

知能科学：暗号

平井 慎一

立命館大学 ロボティクス学科

講義の流れ

① 暗号

② 公開鍵暗号

③ まとめ

通信の秘匿

コードトーカー (code talker)

少人数しか理解できない言葉を通信用に用いる

「ウインドトーカーズ」：ナバホ語のコードトーカー
薩摩方言の利用

暗号 (cryptography)

シーザー暗号 (カエサル) 換字式

ヴィジュネル暗号 (ヴィジュネル) 多表式

エニグマ (シェルビウス) 機械式暗号機

量子通信 (quantum cryptography)

量子鍵配送 量子通信により暗号の鍵を送る

暗号

通信文を変換する.

- 送信者と受信者のみが内容を知ることができる.
- 送信者と受信者以外の第三者は内容がわからない.
- 元の文を平文, 変換後の文を暗号文とよぶ.

暗号を解読: 第三者が何らかの方法で内容を知る. .

暗号

エドガー・アラン・ポー 「黄金虫」

コナン・ドイル 「踊る人形」



出典： <http://www.alz.jp/221b/holmes/danc.html>

江戸川乱歩 「二銭銅貨」

ダン・ブラウン 「ダ・ヴィンチ・コード」

換字式暗号

換字式（かえじしき）暗号 (substitution cipher)
平文の文字を，ある規則に基づいて変換する．

53 ‡ ‡ † 305))6*;4826)4 ‡ .)4 ‡);806*;48 † 8 ¶
60))85;1 ‡ (:; ‡ *8 † 83(88)5*† ;46(;88*96 *?;8)*‡
(;485);5*† 2:*‡ (;4956*2(5*—4)8 ¶ 8*;4069285);)6 †
8)4 ‡ ‡ ;1(‡ 9;48081;8:8 ‡ 1;48 † 85;4)485 †
528806*81(‡ 9;48;(88;4 (‡ ?34;48)4 ‡ ;161;:188; ‡ ?;

出典：エドガー・アラン・ポー 「黄金虫」
[https://ja.wikipedia.org/wiki/黄金虫_\(小説\)](https://ja.wikipedia.org/wiki/黄金虫_(小説))

換字式暗号

平文

*A good glass in the bishop's hostel in the devil's seat
forty-one degrees and thirteen minutes northeast and by
north main branch seventh limb east side shoot from the
left eye of the death's-head a bee line from the tree through
the shot fifty feet out.*

暗号文

53 ‡ ‡ † 305))6*;4826)4 ‡ .)4 ‡);806*;48 † 8 ¶
60))85;1 ‡ (: ‡ *8 † 83(88)5*† ;46(;88*96 *?;8)*‡
(;485);5*† 2:*‡ (;4956*2(5*—4)8 ¶ 8*;4069285);)6 †
8)4 ‡ ‡ ;1(‡ 9;48081;8:8 ‡ 1;48 † 85;4)485 †
528806*81(‡ 9;48;(88;4 (‡ ?34;48)4 ‡ ;161;:188; ‡ ?;

出典：エドガー・アラン・ポー 「黄金虫」

[https://ja.wikipedia.org/wiki/黄金虫_\(小説\)](https://ja.wikipedia.org/wiki/黄金虫_(小説))

換字式暗号

鍵 (key)

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
5	2	—	†	8	1	3	4	6			0	9	*
o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z		
‡	.		(	)	;	?	¶			:			

換字式暗号の解読

頻度分布攻撃

各記号の頻度

8	;	4	‡	)	*	5	6	(	...
33	26	19	16	16	13	12	11	10	...

換字式暗号の解読

頻度分布攻撃

各記号の頻度

8	;	4	‡	)	*	5	6	(	...
33	26	19	16	16	13	12	11	10	...

記号 '8' を 文字 'e' と推測

換字式暗号の解読

頻度分布攻撃

各記号の頻度

8	;	4	‡	)	*	5	6	(	...
33	26	19	16	16	13	12	11	10	...

記号 '8' を 文字 'e' と推測

3 連記号列の頻度

;48	)4 ‡	*,4	8 † 8	‡ (;	...
7	4	3	3	3	...

換字式暗号の解読

頻度分布攻撃

各記号の頻度

8	;	4	‡	)	*	5	6	(	...
33	26	19	16	16	13	12	11	10	...

記号 '8' を 文字 'e' と推測

3 連記号列の頻度

;48	)4 ‡	*;4	8 † 8	‡ (;	...
7	4	3	3	3	...

