

以下の 2017/4/21 の E-mail は SIXM 用には書いたものではありませんが、後述する測定 170516c で撮影した SIXM の CT 画像に発生していたリングアーチファクトについて議論しているので、ここに転載します。

---

Date: Fri, 21 Apr 2017 18:58:01 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: MATSUNO Junya  
 Cc: 北山, 杉本, Megumi MATSUMOTO, Aiko Nakato, 三宅 亮, 中村隆太, Yohei IGAMI,  
 Kentaro UESUGI, Akihisa TAKEUCHI, Akira TSUCHIYAMA  
 Subject: リングアーチファクト

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。先日来の E-mails で EDO-TAJIMA を使った FZP-CT の問題点としてぼくが言っていることは

様々なサンプル回転角で測定した X 線透過率もしくは投影画像の上の同じ位置に像（偽像）があると、そのデータから再構成したスライス画像の上に円弧の帯状の偽像（リングアーチファクト）が発生し、それらのスライス画像を積み重ねた 3 次元 CT 画像ではリングアーチファクトは球殻状の偽像になるのですが、このリングアーチファクトの詳細を知らない人がいるかもしれないので、以下ではそれについて少し説明します（リングアーチファクトの解説は X 線 CT の大抵の教科書に載っていますが）。

まずは理論的な考察です。測定した投影値 sinogram からスライス画像を再構成する演算は線形（つまり可逆）なので、リングアーチファクトを模した円周の帯の像（実像）を様々なサンプル回転角で撮影した場合の投影値について考えます。それは円の像の投影値の理論値から計算できます。今、「サンプル回転軸を通る X 線の光路と交差する点」を原点とし X 線光路と直交している r 軸の上に並んだ検出器で測定したすると、サンプル回転軸を中心とする半径 R の均質な円の像（その LAC の値を 1 とします）の投影値（==円を透過した X 線の光路長）はサンプル回転角  $\theta$  に依存しない下式で表すことができます：

$$f(r, \theta; R) = \begin{cases} 2 \times \sqrt{(R^2 - r^2)} & \text{when } r \leq R \\ 0 & \text{when } r \geq R \end{cases}$$

それゆえ、内側と外側の半径がそれぞれ R1 と R2 の円周の帯の像の投影値は下式の値になります（円を撮影した 2 枚の CT 画像の差分画像の投影値 sinogram == 2 画像それぞれの投影値 sinograms の差分 sinogram）：

$$g(r, \theta; R1, R2) = f(r, \theta; R2) - f(r, \theta; R1)$$

この E-mail に添付した ra.pdf に

$$R1 = 3/4 \text{ (} == 0.75 \text{)}, 7/8, 15/16, 17/16, 9/8 \text{ or } 5/4 \text{ かつ } R2 = 1$$

の場合の  $g(r, \theta; R1, R2)$  のグラフを示しました。ただし、横軸 r が正の部分だけをプロットしました。また、 $R1 > R2$  の時は投影値が負になっていますが、それは R1 と R2 がそれぞれ外側と内側の半径で、円周の帯の像の吸収係数が負の値の場合だと考えて下さい。これらのグラフから円周の帯の投影値の空間分布に関して以下のことがわかります（正確には、[0] は数式からわかることですが）。

- [0] 投影値の空間分布は回転軸に対応する原点  $r = 0$  に関して左右対称。
- [1] 外側の境界の外の投影値は 0 (当たり前のことかもしれませんが)。
- [2] 内側の境界から中心に至る領域は 0 でないほぼ一定の値になっている。
- [3] 内側の境界の位置に鋭いピークがある。
- [4] 帯の幅  $|R1 - R2|$  が小さくなると投影値は 0 に近づいてゆく。

これらのうち重要なのは [4] で、理論的には幅が無限小の円周の帯の投影値は概ね 0 になります。逆に言うと、様々な回転角の投影画像の同じ  $r$  の位置に周囲の投影値とほんの少し違う (一定の値の?) 偽像があれば、それを再構成した画像にリングアーチファクトが発生します。

バイナリファイルとして与えた sinogram の任意の位置にリングアーチファクトの原因となる投影値を埋め込むプログラム `ra` を書いてみました。この E-mail に添付した `ra.c.txt` がそのソースコードで、Linux 機の上でのコンパイル法は以下の通りです。

```

mv ra.c.txt ra.c
cut -d: -f2- ra.c.txt > ra.c          # 行番号を削除
make ra

```

プログラム `ra` の起動法には以下の 2 通りのものがあります。

```
ra Nr Nv SG.bin
```

すべての画素 (検出器) の投影値が 0 の空の sinogram を作成し、その上の指定した位置に指定した投影値を埋め込む。ただし、

Nr : sinogram の検出器の個数

Nv : サンプル回転のステップ数 (投影数)

SG.bin : 新しい sinogram のファイル名。 "-" を指定するとそのデータを標準出力に書き出す。

```
ra org.bin new.bin
```

既存の sinogram の指定した位置に指定した投影値を埋め込む。ただし、

org.bin : 既存の sinogram のファイル名。 "-" を指定するとそのデータを標準出力から読み込む。

new.bin : 新しい sinogram のファイル名。 "-" を指定するとそのデータを標準出力に書き出す。

このようにして起動した後、プログラム `ra` は空白、タブもしくは改行コードで区切られた 4 個の値  $r$ 、 $v1$ 、 $v2$  と  $p$  を標準入力から順次読み込み、sinogram の上の座標値  $(r, v1) \sim (r, v2)$  の線上に位置する画素 (検出器) のそれぞれに投影値  $p$  を埋め込みます。ただし、座標値  $r$ 、 $v1$  と  $v2$  は以下の範囲の正の整数値です :

$0 \leq r < Nr$  (sinogram の検出器の個数)

$0 \leq v1 \leq v2 < Nv$  (投影数)

書庫ファイル

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sp8ct.taz>

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sp8ct.zip>

に入っている画像再構成プログラム sg2tg などを使えばプログラム ra で合成した sinogram からリングアーチファクトが発生した CT 画像を再構成することができます。また、上記の書庫ファイルに入っているプログラム a2tiff で sinogram のバイナリファイルを TIFF 画像ファイルに変換すればその内容を表示可能です。

この E-mail に添付した ra\_test.txt にプログラム ra、sg2tg と a2tiff の使用例を示しました。また、それで得た sinogram の画像 sg\_[0-5].tif と CT 画像 tg\_[0-5].tif をこの E-mail に添付した ra\_test.pdf に並べました。ただし、ra\_test.txt で使用した sg.bin は (先の書庫ファイルに入っている) X 線 CT simulator プログラム tg2sg で撮影した「Lenna 画像」の sinogram です。ra\_test.txt に記した処理をそちらで実行したい場合は、SPRing-8 の CT 実験で作成した画像再構成のテスト用の sinogram を使うと良いでしょう。そのバイナリファイル "\*.sg" は CT 実験の測定それぞれのディレクトリ test/ の下にあるはずです。ra\_test.txt に記したように Lenna 画像の sinogram では

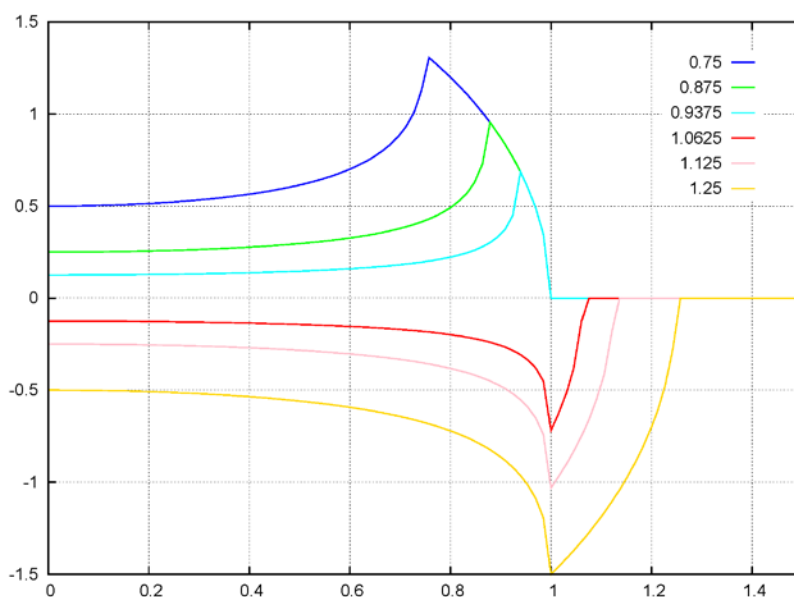
検出器の個数  $N_r = 512$   
 投影数  $N_v = 450$   
 検出器間隔 (測定画像の画素の辺長) = 1 (単位は画素幅)  
 回転軸の位置 (いわゆる「センター値」) = 255.5

でしたが、これらを使用する sinogram に応じた値に適宜変更して下さい。また、標準入力からプログラム ra に与える座標値 ( $r$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ ) についても同様です。

#### 問題

ra\_test.txt では下半分と上半分の半円状および円周状のリングアーチファクトを発生させていますが、左半分や右半分の半円状のものを発生させるにはどうすれば良いのでしょうか？  $v_1$  と  $v_2$  の値を変えてみて下さい。

添付ファイル ra.pdf



添付ファイル ra.c.txt

```

1:
2: #include <stdio.h>
3: #include <stdlib.h>
4:
5: static void      Error(char *msg)
6: {
7:     (void)fputs(msg,stderr); (void)fputc('\n',stderr); exit(1);
8: }
9:
10: #define LEN      2048
11:
12: int      main(int argc,char **argv)
13: {
14:     FILE      *file;
15:     char      str[LEN];
16:     int      Nd,Nv,d,v1,v2;
17:     size_t    Ndv,v;
18:     double    *P,p;
19:
20:     if (argc!=3 && argc!=4) Error("usage : ra org_SG.bin new_SG.bin¥n"
21:         "          ra detectors views SG.bin");
22:
23:     if (argc==3) {
24:         if (argv[1][0]=='-')
25:             file=stdin;
26:         else
27:             if ((file=fopen(argv[1],"rb"))==NULL) Error("file not found.");
28:
29:             if (fgets(str,LEN,file)==NULL ||
30:                 sscanf(str,"%d %d",&Nd,&Nv)!=2 ||
31:                 Nd<=0 || Nv<=0) Error("sinogram size read error.");
32:
33:             (void)fprintf(stderr,"%d¥t%d¥n",Nd,Nv);
34:         }
35:     else
36:         if ((Nd=atoi(argv[1]))<=0 ||
37:             (Nv=atoi(argv[2]))<=0) Error("bad sinogram size.");
38:
39:     Ndv=(size_t)Nd*Nv;
40:
41:     if ((P=(double *)malloc(sizeof(double)*Ndv))==NULL)
42:         Error("memory allocation error.");
43:
44:     if (argc==3) {
45:         if (fread(P,sizeof(double),Ndv,file)!=Ndv)
46:             Error("sinogram data read error.");
47:
48:         if (file!=stdin) (void)fclose(file);
49:     }
50:     else {
51:         P+=Ndv; for (v=0; v<Nv; v++) for (d=0; d<Nd; d++) *(--P)=0.0;
52:     }
53:     while (scanf("%d %d %d %lf",&d,&v1,&v2,&p)==4)
54:         if (d>=0 && d<Nd) {
55:             if (v1<0) v1=0;

```



```

56:             if (v2>=Nv) v2=Nv-1;
57:
58:             for (v=v1; v<=v2; v++) P[v*Nd+d]=p;
59:         }
60:
61:         if (argv[argc-1][0]!='-')
62:             file=stdout;
63:         else
64:             if ((file=fopen(argv[argc-1],"wb"))==NULL) Error("file not open.");
65:
66:         (void)fprintf(file,"%d\t%d\t1\n",Nd,Nv);
67:         (void)fwrite(P,sizeof(double),Ndv,file);
68:
69:         if (file!=stdout) (void)fclose(file);
70:
71:         free(P);
72:
73:         return 0;
74: }

```

添付ファイルra\_test.txt

```

# usages
    ra
#   usage : ra org_SG.bin new_SG.bin
#           ra detectors views SG.bin
    a2tiff
#   usage : a2tiff array {base step} BPS TIFF
    sg2tg
#   usage : sg2tg sinogram dr r0/dr t0 {f0 df} BPS tomogram

# original sinogram
#   sg.bin
#   number of detectors = 512
#   number of views = 450
#   detector interval = 1
#   rotation center = 255.5

# sinogram and tomogram
    a2tiff sg.bin 8 sg_0.tif
#   512      450
#   795.309877      87275.665363
    sg2tg sg.bin 1 -255.5 0 8 tg_0.tif
#   0.000000      243.875015

```

# lower-half ring

```

    echo 128 0 449 1 | ra 512 450 - | a2tiff - 1 sg_1.tif
#   512      450
#   0.000000      1.000000
    echo 128 0 449 0 | ra sg.bin - | sg2tg - 1 -255.5 0 8 tg_1.tif
#   512      450
#  -660.070374      470.756317

```

# upper-half ring

```

    echo 383 0 449 1 | ra 512 450 - | a2tiff - 1 sg_2.tif
#   512      450
#   0.000000      1.000000
    echo 383 0 449 0 | ra sg.bin - | sg2tg - 1 -255.5 0 8 tg_2.tif
#   512      450
#  -758.019714      675.868042

```

# broad upper-half ring

```

    seq -f '%g 0 449 1' 373 393 | ra 512 450 - | a2tiff - 1 sg_3.tif
#   512      450
#   0.000000      1.000000
    seq -f '%g 0 449 0' 373 393 | ra sg.bin - | sg2tg - 1 -255.5 0 8 tg_3.tif
#   512      450
#  -1350.692139      1510.811035

```

# full ring

```

    ( echo 128 0 449 1 ; echo 383 0 449 1 ) | ra 512 450 - | a2tiff - 1 sg_4.tif
#   512      450
#   0.000000      1.000000
    ( echo 128 0 449 0 ; echo 383 0 449 0 ) | ra sg.bin - | sg2tg - 1 -255.5 0 8 tg_4.tif
#   512      450
#  -756.823608      676.548828

```

# broad full ring

```

    ( seq -f '%g 0 449 1' 118 138 ; seq -f '%g 0 449 1' 373 393 ) | ra 512 450 - | a2tiff - 1 sg_5.tif
#   512      450
#   0.000000      1.000000
    ( seq -f '%g 0 449 0' 118 138 ; seq -f '%g 0 449 0' 373 393 ) | ra sg.bin - | sg2tg - 1 -255.5 0 8 tg_5.tif
#   512      450
#  -1334.606323      1519.171265

```

添付ファイル ra\_test.pdf

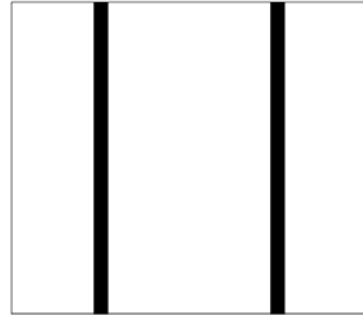
sg\_0 : 795.309877 ~ 87275.665363



sg\_3 : 0.000000 ~ 1.000000



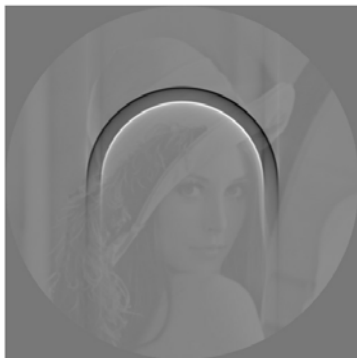
sg\_5 : 0.000000 ~ 1.000000



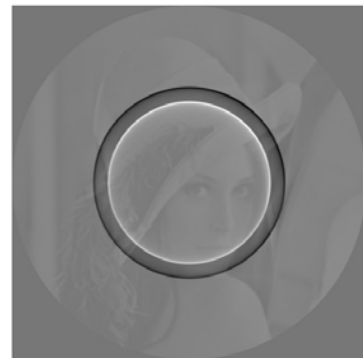
tg\_0 : 0.000000 ~ 243.875015



tg\_3 : -1350.692139 ~ 1510.811035



tg\_5 : -1334.606323 ~ 1519.171265



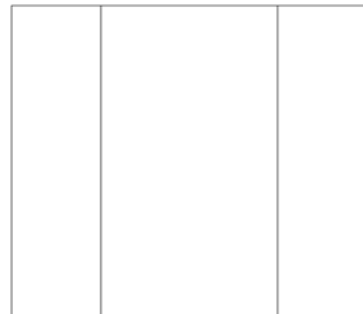
sg\_1 : 0.000000 ~ 1.000000



sg\_2 : 0.000000 ~ 1.000000



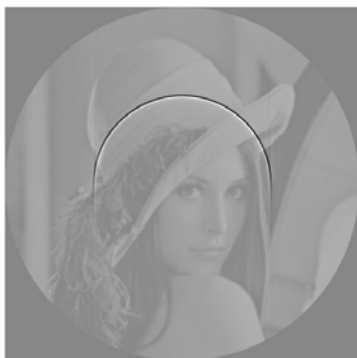
sg\_4 : 0.000000 ~ 1.000000



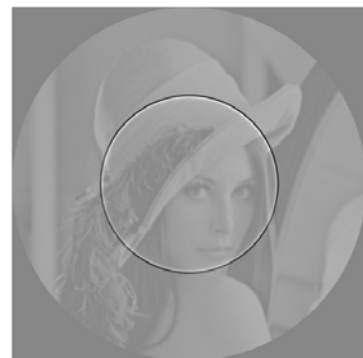
tg\_1 : -660.070374 ~ 470.756317



tg\_2 : -758.019714 ~ 675.868042



tg\_4 : -756.823608 ~ 676.548828



Date: Tue, 16 May 2017 20:01:17 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: Kentaro UESUGI, Akihisa TAKEUCHI  
Cc: MATSUNO Junya, Akira TSUCHIYAMA, Masayuki Uesugi  
Subject: his2r012

---

たけうちさま、  
うえずぎさま、

なかのです。昨日少しお話ししたように、SIXM 実験で得た HIS ファイルに格納されている測定した RP (refraction profile) 画像の横一列の X 線強度値  $I(p)$  の空間分布の 2 次モーメントを計算するプログラム his2r012 を作成しました。SIXM 実験用に書いた  $I(p)$  の分布の 0 および 1 次モーメントを計算するプログラム his2raw のものを改造したコードです。念のため、his2raw の使い方などを説明している 2016/2/10 の E-mail (Subject : new\_programs\_for\_SIXM-1) をこの E-mail に添付します。

his2raw は HIS ファイルから以下の 2 種類の画像を抽出します。

RI (raw intensity) 画像

その画素の値は、 $RI = \sum_p I(p) / Np$

ただし、 $Np$  は RP 画像の横画素数で、 $p = 0 \sim Np - 1$

RR (raw refraction) 画像

$RR = \sum_p \{ I(p) \cdot p \} / \sum_p I(p)$

his2r012 はこれらに加えて  $I(p)$  の 2 次モーメントの値を格納した画像を作ります。ただし、 $I(p)$  の単純な 2 次モーメントの値

$R2 = \sum_p \{ I(p) \cdot p^2 \} / \sum_p I(p)$

を格納した画像を眺めると RR 画像との違いがなかったので、his2r012 では  $I(p)$  の 1 および 2 次モーメントからなる「分散 (variance)」に相当した値

$RV = R2 - RR^2$

を格納した画像を作るようにしました。なお、これらの値の計算は his2r012 のソースコード "his2r012.c" の 255~258 行目で行っています。

his2r012 のソースコードの類は BL47XU にある Linux 計算機 test01 のユーザ bl47xu の「Desktop」のディレクトリ sixm/の下に置いてあります。このディレクトリには既存の SIXM 用のプログラムのソースコードや実行ファイルの類も置いてありますが、それらのための Makefile では his2r012 をコンパイルできません。his2r012 専用の Makefile.his2r012 を使って

```
make -f Makefile.his2r012
```

と入力して his2r012 をコンパイルして下さい (コンパイル済ですが)。その後、端末から"tcsh"と入力すれば

sixm/の下での his2r012 を含むプログラムすべてを test01 の任意のディレクトリから実行できます。

プログラム his2r012 の起動法は前述の 2016/1/10 の E-mail で説明している his2raw のものと概ね同じです。その起動パラメータに加えて his2r012 では RP の分散の値 RV の投影画像のファイル名の format を指定する必要があります。

```
his2r012 HIS scans views_RL darks {A B C} R0_format R1_format R2_format > raw.log
```

HIS

HIS ファイルの名前

scans

SIXM のスキャン数 (ファイル a.log の 1 行目の最初の値)

views\_RL

抽出する RI、RR および RV 画像の投影番号。"-" を指定してすべての投影の画像を抽出すれば良い。

darks

RP 画像用の暗電流画像の枚数 (a.log の 1 行目の 3 番目の値)

A、B および C

ケラレ補正用の係数値。

R0\_format、R1\_format および R2\_format

RI、RR および RV の投影画像それぞれのファイル名の format。"-" を指定すれば画像ファイルを作成しない。

raw.log

投影画像ごとに以下の 7 個の値を並べた行を書き込むファイルの名前。

[1] 投影番号

[2,3] その投影画像の上の RI の値の最小値と最大値

[4,5] その投影画像の上の RR の値の最小値と最大値

[6,7] その投影画像の上の RV の値の最小値と最大値

今回の SIXM 実験で AV 貝を撮影した測定 170513a のデータを使って his2r012 の動作テストを行いました。その測定のデータファイル a.HIS とログファイル a.log を test01 のディレクトリ/media/SSD/170513a/にコピーしてあります。そのディレクトリに移動してこの E-mail に添付したファイル 170513a\_memo.txt に記した処理を実行しました。以下の入力を行えばそれを再実行できます。

# ぼくがテストで作成したファイルやディレクトリを消去する。

```
rm -r r* t* b*
```

# そこにある memo.txt は前記の 170513a\_memo.txt と同じもので、

# 以下の入力によりそれを C-shell script として実行できる。

```
tcsh memo.txt
```

なお、この処理の最後に his2r012 で抽出した分散の投影画像に対する 2 通りの方法の画像再構成を試していますが、それらには理論的な根拠はありません。

とりあえず以上です。

添付ファイル (2016/2/10 の E-mail)

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_2016.pdf#page=36](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_2016.pdf#page=36)

添付ファイル 170513a\_memo.txt

間違いがありました。2017/5/19 19:27:02 の E-mail の添付ファイル memo.txt を御覧ください。

---

Date: Fri, 19 May 2017 12:13:18 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: 北山, MATSUNO Junya  
 Cc: 三宅, 杉本, Masayuki Uesugi, 松本, 伊神,  
 Akira TSUCHIYAMA, Kentaro UESUGI, Akihisa TAKEUCHI  
 Subject: SIXM\_170516g\_FRCT

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。AV 貝のサンプル AV-3 を 360 度回転させて SIXM で撮影した測定 170516g の normal view と reverse view の CT 画像 (吸収画像と位相画像) を再構成し、それらそれぞれの simple average (SA) によって full rotation CT (FRCT) 画像を合成しました。normal view と reverse view の画像用のサンプル回転軸がすべて同じ位置だった (正確には、同じ位置を指定して再構成しても問題なかった) ので、今回の FRCT 画像は従来の「サンプル回転角が 0~180 度と 180~360 度のものを SA で合成した投影画像」から再構成した FRCT 画像とまったく同じになっているはず (原理的には)。

実験の場で北山君に FRCT の画像再構成法を説明した時には失念していましたが、SIXM 用に書いたプログラムでは「VLR (view-left-right) ファイル」によって normal view と reverse view の処理に使う投影画像を指定できます。SIXM の投影画像上の左右の余白の幅を L と R とすると、プログラム ri2tg\_W などを用いた通常の half rotation CT (HRCT) の画像再構成処理では VLR ファイルのデータとして以下の 2 行を指定すると便利です (どのような投影数の HRCT でもこの指定で OK なので)。

```
- L R      # すべてのサンプル回転角の投影画像に対する余白の指定
$          # 最後の (サンプル回転角が 180 度の) 投影画像は処理に使わない
```

しかしながら、今回の画像再構成では VLR ファイルの各行の最初の値 (処理に使う投影画像の番号のリスト) として簡略化記号 "-" や "\$" ではなく、normal view と reverse view の投影番号の具体的な値域を指定する

必要があります：

測定 170516g の

normal view の画像再構成処理

0-749 L R # 番号 0～749 の投影画像の余白を指定

reverse view

750-1499 L R # 番号 750～1499 の投影画像の余白を指定

なお、プログラム ri2rc などによるサンプル回転軸の位置の推定の処理ではサンプル回転角が 0 と 180 度 (normal view) もしくは 180 と 360 度 (reverse view) の投影番号のリストを VLR ファイルで指定する必要があります：

測定 170516g の

normal view のサンプル回転軸の推定処理

0-750 L R # 投影番号のリストは "0,750" でも良いはず

reverse view

750-1500 L R # "750,1500"

参考

通常の HRCT のサンプル回転軸の推定処理の場合の指定

- L R # "-" は "0-\$" もしくは "0,\$" でも良いはず

このような VLR ファイルの指定により SIXM の normal view と reverse view のそれぞれの CT 画像を再構成できます。ただし、それらから FRCT 画像を合成するためには以下の二つのことに留意する必要があります。

- [1] reverse view と normal view のスライス画像は 180 度回転した向きになるので、それぞれの画像再構成の際にサンプル回転角の初期値 RA0 として 180 度だけ異なる値を指定する必要がある。
- [2] SA による FRCT 画像の合成の際の計算誤差を抑えるため、normal view と reverse view の CT 画像に整数画素値に変換した estimated LAC or RID (CT 値) を書き込む "r[i,r]2tg\_[B,W]" ではなく、それを浮動少数点数画素値として格納する画像再構成プログラム "r[i,r]2tg\_[F,D]" を実行した方が良い。

後述する測定 170516g の実行例では上記の[1]の RA0 として 0 (normal view) および 180 (度; reverse view) を指定しました。ただし、同じサンプル AV-3 を撮影した測定 170513a の HRCT 画像との比較には RA0 = 180 (normal view) と 0 (reverse view) を指定した方が良かったようです。なお、170516g の画像再構成のテストでは normal と reverse view の両方で RA0 = 0 としたので、それらの CT 画像は 180 度回転した向きになっています。また、上記の[2]に従わず従来通りの整数画素値の CT 画像を再構成してもかまいませんが、normal view と reverse view の画像から FRCT 画像を合成する際に使う (Offset CT 用を書いた) プログラム add\_float はスライスごとに警告を発するのでウルサイです。

こちらで行った測定 170516g の FRCT 画像の再構成などの具体的な処理内容を記録したファイル 170516g\_memo.txt をこの E-mail に添付しました。その 1 行目に記した「SIXM の画像再構成の手順書」に従って処理を行いました。2 個の "#" で始まる行の(4)～(21)は「手順書」の処理番号で、本当はすべきだったかもしれない以下の処理の実行を省略しました。

(0)～(2)

SIXM 用のプログラムのインストールとそれらの実行環境の整備。なお、これらに加えて、前述の Offset CT 用のプログラム add\_float も実行できるようになっている必要があります。

(3)

測定 170516g のディレクトリには SIXM の測定データファイル a.log と a.HIS がなければダメです (それらのシンボリックリンクでも OK)。

(8)と(10)

normal および reverse view の RI 画像は観察しませんでした。また、サンプル像の領域の調査は(9)の投影画像で済ませたので RR 画像の sinogram も観察しませんでした。なお、画像再構成のテストに用いた sinogram の画像がディレクトリ "test\_[a,p]\_[n\_r]/" の下にあります。

(11)

SP (sum of projection) の画像は作成・観察すべきでした。

(16)と(17)

word 画像とその画素値ヒストグラムは作成しましたが、browse 画像は作成しませんでした。

normal view と reverse view の画像 (吸収および位相画像) を再構成するので、手順(12)、(13)、(14)では通常の SIXM の処理を二回ずつ行っています。

(12) サンプルの回転中心の位置 (センター値) の推定

(13) センター値を変えた画像再構成のテスト

(14) 本番の画像再構成

その後、手順(14+)として、プログラム add\_float を使って normal および reverse view の CT 画像の SA による FRCT 画像の合成処理を行っています。ただし、add\_float はスライス画像しか処理できないので、C-shell で繰り返し処理を行いました。また、それぞれ 2 (吸収と位相) × 3 (normal と reverse view の CT 画像および FRCT 画像) = 6 個ずつの word と byte 画像の作成の手順(15')と(19)についても C-shell の繰り返し処理で行いました。

(15') word 画像とその画素値ヒストグラムの作成

word 画像の作成処理では従来 SIXM の場合と異なるプログラム raw2tiff を使っているため、手順番号にダッシュ "" を付けました。

(19) byte 画像とその画素値ヒストグラムの作成

byte 画像の画素値 1 階調ごとの CT 値の増分としては X 線エネルギー 8 keV での calcite の LAC や



RID の理論値の 1/100 の値を与えました。

手順(21)では 6 個の byte 画像それぞれの画素値の重心の位置を平均した点を通る直交した 3 断面を載せた browse 画像を作成しました。この E-mail に添付した 170516g\_byte.pdf です。また、それとの対比のため、同じサンプル AV-3 を撮影した今回の SIXM 実験の最初の測定と、それとは別の AV 貝サンプル AV-2 を撮影した昨年 9 月の SIXM 実験の 2 測定の browse 画像 170513a\_byte.pdf および 160916bc\_byte.pdf もこの E-mail に添付しました。なお、測定 170513a 用のディレクトリでこの E-mail に添付した C-shell script "170513a\_byte\_ps.csh" を実行すれば 160513a\_byte.pdf の PostScript 出力を得ることができます。

前記の手順(0)~(2)が実行済みなら、テキストファイル 170516g\_memo.txt を C-shell script として実行できます。測定データファイル a.log と a.HIS が置いてあるディレクトリで以下の入力を行えば OK です。

```
csh 何とかかんとか/170516g_memo.txt
```

計算機 vrm のディレクトリ/media/disk/bl47xu/1705\_SIXM/170616g/でそれを行いました。そこにあるファイルを御自由にお使い下さい。とりあえず以上です。

P.S.

まつのさま、

ファイル 170513a/a.log の送付、ありがとうございました。

On Thu, 18 May 2017 12:34:59 +0900 MATSUNO Junya wrote:

> >測定 170513a のファイル a.log

> 添付いたします。

> >ぼくのディレクトリ/media/disk/tsukasa/1705/ の下に移動するつもりですが、問題ないですよね？

> 問題ございません。

添付ファイル 170516g\_memo.txt

間違いがありました。2017/5/19 18:19:16 の E-mail の添付ファイル memo.txt を御覧下さい。

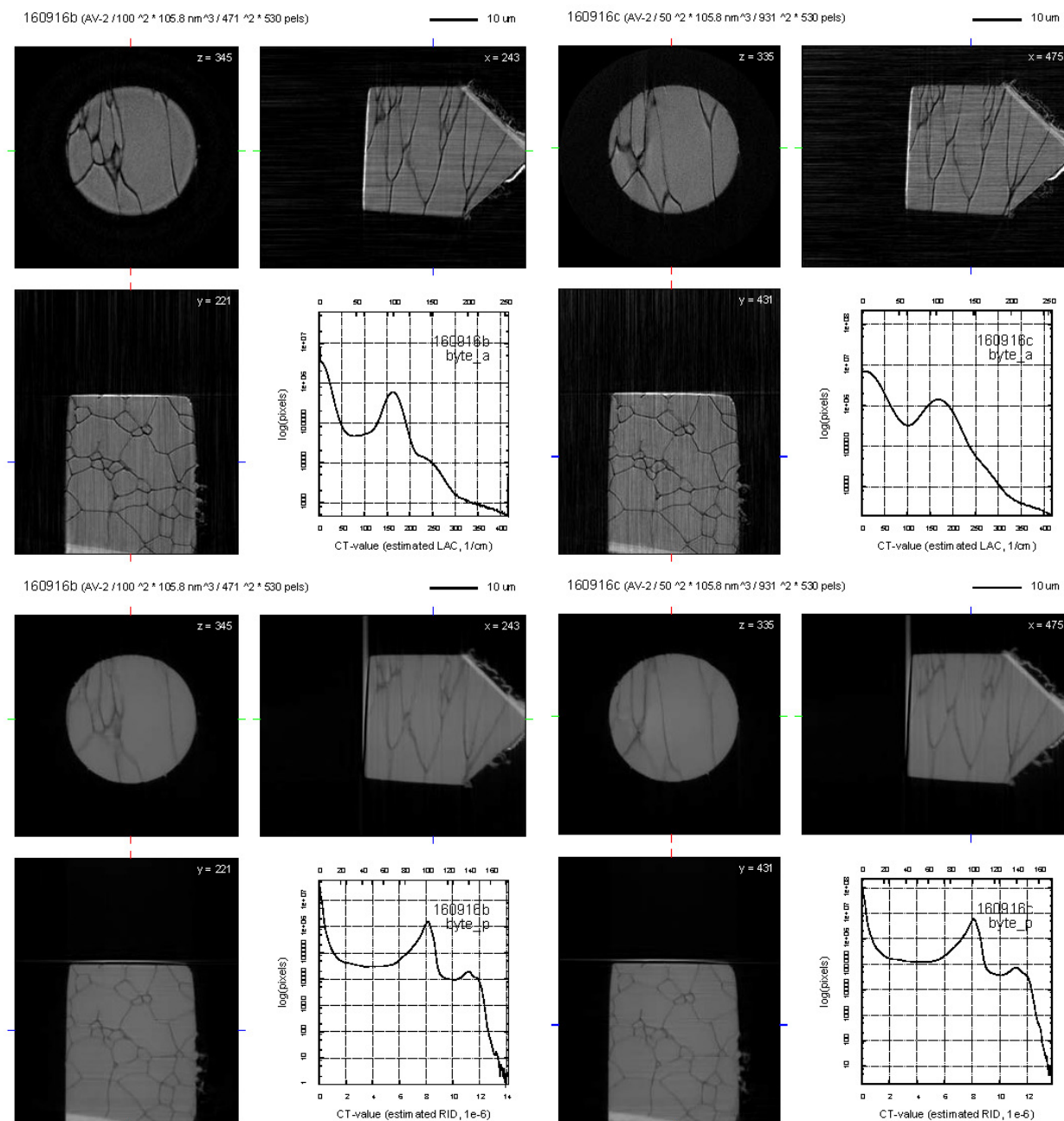
添付ファイル 170516g\_byte.pdf

間違いがありました。2017/5/19 18:19:16 の E-mail の添付ファイル byte.pdf を御覧下さい。

添付ファイル 170513a\_byte.pdf

間違いがありました。2017/5/19 19:27:02 の E-mail の添付ファイル byte.pdf を御覧下さい。

添付ファイル 160916bc\_byte.pdf



添付ファイル 170513a\_byte\_ps.csh.txt

```
#
set xyz=( ` ( si_ofwd byte_a - 1 1 1 | tail -1 ; si_ofwd byte_p - 1 1 1 | tail -1 ) | ♪
          awk '{ x+=\$1; y+=\$2; z+=\$3 } END { print int(x/NR+0.5),int(y/NR+0.5),int(z/NR+0.5) }'` )
( draw_a.csh byte_a $xyz 100/108.1 ; draw_p.csh byte_p $xyz 100/108.1 ) | ♪
gspile -n 1 2 -o 0 12 -m 0.75 0.75
```

Date: Fri, 19 May 2017 18:19:16 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: 北山, MATSUNO Junya  
Cc: 三宅, 杉本, Masayuki Uesugi, 松本, 伊神,  
Akira TSUCHIYAMA, Kentaro UESUGI, Akihisa TAKEUCHI  
Subject: Re: SIXM\_170516g\_FRCT

---

みなさま、

なかのです。お昼に差し上げた E-mail で紹介した測定 170516g の画像再構成処理についてですが、投影画像の右の余白の値が間違っていました (ImageJ で調べた bounding box の横幅の値を x 座標値の最大値だと思い込んでいました)。その値を正して手順(12)以降の処理をやり直しました。その記録のファイル memo.txt と、作成した byte 画像の browse 画像のファイル byte.pdf をこの E-mail に添付しました。サンプル回転軸の位置は以前と同じでしたが、CT 画像の画素値の値域や browse 画像に示した 3 断面の位置が少しだけ変わっています。なお、計算機 vrm のディレクトリ/media/disk/bl47xu/1705\_SIXM/170516g/で処理をやり直しました。とり急ぎ、

添付ファイル memo.txt (2017/5/19 12:13:18 の E-mail の添付ファイル 170516g\_memo.txt の修正版)

## [http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm\\_recipe.pdf](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm_recipe.pdf)

## (4) checking "a.log"

head -1 a.log

# 501,1501,100,1,0

## (5) checking "a.HIS"

du -b a.HIS

# 58964721664 a.HIS

expr 501 ¥\* 1501 + 100

# 752101

check\_his a.HIS | uniq -c

# 58964721197

# 752101 128 306 2

expr 58964721664 - 58964721197

# 467

## (6) SIXM parameters

## Dr = 100 nm = 100e-7 cm

## SDD = 6220 mm = 6220e-3 m

```
## Dp = - 6.5 * 16 = - 104.0 um (minus sign means non-inverted image)
```

```
## Dz = 108.1 nm
```

```
## (7) making raw images
```

```
mkdir ri rr
```

```
his2raw_F a.HIS 501 - 100 ri/%04d.tif rr/%04d.tif >raw.log
```

```
## (9) checking left and right margins of RR images by ImageJ
```

```
## width of left margin = 50
```

```
## width of right margin = 500 - 375 - 50 = 75
```

```
## (12) checking rotation centers for normal and reverse view
```

```
echo 0-750 50 75 | ri2rc ri - - 90 305 0.25 0.25
```

```
# 187 312 237.5
```

```
# -54 54 -6
```

```
echo 0-750 50 75 | rr2rc rr - - 90 305 0.25 0.25
```

```
# 187 312 237.5
```

```
# -54 54 -2
```

```
echo 750-1500 50 75 | ri2rc ri - - 90 305 0.25 0.25
```

```
# 187 312 237.5
```

```
# -54 54 -2
```

```
echo 750-1500 50 75 | rr2rc rr - - 90 305 0.25 0.25
```

```
# 187 312 238
```

```
# -54 54 -4
```

```
## rotation center for all dataset = 237.5 ?
```

```
## (13) making test images of normal and reverse view
```

```
## layer = ( 90 + 305 ) / 2 ~ 197
```

```
## Or1 = 237.5 - 0.5 * 12 = 231.5
```

```
## Or2 = 237.5 + 0.5 * 12 = 243.5
```

```
mkdir test_a_n
```

```
echo 0-749 50 75 | test_a.csh ri - - 197 100e-7 231.5 243.5 test_a_n >test_a_n.log
```

```
mkdir test_p_n
```

```
echo 0-749 50 75 | test_p.csh rr - - 197 6220e-3 -104.0 231.5 243.5 test_p_n >test_p_n.log
```

```

mkdir test_a_r
echo 750-1499 50 75 | test_a.csh ri - - 197 100e-7 231.5 243.5 test_a_r >test_a_r.log
mkdir test_p_r
echo 750-1499 50 75 | test_p.csh rr - - 197 6220e-3 -104.0 231.5 243.5 test_p_r >test_p_r.log

```

```

pile_v.csh test_a_n 1 1 25 5 5 test_a_n.tif >/dev/null
pile_v.csh test_p_n 1 1 25 5 5 test_p_n.tif >/dev/null
pile_v.csh test_a_r 1 1 25 5 5 test_a_r.tif >/dev/null
pile_v.csh test_p_r 1 1 25 5 5 test_p_r.tif >/dev/null

```

```
## rotation center for all dataset = 237.5
```

```
## (14) making tomograms of normal and reverse view
```

```
setenv THREADS 8
```

```

mkdir tg_a_n
echo 0-749 50 75 | ri2tg_F ri - - 100e-7 237.5 0 tg_a_n/%03d.tif >tg_a_n.log
mkdir tg_p_n
echo 0-749 50 75 | rr2tg_F rr - - 6220e-3 -104.0 237.5 0 tg_p_n/%03d.tif >tg_p_n.log

```

```

mkdir tg_a_r
echo 750-1499 50 75 | ri2tg_F ri - - 100e-7 237.5 180 tg_a_r/%03d.tif >tg_a_r.log
mkdir tg_p_r
echo 750-1499 50 75 | rr2tg_F rr - - 6220e-3 -104.0 237.5 180 tg_p_r/%03d.tif >tg_p_r.log

```

```
## (14+) making full rotation tomograms
```

```

foreach ext (a p)
  set tg=tg_${ext}
  mkdir $tg
  cp /dev/null ${tg}.log
  foreach layer (`seq -w 0 305`)
    set tiff=${layer}.tif
    ( echo $layer | tr ¥¥n ¥¥t ; add_float ${tg}_n/$tiff 0 0 ${tg}_r/$tiff 0 0 0 ${tg}/$tiff ) >>${tg}.log
  end
end
end

```

```
## (15') making word images and their histograms
```

```
  foreach ext (a_n a_r a_p_n p_r p)
    set word=word_$ext
    mkdir $word
    raw2tiff tg_$ext - 16 $word >/dev/null
    tg2tg $word - | tr ¥¥t , >${word}.csv
  end
```

```
# -382.467743      1000.924438
# -323.117310      1188.111206
# -251.390350      889.307251
# -48.888340       35.159321
# -32.107487       46.653809
# -27.244926       35.519142
```

```
## (19) making byte images and their histograms
```

```
## LAC of calcite (2.7 g/cc, CaCO3) at 8 keV = 203.149744 cm-1
```

```
  foreach ext (a_n a_r a)
    set byte=byte_$ext
    mkdir $byte
    tg2tg word_$ext - 0 203.149744e-2 8 $byte | tr ¥¥t , >${byte}.csv
  end
```

```
## RID of calcite (2.7 g/cc, CaCO3) at 8 keV = 8.849336e-06
```

```
  foreach ext (p_n p_r p)
    set byte=byte_$ext
    mkdir $byte
    tg2tg word_$ext - 0 8.849336e-2 8 $byte | tr ¥¥t , >${byte}.csv
  end
```

```
## (21) making browse images
```

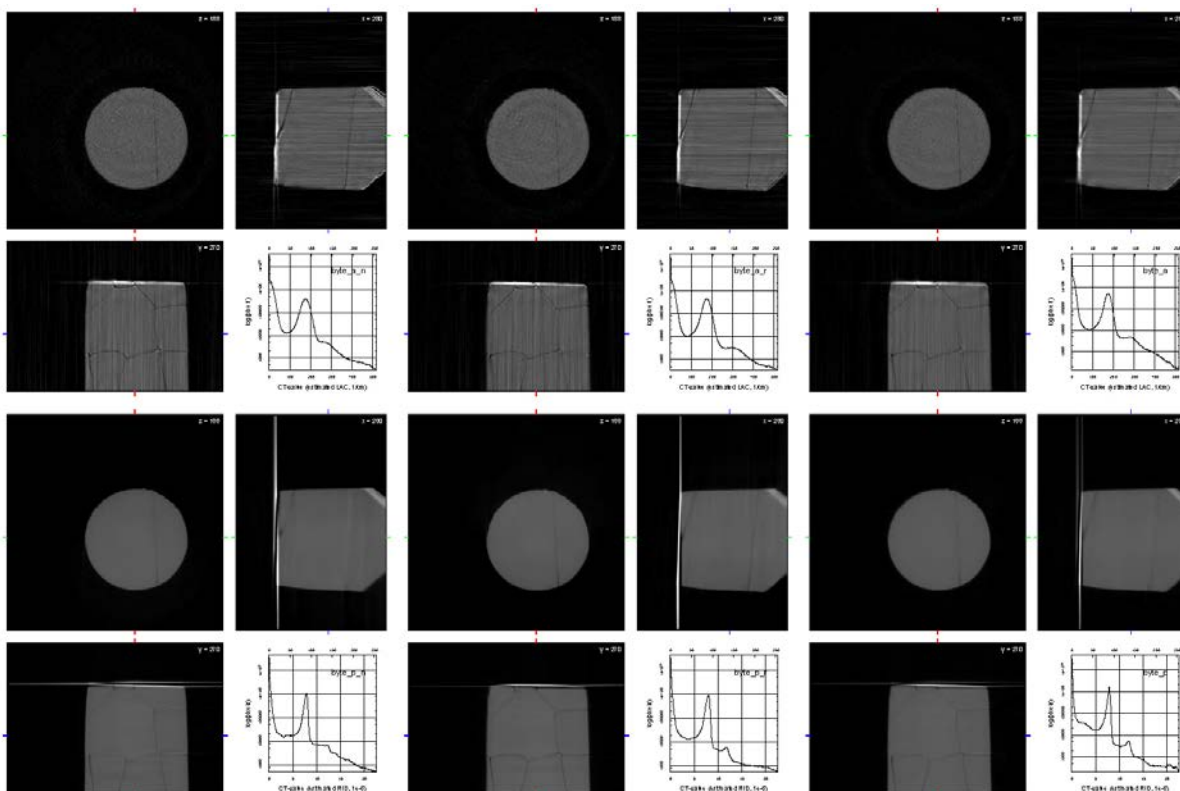
```
  foreach byte (byte_a_n byte_a_r byte_a byte_p_n byte_p_r byte_p)
    si_ofwd $byte - 1 1 1 | tail -1 | cut -f1-3
  end
```

```
# 275.136 267.33 186.156
# 276.504 270.162 188.263
# 277.682 270.218 188.4
# 282.111 271.923 184.172
# 283.044 268.845 189.27
# 284.08 272.802 189.666
```

```
## x = (275.136+276.504+277.682+282.111+283.044+284.08 )/6 ~ 280
## y = (267.33 +270.162+270.218+271.923+268.845+272.802)/6 ~ 270
## z = (186.156+188.263+188.4 +184.172+189.27 +189.666)/6 ~ 188
```

```
( draw_a.csh byte_a_n 280 270 188 100/108.1 ; ¥
  draw_a.csh byte_a_r 280 270 188 100/108.1 ; ¥
  draw_a.csh byte_a 280 270 188 100/108.1 ; ¥
  draw_p.csh byte_p_n 280 270 188 100/108.1 ; ¥
  draw_p.csh byte_p_r 280 270 188 100/108.1 ; ¥
  draw_p.csh byte_p 280 270 188 100/108.1 ) | ¥
gspile -l -n -3 2 -o 9 9 -m 0.4375 0.4375 >byte.ps
```

添付ファイル byte.pdf (2017/5/19 12:13:18 の E-mail の添付ファイル 170516g\_byte.pdf の修正版)



Date: Fri, 19 May 2017 19:27:02 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: "TAKEUCHI, Akihisa"  
Cc: Kentaro UESUGI, MATSUNO Junya, Akira TSUCHIYAMA, Masayuki Uesugi,  
三宅,北山, 杉本, 松本, 伊神  
Subject: Re: his2r012

---

たけうちさま、  
みなさま、

なかのです。先程の E-mail に書いたものと同じ間違いを AV 貝のサンプル AV-3 を HRCT 撮影した測定 170513a の画像再構成でもしていました。

On Fri, 19 May 2017 18:19:16 +0900 Tsukasa NAKANO wrote:

- > お昼に差し上げた E-mail で紹介した測定 170516g の画像再構成
- > 処理についてですが、投影画像の右の余白の値が間違っていました (ImageJ で
- > 調べた bounding box の横幅の値が x 座標値の最大値だと思い込んでいました)。

5/16 の E-mail に添付したプログラム his2r012 による処理テストの記録のファイル 170513a\_memo.txt の修正版の memo.txt をこの E-mail に添付します。SPring-8 の BL47XU の計算機 test01 のディレクトリ /media/SSD/170513a/の下にある memo.txt と差し替えて下さい。また、それを使って test01 の上で 170513a の画像再構成を再度実行してみてください(プログラム his2r012 の処理結果には違いはありませんが)。すべての処理に 20 分かからないと思います。

なお、今日のお昼の E-mail に添付した測定 170513a の byte 画像の browse 画像も作り直しました。そのファイル byte.pdf をこの E-mail に添付します。

とり急ぎ、

On Tue, 16 May 2017 23:42:28 +0900 "TAKEUCHI, Akihisa" wrote:

- > 中野様
- >
- > 竹内です。
- > 早速対応していただきありがとうございました。
- >
- > ビーム幅の分散をプロットすることについては、SIXM とは違ったタルボ干渉計などの微分位相法でも
- > 小角散乱コントラストと言われて最近ちょっともてはやされています。
- > ちなみにタルボの場合は試料を X 線が通ったことによって干渉性が劣化する度合いを
- > コントラストにしています。



- >
- > 先日ちょっと話したように、
- > 見かけ上密度が低く見えるようなところ、空間分解能以下の領域で結晶ではなく粒状、
- > 細孔などの構造に反映したコントラストが得られる可能性があります。
- > 土山さんが以前、何らかの試料で（何だったかは忘れましたが）、分解能以下の構造が
- > どうこうという話をしておられたので、もしかしたらと思い提案してみました。
- > なにぶん、まだ僕の方が勉強不足なので、折を見て、僕の方でももう少し考えてみます。

添付ファイル memo.txt (2017/5/16 20:01:17 の E-mail の添付ファイル 170513a\_memo.txt の修正版)

## [http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm\\_recipe.pdf](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm_recipe.pdf)

## ---- checking observed data

```

head -1 a.log
# 451,751,100,1,0
du -b a.HIS
# 25954870272      a.HIS
expr 451 ¥* 751 + 100
# 338801
check_his a.HIS | uniq -c
# 25954869809
# 338801  128      299      2
expr 25954870272 - 25954869809
# 463

```

## ---- making raw images

```

his2r012_F
# usage : his2r012 HIS scans views_RL darks {A B C} R0_format R1_format R2_format
mkdir r0 r1 r2
his2r012_F a.HIS 451 - 100 r0/%03d.tif r1/%03d.tif r2/%03d.tif >raw.log

```

## ---- checking left and right margin of RR (raw refraction) images by ImageJ

```

## width of left margin = 45
## width of right margin = 450 - 290 - 45 = 115

```

```

## ---- checking rotation center for RI (raw intensity) and RR images
    echo - 45 115 | ri2rc r0 - - 0.5 0.25
#   112      337      193
#   -74      74       2
    echo - 45 115 | rr2rc r1 - - 0.5 0.25
#   112      337      193.5
#   -74      74      -3

##   rotation center = 193.5

## ---- making CT images
    setenv THREADS 8

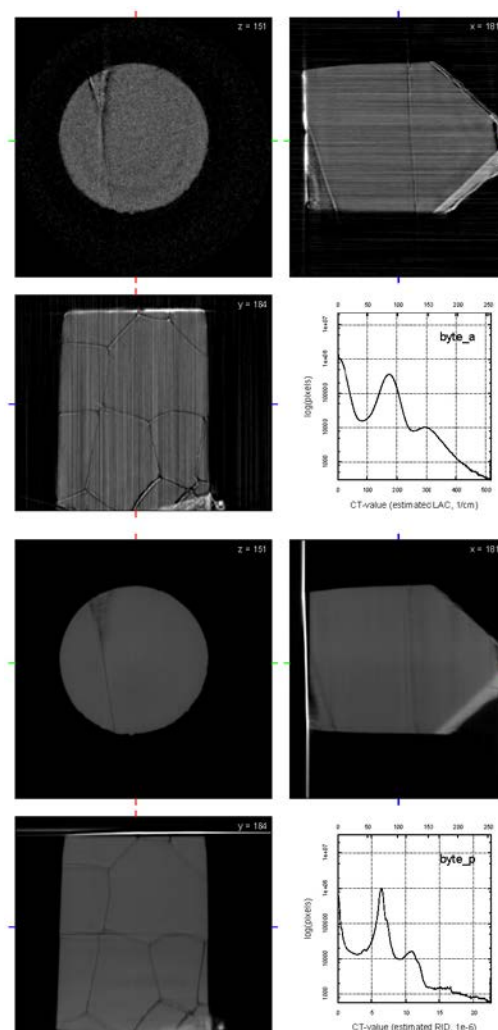
## ---- making absorption image
##   Dr = 100 nm = 100e-7 cm
##   LAC of calcite (2.7 g/cc, CaCO3) at 8 keV = 203.149744 cm^-1
    mkdir tg_a
    ( echo - 45 115 ; echo %$ ) | ri2tg_W r0 - - 100e-7 193.5 0 tg_a/%03d.tif >tg_a.log
    mkdir byte_a
    tg2tg tg_a - 0 203.149744e-2 8 byte_a | tr %*t , >byte_a.csv

## ---- making phase image
##   SDD = 6220 mm = 6220e-3 m
##   Dp = - 6.5 * 16 = - 104.0 um (minus sign means non-inverted image)
##   RID of calcite (2.7 g/cc, CaCO3) at 8 keV = 8.849336e-06
    mkdir tg_p
    ( echo - 45 115 ; echo %$ ) | rr2tg_W r1 - - 6220e-3 -104.0 193.5 0 tg_p/%03d.tif >tg_p.log
    mkdir byte_p
    tg2tg tg_p - 0 8.849336e-2 8 byte_p | tr %*t , >byte_p.csv

## ---- making "variance" image
    mkdir tg_v_a
    ( echo - 45 115 ; echo %$ ) | ri2tg_F r2 - - 100e-7 193.5 0 tg_v_a/%03d.tif >tg_v_a.log
    mkdir tg_v_p
    ( echo - 45 115 ; echo %$ ) | rr2tg_F r2 - - 6220e-3 -104.0 193.5 0 tg_v_p/%03d.tif >tg_v_p.log

```

添付ファイル byte.pdf (2017/5/19 12:13:18 の E-mail の添付ファイル 170513a\_byte.pdf の修正版)




---

Date: Fri, 19 May 2017 20:24:57 +0900

From: Tsukasa NAKANO

To: MATSUNO Junya

Cc: 北山晃, MIYAKE, Miyama Sugimoto, Masayuki Uesugi, megumi matsumoto, Yohei IGAMI, Akira TSUCHIYAMA, Kentaro UESUGI, Akihisa TAKEUCHI

Subject: Re: SIXM\_170516g\_FRCT

---

まつのさま、

なかのです。以前から言っていることですが、FRCT には FZP によって発生するフリッジのような左右非対称の偽像が打ち消しあうこと以外に大きな利点はないと考えています。つまり、Gaussian 分布のノイズによる S/N は 2 度の重複撮影による画像の「スタッキング」で  $\sqrt{2}$  倍になるだけなので、SIXM で FRCT しても劇的に画質は向上しないはず。とり急ぎ、

On Fri, 19 May 2017 20:07:38 +0900 MATSUNO Junya wrote:

- > 中野さま
- > 松野です、早速のご対応、いつも本当にありがとうございます。
- > 画像を見させていただいたのですが、FR が劇的に綺麗な画像になっている訳ではなさそうですね。
- >
- > ところで phase の xz 平面で白金保護膜(試料の頭にある、吸収係数が大きいもの)を見ると、左右に
- > 伸びるアーチファクト (いわゆる、メタルアーチファクト?) の出方がそれぞれ違ってきますね。
- > byte\_p\_n では上下にずれていて右へ 2 本出ているのに対し、byte\_p\_r では左右一直線。
- > byte\_p は byte\_p\_n と byte\_p\_r の平均のような感じに見えます。
- >
- > 回転角が 0~180 度では幾分が縦ずれしたけど 180~360 度ではずれなかったからか、と思ったのですが、
- > 添付していただいた memo.txt のそれぞれの縦ずれは、-2, -4 と、むしろ 0~180 度の方が少ないです。
- > echo 0-750 50 75 | rr2rc rr - - 90 305 0.25 0.25
- > # 187 312 237.5
- > # -54 54 -2
- > echo 750-1500 50 75 | rr2rc rr - - 90 305 0.25 0.25
- > # 187 312 238
- > # -54 54 -4
- >
- > きっと FZP-CT の時のように回転角とずれ量をおったグラフを作ればもうちょっとわかりそうな気も
- > するのですが、サンプルが上下に振動していたんでしょうかね。
- > そしてそういう影響もあって、FR の恩恵がいまいち(私は)見えなかったのでしょうか。

---

Date: Fri, 19 May 2017 20:33:38 +0900

From: Tsukasa NAKANO

To: 竹内

Cc: MATSUNO Junya, Miyake, 土山 明, Sugimoto Miyama, Masayuki Uesugi,  
北山, megumi matsumoto, 伊神, Kentaro UESUGI

Subject: Re: 170516c のリングアーティファクトについて

---

たけうちさま、

なかのです。先日来の E-mail で議論されている SIXM の測定 170516c の「投影画像」の縦縞 (CT 画像に発生しているリングアーチファクトの原因となったサンプルの回転角によらない sinogram の異常値) についてですが、現在の結論は放射光の揺らぎによる、ですかね? もしそうなら、これは

SIXM の回転ステップごとのスキャンに要する時間、 $T_s$

と

放射光の揺らぎの周期、 $T_r$

が「同期」しているということになります。それが偶然成り立っているのか?

とり急ぎ、

On Fri, 19 May 2017 09:54:32 +0900 "TAKEUCHI, Akihisa" wrote:

> 皆様

>

> 以前三宅さんから頂いた、両パターンがみられる添付の画像データですが、

> 現状を知らせるのと今後の対策を考えてもらうのに

> 2 3 SU、2 5 SU 担当者側、加速器、挿入光源グループにお見せしても大丈夫でしょうか。

---

Date: Sat, 20 May 2017 16:35:32 +0900

From: Tsukasa NAKANO

To: 三宅, TAKEUCHI Akihisa, 上杉

Cc: MATSUNO Junya, 土山 明, Sugimoto Miyama, Masayuki Uesugi, 北山,  
megumi matsumoto, 伊神

Subject: Re: 170516c のリングアーティファクトについて

---

みなさま、

なかのです。HIS ファイルに埋め込まれている測定した RP 画像のフレームそれぞれの撮影時刻(time stamp)を抜き出すプログラム check\_his\_ts を書きました。そのソースコード check\_his\_ts.c をこの E-mail に添付します。Linux なら、

```
gcc check_his_ts.c -o check_his_ts
```

と入力するだけでコンパイルできます。その後、HIS ファイルを引数として

```
check_his_ts 170516c/a.HIS
```

のようにして起動すると標準出力に以下の 5 個の値を並べた行を書き出します。

- [1] 測定画像のフレームの番号 (0~)
- [2] そのフレームの撮影時刻 (単位は msec.)
- [3-4] 測定画像の横・縦の画素数 (先の実験のもの横画素数はすべて 128)
- [5] その画像のタイプ (先の実験のものはすべて 2)

このようにして抽出した撮影時刻の差をとれば測定間隔 (周期) を計算できます。HIS ファイルの最初の 100 枚の暗電流画像のものを除く測定間隔を調べました。それらの値をざっと見ると、20 msec 程度の短い時間間隔と秒のオーダーの長い時間間隔があったので、それらをしきい値 0.1 秒 (この値に深い意味なし) で分離し、

それぞれの平均値と標準偏差を計算しました。この E-mail に添付した 1705\_ti.txt がその結果です。ただし、その各行に並んでいる 7 個の値の意味は以下の通りです。

[1] 測定番号

[2,3,4] 短い時間間隔の個数、平均値（単位は秒）と標準偏差（単位は秒）

[5,6,7] 長い時間間隔の個数、平均値（単位は秒）と標準偏差（単位は秒）

どの測定でも短い時間間隔はおよそ 0.02 秒 (20 msec.) です。HIS ファイルに書き込まれているコメントを見ると、これは撮影時の露光時間と一致しています。一方、長い時間間隔は個数が「投影数-1」なので（例外アリ）、これらはそれぞれの投影画像の撮影後のサンプルの移動に要した時間だと思われます。

と言う訳で、SIXM の測定時間は 2 重周期を持っています。これら（特に、長い時間間隔）が放射光の揺らぎの周期と同期しているとは思えませんが、いかが？

とり急ぎ、

On Sat, 20 May 2017 15:38:25 +0900 Kentaro Uesugi wrote:

> ええと、シノグラム上でキッカー由来のノイズが縦にまっすぐに連なるには

> 投影事にキッカーのタイミングと横スキャンのタイミングが一緒になる必要があります。

> ですので、50Hz とかいう値よりも、CR(continuous rotation)のスピードと

> 角度ステップから横スキャン開始のタイミング（周波数）を求めれば判別できます。

>

> うえすぎ@今週末は東京（気乗りしない）

>

> ----- Original Message -----

>> 失礼。漢字が違いました

>>

>> 10Hz だと、必ずしも同期しませんが、1Hz だと必ず真っ直ぐな線に同期するのではないのでしょうか？

>> 50Hz でスキャンしているので、10Hz でも？

>>

>> 三宅

>>

>> ----- Original Message -----

>> > 竹内様

>> > はい。CR スキャンです。

>> > 10Hz だと、**動悸同期**しませんが、1Hz だと必ず同期するのではないのでしょうか？

>> > 三宅

>> >

```

>> > ----- Original Message -----
>> >> 三宅様
>> >>
>> >> スキャンスピードは 50Hz なのですが、
>> >> スキャン軸一往復に要する時間が 0.1, 1, 10 秒の倍数で一定でないと
>> >> シノグラム上で垂直にまっすぐな線には・・・
>> >>
>> >> と、ここまで書いて気がついたんですが、
>> >> そういえば CR スキャンでしたね。思ったより同期し易い条件だったのかも
>> >>
>> >>> 2017/05/20 6:26、Miyake のメール:
>> >>> 竹内様 中野様
>> >>> 50Hz と 0.1, 1, 10Hz は、必ず同期するのではないのですか？
>> >>> 違う??
>> >>> 三宅
>> >>> ----- Original Message -----
>> >>>> 中野様
>> >>>> そうなんですよね。結構同期しているのが多いですね。これは偶然なのか。
>> >>>> 斜めに走っているのもあるようなのですが。

```

添付ファイル check\_his\_tc.c

以下の SIXM 用の書庫ファイルに入れてあります。

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm.taz>

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm.zip>

添付ファイル 1705\_ti.txt

set	N_short	Mean_short	SD_short	N_long	Mean_long	SD_long
170513a	337949	0.019997	0.000991	750	3.001365	0.027203
170513b	60300	0.019995	0.001003	200	1.799599	0.016735
170513c	525699	0.019998	0.000997	750	6.001669	0.028232
170513d	525699	0.019996	0.001169	750	6.002700	0.024454
170514a	337949	0.019997	0.001015	750	3.001200	0.029421
170514b	450599	0.019997	0.001195	750	3.001845	0.030463
170514c	375499	0.019997	0.001045	750	2.130708	0.079224
170514d	338337	0.019996	0.001062	376	3.813092	0.137499
170514e	525700	0.019998	0.000991	750	6.001650	0.025411
170514f	525699	0.019998	0.000917	750	6.001461	0.026250

170514g	263199	0.019997	0.001055	375	4.463476	0.016348
170515a	313125	0.019993	0.001365	500	3.867824	0.025294
170515b	313125	0.019996	0.001522	500	3.866342	0.027452
170515c	296292	0.019995	0.001352	600	2.642603	0.020890
170515d	375749	0.019997	0.001358	500	5.002484	0.025573
170515e	225299	0.019998	0.000850	750	1.799027	0.015946
170515f	195259	0.019998	0.000823	750	2.800678	0.019314
170515g	225298	0.019996	0.000973	751	2.569218	0.077035
170515h	300499	0.019996	0.001343	600	2.502314	0.021884
170516a	313125	0.019996	0.001481	500	3.866250	0.027476
170516b	313125	0.019996	0.001521	500	3.865956	0.026771
170516c	330549	0.019996	0.001324	600	4.002176	0.030413
170516d	244400	0.019998	0.000986	375	4.143911	0.015520
170516e	275549	0.019997	0.001265	500	4.001442	0.028170
170516f	240399	0.019997	0.001008	600	2.715461	0.026983
170516g	750499	0.019998	0.000988	1500	3.334316	0.021579
170516h	150399	0.019996	0.001319	375	2.436570	0.017465

---

Date: Sun, 21 May 2017 08:40:00 +0900

From: Tsukasa NAKANO

To: 上杉

Cc: 三宅, TAKEUCHI Akihisa, MATSUNO Junya, 土山 明,  
Sugimoto Miyama, Masayuki Uesugi, 北山, megumi matsumoto, 伊神

Subject: Re: 170516c のリングアーティファクトについて

---

うえすぎさま、

なかのです。

> HiPic が書くタイムスタンプ (pc とすべきかも) は信用してはいけません。

それでは何をもとに議論すべきだと言うのか? 指定した Hz の値が常に正しい? また、タイムスタンプの誤差についての具体的な検証例はありますか? とり急ぎ、

On Sat, 20 May 2017 17:47:36 +0900 上杉 wrote:

> ここまでやっていただいてアレですが、

> HiPic が書くタイムスタンプ (pc とすべきかも) は信用してはいけません。

>

> 上杉@すまほー



Date: Sun, 21 May 2017 09:08:21 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: Miyake  
 Cc: TAKEUCHI Akihisa, 上杉, MATSUNO Junya, 土山 明,  
 Sugimoto Miyama, Masayuki Uesugi, 北山, megumi matsumoto, 伊神  
 Subject: Re: 170516c のリングアーティファクトについて

---

みやけさま、

なかのです。HIS ファイルのタイムスタンプの値が正しいとした場合の話ですが、測定誤差や計算誤差を考慮して秒単位の値の小数点以下3桁目（1 msec の桁）を四捨五入すると、ぼくが調べた撮影間隔のうちの短い方の値はどの測定でも 20 msec（50 Hz）です。同様にすると 170516c の測定時間の長い方の間隔は 4.00 秒なので 50 Hz の周期と同期していますが、これはそれ以外の多数の測定でも成り立っています（この E-mail に添付した 1705\_ti.txt にそれを抜き出しました）。特に、170516c の直後の 170516[d,e,f] もそうなっているので、原因が同じなら、それらの CT 画像にもリングアーチファクトが発生してもおかしくないですが、...。とり急ぎ、

On Sat, 20 May 2017 17:32:34 +0900 Miyake wrote:

- > 中野様
- > ありがとうございます。
- > サンプル戻りの long の時間が、ほぼ整数になっているのかとおもったら違うのですね。
- > 16c とかは、整数ですけど。たまたまなんですかね。
- >
- > 三宅

添付ファイル 1705\_ti.txt

set	N_short	Mean_short	SD_short	N_long	Mean_long	SD_long
170513a	337949	0.019997	0.000991	750	3.001365	0.027203
170513b	60300	0.019995	0.001003	200	1.799599	0.016735
170513c	525699	0.019998	0.000997	750	6.001669	0.028232
170513d	525699	0.019996	0.001169	750	6.002700	0.024454
170514a	337949	0.019997	0.001015	750	3.001200	0.029421
170514b	450599	0.019997	0.001195	750	3.001845	0.030463
170514e	525700	0.019998	0.000991	750	6.001650	0.025411
170514f	525699	0.019998	0.000917	750	6.001461	0.026250
170514g	263199	0.019997	0.001055	375	4.463476	0.016348
170515c	296292	0.019995	0.001352	600	2.642603	0.020890
170515d	375749	0.019997	0.001358	500	5.002484	0.025573

170515e	225299	0.019998	0.000850	750	1.799027	0.015946
170515f	195259	0.019998	0.000823	750	2.800678	0.019314
170515h	300499	0.019996	0.001343	600	2.502314	0.021884
170516c	330549	0.019996	0.001324	600	4.002176	0.030413
170516d	244400	0.019998	0.000986	375	4.143911	0.015520
170516e	275549	0.019997	0.001265	500	4.001442	0.028170
170516f	240399	0.019997	0.001008	600	2.715461	0.026983
170516h	150399	0.019996	0.001319	375	2.436570	0.017465

