
異なる基底関数の併用による ハイダイナミックレンジ分光分布画像の記録

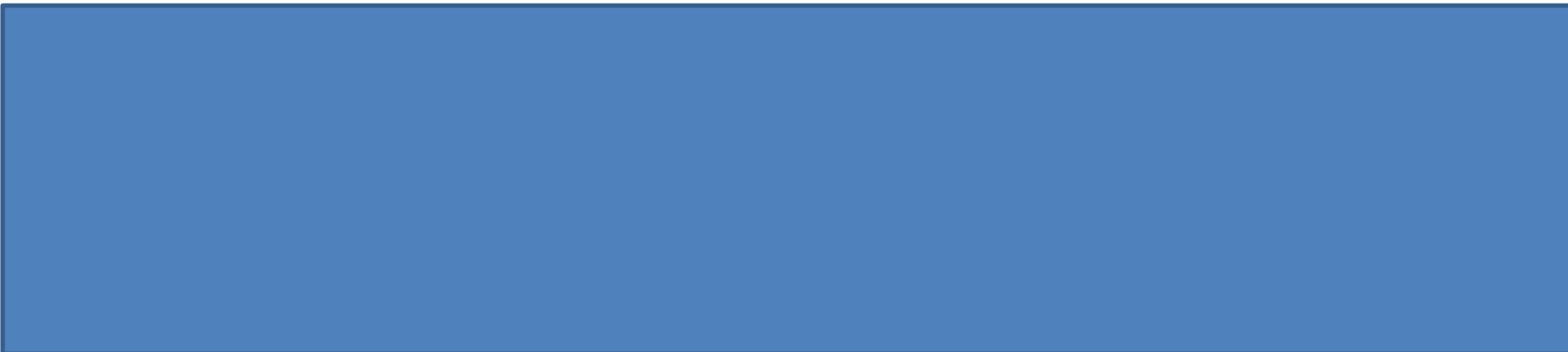
A Spectral-based High Dynamic Range Image Data Format by Combination of Cosine and Wavelet Basis Functions

島田 洋輔[†] 玉木 徹[†] 金田 和文[†]

[†]広島大学大学院工学研究科

ハイダイナミックレンジ(HDR)画像

- 輝度値の限界についての問題
 - 通常の画像ファイルフォーマットでは256段階の輝度値をサポートするローダイナミックレンジ(LDR)
- ハイダイナミックレンジ(HDR)画像
 - 現実世界の正確な輝度を保存



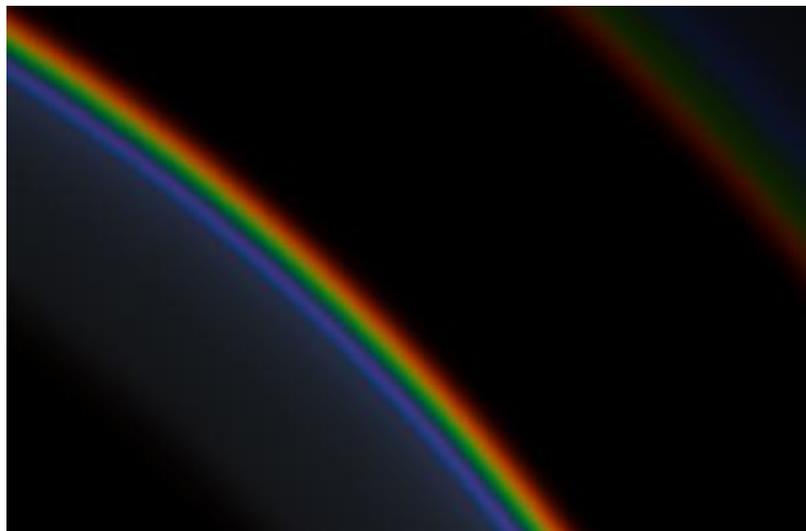
白飛びを起こした画像

黒潰れを起こした画像

HDR画像の表示

スペクトルを考慮したレンダリング

- スペクトルを考慮する必要性
 - 光学現象(分散、回折、干渉)を考慮する際は
光の波長ごとの計算が必要
 - 物体の色、光沢、質感等をリアルに再現できる



[藤原 '09]

