

MATLAB®による 画像処理・コンピュータービジョン評価キット

MathWorks Japan
アプリケーションエンジニアリング部

R2022a

評価キットの利用方法

- MATLAB/Simulink®による画像処理・コンピュータービジョン・ディープラーニング関連機能のご評価を目的とした資料です。
- ページ内でオレンジの領域で囲われているものはコマンドになります。
- コマンドウィンドウに直接入力いただくかスクリプトファイルにしてご使用いただけます。
例) `c = corner(I)`
- 本スライドおよびデモファイルは下記リンクの"Download"より入手いただけます。
 - <https://jp.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/68741-ipcv-eval-kit-for-japanese>
- スライドの章番号とファイル名‘I’に続く番号が対応するデモファイルです。
 - 例) スライド「2.5.1 幾何学的変換（射影法等による空間変換）」
 - →`I2_05_1_tr_road.m`
- 使用方法は下記のビデオもご覧ください。
 - <https://jp.mathworks.com/videos/how-to-use-the-image-processing-and-computer-vision-evaluation-kit-1540461587600.html>

無料評価版：ホームページからのご依頼手順

<http://jp.mathworks.com>



<https://jp.mathworks.com/campaigns/products/trials.html>



アジェンダ

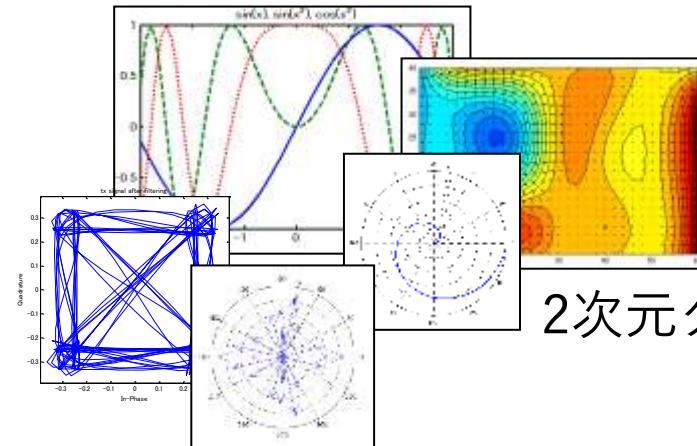
1. MATLAB/Simulinkの概要
2. 各種画像処理例
3. 連携機能
4. コンピュータービジョン処理例
5. 画像の機械学習・ディープラーニング
6. まとめ

1.1 画像処理デモ

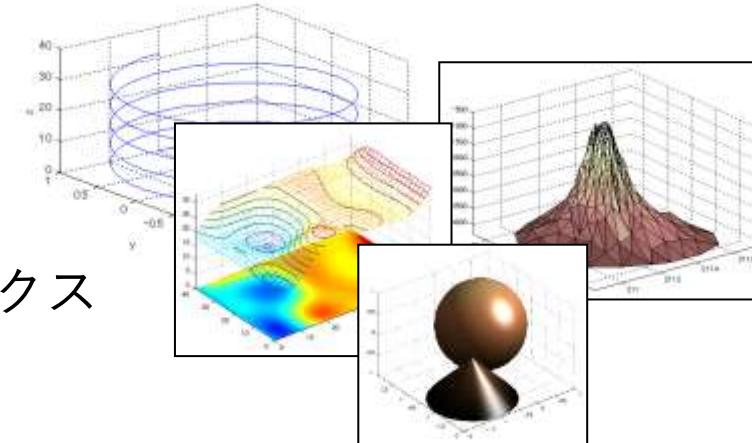
- MATLABによる画像の取扱い（行列操作等）

- インタプリターによる、簡潔な操作
- 変数が宣言・初期化なしで使用可
- 少ない記述量による処理
- 画像用可視化機能

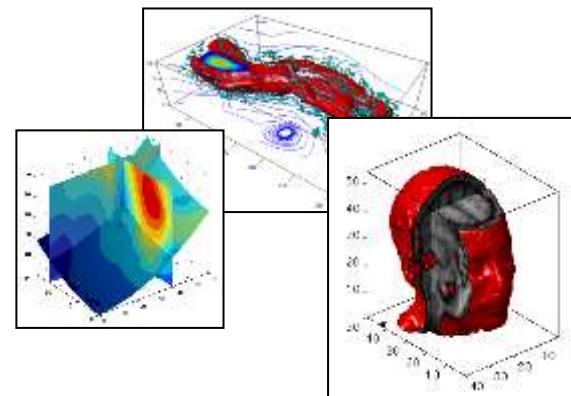
1.2 豊富な可視化機能：MATLAB基本関数



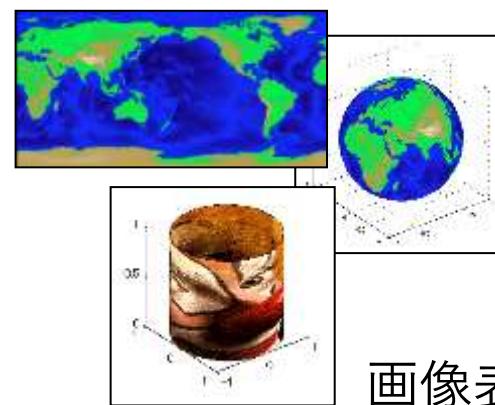
2次元グラフィックス



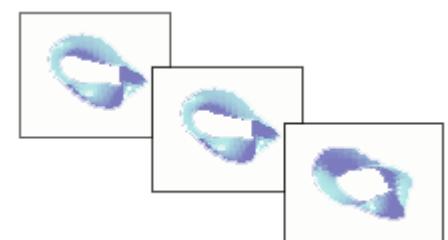
3次元グラフィックス



ボリュームデータ表示



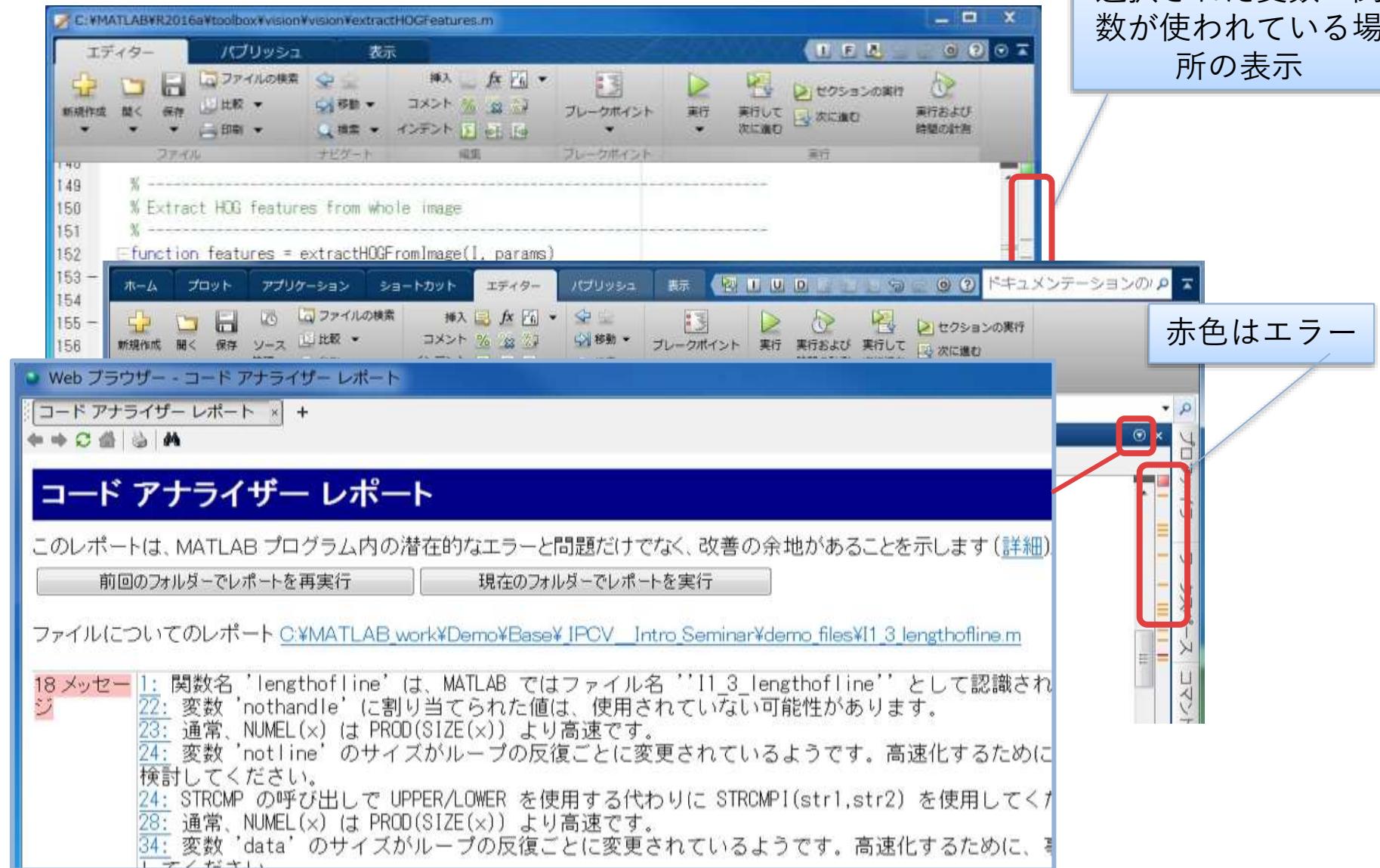
画像表示



アニメーション

高度なグラフィックスを簡単に実現
UIによる編集も可能

1.3 デバッグ機能：コードアナライザ機能



1.4.1 デバッグ機能：ブレークポイント・プロファイラー

事前のブレークポイント設定なしでも、実行中に一時停止が可能

The screenshot shows the MATLAB R2016a interface with several windows open:

- Editor Window:** Displays the code for `11_4_profilerTest.m`. A red box highlights the "Breakpoint" button in the toolbar. A red arrow points from the "Breakpoint" button to the line number 13, which has a red circle indicating it is a breakpoint. Another red box highlights the "Step" button in the toolbar.
- Profiler Window:** Shows the execution status at line 13. The status bar indicates "a: 1x1 double =". A red arrow points from this status bar to the line 13 in the editor.
- Profiler Results Window:** Displays the overall profile results. It includes a table of function call details and a list of functions.
- Profiler Call Graph Window:** Shows a hierarchical call graph of the code execution.
- Toolbar:** The toolbar at the top of the interface includes various buttons for file operations, search, and help.

変数の値の確認

カバレッジの結果

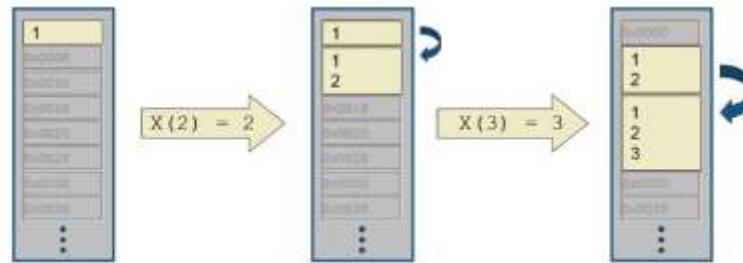
関数名	呼び出し	合計時間	% 時間
11_4_profilerTest	11	0.084 s	57.1%
11_4_profilerTest>myMult	10	0.046 s	31.3%
magic	1	0.015 s	10.2%
合計		0.147 s	100%

1.4.2 処理速度の向上に関して

配列のリサイズはコストが大きい

```
>> x(1) = 1
>> x(2) = 2
>> x(3) = 3
```

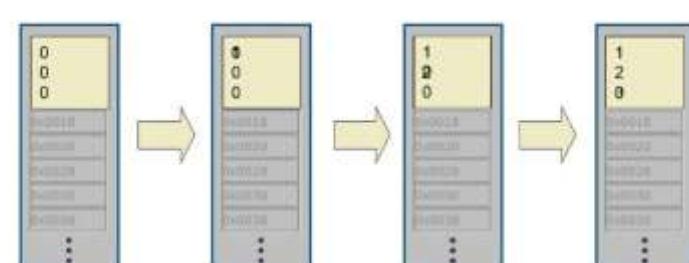
配列のリサイズは
コストがかかる！



=> 事前割り当ての使用

```
>> x = zeros(3,1)
>> x(1) = 1
>> x(2) = 2
>> x(3) = 3
```

無駄なコピーが
発生しない！

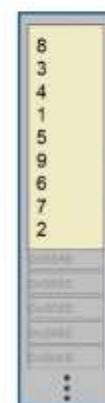


MATLAB配列のデータ格納形式

```
>> x = magic(3)
x =
    8     1     6
    3     5     7
    4     9     2
```

列優先

=> 縦にアクセス



パフォーマンスの改善。メモリ要件の特定と
軽減

<https://jp.mathworks.com/help/matlab/performance-and-memory.html>

1.5 レポート自動生成機能

レポート生成ボタン



LaTeX式

HTML等の形式で
レポートの自動生成が可能

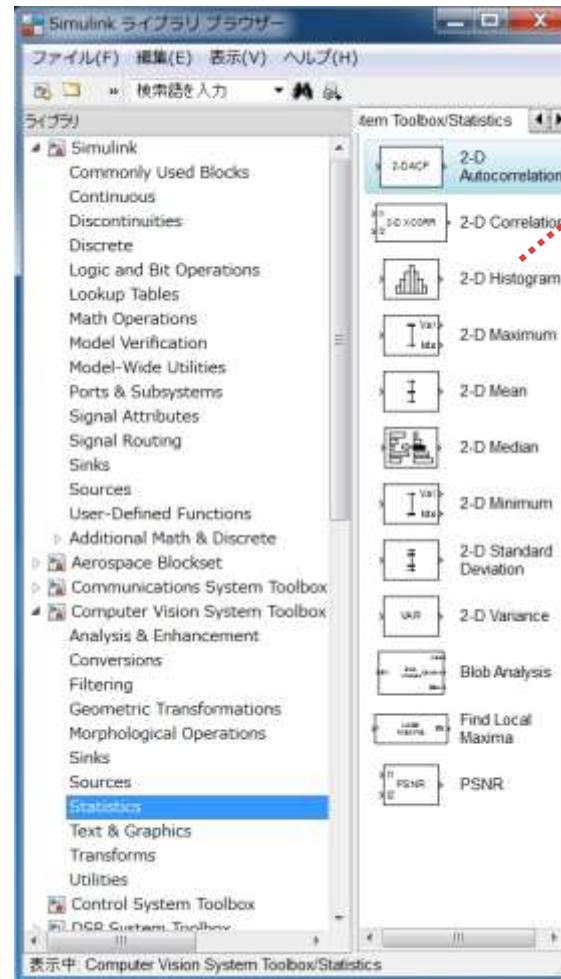
HTMLレポート



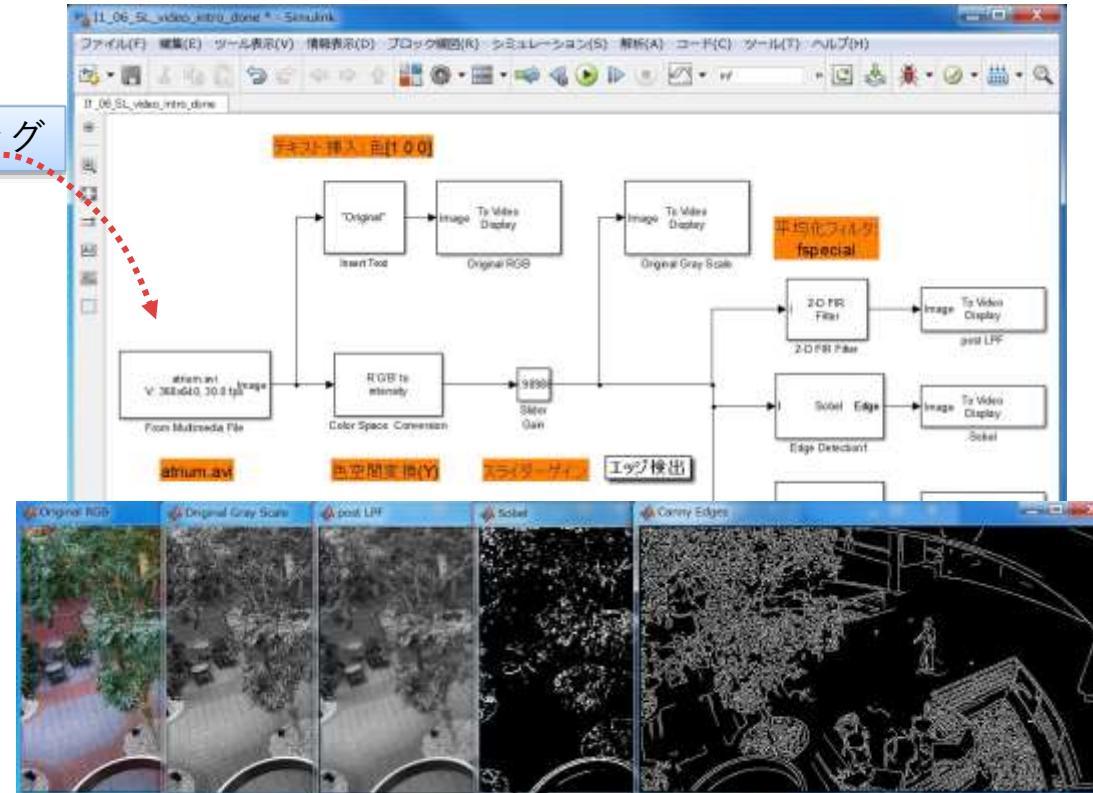
マークアップの詳細：http://www.mathworks.co.jp/jp/help/matlab/matlab_prog/markup-marking-up-matlab-comments-for-publishing.html

1.6 Simulink：ブロック線図モデリング・シミュレーション環境

ライブラリブラウザ



モデルウィンドウ



- すぐに試して結果を見ることのできる環境
- 時間軸のシミュレーション（一時停止、ステップ実行）
- 各種アルゴリズムの容易な比較検討
- シミュレーション中のパラメータ変更が容易に可能

アジェンダ

1. MATLAB/Simulinkの概要
2. 各種画像処理例
3. 連携機能
4. コンピュータービジョン処理例
5. 画像の機械学習・ディープラーニング
6. まとめ

2.1.1 各種画像データフォーマットの読み込み・書き込み

画像の読み込み・書き込みのための関数

<code>imread()</code>	グラフィックス ファイルからイメージを読み込み (<code>bmp, gif, jpg, png, tif, ...</code>)
<code>imwrite()</code>	イメージをグラフィックス ファイルに書き込み (<code>bmp, gif, jpg, png, tif, ...</code>)
<code>Tiff()</code>	<code>LibTiff</code> ライブラリ ルーチンへのアクセス
<code>dicomread()</code>	DICOMイメージの読み込み
<code>dicomwrite()</code>	イメージをDICOMファイルとして書き込み (DICOMフォーマット対応) R2017a
<code>niftread()</code>	NITF(National Imagery Transmission Format) ファイルの読み込み R2017b
<code>analyze75read()</code>	Analyze7.5 イメージ ファイルからのイメージ読み込み
<code>interfileread()</code>	Interfile形式でのイメージの読み込み
<code>hdrread()</code>	ハイダイナミックレンジ(HDR) イメージの読み込み
<code>hdrwrite()</code>	Radiance形式ハイダイナミックレンジ(HDR) イメージ ファイルの書き込み

```
A = imread('peppers.png') % ファイル拡張子によりファイル形式を判別
```

2.1.1 サポートされている画像読み込みデータフォーマット

imread() によりサポートされているフォーマット

(MATLAB基本関数)

BMP – Windows ビットマップ

CUR – Cursor ファイル

FTS – Flexible Image Transport System

GIF – Graphics Interchange Format

HDF4 – Hierarchical Data Format

ICO – Icon ファイル

JPEG – Joint Photographic Experts Group

JPEG 2000 – Joint Photographic Experts Group 2000

PBM – Portable Bitmap

PCX – Windows Paintbrush

PGM – Portable Graymap

PNG – ポータブル ネットワーク グラフ

PNM – Portable Any Map

PPM – Portable Pixmap

RAS – Sun ラスター

TIFF – Tagged Image File Format (TIFF：画像の一部の読み込みが可能)

XWD – X Window Dump

2.1.1 サポートされている画像書き込みデータフォーマット

`imwrite()` によりサポートされているフォーマット

(MATLAB 基本関数)

BMP – Windows ビットマップ

GIF – Graphics Interchange Format

HDF4 – Hierarchical Data Format

JPEG – Joint Photographic Experts Group

JPEG 2000 – Joint Photographic Experts Group 2000

PBM – Portable Bitmap

PCX – Windows Paintbrush

PGM – Portable Graymap

PNG – ポータブル ネットワーク グラフ

PNM – Portable Any Map

PPM – Portable Pixmap

RAS – Sun ラスター

TIFF – Tagged Image File Format

XWD – X Window Dump

詳細 :

<http://www.mathworks.co.jp/jp/help/matlab/ref/imwrite.html>

2.1.1 サポートされている画像書き込みデータフォーマット

R2021b

DICOM関連機能強化

- **dicomfind**: DICOMのメタデータからAttributeを検索。
深いネスト下のattributeでも検索可能。
- **dicomupdate**: ネストされた構造体中のattributeをアップデート。
attributeが構造体のどこにあるか指定しなくも動作。

```
% Get the metadata using DICOMINFO.  
>> info = dicominfo('rtstruct.dcm');  
  
% Get the value of the ROINumber attribute  
>> ROINumber = dicomfind(info, 'ROINumber');  
  
ROINumber =  
2×2 table  
    Location           Value  
_____  
{'StructureSetROISequence.Item_1.ROINumber'} { [1] }  
{'StructureSetROISequence.Item_2.ROINumber'} { [2] }
```

2.1.1 バイナリ (Raw) データの読み書き

```
% バイナリデータの読み込み
fid = fopen('ファイル名', 'r', 'b'); % ファイルを開く
G = (fread(fid, [198, 135], '*uint16', 'b'))'; % ファイルの読み込み・転置
figure; imshow(G); % 表示
fclose(fid); % ファイルを閉じる
```

ディスク上のファイルの一部または全体を、アプリケーションのアドレス空間内にマッピングします。これにより、動的メモリへのアクセスと同様にディスク上のファイルにアクセスできるようになります。 fread や fwrite などのIO関数を使用する場合に比べ、ファイルの読み取りと書き込みが高速化します。

```
% メモリマッピングを使った読み込み
% 大規模ファイルにランダムアクセスする場合や小さなファイルに頻繁にアクセスする場合等にも
m = memmapfile('ファイル名')
m.Format = 'uint16' % Endianは、os固有のものを使用 (Windows : Little)

% EndianをLittleからBigに変更 (m.Repeat = Infなので、全データを取り込み)
I1 = mod(m.Data, 256) * 256 + (m.Data/256);
figure; imshow(reshape(I1, 198, 135)'); % 表示
```

```
% バイナリデータの書き込み
fid = fopen('ファイル名', 'w', 'b'); % ファイルを開く
fwrite(fid, g, 'uint16', 'b'); % ビッグエンディアンで書出し
fclose(fid); % ファイルを閉じる
```

2.1.2 画像表示・調査用各種ツール

画像の表示・調査用の関数

imshow() イメージの表示 (MATLAB基本関数) **R2014b**

imshowpair() イメージ間の差異の比較、横に並べて表示 (合成は **imfuse()**)

montage() 複数のイメージフレームを四角形モンタージュとして表示 (異なる画像サイズ) **R2018a**

warp() テクスチャ マッピングされたイメージの表示

volshow() 3次元ボリュームデータの表示 **R2018b**

imtool() 画像ビューアー アプリケーション

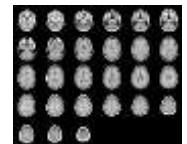
colorThresholder() 色の閾値 アプリケーション

imcontrast() コントラスト調整ツール

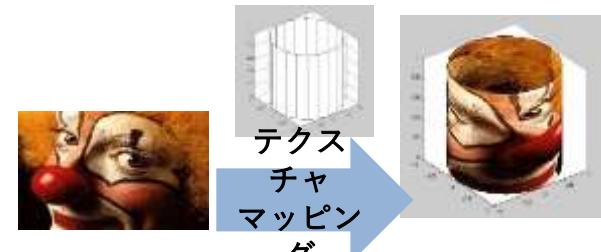
imcrop() 画像のトリミング (3次元対応: **imcrop3**) **R2019b**

imdilate() 距離ツール

getpts() マウスを使用した、ピクセル位置の指定



)

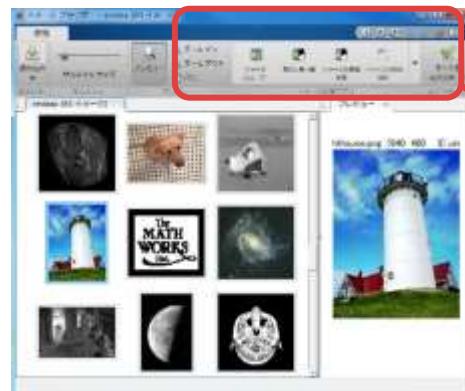


```
A = imread('peppers.png')
figure; imshow(A)
% Figureを一つ開き、画像を表示
```

2.1.2 画像・ボリュームデータの表示・調査用ツール



```
% 画像ビューアー アプリケーション  
imtool (A)
```



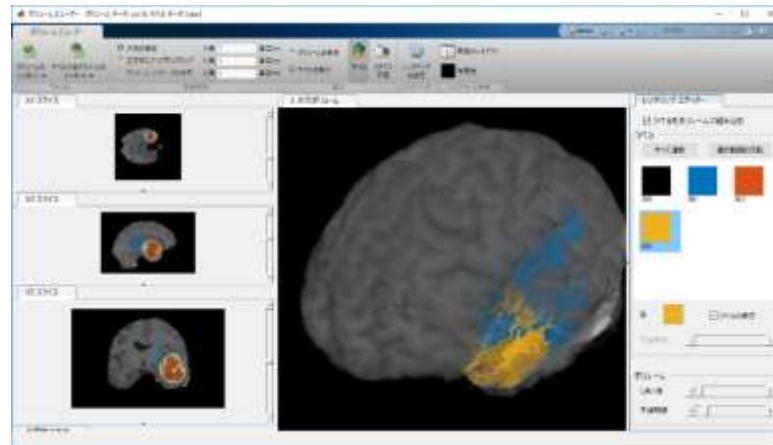
異なるサイズ、データ型の画像を一覧表示 **R2016b**

```
% イメージブラウザ  
% (異なるサイズ、データ型の画像を一覧表示)  
imageBrowser ()
```



他のアプリケーションを起動

2.1.2 画像・ボリュームデータの表示・調査用ツール



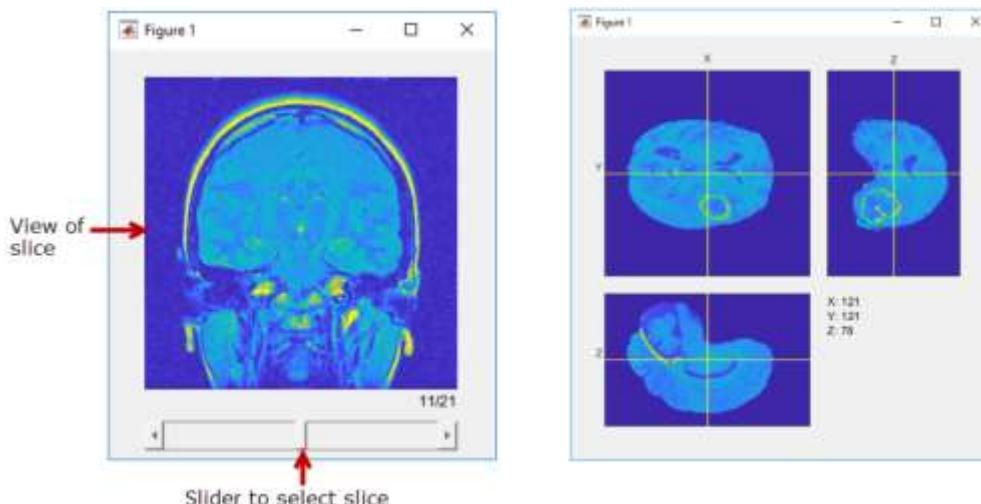
3次元ボリュームデータの可視化 **R2017a**

```
% ボリュームビューアー  
volumeViewer()
```



ボリューム
ビューアー

- ラベルボリューム表示機能
 - オリジナルの輝度ボリュームとのオーバーレイ表示も可能
- 輝度ボリュームの表示にColormapの指定が可能
- ビューの状態を構造体にエクスポート **R2019b**



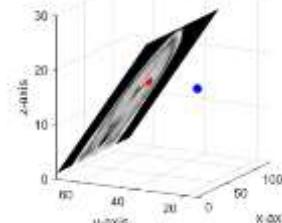
3次元ボリューム断面の可視化 **R2019b**

```
% スライスビューアー  
sliceViewer()  
orthosliceViewer()
```

- 表示のColormap指定が可能
- ボリュームのx,y,z方向のスケールを指定可能

R2020a

Position of Slice in 3-D Coordinate Space

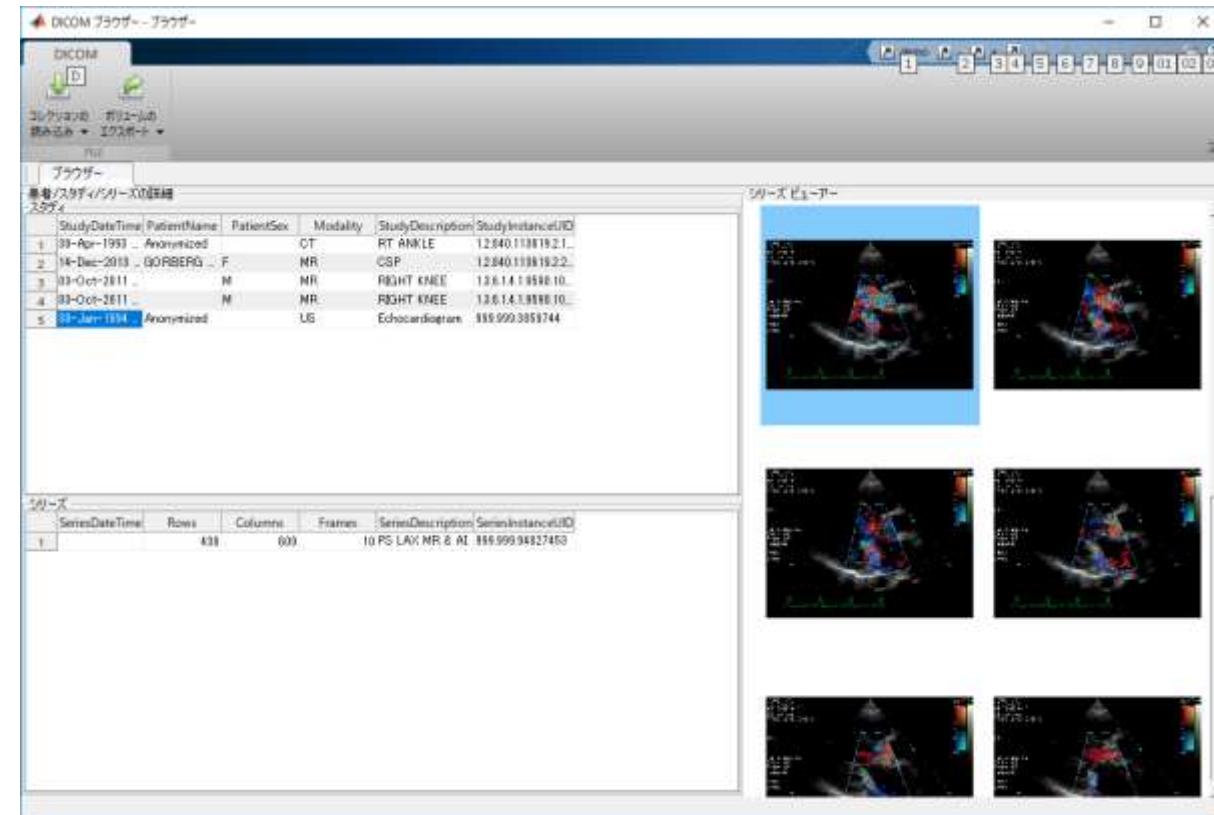


% 斜めの断面
obliqueslice()

2.1.2 医用画像の確認：DICOM/NIfTI画像

R2017b

- DICOMブラウザー R2017b
 - DICOMファイルのプレビュー
 - DICOMDIRファイルの読み取り
 - 各種ビューワーへのエクスポート機能
 - ワークスペースへエクスポート
 - ボリュームビューワーで表示
 - ビデオビューワーで表示
 - 大量のDICOMファイルの確認に便利
- NIfTI画像の読み取り
 - `v = niftiread('brain.nii')` R2017b
 - NIfTI-2ファイルフォーマットをサポート R2019a
- tiffボリュームデータの読み取り
 - `tiffreadVolume('mri.tif');` R2020b



>> dicomBrowser

R2017b

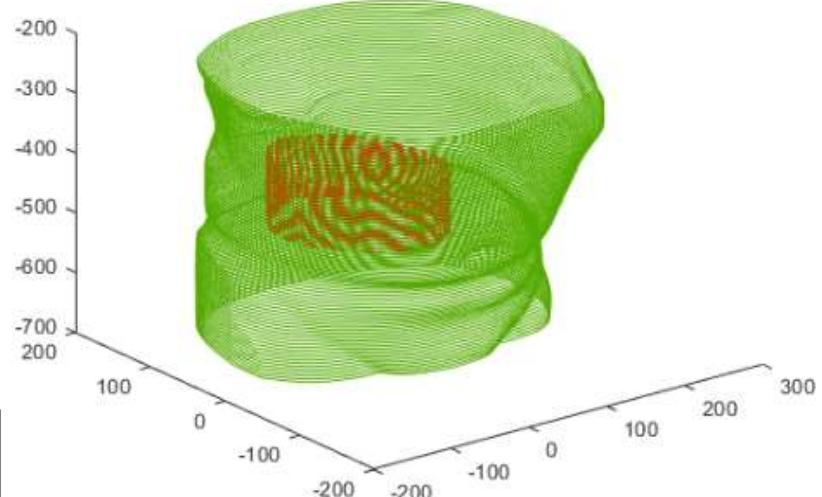
2.1.2.1 DICOM-RTからのROIの読み取り

R2020a

- dicomContours / plotContour
/createMask R2020b
 - DICOM-RTストラクチャから、ROI情報を読み込み、表示、マスクを作成

```
% DICOM-RT読み込み
info = dicominfo('rtstruct.dcm');
% ROI情報を抽出
contour = dicomContours(info);
% 可視化
plotContour(contour);
referenceInfo = imref3d([128,128,50],xlim,ylim,zlim);
rtMask = createMask(rtContours, contourIndex, referenceInfo);
volshow(rtMask);
```

R2020b

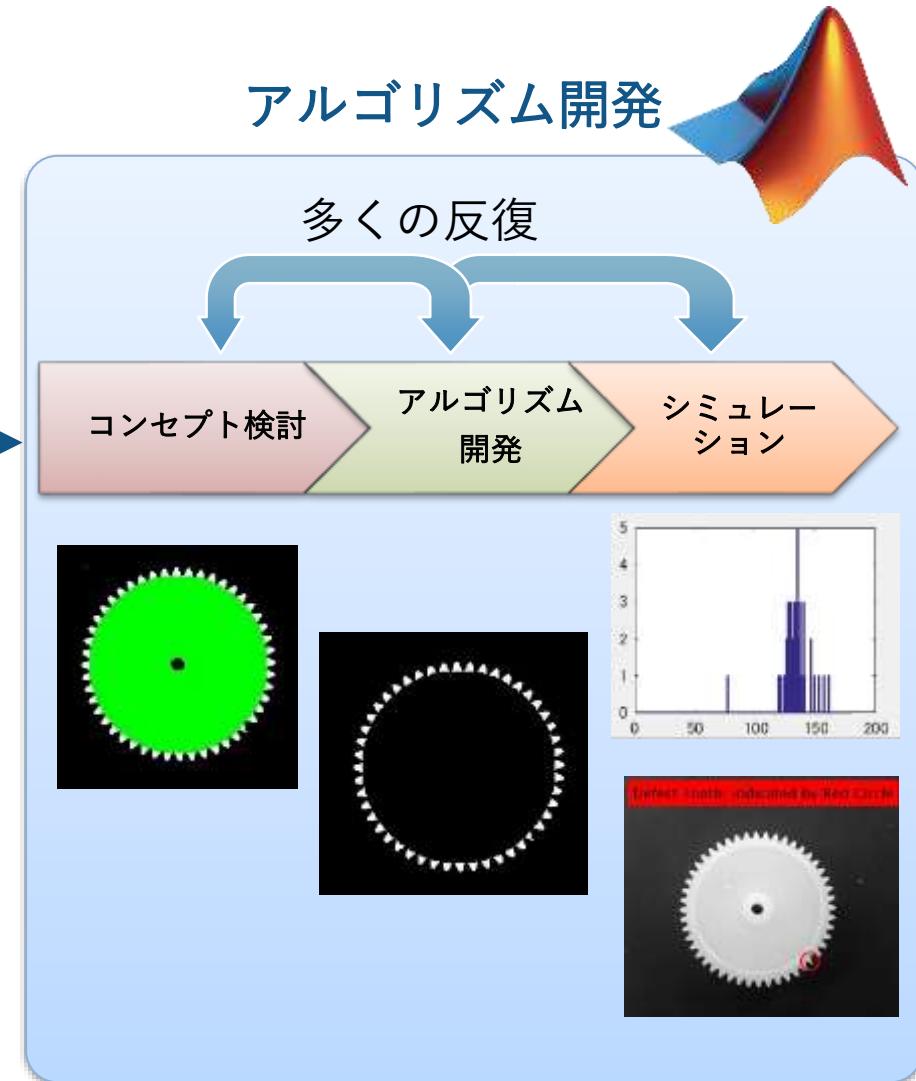


2.1.3 画像処理・コンピュータビジョン 開発ワークフロー

画像へのアクセス



アルゴリズム開発



結果の共有/IP化



効率よいアルゴリズム開発のための、数百の関数群や各種ツール

2.1.3 静止画 画像処理・解析のワークフロー

```
%% 画像読み込み
```

```
A = imread('peppers.png');
```



各種画像処理 ・ 解析



```
%% 結果の挿入 (例)
```

```
A1 = insertShape(A, 'Rectangle', loc, 'Color', 'cyan', 'LineWidth', 3);
```



```
%% 結果画像の表示
```

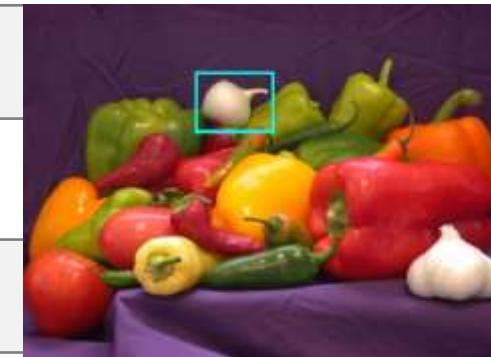
```
figure; imshow(A1);
```

% Figureを一つ開き、画像を表示



```
%% 結果の書き出し
```

```
imwrite(A1, 'result.png');
```



2.1.4 グラフィックス

Computer Vision Toolbox

描画

関数

`insertMarker()`

マーク挿入

`insertObjectAnnotation()`

注釈挿入

`insertShape()`

図形挿入

`insertText()`

テキスト挿入 R2015b 日本語対応

システムオブジェクト

`vision.AlphaBlender()`

画像のブレンド

`vision.ImagePadder()`

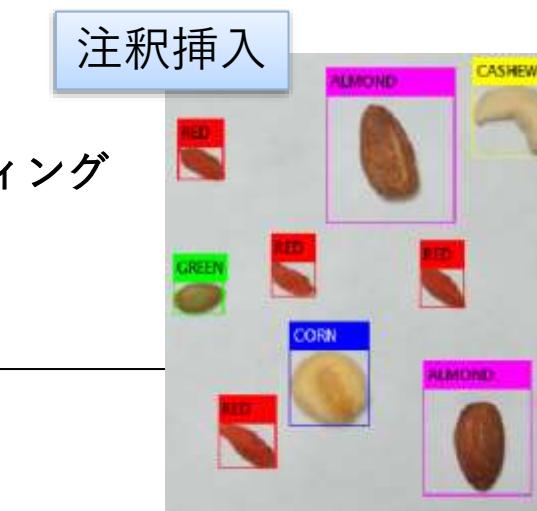
画像の切り取り、パディング

`vision.MarkerInserter()`

マーク挿入

`vision.ShapeInserter()`

図形挿入



2.1.5 動画 画像処理・解析のワークフロー： 高速ストリーミング処理

Computer Vision Toolbox

```
%% 動画の読み込み・表示・書き出し 用のシステムオブジェクトの生成  
vidReader = vision.VideoFileReader('visiontraffic.avi');  
vidPlayer = vision.DeployableVideoPlayer;  
vidWriter = vision.VideoFileWriter('myFile.avi');
```



```
%% 1フレームずつ順に処理  
while (1)  
    I = step(vidReader); % 1フレーム 読込み
```



```
step(vidPlayer, I); % 1フレーム 表示  
step(vidWriter, I); % 1フレーム 書出し  
end
```

```
%% 生成したシステムオブジェクトをリリース  
release(vidReader);  
release(vidPlayer);  
release(vidWriter);
```

2.1.6 高速動画ストリーミング処理

Computer Vision Toolbox

動画入出力

`vision.VideoFileReader()`

動画ファイルの読み込み（音声も可）

`vision.VideoPlayer()`

動画表示

`vision.DeployableVideoPlayer()`

動画表示（Windows用Cコード生成対応）

更に高速化 

`vision.VideoFileWriter()`

動画ファイルの書き出し（音声も可）

`vision.BinaryFileReader()`

バイナリ動画ファイルの読み込み

`vision.BinaryFileWriter()`

バイナリ動画ファイルの書き出し

2.1.7 RAWファイルフォーマットからの処理パイプライン

R2021a

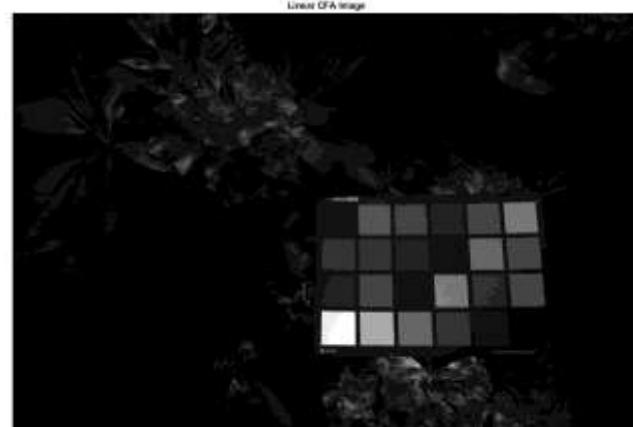
```
%% RAWファイルの読み込み
cfaImage = rawread(fileName);
fileInfo = rawinfo(filename);

%% チャンネルごとに抽出
cfaMultiChannel = raw2planar(cfa);

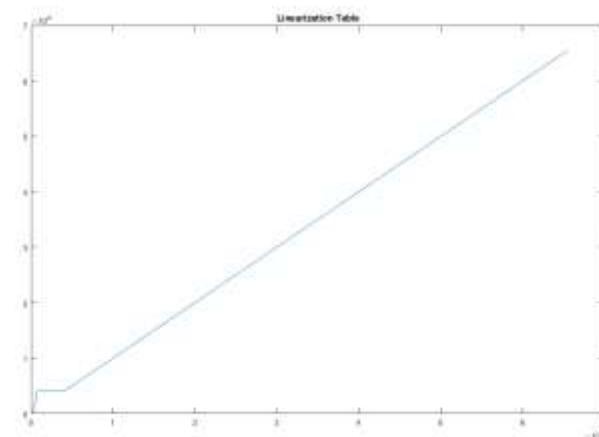
%% RGB画像に一気に変換
rgbimage = raw2rgb(filename);
```



線形CFA画像



ルックアップテーブル

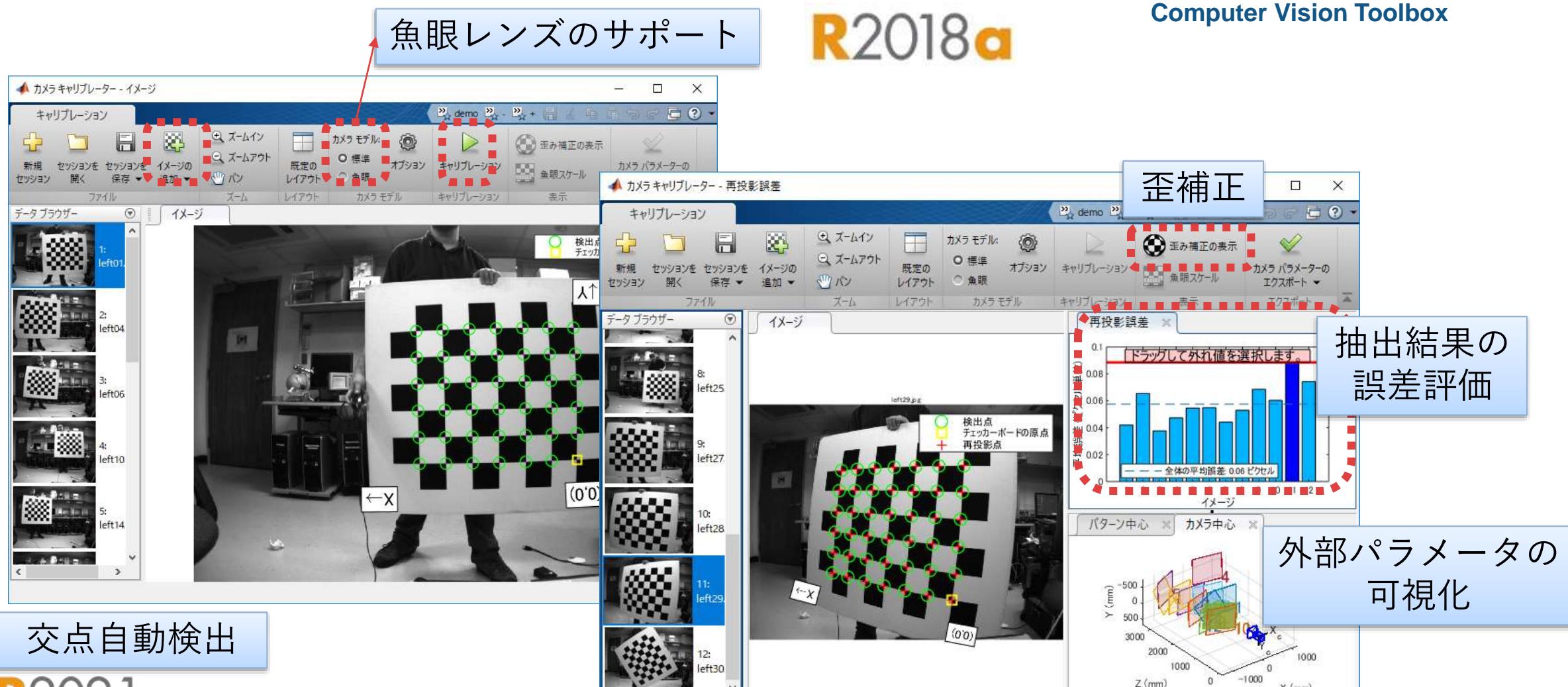


RGB画像



2.2.1 カメラキャリブレーション：アプリケーション

Computer Vision Toolbox



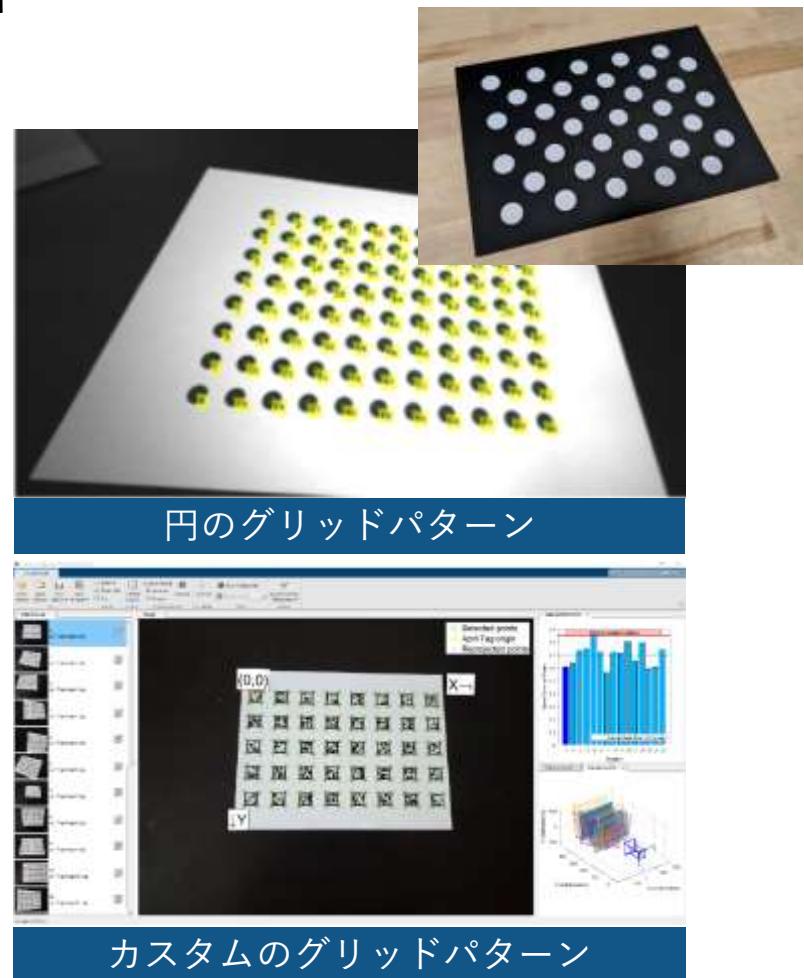
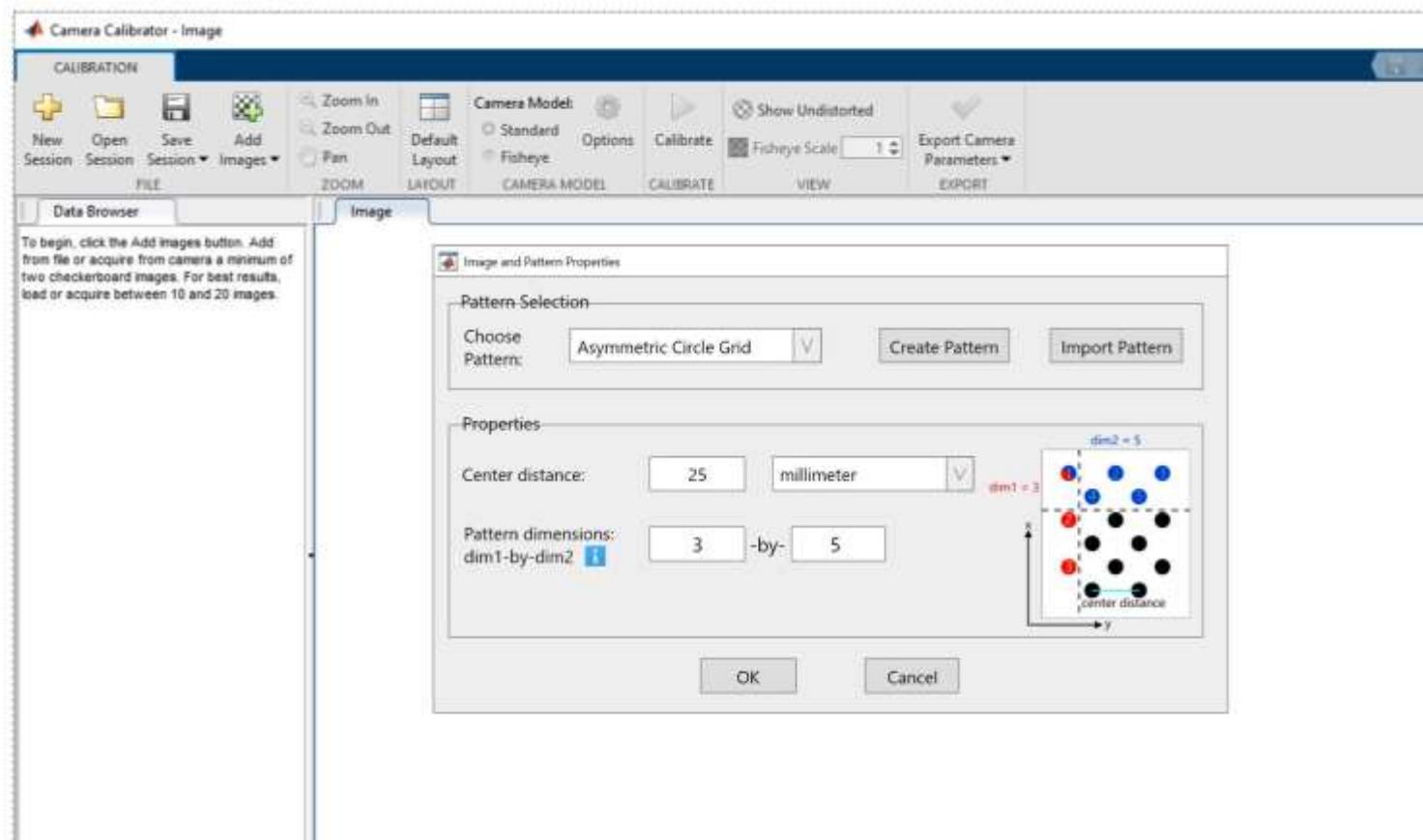
R2021a
部分的なチェッカーボード画像にも対応

サブピクセル精度でのキャリブレーション
レンズ歪、カメラ内部・外部パラメータの抽出

2.2.1 カメラキャリブレーション：アプリケーション

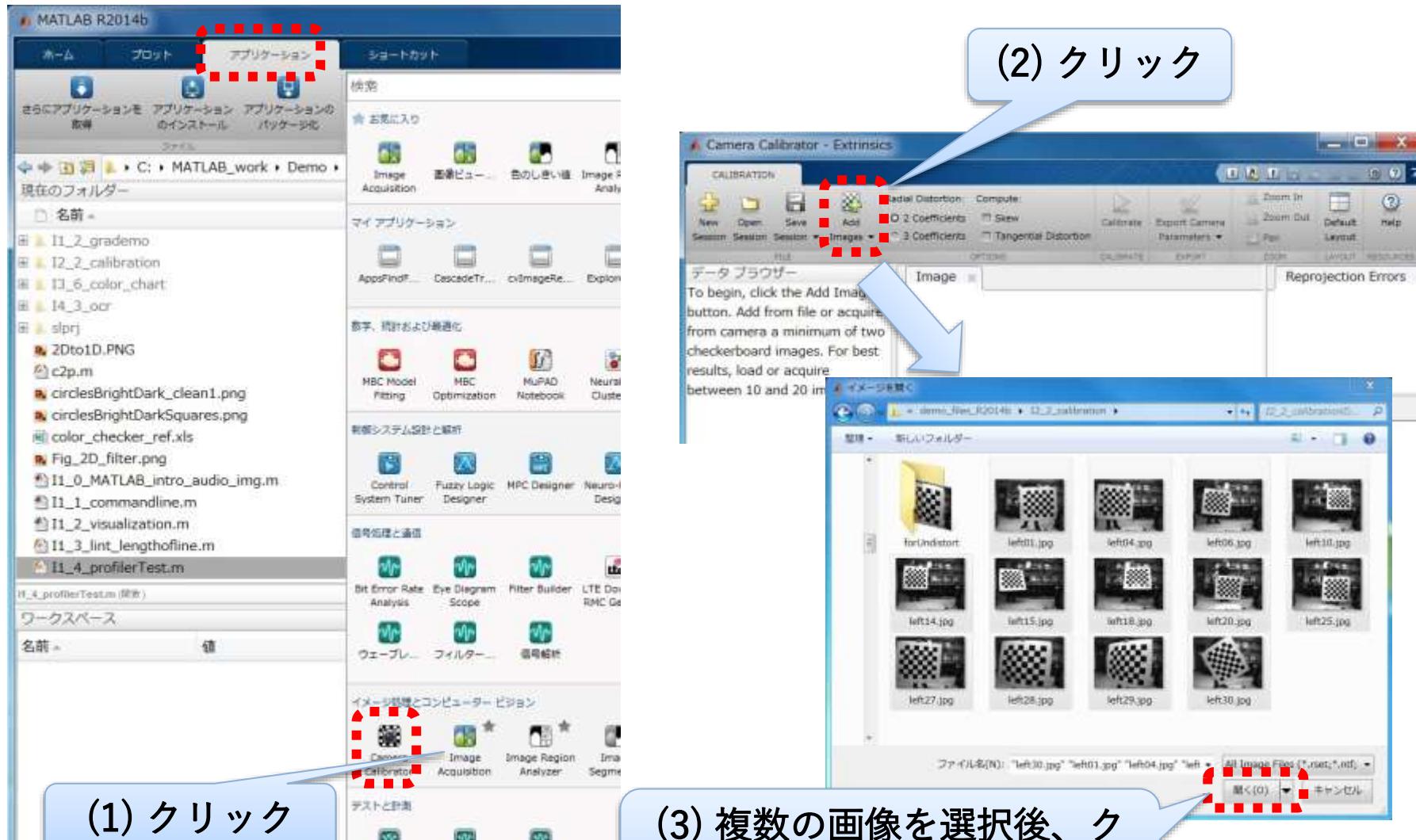
R2021b

- キャリブレーター アプリでのユーザー定義パターンのサポート
- サークルグリッドパターンのサポート
- OpenCVのカメラパラメータとの相互運用性



カスタムのグリッドパターン

2.2.1 カメラキャリブレーション：手順（1）

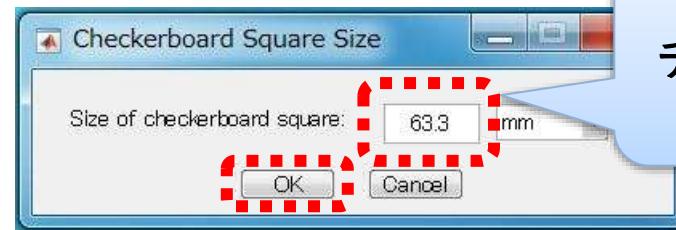


[キャリブレーション用画像準備の詳細]

<http://jp.mathworks.com/help/vision/ug/single-camera-calibrator-app.html#bt19jdq-1>

2.2.1 カメラキャリブレーション：手順（2）

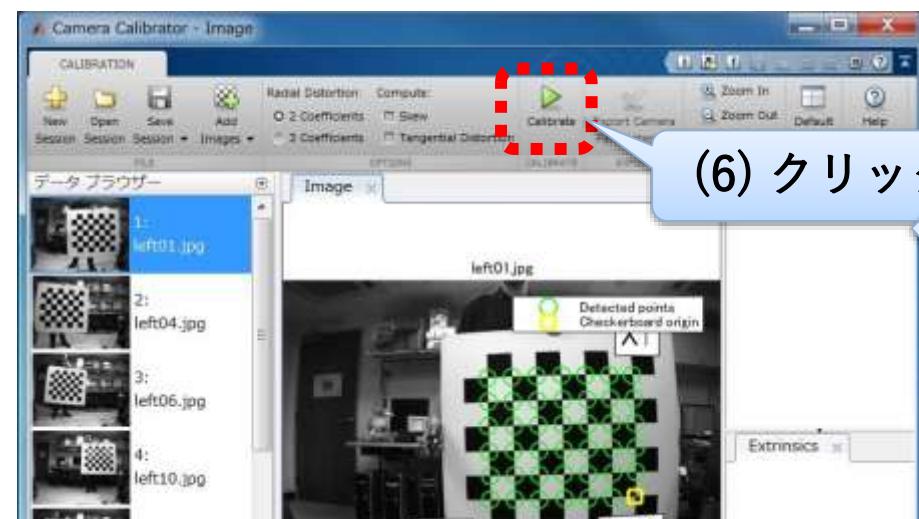
(4) 定規で測定した、
チェッカー一辺の長さを
入力し、OKクリック



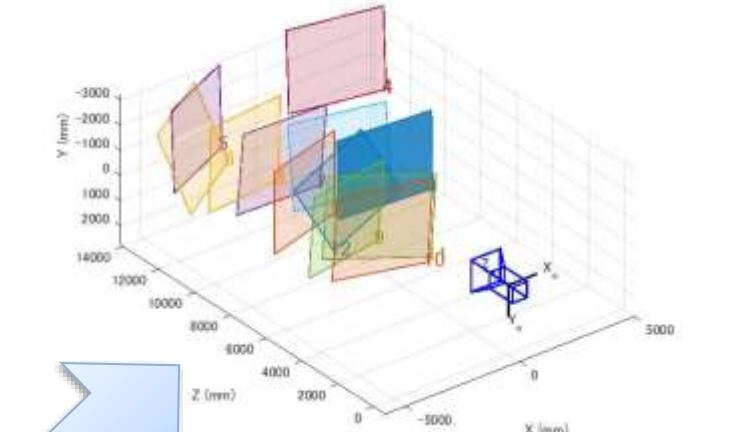
適していない画像は
自動的に除外される



(5) OKクリック



(6) クリック



完了

最投影誤差が大きい画像は、
右クリックし
"削除して再実行"



2.2.2 カメラキャリブレーション： スクリプトでの実行

R2013b

Computer Vision Toolbox

```
% 画像ファイル名の指定
for i = [1:13]
    imFileNames{i} = fullfile('I2_3_calibration', sprintf('left%02d.jpg', i));
end

%% 画像内のチェッカーボードのパターンの検出 (不適切な画像は自動的に除去)
[imagePoints, boardSize, imagesUsed] = detectCheckerboardPoints(imFileNames);

%% コーナー点の 実世界での位置(world coordinates) を計算
squareSize = 150; % 単位:mm
worldPoints = generateCheckerboardPoints(boardSize, squareSize);

%% カメラパラメータの推定
cameraParams = estimateCameraParameters(imagePoints, worldPoints);
```

非常に簡潔なコードで、カメラキャリブレーションを実現

2.2.3 レンズ歪の補正

Computer Vision Toolbox

レンズ歪補正用の関数

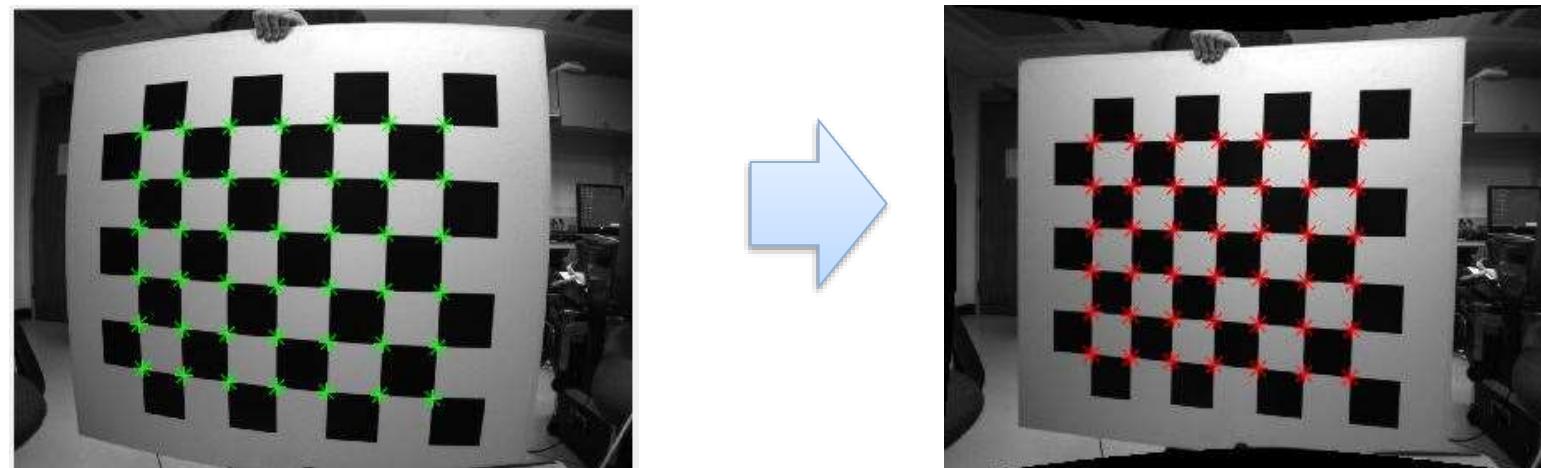
undistortImage() 画像の、レンズ歪の補正

undistortPoints() 任意の点座標の、レンズ歪の補正

```
% 画像に対して、レンズ歪補正 (OutputViewがfullの場合は、端が切れないように中心座標は移動)
[undistI, newOrigin] = undistortImage(origI, cameraParams, 'OutputView', 'full');

% 点座標に対して、レンズ歪補正
undistPoints = undistortPoints(points, cameraParams);

% 補正後の点座標を、補正後画像へアライメント
undistPoints = [undistPoints(:,1)-newOrigin(1), undistPoints(:,2)-newOrigin(2)];
```



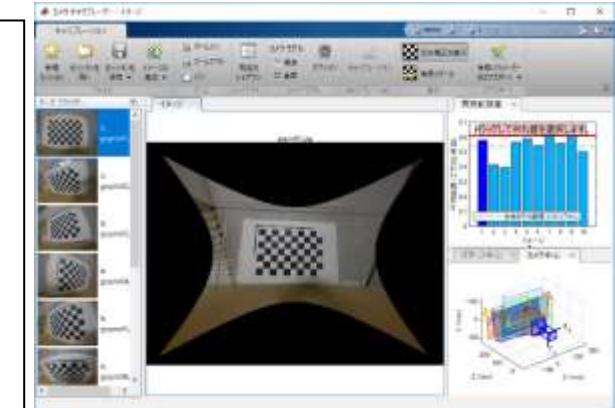
2.2.4 魚眼レンズの歪補正

R2017b

Computer Vision Toolbox

魚眼レンズの歪補正用の関数

<code>fisheyeParameters</code>	魚眼レンズのカメラパラメータ用オブジェクト
<code>fisheyeIntrinsics</code>	魚眼レンズのカメラ内部パラメータ用オブジェクト
<code>estimateFisheyeParameters()</code>	魚眼レンズのカメラパラメータの推定
<code>undistortFisheyeImage()</code>	画像の、レンズ歪の補正
<code>undistortFisheyePoints()</code>	任意の点座標の、レンズ歪の補正



最大195度の視野（FOV）の魚眼カメラに対応 **R2021a**

カメラキャリブレーターアプリケーションでの
魚眼レンズキャリブレーション対応 **R2018a**



原画像

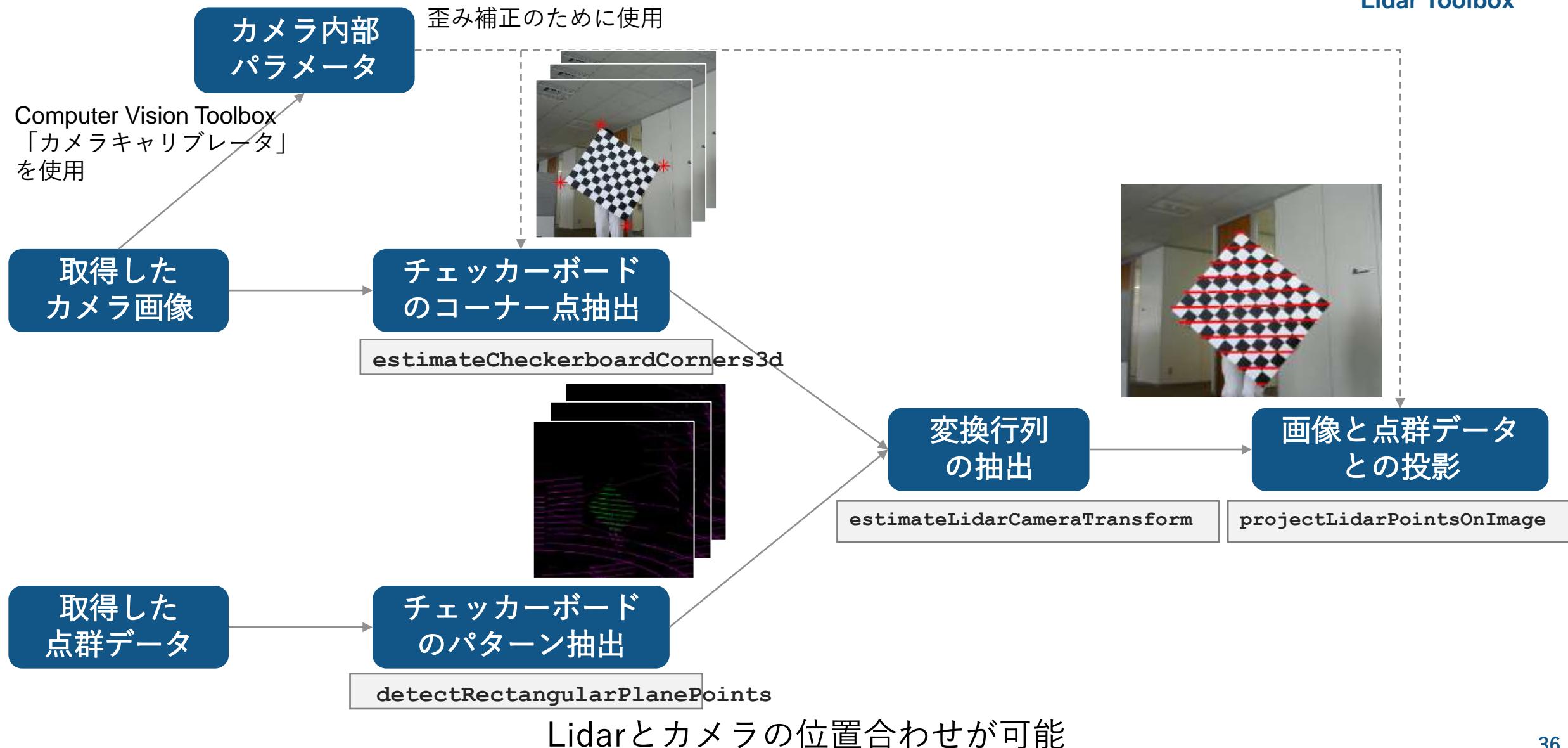
レンズ
歪
補
正



Full View
(周囲の切り取りなし)

2.2.5 Lidar カメラキャリブレーション(LCC)

R2020b
Lidar Toolbox™



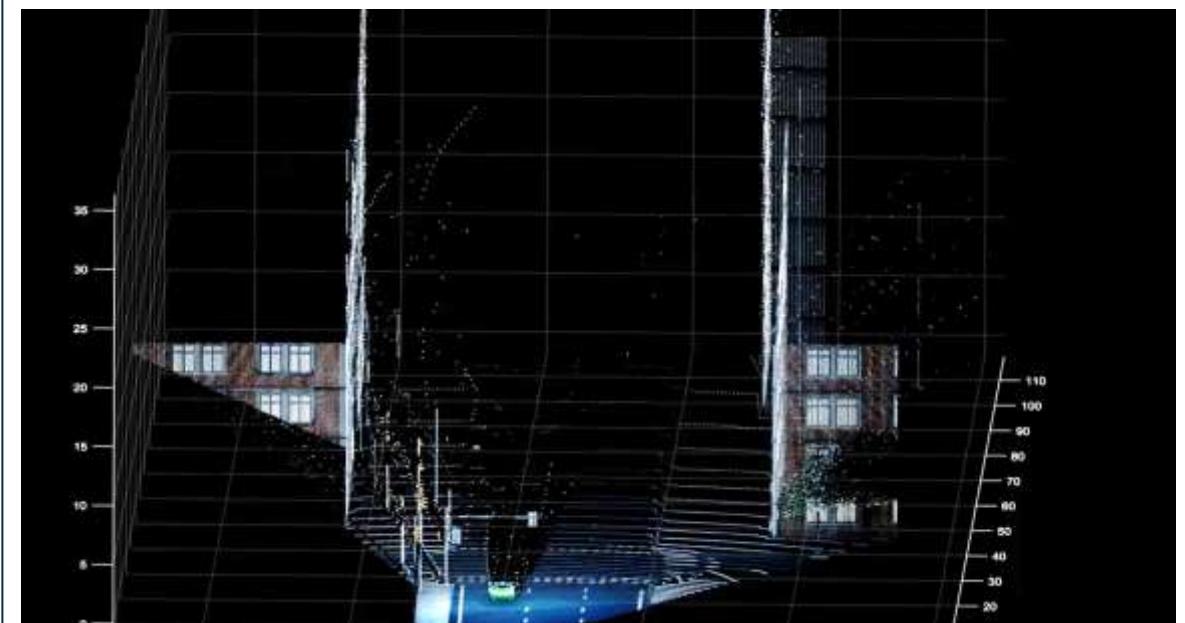
2.2.6 Lidar カメラキャリブレーション(LCC) 結果の応用

画像上のバウンディングボックスを利用



- 画像で検出した物体のバウンディングボックスに
対応する点群を検出し、距離や姿勢推定可能
- 点群のラベリングにも応用可能

点群の色付け



- Lidar点群上に画像の色情報をフュージョン
- シナリオで物体をトラッキングするのに有用

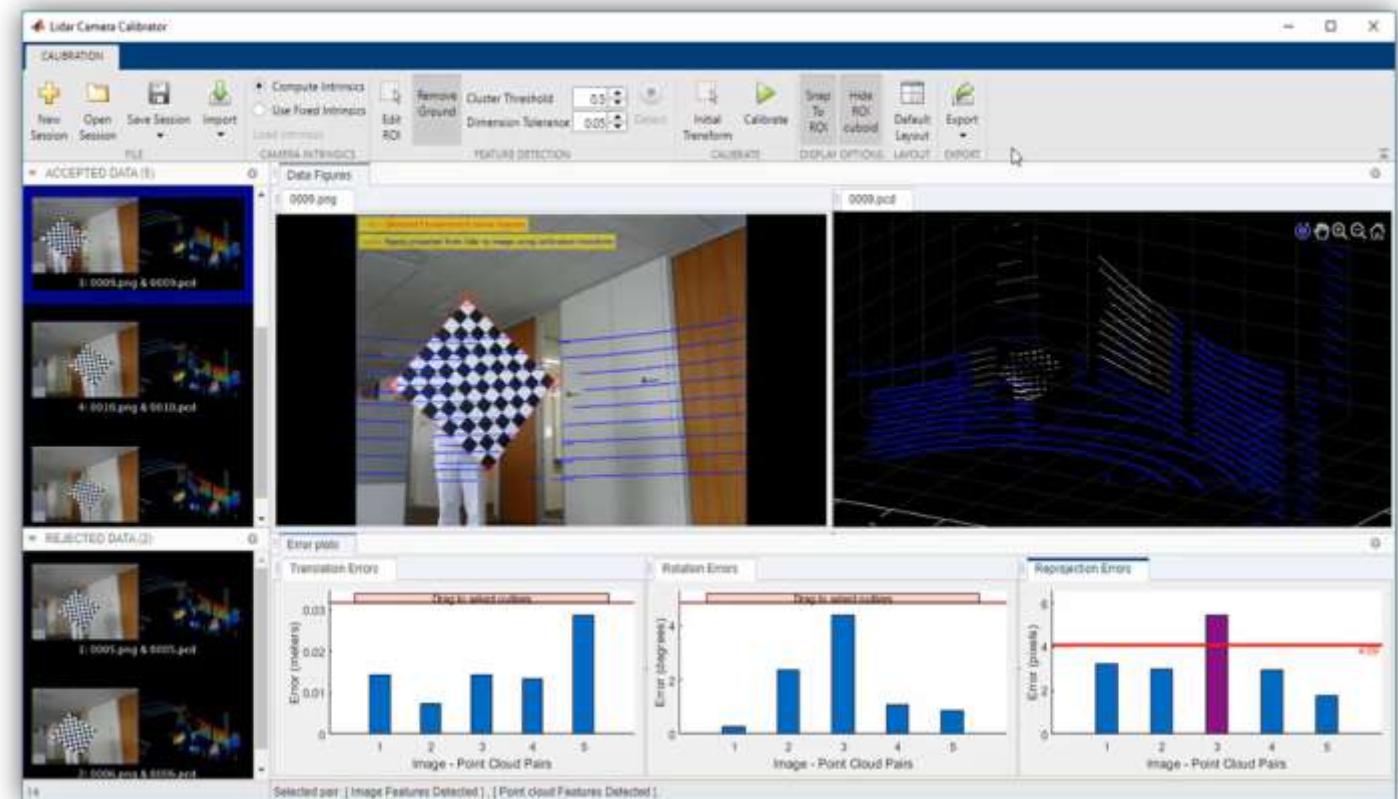
2.2.7 Lidar-カメラキャリブレータ: アプリケーション

R2021a

`lidarCameraCalibrator`

Lidarからカメラへの変換行列をインタラクティブに計算

- 点群データとカメラ画像を読み込み、変換を自動推定
- チェッカーボードを自動抽出
 - 特徴抽出設定の調整
 - 検出性能向上 R2021b
 - コーナーの手動選択機能追加 R2021b
- インタラクティブな可視化と解析
- キーボードショートカット



