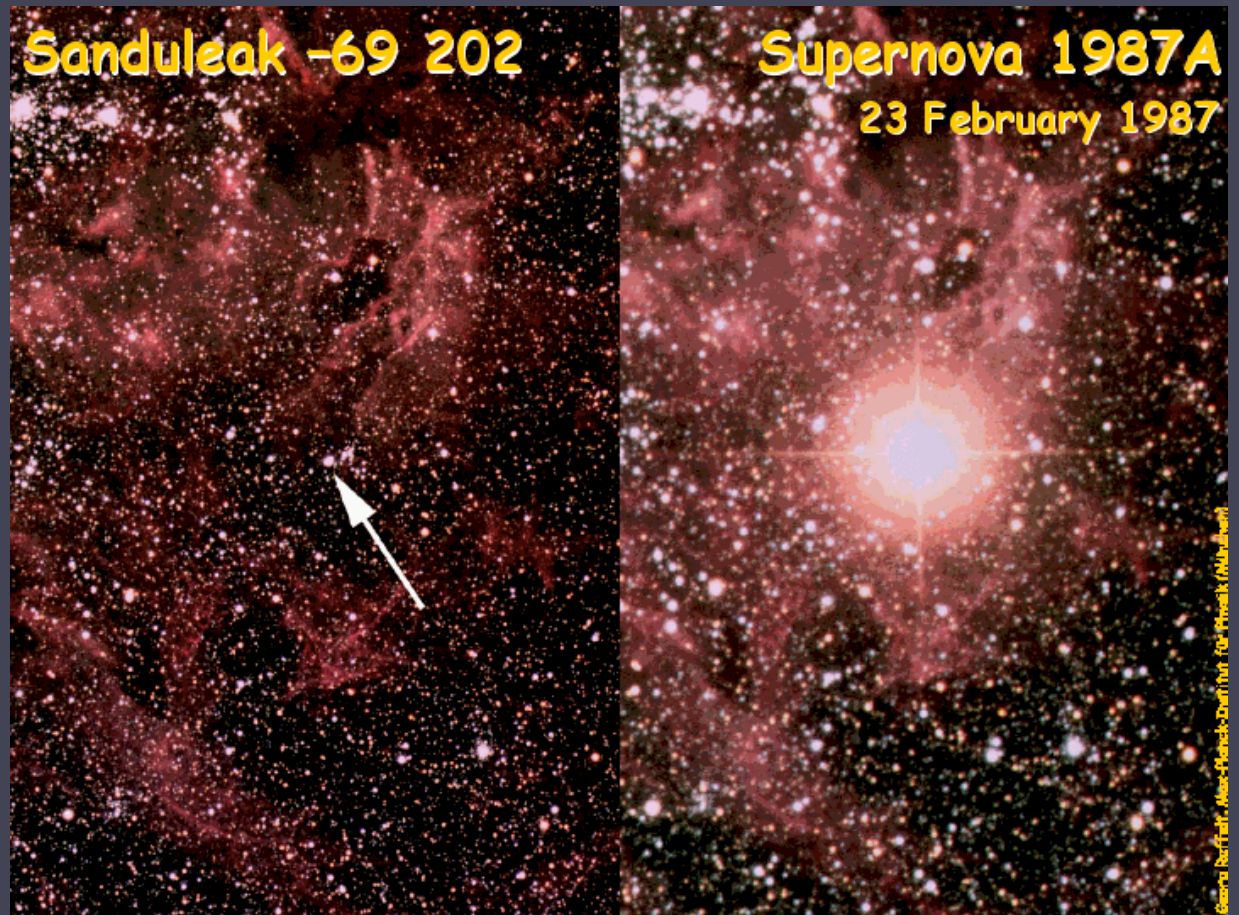


星の終末

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



系外銀河に出現した超新星

- 非常に遠方にあっても明るく見える



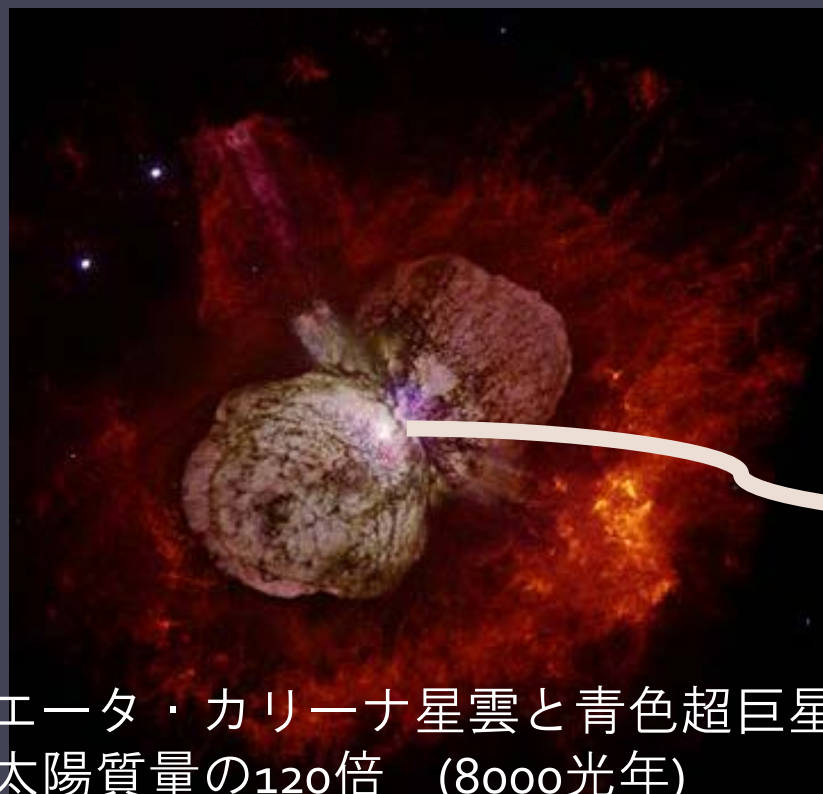
子持ち銀河(M51)に出現した超新星
SN2005cs (Type II)
距離 2300万光年



