

第Ⅳ編：人間環境センシング技術の研究開発

4. 生体・環境情報処理基盤の開発とメタボリック症候群対策への応用



▲ 山田 一郎
東京大学大学院新領域創成科学研究科教授

■ 1. はじめに

■ 1.1. 健康管理・予防医療への注目とその課題

21世紀初頭の現在、先進国では高齢化が進展しており、全世界で60歳以上の人口は約6億人に達している。特に日本では、65歳以上の高齢者が2010年には23%を超え、すでに超高齢社会に突入しているが、これに伴って医療費が年々増加している。そこで、これまでの受身型の医療から先取り型の健康管理・予防医療へのシフトによって、個人の生活の質（QOL）を向上させるとともに、医療費を抑えることが急務となっている。

それでは健康管理・予防医療の課題は何かというと、医療現場でのヒアリングによると、「まずは現状把握」である（図1）。例えば、単回のデータではなく連続したデータを長時間計測し変動成分を記録したい、問診による患者の主観データではなく客観データを取りたいといった強い要望がある。現状把握によって、身体・運動・精神などを総合的に測定し、個性、

- 日常生活におけるデータをとりたい。
- 連続したデータを長期間計測し、変動成分を記録したい。
- 問診による患者の主観データではなく、客観的なデータをとりたい。

1. まずは現状把握

身体・運動・精神などを総合的に測定し、その数値から個性、体質、および現在の心身の状態を確認

2. 個人の生活習慣にあった対策の構築

嗜好や生活習慣にあった多様なプログラムの設定

3. 効果の確認

日常生活の中で効果を継続的に記録・提示し、次の診断にフィードバック

- 食事療法と運動療法を適切にこなしているか知りたい。
- こまめに成果を提示することによるポジティブなフィードバックを期待したい。

図1 健康管理・予防医療の課題

体質および心身の状態を確認できたなら、次に「個人の生活習慣にあった対策の構築」が必要になる。現代人の多彩なライフスタイルや嗜好に応じた多様な対策プログラムの設定である。また、「効果の確認」も重要であり、日常生活の中で効果を継続的に記録し、次の診断にフィードバックすることが期待されている。例えば、運動療法や食事療法を適切にこなしているか知りたい、こまめに成果を提示することによってポジティブフィードバックを期待したいといった要望がある。

■ 1.2. 研究の狙いと概要

そこで、我々は2007年（平成19年）より5年間の計画で、日常生活における生体・環境情報を長期間に渡って常時モニタリングでき、個人が自ら生活習慣を振り返ることのできる生体・環境情報処理基盤（人間の日常生活を科学するプラットフォーム）の開発を目標にプロジェクトを進めてきた。さらに、この有効性を確認するため、生活習慣病対策に貢献するヘルスケアサービスを開発して、実証実験を行っている。

本プロジェクトは、ウェアラブル生体センシング技術（ウェアラブルセンサと分析技術）の開発を中心として、医工連携のもと進めている。ウェアラブルセンサによって拘束感のないモニタリングを実現することと、複数のセンサ情報から、人間の行動・体調（体の状態）、心理・感情（心の状態）といった人間の高次情報を抽出し、量的ではなく質的な診断を可能とする分析技術を開発することがねらいである（図2）。

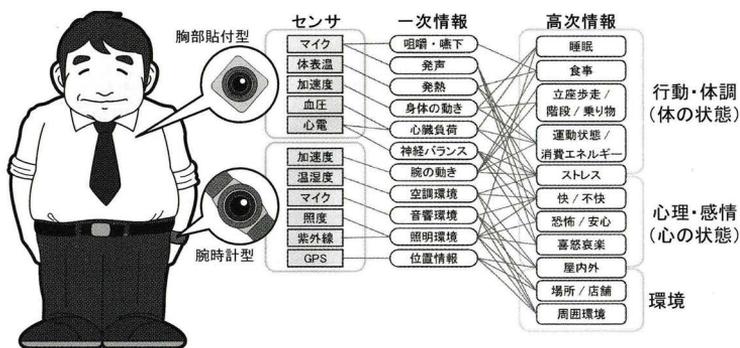


図2 ウェアラブル生体センサと分析技術

生活習慣病は、運動不足、ストレス、不規則な食事、睡眠不足などの不規則な生活習慣が原因であり、日本人の死因の30%である心疾患や脳血管疾患につながっている。よく知られているように、メタボリック症候群は生活習慣病の一つで、腹部肥満に、脂質異常、高血圧、高血糖の3つ内の2つ以上に該当するものであるが、日本人では高血圧の割合が非常に高く、メタボリック症候群も高血圧に起因するものが多くなっている。

そこで、ウェアラブル生体センシング技術の開発に当たっては、生活習慣対策に有効と思われる血圧センシング、食習慣センシング、ストレスセンシングに重点を置いて開発を進めてきた。

以下では、まず、血圧、食習慣、ストレスのウェアラブル生体センシング技術（第2章）を紹介する。次いで、東大病院で行っているヘルスケアサービス（連続血圧計測）の実証実験について述べる（第3章）。最後に、ヘルスケアサービスの情報処理基盤を実現する上で、ウェアラブル生体センシング技術に加えて必要ないくつかの要素技術（第4章）を紹介する。

■ 2. ウェアラブル生体センシング技術（取る技術）の開発

■ 2.1. 血圧センシング技術

高血圧に伴う心筋梗塞や脳卒中といった動脈硬化性疾患のリスク評価指標として、血圧の日内変動パターンや短期変動パターンをモニタリングすることが重要である。そこで、血圧センシングにおいては、一般健常者に対する心血管系や脳血管系の疾患の早期発見率の向上と、メタボリック症候群患者およびその予備軍の経過をモニタリングすることを目標として、自由行動下において長時間かつ連続的な血圧計測が可能なウェアラブルセンサを開発することが目的となる。既存の方法では計測し得ないような高頻度・長時間で、かつ日常生活下の血圧を連続測定することが可能となれば、従来知られていなかった血圧に関連した新たな医学的知見が得られる可能性が期待される。

