



白色矮星パルサーについて

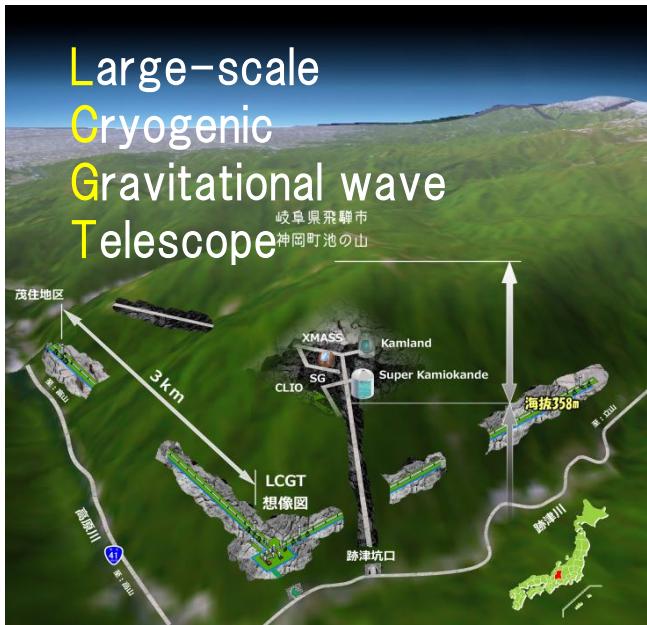
樋山和己

(京大理、博士課程2年)

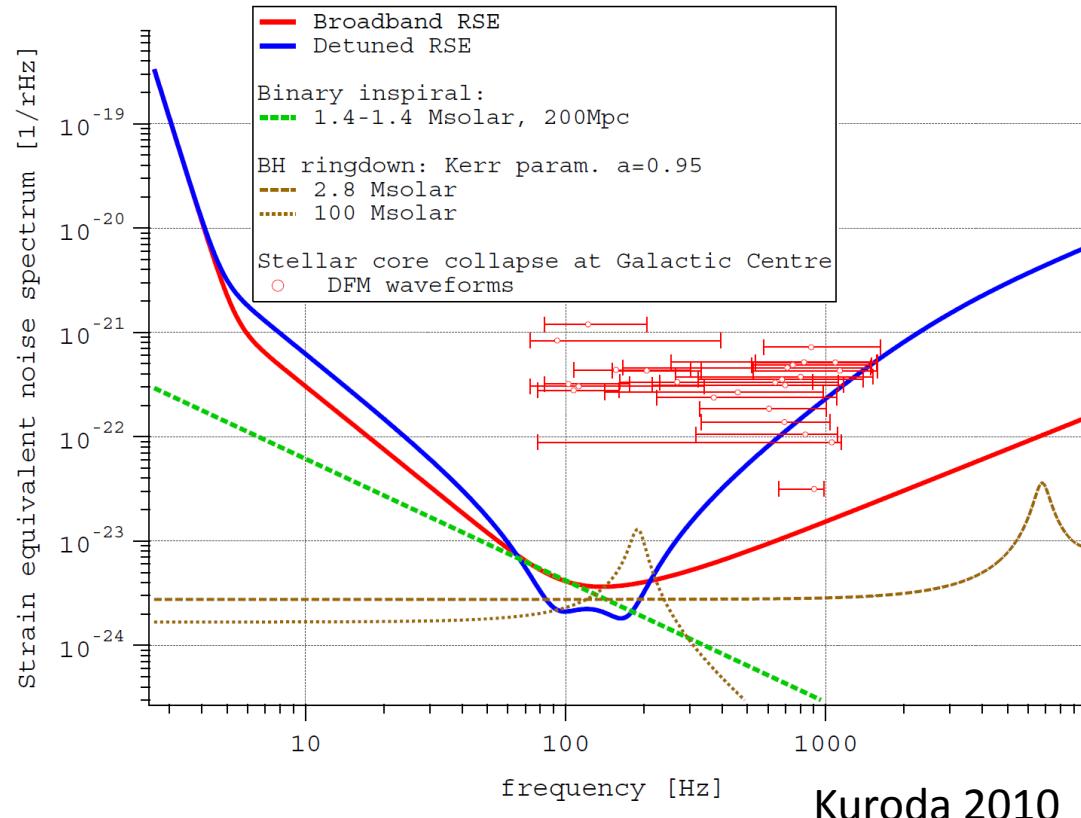
重力波研究交流会2011年1月14日

Congratulation!

- “LCGT計画の一部の推進が認められた。”



