

畳み込みニューラルネットワークによる フラッシュオーロラの自動検出

源田斗輝[1]; 尾崎光紀[1]; 八木谷聡[1]; 今村幸祐[1];
塩川和夫[2]; 三好由純[3]; 大山伸一郎[3];
片岡龍峰[4]; 海老原祐輔[5]; 細川敬祐[6]

[1] 金沢大; [2] 名大宇地研; [3] 名大ISEE;
[4] 極地研; [5] 京大生存圏; [6] 電通大

背景・目的

オーロラ発生原因

高エネルギー電子

衝突

地球上層大気



オーロラを地上で観測することは
**高エネルギー電子の振る舞いを知る
手掛かり**となる

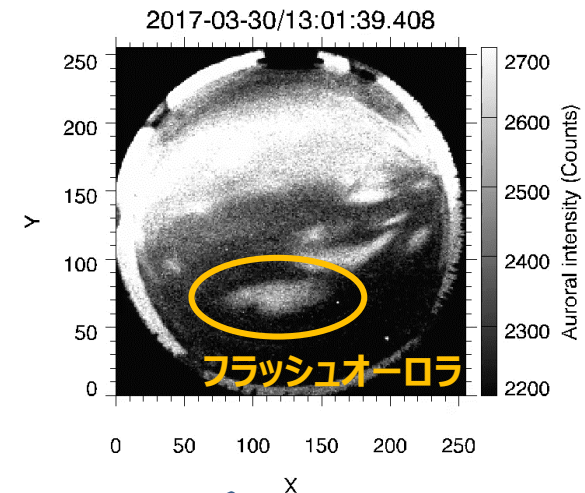
本研究では「**フラッシュオーロラ**」というオーロラに注目している

フラッシュオーロラ

- 発光時間が非常に短い（1秒以下）
→ 動画像から目視によってイベントを抽出することが困難
詳細な解析は行われていない



本研究では、従来目視で分類されていた
フラッシュオーロラの自動検出を試みる



100Hz EMCCDカメラで撮影
場所：Gakona (Alaska)

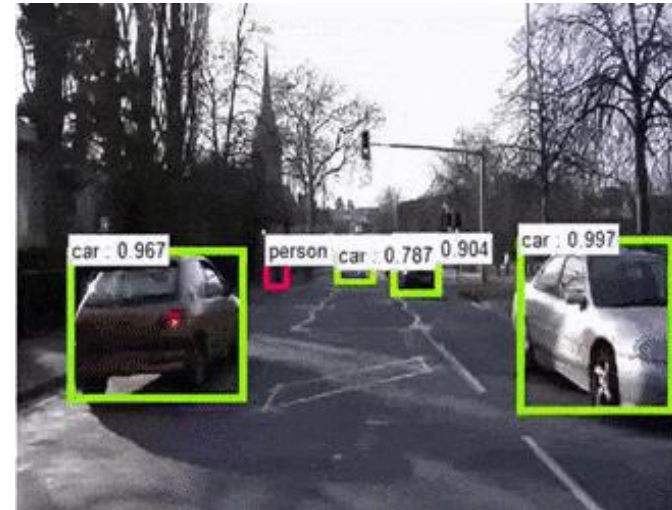
検出方法

我々はフラッシュオーロラの自動検出に
「畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network)」
を用いる

➡ 畳み込み演算やプーリング処理によって特徴量を抽出する機械学習の手法

CNNの使用例

- 自動運転支援の物体認識
- 顔認識



<期待される効果>

- CNNにより人間を上回る精度と速度でオーロラの分類が可能
- フラッシュオーロラ解析のための大量のイベントを容易に集められる

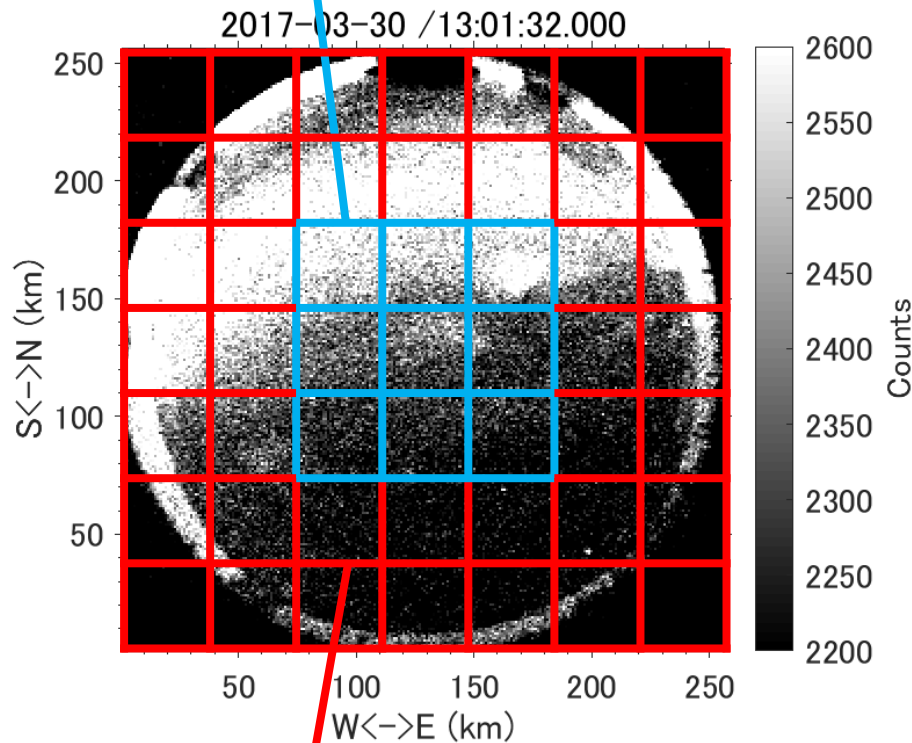
<https://www.youtube.com/watch?v=WZmSMkK9VuA&feature=youtu.be>

