

IPMU

INSTITUTE FOR THE PHYSICS AND
MATHEMATICS OF THE UNIVERSE

宇宙の特異点

ブラックホールとビッグバン

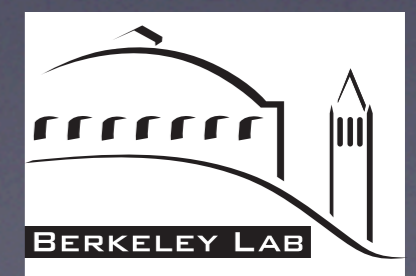
村山 齊

東大数物連携宇宙研究機構機構長

カリフォルニア大学バークレイ校物理学教授



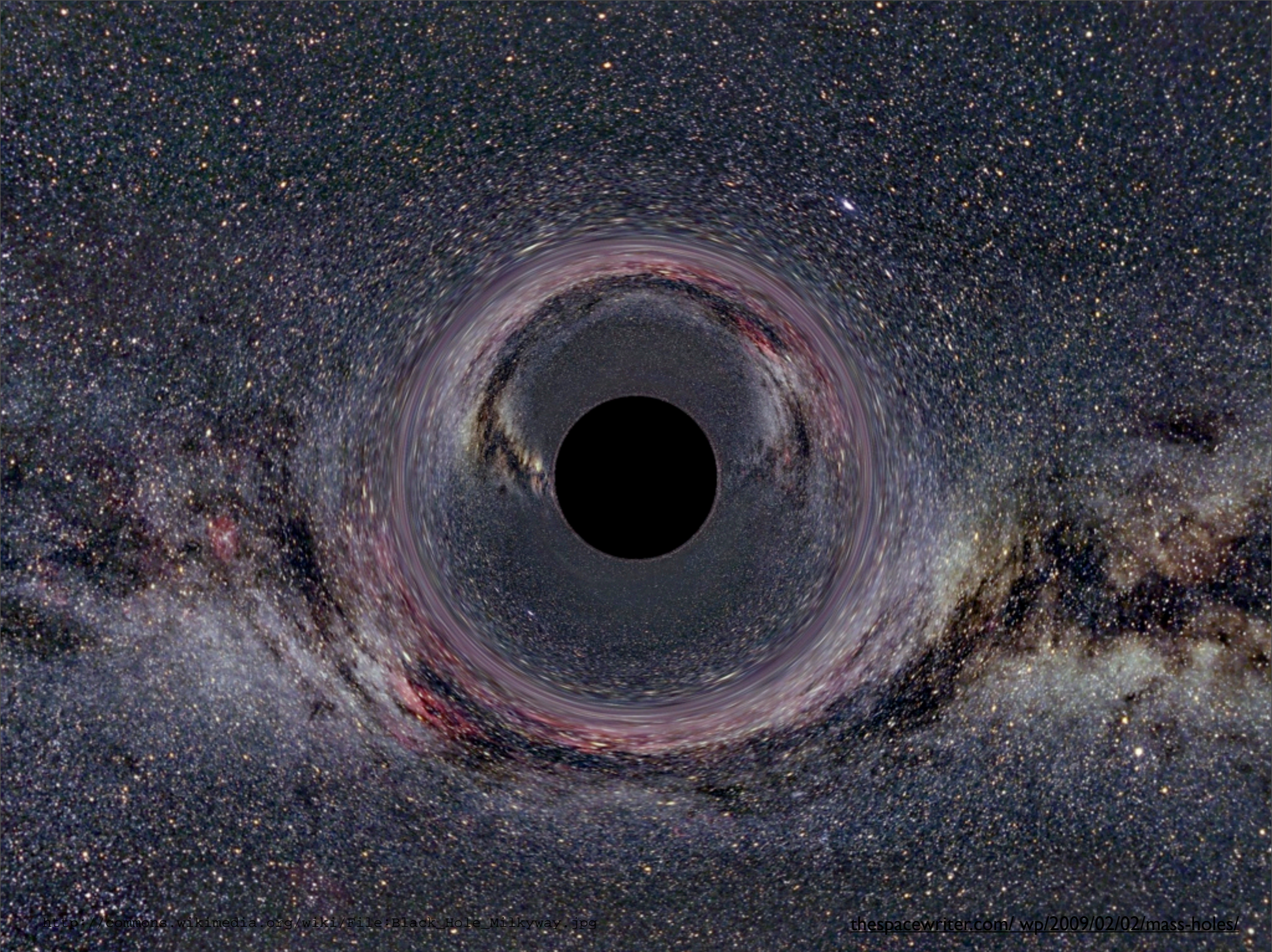
東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO



宇宙の特異点

- 特異点は空間と時間の「角っこ」
- 無限に「曲がって」いる
- エネルギーも無限大
- 点粒子が特異点にぶつかると困る
- 物理学者は特異点にお手上げ
- 今の物理法則が全て破綻
- 現代物理学の困難の一つ
- 例：ブラックホール、ビッグバン

ブラックホール

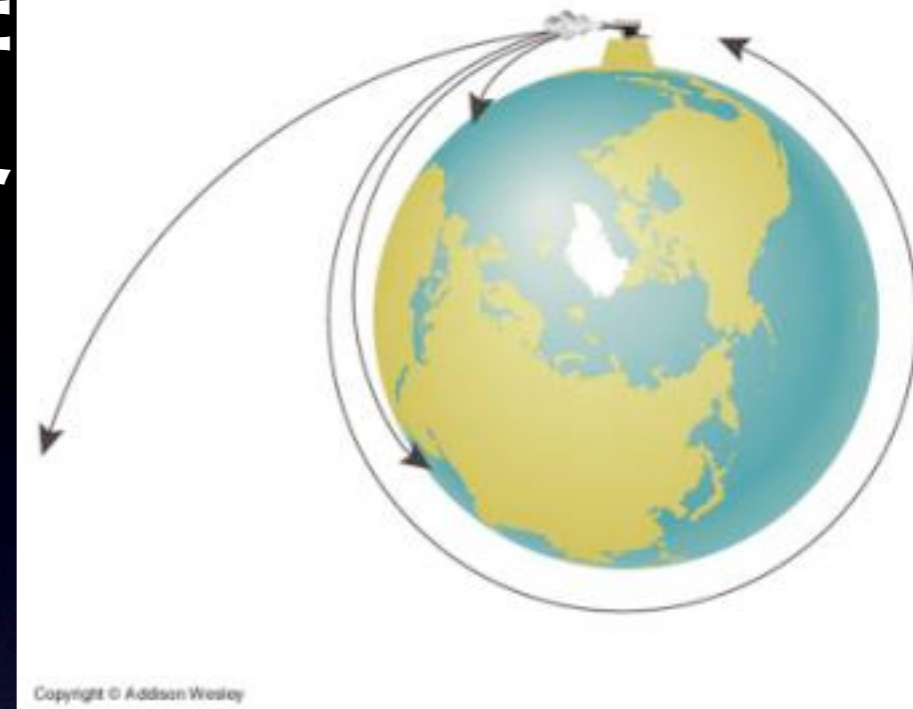


http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_Hole_Milkyway.jpg

thespacewriter.com/wp/2009/02/02/mass-holes/

脱出速度

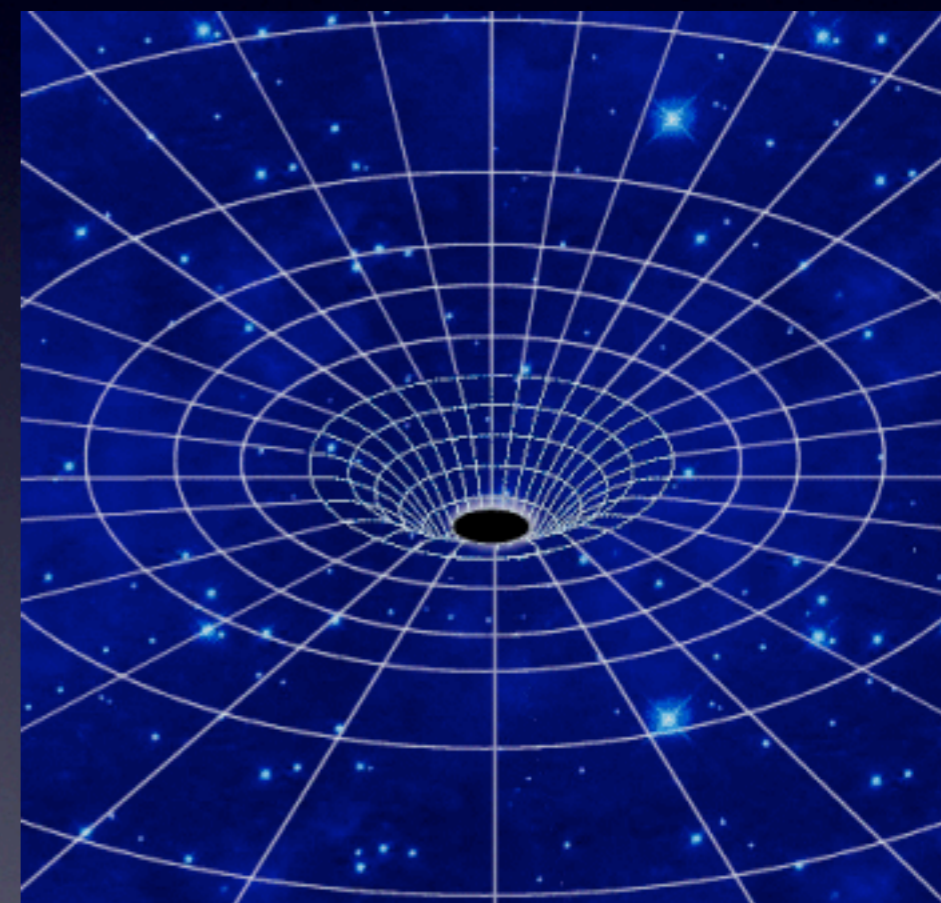
- ボールを真直ぐ投げしてみる
- 遅いとすぐ落ちる
- もっと速いとしばらく落ちない
- 更に速いと地球を周回
- ずっと速いと地球から脱出
- 脱出速度は重い星ほど速い
- でも脱出速度は光速を超えられない



