

# 第9章 統計力学の考え方

## 第9章の参考文献

- 田崎晴明「統計力学Ⅰ・Ⅱ」(培風館)
- ランダウ・リフシッツ「統計物理学 第3版 上・下」(岩波書店)
- 大野克嗣「統計物理 ジョギングコース」  
[http://www.yoono.org/Y\\_00NO\\_official\\_site/StatPhysJogging.html](http://www.yoono.org/Y_00NO_official_site/StatPhysJogging.html)
- 清水 明「統計力学の基礎」  
[http://as2.c.u-tokyo.ac.jp/lecture\\_note/statmech.pdf](http://as2.c.u-tokyo.ac.jp/lecture_note/statmech.pdf)

## 9.1 熱力学と統計力学

熱学・統計力学要論 (2017)

田中担当クラス

<http://www-het.phys.sci.osaka-u.ac.jp/~tanaka/teaching.html>

### 第9章 統計力学の考え方

# マクロとミクロ

- マクロ  $\Rightarrow$  熱力学  
 $U, V, N$
- ミクロ  $\Rightarrow$  力学, 電磁気学, 量子力学  
 $E, V, N$ , 個々の分子の位置, 運動量等, ...

## マクロ状態とミクロ状態の対応

1つのマクロな熱平衡状態 ( $U, V, N$ )

$\Leftrightarrow$  多数のミクロな状態 ( $E \simeq U, V, N, \dots$ )

## (平衡) 統計力学

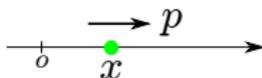
ミクロ系の確率モデルを用いてマクロ系の平衡状態 (状態変数, 熱力学関数) の情報を得る.

ミクロ系を古典 (量子) 力学で扱う  $\Rightarrow$  古典 (量子) 統計力学

# ミクロ状態の記述

(古典) 力学：位置と運動量  $\Rightarrow$  位相空間

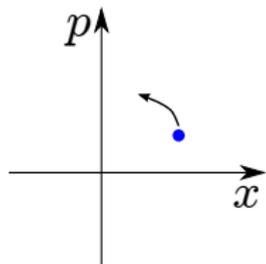
- 1次元, 1粒子



状態:  $(x, p)$  ( $p$  は圧力ではない.)

位相空間: 2次元空間 (平面)

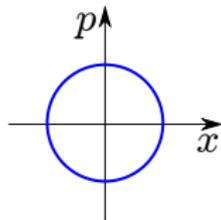
エネルギー:  $E = p^2/2m + V(x)$  ( $V(x)$  はポテンシャル, 体積ではない.)



例: 調和振動子

$$V(x) = \frac{m}{2}\omega^2 x^2$$

“ $E = \text{一定}$ ”の状態は, 位相空間内の (楕) 円.



時間発展を表す軌跡は交差, 分岐, 合流しない.

- 3次元, 1粒子

状態: 位置  $\mathbf{q} = (q_x, q_y, q_z)$ , 運動量  $\mathbf{p} = (p_x, p_y, p_z)$

位相空間: 6次元

## 3次元, $N$ 粒子 ( $N \sim 10^{23}$ )

$\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2, \dots, \mathbf{q}_N; \mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_N$ : 位相空間は  $6N$  次元.

エネルギー  $E(\mathbf{q}_1, \dots, \mathbf{q}_N, \mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_N)$  ( $= E(q, p)$  と略記)

マクロな平衡状態 ( $E, V, N$ )

$\Leftrightarrow E(q, p) = E$  を満すミクロ状態の 一部

平衡状態  
 $E, V, N$



平衡状態でない状態  
 $E, V, N$



(マクロに区別できる)

## 統計力学の基本的仮定 (要請)

マクロな平衡状態 ( $E, V, N$ )

$\Leftrightarrow E(q, p) = E$  を満すミクロ状態の ほとんど全部

平衡状態の力学的物理量 (圧力等) :  $f = f(q, p)$  (計算可能)

熱的な物理量 (エントロピー等) はどうやって計算するのか?