

計算量クラス間の定義を概観すると...

クラス \mathcal{P} の定義(5章)

集合 L がクラス \mathcal{P} に入る \Leftrightarrow

以下を満たす多項式時間計算可能述語 R が存在:

各 $x \in \Sigma^*$ で $x \in L \Leftrightarrow R(x)$

クラス \mathcal{NP} の定義(定義5.2)

集合 L がクラス \mathcal{NP} に入る \Leftrightarrow

以下を満たす多項式 q と多項式時間計算可能述語 R が存在:

各 $x \in \Sigma^*$ で $x \in L \Leftrightarrow \exists w \in \Sigma^* : |w| \leq q(|x|) [R(x, w)]$

クラス $\text{co-}\mathcal{NP}$ の定義(定理5.5)

集合 L がクラス $\text{co-}\mathcal{NP}$ に入る \Leftrightarrow

以下を満たす多項式 q と多項式時間計算可能述語 R が存在:

各 $x \in \Sigma^*$ で $x \in L \Leftrightarrow \forall w \in \Sigma^* : |w| \leq q(|x|) [R(x, w)]$

Observation of the definitions of the classes...

Def: Class \mathcal{P} (Chapter 5)

Set L is in the class $\mathcal{P} \Leftrightarrow$

There exists a poly-time computable predicate R such that
 for each $x \in \Sigma^*$, $x \in L \Leftrightarrow R(x)$

Def: Class \mathcal{NP} (Def 5.2)

Set L is in the class $\mathcal{NP} \Leftrightarrow$

There exists a poly q and a poly-time computable pred. R s.t.
 for each $x \in \Sigma^*$, $x \in L \Leftrightarrow \exists w \in \Sigma^* : |w| \leq q(|x|) [R(x,w)]$

Def: Class $\text{co-}\mathcal{NP}$ (Theorem 5.5)

Set L is in the class $\text{co-}\mathcal{NP} \Leftrightarrow$

There exists a poly q and a poly-time computable pred. R s.t.
 for each $x \in \Sigma^*$, $x \in L \Leftrightarrow \forall w \in \Sigma^* : |w| \leq q(|x|) [R(x,w)]$

第6章 多項式時間計算可能性の分析

6.1. 多項式時間還元可能性

定義6.1:

A と B を任意の集合とする.

(1) 関数 $h: A \rightarrow B$: 多項式時間還元 (polynomial-time reduction)

- \Leftrightarrow $\left\{ \begin{array}{l} \text{(a) } h \text{ は } \Sigma^* \text{ から } \Sigma^* \text{ への全域的関数} \\ \text{(b) } x \in \Sigma^* [x \in A \leftrightarrow h(x) \in B] \\ \text{(c) } h \text{ は多項式時間計算可能.} \end{array} \right.$

(2) A から B への多項式時間還元が存在するとき,
 A は B へ多項式時間還元可能という (polynomial time reducible).
 このとき, 次のように書く:

$$A \leq_m^P B$$

Chapter 6. Analysis on Polynomial-Time Computability

6.1. Polynomial-time Reducibility

Def.6.1:

Let A and B be arbitrary sets.

(1) function $h: A \rightarrow B$: polynomial-time reduction

- $$\Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{(a) } h \text{ is a total function from } \Sigma^* \text{ onto } \Sigma^* \\ \text{(b) } x \in \Sigma^* [x \in A \leftrightarrow h(x) \in B] \\ \text{(c) } h \text{ is polynomial-time computable.} \end{array} \right.$$

(2) When there is a polynomial-time reduction from A to B , we say A is polynomial-time reducible to B .

Then, we denote by

$$A \leq_m^P B$$

$A \leq_m^P B$ 多項式時間の範囲内では, A の難しさ \leq B の難しさ

定理6.1. $A \leq_m^P B$ のとき,

- (1) $B \in \mathcal{P} \rightarrow A \in \mathcal{P}$.
- (2) $B \in \mathcal{NP} \rightarrow A \in \mathcal{NP}$.
- (3) $B \in \text{co-}\mathcal{NP} \rightarrow A \in \text{co-}\mathcal{NP}$.
- (4) $B \in \mathcal{EXP} \rightarrow A \in \mathcal{EXP}$.

補注: クラス \mathcal{E} は例外. 一般には, $B \in \mathcal{E} \rightarrow A \in \mathcal{E}$ とはならない.