スペクトルを考慮した画像の例

[平山 '01]

提案手法

- スペクトルを考慮したハイダイナミックレンジ画像フォーマットの提案
 - 光の波長成分毎の強度データの保存
 - あとから新しい処理を加える際に**再利用可能**

従来

- RGBレンダリング
- スペクトルでレンダリング



LDR画像で保存

提案

HDRスペクトルでレンダリング



提案する
新フォーマットで保存



データの
再利用が可能



表示

画像記録における課題

- **ファイル容量**の問題
 - 人間の光の可視域は380～780nm
 - RGB画像の100倍以上のファイル容量
- ディスプレイに表示するときの**計算時間**

$$R = k \int_{\Lambda} \bar{r}(\lambda) I(\lambda) d\lambda$$

R : ディスプレイで表示する時のR値

Λ : 可視光の波長範囲

$\bar{r}(\lambda)$: R値の等色関数の波長ごとの値

$I(\lambda)$: 提案するフォーマットで保存するスペクトル分布

k : 係数

正規直交基底関数の利用

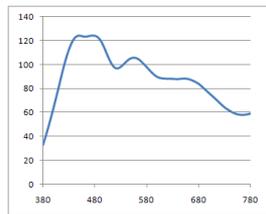
- 保存する分光分布を基底関数の和で表す

$$I(\lambda) = \sum_{i=0}^M \mu_i E_i[\lambda]$$

I : 分光分布

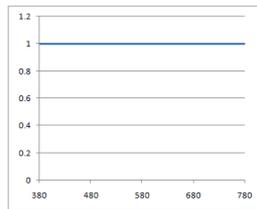
μ : 基底関数の係数

E : 正規直交基底関数



元信号

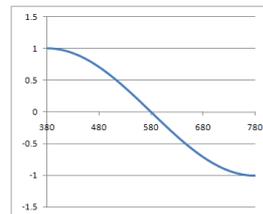
$= \mu_0 \times$



0次係数

0次信号

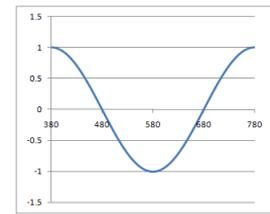
$+ \mu_1 \times$



1次係数

1次信号

$+ \mu_2 \times$



2次係数

2次信号

...