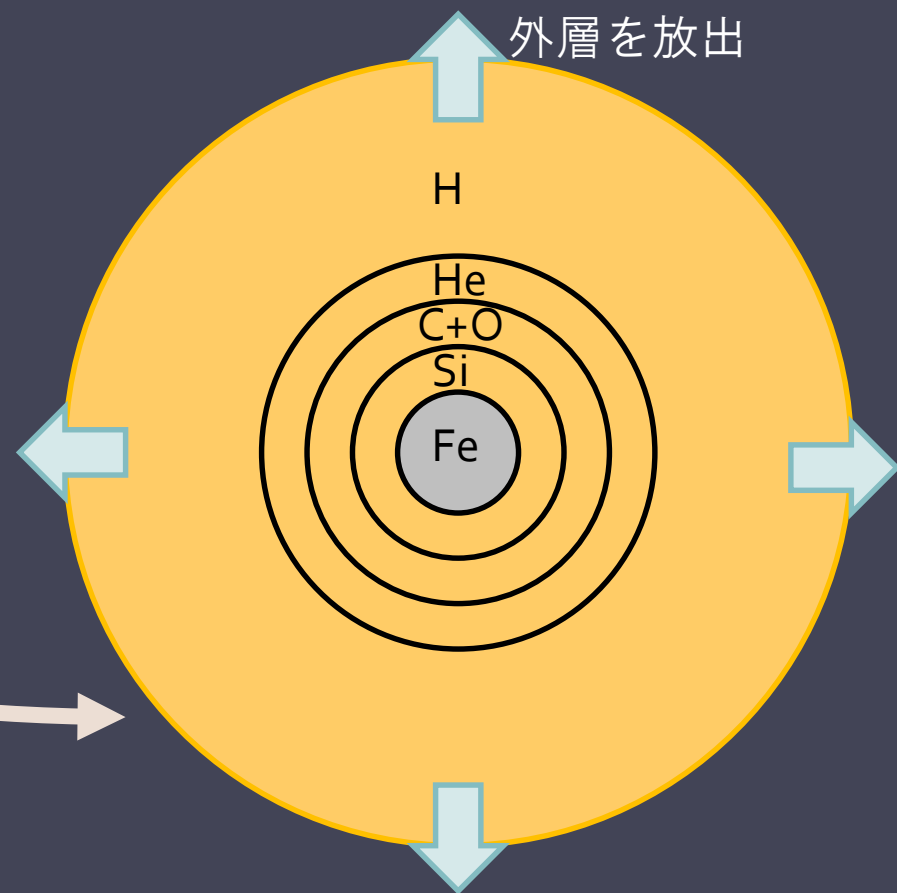
NGC4526に出現した超新星
SN1994D (Type Ia)
距離 1億800万光年

爆発直前の星

- 太陽より10倍以上重い星
- 鉄はもう核エネルギーを出さない
 - 最も安定な原子核



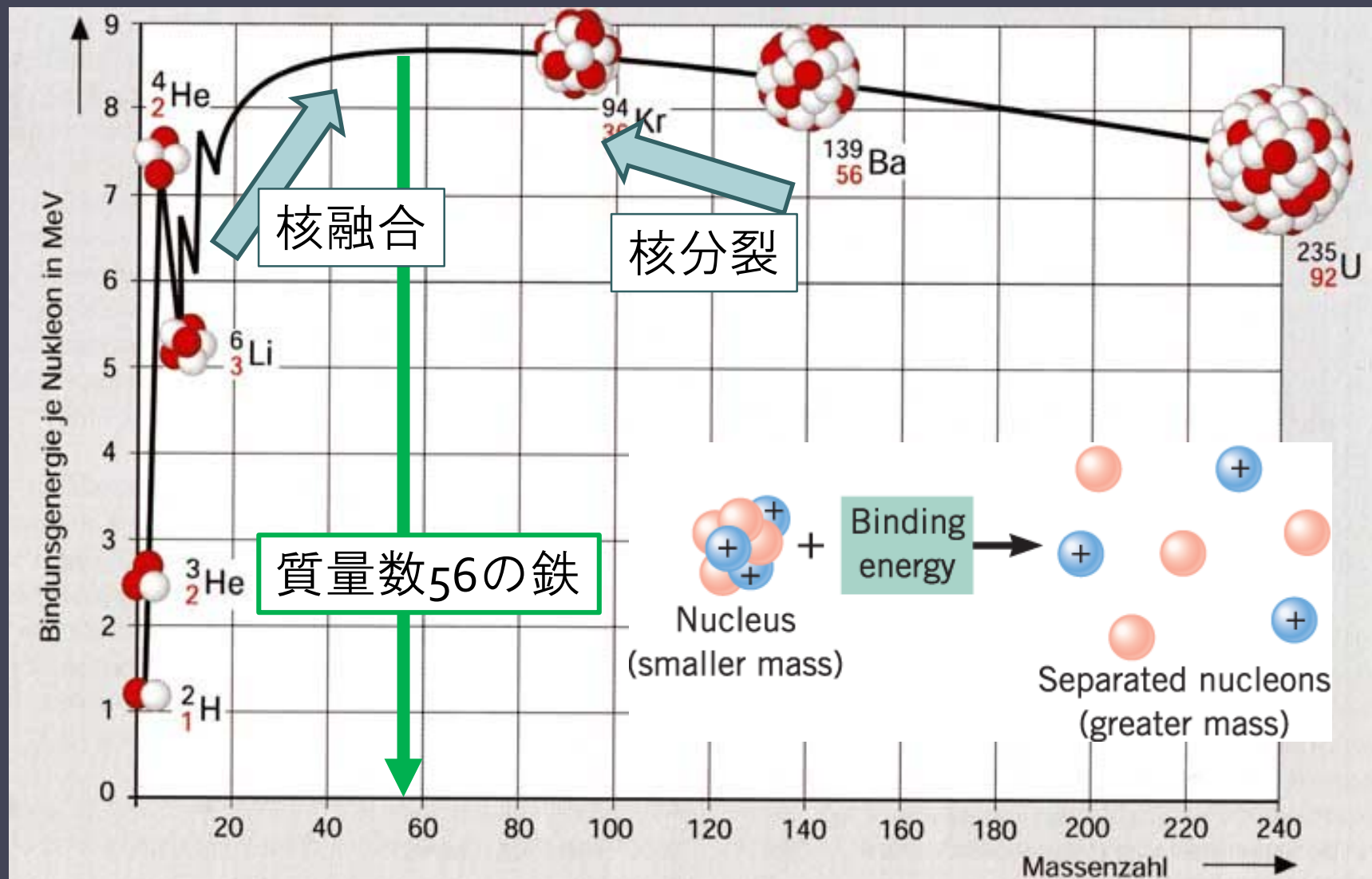
エータ・カリーナ星雲と青色超巨星
太陽質量の120倍 (8000光年)



