

広域連携医療サービスのモデル化と

インマルサット衛星を用いた遠隔医療通信

Development of Global Collaboration Medical Service Model and Telemedicine Service on INMARSAT Satellite System

千葉 雅史[†] 野地 保[‡] 田中 滋樹^{†‡} 生方 香代^{†‡*} 藤田 泰裕^{†‡} 海津 徹^{†‡}
 Masafumi Chiba[†] Tamotsu Noji[‡] Shigeki Tanaka^{†‡} Kayo Ubukata^{†‡*} Yasuhiro Fujita^{†‡}
 Toru Kaizu^{†‡}

1. はじめに

大災害発生後あるいは隔離した孤立空間では居住者の安心・安全確保、とりわけ医療に関わるサポート体制の確立が大きな社会問題となってくる。広域連携医療とは一つの病院がすべての医療機能や医療情報を提供するのではなく、それぞれの医療機関の持っている特有の機能や医療機器、医療情報の共同利用など、その役割を分担して、患者情報を共通化することにより診療所や病院、医療機関あるいは保健福祉機関が連携して遠隔診療や在宅診療支援を可能とする患者サービスを広域的に提供できるネットワークシステムの一形態である[1]。しかしながら、大災害時には、甚大な被害により病院や診療所の建物や医療機器、患者情報などが破損・消失する状況も発生する。このような危機的な状況下にあっても、救急救命状態の把握と通報を目的とするクラウド患者サービス (SaaS: Software as a Patient Service) モデルが提供されつつある。患者情報の対象範囲も通院記録 (電子カルテ) 以外に、日々発生する生体情報 (バイタルサイン) を活用して健診データや救急救命情報を取り出す仕組みも研究されている[2]。さらには、遠隔診療を支援する技術として、ルクセンブルグにある Skype Communications S.A.が開発した IP 電話用無料の通信ソフトウェア Skype (スカイプ) を利用して、遠隔画像診断や障がい者支援、救急救命支援、災害時支援への活用研究がなされている[3]。

一方で、筆者らの大学では、国際総トン数 2,174 トンの海洋調査研修船「望星丸」を利用し、毎年 2 月中旬に日本を出港し、約 40 日間かけて南方の国々を歴訪しながら、国際交流と異文化理解、環境教育、外洋航海と船上生活を通じた協調性を実践的に学ぶ機会を 43 年の長きに渡って実施している。このような教育活動を実施する上で、乗船する学生や教職員の安全確保、とりわけ医療に関わるサポート体制の確立が重要である。遠洋航海の際には、医師および看護師を常に乗船させてはいるものの、乗船した医療担当者にとって専門外の傷病が発生した場合、そのサポートは電話とファクシミリに頼らざるを得なかった。すなわち、長期にわたる遠洋航海においては、船内は陸地から完全に隔離された孤立状態となり、安全管理の面から不安な空間と言える。そこで、洋上教育現場の安全確保を目指し、2006 年よりインマルサット衛星とインターネットを活用して、動画、静止画ならびに文字によるリアルタイム双方向

通信などの機能を充実させるべく遠隔医療の試みをスタートさせた [4-7]。

そこで本研究は、大災害時や在宅介護などの一人きりの所帯における閉塞した孤立空間での環境を想定し、平時におけるシミュレーション実験の機会として適している洋上で、遠隔医療システムの適用を試みるものである。すなわち、実習・研修のために乗船する学生や教職員の災害時も含む医療サービスの在り方について、海洋調査研修船「望星丸」を利用した健康管理情報通信実験結果を踏まえてインマルサット衛星を活用した遠隔医療モデルを評価、考察する。

