総 説

特集：これからの臨床検査

テ レ パ ソ ロ ジ ー

布 施 恒 和* 富 永 真 琴*²
山 川 光 徳*³

1. はじめに

近年のマルチメディア機器の進歩は急速に高度な情報化社会を招いている。医療の分野においても例外でなく、コンピュータシステムは医療施設の医事業務やデータの管理に必要不可欠となっている。また、数多くの自動分析機器にも利用され精度の向上や迅速化に役立っている。一方、映像機器の著しい向上や通信法の整備の充実に伴い、遠隔医療が加速的に促進し、映像を利用した診療、診断も可能となった。特に、病理部門ではテレパソロジー (Telepathology: 遠隔病理診断) が実用化され、新しい診断法の一つと位置づけられつつあり、病理医不足や遠隔地の医療に多大な貢献をもたらすようになった。

1997年、厚生省は遠隔医療に積極的な立場を打ち出した。特に、テレパソロジーによる術中迅速病理組織診断を医療行為として保険点数を認め、保険診療への導入を可能とした。したがって、今後遠隔医療の新たな展開が予想される。

われわれは日本で最初にテレパソロジーシステムを開発、医療分野での本格的な実用化に成功し、術中の病理組織診断や細胞診に大きな成果を得ている。本稿ではこれまでの経験を踏まえて、日本におけるテレパソロジーの概略と変遷、機器の種類、実際の運用法、問題点、将来展望などについてのべる。

* 山形大学医学部附属病院検査部

*² 山形大学医学部臨床検査医学講座

*³ 山形大学医学部病理学第一講座

2. テレパソロジーの概念

テレパソロジーは手術や生検により摘出された組織標本の顕微鏡画像を電話回線、高速デジタル回線を利用した総合デジタル通信網 (ISDN: Integrated Service Digital Network, INS64; NTT), 光ファイバー (INS 1500; NTT), 通信衛星等を介して遠隔地に伝送し、伝送されたモニタ上の映像により病理医が病理組織診断を行う医療行為である。

その具体的な利用法は病理組織診断のみならず、病理医と病理医、細胞検査士と指導医とのコンサルテーション、他の複数施設間との遠隔臨床病理会議、大学間における病理学の講義、セミナーなど多岐に渡っている。

3. テレパソロジーの変遷 (表 1)

1986年 Weinstein はテレパソロジーの基本的な概念、システム構成、伝送メディアなどについて提唱した¹⁾。日本においては、本格的な実用化は1990年に山形大学医学部附属病院検査部

表 1 日本におけるテレパソロジー

年	施設	備考
1984	慶応義塾大学	公衆電話回線とNTSC (試験運用)
1990. 4~	山形大学	光ファイバーとHi-vision (画像診断の実用化)
1990.10~	広島大学-信州大学	公衆電話回線とNTSC (コンサルテーション)
1991. 4	京都市勧業館-京都府立与謝の海病院	通信衛星とHi-vision (第23回日本医学会総会)
1992. 5~	京都府立医科大学-京都府立与謝の海病院	ISDN/NET64とNTSC
1992. 5~	東北大学-仙台市立病院	光ファイバーとHi-vision
1993. 4~	国立がんセンター中央病院-東病院	ISDN/NET1500とHi-vision
1993~	北海道-東京-横浜-信州-広島-九州	公衆電話回線とNTSC (他施設間ネットワーク)
1993~	鳥取大学-名古屋大学 (呉共済病院)	学生 講義
1994.10~	国立がんセンター中央病院-東病院	Hi-visionとNTSCの2段階方式
1997	東北、京都大学など 国立8大学	通信衛星とHi-vision (医療ネットワーク)
1997	国立札幌病院-市立糠内病院	デジタルスチルカメラとコンピュータ通信インターネット

(34) 医器学 Vol. 70, No. 2 (2000)

で開始された。これは検査部と病理学教室を専用光ファイバーで結び、顕微鏡像をHi-vision画像として伝送し、術中の迅速組織診断に利用している²⁻⁵⁾。その後、1992年に京都府立医大と100km離れた与謝の海病院の両者間ではINS64で結びNational Television System Committee (NTSC) による静止画像伝送を行っている⁶⁾。また、1992年に北海道大学と名古屋大学、1993年に産業医科大学ではそれぞれの関連病院との間を一般公衆電話回線を利用した静止画像伝送を行っている⁷⁾。1991年から東北大学医学部を中心に、市中病院の病理医、映像機器や顕微鏡メーカ、NHK等が参加し、テレパソロジーの実現に向け実証的な研究が行われ、その研究成果を基に1992年に東北大学医学部と仙台市立病院間が結ばれ、術中迅速病理組織診断のみならず、パラフィン切片による病理組織標本のHi-vision画像伝送も実用化されている⁸⁾。さらに1993年の日本病理学会総会でのシンポジウムに取り上げられ、テレパソロジーの有用性が認識された。

