

「京」で分かった、 ニュートリノによる星の爆発、超新星



理化学研究所
研究員 滝脇知也

準備 べき乗 10^n or $10^{\wedge}n$

読み方:じゅうの(えぬ)じょう

nが正の数の場合は後ろにつくゼロの数

例 $10^5 = 100000$

nが一つ増えると10倍になる。

nが負の数の場合は前につくゼロの数

例 $10^{-3} = 0.001$

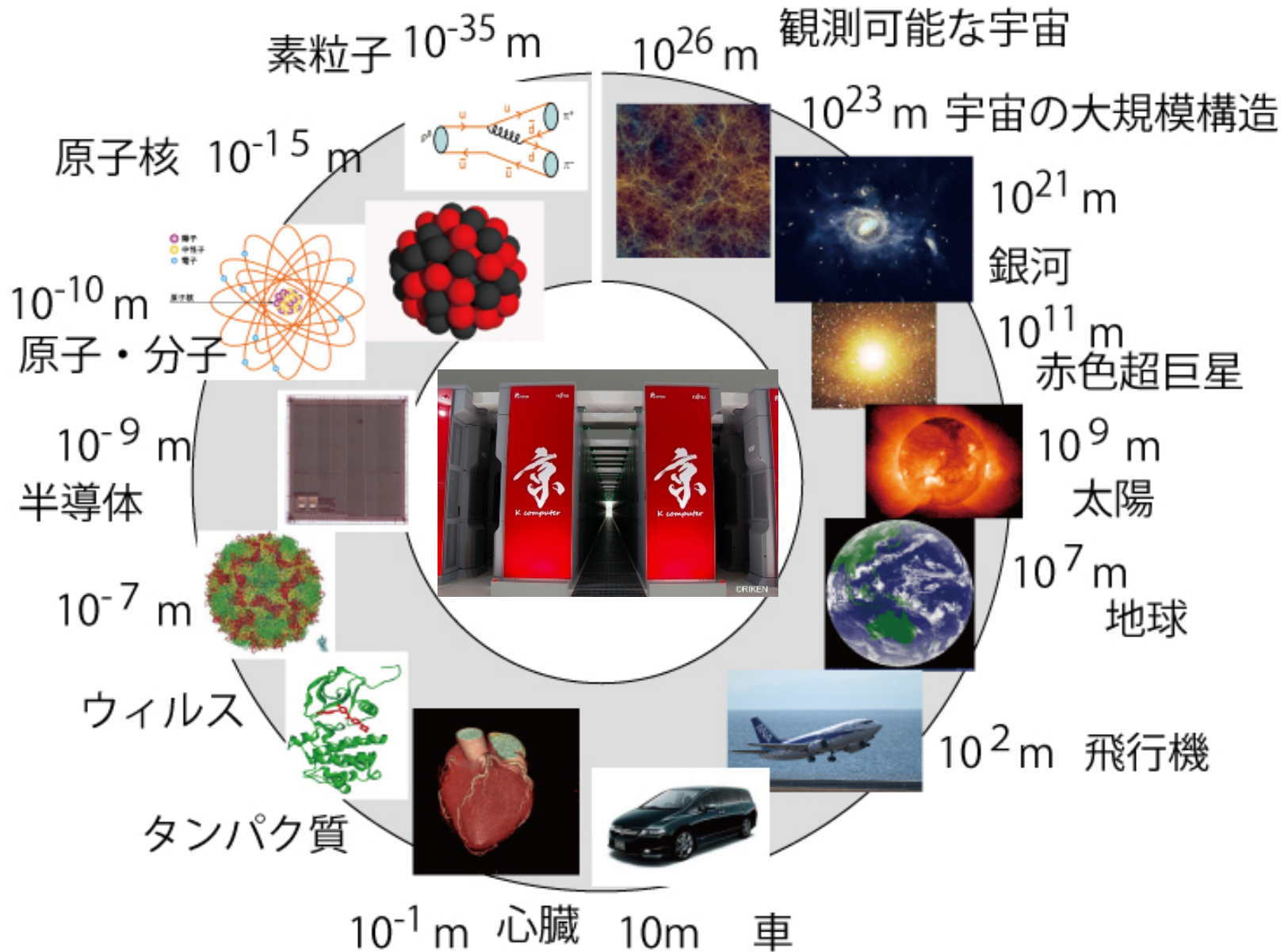
nが負方向に1つ増えると10分の1倍

桁違いに大きいものや小さいものを表しやすい。

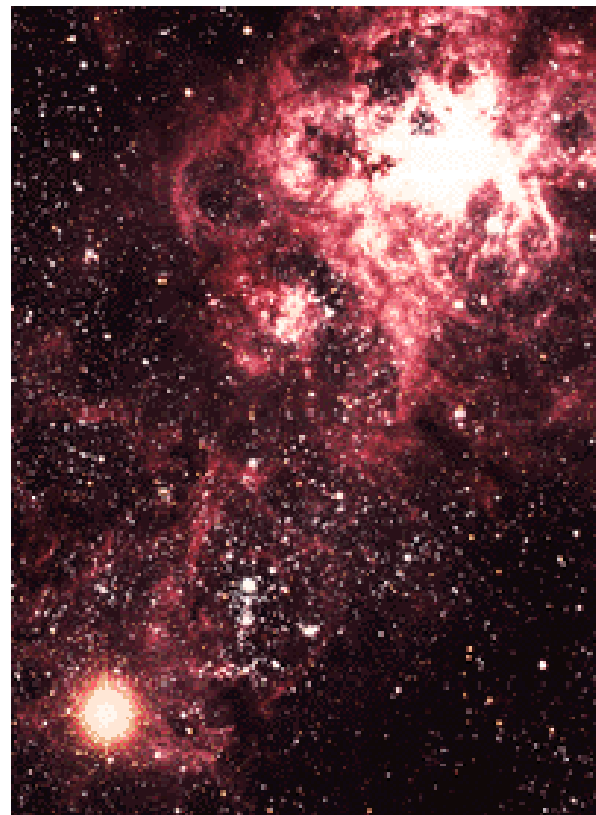
地震の強さ: マグニチュード(2つ上がると1000倍)

