

1

社会課題を解く視点からの提言

— 人に尊重される健康と医療のデザイン —

Humanity-based Design of Health and Medical Services

友池仁暢 塚田信吾 江崎禎英 山口 類 井元清哉 宮野 悟

1. 健康・予防・医療・介護の新しい時代

情報通信技術（ICT: Information and Communication Technology）はスマートフォンの普及をはじめ日常生活に欠かせぬ仕組みとして活用されている。国際的なデジタルデータ量は2010年からの10年間に40倍に拡大すると予測されているが、その利用が最も期待されているのは医療や健康の分野である。我が国の健康、検診、医療、介護のデジタル情報総量は先進国の中でも最も大きいことが知られている。現場では個人の情報が受診施設ごとに独立し、分断されている。分野や領域をまたいで情報をつなぐことができれば個人の生涯にわたる切れ目のないサービスが可能となるばかりでなく、危機的疾患の早期発見や健康と治療に直結する新しい手立ての創出も期待される。今、我々は開かれつつある未知の大きな世界の扉の前に立っている。

1.1 時代とともに変貌する医療の課題

世界は、その時々々の社会の最も大きな疾病負荷に正面から挑み、様々の解決を見いだしてきた。世界保健機関

（WHO: World Health Organization）が1948年に設立されてから今日まで最も力を注いだ取り組みは「感染症克服と低栄養対策」であった。この中心テーマの見直しが2011年に国連ハイレベル会合で行われ、生活習慣の改善や早期発見・治療により改善が可能な冠動脈疾患、がん、慢性呼吸器疾患、糖尿病などの非感染性疾患（NCD: Non-Communicable Disease）に国際社会が協力して取り組むべきだとする国連宣言を採択した⁽¹⁾。

今やNCDは全世界の死亡原因の60%を占め、その世界的な負担と脅威が21世紀における開発上の大きな問題であるとの認識から、WHOはその対策にパートナーシップを含めた世界における多分野の協働が必要と宣言文に述べている。NCD対策は健康問題にとどまらず開発課題を内包することから今後20年間に47兆米ドルというばく大な経費が掛かるとの予測もある。NCDの提唱と同時にマイクロソフトはWHOと協働して発展途上国によるコンソーシアム・アライアンスを形成し問題解決に向けて走り出した。

我が国の医療は、国民皆保険（1961年発足）を基軸に様々の社会基盤が整備されてきた。この間平均寿命の延伸は著しく2007年に65歳以上の高齢者が人口の21.5%を超え、世界に先駆けて超高齢社会を迎えた。国民医療費は年々増加傾向にあり、今日では1日1,000億円を超している。国は、医療費を含む社会保障費のバランスをとるため2025年を目標に「自助・互助・共助・公助」の地域包括ケアシステムや地域医療構想など計画的整備に乗り出した。2012年には世界に向けて革新的医薬品・医療機器創出のための“医療イノベーション5か年計画”が始まった⁽²⁾。

1.2 診療現場でのパラダイムシフト

医療はミクロレベルの変化も大きい。日本が近代医学とそのシステムをドイツに倣ったこともあって、診療姿

友池仁暢 公益財団法人日本心臓血管研究振興会附属榊原記念病院
E-mail htoimoike@shi.heart.or.jp
塚田信吾 日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所
江崎禎英 経済産業省商務情報政策局
山口 類 東京大学医科学研究所ヒトゲノム解析センター
E-mail ruiy@ims.u-tokyo.ac.jp
井元清哉 東京大学医科学研究所ヘルスインテリジェンスセンター
E-mail imoto@ims.u-tokyo.ac.jp
宮野 悟 正員 東京大学医科学研究所ヒトゲノム解析センター
E-mail miyano@ims.u-tokyo.ac.jp
Hitonobu TOMOIKE, Nonmember (Sakakibara Heart Institute, Tokyo, 183-0003 Japan), Shingo TSUKADA, Nonmember (Basic Research Laboratories, NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION, Atsugi-shi, 243-0198 Japan), Yoshihide ESAKI, Nonmember (Commerce and Information Policy Bureau, Ministry of Economy, Trade and Industry, Tokyo, 100-8901 Japan), Rui YAMAGUCHI, Seiya IMOTO, Nonmembers, and Satoru MIYANO, Member (The Institute of Medical Science, The University of Tokyo, Tokyo, 108-8639 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.100 No.1 pp.3-12 2017年1月
©電子情報通信学会 2017

勢は長い間「実験室的臨床」であったが、アメリカ医学の浸透とともに「ベッドサイドの実践的臨床」に緩やかに移行した。診療記録は診察医や医局の所有だとする捉え方から、診療側と患者の共有という認識や記録の電子化（このことは診療録に標準化・規格化をもたらした）、更には国民の共有財産的位置付け（バイオバンク構想等）を目指す動きもある。臨床データは、定性的アナログ表現より画像化やデジタル化へ、分析は特徴ある症例を集めた少数例の解析から偏りを最小限にとどめるための大規模無作為二重盲検法と多変量解析等と評価分析法が高度化した。病名は、発見者を明示した病名や便宜的保険診断の命名から国際的に標準化（ICD-10）されたものに、診断や治療のための概念抽出は、直感や権威者の見解から EBM（Evidence-Based Medicine）を Gold standard にしたガイドラインの標準化など科学的妥当性の強いものになってきた。この過程を加速したのは、目的指向型研究に、理学、工学、統計学、情報学の知識と技術が導入されたことによる診断法と治療法の飛躍的進歩がある。

医療の高度化は専門職の多様化をもたらした。国家試験が求められる医療職は医師をはじめ 23 職種に及んでいる。専門医の資格認定試験を課す診療科は基本診療 19 科、専門分科 29 科、3 階建て部分と言われる関連専門学会は循環器の場合でも少なくとも 15 に及ぶ。この多彩な職種による医療は、患者中心の取組みや実務としてのチーム医療が必然化し、情報の共有化と医療安全の認識が高まった。ビジネスや工程管理で発達したプロセス管理が診療現場に積極的に取り入れられるようになった。ICT になじみの深いクリニカル／クリティカルパス、質管理（クオリティインデックス）、アウトカム評価はこれまでの医学教科書に記載のない概念である。

1.3 健康と医療の最前線で進むデータのデジタル化

米国オバマ大統領は年頭教書でゲノムプロジェクト成果を基に Precision Medicine Initiative を提唱した。これからの医療は“one-size-fits-all-approach”的な画一型から個別化医療であると宣言し、その実現に網羅的研究の必然性とその展開を述べている⁽³⁾。同年、我が国も医療の研究環境にコペルニクスの転回を見た。国立研究開発法人日本医療研究開発機構（AMED: Japan Agency for Medical Research and Development）が医療における厚労省、経産省、文科省の科学研究助成を統合する形で設立された。AMED の方針の中で、「難病・未診断疾患」いわゆる希少疾患が柱として取り上げられており、ICT の観点からも注目される。なぜなら、機微性の高い疾患を対象とした個人情報とゲノムを含む生体情報を世界的規模で収集するにはデータの共有化、標準化、網羅的解析の基盤に世界に通用する Security Policy