http://www.astro.umd.edu/%7Eessm/100s04/mcgaugh_hw2_sol_files/image006.jpg

ブラックホール

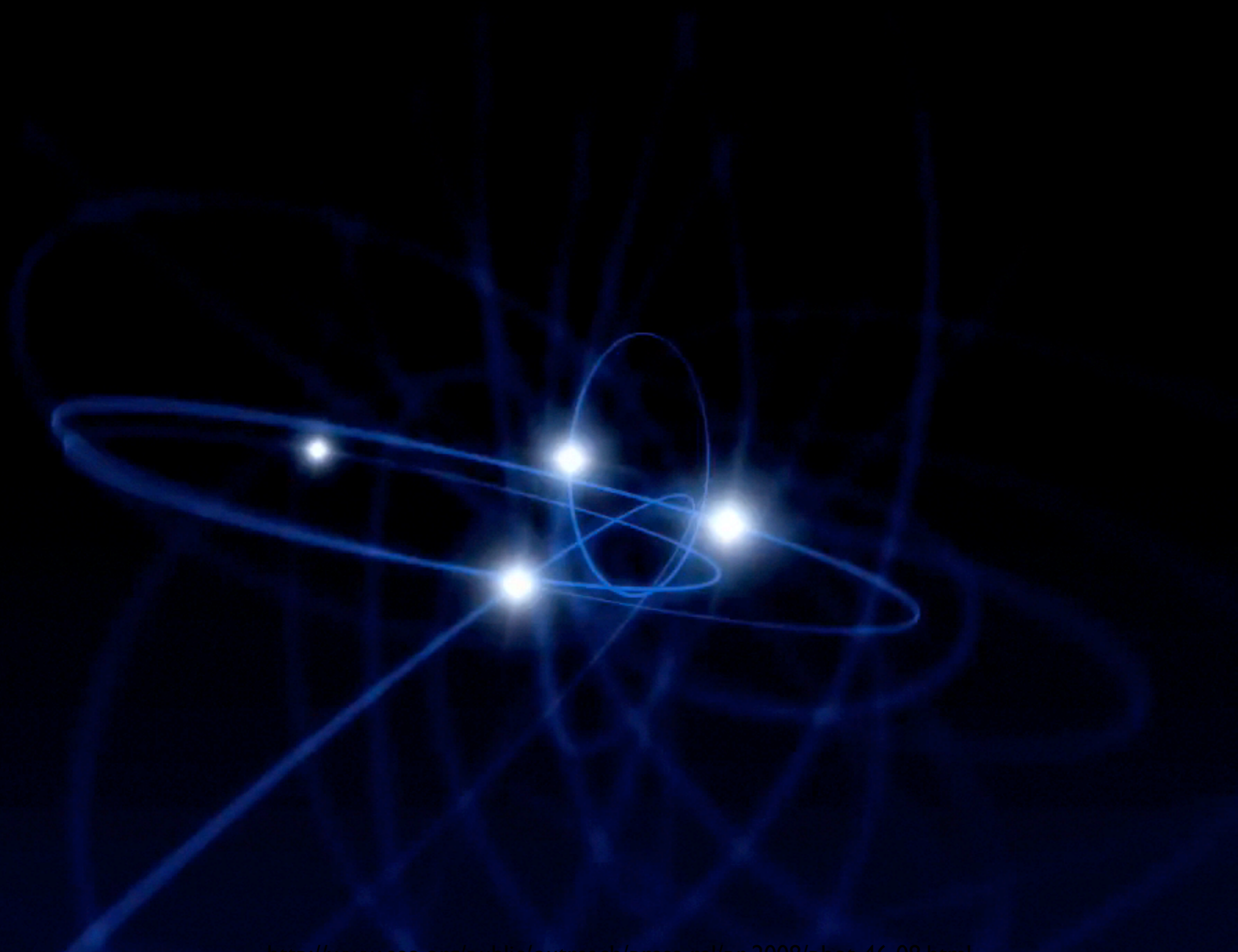
- 光速でも脱出できない
重い天体
- 実は宇宙に結構ある
- 重い星が超新星爆発を
してつぶれてできる
- 銀河の中心には巨大ブ
ラックホール



<http://lfm.mit.edu/blog/drewhill/files/blackhole.gif>

天の川銀河の中心



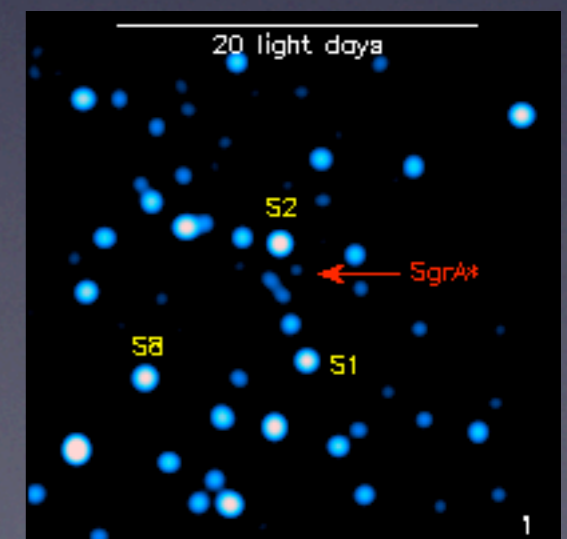


<http://www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-2008/phot-46-08.html>

ブラックホール

- 天の川銀河の中心には太陽の400万倍の重さの巨大ブラックホール
- もっと重いブラックホールも沢山
- 周りの物質を文字通り呑み込む
- 断末魔の叫びで光を出す

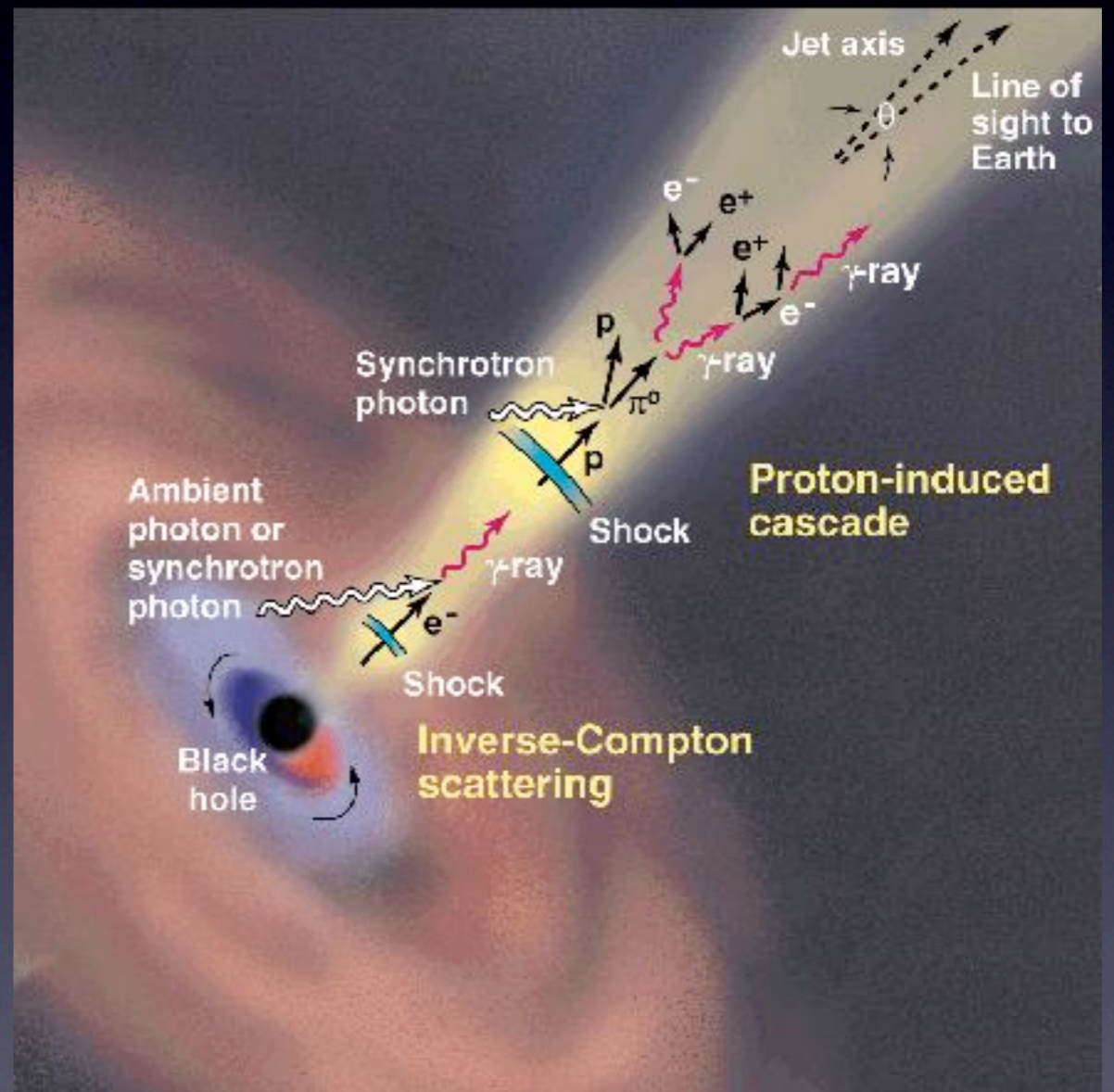
Reinhard Genzel



<http://www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-2008/phot-46-08.html>

銀河の核

- 天の川銀河の中心は比較的静か
- 物質を呑み込んでエネルギーを吹き出している銀河もある
- Active Galactic Nucleus
- ジェット
- 宇宙の果てに見えるクェーサー



冷たい死の天体

- 入ったら二度と出られない
- ブラックホールの中心は「特異点」
- 空間が無限にねじ曲がっている
- 「事象の地平線」で中と外が区切られるので、幸い特異点は見えない
- 「宇宙検閲仮説」：特異点は見えない