2.3 イメージタイプ変換・コントラスト調整・階調変更

イメージタイプ変換・コントラスト調整・量子化用の関数

`rgb2gray()` RGBイメージまたはカラーマップをグレースケールに変換 (MATLAB基本関数)

`label2rgb()` 各領域のラベル番号 (画素値) 毎に別の色の画像 (ラベル画像) へ変換

`imhist()` イメージデータのヒストグラム表示 (イメージタイプにより、ビン数を調整)

`imcontrast()` コントラスト調整ツール

`imadjust()` イメージの強度値またはカラーマップの調整

`histeq()` ヒストグラム均等化を用いたコントラストの強調

`adapthisteq()` コントラストに制限を付けた適応ヒストグラム均等化を実行 (CLAHE)

`imhistmatch` イメージのヒストグラムを、参照イメージのヒストグラムと一致させる

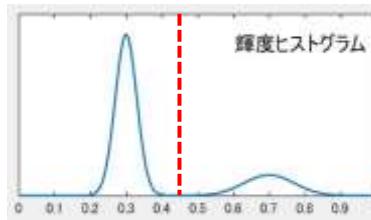
`multithresh()` 大津法による、複数レベル イメージしきい値計算

`imquantize()` 指定された量子化レベルと出力値によるイメージの量子化

⋮

2.3.1 二値化・適応二値化

Otsu法（判別分析法）によるしきい値計算



分離度を最大にする
しきい値を決定

```
t = graythresh(G);
```

% Otsu法により、大局的しきい値を計算

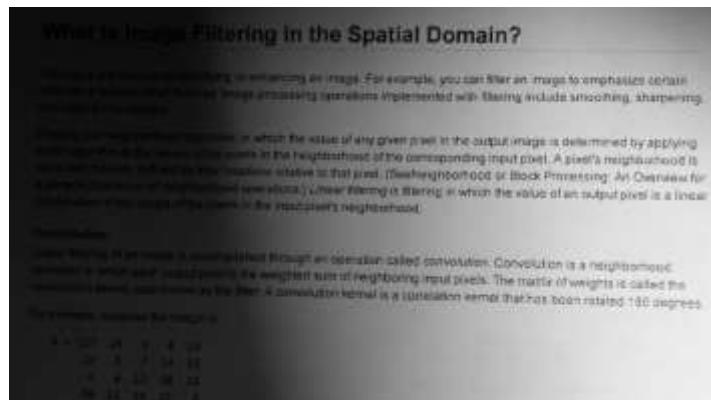
```
BW = imbinarize(G);
```

% Otsu法により、画像を二値化

R2016a

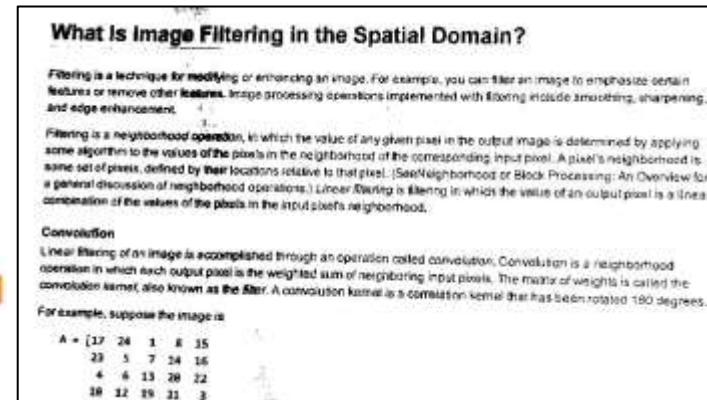
適応しきい値計算

(近傍の輝度平均を用い、画素単位でしきい値を計算)



適応2値化

R2016a



```
T = adaptthresh(G);
BW = imbinarize(I, T);
```

% 適応しきい値計算（画素単位のしきい値）
% 指定されたしきい値を用い、画像を二値化

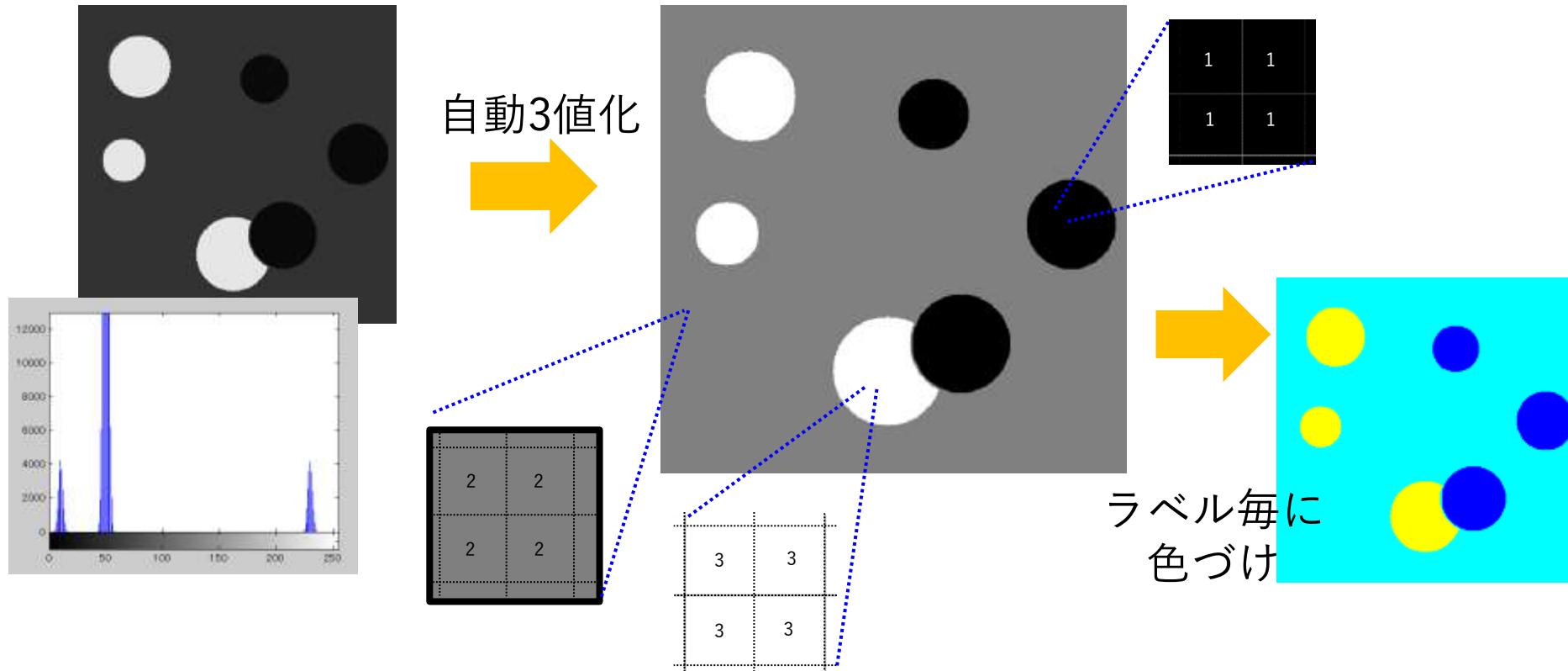
R2016a

```
BW = imbinarize(G, 'adaptive');
```

% 適応しきい値計算により、画像を二値化

R2016a

2.3.2 イメージタイプ変換・コントラスト調整・階調変更

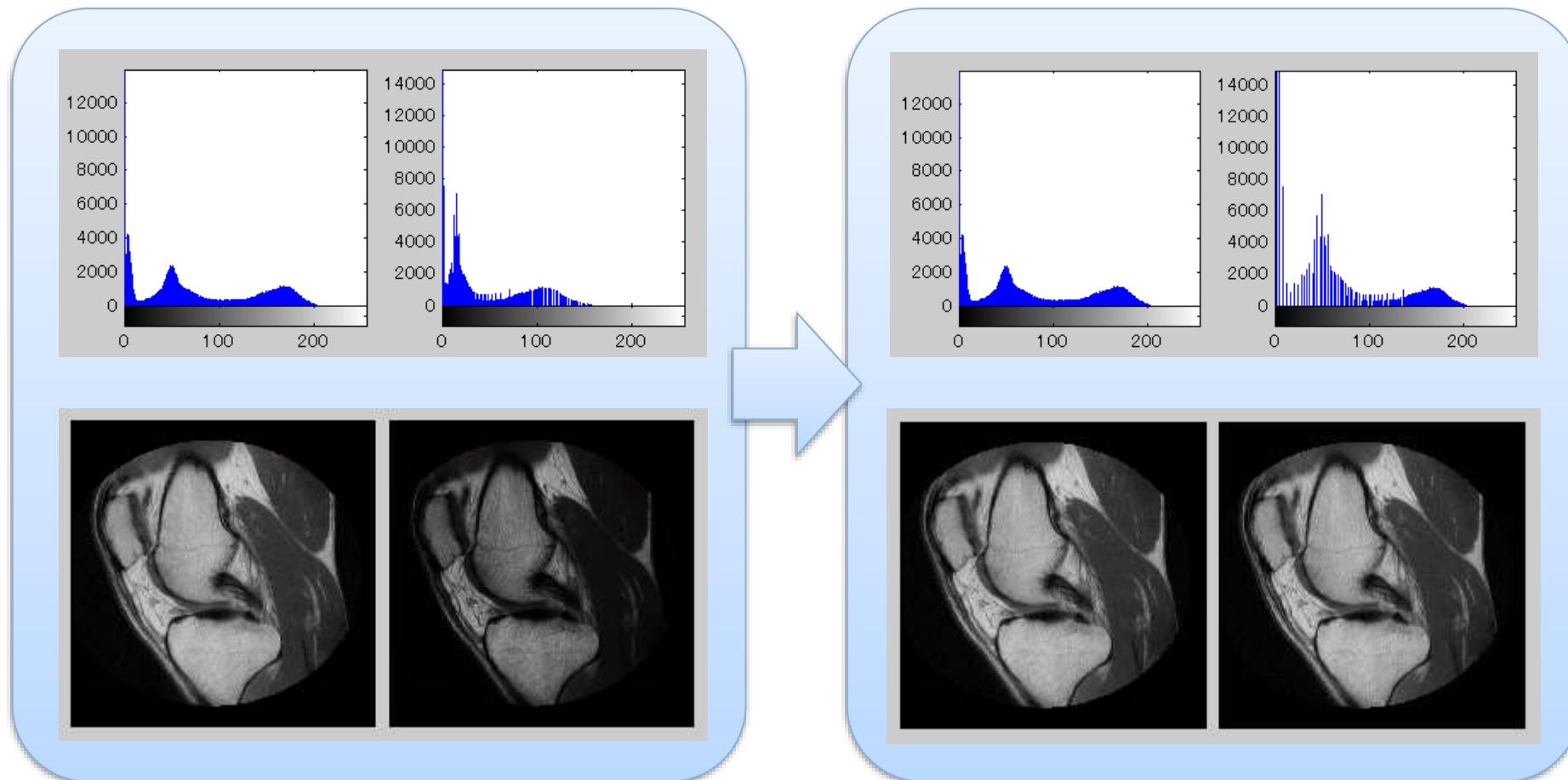


```
I = imread('circlesBrightDark_clean.png');

thresh = multithresh(I,2);      % Otsu法により、3値化用のしきい値を計算
seg_I = imquantize(I,thresh);  % 得られたしきい値により、画素値を量子化(1,2,3)

RGB = label2rgb(seg_I);        % 異なるラベル番号(画素値)を異なる色へ
imshowpair(I,RGB,'montage');  % 画像表示
```

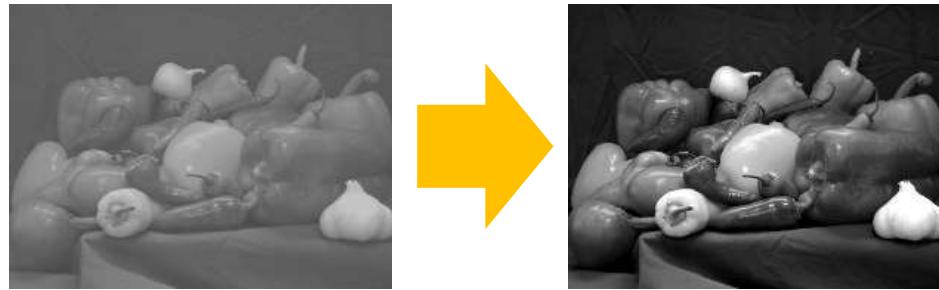
2.3.3 ヒストグラム（コントラスト）のマッチング



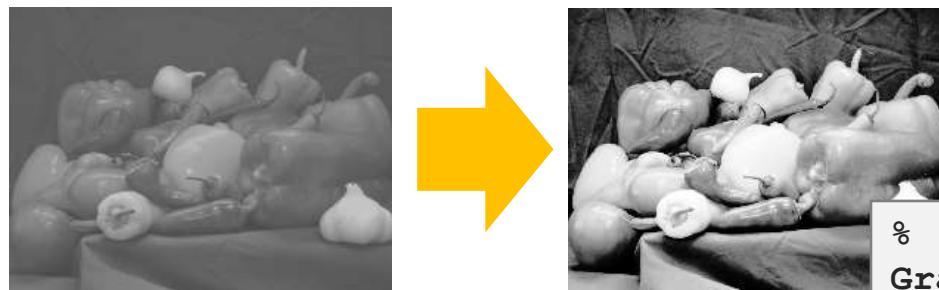
```
B = imhistmatch(A, Ref, 256); % 画像Aのヒストグラムを画像Refに一致させた画像を生成
```

3次元以上の任意の次元数に対応 **R2017a**

2.3.4 各種コントラスト調整

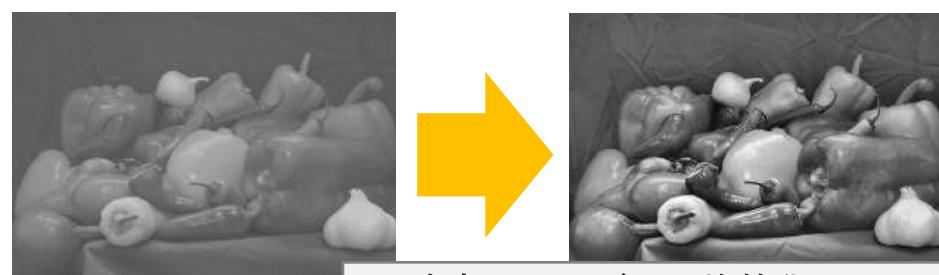


% 低・高輝度側で1%飽和するよう自動調整
`Gray1 = imadjust(Gray);`



% ヒストグラム均等化を用いたコントラストの強調
`Gray2 = histeq(Gray, 256);`

3次元以上の任意の次元数に対応 **R2017a**

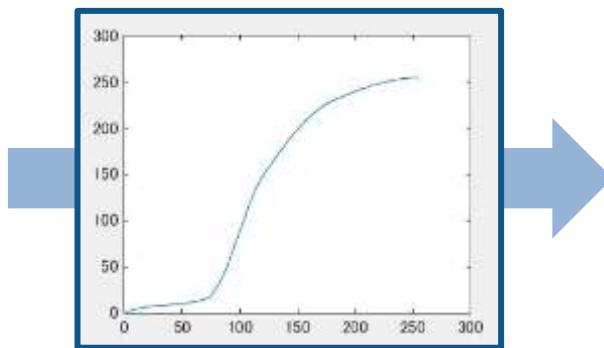


% 適応ヒストグラム均等化によるコントラストの強調
`Gray5 = adapthisteq(Gray, 'Distribution', 'exponential');`

2.3.5 ルックアップテーブルによる任意特性のコントラスト調整



ルックアップテーブル

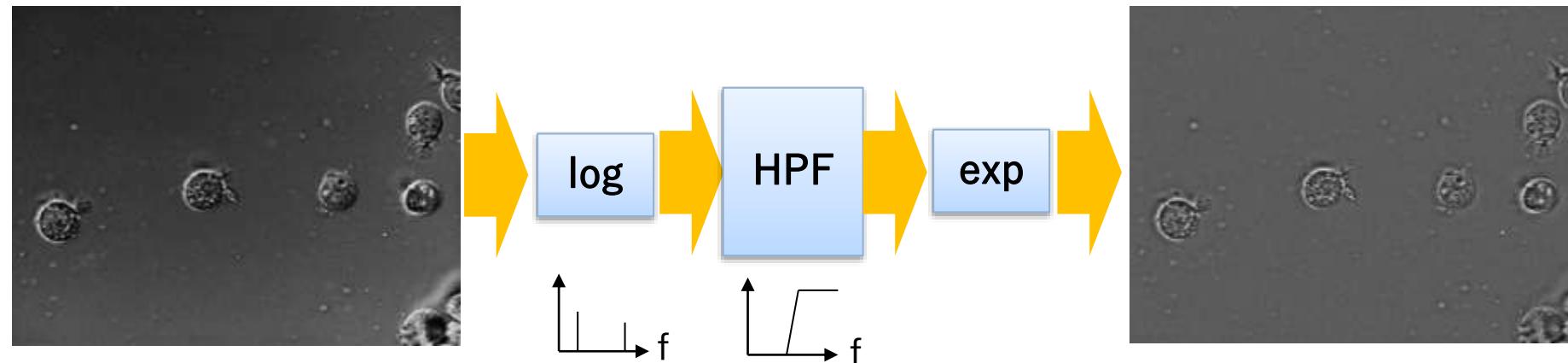


```
% ルックアップテーブルの作成
in = [0 1 50 100 200 255];
out = [0 1 15 150 250 255];
LUT = uint8(interp1(in, out, 0:255, 'pchip'));

% ルックアップテーブル適用
B = intlut(A, LUT);
```

2.3.6 Homomorphic Filteringによる照度不均一の除去

$I1 = I .* R$ の形式で画像が影響を受けている場合対数変換をすることで
 $\ln(I1) = \ln(I) + \ln(R)$ の和の形式に変換



```
% 自然対数変換
I1 = log(I + 1);

% ハイパスフィルタ処理: hHPFはフィルタ係数
Ilf = imfilter(I1, hHPF, 'replicate');

% exp関数で、対数変換を戻す
If = exp(Ilf) - 1;
```

詳細は

<http://blogs.mathworks.com/steve/2013/06/25/homomorphic-filtering-part-1>
<http://blogs.mathworks.com/steve/2013/07/10/homomorphic-filtering-part-2>

2.3.7 HDR(ハイダイナミックレンジ)画像の取り扱い

HDR(ハイダイナミックレンジ)画像用の関数

makehdr HDR画像生成

tonemap 可視化のためにHDR画像をレンダリング

tonemapfarbman HDR画像をエッジ保存マルチスケールデコンポジションで通常画像**R2018b**

localtonemap 局所的なコントラストを強調した可視化画像をHDR画像から生成

blendexposure 複数露光画像からのHDR画像合成**R2018a**

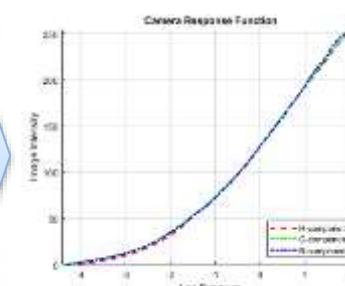
camresponse 複数露光画像からのカメラ応答関数(CRF)を推定、画像のEXIFの露光時間を使用

R2019a

複数枚の画像からコントラストが融合された画像を作成



複数露光画像からカメラ応答関数(CRF)を推定



R2019a

```
I1 = imread('car_1.jpg'); I2 = imread('car_2.jpg');
I3 = imread('car_3.jpg'); I4 = imread('car_4.jpg');
E = blendexposure(I1,I2,I3,I4);
```

```
files = [ "office_1.jpg", ...
"office_2.jpg", "office_3.jpg", ...
"office_4.jpg", "office_5.jpg", ...
"office_6.jpg" ];
crf = camresponse(files);
```

2.3.8 低光量画像の明るさ調整



```
% 低光量画像の明るさ調整  
B = imlocalbrighten(A);
```

2.4 色空間変換

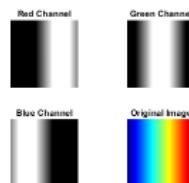
色空間変換用の関数

<code>rgb2ycbcr()</code>	RGB画像を YCbCr色空間へ変換	
<code>ycbcr2rgb()</code>	YCbCr画像を RGB色空間へ変換	
<code>rgb2HSV()</code>	RGB画像を HSV色空間へ変換	(MATLAB基本関数)
<code>HSV2RGB()</code>	HSV画像を RGB色空間へ変換	(MATLAB基本関数)
<code>RGB2LAB()</code>	RGB画像を L*a*b*色空間へ変換	
<code>RGB2XYZ()</code>	RGB画像を XYZ色空間へ変換	
⋮	⋮	
<code>ICCREAD()</code>	ICCプロファイルの読み取り	
<code>MAKECFORM()</code>	色変換構造体を作成 (CMYK/uvL/xyY 等の色空間や、変換元・先のICCプロファイルを指定)	
<code>APPLYCFORM()</code>	色空間変換を適用	
<code>IMSPLIT()</code>	色のチャネルごとに分離	R2018b
<code>RGB2LIGHTNESS()</code>	RGB画像CIE 1976 L*a*b*色空間の輝度画像L*を生成	R2019a

wide-gamut RGB画像との色変換関数
`RGBWIDE2YCBCR()`, `RGBWIDE2XYZ()`
`YCBCCR2RGBWIDE()`, `XYZ2RGBWIDE()`

R2020b

R2014b



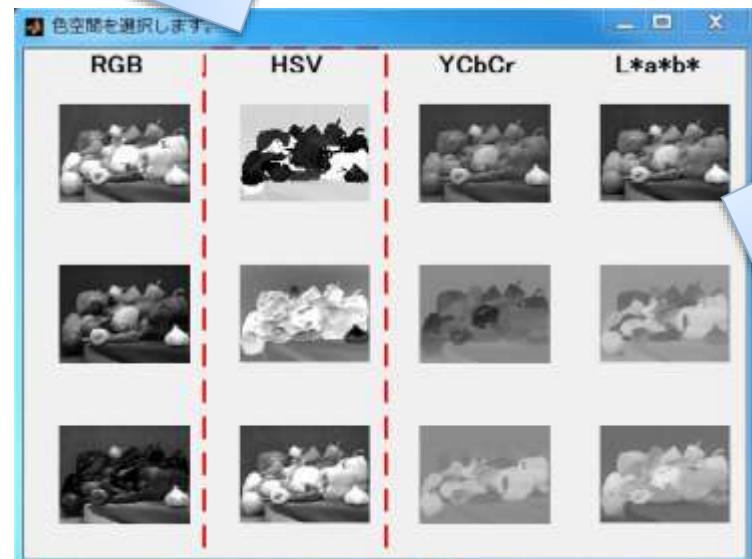
```
RGB = imread('peppers.png');
HSV = rgb2HSV(RGB); % RGB画像を HSV色空間へ変換
cform = makecform('srgb2cmyk'); % 色変換構造体を作成
LAB = applycform(RGB,cform); % sRGB画像を CMYK色空間へ変換
```

2.4.1 色による閾値処理のアプリケーション

R2014a

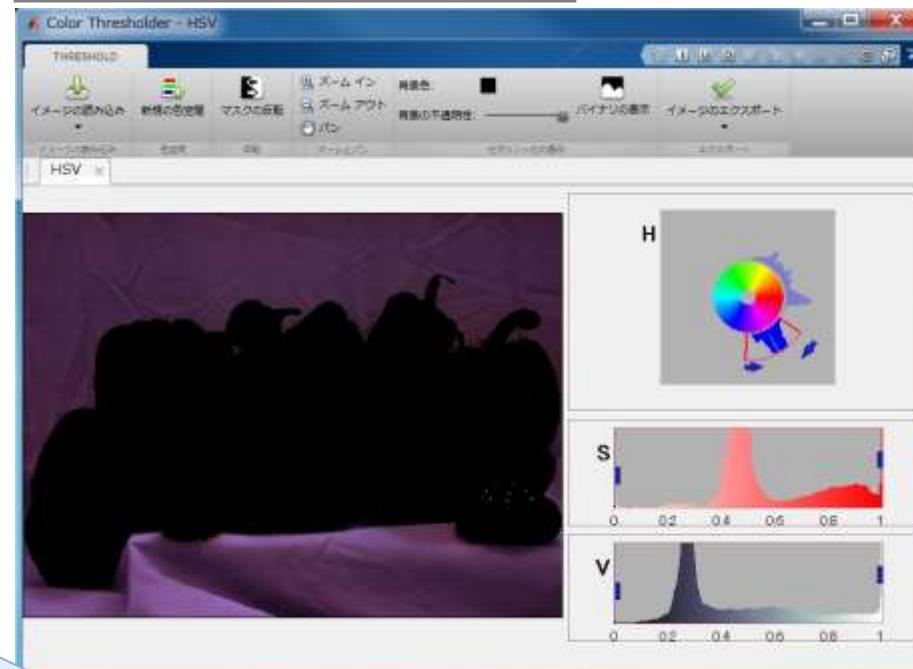


色空間の変換



閾値探索

色の閾値 アプリケーション
=> colorThresholder

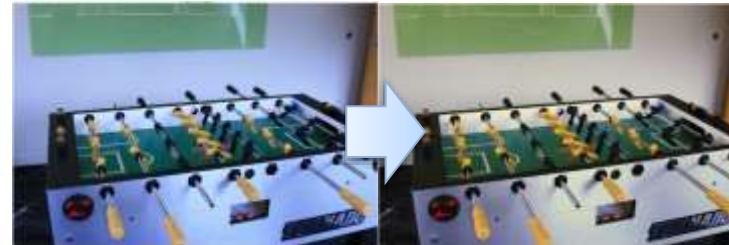


```
a = imread('peppers.png');  
colorThresholder(a);
```

2.4.2 カラーバランス/ホワイトバランス/ガンマ補正 R2017b

- カラーバランスの調整
 - **chromadapt**
- ホワイトバランスの調整
 - **illumgray** (グレイワールド)
 - **illumPCA** (主成分分析)
 - **illumwhite** (White Patch Retinex)
- 霧の除去
 - **imreducehaze**
- ガンマ補正/逆ガンマ補正
 - **lin2rgb**, **rgb2lin**

カラーバランス調整(**chromadapt**)



ホワイトバランス調整(**illumgray**)



霧の除去(**imreducehaze**)



2.4.3 色同士の距離の計測



局所コントラスト強調



%% CIE76に基づく距離
dE = deltaE(I1, I2);

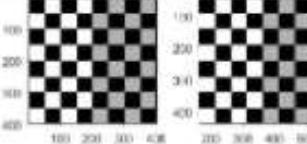
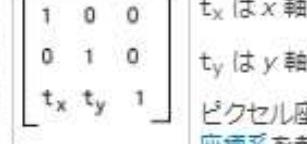
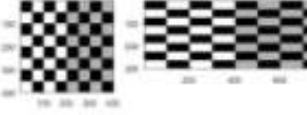
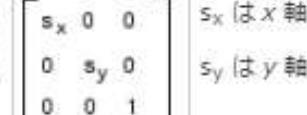
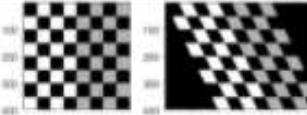
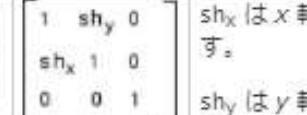
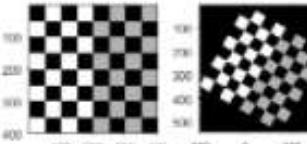
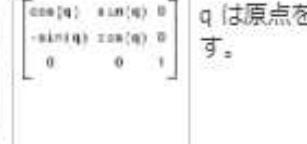


2.5 幾何学的変換

2 次元アフィン変換

この表は、2次元アフィン変換と、各アフィン変換の定義に使用する変換行列をまとめています。2次元アフィン変換の場合は、最後の列に同次座標 $[0 \ 0 \ 1]$ が含まれていなければなりません。

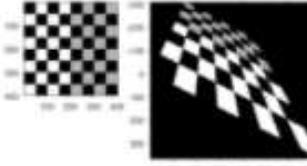
変換行列を使用して幾何学的変換オブジェクト `affine2d` を作成します。

2次元ア フィン変換	例 (元のイメージと変換された イメージ)	変換行列
平行移動	 	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}$ <p>t_x は x 軸に沿って移動を指定します。 t_y は y 軸に沿って移動を指定します。 ピクセル座標の詳細については、イメージの 座標系を参照してください。</p>
スケール	 	$\begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ <p>s_x は x 軸に沿って倍率を指定します。 s_y は y 軸に沿って倍率を指定します。</p>
せん断	 	$\begin{bmatrix} 1 & sh_y & 0 \\ sh_x & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ <p>sh_x は x 軸に沿ってせん断係数を指定しま す。 sh_y は y 軸に沿ってせん断係数を指定しま す。</p>
回転	 	$\begin{bmatrix} \cos(q) & \sin(q) & 0 \\ -\sin(q) & \cos(q) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ <p>q は原点を中心とする回転の角度を指定しま す。</p>

2 次元射影変換

射影変換ではイメージの平面を傾けることができます。平行線は消失点に向かって収束し、奥行がある
ように見えます。

変換は 3 行 3 列の行列です。アフィン変換とは異なり、変換行列の最後の列に制約はありません。

2次元射 影変換	例	変換行列
傾き	 	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & E \\ 0 & 1 & F \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ <p>E および F は消失点に影響を与えます。 E と F を大きくすると、消失点が原点に近 くなるため、平行線がより速く収束するよ うに見えます。 E と F が 0 と等しい場合、変換はアフィン 変換になります。</p>

射影変換

`tform = projective2d()`

R2020b

```
%% 回転と平行移動のみ
tform = rigid2d()
```

```
%% アフィン変換
tform = affine2d()
```

2.5.1 幾何学的変換（射影法等による空間変換）

<code>imcrop()</code>	画像のトリミング
<code>imresize()</code>	画像のサイズ変換
<code>imresize3()</code>	ボリュームデータのサイズ変換 R2017a
<code>imrotate()</code>	画像の中心の周りに回転
<code>imrotate3()</code>	ボリュームデータの回転 R2017a
<code>imtranslate()</code>	画像の平行移動 R2014a
<code>fitgeotrans()</code>	空間変換構造体 (<code>tform</code>) を作成
<code>imwarp()</code>	イメージへの幾何学変換の適用

```
T = fitgeotrans(Porig, Ppost, 'projective');  
registered = imwarp(I, T, 'OutputView', Ri); % 幾何学的変換  
figure; imshow(registered); % 画像表示
```



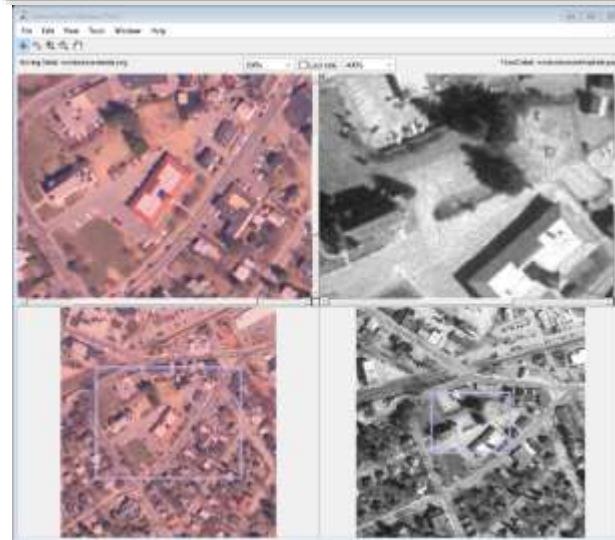
道路の画像を
真上から見た画像に変換
(文字、標識認識などへの応用)

変換して抽出



2.5.2 幾何学的変換(コントロールポイントツールを用いた位置合せ)

コントロールポイントの選択ツール



入力イメージ

ベースイメージ

```
input_img = imread('westconcordaerial.png');
base_img = imread('westconcordorthophoto.png');

% コントロールポイント選択ツールを起動
cpselect(input_img,base_img)

T=cp2tform(input_points,base_points,'projective');
registered = imtransform(input_img,T);
```

重ね合わせた
2つのイメージ



変換



コントロールポイントの選択

2.5.3 幾何学的変換（カスタム変換による画像変換）

```
% ユーザ定義の写像を定義
T = maketform('custom',2,2,@pex006,@ipex006,[]);
udata = [-pi pi]; % 入力画像に対するX軸の範囲
vdata = [0 90]; % 入力画像に対するY軸の範囲
xdata = [-90 90]; % 出力画像に対するX軸の範囲
ydata = [-90 90]; % 出力画像に対するY軸の範囲

b = imtransform(a,T,'cubic','UData',udata,...
    'VData',vdata,'XData',xdata,'YData',ydata, ...
    'Size',[91 360],'FillValues',255);
```

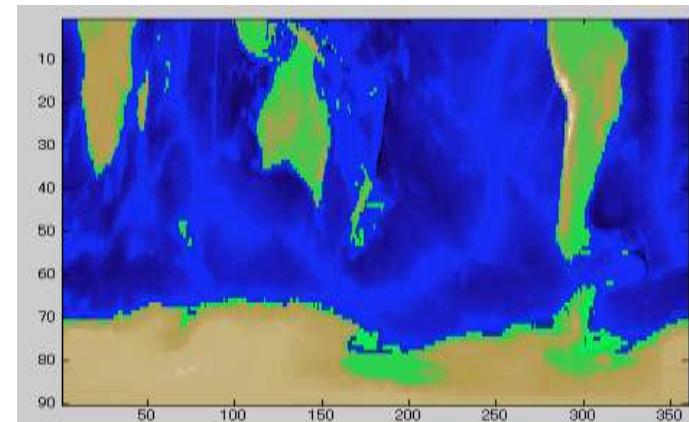
```
function X = pex006( U, t )
[th,r] = cart2pol(U(:,1),U(:,2));
X(:,1) = th;
X(:,2) = r;
```

写像 f : 正規座標 \Rightarrow 極座標

```
function X = ipex006( U, t )
[x,y] = pol2cart(U(:,1),U(:,2));
X(:,1) = x;
X(:,2) = y;
```

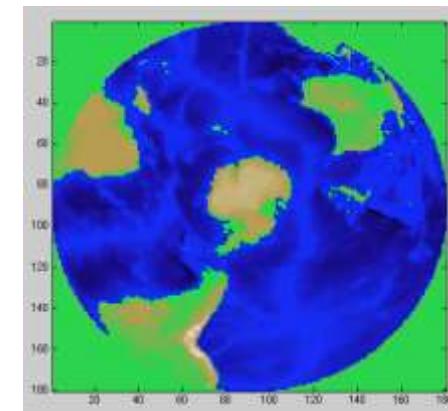
逆写像 f^{-1} : 極座標 \Rightarrow 正規座標

正規座標



逆写像 f^{-1}

写像 f



極座標

2.6 自動レジストレーション（位置合せ）

自動レジストレーション用の関数

`imregtform()` 強度ベースのレジストレーションの幾何学的変換行列の推定

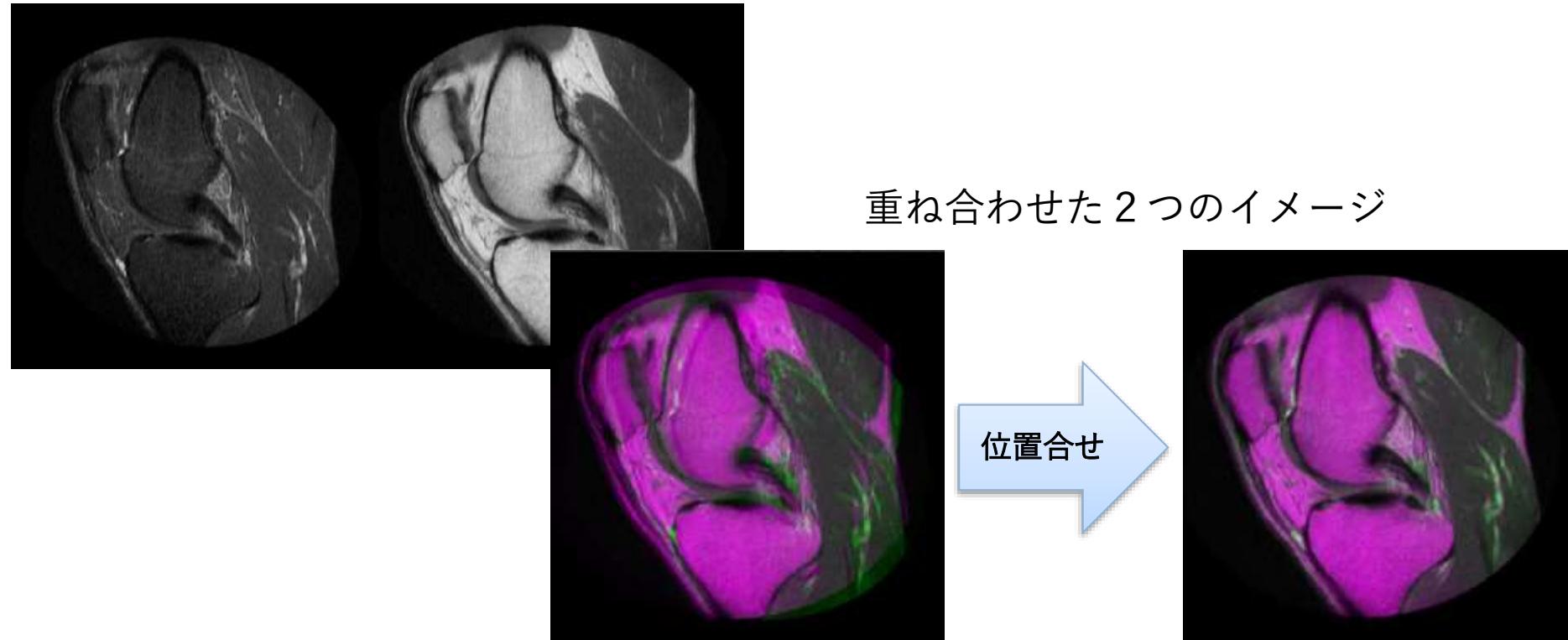
`imregister()` 強度ベースのレジストレーション（幾何学的変換まで実行する）

`imregcorr()` 位相相関を用いたレジストレーションの幾何学的変換行列の推定 **R2014a**

`imregdemons()` 非剛体(非線形)レジストレーション **R2014b**

`estimateGeometricTransform()` マッチングポイントからの幾何学的変換の推定

2.6.1 輝度ベースの自動レジストレーション（位置合せ）

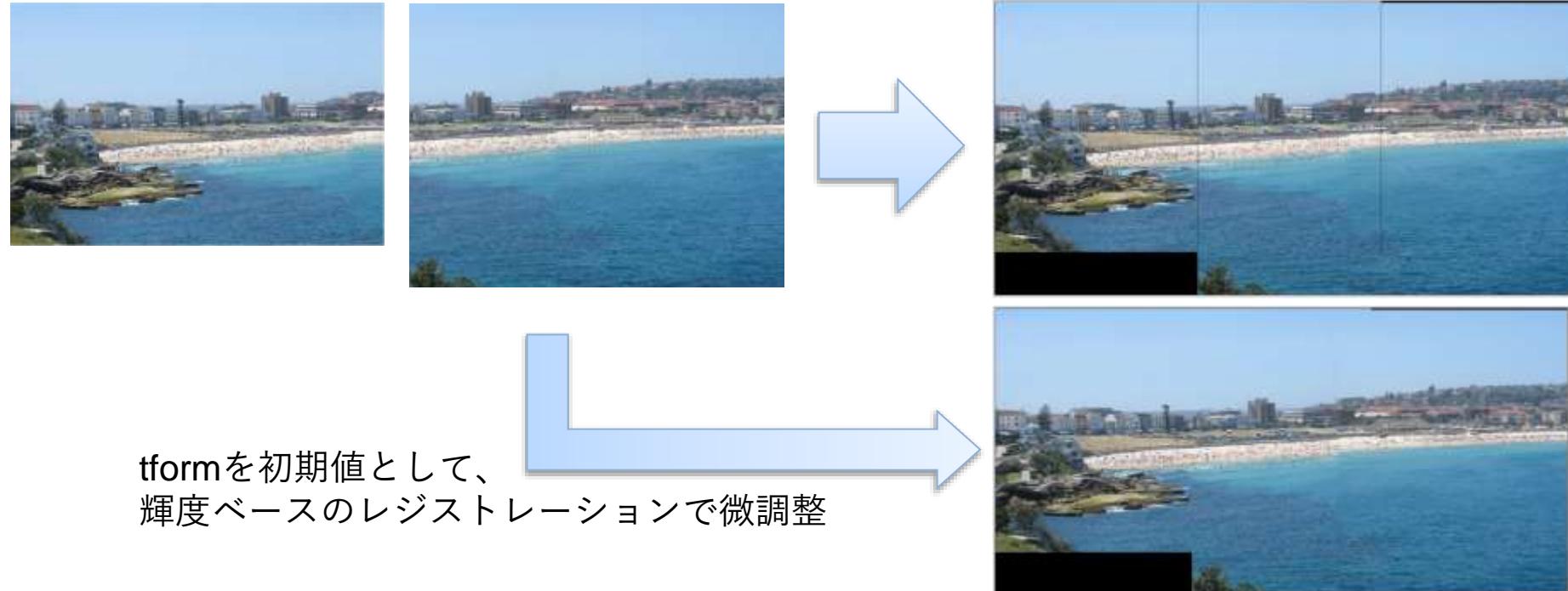


```
% パラメータ設定  
[optimizer,metric] = imregconfig('multimodal');  
  
% 輝度ベースのレジストレーション実行 (変換行列が必要な場合は、imregtform を使用)  
Registered = imregister(moving, orig, 'affine', optimizer, metric);
```

imregisterは、3次元画像にも対応

2.6.2 位相相関を用いた自動レジストレーション

位相相関を用いたレジストレーション
(重ねるための幾何学的変換行列 tform)



% 位相相関を用いた、位置ずれの検出 (大きなずれに対しても安定)

```
tform = imregcorr(moving, fixed, 'translation')
```

% 輝度ベースのレジストレーションで微調整

```
tformOptim = imregtform(movingGray,fixedGray,'translation', ...
    optimizer,metric,'InitialTransformation',tform);
```

2.6.3 非剛体自動レジストレーション（位置合せ）

R2014b



左の画像に合うように
変形をかけて位置合せ

場所ごとに異なる変換



```
% 変位場行列を求める (各ピクセル毎の、x,y方向の変位)  
D = imregdemons(moving, fixed);
```

```
% 幾何学的変換を行い、位置合わせをする  
movingReg = imwarp(moving, D);
```

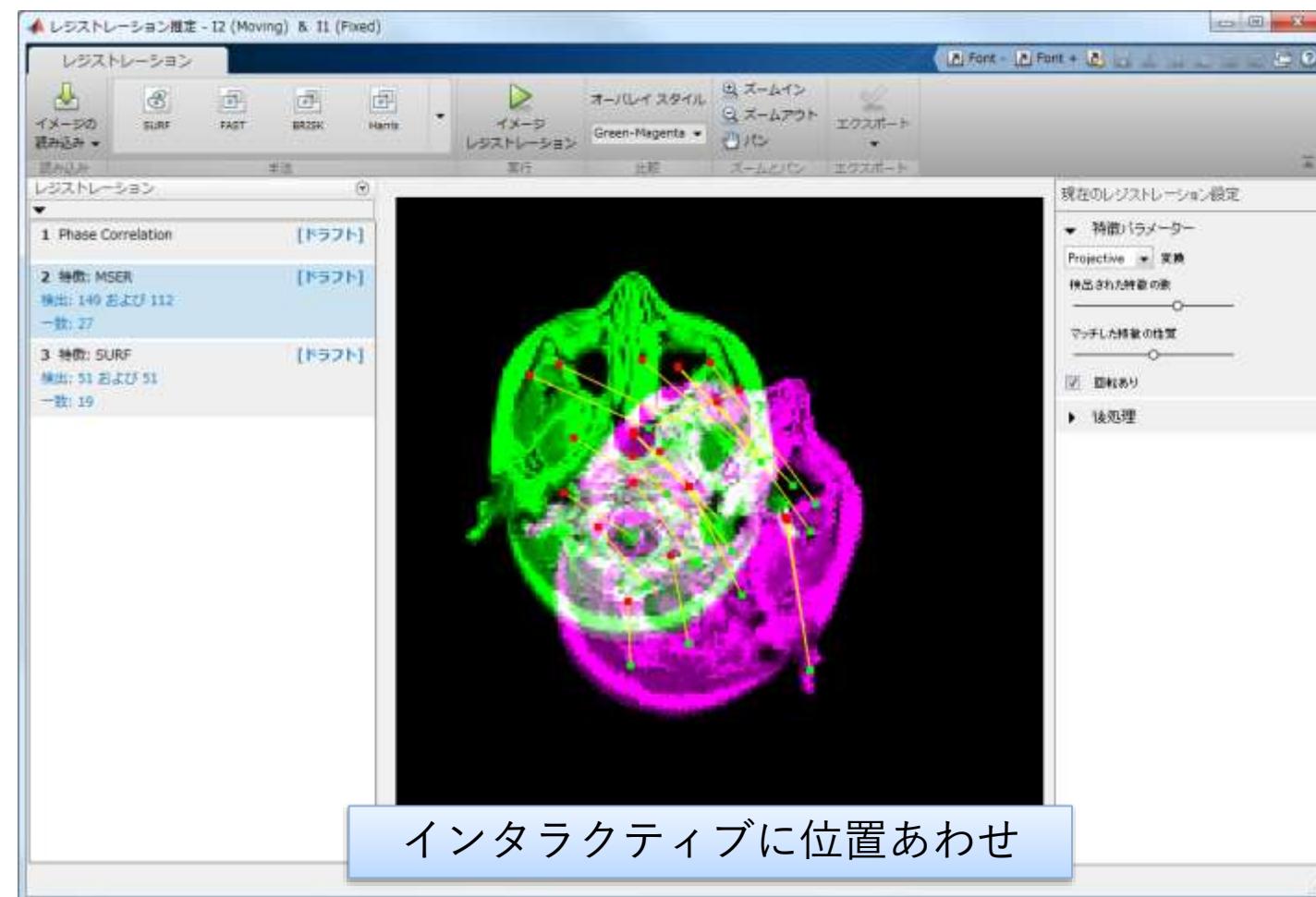
R2016b

3次元画像にも対応
(CUDA® GPU と Parallel Computing Toolboxが必要)

2.6.4 レジストレーション推定アプリケーション

R2017a

- 2画像の重ね合わせのための各種アルゴリズムをサポート
 - 特徴点ベース
 - ORB, SURF, MSER, KAZE,
 - ...
 - 強度ベース
 - モノモーダル強度
 - マルチモーダル強度
 - 位相相関
 - 非剛体レジストレーション
- GUIと結果の即時反映で、各手法をクイックにトライ&チューニング
- 自動コード生成機能でユーザ独自にカスタマイズ可能&再利用可能



```
%% 画像の読み込み・変形
I1 = imread('mri.tif'); I2 = imrotate(I1,-30);
%% アプリケーションの起動
registrationEstimator
```

2.6.5 複数露光画像のためのレジストレーション（位置合わせ） R2018a

MTB(Mean Threshold Bitmaps)アルゴリズムによる位置合わせ
露光度の異なる画像が多数ある場合のレジストレーションに有効



```
[R1,R2,R3,R4,R5,shift] = imregmtb(I1,I2,I3,I4,I5,I6);
```

2.7 画像フィルタリング

2次元フィルター処理用の関数

> フィルター係数の作成

<code>fspecial()</code>	事前定義型の 2 次元フィルター係数の作成
<code>fsamp2()</code>	周波数応答に対する2次元FIRフィルター係数の作成
<code>ftrans2()</code>	1次元FIRフィルターから、円対称の2次元FIRフィルター係数の作成
<code>fwind1()</code>	1次元ウィンドウ法を使用した、円対称の2次元FIRフィルター係数の作成

> フィルター処理

<code>imfilter()</code>	多次元イメージの N 次元フィルター処理
<code>roifilt2()</code>	イメージの関心領域 (ROI) に対するフィルター処理

> その他のフィルター処理用関数

<code>imgaussfilt</code>	2次元のガウシアン フィルター処理	R2015a
<code>medfilt2()</code> 、 <code>medfilt3()</code>	2次元・3次元のメディアン フィルター処理	R2016b : 3次元
<code>imsharpen()</code>	イメージの鮮鋭化	
<code>imguidedfilter()</code>	ガイド付き フィルター処理	R2014a
<code>normxcorr2()</code>	正規化された 2次元相互通関	
⋮		

2.7.1 事前定義型の画像フィルタ処理 (fspecial関数)



原画像



平均化 : average



円状平均化 : disk



モーション : motion



ガウシアン : gaussian



ラプラシアン: laplacian



ガウスのラプラシアン: log

```
F = fspecial('average', 5)      % フィルタ パラメータ設定  
ImagAve = imfilter(I, F);     % フィルタ実行 (N次元で可能)
```

2.7.2.1 その他のフィルター

R2014a

```
Iguided = imguidedfilter(Inputs); %エッジ保存型の平滑化 (self-guidance)
```



元画像

平均化フィルタ

Guided Filter

```
Iguided = imguidedfilter(I, G); %ガイド画像を用いたエッジ保存型の平滑化
```



I: 高感度撮影画像
(高ノイズ)



G: フラッシュ撮影画像
(ガイド画像)



2.7.2.1 その他のフィルター

R2018b

フラットフィールドコレクション

```
Iflatfield = imflatfield(I,30); %フラットフィールドコレクション
```



元画像



影などの全体の明るさのバラツキを補正

Non-local means フィルター

```
J = imnlmfilt(I); %Non-local means フィルター
```

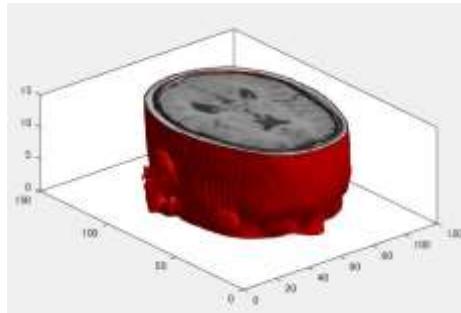


2.7.2.2 その他のフィルター：3次元画像

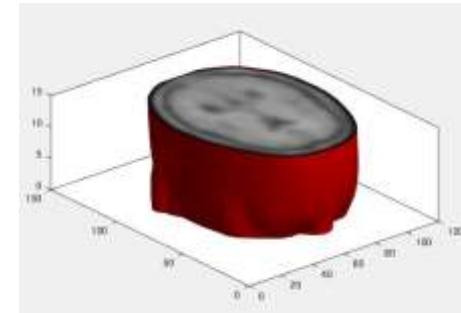
R2015a

```
I1 = imgaussfilt(I, [sigX sigY]); % 2次元のガウシアンフィルタ処理
I1 = imgaussfilt3(I, [sigX sigY sigZ]); % 3次元のガウシアンフィルタ処理
```

- 標準偏差を各次元方向に独立に設定可



元画像



3次元 ガウシアンフィルタ処理後

```
F = ones(3,3,3)/27 % 3x3x3 のフィルタ係数定義 (平均化フィルタ)
volAve = imfilter(D, F); % 任意の3次元フィルタの適用
```

```
[Gmag,Gazimuth,Gelevation] = imgradient3(I); % 3次元画像の勾配強度・方向
[Gx,Gy,Gz] = imgradientxyz(I); % 3次元画像の勾配
```

R2016a

```
filteredV = medfilt3(noisyV); % 3次元の中間値フィルタ
```

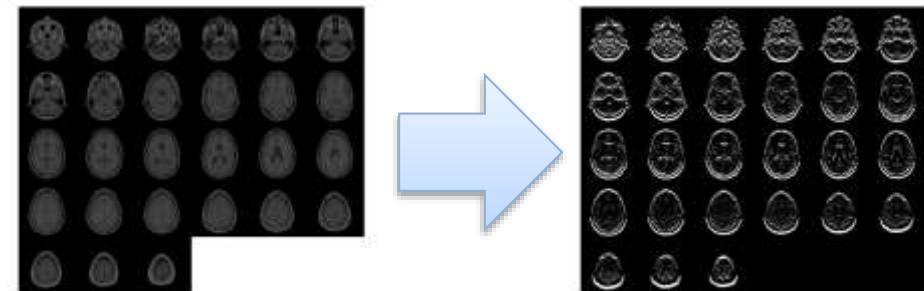
R2016b

2.7.2.2 その他のフィルター：3次元事前定義型フィルター R2018b

種類	説明
'average'	平均化フィルタ (非推奨、 imboxfilt3 がより高速)
'ellipsoid'	楕円平均フィルター
'gaussian'	ガウシアンローパスフィルター(非推奨、 imgaussfilt3 がより高速)
'laplacian'	ラプラシアンフィルター
'log'	ガウスのラプラシアンフィルター
'prewitt'	プレフィットエッジ強調フィルター
'sobel'	ソーベルエッジ強調フィルター



ellipsoid: 楕円平均フィルター



sobel: ソーベルエッジフィルター

```
H = fspecial3('ellipsoid',[7 7 3]);
volSmooth = imfilter(mristack,H,'replicate');
```

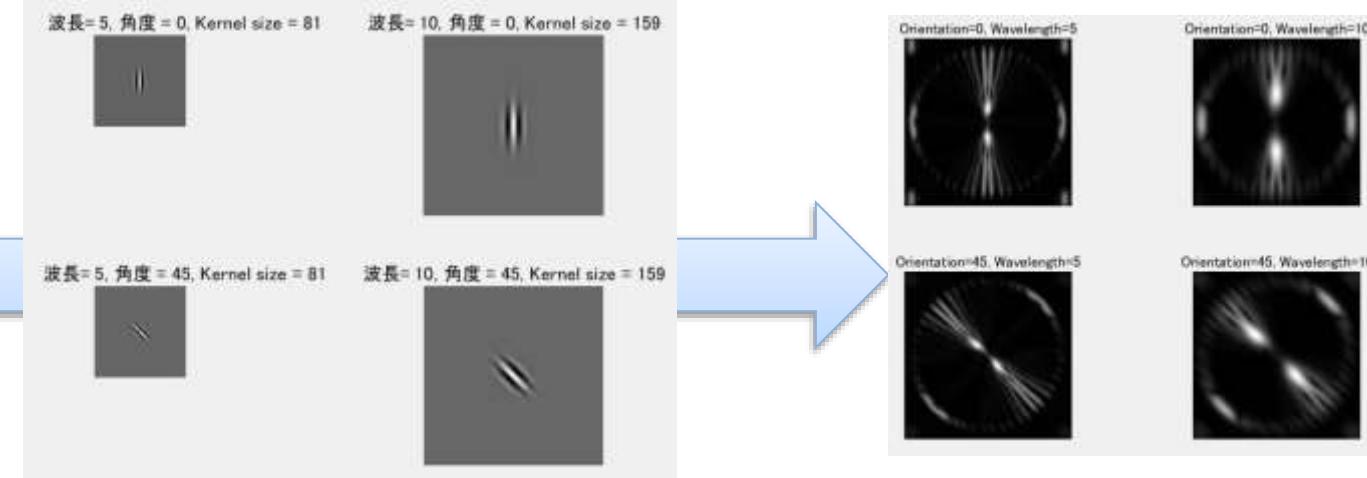
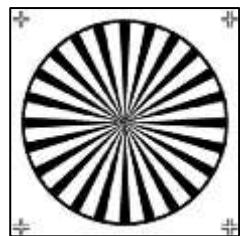
```
H = fspecial3('sobel','Y');
volSmooth = imfilter(mristack,H,'replicate');
```

2.7.2.3 その他のフィルター

ガボールフィルターバンク

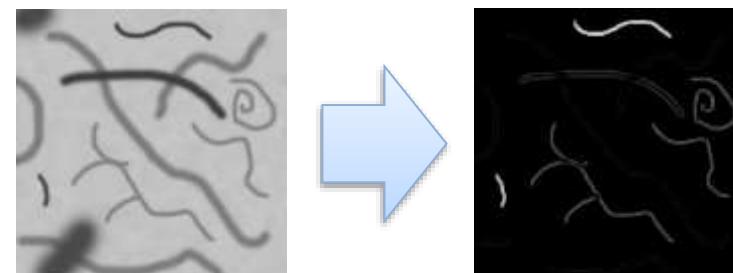
R2015b

対象画像



```
g1 = gabor(wavelength, orientation); % ガボールフィルタを生成
mag1 = imgaborfilt(G, g1); % 画像にガボールフィルタを適応
```

ヘッセ行列固有値に基づく線強調フィルタ R2017a



```
mask = fibermetric(G, 8, 'ObjectPolarity', 'dark', 'StructureSensitivity', 5);
```

2.7.2.4 その他のフィルター

- 異方性拡散フィルタ

```
Idiffusion = imdiffusefilt(I);
```

Smoothing Using Anisotropic Diffusion (Left) vs. Gaussian Blurring (Right)



ガウシアンフィルタと比較して、
エッジを保持した形でスムージング

- バイラテラルフィルタ

```
I = imread('cameraman.tif');  
patch = imcrop(I,[170, 35, 50 50]);  
patchVar = std2(patch)^2;  
DoS = 2*patchVar;  
J = imbilatfilt(I,DoS);
```

Degree of Smoothing: 51.9395



スムージング量をノイズの
分散の推定値を基に設定

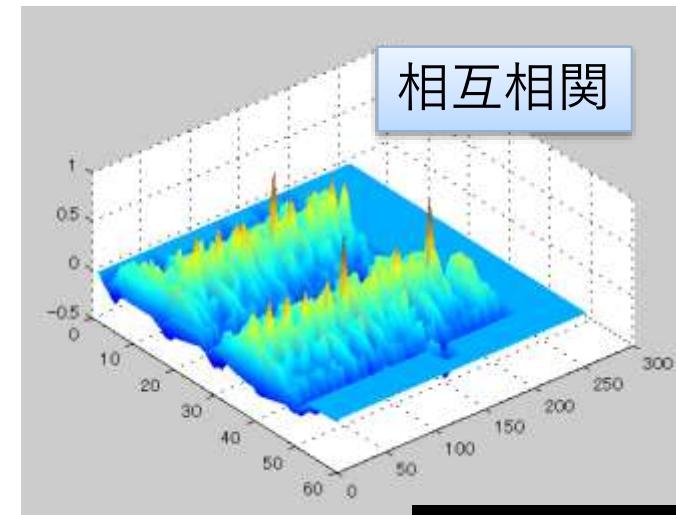
2.7.3 正規化された2次相互通関

テンプレート

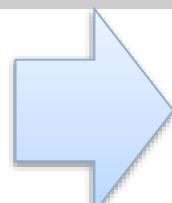


The term watershed
refers to a ridge that ...

```
corr = normxcorr2(tPlate, BW); % 正規化された2次元相互通関
```



テンプレートとの
相互通関を用い、'a' を検出

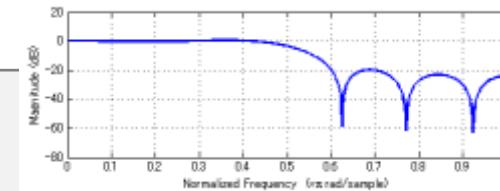


The term watershed
refers to a ridge that ...

2.7.4 1次元フィルタからの二次元フィルタ設計

Signal Processing Toolbox関数
による1次元フィルタ設計

```
N = 12; % フィルタ次数
Fpass = 0.5; % 通過帯域周波数
Fstop = 0.55; % 遮断帯域周波数
Wpass = 1; % 通過帯域重み
Wstop = 1; % 遮断帯域重み
b=firls(N,[0 Fpass Fstop 1],[1 1 0 0],[Wpass Wstop]);
freqz(b,1) % 1次元フィルタ周波数応答表示
```



FDAToolによる
1次元フィルタ設計

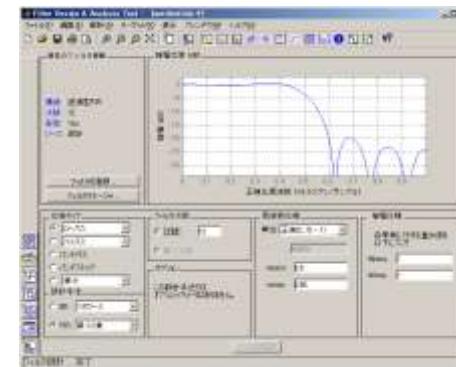
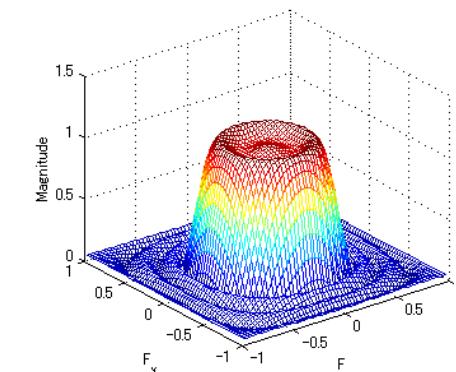


Image Processing Toolboxによる
1次元フィルタの2次元化

```
H2 = ftrans2(b); % 周波数変換法による2次元フィルタ設計
freqz2(H2) % 2次元フィルタ周波数応答表示

If = imfilter(I,H2); % 2次元フィルタ処理
```

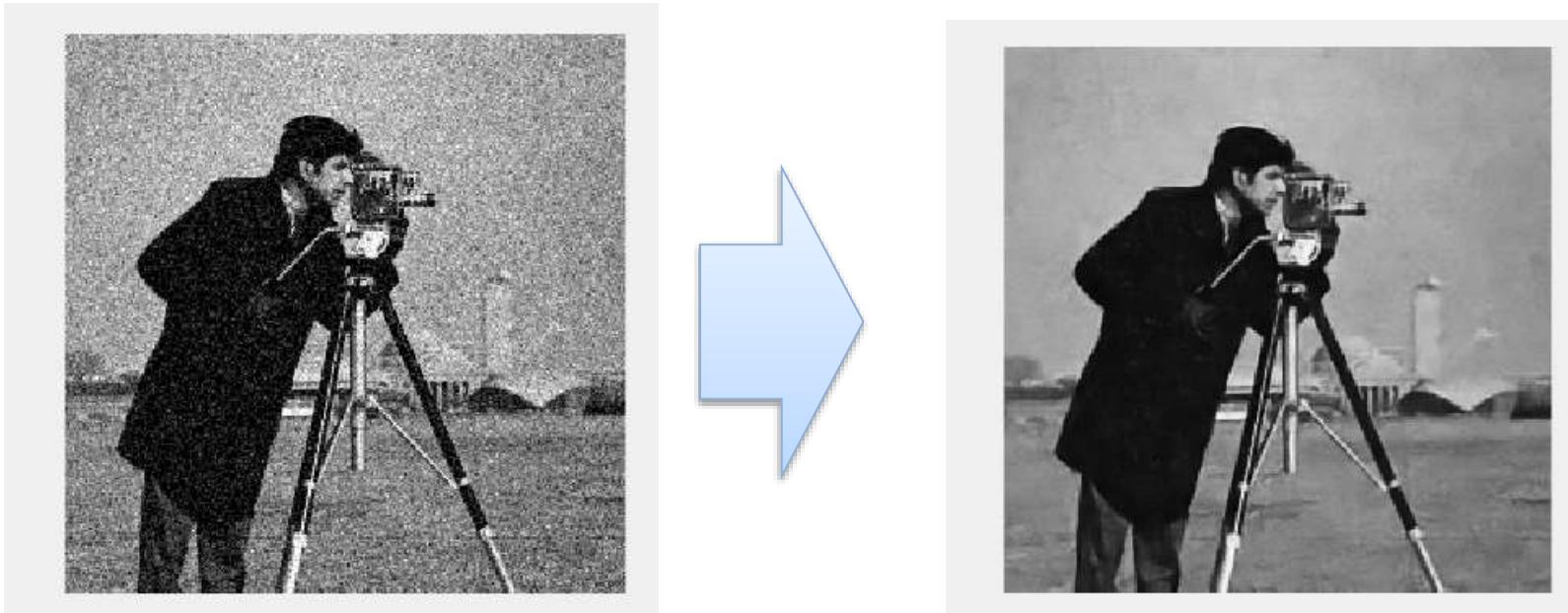


2次元フィルタ振幅応答

2.7.5 ディープラーニングベースのノイズ除去

R2017b

- ディープラーニングベースのノイズ除去(ガウシアンノイズ向け)
(要: Deep Learning Toolbox)



```
net = denoisingNetwork('DnCNN');  
denoisedI = denoiseImage(noisyI, net);
```

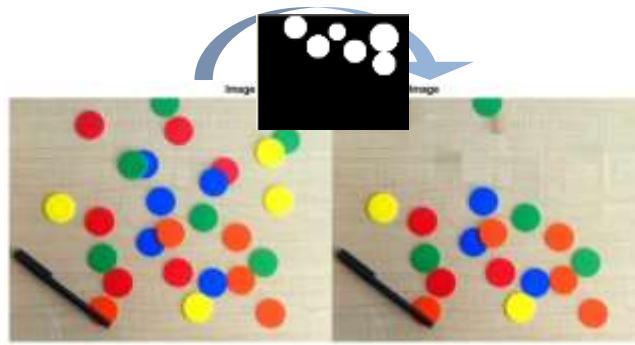
denoisingImageDatastoreによるガウスノイズの付加をサポート R2018a
72

2.7.6 画像の修復（インペインティング・不要物の除去）

R2019a

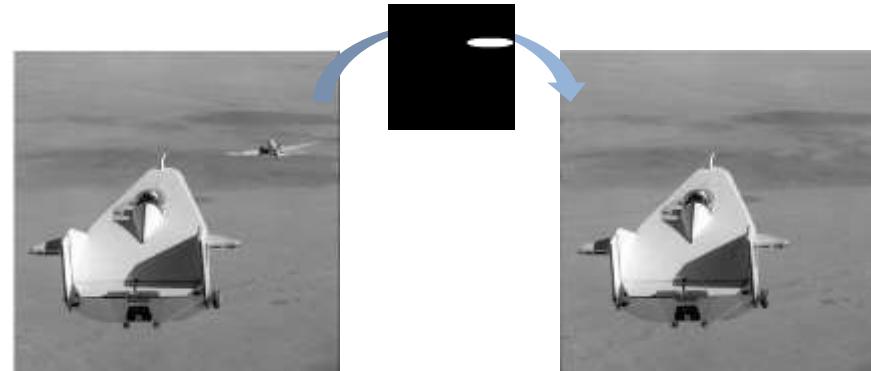
指定したマスク領域を修復する

コヒーレンストランスポートベースの画像修復を使用して特定の画像領域を復元



```
J = inpaintCoherent(I,mask,'SmoothingFactor',0.5,'Radius',1);
```

エグゼンプラーベースの画像修復を使用して特定の画像領域を復元



```
J = inpaintExemplar(I,mask);
```

R2019b

2.7.7 連射画像から高解像度画像生成(超解像)

R2019a

- 逆距離重み付け法を使用して
低解像度連射画像から高解像度画像を生成



2.8 モルフォロジー処理・ラベリング・物体の定量評価

モルフォロジー処理・ラベリング・定量評価用の関数

<code>bwmorph()</code>	二値画像のモルフォロジー演算 (2次元のみ)
<code>bwareaopen()</code>	二値画像からの小さなオブジェクトの削除
<code>bwareafilt()</code>	二値画像からの面積によるオブジェクト抽出
<code>bwpropfilt()</code>	二値画像からのプロパティーによるオブジェクト抽出
<code>imbothat()</code>	ボトム ハット フィルター処理 (クローズ画像 - 元画像)
<code>imclearborder()</code>	イメージ境界と連結している明るい構造体を削除にする
<code>imclose()</code> / <code>imopen()</code>	イメージのクローズ処理 (膨張 -> 収縮) / オープン処理 (収縮 -> 膨張)
<code>imdilate()</code> / <code>imerode()</code>	イメージの膨張/収縮
<code>imfill()</code>	イメージ領域と穴の塗りつぶし
<code>imtophat()</code>	トップ ハット フィルター処理 (元画像 - オープン画像)
<code>imreconstruct()</code>	モルフォロジー再構成 (2次元のみ)
<code>watershed()</code>	Watershed変換

<code>bwlabel()</code> 、 <code>bwlabeln()</code>	2値画像内の連結要素をラベル付け
<code>bwselect()</code>	バイナリ イメージのオブジェクトを選択 (2次元のみ)
<code>Bwconvhull()</code>	バイナリ イメージから凸包イメージの生成
<code>regionprops()</code>	各領域のプロパティ計測

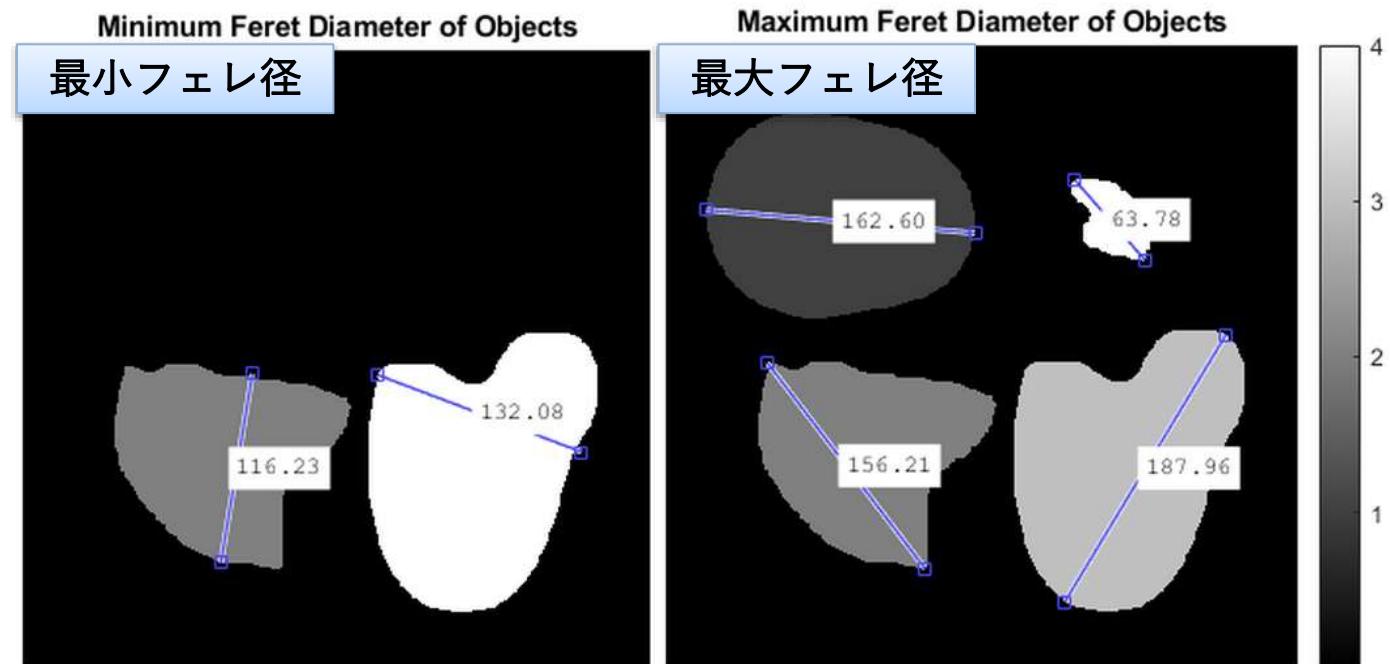
多くは、任意次元にも対応

⋮

2.8 モルフォロジー処理・ラベリング・物体の定量評価

R2019a

- **regionprops** の
プロパティとして
 - ‘Circularity’
 - ‘MinFeretProperties’
 - ‘MaxFeretProperties’
- **bwferet**
 - フェレ径計測用関数



円形度：真円に近いと1、遠いと0となるパラメータ

$$\text{Circularity} = 4\pi S/L^2$$

S : 領域の面積 L :外周

2.8.1 モルフォロジー処理・ラベリング・定量評価

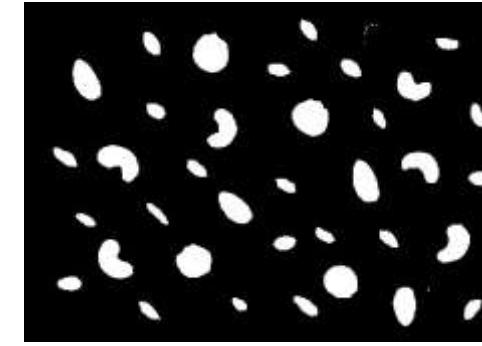
前処理としてモルフォロジー処理を行い、各領域の面積を求める



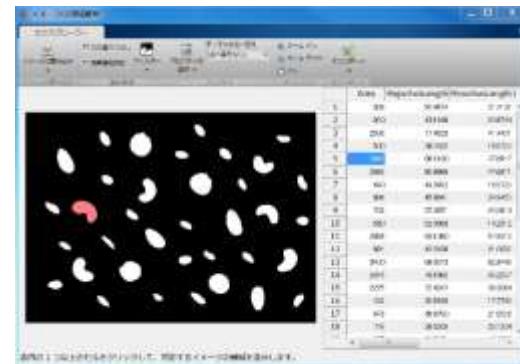
原画像



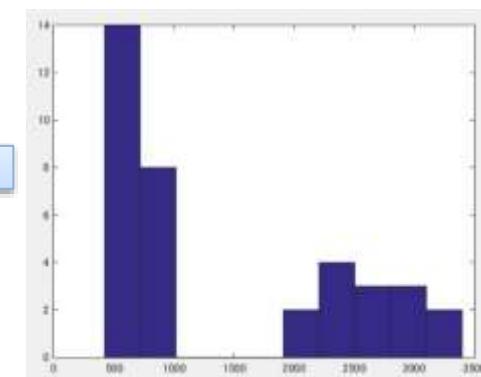
エッジ検出



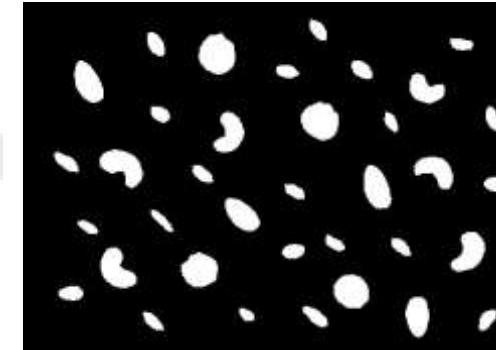
穴埋め



R2014b
領域解析アプリケーション



領域解析



ごみ除去



(面積・境界ボックス・重心・領域の平均輝度・周囲長・橿円の長軸/短軸 等)