以下、2. では広域連携医療サービスに関する提案モデルの概要、3. ではモデル実験の評価と考察、4. では本広域連携遠隔医療モデルについてまとめる。

2. 広域連携医療サービス

2.1 遠隔医療サービスの基本構成

医療経営における医療サービス (MS: Medical Service) には、病院が提供を受ける医療サービスと、提供する医療サービスの 2 つが存在する。

提供を受けるサービスには、医療業務運営に関連するサービスであり、i) 医療機器の保守点検業務 (医療法施行規則第 9 条の 12) や、ii) 医療機関に対する診療、検査、医薬品等に関する情報提供を行う医療情報サービス、iii) 地域連携医療の市場動向調査、運営に関する指導を行う医療経営コンサルタントサービス、iv) 医療事務サービスなどがある。一方、提供する医療サービスの提供先の一つは患者さんであり、我々は、患者さんに提供する、あるいは患者さんが受ける医療サービスを患者サービス (PS: Patient Service) と呼ぶ。

現代の病院は第 3 次産業、すなわちサービス業である。すなわちサービス業は、医療経営の資源 (Resource) である 4 大要素、人 (Human)、物 (Goods)、金 (Capital)、情報 (Information) で構成されている。本研究では 4 大要素を遠隔医療サービスモデルの基本構成と位置づけてモデル化を検討する。

「人」要素は医師免許を交付されている医師であり、他の 3 大要素の要に位置づけられる。本研究では、望星丸に乗船する医師と東海大学医学部付属病院 (以下、付属病院と記す。) の医師を設定した。現場 (望星丸、付属病院) には、医師以外の「人」も存在するが、ここでは医師で代表させる。「情報」要素は、医師が患者さんに提供する病気に関する詳しい説明、情報である。本実験では、インマルサット衛星通信による健康管理情報、診療情報である。

[†] 東海大学開発工学部, Dept. Mat. Chem., Tokai Univ.

[‡] 東海大学情報通信学部, Dept. Manage. Sys. Eng., Tokai Univ.

^{†‡} 東海大学総合情報センター, Info. Tech. Center, Tokai Univ.

* 現 (学) 東海大学人事部, Personal Dept., Tokai Univ. Edu. Sys.

「物」要素は望星丸の患者さんに提供する薬、検査、処置、医療機器、付属病院、望星丸などであり、望星丸と付属病院の両方に関連するその他設備も含む。「金」要素は医療費である。広域災害時には遠隔医療サービスモデルの 4 大要素の保全が課題となる。

2.2 遠隔医療サービスのモデル化と関連付け

遠隔医療サービスを病院对患者さんとの関係で捉えるのではなく、地域内の中核病院間連携も含めて捉えてモデル化する。また、在宅医療サービス、救急医療サービスとの関係を明確にする。広域連携医療 (GCM: Global Collaboration Medical) ネットワークシステムで提供される医療サービスを、院内連携医療サービス A、病診連携医療サービス B、地域連携医療サービス C、広域連携医療サービス D、の 4 階層化モデル化を図る。

設定した広域連携医療サービスの階層構造を Fig.1 に示す。Fig.1 において、院内連携医療サービス A とは、診療所内や中核病院内を対象とする比較的小規模で、ローカルなシステムを構築するための連携医療サービスである。本実験モデルにあっては船内の各居室保健担当者を充てる。次に、一般的に言うところの地域連携医療サービスとは 2 つの機能を有しており、1 つ目は病院と診療所やかかりつけ医との地域医療連携分野において、地域内の緊密な連携関係 (密結合地域連携という) にある医療サービス網で、2 つ目は密結合に比べて各医療機関間のつながりが緩やかな連携関係 (疎結合地域連携という) にある医療サービス網の機能である。本稿では、前者の密結合地域連携医療サービスを病診連携 (病院と診療所間連携の意味) 医療サービス B と、後者の疎結合地域連携医療サービスを地域連携医療サービス C と定義する。本実験モデルにあっては船内にある診察治療室ならびに病室において展開される医療従事者による医療行為などを想定している。広域連携医療サービス D とは、地域以外の医療機関あるいは保健福祉機関、行政機関などを含めた広域間の連携医療サービスであり、付属病院を含む高度医療施設設備を想定している。共通のサービスを複数のユーザーで相互に共有し、低コストで利用する場合には、クラウドアーキテクチャが最適の形態になると考えている。本稿では特に、地域連携医療サービス C と広域連携医療サービス D 間をまたがる形態での遠隔医療のモデル化実験を図る。