血圧は、心臓の収縮によって生じた脈波が抹消に伝わるまでの脈波伝播時間（Pulse Wave Transit Time）と強い相関関係があることが知られている。血圧が高くなると脈波伝播時間が短縮し、血圧が低くなると脈波伝播時間は延びる。この脈波伝播速度（PWV：Pulse Wave Velocity）法に基づく血圧測定手法は、脈波伝播時間を測定することで血圧値を算出するため、測定時にカフ圧をかける必要がないのが利点である。我々は従来のPWV法に改良を加え、運動時にも適用可能な血圧算出式を開発した（図3）。

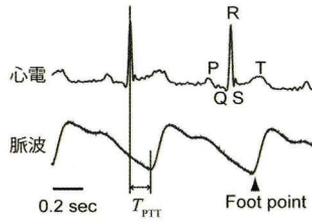


図3 脈波伝播時間の求め方(上)と脈波伝播速度(PWV)法と聴診法との比較(下)

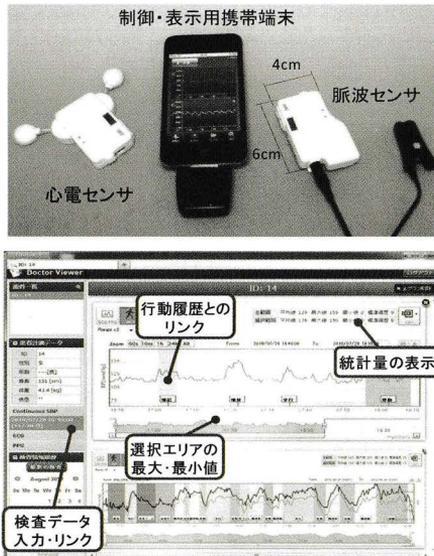


図4 無線型ウェアラブル血圧センサの試作機(上)と閲覧画面(下)

また、ウェアラブルなデバイスを実現するため、低消費電力で大容量データを通信する技術を導入した。時分割送信とデータ圧縮によって、心電、脈波の生信号をリアルタイムに送受信し、小型二次電池で3時間以上の連続計測が可能なデバイスを携帯情報端末上へ実装した(図4)。取得したデータは携帯情報端末(スマートフォン)からデータベースに送信され、医師はその詳細データを閲覧することが可能である。

これまで日常生活下で血圧を連続測定する試みはあまり行われていなかったが、運動時にも対応可能な血圧センシング技術へ改良した。今後、新たな医学的な知見を得るためには、豊富なデータから議論することが必要である。例えば、測定された血圧がどんな行動をしている場合の血圧かなど、血圧と行動履歴との対応付けも重要となる。

2.2. 食習慣センシング技術

内臓肥満は、運動不足と不規則な食事などの生活習慣の乱れが主な原因であり、これを解消するには運動療法と食事療法が必要である。前者については、3軸加速度センサを基本とする活動量計を用いて、個人の運動状態を客観的に把握できるようになり、運動療法に活かされている。後者については、映像を用いて消費カロリーや栄養バランスを分析するサービスがあるが、食事の規則性などの食習慣を非侵襲な手法で連続的にモニタリングするサービスはこれまでに開発されていない。

そこで、食習慣センシングにおいては、非侵襲で簡易な計測が可能な音情報、特に声や咀嚼音などの体内音に着目して、食習慣(咀嚼回数、食関連行動(食事の規則性)、フードテキストチャーなど)を分析する食習慣セン



図5 ウェアラブル食習慣センシングシステム

シング技術の開発を進めた。

まず、日常生活下の体内音を長時間に渡ってモニタリングできるウェアラブル食習慣センサを試作した(図5)。体内音を捉えるために、環境音に由来するノイズが少なく外耳に挿入できる骨伝導マイクを用いて、ICレコーダやスマートフォンに記録するものである。このウェアラブル食習慣センサを用いて、食事中における咀嚼音などの体内音を記録して、個人や食品種類に依存しないロバストな分析手法の開発を進めた。

その結果、咀嚼回数や食関連行動(食べる、飲む、話す)を高精度に分析することが可能となった。長時間の体内音から食事時間を抽出し、さらにズームアップするとよく噛んで食べているかどうかが見えてきた。咀嚼回数については、個人や食品の種類に依らずに90%の精度でカウント可能となった。

さらに分析することにより、口に含まれる食品の性状(フードテクスチャー)が見えてきた。一例として、フードテクスチャーについては、主成分分析(PCA)によって、咀嚼に伴って食品の硬さが変化する様子を可視化するとともに、食品の硬さを評価することに成功した(図6)。食品の硬さだけでなく、弾性、シャキシャキ感を加えた3つのフードテクスチャーを評価することも可能となった。

現在、後期高齢者の健康診断において、食の虚弱を調査する咀嚼機能評価が重要な項目となっている。食習慣センシング技術では、音情報から発話量と同時に咀嚼回数が計測できるので、臨床現場の医師から大いに期待されている。

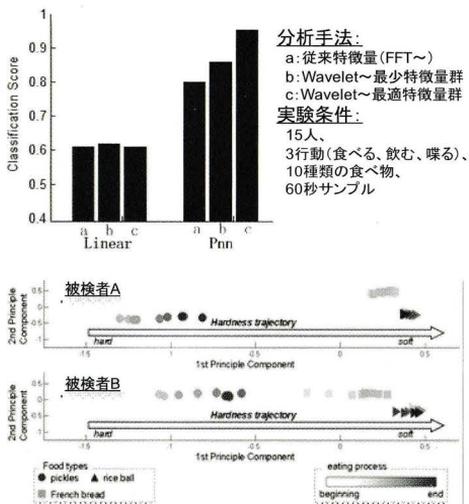


図6 食関連行動と食べ物の分類(上)とPCAによる食べ物の硬さ評価(下)

