

途上国における予防医療を実現する ポータブルヘルスクリニックシステムの構築

野原 康伸^{1,a)} Zahidul Ripon² Rafiqul Islam² Partha Ghosh² 井上 創造³ Ashir Ahmed^{1,2}
中島 直樹¹

概要：近年，途上国においても，感染症や栄養失調といった伝統的な疾患に代わり，糖尿病や高血圧症をはじめとする生活習慣病が急激に増加しており，その予防が大きな課題となっている．途上国は人員・設備とも医療インフラが不足している一方で，携帯電話網が急激に普及してきているなど，情報通信技術が貢献できる役割は大きいと考えられる．我々は途上国のひとつであるバングラデシュにおいて，ポータブルヘルスクリニックと名付けた予防医療プログラムを実施している．その実施においては，ICTの知識に乏しい医療者でも使えるシステムといった課題の他，停電が頻発する，ネットワーク接続が不安定といった途上国特有の問題がある．本稿では，ポータブルヘルスクリニックシステムの構築における課題と対策について述べる．

A Portable Health Clinic System for Preventive Medicine in Developing Countries

YASUNOBU NOHARA^{1,a)} ZAHIDUL RIPON² RAFIQL ISLAM² PARTHA GHOSH² SOZO INOUE³
ASHIR AHMED^{1,2} NAOKI NAKASHIMA¹

1. はじめに

近年，発展途上国においても，感染症や栄養失調といった伝統的な疾患に代わり，糖尿病や高血圧症をはじめとする生活習慣病が急激に増加している．WHOの報告 [1]によると，2008年は全世界での死亡者の63%にあたる3600万人が生活習慣病が原因で亡くなっており，その80%の2900万人が低・中所得国の人々であった．生活習慣病の病死者に占める70歳以下の人の割合は，先進国の26%に対して，途上国では48%にもものぼり，突然死の大きな原因となっている．生活習慣病は，先進国だけの問題ではなく，発展途上国においても重要な問題となっている．

バングラデシュは，代表的な発展途上国の一つであり，公的医療保険制度や医療インフラ，医師・看護師の人的資

源など，保健医療の社会整備が未成熟である．また，不足する医療インフラや人的資源が大都市に集中しているため農村部では医療を受ける環境に特に乏しく，住民が病気になった場合でも，適切な治療を受けることができる都市の病院に行くことがほとんどない．

一方で，都市部はもちろんのこと，ほとんどの地域・農村部の市場には薬局が存在しており，安価なジェネリック薬が処方箋なしに販売されている．また，他の途上国の例に漏れず，近年急激に携帯電話網が発達しており，全土の98%がカバーされている．複数の電話会社が独自の医療コールセンターを運営しており，全国の携帯電話からの医療相談にコールセンター所属の医師が応じている．しかしながら，相談者側に十分な医療知識がない上に，血圧や体温などの生体情報や病歴情報が不明なままの相談が多いため，適切なアドバイスに結びつきにくいことが指摘されている．このように，多くの問題を抱えながらも特徴的なインフラがバングラデシュには存在している．

¹ 九州大学 / Kyushu Univeristy

² Grameen Communications, Bangladesh

³ 九州工業大学 / Kyushu Institute of Technology

a) y-nohara@info.med.kyushu-u.ac.jp

現地のグラミンファミリーはこれまでに「マイクロファイナンス」という斬新な社会ビジネス手法を用いて特に社会的地位が低い貧困層の女性を多数自立させており、代表のムハマド・ユヌス氏は、この業績でノーベル平和賞を受賞したことで広く知られている。グラミンには同じ路線の上で、主として女性によって運営される医療社会ビジネスを創設することを検討していた。

以上のような理由から我々は、「ポータブルヘルスクリニック」を構想した [2]。この構想では、アタッチケースに医療機器や通信機材などを適切に接続してパッケージ化し、農村部や企業事業所へ看護師などの健診スタッフを派遣する。この機材により収集された対象者の生体情報や病歴情報は、携帯電話網を活用して、首都ダッカにあるコールセンターに集約される。この健診で生活習慣病発症者や予備軍を抽出し、リスクに応じて現地での保健指導（リスク種別のベンガル語パンフレットを渡すなど）やコールセンターの医師からの遠隔診療を行う。これを定期的に繰り返し、社会システムとしての「ポータブルヘルスクリニック」の効果を検証するとともに、データを蓄積する。本稿では、ポータブルヘルスクリニックを実現するためのシステムについて述べる。

