

## 注目 の 領域

# 世界ではじめての超高速インターネット衛星“きずな”(WINDS)を用いた遠隔病理診断(テレパソロジー)の実証実験

First trial of telepathology in the world using WINDS with ultra-high data rate satellite communications, also called [Kizuna] in Japanese nick name

澤井高志 黒瀬 顕 中尾正博 小川恵美子 元田敏浩

Takashi SAWAI<sup>1</sup>, Akira KUROSE<sup>1</sup>, Masahiro NAKAO<sup>2</sup>, Emiko OGAWA<sup>2</sup> and Toshihiro MOTODA<sup>3</sup>

岩手医科大学医学部病理学講座先進機能病理学分野<sup>1</sup>, (独)宇宙航空研究開発機構宇宙利用ミッション本部<sup>2</sup>, (株)NTTコミュニケーションズビジネスネットワークサービス事業部ユビキタスコミュニケーション部<sup>3</sup>

### ■目的

最近、病理診断の重要性からインターネットを介した遠隔病理診断が行われるようになってきた。しかし、リアルタイムでの遠隔病理診断には大容量通信が必須であり、利用範囲は地上光ファイバー回線のある地域に限定され、医師の少ない地域で利用できる可能性が限定されている。通信衛星の長所は光ファイバーのように地上に敷設するケーブルに頼らず、山間部、離島あるいは海外との通信にも利用できることである。これによって僻地・離島などの光ファイバー回線の敷設されていない地域でも迅速病理診断、コンサルテーションが可能となり、地域による医療レベル格差解消につながる。しかし、一方では通信が天候などに左右されるのではないか、あるいは動画で顕微鏡画像を伝送できる光ファイバーに匹敵するだけの機能を発揮できるか、伝送に遅延が生じるのではないかということが懸念される。

著者らは今回、文科省研究開発局の“平成21年度 宇宙利用促進調整委託費～衛星利用の裾野拡大プログラム～”により、世界ではじめての超高速インターネット衛星“きずな”(WINDS;「サイドメモ1」参照)を用いた遠隔病理診断(以下、テレパソロジー)の実証実験を行ったので、その内容を報告する(図1)。

### ■方法

図2のようにWINDSを経由して遠隔病理診断(テレパソロジー)の実験を行った。期日は平成22年(2010年)1月27日(水)、岩手医科大学内丸キャンパスと、約12km離れた矢巾キャンパスを

サイド  
メモ  
1

### WINDSの特徴

超高速インターネット衛星“きずな”は、いままでにない超高速のインターネット通信を実現する人工衛星である。通信速度は、既存の商用衛星の上り最高2 Mbps、下り最高10 Mbps程度に比べて“きずな”では、上り回線51 Mbps以上、下り回線155 Mbpsと15倍以上の超高速通信を達成している。

また、カバーエリアの広さも特長である。衛星に日本国内およびアジア主要都市をカバーする固定ビームアンテナとビーム方向を高速に走査できるアンテナを搭載していることにより、地理的な条件に制約されず“きずな”1つで地球上の約1/3のエリアのどこからでも通信を行うことができるという広域性がある。

“きずな”は既存の通信衛星のアンテナよりも小型のアンテナで高速通信(直径45cmで155 Mbps受信が、1.2mで155 Mbps送信が可能)を行うことができるため、可搬型のアンテナを設置すれば、カバーエリア内のどこからでも簡単に通信することができる可搬性を有している。また、災害などで地上のネットワークが途切れてしまった場合にも、“きずな”のアンテナを被災地に設置することで回線の設定が容易にできるという耐災害性などの特長を有している。上記の特長から光ファイバーの敷設が期待できない山間部・離島地域でも、“きずな”の地球局を設置することにより高速のインターネット回線を提供できる。“きずな”とのインターフェースは地上回線で一般的に用いられているEthernetであるなど、地上インターネットとの高い親和性を有しており、地上インフラとの相互補完によってさらに信頼度の高い通信ネットワークの構築が可能となる。

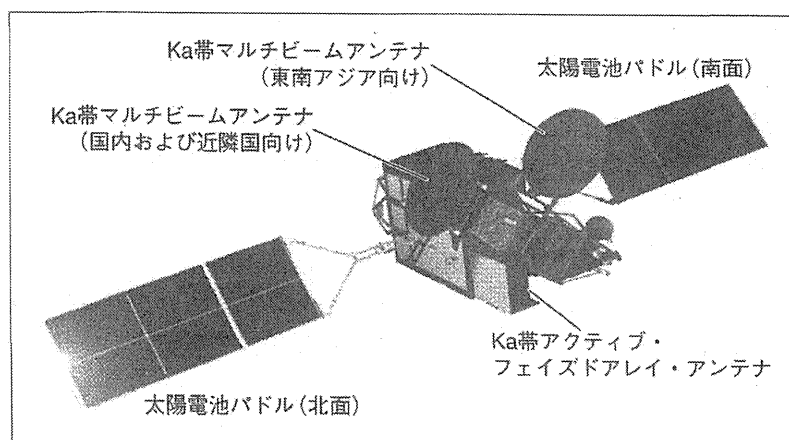


図 1 WINDSの部位と機能  
 超高速インターネット衛星“きずな”(WINDS).

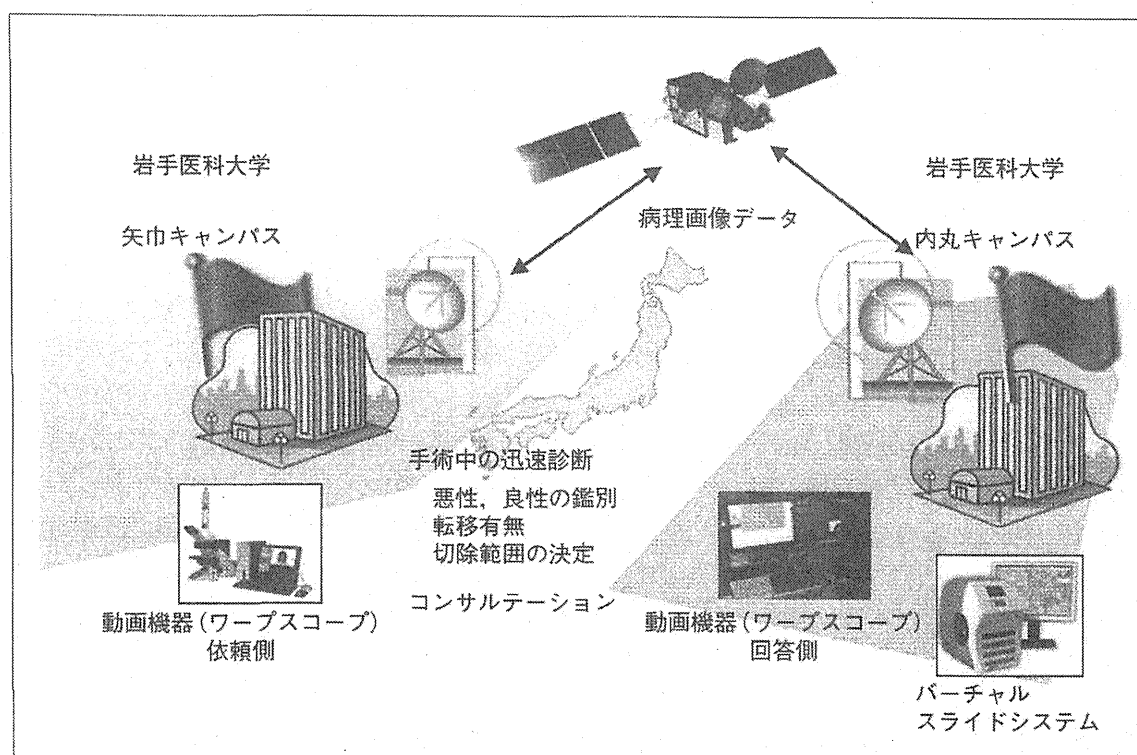


図 2 今回のプロジェクトのシェーマ

WINDS を通して通信可能であることを確認した後、病理診断学的には2つの実験を行った。①動画機器ワープスコープ(「サイドメモ3」参照)によるリアルタイムでの診断の実用化実験と、②岩手医大内丸キャンパスにあるサーバーを介してのバーチャルスライド(「サイドメモ4」参照)による診断の実用化実験である。

結んで行った。当日の天気は曇りときどき雨、気温は2度であった。

■評価項目

全体の検討項目は以下のとおりである。

- ①WINDS 地球局を含む WINDS 通信網実験システムの稼働、②本研究で使用する遠隔医療機材

(WarpScope システム、バーチャルスライドシステム)と WINDS のインターフェース確認、③アクセラレータの効果の検証を行った。今回、利用した地球局のアンテナは直径1mであり、日常われわれがみる BS アンテナの倍ぐらいの大きさである。

## ■遠隔医療に用いた機器の仕様

### 1. WarpScopeシステム(「サイドメモ3」参照)

リアルタイム動画テレパソロジーシステム(フィンガルリンク社), 画質: 1,920×1,080(30フレーム/sec)(インターレース; フルハイビジョン), 対物レンズ: 1.25×, 2.5×, 5×, 10×, 20×, 40×, 63×, 遠隔コントロール操作: レンズ変倍, X, Y, Z ステージ移動, 光量, コンデンサー絞り.

### 2. バーチャルスライドシステム

バーチャルスライドシステム(VS)はアメリカAperio社のもので, バーチャルスライドスキャナー名: ScanScope-CS, バーチャルスライドサーバーシステム名: spectrum, Viewer ソフト名: ImageScope であり, また, 実験に使用した機能は, ①カンファランス機能(複数の PC 画面の共有), ②視野の移動, 観察倍率変更, アノテーションである.

## ■試験結果

### 1. WINDS通信ネットワーク

① 通信品質評価……WINDS 通信品質の評価のため, ネットワーク測定ツール(iperf, ping)を使用して通信性能測定(通信帯域, エラー率, RTT, ジッタ)を行い評価した. その結果, ping による通信性能測定値(RTT: 往復にかかる遅延時間)は平均で 780 ms 程度であり, WINDS 通信ネットワークとしては正常であることが確認できた. また, iperf による通信性能測定(29 Mbps の iperf 実

施時のエラー率, ジッター)の結果, エラー率は 0 であり, エラー率, ジッターともに正常で WINDS 通信ネットワークは正常であることが確認できた.