音の大きさ: デシベル(20上がると100倍)

自然の階層構造と京コンピュータ



超新星：宇宙で最も明るい天体



1987A

太陽の 10^9 倍の明るさ

(星が 10^9 個集まってる)天の川銀河と等しい
(1987aの場合 10^{10} 倍遠いので太陽より暗い)

急に現れる天体、新しい星？ 超新星

明月記

後冷泉院・天喜二年四月「五月」中
旬以後の丑の時、**客星** 觜(し)・参
(しん)「オリオン座」の度に出づ。東方
に見(あら)わる。天関星「おうし座
ゼータ」に孛(はい)す。大きき歳星
「木星」の如し。



藤原定家



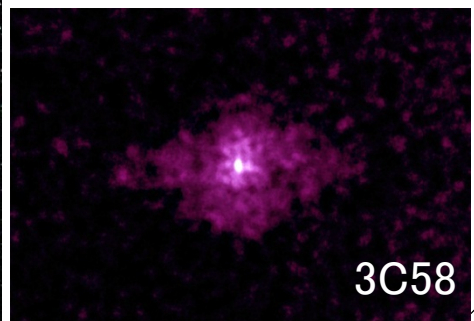
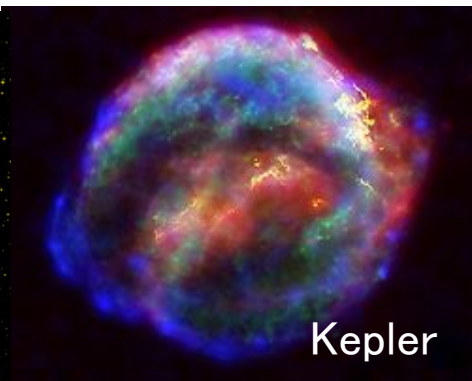
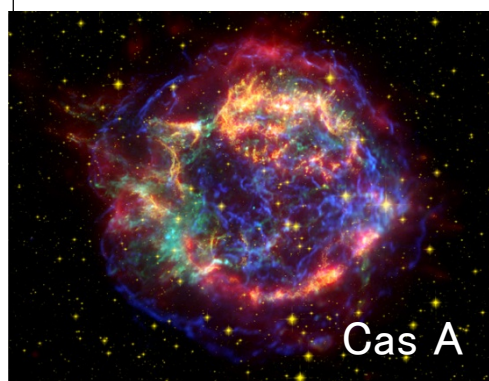
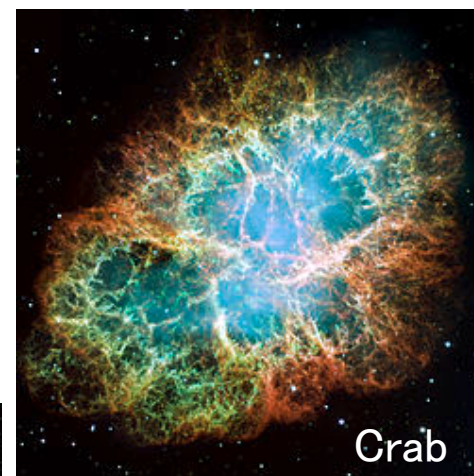
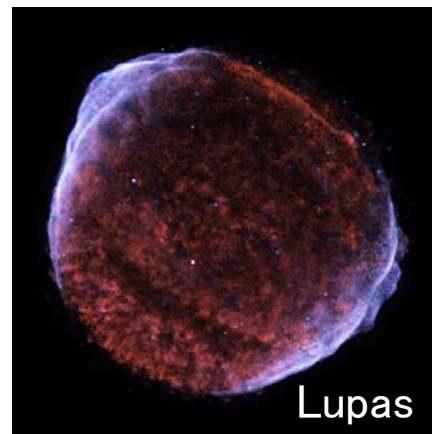
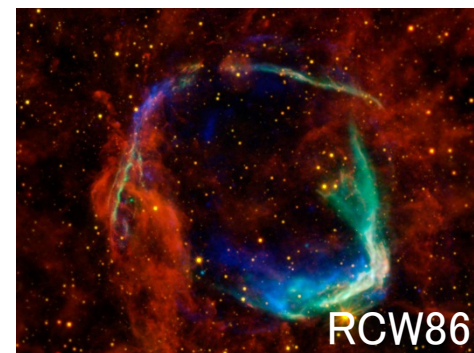
客星は彗星ではない新しい星とのこと。