分解された信号のうち
値の小さな係数を削減していく

正規直交基底関数の利用

正規直交基底関数の特徴

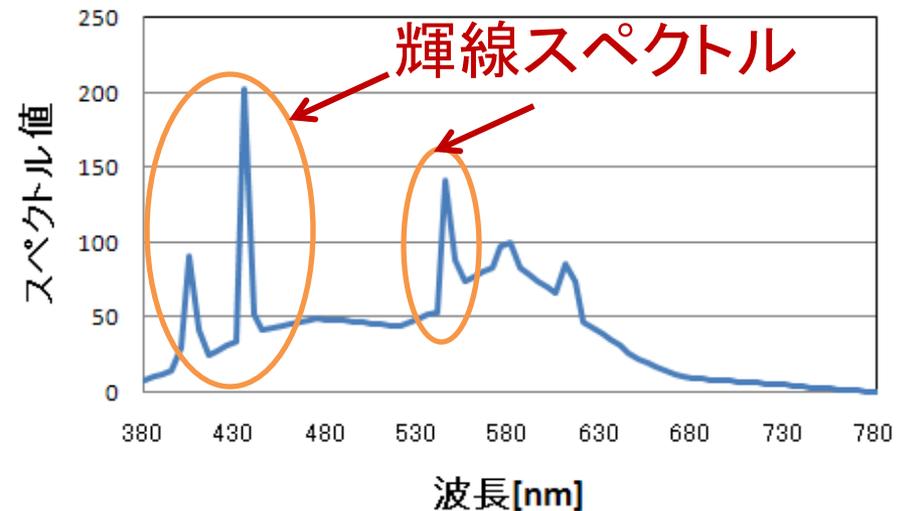
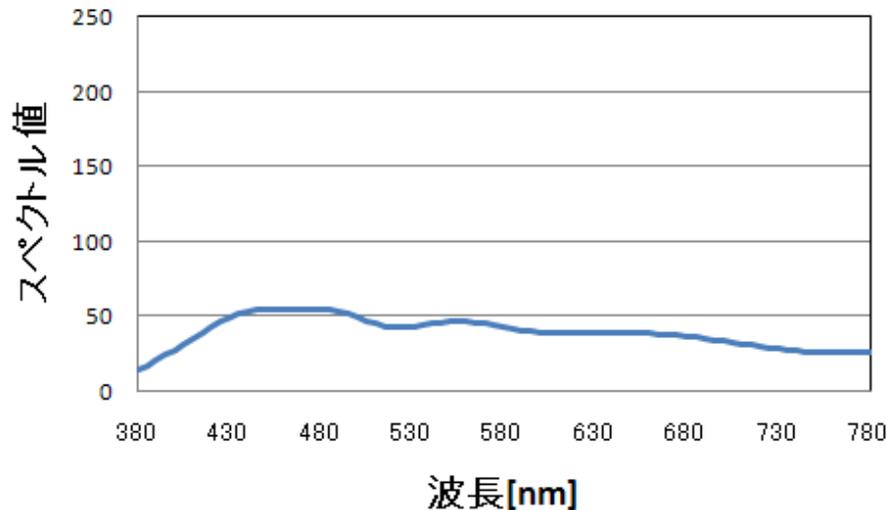
$$\sum_{\lambda=380}^{780} E_i(\lambda)E_j(\lambda) = \begin{cases} 1 & (i = j) \\ 0 & (i \neq j) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} R &= \sum_{\lambda=380}^{780} I[\lambda] \bar{r}[\lambda] \Delta\lambda \\ &= \sum_{\lambda=380}^{780} \left(\sum_{i=0}^M \mu_i E_i[\lambda] \right) \left(\sum_{i=0}^M \eta_i E_i[\lambda] \right) \Delta\lambda \\ &= \sum_{\lambda=380}^{780} (\mu_0 E_0[\lambda] + \dots + \mu_M E_M[\lambda]) (\eta_0 E_0[\lambda] + \dots + \eta_M E_M[\lambda]) \Delta\lambda \\ &= \sum_{i=0}^M \mu_i \eta_i \Delta\lambda \end{aligned}$$

基底関数の係数の掛け合わせで
RGB値の計算が可能

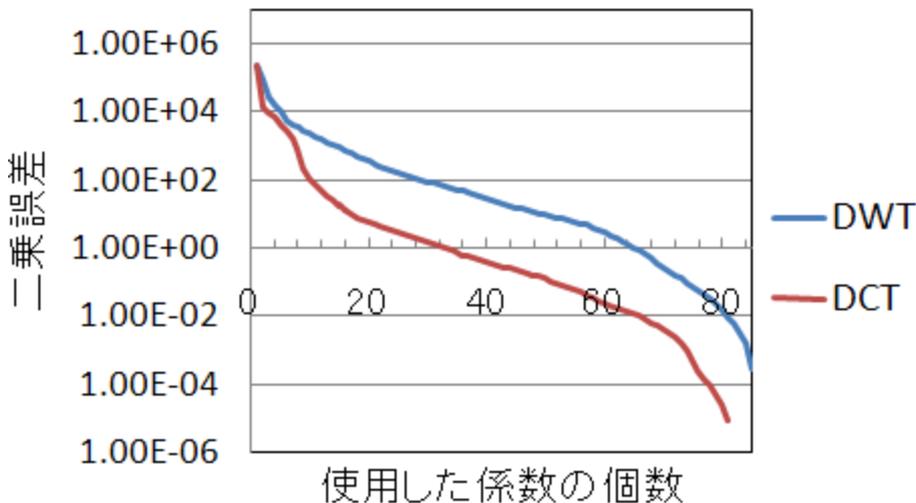
スペクトル分布の分類

- スペクトル分布の波形の形状
 - 自然界のスペクトル分布は連続的に緩やかに変化
 - 人工光源に含まれる輝線スペクトル(高周波成分)