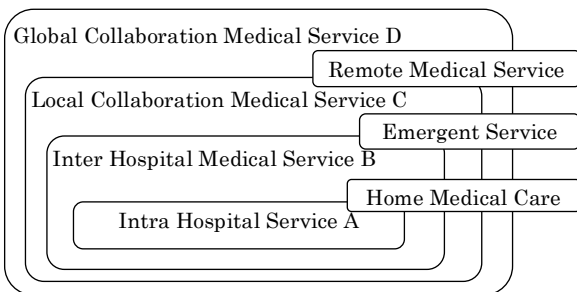


Fig. 1 広域連携医療サービスの階層構造。

3. モデル実験の評価と考察

3.1 実験環境と方法

構築した本遠隔医療モデルは、望星丸 (船上) で発生した事象に従い、健康管理情報、診療情報などの患者情報を船上の医師の所見や動画も含めてリアルタイムで付属病院にも送付する構成とした。

本モデルでは、経済的理由からリアルタイム画像ファイルで構成される 3D データベースは、既存の院内医療情報システムの DB をデータセンタとして活用する構成とした。イントラネットに接続された院内システムや、診療科、医師などは、院内から、インマルサット衛星通信または、広域医療サービスを利用して船上との情報共有を行う。緊急診療環境では、動画通信、音声通信で対応する構成とした。なお、現状では、船内に医師が常駐する形態をとっているが、将来的には遠隔医療システムだけで対応できることが望ましい。構築したモデルでは遠洋域を航行中であることから、インマルサット衛星を利用することが前提であり、評価通信端末と映像伝送機器の評価検証が必要である。以下、2006 年から実施してきた通信実験を軸にその評価結果と考察を述べる。

本実験において鍵となる要素は、通信端末と映像伝送機器である。インマルサット衛星との通信が必要なため、通信端末機器に関してはある程度限定されるものの、それ以外のパソコンやカメラなどの周辺機器については、一般的に入手可能でかつ安価で、準備容易なもので構成し、冗長性を向上させた。送受信を行う拠点の装置は、パソコンと USB 接続のカメラ、ヘッドセットなどの汎用品で構成した。一方、画像の送受信に用いるソフトウェアとハードウェアについても、各種のシステム構成で予備試験を行った [4-7]。Fig.2 に本実験を通じて構築した、インマルサット衛星を利用した広域遠隔医療モデルの概念図を示す。通信の核となるのは、インマルサット衛星と、それとの通信を行う機器である。Table 1 に実験に用いた通信端末と映像伝送装置、速度ならびに接続方式について年度を追ってまとめた。

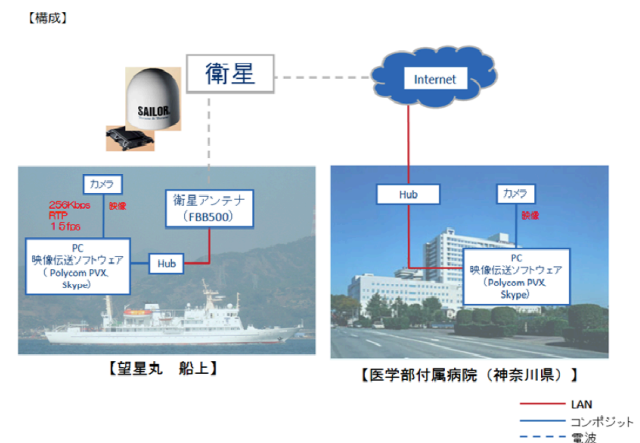


Fig.2 インマルサット衛星遠隔医療モデルの概念。

Table 1 通信端末と映像伝送機器の条件.