<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/gr/lcgt/lcgt2010j.html>



Kuroda 2010

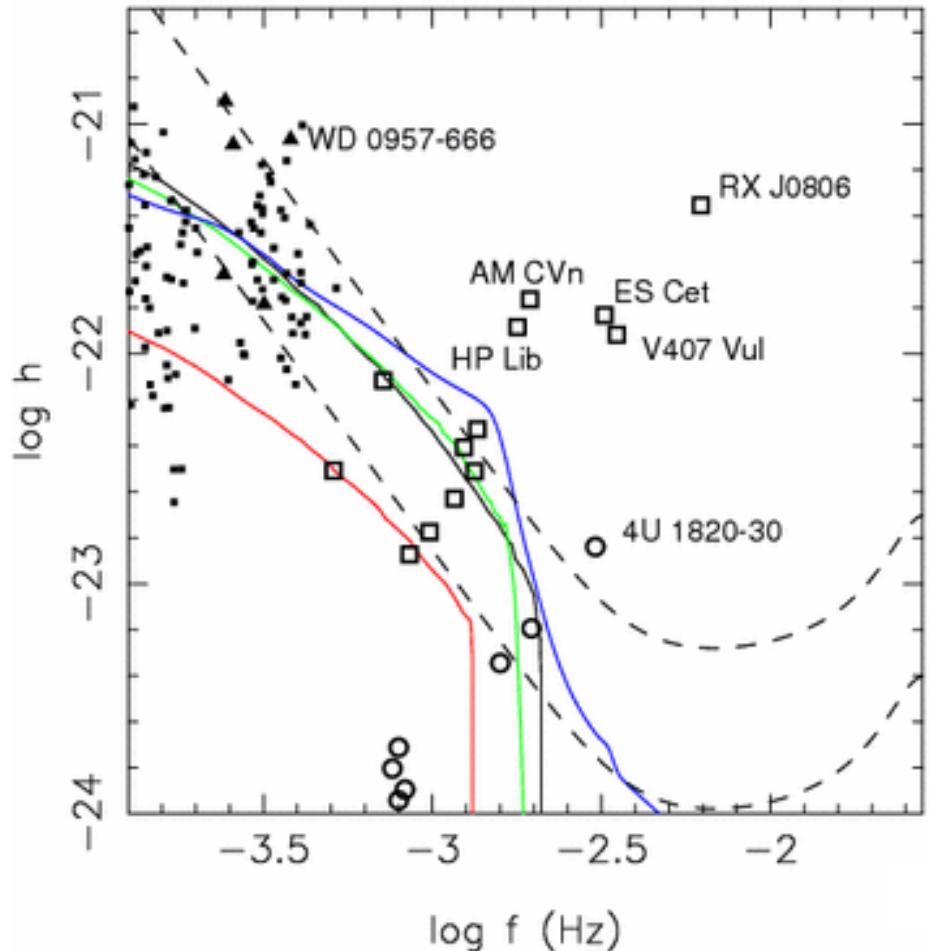
- 重力波天文学時代の幕開けは近い！

LISA

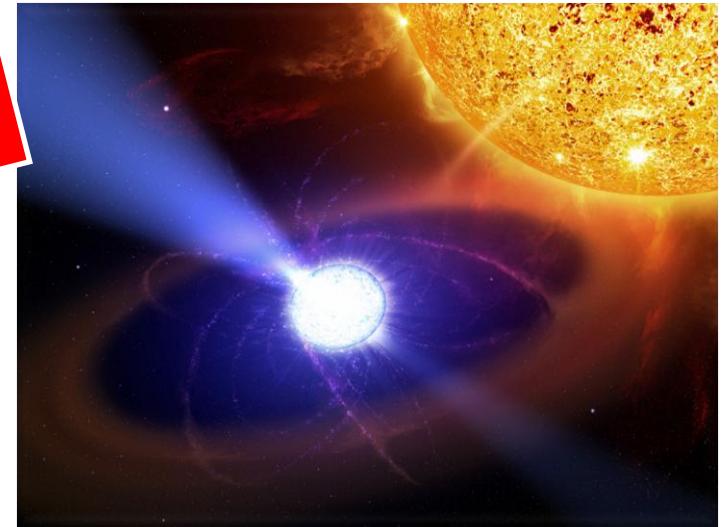
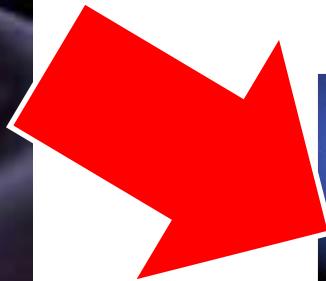
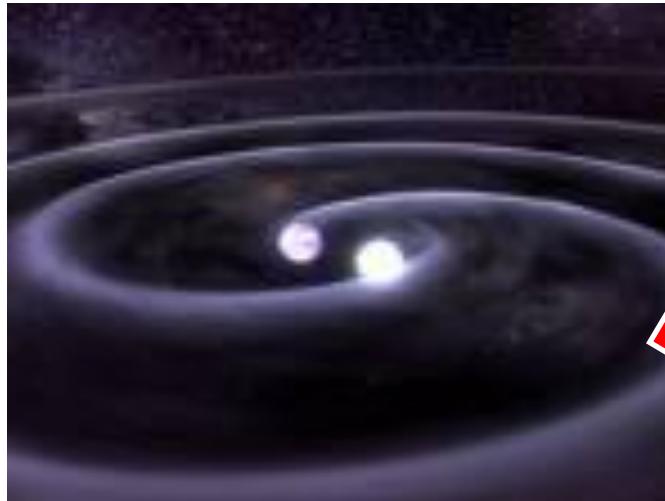
- “astro2010 decadal report recommends LISA as one of two large space missions to be implemented in this decade.”
- The targets ($10^{-4} - 10^{-1}$ Hz)
 - Merging Massive Black Holes
 - Compact Objects Orbiting Massive Black Holes
 - Galactic Binaries (stellar BH, NS, WD)
 - Fluctuations from Early Universe

GW astronomy with WD-WD binaries

- Promising source
 - Binary evolution
 - The structure of WDs
 - Tidal effects
 - Type Ia SNe
 - ...and more ???
- Or confusion noise



New aspects of WD-WD binaries



WD-WD binaries merge into a “pulsar” !?

KK, K.Ioka, N. Kawanaka 2010 arXiv:1009.1142 (PRD accepted)

研究の背景：“Electron–Positron Excess”

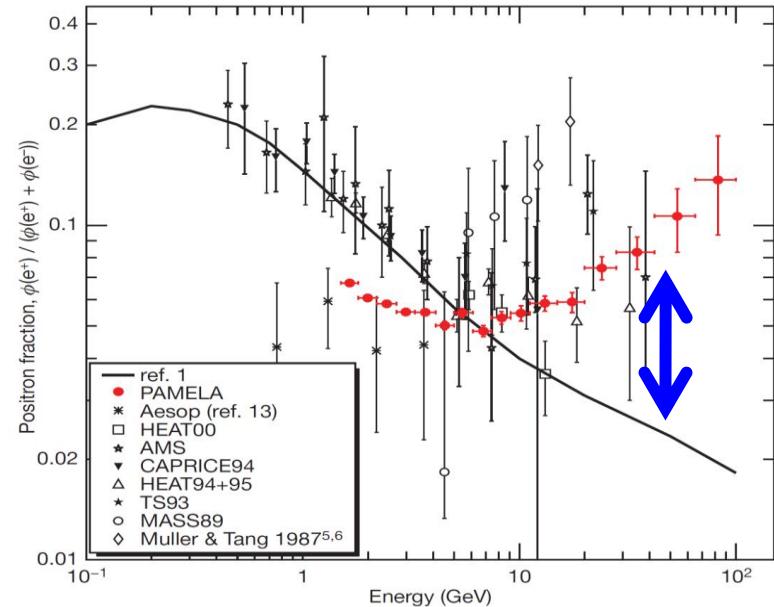
PAMELA

(capable of identifying CR ray charge)



The positron excess in
the energy range 10–100GeV

(Adriani, et al 2008)