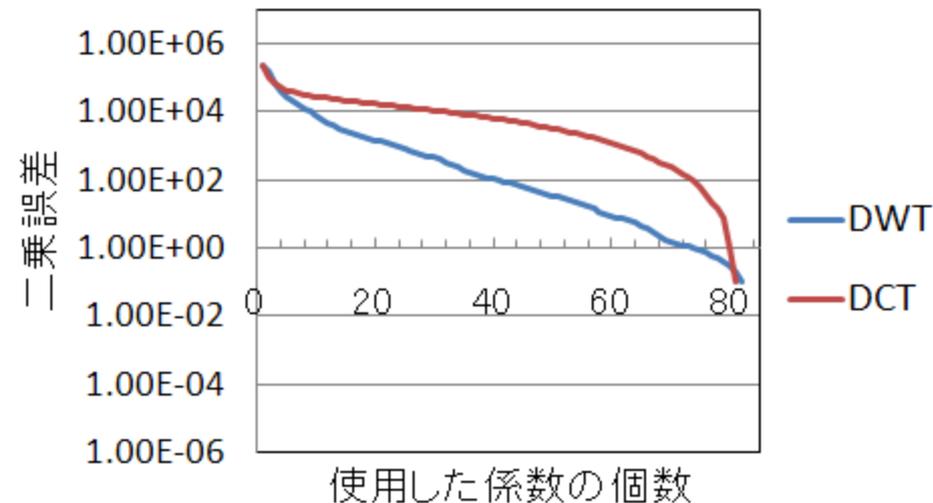


基底関数による圧縮率の違い

- 代表的な正規直交基底関数
 - 離散コサイン変換(DCT)
 - 離散ウェーブレット変換(DWT)