確立が近未来を開く必須要件と思われるからである。

“健康と予防”についての関心が加速度的に高まっている。「国民は…生涯にわたって…健康の増進に努めなければならない」とする世界に類を見ない「健康増進法」が制定されたのは 2002 年である。ICT を活用した活動量、脈拍、睡眠計測……、ウェアラブルデバイス、遠隔医療などが健康雑誌だけでなく専門誌でも度々取り上げられている。臨床系でインパクトファクタの高い雑誌を開くと世界の地域、人種、性別に偏りのないケースコントロール試験、疾病の診断や治療に関するゲノム疫学研究が大規模な形で進められているのがよく分かる。これらの動きを加速しているのはデータのデジタル化と標準化である。

診療現場における医療情報のデジタル化が急速に進んでいる。例えば、2012 年段階で全国の一般病院における電子カルテの普及は 34.2%、オーダーリングの電子化は 47.7% と 6 年前に比べそれぞれ 2.33 倍、1.43 倍に拡大している。従来型の医療でさえ画像診断の高度化と多様化によってデジタル情報の量は拡大の一途である。このように診療録やレセプトで表現し得ない情報が膨大化し、病院情報システム（HIS）は巨大化しつつある。日本医師会は、診療情報全般を国の ICT 施策に呼応する形で統合的かつ組織的に運用する仕組みを提案している。

1.4 データの共有

個別の医療機関ですら巨大化するサーバ対策としてクラウドの活用を始めている。異なる医療機関間での情報の共有と活用はこれからの大きな課題である。国は、医療情報システムの安全管理に関するガイドラインの整備や、情報連携を円滑に行うための ss-mix 策定など医療情報の標準化、広域な医療情報連携を行うための実証事業等を行っている。このように医療の全ての局面で ICT 活用の環境が急速に整いつつある⁽⁴⁾。

2. 健康と医療の生体センシング

‘もの’（IoT: Internet of Things, ‘もの’のインターネット）は、様々な‘もの’（物）がセンサと通信機能を持つことによってインターネットに接続され、情報により制御する仕組みである。IoT は製造業、運輸業、公共（交通制御や空調管理など）を中心に発達しており、ビッグデータとともに今後の医療や健康分野に影響を与えると予測される。その一つは超高齢化社会の医療介護における一層の効率化である。IoT 実用化で早くも成果を上げている事項は、画像センサと AI（人工知能、機械学習）による高齢者の見守り、離床センサによるベッドからの転倒防止、活動量計やスマートフォンに内蔵された加速度センサによる歩数の計測や運動の記録等と広

い領域にまたがっている。

2.1 IoT時代の生体センシング

ICTやIoTを医療現場で生かす上で生体情報のセンシング開発は格好のテーマである。疾病の有無や病状を確認する目的に用いられる生体情報センシングとして確立したものに、心電図などの生理信号の計測、血糖やペプチドなどの生理活性物質の酵素学的測定、これらよりも 10^{-6} 程度微量の腫瘍マーカーのモノクローナル抗体による免疫学的検出などがある。これら生体情報の計測は静脈血の採血や心電計測など定点観測から出発した。身近なところでは、糖尿病の管理にグルコースセンサと比色法を用いた血糖値の測定が一般家庭でも日常的に行われている。今日では、より精密な診断や治療効果の最適化に必要な情報として長時間にわたる連続測定が求められるようになった。その技術的背景として電子機器の小形化と近距離無線の発達が顕著であり、体内埋込形やウェアラブルセンサに注目が集まっている。

2.2 体内埋込形センサの技術的課題

血糖センサは体内刺入式のセンサが小形インシュリンポンプとの組合せで既に実用化されており、将来一部のバイオマーカーは、体内埋込形のセンサによってモニタリングされると予想される。体内埋込に必要なセンサの小形化や多機能化、長寿命化を目標に、微細加工技術、三次元造形、有機系の半導体や導電材などの様々な技術が研究されている⁽⁵⁾。

計測した情報の伝達には無線が用いられる場合が多い。無線の消費電力に対応するバッテリーは、バイオセンサに必要な酵素の寿命とともに課題となっており、プロセッサや無線チップの低消費電力化と平行して研究が進められている。体内埋込形センサは異物に対する生体反応により炎症が生じ、センサの異常や寿命の短縮、痛みなどの症状、癬痕（しこり）を形成する場合がある。長期間の計測には、センサの素材を生体親和性の高い物質にすることが求められる。心臓ペースメーカーはチタン外装の本体とシリコンやポリウレタンで被覆されたリード、白金や特殊合金の電極が用いられている。センサと生体組織の境界面に生じる機械的ストレスは炎症の原因となるため、より生体に適合しやすいソフトマテリアルを用いたセンサの研究も進められている⁽⁶⁾。

筆者らは長期の安定した生体信号計測を目指して親水性の導電性高分子のPEDOT-PSSを繊維と組み合わせる生体電極に応用した⁽⁷⁾。また、導電性高分子と組み合わせる基材として、絹（シルクフィブロイン）を用いることで柔軟性と耐久性を備えた生体適合性の高い複合素材を考案した⁽⁸⁾。本素材は、生体信号の長期計測や生体センサ、バイオエンジニアリングへの応用が期待される。

2.3 生体情報の長期モニタリングの意義

ペースメーカーや埋込形除細動器は無線機能により心電図やパーシングの履歴を遠隔モニタリング可能となっている。慢性心不全や重症な不整脈に対して遠隔モニタリングを実施した場合と、定期的な受診を比較した臨床研究では、遠隔モニタリングを実施した群の生存率が高いことが報告され、モニタリングの重要性が再認識されている^{(9),(10)}。糖尿病などの他の疾患においても、遠隔モニタリングによる治療経過の可視化は、患者の食事や運動、服薬の行動を変容させる効果があることが明らかにされており、今後の医療や健康管理に重要な示唆を与えている。

2.4 生体計測課題の克服：布状の生体電極 hitoe の経験

心臓の長時間検査は、現在24時間のホルター心電図検査が標準的であるが、より長期間の検査により治療に必要な重篤な不整脈や虚血性心疾患が発見されることが明らかとなっており、心電図の長期検査の必要性が高まっている。