2.8.2 関心領域 (ROI) の指定と操作

R2018b

関心領域(ROI)の指定と操作のためのオブジェクト

楕円、円、フリー手写、フリー手写(境界自動検出)、直線、点、ポリゴン、折れ線、四角形をサポート
インタラクティブな操作を柔軟に作成可能

imellipse



imfreehand

imline

impoint

impoly

imrect

R2018a 以前

```
imshow('peppers.png');
h = drawassisted;
```

drawellipse

drawcircle

drawfreehand
drawassisted

drawline

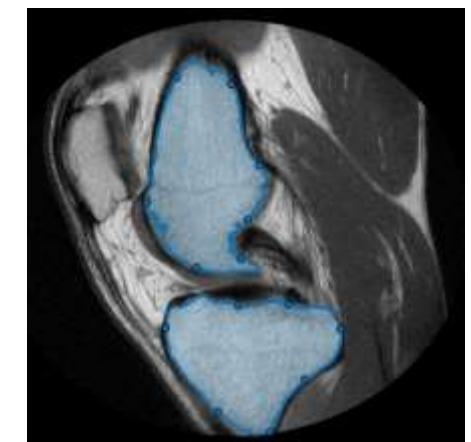
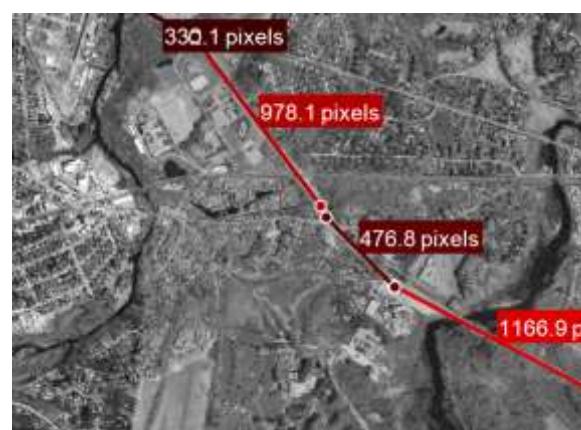
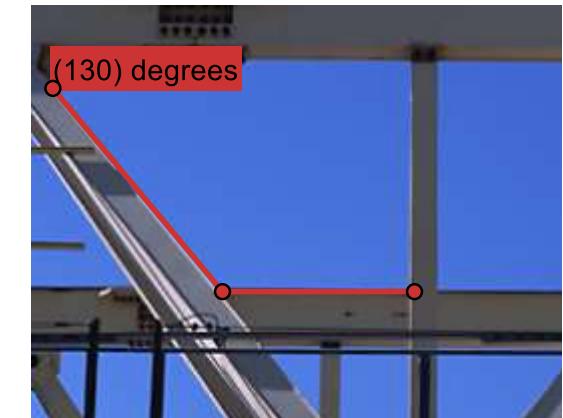
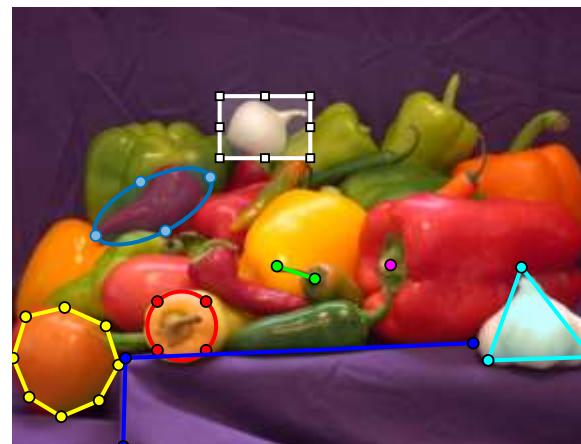
drawpoint

drawpolygon

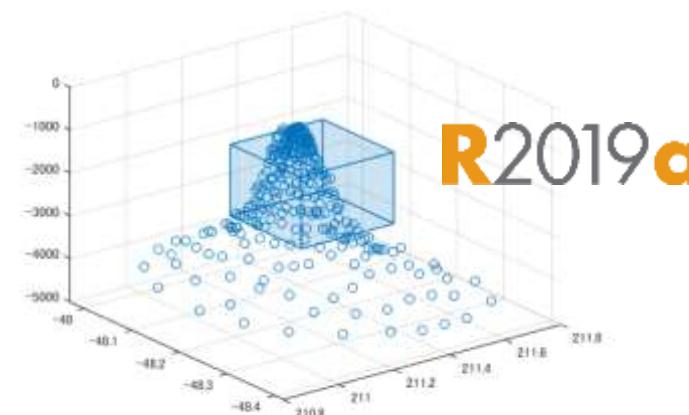
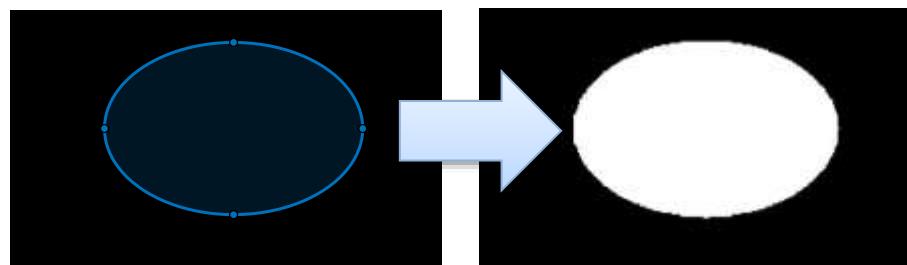
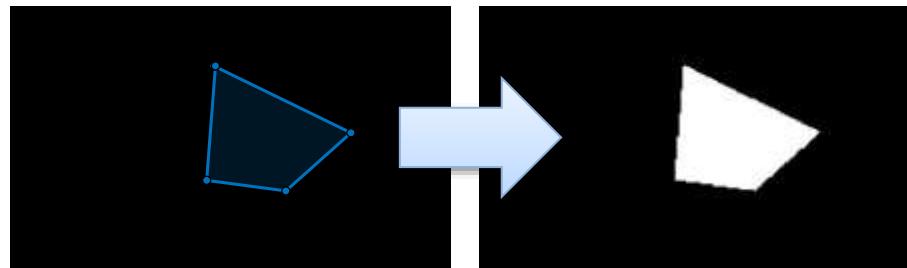
drawpolyline

drawrectangle

R2018b **R2019b**
drawcrosshair



2.8.2 関心領域 (ROI) の指定と操作



多角形のROIマスク(バイナリ画像)の指定

```
x = [116 194 157 112 117];
y = [ 34 72 105 99 34];
drawpolygon('Position',[x' y']);
BW = poly2mask(x, y, 150, 250);
```

生成するマスクの高さ

マスクの幅

楕円形のROIマスクの指定

生成するマスクのサイズ

```
img = false(150, 250);
figure; h_im = imshow(img);
e = drawellipse(gca, ...
    'Center', [130 70], ...
    'SemiAxes', [75 50]);
BW = createMask(e, h_im);
```

中心座標

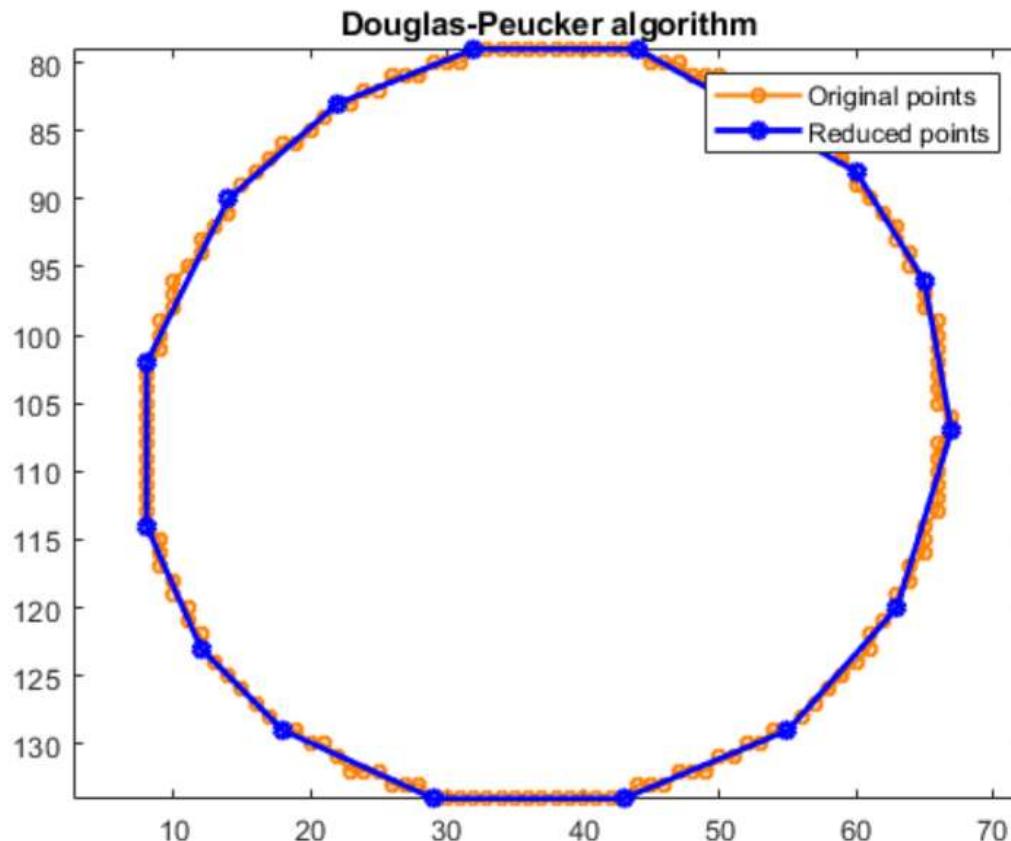
長軸短軸の長さ

3次元空間におけるROIの設定

面をドラッグ&ドロップして範囲を調整・回転も可能

```
load seamount
hScatter = scatter3(x,y,z)
drawcuboid(hScatter);
```

2.8.3 関心領域 (ROI) の指定と操作



ROI点の効率的な削減

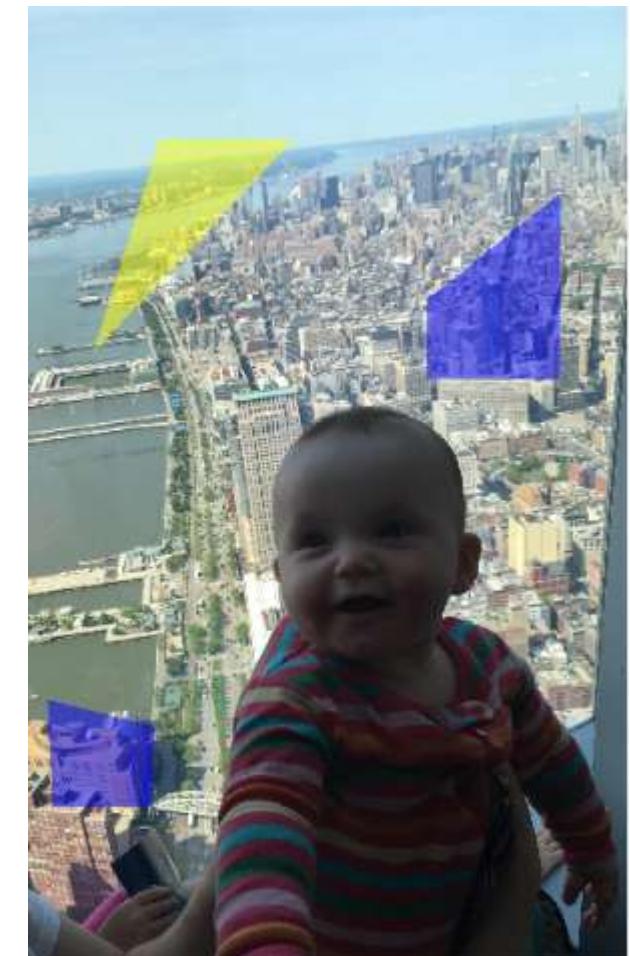
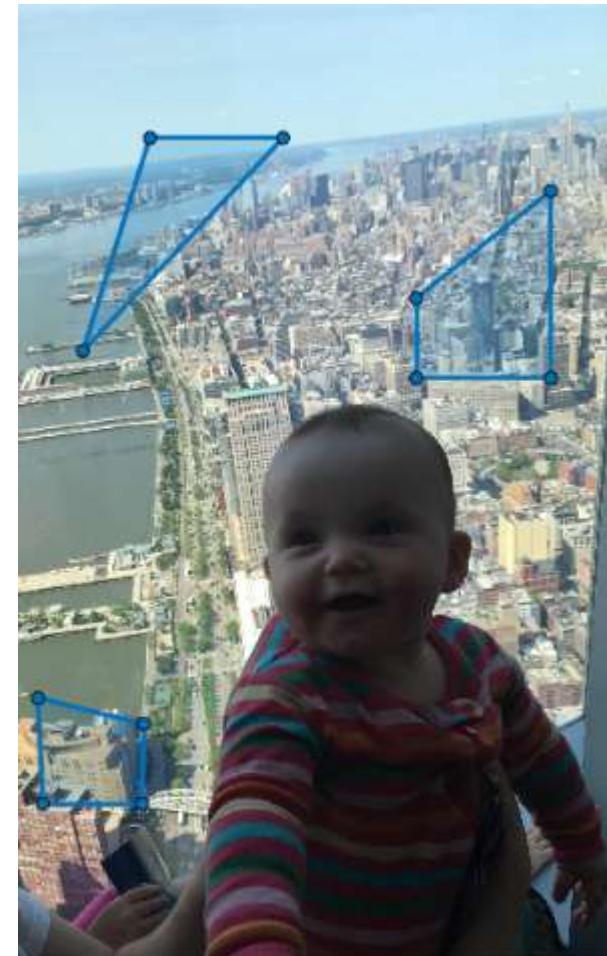
```
p = [boundary(:,2) boundary(:,1)]; % ROI境界座標  
tolerance = 0.02; %  
p_reduced = reducepoly(p, tolerance); % ROI点の削減
```

Douglas-Peuckerのアルゴリズムを使って、直線部分を削減。カーブ部分は保存。

2.8.4 関心領域（多角形ROI）のラベル画像化

ポリゴンを指定したIDでラベル画像化

```
L = poly2label(roiPositions,roiLabelID,imSize);
```



2.9 画像の解析 (エッジ・コーナー・オブジェクト検出、セグメンテーション)

画像解析用の関数

edge() エッジ検出 (ソーベル法、プレウィット法、キャニー法 等)

detectHarrisFeatures() コーナー検出 (ハリス)

detectMinEigenFeatures コーナー検出 (最小固有値法)

hough() ハフ変換

houghpeaks() ハフ変換のピークの特定

houghlines() ハフ変換に基づく線分の抽出

imfindcircles() 円のハフ変換を利用した円の検索

imgradient() イメージの勾配の大きさと方向

qtdecomp() 四分木分割

boundarymask() 全ての境界を前景とする2値画像を生成 (2値・ラベル画像) **R2016a**

bwperim() 2値画像内の全ての領域境界をトレース



⋮

2.9 画像の解析： 領域解析

領域解析用の関数

bwareafilt() 面積による2値画像からのオブジェクトの抽出 **R2014b**

bwpropfilt() 2値画像からプロパティを使用してオブジェクトを抽出 **R2014b**

bwselect() 2値画像内のオブジェクトを選択

mean2() 多次元配列の全要素の平均

⋮

2.9.1 エッジ検出・コーナー検出・円検出

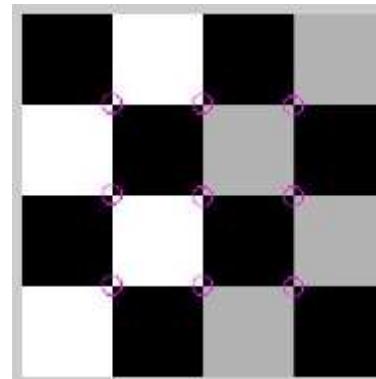


エッジ検出

```
BWsobel = edge(I, 'sobel') % ソーベル法
BWCanny = edge(I, 'canny') % キャニー法

Bwacanny = edge(I, 'approxcanny') % 高速キャニー法
```

R2016b

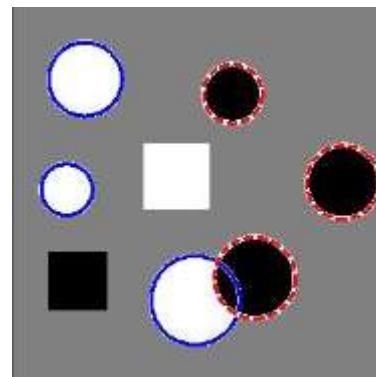


コーナー検出

```
C = detectHarrisFeatures(I) % Harrisコーナー検出器
```



```
C = detectMinEigenFeatures(I) % 最小固有値法
```



円検出

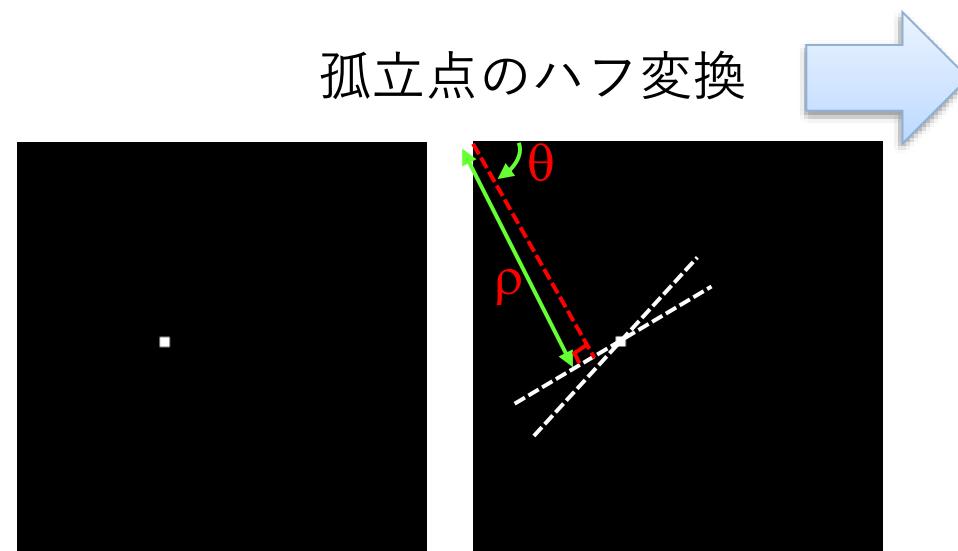
```
[cDark, rDark] = imfindcircles(G, [30 65], ...
    'ObjectPolarity', 'dark');
```

各円の中心座標

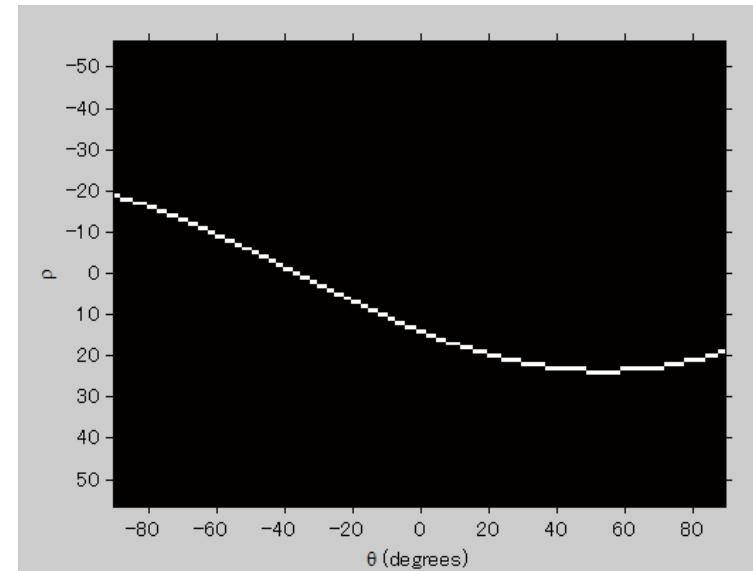
半径

背景より暗い円を検出

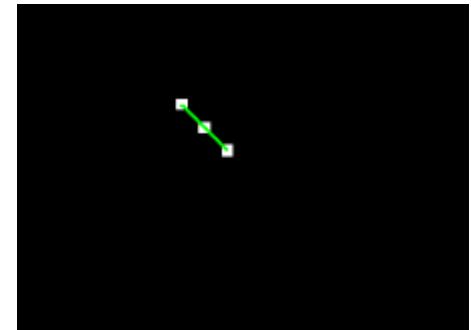
2.9.2 直線検出（ハフ変換）



点を通る直線の ρ と θ をプロット

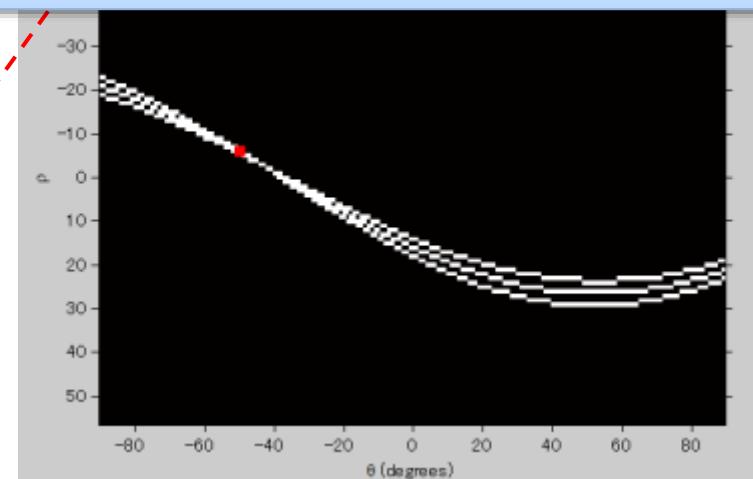


3つの点からなる直線のハフ変換

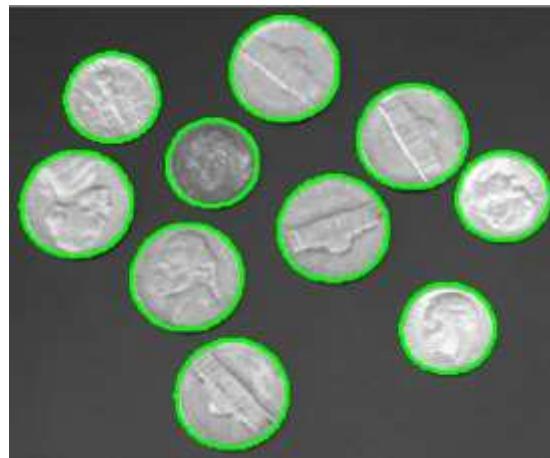


緑の線が、直線検出結果

ピーク(線の重なりが一番多いところ)



2.9.3 境界のトレース



画像内全領域の境界をトレース (bはマスク画像)

R2016a

```
b = boundarymask(BW); % 境界をマスクとして生成  
Ib = imoverlay(G, b, 'g'); % マスクを画像へ上書き
```

2値画像内全領域の境界をトレース (bはXY座標リスト)

R2015a

```
b = bwboundaries(BW, 'noholes');  
visboundaries(b, 'color', 'g'); % Fig上へ上書き
```



2値画像内の1つの領域境界をトレース

```
b = bwtraceboundary(BW, [row, col], 'N');
```

トレース開始の境界上座標点

2.9.4 セグメンテーション（領域分割）

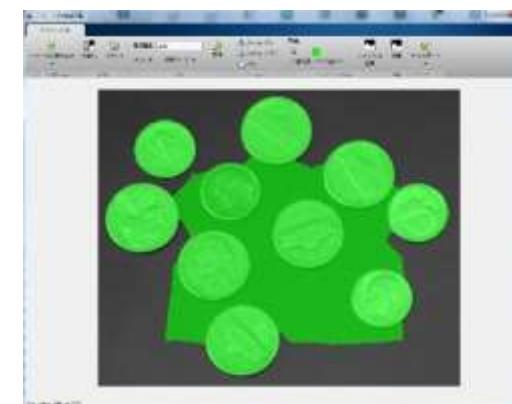
セグメンテーション（領域分割）用の関数

<code>activecontour()</code>	動的輪郭を使用したセグメンテーション	R2014b
<code>imsegfmm()</code>	高速マーチング法を用いたバイナリイメージのセグメンテーション	
<code>imseggeodesic()</code>	色の測地線距離ベースのセグメンテーション	R2015a
<code>grayconnected()</code>	シードピクセルに類似した輝度値によるセグメンテーション	R2015b
<code>colorThresholder()</code>	色の閾値アプリケーション	R2014a
<code>imageSegmenter()</code>	イメージの領域分割アプリケーション	R2014b
<code>superpixels()</code>	スーパーピクセルの生成	R2016a
<code>imsegkmeans()</code>	k-meansベースのセグメンテーション	R2018b

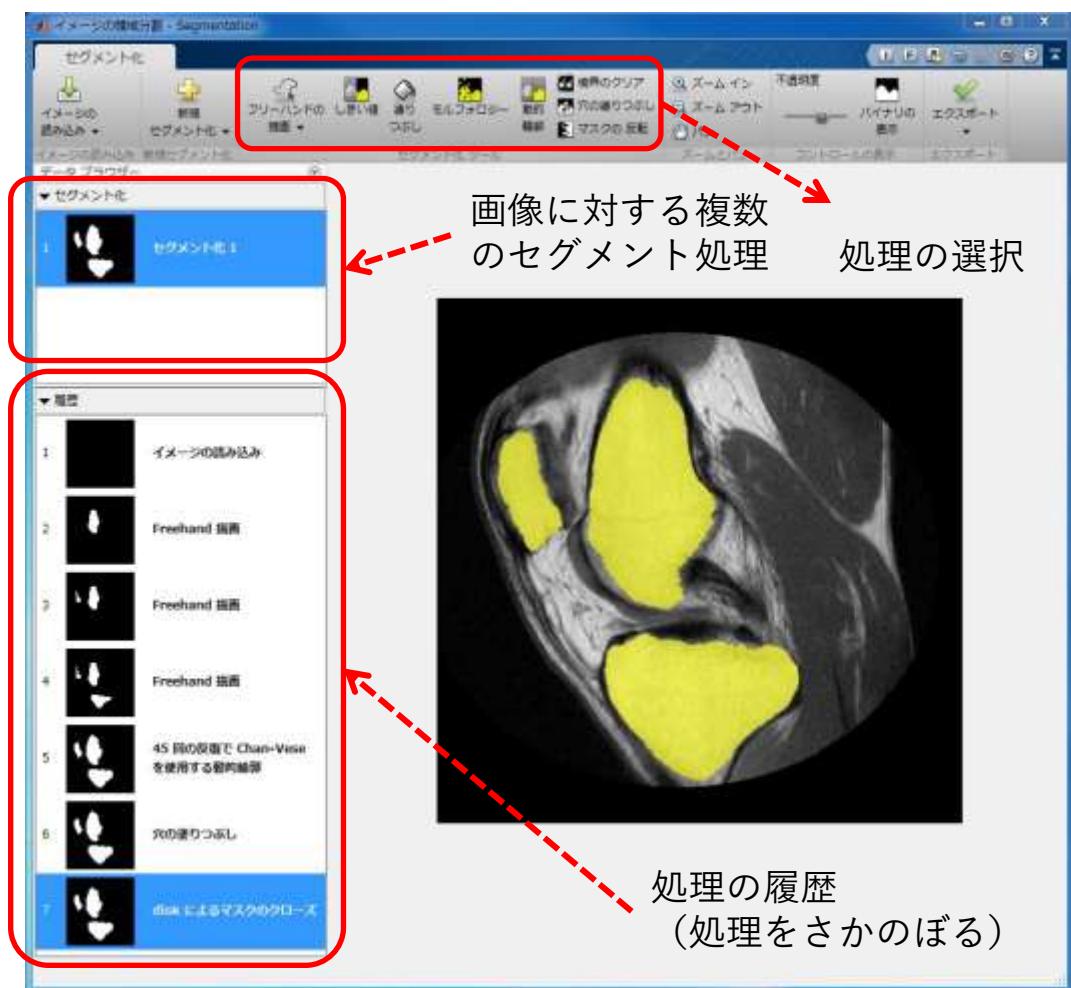
色の閾値 アプリケーション



イメージの領域分割 アプリケーション

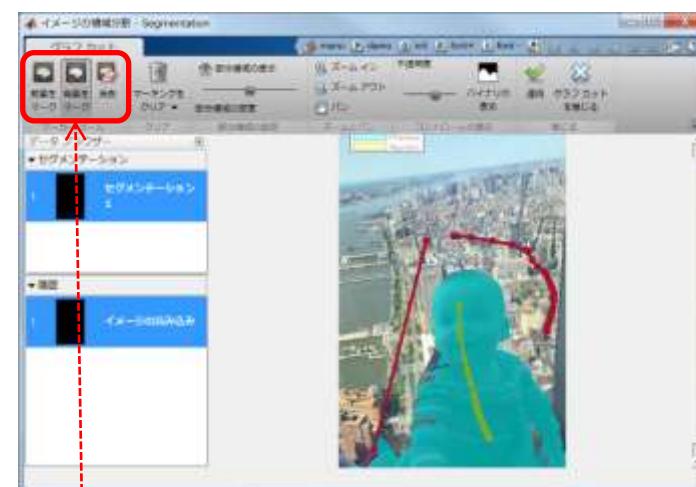


2.9.4.1 イメージの領域分割アプリケーション

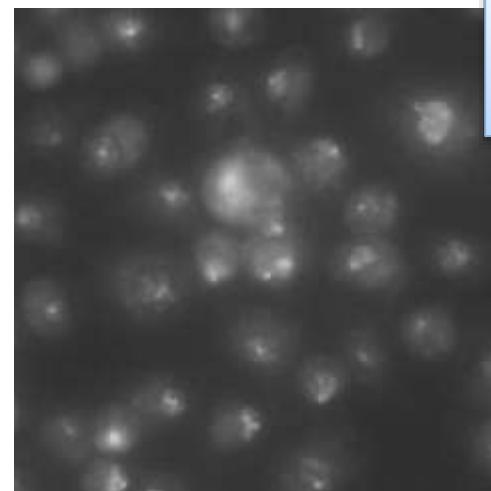


グラフカットに **R2017a**
対応

ローカルグラフカット **R2018a**
(grabcut)に対応



2.9.4.2 動的輪郭を用いたセグメンテーション

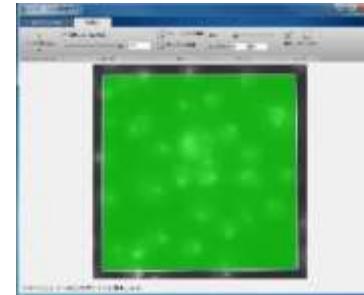


輪郭の不鮮明な物体の輪郭抽出・
セグメンテーション

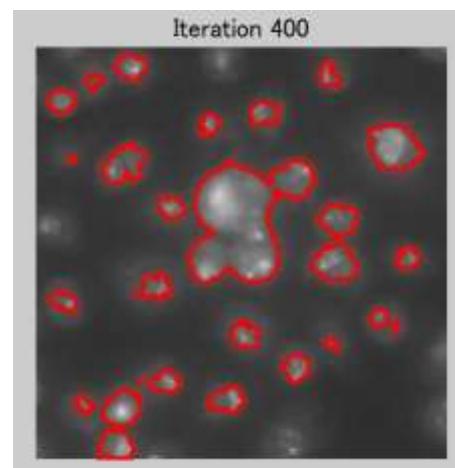
R2014b

イメージの領域分割 アプリケーション

`imageSegmenter (G)`



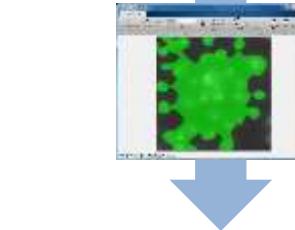
初期輪郭の指定



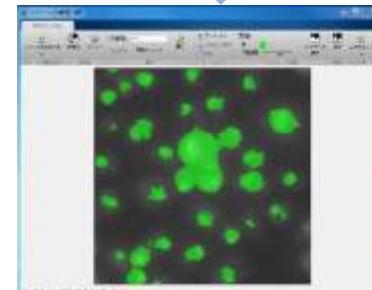
`BW = activecontour (G, mask, 400);`

初期輪郭

反復回数の上限

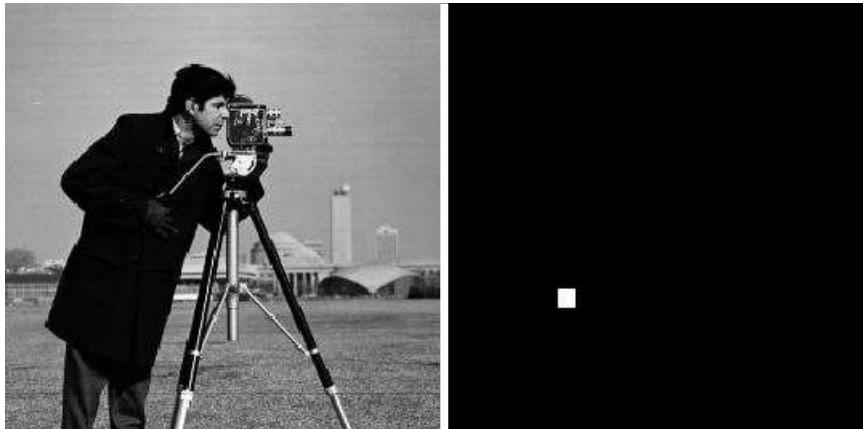


動的
輪郭モードを選択



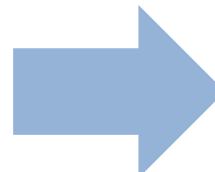
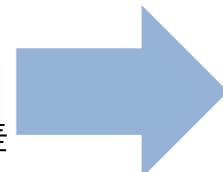
2.9.4.3 高速マーチング法を用いたセグメンテーション

mask (シード位置)



重み配列の計算

- 各ピクセル毎
- 勾配小で大きくなる
- もしくは
- 基準点との輝度絶対差

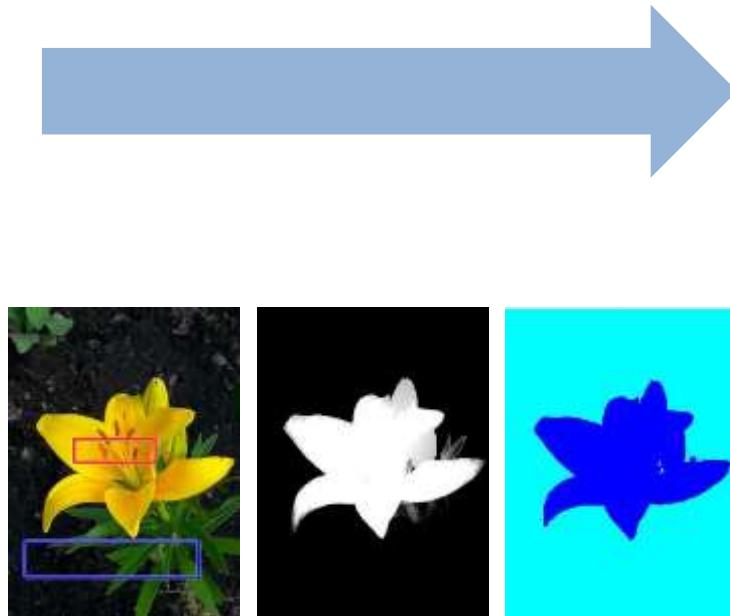


```
W = gradientweight(G, sigma);  
or W = graydiffweight(G, mask);
```

```
BW = imsegfmm(W, mask, thresh);
```

2.9.4.4 色の測地線距離ベースのセグメンテーション

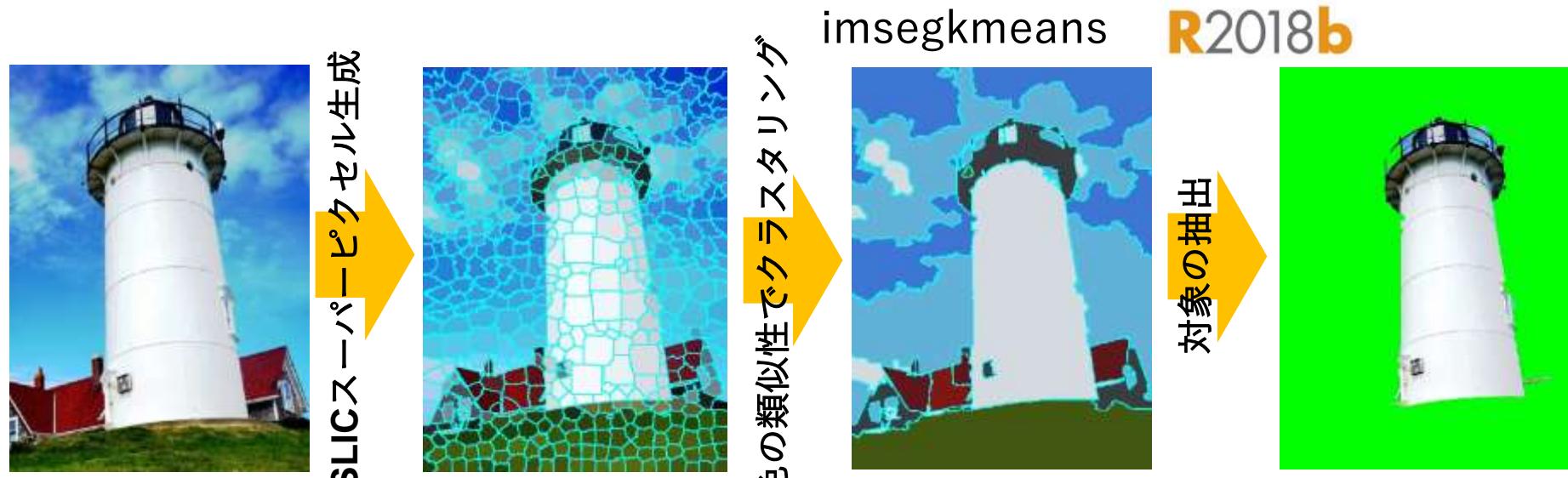
```
[L,P] = imseggeodesic(RGB,BW1,BW2);
```



2.9.4.5 スーパーピクセルを用いたセグメンテーションR2016a

スーパーピクセル：処理を、画素単位から、輝度や色が似ている領域単位にすることで処理の単純化・処理量の軽減

R2016b
(3次元対応)



```
[Ls, N] = superpixels(I, 600); % ~600個のスーパーピクセルを生成 (ラベル画像)
Bmask = boundarymask(Ls); % ラベル境界をトレース (2値画像)
I1 = imoverlay(I, Bmask, 'cyan'); % 画像中に、2値画像を指定色で上書き
```

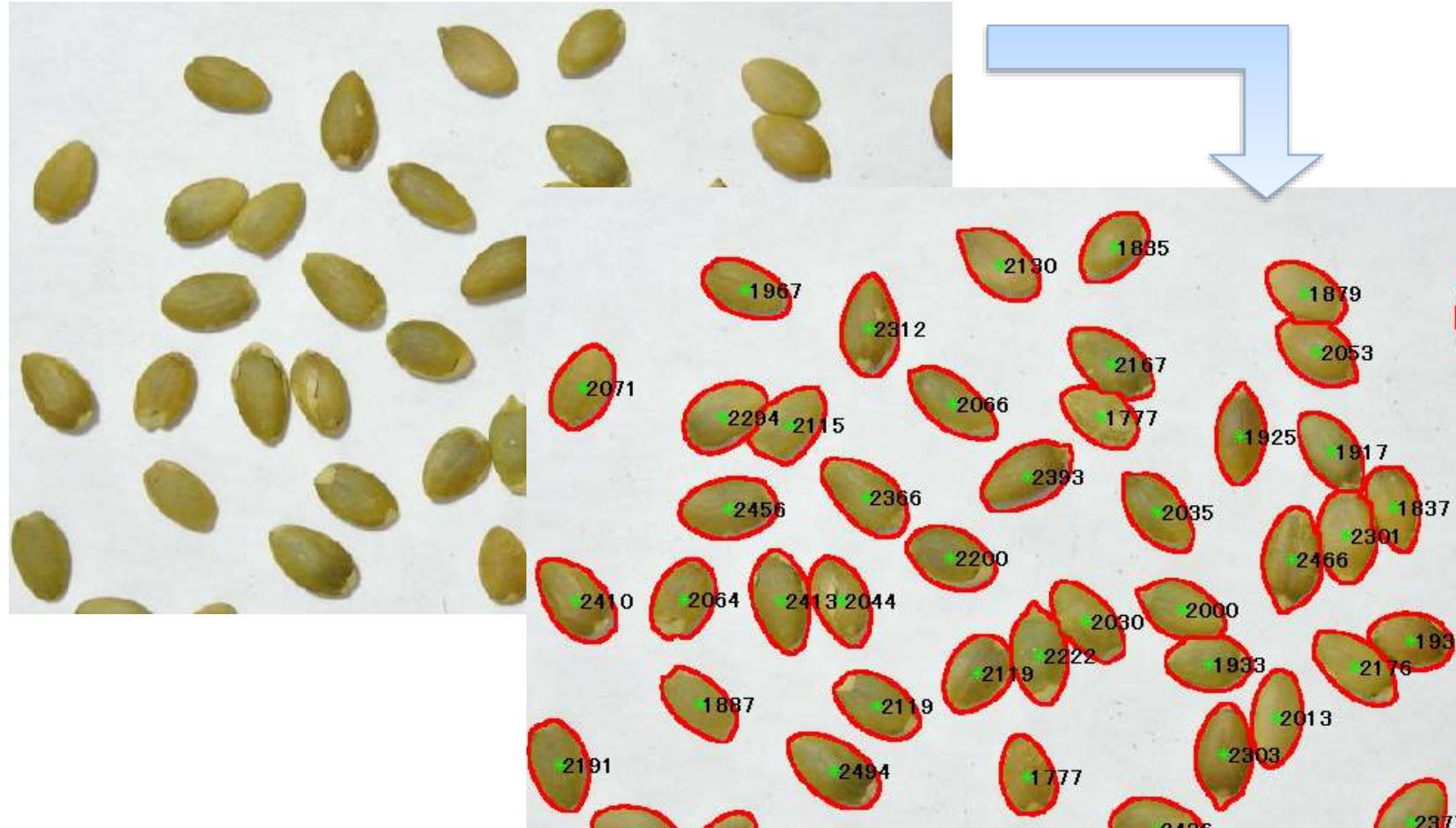
SLIC (simple linear iterative clustering) スーパーピクセル



各画素と、周囲のスーパーピクセル中心の
"色差 + 距離" を計算し
一番近いスーパーピクセルへ割当て
=> スーパーピクセル中心を再計算し、
各画素の再割当 (繰り返し)

2.9.4.6 モルフォロジー処理を用いたセグメンテーション例： - 粒子が接触している場合

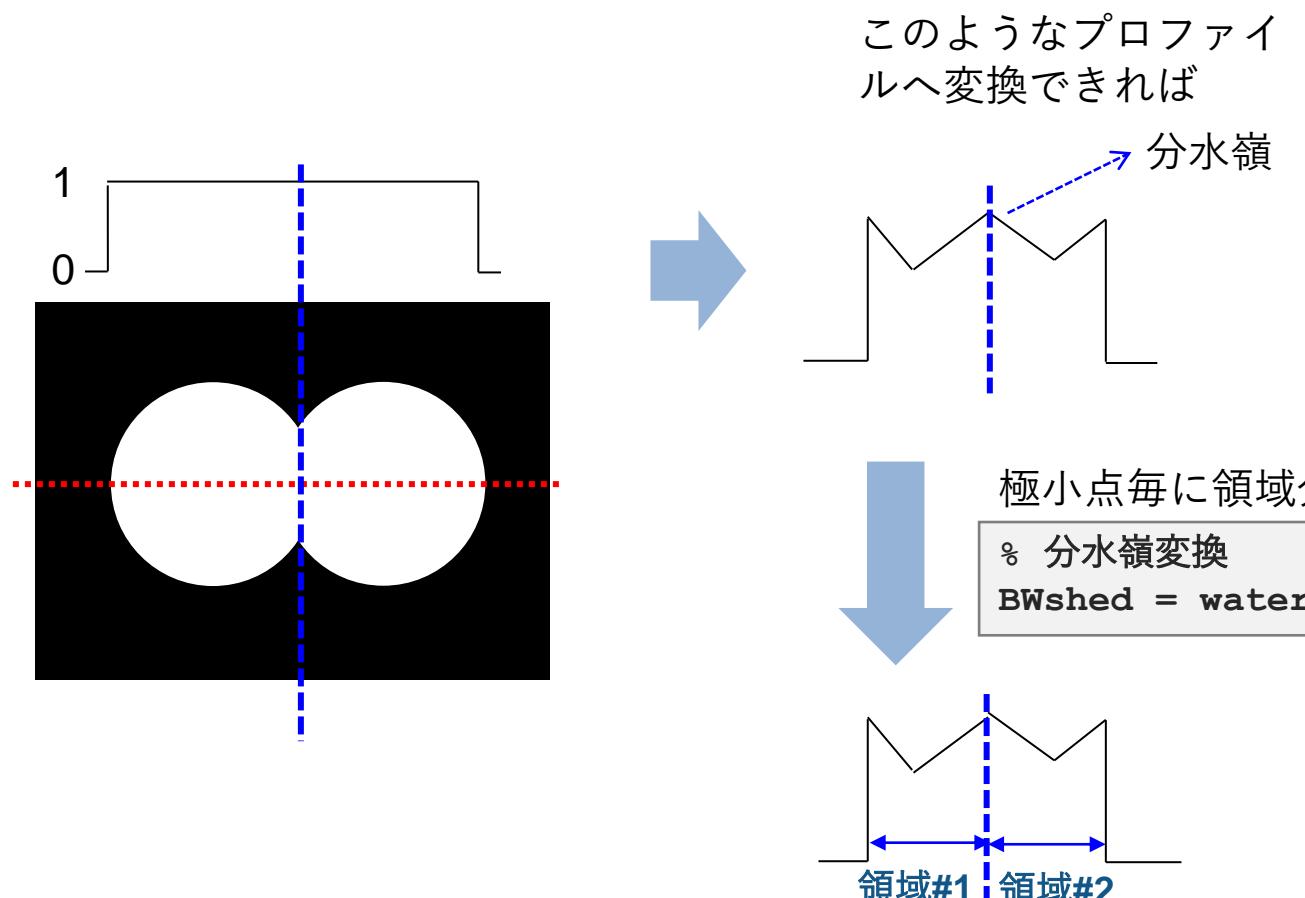
MATLABによる処理結果



くっついていても別々と認識し、各粒の輪郭を囲む・中心点と面積を表示

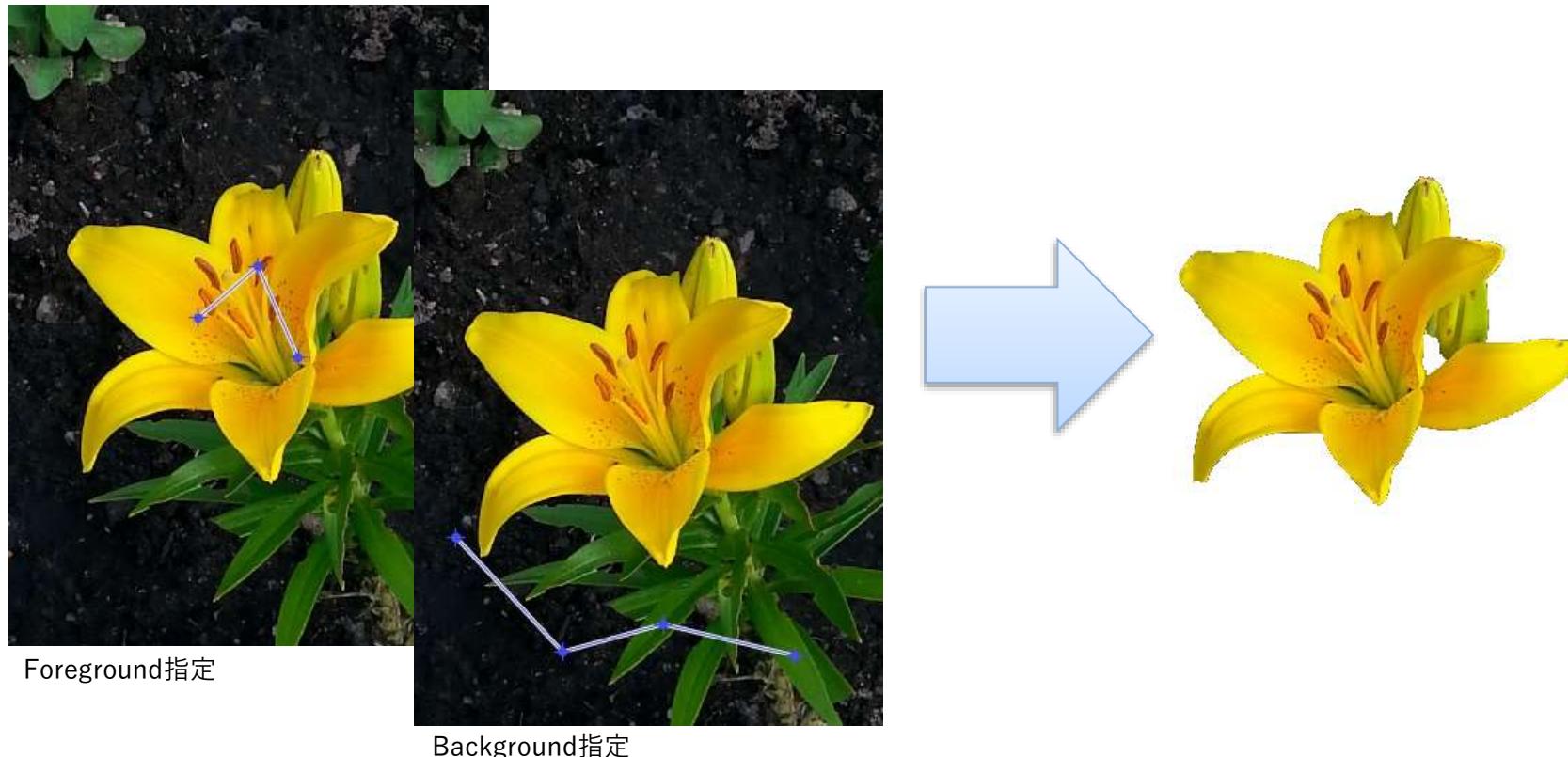
2.9.4.6 モルフォロジー処理を用いたセグメンテーション例： - 粒子が接触している場合

watershed (分水嶺) セグメンテーションによる領域分離



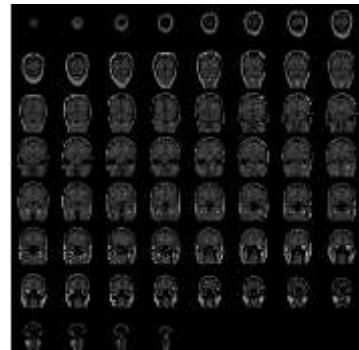
2.9.4.7 グラフベースのセグメンテーション

R2017a

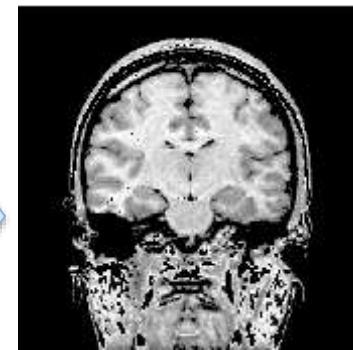


```
BW = lazysnapping(RGB, L, foregroundInd, backgroundInd);  
maskedImage = RGB;  
maskedImage(repmat(~BW,[1 1 3])) = 255;
```

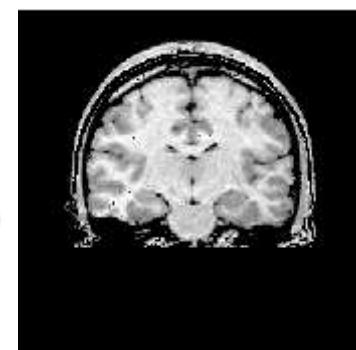
2.9.4.8 3次元画像処理



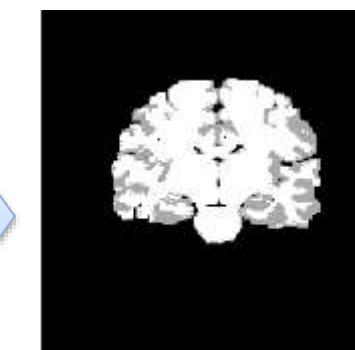
NIfTI読み込み
niftiread



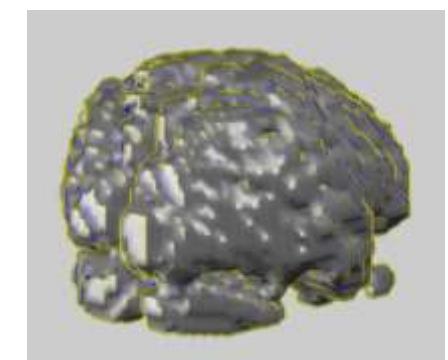
輝度値ベースの
ノイズ除去



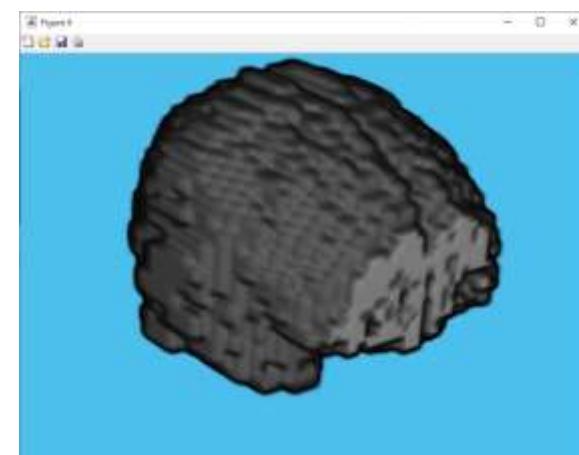
脳下部分離



モルフォロジー処理
&面積による脳抽出
(**imopen**, **regionprops**)



3次元画像の構築
容積計算 **R2017b**
regionprops3



ボリュームデータの可視化
volshow

2.9.4.8 3次元画像処理

3次元画像の幾何学変換・2値化・セグメンテーション・定量評価

<code>imresize3()</code>	リサイズ	R2017a
<code>imrotate3()</code>	回転	R2017a
<code>activecontour()</code>	動的輪郭を使用したセグメンテーション	R2017a
<code>edge3()</code>	エッジ検出	R2017b
<code>bwselect3()</code>	3次元バイナリ画像の選択	R2017b
<code>regionprops3</code>	定量評価	R2017b
<code>imadjustn</code>	画像の調整	R2017b
<code>imbinarize</code>	2値化	R2017b
<code>adaptthresh</code>	適応しきい値	R2017b
<code>bwmorph3</code>	モルフォロジー	R2018a
<code>bwskel</code>	スケルトン化	R2018a
<code>imsegkmeans3</code>	k-meansクラスタリング	R2018b



2.10 イメージ変換・近傍処理

イメージ変換用の関数

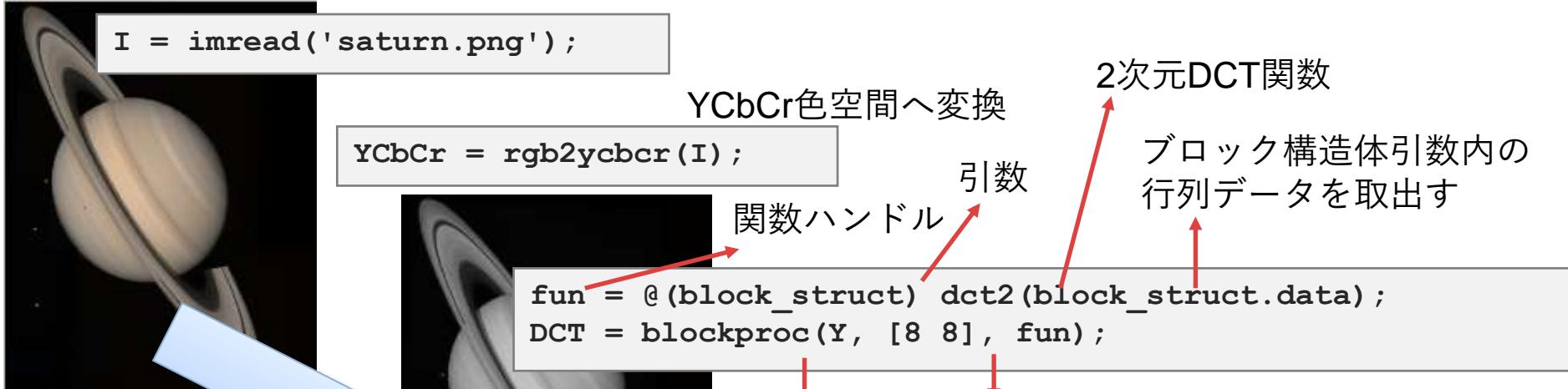
<code>dct2()</code>	2次元の離散コサイン変換	
<code>idct2()</code>	2次元の逆離散コサイン変換	
<code>fft2()</code>	2次元の高速フーリエ変換	(MATLAB基本関数)
<code>fftshift()</code>	DC成分をスペクトルの中心へ移動	(MATLAB基本関数)
<code>ifft2()</code>	2次元の逆高速フーリエ変換	(MATLAB基本関数)
<code>radon()</code>	ラドン変換	
<code>bwdist()</code>	2値画像の距離変換（最も近いTrue画素までの距離）	
<code>bwdistgeodesic()</code>	2値画像の測地線距離変換 （各True画素からシード画素まで、False画素を通らない最短距離）	
⋮		

近傍処理用の関数

<code>blockproc()</code>	イメージの個別ブロック処理
<code>nlfiltter()</code>	一般的なスライディング近傍演算
<code>colfilt()</code>	列方向の近傍演算
⋮	

2.10.1 ブロック処理例：DCT（離散コサイン変換）符号化

原画像 (RGB)



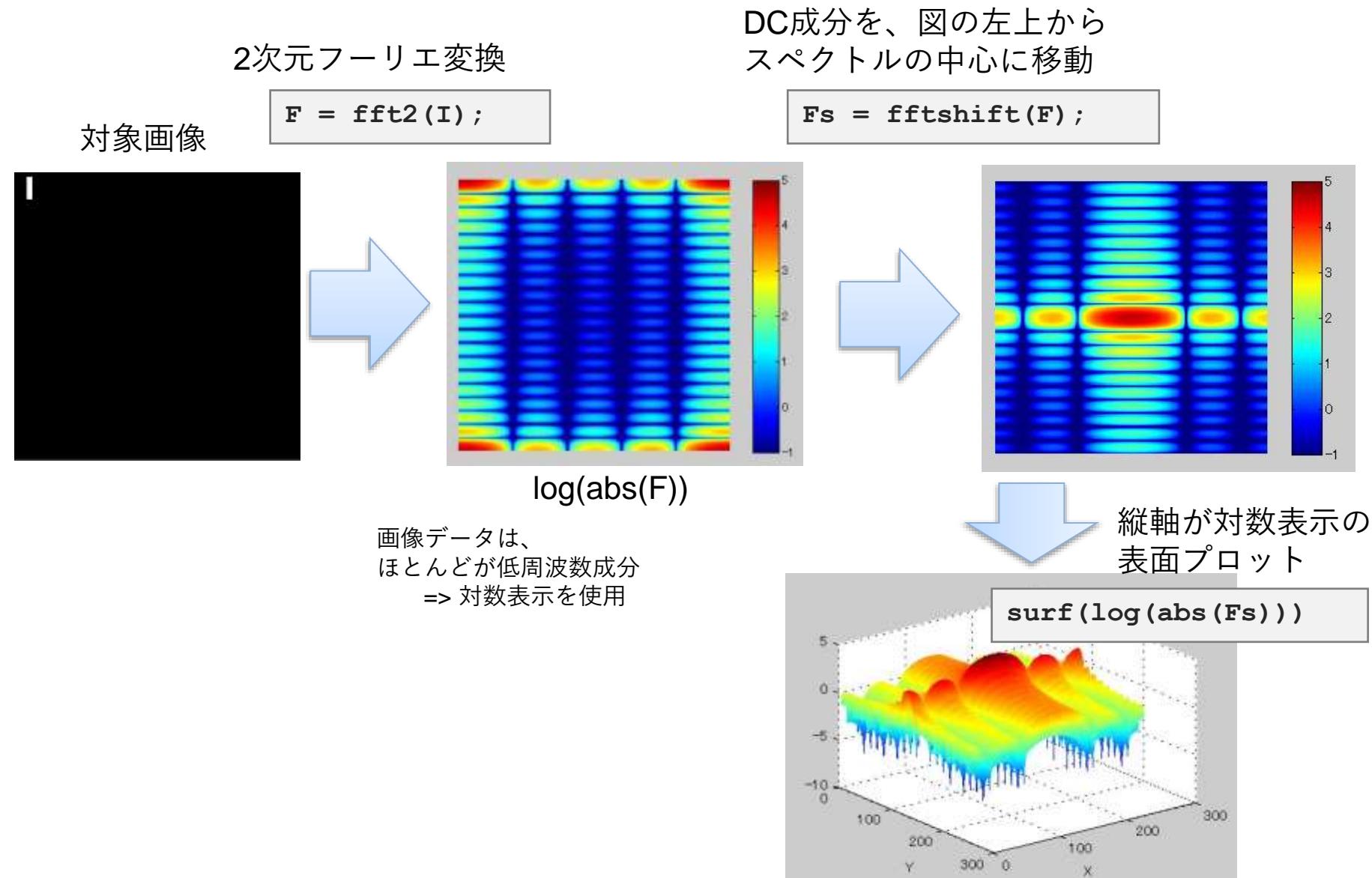
輝度・色差信号画像(YCbCr)

blockproc()は、ブロック毎に直接ファイル入出力可能
→大規模画像時の使用メモリ削減に有用

2次元DCT変換後の画像表示

```
imtool(log(abs(DCT))+1, []);
```

2.10.2a 2次元高速フーリエ変換 (ML基本関数)

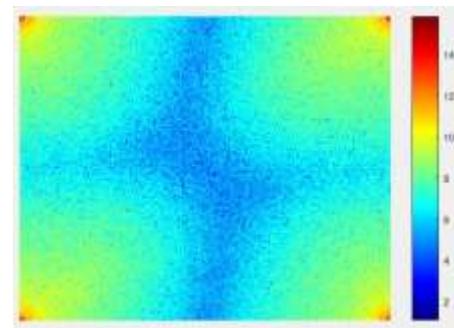


2.10.2b 位相画像

2次元フーリエ変換

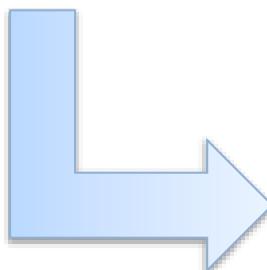
対象画像

```
F = fft2(G);
```

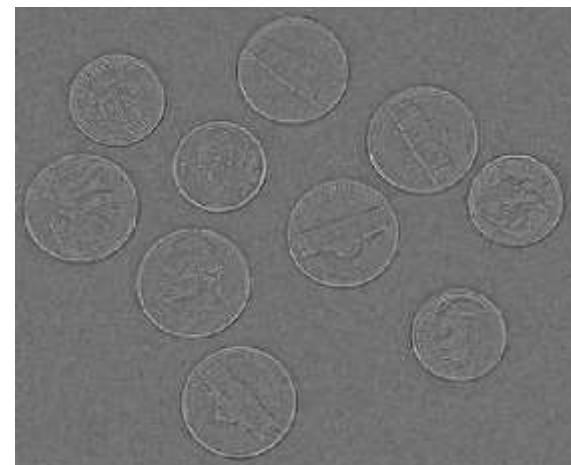


log(abs(F))

位相画像



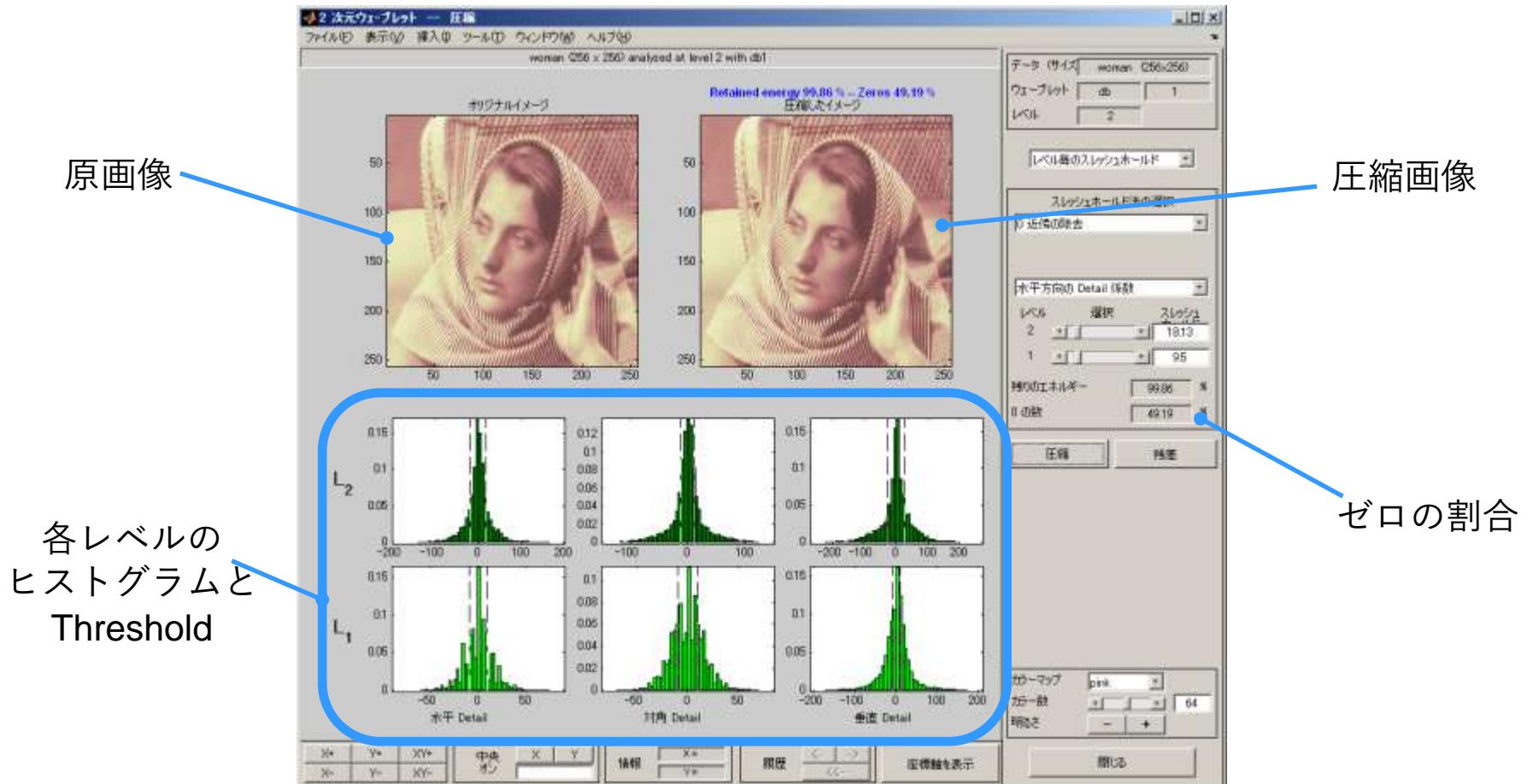
```
Fn = F ./ abs(F); % 各成分値を振幅で正規化  
Gr = ifft2(Fn); % 逆フーリエ変換
```



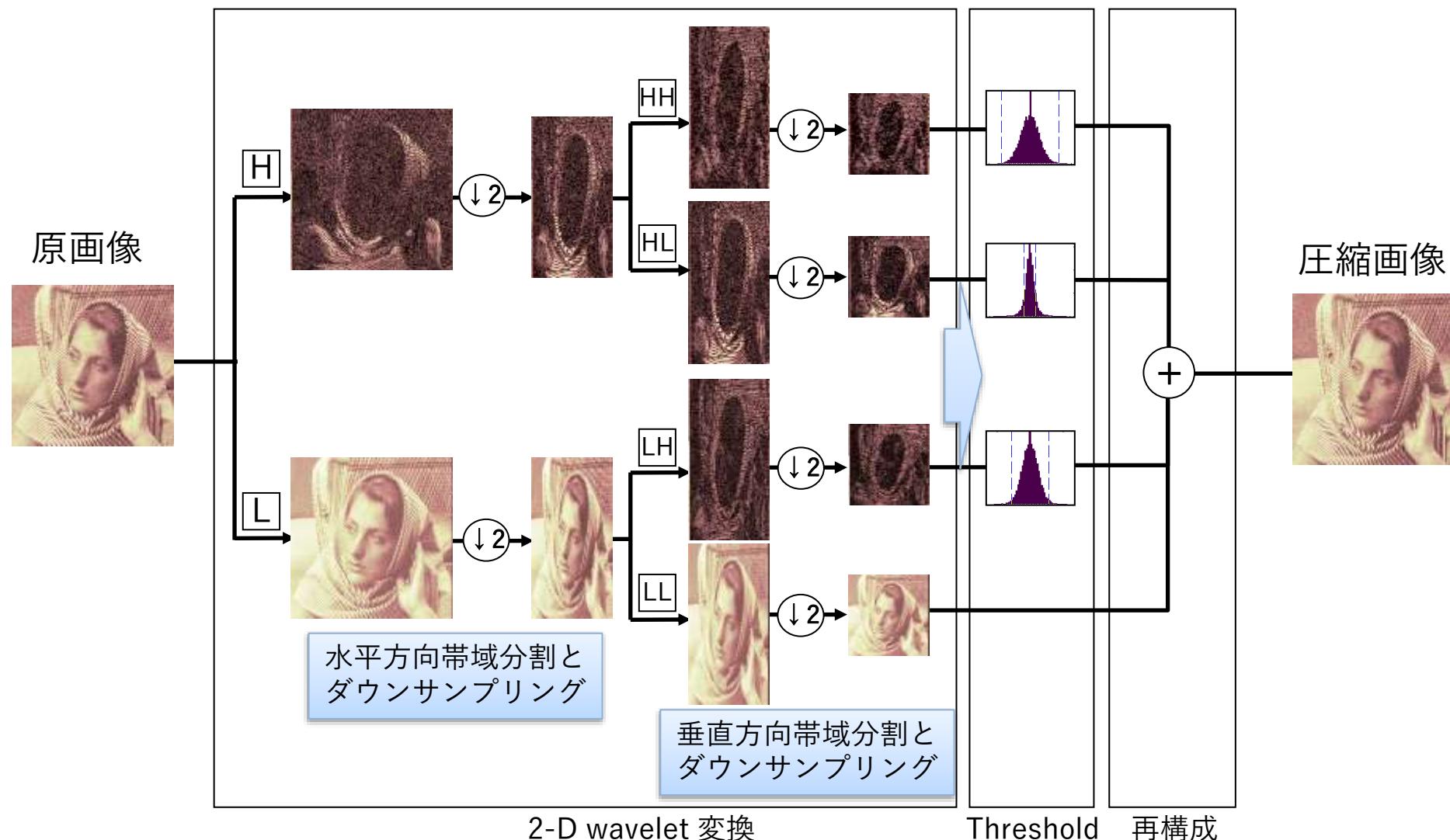
2.10.3 2次元Wavelet変換による圧縮

Wavelet Toolbox

```
wavemenu % Wavelet Toolbox メニューの起動  
ファイル -> 例 もしくは イメージの読み込み
```



2.10.3 2次元Wavelet変換による圧縮例



2.11 テクスチャ解析

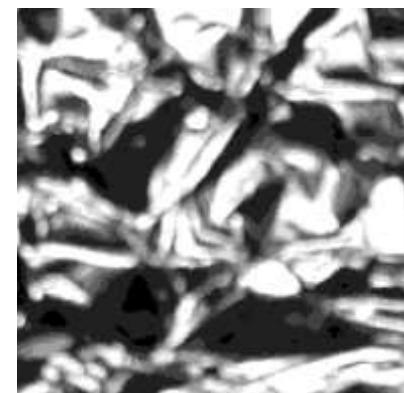
テクスチャ解析用の関数

<code>entropy()</code>	グレースケール イメージのエントロピーを計算
<code>stdfilt()</code>	イメージの局所的な標準偏差を計算
<code>graycomatrix()</code>	イメージからグレーレベルの同時生起行列を作成
⋮	

同時生起行列

(GLCM: Gray Level Co-occurrence Matrix)

例)



画素の値として1~8を持つ
グレースケール画像

(隣り合う画素の明るさの関係
テクスチャの違いの表現に適している)

GLCM

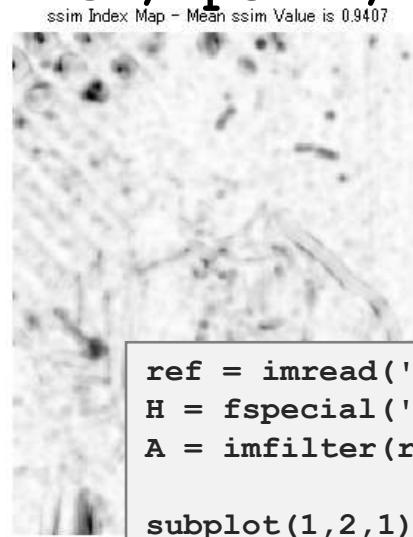
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	2	0	0	1	0	0	0
2	0	0	1	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0
5	1	0	0	0	0	1	2	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1
7	2	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	1	0	0	0

水平方向に隣接する
画素値が1-2の組が2つ

2.12 画質の定量評価

ssim / multissim / multissim3 / psnr / immse

R2014a
R2014b
R2020a



2枚の画像の構造的類似性を算出

```
ref = imread('pout.tif');
H = fspecial('Gaussian',[11 11],1.5);
A = imfilter(ref,H,'replicate');

subplot(1,2,1); imshow(ref); title('Reference Image');
subplot(1,2,2); imshow(A); title('Blurred Image');

%Structural Similarity Index
[ssimval, ssimmap] = ssim(A,ref);
[msssimval, msssimmap] = multissim(A,ref);
```



```
err = immse(B, ref);
fprintf('\n The mean-squared error is %0.4f\n', err);

The mean-squared error is 348.6405
```

```
B = imnoise(ref, 'salt & pepper', 0.02);
figure, imshow(B);
```

dlarray型に対応
ディープラーニングでも使える!

- psnr
- multissim
- multissim3

R2021a

2.13 画像の一括（バッチ）処理

同一の処理を、多くの画像に適応

イメージのバッチ処理アプリケーション
 >> imageBatchProcessor

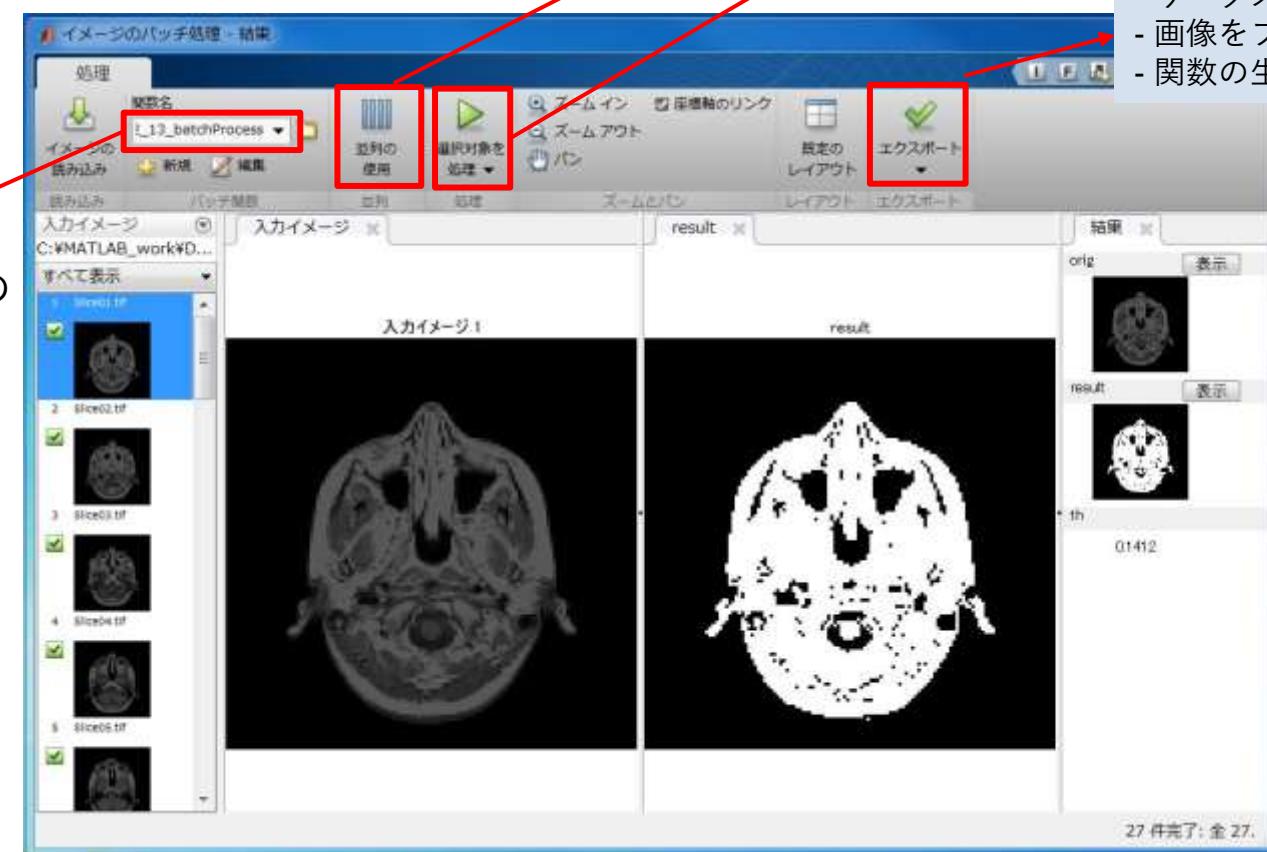
R2015a
 R2016a

並列処理
 (Parallel
 Computing
 Toolbox必要)

選択対象を処理
 もしくは
 全ての画像を処理

- ワークスペースへエクスポート
- 画像をファイルへエクスポート
- 関数の生成

適用する処理の
 関数名



2.14 画像品質の評価・解析

R2017b



brisque (I) R2017b

BRISQUE score is
20.6586.