---

Date: Sun, 21 May 2017 10:14:35 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: Kentaro UESUGI  
 Cc: 三宅, 竹内, 松野, 土'山, 杉本, 上梶, 北山, 松本, 伊神  
 Subject: Re: 170516c のリングアーティファクトについて

---

うえすぎさま、  
 なかのです。

> PC にかかっている負荷などの

> 影響のため、his のタイムスタンプは 10msec くらいはズレていることがあるようです。

ぼくが計算したのは多数の時間間隔の平均値です。10 msec. 程度の誤差がある測定値でも、短い方の時間間隔は最小でも 60300 個（測定 170513b の場合）の値を足し合わせた値なので、その平均値は 1 msec. 程度の精度で決まっているはず（170513b の標準偏差は 1 msec. 程度です）。長い時間間隔の個数は短い方よりもずっと少ないですが、それでも ...。とり急ぎ、

On Sun, 21 May 2017 09:59:59 +0900 Kentaro UESUGI wrote:

>> それでは何をもとに議論すべきだと言うのか？ 指定した Hz の値が常に正しい？

>> また、タイムスタンプの誤差についての具体的な検証例はありますか？とり急ぎ、

>

> his ファイルのタイムスタンプよりは PM16C に入力した回転速度(=カメラへの外部トリガ間隔)の

> 方が精度は格段に高いです。ほぼ間違いなく msec オーダーではズレは生じません。

> (昔の PM16C は 30usec くらいのズレが生じることがあったけど、これは解消済み)

> his に記録されている時間とカメラに入れているパルスジェネレーターからの

> 外部トリガ信号の時間を比べてみたことはありますが、PC にかかっている負荷などの

> 影響のため、his のタイムスタンプは 10msec くらいはズレていることがあるようです。

> 前後にもばらつくので細かな検証には向きません。

>

> という事で、

>>>> ですので、50Hz とかいう値よりも、CR(continuous rotation)のスピードと  
 >>>> 角度ステップから横スキャン開始のタイミング（周波数）を求めれば判別できます。  
 > と書いたように、ソフト(HiPic)よりもハード(PM16C+カメラ)の方が  
 > msec 以下での動作は保証されていますから、測定時にどう設定したかで  
 > 時間的な関係は分かります。  
 >  
 > ちなみに外部トリガから撮影開始の遅延時間は 165.58usec だそうです。  
 >  
 > うえすぎ

---

Date: Tue, 23 May 2017 19:47:34 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: MATSUNO Junya, 北山  
 Cc: 三宅 亮, Kentaro UESUGI, Akihisa TAKEUCHI, Akira TSUCHIYAMA, Masayuki Uesugi,  
 megumi matsumoto, Sugimoto Miyama, 伊神  
 Subject: リングアーチファクト

---

まつのさま、  
 きたやまさま、  
 みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。先日の SIXM 実験で測定した X 線強度の時系列データを調べていて気づいたのですが、以下の測定の CT 画像に測定 170516c のものと同様なリングアーチファクトが発生していませんか？

測定	サンプル	170516c のものを A とする「危険度ランク」
170513d	IV-gp-3	D (目立たない?)
170514e	IV-mgt	D (目立たない?)
170515c	RA-QD02-0097	C
170515f	water	B
170515h	好塩古細菌	B
170516c	橋口サンプル	A
170516e	KCl 20wt% aq.	A

こちらには CT 画像がないので、すみませんが調べてみて下さい。とり急ぎ、

Date: Wed, 24 May 2017 11:01:57 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: "TAKEUCHI, Akihisa", Kentaro UESUGI  
Cc: Miyake, MATSUNO Junya, 土山 明, Sugimoto Miyama, Masayuki Uesugi,  
北山晃, megumi matsumoto, 伊神,  
Subject: SIXM 実験の測定時刻

---

たけうちさま、  
うえずぎさま、

GSJ/AIST のなかのです。HIS ファイルに埋め込まれているタイムスタンプなどから算出した「5/13~17 の SIXM 実験の測定それぞれの測定時刻の値など」を書き込んだ CSV ファイル 1705\_time.csv をこの E-mail に添付します。1 行目に記した記号と、それらが指す 2 行目以降の 5 個の値の意味は以下の通りです。

set

SIXM の測定番号

start

HIS ファイル上の最初の画像の撮影時刻 (JST)、T0

first

HIS ファイル上の先頭から 101 枚目の最初のスキャンの「ゴミ画像」の測定時刻、t1。ただし、t1 は T0 を時刻 0 とする秒単位の値。

last

T0 を時刻 0 とする HIS ファイル上の最後の画像の秒単位の測定時刻、t2

end

HIS ファイル上の最後の画像の測定時刻 (JST)、T3 = T0 + t2

上杉君は「HIS ファイルに埋め込まれているタイムスタンプの値は信頼できない」と言っていますが、ミリ秒の精度はともかく、秒単位の精度は問題ないようです。いくつかの測定の (紙の) ログノートの記録でそのことを確認しました。

という訳で、1705\_time.csv に示した各測定の時間範囲に「キッカーパターン」のような放射光の揺らぎが生じていないかを調べていただけるとうれしいです。

CT 画像にリングアーチファクトが発生していた測定 170516c の時間範囲

start = 2017/05/16 16:20:41.327

first = 103.374

last = 9114.434

end = 2017/05/16 18:52:35.761

2017/5/16 の 16:20:41.327 (JST) 頃に測定を開始した 170615c では、その 103.374 秒後にサンプル回転角が 0 の最初のスキンの RP 画像の撮影が行われた。総測定時間はおよそ 9114.434 秒で、2017/5/16 の 18:52:35.761 (JST) 頃に 170615c の測定が終了した。

とり急ぎ、

On Mon, 22 May 2017 16:18:41 +0900 "TAKEUCHI, Akihisa" wrote:

- > 竹内です。
- >
- > キッカーの問題について、光源光学部門の青柳さんという人から添付のデータをいただきました。
- > XBPM という光源近くで X 線のビーム軌道をモニタしている装置で、
- > 水平、垂直のビーム位置が保存されています。
- > 添付のデータは 5 月 15 日のものです。
- >
- > 2 つのパターンは BL23 と 25 2 つの BL 由来のものという説明をしましたが、
- > 1 Hz 駆動だった BL23 は水平方向 (赤線)、0.1Hz 駆動の BL25 は鉛直方向 (青線) に
- > 影響してようで、変位量 5um 程度です。
- > サンプリングが 6 秒間隔らしいので、エイリアシング起こしていますが、
- > 実際にキッカー駆動によってビーム変動が出ているのがわかります。

添付ファイル 1706\_time.csv (コンマ区切りをタブコード区切りに変えました)。

set	start	first	last	end
170513a	2017/05/13 18:33:01.274	103.475	9112.416	2017/05/13 21:04:53.690
170513b	2017/05/13 21:18:51.894	20.154	1585.790	2017/05/13 21:45:17.684
170513c	2017/05/13 22:39:35.273	169.970	15184.093	2017/05/14 02:52:39.366
170513d	2017/05/14 03:53:59.942	169.974	15184.012	2017/05/14 08:07:03.954
170514a	2017/05/14 08:46:49.549	103.424	9112.445	2017/05/14 11:18:41.994
170514b	2017/05/14 11:55:43.409	128.364	11390.403	2017/05/14 15:05:33.812
170514c	2017/05/14 15:39:48.884	103.421	9210.297	2017/05/14 18:13:19.181
170514d	2017/05/14 19:01:01.822	95.547	8294.493	2017/05/14 21:19:16.315
170514e	2017/05/14 22:03:24.573	169.970	15184.091	2017/05/15 02:16:28.664
170514f	2017/05/15 02:43:04.667	169.971	15184.051	2017/05/15 06:56:08.718
170514g	2017/05/15 08:02:17.099	80.343	7017.378	2017/05/15 09:59:14.477
170515a	2017/05/15 12:26:07.550	93.364	8287.704	2017/05/15 14:44:15.254
170515b	2017/05/15 15:45:02.483	93.352	8287.780	2017/05/15 18:03:10.263
170515c	2017/05/15 18:50:58.742	85.926	7595.844	2017/05/15 20:57:34.586
170515d	2017/05/15 21:36:40.643	114.492	10129.596	2017/05/16 00:25:30.239

170515e	2017/05/16 00:58:40.374	65.928	5920.665	2017/05/16 02:37:21.039
170515f	2017/05/16 03:33:31.623	70.091	6075.343	2017/05/16 05:14:46.966
170515g	2017/05/16 05:34:54.592	74.839	6509.453	2017/05/16 07:23:24.045
170515h	2017/05/16 08:14:14.089	86.757	7596.780	2017/05/16 10:20:50.869
170516a	2017/05/16 11:05:21.785	93.363	8287.765	2017/05/16 13:23:29.550
170516b	2017/05/16 13:39:46.111	93.365	8287.736	2017/05/16 15:57:53.847
170516c	2017/05/16 16:20:41.327	103.374	9114.434	2017/05/16 18:52:35.761
170516d	2017/05/16 19:29:14.352	76.084	6517.648	2017/05/16 21:17:52.000
170516e	2017/05/16 21:39:15.494	86.759	7597.730	2017/05/16 23:45:53.224
170516f	2017/05/17 00:55:53.314	74.218	6510.859	2017/05/17 02:44:24.173
170516g	2017/05/17 03:03:43.855	114.498	20124.551	2017/05/17 08:39:08.406
170516h	2017/05/17 08:54:25.950	46.321	3967.420	2017/05/17 10:00:33.370

---

Date: Wed, 24 May 2017 11:30:52 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: MATSUNO Junya  
 Cc: 北山, 三宅 亮, Kentaro UESUGI, Akihisa TAKEUCHI, Akira TSUCHIYAMA,  
 Masayuki Uesugi, megumi matsumoto, Sugimoto Miyama, 伊神  
 Subject: Re: リングアーチファクト

---

まつのさま、

なかのです。CT 画像のチェック、ありがとうございました。送ってくれた CSV ファイルの「miyake」と「matsuno」が0でない測定の画像に偽像（もしくは sinogram の異常）が発生しているのですね？ 測定 170513c と 170515d 以外はぼくが思った通りです。また、予想が外れた測定の X 線強度の時系列データを再確認すると、怪しい兆候がありました。とり急ぎ、

On Wed, 24 May 2017 11:05:57 +0900 MATSUNO Junya wrote:

- > 中野さま
- > 松野です。
- > シノグラムで調べました。(CT 像では、強調表示しないと見えないものもあったので)
- >
- > 添付しました csv ファイルで、miyake, matsuno の項が 1 のものが三宅 or 松野の
- > パタンが見られるもの、0 がないものです。
- > その他、撮影開始&終了時刻、サンプル名やスキャン・CR の Hz 数、プロジェクション数を載せました。
- > よろしく願いいたします。

Date: Thu, 08 Jun 2017 13:04:01 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Miyake, MATSUNO Junya  
Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", Masayuki Uesugi, 北山, megumi matsumoto, Sugimoto Miyama, 伊神  
Subject: SIXM の X 線強度の時系列解析

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。今頃になって何ですが、5月に差し上げた E-mails で匂わせていた「SIXM で測定した X 線強度の時系列解析」に関する話をします。

- (1) SIXM で測定した X 線強度の時系列
- (2) RP 画像の測定時刻と平均 sinogram の抽出
- (3) X 線強度の時系列の power spectrum density (PSD)

今回の解析で得た結論を先に言うと

5/11~17 の SIXM 実験の「後半」に測定した X 線強度の時系列データには周波数が 2 および 4Hz の入射 X 線強度の「揺らぎ」が含まれている

です。ただし、ぼくが調べた「後半」の測定は 170515h と 170516[b,c,d,g] で、それらに含まれる「揺らぎ」は SIXM 実験の最初の方の測定 170513[a,b] には見当たりません。測定 170516c で特に顕著な CT 画像のリングアーチファクトの原因はこれらの「揺らぎ」であると思われます。そして、これらの「揺らぎ」の周波数をサンプリング周波数がおよそ 50 Hz だった今回の SIXM のスキャンのステップ数 (== 投影値 sinogram の画像の回転角それぞれの列における幅；単位は画素幅 == SIXM のスキャン幅) に換算すると

$$2 \text{ Hz} \rightarrow (1 / 2 \text{ 秒}) / (1 / 50 \text{ 秒}) = 25$$

$$4 \text{ Hz} \rightarrow (1 / 4 \text{ 秒}) / (1 / 50 \text{ 秒}) = 12.5$$

となり、三宅さんや松野君が投影値 sinogram で見つけた「○○パターン」の縦縞の幅や周期とも調和的です (実は、これについてはきちんと調べていません)。

なお、以下で紹介する新しいプログラムのコードや Windows 用の実行ファイルなどは以前に紹介した SIXM 用の書庫ファイルに入れてあります：

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm.taz>

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm.zip>

ただし、コマンド make を用いた新しいプログラムのコンパイルはファイル Makefile.tm を指定して実行する必要があります：

```
make -f Makefile.tm
```

## (1) SIXM で測定した X 線強度の時系列

SIXM による測定ではサンプル内での屈折によって生じた X 線強度の水平方向の空間分布 (refraction profile) の画像 (RP 画像) を撮影しています。そして、SIXM の測定データファイル a.HIS に記録されている個々の RP 画像は 2 次元の画像ですが、それらは全体として以下のような 4 次元の画像になっています。

RP 画像の位置  $(p, z, s, v)$  の画素の値、 $RP(p, z, s, v) =$

回転と並進のステップがそれぞれ  $v$  と  $s$  の状態のサンプルの鉛直方向の位置  $z$  を透過し屈折した X 線の水平方向の位置  $p$  における強度

注

a.HIS には SIXM で測定した個々の 2 次元画像  $RP(p, z)$  の暗電流補正用のデータも入っています。ここで取り扱う RP 画像のデータは暗電流補正済みものだとします。

さて、通常の SIXM の測定では上記の RP 画像から RI (raw X-ray intensity) と RR (raw X-ray refraction) の画像を作成し、それらから吸収と位相の CT 画像のそれぞれを再構成します。ここでは RI 画像の画素の値を  $z$  方向に平均した 2 次元画像  $M(s, v)$  を考えます。

$$RI(z, s, v) = \sum_{p=0}^{Np-1} RP(p, z, s, v) / Np$$

$$M(s, v) = \sum_{z=0}^{Nz-1} RI(z, s, v) / Nz = \sum_{p, z} RP(p, z, s, v) / (Np \times Nz)$$

ただし、 $Np$  と  $Nz$  は 2 次元画像  $RP(p, z)$  の横と縦の画素数

座標値  $z$  ごとの 2 次元画像  $RI(s, v)$  は RI の sinogram ですから、画像  $M(s, v)$  を「RI の平均 sinogram」と呼ぶことにします。 $M(s, v)$  は SIXM で測定した個々の 2 次元 RP 画像の画素値の総和に比例した値です。つまり、これは  $v$  と  $s$  で特定できるサンプル回転と並進のステップにおける SIXM で測定した X 線強度を表しています (後注参照)。そして、 $M(s, v)$  の値を a.HIS に記録されている個々の 2 次元 RP 画像の測定時刻の値  $T(s, v)$  と組み合わせることにより、SIXM で測定した X 線強度の精密な時系列解析を行うことができます。

注

2 次元 RP 画像を測定した検出器 (画素) それぞれの感度特性が同じでないため、SIXM への入射 X 線強度に  $z$  方向の空間分布がある場合やサンプルによる吸収がある場合には  $M(s, v)$  は SIXM で測定した (入射) X 線強度を表しません。しかしながら、 $s$  と  $v$  によらず同じ検出器を使っているため、 $z$  方向のすべての範囲 (視野) で入射強度が一様に増減した場合には  $M(s, v)$  でそれを検知できます。また、空気を撮影した  $z$  の範囲を視野とすれば、サンプルによる吸収の影響を回避できます。なお、通常の X 線 CT の測定データから得ることができる  $M(s, v)$  に相当する値はサンプルの回転ステップごとの透過 X 線強度画像の暗電流補正した画素値の平均値  $m(v)$  です。ただし、 $m(v)$  のデータの数は  $M(s, v)$  に比べて少なく、また、それらの測定の時間間隔 (≡ 画像撮影の露光時間) も 10 倍程度長いので、 $m(v)$  を使って X 線強度の精密な時系列解析を行うのは困難です。



## (2) RP 画像の測定時刻と平均 sinogram の抽出

SIXM のサンプル並進スキンのステップが  $s$  で回転ステップが  $v$  の時の

$T(s,v)$  : 測定の開始時刻を 0 とする秒単位の測定時刻

$M(s,v)$  : 暗電流補正済みの RP 画像の画素値の平均値

の画像を SIXM の測定データファイル a.HIS から直接抽出するプログラム his2tm を書きました。その起動法は以下の通りです。

```
his2tm HIS scans views darks {z1 z2} {T.tif} M.tif
```

HIS : ファイル a.HIS のパス名

scans、views および darks

SIXM の並進と回転のスキンのステップの総数、および、暗電流画像の枚数。SIXM の測定のログファイル a.log の 1 行目にコンマ区切りで書き込まれている値を転記すれば良い。なお、SIXM の並進スキンがサンプル左端に達した後に右端に移る際に RP 画像として「ゴミ」を撮影するので、作成する画像の横 ( $s$ ) 方向の画素数は scans - 1 になる。

$z1$  と  $z2$

サンプルなしの空気の部分の  $z$  座標値の最小値と最大値。これらの値の指定を省略すると RP 画像の  $z$  方向の全域を視野とする。

T.tif と M.tif

$T(s,v)$  と  $M(s,v)$  のそれぞれの値を 32 bit 長の浮動小数点数の画素値として書き込む TIFF 画像ファイルのパス名。T.tif の指定は省略可能で、その場合には測定時刻のファイルを作成しない。

単調増加している測定時刻の値がスキンライン順に並んでいるだけなので、his2tm で作成した T.tif は目で見て楽しい画像ではありません。一方、M.tif を目視観察すればそれなりの情報を得ることができます。この E-mail に添付した 1705\_mean.pdf に 5 月の SIXM 実験で得た以下の 6 測定の平均 sinogram などの画像を並べました。

170513a	AV 貝、AV-3
170513b	なし (空気を撮影)
170515h	好塩古細菌
170516b	ハヤブサ・サンプル RA-QD02-0103 の上部
170516c	橋口サンプル (CT 画像にリングアーチファクトが生じていた)
170516d	ニッケル角柱、Ni-3

1705\_mean.pdf にはこれらの測定それぞれの以下の 4 画像が並んでいます。

ri\_0 : サンプル回転角が 0 度の RI 画像

mean : z 方向の全域を視野とした平均 sinogram

z1-z2

空気だけの部分  $z = z1 \sim z2$  を視野の範囲とした平均 sinogram。ただし、常に  $z1 = 0$  とし、 $z2$  は  $ri\_0$  の画像の上に描いた黄色の横線の位置。なお、測定 170513b では z 方向の全域が空気であるが、比較のために  $z2 = 30$  を指定した平均 sinogram を作成してみた。

mean - z1-z2 : 上記の 2 個の平均 sinogram の差分画像。

これらの下部に記した "/" 区切りの 3 個の値は各画像の横・縦画素数と画素値の値域です。サンプルによる吸収で低い値になっているハズの平均 sinogram の画像 mean の画素値の最大値が空気の部分の z1-z2 の値よりも高くなっている測定があったので、念のために差分画像を作成してみました。CT 画像にリングアーチファクトが発生していた測定 170516c の 2 個の平均 sinogram のどちらにも微かな「縦縞」を視認できます。

### (3) X 線強度の時系列の power spectrum density (PSD)

his2tm で得た「RP 画像の測定時刻と平均 sinogram」の画像の浮動小数点数の画素値は既存のプログラム t\_f2txt を使ってテキストデータに変換できます。

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/float.pdf>

注 : t2f2txt のコードの類は SIXM 用の書庫ファイルにも入れてあります。

この変換を行えば SIXM で測定した X 線強度の時系列データを MATLAB のような汎用のツールで解析できますが、ここでは、新たに作成したプログラム tm2psd によるそのデータの power spectrum density (PSD) の推定処理について書きます。

tm2psd は periodogram 法で PSD を推定します。この手法では全体を複数個に分割したセグメントごとに時系列データの離散 Fourier 変換(DFT)を行ない、その結果の周波数ごとの Fourier 変換の自乗値(periodogram)を計算します。そして、最終的にはセグメントすべての periodogram の平均を PSD とします。his2tm で得た測定時刻にはサンプルの回転ステップ  $v$  ごとに数秒の「飛び」があるので、平均 sinogram の並進スキャン s の方向の各列をセグメントとするのが合理的です。その他、tm2psd が行う periodogram の計算処理の詳細を以下に列記します。

- [1] それぞれのセグメントの periodogram の計算では  $M(s,v)$  から「s に関するそれらの平均値 (== 周波数 0 の成分)」を差し引いた値を使う。
- [2] 測定時刻として  $T(s,v)$  と等間隔のサンプリング時刻のいずれかを使う。測定時刻として  $T(s,v)$  を使う場合、DFT の計算では「等間隔ではない  $T(s,v)$  の値に応じた線形補間」によって得た「等間隔の時刻における  $M(s,v)$  の値」を使う。そして、この等間隔の時刻の幅  $dt$  を

$$dT(v) = \text{Max}_s \{T(s,v)\} - \text{Min}_s \{T(s,v)\} \quad \text{各セグメントの測定時間}$$

$$dt = \text{Min}_v \{dT(v)\} / (N_s - 1) \quad \text{セグメントの最短の測定時間を等間隔に分割}$$

とする。なお、ここで行う線形補間の処理は時系列データに対してある種の「フィルタ」を施すことに相当し、それは periodogram の高周波数成分に影響を与える。ただし、Nyquist 周波数の半分以下

の低周波数の成分に対してはその影響は僅かなようである。

- [3] DFT の計算は与えられたデータに zero-padding をして **2 のべき乗の個数に水増しした後に** 高速 Fourier 変換 (FFT) で行う。zero-padding によって周波数分解能が向上する反面、periodogram のプロファイルが暴れるので平滑化を行うべきだが、...

前置きが長くなりました。プログラム tm2psd の起動法は以下の通りです。

- ```
[a] tm2psd -Hz M.tif {view1 view2} > PSD.txt
[b] tm2psd T.tif M.tif {view1 view2} > PSD.txt
```

上記の [a] のようにして起動すると (負の符号 "-" を含まない) 値 Hz の逆数  $dt = 1 / \text{Hz}$  で表される等間隔のサンプリング時刻に M.tif (平均 sinogram) の値を測定したと見なします。また、[b] では画像 T.tif の値を測定時刻とし、前記の [2] に記した dt をサンプリング間隔とします。いずれの場合も view1 と view2 で periodogram の計算を行う平均 sinogram の v 方向の範囲を限定できます (view1 と view2 を指定しなければすべての periodogram を計算します)。最終的には、tm2psd は periodogram を平均した PSD のテキストデータを標準出力に書き出します (ここではそれをテキストファイル PSD.txt に書き込んでいます)。その各行にはタブコード区切りで以下の 2 個の値が並んでいます。

PSD.txt の 1 行目

1 番目の値: サンプリング周波数、 $\text{Hz} = 1 / dt$

2 番目の値: s の全域かつ  $v = \text{view1} \sim \text{view2}$  における  $M(s,v)$  の平均値

2 行目以降

1 番目の値: PSD の周波数 ( $\text{Hz}/2$  未満の正の値;  $\text{Hz}/2$  は Nyquist 周波数)

2 番目の値: PSD の値 (その単位は「X 線強度の自乗 × 秒」)

起動時に view1 と view2 として同じ値を指定すると tm2psd で periodogram を計算できます。前記の 1705\_mean.pdf に示した 6 測定それぞれの空気と z 方向全域の平均 sinogram から取り出したサンプル回転角が 90 度の時の X 線強度の時系列とそれらの periodogram をこの E-mail に添付した 1705\_ts+pg.pdf に並べました。各測定の左側の 2 個の平均 sinogram の上の黄色の横線で示した位置の時系列データを t\_f2txt を使って取り出し、中央のグラフに描きました。その横軸は並進スキャンのステップ番号 s もしくは測定時刻 T(s) で、グラフの下端と上端にそれら各々の値が記されています (測定時刻の単位は秒です)。その右端の凡例に記したように、このグラフでは平均 sinogram の値  $M(s)$  を s もしくは T(s) の関数としてプロットしています。これら 2 本の線がほぼ完全に重なっていることに注目して下さい。つまり、SIXM の測定データファイル a.HIS に記録されている測定時刻の値はこのグラフの時間分解能では等間隔と見なせます。

1705\_ts+pg.pdf の右側のグラフが tm2psd で計算したサンプル回転角が 90 度の時の X 線強度の periodogram です。ただし、それらの 4 本の「暴れている」プロファイルからは時系列の周波数特性に関する情報を読み取れません。そこで、すべてのサンプル回転角の periodogram を平均した PSD を見てみます。この E-mail に添付した 1705\_psd.pdf を御覧下さい。

1705\_psd.pdfでは6測定それぞれの空気およびz方向全域の平均sinogramの画像とそれらから計算したPSDのグラフを別々に描きました。PSDのグラフの横軸は単位がHzの周波数で、それらの右端の凡例に記したように、tm2psdに50Hzのサンプリング周波数を指定して得た値と、平均sinogramの値を測定時刻のデータに即したサンプリング間隔の値に線形補間して計算したPSDの値がプロットしてあります。これらの計算法によるPSDの値の違いは低周波数では僅かなので（前記[2]）、ここではPSDのグラフのその部分だけに注目します。

#### 注

これらのグラフにはサンプリング周波数の1/2の値に等しいNyquist周波数までのPSDの値すべてをプロットしましたが、通常の「スペクトル解析」では推定精度が低いPSDの高周波数成分は無視します。

まず1705\_psd.pdfに示した各測定の左側のPSDのグラフを比較して下さい。それにより、このE-mailの最初に記した結論を確認できると思います：

5/11~17のSIXM実験の後半の測定（170515hと170516[b,c,d]）のX線強度の時系列のPSDには前半の測定（170513[a,b]）のPSDには見当たらない周波数が2および4Hzの顕著なピークがある。

CT画像に顕著なリングアーチファクトが発生していた測定170516cではこれら2つのPSDのピークはサンプル像を含む1705\_psd.pdfの右側のグラフでも観察できます。つまり、これらのピークに対応する（入射）X線強度の強い揺らぎがリングアーチファクトの原因だと思われます。

ところで、空気を測定した170513bのz方向全域の平均sinogramのPSDのグラフ（右側）には上記の2および4Hzのものよりも顕著な1および3Hzのピークがあります。そして、よくよく見れば、これらのうちの3Hzのピークは他の測定のPSDにも含まれています。170513b以外の測定ではこれは2および4Hzのものほど目立ちませんが、それでも、CT画像のリングアーチファクトの原因になっている可能性があります。

いずれにせよ、SIXMで測定したX線強度にはCT画像のリングアーチファクトの原因となりうる強い揺らぎが含まれています。それらの原因は何でしょうか？

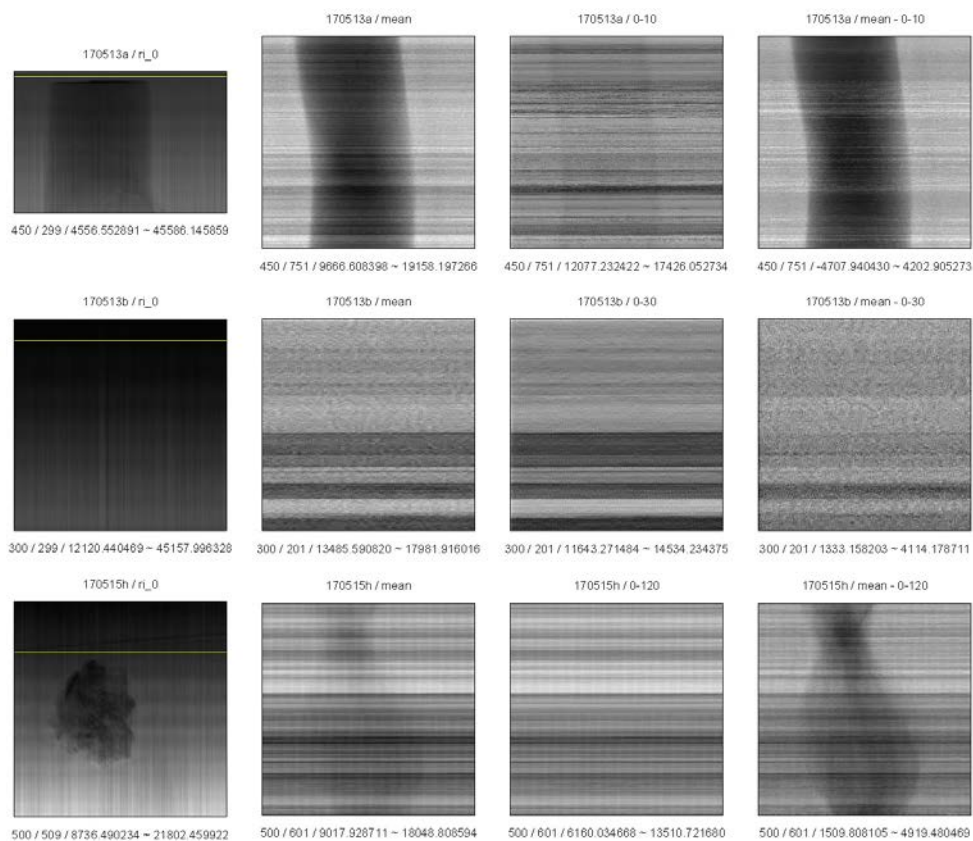
長いE-mailになりました。当初はこのE-mailに

(4) プログラム his2tm と tm2psd の使用例

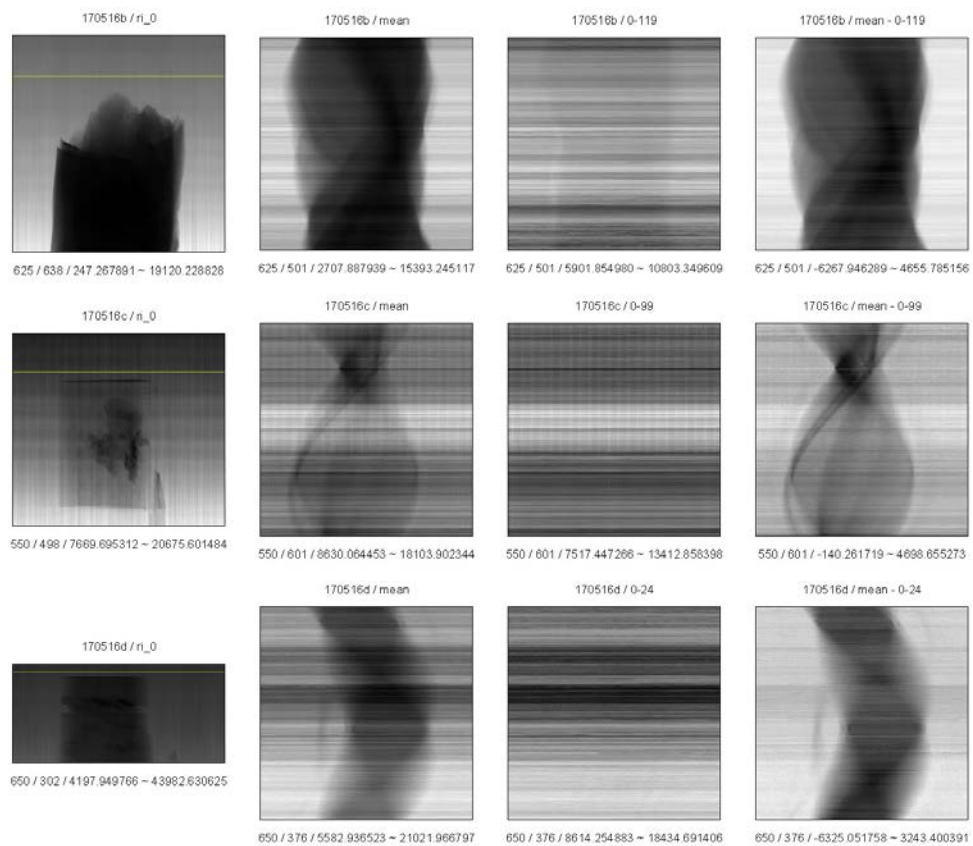
(5) プログラム tm2psd による PSD の推定精度

についても書こうと思っていましたが、補足的な内容なので次便以降のE-mailに回します。とり急ぎ、

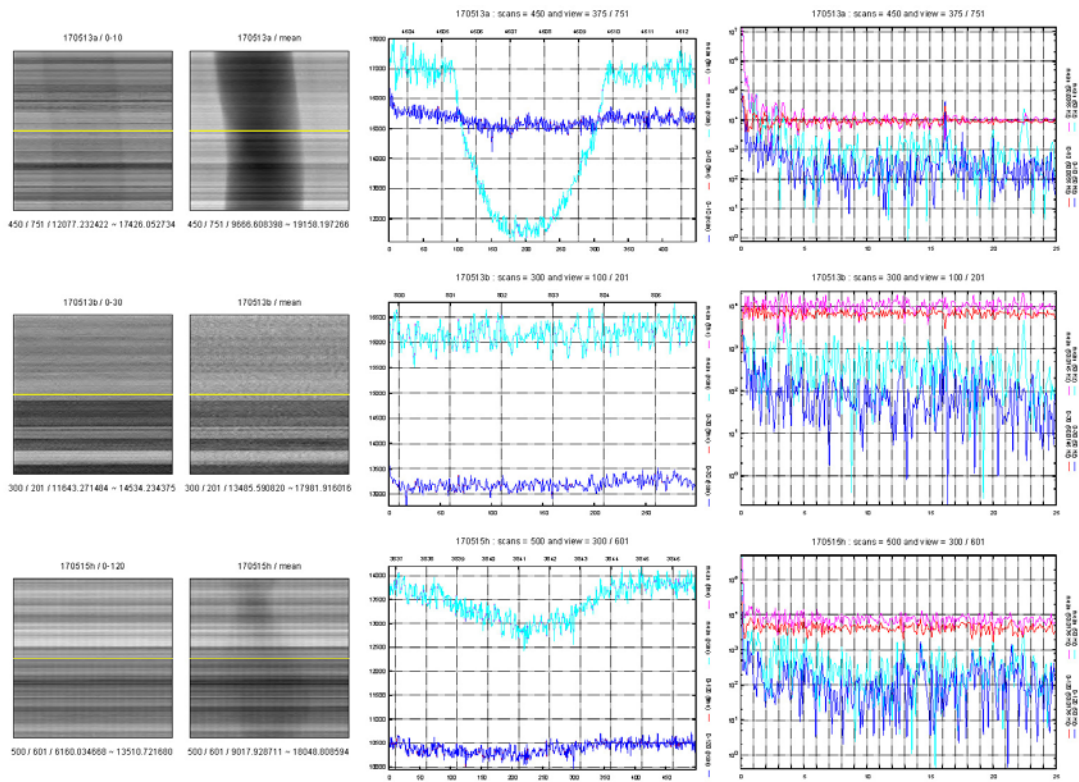
## 添付ファイル 1705\_mean.pdf (1 ページ目)



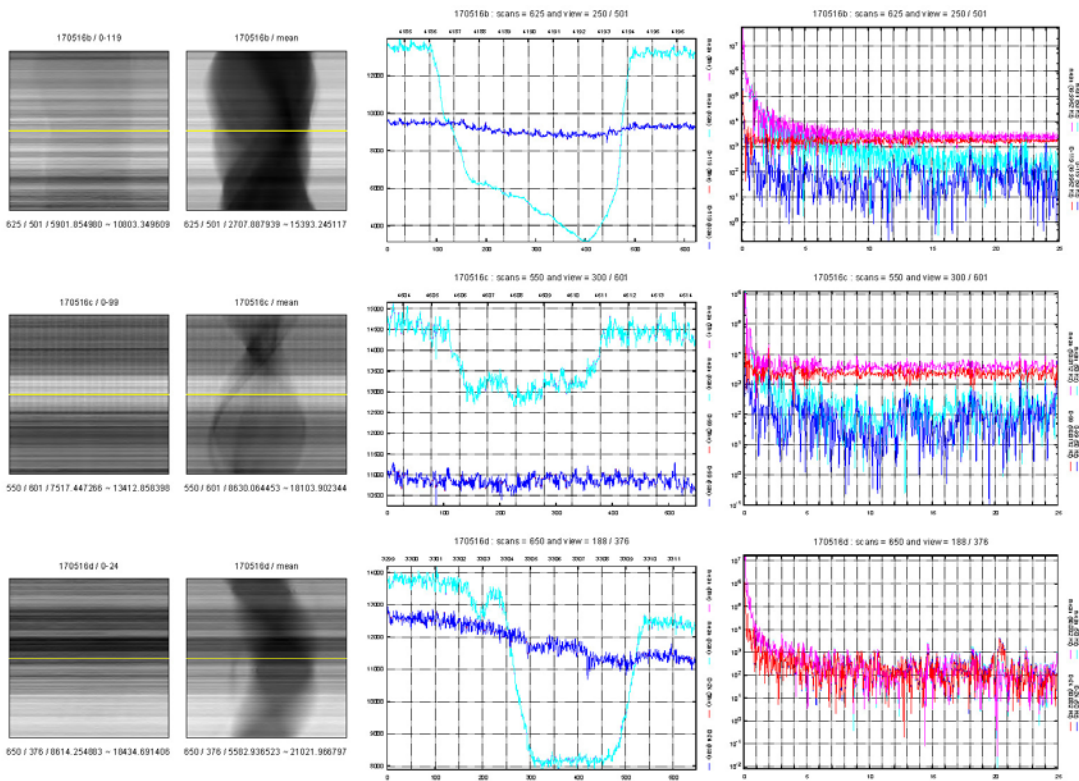
## 添付ファイル 1705\_mean.pdf (2 ページ目)



## 添付ファイル 1705\_ts+pg.pdf (1 ページ目)

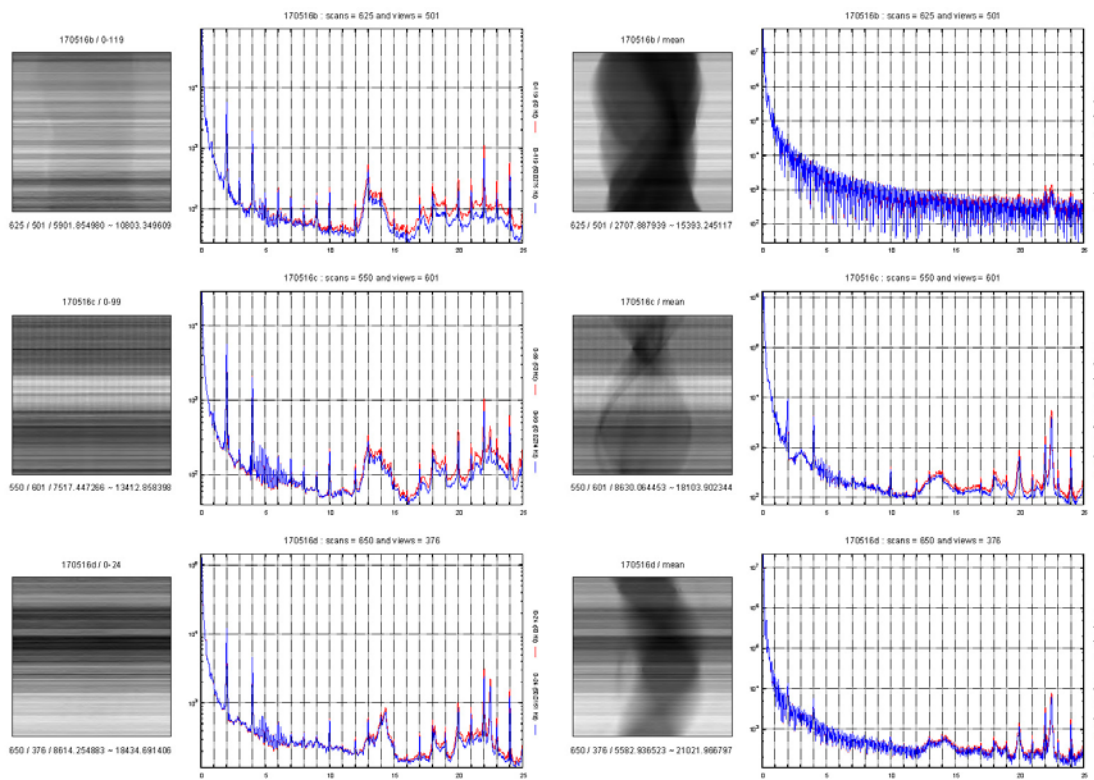


## 添付ファイル 1705\_ts+pg.pdf (2 ページ目)

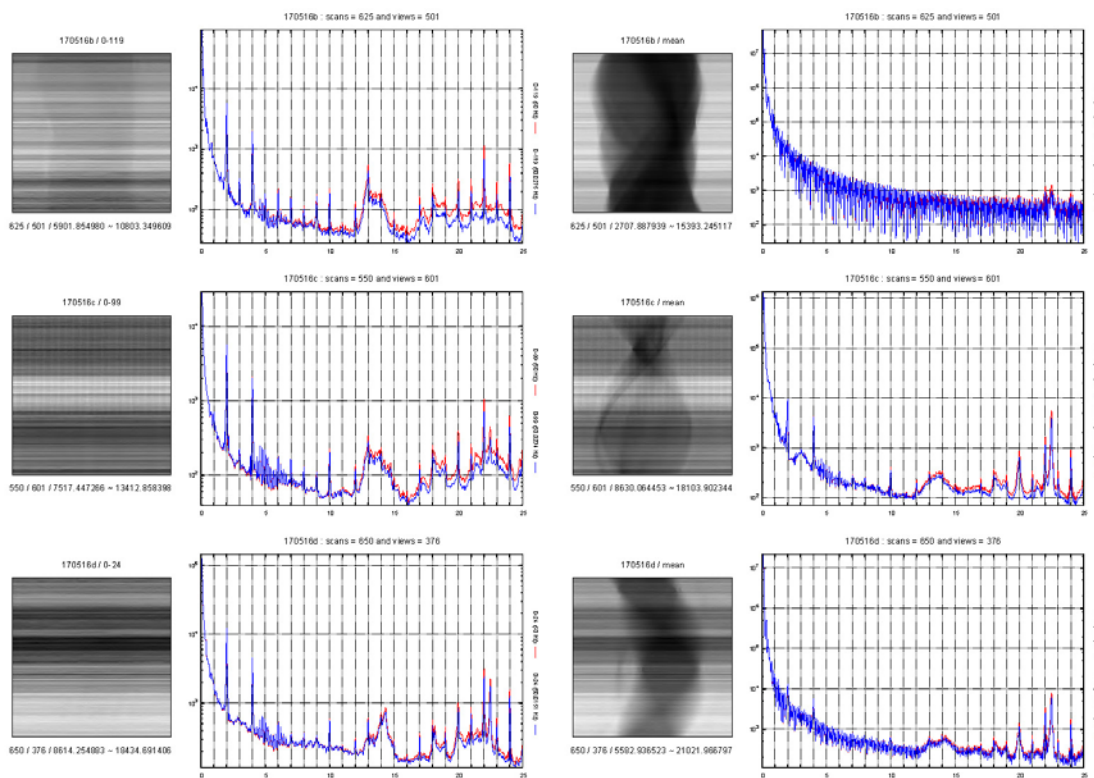




添付ファイル 1705\_psd.pdf (1 ページ目)



添付ファイル 1705\_psd.pdf (1 ページ目)



Date: Thu, 08 Jun 2017 21:27:35 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Miyake, MATSUNO Junya  
 Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", Masayuki Uesugi, 北山, megumi matsumoto, Sugimoto Miyama, 伊神  
 Subject: SIXM の X 線強度の時系列解析の補足

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。先の E-mail で予告した「SIXM で測定した X 線強度の時系列解析」の補足です。

#### (4) プログラム his2tm と tm2psd の使用例

この E-mail に添付した 170516g\_psd.pdf を御覧下さい。5月の SIXM 実験の測定 170516g (AV 貝サンプル AV-3 を 360 度回転して撮影) の測定データを用いた「SIXM で測定した X 線強度の時系列解析」の実例です。170516g の測定データファイル a.HIS が置いてあるディレクトリで 170516g\_psd.pdf の左側に示した C-shell script "psd.txt" を

```
    csh psd.txt
```

と入力して起動すると先の E-mail で紹介したプログラム his2tm と tm2psd を用いた時系列解析を行ない、gnuplot を使ってその結果のデータファイルから 170616g\_pdf の右側に示した図の PostScript ファイル psd.ps を作成します。

測定 170516g の HIS 形式データファイル a.HIS とともに psd.txt を SPring-8 の計算機 vrm のディレクトリ /media/disk/bl47xu/1705\_SIXM/170516g/ の下にコピーしておきました。また、そのディレクトリで psd.txt を実際に実行してみました。そこに置いてあるファイルを御自由にお使い下さい。

なお、C-shell 変数に代入する値を書き換えれば、psd.txt は他の測定の時系列解析にも流用できるはずです：

```
3: @ scans = 501      # number of scans for "a.HIS"
```

```
4: @ views = 1501    # number of projections
```

```
5: @ darks = 100     # number of dark images
```

← これらの変数の値として SIXM の測定ログファイル a.log の 1 行目に記されている値を転記するだけ。

```
9: @ air = 65        # width of upper air region obtained by "ImageJ"
```

← この値は RI もしくは RR 画像を観察して決める必要がある。

```
18: set hz=50        # assumed sampling frequency
```

← 5月の SIXM 実験の測定に対しては常に 50 (Hz) で OK?



## (5) プログラム tm2psd による PSD の推定精度

プログラム tm2psd による PSD の推定の精度を知るため、C-shell script "test.tm2psd" を書きました。その処理で使う「テキストデータから浮動小数点数画素値の TIFF 画像を作成するための既存のプログラム txt2t\_f」のコードの類と一緒に test.tm2psd を SIXM の書庫ファイルに入れておきました。

test.tm2psd は座標値  $(x,y)$  の関数の値を浮動小数点数の画素値として格納した平均 sinogram のシミュレーション画像  $M(x,y)$  を合成し、その画像と tm2psd で推定した PSD のグラフの PostScript (PS) データ (正確には、gnuplot で描画した画像とグラフの PS データ) を標準出力に書き出します。ただし、ここで使っている座標値  $x$  と  $y$  を SIXM の並進と回転のステップ番号  $s$  と  $v$  に読み替えて下さい。  $M(x,y)$  は具体的には下式で表される関数値です。

```
for each  x = 0 ~ Nx - 1 and  y = 0 ~ Ny - 1
    M(x,y) = Sin[ 2 · π · F2 · ( x + A1 · Rand[y] ) / F1 ] + A2 · Rand[x,y]
```

Sin[] : 正弦 (sine) 関数

F1 と F2

x 方向のサンプリング周波数と正弦関数 (信号) の周波数

Rand[x,y] と Rand[y]

どちらも値域が  $-1 \sim 1$  の乱数を返す関数。Rand[x,y] は画素ごとに異なる値を、また、Rand[y] は y 座標ごとに異なる値を返す。

A1 と A2

正弦関数の信号の「位相」と値のそれぞれに加える雑音の振幅

これらのパラメータの値  $N_x$ 、 $N_y$ 、 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $A_1$ 、 $A_2$  のそれぞれを指定して test.tm2psd を以下のようにして起動します：

```
test.tm2psd  Nx  Ny  F1  F2  A1  A2  > M+PSD.ps
```

test.tm2psd に様々なパラメータの値を指定して得た 8 個の PS 出力の図をこの E-mail に添付した tm2psd.pdf に並べました。これらはそれぞれ以下のようなパラメータの値を指定して得た図です。

すべての図で  $F_1$  と  $F_2$  の値は固定

サンプリング周波数： $F_1 = 50$

信号の周波数： $F_2 = 3$  ← その位置をグラフに赤の縦線で示した

上部の 4 図と下部の 4 図で使用したパラメータの値の違い

tm2psd は 2 のべき乗の個数でない時系列データを zero-padding で水増しして FFT を行ない、PSD を計算している。その影響を見るため画像の x 方向の画素数  $N_x$  だけを変えた ( $N_x = 500$  or  $550$ )。

左側の図と右側の図

信号の位相に加える雑音の振幅  $A1$  だけを変えた ( $A1 = 0$  or  $17$ )。

上部と下部の4図のそれぞれの上段の図と下段の図

信号の値に加える雑音の振幅  $A2$  だけを変えた ( $A2 = 0$  or  $2$ )。

tm2psd.pdf からわかるように、上記の範囲の雑音交じりなら tm2psd は信号の周波数 ( $F2 = 3$ ) をほぼ完全に捕らえています。特に、信号の位相に加えた雑音は tm2psd で推定した PSD を乱しません。また、正弦関数の振幅が1でそれに加えた雑音の振幅が  $A2 = 0$  or  $2$  なので、ここで調べた時系列データの S/N は  $1/2$  以上ですが、それが  $1/16$  ( $A2 = 16$ ) の場合でも信号の周波数の位置の PSD のピークを識別できました。つまり、8ビット (256 階調) 画素値の画像として表示した平均 sinogram の画素値が1の「縦縞」を検知できるかもしれません。ただし、雑音がない  $A2 = 0$  (つまり、S/N が無限大) の場合には periodogram の計算法に起因する PSD の凸凹が発生してしまいますが。

とりあえず以上です。

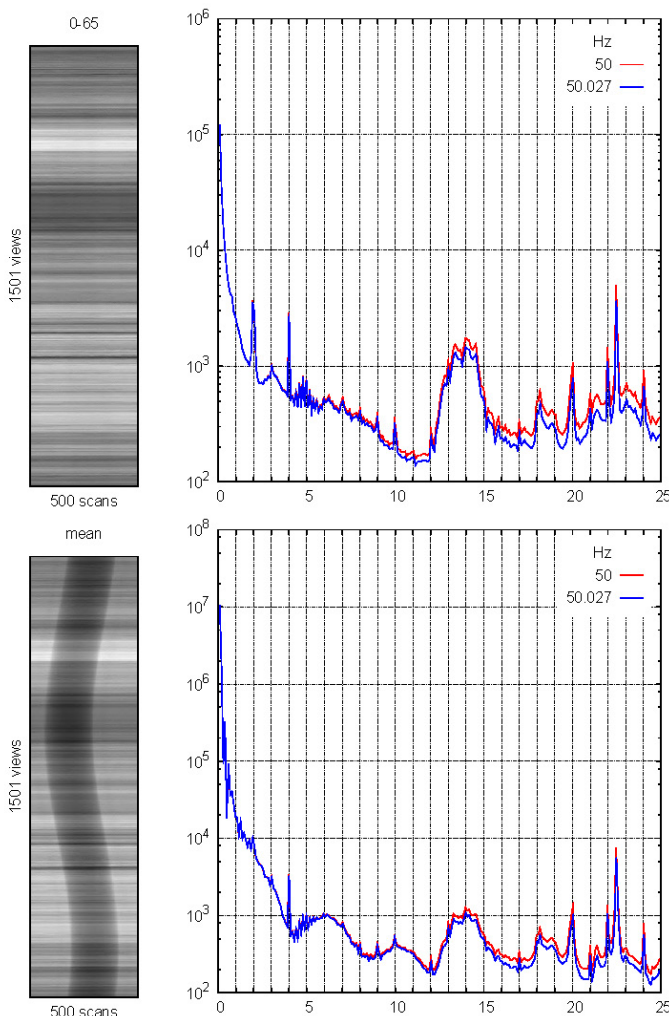
添付ファイル 170515g\_psd.pdf

1705/170515g/psd.txt : Tue Jun 6 17:49:57 JST 2017

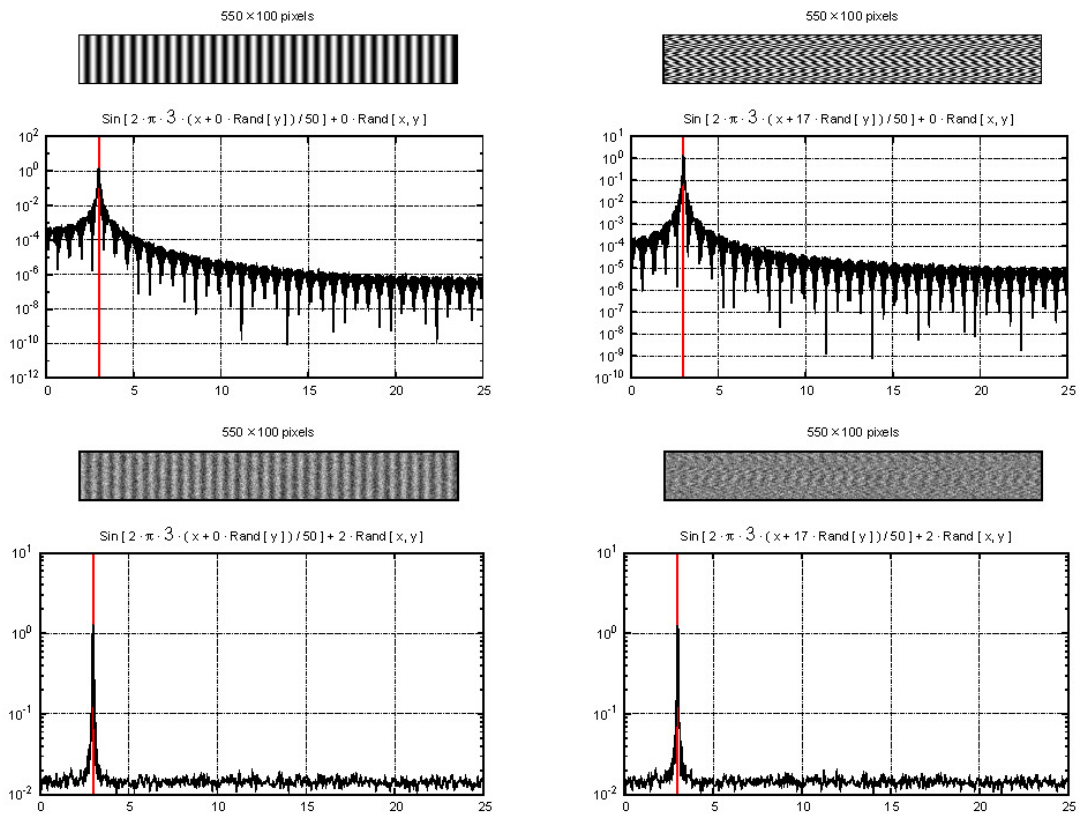
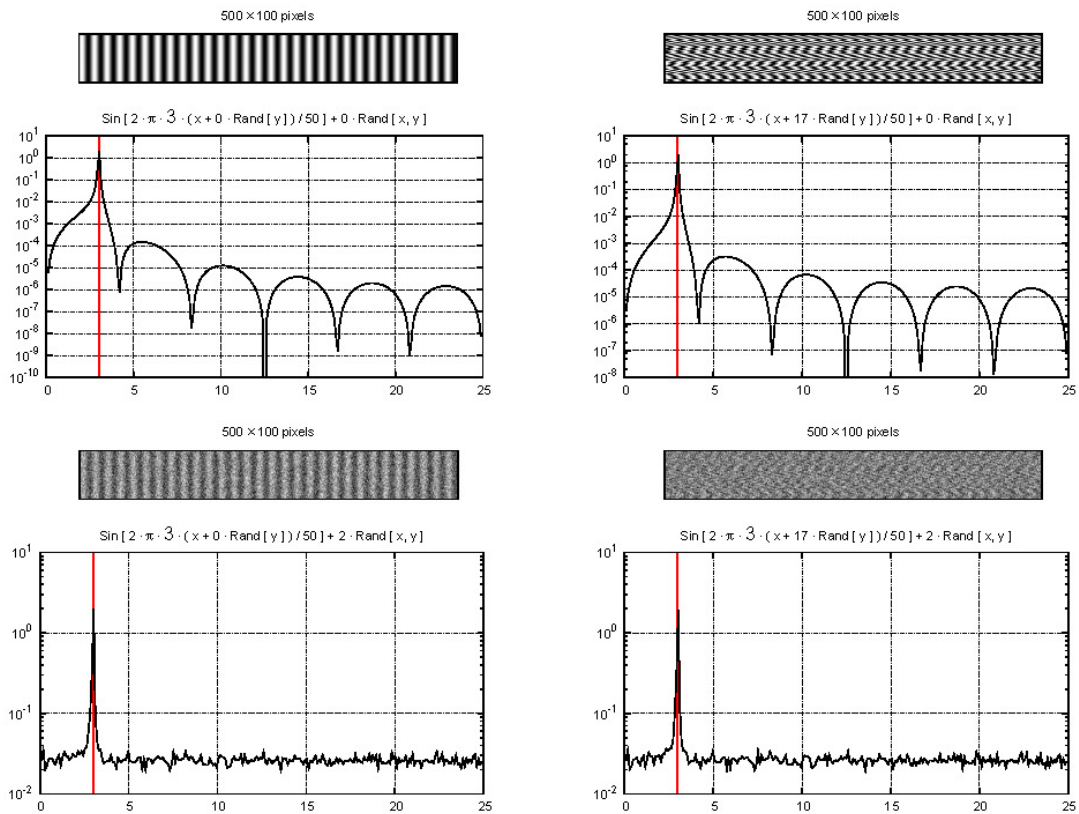
```

1: ## SEM parameters
2:
3:   @ scans = 501      # number of scans for "a.HIS"
4:   @ views = 1501    # number of projections
5:   @ darks = 100     # number of dark images
6:
7: ## extraction of "time" and "mean" images
8:
9:   @ air = 65        # width of upper air region obtained by "ImageJ"
10:
11:   his2tm a.HIS $scans $views $darks 0 $air time.tif 0-$[air].tif
12:   his2tm a.HIS $scans $views $darks          mean.tif
13:
14:   @ scans = $scans - 1    # actual number of scans for imaging
15:
16: ## calculation of power spectrum density (PSD)
17:
18:   set hz=50      # assumed sampling frequency
19:
20:   tm2psd -shz 0-$[air].tif >! 0-$[air]_$.hz.txt
21:   tm2psd time.tif 0-$[air].tif >! 0-$[air].txt
22:   tm2psd -shz mean.tif >! mean_$.hz.txt
23:   tm2psd time.tif mean.tif >! mean.txt
24:
25: ## drawing graphs by "gnuplot"
26:
27: set lines=with lines linetype -1 linecolor rgb
28:
29: gnuplot << fin >! psd.ps
30: set terminal postscript eps enhanced color size 6.5,9.5 font 'Helvetica,20'
31: set datafile separator "\t"
32: set multiplot
33: set size 0.25,0.5
34: unset key ; unset tics
35: unset colorbox ; set palette gray gamma 1
36: set xlabel "$scans scans" ; set ylabel "$views views" rotate by 90
37: set origin 0,0.5
38:   set xlabel "$[air]" offset 0,0.5
39:   plot "< t_f2txt 0-$[air].tif $[f] - | tail -n +2" \
40:     matrix using 1:($[views]-1-$[2]):3 with image
41: set origin 0,0
42:   set xlabel "mean" offset 0,0.5
43:   plot "< t_f2txt mean.tif $[f] - | tail -n +2" \
44:     matrix using 1:($[views]-1-$[2]):3 with image
45: set size 0.75,0.5
46: set key sample 2 spacing 1.5 height 1 autotitles columnheader
47: set xtics ; set ytics format "10" "$L" ; set xtics mirror 1 format ""
48: set logscale y ; set grid noxtics ytics xtics
49: unset xlabel ; unset ylabel ; unset xlabel
50: set origin 0.25,0.5
51: plot "< echo Hz ; sed -n 2p 0-$[air].txt" title 1 $lines 'white', \
52:   "< echo Hz ; sed -n 2p 0-$[air].txt" title 1 $lines 'red', \
53:   "< echo Hz ; sed -n 2p 0-$[air].txt" title 1 $lines 'blue'
54: set origin 0.25,0
55: plot "< echo Hz ; sed -n 2p mean.txt" title 1 $lines 'white', \
56:   "< echo Hz ; sed -n 2p mean.txt" title 1 $lines 'red', \
57:   "< echo Hz ; sed -n 2p mean.txt" title 1 $lines 'blue'
58: fin

```



添付ファイル tm2psd.pdf



Date: Fri, 09 Jun 2017 09:03:12 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Miyake, MATSUNO Junya  
Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", Masayuki Uesugi, 北山, megumi matsumoto, Sugimoto Miyama, 伊神  
Subject: SIXM の X 線強度の時系列解析の補足の訂正

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。すみません。昨夜の E-mail (Subject: SIXM の X 線強度の時系列解析の補足) に 2 箇所の間違いを見つけました。訂正します。

(1)

On Thu, 08 Jun 2017 21:21:03 +0900 Tsukasa NAKANO wrote:

- > test.tm2psd に様々なパラメータの値を指定して得た 8 個の PS 出力の図をこの
- > E-mail に添付した tm2psd.pdf に並べました。これらはそれぞれ以下のような
- > パラメータの値を指定して得た図です。
- >
- > すべての図で F1 と F2 の値は固定
- > サンプリング周波数 F1 = 2

tm2psd.pdf の図で使ったサンプリング周波数はすべて 50 (F1 = 50) でした。

(2)

- > また、正弦関数の振幅が 1 でそれに
- > 加えた雑音の振幅が  $A_2 = 0$  or 2 なので、ここで調べた時系列データの S/N は
- >  $1/2$  以上ですが、それが  $1/16$  ( $A_2 = 16$ ) の場合でも信号の周波数の位置の PSD
- > のピークを識別できました。つまり、8 ビット (256 諧調) 画素値の画像として
- > 表示した平均 sinogram の画素値が 1 の「縦縞」を検知できるかもしれません。

上記の「それ (S/N) が  $1/16$  ( $A_2 = 16$ )」は信号と雑音の自乗値 (パワー) の比ではなく、それらの値 (の絶対値) の比でした。それゆえ、上記の最後の文章の「画素値が 1」は「画素値が  $16 (= 256 / 16)$ 」の間違いです。

8 ビット (256 諧調) の画素値の画像として表示した平均 sinogram から画素値が 16 の「縦縞」を検知できるかもしれません。

とり急ぎ、

Date: Wed, 14 Jun 2017 10:37:55 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: "TAKEUCHI, Akihisa"  
Cc: MATSUNO Junya, Miyake, 土山 明, Sugimoto Miyama, Masayuki Uesugi,  
北山, megumi matsumoto, 伊神, Akira TSUCHIYAMA, Kentaro UESUGI  
Subject: Re: 170516c のリングアーティファクトについて

---

たけうちさま、  
GSJ/AIST のなかのです。

> 例の松野パターン、三宅パターンについて、うちの加速器 Gr が再度対策を考えることになりました。  
> それで、原因となった数値データが欲しいそうです。

6/8 の E-mails で紹介した「SIXM の X 線強度の時系列解析」の結果の「平均 sinogram の power spectrum density (PSD)」の図ではダメなのでしょうか？ 念のため、6/8 の Subject が「SIXM の X 線強度の時系列解析」の E-mail に添付した 1705\_psd.pdf と、その PDF からサンプル上部の空気の部分の平均 sinogram の図と PSD のグラフを抜き出した 1705\_psd\_top.pdf を送ります。SIXM で撮影した raw refraction (RP) 画像の暗電流補正済みの画素値の値域の幅 (= 最大値 - 最小値) は、図の下部に記されているように 7000 程度です。また、測定 170516c で特に顕著な PSD の 2 Hz と 4 Hz のピークの値の値は  $10^3 \sim 10^4$  (1000 ~ 10000) です。PSD の値を単純に「X 線強度の揺らぎの振幅の自乗値」と思えば、リングアーチファクトの原因だと思われるその揺らぎの振幅は  $\sqrt{1000} \approx 100$  で、RP 画像が示す平均強度の 1 % 程度になります。とり急ぎ、

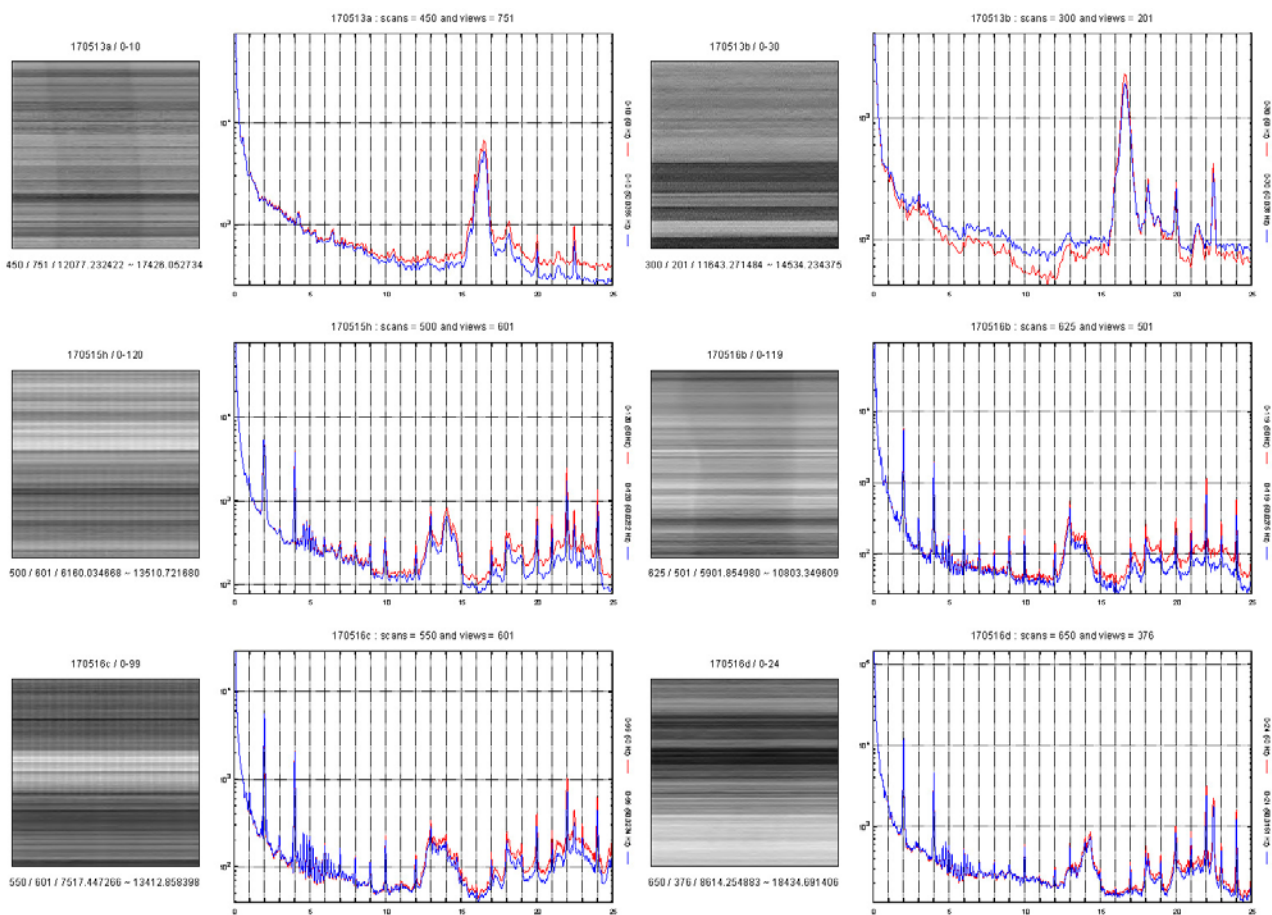
On Tue, 13 Jun 2017 23:51:04 +0900 "TAKEUCHI, Akihisa" wrote:

> 松野様  
>  
> 竹内です。  
> 例の松野パターン、三宅パターンについて、うちの加速器 Gr が再度対策を考えることになりました。  
> それで、原因となった数値データが欲しいそうです。  
> 昨年のスタディでは、強度変化 0.5% 以下になればほぼノイズレベルに埋もれる、  
> という結果だったのですが、今回はなぜ見えている？ということを知りました。  
> 要は例の 170516c\_ri で絶対値強度変化が 0.5% 以上あったかどうかを示せばよいかと思うので  
> 170516c\_ri (と念のため 170516c\_rr 両方) で、松野・三宅両パターンについて  
> 数値データ (典型的なレイヤの一次元データ) をいただけないでしょうか。  
> 或いは画素値の絶対値が分かる Tif データでもいいです。  
> 忙しいところすみませんがよろしくお願いします。  
> ...

