

## 薬剤耐性対策における医療診断 AI の社会受容性とその国際比較 Social acceptance of diagnostic AI for antimicrobial resistance

伊東 啓<sup>†</sup> 和田 崇之<sup>‡</sup> 一ノ瀬 元喜<sup>¶</sup> 谷本 潤<sup>§</sup> 吉村 仁<sup>†</sup> 山本 太郎<sup>†</sup> 守田 智<sup>¶</sup>  
Hiromu Ito Takayuki Wada Genki Ichinose Jun Tanimoto  
Jin Yoshimura Taro Yamamoto Satoru Morita

### 1. はじめに

現在、膨大な量の患者データを取り込むことで、人工知能 (Artificial intelligence: AI) が医療の分野でも目覚ましい成果を上げている。AI は既に、がんや小児疾患等の一部の疾患について人間の医師と同等かそれ以上の診断精度を達成している。また、医師が AI の支援を受けることで診断精度が向上するという報告もあり、AI の医療分野への応用は今後ますます進んでいくことが予想される。

そして近年、医療診断 AI によって抗生剤 (抗菌薬・抗生物質) の処方と使用が最適化されれば世界的な薬剤耐性菌の出現と拡散が抑制されるのではないかと、という期待感がでてきた[1]。しかし、そのような AI が普及するかどうかは疑問である。なぜなら、抗生剤を使用するという行為の背景には“社会的ジレンマ”が存在するため、世界的な耐性菌問題よりも個人の望む治療を受けられることを重視する市民はそのような AI を受け入れないことが予想されるからだ[2] (図 1)。



図 1. 抗生剤使用の背景にある社会的ジレンマ

ここでは、耐性菌問題に着目することで、医療診断 AI の導入に対する一般市民の意識や受容性を浮かび上がらせる。そして、医療診断 AI の受容性が性別・年代・国によって異なることをウェブ調査から明らかにした研究を報告する[3]。

## 2. 背景

### 2.1 薬剤耐性の問題

現在、抗生剤の効かない薬剤耐性菌 (以下: 耐性菌) が人類の大きな脅威となっている。抗生剤の普及は、それまで致命的だった細菌性の感染症を治療可能にしたという点で革命的だったが、使いすぎることによって多くの耐性菌の出現を加速させることになった。抗生剤を飲むと、その患者の体内には大きな選択圧 (淘汰圧) がかかり、結果的に薬剤

<sup>†</sup> 長崎大学 Nagasaki University  
<sup>‡</sup> 大阪公立大学 Osaka Metropolitan University  
<sup>¶</sup> 静岡大学 Shizuoka University  
<sup>§</sup> 九州大学 Kyushu University

に耐性をもった菌だけが体内で生き残ってしまうことがある。このように出現した耐性菌が拡散すると、薬で治療できない病気が増えるだけでなく、抗生剤の効果を前提とした外科手術や臓器移植といった既存の医療システムも機能不全に陥る[4-6]。2019 年には世界中で 127 万人が耐性菌によって直接死亡したと推定されており、関連死も含めると推計 495 万人が死亡したとされる[7]。世界保健機関 (WHO) や各国医療機関もこの問題を重く受け止めており、抗生剤は「真に必要な時に、必要な量を、必要な期間だけ」使用するよう警鐘を鳴らし続けている[5,6]。しかし実際には、抗生剤の過剰使用に歯止めがかかっていない現状がある。

### 2.2 続く抗生剤の過剰使用

耐性菌の脅威が認識されているにも関わらず、抗生剤の過剰使用は続いている。患者の感染リスクを最小限に抑えるために予防的に“念のため”抗生剤を処方するケースはよくあるし、特に入院患者に対する抗生剤処方はその約半分は適切でないという指摘もある[8-10]。コロナ禍の医療現場でも肺炎で入院した患者のほとんど (72%) に抗生剤が処方されたが、そのうち抗生剤が効く細菌性の肺炎患者は僅か 8%しか居なかったという [11]。

抗生剤の過剰使用には、患者も関与している。一般開業医を対象とした調査では、患者から「抗生剤を処方してほしい」という圧力を受けていると感じた回答者が 55%いた [12]。さらに、より多くの患者を診察するために / 患者を早く帰すために抗生剤を処方したと回答した者が 44%、抗生剤の効かないウイルス性の感染症だと分かっているが抗生剤を処方したことを認めた回答者は 45%いた [12]。

また別の調査では、抗生剤が処方されなかったことに不満を抱く一部の患者が、抗生剤の処方箋を得るまでいくつも病院を受診するケースが認識されている [13]。つまり一部の患者は、不必要と思われる抗生剤を処方しない正しい診断をする医師ではなく、患者の要望に応じて抗生剤を気軽に処方してくれる医師を選好している。

これらの報告は、薬の処方を決める医師の意思決定だけでなく、患者の意思決定が抗生剤の過剰使用を促し、耐性菌の問題大きく影響を及ぼしていることを示唆している。

### 2.3 社会的ジレンマ

耐性菌の出現と拡散を最小限に抑えるためには、社会全体で足並みを揃えて抗生剤の使用量を減らしていかなければならない。しかし既に述べたように、現実には抗生剤の濫用が食い止められていない。そこには、「社会全体から見れば抗生剤を控える必要があることは分かるが、個人から見れば抗生剤は気軽に使用したい」という、個人の合理的な選択と社会の最適な選択とが一致しない状況である“社会的ジレンマ”の構造がある (図 1) [2]。

### 2.3.1 フリーライダーの出現

必須ではない抗生剤を使用する（処方してもらう）戦略は、抗生剤を控えている他者の協力行動にタダ乗りする行為である。このような戦略をとる者をゲーム理論では“フリーライダー”と呼ぶ。フリーライダーは、自分自身は協力しないにも関わらず、他者の協力行動の恩恵は享受する存在である。そこに悪意の有無は関係がなく、「自分が早く治りたいだけで、他人を傷つけるつもりはない」と思っている、過剰に抗生剤を使う（処方してもらう）行為そのものが、抗生剤を控えている他者の協力行動にタダ乗りすることになってしまう点が重要である。そして「自分一人くらいは抗生剤を使用しても良いだろう」とか「病気で苦しむ親しい人（家族・子供・恋人等）には抗生剤を処方してほしい」という合理的行動の積み重ねが、集団内に耐性菌が出現するリスクを増加させる。このようなフリーライダーの出現は、抗生剤の使用について各個人が自由に意思決定できる状況では避けられない。

