

# AMCoR

Asahikawa Medical University Repository <http://amcor.asahikawa-med.ac.jp/>

あたらしい眼科 (2013.9) 30巻9号:1219-1225.

【デジタル眼科】遠隔地診断・地域医療連携

吉田 晃敏

# 遠隔地診断・地域医療連携

*Tele-Ophthalmology at Asahikawa Medical University*

吉田 晃敏\*

## はじめに

北海道は、人口10万対医師数が全国平均を上回っているものの、そのうちの約6割が札幌市と旭川市に偏在しており、医療過疎となっている地域が数多く存在する。そのため、患者が遠方から足を運ばなければならない、あるいは医師が地方の病院まで出向かなければならないなど、患者および医師の双方が肉体的・時間的・経済的負担を強いられている。このような状況を改善するため、筆者は、「患者や医師が移動せず、医療情報を動かす」遠隔医療を考え、インターネットが本格的に普及する以前の1994年から、カラー動画像のリアルタイム伝送による遠隔地診断を開始した<sup>1,2)</sup>。さらに1999年には、旭川医科大学病院に国内初の遠隔医療センターを設立し、眼科を含むさまざまな診療科が最先端の遠隔医療を実施できる環境を整備した。現在は、遠隔地診断に留まらず、手術支援や紹介元病院との手術情報の共有、退院患者をフォローアップするための遠隔在宅医療支援など、状況に対応した遠隔医療を行っており、これらを有機的に機能させて、患者へのシームレスな医療支援を実現している。

一方、遠隔医療の推進と並行して、ICT(情報通信技術)の研究開発にも積極的に取り組み、現在では臨場感の高い3D-HD(立体ハイビジョン)映像を一般のインターネット回線で伝送することが可能となった。また、通信インフラの整備が遅れている地域でも遠隔在宅医療支援が行えるように、モバイル通信に対応できるシステ

ムを開発した。

本稿では、旭川医科大学眼科が実践している遠隔医療について、システム構成やICTの研究開発成果を交えながら紹介する。

## I 旭川医科大学眼科が実践する遠隔医療

### 1. ISDNを用いた初期の遠隔医療

1994年10月、本学眼科と関連病院眼科をISDN(サービス総合デジタル網)のINS(Information Network System)net64(通信速度は128kbps)で接続し、細隙灯顕微鏡、眼底鏡などに装備したCCDビデオカメラや室内カメラの映像を、リアルタイムに送受信できる遠隔



図1 1994年10月、カラー動画像のリアルタイム伝送による初めての眼科遠隔医療支援  
関連病院からリアルタイムに伝送される網膜画像(動画像)を観察し、診断・治療法を助言。

