

# センサーネットワークの位置決めのための 音響測距の実装と分散型アルゴリズムの 提案

---

東京大学大学院社会基盤学専攻  
マテリアル工学専攻  
東京大学地震研究所

許 国豪  
井上純哉  
本多弘明  
小国健二

# 計測地震工学

---

## □ 定義

- 実験・計測の新手法開発を起点とし、  
計測→数値シミュレーション→制御により、  
地震に関連する工学的問題の解決を図る
-

# 計測地震工学：当面（3～5年）のターゲット

---

## □ 構造物を対象に・・・

構造物に1000個のオーダーのセンサーを付けて計測し、うまく解析することで構造物の耐力、崩壊過程、構造部材の特性、損傷部位の予測精度は向上するか？

## □ 計測装置、計測＋逆解析の方法論の開発

1000個のオーダーのセンサーの制御・データ転送？  
逆解析のためには、何をどの精度ではかる（計る・測る・量る）？

# 自律型ネットワークセンシングプラットフォーム

---

## □ MOTE

- 複数のセンサ
- 無線通信
- 1チップマイコン(AVR)にOS, 通信・計測を制御



# 計測＋数値シミュレーション

---

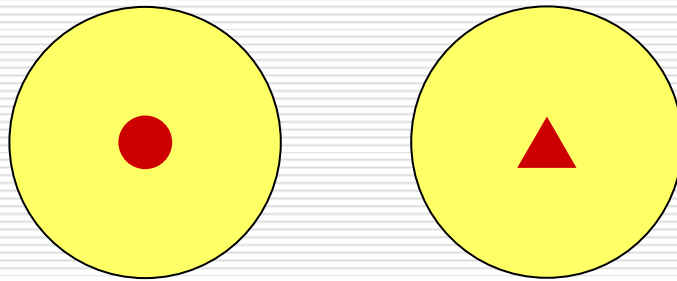
- 構造物の壁・床・天井にセンサを大量に設置
  - 振動（波動伝播）計測
  - 逆解析による損傷位置同定
  
  - 稠密計測 ⇒ 高精度な結果・・・本当？
    - 何をどのように測れば良い？
-

# やりたいことは・・・： 境界上での計測から 内部の構造を逆解析

---

## □ 例題

- 角砂糖と水・石とカステラ・ガラスと水



## □ 性質の良い逆問題は？

## □ 推定精度を上げるには？

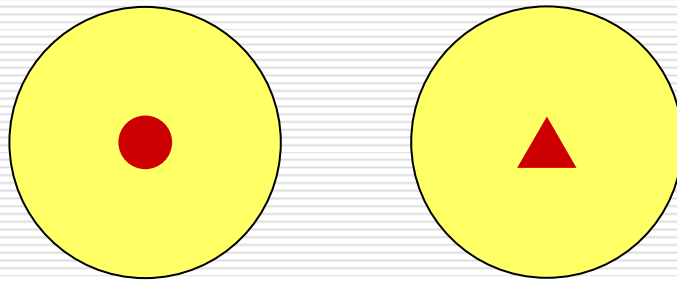
- 計測点の数・個々の計測点の精度・両方
-

# 双曲線型の問題が良い

---

## □ 答え

### ■ ガラスと水



□ 波動伝播を測ると良い(他はちょっと・・・)

□ 多数の計測点・高い時間分解能(サンプリングレート＋時刻同期)

