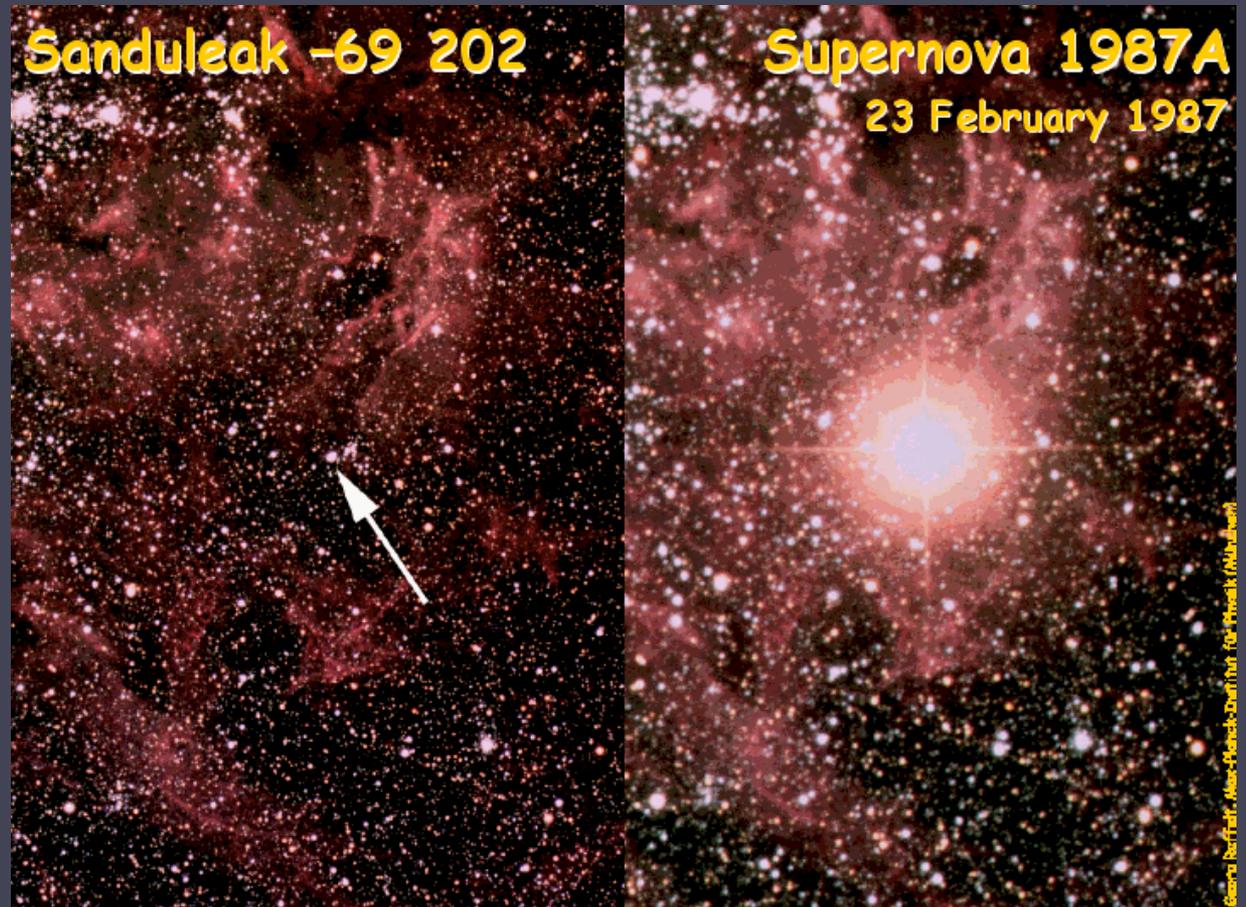


# 星の終末

超新星、中性子星、ブラックホール

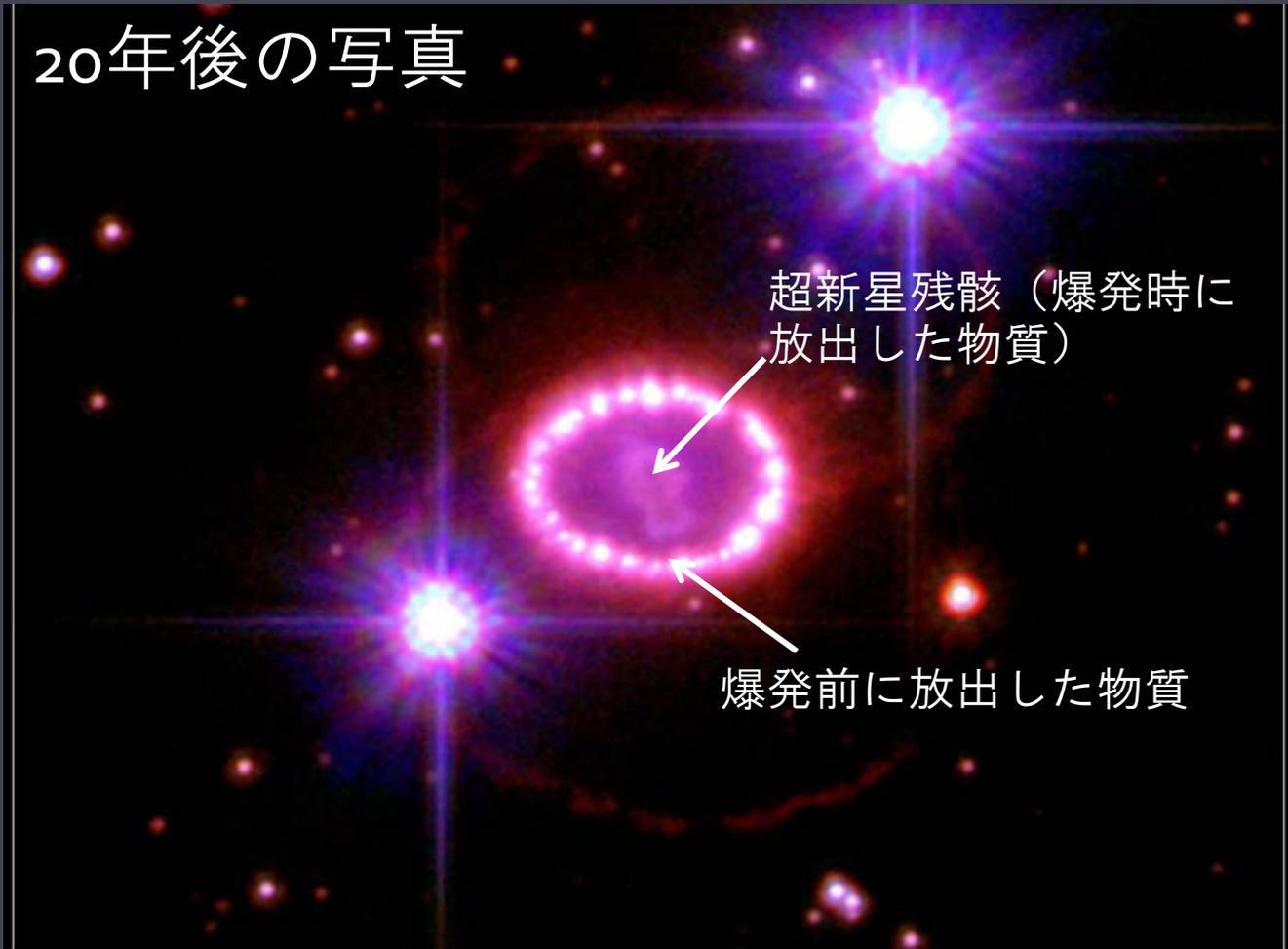
# 超新星 1987A

- 1987年2月24日 20太陽質量の青色超巨星が爆発
  - 16万光年 大マゼラン雲
  - 最大で太陽の1億倍の明るさ



# 星が放出した物質

20年後の写真



超新星残骸（爆発時に  
放出した物質）

爆発前に放出した物質

Supernova 1987A • December 2006  
*Hubble Space Telescope • Advanced Camera for Surveys*