爆発直前の状態（鉄の中心核）

鉄 (^{56}Fe) は最も安定な原子核

原子核の結合エネルギー (MeV)



鉄のコアの重力崩壊

- 鉄の原子核が星のエネルギーを吸い取りながら収縮
- 中性子まで分解
 - －わずか0.1秒で分解

コアのガス圧力 < コアの重力

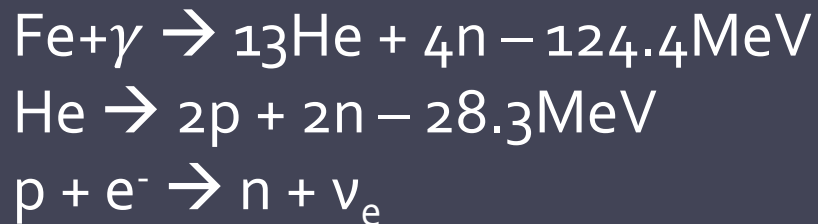
コアが収縮

重力エネルギーの
解放

コアの温度が上昇

鉄がコアの熱エネルギー
(光子) を吸って分解する

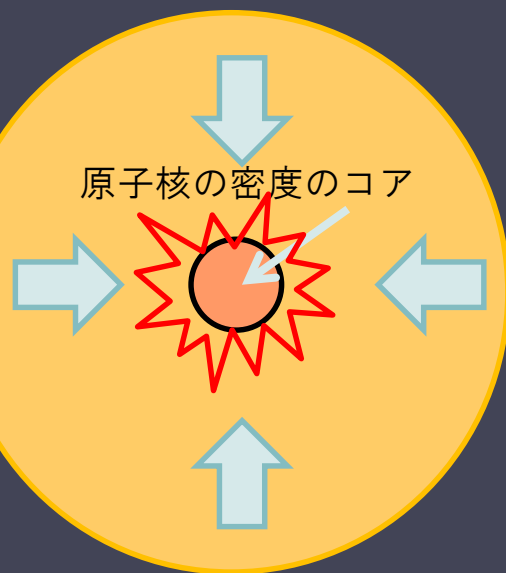
コアが冷やされ圧力が減る



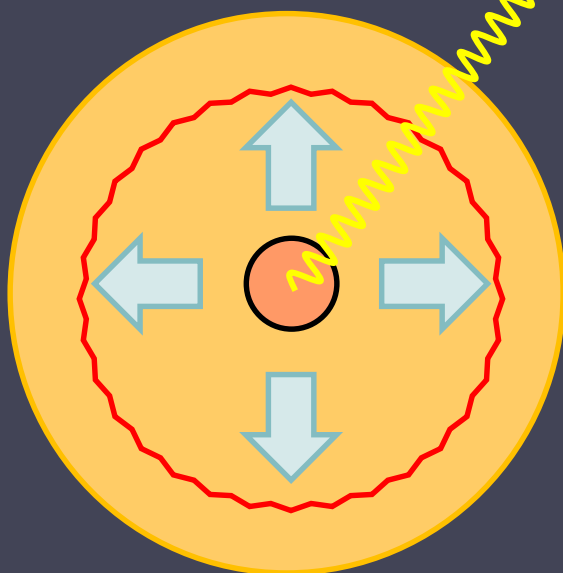
超新星爆発

- 鉄の中心核の爆縮（0.1秒くらいで収縮）
 - 鉄が中性子に分解しながら、収縮
- 太陽が100億年かかって出すエネルギー（ 10^{53}erg ）を10秒くらいで解放
 - 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

