

JPEG圧縮の概念

JPEG圧縮の手順

人の目の性質
明るさの変化: 敏感
色の変化: 鈍感

人の目の性質
低周波成分: 敏感
高周波成分: 鈍感



元の画像

STEP1

色の変化の
データを削る

STEP2

高周波成分の
データを削る

人間の目は、色の変化には
あまり敏感じゃないからデ
ータを減らしても大丈夫な
のね

人間の目は、画像の高周波成分
には敏感ではないから、デー
タを削っても大丈夫なんだ

画像の表色系

表色系とは？> 画素の色の表し方

表色系の種類> RGB, CMY, YCC, Lab, etc.

RGB: 赤(R), 緑(G), 青(B)の3色で色を表現する形式
モニター, TVなど

CMY: シアン(C), マゼンダ(M), イエロ(Y)の3色で色を表現する形式
写真, 印刷物(CMYK)など

YCC: 明るさを表す輝度(Y)と色差(C)で色を表現する形式
JPEGではYCbCr表色系が用いられることが多い
Cb(輝度と青レベルの差), Cr(輝度と赤レベルの差)

表色系は相互に変換可能

//RGB -> YCbCr

$$Y = (0.2990 * R) + (0.5870 * G) + (0.1140 * B)$$

$$Cb = -(0.1687 * R) - (0.3313 * G) + (0.5000 * B) + 128$$

$$Cr = (0.5000 * R) - (0.4187 * G) - (0.0813 * B) + 128$$

//YCbCr -> RGB

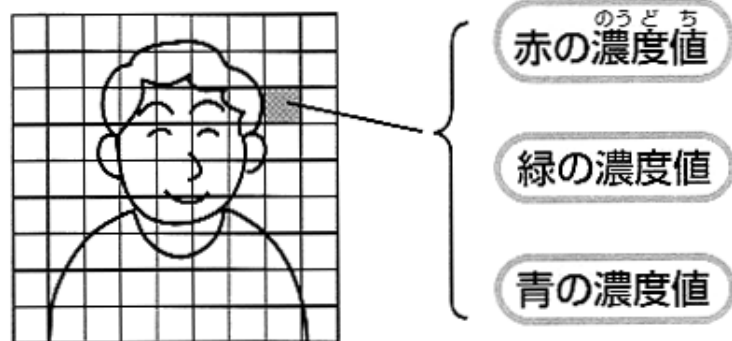
$$R = Y + ((Cr-128) * 1.4020)$$

$$G = Y - ((Cb-128) * 0.3441) - ((Cr-128) * 0.7139)$$

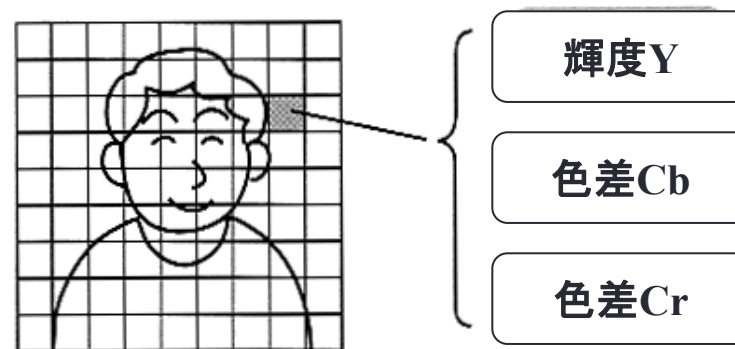
$$B = Y + ((Cb-128) * 1.7718)$$

画像データの成分分離

RGB表色系

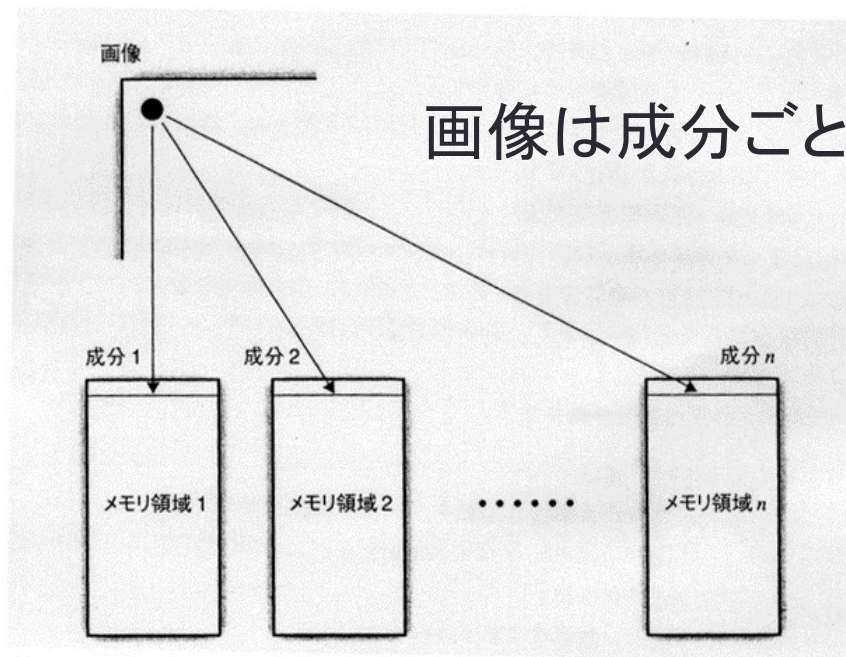


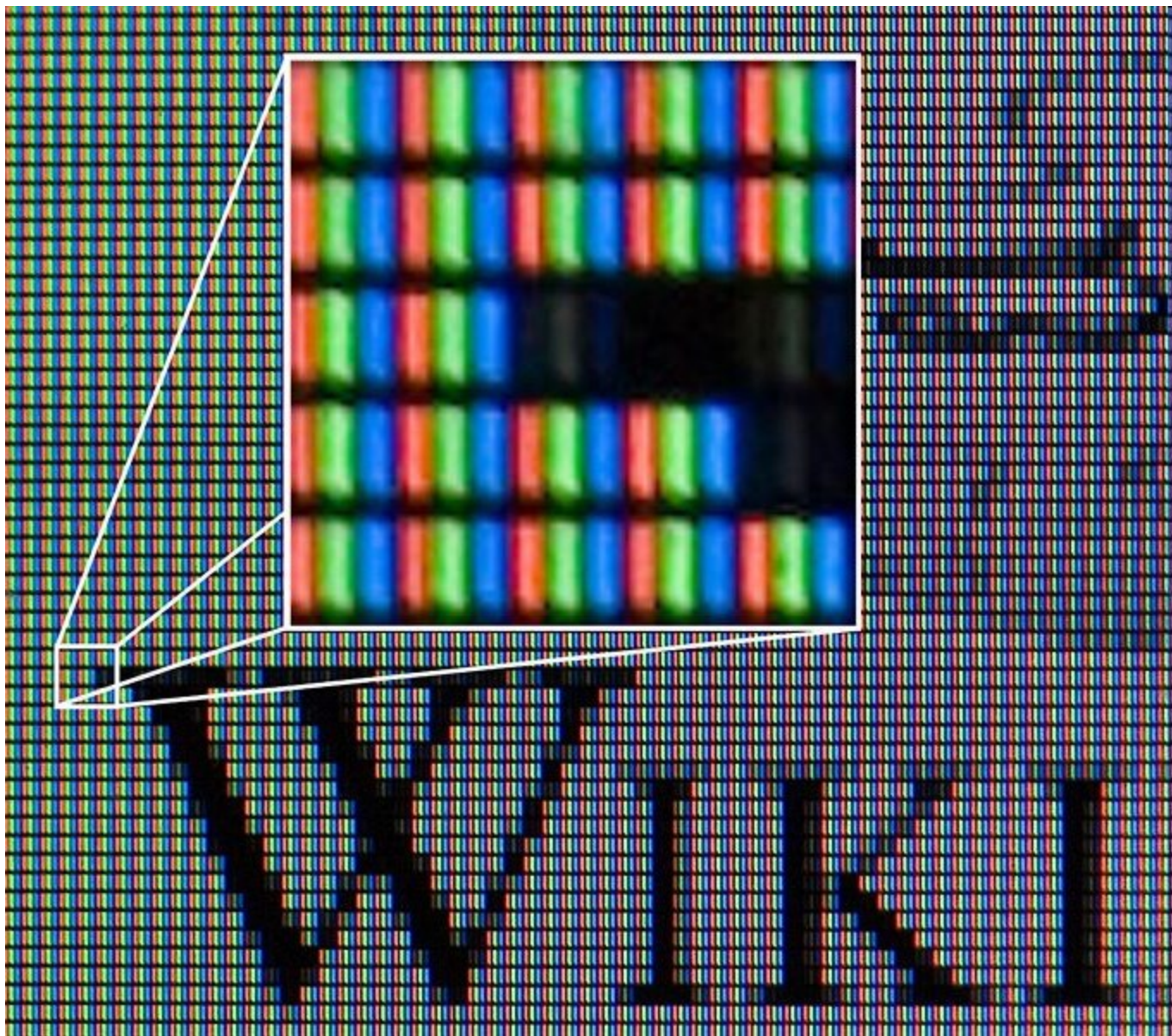
YCbCr表色系



画像は成分ごとに分離できる.