2.3. ストレスセンシング技術

ストレスは生活習慣病の原因の一つとされているが、さらに近年では、ストレスに由来する神経精神疾患（うつ病など）も大きな社会問題となっている。このような背景から、これらの疾患の予防をめざして、ストレスを日常生活下でモニタリングできる手法の開発が望まれている。

人体に生体恒常性を乱す、または乱しうる負荷（ストレス）が加わると、生体恒常性の維持・回復のための生理反応が生じる。この生理反応がストレス（ストレス反応）であり、心拍数などの様々な生理指標に変化が現れる。生理指標から人体に生じているストレスの種類を推定する試みは、その必要性に反して十分なされていない。その理由は、生理指標の変化に個人差があることや、ストレスの種類によって変化を示す生理指標が異なることによって、単一の生理指標ではストレスの種類を推定することが困難なためである。そこで、ストレスセンシングにおいては、複数の生理指標を選択的に用いることで、個人に依らないストレス種類の推定手法の開発をめざした。

実験室環境下で、計算タスクを与えて複数種（基準、緊張、単調の3種）のストレスを発生させて、被験者の主観評価とあわせてウェアラブルセンサによる生体情報のモニタリングを行うことで評価した。個人に依らないストレス種類の推定手法を実現するにあたって、生体情報として心電、脈波、呼吸、指部皮膚温度を計測し、これから9種の特徴量（生理指標）を得た。

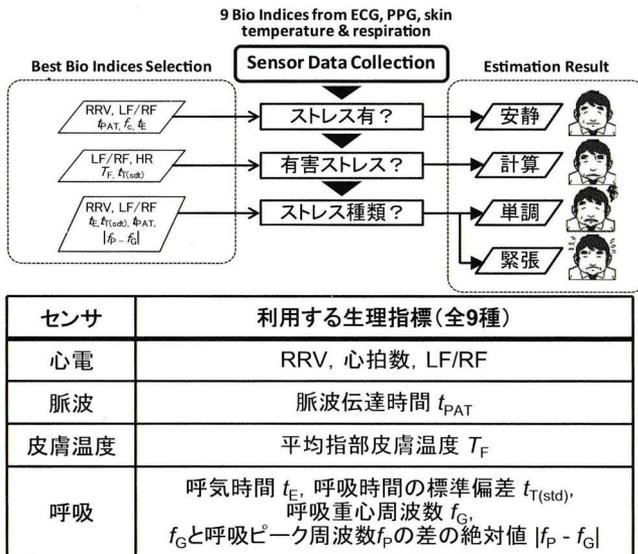


図7 ストレスセンシング手法と用いる生理指標

さらに、推定処理をステップ分けし、各ステップにおいて個人差が小さい複数の生理指標を用いる手法を提案した。推定に用いるべき生理指標の条件は「ストレスの種類を反映し、かつ個人差が小さいこと」である。

ストレス推定の手順を図7に示す。ステップ1において、「安静状態かストレス状態か」を推定する。次いで、ステップ2において、「計算（基準）ストレスかそれ以外のストレスか」、ステップ3において、「単調ストレスか緊張ストレスか」を推定する。推定結果を比較したところ、単一の生理指標によるストレス有無の判別率が60%程度であるのに対して、複数の生理指標を用いると判別率が90%程度にまで向上することが明らかになった。また、ストレス種類についても60%以上の判別率が得られている。

■ 3. 東大病院におけるヘルスケアサービス（連続血圧計測）の実証実験

開発を進めてきたウェアラブル生体センシング技術を臨床現場で評価するにあたっては、高齢者の罹患率が非常に高い高血圧に注目して、ウェアラブル血圧センサを用いて連続血圧計測の実証実験を行っている。さて、現在のところ、血圧測定についてはカフ血圧が絶対的な医療基準となっているため、これまで血圧変動は離散的にしか扱われてこなかった。一方、本実証実験においては大量かつ連続的な血圧データを扱うので、まずはデータを収集することが重要である。大量かつ連続的な血圧データを分析すれば、アラートを出すべき状態変化の議論につながると思われる。また、「超」短期血圧変動のように、医学的に意味のある血圧データについては、機械学習によって自動検出ができるようにアルゴリズムを組んで、実際のヘルスケアサービスにつながることを期待している。したがって、実証実験では、ウェアラブル血圧センサを用いて、実際の患者から連続的な血圧データを大量に取得し、重要な血圧変動を描出することが目的となる。

■ 3.1. 高齢者の高血圧と血圧変動

高齢者の高血圧における様々な特徴を表1に列挙する。まず加齢に伴って血管壁硬化が進み、Windkessel（ふいご）機能が低下することにより、脈圧増大を伴う収縮期高血圧を呈しやすくなる。また、塩分摂取量や降圧薬の服薬管理状況にも大きく影響を受けやすい。さらに、高齢者の血圧管理を行う上で、単なる血圧値だけではなく、数多くの計測をしてその血圧変動を十分考慮に入れた管理をしなければならない。いわゆる血圧変動には、交感神経活性や環境因子など様々な要因が考えられるが、「日内変動」と「日間変動」の重要性が注目されている。

健常者は夜間就寝中においては、昼間に比べて生理的に約10～20%の降圧を示す。高齢者ではその生理的な夜間降圧のパターンが破綻しやすく、Non-dipper型やRiser型を呈する症例が少なくない。これらは脳・心血管

