

眼科遠隔診療システムの開発と運用

郷 健太郎 (山梨大学大学院医学工学総合研究部)

柏木 賢治 (山梨大学医学部医学工学総合研究部)

はじめに

医師不足が社会的に大きな問題となっている。小児科や産科、救命救急科の過酷な労働実態は、連日のように報道されている。研修医を確保できなくなり、病院経営不振や景気悪化、自治体病院・社保病院のリストラなどが重なり、閉院・休止を決断する病院もでてきている¹⁾。それまで提供されてきた医療サービスが保てなくなる、いわゆる医療崩壊の危機である。

この問題は、医師の地理的・組織的、時間的な偏在によって、より複雑化している。たとえば、2004年に導入された新臨床研修制度によって研修医が研修先を自由に選べるようになったため、特定の地域に偏る傾向が生じている。都市部や有名病院に研修先の人気が集中して、地方の病院では研修医を確保できず、結果として地方の勤務医の労働負担が軽減できない状況が続いている²⁾。

また、全医師数は2006年末までの過去10年間で約3万7千人増えているが³⁾、それでも絶対数はOECD(経済協力開発機構)諸国と比較しても少なく、国民1,000人あたりの医師数は平均3.1を下回る2.0である²⁾。しかも医師数は、診療科によって増減のばらつきがあり、外科や産婦人科の医師は減少傾向にある¹⁾。

加えて、深夜や休日の時間外診療を行っているのは、主として病院に勤務する勤務医である。自治体によっては当番医という制度を設けて交替制で急患を受け付けている医院もあるが、多くのサービスと同じように医療サービスも時間外の提供は少ない。したがって、急患が集中した場合には受け入れ拒否の可能性も否定できない。

以上のような医師不足問題を解決するアプローチとして、筆者らは眼科遠隔診療システムを構築している。具体的には、眼科診断で用いる細隙灯顕微鏡を、ネットワークを介して遠隔操作する仕組みを提供することで、眼科医が多い地域から不在地域の患者の診断を行うサービスの実現を目指している。本稿では、特に山梨県での事

例を中心に、システム構成と機能上の特徴、運用における課題を述べる。

地域・社会的問題

プロジェクトにかかわる、地域的・社会的問題(特に山梨県に固有の問題)を述べる。また、眼科診断の特徴を説明する。

■ 医師不足の現状

山梨県は周りを急峻な山々に囲まれた内陸県であり、総面積4,465.37平方キロメートルで、全国第32位の面積を持つ。甲府盆地を中心として県境に向かって中山間地が広がり、県土の78%は森林である。それだけに厳しい山間へき地が県境に存在する。

また山梨県は、全国平均より高い高齢化率を有している。具体的には、総人口は872,724人に対して65歳以上の老年人口割合(対総人口)が23.0%である(全国平均:22.0%,平成20年4月1日現在)。中山間地にも当然、多数の高齢者が居住している。

山梨県の医療施設は60病院と1,081診療所(歯科診療所を含む)から構成されている(医療施設動態調査月報,平成20年10月1日現在)。このうち、眼科は18病院と34診療所で診療が行われている。図-1は山梨県内の眼科の分布を示す。円の大きさが大きいほど多くの眼科医がサービスを提供していることを意味する。図-1からは、多くの眼科が市街部(特に甲府市を中心とした範囲)に集中し、眼科が存在しない市町村が特に県境地域に数多く存在することが分かる。

この分布は、時間外診療においてさらに深刻さが顕著となる。図-2は時間外の救急サービスを提供している眼科の分布である。救急外来を受け付けているのは、甲府盆地の2中核病院(山梨大学医学部附属病院と山梨県立中央病院)だけである。ただし、山梨県立中央病院はオンコール体制を取っており、夜間や休日でも眼科専門



図-1 山梨県内の眼科医分布：通常時



図-2 山梨県内の眼科医分布：通常時間外，夜間等

医が常駐する医療施設は、山梨大学医学部附属病院（中央市）だけである。したがって、山梨県内で眼科の救急外来を受診する場合には、山梨大学医学部附属病院まで患者は移動しなければならない（自然な選択肢は、救急車の利用である）。多くの地域では医師不足が常態化しているため、同様の状況が他の自治体でも存在すると推測できる。

