

# ETS-VIIIを利用した災害医療支援のための立体画像伝送の研究

## A Transmission of 3D Images Using Tel-Radiology via the ETS-VIII in the Disaster

高野 邦彦<sup>1)</sup>, 若林 良二<sup>1)</sup>, 八木 一夫<sup>2)</sup>, 小野寺 聡之<sup>2)</sup>, 仲田佳広<sup>2)</sup>, 高木 亮<sup>2)</sup>,  
高橋 義典<sup>1)</sup>, 武藤 憲司<sup>3)</sup>, 浅井 紀久夫<sup>4)</sup>, 法橋 誠<sup>5)</sup>, 鈴木 弘<sup>1)</sup>, 佐藤 甲癸<sup>6)</sup>

Kunihiko Takano<sup>1)</sup>, Ryoji Wakabayashi<sup>1)</sup>, Kazuo YAGI<sup>2)</sup>, Toshiyuki Onodera<sup>2)</sup>,  
Yoshihiro Nakata<sup>2)</sup>, Ryo Takagi<sup>2)</sup>, Yoshinori Takahashi<sup>1)</sup>, Kenji Muto<sup>3)</sup>, Kikuo Asai<sup>4)</sup>,  
Makoto Hohashi<sup>5)</sup>, Hiroshi Suzuki<sup>1)</sup> and Koki Sato<sup>6)</sup>

Abstract : It is pointed out that a lot of people are dead or injured, and the functions of the infrastructure are lost such as the cellular phone, the gas, water service, electricity, and roads, when the communication network system on the ground is broken down by wide-scale disaster. In order to overcome such inconvenient conditions, the construction of Tel-Radiology system not depending on the situations of the ground should be established rapidly. In addition, if 3D image technology is applied for Tel-Radiology, it may lead to the contribution of the triage to the efficiently improved operations in several areas. In this paper, we studied the capability of 3D image technology applying to Tel-Radiology. As a result of sufficient investment of bit stream data transmission of stereo 3D moving pictures employed the ETS-VIII satellite, it is found that the proposed system function well in the experiment assuming a telemedicine.

Keywords : Satellite communication, Tel-Radiology system in the disaster, Triage, Engineering Test Satellite, The ETS-VIII, Transmission of 3D images

### 1. まえがき

大規模な地震や洪水、津波など、自然災害が発生した際には、被災地の被害状況を迅速かつ正確に把握し、負傷者の救命・救護を行うことが要求される。しかし、多くの負傷者が発生した緊急性が重要となる災害医療現場では、人材・資源の制約が著しくなり、現場が大混乱することが考えられる。少しでも多くの人命を救助するためには、多数の傷病者を重症度と緊急性によって分別し、治療の優先度を判別するトリアージが必要になる[1-5]。1995年1月17日に起きた阪神大震災[1]、2005年4月25日にJR福知山線の尼崎駅付近で起きた列車事故[2,3]の際にも、トリアージ選別による方法が採用されており、その有効性が重要視されている。トリアージは最大効率を得るために、一般に直接治療に関与しない専任の医療従事者が行うとされており、可能な限り何回も繰り返して行うことが奨励されている[6]。通常、トリアージは現地で直接行われているが、自然災害による医療現場では人材・資源の制約に加えて、地上の通信回線や道路などのインフラも麻痺することが多く、現場への十分な医療スタッフ派遣が不可能になることが懸念される。このような状況下では災害状況に応じて柔軟に対応できる通信手段を利用して遠隔地でトリアージを行う方法が有効である。

一方、災害時に仮設されるであろう非常用の専用回線や公共回線はその使用目的から行政への優先順位が高く、医療に対する利用が確保されているわけではない。また、医療情報には患者情報の保護やプライバシーの観点からの制約があり、現状の遠隔画像診断システムを災害用に流用することは適切ではないと考えられる。そこで、専用の衛星回線を介した遠隔医療の技術を利用すれば、全国に点在する多くの医療施設から負傷者の選別への協力が得られることになり、現場の医療スタッフ不足によるトリアージの遅延の問題を解消できると考えられる。このことは、衛星回線を介してトリアージを全国に分散処理できる可能性を示しており、現場の混乱が少しでも解消できれば、トリアージミスも最小限に食い止められ、より多くの負傷者を救出することが可能になると期待される。

