

《原 著》

通信衛星を用いた医学画像通信の検討

——骨シンチグラムをモデルとして——

鈴木 英樹* 遠藤 啓吾* 井上登美夫* 嶋本 薫**

要旨 通信衛星は地上回線による通信と比較して、広域性、同報性、大容量、耐災害性などの特徴があり、主に画像伝送、データ転送を主流にし、その利用が本格化している。われわれは赤道上空 36,000 km にあるデジタル静止通信衛星 JCSAT 1 号の狭帯域回線 (64 kbps) を利用し、ビデオ信号による静止医療画像 (骨シンチグラム) の衛星経由の画像、地上シャウカステンの画像とで各々診断、評価し、結果を Rating 法にて ROC 解析した。その結果、ROC 曲線に囲まれる部分を算出する面積法による定量化では衛星経由では 91.6% (標準誤差 2.6%)、地上シャウカステンでは 93.2% (標準誤差 2.4%) と、両者の間に有意差はみられなかった。

ビデオ信号を用いた狭帯域の通信衛星回線でも、ほぼ確実に病巣はとらえられていた。シンチグラムのみならず、X 線 CT や MRI などの送信も可能であり、非常時の支援に利用できるほか、遠隔医療やテレビカンファレンスなどへの利用・応用が期待できる。

(核医学 32: 1073-1078, 1995)

I. 緒 言

平成元年にわが国初の民間衛星が打ち上げられて以来、通信衛星の利用が本格化し、衛星放送なども、もはや特殊なメディアとはいえず、一般の家庭にも普及している。衛星通信は地上回線による通信と比較して、広域性、同報性、大容量、耐災害性などの特徴があり、主に画像伝送、データ転送を主流にしている。しかしながら、衛星の宇宙への打ち上げや保持に多額の費用のかかること、トランスポンダと呼ばれる中継器が有限個であるため、回線数が制限されること、高画質のハ

イビジョン回線のような広帯域回線を使用した場合、その回線維持費が莫大で、一般的な医学利用にはなじまないという欠点がある。衛星による遠隔医療を実現するには、いかに最良の画質を使用し、しかも低コストでという相反する要求を満たさなければならない。これらの解決策として、転送速度が 1 Mbps (bit per second) 以下の比較的狭い帯域のデジタル回線の利用が考えられる。

われわれは赤道上空 36,000 km に位置する静止衛星の狭帯域回線を使用し医療画像の遠隔地医療診断の可能性について、骨シンチグラムをモデルとして検討した。

II. 対象および方法

地球局である VSAT (Very Small Aperture Terminal: NEC, 東京) システムを群馬県前橋市 (以下 A 市) にある群馬大学医学部核医学教室研究棟屋上約 25 m 高に設置し、同様のシステムをも

* 群馬大学医学部核医学教室

** 群馬大学工学部情報工学科

受付: 7 年 6 月 6 日

最終稿受付: 7 年 7 月 19 日

別刷請求先: 群馬県前橋市昭和町 3-39-22 (☎ 371)

群馬大学医学部核医学教室

鈴木 英 樹

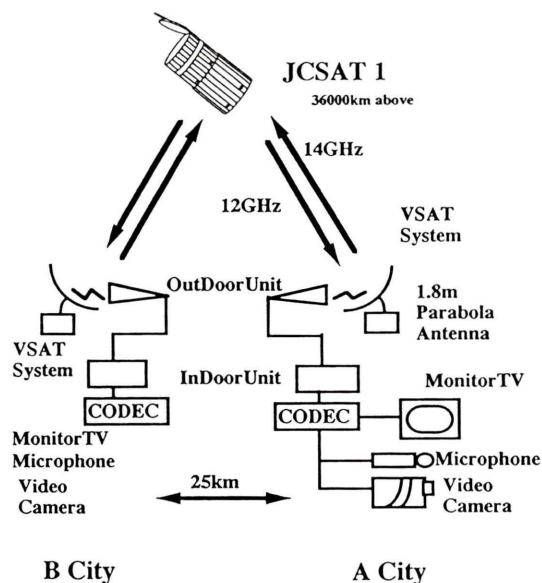


Fig. 1 Schema of satellite communication.