\* Akitoshi Yoshida : 旭川医科大学眼科学講座

〔別刷請求先〕 吉田晃敏 : 〒078-8510 旭川市緑が丘東2条1-1-1 旭川医科大学眼科学講座

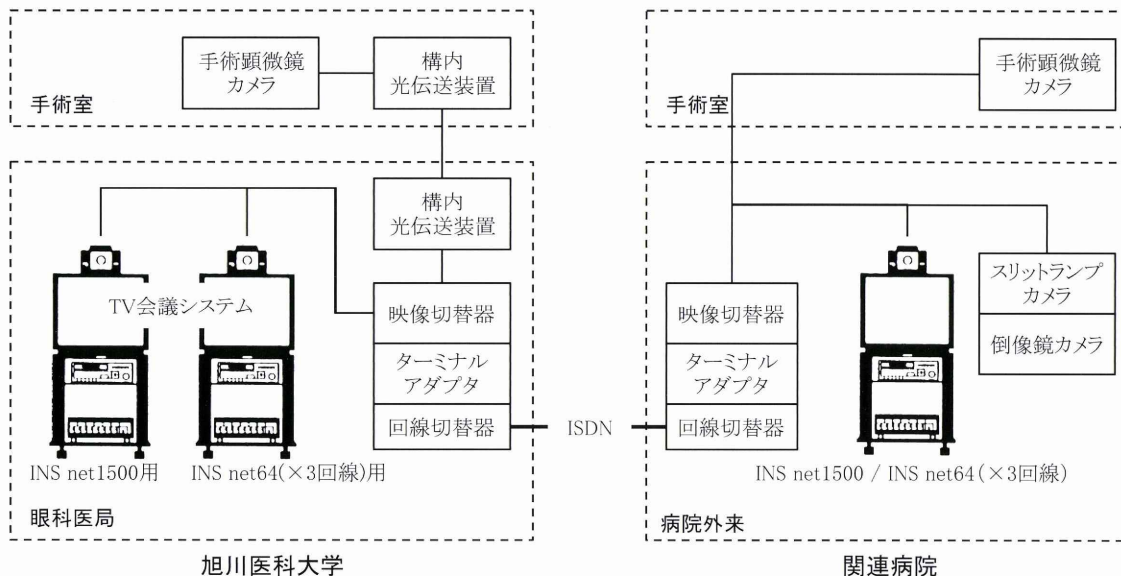


図2 ISDNを用いた初期の眼科遠隔医療システム

関連病院側のシステムは、INS net1500とINS net64×3回線のどちらかを選択できるようにし、旭川医科大学側は、両方で通信できる環境を構築。このシステムは1995年から2005年まで使用。



図3 旭川医科大学の手術場から硝子体手術をリアルタイムでボストンに伝送し、その手術に対しコメントをしているスケペンス眼研究所の医師団

前列左から2番目ストラライン博士、3番目スケペンス博士、4番目マックミール博士。

医療システムを構築した。これにより、関連病院の眼科医が観察する患者の眼球像を大学病院に伝送できるようになり、診断や治療法を助言することが可能となった(図1)。しかしながら、通信速度の不足が原因で、画像の色彩や細かな動きは十分に再現されなかった。その

後、INS net64を3回線束ねて384kbpsで送受信できるシステムを構築したが、伝送フレームレートは15 frame/secが限界であった。そこで1995年8月、INS net1500(約1.5Mbps)に対応したコーデックを導入し(図2)、30 frame/secの動画伝送を可能にした。一方、このシステムは、国際ISDN回線で結ぶ国際間の運用にも活用した。1996年11月に米国ハーバード大学医学部スケペンス眼研究所(図3)と、1998年10月には中国南京中医薬大学眼科と接続し、診断や治療法に関する議論、ライブサージャリーの伝送による手術術式の確認などに活用した。また、スケペンス眼研究所とは、網膜疾患カンファレンスや、同研究所と本学が旭川市内の関連病院眼科を同時に支援する「三元遠隔医療」なども実施した。

## 2. 遠隔医療センターを中心とする遠隔医療ネットワークの構築

1999年に遠隔医療センターを設立した以降も、しばらくはISDNを用いていたが、その後のインターネットの普及に伴いAsymmetric Digital Subscriber Line(ADSL)や光回線などのブロードバンド環境が急速に