さらに衛星通信の同報性を活かせば、多地域、多地方（島しょも含めて）に対して柔軟に運用可能になり、これにより、限られた医療人員体制でも効果的に災害現場の後方支援をすることにつながると考えられる。加えて、地域間の医療格差の是正にも非常に有用となり、安心して日本国民が暮らせる環境を提供するための基盤技術にもなり得るものと期待される。

以上のような考えに基づき、筆者らは首都大学東京大学

1)東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科 2)首都大学東京大学院人間健康科学研究科放射線科学域 3)芝浦工業大学  
4)放送大学 5)日本電波産業会 6)湘南工科大学

院人間健康科学科放射線科学域と共同で「技術試験衛星きく8号(ETS-VIII)の回線を利用した医療情報送受信解析とその評価及び遠隔医療教育に関する研究」に参加し、表1に示す実験を行ってきた[7-11].

表1 ETS-VIIIを利用した遠隔医療実験

実験日	伝送拠点
2008年 8月 18~19日	首都大学東京(荒川) 日本医科大学千葉北総病院
2009年 3月 18~19日	首都大学東京(荒川) 都立産技高専(荒川)
2009年 8月 4~5日	中京大学 JAXA筑波宇宙センター
2010年 3月 16~17日	JAXA筑波宇宙センター ※衛星折返し実験

本論文では、回線容量が制限された条件下で、遠隔トリアージを行う場合に立体画像の利用可能性について確認することを目的としている。回線容量を節約する意味では、1チャンネル分の画像用帯域で立体情報を扱える方法が効果的であると考えられることからETS-VIIIを介して、アナグリフ方式[12,13]によるステレオ動画をストリーミング配信する災害医療支援システムを提案し、その可能性を検討した。

## 2. 災害時の遠隔医療のための立体画像伝送

### 2.1 立体画像を利用する意味付け

緊急性を有する被災地ではインフラの壊滅や医療スタッフなどのリソース不足による大混乱が予想される。

遠隔地から通信回線を用いて災害時の医療支援を行う場合、被災地から全国の医療拠点には、衛星回線により医療データ(The Digital Imaging and Communications in Medicine: DICOM など)を医療拠点に伝送し、遠隔地での医療スタッフに判断を仰ぐことになる。その際に膨大な容量をもつ"医療用データ"を複数の負傷者数分、同時に伝送すると衛星回線に大きな負担がかかる。そこで、図1に示すように、まず大まかな情報を立体画像で伝送しておく。その上で、ETS-VIIIに接続した全国の医療スタッフが詳細な情報を必要とする場合にのみ、データサイズの大きな"医療用データ"を伝送する方法をとれば、医療用データのための補助的な伝送システムとして機能すると考えられる。

