

はじめに

医師のマンモグラフィの読影を支援しようという試みは、1967年発行のRadiology誌におけるWinsbergらの研究論文に見ることができます¹⁾。その後、1980年半ばになってシカゴ大学のDoi博士らがコンピュータ支援検出/診断(Computer-Aided Detection/Diagnosis, 以下CAD)を目指す本格的な研究開発を開始し、1994年にはシカゴ大学病院で臨床試験が行えるマンモグラフィCADの試作機が完成しています **図1**。そして、ついに1998年にR2 Technologyというベンチャー企業より、米国FDA(食品医薬品局)の承認を得て、乳がん検出を目的とした世界初のCADの商用機が「イメージチェッカーシステム」の名称で世に出されました **図2**。このようなマンモグラフィCADシステムは、米国ではついに9割を超える検診で利用されるまでに普及しましたが、種々の問題点も明らかになり、その勢いは次第に弱まってしまいました。

このようなときに出現した教科書をも書き換えてしまうような素晴らしい技術が、AI(人工知能)におけるディープラーニング(深層学習)という技術であり、性能がさらに向上したディープラーニング利用型の新しいマンモグラフィCADが開発され、商用化されるようになってきました。2016年には、ディープラーニングのゴッドファーザーとも呼ばれるトロント大学のHinton博士が国際会議で有名なスピーチを行いました²⁾。すなわち、あと5年か10年で、ディープラーニングは放射線科医の能力を凌ぐようになるであろうから、もう放射線科医の育成は止めるべきであろうと！そして、その5年後の現在、確かにそのようなAIが医師を凌ぐような研究成果も少なからず発表されるようになりました。しかしながら、大がかりな実臨床試験なども経てその有効性が広く実証され、臨床現場で医療AIが大きく普及するに、あと少し時間を要するに思われます。そこで、いまは、第3次AIブームと呼ばれる昨今のAI技術、特にディープラーニングとは何か、何ができそうか、乳がん診療に関わる医療関係者はそれらの新技術とどう向き合っていけばいいのか、まずは



図 1 シカゴ大学で開発されたマンモグラフィの CAD 臨床試験機 (1994 年)
(ご提供: 土井邦雄シカゴ大学名誉教授)

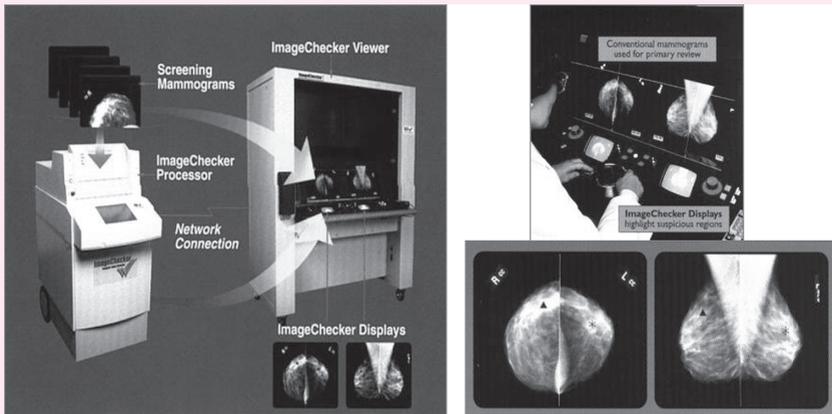


図 2 米国 FDA (食品医薬品局) で 1998 年に世界初で承認された ImageChecker と呼ばれるマンモグラフィのための CAD (コンピュータ支援検出) システム
(旧 R2 Technology 社 (現 Hologic 社) のホームページより)

しっかり基礎から現状を学習しておくチャンスでしょう。

そこで本書では、以下の3つの大きな疑問に答えるように、初学者向けに3部構成でほぼ半分は図表を活用して説明し、かつ左右見開きページで一つの項目が完結されるように企画されました。

- **AI (Artificial Intelligence, 人工知能)** の第3次ブームの真っ最中です。今後のわれわれの生活のあらゆる領域に、このAIが浸透しつつあります。そこでまずはAIとは何か、最低限の基礎知識を学んでおきたい、と考えます。本書の「CHAPTER I AI基礎」編をご覧ください。医療への関わりも含めて、すべてが明らかになると思います。
- **医療へのAI応用**に関して、特にいまのAIを牽引する話題の「ディープラーニング (深層学習)」と呼ばれる素晴らしい技術が、その最も得意とする画像診断においてどのように使われているのを知りたい、という疑問については、「CHAPTER II AI医療応用」編をご覧ください。すべて納得いただけるでしょう。
- **乳がん検査・診療画像へのAI応用**はいまどこまで進んでいるのか、その将来はどうなっていくのかなど気になりますが、それは「CHAPTER III AI乳房画像応用」編をご覧ください。解決されるでしょう。

