5. 自由視点テレビFTV

～多視点画像処理を使って～

正会員 谷本正幸[†]

キーワード ● 自由視点テレビ, FTV, 多視点画像, 光線空間, 3次元テレビ, MPEG

1. ま え が き

遠隔地の情景を居ながらにして見たいという人類の夢はテレビジョンによって実現された。1926年の高柳健次郎博士による世界初の電子式受像実験の成功以来、テレビは1953年の商用放送開始、1960年のカラー化、2003年の地上デジタル放送などの大きな変革を経て、現在に至っている。この間にテレビ技術は飛躍的な進歩を遂げたが、今なお実現に至っていないことがある。現実の世界では、私たちは移動したり視線を動かしたりして、さまざまな視覚情報を得ている。しかし、これまでのテレビでは、それを見ている私たちがどのように視点を変えても同じシーンしか見ることができない。これは現実の世界で体験していることとはまったく異なるものである。

これに対して、自由視点テレビ (Free Viewpoint TV: FTV)^{1) 2)} は、私たちがあたかもその場にいるかのように、自由に視点を変えて3次元シーンを見ることのできる究極のテレビである。視点を変えるためには、多くの視点から見た画像が必要である。多視点のシステムとして、2眼式や多眼式の3次元テレビがあるが、その視点数は高々10程度である。これに対して、FTVでは視点をどこにでも置くことができる。すなわちFTVの視点数は無限大とみなすことができる。このため、FTVは2眼式や多眼式の3次元テレビを遙かに凌ぐ究極の3次元テレビであるといえる。さらに、視点の自由な移動を可能とするFTVは、高度な表現力を有する次世代テレビ、高いセキュリティを実現する社会インフラとしても位置付けられる。このため、FTVは放送や通信だけでなく、エンターテインメント、自然観察、観光、博物館・美術館、アーカイブ、教育、医療、セキュリティ・保守、交通など幅広い分野への応用が期待される。

名古屋大学谷本研究室はFTVを構築するための技術開発を進め、2000年にそのリアルタイム実験に世界で初めて成功した³⁾。これらの結果を基に、電子情報技術産業協会JEITAの支援を受け、FTVを映像の国際標準化機関である

MPEGに提案した。2年に亘る活動の結果、FTVはMPEG3DAV (3-Dimensional Audio Visual) の最も挑戦的な課題として認められ、2004年3月のMPEG会合において、自由視点映像 (Free Viewpoint Video) の情報圧縮方式の標準化に向けて、評価実験を開始することとなった。

2. 自由視点画像を作る光線空間法^{4) 5)}

ある点を通過する光線を平面に投影すると、その視点から見た画像となる。すなわち、ある点をさまざまな方向に通過する光線群を集めると、その点を視点とする画像が得られる。したがって、3次元空間のあらゆる点毎にその点を通過する光線情報を取得すれば、FTVが実現できることになる。それには、見たい3次元空間内にびっしりと連続的にカメラを配置すればよいが、それは困難である。

そこで、以下の二つの性質を利用する。

- (1) 光線は直進する。
- (2) 物体上の同一点を異なる方向から見ても同じ色に見える。すなわち、物体上の点から異なる方向に進む光線は等しい値を持つ。

(1) より、図1に示すようにある点を通過する光線は、その進行方向上にある別の点の光線情報として取得することができる。また進行方向上にカメラがなければ、(2)を利用して光線情報を近くの光線情報から補間によって作り出すことができる。これらのことから、カメラを空間内に連

図1 自由視点画像の作り方

[†]名古屋大学 大学院工学研究科 電子情報システム専攻
 "Free Viewpoint Television -Using Multiviewpoint Image Processing-" by
 Masayuki Tanimoto (Department of Electrical Engineering and Computer Science
 Graduate School of Engineering, Nagoya University, Nagoya)

図2 光線空間の作り方

図3 直交座標光線空間の例

図4 自由視点画像の生成法

図5 極座標光線空間の例

統的に配置するのではなく、面上や線上に離散的に配置し、有限視点のカメラ画像から無限視点のカメラ画像を作り出すことができる。これによってFTVを現実的な手法で構成できることとなる。この手法が光線空間法である。

光線空間法では、3次元実空間の各光線を、それを表すパラメータを座標として持つ仮想的な多次元空間の点で表す。この空間を光線空間という。光線空間は、多くの視点から撮影した多視点画像を集めることによって作られる。画像から光線空間への変換は座標変換であり、光線空間の点の値は画像の画素値と同じである。