② 最大帯域評価……アプリケーション機材を接続しないときの WINDS 通信の最大帯域を iperf により測定した結果, 38.3 Mbps であった.

### 2. 遠隔医療機材とのインターフェース, 光ファイバーとの比較

WINDS 回線との end-to-end での通信性能の比較評価を行った. 両端の 2 台のクライアント PC 上のログ取得ツールにより通信パケットをキャプチャーし, それらのファイルを分析することで計算した. その結果, 地上回線(光ファイバー)に比較するとやはり遅延はみられ, パケットロスが若干みられるが, エラー訂正により映像フレームはほとんど欠落する事なく, ほぼ毎秒 30 フレームの安定した映像伝送が確認された.

### 3. 実用化の評価: 顕微鏡遠隔操作の操作性

顕微鏡遠隔操作の操作性(遅延)について検討した. 遠隔操作で具体的に問題になるのは, ①視野の選択, ②倍率の選択, ③焦点を合わせること, の 3 ポイントになると思われた. われわれは電話線, ISDN, 光ファイバーを用いてテレパソロジーを行ってきたが, 同じように今回の通信衛星を介した現場の操作で行った. その結果, これまでより操作が難しいというところはとくにみられず, 光ファイバーと同じレベルで操作が可能であった.

① 視野の選択……視野の選択については PC のキーボードによる操作で行ったが, 光ファイ

サイド  
メモ  
2

### WarpVison(ワープビジョン)

WarpVison は, NTT コミュニケーションズが開発・商品化している映像コミュニケーションサービスあるいはソフトウェアの商品名である.

標準画質版では, 640×480 ピクセルで毎秒 30 フレームの映像を最大 8 Mbps で符号化して伝送できるほか, 開発中の新ハイビジョン版では 1,920×1,080 ピクセルで毎秒 30 フレームの映像を最大 16 Mbps で符号化して伝送できる.

標準画質版・ハイビジョン版とも映像・音声の伝送遅延が 200 msec 以下と小さく, 会話や遠隔操作がスムーズにできる特徴がある.

サイド  
メモ  
3

### WarpScope(ワープスコープ)

遠隔地で送信側の顕微鏡をコントロールしながらリアルタイム顕微鏡動画を観察するシステム. 低倍から高倍までの自由な倍率変更と, フォーカスを含めたステージ移動がリアルタイムにできることが特徴. 光回線を通して遠隔術中迅速病理診断や細胞診断に使用されている(動画通信部にワープビジョンを使用している).

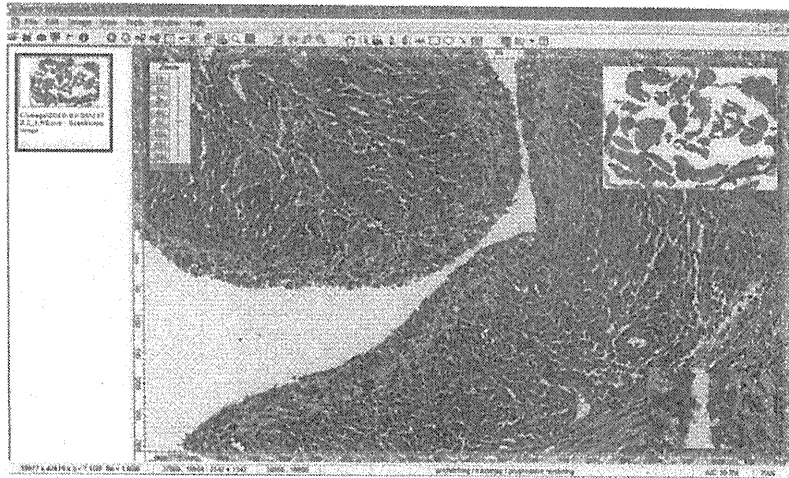


図 3 WINDSを介して確認したバーチャルスライドによるHE染色の関節リウマチの像

バーを用いた場合に比較し若干の遅れ(約 0.8 sec)は感じられ、当初とまどいはあったものの、慣れるとほとんど診断する際の障害にはならなかった。

② 倍率の選択……PC のキーボードによる操作で行ったが、院内 LAN を用いたテレビ電話の画像で送り手側の像と内丸側の画像と比較すると、顕微鏡に設置してある対物レンズの回転については若干の違いはあるものの、まったく苦になる遅れではなかった。

③ 焦点(ピント)の調整……焦点については光ファイバーによる操作に比較して若干の遅れがみられたため、光ファイバーによるテレパソロジーと同じ感覚で調整すると手の操作が先行し、画像がついてこないという状況が起こった。しかし、慣れてくるとしだいに焦点の合う感じが体得でき、それほどの不便は感じなくなった。遅延に関

しては、この焦点合わせに慣れることが大きな問題であった。画像は視野、倍率、焦点(ピント)が揃ってはじめて診断可能となるが、その面では焦点合わせに慣れるまで少し時間を要するが、全体としての大きな不都合はなかった。

#### 4. 実用化の評価：バーチャルスライドシステム

WINDS 経由で遠隔地からバーチャルスライドサーバー(spectrum)にアクセスし、顕微鏡画像(静止画)を閲覧できることを確認し、関節リウマチ患者の滑膜組織のヘマトキシリン・エオジン染色標本について検討した(図 3)。この場合、滑膜表層細胞の多層化、リンパ球など炎症性細胞の浸潤、血管増殖などが観察の対象となる。成分としては、細胞・核の形、染色性、分布状態などが観察の対象となり、関節リウマチとしての確定診断が可能かどうかである。VS の画像閲覧ソフト(Image-Scope)では、サーバーから観察する PC のメモリーに読み込むまでは低画素のモザイク状の状態が表示される。表示座標を移動した際も画像データの読み込み表示までは地上回線と同程度に若干時間を要したが、いったん現れて利用可能になると、その後の連続的な倍率の拡大、形、染色性、ある程度の微細構造などを含めてほぼすべての細胞の観察・同定が可能であり、画像観察における不都合はまったく感じられなかった。

以上、今回はさまざまな角度から検討を行ったが、WINDS を利用したテレパソロジーによる診断について画像、画質の面からはまったく問題が

### サイド メモ 4

#### バーチャルマイクロスコープ

あらかじめ専用スキャナーにて一定の高倍率(おもに対物レンズ 20 倍)で標本全体または選択エリアを静止画像データとして保存し、PC の画像閲覧ソフトにて顕微鏡と同様に表示範囲や倍率(最大光学倍率は取得倍率)を自由に変更させながら観察するシステム。WEB サーバーを介しての遠隔カンファレンスや教育用に使用されている。

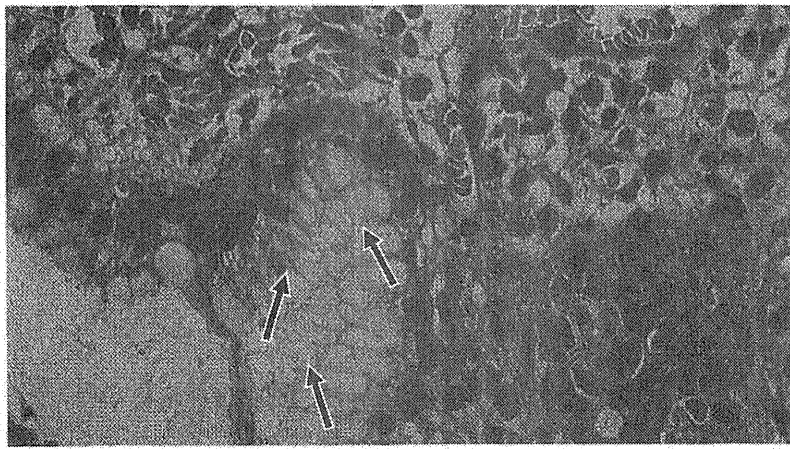


図4 WINDSを介して送られてきたピロリ菌の像  
Giemsa染色の標本であるが、ハイビジョンでははっきりと糸くず  
状に確認できる。  
矢印：ピロリ菌。

なかつたため、実際の症例について検討した。

#### 5. 実用化の評価：WarpScopeシステム

顕微鏡画像(動画)について WINDS 経由で顕微鏡の遠隔操作が実施できることを確認し、ハイビジョン画質の WarpScope システムを使用し、リアルタイムに動画の形で利用できていることが確認できた。以下、顕微鏡画像が診断可能かどうか、映像品質を実際の組織標本を用いて評価したので、簡単に報告する。

① 肺癌組織……肺癌組織については、生命予後に関連する分化度の判定ができるかどうかであった。その結果、構造的に集団をなし、癌細胞と正常の肺組織の鑑別は可能であった。癌組織については、細胞質の不正、核の異型性、クロマチンの粗さなど癌細胞の診断根拠となる所見の観察が可能であった。

② 胃癌の生検例……内視鏡的検査で採取した胃の組織を顕微鏡で診断することが行われている。これは検体が小さいだけでなく、その後の手術方針の決定に至る重要な検査である。その場合、癌か非癌か、さらに癌のなかでどのような組織型からなるタイプのものであるかを判定することは重要な因子である。今回は生検例で低分化型の標本を対象としたが、正常組織に混じって浸潤する低分化型腺癌の組織をはっきりと確認でき、かなり複雑な像でも診断に耐えうるということが証明された。

③ 胃炎によるピロリ菌の確認……標準画像のテレパソロジーでは識別が難しかったピロリ菌の

確認ができた。今回は Giemsa 染色はもちろん、通常、用いられているヘマトキシリン-エオジン染色でも確認が可能であった(図4)。最近、著者らは解像度を問題にする場合にこのピロリ菌の識別を判定基準においているが、その意味ではハイビジョンの優秀さを今回、通信衛星を介して証明できたといえる。

④ 大腸癌の免疫染色……今回は胎児性癌抗原(CEA)を用いて、同一切片上で癌部と非癌部の比較を行った。癌部では抗体に反応して茶褐色の陽性を示し、正常部での反応はみられなかった。この結果は組織学的識別が難しく特殊な反応を行う際にも、通信衛星を利用したテレパソロジーが可能であることを示している。