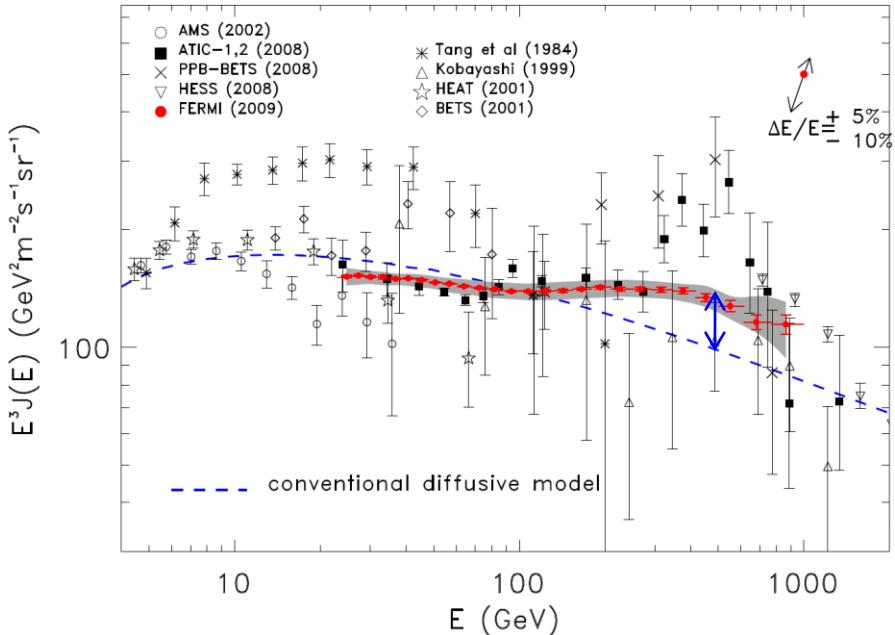


ATIC/PPT-BETS/H.E.S.S/Fermi



The excess in
the e-+e+ flux up to TeV

(Abdo, et al 2009 etc)



ソースは何だろう？

- **Neutron star pulsar?**

Shen 70; Aharonian+ 95; Atoyan et al. 95; Chi+ 96; Zhang & Cheng 01; Grimali 07; Yuksel+ 08; Buesching+ 08; Hooper+ 08; Profumo 08; Malyshev+09; Grasso+ 09; Kawanaka, Ioka & Nojiri 10

- **Supernova Remnant ?**

Shen & Berkey 68; Pohl & Esposito 98; Kobayashi+ 04; Shaviv+ 09; Hu+ 09; Fujita, Kohri, Yamazaki & Ioka 09; Blasi 09; Blasi & Serpico 09; Mertsch&Sarkar 09; Biermann+ 09; Ahlers, Mertsch & Sarkar 09

- **Microquasar (Galactic BH) ?** Heinz & Sunyaev 02

- **Gamma-Ray Burst ?** Ioka 10

- **Propagation Effect ?** Delahaye+ 08; Cowsik & Burch 09; Stawarz+09; Schlickeiser & Ruppel 09

- **Dark matter decay or annihilation ???** ref 多数

近い将来、高性能、広帯域の電子陽電子宇宙線観測が進む。
ex) AMS-02, CALET, CTA

新たなソースの再検討は重要！

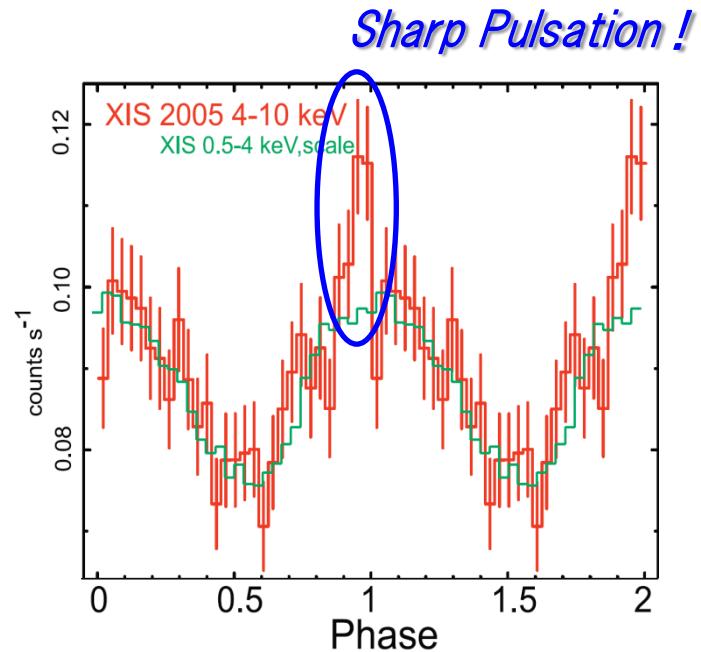
目標

“白色矮星パルサー”を
新たな TeV 電子・陽電子のソースとして提案し、
PAMELA/Fermi/H.E.S.S によって観測された
電子陽電子過剰、および
AMS-02/CALET/CTAなどの将来計画
による観測可能性について議論する。

白色矮星パルサーの候補

AE Aquarii

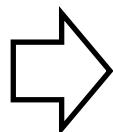
- ・磁気激変星(MCVs)
- ・大きなスピンドウン $\sim 6 \times 10^{-14} \text{ s s}^{-1}$
→ 強磁場 $B \sim 5 \times 10^7 \text{ Gauss}$
- ・高速回転 $P \sim 33 \text{ sec}$
- ・Hard X-ray のパルス放射を観測.



EUVE J0317-855

- ・強磁場白色矮星 $B \sim 4.5 \times 10^8 \text{ Gauss}$

- ・高速回転 $P \sim 725 \text{ sec}$
- ・質量大 $\sim 1.3 M_{\odot}$



連星合体起源？

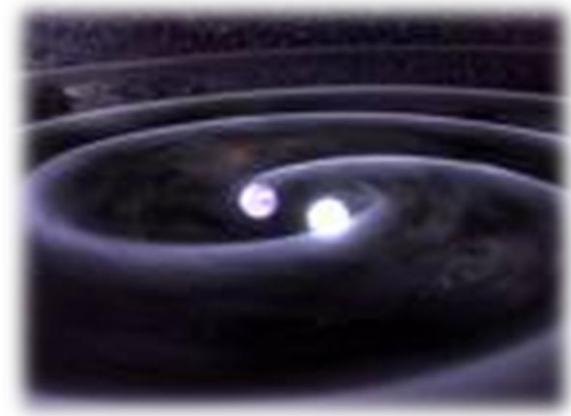
- ・パルス放射は観測されていない。

“白色矮星パルサー”

- 形成シナリオ

“連星白色矮星合体”

(降着連星系も寄与?)



