

研究室紹介

複雑液体物理学 旧 固体物性 I 研究室



野寄 龍介

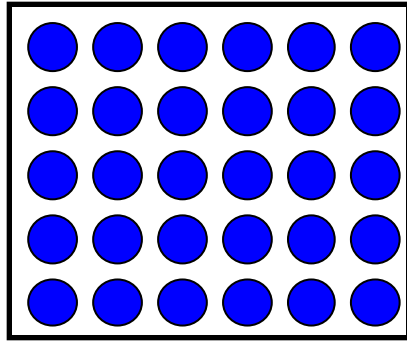
北海道大学

大学院理学研究院 物理学部門

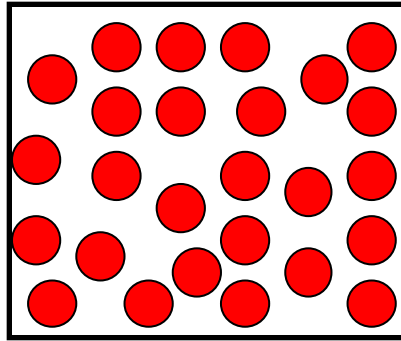
まずは基本的なことを

液体・複雑液体

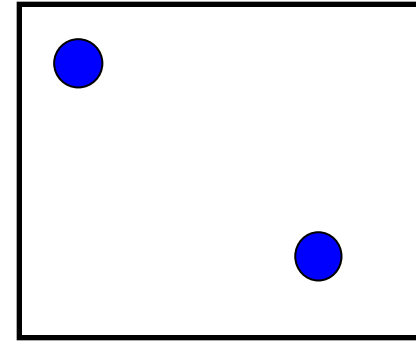
固体・液体・気体



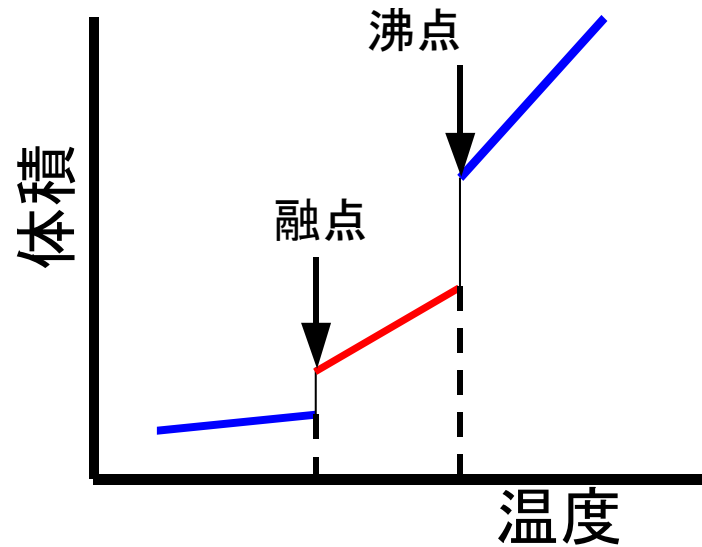
固体



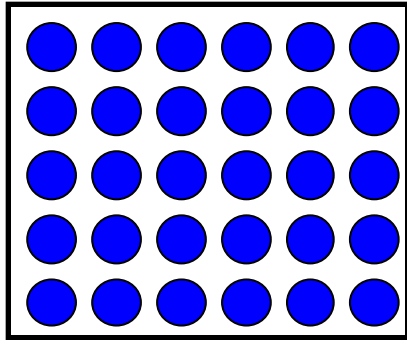
液体



気体

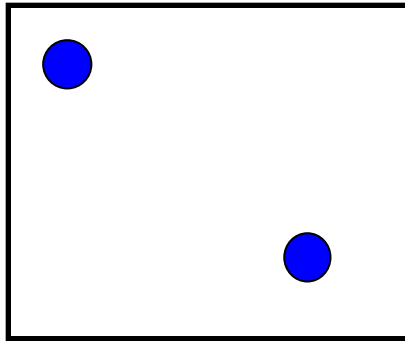


固体



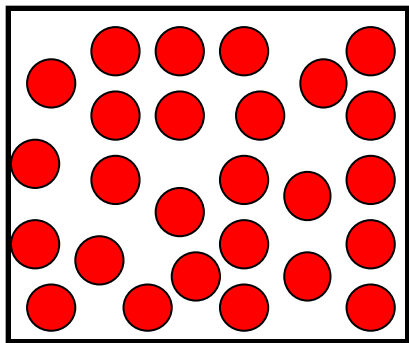
- 規則正しい**周期構造**
- 分子(原子)間の**相互作用**
- 分子間に**長距離相関**
 - 分子の動きがお互いに関係
 - 一直線に並んだ分子が**波を作る**

構造(配列)が主体

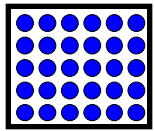


- 不規則な分子(原子)配置
- 分子間の相互作用なし(非常に小さい)
- 分子間に無相関
 - 分子の動きはお互いに無関係

分子運動(ダイナミクス)が主体

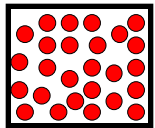
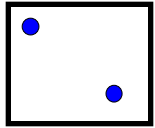


- 分子(原子)配置は一見不規則
- 分子間相互作用は無視できない
- 近い分子の位置や動きは完全には不規則ではない
 - しかし時間とともに絶えず変化



- 固体や気体

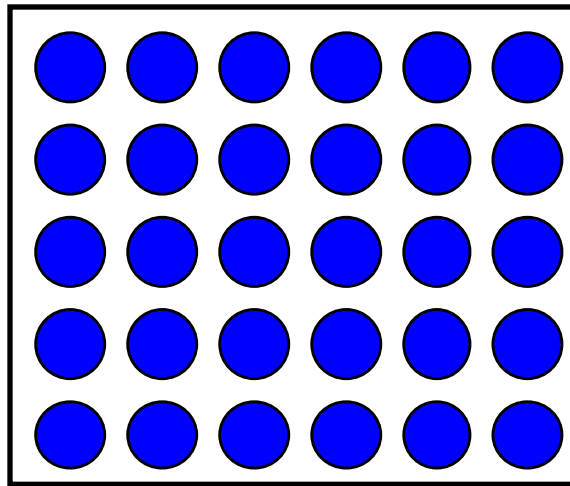
- 理想気体、理想固体から始める
- 理想状態からのずれを導入して実在の物質を理解する



- 液体

- 理想状態を定義できない！

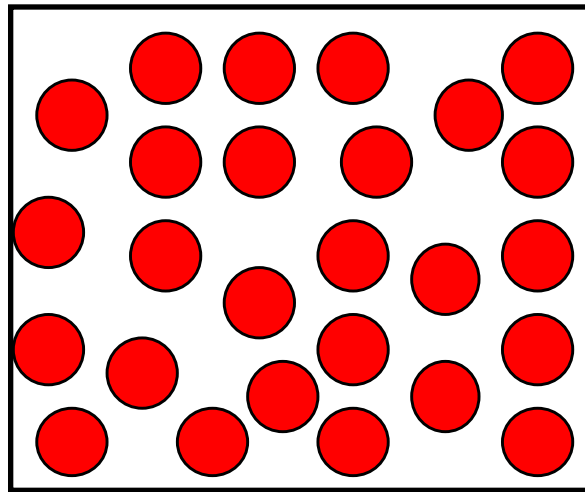
固体の構造とダイナミクス



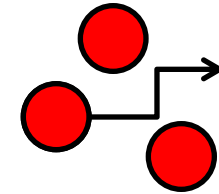
振動

構造は時間に依存しない

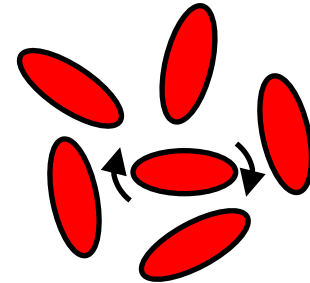
- 固体の記述は比較的簡単



構造が時間に依存



並進拡散



回転拡散



振動

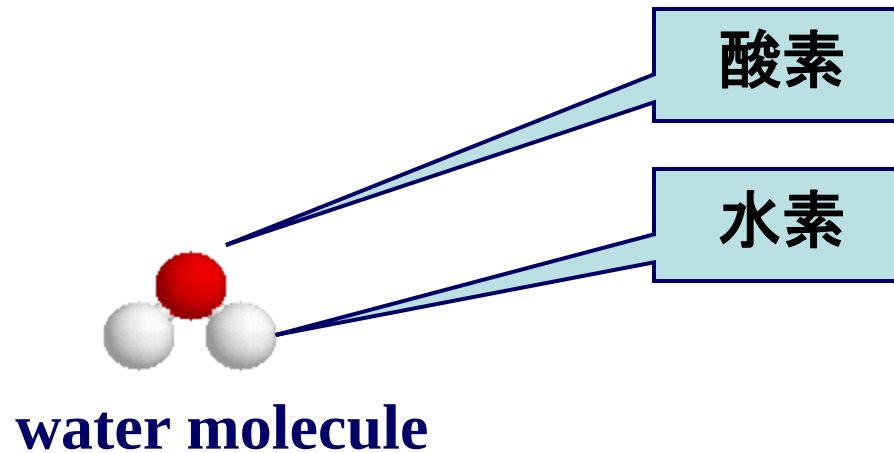
- 液体を記述するためのパラメーターが複雑

物質物理学の発展

- 19世紀
 - 気体の物理学(+熱力学 +統計力学)
 - エントロピー
- 20世紀
 - 固体物理学(+量子力学)
 - 波動関数
- 21世紀
 - 液体物理学(+?)
 - 複雑さ? **探している最中**