心電図を安定して計測するために、皮膚と金属製の接点の境界に電解質ペーストやゲルを使用した生体電極が用いられる。しかし長時間の計測では皮膚の密封や刺激により接触性皮膚炎（かぶれ）などを生じやすいことが問題となっている。この課題を解決するために、ナノファイバ（繊維直径700 nm）を導電性高分子のPEDOT-PSSで導電加工した布帛の生体電極 hitoe を東レと共同開発した⁽¹¹⁾。通常の繊維と比較し、ナノファイバの hitoe は皮膚表面に多数の接触点を形成するため電極抵抗が低下する。また電極が繊維の編布であるため、汗腺を閉鎖することなく通常の布に近似した肌触りにより、長時間接触させても違和感が少ない。ナノファイバとPEDOT-PSSはいずれも親水性で布帛内に多くの水分を吸収する。この水分により皮膚の角質層を保湿することで、皮膚が乾燥しやすい早朝や寒冷期を含め、生体信号の長時間の安定記録が可能になった。

ホルター心電図による不整脈検査では、心房由来のP波を明瞭に導出する必要があり、NASA誘導やCM5等の電極配置により、縦方向の心電図の計測が行われる。筆者らは胸骨上部の電極を安定保持し、上肢の動きによる電極の干渉を軽減させるため、胸郭と肩関節の解剖学的構造に合わせて袖口を大きく解放したY形状のホルター心電図用のアンダーウェアを開発した。長期間の心電図検査にはこれまで体内埋込形のループレコーダが用いられてきたが、手術と費用の制約があった。着るだけで心電図の測れる hitoe により1週間から数か月間の心電図検査が一般化し、心疾患が早期に発見されることを期待している。

2.5 ライフスタイルや QOL を可視化する

食事と運動の習慣は、生活習慣病をはじめとする様々な疾患と関係する重要な因子であり、臨床研究における交絡因子として認知されているものの、そのエビデンスはいまだ発展途上にある。生活習慣や生活の質（QOL: Quality of Life）の評価は、標準化された質問票への記入によって行われており、主観的評価によるバイアスなどの課題がある。将来 IoT を活用した人のセンシング技術と分析技術が発達し、長期のデータから各個人のライフスタイルの特徴を抽出し、客観的に捉えることが可能となるかもしれない。クラウドに集められた食事や運動、医療に関する大規模なデータから、遺伝情報と臨床疾患との関係や、個別のリスクファクタの推定、体質の比較などが可能になり、そのフィードバックによって生活習慣の変容が起こるかもしれない。例えば運動習慣の健康促進効果が証明されれば、運動の価値が再確認され、運動履歴のフィードバックによる各個人の健康管理が活発化することは容易に想像される。

2.6 高齢化社会こそ IoT と AI が期待される

IoT とともに、AI が発展を遂げている。高齢化社会において、IoT による高度な自動化、AI による集中管理は生産性を維持する上で不可欠なものとなりつつある。一方、人の作業を完全に AI や機械に置き換えることはできず、現場での安全管理など一人作業は増える傾向にある。このような背景から、熟練作業者の高齢化による作業中の体調不良や不慮の事故への懸念があり、IoT の機械のセンシングや制御と同時に、人の体調や疲労、疾病の状態を遠隔モニタリングし、安全管理する要求が高まっている。IoT 基盤による生体計測技術が発達した場合、その技術は生産現場や危険作業の現場での活用にとどまらず、慢性的な人手不足に悩む、医療や福祉、在宅医療、健康分野にも活用される可能性がある。

AI は音声認識や機械翻訳に代表される、自然言語処理の分野で大きな成果を上げている。現在医療や介護の現場では PC やタブレット端末が頻用されているが、高精度な音声入力と音声ガイダンス機能を備えたウェアラブル端末が使われるようになるかもしれない。また、疾患を抱えた高齢者が不安を理由に夜間に不要不急の訴えを繰り返して家族や関係者に負担が掛かる状況は珍しくないが、時間外の対応や状況の把握に、音声認識と AI による訴えの整理と解決策の提示は、関係者の負担軽減に有用になるかもしれない。また心血管イベントのような緊急事態に対する備えとして、生体信号のモニタリングは重要であり、生体信号の AI による分析基盤の構築が求められる。AI の異常検知機能は、急変だけでなく、腎機能低下による体液量の増加や、食事管理の不徹底による糖尿病の悪化などの緩やかな異常の検出にも役立つと考えられ、介入が必要な時期を早期発見できる可能性

がある。

2.7 生体情報処理の発展に向けて

生体信号やバイオマーカーのデータは複雑でスパースな情報であり、雑音の混入、患者個別性やアノテーションの欠落、多因子による複雑性などにより、自然言語処理等と比較して普遍的なモデル化への敷居は高い。医療と情報科学の関係者が協力し、医学と統計学の基本に立ち返り、事象に忠実な統計的モデルや、適切な教師情報による効率的な学習によって、これまで記述や分析が困難であった医学と健康に関する因子が包括的に評価され、疾病予防などの新たな知見が得られることを期待する。

（塚田信吾）

3. データの統合的理解と活用

——ゲノムデータ、スパコン、そして AI へ——

3.1 背景

筆者らが研究を行っているゲノムデータの世界はこれから 2~3 年のうちに、その第一波と考えられる超大規模データ化の時代に入る。米国 Seven Bridges Genomics 社の予測によれば、2014~2018 年にシーケンスされるゲノムの量は、2 EByte を超える。米国 UCSC 大学のゲノムデータレポジトリは 2015 年には、月に 1 PByte のペースで増加した。更に、論文情報は自然言語処理の高度化によりコンピュータが理解できる形で電子化が進み、その量は数千万報に既に達している。そしてこの傾向はますます加速している。現在、税金を使って国が無料でデータベース利用や解析を提供することで、経済を活性化させ、国益につなぐというビジネスモデルは破綻を目前にしている⁽¹²⁾。米国 Human Longevity Inc. という民間会社は、10 万人/年の全ヒトゲノムシーケンスの施設を持ち、MRI などのデータを含む医療・健康情報を 2020 年には 100 万人規模で利用できるようにするという。1 民間企業や 1 病院でこのようなことが起こっている。米国 NIH の Associate Director for Data Science に着任した Phillip E. Bourne 博士は、バイオメディカルデータに関するパースペクティブを「写真とカメラ、及びデータ」についてのアナロジーで説明し、現状を“deception”（まやかしの）の状態だと評価している⁽¹³⁾。大きな経済成長が余り期待できず、ライフサイエンスの経済効果が曖昧な我が国では「昨日のように今日を生きていけば、きっと明日は今日の日だろう」という数学的帰納法はもはや通じなくなり、税金に依存したライフサイエンス関係のデータベース事業は相対的に縮小せざるを得ない時期を迎えることになるだろう。一方、中国では、オックスフォード大学の介入の下、中国国立循環器病センターにバイオバンクが設置さ