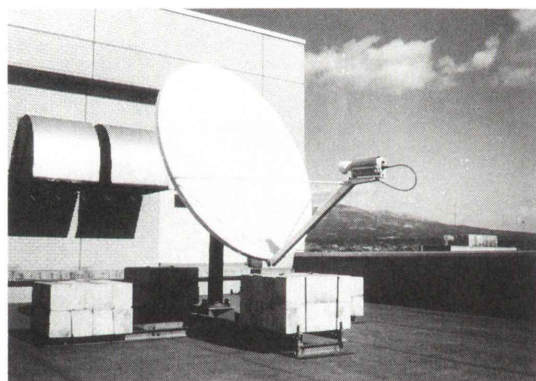


Fig. 2 Parabola antenna on the top of our department. (1.8 m in diameter)

ち、東へ約 25 km 離れた群馬県桐生市 (以下 B 市) の群馬大学工学部情報工学科との間で、赤道上空 36,000 km に静止しているデジタル静止衛星 JCSAT 1 号 (Ku 帯デジタル静止衛星, 上り周波数 14 GHz/下り周波数 12 GHz, 回線速度: 64 kbps, 日本サテライトシステムズ, 東京) を通じて画像通信実験を行った。VSAT システムは直径約 1.8 m のオフセット型パラボラアンテナおよび屋外装

Table 1 Specification of VSAT. Its maximum output power is only 3 watts

<Antenna>	
Antenna	Offset. Parabola
Frequency	Transmitter: 14.0–14.5 GHz Receiver: 12.25–12.75 GHz
Polarization	Vertical and Horizontal
Gain	Transmitter: more than 46.2 dB (14.45 GHz) Receiver: more than 45.4 dB (12.5 GHz)
Effective diameter of reflector	1.8 m
<ODU: Out-Door Unit>	
(Transmitter)	
Input frequency	1.3–1.8 GHz
Output frequency	14–14.5 GHz
Input power	5–40 dBm
Maximum output power	3 W (saturation)
(Receiver)	
Input frequency	12.25–12.75 GHz
Output frequency	0.5–1.0 GHz
Gain	53 dB (normal)
<IDU: In-Door Unit>	
Transmission frequency	1.3–1.8 GHz
Receive frequency	0.502–1.002 GHz
Modulation	QPSK, 128 bauds
Symbol rate	64 kbps
User interface	V.35

置 (Out Door Unit: 以下 ODU), 屋内装置 (In Door Unit: 以下 IDU) からなっており (Fig. 1), これら無線設備は郵政省より実験局として正式に免許を受けた。B 市側からシャウカステン上のシンチグラム画像をハンディビデオカメラ (CCD-TR850, SONY, 東京) で撮像し, ビデオ信号 (NTSC; National Television System Committee 方式, 日本や米国で採用) へ変換後, 画像圧縮変換装置 CODEC (Picturetel Corporation, 米国) でデジタル圧縮変換後, IDU から ODU へ送られ周波数変換され, 衛星に向けて送信された。信号は A 市側で受信され, ODU, IDU を経て同様に CODEC で圧縮を展開後, 再度ビデオ信号に戻され, ビデオ信号入力端子を持ったモニター (TH-27AS1; Panasonic, 大阪) に出力された (Fig. 2, 3)。CODEC を通すと, ビデオ信号が 256×240 ピクセル, 毎秒 7.5 フレーム, 色彩情報は 1/4 に圧縮 (Hierarchical Vector

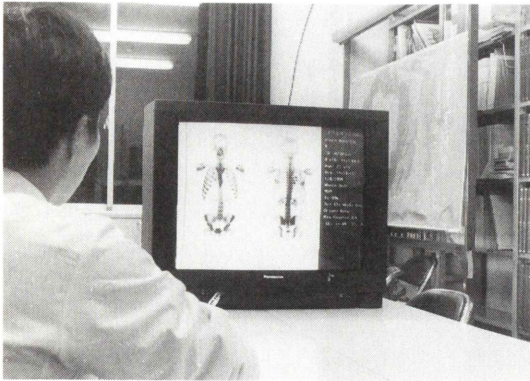


Fig. 3 Clear bone scintigram via satellite on the monitor.