液体は基本的に複雑である

水分子同士は手をつないだり離したりしている



MDL

液体（不規則、アモルファス）の研究

- 構造とダイナミクスを同時に考察
 - 分子単体の運動 速い
 - 分子集団の運動 遅い
 - 分子の大きさ 小さい
 - 分子間相互作用 少し大きい
 - 分子集団の構造 大きい
- 時間因子
- 空間因子

階層的時空構造が重要

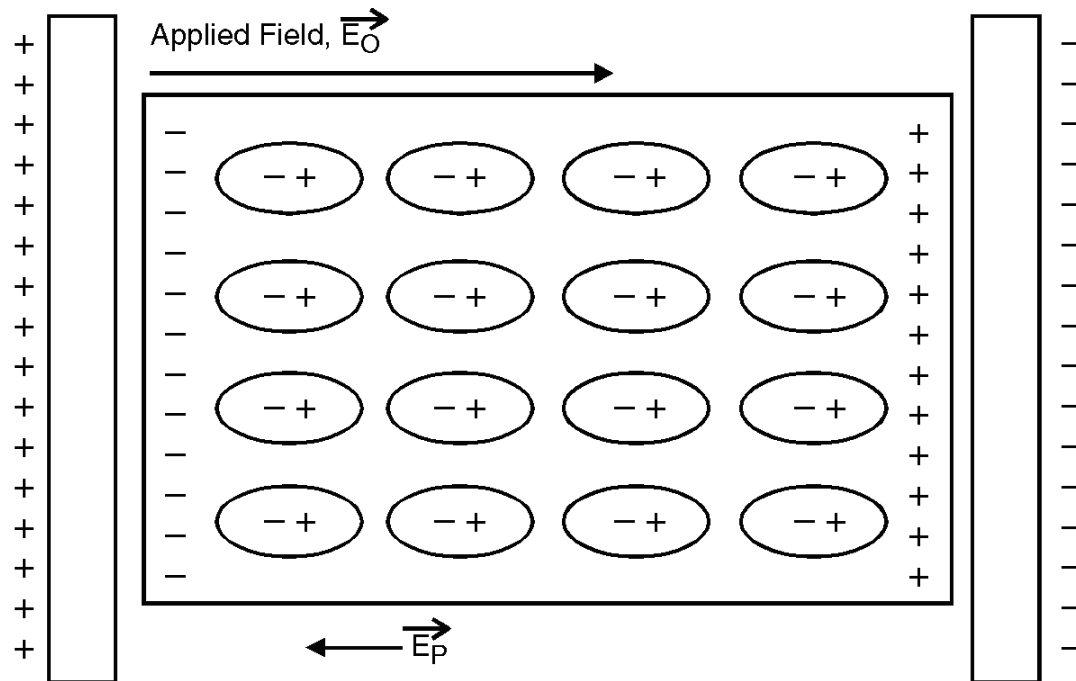
分子運動を観測する方法

誘電分光

分子運動を観測する方法

• 誘電分光法

- 誘電体に電場を印加(電氣的、光学的)
- 分極が現れる過程を観測
- 観測されるマクロな分極過程はミクロな電気双極子のダイナミクスに起因



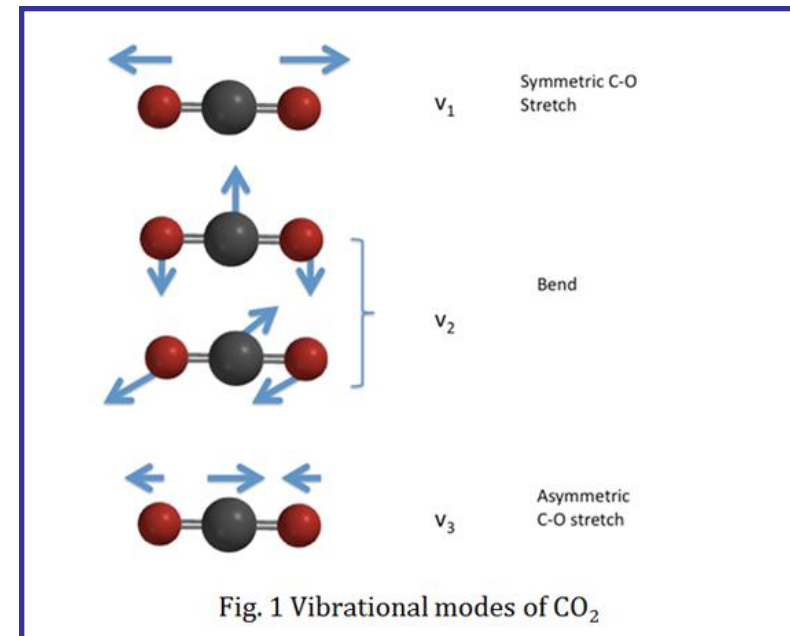
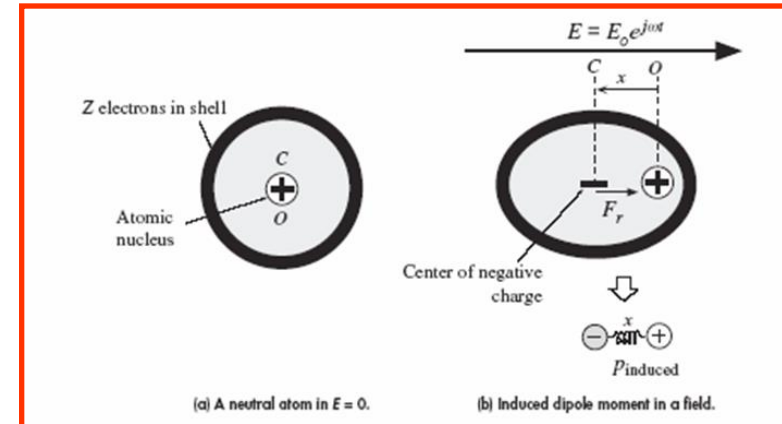
分子運動を観測する方法