各成分は256階調の濃淡値で表される.

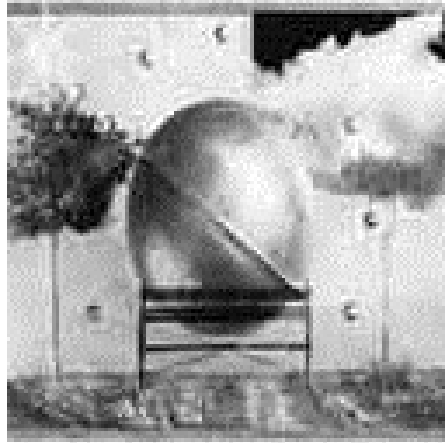




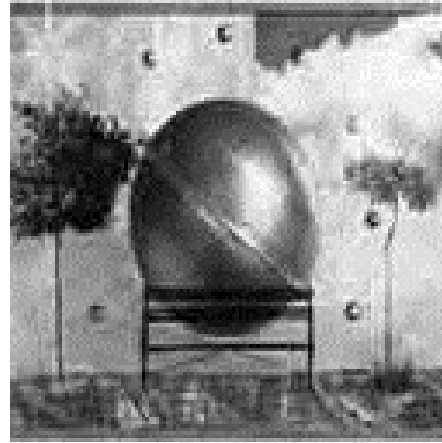
成分分離された画像例



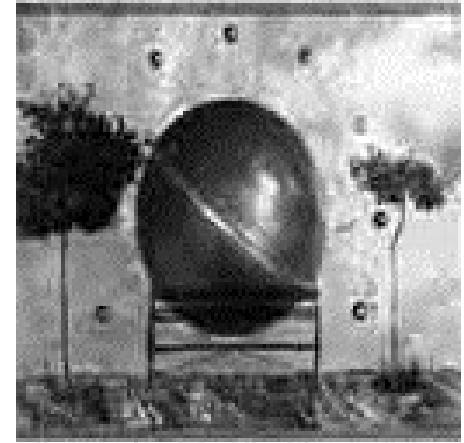
原画像



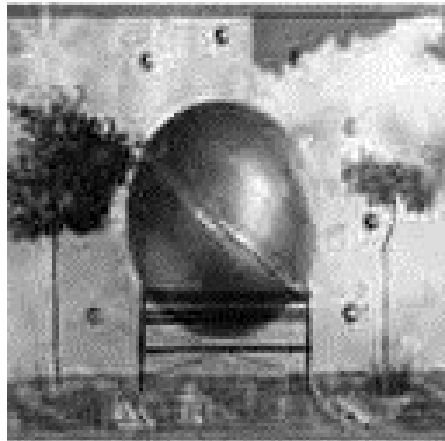
R



G



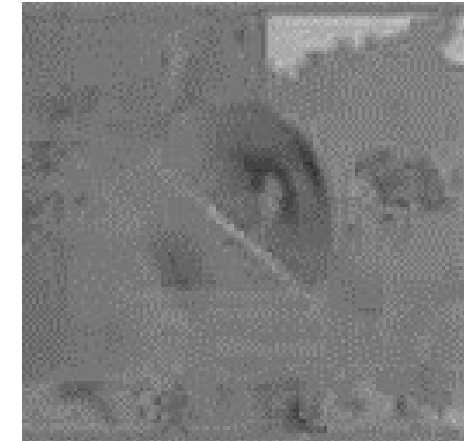
B



Y



Cb



Cr

RGB分解

YCbCr分解

色差成分の間引き

YCbCr分解
された画像

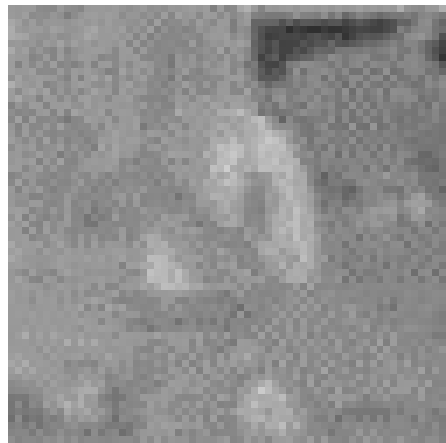
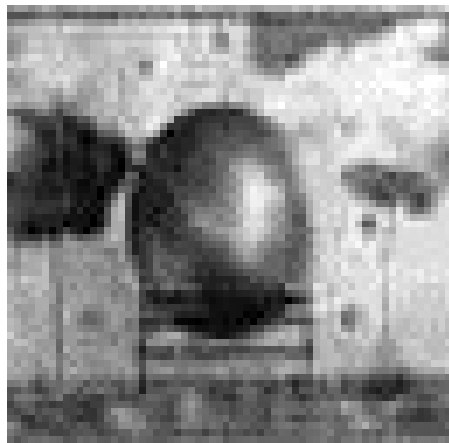
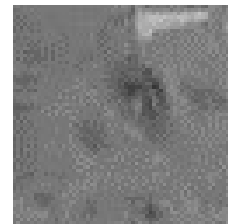
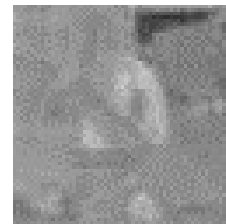
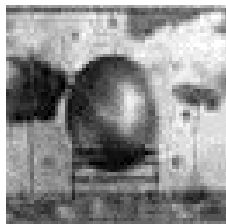
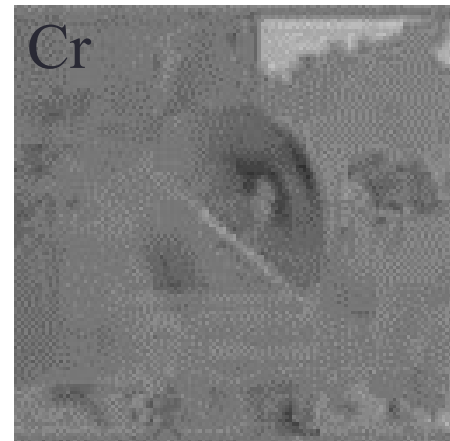
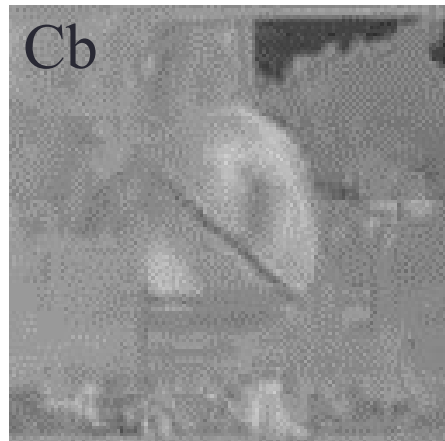


2x2の間引き
フィルタ処理



2倍拡大

色差成分のみ
を間引きする.