滑らかなスペクトル分布の圧縮率

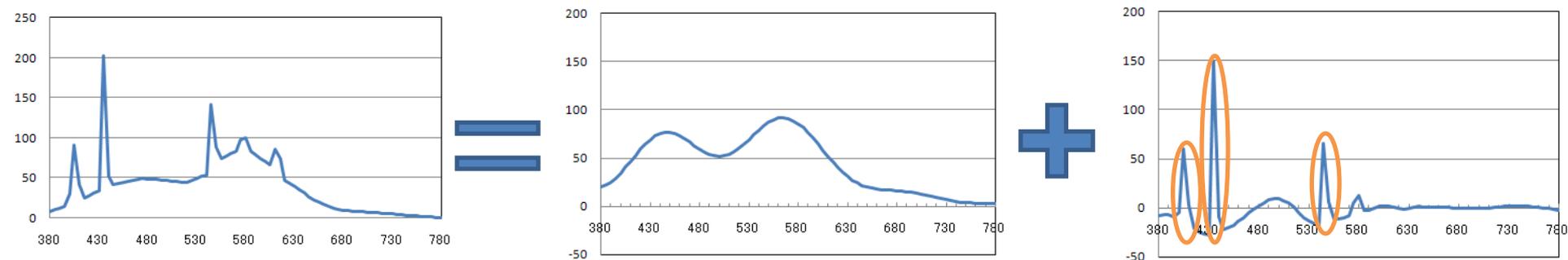


輝線スペクトルを含む
スペクトル分布の圧縮率

基底関数の併用

- 使用する正規直交基底関数
 - DCTは滑らかなスペクトル分布の圧縮に有利
 - DWTは高周波を含むスペクトル分布の圧縮に有利

正規直交基底関数としてDCTとDWTを併用する



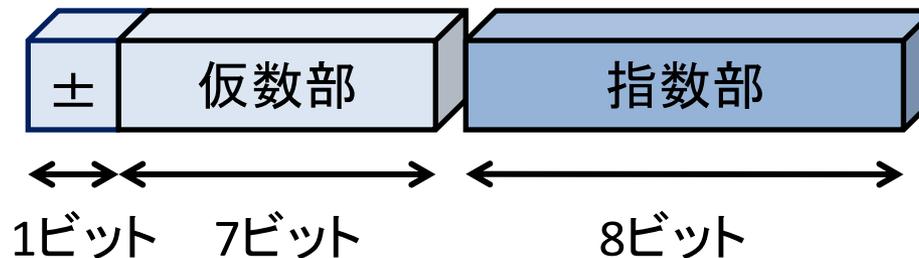
低周波成分は
DCTで近似

高周波成分は
DWTで近似

係数値の保存方法

HDRを考慮した係数値の保存方法の検討

- RADIANCEフォーマット[Ward '91]
 - 一般的によく用いられるHDR画像ファイルフォーマット
 - 幅広いダイナミックレンジをサポート
- 係数値を仮数部と指数部に分離
 - 仮数部と指数部を8ビットで正規化を行う



