

天体の爆発現象で拓く極限物理

諏訪 雄大

(京都大学基礎物理学研究所)

さて、

★ 今日は何を話せばいいんでしょうか？

★ テーマは

「宇宙にひろがる人類文明の未来」

★ 難しい話はできないので、自分の専門
の物理学と宇宙の話をします

★ 特に、**根源的**・**極限的**な物理に注目

基礎物理学研究所

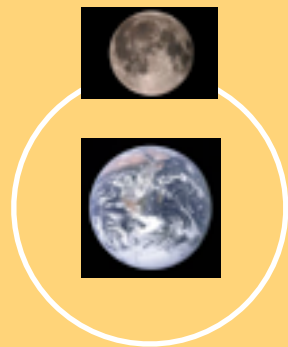
- 1949年、湯川秀樹博士が中間子論の業績により、日本人として初めてノーベル物理学賞を受賞した。
- その功績より、1952年に湯川記念館設置
- 1953年に基礎物理学研究所を附置
- 2008年益川敏英元所長がノーベル物理学賞を受賞
- 現在は、「素粒子物理学」「原子核物理学」「宇宙物理学」「物性物理学」の4つの基礎物理学の研究が行われている
- 研究者が大体50名、学生が大体40名の日本有数の研究拠点



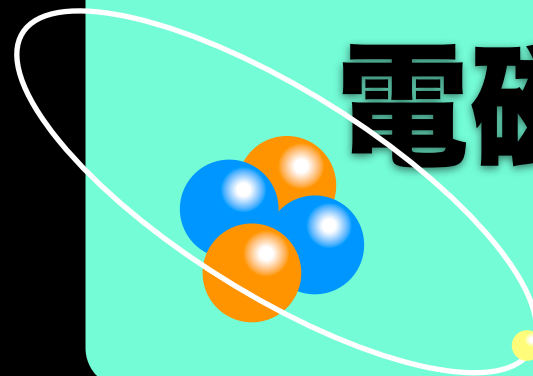
