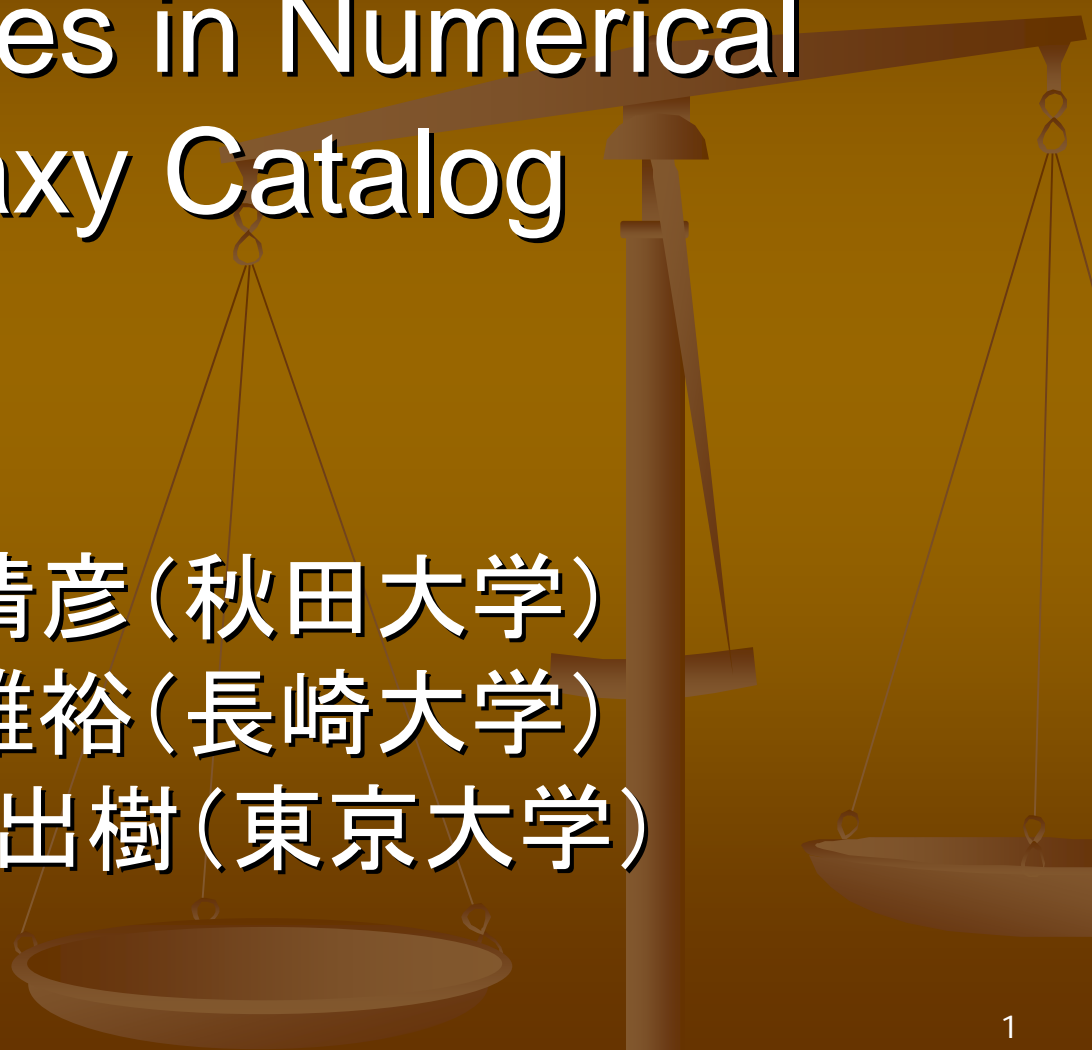


Analysis of Spatial Distribution of Galaxies in Numerical Galaxy Catalog



上田晴彦 (秋田大学)
長島雅裕 (長崎大学)
矢作日出樹 (東京大学)

本研究の目的

数値銀河カタログ「 ν GC」

⇒ 銀河の空間分布を定量化する

観測によって得られる現実の銀河の空間分布と比較

⇒ ν GCがどの程度観測を再現出来ているか、を調べる

このような比較を通じて

- ・我々の銀河形成の理解がどのレベルのものか？
- ・重力不安定説など、現在の標準理論に欠点はないか？

について考察を深める。

以上は建前の目的

本当の目的

人生も残り少なくなってきた

⇒残りをなるべく楽しみたい。

∨ GCを楽しもう！！

本日の内容

以下の4つ。(キーワード「楽しむ」)

1) 空間データを楽しむ

2) グラフ理論を楽しむ

3) ν GCを楽しむ

4) まとめと今後の楽しみ

1 空間データを楽しむ

観測位置の情報が付け加わったデータ

例) 森の中の木

木の高さ(データ) + その木の場所(観測位置)

特に

1) 位置情報のほうが、より本質的

2) 位置情報そのものがデータ

という場合を考える。

なぜ空間データが面白いのか？

通常の数値データ

自然科学の成立とともに注目

⇒その処理に関しては原理的な部分（特にデータの統計的扱いについて）は完成。

あまり楽しめない！！

空間データ

これまで全く注目されなかった。

⇒ 空間データを処理する手法は、ほとんど開発されていない。

十分に楽しめる！！

空間データが重要な役割を果たす分野



(1) 生態学

生存環境は必然的に空間的背景をもつ(縄張り)

(2) 地理学

行政的・政治的関心から、都市または都市内部の様々な施設の空間的配置に関心。

(3) 計算幾何学

コンピュータで幾何学問題を解く。

(4)天文学

銀河の空間分布

⇒ 個々の銀河の特性を無視すれば、まさに
空間データそのもの

⇒ 空間データを楽しむことができる！！

どのように空間データを処理するのか？

⇒ グラフ理論を応用

(2dFGRSの図)



2 グラフ理論を楽しむ

「グラフ」は、 p 個の頂点と q 個の辺からなる図形

⇒ (p, q) グラフ

習慣的にはグラフを線図で表し、それをグラフと呼ぶ。

(中学校で習った xy 平面におけるグラフとは少し意味が違うことに注意！！)

グラフ理論 = グラフに関する数学的理論

(グラフの例)



(星座とグラフ)



「星座」は銀河系内にある星を、適当につなげたもの

⇒宇宙空間内にある銀河を適当につなげると、
銀河を頂点とするグラフが出来る。

空間データ・グラフ理論・銀河が結びつく！

以下、グラフ理論を少し詳しく見ておく。

グラフの行列表現

p 個の点を持つラベル付けされたグラフ G を、考える。

G の隣接行列 $A=[a_{ij}]$ とは $p \times p$ 行列であり、その成分が以下の性質を持っているものである。

$$\begin{array}{ll} v_i \text{と} v_j \text{が隣接している} & \Rightarrow a_{ij}=1 \\ \text{それ以外} & \Rightarrow a_{ij}=0 \end{array}$$

これからわかるように、対角成分は常に0である。

(グラフと行列の例)



