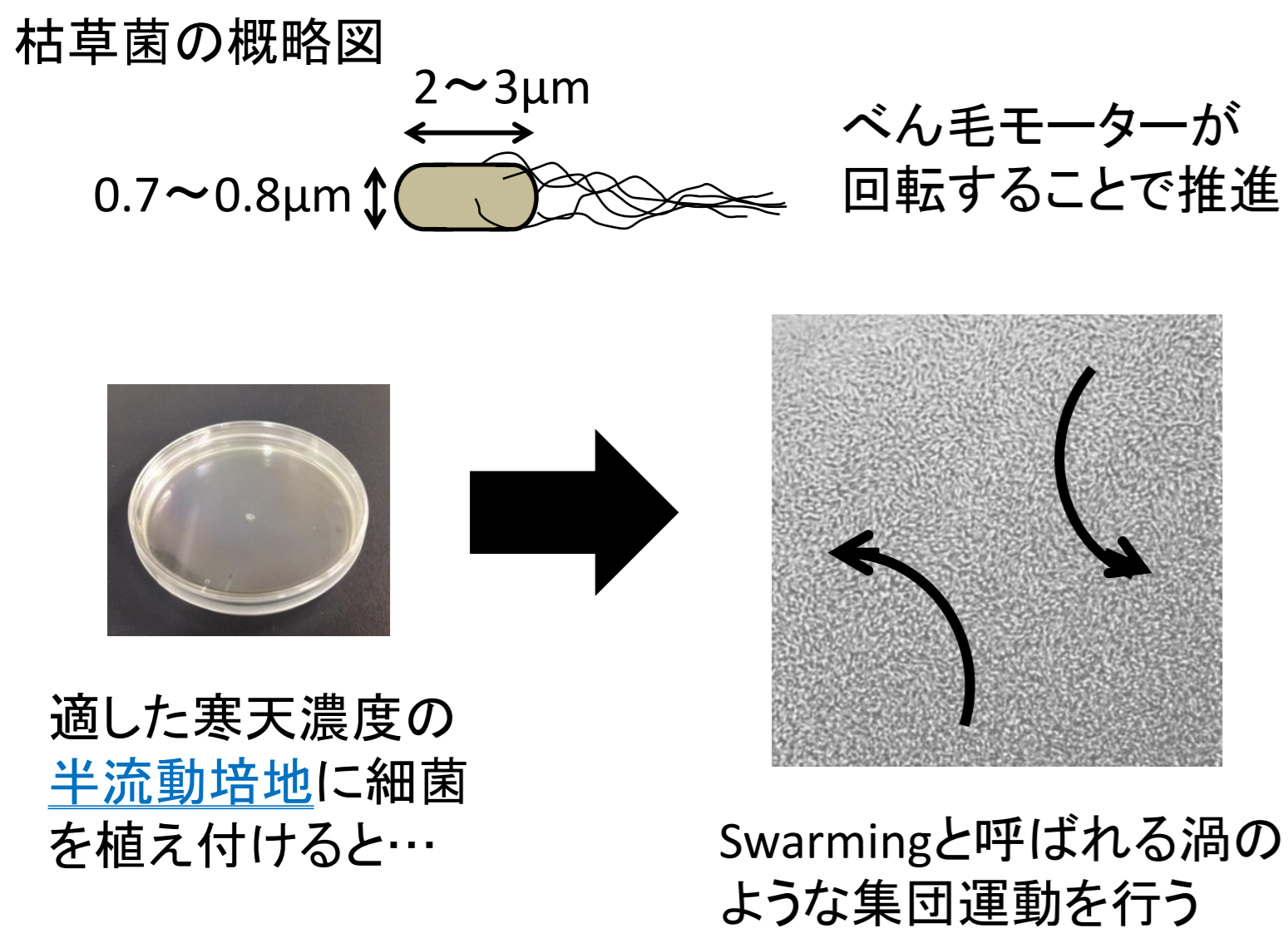


# 細菌の集団運動により駆動される粒子のサイズと拡散との関係

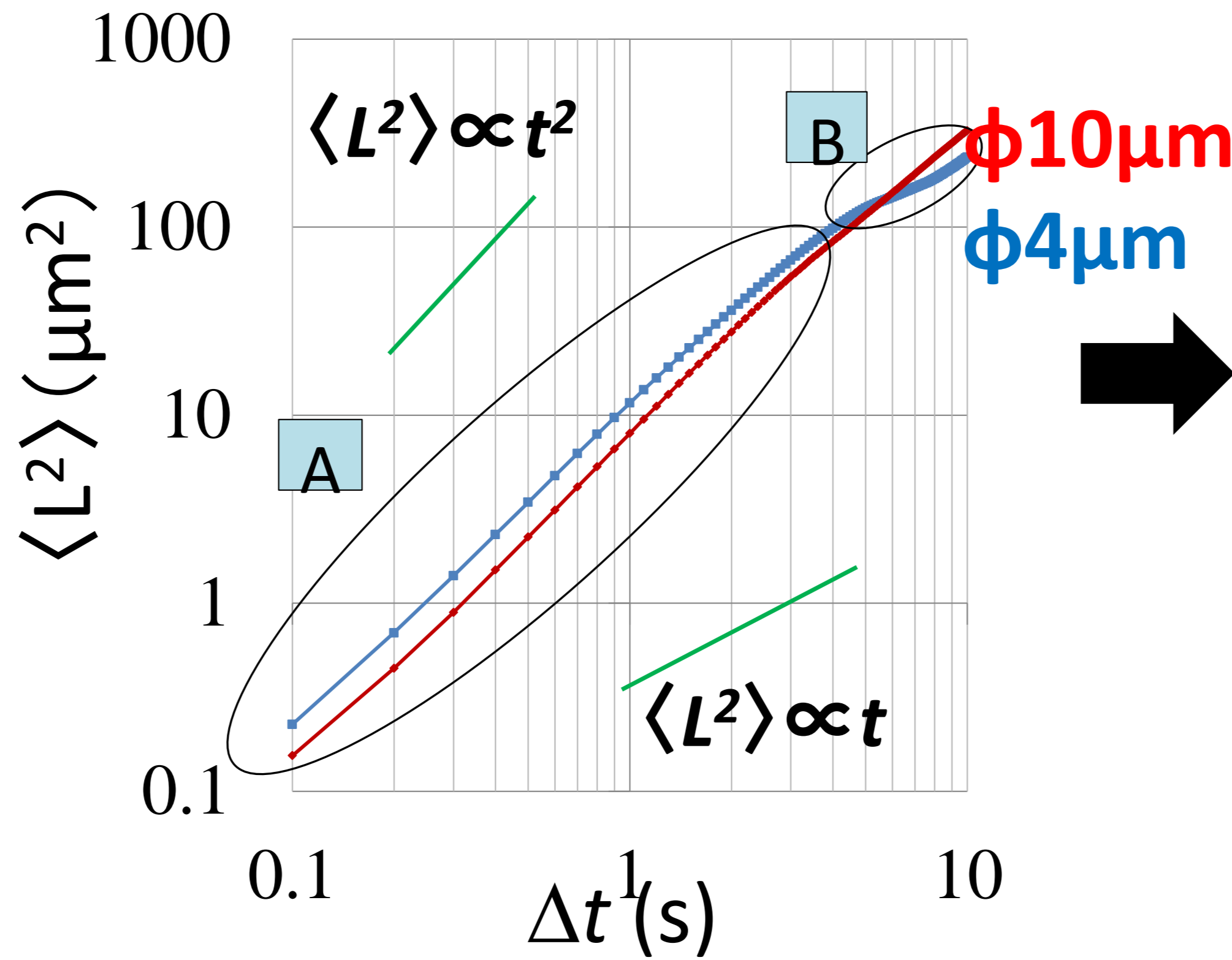
鳥取大学 工学部 生体システム解析学研究室

