

科学技術未来戦略ワークショップ報告書
次世代型の健康リスクマネジメントを実現する
健康医療システムの構築

平成27年1月27日（火） 開催



エグゼクティブサマリー

科学技術振興機構（JST）／研究開発戦略センター（CRDS）は、JSTの研究開発戦略を立案するとともに、我が国の研究開発の推進に資する基礎データおよび知見の収集とそれに基づく戦略的研究分野の提言を行っている。

CRDSでは平成25年度に、先端的な研究領域から得られつつある科学的知見や萌芽的技術等を踏まえて、未来志向で新規性のある社会像を描き、駆動力をもつ科学技術の洗い出しを行なった。その結果、社会が望み求めること（社会的期待）と具体的な研究開発領域／課題の抽出を独立に進めた上で、両者を結びつける（邂逅させる）一連のプロセスを実現した。このプロセスにより、検討すべき研究開発戦略としてA:「医療と病院の変容」、B:「人と機械の新たな関係」、C:「人の能力とコミュニケーション」が取り上げられた。このうち、Aに基づき、平成26年4月に戦略スコープ「医療と病院の変容」を探索する目的で豊かな健康社会のあり方（健康リスク制御システム）チーム（総括:浅島誠上席フェロー、永井良三上席フェロー、チームリーダー:山本義春特任フェロー）が編成された。

健康リスク制御システムチームは、先端的な研究開発動向に基づいて未来の社会像を描き、その実現に向け重要と考えられる研究開発課題と必要な社会制度等を抽出し、これらを組み合わせることによって、保健医療の質を保証しつつコストを低減させるような未来の健康医療システム「健康リスク制御システムの構築」を実現するための科学技術戦略立案を目的としている。

これまでの有識者セミナー、インタビューなどの活動を通じて、本システムの機能である、健康リスクの「モニタリング」「モデリング・予測」「制御・誘導」について、科学技術の抽出を行い、先端性に応じた俯瞰を行った。また、国内外の情報通信技術の健康・医療への応用についてのプロジェクト等を調査した。本チームでの提案はこれら計画されているプロジェクトにコアとなるツールとエビデンスを提供する基盤となる方向でまとめる予定である。

チームの調査・検討内容をより深化する活動の一環として、「次世代型の健康リスクマネジメントを実現する健康医療システムの構築」ワークショップを開催し、上記の先端科学技術、医療、医療倫理、ヘルスケア推進を専門とする有識者より最先端の技術、研究開発、業界などの動向に関する発表と意見交換を行うこととした。本ワークショップでは、参加いただく有識者に事前にアンケートに回答いただき、「健康リスク制御システム」の構築に資する先端科学的シーズと将来的な研究テーマやそれを達成するための望ましいファンディング形式などについて意見を集約した。これらも踏まえて、今後の課題抽出・研究推進にあたって必要な方策、また本研究領域に公的資金を投入する意義の明確化などを議論した。

その結果、主に以下のような研究開発の重要性が挙げられた。

- ・ 被験者の負担にならないセンシング技術、モニタリングに耐えるバッテリー技術
- ・ 健康から疾患までの各ステージに応じて、悪化の状態遷移を予防するエビデンスを出していく研究
- ・ モニタリングから分析、予測を導く方法論や、それに必要な定量的な指標の抽出、制御手法の開発
- ・ 社会受容性向上を見据えた教育も含めた行動誘導や文化醸成

- ・産官学連携のデータ利活用の仕組みづくり

また、これらの研究は広範囲であり、必要な研究者、関係者が多様であることが指摘され、実際の研究やその評価を行なうにあたり個別の疾患やステージで研究のアプローチが違ってくることが指摘された。

今回のワークショップで得られた意見や提案を整理、統合し、多くのステークホルダーとの関わり方やアウトプットイメージを明確にすることに留意しつつ、健康リスク制御システムチームが作成する提案書へと反映する予定である。

目 次

エグゼクティブサマリー

1. 第一部「健康リスク制御システム」とは？	1
主催者挨拶	
吉川 弘之（JST/CRDS センター長）、永井 良三（JST/CRDS 上席フェロー） ...	1
1.1 趣旨説明	
山本 義春（JST/CRDS 特任フェロー、健康リスク制御システムチーム リーダー）	2
2. 第二部 パネルディスカッション：社会実装の方法と課題	13
（司会：早野 順一郎（名古屋市立大学医学部研究科））	
2.1 梶井 英治（自治医科大学地域医療学センター）	
地域医療の現状と課題	13
2.2 水野 正明（名古屋大学医学部附属病院 先端医療・臨床研究支援センター）	
社会基盤としての健康・医療統合システム	14
2.3 浅野 健一郎（株式会社 フジクラ 人事・総務部 健康経営推進室）	
「健康リスク制御システム」の社会実装の方法と課題<健康経営の視点から> ...	19
2.4 佐藤 肇（株式会社 東芝 ヘルスケア社ヘルスケア医療推進部）	
個別化予防・医療を実現する「日常人間ドック」の社会実装に向けて	25
2.5 総合討論	28
3. 第三部 講演：健康リスク制御の ELSI	36
（司会：前田 知子（JST/CRDS））	
3.1 瀧本 禎之（東京大学大学院医学系研究科 医療倫理学）	
健康リスク制御の ELSI –脳科学研究の倫理から公衆衛生の倫理へ	36
3.2 質疑	37
4. 第四部 提言：科学技術としての「健康リスク制御システム」	42
4.1 モニタリング（司会：本多 敏（慶応大学理工学部物理情報工学科））.....	42
4.1.1 板生 清（ウェアラブル環境情報ネット推進機構）	
健康リスク制御システムにおけるウェアラブルの役割	42
4.1.2 牧川 方昭（立命館大学理工学部ロボティクス学科）	
健康モニタリングの TPO	50

4.1.3	橋本 浩一（東北大学大学院情報学研究科） Active tracking/sensing	56
4.2	モデリング・予測（司会：野村 泰伸（大阪大学大学院基礎工学研究科））…	65
4.2.1	砂川 賢二（九州大学大学院医学系研究科） 生体機能融合情報治療がもたらす医療革命	65
4.2.2	合原 一幸（東京大学生産技術研究所） 未病状態の発見と超早期治療を実現する DNB（動的ネットワークバイオ マーカー）	72
4.2.3	石垣 司（東北大学大学院経済学研究科） 大規模データの統計的モデリングとパーソナライゼーション	78
4.3	制御・誘導（司会：宮川 剛（藤田保健衛生大学 総合医科学研究所））…	82
4.3.1	内匠 透（理化学研究所 脳科学総合研究センター） 動物モデルを用いた行動神経科学	82
4.3.2	川人 光男（ATR 脳情報研究所） 脳科学に基づく健康関連行動の誘導技術開発にむけて	91
5.	まとめ	97
5.1	ワークショップのまとめ 山本 義春（JST/CRDS 特任フェロー、健康リスク制御システムチーム リーダー）	97
	主催者挨拶 永井 良三（JST/CRDS 上席フェロー）	100
付録	101
付録1	プログラム	101
付録2	参加者一覧	103
付録3	アンケート	105

1. 「健康リスク制御システム」とは？

主催者挨拶

(吉川センター長)

健康リスクマネジメントのことが言われ始めたのは、健康というものが科学の対象になったことの一つの現れであろう。これについて、国が支援する大きなプロジェクトとして、あらゆる形を作っていく。そのような作業が今こちらで行われているということ。ワークショップには、将来このような研究に携わる方々も中にはおられるわけだが、幅広くいろいろな意見を交換しながら、そのプロジェクトを上手に作っていこうという考え方だと思ふ。

生命科学は今非常に進んでいて、それが医療にいずれ使われることが見通される中で、大変な期待が社会に出ている。健康というのは、現代社会での人々の最大の期待の1つ。その意味で、ことのほか一般の人々は生命科学にやさしい気もする。大変期待されているということだと思ふ。従って、我々科学者としては、本当にその成果が届くのかどうかをしっかりと確認しながら、当プロジェクトを作っていくという基本的姿勢が必要だと思ふ。

CRDS では研究プロジェクトを作る際に、大きく分けて2つの方向を考えている。1つは、伝統的なやり方で、生命科学なら生命科学ということで、新しい知見が展開したとき、それが社会のいろいろなシステムに実装できるのだという夢を持って、そのプロジェクトを研究の対象にするもの。これは伝統的なプロジェクトの作り方。それは一種の調和主義で、科学というのは生まれた知識を使えば、いいことが生まれるということだった。しかし、このように多様化した社会では、例えば、生命科学に対する社会の期待はどのようなものなのかをより詳細に突き詰めなければ、公的なお金を使うプロジェクトとしては、進んではいけないのではなかろうかという考え方もある。その意味でプロジェクトの目標をどのように定めるかについて、いろいろな議論がされてきた。

そうした考えからもう1つとして、人々が何を期待しているのかという社会的期待をまず先行させて、何ができるかという専門家側のメッセージなしに、専門家に主導してもらうのではなくて、一般の人々が期待を述べる。それを出発点として、それを見た専門家が、それでは何ができるかを答える。そのような構造のプロジェクトのつくり方を考えてきた。これを邂逅型という呼び方をしている。なぜ邂逅かというのは、後で説明があると思ふ。

しかし、社会的期待というものがくせ者で、これをどのようにして抽出するのか。社会的期待というのは、もちろん全社会、日本だけではなくて世界の人々の期待ということで、定義は簡単。しかし、その中には大きく分ければ、例えば、専門家で現在の知見をたくさん持っている人、あるいは将来についての見通しのいい人がいる一方で、期待というのはいわば専門性のない人々の期待なので、可能性については精度が悪い。そのようなことで、社会的期待というのは、一般の人々、いわば完全なる成果の受け手という立場で期待を述べる。そのような邂逅のやり方。

もう一方は、専門家が人々が何を求めているのかを考えながら、同時に自分たちができることをプロジェクトに仕立て上げていく。特に非常に先端的なことになると、一般の人々にはまだ届いていない。そのような専門家の頭の中にある一つの予測に基づいて、プロジェクトをつくる。それが未来創発型。これに対し、前述の社会的期待をそのままプロジェク

トにするというのを、課題解決型と呼んでいる。その2つの方法があり、まだ我々としては未来創発型のプロジェクトの経験がないが、先端的な生命科学あるいは医療科学というものを基にして、将来の人々の期待に応えるようなプロジェクトを創ろうではないかという試み。そのために、中心となった山本先生は大変苦勞して、そのようなことを経てここまで来たということ。

今日は、そのようなプロジェクトを見ながら、さらに幅広くいろいろな方の意見を伺えればと思う。よろしくお願いします。

統括挨拶

(永井上席フェロー)

従来、病気というものをなるべく要素還元的に、少ない要素で理解しようという研究が進んできた。しかし、情報が増えてくると、必ずしも決定論的な世界ばかりではない。さまざまな因子が複雑に絡んでいる中で、病気や健康を考える必要がある。それは、まさに決定論的医学から確率論的医学への移行である。

「健康医療システムの構築」は、情報爆発時代を迎えた今日の状況にふさわしいテーマである。この領域の推進には、情報科学あるいはナノテクやデバイス開発が重要で、さらにこれを社会の中で検証し、実装していくためには、社会との協調が求められる。吉川先生がおっしゃられた社会的期待にどのようにして応えるかという問題であり、未来へ向かっての新しい科学技術研究のあり方を考えることにもつながる。

これからのライフサイエンスの研究の一つのモデルとして、充実した議論をしていただければと願っている。どうぞよろしくお願いします。

1.1 趣旨説明

(山本リーダー)

プロポーザルの「次世代の健康リスクマネジメントを実現する健康医療システムの構築」、略称「健康リスク制御システム」はCRDSのライフサイエンス・臨床医学ユニットとシステム科学ユニットが中心になって、イノベーションユニット、情報科学技術ユニット、政策ユニットを含めた合成チームによって検討している。

(P2) 人口の高齢化に伴って、病院から家庭へ、さらにコミュニティへといったことを可能とする新たな健康医療システムの構築が求められている。そこで、本プロポーザルでは、日常生活行動の制御・誘導やストレスマネジメントという健康リスクの制御をコミュニティで行えるようなシステムの構築を提案する。具体的には、健康行動・健康状態のモニタリングとモデリング、行動とストレスの統合生理学・脳神経科学に基づく予測・制御手法の開発を行なう。これによって、ライフサイエンス・臨床医学領域へシステム科学によるツールとエビデンスを供給する。また、社会実装の戦略として、医療上のエビデンスの確立や保健医療経済的課題解決による短期的な社会受容性の向上と、先端技術の可能性から発想される長期的な未来型健康社会の創出を両立させる。これは、先ほどセンター長の話しにあったように、新たなプロポーザル形式の提案。

(P3) 従来のCRDSの戦略立案プロセスには2種類ある。1つは分野ごとの研究開発動向の俯瞰に基づくもの、もう1つは社会的な課題解決を目指すもの。それぞれの利点の、先端性の担保とか、社会的期待への対応、その両者を取り込んだ立案プロセスを、という

ことで、昨年度、未来創発型アプローチが発案された。本プロポーザルは、その最初の具体的な取組み。先端的な研究開発動向に基づいて未来の社会像を描き、その実現に向けて重要と考えられる研究開発課題と必要な社会制度等を抽出するもの。

(P5) 大まかな流れとしては、持続可能な健康医療制度が定着し、健康寿命の延伸、全世代のQOLの向上が見られるような未来の実現に向けて、健康医療関係の先端的な科学技術の中から健康リスクの制御に寄与するものを列挙して、それらを組み合わせて、未来の健康医療システムを構築するとともに、必要なエビデンスやフィールド、人材を提供するということ。

(P6) 昨年度の未来創発型アプローチで挙げた先端技術を含む、有識者セミナーで検討された健康リスクのモニタリング及びモデリング・予測、制御・誘導に資する先端科学技術の例。

(P7) これらを組み合わせて健康リスクをさりげなく検知し、介入のタイミングを予測し、さらには効果的な制御・誘導を行うことによって、健康リスクを制御して、保健医療の質を保証しつつ、コストを低減させるようなシステムを構築する。

(P8) このようにシステム科学がツールを提供し、医師、コメディカル、保健医療施策担当者が病院から家庭、家庭からさらにはコミュニティへと実装のフィールドを広げていくことによって、健康寿命の延伸や医療費の削減にも貢献する。次にこのようにして創出した未来の健康社会が、わが国をはじめとする諸外国の現在及び将来の社会的課題を解決し得ることについて紹介する。

(P10) 人口分布の高齢化について。現在わが国では約8割が病院で亡くなっている。病床数が今と変わらなければ、2040年には半数近くの方が病院外で最期を迎えることになる。高齢者の健康医療システムをコミュニティに拡張していく必要性は明白。

(P11) また、健康寿命延伸の観点からは、制限要因として、認知症やフレイル、転倒・骨折という日常の不活発化がリスク要因となる。その意味では、高齢者医療の比重は、加齢に伴う日常生活の健康リスク制御へとシフトする必要がある。

(P12) 死因として、がん、心疾患、脳血管疾患等、日常生活習慣的行動がリスクとなる疾患が上位を占める。推計によると、これらの疾患およびその一部の原因を形成するII型糖尿病の7~9割は、日常生活の習慣的な行動を変容させることで発症を回避させることが可能。

(P13) 疾病予防の重要性は周知のとおりで、現状は疫学的に明らかになったリスクに関する情報提供や教育・指導、さらにはハイリスク群には定期的な検査に基づいて保健指導が行われている。ただし、健康被害が顕在化するまでの期間が長いために、その場ではストレスの解消になるが、長期的にはリスクになるような、目先の報酬を伴う行動を選択してしまうという難しさがある。それでも、健康のリスクとなるような日常行動を長期的に変化させることが、健康寿命延伸の鍵であることが認識されるようになってきた。また、モニタリング技術の発展があり、日常生活行動のモニタリングによって、健康リスク等を早期検知することや、制御することができるのではないかという期待もある。

(P14) 米国のピュー・リサーチ・センター (Pew-Research Center) の報告書はインターネットの発展が10年後の生活をどのように変えるかについて、有識者のインタビューをまとめたもの。その中で多くの有識者が、正の側面として、医療と公衆衛生の影響を挙げている。具体的にはウェアラブルデバイスとか、家庭・職場のセンサーが浸透し、疾病自

体に加えて、そのリスクの初期検知が可能となり、あるいは、日々の、または時々刻々の処方や行動変容が可能になるかもしれないというもの。一方、負の側面として、これも多くの有識者が、人間の精神的な健康への影響や、健康を害する行動の増長を挙げている。これは、ネット依存等、現在青少年にも深刻な影響を与え始めている問題。

(P15) この負の側面について、もう少し考える。確かに科学技術の発展は、機械化や自動化、インターネットの発展に代表される情報化等を通じて現代社会を豊かにした。しかし、同時に、例えば、ここに挙げたような、生活習慣病や精神疾患という慢性疾患のリスクも生み出してきた。これらのリスクは社会生活に密接に関わるために、完全に取り去ることは不可能だが、人工的であるがゆえ、それらを管理・制御することはある程度可能と思われる。本プロポーザルでは、習慣行動や精神疾患の脳神経科学の最新の研究を取り込むことによって、これらの慢性疾患のリスクの制御を目指す。

(P16) これまでの説明のとおり、健康リスクの制御の重要性は明らか。実際に、承知のとおり、現在国内外でさまざまな研究プロジェクトが計画。ただし、ここに強調しているような具体的な方法論といったものは少ない。これに対して本プロポーザルはこのようなシステム科学のツールを用いて、コアとなる方法論を提供しようというもの。

(P18) 引き続いて、概要と方向性について。本スライドはこれまでのスライドを文章としてまとめたもの。

(P19) 現在、情報通信技術の健康医療応用に関連して、コミュニティ・ヘルスケアでの利活用とか、診断・治療システムを家庭へ、さらに健康診断・レセプト・ゲノム・医療情報のデータベース化と個別化医療の推進といった、さまざまなプロジェクトが国内外で計画されている。本プロジェクトはそのコアとなるツールとエビデンスを提供して、それらと連携して、基盤となる社会の変化を促進していくことを目指す。

(P20~21) 構築するシステムの俯瞰図。3つの機能として、モニタリング、モデリング・予測、制御・誘導を挙げている。これらを統合して、これまで述べてきた未来の健康社会を実現したいと考えている。モニタリングでは、統合的な時空間センシング、それから大規模で標準化されたデータベース構築を、モデリングでは、健康リスクの因子・バイオマーカーの発見・同定、さらには発症予測や異常発見技術の開発、個別化健康リスク評価プラットフォームの構築等を考えている。制御・誘導では、健康行動・健康状態の先制的な制御や誘導、さらには生活や環境の再デザイン等による健康維持・増進を想定している。それぞれの機能に資するシーズとして、チーム会議で上がってきたものを先端性に依拠して例示。先端性が高いと考えられるものを下側に配置した。

(P22) 研究開発の戦略として、未来創発型のプロポーザルということで、長期的な出口を見据えて、初期の段階から、下側にあるような先端的な技術の研究開発およびその融合を目指す。健康のリスクをさりげなく検知して、介入のタイミングを予測して、効果的な制御・誘導や社会のデザインを行うというような、リスク制御医療というものの創生が最終的な目標。一方で、このようなシステムが社会に受容されていくためには、それが役に立つこと、特に医療上のエビデンスが確立されていることが重要。そのためには、矢印はあくまでも一例だが、比較的手の届きやすい技術を統合して、ハイリスク群を対象として、健康リスク制御の効果を検証するような研究が、短期的には求められる。

(P23) さらに中期的には、企業や自治体等のコミュニティレベルで、例えば、長期の先端的な計測、ビッグデータの技術、ネットワーク科学等を取り込んで、保健医療の経済

的な課題解決を視野に入れた最適化手法の確立が重要と考えている。

(P24) 以上を勘案したマイルストーンの案を示す。研究開発の戦略としては、医療上のエビデンスの確立、コミュニティでの有用性を示していくことと、先端技術の要素技術の開発を並行させる。短期的・中期的な社会実装の例をその都度示していくことによって、病院・医療、社会の変容を引き起こし、同時に必要となる産業や人材育成を行う。最終的には20年後に新たなリスク制御型の健康医療システムが確立しているというところを目指す。

(P26) 期待される効果。医療と病院の変容に関しては、疾患発症までの過程を制御することによる慢性疾患の発症回避と健康寿命の延伸とか、そのことによる医療費の抑制・削減、保健・医療に関わる専門職の負担軽減等が期待される。また、高齢化社会における病院診療から在宅診療、さらにはコミュニティ・ヘルスケアへの医療ニーズのシフトに対応すること、また、システム科学・データ科学に基づく新たな保健・医療・福祉戦略の提案を行うということが期待される。

人材育成面では、構築した次世代型システムに精通した保健・医療専門職の育成と、逆に保健・医療、生体・生理システムに通暁したシステム科学者やデータ・サイエンティストの育成が重要。

波及効果として、健康経営戦略や自治体の医療費削減施策への展開、さらには健康関連の新規産業・ビジネスモデルの創出が考えられる。

(P29) 本日のワークショップは、健康リスク制御システムのシーズと研究推進、社会実装の手法について、さらなる深掘りを行い、その特徴や課題をより明確にしたいと考える。

この後、第二部、パネルディスカッションとして、要素技術開発と並行して社会実装を行っていく際の方法と課題について、論点提供、事例紹介。第三部では、実装上の課題の1つ、倫理的、法的、社会的な問題について、社会医学、社会科学の観点からの提言。最後に第四部で、健康リスク制御システムのシーズを中心に提言をいただく。

(P30) ワークショップのポイントとして、この間、本プロポーザルを、有識者および府省庁の関係者のヒアリングを進めた。その中で特に本プロポーザルは、モニタリング中心の研究プロジェクトが非常に多い中で、単なるデータの取得だけではなく、モデリングと予測とか、制御と誘導という、横串を刺すことを視野に入れていることに大きな期待が寄せられている。そこで、本日は可能な限り、この横串を意識した議論を行いたいと考えている。具体的には制御すべき健康リスクを明確にした上で、例えば「何を、いつ、どうするか?」とか、「そのために何を測るか?」という点を意識した議論になればと考えている。

(P31) 横串関連では、事前にみなさまに実施したアンケートで、データの標準化や処理、生活要因のモデリングの重要性とゲノム情報を含めた各種コホートデータとの結合の問題、健康行動・健康状態の新たな予測手法の開発、先端要素技術を含めた柔軟な、双方向の横串構成、さらにはしっかりと科学的エビデンスを打ち出すための研究の設定等が重要であるという意見を受けた。これらについても、可能であれば適宜議論したい。

(P32) 第二部と関連して、アンケートでは社会実装上の提言も数多く届いた。いかにして関心の低い人を巻き込むか、そのためのデザインをどうするか、あるいはそれをいかに科学的に行うかという点や、健康経営や産業面でのインセンティブを高めるアイデア、さらには教育や動機づけの技術開発も含めて、健康リスク制御システムの実装を推進する


人材をいかに育成するか等についても意見をいただいた。これらについても、第二部を中心に少し議論したい。

(P33) 課題の1つに ELSI (Ethical, Legal and Social Issues) があるが、健康リスク制御システムは第一義的には自己制御のための補助システムで、実は既にセルフメディケーション等の形で行われている。その手法、効果等が、まずは科学的な研究対象になる。一方、社会へデータや予測が提供されると、さまざまな主効果の他に、例えば、リスクの不可知性、それゆえの平等に基づく公的社会保障制度等への影響という、副次的な効果が現れる。後ほど瀧本先生に講演いただくが、例えば、不健康の自由を許容するかどうかという公衆衛生の倫理問題も生じる。バランスのとれた社会実装が必要。

一方で、先ほどの社会実装関連の提案とも関連するが、エビデンスが出てくると、よりよい QOL に向けて自己啓発、自己選択、自己誘導を行う文化が醸成される可能性もある。そのようなかたちでの普及も一考に値すると考えている。本日は、このようなエビデンスの問題についても議論を深められたらと考えている。

発表資料 1.1

1



【戦略スコープ】
豊かな健康社会の在り方(医療と病院の変容)

【戦略プロポーザル】
次世代型の健康リスクマネジメントを実現する健康医療システムの構築

【略称】健康リスク制御システム


総括責任者: 浅島上席F(ライフサイエンス・臨床医学U)
永井上席F(ライフサイエンス・臨床医学U)

アドバイザー: 木村上席F(システム科学U)
吉川上席F(イノベーションU)

リーダー: 山本特任F(システム科学U)

サブリーダー: 矢倉F(ライフサイエンス・臨床医学U)


メンバ: 見山F、辻F、飛田F(ライフサイエンス・臨床医学U)
鈴木F、富川F、中村特任F(システム科学U)
前田F(政策U)
土井F(情報科学技術U)



2

ポイント

- ・ **病院から家庭へ、家庭からコミュニティへ**、を可能とする新たな健康医療システム(病院の変容)
- ・ **疾病の制御から健康リスクの制御へ**:コミュニティにおける日常生活行動の制御・誘導やストレスマネジメントへ(医療の変容)
- ・ 健康行動・状態のモニタリングとモデリング、行動とストレスの統合生理学・脳神経科学に基づく予測・制御手法の開発—**ライフサイエンス・臨床医学領域へのシステム科学によるツールとエビデンスの提供**
- ・ 医療上のエビデンス確立や保健医療経済的課題解決による短期的(5~10年)な社会受容性の向上と、先端技術の可能性から発想される長期的(10~20年)な未来型健康社会の創出を両立—**新たなプロポーザル形式での提案**



3

「戦略プロポーザル」のテーマ決定プロセスと特徴
~それぞれの特徴を活かし多様な戦略を提案~


1. 分野毎の研究開発動向の俯瞰に基づくもの
 - ・ その分野の先鋭的發展に寄与する
 - ・ 社会的期待をその分野の視点だけから見がち
2. 社会的期待に応えることを重視したもの
 - 2-1. 課題解決型アプローチ

課題が解決された社会像を描き、その実現に必要な研究開発課題を抽出

 - ・ 社会的期待と研究開発課題を分野横断的に検討できる
 - ・ 課題解決にはかならずしも先端的な研究開発課題が必要とされないことも
 - ・ 社会像の新規性は今ひとつ
 - 2-2. 未来創発型アプローチ(本プロポーザルが最初の挑戦)

先端的な研究開発動向に基づいて未来の社会像を描き、その実現に向け、重要と考えられる研究開発課題と必要な社会制度等を抽出


 - ・ 社会像は正負両面を検討
 - ・ 未来志向の社会像を分野横断的に描くことができるが、方法論としては、まだ発展途上



4

発表内容


- ・ **未来の健康社会の創出(目的と目標)**
- ・ 社会的課題との整合性
- ・ プロポーザルの概要と方向性
- ・ 期待される効果
- ・ プロポーザルの特長と課題(WSで検討)
- ・ 国内外の動向(以下G4用)
- ・ 検討の経緯



5

未来創発型アプローチによるテーマのプロポーザル検討の流れ


- 先端技術によって描き出される未来の社会像
~これまでにない医療と病院の形が実現している
⇒持続可能な健康医療制度の定着
⇒健康寿命の延伸、全世代のQOLの向上
- この実現に向け:
 - ・ 健康医療関係の先端科学技術の中から“健康リスクの制御”に寄与するものを列挙
 - ・ これらの技術を組み合わせることによって未来の健康医療システム「健康リスク制御システム」を構築



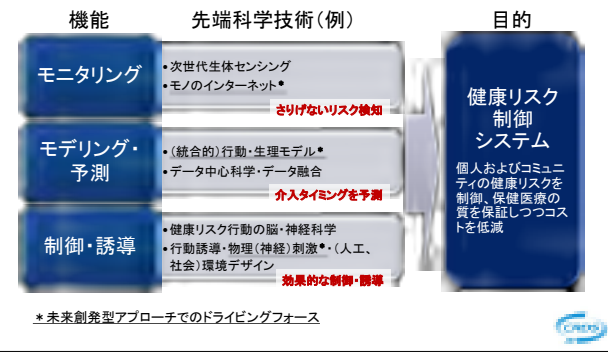
6

未来創発型アプローチにより抽出されたものも含む健康医療関係の先端科学技術

モニタリング	IoT	MEMS/One-chip sensor	次世代型ウェアラブルセンサ
モデリング・予測	(統合的)生理・行動モデル データ中心科学・データ融合		
制御・誘導	環境デザイン	行動の脳・神経科学	行動誘導



【目的】先端科学技術から導かれる
未来の健康医療システムを構築



【目標】「健康リスク制御システム」による
医療と病院の変容と進化



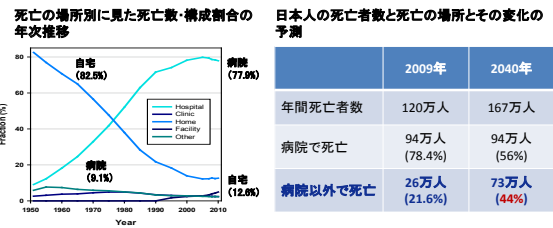
発表内容

- 未来の健康社会の創出(目的と目標)
- 社会的課題との整合性
- プロポーザルの概要と方向性
- 期待される効果
- プロポーザルの特長と課題(WSで検討)
- 国内外の動向(以下G4用)
- 検討の経緯

【高齢者医療】Aging-in-Placeの必要性

人口高齢化によって

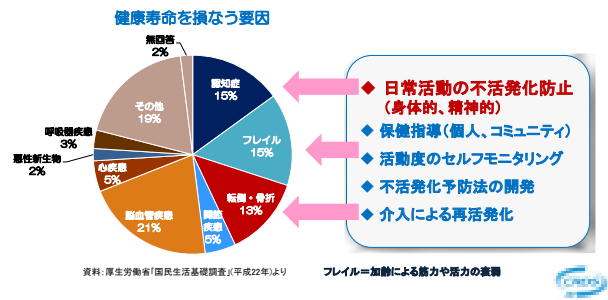
- 2040年に年間死亡者数が167万人
- 病床数が今と変わらなければ、73万人(44%)は病院外で最期を迎える(病院の変容が必要)



Aging-in-Place (AIP) = 住み慣れたコミュニティでその人らしく最期を迎える

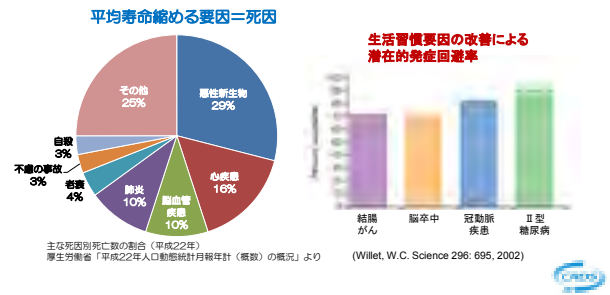
【高齢者医療】健康寿命延伸のために
必要な取り組み

高齢者医療のウェイトは加齢に伴う日常生活の健康リスク制御へシフトする必要がある(医療の変容が必要)



【生活習慣病】日常生活行動の変容が
全ての年代で求められる

日常生活の習慣的行動を変容させることが、多くの疾患発症を予防する
➢ 疾患のリスクは日常生活習慣行動に内在(医療の変容が必要)



【生活習慣病】行動変容の重要性・困難さ、日常生活行動モニタリングへの期待

13

一次予防 **二次予防** **三次予防**

- 一次予防:**
 - 健康リスクとなる日常行動（大半はmindless）を長期的に変化させることが健康寿命延伸の鍵（Wansink, 2010）
 - 日常生活行動モニタリングにより健康リスクを早期検知・制御することへの期待（Pew Research Center, 2014）
- 二次予防:**
 - 異常発見・自覚症状
 - 重症化・入院・治療
- 三次予防:**
 - 治療・リハビリテーション

【健康・医療戦略推進本部】

- 早期診断・バイオマーカー・ワクチン開発
- 新規治療法・治療薬の開発
- 革新的医療技術の開発
- 再生医療・ゲノム医療の実現化
- 特定健康診断情報のDB化
- 医療情報の電子化・DB化
- 医療情報のネットワーク共有化
- 介護・医療関連情報の見える化
- 福祉ロボットの開発...