#### 6. アクセラレータの効果

アクセラレータとは TCP(情報を送る際に情報欠損のない、高い信頼性を有するプロトコル)の通信において通信を高速化する装置である。アクセラレータを使用したときと使用しないときの WarpScope システム、バーチャルスライドシステムの動作比較を行ったが、あまり影響はなかった。なのでここでは割愛する。

#### ■考察

超高速インターネット衛星“きずな”(WINDS)を利用してのテレパソロジーの実験を行った。今回、PubMedなどで文献を検索したが、これまでのところ通信衛星を利用したリアルタイムハイビ

ジョンあるいはVSの遠隔病理診断の報告はみられない。WINDS経由でWarpScopeシステムによる動画伝送・顕微鏡遠隔操作と、VSによる静止画閲覧・操作が正常に行えることが確認できた。WarpScopeシステムについては、WINDSを利用したテレパソロジーによる診断について画像、画質の面からはまったく問題なく、顕微鏡の遠隔操作についても地上回線に比べ若干の遅延はあるものの慣れれば問題ない程度であった。

VSにおいても、画像観察における不都合はまったくなかった。

また、WarpScopeシステム、VSともにアクセラレータなしで問題なく使用できることが確認できた。これらの結果から今後、通信衛星は光ファイバーの敷設されてない地域における手術中の迅速診断や、海外などとの症例の診断のやりとりやコンサルテーションなどに利用できると考えられる。

#### ■共同研究者

学外：富井直弥((独)宇宙航空研究開発機構宇宙利用ミッション本部)、松尾 聡(宇宙技術開発株式会社)、熊谷一広(フィンガルリンク株式会社)、浅沼芳

光(株式会社南部医理科)、太野雅則(NTT 東日本岩手支店法人営業部)、佐野 卓(日本電信電話株式会社)

学内：佐藤洋一(岩手医科大学医学部解剖学講座細胞生物学分野)、三浦康宏(同先進機能病理学分野)、斉藤健司、井上拓也、千葉 岳(同総合情報センター)、乙茂内博、高橋友樹(岩手医科大学総務部施設課)、中島久雄(岩手医科大学共同研究部門画像情報センター)

本研究は文科省研究開発局の“平成21年度 宇宙利用促進調整委託費～衛星利用の裾野拡大プログラム～”によるものである。

#### 文献

- 1) Sawai, T.: The state of Telepathology in Japan. *In*: Telepathology in Japan—Development and Practice (ed. by Sawai, T.). CELC, Inc., Morioka, 2007, pp.3-9.
- 2) Sawai, T.: Telepathology in Japan. *In*: Telepathology (ed. by Kumar, S. and Dunn, B. E.). Springer Verlag, Berlin, 2009, pp.105-125.
- 3) 澤井高志：遠隔病理診断(テレパソロジー)の展望。機器・試葉, 32(3): 326-336, 2009.
- 4) 澤井高志・他：第1部 医療の中の病理学 9. 遠隔病理診断。病理と臨床, 27(臨時増刊号): 64-72, 2009.

\* \* \*

## 注目の領域

# 超高速インターネット衛星“きずな”(WINDS)を用いた遠隔病理診断(テレパソロジー)の実証実験(第2報)

—岩手-東京-沖縄の3地点を結んでのバーチャルスライドによる遠隔カンファランス

澤井高志 長村義之 吉見直己 中尾正博 小川恵美子

松尾 聡 熊谷一広 笠井啓之

Takashi SAWAI<sup>1</sup>, Yoshiyuki OSAMURA<sup>2</sup>, Naoki YOSHIMI<sup>3</sup>, Masahiro NAKAO<sup>4</sup>, Emiko OGAWA<sup>4</sup>, Satoshi MATSUO<sup>5</sup>, Kazuhiro KUMAGAI<sup>6</sup> and Hiroyuki KASAI<sup>7</sup>

岩手医科大学病理学講座先進機能病理学分野<sup>1</sup>, 国際医療福祉大学三田病院<sup>2</sup>, 琉球大学大学院医学研究科腫瘍病理学講座<sup>3</sup>, (独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)<sup>4</sup>, 宇宙技術開発(株)<sup>5</sup>, フィンガルリンク(株)<sup>6</sup>, アピリオ・テクノロジーズ(株)<sup>7</sup>

## ■目的

わが国では、手術中の迅速診断やコンサルテーションに従事する診断病理医の数が少ないために、光ファイバーを利用して遠隔病理診断が行われるようになってきた。しかし、光ファイバーでは敷設の問題などがあり、十分に情報の恩恵が行き渡らない地域がある。そこで著者らは、文科省開発局の“宇宙利用促進調整委託費—衛星利用の裾野拡大プログラム”により医療の均てん化、病理診断の国際化・標準化のために、平成21年(2009年)度には超高速インターネット衛星“きずな”(WINDS)〔サイドメモ1〕参照;図1)を介した形での病理診断の可能性を検討した。その際、検討の対象とした機器は、リアルタイムで行うビデオテレパソロジーシステムとバーチャルスライドシステム〔サイドメモ2〕参照)の2種類であったが、いずれも若干の時差は起こるものの操作性においては十分に対応でき、診断可能な画像が伝送されることが証明された(詳細は第1報, 小誌233巻4号 pp.319-324を参照)。その際、初年度はインターフェースの作動性を重点的に検討したために、今年度は病理診断の実用化をめざして通常の組織診断に使われるパラフィン、HE染色だけでなく、抗体を用いた免疫染色、画像解析による評価、細胞診、末梢血液像なども行い、日常の病理、細胞診断業務に利用できるかどうか、さらに(前回の2地点を結んだ診断から)3地点(多地点)による会話も含めたカンファランスについての可能性を検討した。

## ■方法

実用化実験に参加したのは、岩手県盛岡市にある岩手医科大学、東京都港区三田にある国際医療福祉大学三田病院、沖縄県中頭郡西原町にある琉

サイド  
メモ  
1

### 超高速インターネット衛星 “きずな”(WINDS)とは

“きずな”(WINDS)は、だれもが平等に高速通信サービスを受けることができる社会を実現するために宇宙航空研究開発機構(JAXA)と情報通信研究機構(NICT)が開発した通信衛星である。地域による情報格差の解消、遠隔医療をはじめとした医療分野、教育分野、災害速報など、さまざまな分野での実証実験を進めている。

“きずな”では、既存の通信衛星では実現できない超高速通信を行うことができる。小型のアンテナ(1m級)を使うことで、上り・下り最高155Mbpsの通信速度を達成している。これは、既存の通信衛星が、上り最高2Mbps、下り最高10Mbps程度であることと比べると、15倍以上もの超高速通信である。遠隔病理診断を行うにあたっては高画質な画像データを伝送するため高速回線が必要であり、既存の通信衛星の通信速度では困難であったが、“きずな”の技術により可能となった。

また“きずな”は、広いカバーエリアをもつことも特長のひとつである。“きずな”は日本だけではなく、アジア太平洋地域全体(地球上の約3分の1)をカバーしている。これにより、地上インターネット回線の発達していないアジアの国々においても、“きずな”を使った高速通信が可能となる。アジア太平洋諸国との“きずな”を使った遠隔医療・医療協力も期待できる。

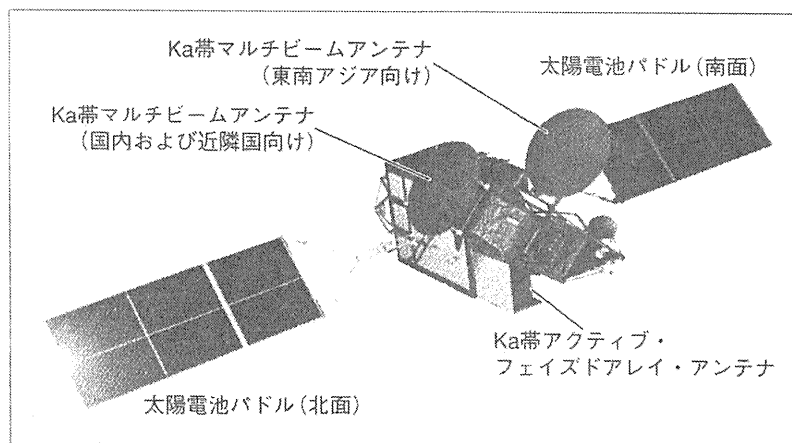


図 1 WINDSの概観  
今回利用した超高速インターネット衛星“きずな”(WINDS).

球大学の3施設であった。3施設は図2のように、WINDSを経由して情報の交換を行った。

### 1. 検証項目/評価項目(表1)

全体としての評価項目は以下のとおりである。

- ①WINDSを含む通信網実験システムの稼動、
- ②WINDSと今回遠隔医療機材として使用するバーチャルスライドシステム、WINDSのインターフェースの確認、
- ③バーチャルスライドによる画像の評価、
- ④音声効果も含めたカンファランスの評価。

具体的には以下の評価項目に基づき、本試験を実施した。

### 2. ネットワーク構成

本実験のネットワーク構成を図2に示す。

## ■結果

### 1. WINDS通信ネットワーク

#### ① 通信品質評価(「サイドメモ3」参照)

通信品質の評価のため、ネットワーク測定ツール(iperf, ping)を使用して通信性能測定(通信帯域, エラー率, RTT, ジッタ)を行い評価した。

pingによるRTTの計測結果は、岩手医大-三田病院間、岩手医大-琉球大学間は約800msであり、WINDS通信ネットワークとして正常な値であった。

またiperfによる計測結果は、14Mbpsの通信帯域でエラー率は0であり、エラー率、ジッタともに正常な値で、WINDS通信ネットワークは正常であることを確認した。

#### ② 最大帯域評価

すべての回線において最大帯域を計測した結果、19.1Mbpsであった。本実験では衛星の設定上、1回線当り19.143Mbpsを確保していた。実験時に計測した最大帯域は確保していた帯域とよく合致しており、想定どおりの帯域が得られていることがわかった。

### 2. 遠隔医療機材とのインターフェース (バーチャルスライドシステム)

WINDS経由で2つの遠隔地点(国際医療福祉大学三田病院, 琉球大学)から岩手医科大学に設置したバーチャルスライドサーバにアクセスし、顕微鏡画(静止画)を閲覧できることを確認した。