例6.2: $\text{ONE} \equiv \{1\}$ と定義するとき, クラス \mathcal{P} のすべての集合 L について $L \leq_m^P \text{ONE}$

が成り立つ.
$$h(x) \equiv \begin{cases} 1, & x \in L \text{ のとき,} \\ 0, & \text{その他のとき} \end{cases}$$

と定義すると, (1) h は Σ^* から Σ^* への全域的関数.

(2) $x \in \Sigma^* [x \in L \leftrightarrow h(x) \in \text{ONE}]$

(3) h は多項式時間計算可能 ($L \in \mathcal{P} \rightarrow x \in L$ の判定も多項式時間内)

$A \leq_m^P B$ within polynomial time, hardness of $A \leq$ that of B

Theorem 6.1 $A \leq_m^P B$ leads to,

- (1) $B \in \mathcal{P} \rightarrow A \in \mathcal{P}$.
- (2) $B \in \mathcal{NP} \rightarrow A \in \mathcal{NP}$.
- (3) $B \in \text{co-}\mathcal{NP} \rightarrow A \in \text{co-}\mathcal{NP}$.
- (4) $B \in \mathcal{EXPTIME} \rightarrow A \in \mathcal{EXPTIME}$.

Note: class \mathcal{E} is exceptional. Generally, $B \in \mathcal{E} \rightarrow A \in \mathcal{E}$ is not true.

Ex.6.2: If we define $\text{ONE} \equiv \{1\}$, for each set L in \mathcal{P} we have

$$L \leq_m^P \text{ONE}$$

If we define $h(x) \equiv \begin{cases} 1, & \text{if } x \in L, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$

- (1) h is a total function from Σ^* onto Σ^* .
- (2) $x \in \Sigma^* [x \in L \leftrightarrow h(x) \in \text{ONE}]$
- (3) h is polynomial-time computable (so is computation $L \in \mathcal{P} \rightarrow x \in L$)

定理6.2: A, B, C : 任意の集合

$$(1) A \leq_m^P A$$

$$(2) A \leq_m^P B \wedge B \leq_m^P C \rightarrow A \leq_m^P C$$

定義: $A \equiv_m^P B \leftrightarrow A \leq_m^P B \wedge B \leq_m^P A$

\equiv_m^P は同値関係

Theorem 6.2: A, B, C : arbitrary sets

$$(1) A \leq_m^P A$$

$$(2) A \leq_m^P B \wedge B \leq_m^P C \rightarrow A \leq_m^P C$$

Def: $A \equiv_m^P B \leftrightarrow A \leq_m^P B \wedge B \leq_m^P A$
 \equiv_m^P is an equivalence relation.

命題論理式の充足可能性問題の関係

2SAT (命題論理式充足性問題: 二和積形式)

3SAT (命題論理式充足性問題: 三和積形式)

SAT (命題論理式充足性問題)

ExSAT (拡張命題論理式充足性問題)

$$2\text{SAT} \leq_m^P 3\text{SAT}$$

同様に,

$$3\text{SAT} \leq_m^P \text{SAT} \leq_m^P \text{ExSAT}$$

$$2\text{SAT} \leq_m^P 3\text{SAT} \leq_m^P \text{SAT} \leq_m^P \text{ExSAT} \quad (6.1)$$

ここで

$$\text{ExSAT} \leq_m^P 3\text{SAT}$$

であることを示せると,

$$3\text{SAT} \equiv_m^P \text{SAT} \equiv_m^P \text{ExSAT}$$

となる.

- 高々 k 個... 自明
- ちょうど k 個...
 - 同じリテラルを使ってよいなら簡単。
 - だめなら... 考えてみよう!

Relation among satisfiability problems of propositional expressions

2SAT (propositional satisfiability problem)

3SAT

SAT

ExSAT (extended propositional satisfiability problem)

$$2\text{SAT} \leq_m^P 3\text{SAT}$$

- at most $k \dots$ trivial

- exactly $k \dots$

- easy if you can repeat the same literal.

- the other case ... good exercise!