ホーキング博士

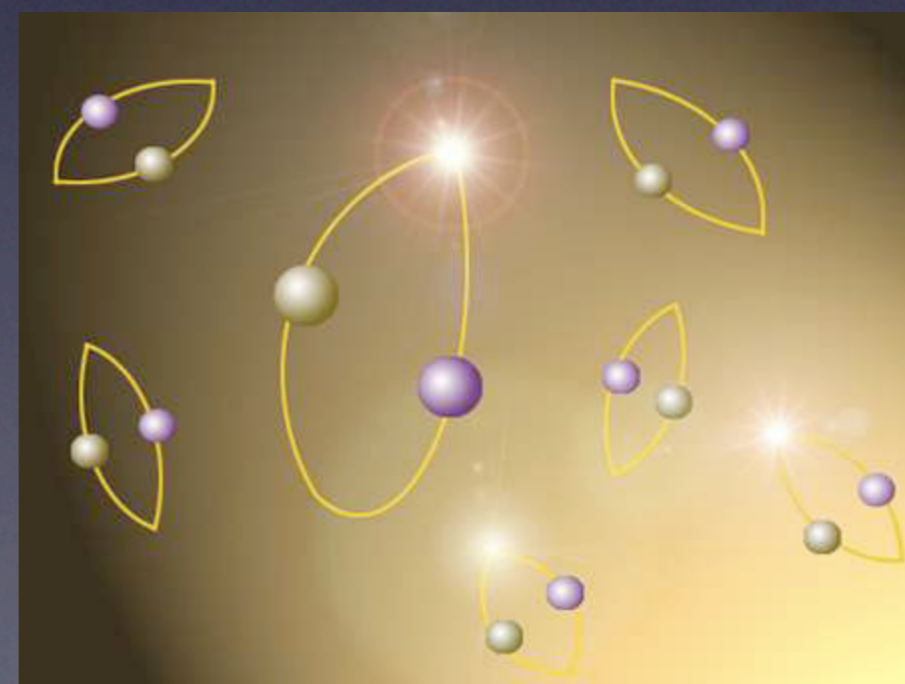
- 世界が驚いた発見
- ブラックホールは実は熱を持っている
- いずれ蒸発する！
- 特異点が顕われる？



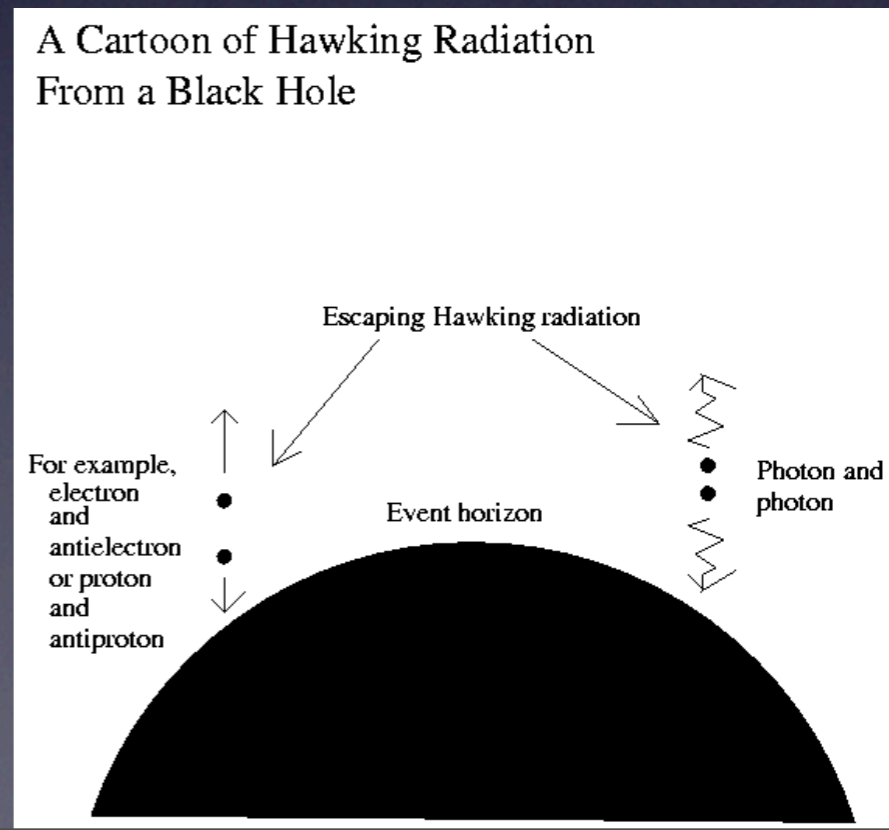
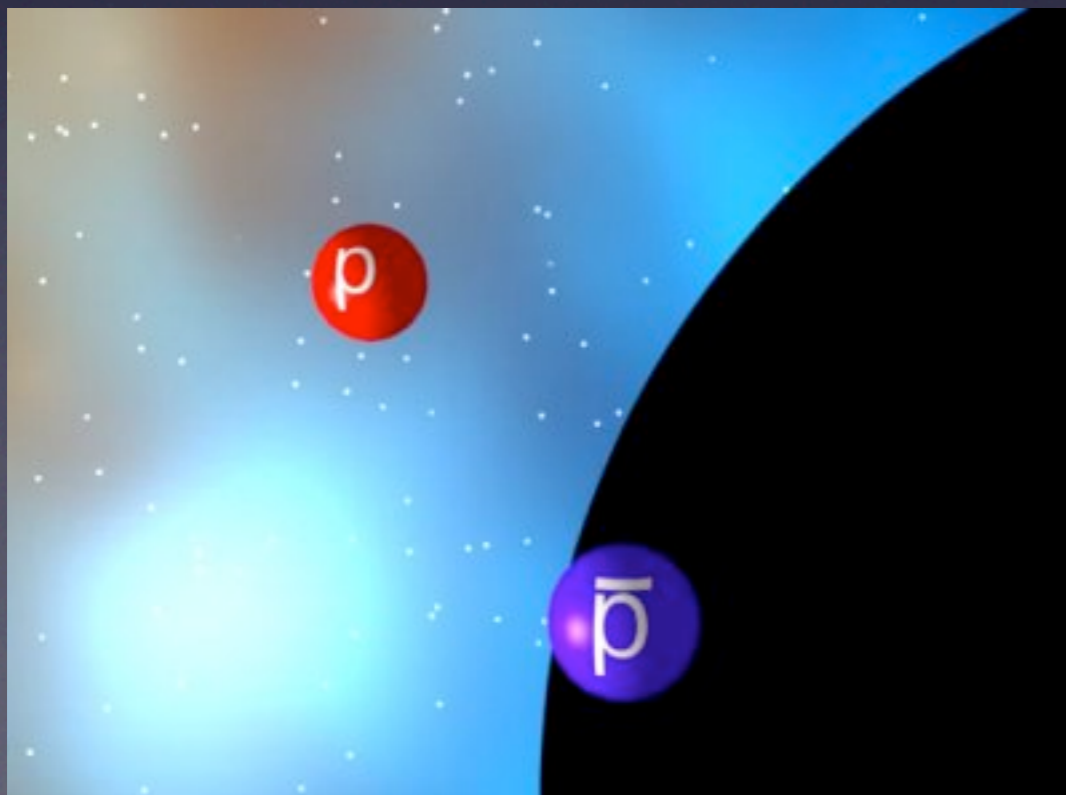
<http://cache.gawker.com/assets/resources/2007/04/stephen-hawking.jpg>

量子力学

- ミクロ世界の不確定性関係
- エネルギーの保存を破ってもいい
- 見つかる前に返しなさい
- 沢山借りる程早く返さないといけない
- 粒子と反粒子のペアを作る
- $\Delta E = 2mc^2$ 、 $\Delta t = \hbar / \Delta E$
- この時間の中に消滅させる



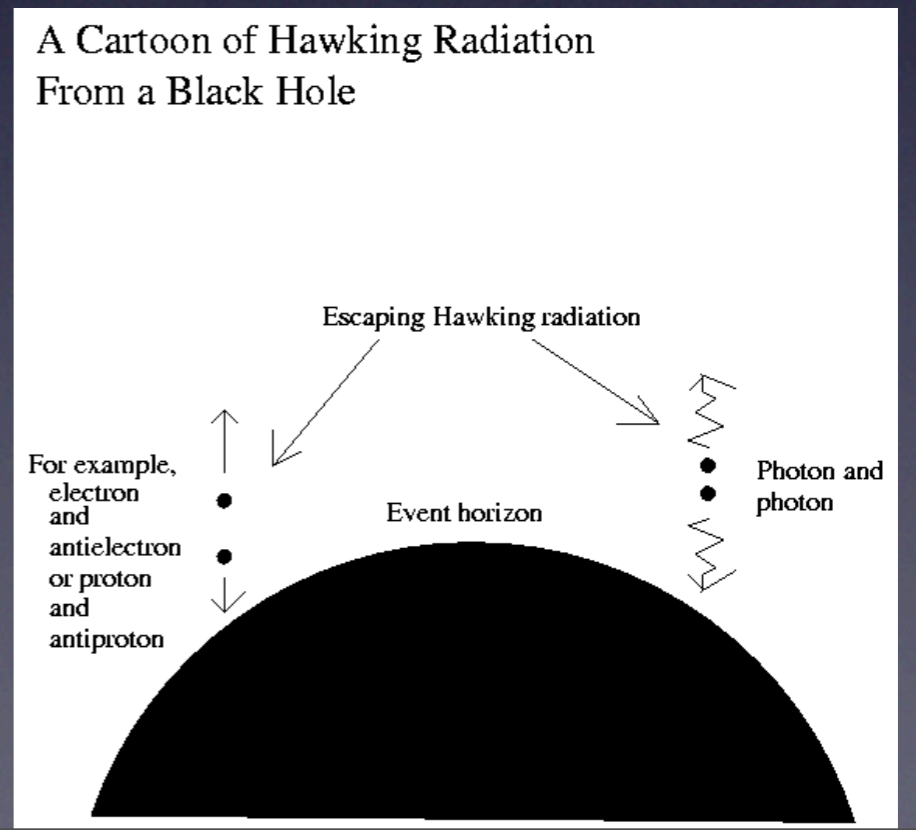
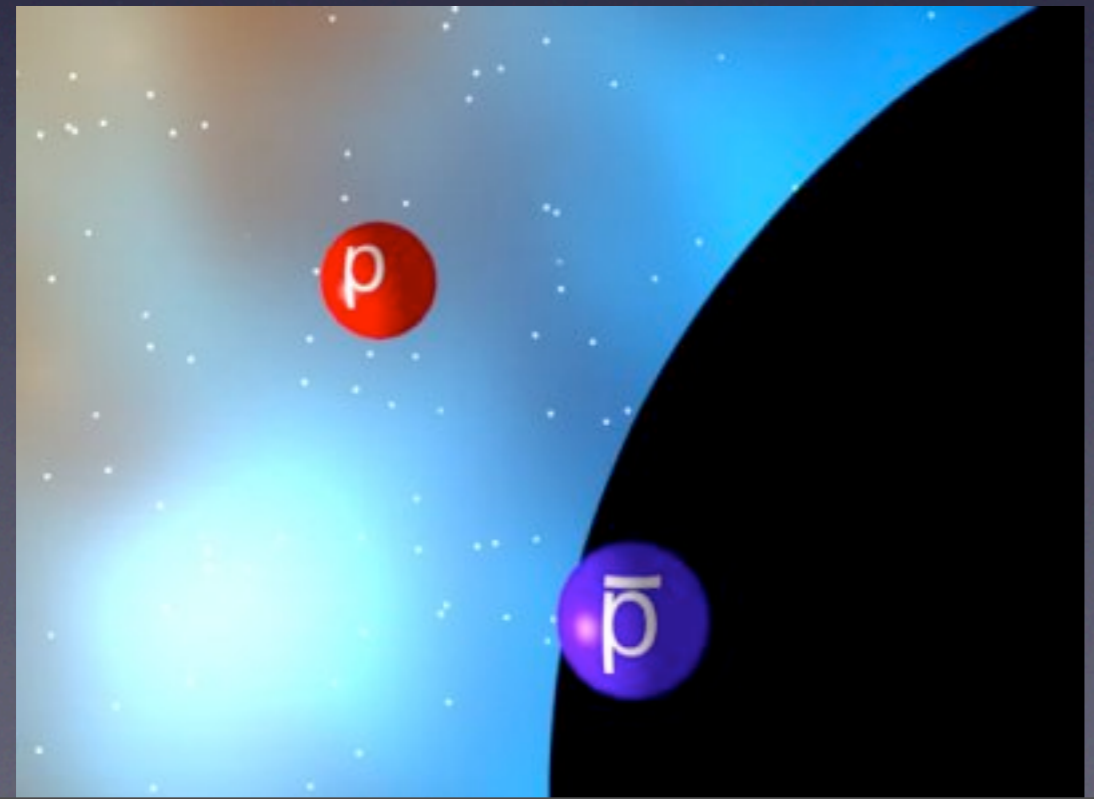
ホーキング放射