日本や中国では突発的な天体現象を占いに用いており、大きな関心事だった。

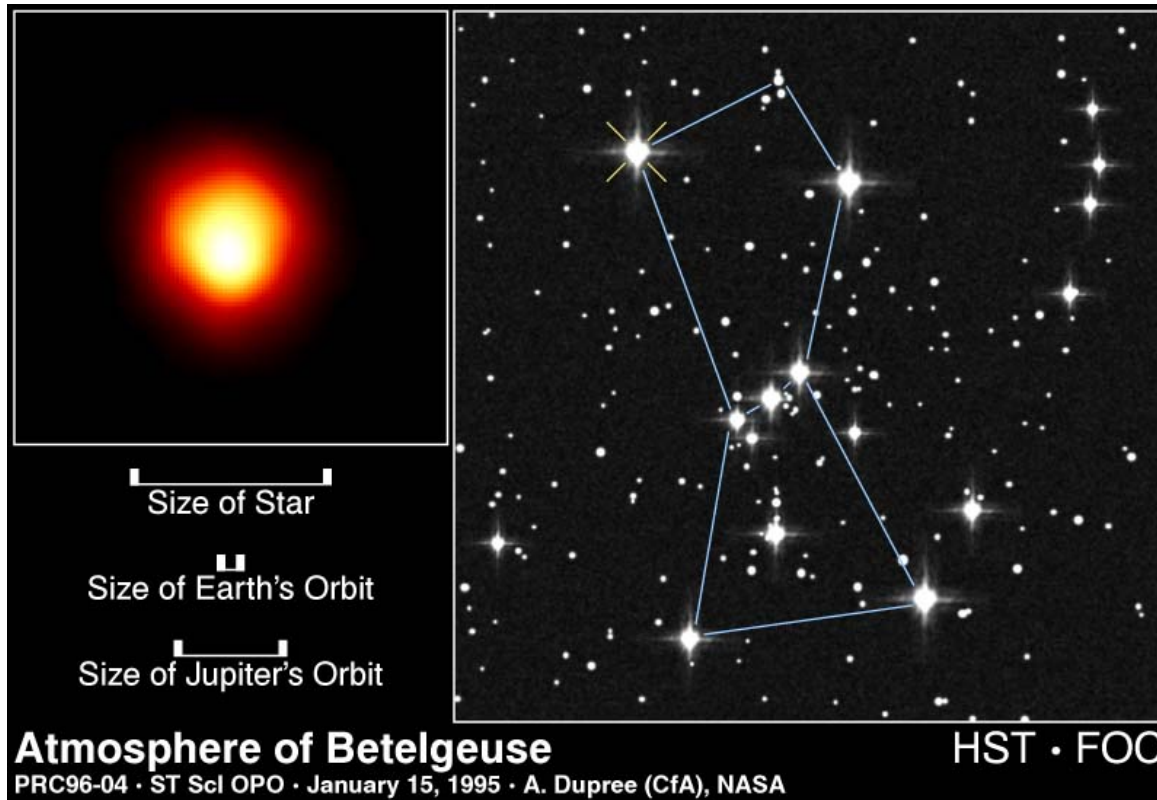
歴史書に現れる超新星

超新星残骸	超新星の名称	記録の残された主な文献
RCW 86	sn185	後漢書
	sn393	後漢書
Lupus	SN1006	明月記、宋史
Crab	SN1054	明月記、宋史
3C 58	SN1181	明月記、宋史
Tycho	SN1572	ティコ、名実録
Kepler	SN1604	ケプラー、李朝実録
Cas A	sn1667?	

