

# 卒業論文概要書

## Summary of Bachelor's Thesis

学科名 Department	情報通信	氏名 Name	梅田聖也	指導 教員 Advisor	渡辺 裕 印 Seal
研究指導 Research guidance	オーディオビジュアル情報処理研究	学籍番号 Student ID number	1w142065-9 CD		
研究題目 Title	FVC 量子化パラメタ制御による超解像の特性 Characteristics of Super-Resolution Image Processing by FVC Quantization Parameter Control				

### 1. まえがき

2017年現在、2K（1920x1080画素）や4K（3840x2160画素）映像といった超高精細映像が急速に展開されている。しかし、これらの超高精細映像には、普及する上で超高精細映像の映像データの大容量化という問題がある。この問題の解決のためにITU-T/VCEGとISO-IEC/JTC/SC29/WG11 Moving Picture Experts Group (MPEG)のJoint Video Exploration Team (JVET)で次世代映像符号化技術(Future Video Coding (FVC)) [1]のプロジェクトが開始されている。一方、近年Graphics Processing Unit (GPU)を用いた深層学習により画像の解像度を向上させる超解像技術の研究が盛んに行われている。そこで、本研究ではFVCで検討されているJoint Exploration Model (JEM)とJEMより得られる符号化後の画像を対象とした超解像技術を組み合わせた新しい符号化方式(図1)を提案するとともに、実験により手法の評価を行う。

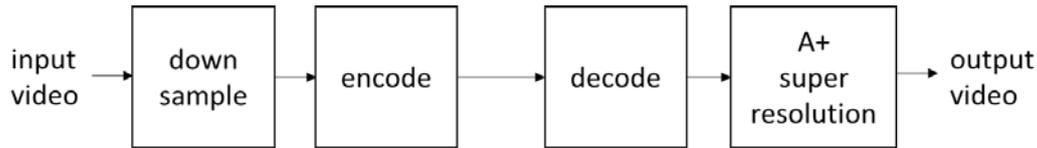


図1 提案手法

### 2. 超解像画像処理

超解像画像処理は、解像度が低い画像に対して処理を行い、画像の解像度を向上させる画像処理技術である。一般的には、大量の学習用の高解像度画像と低解像度画像を用意し、それらの対応関係を学習することで入力された画像の解像度を向上させる。

### 3. 実験結果

2K/4K-SDR/HDRシーケンスを提案手法に入力し、出力された画像においてPSNRを算出、符号化レートを考慮してグラフを作成し、回帰直線を求めることで提案手法の有効性を評価した。求めた回帰直線より、提案手法はSDRシーケンスでは量子化パラメタQPが36以上、HDRシーケンスではQP32以上において有効であることがわかった。

### 4. まとめ

本研究では、次世代映像符号化技術FVCと超解像技術を組み合わせた新しい符号化方式を提案するとともに、その有効性を実験により検討する研究を行った。また、提案手法のシステムが有効である条件をより明確にするためにより細かく実験を行い、これを明らかにした。今後の課題としてQPが小さい場合、提案手法があまり有効でない原因を明らかにするとともに、改善できる方法を模索する必要がある。

### 参考文献

[1] MPEG The Moving Picture Experts Group, <http://mpeg.chiariglione.org/tags/future-video-coding> (2017年11月現在)

### 研究業績

1. S. Umeda, N. Yano, H. Watanabe, T. Ikai, T. Chujoh and N. Ito: "HDR Video Super-Resolution for Future Video Coding," IWAIT2018, No.89, Jan. 2018
2. 梅田, 矢野, 渡辺, 猪飼, 中條, 伊藤, "FVC 量子化パラメタ制御による超解像の特性", 情報処理学会 第80回全国大会 2018年3月13日発表予定

2017 年度 卒業論文

FVC 量子化パラメタ制御による超解像処理の特性

Characteristics of Super-Resolution Image Processing  
by FVC Quantization Parameter Control

指導教員 渡辺 裕 教授

早稲田大学 基幹理工学部

情報通信科

1W142065-9

梅田 聖也

## 目次

第1章	序論.....	1
1.1	研究の背景.....	1
1.2	本研究の目的.....	1
1.3	関連研究.....	2
1.4	本論文の構成.....	2
第2章	超解像技術.....	3
2.1	はじめに.....	3
2.2	超解像技術の概要.....	3
2.3	超解像技術の用途.....	3
2.4	超解像技術の分類.....	4
2.4.1	再構成型超解像.....	4
2.4.2	学習型超解像.....	4
2.5	A+法.....	5
第3章	次世代映像符号化技術.....	6
3.1	はじめに.....	6
3.2	High Efficiency Video Coding.....	6
3.3	Future Video Coding.....	6
3.4	Quantization Parameter.....	8
第4章	提案手法.....	10
4.1	はじめに.....	10
4.2	提案手法の概要.....	10
4.3	プログラムの修正.....	10
第5章	提案手法の評価実験及び結果, 考察.....	11
5.1	はじめに.....	11
5.2	実験の概要.....	11
5.2.1	予備実験.....	11
5.2.2	本実験.....	13
5.3	予備実験の結果.....	14
5.4	本実験の結果.....	17
5.5	追加実験.....	28
5.6	追加実験の結果.....	28
第6章	結論及び課題.....	33
6.1	結論.....	33
6.2	課題.....	33

謝辭.....	34
参考文献.....	35
圖一覽.....	37
表一覽.....	38
研究業績.....	39

# 第 1 章 序論

## 1.1 研究の背景

2017 年現在, 2K (1920x1080 画素) や 4K (3840x2160 画素) 映像といった超高精細映像が急速に我々の生活に身近になってきており, これらを再生する機器の需要も高まっている [1]. これは映像再生/撮影機器や映像符号化技術の発展が背景にある. これらの超高精細映像は従来の映像と比較すると, 色や明るさをよりリアルに再現することができ, より質の高い映像コンテンツの提供を実現している. また, 2020 年東京オリンピック開催に向けてさらなる超高精細映像として 8K (7680x4320 画素) 映像も検討されている [2]. しかし, これらの超高精細映像には, 普及する上で幾つかの問題がある. 特に問題となっている点は, 超高精細映像の映像データの大容量化である. 解像度のみを考慮すると, 4K 映像では従来の 4 倍に, 8K 映像では従来の 16 倍のデータ量となる. 更にフレームレートを考慮すると更に扱うべきデータ量が増大する [3]. そのため, 現在の伝送路・符号化技術ではこれらの超高精細映像の伝送の実現は容易ではない. また, この問題の解決のために ITU-T/VCEG と ISO-IEC/JTC/SC29/WG11(MPEG) の JVET (Joint Video Exploration Team) で次世代映像符号化技術 (Future Video Coding (FVC)) のプロジェクトが開始されているが, 未だ開発段階である [4].

一方, 近年 Graphics Processing Unit (GPU) の高性能化に伴い, GPU を用いた深層学習の研究が急速に展開されている. それらの研究の中の一つに超解像技術がある. これは, 画像の解像度を向上させる技術であり, 低解像度画像と高解像度画像のペアの対応関係を事前に深層学習を用いて学習させ, 画像が入力されると入力に対応する高解像度画像を推測し, 補間することで解像度を向上させる. 従来の超解像技術の研究では, 通常の静止画を対象にしたものや, 品質の低い静止画/映像を対象となっている. そこで, 本研究では次世代映像符号化技術 (Future Video Coding(FVC)) で検討されている Joint Exploration Model (JEM) と JEM より得られる符号化後の画像を対象とした超解像技術を組み合わせた新しい符号化方式を提案するとともに, 実験により超解像画像の品質評価を行う.

## 1.2 本研究の目的

符号化後の画像に超解像技術を適用して品質の高い画像を得ることができるような符号化方式が実現することができれば, データ伝送の時点でデータ容量を削減することが可能となり, 超高精細映像の伝送における問題の解決に一步近づくことができる. 本研究では, 映像を直接符号化したものと, 2:1 サブサンプリングして符号化, その後超解像技術を適用したものとを比較し, 映像符号化方式+超解像技術の有効性を検討する.

### 1.3 関連研究

映像符号化方式と超解像技術を組み合わせた従来研究として、現在使われている High Efficiency Video Coding (HEVC) を利用したものがある[5]. この研究では、後述(第2章4節1項)にある再構成型超解像を超解像技術として利用し、高い圧縮率で高品質な映像の伝送を実現している. しかし、再構成型超解像には超解像精度の限界や、処理速度の遅さなどの問題がある. 一方、JEM による映像符号化と超解像技術等の他の技術を組み合わせた研究は報告されていない.

### 1.4 本論文の構成

本論文の構成は以下のとおりである.

第1章は、本章であり、本研究の背景、目的及び、本論文の構成を示している.

第2章では、本研究で用いる主要な技術である超解像技術の用途や種類、定義について述べる.

第3章では、本研究で採用する符号化方式である次世代符号化技術である JEM や、その基盤となっている HEVC について述べる.

第4章では、本研究で提案する手法について述べる.

第5章では、本研究を行う上で必要な予備実験と、提案方式を評価するための実験概要、実験及び結果、またこれらを検証するために行った追加実験について述べ、提案方式の有効性を示す.

第6章では、本研究における結論と今後の課題について述べる.

