

# 宇宙流体実験

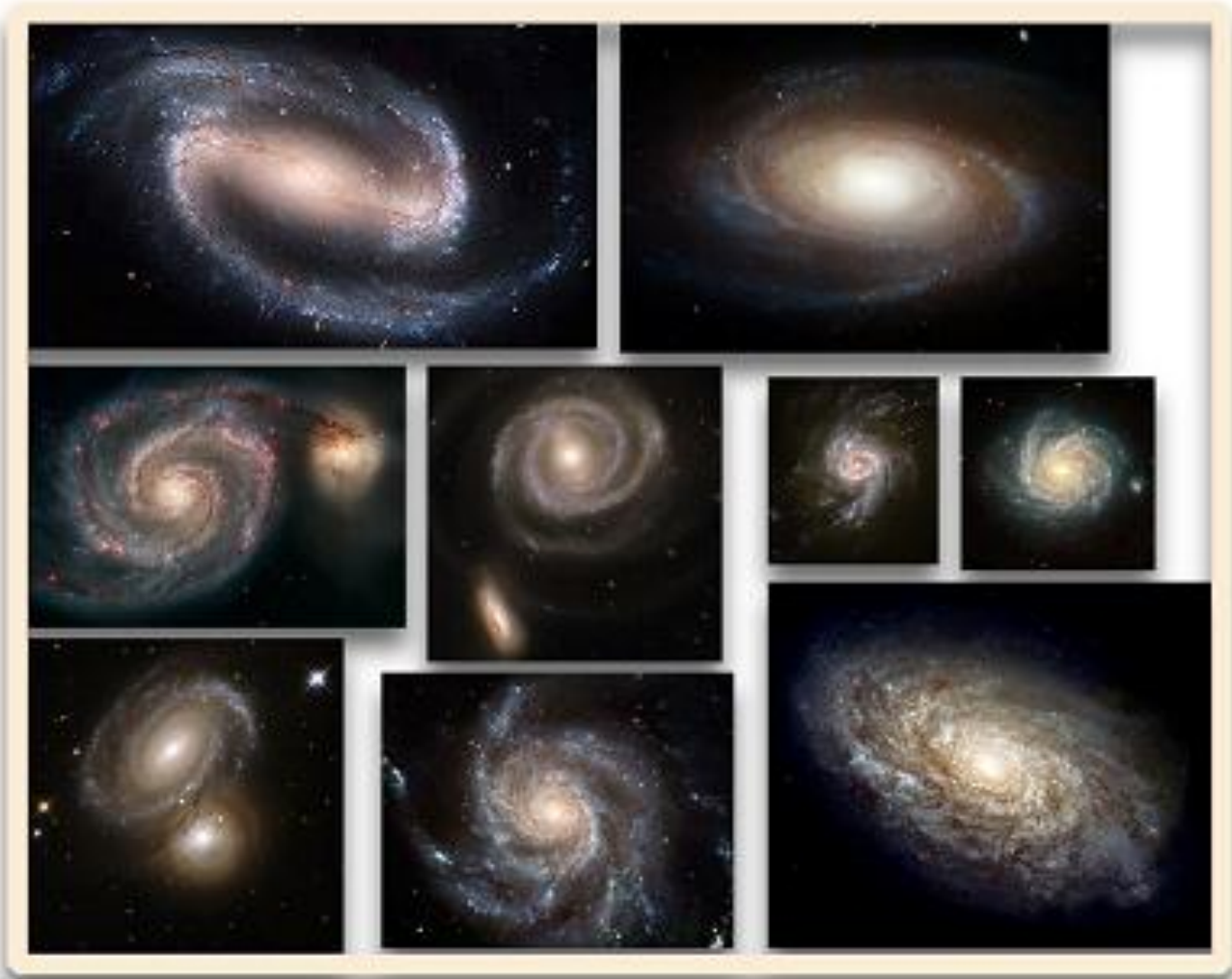
## —新たな流体モデルによる渦巻銀河の解析—

明星大学M2 津田裕也

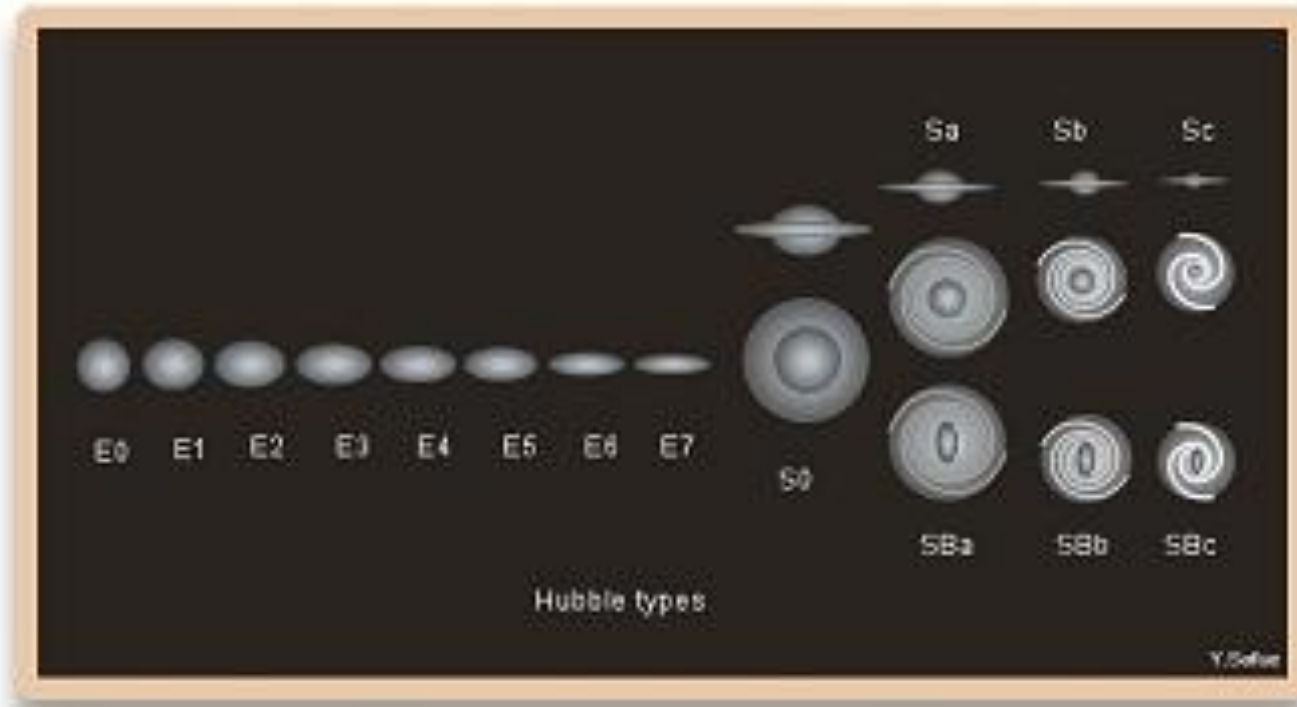


講演者 明星大学 祖父江義明研究室所属  
M2 津田裕也 [11m1002 at stu.meisei-u.ac.jp](mailto:11m1002@stu.meisei-u.ac.jp)  
指導教官 祖父江義明

本講演は、明星大学天文学研究室で行っている”LEC:宇宙流体実験”についての発表である。背景の画像は水槽の中に発生する渦の様子で、この渦の構造と渦巻銀河の渦状構造の比較について紹介する。



渦巻銀河には様々な形のものが存在するが、これらの形態の違いは銀河の進化において、どのような成因によって起きているのかは解明されていない。つまり、渦巻銀河の腕の構造の進化についてのパラダイムを解き明かすことが本研究の目的である。



銀河の分類について最も有名なハッブル分類。横軸が時間ではないことに注意。晩期型、早期型は名称であって進化段階ではない。



**TABLE 1**  
**DESCRIPTION OF ARM CLASSES FOR SPIRAL GALAXIES**

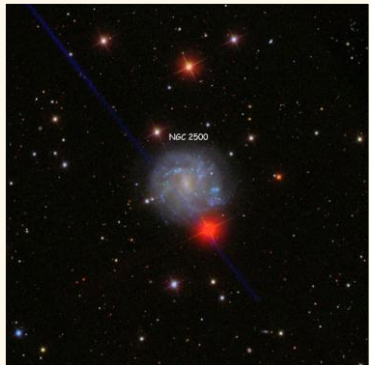
Arm Class	Description
1.....	Chaotic, fragmented, unsymmetric arms
2.....	Fragmented spiral arm pieces with no regular pattern
3.....	Fragmented arms uniformly distributed around the galactic center
4.....	Only one prominent arm; otherwise fragmented arms
5.....	Two symmetric, short arms in the inner regions; irregular outer arms
6.....	Two symmetric inner arms; feathery ringlike outer structure
7.....	Two symmetric, long outer arms; feathery or irregular inner arms
8.....	Tightly wrapped ringlike arms
9.....	Two symmetric inner arms; multiple long and continuous outer arms
10.....	No longer used; previously denoted barred galaxies
11.....	No longer used; previously denoted galaxies with close companions
12.....	Two long symmetric arms dominating the optical disk

渦巻銀河の分類として有名な、エルメグリーンによるアームクラス分類。顕著な二本腕の方が数字が大きい。M51は12で、グランドデザインアーム銀河として分類されている。