グラフ

⇒つながり具合(隣接行列)によって、表現できる。

行列は線型代数学によって、その理論的性質がよくわかっている。

⇒グラフを行列表現することで、グラフの持つ様々な性質が計算可能となる。

3 ヌ GCを楽しむ

近年のコンピュータの性能アップ

+

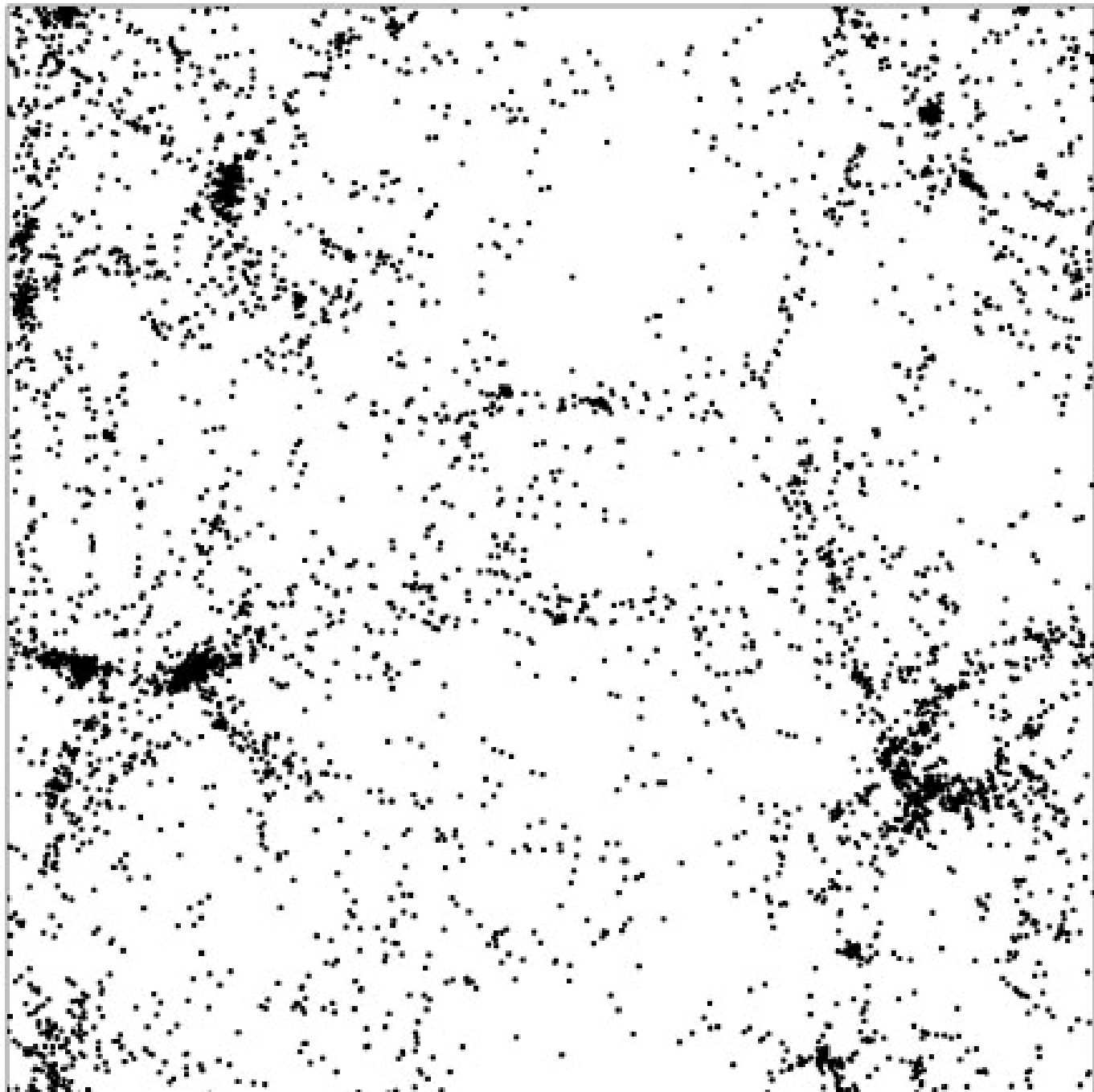
最近の銀河形成に関する研究の進展

↓

数値銀河カタログの作成

日本でも長島氏・矢作氏らの努力によって、
数値銀河カタログ「ヌ GC」が作られる。

楽しまなければ損！！

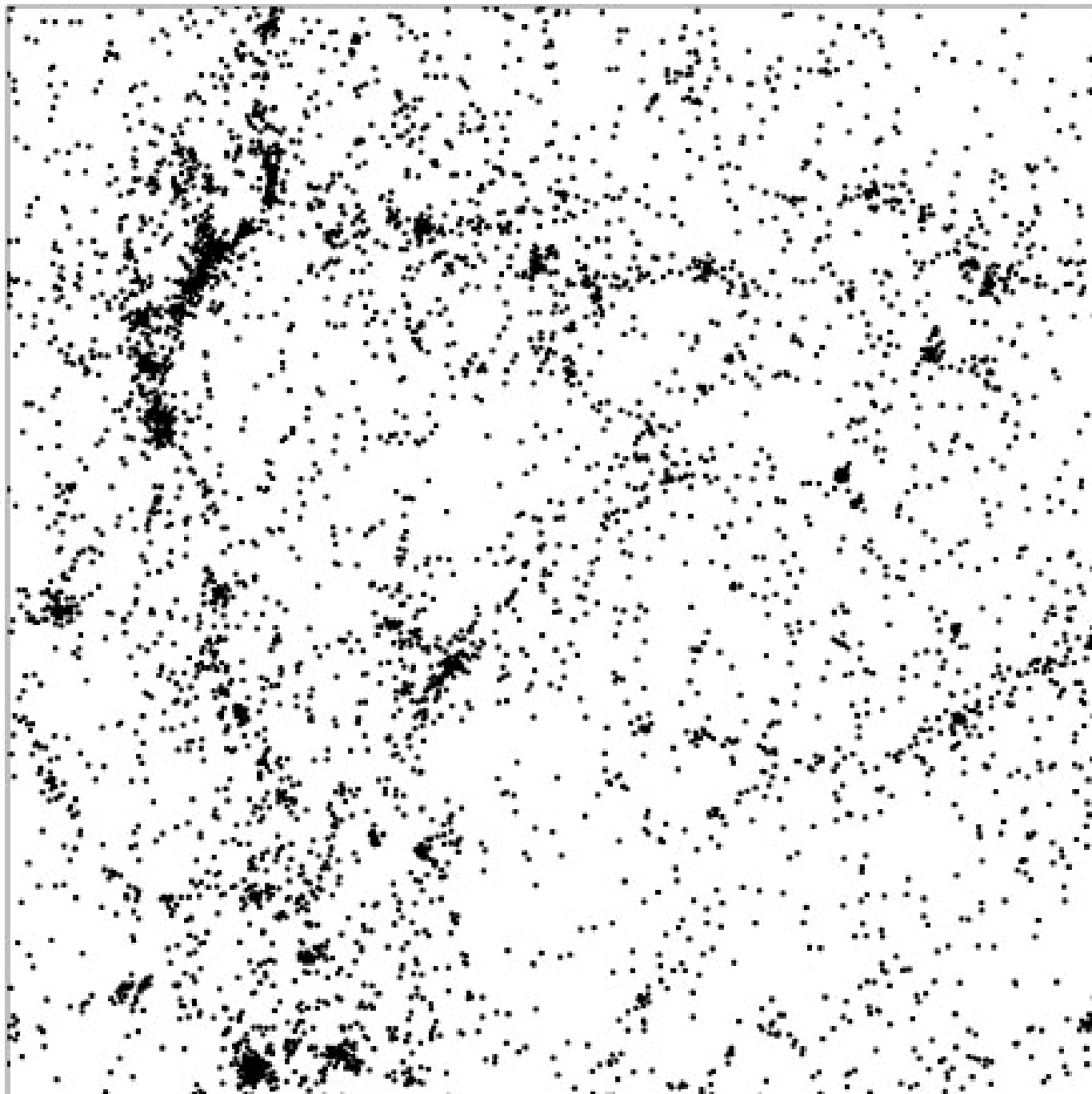