光線空間の作り方を示す。ここではわかりやすくするため、垂直方向の視差を無視する場合について説明する。図2は多くのカメラを鉄砲隊のように一直線上に配置する場合である。各カメラで取得された画像を衝立状に配列すれば、直交座標系の光線空間が得られる。カメラ間隔が広いと衝立の間隔が広がり、光線空間が疎になる。このような場合には、光線空間を補間して密な光線空間を得る。直交光線空間の例を図3に示す。垂直断面は2次元画像であるが、水平断面は前記(2)の性質より直線構造となる。この直線構造を検出して光線空間の補間に利用する。

光線空間から自由視点画像を生成する方法を図4に示す。ある視点から見た画像はその視点に対応した位置で光線空間を垂直に切ったときの断面として得られる。これが図1

に示した各カメラ画像から光線を一本ずつ集めてくるプロセスを実行していることになる。

3次元空間を取り囲むように見たい場合には、カメラを円周上に配置し、極座標系の光線空間とする。極座標光線空間の水平断面は図5に示すように正弦波構造となる。

光線空間法と同様に光線を再現するものとしてIP (Integral Photography) と呼ばれるシステムがある。IPは光線空間と同じメカニズムを物理的に実現するものである。このことから、頭の中で考えた光線空間が、実は普遍性の高い仕組みであることがわかる。

3次元画像システムにはさまざまな入力方式や出力方式があり、信号形式も異なる。異なる3次元画像信号の伝達・記録や方式変換を容易にするため、さまざまな3次元画像システムに共通なデータフォーマットが望まれる。代表的な3次元画像表現方式の比較⁶⁾を表1に示す。光線空間法の表現方式はシーンや入・出力方式に依存せず、カメラ画像からの変換も容易であるため、3次元画像システムの共通データフォーマットとして最適である。

テレビ信号は2次元画像が時間方向に配列されたものである。これに対して、光線空間信号は図2に示すように2次元画像が空間方向に配列されたものである。光線空間信号はテレビ信号の自然な拡張になっている。

表1 3次元画像表現方式の比較

Representation	Data Acquisition	3D-Model	Data Conversion	Free View Generation
Image domain	Direct Acquisition	No	No	Warping/Projection
Ray-Space	Camera calibration & Registration	No	Coordinate Transform (Camera coordinate to World coordinate)	Memory access
Surface light field		Required	Coordinate Trans. + Decomposition & Approximation	Texture map/pixel-by-pixel multiplication
Model-based		Required	Coordinate Transform	Projection/Rendering

図6 FTV生成画像

3. FTVの技術

FTVの実現には撮影、補間、圧縮、表示の技術が必要である。

3次元シーンを多くのカメラで撮影し、その多視点画像を配列して光線空間を作る。カメラ配置は、水平視差のみを実現する場合には前述の直線配置や円周配置とし、水平視差と垂直視差の両方を実現する場合には平面配置や球面配置とする。光線空間の補間が上手に行えるほど、カメラ間の視差を広くすることができ、少ないカメラ数で撮影できる。

光線空間に配列された多視点画像の間にはデータがないため、これを補間によって作る⁷⁾。このとき、光線空間の水平断面が、直線カメラ配置の場合には直線構造、円周カメラ配置の場合には正弦波構造となることを利用する。補間は光線空間全体ではなく必要な部分のみに行えばよい。補間を行う場所は、VODのような用途では送信側、放送のような用途では受信側となる。

FTV信号は従来のテレビ信号に比べてカメラの台数だけ情報量が多くなるので、情報圧縮の必要性が高い。FTV信号は、従来のテレビ信号の持つ隣接画素間、およびフレーム間の相関に加えて、視点間の相関が高い。現在のMPEG圧縮方式では視点間の相関をうまく利用できないため、新しい圧縮方式⁸⁾が必要であり、これがMPEGの新しい課題となっている。

FTVは究極の3次元テレビであるが、その表示には3次元ディスプレイでなく、2次元ディスプレイを用いて、視点に応じた2次元画像を表示してもよい⁹⁾。3次元ディスプレイを用いれば、ユーザは運動視差と立体視差を認識でき、自由視点テレビの持つ3次元情報を有効に利用できる。

FTV生成画像例を図6に示す。これは円弧状に配置した15台のカメラで取得した実写画像から自由視点画像を生成したものである。複雑なシーンを自然に生成できている。

4. FTVの用途

FTVは以下のように位置付けられ、次世代映像メディアとして大きな意義を持つ。

(1) 全空間情報を伝達・記録する究極の3次元テレビ
距離と時間を克服する究極の高臨場感通信が実現できる。また、撮影・記録したシーンの完全な分析が可能となる。FTVは撮像、表示、伝送、蓄積、圧縮、処理などの機器やシステムに現在よりも高い能力を要求する。このためこれらの機器やシステムを高度化し、IT産業の発展を牽引する。

(2) 高い表現力を有する次世代テレビ
空間情報のすべてを有する上、表示には大きな自由度があるため、放送、通信、芸術、エンタテインメント、教育、セキュリティ等の分野で新たなアプリケーションを創造する。