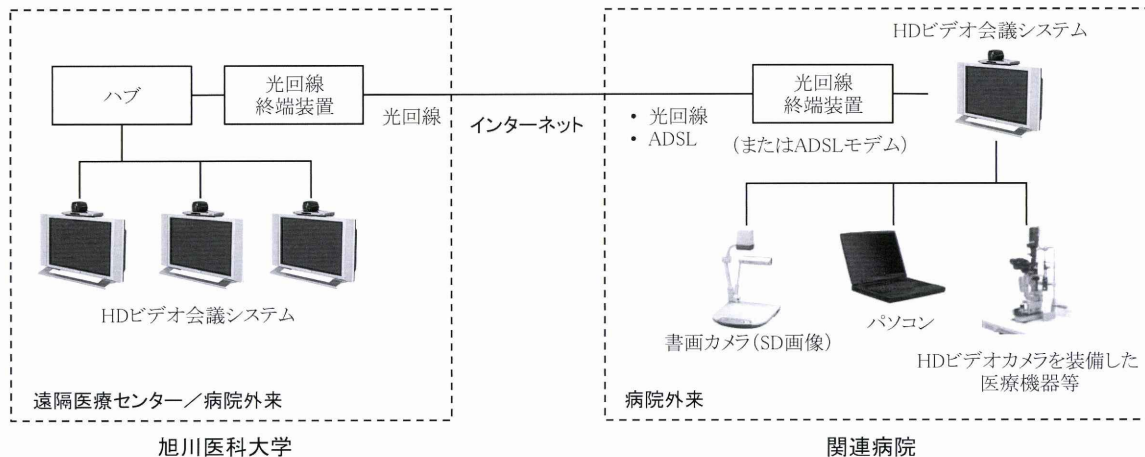


図4 現在使用しているHD遠隔医療システムの基本構成

遠隔医療センターの通信回線は光。遠隔医療システムはIPに対応したHD(高精細)ビデオ会議システムを使用。関連病院側の周辺機器も順次HD化。

整備されたことから、2005年に光回線(通信速度は約10Mbps)に更新した。同時に、拠点間をVirtual Private Network(VPN)で接続し、ネットワークの安全性を確保した。さらに、これまでの遠隔医療システムをInternet Protocol(IP)に対応したHD(高精細)ビデオ会議システムにアップグレードし、ビデオカメラを含む周辺機器も順次HD化を進めた(図4)。これらの更新により、関連病院が遠隔医療ネットワークに参加しやすい環境を整備できた。しかしながら、当時の北海道は、遠隔医療支援を必要とする地域ほどブロードバンド環境の整備が遅れており、2007年時点での筆者らの調査結果では、公的病院の約8割がADSLも光回線も利用できない状況であった。そこで、衛星回線とインターネット網を併用した衛星インターネットを利用し、離島や過疎地などのブロードバンドが未整備の地域からでも、衛星回線を介して遠隔医療ネットワークに参加できる環境を構築した。

## II 3D遠隔医療システムの開発と運用

眼科領域における遠隔医療支援では、色や動きを正確に伝達することが重要であるが、さらに奥行き情報も伝達できれば、より精度の高い支援が可能となる。奥行き情報の伝達は、顕微鏡に左眼用と右眼用のビデオカメラを装着し、医師が顕微鏡で観察する患者の眼球像を3D

(立体)映像として撮影・伝送することで実現できる。そこで、実用的な3D遠隔医療システムの開発を目指し、1998年から立体動画像の伝送・表示に関する研究を行ってきた。

### 1. 眼科領域に適した立体表示方法

3D遠隔医療システムは、2台のビデオカメラで撮影される左右一組の画像を、対応する左右の眼に投影する2眼式の立体視システムであり(図5)、両眼視差(左右画像間における被写体のズレ量)を積極的に利用して奥行き(立体感)を表現するものである。2眼式立体視システムは、他の方式に比べて3D環境の構築は容易であるが、眼球輻湊運動と調節反応の不一致によって生じる眼疲労や、撮影系と表示系の幾何学的な位置関係に起因する再現空間の歪みなど、特有の問題も有している。そこで、眼科立体画像の特徴解析や、顕微鏡の撮影系・表示系パラメータに基づく歪みの解析、眼科医による主観評価実験などを行い、長時間の観察においても疲労が少なく、見やすい立体表示方法を確立した<sup>3)</sup>。

