

# 情報通信システム概論

第6回

～アナログ変調(振幅変調)～

2020-10-24

情報システム工学科  
福田 浩



# ゴールイメージ

- ・ 相互情報量を説明できる
- ・ 相互情報量を使って通信路容量を説明できる
- ・ 例を用いて通信路符号化を説明できる
- ・ 変調，特に振幅変調を説明できる





# 目次

- ・ 前回の復習(情報量, 情報エントロピー)
- ・ 情報源符号化
- ・ 伝送路符号化
- ・ 変調とは
- ・ 振幅変調



# 前回の復習

- ・ (自己)情報量

ある事象 $X$ が起こる確率が $P(X)$ のときの情報量 $H(X)$

$$H(X) = \log_2 \frac{1}{P(X)} = -\log_2 P(X)$$

- ・ 情報源 $X$ の情報エントロピー $H(X)$

$$H(X) = -\sum_{i=1}^M p_i \log_2 p_i$$
$$p_1 + p_2 + p_3 + \cdots + p_M = 1$$

- ・ 情報源符号化

# 前回の復習 + $\alpha$

価値ある情報を**高速**に**正確**に送る

[ステージ1]

高速に正確に情報を送る為に、情報量を損なわずにデータ量を削減  
アナログからデジタルへの変換 標本化  $\rightarrow$  量子化  $\rightarrow$  符号化

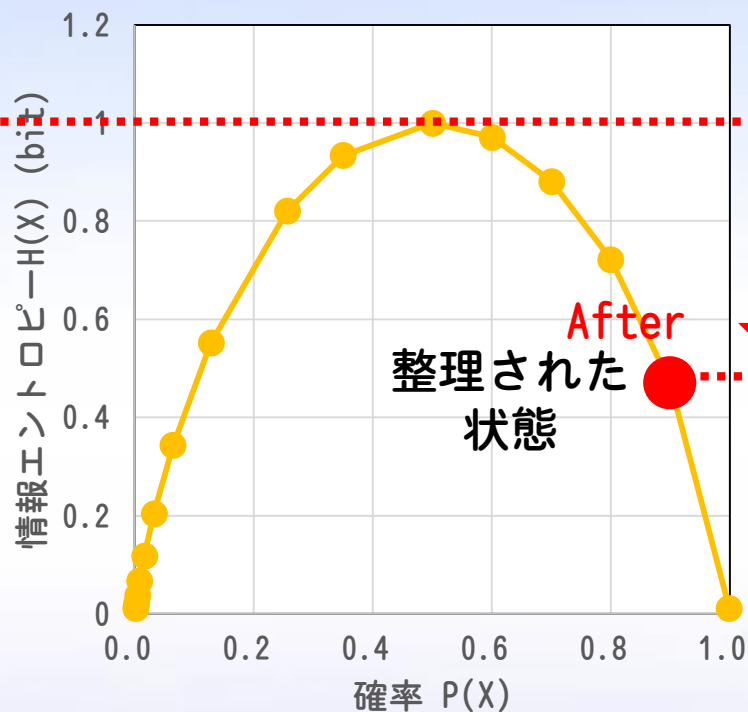
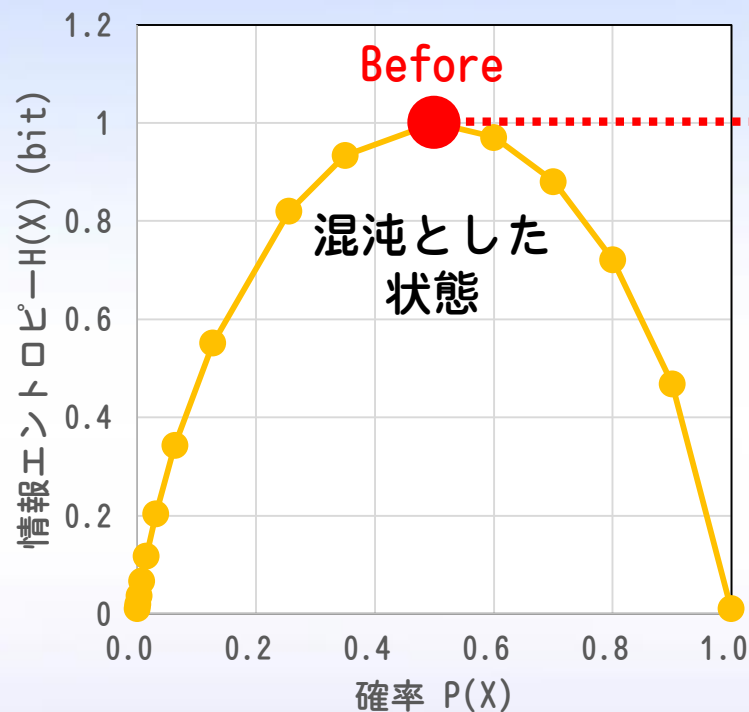
[ステージ2]

通信路の中で誤りを減らすためにはどうしたらよいか

- ・ 通信路はどれくらいの処理スピードを持つか
- ・ 誤りを減らすためにはどう送ればよいか

# 相互情報量

操作1の後の情報エントロピーと、それに続く操作2の後の情報エントロピーの「差」のこと。「相互情報量が大きい」ことは、「情報エントロピーの減少量が大きい」を示しており、「提供された情報の価値が大きい」ことを意味する



相互情報量  
「提供された  
情報の価値」

# 決定木

得意科目	試験日まで	今日、勉強
No	2日	する
Yes	5日	する
No	2日	する
No	5日	する
No	2日	する
No	2日	する
Yes	5日	する
No	2日	する
No	2日	する
Yes	2日	する

得意科目	試験日まで	今日、勉強
No	2日	する
Yes	5日	しない
No	5日	しない
No	2日	しない
No	5日	しない
No	2日	しない
No	5日	しない
No	5日	しない
No	5日	しない
No	5日	しない

# 決定木

今日，勉強		する	しない	合計	情報エ ントロ ピー	条件付 きエン トロ ピー	相互 情報量
質問前		11	9	20	0.993		
Y1	得意科目	3	1	4	0.811	0.962	0.031
	不得意科目	8	8	16	1.00		
Y2	あと2日	8	2	10	0.722	0.802	0.191
	あと5日	3	7	10	0.881		

$$H(X) = \frac{11}{20} \left( -\log_2 \frac{11}{20} \right) + \frac{9}{20} \left( -\log_2 \frac{9}{20} \right) = 0.993$$

$$H(X) = \frac{3}{4} \left( -\log_2 \frac{3}{4} \right) + \frac{1}{4} \left( -\log_2 \frac{1}{4} \right) = 0.881$$

$$H(X) = \frac{8}{16} \left( -\log_2 \frac{8}{16} \right) + \frac{8}{16} \left( -\log_2 \frac{8}{16} \right) = 1.000$$

$$H(X) = \frac{8}{10} \left( -\log_2 \frac{8}{10} \right) + \frac{2}{10} \left( -\log_2 \frac{2}{10} \right) = 0.722$$

$$H(X) = \frac{3}{10} \left( -\log_2 \frac{3}{10} \right) + \frac{7}{10} \left( -\log_2 \frac{7}{10} \right) = 0.881$$

$$H(X|Y1) = 0.811 \times \frac{4}{20} + 1.000 \times \frac{16}{20} = 0.962$$

$$H(X|Y2) = 0.722 \times \frac{10}{20} + 0.881 \times \frac{10}{20} = 0.802$$



# 決定木

今日，勉強		する	しない	合計	情報エントロピー	条件付きエントロピー	相互情報量
質問前		11	9	20	0.993		
Y1	得意科目	3	1	4	0.811	0.962	0.031
	不得意科目	8	8	16	1.00		
Y2	あと2日	8	2	10	0.722	0.802	0.191
	あと5日	3	7	10	0.881		

