

Teleradiology の基本並びに運用について

佐々木康夫

岩手県立中央病院放射線科

はじめに

通信技術を使用して遠隔地に画像を転送し、読影レポートを作成したり診療のコンサルテーションをするための画像情報の利用系が遠隔地画像伝送 (teleradiology: テレラジオロジー) である^{1),2)}。テレラジオロジーは画像取得、画像圧縮、画像転送、画像表示、画像保存の技術から構成される。通信技術の進歩は非常にテンポが速いが、テレラジオロジーの構築にユーザ (開業医や勤務医並びにコメディカル) が主体的に参画するには、基礎的な技術的事項に関する知識は必要なものと思われる。また、テレラジオロジーの技術的事項以外にも、画像伝送業務に伴う運用上の様々な諸事項がある。本稿では、遠隔地画像伝送に関連した通信技術の基本的な解説を行い、自験例を通して画像伝送の実際についても敷衍したい。

通信に関する基本的事項

1) 通信プロトコル

コンピュータの内部では、CPU と内部並びに外部キャッシュ (メモリ)、ハードディスク間での通信が途切れることなく行われている。コンピュータが他のコンピュータへ画像を伝送したり、コンピュータネットワークを形成する場合、すなわちネットワーク上のノード

(node) として機能する場合には、通信専用のプロトコル (約束ないし規約を書いたソフトウェア) が必要となる。

今、目の前の CRT モニタ上にある MRI 画像そのもの (画像ファイル) を他のコンピュータへ転送する場合に必要なのは、ファイル転送用のアプリケーションと、実際に転送するために使用する通信プロトコルである。

通信プロトコルとしては TCP/IP が有名であり、TCP/IP はファイル転送用のプロトコルである ftp (file transfer protocol) をサポートしている。したがって MRI 画像ファイルを伝送する場合は、「TCP/IP プロトコルで、ftp サービスを用いて MRI 画像ファイルを転送する。」などと表現する。

通信プロトコルにはたくさんの種類があり、シリアル回線を用いてノード間 (コンピュータ同士) を 1 対 1 に関係付けて通信するプロトコルとしては、PPP や SLIP などがある³⁾。

2) TCP/IP

TCP/IP は通信プロトコルにおける事実上の世界標準規格 (de facto standard) となっている。TCP (transfer control protocol) は通信を制御するためのプロトコルであり、均一なデータ品質での伝送やデータフロー制御を保証する。IP (internet protocol) はデータの転送先の IP アドレスを指定してデータの経路を決定するとともに、ルーティングなどの機能を提供

し、ネットワーク内で仮想の通信路を確立する役割がある。

通信プロトコルの説明には OSI (open systems interconnection) 参照モデルを使うと大変都合が良いので、通信技術の解説書には必ず OSI 参照モデルが紹介されている。OSI 参照モデルは最上位層がアプリケーション層 (7 層)、最下層が物理層 (1 層) と呼ばれる機能的に独立した7層からなる構造モデルである⁴⁾。この構造に照らすと、TCP はトランスポート層、IP はネットワーク層に相当する。TCP/IP は、OSI 参照モデルの 3, 4 層が通信サービスとして OS (operating system) に組み込まれて提供されていたり、2 層がネットワークカードに焼き込まれた ROM に存在したりする場合がある。また、ファイルシェアリングサービスや ftp などの基本的な通信サービスにおいては、アプリケーション層までを含めて OS の一部として提供されている場合がある。いずれにせよ、アプリケーションは通信プロトコルに従った各種の通信サービスを利用することで、通信処理を実現しており、TCP/IP 以外

の通信プロトコルも OSI 参照モデルを使って説明することが可能である (図 1)。上位層にある画像や文章ファイルは下位層にある物理層に至って電気信号や光を用いた送信が可能なバイナリーデータになる。しかし、データストリームが一方のコンピュータポートから出て、他方のコンピュータポートに到達するには、たくさんの工夫が必要である。アプリケーション層におけるファイル内のデータはパケット (一定の長さに区切ったある単位) 形式にして通信プロトコル各層での認識処理が行われ、通信に必要なヘッダ情報 (このヘッダの意味は手紙で言えばあて名に相当する) が次々と付け加えられる。ヘッダ情報にはパケットの順番、データの種類などの様々な情報が含まれている。パケットは、これらのヘッダ情報によって間違いなく転送先のコンピュータの物理層に到達する。受信されたパケットは各層においてヘッダ情報の認証が行われながらアプリケーション層に至り、送信時と同じファイルが再現されることになる (図 2)。パケット交換網の中心となる通信プロトコルは X.25 である。

