

AI を用いた胎児心臓超音波スクリーニング

—異常をリアルタイムに自動検知し、結果を簡潔に表示する—

理化学研究所（理研）革新知能統合研究センターがん探索医療研究チームの小松正明研究員、浜本隆二チームリーダー、理研 AIP-富士通連携センター^[1]の原裕貴副連携センター長（富士通株式会社執行役員）、昭和大学医学部産婦人科学講座の松岡隆准教授らの共同研究グループ^{*}は、人工知能（AI）を用いて胎児の心臓異常をリアルタイムに自動検知するシステムを開発しました。

本研究成果は、胎児の診断を支援するとともに、早急に治療が必要な重症かつ複雑な先天性心疾患の見落としを防ぎ、早期診断や綿密な治療計画の立案につながると期待できます。また、検査者間の技術格差や地域間の医療格差を埋めることで、周産期・新生児医療の発展に貢献すると考えられます。

先天性心疾患の治療には、胎児期の早期診断によって出生前から治療計画を立てることが重要です。しかし、胎児の心臓は小さく複雑で動きが速いため、超音波検査での観察には高度な診断技術が必要とされ、検査者間で技術力に大きな差があるのが現状です。今回、共同研究グループは、アノテーション（意義づけ）済み教師データからの学習により、粗い超音波画像に対しても画像中に映る複数の物体の位置・分類を高い性能で判別できる AI 技術「物体検知技術」を活用し、胎児の心臓構造の異常を自動検知する技術を開発しました。さらに、各部位の「確信度」を一覧表示することで検査を迅速化し、結果の把握・説明を簡便化する、新しい検査結果表示システムも開発しました。

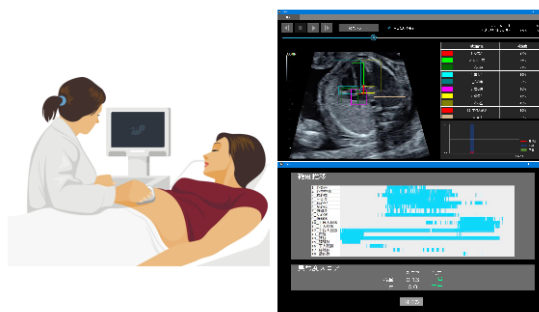


図 AI を用いた胎児心臓超音波スクリーニング

※共同研究グループ

理化学研究所 革新知能統合研究センター

がん探索医療研究チーム

研究員 小松 正明 (こまつ まさあき)
チームリーダー 浜本 隆二 (はまもと りゅうじ)

理研 AIP-富士通連携センター

客員研究員 酒井 彬 (さかい あきら)
(富士通アドバンステクノロジー株式会社 研究員)
客員研究員 山崎 拓也 (やまさき たくや)
(富士通アドバンステクノロジー株式会社 研究員)
客員研究員 安富 優 (やすとみ すぐる)
(株式会社富士通研究所 研究員)
客員研究員 日高 裕一 (ひだか ひろかず)
(富士通アドバンステクノロジー株式会社 研究員)
客員研究員 佐野 久幸 (さの ひさゆき)
(富士通株式会社 チーフアーキテクト)
副連携センター長 原 裕貴 (はら ひろたか)
(富士通株式会社 執行役員)

昭和大学 医学部 産婦人科学講座

教授 関沢 明彦 (せきざわ あきひこ)
准教授 松岡 隆 (まつおか りゅう)
助教 小松 玲奈 (こまつ れいな)
助教 新垣 達也 (あらかき たつや)

※研究支援

本研究は、文部科学省「次世代人工知能技術等研究開発拠点形成事業補助金」による支援を受けて行われました。

1. 背景

先天性心疾患とは、生まれつき心房、心室、弁や、血管のつながり方などに何らかの異常が認められる病気です。先天性心疾患の発症頻度は全出生児の約1%と、全ての先天性疾患のうち最も高く、新生児死亡の約20%は重症先天性心疾患によるものです^{注1)}。近年、小児循環器内科や小児心臓血管外科の治療技術の進歩により、先天性心疾患の新生児に治療を施した際の予後が著しく改善しています。さらに、胎児期に診断され出生直後から1週間以内に治療を行った場合は、出生後に診断され手術などの治療を行った場合に比べて、治療成績(治療の結果、症状が改善・回復したかどうかを表すもの)は良好です。そのため、早期診断によって、産婦人科・小児循環器内科・小児心臓血管外科の協力のもと、出生前より綿密な治療計画を立てることが必要です。

