中性子星連星合体の観測頻度について

神田展行

平成 21 年 6 月 30 日

以下、最近 (2008) に更新された中性子星連星の銀河あたりの推定数から、LCGT での検出確率（観測期待値）について議論する。notation は辰巳氏の H.19 のノートになるべく合わせた。

1　中性子星連星合体の存在率

１銀河あたりの中性子星連星合体の頻度 (Galactic DNS rate)　観測数をもとに文献 [1] が推定してある。また文献 [2] においてもこの結果を引用している。

$$\mathcal{R} \;=\; 118\ ^{+174}_{-79}(\text{C.I.95\%})\ ^{+258}_{-92}(\text{C.I.99\%})\ [\text{Myr}^{-1}]$$

C.I. は信頼区間[1]。

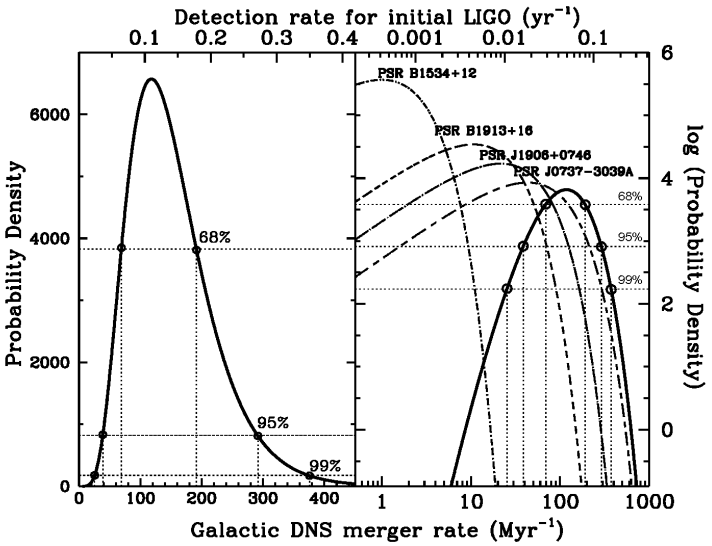

図 1: 文献 [1]C.Kim より引用

[1]文献 [1] と [2] はそれぞれ C.I.99%および C.I.95%で示してある。

銀河の数密度　天の川銀河相当の数密度として、B-バンドでのルミノシティを用いる [?][4]。

$$\rho_{galaxy} \;=\; 1 - 1.5 \times 10^{-2}[\mathrm{Mpc}^{-3}]$$

観測レンジ　最適配置（天頂方向入射、連星軌道面に face on）の値から、実効的な観測レンジ（＝全天平均の観測レンジ、実効的に同じ体積を持つ球の半径）に換算する。RMS 平均では 0.4 倍 [5]、閾値を設定してのシミュレーションでは約 0.44 倍 [6] になる。ここでは RMS 平均を用いておく。

LCGT(BRSE) のデザインスペクトル (2009 年４月版) に基づく計算では、

$$\begin{aligned} \text{最適配置、SN>10 での観測レンジ} \quad &: \quad r \;=\; 185[\mathrm{Mpc}] \\ \text{実効観測レンジ} \quad &: \quad r_{eff} \;=\; 74[\mathrm{Mpc}] \end{aligned}$$

2　LCGT の検出確率

年間あたりの観測数期待値　年間あたりの観測数期待値 $< N_{NS} >$ [events/yr] は、

$$< N_{ev} > = \frac{4}{3}\pi r_{eff}^3 \; \rho_{galaxy} \; \mathcal{R} \tag{1}$$

LCGT での観測期待値を表 1 に示す。

表 1: LCGT での１年間での NS-NS 観測期待値

検出器	検出レンジ [Mpc]	観測期待値 [events/yr]	C.I.99%	C.I.95%	備考
LCGT	74	2.5	$^{+5.5}_{-2.0}$	$^{+3.7}_{-1.7}$	SN>10
LCGT	92.5	4.9	$^{+10.7}_{-3.8}$	$^{+7.2}_{-3.3}$	SN>8
LCGT	185	39	$^{+86}_{-31}$	$^{+58}_{-26}$	（註）
adv.LIGO	350	264	$^{+579}_{-207}$	$^{+391}_{-177}$	
LIGO	20	0.05	$^{+0.1}_{-0.04}$	$^{+0.07}_{-0.03}$	