時間外診療サービスの利用実績を検討すると、この問題の大きさが理解できる。平成17年度に山梨大学医学部附属病院を訪れた救急外来受診者は6,314名であった。このうち最も多かったのが産婦人科(29.2%：第1位)であった。次いで眼科(12.6%：第2位)、小児科(6.9%：第3位)と続く。眼科は他の診療科と比べても、救急外来の受診者数が多く、このことから、眼科の時間外サービスを広く地域住民に提供することがいかに重要であるかが理解できよう。

■ 眼科診療の特徴

医師の専門性は多岐にわたり、ある専門医は他の専門医によって単純に置き換えることは難しい。眼科を例にとると、眼科診療では細隙灯顕微鏡などの特殊な光学機器を用いて基礎的な診断を行う(図-3)。細隙灯顕微鏡を用いた診察は、医師が本体を手動で3次元移動させて診察部に焦点を合わせ、さらにそれを微調整して移動させながら行う。したがって使いこなすためには長期間の訓練が必要であり、他診療科の医師には基礎的な診断にとりかかることすら困難である。このような事情から、短期間で多数の眼科専門医師を養成することも期待できない。また細隙灯顕微鏡を用いた診察の場合、疾患部の

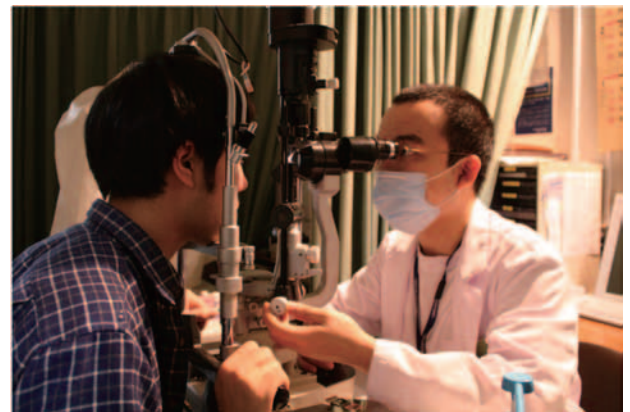


図-3 細隙灯顕微鏡を用いた眼科診断

異常を数値化することはできず、診断は眼科医の定性的な判断で行われるために、医師間での異常所見の共有化が困難である。このため疾患の改善や悪化の判断が適切に行われない可能性も生じる。

視覚から得られる情報は、すべての外界から得られる情報の80%以上を占めるといわれている。視覚障害は、本人の生活の質を低下させるのみならず、患者家族の負担や医療費の増大、ひいては社会福祉の低下も引き起こす。したがって、十分な眼科診療サービスを提供することは、地域住民の生活の質を向上させるために、重要な課題である。