インターネットの発展と健康ー将来予測ー

14

【正の側面】

- 医療と公衆衛生への影響大
- ウェアラブルデバイスと家庭・職場のセンサが浸透
- 疾病自体に加え、リスクの早期検知が可能となる
- 日々の、あるいは時々刻々の処方や行動変容が可能となるかも知れない

【負の側面】

- 過剰な情報提供・情報管理がもたらす倫理的、経済的影響
- 人間の精神的健康への影響（過監視による不安や情報依存など）
- 「7つの大罪」（高慢、物欲、嫉妬、憤怒、貪食、色欲、怠惰）を増長

正負両面の制御が目標

【ストレスマネジメント】現代社会で増長する人工的健康リスクも同時に制御

15

科学技術の発展により急速に広がった健康リスク(例)

◆ 生活習慣病や精神疾患などの慢性疾患の健康リスクは日常生活下でのストレス反応や習慣的行動に内在

◆ 社会生活と密接に関わるため、完全に取り去ることは不可能

◆ 人工的リスクゆえ、それらを管理・制御することは可能

【次世代型健康マネジメント】コミュニティにおける健康リスク制御

16

一次予防 **二次予防** **三次予防**

健康維持・増進 健康リスクの制御 次世代型の健康マネジメント

【健康・医療戦略推進本部】

- 健康行動・状態の連続モニタリング
- 健康関連(ビッグ)データのマイニング
- 健康関連行動のモデリング
- ネットワーク要因の取り込み
- 健康・発症リスク評価
- 生体統合数理モデルによる予測
- 脳・神経科学に基づく健康関連行動の制御・誘導

発表内容

17

- 未来の健康社会の創出(目的と目標)
- 社会的課題との整合性
- プロポーザルの概要と方向性**
- 期待される効果
- プロポーザルの特長と課題(WSで検討)
- 国内外の動向(以下G4用)
- 検討の経緯

プロポーザルの概要

18

【目標】

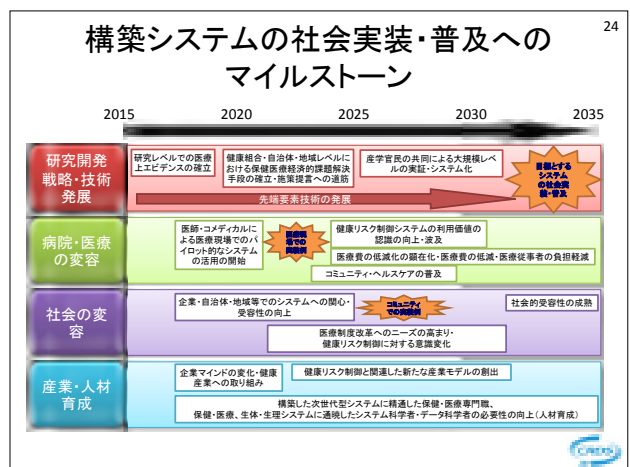
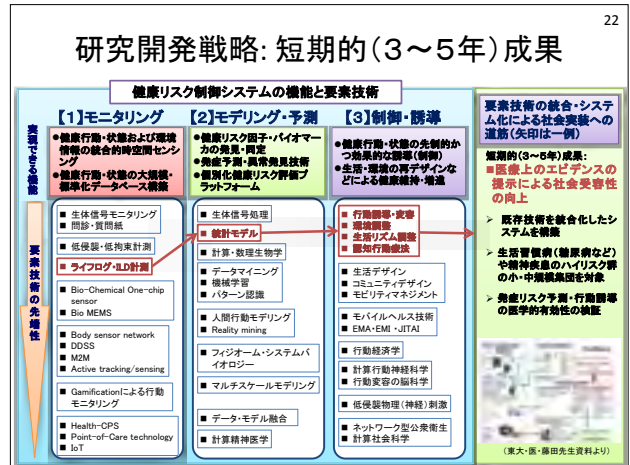
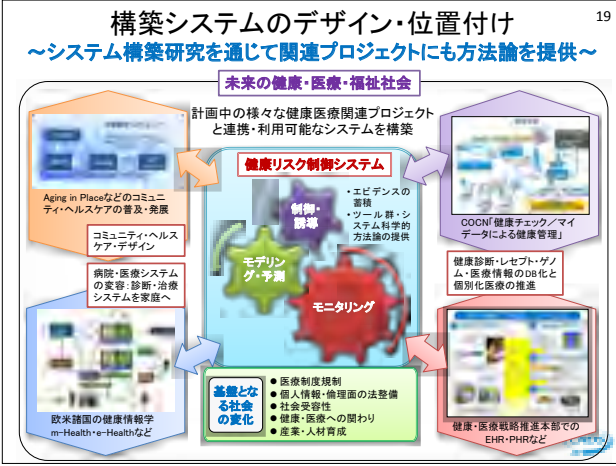
- 現代社会の日常的健康リスクや加齢に伴う健康リスクを制御することにより、豊かなコミュニティ・ヘルスケア社会を実現

【目的】

- 日常生活行動などの非医療情報を含めた健康行動・状態のモニタリングと、個人の生理・行動のモデリングを基盤とする健康リスクマネジメントシステムを構築
- 生活習慣を含めた健康行動の制御・誘導やストレスマネジメントにより、疾患発症リスクや老化顕在化の回避・低減を個人適格的かつ効果的に行うシステムの構築

【効果】


- 日常生活行動の長期的変容を促すことによる慢性疾患の発症回避および健康寿命の延伸
- 未来のインターネット社会の正負の側面を制御(正の側面は健康リスクの制御可能性、負の側面は過労、不眠、運動不足、不安、抑うつ、過食、物質依存などの「日常的健康リスク」の顕在化)
- システム科学によるネットワーク型公衆衛生の創成



25

発表内容

- 未来の健康社会の創出(目的と目標)
- 社会的課題との整合性
- プロポーザルの概要と方向性
- **期待される効果**
- プロポーザルの特長と課題(WSで検討)
- 国内外の動向(以下G4用)
- 検討の経緯



26

期待される効果

【医療・病院の変容】


- 疾患発症までの(特に初期の)過程を制御することによる慢性疾患の発症回避と健康寿命延伸
- そのことによる医療費の抑制・削減
- 保健・医療に関わる専門職の負担軽減(関係専門職への支援ツール提供も含む)
- 高齢化社会における病院診療から在宅診療、コミュニティ・ヘルスケアへの医療ニーズのシフトに対応。そのためのエビデンス確立
- システム科学・データ科学に基づく新たな保健・医療・福祉戦略(reactiveからpreventive/proactiveなヘルスケアへ)の提案とその実証

【人材育成】

- 構築した次世代型システムに精通した保健・医療専門職(医師、コメディカル)の育成
- 保健・医療、生体・生理システムに通暁したシステム科学者やデータ科学者の育成

【波及効果】


- 健康経営戦略や自治体の医療費削減施策への展開
- 健康関連の新規産業・ビジネスモデルの創出



27

発表内容


- 未来の健康社会の創出(目的と目標)
- 社会的課題との整合性
- プロポーザルの概要と方向性
- 期待される効果
- **プロポーザルの特長と課題(WSで検討)**
- 国内外の動向(以下G4用)
- 検討の経緯



28

本ワークショップの目的

- ◆ 有識者との議論を通じて
 - ✓ 研究開発における技術的ボトルネックの把握と今後の課題抽出
 - ✓ 公的資金を投入する意義の明確化
 - ✓ 研究推進にあたって必要な方策などをより具体化する
- ◆ 要素技術の統合・システム化による「健康リスク制御システム」の社会実装の方法と課題を議論する



29

プログラム

- 期日: 1月27日(火)
- 場所: JST東京本部別館
- プログラム

13:00~13:30 「健康リスク制御システム」とは?

センター長等ご挨拶と概要・主旨説明(チーム)

13:30~15:00 パネルディスカッション: 社会実装の方法と課題

司会: 早野 順一郎(名古屋市立大)
パネリスト: (発表15分、総会討論30分)
・梶井 英治(自治医科大、地域医療)
・水野 正明(名古屋大、地域医療)
・浅野 健一郎(フジクラ、健康経営)
・佐藤 肇(東芝、産業展開)

15:00~16:30 講演: 健康リスク制御のELSI

司会: 前田 知子(JST/CRDS)
講演者: (発表20分、討論10分)
・瀬本 祐之(東京大)

(休憩)

16:50~18:30 提言: 科学技術としての「健康リスク制御システム」


司会(モデリング): 本多 敏(慶応大)
提言者: (発表15分、討論5分)
・板生 清(ウェアラブル環境情報ネットワーク推進機構)
・牧川 方昭(立命館大)
・橋本 浩一(東北大)

司会(モデリング・予測): 野村 泰伸(大阪大)
提言者:
・砂川 賢二(九州大)
・倉原 一幸(東京大)
・石垣 司(東北大)

司会(制御・誘導): 宮川 剛(藤田保健衛生大)
提言者:
・内匠 達(理化学研究所BSI)
・川人 光男(ATR脳情報研究所)

18:30~18:45 まとめ

まとめ(チーム)と総括ご挨拶



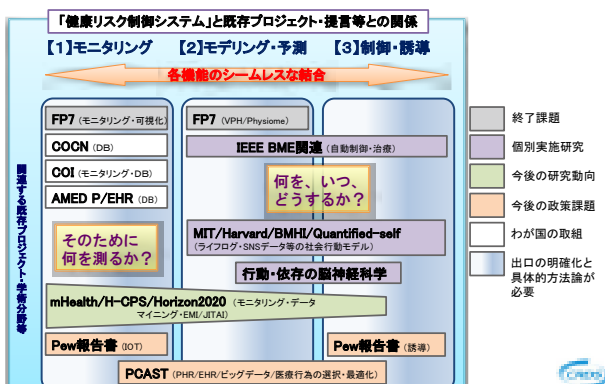
30

健康リスク制御システムの特長

「健康リスク制御システム」と既存プロジェクト・提言等との関係


【1】モニタリング 【2】モデリング・予測 【3】制御・誘導

各機能のシームレスな統合



Legend:

- 終了課題
- 個別実施研究
- 今後の研究動向
- 今後の政策課題
- わが国の取組
- 出口の明確化と具体的方法論が必要



有識者アンケートの結果(1)

31

【横串関連の提言】

- 低品質、マルチスケールデータの処理
- データの統一性、連続性 – ビッグデータ化の際に有効
- 「遺伝×生活×環境」要因のモデリング(ヒト、動物) – 生活要因のモデリングの重要性
- データ科学的なモデルに加え、機能的モデル(体重・血圧変化や行動変容等のモデル)によるデータ同化
- 3つの機能(モニタリング、モデリング・予測、制御・誘導)の柔軟な関係構築
- 短期間に臨床的エビデンスを出すためのコホート設定
- リスク行動制御の動物モデルという科学的背景を打ち出すような横串研究



有識者アンケートの結果(2)

32

【社会実装関連の提言】

- ウェアラブル(関心のない個人の受容性は低い)か、アンビエント(社会受容性が低い?)か
- 自主的な活動としてのムーブメントを起こす仕掛けと仕組み(「並んでも買いたいお得感」、quantified-selfなど)
- それらを誘導する生活やコミュニティのデザインや制度
- 誘導やインセンティブ付与のための脳科学研究
- 産学官連携によるビッグデータ化とオープンイノベーションへの利活用
- 医療側面だけでなく個人の活性度や企業へのメリットを組み入れたモデル
- 教育的側面・動機付けコンテンツ – 誘導にもgamificationなどを入れるか
- 以上を推進する人材の育成(保健・医療関連、システム科学関連)



健康リスク制御システムのELSI

33

個人

個人による自律的解消

【現状】
 ・現代社会の健康リスクは制御が困難
 ・認知症等による自己制御不能性
 ・セルフモニタリング・フィットネス等の自己制御は既に行われている

本プロポーザルで手法、効果、影響、安全性、ELSIを科学的に研究することを提案

【未来】
 ・健康行動の自己啓発・自己選択・自己誘導
 ・Quantified-Self*を含む積極的活用・価値観の創成

自己制御主体としての個人

リスク認識・認識への阻害

自己制御の手段としての健康リスク制御システム

個人の受容性向上

文化としての健康リスク制御

社会

【主効果】
 ・健康寿命延伸、持続的社会保障制度
 ・病院からコミュニティ・ヘルスケアへ
 ・データ中心科学によるリスク予測精度の向上
 ・健康リスク制御に関わる産業の発展・進展

社会実装にあたっては両効果の最適化を(システム科学的に)行う

【副次的効果】
 ・リスクの不可知性、それゆえの平等に基づく公的社会保障制度等への影響
 ・ヘルスケアの質保証
 ・個人の健康情報のビッグデータ化に関わるELSI
 ・産業競争による行き過ぎたサービス

*Quantified-Self: 自己定量化をより良い人生に活かそうとするムーブメント



2. パネルディスカッション：社会実装の方法と課題

司会：名古屋市立大学医学研究科 早野順一郎先生

2.1 地域医療の現状と課題

自治医科大学地域医療学センター 梶井英治先生

まず、「地域医療データバンク」について。地域医療において「限りある医療資源をどう活用していくか」が、現在最も重要な課題。この点について、私どもは、地域医療の現状分析が不十分だと考える。「医師不足といわれるが、適正配置がされていないのではないか」、「診療科が偏在している中で、総合診療医の必要性をもう一度考える必要があるのではないか」、「保健と医療と介護が連携されていないのではないか」という指摘があるが、地域医療の分析により、これらの問題を改善していくことができる。

そこで、自治医科大学医療学センターでは、5年前に「地域医療データバンク」を構築した。患者さんの受療動向と医療サービス供給の状況を1つに合わせてデータバンクをつくる。それを分析して、GIS(地理情報システム)で一見して分かるようなデータを示して、地域医療の効率化に寄与していこうというもの。新たな地域医療データバンクの構築として、時空IDにより、屋内外の行動、生体、医療情報を把握し、高次元の健康医療情報を収集することを考えている。屋外のGPS、屋内のIMES(アイメス・Indoor Messaging System)により、屋外・屋内で位置情報・時刻情報が得られれば、新しいIDが設定できる。これを「時空ID」と言っている。

さらに、私どもは、文部科学省の高度人材育成プログラムにおいて、「高度行政人」の育成と、「高度行政人と連携できる民間人」の育成を、来年度からスタートさせる。データの分析ができて、なおかつそれを医療施策に反映できる能力を持った人材を育成したいと考えている。

次に「スマート・ヘルスケア・シティ構想」のお話。この構想は、医療・保健・福祉介護・救急情報と個人の健康情報を統合し、利活用することによって、医療の質向上、保健・福祉介護サービスの質向上、救急・災害での安心安全、従業者の負担軽減・費用の削減、便利で暮らしやすい・子育てしやすいコミュニティの実現を図るもの。

自治医科大学は、熊本県の天草市と包括契約を結び、スマート・ヘルスケア・シティ構想の実現に向けてスタートを切った。高齢化社会の中で安心して元気に暮らすことのできる社会を実現しようということで、その実装のためのコンソーシアムを立ち上げた。時空IDを使った医療情報の統合や、IMESによる高齢者の見守りシステム、IMESを利用した在宅介護サービス、時空IDを使った救急医療支援システムの構築等に取り組んでいく。

2.2 社会基盤としての健康・医療統合システム

(名古屋大学医学部附属病院先端医療・臨床研究支援センター 水野正明先生)

名古屋大学の取組みについて。私どもは、地域包括ケアシステムのあるべき姿は、まだ明確には見えてないと捉えている。あるべき姿を見出すためには、医療と介護において、これまで連携と言われてきたものから統合へ、地域包括ケアの対象を高齢者からすべての市民へ、医療制度も疾病医療から予防医療へという、大きなシフトが必要。そして、地域包括ケアシステムから新しい社会課題解決型の地域医療・地域包括ケアシステムを生み出していくことが重要だと考えている。

社会課題解決型の地域医療・地域包括ケアシステムをつくるためには、对患者・サービス利用者の窓口の一本化と、基本となる医師会と行政の連携を中心に、市民参加型の多職種連携を作っていくこと、そして医療情報を扱うことができるような ICT ネットワークを作ることが重要。

これを達成するために、私どもは「電子@連絡帳」という仕組みをつくった。医療と福祉を統合する形のもので、医療従事者用のものと患者さんの側のものとを相互に見る仕組み。愛知県で、現在は約 4 割だが、この 4 月からは約 7 割の自治体で運営していただく。ここでの事業は、高齢者の健康寿命の延伸が目的。延伸を妨げる要因は、前期高齢者は圧倒的に脳卒中。後期高齢者は認知症、フレイル、脳卒中。ですから、血管の健康を意識した運動・食事・睡眠の最適化が必要。そこで、運動・食事・睡眠に関わるトライアルをする。

例えば、運動では、運動の要素となるストレッチ、レジスタンストレーニング、有酸素運動、そして患者・サービス利用者自身が持っているリスクをデータベースにまとめて、運動処方箋を切っている。また、目指すべき目標として、例えば、脳卒中の再発を防ぐ観点では「めざせ、1日 6,000 歩」を、また、認知症リスクを軽減させる観点では「めざせ、秒速 1メートル」を掲げ、そのプログラムを実施している。

このような社会課題解決型の地域医療・地域包括ケアシステムを作り上げるために、人と情報のトライアングルをつくることを検討している。つまり、ユーザー、オーガナイザー、サポーターの 3 つの関係の中で連携を結び、それを情報で一体化させる。基盤となるのはクラウドコンピューティングシステム。例えば、在宅医療においては、患者、かかりつけ医、在宅医療支援チームの 3 つでトライアングルをつくる。

現在私どもは「社会寿命の延伸」を目指そうということで進めている。社会寿命とは、社会に貢献できる寿命。健康寿命はもちろん重要だが、それ以上に社会寿命の延伸を目指すことが大切だと考えている。

発表資料 2.2

2 パネルディスカッション 社会実装

ワークショップ
次世代型の健康リスクマネジメントを実現する健康医療システムの構築

社会基盤としての健康・医療統合システム

名古屋大学総長補佐
名古屋大学医学部附属病院
先端医療・臨床研究支援センター

水野 正明

2015年1月27日

Center for Advanced Medicine and Clinical Research, Nagoya University Hospital.

今、求められている健康・医療統合システムとは……

高齢者の自立を支える仕組み

地域包括ケア 社会保障制度改革国民会議

地域の みんなで 高齢者をケアする

高齢者が人生の最期まで住み慣れた地域で自分らしい暮らしを続けるためのケア
(健康寿命延伸のサポート)

地域包括ケアシステム 地域医療ビジョン

地域包括ケアに必要な支援体制

2025年までに整えること(2025年問題)

Center for Advanced Medicine and Clinical Research, Nagoya University Hospital.

地域包括ケアシステム

Center for Advanced Medicine and Clinical Research, Nagoya University Hospital.

平成23年度 医療・介護の提供体制の将来像
～機能分化し重層的に住民を支える医療・介護サービスのネットワーク構築～

Center for Advanced Medicine and Clinical Research, Nagoya University Hospital.

平成24年度 社会保障・税一体改革を目指す将来像
～社会保障制度改革の方向性(医療・介護サービス保障の強化)～

(出典) 第23回社会保障審議会資料 平成24年1月30日

Center for Advanced Medicine and Clinical Research, Nagoya University Hospital.

平成25年度 社会保障・税一体改革を目指す将来像
～社会保障制度改革の方向性(医療・介護サービス保障の強化)～

Center for Advanced Medicine and Clinical Research, Nagoya University Hospital.

実は……

地域包括ケアシステムのあるべき姿は

まだ見えていない

Center for Advanced Medicine and Clinical Research, Nagoya University Hospital.

地域包括ケアシステム
そのあるべき姿を見るためには……

- 医療と介護 : 連携から統合へ
- 地域包括ケア : 高齢者からすべての市民へ
- 医療制度 : 疾病医療から予防医療へ

上記内容を踏まえた、
市民参加型の戦略的(バックキャスト的)システム/戦略的ビジョンの策定

**地域包括ケアシステムから
社会課題解決型地域医療・地域包括ケアシステムへ**
(社会システムイノベーションを誘導する仕組み)

Center for Advanced Medicine and Clinical Research, Nagoya University Hospital.

名古屋大学が目指す将来像

**社会課題解決型
医療・地域包括ケアシステム**

Center for Advanced Medicine and Clinical Research, Nagoya University Hospital.

社会課題解決型地域医療・地域包括ケアシステム

医療・介護・福祉対象者
(疾病管理、高齢予防、健康増進、在宅高度医療)

システム構築のポイント

1. 对患者・サービス利用者の窓口の一本化
2. 医師会と行政の連携 → 市民参加を含む多職種連携へ
3. 医療情報の扱いが可能となるICT型多職種情報共有基盤

ICT地域医療・地域包括ケア情報共有ネットワーク
多職種情報共有基盤 センター・セキュリティ基盤

Center for Advanced Medicine and Clinical Research, Nagoya University Hospital.

名古屋大学が進める
地域医療・地域包括ケアに関する社会実証

電子@連絡帳の活用

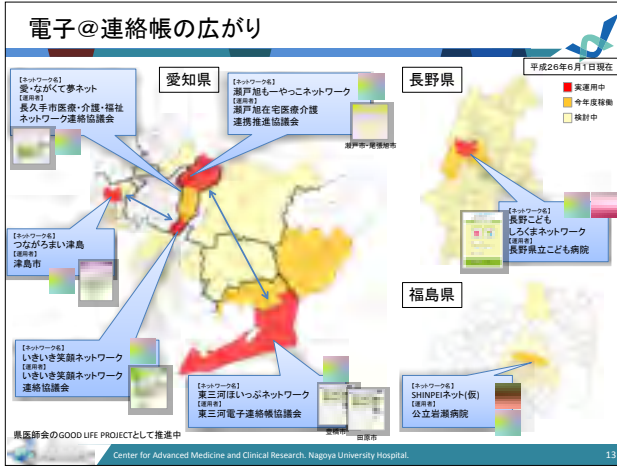
Center for Advanced Medicine and Clinical Research, Nagoya University Hospital.

電子@連絡帳(地域医療・地域包括ケア統合型社会基盤)

名古屋大学が開発した多職種連携を支える情報共有基盤システム
医療(療育)・福祉(介護)統合ネットワークシステム

医療・福祉支援チーム内での情報共有や各種相談
患者・家族向けに発信される情報や育児記録

Center for Advanced Medicine and Clinical Research, Nagoya University Hospital.



高齢者の健康寿命を延ばすための具体的な対策とは・・・

**血管の健康を意識して
運動・食事(適食と減塩)・睡眠の最適化を図る**

人は血管とともに老いる(オスラー博士)

薬では
ありません

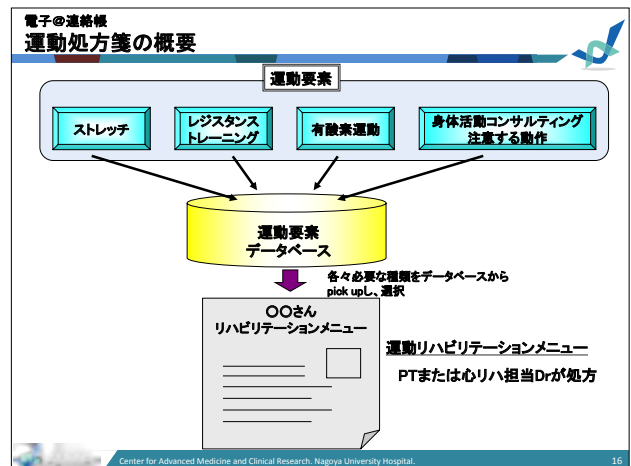
運動・食事・睡眠

くすり・サプリメント

Center for Advanced Medicine and Clinical Research, Nagoya University Hospital. 14

電子@連絡帳を活用した 健康寿命を延ばすための健康づくり 運動プログラムの事例

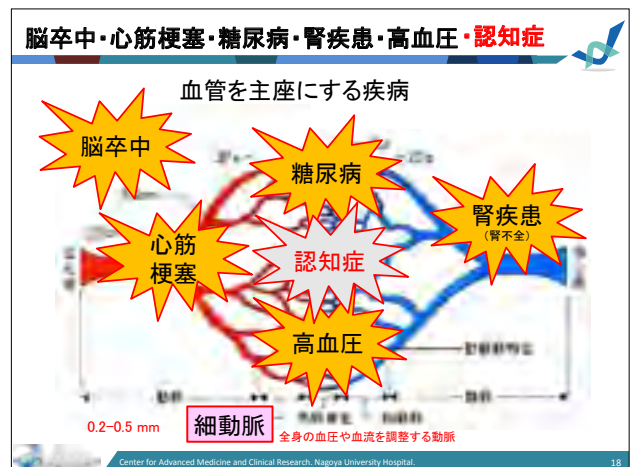
Center for Advanced Medicine and Clinical Research, Nagoya University Hospital. 15

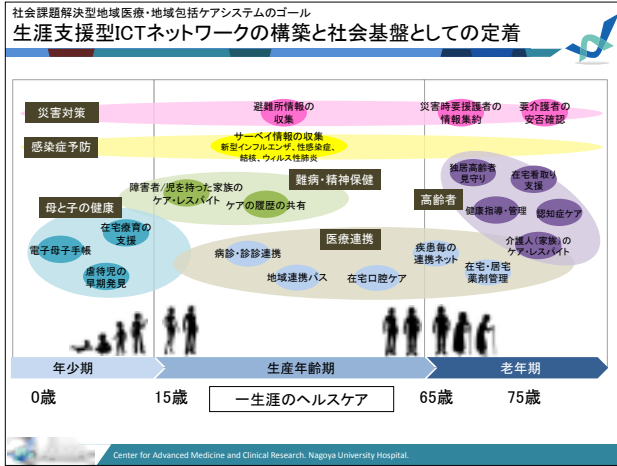


高齢者の健康寿命を延ばすために必要な運動

- めざせ、1日 6000歩**
 - からだ びっくり作戦でさらに効率アップ
 - 2週間ごとに運動のパターンを変化
 - 脳卒中の再発を防ぐことができる (名古屋大学の成果)
- めざせ、秒速1メートル**
 - 秒速1m以上で歩くことができる人: 認知症・転倒のリスクは低い
 - 秒速0.7m以下で歩く人: 転倒のリスクが高い
 - 秒速0.5m以下で歩く人: 認知症のリスクが高い
 - 認知症のリスクを軽減できる (国立長寿医療研究センターの成果)

Center for Advanced Medicine and Clinical Research, Nagoya University Hospital. 17





2.3 『健康リスク制御システム』の社会実装の方法と課題—健康経営の視点から (株式会社フジクラ 人事・総務部健康経営推進室 浅野健一郎氏)

このプロポーザルの中で社会実装の1つの方法として捉えられている「健康経営」について。

フジクラは、2014年1月1日に「健康経営宣言」を出している。それ以来、社員が活き活きと仕事をすることを実現するための1つの方法論として、健康経営に取り組んでいる。

このような取り組みを経営のシステムとして進め、定着させていくためには、投資効果を指標化していくことが求められる。私たちも今それが見えているわけではないが、いろいろなデータを集め、このような取り組みが最終的に経営にどう利するかを調べている。

私たちが目指しているのは、個人の活性度の向上。要するに、会社で働いていて、より成果を出せる人たちをいかに多くサポートできるかというところ。体の健康や心の健康も重要だが、個人の意識や知識、あるいは職場の環境や家庭の環境等もそこに複雑に関わってくる。

そのような個々人の複雑な世界を捉えるに当たり、メンタル的・フィジカルの疲労感、睡眠の乱れ、活動の不活発化、コミュニケーションの不活発化の4点を、不調の兆しと捉えている。そして、それがあるバイオリズミ的な変化を超えて慢性化したときに、危険信号と考え、何かしらの介入・制御をしていくことを検討している。

我々は、個人の方の承諾を得ていろいろなデータを集めている。その中で特に重視しているのは、今、その人がどのような傾向にあるか。つまり、今健康な人がこれ以上健康を害さないようにという観点から、「段々悪くなっているのか、良くなっているのか」という、傾向情報に注視している。

具体的には、社員の方々に活動量計を持ってもらったり、会社の各所に、体組成計や血圧計を置いたりして、いつでも測れる環境をつくっている。また、睡眠不調だと自覚している方には、睡眠計を貸し出して、自らの見える化にも取り組んでいる。そして、さまざまな測定を通じて、その人のデータを一元的に集めて解析をして、その人に合った、個別化された情報としての動機づけ情報を提供していくことを目指している。それを個人の行動変容につなげていきたいと考えている。例えば、血圧、内臓脂肪、骨量、活動量等のデータについて、必要に応じて産業保健スタッフが声をかけている。また歩数イベント等のイベントを行い、参加意欲を高める工夫をしている。効果を上げるためには、教育だけでなく、測定環境の整備やイベントの実施等の見える化が大切。

効果としては、生活習慣病の多様なリスク者に、1年の活動により検診時検査値の有意な改善が見られている。もともと健康にあまり興味のない人も、周りに巻き込まれる形で、何をしているのかよく分からないまま、きちんと改善していっている傾向がある。

発表資料 2.3

JST/CRDS ワークショップ「健康リスク制御の科学技術と社会技術」

「健康リスク制御技術」の社会実装の方法と課題

～健康経営の視点から～

2015年1月27日@JST東京本部 別館





株式会社フジクラ

株式会社フジクラのご紹介



株式会社フジクラ

【社名】株式会社フジクラ Fujikura Ltd.
【本社所在地】東京都江東区木場1-5-1
【代表者】取締役社長 長浜洋一
【創業】1885年（明治18年）2月
【設立】1910年（明治43年）3月18日
【資本金】530億円（2014年3月31日）
【従業員数】53,409名（連結、2014年3月31日）



Copyright © Fujikura Ltd. All Rights Reserved. 3

健康経営の経緯と目的

健康経営



Copyright © Fujikura Ltd. All Rights Reserved. 4


私が目指す経営（現社長）

【基本】

- “第三の創業”の企業風土を受け継ぎ協力を推進する。
- “収益性を重視”し、健全な成長を図る。
- 目標を共有し、“チームアプローチ”でゴールを目指す。

【ゴールイメージ】

お客様からは感謝され、
社会からは高く評価され、
社員は活き活きと仕事している



Copyright © Fujikura Ltd. All Rights Reserved. 5


フジクラの健康経営

—健康は経営課題—

フジクラグループでは、従業員の健康を重要な経営課題と捉え、経営として取り組むことを明言して、会社・社員・健保組合一丸となって、健康増進・疾病予防に取り組んでいます。

【フジクラグループ健康経営宣言】 2014年1月1日

フジクラグループは、社員の健康を重要な経営資源の一つであると捉え、個人の自発的な健康活動に対する積極的な支援と、組織的な健康活動の推進で、「お客様からは感謝され、社会から高く評価され、社員は活き活きと仕事をしている」企業グループを目指します。



Copyright © Fujikura Ltd. All Rights Reserved. 6

健康経営の視点からは、

個人の疾病制御（医療費）ではなく、個人の活力向上（業績向上）が目的

社会実装を進めていく主体の目的に適合させたアウトカムの見える化技術

- ・ 生き活きた状態とは？

【職場でのポジティブ心理学】

ワークエンゲージメント

1. 仕事に誇り（やりがい）を感じ
2. 熱心に取り組み
3. 仕事から活力を得て生き活きている状態

「日本生産性本部：健康いきいき職場づくりフォーラム」資料より転用

Fujikura Copyright © Fujikura Ltd. All Rights Reserved. 7

継続的な活動の仕組み —投資効果の指標化—

多様な側面から健康推進活動の投資効果を指標化し、経営層と共有化してPDCAサイクルを回して一過性のイベントにとどまらず、活動を効果的且つ効率的、継続的に運用してシステムを構築しています。

【方針】

- 個人が「生き活きと仕事や生活ができる」ことを目指す
- 心身の健康
- 環境整備
- 会社が中長期的視点で「投資回収」できることを目指す
- 費用対効果
- 対処より予防

【主な指標項目】

- 経営コストの視点：医療費、労働生産性等
- 社員の健康状態の視点：健康マップ（リスクマップ）、有所見率、メタボ対象者数、喫煙者率
- 健康増進プログラムの運用の視点：プログラム登録者率、サイト利用率、イベント参加率等
- 外部の視点：健康寿命を伸ばそうアワード、健康経営評価

Fujikura Copyright © Fujikura Ltd. All Rights Reserved. 8

「職場の生き活き」 個人の活性度向上の実現には？

職場（家庭）の環境
【働きやすい就労環境】【チームアプローチ】【情報共有】

↓ 相互依存 ↓

個人の意識と知識
【セルフケア】【啓発活動】【正しい情報提供】

↓ 相互依存 ↓

体（フィジカル）の健康

↓ 相互依存 ↓

心（メンタル）の健康

Fujikura Copyright © Fujikura Ltd. All Rights Reserved. 9

健康リスク制御のスキーム

個人へのアプローチ

- 個別化プログラム
- 啓発プログラム
- セルフケア

+

職場へのアプローチ

- 職場対抗イベント
- いきいき職場づくりワークショップ
- ラインケア

+

体（フィジカル）の予防活動 + **心（メンタル）の予防活動**

データの突合分析（健康状態・疲労・睡眠・活動・・・）

Fujikura Copyright © Fujikura Ltd. All Rights Reserved. 10

不調の兆し？（予防の視点）

- ✓ 疲労感（フィジカル&メンタル）
- ✓ 不眠／睡眠パターンの乱れ
- ✓ 日々の活動の不活発化
- ✓ コミュニケーションの不活発化

慢性化すると危険信号

➡

何らかしらのモニター（見守り）手段が必要

Fujikura Copyright © Fujikura Ltd. All Rights Reserved. 11

測定/データ蓄積

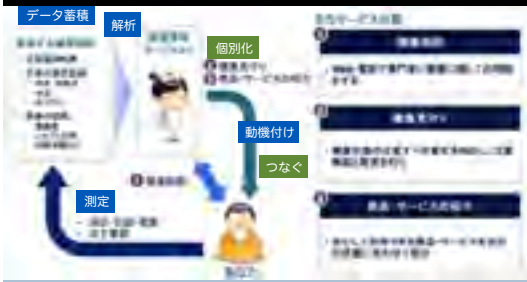
体組成、血圧、活動量は自動でデータを蓄積するシステムを導入し、遺伝検査、プレゼンティズム測定等、独自性のある項目も実施して、効果検証を実施しています。

測定/データ蓄積

Fujikura Copyright © Fujikura Ltd. All Rights Reserved. 12

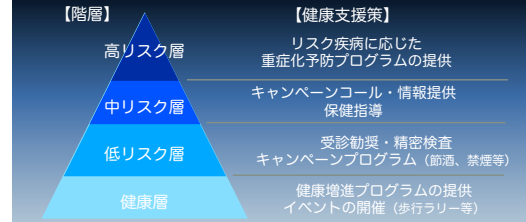
提供サービス

具体的には体重、血圧、健診結果等を情報一元管理により、利用者の利用価値にフォーカスした、個人に適合し、かつ必要とされる健康見守り、商品・サービス紹介などのソリューションを提供します。



健康リスク制御の取組み
一階層別各種施策

フジクラでは、健康増進・疾病予防活動において1次予防の領域から重症化予防の3次予防まで全てのステージの予防活動に取り組んでいます。リスク階層やリスク内容・治療状況に応じて、具体的施策を実行しています。

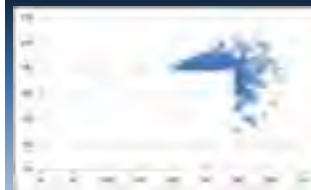


健康リスク制御を健康経営の視点から実施

活動して見えてきた効果

分析例
一日々のバイタルデータから 血圧編一

日々のバイタルデータから隠れたリスク者のあぶり出しを行い、他のデータとの突合分析を行い、具体的施策の立案に反映させています。

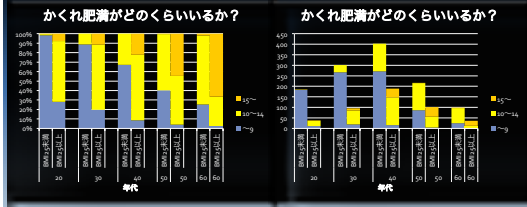


【バニック値】
データ数 435
対象者数 133名

測定実施者数
2,600名

分析例
一日々のバイタルデータから 体組成編一

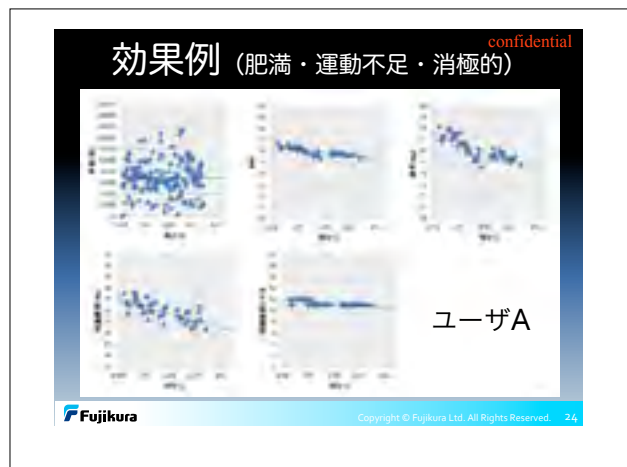
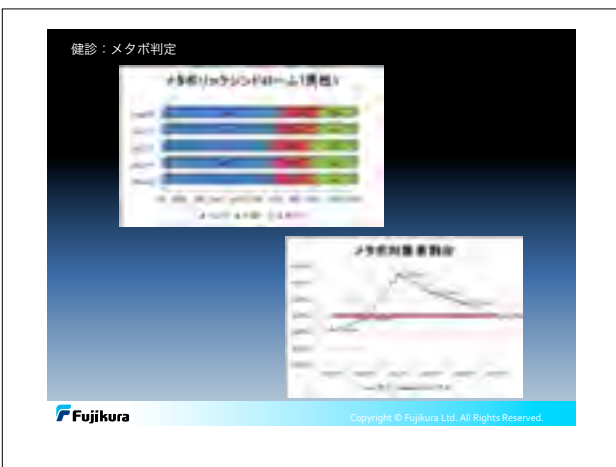
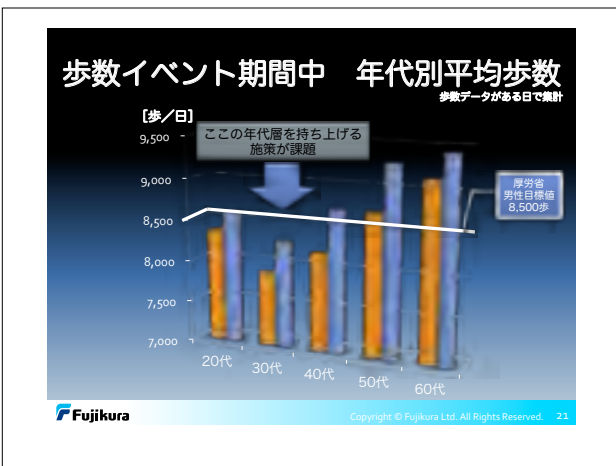
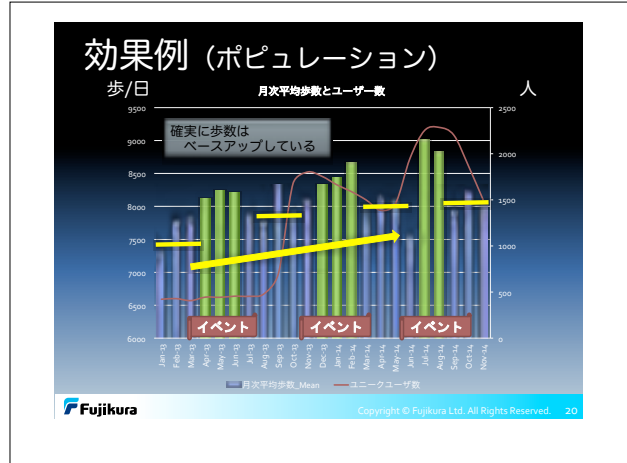
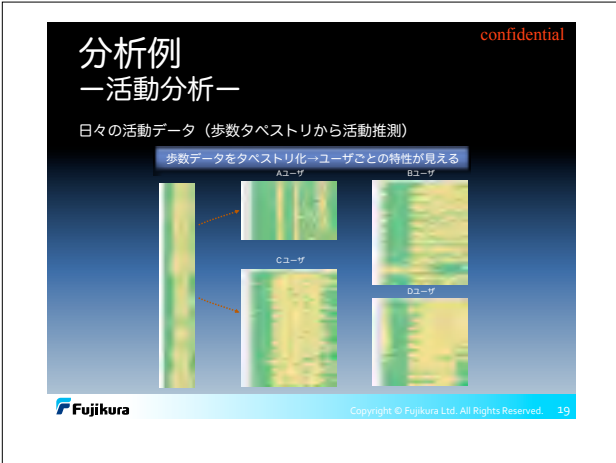
日々のバイタルデータから隠れたリスク者のあぶり出しを行い、他のデータとの突合分析を行い、具体的施策の立案に反映させています。



分析例
一日々のバイタルデータから 骨量編一

日々のバイタルデータから隠れたリスク者のあぶり出しを行い、他のデータとの突合分析を行い、具体的施策の立案に反映させています。





株価の変動

企業の「健康投資」カイトフック
-連携・協働による健康づくりのススメ- 経済産業省
ヘルシニア産業課

Fujikura Copyright © Fujikura Ltd. All Rights Reserved.