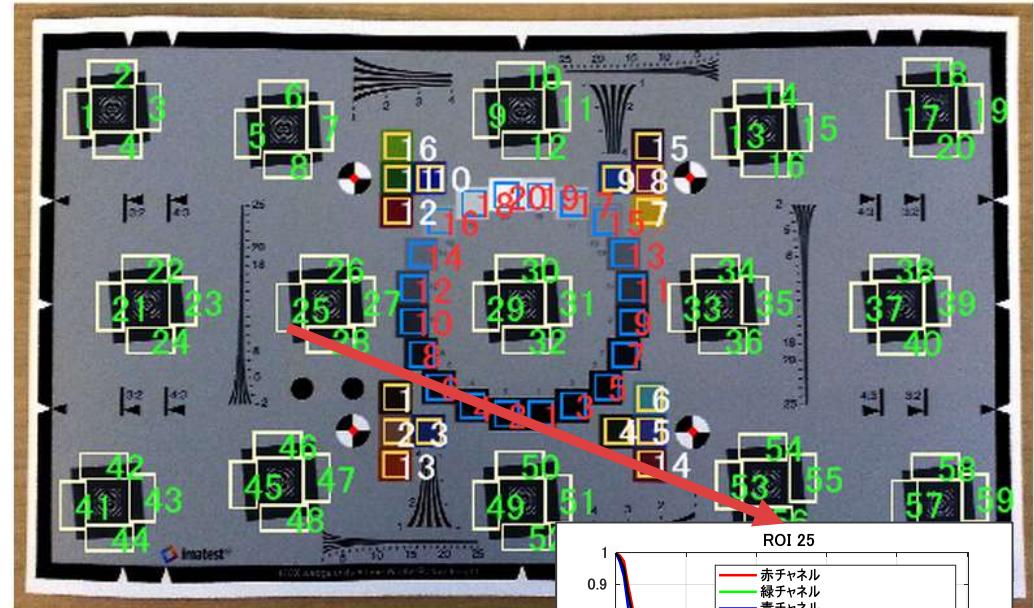
52.6074

47.7553

BRISQUE
= Blind/Referenceless Image Spatial Quality Evaluator
画像単体で画質を評価する手法

piqe R2018b

Perception based Image Quality Evaluator
画像単体で画質を評価する手法



esfrChart R2017b

Imatest® edge spatial frequency response
のチャート表示と評価項目の測定

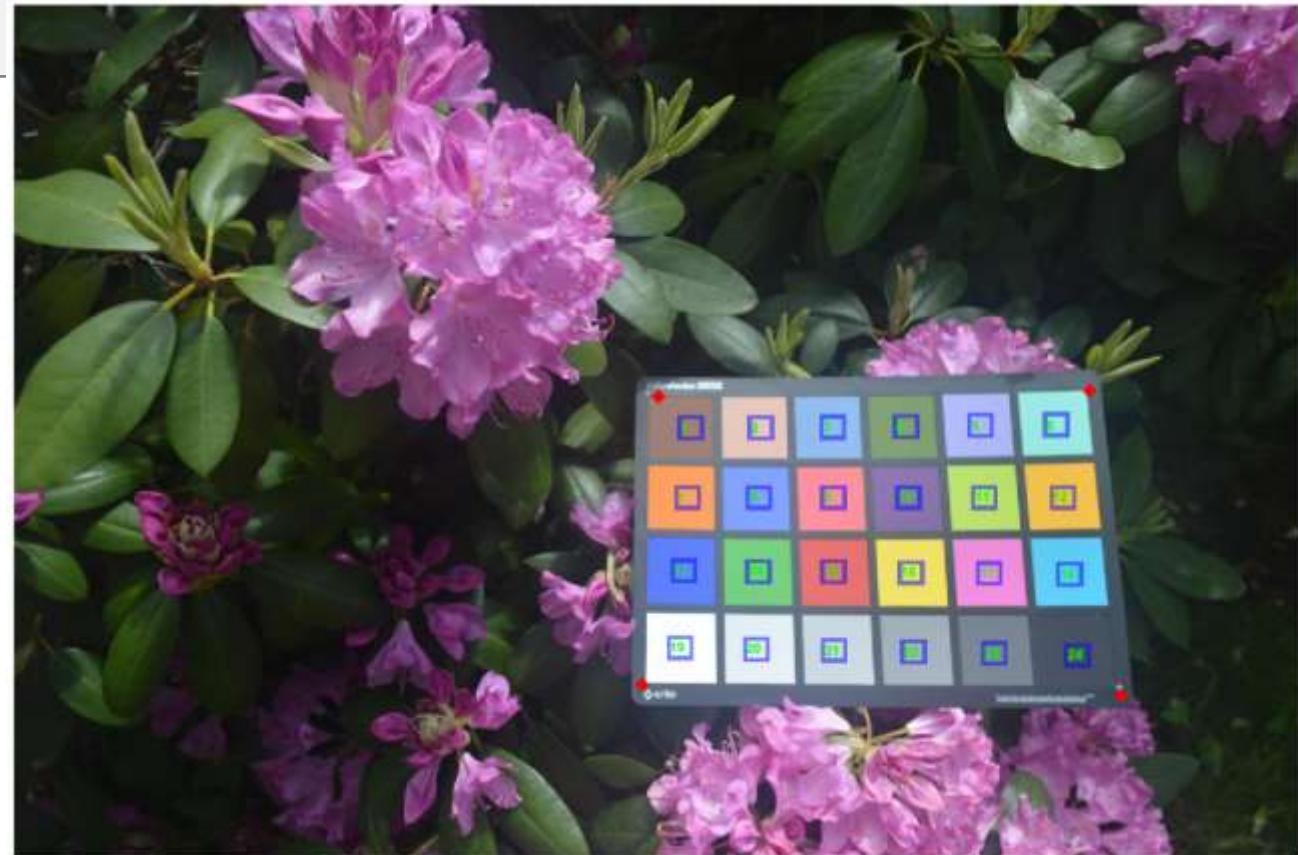
2.14.1 X-Rite®カラーチェッカーの自動読み取り

R2020b

```
I = imread('colorCheckerTestImage.jpg');
%% X-Riteカラーチェッカーの自動読み取り
chart = colorChecker(I);
%% 読み取り結果の表示
displayChart(chart);
```



- `measureColor`
- `imapplymatrix`
で色を補正できる



2.15.1 ブロック画像 (blockedImage) の操作

メモリに納まらない大規模画像のための処理関数群

- 解像度によってレベル分け
- 各レベルで、ブロックごとに画像を分割

blockedImage用の処理関数

blockedImage()

blockedImageオブジェクトの作成

blockedImageshow()

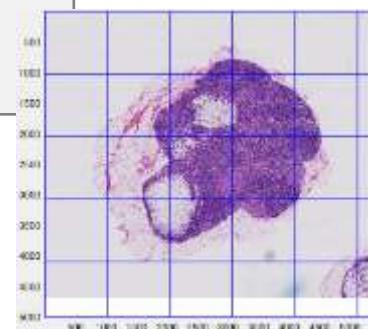
blockedImageの表示

write()

blockedImageのファイルへの書き込み

- ブロックごとの逐次読み込みによる処理
- 素早い表示
- マスクによる条件付き処理の実行

```
%% blockedImageオブジェクトの作成
bim=blockedImage('tumor_091R.tif');
%% 表示
Bshow = bigimageshow(bim, ...
    'GridVisible','on','GridLevel',1);
```



- bigimageからの進化点
 - N次元配列に対応
 - 任意のデータソースに対応可能
(bigimageはTIFF,BigTIFFのみ)
 - ピクセルサブスクリプトによる
わかりやすいインターフェース
(bigimageはワールド座標)

2.15.1 ブロック画像 (blockedImage) の操作

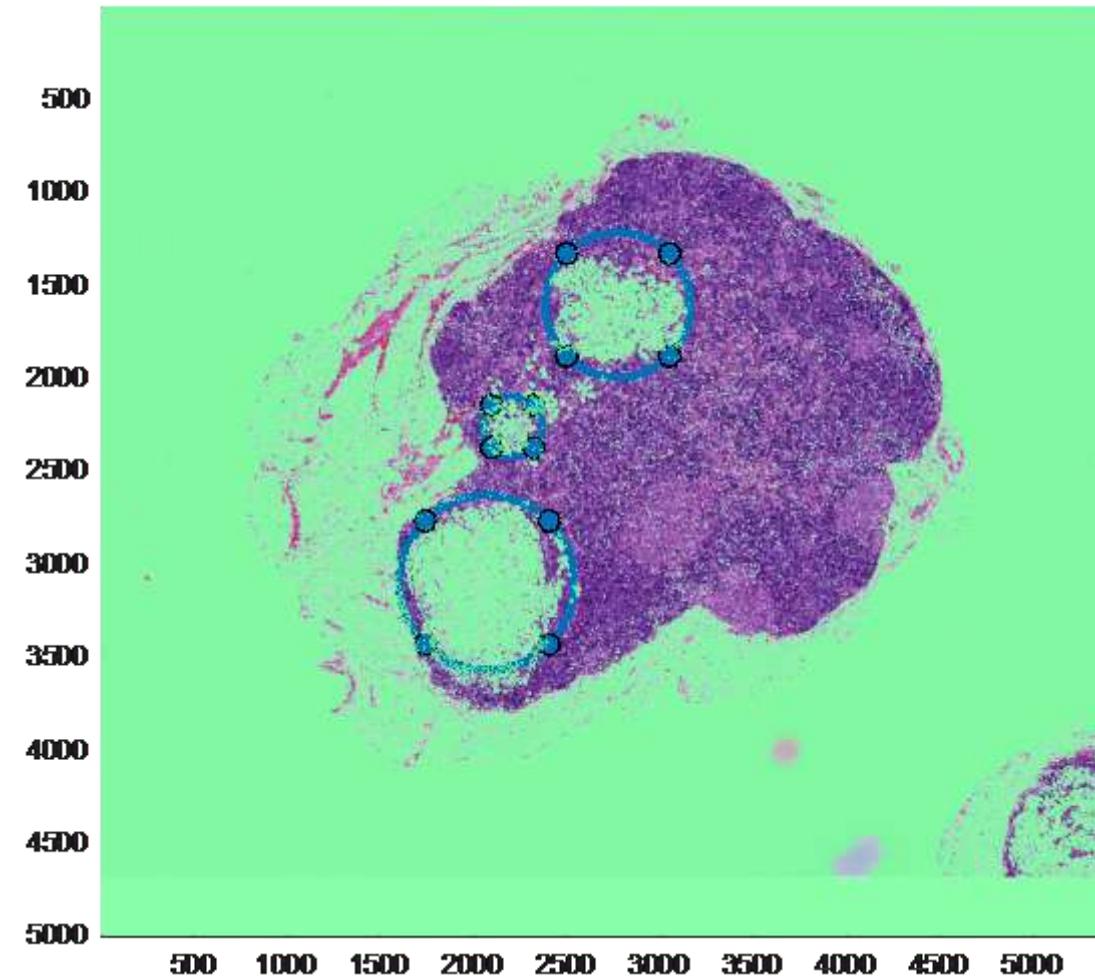
大規模画像処理のワークフロー機能強化

polyToBlockedImage

- ROIとlabelsを合わせて
blockImageにして扱う
(labeled blockedImage)

showLabels

- blockedImagesをbigimageshow
で表示し、ラベル画像を重ねて
可視化



2.15.2 ブロック画像 (blockedImage) の操作

R2021a

blockedImage用の処理関数

<code>apply()</code>	ブロックごとの関数の適用
<code>crop()</code>	<code>blockedImage</code> の切り取り
<code>blocksub2sub()</code>	ブロックのサブスクリプトから画像全体のサブスクリプトへの変換
<code>sub2blocksub()</code>	画像全体のサブスクリプトからブロックのサブスクリプトへの変換
<code>gather()</code>	ブロックを集め、画像データとして取得
<code>getBlock()</code>	指定したブロック、レベルの画像を取得
<code>getRegion()</code>	指定した範囲、レベルの画像を取得
<code>setBlock()</code>	指定したブロックにデータを挿入
<code>sub2world()</code>	ピクセルサブスクリプトからワールド座標への変換
<code>world2sub()</code>	ワールド座標からピクセルサブスクリプトへの変換

2.15.3 blockedImageDatastore

R2021a

- 1枚ないし複数枚のbimageについて、ブロックごとに画像を管理

blockedImageDatastore用の処理関数

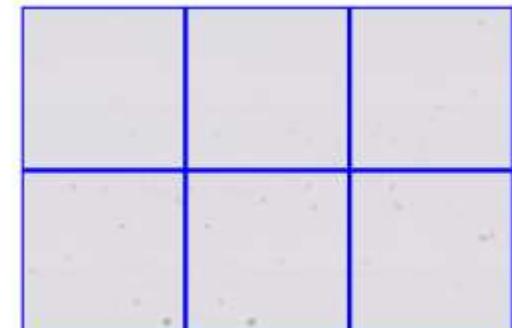
<code>combine()</code>	複数のデータストアを結合	<code>readRelative()</code>	ブロック間の相対位置でデータを読み込み
<code>numpartitions()</code>	データストアの区画数	<code>reset()</code>	初期状態にリセット
<code>partitions()</code>	データストアを分割	<code>shuffle()</code>	シャッフル
<code>preview()</code>	サブセットを取得	<code>hasdata()</code>	<code>read</code> 関数で読めるデータがあるかどうかを調べる
<code>read()/readall()</code>	データの読み込み/一括読み込み	<code>transform()</code>	データストア内のブロック画像ごとに関数を適用
<code>subset()</code>	データストアの一部を切り出し	<code>countEachLabel()</code>	クラスごとのラベル数をカウント

bigimageデータストアの利用

```

%% bigimageデータストアの利用
Bimds=blockedImageDatastore(bim, 2, "BlockLocationSet", bls);
%% 読み込むブロック数の指定
bimds.ReadSize = 6;
%% 読み込み
blocks = read(bimds);
%% 表示
montage(blocks, 'BorderSize', 5, 'BackgroundColor', 'b');

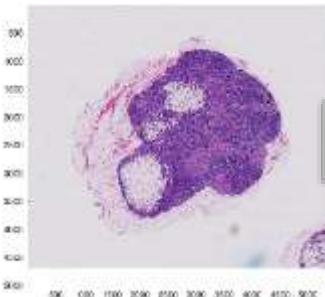
```



2.15.4 blockedImage処理のワークフロー

必要なレベル、ブロックのみを処理して効率化

オリジナル
blockedImage



アルゴリズムの検討

低解像画像を元に検討

```
imLowRes = gather(bim);
% デフォルトで最低解像度
```



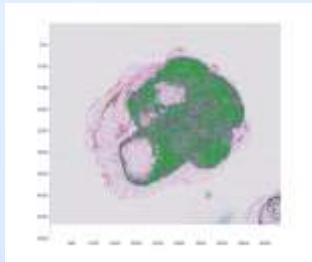
もしくは
高解像画像の一部を切り出して検討

```
imRegion = ...
bim.getRegion(pos1,pos2,'Level',1);
% 左上、右下の座標を入力
```



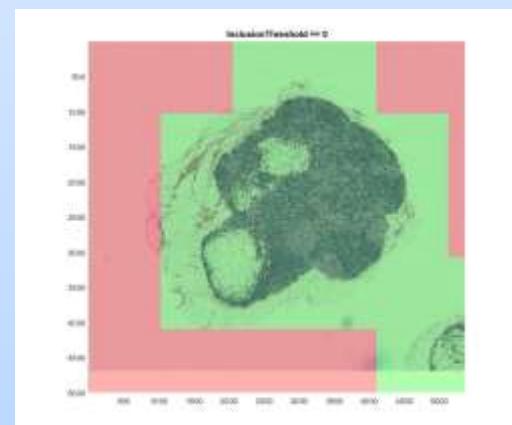
マスクによる処理ブロックの選択

1. 低解像画像を元に処理対象とするマスクを作成

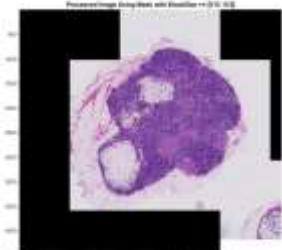


2. マスクを含むblockに対して処理を適用

```
Bq = apply(bim,@func, ...
'Mask',bmask);
```



処理結果



アルゴリズムが複雑であるほど、
画像サイズが大きいほど、
計算効率化が大きい

2.16.1 水増し用(data augmentation)の各種関数（1）

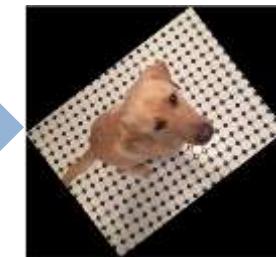
深層学習時に使える様々な画像変換



```
%% 色のランダムな変換  
J = jitterColorHSV(I, 'Contrast', 0.4, ...  
'Hue', 0.1, 'Saturation', 0.2, 'Brightness', 0.3);
```



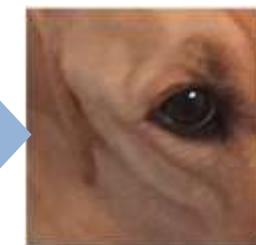
```
%% ランダムなアフィン変換(2次元/3次元)  
tform1 = randomAffine2d('Rotation', range);  
J = imwarp(I, tform1);
```



```
%% ランダムな切り抜き窓の生成(2次元/3次元)  
win = randomCropWindow2d(size(I), targetSize);  
J = imcrop(I, win);
```



```
%% 画像中心の切り抜き窓の生成(2次元/3次元)  
win = centerCropWindow2d(size(I), targetSize);  
J = imcrop(I, win);
```



2.16.2 水増し用(data augmentation)の各種関数（2）

深層学習時に使える様々な画像変換

- **imerase**

- rectangle状の切り抜き
- 指定の色で塗りつぶしも可能

```
%% ランダムな領域の切り抜き  
rect = randomWindow2d(size(I), [50 100]);  
J = imerase(I, rect);  
imshow(J)
```

- **randomWindow2d**

- ランダムなrectangle状のROIを生成
- 任意サイズの指定の他、入力画像との比やアスペクト比などの指定が可能

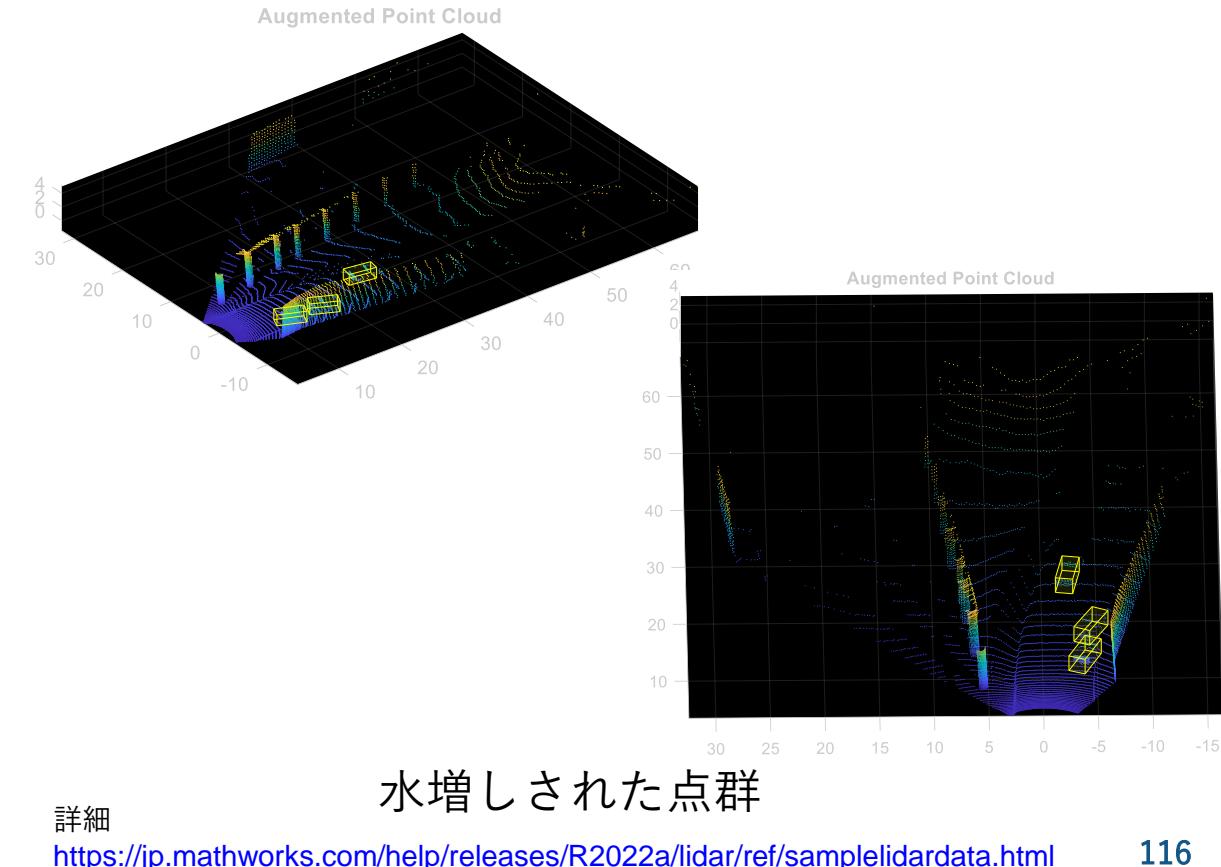
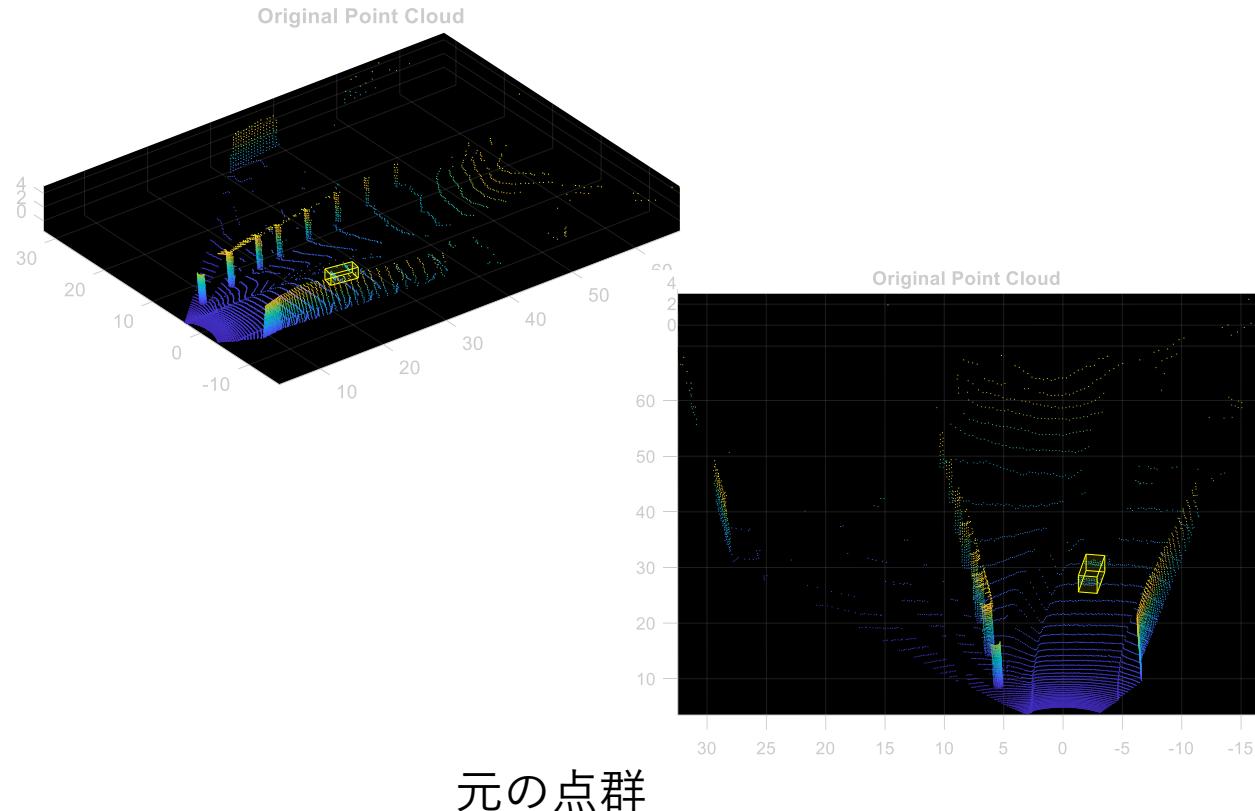


2.16.3 水増し用(data augmentation)の各種関数 (3) 深層学習時に使える点群データ拡張

R2022a
Lidar Toolbox™

- **sampleLidarData**

- 物体検出用の3D bounding boxとその点群を複製
- Bounding box同士が被らないよう自動調整し、配置



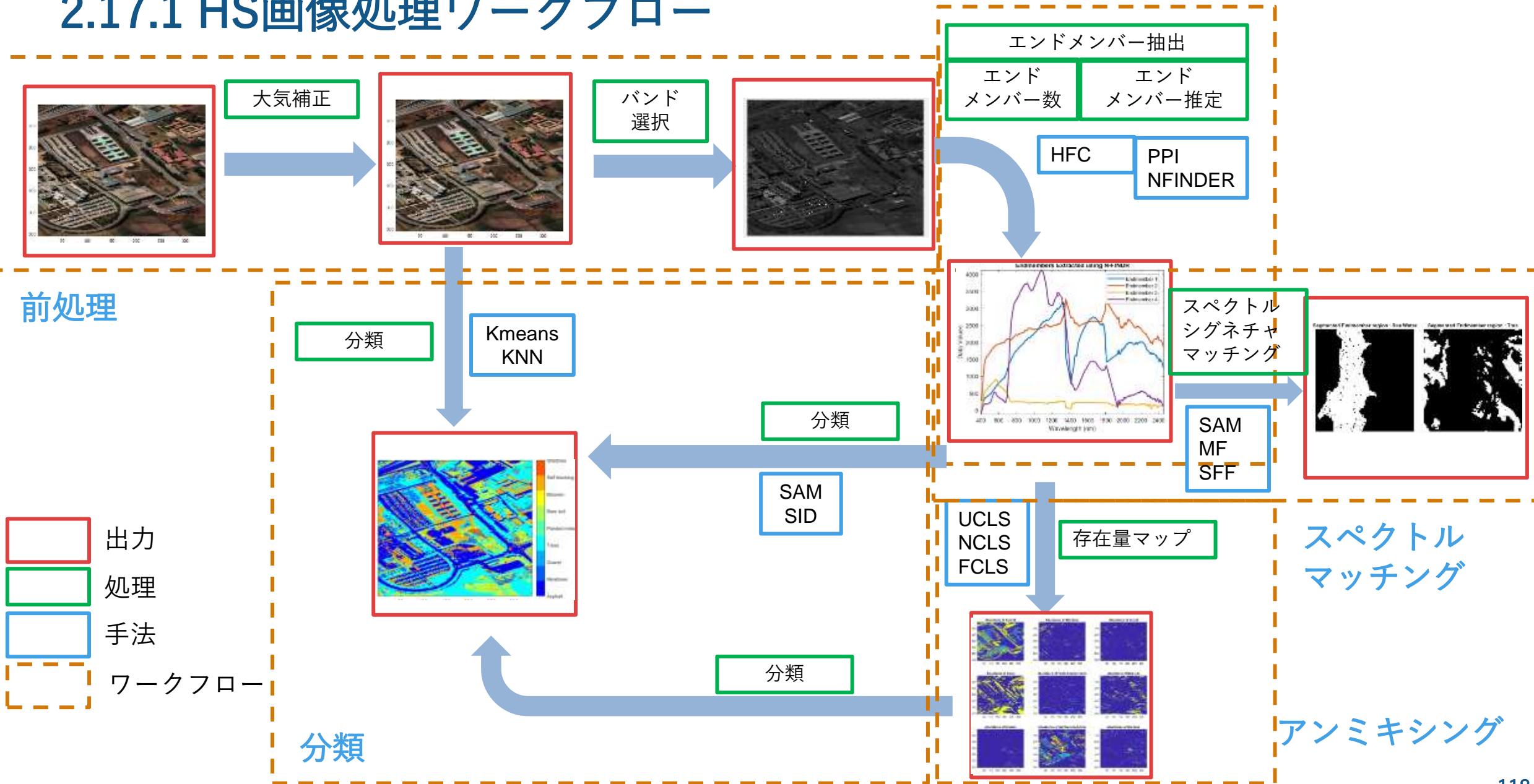
2.17 ハイパスペクトル画像処理

R2020a

- Image Processing Toolbox™ が必要
- R2020a 7月からAdd-onとしてインストール可能
- R2020b Update1で各種補正機能が追加
- 機能
 - HS画像のI/O
 - 前処理
 - DN→放射輝度/反射率変換
 - 大気補正、スマイル補正
 - 次元削減
 - 解析
 - 分類・クラスタリング
 - スペクトルマッチング
 - エンドメンバー抽出
 - 異常検知
 - 可視化/分析のためのApps
 - リファレンスワークフロー

R2020b

2.17.1 HS画像処理ワークフロー



2.17.2 HSデータI/O / バンド選択 / ROI抽出

hypercube()	HSデータの読み込みイメージの表示。NITF、ENVI、MTL、TIFFフォーマットに対応
enviinfo()	ENVI hdrファイルからメタデータの読み込み
enviwrite()	HSデータの保存。ENVIフォーマット
colorize()	表示用の3チャンネルを抽出
selectBands()	チャンネル間の類似度を元に情報量の多いチャンネルを抽出
removeBands()	指定したチャンネルの削除
assignData()	データの差し替え、代入
cropData()	データの切り出し

```
% HS画像の読み込み
hcube = hypercube('paviaU.dat','paviaU.hdr');
% 表示用に3チャンネルを抜き出し
rgbImg = colorize(hcube, 'Method', 'RGB');
imagesc(rgbImg);
% 画像を保存
enviwrite(hcube, 'new_HS_image');
```

hcube: 画像データや波長帯などのメタデータを含む構造体



2.17.3 画像変換 / 画像補正

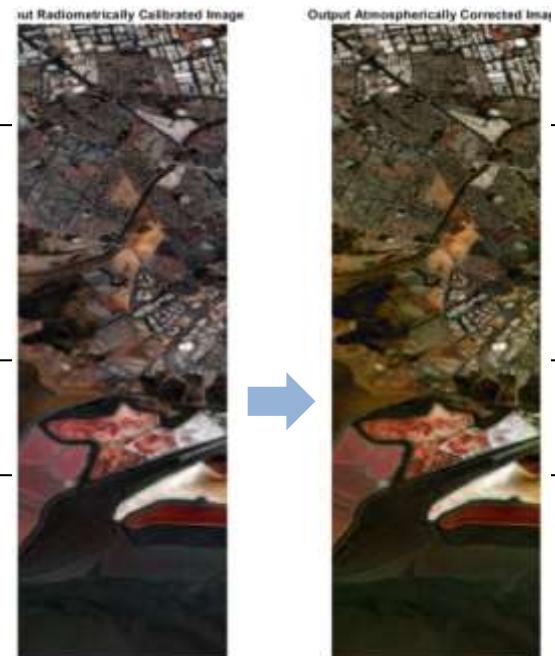
画像の変換

<code>dn2radiance()</code>	DNを放射輝度に変換
<code>dn2reflectance()</code>	DNを反射率に変換
<code>radiance2reflectance()</code>	放射輝度を反射率に変換

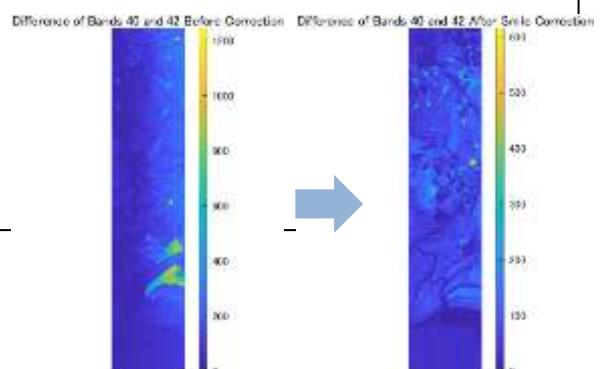
補正

<code>empiricalLine()</code>	empirical line法による補正
<code>flatfield()</code>	フラットフィールド補正
<code>iarr()</code>	平均相対反射率補正
<code>logResiduals()</code>	対数残差補正
<code>subtractDarkPixel()</code>	低輝度値を引いてオフセット補正
<code>sharc()</code>	SHARCによる大気補正
<code>reduceSmile()</code>	スマイル補正

SHARCによる大気補正



スマイル補正



2.17.4 ハイパースペクトル画像の次元削減

`hyperpca()`

主成分分解による次元削減

`hypermnf()`

`Minimum Noise Fraction`変換による次元削減

`inversProjection()`

主成分分解結果を元に、オリジナルのチャンネル画像を再構築 c

始めの10チャンネルの画像



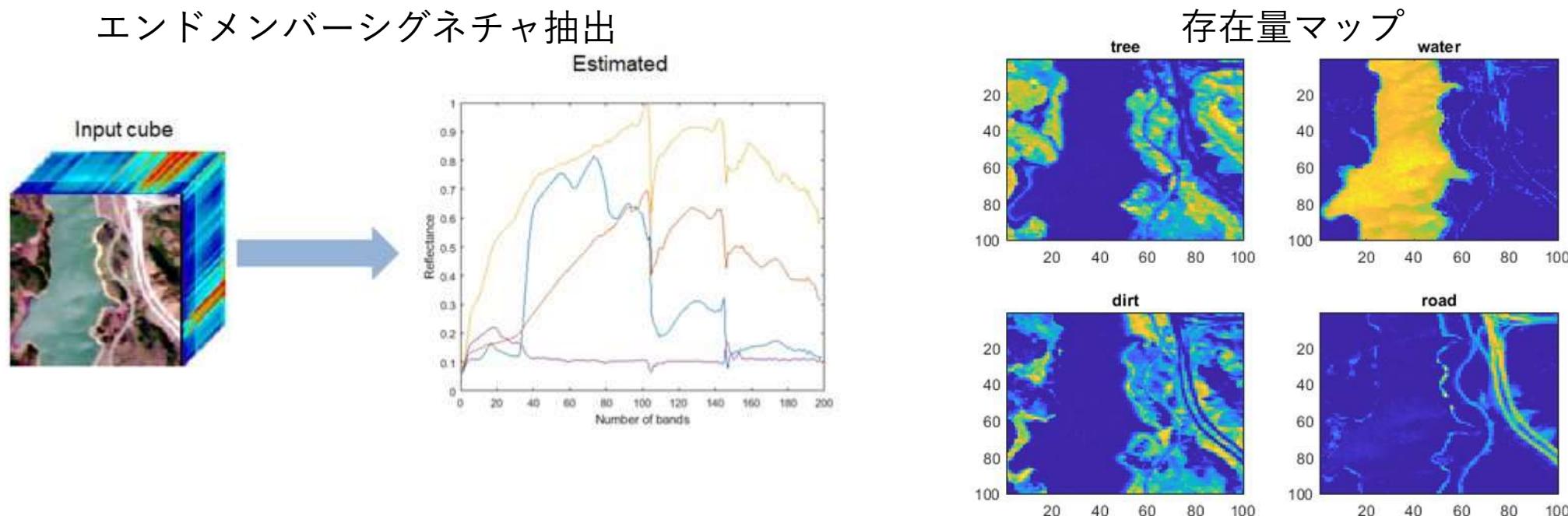
hyperpca

PCAで得られた主成分画像（上位10）



2.17.5 エンドメンバー推定

<code>ppi()</code>	Pixel Purity Indexによるエンドメンバーシグネチャの抽出
<code>fippi()</code>	fast iterative ppiによるエンドメンバーシグネチャの抽出
<code>nfindr()</code>	N-FINDRによるエンドメンバーシグネチャの抽出
<code>countEndmembersHFC</code>	エンドメンバー数の推定
<code>estimateAbundanceLS</code>	存在量マップの算出



2.17.6 スペクトルマッチング / 各種指標

スペクトルマッチング

既知のスペクトルと参照して地物を同定

`readEcostressSig()` ECOSTRESSスペクトルライブラリの読み込み

`sam()` スペクトル角マッピングによる既知スペクトルとの類似度推定

`sid()` スペクトル情報発散による既知スペクトルとの類似度推定

`spectralMatch()` ライブラリとの参照による地物の同定

`anomalyRX()` Reed-Xiaoli法による異常検知

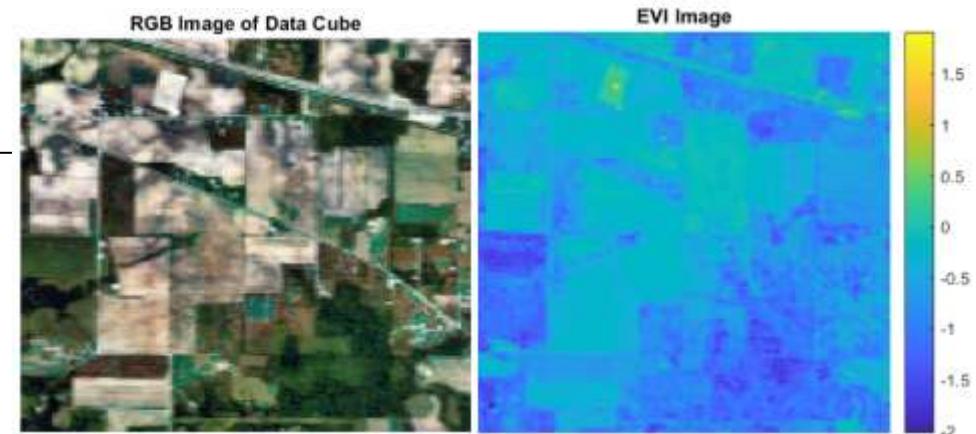


各種指標

EVI指数計算例

`spectralIndices()` 各種指標の計算

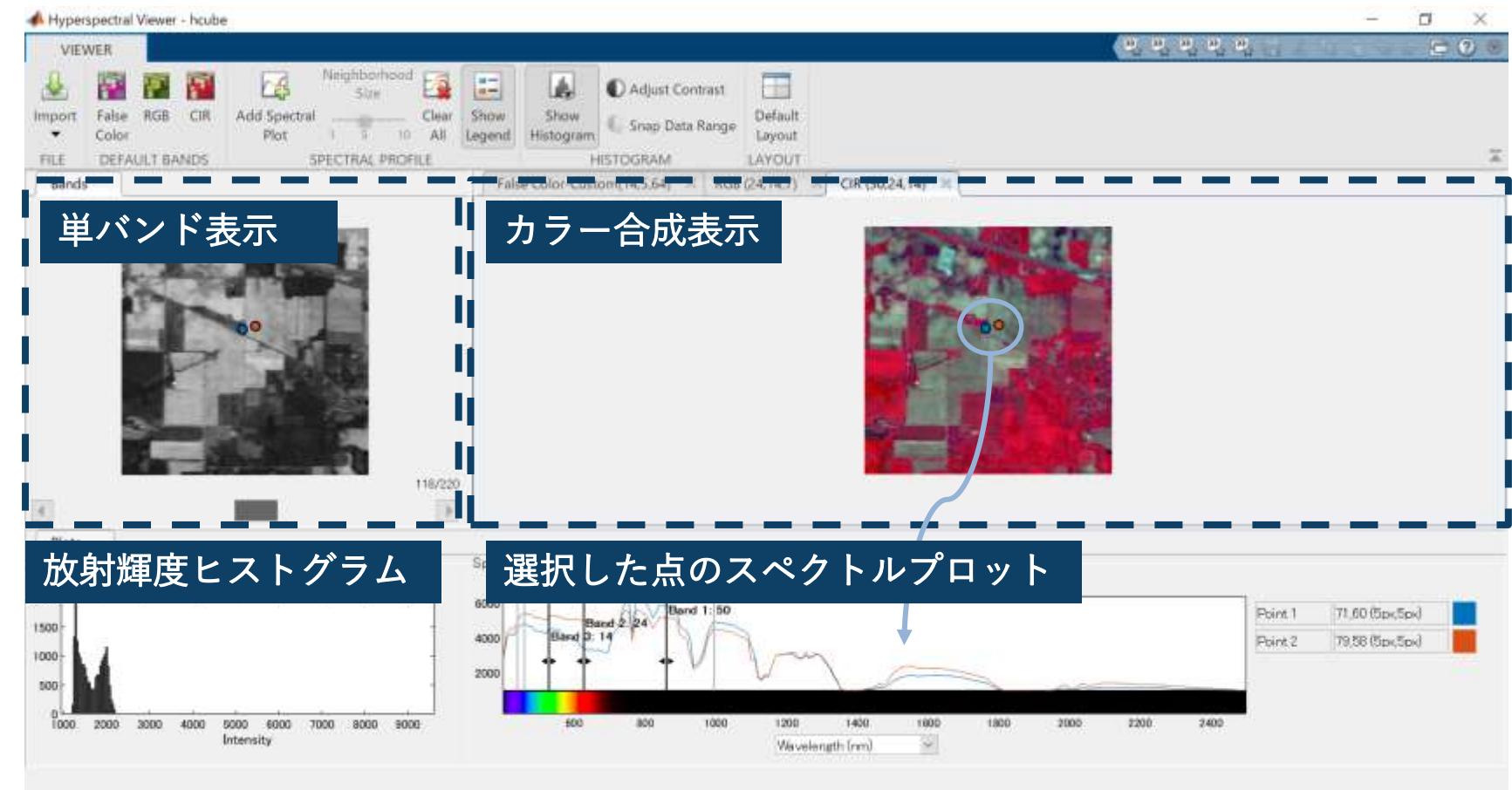
`ndvi()` NDVI (正規化植生指数) の計算



2.17.7 HyperSpectralViewer

HS画像の可視化App

1. バンド解析
 - ヒストグラム
 - 画素解析
 - スペクトルプロット
2. 画像解析
 - RGB(可視)
 - False color (任意)
 - CIR (植生)



アジェンダ

1. MATLAB/Simulinkの概要
2. 各種画像処理例
3. 連携機能
4. コンピュータービジョン処理例
5. 画像の機械学習・ディープラーニング
6. まとめ

3.1 並列処理・GPGPUによる高速・大規模画像処理

Parallel Computing Toolbox

- 並列・分散処理による高速化
- マルチコア、マルチCPUによる並列高速処理
- MATLAB 関数のGPUによる高速処理
 - 2次元FFT等 150以上のMATLAB基本関数
 - Image Processing Toolboxの50以上の関数

```
imrotate(), imfilter(), imdilate(), imerode(), imopen(), imclose(),
imtophat(), imbothat(), imshow().....
```
- 既存CUDA®コードの取込み
- MATLAB Distributed Computing Server との併用により
コンピュータークラスタの使用が可能
サポートされるGPU (CUDA に対応した NVIDIA® GPU) の要件：
<http://www.mathworks.com/products/parallel-computing/requirements.html>

3.1.1 マルチコア/プロセッサでの並列処理

Parallel Computing Toolbox

独立したタスクの並列処理

```
%% 2次元離散コサイン変換 (Y成分とCb成分)

for i = 1:2
    DCT(:,:,i) = blockproc(YCbCr(:,:,i), [8 8], fun);
end
```

forをparforに変更して処理の並列化

```
%% 2次元離散コサイン変換 (Y成分とCb成分)

parfor i = 1:2
    DCT(:,:,i) = blockproc(YCbCr(:,:,i), [8 8], fun);
end
```

例
11.5sec
↓
6.5sec
(-44%)
に短縮

2コアCPUの
例

各種組込み関数でのサポート (PCT オプション要) :

<http://www.mathworks.co.jp/products/parallel-computing/builtin-parallel-support.html>

3.1.1 マルチコア/プロセッサでの並列処理

Parallel Computing Toolbox

- 各種組込み関数でのサポート (PCT オプション要) :

<http://www.mathworks.co.jp/products/parallel-computing/builtin-parallel-support.html>

```
%% 2次元 DCT 処理を、関数ハンドル'fun'として定義
fun = @(block_struct) dct2(block_struct.data);

%% 画像 Y を 8x8 ピクセルに分割し、それぞれに対し処理 'fun' を実行
%      'UseParallel' オプションを使うことで処理を並列化
DCT = blockproc(Y, [8 8], fun, 'UseParallel', true);
```

3.1.2 GPGPU処理

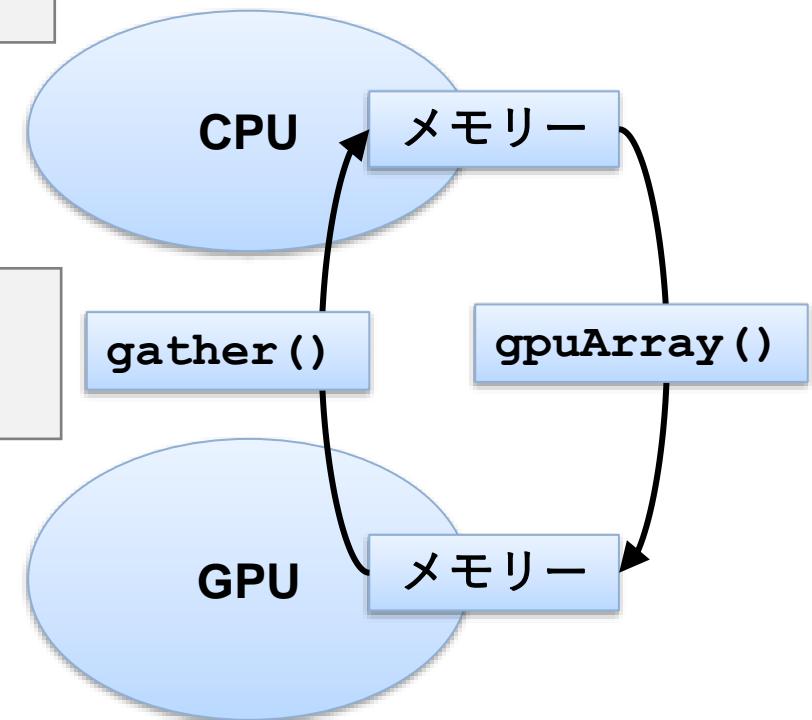
Parallel Computing Toolbox

各種関数を、GPU上で実行

```
I = imrotate(I, 75, 'bicubic'); % 画像を75° 回転
```



```
I = gpuArray(I);  
I = imrotate(I, 75, 'bicubic'); % 画像を75° 回転
```



わずかなコード変更で、高速化が可能

3.1.3 基本関数での実装

Parallel Computing Toolbox

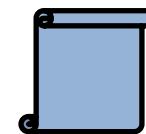
GPU用のarrayfun、bsxfunを用い、入力引数の各要素に関数を適応
(スカラー計算をGPUで並列化)

```
hornerFcn = @horner;  
  
data1 = rand( 2000, 'single' );  
gdata1 = gpuArray( data1 );  
  
gresult1 = arrayfun( hornerFcn, gdata1 );
```

pagefun : 2次元の行列の演算をバッチで処理

3.1.4 既存CUDAコードの取り込み

Parallel Computing Toolbox



CUファイル



コンパイル：`nvcc -ptx myfun.cu`

PTX(Parallel Thread Execution)ファイル

```
% カーネルオブジェクト作成
```

```
k = parallel.gpu.CUDAKernel('myfun.ptx', 'myfun.cu');
```

```
i1 = gpuArray(rand(100, 1, 'single'));  
o1 = feval(k, i1, i2);
```

```
% 結果をMATLABワークスペースへ転送
```

```
r1 = gather(o1);
```

`mexcuda`関数を使う方法もあり

3.1.5 CUDA MEXの統合

```

2    %% 画像データ読み込み
3    imCPU = imread('concordaerial.png');
4
5    %% データをGPUに転送
6    imGPU = gpuArray(imCPU);
7
8    %% グレースケール変換
9    imGPUgray = rgb2gray(imGPU);
10
11   %% 2値化
12   imWaterGPU = imGPUgray<70;
13
14   %% 細かいノイズ除去
15   imWaterMask = imopen(imWaterGPU,strel('disk',4));
16   imWaterMask = bwmorph(imWaterMask,'erode',3);
17   imshow(imWaterMask)
18
19   %% ガウシアンフィルタで画像をぼかす
20   blurH = fspecial('gaussian',20,5);
21   imWaterMask = imfilter(single(imWaterMask)*10, blurH);
22
23   %% 青色の要素を強調
24   blueChannel = imGPU(:,:,3);
25   blueChannel = imlincomb(1, blueChannel,6, uint8(imWaterMask));
26   imGPU(:,:,3) = blueChannel;
27
28   %% CPUにデータを転送し、結果を表示
29   outCPU = gather(imGPU);
30   imshow(outCPU)

```

GPU対応関数で処理
(Parallel Computing Toolbox)

CUDA MEXを生成して処理
(GPU Coder)

GPU対応関数で処理
(Parallel Computing Toolbox)

gpuArray型を関数入力として指定することで
無駄なデータ転送(CPU<>GPU)を回避し高速化

```

cfg = coder.gpuConfig('mex');
cfg.TargetLang = 'C++';

t = coder.typeof(gpuArray(false), [2036
codegen -args {t} -config cfg myfilter

```

Parallel Computing Toolbox
GPU Coder

R2018b

3.2 ユーザーインターフェース構築機能

R2016a

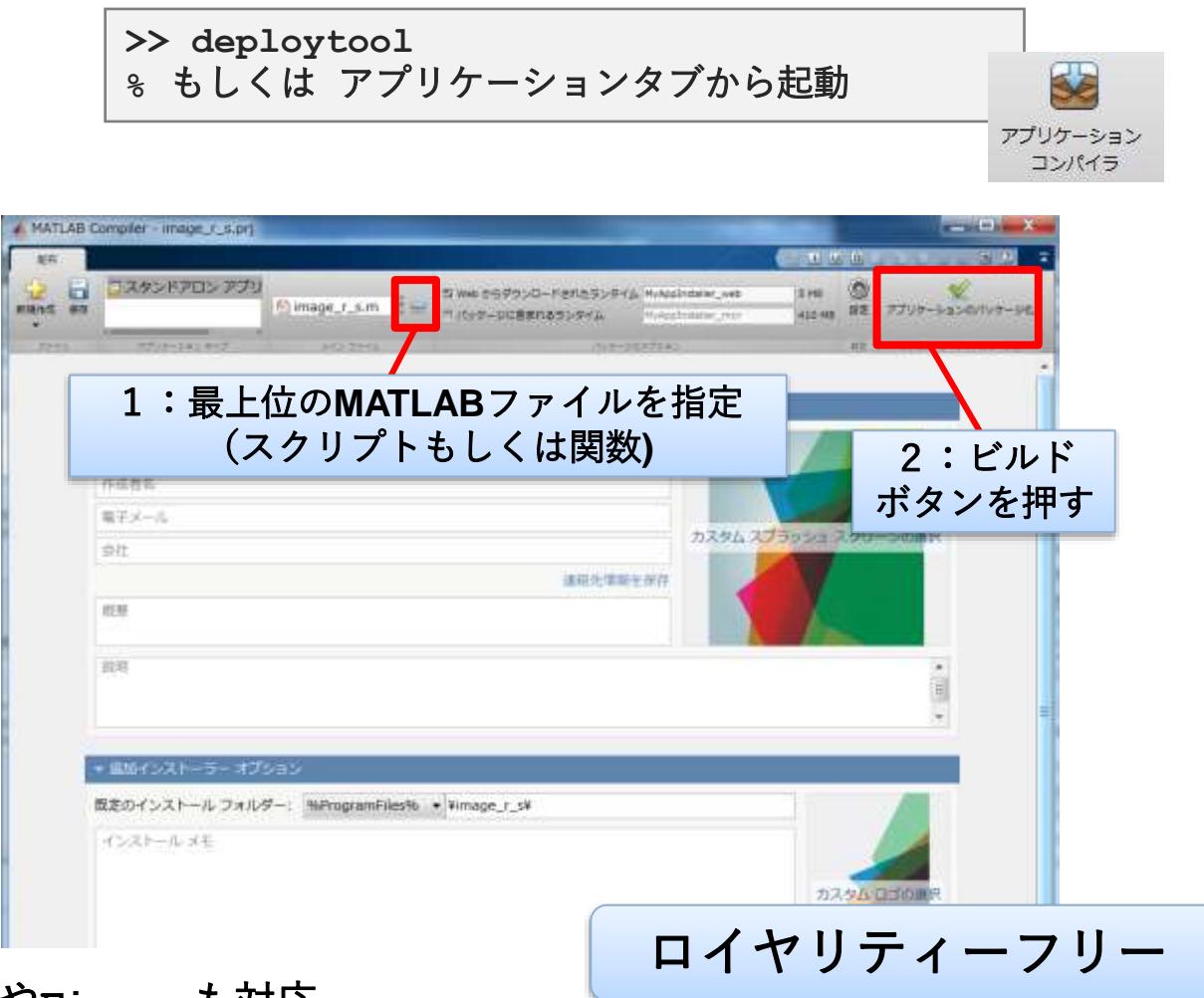
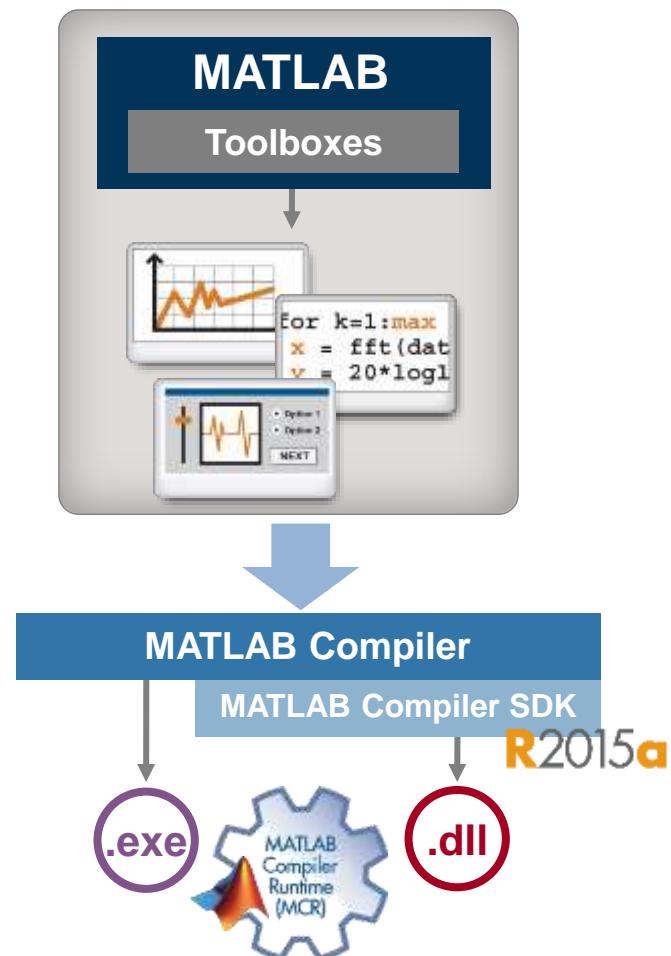
>> appdesigner

- スマートガイド機能
 - 位置合わせが容易に
- ツールストリップ上で選べる豊富な編集機能
- GUIレイアウトとプログラミングが同一環境で可能
- Classをベースにしたコード生成



3.3 実行形式プログラムの配布

MATLAB Compiler



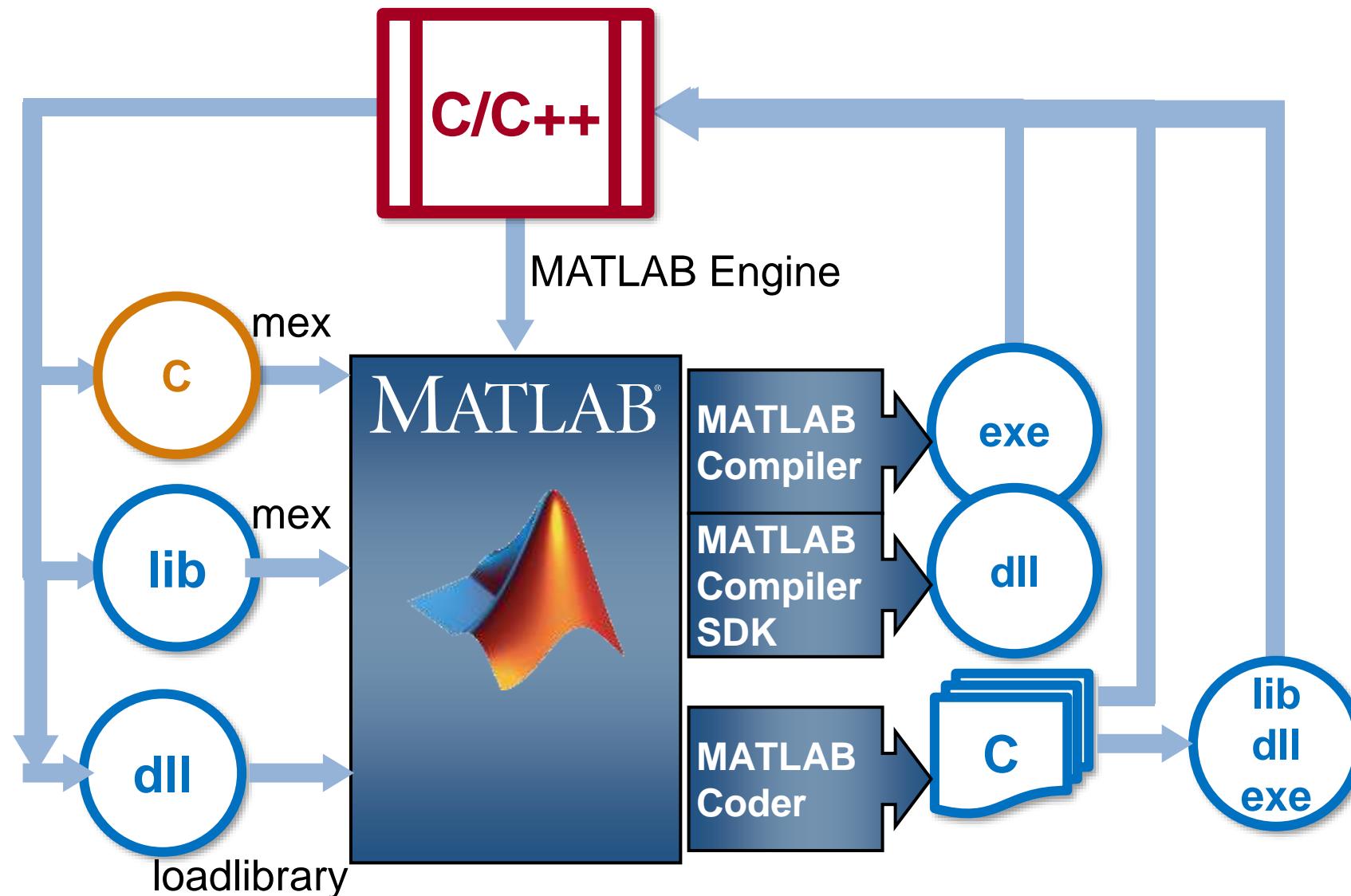
ほぼすべての関数をサポート・GUIやFigureも対応

制限: <http://www.mathworks.co.jp/help/compiler/limitations-about-what-may-be-compiled.html>

対応Toolbox関数 : http://www.mathworks.co.jp/products/compiler/supported/compiler_support.html

R2016a からは、64bitのみサポート

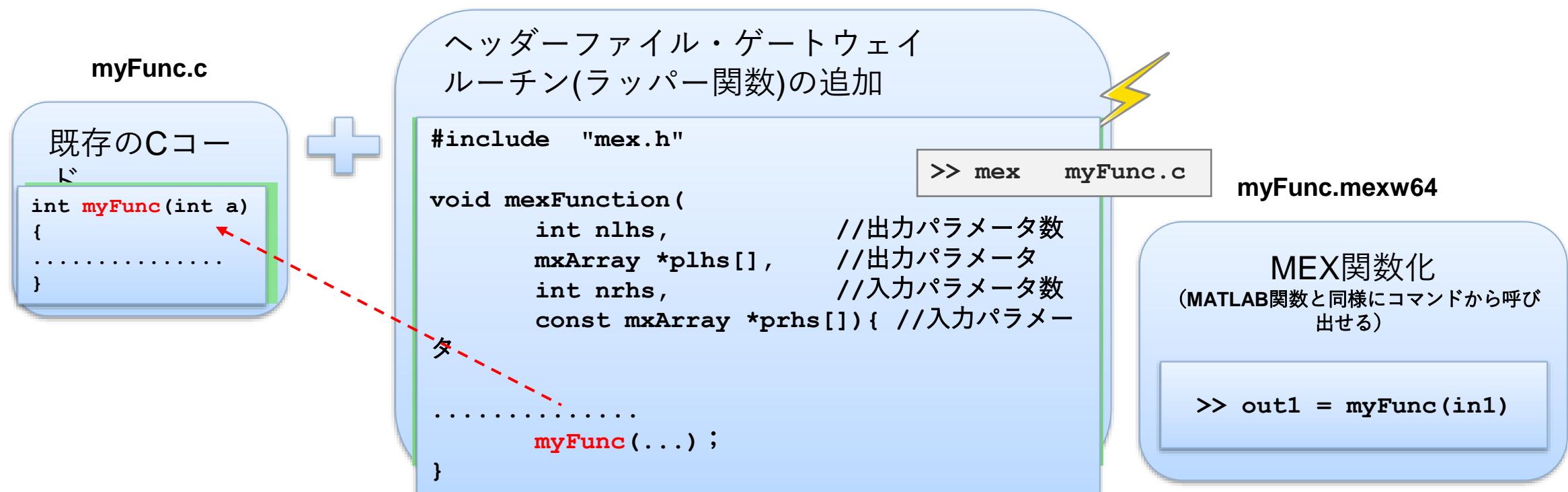
3.4 Cコードとの相互連携



3.4.1 Cコードの取込み (MATLAB基本機能)

外部Cコードの使用：

MEX (MATLAB Executable)機能を使い、既存のC関数やFortran関数などをMATLABの関数と同様にコマンドラインから呼び出し、実行可。MATLAB本体、ツールボックスでサポートされていない機能・関数を既存やオープンソース・コード等で補うことが可能。



3.4.1 Cコードの読み込み例 (MATLAB基本機能)

ラッパー関数

```
void mexFunction(int nlhs,          //出力パラメータ数
                  mxArray *plhs[],    //出力パラメータへのポインタ配列
                  int nrhs,           //入力パラメータ数
                  const mxArray *prhs[]) { //入力パラメータへのポインタ配列

    char *fileName;                //第1引数
    double *format;               //第2引数
    unsigned short height;        //C関数からの戻り値
    unsigned short width;         //C関数からの戻り値
    unsigned short *pOutRaw;       //C関数からの戻り値

    fileName = mxArrayToString(prhs[0]); //第1引数を取り込み
    format = mxGetPr(prhs[1]); //第2引数を取り込み

    // C関数を呼ぶ *****
    read_raw_main(fileName, (int)*format, &height, &width, &pOutRaw);
}
```

MATLAB独自のデータ構造体
と
Cのデータ型
の変換用のAPI関数を提供

3.4.2 OpenCVで作られた関数へのアクセス

R2014b

Computer Vision Toolbox

```
mexOpenCV matchTemplateOCV.cpp % OpenCVを用いた関数からのMEX生成
```

呼び出す関数にあわせて記述したラッパー

用意されている、MATLABのデータ型と、OpenCVの型 を相互に変換するAPI例

```
// Convert mxArray inputs into OpenCV types
cv::Ptr<cv::Mat> templateImgCV = ocvMxArrayToImage_uint8(prhs[0], true);
```

説明のショートビデオ（約9分）：<http://jp.mathworks.com/videos/using-opencv-with-matlab-106409.html>

OpenCV の対応バージョンが 3.1.0 へ変更

R2017a

OpenCV の対応バージョンが 3.4.0 へ変更

R2018b

OpenCV の対応バージョンが 4.2.0 へ変更

R2020b

Simulinkからのインポート用にサポートパッケージを提供

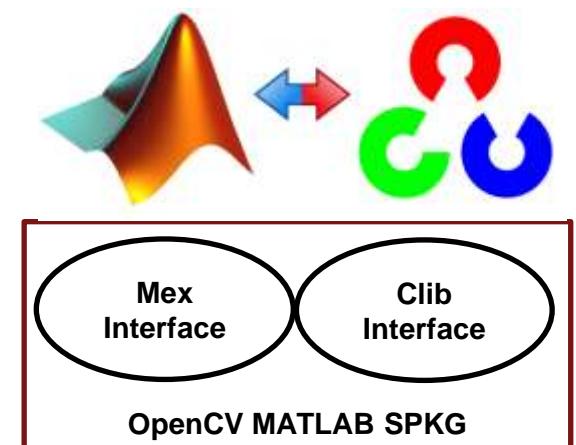
R2020a

3.4.2 OpenCVで作られた関数へのアクセス

R2021b

- サポートパッケージで事前ビルド済みのOpenCVインターフェース用関数を用意
 - MEX ラッパー不要、MATLABから直接呼び出し可能

createMat	cv::Matクラスとのインターフェースを作成
createUMat	cv::UMatクラスとのインターフェースを作成
getBasePtr	OpenCVのベースクラスとのインターフェースを作成
getImage	OpenCVインターフェースから画像の取得
keyPointsToStruct	OpenCVのKeyPointsオブジェクトをMATLABの構造体に変換
rectToBbox	cv::Rectクラスから境界ボックスを計算



3.5 MATLAB Engine : C開発環境からのMATLAB呼び出し

Cコード

例

```
#include "engine.h" // MATLAB Engine用のヘッダファイル
...
Engine *ep; // MATLAB Engineへのポインタの宣言
mxArray *Igray = NULL // MATLAB型の変数へのポインタの宣言

ep = engOpen(NULL); // MATLAB Engine のスタート

engEvalString(ep, "cd C:/MATLAB_work/demo"); // MATLABのワークディレクトへ移動
engEvalString(ep, "img = imread('Image.jpg');");
engEvalString(ep, "Igray = rgb2gray(img);");
engEvalString(ep, "figure; imshow(Igray);") // 画像の読み込み // グレースケールへ変換 // MATLAB上で画像の表示

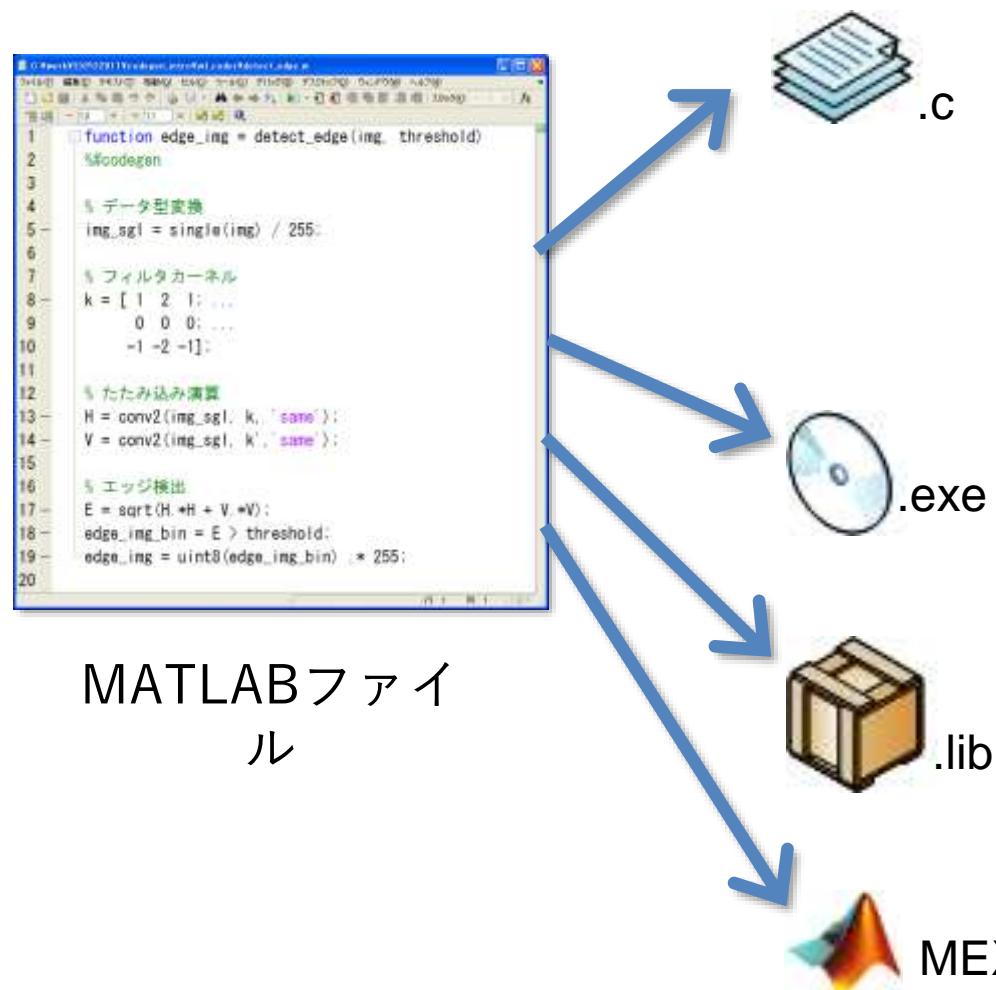
Igray = engGetVariable(ep, "Igray"); // MATLAB内の変数"Igray"へのポインタの取得
const uint8_t* Ip = static_cast<uint8_t*>(mxGetData(Igray)); // C変数へのポインタに変換
...
engPutVariable(ep, "output", output); // MATLABへデータを送り、変数"output"とする
```

Cから、別プロセスのMATLABへ実行コマンドを指示

MATLABとCの間でのデータの受け渡し

3.5 MATLABコードからのCコード生成

MATLAB Coder



コード生成/実装・アルゴリズム仕の
リファレンスモデル

実装(C/HDL)技術者へハンドオフ

- 整数・浮動小数点・
固定小数点演算対応
(Fixed-Point Designerが必要)

スタンドアロンのアプリケーション作成
(プロトタイプ・配布)

既存のCソフトウェアへ
MATLABアルゴリズムの統合

MEX MATLABファイル実行の高速化

3.6.1 Excelとの連携 / カーブフィティング

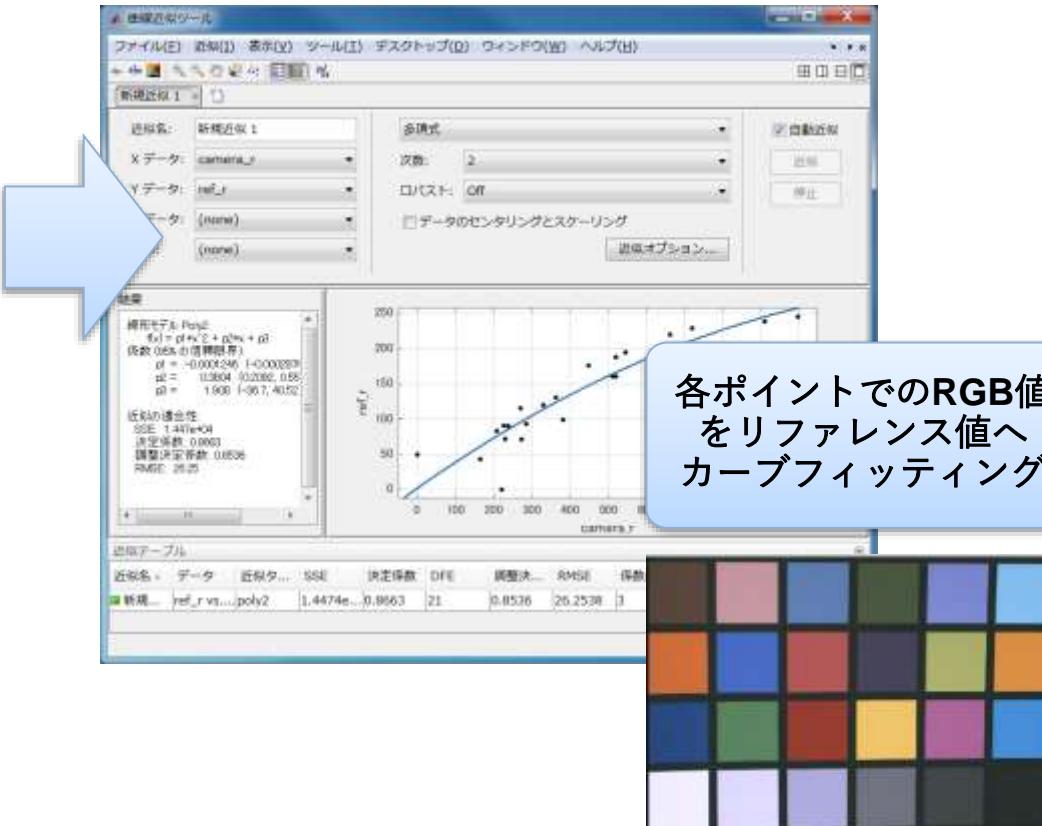
Spreadsheet Link EX
Curve Fitting Toolbox

原画像



Excelデータ(リファレンスデータ)取込み

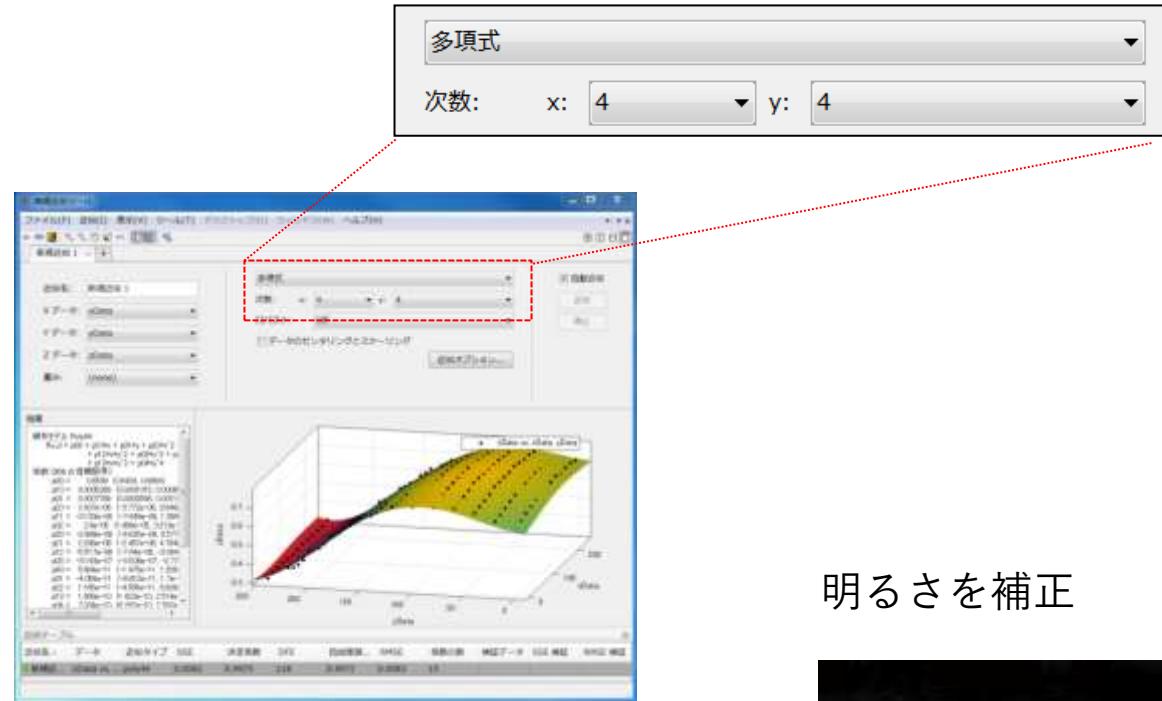
- 曲線近似GUIツール
- 曲線・曲面への線形回帰、非線形回帰
- スプライン補間
- 平滑化 等



3.6.2 曲面へのフィティング

Curve Fitting Toolbox

不均一な照度が足しあわされている場合



背景部分の照度に対し、
曲面を回帰し、
照度の均一化



明るさを補正

例) 線形モデル Poly44:

$$\begin{aligned} f(x,y) = & p_{00} + p_{01}x + p_{01}y + p_{20}x^2 + p_{11}xy + p_{02}y^2 + p_{30}x^3 + p_{21}x^2y \\ & + p_{12}xy^2 + p_{03}y^3 + p_{40}x^4 + p_{31}x^3y + p_{22}x^2y^2 \\ & + p_{13}xy^3 + p_{04}y^4 \end{aligned}$$

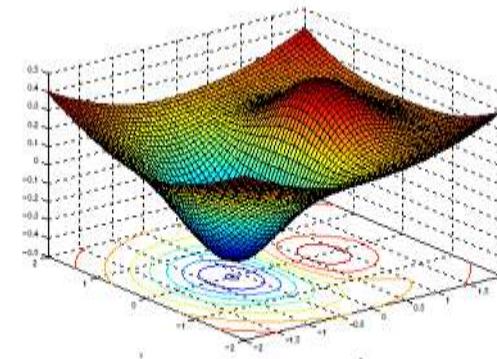
面の最大点等を求めるには最適化ツール

3.7 最適化ツール

Optimization Toolbox

- 標準最適化問題および大規模最適化問題の解法

- 線形計画法
- 二次計画法
- 二値整数計画法
- 非線形最適化
- 非線形最小二乗
- 連立非線形方程式
- 多目的最適化

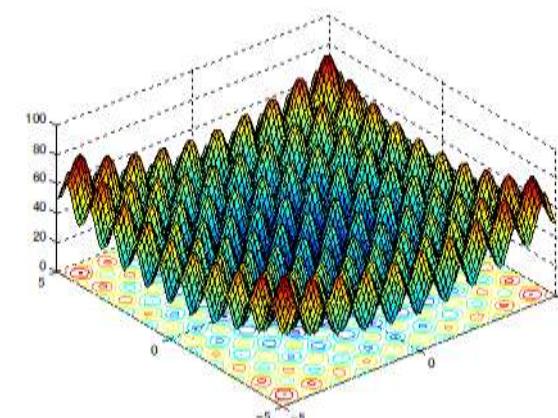


Global Optimization Toolbox

- 大域的最適化問題

複数の極小値/極大値を持つ関数から最小値/最大値を探

- グローバルサーチ
- マルチスタート
- パターンサーチ
- 遺伝的アルゴリズム
- 焼きなまし法



3.8 外部ハードウェアとのインターフェース

(カメラとの接続には Image Acquisition Toolbox を使用)

Data Acquisition Toolbox

データ収集ボード・計測デバイス

アナログ入力(A/D), アナログ出力(D/A), ディジタルI/O(DIO)

サポートされるボードベンダ National Instruments, Analog Devices etc...