提案する画像記録の検討



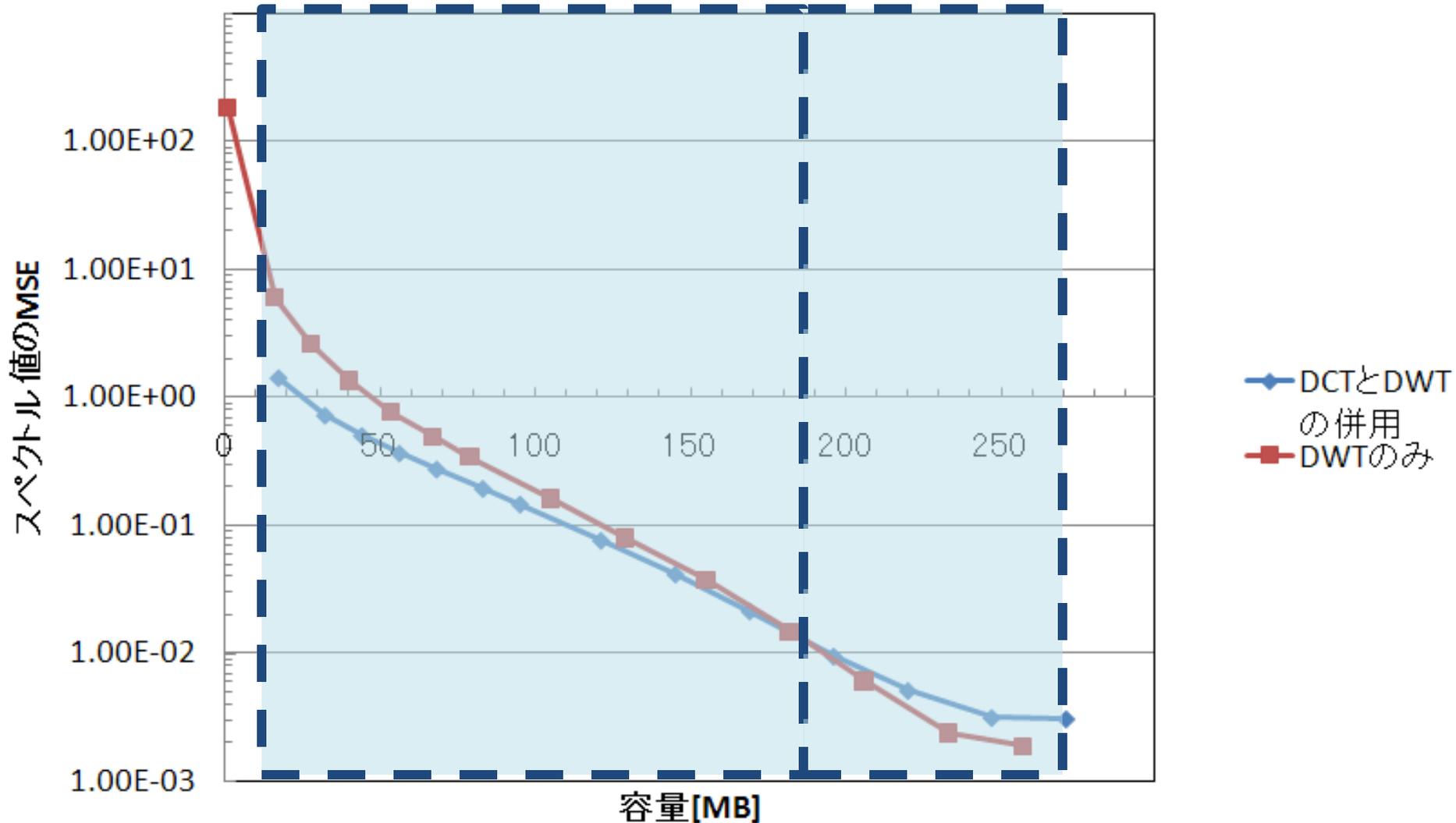
滑らかなスペクトル分布
の多い画像



輝線スペクトル
の多い画像

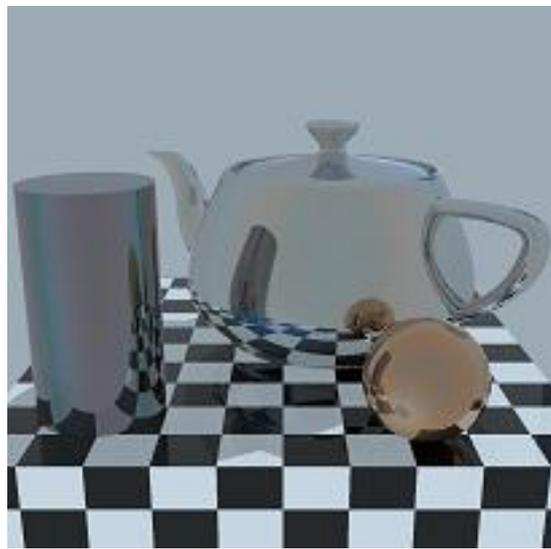
- DCT+DWTとDWTだけの検討
 - 精度の検討
 - 計算時間の検討
- 光源の種類を変えてレンダリング
- 画像サイズ 1024x1024[pixel]
- スペクトル分布
 - サンプル区間 380から780[nm]
 - サンプル幅 5[nm]
 - サンプル数 81[個]
- RAWデータ
 - スペクトル値を4バイトの浮動小数型で保存
 - この値を真値として誤差を算出

誤差(滑らかなスペクトル分布の画像)

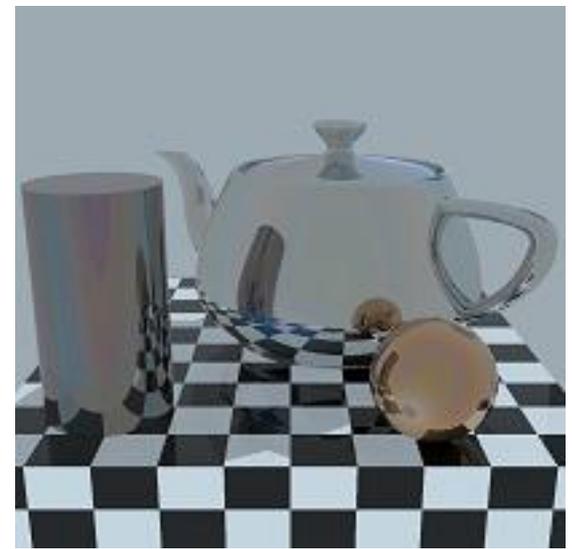




RAWデータ
の表示(324MB)



提案手法による圧縮
の表示(32.0MB)



DWTのみによる圧縮
の表示(40.0MB)