胎児の心臓は小さく、構造が複雑で動きも速いため、超音波検査での観察には高度な技術が必要です。検査の技術は経験などに依存するため、検査者間で大きく差があるのが現状です。また、昨今の日本における産婦人科医の減少・都市部への偏在による人材不足も相まって、地域間で受けられる医療レベルにも格差が生じています。

近年、急速に進歩しているディープラーニング（深層学習^[2]）に代表される機械学習技術^[3]が注目されています。機械学習に必要な正常データと異常データを十分に（それぞれ10万以上）集めることができれば、人工知能（AI）技術により人間の能力を大幅に超える認識精度が実現可能で、一部の疾患ではすでに実用化されています。しかし、胎児の先天性心疾患は発症頻度が低く、異常データを十分に集めることが困難なため、正常データのみに基づいて正常からの逸脱を検知する「異常検知技術^[4]」を適用する方法が考えられます。ところが、胎児超音波画像にはノイズ（陰影）が入りやすく不完全なデータとなり、異常と判定されがちです。高い精度を出すためには、多様なパターンの陰影が入った正常データがさらに大量に必要です。そこで、共同研究グループは、少量のデータや不完全なデータからでも的確な予測が可能な「ロバストな機械学習技術^[5]」を検討しました。

注1)

日本胎児心臓病学会 2016年「胎児心臓病の診断と治療」診断と治療社

2. 研究手法と成果

正常胎児の心臓の構造には個体差が少なく、心臓の同じ位置に同じ弁や血管などの部位が存在します。超音波専門医など胎児心臓超音波診断エキスパートは、重篤な症例ごとに、どの部位がどの位置に映るか、あるいは映らないかを熟知し、超音波動画からその兆候を発見します。共同研究グループはこの点に着目し、超音波画像中に映る複数の物体の位置・分類を高い性能で判別できるAI技術「物体検知技術」を胎児の心臓の異常検知に活用できると考えました。

まず、「物体検知技術」の学習には、正常データに対してアノテーション（意義づけ）を行った教師データを利用します。このアノテーションでは、正常データの画像中に映る部位に対して、名前や位置を注釈として付与します。

次にアノテーション済み正常データで学習した物体検知技術を用いて、検査対象の超音波画像から心臓の部位を検知します。物体検知技術は検査画像中からも人に近い精度で特定の部位を検知できます。したがって、物体検知によって得られた部位の検知状況と正常な心臓の部位の位置とを比較することによって、多少の陰影が入り込んだ不完全な検査画像であってもロバストな異常検知が実現されます。具体的には、以下の手順で異常を検知します（図1、特許出願中）。

- ① 検査中、超音波プローブが当てられている位置を推定し、検査画像に“映っているべき”心房、心室などの心臓の部位を提示する。
- ② 心臓の各部位について、アノテーション済み教師データを用いて学習を行った物体検知技術で、検査画像に“実際に映っていた”心臓の部位を検知する。
- ③ ①で提示された検査画像に“映っているべき”部位と、②で検知された“実際に映っていた”部位を比較し、相違がある場合には異常と判定する。