CNNの学習データ作成

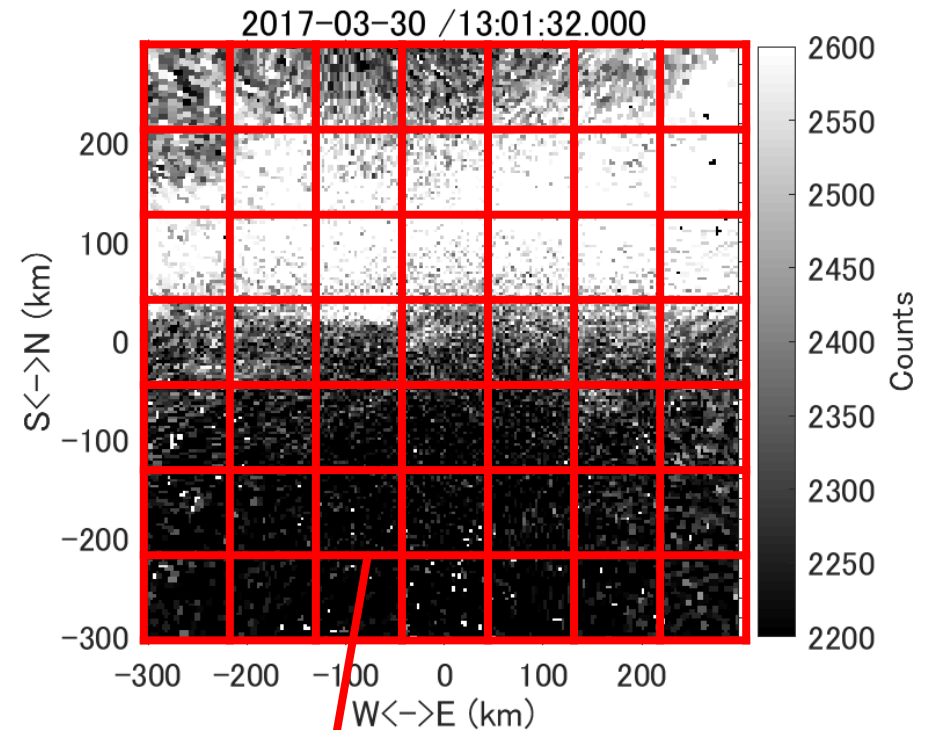
<オリジナルの全天EMCCD動画>

<ENU座標系に変換した動画>

空間解像度：高い



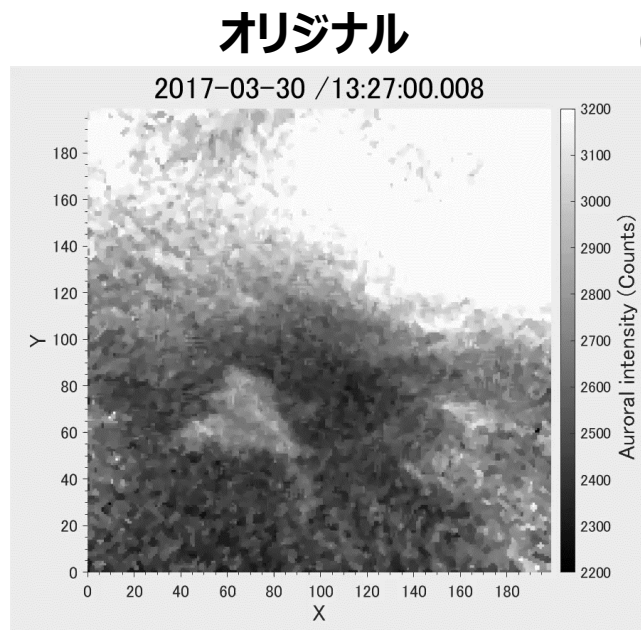
サンプリング周波数：低い
空間解像度：低い
画素数：256×256 pixel
撮影場所：Gakona, Alaska
(62.4N, 125.2W)



サンプリング周波数：100 Hz
空間解像度：一樣
高度：110 km
画素数：200×200 pixel
空間情報量：600×600 km
(1 pixel = 3km)

CNNの学習データ作成

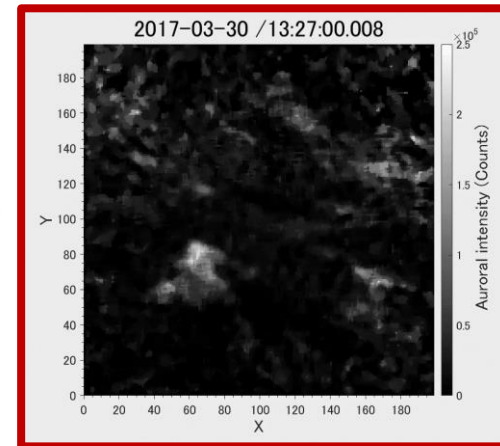
HPF(カットオフ周波数 : 0.05 Hz)を用いて、遅い周期の成分をカット
→背景オーロラに隠れた脈動・フラッシュオーロラを抽出できる



High Pass Filter
(カットオフ周波数 :
0.05 Hz)

+
二乗

脈動・フラッシュオーロラ

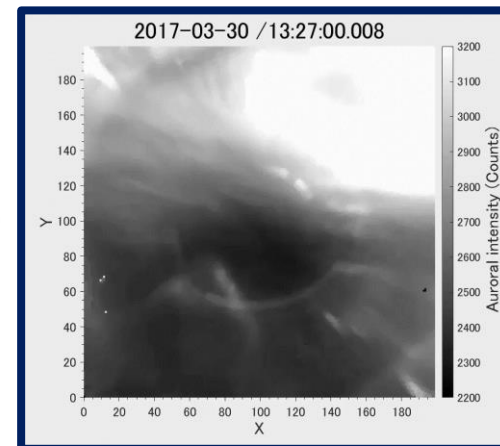


ACオーロラ

サンプリング周波数 : 100 Hz
画素数 : 200×200 pixel
撮影場所 : Gakona, Alaska
(62.4N, 125.2W)

Low Pass Filter
(カットオフ周波数 :
0.05 Hz)

