

# CNN を用いた体位が様々な X 線画像からの椎骨検出

## Vertebrae Detection from X-Ray Images in Various Body Positions Using CNN

森川 大翔<sup>†</sup> 吉野 孝<sup>†</sup> 寺口 真年<sup>‡</sup>  
Yamato Morikawa Takashi Yoshino Masatoshi Teraguchi

### 1. はじめに

医療機器の導入には多額の資金調達が必要となるため、小規模の病院には CT 装置や MRI 装置は設置されていない。肺や心臓、骨の疾患の診断の際は、単純 X 線撮影での検査がほとんどである。CT 画像や MRI 画像と比較して、X 線画像は不明瞭な場合が多いため、医師が常に正確に読影できるとは限らない。また、誤った診断は誤った方向へ治療が進んでしまうことに繋がる。脊椎疾患領域の画像診断は専門性も高く、信頼に足る画像診断ができるようになるためには多くの時間と経験が必要とされるため、AI を用いた画像診断分野での活用が期待されている。

Kim らの研究 [1] によると、高齢化社会の到来により骨粗鬆症の症例が増加しているため、椎体圧迫骨折の迅速かつ正確な診断が必要であり、それに対応した自動椎骨セグメンテーションモデルの開発が不可欠であるとしている。

これまでに X 線画像を使用した椎骨の検出手法が様々提案されてきたが、患者の体位が立位である X 線画像を使用している場合が多く、坐位や臥位などの画像を使用した研究は行われていない。

そこで本研究では、撮影の際の患者の体位が様々である X 線画像における、CNN(Convolutional Neural Network) を用いたセマンティックセグメンテーションによる椎骨の検出手法を提案する。

### 2. 関連研究

#### 2.1 椎骨の検出手法

Benjelloun らは、エッジ検出法およびコーナー検出法を用いて椎骨頂点の候補を算出することで頸椎の椎骨位置を検出する手法を提案した [2]。Sa らは、HOG 特徴量を用いて腰椎の椎体部分を 4 分割し検出する SVM と腰椎全体を検出する SVM を学習させ、Gradient Vector Flow(GVF) ベースのスネーク法を使用して椎骨の輪郭を検出する手法を提案した [3]。

このように椎骨の検出法は以前から提案されているが、ノイズやコントラストの変化に弱いなどの問題があった。ところが、近年臨床研究において深層学習が注目されるようになり、深層学習を用いた手法が以前の手法を圧倒する性能を示したことから、深層学習による椎骨のセグメンテーションに関する研究が増加している。本研究では CNN を用いることで、深層学習による椎骨の検出手法を提案する。

#### 2.2 深層学習を用いた椎骨検出

Lessmann らは、完全畳み込みネットワークを用いて CT 画像から胸腰部の椎骨を検出する自動セグメンテーションモデルを提案した [4]。Lehnen らは、CNN を用いて MRI 画像から腰椎のセグメンテーションを行い、複数の異なる症例を検出する手法を提案した [5]。

このように CT 画像、MRI 画像のような高精細な画像を用いた研究は多く行われているが、それらをコントラストの低い X 線画像へ適用することは困難である。そこで本研究では、CNN を用いて X 線画像から椎骨を検出する手法を提案する。

#### 2.3 X 線画像からの椎骨検出

Hornig らは、3 種類の CNN を用いて X 線画像から椎骨の検出を行い、出力したセグメンテーション画像をもとに脊椎彎曲率を自動で測定する手法を提案した [6]。Zhang らは、マスク領域ベースの CNN を用いて X 線画像における脊椎の位置を特定しセグメンテーションを行う手法を提案した [7]。

このように X 線画像を使用した椎骨の検出手法は提案されているが、画像撮影の際の患者の体位が立位である場合が多く、坐位や臥位などの画像を使用した研究は行われていない。本研究では、撮影の際の患者の体位が様々である X 線画像を使用して椎骨を検出する。