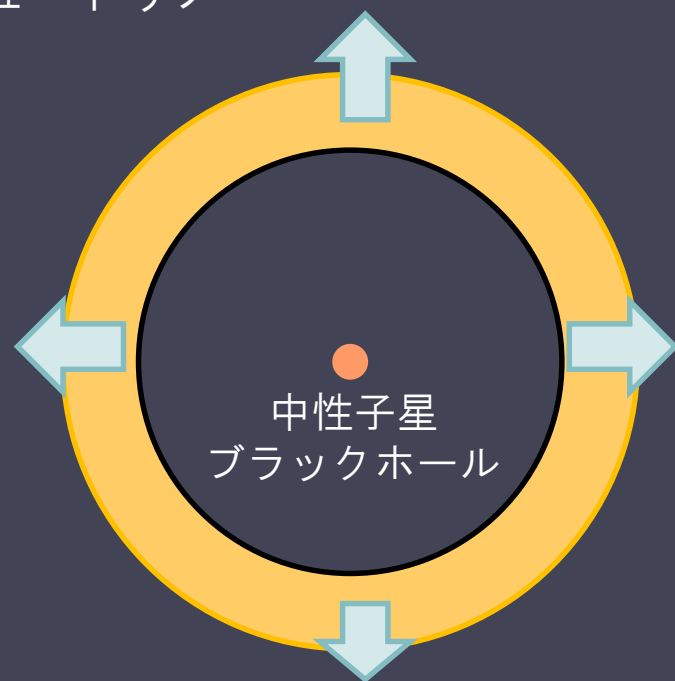
ニュートリノ



鉄のコアの爆縮



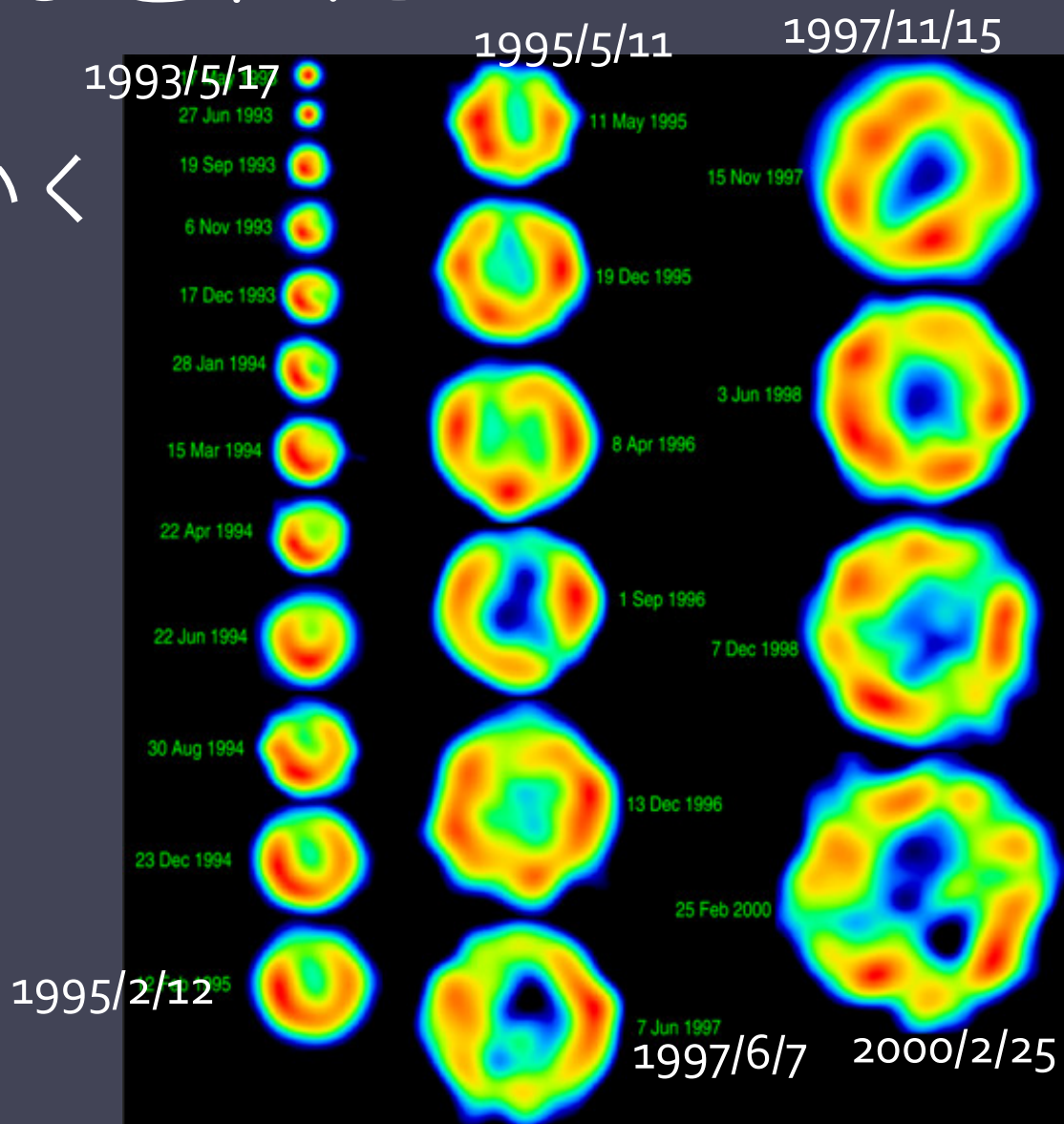
衝撃波の伝播



星の外層が吹き飛ばされる

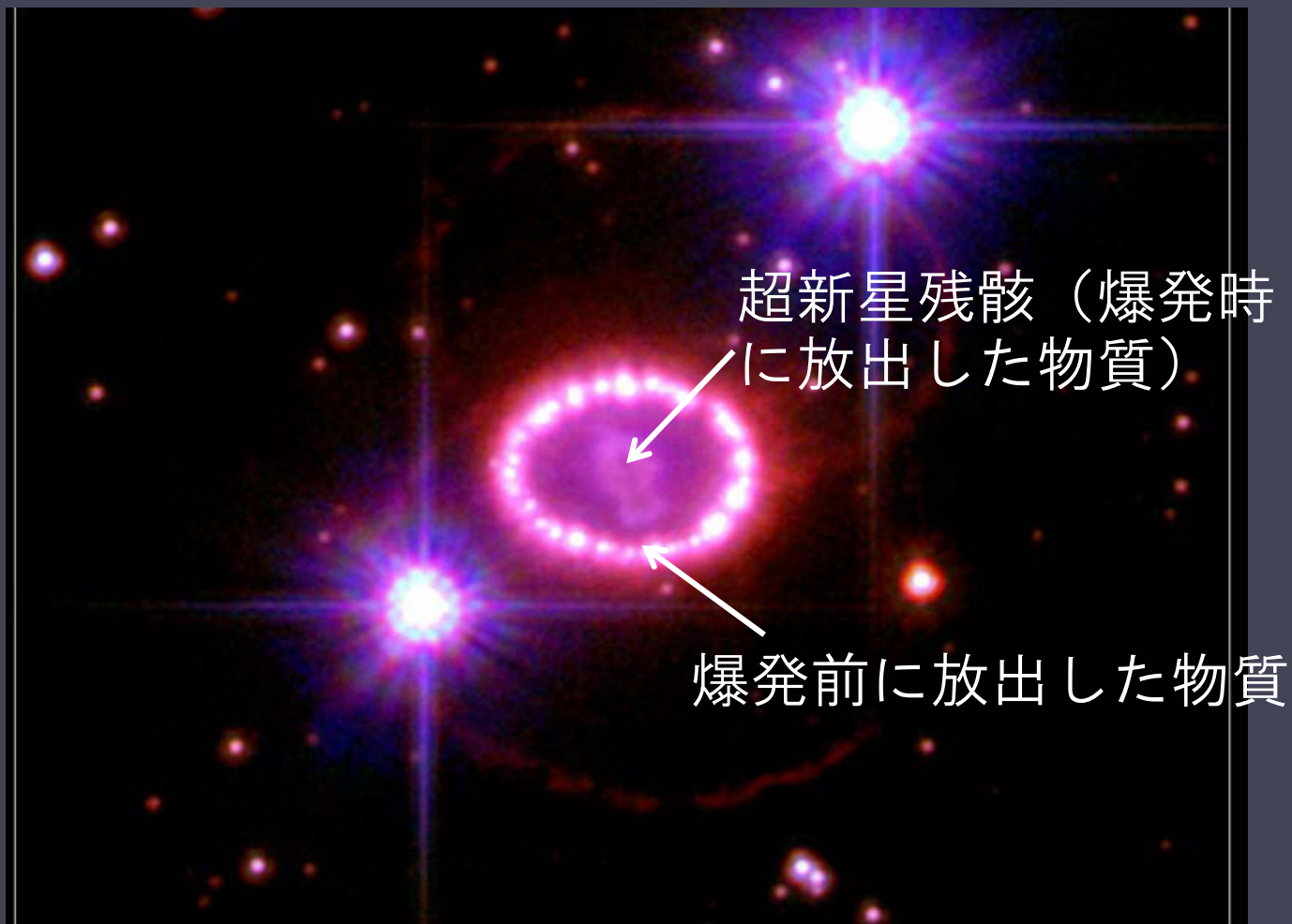
吹き飛ばされたガス

- 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.)

SN1987A：爆発の20年後の写真



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

超新星残骸

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