- パラメーター

質量: $M > 1.0M_{\odot}$ (白色矮星の平均値: $0.6M_{\text{sun}}$)

回転周期: $P \sim 50$ sec (典型的には $10^{4-5}[\text{sec}]$)

磁場: $B \sim 10^{7-9}$ G (典型的には $10^6[\text{G}]$ 以下)

エネルギー総量概算

・白色矮星パルサー1個毎のエネルギー

“パルサー”のエネルギー源は回転エネルギー

$$\frac{1}{2} I \Omega^2 \approx \frac{1}{2} M_{\text{WD}} V^2 \approx \frac{GM_{\text{WD}}}{R_{\text{WD}}} \approx 10^{50} [\text{erg}]$$

連星合体直後の
回転エネルギー

連星合体直前の連星系の
回転エネルギー

合体直前の連星系の
重力エネルギー

➡ 生まれたての中性子星パルサーと同程度

・白色矮星パルサーの総数

銀河系内の連星白色矮星合体のevent rate $\sim 1/100 \text{yr}$

➡ 中性子星パルサー誕生のevent rateと同程度

エネルギーの総量は中性子パルサーと同程度

白色矮星パルサーはTeV e^\pm のソースになりえるか？

- Check point ①
 e^\pm 対生成を起こすことは可能か？
- Check point ②
 e^\pm をTeVまで加速することは可能か？

Point : WD pulsars \doteq NS pulsars

パルサー磁気圏における e^\pm 対生成

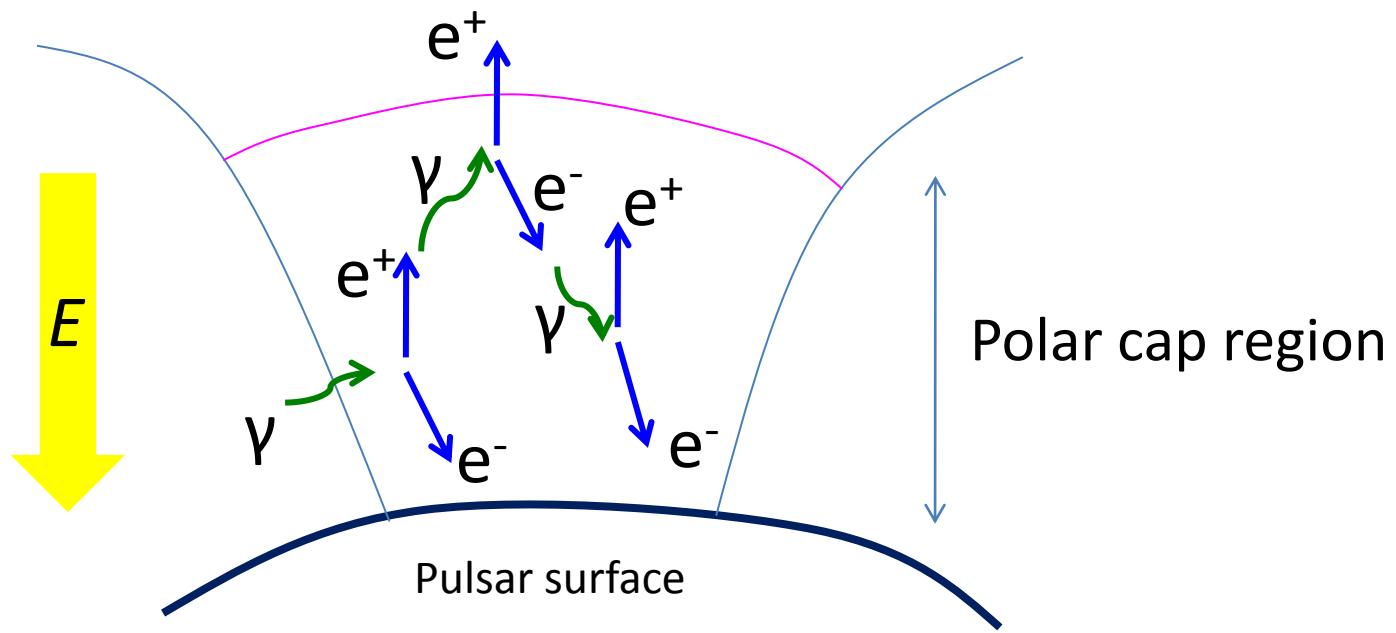
Polar cap (PC) model

パルサーの極領域で e^- 加速

→ 曲率放射と逆コンプトン散乱
により γ 線を生成

→ $\gamma + B \text{ field} \rightarrow e^\pm$

→ このプロセスが繰り返され
 e^\pm 対生成が“雪崩的”に起こる

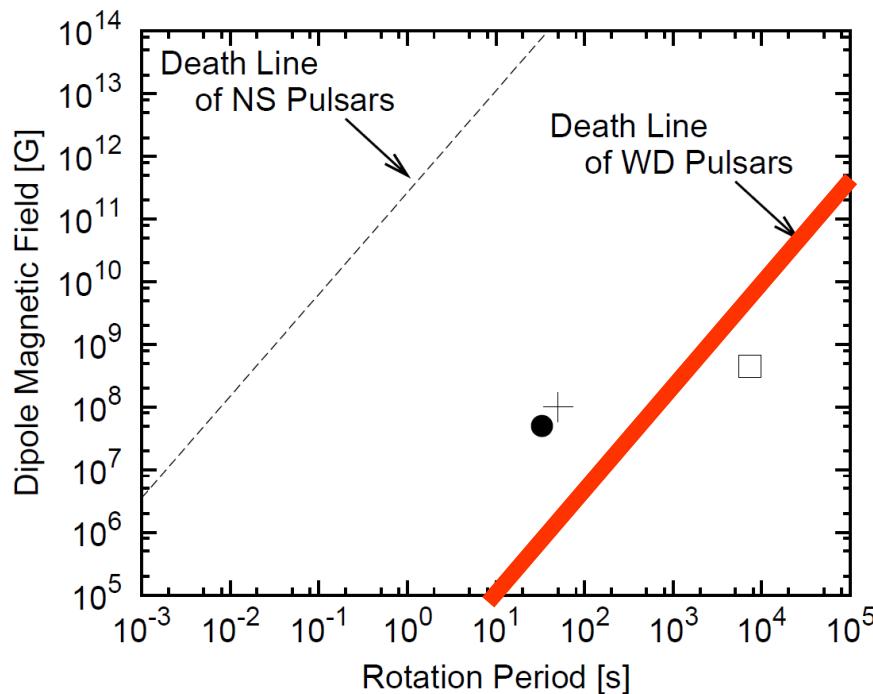


白色矮星パルサーの“death line”