色差成分の間引き後の画像



原画像



2x2の間引き
フィルタ処理



4x4の間引き
フィルタ処理



8x8の間引き
フィルタ処理

【圧縮比】

Y:Cb:Cr = 1 : 1 : 1

1 : 1/4 : 1/4

1 : 1/16 : 1/16

1 : 1/64 : 1/64



原画像



2x2の間引き
フィルタ処理



4x4の間引き
フィルタ処理

JPEG圧縮の概念

JPEG圧縮の手順

人の目の性質
明るさの変化: 敏感
色の変化: 鈍感

人の目の性質
低周波成分: 敏感
高周波成分: 鈍感

STEP1



元の画像

色の変化の
データを削る

人間の目は、色の変化には
あまり敏感じゃないからデ
ータを減らしても大丈夫な
のね

STEP2

高周波成分の
データを削る

人間の目は、画像の高周波成分
には敏感ではないから、デー
タを削っても大丈夫なんだ

JPEGにおける周波数処理

DCT (Discret Cosine Transform): 離散コサイン変換

どうやって高周波成分を削るか



DCT



ディーシーティー
DCTはフーリエ
変換の兄弟のよ
うなものなのね

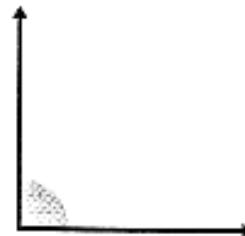
色の変化成分を
削った画像



高周波成分
をカット！



逆DCT



画像を表示する
ときは逆DCTを使う

この状態でデー
タを保存する

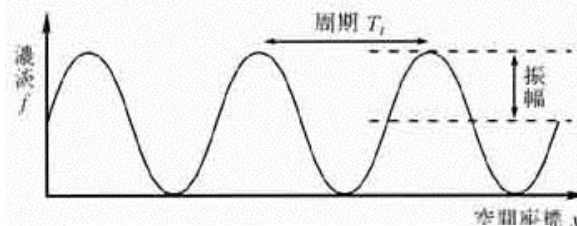
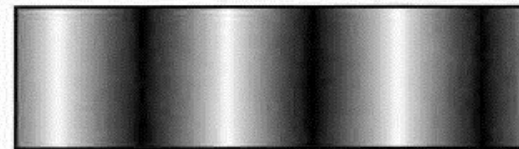
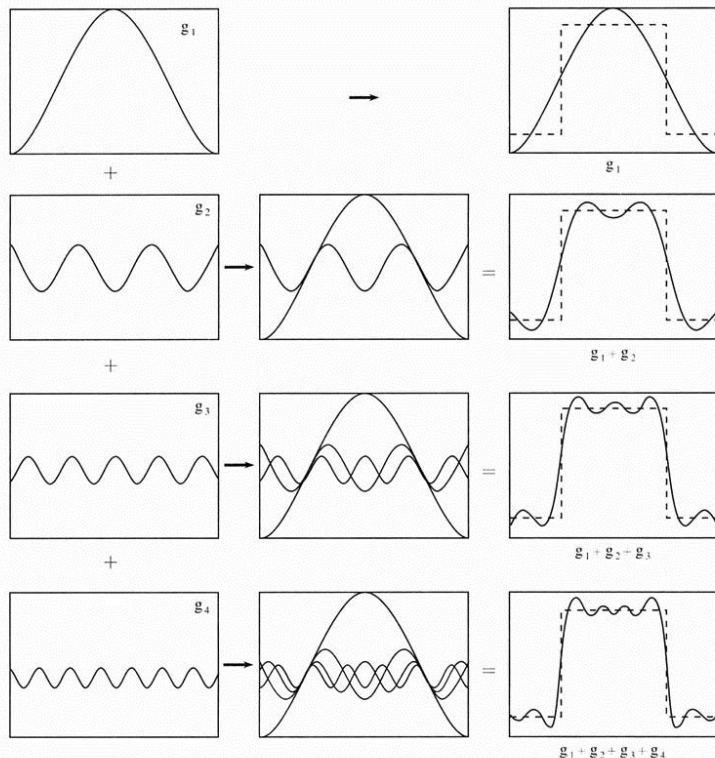


フーリエ変換の概念

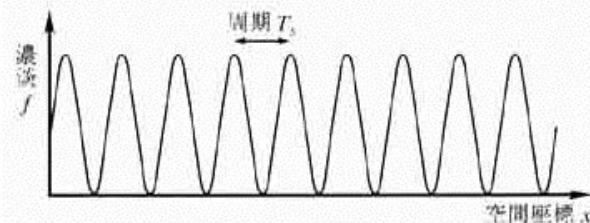
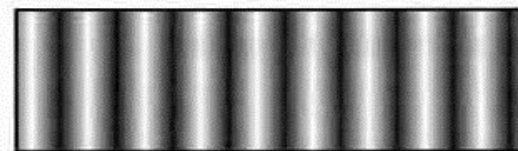
任意の周期波形は、振幅、周波数、位相が異なる正弦波に分解できる ←フーリエ変換