健康リスク制御技術の社会実装の方法と課題 健康経営の視点から（まとめ）

- 社会実装の方法論としての健康経営（企業）は有望
 - 健康リスク制御が最も必要な年代をカバー
 - 組織の力を使えるので、個人への面的アプローチが容易
 - ゆるい心理的強制力が働くため、健康意識の低い層の巻き込み効果も期待
 - 経済的な負担を企業の投資でカバー可能
- 実装上の課題は、
 - 企業（経営）の目的へのアウトカム設定の見える化技術（合目的性）
 - 長期に亘るデータ蓄積・分析を考慮したモニタリング・モデリング技術（固定資産投資対象としてのシステム設計）
 - 個人が意識せずともモニタリングできる技術

Fujikura Copyright © Fujikura Ltd. All Rights Reserved.

WHO世界健康職場モデル

脳 生理 心理 行動

物理的職場環境 動員 招集 改善 経営者の関与 倫理観・価値観 個人の健康資源 心理社会的な職場環境 評価 労働者の関与 実行 優先順位の設定 計画 企業の地域社会への関与

WHO201101 http://www.who.int/occupational_health/healthy_workplaces/en/index.html

Fujikura Copyright © Fujikura Ltd. All Rights Reserved.

WHO世界健康職場モデル

疾病・障害があっても生き生きと働ける職場環境 個人を見守り、その個人に適切な予防活動

企業・国民の活性化（元気）

日本経済の活性化（元気）

正しい知識と正しい理解 内発的行動の誘起と環境

WHO201101 http://www.who.int/occupational_health/healthy_workplaces/en/index.html

Fujikura Copyright © Fujikura Ltd. All Rights Reserved.



2.4 個別化予防・医療を実現する『日常人間ドック』の社会実装に向けて (株式会社東芝ヘルスケア社ヘルスケア医療推進部 佐藤肇氏)

東芝が東北大学と行っている、センター・オブ・イノベーション (COI) での取組みと、産業競争力懇談会 (COCN) について紹介する。

COI は、あるべき社会の姿を描き、それをバックキャストしながら、必要な技術開発、社会の仕組み等を検討していくプロジェクト。大きなビジョンとして、少子高齢化、豊かな生活環境、持続可能な社会の3つを挙げ、全国の大学と企業が一体となって現在進めている。東芝と東北大学のプロジェクトは、「さりげないセンシングと日常人間ドックで実現する理想自己と家族の絆が導くモチベーション向上社会創生拠点」というタイトルを掲げている。

私どもは、個々人の健康状態の把握とその人に合った予防・医療を目指している。「さりげないセンシングで実現する日常人間ドック」ということで、生活因子、環境因子、遺伝的因子から得られたデータをクラウド上に集めて、そのデータに基づいてその人の健康状態を把握し、生涯の疾病リスクを見ていこうとしている。「さりげないセンシング」として、例えば、飲み込んだときに体の中の状態をセンシングするものや、体に貼るだけでセンシングのデータを取れるようなものを現在、研究している。

目指しているのは、第一に、生涯 PHR (Personal Health Record) の構築。生まれてから死ぬまでの健康や医療に関わるデータを管理していきたいと考えている。今それぞれのライフステージでのデータ (母子手帳、学校の健診データ、企業の健診データ等) がバラバラな状態になっている。それを1つの PHR に集めたいと考えている。

第二に、PHR データ信託バンクのビジネスモデルの確立を考えている。さまざまなデータをいったん個人に帰属させて、個人の同意の下にデータを銀行に預けてもらう。このデータの2次利用により、データに価値を生ませて、システムの維持・運営や個人へのフィードバックに活かさないかと考えている。

次に、産業競争力懇談会 (COCN) では、科学技術や産業政策に関連する府省の大臣や国会議員との自由な意見交換の場を設けて、広くわが国の経済活動のための意見交換を行い、政策提言にまで結びつける活動をしている。経団連との連携も踏まえて動いていて、産業界の有志が集まって議論したものを政策提言に結びつけるということで動いている。

その中で「健康チェック/マイデータによる健康管理」は、今年度で2年目の研究になっている。2013年度は、技術的な課題解決ということで研究をしてきて、2014年度は社会実装するために、経済学の観点や ELSI の観点での検討を進めている。ELSI の対応課題としては、広報・普及啓発活動が重要。また、PHR データを活用する人材育成や PHR データの標準化も検討している。今後の活動として、2つの実証実験を考えている。まず「健康経営」として、企業の中にこの仕組みを導入した場合の、生産性向上や医療費抑制についての実証実験。また、自治体の中にこの仕組みを導入した場合の、生涯 PHR の管理やデータの2次利用についての実証実験を行いたい。

発表資料 2.4

TOSHIBA
Leading Innovation

資料.3-4

個別化予防・医療を実現する
「日常人間ドック」の社会実装に向けて
「健康チェック/マイデータによる健康管理」

2015年1月27日

株式会社 東芝 ヘルスケア社
ヘルスケア医療推進部
ライフサイエンス部 佐藤 肇

© 2015 Toshiba Corporation CONFIDENTIAL

センター・オブ・イノベーション(COI)プログラム

- 10年後、どのように**社会が変わるのか、人が変わるのか**、ビジョン主導型のチャレンジング・ハイリスクな研究開発
- 産学連携イノベーションプラットフォームの整備

10年後の社会ビジョン

- ビジョン1 少子高齢化
- ビジョン2 豊かな生活環境
- ビジョン3 持続可能な社会

次々とイノベーションを創出

ビジョナリーリーダー(PO)

COI拠点

研究推進機構 (企業所属、企業経験者)

企業 連携 大学等

バックキャスト

異分野融合・連携型研究開発テーマ

大規模産学連携拠点 (COI) (最長9年度)

JST、文部科学省からの支援と企業からのリソース提供による運営

http://www.jst.go.jp/coi/etc/brochure.pdf

COIプログラム拠点

10年後の社会ビジョン

- 少子高齢化(5)
- 豊かな生活環境(2)
- 持続可能な社会(5)

ビジョン1 京都大学 (株)日立製作所インフラシステム社
世界の豊かな生活環境と地球規模の持続可能性に貢献するコアイノベーション拠点

ビジョン2 金沢工業大学 大野イノベーション(株)
革新材料による次世代インフラシステムの構築~安全・安心で地球と共存できる数世代社会の実現~

ビジョン3 大阪大学 パナソニック(株)
人間の活性化によるスーパー日本人の育成と産業競争力増進、豊かな社会の構築

ビジョン2 広島大学 マツダ(株)
精神的団結が成長する感性イノベーション拠点

ビジョン3 九州大学 九州大学 先進社会システム創成拠点

ビジョン1 東北大学 マルマンコンピュータサービス(株)
製科学術とビッグデータ解析の融合による画期的な少子高齢化の社会構築と学術的飛躍

ビジョン2 東北大学 (株)東芝
「さりげないセンシング」を日常人間ドックで実現する理想自己と家族の絆が導くモチベーション向上社会創生拠点

ビジョン1 東京大学
若者と共在共榮する持続可能な健康長寿社会を目指す「Sustainable Life Care Ageless Society COI拠点」

ビジョン3 東京大学
エレクトロニクス技術によるイノベーション拠点

ビジョン1 川崎市産業振興財団
スマートライフカ社会への変革を先導するものづくりイノベーション拠点

ビジョン3 名古屋大学
多様な・個別化社会イノベーションデザイン拠点~いつまでも活き活きと活動し続ける社会とモビリティ~

ビジョン1 京都大学 パナソニック(株)
活力ある年長のための、est 5Xイノベーション

COI事業コンセプトより改良
http://www.jst.go.jp/coi/etc/brochure.pdf

さりげないセンシングで実現する日常人間ドック

革新的イノベーション研究機構 (COI TOHOKU)

個々人の健康状態を常に確認し、将来を予測し、病気の発症リスクを軽減

環境因子 生活因子

PHRの構築

日常的センシングデータ

生活にわたってデータを管理 『だれでも』『どこでも』『簡単』に健康チェック

ヘルスケアビッグデータの解析に基づき将来の健康状態を予測 ビッグデータ解析

生体因子 セキュリティ技術 クラウド技術 遺伝的因子

ウェアラブルデバイス 各種センサ

半導体技術 ライフスタイルセンシング技術 センシング情報解析技術

バイオインフォマティクス技術 ゲノム解析技術

ヘルスケアビッグデータの解析に基づき将来の健康状態を予測 ビッグデータ解析

医師や健康コンシェルジュからの生活アドバイス、予防支援 ナレッジ活用技術 UI技術

『さりげないセンシング』を実現するバイオセンサー

生涯PHRの構築

個人の生涯にわたる健康データを管理 (日常人間ドックの実現)

将来の姿 (2020年以降)

© 2015 Toshiba Corporation CONFIDENTIAL

PHRデータ信託バンク ビジネスモデルの確立

将来の姿

- PHRデータの二次・三次利用を実現するビジネスモデルを確立

© 2015 Toshiba Corporation CONFIDENTIAL

PHR構築への課題と対策

産業競争力懇談 COCN (Council on Competitiveness-Nippon)

日本の産業競争力の強化に深い関心を持つ産業界の有志により、国の持続的発展の基盤となる産業競争力を高めるため、科学技術政策、産業政策などの諸施策や官民の役割分担を、産官学協力のもと合同検討により政策提言としてとりまとめ、関連機関への働きかけを行い、実現を図る活動を行っている。

事業内容

1. 科学技術や産業政策等に関連する府省の大臣並びに国会議員との自由な意見交換の場を設け、広くわが国の経済活性化のための意見交換を行い、必要な事項について下記2項に反映し推進を図る
2. 産業競争力強化のため、国全体として推進すべき具体的なテーマを産官(学)で設定し、産官(学)協調して提言書の取りまとめ
3. 産業界出身総合科学技術会議議員との連携をはかり、活動を推進
4. 日本経済団体連合会、産業技術委員会担当常務理事と連携し、活動を推進
5. 提言書の実現をはかるべく関連機関への働きかけを実施

**2013年度、2014年度 研究会テーマ
「健康チェック/マイデータによる健康管理」**

© 2015 Toshiba Corporation CONFIDENTIAL 7

「健康チェック/マイデータによる健康管理」

1. テーマ化の目的、産業競争力強化上の効果

健康長寿な社会の構築を目指すために、健康を個人々人だけの問題としてではなく社会全体の課題として捉え、積極的かつ前向きに介入支援して健康増進・維持を推進するための仕組みを実現することが望まれる。「健康チェック/マイデータによる健康管理」による、ICTを中核とするイノベーションを加速させ、将来望まれる社会像を実現する新産業や雇用を創出すべく、革新的な技術基盤に基づいた産業力強化を行っていく。

2. 推進体制

- リーダー 東北大学 山本 雅之 (東北メディカル・メガバンク機構 機構長・医学系研究科教授)
- サブリーダー 政策研究大学院大学 角南 篤 (教授・学長補佐)
- 事務局 株式会社 東芝 ヘルスケア社
- 検討体制
 - WG1 : PHRデータの標準化 (株) 生命科学インスティテュート
 - WG2 : PHRデータの二次・三次利用促進

東北大学大学院 経済学研究科・法学研究科
(株) 東芝 ヘルスケア社

- 研究会メンバー
 - ・企業 13社、大学 3校、研究機関・財団 他 3
- オブザーバー
 - ・内閣官房、内閣府、総務省、文部科学省、厚生労働省、経済産業省、科学技術振興機構、COCN

© 2015 Toshiba Corporation CONFIDENTIAL 8

生涯PHR構築への対策

健康チェック/マイデータによる健康管理 2013年度検討における提言

【個別化予防・医療の推進】

施策1 PHR化を推進し、そのデータを保管・運用する仕組みの確立

施策2 各地でばらばらに行われている各種コホート事業の連携強化と全国規模への拡大

【個別化予防・医療促進のためのルール作り】

施策1 ゲノムコホート研究における試料やデータの1次管理の在り方の標準化

施策2 研究成果を他の研究や産業へ提供・使用するためのルール標準化やデータ標準基盤となる情報システム・ツールの整備

施策3 遺伝子情報により生活者が差別されることがない社会構築を推進すべく、研究者だけではなく社会学者や法律家などを巻き込み、社会的なコンセンサスを得る上で必要な法整備

【PHRデータの2次利用を可能とするデータ信託バンクの設立】

施策1 遺伝子情報を含むPHRデータの2次利用を可能とする制度、システム、運用ルールなど構築

施策2 健康維持・増進、疾病予防に継続して取り組むためのインセンティブの仕組み導入

【コンテンツ・デバイス事業強化、ベンチャー企業促進創生】

施策1 健康維持・増進を実現するコンテンツ・デバイス開発を推進することを目的としたオープンイノベーション体制の構築。その成果を事業化する事でベンチャー企業の創生を促進

【PHRの管理運用システムを海外へ健康インフラとして輸出するための国際標準化】

施策1 健康インフラとして輸出することを目的に、各種入力データに対する国際標準化を推進

© 2015 Toshiba Corporation CONFIDENTIAL 9

生涯PHR構築への対策

健康チェック/マイデータによる健康管理 2014年度検討における提言

【PHR活用による社会・経済的諸課題の解決】

施策1 個別化予防・医療による医療費抑制策として、PHRデータを活用する社会システムの構築

施策2 ヘルスケア・医療・福祉サービス部門のイノベーションによる新産業創出

施策3 PHRデータの二次利用推進を実現する、PHRデータ信託バンクのビジネスモデル確立

施策4 社会・経済的効果享受するため、国・地方自治体及び企業部門において早期の導入を促進

施策5 健康維持・増進活動を継続させる動機づけとして、インセンティブ・モデルの設計

【PHRデータの利活用におけるELSI対応】 (Ethical, Legal and Social Issues : 倫理的・法的・社会的問題)

施策1 運営主体のPHRデータ信託バンクの設立。ただし、何らかの規制をともなう制度設計が重要

施策2 データの収集、登録・管理、提供の各段階における確かな情報管理体制の構築

施策3 個人情報保護法改正に伴う法規対応。市場ニーズとパーソナルデータ保護の調整を図りつつ、法律、民間団体の自主ルール及び第三者機関との関係やそれぞれの機能を整理と検討

施策4 法令遵守と自主規制・企業コンプライアンスをベストミックスさせた事業者倫理の確立

施策5 本仕組みの社会的受容を促すための広報・啓発活動。特に関係部門における人材育成

【PHRデータの標準化】

施策1 データの種類 (検診結果、受診記録、投薬記録、ライフログ) やマルチデバイスでのデータ取得、入力形式の規格化

施策2 データ管理に際しての、フォーマット、暗号化やデータ互換性、データ交換に際しての規格化

施策3 社会システムとしての海外展開を意識した、国際標準化への対応

© 2015 Toshiba Corporation CONFIDENTIAL 10

今後のスケジュール

健康チェック/マイデータによる健康管理 ロードマップ

	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
個別化予防/医療推進							
PHRシステム開発	■						
地方自治体における実証実験	■						
企業部門における実証実験	■						
コホート研究							
連携体制構築	■						
ゲノムコホート研究	■						
PHRデータ信託バンク							
モデル構築/経済評価	■						
倫理・法制度面での検討	■						
信託バンク設立	■						
標準化/海外展開							
標準化推進	■						
海外実証実験	■						

© 2015 Toshiba Corporation CONFIDENTIAL 11

社会実装に向けての重要ポイント

- ① PHRデータ信託バンク ビジネスモデルの確立
 - ・パーソナルデータの二次利用による収益を、システム運用、個人へのフィードバックへ活かすビジネスモデルの確立
- ② PHRデータの標準化と生涯PHRの構築
 - ・個別化予防・医療の現場で活用するための標準化
 - ・分散するPHRデータを生涯にわたって管理するシステム構築
- ③ 社会実装におけるELSI対応
 - ・PHRデータの利活用する社会実現に向けた広報・啓蒙普及活動
 - ・PHRデータを活用し、正しく個人々に伝える人材育成

© 2015 Toshiba Corporation CONFIDENTIAL 12

2.5 総合討論

早野：

論点がいろいろあるので、その辺りを整理するためにもテーマに分けてディスカッションをしたい。

最初の論点として、梶井先生、水野先生にも示していただいたが、現在さまざまな地域で医療システムの改革が進んでいる。それから、地域包括ケアシステムという名目の下に医療・介護を統合してやっていこうという動きがある。その中で、今回プロポーザルとして「次世代型の健康リスクマネジメント」という意味で、現行のものと、次世代型はどう違う必要があるのかという辺り。端的に言うと、「健康寿命」あるいは、水野先生の言葉だと「社会寿命」かもしれないが、これを延伸する観点で現在進められていることが十分なのか、あるいは、今の方向で本当にそれが実現するのかという辺りをディスカッションしたい。どのようなことがこれから必要か。

よろしければ、梶井先生、水野先生から先に少し発言いただければと思う。どのようなことが必須になってくるのか。

梶井：

水野先生がおっしゃったように、地域包括ケアというのは、いわれているほど進んではないと思う。そこをどのように進めていくか。水野先生の提案は、大変納得できるもの。もう1つは、地域包括ケアもさることながら、地域医療をどのような方向に持っていくかということの、大きなビジョンを描いていかなければいけないのではないか。そのためにはもう少し詳細なデータ分析が今求められていると思う。

水野：

現在のものと次世代型と、どう違うのかということだが、従来このようなものは、システムをつくり上げるためにいろいろなことをやってきた、いわゆるフロントキャスト的な方向性。しかし、昨今 COI も含めていわれているのは、バックキャストで、一定の目標を定めて、そこでやるべきことを考えるという手法になってきている。それを徹底することが非常に重要だと思っている。

一方で、医療のデータは病院が管理するが、先ほど東芝の佐藤さんにお話しいただいた、PHR の世界になると、基本的には個人がそれを持って運用することが前提になる。そうになると、個人が本当に自分で管理できるのか、また、どうその情報を扱うのかという、国民一人一人のマインドをうまく育てないと、とても出てこないと思っている。社会基盤としてのシステムとともに、使うべき、あるいは使われるべき人の教育や考え方を一緒にやっていかないと駄目だということ。そのようなものが統合的に整ったものを次世代型と呼べばいいのではないか。

その際に、梶井先生の発表にあったように、分析というのが非常に重要。例えば、私が先ほど話した 6,000 歩というのは、軽症の梗塞患者が二度とならないというところにターゲットを置いている。今は脳卒中が健康寿命の延伸を妨げている。では、その中身は何かと言うと、脳梗塞がほとんど。ところが、昔と違うのは、脳梗塞も昔は一発で死ぬところまで行くが、今は 9 割が急性期病院¹ から歩いて帰る時代になっている。その後、黙っ

1 急な病気や怪我、持病の急性増悪などで重症な状態にある患者に対して、入院・手術・検査など高度で専門的な医療を行なっている病院

て放っておくと再発が起こるということで、そこにターゲットがある。そのような個々の分析をきちんとやっていくことも、次世代型のものとして重要ではないか。

早野：

健康寿命の延伸というときに、最初に山本先生の話にあったように、認知症、フレイル、転倒・骨折が問題になるが、これは日常生活のアクティビティをいかに維持するかという視点が必要かと思う。そのときに、日常生活のアクティビティが把握できているかということ、あるいはそれを本当に制御できるか、今進めている方策でそれが実現できるのかという辺りで、私としてはどうなのかなと思った。いかがか。

水野：

それも極めて重要なポイント。これまでの健康づくりのバロメーターとなっているのは、健診。健診というのはスποラディックで、孤発的。要するに、1年に2回とか、1年に3回というかたちになってきている。おそらく次世代はウェアラブルなものも含んで、連続的な健康データの中からものごとが引っ張り出せることになると思う。だから、個人の認識等も今までとは違った尺度で行けるので、それをきちんと本人にフィードバックしてあげれば、モチベーションにつながるのではないかと私は思っている。従来のスポラディックなものではなくて、サステナブル、連続性のあるデータの中でやる。

我々の研究では、3カ月ぐらいウェアラブルを持っていると、大体動きが一定してくる。そのようなデータの上に乗って、異常値が出たときには何だというかたちをつくっていくような、アルゴリズムをつくりさえすれば、早野先生がおっしゃっていた「個人が頑張る」力にも結びつくのではないか。

早野：

ありがとうございました。では、他の発表者の方も含めて質問・コメントがありましたら。特に二人の発言に関していかがか。

浅野：

水野先生の話の中にあつた、「教育が」というのは、大変重要だと、自分たちでやりながら思っている。「安全」もそうだが、最初に教育をすることなしに安全を守らせることはほぼ難しいということが、今まで証明されてきた。健康も同じ。だから、きちんとした教育を前提として、その上にモニタリング等をつくっていくことを考えるのが重要だと思っている。

もう1点、先ほどのセンサー。モニタリングをするためのツール、デバイスを持つことに関しては、残念ながら弊社の従業員も、自ら持ちたいという方はそれほど多くない。「健康オタク」的な方でなければ「そんなものは持っていたくない」というのが本音。持たせるためにどうするかという議論もあるが、持っていることを意識しないようなデバイスに仕上げていくことも重要。例えば、職域だけを考えると、IDカードがあつて、それがないと入館できないとか、いろいろあるが、そのIDカード中にセンサーが仕込まれているとか、このような日常持たなければいけないものに入っているとか、もしくは持っていることを気づかないようなぐらいのデバイスに仕上げていくというのは、この先、モニタリングを続けるというリスク制御を考えると、非常に重要だと思っている。

早野：

ありがとうございました。他に質問・コメントは。

梶井：

教育のところで、これからこのような健康情報をどのように使うかというときに、ある程度年齢の行った人にアプローチするのは、なかなか困難だと思う。最近私たちは健康や命ということ、小学生、中学生にアプローチしている。やはり子どもにどのように伝えていくか、子どもをどう育てるか。多少時間はかかるが、彼らが育ったときには、今度は彼らが直接次の世代に伝えていくので、そのような教育活動は必要だと思う。

もう1つ、本日示した、個人が、生まれる前から一生涯にわたって個人の健康情報を管理するという、個人情報管理の概念が変わっていくと思う。そして、それをどのように見るか。そこについてのいろいろなソフトを開発していかなければいけないと思うし、そのような意味での力強い相談役は、かかりつけ医だと思う。今後かかりつけ医の位置づけ、役割が非常に重要になっていくのではないかと思う。

佐藤：

我々も公衆衛生の先生方といろいろ議論している中で、身に覚えのある方もいるかもしれないが、20歳から30歳までに10キロ太った方は、将来の慢性疾患リスクが高いというのは、統計的に出てしまっている。実は、特定保健指導の40歳からというのがどうなのかという議論がある。

一つフジクラさんのところにも、我々企業人として提案だが、例えば、入社3年間はしっかりとヘルスコンシャスなライフスタイルを身につける教育、それとともに、例えばセンシングデバイス等でその人のデータをセンシングする。そこでいったん身につけるのは非常に重要ではないかと思う。特に学生から社会人になったときは、一番生活環境が変わる中で、太る方が多いらしい。そのようなところも一つ注目ポイントなのではないかと思う。

それから、先ほどのCOIの中で、我々としては、センシングの部分がさりげなくないと長く続かないだろうと思っている。そこをいかに実現できるかというところで、技術的な開発課題を挙げているが、もう1つ欠けていると思っているのは、実際にあなたの健康状態が見える化されて、将来のリスクがある程度分かったときに、どうすればいいのかというコンテンツ。健康を維持するとか、増進するところで、いろいろ健康食品とか言っているが、エビデンスが足りていなくて、効いているのかどうか分からないという状況がある。先日の府省との懇談会の中でも、そのエビデンスづくりをしっかりとやっていって、未病段階とか、予防のところで食い止めていくところをしっかりとやっていかなければならないということがあった。だから、この辺の部分も評価できればいいと考えている。

早野：

どうもありがとうございました。既に次のテーマに移りつつあるが、次のテーマとして、今国民の価値観がどんどん多様化していて、健康長寿が非常に高い価値を持っていた時代は去りつつある。今は必ずしも普遍的な価値ではなくなっている。例えば、損得とか、正義や倫理、あるいはいろいろな欲求、欲情と言うか、そのようなものが行動原理になっている。

統計的にマスで見ると、今日の話でよく分かるところがあるが、実際のところ健康に関心がない、ヘルスコンシャスということかもしれないが、そのようなものが低い人たちが実は最大のハイリスクの人たち。浅野さんに経験を話していただいたが、おそらく企業の中でも、平均として改善していても、全くうまく行かない人たちもいると思う。そのような人たちも含めて、これからの健康リスクの管理に対する、いろいろな層のモチベーショ

ンを高める方策、あるいは健康意識や価値観の低い人に対しての、多層的あるいは多角的なアプローチがあったら、提案いただけないかと思う。

浅野：

今日は時間の関係であまり深く話すことのできなかったことの1つだが、おそらく集団の中で皆さん生活していると、そこでの相対位置でものを見ていると思う。もともと私たちは、健康活動が嫌いで、運動不足で太っている方々をフィルタリングして、その方々がどう推移しているかというデータを半年にわたって追跡した。すると、9割の方が改善している。これは身近な組織が、皆さんそのようなことを楽しんでやっているということが、何となく巻き込み効果的な影響を与えているのではないかという可能性がある。

もう1つ、個人の価値観として、その優先度を高く持たない方がどうしてもいる。そのような方々を何とかしようというのは、我々から見ると、費用対効果的には非常に悪いと言うか、いくら言っても聞かない人という感じがある。視点を変えると、今集団としてある程度健康の方向に向いたところの、残っている人たちは多くない。残っている人たちが多くないというのがポイントだと思う。そのような方々が存在するというのを前提として考えるならば、その人たちに、例えば、私たちの医療支援だとすると、産業保健スタッフか産業医の先生がもう少し手厚く見ていくという、その人の行動ステージに応じて濃淡をつけていくことで最適化が図れるのではないかと思っている。

早野：

今日の話の中で、9割の方が健康の方に行動変容していった、その境界因子はどのようなものがあるのか。具体的にはどのようなメッセージを社員の方に出したら、そのようになったのか、あるいはメッセージではないにしても、どのような状況がそれを生んだのか、その辺りの具体的な話をいただきたい。経済的なメリットがあったのかとか、昇進に影響したのかとか。

浅野：

私たちの健康の活動は、社員の方々に何もインセンティブを出していない。「やりたい人はやってください」ということで、手挙げ方式で募集している。その結果、今96%の社員の方々が入っている。ですから、4%の社員の方は入っていない。

インセンティブも何もないところで、しかも私たちは何の強制もしていない。このような健康経営宣言をして、みんなに「じゃあ、歩数イベントをやりますよ」と。それも自由参加でやっているだけ。その中で、先ほど言ったような、もともとそのような行動が嫌だと感じられている方々が変わっているという事実は、ヒアリングをしてそこを吸い上げたわけではないが、先ほど言ったように、周りがそのようなことをやっているということに釣られているのではないかと。意識的かどうかは分からないが、そのように今は見ている。

早野：

今の論点は非常に重要で、国全体でも、エコ運動がそう。みんながやっているから引きずられてやっているという、競争的になっていくと。そのようなものが生まれるといいと思う。

もう1つ、今日の話の中で測定環境やイベントが大事。教育・研修では不十分で、測定環境が影響したということだが、その辺りはどうか。要するに、一般の市民の人を考えたときに、普及啓発と言っても、教育だけをしてあまりよくないし、既にやっていると思う。測定環境、イベントの効果というのは、具体的にどうなのでしょう。

浅野：

これも網羅的に意見を集めたわけではないが、測定環境やイベントと言っているところは、あまり健康、健康していない。みんなで楽しんで、「社内運動会をやろうよ」に近い発想。教育というのは、どうしてもある一定のところを教え込む、教えられる、何となく受け入れさせられるという、やらされ感が出てくると思う。しかし、健康活動の行動は、どちらかと言うと、みんなが自ら手を挙げてやろうという、前向きな活動のほうに入り、受け身ではない。そこが結果として効いてきているのではないかと考えている。

山本：

そのことを実証するための調査・研究を会社の中でやることも可能か。アンケート等で心理調査をして、どのようなきっかけで行動変容が起きたのかを、印象だけでなく、もう少し科学的に捉えていくことだが。

浅野：

アンケートは定期的に行っている中で、その中で出てくることもあるし、皆さんの心理的な活性度も、定期的に社員の方々に協力してもらってとっている。その中から自覚的ではない部分もとりだせると思う。

早野：

このテーマに関して質問はよろしいでしょうか。

水野：

会社の方の実情を聞きましたが、私たちはそれをリタイアした高齢者を対象にずっと見てきた。高齢者のモチベーションの一番は「暇だから何かやりたい」ということ。これを、活動、運動につなげるには、みんなでやるのが一番大事。とにかく寄せ集めてくる。これが一番長続きする方法だということがある。

一方で、そのような積極的に出てくる方の多くは、きちんとプランを持っている。人生90年の設計を既にしていて、65歳までは働くのだと。残りの30年間はどのようにするのだとこのプランをきちんと持っている。このようなことをやりたいから運動するのだというモチベーションを持っている方が多い。先ほどの教育とも絡むかもしれないが、教育以外に人生90年の設計を今からきちんとやらしてもらわなければいけない。次世代のワンジェネレーション、30年後の世の中を支える子どもたちを教育していても、30年かかるので、今の人たちを引っ張り出すためには、自分の将来をどう思うかを真剣に考えるようなきっかけ、これをつくるようなイベントをすることが重要だと思った。

早野：

ありがとうございました。それと関連するテーマで次の話題に移ります。

佐藤さんが言われたと思うが、これから健康医療データをビッグデータ化して、その中から、それを加工して、健康リスクの指標がどんどん出てきたときに、いつ何を誰にどうフィードバックするか、あるいは、例えば、そこから逆に、医療の側ではなくて、ビッグデータ、誰が見てもこれはリスクだと見えてしまうような指標が出てきたときに、そのような問題をこれからどう扱っていくのかと。要するに、例えば、端的に言うと、死亡率を予測するデータが出てしまうときに、それを受け入れる側にとって、あるいはそれが社会に与える影響をどう考慮したらいいのか。

佐藤：

具体的なリスク的などころの細かい検討はできていないが、遺伝的な情報の中で疾病の

リスク等が出てきた中で、治療法が見つまっているものは何らかの早期の介入をすることにより、そのリスクを減らせる可能性があるということであれば、介入すべきであろうという議論はある。しかし、まだ治療法もなく、何らかの将来のリスクが出たことを本人に伝えられるのかは一番大きな問題点となるところ。

ただ、統計的な解析の中で、我々が2次利用したいと言っているところの議論では、かなり個人の疾病のところまで踏み込もうとすると、難病の方はそれほど人数がいないので、匿名化したとしても、どの地域の何病と言ったら、大体想定がつくようなところまで落ちていってしまう可能性もある。では、どこまで匿名化してデータの2次利用をすればいいのかというところも議論の中に入っている。