### 2.4 AIは耐性菌問題を解決するか

耐性菌の脅威を勘案した上で抗生剤の処方を最適化する医療診断AIが普及し、全世界の人々がそのAIだけを使用するようになれば、理論上は耐性菌による被害は最小限に抑えられるだろう[1]。しかしHowardらも指摘するように、抗生剤の処方を世界のために最適化することには倫理的問題があり、特に個人のニーズよりも大多数の利益を優先する功利主義的なAIにおいて顕著に表れる[1]。そのため、世界のために抗生剤の処方を最適化するようなAIは、社会から受け入れられない可能性がある。

### 3. 目的

本研究の第一の目的は、医療診断AIが耐性菌問題を解決し得るかどうかを検証することである。医療診断AIの導入・普及に対する一般市民の意識と受容性を調査することで、診断精度の向上等のAI技術の発展だけでなく、個人の価値観や社会的ジレンマをはじめとした倫理的懸念がAI普及の障壁となり得るか否かを明示する。

第二の目的は、医療診断AIに対する人々の受容性に関する傾向の違いを明らかにすることである。医療診断AIについてはもとより、耐性菌問題に対する意識が性別や年代および国によってどのように異なるか、その特徴を抽出する。

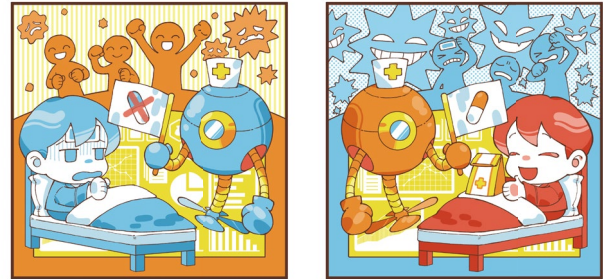
最終的には、人々が社会的ジレンマを乗り越え、今後悪化が予測される耐性菌問題に立ち向かっていけるかどうかを予測し、ゲーム理論の視点からその解決の糸口を探る。

### 4. 方法

医療診断AIの普及に関する人々の意識を調査するために、ウェブ調査を実施した。調査対象は、日本・アメリカ・イギリス・スウェーデン・台湾・オーストラリア・ブラジル・ロシアに在住の20～60代の男女である。各年代の性別ごとに10の区分とし、各区分の500人以上から回答を得るまで質問票を配信した。例えば日本の調査の場合、20代男性500人、20代女性500人、30代男性500人、30代女性500人、…、60代男性500人、60代女性500人、と区分して計5,000人から回答を得ることで、各年代の男女から十分な回答数を集めた。人口が比較的少ないオーストラリアと台湾ではその半数（各区分から少なくとも250人の計2,500人）から回答を得た（表1）。

### 4.1 質問票のコンセプト

質問票では、世界的な耐性菌問題について説明した上で、世界優先型AIと個人優先型AIという二つの仮想的なAIを想定して、どちらのAIに普及してほしいか尋ねた（図2）。



世界優先型 AI

個人優先型 AI

図2. 二種類の仮想AIのイメージ

#### 4.1.1 世界優先型 AI

世界優先型AI（以下：世界型AI）は、世界的な耐性菌の拡散リスクを考慮して、抗生剤の処方を最小限に抑えようとする（図2左）。そのため、患者が罹っている病気を数日間寝ていれば治るようなものだと判断した場合には、世界型AIは抗生剤を処方しない。

#### 4.1.2 個人優先型 AI

個人優先型AI（以下：個人型AI）は、耐性菌問題を完全に無視し、患者個人の迅速な治癒だけを優先して抗生剤の処方を決定する（図3右）。これにはjust-in-case（念のため／とりあえず）の予防的な処方も含まれる[14,15]。

#### 4.1.3 本質問

- 問1. AIの普及割合について：  
世界優先型AIと個人優先型AIに、それぞれの程度の割合で普及してほしいか、合計が100%になるように回答してください。
- 回答 世界優先型AI：0～100%  
個人優先型AI：0～100%
- 問2. AIの標準化について：  
統一規格化して、どちらか一方のAIしか使えないようにすること（AIの標準化）に賛成ですか？それとも両方のAIが使える社会を望みますか？
- 回答 賛成（片方のAIだけを利用できるようにする）or 反対（両方のAIを利用できるようにする）
- 問3. 標準化されるAIの選択について：  
もし、どちらか一方のAIしか使えない社会になるとしたら、どちらのAIに普及してほしいですか？
- 回答 世界優先型AI（個人優先型AIは廃止）or 個人優先型AI（世界優先型AIは廃止）

なお耐性菌の問題を解消に向かわせるためには、問1では「世界優先型AIの普及率100%」、問2では「標準化に賛成」、問3では「世界優先型AIを選択」の回答の組み合わせを選ぶ必要がある。それは個人型AIが少しでも存在しているとフリーライダーが必ず出現し、結局人間の医師が処方している現状と全く同じ状態になるからである。

## 4.2 調査

質問票は二つの民間調査会社から配信された。

日本の調査では、株式会社クロス・マーケティング (<https://www.cross-m.co.jp/>) が自社の保有するパネルに対して質問票を配信した。パネルとは、調査会社が保有する回答者となりうる候補者たちのことで、彼らはあらかじめ性別や年齢等の個人情報を登録してパネルに加わりアンケートに答えることで電子マネー等の謝礼を受ける。本研究では、パネルは「医療の進歩に関するアンケート調査」という題名だけを見てアンケートに答えるかどうかを判断し、調査参加に同意した者だけが参加できる。回答者は年齢・性別等の情報を入力した後、本質問の回答にうつる。

海外の調査では、スウェーデンに本社を置く Cint (<https://www.cint.com/>) の日本代理店である Cint Japan が質問票を各国の言語に翻訳した後、自社の持つ調査プラットフォーム上で質問票を配信して回答を収集した。