その後、日本各地の施設で導入されたが、一般病院への受け入れはシステムや伝送料金が高く困難とされていた。しかし、1996年、国立札幌病院と市立稚内病院でデジタルスチルカメラで撮影された画像をコンピュータ通信(インターネット)に利用したテレパソロジーが開始された⁹⁾。これは市販されている機器を利用した低価格な運用法と評価されており、この方式が今後普及するものと考えられる。

一方、国立癌センター中央病院では東病院と専用光ファイバーで結んで、組織診や細胞診のディスカッションを行う他に、日本各地にある数カ所の癌センターおよび関連病院とINS1500を利用し、Hi-vision画像で定期的に複数施設間との症例検討会を行うことによって、遠隔臨床病理会議(テレカンファレンス)を実用化した¹⁰⁾。

1997年には東北大学と京都大学が中心となり、国立8大学附属病院を通信衛星で結んだ医療ネットワークシステムが構築された。そこではHi-vision画像による病理カンファレンスが開催され、大学病院間の医学研究情報の交換に役立つ

ている¹¹⁾。

鳥取大学では、1993年から山陰地方の数カ所の病院とISDNで結び静止画像による術中迅速診断と移植腎病理診断を行い、良好な成績を上げている。また同システムを利用し、名古屋大学医学部附属病院病理部および呉共済病院から画像を伝送し、学生に講義を行っている¹²⁾。

1995年頃よりインターネットやNifty serveなどを利用したコンピュータ通信が急速に進み、全国規模の情報交換ネットワークが手近の機種で、しかも個人レベルで利用できるようになった。特に、細胞診分野ではスライドカンファレンスに利用されて、日本全国より多数の利用者があり、教育に大きな成果を得ている。

4. 伝送システムの種類

伝送システムの基本的な構成は、送信側にテレビカメラを搭載した顕微鏡、画像伝送装置、モニタからなり、受信側は画像受信装置、モニタ、顕微鏡遠隔装置からなり両者間は各種の伝送メディアで結ばれている。

現在利用されている主なシステム構成は

1) NTSC方式テレビカメラと公衆電話回線や高速デジタル回線INS64を組み合わせた静止画像伝送システム

2) Hi-vision方式テレビカメラと高速デジタル回線INS64やINS1500を組み合わせた高解像度静止画像伝送システム

3) Hi-vision方式テレビカメラと光ファイバーや通信衛星を組み合わせた高解像度動画像伝送システム

4) NTSC方式高画質テレビカメラと高速デジタル回線INS64を組み合わせ、動画像で標本をスキャンし、必要画面を高解像度静止画像で伝送するシステム¹³⁾

5) デジタルスチルカメラと通常のコンピュータ通信を利用した高解像度静止画像伝送システム

などがある。静止画像伝送は大容量のネットワークシステムを必要とせず、構築が安価で済むが、送信側に病理医がいない場合、診断に最適な画像が得られるまでの枚数が多くなり、長時間を要する。動画像伝送は大容量のデータ量となる

表 2 通信メディアの特質比較 (文献14より)

通信メディア	電送画像の種類	画 質	1画像伝送時間	通信速度 特記事項
公衆電話回線	静止画	低	数十秒～数分	33.6kb/s 利用が容易、伝送時間がかかる
ISDN	静止画	低～中	数秒	64kb/s～1.5Mb/s NTT INSネット
高速デジタル 専用回線	圧縮動画	中	即時	6Mb/s 電気通信事業者に限定
光ファイバー	動画	高	即時	200Mb/s 敷設料、利用コストが高い
通信衛星	動画	高	即時	200Mb/s 使用時間の予約必要、利用コストが高い

ので高速回線が必要となり、通信料が高額となる^{14, 15)}。しかし、動画像を遠隔操作できるシステムは、受信側の病理医が顕微鏡観察するごとく標本をスキャンできるので、短時間で診断でき、しかも正診率が高くなると考えられる。