---

# 制約条件とやりたいこと

- 計算資源はごくわずかか…
- 極めて省電力でなくては…



しかし，構造物の損傷同定で要求されることは

- 高いサンプリングレート
- 高い時刻同期精度

稠密計測による常時ヘルスマモニタリングは難しい



# 制約条件をちょっと緩めて・・・

---

- 計算資源を少々増やして・・・
- 電力消費も少々増やして・・・
  
- 高いサンプリングレート・時刻同期を目指す

稠密機動計測によるヘルスマニタリング

例：マンション・チェック隊

- 重要課題は「自動位置決め」と「時刻同期」
-

# 現在開発中のシステム

---

## □ 階層型センサネットワーク

### ■ GPSサーバ

#### □ PC+TCP/IP無線LAN

- 親機からのデータ収集, GPS測位計算, 子機の位置計算

### ■ 親機( 20台)

#### □ GPS+TCP/IP無線LAN+MOTE基地局

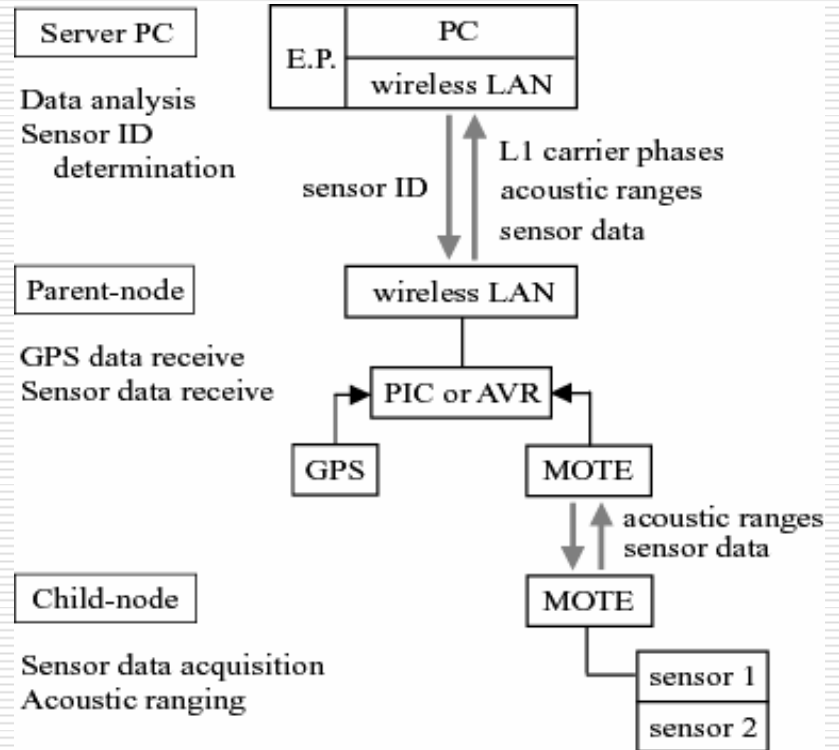
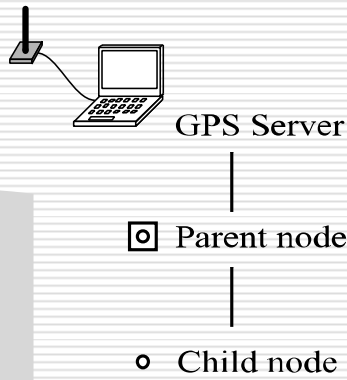
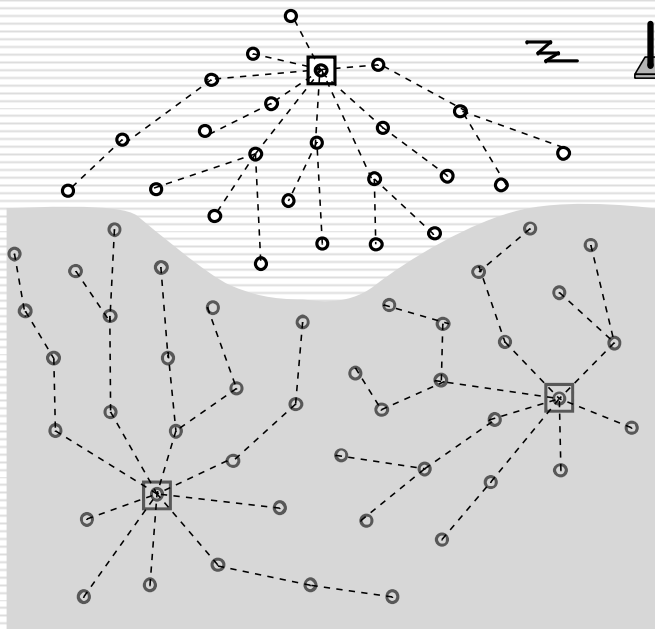
- 子機のデータ収集, データ削除・圧縮