## 第2章 超解像技術

### 2.1 はじめに

本章では，本研究で用いる超解像技術の用途や種類，定義について述べる．

### 2.2 超解像技術の概要[6]

超解像技術は，解像度が低下している画像に対して処理を行い画像の解像度を向上させる画像処理技術である(図 2.2.1)．

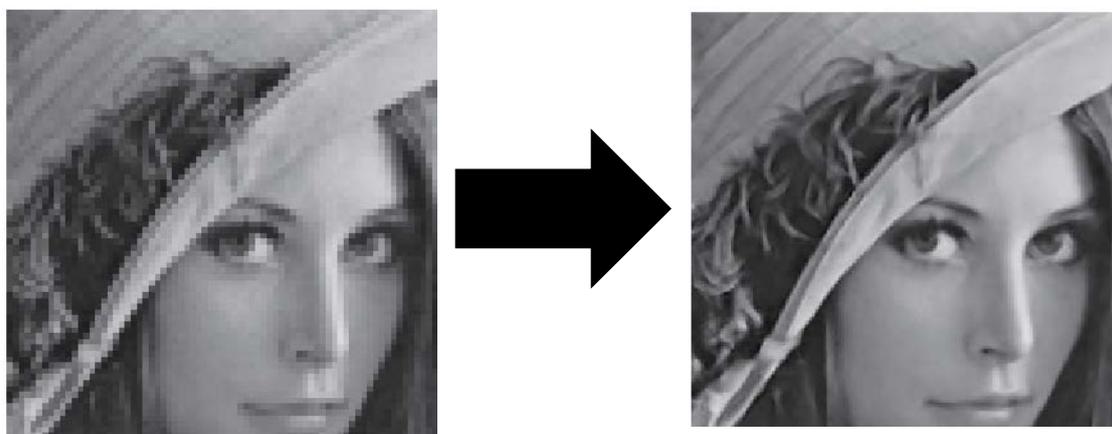


図 2.2.1 超解像処理の例

画像の解像度が低下するという状況は，大きく分けて次の3通りに分類することができる．一つ目は，画素数の低下である．これは，画像の拡大等を行った際に生じる．不十分な信号処理により折り返しひずみが発生する場合に源画像とは異なる周波数分布になり，結果的に解像度が低下した画像となる．二つ目は，高周波成分が低下する場合である．これはローパスフィルタが適用された画像に相当する．ピントがずれ，ぼやけている画像が含まれる．三つ目は，高周波成分が完全に消失している場合である．これは，二つ目の場合のローパスフィルタがより強くなったような状態である．高周波成分が完全に消失しているため，一つ目及び二つ目の状態と比べると解像度を向上させることがより難しい．超解像処理技術では，これらのような解像度が低下した画像に対し，何らかの方法を用いて低下あるいは消失した周波成分を創造することで，解像度の向上を図る．

### 2.3 超解像技術の用途

超解像技術の用途は多くあるが，ここでは代表的なものについて述べる．最も単純で多く

の場面で利用されるのは、静止画を対象にした超解像である。静止画を対象にした超解像では、アナログ機器で撮影され解像度の低い静止画や、不鮮明な衛星写真等に超解像技術を適用し高画質化、鮮鋭化を行う。次に近年注目を集めているのが、映像を対象にした超解像である。この利用例は、静止画を対象とした超解像技術を映像にまで拡張したもので、映像中の各フレームに対し前後数フレームを用いて超解像を行うもの[7]や、映像の符号化システムに超解像技術を組み込んで圧縮効率の良い符号化システムを実現するもの[5]などがある。第一章でも述べたが、近年、超高精細映像の普及により、より圧縮効率の良い映像符号化方式が求められている。そのため、現在この映像符号化システムに超解像技術を用いる研究が盛んにおこなわれている。この他にも、医療用光学顕微鏡の分野においても超解像技術が用いられている。

## 2.4 超解像技術の分類

超解像技術にはマルチフレーム超解像と単一画像超解像の2種類の手法がある。マルチフレーム超解像では、解像度を向上したい対象の画像のほかに対象画像と酷似した画像を複数枚用いる。具体的な例を挙げると、映像中のある1フレームを対象画像とすると、映像のシーンが大きく変わらない限り、対象画像の前後数フレームは酷似した画像と捉えることができる。単一画像超解像では、基本的に事前に低解像度画像と高解像度画像のペアの対応関係を学習し、この学習を基に対象画像の超解像を行う。一般的にはマルチフレーム超解像の方式は再構成型超解像、単一画像超解像の方式は学習型超解像と呼ばれる。

### 2.4.1 再構成型超解像

再構成型超解像は、対象画像のほかに複数枚の画像を用いて超解像を行う。この方式では、解像度の低下を標本点の減少によると仮定し、標本点を対象の画像と酷似した別の画像から補うことで解像度の向上を図る。そのため、的確に酷似画像の選択を行うことができれば確実に解像度の向上を得ることができる。しかし、別の画像から対象画像に標本点を補間する際に、対象画像と酷似画像間の位置合わせが必須となり、そのために長い処理時間を要する。また、処理対象画像に含まれる、折り返しひずみの度合いや、消失している高周波成分の度合いに超解像精度が大きく依存する。

### 2.4.2 学習型超解像

学習型超解像は、超解像処理の前段階として、大量の学習用の高解像度画像と低解像度画像をそれぞれ小領域に分割しパッチを作成する。次に対応する各パッチの対応関係(高解像度パッチ-低解像度パッチの関係)を学習する。超解像を行う際には、入力画像をパッチに分割し、パッチごとに学習した内容を参照して入力パッチに最も近い低解像度パッチを探し出し、対応する高解像度パッチに置き換える。前段階の学習には多大な処理時間を要するが、学習が終了していれば比較的早い処理速度での超解像が実現できる。

このような学習型超解像では，超解像精度が事前に学習した内容に完全に依存するため，入力画像に適合しないような画像で学習した場合，期待するような高解像度画像が得られない場合がある．前段階の学習には Convolutional Neural Network (CNN) や， Sparse Coding が用いられる．近年，これらのいわゆる Deep Learning 的手法は急速に発展している．また，今後 Deep Learning の演算に用いられる GPU の性能も大きく向上することが期待できる，そのため，これらを用いた学習型超解像も同様に発展し，超解像精度の向上も期待できる．

## 2.5 A+法[8]

本研究では，多くの超解像関連の論文[9][10]で比較基準として用いられている Adjusted Anchored Neighborhood Regression for Fast Super-Resolution (A+法) を利用した．この手法は， Sparse Coding ベースの学習型超解像で， Simple Function と呼ばれる低解像度パッチと高解像度パッチ間の学習をクラスタ化してから行う手法と組み合わせることで，早い処理速度と高い超解像精度を実現している．この手法のプログラムは公開されており[11]，第三者がダウンロードし利用することができる．本研究では，公開されているものを次世代映像のシーケンスにも適用できるように修正し利用する．

## 第 3 章 次世代映像符号化技術

### 3.1 はじめに

本章では，本研究で使用する次世代映像符号化方式とその前身である HEVC について述べる．

### 3.2 High Efficiency Video Coding(HEVC)

HEVC，正式には H.265 (ISO/IEC 23008-2 HEVC) は，8K 映像までを想定した動画圧縮規格で，ISO/IEC の MPEG (Moving Picture Experts Group) と ITU-T の VCEG (Video Experts Coding Group) による開発チーム JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding) によって提案，ITU-T により承認された．しかし，フルスペック 8K 映像などをこの方式を用いて伝送する場合などは，圧縮効率はこの方式だけでは足りないことが予想される．そこで，2015年に2020年をターゲットとした新しい映像符号化標準FVC (Future Video Coding) の開発が開始された．

### 3.3 Future Video Coding [12]

Future Video Coding (FVC) は ITU-T SG16 の VCEG (Video Experts Coding Group) と ISO/IEC の MPEG (Moving Picture Experts Group) は，2015年10月のジュネーブ会合にて設置された JVET (Joint Video Exploration Team) によって，2020年をターゲットにした新しい映像符号化標準として開発が開始された．これに伴い，JVET は新しい符号化方式の探索のために Joint Exploration Model (JEM) ソフトウェアの開発を行っている．FVC は HEVC のテストモデル HM を大きく超える主観画質(MOS)が示されており，更に主観評価の向上幅は客観評価 PSNR の向上幅を超える可能性が示唆されている．JEM に含まれる FVC の候補技術となる符号化ツールを表 3.3.1 に示す．これらのような広範囲の技術開発をすすめることで，2017年現在で JEM は HEVC 比で 30%ほどの性能向上が確認されている．

表 3.3.1 JEM における FVC の符号化ツール候補技術

ブロック構造	QTBT (4 分木と 2 分木による再帰的分割)
イントラ予測ツール	PDPC (ブロック内位置依存の画素重み予測)
	CCLM (輝度からの色差線形予測)
インター予測ツール	AMVR (4, 1, 1/4 画素精度での動き符号化)
	ATMVP (サブブロック動き導出)
	AFFINE (拡大や回転などの動き符号化)
	FRUC (マッチングによる動き導出)
	BIO (空間勾配による動き補正)
	OBMC (オーバーラップ予測)
	IC (輝度補償)
変換ツール	EMT (複数の変換基底切り替え)
	NSST (変換係数の非分離型再変換)
ループフィルタ	ALF (小領域ごとの画像分析フィルタ)
	ACLIP (適応的クリッピング)

また、FVC では HEVC と同様に HDR 映像の符号化も考慮している。HDR 映像とは、High Dynamic Range (ハイダイナミックレンジ) の略称で従来の SDR (スタンダードダイナミックレンジ) に比べ、表現できる明るさの幅が広がっている。そのため高いビット深度(10bit 以上)の映像信号が必要となり、それに対応した符号化方式も必要とされる。そのため FVC では、映像信号には HDR 用に規定された ITU-R BT.2100 が利用され、符号化の際には 10bit 符号化が可能な HEVC MAIN10 プロファイルが利用される。この方式では、光の強度と映像信号の変換関係を示す伝達関数として Perceptual Quantization (PQ) と Hybrid Log-Gamma (HLG) を利用するが、どちらの伝達関数も幅広いダイナミックレンジの表現に適した変換式となっている。本研究では、開発段階の JEM7.0 を用いた。

### 3.4 Quantization Parameter

HEVC 及び FVC では Quantization Parameter (QP) を用いて量子化ステップ変化させ、圧縮率を制御している[13]。QP による量子化ステップの変化及び、QP による品質の変化を表した概念的なグラフを図 3.4.1、図 3.4.2 にそれぞれ示す。