### 2. アジア・ブロードバンドネットワークを用いた実証実験

2006年のAsia Pacific Academy of Ophthalmology(APAO)において、筆者がシンガポール・ナショナル・

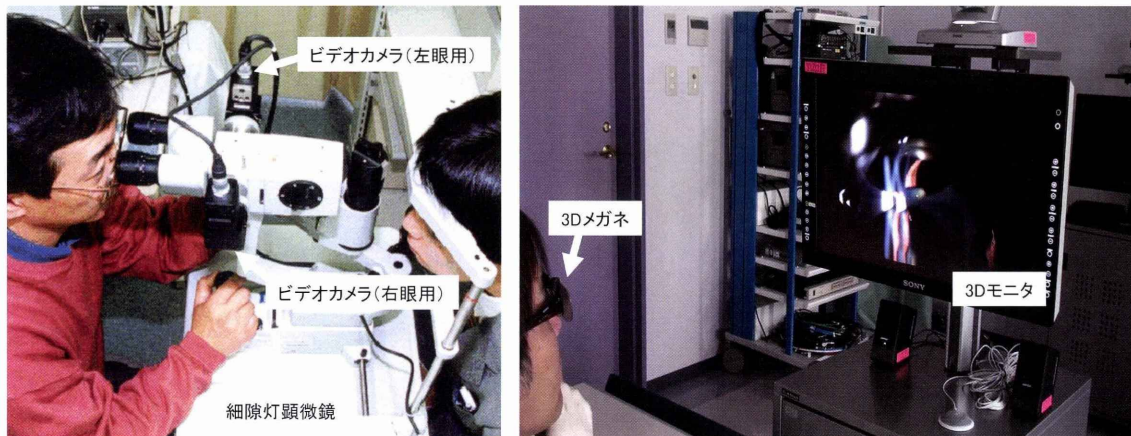


図 5 3D 遠隔医療システム

細隙灯顕微鏡や手術顕微鏡に取り付けた左右 2 台のビデオカメラで撮影される立体画像を、対応する左右の目に投影する 2 眼式の立体視システム。

アイ・センターで執刀した硝子体手術を、同センターから学会会場へ 3D-HD (立体ハイビジョン) でライブ伝送するという世界初の試みが成功した。その後、総務省が策定した「アジア・ブロードバンド計画」において、筆者らが開発した 3D 遠隔医療システムの技術と運用ノウハウがアジア諸国間における医療格差の解消に有効であるかどうかを検証するため、2006 年から 3 年間、シンガポールおよびタイを相手国とする眼科遠隔医療の実証実験を行った。通信回線は、本学から東京までを情報通信研究機構が運用する JGN (Japan Gigabit Network) 2 ネットワークで接続し、そこからシンガポールおよびタイまでを、2006 年 1 月に開通したアジア・ブロードバンドネットワークで接続した。各国は、3D-HD 手術動画像を送受信できる遠隔医療システムを構築した。ただし、左眼用と右眼用のビデオカメラで撮影した 2 チャンネルの動画像を、2 台のコーデックで 1 チャンネルずつ独立に伝送することとした。このシステムの実用性と、3D-HD 眼科遠隔医療の有用性を評価するため、各国が相互に伝送する網膜硝子体手術を、各国の専門医・研修医で構成する評価者 29 名に立体視観察をしてもらい、アンケートを実施したところ、8 割以上の評価者が伝送品質に満足していることを確認した<sup>4)</sup>。この成果により、3D-HD による遠隔医療がアジア諸国間における医療格差の解消に有効であることが証明された。

### 3. 注目領域の品質を重視した 3D-HD 伝送方式の開発

3D-HD 遠隔医療システムを普及させるためには、低コスト化・省スペース化を図ることが重要であり、1 台のコーデックで 2 チャンネルの立体動画像を伝送できることが望ましい。それを実現する方法として、3D テレビにも採用されているフレームシーケンシャル方式や side-by-side 方式の適用が考えられるが、いずれの方式も、2 チャンネルの動画像を 1 チャンネルに合成する過程で解像度が低下してしまう。そこで筆者らは、医師の注目領域が画像中の限られた部分に限定されるという点に着目し、左右それぞれの動画像から抽出した注目領域を合成して 1 チャンネル動画像として伝送する方式を提案した (図 6)。この方式の有効性を確認するため、増殖糖尿病網膜症に対する硝子体手術の動画像を、提案方式と side-by-side 方式で伝送し、両方式における受信画像の画質を客観的に評価したところ、提案方式のほうが高画質であることを確認した<sup>5)</sup>。これにより、1 台のコーデックで 2 チャンネルの立体動画像を伝送する方式が確立し、3D-HD 遠隔医療システムの低コスト化と省スペース化が可能となった。