本稿の構成は以下のとおりである。2章で健診業務の流れとシステムに対する要求分析について述べ、3章で開発したシステムの構成について述べる。4章ではシステムの評価と考察を行う。最後に5章で本稿をまとめる。

2. システムに対する要求分析

2.1 業務の流れ

ポータブルヘルスクリニックにおける業務の流れについて述べる (図1 参照)。遠隔医療に先立って、問診と健康診断を実施する。問診では、既往歴の他、間食の有無や、1週間にどのくらい運動しているか等の生活習慣を現地スタッフによる聞き取りにより調査する。問診内容はシステムに入力されて、遠隔医療や、データ解析に利用される。

健康診断では、血圧、動脈酸素飽和度 (SpO₂)、血糖値などを測定する。各測定結果に対して、国際的診断基準をもとに我々が策定した基準 (B-logic, 図2 参照) に従って、受診者を軽い症状から順番に、「健康 (緑)」「要注意 (黄)」「要治療 (橙)」「要緊急治療 (赤)」の4段階 (色) に分類する。各測定結果の内、もっとも重い症状の色をその受診者の最終判定結果とする。

首都ダッカのコールセンターには、医師が駐在しており、「要治療」「要緊急治療」と判定された受診者に対して、遠隔診療を実施する。医師は、受診者の健診結果と Skype による遠隔診療を通じて、健康アドバイスをしたり、高血圧患者には遠隔で処方箋を発行したりする。この遠隔診療の結果は、測定結果とともに携帯プリンタで印刷され、受診者に手渡しされる。受診者の中には文字が読めない者も

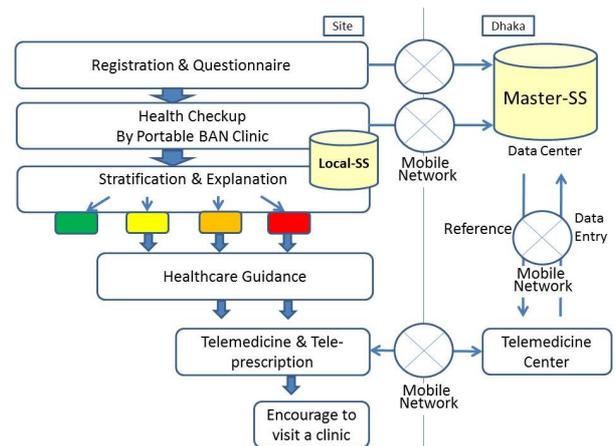


図1 健診ワークフロー

	緑	黄	橙	赤
ウエスト	男 <90cm	90cm ≤		
	女 <80cm	80cm ≤		
ウエスト・ヒップ比	男 <0.90	0.90 ≤		
	女 <0.85	0.85 ≤		
体格指数 (BMI)	<25	25 ≤ <30	30 ≤ <35	35 ≤
収縮期血圧	<140mmHg	140 ≤ <160	160 ≤ <180	180mmHg ≤
拡張期血圧	<90mmHg	90 ≤ <100	100 ≤ <110	110mmHg ≤
空腹時血糖	<100mg/dl	100 ≤ <126	126 ≤ <200	200mg/dl ≤
随時血糖	<140mg/dl	140 ≤ <200	200 ≤ <300	300mg/dl ≤
尿蛋白	陰性	±	+ ≤	
尿糖	陰性	±	+ ≤	
尿ウロビリノーゲン	±		+ ≤	
脈拍数	60 ≤ <100	50 ≤ <60 100 ≤ <120	<50 120 ≤	
不整脈	なし		あり	
喫煙習慣	なし	あり		
体温	<37°C	37 ≤ <37.5°C	37.5°C ≤	
SpO ₂	≥96%	93 ≤ <96	90 ≤ <93	<90%

図2 健診者の重症度分類に使用する判断基準: B-logic

多いため (識字率は5割弱)、現地スタッフによる健診結果の説明も合わせて実施する。

遠隔診療の受診者に対しては、健診2か月後に再度健診を行い、リピート率や医師の遠隔アドバイスなどによって、健康がどれだけ改善したかを検証する。さらに、再受診者に対して、初回の医師から指示されたアドバイス等の内容を覚えているか、その内容を守れたか、その理由は何か (例えば、薬が高くて買えなかった) を聞き取り調査し、来年度の指導方法の改善や薬の無料配布等の検討に反映する。