背景オーロラ

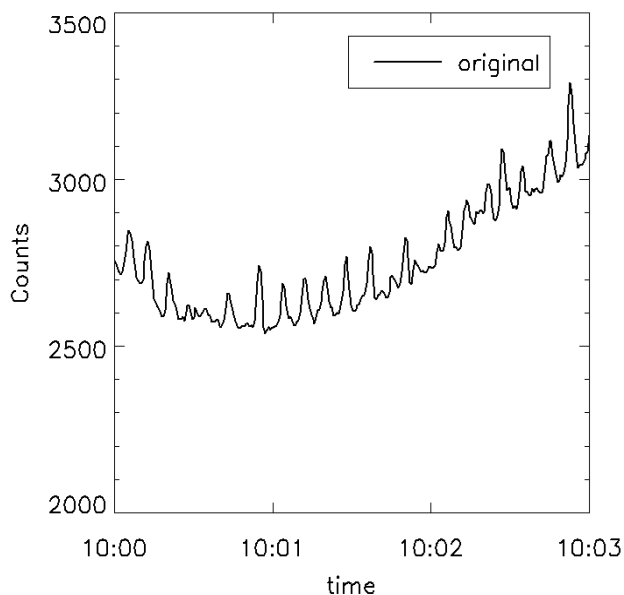


DCオーロラ

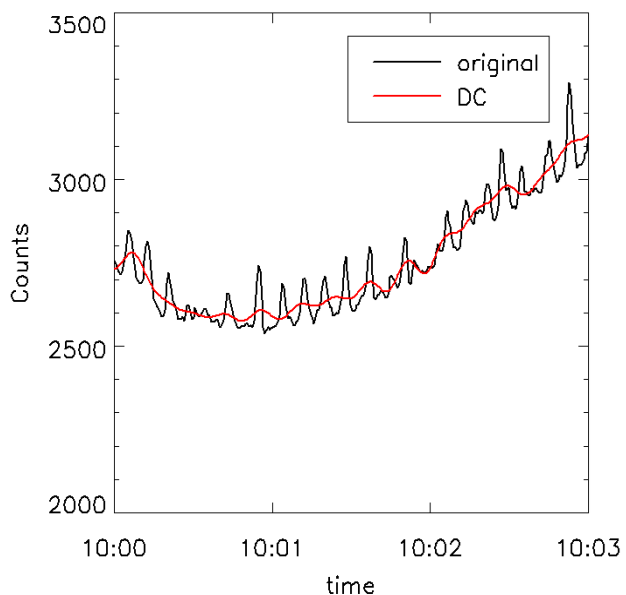
ACオーロラ作成手法

脈動・フラッシュオーロラといった早い周期の成分をより強調したい

➡ 最下端の包絡線検波を行う

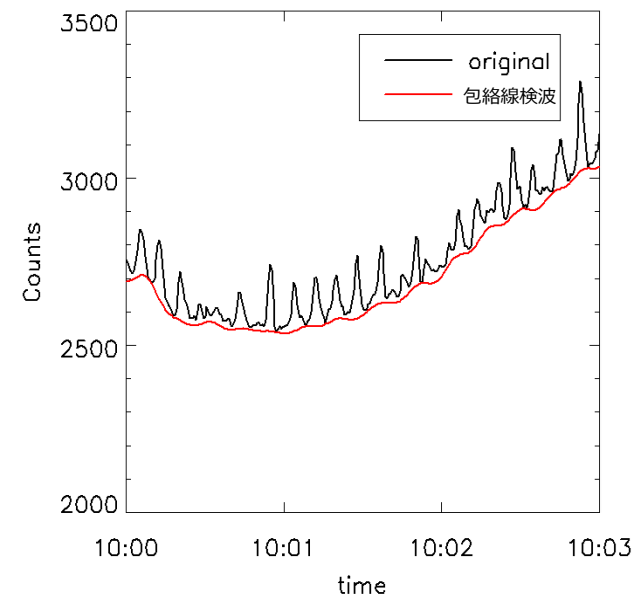


画素値変化



OriginalとDC成分との比較

DC = originalにLPFをかけたもの



最下端の包絡線検波を行うことで、
変化の激しい成分を強調できる

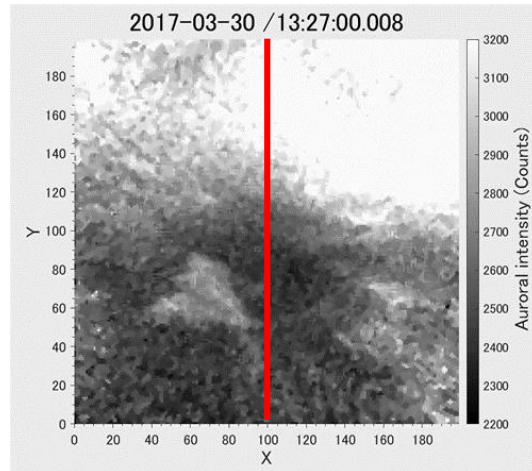
(AC = original - 包絡線)

CNNの学習データ作成

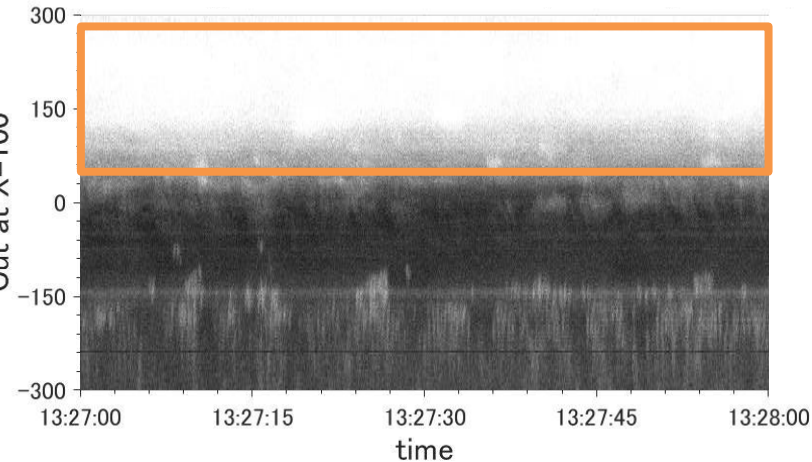
ENU画像

ケオグラム画像

オリジナル

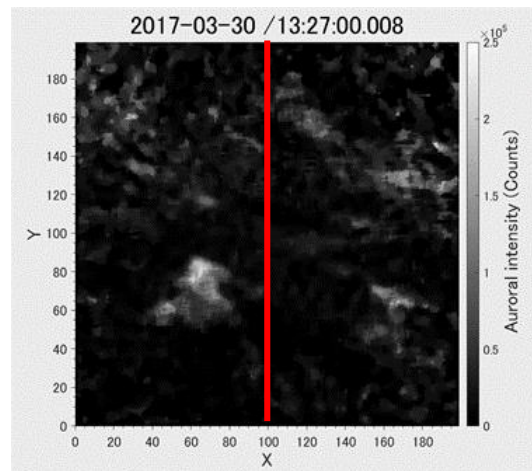


$S \leftarrow N(km)$
Cut at $X=100$

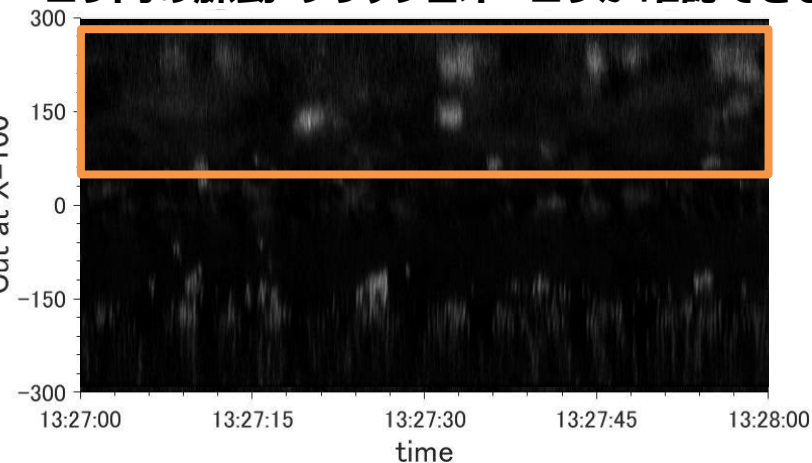


不採用

ACオーロラ



$S \leftarrow N(km)$
Cut at $X=100$

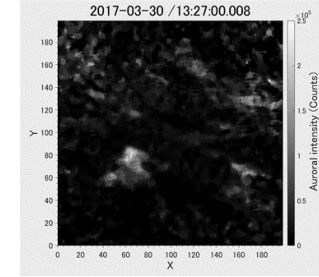


採用

背景オーロラ内の脈動・フラッシュオーロラが確認できる

CNNの学習データ作成

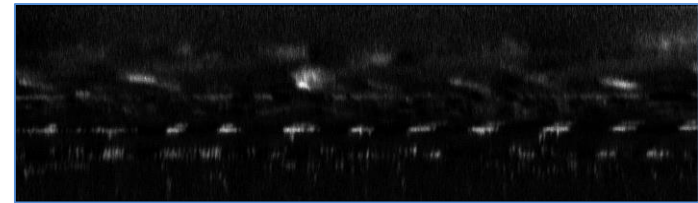
ACオーロラデータについて5×5メディアンフィルタをかけ、
ゴマ塩ノイズを取り除く
(空間分解能 : 1 pixel = 3 km)