これにより、被災者の骨折状況などの大まかな状態を立体画像から視覚的に把握することができれば、トリアージ処理の迅速化につながると期待できる。

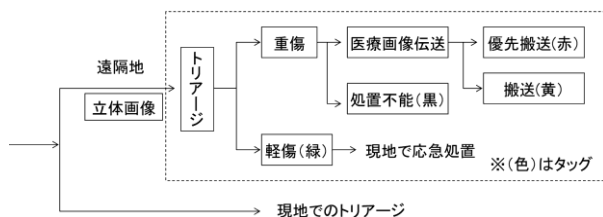


図1 トリアージにおける立体画像の役割

## 2.2 ETS-VIII利用の衛星実験の概要

### 2.2.1 ETS-VIII衛星の概要[8,14]

当実験の衛星通信媒体として使用したETS-VIIIはJapan Aerospace Exploration Agency(以下、JAXA)が開発した8機目の技術試験衛星で、平成18年12月18日に種子島宇宙センターからH-IIAロケットにより打ち上げられた。テニスコート大(19m×17m)の大型展開アンテナを2基装備している。展開時には全長40m、全幅40mにもなる大型の太陽電池パネル、大型展開アンテナを有しており、これにより表2に示す仕様の小型携帯端末による移動通信が可能である。大型静止衛星バス技術を持続した日本初の3トン級の静止衛星である。ETS-VIIIでは小型携帯端末の使用が可能なることから、大規模都市災害時における重要な通信手段としても期待が高い。ETS-VIIIを利用した地球局としての本衛星実験装置の外観写真の一例を図2,3に示す。

表2 ポータブル端末の仕様

周波数	S帯:2.6 GHz帯(送信), 2.5 GHz帯(受信)
偏波	送受信とも左旋偏波
EIRP	20.53 dBW(内蔵アンテナ使用時)
伝送レート	512 kbps(内蔵アンテナ使用時) 768 kbps(75cmΦ折畳式外部アンテナ使用時) 1.5 Mbps(120cmΦ外部アンテナ使用時)
G/T	-10.9dB(内蔵アンテナ使用時)
変調方式	π/4シフト QPSK
誤り訂正方式	畳み込み符号ビタビ符号
外部インタフェース	140 MHz IF入力(搭載変換機実験) アンテナ端子(外部アンテナ用) LNA出力(受信電力モニター用) 外部機器とはEthernetで接続
寸法重量	W374 × D285 × H125cm, 約8.2kg
電源	AC100V, またはDC12V駆動



図2 ETS-VIIIのための地球局システム(内蔵アンテナ、折畳式アンテナ使用時の一例)



図3 ETS-VIIIのための地球局システム  
(JAXA 折り返し実験の様子)

### 2.2.2 ETS-VIII 利用の立体画像伝送システム

本実験で構築した画像伝送システムを図4に示す。図4において JAXA 側1は医療拠点、JAXA 側2は被災地を想定している。また、伝送に用いたステレオ画像の一例を図5に示した。

ここでは、実際の遠隔医療時には汎用アプリケーションを用いて伝送したステレオ画像を見ながら NetMeeting を用いて会話することを考慮し双方向によるステレオ動画の伝送実験を JAXA つくば宇宙センターと ETS-VIII との間での折り返し条件により、次の手順で行った。

(1)ステレオカメラにより、試験用ステレオ画像を取得した。試験用ステレオ動画の被写体には、物体の立体感の確認がしやすいという理由から"人工衛星模型"を用いている。本論文では、衛星回線経由のステレオ動画伝送が遠隔医療へ適用可能かを調べるのが目的であるため、医療用画像は用いていない。なお、滑らかな動画再生、解像度低下防止の意味で画素数は 720 × 480 構成、フレームレートは 30 フレーム/秒に固定した[15]。また、衛星通信時に問題となるデータ遅延対策として、JAXA の ETS-VIII 通信用システム内に装備されている SkyX[16]を使用した。

(2)あらかじめ図5(c)に示すような、MPEG4 でエンコードした(1)のステレオ動画データを図4の JAXA 側1の PC に保存する。MPEG4 は、高周波帯域の劣化が少ない特徴を持ち[17]、ホログラフィ動画[18]に対しても有効性が報告されている。エンコードレートは 64k, 96k, 112k, 128k, 160k, 192kbps の6種類とし、音声情報は付加せず、帯域をすべてステレオ画像へ割り当てている。

(3)送信用 PC から図4内の JAXA 側2の受信用 PC に、Transmission Control Protocol (TCP) を用いてステレオ動画を ETS-VIII を経由してストリーミング再生した。送・受信の伝送レートは双方向で 768kbps, 384kbps の2種類とした。