これらの調査は令和元年7月30日に長崎大学熱帯医学研究所倫理委員会の承認（承認番号：190619213）を得た上で実施している。

表 1. 調査に関する基本情報

国・地域	略称	調査期間 (年/月/日)	回答者数 (男:女)	調査会社
日本（1回目）	JPN1	2020/1/8~10	5000 (2500:2500)	Cross Marketing Inc.
日本（2回目）	JPN2	2020/7/1~7	5000 (2500:2500)	Cross Marketing Inc.
アメリカ	US	2020/7/1~7	5037 (2519:2518)	Cint Japan
イギリス	UK	2020/7/1~7	5038 (2517:2521)	Cint Japan
スウェーデン	SWE	2021/5/18~26	5446 (2708:2738)	Cint Japan
台湾	TWN	2021/5/18~26	2820 (1405:1415)	Cint Japan
オーストラリア	AUS	2021/5/18~26	2723 (1353:1370)	Cint Japan
ブラジル	BRA	2021/6/23~30	5471 (2726:2745)	Cint Japan
ロシア	RUS	2021/6/23~30	5443 (2722:2721)	Cint Japan

## 4.3 分析

AIの選好における回答傾向の違いはカイ二乗検定で、性別と年代における違いはロジスティック回帰分析で検証した。各図において有意差は、「\*」は  $p<0.05$ 、「\*\*」は  $p<0.01$ 、「\*\*\*」は  $p<0.001$ 、「n.s.」は有意差なしを示している。各分析には R (ver. 4.0.2) および R studio を用いた。

## 5. 結果

日本・アメリカ・イギリス・スウェーデン・台湾・オーストラリア・ブラジル・ロシアにおいて調査を実施し、各国・地域の20~60代の男女計41,978人から回答を得た（表1）。

### 5.1 希望する各AIの普及割合

世界型AIと個人型AIに望まれる普及率を調べた。なお質問票にもあるように、世界型AIの普及率がX(%)と回答された場合、個人型AIの普及率は100-X(%)となる。図の上部にある箱ひげ図で中央値を示した。もし国民投票

が行われて本調査と同じ分布が実現した場合、中央値投票定理によると第2四分位数（中央値）が実現されることになる（図3,4）。例えば日本の場合、回答者のうち約25%が「世界型0%、個人型100%」と回答し、ほぼ同数の回答者が「世界型50%、個人型50%」と回答した（図3）。

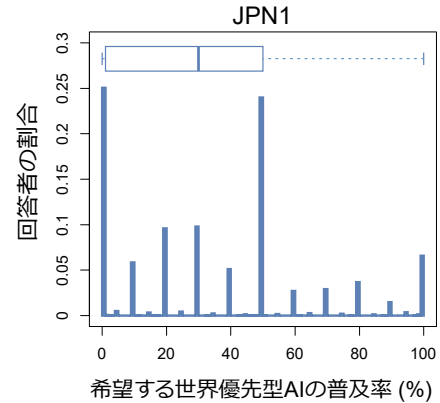


図 3. 希望する世界型 AI の普及率 (JPN1)

各国の回答をまとめると、世界型AIの普及率「0%」（個人型AIのみを普及させる）と回答した割合は5.8~24.9%で、「100%」（世界型AIのみを普及させる）と回答した割合は2.3~6.6%だった（図4）。このように極端な普及率を回答したのはいずれの国でも少数派である。各国回答者のうちの過半数（68.6~91.2%）は「1~99%」の範囲で回答しており、両方のAIに社会に存在してほしいと考えていることが分かる。

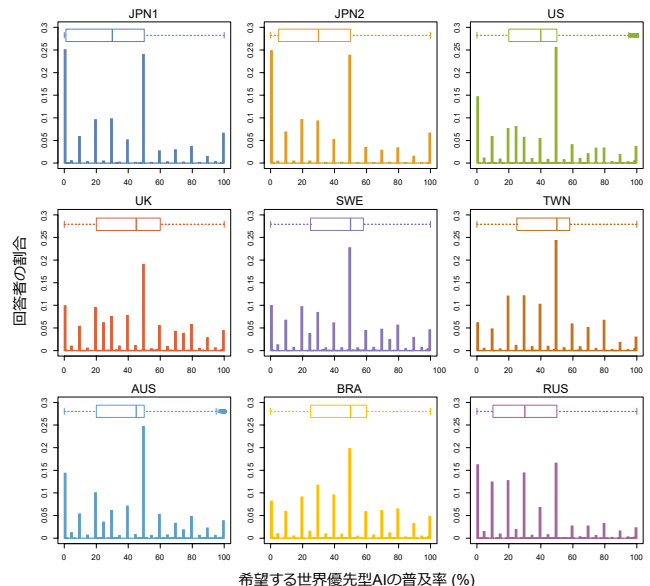


図 4. 希望する世界型 AI の普及率 (各国)

日本以外の国では世界型AIの普及率「50%」が最も多く、回答者の16.6~25.6%を占めた。一方、日本では「0%」の回答が最も多く、第1回調査では24.9%、第2回調査では24.7%と、他国と比べて高い割合を示した。さらに、日本では「100%」と回答した割合も6.6%に上り、他国よりも高い割合を示した。

### 5.2 医療診断 AI の標準化への態度

どちらか片方の AI しか使えない社会にする「標準化」に対しては、各国回答者のうち 33.3~54.0% が標準化に賛成だった (図 5)。標準化に賛成した回答者が過半数を超えていたのは、アメリカ (54.0%)、オーストラリア (52.5%)、イギリス (51.0%) だった。賛成の割合が最も低かったのは日本 (JPN2 : 33.3%) だった。

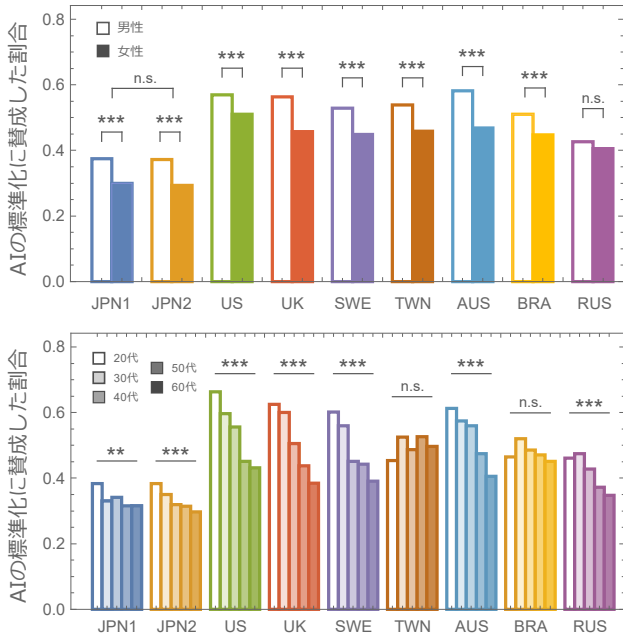


図 5. 標準化に対する態度

いずれの国でも男性は女性よりも標準化に賛成する割合が高く、ロシア以外の国ではその差は有意だった (図 5 上)。台湾とブラジル以外の国では高齢層の回答者は若年層の回答者よりも標準化に反対姿勢であった (図 5 下)。