# 太陽より10倍以上重い星

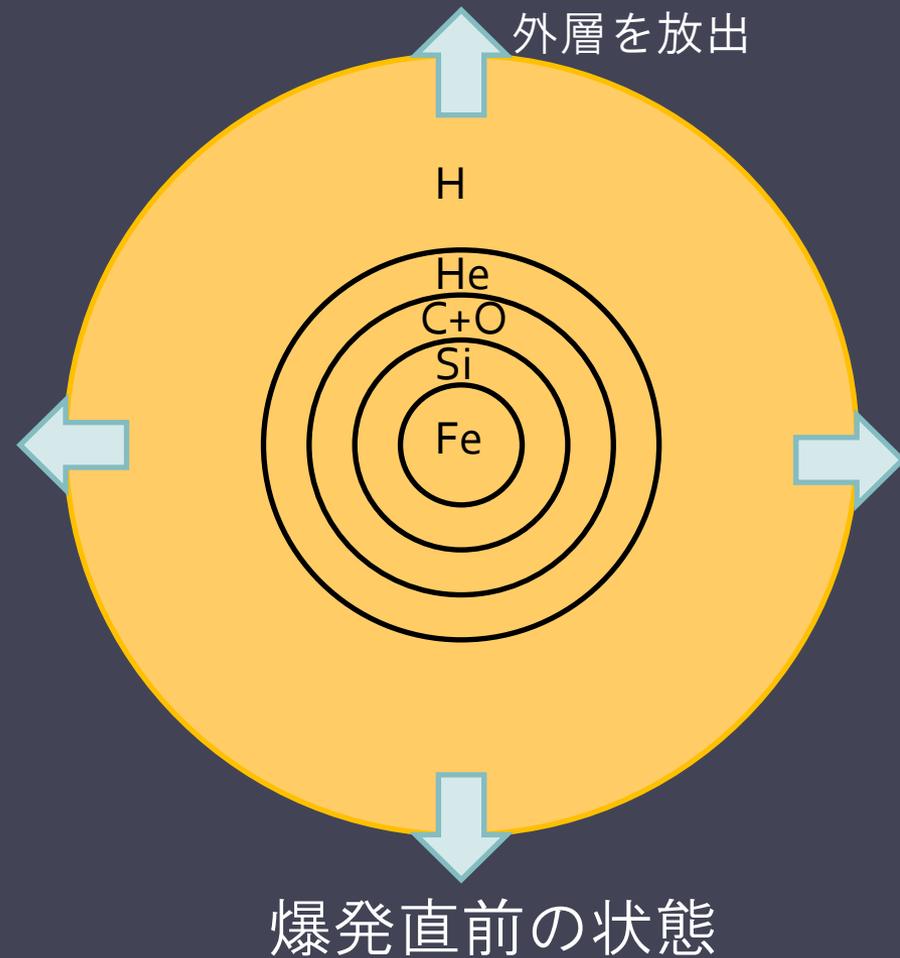
- 鉄が分解 → 陽子と中性子に

- エネルギーを吸い取る

- 爆縮

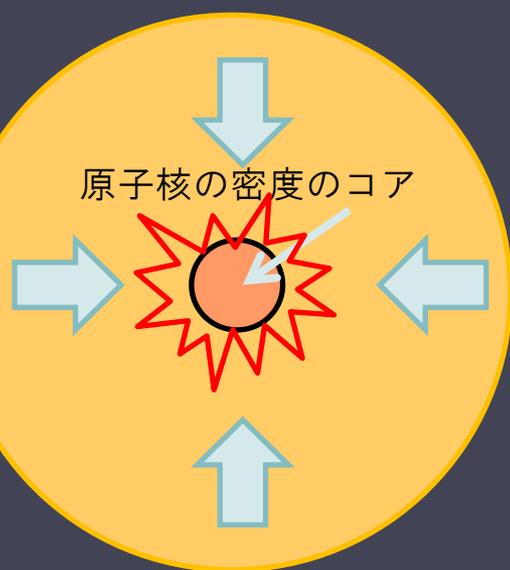


- 中性子がどんどんできる

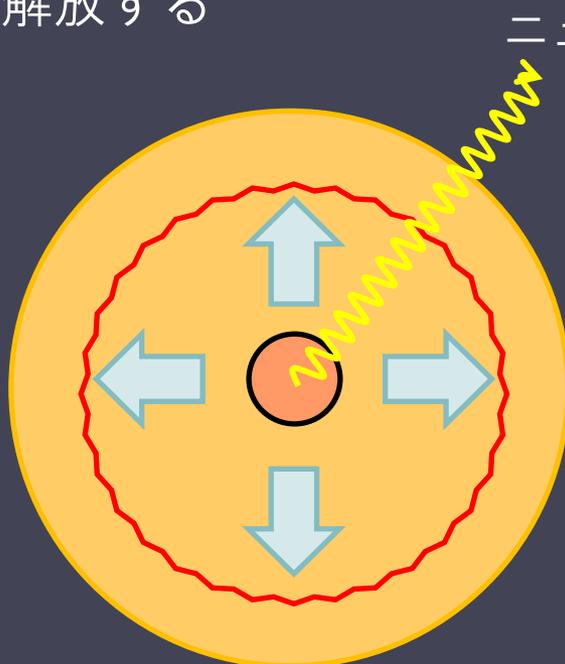


# 超新星爆発

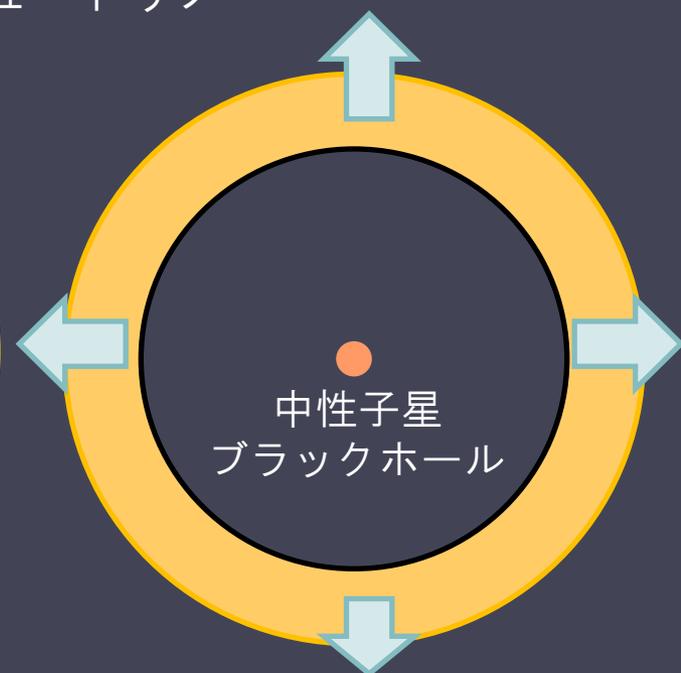
- 爆発のエネルギーは $10^{53}$ erg