4つの力

★ 現代物理では、物質同士の相互作用を記述する4つの力があることが分かっている

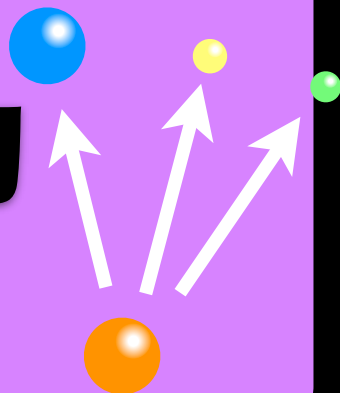
重力



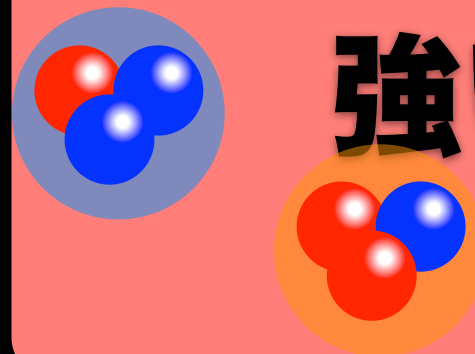
電磁気力



弱い力



強い力



重力

★ 万有引力の法則

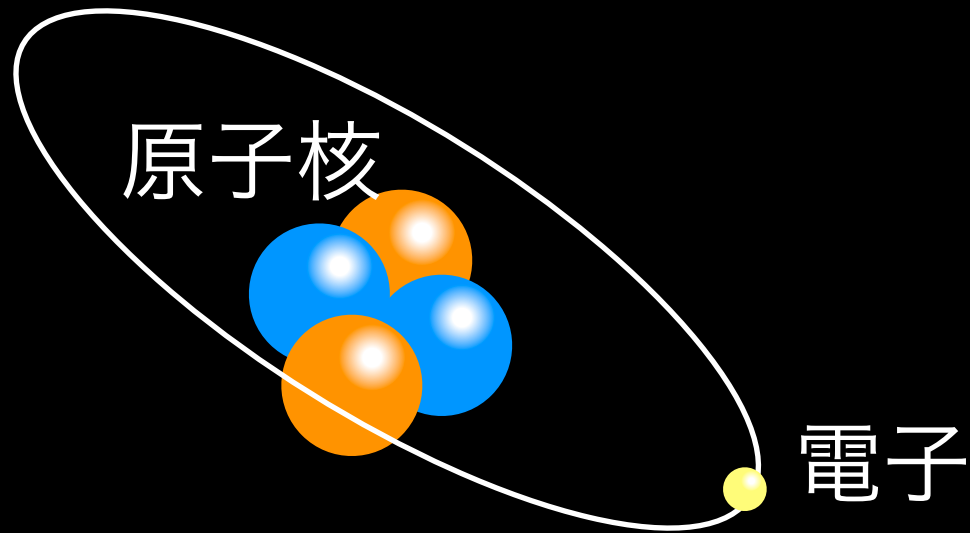
★ 天体の運動を決める最も重要な相互作用

★ 月が地球の周りを回ってるのも、地球が太陽の周りを回ってるのも重力があるから

★ 一般相対性理論は重力を記述する理論

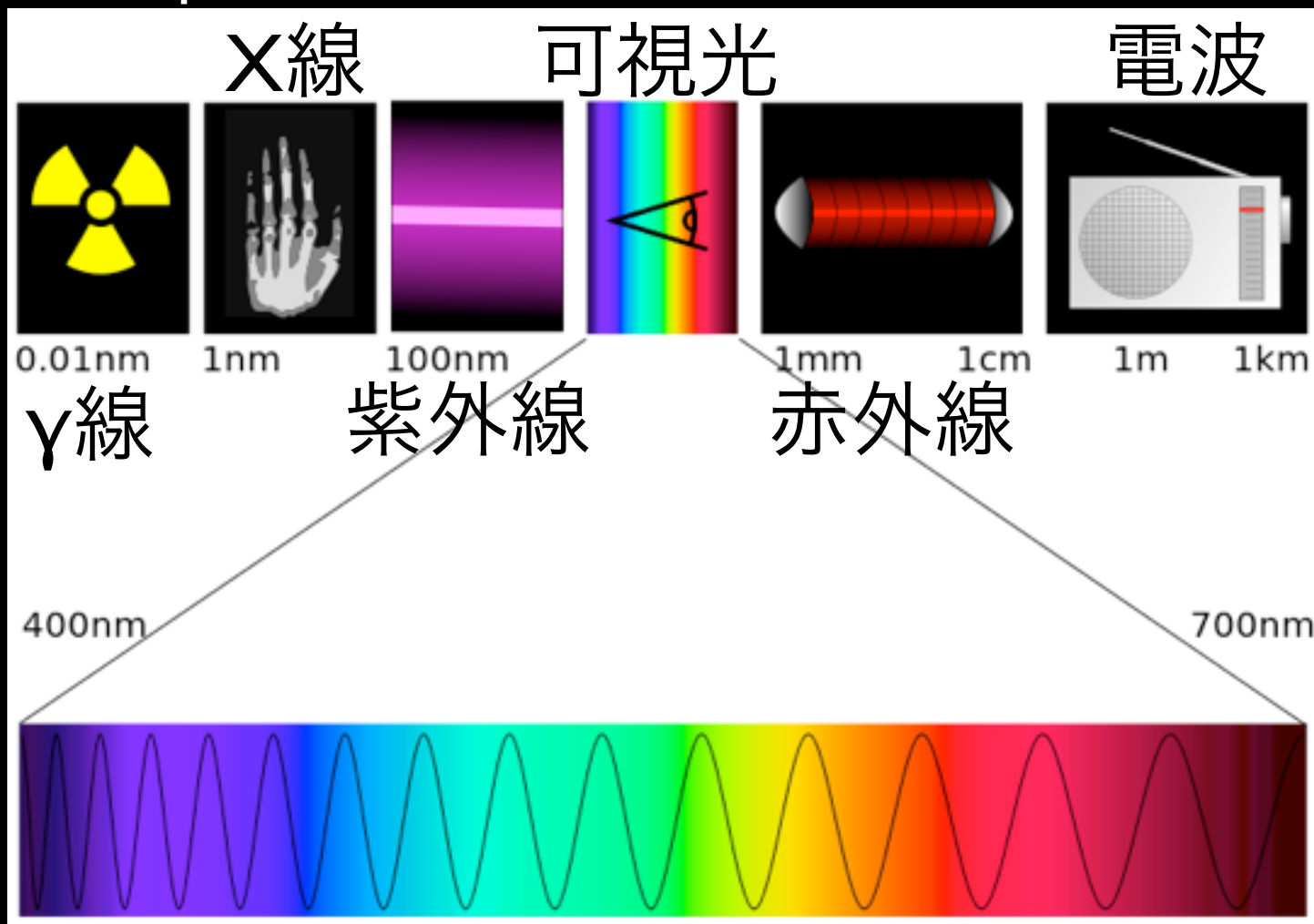


電磁気力



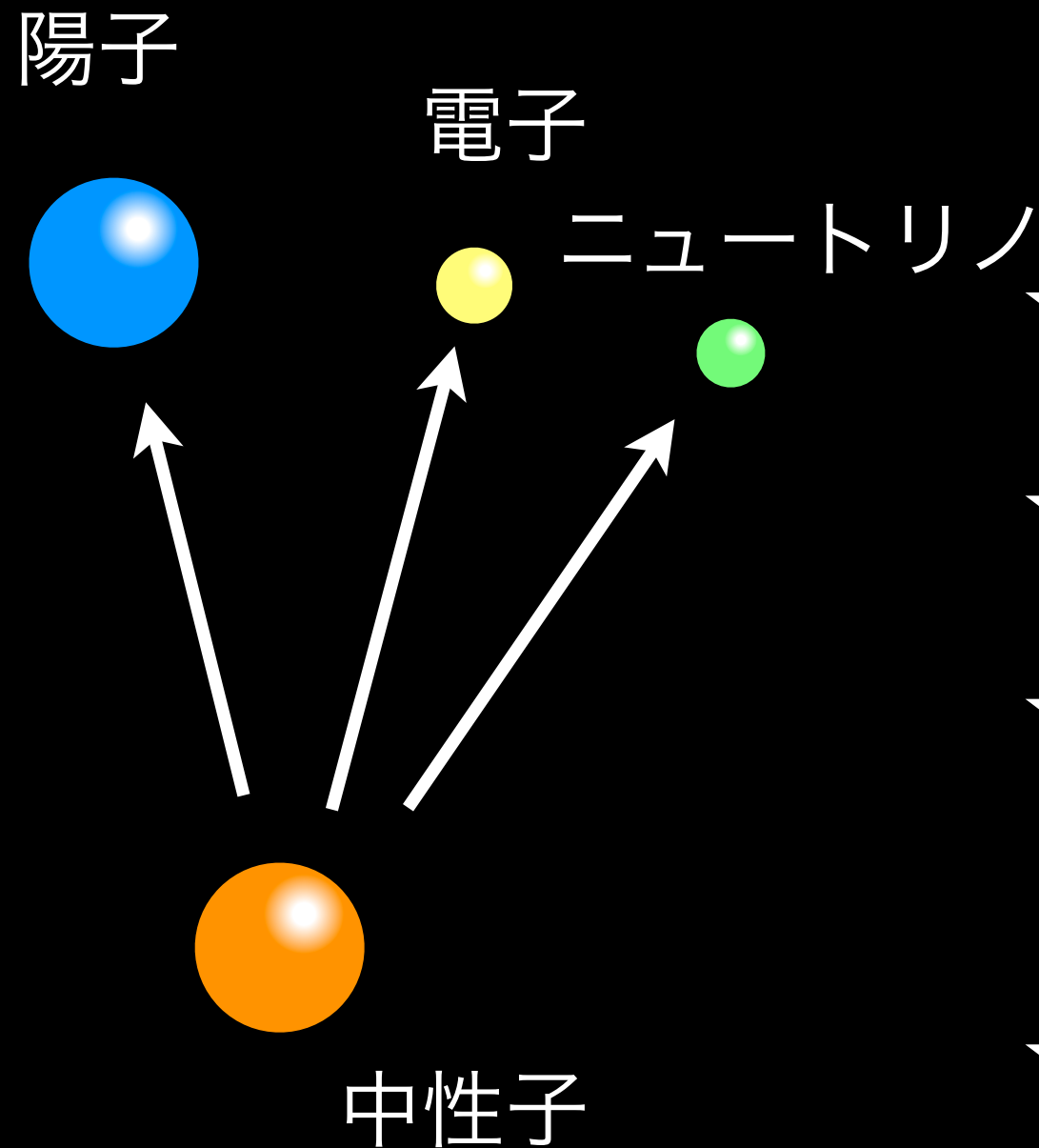
- ★ 電磁気力があるから電子は原子核の周りを回っている
- ★ 物質に触ることができるのも電磁気力があるから