れ、同大学仕様の下で整備されている（中国の検体は中国外には持ち出せないという法律があり、外国からの拠点は中国内に作るしかない）。スパコンもあり、1万ほどの病院から2016年に既に600万検体が集まっており、2017年には900万検体、そして最終的には1,800万検体を収集するという。システムとしては、日本最大のバイオバンクジャパン（最大で100万検体程度）とほぼ同じものが導入されている。これらに加え、今後、IoTの進歩により、健康・医療に関するデータは新たなデータ取得法とコミュニケーションの革新により有象無象のデータからなる新たな次元へと進化することが想定される。

3.2 参加型の健康・医療開発の必然性

このようなデータの未来世界の中で、人に尊重される健康・医療をデザインするためには様々な観点があるだろう。本節では、参加型のデータシェアリングとその活用のためのICTインフラ（スパコン、ストレージ、通信ネットワーク、データ解析技術等）について述べる。

これまで多額の経費を投入して得た余り多くない（数千～数万人程度）データを一機関等若しくはコンソーシアムで独占して活用することが、ビジネスモデルの多くであった。データ解析の結果は、論文としては発表されるが、個人には具体的に結果が返されることが少ないことなども含め、その合理性、良い点、非効率な点など、多くの議論がなされてきた。一方、最近になって、米国等では、「参加型」(participatory)と呼ばれる大規模なコミュニティが健康・医療をデザインするために形成され、ICTを活用して爆発的な広がりを見せている。このモデルでは、参加者に何らかの形で「メリット」が想定されている。このメリットには、参加者本人へのフィードバックのほか、PatientsLikeMe⁽¹⁴⁾のように特定の疾患を持つ人のコミュニティへの貢献であったり、米国 Mount Sinai の Resilience Project のように健康な人の参加を募り、単一遺伝子疾患の要因を有しているにも関わらず発症していない“unexpected hero”を見いだすことで新たな治療法への道を開こうとするものがある⁽¹⁵⁾。ここで尊重すべきことは、データの帰属は参加者自身であるということであり、コミュニティのオーナーの所有物ではないということである。そこではICT技術により、参加者は自身のデータへのアクセスが容易にならねばならない。また、参加者にとって、自身のデータが置かれたコミュニティにおいて、自身のデータのコントローラビリティが担保され、そのコントロールの実行が容易でなければならない。その結果、前述の Bourne 博士が述べているようにやがてバイオメディカルデータの“democratization”の時代が到来するだろう。人類が継続的に健康・医療のデータからの恩恵を享受していくためには自然なことにように思える。

3.3 データ解析と数理モデリング、人材養成

このようにデータは集合化し、大規模にコミュニティでシェアされ、“democratization”へ向かっている。ここで重要な事項は、データを解析できる人材の育成と確保、及びデータを解析するための計算及び情報通信インフラである。そして、データを統合的に解釈・理解する技術である。米国 NIH では Bourne 博士の下、Big Data to Knowledge (BD2K) センターが全米に10数か所に設置された。予算の70%が人材育成である。我が国においても人材育成の重要性については強く認識されている。

AIに関する技術は成熟期を迎え、様々な分野で社会実装されるようになった。スパコンについても省電力化、大規模ストレージ、クラウド利用が広がった。モバイルネットワーク環境も2020年には5Gとなり、1Gbit/sの速度でつながる。医療の分野においてもしかりである。

東大医科学研究所は、2001年にゲノム診療部と先端医療支援部門が設置され、遺伝カウンセリングと遺伝子検査体制が整備され、主にターゲットシーケンスによりがんのゲノム医療研究の実績を積み重ねてきた。病院の医師も兼ねた医科学研究所先端医療研究センターの研究者がゲノム個別化医療や血液疾患における細胞治療の患者を受け入れてきた。2011年頃より、これを全ゲノムシーケンスと全RNAシーケンス、更にはエピゲノム解析、メタゲノム解析へと拡張しようと考え、ゲノム診療部、血液腫瘍内科、生命倫理、バイオインフォマティクス、メディカルインフォマティクス、スパコンに関わる者たちがイニシアチブをとって臨床シーケンス研究体制を整備した。健康・医療に関わるデータは多様であるが、ここではその経験から得たものを述べる。

本稿を書いている時点で、個人人の正常なゲノムシーケンスを決めるために必要なシーケンスデータは1,000ドル以下の経費でできるようになった。今後ナノポアシーケンス技術が実用化されると、100ドル以下、1時間以内で可能になると言われている。本来ヒトゲノムはA, T, C, Gの4種類の塩基から成る約30億の文字列情報である。この総数約30億文字の情報から成るゲノムシーケンス、及び変異を蓄積したがんゲノムシーケンスの全貌をつなげたシーケンスとして推定し、変異やバリエーションを見いだすためには、Illumina社の次世代シーケンサでは、全ゲノムシーケンスを決める場合、30コピーしたDNAを100文字程度に断片化したDNAから文字列の断片を取り出す。シュレッターから出てきたごみのようにも見える文字列の山である。がんの場合には40～45コピーをシーケンスするため、正常なゲノムとがんゲノムの情報を断片化された文字列断片から復元するには、ジグソーパズルに例えると21億ピースを超えるジグソーパズルを解かねばならない。スパコンと

高速な大規模ストレージが必要とされる理由である。医科学研究所ヒトゲノム解析センターでは、Shirokane シリーズと呼ばれているスパコンが、生命科学研究に限定して全国、及び国際がんゲノムコンソーシアムなどの国際共同研究に活用されてきた。ゲノムデータ解析パイプライン Genomon2 も開発され⁽¹⁶⁾、多くの成果を出している^{(17), (18)}。