ホーキング輻射

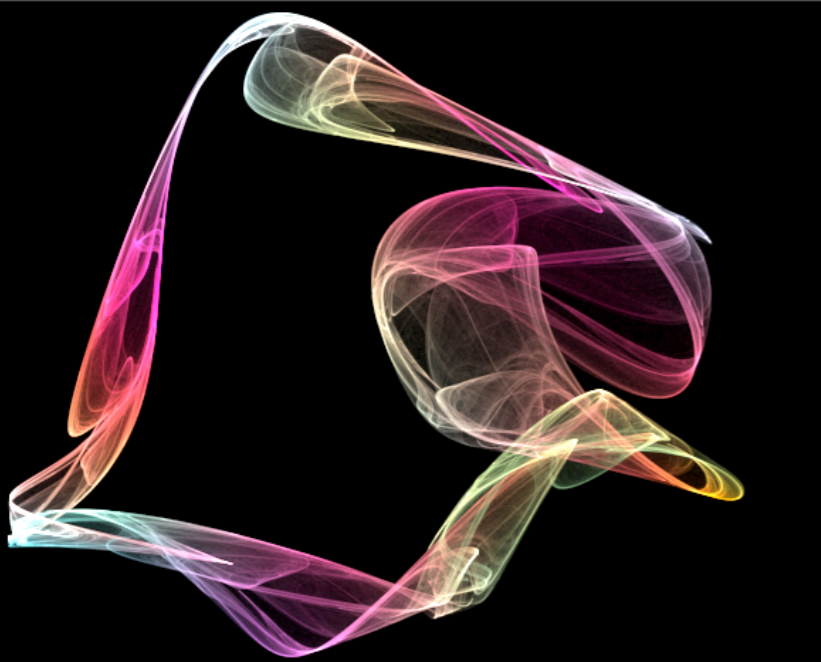


ペアの一つをブラックホールに落としてしまえば
エネルギーを返さなくていい



ブラックホールの寿命

- ブラックホールの温度は重い程低い
- 太陽質量だと絶対温度100万分の一
- 熱を出して蒸発するまでに 10^{62} 年かかる
- 普通の人には気にしない！
- でも原理的な問題：蒸発して何が残る？

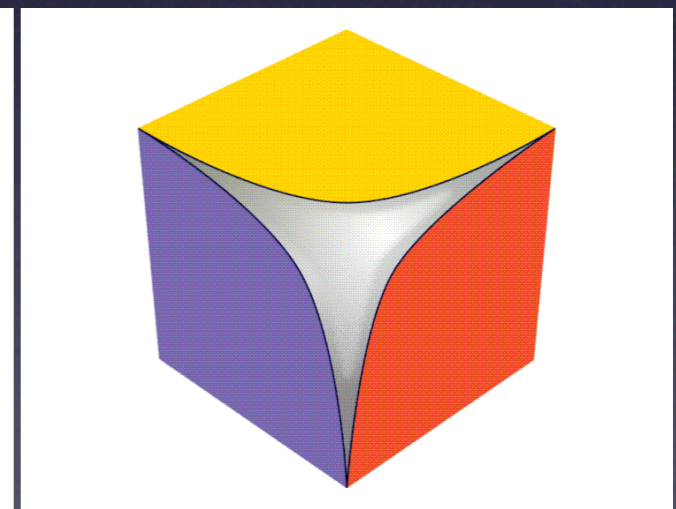
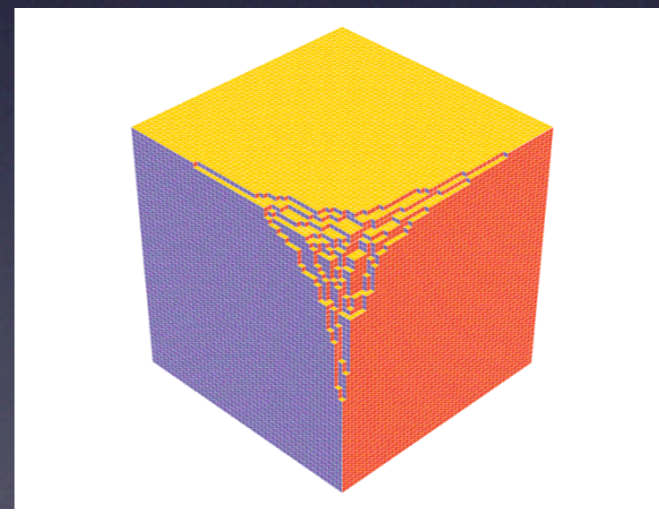
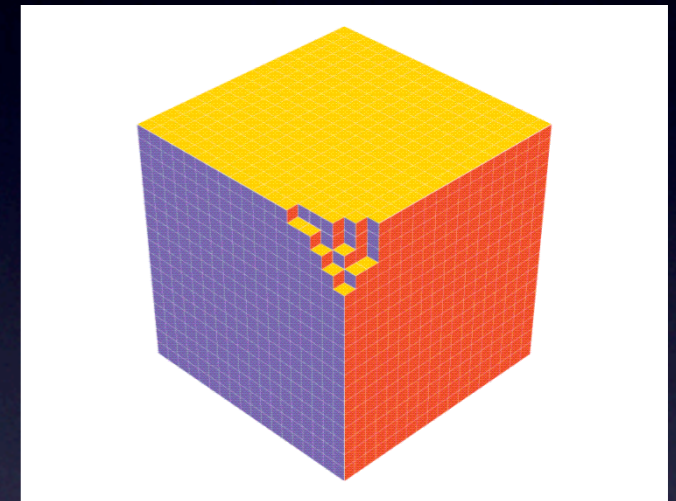
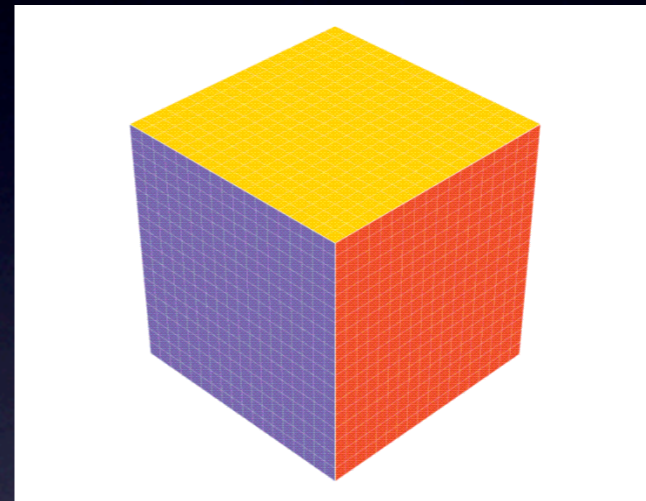


ひも理論

大栗博司
主任研究員



- 重力と量子力学を統一する理論の有力候補
- 3次元空間に更に6次元の小さな空間を予言
- ブラックホールの熱の由来を6次元のひもの運動で説明



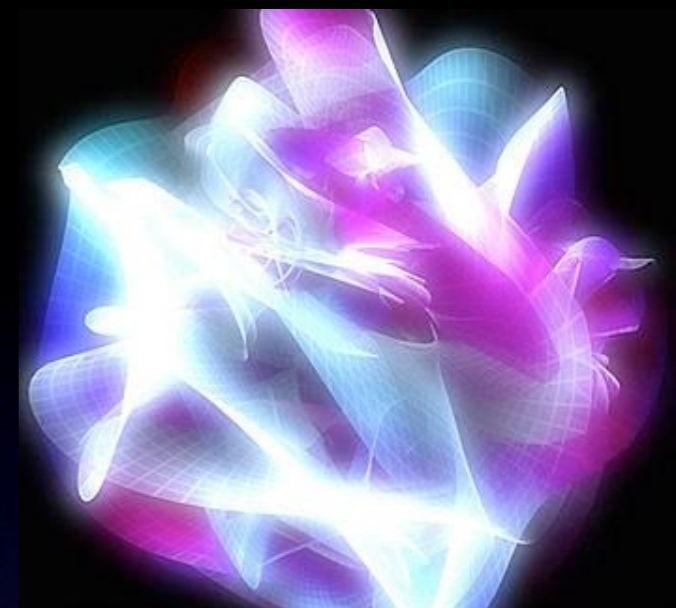
Ooguri, Yamazaki, Phys. Rev. Lett.