### 5.3 標準化の際に選ばれる AI の種類

標準化される AI を二者択一で選ばなければならない場合、すべての国において過半数の回答者が個人型 AI を選んだ (図 6)。世界型 AI を選んだ割合が最も低かったのはロシア (21.8%) で、最も高かったのはブラジル (43.9%) だった。いずれの国でも男性は女性よりも世界型 AI を有意に選好していた (図 6 上)。高齢層の回答者は若年層の回答者に比べて世界型 AI を有意に忌避していた (図 6 下)。

### 5.4 新型コロナウイルスの影響

新型コロナウイルス感染症のパンデミックが結果に影響を与えた可能性を検証した。当初は予備調査として実施した日本での初回調査は、コロナ禍が本格化する直前 (2020 年 1 月) に実施された。ここで生じた懸念は、コロナ禍によって人々の公衆衛生に対する意識が変わってしまった場合に、日本の結果を他国の結果と比較できなくなるという点である。そこで 2 回目の調査をコロナ禍が本格化した時期 (2020 年 7 月) に追加で行い、二つの調査結果を比較したところ、AI の標準化に対する態度にも、標準化しなければならないときに選好した AI の種類にも、差は見られなかった (図 5 上, 6 上)。

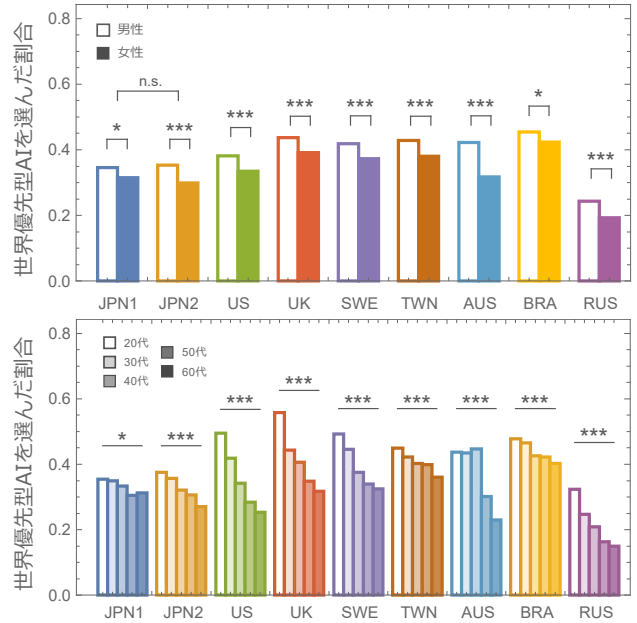


図 6. 標準化に世界型 AI を選んだ割合

### 5.5 標準化への態度と選好される AI の種類の関係

標準化に対する態度と選好する AI の種類との間には関連性があった。標準化に反対した回答者と比較して賛成した回答者は世界型 AI を有意に選好する傾向があった (図 7)。

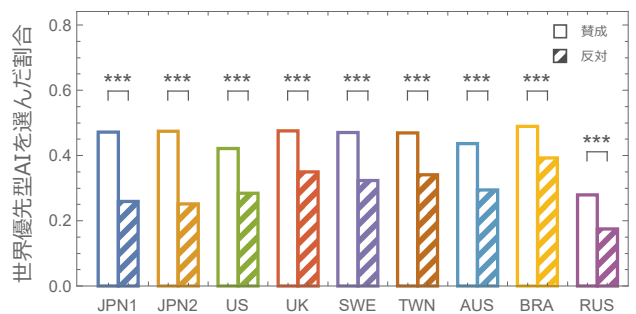


図 7. 標準化への態度と世界型 AI の選好

### 5.6 4つのタイプの回答者

標準化への態度と、標準化される AI の種類の回答の組み合わせから、回答者を 4 つのタイプに分類した (図 8)。

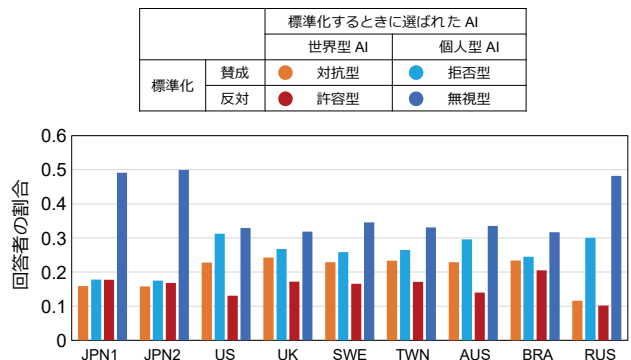


図 8. 4 つのタイプの回答者とその割合

5.6.1 積極的に対抗しようとする者 (対抗型)

標準化に賛成で、標準化される AI には世界型 AI を選んだ回答者。この回答者は世界型 AI だけが普及した社会を望んでおり、耐性菌問題に対抗する上では最も前向きな回答の組み合わせを選んでいる。標準化に賛成しているのでフリーライダーの存在を許しておらず、社会全体で耐性菌に立ち向かっていく姿勢を示している。

5.6.2 どうでもいいと思っている者 (無視型)

標準化に反対で、標準化される AI には個人型 AI を選んだ回答者。この回答者は、個人が自身の治療方針を決めることができる自由と、世界よりも個人を優先する社会であることを重視している。標準化に反対しているため、耐性菌問題には対抗したい人だけが対抗すればよいという個人主義的な姿勢を示している。耐性菌問題に対しては無関心 (無視) に近い対応と言える。

5.6.3 消極的に受け入れる者 (許容型)

