

---

# 物理学実験II ブラウン運動

---

## — 説明会の内容 —

実験の背景  
実験の概要  
注意事項

坪野 公夫, 麻生 洋一, 岡田 健志

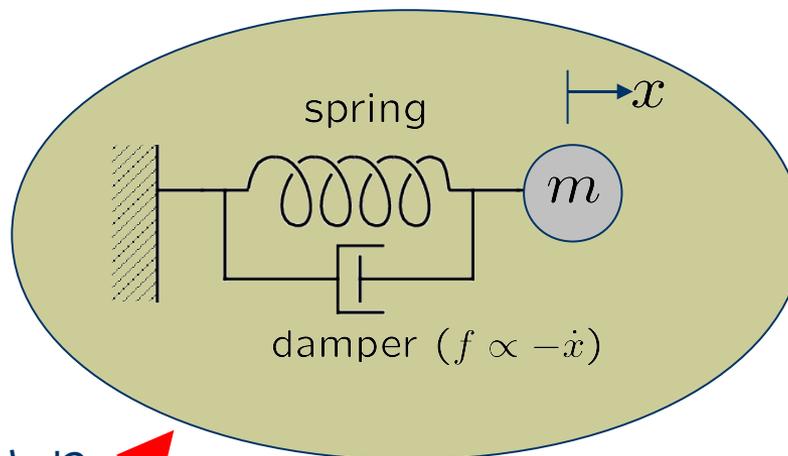
# ブラウン運動研究の歴史

---

- 1827年 Robert Brown  
水に浮かべた花粉の顕微鏡観察 微粒子の不規則な運動  
→ ブラウン運動
- 19世紀後半  
水分子の不規則な衝突によるものではないか？
- 1905年 Albert Einstein  
分子熱運動論によって説明される
- 1957年～久保亮五等  
揺動散逸定理によって、一般的に散逸と熱運動の関係が定式化される