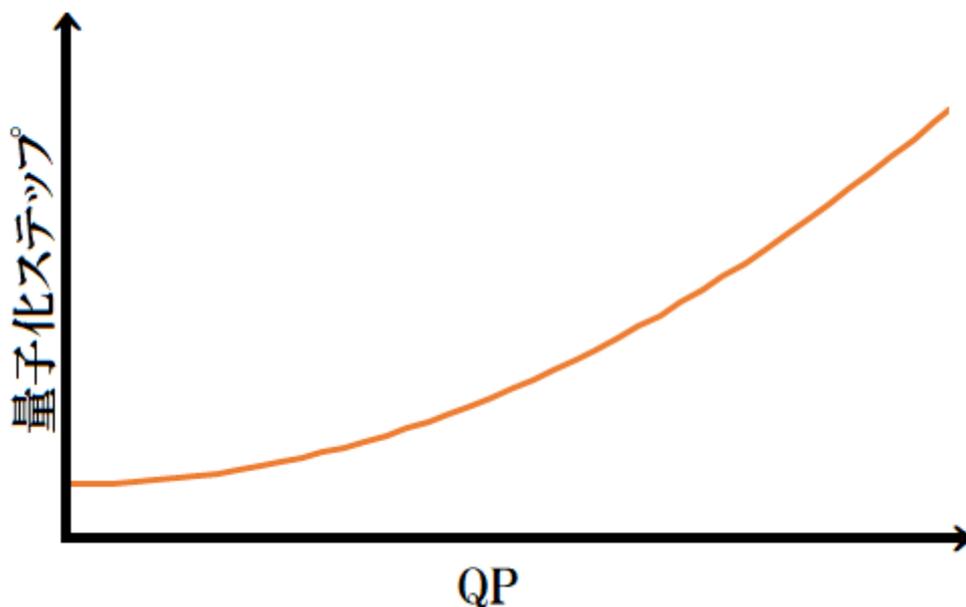


図 3.4.1 QP による量子化ステップの変化

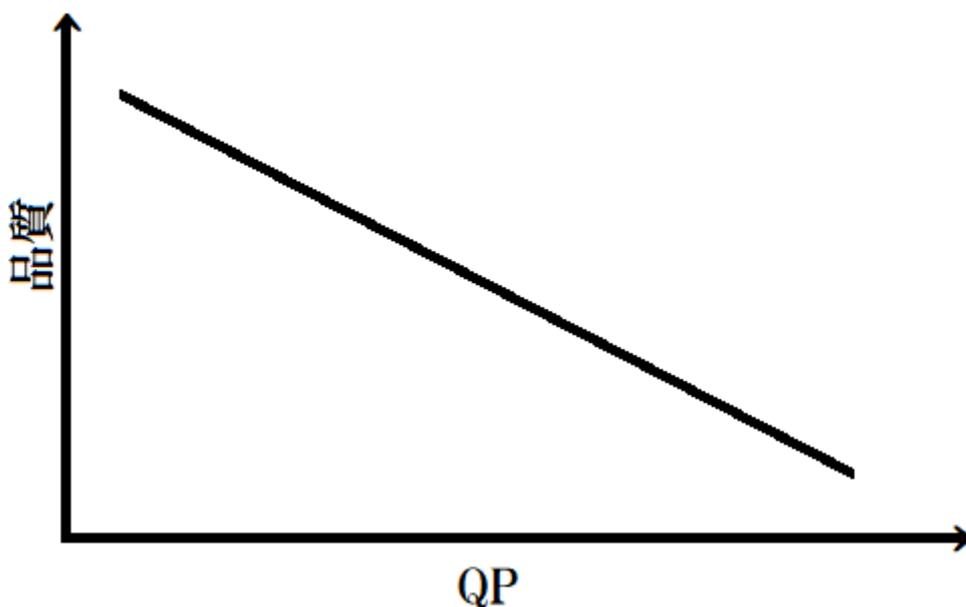


図 3.4.2 QP による品質の変化

これらの2つのグラフは HEVC での QP の特性を示したものである。図 3.4.1 及び図 3.4.2 より、QP の増加により量子化ステップが増減し、それに伴い品質が制御されていることが確認できる。本研究で提案するシステムにおいてもこの QP の変化によって有効性が変わることが予想される。

## 第4章 提案手法

### 4.1 はじめに

本章では、本研究で提案する手法の概要を述べる。また、提案手法を実現するにあたって行った A+法のプログラムの修正と符号化画像の作成手法についても述べる。

### 4.2 提案手法の概要

図 4.2.1 に本研究で提案する FVC と超解像技術を組み合わせた符号化システムの概略図を示す。

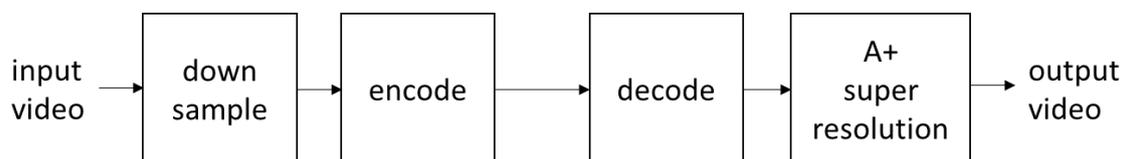


図 4.2.1 提案する符号化システム

8K 映像などの超高精細映像を圧縮・符号化する際、直接に超高精細映像を扱うとシステム全体の演算量が増大する。また、それに伴い、システムを構成するハードウェアが高価になるという問題点がある。これらの問題を解決するために、提案システムでは、8K 映像を扱う場合に、8K 映像を直接、圧縮/伝送するのではなく、4K 映像を用いそれに超解像を適用することによって、8K 映像を再生する。ダウンサンプリングエンコード/デコードには JEM を用い、超解像には前述した A+法を用いる。

### 4.3 プログラムの修正

本研究では、A+法を適用するにあたって A+法の著者のホームページ[14]からダウンロードできる A+法のプログラムに少し手を加えて利用した。オリジナルのプログラムでは、入力画像・出力画像は BMP ファイルのみしか扱うことができない。しかしながら、本研究で対象としている超高精細映像を扱う場合、SDR/HDR シーケンスの双方及び 10-bit データを扱う必要がある。また、これらの画像を JEM で扱うこと場合、ファイル形式は輝度と色差の情報から構成される YUV ファイルのみとなる。YUV ファイルを BMP に変換することでオリジナルのプログラムで扱うことが可能となるが、YUV ファイルから BMP ファイルに変換する際に、情報の損失が発生するため、提案手法を正當に評価できない可能性がある。そのため、本研究ではオリジナルのプログラムの画像の入出力部分を 8/10-bit データの YUV ファイルが扱えるように修正した。

## 第5章 提案手法の評価実験及び結果, 考察

### 5.1 はじめに

本章では, 提案手法を実際に構築し行った評価実験とその結果及び考察を述べる.

### 5.2 実験の概要

#### 5.2.1 予備実験

提案手法の有効性について評価実験を行う前に, 超高精細映像において A+を用いた超解像処理が有効であるかを検討するために予備実験を行った. 予備実験の概略図を図 5.2.1 に示す.

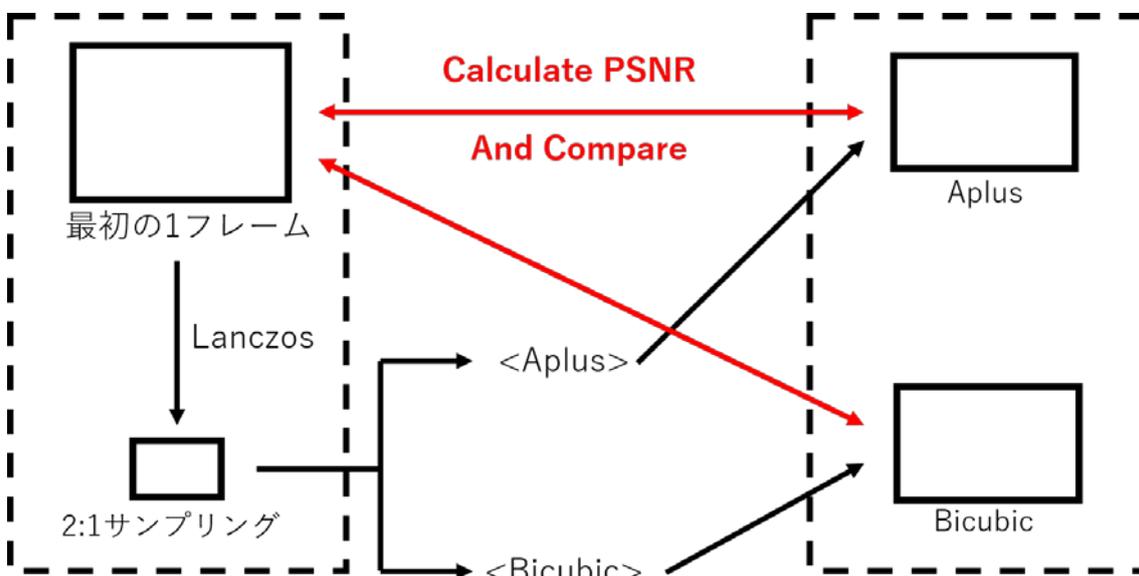


図 5.2.1 予備実験の概略図

この実験では, JEM による符号化前の超高精細映像シーケンスの第 1 フレームを使用する. その後, lanczos フィルタを用いて 2:1 サンプリングし, それに対し Bicubic 法及び A+法を適用し, 元のサイズまで拡大する. 最後に元の画像と比較することで評価指標 PSNR を算出し, Bicubic 法と A+法を比較することで A+法の有効性を検討する. 対象となる画像は, 2K-SDR, 2K-HDR, 4K-SDR, 4K-HDR からなる 23 種類の映像を元を得る. 今回実験で使用したシーケンス情報を表 5.2.1 に示す.

表 5.2.1 本研究で使⽤したシーケンス一覧

輝度	シーケンス名	解像度
SDR	Tango2	4K
	Drums100	
	Campfire1[15]	
	ToddlerFountain2	
	CatRobot1	
	TrafficFlow	
	DaylightRoad2	
	RollerCoaster2	
	Kimono1	1080p
	ParkScene	
	Cactus	
	BasketballDrive	
	BQTerrace	
	HDR	FireEater2
Market3		
SunRise		
ShowGirl2		
BalloonFestival		
Hurdles		
Starting		
Cosmos1		
FlyingBirds		4K
SunsetBeach		