	OSI	TCP / IP	TCP / IP 関連 その他の通信プロトコル	
7層	アプリケーション層		SMNP ftp telnet DNS www	
6層	プレゼンテーション層	アプリケーション層		
5層	セッション層			
4層	トランスポート層	TCP	UDP	
3層	ネットワーク層	IP	SLIP, ARP, ICMP	
2層	データリンク層	データリンク層	PPP	X.25
1層	物理層	物理層	Ethernet, Token Ring, FDDI, ISDN	

図 1. OSI 参照モデルと TCP/IP 並びに各種通信プロトコル群
各種プロトコル群は TCP/IP の役割も含んで説明されることがあり、
注意する必要がある。

2000年3月21日受理

別刷請求先 〒020-0600 岩手県盛岡市上田 1-4-1 岩手県立中央病院放射線科 佐々木康夫

通信プロトコルが存在することの意義は、コンピュータを操作するユーザが通信の中身を全く意識せずにアプリケーションソフトを使用し、あたかも二つのコンピュータ間のソフトウェア同士が直接通信をしているかのような利便性をユーザに与えてくれることにある (peer to peer communication). 通信プロトコルとは、いったんデータを手渡せば自動的に後の処理を受け持ってくれる黒子のような役割を担っているのである. 通信プロトコル並びにネットワークに関連した事項の詳細は参考図書を参照されたい^{5),6)}.

3) DICOM

DICOM 3.0 (the digital imaging and communications in medicine, version 3) は画像データのみならず、画像表示に必要なマトリクスサイズ等の画像パラメータ、検査や患者の情報を併せもった画像ファイルの形式である⁷⁾.

テレラジオロジーにおいても、モダリティーからの画像取得は DICOM 形式で行われる. 図3に DICOM のファイル形式 (デフォルトの) を示す. 各ファイルのデータの先頭につくタグは、後のデータの内容を規定している. value length はデータの長さを示す. value field に記載されたデータ形式は画像でもテキストでも同様であり、それらのたくさんの集合が DICOM データである. タグ内の情報は type 1 から type 3 までである. Type 1 のタグは必ず記載されなければならない. Type 2 のデータが不明な場合は value length を 0 にしてタグのみを記載する. Type 3 は書いても書かなくてもよいが、検査部位 (body part) を示す重要なタグ (0018.0015) は type 3 含まれている. 残念なことに DICOM 3.0 を採用している各モダリティーメーカーの現実的な対応はまだ不十分である. コンフォーマンスステートメントを取

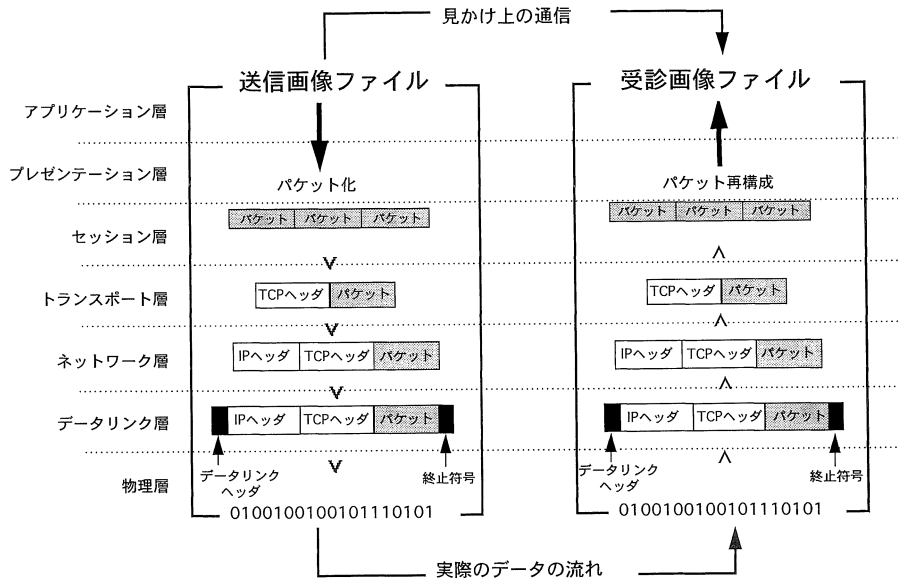


図 2. 画像ファイルをパケット通信する場合の概念図

見かけ上は、二つのコンピュータの間でのアプリケーションソフトの操作のみで、同一の画像ファイルが参照できる. 実際のデータは物理層同士のデータ交換を行っている. なお、図に示していないが、データの送受信の際の確認作業は、データ通信の際は必ず行われている.