(4)ストリーミングしたステレオ動画は赤・青の立体メガネを利用して、その立体感と動画の滑らかさについて観察を行った。

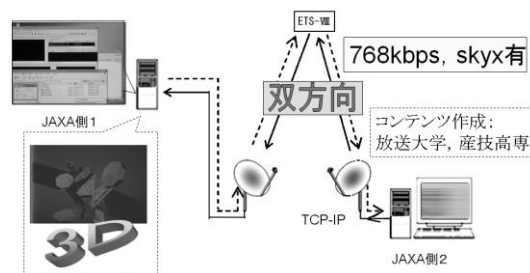


図4 ETS-VIII を利用した立体像伝送システム

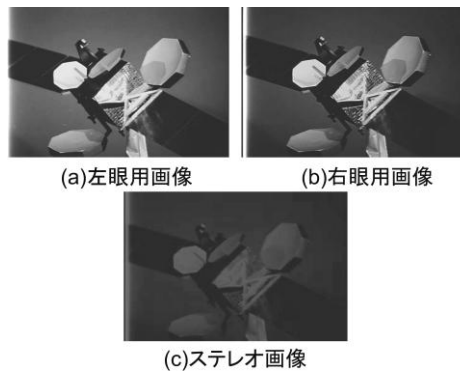


図5 評価用画像

## 3. 結果

### 3.1 伝送可能な通信回線の条件と静止画像伝送実験

まず最初に、本実験に必要な通信回線 C/N 値を受信機の減衰器の減衰量を変化させて確認した結果を表3に示す。表3からわかるように、C/N 値が 6.8 dB までは通信が可能であり、伝送時間にも大きな変化はなかった。

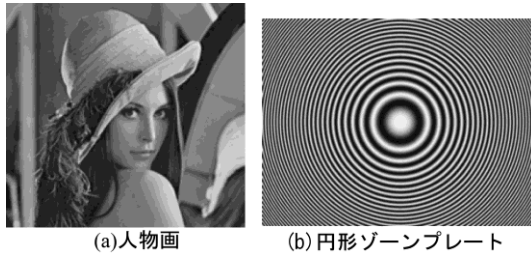
なお、C/N 値が 6.8dB 未満になった場合には衛星回線が確立できず、データ伝送そのものができなかった(降雨により C/N 値が下がった場合にも同様の影響が確認された)。

表3 通信に必要な C/N 値

C/N[dB]	通信の可否
9.0	通信可
8.3	通信可
7.7	通信可
6.8	通信可
6.8未満	通信不能

次に、表3に示した条件で通信可能な C/N 値の4種類について、図6に示す試験画像により確認した。

また、図6(a)に示す人物画は一般的な画像データを用いて正常に伝送可能かを確かめ、(b)の円形ゾーンプレートを用いて低周波成分から高周波成分にわたり劣化なく伝送可能であることを確認するための検証も行った。



(a)人物画 (b)円形ゾーンプレート

図6 評価用画像

送信前と受信後のデータをバイナリ比較した結果、完全に一致した。これより、一般的な画像データ、高周波成分を含めた画像情報をビット誤りなく伝送可能であることが確認された。

### 3.2 ステレオ動画のストリーミング伝送実験

ここでは、災害時に狭帯域条件となることを想定し、低ビットレートでエンコードしたステレオ動画を用いてストリーミング伝送実験を行った。立体再生像の立体感と伝送時間を以下の項目について評価した結果を表4に示す。伝送レートが384kbps, 768kbpsの両方の場合について、ほぼ同様の傾向が得られた。

- PSNR：ステレオ画像を構成する左右の各画像30フレームについてのPSNR値[19]の平均値である。
- 鮮明さ：図7にエンコードレートに対する画質の変化を示した。図7(b)に示すように画像にブロックノイズやモスキートノイズが多く発生した場合には立体感が低下することが確認された。そこで、ノイズの影響が無視でき、かつ十分に立体感が得られる条件を○印、鮮明さは低下するが立体感が認められる条件を△印、鮮明さが大幅に低下し立体感が得られない条件を×印とした。
- 欠落：動画のフレーム欠落が認められなかった場合を○、やや認められた場合を△印、顕著に認められた場合を×印とした。
- 動画：動画としての再生可否を示している。滑らかな動画として再生できた場合を○印、静止画やコマ送り状態になった場合を×印とした。