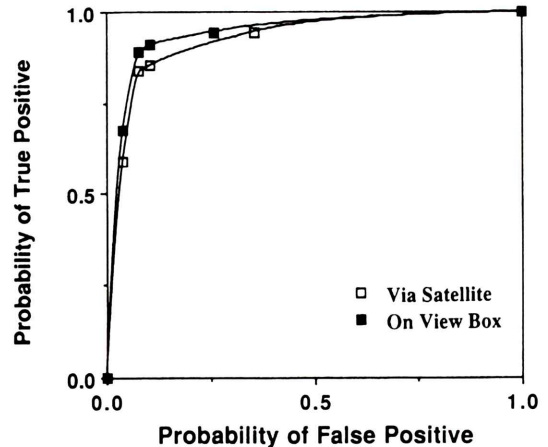


Fig. 4 ROC curve.

Table 2 Result of ROC

< Via Satellite >

Ratings	Definitely Normal Status 1	Probably Normal Status 2	Questionable Status 3	Probably Abnormal Status 4	Definitely Abnormal Status 5	Total
Normal Bone Scan	33	14	1	5	3	56
Abnormal Bone Scan	4	4	3	26	67	104
Total	37	18	4	31	70	160

< On View Box >

Ratings	Definitely Normal Status 1	Probably Normal Status 2	Questionable Status 3	Probably Abnormal Status 4	Definitely Abnormal Status 5	Total
Normal Bone Scan	38	12	1	2	3	56
Abnormal Bone Scan	4	4	3	17	76	104
Total	42	16	4	19	79	160

Quantization 方式) された。

これらの画像を A 市側で、新人からベテランまでの 8 人の医師 (平均経験年数 8 年) で画像を評価し、異常集積像の有無を評価した。対象とした骨シンチグラムは 20 症例で、13 例が異常集積像 (10 例が骨転移、3 例が高度脊椎症) であり、7 症例が異常集積のない正常の骨シンチグラムであった。骨シンチグラムはすべて対向型 2 検出器の PRISM 2000 (Picker, 米国) により撮影され、大きさは 1024×512 ピクセルで、通常の診断に使われ

ているのと同様に大陸サイズのフィルムに出力された。

これらの骨シンチグラムを衛星経由の画像で評価の後、B 市から A 市にフィルムを持ち帰り、核医学研究棟のシャウカステン上にて同様の評価を再度施行した。

画像評価の方法は各々の画像について以下の 5 段階で評価 (Rating: Status 5: Definitely abnormal bone scan. Status 4: Probably abnormal bone scan. Status 3: Questionable. Status 2: Probably normal

bone scan. Status 1: Definitely normal bone scan.) し、読影実験に参加しなかった熟練医師の評価を Gold Standard として ROC (Receiver Operating Characteristic) 解析を施行し、それを元に ROC 曲線を得た。

これらを Hanley らが考案した、ROC 曲線の下に囲まれた面積を求め、定量化する方法 (面積法) を用いて衛星経由で得られた診断結果と地上シャウカステンでの診断結果とを定量化し、両者の間の有意差の有無を比較検討した^{2,3)}。

III. 結 果

通信衛星により送られた骨シンチグラムは明瞭で診断に耐えられるものであった (Fig. 3)。8 人の診断により得られた ROC 評価を行い (Table 2)、ROC 曲線 (Fig. 4) を得て、これより ROC 曲線に囲まれた面積を算出すると、衛星経由の骨シンチグラム画像の面積は 91.6% (標準誤差 2.6%)、地上シャウカステンで診断した骨シンチグラム画像では 93.2% (標準誤差 2.4%) であり、衛星経由の画像のほうが、若干検出能が劣るが、両者の間には有意差が見られなかった (相関係数 $r=0.752$, test static: $z=0.944$, $p=0.345$)。