今産業競争力懇談会の中の別の研究会の中では、オープンデータの利活用というところで、今までどちらかと言うと、自治体や国が持っている統計データをどう利活用するかだったが、オープンデータがどんどん個人データのほうに入ってきてしまっている。なので、そこをどのような形で利活用するのが、今、産業競争力懇談会の中で議論されていて、階層化をするしかないだろうといわれている。

階層化というのは、例えば、個人の活動量や睡眠状態の統計データは、広く商品開発等、企業で使えるところに生かせるのではないかと。しかし、疾病の部分については、医療職にしか見られないようなかたちにするなど、いろいろな議論が出てきている。ですから、PHR (Personal Health Record) と EHR (Electronic Health Record) も含めて、階層分けして、アクセスできるような対象者をきちんと色分けしていくことが、非常に重要になってくるのではないかと思う。

質問の趣旨と少しずれたところもあるが、そのような課題が今挙がってきている状況。
早野：

ありがとうございます。今の医療の、例えば、リスクファクターと呼ばれているものがあるが、基本的にはワンポイントのデータで、1回測定した値でリスクがどれだけあるかということだと思う。それに対して、これから生活環境でどんどんデータをとると、連続データが毎日とれたときには、予測精度が非常に上がる可能性がある。そうすると、今医療の側が行っている診断等が、ビッグデータのほうがより高い精度でできてしまうという可能性もある。あるいは、現に今とられている連続データ、例えば、ホルター心電計等はそうだが、24時間とると1回の心拍数とは全く違う予測が出てきてしまう。それがこれからどんどん拡大していったときに、今の医療の専門性という辺りがどのような位置づけになるのかという辺りの議論があると思う。いかがでしょうか。

梶井先生、あるいは水野先生、もしございましたらどうぞ。

水野：

やはりその分野に踏み込むとなると、データそのものの信憑性をどこまで担保できているかと、別のテクニカルな問題も必要。例えば、ゲノムはそう。「研究レベルでこうでした」と言うのであればマルだが、これをくれた患者に、あるいは健康人に戻す場合に、本当にその配列で正しいのかというのは、サンプリングの問題から全てがマルでなければ言えない。ですから、研究レベルではいくらでも結構だが、そうでないときには相当慎重に扱わなければいけないところが出てくるところと思う。

データも層別化が必要と思いつつ、一方で、日常茶飯事にとれるものについては、どちらかと言うとそれほど重要なものはなくて、総合的に見ることによって役に立つというも

の。これはやはり社会を挙げてつくる必要がある。ご存じのように米国は、トリリオン・センサー・ユニバース (Trillion Sensors Universe) でもう始まっている。このようなものに対抗していこうということになると、日本も組織として、国を挙げてやらなければ追いつかないということ。

研究レベルでのものをやるとともに、一方で本当に役立つものは、いいものであればどんどん落としていくという格好で進めていくことが重要ではないかと思う。

梶井：

先ほどの難病等に関しては、例外的に考えなければいけないと思う。EHRに関しては、広く利用されることを前提に考えていくべきだろうと思う。では、どこがそこを管理していくかと言うと、私は第三者機構を立ち上げて、ということだと思う。国が、ということになると、管理的な側面を感じとられてしまうところもあるので、利益誘導されないという意味では、第三者機構を立ち上げると。それから、公的に共有されていると。それが前提で使われていくべきではないかと思う。

早野：

ありがとうございました。それでは、健康ビッグデータの構築ということで、データ信託バンクという提案もありましたが、それも含めて、これから出てくるビッグデータをどう扱っていくべきかという辺りで、意見やコメントがありましたら、いかがでしょうか。

永井：

健康の概念が、その時代で揺れ動く。つまり、メタボや糖尿病の防止の話と、水野先生が言われたように、重大な発作をどう防ぐかということと、それにどのような対応をしていくか。結局両方大事だが、メタボ等の肥満対策というのは長期的な話。特に若い人に対する指導の重要性であり、高齢になれば、そのような人がたくさんいるので、むしろ重症化しない、重大な発作を起こさないことが重要となる。これは全く違うアプローチである。

例えば糖尿病の人でも、心臓発作を起こすのは、毎年 1,000 人に 7~8 人ぐらい。ヘテロな集団に対して、どのような科学的なアプローチが大事なのか。そこを念頭に置きながら議論いただきたいと思う。

早野：

ありがとうございました。今のことに関してコメント等がありますか。

佐藤：

今の指摘のように、東北大学とのプロジェクトの中でも「健康をどう定義できるのか」というのは、一番の問題になっている。「病気になっていないから健康だと言えるのか」というような議論になってしまっている。将来の元気予報というかたちで、その人の健康の予測をしていきたいというのがあるが、まだまだここが、本当に何を測ればいいのか、実際にそれをどう評価すればいいのかは、これからの大きな研究課題だと認識しているところ。

梶井：

おそらくこれから非常に個別化されていくと思う。集団へのアプローチも必要だが、それぞれのアプローチを考えると、それぞれの健康があって、そこにどのような対応をしていくかも一つ考えておかなければいけないような気がする。

板生：

健康の問題に関しては、もちろん医療と一緒にやるところが多い。けれども、日常的な

生活において自分の状態を把握することが中心になるとするならば、これは技術の問題で、センサー、ウェアラブルという言葉がよく出てくるが、この技術は今非常に未熟。使いたい人は、本当はいない。しかし、それをどのようにして使ってもらうかに、技術開発の大きなポイントがある。

快適性と私は称しているが、快適な情報システムをどうつくるかというところ。これはまだまだ未熟。人間の心まで含めて全部やっつけていかなければいけない。材料も含めてやっつけていかなければならない。そのところが、非常にあいまいになって、なおかつ「このセンサーを使ったらこんなことができる」、「ああ、できる」というような話ばかりが先行している。そのところを根本的に、「人間は何なのだ」ということも含めて、「人間は何を快適に考えるのか」ということまで研究を深めていかないと、人間そのものの研究が未熟であることが、一番大事なポイントであろうと。技術という観点で言えば、そのような気がする。

早野：

どうもありがとうございました。おそらく健康という概念も従来の健康診断で言う、全ての項目が正常なら健康という定義では、これからはいけなくなる。むしろ日常生活の中で個人個人のデータが変動していく中で、それをどう捉えていくかという新しい定義が必要。また、それに基づく健康教育も必要になるのではないかと思う。そのようなことを含めて、いろいろ議論いただいて、いろいろな課題があるということが出てきた。

結論を導くことはなかなか難しかったのだが、いろいろディスカッションいただきありがとうございました。4人の先生方に改めて御礼申し上げたいと思います。

3. 講演：健康リスク制御の ELSI

司会：JST-CRDS 前田フェロー

3.1 健康リスク制御の ELSI- 脳科学研究の倫理から公衆衛生の倫理へ

(東京大学大学院医学系研究科 瀧本禎之先生)

私たちの研究室（医療倫理学分野）で行われている脳科学研究の ELSI への取組を紹介する。新しい科学技術が発展してくると、それに応じて新しい倫理的問題が生じる。社会に受容される科学技術の発展のためには、倫理的観点からの検討が不可欠である。そこで、私たちはこれまで、脳科学や再生医療の発展に伴い、同時に倫理的問題を検討してきた。

脳科学研究戦略推進プログラムの目的は、脳プロに参画する研究者や研究機関、施設の倫理委員会等に対して、具体的な倫理支援を提供し、脳プロ全般の精神・神経疾患分野を含む脳科学研究の倫理的・法的・社会的課題（ELSI）を包括的に検討・研究することにある。そのようなことを通じて、脳科学研究における被験者保護と倫理審査体制を確立して、脳科学研究にまつわる ELSI への対応を行ってきた。2008 年から取組みを始めて、その時々起こる問題や研究者から提案された問題に対応してきた。

脳科学研究においては、MRI や PET を用いて撮像された脳画像を継続的に収集して、臨床情報や生化学情報、遺伝子情報とリンクさせた巨大なデータベースを構築することが盛んになっている。それに伴い包括的同意の問題を始め、データベースに対する研究参加に際する倫理的問題を前向きに検討していく必要が生じている。このような巨大なデータベースの構築が盛んになってきたことにより、脳科学研究の公衆衛生的な展開が起きている。ここに、脳科学研究の ELSI と、健康リスク制御の接点があると考えられる。健康リスク制御の ELSI の問題は、医学研究の倫理というより、むしろ公衆衛生の倫理に近いところがあると考えられる。

包括同意などの脳科学研究・健康リスク制御の公衆衛生的展開に絡んで生じる問題は、これまでのようなトップダウンのアプローチでは解決できない。その理由の 1 つとして、リスク・ベネフィット評価の難しさがある。研究に参加するリスクは個人が負担するものである。一方、利益は、個人が享受するものもあるが、社会的な健康といったものが一番大きな利益となる。それゆえ、リスクと利益が非対称であるという大きな問題がある。そのような単位の違うものを比較しなければいけないという意味で、トップダウン・アプローチを適応しにくい。

この場合、我々はボトムアップ・アプローチを提案している。新しい医療技術、科学技術の ELSI は複雑だから、「これが正解」というような解決は困難である。しかし、医療技術、科学技術はどんどん進んでいく。だから、ひとまず公正な進め方を提示していかなければならない。公正な手続から出てくる答えを、「ひとまずの公正な答え」とみなす考え方を「手続的正義」と言う。しかし、「公正とは何か」についても一義的には決まらない。やはり個別のケースにおいて、何が公正な手続かを決めていかなければならない。そのためには、社会的な合意形成を図っていく必要があるし、事後的に検証していくことも同時に必要である。

社会的合意形成のためには、必要に応じて包括的な社会調査をすること、さらには、一

般市民のリテラシー獲得のための教育と、科学コミュニケーションによる研究者と市民の相互交流という3点が必要と考えられる。

健康リスク制御の ELSI として必要なことは、一般市民は何を期待して、何に不安を感じているのかをあらかじめ調査し把握すること、そして、とりあえずの公正な手続を決めて、それを提示すること、さらに、中長期的に予想される倫理的問題に照らして、暫定的な方針を適宜修正していくことの3点。さらに、研究者と一般社会のコミュニケーションをとるための倫理支援を同時に行っていくことが求められる。

3.2 質疑

前田：

瀧本先生、ありがとうございました。それでは、ただ今のプレゼンテーションに対して質問あるいは意見等、いかがか。スライドの中に、先生の話の踏まえた論点をずいぶん出していた。これに関して何か。

浅島：

人のことを考えるときに、尊厳ということをどのように捉えているのかという、根本的なところを教えてほしい。社会的合意のことはいいのだけれども、倫理的な問題で、尊厳の在り方をどう考えるか。

瀧本：

もちろんこのような研究をしていく上では、尊厳を侵さないように進めていくことが大切なことは確か。尊厳をどう捉えるかというのは、正解がある話ではないので、尊厳をどのように一般的な人たちが考えているかも、非常に大切な視点と考えられる。そのようなことも含めて、意識調査はそのようなところが大切ではないかと考えている。

浅島：

なぜそんなことを聞いたかと言うと、最近実験動物のことで、とにかくどんどんハードルが高くなってきて、研究そのものが難しくなってきた状態がある。その辺もどのように捉えるかも。

瀧本：

難しくなっているということについて、どう捉えていくかということか。私個人の意見としては、正当な理由を欠いたかたちで難しくなりすぎるのはよくないと思う。それについて、それはあまり好ましいことではないとは思いますが、ただ、難しいところだが、このような研究においては、先ほど見たように、公衆衛生的な展開になってくると、どうしても個人の自律を制限していくような方向になりがちという面がある。そのようなところで、どの辺で線を引くかは非常に大事な問題だと思う。だからといって、そのような研究をストップするのではなくて、どうしたらそれを倫理的に妥当なしかたで進めていくかを考えていく。私はそのように提言をしたつもりで、そのように考えている。

前田：

他はいかがか。研究室から出て、社会との関わりの中で考えていくところで、このような形でまとめていただいたと思う。先ほどのパネリストの方とか、後半で発言される先生方も何か。

本多：

慶応大学の本多です。初めてこのような方面の話を伺って、非常に興味深く聞かせていただいた。市民の交流の話をされたと思う。例えば、先進医療のMRIやPETなど、何をやっているか分からない。そのような部分で、いかに今やっていることをどれだけ伝えた上で合意を得るのか。情報の開示型なのか、理解してもらうというのかはかなり、特に失礼ですが文系の方にきちんと理解してもらうのは非常に難しい。ですから、どこまで先端的な技術の情報として開示するべきかという観点も要るのではないかと。

瀧本：

非常に重要な指摘だと思われる。それぞれ個別の介入に応じて、どの程度開示すべきかが違って来る。大まかな指標で言うと、一般的な能力を持った、一般的な個人が、ある程度情報を聞いて、完璧ではないにしても、それは賛成、それに参加したいと判断ができる程度の情報を提供できればいいのではないかと考えている。したがって、それはそのときの介入の仕方によって公開する情報が違って来る。

例えば、公衆衛生的な展開を見せないような個別の研究においても、例えば、研究倫理の申請をした場合に、説明文書のところに申請書や計画書のままだと書かない。ある程度必要だと思われる情報しか書かないというのが、一般的な今の考え方である。ただ、非常に複雑になってくると、コミュニケーションをどうとっていくかというのが一番大きな問題になってくる。誤解がある中で意識調査をして、それをもって一般的な合意形成が為されたと主張しても、それは間違った前提に基づく誤った合意形成になってしまう。調査をするだけではなくて、同時にコミュニケーションをとって行って、情報をきちんと提供していく。本当に同時進行でいろいろやっていく必要があるのだろうと思う。

前田：

他はいかがか。

野村：

先ほどのパネルディスカッションにも関係するが、今、公衆衛生とされた1つの理由は、普通の生命倫理だと、基本的に自己責任なのか、コミュニティの合意なのかが明確で、どちらにしてもアウトカムが比較的明確に、死ぬか死なないか、治るか治らないか、副作用があるかないかと明確にある。公衆衛生とした1つの理由は、今回のワークショップの1つのテーマは、長期にわたるモニタリング、長期にわたる行動介入ということで、先ほどのディスカッションでは、比較的データが集まれば結果は出るのだという雰囲気でのディスカッションであったと私は感じている。しかし、必ずしもそんなことはなくて、東芝の方が言っておられたが、エビデンスがなかなかない。どのようにしてビッグデータからエビデンスをとり出していくかというところで、なかなか定量的に「これは効きますよ」「効きませんよ」というのが言えない状況において、けれども、そのような状況において自分の個人情報を出すのか、出さないのか、どこまで公開するのかという、公衆衛生と言うか、倫理的な問題があるのではないかと。だから、システム科学的な話も今からディスカッションの中で出てくると思うが、いかにビッグデータの中から定量的な指標を出していくかという技術的な課題とともに、段々明らかになっていくプロセスの中で、社会的合意なり、個人の参画をどのようにやっていくのかという側面で、どう考えているか。

瀧本：

1つ大事なこととして、今先生から指摘があったように、今の段階ではビッグデータか

ら確度の高いアウトカムを出していくのが難しい状況。これが、研究がどんどん進んでいくと、より確度の高いアウトカムが出せる。より確実に「こうだ」と言えるような結果が出てくる。状況はどんどん変わってくると思う。なので、当初のような、結果として出ているが、それがそれほどエビデンスの高くないような、はっきりとものを言えない場合の結果の扱い方と、明らかにこの手法ができて、この手法があれば高い確率で、例えばサドンデスのリスクがあると分かるような場合、そのようなことができるようになってきた場合は、それをどう扱うのかという、扱い方が変わってくる。その段階に合わせた取り決めをしていくような取組みが必要だということが一つ言える。このことに関しては、だからこれが公衆衛生だと言うつもりはない。この場合は、結果をどのように、情報の確立とか、知る権利や知らない権利、知ることによって患者が受ける不利益、例えば不安という不利益もあるので、そのようなことをどう考えるかという倫理的問題があると捉えている。むしろこういったものが公衆衛生的な展開を持ってきて、どんどん社会を巻き込んでやっていこう。全体的な健康を増進させていくという、個別の人というよりも全体的な社会的な健康を目指して行っているという方向性が、公衆衛生的な展開だと私は捉えている。その場合には、対個人だけではなくて、対社会としての全体と個人を置いているという意味で、公衆衛生的な考え方をしなければいけない要素があるのではないかという話。

前田：

新しいことを考えなければいけない面があると思うが、他にいかがか。

宮川：

公衆衛生になってきているということに関連するが、研究目的で取得した個人情報も、さまざまなものを取得する。個人情報保護法のような観点からいくと、自分のデータを見たいということで請求があった場合、そのようなデータを個人情報と解釈するのであれば、開示しなければいけないことになってくる。その辺りはどうなっているか。

瀧本：

難しい問題だとは思いますが、研究に参加する際に、「どのような結果になっても、成果に関しては、不確定な部分があるのでお返ししません」という説明をきちんとして、それについて同意を得ているのであれば、それが、個人情報保護法の法的な根拠を持って開示を請求したとしても、研究に関してそのような同意がされたのであれば、それを断ることも可能であろうと考える。どのような情報が要求されたかによって、「一概に一般的にこうです」とは言いがたいが、そのような考え方は成立すると思う。

宮川：

現状はどうか。

瀧本：

そのような請求があったときに、それは遺伝子の情報だったが、お断りをしたケースがある。それは脳プロのほうではないですが。

宮川：

それは、断る根拠として、データを取得する前に「そのような開示はしません」ということを言うわけですか？

瀧本：

はい、説明することが必要です。

前田：

ありがとうございました。それでは最後にこちらの問題にも関連して、吉川センター長からコメントをよろしくお願いします。

吉川：

今日は非常に重要で、私にとっても新しい話があった。健康というのは、全ての人が、関心があるが、「健康とは私秘的なものである。これが私の健康の基である」と言った人がいた。このような人が世の中にいるということは、これをサイエンスとしてやるのがどうかという問題から考えなければいけないぐらい、非常に根源的な問題があるのだろうと思う。それは忘れていただいて、先ほどの話で、企業内のシステムでは96%がドット来た。あるいは、ビジネスモデルでやったときには、マーケットが本当にどうやるのかという部分を考えなければいけない。社会的にそのようなことが決まるということがあがるが、一体健康という商品はどのようなものなのかが、まだ定義されないまま、いろいろなことが進んでいるのが、今の議論がややまとまっていけない根拠かなと思う。例えば、自動車が出てきたことを考えると、一斉にみんなが買ったわけ。先ほどもどなたかから指摘があったが、エコ。お客が物を買うときに、温暖化に対していい、悪いというのを、どう判断するかということ。これはかなり違う形で、いわば国連の合意のようなものがそばにあって、それがずっとまん延して、エコカーを買うということになってきた。健康というのは、そのような構造とは全く違う、ある意味では私自身の問題。それをビジネスにする、あるいは企業の中でそれを推進する、あるいは国策としてそれをやるというときに、全く今までにない、新しいターゲットになると思う。そのようなことを考えると、もう少し問題を限定したほうがいいのではないかと。だから、科学を使って健康を増進する、科学プロジェクトとして健康をやろうというわけで、最初の山本先生の話にあったような話を、一体どのような根拠でやるのかということがある。それは「あなたの健康を増す」ということなのか、あるいは「わが国の医療負担を減らす」という社会的問題のために、あなたが努力するべきだ」というものもある。実際は、自分が健康になることが、国家負担を下げるわけ。そのような脈絡の問題もある。一体何が本当のターゲットなのかということ。その辺が分からない。逆に言えば、「あなたが健康に留意することが、日本のGDPにプラスになりますよ」「日本のコストを下げますよ」ということが、はっきり客観的に言えるかと。まだそれは言っていない。各国がみんな苦労しているが。そのような研究もないと、この研究は宙に浮いていて、「好きだからやる」「医学の専門が好きだからぜひこれをやってくれ」と受け取られてしまうと思う。

ご存じのように、「フューチャー・アース」という、世界の環境問題をやろうというプロジェクトがあるが、そのときに産業も参加してくる。そのとき産業というのは、コ・デザイン、コ・プロダクション、コ・デリバリーと言っている。要するに、提供者と購買者というのが一緒に考えなければいけない。それは、できた商品を「どうですか」と持っていくのではなくて、商品計画のときから既に顧客が入っていなければいけない。そのような論理が次第に出てきている。そのような社会的流れも受け取るとすれば、一番大きな課題を背負っているのが、例えば栄養問題。おそらくこれから山本先生に紹介いただくプロジェクトの中には、その辺が明快な線として描かれていなければならないという気がした。

2つ目は簡単に。医療と人間の関係と言うのか、生命科学というものによって医療がどんどん先端化していく。このことと、今日のような話は、ある意味ではマクロで、例えば

ビジネスモデルを考えるというのは、ある意味では医療問題の統計力学的な考え方。それと、このような先端的な、医療の先端がどう進歩していくかという形の大問題、学問的問題が、どのような関係を持っているのかが、今までのところでは、はっきりしなかった。残念ですが私は退席するが、これからそのような話が盛んにされて、すべて解決してしまうことを期待して、時間があつたらまた戻ります。

前田：

吉川センター長、ありがとうございました。瀧本先生、講演ありがとうございました。

4. 提言：科学技術としての「健康リスク制御システム」

4.1 モニタリング

(司会：慶應大学 本多敏先生)

4.1.1 健康リスク制御システムにおけるウェアラブルの役割

(ウェアラブル環境情報ネット推進機構 板生清先生)

10年ほど前の学術会議で、技術がマイクロ・ナノの時代に入ってきたこと、さらに技術は個別適合の時代に入ってきたことを申し上げている。つまり、従来のマスマプロダクションでモノをつくって、それをみんなが使う時代から、個別適合の時代に入ってきたということ。しかも非常に小さいものをたくさん作れるようになるということ、つまり、「ウェアラブルセンサネットワークの時代」が来るのではないか。その中で「第4次産業」を考えようということ、議論をした覚えがある。第4の価値を創造していこうという中で、健康、快適、安全・安心、環境という分野の話が出てくる。

ウェアラブルとは一体何か。今までに皆さんが作ったものを整理すると、身体が中心にあって、インプラントという中へ入ってしまっているものがある。それから薄皮のように密着しているものがある。さらには1ミリぐらい離れた時計タイプのものがある。そして、少し離れたもの、さらに離れたものがあり、スマートフォンのようなものになっていく。「人間というものは、メディアを使って能力を拡張していく」という言葉がある。例えば、望遠鏡により、見えないものが見えるようになった、コンピュータが進化して、頭でしていた計算をコンピュータができるようになった、そして歩いていたものが自転車、自動車、飛行機で移動できるようになったということ、外に出ていくことに関しての技術は大変進んできた。しかし、人間そのものの中身を調べる技術、人間の薄皮のところでのどのようなことが起こっているのかという技術は、意外と進んでいない。

ウェアラブルも、例えば心拍変動を測るとなると、人間の中に入っていかなければならない。薄皮のところとインプラントのところまで入っていく部分は、ウェアラブルはまだ技術が発達していないと言わざるを得ない。非常に小さなものが装着されている状況まで持っていかなければならない。

ところで、健康を守るウェアラブルシステムで、私が考えているものの1つに、冷暖房がある。例えば、熱中症になりそうな状態にあるときに、冷やしてあげることをウェアラブルでやっていくことを考える。生体系は自分で自分を冷やそうとする能力を持っているが、さらに人工的なものでそれを後押ししてあげるシステム。つまり、人間系と人工系の協調による体温制御。当プロポーザルが5年後に達成を目指すテーマとして、密着型センサ・インプラントデバイス等の開発と、局所体温制御による健康増進技術を挙げたいと思う。

これから大事になるのは、ハードウェアのセンサーだけではなくて、ソフトセンサー、つまり行動をそれなりに把握して、その行動からその人の病気や健康状態を把握するような、新しいソフトウェアも含めた研究開発ではないかと思う。

【質疑】

砂川：

大変おもしろく聞いた。いろいろなものが計測できるのだというのはよく分かるが、私は臨床系なので、問題は、そのような情報を我々がもらったからといって、それと病気をつなぐという、そのマッピングは今、医学体系にない。ですから、そこをこのような機会を通じてチームを作るとか、何か構造的にそれができるような体制をとらないと、いくらセンシングして、ソフトセンシングできたとしても、最終的なハードエンド・ポイントのところまで届かないのではないかという気がする。

板生：

まさにそれを私が申し上げているつもり。そのような意味で、2000年ごろそのような話をして、スライドに出ているのでご覧いただきたい。情報処理推進機構（IPA）で始めたのは、まさにそのような話で、質問いただいたようなこと。このような生体现象、これは病院で測れるものを、健康という観点で考えると、普通の生活の状況の中で、このようなセンサーを使って、ウェアラブルセンサーでもっていろいろなものを測っていかなければならない。では、測ったからといって、これが全部ここまでつながるかと言うと、この辺のところはまだ非常にあいまいであるということ、申し上げたつもり。情報の処理と表示というところで、さらにお医者さんの力を十分借りながら、これをどう作っていくかというのが大事なポイントになる。

ましてや、このセンサーそのものは、非常に不完全なものであり、あまり心地よく使えるものができていない。センサー情報から、自動的に心身の状況を推定するというようなことができるわけではないというのが、今一番の問題・課題であろうと。ですから、この辺の技術開発をもっと大勢でやっていかなければいけないと思う。

本多：

早野先生、どうぞ。

早野：

私も同じような観点だが、このようなデータを医療サイドにフィードバックしても、医療はもうパンクしていて、誰も見ることはできない。だから、結局は自分で何とかしてほしいと。そう考えると、アラーム等の問題のときに、個々人の健康であったころのパターンを、個人が元へ戻せるかどうか。要するに、多少異常になったときに、元へ戻せるような生活習慣の工夫をするという意味で、時系列的に、例えば1年前、2年前、あるいは若いころという形、あるいは先週でもいい。「先週は良かったけれども、今週はこうなった」と。それでは元へ戻せるかという努力もしてみても、戻せなかったら初めて医療という、そのような新しい、治療と言うのも変だが、診断に至る前の辺りが大事。

板生：

おっしゃることはよく分かる。ウェアラブルもこのようなセンサーを作って、これで365日、これはメモリが入っているので記録できる。そのようなことを考えた。そのようなものをみんなが使ってくれば、非常にいい方向に行くが、これが問題なのは、これを使ってくれる人が非常に少ないので、大量のデータの蓄積が乏しいこと。

結局みんな総論はいいが、各論においては「じゃあ、自分でそれを使いたい」と言うのと、「いや、誰か使えばいいんじゃないか」という議論になってしまう。そこを何とかしていかなければいけない。それは料金の問題とか、社会制度の問題だけではなくて、ハー

ドとデータ解析・蓄積技術の問題でもある。もっと薄くなって、「よく分からないけれども、そのようなものを貼ってやっていた」というぐらいになってビッグデータの時代に入らないといけない。

本多：

板生先生、どうもありがとうございました。

発表資料 4.1.1

2015/1/27
ワークショップ
「次世代型の健康リスクマネジメントを実現する健康医療システムの構築」

健康リスク制御システムにおけるウェアラブルの役割

特定非営利活動法人 ウェアラブル環境情報ネット 推進機構 理事長
東京大学名誉教授

板生 清
itao@npowin.org

人間と生物と人工物の関係

2001年1月 ネイチャーインタフェイス vol.1, p19

1. ウェアラブルがもたらす未来社会
2. 健康を守るウェアラブルシステム
3. ヒューマンファクターの研究に基づく快適環境の実現
4. プロポーザル案へのコメント

3

技術・産業・社会の展開

技術 (マイクロ・ナノ) → 個別適合 → 産業 (1次~3次 飽和) → 社会 (各分野の展開: 公共セクタ 官利セクタ)

ウェアラブルセンサネットの時代へ → 第4次産業へ → 社会セクター台頭へ

第4の価値創造 (コンセプト創造) (イノベーション対象)

健康 快速 安全 安心 環境 多様なコミュニティ

万物は情報を発信する
ウェアラブルがもたらす未来社会と人間情報学

4

ウェアラブル技術の進展

第3段階 ウェアラブル時代: ナノテクノロジー, マイクロテクノロジー

第2段階 ウェアラブル時代: 電気・機械・情報技術

第1段階 ウェアラブル時代: 電気・機械技術

のちのし: 印刷装置, 記憶装置, コンピュータ, カメラ, 音声装置, 時計

板生：ウェアラブルへの挑戦 (2001)

5

ウェアラブルの社会実装

6

ウェアラブルとは

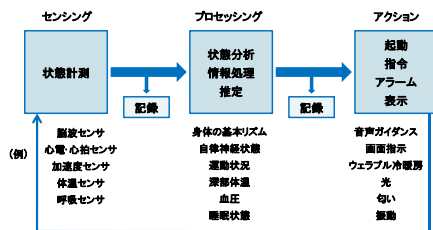


7 板生, ネイチャーインタフェイス62号, 2014年12月

1. ウェアラブルがもたらす未来社会
2. 健康を守るウェアラブルシステム
3. ヒューマンファクターの研究に基づく快適環境の実現
4. プロポーザル案へのコメント

8

健康を守る情報システムの基本構成



9

IEEE Sensors 2008 講演発表した
ヒューマンレコーダのコンセプト



10 出典: itao: Human Recorder System Development for Sensing the Autonomic Nervous System
Proceeding of IEEE SENSORS 2008 Conference 1-4244-2581-5/08 ©2008 IEEE

ヒューマンレコーダ



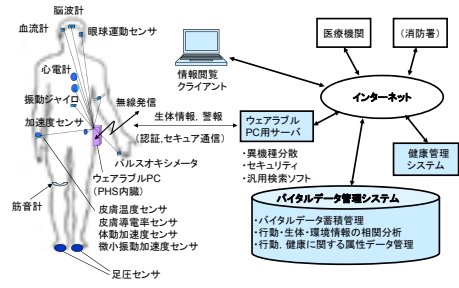
11

バイタルサインと対応する疾病例

生体現象	センサシステム	センサデータ	用途種別	疾病例
心拍変動	胸部心拍変動検出センサシステム	心拍変動	代謝・内分泌系疾患	心不全(慢性・急性) 心房性心房細動 急性冠脈症候群 急性脳卒中 急性冠脈不全
呼吸変動	呼吸センサシステム	呼吸変動	呼吸器系疾患	慢性閉塞性肺疾患 急性冠脈症候群 急性脳卒中 急性冠脈不全
体温変動	皮膚温度センサシステム	皮膚温度	自律神経系疾患	自律神経失調症 糖尿病 高血圧 心臓病 心不全 心臓性アザ
血圧変動	腕動脈血圧センサシステム	血圧	循環器系疾患	高血圧 脳卒中 急性冠脈不全 急性冠脈症候群 急性脳卒中 急性冠脈不全
運動変動	加速度センサシステム	加速度	運動系疾患	脳卒中 急性冠脈不全 急性冠脈症候群 急性脳卒中 急性冠脈不全
睡眠変動	加速度センサシステム	睡眠状態	睡眠系疾患	睡眠障害 うつ病 糖尿病 高血圧 心臓病 心不全 心臓性アザ
消化変動	胃内圧センサシステム	胃内圧	消化器系疾患	胃がん 膵臓がん 胆膵系疾患 糖尿病 高血圧 心臓病 心不全 心臓性アザ
代謝変動	血糖センサシステム	血糖	代謝系疾患	糖尿病 高血圧 心臓病 心不全 心臓性アザ
自律神経変動	皮膚温度センサシステム	皮膚温度	自律神経系疾患	自律神経失調症 糖尿病 高血圧 心臓病 心不全 心臓性アザ
認知能力	脳波センサシステム	脳波	神経系疾患	脳卒中 急性冠脈不全 急性冠脈症候群 急性脳卒中 急性冠脈不全
感情	顔面表情センサシステム	顔面表情	精神系疾患	うつ病 糖尿病 高血圧 心臓病 心不全 心臓性アザ

12 板生他, ウェアラブルセンサを用いた健康情報システム, 情報処理振興事業協会, 2002年度成果報告集第二版

バイタルケアネットワークシステムの概念図



13 板生他、ウェアラブルセンサを用いた健康情報システム、情報処理振興事業協会、2002年度成果報告書第二版

1. ウェアラブルがもたらす未来社会
2. 健康を守るウェアラブルシステム
3. ヒューマンファクターの研究に
基づく快適環境の実現
4. プロポーザル案へのコメント

14

生体センサによるメンタルコンディションの測定

胸に貼る心拍センサ、指先で測る指尖脈波センサをベースに、単なるハードの提供ではなく、「サービス」を提供しています。利用シーン、目的に合わせて、最適な測定が可能です。

心拍センサによるサービス Lifescore

【特徴】

- 長時間データを取得するのに最適
- 睡眠中のデータも取得できる
- 日常行動を阻害されずに自然な状態で計測が可能

指尖脈波センサ & タブレットによるサービス Lifescore Quick

【特徴】

- 1分間でその時のメンタルコンディションがわかる
- Androidタブレットにてタッチパネルでの簡単操作が可能
- イベント等での気軽な測定に最適

ココロのバランスチェックLifescore Quick

総合結果では、自律神経バランスによる緊張度と精神的免疫力による柔軟性を組み合わせることで、緊張・リラクセスといったメンタル状態より深い情報を得ることができます。特に、右下の「抑うつ気分」は、緊張度が高く、かつ 人とは接したくない状態ということを示しますが、複数回測定しても、この「抑うつ気分」にいく場合は、注意が必要です。

「抑うつ気分」の意識合い
 交感神経がかなり優位 = 緊張度が高い
 精神的免疫力が低過剰 = 人とは接したくない状態
 このゾーンに何度も測定しても入る場合、メンタル不調の方に多い傾向です。

メンタル不調者 48歳 メンタル不調者 30歳

総合結果は、「理解ゾーン」「理解ゾーン」「気を遣いすぎ」「気が配れすぎ」「即うつ気分」「本能のまま」の6分類になります。

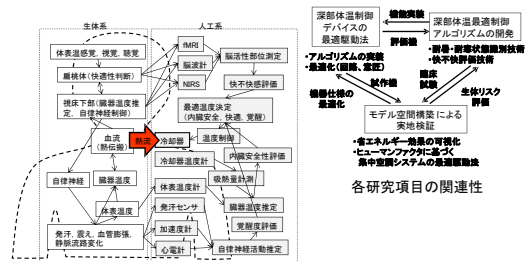
頸動脈流を冷媒とする超省エネ携帯冷房システムウェアコン (ウェアラブルコンディショナー)