眼科遠隔診療システム

前章で述べた地域的・社会的問題を解決するために、筆者らのグループでは、眼科遠隔診療システムを開発し

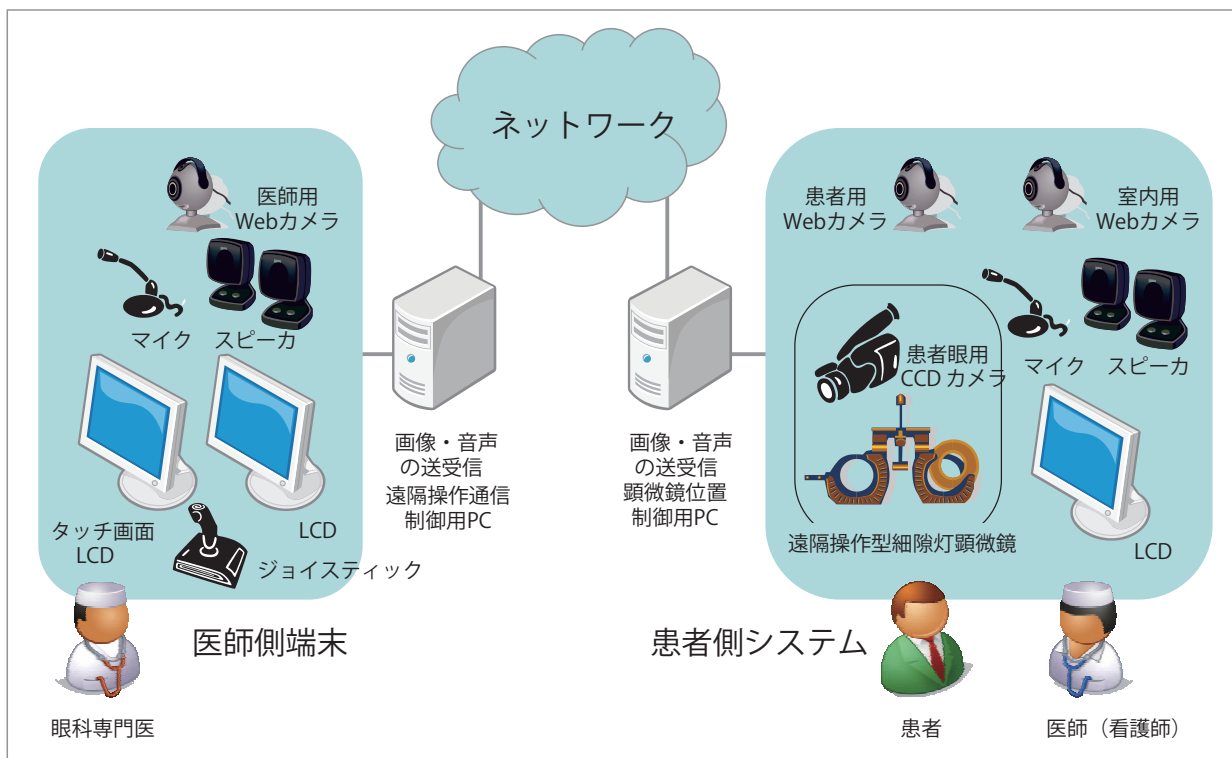


図-4 眼科遠隔診療システムの全体構成

ている。本システムの特徴は、画像転送だけで従来行われていた眼科遠隔診断に、細隙灯顕微鏡の遠隔操作と診断映像のリアルタイム転送の機能を組み入れることによって、迅速かつきめ細やかな眼科遠隔診断を実現したことである。以下では本システムについて、システム構成と運用の仕組みを述べる。

■ システム構成

眼科遠隔診療システムは、医師用端末と患者用システムが、ネットワークを介して通信するグループウェアシステムである。グループウェアの分類〔(同期, 非同期) × (対面, 分散)〕では同期分散型に相当し、ビデオ会議システムに近い。しかし後述するように、本システムでは患者側システムにおいて、端末を中心として医師と患者とがコミュニケーションを行う対面型グループウェアの特徴も兼ね備えている。

《全体構成》

眼科遠隔診療システムの全体構成を図-4に示す。本システムは、ネットワークを介して相互接続された医師側端末と患者側システムから構成されている。

医師用端末は、画像・音声の送受信と遠隔操作の通信制御を行うPC1台(Dell Vostro220, Windows XP)で実現されている。最新のハードウェア構成では、このPCに、17インチタッチ画面液晶ディスプレイ(三菱電機RTD17ITU)と17インチ液晶ディスプレイ、ジョイスティック(CH Products HFX Series I Model 1400)、医師

用Webカメラ、マイク、スピーカを接続している。

患者用システムの主な構成要素は、画像・音声送受信と顕微鏡の位置制御を行うPC1台(インタフェースPCI-CO2PR14, Windows XP)と独自に開発した遠隔操作型細隙灯顕微鏡、CCDカメラ(Sony DXC33)、15インチ液晶ディスプレイ、患者用Webカメラ、室内用Webカメラ、マイク、スピーカである。

システムの構築にあたって、将来的に広く普及させるために(1)利用実績の多い汎用の技術を使うことと、(2)全体のコストを安価に保つことを重視した。この観点で、患者眼の映像の送受信にはDVTSを活用し、その他の映像(医師映像、患者映像、患者側室内映像)の送受信には、Microsoft NetMeetingを用いている。一方で、新規開発部分である遠隔操作型細隙灯顕微鏡の通信制御、および、医師操作ユーザインタフェースには、独自に開発したソフトウェアを利用している。

《医師用端末(インタフェース部)》

医師用端末のインタフェース開発は、本プロジェクトでも特に注力した部分である。眼科専門医にとって使いやすいシステムをデザインすれば、機器の操作の煩わしさに時間をとられることがなくなり、より多くの時間を医師が患者に提供できるためである。すなわち、使いやすいシステムのデザインが、結果として患者の利益に直結する。本システムのインタフェース部の設計は、人間中心設計アプローチに基づいて行った。この取り組みの詳細については文献4)、5)を参照されたい。