分極の種類

- 誘起双極子起因
- 電子分極
- 分極形成・消滅時間 $\sim 10^{-15}$ 秒

原子分極

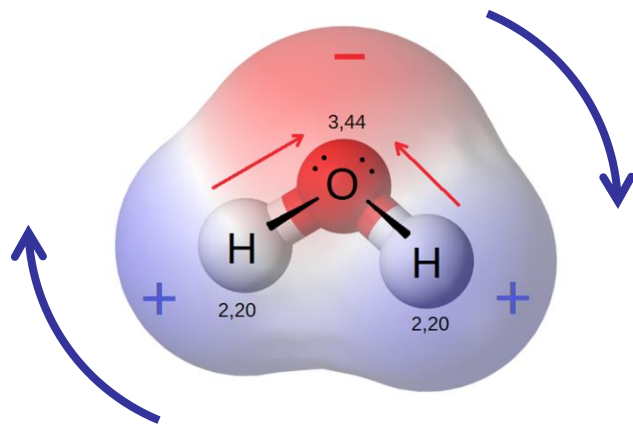
- 分極形成・消滅時間 $\sim 10^{-13}$ 秒



分子運動を観測する方法

• 分極の種類

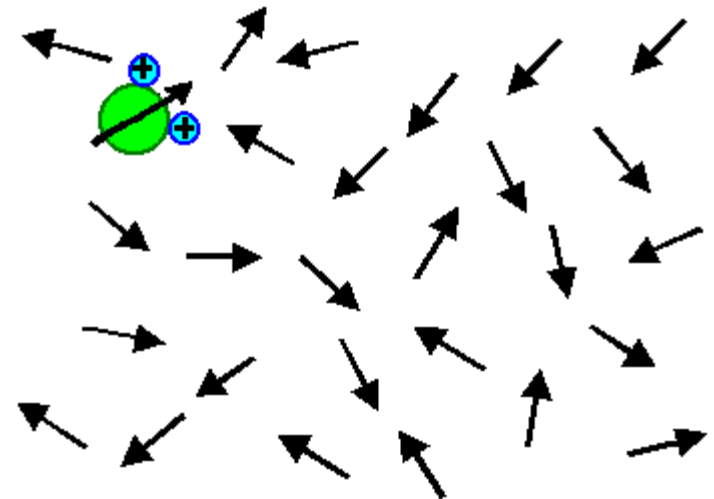
- 永久双極子起因
- 極性分子配向分極
- 分極形成・消滅時間
 - きわめて広範囲
- 液体 $\sim 10^{-6}$ から 10^{-12} 秒
- 過冷却液体 $\sim 10^6$ から 10^{-8} 秒



↑ 双極子モーメント $\vec{p}$

$$\vec{E} = 0 \quad \sum \vec{p}_i = 0$$

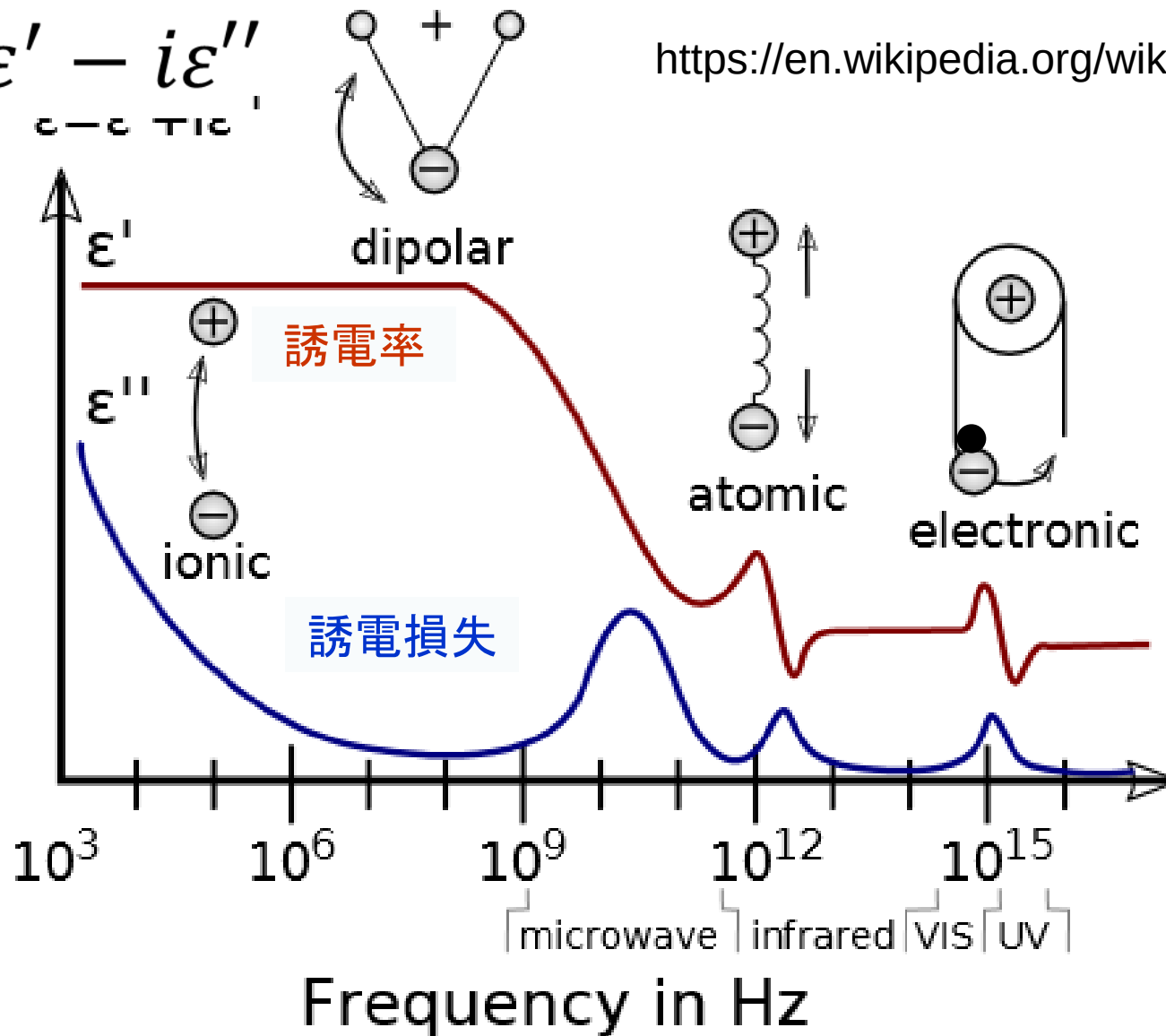
$$\vec{E} \neq 0 \quad \sum \vec{p}_i \neq 0$$



広帯域誘電分光

$$\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon''$$

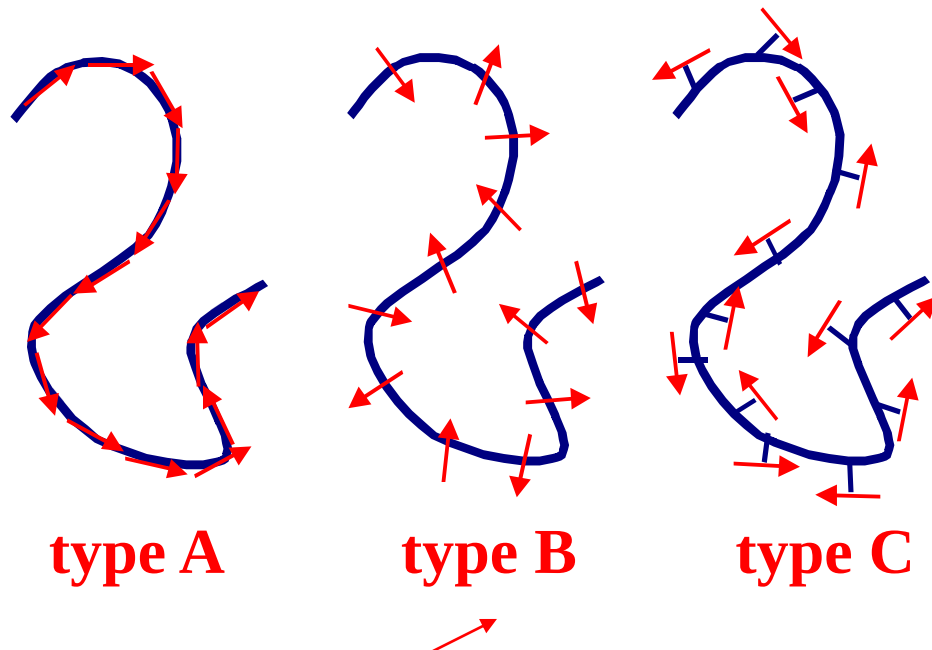
<https://en.wikipedia.org/wiki/Permittivity>



永久電気双極子と分子構造

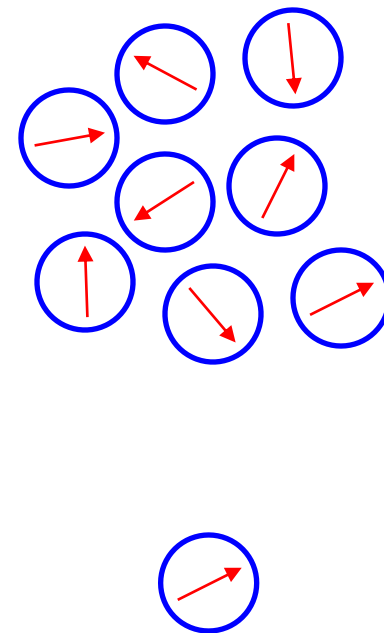
- 配向分極による誘電応答の素過程
 - 小さな分子系では分子全体の回転運動
 - 高分子系では分子鎖の一部の運動