17

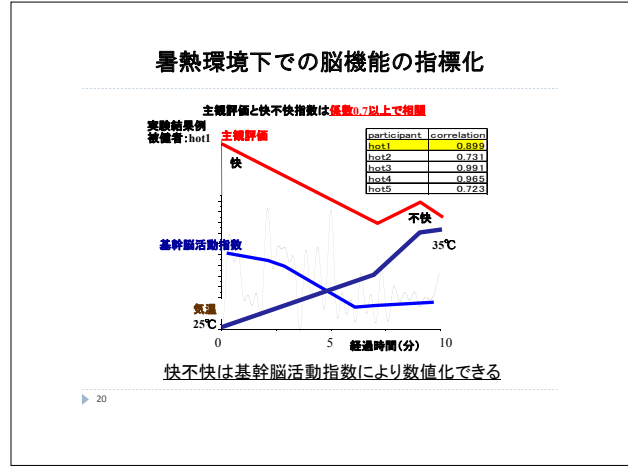
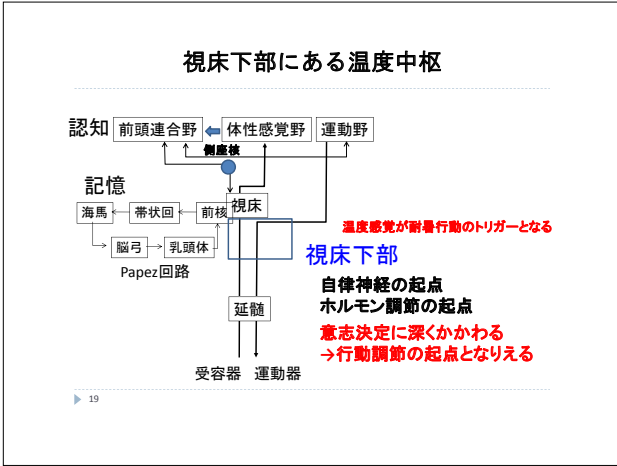
板生他、NEDO省エネルギー技術フォーラム2014

体温調節システムの研究



深部体温調節における生体系と人工系の連携

18



1. ウェアラブルがもたらす未来社会
 2. 健康を守るウェアラブルシステム
 3. ヒューマンファクターの研究に基づく快適環境の実現
 4. プロポーザル案へのコメント
- 23

- ### プロポーザル案へのコメント
- (a) 俯瞰図への追加
- (1) モニタリング
 - ・ウェアラブル技術の階層化による適応 (スライド7)
 - (2) モデリング・予測
 - ・ヒューマンファクターに基づく快適性実現のアルゴリズム (スライド21)
 - ・ヒューマンレコーダによる病気の予測 (スライド10, 11)
 - (3) 制御・誘導
 - ・センサフィードバックによるアクチュエーションの強化 (スライド9)
- (c) 5年後に達成を目指すテーマ
- (1) 密着型センサ・インプラントデバイスなどの開発 (スライド25)
 - (2) 局所体温制御による健康増進技術 (スライド26)
- 24

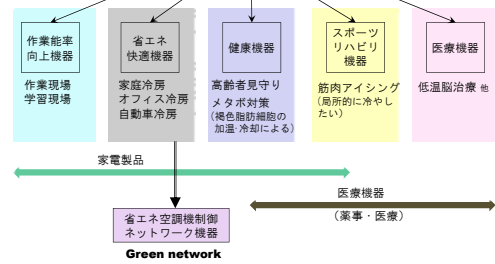
HuBE生体センシングデバイスの現状と将来像



▶ 25

出典：ふじわらロスタイルドリミテッド

ウェアラブル
局所冷暖房機能



▶ 26

出典：厚生、ネイチャーインタフェイス60号、2014年

4.1.2. 健康モニタリングの TPO

(立命館大学工学部ロボティクス学科 牧川 方昭先生)

30年前に、携帯型病態記録解析装置を開発した。リウマチの患者の病態が知りたいという先生の要請から作ったもの。このようなデータをとることは、リウマチ病の治療（トリートメント）ではなくて、マネージメントに当たる。

20年前には、携帯型デジタル生体信号計測装置量によるストレス計測を行った。この試みで分かったことは、複数の項目のデータをとらなければ、その人の日常のいろいろなことは分からないということ。

10年前には、病院を小型/計量化・ICT化という観点から眺めてみようということをやった。このことから、病院機能も小型/計量化・ICT技術で可搬化できることが分かった。可搬型の手術装置と可搬型の検査装置を作ろうということで、出来上がったのがデスクトップタイプの技術統合血液分析装置。これは、1滴の血液で5項目の検査項目を同時に分析することができる。

モニタリングは、目的と頻度、特に頻度によって様相が変わってくる。例えば身長は1年に1回測ればいいが、これを携帯型にする人はいない。しかし、例えば転倒予知とか心筋梗塞を起こしそうなときのアラームは、常時モニターが必要だから、ウェアラブルになる。さらに、例えばホルター心電計等は、常時モニターが一定期間必要だから、ウェアラブルになる。ウェアラブルでなく、据置型でもずいぶん役に立つものがあると言える。また、小型/計量化・ICT化していることが、ウェアラブルを意味するわけでもない。

健康家電普及の壁について。家庭用血圧計は大変よく売れている。血圧計の2つの数字の意味を知らせるために、マスコミ、メディアを総動員して一般の人々への教育がなされたことが背景にある。だから、ユーザーに広く受け入れられるには、健康教育、医学教育が必須。しかし、多くの家庭用の血圧計は押し入れの片隅でホコリをかぶっている。要するに、健康を生活カルチャーの一部に取り込めるというアメニティ性も考慮しなければ、開発した技術の社会実装は難しい。

COIのトライアルである「運動を生活カルチャー化する健康イノベーション」のコンセプトは、スポーツを生活の一部に取り込んでもらうこと。スポーツを商品として売ろうという発想。プロジェクトでは、運動を「させる」ではなくて、「したくなる」場の創造を通じた「運動による健康を生活カルチャーにするスポーツ健康コミュニティ」を形成する。その実現のために、スマートウェア、空間シェアリング、運動誘発の3つの技術を連携・融合させていく。

空間シェアリングとしては、ある部分にだけ音を伝える超音波スピーカーにより、例えば同じ体育館でも部分によって違う音が聞こえるようになる。スマートウェアは、着ただけで心電図、呼吸、関節運動、発汗が測れる。運動誘発については、もしプロジェクトを立ち上げるなら、文系の力、若者の力を組み込まなければいけないと思う。

【質疑】

牧川：

これは（COIの）ビジョナリーリーダーに教えていただいて、調べてびっくりした。

健康寿命の延伸はこの10年間全く図られていないにもかかわらず、平均寿命が延びている。「これは何とかせなあかん」と。でも、紫のように行ったら、青色が上に平行移動しそう。どうしたものだろうなど。

山本：

長期モニタリング、常時モニタリングは、非常に重要な要素として、このプロポーザルに入っている。電池の問題と言うか、電源の問題で、この開発ではうまく行っていない部分があると思う。それはいかがか。今後どのような方向になるのか。

牧川：

薄型の電池等いろいろあるが、スマートウェアの場合は、ベルトに電池は結構大きなものをして構わないが、ウェアとの間は、情報と電源の問題がクリアできるような、なおかつ選択できるようなものが必要で、それは可能だと考えている。ただ、おっしゃるとおりで、牛へトータルで埋め込むシステムを作ったことがあるが、半分が最新の電池を使った。半分が電池。牛の場合は、餌を食いに来るときにしか充電できないので、丸一日もたないといけない。とてもきつい。

本多：

先ほど板生先生から、最先端のものを長期につけてもらえないというような話があった。これは特にそのような違和感なく、普通に着ていただける？

牧川：

はい。出来上がったスマートウェアは、全く感触も普通のシャツです。洗濯も。

本多：

ウォッシュャブルなのですね。

浅野：

このスマートシャツに非常に興味を持った。体温と書かれているが、この体温は深部体温ではなくて、体表面温度のようなものか。

牧川：

今検討中。

浅野：

まだ市販されているわけではなくて、今研究の段階ということか。

牧川：

はい。ただ企業が何社かついていて、そこは出すつもりだと言ってくれている。

浅野：

分かりました。ありがとうございます。

本多：

これは現状の話だと思うが、10年、20年先を見据えたときに、これがどのように進化すると考えるか。

牧川：

とる項目を増やしたいのがいくつかある。着るだけで、皆さんが楽しくゲームをするような。それから、10年後の目標は、それをスポーツ産業とペアになって、実際の商売にもっていくこと。

本多：

牧川先生、どうもありがとうございました。

発表資料 4.1.2

健康モニタリングのTPO

立命館大学工学部
牧川 方昭

150127健康リスク制御WS

医療情報環境のキュービクモデル

- 医療は一種の情報科学 (情報収集; 診断⇒病態モデル⇒治療方法の選択)
- “健康モニタリング”もその一種
- 空間的・時間的な情報の断裂を埋めることで、健康・医療・福祉の大きな向上が見込める
- 技術キーワードは、小型/軽量化・ICT化
- モニタリング項目は基本的/包括的な生理量 ⇒身体活動量、心拍変動

150127健康リスク制御WS

リウマチ患者の病態記録例

S.A., F, 52才, 主婦, RA, stage IV, class II, 通院中

じっとしていても痛い
少しでも動かすと痛い
しばらく動かすと痛い
痛みほとんどなし

4つの押しボタンスイッチ
水銀スイッチ
電池 (006P型2個で連続使用約2週間)

$Pain(T) \propto \int_{-\infty}^T PA(t) e^{-\frac{t}{a}} dt$

牧川他: 携帯型病態記録解析装置の開発と慢性関節リウマチ患者の病態記録の試み, 医用電子と生体工学, 24, 1986

150127健康リスク制御WS

ストレス計測

羽生, 牧川他: 携帯型デジタル生体信号計測装置を用いた日常生活における生理ストレス反応計測の試み, 計測自動制御学会論文集, 32, 1996

研究発表が2002年度版

“病院”を検証する

現在の病院

- ICU・CCU・SCU等
- リハビリテーション室
- 病室
- 病歴室
- 輸血部
- 薬剤部
- 手術室
- ポケット検査装置検査会社
- 検査室
- 救急救命室
- 透析室
- 外来診察室
- 映像検査室

- ICT化

- 現状の病院機能も小型/軽量化・ICT化技術で可搬化できる(病院の外出)
- 現状の病院は更に高度化する(若返り・再生)

150127健康リスク制御WS

びわこ南部エリアの「小型化/軽量化・ICT化」技術の今後の展開

自宅入院、終末医療
診療所への病院機能の付与
車載・災害現場でのプレホスピタル医療
離島・限界集落での医療

フィールド・オンサイト診療システム
減菌ドーム 医師 眼HMD

健康増進支援、フィールドリハ支援、フィールド負荷試験
水分 バランサ
超小型 麻酔コントローラ
超小型 人工心臓

フィールド・オンサイト IPS治療技術
フィールド・オンサイト DDS治療技術
フィールド・オンサイト 撮影技術
フィールド・オンサイト 検査技術
フィールド・オンサイト 手術技術

フィールド・オンサイト 病歴ICT技術
フィールド・オンサイト 輸血・移植支援技術
フィールド・オンサイト 遠新技術

150127健康リスク制御WS

2010-12 文科省地域イノベーションクラスタープログラム(重点支援枠)
「いつでも、どこでも高度先端医療を実現する診断・治療技術の開発」

技術統合血液分析装置

デスクトップサイズ: 300 × 300 × 400 mm

フィルタ
分注チップ
遠心分離装置
分離ディスク
電磁シリンダ
分離ディスク
電磁シリンダ
電磁シリンダ
電磁シリンダ

装置内部装着の分析チップ

比色分析セル

特徴:
•既存の液状試薬(生化学・免疫・電解質)を搭載
•5項目の同時分析
•オン・チップ、ディスク分離・分析
•全血を滴下するのみの簡易操作
•LED光源使用で暖機不要
•制御部一体型省スペース設計

健康モニタリングの頻度による分類

目的	モニタ頻度	適用例
健康リスク	数日~1年に1回	身体測定、定期健康診断 据置型
臨床診断	常時モニタ	転倒予知、心機能異常 ウェアラブル
臨床診断	常時モニタを一定期間	ホルター心電計、義歯 ウェアラブル

健康リスク
臨床診断
臨床診断

健康・医療機器の小型/軽量化・ICT化は“ウェアラブル”を意味しない
モニタ場所とモニタ頻度で装置の形状は決まる

牧川他: ヒト心身状態の計測技術: 人に優しい製品開発のための日常計測, コロナ社, 2010

生体信号モニタリングの対象・問題・計測内容

対象	問題	計測内容
基本体調監視	身長、体重、体脂肪、体温、血圧、生活習慣、バイオリズム	
メタボ候群	身体活動量、体重、体脂肪、血糖、尿酸、消費カロリー	
エクササイズ監視	心拍/脈波、呼吸、走行速度・経路、エネルギー消費、筋機能、関節角度	
睡眠監視	睡眠深度/サイクル、無呼吸(呼吸、SPO2)、いびき、体動	
環境監視	CO ₂ 、都市ガス、排気ガス、水質、酸性雨、花粉、ウイルス、PM2.5	
健康チェック	不整脈、血圧、尿酸値、動脈硬化、唾液pH、胃/腸の蠕動運動、血液検査キット、尿検査キット	
痴呆	知能計測、感情計測	
高齢者	心拍変動・身体活動量モニタリングは健康モニタリングの万能指標ではない ユーザーと抱える問題でモニタリング項目は大きく異なる	反射機
脳	口腔の清潔度	
交通事故	視覚補助、聴覚補助	
排泄機能不全	膀胱尿量、尿漏れ、排尿量/頻度	
運転中事故	居眠り防止、飲酒チェック、運転中の心不全、睡眠習慣/不足	
過労死	疲労、筋疲労、慢性メンタルストレス	
労働者	睡眠不足 睡眠深度/時間、無呼吸症候、いびき、睡眠習慣、RLS症候群	
乳幼児	突然死 心拍、呼吸、体温、体動、姿勢	
女性	美容・生理不順 肌水分量、画像診断、基礎体温、ホルモン分泌	

牧川他: ヒト心身状態の計測技術: 人に優しい製品開発のための日常計測, コロナ社, 2010

安全安心に役立つ生体計測技術(2013)

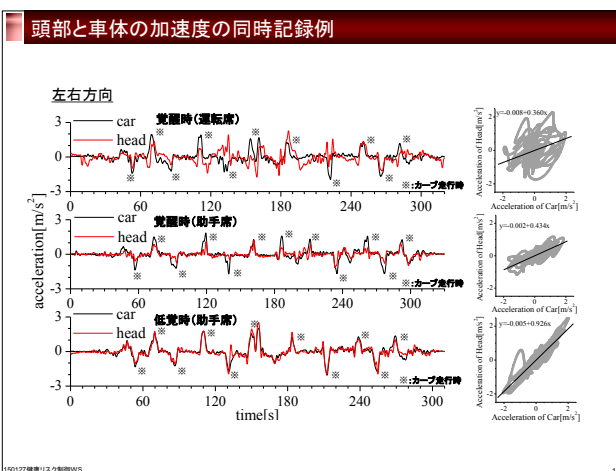
頭部の動きに着目した覚低運転の検出

低覚醒時
•左右確認などの頭部運動が減少する
•カーブ等の走行状況の変化を把握できず、運転に適した姿勢をとれない

頭部の動きを計測する。車体と頭部の2ヶ所に設置

ストレート、カーブを含む大学構内のコースを走行(約2.5 km)

高木, 牧川他: 頭部の動きに着目した運転時における覚醒度低下検出の可能性, 生体医工学, 51, 2013



健康家電普及の壁

家庭用血圧計

• ユーザに広く受け入れられるには健康教育、医学教育が必須である
• にもかかわらず、多くの家庭用血圧計は押し入れの片隅でホコリをかぶっている

血圧と疾患に関する教育 ← マスコミ、メディアによる教育

低価格 → 大きな市場 ← 簡単操作

4 提言
科学技術

カルチャーを売る！？

健康を生活カルチャーの一部に取り込めるアメニティ性も考慮しなければ、開発した技術の社会実装は難しい

大場 章男氏(ソニー・コンピュータエンタテインメント)

2013-14文部科学省革新的イノベーション創出プログラム(COI STREAM)拠点(COI-T)

【拠点名】
運動を生活カルチャー化する健康イノベーション

【プロジェクトリーダー】
石丸園子・東洋紡績コーポレート研究所快適性工学センター部長

【研究リーダー】
伊坂忠夫・立命館大学スポーツ健康科学部教授

【参画機関】
東洋紡績、立命館大学、オムロンヘルスケア(株)、パナソニック(株)、大和ハウス工業(株)、(株)東大阪スタジアム、近畿大学、滋賀医科大学

目指すべき将来の姿

運動を“させる”ではなく運動“したくなる”場の創造を通じた「運動による健康を生活カルチャーにするスポーツ健康コミュニティ」を形成する。その実現のために「スマートウェア」、「空間シェアリング」、「運動誘発」の3つの技術を連携／融合する。

スマートシャツ

瞬時心拍、換気量、エネルギー消費、メンタルストレス、覚醒度

心電図(心拍数)

呼吸

運動(関節運動)

発汗

体温

発熱、異常発汗、快速環境 温度/湿度

歩調、関節角度、転倒、運動開始/停止

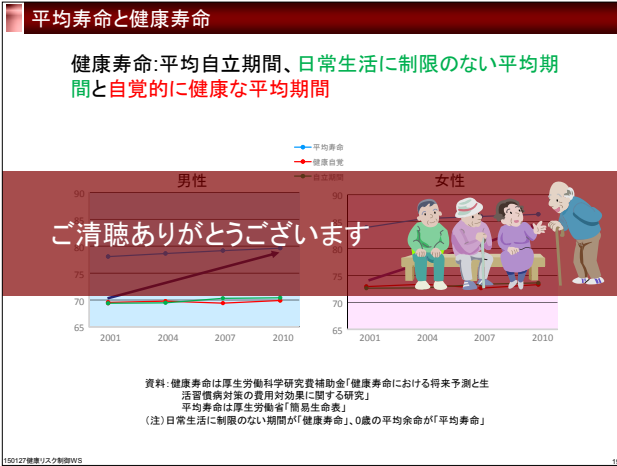
光る文字

運動誘発は可能か

健康・医療・福祉は大きな市場を形成すると言われている
大きな市場に育て上げるには、「文系の力」、「若者の力」、「オタクの力」を組み込むことが必須

健康モニタリングのTPOのまとめ

1. 診断・治療を空間的・時間的に拡大する方向に技術は進む(機器の小型/軽量化・ICT化)
2. 見えなかったものが見える診断機器(健康モニタリング機器)、諦めていた治療が可能となる治療機器であることが重要
3. 健康機器・健康家電が大きな市場を産み出すためには、機器の開発だけでなく、医学教育・健康教育が不可欠
4. 更に生活カルチャー化する観点が必要
5. 多数のユーザを対象とした健康機器・健康サービス以外にも、特定の生活場面を対象とする機器開発も大きな市場が見込める
6. 医工学分野で活躍できる人材育成が急務



4.1.3. Active tracking/ sensing

(東北大学大学院情報学研究科 橋本 浩一先生)

動いている生き物のセンシングや運動動作解析について、ロボットを例にして話をします。

私たちの研究では、まずロボットが動くと、カメラでセンシングして、コンピュータに取り込んで画像処理をして、モーターにコマンドを出す。そして、ロボットがその環境に適応して動作を続けるという流れになる。

今、工場で動いているロボットは、前工程が非常に整理されていて、ロボットがいて、忠実に作業をして、後工程の非常に整理した場所に物を置く、あるいはできたものを渡すという状況になっている。そこで、コンピュータの中に自分の作りたいもののCADがあって、CADの情報とアピランスをコンピュータの中でグラフィックスで作る。そして、コンピュータグラフィックスの中で作業を計画してやると、その作業のとおり実行するロボットを作ることができる。

組立工程も、今は人間が計画して、どのような方向にどのような力で押し込みなさいというのをプログラミングしているが、実際に作業をビジョンベースで見せてあげると、それをロボットが自動的に再現することができるようになってきた。

しかし、ロボットに対して過大な期待を抱いては困る。ロボットが介護などに対応できるかと言うと、なかなか難しい状況。ロボット技術をライフサイエンスにどうやって生かすことができるか。私たちはもともとカメラで画像を見て、コンピュータで計算をして、ロボットを動かすということをやっていたので、その技術を基に、刺激に対する人間の行動の変化を測りたいと考えている。人間では複雑なので、私たちは非常に単純な問題に落とし込んで、それにチャレンジした。

例えば、線虫は神経細胞が302個しかないし、ゼブラフィッシュは子どものころは透明で、頭の中が透けて見える。そのようなモデル動物を使っている。線虫の場合は、302個のニューロンに対して遺伝子組換えでいろいろな仕掛けを埋め込むことができるし、神経の活動状態を顕微鏡で非接触で見ることができる。そして、ある細胞に対して光反応蛋白質を遺伝子組換えで埋め込んでやると、光を当てただけでその細胞が興奮したり、抑制されたりする。そのような非常に単純化された環境の中で、刺激と行動の関係性を見るというシステムに取り組んだ。

線虫の神経活動の状態を、蛍光に変換して、明るさの変化で捉えるという蛋白質がたくさん開発されている。また、細胞の活動状態を光で活性化したり抑制したりする蛋白質も開発されている。これらを特定の細胞に埋め込むことも可能になっている。

私たちは、ロックオントラッキング顕微鏡を開発した。これは動いている生き物を追いかける装置。高速なビジョンを見て、画像処理をして、ステージを動かせば、顕微鏡の視野内から虫が逃げないというもの。また、私たちの開発したプロジェクターでは、対物レンズを通して光を当てれば、細胞に選択的に光を当てることが可能。

【質疑】

本多：

橋本先生、非常に興味深い話をありがとうございました。では、質疑、討論を受けたい

と思います。いかがか。

宮川：

話が突然線虫とか、ゼブラフィッシュになって、健康リスク制御とのつながりが見えにくくなったかもしれない。1つ、つながる可能性があるかどうかについて質問したいと思う。我々はマウスの精神・神経疾患モデルで研究をやっている。例えば、先生の3Dトラッキングの画像解析の技術を用いて、24時間ずっと経時的にモニターしておく。行動をカテゴライズして、それを経時的にモニターすることが可能ではないかと思う。精神・神経疾患モデルマウスでありがちなのは、行動が突然変わる。活動量が非常に高かったマウスが、ある日、元気がなくなって、しばらくすると死んでしまうというようなことがある。先生の画像解析の技術を使って、モニターしておいて、「そろそろ危ないのではないか」ということを予測し、それでオプトジェネティックスのようなもので制御、どこかを抑制したり、かつ活性化させたりすることによって、行動を変えるというような研究につながっていく可能性はいかがか。

橋本：

夢の広がる話で、とてもすてきなアイデアだと思う。脳の領域を刺激するというのは、海馬をつなげばできると思う。しかし、細胞を刺激するとなると、今我々が作っているものではできない。マウスの少し深いところというと、固定しないと刺激できないと思う。そのような問題があるにもかかわらず、高速なカメラでマウスの行動をオンラインで推定する、あるいはその結果を光刺激に使うことは可能だと思う。ただし、刺激できる部位が今のところそれほどセレクトティブではない状況だと思う。

宮川：

刺激する部位がセレクトティブでないというのは、細胞腫特異的とかいうことか。

橋本：

そう。ある領域を刺激するというのは、おそらく問題なくできると思う。それから、先ほど言い忘れたが、非常に簡単な回路。数個あるいは数十個のエレメントしかないような回路なので、おのおのの細胞のアクティベートの履歴とか、活動の履歴等がとれば、行動とどのような相関があるのかは見えるはず。今それに取り組んでいるところ。

宮川：

ありがとうございました。

本多：

他にいかがか。このプロジェクトで言うと、モデリングや予測のところ、今は線虫とかゼブラフィッシュだが、今のマウスの話もそうだが、高等動物に段々適用可能になっていく見込みはあるか。

橋本：

今のところ我々の研究室で飼うことができ、しかも遺伝子組換えでいろいろとからくりが仕込める生き物ということで、このような動物を使っている。もしマウスの研究室と共同で、何かできるということであれば、そのような方向性もあると思う。

本多：

おそらくこの後、神経回路網的な話もいろいろ出てくると思うので、その辺とうまくディスカッションができるといいなと思いながら伺った。先生、どうもありがとうございました。

発表資料 4.1.3

健康リスク制御システム要素技術
Active tracking/sensing

Koichi Hashimoto
koichi@m.tohoku.ac.jp

Graduate School of Information Sciences / Mechanical Engineering
Tohoku University

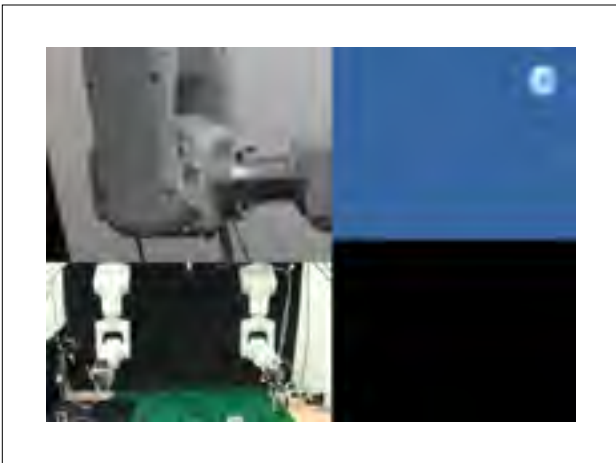
1

Vision-based feedback control

- Key Technology: **Feedback**

```
graph LR; Motors[Moters] -- Action --> Robot[Robot]; Robot -- Result --> Camera[Camera]; Camera -- State --> Controller[Controller]; Controller -- Control input --> Motors; Robot -- Kinematic error --> Robot; Robot -- Dynamics error --> Motors; Camera -- Calibration error --> Controller;
```

2



Force and Visual Servo

Dual Arm Force and Visual Servo

Bin-picking
(2013, with Prof. Kosuge and EPSON)

Bin-picking
(2013, with Prof. Kosuge and EPSON)


Densely stacked shiny objects
Estimation of Length, Diameter, Head direction



Tracking 6DOF



Robustness against deformation



Experiment (balloon)





Image size : 640×480 [pixel]
Template size : 97×125 [pixel]
Processing speed : 37 [fps]

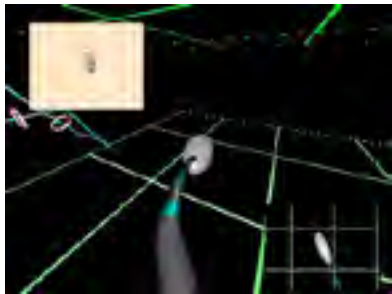
Rock-on tracking using visual servo (2005)



- High magnification observation
- Large observation area
- Keep tracking

11

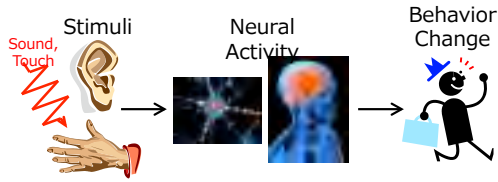
3D Tracking CG



12

Motivation

- Observe neural and behavioral activities of animals simultaneously
= Essential requirement in Ethology (行動学)



Difficulty in human brain: Number of neurons =

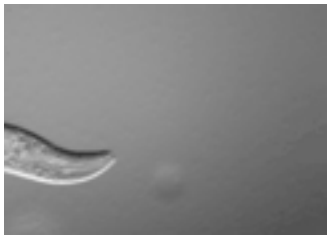
Tools

- **Target animal**
 - C. elegans: worm with 302 neurons
 - Zebra fish: larva with transparent body
- **Gene recombination**
 - Implement sensors and actuators in living animal
- **Fluorescent Protein**
 - Ca²⁺ sensor: cellular activity is controlled by Ca²⁺
- **Optogenetic Protein**
 - React against light, control cell activity

14

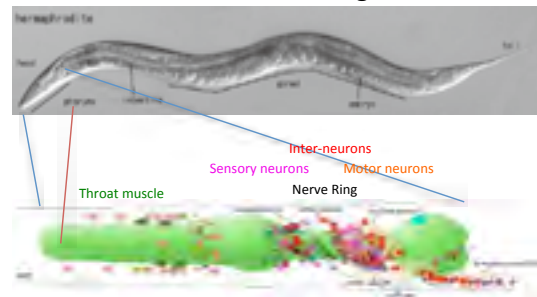
C. Elegans (Nobel prize winner worm)

- C. elegans is tiny worm (1mm for adult).
- Short time to reproductive maturity (2-3 days), longer life span (two weeks)
- No. of neural cells is 302 and all synapse connections are clarified.
- Most attractive model animal for investigating neural activity.



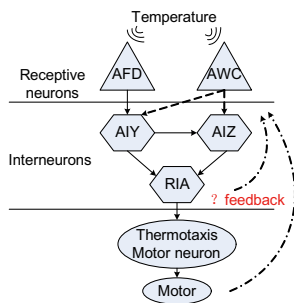
15

Neurons in C. elegans



16

Sensor/motor circuit



17

Fluorescent Protein

- Neural activity is closely related to Ca²⁺
- Ca²⁺ sensor

GCaMP:



Cameleon:



18

Optogenetics

- Optical control of cellular activity
- ChR2

19

Optogenetic control system

20

Microscope and robot

21

Head Tracking in Bright Field

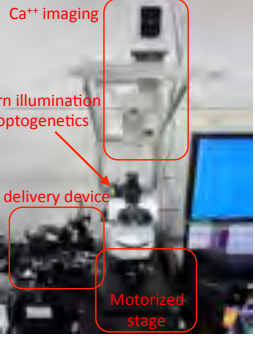
Moving *C. elegans* in a bright field while tracking

Trajectory of *C. elegans* head (Reconstructed from the displacement of the XYZ-stage)

X40 (AFD chameleon through YFP filter)

A virtual reality running machine for worms

The system

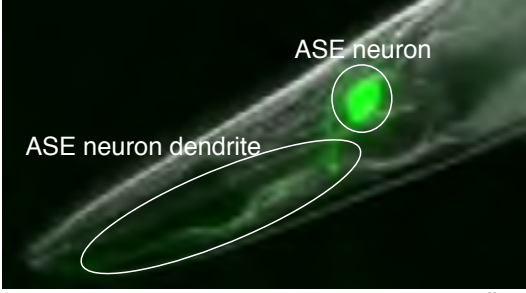


Olfactory and Optogenetic Stimulation associated with Auto-tracking Calcium imaging system for Behaving Nematode

=> OOSaCaBeN

「ええ仕事しまっせ〜」
by 西川のりお師匠

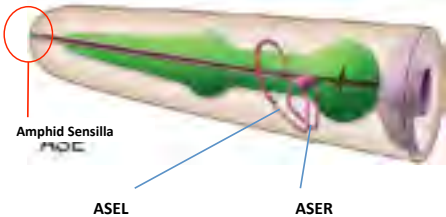
Sensor neuron (ASE: NaCl... sensor)



ASE neuron

ASE neuron dendrite

ASE Amphid Sensory Neurons are the NaCl sensors




Amphid Sensilla

ASEL


ASER

Optical Manipulation Video



Sato, Kunitomo, Iino 2012

Light stimulation on AIZ



The neuron AIZ of *C. elegans* is light-stimulated twice (duration of each time about 5s) when *C. elegans* is moving forward, *C. elegans* responded moving backward (20x).

Zebrafish – from wikipedia

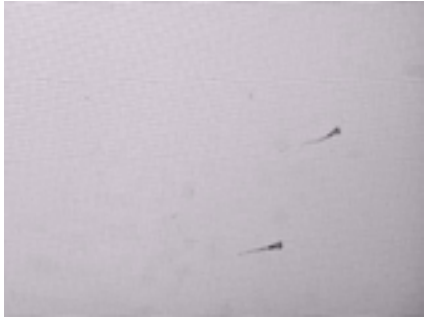
- As a model biological system, the zebrafish possesses numerous advantages for scientists.
 - Its genome has been fully sequenced
 - It has well-understood, easily observable and testable developmental behaviors
 - Its embryonic development is very rapid
 - Its embryos are relatively large, robust, and transparent, and able to develop outside their mother.
 - Furthermore, well-characterized mutant strains are readily available.



wild-type embryo

pigment mutant

Motion of zebra larvae



31

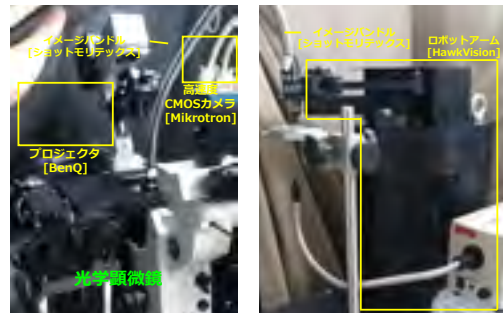
Zebrafish embryo x 50



Zebrafish -- slow



Optical fiber bundle image transfer



Optical fiber bundle tracking



35

Optogenetics of zebrafish



36

Opto-genetic tracking

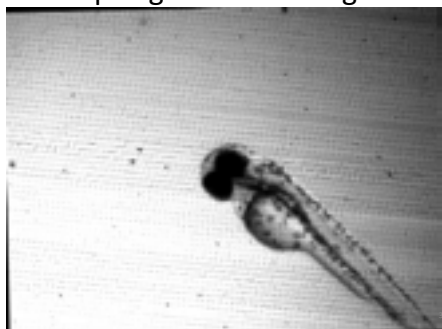


Image stabilization



Acknowledgements

- *C. elegans*
 - Prof. Higashitani, Tohoku University
 - Prof. Nakai, Saitama University --- developer of GCaMP
 - Prof. Ando, Saitama University
 - Prof. Kimura, Osaka University
 - Prof. Mori, Nagoya University
 - Prof. Tsukada, Nagoya University
 - Prof. Iino, University of Tokyo --- Shingakujyutu, CREST
- *Zebrafish*
 - Prof. Yawo, Tohoku University --- developer of Chr2
 - Prof. Shoji, Tohoku University
- Data of neural activity
 - Prof. Shingai, Iwate University
 - Prof. Ishihara, Kyushu University
- Realtime OS and Hardware Design
 - Mr. Mori, Hawkvision
- Funding Agencies
 - JST PROSTO, SORST
 - MEXT KAKEN 21246040, 23115703, 21115502, 23650080, 25540130, ...