（註）検出レンジを実効換算しないと余分に見積もる事になるが、参考文献との対応のために記しておく。

１年間での観測確率　実際の観測数 N は、観測期待値 $< N_{NS} >$ のポアッソン分布

$$P(N; < N_{NS} >) \;=\; \frac{< N_{NS} >^N \cdot e^{-<N_{NS}>}}{N!} \tag{2}$$

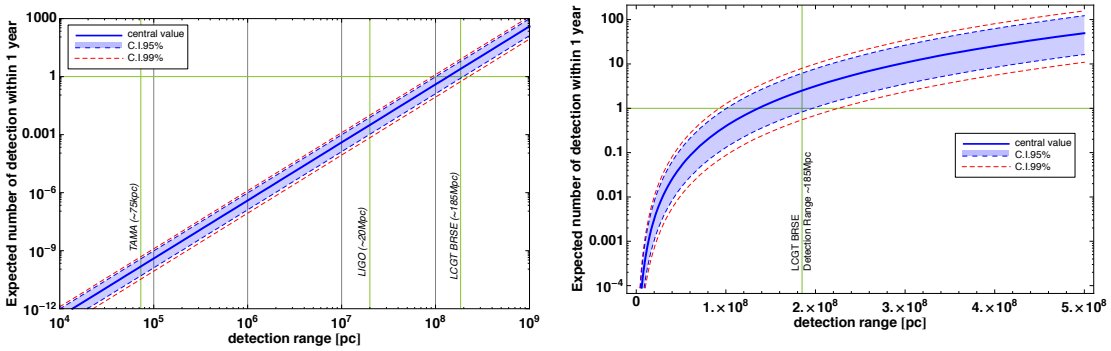

図 2: 検出レンジと 1 年間の観測期待値

となる。年間 N_0 イベント以上観測する確率は、

$$1 - \sum_{N=0}^{N_0-1} P(;< N_{NS} >) \tag{3}$$

で与えられる。

以上より、検出レンジ r と観測期間 T について、年間 1 イベント以上観測する確率を計算すると、図 3 のようになる。また、検出レンジを 185Mpc に固定した場合、観測時間にたいする 1 イベント以上観測する確率は、図 4 のようになる。検出レンジ、観測時間双方を動かす場合、図 5 に 1 イベント以上を観測する確率が 90%となる範囲を示す。