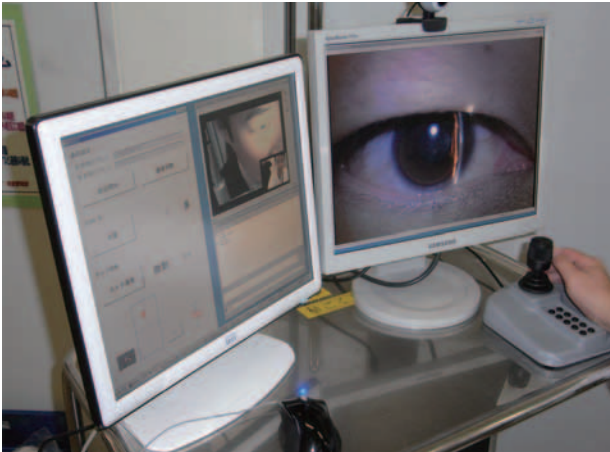


図-5 医師用端末(インタフェース部)



図-6 医師用端末の利用イメージ

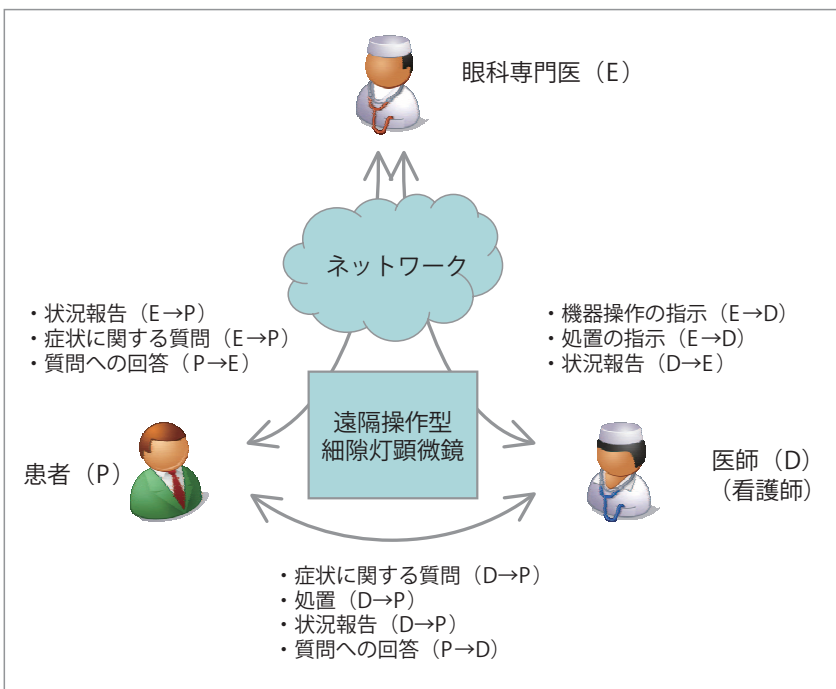


図-7 遠隔操作型細隙灯顕微鏡を中心としたコミュニケーション

医師用端末のインタフェース部を図-5に示す。左がタッチ画面LCDであり、この画面を使って医師は、遠隔操作型細隙灯顕微鏡の(1)スリット光の光量、(2)移動量の粒度、(3)右目・左目間のジャンプ移動、(4)診断画像の記録保存を行うことができる。さらに、(5)患者の上半身の映像と患者側の室内映像を確認したり、必要があれば、(6)診断画像を使って説明用の手書きスケッチを行ったり、(7)患者側とのテキストチャットを行うことも可能である(この場合にはキーボードを入力装置として用いる)。

図-5で右側の画面は患者の眼映像表示用ディスプレイである。ここでは、デジタルビデオ映像を全画面で表示している。このような画面構成は、診断映像をなるべく大きく表示し、しかも他の情報や表示を重複させない

ことという医師の初期要求を満たすようにデザインしたものである。

図-5の右側のジョイスティックが、眼科専門医用の主入力装置である。遠隔操作型細隙灯の水平方向の動きをスティックの前後左右の傾きで制御し、垂直方向の動きをスティックの捻りで制御する。この制御方式は、従来の細隙灯顕微鏡に搭載されている操作レバーに対応させている。タッチ画面LCD上に実現されている入力操作の一部は、ジョイスティックのボタンにも割り当てられている。