表 1 高齢者の高血圧における様々な特徴

1. 血管壁硬化(Windkessel(ふいご)機能の低下)
収縮期高血圧, 脈圧の増大(→冠動脈還流圧の低下)
2. 血圧の動揺性
白衣高血圧, 仮面高血圧
起立性低血圧, 食後低血圧
(圧受容器時反射の低下, 自律神経機能低下と関連)
3. 血圧変動の増加(日内変動・日間変動)
早朝高血圧(Morning surge)や生理的夜間血圧の破綻
・夜間非降圧型(Non-dipper)/夜間上昇型(Riser)
・夜間の過度降圧(Extreme-dipper)
4. 降圧や血圧変動に伴う臓器血流の低下(脳, 心, 腎臓)
5. 食塩感受性(体液量依存性)が高い
6. 服薬状況の安定性が低い(コンプライアンス不良)

系疾患のハイリスク群と位置づけされている。また、逆に夜間の過度降圧(Extreme-dipper)を呈する症例も数多く、外来診療における単回の血圧測定では病態把握に限界が生じてくる。これらの日内変動や日間変動が大きいくらいほど、脳・心血管系疾患を発症するリスクが高いことは数多くの臨床研究によって報告されている。

また、高齢者における短時間の血圧変動として代表的なのが、起立性低血圧や食後低血圧である。図8に、従来型の24時間血圧測定装置であるABPMによって特徴が捉えられた高齢者高血圧の症例を示す。夜間の血圧は相対的にExtreme-dipper型を呈し、起床前後の時間帯は典型的な早朝高血圧(Morning surge)を示している。さらに、食後に急激な血圧低下を起こしていることもABPMによって描出されている。高齢者の血圧はこの症例でも短時間内で劇的な変動を示しているが、ある症例では過度な血圧

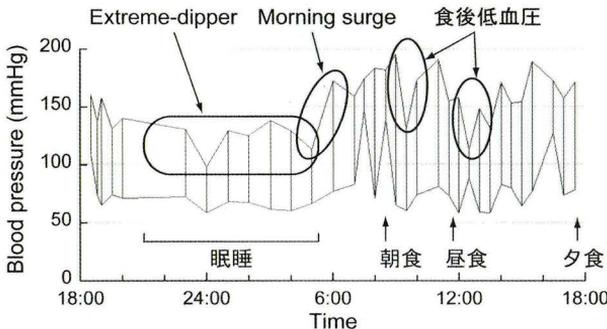


図 8 血圧の日内変動の例

変動が相対的脳虚血を惹起し、いわゆる目まい・立ちくらみなどの症状を訴えて、最終的に易転倒性につながる。

さらに、高齢者では高血圧と認知機能との関連も無視できない。近年の報告では、認知症の発症・進展には高血圧も含めた生活習慣病との関連も注目されていることから、より幅広い病態把握が必要である。高血圧の管理不良は、急性の脳血管障害だけでなく、慢性の脳虚血所見（ラクナ梗塞や白質病変）も大きく増大させることから、認知症予防という観点からも高血圧の管理、ひいては血圧変動の管理が必要になってくることは間違いない。そのためには、「個人差の大きい高齢者の血圧管理において、短時間内に起こる過度な血圧変動をいかに簡易に評価できるか」が大きな鍵となってくる。

■ 3.2. ウェアラブル血圧センサの高齢者への応用

我々は開発を進めているカフレスで連続的に収縮期血圧を測定できるウェアラブル血圧センサを用いて、高齢者の短期血圧変動に注目して臨床実験を行った。特に、様々な負荷に対する短時間での昇圧、および起立などによる急な降圧など、『超』短期血圧変動に焦点を合わせてウェアラブル血圧センサの有用性を検討した。

具体的には、高齢者の『超』短期血圧変動を評価する目的で、表2に示すような様々な負荷（メンタル・ストレス負荷、歩行負荷、立位（姿勢変化）など）を与えて、ウェアラブル血圧センサと従来のカフ式血圧計を併用して測定を行い、データを比較した。カフ式血圧計では、高齢者へのカフ圧迫による負担を軽減させることに配慮しながら、3～5分間隔で測定した。被験者としては、東京大学附属病院・老年病科に生活習慣病の慢性管理を目的として、もしくは物忘れを主訴の一つとして入院された60歳以上の患者とし、悪性腫瘍や急性疾患を持ち合わせる患者は除外した。

表2 様々な負荷による血圧変化

- | |
|--|
| <p>[1]メンタル・ストレス負荷による昇圧
(Mental stress-induced BP elevation)</p> <p>①「2つの物語に対する暗記(復唱)」負荷</p> <p>②「計算(暗算)」負荷</p> <p>1)100から7を連続的に引き算していく</p> <p>2)3597-59, 1703-17, などの暗算</p> <p>[2]歩行負荷中の昇圧
(Physical stress-induced BP elevation)</p> <p>[3]起立による降圧
(Orthostatic hypotension)</p> |
|--|

3.3. メンタル・ストレス反応性の血圧変動の結果

この『超』短期血圧変動に焦点を合わせ、平成23年までに50症例（平均年齢80歳±5.8歳：男性16例、女性34例）に対してデータ収集を行った。メンタル・ストレス負荷の中で「2つの物語に対する暗記（復唱）」負荷によってウェアラブル血圧センサにより昇圧が認められた症例は50例中20例（40%）、「計算（暗算）」負荷によって昇圧を示した者は50例中24例（48%）であった。また、歩行負荷による昇圧は50例中33例（66%）であり、このウェアラブル血圧センサによって比較的多くの症例に『超』短期血圧変動を捉えることができた。

ストレス反応性昇圧に対してウェアラブル血圧センサの有用性が確認された代表的な症例の血圧測定結果を図9に示す。カフ式血圧計による収縮期血圧（カフ血圧）を○印で示す。また、ウェアラブル血圧センサによる収縮期血圧は60 beatsの平均で表示してある。