著者らがチェックしたのは、①機器の作動性、②操作性、③画質の問題、④音声を加えたカンファ

サイド  
メモ  
2

### バーチャルスライド

スライドグラスデジタル化装置により、一定の高倍率(おもに対物レンズ20倍)にて病理組織標本全体または選択エリアを静止画像データとして保存し、画像閲覧ソフトを用いPCのモニター上で、顕微鏡と同様に表示範囲や倍率(最大光学倍率は取得倍率)を自由に変更させながら観察するシステム。遠隔カンファレンスや教育用に使用されている。



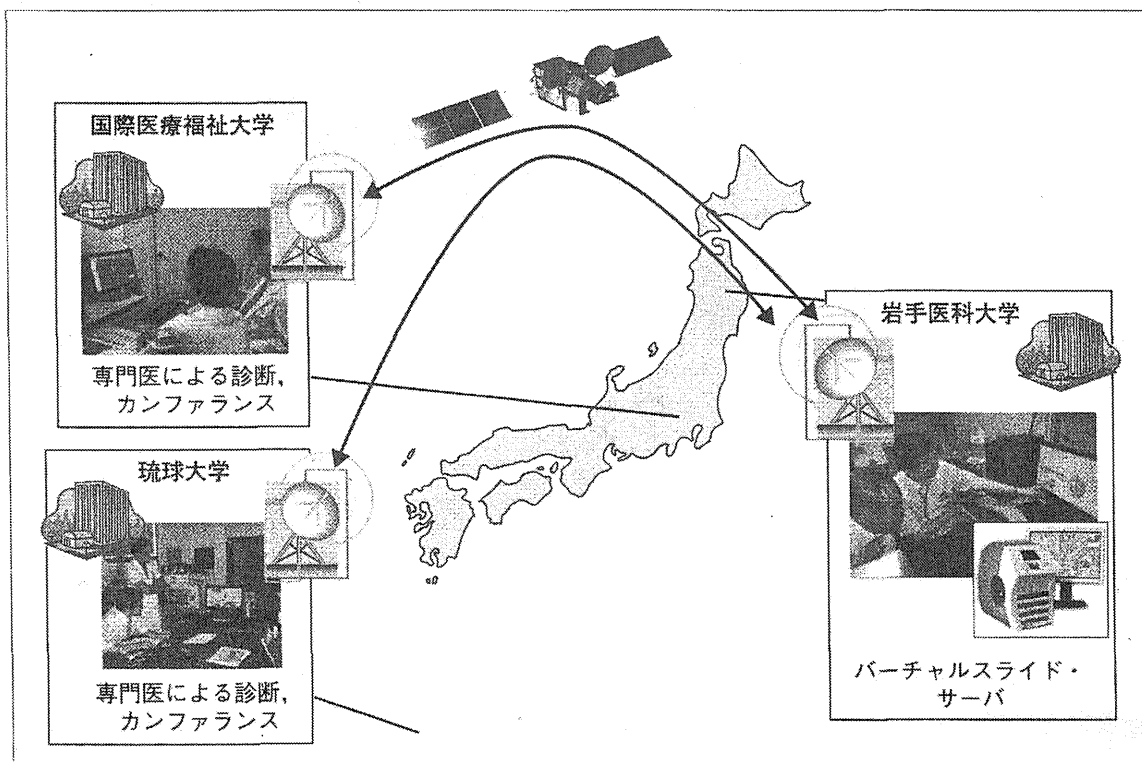


図 2 WINDSのネットワーク

“きずな”により3地点を接続し、サーバに保存したバーチャルスライド画像とテレビ会議システムによる音声通話を用いて、3地点でのカンファランスを行う。

表 1 評価項目(評価・検討の対象とした項目)

評価項目	評価方法
WINDS 通信ネットワーク	<p>1-1 通信品質評価 通信品質の評価のため、ネットワーク測定ツール(iperf, ping)を使用して通信性能測定(通信帯域, エラー率, RTT, ジッタ)を行い評価する。</p> <p>1-2 最大帯域評価 アプリケーション機材を接続しないときの WINDS 通信の最大帯域を iperf により確認する。</p>
バーチャルスライドシステムによる診断、カンファランス	<p>2-1 バーチャルスライドシステム</p> <p>A) WINDS 経由で2つの遠隔地点からバーチャルスライドサーバにアクセスし、顕微鏡画像(静止画)を閲覧できることを確認する。</p> <p>B) WINDS 経由で顕微鏡画像を閲覧したときの映像品質を目視により評価する。</p> <p>C) WINDS 通信網を経由したときのバーチャルスライドシステムの操作性についてそれぞれの地点で評価する。</p> <p>D) 3地点でバーチャル画像を動かしながらカンファランス可能かどうかの検討を行う。</p> <p>E) 音声(TV 会議)を入れながらそれぞれの地点が主導権を取り画像を動かしながらカンファランスが可能かどうかを検討する。</p> <p>F) 症例は昨年使用した組織だけでなく、細胞診断、血液像についてもカンファランスが可能かどうかを検討する。</p> <p>G) なお事前に光ファイバー経由でカンファランス可能かどうかを確認する。</p>

ランスの評価, ⑤3地点でのカンファランスについての可能性, ⑥光ファイバーとの比較, ⑦そのほか, 全体的な構成などである。

①WINDS を経由して行われた作動性については, サーバにアップロードした画像にアクセスして画像を確認するまでには1~1分30秒ほどかかり, 画像を動かす際に10~20秒間ぐらいモザイク状の画面となって正常に移行したが, 遠方と交信しながら診断ができるメリットを考えると大きな負担ではなく, 慣れの問題として解決できた。

②操作性の問題は, 通常のバーチャルライドの操作方法に従って画像の視野の選択, 拡大, 縮小の操作を行ったが, まったく障害はなく, 通常の動作を示した。

なお, 本機器は焦点の調節も可能であるが, 今回の診断は通常の取込みで十分であろうという考えで焦点移動可能な情報をもった画像データの取込みは行わなかったが, 細胞診において細胞の重なりをみる際に焦点の移動が問題になった。この点は教訓となったが, それ以外は十分であった。

③画質については大きな問題はなかった。実際に光学顕微鏡でみた場合と大きな遜色はなく, 核・細胞の性状, 特殊染色, 免疫染色の特異性が十分に生かされており, 画像解析による計測の評

価については, 3地点いずれからも可能であった。

また, 取り込む倍率については, 細胞診では通常20倍で診断を行っているため問題はなかった。他方, 白血病など末梢血の診断では, 取込み倍率40倍あるいは80倍にした場合, 細胞内の顆粒がはっきりとして細胞の種類が同定できたが, 取込み倍率20倍ではやや不明瞭な像であった。

④音声機能を加えることでカンファランスが可能となった。今回は音声の遅延があったが, ハード面で意見交換の障害となることはなかった。しかし, 話すタイミングで声が重なることや, 3カ所のなかでどの施設が話しているかわからない場合もあり, 発言する際に合図するなどの工夫が必要と思われた。

なお, 音声のやりとりにはテレビ会議システムを使用し, 発言している人に向かって自動的にカメラが作動することから, 話している表情を画面を通して他の施設でもみることができ, 便利であった。

⑤3地点でのカンファランスは, 今回の検証実験の総合評価となるが, 症例の組織画像をバーチャルライドを操作しながら, おたがいの表情をみて検討することが可能であり, 非常に効果的であった。

### 3. 遠隔病理診断としての内容の検討項目

初年度は, WINDS を介してインターフェースが問題なく作動するかどうかを検討するために, 盛岡の岩手医科大学の内丸キャンパスと矢巾キャンパスを結んで実験を行った。その結果, 十分に作動するという結果が得られたので, 今年度は音声も入れて本来の目的である病理学的診断, コンサルテーション, カンファランスが可能かどうかを検討した。したがって, 単に場所を変更して遠方にするというだけでなく, 3地点を結んで行うということが本研究の目的であった。今回, カンファランスの対象とした10例を表2に示した。各症例は, いずれにも診断に必要とされる検討事項を有している。実際的な応用の面から多地点によるカンファランスの可能性を考え, 日常のカンファランスあるいはコンサルテーションで問題になりそうな症例を選択し, その問題点を取り上げた。事前に用意した症例は20症例ぐらいあった

サイド  
メモ  
3

#### WINDSの通信品質評価

- a) ping: ネットワークの疎通を確認するためのソフトウェア。指定した通信相手方まで通信が届いているかを確認できる。また, つぎに述べるRTTを測定することができる。
- b) RTT: round trip time の略。往復遅延時間。あるデータを送ってから, 相手の応答が戻ってくるまでにかかる時間のこと。
- c) iperf: 通信の特性を測定するツールである。測定の際にパケットの送信時間や帯域幅など, 各種パラメータや特性を調整することができる。
- d) 通信帯域: 通信速度と同義語。
- e) エラー率: iperfにより伝送したデータのうち, 何%が欠損したかを示す。
- f) ジッタ: データ転送遅延時間のゆらぎのことである。

表 2 検討の対象とした症例(カンファランスで検討した症例の一覧表)

	内容	目的	治療への影響
1. 肺組織	手術中の迅速診断	野口分類からみていかなるタイプの肺癌か	肺癌の組織タイプによって手術方式が異なる
2. 食道組織	手術中の迅速診断における断端の癌細胞の残存	浸潤傾向はないものの、細胞・組織の状態から癌と診断できるか	癌組織が残存すれば追加切除が必要
3. 甲状腺組織	癌かどうかの診断	核の性状から癌の診断が可能かどうか	甲状腺癌であれば治療方針の選択決定
4. 末梢血の血液像	血液疾患の診断	細胞質、核の観察から白血病の診断が可能かどうか	白血病としての治療、あるいは専門の病院へ患者を紹介
5. 肺の細胞診	細胞診による悪性かどうかの診断	細胞の性状、重なり具合、核の状態などからの診断	肺癌であればタイプによって治療の選択
6. 乳腺	乳癌かどうかの確認	組織構築からみて診断が難しいためコンサルテーションを依頼	乳がんであれば治療方針の選択
7. 乳腺	乳癌の特異的蛋白の発現	HER2 蛋白の発現とその程度を画像解析で行う	HER2 蛋白の発現の強さによる治療の選択
8. 皮膚腫瘍	良悪のボーダーラインの症例、画像解析の利用	Ki-67 というマーカーを用いて陽性細胞のカウント	陽性細胞数が多いということは悪性の指標のひとつとなる
9. リンパ節	形質細胞腫か、炎症反応かの確認	免疫組織化学を用いて単クローン性があるかどうか	腫瘍であれば治療の選択
10. リンパ節	肉芽腫性疾患としての鑑別のコンサルテーション	腫瘍のほか、結核などの所見はないかどうか	サルコイドーシスを考えているが、鑑別の対象となる結核とは治療方針がまったく異なる