IV. 考 察

静止画像である骨シンチグラムでは、今回の検討でも病変の有無については、ほぼ的確にとらえられており、シンチグラムの衛星の狭帯域回線を使用した遠隔地での画像診断は、十分使用可能と思われた。しかし超音波像など情報量の大きな動画像、カラー画像では、さらなる評価・検討が必要である。

現在でも地上有線回線は、64 kbps までは、ISDN (Integrated Services Digital Network) で利用可能であるが⁴⁾、それ以上の回線速度を必要とすると、高額なケーブルの敷設料や回線利用料がかかり、まだ一般的に普及しているとはいえない。マイクロウェーブを利用した Local Area Network の報告もある⁵⁾が、光に近い性質を持ち、直線性に富むマイクロウェーブでは、その利用地域は局限

してしまうという欠点がある。

これに対し、衛星通信、ことに静止衛星は赤道上空約 36,000 km を地球の自転と同じ速度で周回し、地球上から見ると見かけ上、「静止」して見えるため、低軌道の周回衛星に特有のドップラーシフトなどの補正あるいは複雑な追尾設備が不要である。今回われわれが使用した VSAT システムではパラボラアンテナを固定して 24 時間の任意の時間に使用できること、広いサービスエリアが確保でき、多くの地域に同じ情報を確実に伝送でき、かつデジタル回線のため機密性が高いという特徴を持っている。衛星通信は、有線回線を設置するのが困難な山間部、離島あるいは、紛争地⁶⁾あるいは阪神大震災⁷⁾のような、大規模な災害により通信手段の遮断された被災地であっても、十分な発電装置があり、衛星の位置に障害物がなければ通信手段を確保できるという耐災害性という利点がある。これまでの静止画の評価の多くは、撮影装置から直接データを転送し、画質評価を行ったものが多かったが、緊急災害時には、撮影機器や院内のネットワークも少なからず障害をうけ、かわりにハンディビデオカメラのような携帯性に富んだ機動力のある装置が、患者のおかれている状況や画像の撮影等の救急医療に役立つと推定されるので、ビデオ信号をベースにした画像評価も重要と思われる。また緊急時に報道用等の高画質広帯域回線が医療用に解放された場合には、狭帯域の回線を多数保持することができ、より多くの医療施設や避難所で医療画像の転送、後方支援、安否情報の提供などに利用することが可能である。

衛星経由の画像では、シャウカステンの画像による評価よりも「Probably normal/abnormal bone scan」という評価の比率が上昇したが、これはシャウカステン上の診断が、テレビモニター上の画像診断よりも慣れていること、衛星経由の画像をビデオ信号にてモニターに出力した点によるものと思われる。衛星経由画像受信用モニターが高画質で、かつ拡大等が自由にできるもので読影を重ねれば、今後はより好成績につながると考えられ

る。衛星回線が 64 kbps と狭帯域であるにもかかわらず、赤道上空に静止しているという距離的問題から、地球局—衛星—地球局を結ぶと約 0.25 秒の遅延が生じ、CODEC での画像処理を含めると、画像が画面上で静止するのに 1 秒程度の時間を要するなど改善すべき問題もある。もちろん核医学画像のみならず、X 線 CT や MRI などの放射線診断画像の転送も可能である。さらに平常時には、今後の発展、普及によっては、遠隔地医療への応用はもちろんのこと、テレビカンファレンス、関連病院から基幹病院への患者情報照会、病院情報システムや PACS (Picture Archiving & Communicating System) などと接続した画像閲覧などにも応用できるほか^{8,9)}、法律の整備により、対アジアなどの広域医療協力に応用されていくものと期待される。

V. 結 語

1) デジタル静止通信衛星 JCSAT 1 号の狭帯域回線 (64 kbps) を利用し、ビデオ信号による静止医療画像 (骨シンチグラム) の衛星経由の画像、地上シャウカステンの画像とで各々診断、評価し、結果を Rating 法にて ROC 解析した。