医師用端末の利用風景を図-6に示す。眼科専門医は、基本的に右の眼映像に視点を集中させ、ジョイスティックを操作しながら、遠隔操作型細隙灯顕微鏡の位置を制御し、眼疾患の有無を診断する。診断箇所を微調整しながら、必要に応じてスリット光の光量を変更したり、移動量の粒度を変更したりする。

その他の操作が必要になった場合には、眼科専門医は患者側にいる医師(または看護師)に、口頭で顕微鏡操作の指示を出す。たとえば、倍率の変更やスリット光の角度、背景光の光量の変更を行う場合には、マイクを通して遠隔指示を与える。指示結果のフィードバックは、眼映像の変化によって確認するとともに、状況によっては遠隔地の医師が変更内容を、マイクを通して説明する。

図-7に遠隔操作型細隙灯顕微鏡を中心としたコミュニケーションをまとめる。診療行為の主導権をとるのは眼科専門医であるため、診療時間中には継続的に、眼科専門医は患者と患者側医師(または看護師)に語りかける。患者に診断を開始することや顕微鏡が動くことを伝



図-8 患者側システム(遠隔操作型細隙灯顕微鏡)

え、自覚症状や状況について問い、診断結果の説明を行う。患者側医師に対しては、顕微鏡の一部機能の操作や患者への処置を指示する。患者側医師は患者に症状に関する質問をしたり、診断に関する処置を行ったり(たとえば患者のまぶたを開いて固定したり、散瞳用の点眼を行ったりする)、状況報告を行ったりする。患者は質問に対して回答を行う。

全体として、遠隔操作型細隙灯顕微鏡を中心として、(眼科専門医－患者)と(眼科専門医－医師)の組では同期分散型のグループウェアの構造を持ち、(医師－患者)の組では同期対面型のグループウェアの構造を持つ。

《患者用システム(遠隔操作型細隙灯顕微鏡)》

患者用システムの全体像を図-8に、利用イメージを図-9に示す。患者用システムは独自に開発した遠隔操作型細隙灯顕微鏡を中心に構築されている。図-9で患者の正面にある部分が細隙灯顕微鏡部であり、患者が把持しているグリップ部分は顎台と共に本体に固定されている。細隙灯顕微鏡部はxyz方向に制御可能なアーム上に設置されており、3つのステップモータに制御信号を与えることによってその位置が遠隔操作される。

その他の機能として、患者の座高に合わせて顎台の高さを調節できるように、昇降用モータを組み込んでいる。また、車椅子利用者がそのまま受診できるように、顎台下部に十分な空間を設けている。

■ 運用の仕組み

眼科遠隔診療システムの運用には次の2つのシナリオ(図-10参照)を想定している。基本的には、前述した医師の偏在を情報通信技術によって解決するというシナリオである。