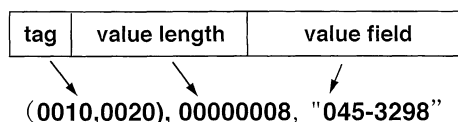


図 3. DICOM のデータ構造

患者番号 (patient ID) が045-3298であった場合の DICOM の実例を示している。tag は DICOM 規定で定められた type, value length はこの患者番号の文字数, そして value field にデータを記載する。この場合のデータは患者番号すなわち文字列である。

り交わしたとしても、必要なタグが採用になっていなかったり、解釈に相違があったりするため、CRT モニタ上にスライズラインが表示されないなどの問題が生じてしまう。DICOM 規格には最初から TCP/IP の通信形式が含まれているため、データはパケット化されて転送される。送後の画像情報の損失がないため、転送前と同じ状態で読影や画像処理が可能になる。画像を DICOM 形式で提供する側を SCP (service class provider)、画像を受け取る側を SCU (service class user) と呼ぶ。DICOM サーバが SCP なら、画像データを受け取るコンピュータは SCU である。転送された画像を DICOM 形式と認識するアプリケーションには CTN があり、RSNA (北米放射線会議) のホームページからダウンロードできる (<ftp://ftp.rsna.org/pub/dicom-software-images/ctn>)。

4) CRT 読影

送られてきた画像は CRT モニタで読影することが最も効率が良い。画質については ACR の recommendation がある⁸⁾。日本医学放射線学会の電子情報委員会の「デジタル画像の取り扱いに関するガイドライン 1.0 版」(<http://next-3.rad.med.keio.ac.jp/jrs/ceis/guideline/jrs-pguideline.html>) の中でも、テレラジオロジーに関する大まかな基準を示している。施設ごとの事情もあると思うが、現在は、少なくともこれらの基準を遵守した方が間違いがない。

画像参照ソフトは、読影対象者のワーキング

リストが一目でわかること、画像表示や画像切り替え時間がほとんど瞬間的に思えるほど短いこと、計測 (CT の場合は CT 値も含めて) が簡便に行えること、現在と過去画像が同一画面に表示できること、読影の有無などの作業内容がワーキングリスト上で確認できるようになっていること、などがチェックポイントである。なお、DICOM 画像を見るための画像参照ソフト (DICOM viewer) には、ネットワークからダウンロードできるものが各種存在する (<http://www.eFilm.net/downloads.shtml>, <http://www.expasy.ch/www/UIIN/html1/projects/osiris/osiris.html>)。

5) 転送帯域と画像圧縮

テレラジオロジーにおいては、ISDN (integrated services digital network) や OCN (open computer network: NTT) が使用されることが多い。離島との通信には衛星通信が利用できる。ISDN の場合は TA (terminal adapter) と DSU (digital service unit) を経由してデジタル交換網に接続される。ISDN にも OSI 参照モデルで説明される通信プロトコルがある。地上線では光ファイバーと ATM やフレームリレーなどの技術により高速通信が実現される。現在使用可能な技術として xDSL (x digital subscriber line) がある (<http://www.intel.co.jp/jp/home/feature/dsl/dsl1.html>)。無線通信についても毎秒 20 メガビット程度の帯域の実現に向けて開発が進行中である (<http://www.mpt.go.jp/pressrelease/japanese/denki/980626j601.html>)。将来的にはかなり広い帯域の通信回線が身近なものになると考えられる。

なお、帯域 (band width) とはデータを送る幅の広さ、すなわち、伝送速度を表す用語であり、単位は bps (bit per second) である。

画像ファイルを伝送する場合、通信したい画像の総容量と通信帯域の両方が通信スピードに影響を与える。毎秒 64 bps の通信帯域の ISDN は毎秒 8 キロバイト (8 bit=1 byte) の