  - 99%はニュートリノが持ちだす
  - $10^{51}$ ergが爆発の運動エネルギー
    - 太陽が100億年かかって出すエネルギー
    - 10秒くらいで解放する



鉄のコアの爆縮



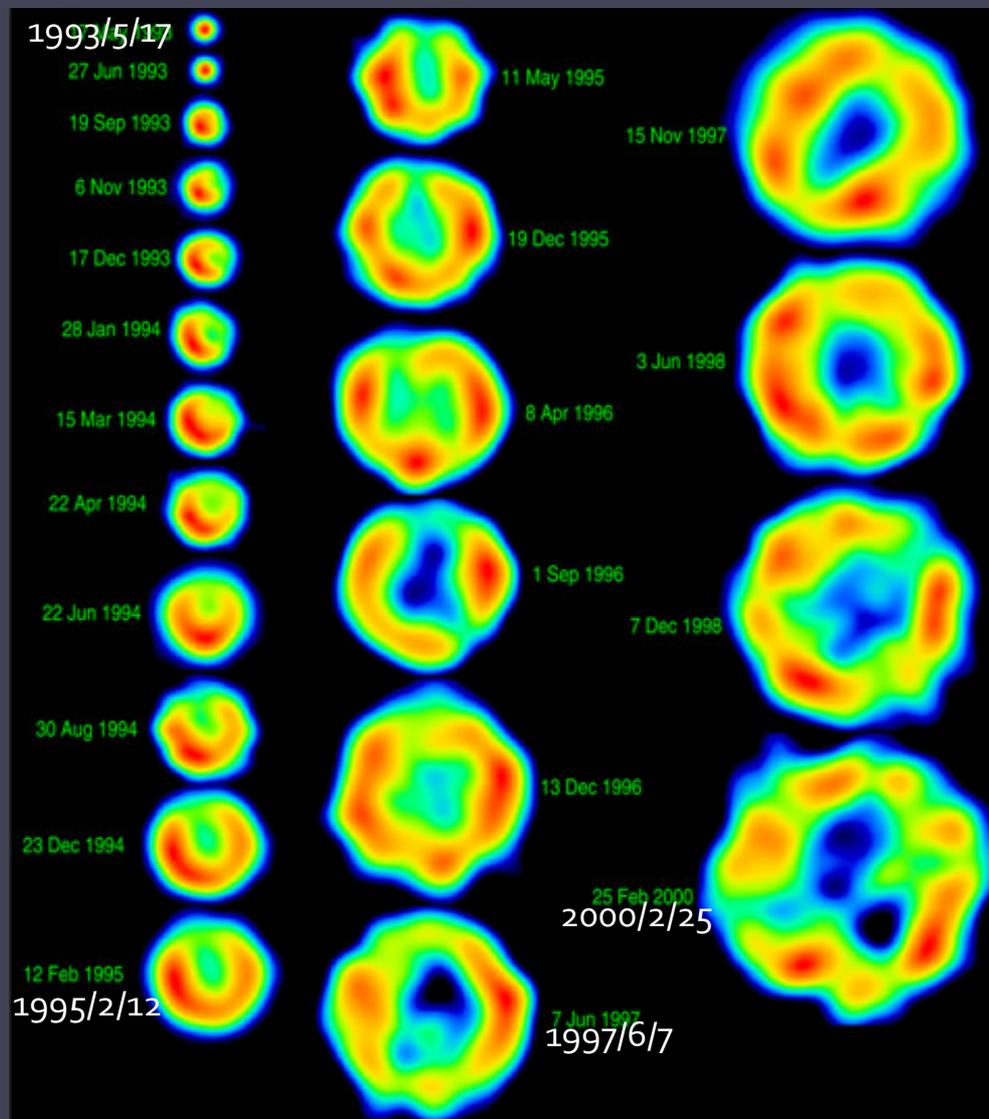
衝撃波の伝播



星の外層が吹き飛ばされる

# 超新星残骸

- 吹き飛ばされたガスが広がっていく



超新星1993Jが広がる様子 (NRAO/AUI and N. Bartel et al.)