## 研究の背景



## 研究の目的

細菌を利用した物質輸送の可能性を模索



## 先行研究

細菌の運動とビーズの拡散運動との関係を調査<sup>[1]</sup>

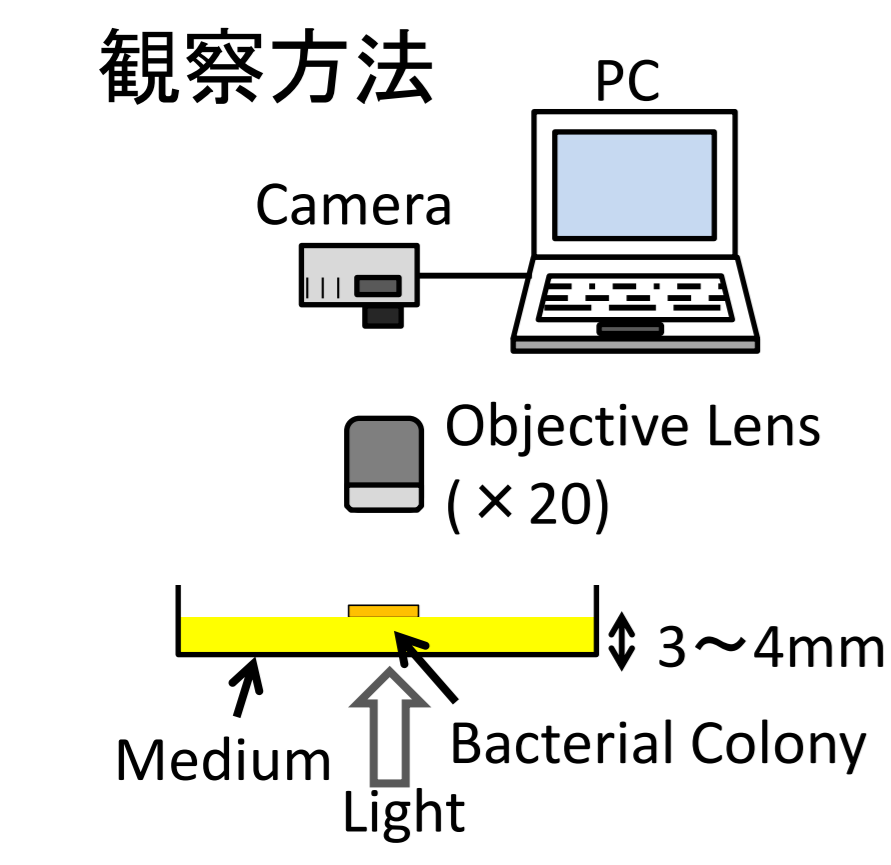
- 平均二乗変位 $\langle L^2 \rangle$ が時間間隔 $\Delta t$ の1.6~1.7乗に比例
- 領域Aよりも領域Bは傾きが下がる傾向がある

[1]小寺広起, 中井唱, 後藤知伸, 「細菌の集団運動による物質輸送の粒子画像解析」鳥取大学工学部応用数理工学 卒業論文 (2014).