記号列 ';48' を文字列 'the' と推測

換字式暗号の解読

頻度分布攻撃

各記号の頻度

8	;	4	‡	)	*	5	6	(	...
33	26	19	16	16	13	12	11	10	...

記号 '8' を 文字 'e' と推測

3 連記号列の頻度

;48	)4 ‡	*;4	8 † 8	‡ (;	...
7	4	3	3	3	...

記号列 ';48' を文字列 'the' と推測

記号 ';' を 文字 't' と推測

記号 '4' を 文字 'h' と推測

暗号の解読

多表式：複数の換字表を順番に用いる
鍵語でどの換字表を用いるかを指定する． 頻度分析攻撃に強い．

ヴィジュネル暗号：カシスキーテスト攻撃
ヴィジュネル暗号の周期性に着目
鍵語の桁数が少ない場合に有効

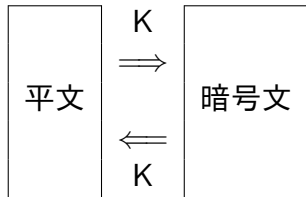
エニグマ：鍵語の長さ 105456

エニグマの初期型の解読（周期性に着目）
レイェフスキ，ジガルスキ，ルジツキ（ポーランド）
解読機械ボンバとエニグマの模擬機械を接続：解読の高速化

政治情勢の悪化：ポーランドの技術をイギリスに伝える
ボンベによるエニグマの解読

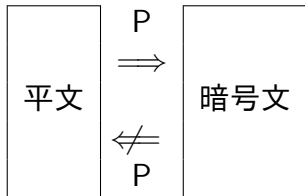
暗号

鍵 (key)

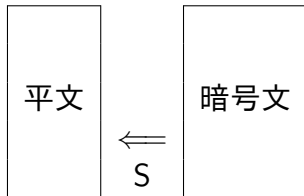


公開鍵暗号

公開鍵 (public key)

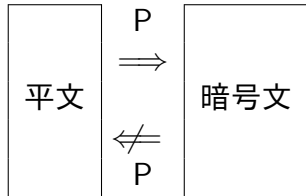


秘密鍵 (secret key)

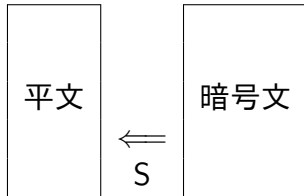


公開鍵暗号

公開鍵 (public key)



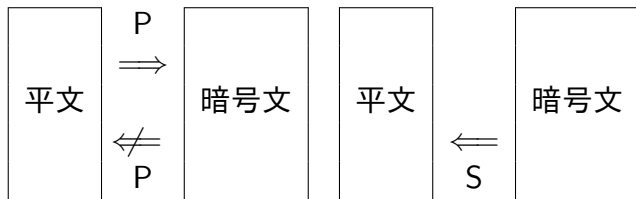
秘密鍵 (secret key)



公開鍵暗号

公開鍵 (public key)

秘密鍵 (secret key)

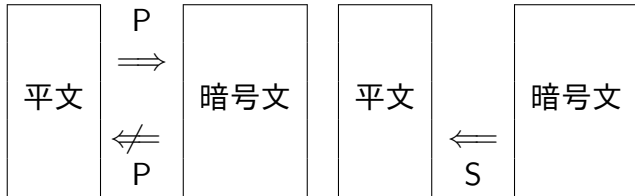


受信者 : P と S を作成. P を公開

公開鍵暗号

公開鍵 (public key)

秘密鍵 (secret key)



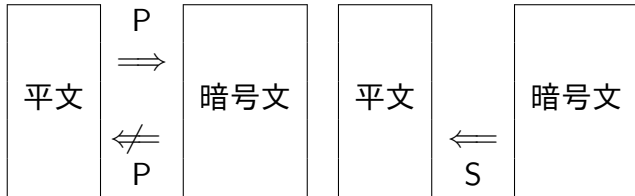
受信者 : P と S を作成. P を公開

送信者 : P を使って平文 x を暗号文 y に変換 $y = P(x)$
暗号文 y を受信者に送信

公開鍵暗号

公開鍵 (public key)

秘密鍵 (secret key)