超新星残骸の X線イメージ



未来の超新星：ベテルギウス？



左上。オリオン座の肩のところ。

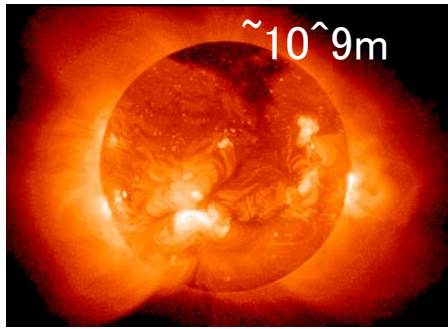
いつ爆発してもおかしくない(でも数万年後の可能性も)。

非常に近くで起こる(650光年=太陽の 10^7 倍)。

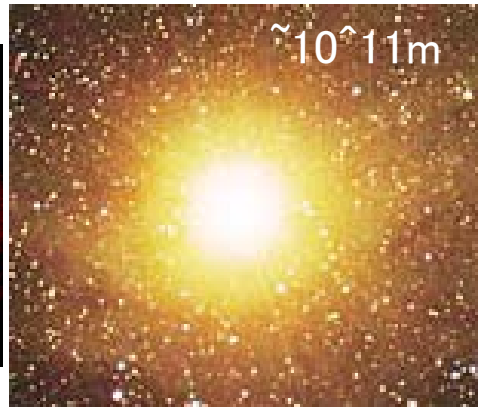
地球では月程度の明るさで観測される、昼でも見える！

さそり座のアンタレス、ペガサス座 ϵ 、とも座 π 、帆座 γ 、大犬座 σ なども候補

星の一生と最期の大爆発



主系列星(太陽)
~1000万年



赤色巨星(アンタレス)
重い星は短命



超新星爆発(1987A)
100日

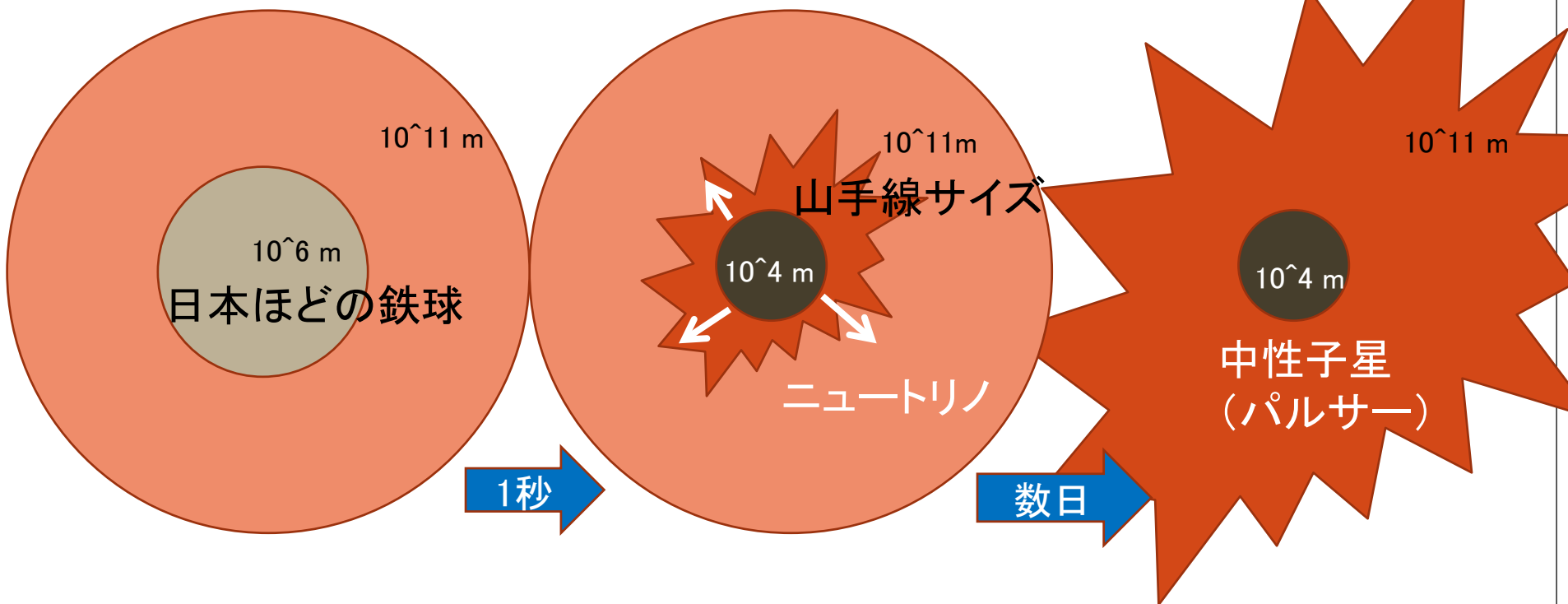


超新星残骸(Cas A)
~500年



実は、ここでどうして爆発するのか
はっきりわかってない！

超新星爆発の仮説



超新星は日本ほどの鉄玉が1秒で10kmに収縮して、
その収縮した分のエネルギーで外側を爆発させる現象！
不思議なことにニュートリノが爆発を後押しする！

超新星の研究はどう役立つ？

- 人類の危機回避に
超新星はどの程度、どういう意味で危険か。
太陽が 10^9 倍熱いと当然地球は存続できない。
放射線も問題。
どちらにしても距離が遠いので問題ない。
ベテルギウスが爆破しても大丈夫！
- 人類がまだ知らない新しい物理現象を知る
ニュートリノ、核融合(分裂)、
核物質、ハイペロン、クォーク
ブラックホール、パルサー、マグネター