暗記や暗算によるメンタル・ストレス負荷に対して、カフ血圧は少なくとも20 mmHg以上昇圧している。一方、ウェアラブル血圧センサによる収縮期血圧の推移を見ると、ストレスによる昇圧を再現しており、その昇圧はカフ血圧に比較するとはるかに大きい。具体的には、ウェアラブル血圧センサによる昇圧は、暗記ストレスにおいてはカフ血圧と同じく約20 mmHgであったが、暗算ストレスにおいては約40 mmHg上昇していた。この結果から見ると、従来、カフ式血圧計にて連続して測定していても、その間に今までに見えていなかった急峻な血圧上昇や『超』短期変動が存在していた可能性がある。

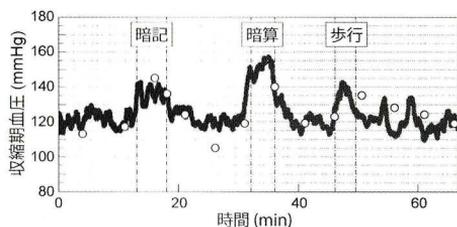


図9 ウェアラブル血圧センサの実証実験例（その1）

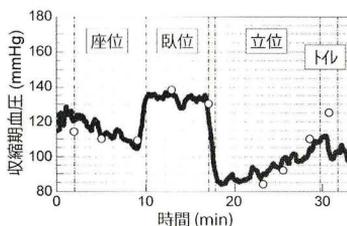


図10 ウェアラブル血圧センサの実証実験例（その2）

■ 3.4. フィジカル・ストレス反応性の血圧変動の結果

歩行負荷においても、図9の例においてウェアラブル血圧センサにより急峻な昇圧（約 30 mmHg 以上）が確認された。カフ式血圧計では歩行中には事実上測定することが不可能である。特に、下半身の筋力低下や脳卒中による麻痺などを持ち合わせている高齢者では歩行自体が身体的ストレスになる。その意味でも、高齢者の身体活動時における血圧変動を確認する上でウェアラブル血圧センサの有用性が伺える。さらに、収縮期血圧と心拍数の積として計算される Double Product は心負荷レベルを反映しているとされ、高齢者の歩行リハビリテーションを遂行するにあたって、過度な心負荷を避ける良い目安になることが期待される。

また、認知症に加えて起立性低血圧を伴う症例に対して、ウェアラブル血圧センサにより詳細な血圧変動を捉えることのできた代表的症例を図10に示す。この症例は認知機能低下に加えて自律神経障害も持ち合わせ、起立性低血圧によって目まい・立ちくらみ、そして転倒を繰り返している症例である。明らかな脳血管障害は認めないものの、恐怖心も併存して、日常生活における行動範囲が非常に狭められてしまっている。今回、起立性の血圧低下に対してウェアラブル血圧センサを装着して精査を行った。座位から臥位への体位変換を行っただけでも約 20 mmHg 以上の血圧上昇がみられ、さらに能動的起立（Schellong 試験）を行ったところ、起立動作に移っている途中から劇的な血圧低下が確認され、最終的に収縮期血圧が約 90 mmHg まで低下した。

起立性低血圧をチェックするために、臨床診療においてはカフ血圧を用いて Tilt-up 試験（受動的起立）や Schellong 試験（能動的起立）がよく行われている。しかしながら、この結果から考えると、測定間隔の空いたカフ血圧よりも、ウェアラブル血圧センサによる詳細な血圧変動の方が高齢者独特の病態を反映している可能性が示唆される。

■ 3.5. まとめ

以上述べたように、開発したウェアラブル血圧センサを血管壁硬化の進んでいる高齢者において臨床応用したところ、医学的に意味のある『超』短期変動をはじめ捉えることができた。このウェアラブル血圧センサを用いれば、様々な環境変化やストレス下において、連続的に血圧変動を捉えることができるので、臨床診療および在宅診療で広く活用されることを期待したい。

■ 4. ヘルスケアサービスの情報処理基盤に向けた要素技術の開発

前章では、開発したウェアラブル血圧センサを用いて東大病院で行っているヘルスケアサービス（連続血圧計測）の実証実験について述べた。このようなヘルスケアサービスのための情報処理基盤の実現をめざして、図11に示すように、様々な要素技術の研究開発を進めてきた。ウェアラブル生体センシング技術については既に紹介したので、ここでは、それ以外の幾つかの要素技術について紹介する。

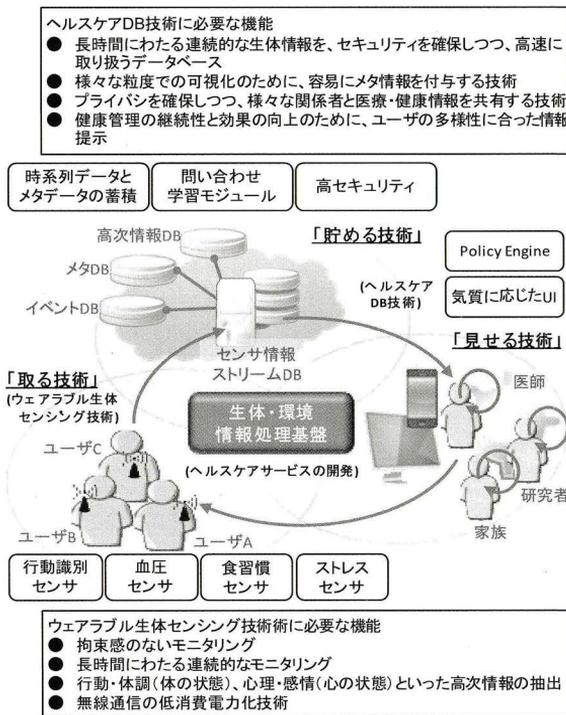


図 11 生体・環境情報処理基盤の実現に必要な機能

■ 4.1. ストリーム型データベース技術（貯める技術）

「いつでも」「どこでも」健康状態を監視できるユビキタスなヘルスマニタリングサービスの必要性が高まっている。しかしながら、これまでは個々のヘルスマニタリングサービスを実現することに主眼があり、相互運用が困難である。また、リアルタイムと非リアルタイムのような性格の異なるサービスを区別せず、すべて HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) で転送するために、各サービスのプロトコルが最適化されていない。例えば、