2015年4月から本格稼働を始めた Shirokane3⁽¹⁹⁾の導入では、国立大学法人化後の運営費交付金削減がボディーブローのように効き、スパコン経費を30%カットせざるを得なかった。世界の動向に逆行しているとはいえ、最善を尽くしてきた。一方、米国では、2016年3月に、NIHのNational Cancer Instituteとエネルギー省(Department of Energy)がスパコンインフラとストレージなどの資源をがん研究に提供すると発表した。Shirokane3は、440TFLOPS、12PByte Lustre File System、1PByte ニアラインディスクを100PByteまで拡張可能なテープアーカイブシステムとつなげたものから構成され、冷却方式は大形のものとしては我が国で初の大形間接蒸発式冷却装置 Munters 社 Oasis システムを2基導入している。PUE値はシミュレーション値が1.06、2015年度の実績では季節に依存し、1.04~1.35となっていた。PUE値とは、 $W1 = \text{サーバ} \cdot \text{ディスク} \cdot \text{ネットワーク機器の消費電力}$ 、 $W2 = \text{Oasis, 直接外気冷却装置, 除湿器の消費電力}$ とすると、 $PUE = (W1 + W2) / W1$ で表される値であり、1.2以下であれば非常に効率が良くとされている。2011年の東日本大震災の際、東京大学が東京電力の総電力の1%を消費していることがメディア等で紹介された。その後様々な電力節減施策を実施し、平成26年度に比較して平成27年度は全体(本郷、駒場、柏、白金台)として電力使用量は減ったことが報告された。内訳を見ると、白金台キャンパスを除いて、他キャンパスは電力増となっていた。人に尊重される健康・医療のデザインにおいて、ゲノムデータ解析はその事例でしかないが、大量の電力を消費するため、単なるバイオインフォマティクスの技術だけでなく、スパコンの運用方も含め、省電力化技術が必要であることを経験した。コンピュータやストレージの省電力化、更に1Gbit/sのモバイル通信を実現するには、セルのメッシュを細かくしなければならないこと、すなわち中継地点の強烈な省電力化が不可欠であることなどが推察される。ビッグデータを背景に展開される健康・医療のデザインのためには、省電力化技術という大きな課題があると考えている。

3.4 IBM Watson の活用により人智を超えた領域へ

さて、こうしたインフラの下、医科学研究所は、がんのゲノム医療の研究を実践してきた。その結果、血液腫瘍のように相対的に変異が少なく、造血器からの細胞の

分化がきちんと分かっている腫瘍においても、がんパネル(数十から数百種のがんの原因となっていることがよく研究されている遺伝子について解析するもの)を使った解析では、正確な診断が困難なことが幾つかの症例で判明した。消化器がんの研究では、パネルはもちろんのこと全エクソーム(たん白質をコードしている部分で全ゲノムの1.5%程度)のシーケンスをしても、原因の分からない症例に直面してきた。そのため、全ゲノムシーケンスをして、ゲノムの構造の変異や遺伝子制御領域の状態をブラウザ上で「目」で探索し、データベース検索と文献を読むという作業により、膨大な時間と精力を使って原因を解明できたこともある⁽²⁰⁾。米国で2015年に立ち上がった Envision Genomics は、全ゲノムシーケンス解析の臨床的有用性をメッセージとして活動を開始している⁽²¹⁾。特に、希少疾患で多くの有効例を報告している。我が国も含め今後全世界でがん研究が異次元レベルで進展する中で、全ゲノムシーケンスは普通のことになるだろう。

こうした経験から医科学研究所は、2015年7月にIBM Watson をがんの臨床シーケンス研究に導入した。Watson は、2012年に米国のテレビクイズ番組ジョパディで人間のチャンピオンを破ったことで話題となったシステムである。IBMではコグニティブソリューションという言葉を使い、AIはその一部であると説明している。Watsonは自然言語(英語、日本語、中国語2種)を理解し、学習し、推論し仮説を重み付けし、理由とともに提示する。旧来のエキスパートシステムとは全く異なる学習するデータベースと考えればよい。Watsonは様々な分野に応用され、がんについては、北米のトップがんセンターには数多く導入されている。医科学研究所のがんの臨床シーケンス研究チームは、New York Genome Centerで開発された Watson Genomic Analytics (WGA)(現在は、Watson for Genomicsと名称を変更)のearly adaptor programに2015年に採択され、その有効性を確かめるため、学習させながらこれを研究として臨床の現場に用いてきた。導入時の学習内容(New York Genome Centerで訓練)は、2,000万件超のMedlineデータ(文献アブストラクト)、1,500万件超の薬の特許データ、COSMIC(Catalogue of Somatic Mutations in Cancer, UK)というがんにおける体細胞変異データベース、ClinVar(genomic variationとhealthに関する情報、米国NIH)、National Cancer Institute Pathways(米国NIH)などのデータを学習していた。これだけのデータを読み、理解し、記憶し、それに基づいて推論し、間違いを同定することは人智を超えた領域である。しかし、電子化されたデータと現在の技術ではそれが可能となっている。

医科学研究所附属病院では、患者の同意を得てWGAを用いている。文献(22)では、遺伝子の変異が公開され

ている結腸直腸がん細胞株 RKO のデータ⁽²³⁾を用いて、WGA の利用の様子を示した。WGA への入力ファイルは、全エクソームシーケンス解析から得られた 4,237 個の一塩基変異の染色体における座標と置換パターン含むテキストファイルである。この程度の大きさだと数分で結果が返されてくる。この裏側には上述のビッグデータがあり、それに基づいて推論が行われている。必要な場所をクリックすればそのエビデンスが表示される。また、臨床研究の現場の医師・研究者が「おかしい」と判断すれば WGA に学習させることができる。必ず医師が間に入ることが必須であることは言うまでもない。全ゲノムシーケンスの場合では、数百万の変異候補のファイルを入力することもあるが 30 分程度で解析結果が返ってくる。Watson は発展段階にあるが、これまでの経験から、こうした技術を活用するためのデータや知識情報が圧倒的に不足していることも分かってきた。そして Watson から、生命や疾患について、我々はまだ「井の中の蛙」のしているビッグデータの世界にいるということも知らしめられた。

(山口 類, 井元清哉, 宮野 悟)

4. 科学と実務を結ぶ行政の役割

4.1 ICT の普及と活用の実態

分野を超えて広がる ICT 化の波は医療においても例外ではなく、今やほとんどの医療機関にながしかのコンピュータシステムが普及している。しかしながら、現実の医療サービスにおいてこれら ICT の能力が十分生かされているとは言い難い状況にある。特に、急速なコンピュータシステムの普及は、いわゆる「レガシーシステム」と呼ばれる個別医療機関完結型のシステムとして現状を固定化してしまった。

この背景には、そもそも我が国の医療サービス自体が、個別医療機関どころか担当する医師によって完結するスタイルであることが挙げられる。こうした業務体系を見直すことなく IT 化を進めた結果、医療機関ごとにバラバラのシステムが導入されたばかりでなく、個別医師の業務スタイルに合わせたカスタマイズも加わって、IT/ICT が本来持つネットワーク化による業務効率化を阻む原因にすらなっている。

こうした問題は、IT 導入のれい明期には他の分野でも発生し、IT システムの機能を生かすことができるよう BPR (Business Process Re-engineering) が進められてきた⁽²⁴⁾。医療分野においても、チーム医療として比較的業務の連携が進んでいる総合病院や大学病院では、医療機関内において IT/ICT の持つ機能を生かした業務効率化が進められてきた。しかしながら、類似の業務形態になると思われる大学病院においてもシステムの標準化は進んでおらず、ベンダが提示するカタログから医師