表4 受信した動画の状態

エンコードレート [kbps]	PSNR [dB]	鮮明さ	欠落	動画
64	25~26	×	○	○
96	25~27			
112	26~28	△		
128	27~29	○	△	×
160	28~30		×	
192	32~		×	

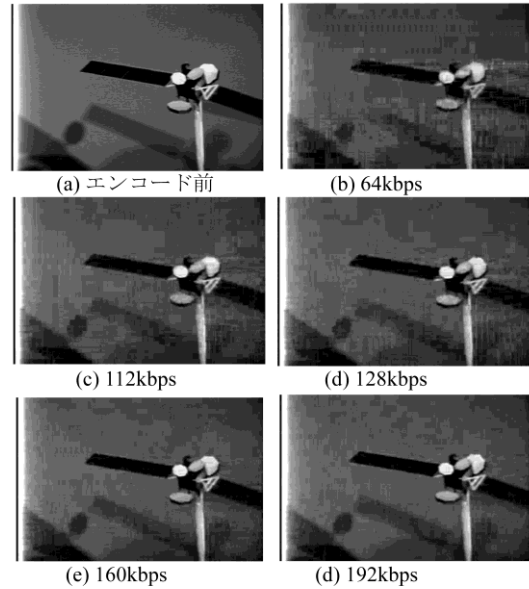


図7 動画のエンコードレートに対する各フレーム画質の変化例

表4より、112~128kbps程度でエンコードしたステレオ動画により、比較的滑らかで立体感の得られる立体情報を伝送できることがわかった。再生要求をしてから再生されるまでの所要時間は、概ね38秒程度であった。なお、伝送レートが384kbpsの場合には、動画ストリーミング時に並行してNetMeetingを行うと、エンコードレートが112kpsの場合においても動画が静止したり、コマ欠落の頻度が高くなることが顕著に確認された。伝送レートが768kbpsの場合には比較的その影響は少なかった。

### 4. 結び

立体画像を用いた遠隔トリアージの可能性を検討するため、ETS-VIIIを用いたステレオ動画のストリーミング伝送実験を行った。その結果、遠隔トリアージを想定した模擬実験において、本システムの適用限界と伝送帯域との関係が得られた。本実験では、衛星模型による評価画像により検討を行ったが、今後は医療用画像を想定した医療スタッフの協力も得てさらに実際の遠隔医療に使用するための検証を行う予定である。

本研究は首都大学東京健康福祉学部と連携した「衛星回線を利用した医療情報送受信解析とその評価及び遠隔医療教育に関する研究」の一環として行われたものである。JAXAの要貴史氏、SEDの篠崎昭彦氏・千葉秀治氏、TCCの山我時生氏・加藤善也氏には、衛星通信機器の設置、調整、実験実施支援等、多大なるご協力をいただきました。同時に、ETS-VIII利用協議会の関係各位に深謝いたします。また、ステレオ画像作成については科学研究費補助金(No. 21300318)の支援も頂きました。さらに、遠隔医療実験を行うにあたり、多大なご協力をいただきました日本医大千葉北総病院、中京大学関係者の皆さまに厚く御礼を申し上げます。