## 本研究

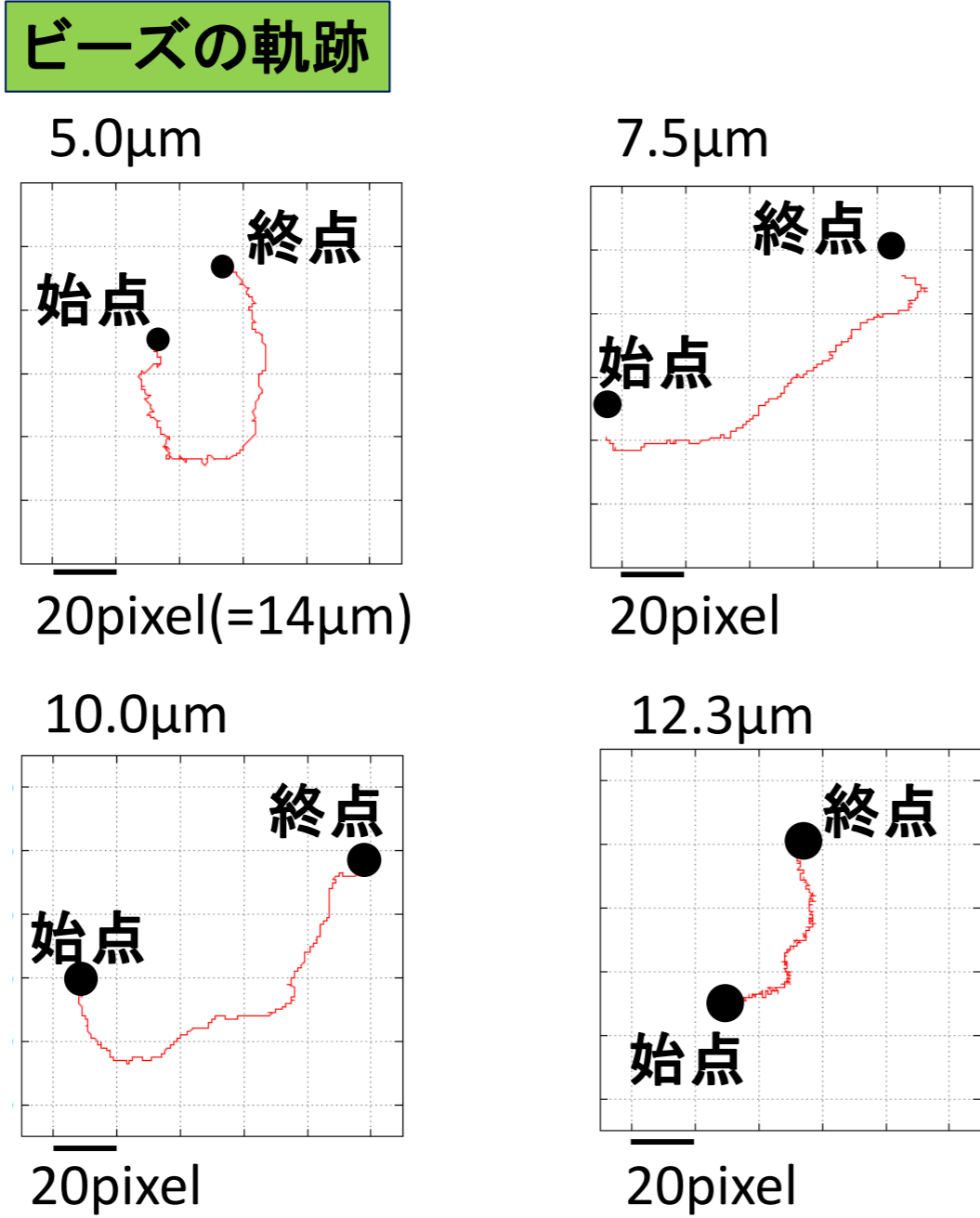
いろいろなサイズによるビーズの拡散を調査

## 解析方法



**Swarmingの発生方法**  
 1. 寒天濃度0.6wt%の水溶液にポリペプトンなどを加えて滅菌  
 2. 完成した培地に細菌を植え付け、37°Cの環境で4~7時間培養  
 カメラの画素数: 1024 × 1024pixel  
 映像のフレーム率: 30fps