画像容量を送ることができる（実効転送速度は5キロバイト程度である）。今、合計10メガバイトのMRI画像を伝送したいとすると、約30分程度の転送時間を要することになる。したがって、もっと転送時間を短縮するには画像圧縮技術を用いて画像容量を小さくする必要がある。画像圧縮技術としてはJPEG (joint photographic experts group)⁹⁾が汎用されるが、高圧縮率が可能であるwavelet方式も採用されつつある¹⁰⁾。画像圧縮率は胸部のCR画像なら20分の1圧縮でも転送後の読影上に支障はない。ところが、MRIやCT画像をJPEGで圧縮すると良く知られているブロックアーチファクト¹¹⁾が出現し、読影の障害となることがある。経験から判断する限り、非可逆圧縮よりは、できれば可逆圧縮での転送が望ましいと考えている。以上のように、転送の際の圧縮率は画像の種類によって選択する必要がある。画像をダイレクトデジタルでなく、モダリティーから画像のビデオ信号を取得し、それをデジタル信号に変換して転送する方法もある（ビデオキャプチャ方式）。この場合の画像容量はかなり少なくなるから、転送時間を大幅に短縮できる点では有利であるが、画像参照時に画像表示のウィンドウ幅やレベルを変える自由度が限定されて不便である。今後動画を含めた大容量の画像伝送を行うためには、画像劣化のできるだけない圧縮技術、広い帯域をもつ通信インフラの普及が必須と思われる。

6) 患者情報の取得

画像が送られてきたとしても、患者の臨床情報がなければ読影はできない。読影のための臨床情報取得には、電話、ファックス、電子メールなどを用いる。いずれの場合も送受信間で医師のみならずコメディカル、事務職の入力負荷やマンパワーの問題がつかまとう。打開策は施設内での医療情報システムの活用だが、送受信間のそれぞれでこのようなシステムが完備している施設はまだ少ないと思う。伝送に使用するための情報を、施設内で分散化しているシステ

ムの統合化を図ることによって実現することは技術的には可能であり、米国では画像通信はDICOMで行い、病院情報システムはHL7で行うのが容認されつつある¹²⁾。

7) ウェブの活用

www (world wide web) 環境においては、クライアント・サーバシステムを比較的安価に構築し、画像参照環境を実現できる。また、コンピュータのプラットフォームに依存しない言語であるJava™の使用、CORBA (common object request broker architecture)、XML (extensive markup language) などの利用によってシステム統合化を達成しやすいなどの利点をもっている¹³⁾。しかしながら、ウェブサーバはクライアントが情報をもってくる方式 (pull方式) であるため、伝送画像参照時にスピードが遅くなるのが欠点である。大量の高画質画像を短時間に読影する場合、すなわち、読影作業にスピードが要求される場合には、画像参照専用にて特化されたアプリケーションとネットワークシステムの方が至便性が高い。今後、push型のウェブサーバの普及、ネットワークポロジの改善、参照用ブラウザソフトの操作性が向上するに従い、ウェブがテレラジオロジーに利用される機会も増してくるものと思われる。

テレラジオロジーの実際と問題点

岩手県立中央病院では県内に放射線科医師が少ないこともあって、平成7年から本格的に画像伝送を開始している。現在では県内の4施設からCR、MRI、CTの画像が送られてくる(図4)。我々が、使用している伝送システムはCR画像はHIC (富士メディカル) 同士の伝送、その他は画像通信ソフトであるImage Comm (CeMax Icon) を使い、パソコン (Macintosh) 間で伝送している。通信には3本のISDN回線を使用している。送られてきた画像は、放射線部内のPACS用の短期保存用画像

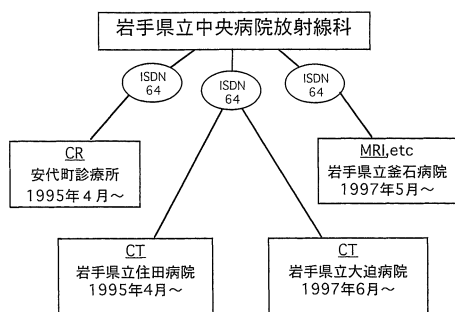


図 4. 岩手県立中央病院でのテレラジオロジー
現在は県内 4 箇所の施設の画像が送られてきている。使用している ISDN 回線 (B-ISDN: NTT) は 3 本である。