### 3. 方法

#### 3.1 使用データ概要

本研究で使用するデータは、2017 年 8 月から 2020 年 10 月の期間に、和歌山県立医科大学附属病院紀北分院で脊椎疾患患者 44 人から撮影された 100 枚の単純 X 線画像であり、胸腰椎を撮影した側面像である。撮影の際の体位は立位・坐位・仰臥位など様々である。これらは、12bit の DICOM 形式の画像で保存されているため、8bit の JPEG 形式に変換し使用する。また形式変換の際に階調処理を行い、画素値の幅を 0 から 255 に変換する。今回のデータセットは、学習データ 72 枚、検証データ 18 枚、テストデータ 10 枚の合計 100 枚の X 線画像データで構成されている。

#### 3.2 正解データ

本研究では、MIT が開発した画像アノテーションツール「LabelMe」[8] を用いて、X 線画像に手でセグメンテーションを行い、正解データを作成する。出力データは JSON 形式の座標データとして保存されるため、PNG 形式のマスク画像に変換して使用する。

#### 3.3 セマンティックセグメンテーション

セグメンテーションとは、特徴などに関して注目している領域に画像を分割する処理のことである。

セグメンテーションには、セマンティックセグメンテーション、インスタンスセグメンテーション、パノプティックセグメンテーションの 3 つのタスクが存在する。セマンティックセグメンテーションは、画像中の物体のクラスごとに領域を分割するが、同じクラスの物体が隣接・重複している場合はそれらを個別に認識できない。インスタンスセグメンテーションは、同じクラスの物体が隣接・重複している場合でもそれらを別々の物体と認識できる。そしてパノプティックセグメンテーションは、上記 2 つのセグメンテーションを組み合わせたタスクである。

<sup>†</sup> 和歌山大学システム工学部, Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

<sup>‡</sup> 和歌山県立医科大学附属病院, Wakayama Medical University Hospital

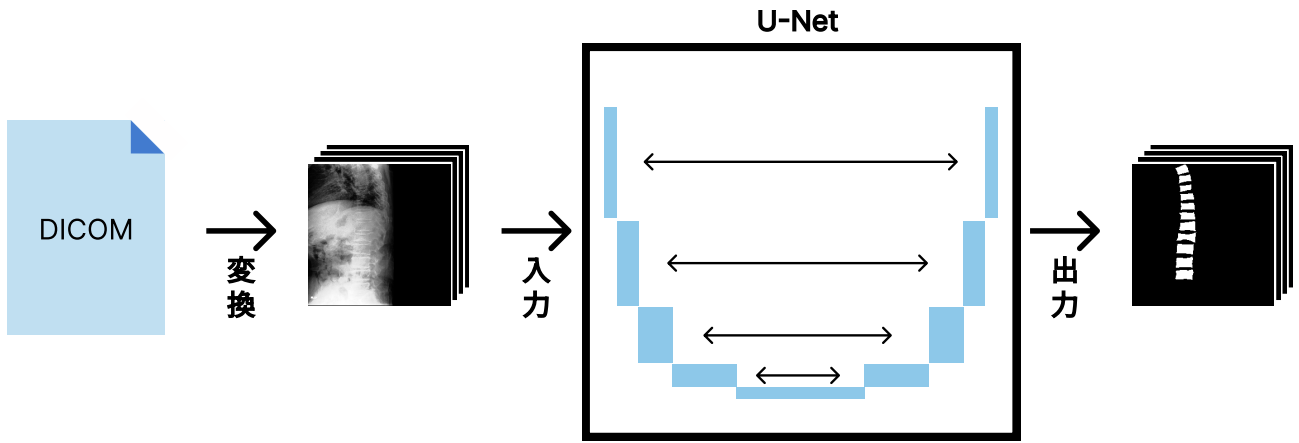


図 1: 本手法の概要

表 1: 学習環境とハイパーパラメータ

ライブラリ	TensorFlow : 2.5.0	
	Keras : 2.4.3	
ハイパーパラメータ	学習回数	600epochs
	損失関数	Binary Cross Entropy
	バッチサイズ	8
	学習率	0.0001
	オプティマイザ	Adam

X線画像における椎骨検出では、椎骨ごとに異なるクラスとして検出したい場合は、インスタンスセグメンテーションによる手法を用いるべきだが、本研究は椎骨そのものを検出することを目的としており、椎骨を異なる物体として認識する必要はないため、今回はセマンティックセグメンテーションによる手法を用いて検出する。