また次年度も本プログラムを実施することで、「健康 (緑)」「要注意 (黄)」だった受診者に対しても、その効果を検証する計画である。

2.2 要求分析

今回開発を行うシステムは、途上国における予防医療プログラムにおいて、集団健康診断を拡張するような形で使用する。しかし、食事・運動や血圧・血糖等を簡便に評価できるシステムは、途上国だけではなく先進国を含めた全世界で用いることができる普遍性がある。

たとえば、災害時の被災者のケアは一つの用途である。東日本大震災では、高齢者や慢性疾患の患者が、薬を自宅に置いたまま避難所などに逃げてきたまま、数か月間医療を受けることが難しいケースが多く発生した。ストレスや運動不足なども原因となって、高血圧症の発症や悪化が観測された。一方、震災直後でも、水道やガスに先立って、携帯電話網は早期に復旧した。計測結果をもとに重症度の高い患者へ優先的にケアを実施するにあたって、ポータブルヘルスクリニックの仕組みは使えらる。

したがって今後、様々な用途に本システムを使用できるよう、拡張性に考慮することが重要となる。

2.2.1 システム利用者

健診現場で、計測機器等を取り扱う現地スタッフと、遠隔のコールセンターに駐在する医師、およびシステム管理者(データ解析者)の三者がシステムを利用する。

2.2.2 使用機器

世界に展開することを考慮し、センサーからの通信は、国際標準規格を可能な限り用いる。また、日本で使用できないという事態を避けるためにも、薬事法承認を得た医療機器を用いる。電源が十分に確保できない可能性があるため、機器は電池駆動可能なものを基本とし、できるだけ省電力の物を使用する。この際、ランニングコストを考慮して充電が可能な、リチウムイオン電池またはニッケル水素電池を使用するのが望ましい。

また、メーカーや接続方式が異なっても、同種のセンサー(例えば血圧計)からの情報は、一連のセンサー情報として扱えるようにする。機材が故障した際などは、手入力する可能性があるため、この場合も同様に扱えるようにする。

2.2.3 処理能力の柔軟性

健診会場によっては、健診希望者が少なくスタッフ数名で全健診業務を行う場合もあるが、逆に多数の健診希望者があり十数名のスタッフが分担して健診業務を行う場合もある。従って、会場に応じて健診処理能力を自在に変化させることができる必要がある。

2.2.4 利用者人数の切り替え

今回の実験では、1台を集団(複数人数)に対して用いる。集団に使う場合は、バーコード等を用いて個人を識別し(ユーザIDを読み込み)、別のIDが読取られるまでの計測値をその個人の情報として取り扱う必要がある。また患者の取り違えが発生しないように、名前やID等を画面に表示する必要がある。

一方で、在宅看護など個人利用の場合は、1台を1人に対して用いる。この場合は、予め個人のIDを設定しておく必要がある。

2.2.5 低コスト・軽量

健診実験に必要な費用は、全額研究費から支出する計画であるが、研究の終わりがシステムの終わりであってはならない。将来的には現地の人が健診に必要な機材一式を購入し、1回数100円程度の健診費用を徴収してビジネスとして回せるようにすることで、持続的にシステムが運用できるようにすることを考えている。したがって、低コストを実現する必要があり、専用品ではなく、できるだけ汎用品・民生品を用いるなどすることで、コストを抑える。最終的には、1セット当たり300ドル以内に抑えることを目指す。また、女性でも簡単に持ち運べるように健診機材の重さもできる限り、軽量化する。

2.2.6 可用性の確保

バングラデシュでは停電が頻発し、ネットワーク環境も劣悪なので、ネットワーク不通時等においても、業務が完全に停止しないようにする必要がある。

停電に対しては、電池で動作する機器を使用することで対処できるが、ネットワーク不通時には、そもそも遠隔診療はできない。しかし、問診・健康診断を行い、受診者に対して遠隔診療が必要か否かの判断はネットワークを使わなくてもB-logicにより判断することができる。したがって、健診業務まではネットワーク不通時でも業務が遂行できるようにしておく。不通時に収集したデータは現地で取りためておき、ネットワーク回復時にコールセンターへ転送するものとする。遠隔診療が必要な人は2割から3割程度であり、当日または後日、ネットワークが回復次第、コールセンターへ転送された健診結果をもとに、遠隔診療を行う。なお残りの大多数の受診者に対しては、ネットワークが回復しなくても当日中に業務が完結する。