また、光ファイバーや通信衛星は高解像度伝送に最適であるが、敷設料や使用料が非常に高価格である。公衆電話回線や高速デジタル回線は回線使用料が低価格であるが伝送時間が長い。また、圧縮画像伝送は圧縮比が高いと短時間で伝送できるが、解像力が低下するなどの欠点がある^{15, 16)} (表2)。

インターネットによるテレパソロジーは、ISDN との接続と伝送速度が向上したこと、使用料金が低価格であること、特別なシステム機器の構築を必要としないことなどから今後さらに普及すると思われる。インターネット動画像伝送は大容量の情報量を要するため、現実的には静止画像の伝送に利用されているにすぎない。

5. 山形大学におけるテレパソロジー

現在、山形大学では医学部病理学講座と附属病院検査部を結んでいるものと、医学部病理学講座と山形県立新庄病院を結んでいる2つのシステムが運用されている。

前者は Hi-vision、自動化顕微鏡、光ファイバーを用いたシステムであり、本邦で最初に日常的診断業務に実用化されたものである。山形大学附属病院では専任病理医不在時の術中病理組織診断を得るためと、遠隔地における複数病理医の合議による正確な診断を得るためにテレパソロジーシステム導入を検討し、1990年に構築した。

図1 山形大学におけるテレパソロジーシステム構成図

このシステムの特徴は ① NTST 方式に比べ高精細画像が得られる Hi-vision TV カメラおよびモニターを使用したこと、② 伝送媒体に光ファイバーを用いたこと、③ 対物レンズ変換、焦点調整、ステージ移動、写真撮影の顕微鏡操作を自動化したことである。このシステムでは遠隔地からの顕微鏡操作により、鮮明な動画像をリアルタイムで送受信することを可能とした²⁻⁵⁾。

図1に見るごとく、システムの構成は送信側（病院検査部）に Hi-vision TV カメラを搭載した顕微鏡、Hi-vision モニタ、遠隔伝送装置がある（図2）。受信側（病理学教室）には Hi-vision モニタ、遠隔操作用のパーソナルコンピュータが設置されている（図3）。送信側と受信側は

図2 山形大学におけるテレパソロジーシステム（送信側）。

写真左より、Hi-vision モニタ、Hi-vision カメラを搭載した自動化顕微鏡、光ファイバーアダプタ、インカム、遠隔電送装置

図 3 山形大学におけるテレパソロジーシステム (受信側).

写真左より、パーソナルコンピュータ、光ファイバーアダプタ、マウススイッチ、インカム、Hi-vision モニタ

インカムを利用して、患者属性や提出された組織標本の状態などの情報交換を行っている。病理医はマウススイッチかキーボードで顕微鏡を遠隔操作しモニタ画像で診断を得ることができる。

このシステムは顕微鏡に近い画質が得られ、モニタ像は複数人による観察が可能であることから、学生実習などの、教育現場においても成果を上げている。

後者は1998年11月に構築された山形県遠隔医療システムに導入され、NTSC方式映像、自動化顕微鏡、ISDNを用いたシステムである。こ

の山形県遠隔医療システムは県立新庄病院を中核として、最上町立病院、戸沢村中央診療所から伝送された皮膚の肉眼像や放射線画像を静止画で診断するシステムと、山形大学医学部ならびに附属病院を県立新庄病院と結び、テレパソロジー、テレラジオロジーを静止画像で行うシステムであり、4施設間はISDN 64を介して結ばれている (図4)。

このテレパソロジーシステムは、病理医が常駐していない地方の病院において、手術時の病理診断にも対応できるので高く評価されている。このシステムの特徴は ① NTSC 方式画像を使用したこと、② 伝送媒体にISDN64を用いたこと、③ 顕微鏡を遠隔操作できること、④ 簡単な操作性を得られることである。以上により広域に渡る距離においても、伝送時間と伝送コストを著しく軽減できることである。

6. テレパソロジーにおける諸問題 (表3)

現在、テレパソロジーに関する問題は以下の点が指摘されている¹⁷⁾。

1) システム上の問題点は画質の目安となるHi-vision像の情報量は約6MBであり、顕微鏡

図 4 山形県遠隔医療システム概要図

表3 テレパソロジーの諸問題

1、システム画像の問題点(情報量はHi-vision: 6MB 顕微鏡像: 1~20MB)
(角化細胞の色調と重積細胞の解像力の低下)
2、媒体メディア(通信回線)の問題点(伝送速度と通信料)
3、標本作製の問題点(薄い標本とアーチファクトのない凍結切片の作製)
4、モニター画像による診断の問題点(モニター画像による診断法の習得)
5、経済上の問題点(高額なシステム機器、高い伝送料)
6、その他(プライバシーの保持、診断記録の保存、責任の所在、診断料の設定など)