### ■ 子機(1000台)

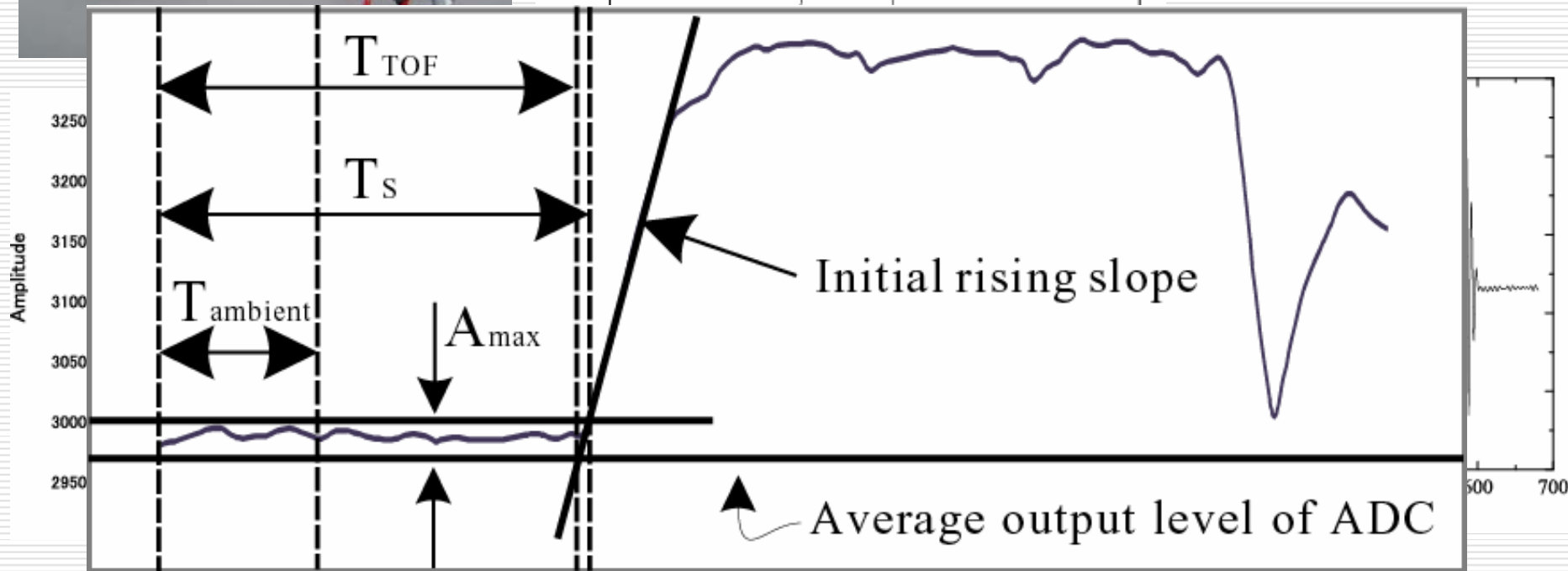
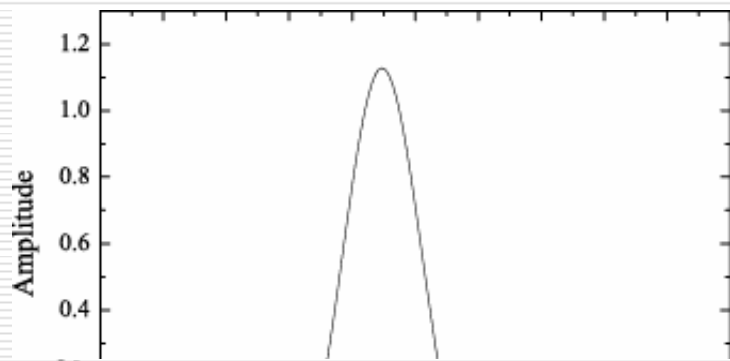
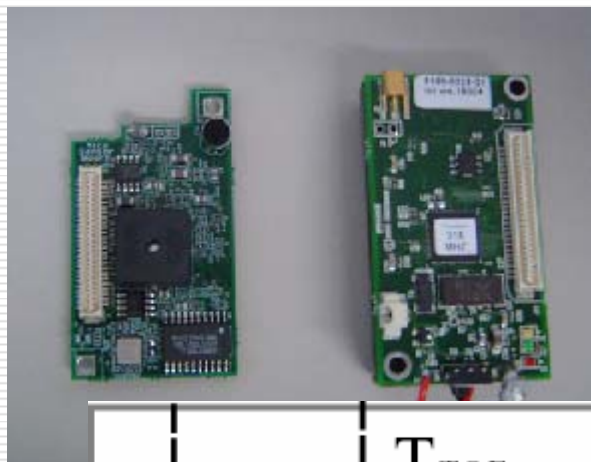
#### □ MOTE+センサ(加速度・温度・CO2・湿度・光・音)