任意の周期波形は、振幅、周波数、位相が異なる数多くの正弦波を合成することで表すことができる
←フーリエ逆変換

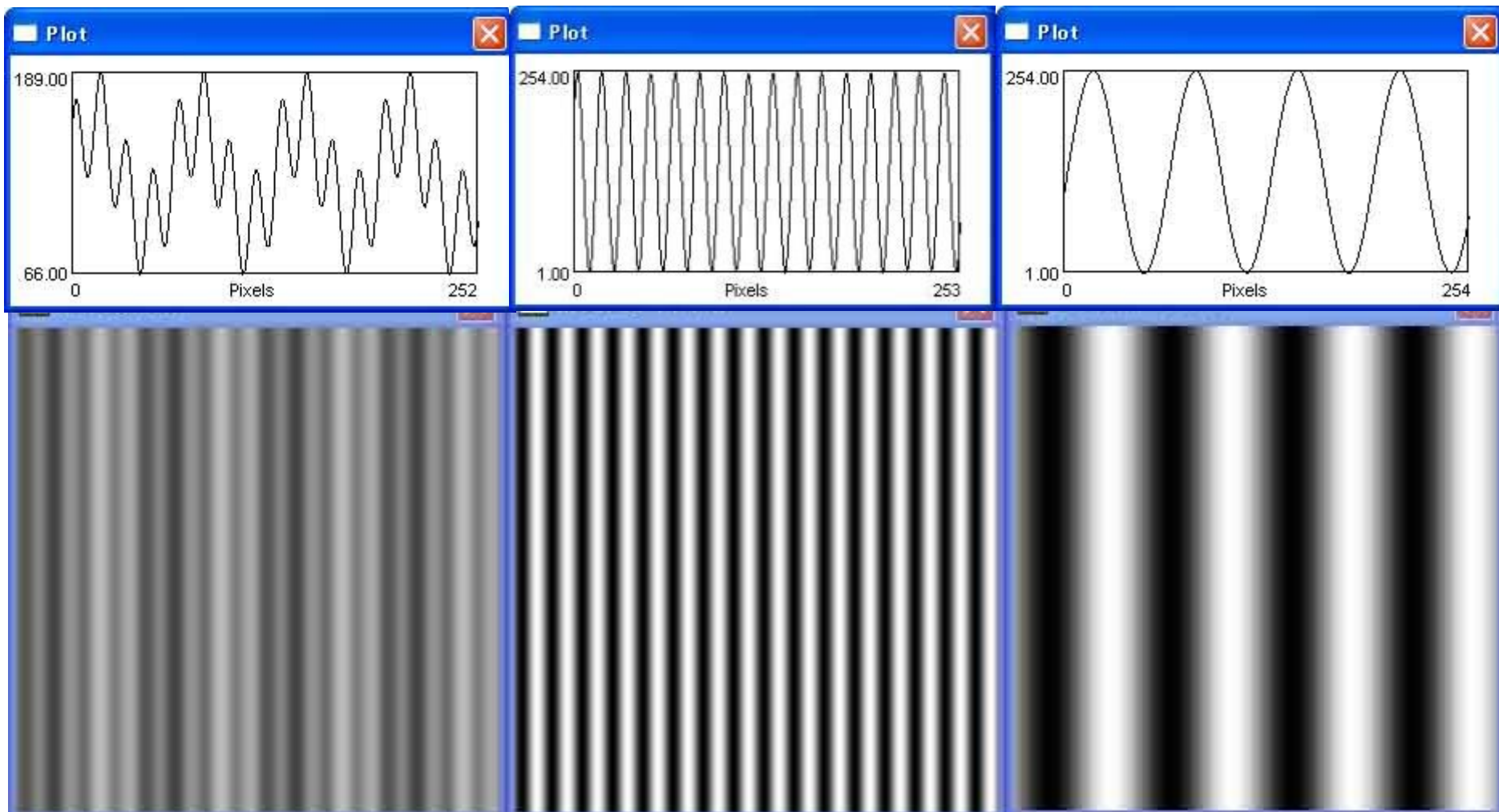


低い空間周波数



高い空間周波数

フーリエ変換による周波数処理例



原画像

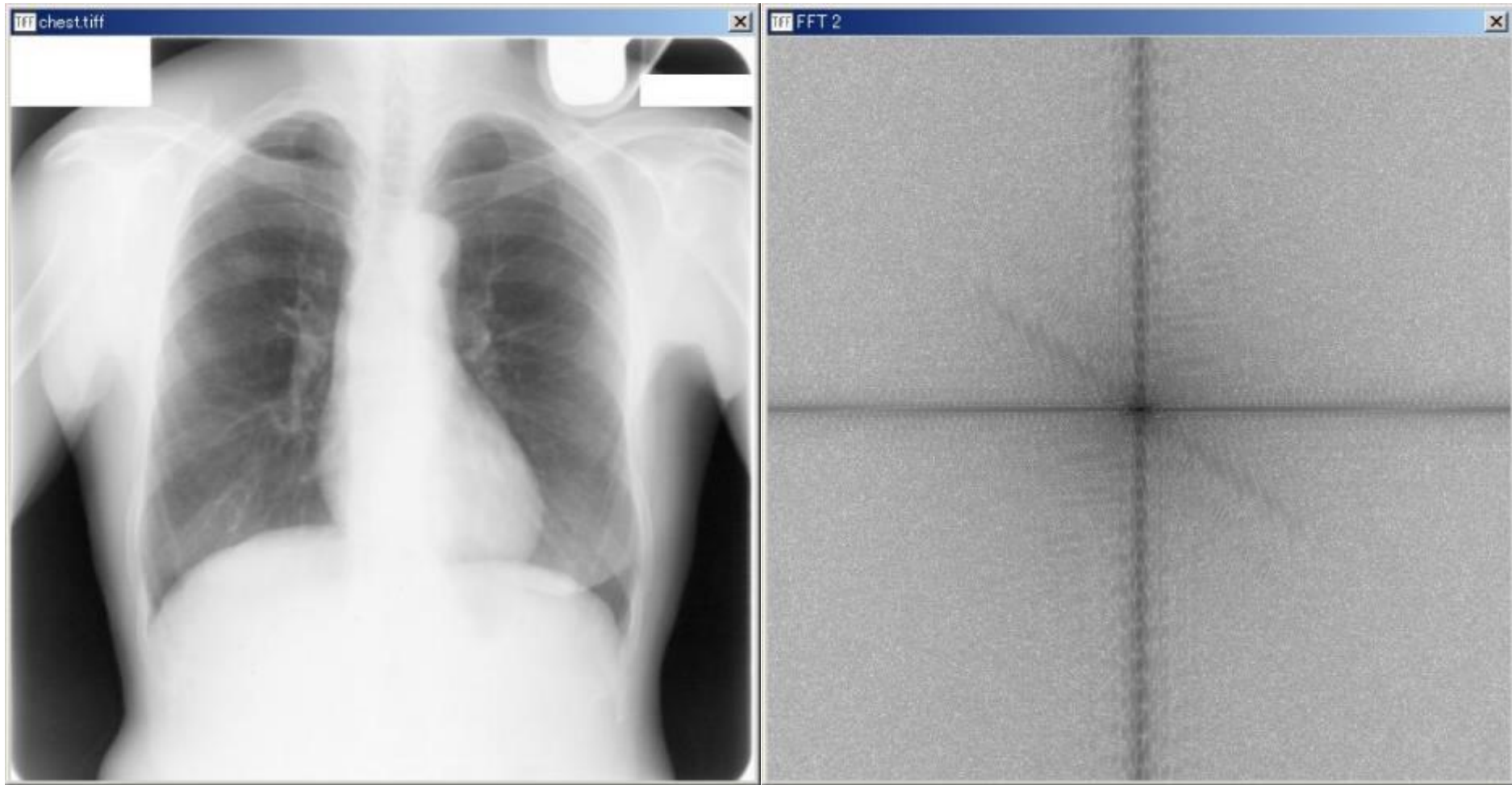
高周波成分抽出画像

低周波成分抽出画像

- ・フーリエ変換
- ・高周波通過フィルタ
- ・逆フーリエ変換

- ・フーリエ変換
- ・低周波通過フィルタ
- ・逆フーリエ変換

胸部X線画像のフーリエ変換



空間領域の画像

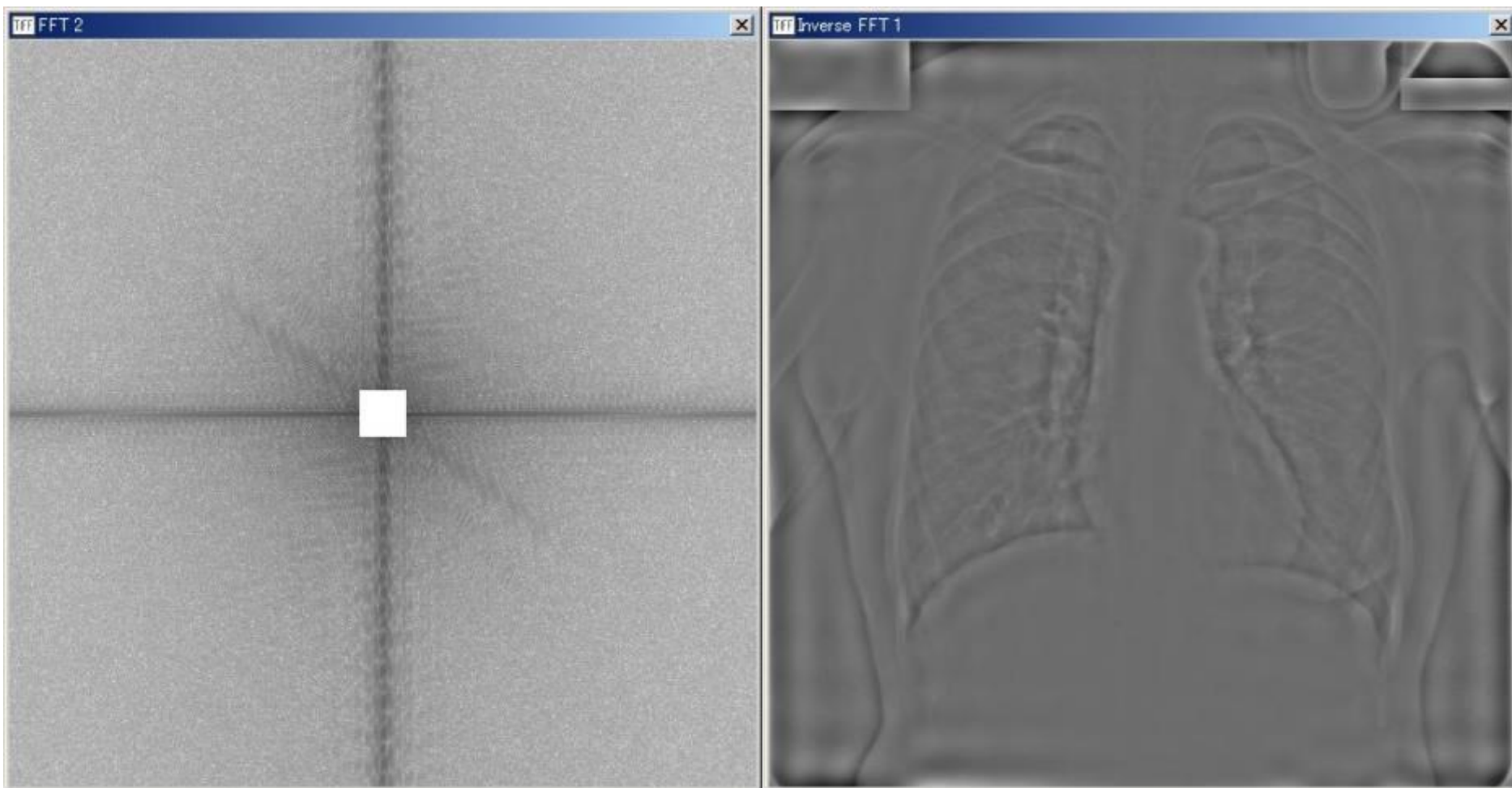


空間周波数領域の画像

フーリエ変換

(中心: 低周波, 辺縁: 高周波)

周波数処理: 低周波遮断



高周波通過フィルタ(High-pass filter)
(低周波遮断フィルタ)

フーリエ逆変換

高周波成分画像
(エッジが抽出された画像)

周波数処理: 高周波遮断

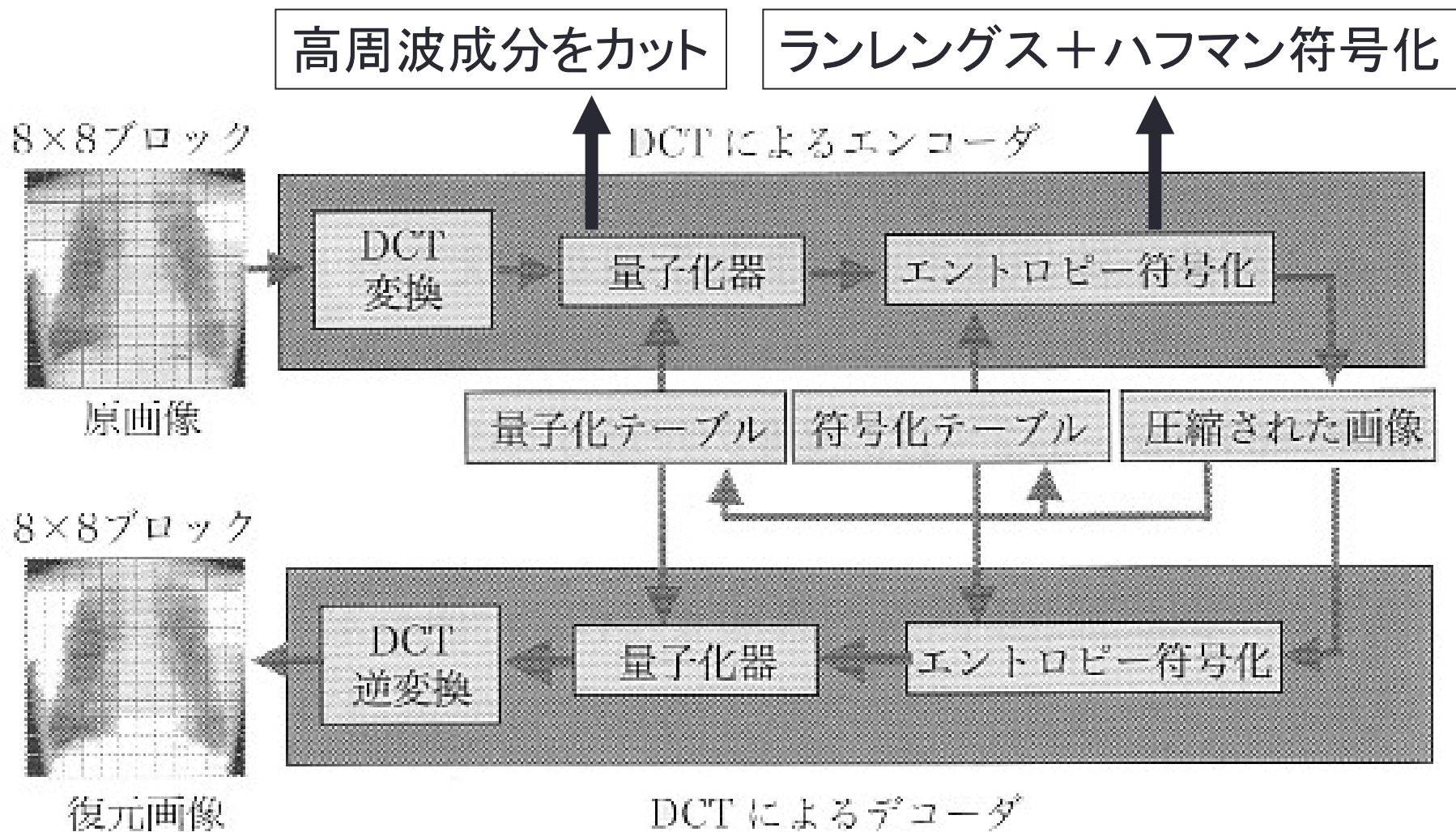


低周波通過フィルタ(Low-pass filter)
(高周波遮断フィルタ)