相互情報量が大きい

即ち，この質問後には混沌とした状態から

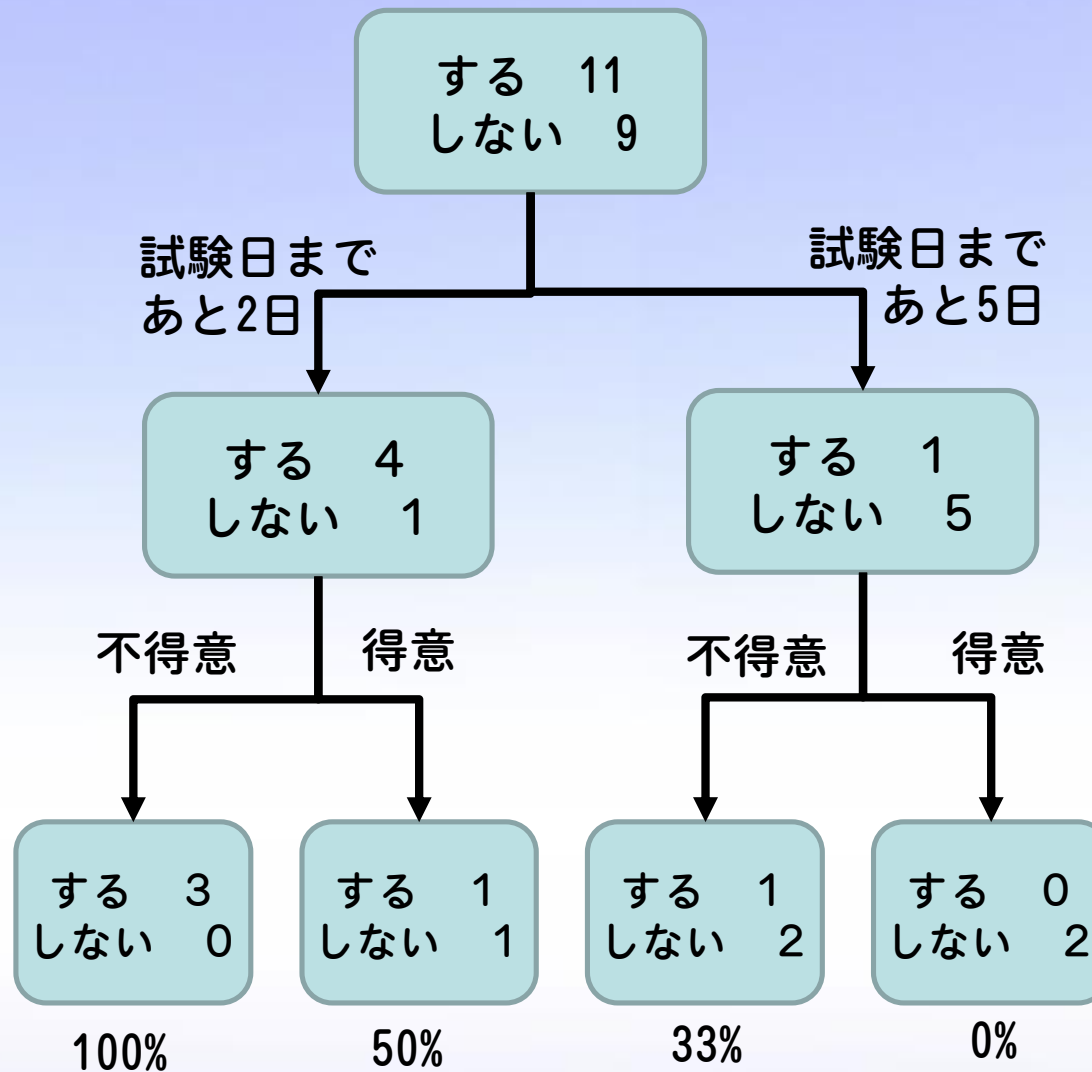
整理された状態へ 変化する

即ち，この質問は「情報として価値が高い」

今日，勉強するかしないかを決定する要因としては，

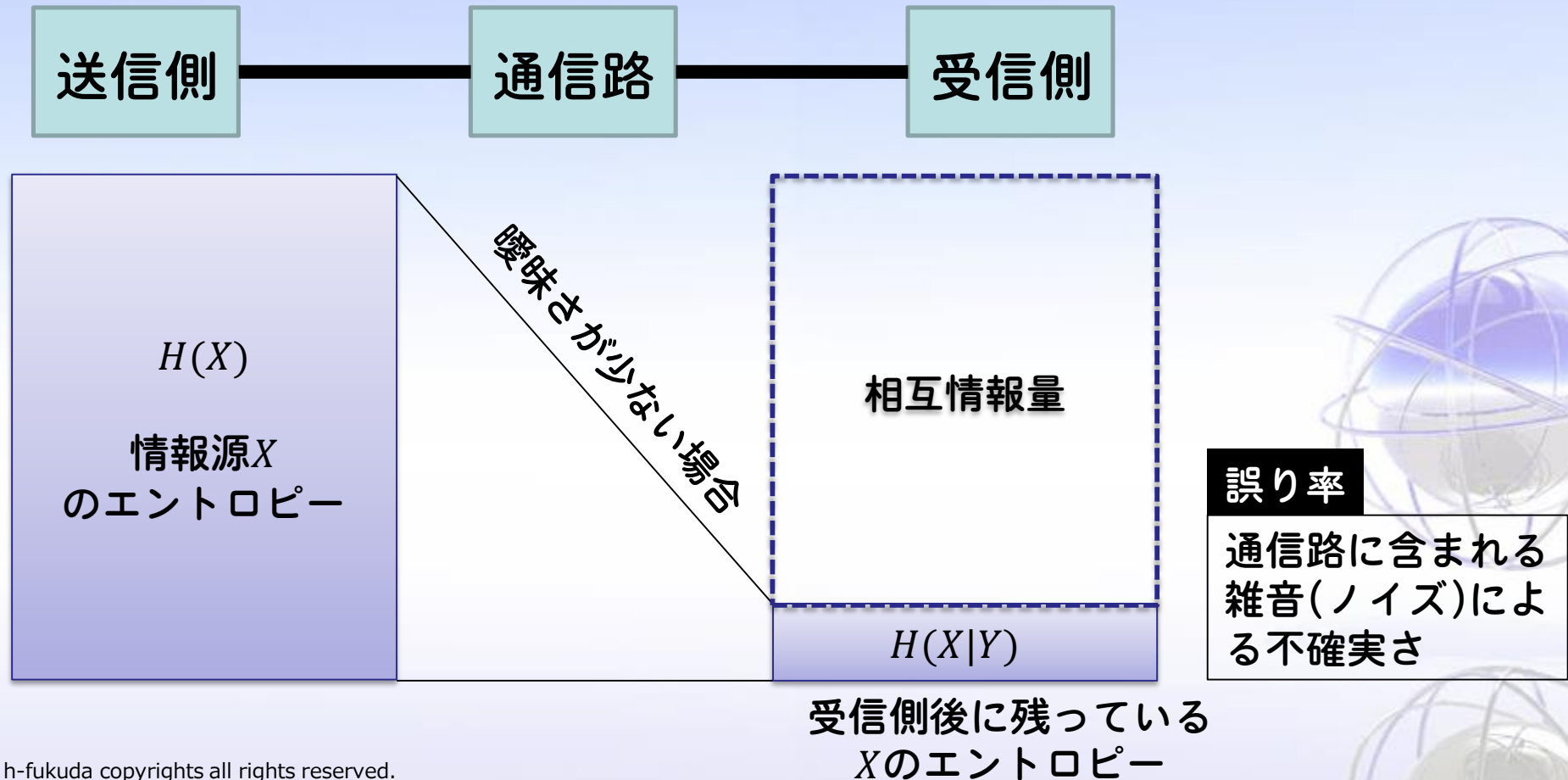
得意科目か否かよりも，試験日までの日数の方が重要

# 決定木



# 通信路容量

良い通信路とは、多くの情報量を送ることが出来る通信路であって、相互情報量が多いほど良い



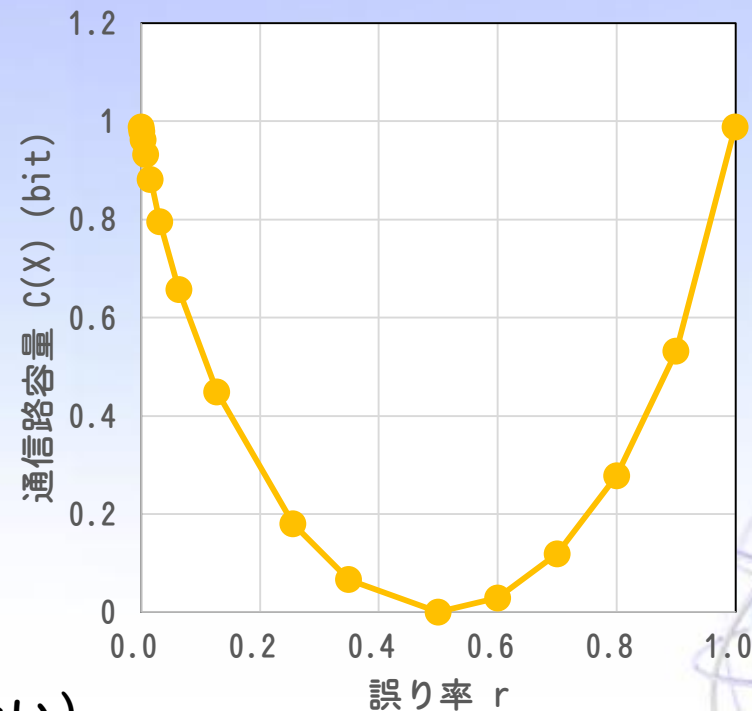
# 通信路容量

$$C = 1 - \left\{ (1 - r) \log_2 \frac{1}{1 - r} + r \log_2 \frac{1}{r} \right\}$$

誤り率が0の時は，通信路容量最大  
(必ず合っている)

誤り率が1の時も，通信路容量最大  