標準化に反対で、標準化される AI には世界型 AI を選んだ回答者。この回答者は、個人が自身の治療方針を決めることができる自由を重視しつつも、最終的にどちらか選ばなければならない場合は耐性菌問題に立ち向かう選択肢を選んでいる。標準化には反対しているため、フリーライダーを否定していない。

5.6.4 一貫した個人優先を貫く者 (拒否型)

標準化に賛成で、標準化される AI には個人型 AI を選んだ回答者。この回答者は、耐性菌問題を考慮した AI の存在を否定しており、耐性菌問題を無視した AI だけが普及する社会を望んでいる。標準化にも賛成していることから、社会全体で耐性菌問題と向き合うことを拒否しており、世界よりも個人を重視する一貫した姿勢をとっている。

すべての国で最も大きな回答者割合を占めたのは無視型 (31.7~49.9%) だった。無視型の回答者は、日本 (JPN1 : 49.1%と JPN2 : 49.9%) とロシア (48.2%) で回答者の約半数を占めていた。次に大きな回答者グループは拒否型だった (17.5~31.2%) 。

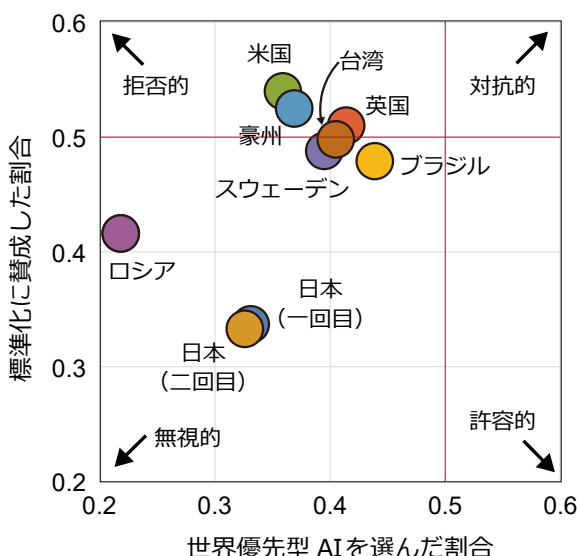


図 9. 各国の特徴

5.7 各国の特徴

各国の態度を可視化した (図 9)。縦軸は標準化に賛成した割合で、横軸は標準化されるとき世界型 AI が選ばれた割合である。上にいくほど標準化に賛成した割合が大きく、右にいくほど標準化で世界型 AI が選ばれた割合が大きい。前述の 4 つのタイプの回答者と同じ考え方をすれば、耐性菌問題の受け止め方としては、右にいくほど積極的で、左にいくほど消極的な姿勢を示した集団である。また、上にいくほど社会全体でのルール化を重視しており、下にいくほど個人が自分で治療を選択できる自由を重視している集団だと考えることができる。

この全体像からは、「日本」「ロシア」「その他」という 3 つの特徴的なグループが形成されているように見える。例えば、日本は他国に比べて標準化への反対姿勢が強く、ロシアは世界型 AI への忌避感が強いという特徴がある。

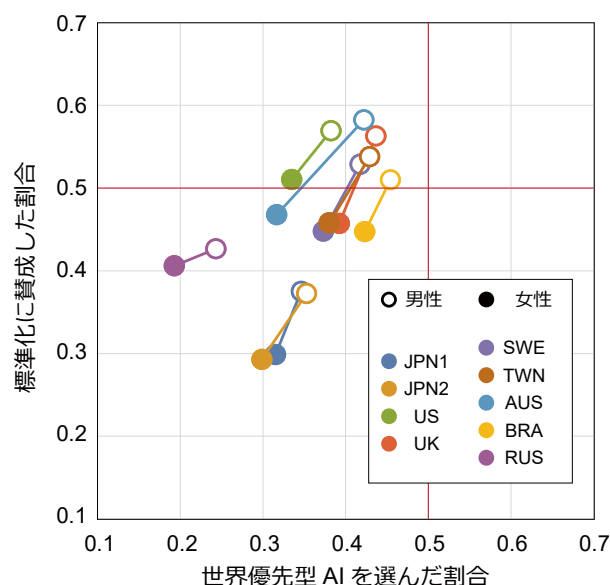


図 10. 各国の特徴 (性差)

男女で分けて図上に描画すると、いずれの国でも、女性よりも男性の方が右上に位置している (図 10)。既に述べた通り、男性は女性よりも標準化に賛成する傾向があると同時に、世界型 AI を選好する傾向があるため、このような位置関係になる。男性の方が対抗的な姿勢を示しているとも言える。それでも、日本の男性は他の国の女性と比べて標準化への賛成率が低く、ロシアの男性は他の国の女性と比べても世界型 AI へ忌避的である。

年代差を分析すると、最も若い 20 代の回答者は図上の右上部に位置し、60 代は左下部に打点されている (図 11)。これは若年層が高齢層よりも標準化への賛成割合と世界型 AI の選択割合が高いからである。しかし、日本では標準化への賛成割合が最も高い 20 代の回答者でも、イギリスとスウェーデンの 60 代の回答者と同程度の賛成率しかない。世界型 AI に最も忌避的なのはロシアの 20 代は、日本の 40 代やスウェーデンとイギリスの 60 代と同程度しか世界型 AI を選択していない。

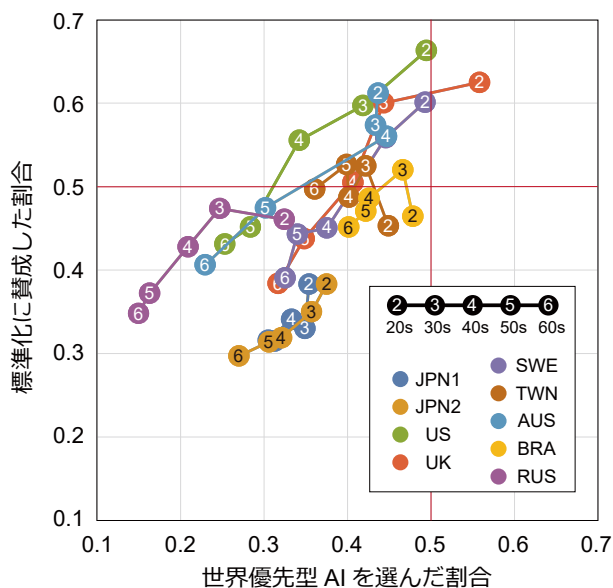


図 1.1. 各国の特徴 (年代差)