これまでの上田の研究

「理論モデルに基づく数値シミュレーション
における銀河の空間分布」
(単純なN体シミュレーション)

「実際の観測データ」
(東北大学の竹内努氏に協力を仰ぐ)

⇒理論モデルが観測を再現するか？



銀河の空間分布を調べるためには、定量化する必要がある。

定量化の方法

- 1) 相関関数
- 2) ジーナス統計
- 3) ミンコフスキー関手
- 4) グラフ



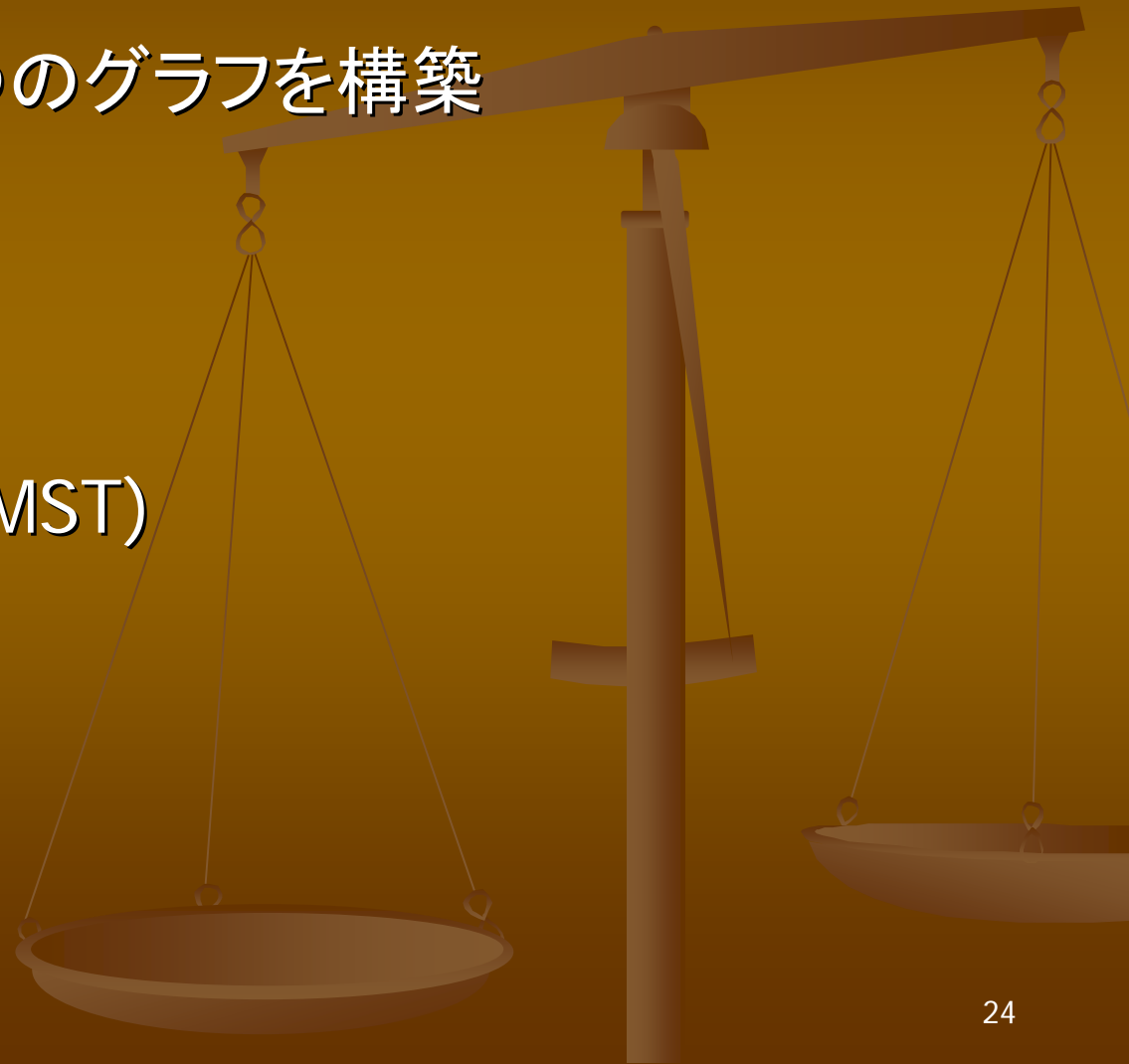
与えられた銀河分布から、様々なグラフを作ることが出来る。

ここでは代表的な3つのグラフを構築

1) ドローネの網

2) 全域最小木 (MST)