### 5.2.2 本実験

本実験では、提案手法の有効性の検討を行う。本実験の概略図を図 5.2.2 に示す。

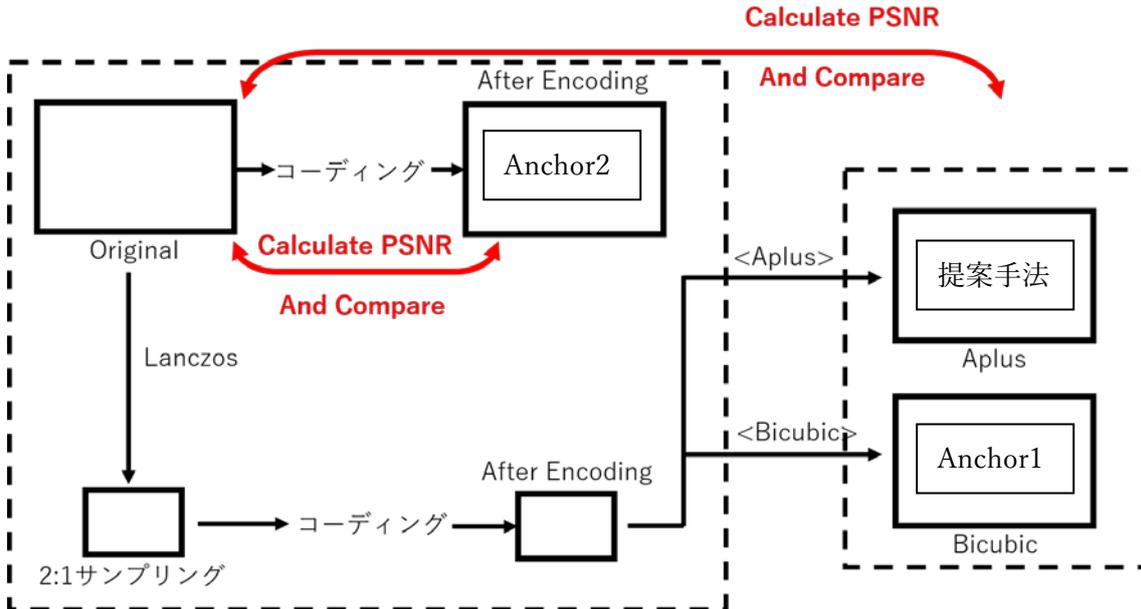


図 5.2.2 本実験の概略図

この実験では、Anchor1・2 及び提案手法の 3 種類の実験結果画像を作成する。この実験においても予備実験と同様に超高精細映像シーケンスの第 1 フレームを使用する。はじめに Anchor2 を作成する。Anchor2 は元のシーケンス(1:1 サンプリング)に直接 JEM によって符号化を行い作成する。次に A+法を適用した提案手法の結果画像と Anchor1 を作成する。これら 2 つは元のシーケンスに対し 2:1 サンプリングしたものを使用する。2:1 サンプリングしたものに対し、JEM による符号化を行い 2:1 サンプリングサイズの符号化画像を作成する。次にこの画像に対し、A+法及び Bicubic 法を適用して解像度を 2 倍にし、それぞれ提案手法の結果画像と Anchor1 とする。最後にこれらの PSNR を算出し比較することで提案手法の有効性を検討する。対象画像は表 5.2.1 で示した予備実験で使用したものと同一ものを使用する。また、今回 JEM によるコーディングにおいて QP の値を 3 段階変化させ、各値での検討も行った。QP は Low/Mid/High の 3 段階、値は Low=29-32, Mid=33-37, High=39-43 である。1:1 サンプリングを用いた符号化画像(Anchor2)と 2:1 サンプリングを用いた符号化後画像の間には符号化レートの差が存在しているため、QP を変化させることで符号化レートがおおよそ同じになるように調整を行った。

### 5.3 予備実験の結果

予備実験で得られた超解像処理適用後の結果画像を図 5.3.1, 図 5.3.2 にそれぞれ示す。また画像サイズがフルサイズの場合, 各手法間での違いが明確に表れていないので, 結果画像中の一部分を切り出し, 拡大比較を行ったものを図 5.3.3 に示す。

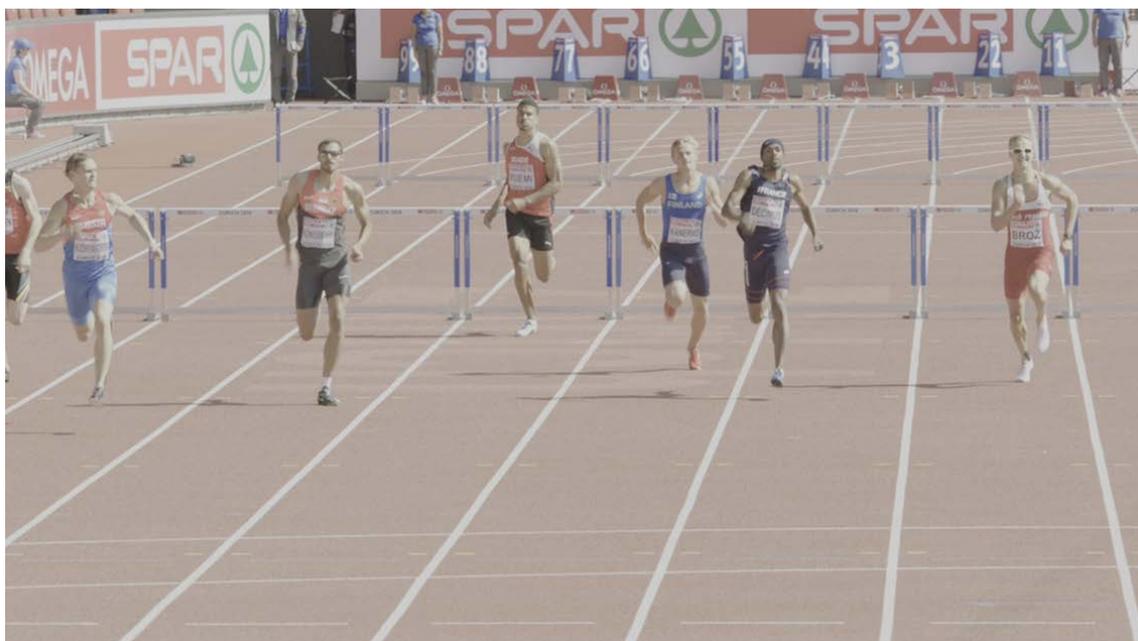


図 5.3.1 予備実験結果(Bicubic, (Hurdles)) (c)EBU under CC-BY-ND 4.0.

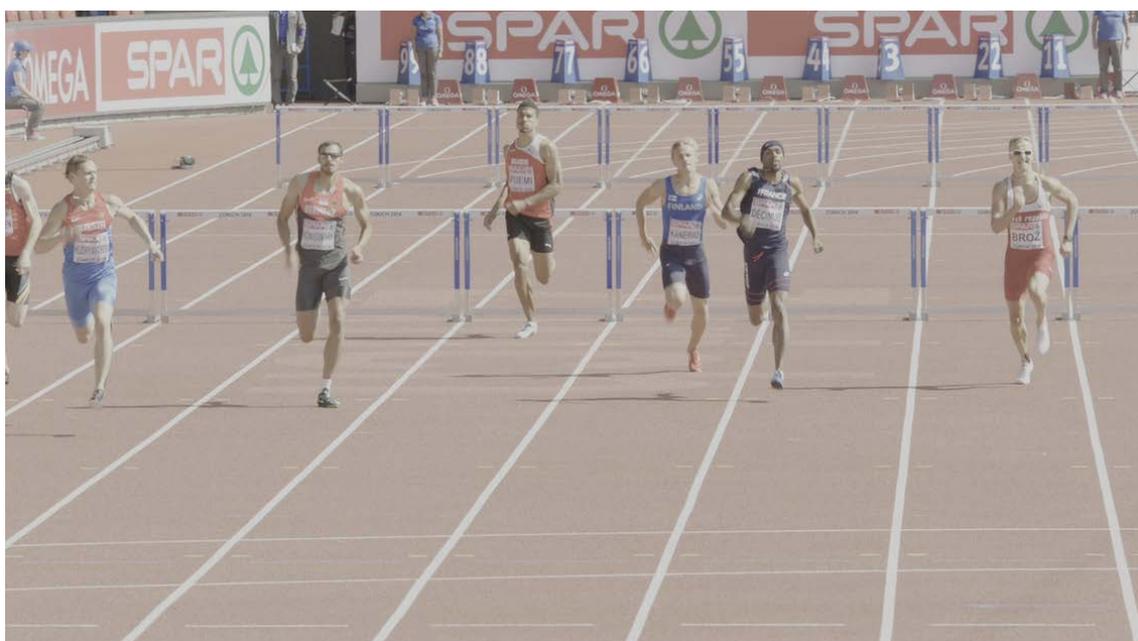


図 5.3.2 予備実験結果(Aplus(Hurdles)) (c)EBU under CC-BY-ND 4.0.



(c)EBU under CC-BY-ND 4.0.

図 5.3.3 拡大比較(左:Bicubic, 右:Aplus(Hurdles))

図 5.3.3 をみると Bicubic と Aplus で幾つかの違いが見受けられる。はじめに上側の画像に着目すると、Aplus では Bicubic と比較すると画像の背景にある垂直な線がより明瞭になっていることがわかる。同様に、画像の下側をみると、Aplus 中のネクタイの中にある白い点がより明確になっていることがわかる。次に、各クラス毎に算出した PSNR の値を SDR/HDR シーケンス毎に表 5.3.1, 表 5.3.2 に示す。

表 5.3.1 予備実験の結果(SDR)

シーケンス名	PSNR [dB]		PSNR 差 Aplus-Bicubic [dB]
	Bicubic	Aplus	
Tango2	44.25	42.75	0.2
Drums100	44.34	44.79	0.45
Campfire1	38.03	38.98	0.95
ToddlerFountain2	38.72	39.71	0.99
CatRobot1	40.06	40.75	0.69
TrafficFlow	40.11	40.69	0.58
DaylightRoad2	37.6	38.16	0.56
RollerCoaster2	49.17	49.42	0.25
Kimono1	44.4	44.37	-0.03
ParkScene	36.17	37.28	1.11
Cactus	33.91	35.51	1.6
BasketballDrive	34.88	36.51	1.63
BQTerrace	28.6	30.55	1.95

表 5.3.2 予備実験の結果(HDR)

シーケンス名	PSNR [dB]		PSNR 差 Aplus-Bicubic [dB]
	Bicubic	Aplus	
FireEater2	49.38	50.77	1.39
Market3	34.3	35.79	1.49
SunRise	40.85	41.93	1.08
ShowGirl2	40.64	41.79	1.15
BalloonFestival	39.51	41.26	1.75
Hurdles	40.71	42.63	1.92
Starting	37.48	39.16	1.68
Cosmos1	36.51	37.76	1.25
FlyingBirds	48.46	49.3	0.84
SunsetBeach	37.14	38.06	0.92

また、これらをクラスごとにグラフにまとめたものを図 5.3.4 に示す。

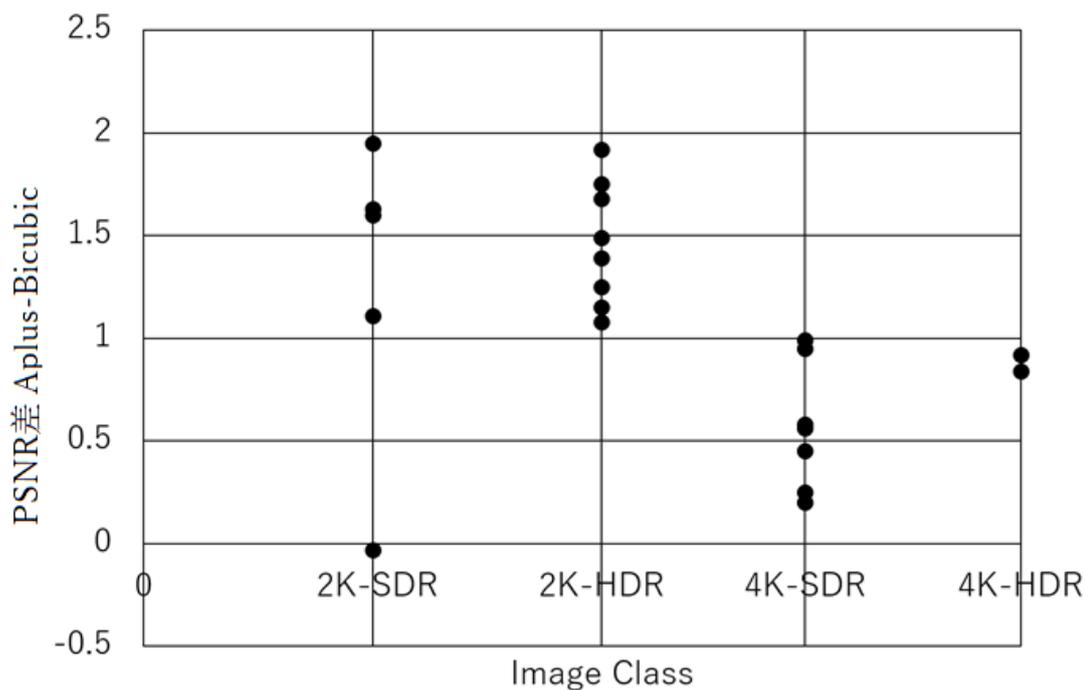


図 5.3.4 各画像クラスの子備実験の結果

横軸が画像の各クラス・解像度を示しており、縦軸が Aplus を用いた場合の PSNR と Bicubic を用いた場合の PSNR の差を示している。図 5.3.4 をみるとどの画像クラスであったとしても Aplus-Bicubic 間で 0.5-2.0[dB] 程度品質の向上が得られていることがわかる。このことより A+法が超高精細映像においても有効であることが確認できた。