(3) 社会の安全性を高める情報インフラ
FTVをセンサネットワークに拡張すれば、社会の安全性を高める情報インフラとなり、公共施設、道路、交通機関、学校、工場などへの新たな投資を生む。

FTVは、放送、通信、ITなどの分野で現在のテレビに代わって用いられるものであるが、その特徴を生かした以下のような幅広い用途がある。

- (1) エンターテインメント：ゲーム、スポーツ、イベント、博覧会など
- (2) 自然観察：バードウォッチング、サファリパーク、海中公園など
- (3) 観光：バリアフリー観光
- (4) 美術館・博物館：新しい展示法、鑑賞法
- (5) 映像制作：現実にはあり得ないカメラモーションも可能
- (6) アーカイブ：無形文化財、伝統芸能の保存
- (8) 教育：遠隔教育、教材
- (9) 医療：診断、手術、教育

- (10) セキュリティ・保守：公共施設，原子力施設など
- (11) 交通：交差点などでの交通監視，ITS

5. 国際標準化に向けて

私たちはFTVのデータフォーマットと圧縮方式の標準化を目指している。FTVはMPEG会議の3DAV (3D Audio Visual) アドホックグループに提案され，高い評価を得ている。

MPEG 3DAV アドホックグループでは以下の4項目について調査実験(Exploration Experiment：EE)を行ってきた。

EE1：全方位映像

EE2：自由視点映像

EE3：立体映像

EE4：奥行き情報を持つ3次元テレビ

EE2は私たちがFTVを提案したことによって作られた項目であり，最も挑戦的な課題と位置付けられた。

2003年10月のトロンハイム会合で幅広く3DAVに関する産業界の意見を聞くことを決定した。寄せられた意見を2004年3月のミュンヘン会合で集計した結果，FTVと光線空間信号フォーマットを支持する意見が大勢を占めた。この結果を受けて，MPEGは自由視点映像について多視点画像の圧縮実験を開始することを決定した。

6. むすび

自由視点テレビは，視聴者が視点を自由に選ぶことのできるまったく新しいテレビシステムであり，テレビジョンの世界に大きな変革をもたらすものである。自由視点テレビはブロードバンド時代のインフラに最適な技術であって，有力なキラーアプリケーションとなる。

FTVは現在の技術で実現可能であるが，より容易に，より大規模に実現するには，機器やシステムの性能に一層の

向上が必要である。また，静止画から動画に発展したとき時間処理という新しい画像信号処理が必要となったように，テレビがFTVに発展すると視点間処理が必要となる。このようにFTVは学術上，産業上の新しいフロンティアであり，解決すべき多くの課題がある。このフロンティアに多くの方が挑戦し，FTVの実用化が早急に達成されることを切望する。

(2004年4月26日受付)

〔文 献〕

- 1) 谷本正幸：“自由視点テレビ”，3次元映像フォーラム，15，3，pp.17-22 (2001)
- 2) M. Tanimoto and T. Fujii：“FTV -Free Viewpoint Television”，ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M8595 (July 2002)
- 3) 関藤誠，杵名輝幸，豊田興一，楊世洪，藤井俊彰，木本伊彦，谷本正幸：“自由視点リアルタイム鳥瞰図生成システム”，3次元画像コンファレンス2001，pp.41-44 (2001)
- 4) 藤井：“3次元統合画像符号化の基礎検討”，東京大学工学系研究科 博士論文 (1994)
- 5) T.Fujii, T.Kimoto and M.Tanimoto：“Ray Space Coding for 3D Visual Communication”，Picture Coding Symposium '96，pp.447-451 (Mar. 1996)
- 6) M. Tanimoto and T. Fujii：“Comparative Evaluation of Ray-Space Representation”，ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M8892 (Oct. 2002)
- 7) 中西敦士，藤井俊彰，木本伊彦，谷本正幸：“EPI上の対応点軌跡を用いた適応フィルタによる光線空間データ補間”，映像学誌，56，8，pp.1321-1327 (2002)
- 8) M. Tanimoto and T. Fujii：“Ray-Space Coding Using Temporal and Spatial Prediction”，ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M10178 (Oct. 2003)
- 9) 東尊弘，藤井俊彰，谷本正幸：“自由視点テレビのユーザインタフェース”，映像メディア処理シンポジウム (IMPS) 2003，pp.19-20 (2003)

谷本 正幸 1970年，東京大学工学部電気工学科卒業。1976年，同大学院博士課程修了。同年，名古屋大学工学部助手。現在，同大学院工学研究科教授。半導体デバイス，通信方式，情報圧縮，画像処理，3次元画像，ITSなどの研究に従事。元本会副会長，工学博士，正会員。