《シナリオ1：眼科不在地域での遠隔検診サービス》

これは眼科専門医の地理的偏在の解消を目指したサービスである。県境の中山間地のいわゆる専門医療過疎地

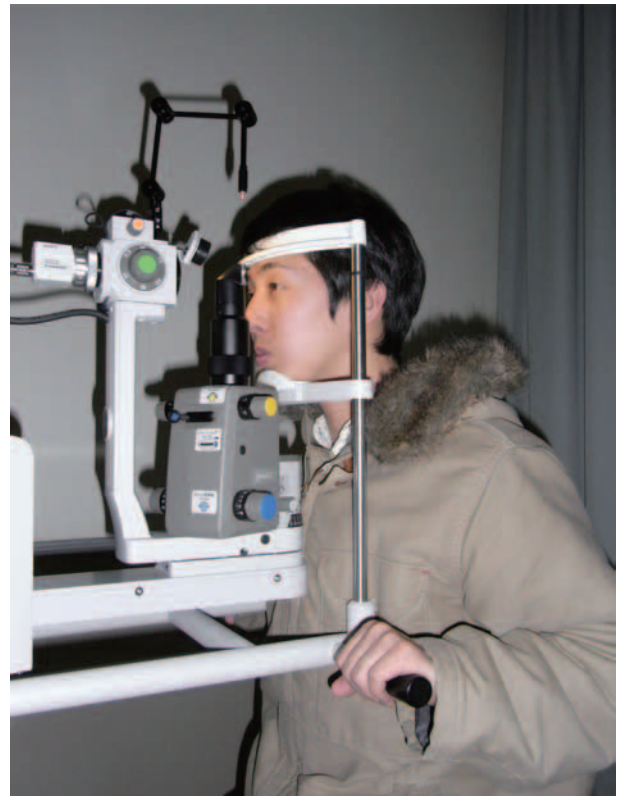


図-9 患者側システムの利用イメージ

域の住民へ、定期眼科検診等のサービスを都市部の病院から提供する。医療施設だけでなく、高齢者福祉施設と連携して広範囲にサービスを提供できれば、糖尿病網膜症や緑内障等によって失明する方々を早期に発見して適切な治療を行うことが可能になる。

《シナリオ2：時間外診療における遠隔救急診断サービス》

これは眼科専門医の地理的かつ時間的偏在の解消を目指したサービスである。週末や深夜に眼科医が常駐していない医療施設に患者側システムを設置して、急患をこの施設で一次的に受け入れる。深夜に常駐している中核病院の眼科専門医が、細隙灯顕微鏡を遠隔操作することによって患者の初期診断を行い、救急での搬送が必要な症状かどうか(たとえば緊急手術の必要性など)を判断する。専門医でなくても対応可能な症状であれば、適切な初期対応を現地の医師が行う。こうすることによって、やみくもに救急車を利用して中核病院へ移動するような事態を防ぐことができる。

《通信基盤と実現可能性》

2009年4月末の時点で、山梨大学医学部附属病院を、山梨県地域公共ネットワークに接続している。この意味は、地域の中核病院の眼科に設置した医師用端末から、山梨県の出先機関(たとえば合同庁舎や市町村の会議室等)に持ち込んだ患者用システムを使って、ネットワーク経由で診断できるということである。さらに、一般の病院にこの仕組みを拡大するために、民間に開放された山