超新星爆発の研究手法

実験で知ろうとすると……

太陽の10倍の重さの物質を持ってきて、
地球の1万倍の大きさの星を作り、
1000万年待つ。そんな実験は不可能。



⇒コンピューターシミュレーションならできる！

また、できたとしても地球を破壊する規模の爆発に実験器具が耐えられない。

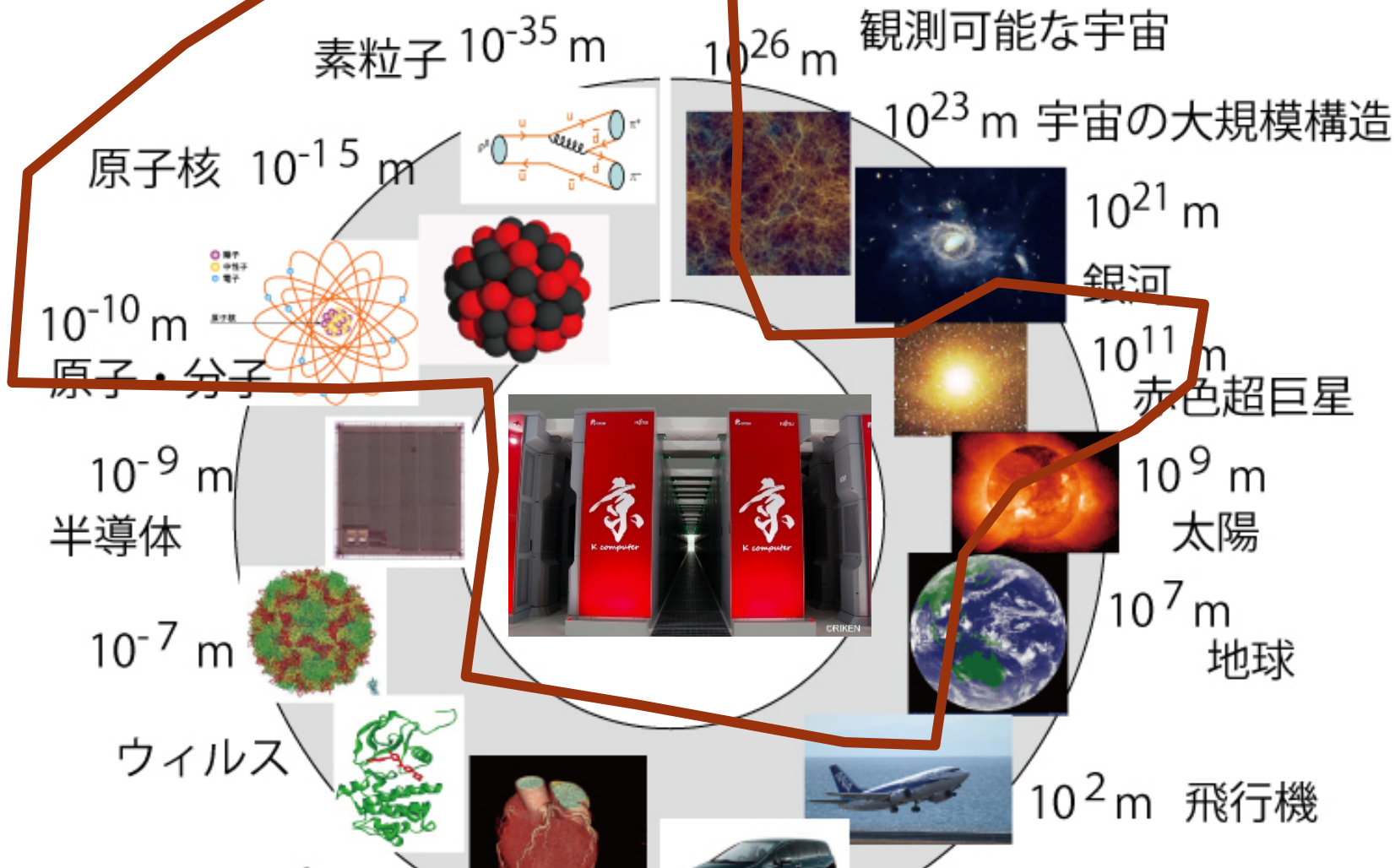


⇒コンピューターシミュレーションなら安全！

超新星の研究はどう役立つ？

- 人類の危機回避に
超新星はどの程度、どういう意味で危険か。
太陽が 10^9 倍熱いと当然地球は存続できない。
放射線も問題。
どちらにしても距離が遠いので問題ない。
ベテルギウスが爆破しても大丈夫！
- 人類がまだ知らない新しい物理現象を知る
ニュートリノ、核融合(分裂)、
核物質、ハイペロン、クォーク
ブラックホール、パルサー、マグネター

超新星爆発の研究

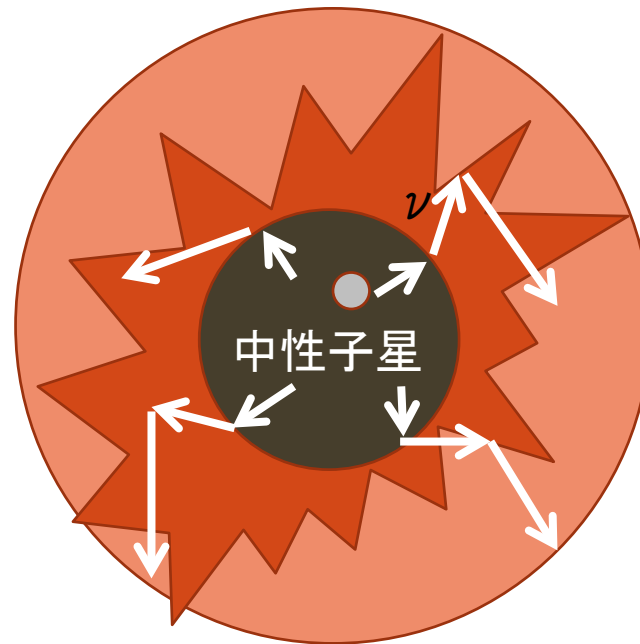
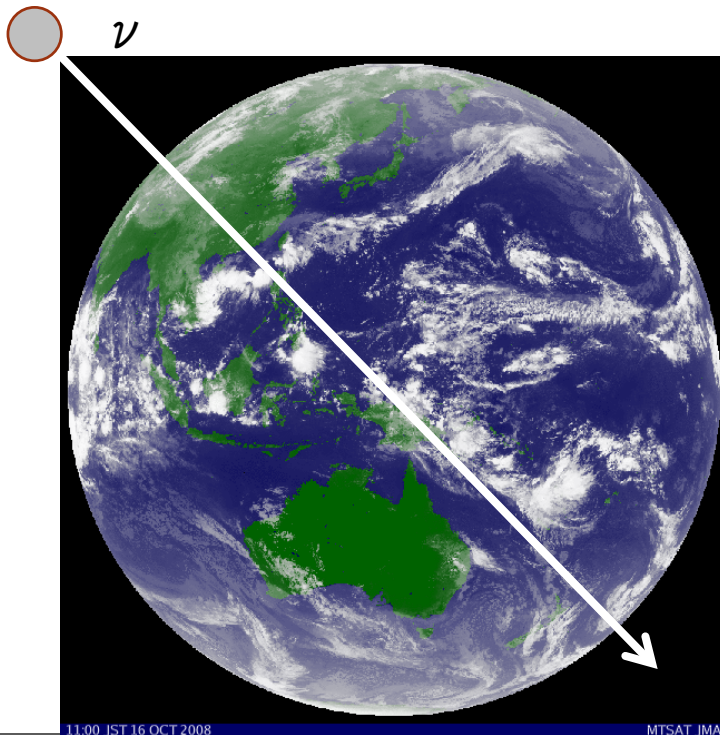