サポートされるハードウェアの詳細：<http://www.mathworks.co.jp/hardware-support/data-acquisition-software.html>

Instrument Control Toolbox

オシロスコープ、信号発生器その他計測機器との接続

他のPCや機器との接続

TCP/IP、UDP、Bluetooth (SPP: Serial Port Profile)、GPIB、SPI、I2C、RS-232 等

サポートされるハードウェアの詳細：<http://www.mathworks.co.jp/hardware-support/instrument-control-software.html>

Vehicle Network Toolbox

CANインターフェースハードウェア(PCI, USB接続等) のサポート。

MATLAB関数・Simulinkブロック

サポートされるハードウェアの詳細：<http://www.mathworks.co.jp/hardware-support/can-bus-software.html>

MATLAB

シリアルポート、上記以外のハードウェア

COM, Windows ドライバAPI 経由等

3.10.1 MATLABやSimulinkからのHDL自動生成

HDL Coder™

- ターゲット依存しないVHDL/Verilog生成
 - VHDL(IEEE1076-1993)
 - Verilog(IEEE1364-2001)
- 業界標準コーディングルールチェック機能
- テストベンチ生成
 - VHDL/Verilogテストベンチ
 - Simulinkテストベンチモデル
- FPGAベンダツールとの連携
 - Xilinx® ISE®, Altera® Quartus®IIと連携
 - クリティカルパスの表示
- トレーサビリティレポートの生成
 - モデル-HDL-要求仕様間のリンク



3.10.2 固定小数点ツールによるオートスケーリング

Fixed-Point Designer

固定小数点化に要する工数を短縮

- モデルを自動的に固定小数点化・最適化
 - 浮動 \Rightarrow 固定小数点化：オーバーフロー、冗長ビットの削減
- 固定小数点最適化の方法
 - 1: 各信号の、必要な数値レンジを決定
 - 最大/最小値設定の下流への派生
 - シミュレーションによる最小/最大値を計測
 - 2: オーバーフローしない最短の整数部Bit長に調整
 - 語長は固定のBit数で、小数点の位置を調整（小数部ができるだけ長く：量子化誤差を最小化）
 - 小数部の長さは固定（固定の量子化誤差の条件で、語長を最短化）

Name	Accept	ProposedDT	SpecifiedDT	DerivedMin	DerivedMax	SimMin	SimMax	Co
t(2)	<input checked="" type="checkbox"/>	fixdt(1,31,32)	fixdt(1,32,32)	-0.14850553...	0.1485806772...	-0.14859553...	0.14859100...	
t(1)	<input checked="" type="checkbox"/>	fixdt(1,29,32)	fixdt(1,32,32)	-0.04953184...	0.0495268924...	-0.04953184...	0.04953033...	
BodyLSum2 : Output	<input checked="" type="checkbox"/>	fixdt(1,31,32)	fixdt(1,40,32)	-0.19812738...	0.1981075696...	-0.19792482...	0.19796564...	
t(3)	<input checked="" type="checkbox"/>	fixdt(1,31,32)	fixdt(1,32,32)	-0.14859553...	0.1485806772...	-0.14859553...	0.14859100...	
BodyLSum3 : Output	<input checked="" type="checkbox"/>	fixdt(1,32,32)	fixdt(1,40,32)	-0.34672201...	0.3466802468...	-0.34614095...	0.34629816...	
H(1)	<input checked="" type="checkbox"/>	fixdt(1,30,32)	fixdt(1,30,32)	-0.04803184...	0.0480600000...	-0.04803184...	0.04806000...	

オーバーフローの解消
冗長ビットの削減

各信号名

ツールが推奨した固定小数点型

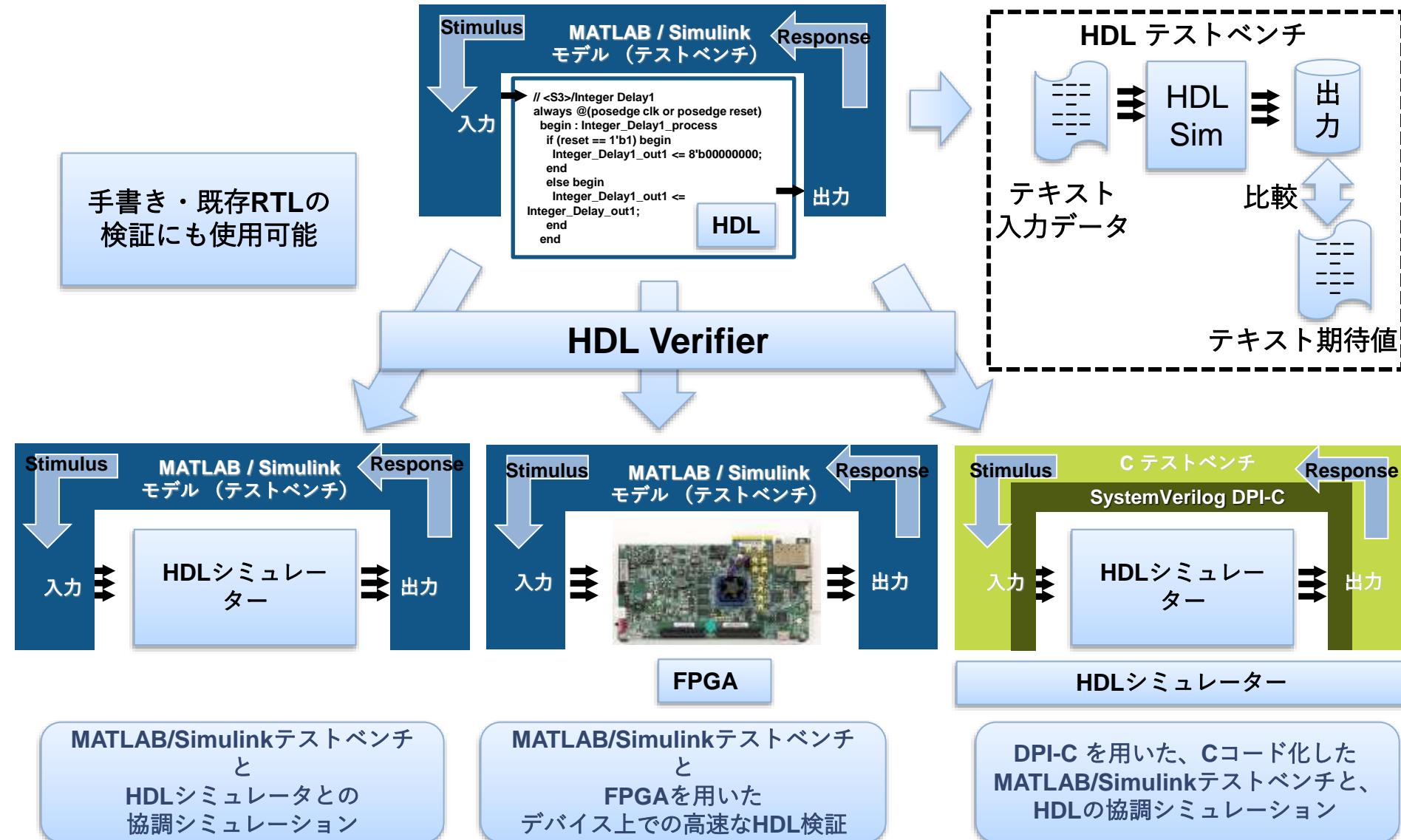
元の型

解析的に求めた信号値のレンジ

シミュレーションで求めた信号値のレンジ

3.10.3 HDL検証ソリューション

HDL Verifier



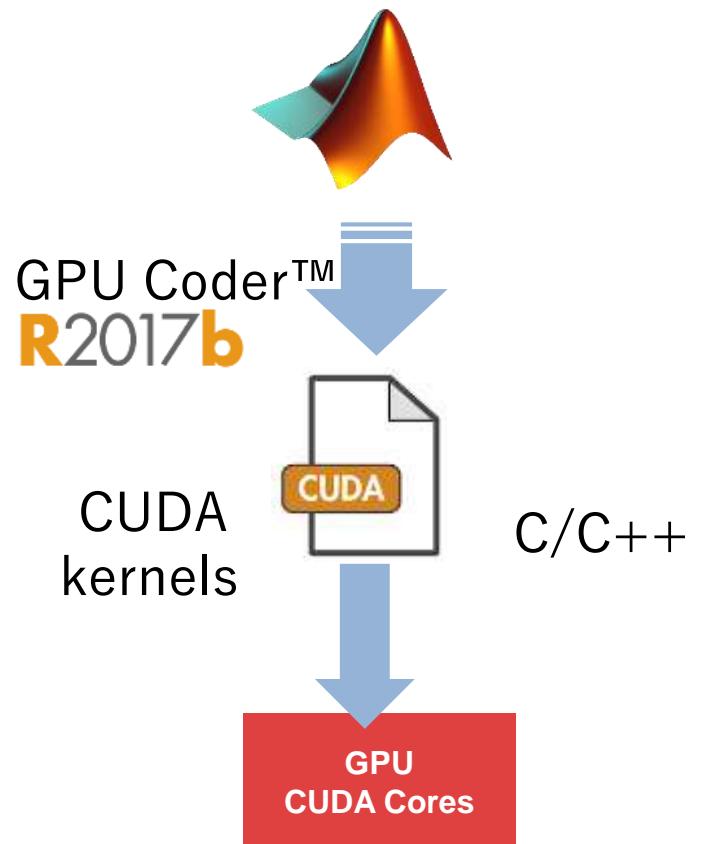
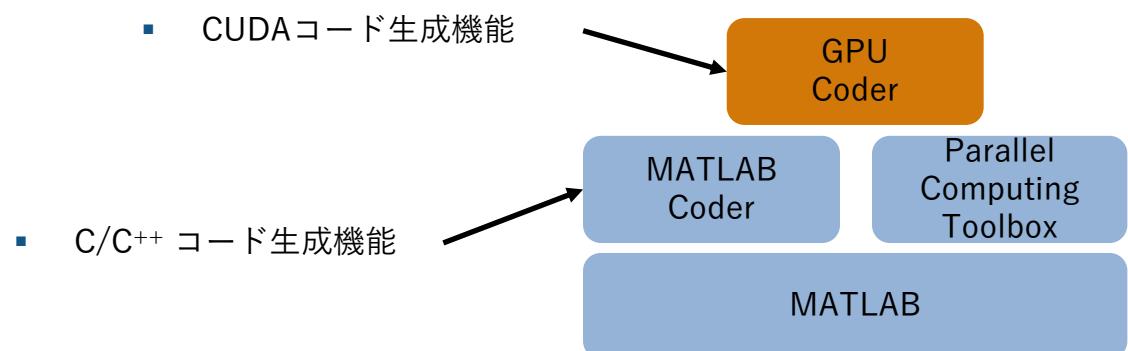
DPI-C : SystemVerilogによるC言語とのインターフェース

3.11 MATLABからのCUDA®コード生成

R2017b

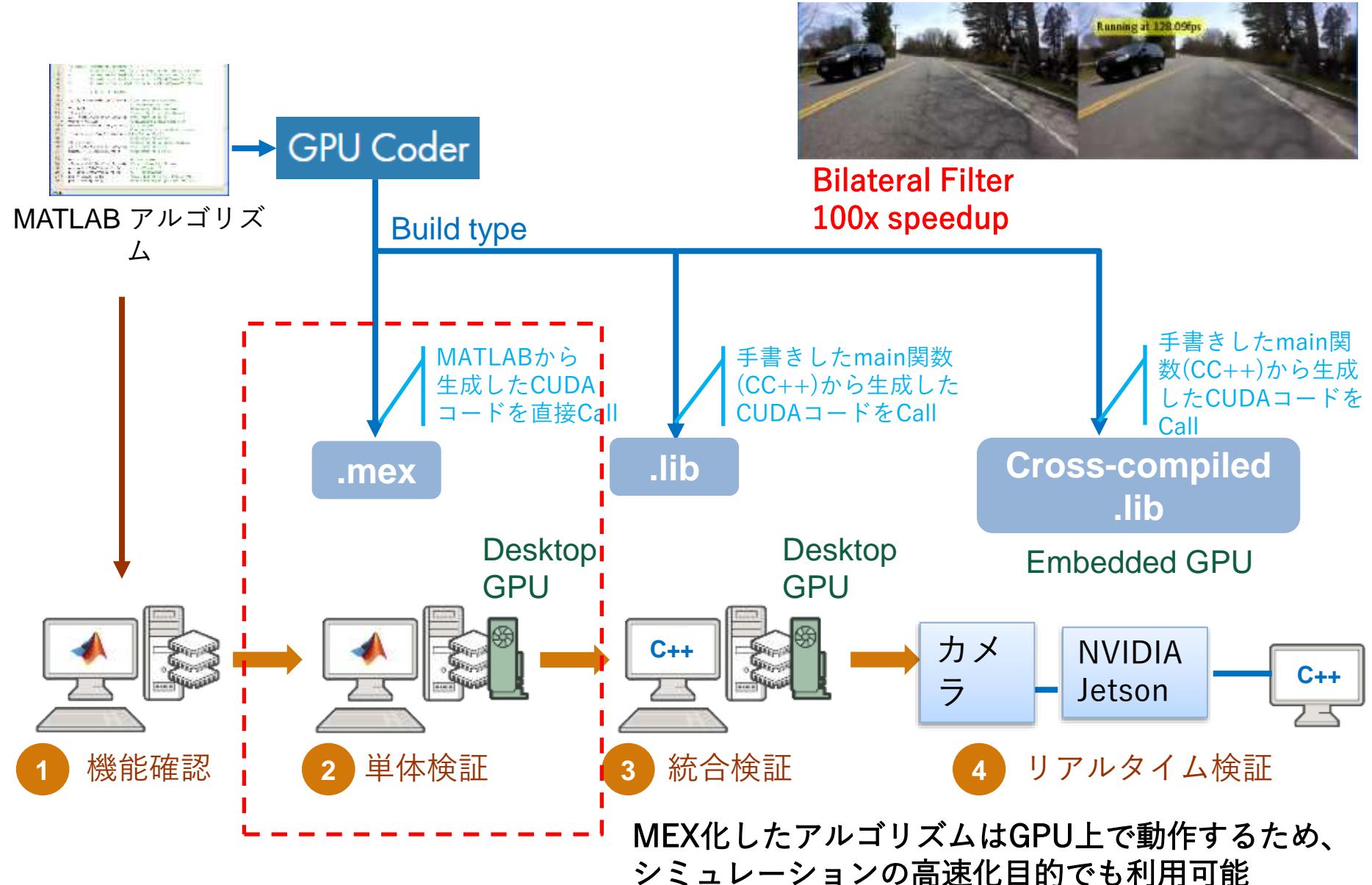
GPU Coder

- CNNを含む、画像処理アルゴリズムからの CUDA C生成
- CUDAの文法を知らなくても利用できる、専用プラグマによる関数解析
- 初めてでも使いやすい、専用GUIを提供
- DLLを生成しSimulinkへ統合可能



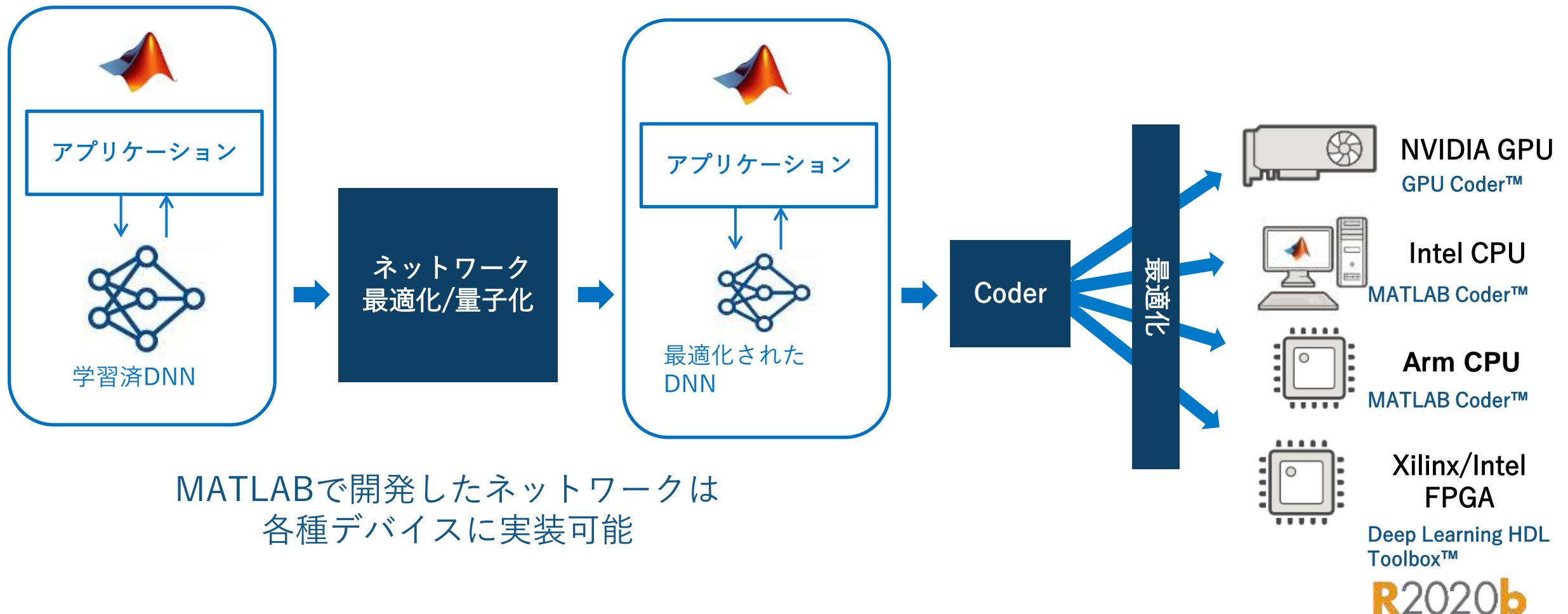
3.11.1 画像処理アルゴリズムのGPU実装

GPU Coder

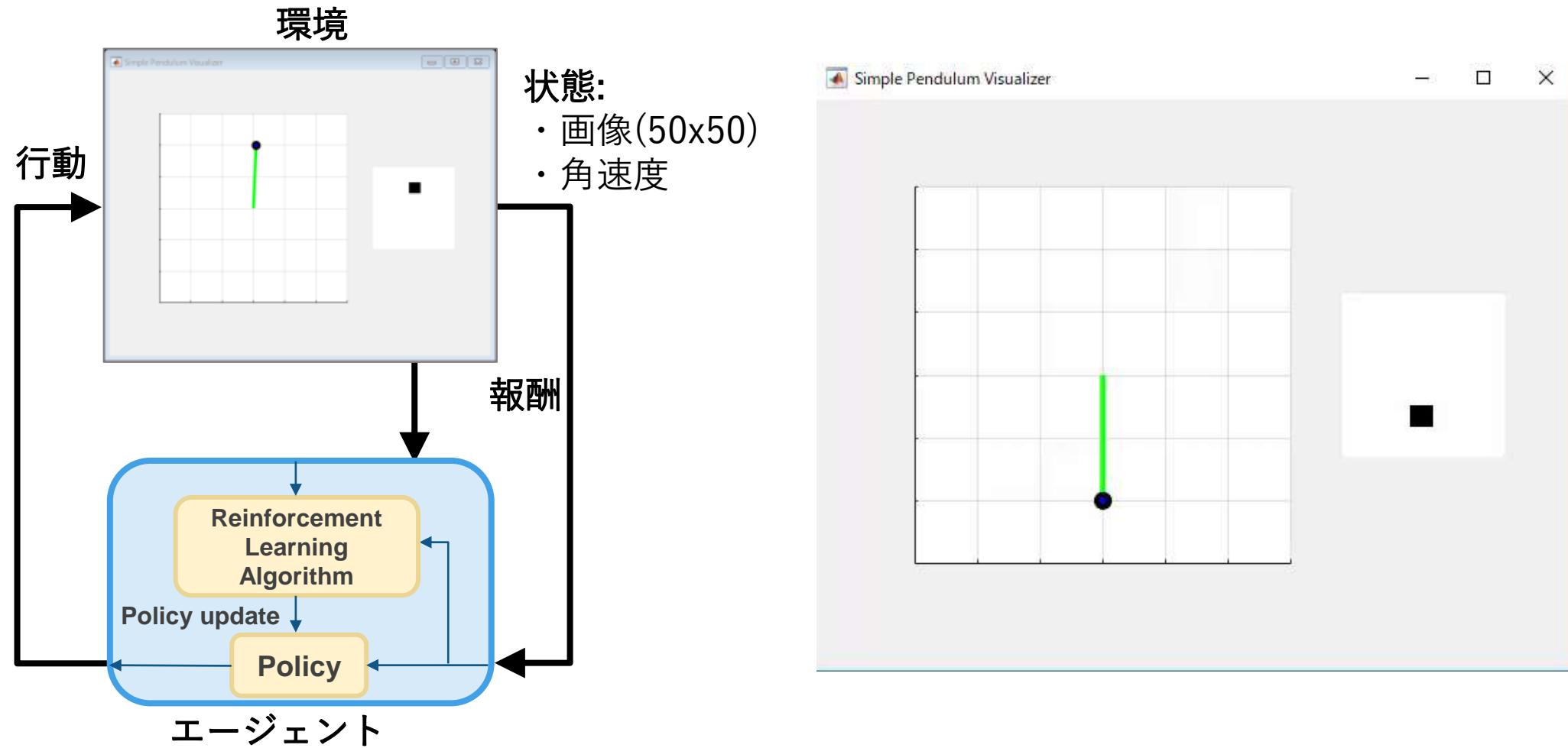


MEX化したアルゴリズムはGPU上で動作するため、
シミュレーションの高速化目的でも利用可能

3.11.2 ディープラーニングのGPU/CPU実装



3.12.1 深層強化学習: 画像入力による振り子の振り上げ



画像などの高次元の観測情報を状態を推定
(この例では画像から振り子の位置が推定されている)

アジェンダ

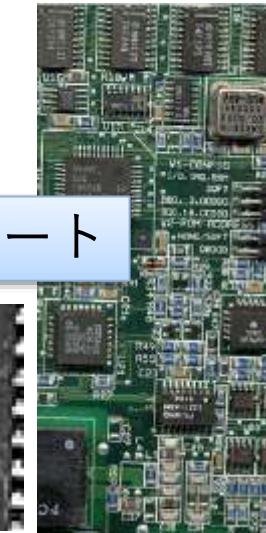
1. MATLAB/Simulinkの概要
2. 各種画像処理例
3. 連携機能
4. コンピュータービジョン処理例
5. 画像の機械学習・ディープラーニング
6. まとめ

4.1 パターンマッチング (領域ベースのマッチング)

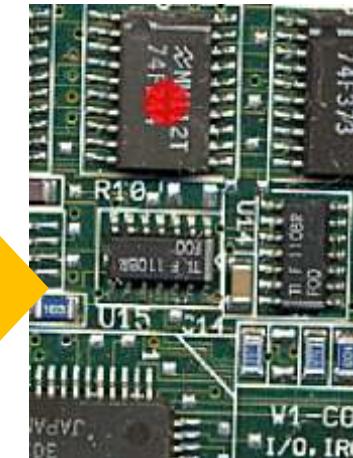
テンプレートマッチング

```
htm=vision.TemplateMatcher; % オブジェクト定義
Loc=step(htm,Igray,T); % 処理実行
```

ターゲット



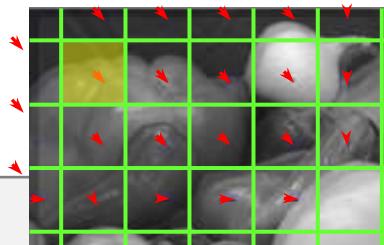
テンプレート



ブロックマッチング

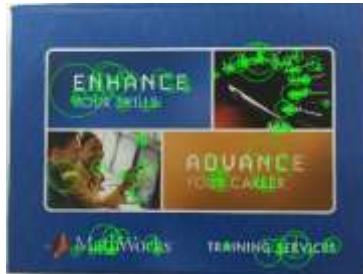
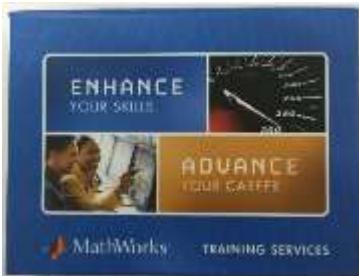
```
% オブジェクト定義
hbm = vision.BlockMatcher( ...
    'ReferenceFrameSource','Input port','BlockSize',[35 35]);
% 処理実行
motion = step(hbm, img1, img2);
```

ブロックサイズ(35x35ピクセル)



4.2.1 特徴点検出・特徴量抽出（1）

マッチング・検出 対象画像



R2019a

Oriented FASTとRotated
BRIEF(ORB)による特徴点検出



> 特徴点の検出

```

points = detectSURFFeatures(G) %SURF特徴点
detectHarrisFeatures()      %Harris (コーナー)
detectFASTFeatures()         %FAST (コーナー)
detectMinEigenFeatures()     %最小固有値 (コーナー)
detectBRISKFeatures()        %BRISK (コーナー)
detectMSERFeatures()         %MSER特徴点
detectKAZEFeatures()         %KAZE (コーナー) R2017b
detectORBFeatures()          %ORB (コーナー) R2019a

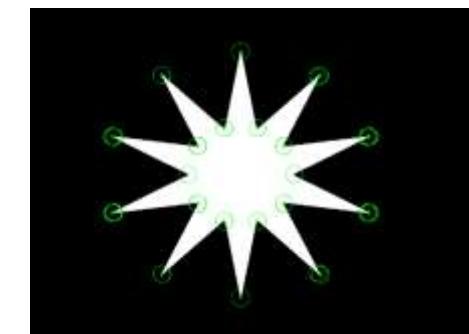
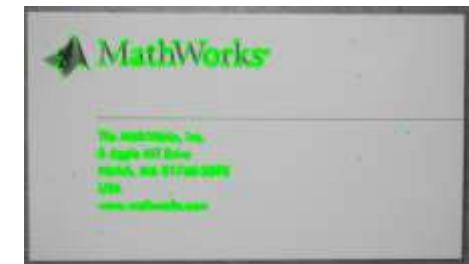
```

> 特徴量の抽出 (SURF, FREAK, BLOCK, BRISK, HOG, KAZE)

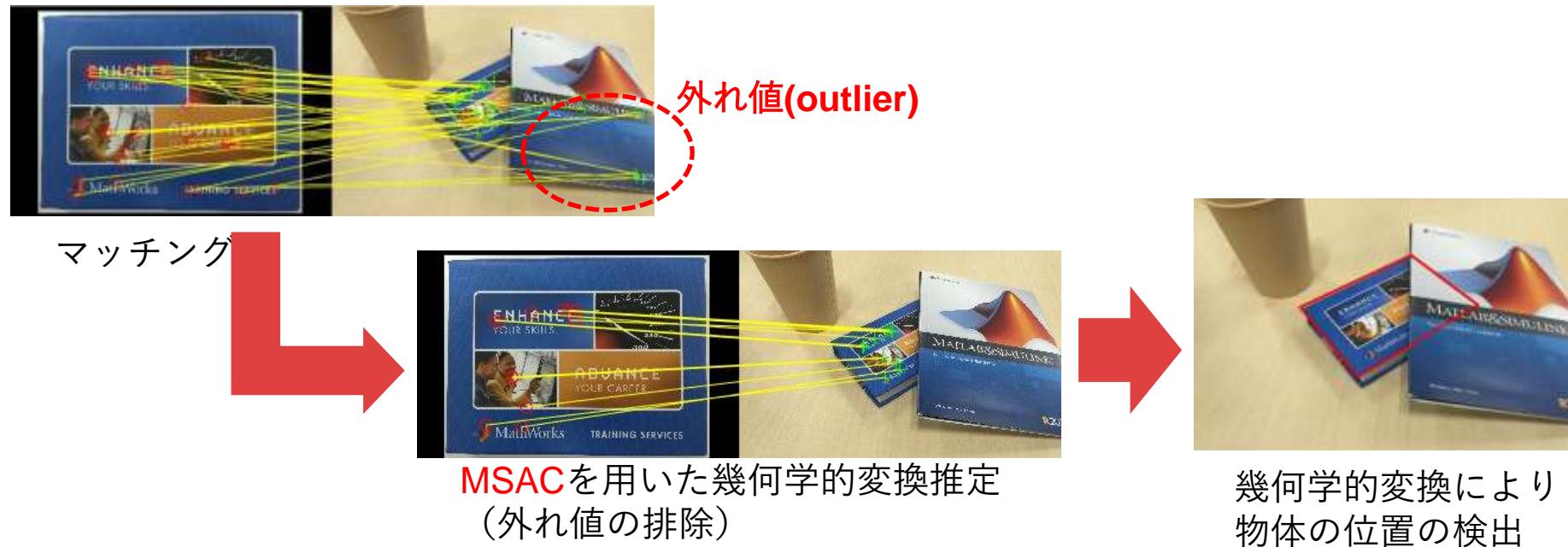
```

[f, vpoints] = extractFeatures(G, points) R2014a R2013b R2017b
[f, vpoints] = extractHOGFeatures(I, points)

```



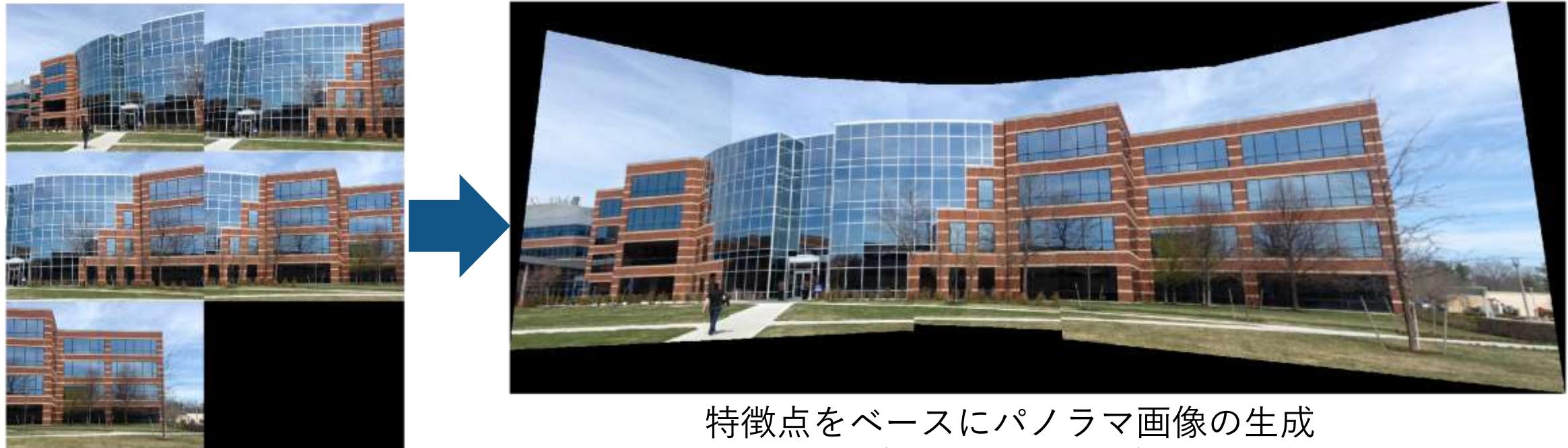
4.2.1 マッチング・物体検出（2）



```
% マッチング (SSD、SAD、NCC、ハミング距離)
index_pairs = matchFeatures(f1, f2)
% 幾何学的変換推定 (相似変換、アフィン変換、射影変換)
[tform, inlierIndex] =
    estimateGeometricTransform2D(m_pts1, m_pts2)
% 幾何学的変換
result = imwarp(Orig, tform, 'OutputView', imref(size(I))
```

R2020b

4.2.2 特徴点ベースのレジストレーション



特徴点をベースにパノラマ画像の生成
(Image Stitching)

```
[features, points] = extractFeatures(grayImage, points); % 特徴抽出
indexPairs = matchFeatures(features, featuresPrevious, 'Unique', true); % マッチング
matchedPoints = points(indexPairs(:,1), :);
matchedPointsPrev = pointsPrevious(indexPairs(:,2), :);
% 幾何学変換行列の推定(枚数分繰り返す)
tforms(n) = estimateGeometricTransform2D(matchedPoints, matchedPointsPrev, ...
    'projective', 'Confidence', 99.9, 'MaxNumTrials', 2000);
```

4.7.1 動き検出・高速動画ストリーミング処理

Image Acquisition Toolbox

- カメラからの画像の取込み

```
imaq.VideoCapture()
```

カメラからの画像の取込み

- 動きの検出

`opticalFlowHS`

Horn-Schunck (HS) オプティカルフロー

(オプティカルフロー：物体の動きの方向と速さをベクトルで表示)

`opticalFlowLK`

Lucas-Kanade (LK) オプティカルフロー

`opticalFlowLKDAG`

DoGフィルタを用いた、**LK** オプティカルフロー

`opticalFlowFarneback`

Farnebackオプティカルフロー

```
vision.ForegroundDetector()
```

混合ガウス分布モデルによる動体検出

- カメラからの簡単な動画像取り込み・ストリーミング処理
- 簡潔なMATLABコードによるオプティカルフロー検出
- 高速なインタープリター処理

Running at 26.1477fps



4.7.2 動き検出を用いた物体検出



定点カメラの
入力動画像

動きの速さ・
方向の検出

動きを基にし
た車の抽出

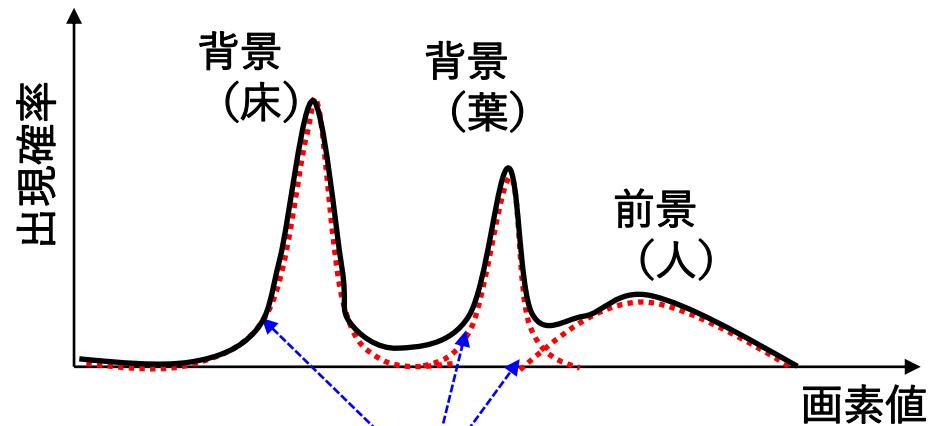
トラッキング中の車に対し、
- 枠を表示
- 台数の表示

動画からの動きや物体の検出
(色や形等では、単純に物体と背景を区別することが難しいとき等)

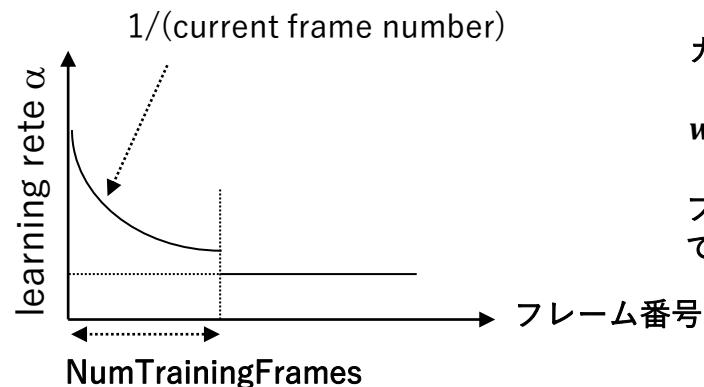
4.7.3 混合ガウス モデルを使用した前景の検出



動画中の各ピクセル毎に、混合ガウスモデル
Gaussian Mixture Model (GMM) を作成



複数のガウス分布でフィッティング
(各重み w_i) (各標準偏差 σ_i)



ガウス分布の中で $\frac{w_i}{\sigma_i}$ の大きなものを背景とする。その値の大きいものから
 w_i を順に積算し、'MinimumBackgroundRatio' を越すまでのガウス分布を背景
フレームが進むに従い、 $1/a$ の時定数（直近どの位のフレーム数から背景を抽出するか）
で背景を学習（パラメータを更新）

4.8 物体のトラッキング

ベイジアンフィルタ

`vision.KalmanFilter()`

物体トラッキング用カルマンフィルター

`robotics.ParticleFilter()`

パーティクルフィルタ [Robotics System Toolbox](#)

R2016a

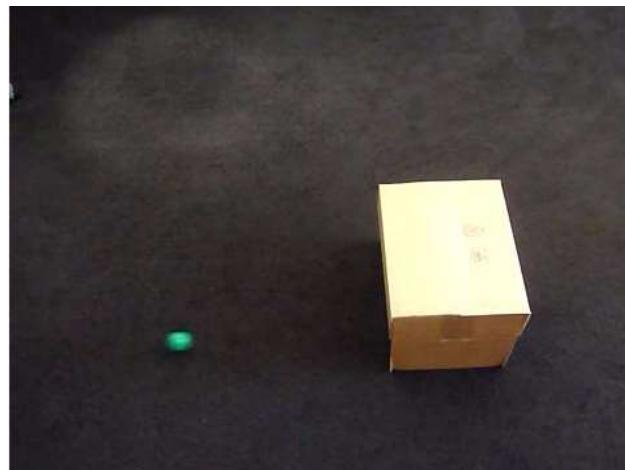
その他

`vision.HistogramBasedTracker()`

ヒストグラムを基にしたトラッキング (CAMShift)

`vision.PointTracker()`

点のトラッキング (KLTトラッカー)

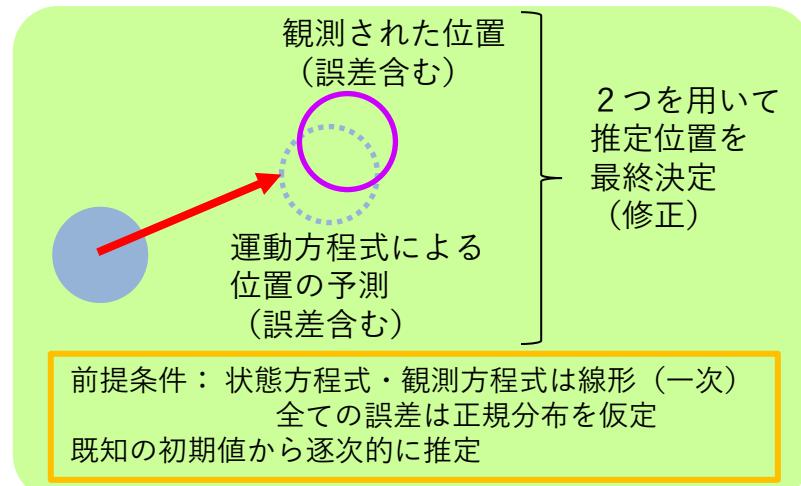


物体の動き予測
(オクルージョン (隠れ) 含む)



複数物体の検出やトラッキング

4.8.1 カルマンフィルタ



(例) 時刻 t での状態ベクトル: $X_t = [x_t, vx_t, y_t, vy_t]^T$

状態方程式: $X_{t+1} = F X_t + B U_k + w$

制御入力
(ここでは不使用)

$$\begin{bmatrix} x_{t+1} \\ vx_{t+1} \\ y_{t+1} \\ vy_{t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & dt & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & dt \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_t \\ vx_t \\ y_t \\ vy_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_x \\ w_{vx} \\ w_y \\ w_{vy} \end{bmatrix}$$

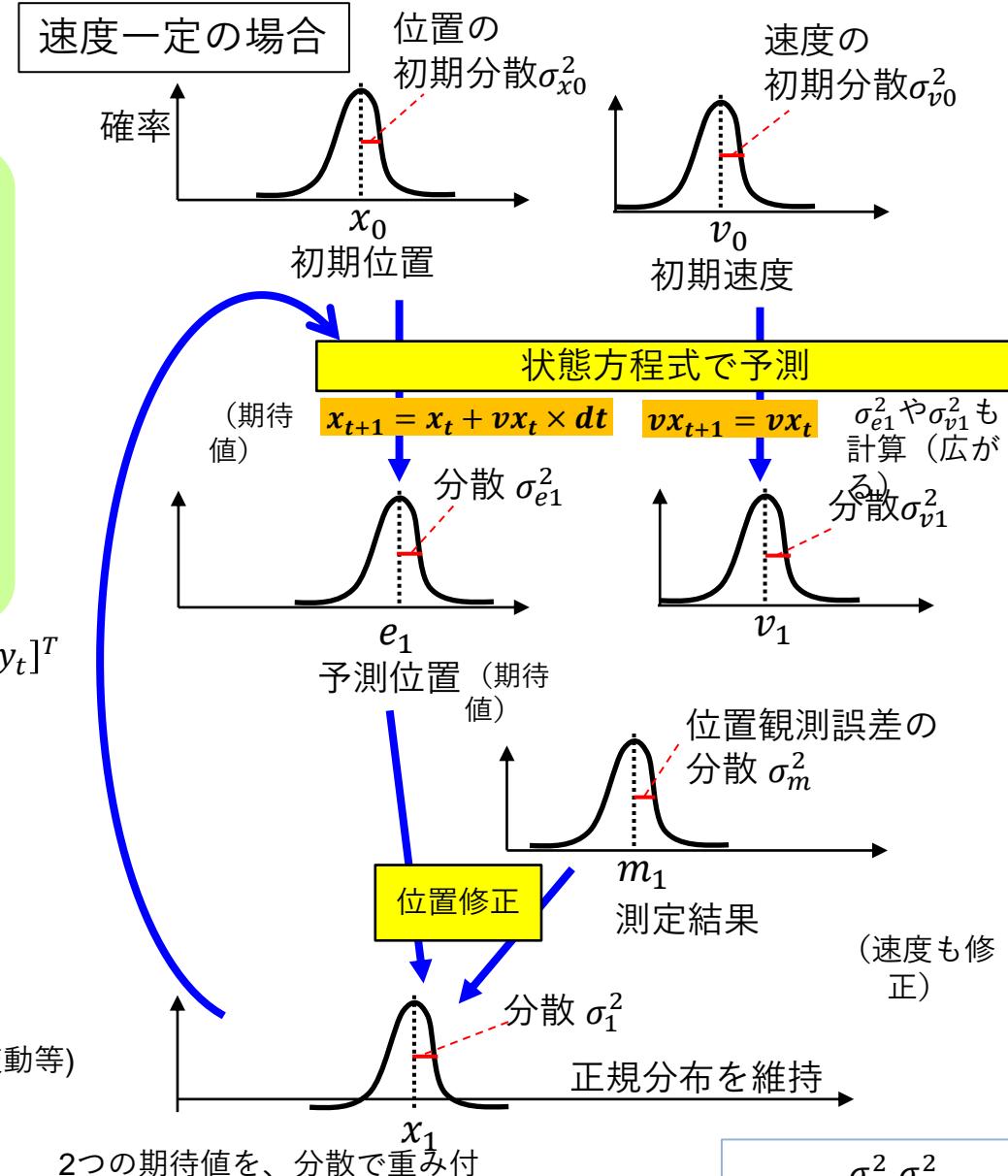
状態遷移行列
ノイズ
(速度変動等)

時刻 t での観測ベクトル: $Z_t = [zx_t, zy_t]^T$

観測方程式: $Z_t = H X_t + u$

$$\begin{bmatrix} zx_t \\ zy_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_t \\ vx_t \\ y_t \\ vy_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_{zx} \\ u_{zy} \end{bmatrix}$$

観測行列
観測誤差



$$x_1 = \left(\frac{\sigma_m^2}{\sigma_e^2 + \sigma_m^2} \right) e_1 + \left(\frac{\sigma_e^2}{\sigma_e^2 + \sigma_m^2} \right) m_1$$

$$\sigma_1^2 = \frac{\sigma_e^2 \sigma_m^2}{\sigma_e^2 + \sigma_m^2}$$

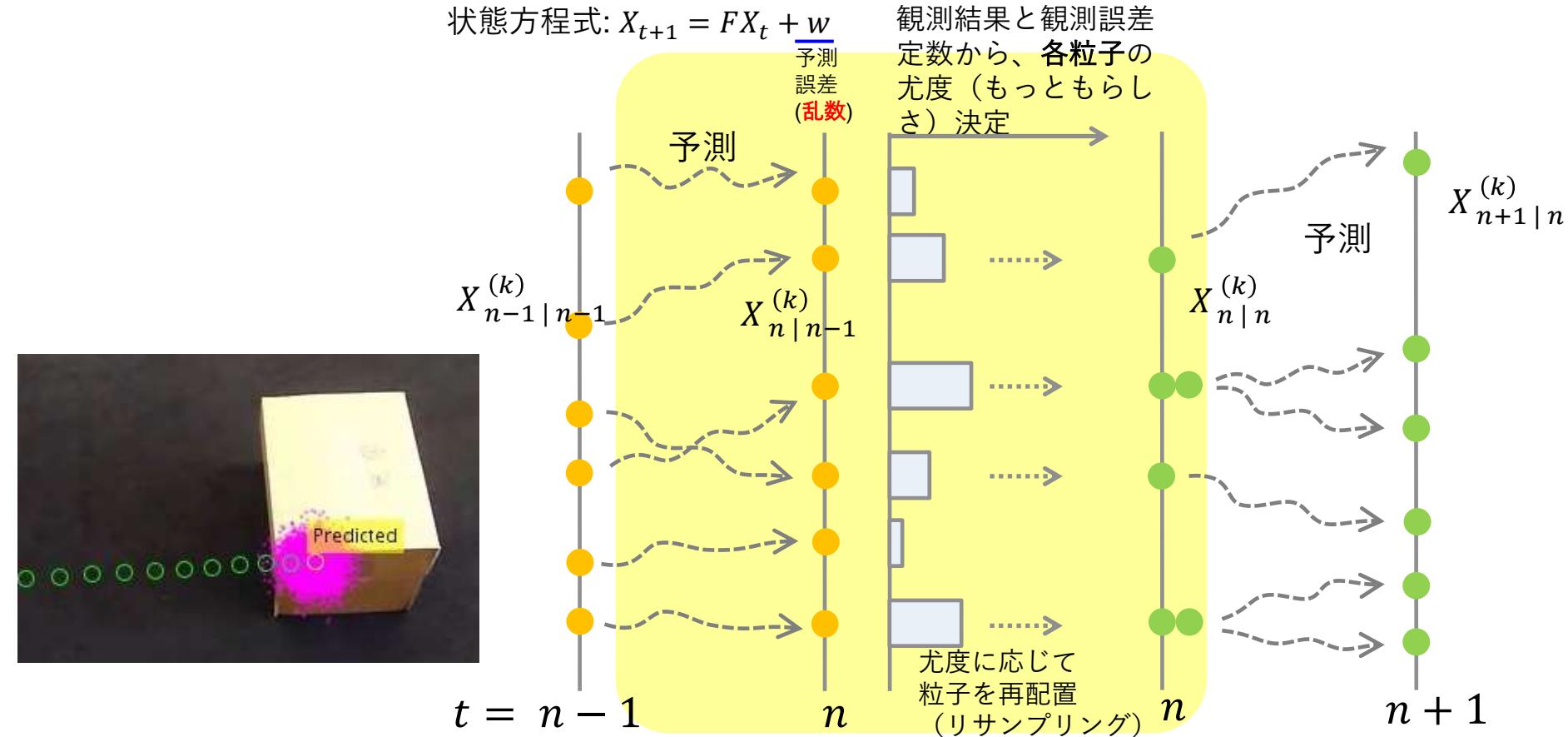
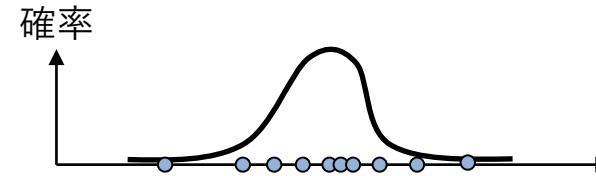
4.8.3 パーティクルフィルタ

- 確率分布を、多数の粒子の密度で近似
- 非線形運動方程式も可能
- 多峰性分布も可能
(例：等速度運動)

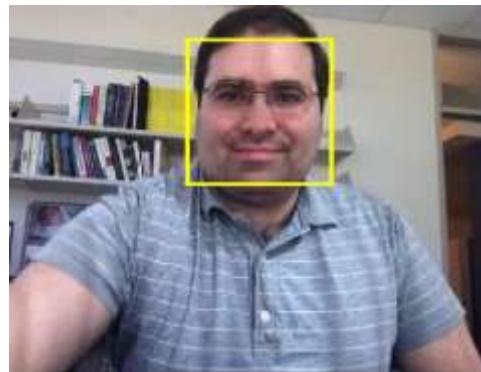
時刻 t での状態ベクトル: $X_t = [x_t, vx_t, y_t, vy_t]^T$

時刻 t での観測ベクトル: $Z_t = [zx_t, zy_t]^T$

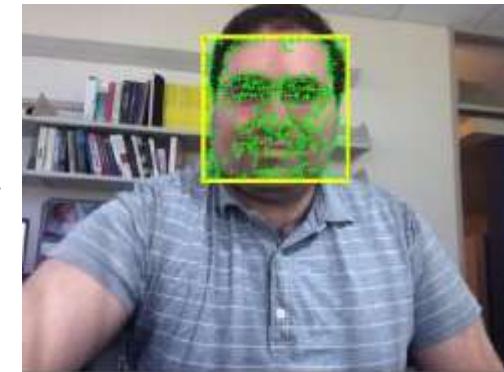
Robotics System Toolbox™ R2016a



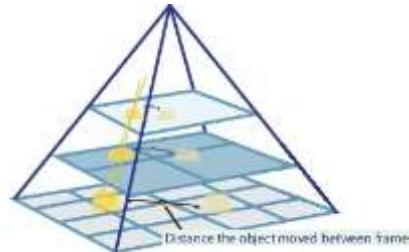
4.8.4 KLT ポイント トラッカー



トラッキングしたい
領域（ROI）を検出



ROI中でコーナー等の
特徴点を検出



画像ピラミッドを生成し、低解
像度画像から順にLT法によるオ
プティカルフローを検出するこ
とで、大きな動きを検出

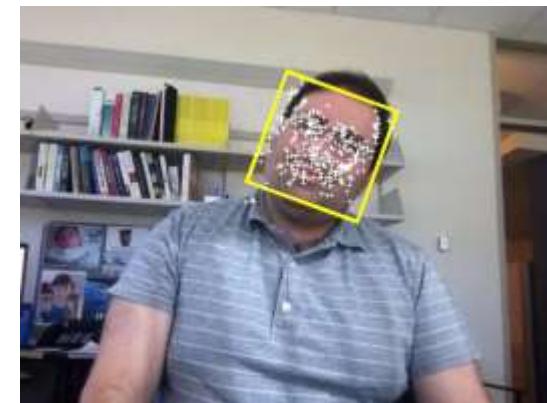
トラッカーの初期

```
pointTracker = vision.PointTracker; % トラッカーのオブジェクトの生成
initialize(pointTracker, points, frame1); % 検出した点で、トラッckerを初期化
```

点を次フレーム上でトラッキング

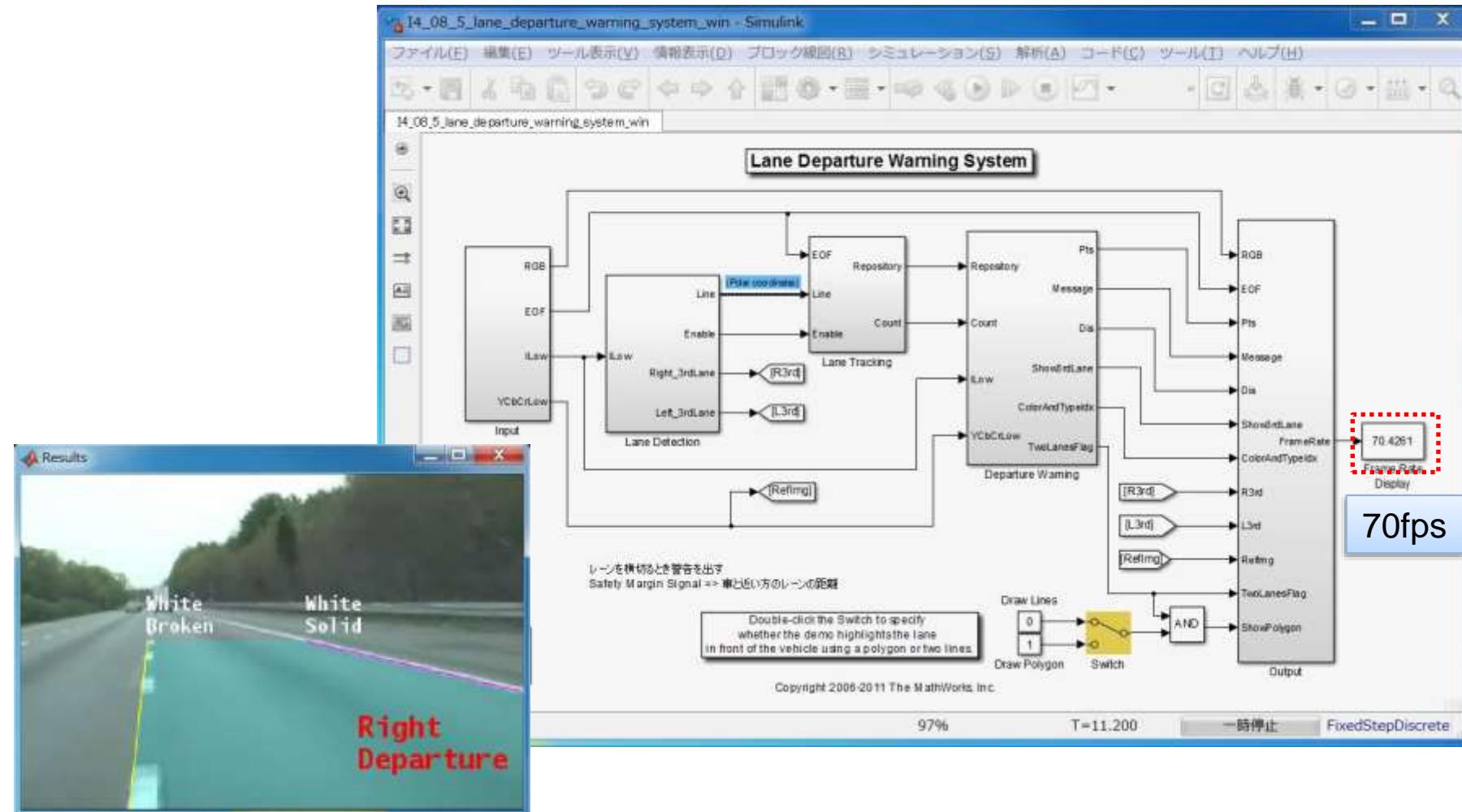
```
[points, isFound] = step(pointTracker, frame2);
```

(isFound: 現フレームで検出できた点のフラグ)



4.8.6 白線トラッキング

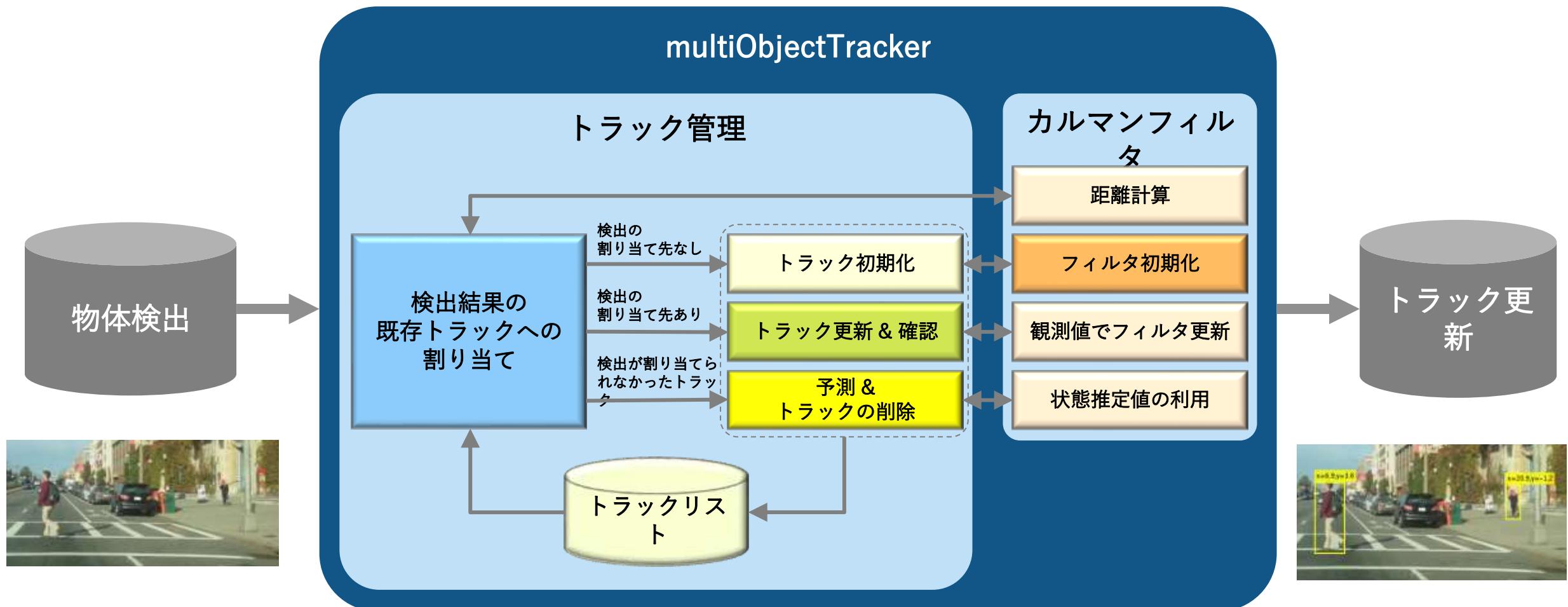
Simulink
DSP System Toolbox



ブロック線図設計環境を用いた、リアルタイムの高速動画処理シミュレーション

4.8.7 マルチオブジェクトトラッカー

Sensor Fusion and Tracking Toolbox



4.9 画像からカメラ位置・姿勢推定、3次元再構築

<code>bundleAdjustment/bundleAdjustmentMotion</code>	カメラ位置・姿勢と3次元点群の最適化	R2016a R2020a
<code>cameraMatrix</code>	カメラ行列の生成：カメラ内部パラメータと外部パラメータ（回転・並進）から算出	
<code>relativeCameraPose</code>	2台のカメラ間の関係：基礎行列・カメラパラメータ・2枚の画像上の対応点から算出	
<code>disparity</code>	視差画像の生成：平行化された2枚の画像から算出	
<code>epipolarLine</code>	指定された点に対応するエピポーラ線の計算：基礎行列から計算	
<code>estimateCameraParameters</code>	カメラパラメータの推定	
<code>estimateFundamentalMatrix</code>	基礎行列の推定：2枚の画像上の対応点から推定	
<code>estimateUncalibratedRectification</code>	カメラキャリブレーション無しステレオ平行化：基礎行列と対応点から	
<code>extrinsics</code>	カメラの外部パラメータ推定：内部パラメータ・画像上とワールド上の対応点から推定	
<code>rectifyStereoImages</code>	ステレオ平行化：ステレオパラメータと、左右の画像から生成	
<code>reconstructScene</code>	視差画像から3次元点群を生成：ステレオパラメータと、視差画像から生成	
<code>triangulate</code>	点の3次元位置推定：ステレオパラメータと、左右画像上の対応点から推定 もしくは 左右のカメラ行列と、左右画像上の対応点から推定	
<code>triangulateMultiview</code>	複数画像から点 3 次元位置推定：全 点対応関係・カメラポーズ・カメラパラメータから	
<code>scanContextDescriptor</code>	スキャンコンテキスト記述子の抽出 R2020b	
<code>scanContextDistance</code>	2つのスキャンコンテキスト記述子間の距離計算 R2020b	

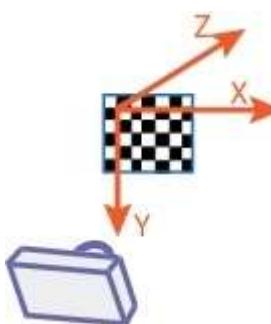
専用のクラス

<code>imageviewset</code>	Structure from Motion/Visual SLAM の為の、データ用管理クラス	R2020a
<code>worldpointset</code>	Structure from Motion/Visual SLAM の為の、3Dと2Dの対応点管理クラス	R2020b
<code>pcviewset</code>	点群ベースVisual Odometry/Visual SLAM の為の、データ用管理クラス	R2020a
<code>pointTrack</code>	複数画像間の点対応関係を格納	
<code>pcmapndt</code>	NDTアルゴリズムによる点群マップ	

4.9.1 キャリブレーション済み单眼カメラによるカメラ位置・姿勢

例)

- 推定 / ワールド座標Z=0面上の物体位置推定
(ワールド座標と画像座標が既知の複数の点を使用 → 外部パラメータ決定)



- 1 : 使用する单眼カメラをカメラキャリブレーション (内部パラメータの推定)
- 2 : チェッカーボードを单眼カメラで撮影： チェッカーボードの面がワールド座標系 Z=0 チェッカーボードの交点がワールド座標の原点
- 3 : extrinsics 関数で、外部パラメータを推定
(ワールド座標値とカメラ座標値の関係)
- 4 a : 外部パラメータから、カメラのワールド座標位置・姿勢を計算
- 4 b : 内部・外部パラメータと、測定対象点の画像座標から、点のZ=0ワールド座標上の位置の推定

```
% 外部パラメータの推定 (レンズ歪の無い画像上の点座標を使用)
[R, t] = extrinsics(imagePoints, worldPoints, cameraParams)

% カメラのワールド座標位置・姿勢を計算
Location    = -t * R'                      % [1x3]
Orientation = R'                           % [3x3]

%% レンズ歪の無い画像上の座標から、ワールド座標を推定
% (ワールド座標系z=0平面上のxy座標)
worldPoints1 = pointsToWorld(cameraParams, R, t, imagePoints1)
```

4.9.2 ステレオビジョン向けワークフロー

R2014a

R2014b

事前 キャリブレーション

キャリブレーション用パターンの撮影



ステレオカメラ キャリブレーション



パラメータ

ステレオ画像の並行化



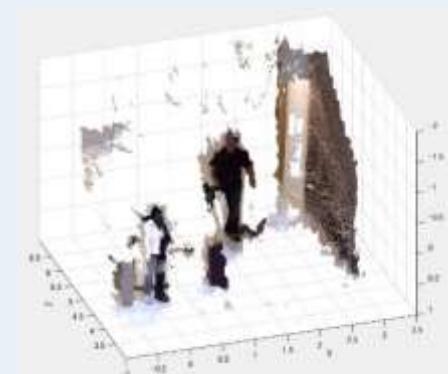
左右の画像のずれから、視差の計算



R2015a

処理速度の高速化

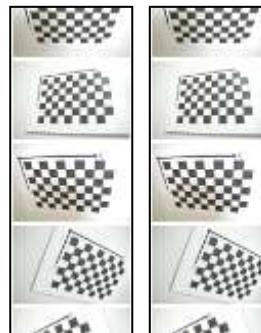
三次元空間の再構築



4.9.2 ステレオビジョン向けワークフロー：キャリブレーション

ステレオカメラキャリブレーション

撮影されたキャリブレー
ション用のパターン

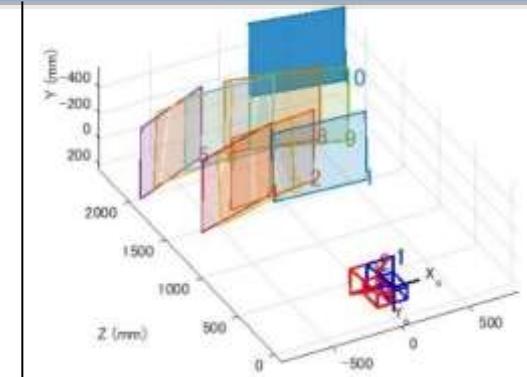


キャリブレーション

```
detectCheckerboardPoints()  
estimateCameraParameters()
```

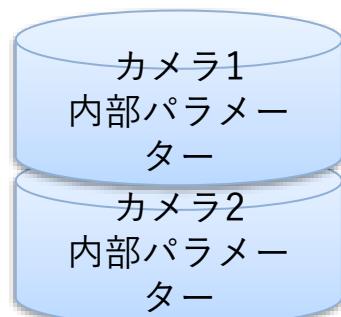
R2014a

ステレオカメラシステムのパラメータ



ステレオベースライン推定

キャリブレーション済の
パラメーター

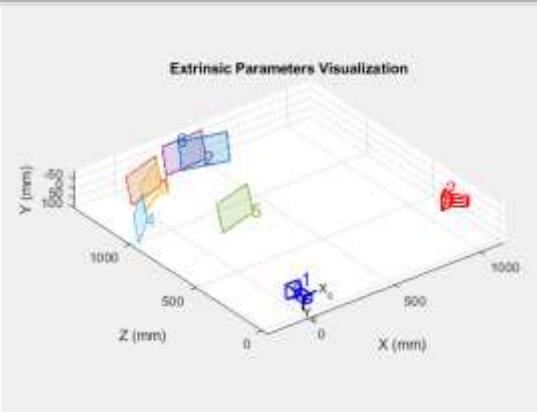


ベースライン(外部パラメータ)推定

```
estimateStereoBaseline()
```

R2018a

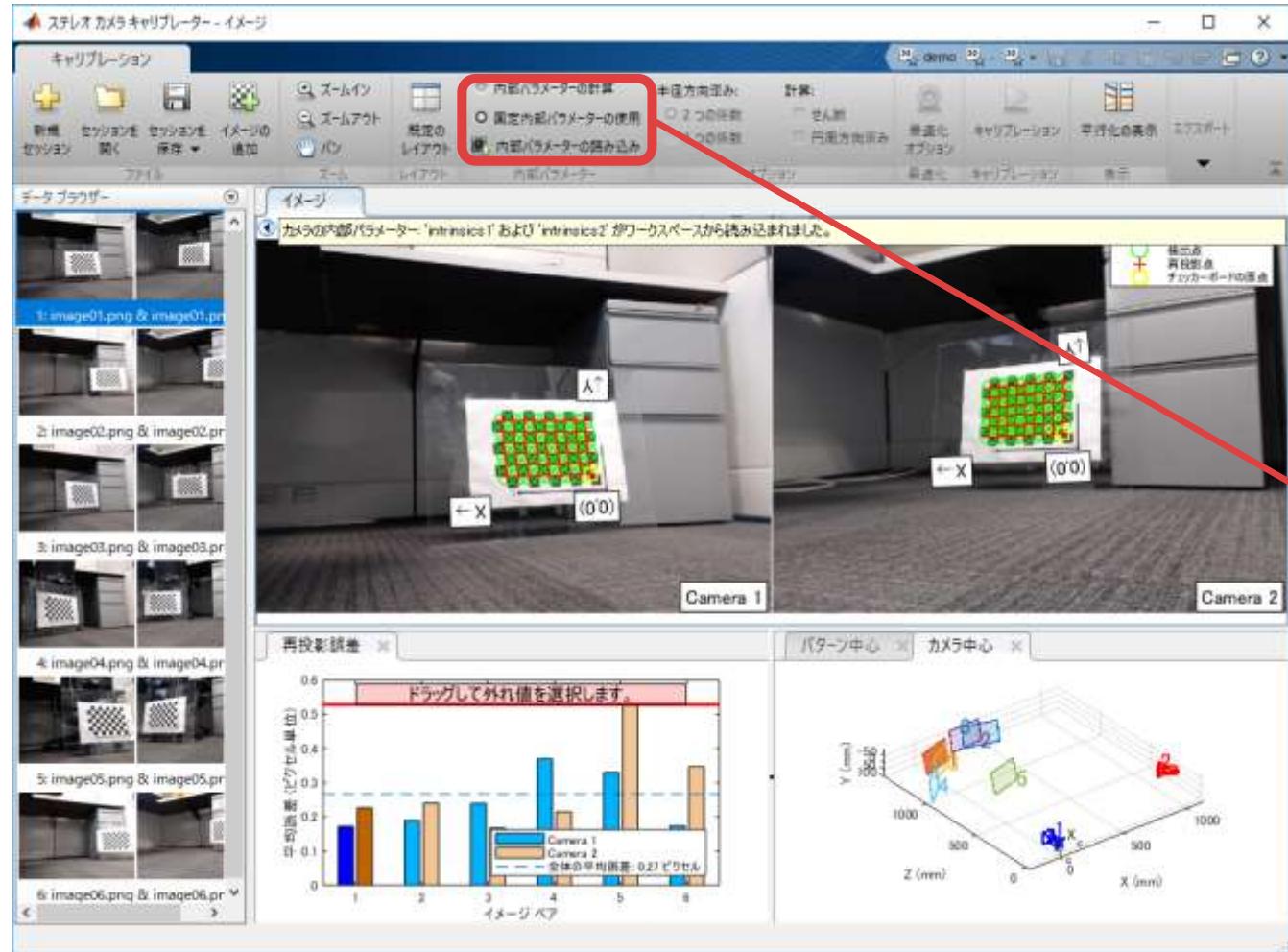
ステレオカメラシステムのパラメータ



4.9.2 ステレオビジョン向けワークフロー：キャリブレーション

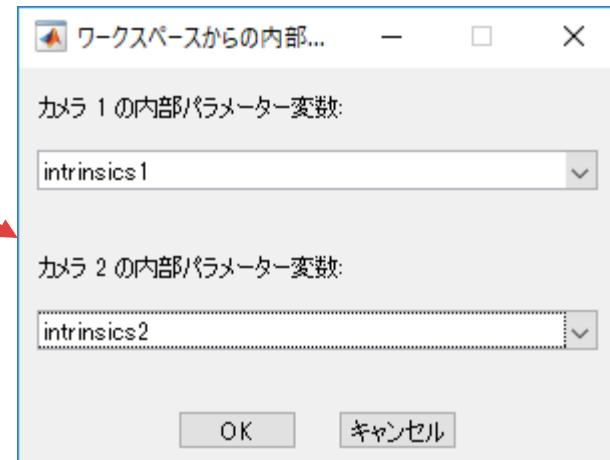
R2014b

ステレオカメラキャリブレーション用APPS



R2018a

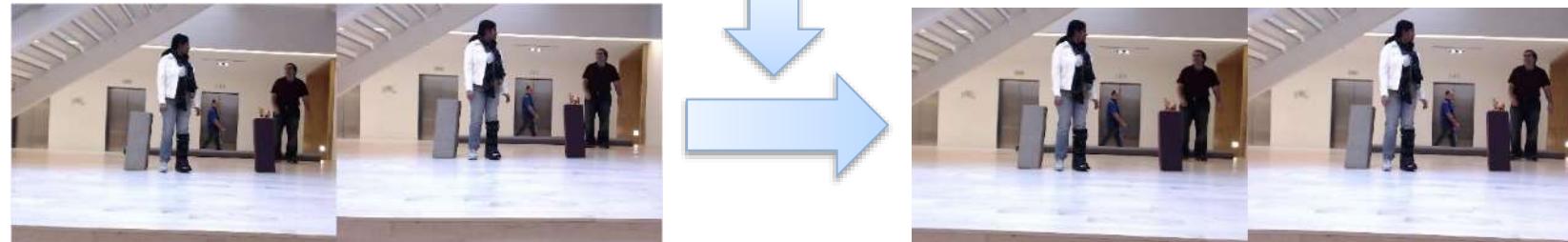
個別の内部パラメータを取り込み
ベースラインの計算する関数をサ
ポート



4.9.2 ステレオビジョン向けワークフロー：ステレオ平行化

ステレオ画像の平行化

ステレオカメラシステムのパラメータ



```
[J1, J2] = rectifyStereoImages(I1, I2, stereoParams)
```

ステレオ画像表示

R2014a

```
imshow(stereoAnaglyph(I1, I2));
```



3Dメガネ



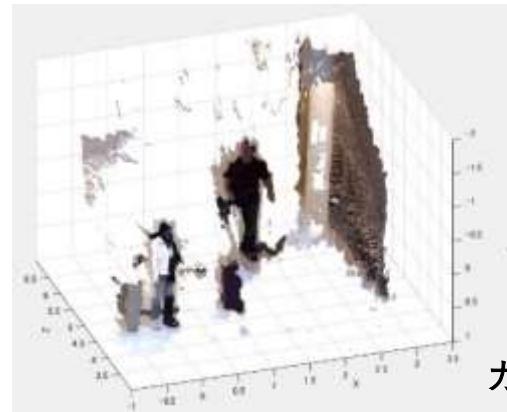
4.9.2 ステレオビジョン向けワークフロー： 視差画像からの3次元再構築 視差画像の計算



```
disparityMap = disparitySGM (G1, G2, 'DisparityRange', [0 64])
```

disparitySGM, disparityBM: GPU実行可能な視差計算関数追加(Cコード生成可) **R2019a**

3次元空間の再構築・表示



R2014a
R2014b

カメラ 1 の光学中心が原点

```
pointCloud = reconstructScene(disparityMap, stereoParams)  
showPointCloud(pointCloud, J1);
```