添付ファイル 1705\_psd.pdf

2017/6/8 13:04 の E-mail に添付したものと同じものなので省略します。

添付ファイル 1705\_psd\_top.pdf



Date: Wed, 14 Jun 2017 13:43:20 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: MATSUNO Junya  
 Cc: Kentaro UESUGI, 竹内, MIYAKE, 土山 明, Miyama Sugimoto, Masayuki Uesugi,  
 北山晃, megumi matsumoto, Yohei IGAMI  
 Subject: Re: 170516c のリングアーティファクトについて

---

まつのさま、  
 なかのです。

6/8 の 2 通目の E-mail (subject: SIX の X 線強度の時系列解析の補足) で紹介した C-shell script "psd.txt" を改造して、SIXM の測定 160420[b,c] の平均 sinograms を作成し PSDs を計算しました。その結果の図 160420bc\_psd.pdf をこの E-mail に添付します。これらの PSD のプロファイルは先月の SIXM 実験の測定 170516c などのものとは大きく異なります。160420[b,c] の空気の部分の PSDs には 3 Hz の付近にブロードなピークがありますが、これは多分「平均 sinogram にうっすらと写っている偽像」によるもので、「松野パターン」ではないと思われます (実は、「松野パターン」がどんなものをきちんと把握していませんが)。

なお、うっかりしていて図に記載しませんでした。測定 160420[b,c] の平均 sinogram の画素値 (= SIXM で測定した X 線強度値) は先月の測定の値 (最大値が 10000 以上) よりもかなり低いです。光量不足ですね。

| set     | layer | min. PV     | max. PV     |
|---------|-------|-------------|-------------|
| 160420b | 0-25  | 3667.769531 | 4629.081055 |
| 160420b | all   | 2863.169189 | 5317.125488 |
| 160420c | 0-40  | 3665.958252 | 4769.182129 |
| 160420c | all   | 2116.512939 | 5339.851562 |

今回の処理用に改造した C-shell script "psd.txt" と、それが使う測定ごとの内容の C-shell script "160420[b,c]\_air.txt" (ぼくの計算機の上でのこれらのファイル名は "160420[b,c]/air.txt") をこの E-mail に添付します。ただし、psd.txt は bzip2 圧縮されているファイル a.HIS (a.HIS.bz2) を解凍しつつ読み込むようにしてあります。また、psd.txt は a.log を調べるので、a.HIS の読み取り用のパラメータ scans、views と darks の設定は不要です。適切に書き換えた air.txt を用意すれば、psd.txt を使って他の測定の平均 sinogram の PSD を計算することが可能です。とり急ぎ、

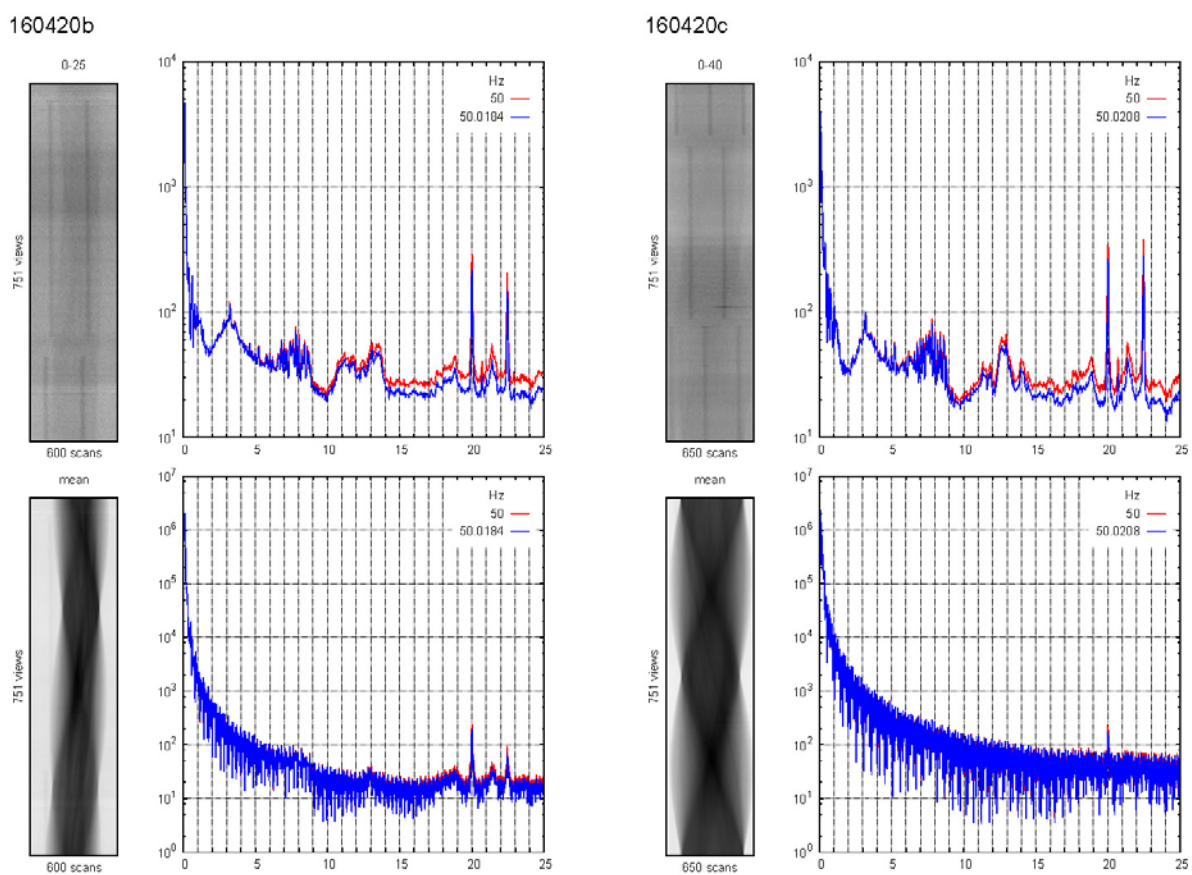
On Wed, 14 Jun 2017 10:05:29 +0900 MATSUNO Junya wrote:

- > 上杉さま、竹内さま
- > ご対応ありがとうございます。
- > 早速グラフを作成していただき、ありがとうございました>上杉さま
- >
- > ちなみに最近気づいたのですが、2016A の SIXM でも"松野パタン"を確認しました。



- > 160420b
- > がそのファイルです。
- > 0 枚目の位相のシノグラムを添付します。(000.tif)
- > また、試料への影響が見やすいので、吸収の 100 枚目のスライス像も添付します(100.tif)
- > これも、キッカー由来と考えられるのでしょうか？
- >
- > a.HIS のタイムスタンプからは、
- > Date="2016/04/20"
- > Time="15:10:13.366"
- > が、撮影開始、
- > a.HIS のファイル作成時刻から推定すると終了は
- > 18:24
- > です。
- >
- > 他にもあるかは、探していません。
- >
- > 松野

添付ファイル 160420bc\_psd.pdf





添付ファイル psd.txt

```

## SIXM parameters
set svd=(`head -1 a.log | tr , ' ')

## extraction of "time" and "mean" images
source air.txt ; if ($?air == 0) exit 1

bzip2 -dc a.HIS.bz2 | his2tm - $svd[1-3] 0 $air time.tif      0-{$air}.tif
bzip2 -dc a.HIS.bz2 | his2tm - $svd[1-3]                  mean.tif

@ svd[1] = $svd[1] - 1      # actual number of scans for imaging

## calculation of power spectrum density (PSD)
set hz=50# assumed sampling frequency

tm2psd -$hz      0-{$air}.tif      >! 0-{$air}_{$hz}.txt
tm2psd time.tif  0-{$air}.tif      >! 0-{$air}.txt
tm2psd -$hz      mean.tif          >! mean_{$hz}.txt
tm2psd time.tif  mean.tif          >! mean.txt

## drawing graphs by "gnuplot"
set lines='with lines linetype -1 linecolor rgb'

gnuplot << fin >! psd.ps
set terminal postscript eps enhanced color size 6.5,9.5 font 'Helvetica,20'
set datafile separator "¥t"
set multiplot
set size 0.25,0.5
unset key ; unset tics
unset colorbox ; set palette gray gamma 1
set xlabel "$svd[1] scans" ; set ylabel "$svd[2] views" rotate by 90
set origin 0,0.5
set x2label "0-{$air}" offset 0,0.5
plot "< t_f2txt 0-{$air}.tif %lf - | tail -n +2" matrix using 1:({svd[2]}-1-¥$2):3 with image
set origin 0,0
set x2label "mean" offset 0,0.5
plot "< t_f2txt mean.tif %lf - | tail -n +2" matrix using 1:({svd[2]}-1-¥$2):3 with image

```

```

set size 0.75,0.5

set key samplen 2 spacing 1.5 height 1 autotitles columnheader
set xtics ; set ytics format "10^{%L}"; set x2tics mirror 1 format ""
set logscale y ; set grid noxtics ytics x2tics
unset xlabel ; unset ylabel ; unset x2label

set origin 0.25,0.5

plot "< echo Hz ; sed -n 2p 0-#{air}.txt" title 1 $lines 'white', ¥
      "0-#{air}_#{hz}.txt" title 1 $lines 'red', ¥
      "0-#{air}.txt" title 1 $lines 'blue'

set origin 0.25,0

plot "< echo Hz ; sed -n 2p mean.txt" title 1 $lines 'white', ¥
      "mean_#{hz}.txt" title 1 $lines 'red', ¥
      "mean.txt" title 1 $lines 'blue'

fin

```

添付ファイル 160420b\_air.txt

```
@ air = 25    # width of upper air region obtained by "ImageJ"
```

添付ファイル 160420c\_air.txt

```
@ air = 40    # width of upper air region obtained by "ImageJ"
```

---

Date: Wed, 14 Jun 2017 16:44:43 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: Kentaro UESUGI  
Cc: 竹内, 松野, 三宅, 土'山, 杉本, 上梶, 北山, 松本, 伊神  
Subject: Re: 170516c のリングアーティファクトについて

---

うえすぎさま、  
なかのです。プログラム his2tm で抽出した「平均 singram」は生データではなく、SIXM で撮影した RP 画像の上の [1] 暗電流補正をした画素値の [2] 指定した領域での和、ですよ。こういう簡単な処理を行った後のデータも生データ？ 昔、日立工場の人に CT 画像の（8ビット画像に変換していない）生データを下さいと言ったら、CT 測定した X 線強度の生データを渡されたことを思い出しました（ぼくは腕に覚えがあったわけはありません）。とり急ぎ、

On Wed, 14 Jun 2017 15:52:52 +0900 Kentaro UESUGI wrote:

- > 中野さん
- > 上杉です
- >
- >> 6/8 の E-mails で紹介した「SIXM の X 線強度の時系列解析」の結果の「平均
- >> sinogram の power spectrum density (PSD)」の図ではダメなのでしょうか？
- >
- > 今やりとりしている人は「腕に覚えあり」の人で何かというと生データをよこせと言います。
- > 自分が納得すると動き出すので、とりあえず言われたデータを
- > 出している感じです。せっかく良いデータがあるんですけどねえ。

---

Date: Wed, 14 Jun 2017 20:14:31 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: 竹内  
 Cc: Kentaro UESUGI, 松野, 三宅, 土'山, 杉本, 上梶, 北山, 松本, 伊神  
 Subject: Re: 170516c のリングアーティファクトについて

---

たけうちさま、  
 なかのです。

- > 上杉さんのいうように、「生」に近いデータが必要なのと、
- > 腕に覚えのある人なのでとにかく数値データがほしい、ということだと思います。

6/8 の E-mails に書き忘れていましたが、それらで紹介した 5 月の SIXM 実験の 6 測定の平均 sinograms 全体の時系列のテキストデータも作っていました。計算機 vrm のディレクトリ /media/disk/tsukasa/1705/tm/ の中に置いてある gzip 圧縮した 6 個のファイル「測定番号.txt.gz」です。

測定番号 = 170513[a,b]、170515h および 170516[b,c,d]

これらのファイルの各行には以下の 5 個の値が並んでいます（ただし、1 行目は凡例で、2 行目以降がデータの値です）。

- [1] view : 投影番号もしくはサンプル回転のステップ番号
- [2] scan : 並進スキヤンの番号
- [3] time : その回転・並進スキヤンの測定時刻（単位は秒）
- [4] 0-air : 空気の部分の平均 sinogram の値（air は空気の層の幅の値）
- [5] mean : 鉛直方向全体の平均 sinogram の画素値

これらの巨大ファイルを御自由にお使い下さい。とり急ぎ、

On Wed, 14 Jun 2017 19:08:14 +0900 "TAKEUCHI, Akihisa" wrote:

> 中野さん

>

> ご協力ありがとうございます。

> 上杉さんのように、「生」に近いデータが必要なのと、

> 腕に覚えのある人なのでとにかく数値データがほしい、ということだと思います。

> あと、昨年同様のスタディをした際にも強度変動のプロファイルから直接許容範囲を決めていたので

> 今回のと比較するのに同様の形式がやりやすいのかと。

---

Date: Thu, 15 Jun 2017 10:36:38 +0900

From: Tsukasa NAKANO

To: 竹内

Cc: Kentaro UESUGI, 松野, 三宅, 土'山, 杉本, 上梶, 北山, 松本, 伊神

Subject: Re: 170516c のリングアーティファクトについて

---

たけうちさま、

なかのです。昨日の E-mail で紹介した

[vrm.spring8.or.jp:/media/disk/tsukasa/1705/tm/測定番号.txt.gz](http://vrm.spring8.or.jp:/media/disk/tsukasa/1705/tm/測定番号.txt.gz)

5月の SIXM 実験の 6 測定の平均 sinogram の時系列のテキストファイル

ですが、それらの 1 行目の凡例の文字列「time」を空白を含む文字列

sec. from 測定年/月/日 時:分:秒

に置換したもの（gzip 圧縮したテキストファイル「測定番号.txt.gz」）を計算機 vrm のディレクトリ /media/disk/bl47xu/1705\_SIXM/tm/ の下にコピーしておきました。御自由にお使い下さい。なお、この測定開始時刻は 5/24 の E-mail (Subject: SIXM 実験の測定時刻) の添付ファイル 1705\_time.csv に記されている値です。とり急ぎ、

Date: Thu, 15 Jun 2017 13:43:51 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: Kentaro UESUGI  
Cc: 竹内, 松野, 三宅, 土山, 杉本, 上楯, 北山, 松本, 伊神  
Subject: 電子ビームの揺らぎ

---

うえすぎさま、  
なかのです。昨日（6/14）の E-mail（後に貼り付けました）に書かれていたことに関する質問です。

(1)

> やはり電子ビームの軌道補正がきちんと出来ていませんね。  
> (目標値は強度変動で 0.5%以下 = 電子ビーム軌道変動量 7 $\mu$ m 以下)  
この「目標値」の強度変動はどれくらいの時間間隔における値ですか？ 例えば、  
1 秒間隔で強度をサンプリングした時のデータのばらつき  
1 時間の平均強度のばらつき  
などなど

6/8 の E-mail (Subject : SIXM の X 線強度の時系列解析) に添付したファイル 1705\_ts+pg.pdf (この E-mail に再度添付しました) の中央縦に並んだグラフを御覧下さい。それらはそれらの左側の平均 sinogram の上下中央付近の黄色の横線で示した横一列の画素値 (= X 線強度) のプロファイルで、青線 (およびそれと完全に重なっている赤線) が空気だけの部分の強度の値です。グラフの上端に記されている秒単位の測定時刻からわかるように、測定 170516c ではその強度の値は 1 秒以下の周期で  $\pm 2 \sim 3\%$  (画素値の変動の範囲が 10750 ~ 11250) 変動しています。また、平均 sinogram は横列ごとの値の変動が大 (つまり、平均 sinogram には「横縞」が顕著) なので、それよりも長い時間間隔の変動幅はもっと大きいと思われます。

(2)

> 170516c\_M.tif を ImageJ で読んで、11 行平均くらいの  
> 横プロファイルを 1 個描くと良いと言う事が分かりました (line\_profile.jpg)。  
この「11 行」は his2tm で作成した画像 170516c\_M.tif の「11 行の横列」の意味ですか？

his2tm で作成した平均 sinogram の画像の横一列の画素の値はサンプリングの時間間隔がおおよそ 20 ms (測定 170516c の場合) の X 線強度の測定値を表していますが、その列が違えば同じ横の位置の画素の値は  
横一列の測定に要した時間 (170516c では 10 秒以上)  
サンプルの並進位置を左から右に戻す時間 (数秒程度)  
の和だけ異なる時刻の測定値になります。つまり、「画像 170516c\_M.tif の上の 11 行の横列を平均する」は、「10 数秒ずつ異なる時刻に測定された 11 個の X 線強度の値を平均している」ことには何の意味がある？

On Wed, 14 Jun 2017 09:31:45 +0900 Kentaro UESUGI wrote:

- > 竹内さん
- >
- > 上杉です
- >
- > 結局下記コマンドで、各データを一列にすることは出来たのですが、
- > グラフ化するとノイズが多くちょっと分かりにくいので、
- > 170516c\_M.tif を ImageJ で読んで、11 行平均くらいの
- > 横プロファイルを 1 個描くと良いと言う事が分かりました(line\_profile.jpg)。
- > つまり必要だったコマンドは最初の 1 行のみ・・・
- > ということで、170516c\_M.tif をお送りします。
- > ちなみにこのデータは
- > 暗電流補正済みの RP(refraction profile) 画像の画素値の平均値
- > だそうです。変動量的には最大最小で 2% くらいです。
- > やはり電子ビームの軌道補正がきちんと出来ていませんね。
- > (目標値は強度変動で 0.5% 以下 = 電子ビーム軌道変動量 7 $\mu$ m 以下)
- > ...

添付ファイル 1705\_ts+pg.pdf

2017/6/8 13:04:01 の E-mail に添付したものと同じものなので省略します。

---

Date: Fri, 16 Jun 2017 14:48:20 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: Kentaro UESUGI  
Cc: 竹内, 松野, 三宅, 土'山, 杉本, 上梶, 北山, 松本, 伊神  
Subject: Re: 電子ビームの揺らぎ

---

うえすぎさま、

なかのです。待つのはかまいませんが、ぼくが (2) で問題にしたデータを「生データ」だと言って加速器グループ?の人に渡すのは止めてください。とり急ぎ、

On Fri, 16 Jun 2017 14:23:33 +0900 Kentaro UESUGI wrote:

- > 中野さん
- >
- > 上杉です
- >
- > これちょっと待ってください。今週手が回らなくて。

> Tsukasa NAKANO wrote:

>> うえすぎさま、

>> なかのです。今頃になって何ですが、昨日（6/14）の E-mail（後に貼り付けました）に

>> 書かれていたことに関する質問です。

>> …

Date: Fri, 16 Jun 2017 19:10:41 +0900

From: Tsukasa NAKANO

To: MATSUNO Junya

Cc: 竹内, Kentaro UESUGI, MIYAKE, 土山 明, Miyama Sugimoto, Masayuki Uesugi,  
北山晃, megumi matsumoto, Yohei IGAMI

Subject: Re: 170516c のリングアーティファクトについて

まつのさま、

なかの です。6/14 の上杉君からの E-mail に書かれていた方法というのは、

RI 画像の平均 sinogram  $SG(s,v)$  の投影番号  $v$  が異なる複数行の横列の位置  $s$  の各画素値の平均のライン  
プロファイル  $LP(s) = \langle SG(s,v) \rangle_v$  を計算する

ですか？ 昨晚の上杉君宛ての E-mail に書いたように、それを X 線強度の時系列の解析（X 線強度の揺らぎの  
評価）で行ってはいけません。投影番号が異なる X 線強度の測定時刻は連続しておらず、数秒の「飛び」があ  
ります。とり急ぎ、

On Fri, 16 Jun 2017 18:50:25 +0900 MATSUNO Junya wrote:

> 竹内さま、上杉さま、中野さま

> 松野です、なんども恐縮です。

>

> 2016A, 2016B について、6/14 の上杉さんのメールで書かれていた方法(に近い?)で、

> ノイズの大きさを評価してみました。

> 結論から言うと、2016A, B 共に試料の部分では騒ぎ立てるほどはのっていなさそうで、

> 0.数 %程度と思われます。(だから、こちらでは今まで見過ごしていたかと・・・)

>

> ついでに、2017A でもやってみましたので、それらの図をペタペタ貼っただけのパワポをお送りします。

>

> 今回調べたシノグラムは 8bit 化された物を用いた(手元にありました)のですが、

> 試料部分がよく見えるように 8bit 化されたはずなので、ノイズの大きさを指標に一応使っても

> いいのではないかと考えています。。

> 必要でしたら、生に近いデータ(?)を作成します。

>

> 以上、ご報告まで。

Date: Sat, 17 Jun 2017 11:13:58 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: MATSUNO Junya  
 Cc: 竹内, Kentaro UESUGI, MIYAKE, 土山 明, Miyama Sugimoto, Masayuki Uesugi,  
 北山晃, megumi matsumoto, Yohei IGAMI  
 Subject: Re: 170516c のリングアーティファクトについて

---

まつのさま、  
 なかのです。

> あまり理解していないままにご質問するのも恐縮なのですが、、  
 全然理解していませんね。

> 縦シマノイズは完全には縦ではなく、少し傾いていました。

> これは、

> > 投影番号が異なる X 線強度の測定時刻は連続しておらず、数秒の「飛び」があります。

> の「飛び」のせいなのでしょうか。

RI 画像の sinogram (平均 sinogram でも同じです) の値  $SG(s,v)$  の測定時刻を  $T(s,v)$  とします。これは SIXM のある回転角・並進スキャンで撮影した RP 画像の撮影時刻で、理想的には以下の式で表されるはずですが。

$$T(s,v) = T_0 + (dT1 \times s + dT2) \times v$$

$T_0$  : 測定開始時刻

$dT1$  : SIXM の並進スキャンの時間間隔 (5月の実験ではおよそ 1/50 秒)

$dT2$  : 並進スキャン終了後のステージの移動時間 (数秒)

これより、 $v$  が 1 異なる  $SG(s,v)$  の値は理想的には

$$T(s,v+1) - T(s,v) = dT2$$

だけ異なる時刻に測定した値です。そして、縦縞が傾いているのは  $dT2$  が  $dT1$  の整数倍ではないためですが、

縦縞の周期 (横画素数) は  $dT1$  の数倍程度 : 一定値とは限らない

$dT2$  (数秒) は  $dT1$  (1/50 秒) の 100 倍以上大きな値

なので、縦縞の周期と  $dT2$  が同期しているのは非常に稀で、かつ、 $dT2$  はサンプルステージの大移動に要する時間なので、それが常に一定値だとは言い難い。つまり、 $dT2$  は  $v$  に応じて変動していてもおかしくないので、 $v$  の値が異なる  $SG(s,v)$  の値を混ぜ合わせるのは危険です。これでわかりますかね? とり急ぎ、

On Fri, 16 Jun 2017 20:13:43 +0900 MATSUNO Junya wrote:

> 中野さま

> 松野です。ご返信ありがとうございます。

>

>> RI 画像の sinogram  $SG(s,v)$  の投影番号  $v$  が異なる複数行の横列の位置  $s$

>> の各画素値の平均のラインプロファイル  $LP(s) = \langle SG(s,v) \rangle_v$  を計算する

> で求めてみました。

>



- > あまり理解していないままにご質問するのも恐縮なのですが、、
- >
- > 縦シマノイズは完全には縦ではなく、少し傾いていました。これは、
- > >投影番号が異なる X 線強度の測定時刻は連続しておらず、数秒の「飛び」があります。
- > の「飛び」のせいなのでしょう。
- > とすると、縦方向の平均で出したノイズ強度は過小評価している可能性がある、
- > ということなのでしょう。
- >
- > 乱暴に考えると、 $10^\circ$  傾いていたとしても  $\cos 10^\circ \sim 0.98$  倍くらいの過小評価くらいなので、
- > 大体の指標には OK、、という気がするのですが。

Date: Sat, 17 Jun 2017 13:16:57 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Miyake, MATSUNO Junya  
Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", Masayuki Uesugi, 北山, megumi matsumoto, Sugimoto Miyama, 伊神  
Subject: SIXM の入射 X 線強度の推定法

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。以前から気になっていた SIXM の吸収 CT 画像の画質の悪さを何とかするため、その最大の原因だと思われる画像再構成の際の「入射 X 線強度  $I_0$  の推定 ( $I_0$  estimation) の方法」について色々と考えてみました。

(0)

その結論を先に言うと、

これまでに書いた SIXM 用の画像再構成プログラムで採用していたサンプル上部 (top) や両脇 (side) の領域の X 線強度だけを用いる単純な手法ではなく、それらを組み合わせた  $I_0$  の推定法(今の所は hybrid [0,1,2] 法のいずれか) を使えば SIXM の吸収 CT 画像の画質はかなり向上する  
です。特に、サンプルの両脇の X 線強度値を使って  $I_0$  を推定している現在のプログラムで再構成した測定 170516c の CT 画像に発生していたリングアーチファクトは hybrid [0,1,2] 法によってほぼ完全に除去できることを確認しました。

(1)

今回試した 5 種類の  $I_0$  の推定法の性能? を示す図も先にお見せします。この E-mail に添付した i0e\_t+s+h.pdf です。5 月の SIXM 実験の 3 測定それぞれの RI (raw X-ray intensity ; 暗電流補正済みの X 線強度) 画像の sinograms と、5 種類の方法 (top、side と hybrid [0,1,2] 法) のそれぞれで推定した  $I_0$  の値を使ってそのデータから計算した投影値 sinograms、および、それらから再構成した吸収 CT 画像を並べました。各画像の下にその画素の値の範囲 (最小値~最大値) を、また、各測定の左下に sinogram の画素数や画像再構成に使用したパラメータ値などを示しました (そこに記した記号の意味はわかりますよね?)。この図から (0) に書いた結論を確認できると思います。

(2)

ここからが本論です。以下では RI 画像の横 (水平) と縦 (鉛直) 方向の座標値を  $x$  と  $y$  とし、後述する 5 種類の方法のいずれかで推定した  $I_0$  の値を使って RI 画像上の値  $I(x,y)$  から投影値  $P(x,y) = \text{Log}[I_0 / I(x,y)]$  を計算します。ただし、6/8 の E-mail (Subject : SIXM の X 線強度の時系列解析) で説明したように、サンプル回転角が異なる RI 画像の測定時刻には「飛び」があるので、それらの画像の値を混ぜ合わせて使うのは危険? です。今回試した 5 種類の  $I_0$  の推定法ではサンプル回転角が同じ RI 画像ごとに処理を行います。

(3)

SIXM 実験の開始直後に書いた画像再構成プログラムで採用していた I0 の値の推定法 (top 法) の処理内容は以下の通りです。

top 法

RI 画像の最上部 (= サンプルの上部) に画素数  $N_t$  の幅の空気の層があるとする。その部分の縦 (y 方向) の画素列ごとの X 線強度の平均値をそれぞれの x 座標値の  $I_0$  の値と見なす。

$$I_0(x) = \sum_{y=0 \sim N_t-1} I(x,y) / N_t$$

また、5月の SIXM 実験で使っていた (現役の) 画像再構成プログラムでは以下の処理内容の side 法で  $I_0$  の値を推定しています。

side 法

RI 画像の左右の端 (= サンプルの両脇) に画素数が  $N_l$  と  $N_r$  の幅の空気の領域があるとする。それらそれぞれの領域における X 線強度の平均値を x 方向に線形補間した値を  $I_0$  として使う。

$$x_l = (N_l - 1) / 2$$

$$x_r = N_x - 1 - (N_r - 1) / 2$$

$$L(y) = \sum_{x=0 \sim N_l-1} I(x,y) / N_l$$

$$R(y) = \sum_{x=N_x-N_r \sim N_x-1} I(x,y) / N_r$$

$$I_0(x,y) = \{ (x_r - x) \cdot L(y) + (x - x_l) \cdot R(y) \} / (x_r - x_l)$$

ただし、 $N_x$  は RI 画像の横 (x) 方向の画素数

なお、side 法では  $N_l = 0$  or  $N_r = 0$  も許していて、その場合は幅が 0 でない領域の X 線強度の平均値  $L(y)$  or  $R(y)$  を x に関して一定値の  $I_0$  とします。

(4)

上記の top 法と side 法の問題点を示す図 [i0e\\_ri.pdf](#) をこの E-mail に添付しました。そこには 5月の SIXM 実験の 2 測定の RI 画像の sinogram 画像と、それら (および RI 画像) の上の x 方向の X 線強度のプロファイルのグラフが並んでいます。ただし、各測定の sinogram 画像の X 線強度と表示輝度の対応関係を同じにしてあります。また、グラフに描いた緑色の縦線は side 法で指定したサンプルの左・右の空気の領域の右・左端の位置を示しています。

測定 170516c の view = 129 のグラフから top 法の弱点がわかります。つまり、 $I_0$  (青線) がサンプルを透過した X 線の強度 (赤線) よりも小さい値になっています。言い換えると、RI 画像の X 線強度に y (鉛直) 方向の値の違い (空間分布) がある場合は top 法で決めた  $I_0$  の値は投影値の計算には不適當です。

また、[i0e\\_ri.pdf](#) のグラフを見る限り、測定 170516c の  $I_0$  を sid 法で問題なく推定できそうですが、sinogram 画像に含まれる微かな縦縞のためにその CT 画像に著しいリングアーチファクトが発生することは周知の事実

です。つまり、side 法で採用しているサンプルの両脇の値の線形補間ではサンプルの部分の I0 の変動をきちんと推定（再現）できません。

(5)

前述のように i0e\_ri.pdf に示した測定 170516c のグラフではサンプルの上部の X 線強度の平均値（青線）はサンプルを透過した X 線の強度の値（赤線）と大きく異なっていますが、それらの空間分布は似ている気がします。これは測定 170516d の3つのグラフでも同様です。やはり、変動している I0 の推定をサンプル上部の X 線強度の平均値を使って行うべきだと思います。そこで、top 法のようにサンプル上部の X 線強度の平均値そのものを I0 と見なすのではなく、その値に side 法で使ったサンプル両脇の値との「相関」を加味して I0 を推定する手法（hybrid 法）を試してみることにしました。

(6)

top 法と同一の式で計算したサンプル上部の空気の層の X 線強度の平均値を hybrid 法では T(x) と書くことにします。

$$T(x) = \sum_{y=0 \sim Nt-1} I(x,y) / Nt$$

そして、I0 はこの T(x) に比例した値だとします。

$$I0(x,y) = C(x,y) \cdot T(x)$$

ただし、ここで導入した比例係数 C(x,y) はサンプル回転角ごとの RI 画像の y 座標値の関数です。また、これは x 座標値の任意の関数でも良いですが、それでは計算が複雑になるので、今の所は x に関して定数（hybrid [0,1] 法）もしくは1次関数（hybrid 2 法）の場合だけを考えます。hybrid 法ではこの C(x,y) を side 法で使ったサンプル両脇の X 線強度の値から推定します。

なお、x 座標値の範囲指定の記述が面倒なので、以下では side 法で取り扱ったサンプル両脇の空気の領域（の x 座標値の範囲）における X 線強度 I(x,y) と T(x) の値を以下の定義に従う S(x,y) と Ts(x) で表します。

$$\begin{aligned} S(x,y) &\equiv I(x,y) && \text{when } x = 0 \sim Nl-1 \text{ or } x = Nx-Nr \sim Nx-1 \\ &\equiv 0 && \text{when } x = Nl \sim Nx-Nr-1 \\ Ts(x) &\equiv T(x) && \text{when } x = 0 \sim Nl-1 \text{ or } x = Nx-Nr \sim Nx-1 \\ &\equiv 0 && \text{when } x = Nl \sim Nx-Nr-1 \end{aligned}$$

(7)

hybrid [0,1] 法では x に関して定数の比例係数 C(y) を y ごとに決定します。

hybrid 0 法

サンプルの両脇の X 線強度 S(x,y) とサンプル上部の X 線強度の平均値 Ts(x) の比の単純な平均値を C(y)とする。

$$C(y) = \sum_{x=0 \sim Nx-1} \{ S(x,y) / Ts(x) \} / (Nl+Nr)$$

ただし、 $Ts(x) = 0$  の時は  $S(x,y) / Ts(x) = 0$  とする。

#### hybrid 1 法

$Ts(x)$  は平均値なので  $S(x,y)$  よりも信頼できる？と考えられるので、 $Ts(x)$  に誤差がないとした最小自乗法で式  $S(x,y) = C(y) \cdot Ts(x)$  の係数値  $C(y)$  を決める。

$$C(y) = \sum_{x=0 \sim Nx-1} \{ S(x,y) \cdot Ts(x) \} / \sum_{x=0 \sim Nx-1} \{ Ts(x)^2 \}$$

また、hybrid 2 法の  $C(x,y)$  は  $x$  の 1 次関数です： $C(x,y) = A(y) \cdot x + B(y)$ 。

#### hybrid 2 法

hybrid 0 法と同様に  $S(x,y) / Ts(x)$  を  $C(x,y)$  の測定値だとする。そのデータを当てはめた  $x$  に関する 1 次式  $C(x,y) = A(y) \cdot x + B(y)$  の係数値  $A(y)$  と  $B(y)$  を最小自乗法で決める。

やや複雑なので、 $A(y)$  と  $B(y)$  の計算式の記載は省略します。

#### (8)

以上のような 5 種類の I0 の推定法を実際に試した結果の図が (1) で紹介した [i0e\\_t+s+h.pdf](#) です。これらを眺めていると (0) に書いた結論以外で気になることがあります。それは測定 170516d の投影値 sinogram に複数個ある横方向に伸びている短い「白線」の偽像で、hybrid [0,1,2] 法で除去できていません。

#### (9)

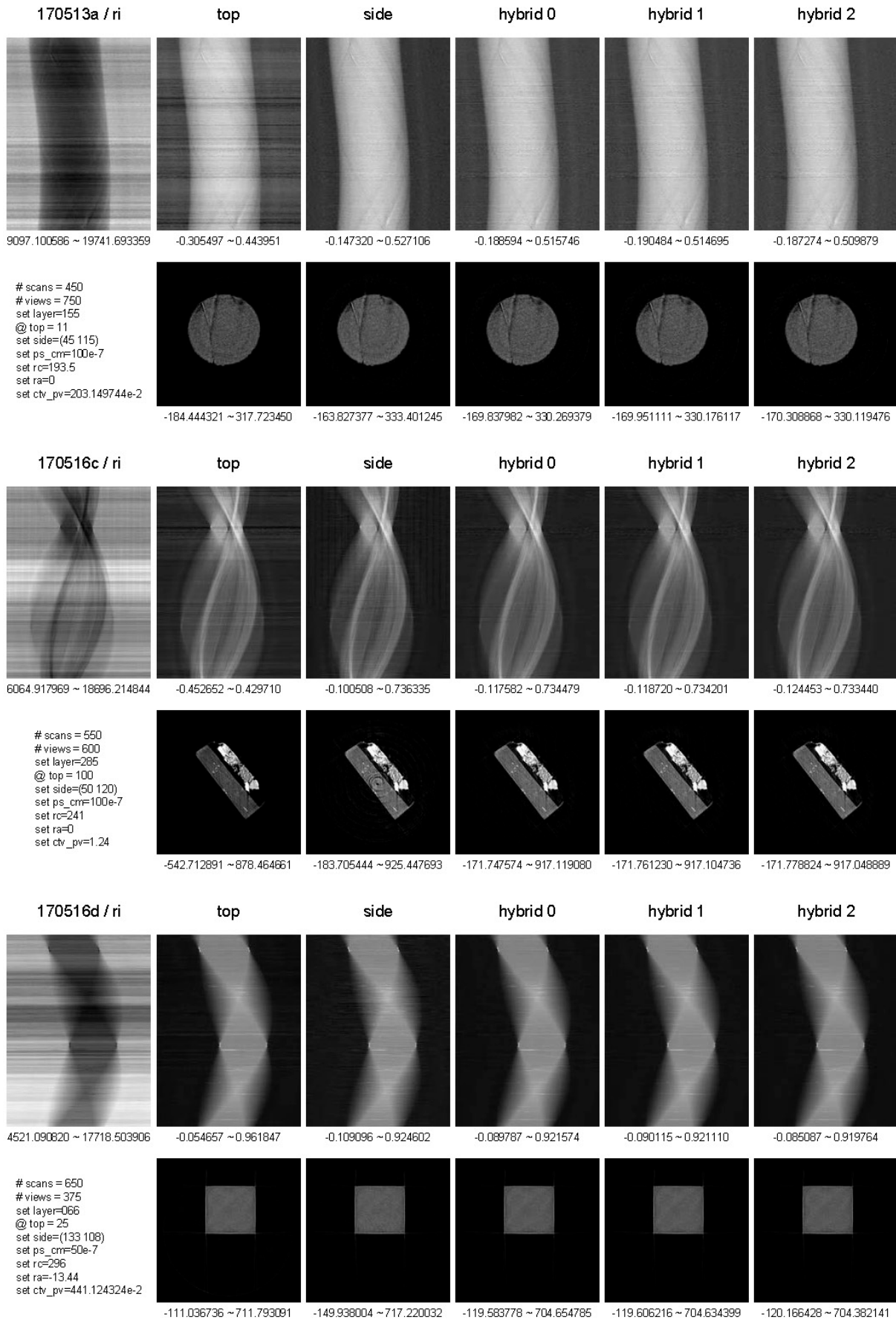
その様相を詳しく見るため、この E-mail に添付した [i0e\\_ri.pdf](#) に白線の偽像が発生している 170516d のサンプル回転角 (view) が 225 とその前後の view の  $T(x)$  (青線) および  $I(x,y)$  (赤線) の  $x$  方向のプロファイルを描きました。これらの  $x = 230$  付近の「凹み」に注目して下さい。view = 225 ではそれは  $T(x)$  と  $I(x,y)$  の両方にあります。つまり、この凹みは入射 X 線の強度変動によるものだと思いますが、それは view = 224 の  $T(x)$  と view = 226 の  $I(x,y)$  にはありません。非常に不思議です。なお、170516d の layer = 066 の sinogram 画像からわかるように、 $x = 230$  付近には物体像はありません。

#### (10)

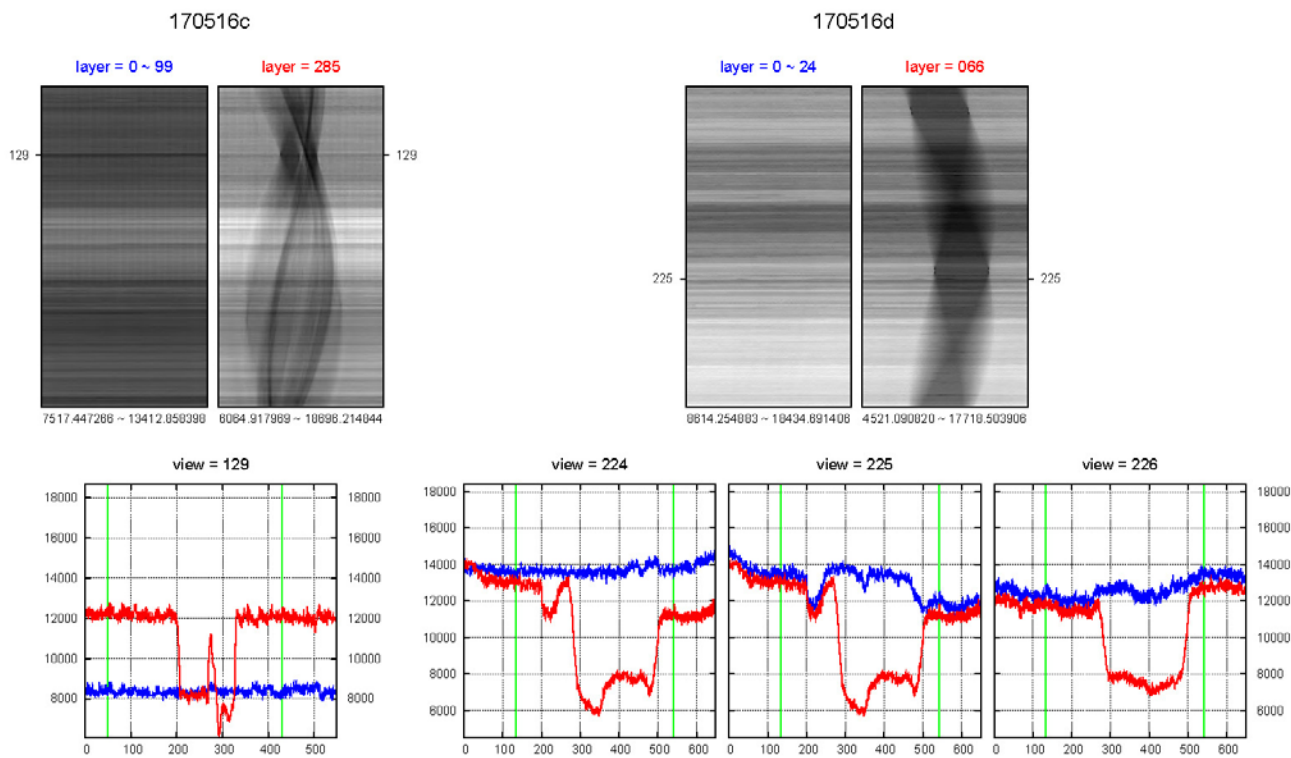
170516d の投影値 sinogram の白線の偽像の正体を知るため、RI 画像より雑音が少ない RR 画像を眺めてみました。この E-mail に添付した [170516d\\_rr.jpg](#) です。その左右端の黒横線の位置が RI 画像に白線の偽像が発生している layer = 066 です。view = 225 の RR 画像上のその位置にモヤモヤした白い像があります。これは RI 画像の偽像と同じ原因で生じた偽像だと思いますが、両者の関係は不明です。いずれにせよ、今回試したような簡単な I0 の推定法では 170516d の投影値 sinogram の白線の偽像を除去するのは難しいようです。

長い E-mail になりました。とりあえず以上です。

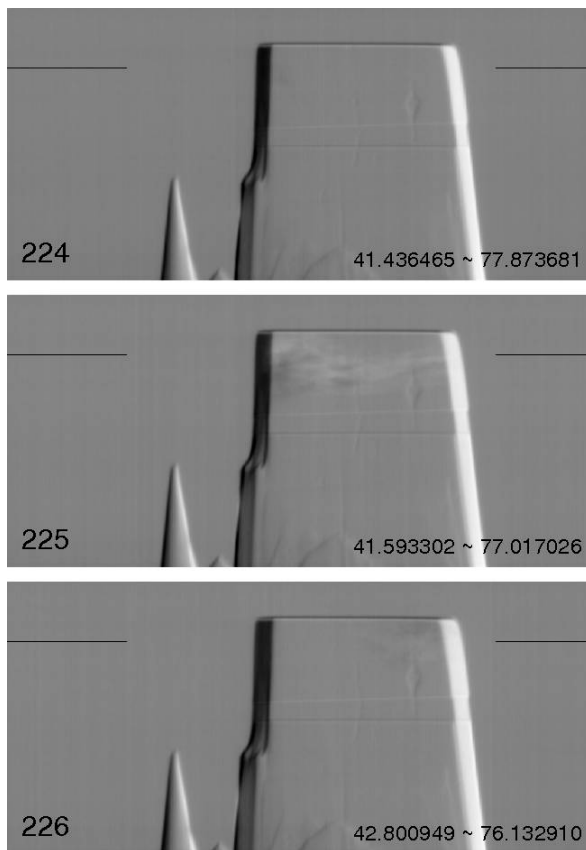
添付ファイル i0e\_t+s+h.pdf



添付ファイル i0e\_ri.pdf



添付ファイル 170516d\_rr.jpg



Date: Mon, 19 Jun 2017 10:56:24 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: Akira TSUCHIYAMA  
Cc: Kentaro UESUGI, Akihisa TAKEUCHI, Miyake, MATSUNO Junya,, Masayuki Uesugi,  
北山, megumi matsumoto, Sugimoto Miyama, Yohei IGAMI  
Subject: Re: SIXM の入射 X 線強度の推定法

---

つちやまさま、  
なかのです。

(1)

今回のテストで使ったプログラムは1枚のスライス画像の I0 の推定しかできないので、とりあえず5月のSIXM 実験の3測定のうち1枚ずつの吸収 CT 画像の画素値ヒストグラムを調べました。その図がこの E-mail に添付した i0e\_hg.pdf です。横軸下部に記した数値の単位は 1/cm、上部は画素値の諧調 0～255 です。測定 170513a (AV 貝 AV-3 を撮影) と 170516d (ニッケル角柱 Ni-3) はサンプルの LAC の理論値を画素値 100 に、また、170516c (橋口サンプル) は (side 法を採用しているプログラムで再構成した) CT 画像の画素値ヒストグラムのピークの位置が画素値 100 に対応しています。なお、先に言っておくと、今回試した hybrid 法は SIXM の入射 X 線強度の **時系列** に含まれている 2 および 4 Hz の揺らぎを除去することを目的としているので、ヒストグラムのピークの幅は大きく変わらないはずですが (これらの簡単な補正法でその幅が狭くなると嬉しいのですが)。

(2)

RP 画像から得られるサンプルによる「屈折角」はある意味「絶対値」なので、位相 CT 画像には hybrid 法を使わないつもりです。むしろ、現在の位相 CT 用再構成プログラムで使っている side 法を top 法に戻そうかと思っています。

とり急ぎ、

On Sun, 18 Jun 2017 10:43:18 +0900 Akira TSUCHIYAMA wrote:

> 中野さん

>

>> ところで、画素はどうなりますか？

> は、

> 画素ヒストグラムは？

> です。

>

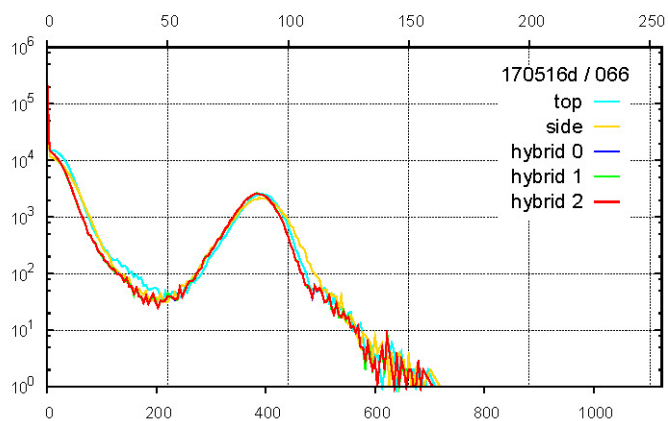
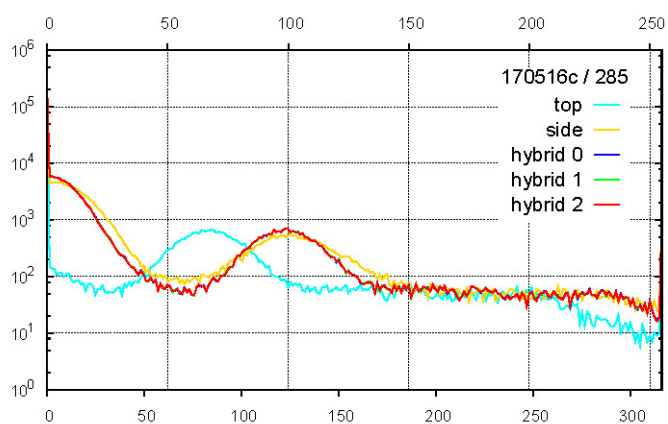
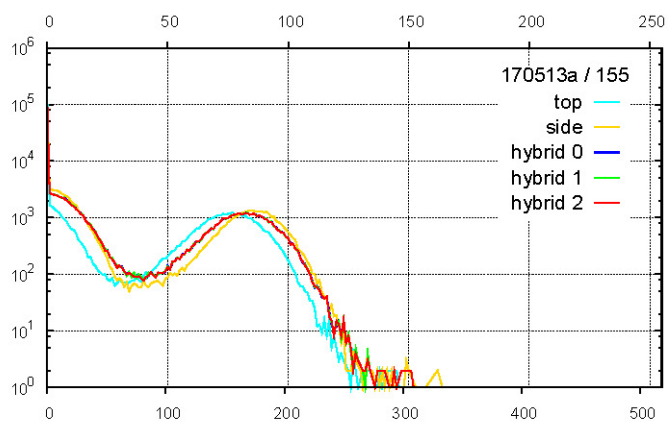
>> 2017/06/17 21:45、Akira TSUCHIYAMA のメール:

>> 中野さん



- >>
- >> ご連絡ありがとうございました。
- >>
- >> まずは、hybrid [0,1,2] 法が有効そうで、何よりです。
- >> ところで、画素はどうなりますか？
- >>
- >> また、位相像はどうなるのでしょうか？

添付ファイル i0e\_hg.pdf



Date: Mon, 19 Jun 2017 15:36:38 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: Akira TSUCHIYAMA  
 Cc: Kentaro UESUGI, Akihisa TAKEUCHI, Miyake, MATSUNO Junya, Masayuki Uesugi,  
 北山晃, megumi matsumoto, Sugimoto Miyama, Yohei IGAMI  
 Subject: Re: SIXM の入射 X 線強度の推定法

---

つちやまさま、  
 なかのです。

(1)

> 170513a では反対にピーク幅がやや

> 広がっている（ピーク位置もずれている）ように見えますね。

これは hybrid 法（および top 法）で I0 の推定に使った RI 画像の上端（== サンプル上部）の 10 画素の幅の空気の層に「怪しい像」が写っているためだと思われます。それが良くわかる 6/8 の E-mail（Subject: SIXM の X 線強度の時系列解析）に添付した 1705\_mean.pdf を再度添付しますので、御覧下さい。1 ページ目の最上段のラベル「170513a/0-10」付きのものが hybrid 法で使った空気の層の X 線強度 T(x) に対応している平均 sinogram SG(x,v) の画像です。その段の左端の「サンプル回転角が 0 の状態の R 画像（170513a / ri\_0）」に黄色の線で示したように、この y = 0~10 の空気の層にはサンプルはないですが、X 線の散乱？に由来する偽像が写り込んでいます。これが hybrid 法による I0 の推定を乱しているのだと思います。

(2)

> ところで、位相像で top 法に戻すことを考える理由は何でしょうか。

その理由は 2015/10/19 の E-mail

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_mails.pdf#page=102](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_mails.pdf#page=102)

で紹介した位相 CT 画像の再構成で使う RR（raw X-ray refraction）画像の画素値の計算法の制約条件？に関係します。ただ、竹内さんによると、ぼくがそこで導き出した条件式は間違っているようなので、それを使わずに説明してみます。

RR 画像の画素値は SIXM のスキンの各ステップで撮影した RP（refraction profile）画像の水平（h）方向の重心の位置であり、その計算の過程で RP 画像の X 線強度の値 RP(h) はキャンセルされます：

$$\text{重心の位置} = \int h \cdot \text{RP}(h) \, dh / \int \text{RP}(h) \, dh。$$

その意味で、RR 画像の画素値（== サンプルによる屈折角）はサンプルへの入射 X 線強度に鈍感な「絶対値」に近い値と言えます。ただし、位相 CT 画像を再構成するには（吸収 CT 画像用の I0 に相当する）屈折角の「ゼロ点の値」が必要です。屈折角を決める RP(h) の重心の計算式は（ぼくが導出した条件式が示すように）X 線強度 RP(h) の h 方向の勾配に敏感なので、ゼロ点は同じ測定時刻の空気の屈折角を使うのが望ましい。それゆえ、位相 CT の場合は異なる測定時刻の値を使う side 法ではなく、I0 の値が多少違っていても同じ測定時刻の値を使う top 法を採用すべきだと考えました。これでわかりますかね？

On Mon, 19 Jun 2017 13:31:12 +0900 Akira TSUCHIYAMA wrote:

- > 中野さん
- >
- > 早速ありがとうございます。
- >
- > 確かに top 法以外は、ヒストグラム大きく変わっていませんね。
- > hybrid 法ではほとんど同じですが、side 法に比べて 170516c/285 と 170516d/066 は
- > ピーク幅が狭くなっていますが、170513a では反対にピーク幅がやや
- > 広がっている（ピーク位置もずれている）ように見えますね。
- >
- > ところで、位相像で top 法に戻すことを考える理由は何でしょうか。

添付ファイル 1706\_mean.pdf

2017/6/8 13:04 の E-mail に添付したものと同じものなので省略します。

---

Date: Tue, 20 Jun 2017 20:25:16 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: "TSUCHIYAMA, Akira"  
 Cc: Kentaro UESUGI, Akihisa TAKEUCHI, Miyake, MATSUNO Junya,  
 megumi matsumoto, 北山晃, Sugimoto Miyama, Yohei IGAMI  
 Subject: SIXM の屈折量の原点補正法

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。実例を見せないとつちやまさんに納得してもらえない感じなので、6/17 の E-mail で紹介した SIXM の RI 画像用の入射 X 線強度  $I_0$  の推定で使った top、side および hybrid [0,1,2] 法を流用した位相 CT 用の RR 画像の上の X 線屈折量  $R$  の「原点補正」の処理を実行してみました。

RI (raw X-ray intensity) 画像に対する吸収 CT 画像の再構成の前処理：

top 法などで RI 画像の画素値  $I$  から X 線の吸収が 0 の場合の値  $I_0$  を推定し、吸収 CT の画像再構成に使う投影値  $P = \ln[I_0 / I]$  を計算する。

RR (raw X-ray refraction) 画像に対する位相 CT 画像の再構成の前処理：

top 法などで RR 画像の画素値  $R$  から X 線の屈折が 0 の場合の値  $R_0$  を推定し、位相 CT の画像再構成に使う原点補正済みの値  $P = R - R_0$  を計算する。

これらの画像再構成の前処理のうち top 法などによって行う前半の処理内容はまったく同じで、後半は「画像再構成に使う値  $P$ 」の計算式が異なるだけです。つまり、ここで行った処理は 6/17 の E-mail で紹介した処理用に書いたプログラムのコードを少しかき換えたもので実行することができました。

これらの後に行う吸収 CT と位相 CT の画像再構成の処理内容には若干の相違があります。特に、位相 CT の画像再構成では「再構成フィルタ」による位相回復処理（Pfeiffer、2007）を行います。

この E-mail に添付した r0e\_t+s+h.pdf に 5 月の SIXM 実験の 3 測定それぞれの RR 画像の sinograms、top、side と hybrid [0,1,2] 法のそれぞれを用いて作成した原点補正済みの X 線屈折量の sinograms、および、それらから再構成した位相 CT 画像を示しました。6/17 の E-mail の添付ファイル i0e\_t+s+h.pdf に示した吸収 CT の同様な処理結果と比較してみてください。また、r0e\_t+s+h.pdf のそれぞれの位相 CT 画像の画素値ヒストグラムも調べました。この E-mail に添付した r0e\_hg.pdf です。

原点補正済みの X 線屈折量の sinograms と位相 CT 画像の画質、および、その画素値ヒストグラムの形状は top、side と hybrid [0,1,2] 法のどれを使って得たものもほぼ同じです。ただし、side 法を使って再構成した測定 170516c の位相 CT 画像に生じている微かなリングアーチファクトは top および hybrid [0,1,2] 法を使った画像には見当たりません。このことは r0e\_t+s+h.pdf の画像では確認しづらいので、各画素値の平方根に比例した表示輝度の情報を埋め込んだ以下の画像をこの E-mail に添付しました。

170615c\_285\_t.gif

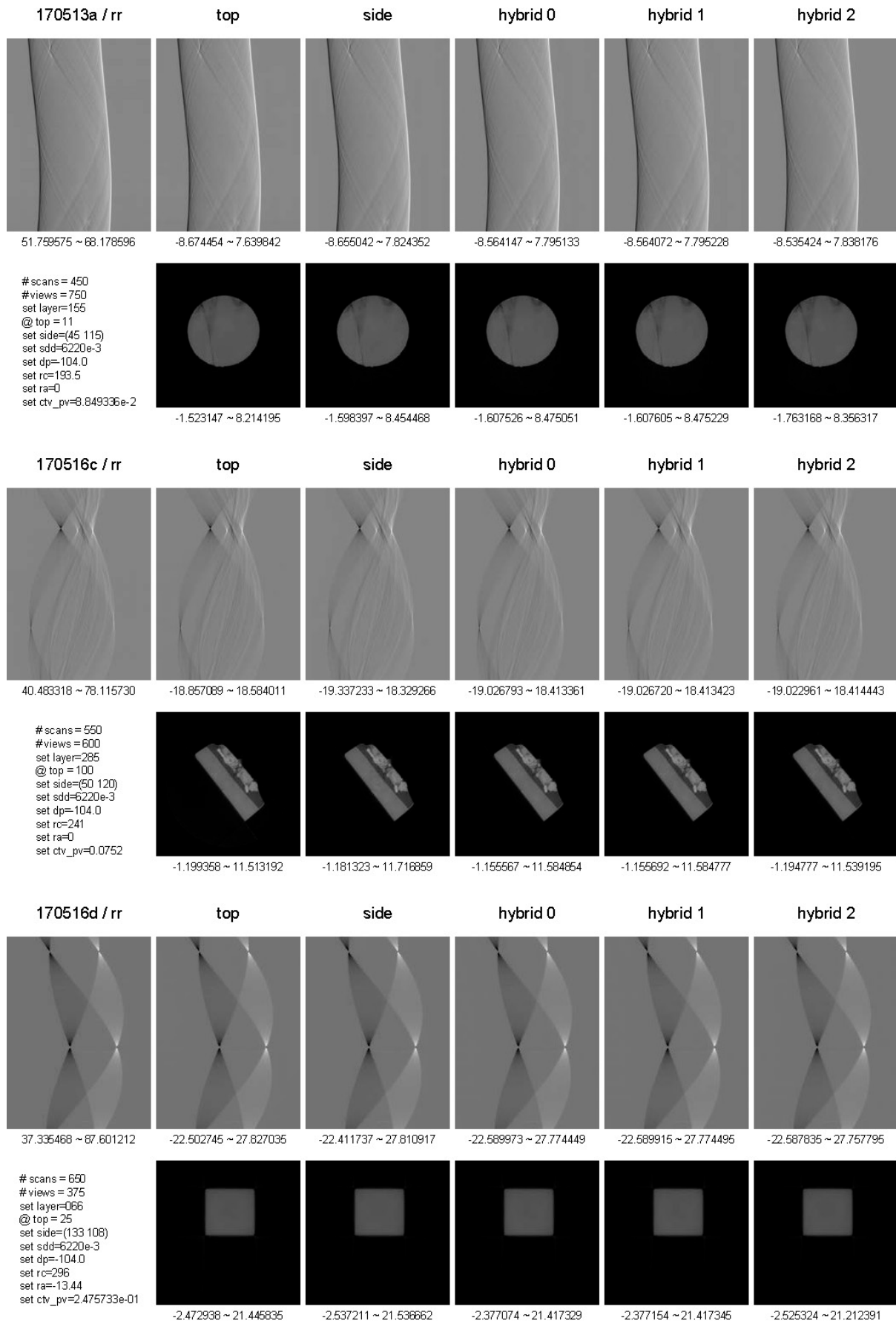
top 法を使って再構成した 170516c の layer 285 の位相 CT 画像

170615c\_285\_s.gif

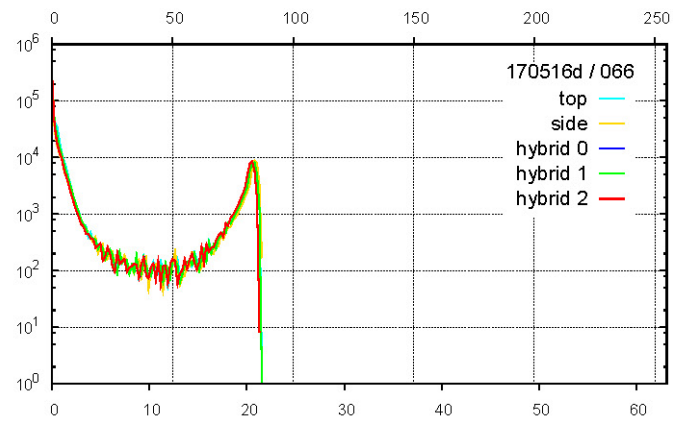
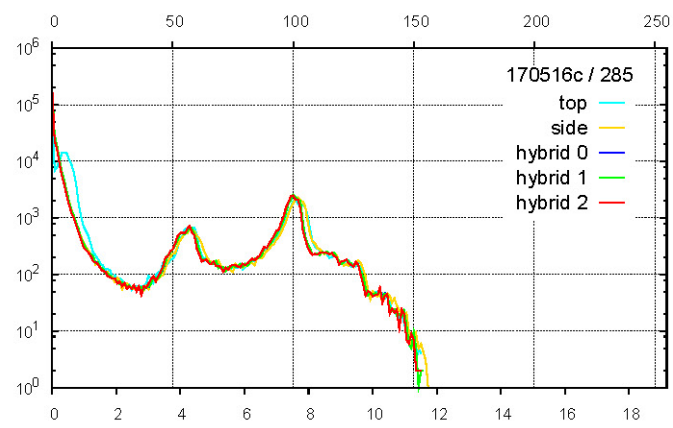
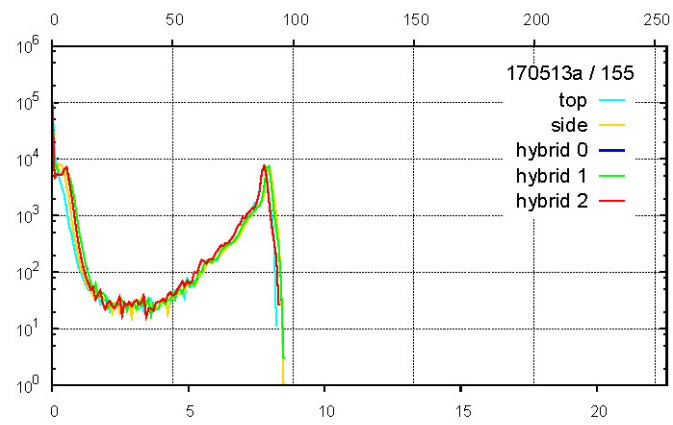
side 法を使って再構成した 170516c の layer 285 の位相 CT 画像

と言うわけで、位相 CT 画像のリングアーチファクトの発生を防げない（現在のプログラムで使っている）side 法は不適當であり、それ以外の手法で得られる結果には大差がないので、RR 画像の X 線屈折量の原点補正を（hybrid [0,1,2] 法よりも単純な）top 法で行うべきと考えた次第です。とり急ぎ、

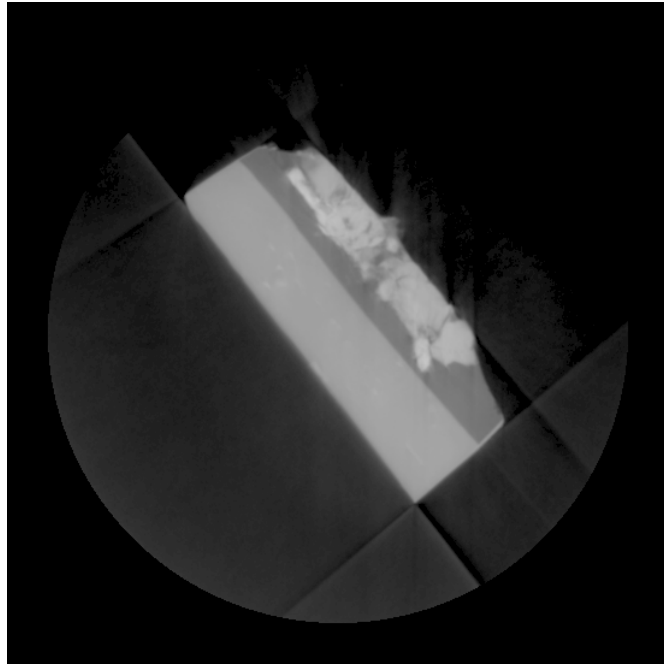
添付ファイル r0e\_t+s+h.pdf



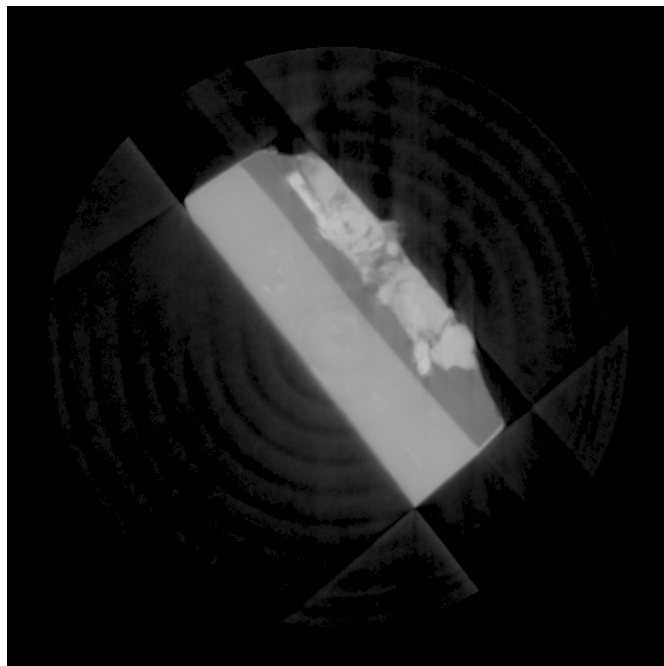
添付ファイル r0e\_hg.pdf



添付ファイル 170615c\_285\_t.gif



添付ファイル 170615c\_285\_s.gif



Date: Fri, 07 Jul 2017 13:37:51 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Miyake, MATSUNO Junya  
 Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", 北山, megumi matsumoto, Sugimoto Miyama, 伊神  
 Subject: SIXM 用の新しいプログラムのプロトタイプ

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。6/17 と 6/20 の E-mails でそれぞれ紹介した SIXM の「RI (raw intensity) 画像用の入射 X 線強度 I0」と「RR (raw refraction) 画像用の X 線屈折量の原点の位置 R0」の推定・補正用に書いたプロトタイプのプログラム群のソースコードの類を以下の書庫ファイルにまとめました：

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm\\_mf.taz](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm_mf.taz)

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm\\_mf.zip](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm_mf.zip)

実は、6/17 と 6/20 の E-mails を書いた後に、

- (a) それらで紹介した RI や RR 画像用の I0 や R0 の値を推定・補正するための hybrid [0-2] 法の改良版 (hybrid 3 法) を試しました。

さらに、

- (b) 「mountain flattening (MF)」と名付けた新しい手法を用いて SIXM の HIS 形式測定データファイルからこれまでのものとは異なる内容の RI と RR 画像を抽出し、それらから top、side と hybrid [0-3] 法で I0 や R0 を推定して吸収や位相の CT 画像を再構成してみました。

書庫ファイル "sixm\_mf.\*" に入れたプログラム his2raw は (b) の MF の処理を行わずに従来のものと同内容の RI と RR 画像を作ることもできます。そして、6/17 と 6/20 の E-mails で紹介したほぼすべての処理を書庫ファイルに入れたプログラムだけで実行できるので (b) に関する話は後回しにして、まずは (a) の hybrid 3 法と書庫ファイルに入れたものの説明を行うことにします。