# 揺動散逸定理 (Fluctuation-Dissipation Theorem)とは

減衰のある調和振動子



エネルギーのやりとり

外界

熱浴  
温度  $T$

エネルギー散逸がある

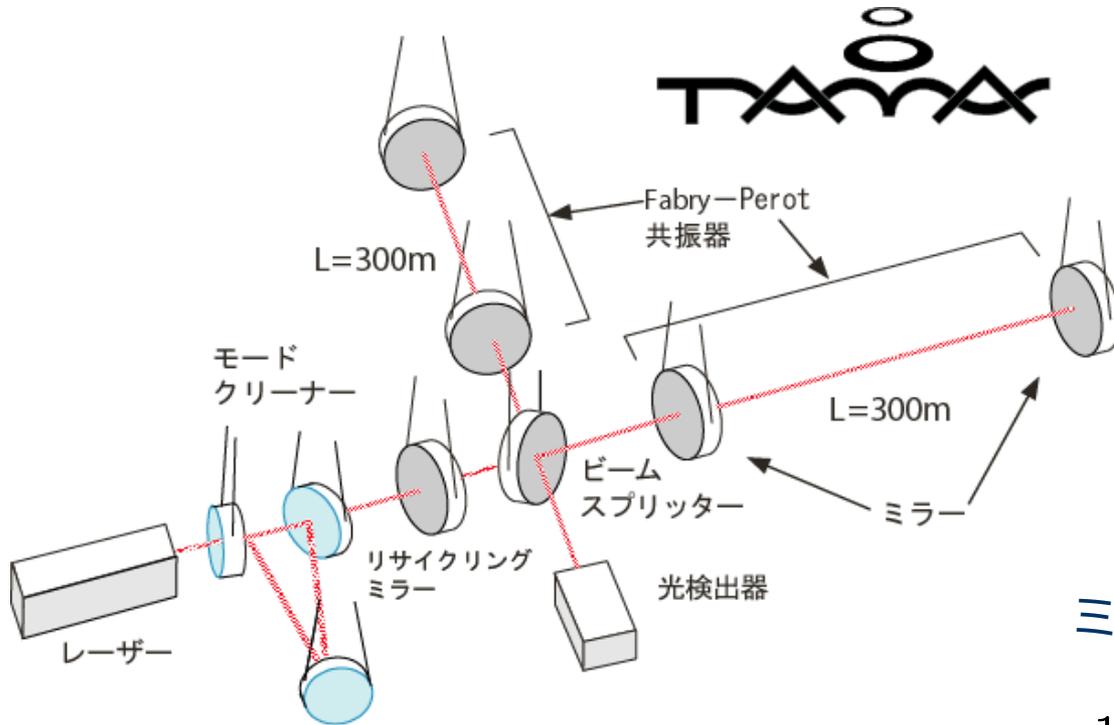
→ 外界とやりとりするエネルギーが揺らぐ

→ この揺らぎが**熱雑音**となる

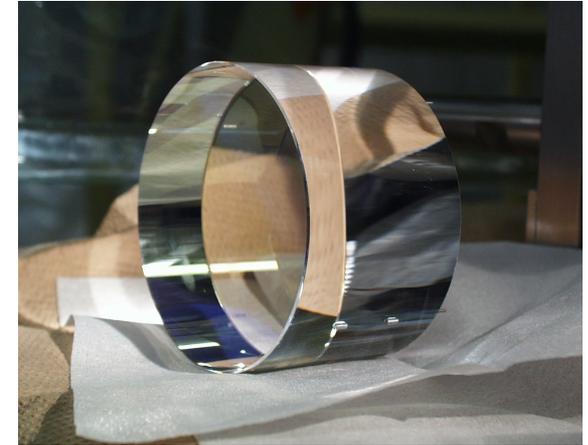
一般的に散逸と揺動（雑音）を結びつける → **揺動散逸定理**

# 熱雑音が問題となる実験例

## レーザー干渉計重力波検出器



TAMAミラー



TAMA300レーザー干渉計重力波検出器  
(三鷹)