本書を読み終える頃には、あなたは乳がん検査・画像診断における医療AIのエキスパートになっているでしょう。

最後に、本書の企画、出版にあたり多大なご尽力をいただきました中外医学社の鈴木様はじめ、関係者の皆様に深く感謝いたします。

2021年12月

編者記す

【参考文献】

- 1) Winsberg, et al. Radiology. 1967; 89(2): 211-215.
- 2) <https://www.youtube.com/watch?v=2HMpRXstSvQ&t=29s>

3

畳み込みニューラルネットワーク①
ネットワーク構造・畳み込み層

Summary

1. CNN は動物の視覚野の働きにヒントを得て作られたディープラーニング技術である。
2. 主に畳み込み層、プーリング層、全結合層を持ち、画像を直接入力し、それに対する処理結果が出力層から得られる。
3. 畳み込み層では、畳み込み演算と呼ばれる積和演算によって画像から多くの特徴を取り出す。取り出した特徴群を特徴マップと呼ぶ。

CNN は動物の視覚の働きにヒントを得て開発されたものです。私達の持つ視覚では、眼の網膜から得られた光の信号を脳の中の視覚野と呼ばれるところに伝え、網膜に写っているものの輪郭や頂点などの特徴を取り出します。そしてそれらの特徴を統合しながら形を把握することで、その物体が何であるか認識します。CNN はこのような視覚野の働きを一部再現しており、画像処理に対して優れた性能を示すことが知られています。現在、CNN を利用して**クラス分類**、**回帰**（推定）、**検出**、**領域分割**、**画像生成**など多種多様な処理が可能となっています。

代表的な CNN の構造例を右の **図 4-6** に示します。CNN は画像を直接ネットワークの入力層に与えることができ、**畳み込み層**、**プーリング層**、**全結合層**などを通して、出力層から結果が得られます。CNN が登場したばかりのころは数層しかない構造が主に利用されていましたが、現在は 100~200 層に及ぶ多層ネットワークも利用されるようになりました。

畳み込み層では、畳み込み演算によって画像から特徴を取り出します。畳み込み演算とは、画像の各領域にて画素値と重み係数を積和する演算です。画像の輪郭抽出やノイズ低減などにも利用されている技術となり、画像から輪郭成分や、大まかな明るさを取り出すことができます **図 4-7**。なお、出力される特徴は 1 種類ではなく、多数の異なる特徴を自動的に取り出します。これらを**特徴マップ**と呼んでおり、画像認識を行う際の有効な情報源となります。また、これらの演算で利用する重み係数は手動で与えるのではなく、大量の画像データを用いた学習によって自動的に決まります。すなわち、CNN は与えられた処理を遂行するために画像から自動的に特徴を取り出しています。

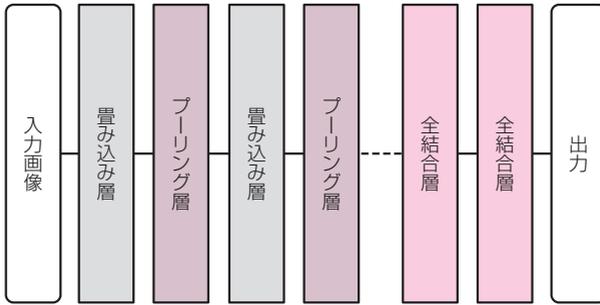


図 4-6 畳み込みニューラルネットワークの構造

畳み込みニューラルネットワークは、画像データを直接入力することができます。多数の畳み込み層、プーリング層で特徴の抽出と統合を行います。その結果に基づき、全結合層にて最終判断した結果が出力層より得られます。

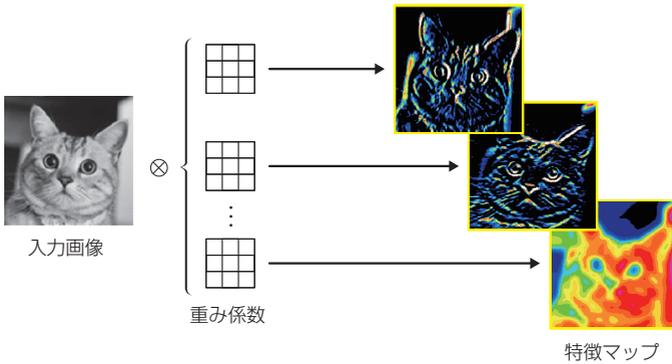


図 4-7 畳み込みによる特徴の取り出し

畳み込み層では画像の畳み込み演算（フィルタ処理）を行って、画像から輪郭や大まかな明るさなど、多数の特徴を取り出します。それらを特徴マップと呼んでいます。

2

CAD の利用形態

Summary

1. セカンドリーダー型は医師単独の読影後に CAD の結果を参照して読影。
2. インターラクティブ型は医師が CAD を操作しながら読影。
3. 同時リーダー型は CAD の結果を最初から見て読影。
4. ファーストリーダー型は、CAD が単独で解析する半自動型読影。