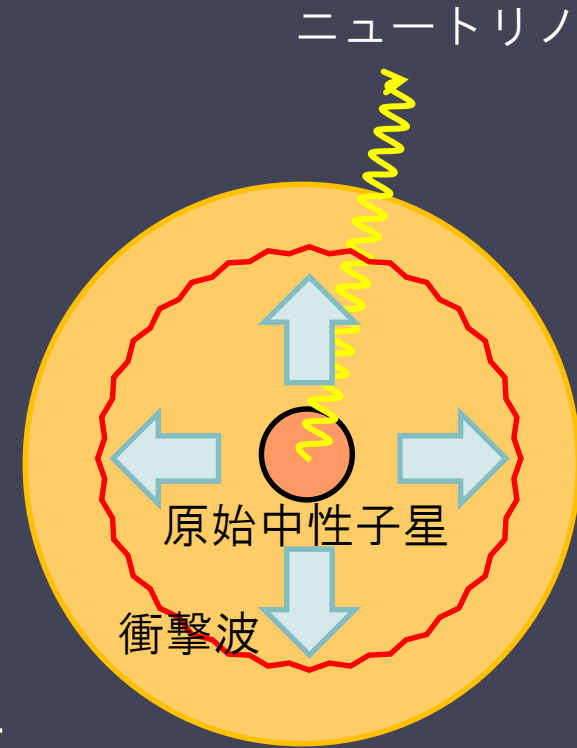


カシオペアA

Hubble
Heritage

ニュートリノ

- 核反応で放出される素粒子
 - 電子の仲間（レプトン）
 - 非常に軽い
 - 電荷を持たない
 - 光（電磁気力）と相互作用しない
- 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
 - 少しは不透明--- 抜け出るのに10秒くらいかかる
 - 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

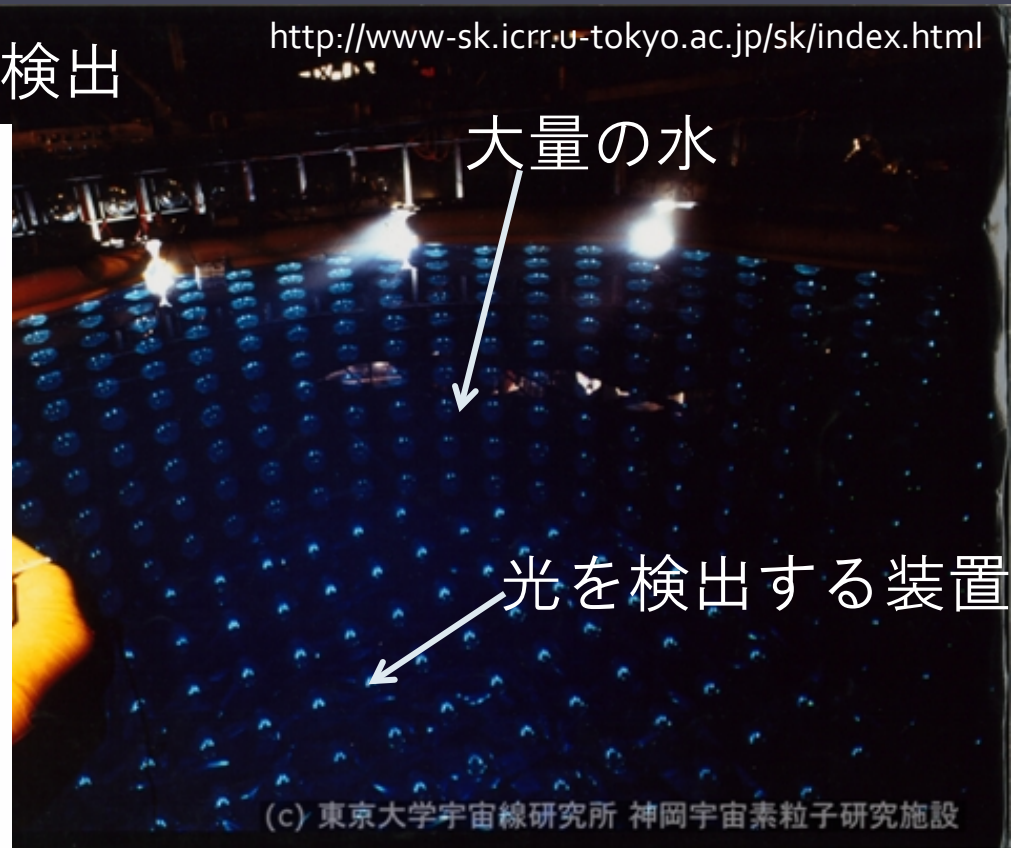
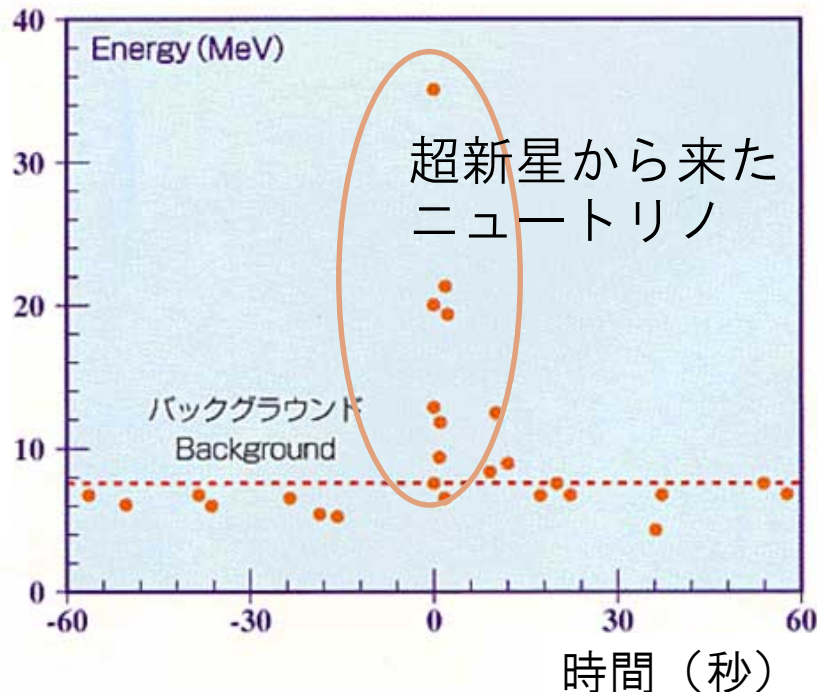