受信者 : P と S を作成. P を公開

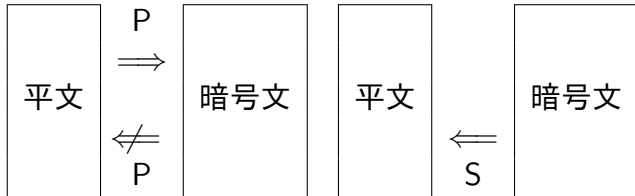
送信者 : P を使って平文 x を暗号文 y に変換 $y = P(x)$
暗号文 y を受信者に送信

受信者 : S を使って暗号文 y を平文 x に復元 $x = S(y)$

公開鍵暗号

公開鍵 (public key)

秘密鍵 (secret key)



受信者 : P と S を作成. P を公開

送信者 : P を使って平文 x を暗号文 y に変換 $y = P(x)$
暗号文 y を受信者に送信

受信者 : S を使って暗号文 y を平文 x に復元 $x = S(y)$

第三者 : S を知らないなので暗号文 y を平文に復元できない

公開鍵暗号

公開鍵暗号の概念：ディフィー，ヘルマン，マークル

Diffie, Hellman, Merkle

2015 年チューリング賞

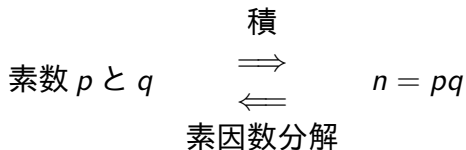
RSA 暗号：リベスト，シャミア，エーデルマン

Rivest, Shamir, Adelman

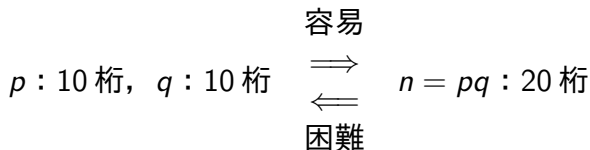
公開鍵暗号の実現

2002 年チューリング賞

素因数分解



積の計算： 容易
素因数分解： 困難



RSA 暗号

受信者

- 素数 p と q を選ぶ. $n = pq$
- $(p-1)(q-1)$ と素な自然数 e を選ぶ.
互いに素: 最大公約数が 1
- ed を $(p-1)(q-1)$ で割った余りが 1 となる d を選ぶ.
- 公開鍵 $P = (e, n)$ 秘密鍵 $S = d$

RSA 暗号

受信者

- 素数 p と q を選ぶ. $n = pq$
- $(p-1)(q-1)$ と素な自然数 e を選ぶ.
互いに素: 最大公約数が 1
- ed を $(p-1)(q-1)$ で割った余りが 1 となる d を選ぶ.
- 公開鍵 $P = (e, n)$ 秘密鍵 $S = d$

送信者

- 平文 $x (< n)$
- 公開鍵を使って暗号文 $y = x^e \bmod n$ を作成
($\bmod n$ は n で割った余りを意味する)

RSA 暗号

受信者

- 素数 p と q を選ぶ. $n = pq$
- $(p-1)(q-1)$ と素な自然数 e を選ぶ.
互いに素: 最大公約数が 1
- ed を $(p-1)(q-1)$ で割った余りが 1 となる d を選ぶ.
- 公開鍵 $P = (e, n)$ 秘密鍵 $S = d$

送信者

- 平文 $x (< n)$
- 公開鍵を使って暗号文 $y = x^e \bmod n$ を作成
($\bmod n$ は n で割った余りを意味する)

受信者

- 秘密鍵を使って $y^d \bmod n$ を計算. これが x に一致する.

RSA 暗号

受信者

- $p = 7$ と $q = 11$ を選ぶ. $n = pq = 77$
- $(p - 1)(q - 1) = 60$ と素な自然数 $e = 13$ を選ぶ.
 $\text{GCD}(60, 13) = 1$
- $d = 37$ を選ぶ. $\text{rem}(ed = 481, (p - 1)(q - 1) = 60) = 1$
- 公開鍵 $P = (e, n)$ 秘密鍵 $S = d$

送信者

- 平文 $x = 15 (< 77)$
- 暗号文 $y = 15^{13} \bmod 77 = \text{rem}(15^{13}, 77) = 64$
暗号文 y を送信

受信者

- $64^{37} \bmod 77 = \text{rem}(64^{37}, 77) = 15$ が平文に一致

RSA 暗号

秘密鍵 d

↑↑

e

↑↑

p と q

↑↑

n を素因数分解

素因数分解を効率的に解くアルゴリズムが存在しないことが前提
量子計算では効率的に解くことが可能?

まとめ

暗号

換字式暗号
鍵

公開鍵暗号

RSA 暗号
素因数分解