- パルサーが e^\pm 対生成を雪崩的に起こす条件は
“polar cap領域で加速された粒子が放射する γ 線が、
磁場と相互作用して e^\pm 対生成を起こすエネルギーを持つ。”



$$4 \log B - 7.5 \log P + 9.5 \log R \geq 96.7 \quad \text{in unit of [Gauss], [sec], [cm]}$$



Our fiducial WD pulsars
AE Aquarii
EUVE J0317 85.5



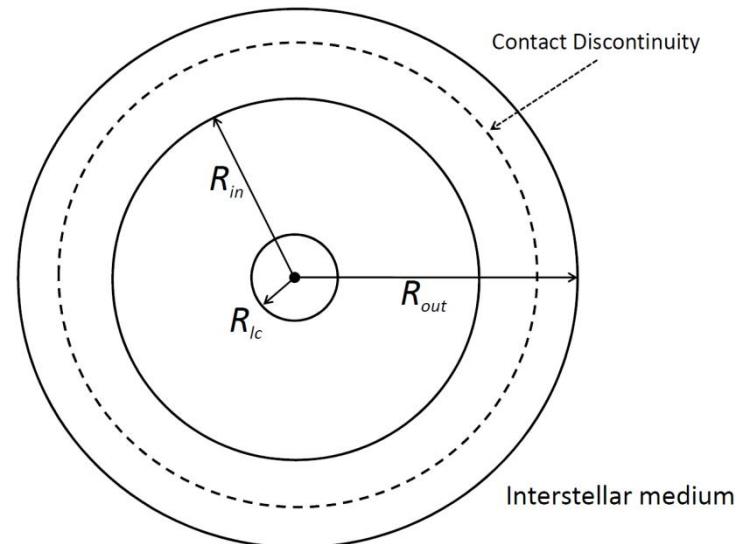
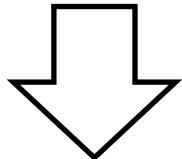
白色矮星パルサーは
 e^\pm 対生成を起こす !!

白色矮星パルサーにおける e^\pm 加速

仮定

wind 領域で

- ・ 磁場-粒子間でエネルギー等分配
- ・ 磁場と粒子fluxが保存



$$\frac{e\Delta V_{max}}{\mathcal{M}} \sim 10\mathcal{M}^{-1} \left(\frac{B_p}{10^8 \text{G}} \right) \left(\frac{\Omega}{0.1 \text{s}^{-1}} \right)^2 \left(\frac{R}{10^{8.7} \text{cm}} \right)^3 \text{TeV}$$

\mathcal{M} : e^\pm multiplicity

白色矮星パルサーは e^\pm をTeVまで加速できる！

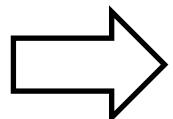
白色矮星パルサーにおける e^\pm 冷却

- Adiabatic cooling → 効かない！
 \because Windが弱く、shocked regionの膨張がすぐに止まる。

- Radiative cooling → 高々～10%程度

{

- Bohm limit
- Synchrotron cooling



$$\frac{\Delta\epsilon}{\epsilon} \sim 0.1 \left(\frac{B_{\text{in}}}{3 \times 10^{-6} \text{G}} \right)^3$$

B_{in} : Shocked region 内縁の磁場

TeVまで加速された e^\pm は冷却を受けずに星間空間へ放出される！

Difference between WD pulsars and NS pulsars

- What is the difference ?

“Spin down luminosity”

$$L \approx \frac{B^2 \Omega^4 R^6}{c^3} \approx \begin{cases} 10^{38} \text{ [erg]} & \text{for NS pulsar} \\ 10^{34} \text{ [erg]} & \text{for WD pulsar} \end{cases}$$

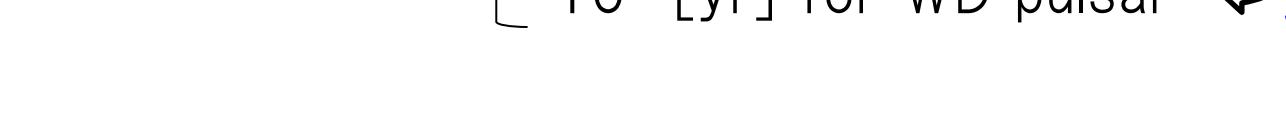
NS is 10^4 times
powerful !



“life time” = (Total energy)/(spin down luminosity)

$$\tau_{life} \approx \begin{cases} 10^4 \text{ [yr]} & \text{for NS pulsar} \\ 10^8 \text{ [yr]} & \text{for WD pulsar} \end{cases}$$

WD is 10^4 times
longer life !



WD pulsars are weak, but active for a long time !!

WDs is better than NSs as TeV e \pm source ?

Point

TeV e^\pm can propagate only $\sim 1\text{kpc}$ in our galaxy.

(source number) ÷ (life time)/(event rate)/(volume of galaxy)

$$\frac{dN}{dV} = \begin{cases} 10^{-1} [1/\text{kpc}^3] & \text{for NS} \\ 10^3 [1/\text{kpc}^3] & \text{for WD} \end{cases}$$

NS is uncertain.
WD is a lot !

WD pulsars may be numerous !

観測される e^\pm エネルギースペクトラムの計算

個々のソースからの寄与について e^\pm の伝搬方程式を解く。

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{D}{r} \frac{\partial}{\partial r} r^2 \frac{\partial f}{\partial r} - \frac{\partial}{\partial \epsilon} (Pf) + Q.$$

Cooling Func : $P(\epsilon) = -\frac{d\epsilon}{dt} = \frac{4}{3} \sigma_T c \left(\frac{\epsilon}{m_e c^2} \right)^2 \left[\frac{B_{ISM}^2}{8\pi} + \int d\epsilon_{ph} u_{tot}(\epsilon_{ph}) f_{KN} \left(\frac{4\epsilon\epsilon_{ph}}{m_e^2 c^4} \right) \right].$

Diffusion Co : $D(\epsilon) = D_0 \left(1 + \frac{\epsilon}{3\text{GeV}} \right)^\delta.$