3) 星座グラフ

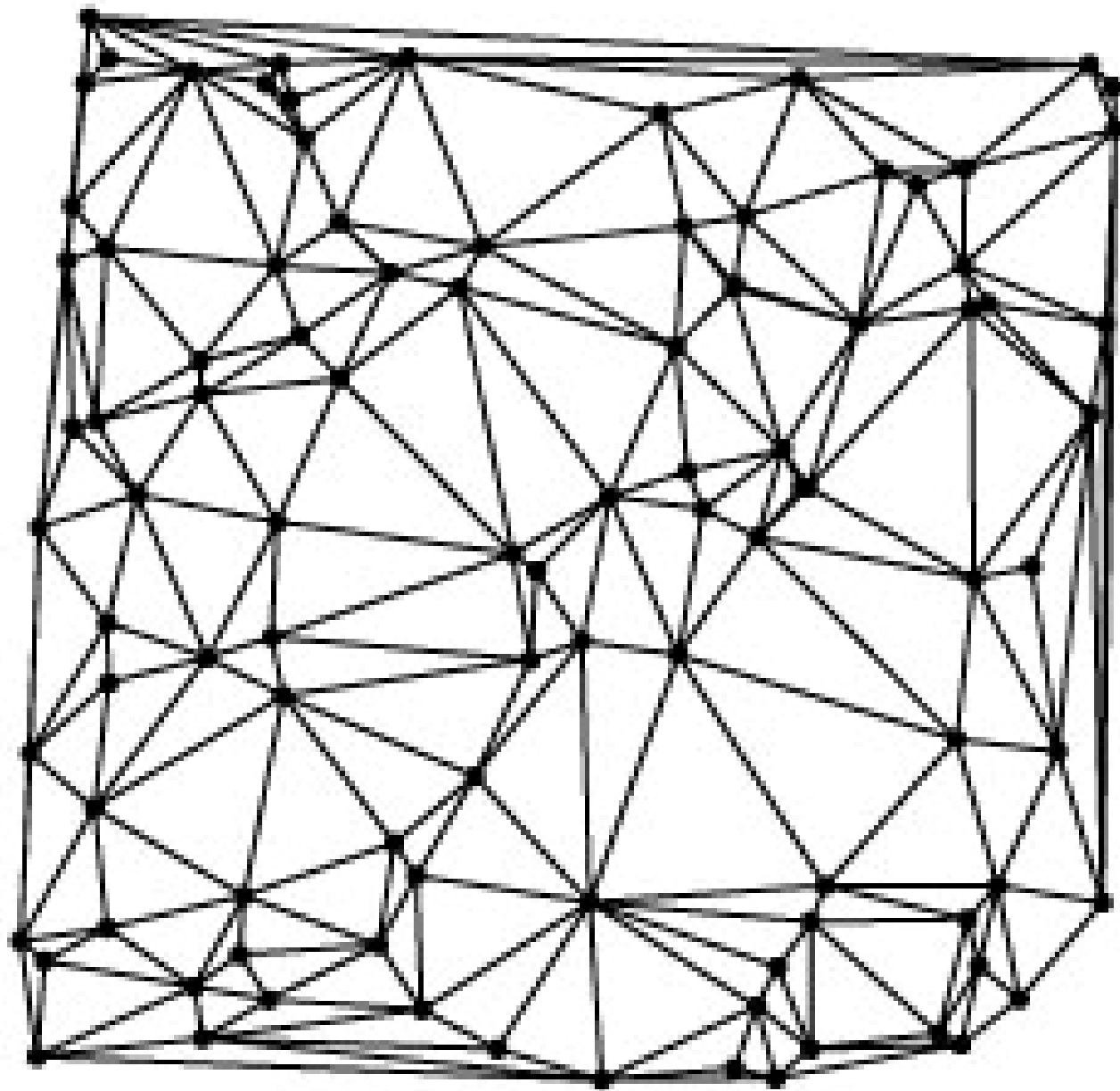


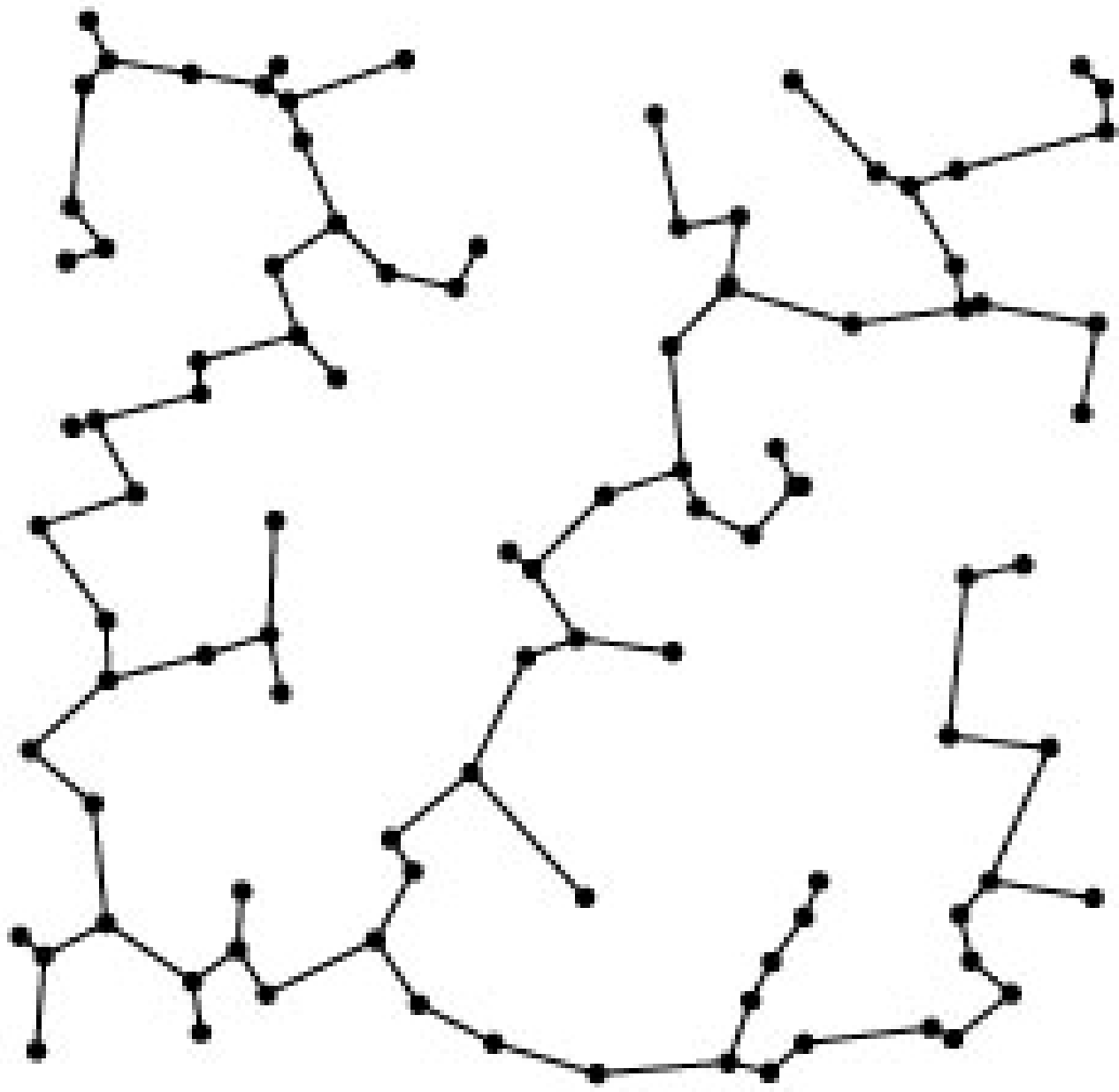
(ボロノイ図の例)