Similarly,

$$3\text{SAT} \leq_m^P \text{SAT} \leq_m^P \text{ExSAT}$$

$$2\text{SAT} \leq_m^P 3\text{SAT} \leq_m^P \text{SAT} \leq_m^P \text{ExSAT} \quad (6.1)$$

Here, if we can show

$$\text{ExSAT} \leq_m^P 3\text{SAT}$$

then we have

$$3\text{SAT} \equiv_m^P \text{SAT} \equiv_m^P \text{ExSAT}$$

例6.3: ExSATから3SATへの還元

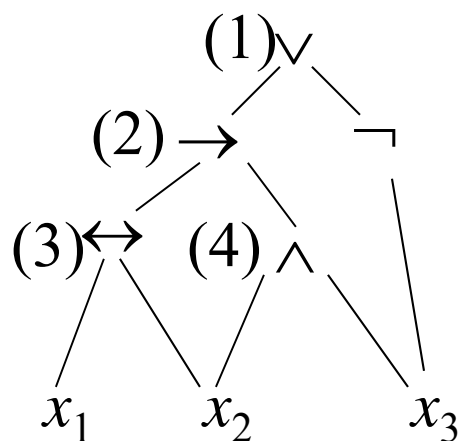
$$E_1(x_1, x_2, x_3) \equiv [[x_1 \leftrightarrow x_2] \rightarrow [x_2 \wedge x_3]] \vee \neg x_3$$

$$F_1(x_1, x_2, x_3) \equiv U_1 \wedge [U_1 \leftrightarrow [U_2 \vee \neg x_3]] \wedge [U_2 \leftrightarrow [U_3 \rightarrow U_4]] \\ \wedge [U_3 \leftrightarrow [x_1 \leftrightarrow x_2]] \wedge [U_4 \leftrightarrow [x_2 \wedge x_3]]$$

このとき, $[E_1 \text{が充足可能}] \leftrightarrow [F_1 \text{が充足可能}]$ (6.2)

F_1 は三和積形式に直しやすい形になっている.

F_1 の構成方法



$$(1) V_1 \equiv V_2 \vee \neg x_3$$

$$(2) V_2 \equiv [V_3 \rightarrow V_4]$$

$$(3) V_3 \equiv [x_1 \leftrightarrow x_2]$$

$$(4) V_4 \equiv x_2 \wedge x_3$$

F_1 を構成するために, $V_i \rightarrow U_i$ とし, V_i の定義式を \wedge で結ぶ

Ex. 6.3: Reduction from ExSAT to 3SAT

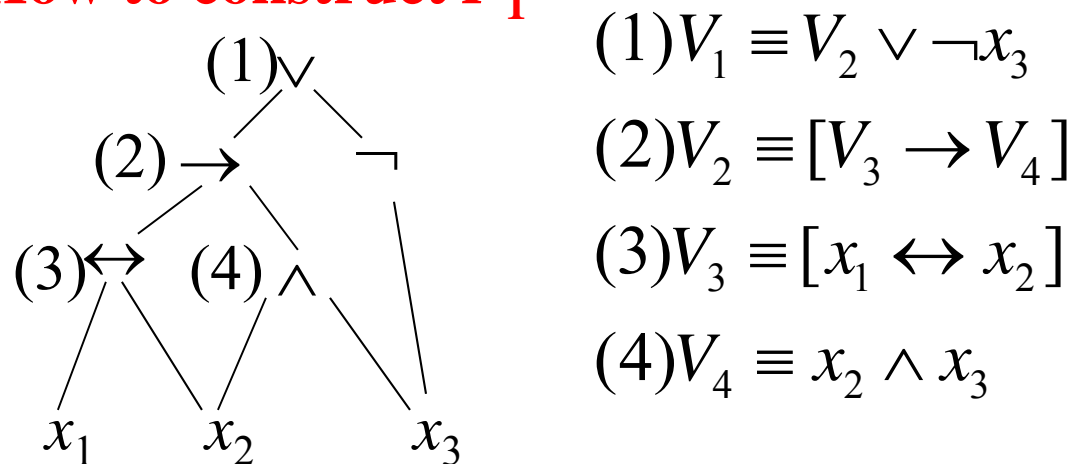
$$E_1(x_1, x_2, x_3) \equiv [[x_1 \leftrightarrow x_2] \rightarrow [x_2 \wedge x_3]] \vee \neg x_3$$

$$F_1(x_1, x_2, x_3) \equiv U_1 \wedge [U_1 \leftrightarrow [U_2 \vee \neg x_3]] \wedge [U_2 \leftrightarrow [U_3 \rightarrow U_4]] \\ \wedge [U_3 \leftrightarrow [x_1 \leftrightarrow x_2]] \wedge [U_4 \leftrightarrow [x_2 \wedge x_3]]$$

Then, $[E_1 \text{ is satisfiable}] \leftrightarrow [F_1 \text{ is satisfiable}]$ (6.2)

F_1 is easier to be converted to 3SAT form.