心電図のような連続的で大容量な生体データをリアルタイム転送しようとすると輻輳が生じる可能性がある。

我々は、今後のサービス展開のためには、基本機能をサービスに非依存なオープンシステムとし、その上に個々のサービスを最適なプロトコルで提供すべきと考えている。そのために、NGN (Next Generation Network) / IMS (IP Multimedia Subsystem) に着目している。NGN/IMS は固定網と移動網を IP ベースで統合し、認証基盤や QoS (Quality of Service) などの機能を提供している。これらの機能を利用することで、AAA (Authentication (認証), Authorization (認可) and Accounting (アカウントニング)) や、リアルタイム転送に必要な QoS (Quality of Service) と呼制御を備える。また、データ蓄積とイベント通知を行うサーバとして XDMS (XML Document Management Server) に着目し、生体データを長期間に渡り継続的に蓄積するためのデータ構造の検討と、多様なイベント通知要求と問合せに対応するために SIP (Session Initiation Protocol) イベント通知フレームワーク内で XQuery を扱う拡張を行った (図 12)。

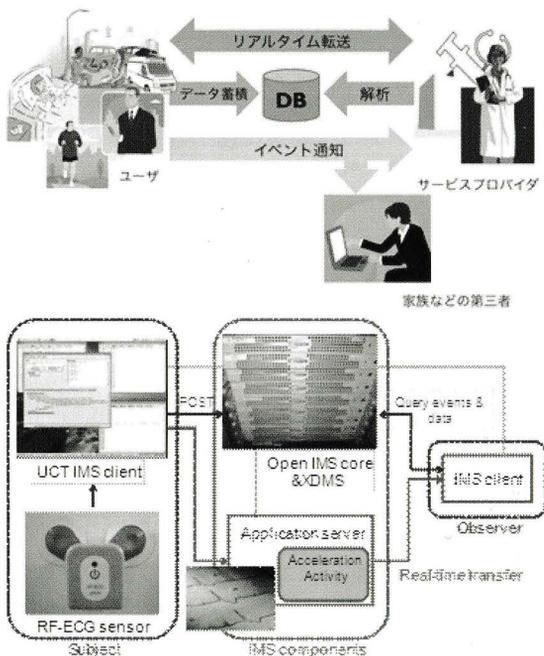


図 12 NGN/IMS を用いたヘルスケアシステム

■ 4.2. ウェイクアップ無線インタフェース技術（取る技術）

無線通信はセンサノード全体の電力消費の30～50%を占めるため、特に、ウェアラブル生体センサの長寿命化には無線通信プロトコルの良し悪しが大ききな影響を与える。本研究では、受信した電磁波エネルギーからでもマイクロコントローラを駆動できることに着目して、待受け電力を必要とせずにデバイスをウェイクアップする機構の開発を進めた。

開発した送信機はウェイクアップ要求信号送信モジュールと従来のデータ通信モジュール（微弱無線モジュール等）から構成される（図13）。データ通信時には、通信したい端末のIDが含まれるウェイクアップ要求信号を、通信したい端末に対して送信する。一方、受信機はウェイクアップ要求信号を検出するウェイクアップモジュールと従来のデータ通信モジュールから構成される。ウェイクアップモジュールは信号検出回路（信号の有無検出）とID受信比較回路（信号の復調・復号とID比較）により構成される受信機であり、信号検出回路は常時動作して受信待機する。ウェイクアップモジュールはウェイクアップ要求信号を検出するとID受信比較回路によってIDを識別し、IDが自端末宛であればデータ通信モジュールをウェイクアップして通信を開始する。

我々はウェイクアップ無線インタフェースにおけるID空間の設計について、消費電力削減の側面から研究を進め、ID空間構造にブルームフィルタを適用して、ID受信比較回路の低消費電力化とウェイクアップ要求信号数の削減を行う手法を考案した。ブルームフィルタはデータセットを効率良く表現可能なデータ構造であり、ID長を短縮することができる。また、ブルームフィルタでは複数のIDを1つのIDに縮退させることが可能であり、サービスに対してIDを付与することで、回路規模を大きくすることな

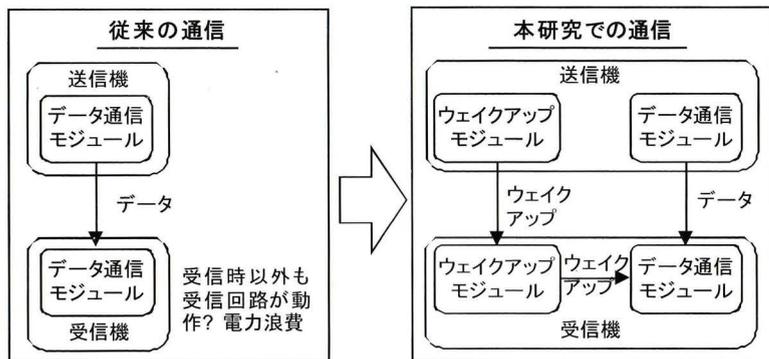


図13 データ通信モジュールの2段階ウェイクアップによる省電力化

く、サービスに必要となる複数のデバイスをウェイクアップすることができる。これによって、ウェイクアップ時に送出されるウェイクアップ要求信号数を削減することができる。

例えば、ヘルスマonitoringにおいて、モニタリングしたい疾患毎にIDを用意し、各疾患のモニタリングに必要なセンサ群に同一のIDを設定することで、1つのIDで複数のセンサを同時にウェイクアップすることが可能となる。また、1つのセンサを複数の疾患のモニタリングで使用する可能性があるため、センサには複数のIDを設定できることが好ましい。ブルームフィルタを用いることで小規模な回路で、これらを実現することが可能となる。