# カシオペアA

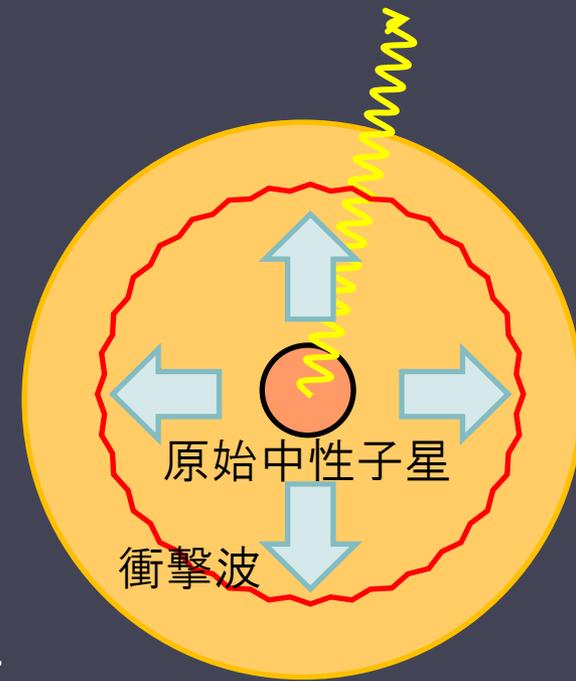
- 300年くらい目に爆発した超新星の残骸
  - 10光年くらい大きさ
  - 今後、数百光年くらいまで広がって、消えていく



Hubble  
Heritage

# ニュートリノ

- 素粒子の一種
  - － 電子の仲間（レプトン）
  - － 電荷を持たない
  - － 非常に軽い
  - － 物質とほとんど相互作用しない
- 超新星爆発時に中心核で大量に生成
  - － ニュートリノにとって、星はほとんど透明
  - － 星の外層を突き抜けて、宇宙空間に広がる
    - 超新星爆発のエネルギーの99%を持ち去る
  - － 光では中心核を見通すことができない
  - － ニュートリノを観測すれば、中心核の様子がわかる



超新星爆発時の様子

# ニュートリノの観測

- カミオカンデ

- 神岡鉱山（地下1000m）

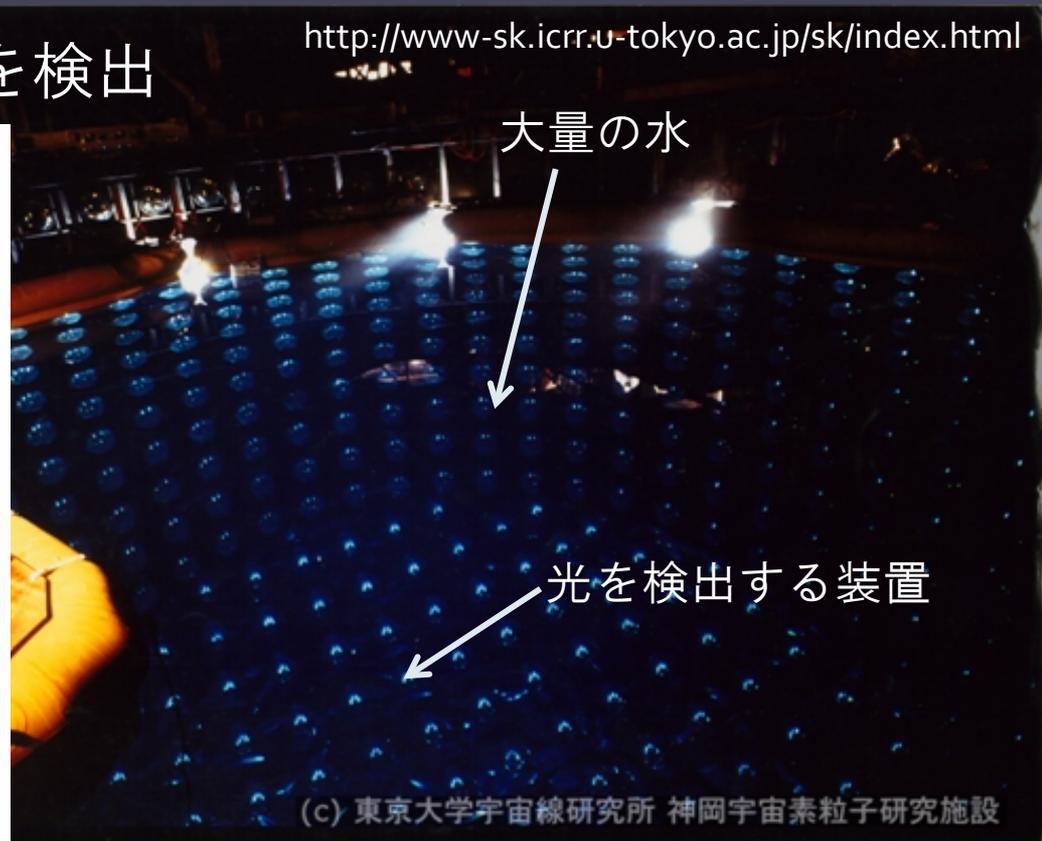
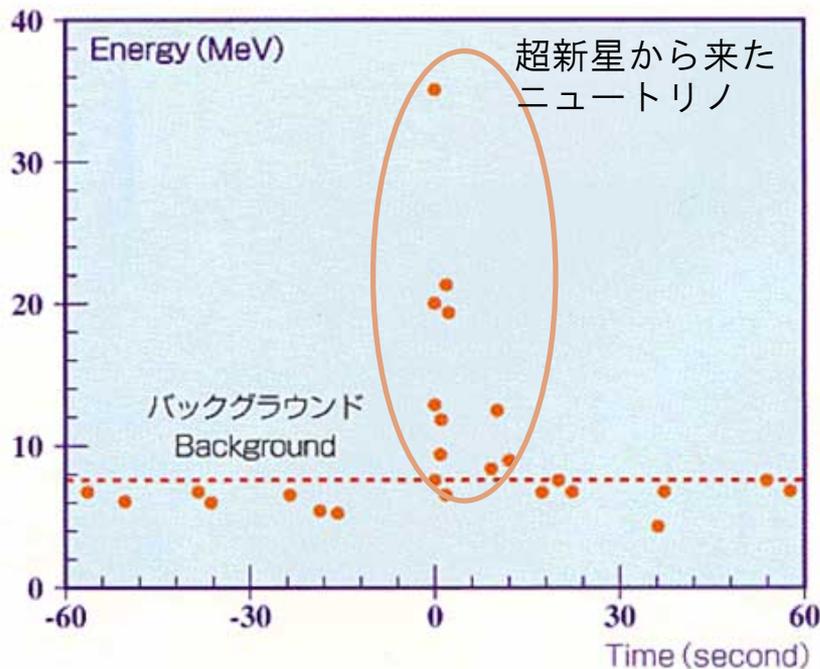
- ニュートリノは大量にある水分子（の陽子）と反応