# ElmegreenのArmclass分類

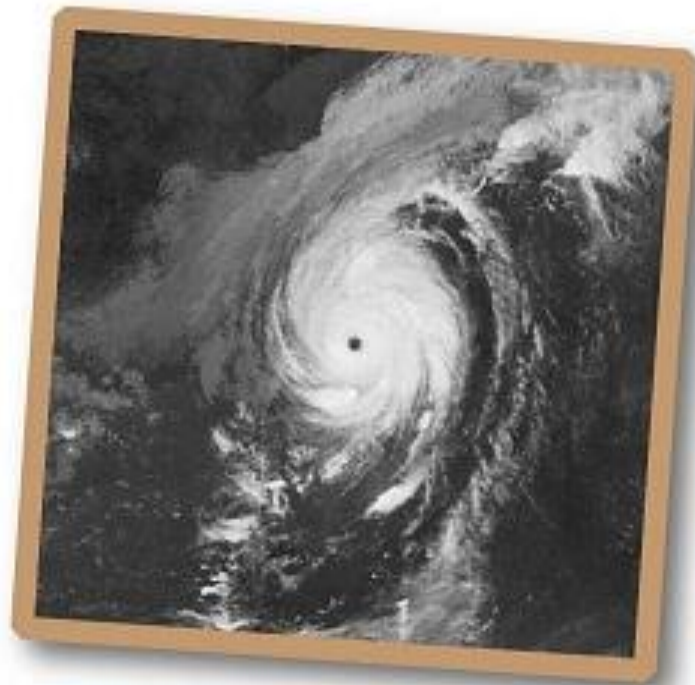
1

12



アームクラスレベルの低いものはプロキュレント銀河と呼ばれる。  
レベルが高いものはグランドデザインアーム銀河。  
中間に位置する銀河には腕が複数本見えるものもある。





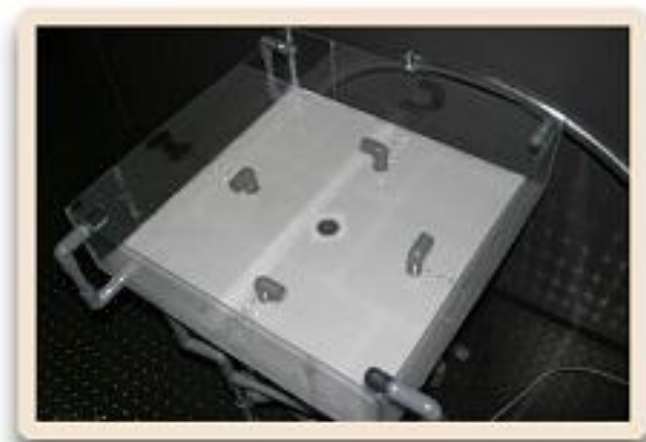
左は台風、右は鳴門の渦巻。  
このように自然現象の中には渦巻銀河の構造と似たものがある。これらの構造を渦巻銀河の理解に応用できないか、というのが始まり。

# 宇宙流体実験: LEC

## Laboratory Experiment of Cosmic Hydrodynamics

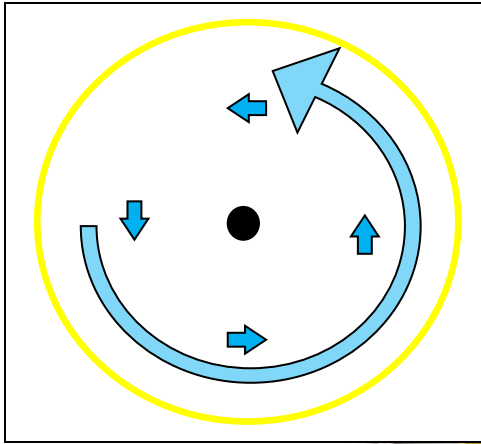


宇宙流体実験: LECという造語は、1980年代祖父江義明と藤本光昭によって提唱された。Priorityに関してはこの二名にある。実験装置については明星大学研究室で特許取得予定である。

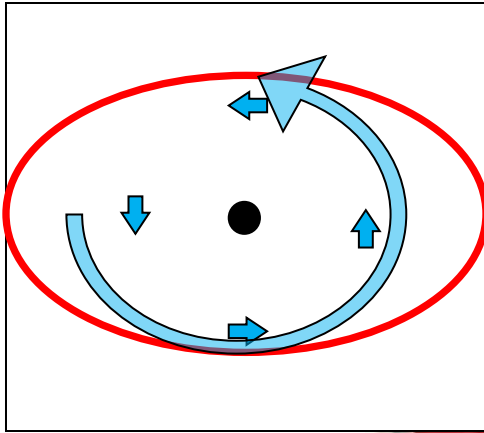


我々の研究室で制作した実験装置。左が一号機であり、そうめん流しを改良した。  
右の二枚は二号機。





二号機の運用の様子。  
内壁の形が円形になっている。この時現れる渦の形はプロキュレント銀河のように何本も腕が見える。



内壁の形を楕円形にしてみると、今度はグランドデザインアームのようなきれいな二本腕の渦が発生する。  
この時内壁の形以外は、物理条件は同じである。

銀河の形が歪んでいると2本腕になる？

近くに大きな天体があると重力で歪む

近傍天体から予想される歪み  
と  
渦巻銀河の腕の形のレベル  
の相関を取りました

内壁の形を変えると渦巻銀河の形が変わる、という結果から、銀河の形の歪み方によって銀河の腕の形が決まっているのではないか、という予測を立てた。つまり近傍にある天体の影響が腕の形をきめるのではないかと考え、それに基づいて”銀河の歪み方”と”アームクラスレベル”の相関を調べた。

$$\Gamma = \frac{\frac{2GMm\theta_1}{\theta_d^3}}{\frac{Gmm}{\theta_1^2}} = 2\left(\frac{\theta_1}{\theta_d}\right)^3 \frac{m}{M}$$