安心！

- ブラックホールは蒸発しても結局特異点は顕われない
- 原理的にはブラックホールに呑み込まれた全ての情報が出て来る

空間の端

ひも理論

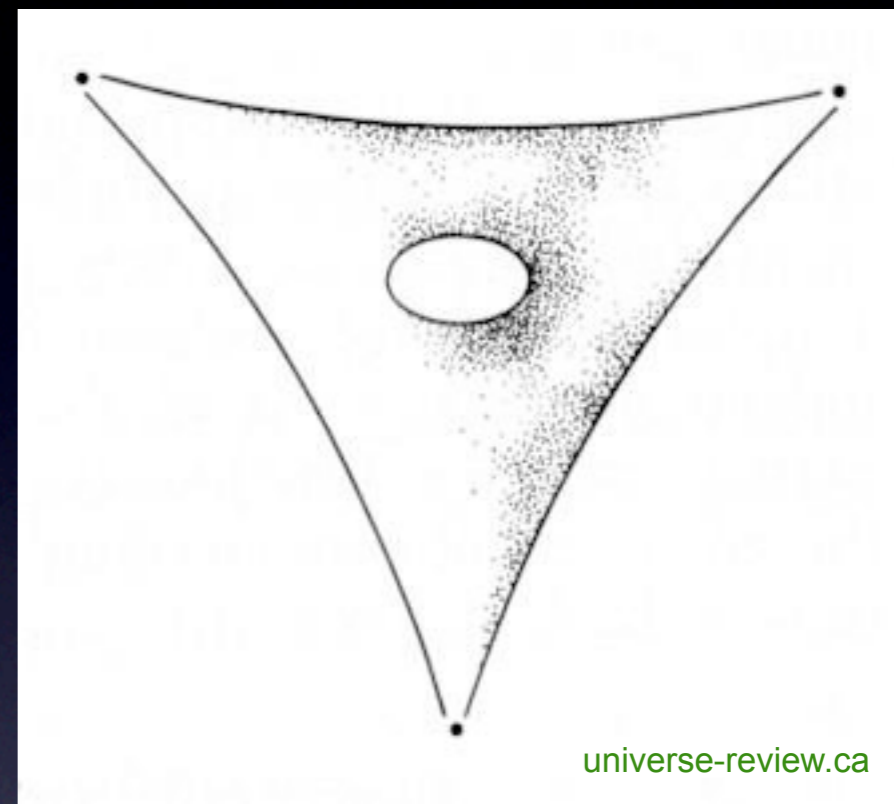


- 空間は3次元でなく9次元
- 残り6次元は小さく丸まっている
- 異次元の世界は複雑な空間
- 異次元に「端」があることも
- 特異点？

<http://www.pbs.org/wgbh/nova/elegant/program.html>

オービフールド

- 丸まった空間は「端」や「角」も
- たとえば座布団のような空間
- 「円錐型」特異点
- でもひもは点でないので、特異点を回避できる
- 問題ない

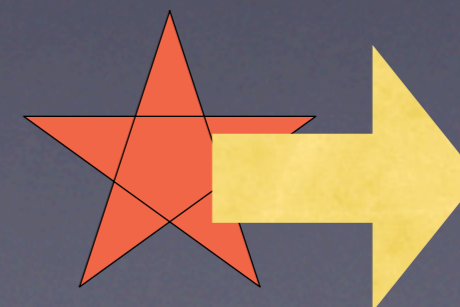
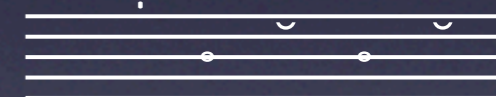
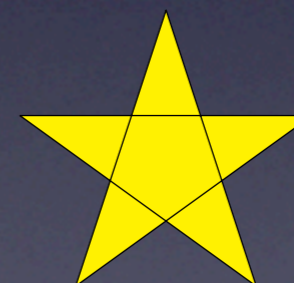
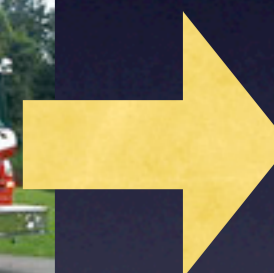
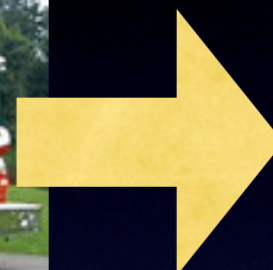