年度	実験地	通信端末	映像伝送機器	通信速度	接続方式
2006	父島	NERA	NetMeeting	64kbps	ISDN
2007	駿河湾	NERA	NetMeeting	64kbps	ISDN
2008	熊本三角港	F77	NetMeeting	64kbps	ISDN
2009	奄美大島	FB500	XVD Camcast	256kbps	Streaming/Packet
2009	四国沖	FB500	XVD Camcast	256kbps	Streaming
2009	釜山	FB500	Skype/Polycom PVX	256kbps	Streaming/Packet
2010	南太平洋海域	FB500	Skype	256kbps	Streaming
2011	北太平洋海域	FB500	Skype/WebEx	256kbps	Streaming/Packet

実験当初から 2007 年度にかけては NERA 社の World Communicator により 64 kbps の ISDN 回線を用いて行なった。これは、陸上用の通信端末を船内に持ち込んで洋上から通信を行う必要性があり、アンテナ保持者と実際の通信担当者がそれぞれ 1 名必要であった。2008 年度以降は通信可能な設備が望星丸に常設されたため、通信実施にあたる人員は削減でき、運用も容易となった。さらに本学が、2009 年 7 月の皆既日食のライブ教育コンテンツを全国に中継するために設備更新が図られたことから、回線速度と機器の操作性が飛躍的に向上した[8, 9]。すなわち、2008 年度以降は日本デジコムが提供する Thrane & Thrane 社の EXPLORER 700 を用いて陸上試験を行ったのち、望星丸に搭載した Thrane & Thrane 社の Fleet Broad Band 500 (FB 500)を用いて本試験を行っている。

3.2 プロトコルと通信方式

最初に、2009 年の奄美大島航海において実施した実験の結果について述べる。この実験に関する映像伝送機器には全て XVD Camcast を利用した。これは映像伝送の専用機器であり、後に示す短所も指摘されるが、専用装置であるが故の安定性に富んでおり、他のパラメータに及ぼす影響が極めて少なく、比較試験には最適であると判断した。また、伝送に用いたフレームレートは 30 で、伝送速度は 256 kbps 一定とした。Table 2 に本実験のパラメータである通信方式ならびに伝送プロトコルの比較を示す。試験 3-1 と 3-2 の比較から、使用する伝送プロトコルは RTP が優れていることがわかる。これは、TCP の特性として衛星通信のような長距離通信では ACK 処理のために十分な性能が出ないためであると思われる、途中の映像に途切れが見られ、画像伝送品質に及ぼす影響が大きいことが明らかとなった。そこで、優位な伝送プロトコルである RTP を用い、通信方式をパラメータとして試験 3-3 と比較したところ、ストリーミング通信であってもパケット通信であっても結果に差異は認められなかった。

Table 2 伝送プロトコルと通信方式の比較.

試験番号		3-1	3-2	3-3
送 映 装 像 置 伝	映像伝送速度	256 Kbps	同左	同左
	フレーム数	30	同左	同左
	伝送プロトコル	TCP	RTP	同左
通信方式	ストリーミング	同左	パケット	
結果	映像が途切れる	問題なし	問題なし	

3.3 医療情報通信機器とソフトウェア

伝送プロトコルに RTP を用いることで安定した双方向画像送受信が可能であることが明らかとなったので、次に映像伝送機器に関する検討を行った。これは、本研究の展開現場が空間的に制限のある狭い船内で、かつ遠洋における遠隔医療であることから、限られた環境と情報過疎な状況を想定する必要がある、可能な限り一般的に入手可能な汎用装置とソフトウェアを用いて構築することが重要な要件となるためである。

画像伝送の専用機器である XVD Camcast を利用した場合と、一般的な民生用パソコンに汎用ソフトである Skype をインストールした場合、また近年日本においてシスコシステムズ合同会社が運用を開始した Cisco WebEx Meeting Center を利用する場合、さらにパソコンにテレビ会議専用ソフトの Polycom PVX をインストールして画像伝送に供した場合を比較検討する。