4.9.3 ステレオビジョン向けワークフロー：距離測定への応用



画像の平行化



視差画像



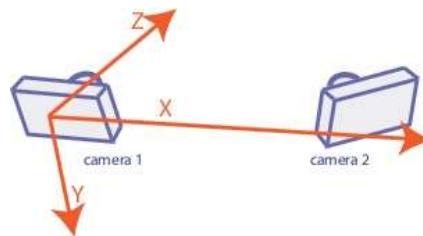
対象を検出し、距離計算



ステレオカメラにより、人物までの距離を測定し、3m以内になつたら
赤で警告 → 衝突防止等への応用

4.9.4 2台のカメラで対象点の3次元位置を求める別法

(疎な3次元再構築：ステレオ平行化・視差計算不要)



- ステレオパラメータと、左右の画像上の対応点座標が既知の場合
(画像のレンズ歪を除去の後に、対応点座標を取得)

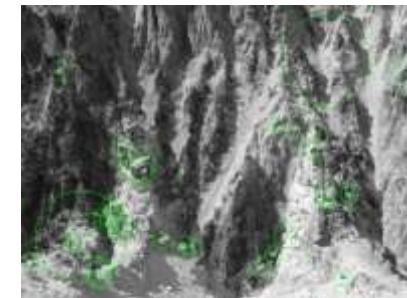
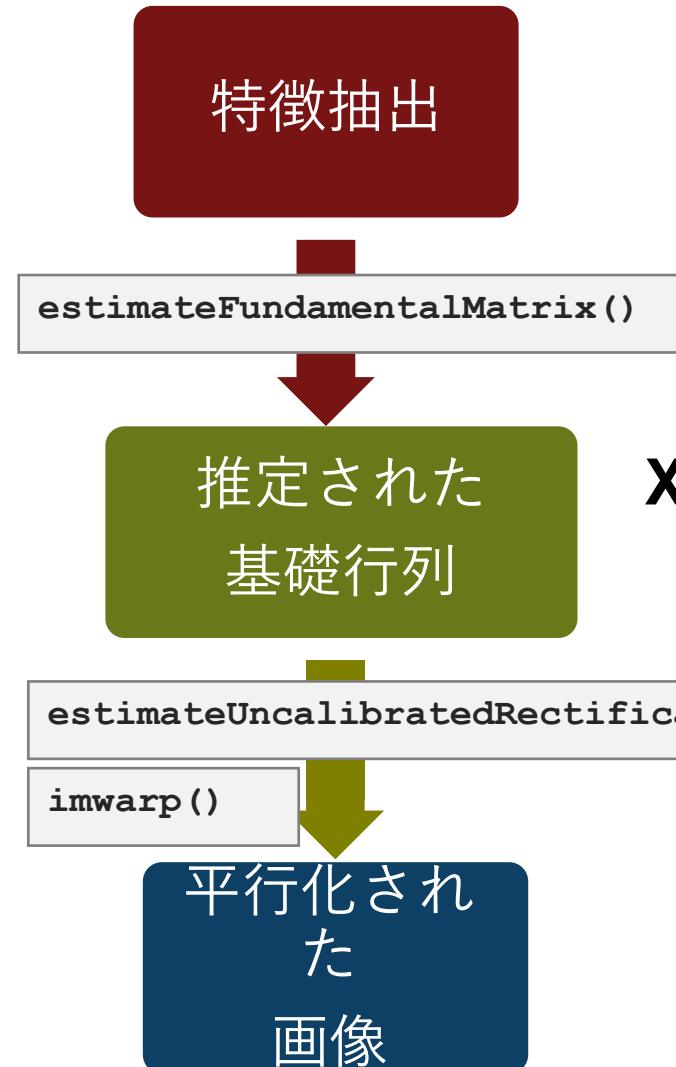
```
% カメラ1の光学中心から、指定された点までx・y・z方向の距離を計算
point3d = triangulate(matchedPts1, matchedPts2, stereoParams);
```

- 左右のカメラの内部・外部（並進・回転）パラメータもしくは左右のカメラ行列と、左右の画像上の対応点座標が既知の場合
(カメラの外部パラメータは、 extrinsics 関数で推定可)
(画像のレンズ歪を除去の後に、対応点座標を取得)

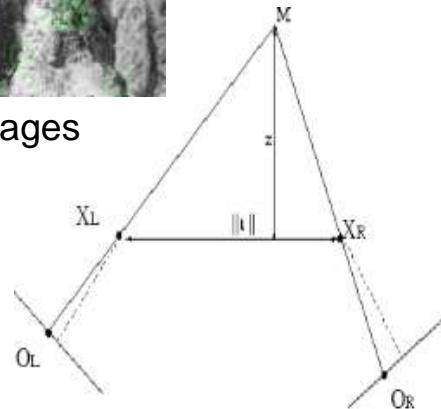
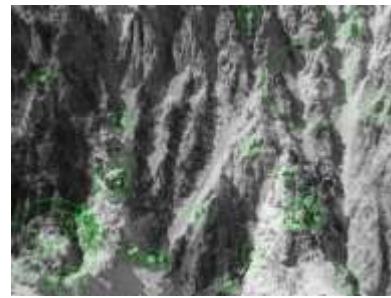
```
% カメラ内部・外部パラメータから、カメラ1・2のカメラ行列を計算
camMatrix1 = cameraMatrix(cameraParams1, cam1R, cam1T);
camMatrix2 = cameraMatrix(cameraParams2, cam2R, cam2T);

% 指定された点の3次元位置を計算 (外部パラメータで用いたワールド座標を使用)
point3d = triangulate(matchedPts1, matchedPts2, camMatrix1, camMatrix2);
```

4.9.5 ステレオビジョン向けワークフロー： キャリブレーションなしの平行化



Find Features from pair of images



Rectified image



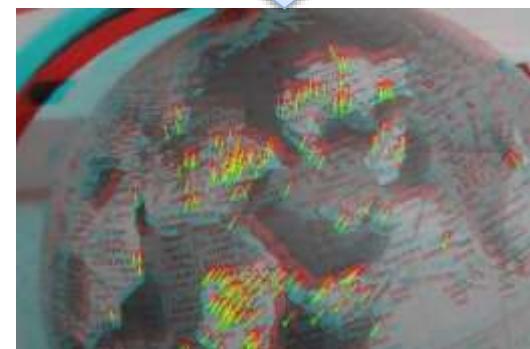
3Dメガネ

4.9.6.1 2枚の画像によるStructure from Motion

R2015b



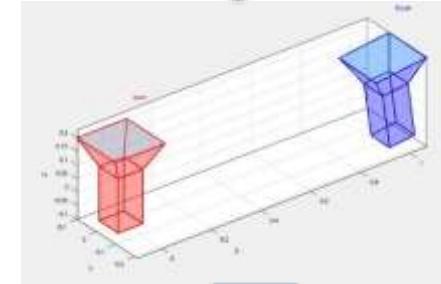
2枚の画像上の疎な対応点を探索
`vision.PointTracker`



基本行列（2つの画像の対応関係） E の推定
`estimateEssentialMatrix()`

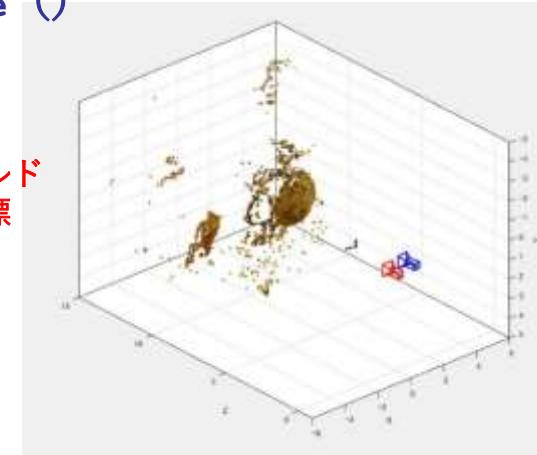
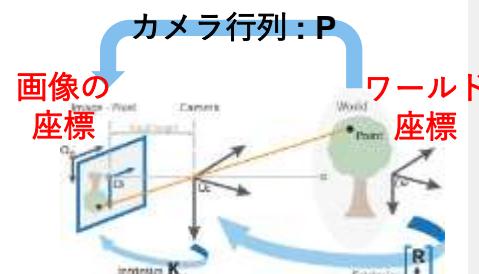
 E

E と対応点情報から、カメラ1と2の位置・姿勢関係を計算
`relativeCameraPose()`



カメラ行列（World座標と画像上の座標の関係）を計算
`cameraMatrix()`

密な対応点の探索
対応点座標とカメラ行列から、点の3次元マップを計算
`triangulate()`



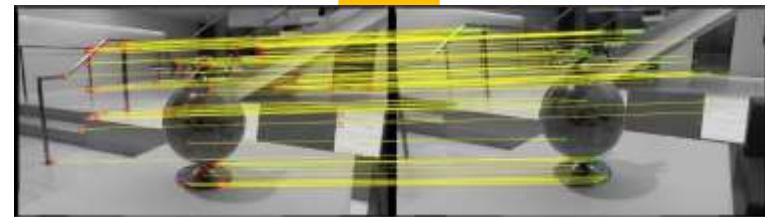
4.9.6.2 複数画像によるStructure from Motion

R2016a



複数のカメラからの画像に対応

R2019b



SfM のデータ管理用クラス

```
vSet = imageviewset; % imageviewsetクラスの生成 R2020a
% vSet.Views : 各画像での特徴点座標とカメラの位置・姿勢
% vSet.Connections : 各画像間の特徴点の対応
```

2組の画像間で対応点を探索 : `matchFeatures`

基礎行列（2つの画像上の点の対応関係）を推定 :

`estimateFundamentalMatrix`

各2組の画像の相対カメラ位置・姿勢の推定 : `relativeCameraPose`

複数画像上の点対応関係から、各点の3次元位置を推定 :

`triangulateMultiview`

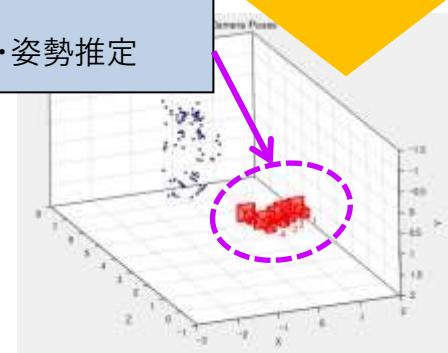
複数Viewにまたがる、点の全対応関係情報 : `findTracks`

全ての点とカメラ位置・姿勢を用い、

点群位置とカメラ位置・姿勢を最適化 : `bundleAdjustment`

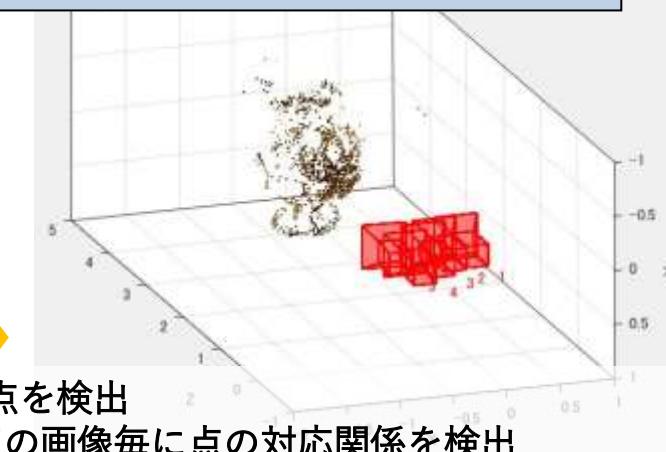
Step#1

カメラの自己位置・姿勢推定



Step#2

密な3次元点群(マップ)再構成



一枚目の画像上で密な特徴点を検出

ポイントトラッカーで、2組の画像毎に点の対応関係を検出

複数Viewにまたがる、点の全対応関係情報 : `findTracks`

複数画像上の点対応関係から、各点の3次元位置を推定 :

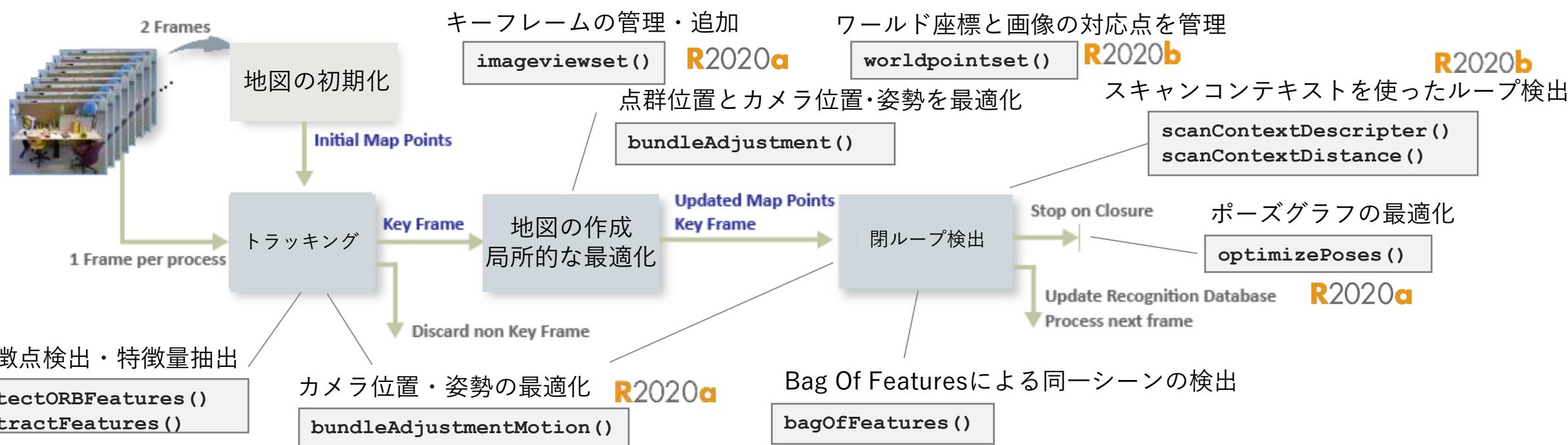
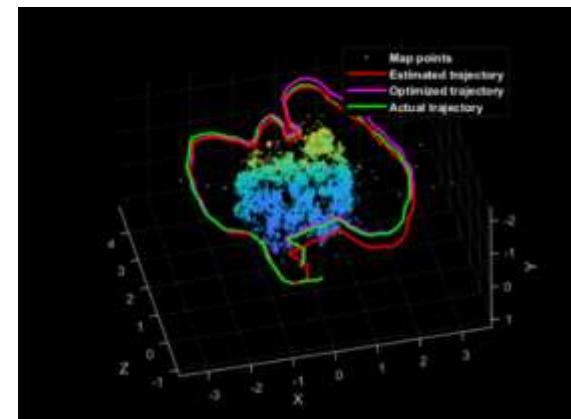
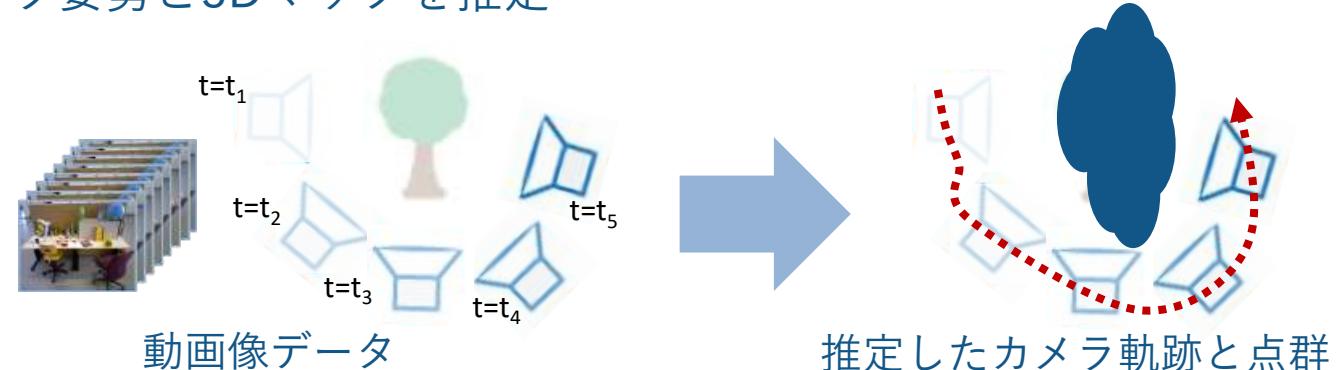
`triangulateMultiview`

全ての点とカメラ位置・姿勢を用い、

点群位置とカメラ位置・姿勢を最適化 : `bundleAdjustment`

4.9.7 Visual SLAM: ORB-SLAM

動画像からカメラ姿勢と3Dマップを推定



特徴点検出・特徴量抽出

`detectORBFeatures()`
`extractFeatures()`

カメラ位置・姿勢の最適化

`bundleAdjustmentMotion()`

Bag Of Featuresによる同一シーンの検出

`bagOfFeatures()`

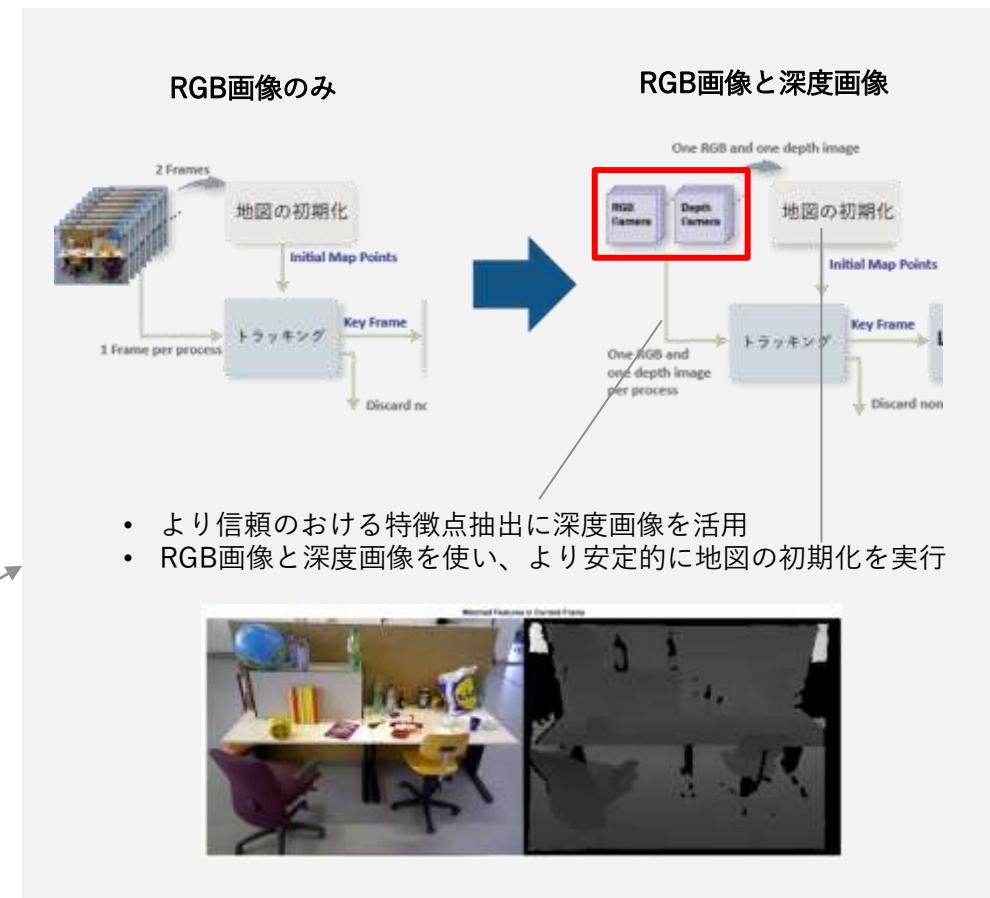
4.9.7 Visual SLAM: ORB-SLAM

R2021b

- バンドル調整のソルバーが追加
- rigid3dオブジェクトの入力に対応した関数
 - pointsToWorld, cameraMatrix, stereoParameters, worldToImage
- imageviewsetオブジェクトの機能拡充
 - findView: ビューIDによるビューの探索
 - findConnection関数: ビューIDによる接続の探索
- BoFがバイナリーフィーチャーをサポート

R2022a

- 下記関数がステレオカメラ平行化パラメータへのアクセスを強化
 - rectifyStereoImagesが視差画像から3次元点群への再投影行列の出力に対応
 - reconstructScene 関数が再投影行列の入力をサポート
- バンドル調整関数とデータ管理オブジェクトの統合
 - bundleAdjustmentとbundleAdjustmentStructure関数が worldpointsetとimageviewset オブジェクトの入力に対応
- RGB-DカメラによるVisual SLAMの例題が追加
 - ORB-SLAM2のアルゴリズムを使ったRGB画像と深度画像によるSLAM



4.9.8 LiDAR Odometry and Mapping (LOAM)

LOAM algorithmを使用して点群の位置合わせを実施

勢と3Dマップを推定

- LOAM 特徴点を検出 : detectLOAMFeatures
- LOAM 特徴点を格納するオブジェクト: LOAMPoints
 - Edge points
 - Surface points

LOAM による点群位置合わせ関数: pcregisterloam



Env with defined trajectory

詳細 :

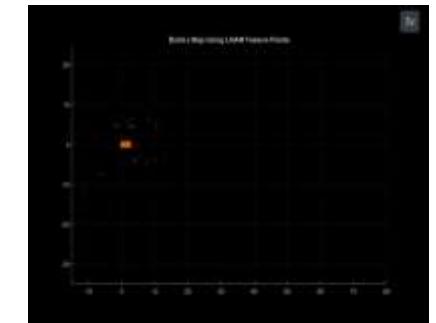
<https://jp.mathworks.com/help/releases/R2022a/lidar/ug/build-map-with-loam-using-unreal-engine.html>

<https://jp.mathworks.com/help/releases/R2022a/lidar/ref/pcregisterloam.html>

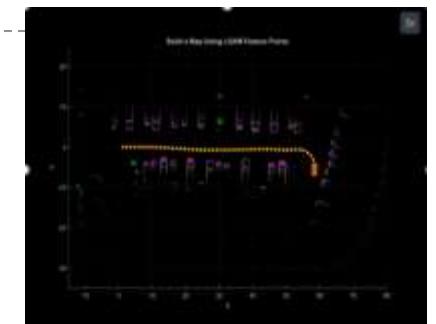
<https://jp.mathworks.com/help/releases/R2022a/lidar/ref/detectloamfeatures.html>

R2022a

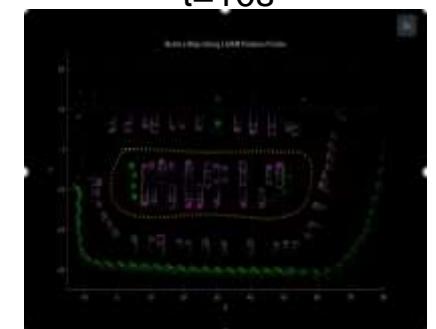
Lidar Toolbox™



t=0s



t=10s



t=25s
Map creation

4.10.1 3次元点群：読み込み・表示

3次元点群用のクラス・入出力・表示

*サポートされている型番:VLP-16, VLP-32C, HDL-32E, HDL-64E, Puck LITE, Puck Hi-Res, VLS-128

R2015a R2015b

R2019b

`pointCloud/lidarPointAttributes` 3次元点群用クラス / 点群の属性用クラス **R2022a** Lidar Toolbox

`pcread()` PCD・PLYファイルの読み込み

`pcwrite()` PCD・PLYファイルへのデータ書き出し

`pcfomkinect()` Microsoft Kinectからの3次元点群の読み込み（画像にアライメント）

`velodyneFileReader()` Velodyne LiDAR*のパケットキャプチャファイル(.pcap)の読み込み **R2018b**

`hesaiFileReader()` Hesai LiDARのパケットキャプチャファイル(.pcap)の読み込み **R2022a** Lidar Toolbox

`ousterFileReader()` Outster LiDARのパケットキャプチャファイル(.pcap)の読み込み **R2022a** Lidar Toolbox

`ibeoLidarReader()` Ibeo data container(IDC)ファイルの読み込み **R2020b** Lidar Toolbox

`lasFileReader/lasFileWriter` LAS / LAZ形式の点群データの読み込み **R2020b** Lidar Toolbox (`lasFileWriter` **R2022a** Lidar Toolbox)

`pcshow()` 3次元点群の表示（任意の点での回転に対応 **R2018a**）

`pcshowpair()` 3次元点群の差分表示（任意の点での回転に対応 **R2018a**）

`pcplayer` 3次元点群のストリーミング表示（任意の点での回転に対応 **R2018a**）

R2020a

タイムスタンプの
読み取りにも対応

R2018b

R2022a

Lidar Toolbox

R2022a

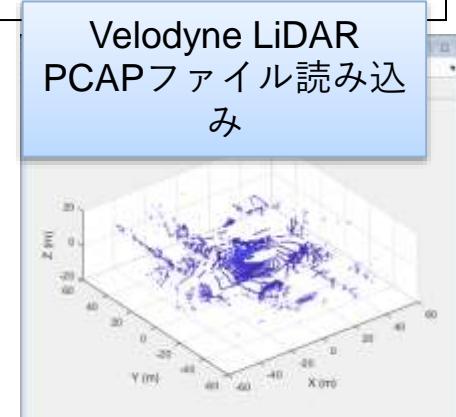
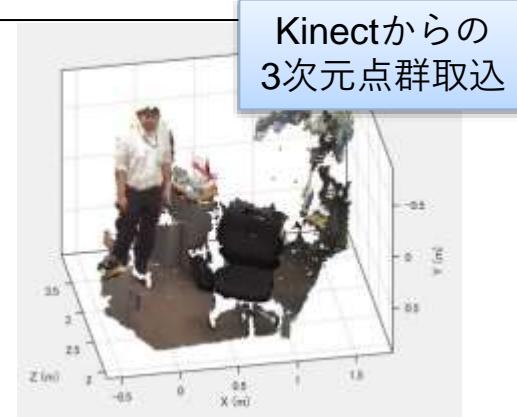
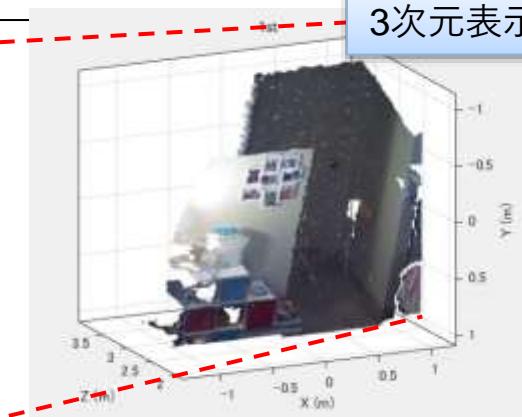
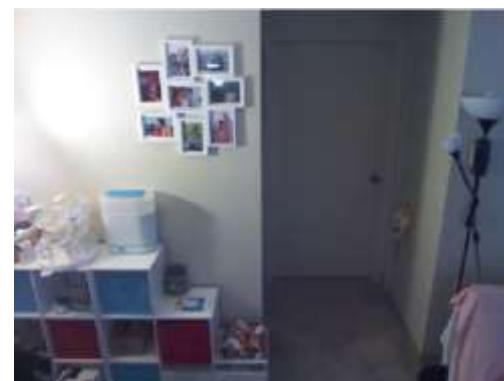
Lidar Toolbox

R2020b

Lidar Toolbox

R2022a

Lidar Toolbox



4.10.1.1 3次元点群表示・前処理：アプリケーション

lidarViewer

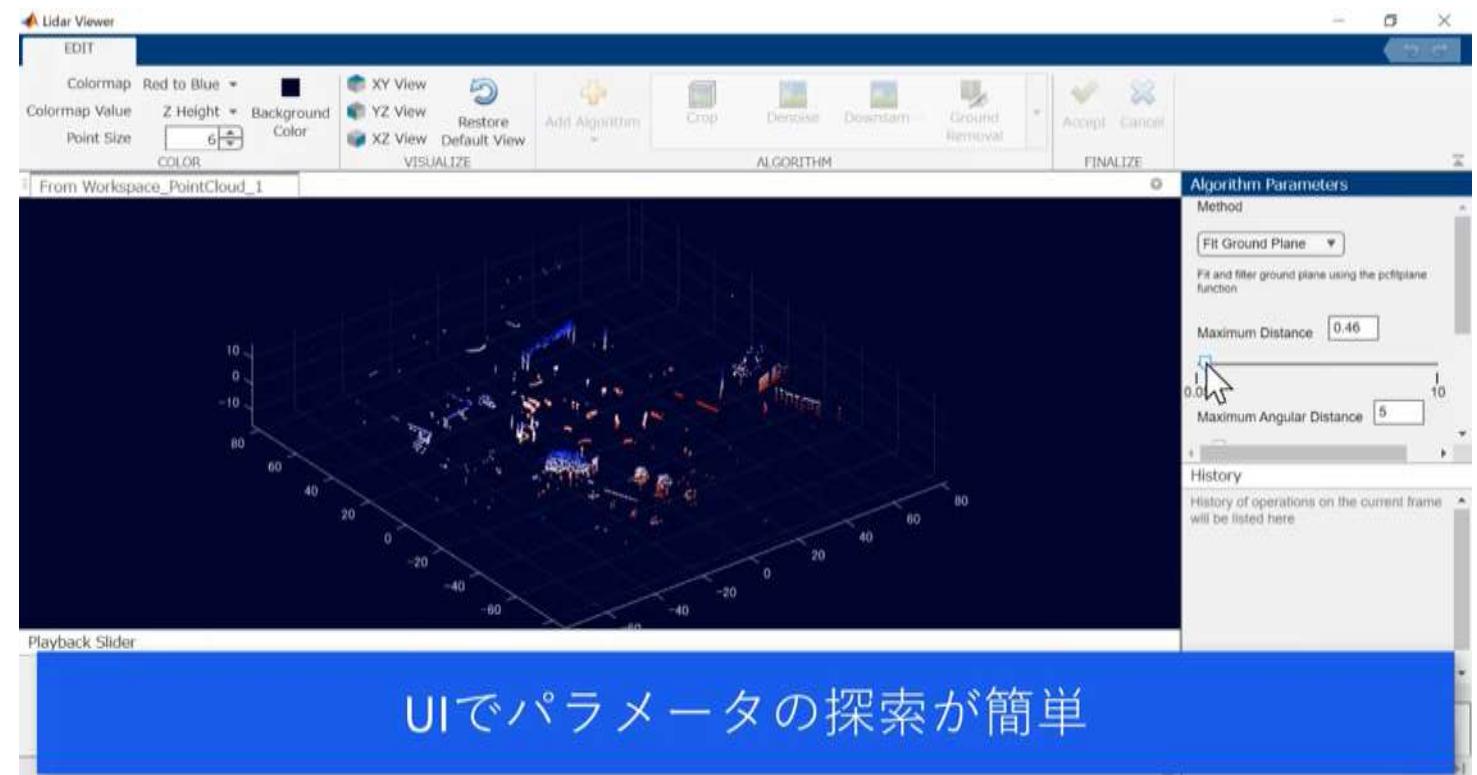
■ 主要機能

- データ読み込み & 可視化
- 前処理
- 編集した点群のエクスポート
- 前処理関数のエクスポート
- 点群計測（距離や角度など）

R2022a

■ 点群の前処理

- クロップ
- Un-organize から organize形式に変換
- 地表面の点群を除去
- デノイズ
- カスタム処理
 - 時系列処理も可能に **R2022a**



4.10.2 3次元点群：各種処理

R2015a R2015b

各種3次元点群処理

<code>pcmerge()*</code>	2つの3次元点群データを統合
<code>pccat()</code>	3次元点群データ配列を統合 R2020b
<code>pcalign()</code>	3次元点群データ配列を整列 R2020b
<code>pcdenoise()*</code>	3次元点群からのノイズ除去
<code>pcdownsample()*</code>	3次元点群の間引き
<code>pcregistericp()</code>	2つの3次元点群のレジストレーション (ICPによる位置合わせ)
<code>pcregisterndt()*</code>	2つの3次元点群のレジストレーション (NDTによる位置合わせ)
<code>pcregistercpd()*</code>	2つの3次元点群のレジストレーション (CPDによる位置合わせ)
<code>pcregistercorr</code>	2つの3次元点群のレジストレーション (POCによる位置合わせ)
<code>pctransform()*</code>	3次元点群の幾何学変換 R2018b
<code>pcfithplane()*</code>	3次元点群への面のフィッティング
<code>pcfithsphere()*</code>	3次元点群への球のフィッティング
<code>pcfithcylinder()*</code>	3次元点群への円柱のフィッティング
<code>pcsegdist()*</code>	3次元点群のセグメンテーション(クラスタリング) R2018b
<code>segmentGroundFromLidarData()*</code>	3次元点群から路面検出 R2018b
<code>normalRotation()</code>	参照ベクトルと面の法線との回転行列を計算 R2020b
<code>estimateGeometricTransform3D()</code>	マッチングポイントからの幾何学的変換の推定 R2020b

`estimateCameraMatrix`

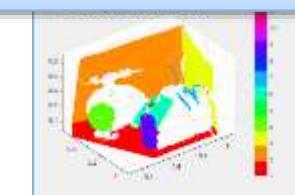
3次元から2次元への投影行列をDLT(Direct Linear Transform)アルゴリズムで推定
RGB-Dカメラでの[findNearestNeighbors](#)による点群の近傍点探索を高速に

*コード生成サポート

複数の点群データからの3次元マップ生成

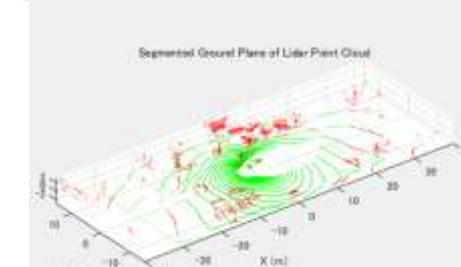


セグメンテーション



R2018a

路面検出



R2018b

R2021a

クラスターの点群数に対する下限上限設定に対応

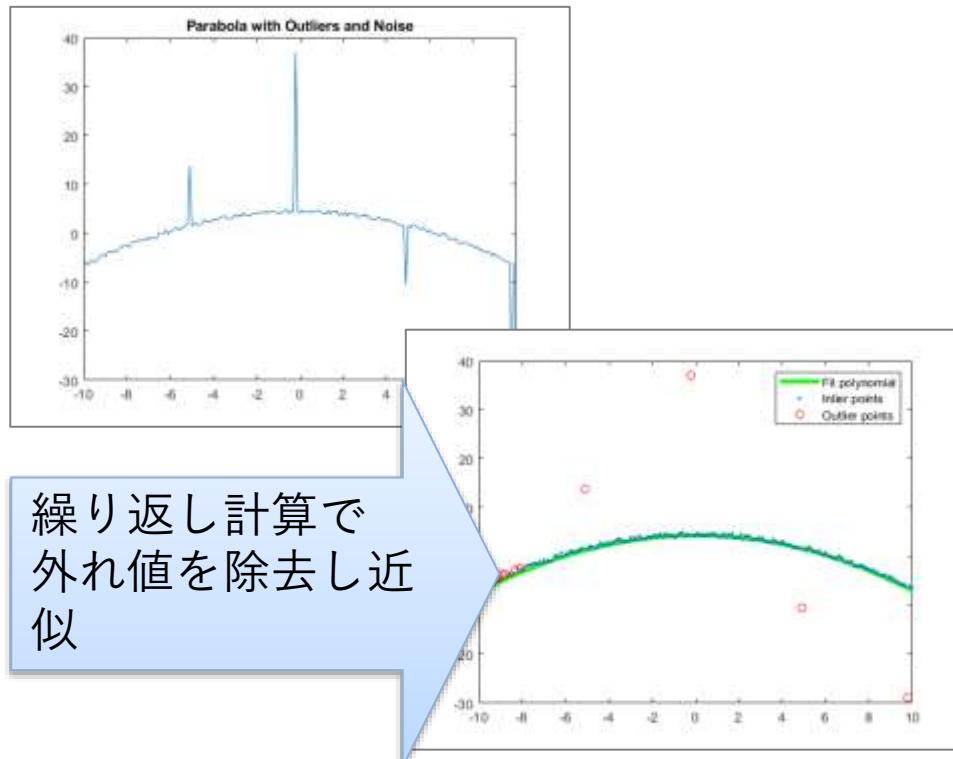
4.10.3 RANSACによるフィッティング

RANSAC(RAnom SAple Consensus)は外れ値に強いロバスト推定手法

MSAC(M-estimator Sample Consensus)はRANSACの一つで

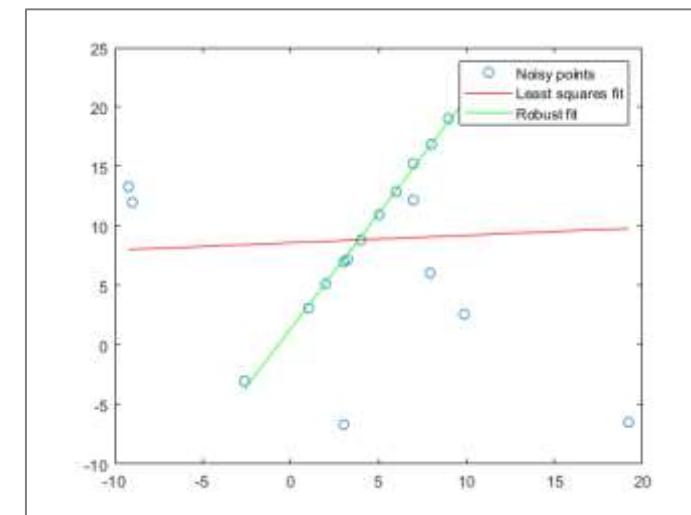
重付最小二乗法をベースにランダムサンプリングを繰り返す

MSACによる多項式近似



```
[P, inlierIdx] = ...
fitPolynomialRANSAC([x,y], N, maxDistance);
```

MSACによる任意モデルのフィッティング
直線近似の例：

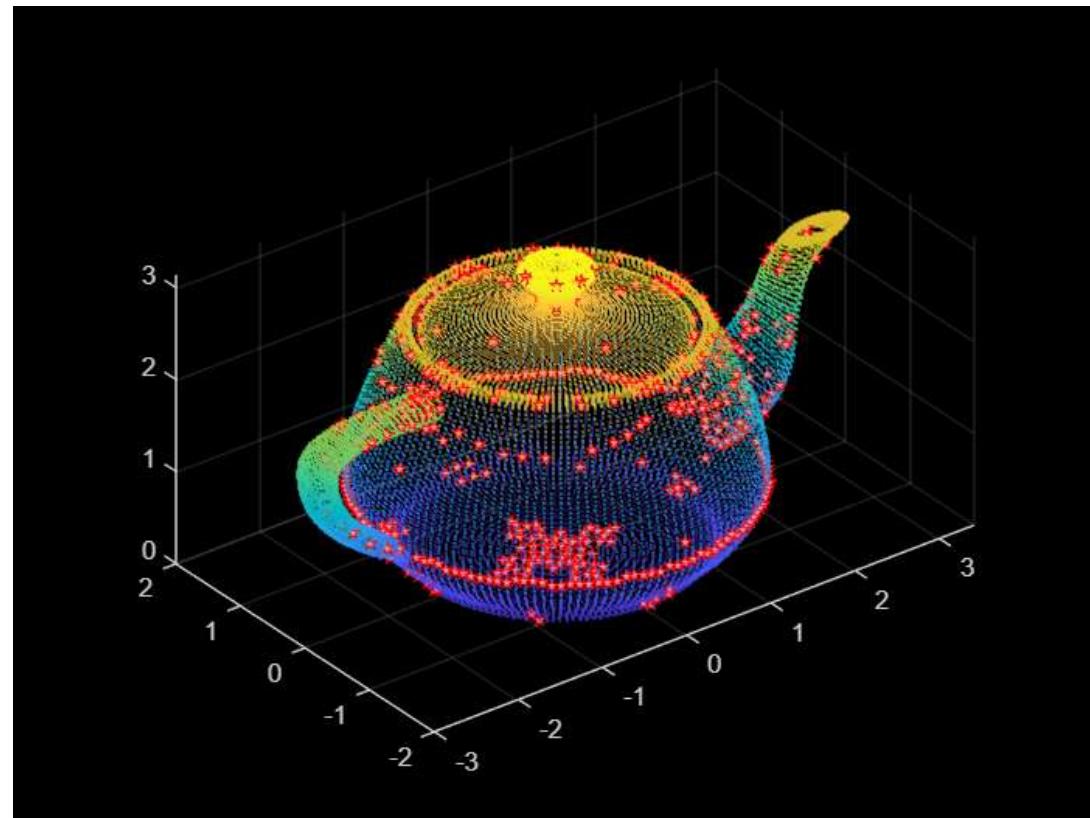


```
fitLineFcn = @(points) polyfit(points(:,1), points(:,2), 1); % モデル
evalLineFcn = ... % 評価用の関数
@(model, points) sum((points(:, 2) - polyval(model, points(:, 1))).^2, 2);
% MSACでロバスト推定
[modelRANSAC, inlierIdx] = ransac(points, fitLineFcn, evalLineFcn, ...
sampleSize, maxDistance);
```

4.10.4 ISSによる3次元点群特徴点の検出

ISS(Intrinsic Shape Signature)は3次元点群の形状表現手法の一つ。

ISSの特徴点はその近傍に3次元的な構造変化に富んでいる（近傍の分散共分散行列の固有値により求められる）
本方法は、3次元点群のモデリング、可視化、分類に応用されている。



詳細：

<https://jp.mathworks.com/help/releases/R2022a/lidar/ref/detectissfeatures.html>

```
%% 点群を読み込み
ptCloud = pcread("teapot.ply");
%% 点群を読み込みISS特徴点を検出し、表示
points = detectISSFeatures(ptCloud);
figure(Name="Detected feature points")
pcshow(ptCloud)
hold on
plot3(points(:,1),points(:,2),points(:,3),...
"pentagram", MarkerSize=5, ...
MarkerFaceColor=[1 0.6 0.6],Color="red")
```

目的

尖っている点、エッジ点を特徴点として検出
手法

注目点近傍の分散共分散行列の固有値を計算
固有値が大きい順に $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 得られた時、

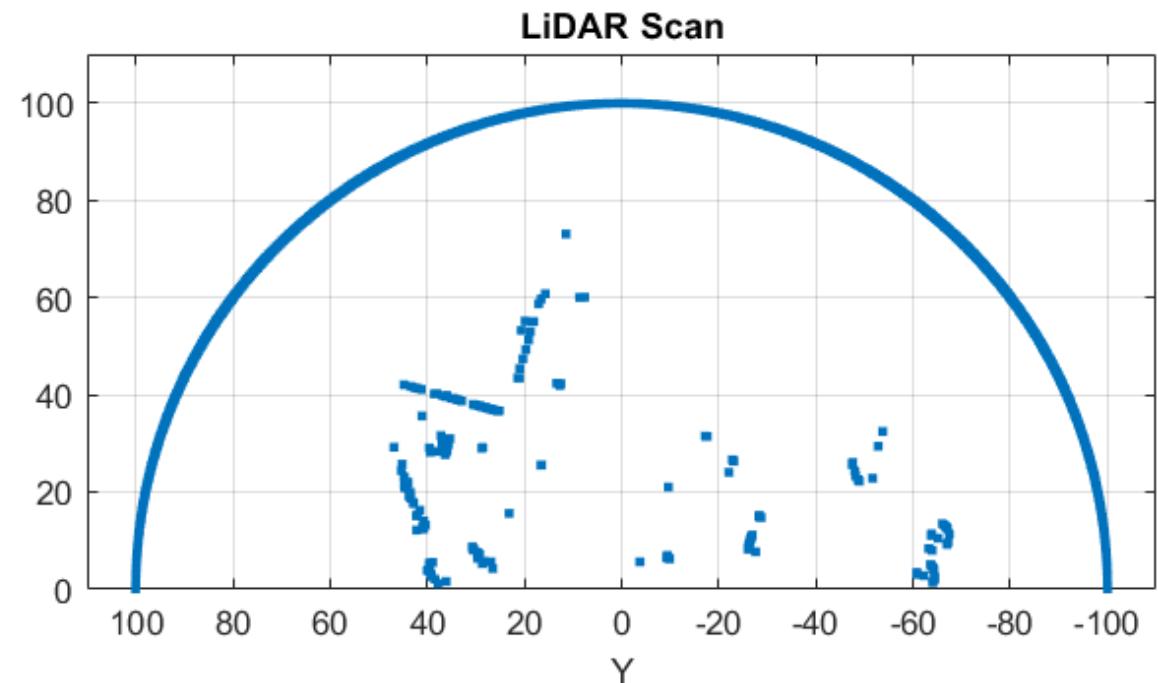
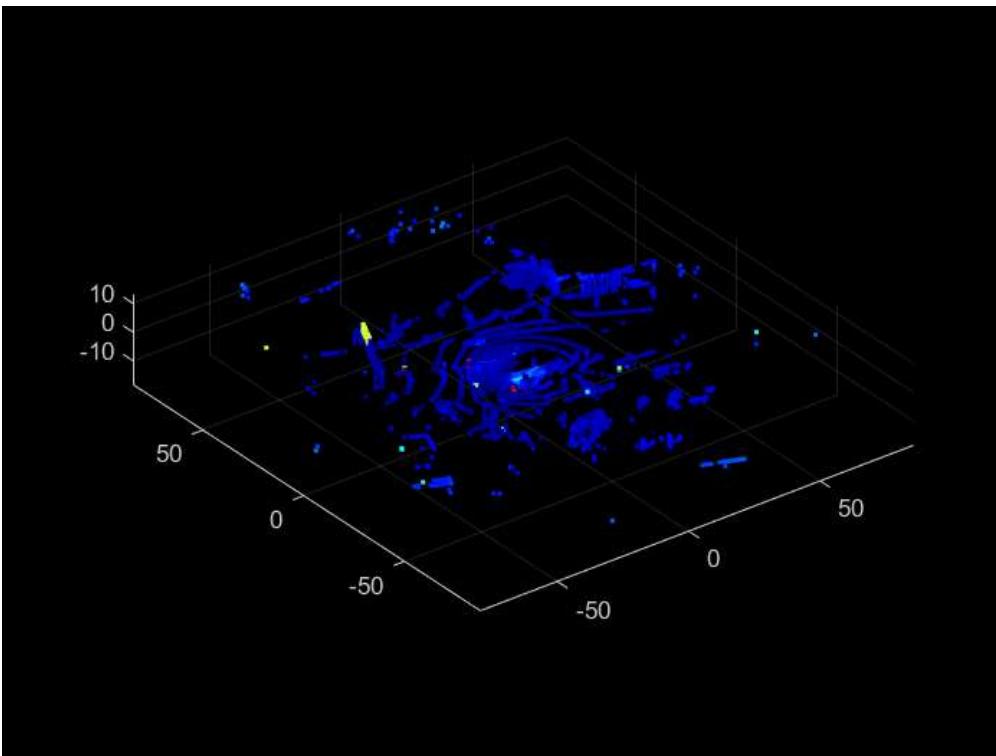
$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} < \text{MaxGamma21}, \frac{\lambda_3}{\lambda_2} < \text{MaxGamma32}$$

を満たす点を特徴点とする

4.10.5 3次元点群データの2D LiDAR scan形式への変換

三次元点群を2次元 Lidar形式へ変換し、表示

R2022a
Lidar Toolbox™



詳細：

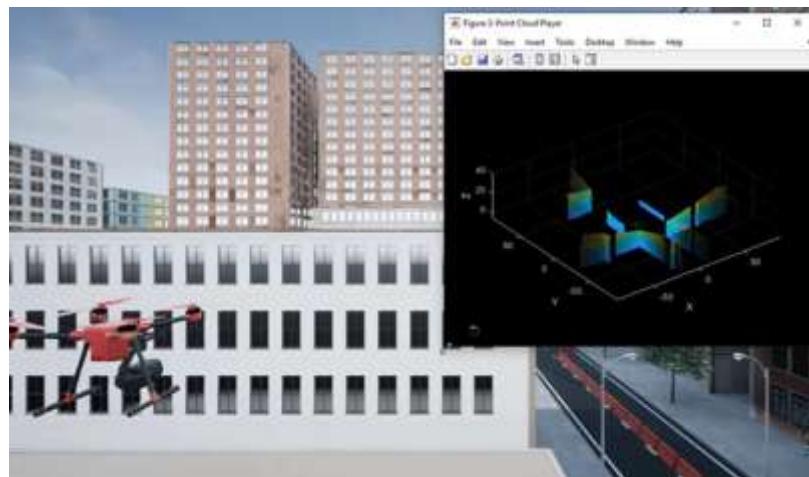
<https://jp.mathworks.com/help/releases/R2022a/lidar/ref/pc2scan.html>

4.10.6 LiDARセンサシミュレーション

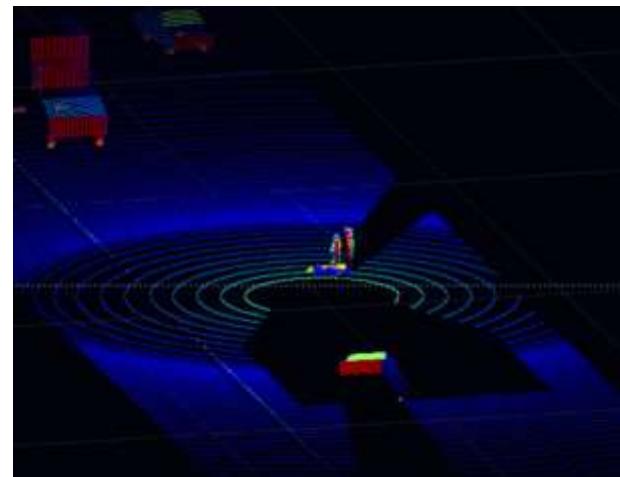
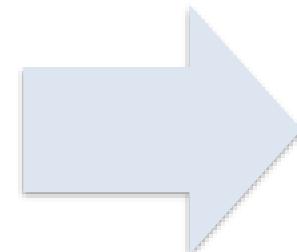
LiDARセンサをシミュレートし、与えられたシーンに対して点群データを出力

生成されるデータは、センサーのポーズとシーンに存在するアクターに基づく自車両の座標系が基準

drivingScenario (Automated Driving Toolbox) オブジェクトを使用し、アクターと軌道を含むシナリオを作成し、lidarSensorオブジェクトを使用してシナリオの点群データを生成が可能



シナリオシミュレーション環境



```
lidar = lidarSensor(AzimuthResolution=0.5);  
lidar.ActorProfiles = sceneActorProfiles;
```

詳細：

<https://jp.mathworks.com/help/releases/R2022a/lidar/ref/lidarsensor-system-object.html>

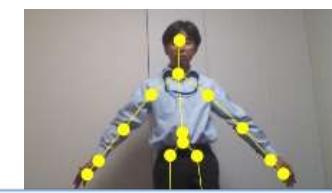
4.11 各種カメラからの画像データ直接取り込み

Image Acquisition Toolbox

- 業界標準のHWからの動画像取り込み機能を提供
 - フレームグラバ (画像入力ボード)
 - Analog 入力
 - Camera Link 入力
 - DCAM 互換 FireWire (IIC 1394)
 - GigE Vision (GenICamに対応 **R2019a**)
 - USB3 Vision **R2016a**
 - 一般的なUSB Webカメラ → 簡易的取り込みはMATLABの関数で可能
 - IPカメラ (MATLAB基本関数)
- RGBD-Sensor
 - Microsoft Kinect for Windows v1
 - Microsoft Xbox One Kinect センサー (Kinect v2)
- カスタムアダプター開発キット **R2015a**
- Simulink ブロック



R2014a



RGB画像 + 骨格座標



深度画像



4.11.1 USBカメラからの動画像の取り込み

Image Acquisition Toolboxの
System objectによる取り込み

R2012a

```
%% 画像を取り込むためのオブジェクトの生成
hCamera = imaq.VideoDevice('winvideo', 1)
hCamera.ReturnedDataType = 'uint8';

%% ビデオを表示するためのオブジェクトの生成
viewer = vision.DeployableVideoPlayer;

%% 1フレーム毎に処理するためのループ処理
for i=1:200
    I = step(hCamera); %1フレーム読み込み
    % 各種処理
    step(viewer,I); %1フレーム表示
end

%%
release(hCamera);
release(viewer);
```

必要なハードウェアサポートパッケージ：
Image Acquisition Toolbox Support Package for
OS Generic Video Interface

MATLABの関数による取り込み
注) USB Video Class (UVC) compliant
Webcam の場合のみ

R2014a

```
%% 画像を取り込むためのオブジェクトの生成
camera = webcam(1)

%% ビデオを表示するためのオブジェクトの生成
viewer = vision.DeployableVideoPlayer;

%% 1フレーム毎に処理するためのループ処理
for i=1:200
    I = snapshot(camera); %1フレーム読み込み
    % 各種処理
    step(viewer,I); %1フレーム表示
end

%%
clear('camera');
release(viewer);
```

必要なハードウェアサポートパッケージ：
USB Webcams

4.11.1 USBカメラからの動画像の取り込み

Image Acquisition Toolboxの関数による取り込み

```
%% 画像を取り込むためのオブジェクトの生成
vidobj = videoinput('winvideo', 1)
% マニュアルトリガでgetsnapshotのオーバーヘッドを削減
triggerconfig(vidobj, 'manual')
start(vidobj);

%% ビデオを表示するためのオブジェクトの生成
viewer = vision.DeployableVideoPlayer;

%% 1フレーム毎に処理するためのループ処理
for i=1:200
    I = getsnapshot(vidobj); % 1フレーム取り込み
    % 各種処理
    step(viewer,I); % 1フレーム表示
end

%%
stop(vidobj);
delete(vidobj);
release(viewer);
```

Image Acquisition Toolbox
が提供する
Simulink用のブロック



必要なハードウェアサポートパッケージ：
Image Acquisition Toolbox Support Package for OS Generic Video Interface

R2013a

4.11.2 Microsoft Kinect for Windows



Microsoft Kinectとの連携

ハードウェアからの容易なデータ取り込み

- 3次元座標・奥行き取得
- ジェスチャ認識 etc



RGB画像 : 1280 x 960 / 12 fps or 640 x 480 / 30 fps

Depth : 640x480、320x240、80x60 30fps

Depth Mode: Default (range of 50 to 400 cm)

Near (range of 40 to 300 cm).

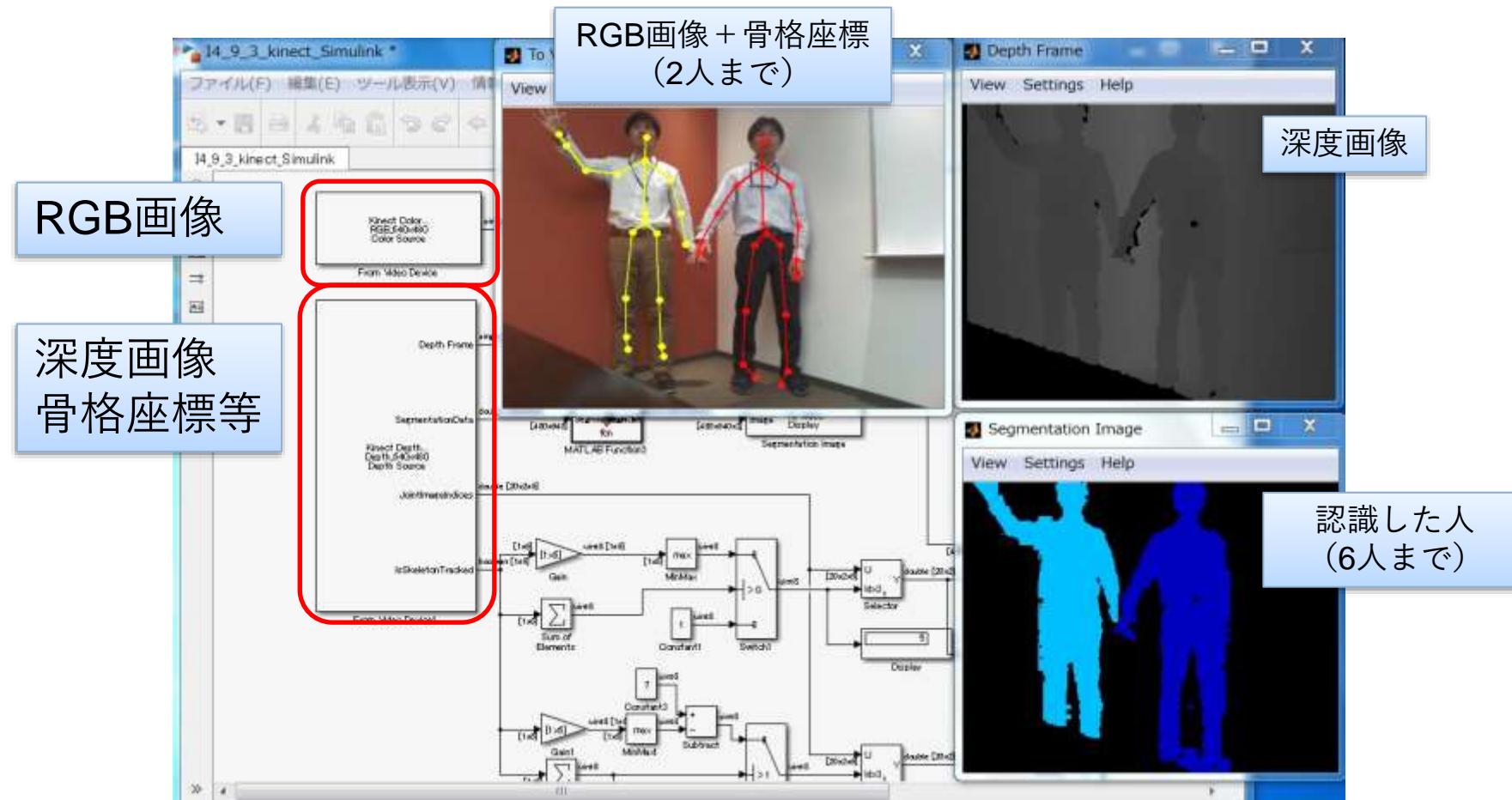
詳細 :

<http://www.mathworks.com/help/supportpkg/kinectforwindowsruntime/index.html>



4.11.3 Microsoft Kinect for Windows : - Simulink block と System objectでのサポート

R2013b



4.11.4 Xbox One Kinectセンサーサポート

R2016a

RGB画像 : 1920 x 1080 / 30 fps

Depth : 512x424 30fps (高精度レンジ : 0.5 ~ 4.5m)

人物領域 : 6人

Skelton : 6人

各Skeltonの関節 : 25関節



詳細 :

<http://www.mathworks.com/help/supportpkg/kinectforwindowsruntime/index.html>

4.11.5 Velodyne LiDAR®デバイスのサポート

- Velodyne LiDARデバイスサポートの拡充
 - HDL-32E/VLP-32C Ultra Puck
 - VLP-16 Puck/VLP-16 Puck Lite/VLP-16 Puck Hi-Res

```
% プレビュー  
lidar = velodynelidar('VLP16');  
preview(lidar)  
pause(10)  
closePreview(lidar)  
  
% 取得  
start(lidar)  
[pcloud, timestamp] = read(lidar, 'latest');  
pcshow(pcloud);
```

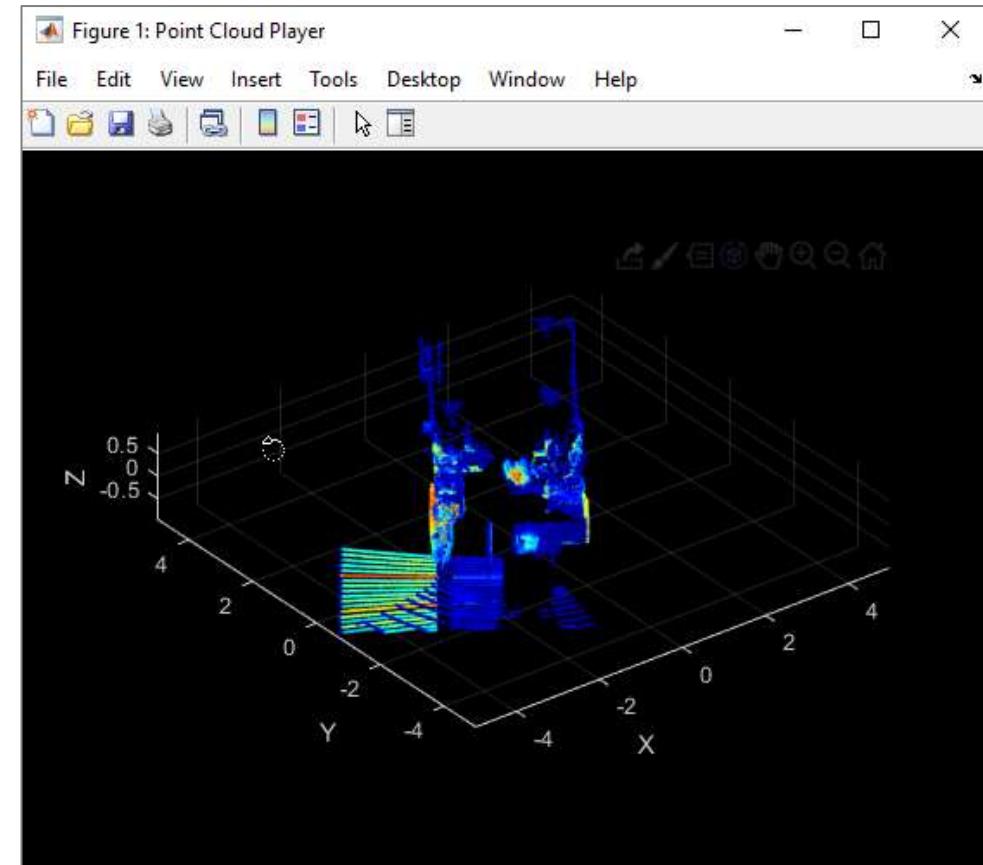
詳細：

<https://www.mathworks.com/hardware-support/velodyne-lidar.html>

Lidar Toolbox™



R2020bより
Lidar Toolboxから
提供されている
(R2020a以前はImage
Acquisition Toolbox)



4.11.6 Ouster LiDAR®デバイスのサポート

- Ouster LiDARデバイスサポート
 - OS0-64, OS1-64, OS2-64に対応
 - バッファとしてMATLAB内に蓄積することも可能



Ouster Lidar

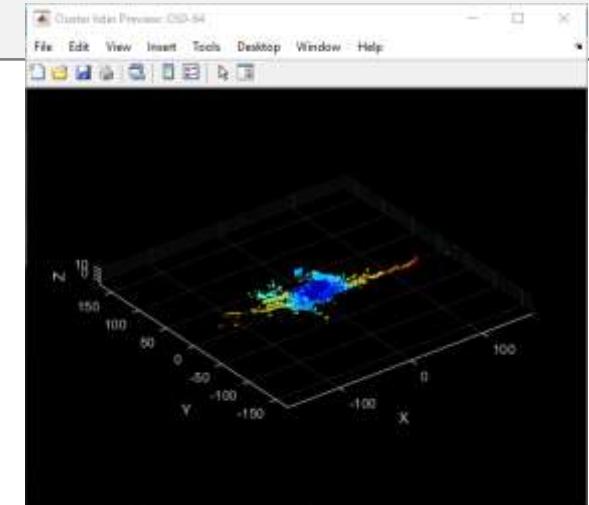
ハードウェア
接続

接続確認
(Ouster studio)

Ousterlidar
関数

```
% プレビュー
lidar = ousterlidar('OS0-64',calibFile);
preview(lidar)
pause(10)
closePreview(lidar)

% 取得
start(lidar);
[pcloud, timestamp] = read(lidar, 'latest');
pcshow(pcloud);
stop(lidar);
```



ライブストリーミング

詳細：

<https://www.mathworks.com/help/releases/R2022a/supportpkg/ousterlidar/index.html>

4.12 バーコード・QRコード・AprilTagの読み取り

- 1次元バーコード、2次元バーコード読み取り専用関数

```
%% バーコード画像の読み込み  
I = imread("barcode1D.jpg");  
[msg,format,loc] = readBarcode(I);
```

```
%% QRコード画像の読み込み  
I = imread("barcodeQR.jpg");  
[msg,format,loc] = readBarcode(I);
```



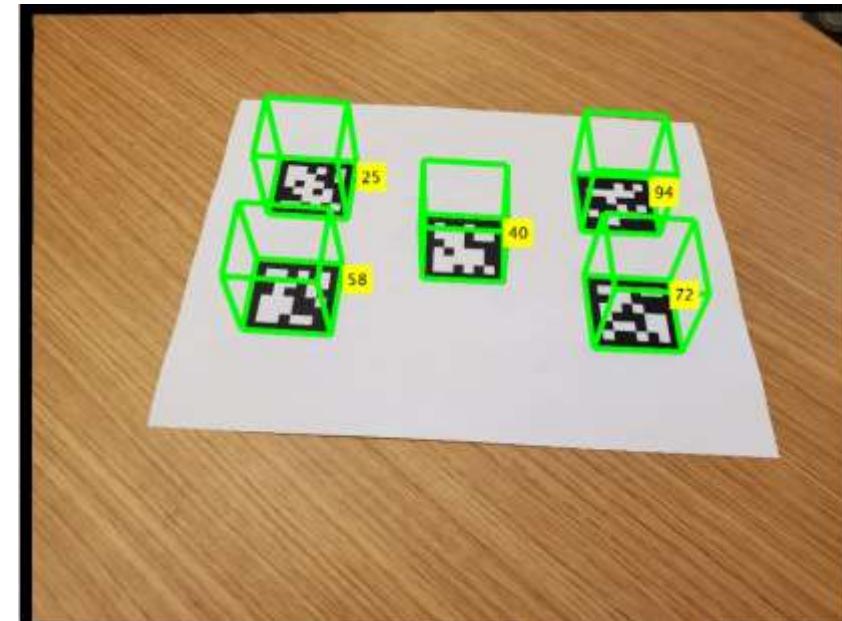
対応フォーマット（1次元バーコード）
UPC-A、UPC-E、EAN-8、EAN-13、
CODE-39、CODE-93、CODE-128、
CODABAR、ITF、RSS-14、
RSS-EXPANDED



対応フォーマット（2次元バーコード）
QR-CODE、DATA-MATRIX、
AZTEC、PDF-417

- AprilTagの読み取りと姿勢推定

```
%% AprilTagの読み取り  
I = imread('apriltag36h11.jpg');  
[id,loc] = readAprilTag(I,"tag36h11");
```

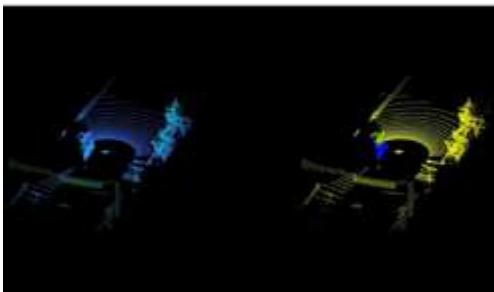


4.2 Lidar 向け点群処理

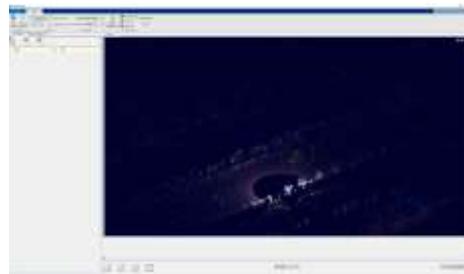
Lidar点群処理のためのアルゴリズムライブラリ

ディープラーニング

物体検出とセマンティック
セグメンテーション

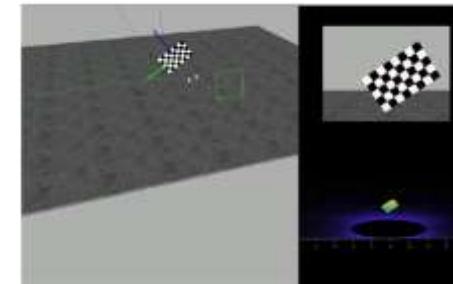


ラベリングアプリケーション



キャリブレーション

Lidar-カメラキャリブレーション



Lidar-カメラ フュージョン

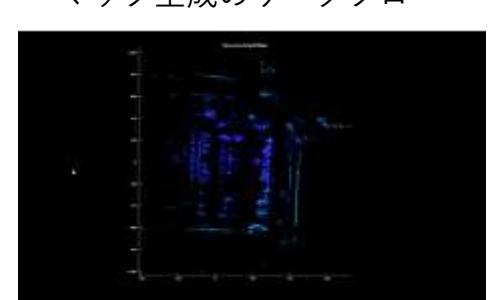


ライブストリーミング

Velodyne Support Package

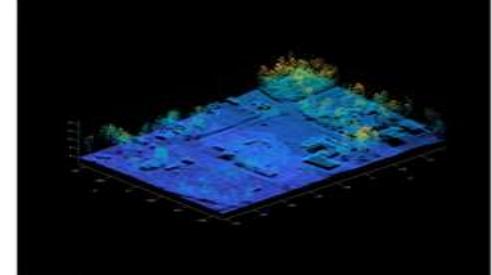


マップ生成とSLAM



Lidar I/O

読み込みと書き出し



オブジェクトトラッキング



アジェンダ

1. MATLAB/Simulinkの概要
2. 各種画像処理例
3. 連携機能
4. コンピュータービジョン処理例
5. 画像の機械学習・ディープラーニング
6. まとめ

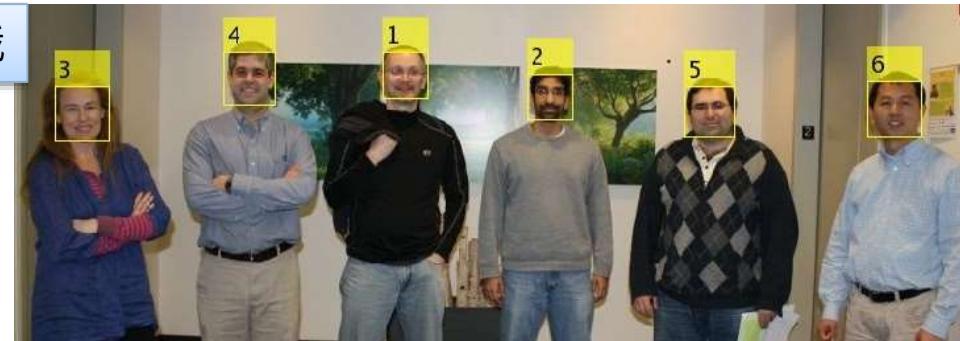
5.1 物体認識（顔認識・人物認識）

```
% 顔認識 用のオブジェクト (viola-Jonesアルゴリズム)
vision.CascadeObjectDetector()
```

```
% 人物認識 用のオブジェクト
vision.PeopleDetector()
detectPeopleACF()
```

HOG 特徴量
ACFアルゴリズム R2016a

顔認識



人物認識

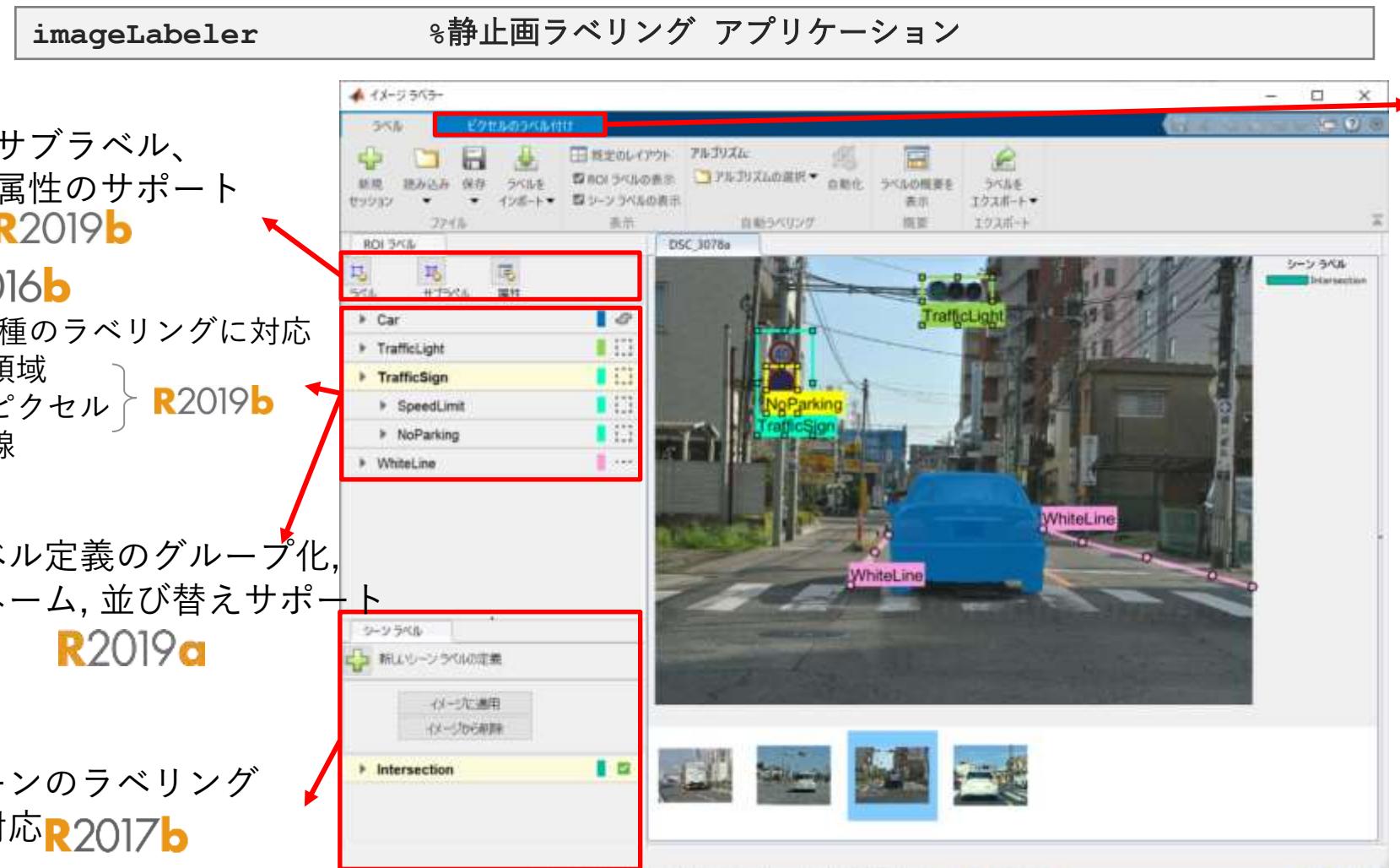


```
I = imread('visionteam.jpg'); % 画像の読み込み
detector = vision.CascadeObjectDetector(); % 顔検出オブジェクト定義
faces = step(detector, I); % 顔検出
I2 = insertObjectAnnotation(I, 'rectangle', faces, 'Face'); % 枠描画
figure; imshow(I2); % 表示
```