- 親機にデータ送信, 子機同士の距離計測, その他の計測
-

# 絵にすると

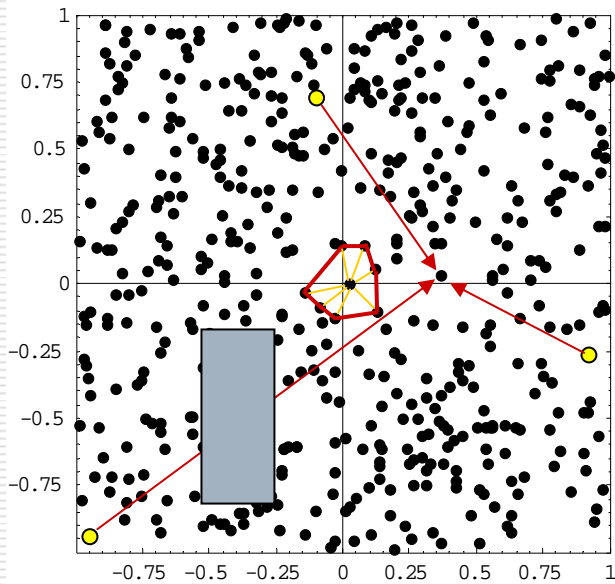


# Moteにおける測距の実装



# 距離計測→位置決め？

---



三点測量の問題： 誤差の蓄積  
障害物の影響

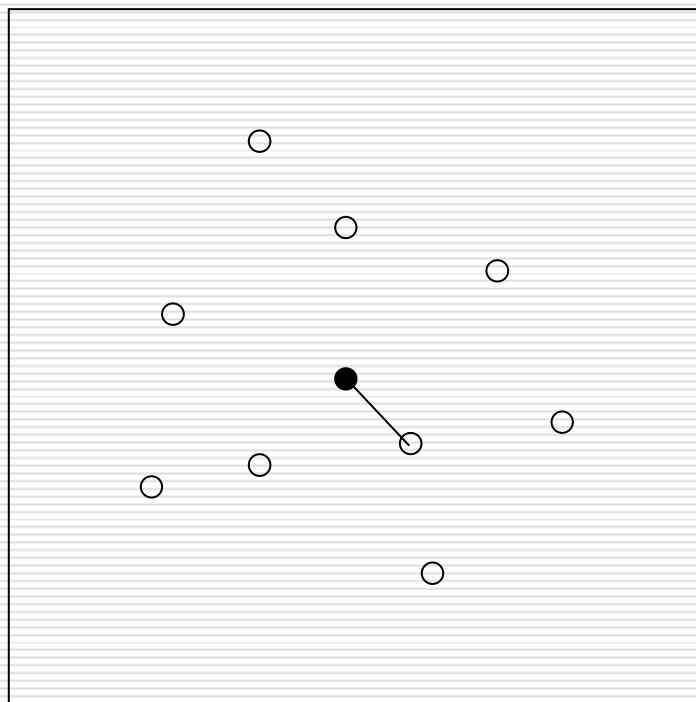
位置決めアルゴリズムは  
誤差の蓄積が少なく, Local  
な方法でない...