素粒子・原子核の理論と宇宙物理の現象を
スーパーコンピューターで繋ぐ！

ニュートリノの大きさ

ニュートリノの半径	10^{-22}cm	水素	10^{-8}cm
		原子核	10^{-13}cm

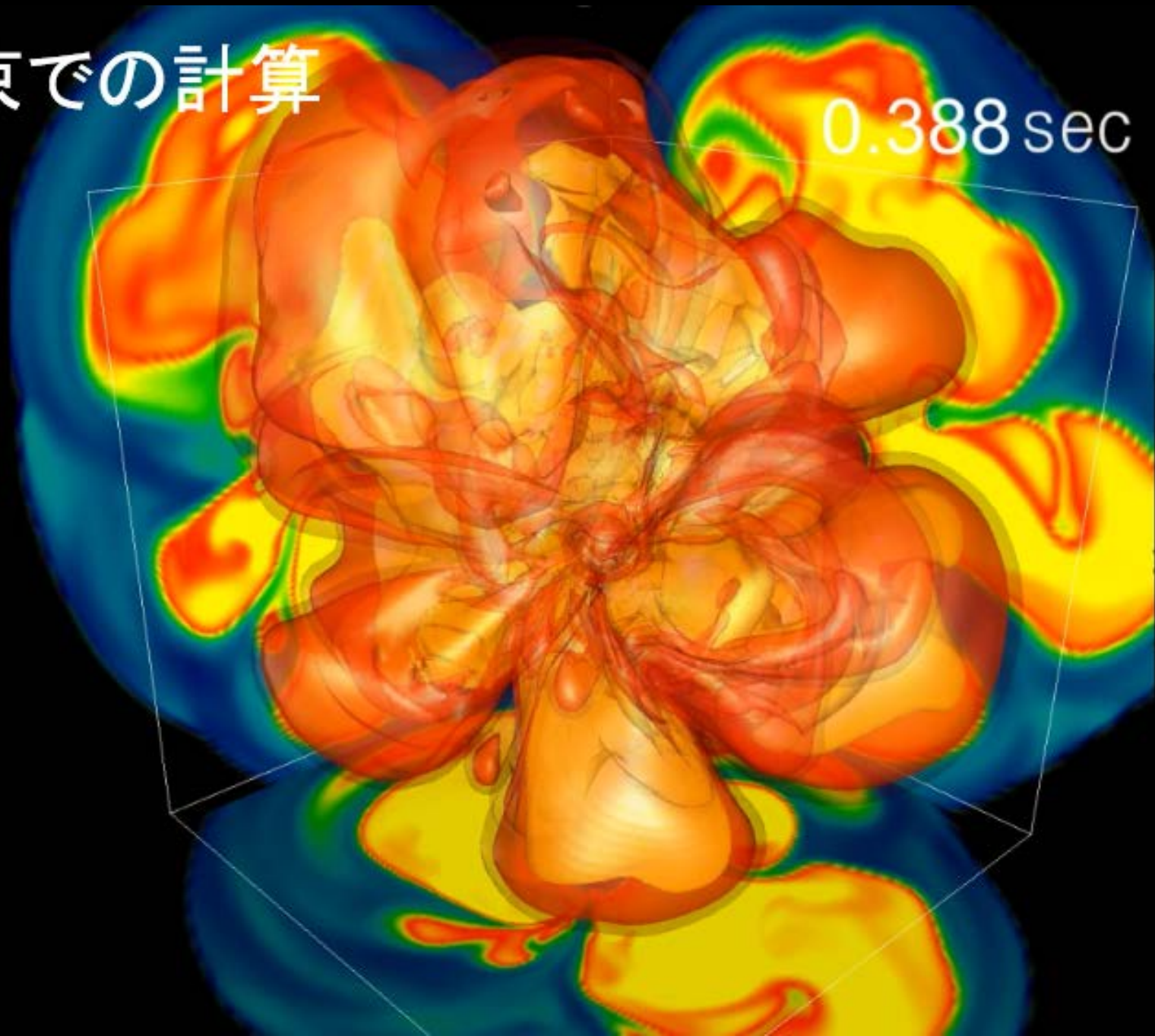
物とぶつかりにくい、
すり抜けるかは密度と厚みによる。



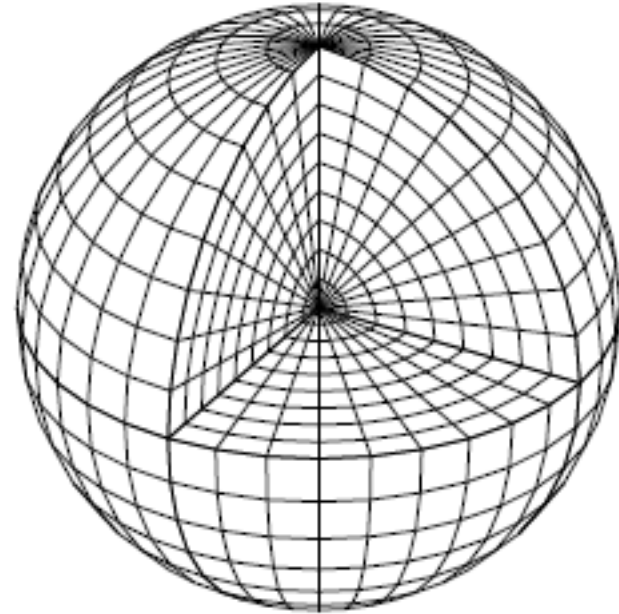
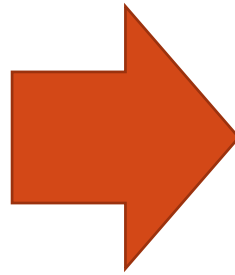