- 超新星1987A

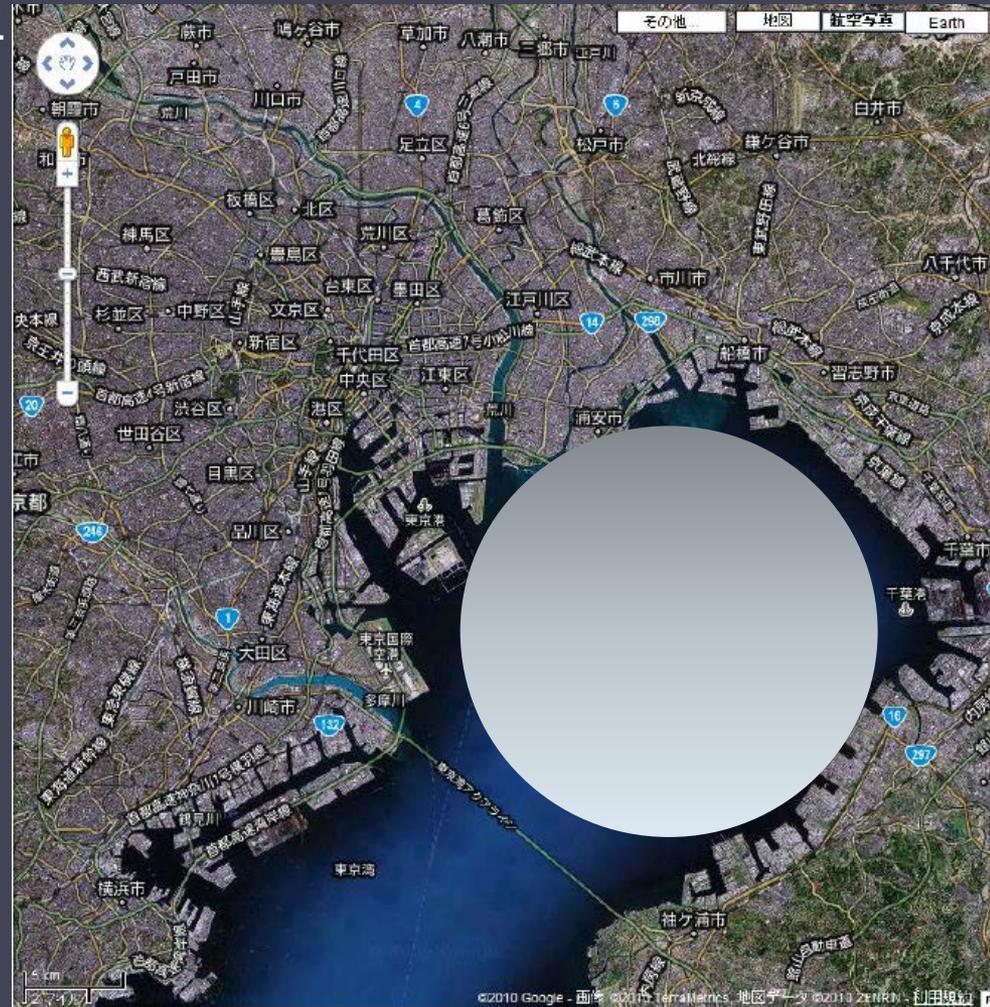
- 11個のニュートリノを検出

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/index.html>



# 中性子星

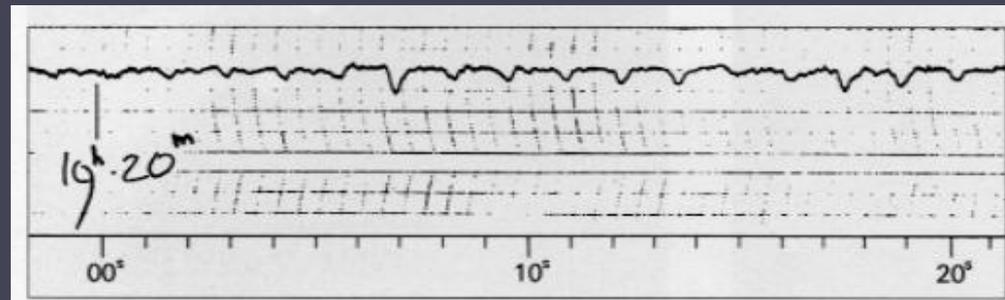
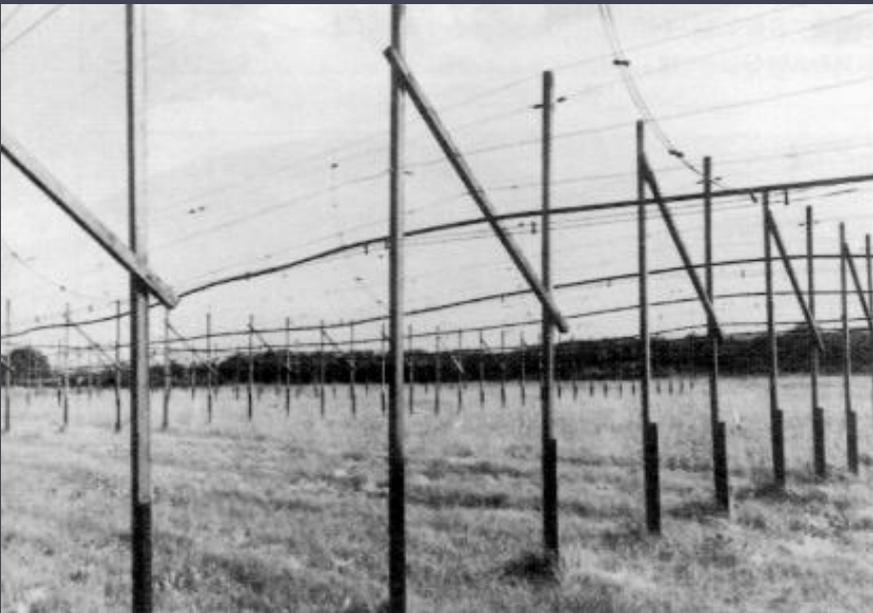
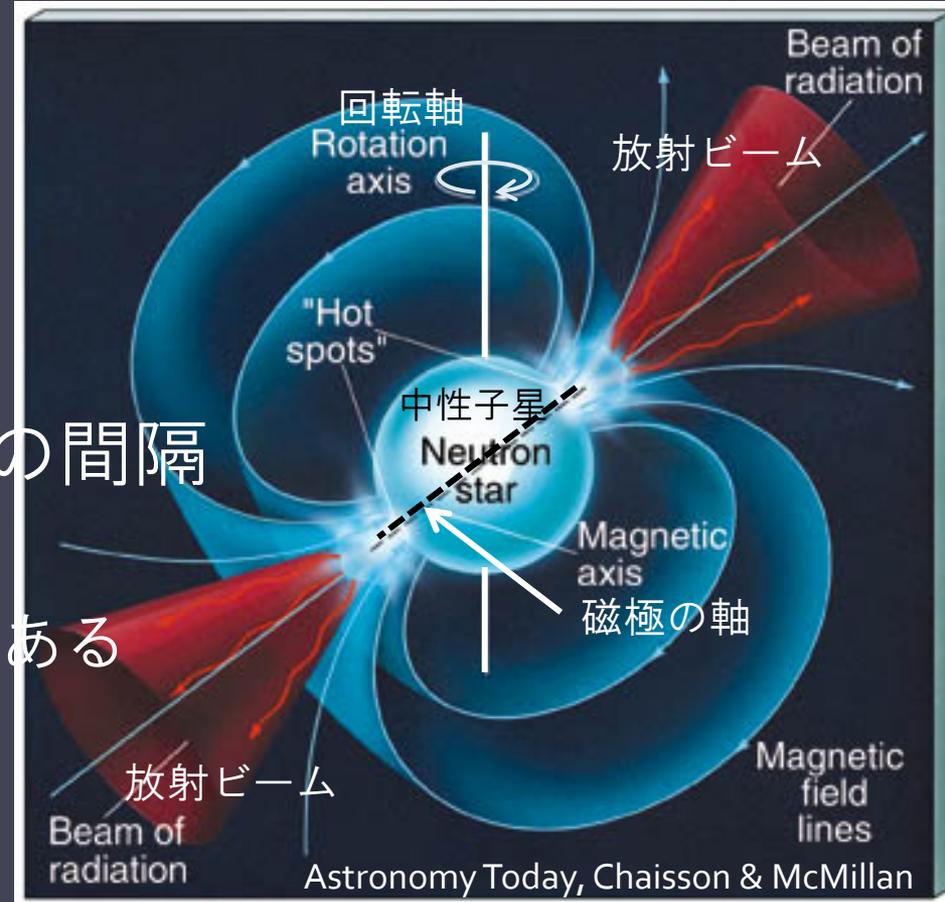
- たいへん高密度な星
  - 太陽くらいの重さ
  - 半径10km
  - 密度 5億トン/cm<sup>3</sup>
  - 巨大な原子核
    - 中性子が9割くらい