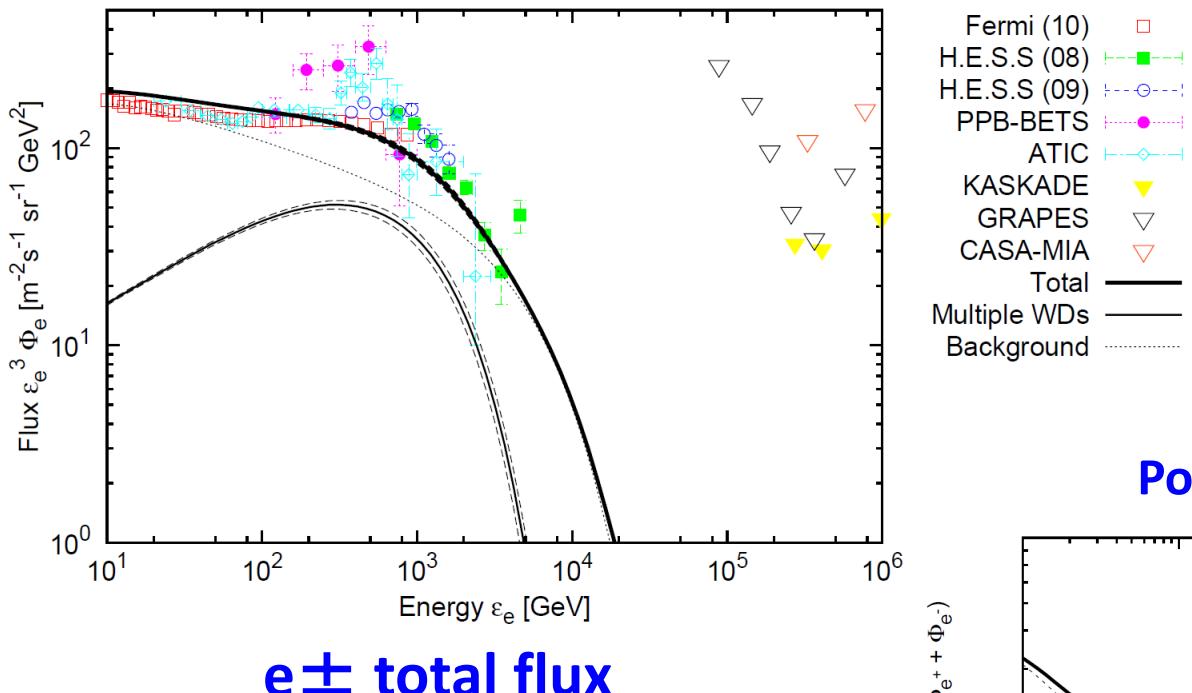
Source Func : $Q(\epsilon, t_0, \hat{t}) = Q_0 \epsilon^{-\nu} \exp \left(-\frac{\epsilon}{\epsilon_{cut}} \right) \left(1 + \frac{t_0 - \hat{t}}{\tau} \right)^{-2}.$

個々のソースからの寄与を足し上げる。

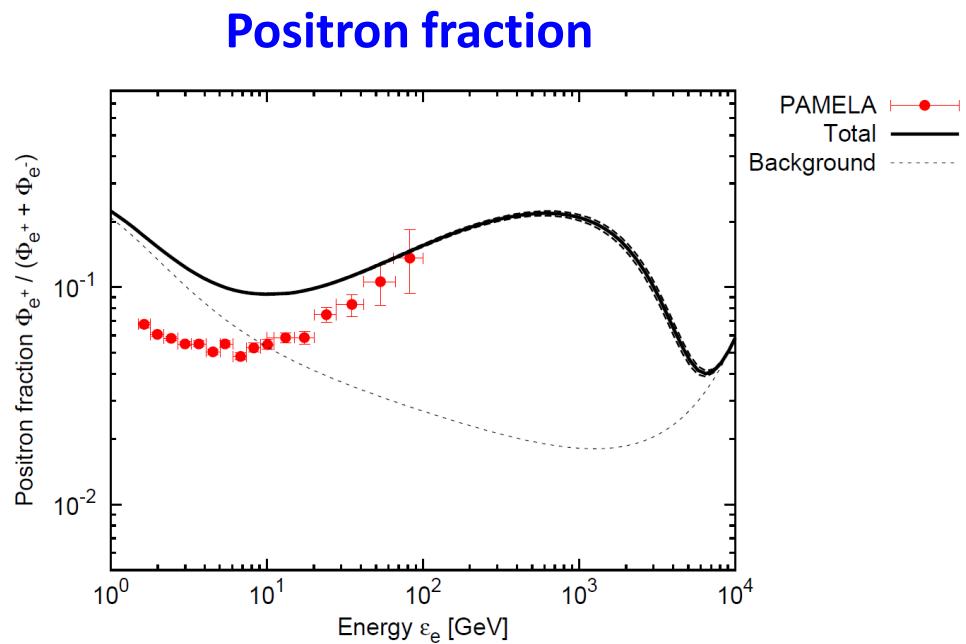
$$F(\epsilon) = \int_{-\tau_{WD}}^0 dt \int_0^{r_{dif}(\epsilon, \epsilon_{\hat{t}})} 2\pi r dr \cdot \alpha \cdot \eta_{WD} f(\epsilon, r, \hat{t}).$$

$\alpha \cdot \eta \sim$ “銀河中の白色矮星パルサーの誕生rate” [1/yr/kpc²]

結果 :WD pulsar dominated model

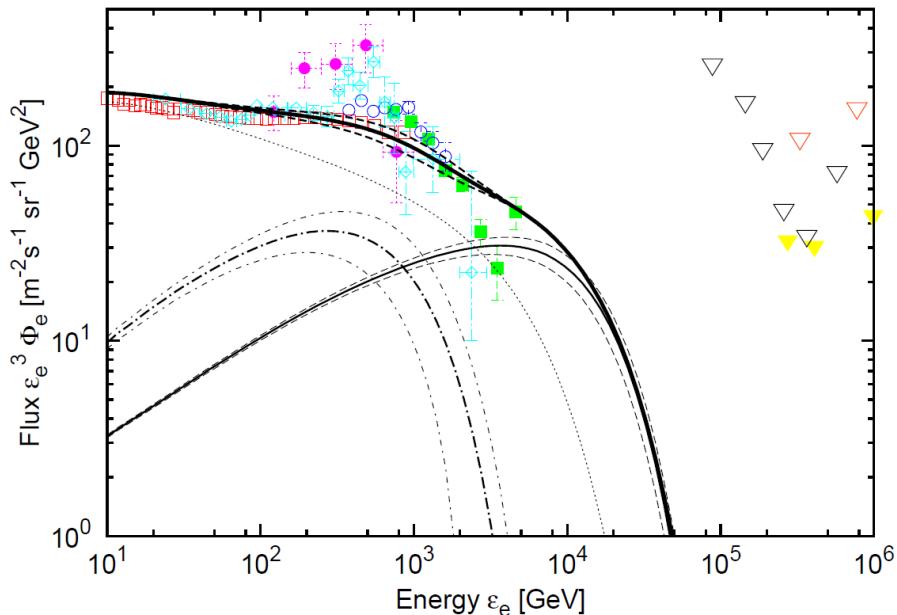


WD : cut off energy ~ 1 TeV



白色矮星パルサーの寄与によりTeV以下の e^\pm 過剰が説明可能.