### 4. 運用

現在、遠隔医療センターと眼科外来診察室に 3D-HD

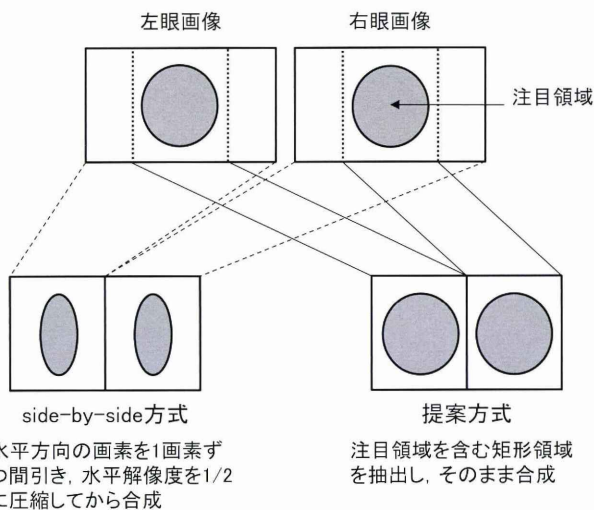


図6 立体動画像を伝送する際の side-by-side 方式と提案方式の比較

3Dテレビに採用されている side-by-side 方式は、2チャンネルの動画像を1チャンネルに合成する過程で水平方向の画素を1画素ずつ間引くため、伝送前に情報の1/2を失うこととなる。これに対し、提案方式では画素の間引きを行わないため、注目領域に関しては画像解像度を維持したまま伝送できる。

遠隔医療システムを設置している。ただし、関連病院の多くは従来の2D環境を使用しているため、本学側では2D・3Dの両方に対応できる環境を整備している。また、本学へ紹介された患者の手術経過を、紹介元病院の担当医と共有できるように、本学手術室から関連病院へ、3D-HD手術動画像をライブ伝送する環境も整備している。なお、3D-HD遠隔医療システムは、8Mbps程度

の通信速度があれば実用的な画像品質で送受信することができるため、一般のインターネット回線を用いた運用が可能である。

### III 退院患者をフォローアップする遠隔在宅医療支援

糖尿病などの生活習慣病患者の場合、退院直後における食事・栄養の管理が最も重要となるが、これまでは食生活のコントロールや生活習慣の改善を患者自身に委ねるしかなく、自宅に戻ってから病状が悪化するケースも少なくなかった。そこで、図7に示すようなシステムを独自に開発し<sup>6)</sup>、退院後の在宅患者に対して医師・看護師が術後の経過観察や生活指導を行う遠隔在宅医療支援を開始した。患者には、退院直後からバイタル情報を記録してもらう必要があるため、患者宅用端末とバイタル測定器のほかに、自宅にインターネット環境がない場合はデータ通信カードも提供している。なお、主機能の一つであるTV電話機能は、200kbps程度の通信速度があれば円滑なコミュニケーションが可能であり、データ通信カードを利用したモバイル通信でも問題なく運用できることを確認している。