2) Hanley らによる、ROC 曲線に囲まれる部分を算出する面積法による定量化では衛星経由では 92.0% (標準誤差 2.4%)、地上シャウカステンでは 93.7% (標準誤差 2.2%) であり、両者の間には有意差が見られなかった。

3) ビデオ信号を用いた狭帯域の通信衛星回線でも、ほぼ確実に病巣はとらえられており、医療へ利用・応用が期待できる。

謝辞：衛星通信実験に協力いただいた群馬大学工学部大学院生芝宏礼君、デジタル衛星通信の大学間高度共同利用研究協議会 (UnSAT) および株式会社日本サテライトシステムズ、ROC 解析にご協力いただいた日本放射線総合医学研究所、松本徹先生、福久健二郎先生に感謝いたします。

文 献

- 1) 永井 裕：衛星通信，東京，電気書院，1991
- 2) Hanley JA, McNeil BJ: The Meaning and Use of the Area under a Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve. *Radiology* **143**: 29-36, 1982
- 3) Mets CE: ROC Methodology in Radiologic Imaging. *Invest Radiol* **21**: 720-733, 1986
- 4) 井上武宏，北川一美，金 東石，山崎秀哉，松下正樹，大井博道，他：64 kbps-ISDN と mini-PACS を用いた画像転送について。日本医放会誌 **52**: 411-413, 1992
- 5) 滝沢正臣，曾根脩輔，春日敏夫，小口和浩，近藤昭治，不破 泰，他：マイクロ波情報ネットワークによる放射線画像の伝送。日本医放会誌 **54**: 1165-1171, 1994
- 6) 阪神大震災全記録，東京，毎日新聞社，1995
- 7) Cawthon MA, Goerringer F, Telepak RJ, Burton BS, Pupa SH, Willis CE, et al: Preliminary assessment of computed tomography and satellite teleradiography from Operation Desert Storm. *Invest Radiol* **26**: 854-857, 1991
- 8) Hatsuda T: Considerations for Cost-minimized Hokkaido Integrated Telecommunication Network and its Application to Medical Information Transmission for Remote Areas, Proc. of the 2nd international Conference on Communication Systems '90 (ICCS '90), 10.7. pp. 636-640, 1990
- 9) 鈴木英樹，小山佳成，福岡邦昭，井上登美夫，大竹英則，羽鳥 昇，他：病院情報システムに接続した PACS およびレポーティングシステムの構築——核医学画像を例にして——。日本医放会誌 **55**, 6 (5): 1995

Summary

Medical Image Transmission via Communication Satellite: Evaluation of Bone Scintigraphy

Hideki SUZUKI*, Tomio INOUE*, Keigo ENDO*
and Shigeru SHIMAMOTO**

**Department of Nuclear Medicine & Diagnostic Radiology, School of Medicine, Gunma University*

***Department of Computer Science, Faculty of Technology, Gunma University*

As compared with terrestrial circuits, the communication satellite possesses superior characteristics such as wide area coverage, broadcasting, high capacity, and robustness to disasters. Utilizing the narrow band channel (64 kbps) of the geostationary satellite JCSAT1 located at the altitude of 36,000 km above the equator, the authors investigated satellite-relayed medical imagings by video signals, with bone scintigraphy as a model. Each bone scintigraphy was taken by a handy-video camera, digitalized and transmitted from faculty of technology located at 25 kilometers apart from our department. Clear bone scintigraphy was obtained via satellite, as seen on the

view box. Eight nuclear physicians evaluated 20 cases of bone scintigraphy. ROC (Receiver Operating Characteristic) analysis was performed between the scintigraphies on view box and via satellite by the rating method. The area under the ROC curve was $91.6 \pm 2.6\%$ via satellite, and $93.2 \pm 2.4\%$ on the view box and there was no significant difference between them. These results suggest that the satellite communication is very useful and effective system to send nuclear imagings to distant institutes.

Key words: Communication satellite, Image transmission, Scintigraphy, ROC.