0.8)mas 3.6(0.3)mas 3.82(0.07)mas	Gwinn et al. 1986 Brisken et al. 2001 Brisken et al. 2002
PSR B1133+16	2.80(0.16)mas	Brisken et al. 2002
PSR B1237+25	1.16(0.08)mas	Brisken et al. 2002
PSR B1451-68	2.2(0.3)mas	Bailes et al. 1990
PSR B1508+55	0.415(0.037)mas	Chatterjee et al. 2005
PSR J1713+0747	0.89(0.08)mas	Splaver et al. 2005 timing
PSR J1744-1133	2.8(0.3)mas	Toscano et al. 1999 timing
PSR B1857-26	0.5(0.6)mas	Fomalont et al. 1999
PSR B1929+10	21.5(8.0)mas <4mas 3.02(0.09)mas 2.77(0.07)mas	Salter et al. 1979, Backer & Sramek 1982 Brisken et al. 2002 Chatterjee et al. 2004
PSR B2016+28	1.03(0.10)mas	Brisken et al. 2002
PSR B2020+28	0.37(0.12)mas	Brisken et al. 2002
PSR B2021+51	0.95(0.37)mas 0.50(0.07)mas	Campbell et al. 1996 Brisken et al. 2002
PSR J2145-0750	2.0(0.6)mas	Loehmer et al. 2004 timing

例: Brisken et al. 2002の結果

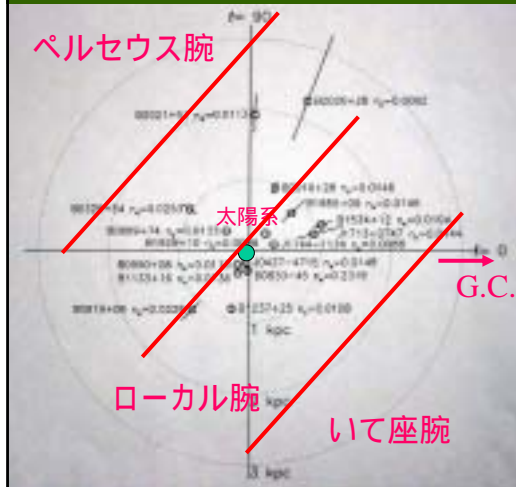


TABLE 6
DERIVED PARAMETERS OF OTHER PULSARS WITH ACCURATE DISTANCES

Pulsar	d_{Sun} (kpc)	d_{GC} (kpc)	v_{lsr} (km s ⁻¹)	ρ_0 (cm ⁻³)	Reference
B0457-4715	$8.14^{+0.05}_{-0.05}$	$8.17^{+0.05}_{-0.05}$	109^{+11}_{-11}	0.0148 ± 0.0021	1
B0853-45	$8.61^{+1.31}_{-0.57}$	$8.28^{+1.02}_{-0.48}$	67^{+21}_{-14}	0.2119 ± 0.0477	2
B0919+06	6^{+11}_{-5}	$1.15^{+0.58}_{-0.28}$	404^{+81}_{-58}	0.0226 ± 0.0036	3
B0594+12	$8.7^{+0.28}_{-0.26}$	$1.08^{+0.28}_{-0.26}$	131^{+16}_{-17}	0.0184 ± 0.0014	4
B0355+09	$8.7^{+0.25}_{-0.25}$	$8.79^{+0.25}_{-0.25}$	21^{+5}_{-5}	0.0146 ± 0.0040	5
B0713+0747	$8.8^{+0.25}_{-0.25}$	$8.9^{+0.25}_{-0.25}$	28^{+11}_{-11}	0.0144 ± 0.0048	6
B0744-1134	$8.17^{+0.05}_{-0.05}$	$8.20^{+0.05}_{-0.05}$	30^{+2}_{-2}	0.0081 ± 0.0006	7

REFERENCES—(1) Sanfey et al. 1997; (2) Casseo et al. 2001; (3) Chatterjee et al. 2001; (4) Stairs et al. 1999; (5) Kaspi et al. 1994; (6) Camilo, Foster, & Wolszen 1994; (7) Tuohimäki et al. 1999.

視差を基に書いたパルサーの位置(左)、 平均密度(右)

VERA・大学連携VLBI

国内7局 S帯、X帯
VERA 20m水沢、入来、
小笠原、石垣島、臼田64m、
つくば32m、鹿嶋34m、



VERA・大学連携VLBIの S帯(またはX帯)でのパルサー観測

VERAのみ

- スwitching相対VLBIが可能(数分周期)
- 2.2GHz帯1ビーム 4局設置
- フリンジ間隔 12mas >> 位相3度で0.1mas
- 開口能率 = 30%、 $T_{\text{sys}}=200\text{K}$ 、48MHz、1hr
>> ノイズレベル25mJy

VERA + 大学連携VLBI

- 臼田64m、34m級アンテナの参加 >> ノイズレベル7mJy
- パルサーゲーティング (相関器ソフト開発必要)
- パルサーゲーティング使用 >> ノイズレベル2mJy?