フーリエ逆変換

低周波成分画像
(ボケた画像)

JPEG圧縮のしくみ



離散コサイン変換(DCT)

- フーリエ変換の兄弟のようなもの
- データを座標軸に対称に折り返して偶関数にしたもののDFTに相当する
- いくつかのバリエーションが存在する
- 変換基底は $\cos\theta$ (変換結果は実数)
- DFTよりも強く低周波にエネルギーが集中する
- データ圧縮の効率はDFTより高い
- JPEG画像圧縮で使用されている

JPEGでのDCT変換式

DCT変換

$$D_{vu} = \frac{1}{4} C_u C_v \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 S_{yx} \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16}$$

逆DCT変換

$$S_{yx} = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C_u C_v D_{vu} \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16}$$

ただし,

$$C_u, C_v = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & u, v = 0 \text{ のとき} \\ 1 & \text{それ以外の時} \end{cases}$$

特に D_{00} をDC(直流)成分と呼び,
他のAC(交流)成分と分けて扱う



2次元画素値

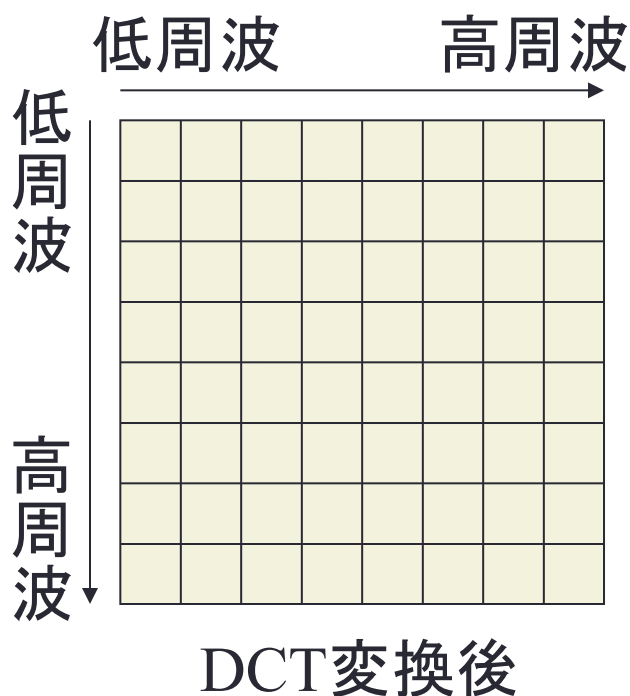
(b) 画素値の表



2次元DCT係数

(c) DCT係数の表

量子化による情報の削減



24	15	62	38	42	23	46	41
65	92	83	99	71	65	35	35
89	79	58	77	65	43	20	48
73	85	64	28	38	26	76	61
105	82	24	68	73	34	56	71
67	59	57	43	67	97	102	80
35	48	66	77	95	98	103	99
63	79	92	89	101	76	95	80

(a) DCT係数



1	1	6	2	1	0	0	0
5	7	5	5	2	1	0	0
6	6	3	3	1	0	0	0
5	5	2	0	0	0	0	0
5	3	0	1	1	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

(c) 量子化データ (DCT係数 ÷ 量子化テーブル)

(b) 量子化テーブル



16	11	60	32	24	0	0	0
60	84	70	95	52	58	0	0
84	78	48	72	40	0	0	0
70	85	44	0	0	0	0	0
90	66	0	56	68	0	0	0
48	35	55	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

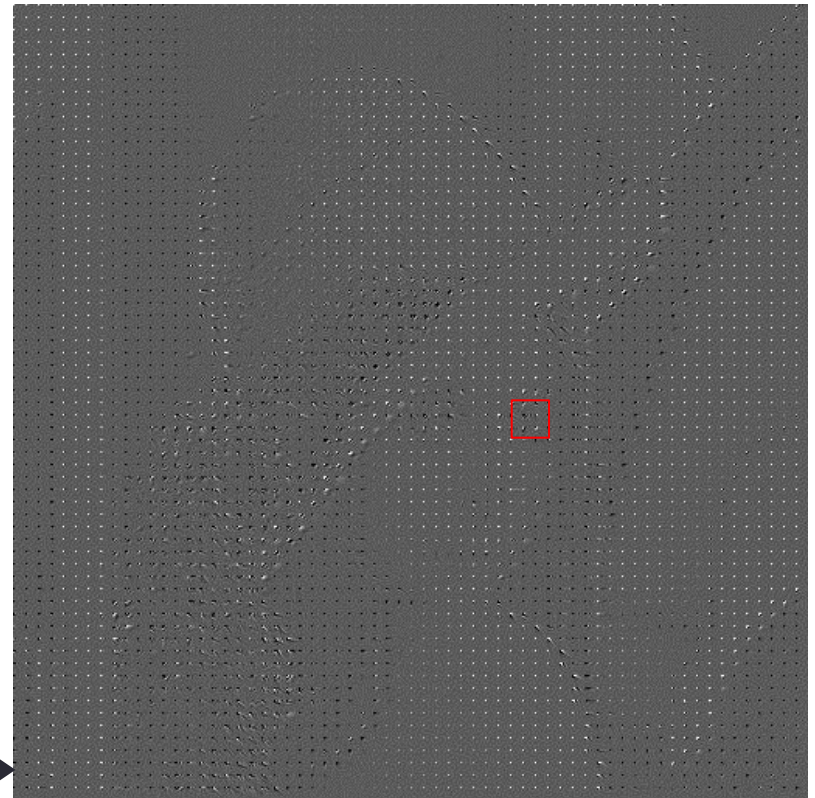
(d) 逆量子化データ (量子化データ × 量子化テーブル)