How to construct F_1



To construct F_1 we let $V_i \rightarrow U_i$, and connect expressions of V_i by \wedge

F_1 の構成方法より,

- (1) 各 U_i の値を $V_i(x_1, x_2, x_3)$ としない限り, F_1 は真にはならない.
- (2) 各 U_i の値を $V_i(x_1, x_2, x_3)$ としたとき, $F_1 = E_1$

上の性質が成り立つことは, 帰納法を用いるなどして証明可能.
証明は省略.

三和積形式への変換

$$a \rightarrow b = \neg a \vee b$$

$$a \leftrightarrow b = (a \rightarrow b) \wedge (b \rightarrow a) = [\neg a \vee b] \wedge [\neg b \vee a] \text{ であることを用いる.}$$

$$\begin{aligned} U_1 \leftrightarrow [U_2 \vee \neg x_3] &= [\neg U_1 \vee U_2 \vee \neg x_3] \wedge [U_1 \vee \neg [U_2 \vee \neg x_3]] \\ &= [\neg U_1 \vee U_2 \vee \neg x_3] \wedge [U_1 \vee [\neg U_2 \wedge x_3]] \\ &= [\neg U_1 \vee U_2 \vee \neg x_3] \wedge [U_1 \vee \neg U_2] \wedge [U_1 \vee x_3] \\ &= [\neg U_1 \vee U_2 \vee \neg x_3] \wedge [U_1 \vee \neg U_2 \vee \neg U_2] \wedge [U_1 \vee x_3 \vee x_3] \end{aligned}$$

他も同様.

よって, すべて三和積形式に変形できることがわかる.

From the construction of F_1

(1) F_1 is never true unless each U_i is $V_i(x_1, x_2, x_3)$.

(2) If each U_i is $V_i(x_1, x_2, x_3)$, we have $F_1 = E_1$

The above properties are proved by using induction.

proof is omitted.

Conversion to 3SAT form

$$a \rightarrow b = \neg a \vee b$$

$$a \leftrightarrow b = (a \rightarrow b) \wedge (b \rightarrow a) = [\neg a \vee b] \wedge [\neg b \vee a]: \text{useful relations}$$

$$\begin{aligned} U_1 \leftrightarrow [U_2 \vee \neg x_3] &= [\neg U_1 \vee U_2 \vee \neg x_3] \wedge [U_1 \vee \neg[U_2 \vee \neg x_2]] \\ &= [\neg U_1 \vee U_2 \vee \neg x_3] \wedge [U_1 \vee [\neg U_2 \wedge x_2]] \\ &= [\neg U_1 \vee U_2 \vee \neg x_3] \wedge [U_1 \vee \neg U_2] \wedge [U_1 \vee x_2] \\ &= [\neg U_1 \vee U_2 \vee \neg x_3] \wedge [U_1 \vee \neg U_2 \vee \neg U_2] \wedge [U_1 \vee x_2 \vee x_2] \end{aligned}$$

Others are similar.

Thus, every 3SAT form is converted.

6.2. 多項式時間還元可能性に基づく完全性

6.2.1. 完全性の定義とその基本的性質

定義6.2: 計算量クラス C に対し, 集合 A が次の条件を満たすとき, それを(\leq_m^P の下で) C -完全という.

(a) $\forall L \in C [L \leq_m^P A]$

(b) $A \in C$

補注: 条件(a)を満たす集合は C -困難.

6.2. Completeness based on Polynomial-time Reducibility

6.2.1. Definition of Completeness and its Basic Properties

Def.6.2: For a class \mathcal{C} , if a set A satisfies the following conditions, then it is called **\mathcal{C} -complete** (under \leq_m^P)

(a) $\forall L \in \mathcal{C} [L \leq_m^P A]$

(b) $A \in \mathcal{C}$

Note : Sets satisfying the condition (a) are called **\mathcal{C} -hard**.