が商品を選び、カスタマイズを加えながらできる限り医療現場に負担を掛けずに導入が図られるのが現実である。

比較的 IT に明るい医師が存在する大学病院でも、IT システムが有する機能の大半が使われておらず、システムの維持管理費だけでも年間数億円に上ることも珍しくない。若手医師を中心に医療現場の忙しさが取り沙汰される一方で、こうした業務の効率化を進めるはずの IT/ICT が十分機能を発揮していないのは、大きな問題である。

今後、IoT による社会改革が喧伝される中、医療機関における BPR の取組みがなされないまま、システム導入を図ることは現実的ではなく、医療等 ID による医療サービスの効率化や医療費の適正化といった議論が進む中、医療機関にとってこれ以上の IT 投資は困難という状況にある。

4.2 医療現場と ICT の親和性

医療業務の BPR を図り、IT/ICT の持つ機能を発揮させる際に大きなネックとなるのが、健康・医療情報に対する現場の医師の対応である。個別患者の診断・治療は、担当医師が責任を持って行うため自分の判断の根拠となるデータに対しては自ずと慎重になると言われている。更に 3 時間待ち 3 分診療と言われる医療現場にあっては、多くのデータを比較衡量する時間的余裕もないことから、現実には自らが指示したものではない外部の検査データを活用することは期待できない。

また、広く普及したように見える電子カルテも、詳細な所見や診断内容が記載されるのではなく、コピー & ペーストによる事務作業の効率化がインセンティブとなっており、専らレセプトデータとの整合性が図られることに重きが置かれ、カルテ本来の役割を毀損しているとの指摘もある。

他方、比較的規模の大きな医療機関では、グループ診療が進む中で IT/ICT の機能を活用する素地が生まれつつあり、医療機関ごとの格差はむしろ広がる様相を見せている。ただし、IT/ICT 化が比較的進んでいる医療機関では、独自のアプリケーションを開発することで、閉じた系としての効率化は図られているが、医療システム全体としての効率化につながるかは今後の課題である。

また、IT/ICT の機能の本質は双方向性にあり、医療機関には医療情報の利用者としての側面とともに、情報の発信者としての役割を担っている。NCD (一般社団法人 National Clinical Database) へのデータ登録は、専門医制度の普及とともに広がりつつあるが、こうした情報が広く外部にも公開・活用されることにより、治療行為と結果のフィードバックによる医療サービスの質の向上といったサイクルにつながることを期待したい。

その際、新たな IT/ICT システム普及の鍵は、医師に

とって不可欠なキラーコンテンツの存在にある。忙しい医師にとって「あった方がよいサービス」ではなく、「なければ困るサービス」を提供することが、レガシーシステムに閉じ込められた医療サービスを次のステージに進める原動力となる。このためにも医療等 ID が議論される環境下で、IT/ICT を活用した医療サービスの在り方を医療機関自ら検討することが重要である。

4.3 ビッグデータからクオリティデータへ

近年コンピュータの処理能力が飛躍的に向上した結果、これまで取り扱うことのできなかった膨大なデータの処理が比較的短時間でできるようになり、ビッグデータの中から価値ある情報を取り出すことが可能となった。このことは、各分野においてそれまで専門家の経験則でしかなかった情報に一定の根拠を与えるとともに、それまで見落とされてきた事実気付く切っ掛けを与える可能性をもたらした。

つい先頃にも、診断が難しかったがん患者に対して AI によつて的確な診断が与えられ、適切な治療方法がとられたことにより症状が回復したとの報道がなされた。この AI はがん研究に関する 2,000 万件もの論文を学習させることを通じて、患者の症状との関連性から専門医がたどり着けなかった診断を導いたものである。

こうした報道は、あたかも AI が人間の医者にとって代わるかのごとき印象を与えかねないが、医療分野への適応には幾つかのハードルを越える必要がある。まず、今回のケースはたまたまうまくいった事例であるが、仮にその判断が誤りであった場合の責任体制が整備されていない。次に、AI による診断の信頼性はアルゴリズムを形成する根拠となった論文の信頼性に依存しており、いかに質の高いデータを収集できるかが鍵となる。その上で、あくまで治療に最終的な責任を持つ医師の判断の補助として活用することが重要であり、将来的にはこうした AI による事前スクリーニングが一般化することが望まれる。

そもそもビッグデータ解析は、特定の目的によらず集められた大量のデータの統計解析的手法によって得られた相関性の提示である。したがって、その判断の信頼性は、情報の量及び初期アルゴリズムの正確性に依存することとなる。高度な信頼性が求められる医療分野においては、情報の量によってその品質を担保するには現在入手可能な情報量では不十分である。しかもビッグデータに係る情報処理には膨大なコストが掛かることに鑑みれば、信頼性の高い初期アルゴリズムを形成することが重要であり、一定の品質が確保されたデータ（クオリティデータ）を確保することが AI の将来性を大きく左右することになる。

今後、医療分野において AI 等新たな IT/ICT システムが普及するためには、医療分野における BPR を進め

るとともに、クオリティデータを効率的に収集・利用・提供するサイクルを形成することが肝要である。

4.4 アートからサイエンスへ

医療分野における IT/ICT 化の意義は、単に個々の診療行為をサポートする便利なツールを提供することではなく、従来の医療の在り方を大きく転換する可能性をもたらすことである。元来、医療は長きにわたる人類の治療の歴史に裏付けられた技能の伝承であり、これに個々の医師がその経験に基づく修正を加えながら進化してきたものである。近年ではこうした取組みを「科学的」なデータをもって補強するものとなっているが技能伝承としての本質は変わっていない。

これに対して、IT/ICT 化がその機能を十分に果たすことができれば、全ての治療行為に係るデータや治療結果の共有／フィードバック、更には、予後の状態も含めた患者の生涯データとの付け合わせにより、サイエンスとしての医療が成立することになる。サイエンスの本質は「再現性」であり、全医療機関をつなぐ情報ネットワークにより、同時進行的に進む治療行為の相関性の把握、結果の予測も含めた共通回答の提示といった、全医療機関を頭脳とする常に進化し続ける医療システムを人類は手に入れることになる。

こうした未来の医療の姿を医療関係者が共有しつつ、IT/ICT 化を進めることができれば、健康と医療の形が大きく進化することが期待される。（江崎禎英）

5. 夢を超える力


5.1 健康と医療のデザイン

診断と治療の技術革新は、精度、効果、信頼性、安全性、普及度、利便性に計り知れない進歩をもたらした。予測されたことではあるが、この全ての面で我が国は欧米等の後じんを拝してきた。時代の潮目は健康と医療の在り方にも様々の課題を突き付けている。ICT との関連で見たときの展望と課題は本稿の 1. ～4. で垣間見て頂けたと思う。現時点は既に大変革の渦中にあるとしても、グランドデザインをしっかりとイメージし、それを実行に移す日々の営みを始めるのに遅いことはない。健康と医療のデザインにあたってはビジネス、少子高齢化、産業の空洞化、国民皆保険の堅持等その視点は多様であるが、普遍性や人権の観点から「人に尊重される基盤」が何より求められるのではないだろうか。