#### (1) hybrid 3 法について

新しい hybrid 3 法だけでなく 6/17 の E-mail に記した top、side と hybrid [0-2] 法についてもここで改めて紹介します。6/20 の E-mail に書いたように、その後に行う画像再構成用の「投影値」の計算式を除けば RI 画像用の I0 と RR 画像用の R0 に関する推定処理の内容はまったく同じなので、ここでは、サンプル回転角ごとの RI 画像の値を  $I(x,y)$  とし、それらのうちの「空気」を撮影した値をもとにしてサンプルを撮影した画素に対する I0 の値を推定する際に使う式だけを以下に記すことにします。

ここで使う「RI 画像上の空気の領域における  $I(x,y)$  などの平均値」の記法

$\langle I(x,y) \rangle_{y\_in\_TOP}$  : RI 画像の上端の空気の領域 (TOP) における  $I(x,y)$  の平均値



$$\langle I(x,y) \rangle_{_x\_in\_LEFT}$$

$$\langle I(x,y) \rangle_{_x\_in\_RIGHT}$$

$$\langle I(x,y) \rangle_{_x\_in\_SIDE}$$

RI 画像の左右端の空気の領域での  $I(x,y)$  の平均値。ただし、RI 画像の左端の領域を LEFT、右端を RIGHT、そして、それら両方を SIDE と表記している。

top 法による  $I_0$  の値の推定の式

$$I_0(x) = \langle I(x,y) \rangle_{_y\_in\_TOP}$$

side 法

$$xL = \langle x \rangle_{_x\_in\_LEFT}$$

$$xR = \langle x \rangle_{_x\_in\_RIGHT}$$

$$L(y) = \langle I(x,y) \rangle_{_x\_in\_LEFT}$$

$$R(y) = \langle I(x,y) \rangle_{_x\_in\_RIGHT}$$

$$I_0(x,y) = L(y) + \{ R(y) - L(y) \} \cdot (x - xL) / (xR - xL)$$

hybrid [0-3] 法

$I_0$  が以下の式で表されると仮定する。

$$\text{hybrid [0,1] 法 : } I_0(x,y) = C(y) \cdot T(x)$$

$$\text{hybrid [2,3] 法 : } I_0(x,y) = \{ A(y) \cdot x + B(y) \} \cdot T(x)$$

ただし、

$$T(x) = \langle I(x,y) \rangle_{_y\_in\_TOP}$$

$I_0$  の表式に含まれている未知の係数値  $C(y)$ 、 $A(y)$  と  $B(y)$  として以下の平均自乗残差  $MSD[0-3](y)$  の値を最小にする値を使う（最小自乗法）。

$$\text{hybrid 0 法 : } MSD_0(y) = \langle \{ C(y) - I(x,y) / T(x) \}^2 \rangle_{_x\_in\_SIDE}$$

$$\text{hybrid 1 法 : } MSD_1(y) = \langle \{ C(y) \cdot T(x) - I(x,y) \}^2 \rangle_{_x\_in\_SIDE}$$

$$\text{hybrid 2 法 : } MSD_2(y) = \langle \{ A(y) \cdot x + B(y) - I(x,y) / T(x) \}^2 \rangle_{_x\_in\_SIDE}$$

$$\text{hybrid 3 法 : } MSD_3(y) = \langle \{ (A(y) \cdot x + B(y)) \cdot T(x) - I(x,y) \}^2 \rangle_{_x\_in\_SIDE}$$

なお、hybrid 0 法の  $MSD_0(y)$  を最小にする  $C(y)$  は以下の式になる。

$$C(y) = \langle I(x,y) / T(x) \rangle_{_x\_in\_SIDE}$$

測定値  $I(x,y)$  を積算して雑音を抑えた  $T(x)$  を「独立変数」として使っているため、hybrid 0 より 1 法の方が、また、hybrid 2 より 3 法の方が  $I_0$  の推定精度が高いはずですが、そして、位置  $x$  に応じた  $T(x)$  のスケーリングを行っているため、hybrid [0,1] より [2,3] 法の  $I_0$  の方が測定値に適応した推定値になっていることは言うまでもありません。

(2) 書庫ファイル "sixm\_mf.\*" に入れたプログラムなどについて

(2-1) プログラムのインストール

Linux、MacOS X や MinGW の計算機環境なら書庫ファイル "sixm\_mf.\*" を展開したディレクトリ sixm\_mf に移動して "make" と端末入力するだけですべてのプログラムをコンパイルできるはずですが、MinGW で得た gcc でコンパイルした 32 bit Windows 用実行ファイル "\*.exe" を書庫ファイルに入れておきました。

一部は「とりあえず」のものなので、これらのプログラムすべてを実行ファイル用の既存のディレクトリにコピーするのではなく、ディレクトリ sixm\_mf の絶対パスをシステムの実行パスに登録しておく（もしくは、カレントディレクトリを実行パスに登録し、ディレクトリ sixm\_mf で処理を行う）のが良いでしょう。

(2-2) 書庫ファイル "sixm\_mf.\*" に入れたプログラムの概要

今回用意したプログラムを使えば SIXM の測定で得た HIS 形式データファイルをもとにした画像再構成の一連の処理がとりあえず可能です。ただし、

- [1] サンプルの回転中心を推定するプログラムは用意していません。
- [2] 1 枚のスライス画像を再構成するプログラムしかありません。複数枚のスライス画像の再構成は shell script で実行して下さい（後注参照）。
- [3] 画像再構成をマルチスレッドや GPU を使って実行できません。ただし、画像再構成プログラム sg2tg\_f\_[a,p] は CBP engine を利用しているので、それをマルチスレッドや GPU 版に取り替えることは可能です。
- [4] sg2tg\_f\_[a,p] は再構成画像を 32 bit 浮動小数点数画素値の TIFF のファイルに書き込みます。プログラム t2t\_float を使えばそれを通常の整数画素値の TIFF に変換したり、その画素値ヒストグラムのデータを整数画素値の TIFF に変換せずに取得することができます。

注

こちらの主力計算機 (gsjgix) で実行すると、5 月の SIXM 実験の測定の吸収と位相 CT 画像のそれぞれを以下の処理時間で再構成できました。

測定 170513a (450 scans · 750 views · 299 layers) : 1000 秒強  
 170516c (550 · 600 · 498) : 2900 秒強  
 170516d (650 · 375 · 302) : 900 秒強

書庫ファイル "sixm\_mf.\*" に入れたプログラムの概要は以下の通りです。

以下のプログラムは今後改造して実用に供するもののプロトタイプ

his2rp

SIXM の測定で得た HIS 形式データファイルから暗電流補正済みの 1 枚の RP(refraction profile)

画像を取り出す。

#### his2raw

起動パラメータの指定に応じて mountain flattening 処理を行いつつ HIS 形式データファイルから吸収と位相 CT 画像の再構成に必要な十分な RI と RR 画像を抽出する。

以下のものはとりあえず書いたプログラム

#### raw2sg

RI もしくは RR 画像の値を格納した 1 枚の sinogram を抽出する。

[i,r]0e\_t、[i,r]0e\_s と [i,r]0e\_h\_[0-3]

top (\_t)、side (\_s) および hybrid\_[0-3] (\_h\_[0-3]) 法を用いて R[I,R] 画像から [I,R]0 の値を推定し、それを用いて計算した X 線の投影値や「原点補正済みの屈折量」の 1 枚の sinogram を作成する。

以下のものは今後も使う予定だが、実用的ではないプログラム

#### sg2tg\_f\_[a,p]

X 線の投影値や屈折量の 1 枚の sinogram から X 線の吸収 (\_a) もしくは位相 (\_p) の 1 枚のスライスの CT 画像を再構成する。

既存の汎用プログラム

#### t2t\_float

浮動小数点数画素値の TIFF (float-TIFF) のファイルを整数画素値の TIFF (integer-TIFF) のものに変換するプログラム。起動パラメータの指定に応じて画素値ヒストグラムのデータを抽出することもできる。

#### bin2t\_f と t\_f2bin

sinogram などを格納したバイナリファイルを float-TIFF ファイルに変換するプログラムとその逆を行うプログラム。

#### txt2t\_f と t\_f2txt

テキストデータとして与えた画像ファイルを float-TIFF ファイルに変換するプログラムとその逆を行うプログラム。

オマケの C-shell scripts

rp.csh : his2rp のフロントエンド。

mf.csh : RP 画像に対して mountain flattening 処理を行った画像を作成する。

### (2-3) 個々のプログラムの起動法と起動パラメータの説明

#### his2rp

##### 起動法

his2rp HIS {darks} RP\_number RP.tif

##### 起動パラメータ

HIS : HIS 形式測定ファイルのパス名

darks : 暗電流画像の枚数。指定省略時は生の RP 画像を抽出する。

RP\_number : HIS ファイルの上の RP 画像のシーケンス番号 (0 ~)

RP.tif : RP 画像を格納する float-TIFF のファイルのパス名

rp.csh

起動法

```
rp.csh log&HIS view scan {RP.tif}
```

起動パラメータ

log&HIS

HIS 形式測定ファイルと SIXM のログファイルのパス名の接頭語。それらのパス名が DIR/a.HIS と DIR/a.log なら「DIR/a」を指定すれば良い。

view と scan

抽出したい RP 画像のシーケンス番号に対応している SIXM の回転と並進スキンのステップ番号

RP.tif

RP 画像を格納する float-TIFF のファイルのパス名。指定を省略すると、his2rp の起動に必要な HIS ファイルの上の暗電流画像の枚数と RP 画像のシーケンス番号を標準出力に書き出す。

his2raw

起動法

```
his2raw HIS scans views darks {Wm Ws} RI/ RR/ >raw.log
```

起動パラメータ

HIS : HIS 形式測定ファイルのパス名

scans、views と darks

SIXM の並進スキンおよび回転のステップ数と暗電流画像の枚数。SIXM の測定ログのファイル (a.log) の先頭行に書き込まれているコンマ区切りの 1 ~ 3 番目の値を転記すれば良い。

Wm と Ws

mountain flattening (MF) で使用する「山の半幅 ( $\geq 0$ )」と「サンプリング領域の幅 ( $\geq 2$ )」。これらの値の指定を省略すると MF の処理を行わない。

RI/ と RR/ : RI と RR 画像を格納するディレクトリのパス名

raw.log

RI および RR 画像のそれぞれの上の値の範囲を書き込むファイルのパス名。各行にタブコード区切りで以下の 5 個の値が並んでいる。

[1] SIXM の回転のステップ番号

[2,3] その状態の RI 画像の上の画素値の最小値と最大値

[4,5] その状態の RR 画像の上の画素値の最小値と最大値

mf.csh

起動法

```
mf.csh RP.tif Wm Ws MF.tif
```

起動パラメータ

RP.tif : RP 画像の float-TIFF のファイルのパス名

Wm と Ws

mountain flattening (MF) で使用する山の半幅 ( $\geq 0$ ) とサンプリング領域の幅 ( $\geq 2$ )。これらの値の指定は省略できない。

MF.tif : MF 処理の結果を格納する float-TIFF ファイルのパス名

raw2sg

起動法

```
raw2sg raw/ NF layer SG.bin
```

起動パラメータ

raw/ : RI もしくは RR 画像が入っているディレクトリのパス名

NF

そのディレクトリの下にあるファイル名を指定する「name file」。通常はハイフン "-" を指定すれば良い。

layer : sinogram を取り出すレイヤー (スライス) の番号

SG.bin

sinogram のデータを書き込むバイナリファイルの名前。ハイフン "-" を指定するとデータを標準出力に書き込む。

[i,r]0e\_t, [i,r]0e\_s と [i,r]0e\_h\_[0-3]

起動法

```
[i,r]0e_t R[I,R]/ NF top layer SG.bin
```

```
[i,r]0e_s R[I,R]/ NF left right layer SG.bin
```

```
[i,r]0e_h_[0-3] R[I,R]/ NF top left right layer SG.bin
```

起動パラメータ

R[I,R]/ と NF

R[I,R] 画像のファイルが入っているディレクトリのパス名とその下にあるファイルの指定のための「nameFile」。通常は NF としてハイフン "-" を指定すれば良い。

top : R[I,R] 画像の上端の空気の領域の幅 (画素数)

left と right : R[I,R] 画像の左右端の空気の領域の幅 (画素数)

layer : sinogram を取り出すレイヤー (スライス) の番号

SG.bin

sinogram のデータを書き込むバイナリファイルの名前。ハイフン "-" を指定するとデータを標準出力に書き込む。

sg2tg\_f\_[a,p]

起動法

```
sg2tg_f_[a,p] SG.bin dr r0/dr ra TG.tif >TG.log
```

起動パラメータ

SG.bin

sinogram のバイナリデータファイルの名前。ハイフン "-" を指定すると標準入力からデータを読み込む。

dr

sg2tg\_f\_a に対しては cm 単位の SIXM の並進スキンのステップ幅を、また、sg2tg\_f\_p には SDD / Dp の値を指定する。ただし、

SDD : SIXM のサンプルと検出器の間の距離 (単位は m)

Dp : RP 画像の横方向の画素の辺長 (単位は  $\mu\text{m}$ )

このように  $10^6$  倍異なる単位の SDD と Dp から計算した dr を指定すると、sg2tg\_f\_p が再構成する RID の単位は  $10^{-6}$  になる。

r0/dr : サンプルの回転中心の位置を示す「detector offset」

ra : サンプル回転角の度単位の初期値

TG.tif

再構成画像の LAC もしくは RID の値 (CT 値) を書き込む float-TIFF のファイルの名前。

TG.log

再構成画像上の CT 値の最小値と最大値をタブコード区切りで並べた 1 行を書き込むテキストファイルの名前。

t2t\_float

see <http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/rhp.pdf#page=3>

bin2t\_f、t\_f2bin、txt2t\_f と t\_f2txt

see <http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/float.pdf#page=4>

長い E-mail になりました。とりあえず以上です。mountain flattening 法と hybrid 3 法の実行例は次便以降の E-mail で紹介します。

Date: Fri, 07 Jul 2017 18:25:15 +0900

From: Tsukasa NAKANO

To: Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Miyake, MATSUNO Junya

Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", 北山, megumi matsumoto, Sugimoto Miyama, 伊神

Subject: SIXM 用の新しいプログラムのプロトタイプ of 訂正と補足

みなさま、

GSI/AIST のなかのです。お昼に送った E-mail の訂正と補足です。

(1) 訂正

プログラム his2raw と C-shell script "mf.csh" の起動パラメータ Ws (次便以降の E-mail で説明するつもり of mountain flattening 処理用のパラメータ) の説明が間違っていました。下記のように「半値幅」ではなく「半幅」です。

誤

Wm と Ws

mountain flattening (MF) で使用する山の半値幅 ( $\geq 0$ ) とサンプリング領域の幅 ( $\geq 2$ )。

正

Wm と Ws

mountain flattening (MF) で使用する「山の半幅 ( $\geq 0$ )」と「サンプリング領域の幅 ( $\geq 2$ )」。

## (2) 補足

書庫ファイル

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm\\_mf.taz](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm_mf.taz)

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm\\_mf.zip](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm_mf.zip)

の中に5月のSIXM実験の3測定(170513aと170516[c,d])の吸収および位相CT画像を再構成するためのパラメータファイル「測定番号/sixm.csh」が入っています。C-shell環境で端末から

```
source 何とかかんとか/測定番号/sixm.csh
```

と入力すれば、以下のC-shell変数に測定ごとのパラメータ値を設定できます。

\$layer : その測定の代表的なスライスの番号

\$stop : RI および RR 画像の上端の空気の領域の幅 (画素数)

\$side

RI および RR 画像の左右端の空気の領域の幅 (画素数)。左端と右端の領域それぞれの合計2個の幅が設定されている。

\$ps\_cm : SIXM の並進スキンのステップ幅 (単位は cm)

\$sdd\_m : サンプルと検出器の間の距離 (単位は m)

\$dp\_um : RP 画像の横方向の画素の辺長 (単位は  $\mu\text{m}$ )

\$rc : サンプルの回転中心の位置を示す「センター値」

\$ra : サンプル回転角の度単位の初期値

\$lac\_pv と \$rid\_pv

吸収と位相 CT 画像のそれぞれを8ビット整数画素値のものに変換する場合に最適な画素値1階調ごとのLACもしくはRIDの増分

これらと先のE-mailで紹介したプログラム群を用いたSIXMの画像再構成の具体的な手順は以下の通りです。書庫ファイル"sixm\_mf.\*"の中のプログラムがコンパイル済みだとして、測定170513aに関する入力例を示します。

```
# システムの実行パスの設定
```

```
set path=(何とかかんとか/sixm_mf $path)
```

```
# ディレクトリの移動
cd 何とかかんとか/sixm_mf/170513a

# HIS 形式測定ファイルと測定のログファイルをシンボリックリンクする。
ln -s 何とかかんとか/170513a/a.HIS .
ln -s 何とかかんとか/170513a/a.log .

# 注
# 5月の SIXM 実験の測定で得たファイルは計算機 vrm のディレクトリ
# /media/disk/tsukasa/1705/測定番号/ の下に置いてあります。

# RI および RR 画像の作成 (面倒なので mountain flattening 処理はなし)
head -1 a.log
→ 451,751,100,1,0
mkdir RI RR
his2raw a.HIS 451 751 100 RI RR >raw.log

# top 法で I0 の値を推定し、代表的なスライスの sinogram を作成
i02e_t RI - $top $layer SG.bin

# 代表的なスライスの吸収 CT 画像を再構成
sg2tg_f_a SG.bin $ps_cm -$src $ra TG.tif > TG.log

# その画像の画素値ヒストグラムを調べる。
t2t_float TG.tif 0 $lac_pv 8 - > HG.txt
```

とり急ぎ、



Date: Tue, 01 Aug 2017 20:34:03 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa"  
Cc: Miyake, MATSUNO Junya, "TSUCHIYAMA, Akira",  
北山, megumi matsumoto, Sugimoto Miyama, 伊神  
Subject: MF\_for\_RP\_of\_SIXM

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。かなり間が空いてしまいましたが、7/7 の E-mails で予告した SIXM の HIS 形式の測定データファイルに格納されている refraction profile (RP) 画像に対する「mountain flattening (MF)」の話をしてします。

(0)

まずは SIXM 実験の開始直後の 2015/8/19 に竹内さんから頂いた E-mail とその添付ファイルを御覧ください：

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_mails.pdf#page=62](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_mails.pdf#page=62)

そこに書かれているように、SIXM で撮影した RP 画像には拡大した像の情報を持つ Fresnel Zone Plane (FZP) の 1 次回折光の X 線強度の値に加えて、測定データとしては使えない非回折光の強度の値が含まれています。それは RP 画像の左右中央付近に「山 (脈)」状に分布しており、その麓に広がる「台地」状の領域の値が SIXM の測定データとして意味を持つ 1 次回折光の信号です。そして、竹内さんが

この「山」の X 線強度の総和は「台地」の値よりも十分に小さいので、RP 画像から RI (raw X-ray intensity)

や RR (raw X-ray refraction) 画像を抽出する際に「山」の部分を除けなくても問題ないと考えられると言われていたので、ぼくはとりあえず「山」の存在を無視して RP 画像から RI や RR 画像を抽出するプログラム his2raw\_[B,W,F,D] を書きました。

しかしながら、この「山」の存在がどうにも気になるので、RP 画像からそれを識別・除去して RI と RR 画像を抽出することにしました。ただし、その影響を低減するため、麓の「台地」の値を使って除去した「山」の跡地を平坦化します。このような「山」の識別、除去と平坦化の処理を mountain flattening (MF) と呼んでいます。今回は MF を行いつつ RI と RR 画像を抽出するプロトタイプのプログラムを使って 5 月の SIXM 実験で撮影した吸収と位相 CT 画像を再構成し、それらを MF なしの画像と比較しました。さらに、MF の適用・不適用に伴う RI 画像から計算される X 線投影値の違いについての理論的な考察を行いました。

(1)

MF の処理内容を説明します。この E-mail に添付した 170513a\_392\_107.pdf を御覧ください。その最上段に 5 月の SIXM 実験で AV 具を撮影した測定 170513a のサンプル回転のステップ番号が 392 の RI と RR 画像を示しました。既存のプログラム his2raw\_F はそれらの画像上の横座標値が 107 の縦一列の画素値のそれぞれを 170513a\_392\_107.pdf の中段の左端に示した暗電流補正済みの RP 画像から以下の式で計算しています：

RI 画像上の画素値 :  $RI(s, l, v) = \langle RP(p, l, s, v) \rangle_p$

RR 画像の値 :  $RR(s, l, v) = \langle p \cdot RP(p, l, s, v) \rangle_p / RI(s, l, v)$

ただし、

s : サンプルの並進ステップの番号 (スキャン番号、scan)

l : RP、RI と RR 画像の縦方向の位置 (レイヤー番号、layer)

v : サンプルの回転ステップの番号 (投影番号、view)

p : RP 画像の横方向の位置

$\langle E(p) \rangle_p$  : 式もしくは値  $E(p)$  の座標値 p に関する平均値

注

7/7 の E-mails で紹介した C-shell script "rp.csh" を使えば、このような暗電流補正済みの RP 画像を容易に作成できます :

```
rp.csh 170513a/a 392 107 rp_392_107.tif
```

このような RP 画像からの RI と RR 画像の画素値の計算の処理に組み込んで、以下の手順で MF を行います :

- [0] MF は s、l と v の値のそれぞれに対する p だけを変えた処理なので、ここではそれに用いる RP 画像の値を  $RP(p)$  と書くことにする。
- [1] まず  $RP(p)$  が最大値をとる p の座標値  $p_0$  を探し出し、そこからの距離が指定した値  $W_m$  以下の領域 ( $|p - p_0| \leq W_m$ ) を「山」と見なす。
- [2] その両側の指定した幅  $W_s$  の領域 ( $W_m < |p - p_0| \leq W_m + W_s$ ) に位置する  $RP(p)$  の値をサンプリングし、それらを近似する p に関する 1 次式を最小自乗法によって決定する。
- [3] 「山」の領域に位置する  $RP(p)$  の値の代わりにこの 1 次式で推定した値を使って RI と RR 画像の画素値を計算する。

170513a\_392\_107.pdf の中段の中央と右端に示したものが MF を行った画像です。また、それらの画像の上の縦座標値 (layer) が 120 と 242 の横一列のラインプロファイル  $RP(p)$  を 170513a\_392\_107.pdf の最下段に示しました。

注

RP 画像の横列それぞれに対して MF を行うので、その結果を逐一確認するのは困難です。MF を行った 1 枚の画像を出力する C-shell script "mf.csh" だけを用意しました。170513a\_392\_107.pdf の中段の中央と右端の画像は左端の画像から以下のようにして作成しました。

```
mf.csh rp_392_107.tif 5 5 mf_392_107_5_5.tif
mf.csh rp_392_107.tif 10 10 mf_392_107_10_10.tif
```

(2)

MF を行うためには 2 個の整数値のパラメータを指定する必要があります :

$W_m (\geq 0)$

RP 画像の「山」の半幅 (「山」の領域の全幅は  $2 \times W_m + 1$ )。

Ws ( $\geq 2$ )

「山」の平坦化に使用する  $p$  の 1 次式の決定用の  $RP(p)$  の値のサンプリング領域の幅。ただし、この 1 次式の決定には 2 個以上の値があれば十分であり、「山」の両側にサンプリング領域を設定するので通常は  $Ws \geq 1$  ならば問題ないが、例外的に「山」が RP 画像の左右の端にあって片側のサンプリング領域を設定できない場合に備えて  $Ws \geq 2$  とした。

問題はこれらにどんな値を指定すれば良いかです。一般的な制約条件？を言うと、合計  $2 \times Ws$  個のサンプリングした値から  $2 \times Wm + 1$  個の「山」の画素値を推定するので、 $Ws$  は  $Wm$  以上の値にすれば良いはず。また、これまでに撮影した RP 画像の横画素数はすべて 128 であり、また、SIXM の有意な信号である「台地」の幅はそれよりも狭い 100 程度なので、少なくともその半分の情報を活用したいなら除去する「山」の半幅  $Wm$  は  $100 / 2 / 2 = 25$  以下の値でないとダメです。

170513a\_392\_107.pdf に示した RP 画像に対しては  $Wm = Ws = 10$  を指定した場合に MF をほぼ完全に実現できています。MF が不完全な layer 242 の付近の分裂した「山」は「傾斜した界面付近の空気と試料の両方を透過した X 線の屈折を反映したもの」だと思われそうですが、その出現頻度は RP 画像全体ではごく僅かなので、そこでの MF が完全になるような (10 よりも大きい)  $Wm$  の値を指定しなくても問題ないような気がします。さほど多くのものを試したわけではないですが、測定 170513a の他の RP 画像や 5 月の他の測定の RP 画像では  $Wm = Ws = 10$  の指定によって MF をほぼ完全に実現できました。

(3)

MF のパラメータ  $Wm$  の値の選択に関する補足的な事項を記しておきます。他に用途がないので今まで紹介しませんでした。RI や RR 画像の抽出に使用している暗電流補正済みの RP 画像全部の画素値ヒストグラムを作成するプログラム his2hg を書きました。SIXM 用の書庫ファイルに入れてあります。

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/sixm.taz>

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/sixm.zip>

これを使えば、MF と同一の手順で「山」を除外 (mountain trimming, MT) した RP 画像の画素値ヒストグラムを得ることができます。

```
his2hg a.HIS Scans Views Darks {L1 L2} {W} Min Max Bins > HG.txt
```

ただし、

a.HIS : HIS 形式測定データファイルのパス名

Scans、Views と Darks

ログファイル a.log の先頭行にコンマ区切りで並んでいる SIXM の並進および回転のステップ数と暗電流画像の枚数。

L1 と L2

調査対象とする RP 画像の縦座標値の範囲。これらの指定を省略すると RP 画像の全領域の画素の値を調べる。

W ( $\geq 0$ )

MT で RP 画像上の「山」と見なす領域の半幅 (MF の  $W_m$  と同意)。指定を省略すると MT を行わない。

Min と Max : 作成するヒストグラムの全体の下端と上端の画素値

Bins

ヒストグラムの bin の総数。ただし、his2hg は Min 以下や Max 以上の値を持つ画素の個数を別個に数え上げるので、出力するヒストグラムの bin の総数は最大で Bins + 2 となる。

HG.txt

各行にタブコード区切りで以下の 4 個の値が並んでいる画素値ヒストグラムのデータをリダイレクトするテキストファイルのパス名。

[1] ヒストグラムの bin 番号 (-1~Bins)

[2,3] その bin の下端と上端の浮動小数点数画素値

[4] その bin に落ちた RP 画像の画素の総数

his2hg を用いて 5 月の SIXM 実験の 2 測定と 2015/12 の 1 測定で撮影した RP 画像の画素値ヒストグラムを調べました。

測定 170513a : AV 貝を撮影

170513b と 151201l : どちらもサンプルなしで空気を撮影

起動パラメータの値 W を変えて his2hg で得た複数個の画素値ヒストグラムをこの E-mail に添付した rp\_hg+cv.pdf の左段に測定ごとにまとめて示しました。凡例に記したように W として 0~10 の範囲の 2 刻みの値を指定しました。また、それがハイフン "-" のものは MT を行わずに得たヒストグラムです。これらから、5 月の 2 測定の RP 画像では「山」の X 線強度の値が「飽和」していた (正確には、HIS ファイルの上の暗電流補正前の RP 画像の「山」の画素値は保持可能な上限の値 65535 になっていた) ことがわかります。また、2015/12 の測定で使った X 線強度は 5 月の測定の時の値よりもずっと低かったようです (1/6 程度?)。

これらのヒストグラムのデータを使って RP 画像の画素値の積算値 (cumulative value) の分布を調べました。rp\_hg+cv.pdf の右段に示したグラフです。ヒストグラムとして得た値 b の画素の個数を HG(b) とすると、b 以下の画素値の積算値の分布 CV(b) は以下の式で計算できます :

$$CV(b) = \sum_{a \leq b} \{ a \times HG(a) \}$$

つまり、

b が画素値の最小値未満なら、 $CV(b) = 0$

b が画素値の最大値以上なら、 $CV(b) =$  画素値の総和 (total value、TV)

rp\_hg+cv.pdf の右段のグラフでは測定ごとに CV(b) を MT なしの RP 画像の TV の値で正規化してあります。これらより、 $W = 10$  の MT を行った RP 画像の TV の値はどの測定でも MT なしの場合の 70% 程度になっていることがわかります。MT で除去した「山」の跡地を埋め戻すので、MF を行った場合にはこの TV の比はもっと高い値のはずです。つまり、 $W_m = 10$  の MF を行った RI 画像には RP 画像の X 線強度の大部分 (70% 以上) の情報が残っていると思われれます。

(4)

長々と書きましたが、結局、MF のパラメータ  $W_m$  の最適値について現時点では確定的なことを言えません。SIXM 実験で撮影した RP 画像を吟味して測定ごとに決めるしかないようです。

(5)

5月のSIXM実験で撮影したRP画像に対して適切だと思われる  $W_m = W_s = 10$  を指定したMFによってRIとRR画像を作成し、6/17と6/20のE-mailsで紹介したものと5月の3測定の吸収と位相CT画像の再構成の処理を行いました。その際に「RIもしくは吸収CT画像用の入射X線強度I0」と「RRもしくは位相CT画像用のX線屈折量の原点R0」の推定法として既存のSIXM用のプログラムで採用しているside法と、7/7のE-mailで計算法を説明しただけのhybrid3法を試しました。

注

7/7のE-mailで説明したように、ここで試したhybrid3法は6/17と6/20のE-mailsで実行結果を紹介したhybrid[0-2]法よりも高精度な手法のほうです（原理的には）。

今回再構成した結果の吸収と位相CT画像などをこのE-mailに添付した以下の3個のPDFsにまとめましたので、じっくりと眺めて下さい。

no\_mf.pdf および 10\_10.pdf

MFなし(no\_mf)および $W_m = W_s = 10$  (10\_10)のMFを行って得たRIとRR画像のsinograms、X線投影値と屈折量のsinogramsおよびそれらから再構成した吸収と位相CTの1枚のスライスの画像。処理を行った測定とスライス(layer)の番号、および、図中に埋め込まれている文字列の意味は6/17と6/20のE-mailsで紹介したものと同一。

tg.pdf

MFなし(no\_mf)および $W_m = W_s = 10$  (10\_10)のMFを行って得たRIとRR画像から再構成した吸収と位相の3次元CT画像の代表的な3断面と画素値ヒストグラムの図を並べたもの。既存のSIXM用のC-shell script "draw\_[a,p].csh"で描画した。なお、レイアウトの都合上、10\_10のMFで得たRIとRR画像からside法を使って再構成したCT画像などは載せなかった。

ぱっと見ではこれらのno\_mfと10\_10(のMF)のCT画像の違いはわからないかもしれませんが、しかしながら、後述する理論的な考察による予想通り、これらのうちの吸収CT画像には僅かな差異が生じています：

- [1] 10\_10のMFを行って得たCT画像の上のestimated LACはno\_mfの画像の値よりも全体的に少しだけ高くなっている。
- [2] 10\_10のMFで得た吸収CT画像にはno\_mfの画像にはないスライス面内の物体像の「エッジ強調」が発生している。

これも理論的な考察から予想されることですが、[2]はLACの値が低いAV貝を撮影した測定170513aの吸収CT画像で顕著です。また、このE-mailに添付した以下の2個のPDFsにまとめた画素値ヒストグラムの図を見れば[1]を確認することができます。

hg.pdf

no\_mf.pdf と 10\_10.pdf に示した吸収と位相 CT 画像のスライス画像の画素値ヒストグラム

tg\_hp.pdf

tg.pdf に示した 3 次元の吸収と位相 CT 画像全体のヒストグラム

(6)

これらの図から明らかなように、SIXM で撮影した RP 画像に対して MF を行うと従来の MF なしで得たものとは異なった吸収および位相 CT 画像になります。このような MF によって生じる吸収 CT 画像の違いについて理論的？に考察してみました。この E-mail に添付した mf\_ri.pdf を御覧下さい。

ここでは単純な「凸」の形状をしている RP (画像の横一列) について考えます。その上部の出っ張りが「山」で下部が「台地」です。「山」の幅を 1 (単位の値) としてその麓からの高さを A、「台地」の高さと幅をそれぞれ B と C とします。また、前記の竹内さんの E-mail にも記されているように、以下を仮定します：

$$A \ll B \cdot C$$

FZP の非回折光を表す「山」の強度の和 (面積) は SIXM の信号である 1 次回折光を表す「台地」の強度の和 (面積) に比べて非常に小さい。

この時、RP (画像) から得た RI 画像の画素値 I は下式で表されるはずですが：

$$\text{完全な MF を実現できた場合：} I = B \cdot C$$

$$\text{MF なしの RP を使った場合：} I = A + B \cdot C$$

そして、先の仮定  $A \ll B \cdot C$  を使うと、MF の適用・不適用に伴う「空気と試料のそれぞれを撮影した RI 画像の画素値 I から計算される X 線投影値」の差を以下の式で表すことができます：

$$P - \text{PMF} = A_0 / (B_0 \cdot C_0) - A_1 / (B_1 \cdot C_1)$$

ただし、

$A_0$ 、 $B_0$ 、 $C_0$ ：空気を撮影した RP の A、B、C の値

$A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$ ：試料を撮影した RP の A、B、C の値

P と PMF

MF なしと MF を実行して得た I のそれぞれから計算した投影値

さらに、空気と試料を撮影した RP の「台地」の幅は概ね同じ値なので、それを  $C_0 = C_1 = C$  とした下式が成り立つと思われます：

$$P - \text{PMF} = (A_0 / B_0 - A_1 / B_1) / C$$

(7)

さて、FZP の非回折光と 1 次回折光はモノクロメータから同時に出た光が試料の概ね同じ位置を透過したものですから、通常はそれらの強度の比は一定値になると考えられます。つまり、「山」の強度の値  $A + B$  と「台地」の高さ B の比は空気と試料を撮影した RP 画像のどちらもで概ね同じ値になるはずですが：

$$(A_0 + B_0) / B_0 = (A_1 + B_1) / B_1 \rightarrow A_0 / B_0 = A_1 / B_1$$

そして、これが成り立っている場合には MF の適用・不適用に伴う X 線投影値の違いは生じないはずですが。

$$P - \text{PMF} = (A_0 / B_0 - A_1 / B_1) / C = 0 \rightarrow P = \text{PMF}$$

前記の E-mail で竹内さんが言われているのはこのことではないかと思われま

ところが、先に紹介したように5月の SIXM 実験の測定では「山」の強度が飽和しているため、「山」と「台地」の強度の比は一定値にはなっていないはず

$$A_0 + B_0 = A_1 + B_1 = D \rightarrow P - PMF = (D/C) \cdot (1/B_0 - 1/B_1)$$

そして、空気を透過した X 線の強度  $B_0$  は試料を透過した X 線の強度  $B_1$  よりも大きい値なので、以下の式が常に成り立つはず

$$P - PMF = (D/C) \cdot (1/B_0 - 1/B_1) \leq 0 \rightarrow P \leq PMF$$

と言う訳で MF を行って得た X 線投影値は MF なしの値よりも大きくなります。これを単純に解釈すると、MF を行って得た吸収 CT 画像の estimated LAC は MF なしの画像の値よりも大きくなっているはず

先に示した hg.pdf や tg\_hg.pdf の画素値ヒストグラムでは確かにそうなっています。しかしながら、投影値は LAC と透過 X 線の光路長との積なので、 $P \leq PMF$  によって発生する現象はもう少し複雑

結論だけと言うと MF を行って得た吸収 CT 画像には白色光を用いた CT 画像の場合と同様な「光線硬化」が発生し、その上の物体像の外周部は「エッジ強調」を行ったような相対的に高い estimated LAC の値に再構成されているはず

ただし、これは MF なしで得た吸収 CT 画像を基準とした話です。MF を行った画像を基準とすれば従来の MF なしの CT 画像には物体像の外周部の値が鈍っている「光線軟化」が生じていると言う方が良く

いずれにせよ、MF なしのものに比べて MF を行って得た吸収 CT 画像の物体像の方がエッジが強調されて明瞭になっているはず

そして、X 線投影値の差  $P - PMF$  は1以下の「X 線強度の比の値」 $A_0 / (B_0 \cdot C_0)$  と  $A_1 / (B_1 \cdot C_1)$  の差に等しいので、この現象は  $P$  もしくは  $PMF$  が小さい低い値の LAC の試料で顕著なはず

前述の MF を行って再構成した測定 170513a の AV 貝の吸収 CT 画像がその実例

(8)

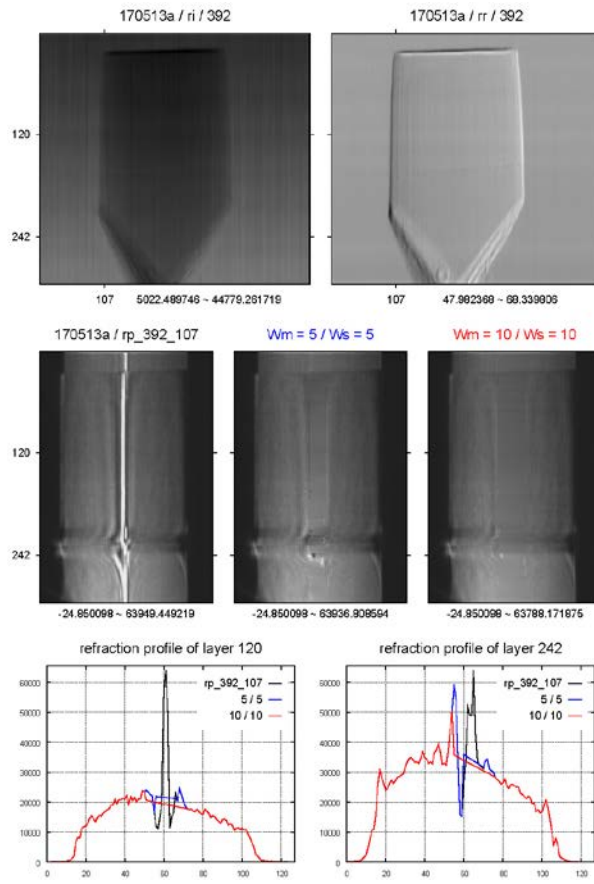
以上のように SIXM 実験で撮影した RP 画像に対する MF (mountain flattening) 処理はそれなりに有効

ただし、先にもクドクド書いたように、それに指定するパラメータの値  $W_m$  と  $W_s$  をどうするかが問題

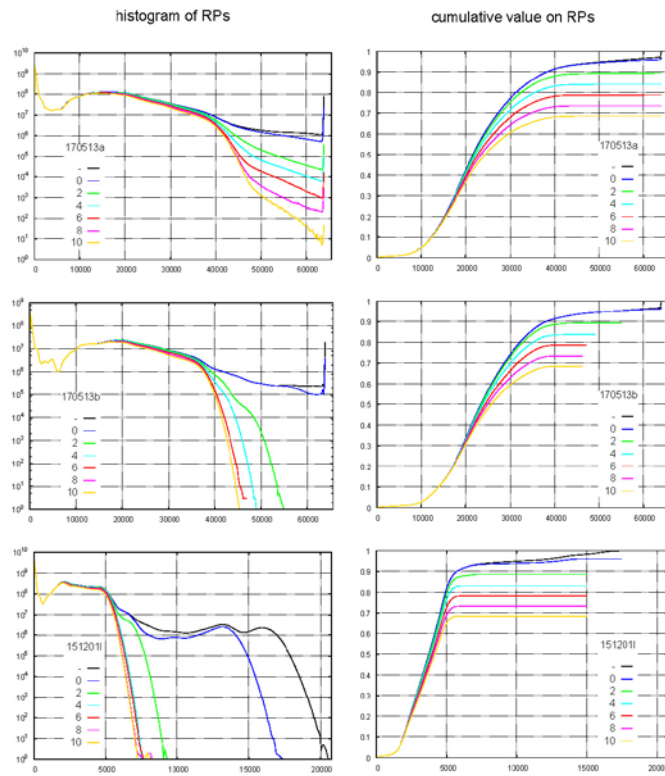
7/7 の E-mail で紹介したプロトタイプのように MF をオプションで実行できるプログラムがベストかな？

長い E-mail になりました。とりあえず以上

添付ファイル 170513a\_392\_107.pdf



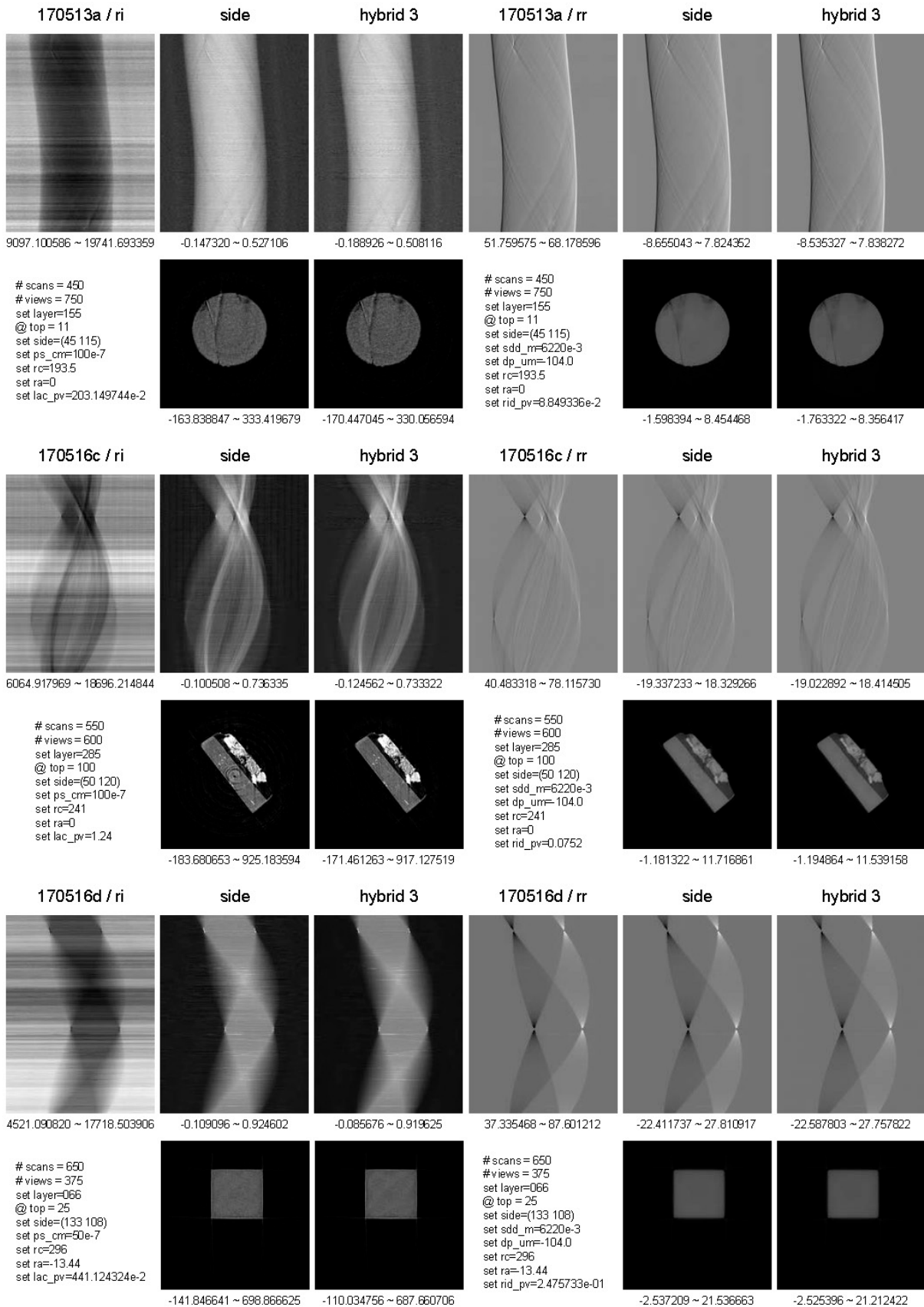
添付ファイル rp\_hg+cv.pdf





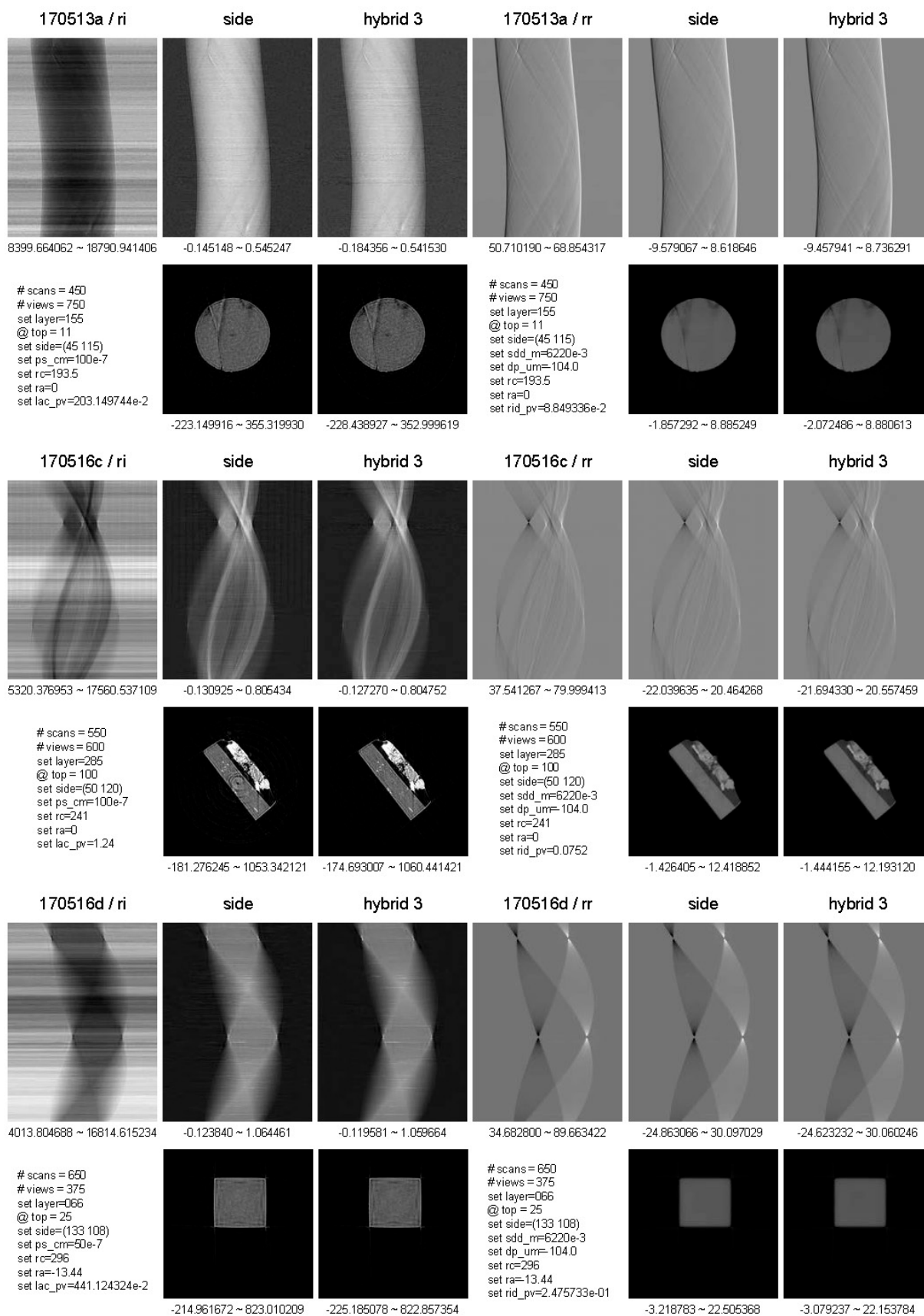
添付ファイル no\_mf.pdf

no\_mf

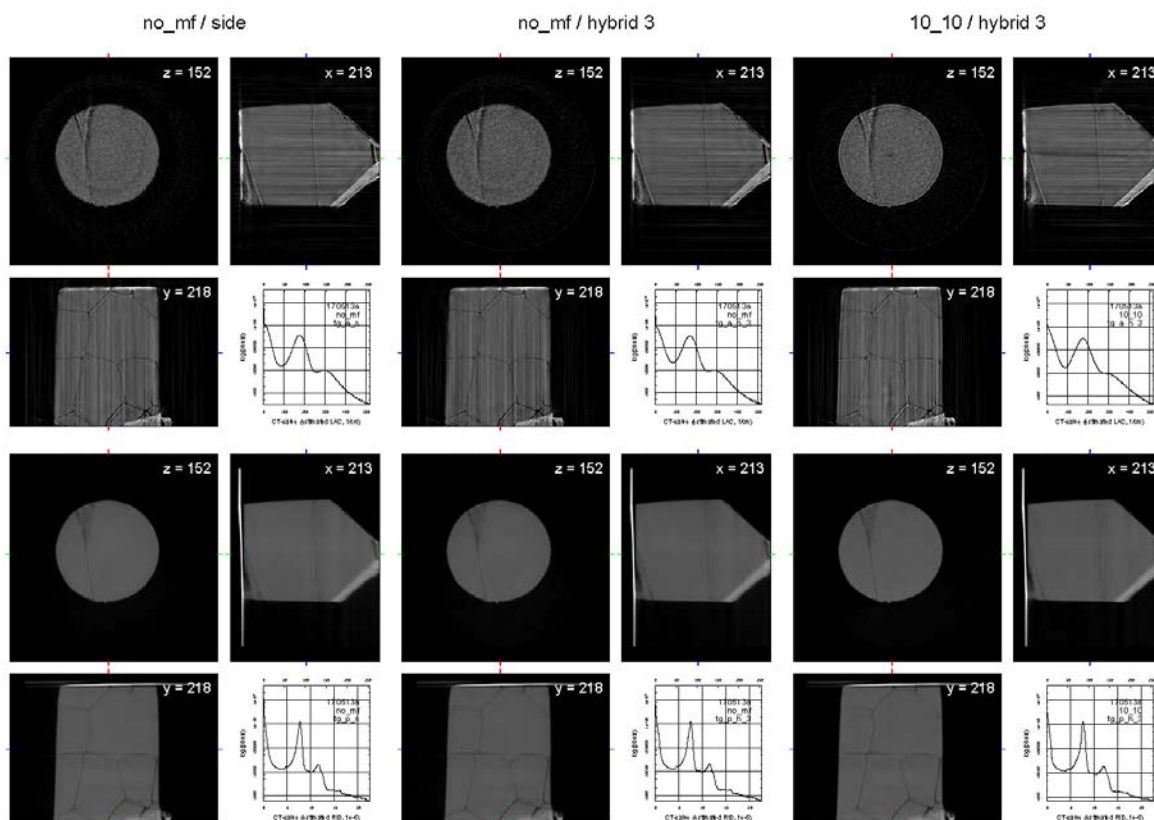


添付ファイル 10\_10.pdf

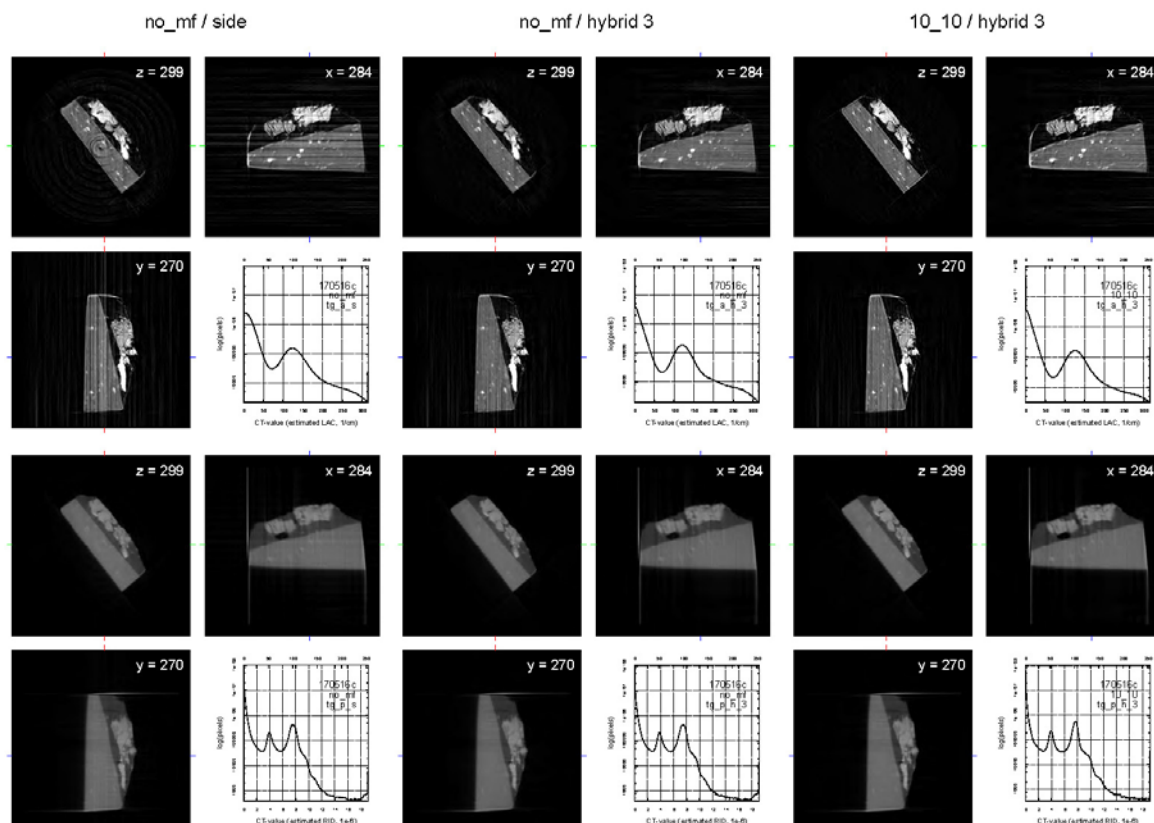
10\_10



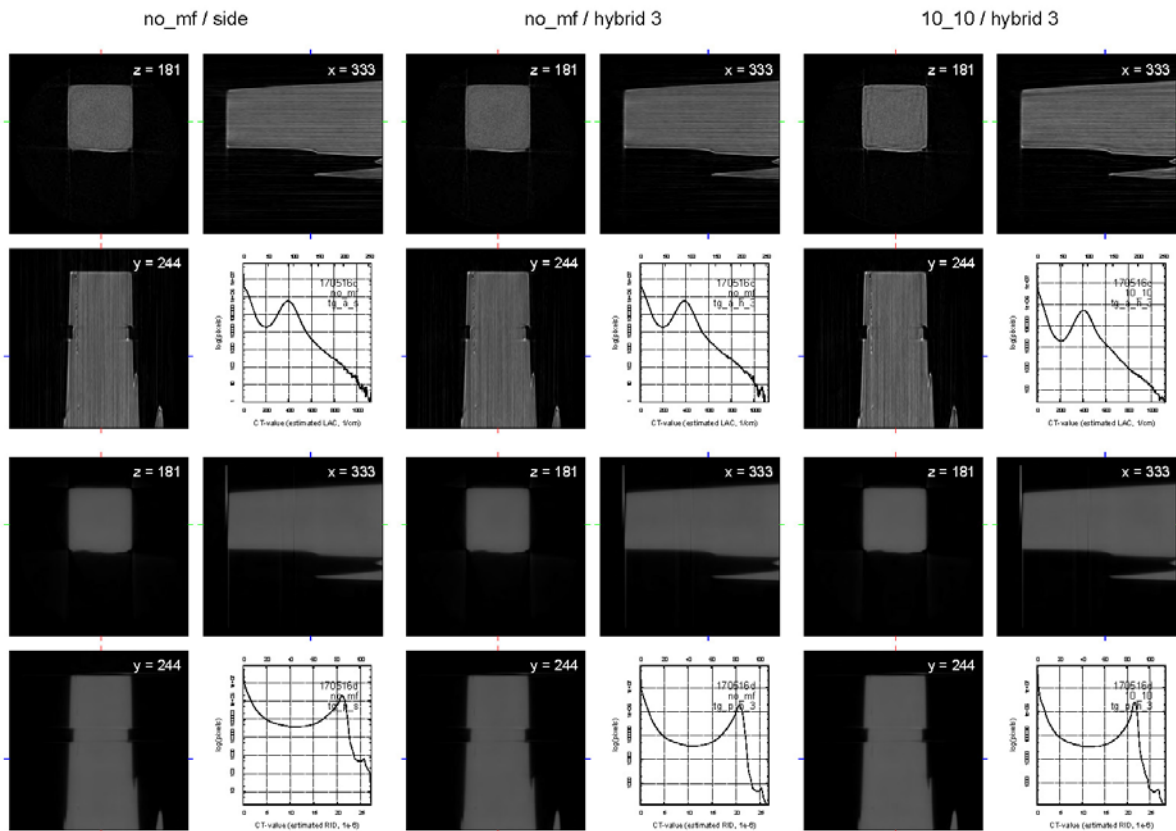
添付ファイル tg.pdf (1 ページ目; 測定 170513a)



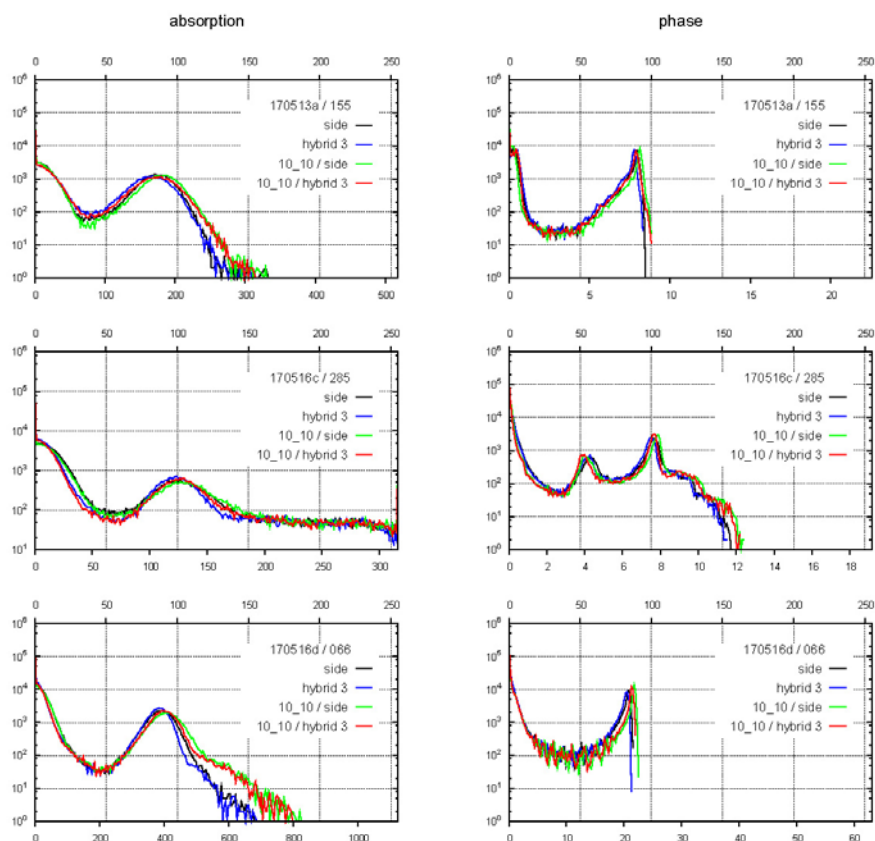
添付ファイル tg.pdf (2 ページ目; 測定 170516c)



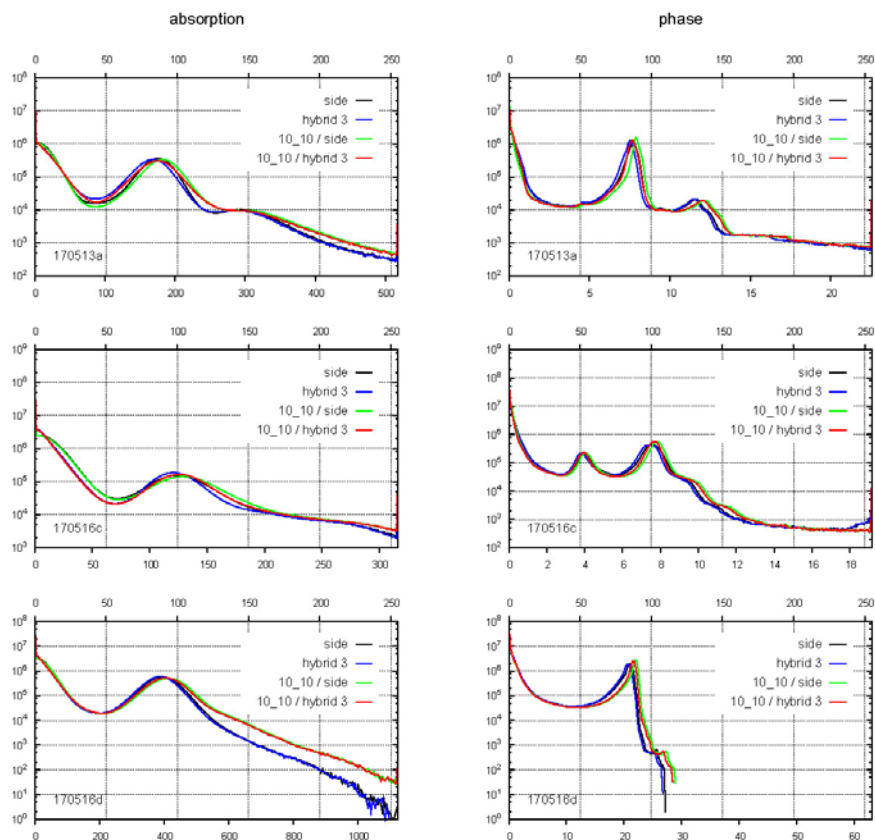
添付ファイル tg.pdf (3 ページ目 ; 測定 170516d)



添付ファイル hg.pdf



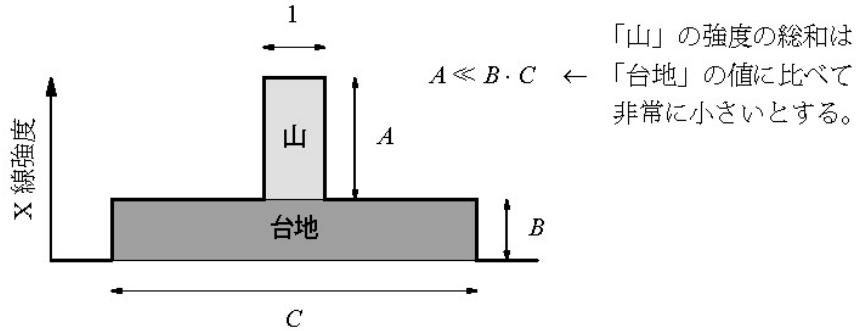
添付ファイル tg\_hg.pdf



添付ファイル mf\_ri.pdf

### Mountain Flattening (MF) による Raw Intensity (RI) 画像の X 線投影値の変化

下図のような単純な形状の Refraction Profile (RP) について考える。



ただし、 $\left\{ \begin{array}{l} \text{空気を撮影した RP : } A = A_0, B = B_0 \text{ かつ } C = C_0 \\ \text{試料を撮影した RP : } A = A_1, B = B_1 \text{ かつ } C = C_1 \end{array} \right\}$  および  $B_0 \cdot C_0 \geq B_1 \cdot C_1$

この RP に対して MF を行って得た RI 画像の画素の X 線投影値、 $P_{MF}$

RI 画像の入射 X 線強度：  $I_0 = B_0 \cdot C_0$   
 RI 画像の透過 X 線強度：  $I_1 = B_1 \cdot C_1$  } なので、 $P_{MF} \equiv \ln\left(\frac{I_0}{I_1}\right) = \ln(B_0 \cdot C_0) - \ln(B_1 \cdot C_1)$

MF を行わなかった RI 画像の投影値、 $P$

$$\begin{aligned} P &\equiv \ln\left(\frac{I_0}{I_1}\right) = \ln\left(\frac{A_0 + B_0 \cdot C_0}{A_1 + B_1 \cdot C_1}\right) \\ &= \ln\left(B_0 \cdot C_0 \cdot \left(1 + \frac{A_0}{B_0 \cdot C_0}\right)\right) - \ln\left(B_1 \cdot C_1 \cdot \left(1 + \frac{A_1}{B_1 \cdot C_1}\right)\right) \\ &= \ln(B_0 \cdot C_0) - \ln(B_1 \cdot C_1) + \ln\left(1 + \frac{A_0}{B_0 \cdot C_0}\right) - \ln\left(1 + \frac{A_1}{B_1 \cdot C_1}\right) \\ &\approx P_{MF} + \frac{A_0}{B_0 \cdot C_0} - \frac{A_1}{B_1 \cdot C_1} \leftarrow \left|\frac{A}{B \cdot C}\right| \ll 1 \text{ なので、} \ln\left(1 + \frac{A}{B \cdot C}\right) \approx \frac{A}{B \cdot C} \end{aligned}$$

空気と試料の RP の「台地」は概ね同じ幅 ( $C_0 \approx C_1 \approx C$ ) なので、 $P - P_{MF} \approx \frac{1}{C} \cdot \left(\frac{A_0}{B_0} - \frac{A_1}{B_1}\right)$

$$\frac{A_0 + B_0}{B_0} \approx \frac{A_1 + B_1}{B_1} \text{ の場合、} P \approx P_{MF}$$

RP の「山」と「台地」の強度の比が一定値なら MF によって投影値は変化しない。

$A_0 + B_0 \approx A_1 + B_1 \approx D$  (飽和した X 線強度値) の場合、

$$P - P_{MF} \approx \frac{1}{C} \cdot \left(\frac{D - B_0}{B_0} - \frac{D - B_1}{B_1}\right) = \frac{D}{C} \cdot \left(\frac{1}{B_0} - \frac{1}{B_1}\right) \leq 0 \leftarrow B_0 \geq B_1$$

RP の「山」の強度が飽和していると MF によって投影値が増加し、それは「台地」の強度  $B_1$  が低い X 線の吸収が大きい試料ほど顕著になる (そのため、MF を行って得た RI 画像から再構成した吸収 CT 画像には「光線硬化」が発生する可能性がある)。

Date: 2017/09/14 15:34:28  
From: Tsukasa NAKANO  
To: "TSUCHIYAMA, Akira", MATSUNO Junya , Miyake, Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa"  
Cc: Masayuki Uesugi, 北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Aiko Nakato, megumi matsumoto  
Subject: SIXM\_mails

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。これまでに差し上げた SIXM 関連のことを書いた E-mails をまとめました。多量なので3つの PDFs に分けました：

2015 年に差し上げた E-mails (以前に紹介済みのもの+ $\alpha$ )

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_mails.pdf](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_mails.pdf)

2016 年

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_2016.pdf](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_2016.pdf)

2017 年

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_2017.pdf](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_2017.pdf)

どうぞ御覧下さい。とり急ぎ、

---

Date: Wed, 11 Oct 2017 10:34:47 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: "TSUCHIYAMA, Akira", MATSUNO Junya, Miyake, Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa"  
Cc: Masayuki Uesugi, 北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Aiko Nakato, megumi matsumoto  
Subject: SIXM\_これだけは、...