サーバ (SS: study server) に保存され、読影室のどの端末でも CRT 読影 (AutoRad) が可能である。CR, MRI がダイレクトデジタル、CT はビデオキャプチャされた画像が送られてくる。短期保存用画像サーバにある伝送された

画像はサーバの容量に限界があるため、長期保存を行っていないが、伝送業務がルチーン化するにつれて、読影時に過去画像の参照が必要な頻度が増してきており、長期的な画像保存の必要性が出てきている。

画像送信側の各病院には患者情報システムや放射線情報システムが存在しない。患者情報取得方法は検査依頼伝票のファックス、読影依頼書送付など、送信先の事情によって異なっている。伝送された画像のすべての読影は CRT モニタで行っている。4人の医師が読影を分担して所見をディクテーションし、トランスクリイバが作成した読影レポートのファイルを送信側にファイル転送している (Timbuktu Pro: Fallaron) (図 5)。月間の全伝送数は 140 例前後であるので業務量としてはそれほど負担ではない。緊急症例は年間に数例であり、ほとんどが脳梗塞か脳出血例である。伝送に伴う費用は電話代のみを送り手の病院が負担している。

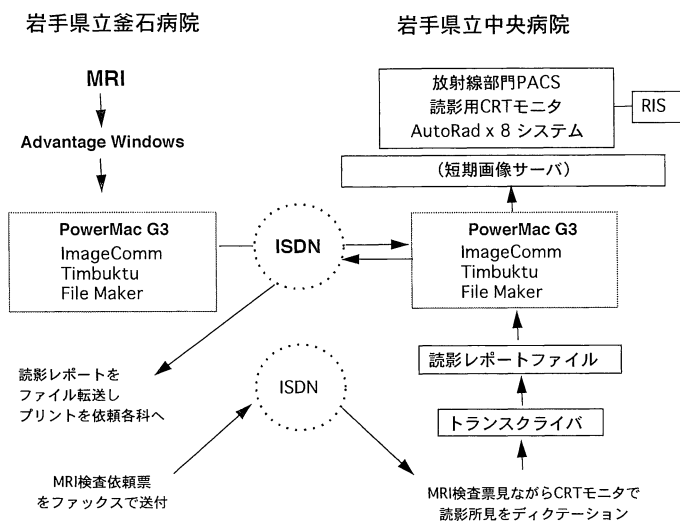


図 5. テレラジオロジーの運用例
岩手県立釜石病院からは MRI が送られてくる。総合病院ではあるが、院内の HIS, RIS は整備されておらず、患者情報取得は検査依頼伝票のファックス転送によって得ている。読影レポートはテキストファイルを転送したあと、プリントアウトしたものを院内の依頼科に配布してもらっている。

伝送数は病院月報に記載される。伝送開始当初はISDN回線が2本であったため、伝送時間の割り当てを決めていた。回線を増設してからは大きな問題はないが、患者情報が記載されたファックスが行方不明になったりするトラブルや、送信先との電話連絡などの業務が発生する。このように、テレラジオロジーにおいては、画像伝送以外の運用上の細かな業務にも対処していかなければならない。以下に、著者自身の5年間の経験を基に、テレラジオロジーの導入、運用についての注意点を列記したい。

1) テレラジオロジーの導入と構築

テレラジオロジーの導入時には、送受信を担当する施設間で画像伝送を行うニーズが本当に存在するかどうかをよく確認することが大切である。機器導入が行政主導で行われることもあると思うが、必要とされていない伝送システムは使われないと思った方がよい。伝送システムの選択や構築はユーザに決定権がある。決定に際しては、画像取得方法、通信ソフトの性能、圧縮率の決定、画像参照ソフトの事前チェックが必要である。読影に使用するCRTモニタ上に画像を表示し、画質、伝送時間、画像参照ソフトの操作性など確認する必要がある。

2) テレラジオロジーの運用

伝送の時間帯の設定と送受信に伴う両者の業務負荷を推定し、業務として送受信が現実的であるかを事前にシミュレーションする。画像伝送は受信側が画像を取りに行く(retrieve)することも可能であるから、送受信の方法も取り決めの対象となる。読影時に必要な臨床情報の取得方法や、読影レポートの送付方法の確認も事前に行い、必要な機器やソフトがなければ準備しなければならない。通信料、読影料、メンテナンスなどの維持コストの支払い分担についても十分な打ち合わせが必要である。運用に齟齬^{そご}を来すと、送受信間の人間的な信頼関係が失墜し、画像伝送が行われなくなる危険がある。