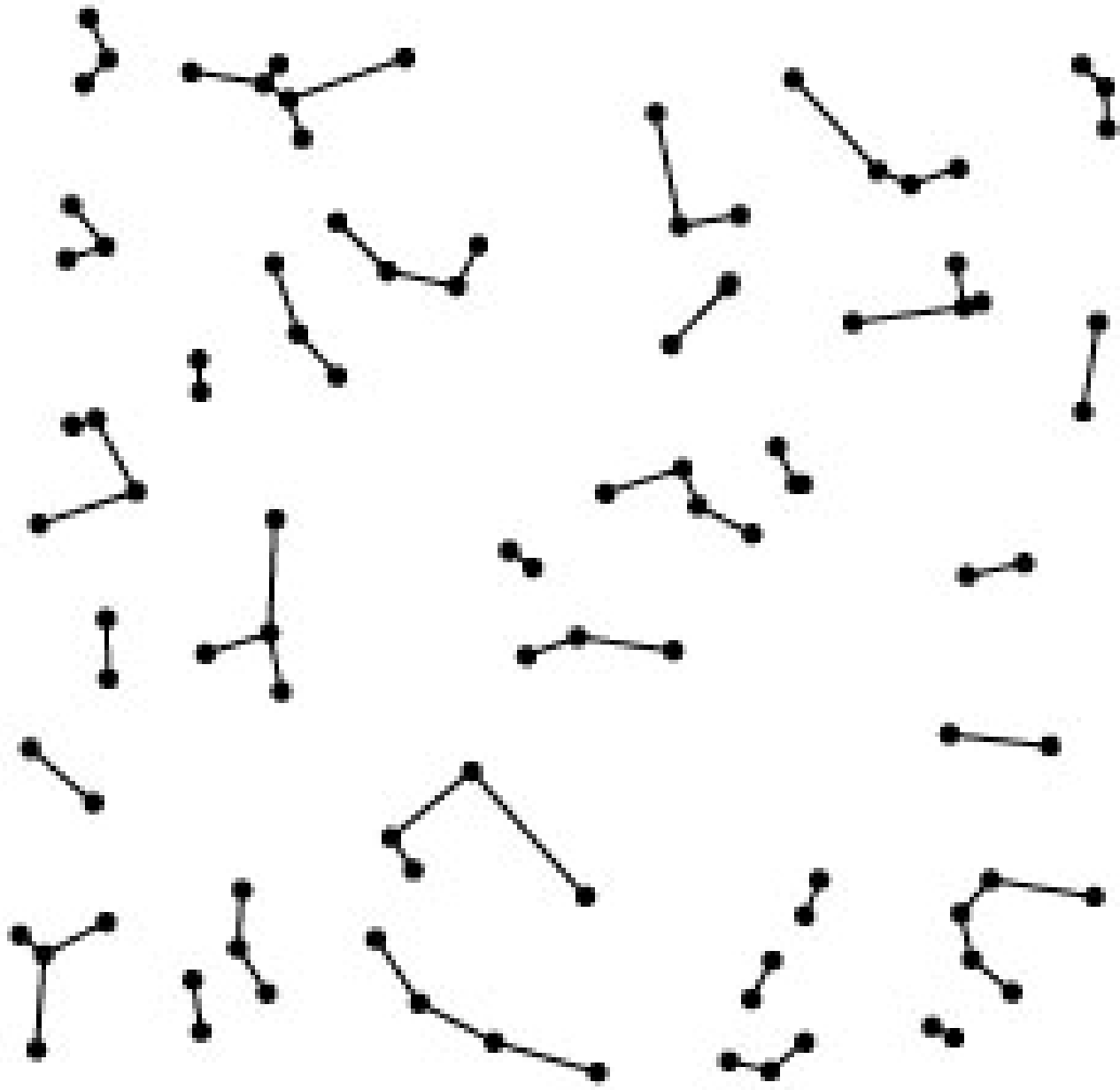


(ボロノイ図とドロナーの網の関係)









これらが光を当てている性質は？

1) ドローネの網

影響領域の推定

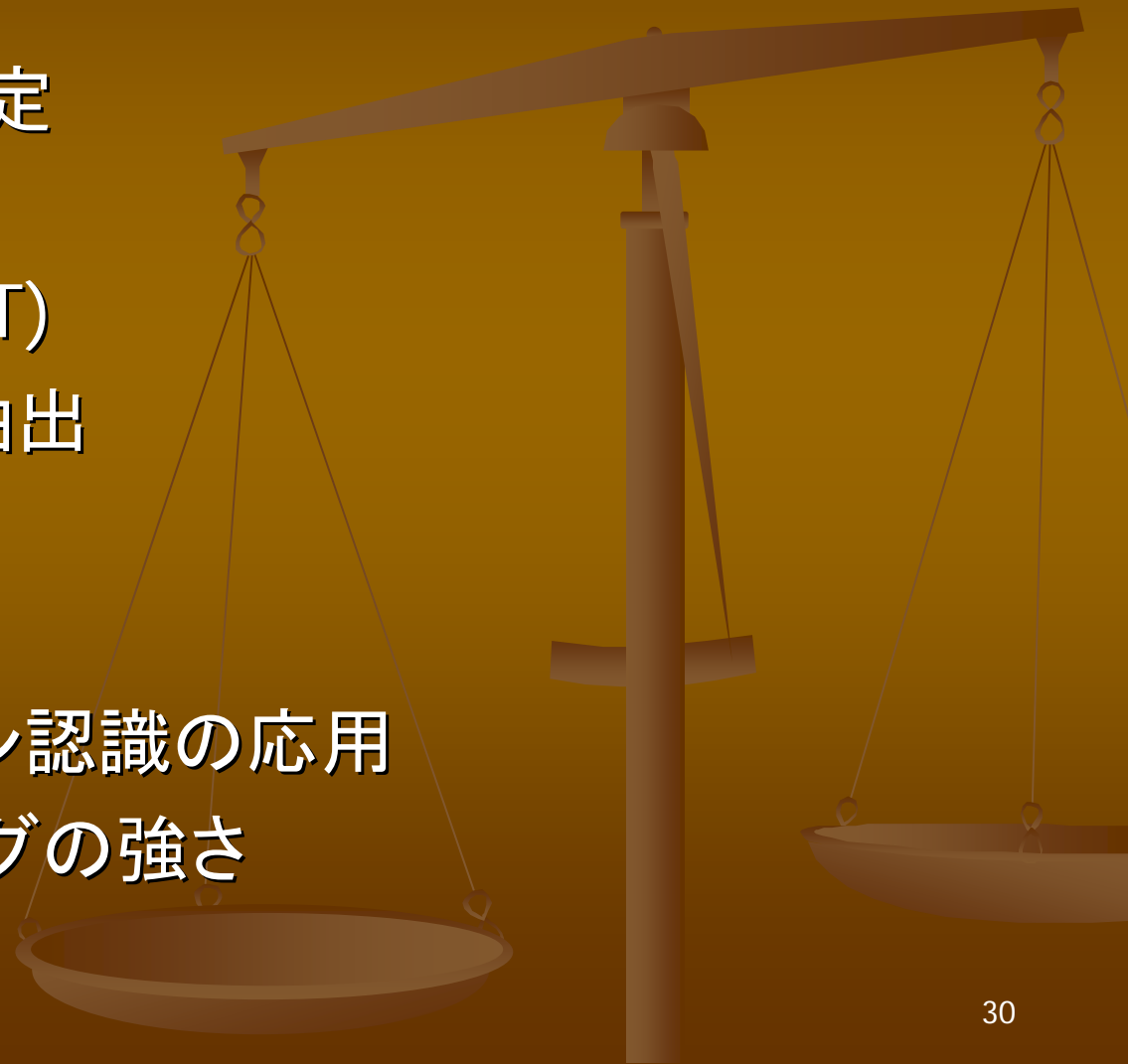
2) 全域最小木 (MST)