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。先日紹介した SIXM 関連の E-mails のうち、こちらの人に SIXM のことを説明するために選び出した 3 × 2 ページを並べた sixm.pdf をこの E-mail に添付します。どうぞ御覧下さい。

横置き A4 の 1 ページ目

SIXM の吸収と位相 CT 画像の上の値 (estimated LAC と RID) を決める MAC と MRID に関することが書いてある。

ページの左の内容を記した E-mail :

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_mails.pdf#page=69](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_mails.pdf#page=69)

右 :

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_2016.pdf#page=187](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_2016.pdf#page=187)

## 2 ページ目

SIXM ではホログラム的な手法で位相シフトを測定していない。

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_mails.pdf#page=23](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_mails.pdf#page=23)

## 3 ページ目

SIXM の測定およびそのデータを用いた CT 処理の補足的事項。

ページの左

竹内さんから指摘されたように試料と検出器の間にある FZP で micro beam を拡大しているので、このページの下部の内容は間違っています。SIXM で測定する RP 画像を示している上部の図だけを御覧ください。

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_mails.pdf#page=105](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_mails.pdf#page=105)

右

SIXM の吸収と位相 CT 画像の再構成の処理の違いは、細部を除けば、ここで説明している「位相回復フィルタ」だけです。

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_mails.pdf#page=24](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_mails.pdf#page=24)

とり急ぎ、

添付ファイル sixm.pdf

削除しました（縮小して掲載すると汚くなるので、上記のオリジナルの E-mails を御覧ください）。



以下の 2017/4/4 の E-mail は後続する 2017/10/23 の E-mail に添付してあった 4 通の E-mails の最後（4 通目）のもので、時系列順に掲載します。

---

Date: 2017/04/04 16:15:42  
From: Tsukasa NAKANO  
To: Kentaro Uesugi, MATSUNO Junya  
Cc: Masayuki Uesugi, "TSUCHIYAMA, Akira"  
Subject: imagej\_open\_ITEX

---

うえすぎさま、  
まつのさま、

GSJ/AIST のなかのです。SPRing-8 の実験で使っている浜ホトのソフトウェア HiPic が出力する ITEX 形式の画像("\*.img")を ImageJ で読み込むための plug-in を書きました。その JAVA のソースコード "open\_ITEX.java"（単純なテキストファイルです）をこの E-mail に添付します。ImageJ で以下のようにすればインストールできます：

ImageJ を起動

Plugins → install で open\_ITEX.java を選択

コンパイル後の保存場所としてディレクトリ「Input-Output」を選択

ただし、これだけではファイルの drag & drop で ITEX 形式のファイル "\*.img" を開くことはできません。ImageJ の plugins 用のディレクトリ plugins/Input-Output/ の下にある画像形式の判定用の JAVA のコード HandleExtraFileTypes.java を書き換える必要があります。その上の適切な場所（後述）に以下の 1 行を埋め込むだけです：

```
if (name.endsWith(".img") && buf[0]==73 && buf[1]==77) return tryPlugIn("Open_ITEX", path);
```

ぼくの手元の ImageJ の HandleExtraFileTypes.java をこの E-mail に添付しましたが、これはそちらの ImageJ（Fiji？）で使えるかどうかわかりません。そちらで使っている ImageJ や Fiji の HandleExtraFileTypes.java を眺めて「拡張子 ".img" のファイルを処理しているコード」を探し出し、それよりも前の適当な場所に上記の行を埋め込む方が良くと思います。

ImageJ の plugins にはファイル名の拡張子 ".img" だけで画像形式を決めてしまうもの（Nifti\_Reader）があるので、そのチェックの前に ITEX 形式画像かどうかをチェックしないとダメです。なお、ITEX 形式の画像ファイルのチェックではファイル名の拡張子だけでなくファイルの先頭に埋め込まれている ITEX 形式に固有の「マジックナンバー」も調べます。

この E-mail に添付した HandleExtraFileTypes.java では 116 行目に文字列「.img」がありました。その部分（コメント行でした）の直前に前記の行を埋め込みました。

HandleExtraFileTypes.java を書き換えた後、前記の open\_ITEX.java の場合と同様にしてそれを ImageJ のディレクトリ plugins/Input-Output/ の下にインストールして下さい。とり急ぎ、

添付ファイル Open\_ITEX.java と HandleExtraFileTypes.java

削除しました（後述するように SPring-8 の FTP サイトにこれらの最新版が置いてあります）。

以下の 2017/4/7 の E-mail は後続する 2017/10/23 の E-mail に添付してあった 4 通の E-mails の 3 通目のものです。時系列順に掲載します。

---

Date: Fri, 07 Apr 2017 15:29:00 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: Kentaro Uesugi, MATSUNO Junya  
Cc: Masayuki Uesugi, "TSUCHIYAMA, Akira"  
Subject: Fw: imagej\_open\_ITEX

---

うえすぎさま、  
まつのさま、

なかのです。4/4 の E-mail で紹介した ImageJ で ITEX 形式画像を読み込むための plug-in「Open\_ITEX.java」を書き換えたので、それを送付します。ITEX 画像のファイルに埋め込まれているコメントを「Image → Show Info」で閲覧できるようにしました。なお、その Window (Info Window) で「File → Save As」とすれば、コメントを含む画像の情報をテキストファイルに書き込むことができます。昨年 11 月の SPring-8 実験で撮った測定 161121d の画像 q0002.img の情報を書き込んだファイル 161121d\_q0002.txt をこの E-mail に添付します。

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/oct.pdf#page=48>

とり急ぎ、

添付ファイル Open\_ITEX.java

削除しました（後述するように SPring-8 の FTP サイトに最新版が置いてあります）。

添付ファイル 161121d\_q0002.txt

削除しました（上記の文書ファイル oct.pdf の 48 ページに掲載してあります）。

以下の 2017/4/8 の E-mail は後続する 2017/10/23 の E-mail に添付してあった 4 通の E-mails の 2 通目のものです。時系列順に掲載します。

---

Date: 2017/04/08 13:12:36  
From: Tsukasa NAKANO  
To: Kentaro Uesugi, MATSUNO Junya  
Cc: Masayuki Uesugi, "TSUCHIYAMA, Akira"  
Subject: Re: imagej\_open\_ITEX

---

うえすぎさま、  
まつのさま、

なかのです。何度もすみません。ImageJ で ITEX 形式の画像を読み込むための plug-in "Open\_ITEX" を修正（エラーチェックを強化）しました。そして、今後も書き換えるかもしれないので、そのコードを SPring-8 の FTP サイトに置くことにしました。

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/Open\\_ITEX.java.txt](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/Open_ITEX.java.txt)

ファイル名の拡張子 ".txt" を取り除いてお使い下さい。なお、そのコードの後に JAVA のコメントとして ImageJ の画像形式判定用 plug-in 「ImageJ/plugins/Input-Output/HandleExtraFileTypes.java」への Open\_ITEX の設定の仕方を埋め込んでおきました。とり急ぎ、

以下の 2017/6/23 の E-mail は後続する 2017/10/23 の E-mail に添付してあった 4 通の E-mails の最初（1 通目）のものです。時系列順に掲載します。

---

Date: 2017/06/23 19:49:11  
From: Tsukasa NAKANO  
To: Kentaro Uesugi, MATSUNO Junya  
Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", Masayuki Uesugi  
Subject: ImageJ\_macros\_rhp.txt

---

うえすぎさま、  
まつのさま、

GSJ/AIST のなかのです。4 月の E-mails (~~この後に貼付けました~~) で紹介した HiPic で使っている ITEX 形式の画像を読み込むための plug-in "Open\_ITEX" を用いて、SPring-8 の通常の X 線 CT 実験で得た測定画像のシーケンス（dark.img とログファイル output.log に記録されている順の "q\*img"）を「image stack」としてまとめて読み込み表示する ImageJ の「マクロ言語」のコード "rhp.txt" を書きました。

[http://www-bl20.spring8.or.jp/sp8ct/tmp/IJ\\_m\\_rhp.txt](http://www-bl20.spring8.or.jp/sp8ct/tmp/IJ_m_rhp.txt)

このテキストファイルを（ファイル名を“rhp.txt”に改名して）既存の ImageJ のマクロ言語のスクリプトのためのディレクトリ "ImageJ/macros/" の下にコピーしておけば、以下のような端末からの入力で実行できます（ImageJ のメニューからも実行できると思いますが、その仕方をぼくは知りません）。

X 線 CT の測定データ一式が入っているディレクトリを選択する場合

```
ImageJ -macro rhp
```

測定データ一式が入っているディレクトリ（HiPicDir）を指定する場合

```
ImageJ -macro rhp HiPicDir
```

なお、image stack にまとめた個々の画像のファイル名を表示する方法がわからなかったので、それ（シーケンス番号ごとの画像のファイル名）を output.log の残りの情報とともに Log ウィンドウに表示するようにしてあります。

また、rhp.txt を書く前に「指定したディレクトリの下にある一連の TIFF などの画像を image stack にまとめるマクロ言語のコード is.txt」を書きました（実質的には 1 行だけなので、コードと言うほどのものでは、…）。

[http://www-bl20.spring8.or.jp/sp8ct/tmp/IJ\\_m\\_is.txt](http://www-bl20.spring8.or.jp/sp8ct/tmp/IJ_m_is.txt)

is.txt のインストール法と起動法は rhp.txt のものとまったく同じです。こちらを御利用下さい。とり急ぎ、

---

Date: Mon, 23 Oct 2017 20:27:47 +0900

From: Tsukasa NAKANO

To: MATSUNO Junya

Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", Miyake, Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Masayuki Uesugi,  
北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Aiko Nakato, megumi matsumoto

Subject: ImageJ\_macros

---

まつのさま、

GSJ/AIST のなかのです。来月の SIXM 実験用に RI (raw intensity) もしくは RR (raw refraction) 画像上の空気の領域の選択に有用な ImageJ の「マクロ」のコード tlrb (ファイル名 tlrb.txt) などを書きました。そちらの Linux 機の上でのそれらの実行を試してもらえますか？

(0) Fiji は起動に時間がかかるので NG

ぼくが書いた ImageJ のマクロは Linux などの端末から起動するようになっているので、起動に時間がかかる Fiji ではなく ImageJ を使います。

## (1) ImageJ のインストール

そちらの Linux 機に ImageJ をインストール済みならそれを再度インストールする必要はありません。インストールしていない場合は <https://imagej.nih.gov/ij/docs/install/linux.html> を参考に (Linux 用の) ImageJ の書庫ファイルを適当な場所に展開して下さい。

重要なことは ImageJ の書庫ファイルを展開して得たディレクトリ「ImageJ」の場所 (パス) です。以下ではそれを「~/Desktop/ImageJ/」だとします。

## (2) ImageJ のランチャー用の C-shell script などのインストール

ディレクトリ~/Desktop/ImageJ/ には ImageJ を X-window の端末から起動するためのランチャー・プログラム「ImageJ」が入っていますが、それを使った起動パラメータ付きのマクロの実行にはちょっとした問題 (説明はまた今度) があるので、その代わりとなる C-shell script「ImageJ.csh」を書きました：

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/ImageJ.csh.txt>

このテキストファイルの名前を「ImageJ.csh」に変えて~/Desktop/ImageJ/の下にコピーし、端末から「実行可能 (executable)」のファイル属性を付加して下さい：

```
cd ~/Desktop/ImageJ
wget -O ImageJ.csh http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/ImageJ.csh.txt
chmod +x ImageJ.csh
```

ImageJ.csh は <https://imagej.nih.gov/ij/docs/install/linux.html#options> に記されているもののうち「-ijpath path」以外の端末からのオプション指定を受け付けます。つまり、例えば、端末から

```
~/Desktop/ImageJ/ImageJ.csh "file-name"
```

と入力すれば ImageJ を起動して名前が "file-name" のファイルを開きます。

長い文字列「~/Desktop/ImageJ/ImageJ.csh」を毎回入力するのは不便なので、その「別名 (alias)」の短い文字列 (例えば、「IJ」) を login shell の設定ファイル (の最後) に登録しておくのが良いでしょう：

login shell が bash の場合

設定ファイル     ~/bashrc

別名の設定行     alias IJ=~/Desktop/ImageJ/ImageJ.csh

csh もしくは tcsh の場合

設定ファイル     ~/cshrc

別名の設定行     alias IJ '~/Desktop/ImageJ/ImageJ.csh ¥!\*

以下ではこのようにして設定した別名「IJ」を使います。先の端末からの入力

```
IJ "file-name"
```

となります。

### (3) ImageJ のマクロのコード

来月の SIXM 実験で使う予定の ImageJ のマクロは tlrb ですが、そのもとになったマクロ bb とそのまたもとになった 6/23 の E-mail (後に貼り付けました) で紹介した is の改造版のコードもここで紹介します：

```
is      http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/IJ\_m\_is.txt
bb      http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/IJ\_m\_bb.txt
tlrb    http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/IJ\_m\_tlrp.txt
```

これらのファイル「IJ\_m\_\*.txt」のそれぞれを is.txt、bb.txt と tlrp.txt に改名してディレクトリ「~/Desktop/ImageJ/macros/」の下に格納しておけば、ディレクトリ名や拡張子なしの文字列 is、bb と tlrp の指定により ImageJ はそれらをマクロのコードのファイルだと認識してくれます：

```
cd ~/Desktop/ImageJ/macros
wget -O is.txt http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/IJ_m_is.txt
wget -O bb.txt http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/IJ_m_bb.txt
wget -O tlrp.txt http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/IJ_m_tlrp.txt
```

これらのマクロの機能と起動法は以下の通りです。

マクロ is

機能

指定したディレクトリの下にある一連のスライス画像を「Image Sequence」として読み込み、「image stack」にまとめて表示する。

起動法

```
IJ -macro is {directory} {start increment}
```

起動パラメータ

directory

一連のスライス画像が入っているディレクトリの名前。指定を省略するとディレクトリ選択用のウィンドウが開く。

start と increment

指定したディレクトリの下にある処理対象とする最初のスライス画像の番号 (1 ~) とその増分 (1 ~)。これらの値の指定を省略すると start = increment = 1 となり、指定したディレクトリの下にあるスライス画像すべてを処理対象とする。

bb

## 機能

is と同様にして画像群を表示した後に「rectangle selection tool」を起動する。マウスの左ボタンのドラッグなどによって選択した画像の上の長方形領域 (bounding box) の画素幅単位の情報

- x 座標値の最小・最大値と x 方向の幅
- y 座標値の最小・最大値と y 方向の幅

をマウス右ボタンの押し下げによって表示する。

## 起動法

```
IJ -macro bb directory {start increment} {x y width height}
```

## 起動パラメータ

directory

is のものと同意だが、省略不可。

start と increment

is のものと同意。

x、y、width と height

bounding box の x と y 座標値の最小値および x と y 方向の幅。これらの指定により以前に得た bounding box の位置を確認できる。

tlrb

## 機能

bb とまったく同じ処理を行うが、マウスの右ボタンの押し下げにより SIXM の CT 画像の再構成で必要な「RI や RR 画像の上の物体像の領域を示す bounding box」の

- 上部 (top) にある空気の領域の y 方向の幅
- 左側 (left) にある空気の領域の x 方向の幅
- 右側 (right) にある空気の領域の x 方向の幅
- 下端 (bottom) の y 座標値 (これは SIXM 的にはオマケの情報です)

のそれぞれの画素幅単位の値を表示する。

## 起動法

```
IJ -macro tlrb directory {start increment} {top left right bottom}
```

## 起動パラメータ

directory

bb のものと同意。省略不可。

start と increment

is や bb のものと同意。

top、left、right と bottom

bounding box の確認用の既知の top、left、right と bottom の値。

マクロ bb と tlrb でマウス右ボタンを押し下げると選択した bounding box に関する情報の下に「record on Log window ?」という質問とその回答用の以下の 3 つのボタンが表示されます：

Yes

表示されている bounding box の情報を「Log」ウィンドウに記録した後に bounding box の選択の処理を続行する。

No

bounding box の情報を Log ウィンドウに記録せずに処理を続行する。

Cancel

マクロ bb もしくは tlrb の処理を終了する。

Log ウィンドウに記録した文字列はマウスによる通常の copy and paste が可能です。また、その上部の「File」メニューにより Log ウィンドウの内容を任意のファイルに書き込むこともできます。

実は、bounding box の情報の管理は ImageJ の「ROI manager (tool)」にまかせた方が良いのですが、そのやり方をぼくは知らない。

なお、上記の Cancel ボタンをクリックしない限り ImageJ を終了できません。マクロ bb と tlrb の処理が終了した後はマウス右ボタンの押し下げによって ImageJ が設定した処理メニューが表示されるはずですが、とりあえず以上です。これらの C-shell script やマクロをそちらの Linux 機で実行できない場合は連絡して下さい。よろしく申し上げます。とり急ぎ、



Date: Fri, 27 Oct 2017 16:43:16 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: MATSUNO Junya  
Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", Miyake, Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Masayuki Uesugi,  
北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Aiko Nakato, megumi matsumoto  
Subject: 6mct

---

まつのさま、  
みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。来月の実験の場で使ってもらいたい SIXM 用の新しいプログラムのコードなどを入れた書庫ファイルの準備ができました：

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.taz>

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.zip>

これら（同内容です）に入っているものだけで SIXM の実験の場で行ってきた CT 画像の再構成などの一連の処理を行えます。そちらの Linux 機の上でそれを試してもらえますか？ 具体的には、下記の (5) の C-shell script の実行です。

#### (1) 新しいプログラムの実行ファイルのコンパイル

そちらの Linux 機の適当な場所に上記の書庫ファイル（の一方）をダウンロード・展開し、作成されたディレクトリ「6mct」に移動した後に「make」して下さい。

```
cd 適当な場所
wget http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.taz
tar xzf 6mct.taz
rm 6mct.taz          # 今後も随時更新するので書庫ファイルを残さないで下さい。
cd 6mct
make
```

この make の実行により GNU C Compiler (gcc) でプログラムの実行ファイルを作成します。この処理を Intel C Compiler (icc) で行いたいのなら、ファイル「Makefile」の先頭付近の「CC =」で始まっている行を適当に書き換えた後に make して下さい。コマンド make の起動行でそれを指定してもかまいません：

```
make CC='icc -fast'          # 処理速度最優先オプションを指定する場合
```

また、ディレクトリ「6mct/cuda」の下に CUDA GPU 用の 4 個の画像再構成プログラムのコードなどが入っています。ただし、convolution back-projection 法によって画像再構成の計算処理を行うサブルーチン (CBP engine) だけが異なる、外見上はまったく同じ動作をする CPU 用のプログラム「\*\_t」があるので、GPU 用のプログラム「\*\_g」のコンパイルは (とりあえずは) 必須ではありません。

NVIDIA GeForce GTX 750 Ti を搭載している Spring-8 の計算機 vrm の上では以下の入力で GPU 用の 4 個の実行ファイルを準備できます。

```
cd cuda
make
mv *_g ..          # GPU 用の実行ファイルをディレクトリ 6mct/ に移動しておく。
```

しかしながら、vrm のものと異なる compute capability の GPU を使う場合や、CUDA tool kit のインストール場所が異なる場合は Makefile (6mct/cuda/Makefile) の上の以下の 2 行の書き換えが必要です：

```
NVCC =nvcc -O3 -arch=sm_50      # NVIDIA GeForce GTX 750 Ti の compute capability は 5.0
CUDA =/usr/local/cuda          # vrm では tool kit 7.5 のディレクトリ /usr/local/cuda-7.5 を
                                # /usr/local/cuda にシンボリック・リンクしている。
```

## (2) 新しいプログラムの実行のための shell の設定ファイルの書き換え

ディレクトリ 6mct/の中のプログラム (実行可能な属性を付けた C-shell script もあります) を実行ファイル用のディレクトリに移動するのではなく、login shell の設定ファイルで 6mct/ のフルパスを実行パスに登録して下さい。

```
login shell が bash の場合
  設定ファイル          ~/.bashrc
  実行パスの設定行      PATH=適当な場所/6mct:$PATH

csh もしくは tcsh の場合
  設定ファイル          ~/.cshrc
  実行パスの設定行      set path=(適当な場所/6mct $path)
```

なお、後述する「新しいプログラムを使った SIXM の処理のデモ用の C-shell script」を実行するなら、「~/cshrc」の上の実行パスの設定が必要です。また、その場合には 10/23 の E-mail で紹介した ImageJ のランチャーの別名「IJ」も「~/cshrc」に設定しておいて下さい。

```
ImageJ 用のディレクトリが「~/Desktop/ImageJ」の場合
alias IJ '~/Desktop/ImageJ/ImageJ.csh ¥!*
```

### (3) 新しいプログラムの実行時に必要な Linux 用ツール

ディレクトリ 6mct/ の中の 3 個の C-shell scripts は CT 画像の画素値ヒストグラムのグラフの描画に gnuplot を使うので、事前にそれ (ver. 4.2 以降の gnuplot) をインストールしておいて下さい。また、それらのグラフの PostScript ファイルや新しいプログラムで作成した TIFF 画像の表示用のツールも必要です。PostScript viewer は Linux で一般的な evince が良いでしょう。また、画像 viewer は ImageJ でも良いですが、その起動には時間がかかるので、ぼくは以前に紹介した改造版の xv を使っています：

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/xv-hipic.pdf>

なお、後述する「新しいプログラムを使った SIXM の処理のデモ用の C-shell script」は evince と xv を使うようになっています。

### (4) 新しいプログラムを使った SIXM の一連の処理のデモ

ディレクトリ 6mct/ の中のプログラム群の使用法の説明書は現在作成中です。また、SIXM 実験の場で行う CT 画像の再構成などの一連の処理の「レシピ」もまだ書いていません。ここでは、レシピに載せる例として実行した「新しいプログラムを使った SIXM の画像再構成などの一連の処理」を紹介します。

この E-mail に添付した 170516c.txt に端末から実際に入力したデータなどが記されています。5 月に行った実験で「橋口サンプル」を撮影した測定 170516c の SIXM の測定データを使って以下の一連の処理を実行しました：

- [1] 測定データのコピー
- [2] 測定データのチェックなど
- [3] RI (raw intensity) と RR (raw refraction) 画像の作成
- [4] R[I,R] 画像の画素値のビット数を小さくする (オプション)
- [5] R[I,R] 画像上のサンプル像の bounding box の調査
- [6] 各スライスの投影値や屈折量の平均値の「時間変動」のチェック
- [7] サンプル回転軸の位置の推定
- [8] サンプル回転軸の位置を変えた画像再構成のテスト
- [9] 吸収 (tg\_a) と位相 CT 画像 (tg\_p) のそれぞれの再構成
- [10,11]

吸収と位相 CT 画像のそれぞれの画素値ヒストグラムの調査やそれらのピークの情報に基づいた 8 ビット画素値の画像 (byte 画像) の作成

- [12] 吸収と位相 CT 画像のそれぞれの「browse 画像」の作成 (オマケ)

170516c.txt の「#" から行末まで」は「コメント」で、それら以外の文字列を端末から入力すれば OK です。

3個の "#" で始まる行に上記の [1]~[12]を記しました（後述する処理により端末に出力するため、それらを引用符「」で囲んでいます）。また、2個の "#" で始まるものは実行したプログラムの出力行です。そして、それら以外の個数の "#" で始まる行は、その前後で実行したプログラムの「代替案」や、その周囲の処理に関する「メモ」です。

170516c.txt ではカレント・ディレクトリにディレクトリ 170516c/ を作成し、その中に処理結果のファイルなどを格納します。その総量は 2.5 GB 程度なので、大容量メモリ搭載の Linux 機ならディレクトリ/dev/shm/（メモリ・ディスク）に移動（change directory）した後に 170516c.txt の処理を実行すれば良いと思います。

また、処理対象の SIXM の測定 170513c のデータファイル（a.log と a.HIS）の置き場所として 170516c.txt の 8~9 行目にこちらで使っている計算機 gsjgix の上のディレクトリの名前 /work1/tsukasa/1705/170516c/ を埋め込んであるので、そちらで実行する場合はこれを適宜置換して下さい。

長くなるので、この E-mail では [1]~[12]の処理や実行するプログラムのそれぞれの説明は省略します。

#### (5) 170516c.txt の実行

注

以下の処理の例では事前にテキストファイル 170516c.txt を/dev/shm/ にコピー済みだとします。

テキストファイル 170516c.txt は C-shell script として実行できます。前記のこちらの計算機 gsjgix の上なら以下の入力を行えば OK です：

```
cd /dev/shm
csh 170516c.txt
```

しかしながら、前述のように gsjgix とは異なる場所に SIXM の測定データファイルを置いてある計算機ではそのディレクトリ名の置き換えが必要です。例えば、SPring-8 の計算機 vrm では測定 170516c のデータファイルはディレクトリ /media/disk/tsukasa/1705/170516c/ に置いてあるので、以下のように入力してそれに置換して実行すれば良いです：

```
cd /dev/shm
sed s@/work1/@/media/disk/@g 170516c.txt | csh
# コマンド sed を使って 170516c.txt の上の文字列 "/work1/" を
# "/media/disk/" に置換した結果を C-shell に流し込んで実行する。
```

このようにして 170516c.txt を実行すると、その上の 2 個の "#" で始まる行に示したプログラムからの出力を表示するだけなので、今どこを実行しているのかわからないです。それを補うため、3 個の "#" で始まる行に記した [1]~[12] の説明用の文字列を端末に表示させるようにすると良いです：

```
cd /dev/shm
sed 's@^### @echo @g' 170516c.txt | csh
# sed を使って 170517c.txt の行頭の "###" を "echo " に置換。
# コマンド echo と出力する文字列の間に空白文字が必要なことに注意。
```

170516c.txt では ImageJ (IJ)、gnuplot (C-shell script "plot\_x11.csh")、evince と xv のそれぞれによる X11 window の上での画像やグラフの表示を行います。gnuplot によるものを除いてこれらのコマンドを人手で終了しないと 170511.txt の処理が中断するので、処理のすべてを人手をかけずに「全自動」で実行できません。170516c.txt から "IJ"、"plot\_x11.csh"、"evince" と "xv" のそれぞれの文字列が含まれている行を削除すればそれを実現できます。

```
cd /dev/shm
grep -v -e 'IJ' -e 'plot_x11.csh' -e 'evince' -e 'xv' 170516c.txt | csh
# オプション指定 "-v" を付けたコマンド grep によって行を削除。
# 削除の対象となる文字列の後に念のために空白文字を付加した。
```

これらの手法を組み合わせて 170516c.txt を「全自動」で実行しました。

計算機 gsjgix の上での実行

```
cd /dev/shm
sed 's@^### @echo @g' 170516c.txt | ¥
grep -v -e 'IJ' -e 'plot_x11.csh' -e 'evince' -e 'xv' | csh
vrm
cd /dev/shm
sed -e s@/work1/@/media/disk/@g -e 's@^### @echo @g' 170516c.txt | ¥
grep -v -e 'IJ' -e 'plot_x11.csh' -e 'evince' -e 'xv' | csh
```

このようにして実行した 170516c.txt の総処理時間は以下の通りでした。

gsjgix (Xeon E5-2687W / 8 real cores / 3.1 GHz / 128 GB memory)

253 ~ 254 秒 (== 4 分強)

vrm (Xeon E5-2609 v2 / 4 real cores / 2.5 GHz / 64 GB memory)

487 ~ 560 秒 (== 8 ~ 10 分)

なお、どちらの計算機でも処理時間の半分程度は前記の [3] の R[I,R] 画像の抽出処理に費やされていました。

とりあえず、以上です。そちらの Linux 機上での 170516c.txt の実行に問題があったら連絡して下さい。よろしくお願ひします。とり急ぎ、

添付ファイル 170516c.txt

この E-mail の後に修正したので削除しました。後に載せた 11/9 の E-mail に添付ファイルを御覧下さい。

---

Date: Mon, 30 Oct 2017 18:25:08 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: MATSUNO Junya  
Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", Miyake, Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Masayuki Uesugi,  
北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Aiko Nakato, megumi matsumoto  
Subject: 6mct\_modified

---

まつのさま、  
みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。10/27 の E-mail で紹介した書庫ファイル

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.taz>

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.zip>

に入れた 4 個の C-shell scripts (rp.csh、t2t\_f.csh と bar\_[l,g]s.csh) を少しだけ書き換えました。書庫ファイルは修正済みです。そちらの Linux 機に 6mct/ を展開済みなら、以下のようにして既存の C-shell scripts のすべてを修正済みの書庫ファイルの中のもので上書きしてしまえば良いです：

```
cd 「6mct/ をインストールしたディレクトリ」  
wget http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.taz  
tar xzf 6mct.taz 6mct/*.csh  
rm 6mct.taz
```

お手数ですが、この作業をよろしくお願ひします。とり急ぎ、

Date: Tue, 31 Oct 2017 19:07:32 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: MATSUNO Junya  
Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", Miyake, Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Masayuki Uesugi,  
北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Aiko Nakato, megumi matsumoto  
Subject: 6mct\_test

---

まつのさま、  
みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。10/27 の E-mail でその使用例を記した添付ファイル 170516c.txt に関連して書いたように、書庫ファイル

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.taz>

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.zip>

に入れた新しいプログラムによる SIXM の画像再構成などの処理の手順は

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm\\_recipe.pdf](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/sixm_recipe.pdf)

に記した以前のものと同様です。今回は主に以前のプログラムへの新機能の追加や使用頻度が低かった機能の整理などを行いました：

[1] プログラム his2raw

SIXM の測定で得た HIS 形式ファイルの上の RP (refraction profile) 画像に対する MF (mountain flattening) の処理を追加した：

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_2017.pdf#page=85](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_2017.pdf#page=85)

[2] プログラム "ri\*" と "rr\*"

his2raw で作成した RI (raw intensity) と RR (raw refraction) の画像に対する、従来の top 法や side 法を拡張した hybrid 法による入射 X 線強度 I0 や X 線屈折量の原点 R0 の推定処理を追加した：

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_2017.pdf#page=62](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_2017.pdf#page=62)

[3] 新しい画像再構成プログラム

サンプル回転軸の位置を変えた画像再構成のテスト用に通常の X 線 CT で使っている「CBP engine」を組み込んだ CPU と GPU 用のプログラム "r[i,r]\_stg\_[t,g]" を書いた。以前の C-shell scripts とは異なり、これらは Windows でも実行可能なはず（少なくとも CPU 用のものは）。また、「本番」の画像再構成用にも CBP engine を用いたプログラム "r[i,r]\_tg\_[t,g]" を用意した。なお、以前からあった R[i,R] 画像を読み込みつつ画像再構成処理を行うプログラム "r[i,r]2tg" も健在で、それらを使えば通常の X 線 CT の画像再構成で得られるものと同様な 16 ビット整数画素値の画像（word 画像を含む）を作成できる。

[4] 上記のプログラムすべて

his2raw、"r[i,r]\_stg\_[t,g]" と "r[i,r]\_tg\_[t,g]" は以前の SIXM 用のプログラムで採用していた RAW 形式画像ファイル

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_2016.pdf#page=36](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_2016.pdf#page=36)

の2種類のもののうち浮動小数点数画素値の float-TIFF の画像だけを出力するようにしてある。ただし、新しい書庫ファイルにも入れてある既存のプログラム t2t\_float

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/rhp.pdf#page=3>

などを使えば、それを整数画素値の integer-TIFF の画像に変換できる。また、プログラム "ri\*" と "rr\*" はすべて、それら両方の RAW 形式の画像ファイルを読み込んで処理することができる。

これらの以前のプログラムとの違いのうちで [2] 以外のものは、10/27 の E-mail の添付ファイル 170516c.txt に入力行の「代替案」として記した、1個の「#」で始まるコメント行の内容を実行すればテストできます：

#### [1] MF の処理のテスト

```
### 'making RI (raw intensity) and RR (raw refraction) images'

mkdir ri rr
# his2raw a.HIS 551 601 100 ri rr > raw.log # no mountain flattening
# his2raw a.HIS 551 601 100 5 5 ri rr > raw.log # Wm = Ws = 5
his2raw a.HIS 551 601 100 10 10 ri rr > raw.log # Wm = Ws = 10
```

#### [4] R[I,R] 画像の画素値のビット数削減のテスト

```
### 'do one of the following optional processings, if necessary'

#-----
#### 'conversion from float (32 bit) to 16 bit R[I,R] images'
# t2t_float ri - 16 ri > /dev/null
# t2t_float rr - 16 rr > /dev/null
#### 'conversion from float (32 bit) to 8 bit R[I,R] images'
# t2t_float ri - 8 ri > /dev/null
# t2t_float rr - 8 rr > /dev/null
#-----
```

#### [3] 画像再構成プログラムの性能テスト

```
### 'reconstruction of absorption and phase-shift images'

# setenv THREADS 8 # for r[i,r]2tg
setenv CBP_THREADS 8 # for r[i,r]_tg_t
```



```

mkdir tg_a
# ri2tg ri - 100 50 120 100e-7 241 +0 tg_a > tg_a.log
ri_tg_t ri - 100 50 120 100e-7 241 +0 tg_a > tg_a.log
# ri_tg_g ri - 100 50 120 100e-7 241 +0 tg_a > tg_a.log
...
mkdir tg_p
# rr2tg rr - 100 50 120 6220e-3 -104 241 +0 tg_p > tg_p.log
rr_tg_t rr - 100 50 120 6220e-3 -104 241 +0 tg_p > tg_p.log
# rr_tg_g rr - 100 50 120 6220e-3 -104 241 +0 tg_p > tg_p.log

```

また、[2] に記した hybrid 法と従来の top 法や side 法の処理結果の比較はプログラム "ri\*" と "rr\*" の起動パラメータの指定によって実行できます：

#### [2] R[l,R] 画像に対する top 法、side 法と hybrid 法のテスト

新しいプログラム "ri\*" と "rr\*" はすべて 10/23 の E-mail で紹介したマクロ tlrp (tlrp.txt) により ImageJ で調べた 3 つの非負の値

top : R[l,R] 画像の上の物体像の上部にある空気の部分の縦画素数

left : R[l,R] 画像の上の物体像の左側にある空気の部分の横画素数

right : R[l,R] 画像の上の物体像の右側にある空気の部分の横画素数

を使って hybrid 法の処理を行うが、それらの起動パラメータの値が 0 なら以前のプログラムのものを模した以下の処理を行う：

top = 0 かつ left + right ≠ 0 の場合には side 法の処理を行う。

top ≠ 0 かつ left + right = 0 の場合には top 法の処理を行う。

#### 注

top、left と right の 3 つの値すべてが負もしくは 0 の場合、"ri\*" と "rr\*" は R[l,R] 画像の画素値そのものを後続する画像再構成などの処理に使います（エラーにならないことに注意して下さい）。

SIXM の測定 170516c のデータに対して行ったテストの結果をこの E-mail に添付した test\_170516c.jpg と test\_170516c.pdf に示しました。

#### test\_170516c.jpg

[2]のテストで得た吸収（左）と位相 CT 画像（右）。オマケとして MF を行った R[l,R] 画像に対して hybrid 法を適用した結果も示した。前記の 6/17 の E-mail でも紹介したように、hybrid 法を使えば測定 170516c の入射 X 線に含まれていた周波数 2 および 4 Hz の「揺らぎ」によるリングアーチファクトの発生を防ぐことができる。

test\_170516c.pdf

左から順に [1]、[4] および [3] のテストで得た吸収（上段）と位相 CT 画像の画素値ヒストグラムのグラフ（下段）。いずれも凡例に示した3つの場合を試した。中央および右端のグラフから R[I,R] の画素値のビット数や使用するプログラムによらず CT 画像はほぼ同じになっていることがわかる。それに対して、前記の 8/1 の E-mail で紹介したように、MF の処理は再構成画像の画質に無視できない影響を与える。

また、test\_170516c.pdf の右端のグラフのもとになった CT 画像の再構成に要した 3 種類・6 個のプログラムの処理時間は以下の通りでした。

|         |        |       |      |
|---------|--------|-------|------|
| program | gsjgix | vrm   |      |
| ri2tg   | 28.65  | 45.87 |      |
| rr2tg   | 27.15  | 36.46 |      |
| ri_tg_t | 21.18  | 45.77 |      |
| rr_tg_t | 20.53  | 34.80 |      |
| ri_tg_g | 28.01  | 41.12 |      |
| rr_tg_g | 19.98  | 30.21 | sec. |

ただし、使用した計算機 gsjgix と vrm の緒元は以下の通りです：

計算機 gsjgix

Xeon E5-2687W (8 real cores / 3.1 GHz / 128 GB)

NVIDIA Tesla K20c (2496 CUDA cores / 0.71 GHz / 5120 MB / 2600 Mhz)

vrm

Xeon E5-2609 v2 (4 real cores / 2.5 GHz / 64 GB)

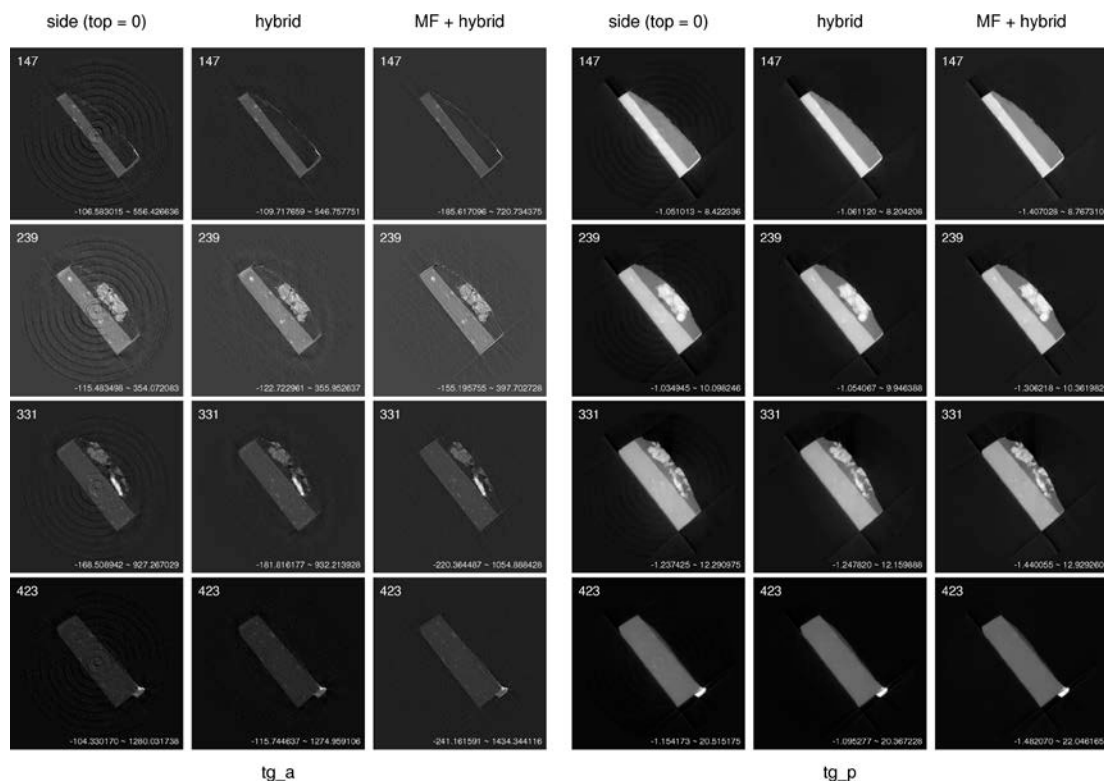
NVIDIA GeForce GTX 750 Ti (640 CUDA cores / 1.11 GHz / 2047 MB / 2700 Mhz)

長い E-mail になりました。とりあえず以上です。

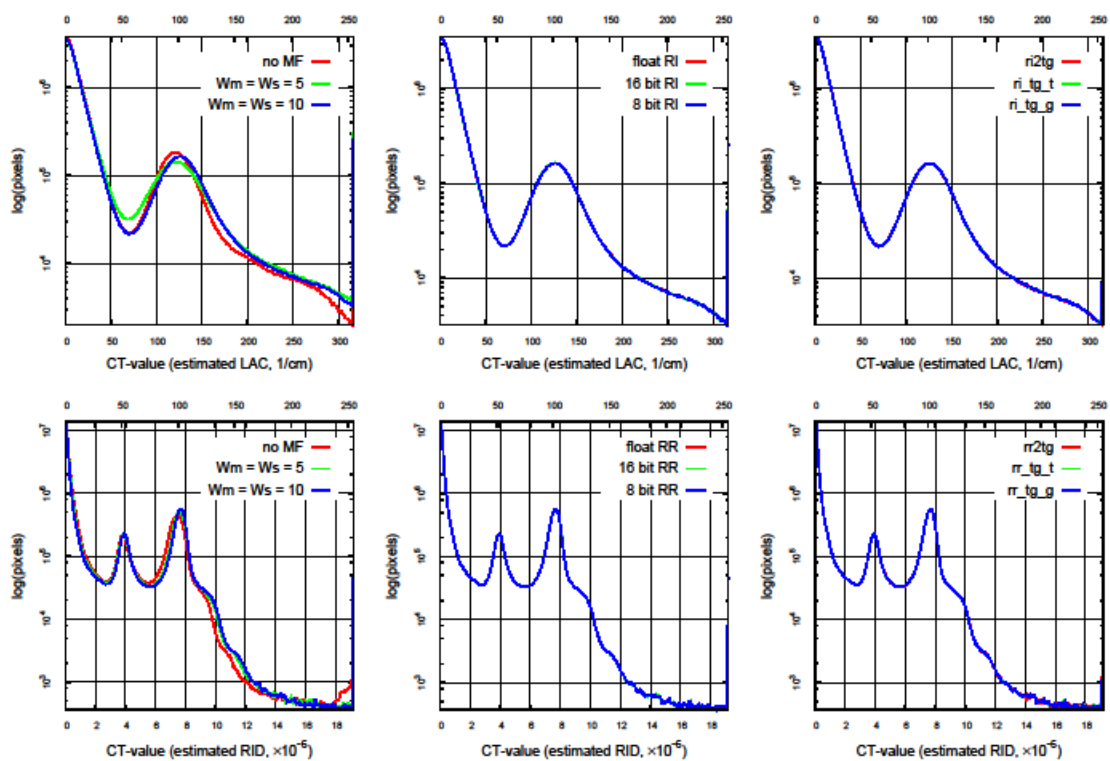
P.S.

test\_170517c.jpg の「hybrid」と「MF + hybrid」の画像の画質の差を識別できますか？ 8/1 の E-mail でも紹介したように、MF を実行した吸収 CT 画像 (tg\_a) では物体像のエッジが明瞭になっています。

添付ファイル test\_170516c.jpg



添付ファイル test\_170516c.pdf



Date: Wed, 01 Nov 2017 09:16:06 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: Miyake  
Cc: MATSUNO Junya, "TSUCHIYAMA, Akira", Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa",  
Masayuki Uesugi, 北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Aiko Nakato, megumi matsumoto  
Subject: Re: 6mct\_test

---

みやけさま、

なかのです。SIXM の吸収 CT 画像 239.tif の「エッジ」は FZP を使った通常の CT 画像で問題になっている「薄皮」と同じものではないでしょうか？

FZP-CT で撮影した画像の物体像の「薄皮」

竹内さんが「反射起源説」を唱えている現象。ただし、竹内さんからの 5/18 の E-mail によると、FZP のフォーカスを変えた場合の「薄皮」の現れ方はさほど変わらないので、反射起源説は間違い？

もしそうなら、SIXM も FZP を使っているので、「エッジ」があって当然では？ つまり、

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_2017.pdf#page=85](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_2017.pdf#page=85)

で言っているように、MF によって「エッジ」が出現したのではなく、MF なしでは見えていなかったものが見えるようになったと言うべきでしょう。FZP-CT 画像の「エッジ」もしくは「薄皮」を抑える話は別問題だと思います。とり急ぎ、

On Wed, 1 Nov 2017 08:40:00 +0900 Miyake wrote:

> 中野様

> 正直、全然フォローしていませんけど、良くなっていますね。

> MF+hybrid の MF でエッジが明瞭になるからかもしれませんけど、添付の矢印部が気にはなりますね。

> となると hybrid のみのほうが良い??

> 三宅

>

>>中野さま

>>松野です、ご連絡ありがとうございます。

>>

>>> test\_170517c.jpg の「hybrid」と「MF + hybrid」の画像の画質の差を識別できますか？

>>こちらは時間が取れなくて色々試せていないのですが(試料がある人がやるべき・・・?)、

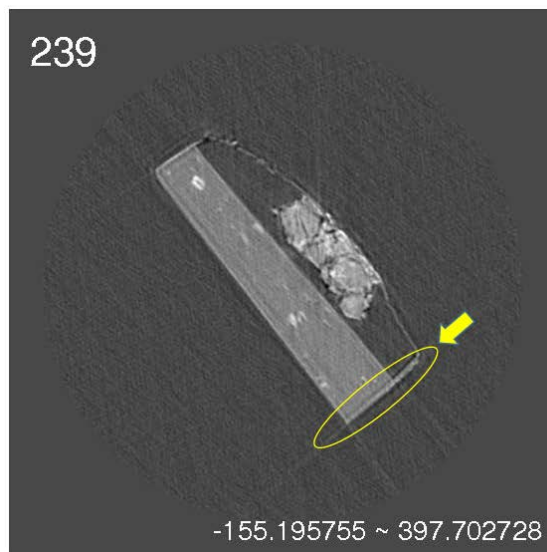
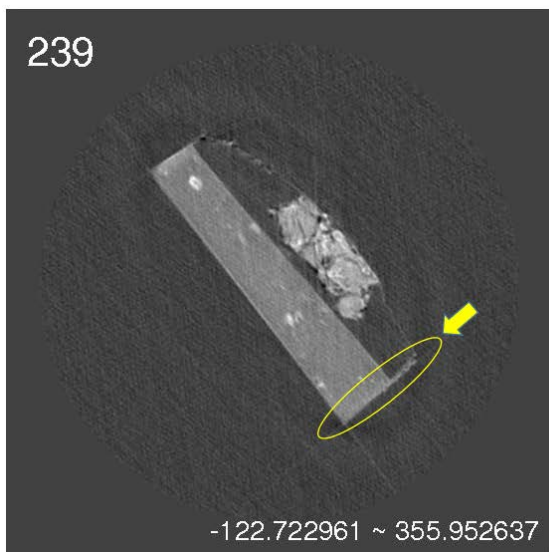
>>バックグラウンドの取り方でとても良くなっていますね。

>>

>>tg\_a の 239 では「MF + hybrid」がいい気がします。試料の組織がシャープに見えるような気がしますし、

>>「hybrid」は試料の周囲にうっすらハローが出ているような気がします。

三宅さんからの E-mail の添付ファイル 239.tif




---

Date: Wed, 01 Nov 2017 10:32:46 +0900

From: Tsukasa NAKANO

To: MATSUNO Junya

Subject: Re: 6mct\_test

---

まつのさま、

なかのです。ぼく的には（MF をする・しないに関わらず）SIXM 画像を使った「エッジ」もしくは「薄皮」の起源の追求は行わないつもりです。次便以降の E-mail に書くように MF の有効性は case by case なので、「薄皮」の問題については通常の FZP-CT 実験で追求した方が良いと思う。とり急ぎ、

On Wed, 1 Nov 2017 10:04:38 +0900 MATSUNO Junya wrote:

> 中野さま、三宅さま

> 松野です。

>> 「MF なしでは見えていなかったものが見えるようになったと言うべきでしょう。」

> ということは、「エッジ」の起源を探すことを思っても、MF-hybrid で再構成してみて、

> 挙動を調べていく、というのがいいのですね。

>

> 2017 年 11 月 1 日 9:26 Miyake:

>

>> 中野さま

>> ありがとうございます。

>>

>> 「MF なしでは見えていなかったものが見えるようになったと言うべきでしょう。」  
 >> なるほど、そういう捉え方になりますか。  
 >> ということは、MF-hybrid のほうが、良いんでしょうね。  
 >> ただし、「エッジ」もしくは「薄皮」問題は別として。  
 >> 三宅

---

Date: Wed, 01 Nov 2017 14:11:39 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: MATSUNO Junya, Miyake  
 Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Masayuki Uesugi,  
 北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Aiko Nakato, megumi matsumoto  
 Subject: 6mct\_test\_MF

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。三宅さんや松野くんからのコメントがあった、SIXM 用の新しいプログラム his2raw に組み込んだ MF (mountain flattening) の処理に関することを書きます。8/1 の E-mail

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_2017.pdf#page=85](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_2017.pdf#page=85)

にも書いたように、MF の実行には以下の 2 つの考慮すべき事項があります。

#### [1] MF が有効な SIXM の測定

先の E-mail の添付ファイル mf\_ri.pdf などにしたように、SIXM の入射 X 線強度が低い場合には MF は有効ではないと思われます。その場合、MF を行って得た RI 画像から再構成した吸収 CT 画像は理論的には MF なしのもと同じになるはずですが、RP (refraction profile) の上の「山」の X 線強度値が飽和している場合にのみ MF は有効です。

#### [2] MF 用のパラメータの値

MF の実行には以下の 2 個の整数値のパラメータの指定が必要です。

Wm (mountain width ;  $\geq 0$ )

RP 画像上の X 線強度値の「山」の「半幅」の画素数。その山のピークの位置を  $p_0$  として、MF では  $|p - p_0| \leq Wm$  を満たす RP 画像上の各横列の座標値  $p$  の領域の X 線強度値を「ゴミ」と見なします (そのような山の領域を削除します)。

Ws (sampling width ;  $\geq 2$ )

削除した山の両脇の「山麓」の幅の画素数。MF では RP 画像の横列ごとに  $Wm < |p - p_0| \leq Wm + Ws$  の範囲にある X 線強度値を用いて削除した山の領域を埋め戻します。

問題はこれらの値を自動的に決める方法がないことです。「山 == FZP の中央の穴」は 5 画素幅程度ですが、その両脇の X 線強度が揺らいでいる部分も削除すべきだと思います (つまり、 $Wm \geq 5$  程度?)。なお、Ws には Wm と同じ値を指定すれば十分だと思われますが、諸般の事情により his2raw に 1 以下の Ws の値を指定するとエラーになります。

このように MF に使うパラメータの値を自動的に決める方法がないので、現時点ではそれらを「エイ」と指定するしかありません。ただ、その場合でも、his2raw による「本番」の前に「もとの RP 画像とそれに MF を行った RP 画像」を目視確認することが望ましい。7/7 の E-mail

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_2017.pdf#page=76](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_2017.pdf#page=76)

で紹介したその処理のための C-shell scripts "rp.csh" と "mf.csh" に加えて、それらを使って RP 画像および MF を行った RP 画像を作成し、それらの画像とそれらの上の横一列のラインプロファイルのグラフを ImageJ で表示する新しい C-shell script "rp+mf\_ij.csh" を下記の書庫ファイルに入れておきました。

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.taz>

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.zip>

rp+mf\_ij.csh を実行すれば、8/1 の E-mail に添付した 170513a\_392\_107.pdf ~~(この E-mail に再度添付しました)~~ の下 2 段のものと概ね同じ画像とグラフを ImageJ で表示できます。その起動法は以下の通りです。

```
rp+mf_ij.csh log&HIS view scan layer {Wm,Ws ...}
```

ただし、起動パラメータの意味は以下の通りです

注

オプションの「Wm,Ws」以外のパラメータの意味は 7/7 の E-mail で説明した rp.csh のものと同じです。

log&HIS

SIXM の測定ファイル "\*.HIS" とログファイル "\*.log" のパス名から ".HIS" と ".log" を除いた文字列。通常は「ディレクトリ名/a」。

view、scan と layer

サンプル回転角に対応している R[I,R] 画像の番号と、それらの画像上の画素の x および y 座標値。

Wm,Ws

MF 用のパラメータの値をコンマ区切りで指定する。複数の指定が可能。指定を省略すると MF を行わない。なお、「Wm,Ws」としてコンマなしの 1 個の値 w を指定すると  $Wm = Ws = w$  と見なす。

170513a\_392\_107.pdf の下 2 段のものと同様な画像とグラフを表示したい場合は以下のように端末から入力すれば OK です：

```
rp+mf_ij.csh 170513a/a 392 107 120 5,5 10
rp+mf_ij.csh 170513a/a 392 107 242 5 10,10
```

とりあえず以上です。

Date: Wed, 01 Nov 2017 16:59:36 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: MATSUNO Junya  
Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", Miyake, Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Masayuki Uesugi,  
北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Aiko Nakato, megumi matsumoto  
Subject: 6mct\_170516c.txt

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。10/27 の E-mail に添付した「測定 170516c のデータに対する SIXM 用の新しいプログラムによる処理」の記録のファイル 170516c.txt に先の E-mail で紹介した「C-shell script "rp+mf\_ij.csh" による MF のための RP 画像の観察」の処理を追加しました。書き換えたファイル 170516c.txt をこの E-mail に添付しましたので、必要なら以前のものと同じ替えて下さい。追加した処理は SIXM の測定データのチェックの直後に実行するようにしてあります。R[I,R] 画像のど真ん中の縦列の画素に相当する RP 画像に対して  $W_m = W_s = 5$  and 10 の MF を行い、その結果の画像とグラフを ImageJ で表示します。ImageJ の表示が完了するまでの所要時間は 10 秒程度？ とり急ぎ、

添付ファイル 170516c.txt

この E-mail の後に修正したので削除しました。後に載せた 11/9 の E-mail に添付ファイルを御覧下さい。

---

Date: Thu, 02 Nov 2017 14:41:48 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: MATSUNO Junya  
Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", Miyake, Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Masayuki Uesugi,  
北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Aiko Nakato, megumi matsumoto  
Subject: 6mct\_tlr.txt

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。10/23 の E-mail で紹介した次回の SIXM 実験で使う ImageJ のマクロ tlr.txt (tlrb.txt) を改造しました。お手数ですが、以前と同様にして tlr.txt をそちらの Linux 機にインストールして下さい。

On Mon, 23 Oct 2017 20:27:47 +0900 Tsukasa NAKANO wrote:

```
> cd ~/Desktop/ImageJ/macros  
> wget -O tlr.txt http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/IJ_m_tlr.txt
```



注

SIXM 用の書庫ファイルにも tlrb.txt を入れてあります：

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.taz>

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.zip>

起動パラメータとしてファイル名 LOG を指定すると、改造版の tlrb は R[I,R] 画像の上の物体像の領域を指す選択した bounding box に関する 4 個の数値

- > 上部 (top) にある空気の領域の y 方向の幅
- > 左側 (left) にある空気の領域の x 方向の幅
- > 右側 (right) にある空気の領域の x 方向の幅
- > 下端 (bottom) の y 座標値 (これは SIXM 的にはオマケの情報です)

を ImageJ の Log ウィンドウに記録すると同時にそのファイルに書き込みます。

tlrb の起動法

```
IJ -macro tlrb directory {start increment} {top left right bottom}
```

→

```
IJ -macro tlrb directory {start increment} {top left right bottom} {LOG}
```

また、以前とは異なり、改造版の tlrb は bounding box の選択の前に

[1] 読み込んだ R[I,R] 画像の横および縦画素数の 2 個の数値

[2] 読み込んだ画像の全域に対応した top、left、right と bottom の値、もしくは、起動時に指定したそれらの 4 個の数値

のそれぞれを並べた行を Log ウィンドウ (および、起動時に指定したファイル LOG) に記録します。そして、その後に、選択した bounding box に関する前記の 4 個の数値を並べた行を書き込みます。

以上のような tlrb の新機能を 10/27 の E-mail で紹介した「測定 170516c のデータに対する SIXM 用の新しいプログラムによる処理」でも使うようにしました。その手順を追加したファイル 170516c.txt をこの E-mail に添付します。必要なら以前のものとは差し替えて下さい。とり急ぎ、

添付ファイル 170516c.txt

この E-mail の後に修正したので削除しました。後に載せた 11/9 の E-mail に添付ファイルを御覧下さい。

Date: Tue, 07 Nov 2017 18:30:37 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: MATSUNO Junya  
Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", Miyake, Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Masayuki Uesugi,  
北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Aiko Nakato, megumi matsumoto, Taguchi  
Subject: Re: 6mct\_tlrp.txt

---

まつのさま、  
なかのです。

>> IJ -macro tlrp ri 1 10 100 50 120 470 tlrp.log  
>> では、tlrp.log に反映されない(何も記入されない)ようです。  
不思議ですね。ぼくの所では問題なく書き込めます。

> IJ -macro tlrp ri 1 10 100 50 120 470 tlrp.log  
> で起動した ImageJ の画像上で右クリックしたあとの[Yes]ボタンの挙動がおかしいようです。  
> ImageJ 上の Log ウィンドウには座標が表示されるのですが、指定したテキストファイル(ここでは  
> tlrp.log) には値が書き込まれないようです。(tlrp.log は作成されますが。)  
>  
> なお、[cancel]を押すとテキストファイルへの書き込みが行われました。  
これは「Yes をした直後にテキストファイルには書き込まないが、Cancel してマクロ tlrp を終了すると書き  
込みが行われる」の意味ですか？ もしそうなら、ImageJ or JAVA のファイル出力がリアルタイムでない（効  
率化のためファイル出力をバッファリングしている）ためでは？ それは ImageJ or JAVA の問題。

とり急ぎ、

On Tue, 7 Nov 2017 15:29:48 +0900 MATSUNO Junya wrote:

> 中野さま  
> 松野です。  
> 先ほどお送りしたご質問なのですが、こちらでもう少し試しました。  
>  
> IJ -macro tlrp ri 1 10 100 50 120 470 tlrp.log  
> で起動した ImageJ の画像上で右クリックしたあとの[Yes]ボタンの挙動がおかしいようです。  
> ImageJ 上の Log ウィンドウには座標が表示されるのですが、指定したテキストファイル(ここでは  
> tlrp.log) には値が書き込まれないようです。(tlrp.log は作成されますが。)  
>  
> なお、[cancel]を押すとテキストファイルへの書き込みが行われました。

> 2017 年 11 月 7 日 15:00 MATSUNO Junya:  
 >  
 >> 中野さま  
 >> 松野です。ご連絡遅くなり、失礼いたしました。  
 >> 本日改良版 tlr.txt をダウンロードして、/ImageJ/macro にいれました。  
 >>  
 >> 170516c.txt にしたがって再構成の練習をしていたのですが、  
 >> IJ -macro tlr ri 1 10 100 50 120 470 tlr.log  
 >> では、tlr.log に反映されない(何も記入されない)ようです。  
 >>  
 >> ご確認いただけないでしょうか。よろしくお願いいたします。

---

Date: Tue, 07 Nov 2017 19:05:22 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: MATSUNO Junya  
 Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", Miyake, Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Masayuki Uesugi,  
 北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Aiko Nakato, megumi matsumoto, Taguchi  
 Subject: 6mct\_recipe

---

まつのさま、  
 みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。明日からの SIXM 実験の場で新しい計算機プログラムを使って処理を行うための「SIXM の画像再構成の手順」を書きました。この E-mail に添付した recipe.txt です。今日の午後に数時間かけて書き殴った文書なので完成度は低いです。明日以降に加筆・修正するつもりですが、とりあえず送ります。そちらで実験に合わせたものに整形してお使い下さい。以下はそれに関する注意書きです。

- [0] と [13] の処理は明日からの実験ではたぶん不要。
- [3] の MF 処理のテストは明日の SIXM 実験の測定条件に依存する。
- [6] で使う ImageJ のマクロ tlr にバグがあると困るが、...
- 説明が妙に詳しい部分とあっさりしている部分がありますが、...

なお、recipe.txt の雛形にしたファイル 170516c.txt も少しだけ修正したので再度送付します。それで気が付いたのですが、これまでの SIXM 実験では中村君が書いた(完成度の低い) shell script で計算機を使った処理をしており、かつ、計算機に入力した数値などをわざわざ紙のログノートに手書きしていましたが、それを 170516c.txt のような「入力したコマンド行すべてを記録する」方式にする方が良いのではないのでしょうか？ 170516c.txt の場合、入力したコマンド行は全体の 1/4 程度です。テキストファイルに記したコマンド行を copy & paste して実際に実行すれば、パラメータの入力ミスなどを見つけるのが容易です。とり急ぎ、

P.S.