センサ間の距離 + 逆Delaunay分割  
→ Local Patchの構築, タイル貼り

---

# Delaunay クラスターの作り方

---



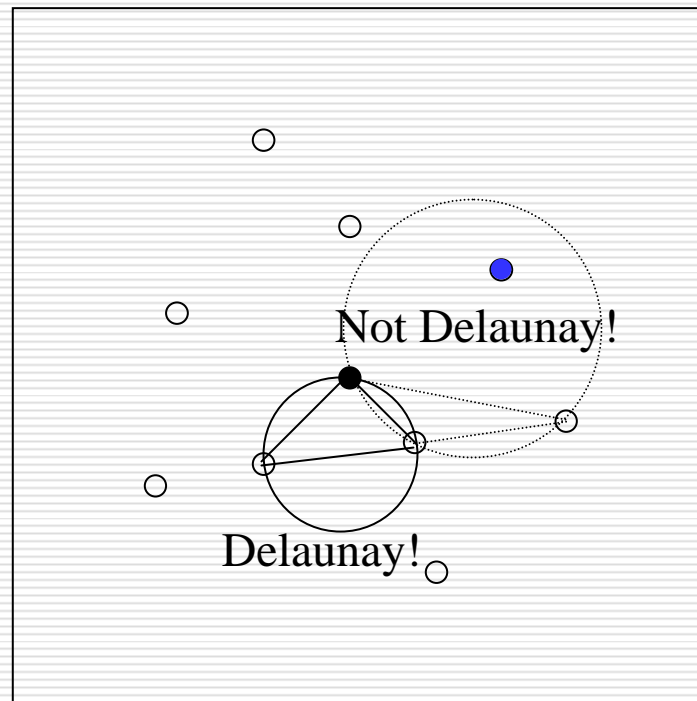
---

点をひとつ取り出し(黒丸), 一番近い点を見つける

# Delaunay クラスターの作り方

---

Delaunay三角形・・・外接円の中に他の点が入らない三角形

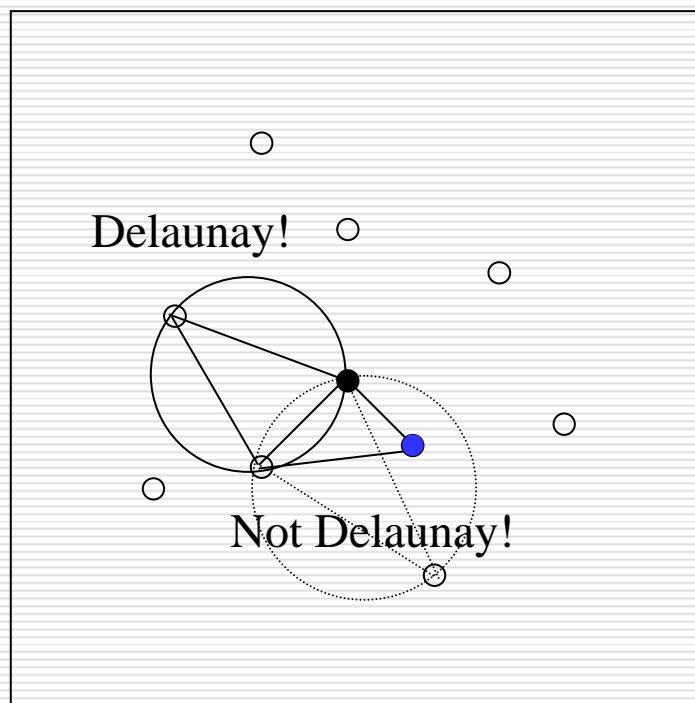


---

他の点をスキャンしてDelaunay三角形になればO.K.