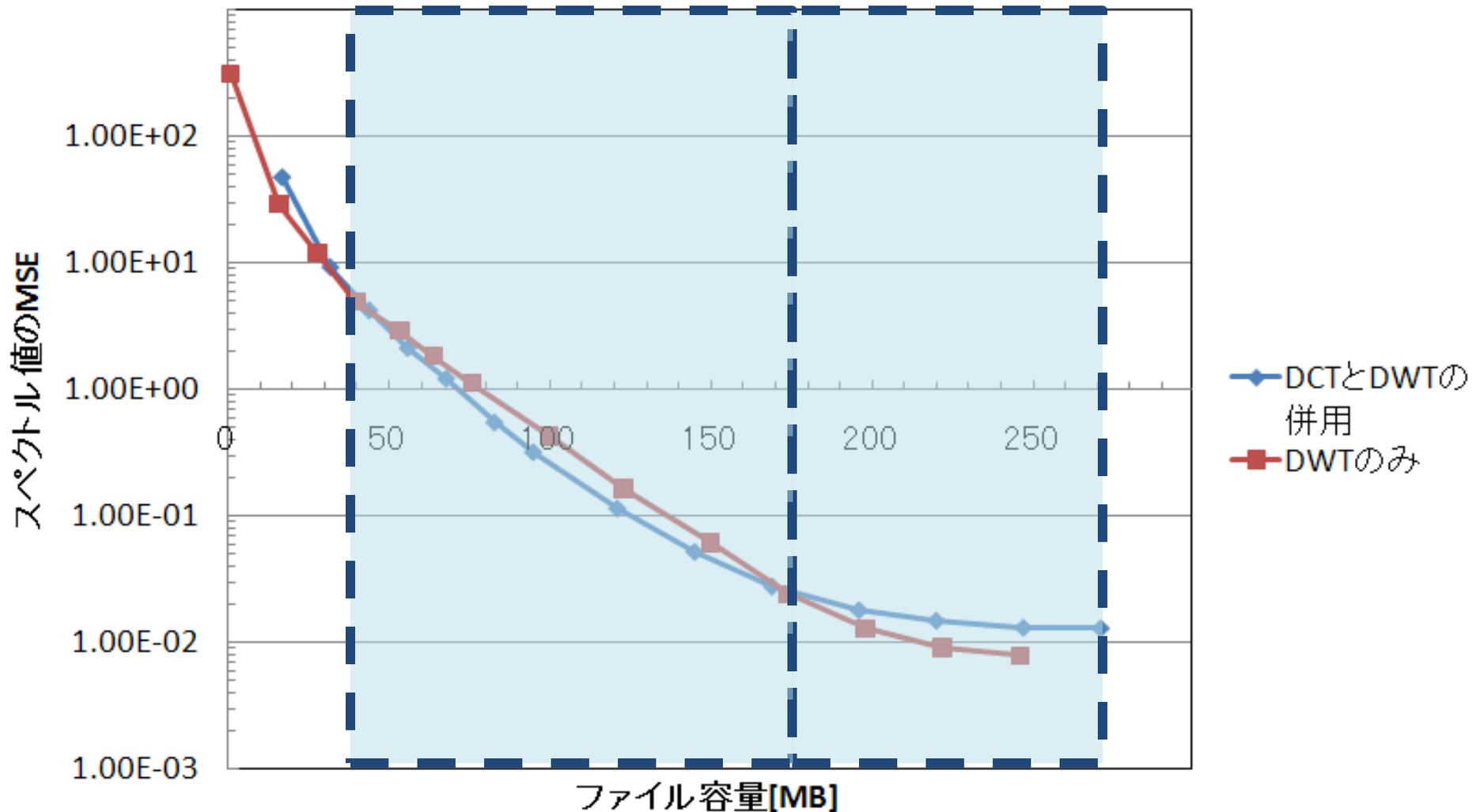


差分画像(輝度値7倍)



差分画像(輝度値7倍)

誤差(輝線スペクトルを含む画像)





RAWデータ
の表示(324MB)



提案手法による圧縮
の表示(32.0MB)



DWTのみによる圧縮
の表示(39.9MB)



差分画像(輝度値7倍)