### 3.4 使用するモデル

本研究では、FCNが応用されており、生物医学のために開発されたセマンティックセグメンテーション用のモデルであるU-Net[9]を用いる。FCNとは、全結合層を使用せず、ネットワークが全て畳み込み層のみで構成されているCNNの一種である。本手法の概要を図1に示す。U-Netでは、ネットワークの各階層においてエンコーダの特徴マップをデコーダの特徴マップに連結させている。これにより、エンコーダ側の大きな特徴マップの情報がデコーダ側に伝わるようになり、アップサンプリング時に物体の位置情報を捉えやすくなっている。本手法における学習環境とハイパーパラメータを表1に示す。

### 3.5 精度評価

本研究で学習したモデルは、正解率、適合率、再現率、mean-IoU(mean Intersection over Union)を用いて評価を行った。mean-IoUとは、IoUのクラス平均の値であり、ここでのIoUとは、正解データとモデルによる予測結果のオーバーラップ率を表している。TP値、FN値、FP値、TN値は各画素に対して評価を行い算出している。正解率、適合率、再現率、meanIoUは以下の式で算出した。meanIoUの算出式におけるCはクラス数を表す。

$$\text{正解率} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

$$\text{適合率} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$\text{再現率} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

$$\text{meanIoU} = \frac{1}{C} \sum_{c=1}^C \frac{TP_c}{TP_c + FP_c + FN_c} \quad (4)$$

## 4. 結果と考察

本手法における椎骨の検出精度の学習曲線を、図2に示す。学習回数を600に設定し学習を行い、正解率97%、適合率80%、再現率78%、meanIoU75%となった。1/9程度の斜めズレであっても、IoUは約65%となることから、本手法におけるmeanIoUの値に着目すると高い精度で椎骨を検出できたといえる。

また、学習したモデルによる椎骨の予測画像を図3に示す。図3(a), (b), (c)における予測画像では、はっきりと椎骨の形状が視認でき、椎骨の位置を正確に捉えられていることから、U-Netを用いることで椎骨の検出を実現できていることが分かる。しかし図3(d), (e)における予測画像では、椎骨が崩壊しているような予測結果になっていることやノイズが出力されていることから、ハイパーパラメータの選定やCNNモデルのネットワーク構造において更なる改良の余地があると考えられる。