極性高分子



局所的電気双極子

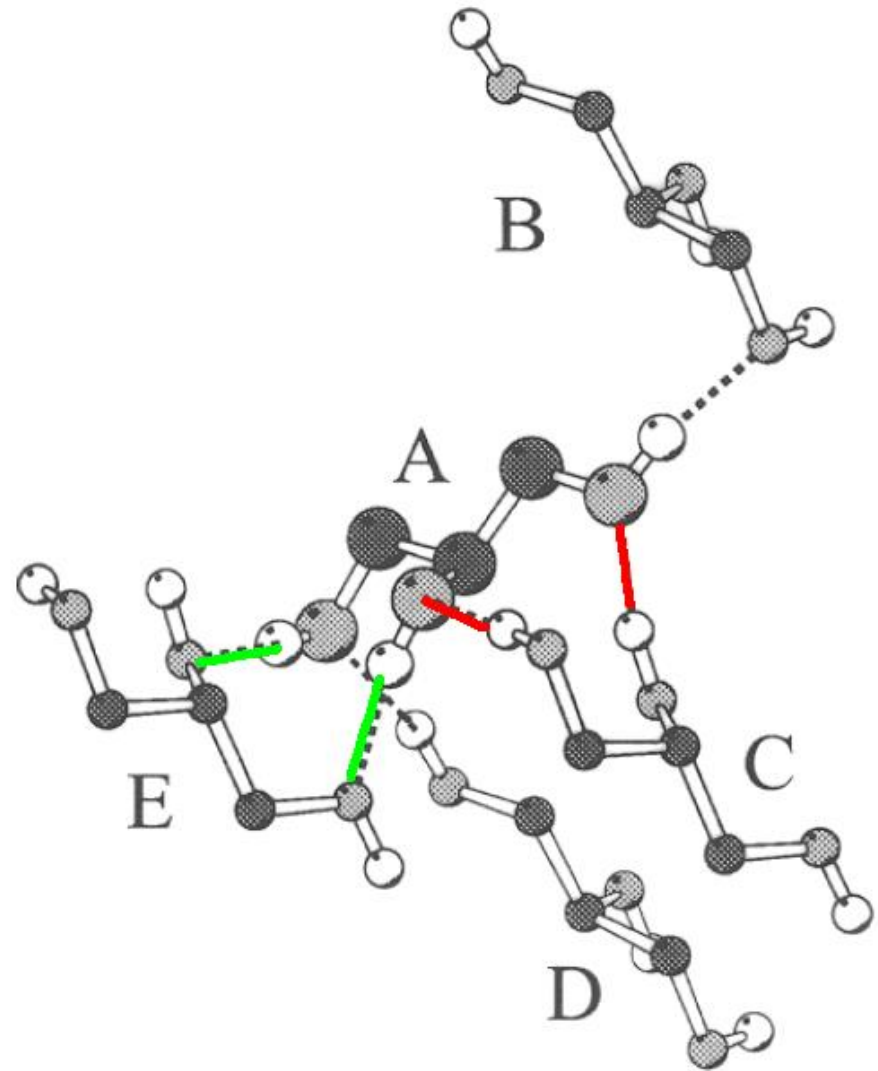
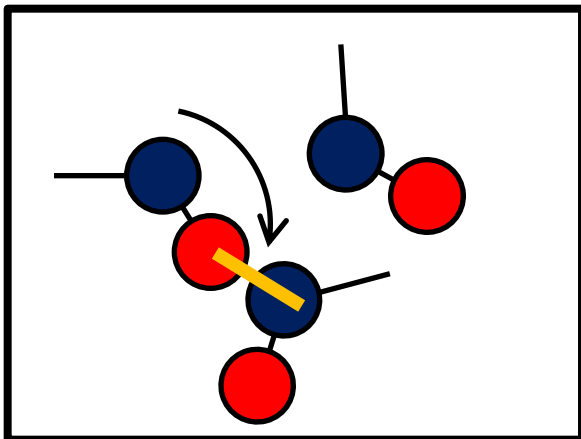
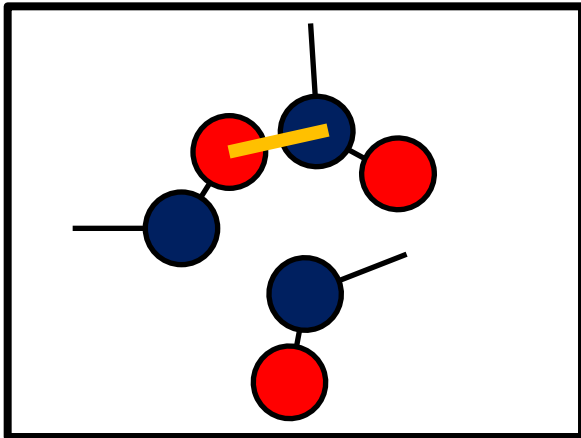
極性分子