6.2. 多項式時間還元可能性に基づく完全性

6.2.1. 完全性の定義とその基本的性質

例6.5. クラス \mathcal{NP} の完全集合の例

3SAT, SAT, ExSAT, DHAM, KNAP, BIN, VCなど
クラス \mathcal{EXP} の完全集合

EVAL-IN-E, HALT-IN-Eなど

EVAL-IN-E:

入力: $\langle a, x, \bar{t} \rangle$

a : 1入力プログラムのコード, $x \in \Sigma^*$, $\bar{t} \geq 0$

出力: $eval-in-time(a, x, \bar{2}^{\bar{t}}) = accept?$

6.2. Completeness based on Polynomial-time Reducibility

6.2.1. Definition of Completeness and its Basic Properties

Ex.6.5. Examples of \mathcal{NP} -complete sets

3SAT, SAT, ExSAT, DHAM, KNAP, BIN, VC, etc

\mathcal{EXP} -complete sets

EVAL-IN-E, HALT-IN-E, etc.

EVAL - IN - E :

Input : $\langle a, x, \bar{t} \rangle$

a : the code of a program with 1 input, $x \in \Sigma^*$, $\bar{t} \geq 0$

Output : $eval-in-time(a, x, \bar{2}^{\bar{t}}) = accept?$

定理6.3. 任意の C -困難集合(含: C -完全集合) A に対し,

- | | |
|---|--|
| (1) $A \in \mathcal{P} \rightarrow C \subseteq \mathcal{P}$ | 対偶は $C \not\subseteq \mathcal{P} \rightarrow A \notin \mathcal{P}$ |
| (2) $A \in \mathcal{NP} \rightarrow C \subseteq \mathcal{NP}$ | 対偶は $C \not\subseteq \mathcal{NP} \rightarrow A \notin \mathcal{NP}$ |
| (3) $A \in \text{co-}\mathcal{NP} \rightarrow C \subseteq \text{co-}\mathcal{NP}$ | 対偶は $C \not\subseteq \text{co-}\mathcal{NP} \rightarrow A \notin \text{co-}\mathcal{NP}$ |
| (4) $A \in \mathcal{EXP} \rightarrow C \subseteq \mathcal{EXP}$ | 対偶は $C \not\subseteq \mathcal{EXP} \rightarrow A \notin \mathcal{EXP}$ |

証明:

(1) B を任意の C 集合とすると, A は C -困難だから,

$$B \leq_m^P A \quad \text{一方, } A \in \mathcal{P} \text{の仮定より, } B \in \mathcal{P} \text{ (定理6.1)}$$

(2), (3), (4)も同様

Theorem 6.3. For any \mathcal{C} -hard (or \mathcal{C} -complete) set A ,

- | | |
|---|--|
| (1) $A \in \mathcal{P} \rightarrow \mathcal{C} \subseteq \mathcal{P}$ | CP: $\mathcal{C} \not\subseteq \mathcal{P} \rightarrow A \notin \mathcal{P}$ |
| (2) $A \in \mathcal{NP} \rightarrow \mathcal{C} \subseteq \mathcal{NP}$ | CP: $\mathcal{C} \not\subseteq \mathcal{NP} \rightarrow A \notin \mathcal{NP}$ |
| (3) $A \in \text{co-}\mathcal{NP} \rightarrow \mathcal{C} \subseteq \text{co-}\mathcal{NP}$ | CP: $\mathcal{C} \not\subseteq \text{co-}\mathcal{NP} \rightarrow A \notin \text{co-}\mathcal{NP}$ |
| (4) $A \in \mathcal{EXP} \rightarrow \mathcal{C} \subseteq \mathcal{EXP}$ | CP: $\mathcal{C} \not\subseteq \mathcal{EXP} \rightarrow A \notin \mathcal{EXP}$ |

Proof:

CP: contraposition

(1) Let B be any \mathcal{C} -set. Then, since A is \mathcal{C} -hard,

$B \leq_m^P A$ and by the assumption $A \in \mathcal{P}$ we have $B \in \mathcal{P}$ (Th. 6.1)

(2), (3), (4) are similar.