#### 5.4 本実験の結果

次に本実験によって得られた SDR/HDR シーケンスごとの画像及び拡大比較画像を図 5.4.1-図 5.4.8 にそれぞれ示す。なお、ここで示すものはすべて MidQP を使用したものである。



図 5.4.1 本実験の結果画像(SDR:Anchor1, MidQP(Campfire1))



図 5.4.2 本実験の結果画像(SDR:Aplus, MidQP(Campfire1))



图 5.4.3 本実験の結果画像(SDR:Anchor2, MidQP(Campfire1))



图 5.4.4 拡大比較(SDR, 左:Anchor1, 中央:Aplus, 右:Anchor2(Campfire1))



(c) Cable Labs under CC-BY-ND 4.0.

図 5.4.5 本実験の結果画像(HDR:Anchor1, MidQP(BalloonFestival))



(c) Cable Labs under CC-BY-ND 4.0.

図 5.4.6 本実験の結果画像(HDR:Aplus, MidQP(BalloonFestival))



(c) Cable Labs under CC-BY-ND 4.0.

図 5.4.7 本実験の結果画像(HDR:Anchor2, MidQP(BalloonFestival))



(c) Cable Labs under CC-BY-ND 4.0.

図 5.4.8 拡大比較(HDR, 左:Anchor1, 中央:Aplus, 右:Anchor2(BalloonFestival))

はじめに SDR の結果(図 5.4.1-図 5.4.4)を見ると, フルサイズの結果画像ではあまり違いは見受けられないが拡大画像では違いが見受けられる. 図 5.4.4 上側に着目すると, Aplus

及び Anchor2 では Bicubic 法と比較すると”D”・”T”の文字のエッジがより先鋭になっていることがわかる。同様に画像の下側，女性の顔に注目すると Anchor2 内ではモザイク状になっていることがわかる。これらのことより客観的には SDR シーケンスを対象とした場合には提案手法が最も優れていると考えられる。次に HDR シーケンスの結果 (図 5.4.5-図 5.4.8) をみると，SDR での結果と同様にフルサイズの結果画像では大きな違いは見受けられない。そこで拡大画像に着目すると，HDR 画像では拡大画像上側，気球の柄にはあまり違いが見受けられない。一方，画像下側の背景の木に着目すると，Anchor1，Anchor2 ではモザイク状になっていることがわかる。次に算出した PSNR を SDR/HDR シーケンス，各 QP 毎に表 5.4.1，表 5.4.2 にそれぞれ示す。

表 5.4.1 本実験の結果(SDR-LowQP)

シーケンス名	PSNR [dB]			PSNR 差[dB]	
	Anchor1	Aplus	Anchor2	A+ - Anchor1	A+ - Anchor2
Tango2	38.69	38.69	38.62	0.0	0.07
Drums100	36.18	36.16	36.36	-0.02	-0.20
Campfire1	36.09	36.46	36.34	0.37	0.12
ToddlerFountain2	33.21	33.25	33.45	0.04	-0.20
CatRobot1	36.71	36.84	36.96	0.13	-0.12
TrafficFlow	36.4	36.5	36.54	0.10	-0.04
DaylightRoad2	35.14	35.27	35.46	0.13	-0.19
RollerCoaster2	40.71	40.68	40.52	-0.03	0.16
Kimono1	38.08	38.03	37.95	-0.05	0.08
ParkScene	32.92	33.12	33.6	0.20	-0.48
Cactus	32.18	32.94	33.76	0.76	-0.82
BasketballDrive	33.82	34.89	36.74	1.07	-1.85
BQTerrace	27.93	29.34	31.69	1.41	-2.35

表 5.4.2 本実験の結果(SDR-MidQP)

シーケンス名	PSNR [dB]			PSNR 差[dB]	
	Anchor1	Aplus	Anchor2	A+ - Anchor1	A+ - Anchor2
Tango2	37.54	37.54	37.08	0.0	0.46
Drums100	32.95	32.94	32.86	-0.01	0.08
Campfire1	35.18	35.4	34.68	0.22	0.72
ToddlerFountain2	29.73	29.72	29.68	-0.01	0.04
CatRobot1	35.14	35.2	34.68	0.06	0.52
TrafficFlow	33.65	33.66	33.53	0.01	0.13
DaylightRoad2	32.45	32.46	32.38	0.01	0.08
RollerCoaster2	38.64	38.62	37.88	-0.02	0.74
Kimono1	33.44	33.43	33.23	-0.01	0.20
ParkScene	29.52	29.54	29.53	0.02	0.01
Cactus	30.74	31.14	31.28	0.40	-0.14
BasketballDrive	32.56	33.23	33.76	0.67	-0.53
BQTerrace	26.36	27.03	27.67	0.67	-0.64

表 5.4.3 本実験の結果(SDR-HighQP)

シーケンス名	PSNR [dB]			PSNR 差[dB]	
	Anchor1	Aplus	Anchor2	A+ - Anchor1	A+ - Anchor2
Tango2	34.83	34.83	34.6	0.0	0.23
Drums100	31.11	31.1	30.9	-0.01	0.2
Campfire1	32.8	32.85	32.47	0.05	0.38
ToddlerFountain2	28.38	28.37	28.27	-0.01	0.10
CatRobot1	31.29	31.29	31.04	0.0	0.25
TrafficFlow	32.41	32.41	32.2	0.0	0.21
DaylightRoad2	30.75	30.75	30.56	0.0	0.19
RollerCoaster2	34.3	34.3	33.95	0.0	0.35
Kimono1	31.13	31.11	30.91	-0.02	0.2
ParkScene	28.31	28.32	28.25	0.01	0.07
Cactus	27.65	27.71	27.68	0.06	0.03
BasketballDrive	31.06	31.42	31.71	0.36	-0.29
BQTerrace	24.71	24.98	25.43	0.27	-0.45

表 5.4.4 本実験の結果(HDR-LowQP)

シーケンス名	PSNR [dB]			PSNR 差[dB]	
	Anchor1	Aplus	Anchor2	A+ - Anchor1	A+ - Anchor2
FireEater2	43.52	43.61	42.92	0.09	0.69
Market3	32.06	32.57	32.98	0.51	-0.41
SunRise	37.95	38.16	38.14	0.21	0.02
ShowGirl2	36.18	36.34	36.03	0.16	0.31
BalloonFestival	37.06	37.64	37.05	0.58	0.59
Hurdles	37.17	37.61	37.65	0.44	-0.04
Starting	35.39	35.98	35.85	0.59	0.13
Cosmos1	32.43	32.54	32.79	0.11	-0.25
FlyingBirds	38.29	38.31	38.23	0.02	0.08
SunsetBeach	35.43	35.85	37.16	0.42	-1.31

表 5.4.5 本実験の結果(HDR-MidQP)

シーケンス名	PSNR [dB]			PSNR 差[dB]	
	Anchor1	Aplus	Anchor2	A+ - Anchor1	A+ - Anchor2
FireEater2	41.67	41.67	40.81	0.0	0.86
Market3	30.53	30.76	30.98	0.23	-0.22
SunRise	36.15	36.24	35.83	0.09	0.41
ShowGirl2	32.93	32.95	32.87	0.02	0.08
BalloonFestival	34.39	34.54	33.89	0.15	0.65
Hurdles	34.51	34.61	34.17	0.10	0.44
Starting	32.65	32.76	32.92	0.11	-0.16
Cosmos1	29.41	29.41	29.33	0.0	0.08
FlyingBirds	34.33	34.33	34.17	0.0	0.16
SunsetBeach	33.45	33.57	33.75	0.12	-0.18

表 5.4.6 本実験の結果(HDR-HighQP)

シーケンス名	PSNR [dB]			PSNR 差[dB]	
	Anchor1	Aplus	Anchor2	A+ - Anchor1	A+ - Anchor2
FireEater2	40.27	40.25	38.27	-0.02	1.98
Market3	27.98	28.02	27.96	0.04	0.06
SunRise	34.96	35.0	34.47	0.04	0.53
ShowGirl2	30.9	30.9	30.28	0.0	0.62
BalloonFestival	31.16	31.17	30.38	0.01	0.79
Hurdles	32.57	32.59	31.96	0.02	0.63
Starting	29.91	29.93	29.86	0.02	0.07
Cosmos1	28.14	28.14	27.76	0.0	0.38
FlyingBirds	32.21	32.21	32.12	0.0	0.09
SunsetBeach	30.91	30.92	30.9	0.01	0.02

これらの結果をみると、A+ - Anchor1 間においては SDR/HDR シーケンス共に QP が低い場合、A+法では効果が見られるが、QP が大きくなるほど、すなわち、符号化ノイズが大きくなるほど A+法による効果が小さくなっていることがわかる。この結果は、提案手法の有効性を示すものではなく、JEM による符号化画像においての A+法の有効性を示している。一方、A+ - Anchor2 間は、SDR/HDR シーケンス共に QP が大きくなるほど A+法による効果が大きくなっている。これは、提案手法の有効性を示す結果である。しかしながら、1:1 サンプルング符号化画像と 2:1 サンプルング符号化画像間にはわずかながら符号化レートの差が存在する。表 5.4.7-表 5.4.8 にこの符号化レートの差を示す。

表 5.4.7 符号化レートの差:2:1 サンプリング-1:1 サンプリング(SDR)