JPEGの原理:DCT+量子化



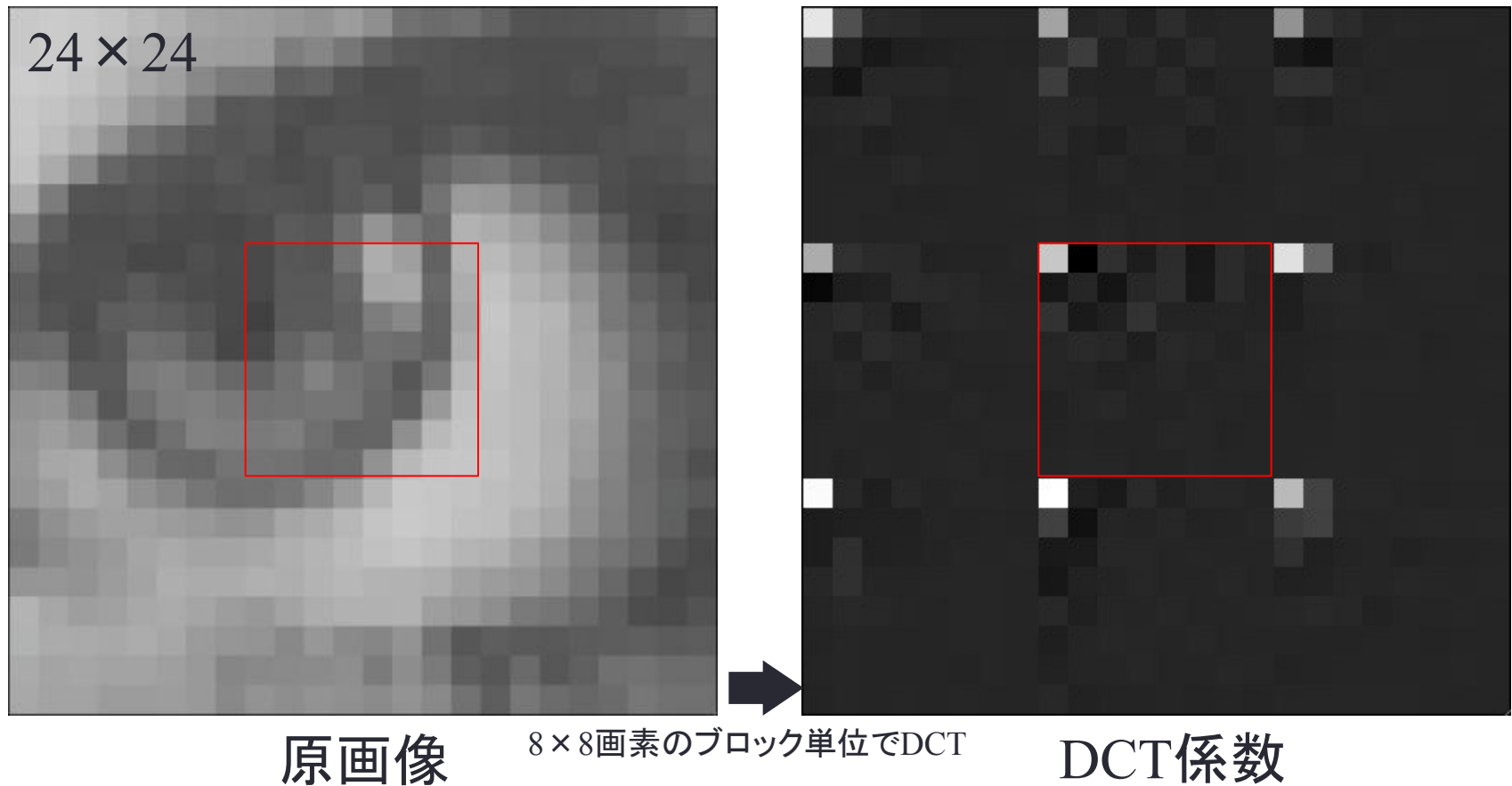
原画像

8 × 8画素のブロック単位でDCT



DCT係数

JPEGの原理:DCT+量子化

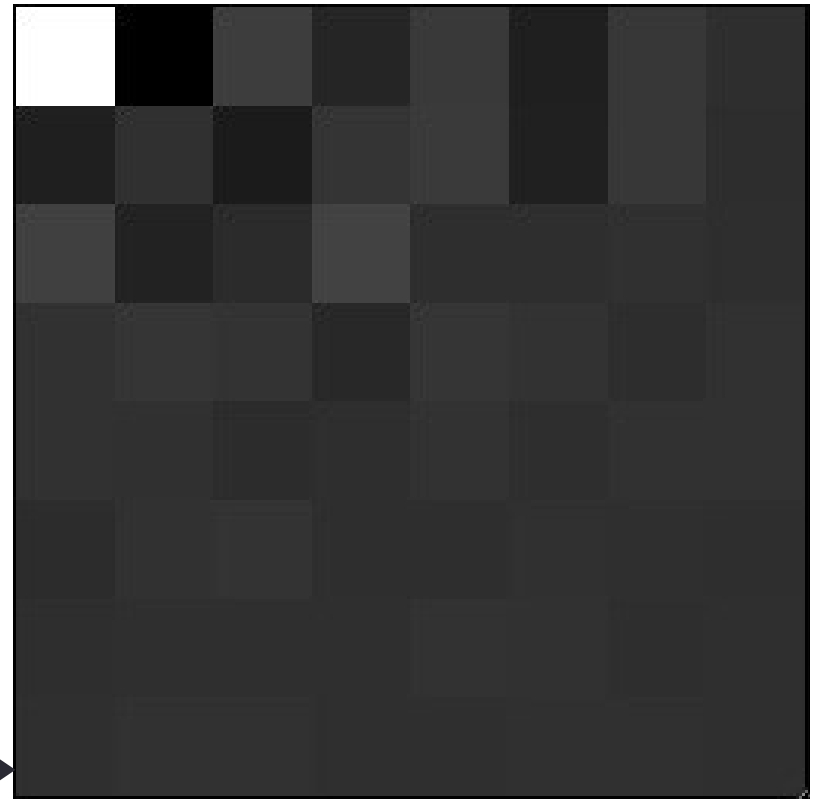


JPEGの原理:DCT+量子化



原画像

8×8画素のブロック単位でDCT



DCT係数

JPEGの原理:DCT+量子化

57	70	68	98	157	141	79	165
57	71	71	83	149	151	86	157
50	72	72	78	106	117	80	151
57	81	93	80	93	90	79	158
79	94	111	96	87	70	100	170
95	96	98	98	83	76	135	180
103	107	93	81	82	124	170	183
97	95	87	89	127	169	184	185

原画像

8×8画素のブロック単位でDCT

845.1	-194.4	56.1	-42.7	37.6	-69.7	29.4	-8.3
-67.6	1.3	-83.9	16.6	42.4	-65.3	31.4	-12.0
66.1	-56.3	-19.8	72.7	-8.2	-8.8	1.1	-5.4
5.8	23.6	14.3	-31.7	21.5	11.1	-12.3	6.7
6.4	1.1	-16.4	-6.0	8.4	-8.4	5.1	4.0
-14.8	3.8	13.9	-6.7	-6.1	2.8	-1.9	-6.0
-7.2	-1.8	-4.1	-4.4	10.6	4.0	-5.2	-1.8
-1.9	4.7	5.3	-4.6	-4.6	3.1	-0.6	-3.0

DCT係数

JPEGの原理:DCT+量子化

16	11	10	16	24	40	50	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

量子化テーブル

845.1	-194.4	56.1	-42.7	37.6	-69.7	29.4	-8.3
-67.6	1.3	-83.9	16.6	42.4	-65.3	31.4	-12.0
66.1	-56.3	-19.8	72.7	-8.2	-8.8	1.1	-5.4
5.8	23.6	14.3	-31.7	21.5	11.1	-12.3	6.7
6.4	1.1	-16.4	-6.0	8.4	-8.4	5.1	4.0
-14.8	3.8	13.9	-6.7	-6.1	2.8	-1.9	-6.0
-7.2	-1.8	-4.1	-4.4	10.6	4.0	-5.2	-1.8
-1.9	4.7	5.3	-4.6	-4.6	3.1	-0.6	-3.0

DCT係数

DCT係数 ÷ 量子化係数

JPEGの原理:DCT+量子化

52	-17	5	2	1	1	0	0
-5	0	-5	0	1	-1	0	0
4	-4	-1	3	0	0	0	0
0	1	0	-1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

量子化されたDCT係数

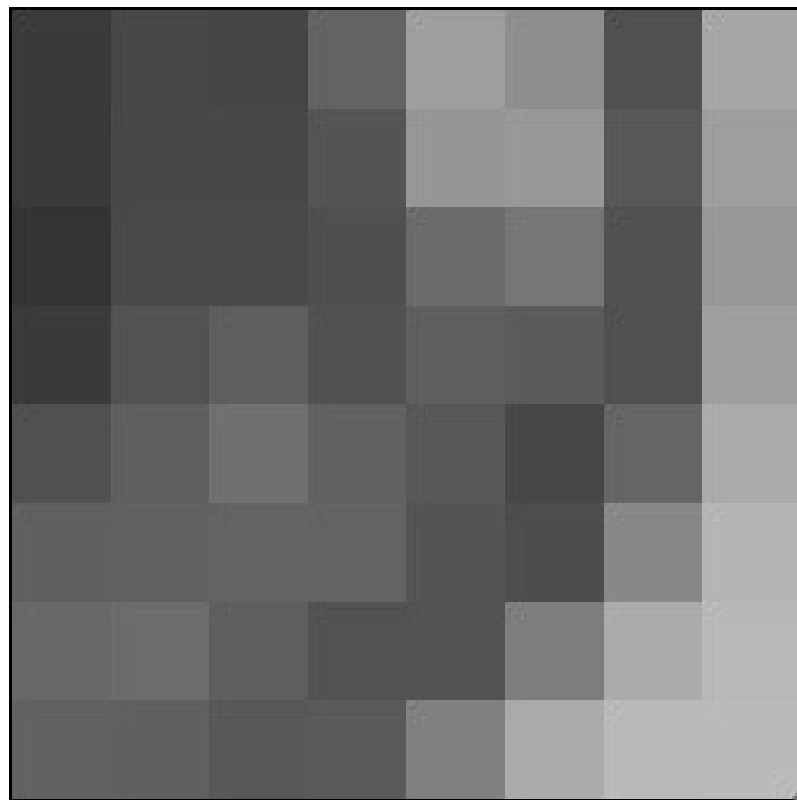
845.1 /16	-194.4 /11	56.1 /10	-42.7 /16	37.6 /24	-69.7 /40	29.4 /50	-8.3 /61
-67.6 /12	1.3 /12	-83.9 /14	16.6 /19	42.4 /26	-65.3 /58	31.4 /60	-12.0 /55
66.1 /14	-56.3 /13	-19.8 /16	72.7 /24	-8.2 /40	-8.8 /57	1.1 /69	-5.4 /56
5.8 /14	23.6 /17	14.3 /22	-31.7 /29	21.5 /51	11.1 /87	-12.3 /80	6.7 /62
6.4 /18	1.1 /22	-16.4 /37	-6.0 /56	8.4 /68	-8.4 /109	5.1 /103	4.0 /77
-14.8 /24	3.8 /35	13.9 /55	-6.7 /64	-6.1 /81	2.8 /104	-1.9 /113	-6.0 /92
-7.2 /49	-1.8 /64	-4.1 /78	-4.4 /87	10.6 /103	4.0 /121	-5.2 /120	-1.8 /101
-1.9 /72	4.7 /92	5.3 /95	-4.6 /98	-4.6 /112	3.1 /100	-0.6 /103	-3.0 /99