©Wikipedia



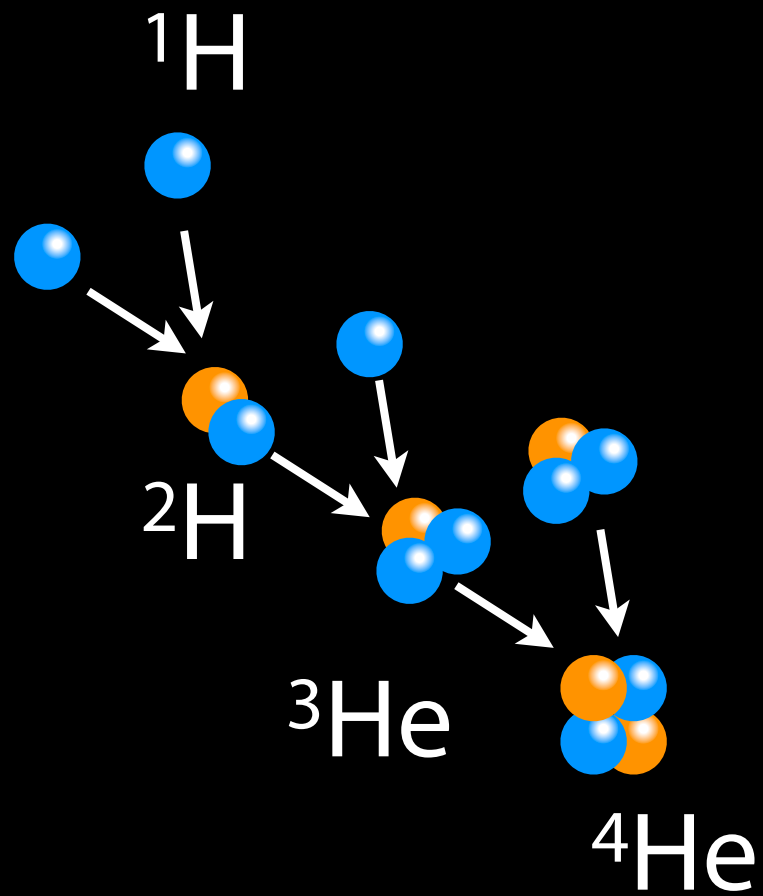
- ★ 電磁波は最も基本的な信号
- ★ ガンマ線～電波
波の波長が違うだけ
- ★ 人間の目は可視光に最適化されている

弱い力

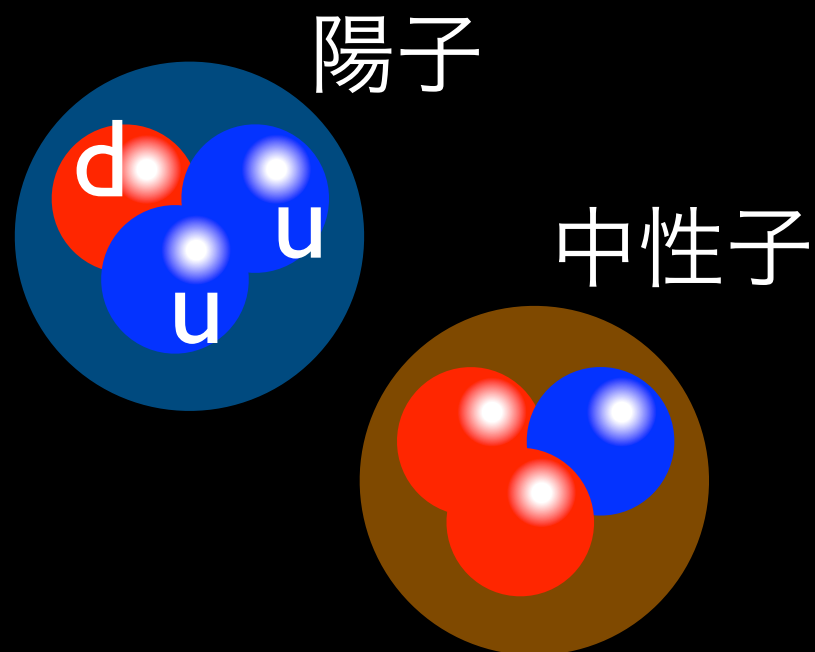


- ★ 日常生活では実感することが（ほとんど）ない相互作用
- ★ 中性子が陽子に化ける β 崩壊
- ★ 原子核の種類を変える反応
- ★ ニュートリノという粒子が放出される
- ★ 高エネルギーでは、電磁気力と統合される（電弱統一理論）