フィラメントの抽出

3) 星座グラフ

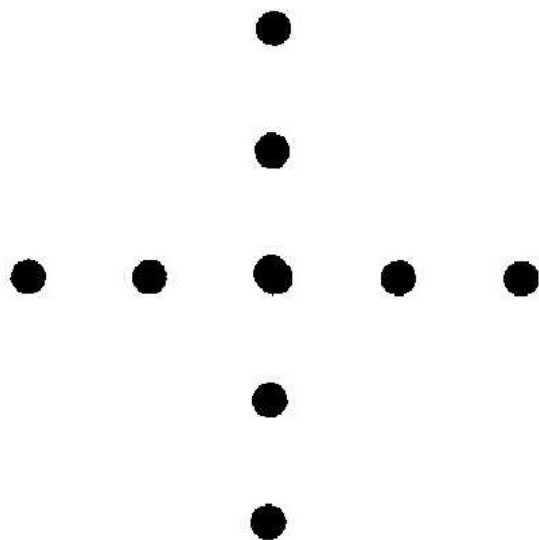
視覚のパターン認識の応用

⇒ クラスターリングの強さ

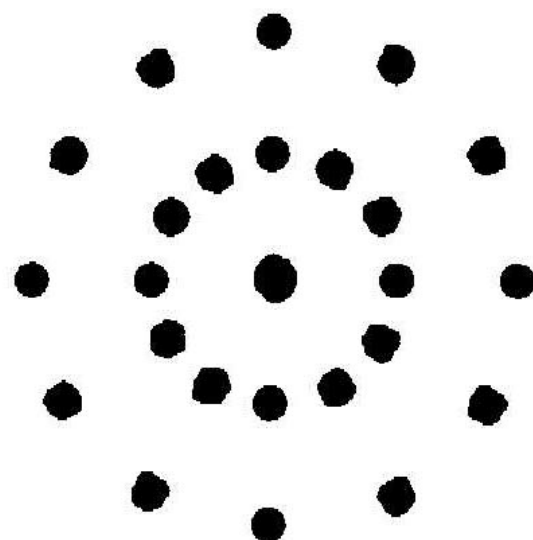




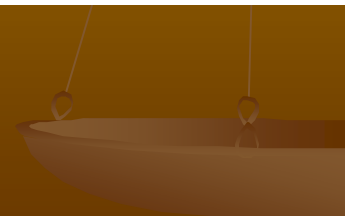
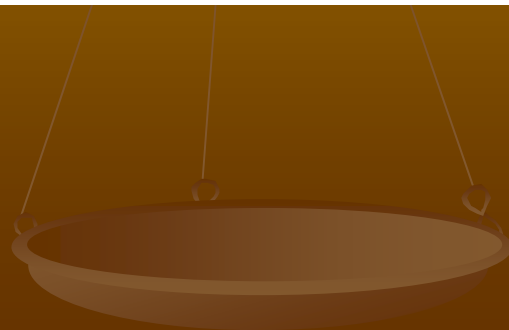
☒ 1



☒ 2



☒ 3



解析

以下の3つのカタログから、銀河の空間分布を定量化

- 1) 2dFGRS (実線)
- 2) ν GC (short-dashed)
- 3) N-body (long-dashed)