ぼくはいつも通り明日の午後2時ごろに重役出勤します。すみません。

添付ファイル recipe.txt と 170516c.txt

この E-mail の後に修正したので削除しました。後に載せた 11/9 の E-mail に添付ファイルを御覧下さい。

---

Date: Thu, 09 Nov 2017 18:41:11 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: MATSUNO Junya, "TSUCHIYAMA, Akira", Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa",  
Masayuki Uesugi, 北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Taguchi  
Cc: Miyake, Aiko Nakato, megumi matsumoto, 野口 高明, Minako HASHIGUCHI  
Subject: 6mct\_bug\_fix

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。SIXM 用の新しいプログラムなどの間違いを正しました。

(1)

SIXM 用の新しいプログラムのうち C-shell script "t2t\_f.csh" と "pile.[h,v].csh" のバグを修正し、それらのコードを書庫ファイル

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.taz>

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.zip>

に入れておきました。

(2)

松野くんが指摘してくれた ImageJ のマクロ tlrb (tlrb.txt) のファイル書き込みに関するバグを修正し、上記の書庫ファイルに入れておきました。また、

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/IJ\\_m\\_tlr.txt](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/IJ_m_tlr.txt)

も修正版です。

(3)

杉本さんが指摘してくれた「SIXM の画像再構成処理などの手順書 (recipe.txt)」の間違いを直しました。この E-mail にその修正版と、その雛形にした C-shell script として実行可能なファイル 170516c.txt の修正版を添付します。また、オマケとして、SIXM の実験の場 (SPring-8 BL47XU) にある Linux 機 test01 の上で AV 貝を撮影した測定 170513a に対する画像再構成などの処理を試した時の記録のファイル 170513a.txt もこの E-mail に添付します。

とり急ぎ、

添付ファイル recipe.txt

SIXM の画像再構成などの手順

- [0] プログラムのインストール法
- [1] 作業用ディレクトリと測定データの準備
- [2] 測定データのチェックなど
- [3] MF のための RP 画像の観察
- [4] R[I,R] 画像の作成
- [5] 作成した R[I,R] 画像に対するオプションの処理
- [6] R[I,R] 画像上の物体像を囲む bounding box の選択
- [7] スライスごとの値の「時間変動」や鉛直方向のサンプルの「動き」のチェック
- [8] サンプル回転軸の位置の推定
- [9] サンプル回転軸の位置を変えた画像再構成のテスト
- [10] 吸収および位相 CT 画像の再構成とそれらの確認
- [11] 吸収 CT 画像に対する後処理
- [12] 位相 CT 画像に対する後処理
- [13] 長さ并表示輝度のスケールバーを付けた吸収と位相 CT 画像の作成（オマケ）

[0] プログラムのインストール法

書庫ファイルのダウンロードと展開

```
% cd ~/Desktop
% wget http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.taz
% tar xzf 6mct.taz
% rm 6mct.taz
```

CPU 用のプログラムのコンパイル

```
% cd 6mct
% make
```

GPU 用のプログラムのインストール

```
% cd cuda
% vi Makefile
    NVCC =nvcc -O3 -arch=sm_50
    CUDA =/usr/local/cuda
% make
% mv *_g ..
% cd ..
```

ImageJ のランチャーとマクロのインストール

```
% cp -p ImageJ.csh ~/Desktop/ImageJ
% cp -p tlr.txt ~/Desktop/ImageJ/macros
```

C-shell の設定ファイルへの追加

```
% vi ~/.cshrc
set path=(~/Desktop/6mct $path)
alias IJ '~/Desktop/ImageJ/ImageJ.csh ¥!*
```

#### [1] 作業用ディレクトリと測定データの準備

測定ごとのディレクトリを作成し、その中に移動してすべての作業を行う：

```
% mkdir 170516c
% cd 170516c
/dev/shm/170516c
```

SIXM の測定で得た 2 個のファイルをリンク（もしくはコピー）しておく：

```
% ln -s /work1/tsukasa/1705/170516c/a.log .
% ln -s /work1/tsukasa/1705/170516c/a.HIS .
```

#### [2] 測定データのチェックなど

SIXM の測定データファイルのバイト数などを調べる：

```
% ls -trL
total 41275208
-rwx----- 1 tsukasa tsukasa 14074443 May 16 18:52 a.log
-rwx----- 1 tsukasa tsukasa 42251730944 May 16 18:52 a.HIS
```

SIXM の測定のパラメータ値 scans、views および darks を調べておく：

```
% head -1 a.log
551,601,100,1,0
```

これらのコンマ区切りの数値のうちの最初の 3 個の意味は以下の通りで、それらを後述するプログラム hs2raw 起動パラメータとしてそのまま指定する：

```
scans = 551
```

各 view の最初の scan はゴミなので、R[I,R] 画像の横画素数は 550

```
views = 601
```

CT に使用する 180 度回転のステップ数は 600 views

```
darks = 100
```

データファイル a.HIS の先頭に格納されている暗電流 RP 画像の個数

データファイル a.HIS に格納されている RP 画像のサイズなどを調べる：

```
% check_his a.HIS | uniq -c
42251730350
331251 128      498      2
```

ただし、check\_his などが出力した数値の意味は以下の通り：

42251730350 (< 42251730944)

有効な RP 画像の総バイト数。この値はファイル a.HIS のバイト数以下のはず。

331251 (== 551\*601+100)

有効な RP 画像の個数。ファイル a.log に記されている値から計算した値と一致するはず。

128

RP 画像の横画素数

Nz = 498

RP 画像の縦画素数。この値と等しい枚数の CT 画像のスライス画像を再構成できる。

2

RP 画像のタイプ (2 == 16 ビット整数画素値の画像)。後述する his2raw はこのタイプの RP 画像しか処理できない。

これら以外に以下の SIXM のパラメータの値を知っておく必要がある：

Dz = 108.1 (nm)

RP 画像の画素の鉛直方向の辺長。この値は以下の処理では陽に指定しないが、RP 画像から作成する R[I,R] 画像の画素の鉛直方向の辺長、および、それらから再構成する 3 次元 CT 画像のスライスの厚さとなる。

Dr = 100 (nm) = 100e-7 (cm)

SIXM のスキャンのステップ幅。この値は位相 CT 画像の再構成処理では陽に指定しないが、それを含まれた 3 次元 CT 画像のスライス画像の正方形画素の辺長となる。

SDD = 6220 (mm) = 6220e-3 (m)

サンプル回転軸と検出器面間の距離

Dp = 6.5 (um) \* 16 (binning) = 104 (um)

RP 画像の画素の水平方向の辺長。RP 画像が正立像なので、Dp として負の符号を付けた -104 を指定する。

RA0 = 0 (degree)

サンプル回転角の初期値。非 0 の値を指定すれば軸回転した画像を画質の低下なしで再構成できる。他のパラメータ値と区別するため、以下では RA0 として +0 を指定する。

なお、後述する画像再構成の処理では Dr、SDD および Dp として再構成する値に応じた上記の単位の値を指定する必要がある：

吸収 CT 画像

単位が 1/cm の LAC の値を推定するので cm 単位の Dr の値を指定する。

## 位相 CT 画像

単位が  $1e-6$  (100 万分の 1) の RID の値を推定するので、SDD の単位に対して 100 万分の 1 の単位の  $D_p$  の値を指定する。

## [3] MF のための RP 画像の観察

R[I,R] 画像の作成時に RP 画像に対して MF の処理を行うかどうかを判断する。そのためには複数の RP 画像を吟味することが望ましいが、ここではとりあえず R[I,R] 画像の「中央」の画素の値の計算に使う 1 個の RP 画像だけを調べる：

R[I,R] 画像の「中央」の画素の位置

$view = views / 2 = 300$

$scan = scans / 2 = 275$

$layer = Nz$  (RP 画像の縦画素数) / 2 = 249

これらとファイル a.log に記されていた値を用いてファイル a.HIS から 1 個の RP 画像を抽出し、その画像 (もとの RP 画像) とそれに対してパラメータの値

$W_m$  (mountain width) =  $W_s$  (sampleneq width) = 5 および 10

を指定して MF を行った結果の RP 画像などを ImageJ で表示してみる：

```
% rp+mf_ij.csh a 300 275 249 5,5 10,10
```

```
-380.329987      63949.281250
```

```
-380.329987      63949.281250
```

これらの画像や同時に表示されるラインプロファイルを観察して

もとの RP 画像の「山」の高さが  $2^{16} = 65536$  に近い「飽和した値」か

$W_m$  と  $W_s$  の値ごとの MF の結果のプロファイルに「不自然さ」がないか

を確認し、MF を行うか否か、もしくは、MF に使う  $W_m$  と  $W_s$  の値を決める。なお、rp+mf\_ij.csh は MF の処理を行うたびにもとの RP 画像が保持している画素値の値域を上記のように (標準エラー出力に) 書き出す。これらのうちの最大値からその「山」の高さが「飽和した値」かどうかを判断できる。

## [4] R[I,R] 画像の作成

新しい 2 個のディレクトリを作成し、それらそれぞれの中に a.log の値を指定してプログラム his2raw で抽出した a.HIS の上のもとの RP 画像、もしくは、それに MF を行った結果の RP 画像から計算した R[I,R] 画像を書き込む：

```
% mkdir ri rr
```

```
% his2raw a.HIS 551 601 100      ri rr > raw.log      # MF を行わない場合
```

```
% his2raw a.HIS 551 601 100 5   5   ri rr > raw.log      #  $W_m = W_s = 5$ 
```

```
% his2raw a.HIS 551 601 100 10 10 ri rr > raw.log      #  $W_m = W_s = 10$ 
```



なお、言うまでもないことだが、上の3通りの his2raw の起動例のうちのいずれか、もしくは、Wm と Ws として任意の値を指定した his2raw の1回の起動を行えば良い。

#### [5] 作成した R[I,R] 画像に対するオプションの処理

必要なら以下のような R[I,R] 画像の画素値のビット数の削減処理を行っても良い。

float (32 ビット画素値) の R[I,R] 画像を 16 ビットのものに変換

```
% t2t_float ri - 16 ri > /dev/null
```

```
% t2t_float rr - 16 rr > /dev/null
```

float (32 ビット画素値) の R[I,R] 画像を 8 ビットのものに変換

```
% t2t_float ri - 8 ri > /dev/null
```

```
% t2t_float rr - 8 rr > /dev/null
```

これらの処理を行うと R[I,R] 画像の容量が激減するが、それを用いた画像再構成の結果がもとの float の画像を使ったものと同じになるか否かは定かではない。

#### [6] R[I,R] 画像上の物体像を囲む bounding box の選択

ImageJ のマクロ tlrb を使って R[I,R] 画像のいずれかを表示し、それらの上の物体像を完全にカバーする bounding box のひろがり調べる：

```
% IJ -macro tlrb rr 1 10 tlrb.log
```

ただし、ここでは物体像の境界の識別が容易な RR 画像 (ディレクトリ rr) を指定した (RI 画像を使いたければディレクトリを ri に置き換えれば良い)。また、処理時間短縮のため RR 画像のうち1番目から10枚おきの view だけを表示するよう指定した (すべての view を表示したければ「1 10」を削除すれば良い)。

画像下部のスライダを使えば指定した複数の view の画像のそれぞれを表示できる。マウス左ボタンをドラッグしてそれらの画像の上に bounding box の長方形を描く。その後、マウスの右ボタンを押すと bounding box の情報を示すウィンドウが開くので、その下部に並んでいる以下の3つのボタンのいずれかをクリックする：

Yes

表示されている bounding box の情報を記録した後に処理を続行する。

No

表示されている bounding box の情報を記録せずに処理を続行する。

Cancel

マクロ tlrb による bounding box の選択の処理を終了する。

上記の Yes により bounding box の情報がファイル tlrb.log にも書き込まれる。Cancel (および ImageJ の終了) を行った後にそれを確認すれば良い：

```
% tail -1 tlrb.log
```

```
100    50    120    470
```

これら 4 個の数値は R[l,R] 画像の上の物体像に関する以下の情報を示しており、後述するプログラム "r[i,r]" のそれぞれに起動パラメータとして指定する：

```
top = 100
    物体像の上部の空気の領域の幅、もしくは、物体像の上端の座標値
left = 50
    物体像の左側の空気の領域の幅
right = 120
    物体像の右側の空気の領域の幅
bottom = 470
    物体像の下端の座標値
```

なお、以下のようにすれば選択した bounding box を確認することができる：

```
% IJ -macro tlrb ri 1 10 100 50 120 470
% IJ -macro tlrb rr 1 10 100 50 120 470
```

#### [7] スライスごとの値の「時間変動」や鉛直方向のサンプルの「動き」のチェック

R[l,R] 画像から平均投影値もしくは平均積算微分屈折率の画像を作成する：

```
% ri2mp ri - 100 50 120 mp.tif
    -0.019094      0.119755
% rr2mr rr - 100 50 120 mr.tif
    -1.014936      0.893499
```

これらの画像の縦軸は R[l,R] 画像の縦軸に、また、横軸は R[l,R] 画像の view に対応しており、それぞれの画素の値は、起動時に指定した top、left および right が指す領域の画素の値を使って

```
R[l,R] 画像の値から計算した投影値もしくは積算微分屈折率の値の
R[l,R] 画像の view それぞれの画像の横列ごとの平均値
```

である。これらの値に view (≡ 測定時刻) ごとの変動があると高画質の CT 画像を再構成できないので、作成した画像 m[p,r].tif を表示してその様相を調べる：

```
% xv mp.tif mr.tif
```

これらの画像の上の横方向に伸びている縞模様が「傾斜」している場合は SIXM の測定中にサンプルが鉛直方向に動いた可能性が高い (後述)。

#### [8] サンプル回転軸の位置の推定

サンプル回転角が 0 度と 180 度の R[l,R] 画像の「比較」によって SIXM の測定で用いたサンプル回転軸の位置 (いわゆる「センター値」) を推定する：

```
% ri2rc ri - 100 50 120 100 470 0.25 0.25 ri2rc.tif
```

```
206      343      241
```

```
-124     124      -3
```

```
% rr2rc rr - 100 50 120 100 470 0.25 0.25 rr2rc.tif
```

```
206      343      241
```

```
-124     124      -6
```

R[I,R] 画像の上の物体像がある領域だけを使うと「比較」の精度が向上するので、ここでは top、left と right の値に続けて物体像がある縦方向の範囲を指す top と bottom の値を指定した。それらに続く 2 個の値「0.25 0.25」は回転角が 0 度と 180 度の画像の「比較」を試す回転軸の位置と縦方向の変位（縦ズレ）の量の相対値で、標準出力に書き出された 2 行それぞれの最初の 2 個の値がそれらに対応した「比較」を試した回転軸の位置と縦ズレの実際の範囲を示している。そして、これらの行の最後の値がそれぞれサンプル回転軸の位置（1 行目）と SIXM の測定中に生じたサンプルの縦ズレの推定値（2 行目）である。

上記の出力によると R[I,R] 画像から推定した回転軸の位置はどちらも同じ値 241 であり、それを吸収と位相 CT の両方の画像再構成で指定すれば良いはずである。なお、後述する画像再構成のテストの結果にもよるが、原理的には吸収と位相 CT の画像再構成で指定するサンプル回転軸の位置は同じ値にすべきである。

また、R[I,R] 画像の縦ズレ量の推定値の符号は前述の平均投影値や平均積算微分屈折率の画像の上の縞模様の「傾斜」と調和的である。つまり、ここで例として処理している測定 170516c では SIXM の測定中にサンプルが鉛直方向に少しだけ動いたようである。

試行した範囲の両端と同じ値の回転軸の位置や縦ズレ量の推定値は信頼できない。その場合は物体像がある縦方向の範囲を変えて r[i,r]2rc を再度実行する必要がある。また、撮影した物体像の内部構造が特異な場合には「比較」が正常に行えないこともある。その場合には起動時に指定したファイル r[i,r]2rc.tif に格納されている「RMSD のマップ」を観察して対応策を考える必要があるが、ここではその詳細の説明は省略する：

```
% xv          ri2rc.tif rr2rc.tif    # RMSD のマップを白黒表示する
```

```
% xv -preset 4 ri2rc.tif rr2rc.tif  # 擬似カラー表示（青が低い値）
```

#### [9] サンプル回転軸の位置を変えた画像再構成のテスト

念のため、先に推定した値の前後のサンプル回転軸の位置を指定した画像再構成のテストを行う。ここでは以下のパラメータを指定する：

```
再構成するスライスの位置 = ( top + bottom ) / 2 = 285
```

```
試行する回転軸の位置の最小値 = 241-0.5*7 = 237.5
```

```
試行する回転軸の位置の間隔 = 0.5
```

```
試行する回転軸の位置の総数 = 7+1+7 = 15
```

画像再構成のテストは CPU で走る `r[i,r]_stg_t` と GPU を使う `r[i,r]_stg_g` のどちらのプログラムで行っても良い（以下では両者の実行法を併記する）。ただし、CPU 用を使う場合は実行の前に稼働するスレッド数の設定を行っておく必要がある：

```
% setenv CBP_THREADS 8      # 8個のスレッドで並列に画像再構成を行う
```

吸収と位相 CT のそれぞれの画像再構成のテスト用のディレクトリ `test_[a,p]` をまず作成し、ここまでで説明した値を指定して `r[i,r]_stg_[t,g]` を実行することによりそれらの中に各1個の sinogram と複数の tomograms の画像を書き込む：

```
% mkdir test_a
% ri_stg_t ri - 100 50 120 285 100e-7      237.5 0.5 15 +0 test_a > test_a.log
% ri_stg_g ri - 100 50 120 285 100e-7      237.5 0.5 15 +0 test_a > test_a.log
% mkdir test_p
% rr_stg_t rr - 100 50 120 285 6220e-3 -104 237.5 0.5 15 +0 test_p > test_p.log
% rr_stg_g rr - 100 50 120 285 6220e-3 -104 237.5 0.5 15 +0 test_p > test_p.log
```

その後、ファイル「`test_[a,p]/スライス番号.tif`」の sinogram の画像を観察し、測定中のサンプルの不穏な「動き」の有無を確認する：

```
xv test_a/285.tif test_p/285.tif      # sinograms of layer 285
```

ファイル「`test_[a,p]/スライス番号_回転軸の位置.tif`」が回転軸の位置を変えて再構成した画像である。これらを個別に眺めて回転軸の位置の違いに伴う CT 画像の画質を評価しても良いが、それよりも回転軸の位置が異なる画像を並べたものを眺める方が効率的である。以下のようにすれば吸収と位相 CT のそれぞれのテスト用のディレクトリの下にある再構成画像すべてを並べた画像を作成できる：

横方向優先の順番で  $5 \times 3$  のマトリックス状に並べる場合

```
% pile_h.csh test_a 1 1 15 5 3 test_a.tif
% pile_h.csh test_p 1 1 15 5 3 test_p.tif
```

縦方向優先の順番で  $3 \times 5$  のマトリックス状に並べる場合

```
% pile_v.csh test_a 1 1 15 3 5 test_a.tif
% pile_v.csh test_p 1 1 15 3 5 test_p.tif
```

これらの画像を詳細に観察して、偽像のない高画質な CT 画像の再構成に最適なサンプルの回転軸の位置を決定する：

```
xv test_a.tif test_p.tif
```

#### [10] 吸収および位相 CT 画像の再構成とそれらの確認

サンプル回転軸の位置を決定した後（ここでは吸収と位相 CT のどちらに対しても同じ値 241.0 とした）、本番の画像再構成を行う。テスト用の場合と同様に CPU 用と GPU 用の合計  $2 \times 3$  個のプログラムのいずれかを利

用できる（以下ではそれらの実行法を併記する）。ただし、CPU 用のプログラムを実行する場合には稼働するスレッド数（8 とする）を事前に設定しておく必要がある：

プログラム `r[i,r]2tg` を実行する場合

```
% setenv THREADS 8
```

プログラム `r[i,r]_tg_t` を実行する場合

```
% setenv CBP_THREADS 8
```

テストの場合と同様に吸収と位相 CT の再構成画像用のそれぞれのディレクトリを作成した後、これまでに紹介したパラメータの値を指定して画像再構成プログラムを実行する：

```
% mkdir tg_a
% ri2tg ri - 100 50 120 100e-7 241.0 +0 tg_a > tg_a.log
% ri_tg_t ri - 100 50 120 100e-7 241.0 +0 tg_a > tg_a.log
% ri_tg_g ri - 100 50 120 100e-7 241.0 +0 tg_a > tg_a.log
% mkdir tg_p
% rr2tg rr - 100 50 120 6220e-3 -104 241.0 +0 tg_p > tg_p.log
% rr_tg_t rr - 100 50 120 6220e-3 -104 241.0 +0 tg_p > tg_p.log
% rr_tg_g rr - 100 50 120 6220e-3 -104 241.0 +0 tg_p > tg_p.log
```

再構成した画像をざっと見るため、テストのものと同様に吸収と位相 CT のそれぞれの（等間隔になるように選り出した）15 枚のスライスを  $5 \times 3$  もしくは  $3 \times 5$  のマトリックス状に並べた画像を作成してみる。

スライスの間隔 =  $(\text{bottom} - \text{top} + 1) / 15 \doteq 24$

最初のスライス =  $\text{top} + (\text{bottom} - \text{top} + 1 - 24 * (15 - 1)) / 2 \doteq 117$

横方向優先の順番で  $5 \times 3$  のマトリックス状に並べる場合

```
% pile_h.csh tg_a 117 24 15 5 3 tg_a.tif
```

```
% pile_h.csh tg_p 117 24 15 5 3 tg_p.tif
```

縦方向優先の順番で  $3 \times 5$  のマトリックス状に並べる場合

```
% pile_v.csh tg_a 117 24 15 3 5 tg_a.tif
```

```
% pile_v.csh tg_p 117 24 15 3 5 tg_p.tif
```

これらの画像を眺めて画像再構成の結果に不備がないかを確認する：

```
% xv tg_a.tif tg_p.tif
```

#### [11] 吸収 CT 画像に対する後処理

再構成した CT 画像は浮動小数点数画素値のものなのでそのままでは通常の画像処理を行うことができない。それらを整数画素値の画像に変換する必要がある。そのためにまず、再構成した LAC の値（CT 値）の値域を調べる：

```
% mm.csh tg_a
      -375.003174      1699.017944
```

SIXM に限らずこれまでの CT 実験ではすべてのスライスで上記の範囲の CT 値を表現する 16 ビット画素値の word 画像を作成していた。それを作成するために指定する 16 ビット画素値 1 階調ごとの CT 値の増分の値

$$(1699.017944 - (-375.003174)) / (2^{16} - 1) = 0.0316475336537728$$

も先と同じ C-shell script "mm.csh" で計算できる：

```
% mm.csh tg_a 16
      -375.003174      1699.017944      0.0316475336537728
```

このようにして得た値を指定して吸収 CT 画像の word 画像とその画素値ヒストグラムのデータファイルを作成する：

```
% mkdir word_a
% t2t_f.csh tg_a -375.003174 0.0316475336537728 16 word_a > word_a.txt
```

また、word 画像を作成せずにヒストグラムだけを得ることもできる：

```
% t2t_float tg_a - -375.003174 0.0316475336537728 16 - > word_a.txt
```

いずれにせよ再構成した CT 値の全域に関するヒストグラムを表示してサンプルの大部分を占める主要な物質の CT 値を調べる：

```
% plot_x11.csh word_a.txt
```

その際に CT 値の範囲を限定したければ以下のようにすれば良い：

```
% plot_x11.csh word_a.txt 0 500 # CT 値 = 0~500 の部分を表示
```

このようにして表示したヒストグラムからサンプルの主要な物質に対応するピークの CT 値を読み取り、その 1/100（これには根拠なし）の値を後述する byte 画像の 8 ビット画素値 1 階調ごとの CT 値の増分とする。

測定 170516c の吸収 CT 画像のヒストグラムのピークの CT 値  $\approx 124$  (1/cm)

→ byte 画像の 8 ビット画素値 1 階調ごとの CT 値の増分 = 1.24 (1/cm)

このようにして決めた CT 値の増分の値を指定して byte 画像とその画素値ヒストグラムのデータファイルを作成する。

```
% mkdir byte_a
% t2t_f.csh tg_a 0 1.24 8 byte_a > byte_a.txt
```

先と同様に byte 画像のスライスのうちの等間隔になるように選び出した 15 枚を  $5 \times 3$  もしくは  $3 \times 5$  のマトリックス状に並べた画像を作成してみる：

横方向優先の順番で  $5 \times 3$  のマトリックス状に並べる場合

```
% pile_h.csh byte_a 117 24 15 5 3 byte_a.tif
```

縦方向優先の順番で  $3 \times 5$  のマトリックス状に並べる場合

```
% pile_v.csh byte_a 117 24 15 3 5 byte_a.tif
```

また、byte 画像と同時に取得したヒストグラムの PostScript の図も作成する：

```
% plot_a.csh ./byte_a.txt > byte_a.ps
```

なお、byte 画像の画素値 0 と 255 には「ゴミ」が混じっているため、それらを除外した方がヒストグラムの見栄えが良くなる：

```
plot_a.csh ./byte_a.txt 0.62 315.58 > byte_a.ps
```

ただし、

$$0.62 = 1.24/2$$

byte 画像の画素値 0 に対応する CT 値の上限の値

$$315.58 = 1.24 * 254.5$$

byte 画像の画素値 255 に対応する CT 値の下限の値

以上のようにして作成した画像と図の出来栄を確認する：

```
% xv byte_a.tif
```

```
% evince byte_a.ps
```

## [12] 位相 CT 画像に対する後処理

位相 CT 画像に対する後処理の手順も吸収 CT 用のものと同じなので、ここでは測定 170516c のデータを処理する場合のそれらの具体的な違いだけを記す。

```
% mm.csh tg_p
```

```
-23.171337      24.950184
```

16 ビット画素値 1 階調ごとの CT 値の増分の値

$$= (24.950184 - (-23.171337)) / (2^{16} - 1) = 0.0007342873426413$$

```
% mm.csh tg_p 16
```

```
-23.171337      24.950184      0.0007342873426413
```

```
% mkdir word_p
```

```
% t2t_f.csh tg_p -23.171337 0.0007342873426413 16 word_p > word_p.txt
```

```
% t2t_float tg_p - -23.171337 0.0007342873426413 16 - > word_p.txt
```

```
% plot_x11.csh word_p.txt
```

```
% plot_x11.csh word_p.txt 0 15 # CT 値 = 0~150 の部分を表示
```

測定 170516c の位相 CT 画像のヒストグラムのピークの CT 値  $\approx 7.52 (1e-6)$

→ byte 画像の 8 ビット画素値 1 階調ごとの CT 値の増分 =  $0.0752 (1e-6)$

```
% mkdir byte_p
```

```
% t2t_f.csh tg_p 0 0.0752 8 byte_p > byte_p.txt
```

横方向優先の順番で  $5 \times 3$  のマトリックス状に並べる場合

```
% pile_h.csh byte_p 117 24 15 5 3 byte_p.tif
```

縦方向優先の順番で  $3 \times 5$  のマトリックス状に並べる場合

```
% pile_v.csh byte_p 117 24 15 3 5 byte_p.tif
```

```
% plot_p.csh ./byte_p.txt > byte_p.ps
```

```
% plot_p.csh ./byte_p.txt 0.0376 19.1384 > byte_p.ps
```

$0.0376 = 0.0752/2$

byte 画像の画素値 0 に対応する CT 値の上限の値

$19.1384 = 0.0752 * 254.5$

byte 画像の画素値 255 に対応する CT 値の下限の値

```
% xv byte_p.tif
```

```
% evince byte_p.ps
```

### [13] 長さ并表示輝度のスケールバーを付けた吸収と位相 CT 画像の作成 (オマケ)

吸収と位相 CT 画像の両方に使える長さが  $25 \mu\text{m}$  のスケールバーの画像の作成 :

```
% bar_ls.csh 250 5 50 '' '25 um' ls.tif
```

吸収と位相 CT のそれぞれの byte 画像の値に応じた表示輝度のスケールバー :

```
% bar_gs.csh 750 25 50 0 ``echo 1.24*255 | bc -l` (1/cm)" bar_a.tif
```

```
% bar_gs.csh 750 25 50 0 ``echo 0.0752*255 | bc -l` (1e-6)" bar_p.tif
```

スケールバーの画像と吸収 CT の byte 画像を並べた画像を張り合わせる :

```
% pile_gray 2 1 -250 0 255 bar_a.tif bar_a.tif ls.tif
```

```
% pile_gray 1 2 0 -50 255 browse_a.tif byte_a.tif bar_a.tif
```

スケールバーの画像と位相 CT の byte 画像を並べた画像を張り合わせる :

```
% pile_gray 2 1 -250 0 255 bar_p.tif bar_p.tif ls.tif
```

```
% pile_gray 1 2 0 -50 255 browse_p.tif byte_p.tif bar_p.tif
```

作成した吸収と位相 CT の browse 画像の確認 :

```
% xv browse_a.tif browse_p.tif
```



添付ファイル 170516c.txt

```
### 'preparation of working directory and measured data'
```

```
mkdir 170516c
```

```
cd 170516c
```

```
## /dev/shm/170516c
```

```
ln -s /work1/tsukasa/1705/170516c/a.log .
```

```
ln -s /work1/tsukasa/1705/170516c/a.HIS .
```

```
### 'data check'
```

```
ls -trL
```

```
## total 41275208
```

```
## -rwx----- 1 tsukasa tsukasa 14074443 May 16 18:52 a.log
```

```
## -rwx----- 1 tsukasa tsukasa 42251730944 May 16 18:52 a.HIS
```

```
head -1 a.log
```

```
## 551,601,100,1,0
```

```
# scans = 551 (scans = 550 for R[I,R] images)
```

```
# views = 601 (views = 600 for half rotation CT)
```

```
# darks = 100
```

```
check_his a.HIS | uniq -c
```

```
## 42251730350
```

```
## 331251 128 498 2
```

```
# bytes of RP images = 42251730350 (< 42251730944)
```

```
# number of RP images = 331251 (== 551*601+100)
```

```
# width of RP images = 128
```

```
# height of RP images = 498
```

```
# type of RP images = 2
```

```
# other SIXM parameters
```

```
# Dz = 108.1 (nm)
```

```

#      Dr = 100 (nm) = 100e-7 (cm)
#      SDD = 6220 (mm) = 6220e-3 (m)
#      Dp = 6.5 (um) * 16 (binning) = +104 (um)
#          -> Dp = -104 to notify upside-down RP
#      RA0 = 0 (degree)
#          -> RA0 = +0 to distinguish from other parameters

### 'observation of RP (refraction profile) for MF (mountain flattening)'

#  view = views / 2 = 300
#  scan = scans / 2 = 275
#  layer = height of RP images / 2 = 249
#  Wm (mountain width) = Ws (sampleneg width) = 5 and 10

rp+mf_ij.csh a 300 275 249 5,5 10,10
## -380.329987      63949.281250
### -380.329987      63949.281250

### 'making RI (raw intensity) and RR (raw refraction) images'

mkdir ri rr
#  his2raw a.HIS 551 601 100      ri rr > raw.log  # no MF
#  his2raw a.HIS 551 601 100 5 5  ri rr > raw.log  # Wm = Ws = 5
his2raw a.HIS 551 601 100 10 10 ri rr > raw.log  # Wm = Ws = 10

#-----
# do one of the following processings for bit-reduction, if necessary
#### 'conversion from float (32 bit) to 16 bit R[I,R] images'
#  t2t_float ri - 16 ri > /dev/null
#  t2t_float rr - 16 rr > /dev/null
#### 'conversion from float (32 bit) to 8 bit R[I,R] images'
#  t2t_float ri - 8 ri > /dev/null
#  t2t_float rr - 8 rr > /dev/null
#-----

```

```

### 'selection of bounding box on R[I,R] images'

# IJ -macro tlrb ri 1 10          tlrb.log
# IJ -macro tlrb ri 1 10 100 50 120 470 tlrb.log
# IJ -macro tlrb rr 1 10         tlrb.log
# IJ -macro tlrb rr 1 10 100 50 120 470 tlrb.log

tail -1 tlrb.log
## 100      50      120      470

# top = 100
# left = 50
# right = 120
# bottom = 470

### 'making mean (or sum of) projection and refraction images'

ri2mp ri - 100 50 120 mp.tif
## -0.0190940.119755

rr2mr rr - 100 50 120 mr.tif
## -1.0149360.893499

xv mp.tif mr.tif      # check tilt of horizontal line pattern

### 'estimation of rotation center'

ri2rc ri - 100 50 120 100 470 0.25 0.25 ri2rc.tif
## 206      343      241
## -124     124      -3      # check consistency with mp.tif

rr2rc rr - 100 50 120 100 470 0.25 0.25 rr2rc.tif
## 206      343      241
## -124     124      -6      # check consistency with mr.tif

# rotation center = 241 ?

# xv -preset 4 ri2rc.tif rr2rc.tif # confirmation of RMSD maps

```

```

### 'test of image reconstruction'

#   position of slice (layer) = ( top + bottom ) / 2 = 285
#   base (or start) value of rotation centers = 241-0.5*7 = 237.5
#   step (or interval) of rotation centers = 0.5
#   total number of rotation centers = 7+1+7 = 15

setenv CBP_THREADS 8      # for r[i,r]_stg_t

mkdir test_a
ri_stg_t ri - 100 50 120 285 100e-7      237.5 0.5 15 +0 test_a > test_a.log
# ri_stg_g ri - 100 50 120 285 100e-7      237.5 0.5 15 +0 test_a > test_a.log

mkdir test_p
rr_stg_t rr - 100 50 120 285 6220e-3 -104 237.5 0.5 15 +0 test_p > test_p.log
# rr_stg_g rr - 100 50 120 285 6220e-3 -104 237.5 0.5 15 +0 test_p > test_p.log

xv test_a/285.tif test_p/285.tif          # sinograms of layer 285

#   base value for pile_[h,v].csh = 1 (0-th image == sinogram)
#   step value for pile_[h,v].csh = 1
#   number of images for pile_[h,v].csh = 15 = 3*5 = 5*3

#   pile_v.csh test_a 1 1 15 3 5 test_a.tif
#   pile_h.csh test_a 1 1 15 5 3 test_a.tif

#   pile_v.csh test_p 1 1 15 3 5 test_p.tif
#   pile_h.csh test_p 1 1 15 5 3 test_p.tif

xv test_a.tif test_p.tif                  # tomograms with various rotation center

### 'reconstruction of absorption and phase-shift images'

#   rotation center = 241.0

setenv THREADS 8          # for r[i,r]2tg
setenv CBP_THREADS 8     # for r[i,r]_tg_t

```

```

mkdir tg_a
# ri2tg  ri - 100 50 120 100e-7      241.0 +0 tg_a > tg_a.log
ri_tg_t ri - 100 50 120 100e-7      241.0 +0 tg_a > tg_a.log
# ri_tg_g ri - 100 50 120 100e-7      241.0 +0 tg_a > tg_a.log

mkdir tg_p
# rr2tg  rr - 100 50 120 6220e-3 -104 241.0 +0 tg_p > tg_p.log
rr_tg_t rr - 100 50 120 6220e-3 -104 241.0 +0 tg_p > tg_p.log
# rr_tg_g rr - 100 50 120 6220e-3 -104 241.0 +0 tg_p > tg_p.log

# base value for pile_[h,v].csh = ( top + bottom + 1 - 24 * 14 ) / 2 ~ 117
# step value for pile_[h,v].csh = ( bottom - top + 1 ) / 15 ~ 24
# number of images for pile_[h,v].csh = 15 = 3*5 = 5*3

# pile_v.csh tg_a 117 24 15 3 5 tg_a.tif
pile_h.csh tg_a 117 24 15 5 3 tg_a.tif

# pile_v.csh tg_p 117 24 15 3 5 tg_p.tif
pile_h.csh tg_p 117 24 15 5 3 tg_p.tif

xv tg_a.tif tg_p.tif

### 'procsssing for absorption CT images'

mm.csh tg_a 16
## -375.003174      1699.017944      0.0316475336537728

# range of estimated LAC (CT-value) = -375.003174 ~ 1699.017944 (1/cm)
# (1699.017944-(-375.003174))/(2^16-1) = 0.0316475336537728

# mkdir word_a
# t2t_f.csh tg_a -375.003174 0.0316475336537728 16 word_a > word_a.txt
t2t_float tg_a - -375.003174 0.0316475336537728 16 - > word_a.txt

plot_x11.csh word_a.txt
plot_x11.csh word_a.txt 0 500

```

```

# peak CT-value = 124 (1/cm)
#     -> CT-value step for byte (8-bit) images = 1.24 (1/cm)

mkdir byte_a
t2t_f.csh tg_a 0 1.24 8 byte_a > byte_a.txt

# pile_v.csh byte_a 117 24 15 3 5 byte_a.tif
pile_h.csh byte_a 117 24 15 5 3 byte_a.tif

xv byte_a.tif

# plot_a.csh ./byte_a.txt > byte_a.ps
plot_a.csh ./byte_a.txt 0.62 315.58 > byte_a.ps # 1.24/2 = 0.62
# 1.24*254.5 = 315.58

evince byte_a.ps

### 'processing for phase-shift CT images'

mm.csh tg_p 16
## -23.171337      24.950184      0.0007342873426413

# range of estimated RID (CT-value) = -23.171337 ~ 24.950184 (1e-6)
# (24.950184-(-23.171337))/(2^16-1) = 0.0007342873426413

# mkdir word_p
# t2t_f.csh tg_p -23.171337 0.0007342873426413 16 word_p > word_p.txt
t2t_float tg_p - -23.171337 0.0007342873426413 16 - > word_p.txt

plot_x11.csh word_p.txt
plot_x11.csh word_p.txt 0 15

# peak CT-value = 7.52 (1e-6)
#     -> CT-value step for byte (8-bit) images = 0.0752 (1e-6)

mkdir byte_p
t2t_f.csh tg_p 0 0.0752 8 byte_p > byte_p.txt

```

```

# pile_v.csh byte_p 117 24 15 3 5 byte_p.tif
pile_h.csh byte_p 117 24 15 5 3 byte_p.tif

xv byte_p.tif

# plot_p.csh ./byte_p.txt > byte_p.ps
plot_p.csh ./byte_p.txt 0.0376 19.1384 > byte_p.ps # 0.0752/2 = 0.0376
# 0.0752*254.5 = 19.1384

evince byte_p.ps

### 'browse images == piled byte images with length and gray scale bars'

bar_ls.csh 250 5 50 '' '25 um' ls.tif

bar_gs.csh 750 25 50 0 ``echo 1.24¥*255 | bc -l` (1/cm)" bar_a.tif
bar_gs.csh 750 25 50 0 ``echo 0.0752¥*255 | bc -l` (1e-6)" bar_p.tif

pile_gray 2 1 -250 0 255 bar_a.tif bar_a.tif ls.tif
pile_gray 1 2 0 -50 255 browse_a.tif byte_a.tif bar_a.tif

pile_gray 2 1 -250 0 255 bar_p.tif bar_p.tif ls.tif
pile_gray 1 2 0 -50 255 browse_p.tif byte_p.tif bar_p.tif

xv browse_a.tif browse_p.tif

```

添付ファイル 170513a.txt

```
### 'preparation of working directory and measured data'
```

```
mkdir 170513a
```

```
cd 170513a
```

```
ln -s /media/SSD/170513a/a.log .      # on test01.spring8.or.jp at BL47XU
```

```
ln -s /media/SSD/170513a/a.HIS .     # on test01.spring8.or.jp at BL47XU
```

```
### 'data check'
```

```
ls -trL
```

```
## total 25360528
```

```
## -rwx-----. 1 bl47xu bl47xu 14300099 May 13 21:04 a.log
```

```
## -rwx-----. 1 bl47xu bl47xu 25954870272 May 13 21:04 a.HIS
```

```
head -1 a.log
```

```
## 451,751,100,1,0
```

```
# scans = 451 (scans = 450 for R[I,R] images)
```

```
# views = 751 (views = 750 for half rotation CT)
```

```
# darks = 100
```

```
check_his a.HIS | uniq -c
```

```
## 25954869809
```

```
## 338801 128 299 2
```

```
# bytes of RP images = 25954869809 (< 25954870272)
```

```
# number of RP images = 338801 (== 451*751+100)
```

```
# width of RP images = 128
```

```
# height of RP images = 299
```

```
# type of RP images = 2
```

```
# other SIXM parameters
```

```
# Dz = 108.1 (nm)
```

```
# Dr = 100 (nm) = 100e-7 (cm)
```



```

#      SDD = 6220 (mm) = 6220e-3 (m)
#      Dp = 6.5 (um) * 16 (binning) = +104 (um)
#      -> Dp = -104 to notify upside-down RP
#      RA0 = 0 (degree)
#      -> RA0 = +0 to distinguish from other parameters

### 'observation of RP (refraction profile) for MF (mountain flattening)'

#  view = views / 2 = 375
#  scan = scans / 2 = 225
#  layer = height of RP images / 2 = 149
#  Wm (mountain width) = Ws (sampleneq width) = 5 and 10

rp+mf_ij.csh a 375 225 149 5,5 10,10
### 2.880000 63943.898438
### 2.880000 63943.898438

### 'making RI (raw intensity) and RR (raw refraction) images'

mkdir ri rr
his2raw a.HIS 451 751 100 10 10 ri rr > raw.log # Wm = Ws = 10

### 'selection of bounding box on R[I,R] images'

IJ -macro tlrb rr 1 10 tlrb.log

tail -1 tlrb.log
## 12      47      112      298

#  top = 12
#  left = 47
#  right = 112
#  bottom = 298

```

```

### 'making mean (or sum of) projection and refraction images'

    ri2mp ri - 12 47 112 mp.tif
## -0.0090460.325132

    rr2mr rr - 12 47 112 mr.tif
## -2.8350712.387944

    xv mp.tif mr.tif      # check tilt of horizontal line pattern

### 'estimation of rotation center'

    ri2rc ri - 12 47 112 12 298 0.25 0.25 ri2rc.tif
## 168.5    280.5    193
## -71     71      2      # check consistency with mp.tif

    rr2rc rr - 12 47 112 12 298 0.25 0.25 rr2rc.tif
## 168.5    280.5    193.5
## -71     71     -3      # check consistency with mr.tif

# rotation center = 193 or 193.5 ?

    xv -preset 4 ri2rc.tif rr2rc.tif  # confirmation of RMSD maps

### 'test of image reconstruction'

# position of slice (layer) = ( top + bottom ) / 2 = 155
# base (or start) value of rotation centers = 193-0.5*7 = 189.5
# step (or interval) of rotation centers = 0.5
# total number of rotation centers = 7+1+7 = 15

mkdir test_a
ri_stg_g ri - 12 47 112 155 100e-7      189.5 0.5 15 +0 test_a > test_a.log

mkdir test_p
rr_stg_g rr - 12 47 112 155 6220e-3 -104 189.5 0.5 15 +0 test_p > test_p.log

xv test_a/155.tif test_p/155.tif      # sinograms of layer 155

```

```

# base value for pile_[h,v].csh = 0 (15-th image = sinogram)
# step value for pile_[h,v].csh = 1
# number of images for pile_[h,v].csh = 15 = 5*3

pile_h.csh test_a 0 1 15 5 3 test_a.tif
pile_h.csh test_p 0 1 15 5 3 test_p.tif

eog test_a.tif test_p.tif          # tomograms with various rotation center

### 'reconstruction of absorption and phase-shift images'

# rotation center = 193.5

mkdir tg_a
ri_tg_g ri - 12 47 112 100e-7      193.5 +0 tg_a > tg_a.log

mkdir tg_p
rr_tg_g rr - 12 47 112 6220e-3 -104 193.5 +0 tg_p > tg_p.log

# base value for pile_[h,v].csh = ( top + bottom + 1 - 19 * 14 ) / 2 ~ 22
# step value for pile_[h,v].csh = ( bottom - top + 1 ) / 15 ~ 19
# number of images for pile_[h,v].csh = 15 = 5*3

pile_h.csh tg_a 22 19 15 5 3 tg_a.tif
pile_h.csh tg_p 22 19 15 5 3 tg_p.tif

eog tg_a.tif tg_p.tif

### 'procsssing for absorption CT images'

mm.csh tg_a 16
## -460.169617      1631.678101      0.0319195501335164

# range of estimated LAC (CT-value) = -460.169617 ~ 1631.678101 (1/cm)
# (1699.017944-(-375.003174))/(2^16-1) = 0.0319195501335164

t2t_float tg_a - -460.169617 0.0319195501335164 16 - > word_a.txt

```

```

plot_x11.csh word_a.txt
plot_x11.csh word_a.txt 0 500

# LAC of calcite (2.7 g/cc, CaCO3) at 8 keV = 203.149744 (1/cm)
# -> CT-value step for byte (8-bit) images = 203.149744e-2 (1/cm)

mkdir byte_a
t2t_f.csh tg_a 0 203.149744e-2 8 byte_a > byte_a.tif

pile_h.csh byte_a 22 19 15 5 3 byte_a.tif

eog byte_a.tif

plot_a.csh ./byte_a.txt 1.01574872 517.01609848 > byte_a.ps
# 203.149744e-2 * 0.5 = 1.01574872
# 203.149744e-2 * 254.5 = 517.01609848

evince byte_a.ps

### 'processing for phase-shift CT images'

mm.csh tg_p 16
## -37.171021      51.339115      0.0013505781033036

# range of estimated RID (CT-value) = -37.171021 ~ 51.339115 (1e-6)
# (24.950184-(-23.171337))/(2^16-1) = 0.0013505781033036

t2t_float tg_p - -37.171021 0.0013505781033036 16 - > word_p.txt

plot_x11.csh word_p.txt
plot_x11.csh word_p.txt 0 15

# RID of calcite (2.7 g/cc, CaCO3) at 8 keV = 8.849336 (1e-6)
# -> CT-value step for byte (8-bit) images = 8.849336e-2 (1e-6)

mkdir byte_p
t2t_f.csh tg_p 0 8.849336e-2 8 byte_p > byte_p.tif

```

```
pile_h.csh byte_p 22 19 15 5 3 byte_p.tif
```

```
eog byte_p.tif
```

```
plot_p.csh ./byte_p.txt 0.04424668 22.52156012 > byte_p.ps
```

```
# 8.849336e-2 * 0.5 = 0.04424668
```

```
# 8.849336e-2 *254.5 = 22.52156012
```

```
evince byte_p.ps
```

```
### 'browse images == piled byte images with length and gray scale bars'
```

```
bar_ls.csh 200 4 40 '' '20 um' ls.tif
```

```
bar_gs.csh 600 20 40 0 ``echo 203.149744¥*2.55 | bc -l` (1/cm)" bar_a.tif
```

```
bar_gs.csh 600 20 40 0 ``echo 8.849336¥*2.55 | bc -l` (1e-6)" bar_p.tif
```

```
pile_gray 2 1 -200 0 255 bar_a.tif bar_a.tif ls.tif
```

```
pile_gray 1 2 0 -40 255 browse_a.tif byte_a.tif bar_a.tif
```

```
pile_gray 2 1 -200 0 255 bar_p.tif bar_p.tif ls.tif
```

```
pile_gray 1 2 0 -40 255 browse_p.tif byte_p.tif bar_p.tif
```

```
eog browse_a.tif browse_p.tif
```

Date: Wed, 15 Nov 2017 12:21:07 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: 北山晃  
Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Masayuki Uesugi,  
Sugimoto Miyama, 中村隆太, Taguchi, Miyake, Aiko Nakato, megumi matsumoto,  
野口 高明, Minako HASHIGUCHI, MATSUNO Junya  
Subject: Re: 2017B 1108\_SIXM lognote

---

きたやまさま、  
みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。先の SIXM 実験のログノート、ありがとうございます。実験の場でその中に綴り込んだものを含む測定ごとの「再構成画像の browse 画像とそれらの画素値ヒストグラムの図」もしくは「画像再構成のテストに用いた sinogram の画像」をまとめた 171108.pdf をこの E-mail に添付します：

空気を撮影した 171108h と 171109g、および、昨日報告した 171112c の 3 測定を除く合計 22 の SIXM の測定データに対する図の作成処理を行った。

それらのうち 19 測定について SIXM の画像再構成用の一連の処理を完遂。

word 画像のヒストグラムの図を右側に配置したスライス画像では再構成で得た CT 値と表示輝度の対応関係を揃えていない。

AV 貝を撮影した 3 測定 171108a、171112a と 171112b では MF (mountain flattening) 処理のなし・ありの両方を試した。

サンプルが微妙に揺れていた 2 測定 171111b と 171112e に対しては sinogram の画像も作成した。

サンプルが動いていた 3 測定 171108b、171110b、171111d については sinogram の図だけを作成。

これらの  $19 + 3 + 2 + 3 = 27$  個の図のページを 171108.pdf にまとめた。

Adobe acrobat で「サイズを縮小」したのでファイル容量はおよそ 2.5 MB。

SPring-8 の計算機 vrm.spring8.or.jp のディレクトリ /media/disk/tsukasa/171108/ にこれらの図の gzip 圧縮した PostScript ファイルをコピーしておきました：

測定番号.ps.gz：再構成画像の browse 画像と画素値ヒストグラムの図

測定番号\_mf.ps.gz：MF 処理を行った結果の図

測定番号\_sg.ps.gz：画像再構成のテストで用いた sinogram の画像

また、同じディレクトリ vrm.spring8.or.jp:/media/disk/tsukasa/171108/ に処理手順を記したテキストファイル「測定番号.txt」と「測定番号\_mf.txt」もコピーしておきました。ただし、これらに記されている、ぼくが決めたサンプル回転軸の位置の値（いわゆるセンター値）には問題があるかもしれません：

```
grep -n 'set rc=' *.txt | grep -v candidate
```

```
171108a.txt:70:set rc=144.5      # rotation center
171108a_mf.txt:70:set rc=144.5  # rotation center
171108c.txt:70:set rc=67.0      # rotation center
171108e.txt:70:set rc=390.5     # rotation center
171108g.txt:70:set rc=527.0     # rotation center
171109a.txt:70:set rc=208.0     # rotation center
171109b.txt:70:set rc=152.5     # rotation center
171109c.txt:70:set rc=438       # rotation center
171109d.txt:70:set rc=581       # rotation center
171109f.txt:70:set rc=541       # rotation center
171110a.txt:70:set rc=786       # rotation center
171110c.txt:70:set rc=576       # rotation center
171110d.txt:70:set rc=678       # rotation center
171111a.txt:70:set rc=203       # rotation center
171111b.txt:82:set rc=285.5     # rotation center
171111c.txt:72:set rc=380       # rotation center
171111e.txt:82:set rc=237       # rotation center
171112a.txt:70:set rc=152.5     # rotation center
171112a_mf.txt:70:set rc=152.5  # rotation center
171112b.txt:70:set rc=153.5     # rotation center
171112b_mf.txt:70:set rc=153.5  # rotation center
171112d.txt:70:set rc=512.5     # rotation center
```

とりあえず以上です。

On 2017/11/13 13:32:38 北山晃 wrote:

- > 皆様
- > 京大鉱物 M2 の北山です。いつもお世話になっております。
- > 先日は実験お疲れさまでした。ありがとうございました。
- >
- > 先日までの撮影のログノートをお送りいたします。
- > よろしくお願ひ致します。

添付ファイル 171108.pdf

27 ページもあるので省略します。

Date: Wed, 15 Nov 2017 14:12:19 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: "TSUCHIYAMA, Akira", MATSUNO Junya, Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa",  
Cc: Masayuki Uesugi, 北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Taguchi, Aiko Nakato,  
megumi matsumoto, 野口 高明, Minako HASHIGUCHI, Miyake  
Subject: SIXM\_171108\_AV-3

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。先の SIXM 実験で入射 X 線の光量を変えて撮影した AV 貝サンプル AV-3 の CT 画像に関する話です。

測定 170513a : 5月の SIXM 実験で AV-3 を撮影 (対比用)  
171108a : 今回の実験の最初に行った測定  
171112a : 171108a よりも大きな入射 X 線強度を設定  
171112b : 171112a の約 2 倍の強度に設定

これらは (ほぼ) 同じスキャン幅 (170513a : 100 nm、今回 : 98.72 nm) の測定ですが、測定データファイル a.HIS に埋め込まれていた測定時刻から得たそれぞれの refraction profile (RP) 画像の露光時間は 5 月と今回で異なります :

170513a : およそ 1/50 秒  
171108a および 171112[a,b] : 1/80 秒

これらの測定で得た複数の RP 画像を並べた図 av-3\_rp.pdf をこの E-mail に添付しました。その左端の数値はサンプル回転のステップ番号で、横列の画像はそれぞれ上部に記したスキャン番号の位置で撮影した RP 画像です。X 線の光量を示すこれらの画像の画素値と表示輝度の対応関係は測定ごとに揃えてありますが、ページの右上に示したように  $\gamma = 2$  を指定して「ガンマ補正」で強調した表示輝度になっています。ページ下部の「画素値と表示輝度の関係を示すグレースケールバー」の右端の数値 (X 線強度の最大値) に注目して下さい。これらの数値と各ページの RP 画像全部の表示輝度の明暗より、それぞれの測定で用いた入射 X 線強度は以下のようになっていたと思われれます :

強度小 : 171108a < 171112a < 170513a < 171112b : 強度大

この E-mail に添付した av-3\_tg+hg.pdf と av-3\_tg+hg\_mf.pdf はそれぞれ、RP 画像に mountain flattening (MF) 処理を行わなかった、もしくは、それを行った場合の吸収と位相 CT 画像の再構成処理の結果です (5 月の測定の図以外は先の E-mail に添付した 171108.pdf に載せたものと同じ図です)。X 線エネルギー 8 keV における calcite (密度 2.7 g/cc・組成 CaCo<sub>3</sub> と仮定) の理論値が画素値 100 に対応するようにそれらの再構成画像の上の estimated LAC や RID の値を 8 ビットの画素値に変換しました。また、そのような byte 画像の等間隔の 8 枚のスライスを並べた右側には 3 次元 byte 画像全体の画素値ヒストグラムの図を示しました。



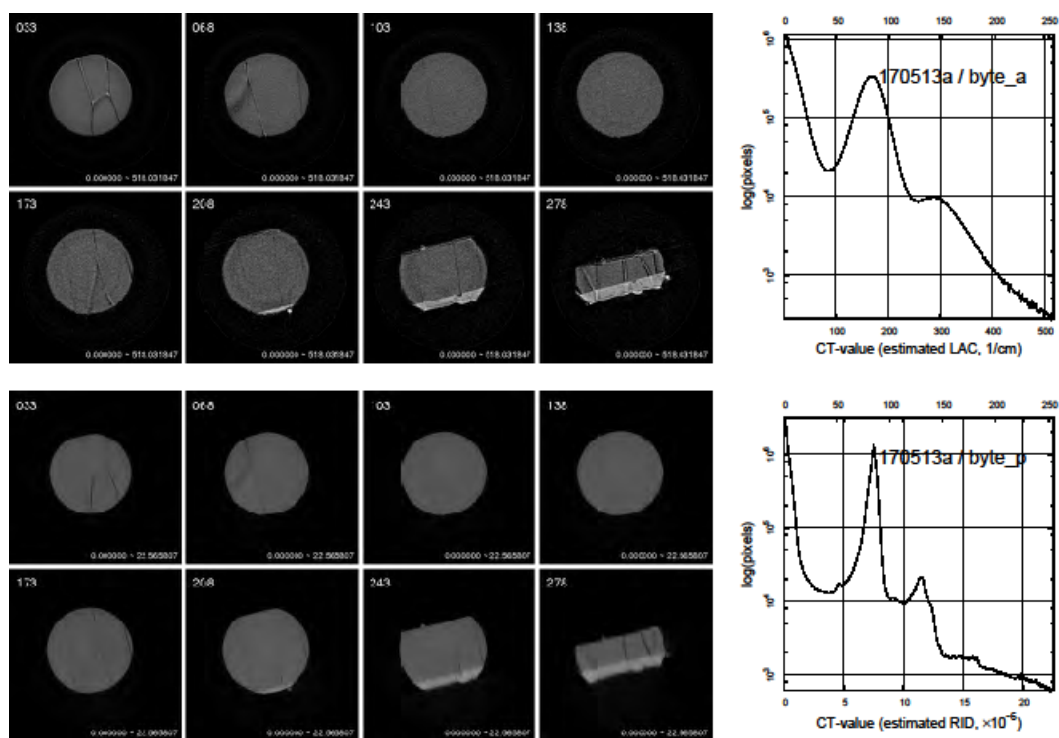
これらより入射 X 線強度が大きくなると吸収 CT 画像の画質が良くなっていることがわかります。とは言え、強度が最小の 171108a 以外の 3 測定の吸収 CT 画像の画質の差異はわずかで、ぱっと見では強度と画質の関係はわかりません。それよりもむしろ、強度が最小の 171108a と最大の 171112b の吸収 CT 画像の上の物体像の縁にある「ぼんやりとした幅が広いリング状の像」が気になります。MF を行うと RP 画像の「山」の強度値が飽和している 171112b の吸収 CT 画像ではその像はなくなっていますが、MF が無力な強度が小さい値の 171108a の画像のものは消えません。これは何に由来する偽像なのか？

とりあえず以上です。

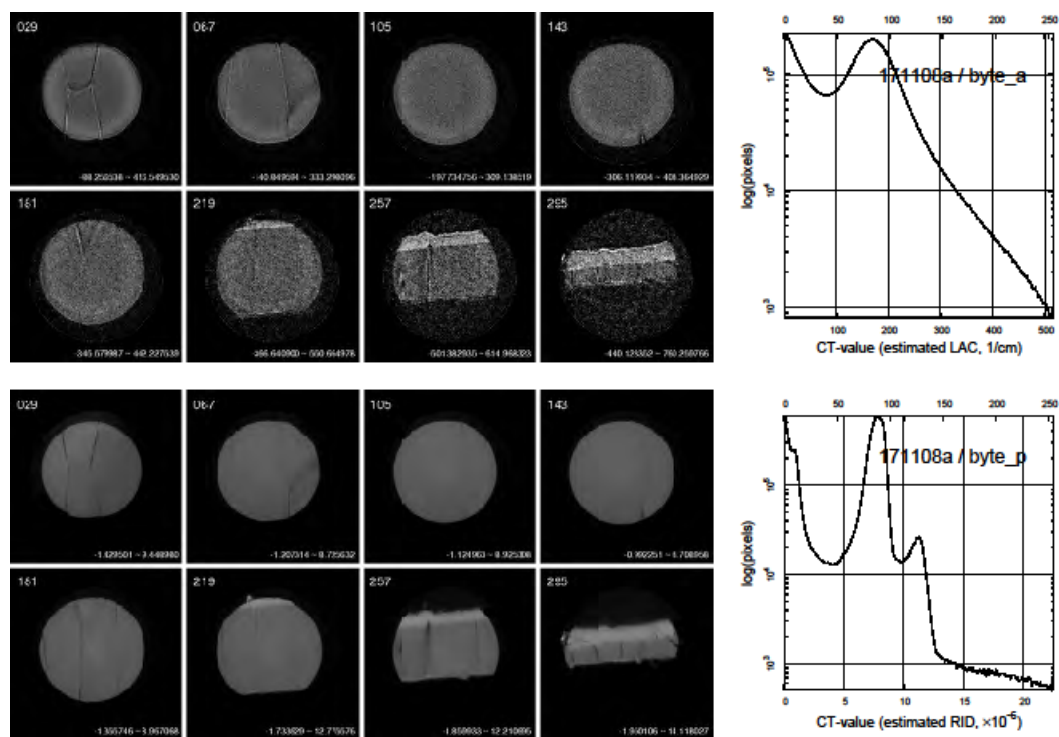
添付ファイル av-3\_rp.pdf

削除しました。

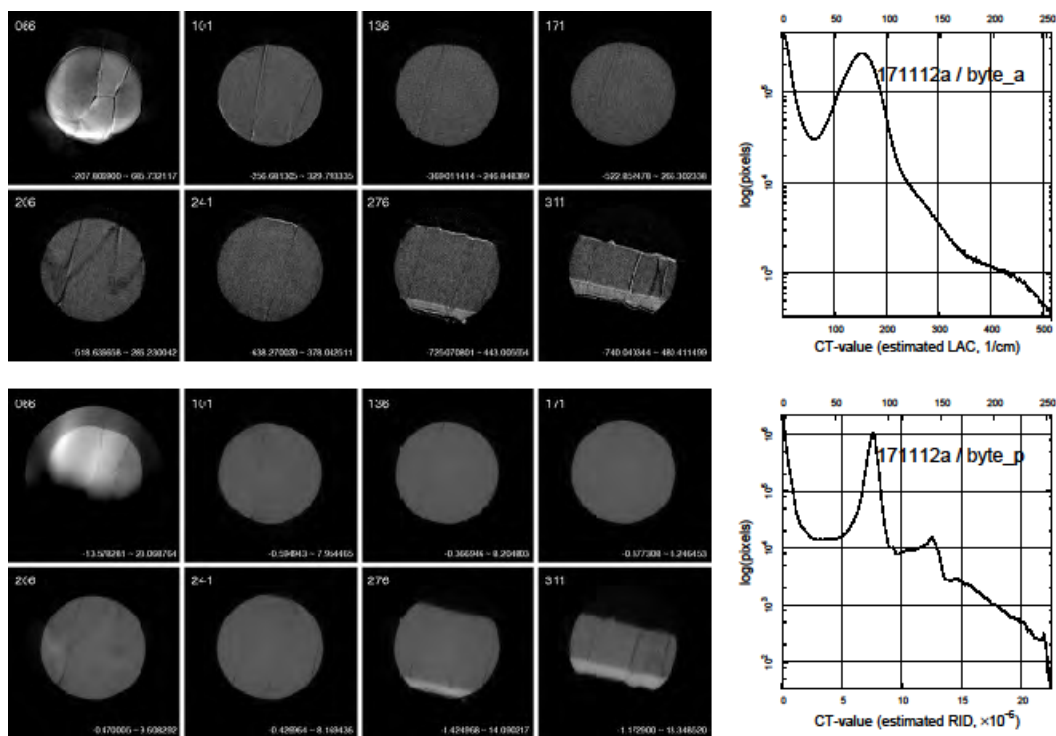
添付ファイル av-3\_tg+hg.pdf (1 ページ目; 測定 170513a)



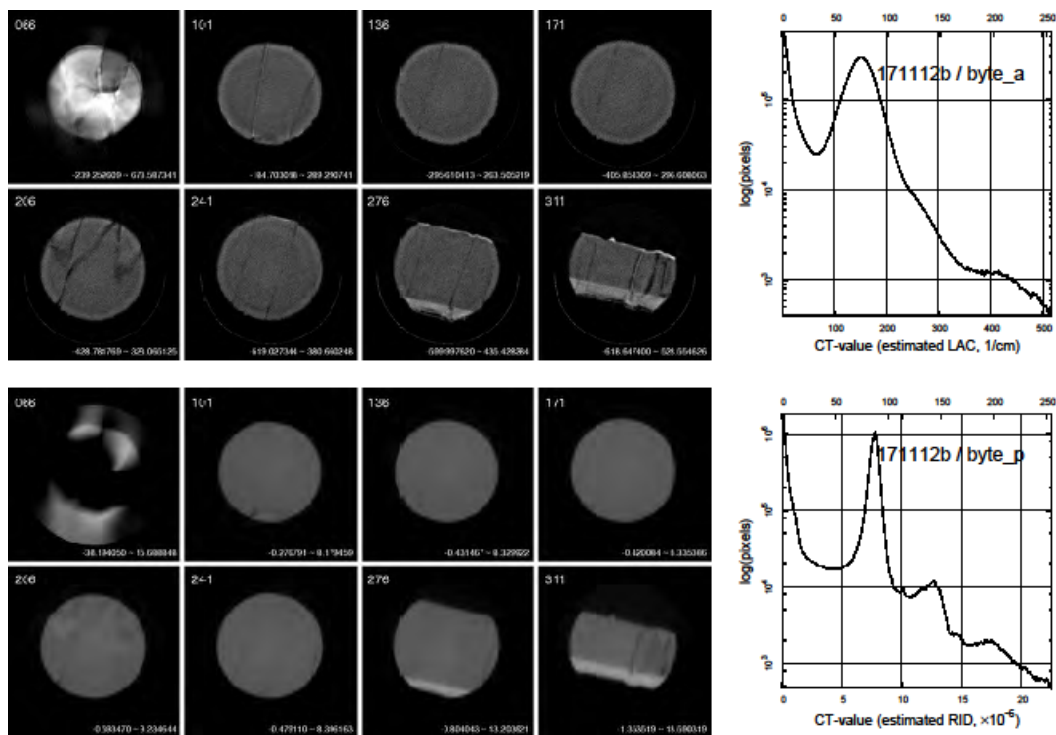
添付ファイル av-3\_tg+hg.pdf (2 ページ目; 測定 171108a)



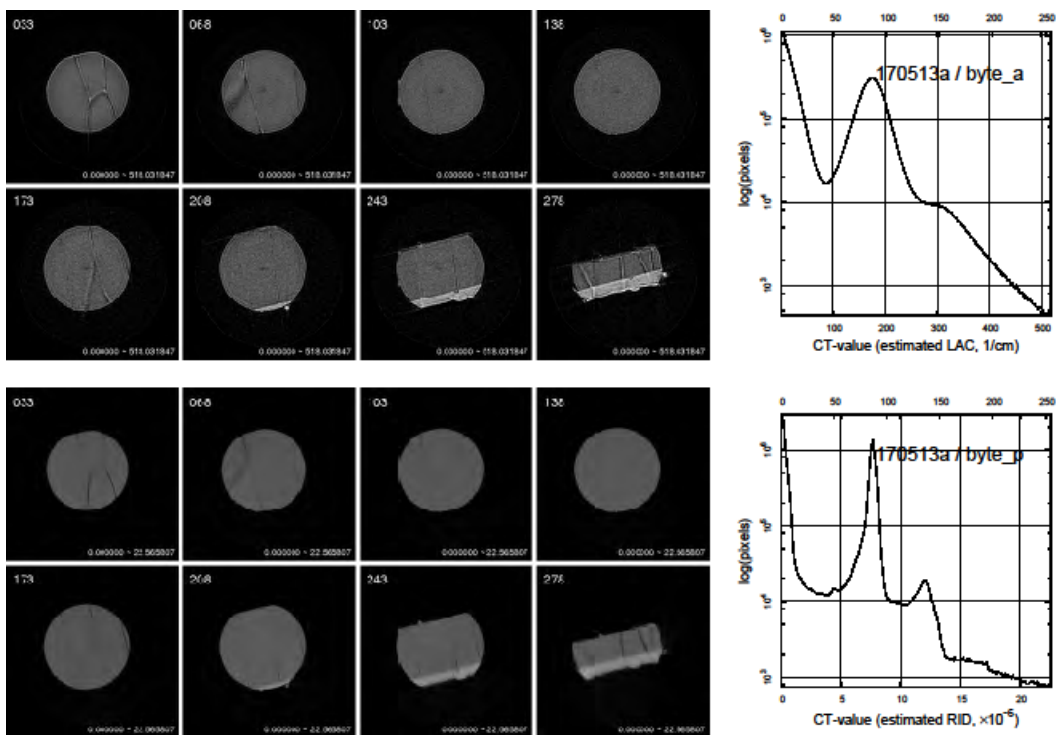
添付ファイル av-3\_tg+hg.pdf (3 ページ目 ; 測定 171112a)



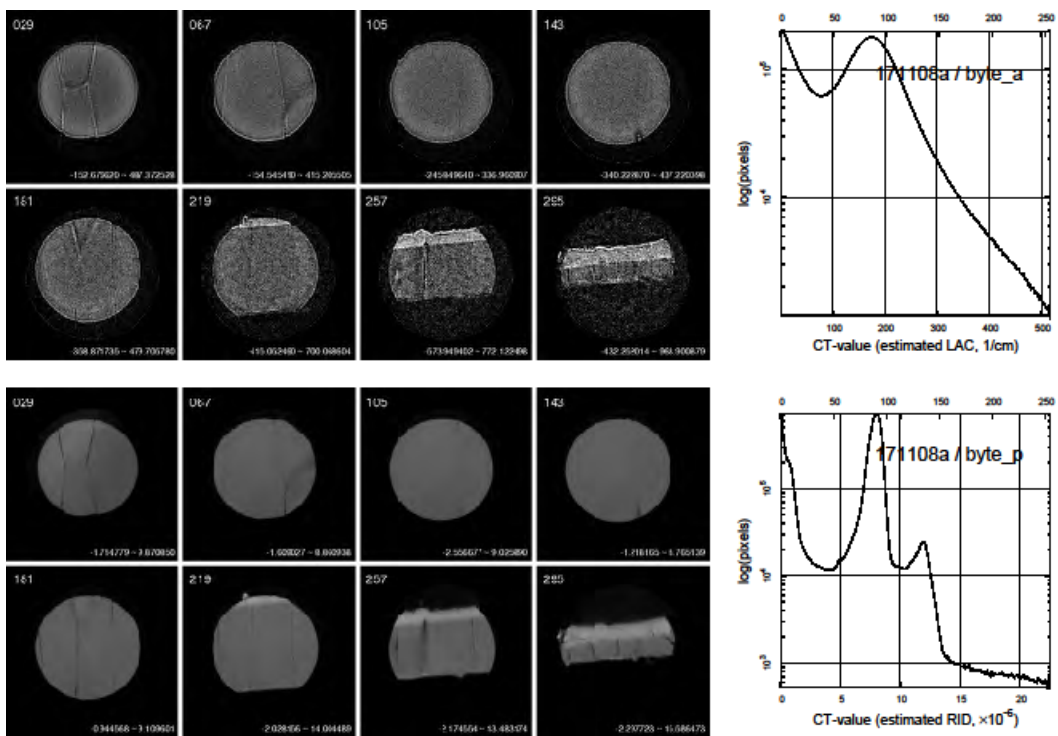
添付ファイル av-3\_tg+hg.pdf (4 ページ目 ; 測定 171112b)



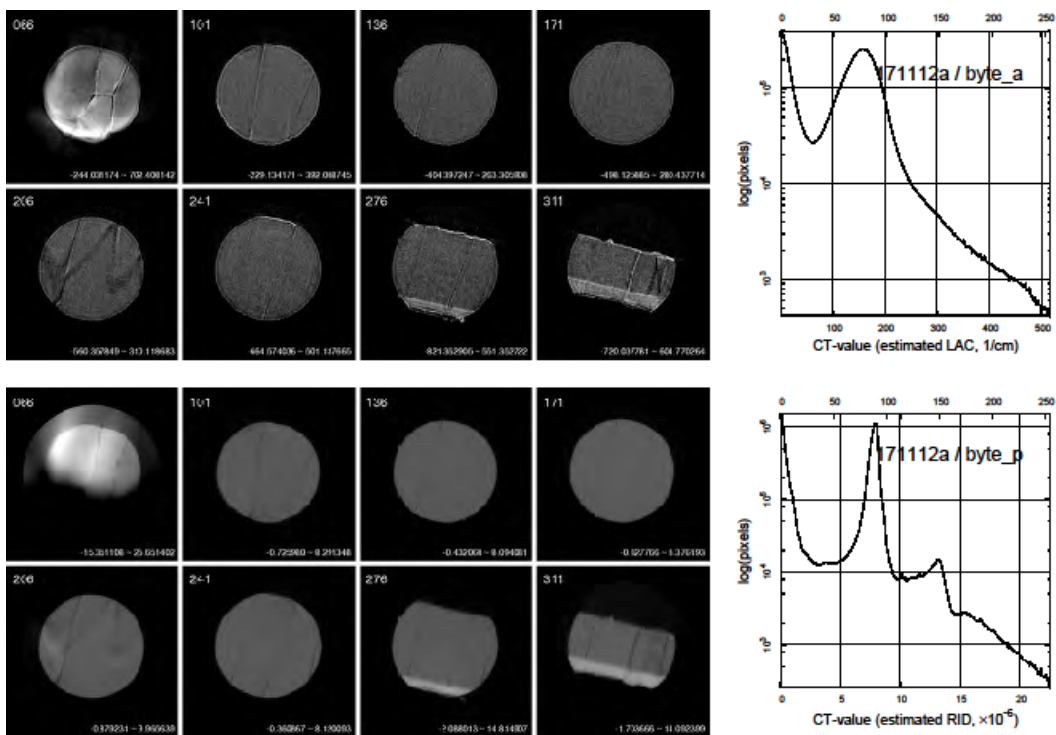
添付ファイル av-3\_tg+hg\_mf.pdf (1 ページ目 ; 測定 170513a)



添付ファイル av-3\_tg+hg\_mf.pdf (2 ページ目 ; 測定 171108a)

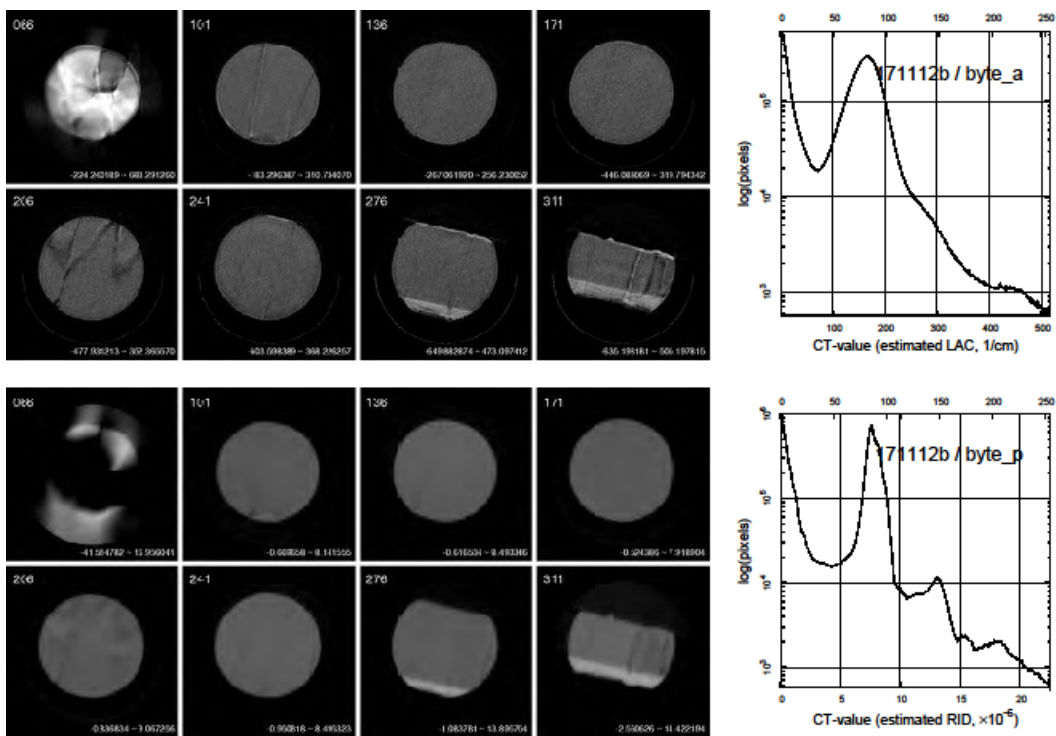


添付ファイル av-3\_tg+hg\_mf.pdf (3 ページ目 ; 測定 171112a)



Wm = Ws = 10

添付ファイル av-3\_tg+hg\_mf.pdf (4 ページ目 ; 測定 171112b)



Wm = Ws = 10

Date: Thu, 16 Nov 2017 11:14:26 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: "TSUCHIYAMA, Akira", MATSUNO Junya  
Cc: Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Masayuki Uesugi, 北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太,  
Taguchi, Aiko Nakato, megumi matsumoto, 野口 高明, Minako HASHIGUCHI, Miyake  
Subject: SIXM\_171108\_Fo-1

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。先の E-mail ~~(後に貼り付けました)~~ で報告した AV 貝サンプル AV-3 の画像に対するものと同様な処理を forsterite サンプル Fo-1 に対して行いました：