■ 4.3. 気質分類に基づく適切な情報提示技術（見る技術）

本研究は、携帯端末等を利用したヘルスケアサービスにおいて効果的な情報提示方法を検討することを目的としており、特に気質（情動的な反応特性）を考慮した情報提示方法の必要性を提案するものである。想定される対象者はメタボリック症候群患者およびその予備軍であり、そのような人々のセルフケアを支援することをねらいとしている。

ダイエットなどの健康管理行動の効果を高めるためには、画一的方法で数値目標を押し付けるのではなく、個人の気質を考慮することが必要で

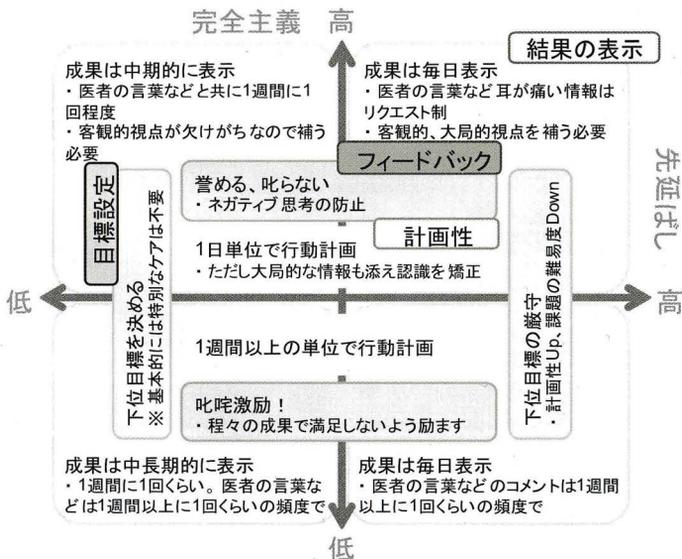


図 14 各気質に適した情報提示方法

ある。メタボリック症候群患者を対象とした先行研究では、従来の運動や栄養の指導に加えて臨床心理士による認知行動療法のカウンセリングを導入したことで約2倍の減量効果が認められた。これはカウンセリングが自己の状況や気質の客観的な把握を促し、それに合わせた目標設定や指導を可能にしたためだと考えられ、気質に合わせた対応がダイエット行動の効果を高めることを示唆している。しかしながら、セルフケアの観点から考えると、臨床心理士による介入を実現することは難しく、カウンセリングを自動化することが求められる。

そこで本研究では、ユーザ自身によるセルフケアを実現可能にするダイエット支援システムの構築を念頭に置き、質問紙調査実験により実験参加者を気質毎に分類して、各気質に適した情報提示方法を調査した。ここでは、肥満と関係があるとされる先延ばし傾向と完全主義傾向のそれぞれの高低によって実験参加者を4つの気質グループに分類している。気質グループ毎に、目標設定、計画性、結果表示、フィードバックの各側面における情報提示方法についての質問紙調査実験を行った。その結果、図14に示すような提示方法が妥当であることが分かった。

ヘルスケアサービスのユーザインタフェースを設計する場合には、個人毎のカスタマイズが必要になると思われるが、実際には個人毎のユーザインタフェースを用意することは難しい。幾つかのグループに分類し、基礎となるUI設計上にアピアランス（見せかけ）をどのように表示すべきであるかについて一指針を与えるものである。

■ 4.4.ヘルスケア情報の共有技術（見せる技術）

ウェブコミュニティにおけるヘルスケア情報の共有技術に関する共同研究も進めてきた。生体・環境情報処理基盤を通じて、個人が自らの健康状態を正確に知ることができれば、健康増進や生活習慣病予防をめざして、積極的な健康管理が促進される。そのためには、個人のヘルスケア情報を、様々な関係者との間で、適切かつ容易に共有できるようにする必要がある。これを実現するには、SNS、e-Learningなどで活用されているウェブコミュニティ技術をヘルスケアサービスにも活用することが有効だと考えられる。

我々は、個人が自らのプライバシーを確保しつつ、様々な関係者（医師、家族・親戚、隣人など）との間でヘルスケア情報を共有するための仕組みを開発した。情報共有技術のポイントとなるのは、ヘルスケア情報を、いかなる関係者と、いかなる条件で、いかなる粒度で共有するかを定義・制御する仕組みである。

そこで、PROTUNEというオリジナルな“Policy Engine”を適用して実装を進めた。従来のPolicy Engineに比べて、PROTUNEは細かいルール

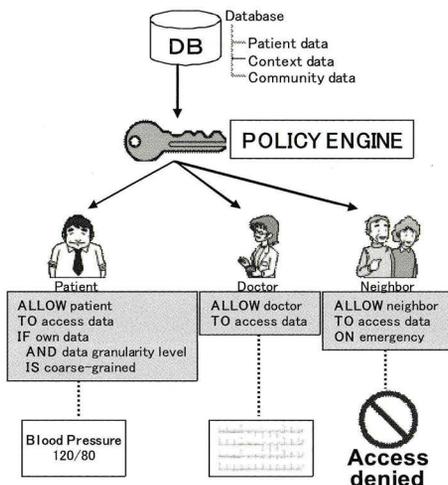


図 15 Policy Engine による情報共有の仕組み

の定義と制御が可能であり、様々な関係者の間で、どんな条件で、どんな粒度の情報にアクセスできるかの細かいルールを定義できる。例えば、心電などの詳細な生体情報は医師にのみ提示し、患者本人には平均的な心拍数とか血圧値とかを提示する。また、隣人とは通常時は健康情報を共有しないが、緊急時には警告が出されるように定義・制御することが可能である。(図 15)。