考 案

画像ファイルのデータは、一つのコンピュータのポートから出て別のコンピュータのポートに達する。この間に必要なシステム接続、データのルーティングやスイッチング、データベースサーバなどの技術はLAN(local area network)とWAN(wide area network)の間で大きな違いはない。テレラジオロジーとLANの最も大きな違いは、遠隔地との画像情報交換を通じて、医療行為の空間的拡大を実現する行為の中にある。現状でのテレラジオロジーの実態は2点間の運用が多く試行段階を出ていないし、患者情報の共有化などの周囲環境整備が不十分なため、結局は煩雑な業務を抱え込むことになってしまう。

今後は、技術的な進歩とネットワークインフラストラクチャの充実によって、テレラジオロジーのための医療情報ネットワーク基盤が成熟してくるものと予想される。地域内に共有サーバを設置し、画像以外の他の医療情報とともに、地域住民の健康管理ファイルデータとして運用する方式も考えられる。画像の伝送も日本国内のみで行う理由は何もない。今我々に必要とされているのは、テレラジオロジーの経験を通じて、画像を含めた医療情報ネットワークの構築と運用の能力を身につけ、次代のネットワーク医療に備えることであると考えている。

文 献

- 1) Goldberg MA: Teleradiology and Telemedicine. The Radiologic Clinics of North America. 1996; 34: 647-665
- 2) Dreyer KJ, Mehta A, Thrall J. Remote Site Strategies. RSNA Categorical course in Electronic Radiology. 1999; 125-129
- 3) Bommel JH, Musen MA. Handbook of Medical Informatics. Heiderberg, Germany: Springer-Verlag, 1997; 72-76
- 4) International Standards Organization. ISO

- 7498-1, Information Processing Systems, Open Systems Interconnection. basic reference model. Geneva, Switzerland : International Standards Organization, 1994
- 5) 中川純一, 赤川義洋. TCP/IP がわかる本. 初版5刷. 毎日コミュニケーションズ, 1999
 - 6) 小泉 修. 図解でわかるサーバのすべて. 第8刷. 日本実業出版社, 1998
 - 7) National Electrical Manufacturers Association. Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM) VIII. Network Communication Support for Message Exchange. Rosslyn Va : National Electrical Manufacturers Association, 1998 ; 8-9
 - 8) ACR standards for teleradiology. RES. 26. Reston, USA American College of Radiology, 1997
 - 9) Joint photographic experts group (JPEG), JPEG technical specification, revision 5 (document No. JPEG8-R5 or JTCl/SC2/WG8N933). ISO Central Secretariat, 1990
 - 10) Antonini M, Barlaud M, Mathieu P, et al. : Image coding using wavelet transform. IEEE Trans Image Proc 1992 ; 1 : 205-220
 - 11) Ho BKT, Tseng V, Ma M, et al. : A mathematical model to quantify JPEG block artifact. Proc SPIE 1993 ; 269-274
 - 12) Horii SC. Modality Interfacing through DICOM. RSNA Categorical course in Electronic Radiology, 1999 : 51-58
 - 13) Orfali R, Harkey D : Client/server programming with Java and CORBA. New York, USA : Willey, 1997

Technical and Clinical Aspects of Teleradiology

YASUO SASAKI

*Department of Radiology, Iwate Prefectural Central Hospital
1-4-1 Ueda, Morioka, Iwate 020-0600*

Teleradiology is a transmission of digital images between institutions for primary readings or second opinion. Basic technical concepts of the teleradiology consists with a data acquisition, a data compression, and a data transportation to display digital images on the CRT monitor in the remote site. TCP/IP and DICOM are most basic concepts for explaining how digital images are transported and are able to depict on the CRT monitor without degrading image file data between two computers. Web technology is believed to be played an important role in teleradiology system in near future. These basic technical knowledge helps us to build up teleradiology system which must be constructed under the way of user oriented. Getting clinical information, other than image data, to making diagnostic report in the remote site are very crucial in teleradiology, as well. Though, the network environment of the teleradiology is not sufficient so far, we should press ourselves to understand teleradiology issues in terms of implementation and management of the systems to prepare coming medical network era.