測定 170514a：5月のSIXM実験でFo-1を撮影（対比用）

171109a：今回の実験の最初の方（入射X線強度を上げる前）の測定

上記のFo-1の測定条件はAV-3の時と同様です：

スキャン幅：100 nm（170514a）と98.72 nm（171109a）

RP画像の露光時間：およそ1/50 sec.（170514a）と1/80 sec.（171109a）

先のE-mailのものと同様な以下の3個のPDFsを添付しました：

fo-1\_rp.pdf：暗電流補正したRP画像を並べた図

fo-1\_tg+hg.pdf：MFなしのSIXM-CT画像とそれらの画素値ヒストグラム

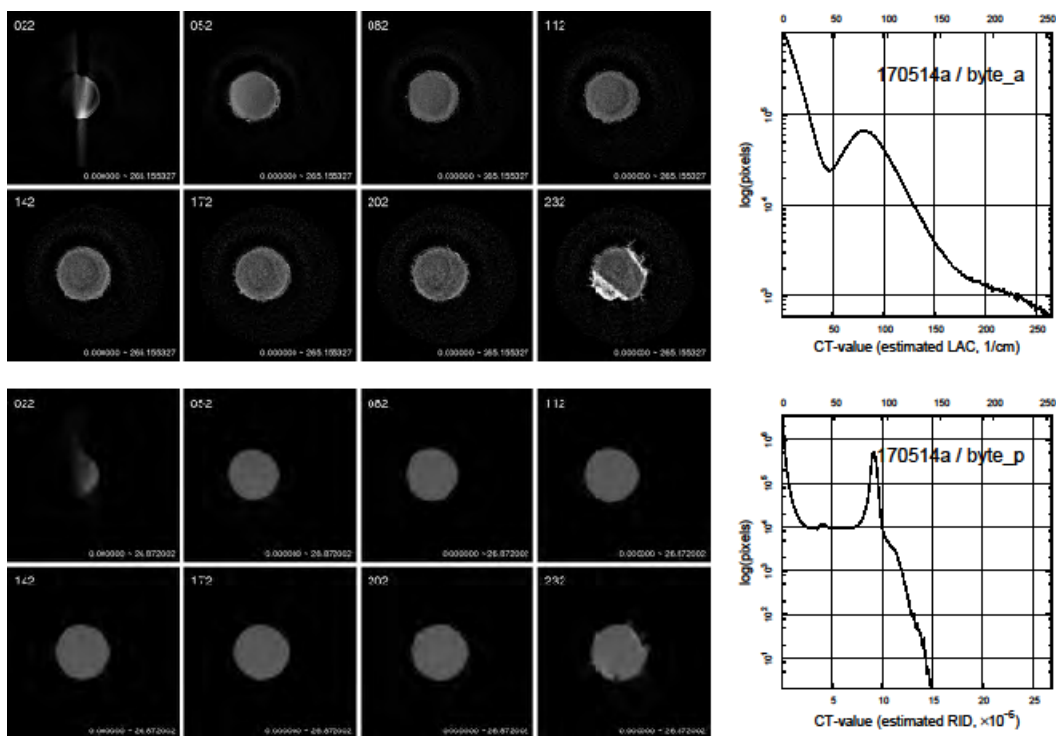
fo-1\_tg+hg\_mf.pdf：MFを行った処理結果

AV-3の場合と同様に5月に撮影したFo-1の吸収CT画像にも「ぼんやりした幅が広いリング状の像」がありますが、それはMFを行ってもなくなりません。いずれにせよ、SIXMの吸収CT画像の画質はRPの「山」が飽和するくらいの入射X線の光量にしないとダメなようですね。とり急ぎ、

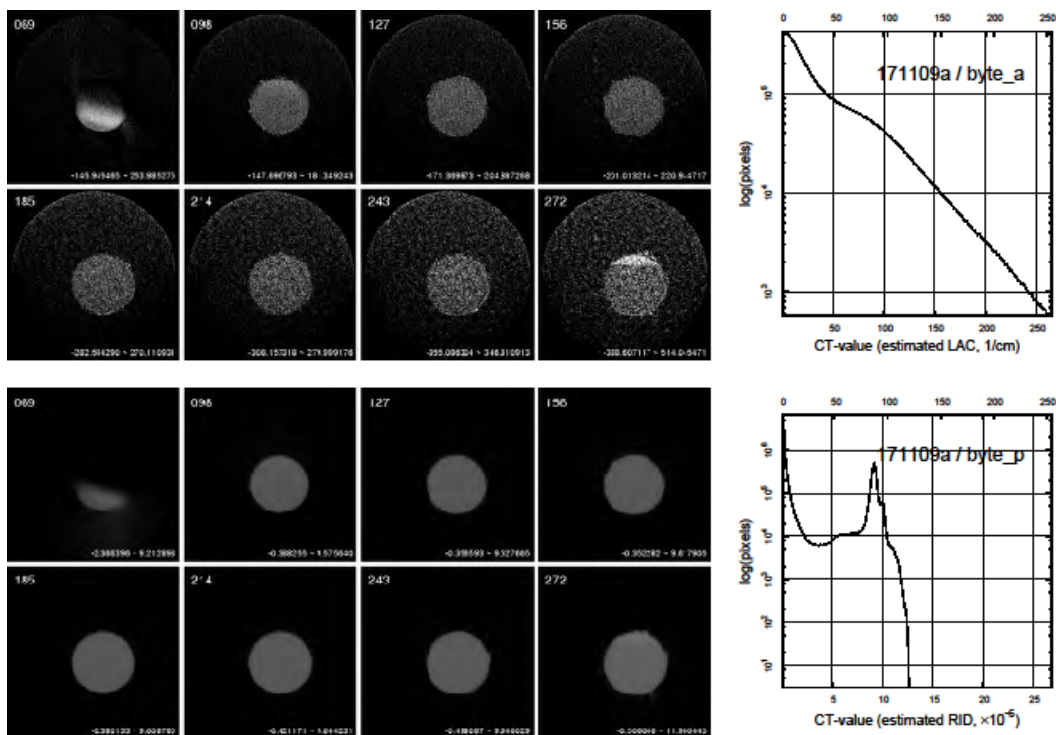
添付ファイル fo-1\_rp.pdf

削除しました。

添付ファイル fo-1\_tg+hg.pdf (1 ページ目; 測定 170514a)

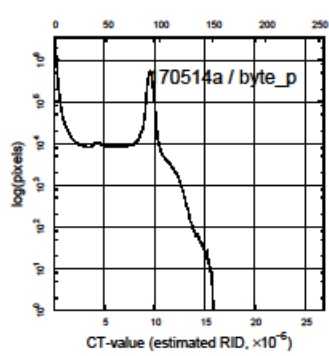
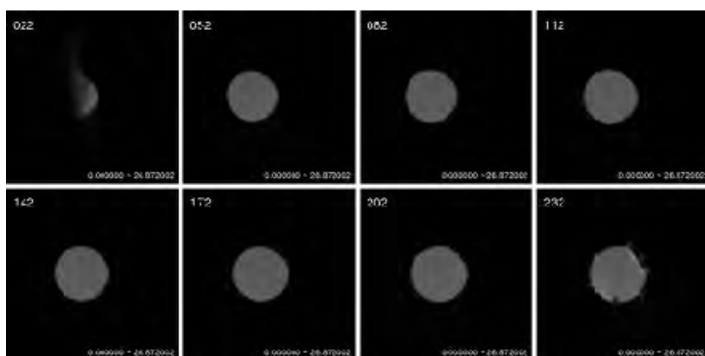
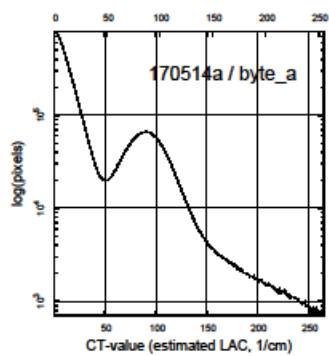
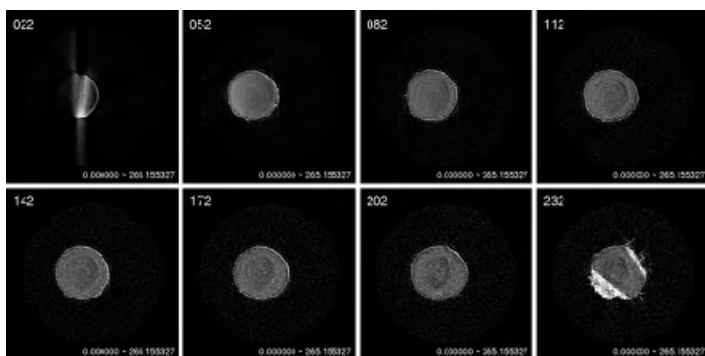


添付ファイル fo-1\_tg+hg.pdf (2 ページ目; 測定 171109a)



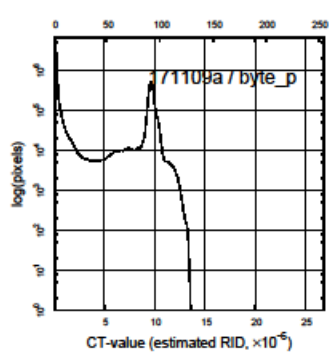
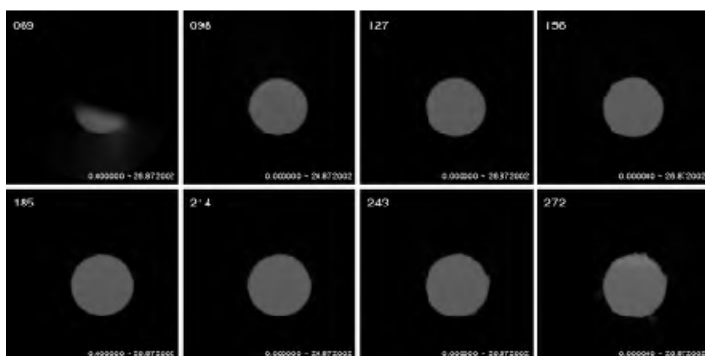
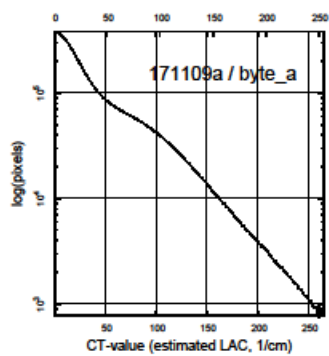
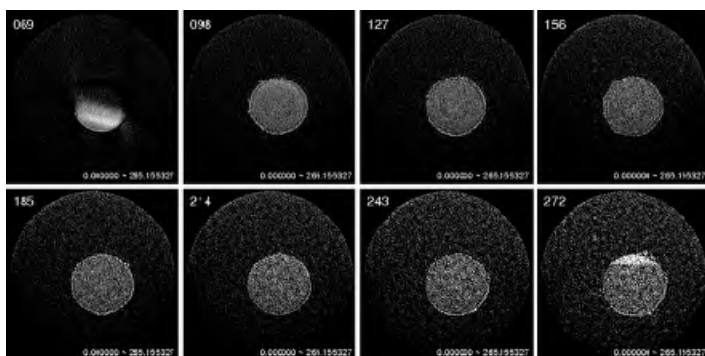


添付ファイル fo-1\_tg+hg\_mf.pdf (1 ページ目 ; 測定 170514a)



Wm = Ws = 10

添付ファイル fo-1\_tg+hg\_mf.pdf (2 ページ目 ; 測定 171109a)



Wm = Ws = 10



Date: Thu, 16 Nov 2017 20:49:51 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: MATSUNO Junya, "TSUCHIYAMA, Akira"  
 Cc: Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Masayuki Uesugi, 北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太,  
 Taguchi, Miyake, Aiko Nakato, megumi matsumoto, 野口 高明, Minako HASHIGUCHI  
 Subject: 171111d

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。先の SIXM 実験で測定中にサンプル D06IB51 が豪快に動いていた 171111d のデータの修復作業を行いました。

サンプルの動きはこの E-mail に添付した 171111d.pdf の 1 ページ目の吸収と位相 CT 用の sinograms の図に示した通りです。これはサンプル回転角を表す番号 (view) が 510 の時に発生していました。171111d の 2 ページ目に示した一連の「投影画像」からわかるように、view = 510 のサンプルの像の幅はその前後のものより狭くなっており、良く見ると画像上の x 座標値 (scan) が 350~360 の辺りに「縦シワ」があります。この scan の時に何か起こったようです。

ただ、不思議なことに、この view のそれぞれの scan の画素値のもとになった RP 画像の測定時間は概ね 1/80 秒間隔で、異常に長い・短い時間間隔の測定は見当たりません。

隣接した view の投影画像のペアの RMSD 計算を行ない、それらが概ね一致する配置を調べました。これには top、left および right の位置を指定して R[I,R] 画像から作成した「X 線投影値 (XP)」と「X 線の屈折率勾配の積算値 (XR)」の画像を使いました：

```
mkdir xp; ri2xp ri - top left right xp > xp.log
mkdir xr; rr2xr rr - top left right xr > xr.log
```

これらの画像のペアごとの「位置ズレ」の値 Dx と Dy は以下の通りです：

| view のペア  | XP の Dx, Dy | XR の Dx, Dy |
|-----------|-------------|-------------|
| 508 と 509 | -1, 0       | 0, 0        |
| 509 と 511 | 55, 1       | 56, 1       |
| 511 と 512 | 0, 0        | 1, 0        |

異常なしのペアでは view ごとに Dx と Dy は絶対値が 1 以下の値になっていますが、異常がある view = 510 を挟むペアでは Dx = 55~56 であり、水平方向にサンプルが 55×50 nm~2.75 μm 程度動いたようです。

view = 510 で生じていた位置ズレが  $Dx = 55$  かつ  $Dy = 1$  だとして、その食い違いを打ち消すようにそれ以降の view の XP と XR の画像すべてを修復しました。それらを使って 171111d.pdf の 3 ページ目の図 (2 ページ目の投影画像に対応) と 4 ページ目の図 (1 ページ目の sinograms に対応) を描きました。sinograms の図から像の「継ぎ目」の左半分には問題はないようですが、右の方はやや不自然な感じがします。それで、ぼくとしてはこれらを使った画像再構成は行いませんでした。

修復した XP と XR の画像を SPring-8 の計算機 vrm のディレクトリ

/media/disk/tsukasa/171108/171111d/xp/

/media/disk/tsukasa/171108/171111d/xr/

にコピーしておきましたので、御自由にお使い下さい。先の実験の場で実行した SIXM 用の新しいプログラム "r[i,r]\*" に起動時のパラメータとして

R[l,R] 画像のものの代わりに X[P,R] 画像のディレクトリ

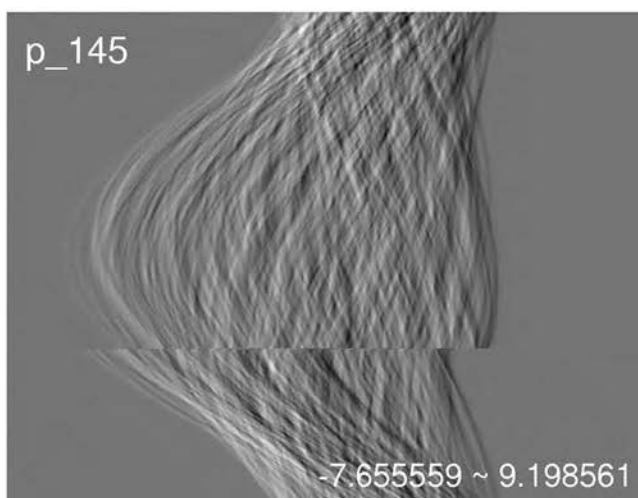
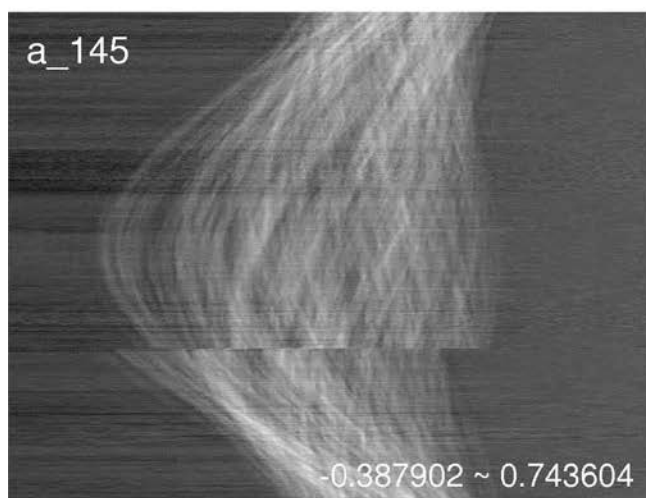
top、left および right の値としてすべて 0

を指定してやれば良いはずです。

とりあえず以上です。

添付ファイル 171111d.pdf (1 ページ目)

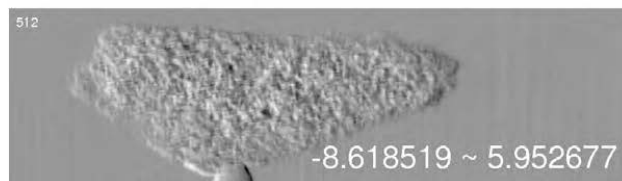
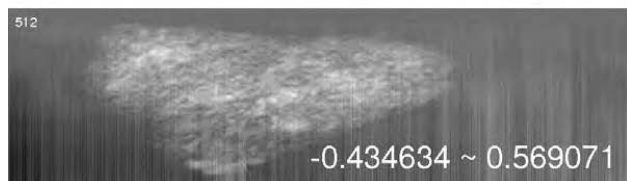
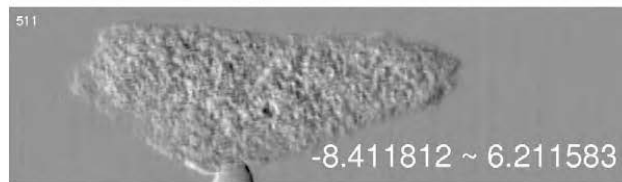
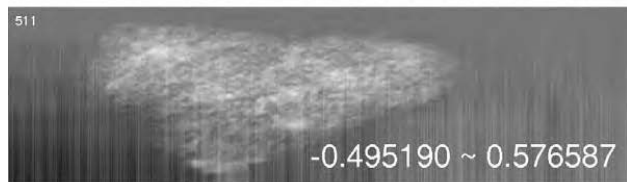
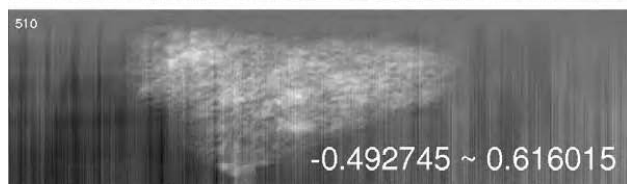
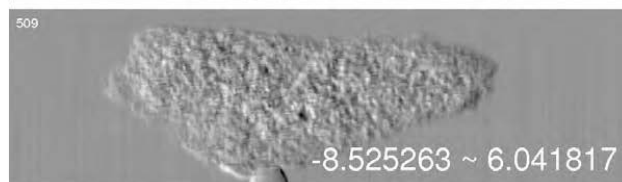
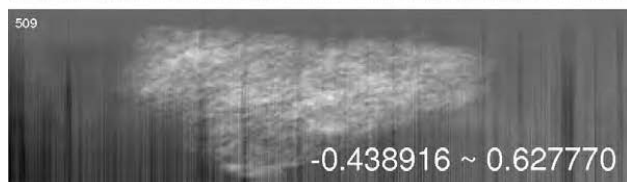
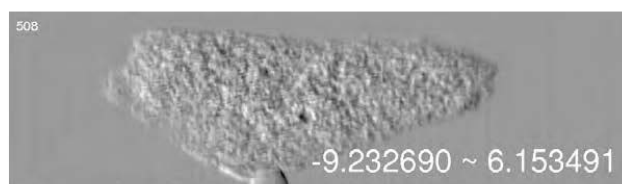
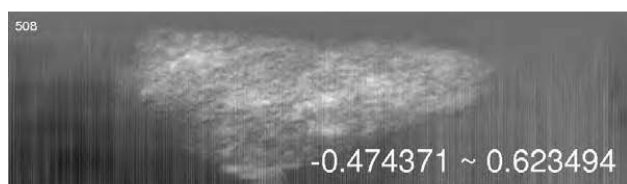
171111d / sg



添付ファイル 171111d.pdf (2 ページ目)

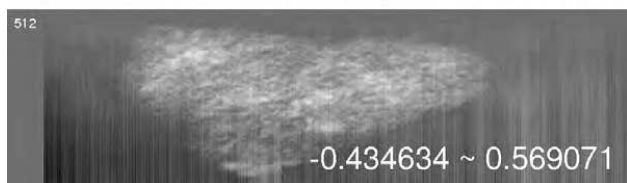
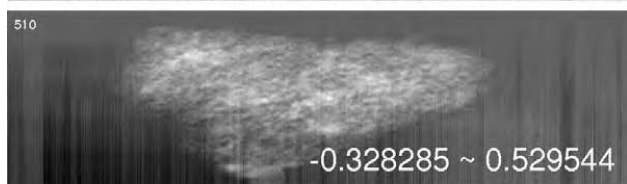
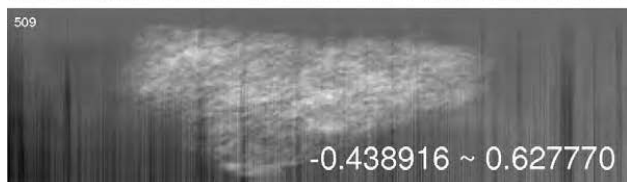
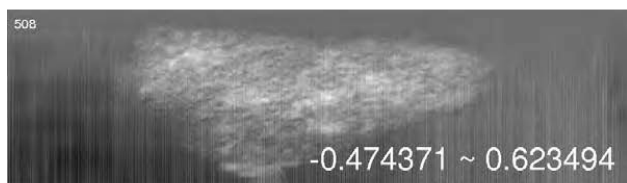
171111d / xp

171111d / xr

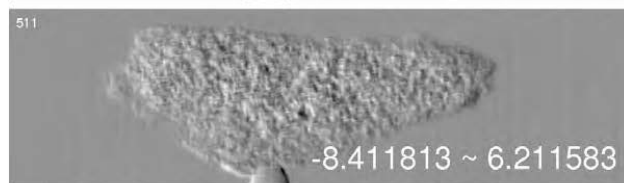
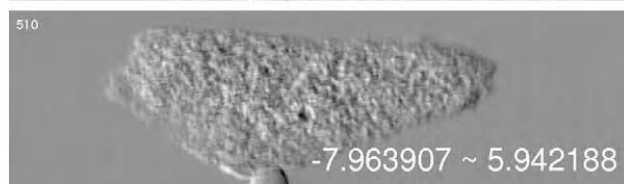
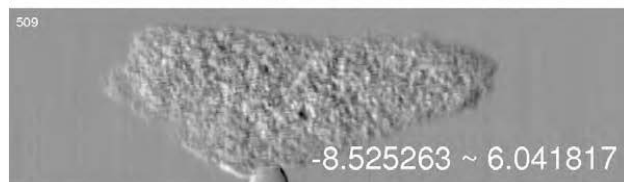
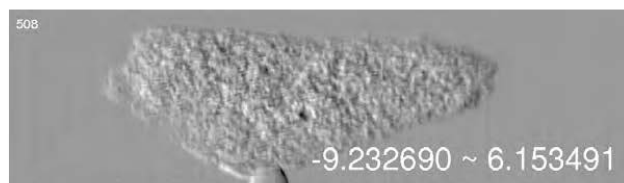


添付ファイル 171111d.pdf (3 ページ目)

171111d / xp / modified

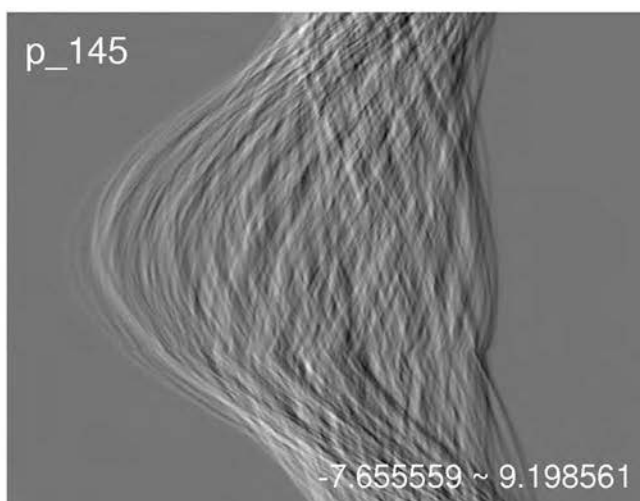
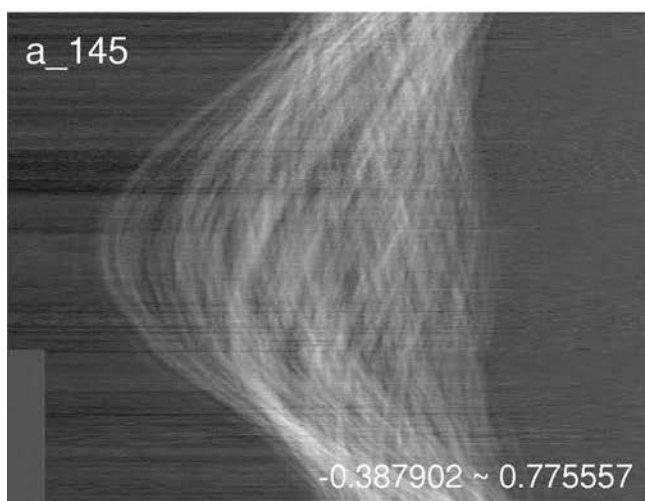


171111d / xr / modified



添付ファイル 171111d.pdf (4 ページ目)

171111d / sg / modified



Date: Sat, 18 Nov 2017 10:46:26 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: "TSUCHIYAMA, Akira", 野口 高明, MATSUNO Junya  
Cc: Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", Masayuki Uesugi, 北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太,  
Taguchi, Miyake, Aiko Nakato, megumi matsumoto, Minako HASHIGUCHI  
Subject: Re: 171111d

---

つちやまさま、  
のぐちさま、  
みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。E-mails ありがとうございます。AIST の E-mail 配信ソフトの不調で応答が遅くなりました。一昨日の晩の E-mail の訂正と補足です。

(1) 訂正

> view = 510 で生じていた位置ズレが  $Dx = 55$  かつ  $Dy = 1$  だとして、  
横方向の位置ズレは  $Dx = 56$  としました。また、サンプルの像が異常だった view = 510 の X[P,R] 画像は view = 509 と 511 の画像を平均したものにしました。

(2) 補足

> 先の実験の場で実行した SIXM 用の新しいプログラム "r[i,r]\*" に起動時のパラメータとして  
> R[I,R] 画像のものの代わりに X[P,R]画像のディレクトリ  
> top、left および right の値としてすべて 0  
> を指定してやれば良いはずです。

修復した X[P,R] 画像を使った画像再構成の処理は以下のようにします：

```
ri2rc xp - 0 0 0 11 279 0.25 0.25 xp2rc.tif
        365.5 608.5 608
        -67 67 -6
rr2rc xr - 0 0 0 11 279 0.25 0.25 xr2rc.tif
        365.5 608.5 606.5
        -67 67 -4
```

ここで、起動時に指定したパラメータ「0 0 0」は top、left、right の値、また、「11 と 279」はサンプル像の上・下端の位置（== R[I,R] 画像に対する top と bottom の値）です。なお、サンプル回転軸の推定位置が指定した範囲の端に近いので、探索範囲「0.25 0.25」を「0.5 0.25」にした方が良くもかもしれません。

とり急ぎ、

Date: Tue, 12 Dec 2017 21:23:29 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: MATSUNO Junya, "TSUCHIYAMA, Akira", Kentaro Uesugi  
 Cc: "TAKEUCHI, Akihisa", Masayuki Uesugi, 北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Taguchi, Miyake, Aiko Nakato, megumi matsumoto, 野口 高明, Minako HASHIGUCHI  
 Subject: 6mct\_steady\_vertical\_creep

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。先月の前半の SIXM 実験でデビューした新しいプログラム ri2mp、rr2mr、ri2stg\_[t,g]、rr2stg\_[t,g]、ri2tg\_[t,g] と rr2tg\_[t,g] に対しても先月後半の FZP-CT 実験の後の E-mails で紹介した通常 CT 用のプログラム hp\_ta、hp\_stg\_[t,g] と hp\_tg\_[t,g] に対するものと同様な「測定サンプルの定常な鉛直方向のクリープ」を仮定した「縦ズレ」の検出および補正の機能を付加しました。

縦ズレの検知機能を付加した SIXM 用のプログラム

```
ri2mp RI/ NF top left right MP.tif {SVC.txt}
rr2mr RR/ NF top left right MR.tif {SVC.txt}
```

縦ズレの補正機能を付加した SIXM 用の画像再構成プログラム

```
ri_stg_[t,g] RI/ NF top left right layer Dr RC_base step count {Dz} RA0 STG/
rr_stg_[t,g] RR/ NF top left right layer SDD {-}Dp RC_base step count {Dz} RA0 STG/
ri_tg_[t,g] RI/ NF top left right {layer1 layer2} Dr RC {Dz} RA0 TG/
rr_tg_[t,g] RR/ NF top left right {layer1 layer2} SDD {-}Dp RC {Dz} RA0 TG/
```

オマケ：通常 CT 用のプログラム

```
hp_ta HiPic/ TA.tif {SVC.txt}
hp_stg_[t,g] HiPic/ Dr RC_base step count {Dz} layer RA0 STG/
hp_tg_[t,g] HiPic/ Dr RC {Dz} {layer1 layer2} RA0 TG/
```

通常 CT 用のものと同様に SIXM 用のプログラムに付加した新機能はオプションです。つまり、起動時にファイル名 SVC.txt や縦ズレ量 Dz を指定しなければ ri2mp、rr2mr、ri2stg\_[t,g]、rr2stg\_[t,g]、ri2tg\_[t,g] と rr2tg\_[t,g] は従来通りの処理を行います。そして、それらを指定した場合の処理内容は先の E-mails で説明した通常 CT 用のプログラムのものと概ね同じです。

すみません。SIXM の画像再構成の手順書には新機能の使用例は未記載です。

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct\\_recipe.txt](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct_recipe.txt)

改造したプログラムのソースコードや Windows の実行ファイルの類を SIXM 用の新しいプログラム用の書庫ファイルに入れておきました。

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.taz>

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.zip>

先月の SIXM 実験の測定データを使って改造したプログラムをテストしました。そのためにまず、11/15 の Subject が「Re: 2017B 1108\_SIXM lognote」の E-mail などで紹介した SPring-8 での実験中とその直後にぼくが行った画像再構成などの処理内容を記録した (C-shell script としての実行が可能な) 22 個のテキストファイル「測定番号.txt」のそれぞれの 2 行ずつを書き換えました。UNIX コマンド「diff」による測定 171112d の修正前後のファイルの比較は以下の通りです (ディレクトリ old/ の下のものが修正前のファイル)：

```
diff old/171112d.txt 171112d.txt
→
35,36c35,40
< ri2mp ri - $tlrb[1-3] mp.tif >/dev/null
< rr2mr rr - $tlrb[1-3] mr.tif >/dev/null
---
> ri2mp ri - $tlrb[1-3] mp.tif /dev/null
> #      -0.086276      0.210388      ← MP の最小値と最大値
> #      -4      1.835379e-02      ← 縦ズレの推定値と RMV の値
> rr2mr rr - $tlrb[1-3] mr.tif /dev/null
> #      -0.340046      0.725172      ← MR の最小値と最大値
> #      -4      5.154475e-02      ← 縦ズレの推定値と RMV の値
```

注

RMV = root mean variance (MP や MR 画像の上の縞の上の値のばらつき)

このようにして得た「通常の CT の X 線 total absorption (TA) 画像に対応する MP と MR の画像」から推定した縦ズレの値 Dz\_MP と Dz\_MR は以下のようにになりました。比較のため、プログラム ri2rc や rr2rc で推定した「サンプル回転角が 0 と 180 度の RI や RR 画像のペア」の縦ズレの値 Dz\_RI や Dz\_RR も併記しました。

| set        | Dz_RI | Dz_RR | Dz_MP | Dz_MR |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| 171108a    | -4    | 0     | -3    | -4    |
| 171108a_mf | -4    | 0     | -3    | -4    |
| 171108b    | -2    | -6    | -2    | -2    |
| 171108c    | -76   | -11   | 1     | 0     |
| 171108e    | 1     | 4     | 1     | 0     |
| 171108g    | 2     | 4     | 1     | 0     |

|            |     |     |     |     |
|------------|-----|-----|-----|-----|
| 171109a    | -58 | -2  | -6  | -3  |
| 171109b    | -4  | -15 | -5  | -5  |
| 171109c    | -6  | 2   | -7  | -7  |
| 171109d    | -8  | 6   | -6  | -7  |
| 171109f    | -2  | -6  | -1  | -1  |
| 171110a    | -8  | -4  | -7  | -7  |
| 171110b    | -6  | -14 | -7  | -7  |
| 171110c    | -1  | -16 | -1  | -1  |
| 171110d    | -7  | -12 | -7  | -7  |
| 171111a    | -63 | -3  | -7  | -7  |
| 171111b    | -15 | -13 | -14 | -10 |
| 171111c    | -1  | -9  | 0   | -2  |
| 171111d    | -5  | -3  | -4  | -3  |
| 171111e    | -5  | 1   | -2  | -2  |
| 171112a    | -5  | -11 | -3  | -2  |
| 171112a_mf | -5  | -11 | 0   | -2  |
| 171112b    | -2  | -25 | 0   | 0   |
| 171112b_mf | -2  | -25 | 0   | 0   |
| 171112d    | -5  | -3  | -4  | -4  |

これらより、測定ごとの Dz\_RI と Dz\_RR の値の差に比べて Dz\_MP と Dz\_MR の値の差が小さいことがわかります。特に 171108c、171109a や 171111a の Dz\_RI のような突出した値は Dz\_MP や Dz\_MR にはありません。サンプル回転角が 0 度と 180 度の R[l,R] 画像から推定した縦ズレの値よりも Dz\_MP や Dz\_MR の方がノイズに強いロバストな値のような気がします。

上記の推定値から先月の SIXM 実験の時に発生していた縦ズレは FZP-CT 実験の時のような「定盤の不具合」によるものでなく、個々の測定サンプルの保持法に由来するものではないかと思われます。

On Fri, 1 Dec 2017 15:00:37 +0900 Kentaro UESUGI wrote:

- > この「定常的なクリープ」のような現象はこれまでに
- > 1～2回あったのですが、おそらく定盤の不具合だと考えていました。
- > (定盤のネジが1カ所緩んでいたとか、その程度の話ですが、サブミクロンだと結構効く)
- > 今回は定盤も動かしていないのでイマイチ原因の見当がつかないのですが、
- > 冬の停止期間か春の停止期間に定盤の上側だけを入れ替えようかと
- > 思っています。今のやつは2本レールですが、3本レールにして
- > 安定性が良くなればいいなという考えです。



それはともかく、2種類の手法で推定した4個のDzが同程度の大きな値だった測定171111bに対して

0度と180度のRIもしくはRR画像のペアの観察

ImageJのマクロ svc.txt を用いたMPとMR画像のそれぞれのskew変換

などを行うとDz ≒ -13程度の縦ズレがあったことは確かなようです。そこで改造したプログラムri\_tg\_gとrr\_tg\_gを用いてDz = -13と仮定した縦ズレを補正しつつ測定171111bの吸収および位相CT画像を再構成してみました。

```
set dr=98.72e-7
set sdd=6.340
set dp=104.0
@ top = 25
@ left = 0
@ right = 19
set rc=285.5
set dz=-13

mkdir tg_a tg_p
ri_tg_g ri - $top $left $right $dr $rc $dz 0 tg_a > tg_a.log
rr_tg_g rr - $top $left $right $sdd $dp $rc $dz 0 tg_p > tg_p.log
```

こうして得た吸収および位相CT画像とそれらの画素値ヒストグラムの図をこのE-mailに添付した171111b.pdfの下部に載せました。その上部のものは前述の11/15のE-mailに添付した1711108.pdfに載せた縦ズレ補正なしのCT画像と画素値ヒストグラムです。縦ズレ補正によってCT画像の画質がわずかに向上した感じです。また、補正の有無でヒストグラムの形も少し違っているようです。

SIXM CTの縦ズレ検出と補正の話はとりあえず以上です。なお、前述の修正した「測定番号.txt」を含む先月のSIXM実験に関するファイルはすべて計算機vrmの以下のディレクトリに置いてあります。

/media/disk/tsukasa/171108/ : SIXMの測定データファイル"a.\*"を含む。総容量は1.1TB

/media/ssd/tsukasa/171108/ : a.HIS、a.logとa.bmpを消去した。1.7GB

「測定番号.txt」の実行結果の再構成画像などは消去しましたが、ディレクトリ171111b/の下には測定171111bの縦ズレの確認用の以下の画像があります。

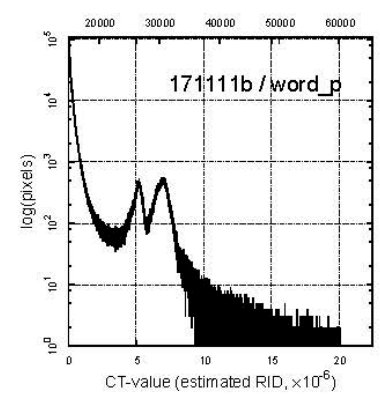
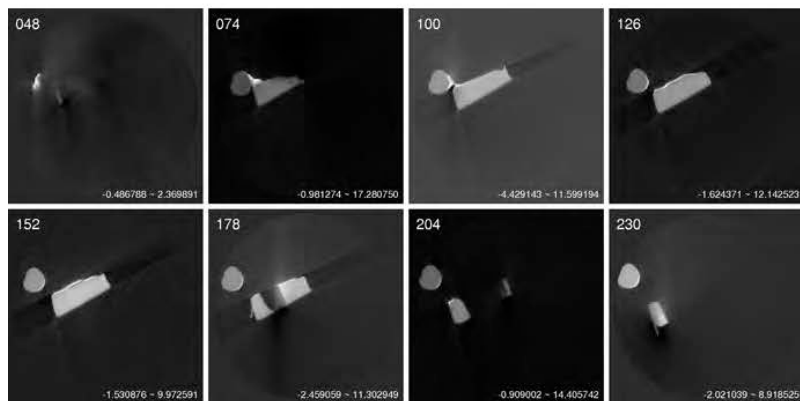
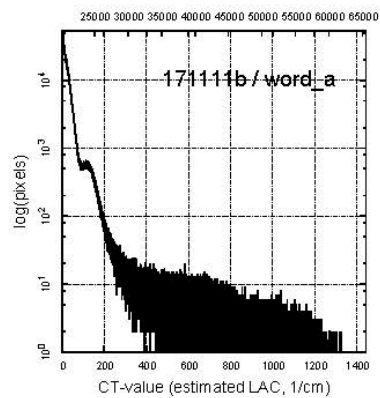
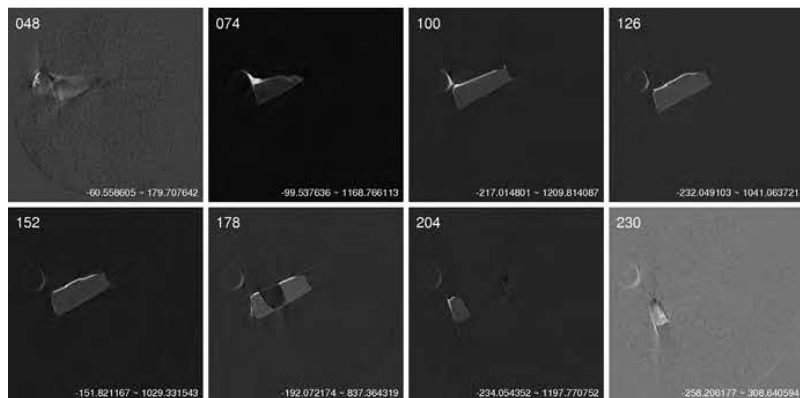
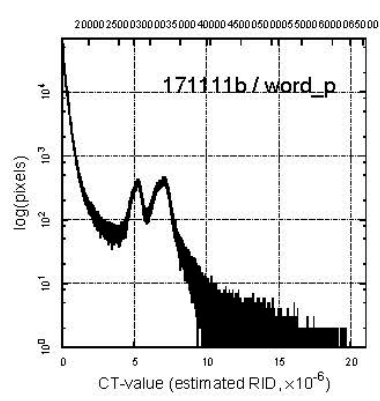
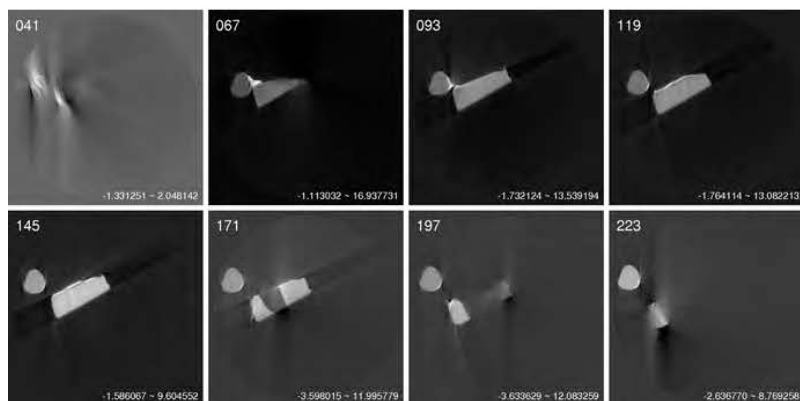
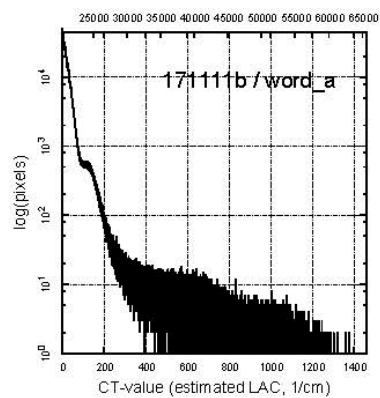
r[i,r]\_000.tif : サンプル回転角が0度のR[I,R]画像

r[i,r]\_750.tif : 180度のR[I,R]画像

m[p,r].tif : M[P,R]の画像

これらを自由にお使い下さい。とり急ぎ、

添付ファイル 171111b.pdf



Date: Fri, 19 Jan 2018 17:15:27 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa"  
 Cc: MATSUNO Junya, "TSUCHIYAMA, Akira", Masayuki Uesugi, 北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Taguchi, Miyake, Aiko Nakato, megumi matsumoto, 野口 高明, Minako HASHIGUCHI  
 Subject: 6mct\_MR

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。昨年 12/12 の E-mail の続報です。SIXM-CT において「サンプルの定常的な鉛直方向のクリープ」を仮定した場合の、サンプル回転角ごとの

RI (暗電流補正した X 線強度) or XP (X 線投影値) 画像

RR (暗電流補正した X 線屈折量) or XR (原点補正した X 線屈折量) 画像

の「縦ズレ」の補正処理で用いた

MP 画像 (回転角ごとの XP 画像の横列の画素の値の平均値の画像)

MR 画像 (回転角ごとの XR 画像の横列の画素の値の平均値の画像)

のうちの後者に関して「重要なこと」に気づいたので、その話をします。

まず、この E-mail に添付した以下の PDFs を御覧下さい。昨年 11 月の SIXM-CT の測定 171111b の M[P,R] 画像などが示されています。

171111b\_xm.pdf

回転角が 0 と 180 度の X[P,R] 画像および M[P,R] 画像。ただし、

M[P,R] 画像の左端の列の各画素の値

= 回転角が 0 の X[P,R] 画像の各行の画素の値の平均値、

M[P,R] 画像の右端の列の各画素の値

= 回転角が 180 度の X[P,R] 画像の各行の画素の値の平均値。

各画像の画素値の値域はそれぞれの上部に記した「min. ~ max.」だが、[X,M]P と [X,M]R 画像のトリオごとに画素値と表示輝度の対応関係をグレースケールバーで示したものに揃えた (各トリオの 2 個の X[P,R] 画像の画素のうちの最小・最大値付近の値を持つものを除外した 98 % の画素の値の範囲を表示輝度に線形に割り当てる対応関係にした)。また、M[P,R] 画像の上部にプログラム  $r[i,r]2m[p,r]$  で推定した「縦ズレ量 Dz」を記した。その値から計算した M[P,R] 画像の左右の青線と赤線で示した端点のそれぞれを結んだ方向にサンプルがクリープしたはず。

171111b\_mh.pdf

M[P,R] 画像の画素値ヒストグラムと  $r[i,r]2m[p,r]$  で推定した Dz を指定して下記のせん断 (skew) 変換を行った M[P,R] 画像。

$$x' = x$$

$$y' = \{ Dz / (Nx - 1) \} \cdot x + y$$

ただし、

$x, y$  : 変換前の  $M[P,R]$  画像の上の座標値

$x', y'$  : 変換後の  $M[P,R]$  画像の上の座標値

$N_x$  :  $M[P,R]$  画像の横画素数 (変換前後で同じ値)

== サンプル 180 度回転のステップ数 (views) + 1

なお、昨年 12/8 の E-mails で紹介したように、ImageJ 用のマクロ svc.txt を使えば  $M[P,R]$  画像の skew 変換を実行できる :

```
IJ -macro svc 171111b/mp.tif -14 ← Dz = -14
```

```
IJ -macro svc 171111b/mr.tif -10 ← Dz = -10
```

このように、プログラム  $r[i,r]2m[p,r]$  で推定した  $D_z$  の値を与えた skew 変換によって  $M[P,R]$  画像の上の傾いた「縞模様」を水平に戻すことができます。それと同様にして  $R[l,R]$  画像を回転角に関して skew 変換した後に画像再構成できるよう改造した SIXM-CT 用のプログラムを昨年 12/12 の E-mail で紹介しました。この「縦ズレ補正」の理論的背景? は以下の通りです。

ぼくが気づいた「重要なこと」は MR 画像の縞模様に関する話ですが、その理解には下記の理論的背景? の理解が必要です。

吸収 CT の場合をまず考えます。以前にも何度か説明したように (測定中にサンプルの鉛直方向のクリープなどが発生していない) 理想的な吸収 CT の測定では「MP 画像の値  $MP(\theta, z)$  に対応している total absorption の値  $TA(\theta, z)$ 」はサンプル回転角  $\theta$  によらず「CT 画像のスライス断面の位置  $z$  ごとに一定の値」になっているはず (そうならないと CT 画像の再構成ができない) :

$r$  を XP 画像の横方向の座標値とすると、

$$XP(r, z, \theta) = \int LAC(r, s, z) ds$$

← X 線投影値は X 線光路  $s$  に沿ったサンプル内部の LAC の積算値

$$TA(\theta, z) = \int XP(r, z, \theta) dr = \int \int LAC(r, z, s) ds dr$$

← TA の値は位置  $z$  の断面における LAC の総和 (一定値)

なお、 $N_r$  と  $D_r$  を XP 画像の横方向の画素数と画素の辺長とすると、

$$TA(\theta, z) \doteq MP(\theta, z) \cdot N_r \cdot D_r = MP(\theta, z) \times \text{XP 画像の実寸の横幅}$$

それゆえ、理想的 (or 正常) な MP 画像には  $\theta$  (横) 方向に延びた一定の値を保持している線構造 (== 真横方向に延びる縞模様) が含まれているはず (これを逆に考えると、サンプルが鉛直方向の定常なクリープをしている (と仮定できる) 測定の MP 画像では縞模様は真横方向から傾いているはずであり、それと平行な方向に切り直したスライス断面の CT 画像なら正常に再構成できるはず) です。この処理を実行できるように SIXM の吸収 CT 用の画像再構成プログラム  $ri\_stg\_t[g]$  と  $ri\_tg\_t[g]$  を改造しました。

位相 CT の「縦ズレ補正」の理論的背景？も吸収 CT の場合と概ね同じです：

X 線屈折率  $n$  と RID

$$n(r,s,z) = 1 - \text{RID}(r,s,z)$$

s 軸方向に平行な X 線光路に直交する r 軸方向の X 線屈折率勾配

$$\partial n / \partial r = - \partial \text{RID} / \partial r$$

積算 X 線屈折率勾配と屈折角 A

光線方程式 (Fermat の原理) より、

$$\int (\partial n / \partial r) ds \doteq \sin(A) \doteq A(r,z,\theta) \doteq \tan(A) = XR(r,z,\theta) \cdot Dp / \text{SDD}$$

ただし、

Dp : refraction profile (RP) 画像の画素の横幅

SDD : sample-detector distance

屈折角の総和 (total refraction?)

$$\begin{aligned} \text{TR}(\theta,z) &= \int A(r,z,\theta) dr \doteq \int \int (\partial n / \partial r) ds dr && \text{式 [a]} \\ &\doteq \text{MR}(\theta,z) \cdot \text{Nr} \cdot \text{Dr} \cdot Dp / \text{SDD} \end{aligned}$$

吸収 CT の場合と同様に位相 CT でも「MR 画像の値  $\text{MR}(\theta,z)$  に対応している total refraction? の値  $\text{TR}(\theta,z)$ 」はサンプル回転角  $\theta$  によらず「CT 画像のスライス断面の位置  $z$  ごとに一定の値」になっているはずですが (そうならないと CT 画像を再構成できない)。それに基づいてプログラム rr2mr で MR 画像から推定した Dz の値を用いて「縦ズレ補正」ができるように SIXM-CT の画像再構成プログラム rr\_stg\_[t,g] と rr\_tg\_[t,g] を改造しました。

以上で「縦ズレ補正」の理論的背景?の説明は終了ですが、位相 CT の式 [a] に関して馬鹿なことに気づきました。その式を以下のように書き換えてみます：

$$\begin{aligned} \text{TR}(\theta,z) &\doteq \int B(s,z,\theta) ds \\ B(s,z,\theta) &= \int (\partial n / \partial r) dr && \text{式 [b]} \end{aligned}$$

さて、位相 CT で測定している屈折角 A は X 線屈折率勾配の積算値なので、サンプル内部の屈折率 (もしくは RID) の再構成では前処理として「屈折率勾配の積算値」から「屈折率の積算値」を推定する必要があります。この「位相回復」の処理では通常は以下を仮定します：

$$\partial n / \partial r \doteq dn / dr \leftarrow n \text{ の } r \text{ に関する偏微分を常微分と見なす。}$$

これを式 [b] の積分に適用すると  $B(s,z,\theta)$  は以下の値になります：

$$B(s,z,\theta) \doteq \int (dn / dr) dr = \int dn = nL(s,z,\theta) - nR(s,z,\theta)$$

ただし、

$nL(s,z,\theta)$  : RR や XR 画像の左端の位置における X 線屈折率

$nR(s,z,\theta)$  : RR や XR 画像の右端の位置における X 線屈折率

そして、RR や XR 画像 (or SIXM の視野) の左右の端にあるのは空気なので、

$$nL \equiv 0 \text{ かつ } nR \equiv 0 \rightarrow B(s,z,\theta) \equiv 0 \rightarrow \text{TR}(\theta,z) \equiv 0。$$

つまり、MR 画像の画素値は常に 0 になるはずですが、この結論はサンプルが定常的にクリープしている測定でも有効です。前述の 171111b\_mh.pdf に示した MR 画像の画素値ヒストグラムは画素値 0 にランダムノイズが乗った Gauss 分布に似た形状になっています（ただし、Gauss 分布とは微妙に違います；確認済み）。

#### 注

プログラム rr2mr は MR 画像の「縞模様」が「一定の値」と仮定しているだけなので、その値が 0 でも縦ズレ量 Dz を推定可能です。

以上のことから、MR 画像に発生している「縞模様」は何らかの系統的な雑音に起因したものだと考えられます（これがぼくが気づいた「重要なこと」です）。問題はその素性で、以下のものを思い付きました。

#### 位相回復の処理の失敗

2 通りのものが考えられます。一つ目はサンプルの縁（エッジ）で発生するデルタ関数的な屈折率（== 位相）勾配に伴う雑音です。ただし、この屈折率勾配の雑音はサンプル回転角に応じて変化するので、縞模様を発生させるのではなくその「一定値」を乱すだけかもしれません。

もう一つは鉛直方向の位相勾配の影響（ $\partial n / \partial r \neq dn / dr$ ）ですが、ぼくにはその評価ができません。ただし、その影響が大なら画像再構成の時に行う位相回復も失敗するはずですが、...

#### 吸収勾配による X 線マイクロビームの重心の位置ズレ

これについては竹内さんからの 2015/10/20 の E-mail で「ぼくの考えは間違っている」と言われたので詳しい話は省略します。

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM\\_mails.pdf#page=102](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/SIXM_mails.pdf#page=102)

ただし、以下のことは正しいと思われれます：

SIXM では X 線マイクロビームの重心の位置で屈折量を決めている。

マイクロビームの形状はサンプルの LAC の空間分布に左右される。

LAC の空間勾配が大きい場合、屈折量の推定に誤差が生じるはず。

測定した屈折量には吸収（LAC）に起因する誤差が含まれるはず。

つまりは、MR 画像の縞模様は吸収（LAC）に起因する？

と言う訳で、MR 画像の 0 ではない値の「縞模様」の素性は現時点では不明です。

最後の方はいい加減になりましたが、とりあえず以上です。

添付ファイル 171111b\_xm.pdf

xp\_000 : -0.296119 ~ 0.438765

mp : -0.106044 ~ 0.113560 / Dz = -14

xp\_750 : -0.842044 ~ 0.382619



-0.154103  0.209086

xr\_000 : -3.893103 ~ 5.474749

mr : -0.549502 ~ 0.569369 / Dz = -10

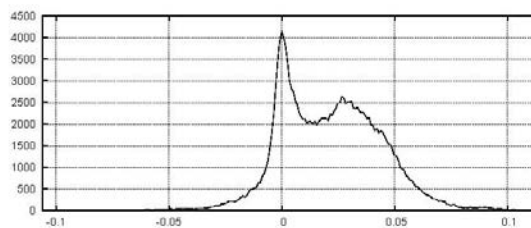
xr\_750 : -6.231030 ~ 4.318431



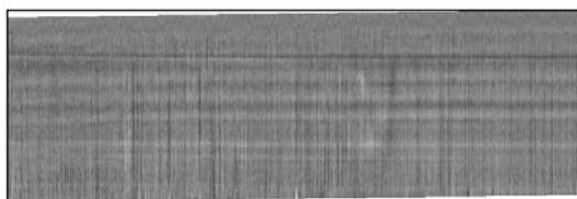
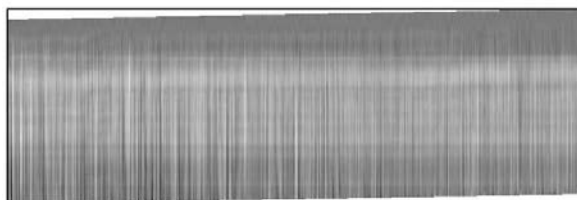
-1.561469  1.544151

添付ファイル 171111b\_mh.pdf

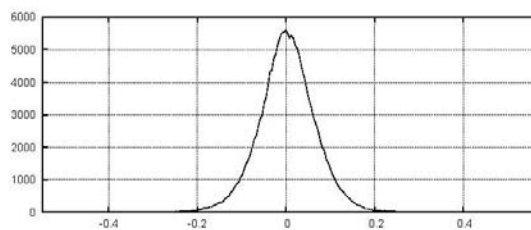
mp : -0.106044 ~ 0.113560 / Dz = -14



-0.106044  0.113560



-0.549502  0.569369



mr : -0.549502 ~ 0.569369 / Dz = -10

Date: Fri, 19 Jan 2018 18:18:44 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", MATSUNO Junya  
Cc: "TSUCHIYAMA, Akira", Masayuki Uesugi, 北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Taguchi, Miyake, Aiko Nakato, megumi matsumoto, 野口 高明, Minako HASHIGUCHI  
Subject: 6mct\_MR\_補足

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。先程の E-mail に以下のように書きましたが、これは言葉足らずでした。

On Fri, 19 Jan 2018 17:15:27 +0900 Tsukasa NAKANO wrote:

- > 注
- > プログラム rr2mr は MR 画像の「縞模様」が「一定の値」と仮定して
- > いるだけなので、その値が 0 でも縦ズレ量 Dz を推定可能です。

SIXM-CT の MR 画像は原理的には値 0 の画像であり、そこに含まれる「縞模様」の素性が不明なので、プログラム rr2mr による縦ズレの推定値 Dz が何を表しているのかわかりません。SIXM-CT で「サンプルの定常的な鉛直方向のクリープを仮定した縦ズレ補正」を行う場合は ri2mp で推定した値 Dz をお使い下さい。とり急ぎ、

---

Date: Sat, 20 Jan 2018 11:59:01 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: MATSUNO Junya  
Cc: Kentaro Uesugi, "TAKEUCHI, Akihisa", "TSUCHIYAMA, Akira", Masayuki Uesugi, 北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Taguchi, Miyake, Aiko Nakato, megumi matsumoto, 野口 高明, Minako HASHIGUCHI  
Subject: Re: 6mct\_MR\_補足

---

まつのさま、

なかのです。E-mail ありがとうございます。

- > ただ、推定した Dz よりも、Dz の半分くらいの値( $Dz / 2$ )のほうが像質が上がっている
- > ように思うこともあり、

これは、測定中にサンプルがしだいに倒れて行く場合のように、  
サンプルが鉛直方向の等速度運動ではなく（等）加速度運動をしている



ということですかね。その場合は画像再構成用プログラムに組み込んだ「縦ズレ補正」は無力ですが、 $Dz/2$  を使うと「実際の加速度運動を最も良く近似する等速度運動」になるのかもしれませんが、とり急ぎ、

On Fri, 19 Jan 2018 20:21:40 +0900 MATSUNO Junya wrote:

- > 中野さま
- > 松野です。いつもありがとうございます。
- >
- > こちらでの再構成は、ri2mp で推定した  $Dz$  を使っています。
- > ただ、推定した  $Dz$  よりも、 $Dz$  の半分くらいの値( $Dz / 2$ )のほうが像質が上がっている
- > ように思うこともあり、
- > 現状は、ri\_stg をいくつかの  $Dz$  で試して見た目をチェックして本番用の  $Dz$  を採用しています。
- >
- > 回転軸と  $Dz$  の 2 個のパラメータをチェックすると時間がかかるのですが、仕方がないのかな、
- > と思っています。

Date: Tue, 23 Jan 2018 18:23:20 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: MATSUNO Junya, "TSUCHIYAMA, Akira", Kentaro Uesugi  
Cc: "TAKEUCHI, Akihisa", Masayuki Uesugi, 北山晃, Sugimoto Miyama, 中村隆太, Taguchi, Miyake, Aiko Nakato, megumi matsumoto, 野口 高明, Minako HASHIGUCHI  
Subject: Re: 6mct\_steady\_vertical\_creep

---

みなさま、

GSJ/AIST のなかのです。測定サンプルの steady vertical creep の検出・補正に関する説明を「(新しいプログラムを使った) SIXM の画像再構成の手順書」

[http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct\\_recipe.txt](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct_recipe.txt)

追加しました。とり急ぎ、

On Tue, 12 Dec 2017 21:23:29 +0900 Tsukasa NAKANO wrote:

> みなさま、

>

> GSJ/AIST のなかのです。先月の前半の SIXM 実験でデビューした新しいプログラム ri2mp、rr2mr、  
> ri2stg\_[t,g]、rr2stg\_[t,g]、ri2tg\_[t,g] と rr2tg\_[t,g] に対しても先月の後半の FZP-CT 実験の後の E-  
> mails で紹介した通常 CT 用のプログラム hp\_ta、hp\_stg\_[t,g] と hp\_tg\_[t,g] に対するものと同様な  
> 「測定サンプルの定常な鉛直方向のクリープ」を仮定した「縦ズレ」の検出および補正の機能を付加  
> しました。

> ...

>

> すみません。SIXM の画像再構成の手順書には新機能の使用例は未記載です。

> [http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct\\_recipe.txt](http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct_recipe.txt)

> ...

Date: Tue, 23 Jan 2018 17:59:58 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: MATSUNO Junya  
Cc: MIYAKE, Kentaro UESUGI, Akihisa TAKEUCHI, "TSUCHIYAMA, Akira",  
北山晃, Miyama Sugimoto, Taguchi, megumi matsumoto,  
野口 高明, Tooru Matsumoto, okumura.shota.82e, Minako HASHIGUCHI, Aiko Nakato, 中村隆太  
Subject: Re: 2017B の DET-SIXM の絵合わせ

---

まつのさま、

なかのです。松野君が位置決め処理を行った Acfer094-lith1-9 を撮った SIXM の測定 171110b は失敗です。2017/11/15 に差し上げた件名「Re: 2017B 1108\_SIXM lognote」の E-mail に添付した 171108.pdf の 13 ページ目の sinogram の図（この E-mail に再添付した 171110b\_sg.pdf）からわかるように、サンプル回転角が 180 度付近の sinogram の形状が変です（回転角に応じて左右に変化していない縦方向に伸びた sinogram になっています）。また、この E-mail に添付した 171110b\_mpr.pdf に示した（アスペクト比を通常のものから変えた）M[P,R] 画像からわかるように、それらの上の横に延びる「縞模様」は一様に傾いているのではなく、途中から傾きが変わっています。つまり、測定 171110b のサンプルの動きは steady vertical creep と仮定できません。

と言うわけで、松野君が行っている以下の方法はダメです。

- > 深く考えずに、Dz を振ってみて、良さそうなを選ぶ、としています。
- また、失敗した測定のデータを SIXM の画素サイズの検定に使うのもダメです。

このようなダメな測定の詳細（何がダメだったのか）をきちんと記録しておき、その原因を解明することが重要だと思います。とり急ぎ、

On Sun, 21 Jan 2018 09:45:04 +0900 MATSUNO Junya wrote:

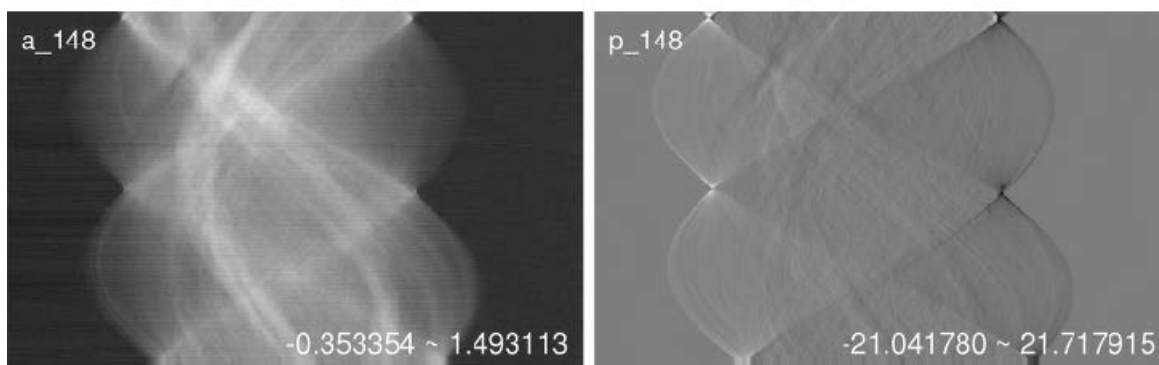
- > 中野さま
- > 松野です。ご返信ありがとうございました。
- >> サンプルが鉛直方向の等速度運動ではなく（等）加速度運動をしている
- > なるほど、加速度運動しているのかもしれませんが。
- > 個人的には、サンプル自身の問題(固定法やビームダメージ?) + ステージの鉛直の
- > 等速度運動の足し合わせなのかな、と思っていますが、
- > 深く考えずに、Dz を振ってみて、良さそうなを選ぶ、としています。

On Sun, 7 Jan 2018 23:56:46 +0900 MATSUNO Junya wrote:

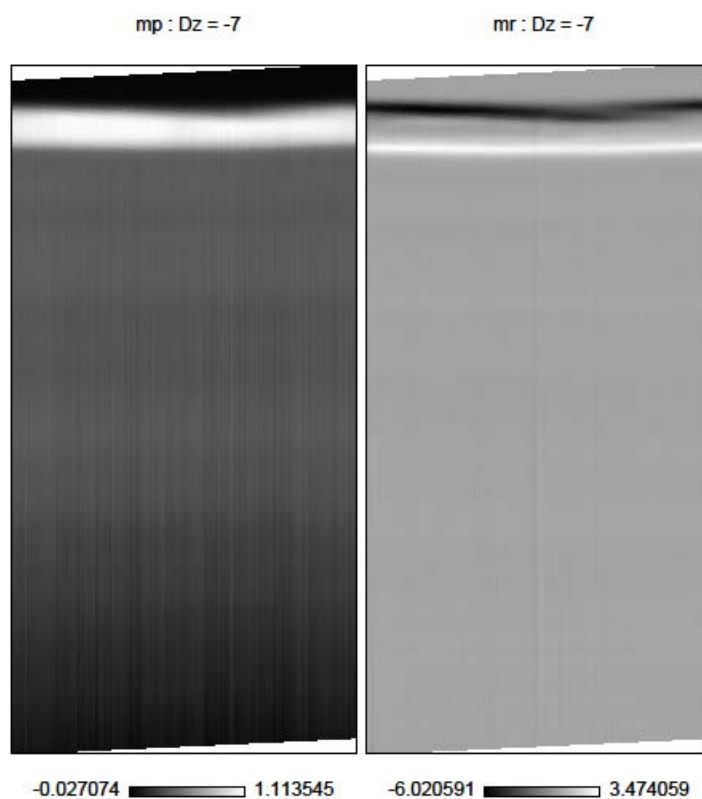
- > みなさま
- >
- > 松野です。
- > この件に関して、Acfer094-lith1-9 で、再構成の svc 補正(等速の縦のクリープ)を行い、
- > DET の 7,8 keV と SIXM のレジストレーションを行いました。
- > DET の 8keV の値を固定し、中野さんの手法でピクセルサイズの最適値を求めたところ、
- >
- > SPring-8 での値 --> 最適値
- > xy : 49.36 --> 48.26
- > z : 106.4 --> 103.4
- >
- > となりました。
- > この値は、北山くんの時に求めた
- >> xy : 49.36 --> 48.2
- >> z : 106.4 --> 103.6
- > とほぼおなじでした。
- >
- > ということで、やはりボクセルの対角線では、3%くらいズレているようです。

添付ファイル 171110b\_sg.pdf

171110b / sg



添付ファイル 171110b\_mpr.pdf



---

Date: Wed, 24 Jan 2018 15:38:02 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: MATSUNO Junya  
Cc: MIYAKE, Kentaro UESUGI, Akihisa TAKEUCHI, "TSUCHIYAMA, Akira",  
北山晃, Miyama Sugimoto, Taguchi, megumi matsumoto, 野口 高明,  
Tooru Matsumoto, okumura.shota.82e, Minako HASHIGUCHI, Aiko Nakato, 中村隆太  
Subject: Re: 2017B の DET-SIXM の絵合わせ

---

まつのさま、

なかのです。E-mail ありがとうございます。

> 松本恵さんに指摘されるまで私も忘れていたのですが、1/7に私がお送りしたメールで処理した  
> Acfer094-lith1-9のSIXMの測定データは、  
> 171110cです。

それは失礼しました。昨年11月のSIXM実験の終了直後(2017/11/12 10:14:16)のつちやまさんのE-mailに添付されていたサンプルリストでは測定171110bと171110cが線で区切られた別の行に記されていたので、勘違いしました。

> ご連絡いただきました 171110b とは違い、鉛直等速運動が綺麗に出ていたように思います。

この E-mail に添付した 171110c.pdf (昨年 11/15 に差し上げた E-mail に添付した 171108.pdf の 14? ページと同じもの) でわかるように、171110c の吸収および位相 CT 画像に問題はないようですね。ただし、この E-mail に添付した 171110c\_mpr.pdf からわかるように、M[P,R] 画像から推定した縦ズレ量は -1 であり、171110c では steady vertical creep は発生していないのでは？

>> E-mail に添付した 171110b\_mpr.pdf に示した (アスペクト比を通常のものから変えた) M[P,R] 画像  
> 縦方向に伸ばされたのでしょうか。

そうです。171110[b,c]\_mpr.pdf の上の M[P,R] 画像は画素の横と縦の辺長を 1:5 にして表示しています ...  
そもそも、M[P,R] 画像の横軸と縦軸は異なる種類の値 (横: サンプルの回転角、縦: 鉛直方向の座標値) を表しているため、それらを 1:1 で表示する必然性はありません。

>>> 深く考えずに、Dz を振ってみて、良さそうなものを選ぶ、としています。

>> steady vertical creep と仮定できません。

> 鉛直な等速運動では仮定できない、となった場合は、補正しない方がいいのでしょうか。

> 物理的な背景がわからないままに実験のデータを補正するべきでない、

ぼくはそう思っています。SIXM 実験は「実験」なので、失敗した測定結果は「実戦」で使うのではなく、問題点の解明の材料にすべきだと思っています。

> 綺麗に見える絵が再構成された時のパラメータは、未補正時よりも実験を

> よく表現できている、と思うのですが。

問題は「綺麗に見える」で、何を根拠に「綺麗」と判断したのかがわかりません。

>> 失敗した測定データを SIXM の画素サイズの検定に使うのもダメです。

> 去年から問題になっている画素サイズの件、実はクリープが原因、なんてこともあるのでしょうか。

> 中野さんが hp\_tg にクリープ補正を追加してくださったので、total absorption の画像作成を含め、

> 中藤サンプルあたりからの再構成をチェックしていています。

> そして、結構動いているようです、。

> ...