5.2 これからの研究者、実務者、デザイナーの養成に向けて

ICT は、対象分野の学理や実務に習熟するとともに、情報・ネットワーク・電子工学に関する知識と実務、プライバシー・倫理や行政についてのリテラシーが要求さ

データをスパコンで個別化医療に翻訳する
 メディカルインフォマティクスの人材の育成プログラム
 と研究体制整備計画年次計画

	2014	2015	2016	2017	2018
人材養成	第1期(10人) → 第2期(10人) → 第3期(10人) → 第4期(10人)				
	 我が国唯一・最大規模の医学・生命科学に特化したスパコン				
	① 2年を1期とするカリキュラム(セミナー・演習・研究への参加)の実施 ② 海外での調査研究活動・研修を支援 ③ 大学院生, 社会人, 企業関係者の参加も可能に				
教育体制整備	【セミナー・演習】 ・スパコン基礎講座 ・ゲノム解読基礎講座 【実習】 ・遺伝子発現解析実習 ・遺伝子変異解析実習	【セミナー・演習】 ・スパコン応用講座 ・ゲノム情報応用講座 【実習】 ・遺伝子多型解析実習 ・遺伝子変異翻訳実習	【セミナー・演習】 ・スパコン講座の改編 ・ゲノム情報講座の改編 【実習】 ・システムバイオロジー解析実習の追加	【セミナー・演習】 ・統合オミクス講座開始 ・全ゲノム解読講座開始 【実習】 ・統合オミクス解析実習の追加	【セミナー・演習】 ・全ゲノム情報翻訳講座の開発 【実習】 ・全ゲノム情報解読実習の実施
研究体制整備	・シリコンシーケンサによる全ゲノム解析パイプラインの整備・改良, 及び臨床シーケンサ導入 ・個別化医療メディカルインフォマティクスのデータ解析ソフトウェアの整備・改良	・事業を継続・発展 ・個別化医療のためのデータベースの整備開始 ・データ管理システム・臨床組織バンクの整備開始	・事業の継続・発展 ・事業評価の実施 ・ナノポアシーケンサなどの新技術に対応した解析体制の整備 ・多体解析体制の整備	・オミクス統合解析体制の整備 ・他機関を含めた臨床シーケンサ体制の整備	・恒常的全ゲノムシーケンサ解析・統合オミクス解析による診断・診療の実現 ・臨床アセスメント方式の実現
啓発	・キックオフシンポジウム ・アウトリーチ活動	・シンポジウム開催 ・アウトリーチ活動	・産業化シンポジウム ・アウトリーチ活動 ・がん臨床シーケンサの実施	・国際シンポジウム開催 ・アウトリーチ活動	・国際シンポジウム開催 ・アウトリーチ活動 ・個別化臨床シーケンサの実施

個別化ゲノム医療の規範ができ、様々の疾患に展開・人材が広がっていく

図1 人材育成の実例

れる総合的な分野である。したがって、ICTの次の時代を企画し、あるいは、実務者を指導する人材の養成は健康や医療にとどまらずどの分野でも絶対的な課題と考えられる。宮野らは個別化医療の観点から人材の養成について実績を示しつつある(図1)。既に古典ではあるが、指導者層の養成に腐心したプラトンは教育機関のアカデミアにおいて、「そもそもそれは、ほかの学問のようには、言葉で表現されえないものであって、むしろ教える者と学ぶ者が生活を共同しながら、その問題の事柄を直接に取り上げて、数多くの話し合いを重ねていくうちに、そこからいわば飛び火によって点ぜられた燈火のように、突発的に、学ぶ者の魂のうちに生じ、以後は、生じたそれ自体が、それみずからを養い育ててゆくという、そういう性質のものなのです」と述べている⁽²⁵⁾。著書の捉え方を述べた箇所であるが、指導者の養成の原点も示されているように思われる。AI, IoT,

Industry 4.0 など人智を超えた展開が期待される ICT が空気や水のように活用される近未来が展望されるので、それにふさわしい教育の場と人材の育成が希求される。

文 献

- (1) Health and Global Policy Institute, "Political declaration of the high-level meeting of the general assembly on the prevention and control of non-communicable diseases," 国際連合総会, 2012.
- (2) 首相官邸, 医療イノベーション5か年計画, <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/iryuu/5senryaku/>
- (3) Precision Medicine Initiative, <https://www.whitehouse.gov/precision-medicine>
- (4) 厚生労働省, 医療分野の情報化の推進について, http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/iryuu/johoka/index.html
- (5) Y.J. Heo and S. Takeuchi, "Towards smart tattoos: Implantable biosensors for continuous glucose monitoring (Review)," Adv. Healthcare Mater., vol. 2, no. 1, pp. 43-56, Jan. 2013.
- (6) J.W. Jeong, G. Shin, S.I. Park, K.J. Yu, L. Xu, and J.A. Rogers, "Soft materials in neuroengineering for hard problems in neuroscience,"

Neuron, vol. 86, no. 1, pp. 175-186, April 2015.

(7) S. Tsukada, H. Nakashima, and K. Torimitsu "Conductive polymer combined silk fiber bundle for bioelectrical signal recording," PLOS ONE, April 2012, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0033689> 2012

(8) T. Teshima, H. Nakashima, N. Kasai, S. Sasaki, A. Tanaka, S. Tsukada, and K. Sumitomo, "Mobile silk fibroin electrode for manipulation and electrical stimulation of adherent cells," Adv. Funct. Mater., 2016.

(9) L.A. Saxon, L. Hayes, F.R. Gilliam, P.A. Heidenreich, J. Day, M. Seth, T.E. Meyer, P.W. Jones, and J.P. Boehmer, "Long-term outcome after ICD and CRT implantation and influence of remote device follow-up The ALTITUDE survival study," Circulation, vol. 122, no. 23, pp. 2359-2367, 2010.

(10) G. Hindricks, M. Taborsky, M. Glikson, U. Heinrich, B. Schumacher, A. Katz, J. Brachmann, T. Lewalter, A. Goette, M. Block, J. Kautzner, S. Sack, D. Husser, C. Piorkowski, and P. Søgaard, "Implant-based multiparameter telemonitoring of patients with heart failure (IN-TIME) : a randomised controlled trial," Lancet, vol. 384, no. 9943, pp. 583-590, 2014.