図5 NTSC(上) およびハイビジョン(下)方式の画像

像の1~20MBに比べまだ不十分である(図5)。

2) 媒体メディア(通信回線)の問題点は高速回線を利用する場合は、短時間で伝送できるが使用料が高く、公衆電話回線は情報料が少なく、伝送に時間を費やす。

3) 標本作製上の問題点は作製された標本が劣悪ではいかに高度なシステム、優れた病理医でも正しい診断を得ることは困難である。(10 μ mを超す厚い標本はモニタ像の解像力が著しく低化する。)

4) 病理医や細胞診指導医のモニタ画像診断上の問題点は顕微鏡像との違いを十分理解し、モニタ画像による診断法を確立する必要がある。(細胞診においては角化型扁平上皮細胞の色調が十分再現されない。また重積性の高い腺癌細胞の観察は困難である¹⁸⁾。)

5) 経済上の問題点は現在のシステム構成機器、伝送料は高額である。行政と開発メーカは協力して公共的メディアの整備や画像圧縮伝送技術の改良を行い、規格を統一し、互換性のある機種を供給することが望まれる。

6) その他の問題点はプライバシーの保持、診断記録の保存、責任の所在、診断料設定などの種々の問題が上げられる。

7. テレパソロジーに係わる人々の役割

テレパソロジーは関係する多くの人々が協力して成り立っている。臨床医は組織を提出するのみならず、速やかな固定、診断を必要とする組織面のマーキング、切り出し、そして種々の検査データ、詳細な臨床情報を提供する。臨床検査技師は診断に最適な標本作製や画像伝送に係わる。そして病理医は伝送された画像と臨床情報により病理診断を行い、臨床側に報告を行う。テレパソロジーはこの三者が有機的および総合的に作用し合って、速やかで正しい病理診断が初めて可能となる。

しかし、送信側となる病院には通常病理医がいないため、臨床検査技師は検体の受付から病理標本作製、スクリーニング、画像伝送まで全て携わることになる。即ち、テレパソロジーの成否は臨床検査技師に左右されるところが大きい。今後テレパソロジーをより円滑に遂行するために、臨床検査技師の教育が重要となろう。

8. テレパソロジーの将来と展望

テレパソロジーが実用化されて、約10年を経過した。今後さらに多くの施設で導入されるものと考えられる。

しかし、現状では様々な問題点が指摘されており、解決しなければならないことが数多くある。病理医、臨床医、臨床検査技師など直接診断に係わる医療側、行政側そして映像機器や電気通信機器メーカ側の三者が一致協力すれば、解決できる問題点は少なくない。医療状況を考慮するとテレパソロジーは将来においても、画像遠隔診断ばかりでなく、画像を必要とする遠隔会議、遠隔教育などに広く用いられて行くも

(38) 医 器 学 Vol. 70, No. 2 (2000)

のと考えられる。

映像技術に関してはNTSCの高精細画像からHi-vision 画像,そしてHi-vision の約5倍の情報量を持つ超高精細度 (SHD ; Super High Definition) 画像へと進み,顕微鏡像により近い画像が得られ診断は容易となり,正診率が向上すると考えられる。

SHD は NTT により開発され,Hi-vision 画像では不十分とされるX線写真の判読も可能となる解像度や,病理顕微鏡像に限りなく近い色調の再現性に優れた画質を有するため^{19,20)},テレパソロジーへの導入が検討されている。したがって,SHD は21世紀のテレパソロジーやテレラジオロジーなど画像伝送のみならず電子カルテ的なものにも利用されると考えられる。

伝送方法は高速デジタル専用線/ATM,光ファイバー,通信衛星などの整備,画像圧縮伝送技術の向上,新しい伝送方式の開発などにより高速アクセスネットワークが促進すると思われる。さらに1T (tera) b/s 級の超高速大容量のネットワークインフラが電話局間に構築されれば,大容量の情報や超高精細画像などの通信が容易になり,テレパソロジーの本来の威力を発揮することになる。

またインターネットによるテレパソロジーは品質の保証やセキュリティの確保も十分となり,リアルタイムの高速化伝送,簡便な操作性,広域性,低価格の通信料により,この情報インフラはさらに拡大するものと予想される。特にISDNの整備が進み,OCN (Open Computer Network) の高速化と低料金のサービスがさらに促進すると考えられる。