定理6.3. 任意の \mathcal{C} -困難集合 (含: \mathcal{C} -完全集合) A に対し,

- | | |
|---|--|
| (1) $A \in \mathcal{P} \rightarrow \mathcal{C} \subseteq \mathcal{P}$ | 対偶は $\mathcal{C} \not\subseteq \mathcal{P} \rightarrow A \notin \mathcal{P}$ |
| (2) $A \in \mathcal{NP} \rightarrow \mathcal{C} \subseteq \mathcal{NP}$ | 対偶は $\mathcal{C} \not\subseteq \mathcal{NP} \rightarrow A \notin \mathcal{NP}$ |
| (3) $A \in \text{co-}\mathcal{NP} \rightarrow \mathcal{C} \subseteq \text{co-}\mathcal{NP}$ | 対偶は $\mathcal{C} \not\subseteq \text{co-}\mathcal{NP} \rightarrow A \notin \text{co-}\mathcal{NP}$ |
| (4) $A \in \mathcal{EXP} \rightarrow \mathcal{C} \subseteq \mathcal{EXP}$ | 対偶は $\mathcal{C} \not\subseteq \mathcal{EXP} \rightarrow A \notin \mathcal{EXP}$ |

例6.6. 定理6.3の意味 (クラス \mathcal{NP})

A を \mathcal{NP} -完全集合とする.

定理6.3(1)の対偶より,

$$\mathcal{NP} \neq \mathcal{P} \rightarrow A \notin \mathcal{P}$$

定理6.3(3)の対偶と定理5.9(1)の対偶より,

$$A \notin \text{co-}\mathcal{NP}$$

つまり, \mathcal{NP} -完全集合は $\mathcal{P} \neq \mathcal{NP}$ である限り,
多項式時間では認識できない.

定理5.9.

- (1) $\mathcal{NP} \subseteq \text{co-}\mathcal{NP} \rightarrow \mathcal{NP} = \text{co-}\mathcal{NP}$

Theorem 6.3. For any \mathcal{C} -hard (or \mathcal{C} -complete) set A ,

- | | |
|---|--|
| (1) $A \in \mathcal{P} \rightarrow \mathcal{C} \subseteq \mathcal{P}$ | CP: $\mathcal{C} \not\subseteq \mathcal{P} \rightarrow A \notin \mathcal{P}$ |
| (2) $A \in \mathcal{NP} \rightarrow \mathcal{C} \subseteq \mathcal{NP}$ | CP: $\mathcal{C} \not\subseteq \mathcal{NP} \rightarrow A \notin \mathcal{NP}$ |
| (3) $A \in \text{co-}\mathcal{NP} \rightarrow \mathcal{C} \subseteq \text{co-}\mathcal{NP}$ | CP: $\mathcal{C} \not\subseteq \text{co-}\mathcal{NP} \rightarrow A \notin \text{co-}\mathcal{NP}$ |
| (4) $A \in \mathcal{EXP} \rightarrow \mathcal{C} \subseteq \mathcal{EXP}$ | CP: $\mathcal{C} \not\subseteq \mathcal{EXP} \rightarrow A \notin \mathcal{EXP}$ |

Theorem 5.9.

- (1) $\mathcal{NP} \subseteq \text{co-}\mathcal{NP} \rightarrow \mathcal{NP} = \text{co-}\mathcal{NP}$

Ex.6.6: Meaning of Theorem 6.3 (class \mathcal{NP})

Let A be \mathcal{NP} -complete set.

By the contraposition of Theorem 6.3(1) we have

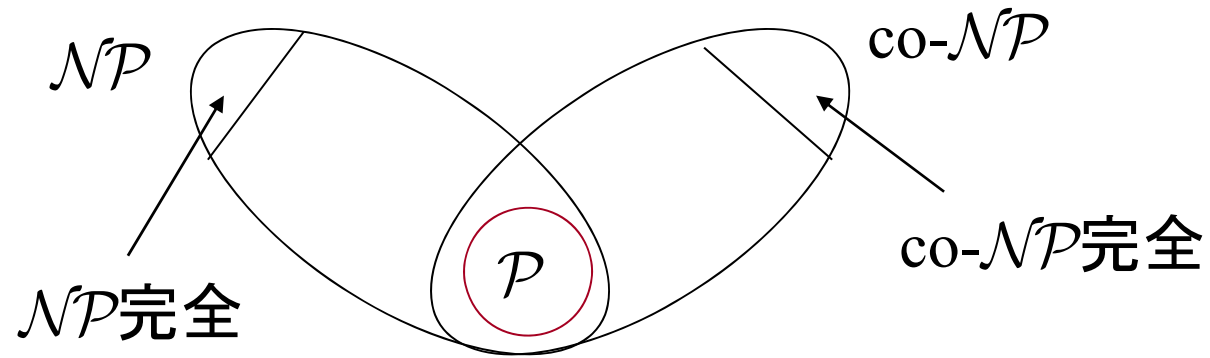
$$\mathcal{NP} \neq \mathcal{P} \rightarrow A \notin \mathcal{P}$$