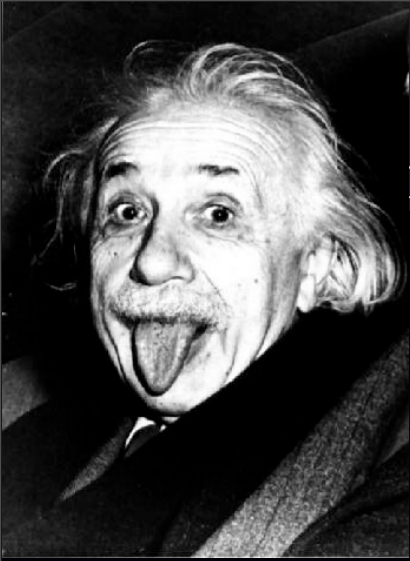
ビッグバン

宇宙は広がっている



- 近づく救急車: 高い音
- 離れる救急車: 低い音
- 離れる星: 低い赤い光
- 遠くの星や銀河は赤く見える



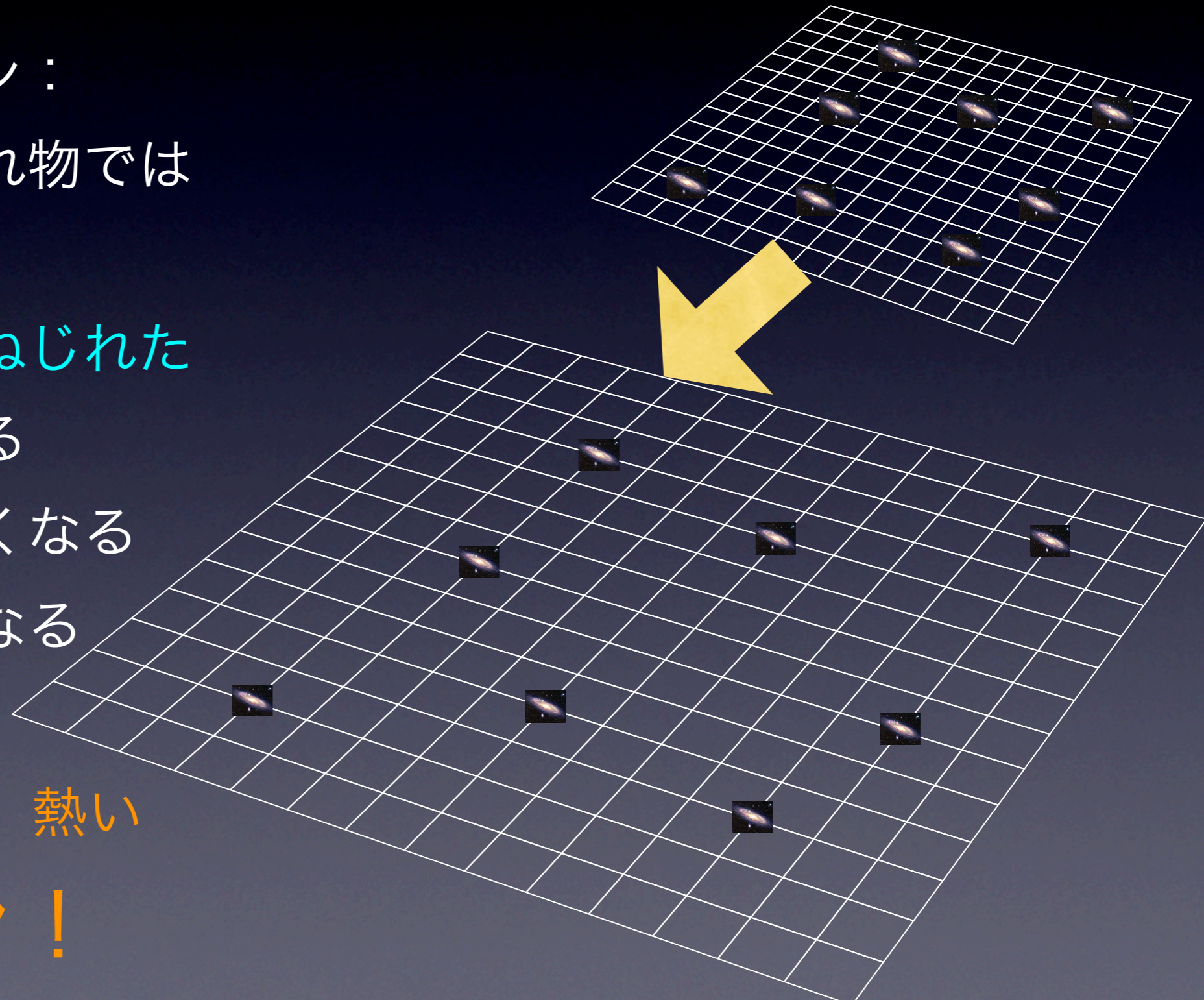


広がる空間

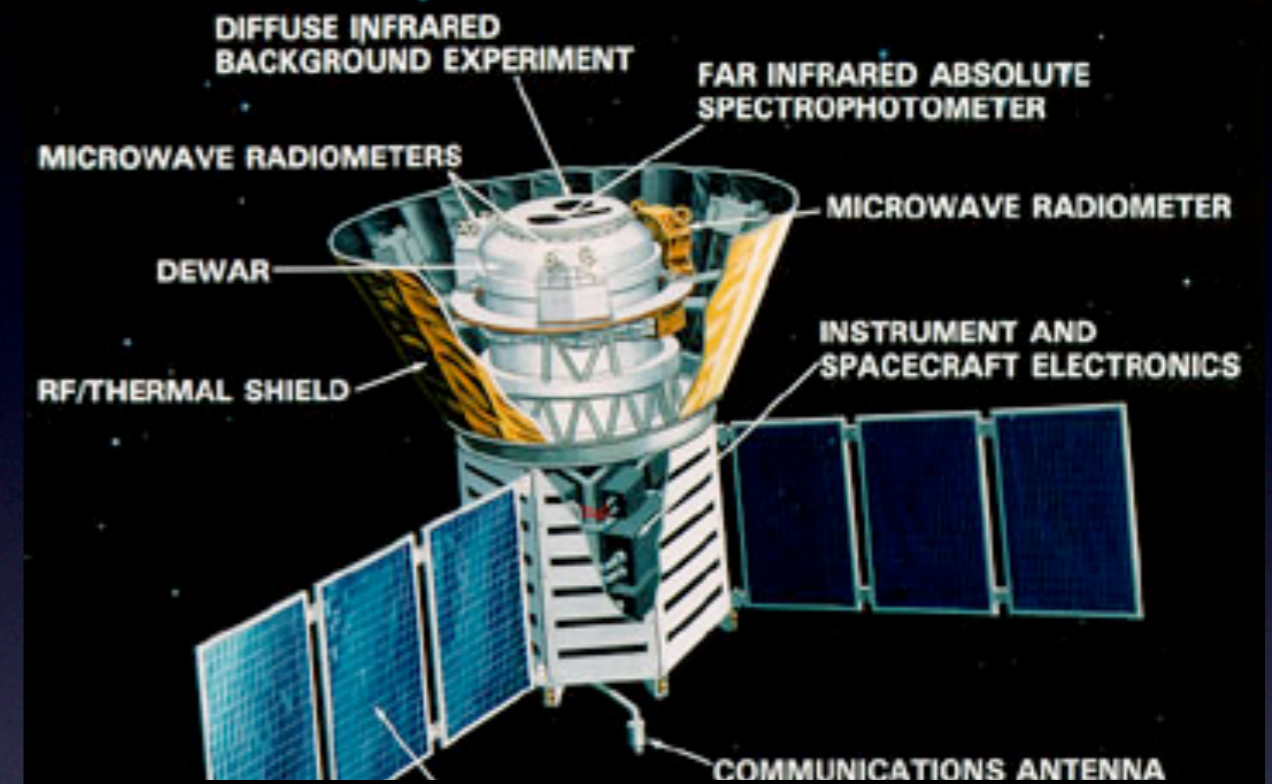
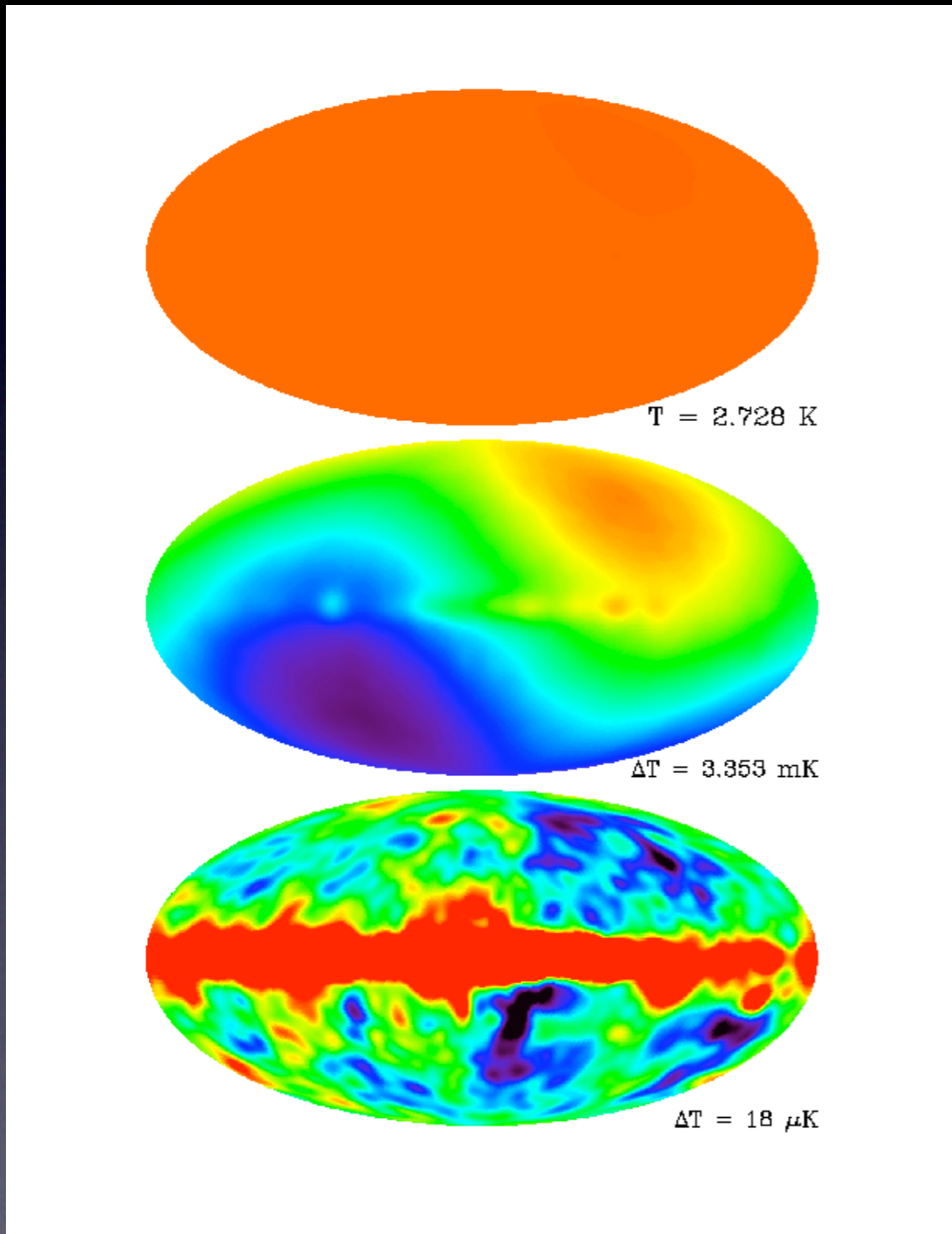
- アインシュタイン：
宇宙は単なる入れ物ではない
- 箱が曲がったりねじれたり
り広がったりする
- 宇宙全体が大きくなる
- だんだん冷たくなる

- 昔はずっと小さく、**熱い**

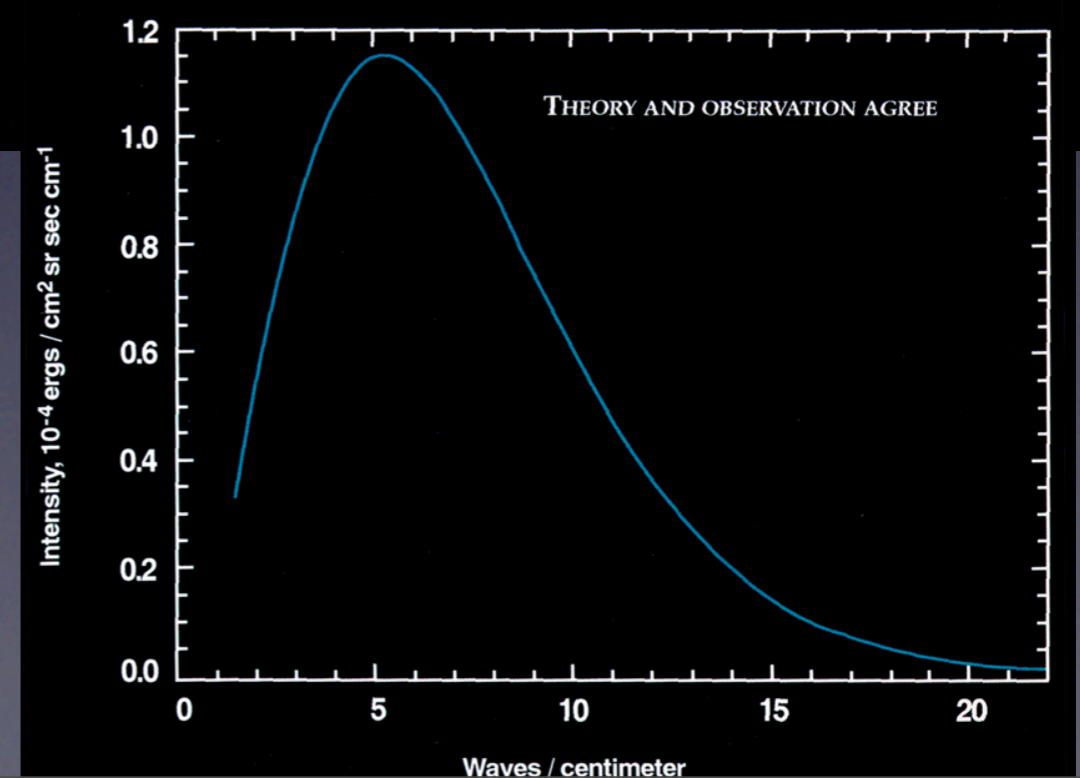
ビッグバン！



ビッグバンの残り火

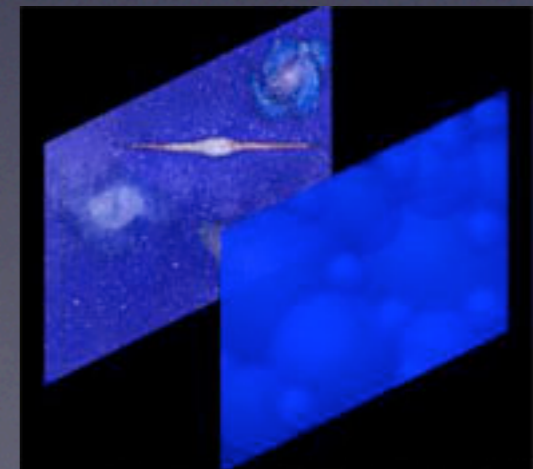


COSMIC MICROWAVE BACKGROUND SPECTRUM FROM COBE



特異点を避ける？

- もしかするとビッグバンは宇宙が無限のエネルギーになるのではなく、縮んで来る宇宙の反発
- 文字通りの「バン」
- 色々とうまく行かない（宇宙がでこぼこになりすぎる）