VERA + 大学連携VLBIで 観測可能なパルサー(S帯)

@印: 視差報告無し 色: 全局で観測可能(> -41度)

80mJy以上 7@4(3@1)

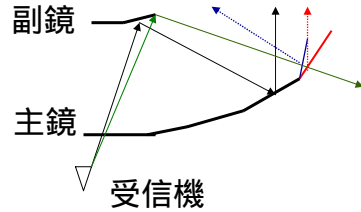
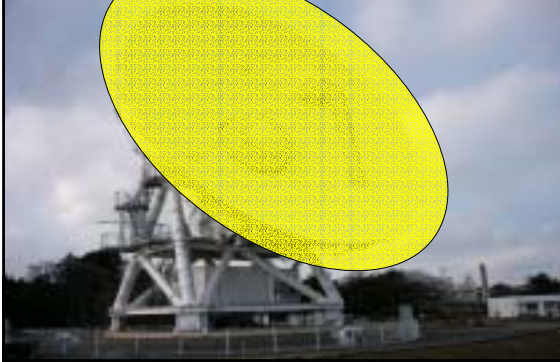
- B0329+54 200mJy 2d 250mJy
- J0437-4715 90mJy @ 2d ICRF
- B0736-40 80mJy @ 1d 200mJy
- B0833-45 1100mJy 1d ICRF
- B0950+08 85mJy 2d 100mJy
- B1557-50 145mJy @ 5d ICRF
- B1641-45 310mJy @ 7d 400mJy

25mJy以上 19@10(14@6)

- B0355+54 25mJy 1d 250mJy
- B0628+21 25mJy @ 3d 120mJy
- B0740-28 25mJy @ 5d 130mJy
- B0835-41 25mJy @ 6d 280mJy
- B1133+16 30mJy 3d 600mJy
- B1556-44 40mJy @ 5d 380mJy
- B1749-28 35mJy @ 7d 200mJy
- B1929+10 40mJy 2d 150mJy
- B1933+16 40mJy @ 1d 360mJy
- B2016+28 30mJy 1d 240mJy
- B2020+28 38mJy 1d 240mJy
- B2021+51 25mJy 1d 150mJy

10mJy以上 47@34 (37@25)

受信機とアンテナ改造の可能性



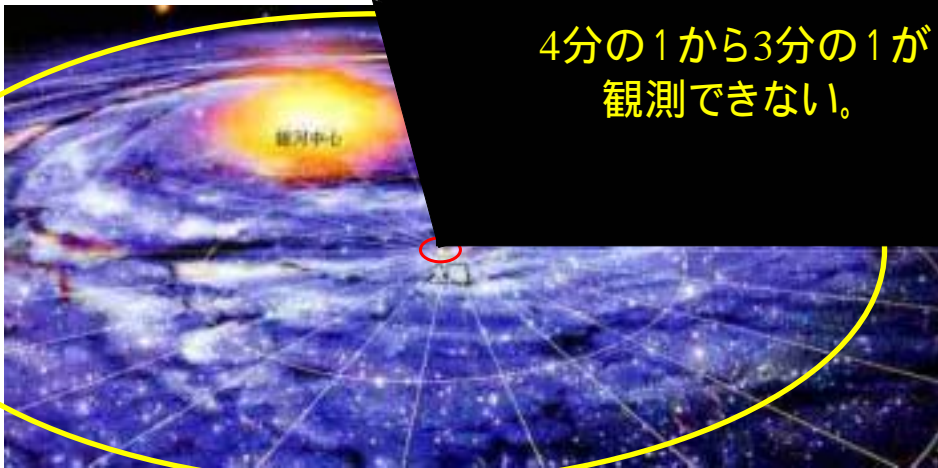
- (1) VERAグループでは、高、他周波数化に向けて、受信機配置を検討中その中に、L帯受信機設置の可能性。
- (2) 現在、副鏡が大きいためにスピルオーバーが大きいことを改善するために鏡面の周りにスカートをつける。これを、S帯で感度があるように調整すると、実質的に口径を大きくできるのではないかと、 $20\text{m} > 25\text{m}$
- (3) 現在ある受信機を改良する。2B系にする。
- (4) 50mクラスのアンテナを併設し、相対VLBI観測を行う。
> 50個以上まで可能天体増える

VERA以外で三角測量できる範囲: 太陽系の近所だけ(100pc程度)
VERAで三角測量ができる範囲: 銀河系全体
半径10kpcの範囲で10%の精度より良い



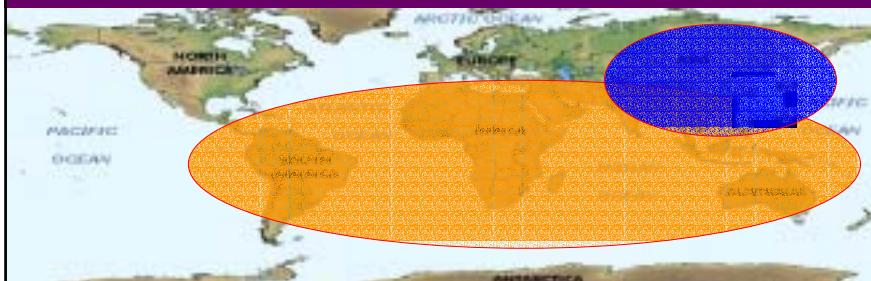
VERA・大学連携VLBIは北半球にあるので、 全域が見えるわけではない。

1. VERAで観測不可能な銀経 (260~345度)の
2. 銀経(240~10 度)の質の高い銀河系地図作成



VERA・大学連携VLBIの拡張として望まれる機能：

1. まずは、アジア大陸との連携。次に南半球に設置。
2. 位相補償を行えること。
3. 2300 km以上の基線。
パルサーは4000 kmは欲しい。
大陸を横断する望遠鏡？
4. パルサーは1.4 ~ 2 GHzが効率よい。



まとめ

1. パルサーの観測により、銀河系内のパルサーの距離と速度が求まり、パルサーのみならず、星間プラズマ等研究が非常に進むであろう。
2. VERA・大学連携VLBIの拡張の機能を持たせて、まずは、東アジアに展開する。次に南半球に設置すると、VERA等で残される我々の銀河系の立体地図(24 - 36%)が完成する。