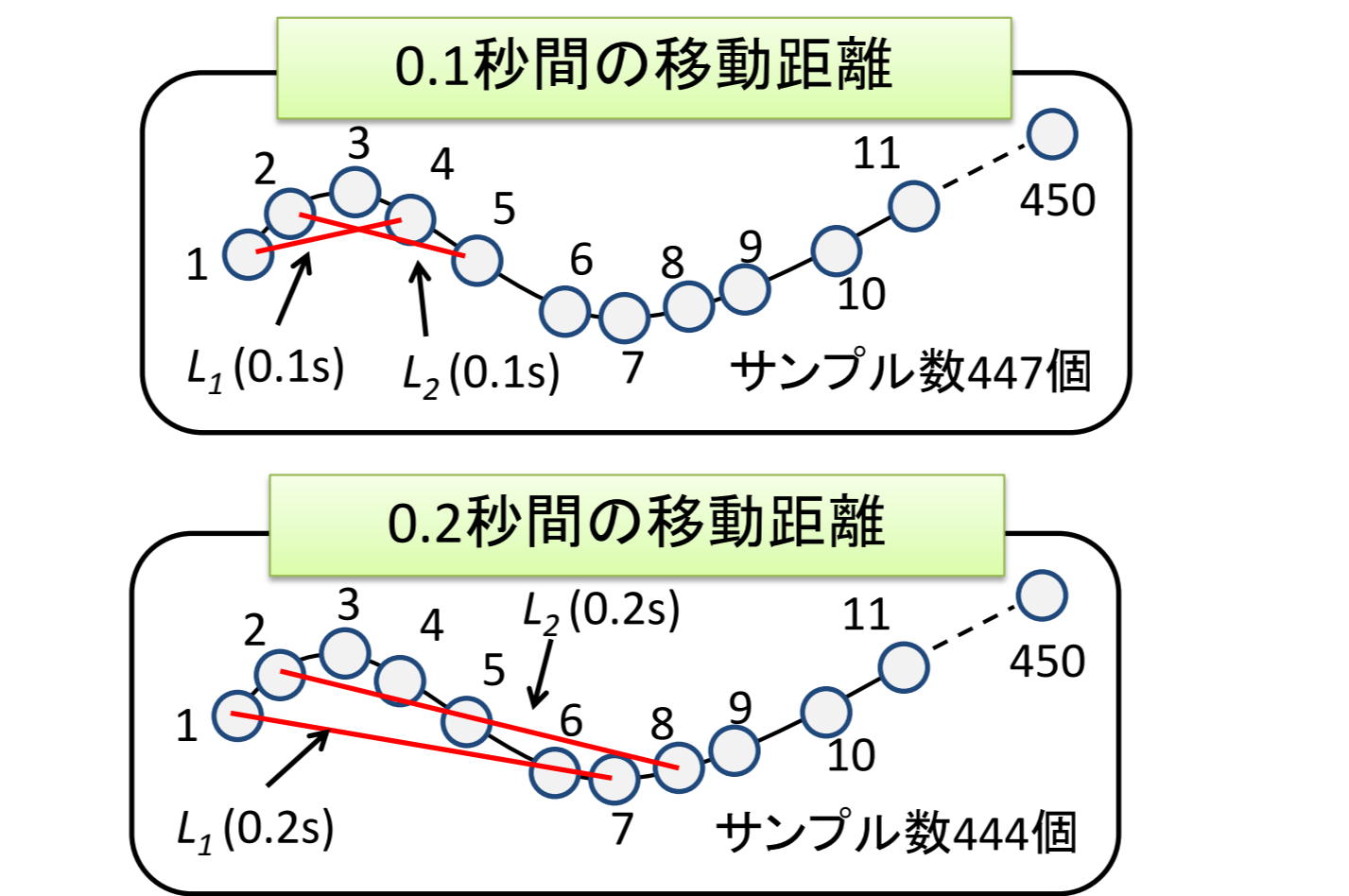
集団に運ばせる粒子  
 ナイロンパウダー (直径4.0μm, 比重1.02)  
 Glass Hollow Spheres (直径10μm, 比重1.10)  
 観察対象としたビーズの直径  
 5.0μm, 7.5μm, 10μm, 12.3μm



**平均二乗変位**

$$\langle L_i^2 \rangle_{(\Delta t)} = \frac{1}{N_{(\Delta t)}} \sum_{i=1}^N \{L_{i(\Delta t)}\}^2$$

時間間隔 $\Delta t$ が大きくなるにつれ サンプル数 $N_{(\Delta t)}$ は小さくなる  
 $\Delta t = 0.1s \sim 10.0s$ まで0.1s毎に $\langle L^2 \rangle_{(\Delta t)}$ を求めた