History of the Universe



佐藤勝彦

BIG BANG

t	10^{-44}	10^{-37} s
T	10^{32}	10^{28}
E	10^{19}	10^{15}

Accelerators
 ↓ LHC
 ↓ Tevatron
 ↓ RHIC
 high-energy cosmic rays

possible dark matter relicts

cosmic microwave radiation visible

10^{-10} s	10^{-5} s	10^2 s	10^9 y	Today
10^{15}	10^{12}	10^9	3×10^5 y	10^9 y
10^2	10^{-1}	10^{-4}	3000	15
			3×10^{-10}	10^{-12}
				12×10^9 y (sec,yrs)
				2.7 (Kelvin)
				2.3×10^{-13} (GeV)

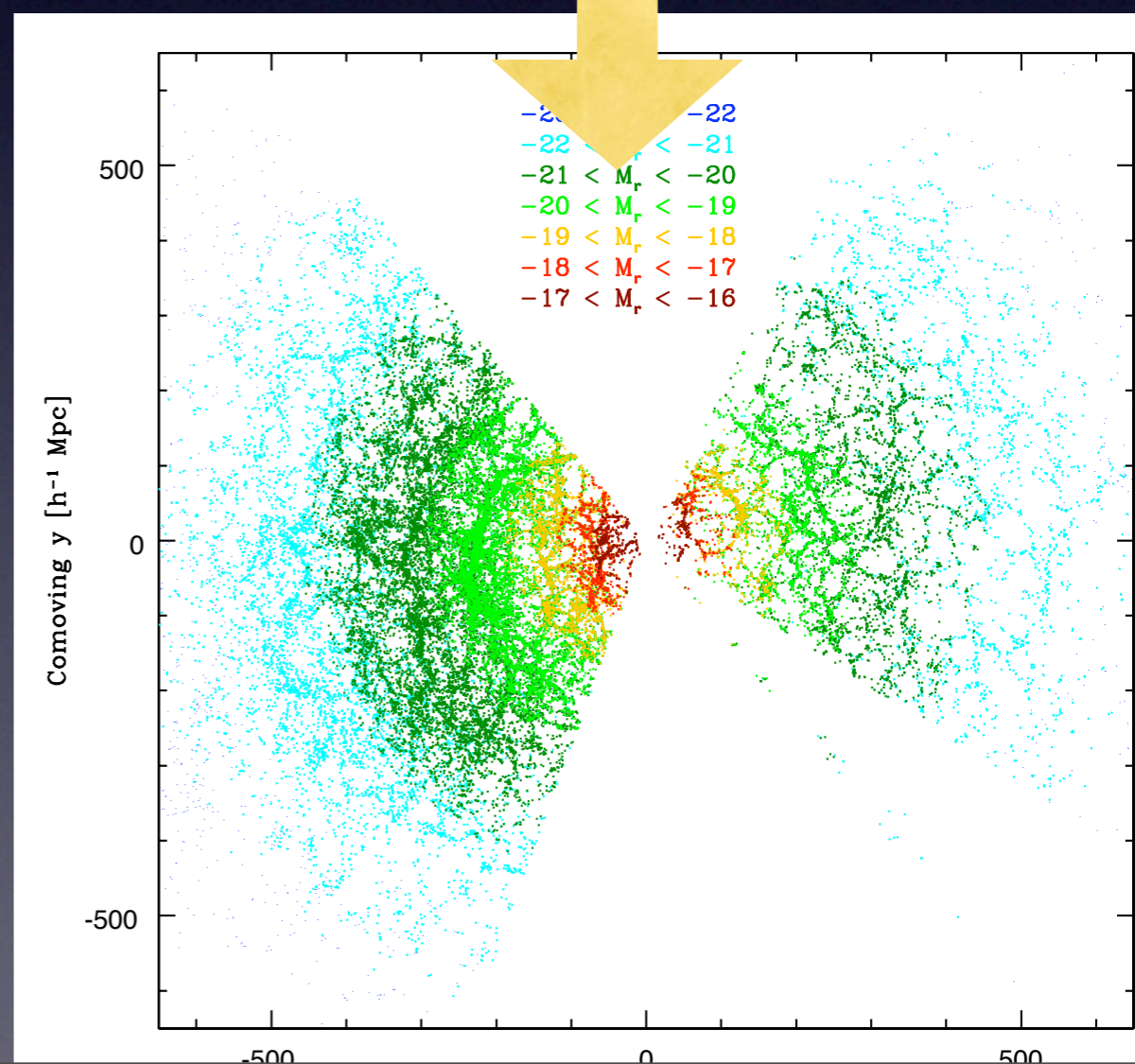
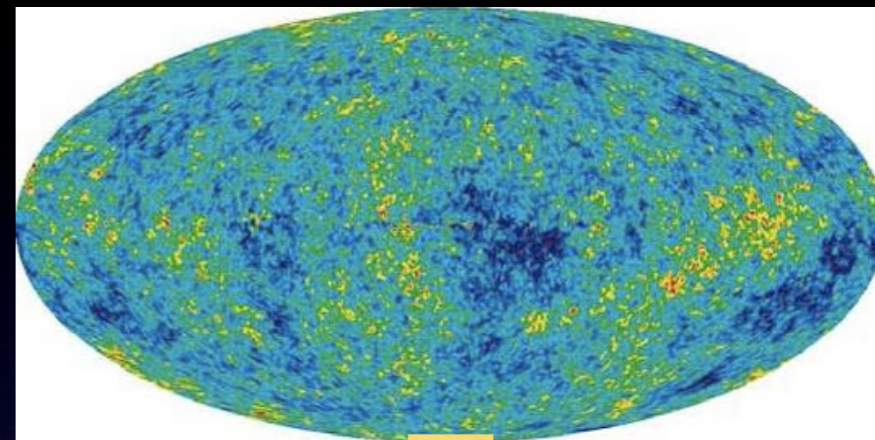
Key:

- W, Z bosons
- q quark
- g gluon
- e electron
- μ muon
- τ tau
- ν neutrino
- $q\bar{q}$ meson
- qqq baryon
- ion
- atom
- photon
- galaxy
- star
- black hole

Particle Data Group, LBNL, © 2008. Supported by DOE and NSF

インフレーション

- 宇宙が生まれてすぐミクロな大きさからマクロな大きさまで引き延ばされた
- そのときに不確定性関係でゆらぎができる
- ゆらぎも宇宙規模に引き延ばされる
- 100mの海に1mmのさざ波