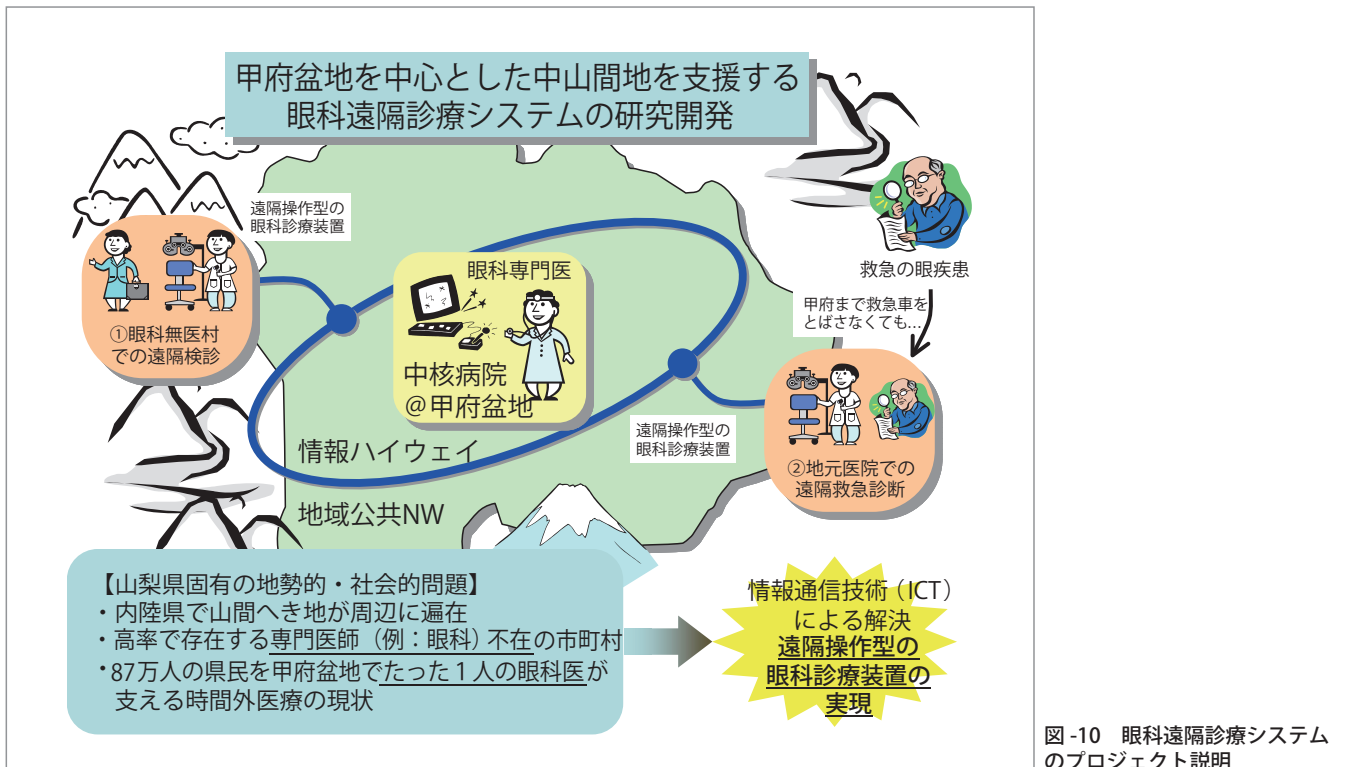


図-10 眼科遠隔診療システムのプロジェクト説明

梨県情報ハイウェイに接続ネットワークを延長している。

プロジェクトの現状と課題

本研究プロジェクトでは、これまで眼科遠隔診療システムの中でも眼科専門医用インタフェースと遠隔操作型細隙灯顕微鏡の開発に重点を置いてきた。プロジェクトにおける現状と、実運用を行う上で解決すべき課題を述べる。

■ 遠隔診断の信頼性

遠隔診断を実現するにあたり、次の保証が必要である。

- ・診断を行うのに十分な端末の操作性と診断画像の品質を保っているかどうか。
- ・遠隔での診断結果が対面で行う診断結果と同程度であるかどうか。

これらの保証が得られない限り、遠隔診断システムの実運用は難しい。前者については、基本操作性に関する実証実験を繰り返し、眼科専門医への聞き取り調査から、十分な操作性と診断画像の品質を持つことを確認している^{4), 5)}。

■ 患者の安心感

遠隔診断サービスを実現するためには、患者に安心感を与える仕組みが必要である。患者によって利用を拒否された場合には、眼科遠隔診療サービスそのものが成立しなくなるからである。そこで筆者らは、眼科遠隔診療システムを中心として、患者側の医師・看護師の存在と

患者側で確認できる眼科専門医の顔映像が、患者に与える影響を実験によって確認中である。初期的な実験⁶⁾とその後の調査では、診察を行う医師の映像の有無が患者の不安感に影響を与えること、また、たとえば図-11のように、通常の細隙灯顕微鏡の利用状況に近いように医師の上半身を表示すれば、患者に安心感を与えられることが示されている。

■ デザイン的根拠

眼科遠隔診療システムを開発する上で、よく質問される内容と回答を以下に示す。

《患者側の医師(看護師)は不要ではないのか?》

技術的には、患者側に医師(看護師)をつけずに遠隔診断することは可能である。しかしこの状況は運用上好ましくないと考える。眼科専門医と一般医がシステムを介して連携することによって、以下のような利点を得られるからである。

- ・初期診断の結果に基づき、適切かつ速やかな処置を行うことができる。
- ・医師(または看護師)が近くにいることで、患者に安心感を与えることができる。
- ・診断システムの機構を簡素化できるため安全性を高めることができ、さらにシステムの不慮の事故に対する安全性を担保することにもつながる。

《なぜ細隙灯顕微鏡そのものを医師用端末として使わないのか?》

一般的な PC を医師用端末とすることで、システムの



図-11 大型ディスプレイを用いた医師映像の拡大

利用範囲が広がるからである。たとえば、在宅で細隙灯顕微鏡を遠隔操作して診断サービスを提供することが可能になる。これは、出産や育児によって一時的に病院を離れなければならない女性医師に対して、働きやすい環境を整えるためにも活用できる可能性がある。また、細隙灯顕微鏡は高価であり、システム全体のコストを下げたいという当初の要求を満たさないという理由も挙げられる。