ACケオグラム画像を作成

6000×200 pixel $\Rightarrow$ 3000×200 pixel
双三次内挿法

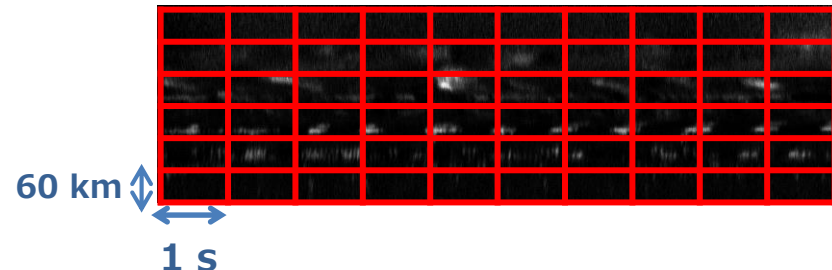
時間幅1分間、 1 pixel = 0.02 sec



1 min

長方形のブロック

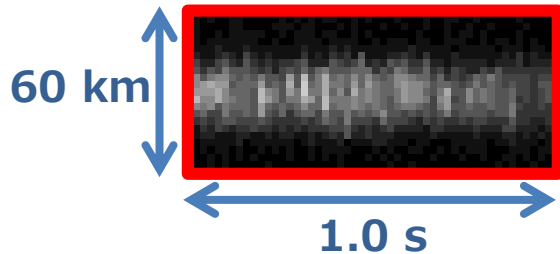
(20×50 pixel、時間幅1秒間)に
分割し、目視で学習データを分類



学習データ

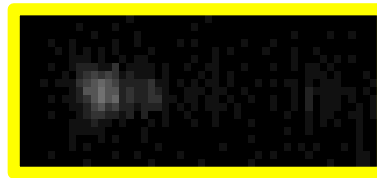
■ 脈動オーロラ :

数十秒程度の周期の中に
内部変調を有するオーロラ



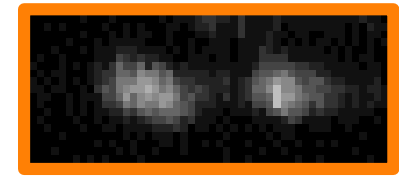
■ フラッシュオーロラ（単体） :

発光時間が1秒以下のオーロラ
1秒間で単体で発光のもの



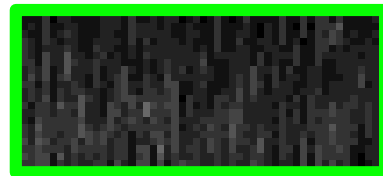
■ フラッシュオーロラ（複数） :

発光時間が1秒以下のオーロラ
1秒間で連続して発光しているもの



■ 雑音 :

上記のオーロラ以外のもの



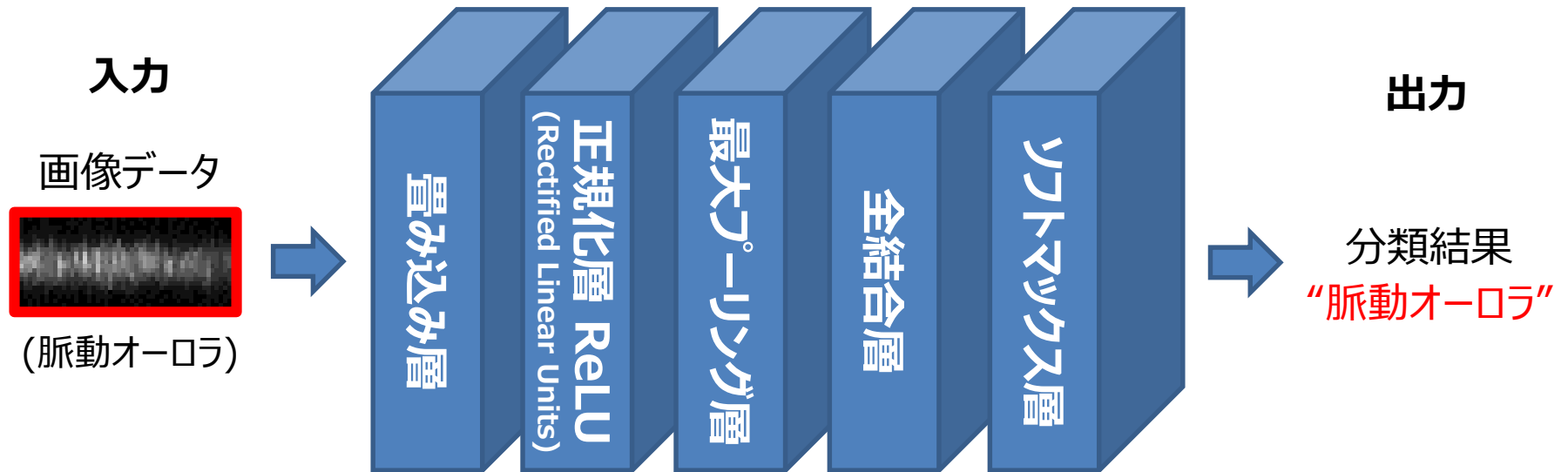
■ オーロラ・雑音なし :

全体的に輝度値が低い



画像枚数 : 各分類43200枚の学習データを用意
学習データに対するこれらの分類は目視の結果をもとに行う

CNNの構成



ニューラルネットワークの設定

入力

- 画像サイズ : 20×50 pixel (グレースケール)

畳み込み層

画像のあらゆる位置で特徴の比較と一致点の検出を行う

- フィルタサイズ : 5×5 pixel
- フィルタ数 : 20

最大プーリング層

畳み込み層で得られた画像の解像度を落とすことでロバスト性を与える

- サイズ : 2×2 pixel
- ステップ : 2

全結合層

- 出力サイズ : 5
(脈動オーロラ、フラッシュオーロラ: 単体、
フラッシュオーロラ: 複数、雑音、オーロラ・雑音なし)