## 5. 参考文献

- [1] 宮村正光, 諸井孝文, "阪神大震災における医療機関の被害と救急医療活動に関する聞き取り調査", 地域安全学会論文報告集, 5, pp.115-122, 1995.
- [2] 鶴飼卓, 石井昇, 吉永和正,他:"JR 福知山線脱線事故に対する救急医療救護活動(日本集団災害医学会尼崎 JR 脱線事故特別調査委員会報告書抜粋)", 日本集団災害医学会誌, 12, 1, 27, pp.1-11, 2007.
- [3] 丸川征四郎, 久保山一敏, "JR 福知山線列車事故における医療対応経験からの提言", 日本外科学会雑誌,109(臨時増刊 2), pp.63, 2008.
- [4] 園田章人, 井上創造, 岡賢一郎, 藤崎伸一郎, "RFID を利用した救急トリアージシステムの実証実験", 情報処理学会論文誌 48 2, pp.802-810, 2007.
- [5] 森村尚登, 福澤邦康, 軽部義久, 内田敬二, 山本俊郎, 安瀬正紀, 杉山貢, "外傷症例のアンダートリアージが治療経過・短期機能豫後に及ぼす影響の検討", 日本救急医学会雑誌, 12, 7, pp.350-359, 2001.
- [6] 古賀佑彦, 石垣武男, 深津恵理子, 村瀬詠子, 宮司順, "遠隔画像診断の現状と求められる技術および施策", 医中誌, 25, 1, pp.3-6, 2007.
- [7] 八木一夫, 小野寺聡之, 仲田佳広, 高木亮, 石川裕也, 楠野敬太, 若林良二, 高野邦彦, 川村義彦, 岡田進, "ETS-VIII 衛星を利用した遠隔災害医療を想定した画像通信と遠隔診断のシステム構築", 第 28 回 日本医用画像工学会大会 OP6-09, pp.1-12, 2009.
- [8] 八木一夫, 小野寺聡之, 仲田佳広, 高木亮, 若林良二, 高野邦彦, 法橋誠, 武藤憲司,"衛星通信を利用した災害遠隔医療の可能性を探る", 日本医用画像工学会大会, デモセッション, 2009.
- [9] 日比野亮, 若林良二, 滝沢圭祐, 田中暁, 高野邦彦, 八木一夫, 小野寺聡之, 高木亮, 仲田佳広, 川村義彦, 岡田進, 法橋誠, "ETS-VIII を用いた災害医療支援遠隔映像取得システムの基礎実験", 第 28 回数理学講演会講演論文集, pp73-74, 2009.
- [10] 高野邦彦, 若林良二, 八木一夫, 滝沢圭祐, 日比野亮, 小野寺聡之, 高木亮, 仲田佳広, 川村義彦, 岡田進, 法橋誠, "災害時のための ETS-VIII を利用した立体画像の伝送に関する検討", 第 28 回数理学講演会講演論文集, pp75-76, 2009.
- [11] 高野邦彦, 若林良二, 高橋義典, 浅井紀久夫, 八木一夫, 小野寺聡之, 高木亮, 仲田佳広, 法橋誠, 武藤憲司, "ETS-VIII を利用した災害医療支援ステレオ画像伝送の一検討", 信総大 2010 講予, B-3-28, pp.341. 2010.
- [12] 大越孝敬, 「三次元画像工学」, 産業図書, 1972.
- [13] 小堀由貴, 石川千里, 高田雅美, 城和貴, "アナグリフ動画ライブストリーミング配信の実現", 情報処理学会研究報告, 65, pp.5-8, 2008.
- [14] 浜本直和, 吉本繁壽, 今江理人, "技術試験衛星 8 型 (ETS-8)計画の概要", 情報通信研究機構英文論文集, 50, 3-4, pp.3-11, 2004.
- [15] 田中利恵, 真田茂, 鈴木正行, 松井武司, 魚山義則, "新しいスクリーニング胸部 X 線撮影法による肺紋理の移動解析および肺野内局所の濃度解析", 日本放射線技術学会雑誌, 58, 11, pp.1489-1496.
- [16] "ネットワーク遅延による性能劣化を改善する「SkyX」", COMPUTER & NETWORK LAN, MARCH, 2005
- [17] 半谷精一郎, 杉山賢二, 「JPEG・MPEG 完全理解」, コロナ社, 2006.
- [18] 高野邦彦, 野口幹容, 甲谷佑太, 宝地戸俊介, 藍天, 佐藤甲癸, 武藤憲司, "動画ホログラムの無線伝送に関する基礎検討", 画像電子学会誌, 37, 5, pp.645-650, 2008.
- [19] A.N. Netravali and B.GHaskell, "Digital Pictures: Representation, Compression, and Standards (2nd Ed.)", Plenum Press, NY., 1995.