4.2 モデリング・予測

(司会：大阪大学 野村先生)

山本先生のスライド(資料2)の30ページの「健康リスク制御システムの特徴」を見てください。その中のモニタリング、モデリング・予測、制御・誘導というところで、「何を、いつ、どうするか?」と。制御・誘導のために何をいつ、どうするか、そのために何を測るのかというのが重要なポイントだという話があった。このワークショップは、対象物のダイナミクスを取り扱うところに特徴があると思う。計測と制御というのは、私が言うまでもなく、システム科学の主要課題であるし、このワークショップの横串だという説明が最初にあった。どのような制御をするのか、そのために何を測るのかという、2つの間をつなぐ中核技術がモデリングだと思う。良い制御を行うためには、良い横串をつくるのが鍵になる。このセッションでは、そのような観点からモデリングの話をして3人の先生方からお聞かせいただけたらと思う。

4.2.1. 生体機能融合情報治療がもたらす医療革命

(九州大学大学院医学系研究科 砂川賢二先生)

私は臨床の現場にいるので、本日の出席者の中では数少ない立場だと思う。その中で、最近の動向の紹介も含め、この事業にどうフィットさせたいかを考察したい。

最近『Nature』を騒がせている **Electroceuticals** とは、神経にインターフェースして、難病を克服しようというもの。2045年には、コンピュータパワーは、地球上のすべての人類を合わせた能力を超えるという話もあるぐらい、テクノロジーが進歩するといわれる。これを医療に生かさない手はないだろうということ。中心的なテーマは神経活動に介入した生命現象の制御。

対象となる病態は、各種の炎症性の疾患、癌、痛み、あるいは循環器疾患から、あらゆる疾患がいわれている。究極は、これらを閉ループ制御すること。ただし、外野から見て、唯一できそうなのが循環器系。

日本の状況として、循環系領域の **Electroceuticals** は、日本は世界の中で圧倒的に進んでいる。閉ループ制御も、日本では既に現実的なものになってきている。対象疾患は、心不全、高血圧を対象に既に進んでいて、臨床試験は残念ながら日本の実績を使って海外の人たちがやっている。既に欧米で臨床試験がいくつも走っている。

閉ループでの **Electroceuticals** による血圧の制御を例にして話す。いろいろな理由で血圧の調節系が破綻する場面があるが、基本的に負帰還を構成している。それを再構成して、人工的に負帰還を閉じるという考え方。このように、壊れたシステムが本来持っていたものを想定して、何をどう制御したらいいかというモデルをつくり、そのモデルに応じて制御していく。既に日本国内でも、膝関節の手術での臨床例がある。

血圧のほうはうまく行っているが、より大きな問題は心不全。心不全の生命予後は大変悪く、私が「医学は未熟だ」と考えるのも、ここに原因がある。ラットを用いた私の研究では、外部のデバイスを使って、遠隔コントロールで、心臓に行っている神経を刺激すると、人に換算して10年ぐらいの期間で死ぬような動物が、ほとんど死ななくなり、リスク・

リダクションが 80% に達することが分かってきた。

今後 **Electroceuticals** を進めようとする、物理的に、あるいは論理的にインターフェースする技術が必要。ここは未熟。そして、それができたときにどう制御するかの制御技術が必要。また、情報が書き込まれたり、読みとられたりするところが 1 箇所とは限らないので、生体内の素子間の通信システムが必要。さらに閉ループ制御に必須の生理活性物質、物理量、化学量等のセンシング技術が必要。その他に、電源の問題や、高精度のマッピング、病態に近いモデルをうまく構成するという課題がある。

欧米は、今年予算から見ても、かなり本気で **Electroceuticals** に取り組んでいることが分かる。論文数も 2000 年ごろから急増している。

Electroceuticals に伴う社会のインパクトに関しては、**man-machine** の統合によりモニタリングが非常によく、時間や空間の距離が問題ではなくなる、モデリングが進化して、予測・介入のタイミングが分かるようになることなどが考えられる。また、医療の高効率化、持続可能な社会の実現の可能性もある。

このような新しい医療も、健康リスク制御システムの中で取り扱ってもらえればと考える。

< 質疑 >

浅島：

先生の話に「脳を創る」というのがあるが、これは「脳を理解する」という先の問題として捉えればいいか。

砂川：

言葉はやや刺激的なほうがいいということで、「創る」という言葉を使っているが、実はやっているのは、脳幹部がやっている自律神経系を制御するという、その機能の再構成の意味。だから、脳の本当の意味での高次機能の理解とは、ある意味でほど遠い、もっと単純作業しか実際はやっていない。

浅島：

欧米は本気であると言ったときに、一番フォーカスしているところはどこか。

砂川：

今は、彼らは実学に徹していて、末梢の神経とどうインターフェースし、神経のマップをどう作るかということ。生体にある全ての神経のマップを作れというような流れ。

川人：

脳科学の医療系への応用ということで言うと、ニューロロジーや、精神疾患では脳深部刺激 (DBS) という方法がかなり昔から使われている。もともとはパーキンソン病やジストニア等から始まったが、最近だと OCD あるいは重度のうつ病等、メドトロニック (Medtronic) が大規模トライアルをやったが、失敗でやめてしまったというネガティブな話もある。ですから、脳科学にいる者からすると、脳の奥深く、もしくは大脳皮質の表面に刺激をして疼痛をとるというのは、当たり前治療になっている感じがする。

特に中枢に対する直接電気刺激、磁気刺激ではなくて、ペリフェリー (periphery) にこだわる理由がもう一つピンと来ないが、教えていただけると有り難い。

砂川：

先生がおっしゃられるように、明らかにターゲットはペリファラル (peripheral)。こ

れが生まれてきた歴史が、一握りの研究者たちが、末梢における炎症の誘発や制御に神経がどのように関わるかということをとくさん調べている。それが根っこになっているという感じ。ですから、全部末梢を巻き込んだ話になっていて、先ほど申し上げたように、マップを作るという話も、末梢のマップ。中枢は、去年の暮れに行なわれたグラスノミスクライインの会合のときの印象は、中枢は行くところまで行ったと。今からはこれの出口としての末梢だというような感覚。

川人：

ありがとうございました。

野村：

他にいかがか。本日見せていただいたデータは、比較的ベッドサイドと言うか、病院の中の制御の話だったと思う。末梢と言うか、循環系の **Electroceuticals** というのが、クロニックに日常生活の中で機能するのは、時間でどれぐらいだと思うか。

砂川：

現在治験が走っているものは、パーマネント。治験の結果を見るためには、1年とか2年見てるが、考え方はパーマネント。ですから、電池を替えながら、10年、20年と維持していくのではないかと思う。

野村：

基本的には心不全の予防ということか。

砂川：

今のところ予防となると、なかなかインベシブの治療に乗ってくる患者さんがいないので、打つ手がないほど、エンドステージまで来た人に対して、入れてどうなるかというデザインになっている。

野村；

その意味ではベッドに寝ておられる方？

砂川：

対象にしているのは、一応外来通院の方。自宅だと治験費がかかりすぎると。

野村：

他はよろしいでしょうか。

山本：

チームでの会議のときも **Electroceuticals** の議論は出た。IEEE が、先日、スペクトラムで「2050年を目標に」、というのを出した。2050年ぐらいの目標を現在設定することがどうだろうかという議論が出ていた。先生の考えではもう少し早いか。

砂川：

日本はなぜかずいぶん早い時期から、循環系の **Electroceuticals** が始まっていて、しかもスタートのときから閉ループ制御が基本。そこの領域に関しては、諸外国をはるかに引き離している。そのようなアドバンテージがある。全ての領域となると、拡散と思うので少し効率は悪いかもかもしれないが、領域を限ってやれば2050年まで待たなくても、循環器疾患は人類最大の死因という不名誉な現実があるし、それに直接関わるのは **Electroceuticals** ということになるので、社会的に意味も含めて、合理性はある程度あるのではないかと感じている。

野村： 砂川先生、どうもありがとうございました。


発表資料 4.2.1

生体機能融合治療がもたらす 医療革命


九州大学
砂川賢二

Nature誌を賑わす Electroceuticals


A jump-start for electroceuticals. Famm K et al, Nature 2013



Charged by GSK investment, battery of electroceuticals advance. Sinha G, Nat Med 2013



Electroceuticals sparks interest. Reardon S, Nature 2014




Bioelectric medicines: a research roadmap. Birmingham K et al., Nat Med 2014

2015/1/27 CRDS2014 WS 2

加速する技術革新: Singularity 2045

Moore's law: Overall processing power for computers doubles every 2 years



Grossman L, Time 2011

2015/1/27 CRDS2014 WS 3

分子(物質)から電子(情報)へ Regulating life by electrical impulse

- **神経活動を介して生命の制御**
The functions and organ systems of our body are, to a significant extent, controlled by electrical signals that travel along the nerves. **Bioelectronic medicines (electroceuticals, bioelectronics)** will aim to control biological processes and treat disease by modulating these electrical impulses.
- **超小型デバイスによる直接制御**
They will be miniaturized devices that connect to specific groups of neurons or their nerve fibers and modulate the electrical signaling patterns, to restore the healthy states of targeted organs and functions (*swapping drugs for devices*).
- **難治性病態に有効**
Bioelectronic medicines could allow us to address some diseases that have so far been *untreatable*, and others with *greater precision* and *fewer side effects* than with *conventional molecular medicines*.
- **特徴: 広帯域、動作範囲、確立された制御戦略**

分子 電子

2015/1/27 CRDS2014 WS 4

コリン作動性抗炎症経路と炎症反射

Cholinergic anti-inflammatory pathway



Tracey KJ, Nature 2000, 2002, 2003, 2004, 2012, 2013
Nat Med 2004, 2004, 2013, 2014
Science 2011, 2011

関節リウマチ Electroceuticals 治療



Koopman FA, Best Pract Res Clin Rheumatol 2014

2015/1/27 CRDS2014 WS 5

対象になり得る病態

- 慢性炎症、癌、疼痛
- 循環器、腎、呼吸器、代謝性疾患
- 消化器、内分泌、泌尿器
- 感覚器、運動器
- 究極は閉ループ制御
- ◆ 循環器以外は何れも開発の極早期であり、実用化にはかなりの時間を要す

2015/1/27 CRDS2014 WS 6

日本の優位性

- 循環器領域のNeuromodulationの基盤技術は世界を主導
- 脳を聴く、脳を創る、脳を超える要素技術の確立
- 究極とされる閉ループ制御に実績
- 心不全制御の新展開
- 血圧制御の新展開
- 多数の臨床試験に関わっている
- NIH(SPARC)の責任者の選考に関与



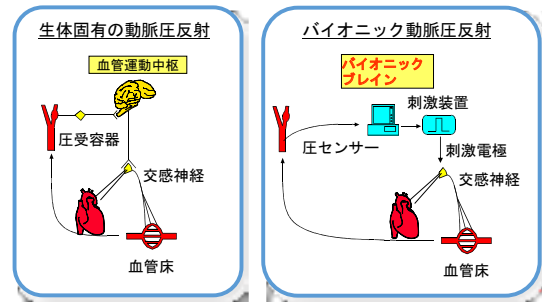
AHAで最も権威のある Paul Dudley White Awardを受賞(ホストシステムで最も期待される新領域の創設者、2000)

2015/1/27

CRDS2014 WS

7

脳を創る: 生体機能融合システムによる血圧制御

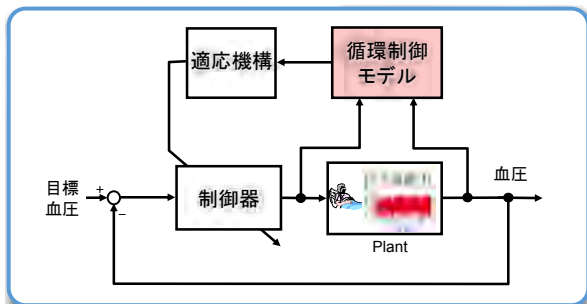


2015/1/27

CRDS2014 WS

8

血圧制御システムの構成図 (モデル化による制御)

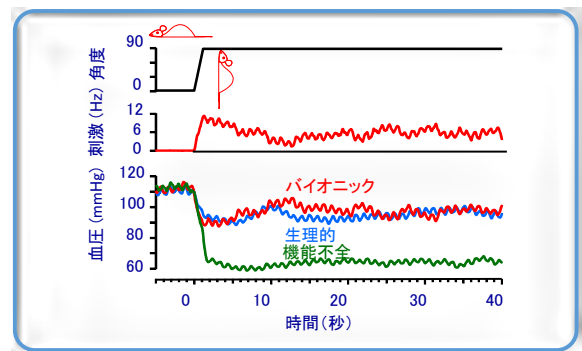


2015/1/27

CRDS2014 WS

9

Bionic Brainによる血圧制御



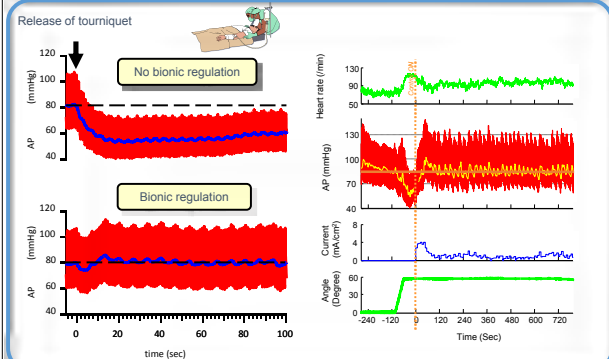
Sato T et al., Circulation. 2002

2015/1/27

CRDS2014 WS

10

患者における血圧制御(術中、脊損)



Yamasaki F et al, Circulation. 2006

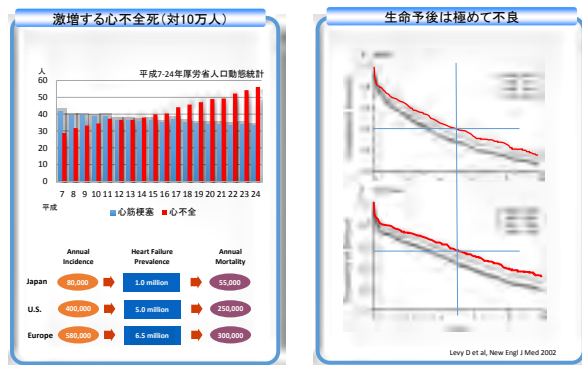
Yoshida M, Proc IEEE EMBS 2008

2015/1/27

CRDS2014 WS

11

心不全: 現代医学の限界

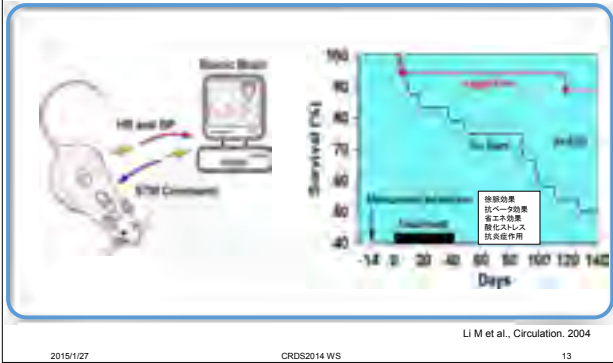


2015/1/27

CRDS2014 WS

12

脳を超えるElectroceutical 心不全治療(HF_REF)



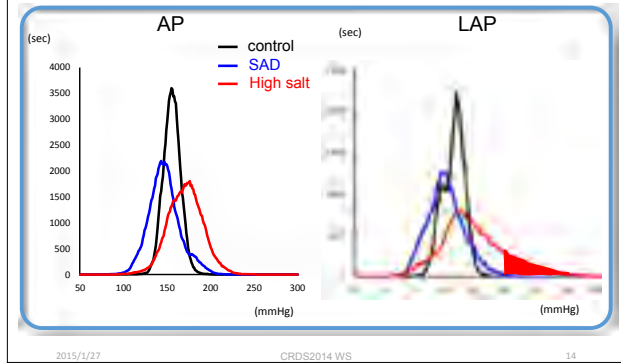
2015/1/27

CRDS2014 WS

LI M et al., Circulation, 2004

13

モデルから見てきた心不全 (HF_pEF) 発症のリスク

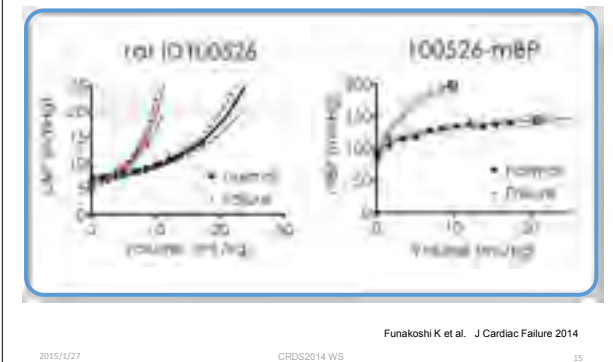


2015/1/27

CRDS2014 WS

14

制御不全は容量耐性を劇的に低下



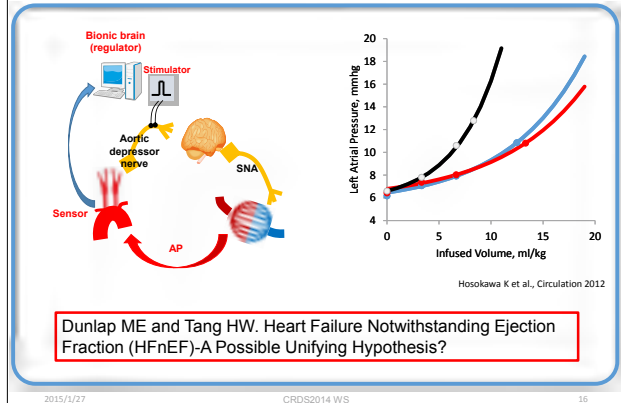
2015/1/27

CRDS2014 WS

Funakoshi K et al., J Cardiac Failure 2014

15

脳を創る: SuperBaroの機能



2015/1/27

CRDS2014 WS

16

想定される開発課題

1. 物理的神経インターフェイス技術(電極の開発)
2. 論理的神経インターフェイス技術(encoding & decoding)
3. 生体制御技術開発
4. 生体内(外)素子間の通信システム開発
5. 閉ループ制御に必要な生理活性物質、物理量、化学量などの微小センシング技術
6. これらの電子システムを支える電源技術
7. 神経による臓器支配の高精細なマッピング
8. 診断(同定)や治療(制御)に必要なモデル化技術

2015/1/27

CRDS2014 WS

17

欧米は本気: 戦略的な支援

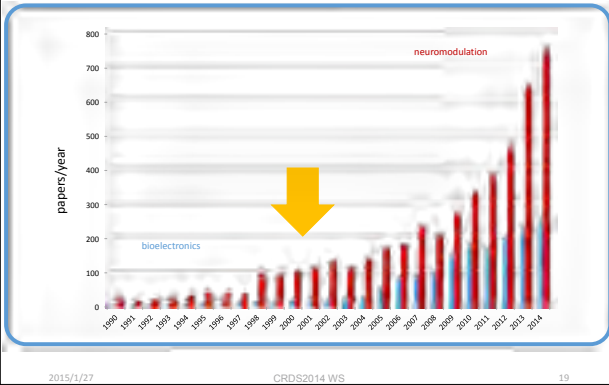
- 米国NIH: SPARC (Stimulating Peripheral Activity to Relieve Conditions): \$248m
- DARPA (Pentagon, Defense advanced research projects agency): \$79m
- GSK: NIHやDARPAを巻き込み民間から支援、Bioelectric Medicines Summit 2013, New Yorkを主催: \$60m
- ◆ Brain researchの出口か。一時のゲノムプロジェクトを思わせる熱気あり。

2015/1/27

CRDS2014 WS

18

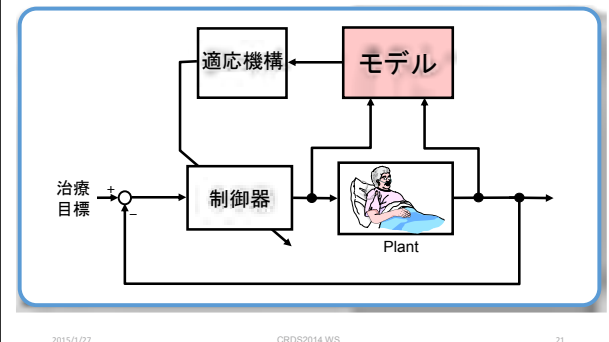
激増する論文(1990~)



社会の変革

1. 健康医療システム構築の加速
 2. **man-machine integration**によるモニタリング精度の劇的な改善(時空超越)
 3. **モデリング**による診断、リスク予測、介入時期の合理的な推定(疾患モデルの構築)
 4. 効率的な個別介入(Pharmaceuticals, **electroceuticals**)、**自動治療**
 5. 医療の高効率化、QOL向上による持続可能な社会の実現
- 2015/1/27 CRDS2014 WS 20

モデルの無いところに診断無く 制御の無いところに治療なし



4.2.2. 未病状態の発見と超早期治療を実現する DNB（動的ネットワークバイオマーカー）

（東京大学生産技術研究所 合原一幸先生）

昨年の3月まで内閣府の FIRST プロジェクトの中で、我々は、複雑系の数理モデルを作るための方法論を作りながら、それをいろいろなシステムに応用してきた。

早い時期に、前立腺癌の内分泌治療法について、PSA（前立腺特異抗原）を見ながら最適化するという研究を行った。それはうまく行って、研究としてはほぼ完成した。ところが、乳癌にもやろうとしたら、乳癌には PSA のようないいバイオマーカーがなかったためにできなかった。それで考えたのが、本日の話。

通常のバイオマーカーは、健康状態と病気の状態を識別するためのものだが、我々は治療に適したタイミングを数学的に定義して、実際のデータでそれを見つけた。「いつ治療するか」を教えてくれるのが、我々が、動的ネットワークバイオマーカー（DNB: Dynamical Network Biomarker）と呼んでいるもの。

DNB の概念について。まず健康な状態を安定な状態と考える。健康状態では、多少睡眠不足になったり、飲み過ぎたりしても、一晩寝ると元に戻る。したがって、健康状態はアトラクター。他方で、例えば癌になった状態も、残念ながらアトラクター。いったん癌になってしまうと、そこから動かすのは大変。この2つの仮定を認めると、発病というのは、健康なアトラクターから病気のアトラクターへの分岐現象といえる。したがって、分岐現象を解析すると、病態が悪化する予兆の段階が分かる。DNB は、いろいろな病気の悪化の予兆を見つけるバイオマーカー。

漢方では、これを未病状態と言うらしい。我々はそれを疾病前状態と言っている。要するに、健康アトラクターから病気アトラクターへの分岐の直前の状態。

模式的にエネルギーのポテンシャルでイメージすると、健康な状態というのはポテンシャルの底で安定している。病気状態に近づいてくると、ポテンシャルが浅くなっていく。それ以上浅くなると、アトラクターではなくなり病気の状態へ状態遷移してしまう。遷移する前の、特有のゆらぎを定義して、それを検出すれば、臨界状態が分かり、そこで治療すれば、簡単に元に戻せるはず。

今まで、マウスの実験データを使って遺伝子の発現パターンを調べたり、人間では B 型肝炎から肝硬変に行くステージについて調べたりしている。

DNB についてまとめると、個々のバイオマーカーの性能は大して良くはないが、ネットワークとしては高機能で、病態の悪化の予兆の段階を検出できるコンセプトのバイオマーカーということになる。医学系、生物系の先生方にデータをとってもらって、我々が解析をすることをしている。JST の「特許の強化、早期の実用化を図るための加速制度」にも採択された。

紀元前 221 年の中国の医学書である『黄帝内経』に、「名医は未病状態を治療する。三流の医者は病気になった人を治療する」とある。我々の手法を使えば、少なくとも未病状態のタイミングが分かるので、これを使ってすべての医者に名医になってほしいと願っている。

< 質疑 >

木村：

大変おもしろい考えだと思うが、疑問を感じたのは、病気というのはアトラクターかどうか。健康はアトラクター。もう1つのアトラクターは死だと思う。病気というのは、死に向かうか、それとも健康に戻るかのプロセスではないかという気がする。例えば、感染という状態はまさにそう。あれはアトラクターでは決してなくて、死ぬか、生きるか。慢性病はおそらくアトラクター的な天井状態があるのかもしれないが、それも薬等の治療をやめてしまうと、グッと死のほうへ向かうと。ですから、病気がアトラクターかどうかということについて、少し疑問を感じた。

合原：

疑問に思われるのはよく理解できる。それはデータを見て、これから検証しなければならないので、まだ分かっていないこと。ただし、死がアトラクターかと言うと、私はそうは思っていない。死の摂動はできない。したがって、力学系で言うと、無限に発散しているような、解になっているので、アトラクターとは違う。

本多：

具体的に分からなかったのですが、実際にバイオマーカーとして検出するのは、血液をとって、遺伝子の発現を見ると考えてよろしいか。

合原：

我々が実験をやっているわけではない。我々がもらったデータ、例えば、マウスだと、大量のマウスで実験を始めて、いろいろなタイミングでたとえば5匹ずつのデータをとっていく。本当は細かいタイミングで見たいが、なかなかそれは見られないので、5匹の動物の数のほうのアンサンブルで標準偏差と相関を見る。

例えば、センサーがウェアラブルになって、リアルタイムで測れるようなものがたくさんとれるようになったら、本当に細かく見られるが、今は研究レベルなので、そうはできない。個体数方向の統計処理です。人間だったら、患者さんの数の方向で平均をとるということ。

永井：

臨床で応用するときには、遺伝子発現で調べようということか。それとももっと、例えば蛋白とか酵素活性とか。

合原：

それは病気ごとにいいDNBか何かを見つけなければいけないが、今研究としてやろうとしているのは、取りあえず遺伝子発現。

永井：

マウスで、ということですね。

合原：

いや、人間でも発現量を測れば。

永井：

人間で組織をとってくるのか、それとも血液サンプル？

合原：

血液で測れば一番いいが、研究レベルでは、おそらく組織をとると思う。他方で脳に関しては、必ずしも遺伝子がいいとは思えないので他のデータも用いる。

永井：

未病段階であれば、普通のラボ検査でよいだろう。しかし糖尿病といっても、10年ぐらい見ていると、心臓や脳の発作を起こす人と起こさない人があり、バリエーションが大きい。遺伝子発現でなければいけないというのだと、実用化できない。

合原：

遺伝子発現量以外のデータにも使える。今、脳マーカーに関してはそうではないデータでやろうとしている。

山本：

これは臨界点でのゆらぎだけを捉えるということですね。健康な状態のアトラクター自体の形状をデータから再構成するというようなことの重要性はどうお考えか。

合原：

我々はアトラクターに興味があるので重要視している。おそらくこの模式図だと、ポイント・アトラクターだったが、実際はそうでないと思っているので、それはぜひやりたい。

山本：

そこが、どちらかというところ、もう少し未病に近いですね。

合原：

はい。基本的にはアトラクターが、例えばポイント・アトラクターであろうと、カオス・アトラクターであろうと、未病自体は、要するにベイスンとの兼ね合いの話になるので、アトラクター自体は何でもいいと思う。

川人：

木村先生の、「本当に病気はアトラクターなのか」というところに私もとても興味がある。私自身は、病気はアトラクターだと考えたいが、では、どのぐらいそのようなことを言っている人がいるのかとか、データがあるのかと今思い直してみた。私が知っている、最初にそのようなことをきれいに言ったのは、アーサー・ウィンフリーだと思っている。心臓の細動のカオス・アトラクターで説明した、あのようなものが今多くの人々が認めているのではないかと思う。

あとは、精神疾患に関しても、私たちは、OCD、うつ、自閉症、統合失調症で、脳のBOLD信号のダイナミクスだが、それが健常者と疾患群で、きれいに双峰性に分かれるということも見ている。アトラクターであると考えないと説明できないと思うが、おもしろいサイエンティフィックなトピックス。治す、治さないは別にして。

合原：

ありがとうございます。やはり循環系はこのコンセプトは非常に進んでいて、ウィンフリーもそうですし、Leon Glassがdynamical diseasesという概念を出した。循環系に関しては、かなりアトラクターということが分かっていると思う。それ以外に関してはこれからやらなければいけないので、ぜひ脳のデータを解析させてください。

野村：

では、時間になりましたので、ありがとうございました。

発表資料 4.2.2

ワークショップ「次世代型の健康リスクマネジメントを実現する健康医療システムの構築」
2015年1月27日(火):JST東京本都別館 2階セミナー室

未病状態の発見と超早期治療を実現する
DNB(動的ネットワークバイオマーカー)

合原一幸

東京大学 生産技術研究所
東京大学最先端数理モデル連携研究センター
東京大学 大学院情報理工学系研究科 数理情報学専攻
東京大学 大学院工学系研究科 電気系工学専攻

aihara@sat.t.u-tokyo.ac.jp
URL: <http://www.sat.t.u-tokyo.ac.jp/>

数理工学で実世界の複雑系に挑む!

背景
脳、生命、健康、癌、免疫、新興・再興感染症、環境、エネルギー・電力、情報、通信、交通、経済、地震等々の21世紀の重要課題
↳ 複雑系の問題として、とらえることができる

本研究課題
数理工学、カオス工学に立脚した最先端数理モデリングと数理解析を駆使して、様々な複雑系問題解決のために、複雑系数理モデル学の基礎理論と分野横断的科学技術への実学応用の基盤を作る

出口
複雑システム科学技術に基づいた、多彩な実学応用を拓く複雑系数理イノベーションの確立

実現象の数理モデリングと数理解析
(数理工学の方法論)

数理世界 ↔ 実世界

数理モデリング
数理解析

数理的手法 ↔ 現実の諸問題

理解・解決・最適化・制御・予測

内閣府 最先端研究開発支援プログラム
複雑系数理モデル学の基礎理論構築とその分野横断的科学技術応用
東京大学 最先端数理モデル連携研究センター
複雑系数理モデル学の分野横断的科学技術応用研究

最先端制御研究 複雑工学ネットワーク制御 数値モデルに基づく治療
複雑系集積回路 脳、生命システムの複雑系数理モデル 新規インフルエンザ 感染伝播解析

6変換によるAD/DA変換

基礎研究と 応用研究の相互作用

複雑系数理モデル学の基礎理論構築: 分野横断科学技術の核

数理工学 我々が固有の工学 応用のための数学
カオス工学 カオス、フラクタル、 複雑ネットワークの 工学

複雑ネットワーク理論
非線形時系列 解析理論
力学系理論 ↔ 制御理論 融合

分野横断的複雑系科学技術 に基づいて、社会的緊急性が 高く、かつ産業上の重要性・ 必要性が大きい諸問題の解 決を目指す。
■ 数値モデルの療治療や 投薬最適化への応用
■ 新規インフルエンザや バイオテロの数理解析と ワクチン接種計画最適化 などの公衆衛生への応用
■ 複雑系科学技術による 難治性再生とエネルギー 効率向上のための基礎構築
■ 全く新しい非線形原理に 基づくAD/DA変換器、 複雑系集積回路、 複素計量技術 などの 複雑系情報処理技術の確 立
■ 複雑ネットワーク理論に 基づく交通流、高度複雑系 通信ネットワークや電力ネッ トワークの制御
■ 環境予測技術とその 電力・エネルギーシステム への応用
■ 脳、生命システムの 複雑系数理モデルとBMI、 ロボット、医療への応用
■ 経済変動の複雑性の解明

非線形科学 生命科学 情報科学 工学 医学 経済学 社会科学

前立腺癌の定量的数理モデルと治療への応用

投薬下 $\frac{dx_1}{dt} = w_{1,1}x_1$
 $\frac{dx_2}{dt} = w_{2,1}x_1 + w_{2,2}x_2$
 $\frac{dx_3}{dt} = w_{3,1}x_1 + w_{3,2}x_2 + w_{3,3}x_3$

非投薬下 $\frac{dx_1}{dt} = w_{1,1}x_1 + w_{1,2}x_2$
 $\frac{dx_2}{dt} = w_{2,1}x_1$
 $\frac{dx_3}{dt} = w_{3,1}x_1$

数理モデルによる分類	実際の間欠的内分泌治療の結果	
	再燃なし	再燃あり
タイプ (I)	52例	1例
タイプ (II)	17例	15例
タイプ (III)	2例	3例

Tanaka et al. Phil. Trans. R. Soc. A 368, 5029 (2010)

前立腺癌の数理モデルに基づくテーラード 間欠的内分泌療法とその一般化

数理モデルに基づく個別化医療の実現

対象疾病選定 (ex. 前立腺がん)

極めて敏感な バイオマーカーが存在する (ex. PSA)

YES

各患者からバイオマーカーの 時系列計測

テーラード数理モデリング

治療スケジュールの最適化 (ex. 間欠的内分泌療法)

NO

遺伝子発現量等の生体ビッグデータ計測

動的ネットワークバイオマーカーの同定

疾病前状態の検出

数理モデルに基づく 個別化医療の実現

4 提言
科学技術

From DNA to **DNB**(Dynamical Network Biomarkers)

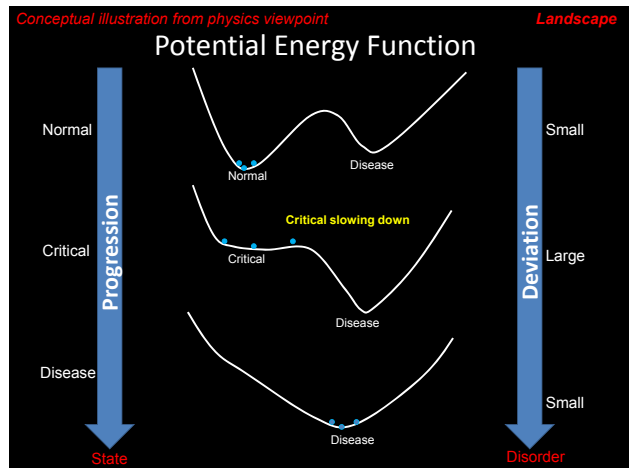
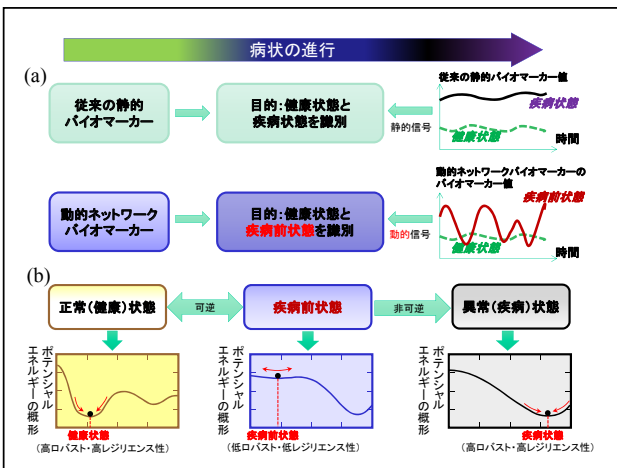
Detecting early-warning signals of complex diseases by dynamical network biomarkers

動的ネットワークバイオマーカーの概念の導出

従来の問題点: 単独バイオマーカーの限界, 病態悪化の予兆検出可能なバイオマーカーは未発見。

個々のバイオマーカーとしての性能はそれ程高くなくてもネットワークとしては極めて高機能で、様々な難病において病態悪化の予兆検出が可能な、全く新しいネットワークバイオマーカーの概念を提案した (特願2012-211921, 特願2012-233886; *Scientific Reports*, 2, 342, 2012; 2, 423, 2012)。

疾病のみならず、電力システムや高炉などの複雑工学システム、交通渋滞、経済データの不安定化予兆検出等への応用が研究中。



Mathematical foundation

System

$$\dot{Z}(t) = f(Z(t); P)$$

Driving Factors (unknown) Responses (observable)

Parameters P **State Variables Z**

Slowly changing factors, e.g. genetic (SNP,CNV), epigenetic (methylation, acetylation) factors

e.g. gene expression, protein expression

The progression of a disease is considered as the evolution of a nonlinear dynamical system.

i.e., identify the leading network which makes the first move into the disease state.