(必ず間違っている)

誤り率が0.5の時，通信路容量は最小  
(合っているか間違っているかわからない)



# 通信路符号化

通信路容量を大きくするために、送信するデータの一部に符号以外のデータを入れること

## 通信路符号化の例：パリティ検査 (Parity check)

生データ

A	B	B	B	A
B	B	B	A	A
B	A	B	A	B
A	B	B	B	B
B	A	A	A	B

情報源符号化データ

0	1	1	1	0
1	1	1	0	0
1	0	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1

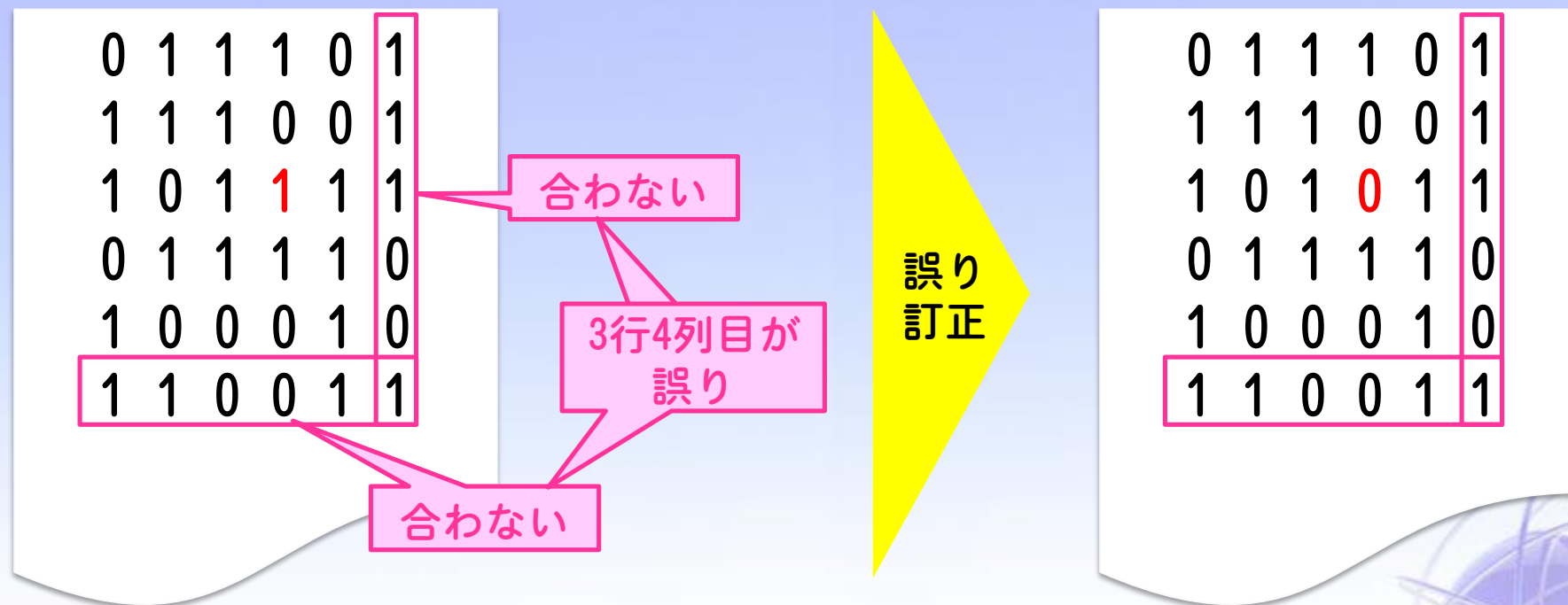
通信路符号化データ

0	1	1	1	0	1
1	1	1	0	0	1
1	0	1	0	1	1
0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	1	1