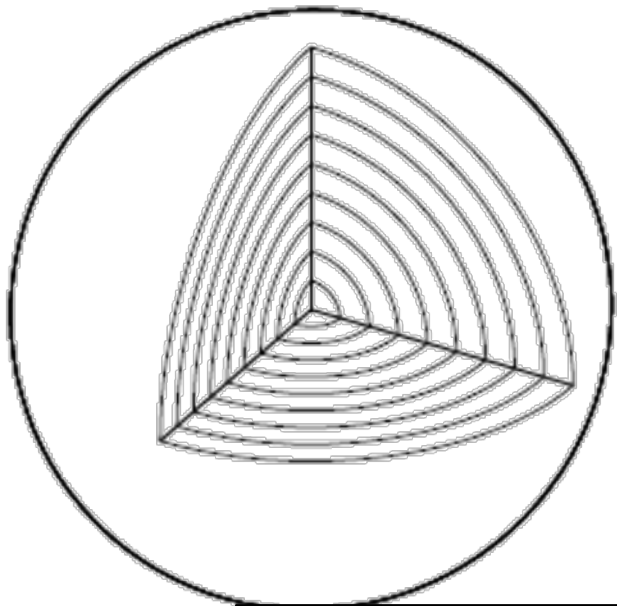
中心の
中性子星は
富士山を
牛乳パック
に縮めた
密度！
ぶつかって
エネルギー
をやり取り

京での計算

0.388 sec



パソコンと京の違い



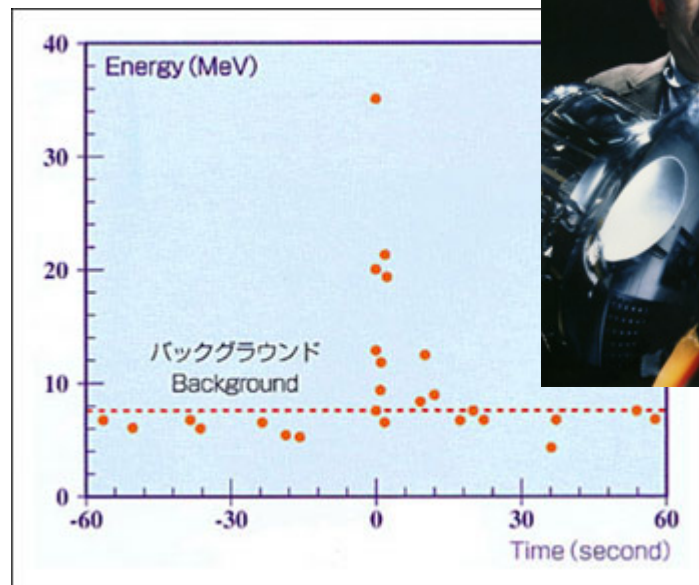
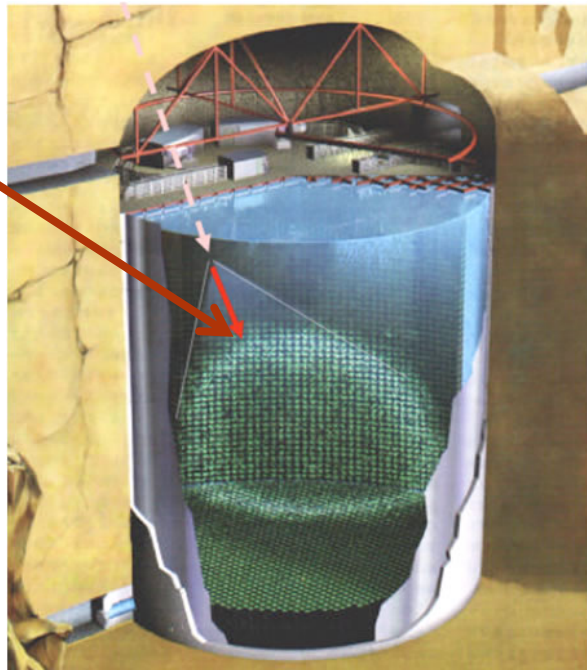
100万倍もの計算資源が必要
「京」でなければ困難