DCT係数 ÷ 量子化係数

JPEGの原理:DCT+量子化

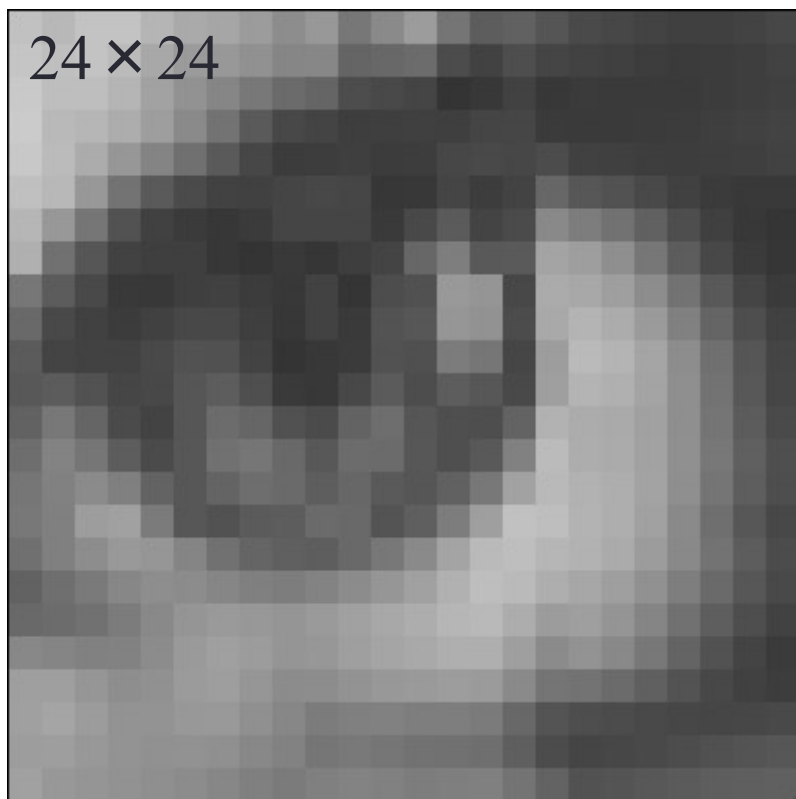


圧縮画像

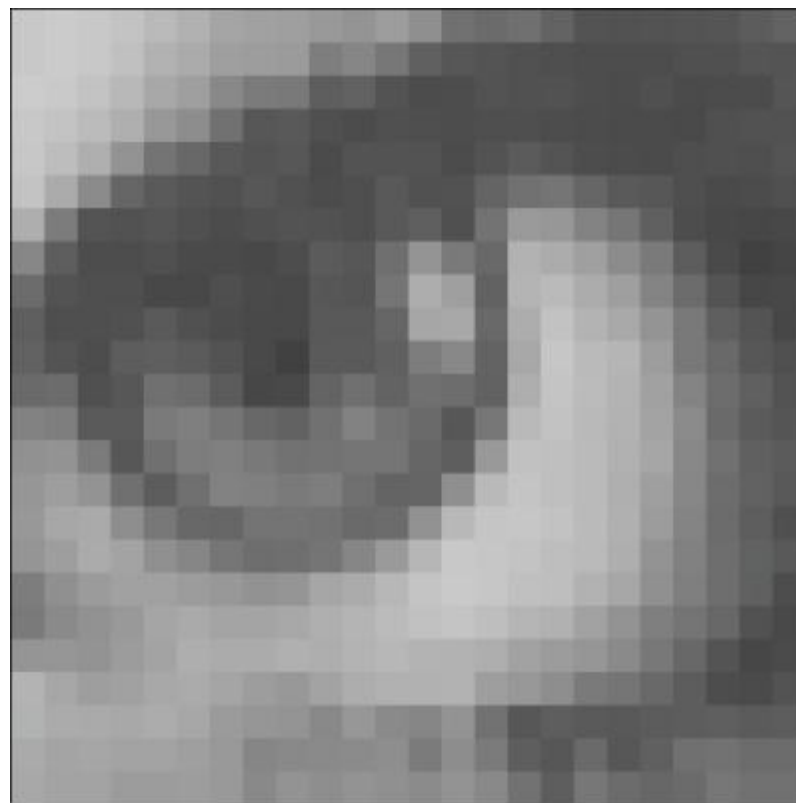


原画像

JPEGの原理:DCT+量子化



圧縮画像



原画像

JPEGの原理:DCT+量子化

512 × 512



圧縮画像
32KB



原画像
288KB

DCT&量子化の具体例

原画像(8x8)	ピクセル値	DCT 係数
	236 237 176 107 163 158 108 238	1406.4 -244.8 212.9 291.6 29.4 -29.2 85.1 60.2
	236 197 059 191 255 255 171 137	-30.5 107.5 -52.0 -9.7 3.4 -23.2 -5.8 -17.1
	238 078 072 050 231 255 255 145	119.4 207.3 -48.0 -62.4 56.6 -107.3 -86.9 -60.3
	203 054 178 048 153 255 255 253	-80.6 -45.5 83.6 -28.9 19.0 -13.2 25.0 -35.1
	131 040 090 029 113 255 255 254	26.1 42.3 20.2 -184.2 -58.9 -23.0 67.3 10.7
	239 039 044 043 150 255 255 251	-9.5 -23.3 70.6 5.1 3.5 -10.2 32.1 56.9
	237 123 016 055 232 255 255 247	-12.0 22.9 32.3 -16.3 -8.1 22.1 32.5 39.5
	237 238 204 174 229 219 202 238	-52.1 -37.9 11.0 27.3 -17.2 -19.3 -25.2 13.6

量子化行列(Q)	量子化した DCT 係数(QD)	再生した DCT 係数
16 11 10 16 24 40 51 61	88 -21 21 18 1 0 2 1	1408 -231 210 288 24 0 102 61
12 12 14 19 26 58 60 55	-2 9 -3 0 0 0 0 0	-24 108 -42 0 0 0 0 0
14 13 16 24 40 57 69 56	9 16 -2 -2 1 -1 0 0	126 208 -32 -48 40 -57 0 0
14 17 22 29 51 87 80 62	-5 -2 4 0 0 0 0 0	-70 -34 88 0 0 0 0 0
18 22 37 56 68 109 103 77	1 2 1 -2 0 0 1 0	18 44 37 -112 0 0 103 0
24 35 55 64 81 104 113 92	0 0 1 0 0 0 0 1	0 0 55 0 0 0 0 92
49 64 78 87 103 121 120 101	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0
72 92 95 98 112 100 103 99	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0

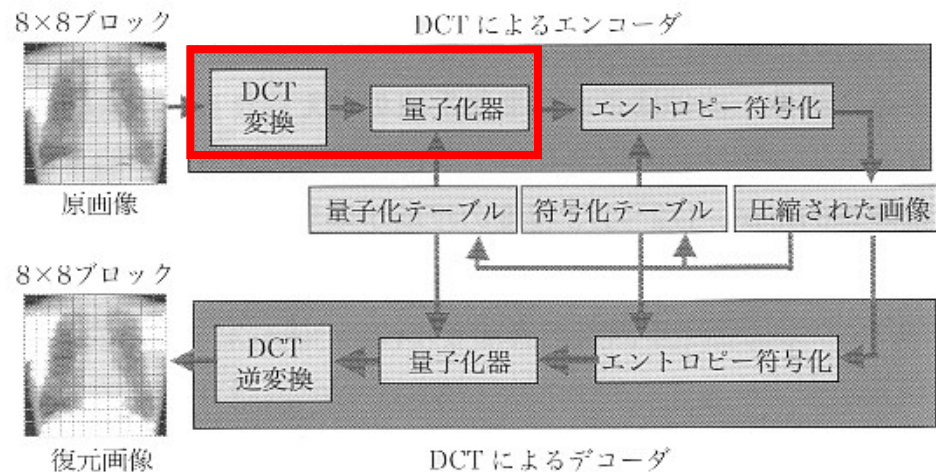
DCT & 量子化の具体例

再生ピクセル値	再生画像(8x8)	原画像(8x8)	実サイズでの比較
255 185 204 93 170 171 136 208			
232 171 96 155 216 253 180 142			
207 112 85 106 228 255 244 159			
197 55 128 46 157 235 249 240			
163 50 71 62 106 255 234 255			
186 77 14 40 163 251 255 232			
245 128 89 54 223 224 255 232			
255 184 202 168 210 255 171 251			