# Delaunay クラスターの作り方

---



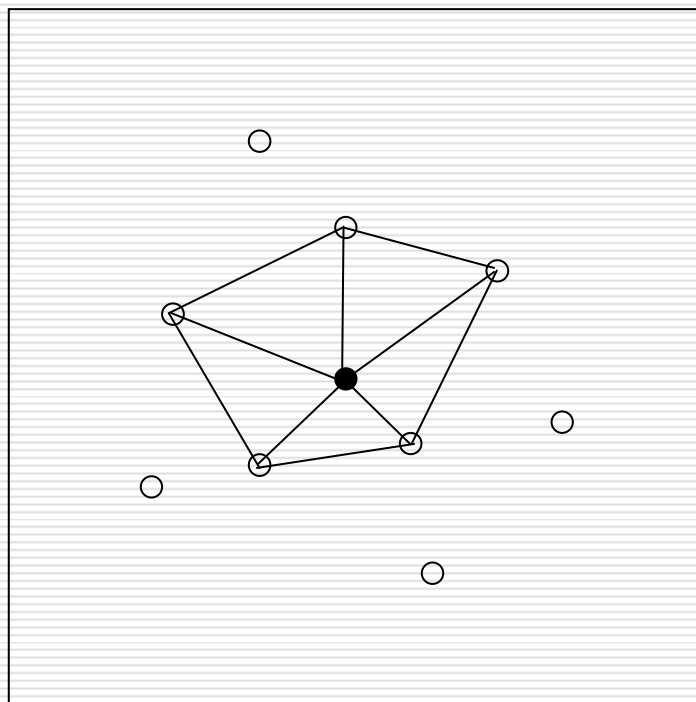
---

順次増殖



# Delaunay クラスターの作り方

---

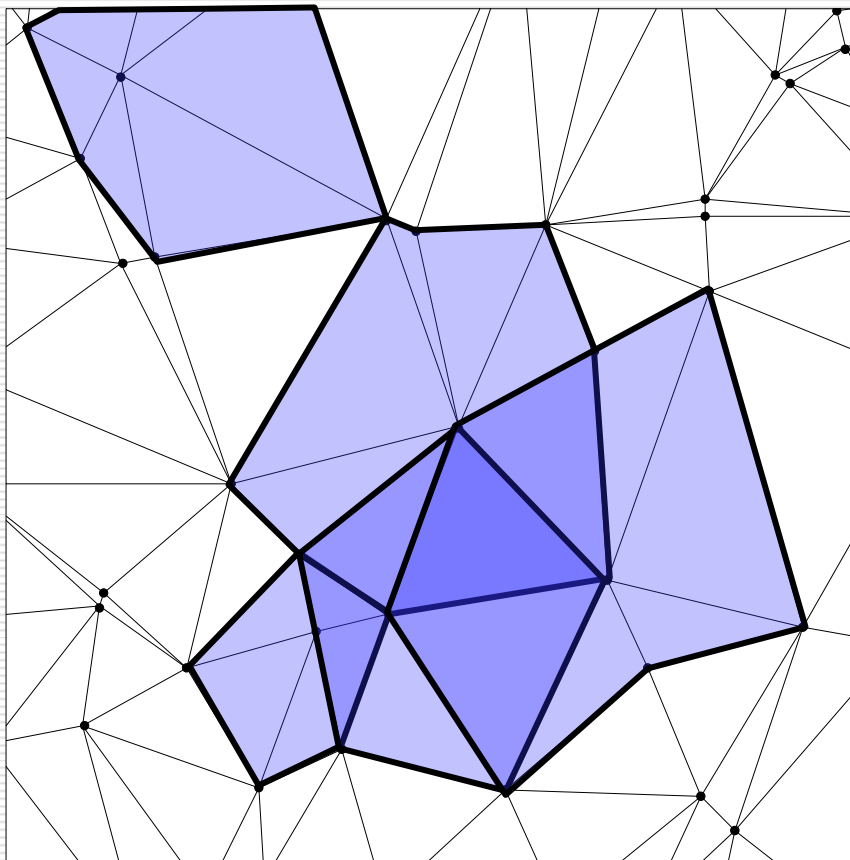


---

Delaunay クラスターの出来上がり

# Delaunay クラスターのつなぎ方 (実際の配置は・・・)

---



互いに重なり合う

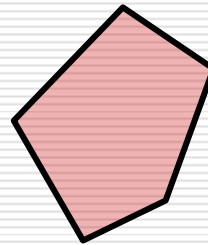
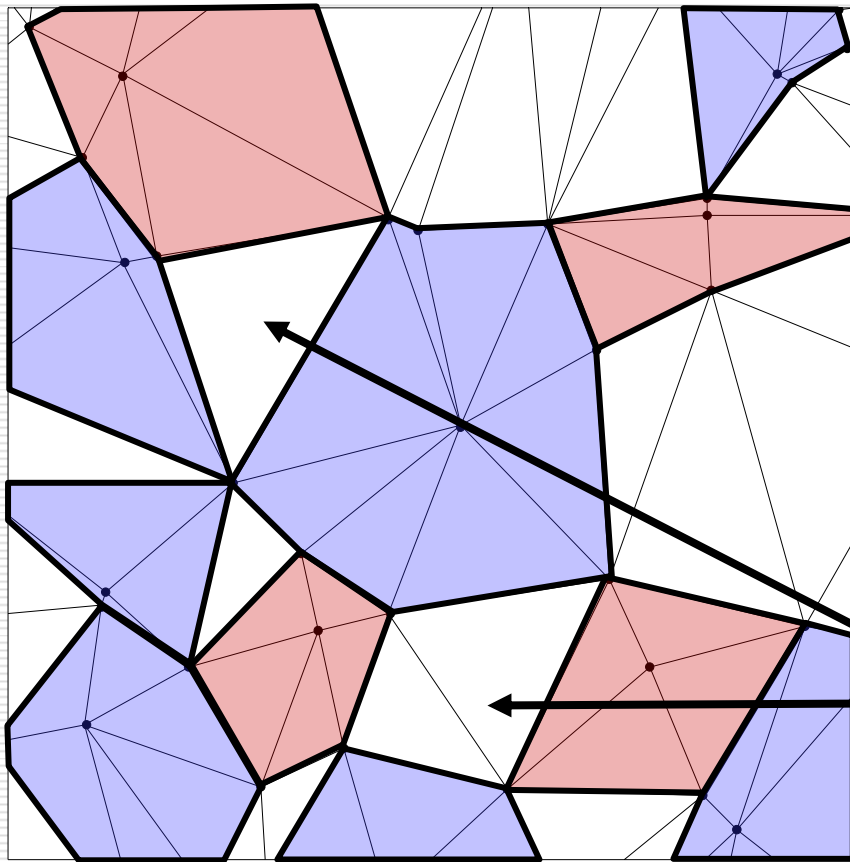
これでもいいけど・・・