学習の過程

＜損失関数＞

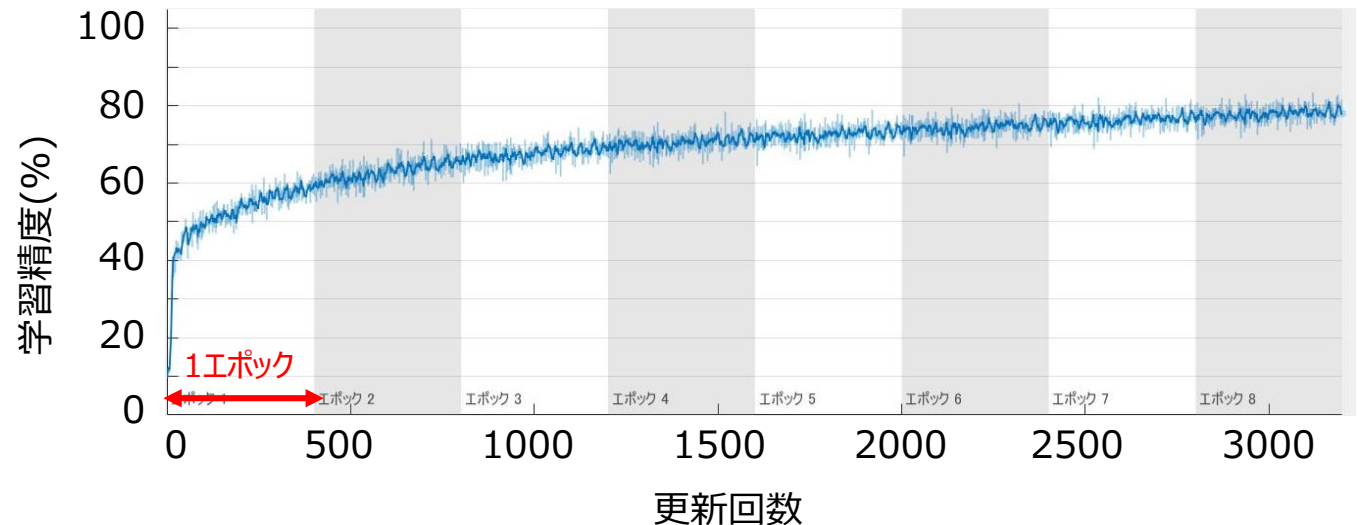
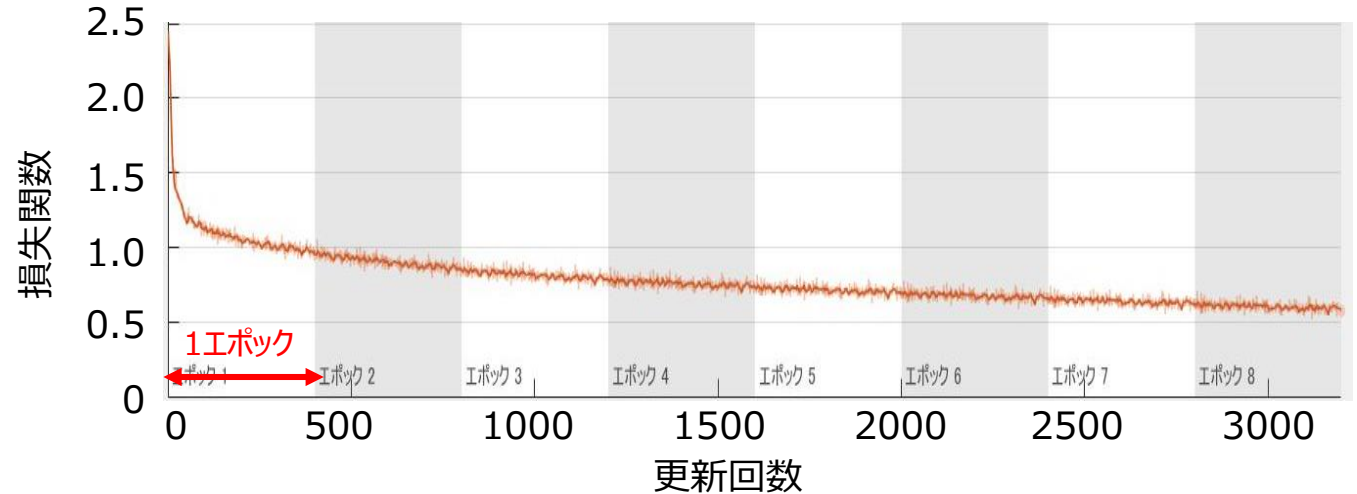
テストデータの分類が
全て正しく行われると0となる
→学習器は損失関数が0
となるようにネットワークの
重みを更新