強い力

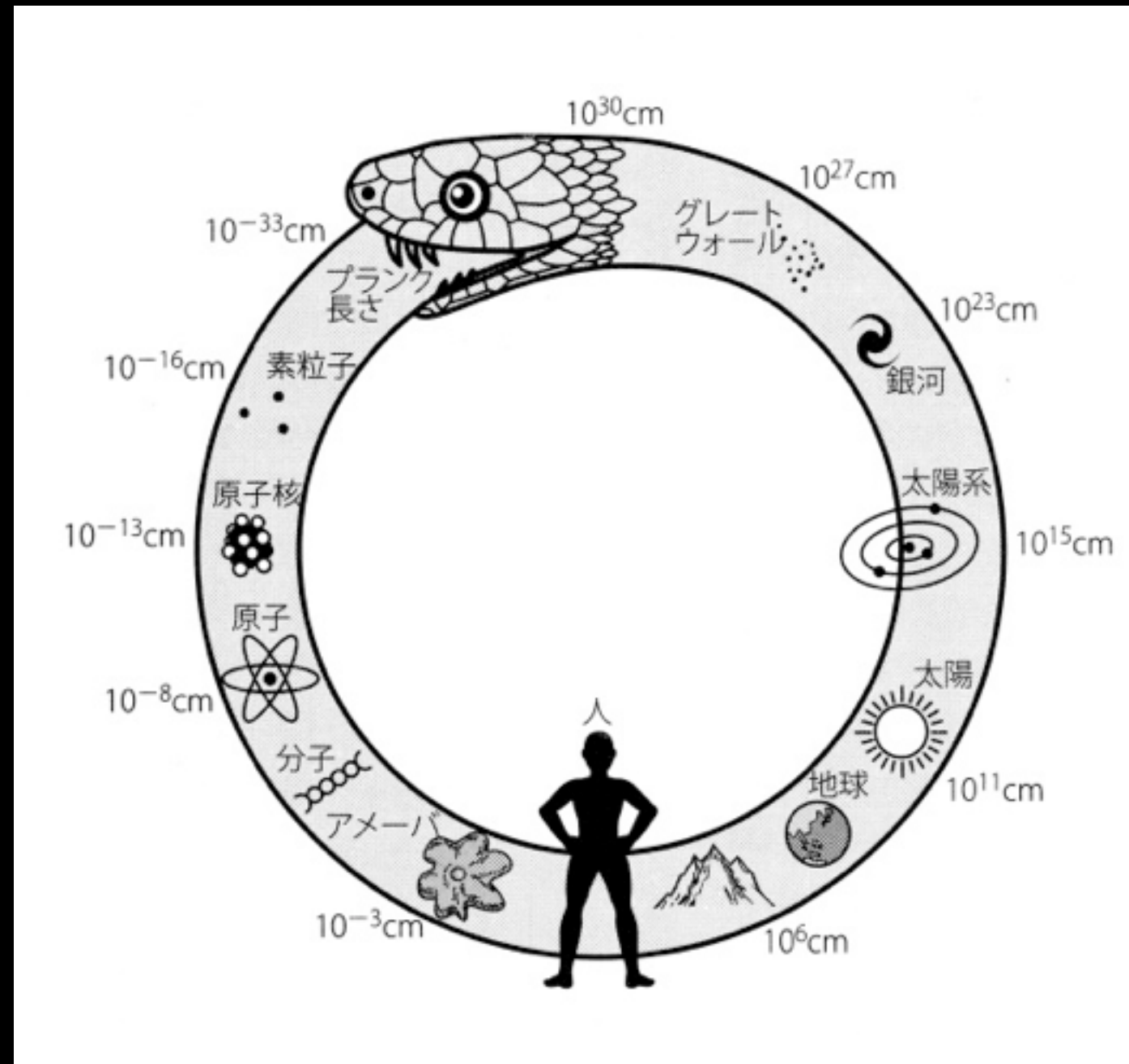


- ★ 原子核の反応を記述する相互作用
- ★ 核力とも呼ばれる
- ★ 太陽が光り輝いているのは、元素合成によってエネルギーを生成しているため
- ★ 原子核の内部構造としてクォークがあることが分かっている（量子色力学）



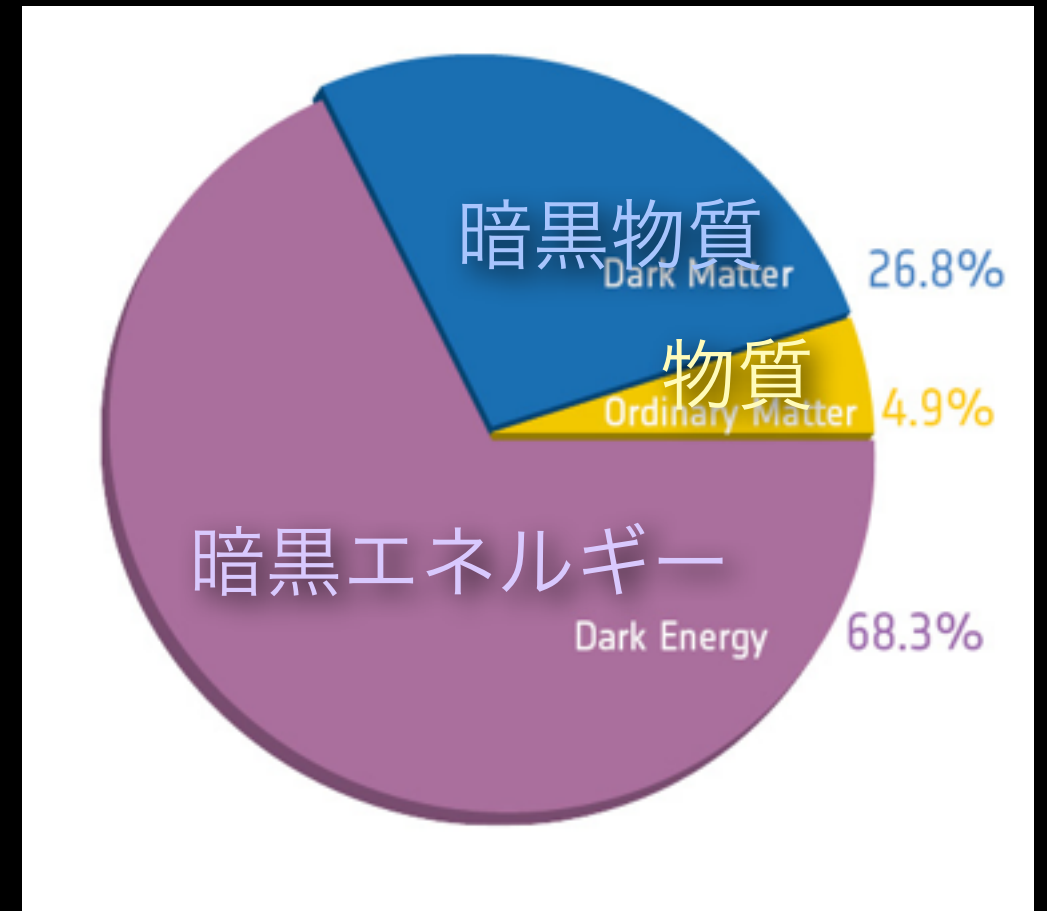
宇宙と素粒子

- ★ 宇宙：最大のモノ
- ★ 素粒子：最小のモノ
- ★ 自然界の階層性
- ★ 最小の素粒子の理論
と最大の宇宙の理論
が繋がる不思議



標準理論を超えて

- ★ 宇宙の**95%**の構成要素についてはほとんどわかってない（わかっているのはわずか**5%!**）
- ★ 不明な部分は、現在の標準理論では説明できない
- ★ 未知の物理の存在の傍証
- ★ **超新星の観測**によってダークエネルギーは発見された
(2011年ノーベル物理学賞)