Parity check

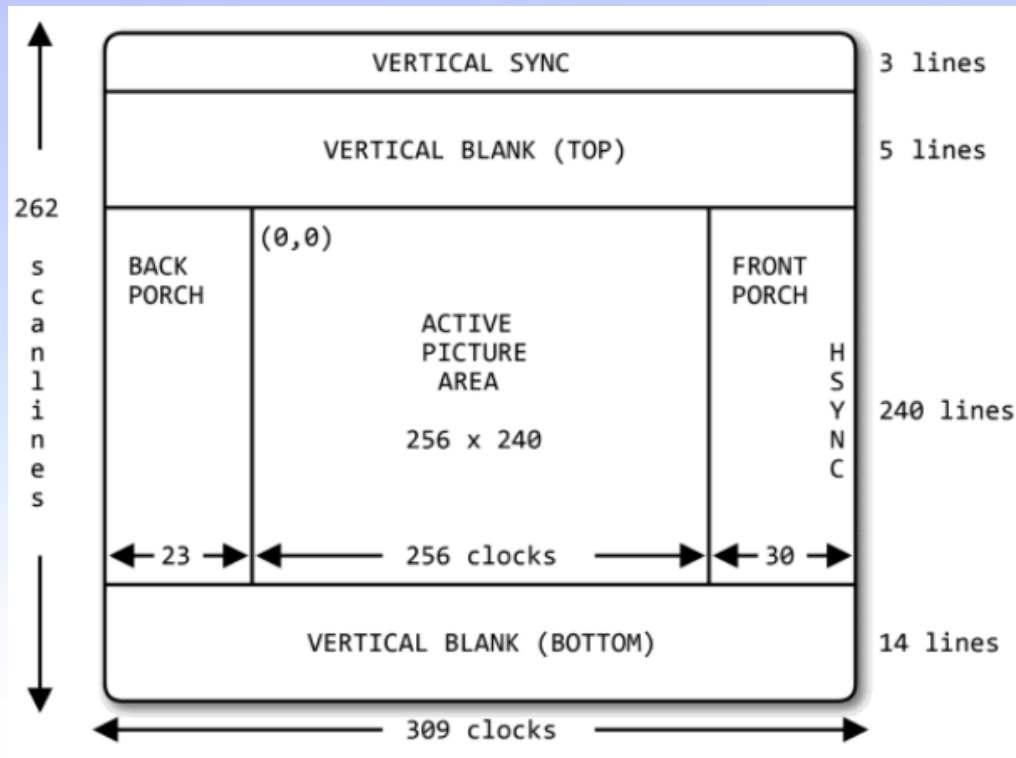
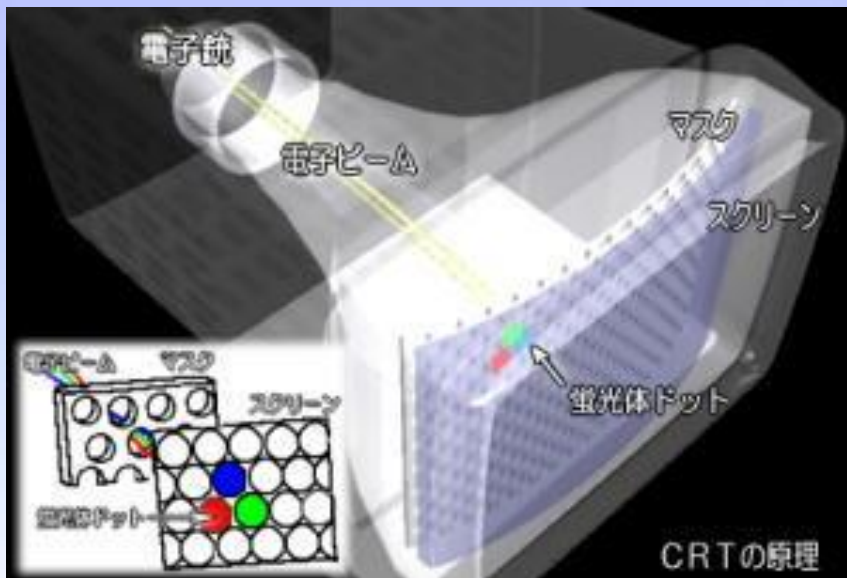
Parity check

# 誤り訂正



- 一意に誤り訂正できる場合は、前方向誤り訂正(Forward Error Correction: FEC)を実施
- 一意に誤り訂正できない場合は、再送要求

# アナログテレビの仕組み



1970年代のビデオゲームのモニタ

アナログテレビの原理を説明した動画

[https://www.youtube.com/watch?v=3BJU2drirtCM&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?v=3BJU2drirtCM&feature=emb_logo)



# アナログテレビの終焉（1953～2011）

2011年7月24日正午，東日本大震災の影響で岩手，宮城，福島を除く44都道府県でテレビのアナログ放送が終了し，地上デジタル放送に完全移行した．〈略〉ご存じの通り，世界で初めて電子式テレビを実用化したのは，我が国の高柳健次郎氏である．〈略〉わが国のアナログテレビのサービス期間は58年5か月17日であった． ビジネスコミュニケーション 48， 5， No.9（2011）

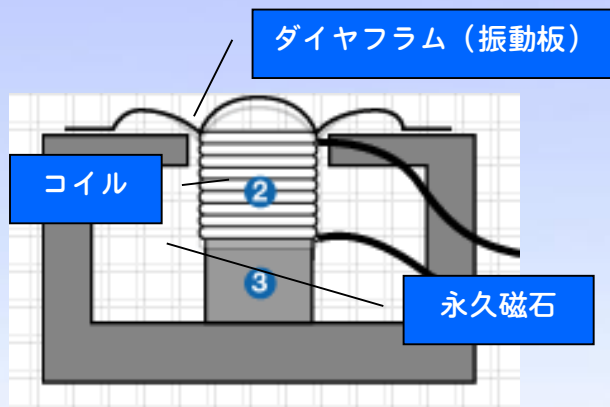
11.25	ノブレス・オブリージ	11
30	Nスピーク 川端健嗣	
	高木広子 16289	
00	笑っていいとも 慎吾	
	仰天!?超美人女装SP	
	▽佐藤隆太 38227	0
00	S文ごきげん 衝撃発言	1
	総集編SP 53604	
30	S文女医・優	2
	10005	
00	S開運のツキ◇05N因	3
10	アタック25 7830395	
40	S美食道楽 943096	4
	00Sナルト 53640	
30	S銀河鉄道物語	
	「死活」 32192	
00	Sウォーターボーイズ	
	山田孝之 482735	
55	SNスーパーニュース	