(11) 塚田信吾, 河西奈保子, 川野龍介, 高河原和彦, 藤井孝治, 住友弘二, "着るだけで心電図を測るウェアラブルインナー," NTT 技術ジャーナル, vol. 26, no. 2, pp. 15-18, 2014.

(12) P.E. Bourne, J.R. Lorsch, and E.D. Green, "Perspective : Sustaining the big-data ecosystem," Nature, vol. 527, no. 7576, S16-17, 2015.

(13) P.E. Bourne, P. 10, 2015, <http://www.slideshare.net/pebourne/big-data-in-biomedicine-an-nih-perspective>

(14) <https://www.patientslikeme.com/>

(15) <http://resilienceproject.com/>

(16) <http://genomon-project.github.io/GenomonPages/>

(17) K. Kataoka, Y. Shiraishi, Y. Takeda, S. Sakata, M. Matsumoto, S. Nagano, T. Maeda, Y. Nagata, A. Kitanaka, S. Mizuno, H. Tanaka, K. Chiba, S. Ito, Y. Watatani, N. Kakiuchi, H. Suzuki, T. Yoshizato, K. Yoshida, M. Sanada, H. Itonaga, Y. Imaizumi, Y. Totoki, W. Munakata, H. Nakamura, N. Hama, K. Shide, Y. Kubuki, T. Hidaka, T. Kameda, K. Masuda, N. Minato, K. Kashiwase, K. Izutsu, A. Takaori-Kondo, Y. Miyazaki, S. Takahashi, T. Shibata, H. Kawamoto, Y. Akatsuka, K. Shimoda, K. Takeuchi, T. Seya, S. Miyano, and S. Ogawa, "Aberrant PD-L1 expression through 3'-UTR disruption in multiple cancers," Nature, vol. 534, no. 7607, pp. 402-406, 2016.

(18) T. Yoshizato, B. Dumitriu, K. Hosokawa, H. Makishima, K. Yoshida, D. Townsley, A. Sato-Otsubo, Y. Sato, D. Liu, H. Suzuki, C.O. Wu, Y. Shiraishi, M.J. Clemente, K. Kataoka, Y. Shiozawa, Y. Okuno, K. Chiba, H. Tanaka, Y. Nagata, T. Katagiri, A. Kon, M. Sanada, P. Scheinberg, S. Miyano, J.P. Maciejewski, S. Nakao, N.S. Young, and S. Ogawa, "Somatic mutations and clonal hematopoiesis in aplastic anemia," N Engl J Med., vol. 373, no. 1, pp. 35-47, 2015.

(19) https://supcom.hgc.jp/japanese/sys_const/system-main_s3.html

(20) K. Yamaguchi, S. Nagayama, E. Shimizu, M. Komura, R. Yamaguchi, T. Shibuya, M. Arai, S. Hatakeyama, T. Ikenoue, M. Ueno, S. Miyano, S. Imoto, and Y. Furukawa, "Reduced expression of APC-1B but not APC-1A by the deletion of promoter 1B is responsible for familial adenomatous polyposis," Sci Rep., 6 : 26011, 2016.

(21) <http://envisiogenomics.com/>

(22) 宮野 悟, "ビッグデータとスパコンの活用によるがんのゲノム医療研究最前線," 医学のあゆみ「がん標的分子と治療開発 : 現状と将来」, vol. 258, no. 5, pp. 383-391, 2016.

(23) D. Mouradov, C. Sloggett, R.N. Jorissen, C.G. Love, S. Li, A.W. Burgess, D. Arango, R.L. Strausberg, D. Buchanan, S. Wormald, L. O'Connor, J.L. Wilding, D. Bicknell, I.P. Tomlinson, W.F. Bodmer, J.M. Mariadason, and O.M. Sieber, "Colorectal cancer cell lines are representative models of the main molecular subtypes of primary

cancer," Cancer Res., vol. 74, no. 12, pp. 3238-3247, 2014.

(24) M. Hammer and J. Champy, Reengineering the Corporation : A Manifesto for Business Revolution, HarperCollins Publishers, Inc., New York, 1993.

(25) "第七書簡," プラトン全集 14, 長坂公一 (訳), p. 147, 岩波書店, 1981.

(平成 28 年 8 月 16 日受付)



ともいけ ひとのぶ
友池 仁暢

昭 44 九大・医卒, 九大で初期研修, 循環器内科と心臓血管研究施設にて臨床と冠循環に関する研究. 昭 50 医博, 米国加大 San Diego 校にて心臓生理. 昭 52 九大復学. 平 3 山形大・医・内科学第一講座教授, 平 13 国立循環器病センター病院長, 平 22 榊原記念病院院長.



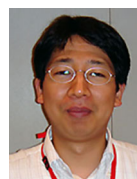
つかだ しんご
塚田 信吾

平 2 富山大・医卒. 医師, 博士 (医学). 臨床医学 (外科系), 生理学 (中枢神経の再生) に従事. 平 22 から NTT 物性科学基礎研究所にて埋込形生体電極 (BMI) の研究過程で導電性高分子の生体電極を考案. 平 25 から東レ株式会社と共同でウェアラブル電極 hitoe を研究開発.



えさき よしひで
江崎 禎英

平元東大・教養・国際関係論卒. 同年, 通商産業省に入省. その後大蔵省, EU (欧州委員会) 産業総局 (DG III) 勤務を経て, IT 政策, エネルギー政策 (地球温暖化問題) 等を担当. 岐阜県出向後, 経済産業省にて生物化学産業課長を経て現在ヘルスケア産業課長.



やまぐち るい
山口 類

平 10 九大・理・地惑卒. 平 15 同大学院博士課程了. 統数研, 九大・数理を経て, 平 18 東大医科研ヒトゲノム解析センター入所. 以来, バイオメディカルデータ解析及び臨床シーケンス基盤技術の開発研究に従事. 現在同センター DNA 情報解析分野准教授. 博士 (理学).



いもと せいや
井元 清哉

平 8 九大・理・数学卒. 平 13 同大学院博士課程了. 同年東大・医科研・ヒトゲノム解析センター博士研究員, 助手, 平 19 准教授. 現在, 東大・医科研・ヘルスインテリジェンスセンター・教授. 博士 (数理学). 著書「統計数理は隠された未来をあらわにする」(共著) など.



みやの きとる
宮野 悟 (正員)

昭 52 九大・理・数学卒. 昭 54 同大学院修士課程了. 同年九大・理・助手. 以来, PCM 方式中継器, 画像信号の符号変調方式の研究に従事. 現在, 東大医科学研究所ヒトゲノム解析センター長・教授. 理博. 平 6 年度日本 IBM 科学賞, 情報処理学会坂井特別記念賞各受賞. 2013 年 Fellow of International Society for Computational Biology. 著書「Foundations of Systems Biology, Springer」など.