わずか数行のMATLABコードで、人の顔認識

5.2 機械学習：静止画のラベリングアプリケーション

R2014a



※R2017bよりtrainingImageLabelerからimageLabelerに名称変更



3次元バウンディングボックスに対応

ラベルの表示/非表示 R2021b
ブラシの形状が四角から丸に変更
DICOMフォーマットに対応

5.2 機械学習：動画用のラベリングアプリケーション

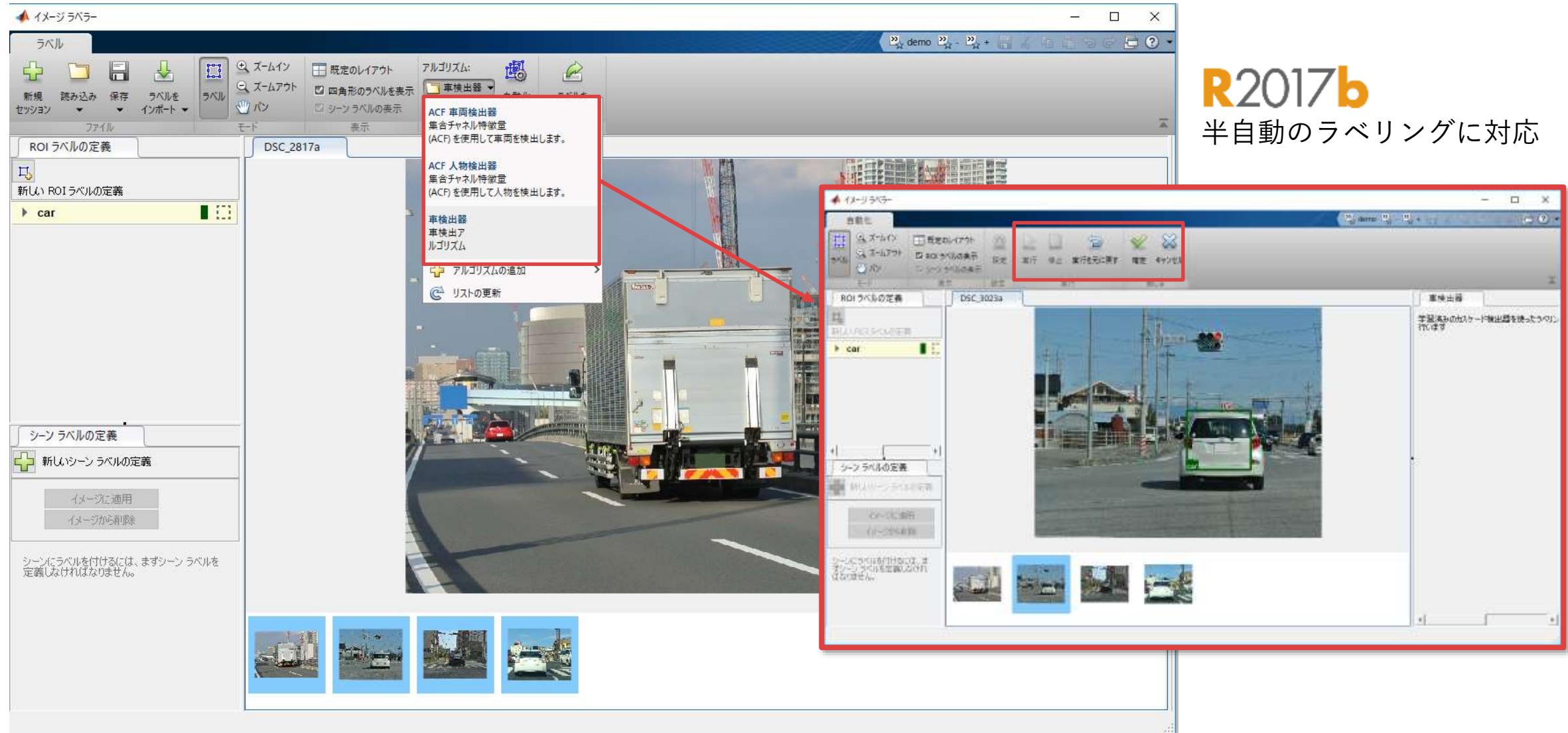
R2018b

`videoLabeler('visiontraffic.avi')` %動画ラベリング アプリケーション

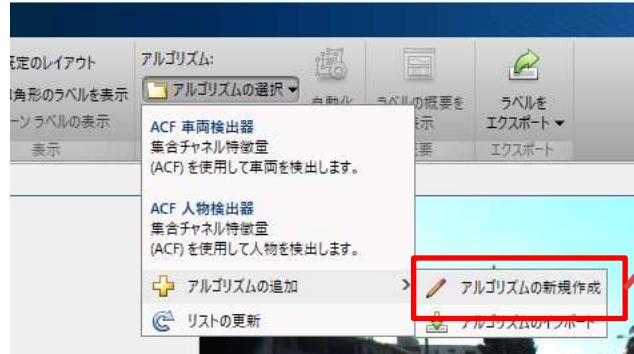


5.2 機械学習：ラベリング自動化アルゴリズム

imageLabeler, videoLabeler 共通



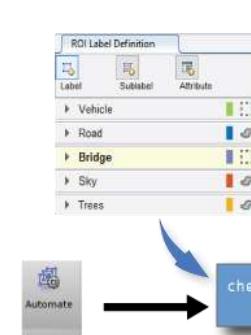
5.2 機械学習：ラベリング自動化アルゴリズムの追加



任意の自動アルゴリズムを追加可能

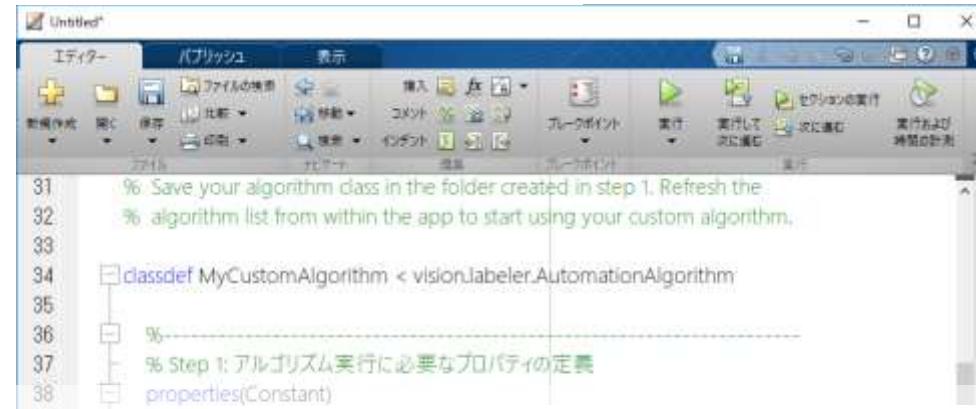


①ラベル確認用メソッド定義

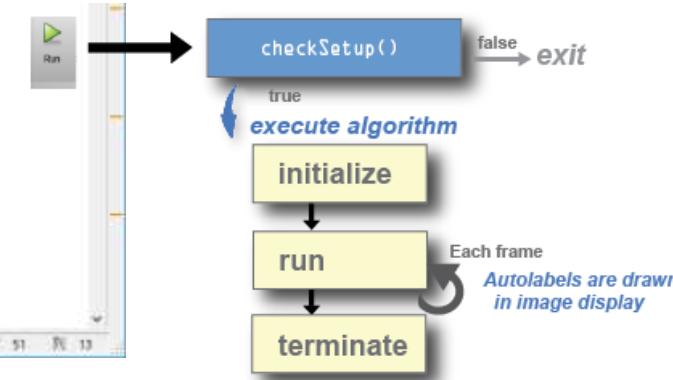


アルゴリズムを定義するためのテンプレートが開きます

`imageLabeler`, `videoLabeler` 共通



②カスタムアルゴリズムに必要なパラメータ類を設定するためのメソッド定義 ③カスタムアルゴリズムの定義



カスタムアルゴリズムの追加例：

- Superpixelとk-meansによる候補領域抽出

<https://jp.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/67528-superpixel-and-k-means-based-semi-automation-algorithm-for-pixel-level-labeling>

- #### ・高ダイナミックレンジ画像のためのコントラスト補正

<https://jp.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/68973-interactive-contrast-adjustment-tool-running-on-labeler-apps>

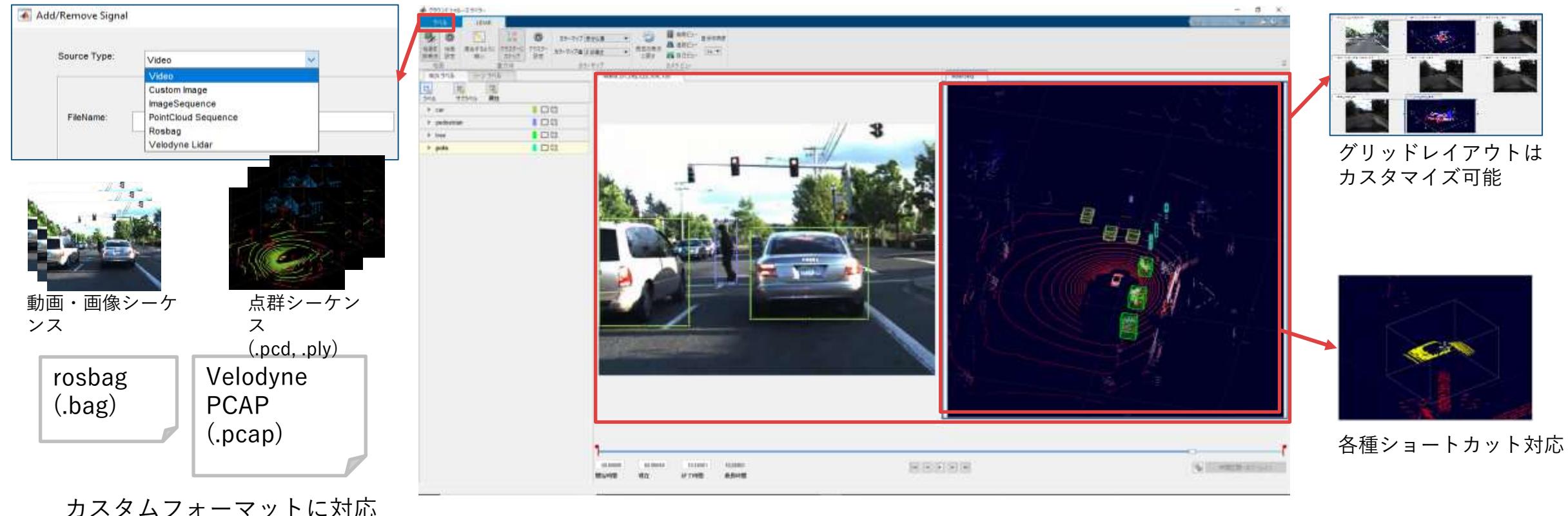
5.2.1 機械学習：ビデオおよび点群のラベリングアプリケーション

R2020a

Automated Driving Toolbox™

groundTruthLabeler

- グランドトゥルスラベラー：動画および点群データのラベリング



5.2 機械学習用の関数

% 機械学習用の関数 [Haar-like/HOG/LBP/ACF]

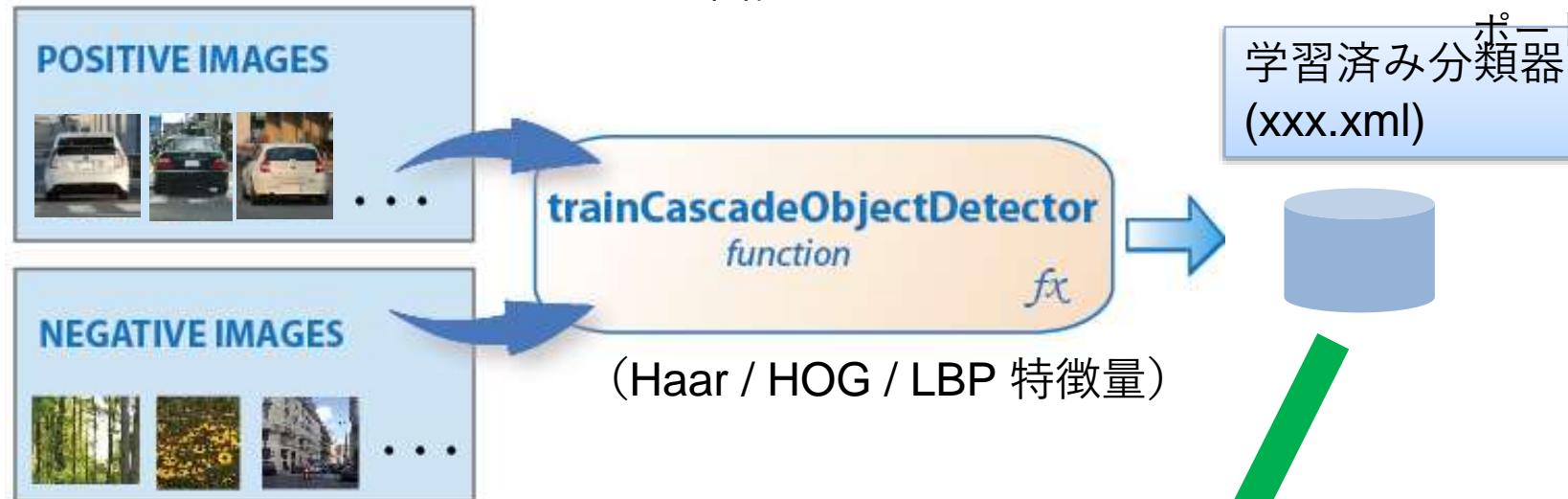
trainCascadeObjectDetector()

Haar/HOG/LBP特徴による検出器の学習

trainACFOBJECTDetector()

ACF特徴による検出器の学習 **R2017a**

ポジティブ画像とネガティブ画像を準備



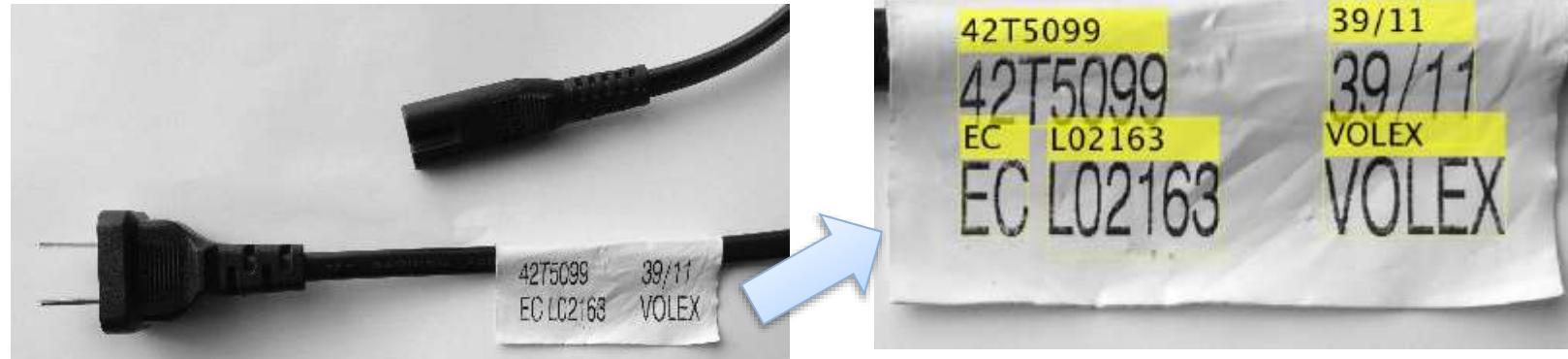
```
I = imread('IMG_123.jpg');
detector = vision.CascadeObjectDetector('xxx.xml'); % 未知の画像の読み込み
cars = step(detector, I); % 検出オブジェクト定義
% 検出
```



5.3.1 文字認識

R2014a

OCR (光学文字認識)



様々な画像処理機能を前処理として組み合わせ

```

G = imread('I4_3_ocr¥IMG_2517_cable.jpg');      %% 画像の読み込み・表示
G1 = imerode(G, ones(4));                      %% 白い部分を削り、字を太くくっきりさせる
G2 = imbothat(G1, ones(19));                    %% ボトムハット処理で、字の部分のみを残す

results = ocr(G2)                                %% 文字認識

%% 確度の高い文字のみを表示
valid = (results.WordConfidences > 0.5) & ~strcmp(results.Words, '')
Ir = insertObjectAnnotation(G, 'rectangle', ...
    results.WordBoundingBoxes(valid,:), results.Words(valid));
imtool(Ir);

```

5.3.2 文字認識：カスタムフォント用学習アプリケーション

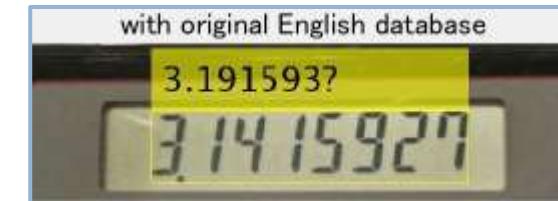
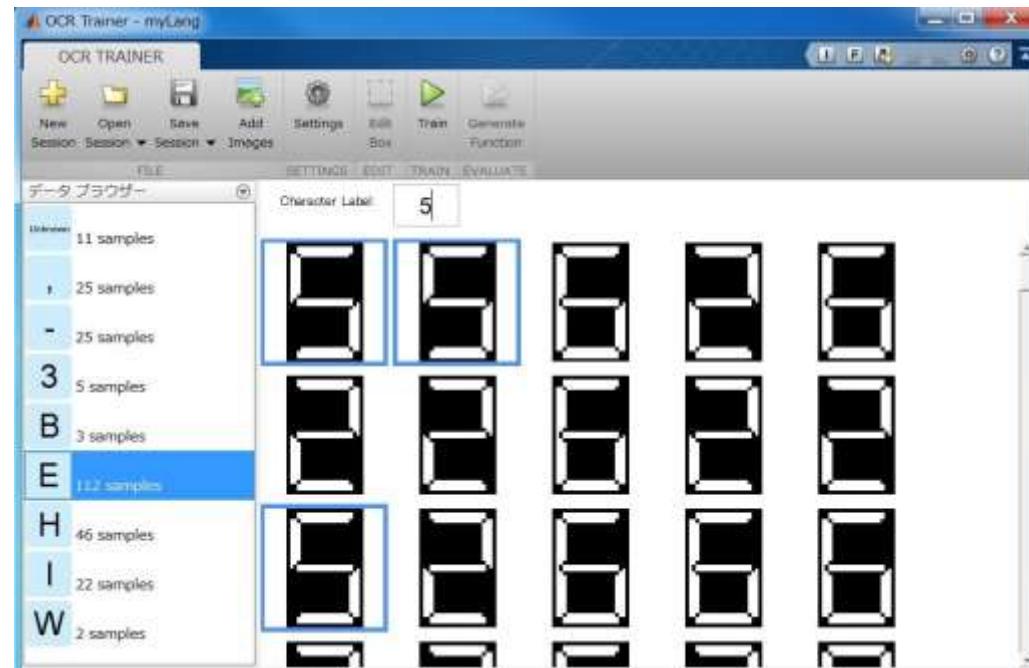
R2016a

ocrTrainer

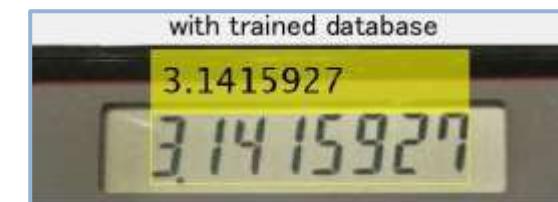
% 文字認識用モデルのトレーニング用アプリケーション



```
results = ocr(BW1, 'Language', ...
    'myLang\$\tessdata\$myLang.traineddata') % 学習したモデルによる文字認識
```



フォントをトレーニングしたモデルによる認識



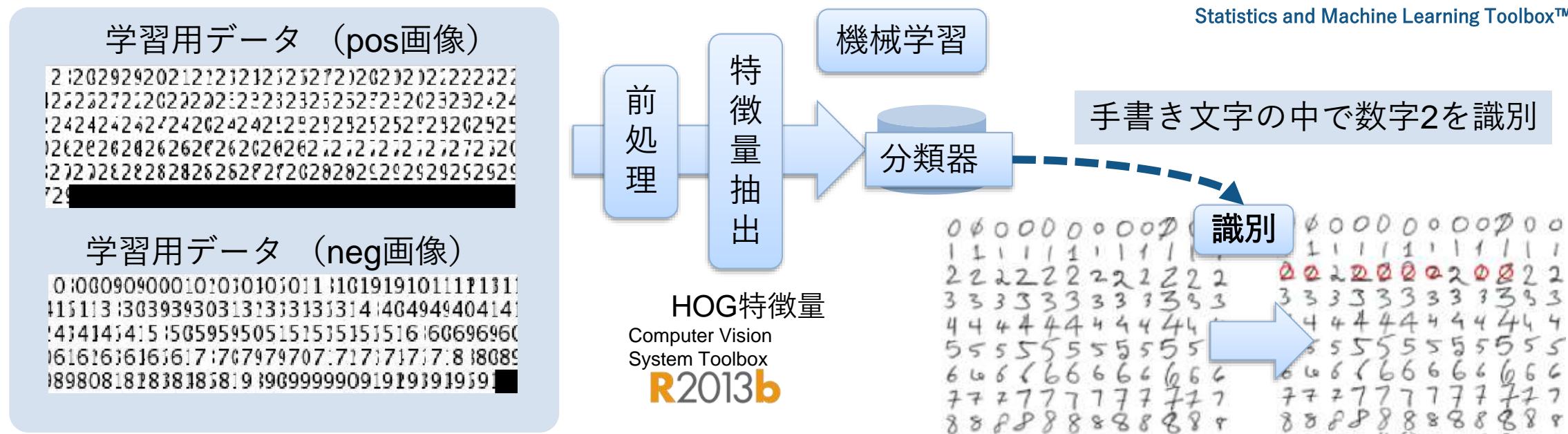
5.3.3 文字認識：文字領域認識(CRAFT)

- ディープラーニングによるテキスト認識のための文字領域検出 (CRAFT)
 - 日本語、中国語、韓国語、イタリア語、英語、フランス語、アラビア語、ドイツ語、ベンガル語をサポート
- 実行にはComputer Vision Toolbox Model for Text Detection サポートパッケージが必要



```
visiondatadir = fullfile(toolboxdir('vision'), 'visiondata');
I = imread(fullfile(visiondatadir, 'imageSets', 'books', 'pairOfBooks.jpg'));
roi = [120, 80, 250, 200];
bboxes = detectTextCRAFT(I, roi);
I = insertObjectAnnotation(I, "Rectangle", roi, "ROI", Color="green");
Iout = insertShape(I, "Rectangle", bboxes, LineWidth=3);
figure
imshow(Iout)
```

5.4 機械学習ワークフロー：サポートベクターマシンの例



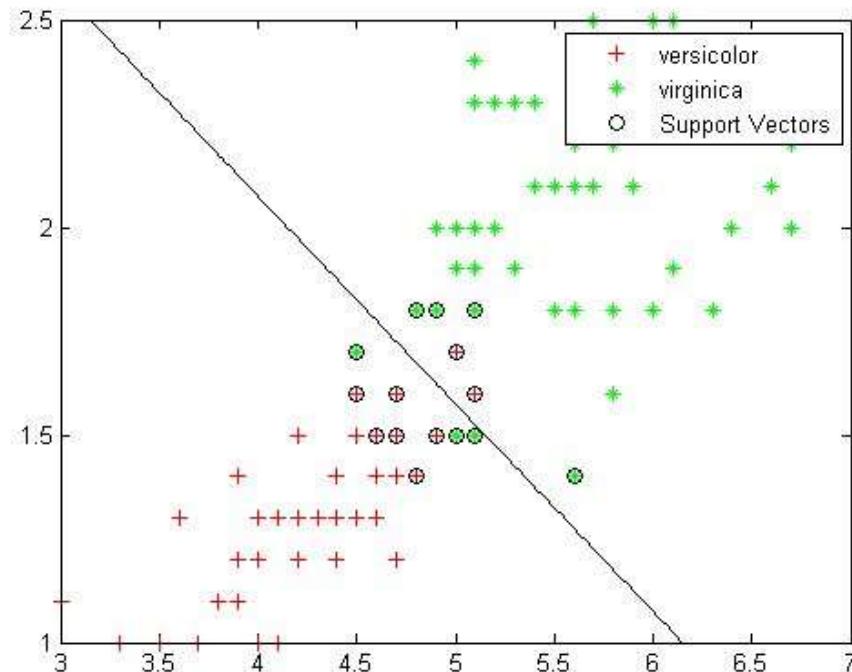
```

for i = 1:size(trainSet.Labels,1)
    img = readimage(trainSet, i); % トレーニング画像の読み込み
    img = imbinarize(rgb2gray(img)); % 二値化
    trainingFeatures(i,:) = ...
        extractHOGFeatures(img,'CellSize',cellSize); % 特徴量の抽出
end
trainingLabels = (trainSet.Labels == '2'); % ラベルの生成
% サポート ベクトル マシンの分類器の学習
svmModel = fitcsvm(trainingFeatures, trainingLabels)

```

5.4.1 教師あり学習・分類：サポートベクターマシン (SVM)

1つのクラスの出来るだけ多くのデータ点を、他のクラスのデータ点から分離する超平面を作成（マージンを最大化） → **2クラス分類**



分類器の学習：

```
svmModel = fitcsvm(X, T);
```

学習に使う特徴量の集合

各特徴量の属するクラス（ラベル）

分類の実行：

```
predT = predict(svmModel, Y);
```

分類したい画像からの特徴量

予測されたクラス（ラベル）

多クラス分類器の場合：**fitcecoc()**

5.4.1 教師あり学習・分類：マルチクラス SVM

複数の2クラス分類器を組合せて、多クラスの分類器を構成

完全2項 符号化設計	学習器1	学習器2	学習器3
Class1	符号化設計 : 2クラス分類器の組合せ法	1	-1
Class2		-1	-1
Class3	-1	1	-1

1対1 符号化設計	学習器1	学習器2	学習器3
Class1	1	1	0
Class2	-1	0	1
Class3	0	-1	-1

1対他 符号化設計	学習器1	学習器2	学習器3
Class1	1	-1	-1
Class2	-1	1	-1
Class3	-1	-1	1

分類器の学習：

```
svmModel = fitcecoc(X, T);
```

学習に使う特徴量の集合

各特徴量の属するクラス（ラベル）

学習器数： $K(K-1)/2$

学習器数： K

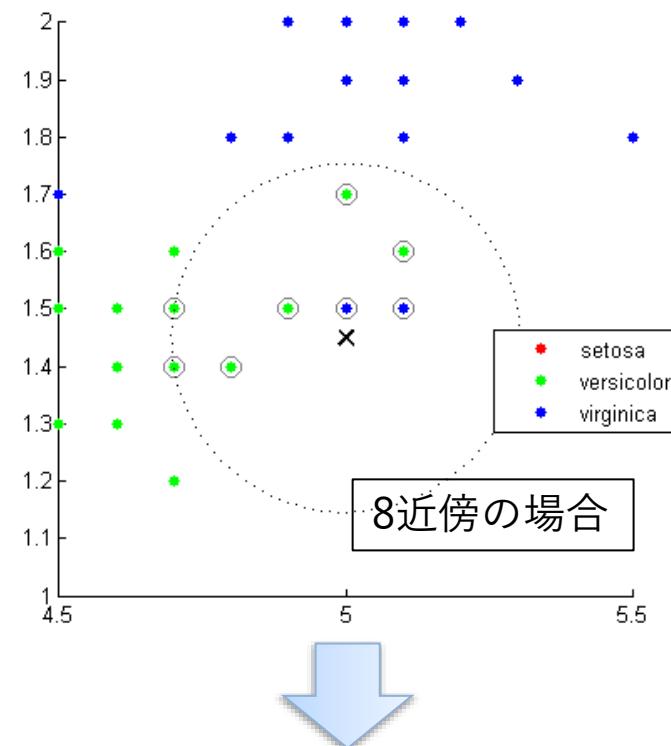
学習器数： $2^{(K-1)} - 1$

5.4.2 教師あり学習・分類：k最近傍分類 (kNN)

k個の最近傍点から、多数決で分類を決定 → 多クラス分類



ユーザーが指定



分類器の学習：

```
knnModel = fitcknn(X, T, 'NumNeighbors', 5);
```

学習に使う特徴量の集合

使用する近傍の数

各特徴量の属するクラス（ラベル）

分類の実行：

```
predT = predict(knnModel, Y);
```

分類したい画像からの特徴量

予測されたクラス（ラベル）

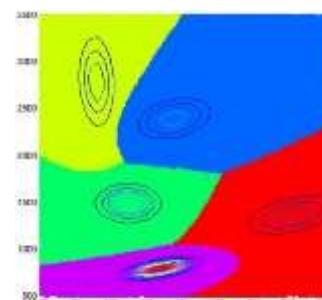
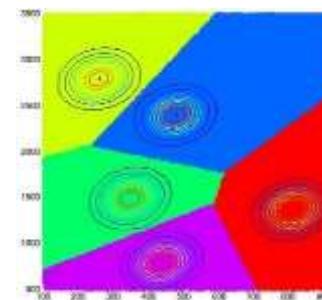
× 未知のデータのクラスは、8近傍中に6つある、
● versicolor

5.4.3 判別分類：線形判別分類・二次判別分類

各クラスのデータが、多変量正規分布を仮定して、クラスを分離する面を学習

線形判別分類：各クラスで共分散は同一。平均は各クラスで異なる

二次判別分類：各クラスで、共分散と平均共に異なる



線形判別分類器の学習：

```
discrModel = fitcdiscr(X, T);
```

学習に使う特徴量の集合

各特徴量の属するクラス（ラベル）

二次判別分類器の学習：

```
discrModel = fitcdiscr(X, T, ...
    'DiscrimType', 'quadratic');
```

分類の実行：`predT = predict(discrModel, Y);`

分類したい画像からの特徴量

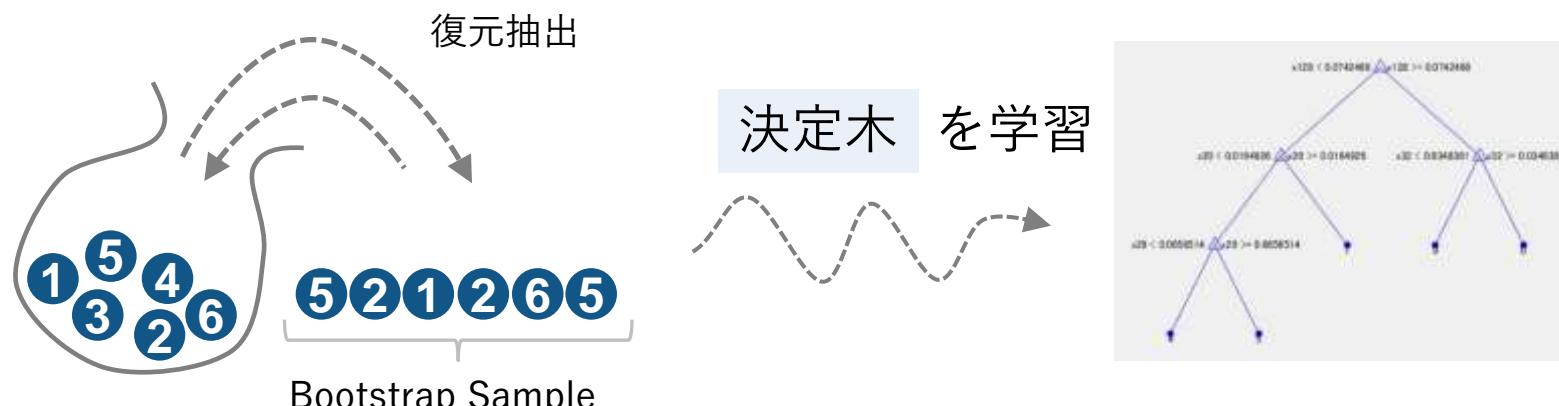
予測されたクラス（ラベル）

各種分類アルゴリズムの特性

5.4.4 バギングされた決定木 (Bagged Decision Tree)

- バギング (Bootstrap Aggregating)

- Bootstrapping : 対象のデータから、復元抽出（重複可。未使用データあっても可）を行いデータのサブセットを生成
- Aggregation : 複数の識別器の認識結果に対し、多数決(分類の場合)や平均(回帰)を取る

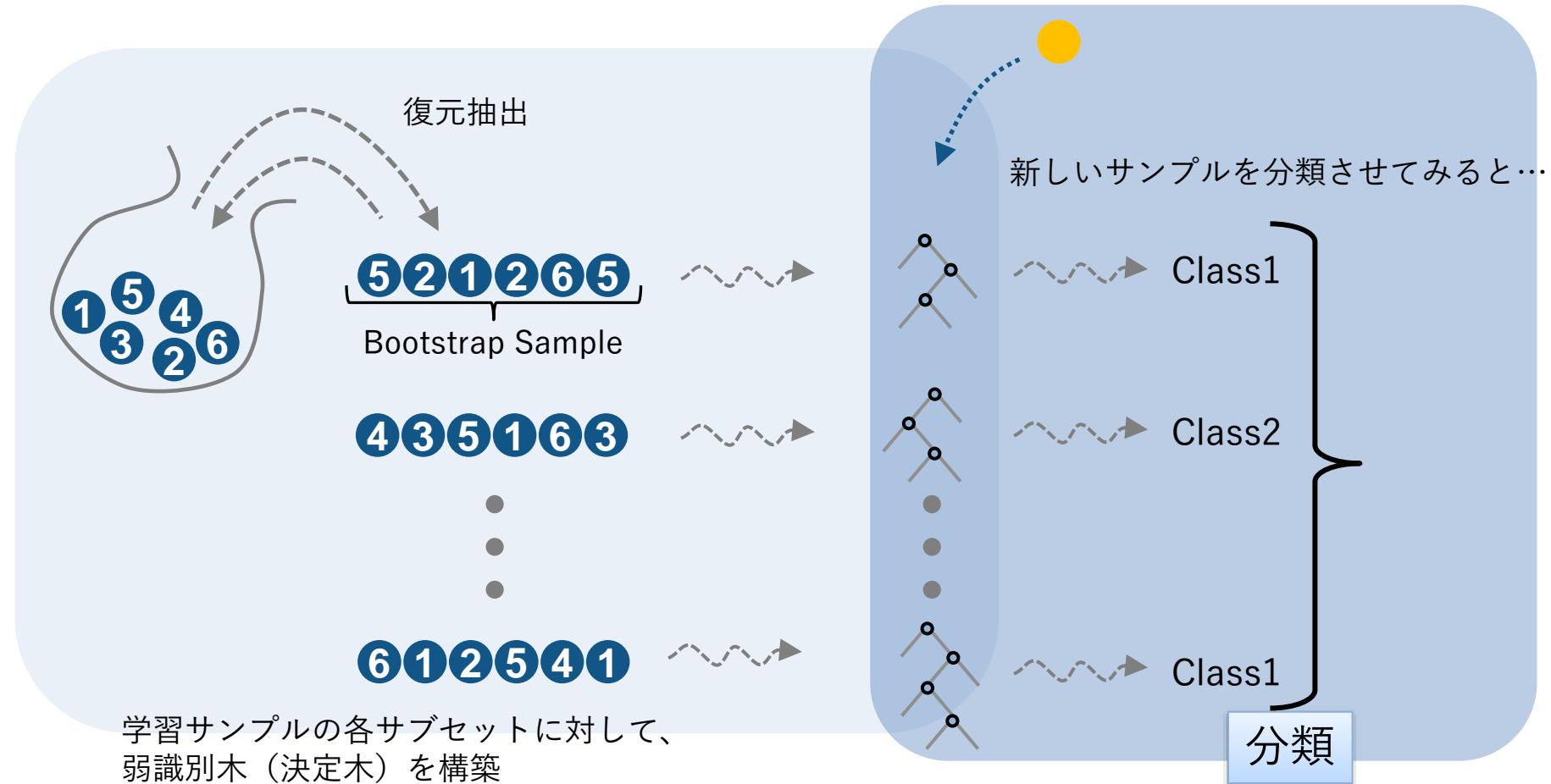


重複サンプリングを許す
使われていないサンプルあっても
可

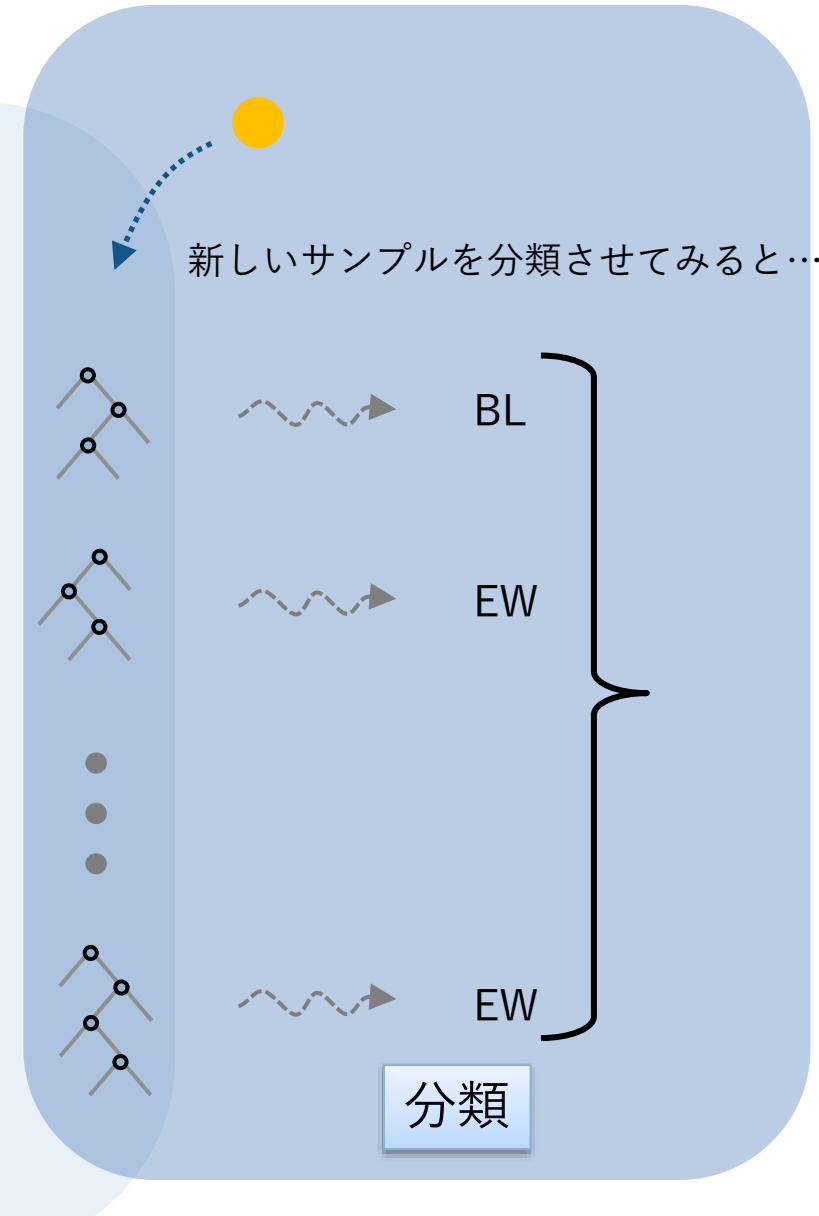
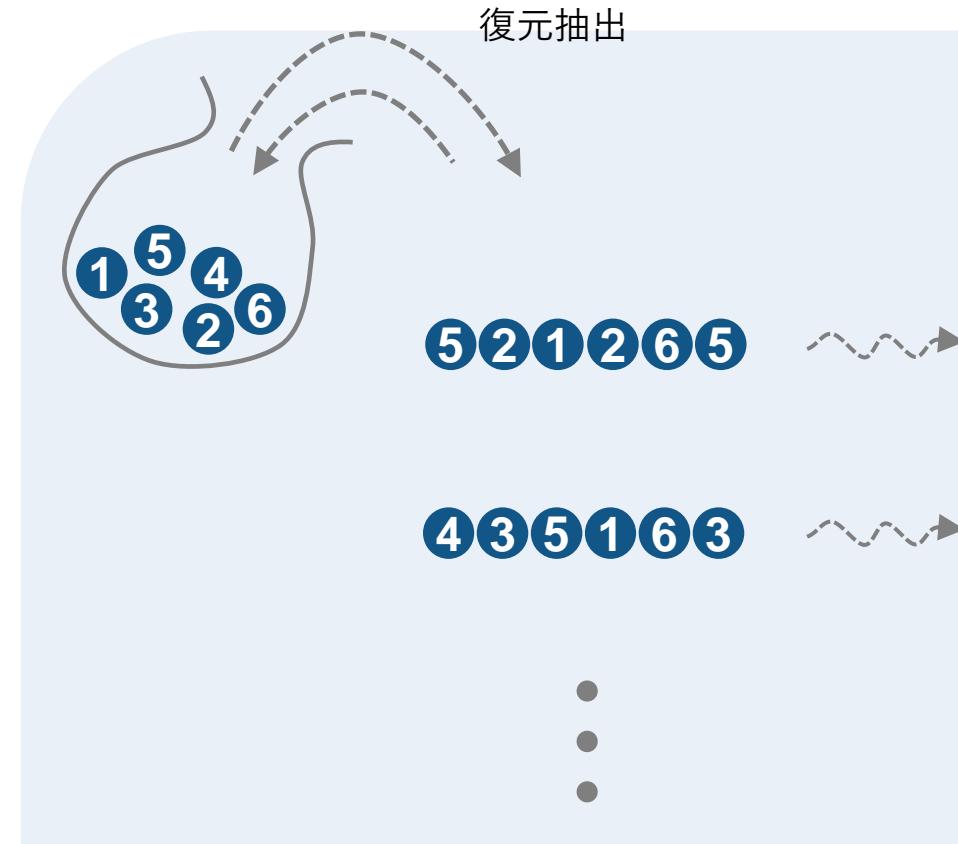
5.4.4 バギングされた決定木 (Bagged Decision Tree)

- ・ バギング (Bootstrap Aggregating)

- Bootstrapping : 対象のデータから、復元抽出（重複可。未使用データあっても可）を行いデータのサブセットを生成
- Aggregation : 複数の識別器の認識結果に対し、多数決(分類の場合)や平均(回帰)を取る

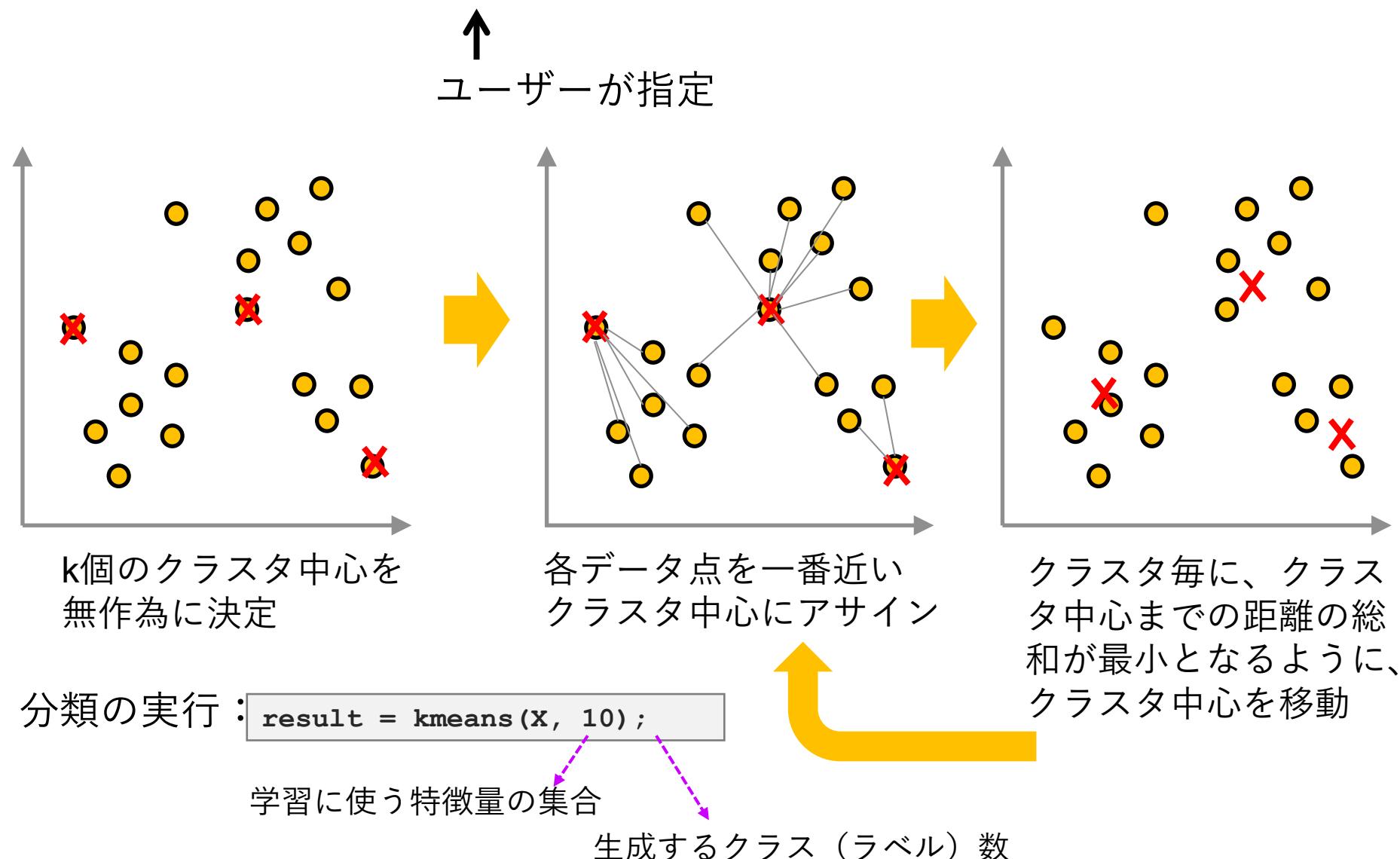


5.4.4 ランダムフォレスト



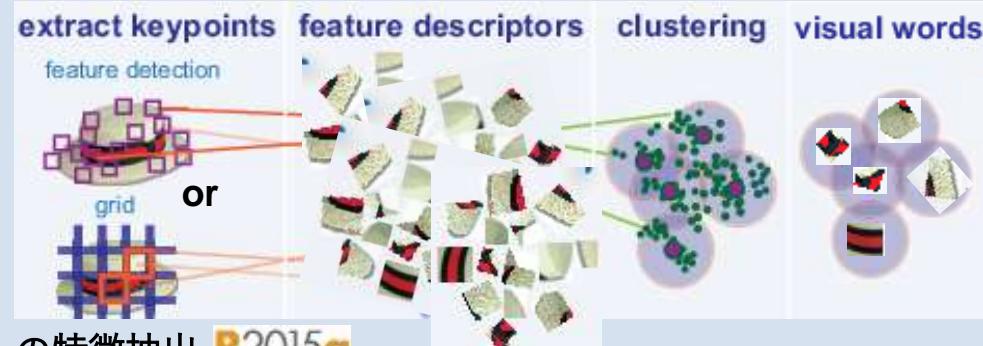
5.4.6 教師なし学習：k 平均 (k-means) クラスタリング

データの集合を、**k**個のグループに分割



5.5.1 Bag-of-Visual-Wordsを用いた画像カテゴリ分類

全画像からVisual Wordsの抽出



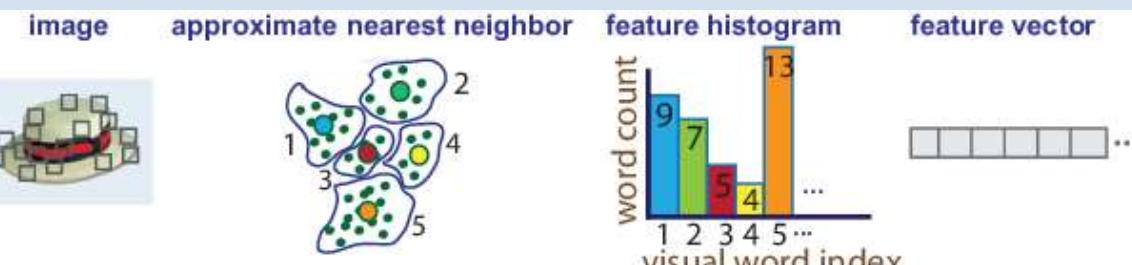
`imageSet` クラス

大量の画像取り扱い用のクラス

`bagOfFeatures()`

全カテゴリーの画像から特徴量の抽出後、K-meansでクラスタリングし、K個のVisual Wordsを生成

各学習画像からVisual Wordsヒストグラムを生成し、分類器を生成



`trainImageCategoryClassifier()`

各画像の特徴量をVisual Wordsに分類後、ヒストグラムを作成し、K次元の特徴ベクトルとする

画像内の各特長の位置関係は考慮しない

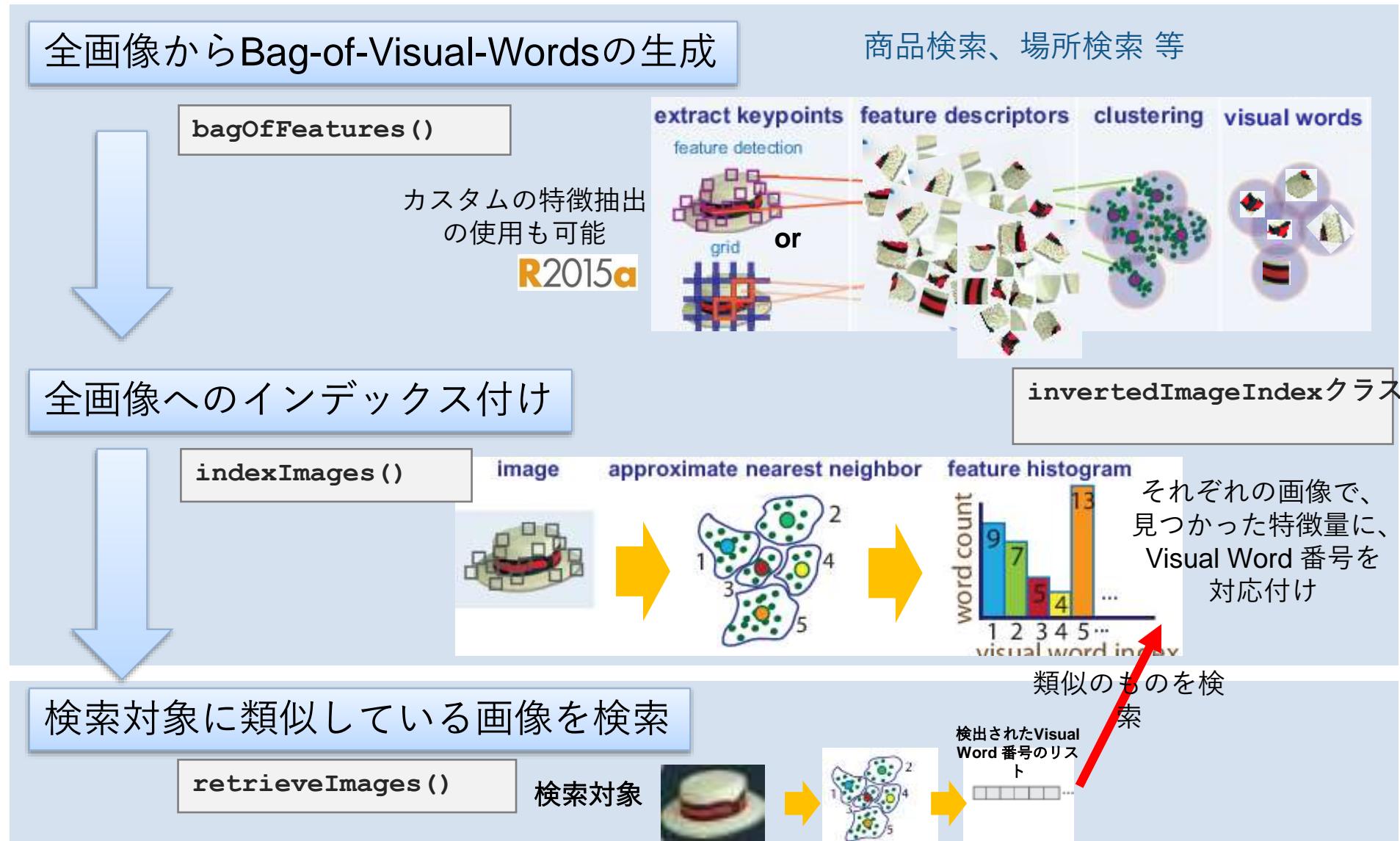
`trainImageCategoryClassifier()` は Statistics and Machine Learning Toolbox が必要



各学習用の画像を、Visual Wordsのヒストグラムで表し、機械学習により分類器を生成

5.5.2 Bag-of-Visual-Wordsを用いた類似画像検索

R2015a



5.6 ニューラルネットワークを用いた機械学習

Deep Learning Toolbox™

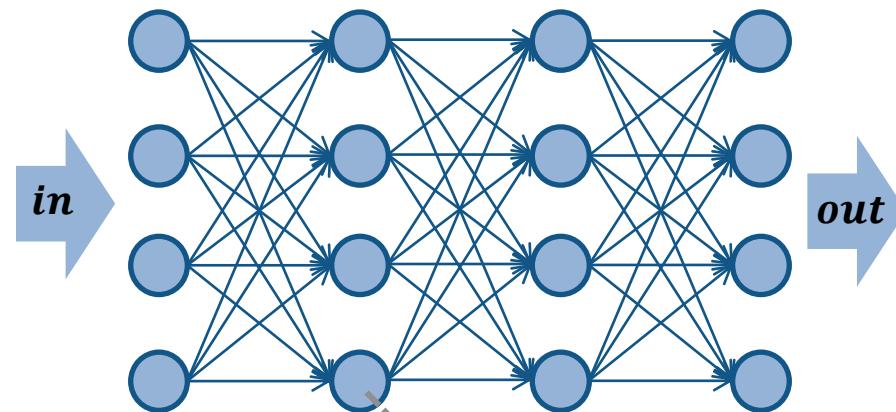
- 深層学習 (Deep Learning) への対応
 - オートエンコーダー
 - 畳み込みニューラルネットワーク (CNN)
 - LSTM
 - GAN
- ニューラルネットワーク
 - フィードフォワードネットワーク
 - リカレントニューラルネットワーク
 - 放射基底ネットワーク
 - 動的ネットワーク (NARX, Layer-Recurrent)
 - 学習ベクトル量子化 (LVQ)
 - 競合学習、自己組織化マップ (SOM)
- 況化性能の改善
 - 正則化、早期終了
- 制御システムへの適応
 - モデル予測制御、線形化、モデル規範型適応制御
 - SimulinkブロックおよびSimulink Coderへの対応
- 大規模データ及び学習の高速化
 - 並列分散およびGPU上での演算



5.6.1 積層自己符号化器 (Stacked Autoencoder)

R2015a R2015b
Deep Learning Toolbox™

Parallel Computing Toolboxを使うことで、
GPUや並列処理による高速化が可能



例) Stacked Autoencoder による、手書き文字の認識

$$out = f(\sum_j w_j \cdot in_j + b_j)$$

閾値を越えると発火

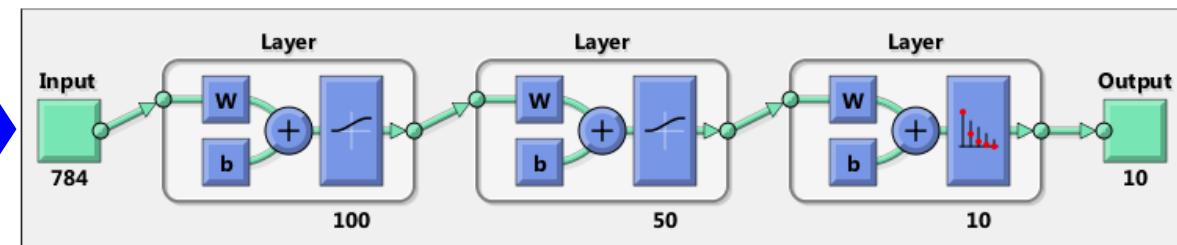
1

学習後の、Deep Neural Network

9

8

2



100個のノード

50個のノード

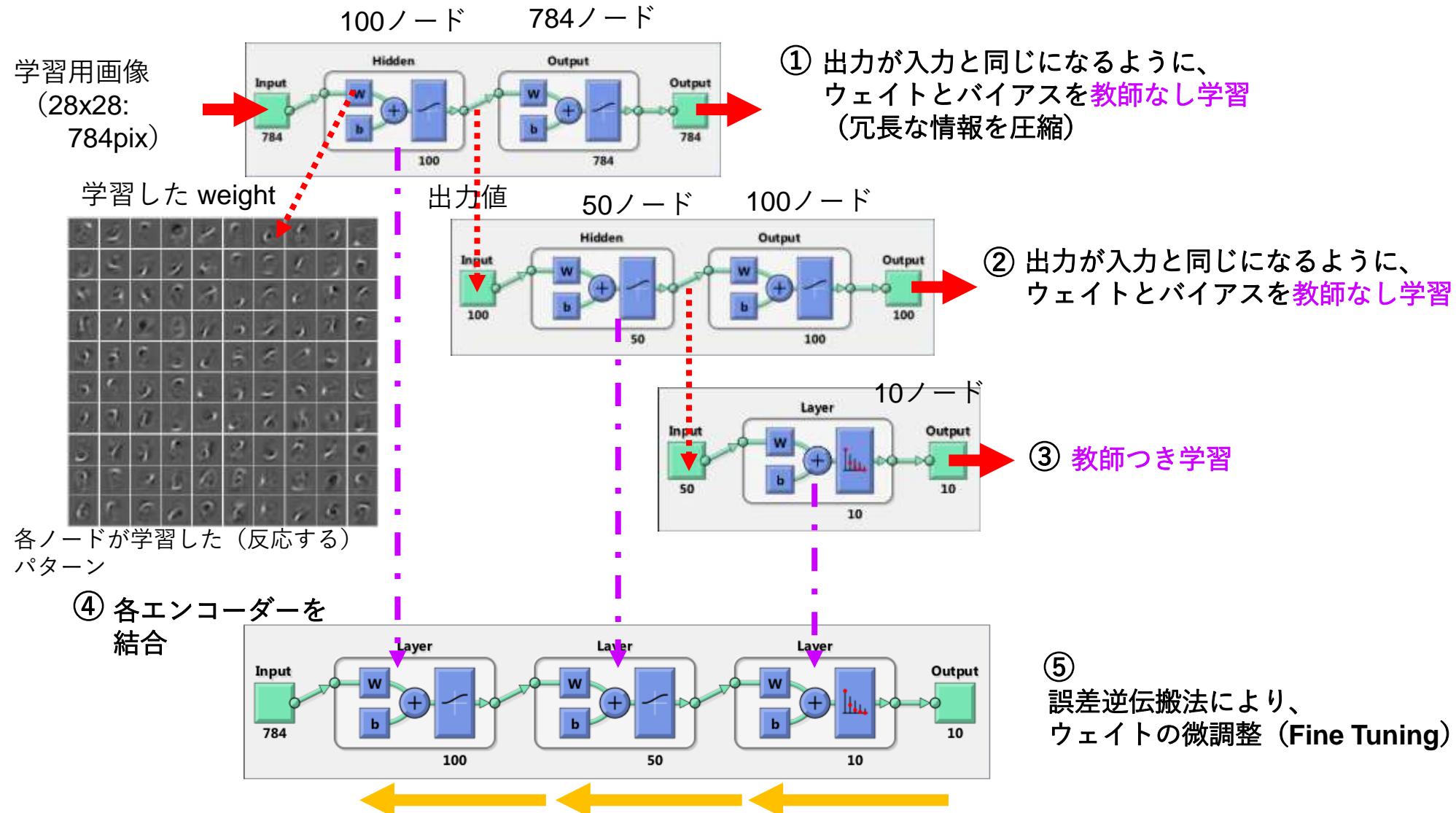
10クラスに分類

1
9
8
2

5.6.1 積層自己符号化器 (Stacked Autoencoder)

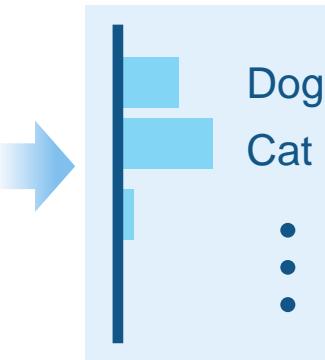
Deep Learning Toolbox™

Autoencoderによる Deep Neural Networkの学習：一層ずつ学習



5.6.2.1 ディープラーニングによる画像分類・検出・領域切り出し

画像分類（画像全体）



画像

確率値

物体の検出



自動車

R-CNN / Fast R-CNN / Faster R-CNN
YOLO v2 / SSD / YOLO v3

物体の検出と領域の切り出し



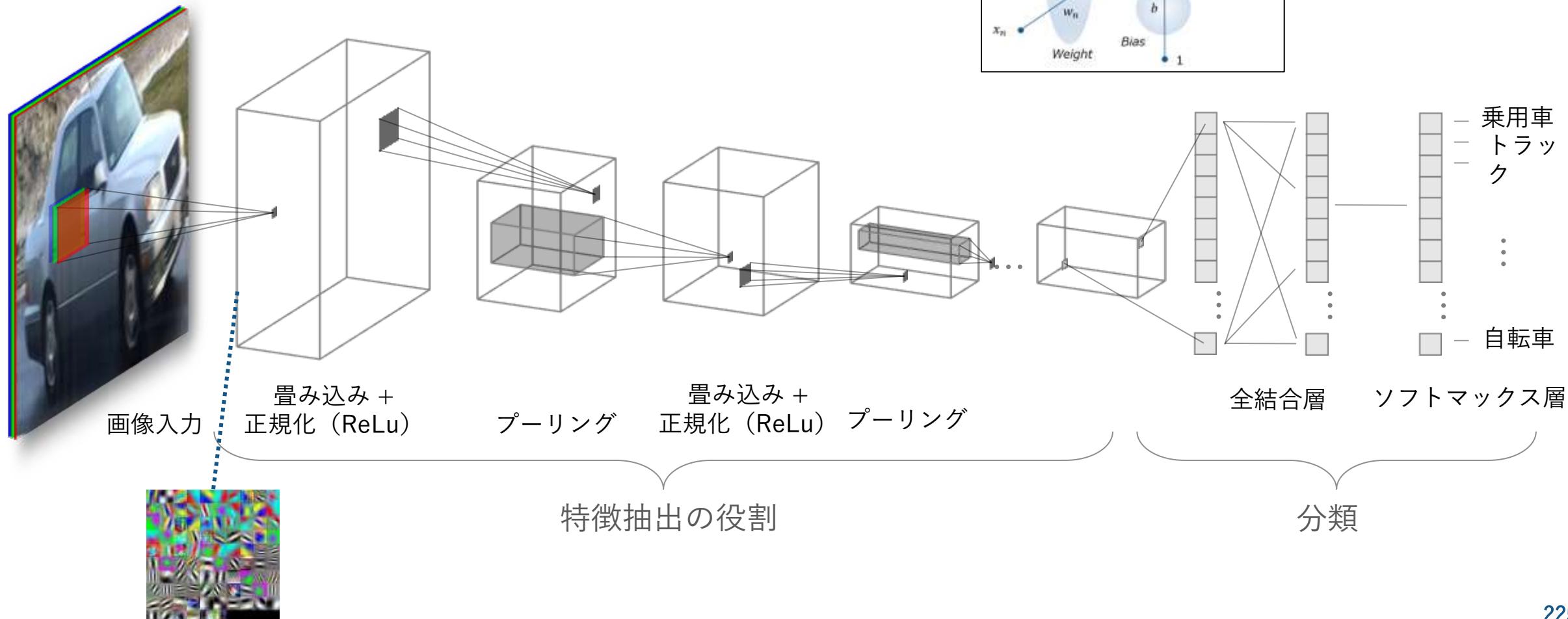
車道

自動車

SegNet / FCN / U-Net /
DeepLab v3+**R2019b**

5.6.2.1 ディープラーニング：畠み込みニューラルネットによる分類

畠み込み層・プーリング層・正規化層などを
積み重ねて作られた多層のニューラルネットワーク
畠み込みニューラルネットワーク (CNN)



5.6.2.1 ディープラーニング：畳み込みニューラルネットによる分類

R2016a

28×28 ピクセルの画像（数字）を認識させる例題でのネットワーク構築の手順

```
digitDatasetPath = fullfile(matlabroot,'toolbox','nnet',...
    'nnndemos','nndatasets','DigitDataset');
imds = imageDatastore(digitDatasetPath, ...
    'IncludeSubfolders',true,'LabelSource','foldernames');
```

```
layers = [ ...
    imageInputLayer([28 28 1], 'Normalization', 'none');
    convolution2dLayer(5, 20);
    reluLayer();
    maxPooling2dLayer(2, 'Stride', 2);
    fullyConnectedLayer(10);
    softmaxLayer();
    classificationLayer()];
```

```
opts = trainingOptions('adam', 'MaxEpochs', 10);
net = trainNetwork(imds, layers, opts);
```

GPU有無を自動で判定。あればGPU、なければCPUで学習。

<http://www.mathworks.com/help/releases/R2017b/nnet/ref/trainnetwork.html>



..... 畳み込み層・プーリング層・正規化層などの層を積み上げて定義

..... 学習率や最大反復数などを定義して

学習の実行
Deep Learning Toolbox, Parallel Computing Toolbox
compute capability 3.0以上のCUDA GPUが必要

5.6.2.1 ディープラーニング：ディープネットワークデザイナアプリ

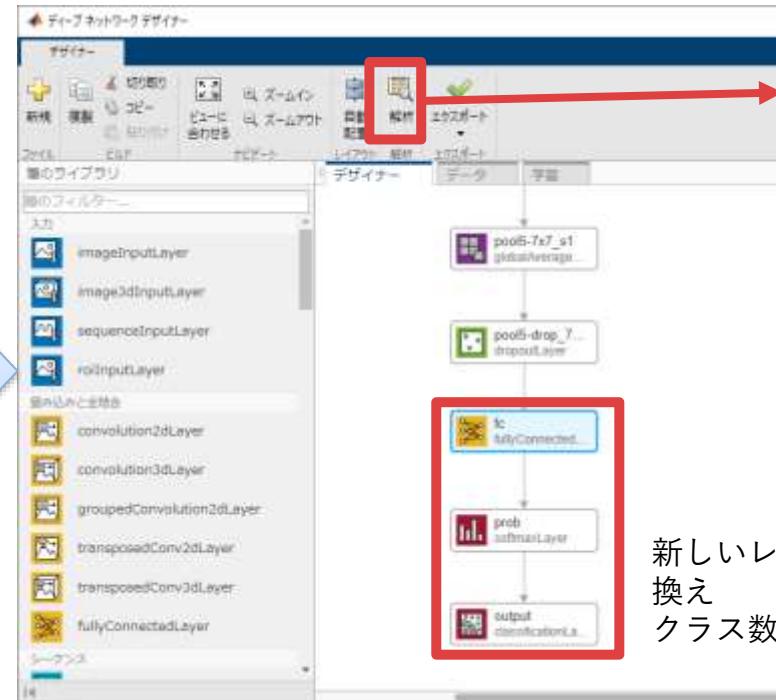
R2018b

Deep Learning Toolbox™



ゼロから設計

or
学習済みモデルの選択 R2020a



ネットワークの
整合性を自動
チェック

新しいレイヤーの置き
換え
クラス数を変更

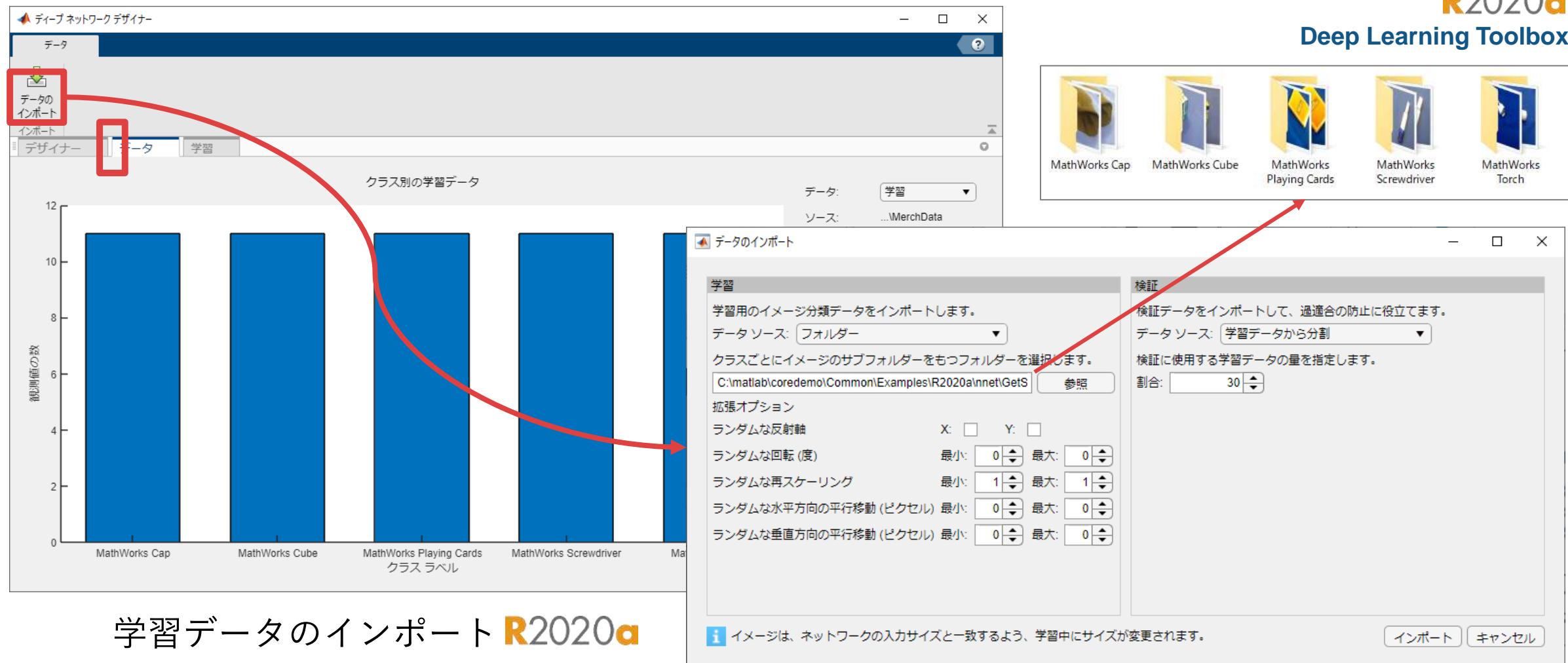
マウス操作でネットワークを設計
Computer Vision関連のレイヤーに対応 R2019a

deepNetworkDesigner

5.6.2.1 ディープラーニング：ディープネットワークデザイナーアプリ

R2020a

Deep Learning Toolbox™



学習データのインポート R2020a

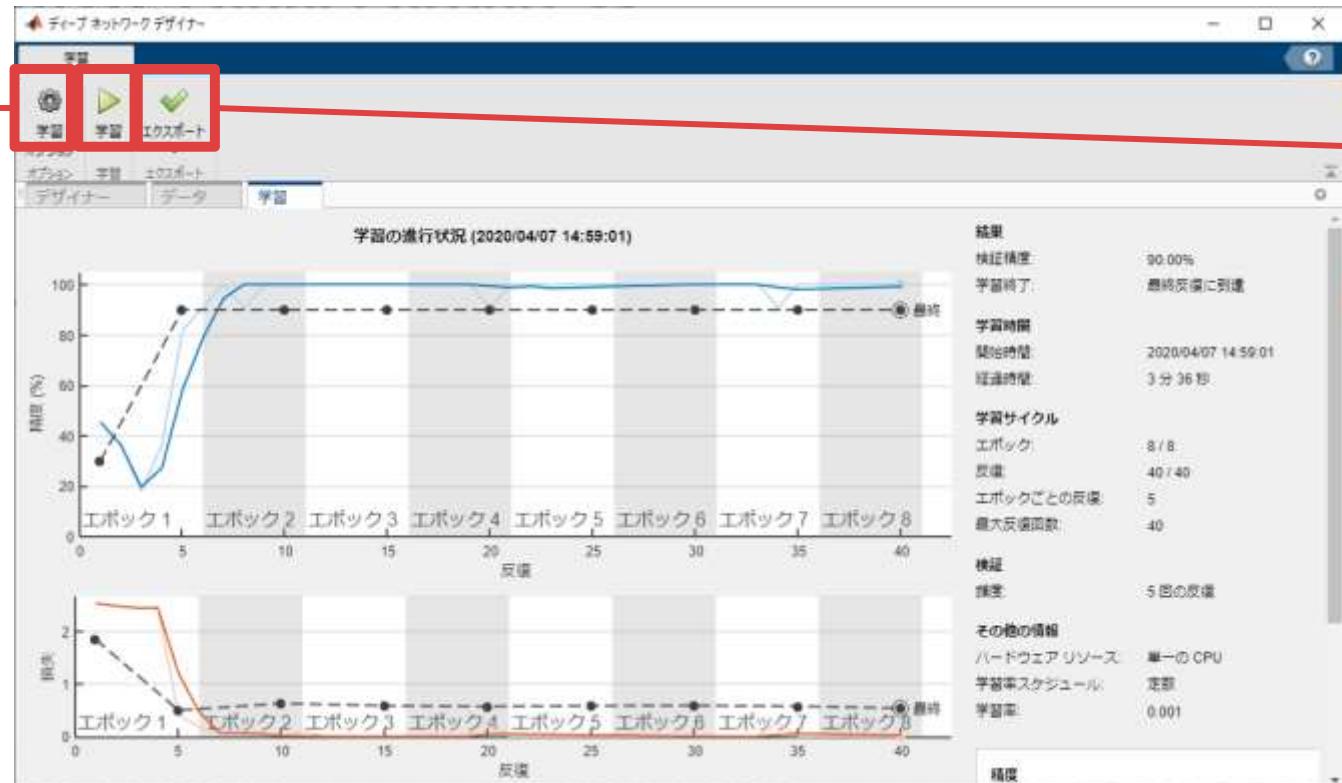
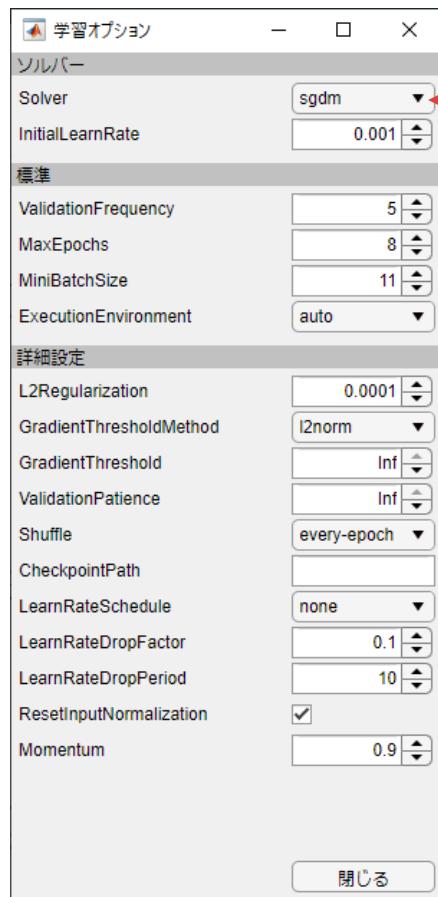
deepNetworkDesigner