### IV 中国への支援

中国政府は、都市と地方の医療格差を解決する手段として、筆者らが実践する遠隔医療の導入を決定し、旭川医科大学に対して遠隔医療を国内で普及・展開するため

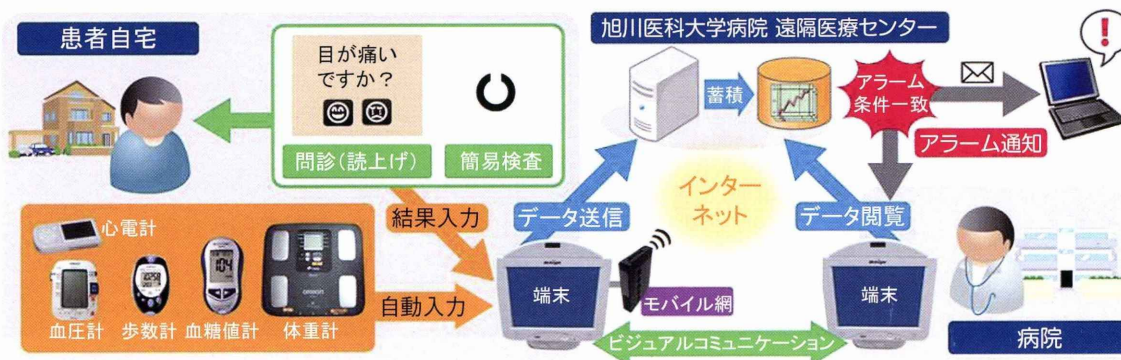


図7 退院患者を遠隔からフォローアップする遠隔在宅医療支援システム

退院患者が自宅で測定する日々のバイタル情報を、旭川医科大学病院の医師・看護師がインターネットを介してチェックし、バイタル情報に変化がみられれば、TV電話機能を用いて容体の確認や生活習慣の改善指導を実施。

の協力を要請してきた。それに応じるため、2011年に中国衛生部との間で「中日遠隔医療プロジェクト無償援助協定」を締結し、本学が有する遠隔医療の運用ノウハウや技術を中国政府へ提供することとした。具体的には、図8で示すように、中日友好医院（北京市）と上海交通大学医学院附属瑞金医院（上海市）が、それぞれの関連病院である神木県医院（陝西省）、都江堰市人民医院（四川省）を支援できる遠隔医療ネットワークの構築

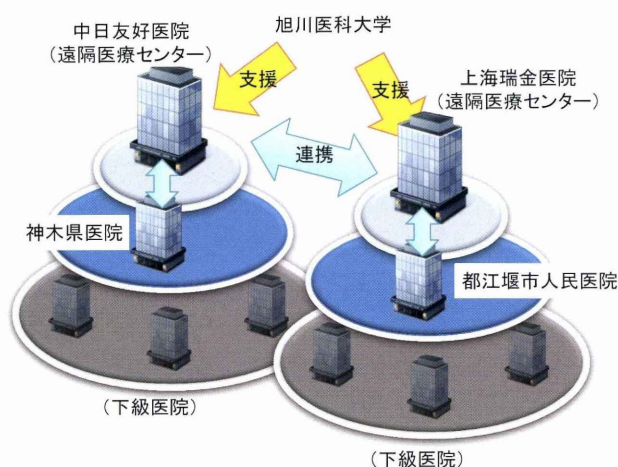


図8 「中日遠隔医療プロジェクト無償援助協定」における中国への遠隔医療支援体制

中日友好医院、上海交通大学医学院附属瑞金医院に対して遠隔医療センターの構築・運用に関するノウハウを提供。神木県医院、都江堰市人民医院を含む4病院に対して遠隔医療システムの構築・活用に関する技術指導を実施。

を目指し、中日友好医院と上海交通大学医学院附属瑞金医院に対して遠隔医療センターの構築支援ならびに運用ノウハウの提供を行い、4病院すべてに対して遠隔医療システムの構築方法や活用方法などの技術指導を行っている。また、遠隔医療のなかでも特に高度な運用スキルが必要となる3D-HD遠隔医療システムについては、本学で実施した研修によって各病院の技術者を育成した。2012年には、本学遠隔医療センターと中国4カ所の病院を結ぶ国際間ネットワークが完成し、5拠点で同時にプロジェクト始動式を行った(図9)。始動式では、中日友好医院と上海交通大学医学院附属瑞金医院から本学遠隔医療センターへ、硝子体手術のライブ映像が3D-HDで送られ、来賓を含む出席者全員が3Dメガネをかけて立体視した。現在は、中国国内で実施される遠隔医療の様子を本学遠隔医療センターで視聴し、必要に応じて運用面での指導を行っている。

#### おわりに

筆者らは、遠隔医療の普及・促進とさらなる高度化を目標に、画像伝送やセキュリティなどのさまざまな要素技術を研究開発し、また、いろいろな角度から遠隔医療の効果やニーズを検証してきた。これらの成果や運用実績は、平成21年度「情報通信月間」総務大臣表彰において功績が認められ、さらに、「第9回産学官連携功労