By the contraposition of Theorem 6.3(3) and that of Theorem 5.9(1),

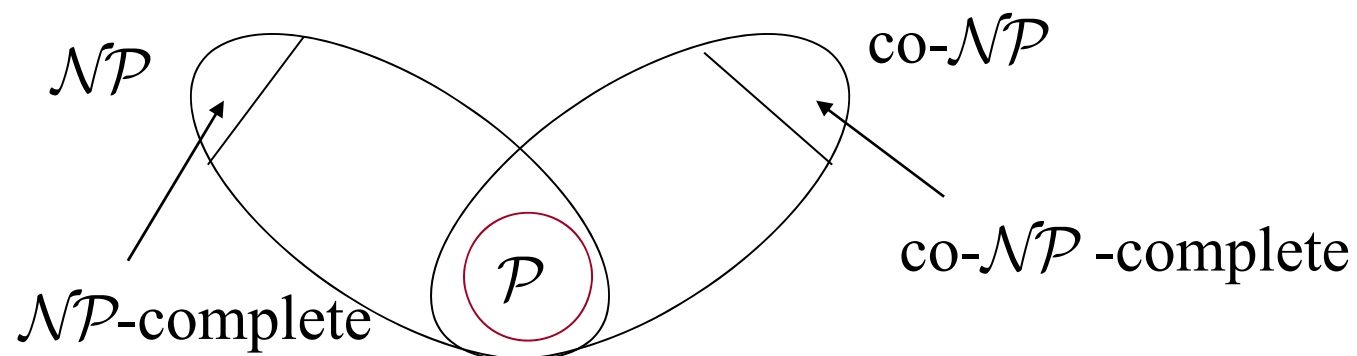
$$A \notin \text{co-}\mathcal{NP}$$

That is, \mathcal{NP} -complete sets are \mathcal{NP} -sets that cannot be recognized in polynomial time unless $\mathcal{P} = \mathcal{NP}$.

\mathcal{NP} -完全集合は $\mathcal{P} \neq \mathcal{NP}$ である限り, $\mathcal{NP} \cap \text{co-}\mathcal{NP}$ には入らない \mathcal{NP} 集合である.



\mathcal{NP} -complete sets are \mathcal{NP} -sets that do not belong to $\mathcal{NP} \cap \text{co-}\mathcal{NP}$ unless $\mathcal{P} = \mathcal{NP}$.



定理6.4. A : 任意の C -完全集合

すべての集合 B に対し,

(1) $A \leq_m^P B \rightarrow B$ は C -困難.

(2) $A \leq_m^P B \wedge B \in C \rightarrow B$ は C -完全.

証明:

定義6.2より, $\forall L \in C [L \leq_m^P A]$

定理6.2より, $L \leq_m^P A \wedge A \leq_m^P B \rightarrow L \leq_m^P B$

したがって, $\forall L \in C [L \leq_m^P B]$

すなわち, B は C -困難.

Theorem 6.4. A : any \mathcal{C} -complete set

For any set B we have

(1) $A \leq_m^P B \rightarrow B$ is \mathcal{C} -hard.

(2) $A \leq_m^P B \wedge B \in \mathcal{C} \rightarrow B$ is \mathcal{C} -complete.

Proof:

By Def. 6.2 $\forall L \in \mathcal{C}[L \leq_m^P A]$

By Theorem 6.2, $L \leq_m^P A \wedge A \leq_m^P B \rightarrow L \leq_m^P B$

Therefore, $\forall L \in \mathcal{C}[L \leq_m^P B]$

That is, B is \mathcal{C} -hard.

$\mathcal{EXPC} \equiv \{L: L \text{は} \mathcal{EXP}\text{-完全}\}$

$\mathcal{NPC} \equiv \{L: L \text{は} \mathcal{NP}\text{-完全}\}$

とすると, 次の定理が成り立つ.