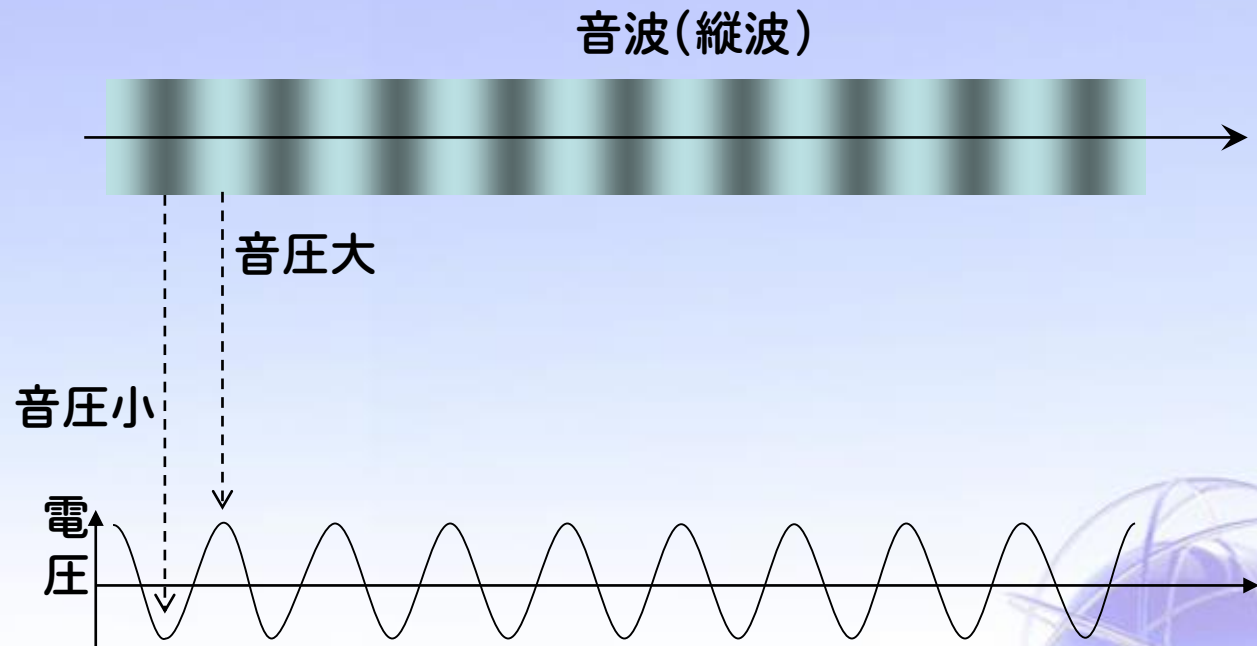
2011-7-24のテレビ画面



# アナログラジオの仕組み



マイクروفンの  
断面イメージ



音圧信号を電圧信号に変換し、情報通信可能な形とする  
AMラジオは(のちに説明する)振幅変調を用いている

# AM放送の終焉（2025?）

“総務省の有識者会議にて、ラジオのAM放送を終了し、FM放送への転換を可能にするよう検討が進められている。これは今年3月に、民放連が要望を出したことから検討が始まったもので、容認する方向で決まりそうだ。”

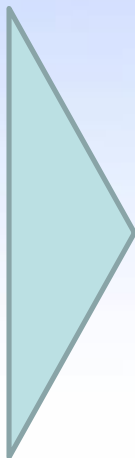
2019-09-04, ITmedia NEWS

オールナイトニッポン



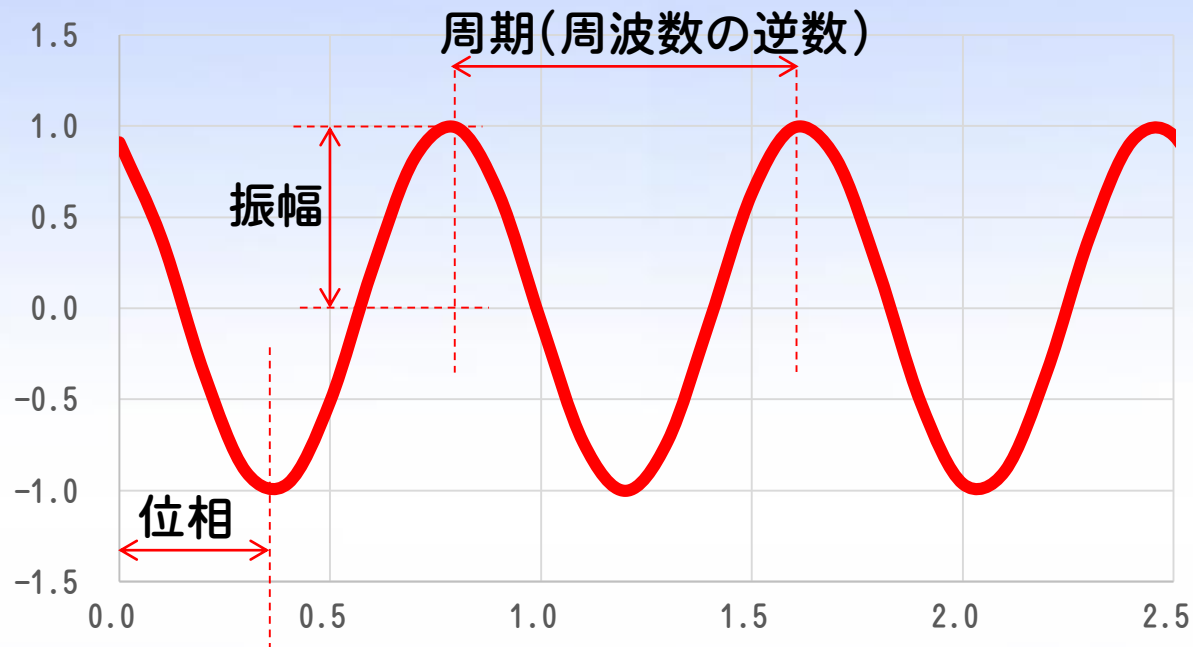
# アナログ電話の終焉

- ・ アナログ回線で構築されている電話網は2023～2025年に順次IP網に切り替え予定



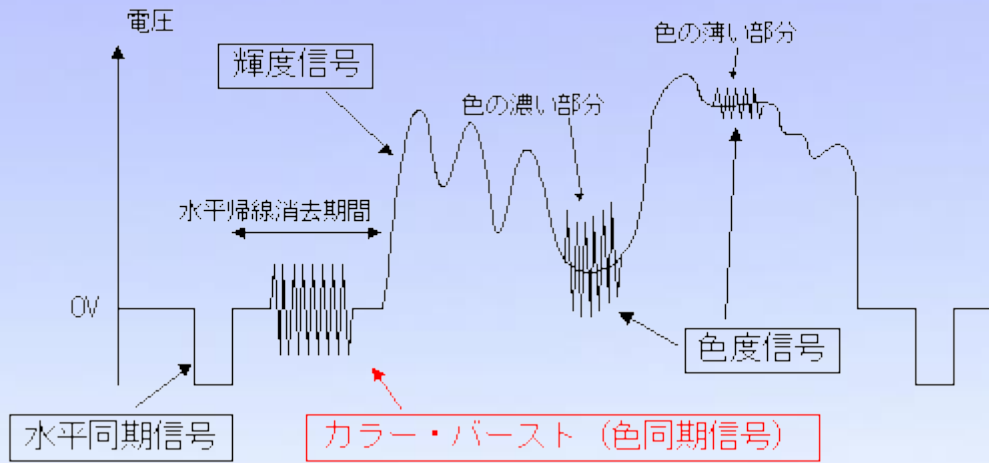
# 情報の“乗せ方”

