

AIによる頭部 CT 読影、The Lancet, Dec1-7, 2018

僻地で世界最先端 西伊豆健育会病院 H31.3 早朝カンファランス 仲田和正

Deep learning algorithms for detection of critical findings in head CT scans

A retrospective study

著者 Sasank Chilamkurthy 他

Qure ai, Goregaon East, Mumbai, India 他

The Lancet、Dec1-7、2018 に AI の Deep learning による頭部 CT 読影の論文がありました。総説ではありません。

一体どうやって deep learning によってコンピューターに頭部 CT を読ませるのだろうと興味津々でまとめてみました。

ただこの論文は AI による CT の読ませ方でなく、AI の判断と、放射線科医の判断の一致度を検証したものでした。

ポイントを一言で言うと、AI による真偽の結果と 3 人の放射線科医による真偽の結果を confusion matrix (混同行列)、すなわち 2×2 表にまとめてこれを ROC (受信者操作特性) カーブにプロットします。このカーブの下の面積、即ち AUROC (area under receiver operating characteristic curve) を計算しこの面積が 1 に近いことで AI の信頼度を確認するというもので、何とか小生の頭でもついていける内容でした。

著者はインドのムンバイ (インド南西部)、ニューデリー (インド北部)、ナーグプル (インド中央部) のドクター達と米国のメイヨークリニックのドクターです。

掛け算九九は日本では 9×9 までですが、インドでは 19×19 まであり、インド人は二けたの掛け算の暗算を一瞬で行います。

そう言えば小生の父がシベリアに抑留されました。毎日作業が終わったあと整理して人員点呼を受けるのですが、ロシア人は九九を知りません。数百人を一人ひとり数えるため何度も間違い、厳冬に点呼だけで 20-30 分かかったとのことでした。

ある日、収容所の入り口に父がぼんやり座っていたところ、ソビエトの士官が近づいてきて紙に $(a+b)^2 =$ と書いて鉛筆を渡しました。

$a^2+2ab+b^2$ と書いたところひどく驚いて、今度は $(a+b)^3$ と書きました。

$a^3+3a^2b+3ab^2+b^3$ と書いたところ、またまた驚いて「飛行兵か？戦車兵か？」と聞かれ「いや、歩兵だ」と答えたところ仰天されたとのことでした。

この論文のような AI のアルゴリズム（計算方法）開発は今やインドが深く関わっているんだなあ后感心しました。

最近ではインドとならびイスラエルも AI 分野で急速に発展しています。

（イスラエルがすごい 熊谷徹 新潮新書 2018）

イスラエルは国民皆兵で男性は 3 年、女性は 2 年の兵役があります。

2011 年の東日本大震災でイスラエル国防軍が南三陸町に仮設病院を建設、医師、看護師を送り込んで運営して下さいました。

イスラエル国防軍 17 万 6500 人のうち、3%の 5000 人が電子諜報を担当する超エリート 8600 部隊に属します。

入隊前 16 歳の時から素質、能力、適性、IT の知識、発想法のスクリーニング検査が行われ全体の 1%から更に選りすぐりの 1%が選抜されてこの 8600 部隊に入隊します。高校を卒業したばかりの隊員にサイバー戦線で重責が負わされ感受性の強い時期にめったにできぬような経験を積み任務に熱中します。

彼らがイスラエル政府、省庁、軍の IT システムの防衛を行うのです。

2011 年イランのウラン濃縮工場がサイバー攻撃を受け遠心分離機 1 万のうち 10%が使用不能となったのは、この 8600 部隊と米軍によると見られています。

この 8600 部隊がベンチャー企業の養成所のような役割をし、この卒業生達は引っ張り尻で高給で就職します。イスラエルの若者のあこがれの部隊なのです。そしてその卒業生達が今やつぎつぎと IT のベンチャー企業を起こしています。企業を守るファイアウォールはイスラエルで産まれました。

イスラエルのモバイルアイという車載カメラとセンサーは現在、世界中の自動車に使われ、日産、ホンダ、マツダ、三菱もこれを使用しています。インテル社はこのモバイルアイを 2017 年に何と 153 億ドル（1 兆 6830 億円）で、買収して人々の度肝を抜きました。

イスラエルが将来の自動運転技術の中心になろうとしているのです。

また車へのサイバー攻撃を防ぐサイバー・セキュリティー会社も 2013 年に創設されました。車が自動運転になるとテロリストがこれをハッキングして事故に見せかけたテロが可能となるからです。