- 超新星1987A

- 11個のニュートリノを検出

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

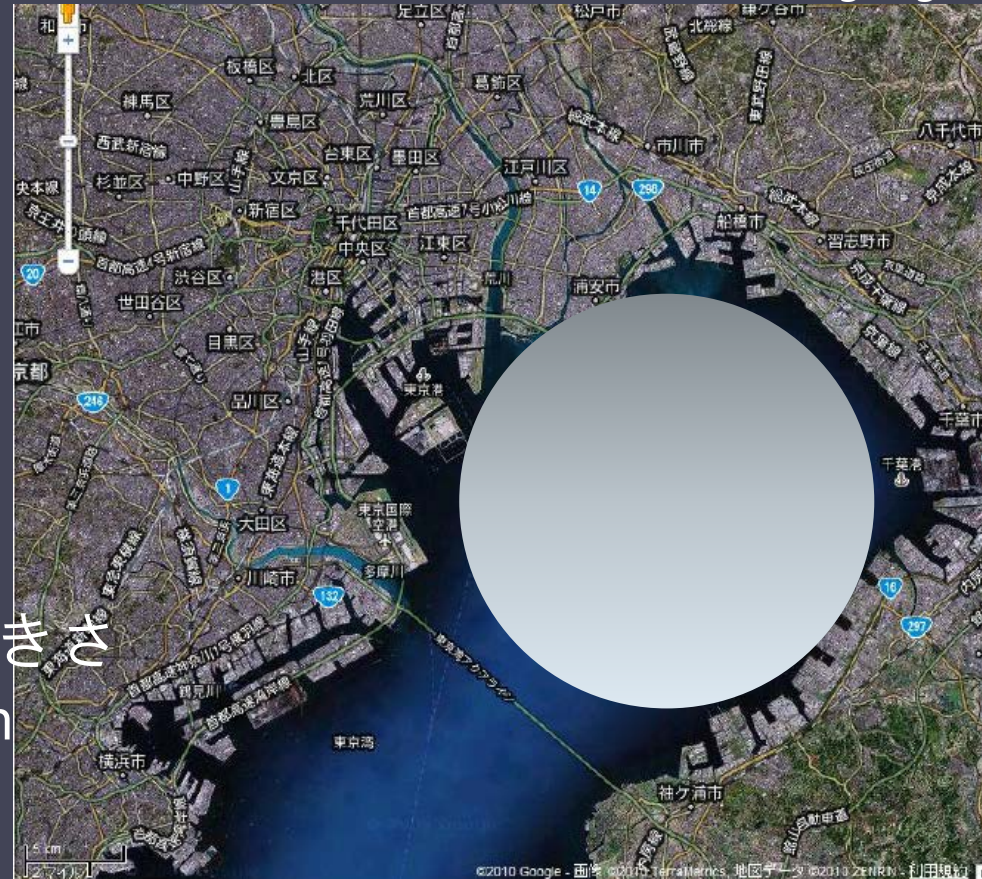
ニュートリノ検出数



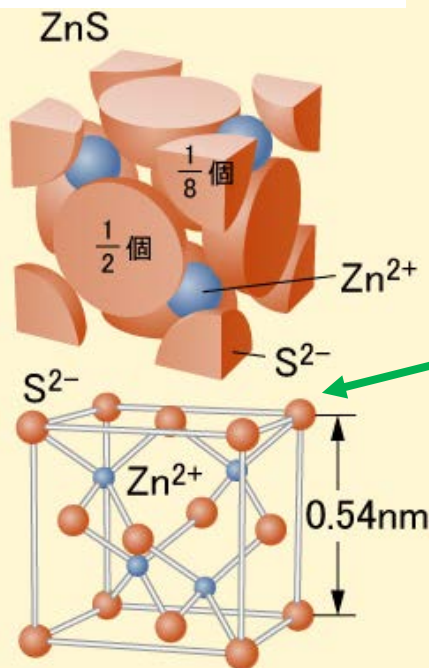
中性子星

- 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/cm³
 - 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)