定理6.5.

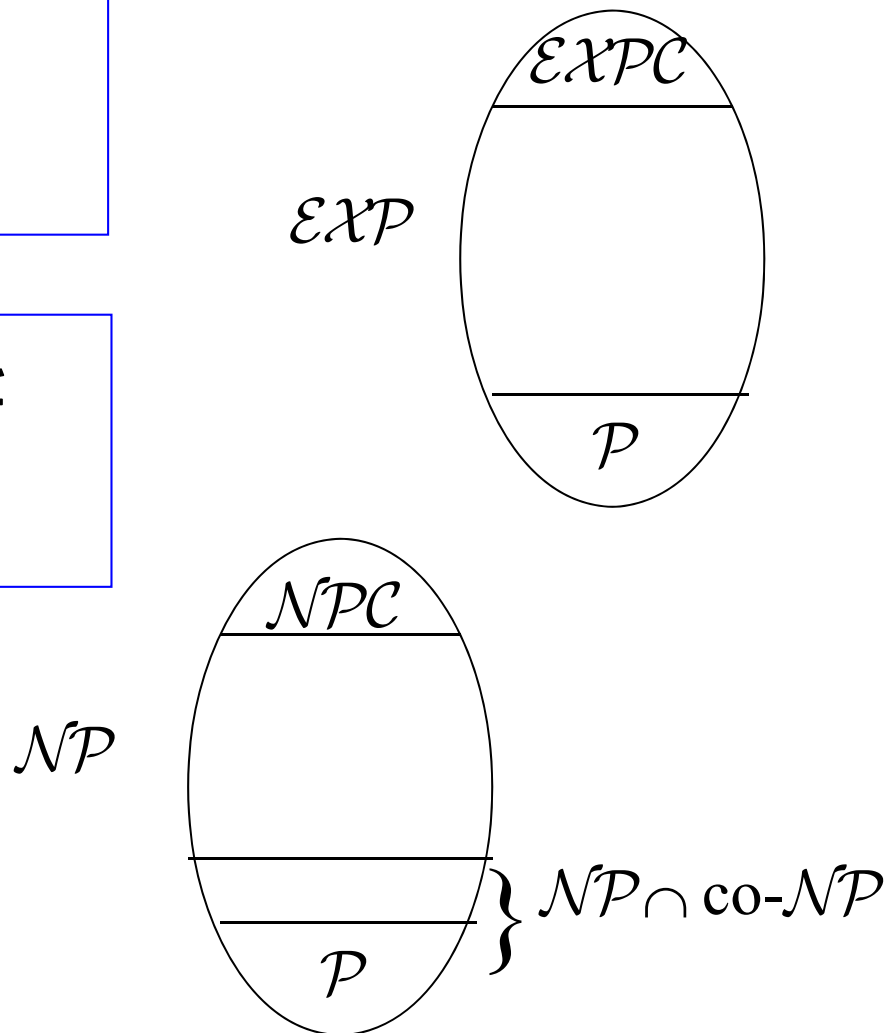
(1) $\mathcal{EXPC} \cap \mathcal{P} = \emptyset$

(2) $\mathcal{EXP} - (\mathcal{EXPC} \cup \mathcal{P}) \neq \emptyset$

定理6.6: $\mathcal{P} \neq \mathcal{NP}$ を仮定すると

(1) $\mathcal{NPC} \cap \mathcal{P} = \emptyset$

(2) $\mathcal{NP} - (\mathcal{NPC} \cup \mathcal{P}) \neq \emptyset$



$\mathcal{EXPC} \equiv \{L: L \text{ is } \mathcal{EXP}\text{-complete}\}$

$\mathcal{NPC} \equiv \{L: L \text{ is } \mathcal{NP}\text{-complete}\}$

Then, we have the following theorems.

Theorem 6.5.

- (1) $\mathcal{EXPC} \cap \mathcal{P} = \emptyset$
- (2) $\mathcal{EXP} - (\mathcal{EXPC} \cup \mathcal{P}) \neq \emptyset$

Theorem 6.6: Assuming $\mathcal{P} \neq \mathcal{NP}$

- (1) $\mathcal{NPC} \cap \mathcal{P} = \emptyset$
- (2) $\mathcal{NP} - (\mathcal{NPC} \cup \mathcal{P}) \neq \emptyset$