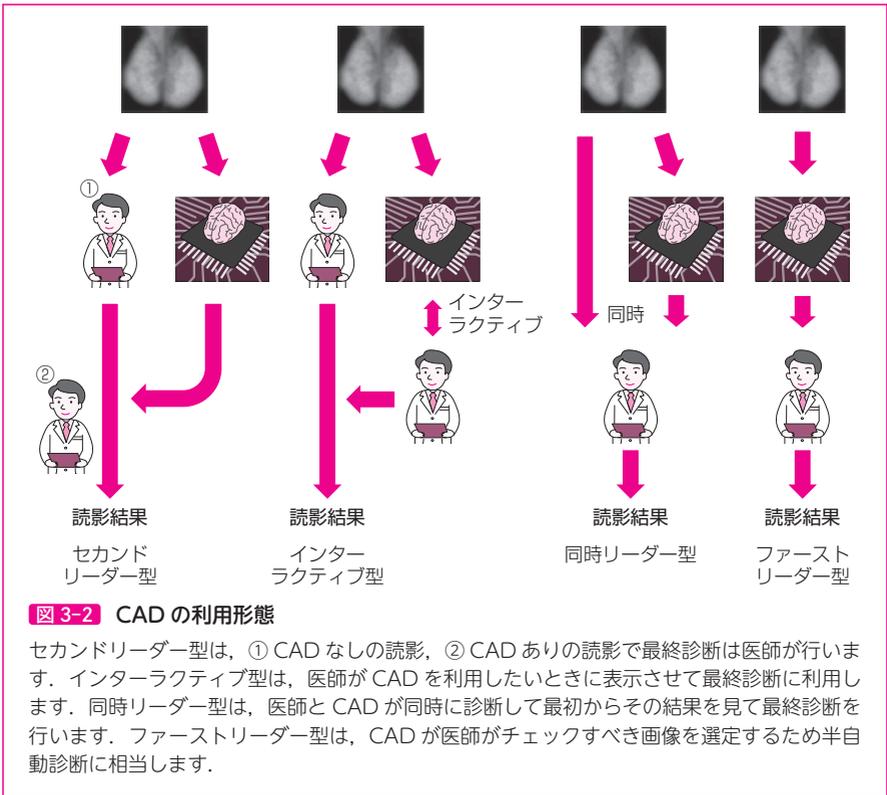
前項に記載したように CADe, CADx, CADt など CAD の目的機能の多様化が進んでいます²⁵⁾。さらに目的機能の多様化に伴って、利用形態も進化しています。ここでは順次商用化されつつある CAD の利用形態について記載していきます **図 3-2**。

「セカンドリーダー (Second Reader) 型」は、まず医師は CAD の結果を参照せずに読影し、その後 CAD の結果を「第 2 の意見」として参照して最終診断を行う利用形態です。1998 年に FDA 承認のマンモグラフィ CAD 以降、伝統的 CAD は、全てセカンドリーダー型 CAD であり、2 回読影する必要があるために読影時間が長くなる傾向がありました。

「インターラクティブ (Interactive) 型」は、病変部位に CAD マーカーは示さないが、医師が画像上の気になる所をクリックしたときにのみ CAD の結果やアノテーション (解析結果の説明) が示される進化したセカンドリーダー型 CAD です。マンモグラフィで商用化されており、セカンドリーダー型のように独立した 2 回の読影ではなく、医師が読影中に「第 2 の意見」を得たい部分をインターラクティブに参照できるため、読影時間の増加を抑えることが期待されています。

「同時リーダー (Concurrent Reader) 型」は、CAD の結果を最初から見て、読影の参考にするもので、セカンドリーダー型よりも読影時間の短縮が期待されます。これまでに、胸部 CT, 3D 乳房超音波画像、デジタルプレストモシンセシスを対象とした CAD が商用化されています。これらは 3 次元画像であるため、1 症例あたり大量の読影枚数が必要になり、さらに検診などでの利用を考えると読影時間が長くなるため、同時リーダー型により読影時間を短縮しながら、効率よく読影を進めることが期待されています。そのため、今後もこの同時リーダー型 CAD の開発が活発に進められていくと考えられます。

「ファーストリーダー (First Reader) 型」は、CAD が単独で解析処理を行い、医師



がチェックすべき画像と明らかに正常でその必要がないものを選定するタイプの CAD であり²⁶⁾、正常の判定は半自動診断に相当します。大半が正常症例である検診などでの利用が期待されていますが、乳房画像を対象とした FDA 承認機はまだありません。しかし、2020 年に CE 規格認証（欧州の薬事承認）を得たものがあり、これはマンモグラフィで 97% の正常例を除外することが報告されています。これにより、医師は異常と判定された症例のみに集中できますが、提示されなかったものは完全な見落としとなる危険性があるため、同時リーダー型に近い全例を示すタイプも提案されています。このように、ファーストリーダー型 CAD は、読影精度の向上だけでなく、読影のワークフローを改善することも期待できます。放射線画像診断領域の読影は、病変の特徴（微細、低コントラストなど）や画像上に現れない解剖学的な知見を用いることが少なくないため、どこまで専門家の読影能力に迫れるかが課題であり、その他にも導入にはまだまだクリアすべき課題が多くあると考えられます。