情報は、電磁波の要素(振幅、周波数、位相)のいずれかに乗せる

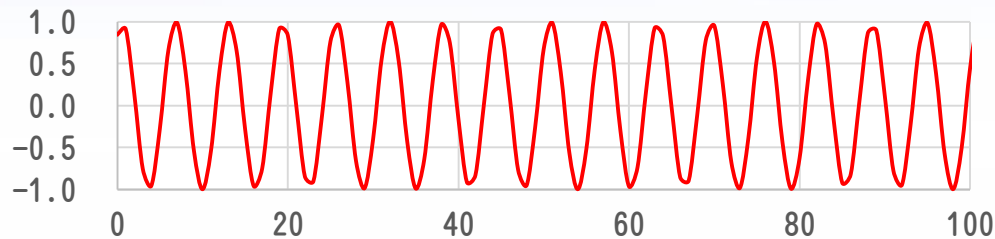


# 信号波と搬送波

カラー・テレビ信号の構成



信号波



搬送波 (キャリア)

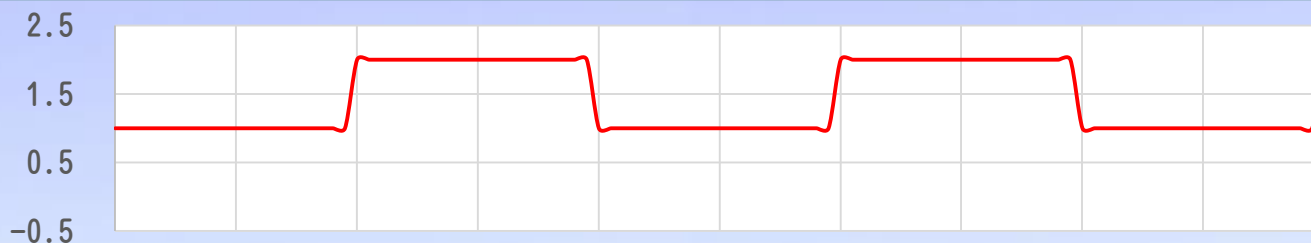
信号波は搬送波に  
乗せられて伝搬する

NHKE	470～476 MHz
TVh	476～476 MHz
NHKG	482～488 MHz
HBC	506～512 MHz
STV	518～524 MHz
HTB	530～536 MHz
UHB	542～548 MHz
(札幌地区)	