分子電気双極子

水素結合系の誘電応答素過程

- 水素結合の揺らぎ
 - OHのスウィッチング



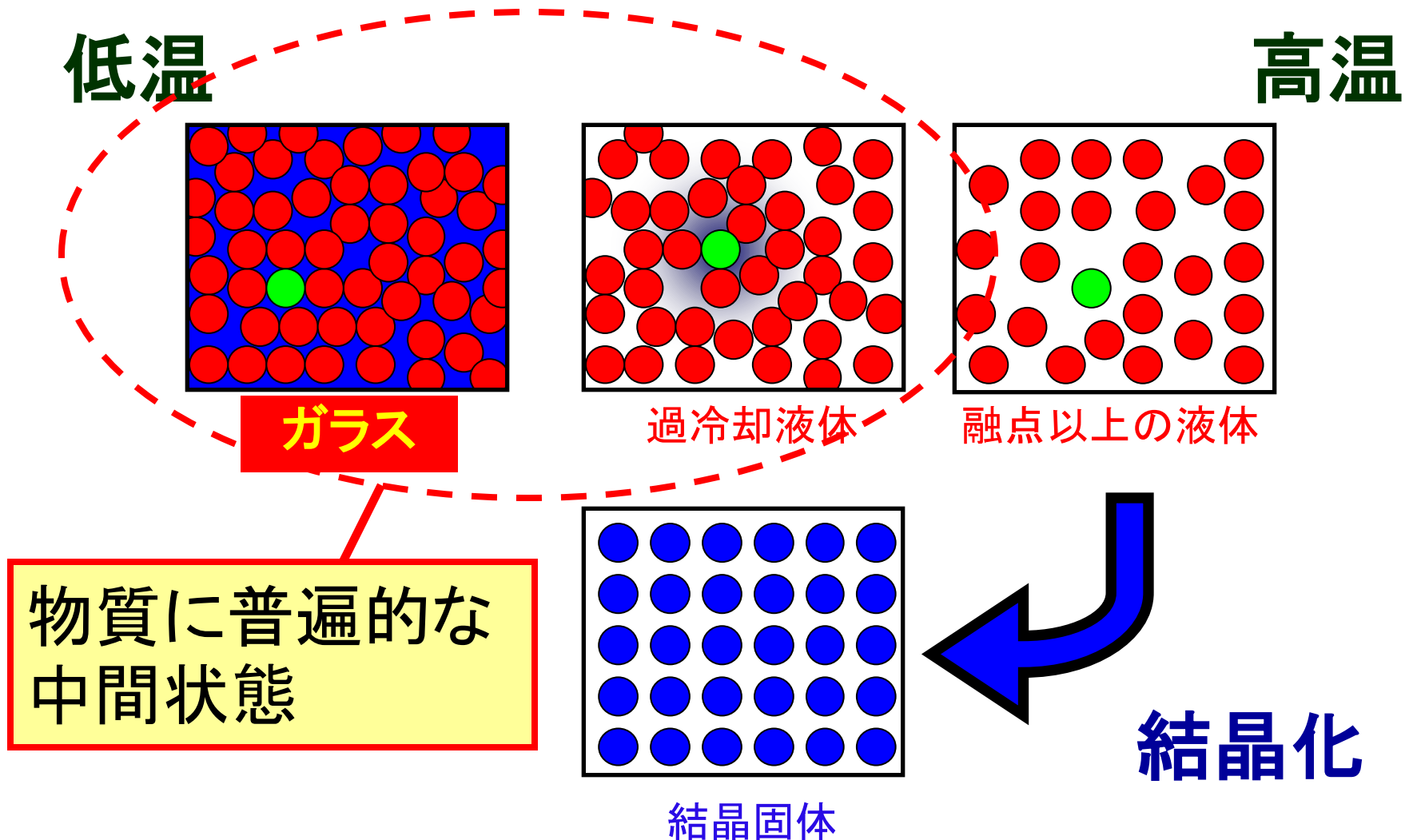
液体グリセロールの局所分子構造

基幹研究テーマ

過冷却液体のガラス転移

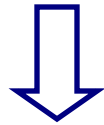
過冷却液体のガラス転移現象

- 液体が結晶化せずに硬くなる現象

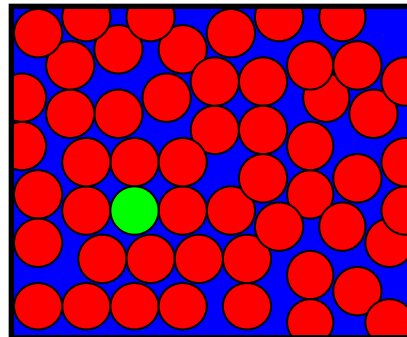
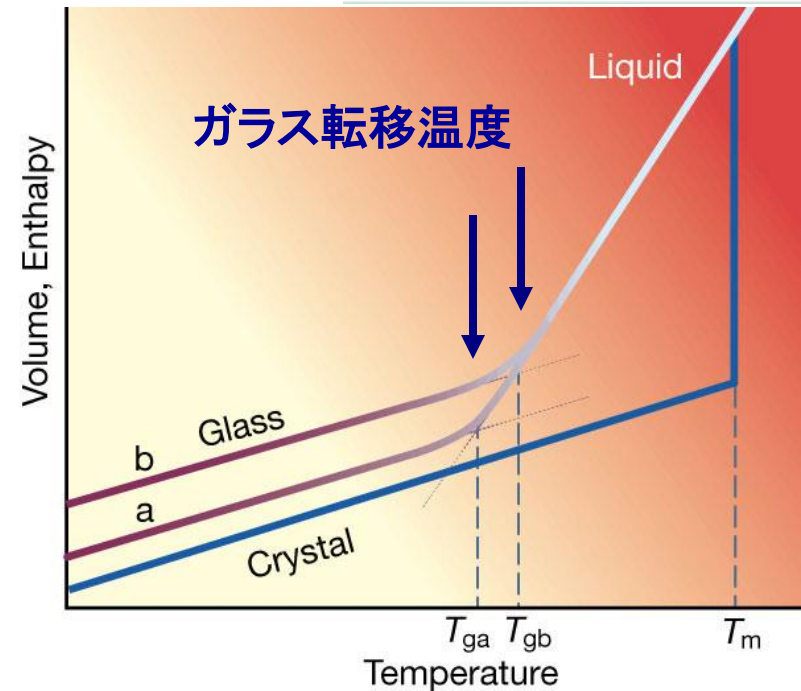


ガラス転移の特徴

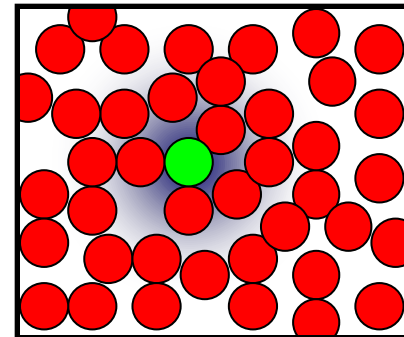
- 密度に大きな変化はない
- 粘性係数に大きな変化
 - 狭い温度範囲で粘性が16桁以上も変化



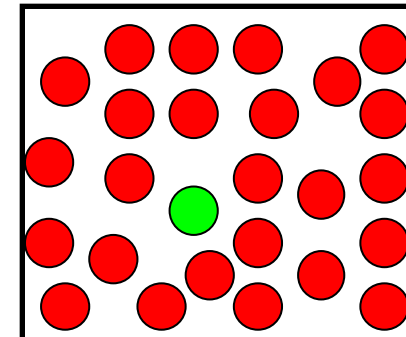
分子ダイナミクスが主役



ガラス



過冷却液体



融点以上の液体

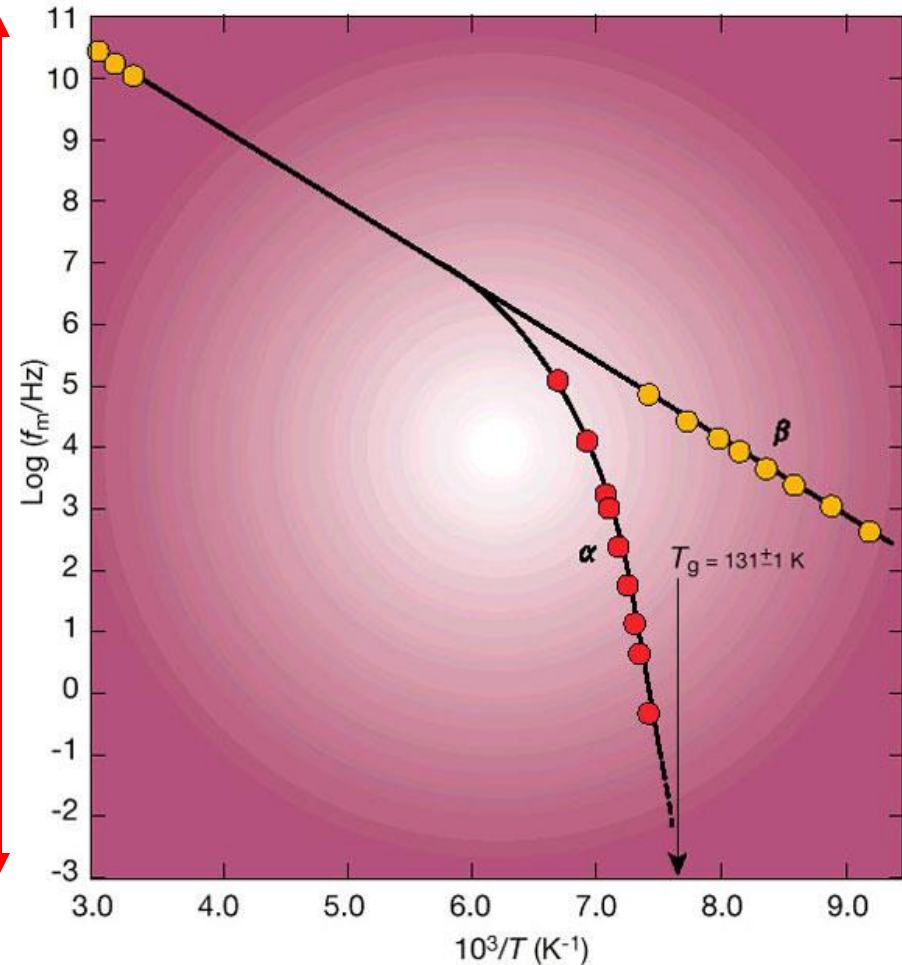
誘電分光による分子ダイナミクスの観測

• 誘電緩和測定

- 緩和周波数が分子運動速度に対応
- 測定周波数範囲が広い
 - $1\mu\text{Hz} \sim 5\text{THz}$

緩和周波数の対数

13桁



温度の逆数

糖アルコール・水系の実験

• 試料の特徴

- 最も広く生体系に存在する
- ガラス転移温度が地球的室温 ($-50^{\circ}\text{C} \sim -10^{\circ}\text{C}$)
- お互いによく混ざる
- 水が溶けやすい

• 広帯域誘電分光実験

– α 緩和過程と β 緩和過程をカバー

- 温度依存性
- 分子量(炭素数)依存性
- 水分量依存性

frequency range	system	sample cell
10 μ Hz-0.3Hz	low-frequency time domain spectrometer	parallel plates or coaxial cell (capacitance:41.72pF)
0.1Hz-100Hz	FFT analyzer	
20Hz-1MHz	LCR meter(HP4284A)	
1MHz-500MHz	network/impedance analyzer (HP4195A)	coaxial cell (capacitance:5.56pF)
45MHz-10GHz (500MHz-10GHz)	network/impedance analyzer (HP8510B) (time-domain reflectometry)	



Fig. 1. Plots of dielectric loss of anhydrous sorbitol against frequency at various temperatures between 263 and 346 K.