効率が悪い

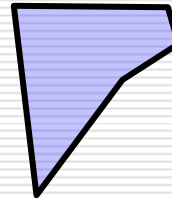
---

# Delaunay クラスターのつなぎ方 (クラスターを分類して重なりをなくす)

---



..... Atomic クラスター

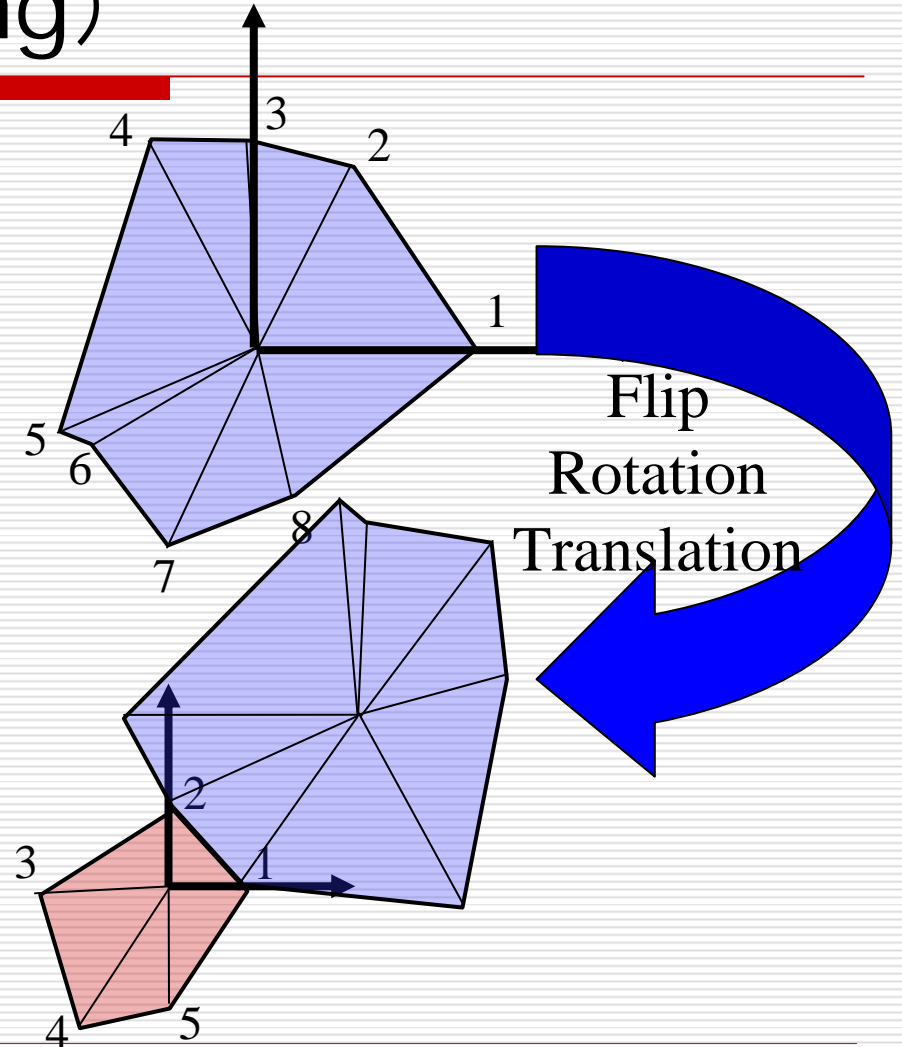
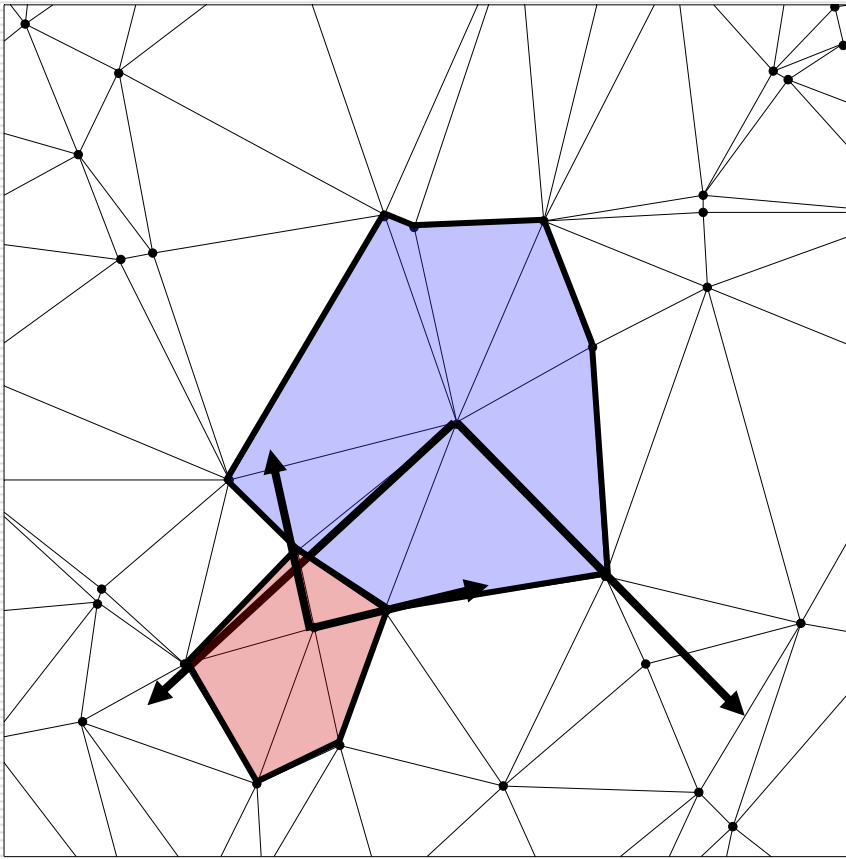