6. 議論

本研究では医療診断AIに対する人々の受容性を調査し、医療診断AIの意思決定を公衆衛生に導入する際の障壁を浮き彫りにした。結果からは、耐性菌問題の重要性は認識しつつも個人の望む治療と選択肢を保持しておきたいという市民の複雑な態度が浮かび上がった。

いずれの国でも、世界型AIと個人型AIの両方が利用可能な社会を望む回答者が多数派だった。しかし、個人型AIが存在している社会ではフリーライダーの発生が避けられないため、このような民意を反映したAIの普及割合を採用しても耐性菌の問題は解消できないという点が重要である。

標準化が必須となる場合には、いずれの国でも過半数の回答者が個人型AIを選んだ。これは国民投票のような多数決では世界型AIを統一規格として採用できないことを示している。また、個人型AIは目の前の患者を最優先してくれるという点で人間の医師に近い存在であることを考慮すれば、耐性菌問題を考慮した医療診断AIよりも自分のことだけを考えてくれる人間の医師に診断してほしいという人々の意思が反映されている可能性がある。

これらの結果から「医療診断AIの登場によって抗生剤の処方最適化されて世界的な耐性菌問題が解消に向かう」という楽観的な期待は、もし民意を考慮するのであれば、実現しないものと予想される[1]。この研究ではAIの技術的な課題ではなく、倫理的な障壁と人々のAIに対する受容性が医療診断AIの普及を阻害する要素となることを明らかにしている。

6.1 性差と年代差

現在のAIに対する世論は、忌避感と期待が混在しており、そこには性別と年齢による傾向の違いがある[16-20]。一般に男性や若年層はAIに関する知識が豊富でAIへの信頼も高いが、年齢が上がるにつれてAIへの信頼が低下する傾向がある[19,20]。

本研究結果では、医療診断AIの標準化に対する態度にも、標準化される際に選好されるAIの種類にも、性別や年代に

よる有意な差があった。個人型AIは目の前の患者を最優先してくれるという点で人間の医師のような設定にしてあることを考えると、世界型AIの忌避感が女性と高齢層で高いことは既存研究の結果と一致する。AIに対する信頼感が高まれば、世界型AIの選好傾向が高まることで耐性菌問題に対してより積極的な回答傾向になる可能性もある。

6.2 ゲーム理論の視点からの解釈

6.2.1 標準化への態度と協力的行動

AIの標準化への賛否の態度は、回答者が自分と相手(他者)の両者が同じ戦略を採用せざるを得ないゲームを受け入れるかどうかの態度としてみなせる。自分と相手と同じ戦略しかとれないゲームでは「互いに裏切る」もしくは「互いに協力する」という戦略の組み合わせしかないため、「相手の協力的行動にタダ乗りする」こともできない。つまりAIが標準化された世界ではフリーライダーは発生しない。

ここで標準化に賛成した回答者が、標準化に反対した回答者よりも世界型AIを選好していたことは自然なことのようである(図9)。他者の協力的行動にタダ乗りすることを許さない(標準化に賛成した)回答者は、自分が協力的に行動するだけでなく、他者にも協力的に行動することを望む傾向があると考えられることができる。

6.2.2 標準化されるAIの選好とコモنزの悲劇

どちらかのAIが標準化される場合、世界型AIよりも個人型AIを選んだ回答者が多かった。これは互いに同じ戦略しか採れない場合には、「互いに協力する」よりも「互いに裏切る」という戦略の組み合わせが選好されていることを意味している。この結果は、回答者が耐性菌問題を常に裏切りが最適戦略となる「囚人のジレンマゲーム」の構造だと認識している可能性を示唆している。そして有効な抗生剤のレパトリーや公衆衛生そのものをコモنز(公共財)として捉える場合、このようなゲーム構造は「コモنزの悲劇」に陥る公共財ゲームであるとみなすことができる[2,21](図12)。

コモنزの悲劇は1968年にHardinが提唱した「誰もが自由に利用できる状態にある共有資源(放牧場・漁場等)を利己的に奪い合うことで、過剰な搾取と資源の劣化(枯渇や消耗)が起きる」というコンセプトである。抗生剤に対する新たな耐性菌が世界中に広がることは、人類にとって有効な抗生剤が一つ喪失したことを意味しているから、有効な抗生剤を人類共有の医療資源として考えれば、抗生剤の使用に関して起こっていることもコモنزの悲劇と同様の現象と言える[2]。

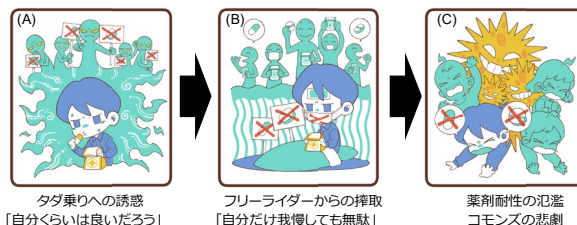


図 1.2. コモنزの悲劇へ至る構造

このような囚人のジレンマゲームの構造では、「周囲の皆が抗生剤を控えているのだから、自分くらいは飲んでもいいだろう」という相手を搾取しようとする動機(図12

A) と「周囲の皆が抗生剤を飲んでいるのだから、自分だけ我慢しても損だ」という相手から搾取されまいとする動機 (図 1 2 B) の両方が抗生剤を過剰に使用する動機となる。このようなゲーム構造では常に裏切りが最適戦略となるので、耐性菌の氾濫が理論上は食い止められないと予想できる (図 1 2 C)。

### 6.2.3 協力行動の促進とタダ乗りの防止策

ゲーム理論の捉え方では、「抗生剤を控える」を協力行動、「抗生剤を気軽に使う」を非協力行動とみなすことができる (図 1)。同じ考え方から「世界型 AI に受診する」を協力行動、「個人型 AI に受診する」を非協力行動とみなせる。もしコモングスの悲劇を避けたいのであれば、協力行動を促進すると同時に、フリーライダーの出現を抑える必要がある。そのためには協力行動を採用する際のコストを下げると同時に、罰則等でフリーライダーになるコストを上げればよい。このような視点は既存研究でも指摘されており、例えば Giubilini は耐性菌問題を悪化させないために、健康な人の軽症な感染症の治療に抗生剤を使用する場合には課税することを提案している [22]。このコンセプトを本研究に当てはめると、世界型 AI よりも個人型 AI の受診料を高く設定することで両方の AI が共存している状態でも世界型 AI の利用を促進し、耐性菌問題に対抗するという考え方が当てはまる。