ミラーの各固有振動モードが

$$\frac{1}{2}m\omega_0^2\overline{x^2(t)} = \frac{1}{2}k_B T$$

のエネルギーをもち熱運動をしている  
(エネルギー等分配則) → 熱雑音

# 実験の背景 (2)

## ー 広い意味でのブラウン運動 ー

### ● ブラウン運動

→ 熱運動によって起こる巨視的な物理量の不規則な変動

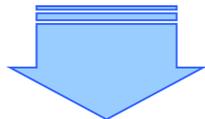
代表的なもの

調和振動子の熱運動 – 弾性体の熱振動  
抵抗の熱雑音 (ジョンソン雑音)  
抵抗中の電子の熱運動による雑音

### ● この実験

弾性体のねじれ振動を用いる

$10^{-14}\text{m}$  程度の微小振動を測定、解析する

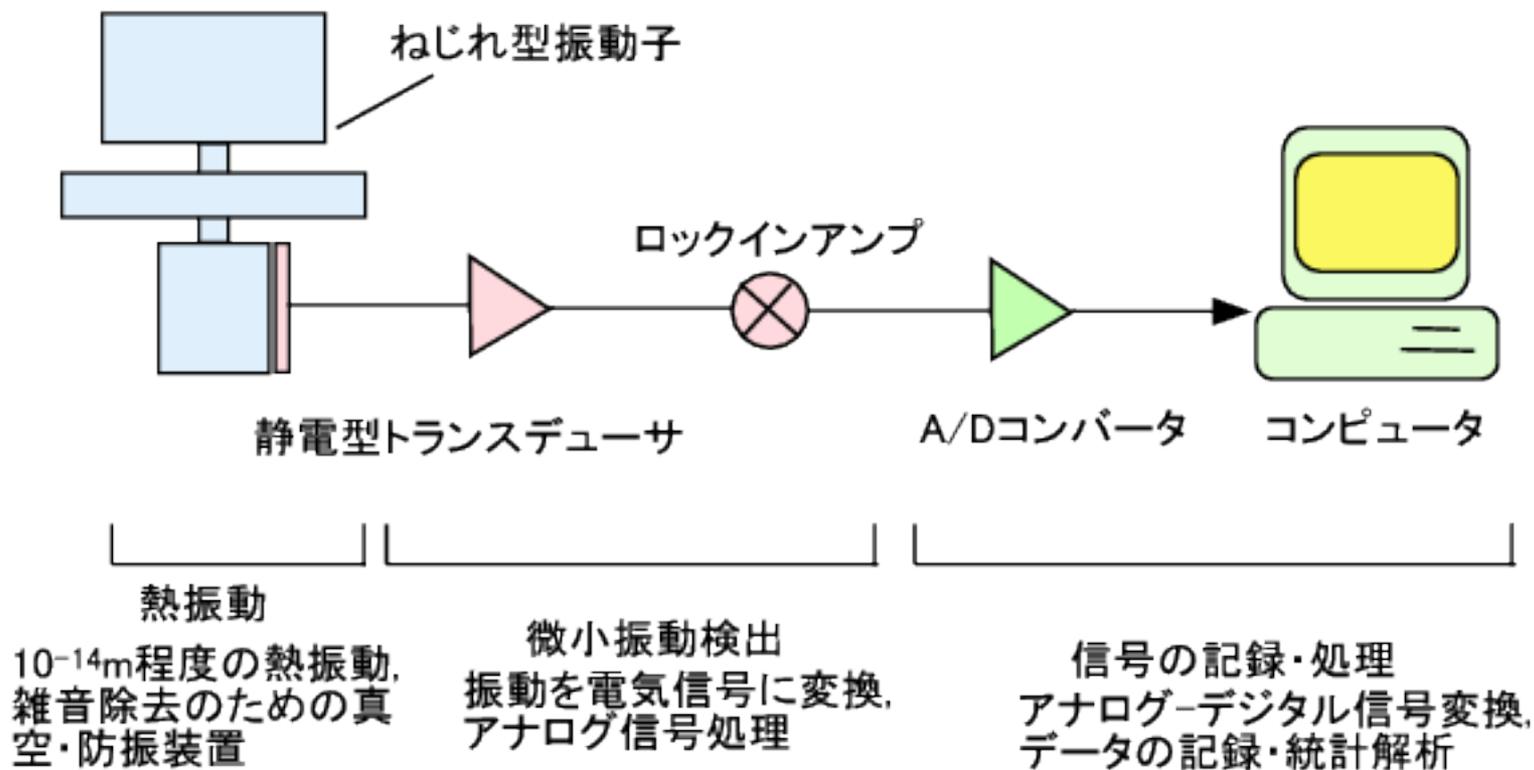


低雑音計測、データの統計処理の基礎を習得

# 実験の概要 (1)

## — ブラウン運動の測定 —

- ねじれ型振動子の熱振動 ( $10^{-14}$  m程度) を測定、解析する



# 実験の概要 (2)

## — ねじれ型振動子 —

### ● ねじれ型振動子

ダンベルのねじれ運動を用いる

共振周波数 : 340Hz

Q値 (共振の鋭さ) :  $3 \times 10^5$

### 外乱の除去

2重振り子により懸架

← 地面振動より防振

真空槽内に収められる

← 大気・音の影響を除去



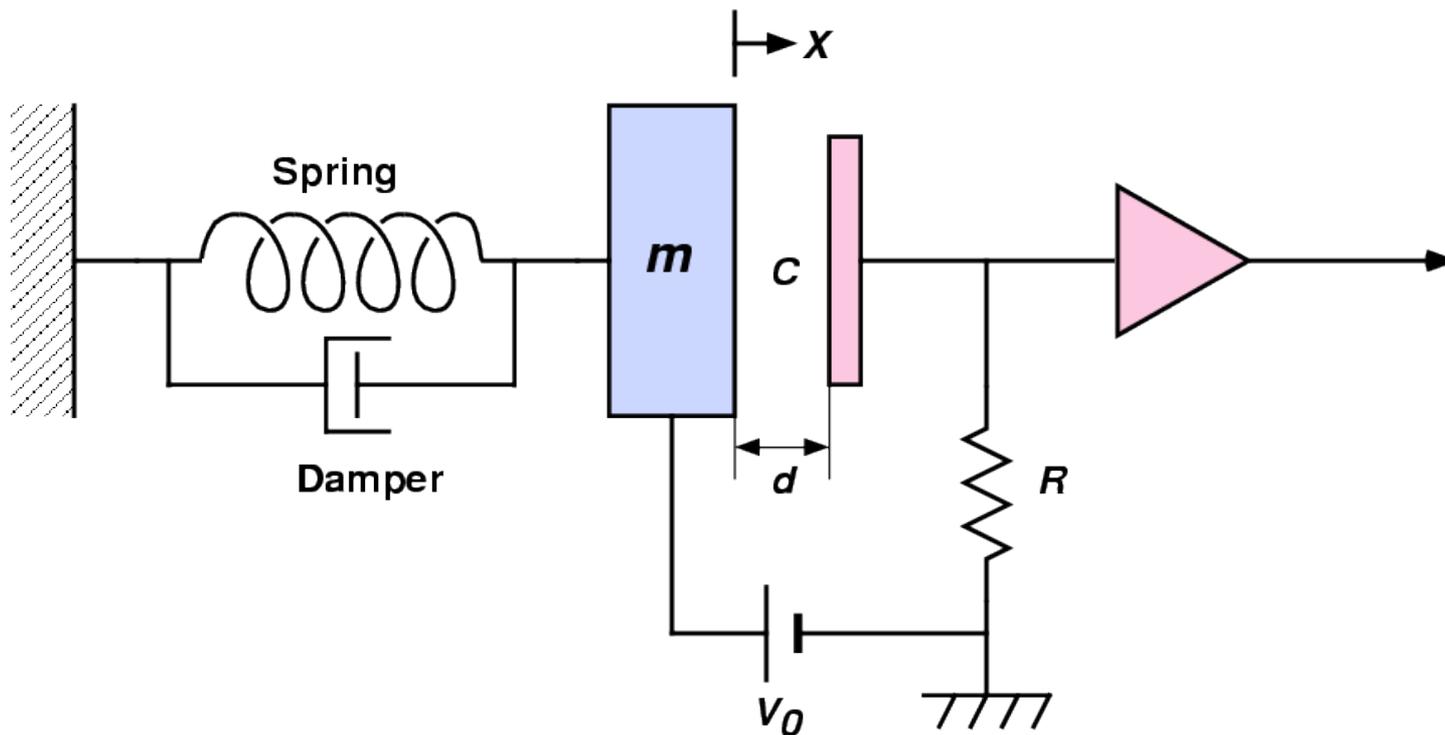
# 実験の概要 (3)