《なぜすべての操作対象を遠隔操作しないのか?》

この理由としては2点挙げられる。まず、遠隔操作する対象項目を増やすと、それだけコストが高くなるからである。また、速やかなシステムの実現を目指したからである。項目数が多くなればそれだけ開発期間が長くなる。本プロジェクトでは、当初想定したシステムのビジョンをできるだけ短時間で実現して、実現可能性を検討しなかったという事情がある。

■ 関連研究

眼科遠隔診療システムは、遠隔医療を実現するシステム⁷⁾である。日本遠隔医療学会では、遠隔医療を「通信技術を活用した健康増進、医療、介護に資する行為」と広く定義しているため、遠隔診療に関するシステムは非常に多くある。しかしながら、保険点数(診療報酬点数)の観点から実際のサービスとして広く成立しているのは、射線画像診断と病理診断に限られているのが実情である。

眼科領域においては、従来型の遠隔診断サービスは、主として患者の診察を眼科医が行い、そこで得られた画像情報を静止画像の形で上級眼科医に送り適切な対処法を相談するものである^{8), 9)}。したがって、本プロジェクトで想定しているような患者のいる現地に眼科医が存在しない状況には対応できない。本プロジェクトにおいては、眼科専門医が細隙灯顕微鏡を遠隔操作することによって、患者のいる現地に眼科専門医がいなくとも病疾

患部位に対する精細な観察を行い、静止や動画画像の転送を行うことで遠隔地のみに眼科専門医が存在していても正確かつ実情に即した診断を行うことが可能である。

おわりに

本稿では眼科遠隔診療システムの特徴と現状について述べた。医師不足は社会的に解決が急務とされている課題である。眼科遠隔診療システムは、この課題を情報通信技術の観点から解決する一手段を提供する。多くの技術系の研究者や実践者がこの領域に興味を持ち、解決へ貢献することを期待する。

謝辞 本研究は、総務省・戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE)：〔甲府盆地を中心とした中山間地を支援する眼科遠隔診療システムの研究開発(2008～2009年)〕により支援を受けている。遠隔操作型細隙灯顕微鏡の開発は、土屋康久氏((有)アクロトン)、深沢陽一氏((有)フィッツ)、高木和敏氏((株)タカギセイコー)をはじめ多くの参加者による協力を得て行われた。

参考文献

- 1) 日経メディカル, 2009年4月号(2009).
- 2) 日本学術協力財団編: 医療を崩壊させないために: 医療システムのゆくえ, 日本学術協力財団(2008).
- 3) 平成18年医師・歯科医師・薬剤師調査の概況, 厚生労働省(2006).
- 4) Go, K., Ito, Y. and Kashiwagi, K.: Interaction Design of a Remote Clinical Robot for Ophthalmology, LNCS 4557, pp.840-849 (2007).
- 5) 郷健太郎, 柏木賢治: 眼科遠隔診療システムの実現—人間中心設計アプローチ—, 日本遠隔医療学会雑誌, Vol.4, No.2, pp.321-322 (2008).
- 6) 水崎裕斗, 郷健太郎, 柏木賢治: 眼科遠隔診療システムにおいて同席する第三者が患者に与える影響, 平成20年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会(第14回)講演論文集, p.33 (2009).
- 7) 佐瀬一洋, 中川晋一共訳: 第22章 遠隔医療システム, Principles and Practice of Clinical Research (NIH 臨床研究の基本と実際), 丸善, pp.345-368 (2004).
- 8) 古田 実, 飯田知弘: Nidek Vision Network (NVN)を用いた遠隔診断システム, 臨床眼科, Vol.59, No.11, pp.340-343 (2005).
- 9) 吉田晃敏, 亀畑義彦: 遠隔医療—どこに住んでいても世界最高水準の医療が享受できる 旭川医科大学眼科の試みとその効果, 工業調査会(1998).

(平成21年5月12日受付)

郷 健太郎(正会員)

go@yamanashi.ac.jp

1996年東北大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。博士(情報科学)。同大電気通信研究所、バージニア工科大学 Center for Human-Computer Interaction を経て、現在、山梨大学大学院医学工学総合研究部准教授。

柏木 賢治

kenjik@yamanashi.ac.jp

1986年山梨医科大学医学部卒業、同眼科学教室入局。1994～96年カリフォルニア大学サンディエゴ校留学。1996年山梨医科大学医学部眼科講師。2008年山梨大学大学院医学工学総合研究部地域医療学講座准教授。現在に至る。