まず、XVD Camcast は同機器同士に限って映像伝送が可能であり、伝送先を容易に変更することはできない。仮に遠隔医療を受ける側の船内に XVD Camcast を設置する空間が確保できたとしても、遠隔医療システム全体を考えた場合、緊急医療を提供する全ての医療機関側に本装置の導入を求めることはほぼ不可能であると考えられる。次に、Skype については、無償提供ソフトであり、一般ユーザーも使い慣れているものの、全通信経路において Skype での通信を許可しなければならず、NAT の設定により高度なセキュリティがかけられている付属病院側のファイアウォールを調整しなければならない。また、Polycom PVX や Cisco WebEx Meeting Center に関しては、有償であることからベンダーによる動作保証がされており、比較的安心して利用することが可能であるが、通信時に流れるデータ量が Skype に比べて多い。しかし、固定 IP アドレスで利用することで、付属病院側のネットワークセキュリティレベルを低下させることなく通信が可能である。

以上の考察をもとに、一般的に入手可能なソフトウェアを用いた通信品質の検討を次節で行った。

3.4 ソフトウェア比較

特殊な場合を除き、汎用物で品質の高い双方向画像伝送が可能であれば、導入コストが低く押さえられるので、遠隔医療システムの普及率も向上することが見込まれる。Table 3 に 2009 年の釜山航海以降に行った実験条件と評価結果を示す。前節の考察をもとにして、使用ソフトは Skype と Polycom PVX, WebEx Meeting Center に焦点を絞り、評価検討した。

まず、WebEx を用いた場合、他の 2 つと比較して大きく異なるのは、接続完了までに要する時間が長く、6 分間の通信時間のうち 5 分を費やしたことである。つまり実通信時間は 1 分間で、さらに通信内容も付属病院側からの映像が船側に 1 フレーム送信されたままフリーズし、音声は双方ともに伝送されることはなかった。本ソフトと通信アンテナ FB500 との間で詳細な最適化ができていないものと推察されるが、原因はまだ十分に明らかになっていない。従って、ストリーミング接続の評価には至っておらず未評価とした。

一方、Polycom PVX を用いた通信では、望星丸からの音量がわずかに小さくなり、聞き取りにくい部分が発生し、さ

Table 3 各ソフトウェアでの条件と評価.

利用ソフト	通信方法	パケット数/通信時間	通信料(円)	通信結果	備考
Skype	パケット接続	通信時間: 3分 パケット数: 1.6MB	2,418	◎	音声, 映像ともに良好
	ストリーミング256接続	通信時間: 3分	17,325	◎	音声, 映像ともに良好
Polycom PVX	パケット接続	通信時間: 3分 パケット数: 5.1MB	7,932	○	病院側にて船側からの音声が少し小さいと感じた
	ストリーミング256接続	通信時間: 3分	17,325	○	病院側にて船側からの音声が少し小さいと感じた
WebEX	パケット接続	通信時間: 6分 パケット数: 2.9MB	4,680	△	接続まで約5分要した. 船内側: 映像が停止し, 音声を受信できず. 病院側: 映像・音声ともに受信できず
	ストリーミング256接続	-	-	-	未評価

らに通信時間当りのパケット数が 3.19 倍必要であった. その結果, 通信費用も約 3.3 倍高額となった. 最後に, 無料ソフトの Skype は, 船上での設定の簡便さを確保しながら, システムとして耐障害性を向上可能であることが確認できた.

4. おわりに

本実験では, 大災害時や在宅介護などの一人きりの所帯における閉塞した孤立空間での環境を想定し, 平時におけるシミュレーション実験の機会として適している洋上で, 遠隔医療通信システムの可能性を検討した. また, 実習・研修のために乗船する学生や教職員の災害時も含む医療サービスの在り方について, 海洋調査研修船「望星丸」を利用した健康管理情報通信実験結果を踏まえてインマルサット衛星を活用した遠隔医療モデルを評価, 考察した.