## — 静電型トランスデューサ —

- 静電型トランスデューサ

微小振動を電気信号に変換

振動 → コンデンサの容量変化として検出



# 実験の概要 (4)

## — 信号処理 —

- アナログ増幅器

信号の増幅・雑音の除去

- ロックインアンプ

必要な信号 (340Hz付近) のみを取り出す

- A/Dコンバータ

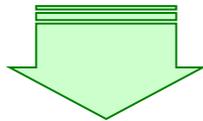
アナログ信号を

デジタル信号に変換・記録

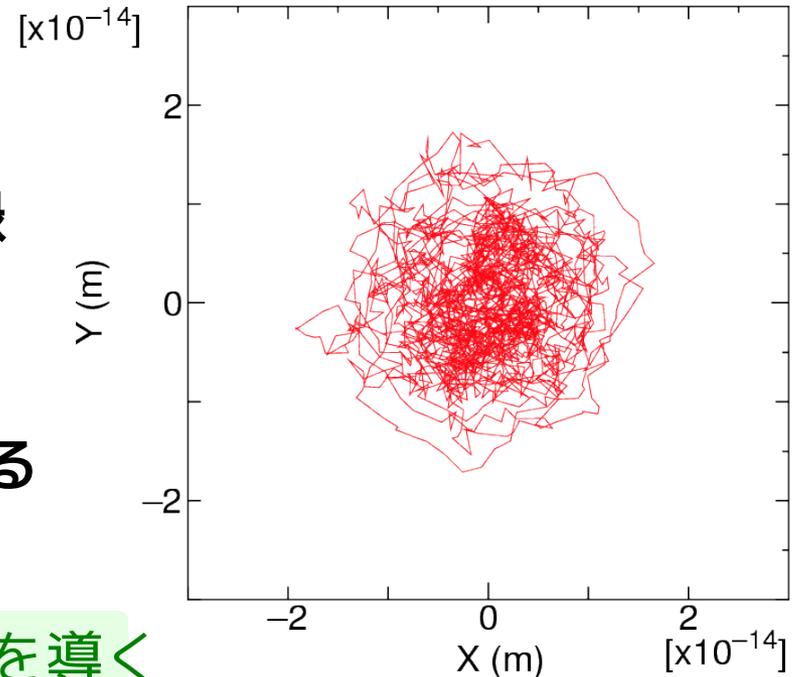
- コンピュータ

得られた信号を統計処理し、

結果を得る



ランダムな運動から物理量 (温度) を導く



# 実験の概要 (5)

## — 実験の流れ —

- 一日目 : **抵抗の熱雑音の測定**

熱雑音の簡単な例 - 抵抗の熱雑音

アナログ-デジタル変換、コンピュータによる信号処理

- 二日目 : **電気-力学結合系の諸特性の測定**

振動子の共振周波数・Q値の測定

トランスデューサの結合による影響 (精密測定時の反作用) を知る

振動子や真空槽の取り扱いを習得

- 三日目以降 : **ブラウン運動の測定**

ねじれ型振動子の**ブラウン運動**の測定

測定結果を統計処理し、**結果(温度)**を求める

# 注意事項 (1)

## — 準備 —

- 実験までに

テキストに目を通す

実験の趣旨と流れの理解

実験装置の概要の把握

効率的な実験

物理学実験 I 「真空技術」 の復習

物理学実験 I 「エレクトロニクス II」 の復習

実験当日

関数電卓の準備

遅刻しない

積極的に実験を進める

# 注意事項 (2)

## － レポート －

- レポートの提出

実験終了から二週間以内 (遅れた場合は適宜減点)  
レポートの提出が無い場合は 0点 となる

理学部新1号館603号室 坪野まで持参

- レポート内容

必須課題 :

課題1,3、実験課題2, 6, 7

1つ以上の自由課題 :

自由なテーマでの計算、実験、考察

必須課題以外の課題、または、自分なりの課題

実験の感想 :

実験の感想

内容、難易度、改善点などの意見

# 注意事項 (3)

## — レポート (続き) —

- レポート作成時の注意点

長さ :

長ければ良いというわけではない

要点を簡潔に

グラフ :

計算機出力のグラフは 10個程度を目安に

取ったデータのグラフを羅列するだけでは意味が無い

読む人に何を伝えたいのか熟慮して構成すること

実験の結果 :

実験の結果を並べるだけでは意味が無い

どう解釈するのか(考察)、

そこから何が導かれるのか(結論)が重要

論理的な議論の展開を心がけること