Main idea

Mathematical Scheme

Global network in original space (observable Z) → Transform → Generally, one or two dimensions in center manifold (unobservable Y) → Transform → Subnetwork or DNB in original space (observable Z)

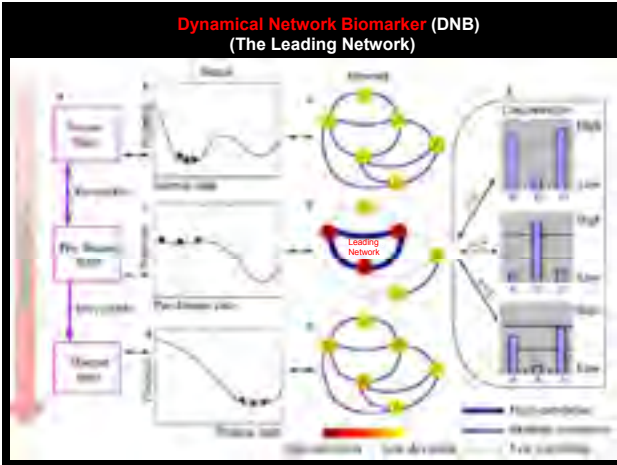
Surprisingly!

Complicated equations usually in very high dimensional space $Z(k+1) = f_{\text{normal}}(Z(k); P)$

Dynamics is constrained to 1 or 2 dimensional abstract space $Y(k+1) = g(Y(k); P)$

Complicated equations usually in very high dimensional space $Z(k+1) = f_{\text{disease}}(Z(k); P)$

Before critical period (Normal state) Critical period (Pre-disease state) After critical period (Disease state)



Main Theorem

- If both i and j are in DNB,
 - Pearson Correlation $pcc(x_i, x_j) \rightarrow \pm 1$
 - Standard Deviation $sd(x_i)$ and $sd(x_j) \rightarrow \infty$
- If only i is in DNB,
 - Pearson Correlation $pcc(x_i, x_j) \rightarrow 0$
 - Standard Deviation $sd(x_i) \rightarrow \infty$ but $sd(x_j) = \text{bounded}$
- If both i and j are not in DNB,
 - Pearson Correlation $|pcc(x_i, x_j)| \rightarrow a$ ($0 < a < 1$)
 - Standard Deviation $sd(x_i)$ and $sd(x_j) = \text{bounded}$

Three Measurable Conditions \rightarrow **Critical State**

It always holds provided that a system is becoming increasingly sensitive to external perturbations, regardless of bifurcations.

Composite Indicator based on DNB

$$J = \frac{SD_d \cdot PCC_d}{PCC_o}$$

PCC_d : average PCC of DNB in absolute value
 PCC_o : average PCC of DNB and others in absolute value
 SD_d : average SD of DNB

Based on the three conditions

JST知的財産戦略センターのスーパーハイウェイに採択

スーパーハイウェイ: 特許の強化、早期の実用化を図るための加速制度
 課題の名称: 「動的ネットワークバイオマーカーによる疾病早期診断技術の開発」
 実施期間: H26年11月~H28年3月

基本特許:
 「動的ネットワークバイオマーカーの検出装置、検出方法及び検出プログラム」
 発明者: 藤沼南、合原一幸他
 FIRSTプロジェクトで理論創出、基本特許出願、論文発表

↓

スーパーハイウェイにて
 ・基本特許の補足、強化及び展開する特許群の作成を行う。
 ・国内の実データを用いて理論の実験検証を重ね
 ・理論適用の疾病拡大
 ・企業への技術紹介、取り組み促進活動(研究会開催)を行う。

DNB関連の文献:

- L. Chen, R Liu, Z.-P. Liu, M. Li, and K. Aihara: "Detecting Early-warning Signals for Sudden Deterioration of Complex Diseases by Dynamical Network Biomarkers," *Scientific Reports*, Vol.2, No.342, pp.1-8 (2012).
- R. Liu, M. Li, Z.-P. Liu, J. Wu, L. Chen, and K. Aihara: "Identifying Critical Transitions and their Leading Biomolecular Networks in Complex Diseases," *Scientific Reports*, Vol.2, Article No.813, pp.1-9 (2012).
- R. Liu, K. Aihara, and L. Chen: "Dynamical Network Biomarkers for Identifying Critical Transitions of Biological Processes," *Quantitative Biology*, Vol.1, No.2, pp.105-114 (2013).
- 合原一幸: 「数学に基づくがんの個別化医療」, *実験医学*, Vol.31, No.18, pp.2925-2931 (2013).
- R. Liu, X. Yu, X. Liu, D. Xu, K. Aihara, and L. Chen: "Identifying Critical Transitions of Complex Diseases based on a Single Sample," *Bioinformatics*, Vol.30, No.11, pp.1579-1586 (2014).
- R. Liu, X. Wang, K. Aihara, and L. Chen: "Early Diagnosis of Complex Diseases by Molecular Biomarkers, Network Biomarkers, and Dynamical Network Biomarkers," *Medicinal Research Reviews*, Vol.34, No.3, pp.455-478 (2014).
- L. Chen, R. Liu, X. Wang, K. Aihara: "Dynamical Network Biomarkers for Complex Diseases," to be published from Springer.

4.2.3. 大規模データの統計的モデリングとパーソナライゼーション

(東北大学大学院経済学研究科 石垣 司先生)

ビッグデータは社会にどのような影響を与えているか。マクロ的な面では、都市計画、インフラ、減災・防災、交通網等、社会のあるべき姿を明らかにすることにビッグデータが使われている。一方、ミクロ的な面では、サービス、医療、マーケティング、ヘルスケア、経営意思決定等、個の特性を理解することに使われており、この面で社会実装の研究が盛んに行われている。

個の特性を理解するというのは、技術を突き詰めると、パーソナライゼーションに行き着く。テーラーメイド医療、オーダーメイド医療等の話があるが、健康リスク制御、健康リスク管理も、突き詰めれば個人の状態を予測したり制御したりするところに行き着くと思う。

ビッグデータを大量に集めたところで、本質的な情報の不足は解消されない。まず個人の反事実を作れない。例えば、ある個人が薬を飲んだ効果と飲まなかった効果の両方を観測することはできない。これができれば、因果効果がすぐに検証できるので、そもそもビッグデータ解析は要らない。それができないので、集団として統計的な取扱いで因果関係を示す必要がある。

ビッグデータには、情報のスパース性の問題（新 NP 問題）がある。データの数よりも、説明変数の空間の大きさが膨大になると、いくらデータを集めたところで、その空間の大きさの拡大にはかなわないという問題。個人の情報を知りたいときにビッグデータを集めたとしても、説明変数がたくさんあれば、個人の情報はスカスカになり、知りたい情報はほとんど入っていない状態になる。健康リスク管理というのでも、説明変数が膨大になるのではないかという問題意識がある。

ビッグデータの活用には、データを集めた上で、アナリティクスによってユーザーに価値を提供するものを実装しなければ、社会に対して還元するのは難しいと思う。大量・高速・多様にデータを集めただけでは、パーソナライゼーションは難しい。そこで、個人間の情報をつないで、補完する必要がある、そこに統計的モデリングを活用しようという研究をしている。統計的モデリングでは、現実の社会を反映させた構造や仕組みを作り込む作業を行う。

私の研究事例では、データがスカスカ過ぎて、個人ごとの特性を知ることはできない場合、機械学習による次元圧縮を使い、その縮約した空間でパラメータを推定する。その縮約したパラメータを元空間に戻して、必要なデータを補完するということをしている。このようなモデルを、健康リスク管理でも使えるように作り込んでいく必要がある。

本プロポーザルで研究開発するとしたら、因果構造のモデリングができるかが問題になる。何が分かれば何の病気の発症か分かるのかが、きちんとモデル化できれば、健康リスクの予測と介入・制御の最適化はできると思う。ただし、何を制御したいのか、具体的な KPI が何かという疑問もある。また、何を制御すればいいのかをデータから発見したいという考え方もあるかもしれない。だから、発見的なデータ分析の志向、思考、試行は非常に重要。くわえて、モデリングして、発見して、検証していく流れの中で、実際にアナリティクスをする人と、医学・健康の専門家がスパイラルアップするような構造を組まな

ければならない。

< 質疑 >

野村：

それでは、質疑・討論を。

合原：

大規模なデータをとってきたときに、例えば、微分方程式で言うと、状態変数に対応しているものと、パラメータに対応しているものと、おそらくごちゃごちゃになると思う。大規模なものでも、ごちゃ混ぜで、この手法は構わないのか。

石垣：

統計モデルでは、潜在変数とパラメータという言い方をしているが、それを一つの統計モデル内で推定をする。例えば、EM アルゴリズムや変分ベイズ法という推定方法が存在するので、それを使うということだと思う。

合原：

一つの統計モデルになっているのだけれども、どれが状態変数で、どれがパラメータかは分からないという前提か。

石垣：

いえ、それはしっかりとモデリングを。

合原：

そこは、大丈夫か。それは、知らないといけないということか。

石垣：

そうです。それはモデルとしてきちんと数理的に構造を。

合原：

そこは結構難しいような気がする。

石垣：

もちろん。それは研究対象として、そこをしっかりと作り込む。作り込まないと、データからは何も出てこないという構造になると思う。

合原：

データから、これはパラメータだとか、これは状態変数だとか、そのような感じのことはできないか。

石垣：

できたらおもしろい。

合原：

ありがとうございます。

野村：

他はいかがか。

川人：

いろいろな意味でとてもおもしろかった。実は全く違う世界で、私たちがやっているのとほとんど同じで、脳のイメージングバイオマーカーを作ろうとすると、説明変数はあつという間に何万次元になってしまうが、サンプルは、患者さんの数はそれほど集められないので数百で、同じような問題になってしまう。店舗の消費行動の場合は、品数が非常に

多いから、説明変数の次元が大きいのではないかと聞いていた。

質問の本旨は、合原先生の例や、石垣さんの例や、脳のイメージングバイオマーカーだったら、説明変数が非常に大きいというのは分かりやすいが、普通私たちが考えている、今使われている医療のバイオマーカーは、これほど次元の高いものはほとんどない。それが、本当にこれから次元が非常に高くなるのだろうか。と言うのは、コストが非常にかかってしまう。私たちはfMRIを使っているし、合原さんは先ほどの話に出たが、遺伝子ネットワークを見ている。本当にサンプル数をはるかに超えるような説明変数の次元が、経済的にマッチしたり、皆さんが本当に信用して使ったりする時代が来ると、ここにいる人は思っているのかなという質問。

石垣：

バイオマーカーは詳しくないが、例えば、バイオインフォマティクスのほうでは、むしろマイクロアレイデータのようなデータがメインになっている。ですから、そのような分野もあるし、そうではない分野もあると。そこで使える技術、有効な技術を使うというのが、本筋ではないかと思う。

川人：

ありがとうございました。

野村：

他は。

合原：

川人さんに答えますと、我々のものは、変数はたくさん測らなければいけないが、サンプル自体は最小ワンサンプルでいい。ですから、パーソナライズできる。

野村：

それでは、時間になりましたので、石垣先生、どうもありがとうございました。

発表資料 4.2.3

2015年1月27日 JST/CRDSワークショップ
「次世代型の健康リスクマネジメントを実現する健康医療システムの構築」

大規模データの統計的モデリングと パーソナライゼーション

東北大学 大学院 経済学研究科
石垣 司

ビッグデータによる社会的価値創出

【ビッグデータは世界を変えるか？】

- マクロ的な活用
 - 都市計画、インフラ、減災・防災、交通網、通信、etc....
 - 社会のあるべき姿 ⇒ 社会全体の効率化・頑健化
- ミクロ的な活用
 - サービス、医療、マーケティング、ヘルスケア、経営意思決定、etc. ...
 - “個”の特性の理解 ⇒ 個人に適した支援
 - 究極はパーソナライゼーション

日々の生活における
多様なビッグデータ → 有効活用 → 社会的損失状態 → 社会的価値の創出へ

“個”を知る

【ビッグデータとパーソナライゼーション】

- テーラーメイド医療、One-to-oneマーケティング、etc. ...

Time, Vol. 180, No. 26, December 24, 2012
IBM Big Data & Analytics Hub, The Four Y's of Big Data
<http://www.ibmbigdatahub.com/infographic/four-y-big-data>

- 健康リスク管理 ⇒ “個人”の状態の予測・制御

“個”を知るために

【本質的な情報不足】

- 効果実証：個人の反事实は作れない
 - ある個人が薬を飲んだ効果と飲まなかった効果の両者は観測不可
 - 因果の検証には統計的な扱いが必要
- 情報のスパース性（新NP問題）
 - 説明変数の空間が大なら、ビッグデータでも個人の情報はスカスカ
 - 健康リスク管理 ⇒ 説明変数は膨大

【ビッグデータ活用】

- アナリティクスがユーザへの価値を生む
 - 大量・高速・多様にデータを集めただけでは“個”は推定困難
- 個人間の情報をつなぎ・補完する ⇒ **統計的モデリング**

大規模スパースデータの例

【データ空間の大きさ >> (大量の)データ量】

- 小売店の購買履歴データ(ID付きPOSデータ)

- “誰が、いつ、何を」買うかを予測・制御したい” ⇒ 情報の縮約やデータの補完が必要
- 統計的モデリング ⇒ 現実世界を反映させた構造や仕組みを作り込む

事例紹介

【大規模パーソナライゼーション(制御モデル)】

- ミクロ計量経済学に基づいた消費者行動モデル
 - 消費者 i の商品 j の時刻 t の状態(データ量: 総量は大、個人は小)

刺激変数(価格・習慣等) (観測変数) → 構造 (モデリング対象) $f(\theta_{ijt}, x_{ijt})$ → 効用 (潜在変数) U_{ijt} → 購買行動 (観測変数) y_{ijt}

個人毎のパラメータ(推定対象)

機械学習(トピックモデル)による次元圧縮
 ・圧縮空間でパラメータ推定
 ・高速な近似アルゴリズム(変分ベイズ法)
 ・元空間へ情報を還元し、効用の値を補完

仮定: 似た購買行動の人は似た効用をもつだろう

- 刺激変数に対する大規模パーソナライズドモデル



研究要素・技術的課題

- 非構造化データ
 - センサ、時系列、テキスト、SNSなどのデータの取扱い、特徴量の抽出、変数選択、パターン発見、etc.・・・
- 次元の呪い
 - 近似アルゴリズム、アルゴリズムの高速化、次元圧縮、etc.・・・
- スパースデータ
 - 次元圧縮、補完(内挿)、予測精度、etc.・・・
- マルチソースデータ融合
 - マッチング、補完(外挿)、etc.・・・
- 因果関係の推論
 - 演繹的理論の導入、因果構造のモデリング、etc.・・・
- 心理的障壁
 - セキュリティ、リスク解析、認知心理学、etc.・・・



データ活用の視点から

【スパイラルアップ(PDCA)構造が必要】

- 因果構造のモデリング
 - 健康リスクの予測と介入・制御の最適化、
 - 何を制御したいのか？具体的なKPIは何か？
- 発見的なデータ分析の志向・思考・試行
 - データから仮説を自動抽出
 - 発見結果が健康リスク制御につながるのか？
- モデリング=>発見=>検証=>モデリング=>・・・
のサイクル



「センシング」・「医学・健康」・「アナリティクス」の共同と共創

4.3 制御・誘導

(司会：藤田保健衛生大学 宮川先生)

制御・誘導のセッションだが、内匠先生、川人先生の二人とも、モニタリング、モデリング・予測の部分も入ってきて、横串が通ったような話になるのではないかと思う。二人とも、精神疾患、発達障害等の脳の疾患を対象とされているが、内匠先生は動物を用いた、川人先生はヒトを対象にした話をしていただく。

4.3.1 動物モデルを用いた行動神経科学

(理化学研究所脳科学総合研究センター 内匠 透先生)

生物情報をとって、それをビジネスにするというのは、アメリカなどでは盛んに行われているが、我々アカデミアとしては、その間を埋めるきちんとしたバイオロジー、メカニズムが必要ではないかと考える。特に脳に関しては、まだほとんどのことが分かっていないので、そこをやる必要がある。

本日は、今の脳科学の中での動物モデルを使った技術を紹介する。まず生活習慣病に係るものとして概日時計に関するもの、次に神経回路を見るようなハイテクの脳科学の手法を紹介する。

我々の体の中には体内時計と呼ばれるものがある。我々の全ての生理現象は、基本的には24時間周期のリズムを有していることが知られている。脳の中の視床下部にある視交叉上核という神経核が、そのセンターだといわれている。

マウスの概日リズム行動を測るために、ケージの中に輪をいれる。彼らは基本的に起きているときは輪回しをするので、それで起きているとき、寝ているときを測ることができる。「アクトグラム」で見ると、24時間周期のリズムがあることが分かる。真っ暗になってもラットは活動したり、寝たりする。この行動から、我々の体の中には時計を知る体内時計があることが分かる。しかも、この時計はちょうど24時間ではなく、約24時間ということで、概日リズムといわれている。このことが環境に適用するために必要だといわれている。

ところで、視交叉上核というのは神経核なので、電気活動を調べることができる。マウスは夜活動し、昼寝するという夜行性であり、視交叉上核の電気活動は昼間に高く、夜低くなる。光環境を与えなくても、電気活動は昼高く夜低いという24時間周期を保っていることが分かる。このようにして、個体の行動リズムだけではなく、視交叉上核の神経活動リズムをとることができる。

脳の高次の機能についてはよく分かっていない。それを明らかにするための一つの方法として、脳の高次機構が異常になった人を調べればよいのではないかという発想で、精神疾患のモデルを構築する仕事をしている。例えば、ある染色体の異常が原因で自閉症を起こすケースがあることが知られているので、人の染色体異常と同じものをマウスの中で人工的につくり、自閉症のモデルマウスとして、それを解析する。

脳の中の神経細胞のネットワークについては、天文学的なコネクションになる。そのシナプスを見ていくと、精神疾患というのは、おそらくシナプス病であることが分かってき

た。従来精神疾患と神経疾患は全く違うものだと思われてきたが、将来的には精神疾患として統一されていくかもしれない。

例えば、2光子顕微鏡を用いて、生きたままでシナプスを見ることができる。また、光遺伝学を使って、神経ネットワークを解析することもできる時代になった。これらの技術を使うことによって、将来的には神経活動の制御もできるようになるのではないかと思う。

ビッグデータからあるものを結論づけるには、その間が抜け落ちている。よって動物レベルの実験を介して、そのメカニズムを明らかにしていくことがどうしても必要だと考える。

< 質疑 >

宮川：

内匠先生、どうもありがとうございました。それでは、質問・コメント等、願います。

モニタリング、モデリング・予測、制御という部分で、横串で全部入っていると思うと申し上げたが、今聞いてみると、モデリング・予測の部分がなかったような感じだと思う。精神疾患モデルについて、これはスペクトラムであるという話をされていたが、多くのものは突然発症して、状態が明らかに遷移して、発症前と発症後でずいぶん変わってしまうということがあると思う。動物モデルでも、マウスの遺伝子改変マウスをたくさん見ている。そのようなマウスがいるとは思いますが、ご存じでしたら教えてほしい。動物モデルを使った研究で、発症するところに焦点を当てて、ないしは発症前の未病のようなところも調べて、その発症を予測するとか、そのような研究は動物モデルを使ったものでは、これまで、研究だけでなくでもいいのですけれども、一般的にあるか。

内匠：

すみません。私が知る限りではない。むしろ山本先生がやっておられるような、人を使った研究はたくさんあると思うが、動物モデルを使って、これといったものは、今思いつかない。

宮川：

そうですね。私も同じような分野で研究をしているが、ないと思う。「健康リスク制御」という概念をこの分野に持ち込むことによって、そういった動物モデルが見つければ、非常に新しい展開が生まれるのではないかと思う。他にいかがか。

山本：

行動を変えるときに、神経刺激をするのもいいのですが、例えば環境。ここで誘導と言っているのは、例えば、環境を変えることによって行動が変わるというようなことを引き起こせるか、それを引き起こすためにはどのようなロジックでやればいいのかというところを、動物で研究することはできるか。

内匠：

今、私たちがやっているのは、マウス行動のバーチャルシステム。これで既に報告があるのは、いわゆる運動機能を見て、記憶を調べるということです。ここに他の環境要因を変えていく、実際は臭いなどだが、そのようなものを入れていくということはあると思う。まさにバーチャルな空間は、なかなか難しいが、作っていくことは可能だと思う。

宮川：

内匠先生、どうもありがとうございました。

発表資料 4.3.1

動物モデルを用いた行動神経科学

内匠(たくみ) 透
理化学研究所
脳科学総合研究センター



動物モデルを用いた行動神経科学

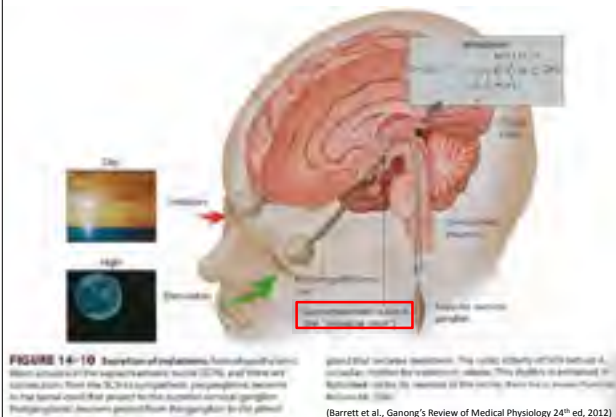
- マウスの概日行動解析
- マウス自由行動下での脳内電気活動記録
- 2光子顕微鏡を用いたin vivo シナプスイメージング
- 光遺伝学を用いた神経回路解析
- 微小内視鏡を用いたin vivo脳内イメージング
- 仮想空間を利用したin vivoイメージング

動物モデルを用いた行動神経科学

- マウスの概日行動解析
- マウス自由行動下での脳内電気活動記録
- 2光子顕微鏡を用いたin vivo シナプスイメージング
- 光遺伝学を用いた神経回路解析
- 微小内視鏡を用いたin vivo脳内イメージング
- 仮想空間を利用したin vivoイメージング

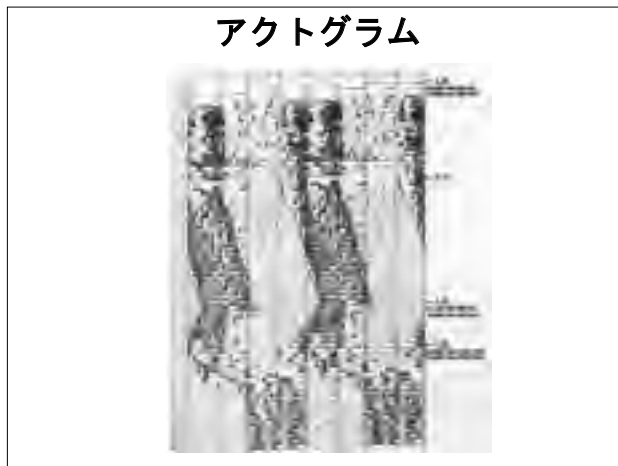


視交叉上核(ほ乳類概日時計の中核)



マウス行動リズム





動物モデルを用いた行動神経科学

- マウスの概日行動解析
- マウス自由行動下での脳内電気活動記録
- 2光子顕微鏡を用いたin vivo シナプスイメージング
- 光遺伝学を用いた神経回路解析
- 微小内視鏡を用いたin vivo脳内イメージング
- 仮想空間を利用したin vivoイメージング

マウス自由行動下での視交叉上核(ほ乳類概日時計中枢)の電気活動—行動リズム長期同時記録

(Nakamura et al. Curr Biol. 2008)

in vivo Multi-Unit electrical Activity (MUA) recording

マウス自由行動下での視交叉上核(ほ乳類概日時計中枢)の電気活動—行動リズム長期同時記録

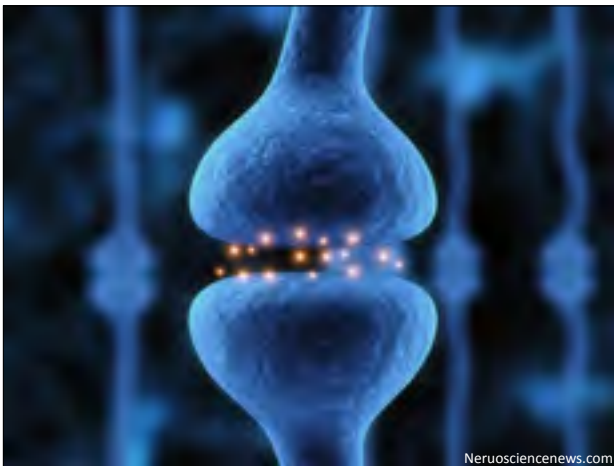
(Nakamura et al. Curr Biol. 2008)

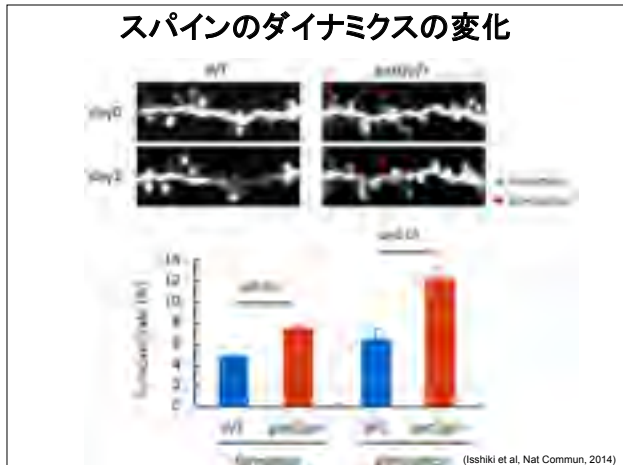
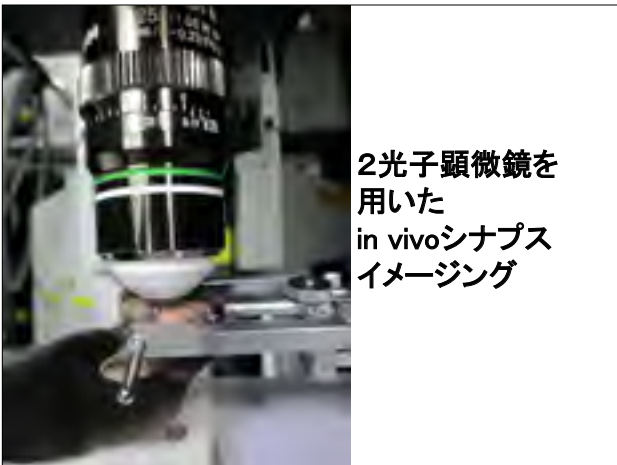
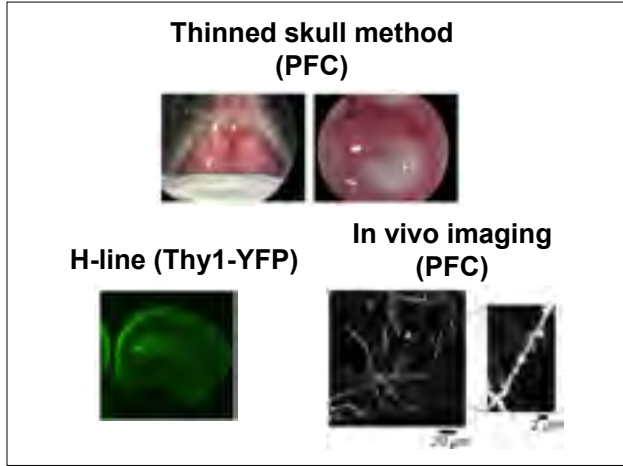
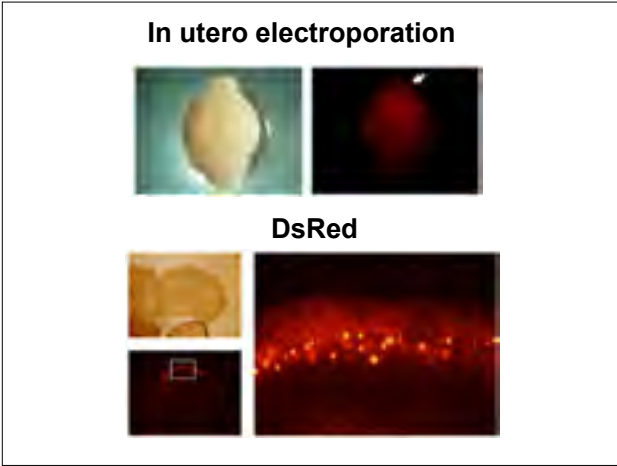
動物モデルを用いた行動神経科学

- マウスの概日行動解析
- マウス自由行動下での脳内電気活動記録
- 2光子顕微鏡を用いたin vivo シナプスイメージング
- 光遺伝学を用いた神経回路解析
- 微小内視鏡を用いたin vivo脳内イメージング
- 仮想空間を利用したin vivoイメージング

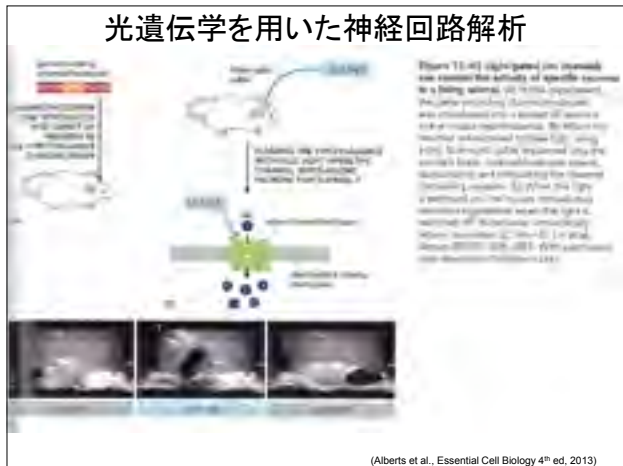


染色体異常の原因で発症する自閉症をマウスでモデルを作製する





- 動物モデルを用いた行動神経科学**
- マウスの概日行動解析
 - マウス自由行動下での脳内電気活動記録
 - 2光子顕微鏡を用いたin vivo シナプスイメージング
 - 光遺伝学を用いた神経回路解析
 - 微小内視鏡を用いたin vivo脳内イメージング
 - 仮想空間を利用したin vivoイメージング



By zapping the brain cells of mice with light, researchers can create, erase, or alter memories.



American Association for the Advancement of Science
Science 2014;346:1444-1449

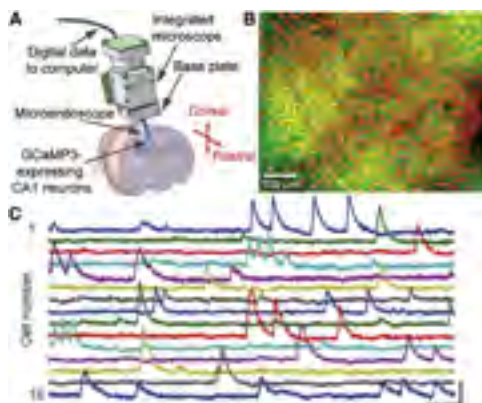


Published by AAAS

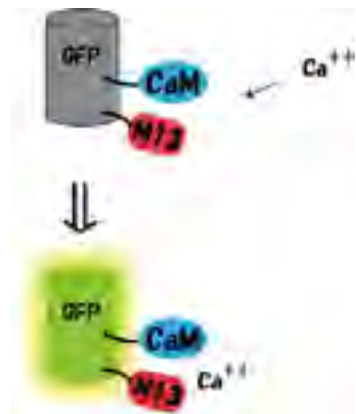
動物モデルを用いた行動神経科学

- マウスの概日行動解析
- マウス自由行動下での脳内電気活動記録
- 2光子顕微鏡を用いたin vivo シナプスイメージング
- 光遺伝学を用いた神経回路解析
- 微小内視鏡を用いたin vivo脳内イメージング
- 仮想空間を利用したin vivoイメージング

微小内視鏡を用いたin vivo脳内イメージング

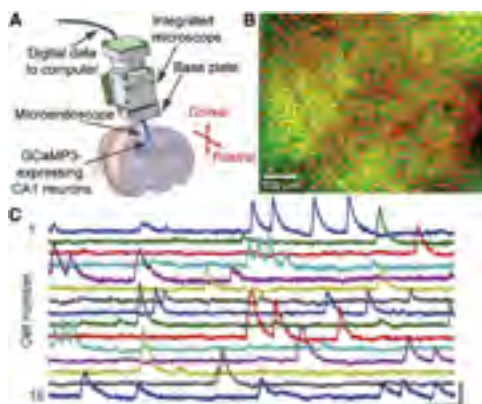


(Ziv et al, Nat Neurosci, 2013)



Nakai's G-CaMP Clones

微小内視鏡を用いたin vivo脳内イメージング



(Ziv et al, Nat Neurosci, 2013)

動物モデルを用いた行動神経科学

- マウスの概日行動解析
- マウス自由行動下での脳内電気活動記録
- 2光子顕微鏡を用いたin vivo シナプスイメージング
- 光遺伝学を用いた神経回路解析
- 微小内視鏡を用いたin vivo脳内イメージング
- 仮想空間を利用したin vivoイメージング

Spatial behaviours in a virtual-reality environment.