量子化によって情報量が削られた → データ量が削減された

次のステップ

ランレングス
ハフマン符号化

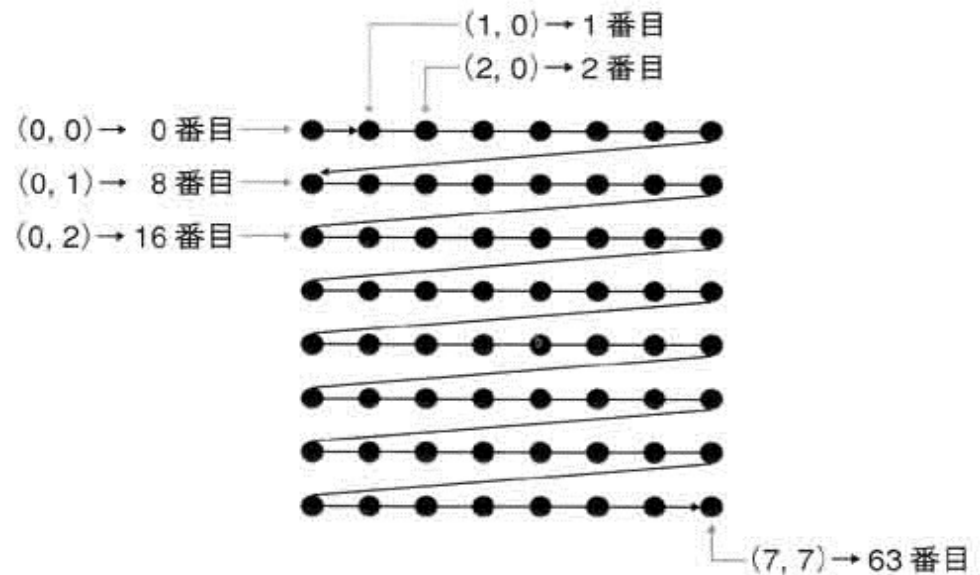


JPEGでの ランレングス

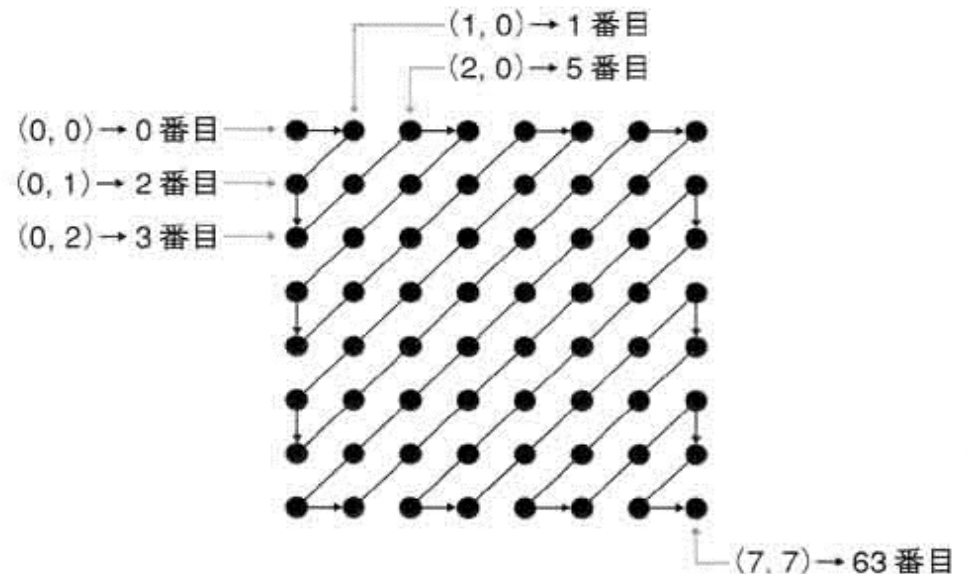
1	1	6	2	1	0	0	0
5	7	5	5	2	1	0	0
6	6	3	3	1	0	0	0
5	5	2	0	0	0	0	0
5	3	0	1	1	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

(c) 量子化データ (DCT 係数 ÷ 量子化テーブル)

量子化後のDCT係数は
右下に0が固まる傾向にある。
→ジグザグシーケンスが有効



(a) 一般的なスキャン



(b) ジグザグシーケンス

工夫されたランレングス

通常のランレングス

7個のランがある

ジグザグシーケンス

ランが6個に減っている

1	1	6	2	1	0	0	0
5	7	5	5	2	1	0	0
6	6	3	3	1	0	0	0
5	5	2	0	0	0	0	0
5	3	0	1	1	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

量子化後のDCT係数

1 1 6 2 1 0 0 0 5 7 5 5 2 1 0 0

6 6 3 3 1 0 0 0 5 5 2 0 0 0 0 0

5 3 0 1 1 0 0 0 2 1 1 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

1 1 5 6 7 6 2 5 6 5 5 5 3 5 1 0

2 3 2 3 2 0 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0

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

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

工夫点

0のランレングスとそれ以外の値を組にする

0,1	0,1	0,5	0,6	0,7	0,6	0,2	0,5
0,6	0,5	0,5	0,5	0,3	0,5	0,1	1,2
0,3	0,2	0,3	0,2	1,1	2,1	0,1	5,1
0,1	5,1	23,0					

(c) ランレングスと係数値
の組で表した様子

先行する 0 の係数、係数の値

エントロピー符号化

0,1	0,1	0,5	0,6	0,7	0,6	0,2	0,5
0,6	0,5	0,5	0,5	0,3	0,5	0,1	1,2
0,3	0,2	0,3	0,2	1,1	2,1	0,1	5,1
0,1	5,1	23,0					

(a) 記録するデータ

01	01	05	06	07	06	02	05
06	05	05	05	03	05	01	12
03	02	03	02	11	21	01	51
01	51	FF					

(b) (a)をそのまま16進数で表した場合
(FFはブロックの終わりまで0が続くことを表す)
27バイト



工夫

001	001	100101	100110	100111	100110	0110	100101
100110	100101	100101	100101	0111	100101	001	1101110
0111	0110	0111	0110	11001	111001	001	11110101
001	11110101	1010					

(c) (a)をエントロピー符号化(ビット表現)

26	59	A7	99	A5	9A	59	79
4E	E7	67	6C	F2	7D	4F	AD
00							

(d) (c)をバイト表現
17バイト

JPEGでのエントロピー符号

- ・ハフマン符号化, 算術符号化(著作権の問題あり)
- ・ハフマン符号表を用いて符号化する.
(ハフマンテーブル)

DCT係数をそのままハフマン符号化しない.



係数を表現するために必要なビット数
をハフマン符号化し, その符号語に続
いて係数値を必要最小限のビット数で
記録する方式

係数をそのままハフマン符号化
→ 256種類の符号語

係数表現に必要なビット数をハフマン符号化
→ 8種類の符号語

DC成分

1	1	6	2	1	0	0	0
5	7	5	5	2	1	0	0
6	6	3	3	1	0	0	0
5	5	2	0	0	0	0	0
5	3	0	1	1	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

(c) 量子化データ(DCT係数÷量子化テーブル)

0,1	0,1	0,5	0,6	0,7	0,6	0,2	0,5
0,6	0,5	0,5	0,5	0,3	0,5	0,1	1,2
0,3	0,2	0,3	0,2	1,1	2,1	0,1	5,1
0,1	5,1	23,0					

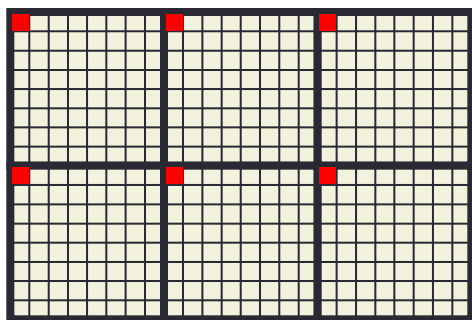
ランレングス表記の量子化データ

- ・DC成分とAC成分を分けて扱う.

DC成分: 画像成分について, ブロック内のベースとなる値
前のブロックのDC成分値との差(差分値)を記録する

DC成分のハフマン符号化

- ・前のブロックのDC成分値との差(差分値)を記録する



赤で示す画素:
DCT変換後の8x8ブロック内のDC成分

差分値

2進数表記

5

(00000101)

桁揃えのため
のビット

5を表す最小限
のビット

ビット数は3

→ 3を表すハフマン符号語

100

具体的な値

101

差分値5を表すビット列

100101

8ビットの数値が6ビットに減った

Table 2.1 輝度DC差分のためのハフマン符号表

差分値	分類	符号長	符号語 (ビット表現)
0	0	2	00
-1, 1	1	3	010
-3, -2, 2, 3	2	3	011
-7 ~ -4, 4 ~ 7	3	3	100
-15 ~ -8, 8 ~ 15	4	3	101
-31 ~ -16, 16 ~ 31	5	3	110
-63 ~ -32, 32 ~ 63	6	4	1110
-127 ~ -64, 64 ~ 127	7	5	11110
-255 ~ -128, 128 ~ 255	8	6	111110
-511 ~ -256, 256 ~ 511	9	7	1111110
-1023 ~ -512, 512 ~ 1023	10	8	11111110
-2047 ~ -1024, 1024 ~ 2047	11	9	111111110

AC成分のハフマン符号化

Table 2.2 輝度AC成分のためのハフマン符号表（部分）

付加ビット数 ランレングス	0	1	2	...	10
0	1010(EOB)	00	01	...	1111111110000011
1	無し	1100	11011	...	1111111110001000
2	無し	11100	11111001	...	1111111110001110
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15	11111111001(CZRL)	111111111110101	111111111110110	...	111111111111110

0,1	0,1	0,5	0,6	0,7	0,6	0,2	0,5
0,6	0,5	0,5	0,5	0,3	0,5	0,1	1,2
0,3	0,2	0,3	0,2	1,1	2,1	0,1	5,1
0,1	5,1	23,0					

ランレングス表記の量子化データ

001 001 100101 100110 100111 100110 0110 100101
 100110 100101 100101 100101 0111 100101 001 1101110
 0111 0110 0111 0110 11001 111001 001 11110101
 001 11110101 1010

ハフマン符号化

JPEG圧縮：まとめ

YCbCr表色系において色差Cb成分とCr成分を
間引く → 非可逆

各成分ごとにDCT変換を行い，量子化テーブルを用いて高周波の情報を削減する
→ 非可逆

エントロピー符号化
(ランレングス＋ハフマン符号化) → 可逆