> 去年度の SIXM のクリープチェックはまだできていないので、それ次第なのでしょうが。

TA の画像を並べるなどして、上記のことを誰でもわかるように紹介して下さい。

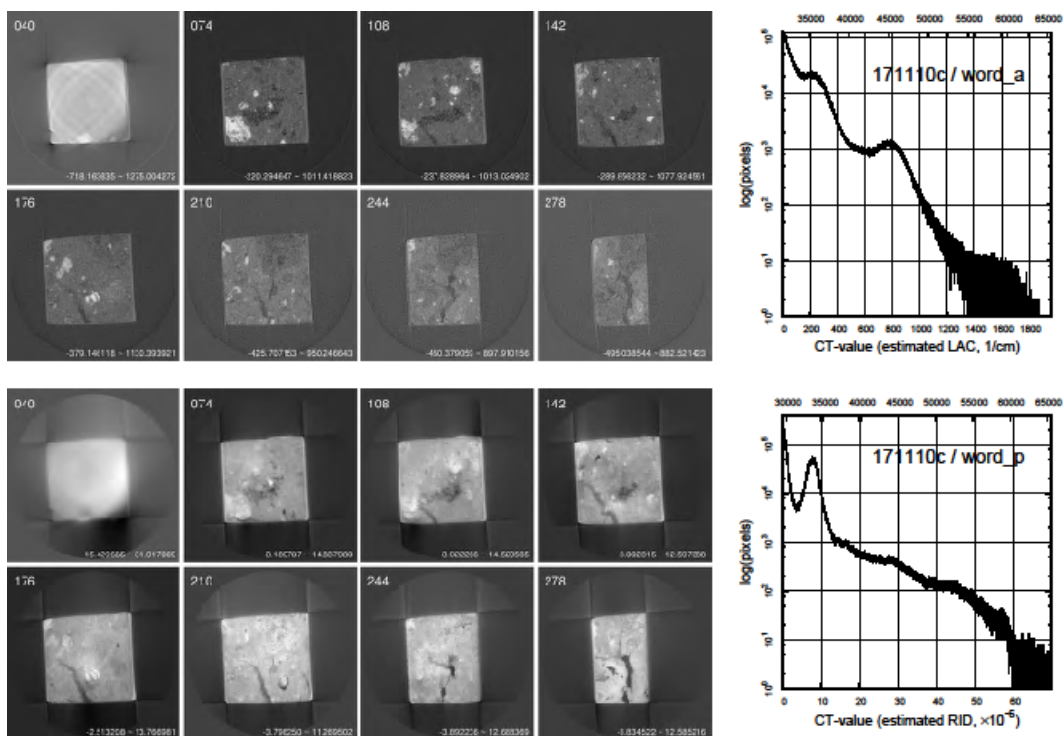
とり急ぎ、

On Wed, 24 Jan 2018 12:53:47 +0900 MATSUNO Junya wrote:

- > 中野さま
- > 松野です、コメントいただきまして、ありがとうございます。
- >
- > 松本恵さんに指摘されるまで私も忘れていたのですが、1/7に私がお送りしたメールで処理した
- > Acfer094-lith1-9のSIXMの測定データは、
- > 171110c
- > です。なので、ご連絡いただきました171110bとは違い、鉛直等速運動が綺麗に出ているように思います。
- >
- > > E-mailに添付した171110b\_mpr.pdfに示した(アスペクト比を通常のものから変えた)M[P,R]画像
- > 縦方向に伸ばされたのでしょうか。
- > 強調して見ると、とてもわかりやすいですね。
- >
- > >> 深く考えずに、Dzを振ってみて、良さそうなものを選ぶ、としています。
- > > steady vertical creepと仮定できません。
- > 鉛直な等速運動では仮定できない、となった場合は、補正しない方がいいのでしょうか。
- > 物理的な背景がわからないままに実験のデータを補正するべきでない、というのはよくわかるのですが、
- > 綺麗に見える絵が再構成された時のパラメータは、未補正時よりも実験をよく表現できている、
- > と思うのですが。
- >
- > > 失敗した測定データをSIXMの画素サイズの検定に使うのもダメです。
- > 去年から問題になっている画素サイズの件、実はクリープが原因、なんてこともあるのでしょうか。
- > 中野さんがhp\_tgにクリープ補正を追加してくださったので、total absorptionの画像作成を含め、
- > 中藤サンプルあたりからの再構成をチェックしていています。
- > そして、結構動いているようです、。
- >
- > 例えば、Acfer094-DI:
- > 160725a (7keV, サンプル上部)
- > 160725b (7keV, サンプル下部)
- > 160725c (8keV)
- > では、hp\_taが出力するdzの値は、
- > 160725a 3
- > 160725b -8
- > 160725c -1
- > となっていて25a, 25bでは大きいことがわかります。
- > 実際のtaの画像を観察すると、
- > 25aは、クリープしているように思いますが、後半にサンプルがガクッと上がっているのがわかりました。

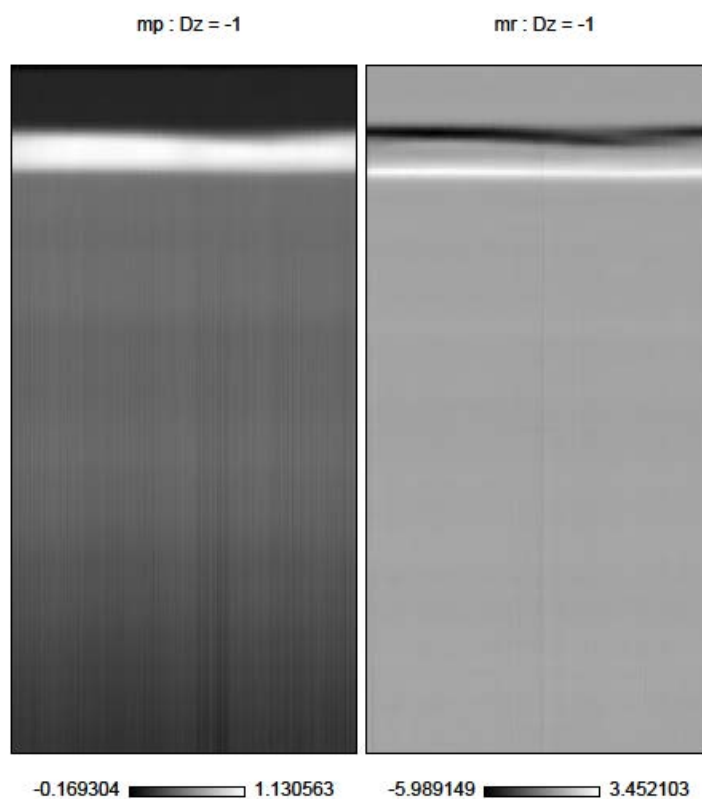
- > 25b は、25a のようにガクッと変わることはなく、だらだら下がっているだけの気がします。
- > 一方、25c は動いているかどうか、よくわかりません。(撮影時間が短いからか)
- >
- > とはいえ、7keV-8keV でのピクセルサイズ比はそんなにずれていなかったの、
- > このクリープ量が一連の画素サイズ問題の主犯では気もします。
- > 去年度の SIXM のクリープチェックはまだできていないので、それ次第なのかもしれませんが。

添付ファイル 171110c.pdf





添付ファイル 171110c\_mpr.pdf




---

Date: Sat, 27 Jan 2018 14:30:42 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: MATSUNO Junya  
 Cc: MIYAKE, Kentaro UESUGI, Akihisa TAKEUCHI, "TSUCHIYAMA, Akira",  
 北山晃, Miyama Sugimoto, Taguchi, megumi matsumoto, 野口 高明,  
 Tooru Matsumoto, okumura.shota.82e, Minako HASHIGUCHI, Aiko Nakato, 中村隆太  
 Subject: TA 画像などからの縦ズレ検出

---

まつのさま、

GSJ/AIST のなかのです。通常 CT の TA 画像や SIXM-CT の M[P,R] 画像から steady vertical creep の縦ズレ Dz を検出する際にそれらの画像上の縦方向の調査範囲を指定できるようプログラム hp\_ta や r[i,r]2m[p,r] を改造しました。

On Wed, 24 Jan 2018 12:53:47 +0900 MATSUNO Junya wrote:

- >> 失敗した測定データを SIXM の画素サイズの検定に使うのもダメです。
- > 去年から問題になっている画素サイズの件、実はクリープが原因、なんてこともあるのでしょうか。
- > 中野さんが hp\_tg にクリープ補正を追加してくださったので、total absorption の画像作成を含め、
- > 中藤サンプルあたりからの再構成をチェックしていています。

hp\_ta や r[i,r]2m[p,r] に対する（それらが作成した）TA や M[P,R] 画像上の縦方向の調査範囲 y1~y2 の指定はオプションで、ファイル SVC.txt を指定して縦ズレ Dz の検出を実行する場合にのみ有効です：

```
hp_ta HiPic/ TA.tif {{y1 y2} SVC.txt}
ri2mp RI/ NF top left right MP.tif {{y1 y2} SVC.txt}
rr2mr RR/ NF top left right MR.tif {{y1 y2} SVC.txt}
```

このような改造に加えて、hp\_ta や r[i,r]2m[p,r] で作成した TA や M[P,R] 画像から縦ズレ Dz を検出するだけのプログラム ta\_dz を書きました：

```
ta_dz TA_or_MP_or_MR.tif {y1 y2} {SVC.txt}
```

ta\_dz の起動パラメータの意味は hp\_ta や r[i,r]2m[p,r] のものと同様ですが、オプション指定の取り扱い方が異なります（これでわかりますよね？）。なお、調査対象とする画像 TA\_or\_MP\_or\_MR.tif は古いプログラム hp2xta で作成した整数画素値のものでもかまいません。その場合には警告が出ますが、縦ズレ Dz を問題なく推定できるはずです。

改造版の hp\_ta と新しいプログラム ta\_dz のソースコードや Windows 用実行ファイルなどを以下の書庫ファイルに入れておきました：

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/rhp.taz>

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/rhp.zip>

また、SIXM 用の新しい書庫ファイル中の r[i,r]2m[p,r] のコードなどを改造版のものと差し替えておきました：

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.taz>

<http://www-bl20.spring8.or.jp/~sp8ct/tmp/6mct.zip>

昨年 11 月の SIXM 実験で得た測定 171110[b,c] のデータを使って改造版の r[i,r]2m[p,r] と ta\_dz の動作テストを行いました。この E-mail に添付した ta\_dz.txt がその記録です。

次便以降の E-mail で詳しいことを話しますが、測定 171110[b,c] のサンプル回転角が 0 度と 180 度の RR 画像から推定した縦ズレ Dz が異常な値になっているのは「サンプルの天井を覆っている白金？の像」のためだということに気づきました。ta\_dz.txt に記した処理ではその像の部分を除外するような画像上の縦方向の調査範囲も指定しています。そのようにした場合の MR 画像から推定した Dz の値は範囲指定なしの場合と概ね同じ値ですが、MP 画像から得た値は大きく異なります。これは予想外でした ...

とり急ぎ、

添付ファイル ta\_dz.txt

```

ri2mp 171110b/ri - 5 107 196 171110b/mp.tif /dev/null | tail -1
ri2mp 171110b/ri - 5 107 196 /dev/null 45 291 /dev/null | tail -1
rr2mr 171110b/rr - 5 107 196 171110b/mr.tif /dev/null | tail -1
rr2mr 171110b/rr - 5 107 196 /dev/null 45 291 /dev/null | tail -1
    -7      2.568290e-02      # mp
    0       1.413833e-02      # mp 5+40~291
    -7      2.072283e-01      # mr
    -6      4.122213e-02      # mr 5+40~291
#   Dz      RMV
ri2mp 171110c/ri - 20 105 197 171110c/mp.tif /dev/null | tail -1
ri2mp 171110c/ri - 20 105 197 /dev/null 60 297 /dev/null | tail -1
rr2mr 171110c/rr - 20 105 197 171110c/mr.tif /dev/null | tail -1
rr2mr 171110c/rr - 20 105 197 /dev/null 60 297 /dev/null | tail -1
    -1      1.970947e-02      # mp
    -4      1.350675e-02      # mp 20+40~297
    -1      1.529269e-01      # mr
    -1      3.617148e-02      # mr 20+40~297
#   Dz      RMV
ta_dz 171110b/mp.tif
ta_dz 171110b/mp.tif 45 291
ta_dz 171110b/mr.tif
ta_dz 171110b/mr.tif 45 291
    -7      2.568290e-02      # mp
    0       1.413833e-02      # mp 5+40~291
    -7      2.072283e-01      # mr
    -6      4.122213e-02      # mr 5+40~291
#   Dz      RMV
ta_dz 171110c/mp.tif
ta_dz 171110c/mp.tif 60 297
ta_dz 171110c/mr.tif
ta_dz 171110c/mr.tif 60 297
    -1      1.970947e-02      # mp
    -4      1.350675e-02      # mp 20+40~297
    -1      1.529269e-01      # mr
    -1      3.617148e-02      # mr 20+40~297
#   Dz      RMV

```

Date: Tue, 30 Jan 2018 22:31:48 +0900  
From: Tsukasa NAKANO  
To: Akihisa TAKEUCHI, Kentaro UESUGI  
Cc: MATSUNO Junya, MIYAKE, "TSUCHIYAMA, Akira", 北山晃, Miyama Sugimoto, Taguchi, megumi matsumoto, 野口 高明, Tooru Matsumoto, okumura.shota.82e, Minako HASHIGUCHI, Aiko Nakato, 中村隆太  
Subject: SIXM\_RP画像上の傾いた暗い帯

---

たけうちさま、  
うえずぎさま、

GSJ/AISTのなかのです。SIXMのHIS ファイルから取り出したRP (refraction profile) 画像の上にあった「傾いた暗い帯」についてお尋ねします。少し長くなりますが最初から話します。

昨年11月のSIXM実験で得た測定171110[b,c] の

サンプル回転角が0度と180度のXP (投影値) 画像と

回転角が0度と180度のXR (「空気の値」で補正したX線屈折量) 画像

のペアのそれぞれから推定した「縦ズレ」の値が大きく異なっていたので、その原因を調べました。このE-mailに添付した171110bc\_xpr.pdfを御覧ください。測定 171110[b,c] のX[P,R] 画像に関する以下の4枚一組の画像を示しました：

4枚一組の左上の画像 (画像名：x[p,r]\_000)

測定171110[b,c] のサンプル回転角が0度のX[P,R] 画像

右上の画像 (x[p,r]\_750)

回転角が180度のX[P,R] 画像

左下 (HF もしくは HFIV)

画像 xp\_750を左右反転した画像 (HF) 、もしくは、xr\_750の左右と「各画素のXRの値の符号」を反転した画像 (HFIV)

右下 (xp\_000 - HF もしくは xr\_000 - HFIV)

上部に記したoffsetとDzの値を用いて位置ズレ補正を行った画像xp\_000とHFの差分画像、もしくは、xr\_000とHFIVの差分画像。

このように同じ測定のX[P,R] 画像のペアのそれぞれから推定した縦ズレの値Dzは大きく異なっており、差分画像を見ればわかるようにXR画像のペアから推定したDzの値が間違っていることは明らかです。画像xr\_000とxr\_750の比較から、この推定ミスは

回転角が0度と180度の画像のそれぞれの上部の、サンプルの天井を覆っている白金?の上下端の部分のXRの値が符号反転していない (それらの表示輝度が黑白反転していない)

ことによって生じたと思われます。

以上のような「XRの値が異常な部分」に相当するRP画像を調べました。このE-mailに添付した171110bc\_rp.pdfを御覧下さい。こちらは測定171110[b,c] の回転角が0度と180度のそれぞれの以下の4枚一組の画像を示しています：

4枚一組の左上の画像（画像名：ri\_000もしくはri\_750）

回転角が0度もしくは180度のRI（暗電流補正したX線強度）画像

左下の画像（rr\_000もしくはrr\_750）

回転角が0度もしくは180度のRR（未補正のX線屈折量）画像

右上（rp\_000\_SCAN もしくはrp\_750\_SCAN）

上記の回転角が0度もしくは180度のR[I,R] 画像の上に青線で示した、スキャン番号（== R[I,R] 画像の横座標値）が「SCAN」の位置の縦一列の画素の値の計算に用いたRP画像

右下（rp\_000\_??? もしくは rp\_750\_???）

上記のRP画像の左右端に赤線で示した「サンプルの天井を覆っている白金？」の部分を縦方向に引き伸ばし、低い画素値を識別できるように表示輝度を「ガンマ補正」した画像。

注

正確には、左側の2枚はX[P,R] 画像の作成時に「空気の値」の計算に用いた左右と上部の領域を除去したR[I,R] 画像です。また、右上のRP画像の縦方向の範囲は左側のR[I,R] 画像のものと同じです。

これらからわかるように、「サンプルの天井を覆っている白金？」の部分で測定したRP画像の領域には「傾いた暗い帯」があります。そして、RR画像の画素の値はRP画像の横一列の画素の値の重心の位置なので、

傾いた暗い帯の上端では重心が左方に移動する

→ RRの値が低くなり、RRやXR画像に暗点もしくは暗線が生じる。

傾いた暗い帯の下端では重心が右方に移動する

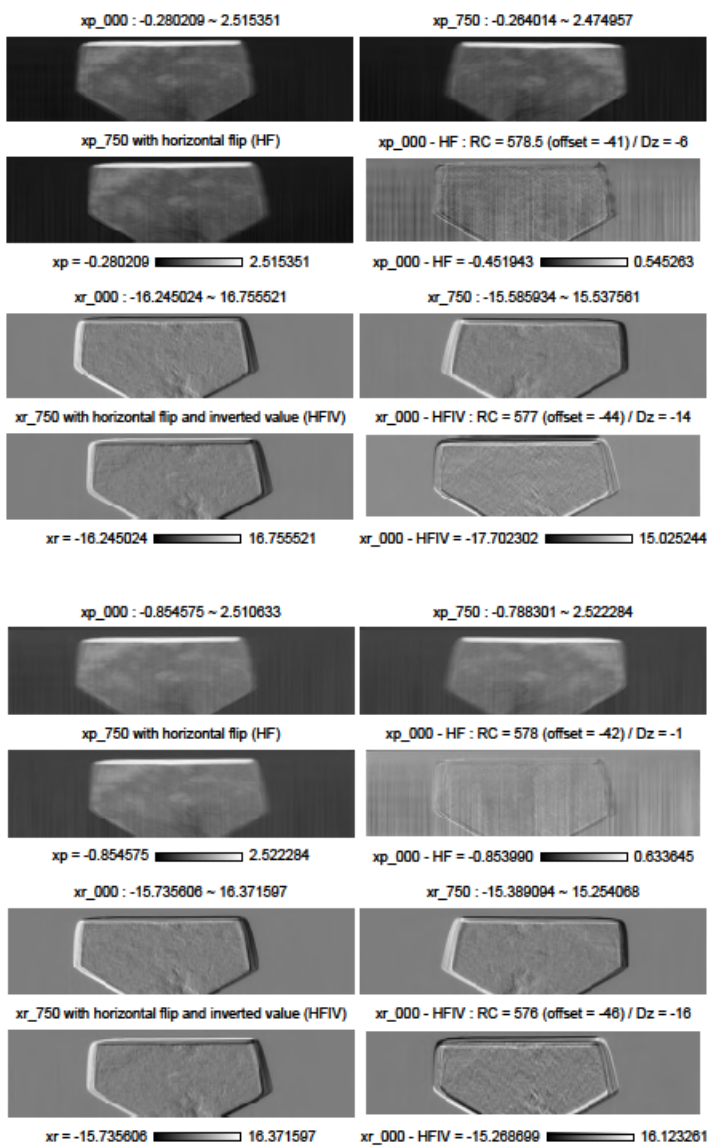
→ RRの値が高くなり、RRやXR画像に明点もしくは明線が生じる。

と言うわけで、「サンプルの天井を覆っている白金？」の像の上下端でのRRやXRの異常値の原因はRP画像の上の「傾いた暗い帯」だと思われますが、これは

サンプル内部の鉛直（縦）方向の位相勾配によって生じた、SIXMでは検知できない縦方向のX線の屈折による現象でしょうか？ もしくは、それ以外のことが原因？ 教えて下さい。

よろしくお願ひします。とり急ぎ、

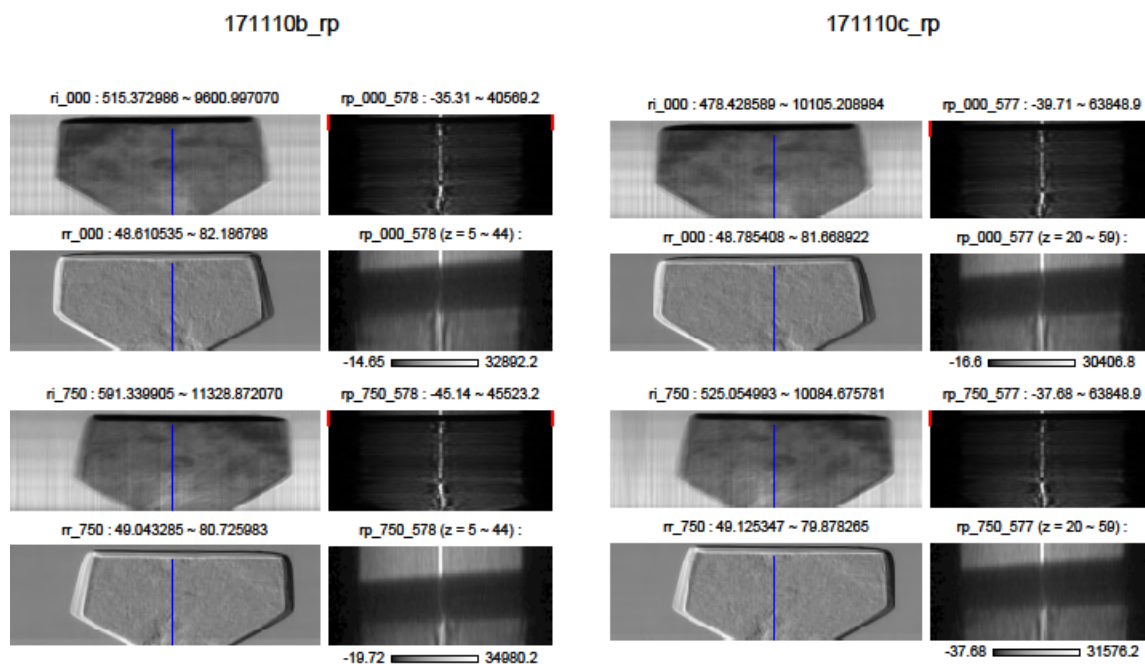
添付ファイル171110bc\_xpr.pdf



171110b\_xpr

171110c\_xpr

添付ファイル 171110bc\_rp.pdf




---

Date: Thu, 01 Feb 2018 15:55:36 +0900  
 From: Tsukasa NAKANO  
 To: "TAKEUCHI, Akihisa", MATSUNO Junya  
 Cc: Kentaro UESUGI, MIYAKE, "TSUCHIYAMA, Akira", 北山晃, Miyama Sugimoto, Taguchi, megumi matsumoto, 野口 高明, Tooru Matsumoto, okumura.shota.82e, Minako HASHIGUCHI, Aiko Nakato, 中村隆太  
 Subject: Re: SIXM\_RP 画像上の傾いた暗い帯

---

たけうちさま、

なかのです。E-mail ありがとうございます。

> 斜めの暗線をよく見ると右と左で幅が違うのが分かるでしょうか。右側の方が少し太いと思います。

はい。これは測定 171110c の rp\_000\_577 や rp\_750\_577 で顕著ですね。

- > 実は走査光学系用の FZP も結像光学系用の FZP も光軸に対して鉛直でなくて斜めに設置されています。
- > これは FZP の効率を稼ぐために X 線進行方向の FZP 厚みを増やすためです。
- > なので結像用 FZP の場合、右と左で若干ですが倍率が違います。
- > 斜めに見えるのは、この倍率の違いが多少影響しています。
- > rp 像でこのように斜めに見える場合、これは rr, ri 像では水平方向のボケ（つまり走査光学系側のボケ）

> として出て来るんですが、このセットアップの場合、この程度の傾きであれば殆ど影響はありません。

了解。

> ただ、

> 中野さんが予想されているように縦方向の屈折が何等かの悪影響を及ぼしていることも間違いないと

> 思います。

> というか、縦方向=結像光学系では視野周辺部（この場合視野上部分）にどうしても屈折コントラスト

> のようなパタンが乗りやすく、特にこういったエッジの効いた重いものがあると顕著です。

SIXM では縦方向の屈折は防ぎようがない → 視野周辺部にある白金？のような重いものは NG、  
ということですね。了解しました。

松野さま、

このような SIXM では不可避の縦方向の屈折のためにプログラム rr2rc によるサンプル回転角が 0 度と 180 度の RR 画像の縦ズレの推定が失敗する場合は、以下のようにして問題が発生している箇所（測定 171110[b,c] ではサンプルの天井を覆っている白金？の像）を避けるような縦方向の範囲を指定して下さい：

```
ri2rc 171110b -"xp_000.tif xp_750.tif" 0 0 0 5 291 0.25 0.25 | paste - -
ri2rc 171110b -"xp_000.tif xp_750.tif" 0 0 0 45 291 0.25 0.25 | paste - -
rr2rc 171110b -"xr_000.tif xr_750.tif" 0 0 0 5 291 0.25 0.25 | paste - -
rr2rc 171110b -"xr_000.tif xr_750.tif" 0 0 0 45 291 0.25 0.25 | paste - -
    449.5 749.5 578.5 -71 71 -6 # xp
    449.5 749.5 578.5 -61 61 -7 # xp +40
    449.5 749.5 577 -71 71 -14 # xr
    449.5 749.5 577.5 -61 61 -7 # xr +40
# RC1 RC2 RC Dz1 Dz2 Dz
```

```
ri2rc 171110c -"xp_000.tif xp_750.tif" 0 0 0 20 297 0.25 0.25 | paste - -
ri2rc 171110c -"xp_000.tif xp_750.tif" 0 0 0 60 297 0.25 0.25 | paste - -
rr2rc 171110c -"xr_000.tif xr_750.tif" 0 0 0 20 297 0.25 0.25 | paste - -
rr2rc 171110c -"xr_000.tif xr_750.tif" 0 0 0 60 297 0.25 0.25 | paste - -
    449.5 749.5 578 -69 69 -1 # xp
    449.5 749.5 578 -59 59 -1 # xp +40
    449.5 749.5 576 -69 69 -16 # xr
    449.5 749.5 577 -59 59 -2 # xr +40
# RC1 RC2 RC Dz1 Dz2 Dz
```



なお、上の例ではプログラム `r[i,r]2rc` の起動パラメータ「name file」として

先頭がハイフン「-」でそれに続く引用符「"」で囲んだ2個のファイル名

を指定することにより、処理に必要なサンプル回転角が0度と180度の2個のX[P,R]画像を指定しています。

この指定法は `r[i,r]2rc` だけに対するものではなく、ぼくが書いた「name file」を起動パラメータとするプログラムすべてに適用可能な指定法です。とり急ぎ、

On Wed, 31 Jan 2018 18:49:30 +0900 "TAKEUCHI, Akihisa" wrote:

> 中野様

>

> 竹内です。

> 貴重なデータありがとうございました。

>

> 斜めの暗線をよく見ると右と左で幅が違うのが分かるでしょうか。右側の方が少し太いと思います。

> 実は走査光学系用のFZPも結像光学系用のFZPも光軸に対して鉛直でなくて斜めに設置されています。

> これはFZPの効率を稼ぐためにX線進行方向のFZP厚みを増やすためです。

> なので結像用FZPの場合、右と左で若干ですが倍率が違います。

> 斜めに見えるのは、この倍率の違いが多少影響しています。

> rp像でこのように斜めに見える場合、これはrr,ri像では水平方向のボケ（つまり走査光学系側のボケ）

> として出て来るんですが、このセットアップの場合、この程度の傾きであれば殆ど影響はありません。

>

> ただ、

> 中野さんが予想されているように縦方向の屈折が何等かの悪影響を及ぼしていることも間違いないと

> 思います。

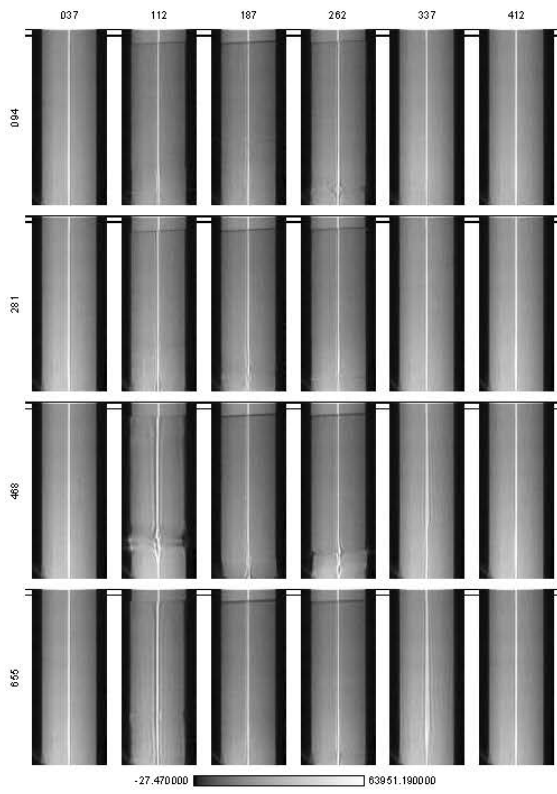
> というか、縦方向＝結像光学系では視野周辺部（この場合視野上部分）にどうしても屈折コントラスト

> のようなパタンが乗りやすく、特にこういったエッジの効いた重いものがあると顕著です。

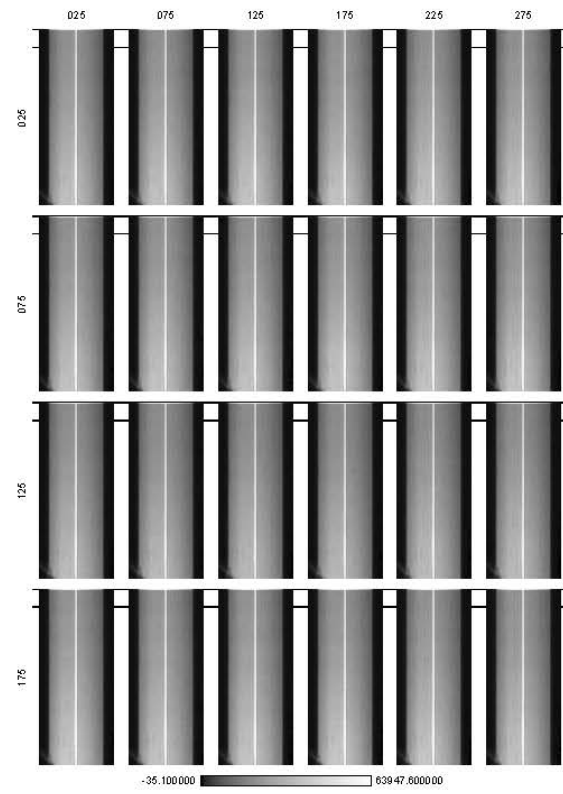


1705\_rp.pdf

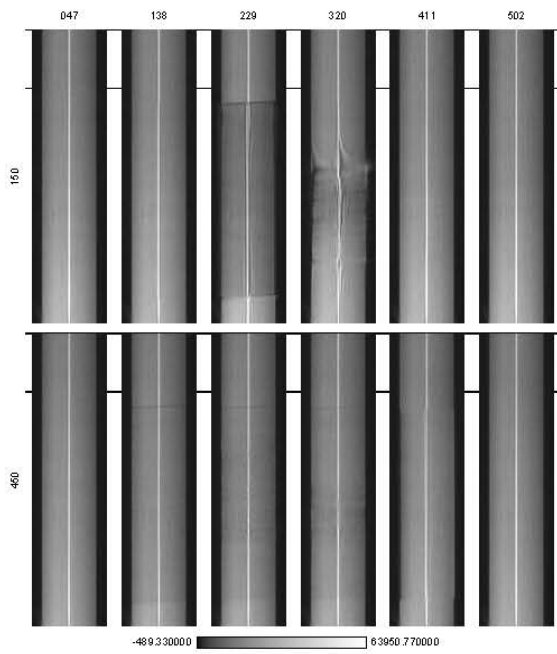
170513a /  $\gamma=2$



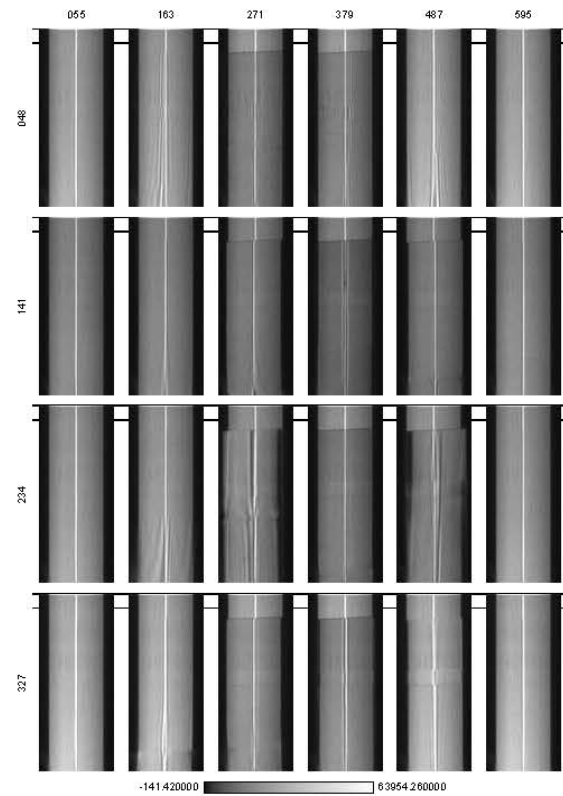
170513b /  $\gamma=2$



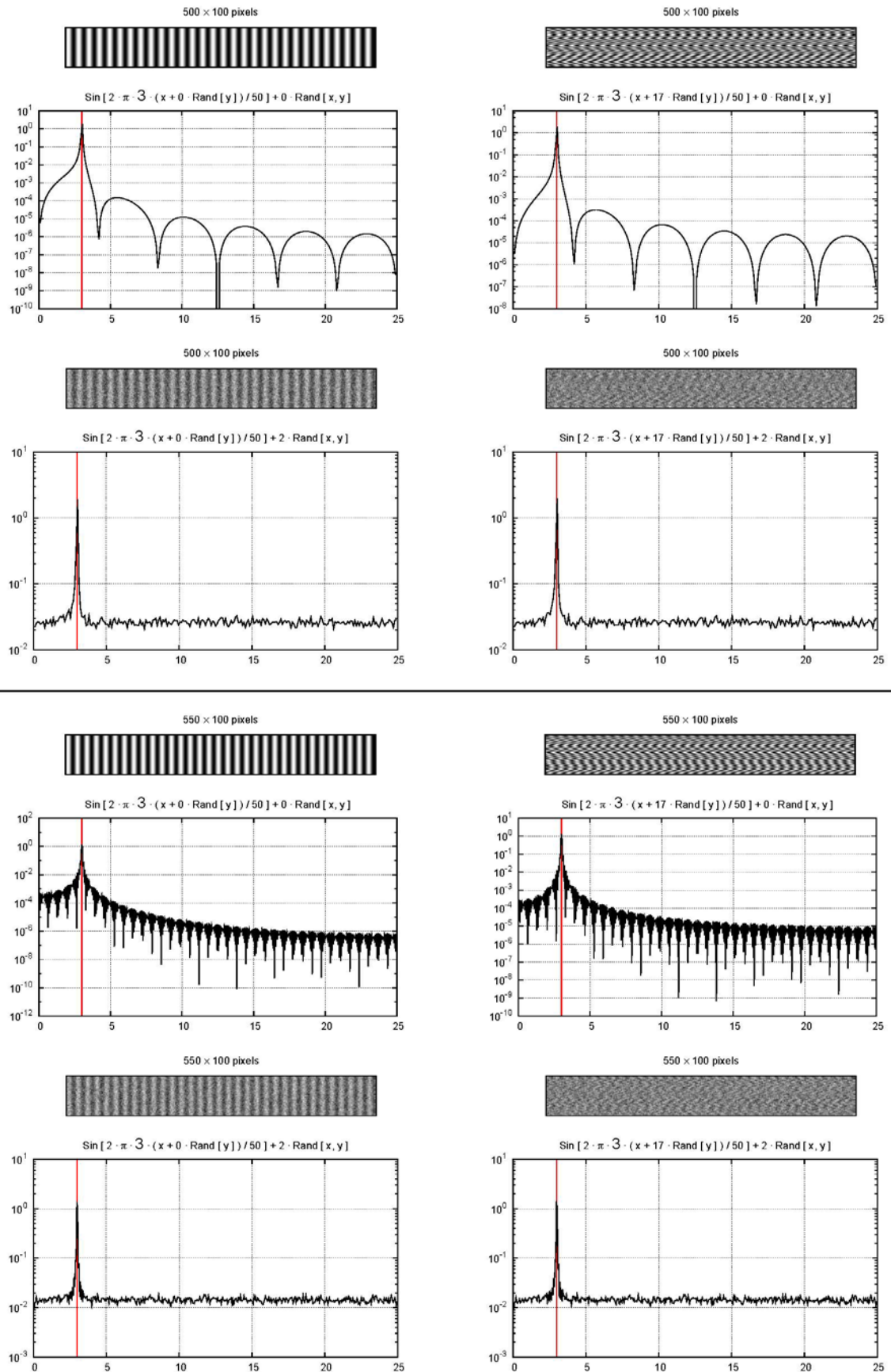
170516c /  $\gamma=2$



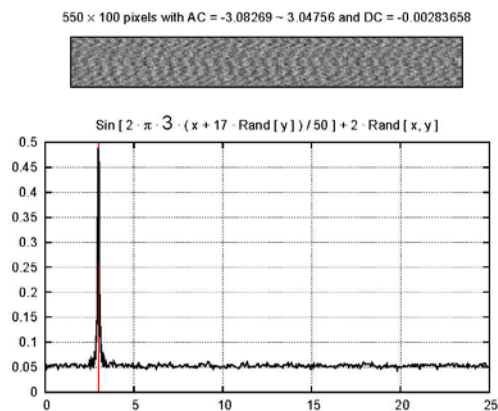
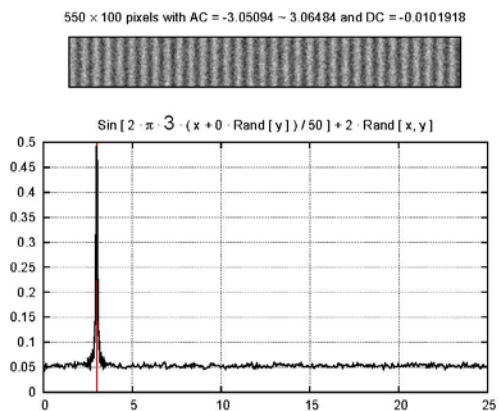
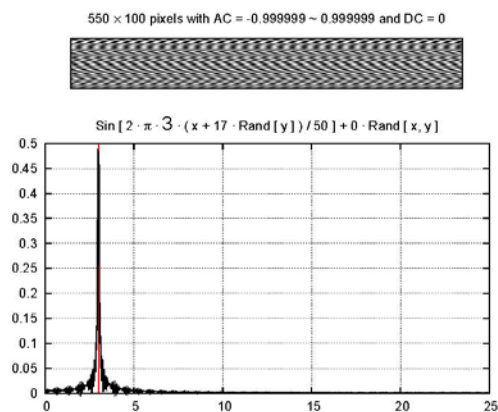
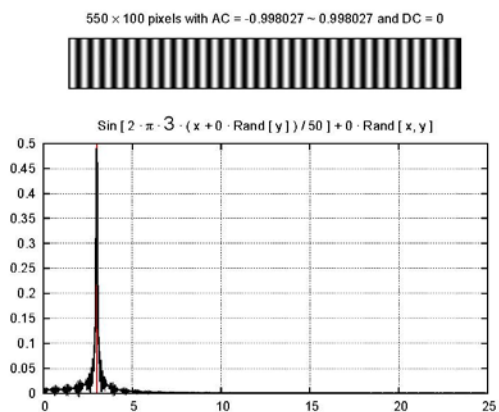
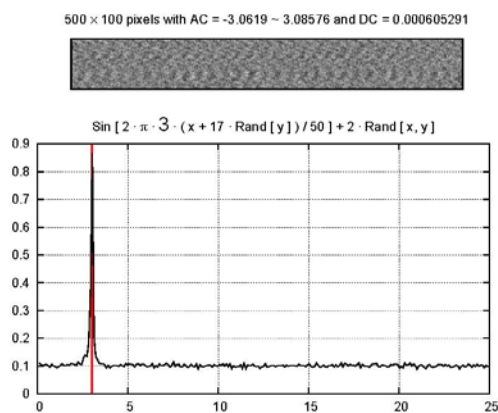
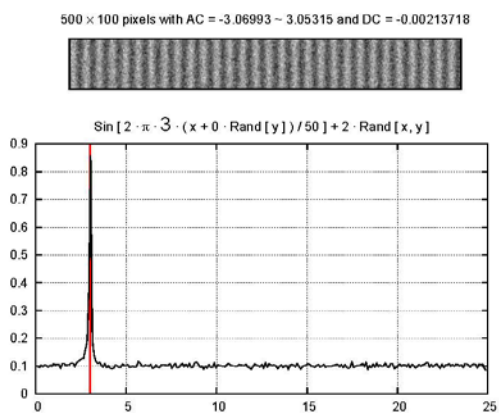
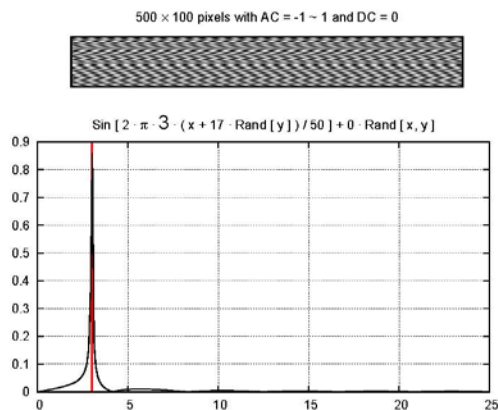
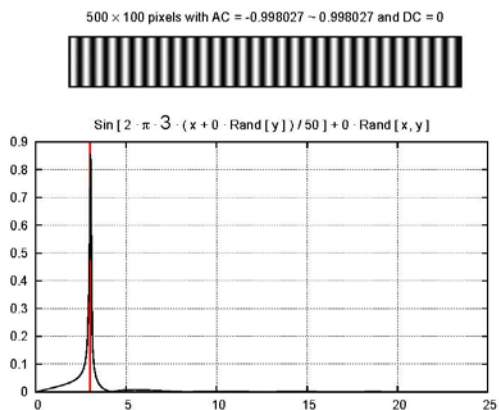
170516d /  $\gamma=2$



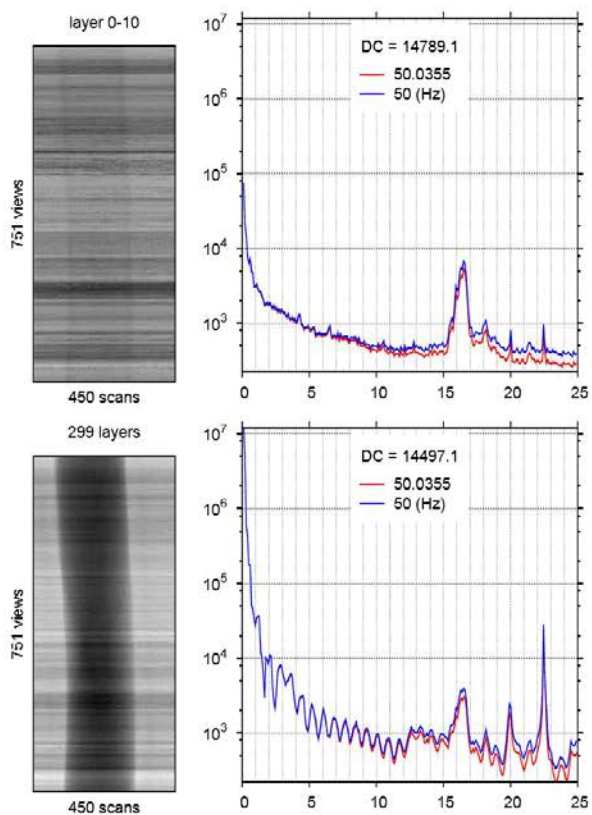
test\_psd.pdf



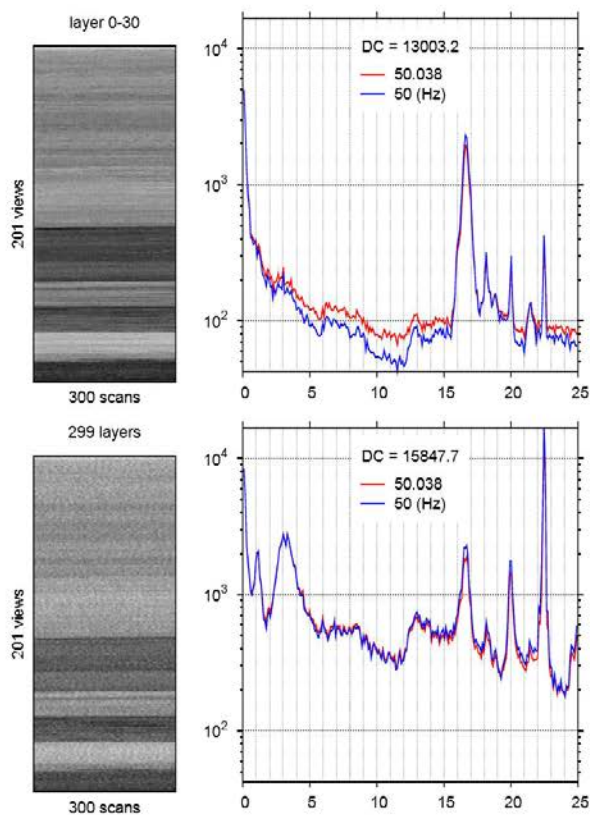
test\_as.pdf



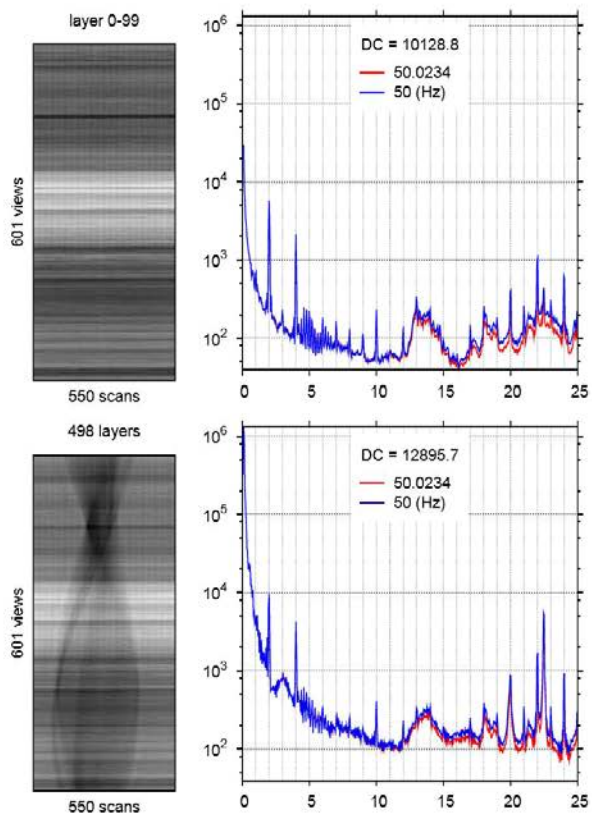
170513a



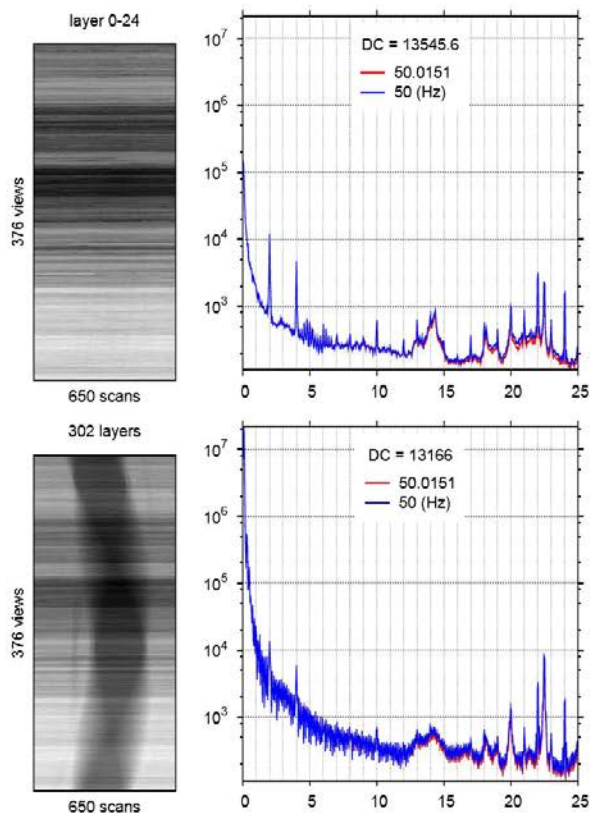
170513b



170516c



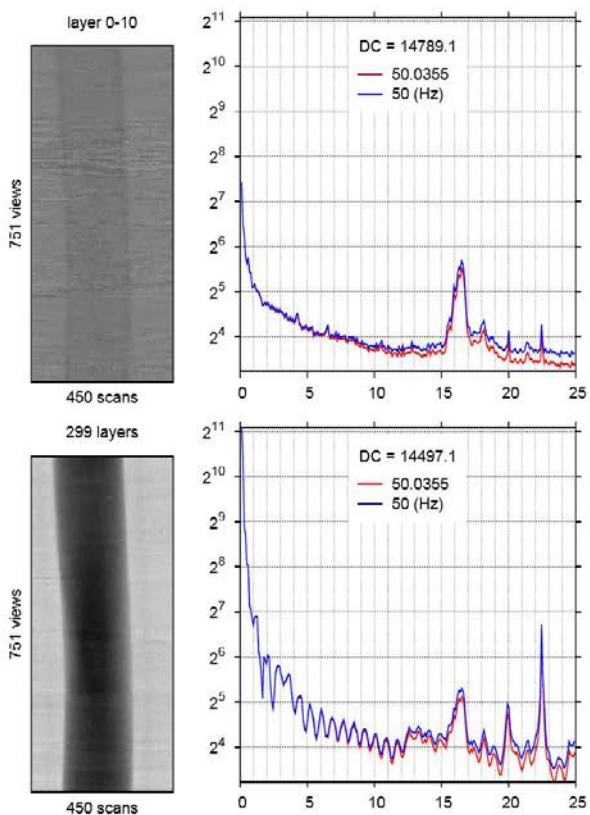
170516d



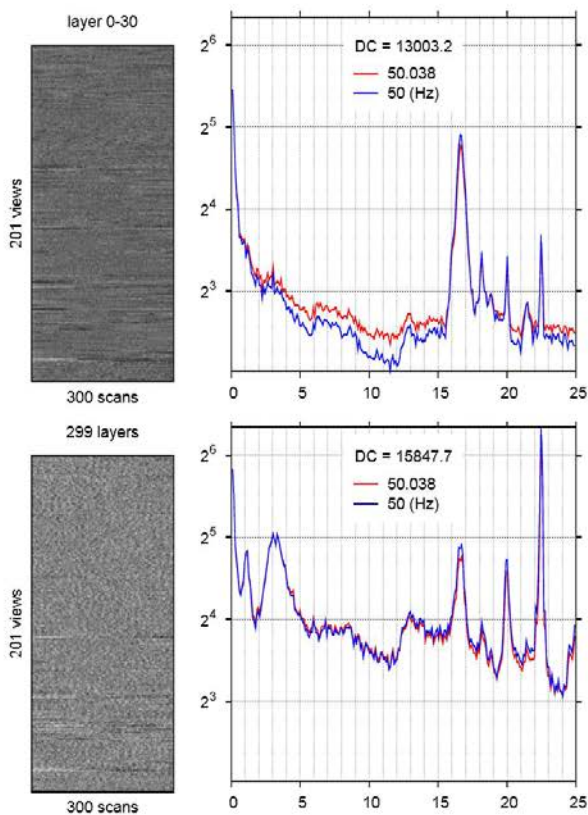


as.pdf

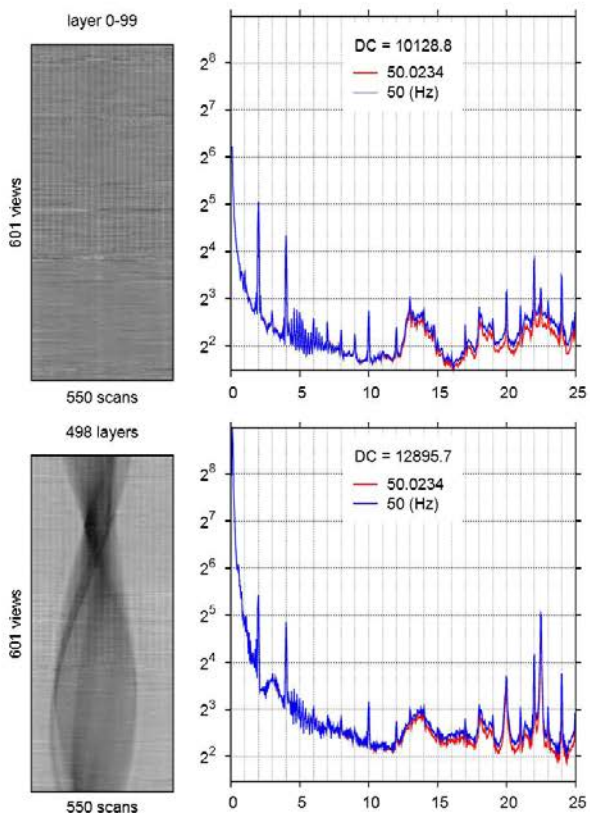
170513a



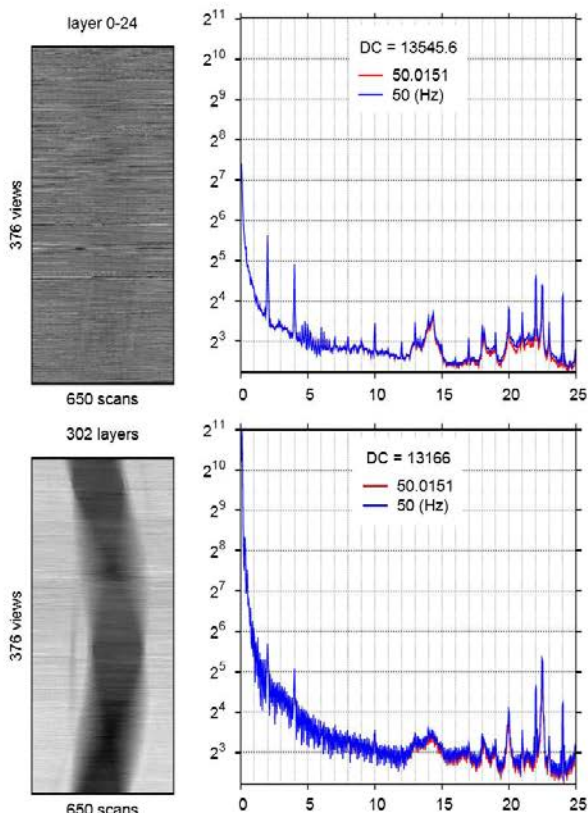
170513b



170516c



170516d



bpf.pdf

**reconstruction filter,  $g(r)$ , with the window function,  $W(z)$** 

$$g(r) = \int_{-\infty}^{\infty} W(z) \cdot |z| \cdot \exp(2 \cdot \pi \cdot i \cdot r \cdot z) dz$$

**band pass Ramachandran filter,  $g_R(r)$** 

$$W(z) = \begin{cases} 1 & 0 \leq z_1 \leq |z| \leq z_2 \leq z_N \\ 0 & \text{others} \end{cases}$$

$$g_R(r) = 2 \cdot \int_{z_1}^{z_2} z \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot r \cdot z) dz$$

$$= \begin{cases} [z^2]_{z_1}^{z_2} & r = 0 \\ 2 \cdot [H(2 \cdot \pi \cdot r, z)]_{z_1}^{z_2} & \text{others} \end{cases}$$

**band pass Shepp filter,  $g_S(r)$** 

$$W(z) = \begin{cases} \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{z}{z_N}\right) / \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{z}{z_N}\right) & 0 \leq z_1 \leq |z| \leq z_2 \leq z_N \\ 0 & \text{others} \end{cases}$$

$$g_S(r) = 2 \cdot \int_{z_1}^{z_2} \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{z}{z_N}\right) / \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{z}{z_N}\right) \cdot z \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot r \cdot z) dz$$

$$= \frac{1}{\Pi} \cdot [I(2 \cdot \pi \cdot r - \Pi, z) - I(2 \cdot \pi \cdot r + \Pi, z)]_{z_1}^{z_2} \quad \left( r \neq \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{\Pi}{\pi} \right)$$

**band pass Chesler filter,  $g_C(r)$** 

$$W(z) = \begin{cases} \frac{1}{2} \cdot \left( 1 + \cos\left(\pi \cdot \frac{z}{z_N}\right) \right) & 0 \leq z_1 \leq |z| \leq z_2 \leq z_N \\ 0 & \text{others} \end{cases}$$

$$g_C(r) = \int_{z_1}^{z_2} \left( 1 + \cos\left(\pi \cdot \frac{z}{z_N}\right) \right) \cdot z \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot r \cdot z) dz$$

$$= \begin{cases} \left[ \frac{1}{2} \cdot z^2 + H(2 \cdot \Pi, z) \right]_{z_1}^{z_2} & r = 0 \\ \left[ \frac{1}{4} \cdot z^2 + H(2 \cdot \Pi, z) + \frac{1}{2} \cdot H(4 \cdot \Pi, z) \right]_{z_1}^{z_2} & r = \pm \frac{1}{2 \cdot z_N} \\ \left[ \frac{1}{2} \cdot (H(2 \cdot (\pi \cdot r - \Pi), z) + H(2 \cdot (\pi \cdot r + \Pi), z)) + H(2 \cdot \pi \cdot r, z) \right]_{z_1}^{z_2} & \text{others} \end{cases}$$

where

 $z_N$  : Nyquist frequency ( $z_N = \frac{1}{2}$  when  $r$  is the integer)

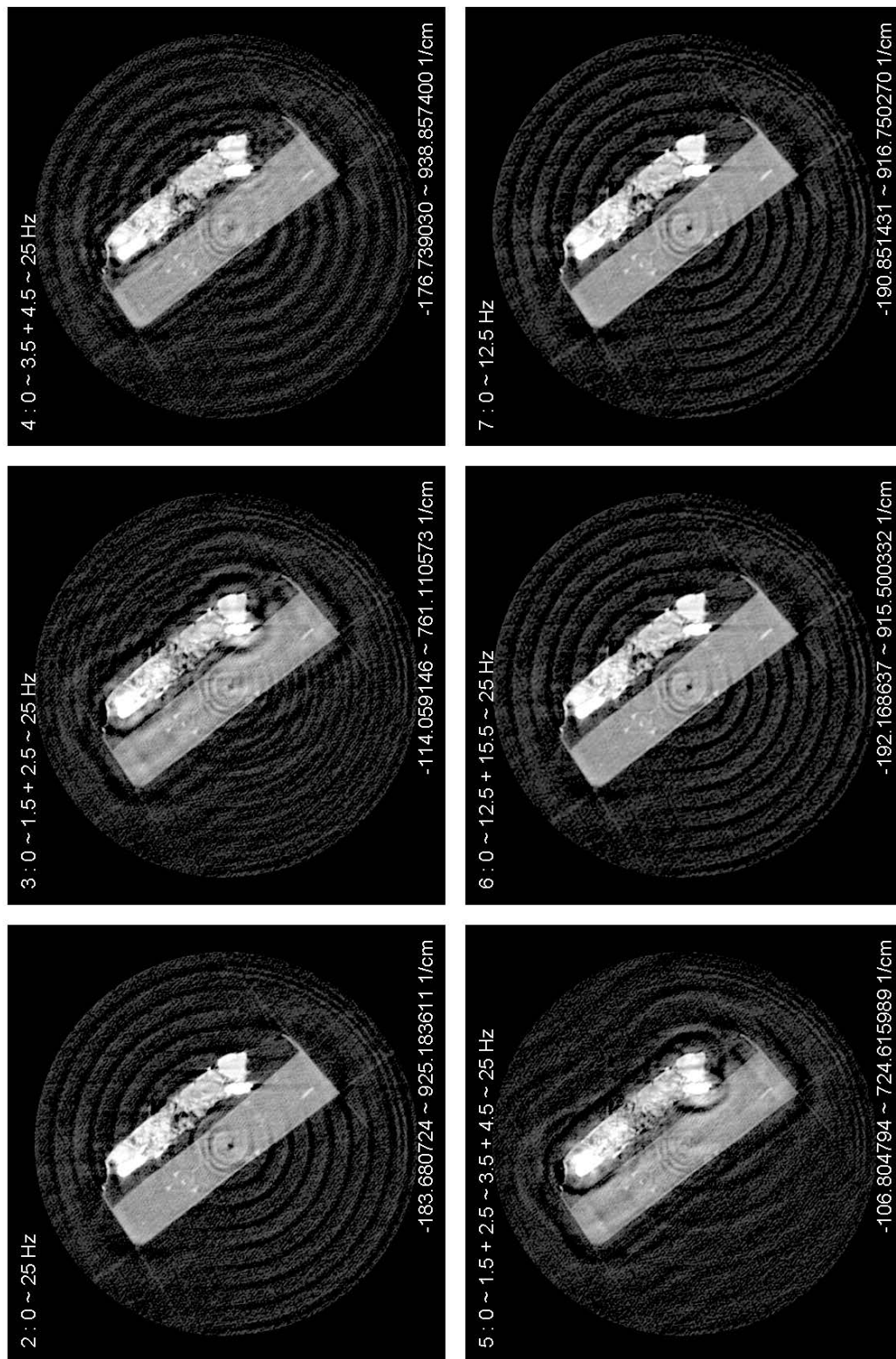
$$\Pi = \frac{\pi}{2 \cdot z_N}$$

$$I(t, z) = \frac{\cos(t \cdot z)}{t}$$

$$H(t, z) = \frac{I(t, z) + z \cdot \sin(t \cdot z)}{t}$$



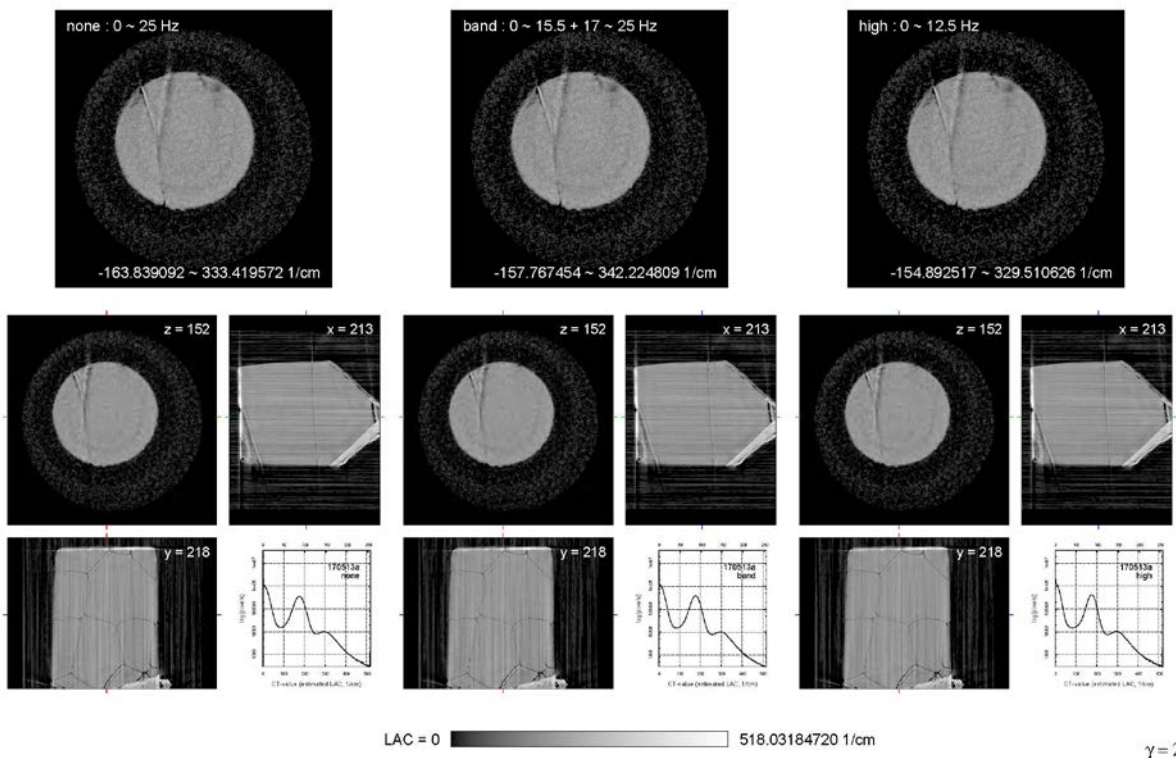
170516c : scans = 550 (100 nm) / views = 600 / layers = 498 (108.1 nm) / left = 50 / right = 120 / layer = 285



$\gamma = 2$

170513a.pdf

170513a : scans = 450 (100 nm) / views = 750 / layers = 299 (108.1 nm) / left = 45 / right = 115 / layer = 155



170516d.pdf

170516d : scans = 650 (50 nm) / views = 375 / layers = 302 (108.1 nm) / left = 133 / right = 108