結果 :WD + NS pulsar mixed model



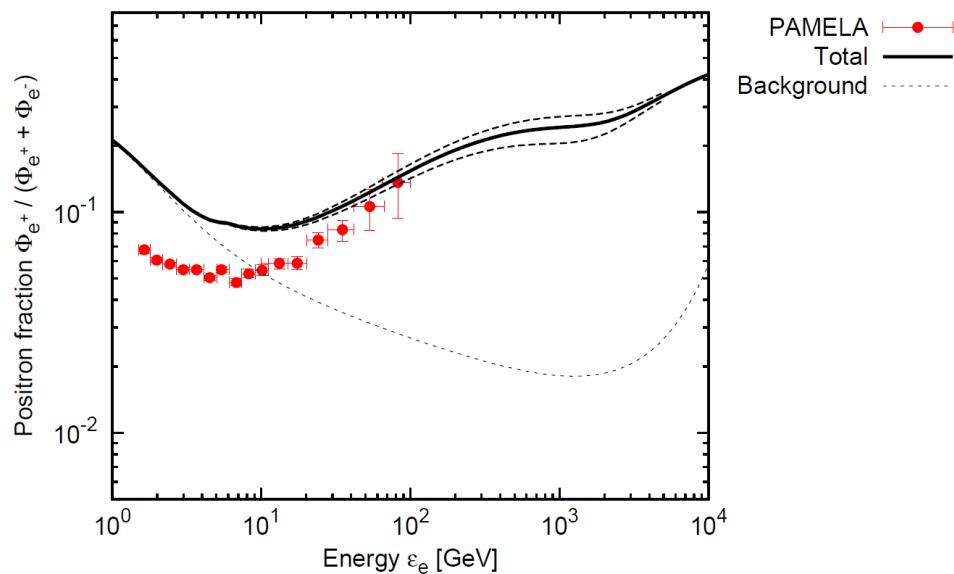
e \pm total flux

WD : cut off energy ~ 10 TeV

NS : cut off energy ~ 1 TeV

Fermi (10) □
H.E.S.S (08) ■
H.E.S.S (09) ○
PPB-BETS ●
ATIC ◇
KASKADE ▽
GRAPES ▽
CASA-MIA ▽
Total —
Multiple WDs —
Multiple NSs —
Background —

Positron fraction



TeVと10TeV付近に“コブ”ができる → 将来観測(AMS-02,CALET,CTA)

まとめ

- 近年, PMELA/Fermi/H.E.S.S らによってTeV以下の e^\pm が過剰に観測されたが起源はまだ不明.
- AMS-02,CALET,CTAなどの将来計画により、近い将来TeV以上の観測の向上が見込まれる.
- 白色矮星パルサーはTeV e^\pm のソースになる.
 - 1. 白色矮星パルサーの寄与によりTeV以下の e^\pm 過剰が説明可能.
 - 2. エネルギースペクトルのTeVと10TeV付近に“コブ”を形成、将来計画で観測可能？

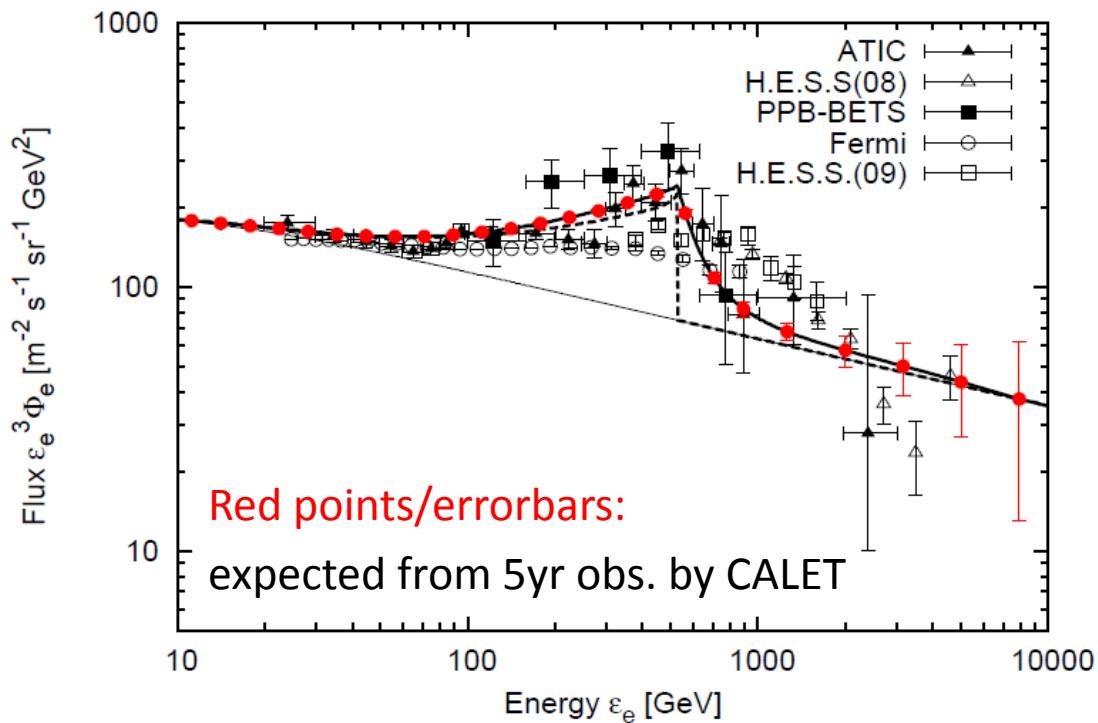
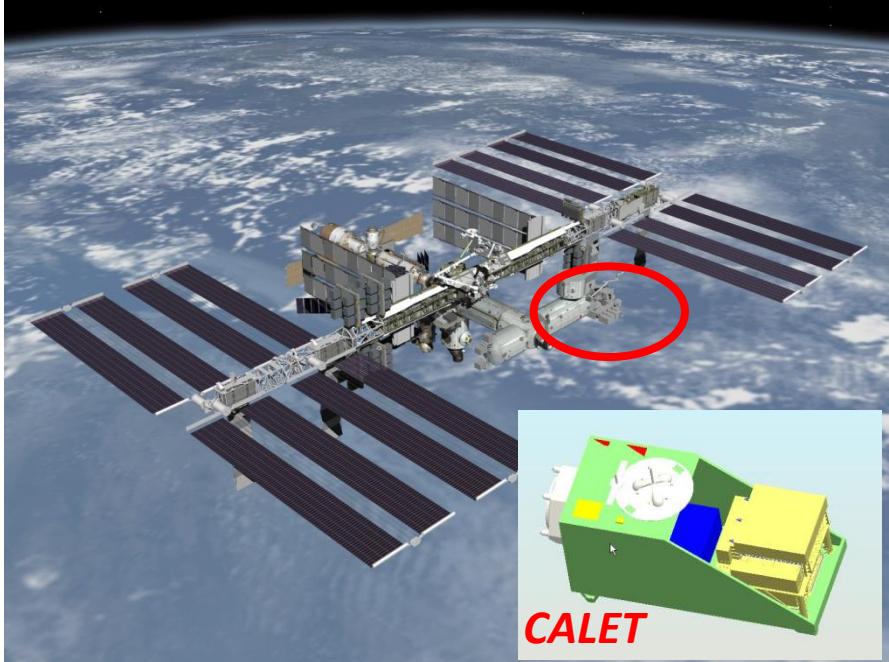
Back up