5. おわりに

本プロジェクトは、日常生活中でヘルスケア情報を「取る」、「貯める」、「見せる」ことにより、行動変容を促す生体・環境情報処理基盤（人間の日常生活を科学するプラットフォーム）の構築をめざしたものである。東大病院におけるヘルスケアサービス（連続血圧計測）の実証実験で示したのは一つの実施例であり、医療現場において有効性を検証できたことは我々にとって非常に大きな成果である。プロジェクト開始当初は、取り貯めた膨大なデータをどのように解釈すれば良いのかが十分に予測できないこともあった。しかしながら、幸いなことに、医師と工学者が良い連携を保てたこともあり、走りながら考えるというグランドチャレンジの精神で、課題の設定と見直しを繰り返して、一つの実証実験をクリアすることができた。

残された課題はまだ山積みであるが、我々の開発した情報処理基盤は多くのユーザに使われてこそ意味を持つと考えている。ストリーミング

データである連続血圧データを題材として議論を展開してきたが、従来型の離散データもちろん収容可能である。新たな実験データを投入する場合には、日本でも導入されようとしているパーソナルヘルスレコード(PHR)との接続も視野に入れて、様々な研究グループや事業体と連携して進めていきたい(図16)。

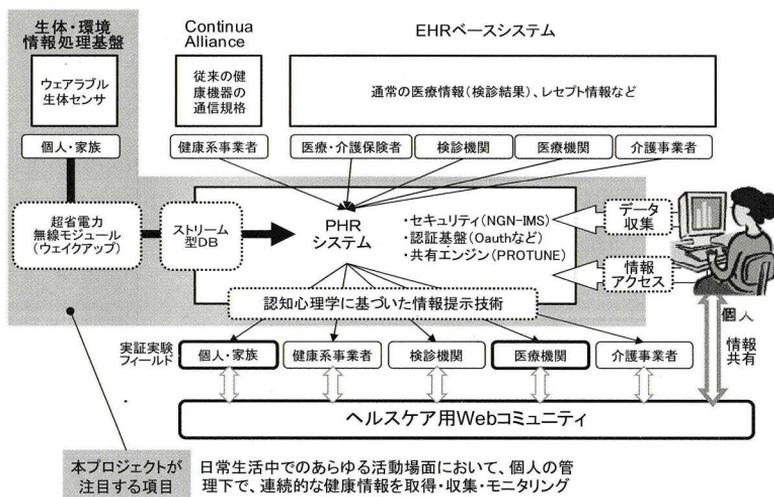


図16 生体情報処理基盤のPHRシステムへの応用

最近では、人間の行動データ(加速度情報など)のように、センサから得られるストリーミングデータを他の研究者や専門家と共有していこうという動きがある。これは、上流ではセンシング技術の規格統一、下流では分析ソフトの精度向上を期待したものである。5年間のプロジェクトとしては一区切りがついたが、今後は他の研究者とストリーミングデータの交流を行い、さらなる活性化を図って行きたい。

共同研究者

- 森川 博之 (東京大学先端科学技術研究センター 教授)
- 中村 二郎 (NTT 環境エネルギー研究所 グループリーダー)
- J.J. Delaunay (東京大学大学院工学系研究科 准教授)
- 割澤 伸一 (東京大学大学院新領域創成科学研究科 准教授)
- 酒造 正樹 (東京大学大学院新領域創成科学研究科 / 神奈川大学工学部 特任研究員 / 特任准教授)
- G. Lopez (東京大学大学院新領域創成科学研究科 特任助教)
- 矢作 直樹 (東京大学医学部附属病院 教授)
- 今井 靖 (東京大学医学部附属病院 講師)
- 藤生 克仁 (東京大学医学部附属病院 助教)
- 武田 憲彦 (東京大学医学部附属病院 助教)

- 柳元 伸太郎 (東京大学医学部附属病院 講師)
 森田 啓行 (東京大学医学部附属病院 准教授)
 興沼 貴英 (東京大学医学部附属病院 助教)
 飯島 勝矢 (東京大学 高齢社会総合研究機構 准教授)
 亀山 祐美 (東京大学大学院医学系研究科 助教)
 横澤 一彦 (東京大学大学院 人文社会系研究科 教授)
 井場 陽一 (OLYMPUS 未来創造研究所 所長)
 小坂 明生 (OLYMPUS 未来創造研究所 上席研究員)
 龍田 成示 (OLYMPUS 未来創造研究所 上席研究員)
 中村 雅之 (NTT 環境エネルギー研究所 主任研究員)
 P. Maret (Université Jean Monnet, Laboratoire Hubert Curien, FRANCE 教授)
 F. Muhlenbach (Université Jean Monnet, Laboratoire Hubert Curien, FRANCE 准教授)
 E. Fromont (Université Jean Monnet, Laboratoire Hubert Curien, FRANCE 准教授)
 J. Subercaze (Université Jean Monnet, Laboratoire Hubert Curien, FRANCE 助教)
 J. L. De Coi (Université Jean Monnet, Laboratoire Hubert Curien, FRANCE 助教)
 翁長 久 (東京大学先端科学技術研究センター 特任准教授)
 南 正輝 (東京大学先端科学技術研究センター 准教授)
 川原 圭博 (東京大学大学院 情報理工学系研究科 講師)
 今泉 英明 (東京大学大学院 情報理工学系研究科 特任准教授)
 猿渡 俊介 (東京大学大学院 情報理工学系研究科 助教)
 鈴木 誠 (東京大学先端科学技術研究センター 助教)
 國岡 達也 (NTT 環境エネルギー研究所 主幹研究員)
 山田 巧 (NTT 環境エネルギー研究所 主任研究員)
 川西 直 (東京大学先端科学技術研究センター 特任研究員)
 浅野 倫子 (東京大学先端科学技術研究センター 特任研究員)

※共同研究者の所属機関・役職名は研究終了時点のものです