潮汐力/自己重力

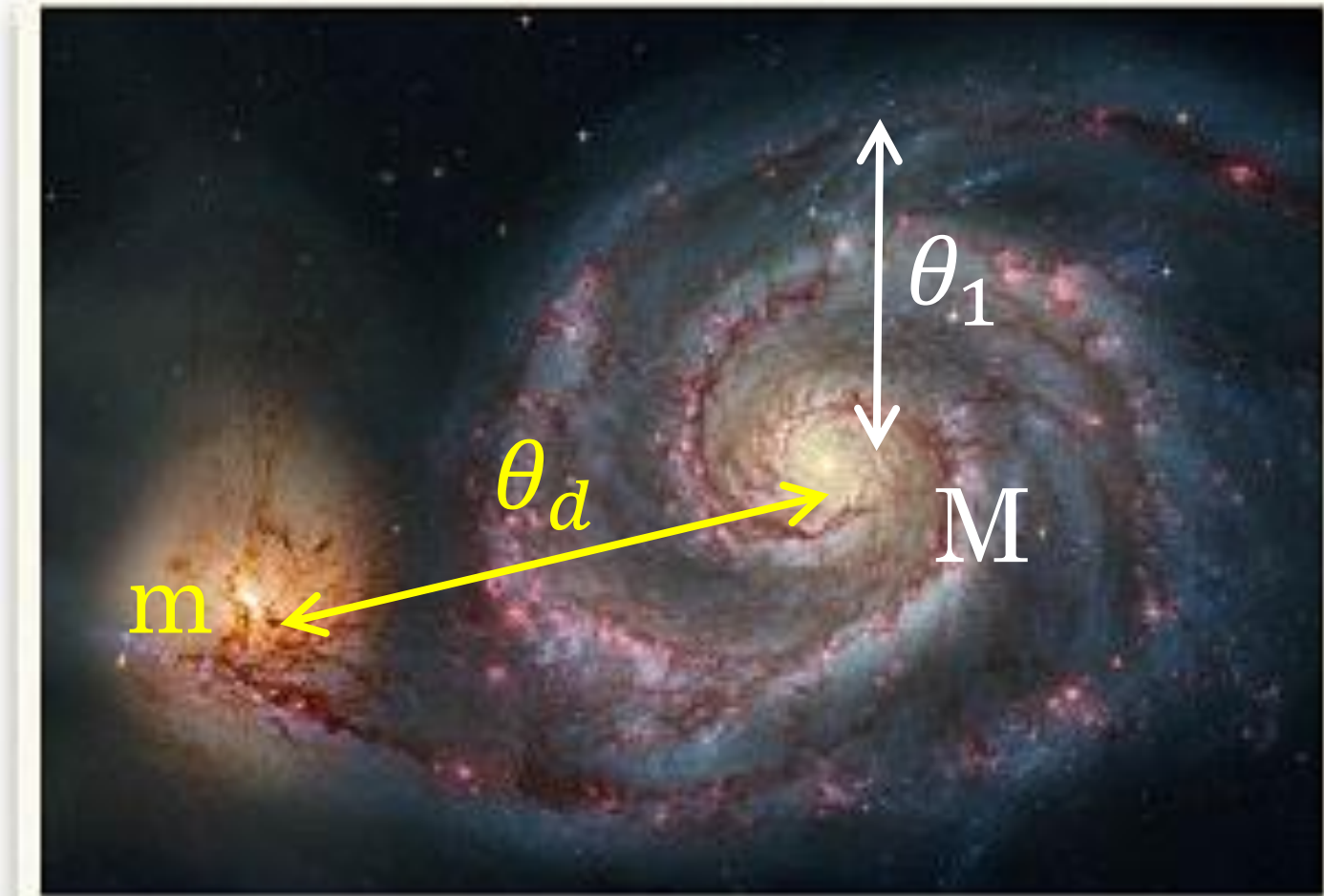
VS

G-F Class	ArmClass
1	1
	2
	3
	4
2	5
	6
	7
	8
3	9
	10
	11
	12

歪み方を定量的に評価する方法として、その銀河の自己重力と近傍天体によって発生する潮汐力の比率を歪み度 $\Gamma$ として定義した。この歪み度 $\Gamma$ とアームクラスを3段階に簡略したGFクラスを130個の銀河について調べ図にプロットした。