＜学習精度＞

学習器でテストデータを分類
した時、正しく分類された割合

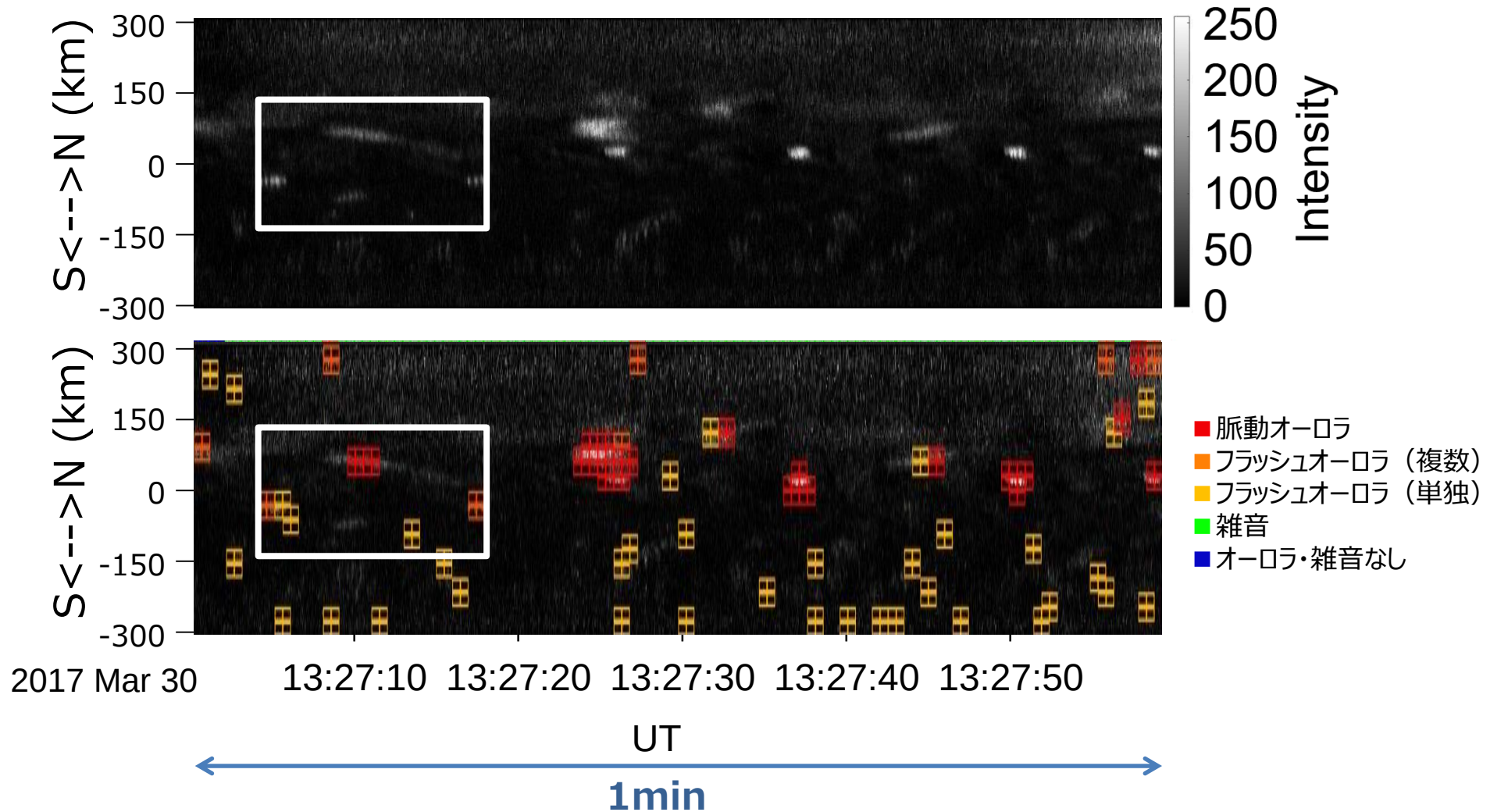
過学習防止のため
精度向上したら学習終了

最終的な
学習精度 : 78.6 %



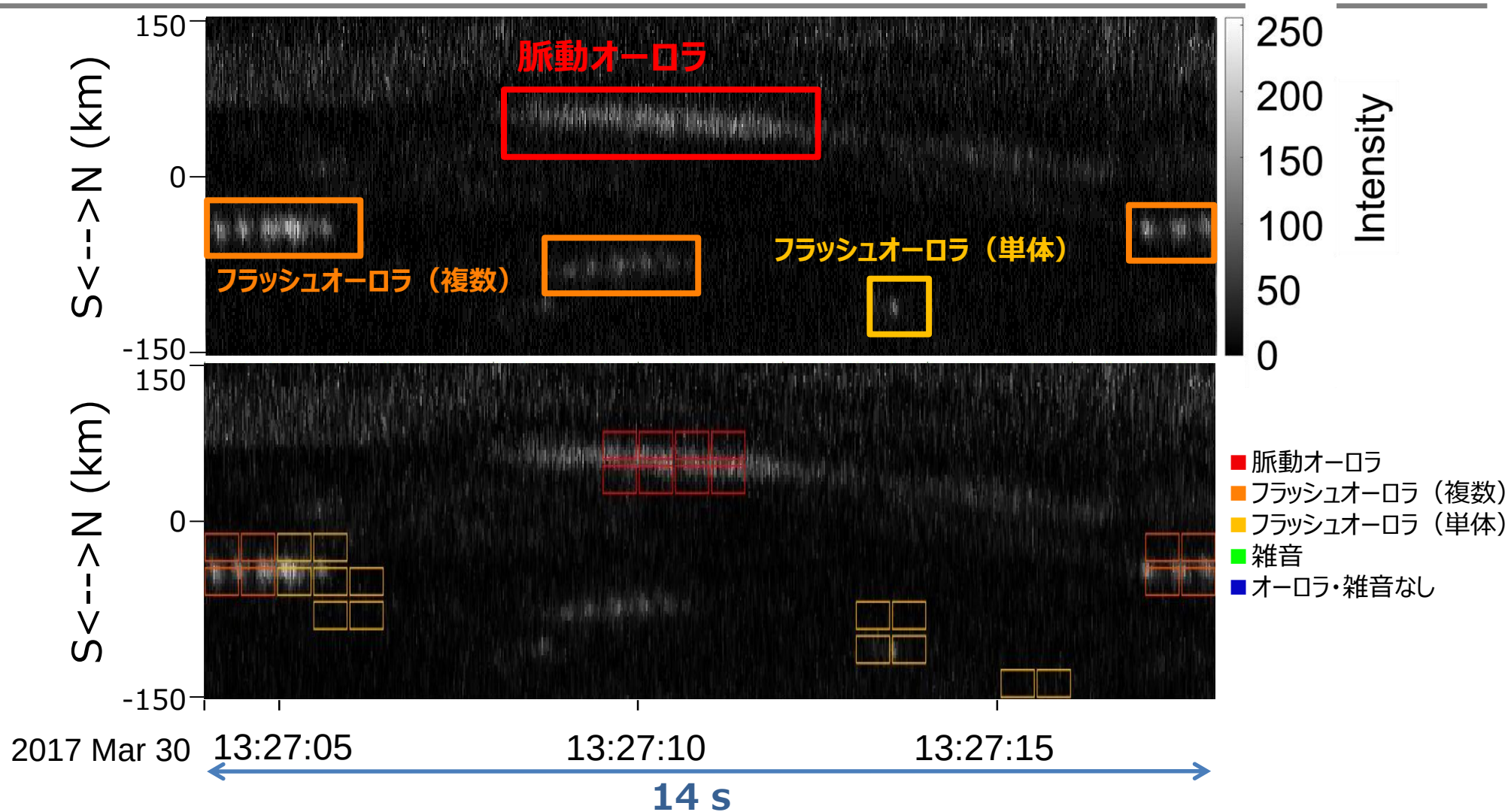
※学習時間:54分54秒

自動検出結果



評価画像での精度 : **78.6%**

自動検出結果-拡大



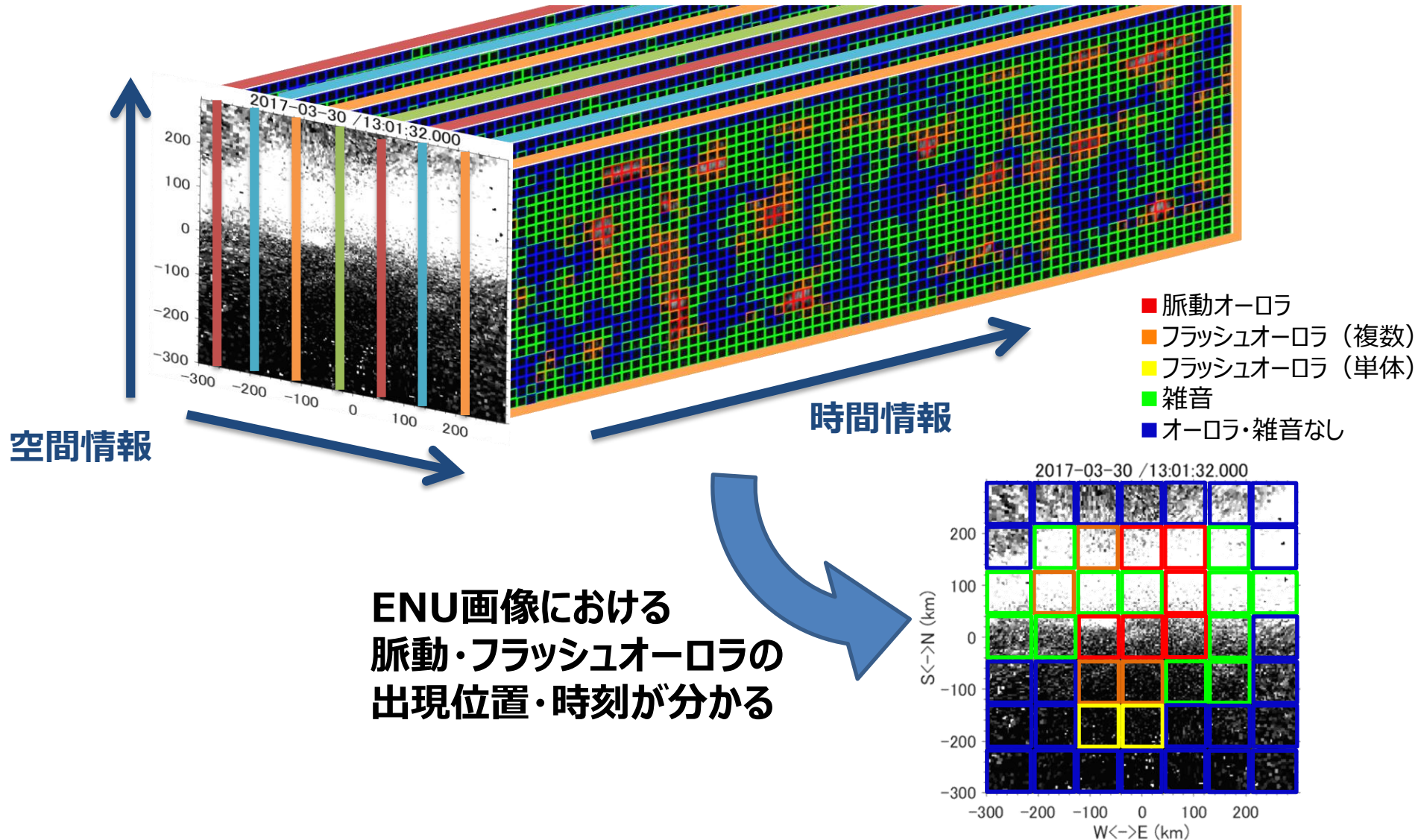
一部検出されていないオーロラも存在するが、
ケオグラムと検出結果の対応がいい



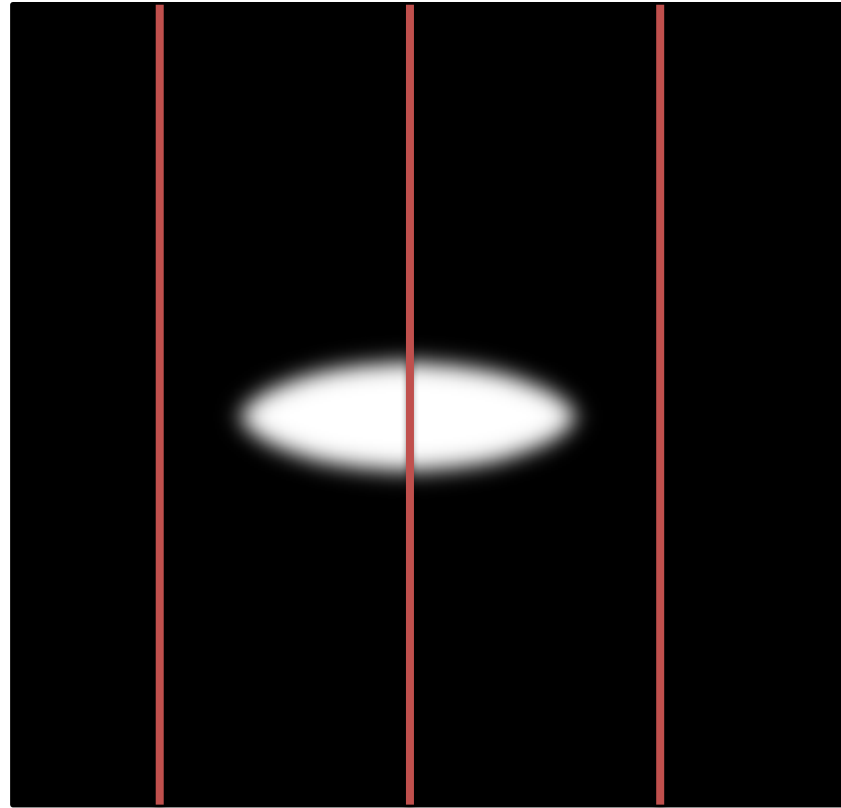
CNNにより大量のフラッシュオーロラを
検出することが可能に！

自動検出結果の投影

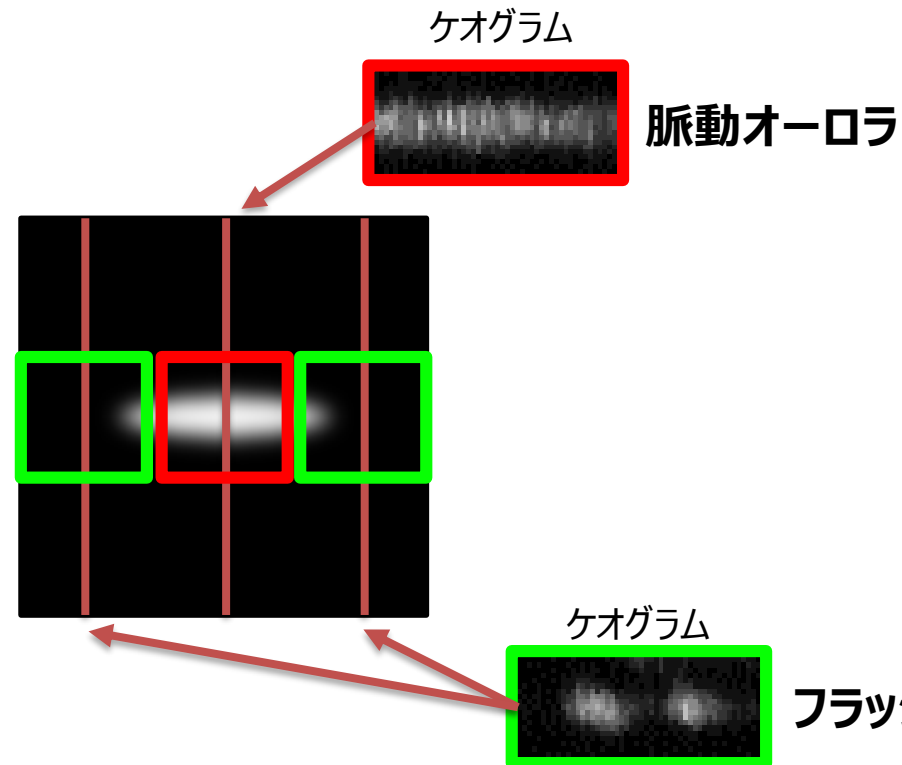
ケオグラム画像による分類を複数の個所で行い、ENU画像に投影



自動検出結果の投影



自動検出結果の投影



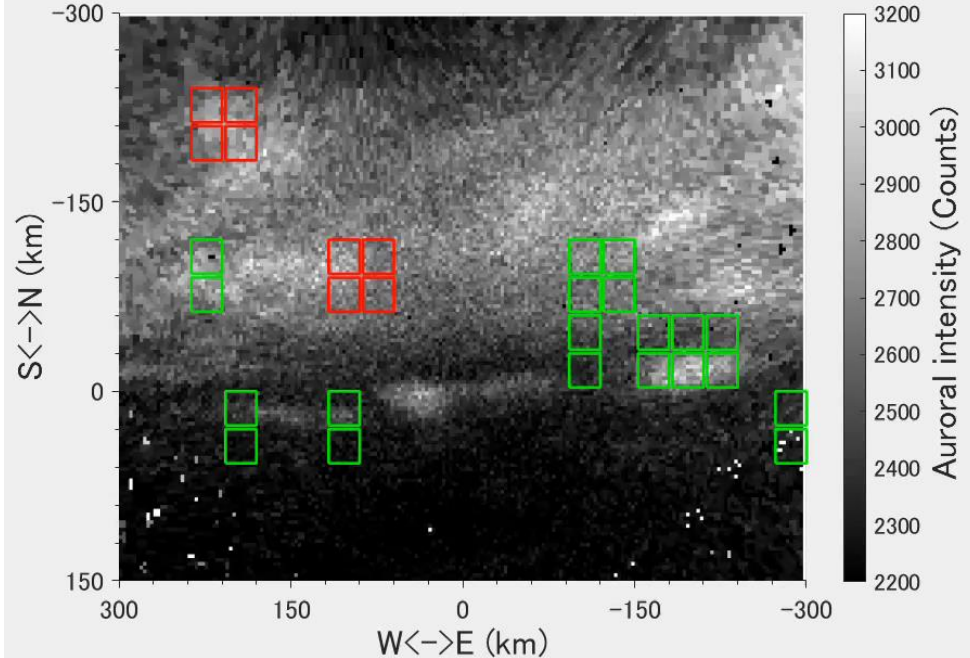
脈動オーロラのパッチが
拡大・縮小することにより
その端を捉えたケオグラムが
フラッシュオーロラのような