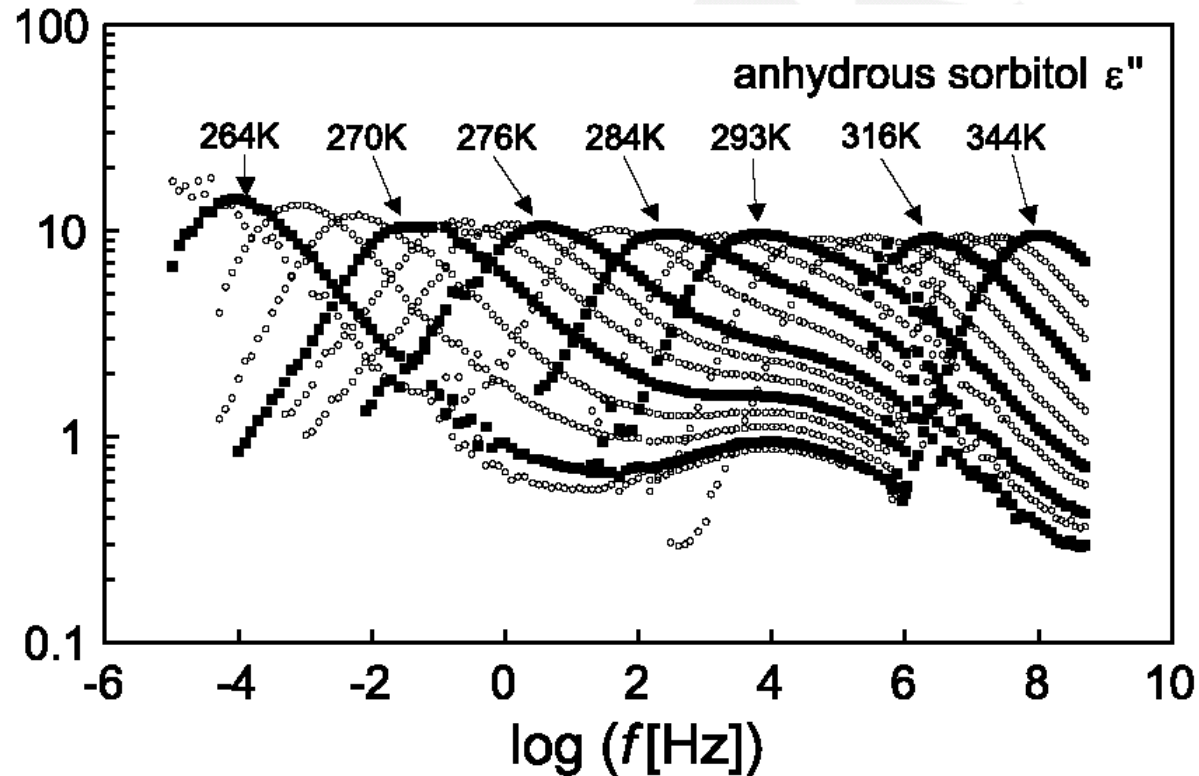
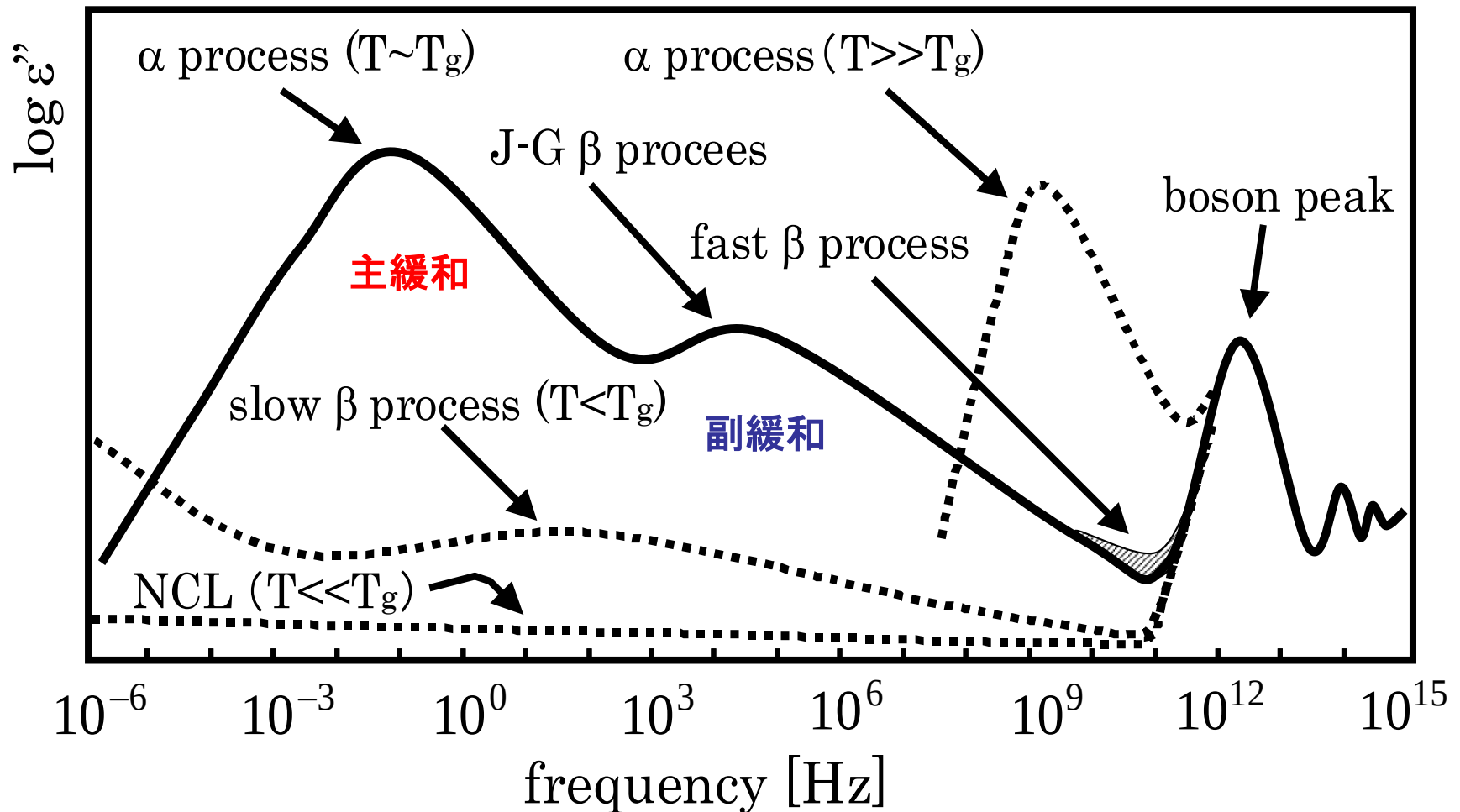


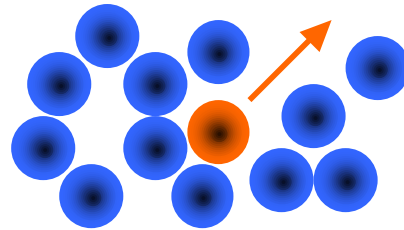
Fig. 1. Plots of dielectric loss of anhydrous sorbitol against frequency at various temperatures between 263 and 346 K.

ガラス転移にかかわる誘電緩和過程



過冷却液体・ガラスの時空構造

構造緩和



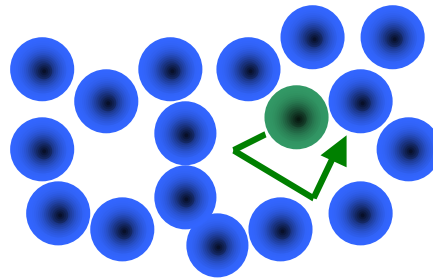
$$T < T_g$$

no

$$T_g < T$$

α 緩和過程

ケージ
ダイナミクス



$$T_c < T$$

fast- β 過程

$$T < T_{\omega_a}$$

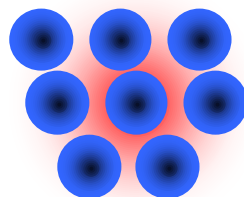
NCL

揺れ運動



Boson peak

ガラスの局所緩和



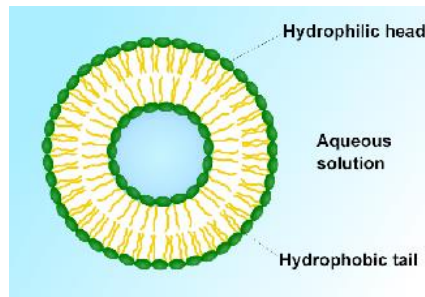
JG- β

研究のロマン

生命現象の物理学的考え方

複雑液体物理学的視点から見た生命現象

- 生命体は固定容器ではない
 - 生物を構成する分子は、生涯に何回も完全に入れ替わっている
 - 1時間～1年 (人の場合)