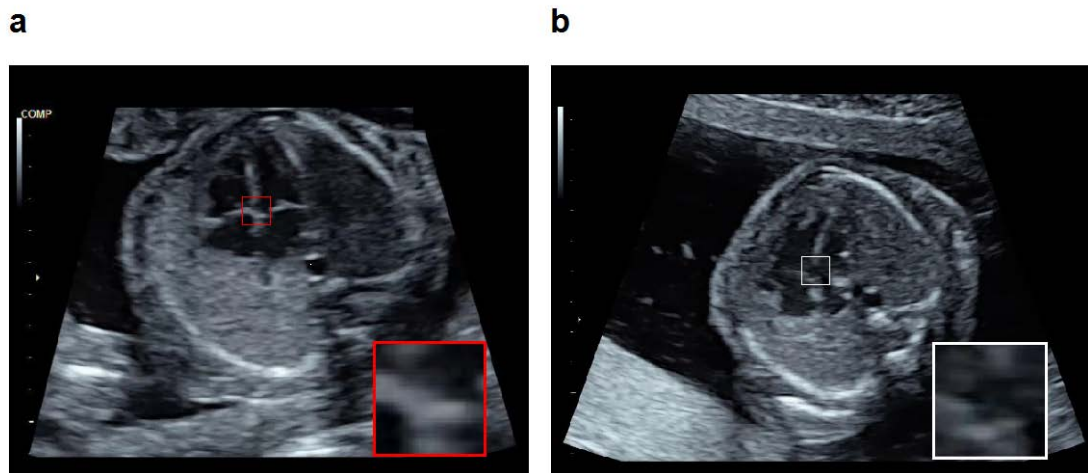


図1 物体検知技術を活用した胎児心室中隔の異常検知例

正常胎児心臓 (a) において映っているべき心室中隔を提示し (赤枠)、アノテーション済み教師データを用いて学習した物体検知技術を用いて、症例 b において実際に映っていた心室中隔の部位を検知する (白枠)。その相違から症例 b は異常所見を有すると判定する (b. 心室中隔欠損)。

そして共同研究グループは、この手順を利用した「胎児心臓超音波スクリーニングシステム」の開発に取り組みました。

まず、教師データとして、これまで昭和大学病院産婦人科での通常の妊婦健診において超音波専門医らエキスパートによって取得された、診断精度の高い正常胎児心臓の超音波検査画像 2,000 枚を収集しました。

次に、「胎児心臓超音波スクリーニングで用いられる代表的な心臓水平断面^[6]」を含むこれらの教師データ画像に映っている胎児の心臓および周辺臓器の各部位を分類し、各部位に対してアノテーションを行いました。そして、これらの教師データを用いて、物体検知技術の学習を行いました。

さらに、その技術を用いて、超音波検査の動画上に映るべき胎児心臓と周辺臓器の各部位が実際に映っているかを「確信度 (AI 自身が予測に対して、どの程度確信を持っているかを示す値)」として高速で算出し、検査画面上にリアルタイムで表示する胎児心臓超音波スクリーニングシステムを構築しました (図 2、特許出願中)。