東京と中性子星 (航空写真はgoogle)

# パルサー

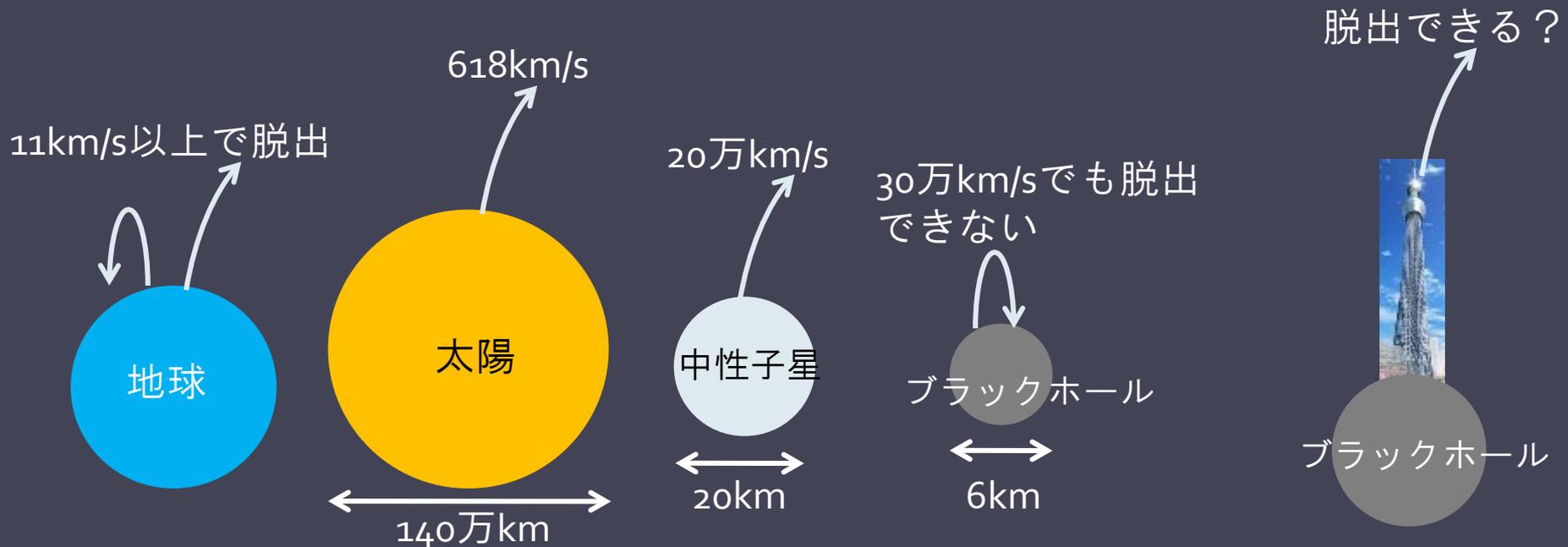
- 規則的に電波を放射
  - 0.1秒から数秒くらいの間隔
    - 中性子星の自転周期
    - 1/1000秒というものもある
- 宇宙の灯台