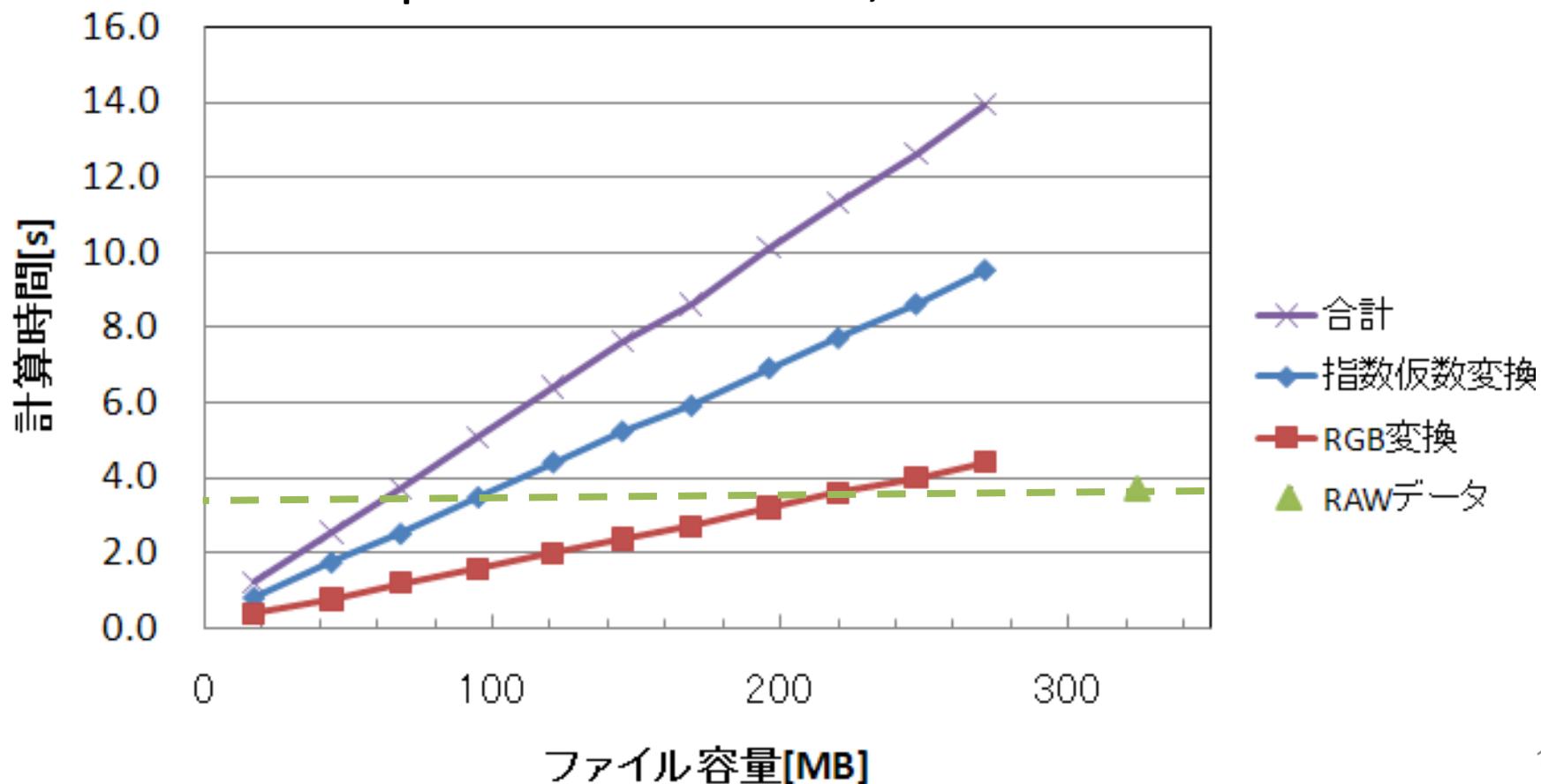


差分画像(輝度値7倍)

計算時間

- 計算環境

- AMD Opteron™ 2.59GHz, 2.00GB RAM



まとめ

- 異なる基底関数を併用した記録方式の提案
 - 提案手法による**精度がよい圧縮率の範囲**の確認
 - 圧縮率によるRGB値の**計算時間の短縮**
- 今後の課題
 - 更なる精度検討
 - **DCT係数の個数**を変えての精度検討
 - 画像の**ローカルな部分**の精度検討
 - **RGB画像への計算方法**の検討
 - 仮数指数変換について