身の周りの物質



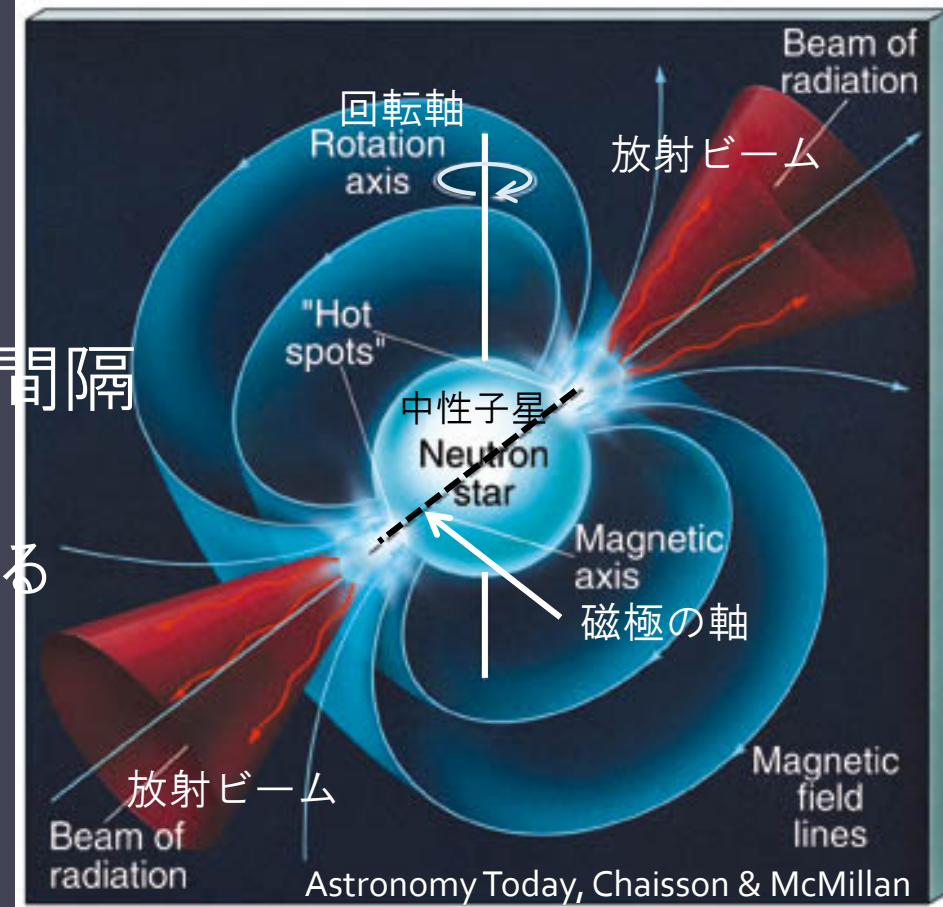
原子核の大きさ
0.000003 nm

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
- <https://youtu.be/EVbbWrQhwck>

パルサーからの信号

<http://cosmic.riken.jp/mihara/rikkyo/index.html>



Her X-1

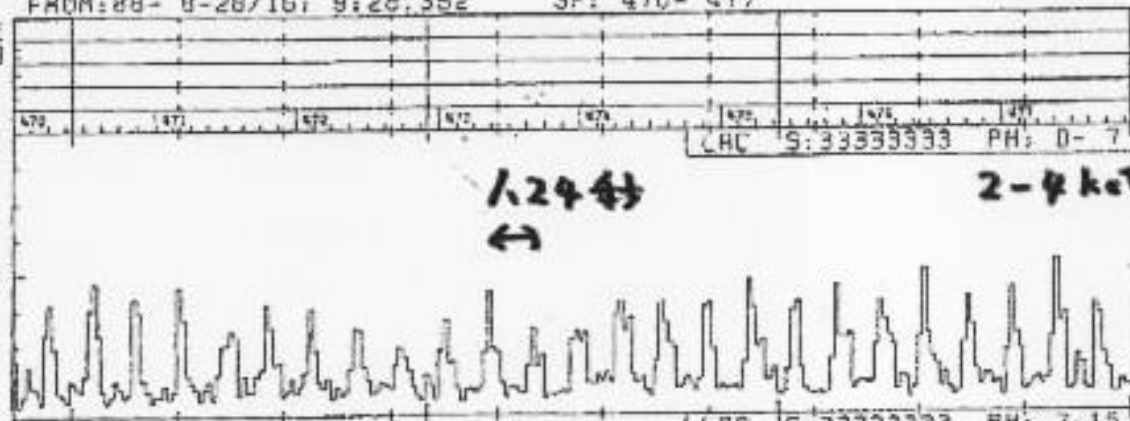
FROM: 88- 8-28/16, 9:28.352 SF: 470- 477