## 6.3 リミテーション

### 6.3.1 調査時期の影響

日本の調査結果から、新型コロナウイルス感染症のパンデミックは結果に影響を与えなかったことが分かる。当時はワクチンに対する様々な意見が飛び交ったが、同じ公衆衛生の問題とは言え、耐性菌と抗生剤使用の問題に対する意識には影響を及ぼさなかったようだ。そもそも耐性菌はワクチンの知名度よりも低く、存在と脅威が人々に知られていないことが原因かもしれない。

また、調査時期が ChatGPT をはじめとした生成 AI の存在が一般市民に認知される以前だという点は重要である。調査を実施していた当時はまだ AI という存在が仮想的なもので、「AI (エーアイ)」という言葉に対するイメージも今とは異なっていた。特に AI といえば生成 AI というイメージが定着し、AI に対する信頼感が変わってきた現在では、同じ調査をしても回答傾向が変化することは捨てきれない。本質問票を用いて継続的に調査していけば、結果が時代とともに変化していく様子を捉えられるかもしれない。

### 6.3.2 バイアス

ウェブ調査会社を利用したアンケート調査の場合、アンケートは同社に登録済みのパネルにのみ配布されるため、大きなサンプリングバイアスが生じる。加えて、これらのパネルはアンケートのタイトルだけを見て調査参加を決めるため、タイトルに対して関心や意見を持つ個人だけが参加しやすくなるというセルフセレクションバイアスがかかる。これらのバイアスは工程上不可避だが、パネルが大規模であるという利点は大きく、研究者が自ら質問票を配信して発生するバイアスよりは許容の範囲内だと考えている。

### 6.3.3 無気力回答者

ウェブ調査会社は「無気力回答者」と呼ばれる研究上のノイズを除去する方法をいくつか持っている。例えば典型的な無気力回答者は、効率的に電子マネーを回収するため

に短時間でアンケートに答えようとする。そのため、質問文を読まずに表示上の一番上や一番左の選択肢である「1」や「A」だけを選択して回答を終了することがある。これに対して調査会社は、回答時間を計測することで極めて短時間で回答を終えた者を無気力回答者とみなし、有効回答から除外する等の対策をとっている。本研究では 1 分以内に回答を終えた者は無気力回答者とみなされ、データから除外されている。

### 6.3.4 理解度

本研究は耐性菌の問題に詳しい医療従事者の意向を調べるのではなく、耐性菌問題に精通していない広く市民の AI に対する受容性を調査している。これは背景の章でも述べた通り、医療従事者だけでなく広く市民の意思決定が耐性菌問題に大きな影響を及ぼしているからである [12,13]。しかしそれ故に回答者の耐性菌問題に対する知識量や質問文の理解度のばらつきがあることが予想されるが、それについては評価できていない。具体的には、(1) 調査前に回答者が耐性菌についてどの程度の知識を有していたか、(2) 質問票の事前説明を通じて理解がどの程度向上したか、(3) 質問票の内容を完全に理解していたか、の 3 点が不明である。本研究では明らかにできなかったが、AI の嗜好は耐性菌問題についての知識量や質問文の理解度によって異なる可能性は大きい。今後の研究では、今回使用した質問票に耐性菌に関する理解度テストを組み合わせることで、耐性菌問題に対処するための正確な知識の普及の重要性について明らかにしていく必要があるだろう。

## 6.4 意思決定者は誰なのか

最後に、耐性菌問題に対する意思決定者が誰なのかについて議論する。まず本研究の意義に対する反論として、「そもそも抗生剤の処方権限を持つ医師がきちんと処方を管理すればよいのであって、耐性菌問題に市民の感情は関係がない (だからこの研究は意味がない)」というものがある。実際、抗生剤の過剰使用の問題に焦点を当てた既存研究の多くは、処方する側 (医師・病院・政策決定者) を意思決定者として扱っている [4-6,8-15,23]。また、社会的ジレンマを考慮したゲーム理論ベースの数値モデルもいくつかあるが、いずれも医師・病院がプレイヤーとして扱われてきた [6,25-29]。このように、既存の理論では医療体制側が主導となって抗生剤の処方を決める社会だという前提の下で議論が進められてきたという背景がある。現実には患者の意向が抗生剤の処方に影響力を与えているにも関わらず、その点は見落とされてきた [3]。一方で本研究は、患者となり得る全ての市民が否応なく当事者となってもらう耐性菌の問題に着目することで、医療診断 AI の普及には市民の感情や受容性こそが重要である点を指摘している。

## 7. 結論

本研究ではゲーム理論の視点から、どのような医療診断 AI なら普及し得るのかを検討した。世界の耐性菌問題を考慮して抗生剤の処方を決める AI (世界型 AI) と、耐性菌問題を無視して目の前の患者を最優先する AI (個人型 AI) のどちらに普及してほしいかを尋ねることで、医療診断 AI の普及に対する人々の意識を 8 か国で調査した。結果から、(1) 回答者のうちの過半数 (68.6~91.2%) が両方の AI が使える状況を望んでいた。

(2) どちらか一方の AI しか使えない社会にする AI の標準化に対しては、33.3～54.0%の回答者が賛成した。

(3) 社会的ジレンマを回避するためにどちらか一方の AI しか使えない社会にするとしたら、いずれの国でも過半数 (56.1～78.2%) の回答者が個人型 AI を選んだ。

これらの結果は、抗生剤の処方をも最小限にする医療診断 AI は市民から忌避されていることから、たとえ実現しても普及しない可能性を示唆している。つまり、高精度の医療診断 AI が登場したからといって、耐性菌の問題がすんなりと解決するわけではない。同時に、いずれの国でも耐性菌問題よりも個人の望む治療を受けられることを重視している市民が多数派であり、抗生剤の過剰使用は今後も続くという予想が成り立つ。