2.2.7 遠隔での健診結果閲覧と処方箋入力

医師は現地に行かないため、遠隔で健診結果を見れるようにする必要がある。基礎的な患者状態を医師が把握できるようにすることが、既存の電話による医療相談と大きく異なる点の一つである。また、遠隔診療の結果等に基づき、医師がアドバイスや処方箋をシステムに入力し、現地で印刷できるようにする。

3. システム構成

ポータブルヘルスクリニックを実現するためのシステム構成(図3参照)について述べる。

3.1 医療アタッチケース

健診会場に容易に持ち運べるように、アタッチケース型の健診パッケージを開発した(図4, 図5参照)。パッケージは、6種の通信機能付き検査機器

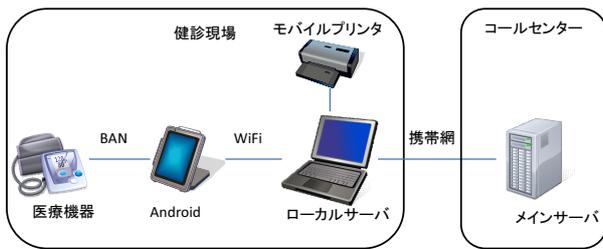


図 3 システム構成図



図 4 医療アタッシュケース 図 5 アタッシュケースとスタッフ

- 血圧計 (収縮期血圧/拡張期血圧/脈拍数/不整脈)
 - 体重計 (体重/[BMI])
 - 体温計 (体温)
 - 血糖計 (血糖値)
 - パルスオキシメータ (SpO2)
 - 電子メジャー (ウエスト/ヒップ/[ウエストヒップ比])
- と 2 種の手動測定器具 (尿検査紙 [糖・蛋白・ウロビリノーゲン], メジャー), 携帯プリンタとタブレット, ノート PC, モバイル WiFi ルータから構成される. 各機器は, 手動計測器具を除き, 携帯プリンタを含めて全て電池を搭載しており, 停電時でも業務を継続することができる.

本健診パッケージは, 日本において訪問看護や在宅診療に活用することも想定して, 日本の薬事法承認済の医療機器で構成した. なお, 健診会場に持ち込むアタッシュケースの個数を増減させることで, 様々な会場における健診希望者の処理能力を自由に变化させることができる.

計測機器とデータ端末間の通信規格には, Body Area Network (IEEE802.15.6) を採用することとした [3]. BAN は 2012 年 2 月に, 世界で初めて医療用途向け短距離無線通信技術として成立した国際規格であり,

- QoS を確保した確実な通信
- 超低消費電力
- 厳格なセキュリティ

といった特色を有し, 既存の Bluetooth 等と比べて, より安全に低消費電力で医療データを収集することができる. BAN にネイティブに対応した医療機器は現在のところ市販されていないため, 市販の医療機器に外付けする形で BAN の通信モジュールを搭載し, 対応させることとした.

図 6 医師による処方箋の入力画面

図 7 処方箋の印刷例

3.2 タブレット

現地医療スタッフが健診結果を入力する際に使用する端末として, ICT の知識が乏しい者でも使いやすいように, タブレットを用いる. システム開発の自由度と端末価格を



図 8 健診の様子



図 9 遠隔診療の様子

考慮し、iOS ではなく、Android タブレットを採用した。

健診スタッフは、測定開始に先立って、受診者の ID を入力しておく。あらかじめペアリング設定しておいた医療機器からは、BAN 経由で測定値が自動入力されてくる。タブレットは、受信した測定値と受診者 ID をペアにして、ローカルサーバにデータを送信する。尿検査のように機械で計測できない項目や BAN 未搭載の機器に対しては、スタッフ自身が手で測定値を入力する。なお、機械が故障すること等も想定し、BAN による自動入力が可能な項目であっても、スタッフが手入力で測定結果を入力することもできるようにした。

サーバとのデータのやり取りには XML を使用し、メーカーや機種が異なっても同一種の計測機器であれば、同一のデータ形式となるようにタブレットでデータ変換を施すこととした。