≠

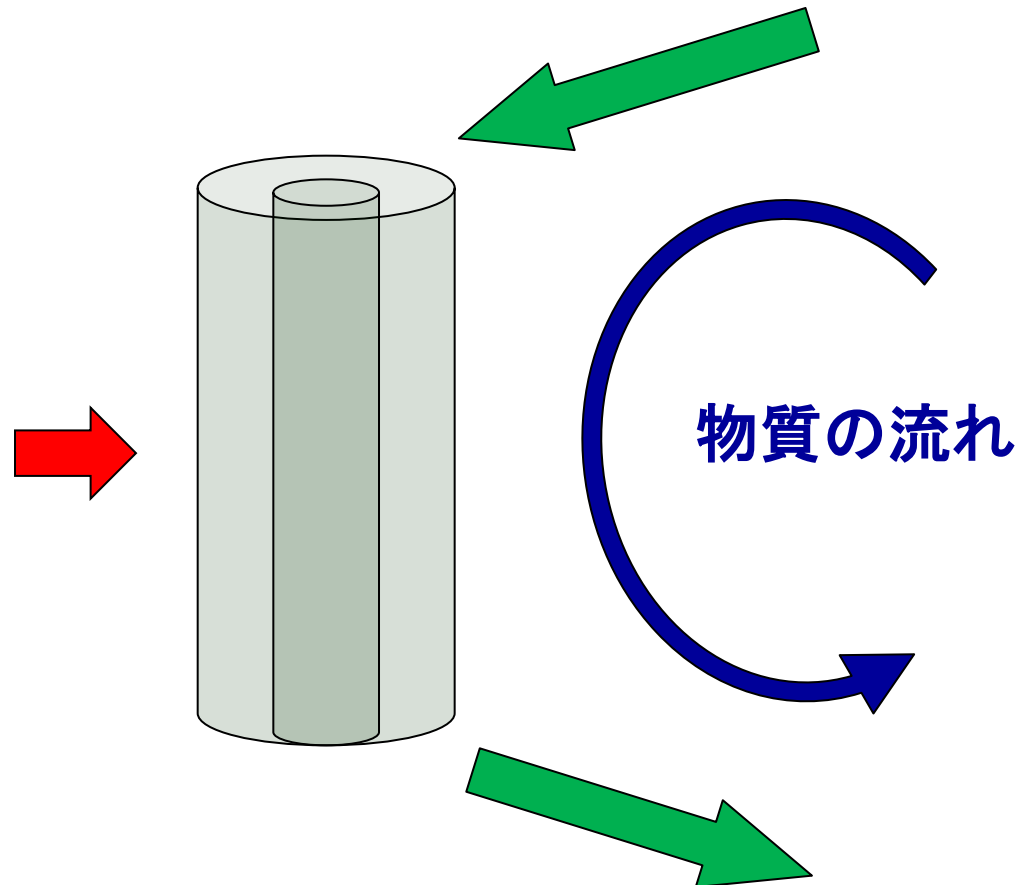


生命体における物質の流れ

- 生命体は

- 外部から物質(高エネルギー)を取り込み 食べる
- 外部へ物質(低エネルギー)を排出する 排泄

生命体は渦の
チューブ



生命体の考え方

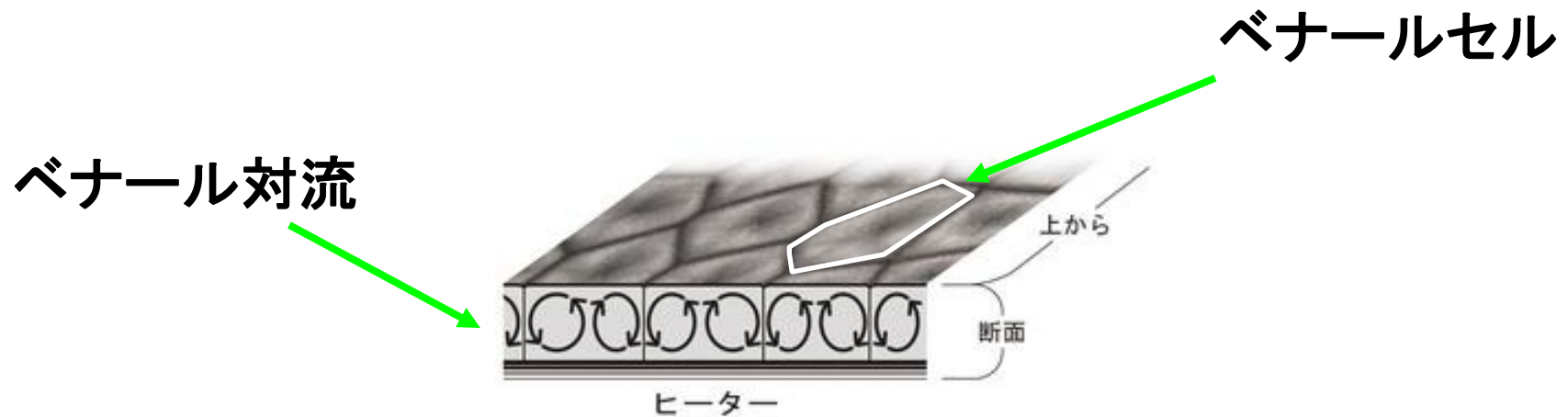
- コンパートメント構築の仕組み
 - 流れや渦で構造を形成 例: ベナール対流



散逸構造

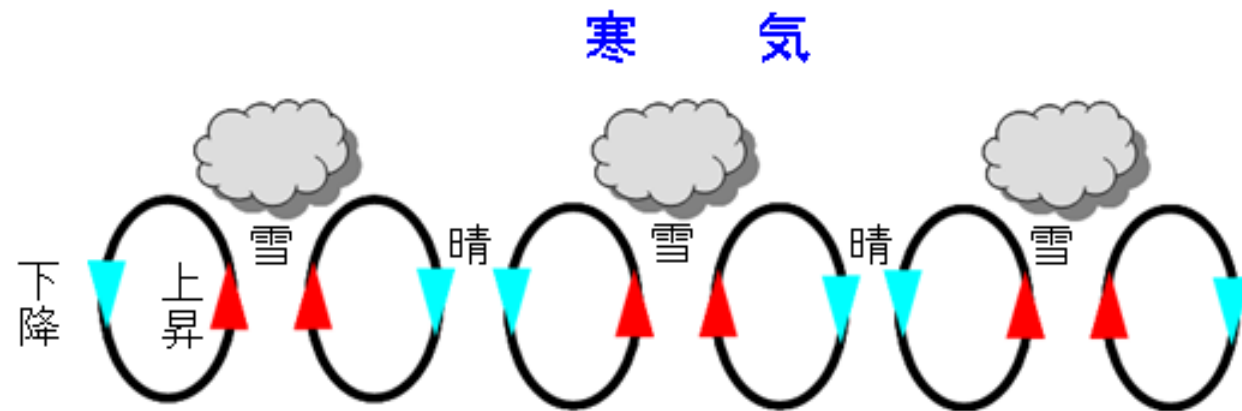
ベナール対流

- 一様に暖められた薄い平面流体に生じるセル



雲の上部

- ベナール渦(セル)



海(暖)

(C) 鳥取气象台



散逸構造

- 自然界におけるコンパートメント形成機構

- 凝集相で区分けされた構造

- 濃度は不均一
- 化学ポテンシャルは均一
- 構造の発展は熱力学第二法則に反する

定常平衡

- 散逸構造

- 濃度は不均一
- 化学ポテンシャルも不均一
- 散逸構造の発展は熱力学第二法則に反しない

定常非平衡



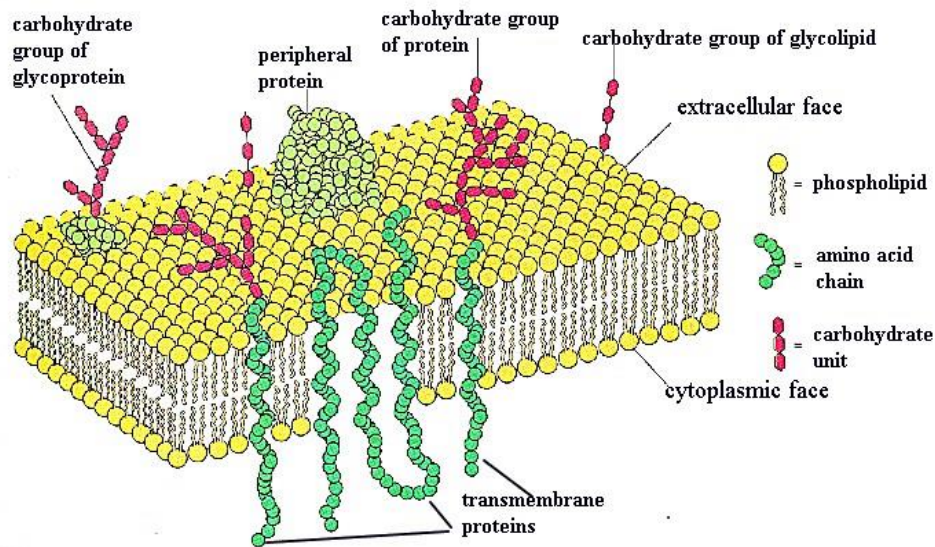
図1 コーヒーに注いだミルクのかき混ぜ.