## 8. おわりに

本研究は、「人類全体にとって有益な AI が誕生したとしても、それを本当に使っていくかどうかは人間が決断しなければならない」領域があること、そしてその領域の一つに抗生剤使用による耐性菌の出現・拡散という問題があることを示している。この耐性菌の問題は、環境問題と同様に世界中の人々が否応なく参加させられてしまう秩序問題 (ゲーム) であることから、人類全員が当事者 (プレイヤー) である。故に、今後悪化が予測される耐性菌問題に AI を有効活用しながら立ち向かっていくためには、このような倫理上の障壁や社会的状況を解消する議論を、社会全体で発展させていく必要があるだろう。

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 23KK0210, 22H01713, 21H01575, 21K03387, 19KK0262, 19K04903, 18K03453, 17H04731 の助成を受けた。

### 参考文献

- [1] Howard A. *et al.* “Antimicrobial learning systems: An implementation blueprint for artificial intelligence to tackle antimicrobial resistance” *Lancet Digit Health*, 6: e79–e86 (2024).
- [2] Ito H, Wada T, Ichinose G, Tanimoto J, Yoshimura J, Yamamoto T, Morita S. “Social dilemma in the excess use of antimicrobials incurring antimicrobial resistance” *Sci Rep* 12: 21084 (2022).
- [3] Ito H, Wada T, Ichinose G, Tanimoto J, Yoshimura J, Yamamoto T, Morita S. “Barriers to the widespread adoption of diagnostic artificial intelligence for preventing antimicrobial resistance” *Sci Rep* 15: 13113 (2025).
- [4] WHO. “Global Action Plan on Antimicrobial Resistance” WHO Press, 2015.
- [5] WHO. Antimicrobial resistance. 2021; <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>
- [6] Jamrozik E, Selgelid M. (Eds.) “Ethics and Drug Resistance: Collective Responsibility for Global Public Health” Springer (2020).
- [7] Antimicrobial Resistance Collaborators. “Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis” *Lancet* 399: 629–655 (2022).
- [8] Llor C, Bjerrum L. “Antimicrobial resistance: Risk associated with antibiotic overuse and initiatives to reduce the problem” *Ther Adv Drug Saf* 5: 229–241 (2014).
- [9] Kumar S, Little P, Britten N. “Why do general practitioners prescribe antibiotics for sore throat? Grounded theory interview study” *BMJ* 326: 138 (2003).
- [10] Davey P, Brown E, Charani E, Fenelon L, Gould IM, Holmes A, Ramsay CR, Wiffen PJ, Wilcox M. “Interventions to improve antibiotic prescribing practices for hospital inpatients” *Cochrane Database Syst Rev* 4: CD003543 (2013).
- [11] Rawson TM, Moore LSP, Zhu N, Ranganathan N, Skolimowska K, Gilchrist M, Satta G, Cooke G, Holmes A. “Bacterial and Fungal Coinfection in Individuals with Coronavirus: A Rapid Review to Support COVID-19 Antimicrobial Prescribing” *Clin Infect Dis* 71: 2459–2468 (2020).
- [12] Cole A. “GPs feel pressurised to prescribe unnecessary antibiotics, survey finds” *BMJ* 349: g5238 (2014).
- [13] Vazquez-Lago JM, Lopez-Vazquez P, López-Durán A, Taracido-Trunk M, Figueiras A. “Attitudes of primary care physicians to the prescribing of antibiotics and antimicrobial resistance: A qualitative study from Spain” *Fam Pract* 29: 352–360 (2012).
- [14] Goff DA, File Jr TM. “The risk of prescribing antibiotics “just-in-case” there is infection” *Seminars in Colon and Rectal Surgery* 29: 44–48 (2018).
- [15] McGow CJ. “Prescribing antibiotics “just-in-case” must be tackled to slow rise in antibiotic resistance” *BMJ* 364: 1553 (2019).
- [16] Longoni C, Bonezzi A, Morewedge CK. Resistance to medical artificial intelligence. *J Consum Res* 46: 629–650 (2019).
- [17] Gao S, He L, Chen Y, Li D, Lai K. Public perception of artificial intelligence in medical care: Content analysis of social media. *J Med Internet Res* 22: e16649 (2020).
- [18] Fritsch SJ. *et al.* Attitudes and perception of artificial intelligence in healthcare: A cross-sectional survey among patients. *Digit Health* 8: 1–16 (2022).
- [19] Selwyn N, Gallo Cordoba B. Australian public understandings of artificial intelligence. *AI Soc* 37: 1645–1662 (2022).
- [20] Yigitcanlar T, Degirmenci K, Inkinen T. Drivers behind the public perception of artificial intelligence: Insights from major Australian cities. *AI Soc* 39: 833–853 (2024).
- [21] Hardin G. “The tragedy of the commons” *Science* 162: 1243–1248 (1968).
- [22] Giubilini A. Antibiotic resistance as a tragedy of the commons: An ethical argument for a tax on antibiotic use in humans. *Bioethics* 33: 776–784 (2019).
- [23] Hersh AL, Fleming-Dutra KE, Shapiro DJ, Hyun DY, Hicks LA. Outpatient Antibiotic Use Target-Setting Workgroup. Frequency of first-line antibiotic selection among US ambulatory care visits for otitis media, sinusitis, and pharyngitis. *JAMA Intern Med* 176: 1870–1872 (2016).
- [24] Fleming-Dutra KE. *et al.* Prevalence of inappropriate antibiotic prescriptions among US ambulatory care visits, 2010–2011. *JAMA* 315: 1864–1873 (2016).
- [25] Smith DL, Levin SA, Laxminarayan R. Strategic interactions in multi-institutional epidemics of antibiotic resistance. *Proc Natl Acad Sci USA* 102: 3153–3158 (2005).
- [26] Roope LSJ. *et al.* The challenge of antimicrobial resistance: What economics can contribute. *Science* 364: eaau4679 (2019).
- [27] Colman AM, Krockow EM, Chattoe-Brown E, Tarrant C. Medical prescribing and antibiotic resistance: A game-theoretic analysis of a potentially catastrophic social dilemma. *PLoS ONE* 14: e0215480 (2019).
- [28] Harring N, Krockow EM. The social dilemmas of climate change and antibiotic resistance: An analytic comparison and discussion of policy implications. *Humanit Soc Sci Commun* 8: 125 (2021).
- [29] Diamant, M. *et al.* A game theoretic approach reveals that discretizing clinical information can reduce antibiotic misuse. *Nat Commun* 12: 1148 (2021).