特徴を持つてしまうことがある

脈動オーロラに隣接するフラッシュオーロラの分類結果は
その拡大・縮小によるものとして脈動オーロラに修正

自動検出結果の投影

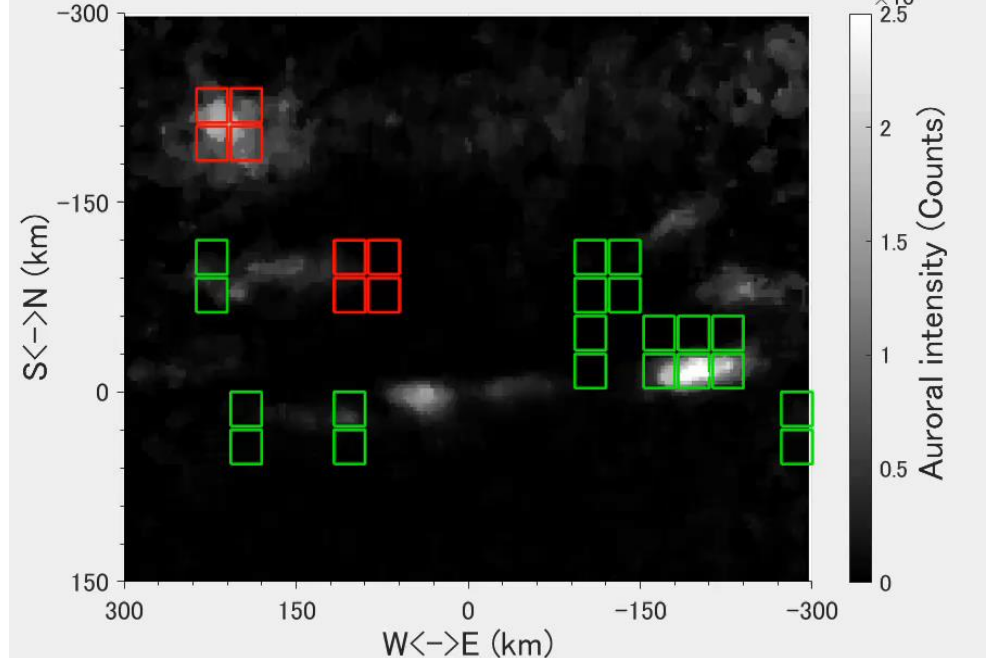
ENU動画に投影した結果

2017-03-30 / 13:01:00.019



ENU動画(AC)に投影した結果

2017-03-30 / 13:01:00.019



- 動画内で現れるオーロラが追跡可能となった
→ 脈動・フラッシュオーロラの形状・発光位置がわかる
- 背景オーロラに隠れた脈動・フラッシュオーロラも検出可能

■ 脈動オーロラ
■ フラッシュオーロラ

脈動オーロラのパッチがフラッシュオーロラとして分類されることがある

➡ 脈動・フラッシュオーロラは発光継続時間の違いが主で、本質的な特徴量は同じである

まとめ

目的

大量のフラッシュオーロラをCNNにより検出可能とするため学習器を作成

→学習データ作成の工夫

- 大量の生データから自動で特徴量を抽出するディープラーニングとは異なり、学習データを特徴量が強調されるように加工することで精度向上を図った

結果

- テストデータでの精度：**78.6%**
- ケオグラム画像の分類結果をENU動画に投影することで脈動・フラッシュオーロラの**形状・発光位置が分かる動画を作成**
 - オーロラの静止画に対して学習器を使用して分類した先行研究はあったが我々は、**時空間発展を伴うオーロラ動画に対して分類可能**
- 脈動オーロラとフラッシュオーロラの本質的な特徴量は同じ

今後の課題

- フラッシュオーロラの大量のイベントを集め、統計解析を行う
- 準リアルタイムにオーロラの発生場所・種類をアラートする

今後の展望 (準リアルタイムアラート)



オーロラ観測情報

@PWING_aurora 1分

2017年3月30日13時30分 ~フラッシュオーロラ発生情報~
Gakona(Alaska) 高度角 : 51.4° 方位角 : 75.4°



オーロラ観測情報

@PWING_aurora 2分

2017年3月30日13時29分 ~脈動オーロラ発生情報~
Athabasca(Canada) 高度角 : 77.2° 方位角 : 25.3°

脈動・フラッシュオーロラの出現場所と
時刻を準リアルタイムでSNSで共有

現状、オーロラデータ(1分間)の処理に**約4分**
中でもケオグラムによるオーロラ分類に**約2分**
→並列計算等による高速化が課題となる



狭視野イメージャーやフォトメータなどを
対象のオーロラ出現位置に設定することで
詳細観測をサポート