2014 年創業のベンチャー企業、Illusive network のテクノロジーはユニークで、企業の IT システムにハッカーやマルウェアが侵入した場合、直ちにブロックするのではなく、本物そっくりの IT 空間に誘いこみ泳がせます。侵入者は本物の IT システムから隔離されたことを気づかずにデータを盗もうとします。その間に侵入者をリアルタイムで分析、逆探知して犯人を特定するのだそうです。

ネットさえあれば地域の距離差はインドだろうとイスラエルだろうと
今や関係ありません。

また医学の勉強も、僻地であっても全く困らなくなりました。

この頭部 CT の AI 読影アルゴリズム（計算方法）を開発したのは
インドの Qure AI という 2016 年設立のムンバイの会社です。

ホームページを見るとスタッフの顔写真がありほぼ全員

インド人のようです。既に qXR という結核スクリーニング用の胸部 X 線の
アルゴリズムが開発されており 15 の所見の局在が可能とのこと。

頭部 CT の AI による deep learning 開発には、2011 年から 2017 年まで
インドの 20 のセンターで 31 万 3318 例の頭部 CT 画像の
中からランダムに抽出した 2 万 1095 例を 2 群（batch）に分け、一方を
検証用（validation）に、一方をアルゴリズム開発用に用いました
（Qure25k dataset）。

またこれとは別に、他の症例を集めて 2 群（214 スキャンと 277 スキャン）
に分け評価に用いました（CQ500 dataset）。アルゴリズムの評価には
AUROC（areas under the receiver operating characteristic curves）
を使用しました。

頭部単純 CT から読影する項目は以下の 9 項目です。

画像自体は小生でも読影できる程度の内容で難しいものではありません。

① 脳出血

- ・頭蓋内出血
- ・脳実質内出血
- ・脳室内出血
- ・硬膜下出血
- ・硬膜外出血
- ・くも膜下出血

② 頭蓋骨骨折

③ 正中偏位(5mm 以上)

④ mass effect

また放射線科医師のレポートを自然言語処理（NLP）アルゴリズムで処理しました。
NLP(Natural Language Processing)とは人間が日常的に使う自然言語を
コンピューターに処理させる技術で、単語分割、構文解析（主語、名詞、助詞、
助動詞、動詞など）、意味解析、辞書構築等を行いそれを基に機械翻訳を行います。

CT スキャンの結果を、3 人の放射線科医のレポートと突き合わせ、9 つの項目で、0-1 の Confidence score(信頼度スコア、0 は 0 点、1 は 100 点)にしました。CT の AI による真偽の判断と、放射線科医の真偽の成績から真陽性率（陽性のものを陽性と判断した率）、偽陽性率（陰性なのに陽性と判断した率）を出します。

この点数を confusion matrix (混同行列)、すなわち 2×2 表にまとめてこれを ROC (受信者操作特性) カーブにプロットします。この ROC カーブの下の面積、即ち AUROC (area under receiver operating characteristic) を使用して検定したのです。

ネットで調べてみると機械学習では ROC (受信者操作特性)、AUROC はよく使われているようです。つまり AI による真偽の判断が、放射線科医の真偽の判断とどの程度一致するかを調べたのです。

そして縦軸に真陽性率 (true positive rate) すなわち感度 0-1.0、横軸に偽陽性率 (false positive rate) すなわち 1 - 特異度 : 0 - 1.0 を取ります。混同行列をこれにプロットしたのが ROC 曲線です。下記のような曲線です。

https://www.researchgate.net/figure/Figure1-Receiver-operating-characteristic-ROC-curve-of-cystatin-C-and-cut-off-value-for_fig2_280589458

(ROC 曲線の例、曲線の下面積が AUROC)