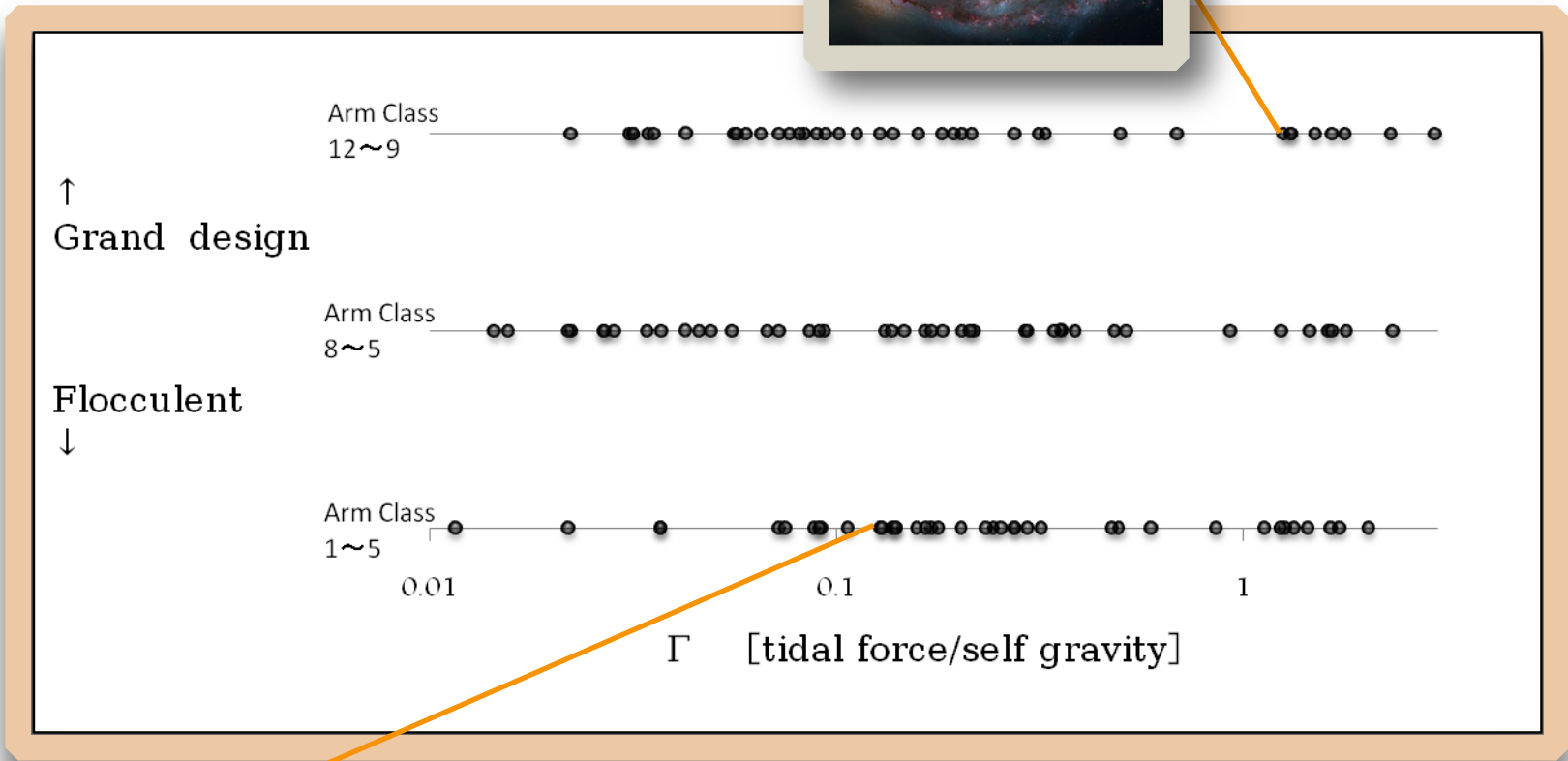
$$\Gamma = 2\left(\frac{\theta_1}{\theta_d}\right)^3 \frac{m}{M} \simeq 2.3$$