シーケンス名	符号化レートの差 %		
	LowQP	MidQP	HighQP
Tango2	-5.4	0.2	-5.3
Drums100	-5.2	-6.1	-2.7
Campfire1	-0.8	-2.5	-1.8
ToddlerFountain2	-4.5	-2.8	-0.2
CatRobot1	-6.2	0.8	-2.3
TrafficFlow	-3.5	-6.1	-3.9
DaylightRoad2	-7.2	-6.1	-2.0
RollerCoaster2	-4.9	0.8	-2.5
Kimono1	-3.2	-3.3	0.3
ParkScene	-9.1	-3.9	-1.2
Cactus	-1.1	-0.9	-1.2
BasketballDrive	-3.4	-0.1	-3.4
BQTerrace	-4.1	-0.9	-8.4

表 5.4.8 符号化レートの差:2:1 サンプリング-1:1 サンプリング(HDR)

シーケンス名	符号化レートの差 %		
	LowQP	MidQP	HighQP
FireEater2	-2.0	-5.4	-1.8
Market3	-4.4	-9.7	-11.8
SunRise	-3.7	-1.9	-6.2
ShowGirl2	0.7	-9.1	-1.8
BalloonFestival	-0.6	0.4	0.3
Hurdles	-5.5	-0.7	-1.2
Starting	0.3	-8.9	-11.5
Cosmos1	-10.2	-8.7	-3.0
FlyingBirds	-1.0	-0.1	-0.9
SunsetBeach	0.7	-1.0	-9.1

これらの表からわかるように 1:1 サンプリング符号化画像と 2:1 サンプリング符号化画像間には数%から数十%の符号化レートの差が存在する。したがって、提案手法の有効性を検討するにあたってこれらを考慮したうえで PSNR を評価する必要がある。そこで本実験では、これらの符号化レートの差と A+ - Anchor2 間の PSNR 改善量を用いてグラフを作成し、回帰直線を用いることで評価を行った。作成したグラフを図 5.4.9、図 5.4.10

にそれぞれ示す。

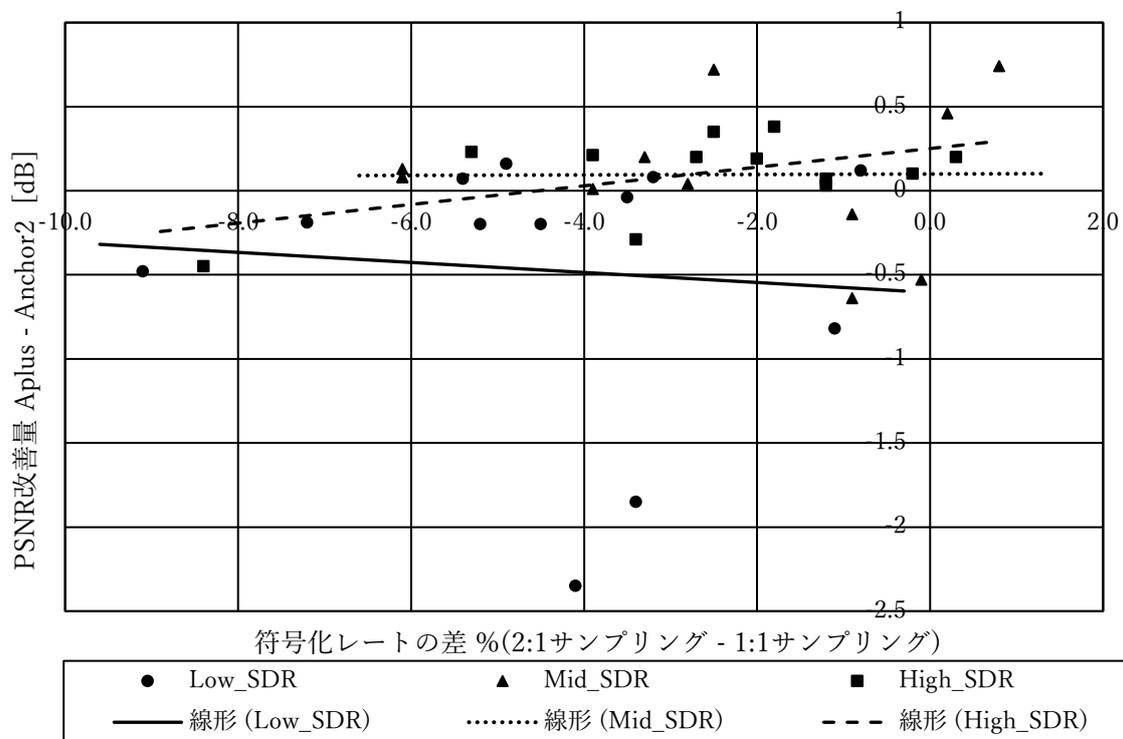


図 5.4.9 符号化レート差を考慮した本実験結果(SDR)

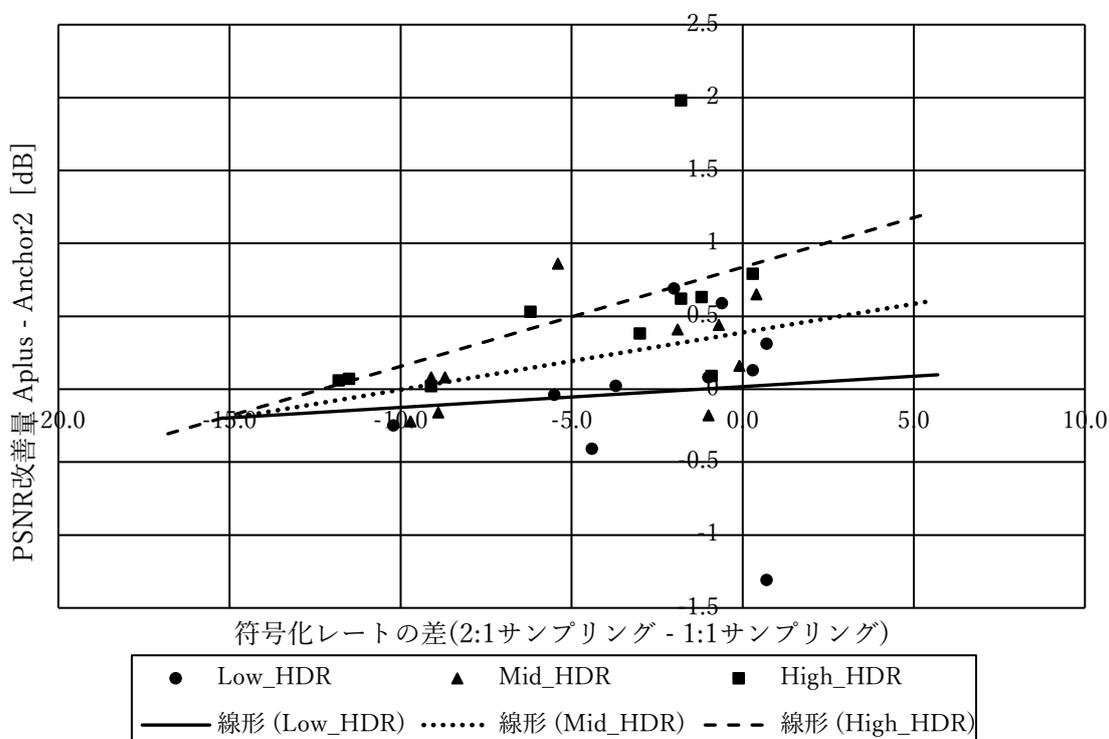


図 5.4.10 符号化レート差を考慮した本実験結果(HDR)

これらのグラフでは、各点は各画像における結果を示し、縦軸は PSNR の改善量 (Aplus - Anchor2) を、横軸は符号化レートの差 (2:1 サンプルング - 1:1 サンプルング) を示している。また、各マーカーの形は使用している QP を示し、丸=LowQP、三角=MidQP、四角=HighQP となっており、各直線は各 QP での回帰直線を示している。図 5.4.9 (SDR の結果) では、HighQP の回帰直線が、符号化レートの差が-4.0%のあたりで、PSNR 改善量 0[dB] となるところと交差している。これは、提案手法で、Anchor2 と同じ品質の画像を扱うと、4.0%ビットレートを節約できることを示している。同様に、図 5.4.10 (HDR) の結果では、LowQP では約 1.0%、MidQP では、約 10.0%、HighQP においては約 12.0%のビットレートを節約することが可能であることがわかる。これらのことより、提案手法では、超解像処理をシステムに含めない場合と比べて、SDR シーケンスにおいては HighQP において 4.0%、HDR シーケンスでは Mid/HighQP において 10%以上のビットレートの節約を実現できることが分かる。また、提案手法は QP が高いほど提案手法による効果が大きくなり、SDR シーケンスよりも HDR シーケンスの方がより有効であることが分かった。

## 5.5 追加実験

本実験では、QP を Low/Mid/High の 3 つに分けて実験を行い、提案手法のシステムが SDR シーケンスでは HighQP、HDR シーケンスでは Mid/HighQP において有効であることが分かった。しかしながら、これらの Low/Mid/HighQP という 3 段階では、値に大きな幅のある QP において、提案手法がどこから有効であるかが明確には判明していない。そこで、提案手法が有効である QP の値をより明確にする追加実験を行った。追加実験ではシステム及びシーケンスは予備実験・本実験と同じものを使用する。1:1 サンプルングの符号化画像は QP が 37/40/43/46/49 のもの、2:1 サンプルングの符号化画像は QP が 25-45 の 21 種類を用意した。はじめに SDR/HDR シーケンスともに各 QP において本実験と同様に実験を行い、図 5.4.9、図 5.4.10 と同様のグラフを各 QP 毎に作成した。ただし、符号化レートの差は、1:1 サンプルングの 5 つの QP のうち、使用した QP の画像と最も符号化レートの差が小さいものと比較を行い、グラフを作成する際には符号化レートの差が±20%以内を条件とし、この条件を満たすものだけを使用した。最終的に作成したグラフより本実験と同様に評価を行い各 QP での有効性を SDR/HDR シーケンスともに検討する。