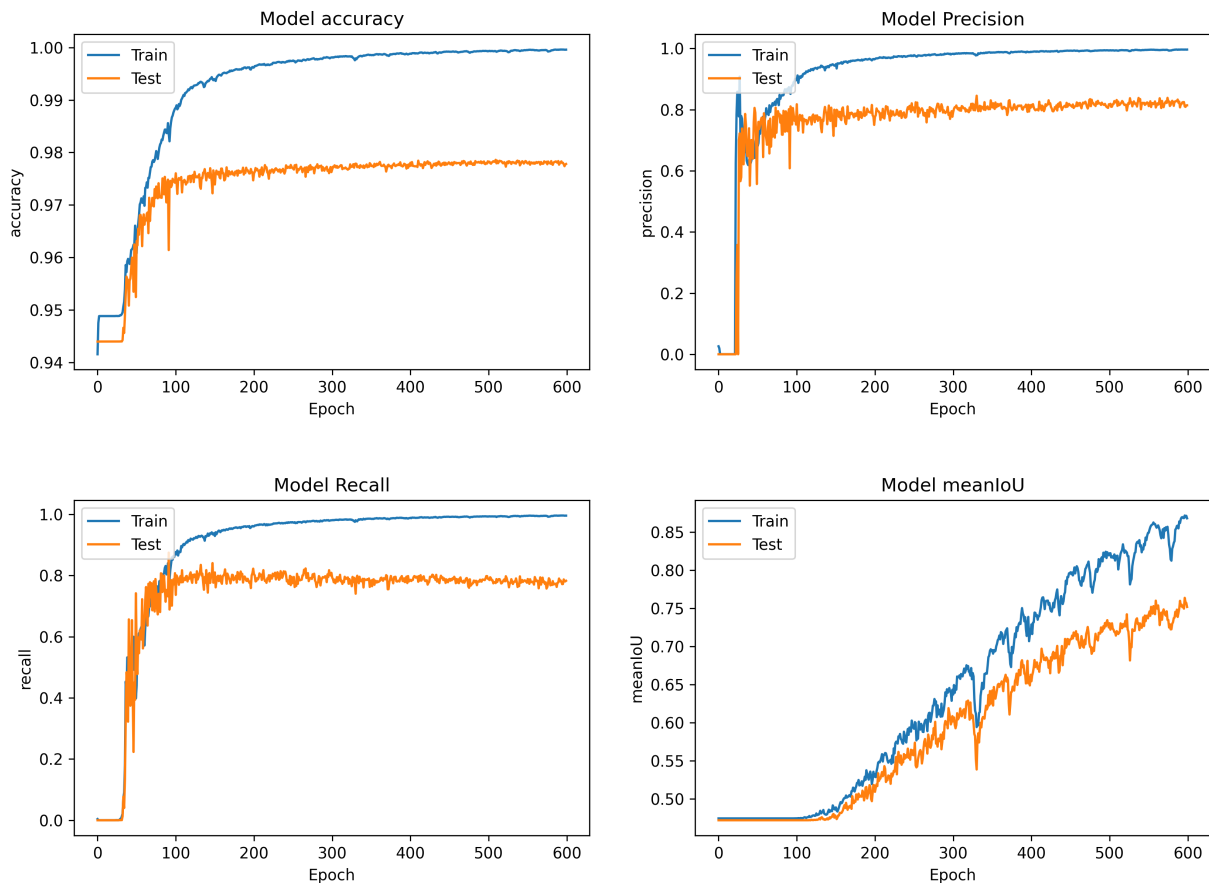


図2: 椎骨の検出精度 (左上: 正解率, 右上: 適合率, 左下: 再現率, 右下: meanIoU)

## 5. おわりに

本研究では, CNN を用いた X 線画像における椎骨の検出手法を提案した. 生物医学のために開発された CNN モデルである U-Net を用いてセマンティックセグメンテーションを行うことで, 様々な体位で撮影された X 線画像からの椎骨の検出は実現可能であることが示された.

今後は, 他の CNN モデルとの予測精度の比較実験などを行うことで, 性能が高いモデルを探索する. また, より最適なハイパーパラメータの選定やモデルにおけるネットワーク構造を改良することで, より正確な椎骨の検出を目指す.

## 参考文献

- [1] Kang Cheol Kim, Hyun Cheol Cho, Tae Jun Jang, Jong Mun Choi, Jin Keun Seo: Automatic detection and segmentation of lumbar vertebrae from X-ray images for compression fracture evaluation, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol.200, 105833 (2021).
- [2] Benjelloun Mohammed, Saïd Mahmoudi, Fabian Lecron: A framework of vertebra segmentation using the active shape model-based approach, *International journal of biomedical imaging*, pp.1–14 (2011).
- [3] Ruhan Sa, William Owens, Raymond Wiegand, Vipin Chaudhary: Fast scale-invariant lateral lumbar vertebrae detection and segmentation in X-ray images, 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), IEEE, pp.1054–1057 (2016).
- [4] Nikolas Lessmann, Bram van Ginneken, Pim A. de Jong, Ivana Išgum: Iterative fully convolutional neural networks for automatic vertebra segmentation and identification, *Medical image analysis*, Vol.53, pp.142–155 (2019).
- [5] Nils Christian Lehnen, Robert Haase, Jennifer Faber, Theodor Rüber, Hartmut Vatter, Alexander Radbruch, Frederic Carsten Schmeel: Detection of Degenerative Changes on MR Images of the Lumbar Spine with a Convolutional Neural Network: A Feasibility Study, *Diagnostics* 11, No.5, 902 (2021).
- [6] Ming-Huwi Horng, Chan-Pang Kuok, Min-Jun Fu, Chii-Jen Lin, Yung-Nien Sun: Cobb angle measurement of spine from X-ray images using convolutional neural network, *Computational and mathematical methods in medicine*, Vol.2019, 6357171 (2019).
- [7] Le Zhang, Jiabao Zhang, Song Gao: Region-Based Convolutional Neural Network-Based Spine Model Positioning of X-Ray Images, *BioMed Research International*, Vol.2022, 7512445 (2022).
- [8] Bryan C. Russell, Antonio Torralba, Kevin P. Murphy, William T. Freeman: LabelMe: a database and web-based tool for image annotation, *International journal of computer vision*, Vol.77.1, pp.157–173 (2008).
- [9] Ronneberger Olaf, Philipp Fischer, Thomas Brox: U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation, *International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention*, Vol.2015, pp.234–241 (2015).