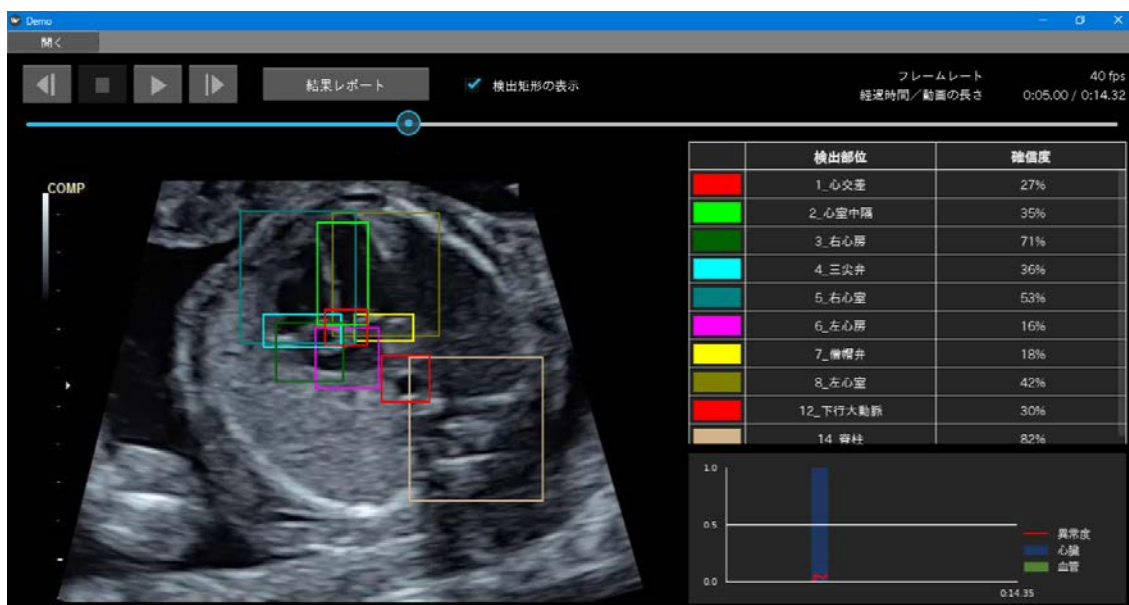


図2 今回開発した、胎児心臓超音波スクリーニング異常検知システム

超音波プローブを走査して得られる動画に対して、胎児の心臓と周辺臓器の各部位が実際に映っていたかを「確信度」として高速で算出し、操作画面上にリアルタイムで表示する。左画面の走査断面動画上には実際に検出された部位の位置・範囲を色つきの境界線で囲み、さらに、右上表には算出された各部位の確信度を提示する。また、右下グラフにはその確信度を用いて算出された心臓の構造と血管についての異常度の推移を示す。

さらに、各部位について確信度の累積・時間経過をレポートし、各部位の確信度を一覧表示する検査結果表示システムも開発しました（図3、特許出願中）。超音波検査において走査断面動画の確認には、静止画とは異なり再生時間を要するため、一覧性が悪いことが問題となっていました。

しかし、本手法を用いることで、一度に動画全体における各部位の検知具合を確認することが可能になり、確認に必要な時間を大幅に削減できました。また、物体検知技術を用いて各部位を検知しているため、検査者間の技術格差によらず検査結果が一定になります。さらに、どの部位が異常判定に影響したのかを一覧表示で把握・説明できるため、考える先天性心疾患を推定でき、検査者が超音波専門医や小児循環器内科医、小児心臓血管外科医に相談する際にも有用となります。

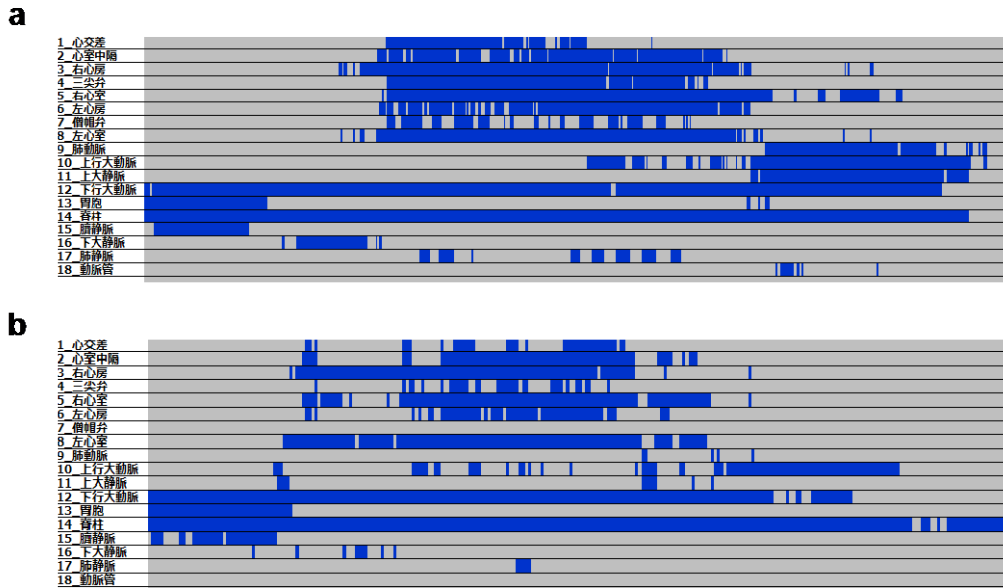


図3 検査結果一覧表示システム

診断に必要な胎児心臓と周辺臓器の18部位について、確信度の累積・時間経過をレポートし、各部位の確信度を一覧表示する（横軸：時間経過、青色：一定以上の確信度で検知されている。灰色：検知されていない）。動画情報を2次元データで一覧表示し、正常胎児のデータ（a）と比較することで、より簡便にどの部位が異常判定に影響したのかを把握して説明することが可能となる（b. ファロー四徴症）。

3. 今後の期待

今回開発したシステムを用いることで、検査者間の画像認識力や超音波プローブの走査技術などの差異を埋め、胎児の診断を支援するとともに、早急に治療が必要な重症かつ複雑な先天性心疾患の見落としを防ぐことが期待できます。