分類データの入ったフォルダを指定
拡張(augmentation)や検定の設定も可能

5.6.2.1 ディープラーニング：ディープネットワークデザイナアプリ

R2020a

Deep Learning Toolbox™



```

訓練学習モデルの作成と学習
次のプロトタイプを使って準備学習ネットワークを作成し学習させるためのスクリプト。
訓練の数: 144
検定数: 118
準備セットアップ フォルダ: C:\matlab\toolbox\deeplearning\Example\DeepLearn\GetStartedWithDeepLearn
このスクリプトを実行してネットワークを構成し、学習データと検証データをインポートし、ネットワークに学習させます。ネットワーク層はワークスペース変数 netGraph に保存されています。
準備済みネットワークはワークスペース変数 net に保存されています。
詳細については「ディープキットワークデザイナーから MATLAB コードを生成」を参照してください。

MATLAB からの自動生成日: 2020/04/07 15:09:40
初期パラメーターの読み込み
ネットワーク初期化のためのパラメータを読み込みます。既存学習では、ネットワークの初期化パラメーターは初期事前準備済みネットワークのパラメーターです。
1 trainingSetup = load('C:\matlab\toolbox\deeplearning\Example\DeepLearn\GetStartedWithDeepLearn\GetStartedWithDeepLearn.mat');

データのインポート
学習データと検証データをインポートします。
2 imTrain = imageDatastore(['C:\matlab\toolbox\deeplearning\Example\DeepLearn\GetStartedWithDeepLearn\Im2Train', 'Im2Validation'], 'SplitEachLabel', 1);
3 im2Graph = splitEachLabel(imTrain, 8);
4 im2GraphTrain = augmentedImageDatastore([128 128 3], im2Graph);
5 im2GraphValidation = augmentedImageDatastore([128 128 3], im2Validation);

学習オプションの設定
学習時に適用されるオプションを指定します。
6 opts = trainingOptions('sgdm',...
    'ExecutionEnvironment', 'auto',...
    'InitialLearnRate', 0.001,...)

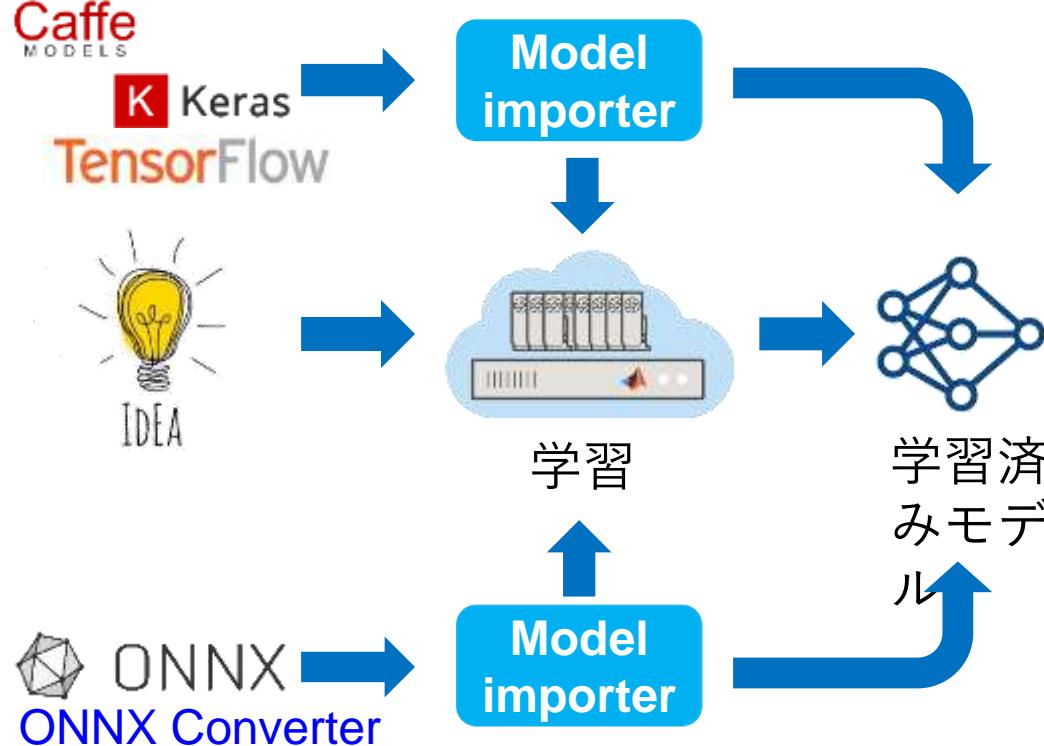
```

学習オプション

deepNetworkDesigner

5.6.2.2 ディープラーニング：学習済みモデル

[提供されている学習済みニューラルネットワーク一覧](#)



ネットワーク	深さ	容量	パラメーター数 (数弱万)	画像の入力サイズ
squeezeNet	18	5.2 MB	1.24	227-by-227
googlenet	22	27 MB	7.0	224-by-224
inceptionv3	48	89 MB	23.9	299-by-299
densenet201	201	77 MB	20.0	224-by-224
mobilenetv2	53	13 MB	3.5	224-by-224
resnet18	18	44 MB	11.7	224-by-224
resnet50	50	96 MB	25.6	224-by-224
resnet101	101	167 MB	44.6	224-by-224
xception	71	85 MB	22.9	299-by-299
inceptionresnetv2	164	209 MB	55.9	299-by-299
shufflenet	50	5.4 MB	1.4	224-by-224
nasnetmobile	*	20 MB	5.3	224-by-224
nasnetlarge	*	332 MB	88.9	331-by-331
darknet19	19	78 MB	20.8	256-by-256
darknet53	53	155 MB	41.6	256-by-256
efficientnetb0	82	20 MB	5.3	224-by-224
alexnet	8	227 MB	61.0	227-by-227
vgg16	16	515 MB	138	224-by-224
vgg19	19	535 MB	144	224-by-224

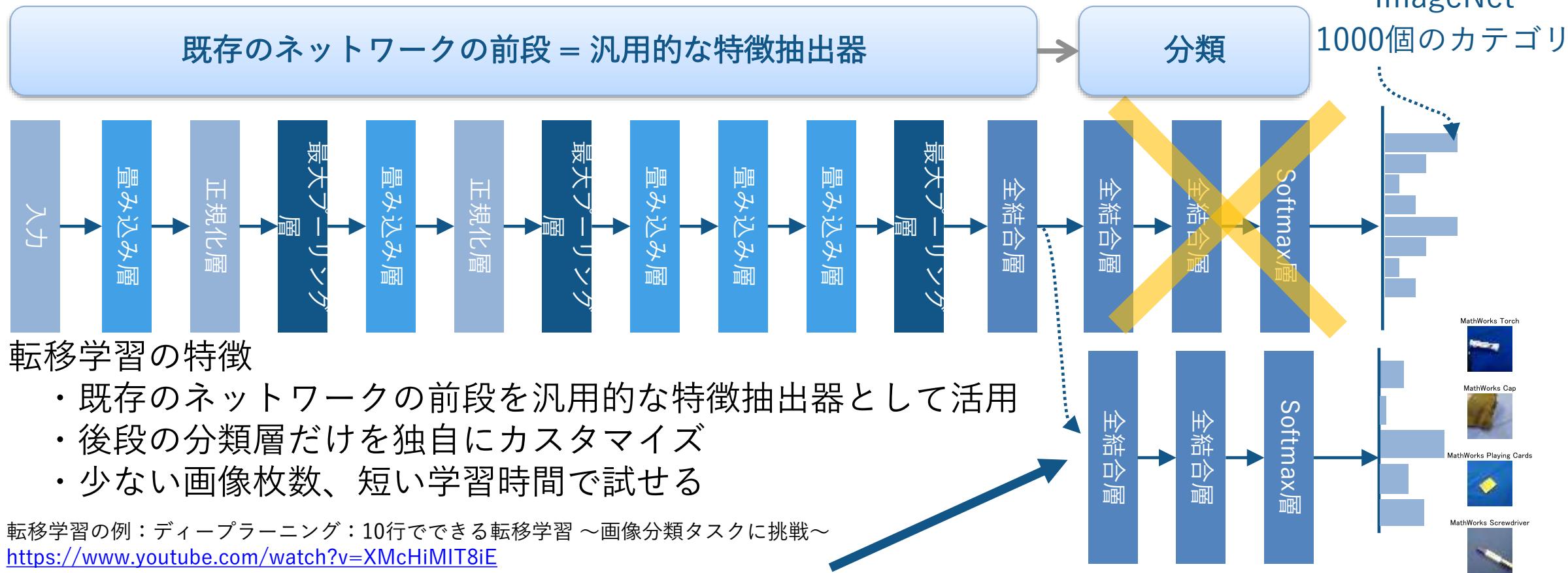
```
net = alexnet % 学習済みモデルの読み込み
I = imread('peppers.png'); % 画像読み込み
sz = net.Layers(1).InputSize;
I = I(1:sz(1),1:sz(2),1:sz(3)); % ネットワークの入力画像サイズに切り出し
label = classify(net, I) % 分類
```

5.6.2.2 ディープラーニング：学習済みモデルによる転移学習

Deep Learning Toolbox™

ImageNet

1000個のカテゴリ

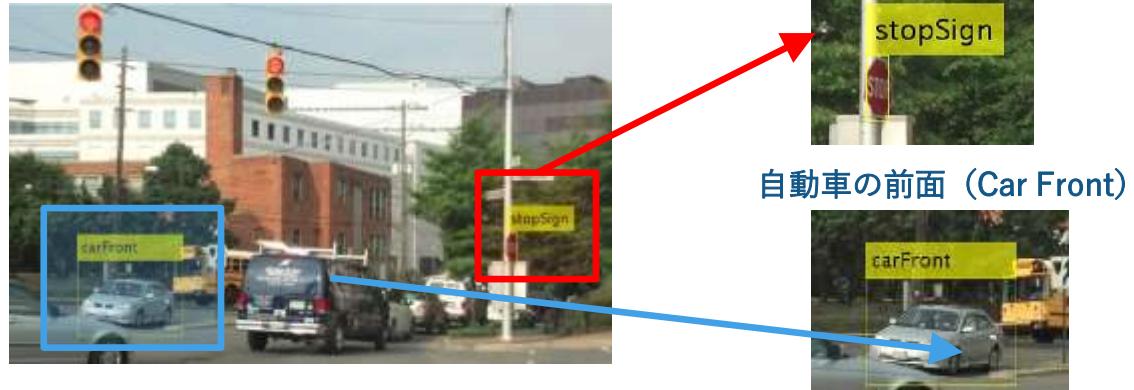


```
alex = alexnet; layers = alex.Layers; % ベースのネットワークの読み込み
layers(23) = fullyConnectedLayer(10); % 独自のラベル数に変更(この例は10種類)
layers(25) = classificationLayer; % 分類レイヤーを新たに作成し付け替え
myNet = trainNetwork(imds, layers, opts); % 学習
```

5.6.2.3 ディープラーニング：領域ベース(R-CNN)による検出 R2016b

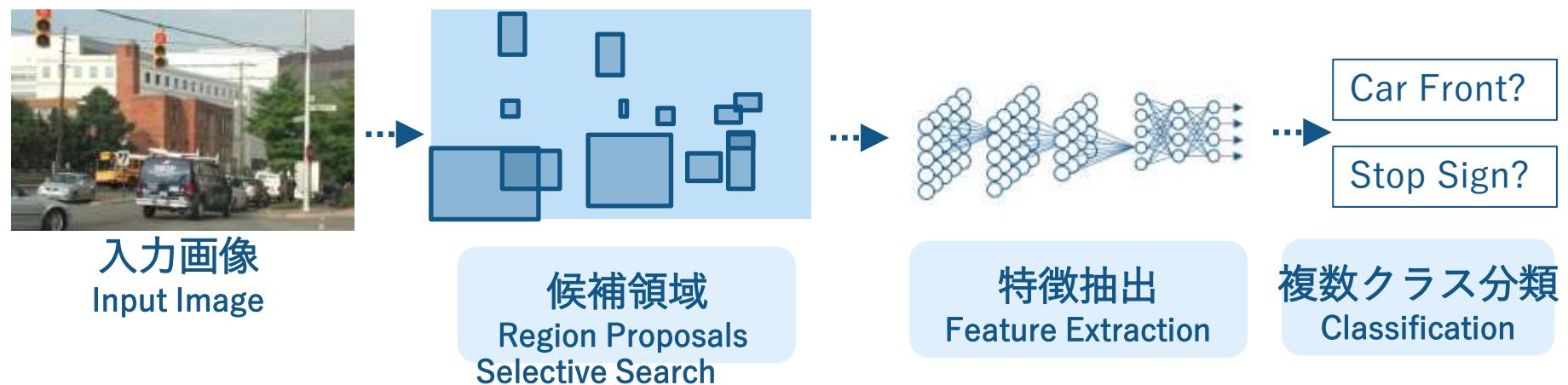
CNNにコンピュータビジョンの手法を組み合わせた物体(位置)検出・識別の手法

R-CNNに自動車の前面と停止標識を学習させた場合の例 停止標識 (Stop Sign)



R2018a

`selectStrongestBboxMulticlass`
nonmaximal suppressionアルゴリズム
を用いた最適な境界ボックスの選択
(マルチクラス対応)

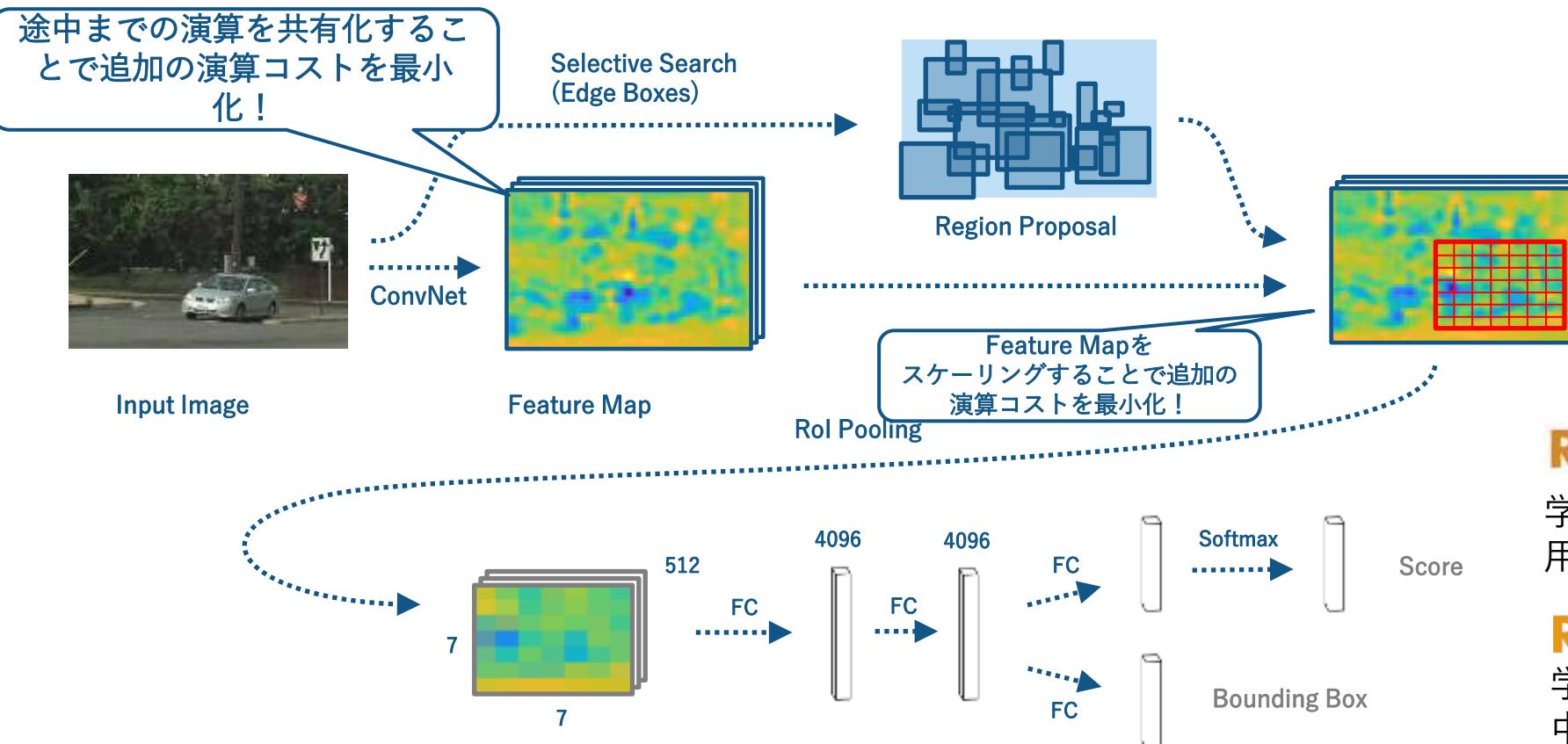


```
detector = trainRCNNObjectDetector(trainingData, network, options)
```

R2021a

- ・学習時の進捗可視化、中断に対応

5.6.2.4 ディープラーニング：Fast R-CNNによる検出



R2020a

学習時にモデル評価用オプションが追加

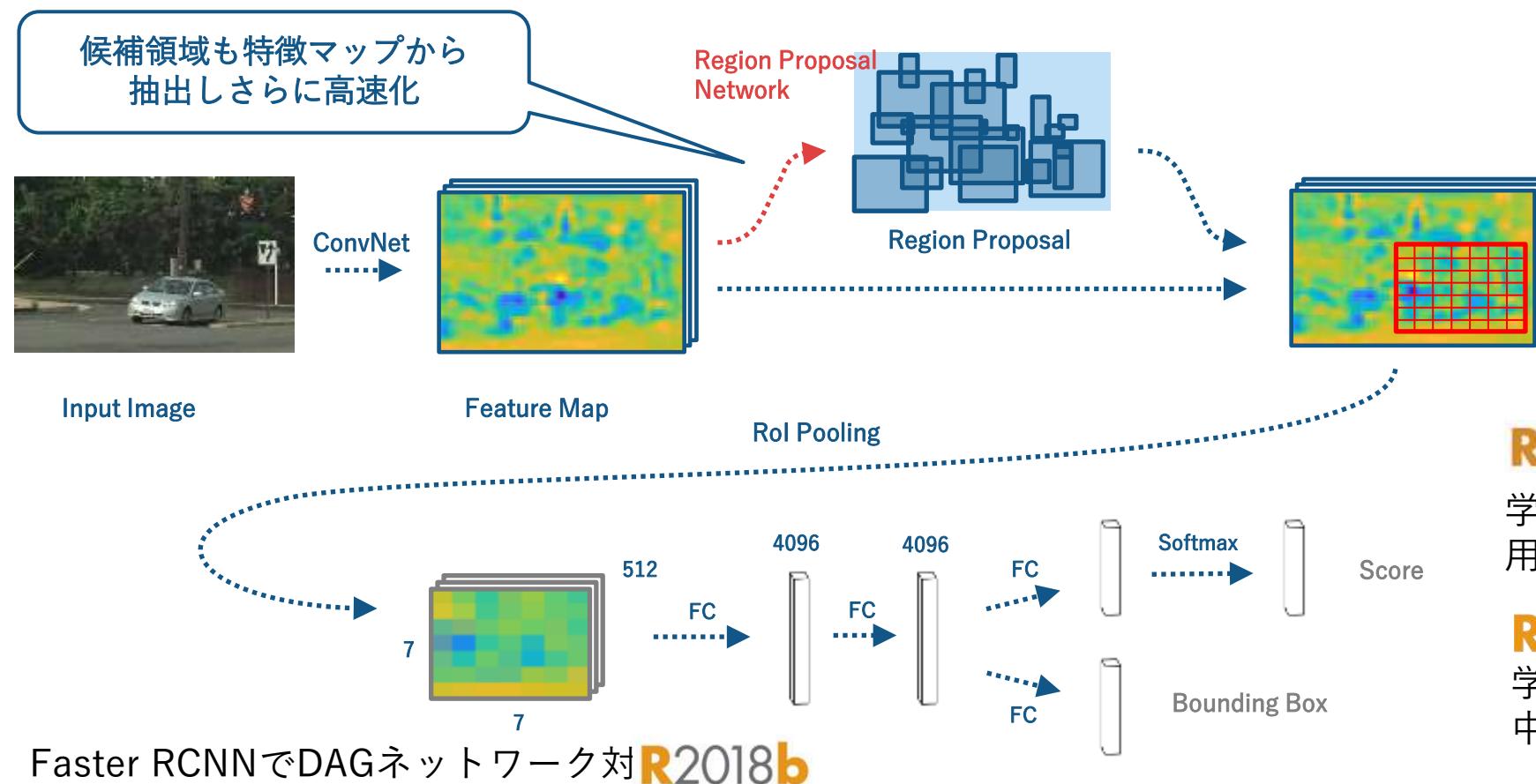
R2021a

学習時の進捗可視化、中断に対応

```
frcnn = trainFastRCNNObjectDetector(data, layers, options, ...
    'NegativeOverlapRange', [0 0.1], ...
    'PositiveOverlapRange', [0.7 1], ...
    'SmallestImageDimension', 400);
```

5.6.2.5 ディープラーニング：Faster R-CNNによる検出

R2017a



R2020a

学習時にモデル評価用オプションが追加

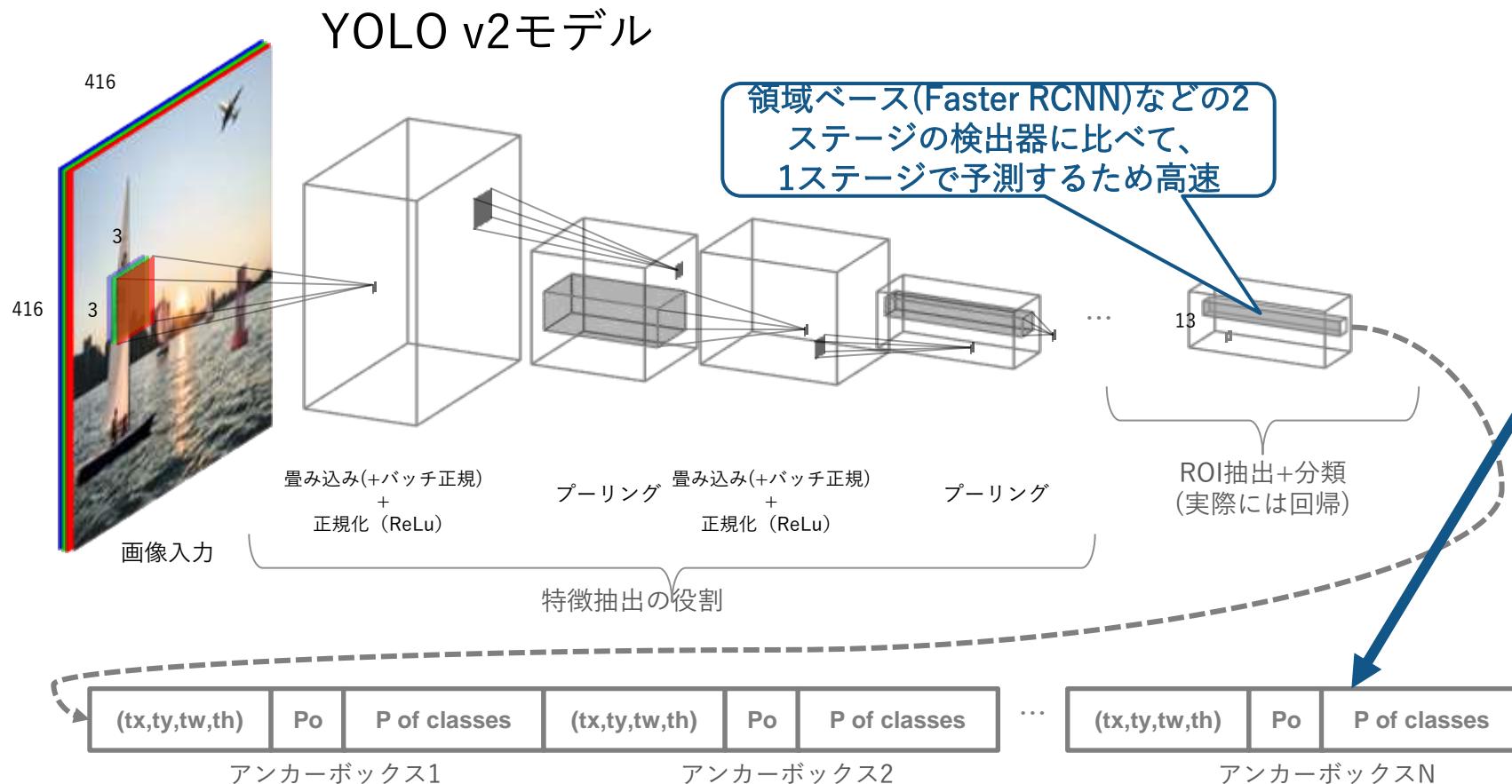
R2021a

学習時の進捗可視化、中断に対応

Faster RCNNでDAGネットワーク対R2018b

```
detector = trainFasterRCNNObjectDetector(data, layers, options, ...
    'MiniBoxSizes', [90 180; 128 128; 180 90] , ...
    'BoxPyramidScale', 1.2,
    'NumBoxPyramidLevel', 3);
```

5.6.2.6 ディープラーニング：YOLO v2/v3/v4による物体検出 R2019a



Computer Vision Toolbox
Deep Learning Toolbox
Parallel Computing Toolbox
compute capability 3.0以上の、
CUDA GPUが必要。

R2019b

k-meansクラスタリングによる
アンカーボックスサイズの推定
[estimateAnchorBoxes](#)

R2020a

- ONNX™-, Kerasからのモデル取り込み
- ONNXへのエクスポート
- 学習時のモデル評価機能追加
- [YOLO v3のサンプルコード提供](#)

R2021a

- 学習時の進捗可視化、
中断に対応

R2022a

- YOLO v4の学習対応
([trainYOLOv4ObjectDetector](#))

```
[detector,info] = trainYOLOv2ObjectDetector(trainingData,lgraph,options);
```

GPU Coderを使って学習済み検出器からCUDAコード生成可能

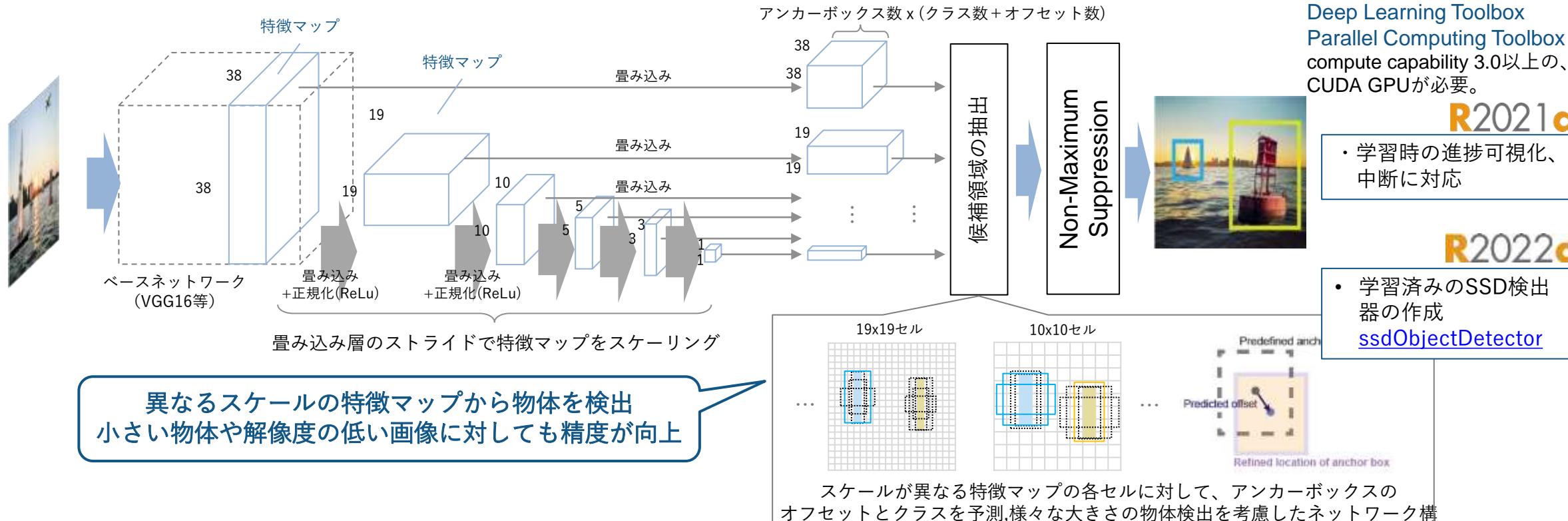
```
net = loadDeepLearningNetwork('yolov2.mat')
[bboxes, scores, labels] = net.detect()
```

Computer Vision Toolbox
Deep Learning Toolbox
Parallel Computing Toolbox
compute capability 3.0以上の、
CUDA GPUが必要。

- 学習時の進捗可視化、
中断に対応

- 学習済みのSSD検出器の作成
[ssdObjectDetector](#)

5.6.2.7 ディープラーニング：SSDによる物体検出



```
lgraph = ssdLayers(imageSize,numClasses,baseNetwork)
trainedDetector = trainSSDObjectDetector(trainingData,lgraph,options)
```

GPU Coderを使って学習済み検出器からCUDAコード生成可能

```
ssdObj = coder.loadDeepLearningNetwork('ssdTrained.mat');
[bboxes, scores, labels] = ssdObj.detect()
```

5.6.2.8 ディープラーニング：境界ボックスデータの拡張

R2019b

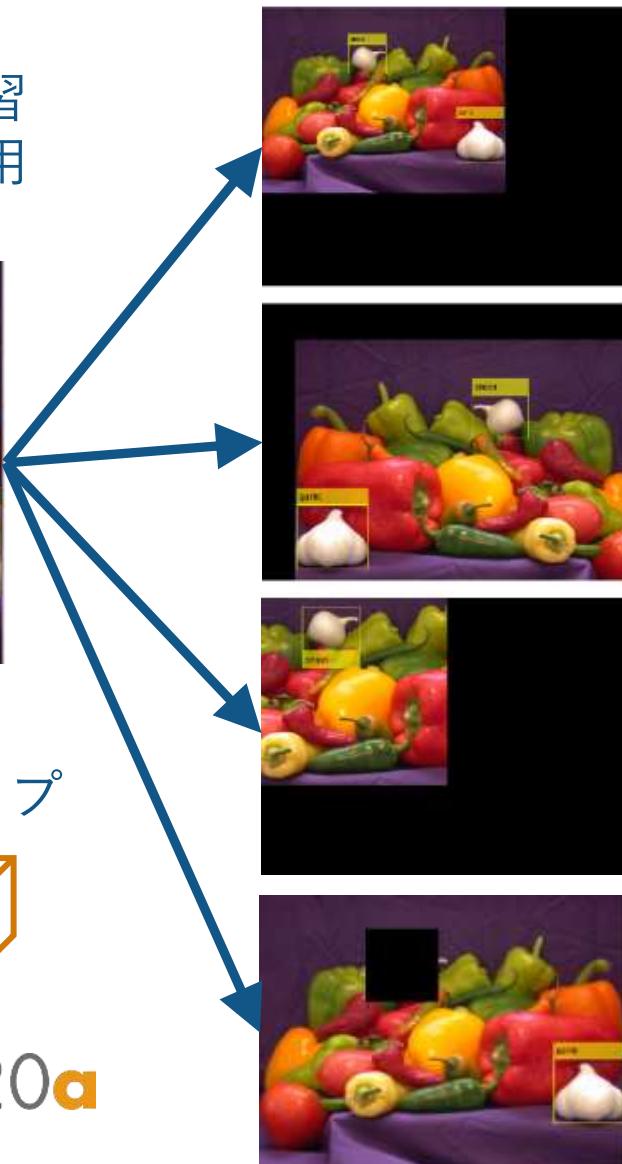
R-CNNやYOLOの学習時データ水増しに活用



境界ボックスのタイプ



傾きを伴う境界ボックスや Cuboidにも対応 R2020a



境界ボックスのリサイズ

```
scale = 1.5;
bboxB = bboxresize(bboxA, scale);
```

境界ボックスの幾何学的変換

```
tform = affine2d([-1 0 0; 0 1 0; 50 50 1]);
rout = affineOutputView(size(I), tform);
[bboxB, indices] = bboxwarp(bboxA, tform, rout)
```

境界ボックスの切り抜き

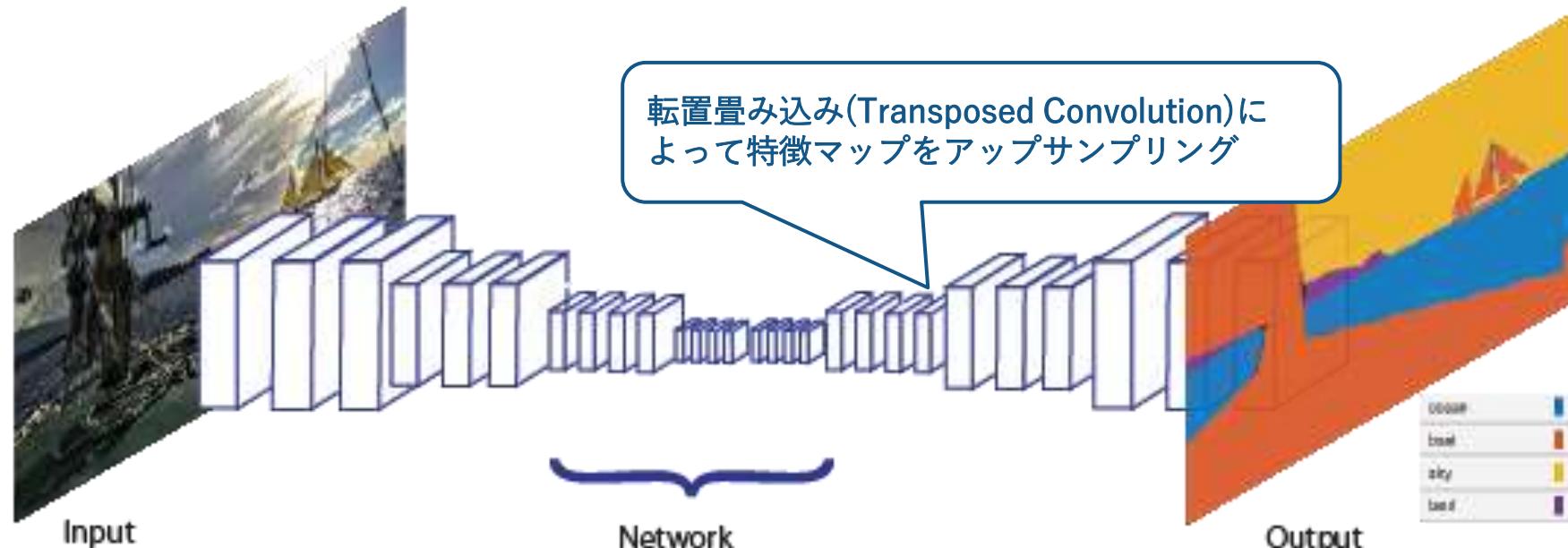
```
targetSize = [256 256];
win = centerCropWindow2d(size(I), targetSize);
[bboxB, indices] = bboxcrop(bboxA, win);
```

境界ボックスの削除 R2021a ※傾き、Cuboidには未対応

```
win = [150 50 100 100]
[bboxB, indices] = bboxerase(bboxA, win);
```

5.6.3.1 ディープラーニング：FCNによるセグメンテーション R2017b

FCN(Fully Convolutional Network; 全層畳み込みネットワーク)によるセマンティックセグメンテーション
全結合層を転置畳み込み層に置き換え→位置情報が保存されたままアップサンプリング→画素ごとのクラス分類



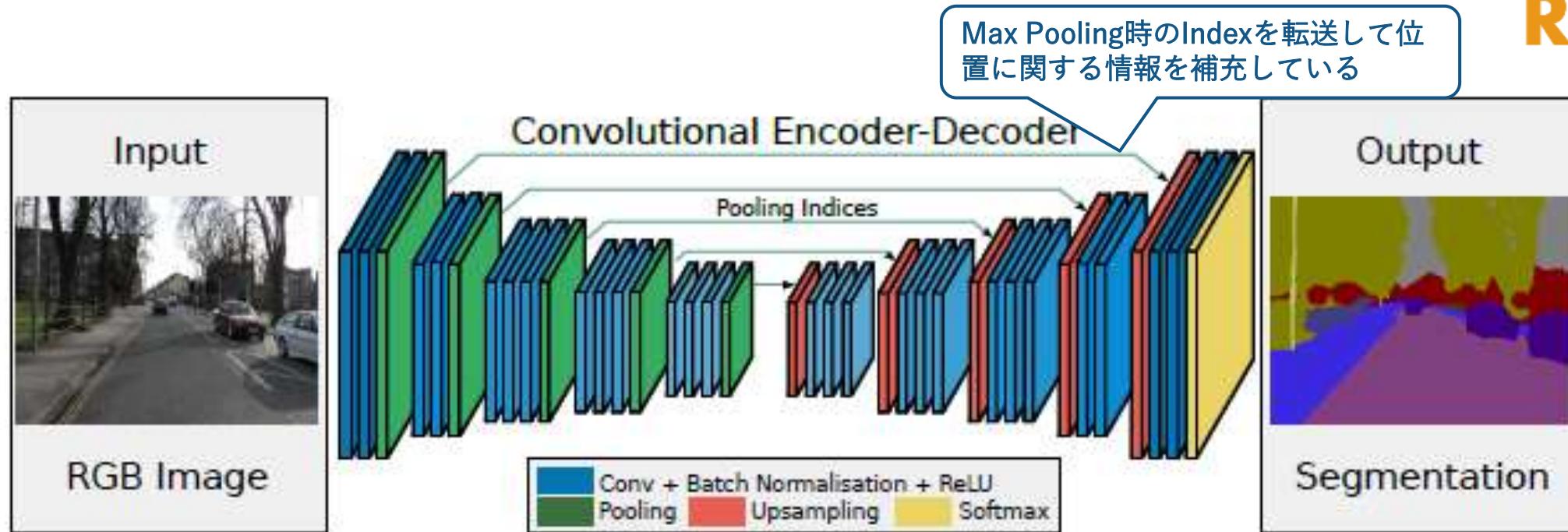
FCN-AlexNetの例：CamVidデータセットを用いたセグメンテーション
<https://jp.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/65851-semantic-segmentation-using-fcn-alexnet>

```
imageSize = [480 640]; numClasses = 5;
lgraph = fcnLayers(imageSize, numClasses)
plot(lgraph)
```

R2020b
アンバランスデータの精度を上げるためのFocalロスをサポート
focalLossLayer()

5.6.3.2 ディープラーニング：SegNetによるセグメンテーション

R2017b

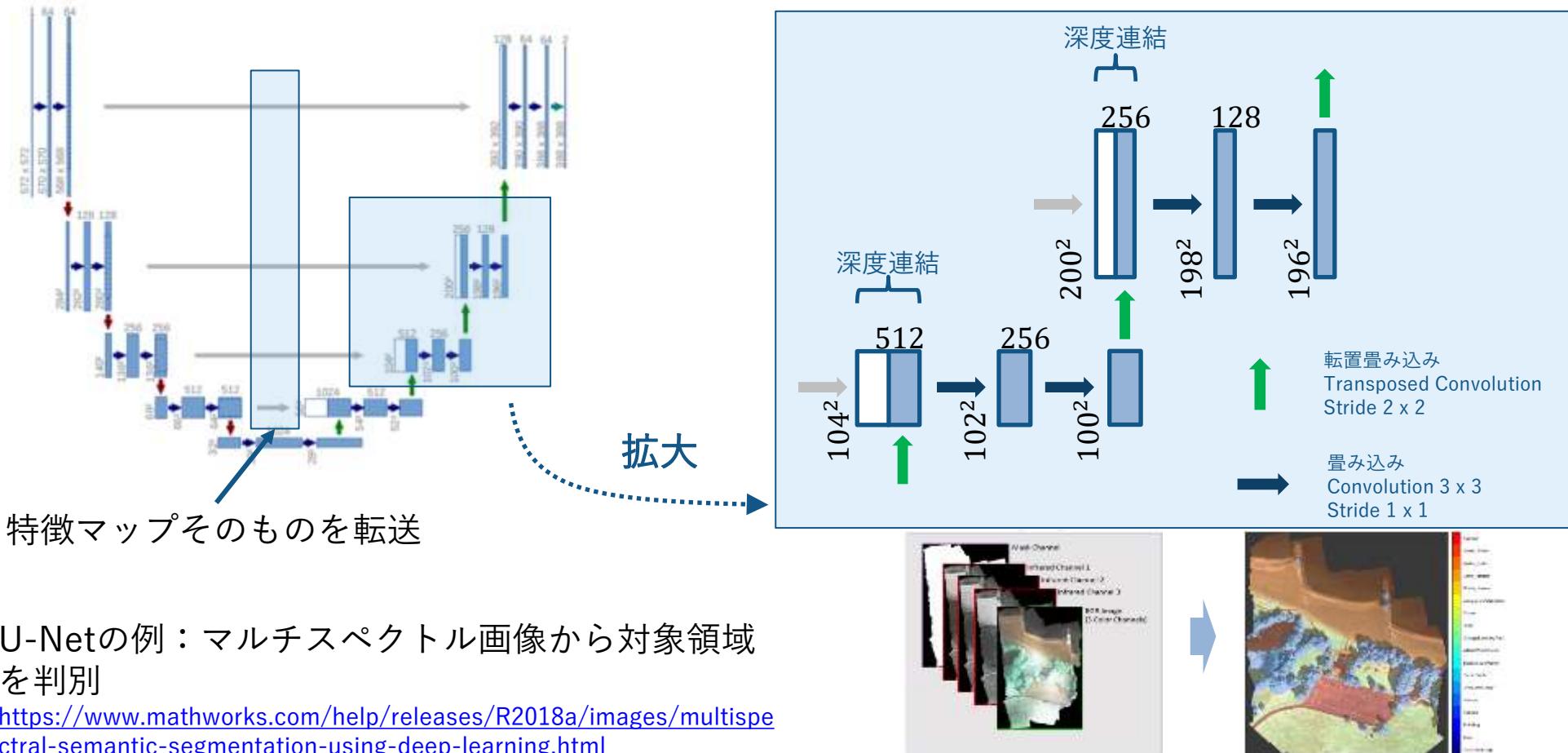


SegNetの例：液塗抹標本画像の3クラスセグメンテーション
<https://jp.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/66448-medical-image-segmentation-using-segnet>

Deeplab v3+に例題アップデート R2019a
`lgraph = helperDeepLabv3PlusResnet18(imageSize, numClasses);`

```
imageSize = [32 32]; numClasses = 2;
lgraph = segnetLayers(imageSize,numClasses,2)
plot(lgraph)
```

5.6.3.3 ディープラーニング：U-NetによるセグメンテーションR2018b

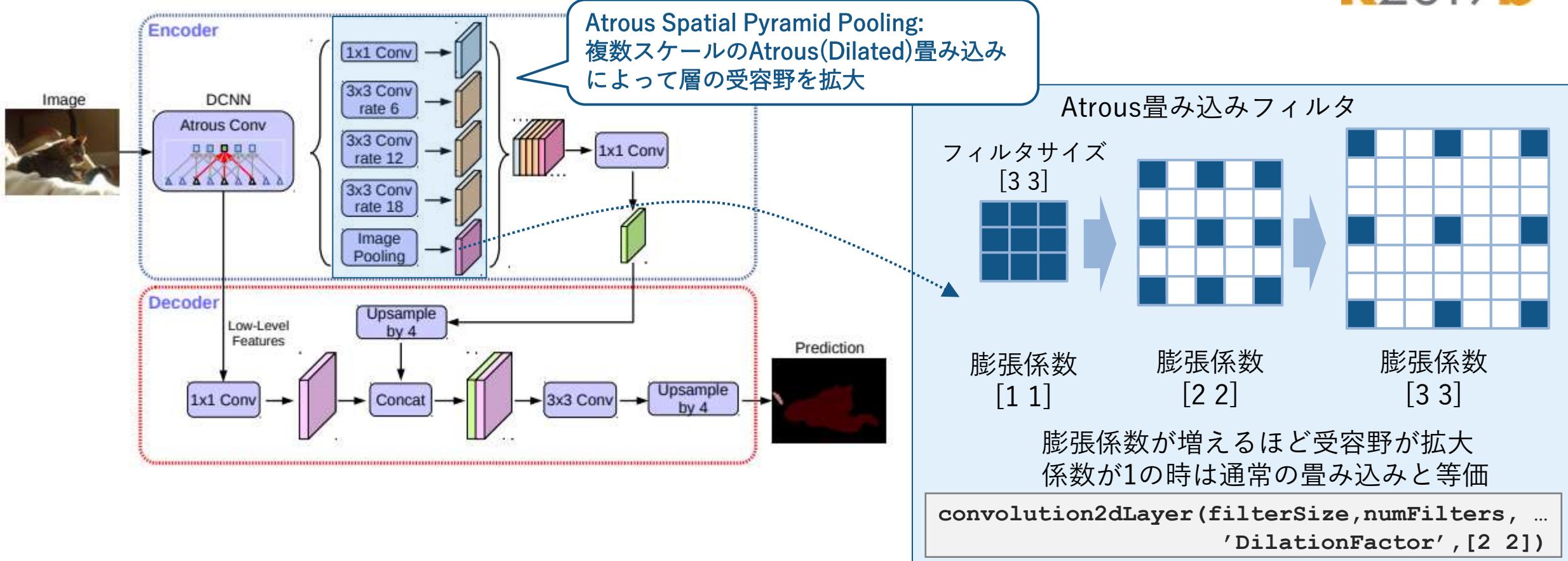


```
imageSize = [480 640 3]; numClasses = 5; encoderDepth = 3;
lgraph = unetLayers(imageSize, numClasses, 'EncoderDepth', encoderDepth)
plot(lgraph)
```

Computer Vision Toolbox, Deep Learning Toolbox, Parallel Computing Toolbox, compute capability 3.0以上の、CUDA GPUが必要。

5.6.3.4 ディープラーニング：DeepLab v3+によるセグメンテーション

R2019b

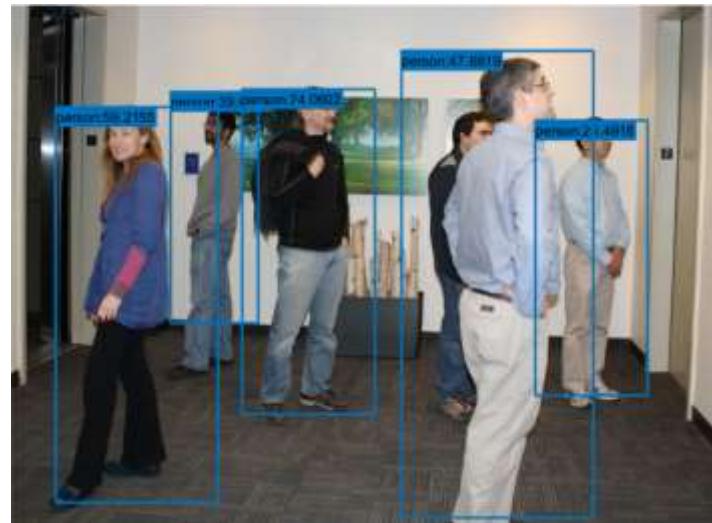


```
imageSize = [480 640 3]; numClasses = 5; network = 'resnet18';
lgraph = deeplabv3plusLayers(imageSize,numClasses,network);
plot(lgraph)
```

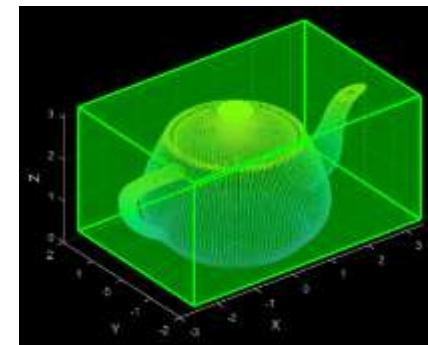
5.6.3.5 画像への境界ボックスやマスクの挿入

```
[bboxes,scores] = detect(detector,I);
figure
imshow(I)
labels = "person:"+scores;
showShape('rectangle',bboxes,'Label',labels)
```

シンプルな記述で検出結果を表示



点群の 3D境界表示にも対応



```
I = imread('visionteam1.jpg');
load('visionteam1Maskstack.mat');
numMasks = size(maskstack,3);
RGB = insertObjectMask(I,maskstack,...'Color',lines(numMasks));
figure
imshow(RGB)
```

色分けされたマスクを画像に插入



5.6.3.6 blockedNetwork - 繰り返し構造を持つネットワークを構築

R2021a

- 繰り返し構造を持つネットワークを構築
 - 基本単位を記述
 - blockedNetwork関数で繰り返しを定義
 - 繰り返し数
 - レイヤ名のプレフィックスを定義
 - 学習時にはinitialize関数で初期化して使用

```
%% 基本構造を定義
unetBlock = @(block) [
    convolution2dLayer(3, 2^(5+block))
    reluLayer
    convolution2dLayer(3, 2^(5+block))
    reluLayer
    maxPooling2dLayer(2, "Stride", 2)] ;

%% 繰り返し構造として定義
net = blockedNetwork(unetBlock, 3, ...
    "NamePrefix", "encoder_");

%% 学習に使えるよう初期化
net = initialize(net, ...
    dlarray(zeros(224, 224, 3), "SSC"));
```

Image Processing Toolbox
Deep Learning Toolbox

5.6.3.7 エンコーダ・デコーダネットワーク

R2021a

Image Processing Toolbox
Deep Learning Toolbox

encoderDecoderNetwork

blockedNetwork

or

pretrainedEncoderNetwork

alexnet googlenet inceptionresnetv2

inceptionv3 mobilenetv2

resnet18 resnet50 resnet101

vgg16 vgg19 squeezenet

エンコーダ

blockedNetwork

デコーダ

5.6.3.8 GANネットワークの構築関数

R2021a

Image Processing Toolbox
Deep Learning Toolbox

- `cycleGANGenerator`: cycleGAN用の生成器
- `unitGenerator`: unitGAN用の生成器
- `pix2pixHDGlobalGenerator`: pix2pixHD用の生成器
 - `addPix2PixHDLLocalEnhancer`: pix2pixHD用のlocal enhancerネットワーク
- `patchGANDiscriminator`: パッチGAN用の識別器

```
%% 入力サイズやそのほかのプロパティを設定したうえで、cycleGANの生成器を構築
inputSize = [128 128 3];
net = cycleGANGenerator(inputSize,"NumResidualBlocks",6, ...
    "NamePrefix","cycleGAN6_")
```

5.6.4.1 ディープラーニング：3D U-Netセグメンテーション

R2019a
R2019b

- セマンティックセグメンテーション用関数の3次元サポート

`unet3dLayers`: 3次元U-Netネットワークの生成関数 R2019b

`semanticseg`: セマンティックイメージセグメンテーションの実行

`evaluateSemanticSegmentation`: セグメンテーション予測精度の評価

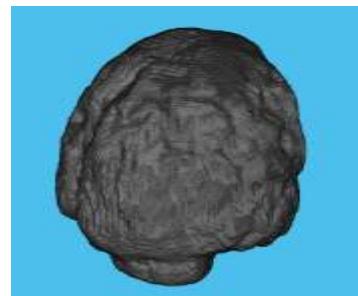
`pixelClassificationLayer`: ピクセル分類層の作成

`dicePixelClassificationLayer`: Dice損失を使用するピクセル分類層の作成 R2019b

`pixelLabelDatastore`: ピクセルラベルデータ用のデータストア

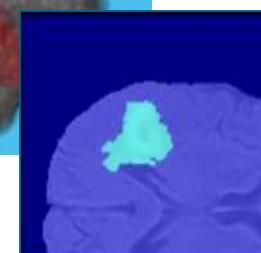
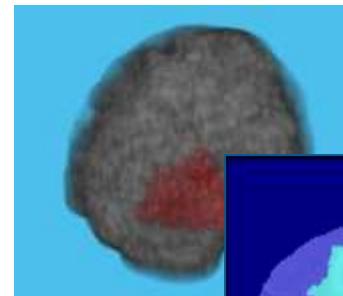
`labelvolshow`: 3Dのラベルの可視化

3次元画像



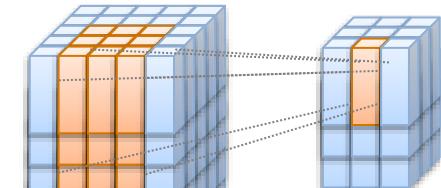
`volshow(vol)`

Ground Truth

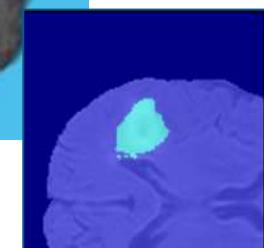
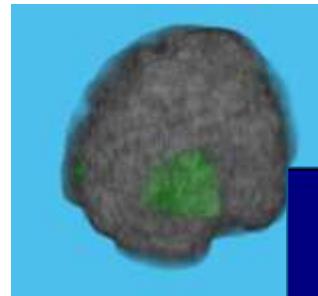


3次元フィルタの畳み込み
(3x3x3のフィルタの例)

`semanticseg(vol, net)`



セグメンテーション結果



```
imageSize = [128 128 128 3]; numClasses = 5; encoderDepth = 2;
lgraph = unet3dLayers(imageSize, numClasses, ...
    'EncoderDepth', encoderDepth, 'NumFirstEncoderFilters', 16)
```

Computer Vision Toolbox, Deep Learning Toolbox, Parallel Computing Toolbox, compute capability 3.0以上の、CUDA GPUが必要。

他の例：肺の腫瘍のセグメンテーション：<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/71521-3-d-deep-learning-lung-tumor-segmentation>

5.6.4.2 ディープラーニング：Mask R-CNNによる インスタンスセグメンテーション

R2021b

- インスタンスセグメンテーション
 - Mask R-CNNの事前学習済みモデル
 - Mask R-CNNの学習 ([trainMaskRCNN](#)) R2022a

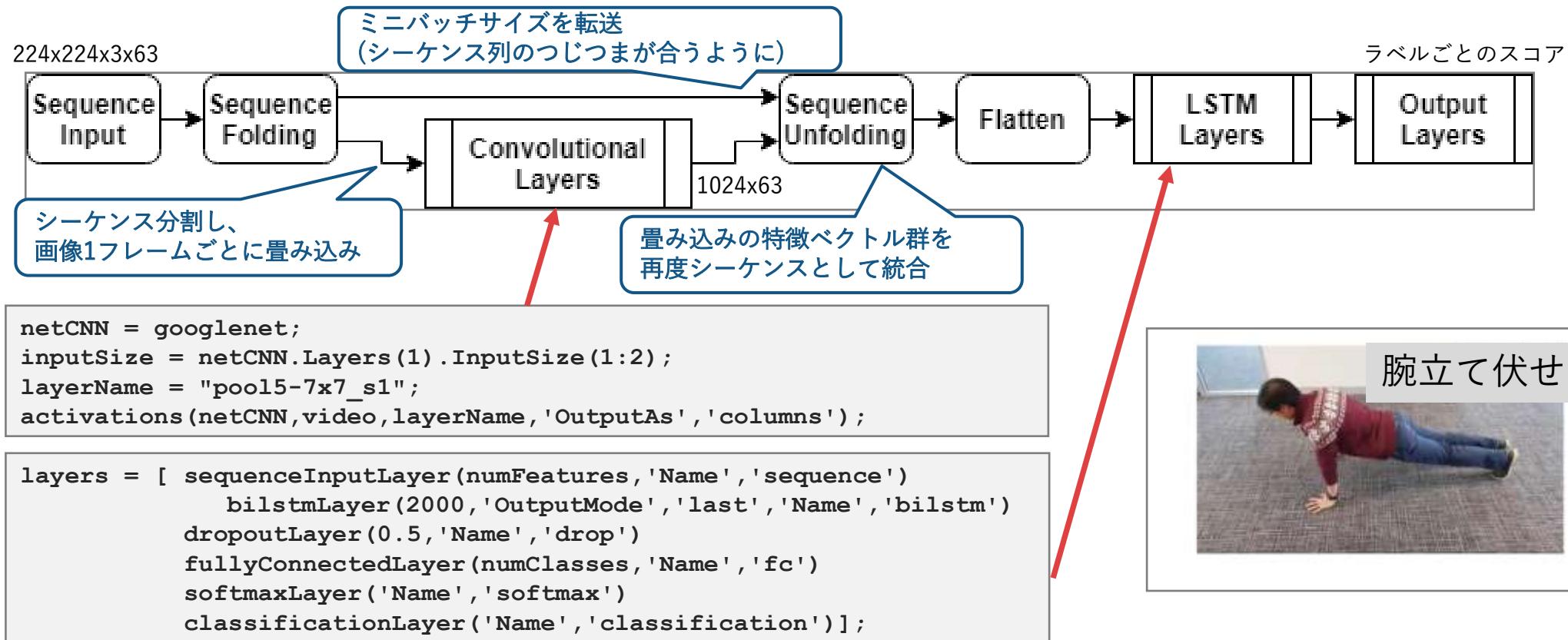


```
I = imread("visionteam.jpg");
detector = maskrcnn("resnet50-coco");
[masks,labels] = segmentObjects(detector, I);
```

5.6.5.1 ディープラーニング：動画の分類

R2019a

- 学習済みの畳み込みニューラルネットワークを使用してビデオを特徴ベクトルのシーケンスに変換
- ビデオラベルを予測するためのLSTMネットワークを学習
- 両方のネットワークのレイヤーを組み合わせてビデオを直接分類するネットワークを構築
- 3つの事前学習済みモデル(slowFast/r2plus1d/inflated3d) R2021b



5.6.6 ディープラーニング：点群データのサポート

R2020a

- 点群によるディープラーニングに活用できる関数群 R2020a

`pcbin`: 点群データの bin 化

`bboxwarp`: 2D/3D 境界ボックスの幾何学的変換

`bboxcrop`: 2D/3D 境界ボックスの切り取り

`bboxresize`: 2D/3D 境界ボックスのリサイズ

`bboxOverlapRatio`: 二つの境界ボックスの重複度

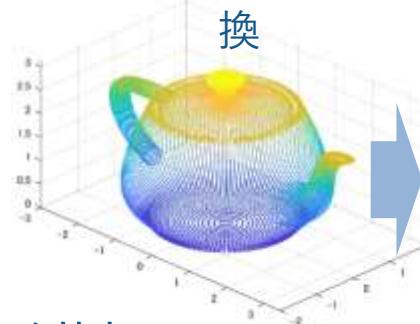
`selectStrongestBbox`: スコアの高い境界ボックスを抽出

`selectStrongestBboxMulticlass`: クラス毎にスコアが高い境界ボックスを抽出

`bboxPrecisionRecall`: 境界ボックスの適合率と再現率の計算

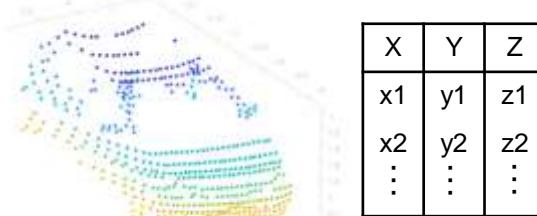
`evaluateDetectionAOS`: AOS による 3D 物体検出の評価

点群データの 3 次元画像変換



```
ptCloud = pcread('teapot.ply');
idx = pcbin(ptCloud, [32 32 32]);
vol = cellfun(@(c) ~isempty(c), idx);
volshow(vol);
```

- PointNet による点群データ分類の例題 R2020a

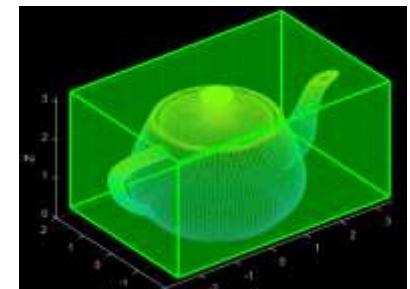


X	Y	Z
x1	y1	z1
x2	y2	z2
:	:	:

点群データ

PointNet

car



点群データの境界ボックス表示
showShape()

ディープラーニングによる点群分類の例題：

<https://www.mathworks.com/help/releases/R2020a/vision/examples/point-cloud-classification-using-pointnet-deep-learning.html>

5.6.6.1 ディープラーニング：Lidar 点群データのサポート

R2020b
Lidar Toolbox™
Deep Learning Toolbox™

PointSeg

Semantic Segmentation Result on Point Cloud



PointSegネットワークによる
点群のセグメンテーション

```
inputSize = [64 1024 5];
lgraph =...
createPointSeg(inputSize, ...
classNames, classWeights);
```

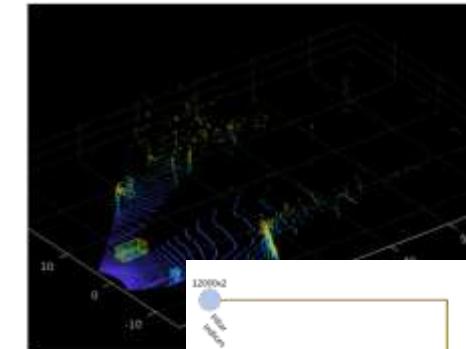
SqueezeSegV2



SqueezeSegV2による
点群のセグメンテーション

```
inputSize = [64 1024 5];
lgraph =...
squeezeSegv2Layers (inputSize, ...
classNames, classWeights);
```

PointNet



PointPillarsによる
3次元の物体検出

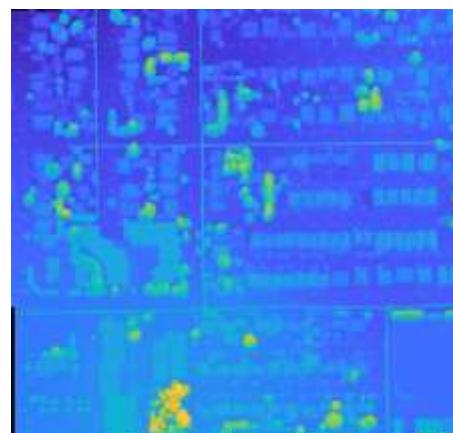
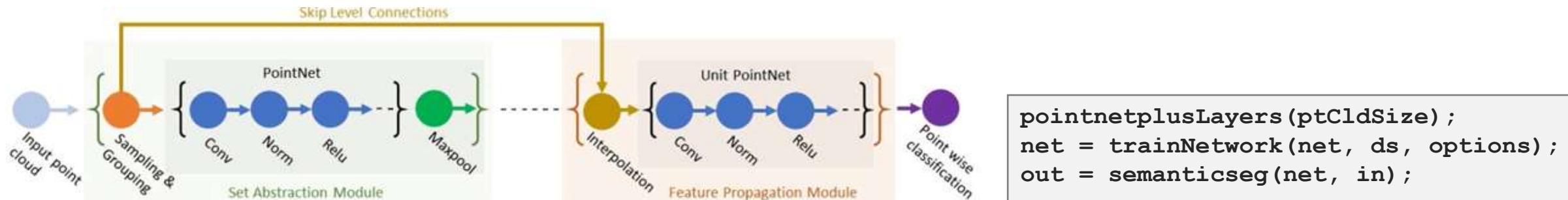
```
lgraph = ...
pointpillarNetwork(numAnchors, ...
gridParams,P,N);
```



5.6.6.2 ディープラーニング：PointNet++

PointNet++によるセマンティックセグメンテーションをサポート

3次元点群を入力し、車、トラック、地面、植生などのクラスタラベルに各点を分類

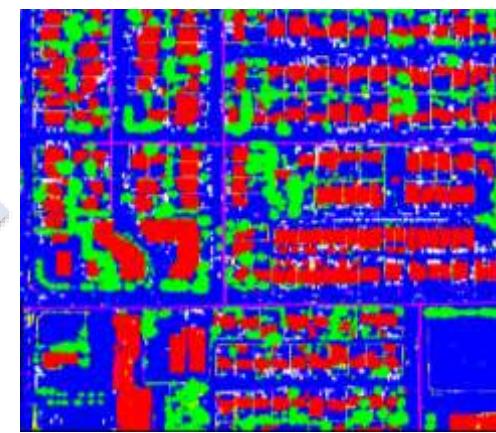


入力点群

Grid based down sampling

pointnetplusLayers

Interpolation



セグメンテーション
結果

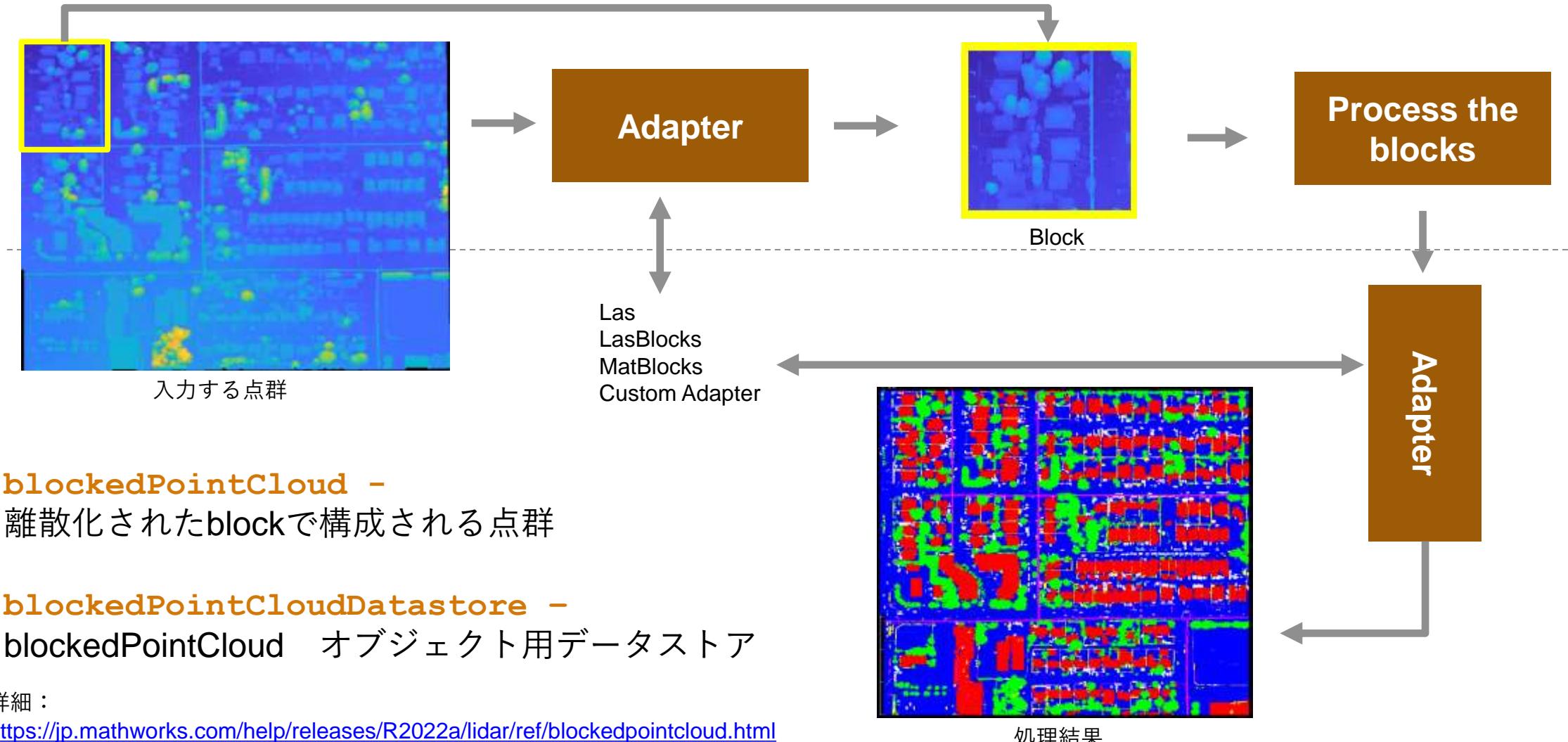
詳細：

<https://jp.mathworks.com/help/lidar/ug/get-started-pointnetplus.html>

<https://jp.mathworks.com/help/releases/R2021b/lidar/ug/aerial-lidar-segmentation-using-pointnet-network.html>

5.6.6.3 ディープラーニング：点群データのBlock処理

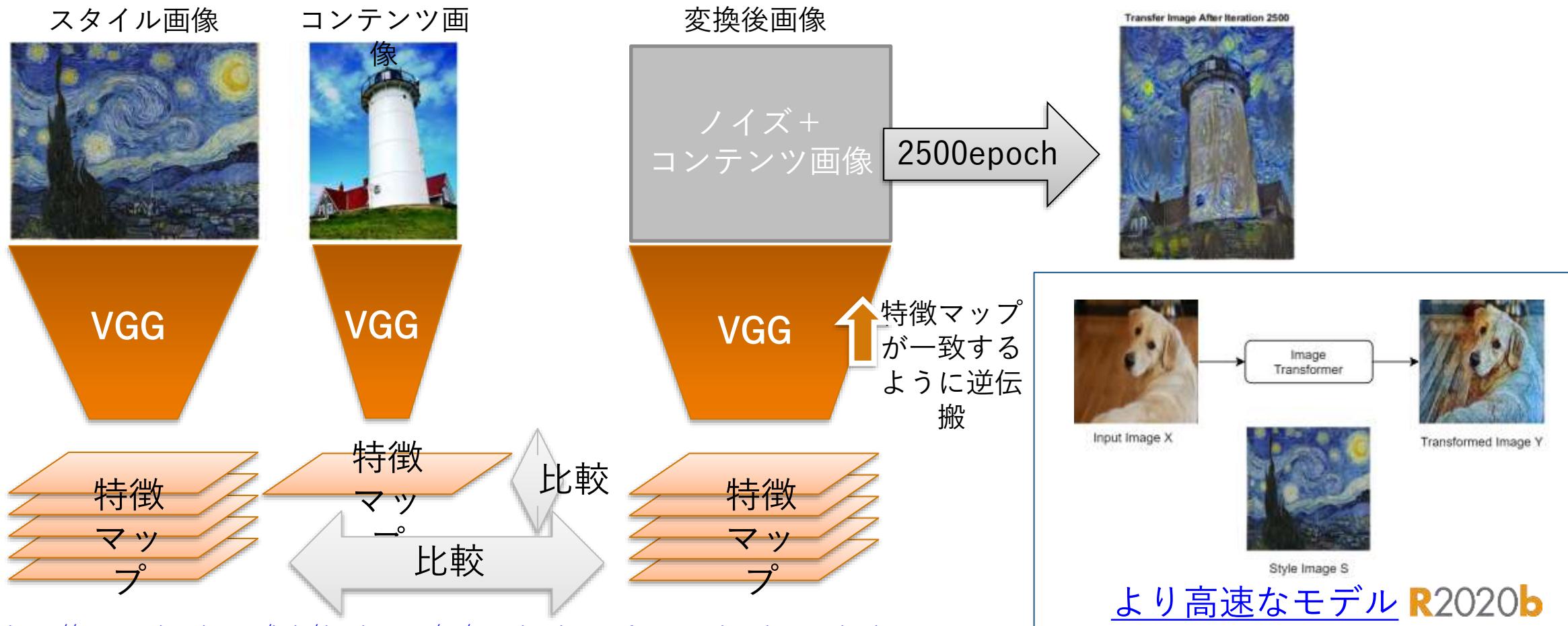
メモリに入りきらない大容量点群データを Block に分割して処理



5.6.7.1 ディープラーニング：画像のスタイル変換

R2020a

- 事前学習済みネットワークを特徴マップ抽出に利用
- スタイル画像およびコンテンツ画像の特徴マップは事前抽出
- コンテンツ画像にノイズを加えた画像に対して、スタイル画像の特徴およびコンテンツ画像の特徴に近づけるように学習



5.7.7 検出漏れ/誤検出の補償(トラッキング)

Computer Vision Toolbox™
Automated Driving Toolbox™

人検出結果



カルマンフィルタによる
トラッキングで、位置を予測



`vision.KalmanFilter`

`trackingKF`

`trackingEKF`

`trackingUKF`

汎用線形カルマンフィルター(複数物体は非対応)

線形カルマンフィル **R2017a**

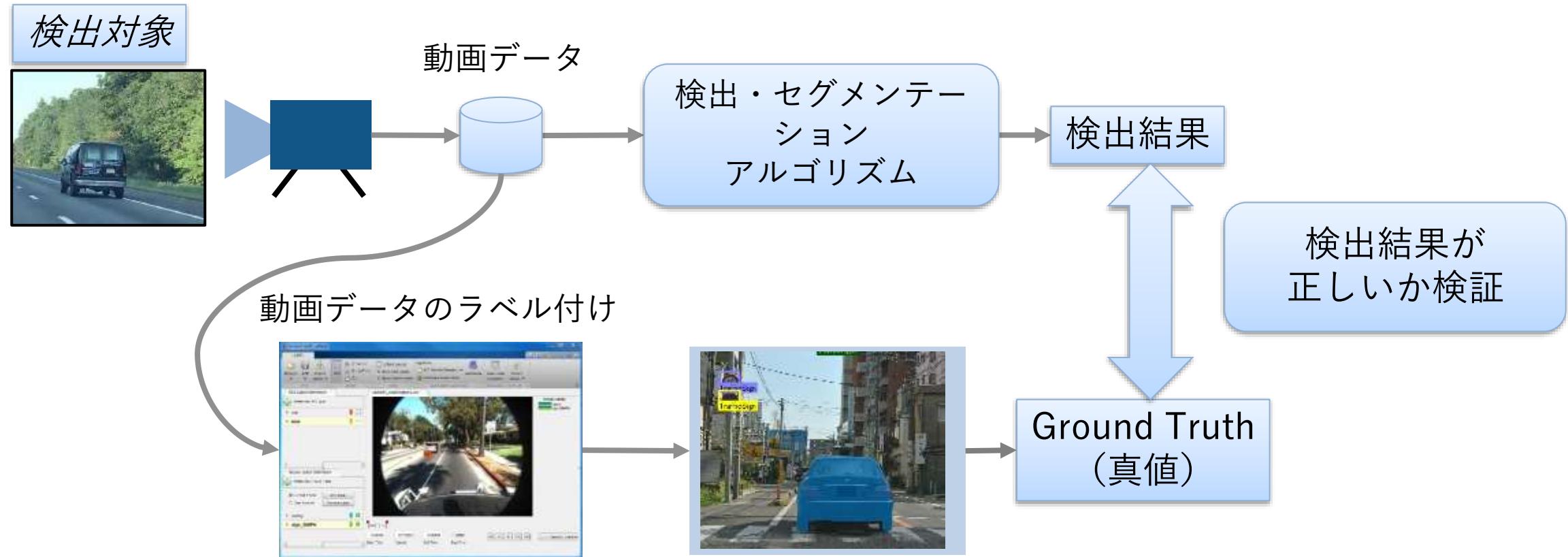
拡張カルマンフィル **R2017a**

Unscentedカルマンフィル **R2017a**

複数物体のトラッキングに
対応
(`multiObjectTracker`)

5.7.8 検出器の性能評価

Computer Vision Toolbox™

`evaluateDetectionPrecision`

検出精度の算出

R2017a`evaluateDetectionMissRate`

誤検出率の算出

R2017a`evaluateSemanticSegmentation`

セマンティックセグメンテーションの評価指標(混合行列/精度・IoUなどの各種メトリック)

`segmentationConfusionMatrix` セマンティックセグメンテーションの混合行列計算 **R2020b****R2017b**

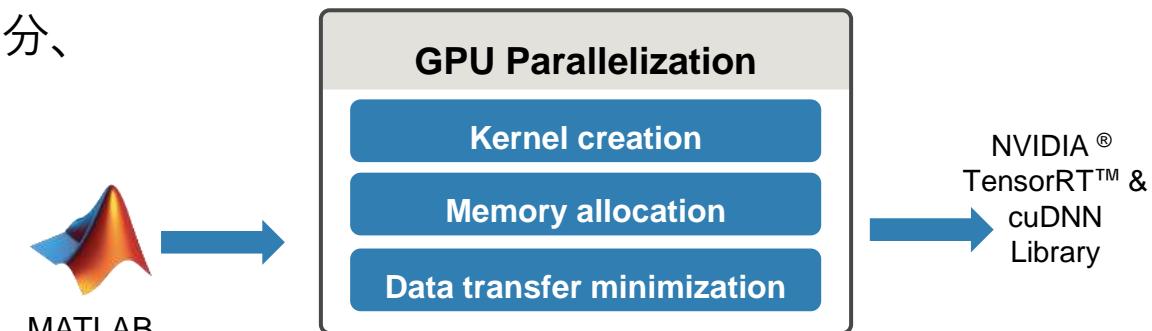
5.7.9 ディープラーニング実装

MATLABコードからCUDA®コードの生成

- GPU Coder専用GUIを使ったコード生成
- 初めてでも使いやすいGUI
- SeriesNetwork（カスタムレイヤ以外）の推定部分、もしくは並列処理を含むMコードを変換
- YOLOv2/SSDに対応
- プラグマによる関数解析とカーネル生成
- CUDAの文法を知らなくても利用できる
- MATLAB コードを、CPUで動かすCとGPUで動かすCUDAコードへ自動的に分割
- MEX生成してシミュレーション高速化
- コード生成後DLL化しSimulinkへ統合

GPU Coder™ R2017b

MATLAB Coder, Parallel Computing Toolboxが必要
深層学習の実装には、Deep Learning Toolboxが必要
compute capability 3.2以上のCUDA GPUが必要。
Mac環境でのコード生成は未対応



アジェンダ

1. MATLAB/Simulinkの概要
2. 各種画像処理例
3. 連携機能
4. コンピュータービジョン処理例
5. 画像の機械学習・ディープラーニング
6. まとめ

まとめ

- MATLAB・Simulinkはアイディアを即座に試行できる統合開発環境
- 画像処理・コンピュータービジョンのアルゴリズムを対話的に検討・検証可能
 - 多くの高速/高度な関数・ブロックを用いた様々な方式検討
 - 様々な方式・パラメーターのトライ&エラーを迅速に実施可能
 - 統合された開発環境上で、並列処理/GPGPU高速化、C・HDL生成による実装を含む、多くのツール・外部言語との連携機能
 - テクニカルサポートや、多くのユーザ・研究者の方々によるMATLAB Centralなどの共有リソースの有効活用

画像処理・コンピュータービジョンの開發生産性の向上



© 2022 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See www.mathworks.com/trademarks for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.