図9 5拠点同時にプロジェクト始動式を開催

中国4病院との間を国際回線で接続し、3D-HD手術映像を相互に伝送。その映像は、中日友好医院の会場に出席した中国衛生部の副部長や、旭川医科大学の会場に來賓として出席した中国駐札幌領事館の総領事、北海道副知事、旭川市長らが3Dメガネをかけて視聴。

者表彰」において文部科学大臣賞を受賞（ソフトバンクBB株式会社 孫正義 代表取締役社長と連名）するに至った。現在、本学の遠隔医療センターを中心とする遠隔医療ネットワークには、多くの医療機関や患者宅が接続しており、この数は今後も増え続けると予想している。筆者らは、このネットワークと長年にわたる遠隔医療の運用実績、そして技術開発の成果を最大限に活用し、北海道内はもちろんのこと、被災地への支援や国際間における医療格差の解消にも役立てたいと考えている。

#### 文 献

- 1) 吉田晃敏, 亀畑義彦: 遠隔医療—旭川医科大学眼科の試みとその効果—. 工業調査会, 1998
- 2) 吉田晃敏: 格差なき医療—日本中で世界最高水準の治療が受けられるようになる日—. 講談社, 2007
- 3) 畠山修東, 林 弘樹, 三田村好矩ほか: 眼科遠隔医療支援のための立体動画像伝送システムの開発—新圧縮アルゴリズムおよび立体視パラメータの検討—. 電子情報通信学会技術研究報告 **101**: 43-46, 2001
- 4) 吉田晃敏, 笹沼 宏, 高橋淳一ほか: アジア・ブロードバンドネットワークを用いた眼科遠隔医療—3D-HD手術映像の国際間共有システムの開発と評価—. 日本遠隔医療学会雑誌 **4**: 267-268, 2008
- 5) 林 弘樹, 石子智士, 吉田晃敏: 眼科手術顕微鏡で撮影した立体HD動画像の高品質伝送方法に関する検討. 日本遠隔医療学会雑誌 **7**: 219-220, 2011
- 6) 三上大季, 林 弘樹, 守屋 潔ほか: 退院患者を対象とした遠隔在宅療養支援システムの研究開発. 日本遠隔医療学会雑誌 **6**: 111-113, 2010

#### 用語解説

コーデック: 動画や音声を圧縮(符号化)・伸張(復号)する装置やソフトウェアのこと。

**Virtual Private Network (VPN)**: 公衆回線をあたかも専用回線のように利用できる通信サービス。拠点間を専用回線で結ぶよりも低コストで導入できる。VPNには幾つかの形態があるが、旭川医科大学の遠隔医療ネットワークは、通信事業者がサービス提供するIP-VPNを利用している。

**Internet Protocol (IP)**: 米国防総省で開発された通信規格。データ転送の信頼性を重視したTCP (Transmission Control Protocol)/IPと、データ転送の高速性を重視したUDP (User Datagram Protocol)/IPがあり、動画や音声をリアルタイムに伝送するアプリケーションでは後者を利用するのが一般的である。

**JGN2 ネットワーク**: 独立行政法人情報通信研究機構が2004年4月から運用を開始したオープンなテストベッドネットワーク環境のこと。

**フレームシーケンシャル方式**: 3D映像の左眼用画像と右眼用画像を、時分割で交互に表示する方式。映像フレームレートの2倍以上の描画速度をもったモニターで立体表示する。伝送の際は、左右のフレームレートの合計が30frame/secに収まるように、フレームを間引く(時間方向の解像度を低下させる)などの処理を行う必要がある。

**side-by-side 方式**: 3D映像の左眼用画像と右眼用画像を、それぞれ水平方向に1/2圧縮(画像の解像度を削減)し、それらを横に並べて1枚のフレームとして伝送する方式。2D映像と同じ環境で3D映像を伝送できるのが特徴である。なお、圧縮された水平解像度は、表示の際に画像処理によって復元される。