が、時間と内容から重複しないで、しかも3地点がそれぞれ主導権をもって行うことができるように10例に絞った。

今回は、それぞれの施設からの提出症例をあらかじめバーチャルスライド(Aperio Scan Scope)で取り込んで岩手医科大学先進機能病理学教室のサーバに保存しておいたが、各施設からの問題提起という形でカンファランスを行った。今回対象とした10症例の標本の特性、染色、問題点を表2にあげた。それぞれの症例で検証する内容が異なる。結果を以下に述べる。

① 迅速組織診断(HE染色)……肺の異常陰影から摘出された組織で組織診断(癌かどうか)、組織構築の判定による治療方針の決定が課題であった。本症例は肺癌であるが、野口分類のAタイプであったため、拡大摘出やリンパ節の郭清は不要で病巣部を摘除するだけで、大きな手術に至らなかった。〔岩手医科大学〕

② 迅速組織診断(HE染色)……食道の組織で、癌の判定が可能かどうかを課題であった。もし癌であれば手術中に追加切除しなければ、手術後にかならず再発する。実際の症例では癌組織が残存していると診断されて追加切除し、現在、再発もなく元気である(図3)。〔岩手医科大学〕

③ 迅速診断, 組織診断(HE染色)……甲状腺組織で結節性病変がみつき、手術を行った。細胞の核の性状が問題となった症例で、核溝、核内封入体が認められたため、実際の症例では乳頭状腺癌, follicular variant として腫瘍の摘出とリンパ節の廓清が行われた(図4)。〔琉球大学〕

④ 血液塗抹標本(Giemsa染色)……白血病などの血液疾患を診断するため、スライドグラスに塗抹した標本の診断であった。塗抹標本は通常の病理診断と異なり細胞自体の性状を問題にするため、細胞・核の性状が明瞭でないと診断できない。この症例では対物レンズの20倍、40倍、80倍の

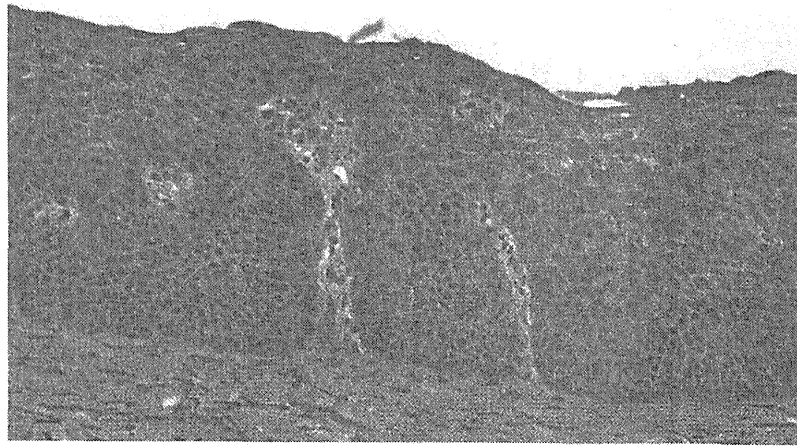


図 3 食道の手術中迅速診断(岩手医科大学症例)

手術中の切除断端に癌細胞の残存が認められたため追加切除となった。

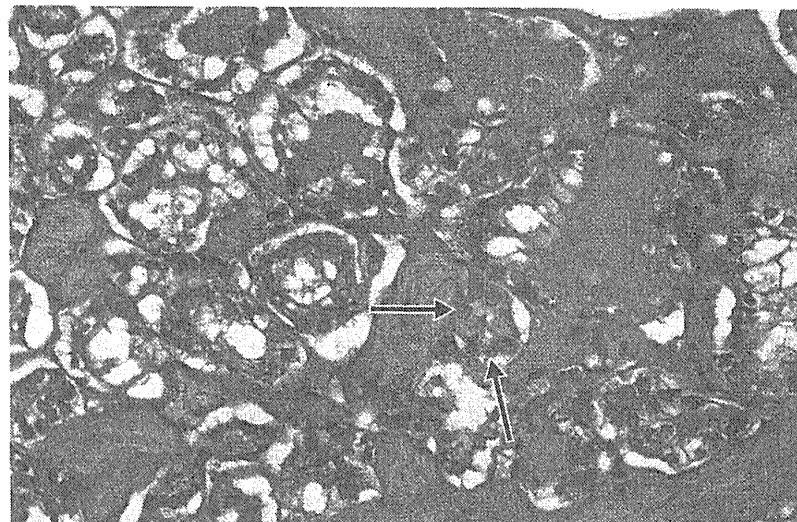


図 4 甲状腺組織(琉球大学症例)

乳頭状増殖の細胞の核に溝(矢印)、封入体が見られることから、甲状腺癌と診断された。

画像を取り込んで細胞、核の像を確認した。その結果、20倍で取り込んだ画像は確信をもって核・細胞の性質を治療に結びつけられる像ではなく、40倍以上の拡大で取り込まないと診断できないという結果であった。結果的には白血病などの悪性疾患ではなかった。〔岩手医科大学〕

⑤ 細胞診(Papanicolaou染色)……細胞診では、細胞の性質・構造などから悪性、良性を診断するため、細胞・核の性状や細胞どうしの配列・重なり具合が問題となる。組織診断に比べて方法論としては簡便であるが、不確定な部分も多い。本症例の場合は核の大小不同、クロマチンの増加、

細胞の重なり具合から肺の腺癌と診断。20倍で取り込んだが、本症例では診断可能であった(図5)。ただし、細胞診では倍率を上げるのとは別に、焦点調節の可能な像が必要な場合もある。〔岩手医科大学〕

⑥ 乳腺の組織診断(HE染色)……乳癌を疑われた症例であるが、その確認が課題であった。細胞・組織のほかに癌の浸潤が確認できるかどうか。導管の内部での癌細胞の増殖と、一部で導管外への浸潤もみられた。これは診断としては難しいが、組織像としては悪性度が低く、腫瘍の摘出のみで治療は終了し、あとは経過観察となった。

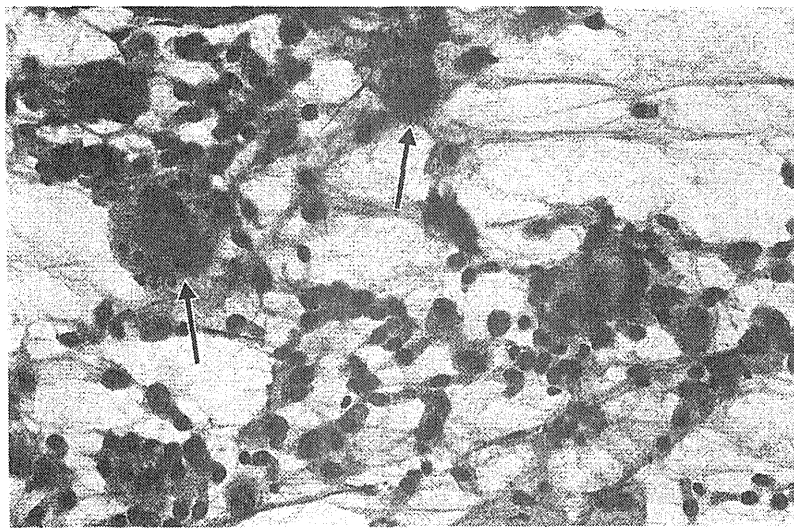


図 5 細胞診(岩手医科大学症例)  
喀痰細胞診断, Giemsa 染色によって核, 胞体の特徴から腺癌と診断(矢印).

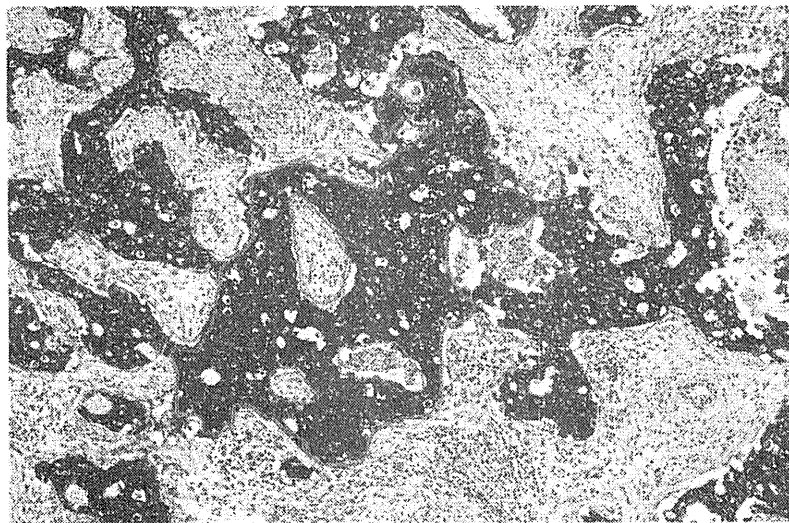


図 6 乳癌(HER2)(国際医療福祉大学症例)  
免疫染色で HER2 蛋白の証明, 染色の程度からスコア 3 であり, 抗体療法を行うことになった.

〔国際医療福祉大学〕

⑦ 乳癌の抗体療法確立と画像解析(HER2の免疫染色と治療の選択, 画像解析)……乳癌であるが, いままでの手術, 抗癌剤とは異なる抗体療法が最近, 行われている. HER2 抗体で蛋白の存在を証明し, それにスコアをつけて治療を選択する方法である. したがって今回の場合は, 染色性を 3 地点で確認できるかということと, 染色性の程度からみた治療法の選択に画像を利用して行った染色性の強さ, 陽性範囲結果が 3 地点で合意・共有できるかが課題であった. 結果は, HER2 抗体で 3 施設とも陽性のスコア 3 で評価が一致した

(図 6). なお, もう一例はスコア 2 で, さらに FISH 法で検査することになった. これも 3 地点で評価が一致した. この画像解析を用いた評価方法はアメリカの FDA で既に認可されており, わが国でも今後, 導入されて普及していく可能性がある.〔国際医療福祉大学〕

⑧ 皮膚の組織診断(HE染色と免疫染色の組合せと画像解析の応用)……前腕にできた皮膚腫瘍で, 良性の皮膚線維腫を疑ったが, 細胞密度・核の性状に悪性の疑いが残るため, 診断の補助として増殖マーカーである ki-67 蛋白について免疫染色を行い, その陽性細胞数のカウントを試みた.