暗黒物質なしに



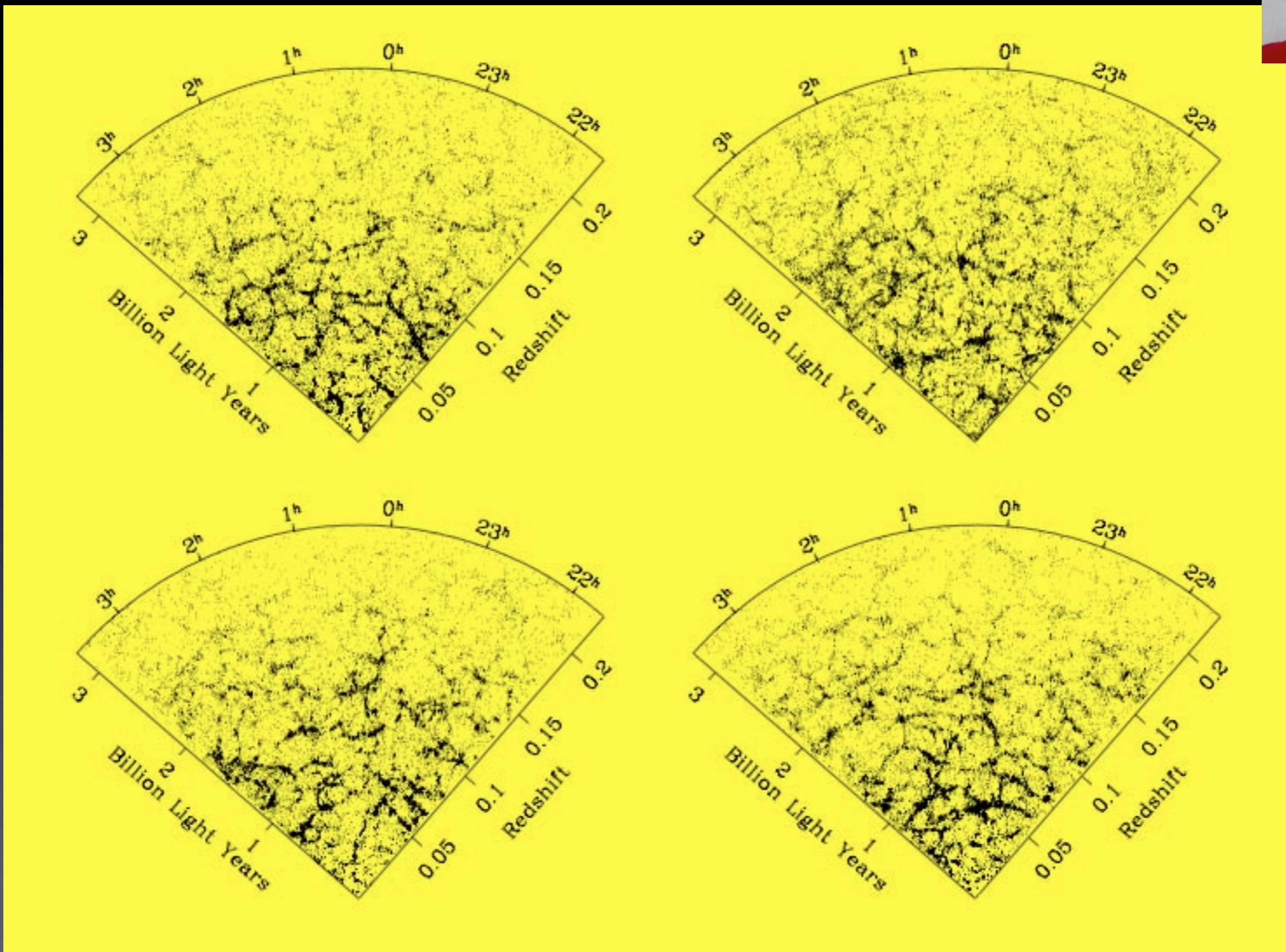
私たちはない

暗黒物質なし

暗黒物質あり

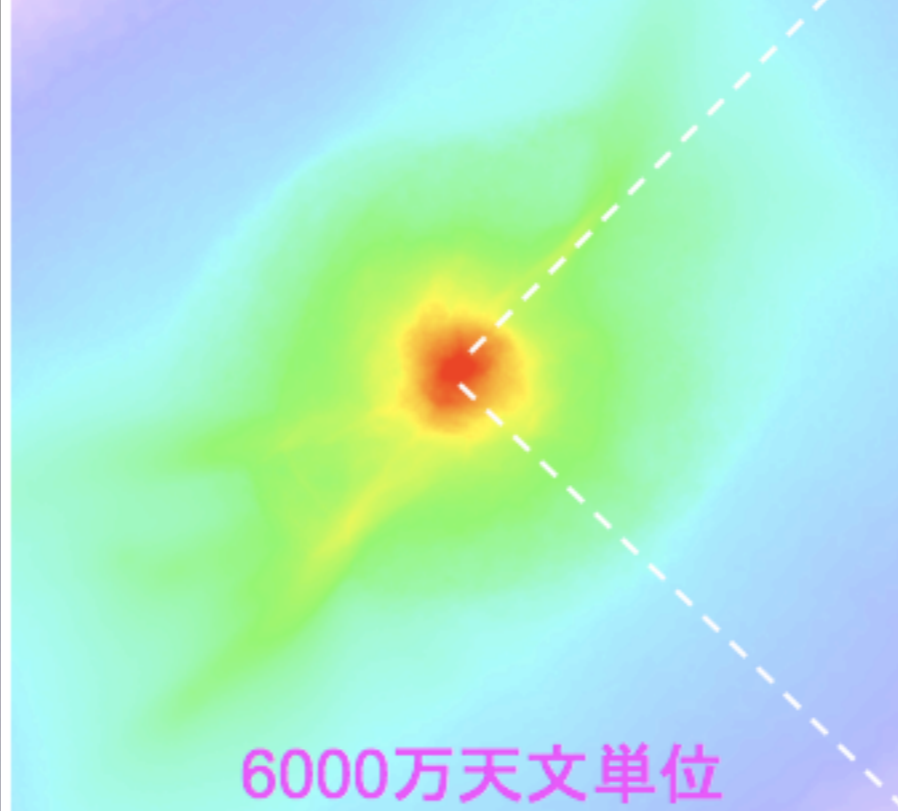


一つが本物

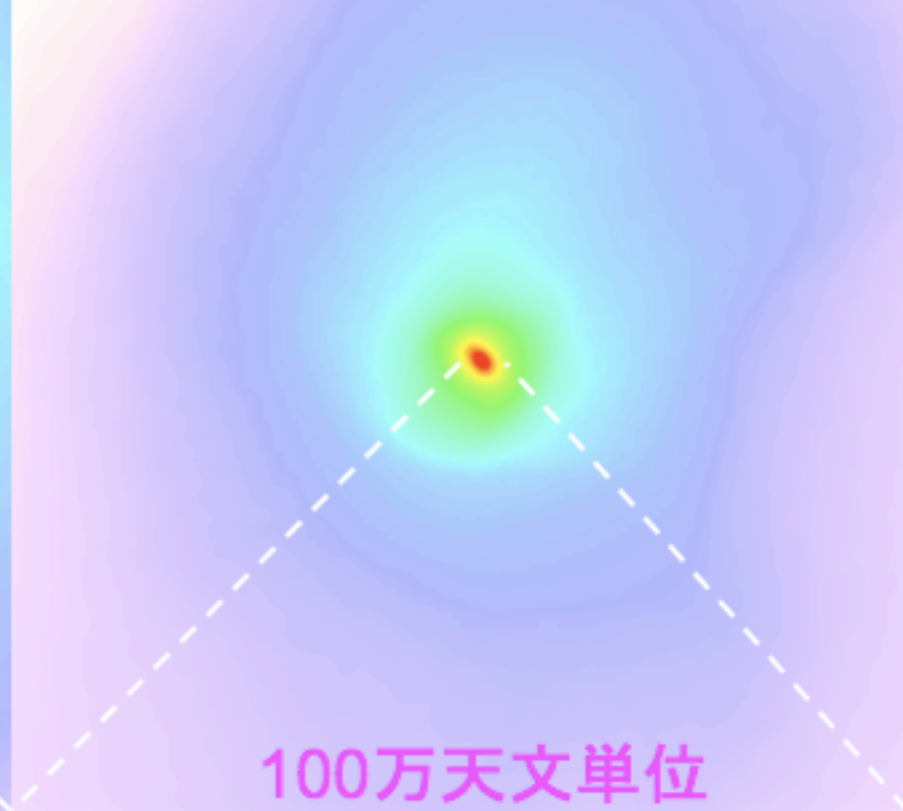


星の誕生

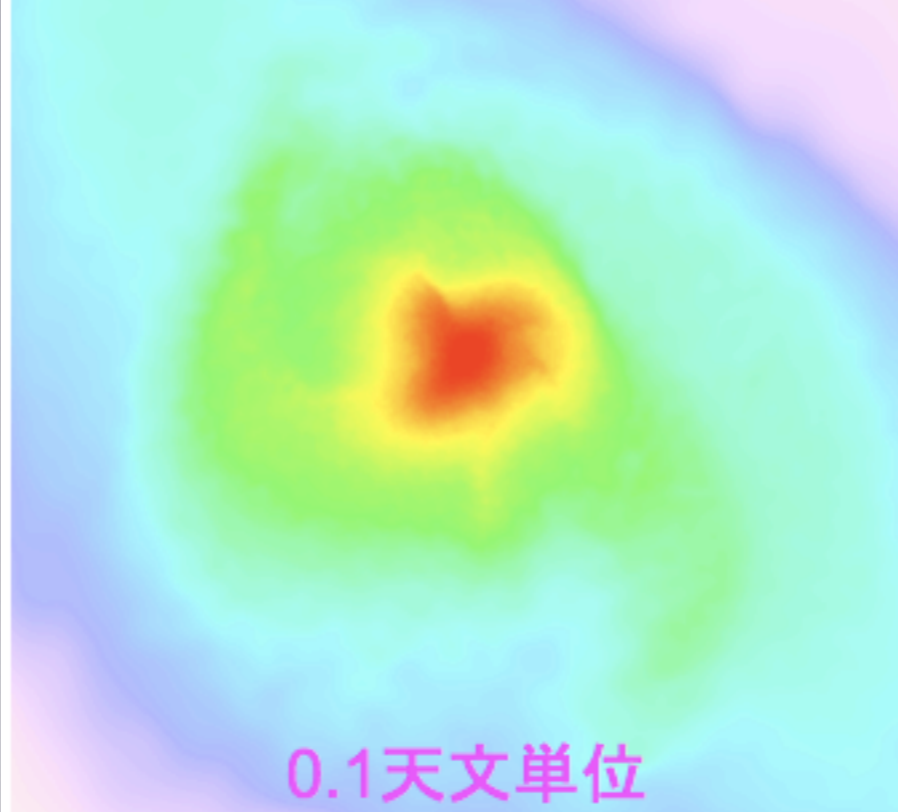
ダークマターハロー



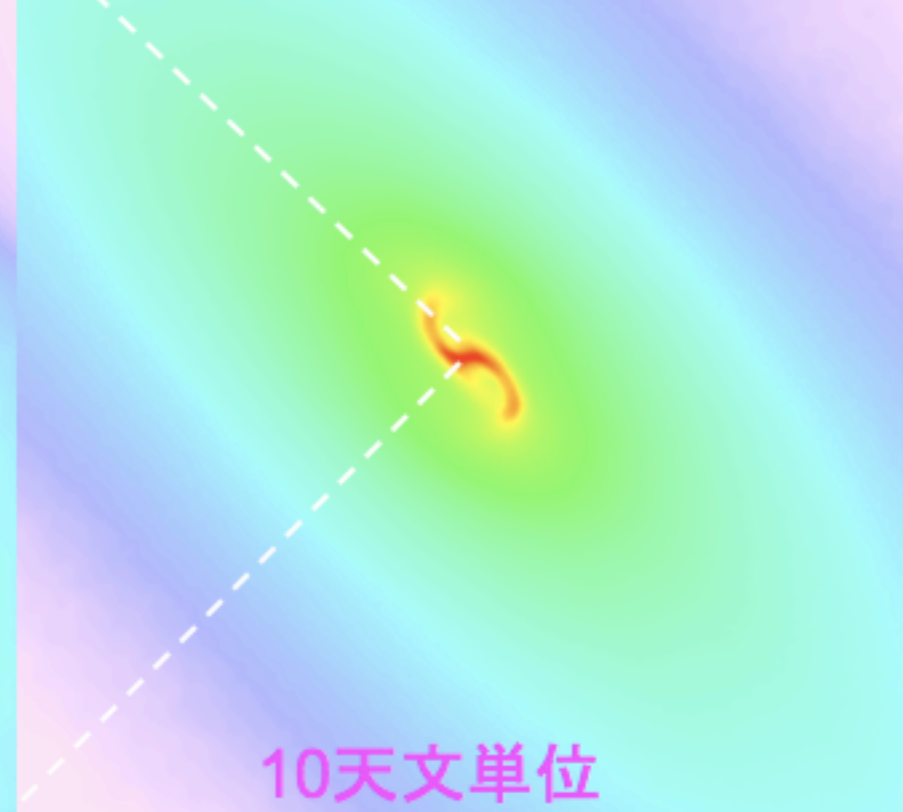
分子ガス雲



原始星



分子雲コア



特異点を扱う理論？

- 物理学者は特異点にお手上げ
- 数学者は特異点がお得意
- 更に高度な数学を使って特異点を扱える理論を作れるか？



- ひも理論に期待
- 実際オービフォールドはOKだった
広中平祐 フィールズ賞

「標数0の体上の代数多様体の特異点の解消
および解析多様体の特異点の解消」



宇宙の特異点

- 本当に特異点があると物理学者は困る
- ブラックホールの特異点はいつも地平線の向こう、「検閲済み」でOK
- ホーキング輻射で蒸発すると、特異点も消えて問題ない
- ひも理論は特異点が扱えることもある
- しかしビッグバンの特異点はまだ問題
- 繰り返す宇宙? ひも理論? 新しい数学?

IPMU

INSTITUTE FOR THE PHYSICS AND
MATHEMATICS OF THE UNIVERSE

乞うご期待！

東大数物連携宇宙研究機構