Armclass:12  $\rightarrow$  3



M51では歪み度 $\Gamma$ が2.3、GFクラスは3となる。



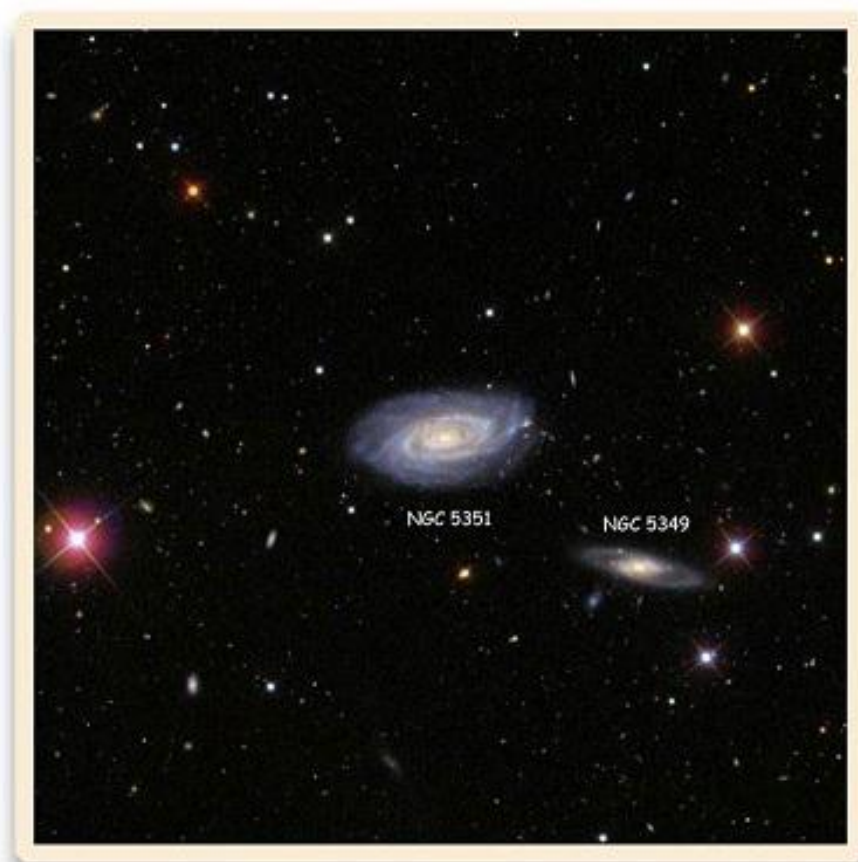


できた図、縦軸がGFクラス、上の方がグランドデザインアーム銀河、下に行くほどフロキュレントな銀河である。横軸は歪み度 $\Gamma$ を対数表示したものである。近くに大きくなてんたいがあるほど歪むので右の方にプロットされる。

右肩上がりの正の相関を期待したが、残念ながらそのような結果はでなかった。



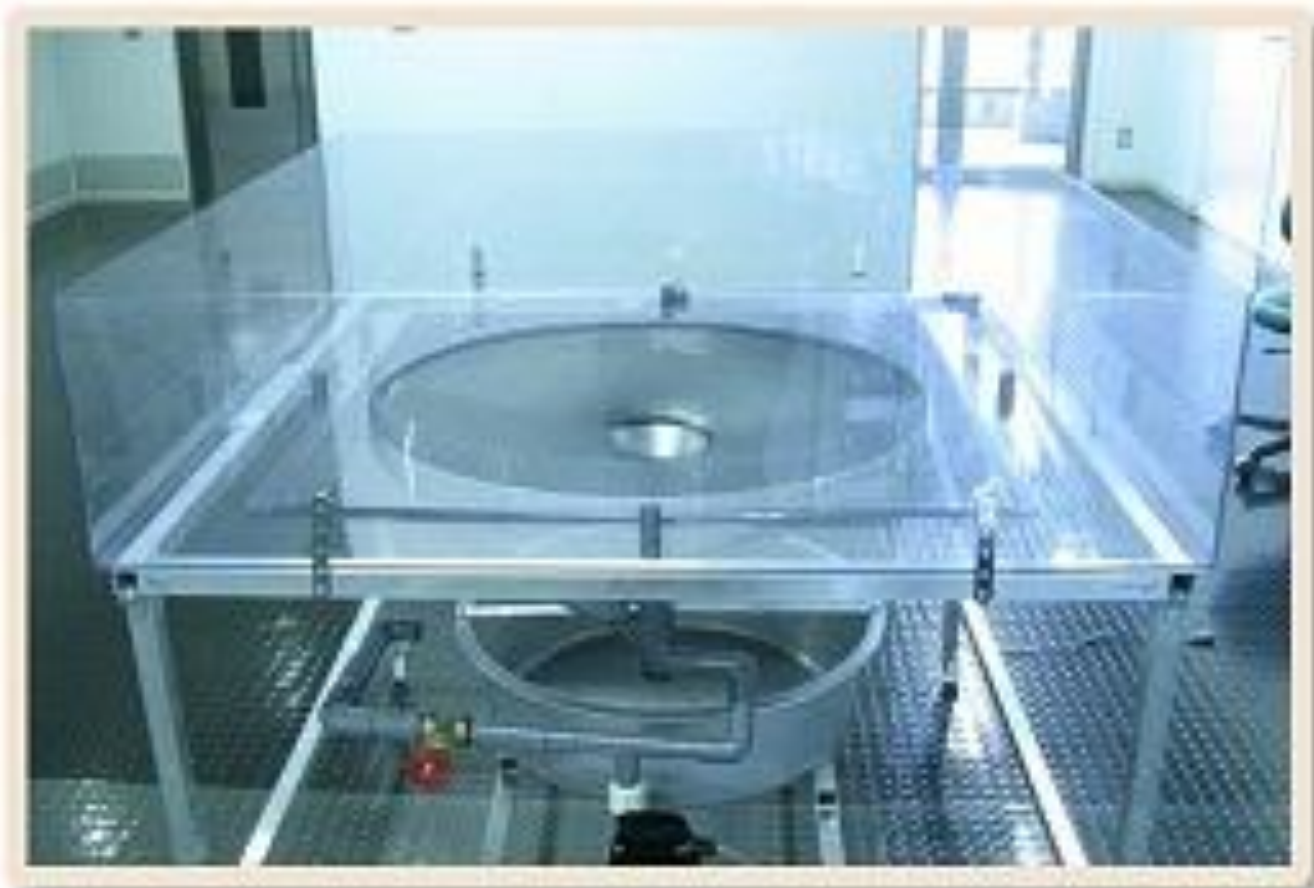
期待した結果が得られなかった原因として、このように孤立した渦巻銀河の存在が上げられる。  
近くに形を歪ませるような目ぼしい天体がないのに、きれいな二本腕を形成している。