その結果、細胞像は悪性も否定できなかつたが、ki-67 蛋白陽性の細胞もそれほど多くなかつた。今後、CD34 など他の免疫染色の追加、あるいは皮膚病理の専門家へのさらなるコンサルテーションが必要ということが3施設の結論となつた。〔岩手医大〕

#### ⑨ リンパ節の組織診断と免疫染色を利用した診断(HE染色と複数の免疫染色の組合せ)

リンパ節のなかにある細胞の増殖があり、腫瘍、炎症性の鑑別と、細胞が単一の免疫グロブリン蛋白を産生しているかどうかを免疫組織化学的に検討した。細胞の形、核の位置・特徴などの細胞の性状と、免疫染色の結果から形質細胞の増殖と同定できた。さらに、この細胞が免疫グロブリンのκ鎖だけを産生していることから、κ型の形質細胞腫と診断できた。これも核・細胞の性状と免疫染色の陽性が、3地点いずれにおいても確認できた。〔琉球大学〕

#### ⑩ リンパ節にできた非腫瘍性病変(HE染色)

通常、迅速診断、コンサルテーションは腫瘍性の病変であることが多い。しかし、それ以外にも重大な感染症を治療するためには、早く診断して早く治療を選択する必要がある。この場合は、病巣を形成する細胞と組織の特徴をよく観察することが必要である。本症例も、結核かサルコイドーシスカでは治療がまったく異なるというものであつた。本症例はHE染色で肉芽腫の融合性や壊死が少ないことから、サルコイドーシスと診断された。〔琉球大学〕

### ■考察

今回は、超高速インターネット衛星“きずな”を用いたテレパソロジー実験、なかでもバーチャルスライドシステムを利用したカンファランスの可能性を検証した。前回行ったリアルタイムの動画ではカンファランスを行うことが現状では不可能であるのに対し、バーチャルスライドでは可能であり、音声でたがいの意見の交換も支障なく可能であつた。

一方、画像については、はじめにサーバにアクセスして画面で確認できるまでに、画像の大ききで若干異なるが、1~1分30秒かかり、また、主

導権を有する施設が画像を大きく移動させると他の2施設ではモザイク状の画像となり、回復するまでに10~20秒の遅延が生じた。これは光ファイバーの場合はあまりみられない現象であり、通信衛星のもつ遅延の結果と考えられる。しかし、画質からみて診断に与える影響はまったくなく、障害が生じることはなかつた。

今回の対象とした細胞、核の形、性状、構造、免疫染色、画像解析で共通の認識を得るという課題はすべてクリアでき、画面を動かして会話を交えながらのカンファランスはきわめて有効であつた。

したがってこの方式は、わが国で光ファイバーが敷設されてない場所との交信、カンファランス、テレパソロジーを行う際にはきわめて有効であるが、本システムがさらに活用できるのは海外との交信ではないかと思われる。欧米との間での疾患についてのコンサルテーション・カンファランスや、東南アジア地域など病理医の少ない地域からのコンサルテーションを受けることなどが可能となる。とくに後者の場合は、わが国から毎年、病理医が指導に出かけており、また東南アジアの若い医師が研修にきていることを考えると、この高速通信衛星による事業は国際的な医療貢献になるものと思われる。

最後に今回の通信衛星を介したテレパソロジーの実験は、光ファイバーと比較して若干の遅延がみられた。これは光ファイバーが直接に接続しているのに対し、通信衛星の場合は情報が地上から36,000 km離れたところにある通信衛星を介するため、単純に考えても地上と衛星間の電波のやり取りに遅延を生じるからである。さらに、天候による通信への影響も課題と考えられるが、当日は盛岡(曇りときどき弱い雨)、東京(曇り)、沖縄(曇り)にもかかわらず、ほとんど影響はなかつた。したがって、軽度の遅延をもって高速通信衛星の機能が光ファイバーより劣るとはいえず、その汎用性を考えると多くの可能性を有しており、将来は海外との交信実験も行ってみたいと思っている。

### 文献

- 1) Sawai, T.: The State of Telepathology in Japan.

*In* : Telepathology in Japan-Development and Practice (ed. by Sawai, T.). CELC, Morioka, 2007, pp.3-9.

- 2) Sawai, T. : Telepathology in Japan. *In* : Telepathology (ed. by Kumer, S. and Dunn, B. E.). Springer Verlag, Berlin, 2009, pp.105-125.
- 3) 澤井高志 : 遠隔病理診断(テレパソロジー)の展望. 機器・試薬, **32**(3) : 326-336, 2009.
- 4) 澤井高志・他 : 第1部 医療の中の病理学 9. 遠隔病理診断, 病理と臨床, **27**(臨時増刊号) : 64-72, 2009.
- 5) 澤井高志・他 : 世界ではじめての超高速インターネット衛星“きずな”(WINDS)を用いた遠隔病理診断(テレパソロジー)の実証実験. 医学のあゆみ, **233**(4) : 319-324, 2010.
- 6) Sawai, T. et al. : The state of telepathology in Japan. *J. Pathol. Inform.*, **1**(1) : 13-18, 2010.

#### ■共同研究者

学外 : 開原成允, 三瓶宏一(国際医療福祉大学大学院), 北山康彦, 板橋正幸(国際医療福祉大学三田病院

病理部), 齊尾征直, 小菅則豪, 仲宗根克(琉球大学附属病院病理部), 野田 裕(仙台オープン病院消化器内科), 鈴木智美((独)宇宙航空研究開発機構宇宙利用ミッション本部), 吉野浩二, 渡邊 誠, 常山道夫, 中屋雄一郎(宇宙技術開発(株)), 岩間裕之, 牧野英哉(アピリオ・テクノロジーズ(株))

学内 : 黒瀬 顕, 三浦康宏(岩手医科大学病理学講座先進機能病理学分野), 及川浩樹(同病理病態学分野), 安保淳一(同附属病院中央臨床検査部), 吉田良純(同研究助成課), 斉藤健司(同総合情報センター), 乙茂内博, 高橋友樹(同施設課), 中島久雄(同画像情報センター)

本研究は文部科学省研究開発局の“平成 22 年度宇宙利用促進調整委託費——衛星利用の裾野拡大プログラム”によるものである。

\* \* \*





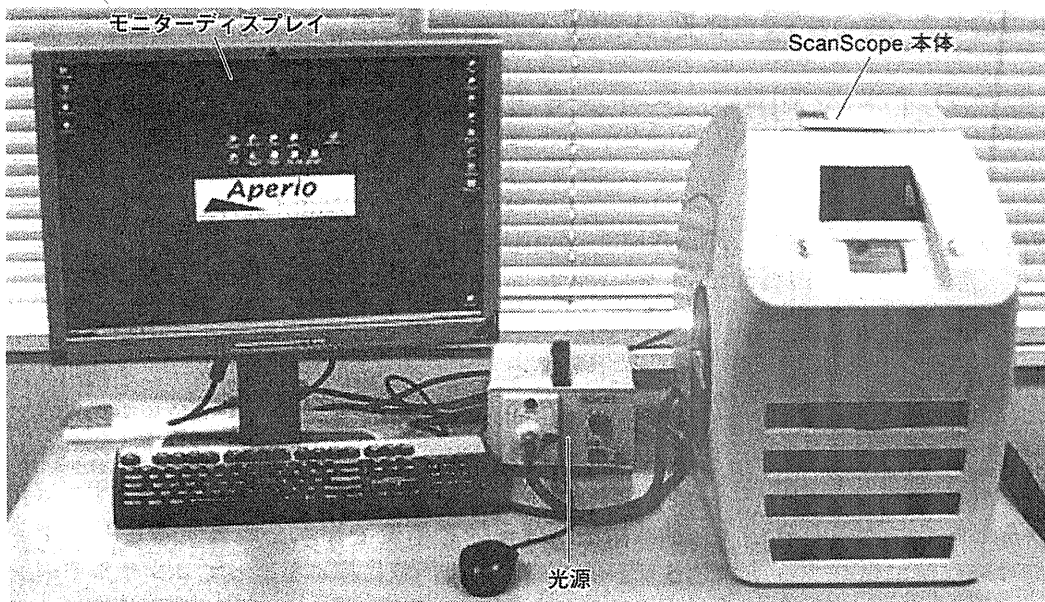


図1 バーチャルスライドシステム  
アピリオ社 ScanScope (CS).