ブラウン運動する粒子の平均二乗変位 $\langle L^2 \rangle$ について

$$\langle L^2 \rangle = 2D\Delta t$$

$D$ : 拡散係数  
 $\Delta t$ : 時間間隔

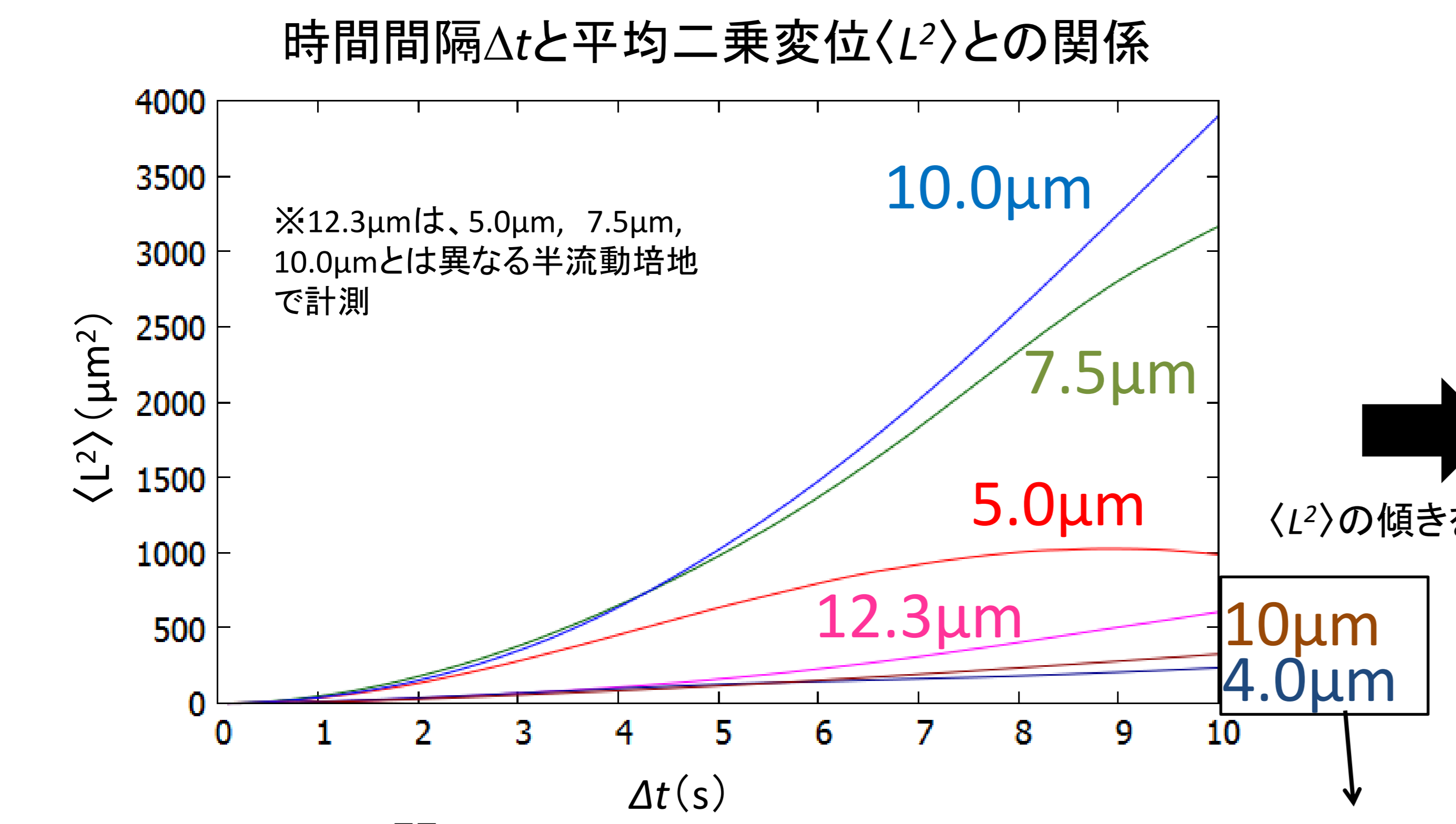
$D$ はアインシュタインの関係式<sup>[2]</sup>より

$$D = \frac{RT}{N_A} \times \frac{1}{6\pi\eta a}$$

$R$ : 気体定数  
 $T$ : 絶対温度  
 $N_A$ : アボガドロ数  
 $\eta$ : 粘性係数  
 $a$ : 粒子(球)の半径

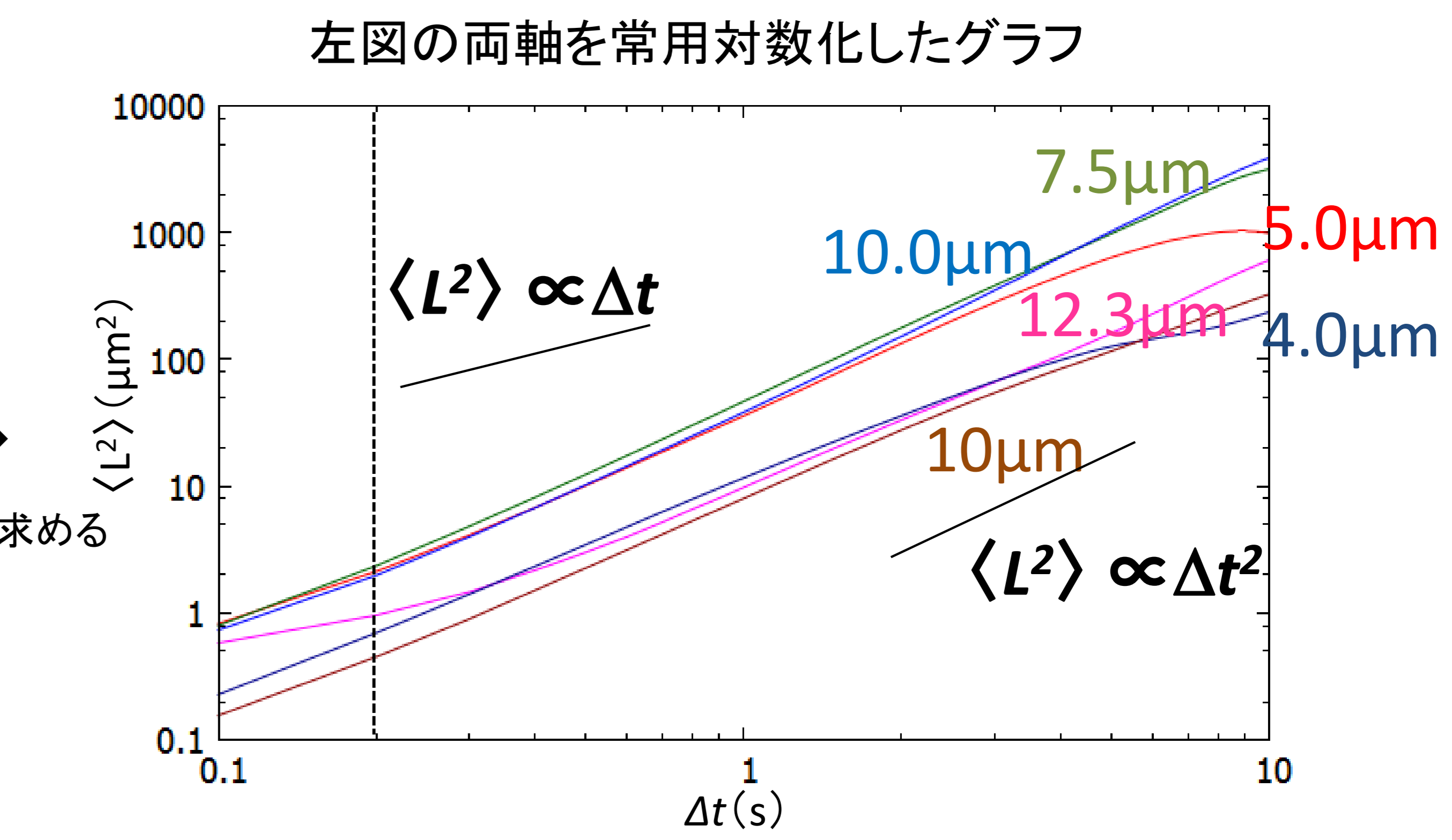
$D$ は粒子の半径に反比例  
 $\Delta t$ が一定ならば、平均二乗変位は粒子の半径に反比例する

## 解析結果



- 0.0s~2.0s間  
平均二乗変位に差は見られない(先行研究は除く)
- 2.0s~10.0s間  
粒子が小さいほど、短い時間間隔で $\langle L^2 \rangle$ が小さくなる

ブラウン運動の理論とは異なる結果



グラフの近似式

5.0μm $\langle L^2 \rangle = 40\Delta t^{1.6}$	10.0μm $\langle L^2 \rangle = 42\Delta t^{2.0}$	$\langle L^2 \rangle \propto \Delta t$ ブラウン運動による拡散
7.5μm $\langle L^2 \rangle = 49\Delta t^{1.9}$	12.3μm $\langle L^2 \rangle = 9.8\Delta t^{1.8}$	$\langle L^2 \rangle \propto \Delta t^2$ 等速直線運動による拡散

平均二乗変位は時間間隔の1.6~2.0乗に比例

## 結言

- 細菌の集団運動によるビーズの平均二乗変位は時間間隔の1.6~2.0乗に比例する
- 一般的なブラウン運動では平均二乗変位は粒子のサイズに反比例するはず

これは一般的なブラウン運動よりも指数が大きい  
 本解析結果では、そのような関係は見られない