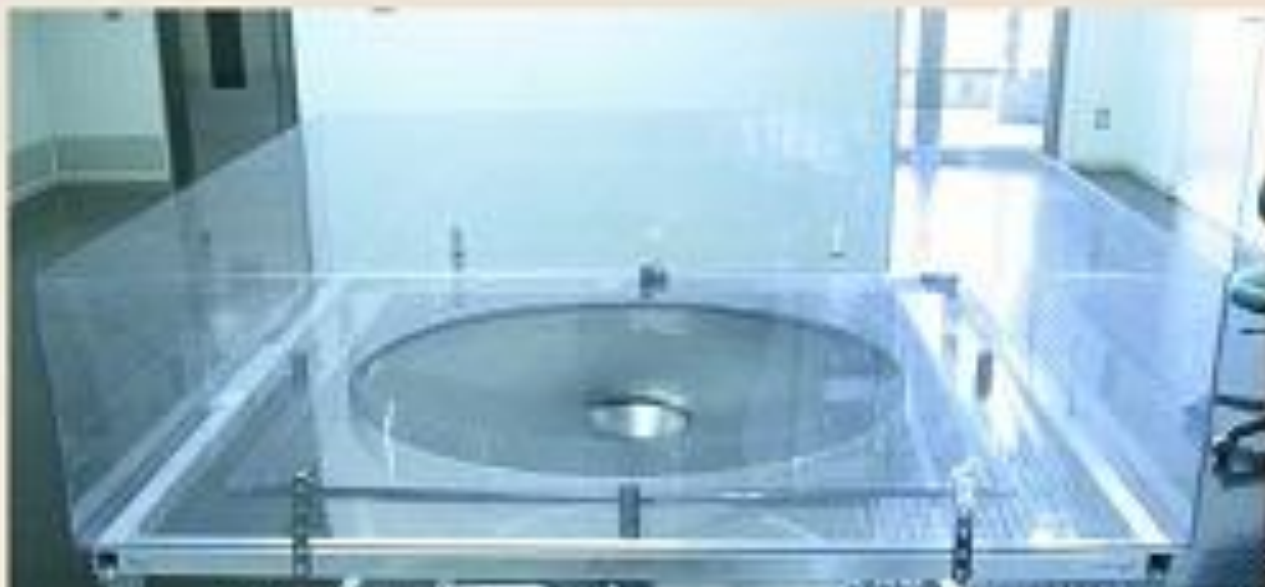
こちらは近くに銀河があるにも関わらず対称性の高いフロキュレント銀河となっている。  
このように、今回定義した歪み度 $\Gamma$ だけでは渦巻銀河の渦状構造の様相を議論するのは難しそうである。



これまでの結果は水槽の二号機までを用いた実験と考察だが、今回新たに三号機を制作した。  
実験結果などはまだまとめられていないが簡単に紹介する。







中心の黒い部分はゴム膜であり、下図のような形をしている。これによって中心部分ほど流体の流れ込みが早くなり、天体における重力ポテンシャルを表現できている。

# 銀河の流体近似

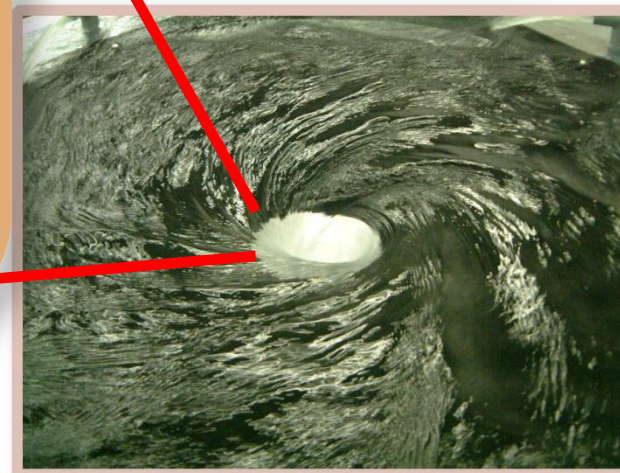
連続の式  $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \nabla n = 0$