“超新星”

- ★ Nova (新星) とは、ラテン語で“新しい星”を意味する
- ★ Supernova (超新星) とは、新星よりもさらに明るくまれな天体を示す
- ★ 超新星の明るさは、星の集合体である銀河に匹敵するほどの驚異的なものである

明るい変動天体

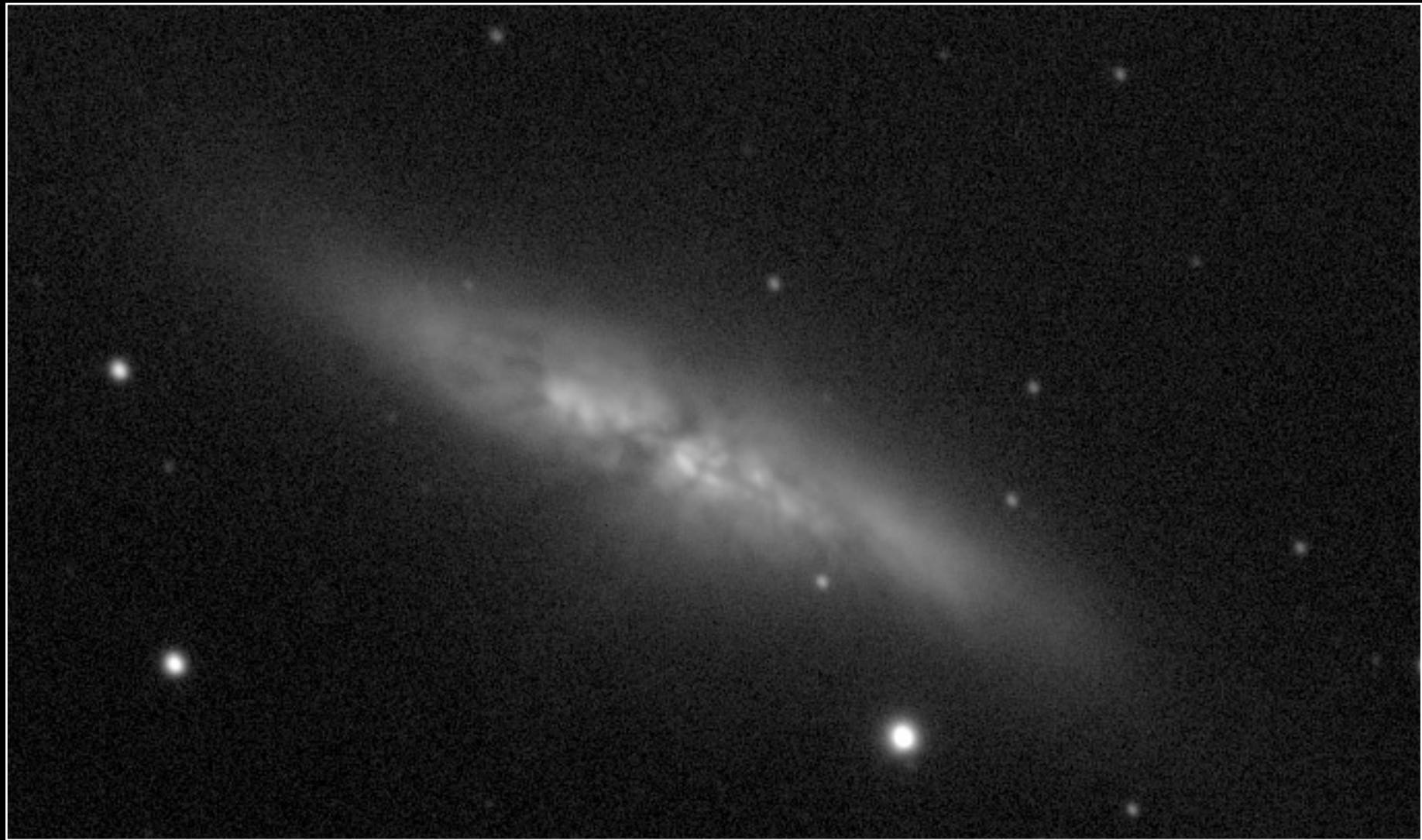


超新星2011fe
(2011年に発見された)