その結果, 遠隔地の安全確保を目指し, インマルサット衛星とインターネットを活用した動画と静止画, 文字による船内と医療施設間のリアルタイム双方向通信などの機能を検証し, 狭帯域回線の環境下において, 洋上における遠隔医療を実施展開するための基盤システムを構築することに成功した. この結果をもとに, 大災害時への適用に対する詳細な評価は今後行われることを期待する. ついては, 本稿での提案モデルもその評価結果を取り入れてより具体化していきたい.

一方, 具体的な実験結果を振り返ると, パケット接続により回線を確保した上で Skype を利用することが, 本実験の環境下における最適条件であることを見出した. また, 実験当初と比較すると通信速度は 4 倍となったものの, 提供できる動画情報の精細度については劇的な向上が図れているわけではなく, 今後は通信帯域を有効に使うため, 情報転送時に通信経路を有効に使用するための情報圧縮などの冗長性を低下させない方策について検討する必要があると思われる.

謝辞

本研究の一部は, 学校法人東海大学海外研修航海ならびに本学海洋実習をはじめとする各種航海を利用して展開されたものであり, 関係各位にお礼申し上げます. また, 実験にご協力頂いた, 本学海洋調査研修船望星丸の河内尚船長はじめ乗組員一同に感謝致します.

参考文献

- [1] 広域連携医療ネットワークシステム (GCMNWS: Global Collaboration Medical Network System) 研究会 <http://www.gcmnws.jp/>
- [2] 野地 保, 荻野 正, “哀情報による救急救命在宅患者ホームクラウドの一構成法”, 電子情報通信学会 SWIM 研究会 2010, 信学技報, Vol. 110, No. 302, SWIM2010-21, pp. 27-32 (2010-11).
- [3] Juthamas Punwilai, Tamotsu Noji and Hiroyuki Kitamura, “The Design of a Voice Navigation System for the blind in Negative Feelings Environment”, IEEE ISICIT 2009, 1B-6, pp53-58 (2009).
- [4] 千葉 雅史, 野地 保, 田中 滋樹, 生方 香代, 藤田 泰裕, 海津 徹, 千田 洋士, “インマルサット衛星を活用した遠隔医療モデルの提案”, 信学技報, Vol. 111, No. 308 (2011).
- [5] 千葉 雅史, 野地 保, 田中 滋樹, 生方 香代, 藤田 泰裕, 海津 徹, 千田 洋士, “インマルサット衛星を通じた遠隔医療システムの構築”, 第 10 回情報科学技術フォーラム講演論文集, No. 4 (2011).
- [6] 生方 香代, 田中 滋樹, 海津 徹, 藤田 泰裕, 千田 洋士, 千葉 雅史, “狭帯域双方向ネットワークの教育活用 -安全管理と遠隔教育への新展開”, 2011 年秋季第 72 回応用物理学学会学術講演会講演予稿集 (2011).
- [7] 生方 香代, 田中 滋樹, 海津 徹, 藤田 泰裕, 千田 洋士, 千葉 雅史, “教育現場におけるインマルサット衛星の活用 -安全管理と遠隔教育への新展開-”, 2011 年春季第 58 回 応用物理学関係連合講演会講演予稿集 (2011).
- [8] 千葉 雅史, 田中 滋樹, 生方 香代, 藤田 泰裕, 佐藤 実, 千田 洋士, “インマルサット衛星を用いた遠隔授業教材配信の試み”, 平成 22 年度教育改革 ICT 戦略大会予稿集 (2010).
- [9] 田中 滋樹, 生方 香代, 藤田 泰裕, 佐藤 実, 千葉 雅史, “インマルサット衛星を使った科学教育コンテンツの遠隔地からの双方向通信に関する研究”, 2010 年春季第 57 回 応用物理学関係連合講演会講演予稿集 (2010).