CD Harvey et al. *Nature* 461, 941-946 (2009) doi:10.1038/nature08499

NATURE



マウス仮想空間

(Harvey et al, Nature, 2009)

動物モデルを用いた行動神経科学

- マウスの概日行動解析
- マウス自由行動下での脳内電気活動記録
- 2光子顕微鏡を用いたin vivo シナプスイメージング
- 光遺伝学を用いた神経回路解析
- 微小内視鏡を用いたin vivo脳内イメージング
- 仮想空間を利用したin vivoイメージング

4.3.2 脳科学に基づく健康関連行動の誘導技術開発にむけて

(ATR 脳情報研究所 川人光男先生)

障害調整生命年 (DALY) とは、病的状態、障害、早死により失われた年数を意味した疾病負荷を総合的に示したものである。これを見ても、私たちの社会に最も大きな影響を与えているのは、精神疾患だということが分かる。例えば、統合失調症は、入院期間が一番長いとか、自殺者の半分以上が精神疾患を患っているといわれる。

精神疾患とは、精神や行動における特定の症状を呈することによって、機能的な障害を伴っている状態。驚くことに、OECD の最近の発表では、世界人口の 2 人に 1 人は精神疾患を人生のどこかで経験しているという。精神疾患については、予測、早期発見、早期介入がとても有効であると言われる。

これは疾患の話だから、私たちの普段の生活とは関係ないとは言い切れない。例えば、高齢者うつの問題があるし、気分が上下することは誰でもある。健常者も、健常状態と疾患状態を行ったり、来たりしている、あるいは、そこは連続ではないかという考え方のほうが、今やメインになりつつある。

この施策の目標は、不健康に陥る兆候を、脳情報・生体情報・環境情報により見守り、健康を維持した正常な高齢化を目指すこと。

ATR の脳情報通信総合研究所では、行動変容の脳科学として、ニューロフィードバックという方法を使って介入することや、脳・環境情報センシングとして、ヘルスケア的なところで役に立てるような BMI ハウス等に取り組んでいる。

ニューロフィードバック法では、機械学習と強化学習法をうまく組み合わせると、脳の決められた位置にだけ特定の情報に対応した脳活動パターンを、磁気や電気や薬を与えずに、自分の力で引き起こすことができる。どうしてできるかと言うと、脳のダイナミクスのおかげ。刺激を出していない、運動をしていない状態でも、脳は休んでいるのではなく、一生懸命働いている。これが自発脳活動。私どもは、精神疾患バイオマーカーとデコーディッド・ニューロフィードバックを組み合わせ、革新的な治療法を開発している。

また、ATR は、ネットワーク BMI プロジェクト (26 年度終了) に取り組んでいる。積水ハウスのシャーウッドという家屋を建てて、センサーをたくさんつけて、その中で生活してもらおう。このプロジェクトにより、これまで研究室でしかできなかったブレイン・マシン・インターフェイス (BMI) の研究が、一般の生活環境でできるようになった。NIRS (近赤外分光脳計測)、EEG (脳波計測) をつけてもらえば、普通の状態の脳活動をずっととることができる。

BMI ハウスという日常生活環境を用いて、精神的な健康を維持・改善するのに役立つ生体・環境情報センシングの最適設計や、多様なセンサー信号時系列の同時解析法による個人別健康リスク検出および改善案抽出、脳ビッグデータ、行動変容脳科学の知見を用い、脳状態も含めた精神的な健康の維持・改善を目指した情報提示や行動推奨ができるかと思っている。

< 質疑 >

宮川:

川人先生、どうもありがとうございました。それでは、質問・討論を。

本多：

デコーディッド・ニューロフィードバックのところに興味がある。基本的には視覚刺激でこのフィードバックをされるのか。

川人：

心理学で言うと、オペラント条件づけになっているので、基本は報酬と罰の情報を与えればいい。ですから、えげつないことをしようとする、出たくないパターンを出したときには電気ショックを与えるというのでもいいが、それは倫理委員会を通らない。私たちがやっていることは、お金をあげる。金銭報酬をうまく行ったときに与えるということで、ニューロフィードバックをかけている。そのときに、おっしゃるように知覚を実際は使っているが、それは視覚だろうが、音の情報であろうが、触覚であろうが、反対が報酬情報であることさえ本人に伝えることができれば、コンディショニングできる。

実はニューラル・オペラント・コンディショニングというのは、ブレイン・マシン・インターフェースの1つのルーツで、Eb Fetzが、1968年に『ジャーナル・オブ・ニューロフィジオロジー』にサルがシングルユニットの発火を自分で制御できるという論文を出している。そこにルーツがあるもの。このようなICT技術やデコーディング技術と組み合わせると、ヒトでも結構高級なニューロフィードバックができる。

宮川：

未病という概念だが、精神疾患の場合の未病に特徴的な脳の活動、fMRIでも、EEGでもよいが、そのようなものは今までつかまえて来ているのか。

川人：

自発脳活動を見たときに、安定なモードはいくつかある。本日話したのは、rs-fcMRIの中でも、5分間とか10分間、ずっと長くとして、その間の平均的なパターンを出すもの。ところが、健常者でも精神疾患の患者でも、もっと細かく見ると、20秒とか30秒ぐらいの間隔でモードが切り替わっている。そのモードが切り替わっているときで、実はここでは妻のことを考えていたとか、例えばここでは昨日のご飯のことを考えていたとか、そのようなかたちである程度内省が、マインドワンダリングと言うが、そのようなことに対応したようなダイナミクスで、モード変換が起きている。合原先生が考えるのと同じように、私も、例えば健康状態は1つのアトラクターで、自閉症というのも1つのアトラクターである。そうすると、あるアトラクターから他のアトラクターへ私たちはニューロフィードバックで動かそうとしているが、このバイファクションが起きるポイントと言ったらいいのか、2つの二重井戸の間のところでは、状態が非常に不安定なはずなので、モードからモードに移るような散逸揺動定理で出てくるような大きなゆらぎが出てくるだろうと想像できる。

ですから、そのようなことは理論的にはおもしろいが、本当に脳活動をきちんととって、検証するというような試みは、動物でも多分ないでしょう？

宮川：

ない。もしそこをつかまえることができれば、非常におもしろいし、このようなプロジェクトを行ったときに、そこをつかまえることができれば大きな成果として出せると思う。双極性障害とか、うつ病患者を経時的にモニターすると、状態が変化するところが、ある時点で出てくると思う。

川人：

そう。介入をかけて、ASD の典型的な脳活動パターンからノーマルなパターンに切り替わったところで何が起きているかをもっと調べると、ちゃんと出てくるかもしれない。データは一応あるが、人手がなくて、やっているのは医者なので、それほどデータに突っ込んでいろいろ調べるといふ観点はない。あまりやれてないが、おもしろい。

しかし、やるのであれば、fMRI ではなくて、動物ではないか。動物で何とかパスの状態を一致させて。

宮川：

ヒトでのデータと、動物でのデータの対応をつけることが、おそらくできると思う。行動の変化のようなものはヒトと動物でも、それほど変わらないのではないか。大きな状態変化が起きるときの前に、行動のばらつきが起きるとか、そのようなところはもしかすると共通してくる可能性があり、その共通部分がとらえられれば、そこで分子レベルとか、細胞シナプスレベルで何が起きているのかを突き止める部分は動物なのかと。

川人：

私が、興味があるのは、行動のばらつきとか、遺伝子のばらつきは出ると思うが、脳の本質は電気活動だと思うので、電氣的活動をきっちり多ニューロンからとって、それは多重電極なのか、それともオプティカルレコーディングなのか分からないが、その空間できちんと Ruelle and Takens のようにアトラクターを定量化しておいて、こちらのアトラクターからこちらのアトラクターに移るときに、バイファケーションに伴ってどのような現象が起きるかを調べるのは、やはりラットやサルの研究者達に頑張ってほしいと思う。私はできないですから、おもしろいと思う。

宮川：

なるほど。他に。

合原：

精神疾患の人の基底状態を調べたときに、多様体になっているとして、その多様体の中に健康な状態の、アトラクターではないと思うが、その状態が含まれて、ワンダリングでそこに訪れるような状況だと、これは非常にうまく行くと思う。まずそうなっているかどうかということと、その多様体上にアトラクターがないときには、離れたところに持っていかなければならないので、そのときにはどうするか。

川人：

実は1つのトリックを使っていて、5分間とか10分間の長い時間で平均してしまうと、自閉症の人は、ステイブルに自閉症。でも、わざと見る時間を短くとって、14秒間で見てやる。そうすると、ゆらぎがすごく多くなって、自閉症の人でも、自閉症のパターンとノーマルなパターンを入れたり、出したりする。逆に、健常の人もそう。自閉症の人がたまたま健常のパターンを出したときに、「今の良かったよ」という、フィードバックを戻すというのが、オペラントコンディショニングのやり方。ですから、自発脳活動の非線形系ダイナミクスとしてのゆらぎのようなものは、一生懸命使っているが、それはfMRIで見ているので、隔靴搔痒という感じで、サイエンスとしては、役に立つかもしれないが、よく分からない。

宮川：

川人先生、どうもありがとうございました。それでは、このセッションを終了します。

発表資料 4.3.2

資料 3-13

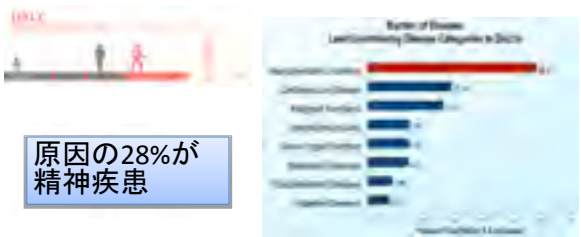
脳科学に基づく健康関連行動の 誘導技術開発にむけて

川人 光男
国際電気通信基礎技術研究所
脳情報通信総合研究所 所長
2015.1.27



障害調整生命年 (disability-adjusted life year; DALY)


- 病的状態、障害、早死により失われた年数を意味した疾病負荷を総合的に示すもの (Wikipedia)
- 障害調整生命年 (DALY) = 損失生存年数 (YLL) + 障害生存年数 (YLD)



原因の28%が
精神疾患

精神疾患とは

- 精神や行動における特定の症状を呈することによって、機能的な障害を伴っている状態
- 経済協力開発機構(OECD)の発表した Making Mental Health Count(2014年7月8日)
 - 世界人口の2人に1人は精神疾患を経験
 - 就職の見込みや賃金、生産性に影響を与える
 - 重度の精神疾患を持った人は通常より20年ほど早く死亡し、失業する可能性も6~7倍高い
 - 全ての国で精神疾患は完治されない
- 予測、早期発見、早期介入の有効性



精神的な健康維持・改善の重要性

高齢者うつの特徴的症狀の把握による 高齢者のこころのケアと予防 明るく元気な高齢者社会の実現

【高齢者うつ病の特徴的症狀として「症狀がそろっていないうつ病の頻度が高く見逃されやすい悲嘆の訴えが少なく、気分低下やうつ思考が目立たない」ことが指摘されている】
→これを脳活動を含めた包括的サービスにより見守り、早期発見を実現する。

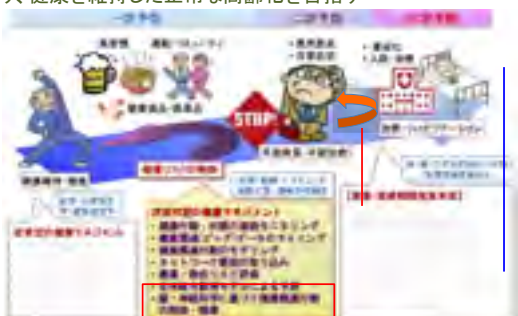
①強いうつ気分	⑥疲れやすさ、気力の減退
②興味や喜びの喪失	⑦強い罪責感
③食欲の障がい	⑧思考力や集中力の低下
④睡眠の障がい	⑨死への思い
⑤精神運動の障がい	

*厚生労働省による高齢者のうつの基礎知識より抜粋

→包括的サービスにより自立して生活、自分の誇りや興味、喜びを取り戻す

本施策のターゲット

- 不健康に陥る兆候を脳情報・生体情報・環境情報により見守り、健康を維持した正常な高齢化を目指す




今回施策のターゲット

脳情報通信総合研究所の関連研究

脳情報解析法

- 複数モダリティ統合による脳活動計測技術 (NICT委託)
- 脳シミュレータ (NICT委託)
- fMRIからの視覚刺激再構成、夢の解読 (脳プロ)
- ベイズ統計法、生体信号処理法、機械学習法、データマイニング手法の開発 (科研費他)

健康リスク制御システム



行動変容の脳科学

- デューデッド・ニューロフィードバック技術 (脳プロ)
- 携帯型ブレイン・マシン・インタフェースによる脳情報の可視化と制御 (IMPACT)

脳・環境情報センシング

- BMIハウス (総務省委託)
- センサネットワーク
- ライフログ
- 携帯型脳活動計測装置

脳科学とICTを基盤として健康リスク制御システムの3つの歯車それぞれに関連する研究実績

デコーディッドニューロフィードバック法: 機械学習と強化学習法を組み合わせ、 脳内に特定の情報パターンを生成する

知覚学習

視覚意識(トップダウン信号)なし
視覚刺激なし

因果関係

低次視覚皮質における特定活動パターンの繰り返し

訓練前 訓練後

Shibata K, Watanabe T, Sasaki Y, Kawato M: Perceptual learning incepted by decoded fMRI neurofeedback without stimulus presentation. *Science*, 334 1413-1415 (2011)

精神疾患の信頼性の高いバイオマーカー 安静時脳機能結合パターンから診断

- ATR・昭和大・東大の3施設で、疾患(自閉症)群および健常対照群rs-fcMRI約200人のデータを収集。
- 標準的前処理の施された各被験者の時系列データから、**解剖学的に決めた計140個領域間の相関行列を算出**。
- 9,730個の結合から22個が自動的に選択される**

ATR
昭和大
東大

健康群114人
患者群74人

各関心領域における平均波形の抽出

140領域間の相関行列を算出

200人弱のデータ

9,730個の結合

精神疾患バイオマーカーとデコーディッド・ニューロフィードバックを組み合わせ、革新的な治療法を開発

fMRIデータにリアルタイムで精神疾患バイオマーカーを適用し、ある時点での脳内ネットワークの疾患-健常状態を数値化し、被験者に呈示して、健常パターンを誘起してもらう助けにする

①EPI撮像

②画像再構成(リアルタイムで出力)

③平均波形抽出

④結合強度算出

⑤得点化(健康者に近いほど高得点)

⑥フィードバック

ネットワークBMIプロジェクト(26年度終了)

- 目的
 - 高齢者や軽度要介護者の自立支援、QOL向上
- 特徴
 - 自宅や診療所などの実環境で利用
 - 低拘束の脳活動計測器による長時間計測
 - 計測データをネットワークを介し遠隔のサーバで解析し利用者の意図を高精度に解読
 - システム全体として低遅延
 - 生活機器・介護ロボットなどの安心・安全な動作

クラウド・脳情報解読器

大規模脳活動データベース

人間行動認識のための分散センサ

携帯型脳活動計測装置

脳活動データセンサ情報ラベル情報

家電や車イスなどの機器

研究室から実環境へ

実験室でのBMI

一般の生活環境でのBMI

日常生活での簡単な動作・方向・感情を脳情報を解析することで機器に伝え、「いつでも、どこでも、だれでも」利用可能なBMIへ

これまでに住宅内の移動支援機器(電動車いすの地点間移動)生活機器(家電)の制御、感情状態の提示に成功

BMIハウス

住宅を模した空間に、人や周りの環境状態を計測するセンサと、利用者の自立生活のための生活支援機器を設置、これらによりBMIハウスを構築、BMI研究の場に。

温度センサ

湿度センサ

モーションキャプチャ

視線センサ

電動床制御装置(電動・空調・BGM)

電動キッチン(電動・炊飯)

電動アソシ(電動・シャッター・カーサ)

家電(テレビ, エアコン)

玄関(ドア・投函機)

自動ドア(開・閉)

電動エレベータ(ドア・住宅)

電動洗剤化装置(高さ・圧力)

電動トランスラフ(壁面・浴室洗面)

4 提言

科学技術

これまでの研究開発成果概要、最終目標

13

高齢者・要介護者などの日中自立生活のためのBMI技術の確立

携帯型脳活動計測装置の開発 情報活用型サービス提供基盤の構築 複数人対応が可能なデータ駆動型脳情報解析装置の開発 移動支援機器の安全・安心アクチュエーションの確立

最終目標

- ・実環境（自宅や診療所など）で、複数人対応で、移動支援機器などを、低遅延、安全・安心にBMI制御するシステムの実現
- ・移動・活動などの支援機器の制御を1秒未満、感情・情動コミュニケーション支援を2~3秒程度で実施・デモンストレーション
- ・大規模脳情報データベースの公開

アウトリーチ活動

報道発表「BMIによる生活機能、車椅子制御」(2012.11)、NHKおはよう日本、朝日新聞他多数 報道発表「日常生活の支援を可能とするネットワーク型BMIの技術開発に成功」(2014.12)、NHK夜間ニュース845、朝日新聞(1面)他多数 研究者向けシンポジウム、デモ展示 (NEURO2014, COMPSAC2013)

- ・BMIハウスの一般公開(ATRオープンハウス2013)
- ・一般向け体験展示(脳プロシボジウム 2012-2015)

今後の展開と将来イメージ

14

意図解析インターフェイスによる受動的な生活状態の支援から見守り、環境制御、レコメンドなどによる能動的な生活支援へ

脳情報解析技術 センサネットワーク技術 ニューロフィードバック技術

受動的な生活状態 能動的な生活支援

日常行動支援 健康生活支援

運動意図解析インターフェイスによる日常行動支援 本プロポーザルへの可能な貢献例：日常見守りサービスの統合 基礎技術の研究開発 情動解析インターフェイスと生体・環境センサ統合による健康見守りおよび環境制御、レコメンド等の活動支援

提案：「脳科学に基づく健康関連行動の誘導システムの研究開発」

15

BMIハウス

センサネットワーク技術 生体・環境情報解析技術

- ・BMIハウス（日常生活環境）を用い、精神的な健康を維持・改善するのに役立つ生体・環境情報センシングの最適設計
- ・多様なセンサ信号時系列の同時解析法による個人別健康リスク検出および改善案抽出
- ・脳ビッグデータ、行動変容脳科学の知見を用い、脳状態も含めた精神的な健康の維持・改善を目指した情報提示や行動推奨
- ・ImPACTとの連携による携帯型BMIの活用法

5. まとめ

5.1 ワークショップまとめ (山本リーダー)

まずまとめの前に、これは健康リスク制御システムの俯瞰図の改訂版。これは、先日来皆さまにシーズとして足りないものはないかということで、アンケートを送ったものをベースに少し入れ込んだもの。



図 1 健康リスク制御システムの俯瞰(改訂版)

次にまとめということだが、本日のように長いものを短くまとめるというのは、なかなか難しいので、簡単に私の感じた今後の課題や、プロポーザルのテーマに関連して重要であろう観点をここに書いた。

35

WSのまとめ(1)

- 1. エビデンスを出して行く研究**
 - ✓ 疾患、ハイリスク・コホートやミドルリスク・コホート(例: 企業、自治体)での実証研究が重要
 - ✓ 糖尿病、高血圧、転倒・フレイル、認知症、うつ病など、対象とステージに応じて取り上げる技術を検討する必要
- 2. モデリング・予測、制御・誘導の新たな手法開発**
 - ✓ モニタリング・分析・予測の方法論の重要性 — 単なる発症予測ではなく、行動・生理面の健康リスクに関する定量的な指標抽出とその制御手法の開発を
 - ✓ 基盤となる先端科学技術要素の研究開発も並行して行う




図2 WSまとめ(1)

36

WSのまとめ(2)

- 3. ELSIについて**
 - ✓ 包括的社会調査を含めたエビデンスベースでの議論を並行させる。社会受容性向上には教育も含めた行動誘導・文化醸成も重要
- 4. 産官学連携、データ利活用の仕組み作り**
 - ✓ オープンイノベーション等での活用や保健医療経済的な最適化手法開発など、社会経済的展開のための仕組み作りが課題




図3 WSまとめ(2)

まず1つは、健康経営の取組みとか、さまざまな疾患群、ハイリスク群、あるいはミドルリスク群というところで、実際にエビデンスを出すような研究をやっていかなければいけないというのは、間違いなくあると思う。

対象となるのは、メタボも含めて、高血圧とか、転倒、認知症、うつ病等のいろいろな健康リスク、疾患の行動上のリスクをいかにして制御するかということ、あるいはそれが実際に役立つかどうかということの研究をしていかなければいけないことがある。

もう1つは、このプロポーザルの1つの特徴である、モニタリングだけではなくて、モデリングをして予測をする、あるいは制御して誘導するという手法が、最後に川人先生からまだ少し足りないという話があったので、そのようなモデリング、モニタリング、分析・予測の方法論、健康のための情報をいかにして抽出するかという方法論について研究をしていかなければいけない。

これを研究するために、やはりモデルがどのようなものであるかについて、もう少し詳しい情報が必要であろうということで、例えば、動物を使った研究とか、そのようなところで出てきたデータを使った研究をしていく必要があるかと思う。

また、このテーマは非常に多くの分野の方に本日お集まりいただいて、このような多様な分野の融合でこれを行っていくことの重要性を私自身は感じた。

ELSIについては、これは瀧本先生から、例えば、包括的な社会調査をその都度行っていくことによって、進行とともに考えていくことが重要ではないかという提言をいただいた。私自身はそのとおりだと思う。

それから ELSI の S。社会受容性の向上というのは、牧川先生の話にもあったように、どれだけ文化として根づかせるかということも含めて、行動の誘導や文化醸成を同時に行っていく必要がある。これについては、例えば、最近シリコンバレーでクオンティファイド・セルフというムーブメントが上がっていて、ICT の研究者が自分自身の活動や行動を定量化して、記録をし続けること自体で自己制御をするということが文化になっていくというムーブメントもある。そのような文化醸成も含めた社会受容性の向上が重要ではないかと感じている。

それから、産学官連携では、データの利活用の仕組みづくり。とったデータを今後どのくらい使えるかという問題に関しては、研究だけではなくて、いろいろな倫理面でも問題などところがある。そのようなところも今後、何らかの仕組みづくりを行っていくような議論を活性化させていかなければならない。

最後に、本日の話題ではないが、有識者の皆さま方には、このような研究を進めるためには、どのようなファンディング形態が必要かということについても、アンケートでお答えいただいた。結論から申し上げますと、大体半々に分かれている。半分の方は、何らか、例えば、前のページの1番、2番というところについて、CRESTのような研究プログラムが走るといいのではないかという意見。残りの半分の方は、どちらかと言うと、全体を、社会実装と技術開発を並行して進める形で、例えば、プログラムマネージャのような方による、的を射た、もう少し傘の広いファンディング形態がよいのではないかという意見。これについては、今後皆さまからさらにいろいろな意見をいただいて、それをプロポーザルに盛り込んでいく。

そのようなことで、まとめというよりも論点を整理しただけだが、時間もかなり過ぎていたので、この辺でまとめに変えさせていただきたいと思う。本日は皆さま、本当に長時間ありがとうございました。

閉会挨拶（永井上席フェロー）

長時間どうもお疲れさまでした。本日、半日ずっと聞かせていただいて、この領域の全貌を理解できた。

途中でも議論があったが、ポイントは何を制御するのかということだと思う。健康といったときに、いろいろなステージがある。未病という言葉もあるが、一次予防、二次予防、三次予防などがある。

例えて言うと、私たちがよく患者に説明するのに、広い広場の真ん中にいる人が健康といえる。この人が崖に近づくのが危ない。崖に近づかないようにしてくださいというのが一つのアプローチである。次にもう崖から落ちかかっている人がいたときに、本当に落ちないようにするにはどうしたらよいかを考える。あるいはもう既に落ちつつある人を、いかに最小限の損傷にするかを考えるなど、いろいろなレベルがある。その辺をこのプロジェクトでどう考えるか、もちろん崖に近づかないようにすることも大事だし、落ちかかった人をいかに救うかということも必要である。

それは頻度も違うし、起こる事象の重大さも違う。それから、存在しているデータの量も違う。その意味で、どのような技術を、どのような対象に適用するかが問題である。何年かで成果の求められる話なので、既にある程度良いコンセプトなり、仮説を持って向かっていかなければいけないのだろうと思う。それがまず1つ。

したがって、良いクリニカル・クエスチョンを持っている方と相談しながら進めることが大事である。

最終的には山本先生が言われたように、検証するということが大切である。しかし頻度が非常に低い現象を検証するというのは、非常に難しいが、実証、検証をして、それに基づいて教育システムをつくり、さらにマーケティングをしていくということを継続していただきたいと思う。

健康の問題は範囲が広いだけに、拡散しないで、スター級の人たちをよくそろえて、強みをうまく押し出してほしい。どうもありがとうございました。

付 録

付録 1. プログラム

日 時：平成 27 年 1 月 27 日（火）13 時～18 時 45 分

場 所：JST 東京本部別館 2 階セミナー室

総合司会：矢倉 信之（JST/CRDS フェロー、健康リスク制御システムチーム副リーダー）

【第一部】13:00～13:30 「健康リスク制御システム」とは？

13:00～13:05 センター長ご挨拶（吉川 弘之 JST/CRDS センター長）

13:05～13:10 総括責任者ご挨拶（永井 良三 JST/CRDS 上席フェロー）

13:10～13:30 戦略プロポーザル「健康リスク制御システム」趣旨説明

（山本 義春 JST/CRDS 特任フェロー、健康リスク制御システムチーム リーダー）

【第二部】13:30～15:00 パネルディスカッション：社会実装の方法と課題

司会：早野 順一郎（名古屋市立大学医学研究科）

パネリスト話題提供：

13:30～13:45 梶井 英治（自治医科大学地域医療学センター）

演題：地域医療の現状と課題

13:45～14:00 水野 正明（名古屋大学医学部附属病院先端医療・臨床研究支援センター）

演題：社会基盤としての健康・医療統合システム

14:00～14:15 浅野 健一郎（株式会社 フジクラ 人事・総務部 健康経営推進室）

演題：「健康リスク制御システム」の社会実装の方法と課題 <健康経営の視点から>

14:15～14:30 佐藤 肇（株式会社 東芝 ヘルスケア社ヘルスケア医療推進部）

演題：個別化予防・医療を実現する「日常人間ドック」の社会実装に向けて

14:30～15:00 総合討論

【第三部】15:00～15:30 講演：健康リスク制御の ELSI

司会：前田 知子（JST/CRDS フェロー、健康リスク制御システムチーム）

講演：

15:00～15:20 瀧本 禎之（東京大学大学院医学系研究科 医療倫理学）

演題：健康リスク制御の ELSI-脳科学研究の倫理から公衆衛生の倫理へ

15:20～15:30 総合討論

（休憩）

【第四部】15:50～18:30 提言：科学技術としての「健康リスク制御システム」

（発表 15 分、討論 5 分）

司会（モニタリング）：本多 敏（慶応大学理工学部物理情報工学科）

15:50～16:10 板生 清（ウェアラブル環境情報ネット推進機構）

演題：健康リスク制御システムにおけるウェアラブルの役割

16:10~16:30 牧川 方昭 (立命館大学工学部ロボティクス学科)

演題:健康モニタリングのTPO

16:30~16:50 橋本 浩一 (東北大学大学院情報学研究科)

演題:Active tracking/sensing

司会(モデリング・予測):野村 泰伸 (大阪大学大学院基礎工学研究科)

16:50~17:10 砂川 賢二 (九州大学大学院医学系研究科)

演題:生体機能融合情報治療がもたらす医療革命

17:10~17:30 合原 一幸 (東京大学生産技術研究所)

演題:未病状態の発見と超早期治療を実現するDNB(動的ネットワークバイオマーカー)

17:30~17:50 石垣 司 (東北大学大学院経済学研究科)

演題:大規模データの統計的モデリングとパーソナライゼーション

司会(制御・誘導):宮川 剛 (藤田保健衛生大学 総合医科学研究所)

17:50~18:10 内匠 透 (理化学研究所 脳科学総合研究センター)

演題:動物モデルを用いた行動神経科学

18:10~18:30 川人 光男 (ATR 脳情報研究所)

演題:脳科学に基づく健康関連行動の誘導技術開発にむけて

【第五部】 18:30~18:45 まとめ

18:30~18:40 ワークショップのまとめ

(山本 義春 JST/CRDS 特任フェロー、健康リスク制御システムチームリーダー)

18:40~18:45 総括責任者ご挨拶 (永井 良三 JST/CRDS 上席フェロー)

付録 2. 参加者一覧

(敬称略)

司会・講演者

合原 一幸	東京大学生産技術研究所 教授
浅野 健一郎	株式会社 フジクラ 人事・総務部 健康経営推進室
石垣 司	東北大学大学院経済学研究科 准教授
板生 清	ウェアラブル環境情報ネット推進機構 理事長
梶井 英治	自治医科大学地域医療学センター センター長・教授
川人 光男	ATR 脳情報研究所 所長
佐藤 肇	株式会社 東芝 ヘルスケア社ヘルスケア医療推進部 参事
砂川 賢二	九州大学大学院医学系研究科 教授
内匠 透	理化学研究所 脳科学総合研究センター シニア・チームリーダー
瀧本 禎之	東京大学大学院医学系研究科 医療倫理学 准教授
野村 泰伸	大阪大学大学院基礎工学研究科 教授
橋本 浩一	東北大学大学院情報学研究科 教授
早野 順一郎	名古屋市立大学医学研究科 教授
本多 敏	慶応大学理工学部物理情報工学科 教授
牧川 方昭	立命館大学理工学部ロボティクス学科 教授
水野 正明	名古屋大学医学部附属病院 先端医療・臨床研究支援センター
宮川 剛	藤田保健衛生大学 総合医科学研究所 教授

コメンテータ

澤田 和明	豊橋技術科学大学電気・電子情報工学系 教授
戸辺 義人	青山学院大学理工学部 情報テクノロジー学科 教授
中澤 栄輔	東京大学大学院医学系研究科 助教
中村 好男	早稲田大学スポーツ科学学術院 教授
西田 佳史	産業技術総合研究所・デジタルヒューマン工学研究センター上席研究員
萩原 一平	NTT データ経営研究所・応用脳科学コンソーシアム 事務局長
藤田 英雄	自治医科大学附属さいたま医療センター 循環器科 教授
森田 賢治	東京大学大学院教育学研究科 講師

オブザーバー

藍原 雅一	自治医科大学地域医療学センター 講師
須山 敬之	ATR 脳情報研究所動的脳イメージング研究室 (DBI) 室長

【内閣府】

桑島 昭文	ライフイノベーション担当 参事官
中島 伸	政策統括官 (科学技術・イノベーション担当) 付 参事官付 (総合科学技術・イノベーション会議事務局) 政策調査員 (ライフイノベーション担当)
渡辺 佳宏	政策統括官 (科学技術・イノベーション担当) 付 参事官付 (総合科学技術・イノベーション会議事務局)

上席政策調査員（ライフイノベーション担当）

【経済産業省】

久保田 裕子 ヘルスケア産業課 課長補佐

【文部科学省】

馬場 大輔 研究振興局 ライフサイエンス課 課長補佐

渡邊 淳 研究振興局 ライフサイエンス課 調整官

COI 拠点

高橋 一平 弘前大学大学院医学研究科（COI 弘前大学拠点） 准教授

戸田 満秋 京都大学産官学連携本部 COI 拠点研究推進機構 特定専門業務職

根本 靖久 東北大学研究推進本部（COI 東北大学拠点） 特任教授

橋本 尚子 東京大学 COI 機構 戦略統括

JST

白木澤 佳子 産学基礎基盤推進部 部長

三木 一郎 産学基礎基盤推進部 COI 担当 VL 補佐

佐藤 比呂彦 産学基礎基盤推進部 COI 担当 課長代理

菅原 理絵 産学連携展開部 先端計測室 副調査役

佐藤 久夫 戦略研究推進部 ライフイノベーショングループ 主任調査員

JST CRDS

吉川 弘之 センター長

私市 光生 政策ユニット（科学技術イノベーション政策の科学） 上席フェロー

周 少丹 海外動向ユニット フェロー

事務局：CRDS 健康リスク制御システムチーム

浅島 誠 ライフサイエンス・臨床医学ユニット 上席フェロー

永井 良三 ライフサイエンス・臨床医学ユニット 上席フェロー

木村 英紀 システム科学ユニット 上席フェロー

吉川 誠一 イノベーションユニット 上席フェロー

山本 義春 システム科学ユニット 特任フェロー

矢倉 信之 ライフサイエンス・臨床医学ユニット フェロー

児山 圭 ライフサイエンス・臨床医学ユニット フェロー

鈴木 久敏 システム科学ユニット フェロー

辻 真博 ライフサイエンス・臨床医学ユニット フェロー

土井 直樹 情報科学技術ユニット フェロー

富川 弓子 システム科学ユニット フェロー

中村 亨 システム科学ユニット 特任フェロー

飛田 浩之 ライフサイエンス・臨床医学ユニット フェロー

前田 知子 政策ユニット フェロー

付録 3. アンケート

以下の項目についてご意見を伺うアンケートを、ワークショップ参加有識者に事前に送付した。回答結果の概要はワークショップで紹介すると共に、研究開発課題の検討や本報告書の健康リスク制御システム俯瞰図作成等にも活用させていただいている。

- (a) 現時点でのプロポーザル案の俯瞰図（発表資料 1.1 P.20）で、追加・修正が望まれる要素技術、または「健康リスク制御システム」の構築に資する先端科学的シーズ
- (b) プロポーザル自体の現状の枠組みについて修正・変更が望まれる点
- (c) 要素技術の統合・システム化による「健康リスク制御システム」の社会実装に関連して、ご自身の関連する研究領域の進展等から考えられる、「5年後」「10年後」に達成を目指すべき研究テーマ
- (d) それを達成するための望ましいファンディング形態

■報告書作成メンバー■

浅島 誠	上席フェロー	(ライフサイエンス・臨床医学ユニット)
永井 良三	上席フェロー	(ライフサイエンス・臨床医学ユニット)
木村 英紀	上席フェロー	(システム科学ユニット)
吉川 誠一	上席フェロー	(イノベーションユニット)
山本 義春	特任フェロー	(システム科学ユニット)
矢倉 信之	フェロー	(ライフサイエンス・臨床医学ユニット)
児山 圭	フェロー	(ライフサイエンス・臨床医学ユニット)
鈴木 久敏	フェロー	(システム科学ユニット)
辻 真博	フェロー	(ライフサイエンス・臨床医学ユニット)
土井 直樹	フェロー	(情報科学技術ユニット)
富川 弓子	フェロー	(システム科学ユニット)
中村 亨	特任フェロー	(システム科学ユニット)
飛田 浩之	フェロー	(ライフサイエンス・臨床医学ユニット)
前田 知子	フェロー	(政策ユニット)

※ () 内は平成 26 年度の組織です。
※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2015-WR-01

科学技術未来戦略ワークショップ報告書

次世代型の健康リスクマネジメントを実現する 健康医療システムの構築

平成 27 年 9 月 September 2015

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
ライフサイエンス・臨床医学ユニット
Life Science / Clinical Research Unit, Center for Research and
Development Strategy Japan Science and Technology Agency

〒 102-0076 東京都千代田区五番町 7 番地
電 話 03-5214-7481
ファックス 03-5214-7385
<http://www.jst.go.jp/crds/>
© 2015 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。
No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.
Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

ISBN 978-4-88890-463-6