古来からの観測

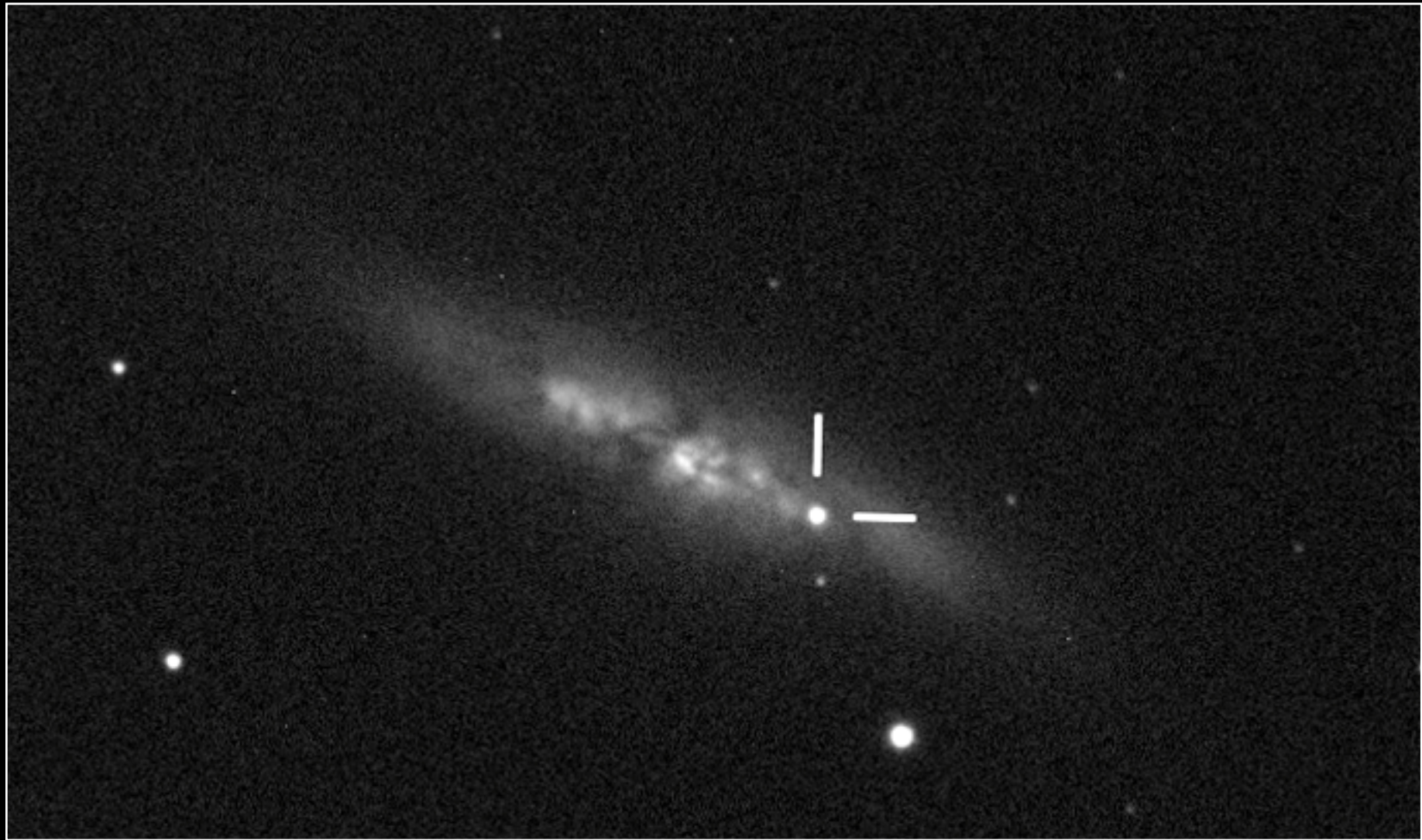
- ★ 超新星の世界最古の観測例は紀元185年のもので、中国の後漢記に残っている。文献では、“客星”と記述されている。
- ★ 日本最古の記録は藤原定家の記した明月記にある。
 - ▶ 1006年、1054年、1181年に観測された3天体
 - ▶ (注) 定家は1162年生まれ

超新星2014J



- ★ 2014年1月21日に発見された Ia 型超新星
- ★ 1993年に発見された超新星1993J以来最も地球に近い（1200万光年）場所で起こった
- ★ 詳細な観測による新たな発見が期待されている

超新星2014J



- ★ 2014年1月21日に発見された Ia 型超新星
- ★ 1993年に発見された超新星1993J以来最も地球に近い（1200万光年）場所で起こった
- ★ 詳細な観測による新たな発見が期待されている

重力崩壊型超新星



★ 宇宙で最も激しい爆発の一つ

- ▶ 爆発エネルギー： 10^{44}J (TNT火薬 10^{35} トン=地球10兆個分)
- ▶ 解放される重力エネルギー： 10^{46}J
(ほぼすべてのエネルギーがニュートリノになる)

