物理学 II(熱力学) 第 1 回　　2002 年 6 月 5 日

0. 序論

0-1 位置づけ

物理学とは 自然界の理解．法則の発見と体系化．基本法則群がどのように現実世界を作っているのか明らかにする．

物理の体系 (超簡約版)

	小数体系	多体系の平均的性質	場
巨視的	古典力学 (含む相対論)	**熱力学**・連続体力学	電磁気学・重力理論
微視的	量子力学	統計力学	量子電磁気学

これらは相互に関連し合っている．自然界の理解には一通り必要．

0-2 熱力学の特徴

考察の中心 エネルギーの 1 形態として熱が持っている性質．

- 他形態のエネルギーとの相互転換．
  初等熱力学では特に機械的仕事との関係．
- 熱力学的に安定な状態の記述．

特徴 系の個別な事情に依らない．コップの水から宇宙全体まで適用できる．

- 経験的根拠に基づく少数の原理を仮定
- 論理により様々な結論を導出
- 結論の汎用性がきわめて高い．

人は普通，因果関係的思考 (こう力を加えからこう動く) に慣れている．熱力学の論理展開はそうではないものが多い．エントロピーなど抽象概念も多く，それゆえ最初は取り付きにくいという面もある．

歴史 かいつまんだ歴史は以下の通り

- 1802 ゲイ・リュサック 気体の熱膨張
- 1824 **カルノー** カルノーの原理 (熱力学第 2 法則の萌芽)
- 1842 **マイヤー** エネルギー保存の法則 (熱力学第 1 法則)
- 1843 ジュール 熱の仕事等量 1 cal = 4.185 J

- 1850 **クラウジウス** 熱力学第 2 法則
- 1851 ケルビン 熱力学第 2 法則
- 1859 マックスウェル 気体分子運動論の基礎
- 1865 クラウジウス エントロピー増大の原理
- 1877 ボルツマン 熱力学第 2 法則の統計的基礎
- 1902 ギブス 統計力学の確率
- 1906 ネルンスト 熱力学第 3 法則
- 1965 ペンジャス，ウィルソン 宇宙背景 3K 放射
- 2002 to be continued

1. 熱力学的な系

1-1 質点系の状態

N 個の質点からなる系 力学的には各質点の位置と運動量，$6N$ 個の変数，で状態指定.

N がきわめて大きい，例えばアボガドロ数と同程度だと，個々の粒子の運動を知ることにあまり意味がない．また系の平均的性質を知るには不便.

1-2 熱力学的な系の例

単成分一様流体 温度 T，体積 V，圧力 P の測定が可．器の形状は普通問題にせず，これで系の「熱力学的状態」が十分記述されたものとする.

温度測定：温度計を系に十分長い時間接触させる (熱平衡)

系内の物質量が一定の場合，温度，体積，圧力は独立ではなくある関数で結ばれている

$$f(P, V, T) = 0.$$

これを状態方程式という.

系の状態はどれか 2 変数を指定すれば決まる.

単成分一様固体 おおよそ一様流体と同様に扱ってよい.

方向ごとに異なる圧力 (応力) を考えることも可 (地球科学で重要→弾性体力学).

一様でない系 系をいくつかの一様な部分に分割して記述.

各部分の状態は体積，温度，圧力に加えて質量，組成で記述.

流れている系 巨視的な運動がある場合，系の各部分の速度も必要

(→流体力学：地球惑星宇宙の理解に不可欠)

本講義では当面単成分一様流体の系について考察.

1-3 熱平衡状態

外界との関係 系と外界との関係の持ち方にはいくつか考えられる.

- 孤立系：外界とエネルギー，物質のやりとりのない系.
- 閉じた系：物質のやりとりはないがエネルギーのやりとりのある系.
- 開いた系：物質・エネルギーともにやりとりのある系.

熱平衡状態 孤立系で十分な時間経過した後に実現される状態.

系内では巨視的運動はなく，温度，圧力は一様.

2 つの系の接触 それぞれ熱平衡状態にあった 2 つの系 A，B のエネルギー・物質のやりとりを許したとき，両系の状態が変化しなければ 2 つの系は熱平衡にあるという.

このとき両者は等しい温度をもつことは言うまでもない.

もし温度が違う場合，経験的事実として，外から仕事を加えない限り，**熱は高温の系から低温の系に移動する**.

実は温度は複数の系が熱平衡にあるかどうかを記述する物理量である.

熱力学第ゼロ法則 系 A と系 B が熱平衡にあったとする．一方で系 B と系 C も熱平衡にあったとする．このとき系 A と系 C は熱平衡にある.

2 つの系 A,B が熱平衡にあることを

$$A \sim B$$

と表すと，熱力学第ゼロ法則は

$$A \sim B,\ B \sim C \to A \sim C$$

と表現できる.