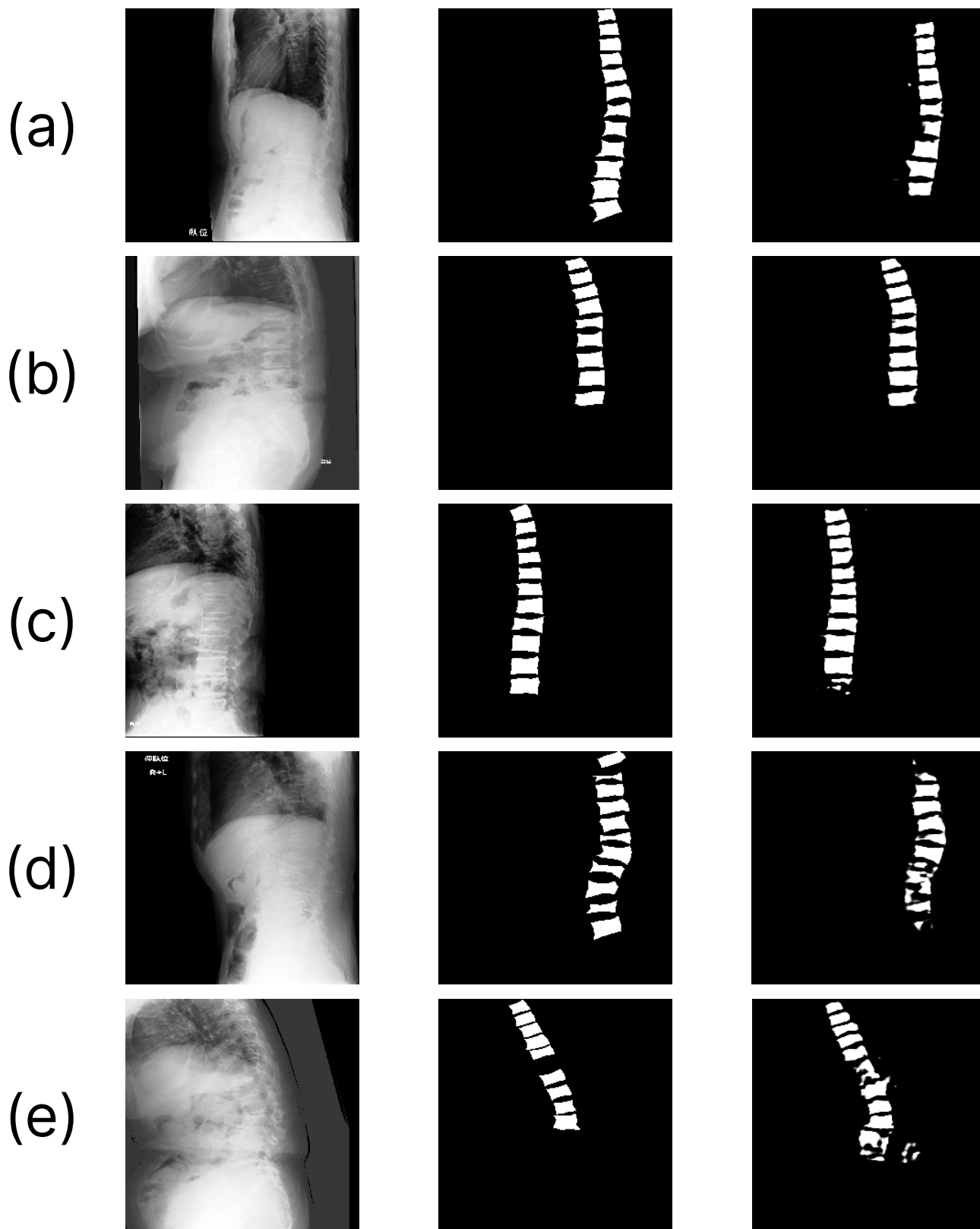


図3: 椎骨の予測画像 (左: 元画像, 中央: 正解画像, 右: 予測画像)