今後、日本の大学病院ではトップレベルの年間出産数を誇る昭和大学病院 4 病院の産婦人科にて実証試験を本格的に進め、数十万枚もの大量の胎児超音波画像を追加取得し AI に学習させることで、スクリーニング精度の向上・実証と検査対象の拡大を図る予定です。

さらに、2020 年度までに富士通株式会社の AI 技術「FUJITSU Human Centric AI Zinrai」^[7]への適用を行い、クラウド、オンプレミス、超音波機器メーカーとの提携など、多様な形態で AI による胎児心臓超音波スクリーニングの世界に先駆けた社会実装（早期臨床応用）の実現を目指します。

本システムの社会実装により、検査者のトレーニングやクラウド化による遠隔診断の実現で、地域間の医療格差の大幅な是正が行われ、医師不足に悩む産期、新生児医療の発展を通して、さらなる安全な妊娠・出産の実現が期待で

きます。

4. 補足説明

[1] 理研 AIP-富士通連携センター

理化学研究所革新知能統合研究センター（AIP センター）と富士通株式会社（富士通）が2017年4月に開設した連携センター。環境の不確実な変化に対しても、的確な未来予測に基づいて人のより良い判断を支援する「想定外を想定する AI 技術」の実現を研究テーマとした共同研究を進めている。

[2] ディープラーニング（深層学習）

脳の神経細胞をモデル化した手法であるニューラルネットワークを用いた機械学習技術の中で、特にニューラルネットワークの層が多層であるもの。

[3] 機械学習技術

データから繰り返し学習を行うことによって、データに内在するパターンを発見する AI 技術の一種。

[4] 異常検知技術

正常データのみから学習を行い、学習した正常データのパターンから逸脱したデータを異常とみなす機械学習技術。

[5] ロバストな機械学習技術

従来の機械学習は、膨大なデータ量や質の高い完全データがなければ十分な予測能力を発揮できない。この課題を克服し、少量のデータや不完全なデータであっても、的確に未来を予測できる（=ロバストな）機械学習の革新的基盤技術。例えば、正常例だけを訓練データとする異常検知技術では、何が異常かを明示的に与えることができないため、的確に異常を検知するためには膨大で多様な正常データを収集し学習する必要がある。理研 AIP-富士通連携センターの研究課題の一つ。

[6] 胎児心臓超音波スクリーニングで用いられる代表的な心臓水平断面

四腔断面（Four chamber view）、三血管断面（Three vessel view）、三血管気管断面（Three vessel trachea view）などが挙げられる。日本胎児心臓病学会・日本小児循環器学会編「胎児心エコー検査ガイドライン」参照。

(<http://www.jsfc.jp/echo/files/pdf/guideline.pdf>)

[7] FUJITSU Human Centric AI Zinrai（ジンライ）

富士通株式会社が志向する「人と協調する、人を中心とした AI (= Human Centric AI)」、
「継続的に成長する AI」実現のため、社会に提供する AI 技術を体系化したもの。

5. 発表者・機関窓口

<発表者>

理化学研究所

革新知能統合研究センター 目的指向基盤技術研究グループ
がん探索医療研究チーム

研究員 小松 正明 (こまつ まさあき)
チームリーダー 浜本 隆二 (はまもと りゅうじ)

理研 AIP-富士通連携センター

副連携センター長 原 裕貴 (はら ひろたか)
(富士通株式会社 執行役員)

TEL : 03-3547-5201 (内線 3663) (小松) FAX : 03-3543-9305 (小松)
E-mail : masaaki.komatsu[at]riken.jp (小松)

昭和大学 医学部 産婦人科学講座

准教授 松岡 隆 (まつおか りゅう)

TEL : 03-3784-8551 FAX : 03-3784-8355
E-mail : ryu[at]med.showa-u.ac.jp



小松 正明



浜本 隆二



原 裕貴



松岡 隆

<機関窓口>

理化学研究所 広報室 報道担当

TEL : 048-467-9272 FAX : 048-462-4715
E-mail : ex-press[at]riken.jp

富士通株式会社 広報 IR 室

TEL : 03-6252-2174 FAX : 03-6252-2783

学校法人 昭和大学 総務課 (広報担当)

TEL : 03-3784-8059 FAX : 03-3784-8012
E-mail : press[at]ofc.showa-u.ac.jp

※上記の[at]は@に置き換えてください。