ROC 曲線が一番左上に張り出した辺りの感度、特異度を採用します。

左上の隅が感度 1、特異度 1 ですから、カーブが左上に張り出したあたりが一番感度、特異度ともに高いわけです。

AUROC (area under the ROC curve) は ROC 曲線の下面積です。

最大面積は 1 です。

頭部 CT 画像診断の 9 項目全ての AUROC は 0.86 から 0.97 の間で充分信頼に足るものでした。

ROC (receiver operating characteristic、受信者操作特性)は

何でこんな変な名称かという、もともと第二次大戦中、レーダーのノイズから敵機を見つけ出すために開発されたものです。

真珠湾攻撃の時、既にハワイではレーダーが稼働していました。

そして開戦 1 時間前に北から接近する日本海軍航空隊を捕らえていました。

観測隊員は朝食前にこれを上層部に報告したのですが、たまたまこの時、

米国本土から B17 爆撃機 6 機が到着することになっており、これと

勘違いしたのです。

2014年の12月に小生、家内とハワイを旅行しました。

オアフ島を真珠湾近くのホノルル空港からヘリで反時計回りに半周するツアーがあり家内と参加しました。

真珠湾からワイキキビーチ沿いにダイヤモンドヘッドに向かい東海岸を北上、一番北のカフク岬に達し、ここからオアフ島中央部の平野を南下して真珠湾に戻るツアーです。

そしてこのカフク岬から平野部を真珠湾に南下する経路こそ日本海軍航空隊の攻撃経路なのです。

1941年12月8日未明、オアフ島の北425kmの地点で航空母艦を飛び立った第1次攻撃隊183機はホノルル放送の電波に針路を合わせてカフク岬に到達します。1時間少しで到達したと思われます。

零式艦上戦闘機（三菱）、九九式艦上爆撃機（愛知機械、現日産子会社愛知時計電機）、九七式艦上爆撃機（中島飛行機、現スバル）の183機です。

雲の合間にカフク岬を確認しここで「トツレ（突撃準備隊形作れ）」のモールス信号を打ちます。ここで二手に分かれ水平爆撃隊（高度3000mから爆弾投下）はオアフ島西海岸沿いに南下、急降下爆撃隊と雷撃隊（魚雷）は中央の平野部を南下します。

ヘリから見るとオアフ島の北海岸は波が大変高く、丁度眼下ではサーフィン大会をやっていました。ヘリの米人パイロットの説明はエンジン音にかき消されて聞き取りにくかったですが真珠湾攻撃のことは一切説明してくれませんでした。中央の平野部は現在、果物会社Doleのパイナップル畑が広がっています。

カフク岬から真珠湾までは直線で40kmしかありませんから5、6分で到達したと思われます。

攻撃当日の天候は曇り、雲高1000m、雲量7、東の風、風力7.5m、視界良好でした。途中、Wheeler飛行場があり「ト連送（全軍突撃せよ）」の信号とともに急降下爆撃を行います。ここから数分南下するともう真珠湾が見えてきます。上空に米軍機は一機もなくここで「トラトラトラ（我奇襲に成功せり）」を打電します。

上空からヘリで見ると南国の海の青と、島の緑のコントラストが美しく当日、パイロット達もこんな景色を見ていたのだなあと感無量でした。

オアフ島を訪ねたのが12月13日で、真珠湾攻撃の12月8日に近く70年も前の攻撃隊のパイロットたちと同じ空間にいるというのがとても不思議でした。

Qure25 dataset の AUROC の結果は次の通りでした。

① 脳出血	
・ 頭蓋内出血	AUROC 0.92
・ 脳実質内出血	AUROC 0.90
・ 脳室内出血	AUROC 0.96
・ 硬膜下出血	AUROC 0.92
・ 硬膜外出血	AUROC 0.93
・ くも膜下出血	AUROC 0.90
② 頭蓋骨骨折	AUROC 0.92
③ 正中偏位(5mm 以上)	AUROC 0.93
④ mass effect	AUROC 0.86

頭部 CT 画像で異常所見のある確率は低いためアルゴリズムの感度を高めるにはサンプル数を膨大にする必要がありました。例えば感度 0.7 で 95%信頼区間片側 0.10 にするには陽性例は 80 例必要でした。罹患率 1%だと 95%信頼区間片側 0.05 にするには 2 万例の読影が必要でした。

最近、「AI vs 教科書が読めない子どもたち、新井紀子著、東洋経済新報社 2018」という本を読みました。AI（東ロボ）による東大入試受験の試みが 2013 年から始まりました。これは AI で何ができて、どうしても出来ないことは何かを解明するためでした。

この本によると AI による画像認識はとても大変なことなのだそうです。例えば画面の中にニンジンがあるとしても、画面のどこに着目すればよいのかわかりません。上から下まで網羅的にスキャンが必要なのです。最近のカメラはヒトの顔を捕捉してピント調整してくれますが、顔の色、濃度を数学的に指定しているのでしょうか。小生の車は道路交通標識のスピード制限を自動的に認識してコンソールに表示しますが、おそらく景色の右か左の上の方を捜せと AI に指示しているのでしょうか。

画像読影も AI に置き換わっていくのだなあと、技術の進歩をつくづく実感しました。