算

パソコンの
単純な格子
現実と違ったセットアップ

現実と同じセットアップ

観測されるニュートリノ

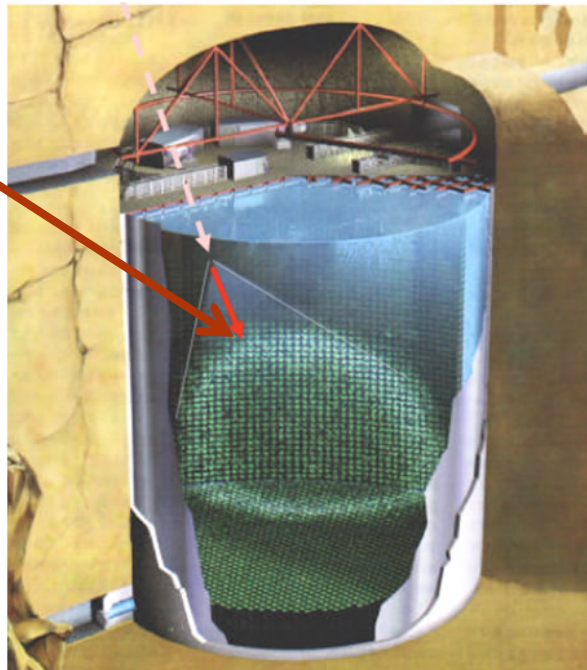


小柴名誉教授はノーベル賞を受賞
(2002年)

1987Aのニュートリノをカミオカンデで検出！
ただし13個では詳細は分からない。

カミオカンデ $\xrightarrow{20倍}$ スーパーカミオカンデ $\xrightarrow{200倍}$ ハイパーカミオカンデ

ニュートリノの謎



梶田教授がノーベル賞を受賞
(2015年)

©産経新聞

ニュートリノには種類があり、飛行中に種類が変わる！

我々の予想どおり ⇒ 超新星の爆発メカニズムの解明！
我々の予想外 ⇒ ニュートリノの新しい性質の発見！

今後の展望

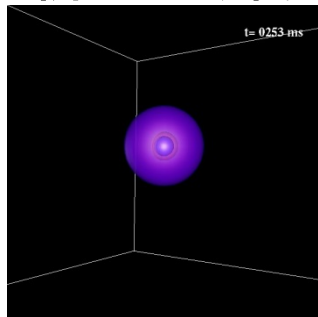
スパコンで
大まかに超新星を再現
詳細はまだ



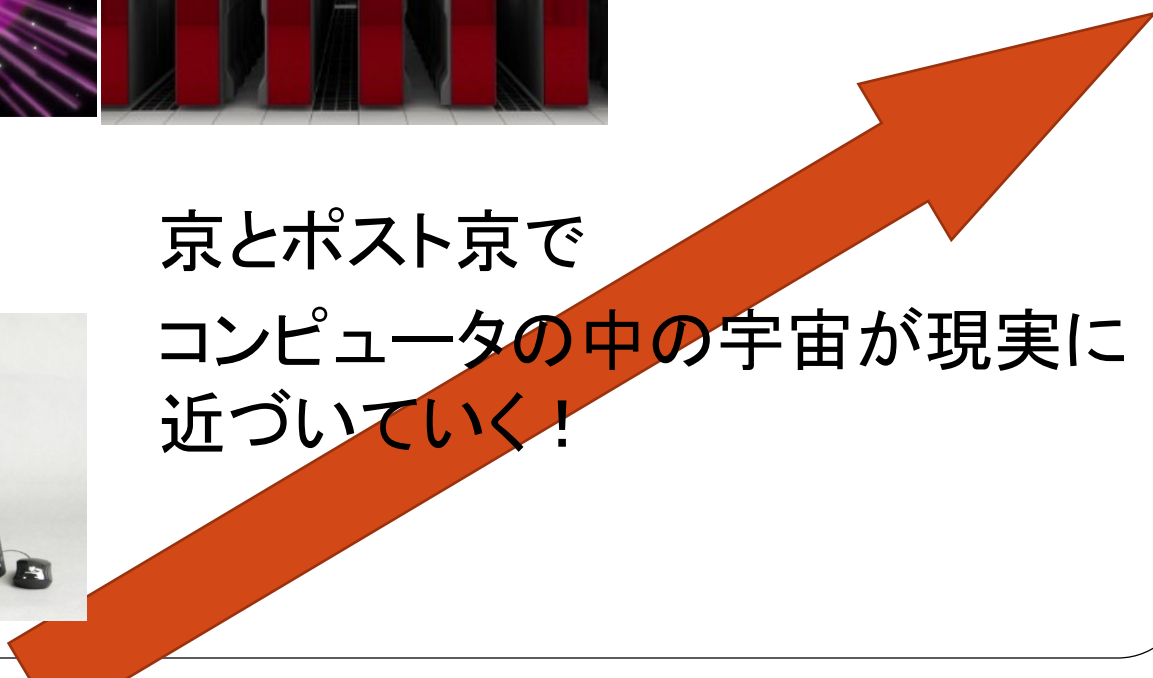
観測との詳細な比較！



低い計算力では
超新星が爆発しない



京とポスト京で
コンピュータの中の宇宙が現実に
近づいていく！



まとめ

- 超新星は重い星の最期。なぜ爆発するのかよく分かっていない。現象を理解するにはコンピューターシミュレーションが必要。
- 爆発には非常に小さい粒子、ニュートリノが重要な役割を果たす。素粒子、原子核理論をコンピューターにインプットする。
- ニュートリノがエネルギーを運び超新星を爆発させる。ただし、パソコンを使ったような簡単なシミュレーションでは現実と同じ設定で計算できず、爆発に失敗してしまう。現実の再現には京クラスのスパコンが必要だった！