★ 密度 $\rho \sim 10^{14}\text{g/cm}^3$ 、温度 $T \sim 10^{11}\text{K}$ という極限状態

★ 中性子星やブラックホールを形成する

★ 全ての既知の相互作用が等しく重要

● 巨視的物理

▶ 重力

重力崩壊

▶ 電磁気力

強磁場中性子星形成

● 微視的物理

▶ 弱い相互作用

ニュートリノ反応率

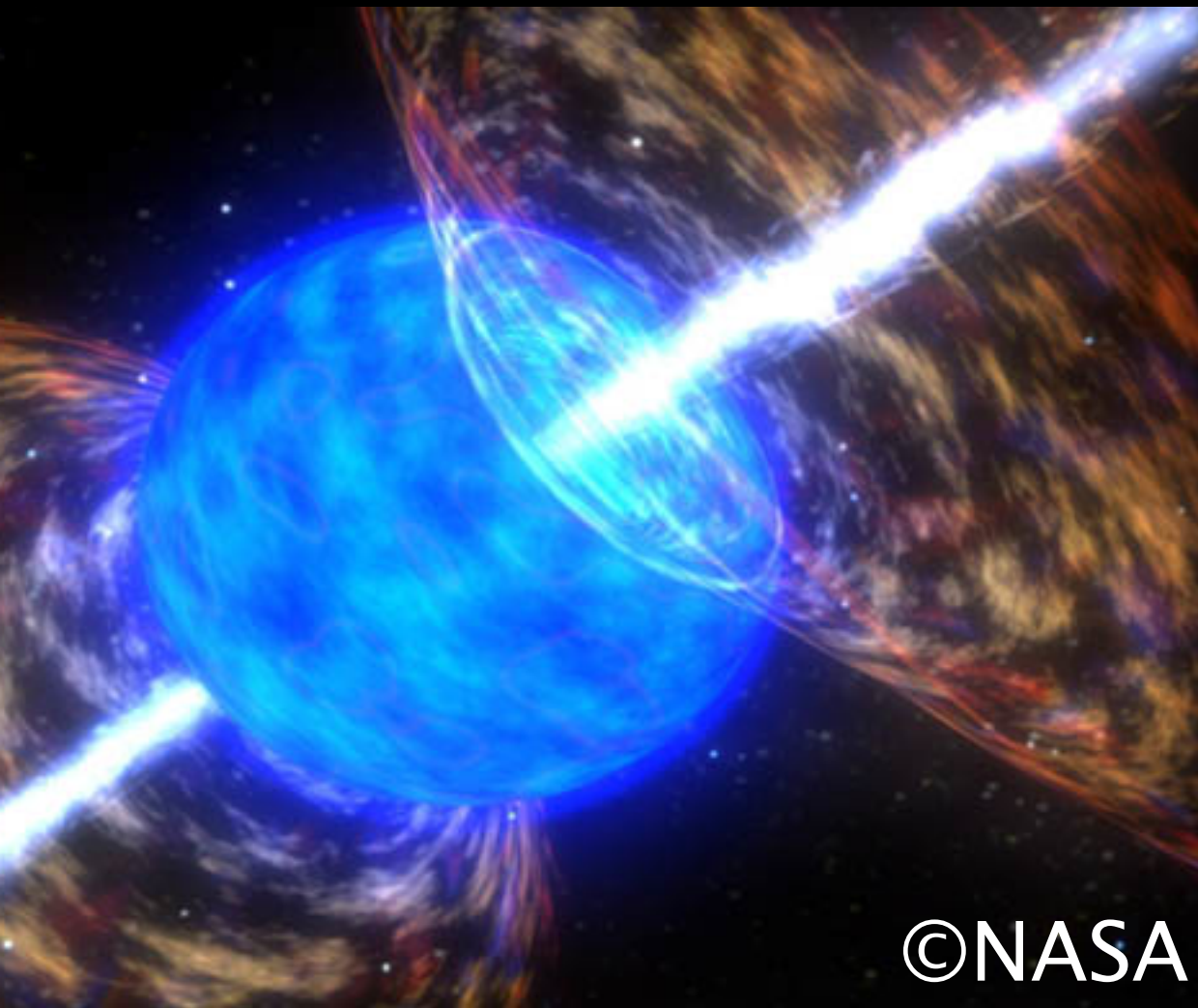
▶ 強い相互作用

高密度核物質の情報

重元素

- ★ 水素やヘリウムはビッグバンによって作られた
- ★ 水素、ヘリウムよりも重い元素は星の内部で作られた
- ★ 僕たちの体を構成する炭素や酸素は星の中で作られて、超新星によって宇宙空間にばらまかれた
- ★ 星は地球や生命の母
- ★ 金や銀やプラチナも超新星によって作られたのかも？