パルサーを発見した電波望遠鏡（左）と  
パルサーからの信号（上）  
伊藤 直紀、上智大学理工学振興会会報 ソフィア サイテック  
No.10

# ブラックホール

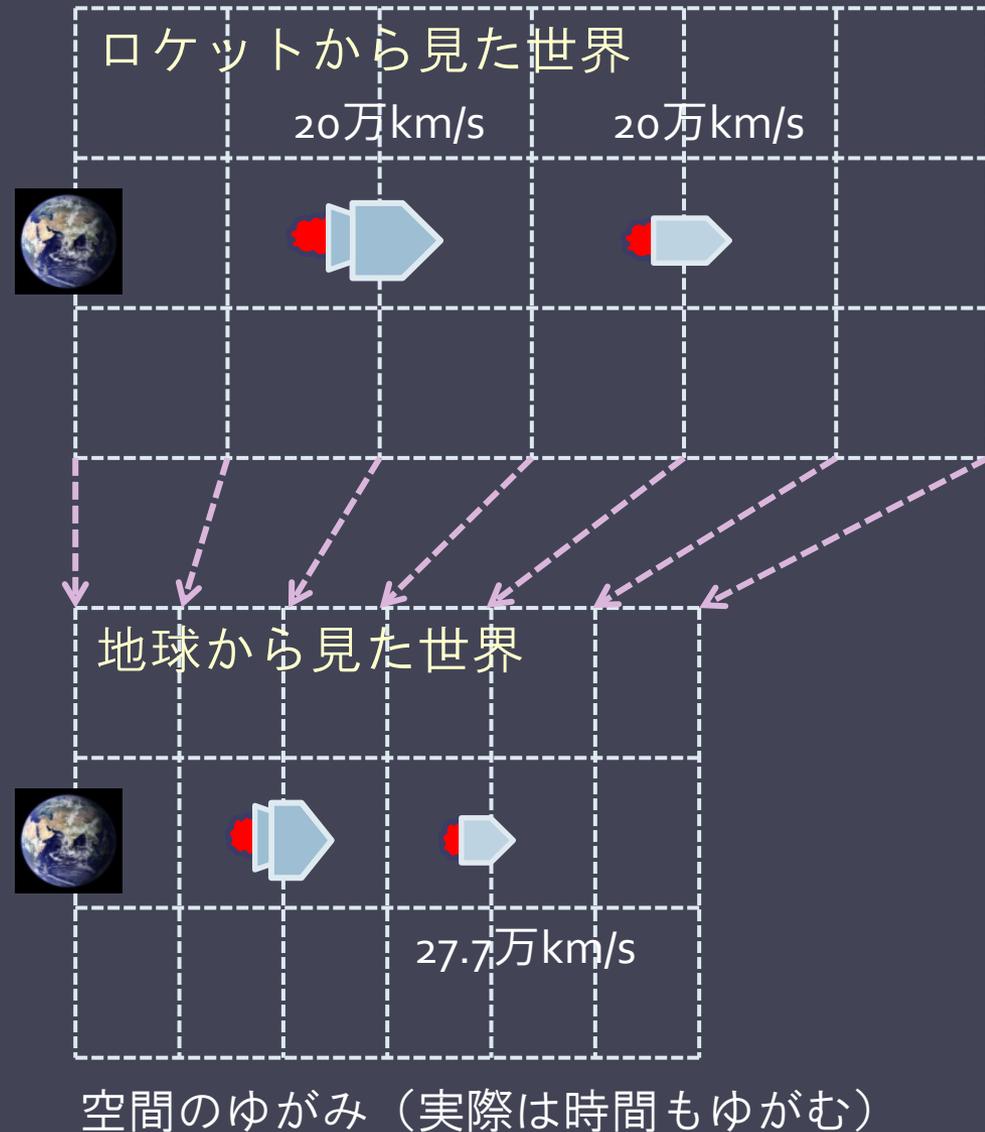
- 脱出速度が光の速さ(30万km/s)より大きい
    - 光でも、ブラックホールから脱出できない
      - 光より速いものは？
      - ブラックホールに高いビルを建てれば？
- このようなことは不可能



# 限界速度としての光の速度

- 光の速度：特別な速度
  - 越えられない限界
  - 時間や空間がゆがんで、光より速いものがないように自動調整
- $20\text{万km/s} + 20\text{万km/s} = 27.7\text{万km/s}$

-  特殊相対性理論  
は、Maxwell の方程式を勉強すれば、直ちに導かれます

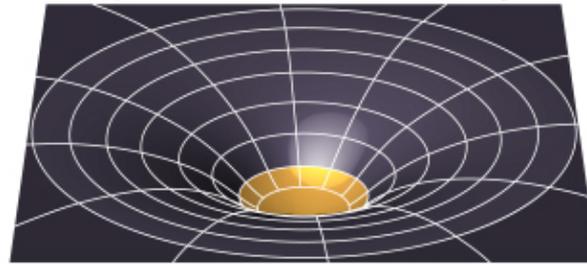


# 時間と空間のゆがみ

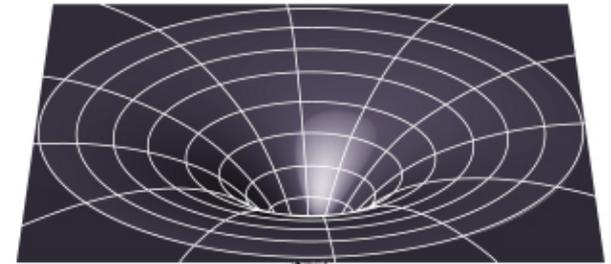
- 重い物の周りは時空がゆがむ
- ブラックホール： ゆがみが極限に達する
  - 時空のゆがみのため、光を含めたあらゆるものが脱出できない

➡ 一般相対性理論  
...は結構難しい

太陽の周りの時空

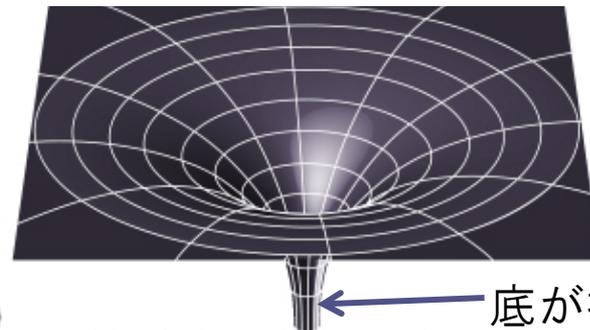


白色矮星の周りの時空



(a)