イリヤ・プリゴジン

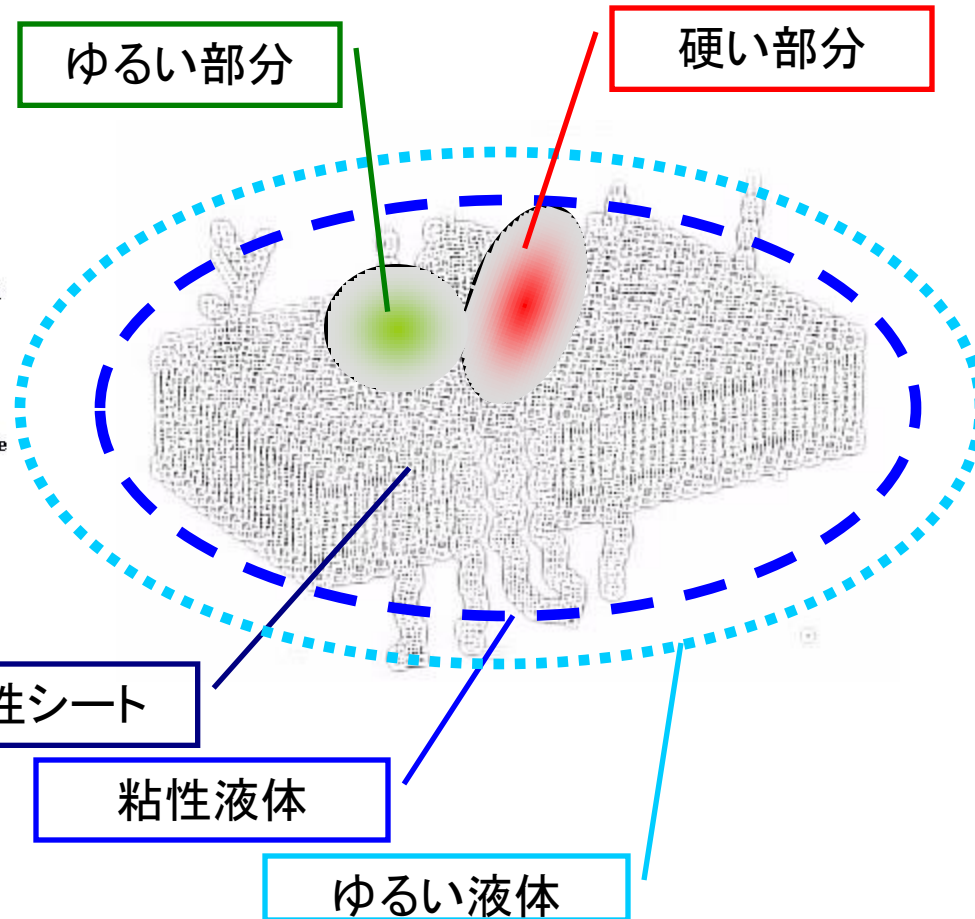
1917年1月25日 - 2003年5月28日

生命現象のモデリング

- 生命現象の基本的要素
 - 複雑液体の散逸構造
- 生命現象の部品
 - 粘性や弾性の分布

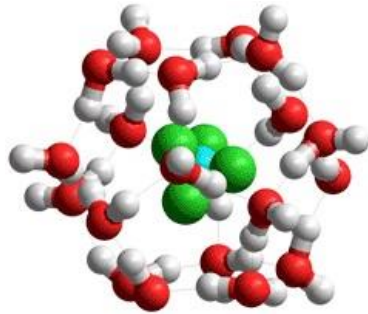


water is not displayed

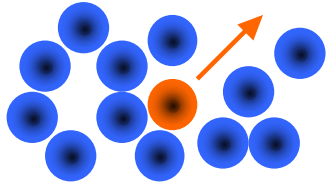


生命現象と液体の階層構造という類似性

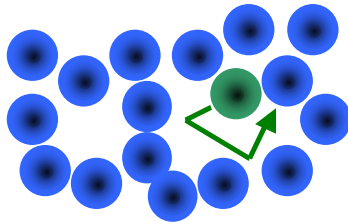
高次構造



協同的構造緩和



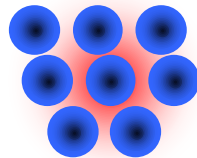
ケージダイナミクス



void壁の揺れ運動



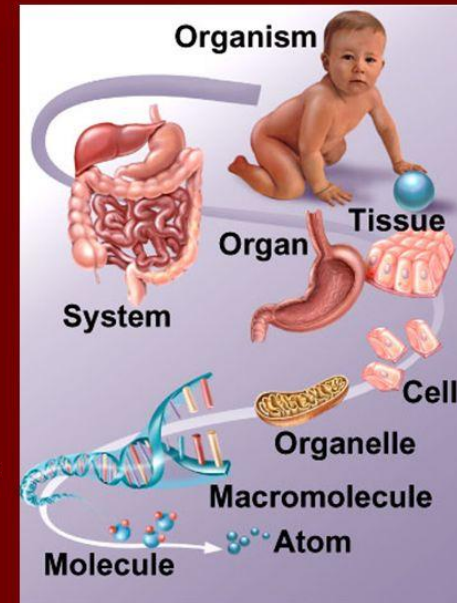
ガラスの局所緩和



Human Structure

Hierarchy of complexity

- organism composed of organ systems
- organ systems composed of organs
- organs composed of tissues
- tissues composed of cells
- cells composed of organelles
- organelles composed of macromolecules
- macromolecules composed of molecules
- molecules are composed of atoms.



研究活動

- 複雑液体物理学
 - 分子間相互作用が強い系のアモルファス状態に普遍的に存在する分子ダイナミクスの追求
 - 水素結合性液体は典型的な複雑液体
- アモルファス状態
 - 液体、過冷却液体、ガラス
- 水素結合性液体
 - 水、アルコール(一価～多価)、糖 ...
 - もしかして生命現象も？

最近の研究テーマ

- 糖・糖アルコール系のガラス転移
 - 糖の過冷却液体・ガラスの局所ゆらぎ
 - 糖アルコール・水混合系の再結晶過程における分子ダイナミクス
- 一価アルコール系の局所分子ダイナミクス
 - THz局所ゆらぎ → アモルファスとは何か？
 - 分子が作る高次構造
- コラーゲン水溶液の動的液体構造
 - 水分子の状態
 - 高粘性の起源

副業

- 本業から得られた研究成果を活用して北海道の地域産業育成のお手伝い
- 化粧品の開発
 - ハマナスを利用した美白化粧水・ローション
 - チョウザメコラーゲンを使用した保湿性化粧品
- 生命組織の非破壊長期保存
 - 水産業 生ウニの過冷却冷蔵保存
 - 畜産業 精子・卵子の安定保存
 - 医療 臓器の保存

研究室活動

- **メンバーは4年生であっても研究者である**
- **勤務時間の基準**
 - 一般社会のカレンダーどおり(月～金)、9am～
 - 欠勤は埋め合わせをする
 - ふつう毎週1回休んだらクビになるでしょ
- **月曜ミーティング**
 - 研究の進捗状況・スケジュール確認、9:30～
- **セミナー**
 - 論文紹介、大学院生が担当、週1回
 - 勉強会、4年生が担当、週1回
- **共同研究**
 - 他大学、一般企業、海外研究機関