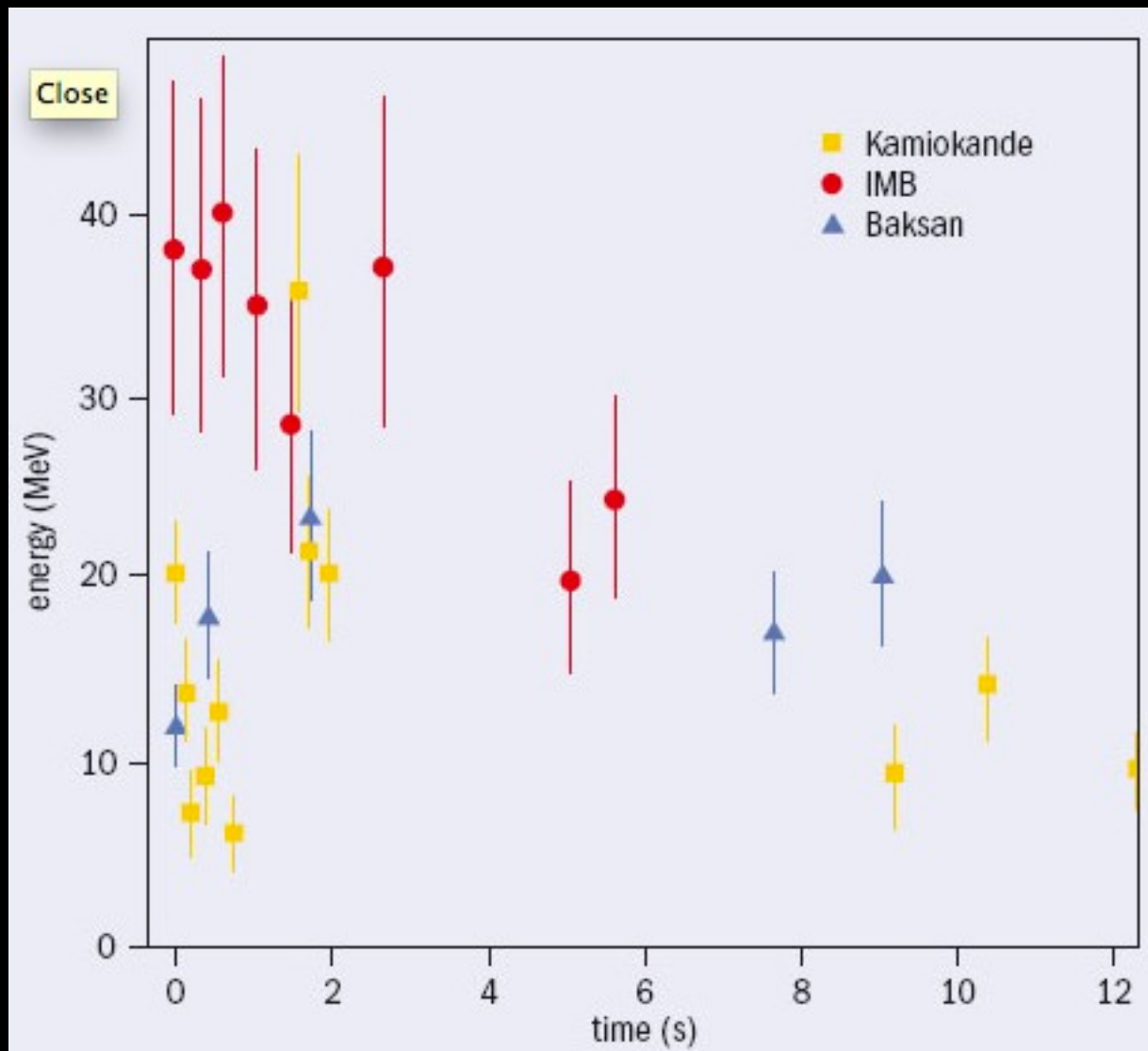
ガンマ線バースト



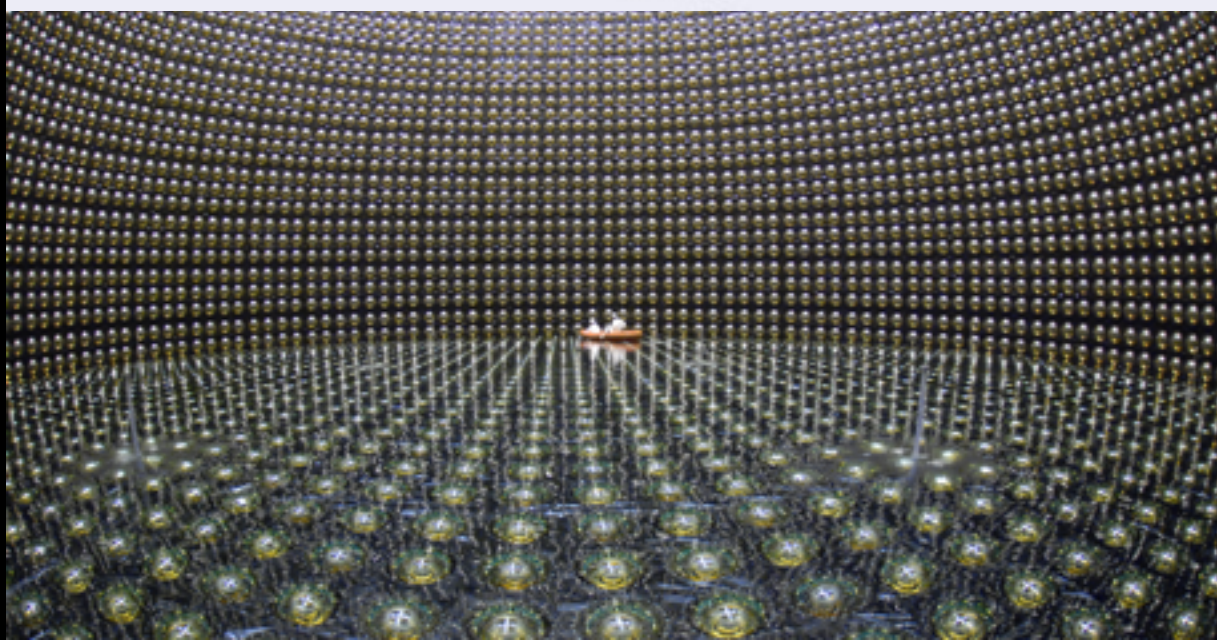
©NASA

- ★ 超新星にガンマ線で非常に明るく輝く現象（ガンマ線バースト）が付随することがごくまれにある
- ★ ガンマ線バーストは、非常に高速なジェットが吹き出しているとすると説明できる
- ★ ガンマ線バーストを作るような星は、回転が早くブラックホールを形成する天体なのではないかと考えられている

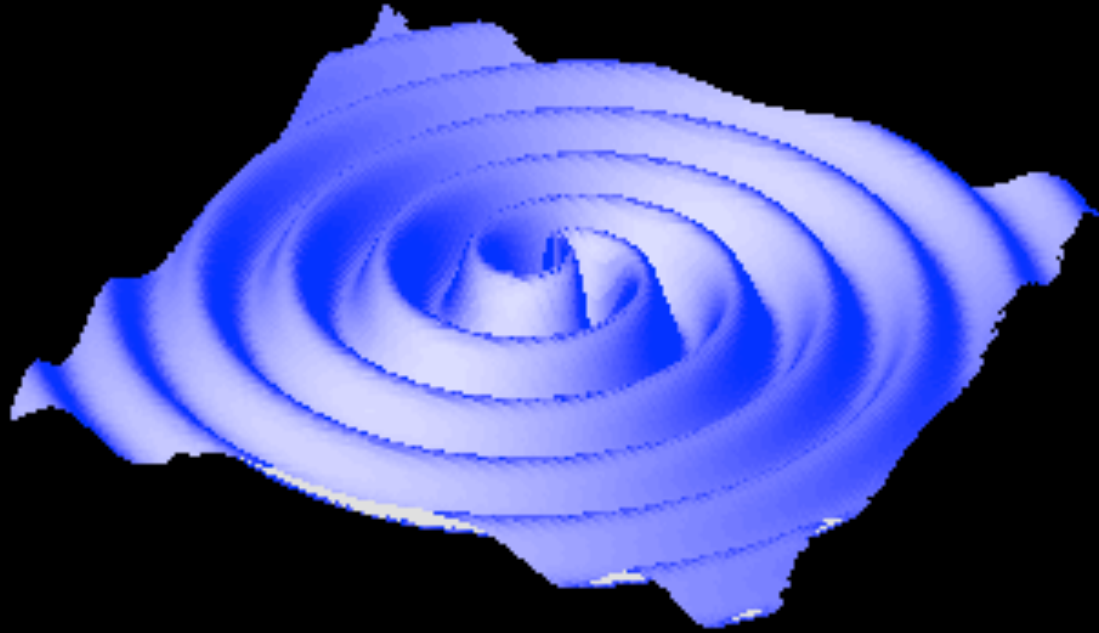
ニュートリノ



- ★ 超新星からは膨大な量のニュートリノが放出される
- ★ 超新星1987Aから20個程度のニュートリノが検出された。日本のKamiokande、米国のIMB、ロシアのBaksan
- ★ 人類初の超新星ニュートリノの検出
- ★ ニュートリノの放出時間はおおよそ10秒程度で、爆発理論の正しさが初めて観測的に実証された
- ★ 現在、**Super-Kamiokande** が稼働中。超新星が起こるのを今かと待ち構えている



重力波



- ★ 宇宙を視る新たな目
- ★ 時空のさざ波と呼ばれる
- ★ 他の信号と異なり、何者にも遮られることがない。高密度の物理を直接“視る”ことができる
- ★ 日本の次世代重力波望遠鏡KAGRAが現在建設中
- ★ 今後5年程度で実際に重力波を検出することができるだろう！



超高エネルギー宇宙線

MeV ニュートリノ

TeV ニュートリノ

強い力

弱い力

マルチメッセンジャー天文学時代の到来

電磁気力

重力

電波

赤外線

可視光

ガンマ線

X線

紫外線

mHz 重力波

Hz 重力波

kHz 重力波

まとめにかえて

- ★ 人類の宇宙観は日々新しいものになっています。
- ★ そこで物理学は重要な役割を果たしています。
- ★ 超新星爆発を使うことで、極限的物理・根源的物理を調べることが可能
- ★ 宇宙観測は新たな物理のフロンティア。
未知の技術を産み出す可能性も。
- ★ 最後にロケットの父 R. Goddard 博士の言葉
the dream of yesterday is the hope of today and the reality of tomorrow
昨日の夢は今日の希望であり、明日の現実である