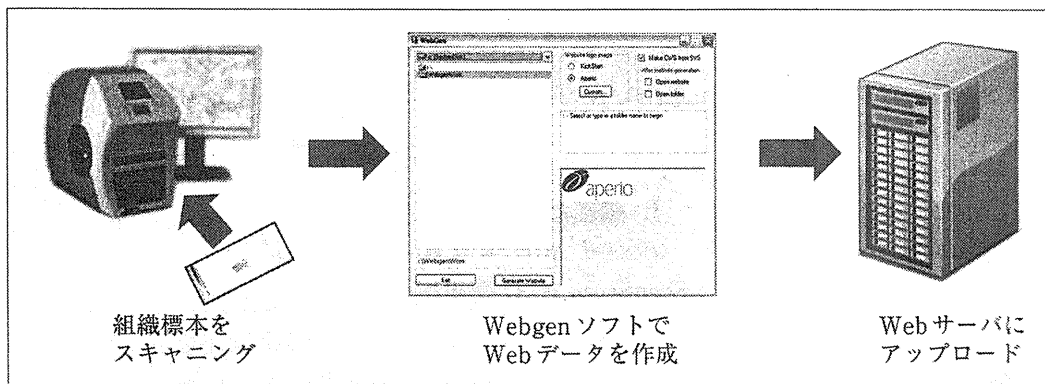


図2 VSデータ処理の流れ

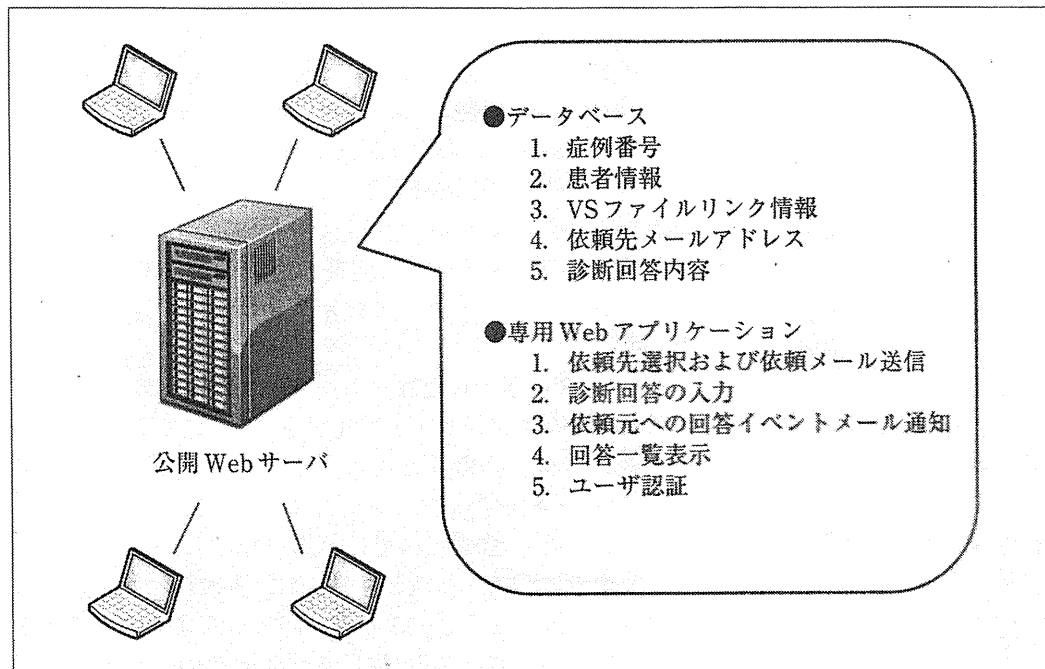


図3 システム仕様の概要

る WebScope を利用した (どちらもアピリオ社製)。その理由として、① ImageScope は Windows のみ対応しており、Macintosh では利用できない、② ImageScope で開く

VS データ自体を直接 Web 上で扱えない、③ ImageScope と同様に、WebScope であっても拡大、縮小、画像移動が可能で診断機能として十分機能することが挙げられる。今

回のシステムを利用する以前は、VSデータと閲覧ソフトの用意を行っていたが、WebScopeであれば依頼先のPC環境を選ばず、また設定準備の必要がないため、この方法を採用した。

#### 4. コンサルテーションシステムの流れ

依頼者は、組織標本をスキャニングしてサーバへ保存し、コンサルテーションシステムの画面上で患者情報を入力し、該当するVSを指定する。必要に応じてVSは5枚、静止画像は3枚まで提示できるので、皮膚や腫瘍などのマクロ像や手術所見などを判断材料として利用することが可能である。また、登録してある病理医のなかから一度に最大10名の病理医へ依頼送信が可能である。

診断依頼のメールを受信した病理医は、ID・パスワードでシステムへアクセスする。患者情報を確認し、VSを観察して診断結果や根拠など必要なデータを入力し、送信する(図4~6)。

依頼者はメールで診断結果を受信し、システムの管理画面より回答を確認する。複数の病理医へ依頼を行い、回答が自分の考えと異なる場合であっても、最終的に自分の責任で診断を下す。

## II. 結果

具体的な症例を提示する。1例目は42歳女性の子宮頸部の組織で癌を疑う症例である。一部に高度の異型を認めたため、院内(岩手医大)を含めて北は北海道、南は沖縄までの全国6施設の病理医にコンサルテーションを依頼し

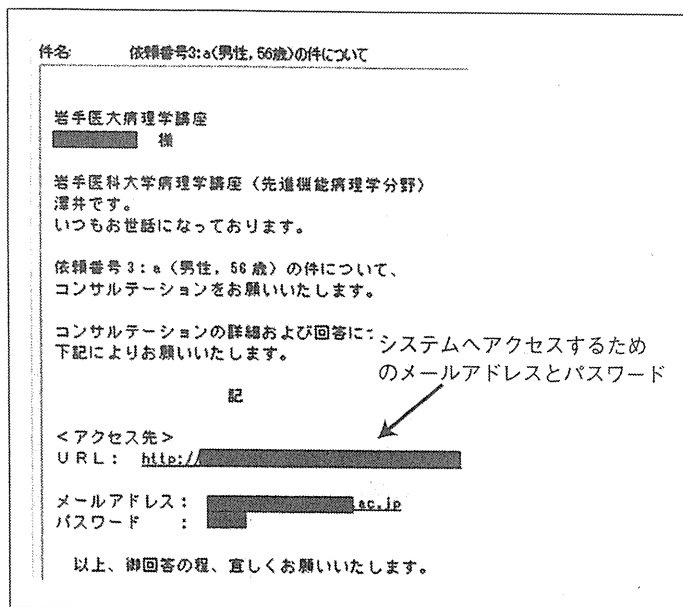
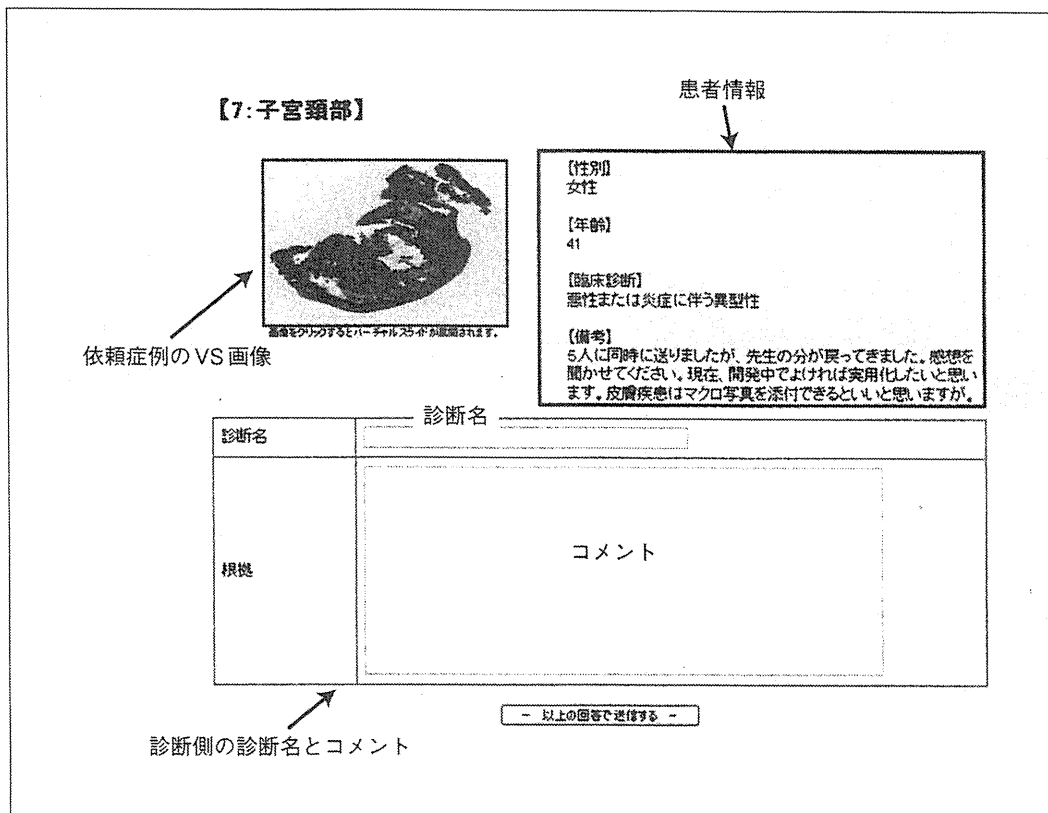


図4 診断依頼メール システムから診断メールを受信する。

た。早い例では10分、遅い例でも10時間、平均6時間で回答があり、“CIN2”と診断したのは2名、あとの4名の診断は“CIN1”であった。最終的な責任は依頼側にあるため検討した結果、“CIN2”にして“十分な追跡が必要である”と診断し、臨床側に回答した。もちろん、初めに6人の病理医に対しては、複数の病理医にコンサルテーションを行うことを付け添えている。