CALorimetric Electron Telescope

A Dedicated Detector for Electron Observation in 1GeV – 20,000 GeV

Energy resolution: ~2% (>100GeV)

e/p selection power: ~ 10^5

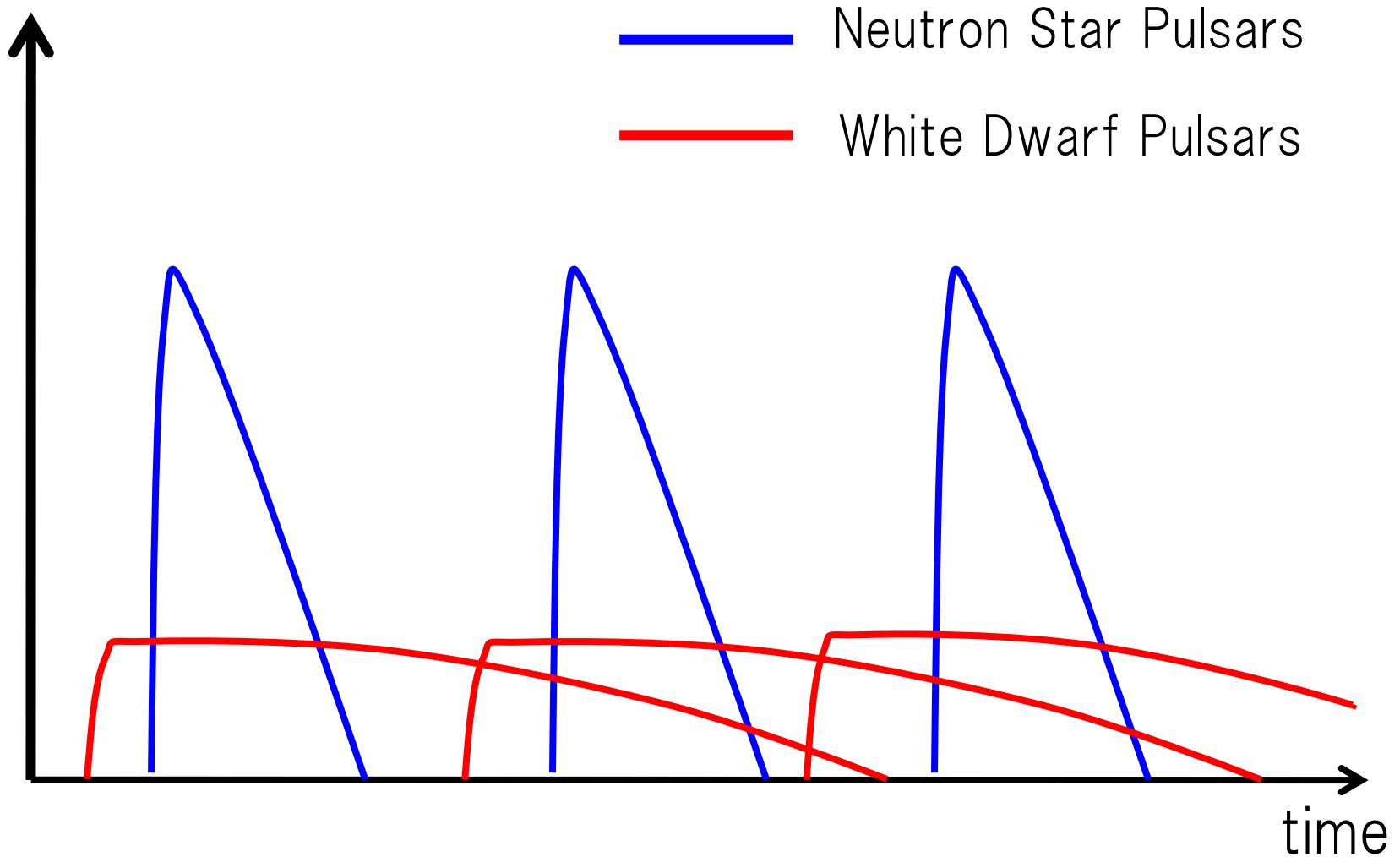


Red points/errorbars:
expected from 5yr obs. by CALET

With the high energy resolution and statistics of the CALET observations, we will be able to discriminate models of injection.

(duration, the functional form of $Q_0(t)$, etc.)

e^\pm flux



Difference in the light curve of NS and WD pulsars

WD pulsarとNS pulsarの違い

	energy per each E_{rot} [erg]	luminosity per each L [erg/yr]	lifetime τ [yr]	event rate [1/yr/galaxy]	number density n [1/kpc ³]	efficiency [%]	$L \times n \times$ efficiency [erg/yr/kpc ³]
WD pulsar	$\sim 10^{50}$	$\sim 10^{41}$	$\sim 10^9$	$\sim \alpha/100$	$\sim 10^3\alpha$	~ 90	$\sim 10^{44}\alpha$
NS pulsar	$\sim 10^{50}$	$\sim 10^{45}$	$\sim 10^5$	$\sim 1/100$	~ 0.1	~ 1	$\sim 10^{42}$