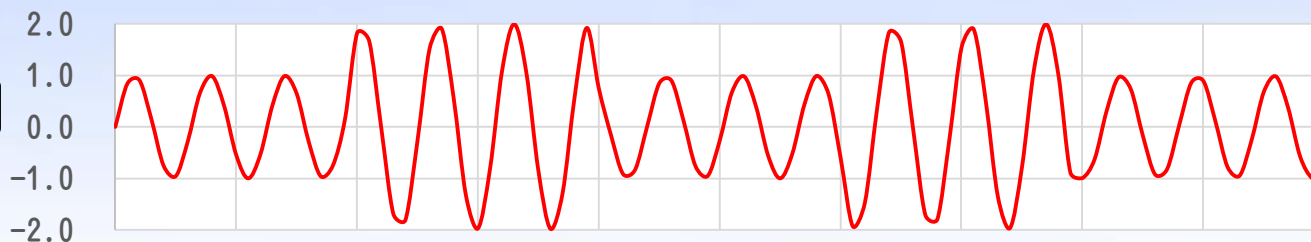
# 変調とは

搬送波の振幅・周波数・位相を信号波で変化させること

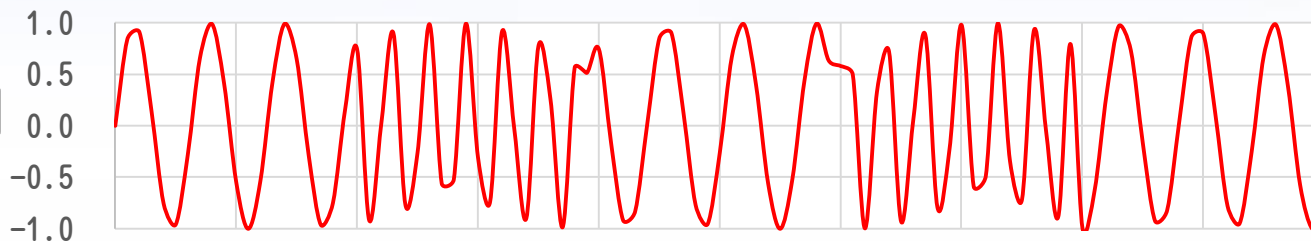
信号波



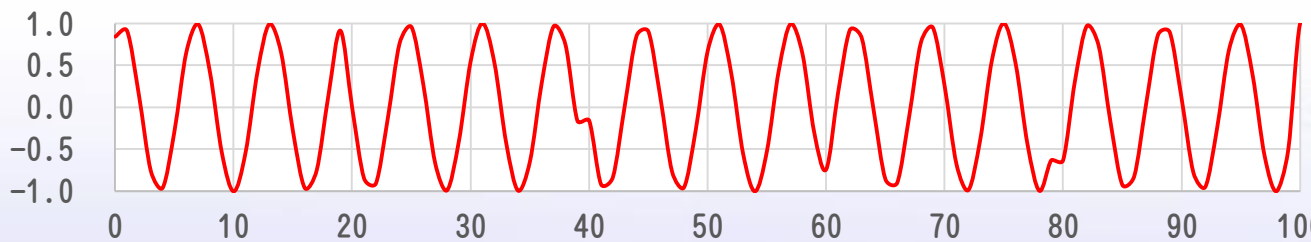
振幅変調



周波数変調



位相変調





# 変調操作（振幅変調）

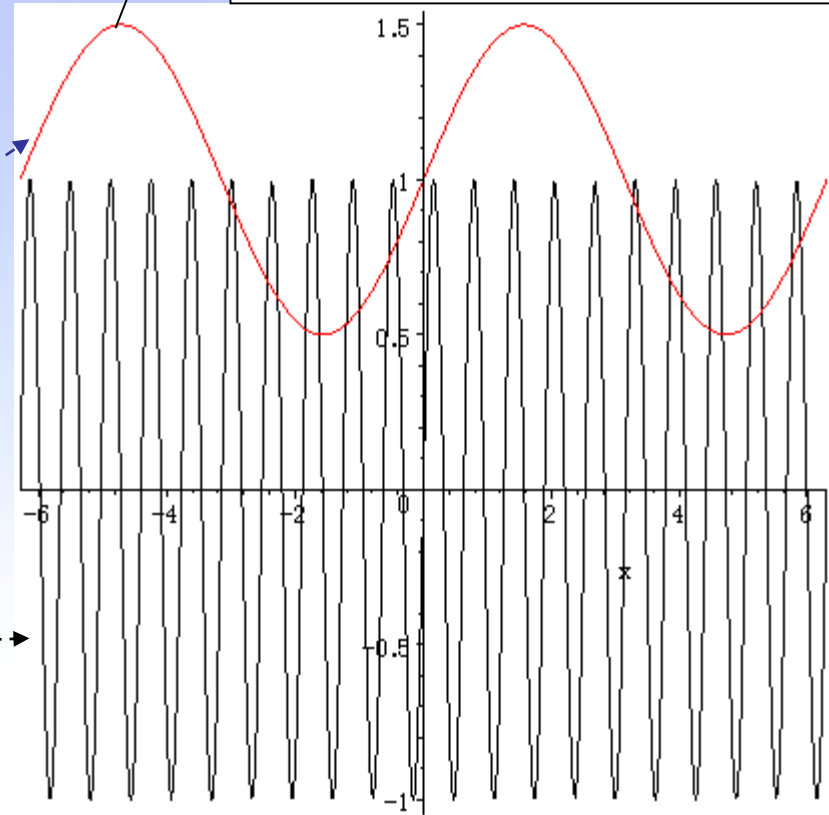
搬送波の振幅を信号波で  
変化させること

$$\begin{aligned} a(t) &= [1 + m \cdot v(t)] \\ &= 1 + m \cos(2\pi f_m t + \phi_m) \end{aligned}$$

$$y(t) = A \cos(2\pi f_c t + \phi_c)$$

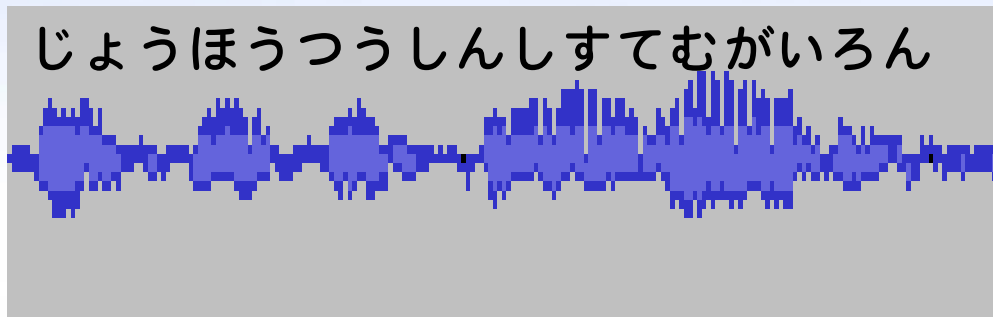
$$\begin{aligned} M(t) &= A[1 + mv] \cos(2\pi f_c t + \phi_c) \\ &= A \cos(2\pi f_c t + \phi_c) + Am \cos(2\pi f_c t + \phi_c) \cos(2\pi f_m t) \\ &= A \cos(2\pi f_c t + \phi_c) + \frac{mA}{2} \cos(2\pi (f_c - f_m)t + \phi_c) + \frac{mA}{2} \cos(2\pi (f_c + f_m)t + \phi_c) \end{aligned}$$

変調波が正弦波(+直流)の場合



# 【補足説明】時間領域と周波数領域

時間領域と周波数領域は、  
フーリエ変換，逆フーリエ変換の関係



音声処理アプリの画面  
横軸時間，縦軸振幅

フーリエ変換



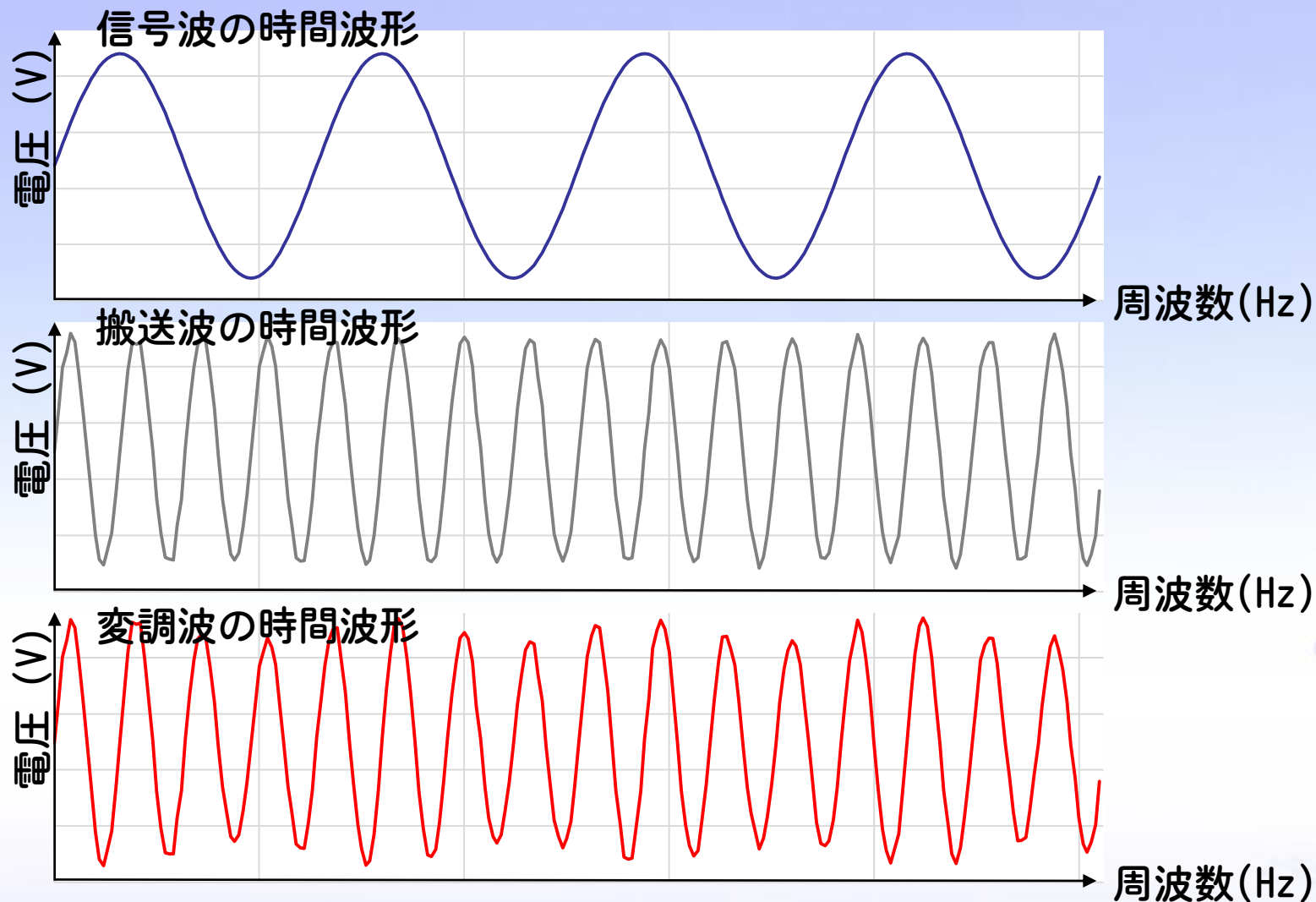
オーディオのイコライザ画面  
横軸周波数，縦軸(振幅)<sup>2</sup>