## 5.6 追加実験の結果

はじめに追加実験で得られた各手法の結果画像の一例(QP=25/35/45)を図 5.6.1、図 5.6.2 に示す。

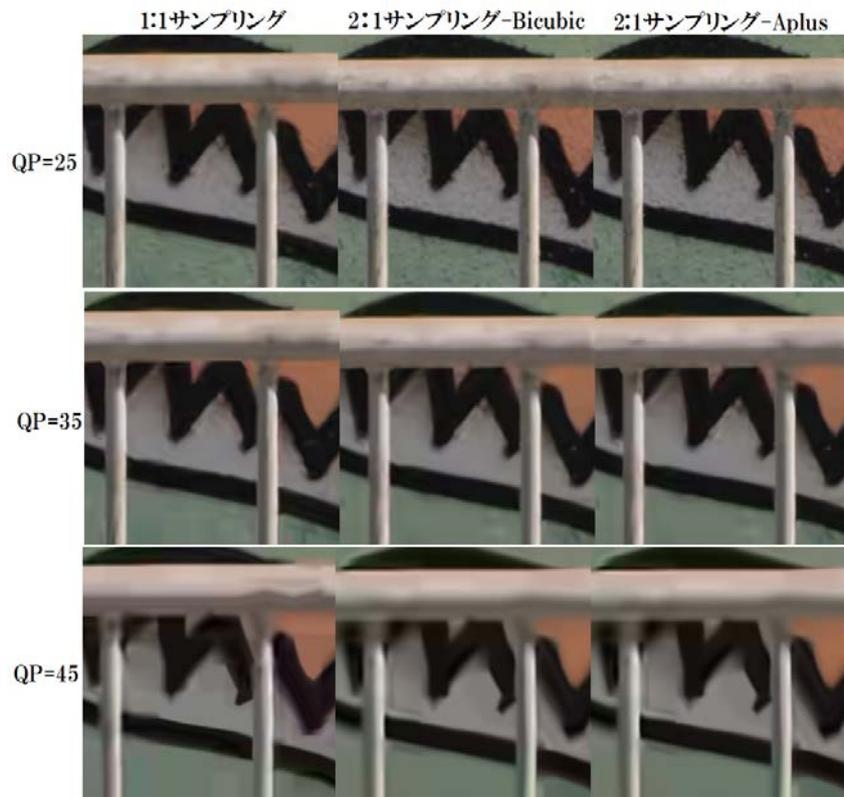


図 5.6.1 追加実験の各手法の結果画像の一例(SDR:QP=25/35/45)

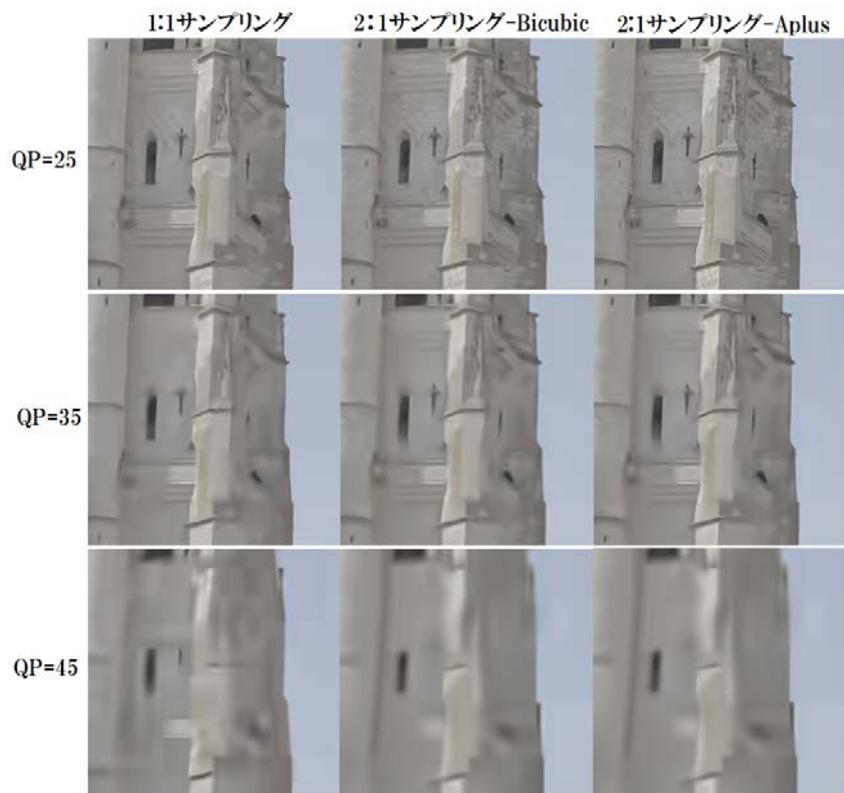


図 5.6.2 追加実験の各手法の結果画像の一例(HDR:QP=25/35/45)

次に追加実験で作成した各 QP 毎のグラフの一例(QP25)を図 5.6.3 に示す。

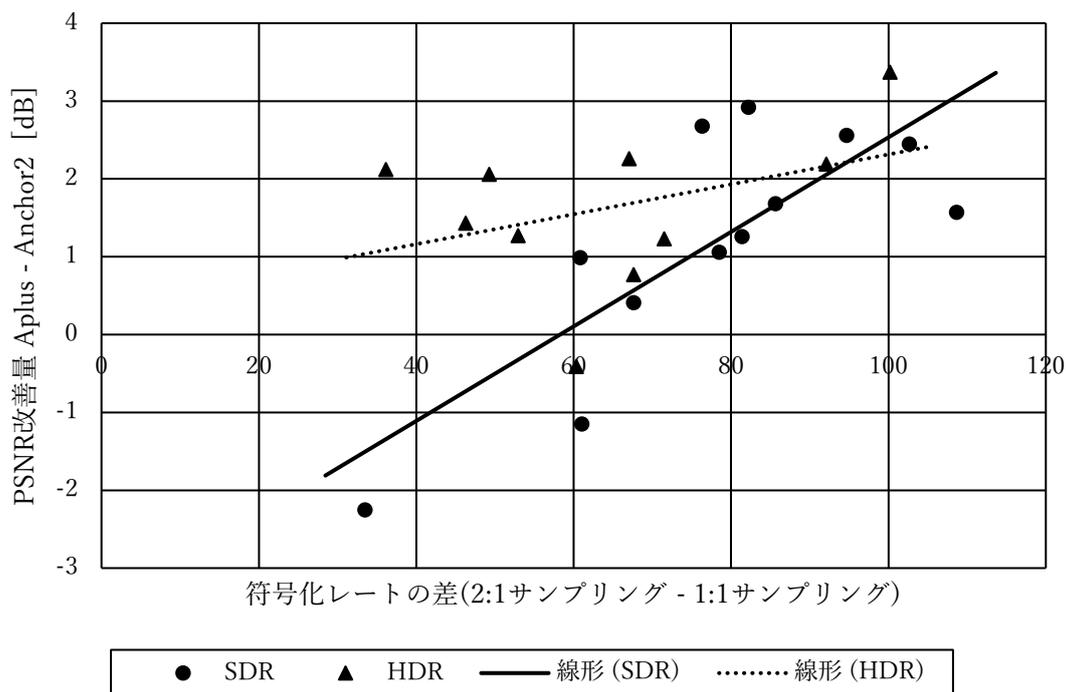


図 5.6.3 追加実験の結果(QP25)

このグラフは、本実験のもの(図 5.4.9 等)とは多少異なり、マーカの形が同一 QP における SDR/HDR シーケンスをそれぞれ示している。このグラフを 21 種類の QP の全てにおいて作成した。本実験では、回帰直線が PSNR 改善量 0[dB]となる場合の横軸(符号化レートの差)を用いて比較を行ったが、追加実験では、回帰直線の切片を用いて比較を行った。回帰直線の切片は、提案手法のシステムにおいて Anchor2 (システムに超解像処理を用いない場合)と同じ符号化レートの画像を扱った際にどの程度品質が改善できるかを示している。各 QP における切片の値を表 5.6.1 に示す。(ただし、QP が 25/26/27/45 のデータは、前述した符号化レートの差の条件を満たすものがなかったため、条件を考慮せずにグラフを作成し、切片を算出したものが表に記載してある。)

表 5.6.1 追加実験の結果(切片)

QP	改善できる PSNR(切片) [dB]	
	SDR	HDR
25	-3.5384	0.3931
26	-3.1003	0.2331
27	-2.5458	0.0343
28	-1.9702	1.0733
29	-1.4097	0.0403
30	-0.4862	0.0846
31	0.517	-0.2412
32	-0.6008	0.1709
33	-0.2646	0.2265
34	0.7796	0.7337
35	-0.2234	0.1332
36	0.147	0.3922
37	0.3509	0.7797
38	-0.0543	0.4625
39	0.2822	0.5277
40	0.1713	0.3802
41	0.0367	0.6086
42	0.3784	0.4924
43	0.2048	0.1217
44	0.1179	-0.0268
45	-0.4091	-1.4532

また、この表を基にグラフを作成した。作成したグラフを図 5.6.4 に示す。

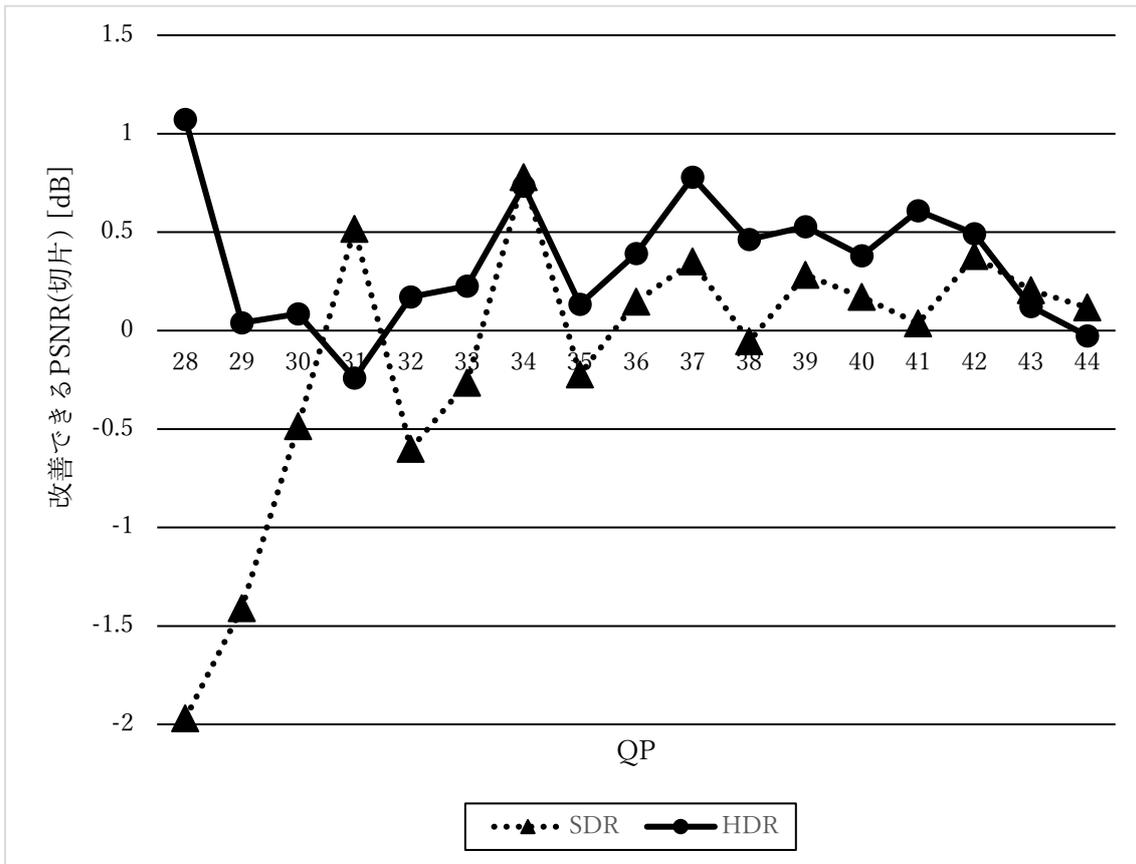


図 5.6.4 各 QP における切片

このグラフでは、先ほどの表 5.6.1 における符号化レートの差の条件を満たさないもの (QP が 25/26/27/45) は考慮していない。このグラフより、SDR シーケンスにおいては QP35 を超えると、HDR シーケンスにおいては QP31 を超えると改善できる PSNR の値が安定して大きくなっていることが分かる。一方、QP が小さい 28-31 の区間では、SDR/HDR シーケンスともに値が安定していないことが分かる。このことより、提案手法のシステムが SDR シーケンスは QP36 以上、HDR シーケンスでは QP32 以上において有効であると考えられる。