..... Bridging クラスター

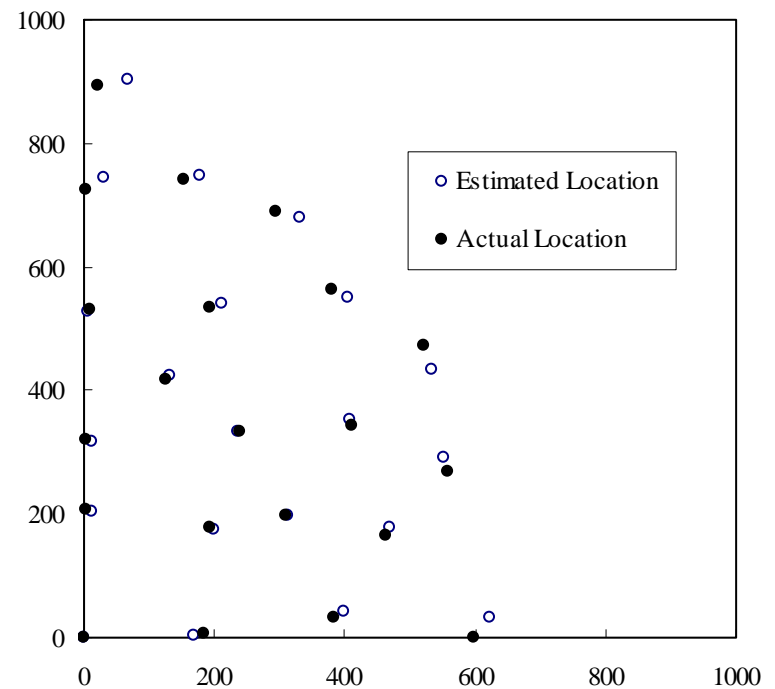
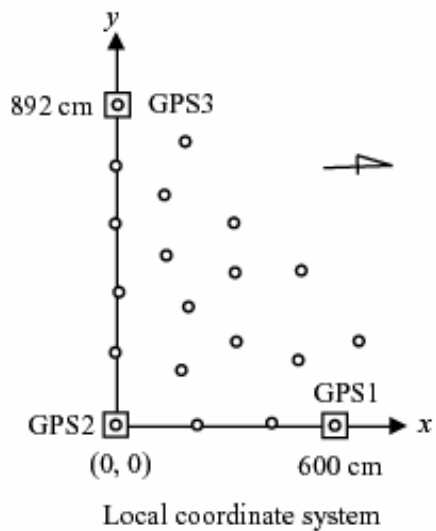
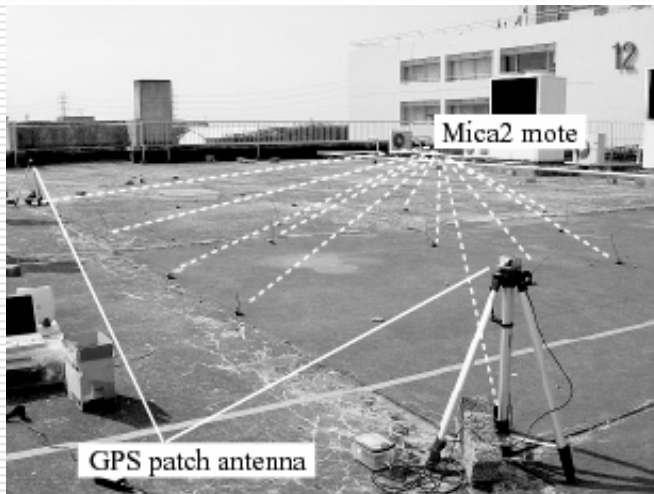
穴が開いていても大丈夫！  
欲しいのは点の相対位置のみ

# Delaunay クラスターのつなぎ方 (Atomic & Bridging)

---



# 性能検証実験



# まとめと今後の課題

---

- ばら撒きセンサーの重要課題 → 位置同定
  - 安価なデバイスによる音響測距  
+ 分散型位置決めアルゴリズム → 位置決め成功
  - ノード数・測距精度・配置 → 位置決め精度への影響
  - 三次元配置への拡張
  - ネットワーク内でのデータ共有, 分散型計算  
→ センサーグリッドコンピューティング
-