逆フーリエ変換

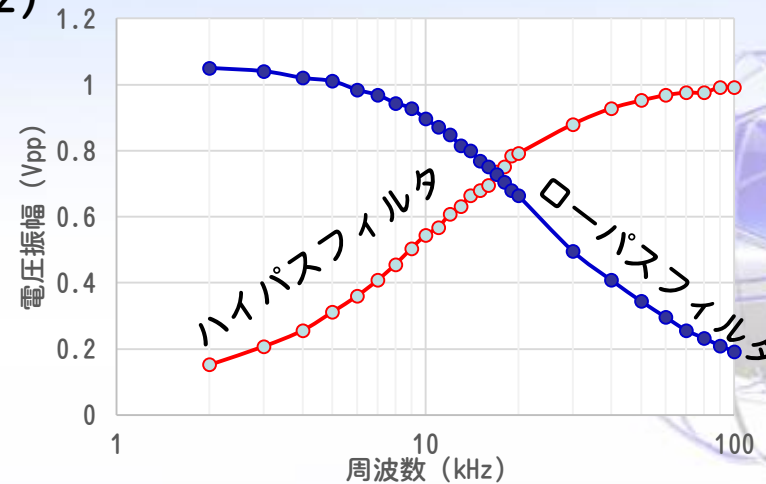
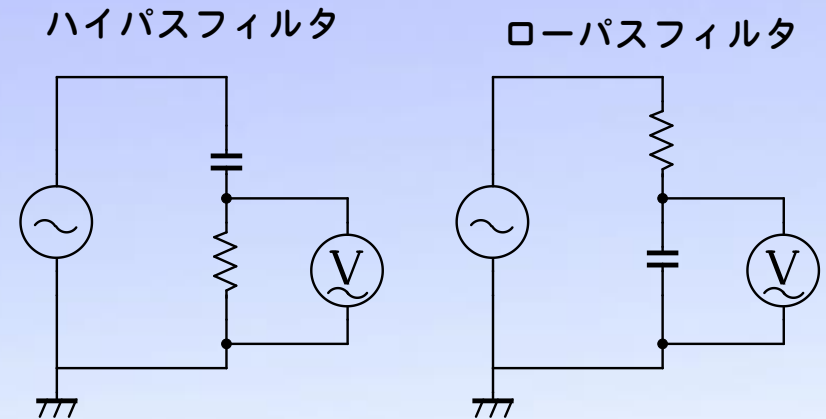
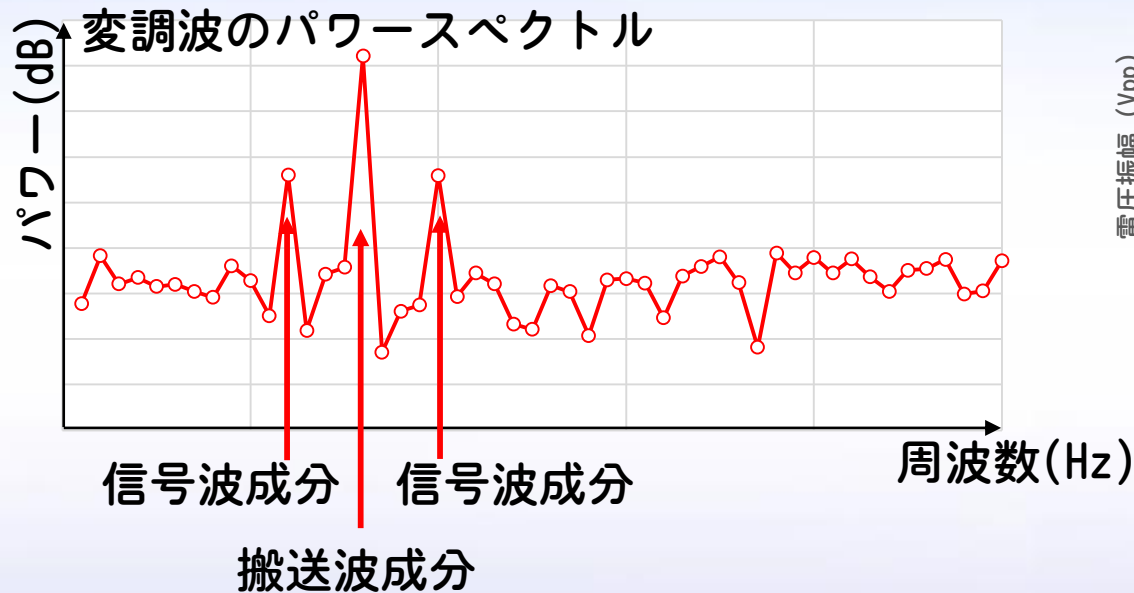
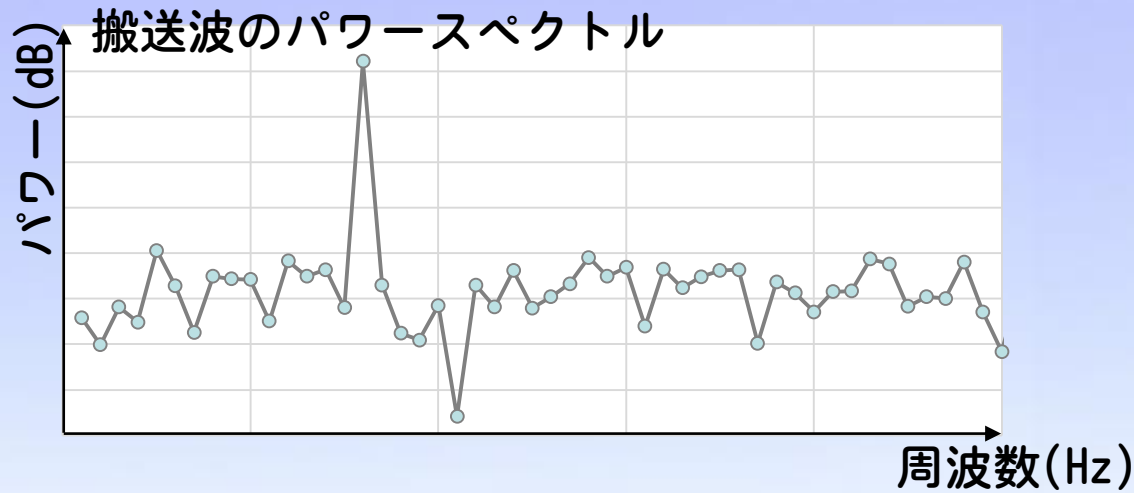




# 変調信号の実際（時間領域）



# 変調信号の実際（周波数領域）



## まとめ

- ・ 相互情報量：操作1の後の情報エントロピーと，それに続く操作2の後の情報エントロピーの「差」のこと
- ・ 通信路容量：良い通信路とは，多くの情報量を送ることが出来る通信路であって，相互情報量が多いほど良い
- ・ 通信路符号化：通信路容量を大きくするために，送信するデータの一部に符号以外のデータを入れること
- ・ 変調：搬送波の振幅・周波数・位相を信号波で変化させること
  - － 振幅変調：搬送波の振幅を信号波で変化させること