定量化の方法として、先に上げた3つのグラフを使う。

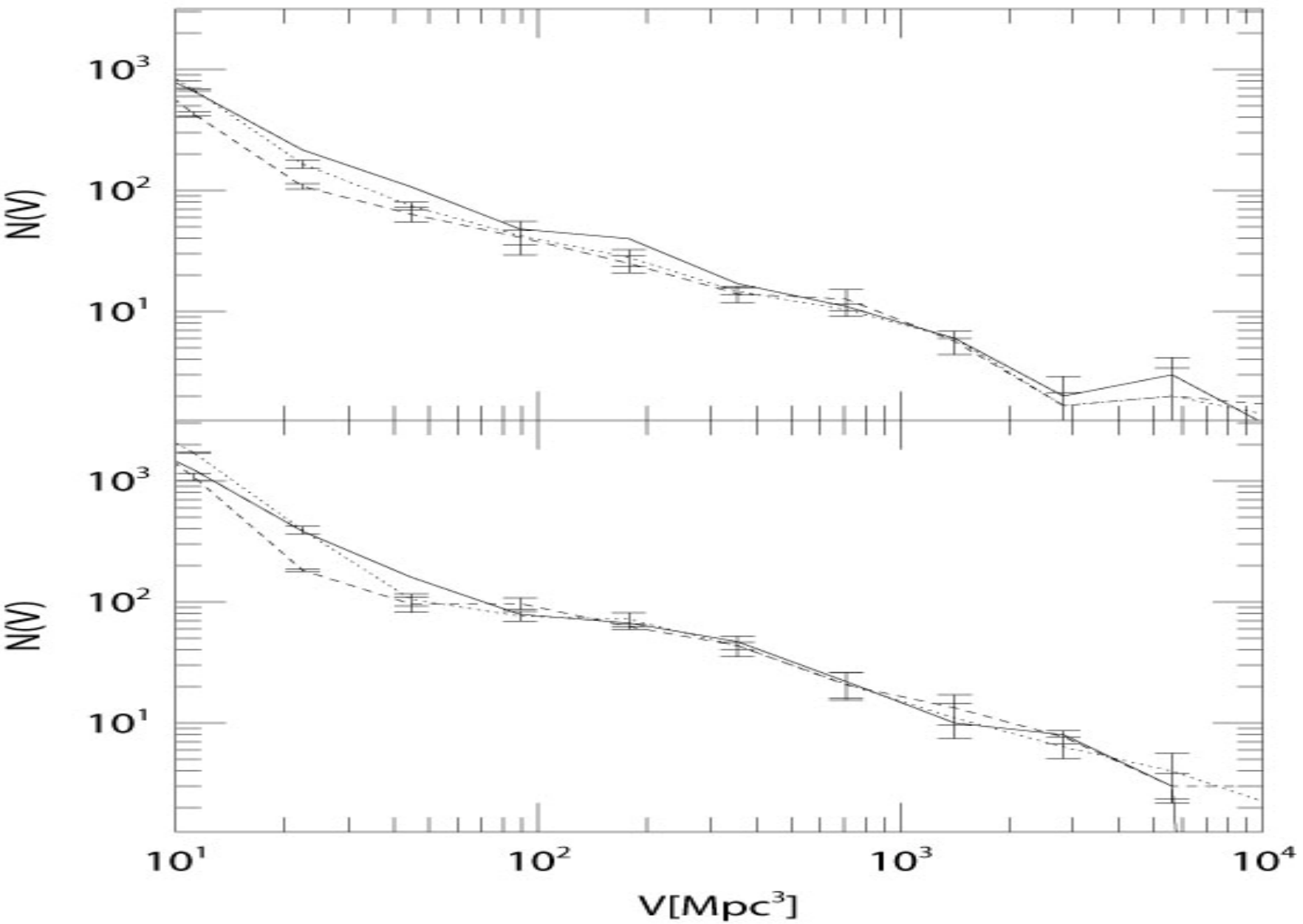
解析結果

1) ドローネの網

4面体の面積 V の分布関数を調べる。

結果

あまりはっきりしないが、N-bodyだけはかなり分布が違う。



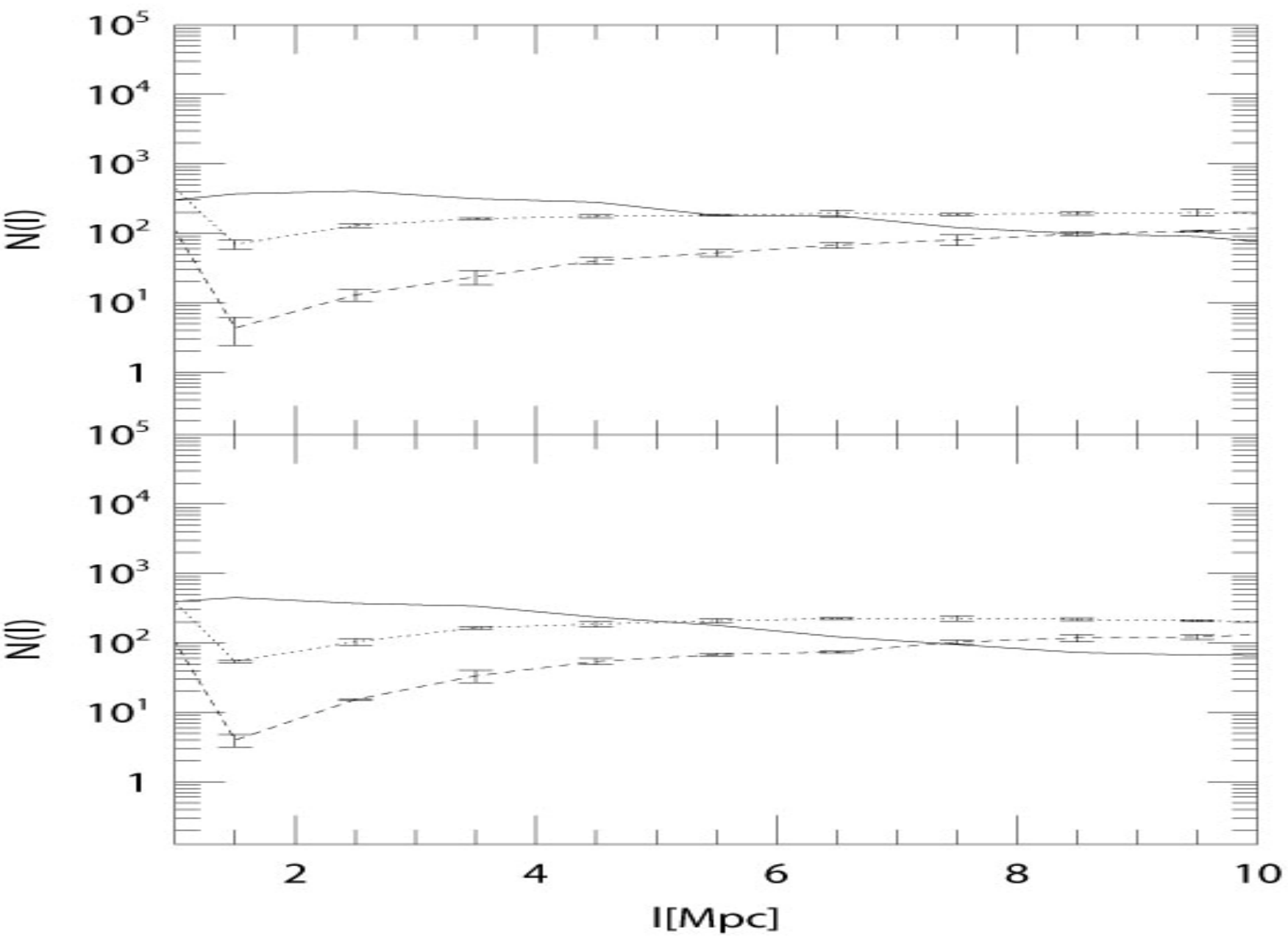
2) MST

各枝の長さの分布関数を評価する。

結果

3つのカタログから得られる銀河の空間分布は、相異なることがはっきりわかる。

ただしN-bodyに比べて、 ν GCは2dFGRSに近い。



3) 星座グラフ

重み付星座グラフを行列表示

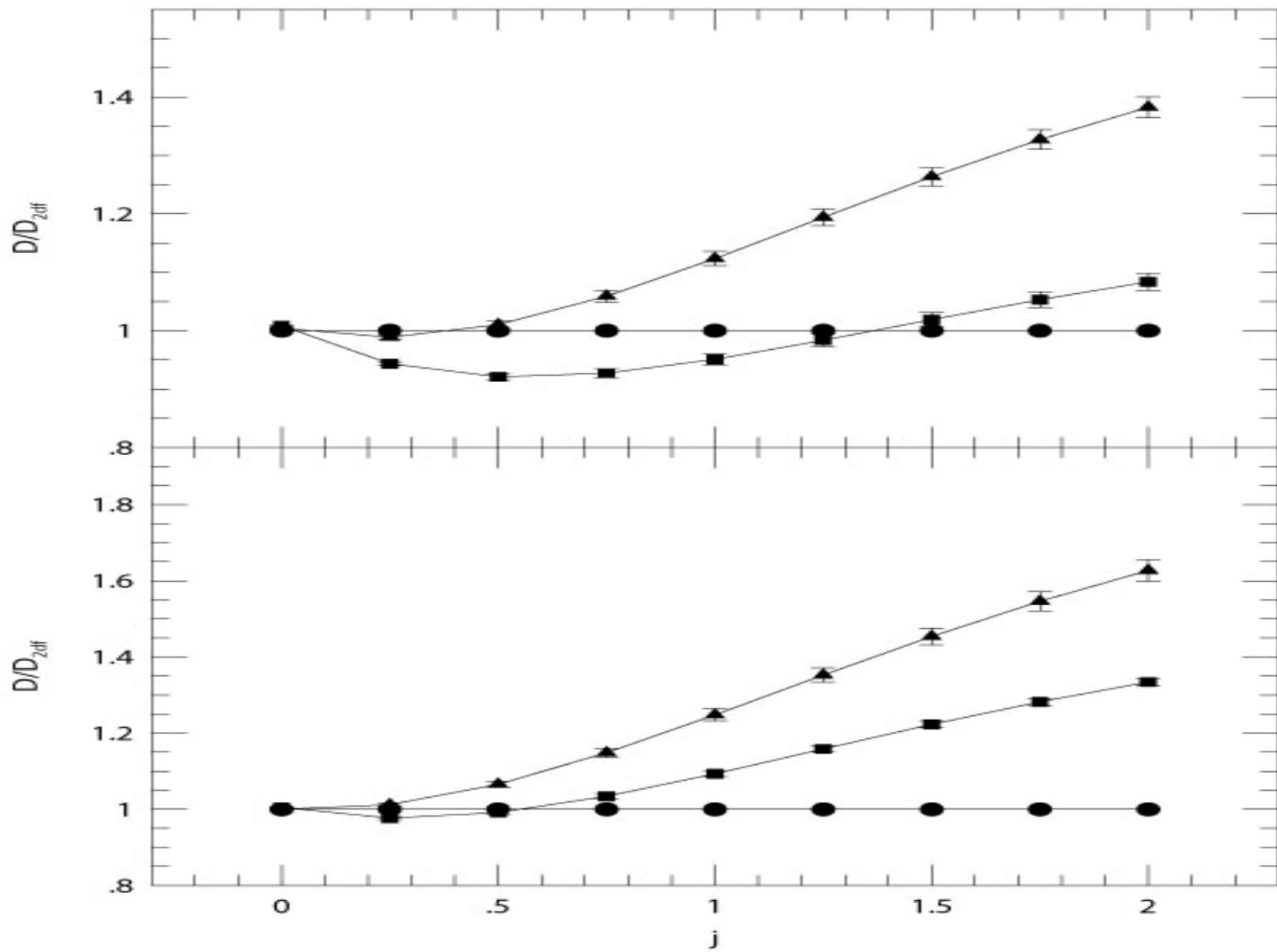
⇒ 固有値の分布関数

⇒ 平均絶対偏差(平均偏差)を評価

結果

N-bodyに比べて、 ν GCは2dFGRSに近い。