ブラックホールの周りの時空

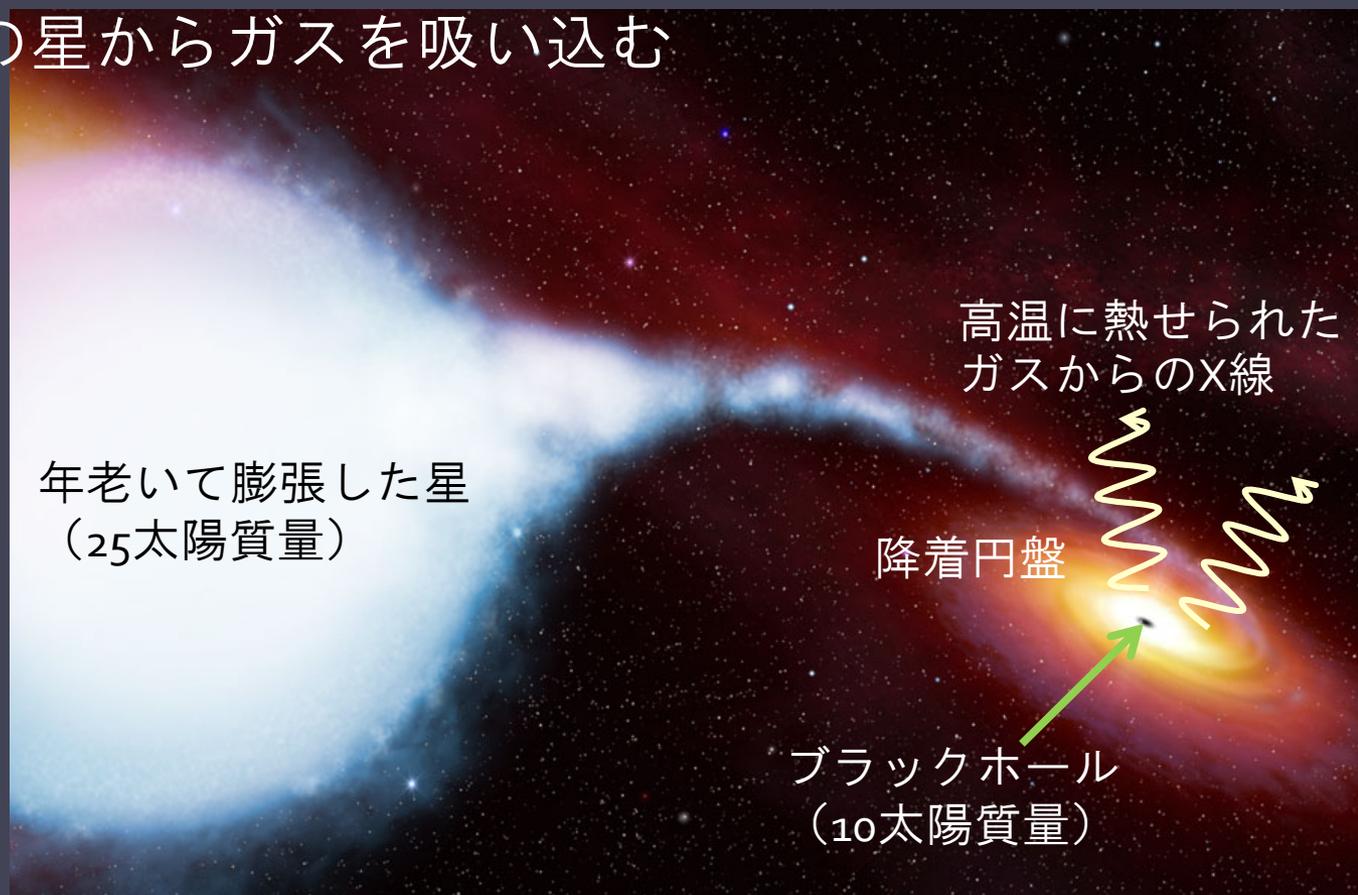


(b)

底が抜けた状態

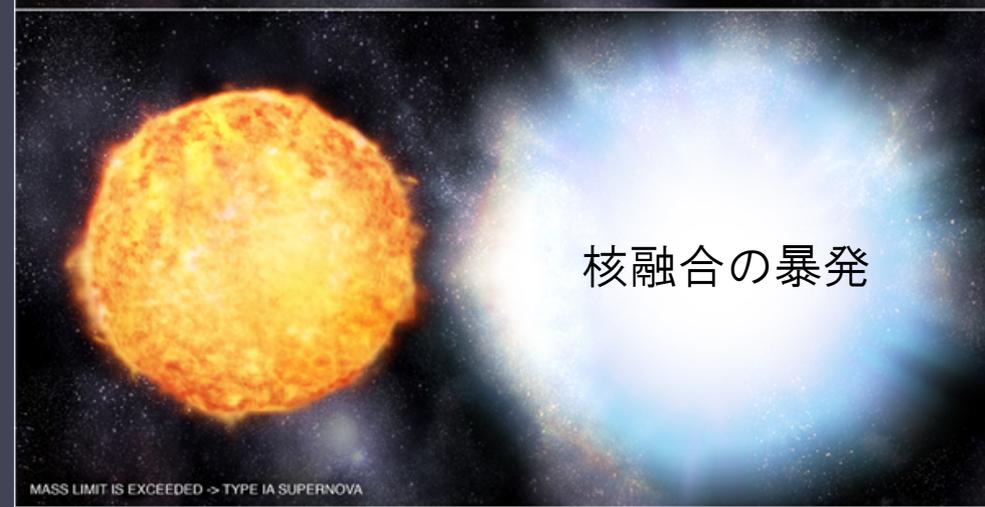
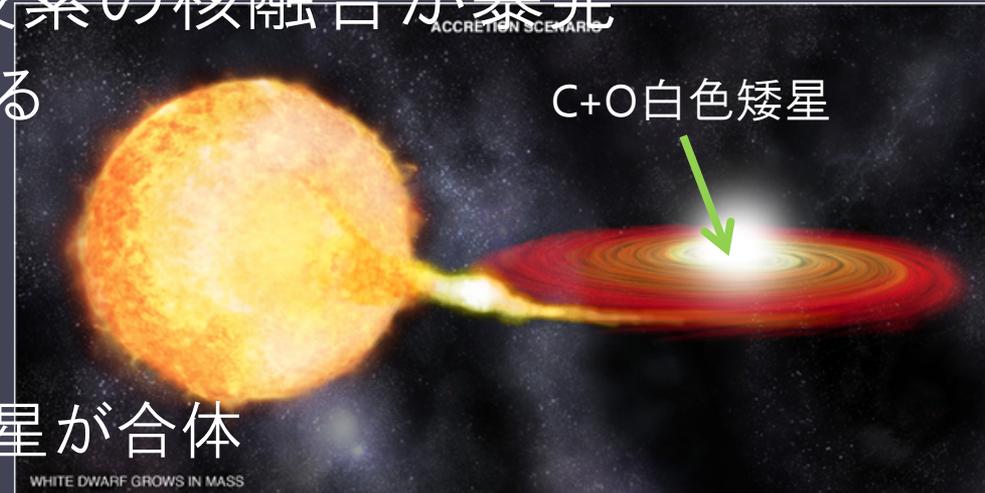
# ブラックホール候補天体

- はくちょう座 X-1
  - 連星をなす星の一方がブラックホール
  - もう一つの星からガスを吸い込む



# 1a型超新星

- 白色矮星に伴星からのガスが降り積もる
- 白色矮星が重くなり、炭素の核融合が暴発
  - 白色矮星は粉々に飛び散る
- 他の説
  - 連星をなす二つの白色矮星が合体



降着説による1a型超新星

<http://chandra.harvard.edu/photo/2010/type1a/media/>

# 参考文献

- 「現代の天文学7 恒星」、野本憲一ほか編、日本評論社
- 「現代の天文学8 ブラックホールと高エネルギー現象」、小山勝二ほか編、日本評論社
- 「現代の天文学17 宇宙の観測III ー高エネルギー天文学」、井上一ほか編、日本評論社
- 「現代天文学講座7 星の進化と終末」、杉本大一郎編、恒星社