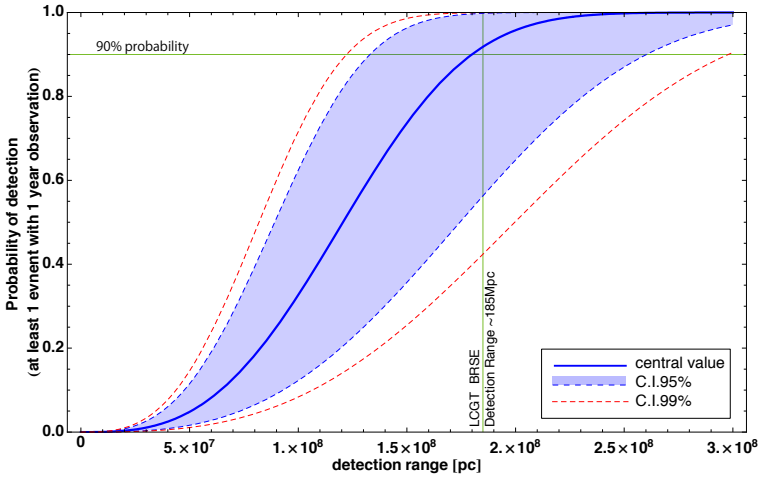

図 3: 検出レンジと 1 年間に 1 イベント以上を観測する確率

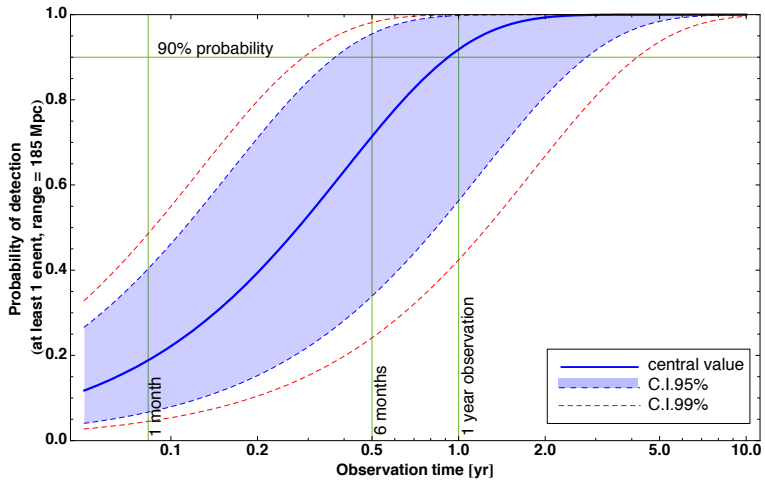

図 4: 検出レンジ 185Mpc のとき、観測時間にたいして 1 イベント以上を観測する確率

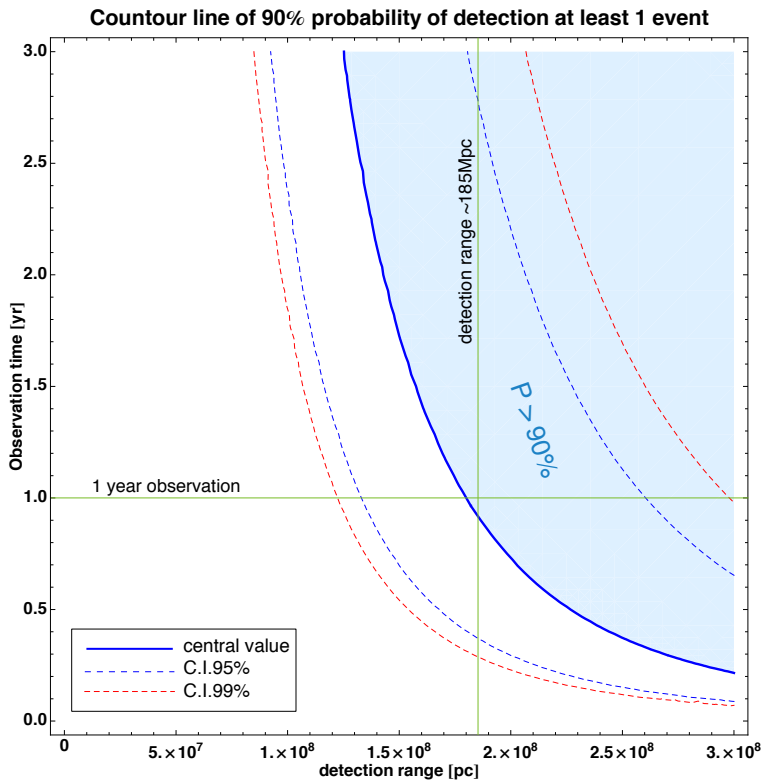

図 5: 検出レンジと観測時間にたいして、1 イベント以上を観測する確率が 90%となる範囲

参考文献

[1] Kim, C.,“ Galactic Pulsar Population: Current Understanding and Future Prospects ”, in Bassa, C.G., Wang, Z., Cumming, A., and Kaspi, V.M., eds., 40 Years of Pulsars: Mil lisecond Pulsars, Magnetars and More, McGill University, Montréal, Canada, 12-17 August 2007, AIP Conference Proceedings, vol. 983, pp. 576?583, (American Institute of Physics, Melville, U.S.A., 2008).

[2] LivingRev. Relativity, 11, (2008), 8, http://www.livingreviews.org/lrr-2008-8

[3] Phinney, E. S. 1991, ApJ, 380, L17

[4] Kalogera, V., Narayan, R., Spergel, D. N., Taylor, J. H. 2001, ApJ, 556, 340

[5] N.Kanda http://www.gw.hep.osaka-cu.ac.jp/LCGT/WholeSky.pdf

[6] D.Tatsumi, http://gw.icrr.u-tokyo.ac.jp:8888/JGWwiki/LCGT/subgroup/analysis/gw_search?action=AttachFile&do=get&target=ns_event_estimation.pdf