運動方程式  $\frac{\partial n}{\partial t} + (u \cdot \nabla)u = -\nabla \Phi - \frac{1}{\rho} \nabla P$

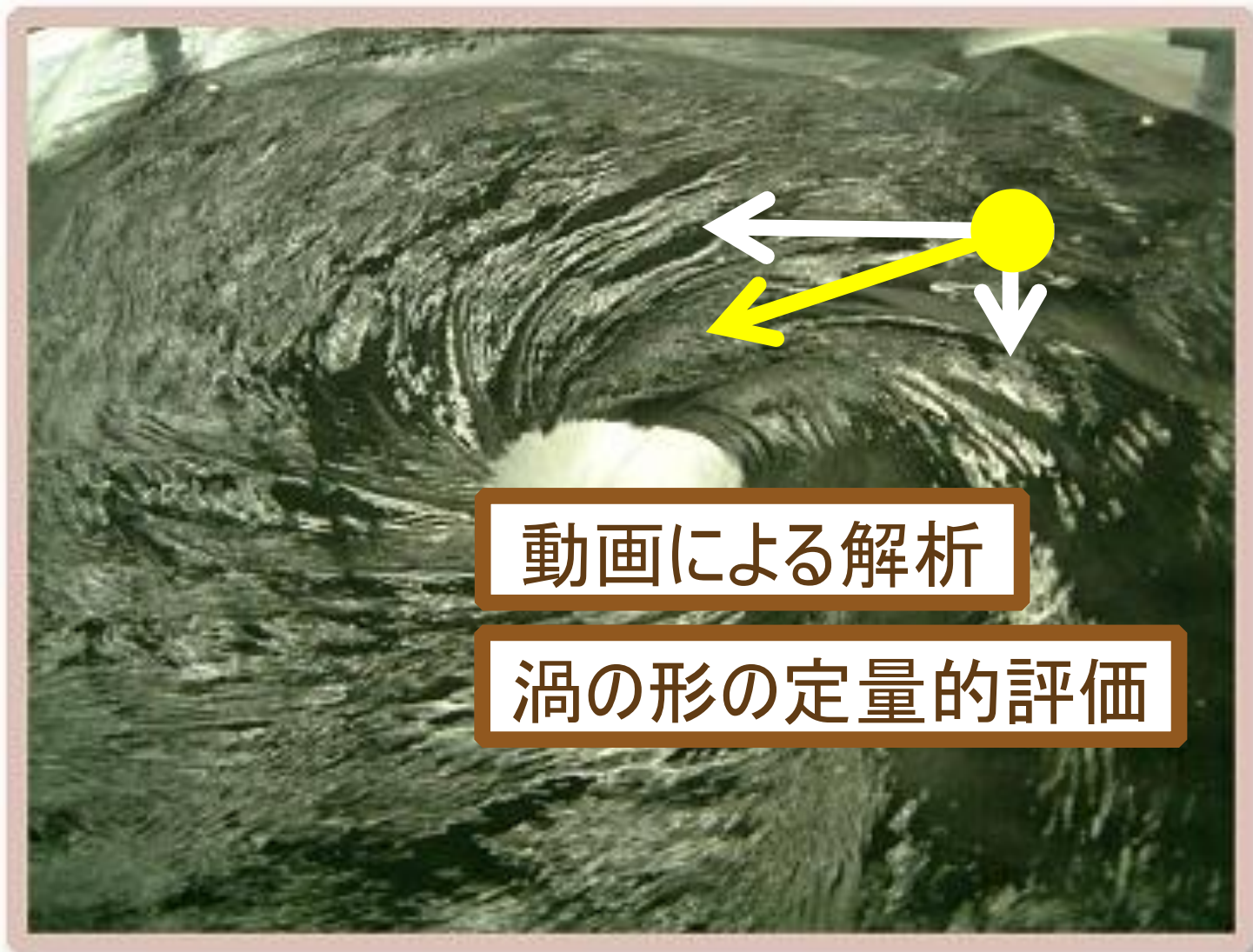
状態方程式  $P = c^2 \rho$

ポアソン方程式  $\Delta \Phi(r) = 4\pi G \rho(r)$

## 今後の課題



実験について紹介してきたが、そもそも物理実験としてどの程度水槽と銀河を比較することができるか考えなければならない。ここは並べて議論できる、ここはまったく違うので比較は難しいといったことである。そのような議論をするためには、水槽と銀河の双方について方程式による議論が必要である。



動画による解析

渦の形の定量的評価

また、渦の様子を定量的に評価するためにも、動画等による解析方法も検討中である。

# 2012年 夏の学校 発表のまとめ

- 宇宙流体実験の紹介
- 水槽の渦模様の定量的評価
- 方程式による理解

今回の講演のまとめである。  
まず、長年アイデアだけは暖められていながら実現できていなかった宇宙流体実験についての紹介を行った。  
今後の課題としてはこの二点が優先される。