ウエストとヒップは、同一の電子メジャーを利用して計測するため、計測値だけではどちらの値を測定したかが判断できない。そこで、電子メジャーから計測値を受信すると、タブレット上でどちらの値を計測したのかを尋ねるポップアップを表示し、スタッフに選択してもらうようにした。

3.3 ローカルサーバ

ノート PC をローカルサーバとして、タブレットと同じく現地に配置する。タブレットとは無線 LAN で接続されているため、オフライン時でもタブレットと通信を行える。インターネット接続時は、タブレットから受信した計測結果をそのまま、メインサーバに転送する。インターネットが不通の場合に、タブレットから受け取った一時的にデータを蓄積し、ネット接続が可能となった時に、蓄積されたデータをメインサーバに転送する。

ローカルサーバがタブレットからデータを取得する際に使用するプロトコルは、メインサーバがタブレットと直接やりとりを行う場合に使用するプロトコルと全く同一のものを使用する。タブレットから見ると、接続先が異なるだけで、データのやりとり方法は同じため、タブレットの接続先アドレスの設定を変えるだけで、ローカルサーバにでも、メインサーバにでもデータを送信することができるようになっている。

3.4 メインサーバ

測定値を記録し、医師に対して計測結果の閲覧機能を提供する。医師は計測結果を閲覧しつつ、処方箋やアドバイス等を入力することができ (図 6 参照)、健診現場ではその中身を閲覧し、印刷できるようにした (図 7 参照)。さらには、メインサーバではデータ解析者に対して、健診データの提供を行う。

4. 評価と考察

提案システムの稼働は、2012 年 7 月から開始した。2012 年度は、8527 名が初回健診を受診し、1 日当たりの最大受診者数は 307 名であった (図 8 参照)。初回健診受診者のうち 1635 名が橙・赤と判定されて遠隔診療を受診した (図 9 参照)。遠隔診療受診者の内、1008 名が 2 回目健診を受診した (リピート率 62%)。

タブレットと BAN を使った自動収集は、2012 年 12 月から試験的に一部の健診受診者に対して実施し、2013 年度からは全面的にタブレットを用いる方式に切り替えた。2013 年度の実験者数は、2013 年 6 月 30 日現在までに 2028 名である。なお 2012 年度は、計測したデータを手入力システムへ入力していたが、タブレットを用いることで効率良く、しかも正確なデータ収集ができることを確認した。

システムの運用に関して、以下のようなケースがみられた。

まずニッケル水素電池を、血圧計・体重計に使用した際には、充電直後でもバッテリー交換サインが出る場合があった。これはニッケル水素電池の公称電圧が 1.2V であり、1.5V のアルカリ電池と比べて電圧が低いためと考えられる。ただし、アルカリ電池と比べても十分利用可能時間が確保でき、健診に支障がないことを確認した。

ローカルサーバを用いて、オフラインでも健診業務を継続でき、ネットワークが復旧した際にデータがメインサーバに転送されることが確認できた。しかし、オフライン時間が長い場合は、ネットワーク復旧時に通信が集中し、遠隔診療に支障をきたす場合があった。そこで、データ転送時には通信が集中しすぎないように、分散させるようにシステム改修を行った。

今後もシステムの運用を通じて、問題点の抽出と改修を実施する計画である。

5. おわりに

本稿では、ポータブルヘルスクリニックと名付けた予防医療プログラムのためのシステムについて提案した。システムは昨年度から現在までに、累計で 1 万名以上の受診者に対して予防医療プログラムを提供しており、今年度までに累計 2 万名を目指して稼働させる計画である。

謝辞 実験にご協力いただいた情報通信研究機構の黒田正博氏に感謝いたします。本研究は、最先端研究開発支援

プログラム (超巨大データベース時代に向けた最高速データベースエンジンの開発と当該エンジンを核とする戦略的
社会サービスの実証・評価) および厚生労働科学研究費補助金 (H24-医療-一般-027) の支援により行われました。

参考文献

- [1] World Health Organization, “Noncommunicable diseases: a major health challenge of the 21st century”, World Health Statistics 2012, http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2012/en/, pp.34-37, 2012.
- [2] Ashir Ahmed, Sozo Inoue, Eiko Kai, Naoki Nakashima and Yasunobu Nohara, “Portable Health Clinic: A pervasive way to serve the unreached community for preventive healthcare”, International Conference on Human-Computer Interaction, 2013.
- [3] “IEEE STANDARD 802.15.6-2012 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks”, 2012.