図5 依頼内容画面 システムへアクセスすると、患者情報が提示される。



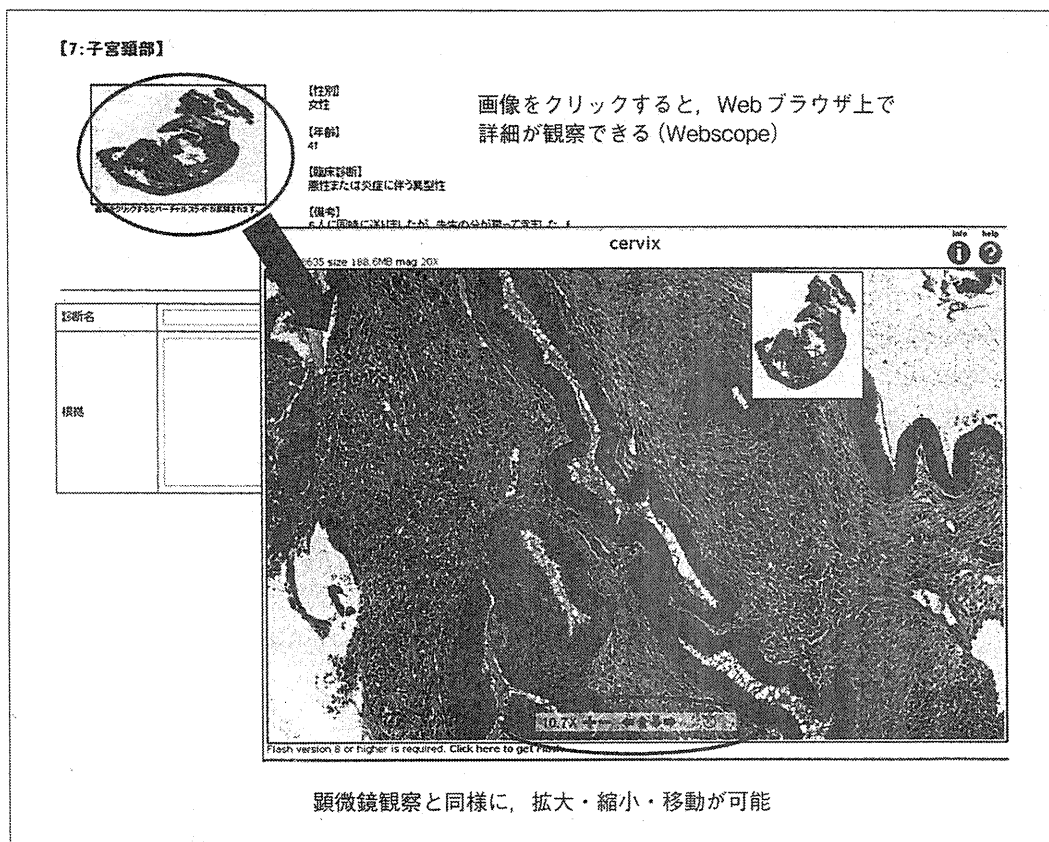


図6 VS画面 画面(サムネイル画像)をクリックすると、Webブラウザ上でVSが開く。

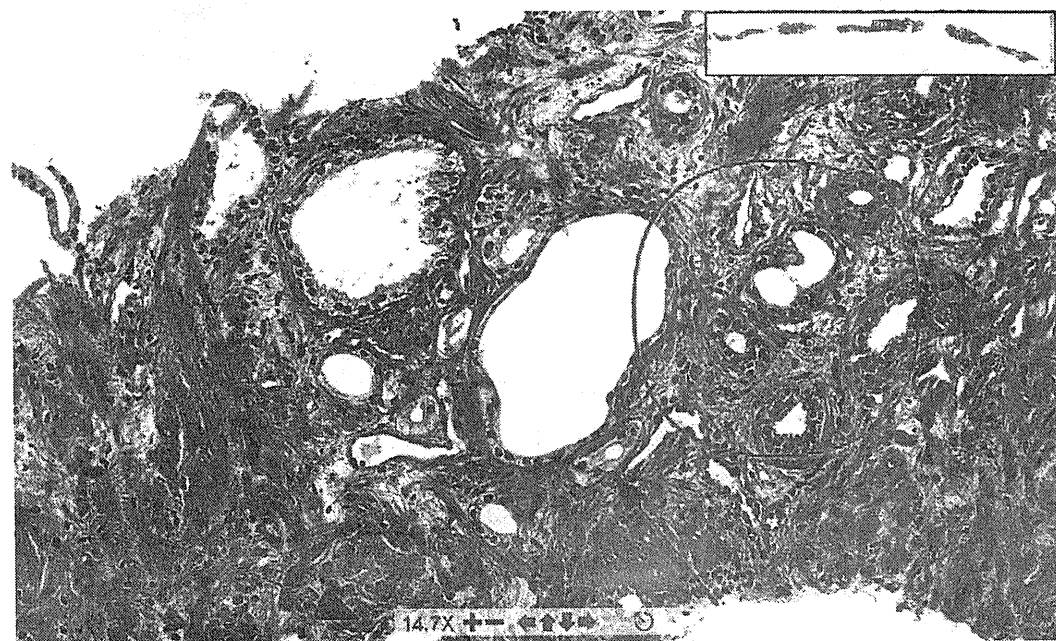


図7 アノテーションを提示 丸、あるいは矢印で表示が可能。

2例目は前立腺組織の症例である。細胞および核に異型は認めなかったが、小型腺管の上皮に二層構造を欠いていたため、本邦の前立腺の専門病理医へコンサルテーションを依頼した。当初、20倍で取り込んだVSで診断を依頼したが、核の性状が不鮮明であるということで、40倍で取り込んだ画像を再度送信した。その後、問題となる腺管のアノテーションや34βE12の免疫染色を依頼されたので、それによって画像を取り込み送信した(図7, 8)。その結

果、依頼した専門病理医から“軽度異型の上皮”という診断を受け、我々も自分たちの責任のもとに“異形成”と診断した。この前立腺組織のコンサルテーションにおいては、数回のやり取りの中でも早いものでは15分で回答があり、3日間程で全てが終了した。

このような方法でこれまで子宮頸部、前立腺、肺など良悪性のコンサルテーションを23症例行っている(表1)。

図8 免疫染色を提示 問題の箇所を矢印で表示した。

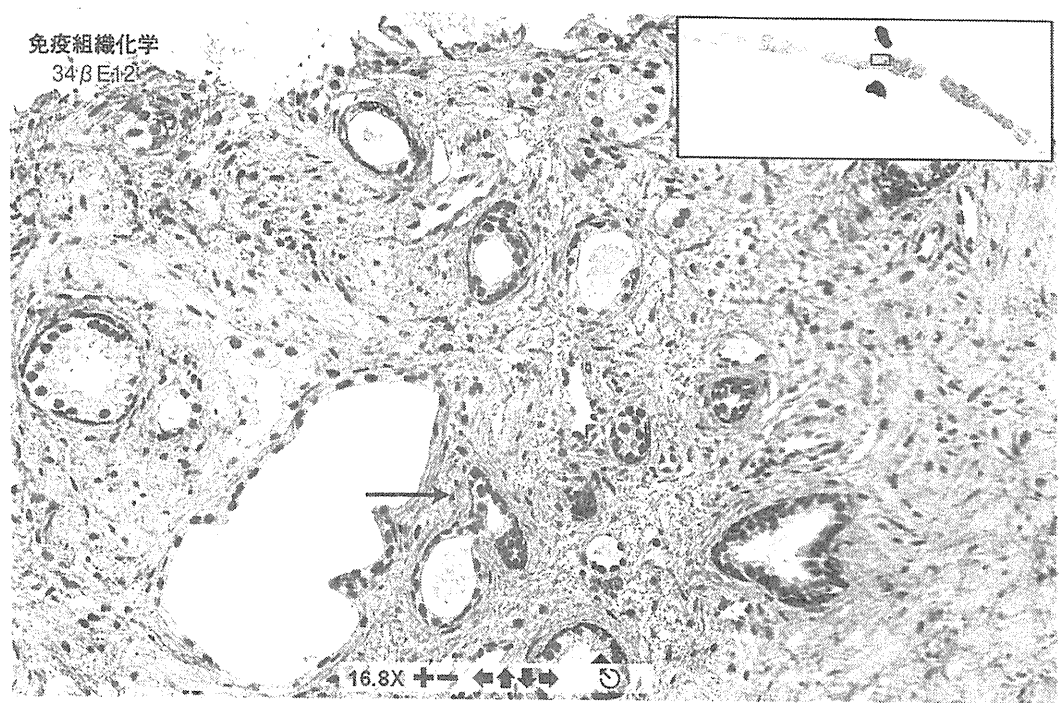
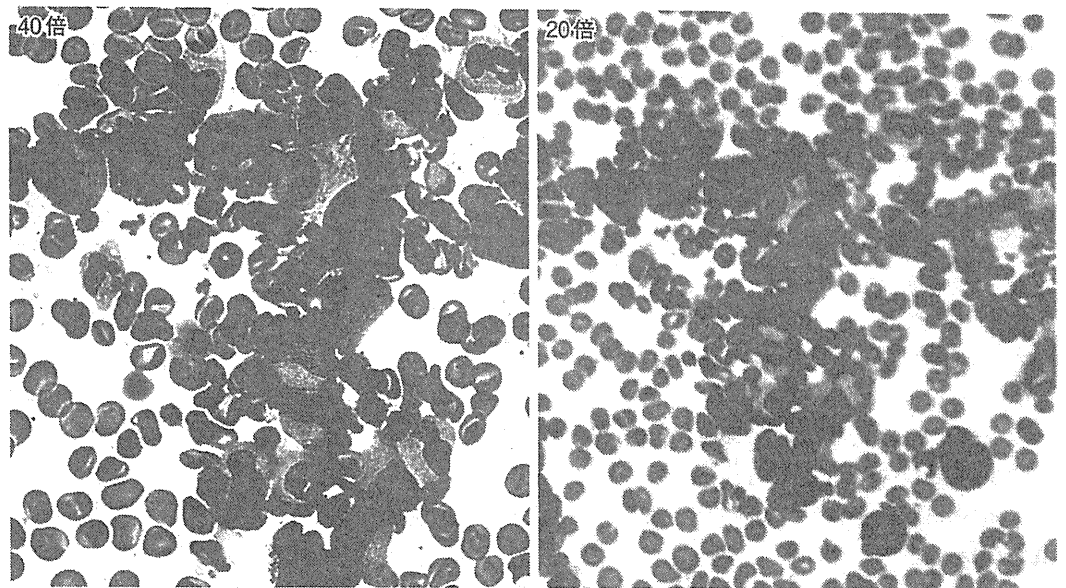


図9 血液像でみる20倍と40倍の比較



### Ⅲ. 考 察

今回のコンサルテーションの特徴は、プレパラートを直接送付する従来の方式を電子化した点にある。これによって、コンサルテーションに要する診断の時間、作業、送付に関する費用を大幅に短縮させただけでなく、一度に多数の病理医に対してコンサルテーションを依頼することが可能となった。また、一度のやり取りだけにとどまらず、数回のやり取りを行った前立腺症例の事例をみても、従来の直接送付と比較して時間的、経済的な効率が高いたいえる。

複数にコンサルテーションを行う場合、回答意見の差異が目立つが、今まで行ってきたコンサルテーションの

表1 これまでの実施症例

臓器	症例数	依頼医師数
子宮頸部・体部	6	15
前立腺	3	3
肺	3	7
大腸	2	1
皮膚	2	2
乳腺	1	1
十二指腸	1	2
脊椎	1	2
リンパ節	1	1
胃	1	1
副甲状腺	1	1
肝臓	1	1
合計	23	37

2009年5月～2011年3月までの症例実績。