SUN SHINE
EARTH B/D
BBELAG
SYNC
SF

C/1255
X線強度

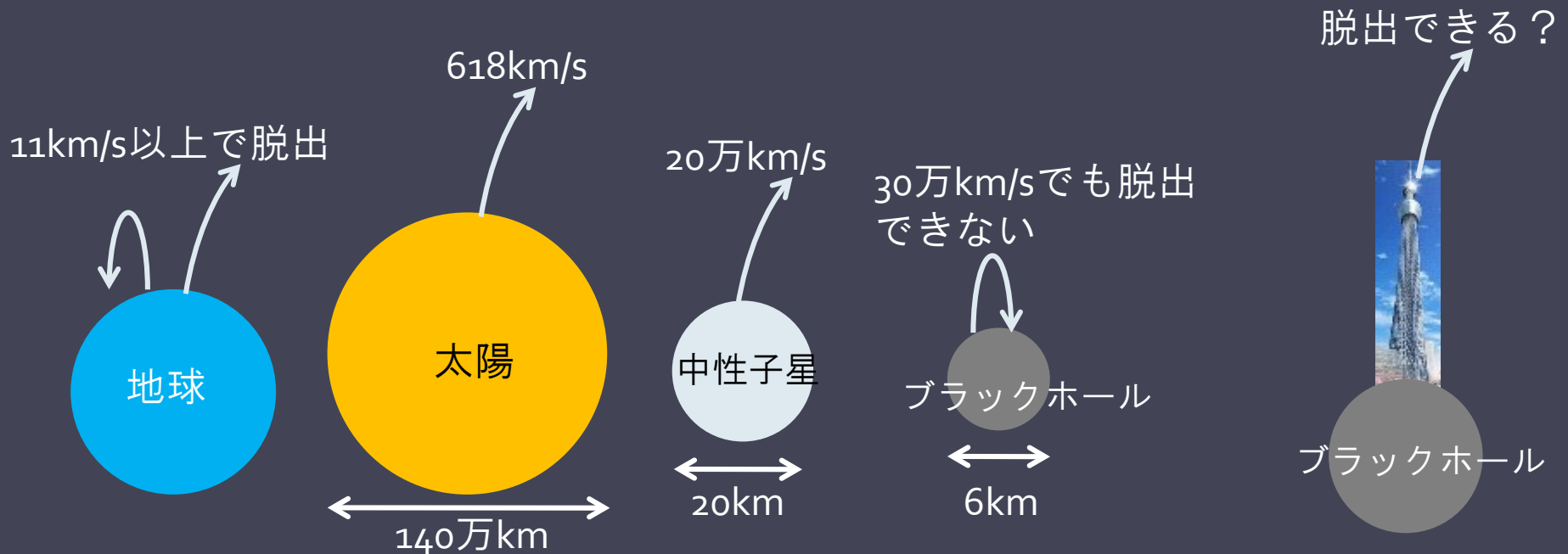
1.24 s
↔

2-4 keV



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



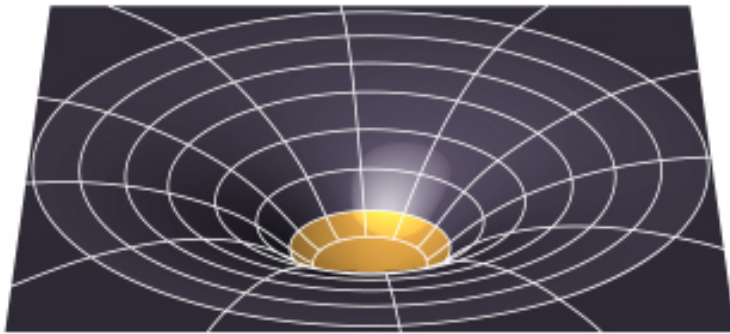
時間と空間のゆがみ

- 重い物の周りは時空がゆがむ ← 一般相対性理論
- 物体や光は、ゆがんだ時空の中を「まっすぐ」なつもりで、進む。
 - 地上を「まっすぐ」進むと、外から見るとまがっているのと同じ

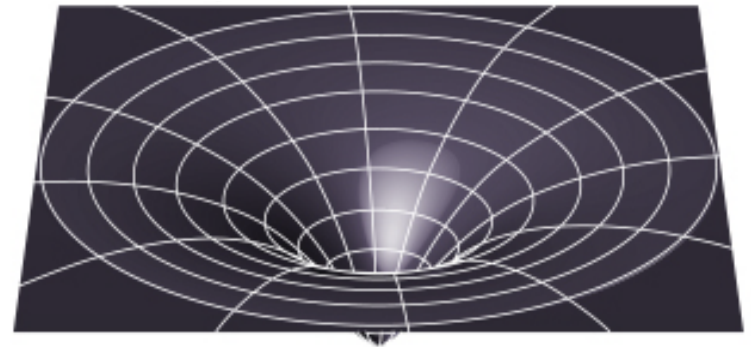
ゴムシートによる重力場の視覚化

<https://youtu.be/gPaN4puTPpA?t=50>

太陽の周りの時空

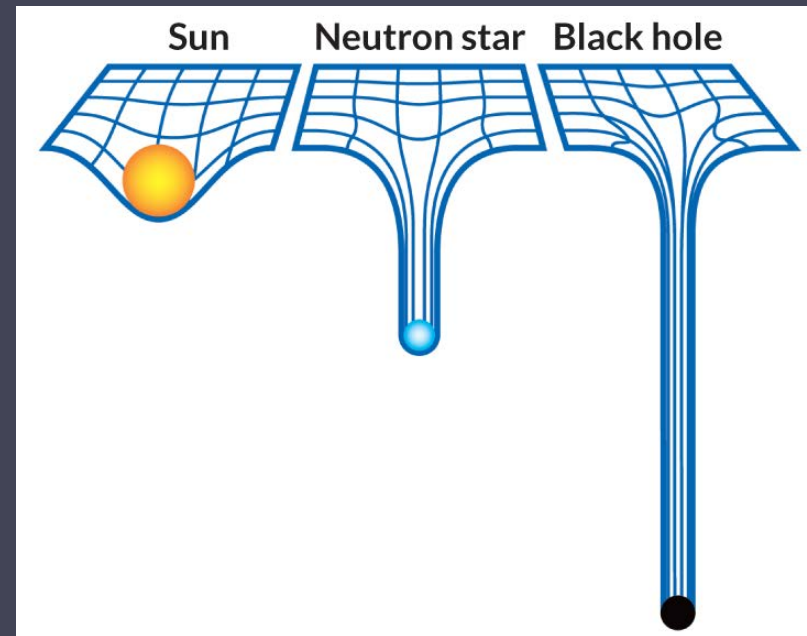


白色矮星の周りの時空



空間の曲りが大きくなりすぎると

- ブラックホール： ゆがみが限界に達する
 - 空間に穴が開いたように見える。
 - 私たちには、空間の穴しか見えず、ブラックホール自体は見えない
 - 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



ブラックホール

?????
??

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



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

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