## 第 6 章 結論及び課題

### 6.1 結論

本研究では，次世代映像符号化技術 FVC と超解像技術を組み合わせた新しい符号化方式を提案するとともに，その有効性を実験により検討する研究を行った．はじめに，システムの対象となる超高精細映像を対象に本研究で使用する超解像技術である A+法の有効性を確認した．次に，JEM を用いて符号化した超高精細映像に実際に提案手法のシステムを適用し，提案手法の有効性を示した．また，提案手法のシステムが有効である条件をより明確にするためにより細かく実験を行い，これを明らかにした．

### 6.2 課題

本研究において，SDR/HDR シーケンス双方において QP が小さい値を用いた際に提案システムがあまり有効でないことが判明した．今後の課題としてこの原因を明らかにするとともに，改善できる方法を模索する必要がある．また，今回超解像技術として使用した方式は，符号化画像を対象として学習された方式ではない．そのため，符号化画像を対象として，学習させた方式を使用した場合に結果がどう変化するかを検証する必要がある．

## 謝辞

本研究に取り組むにあたり、素晴らしい研究環境を与えて下さり、また様々なご指導を頂きました渡辺裕教授に深謝いたします。

また、本研究のきっかけ及びご提案、実験におけるデータの提供等様々なご協力・ご指摘をくださいました SHARP 株式会社の伊藤典男様、猪飼知宏様、中條健様に心から感謝いたします。

日頃から、議論やご指摘、アドバイスをくださった研究室の皆様にも心から感謝いたします。

## 参考文献

- [1] JEITA 一般社団法人 電子情報技術産業協会, 2016 年 JEITA だより vol.17 pp.3-06  
<https://www.jeita.or.jp/japanese/letter/pdf/vol17/03.pdf>(2018 年 1 月現在)
- [2]総務省, 4K・8K 放送の推進  
[http://www.soumu.go.jp/menu\\_seisaku/ictseisaku/housou\\_suishin/4k8k\\_suishin.html](http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/housou_suishin/4k8k_suishin.html)  
(2018 年 1 月現在)
- [3]NTT, 2014 年 研究開発>注目のキーワード vol.4 「H.265/HEVC」  
[http://www.ntt.co.jp/RD/hotkeywords/vol4\\_hevc.html](http://www.ntt.co.jp/RD/hotkeywords/vol4_hevc.html)
- [4]MPEG The Moving Picture Experts Group,  
<http://mpeg.chiariglione.org/tags/future-video-coding> (2018 年 1 月現在)
- [5] 松尾 康孝, 岩村 俊輔, 井口 和久, 境田 慎一, “超解像技術を用いた実時間超高精細映像符号化システムの開発”, 映像情報メディア学会誌, Vol70 No1, p.J22-J28, Jan. 2016
- [6]奥富 正敏, アドコム・メディア株式会社, 2010 年, ”誰にでもわかる「画像超解像」”,  
<https://www.adcom-media.co.jp/report-iss/2010/07/26/5894/2/> (2018 年 1 月現在)
- [7] 加藤利幸, 日野英逸, 村田昇, “「スパースコーディング用いた マルチフレーム超解像」”, 情報処理学会研究報告, Vol.2013-CVIM-187 No.3, pp.1-9, May. 2013
- [8] R. Timofte, V. D. Smet, and L. V. Gool, “A+: Adjusted Anchored Neighborhood Regression for Fast Super-Resolution,” In Asian Conference on Computer Vision (ACCV 2014), pp.111-126, Nov. 2014.
- [9] Jun-Jie Huang & Wan-Chi siu, “Learning Hierarchical Decision Trees for Single-Image Super-Resolution”, IEEE Transactions on circuits and system for video technology, Vol. 27, No. 5, pp.937-950, Dec. 2017
- [10] Dingyi Li, Zengfu Wang, Member, IEEE, “Video Super-Resolution via Motion Compensation and Deep Residual Learning”, IEEE Transaction on Computational Imaging, Vol. PP Issue.99, pp.1-15, Feb. 2017
- [11] Radu Timofte, Vincent De Smet, and Luc Van Gool, A+: Adjusted Anchored Neighborhood Regression for Fast Super-Resolution,  
[http://www.vision.ee.ethz.ch/~timofter/ACCV2014\\_ID820\\_SUPPLEMENTARY](http://www.vision.ee.ethz.ch/~timofter/ACCV2014_ID820_SUPPLEMENTARY)  
(2018 年 1 月現在)
- [12]猪飼 知宏, ”HEVC を超える映像符号化標準”, ITU ジャーナル, Vol47, No.6, 2017
- [13]社団法人 電波産業界, デジタル放送システム開発部会, CS デジタル放送高度化作業班, 映像符号化方式作業班, “情報源符号化部 H.264|MPEG-4 AVC 規格の概要, 2006

- [14] Radu Timofte, Vincent De Smet, and Luc Van Gool, "A+: Adjusted Anchored Neighborhood Regression for Fast Super-Resolution",  
[http://www.vision.ee.ethz.ch/~timofte/ACCV2014\\_ID820\\_SUPPLEMENTARY/](http://www.vision.ee.ethz.ch/~timofte/ACCV2014_ID820_SUPPLEMENTARY/), (2018年1月現在)
- [15] L. Song, X. Tang, W. Zhang, X. Yang, P. Xia, The SJTU 4K Video Sequence Dataset, the Fifth International Workshop on Quality of Multimedia Experience (QoMEX2013), Klagenfurt, Austria, July 3rd-5th, 2013.

## 図一覧

図 2.2.1 超解像の例.....	3
図 3.4.1 QP による量子化ステップの変化.....	8
図 3.4.2 QP による品質の変化.....	8
図 4.2.1 提案する符号化システム.....	10
図 5.2.1 予備実験の概略図.....	11
図 5.2.2 本実験の概略図.....	13
図 5.3.1 予備実験結果(Bicubic, (Hurdles)) .....	14
図 5.3.2 予備実験結果(Aplus(Hurdles)) .....	14
図 5.3.3 拡大比較(左:Bicubic, 右:Aplus(Hurdles)) .....	15
図 5.3.4 各画像クラスの予備実験の結果.....	17
図 5.4.1 本実験の結果画像(SDR:Anchor1, MidQP(Campfire1)) .....	18
図 5.4.2 本実験の結果画像(SDR:Aplus, MidQP(Campfire1)) .....	18
図 5.4.3 本実験の結果画像(SDR:Anchor2, MidQP(Campfire1)) .....	19
図 5.4.4 拡大比較(SDR, 左:Anchor1, 中央:Aplus, 右:Anchor2(Campfire1)) .....	19
図 5.4.5 本実験の結果画像(HDR:Anchor1, MidQP(BalloonFestival)) .....	20
図 5.4.6 本実験の結果画像(HDR:Aplus, MidQP(BalloonFestival)) .....	20
図 5.4.7 本実験の結果画像(HDR:Anchor2, MidQP(BalloonFestival)) .....	21
図 5.4.8 拡大比較(HDR, 左:Anchor1, 中央:Aplus, 右:Anchor2(BalloonFestival)) .....	21
図 5.4.9 符号化レート差を考慮した本実験結果(SDR) .....	27
図 5.4.10 符号化レート差を考慮した本実験結果(HDR) .....	27
図 5.6.1 追加実験の各手法の結果画像の一例(SDR:QP=25/35/45) .....	29
図 5.6.2 追加実験の各手法の結果画像の一例(HDR:QP=25/35/45) .....	29
図 5.6.3 追加実験の結果(QP25) .....	30
図 5.6.4 各 QP における切片.....	32

## 表一覧

表 3.3.1 JEM における FVC の符号化ツール候補技術.....	7
表 5.2.1 本研究で使⽤したシーケンス一覧.....	12
表 5.3.1 予備実験の結果(SDR) .....	16
表 5.3.2 予備実験の結果(HDR) .....	16
表 5.4.1 本実験の結果(SDR-LowQP) .....	22
表 5.4.2 本実験の結果(SDR-MidQP) .....	23
表 5.4.3 本実験の結果(SDR-HighQP) .....	23
表 5.4.4 本実験の結果(HDR-LowQP) .....	24
表 5.4.5 本実験の結果(HDR-MidQP) .....	24
表 5.4.6 本実験の結果(HDR-HighQP) .....	25
表 5.4.7 符号化レートの差:2:1 サンプリング-1:1 サンプリング(SDR) .....	26
表 5.4.8 符号化レートの差:2:1 サンプリング-1:1 サンプリング(HDR) .....	26
表 5.6.1 追加実験の結果(切片) .....	31

## 研究業績

1. S. Umeda, N. Yano, H. Watanabe, T. Ikai, T. Chujoh and N. Ito: “HDR Video Super-Resolution for Future Video Coding, ” IWAIT2018, No.89, Jan. 2018
2. 矢野仁愛, 梅田聖也, 渡辺裕, 猪飼知宏, 中條健, 伊藤典男, “画像の方向性を考慮した超解像処理技術”, 映像情報メディア学会冬季大会, 14B-2, Dec. 2017
3. 梅田聖也, 矢野仁愛, 渡辺裕, 猪飼知宏, 中條健, 伊藤典男, “FVC 量子化パラメタ制御による超解像の特性”, 情報処理学会 第 80 回全国大会 2018 年 3 月 13 日発表予定
4. 矢野仁愛, 梅田聖也, 渡辺裕, 猪飼知宏, 中條健, 伊藤典男, “方向性を考慮した超解像処理技術による FVC 符号化画像の画質改善”, 情報処理学会第 80 回全国大会, May. 2018 (発表予定)