ただし、 ν GCも2dFGRSを完全には再現しない。



4 まとめと今後の楽しみ

現時点までの解析で、 ν GCが単純なN体計算の大幅な改善につながっていることがわかった。(ただし、完全には一致しない。)

考えられる理由

- 1) 銀河形成に関する知識が、まだ十分でない？
- 2) 観測が十分ではない？
- 3) 標準理論を越える、新しい物理が潜んでいる？

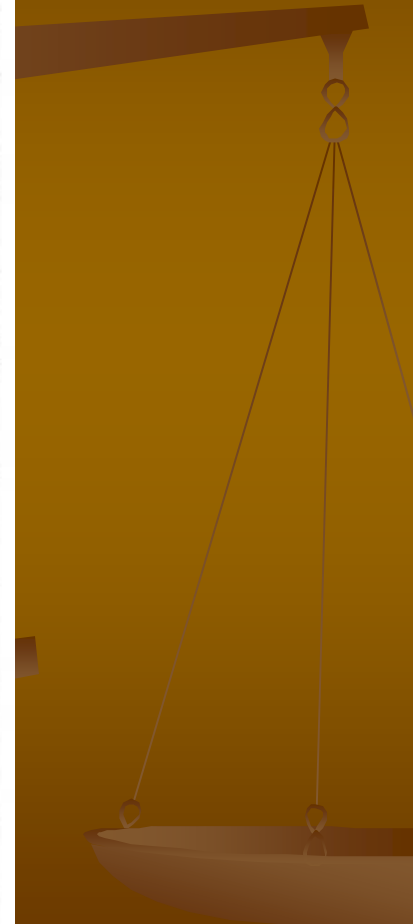
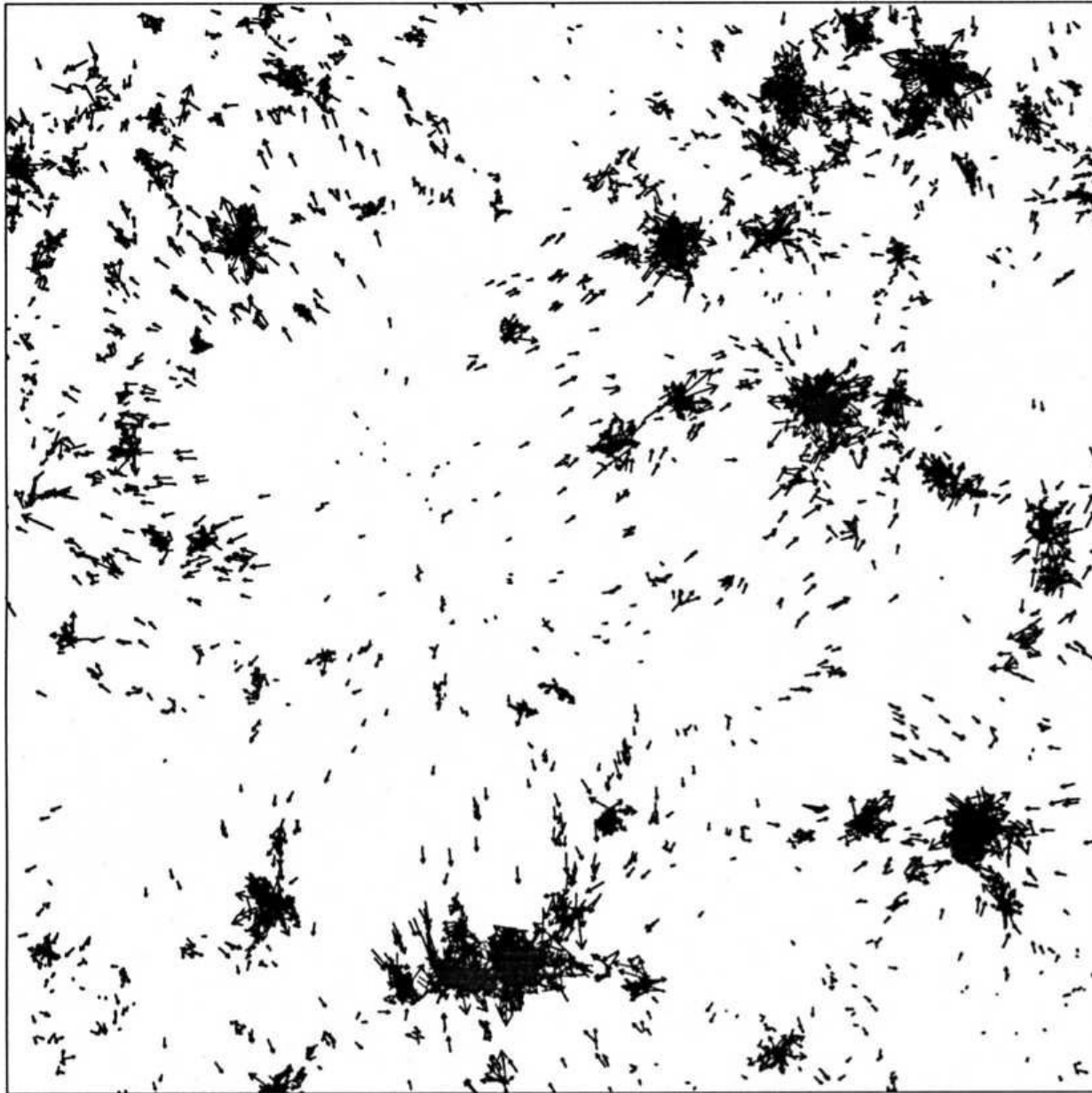
どの可能性が高いかについては、現時点では不明。

観測カタログおよび数値銀河カタログがバージョンアップするまで、しばらく待ってみたい！！

⇒銀河の空間分布に関する研究は、一応は完了

もう少し別の観点から、再度調べてみてはどうか？

⇒今後は、銀河の速度場に関する研究を楽しむつもり。
(ベクトル型の空間データ)





♪ GCと一緒に楽しみましょう！！