機器は標準化が進み,どのメーカーの製品においても互換性が得られ,システム構築は容易となり導入が促進するものと考えられる。経済的な面では低価格の機種,現存通信機器の利用,低価格の通信料などで運用されれば多くの施設に利用されることになる。

テレパソロジーをさらに発展させるには,病理標本作製からスクリーニング,画像伝送まで全てに携わる臨床検査技師の果たす役割は極めて重要である。送信側の一員としてシステムの開発や改良に積極的に参加して,さらに優れた

システムの構築に関与することも必要であろう。テレパソロジーに携わる臨床検査技師の質と検査技術の向上に,病理検査士(仮称)などの養成や認定制度化の整備が必要となるかもしれない。

9. ま と め

テレパソロジーは病理医不足や遠隔地の医療に大きく寄与することになった。厚生省はテレパソロジーを医療行為として保険点数を認め,新しい診断法と位置づけている。

科学技術の著しい発達に伴い,システム性能が向上し,単一の伝送方法のみでなく,倍率に合わせた動画,静止画像の両者を送信できる第2世代のシステムや,インターネットなどが導入され,利用拡大が進んでいる。今後のテレパソロジーの発展には病理医,臨床医,臨床検査技師など直接診断にかかわる医療側,行政側そして映像機器や電気通信メーカー側との一致協力が望まれる。

文 献

- 1) Weinstein, R. S.,: Prospects for telepathology. Human Pathol. 17 (5) : 433-434. 1986
- 2) 布施恒和, ほか: HI-vision 方式による顕微鏡画像電送システムの開発. 臨床病理 39: 425-428. 1991
- 3) 布施恒和: 世界最新のテレパソロジーにおける医療実用. 山形大学医学部附属病院のハイビジョン顕微鏡画像遠隔電送システム. NEW MEDIA 87: 64-67,1991
- 4) 荒井 茂: テレパソロジー実用化の取り組み. 仙台テレパソロジー研究. ニューメディア, 東京, 168-180,1994
- 5) 荒井 茂: テレパソロジー. 臨床病理 43: 477-481,1995
- 6) 土橋康成, 難波紘二: テレパソロジーの到達点と将来展望. 医学のあゆみ 171: 873-876, 1994
- 7) 難波紘二: テレパソロジーの現状と展望. 第24回日本医学会総会会誌 (I) 1995. 名古屋 362-368, 1995
- 8) 京極方久: 日本の病理診断とテレパソロジーの必要性. 仙台テレパソロジー研究. ニューメディア

- ア, 東京, 10-18, 1994
- 9) 山城勝重ほか: 日常使用を実現した北海道のテレサイトロロジー. 日本臨床細胞学会誌 37: 305-312, 1997
- 10) 松本武夫ほか: テレパソロジーと情報ネットワーク. 臨床細胞学会誌 35: 322, 1996
- 11) 渡辺みか, ほか: テレパソロジーにおける大学病院衛星医療情報ネットワーク (MINCS-UH) の活用. 病理と臨床 15: 1144-1146, 1997
- 12) 井藤久雄, ほか: 地域医療とテレパソロジー: 応用分野の拡大. 病理と臨床 15: 1122-1125, 1997
- 13) 高橋正宣: Telepathology & Telecytology, Hist-logic 2. サクラ精機株式会社, 東京, 7-8, 1997
- 14) 渡辺儀弘: テレパソロジーと伝送技術. 仙台テレパソロジー研究, ニューメディア, 東京, 104-111, 1994
- 15) 青山友紀: 情報通信の現状と将来, 病理と臨床 15: 1094-1101, 1997
- 16) 粥川 敦: テレパソロジーと映像技術. 仙台テレパソロジー研究, ニューメディア, 東京, 112-123, 1994
- 17) 向井 清: テレパソロジーの応用と問題点, 病理と臨床 15: 1131-1135, 1997
- 18) 布施恒和, ほか: ハイビジョン方式によるテレサイトロロジーの実用化の検討. 日本臨床細胞学会誌 35: 483, 1996
- 19) Ono,S.,etc: Super-high definition images. Beyond HDTV, artech House Inc., 1995
- 20) 秦 順一, ほか: リアルタイム・マルチメディア技術を用いた遠隔病理診断と病理学教育のあらたな展開—超精細画像・デジタル伝送システムの応用. 病理と臨床 15: 1126-1130, 1997