人物が存在し得る部分空間の多重スリット表現による可視化

中野 一成† 亀田 能成‡ 大田 友一‡

†筑波大学 理工学群 工学システム学類 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1
‡筑波大学 大学院システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1
E-mail: †srs7805@u.tsukuba.ac.jp, ‡{kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし ある空間中に設置された 1 台の環境カメラで人物や動物体を観測したときに，その対象が存在し得る部分空間を可視化する手法を提案する．環境カメラが透視投影に従う場合，この部分空間は錐体を成しており，この錐体を対象錐と呼ぶ．対象錐は対象の本来の形状からかけ離れているため，ユーザはその形状を単に CG として示されても，その存在範囲を視覚的に確認することが困難である．そこで本研究では，対象錐の中に複数の垂直断面を並べることで対象錐をわかりやすく可視化することを提案する．この可視化手法を多重スリット表現と呼ぶ．本稿では，具体的な可視化手法について述べ，その効果について議論する．

キーワード 可視化，透視投影カメラ，錐制約，ビルボード，仮想現実

Subspace Visualization of Human Existence by Multiple Slits

Kazuaki NAKANO† Yoshinari KAMEDA‡ and Yuichi OHTA‡

†College of Engineerig Systems, School of Science and Engineering, University of Tsukuba
1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan
‡Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba
1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan
E-mail: †srs7805@u.tsukuba.ac.jp, ‡{kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract We propose a method to visualize a subspace in which a person or an object could exist. The subspace is defined by perspective projection property of an environmental camera. The shape of the subspace forms a cone and it is called object cone. Because the object cone is far from the original shape of the object, it is difficult to recognize its shape and range in a scene. We propose to place multiple vertical cross sections in the object cone. This visualization method is named multiple slits. This paper defines the formulation of the multiple slits, and we discuss expected effect on people perception of the object cone.

Keyword visualization, perspective projection camera, projective cone, billboard, virtual reality

1. はじめに

近年，オフィスや公共施設などの人々が生活する環境中にカメラが設置されるケースが増えている．従来これらの環境カメラは観測する側と観測される側に分かれた運用形態を成していたが，我々は環境カメラの新たな付加価値を創造することを目指し，観測される側であった人々による環境カメラの利用に取り組んでいる[1].

ユーザから見た場合，環境カメラ映像の利用については，モニタで映像をそのまま視聴することが一般的に考えられるが，環境カメラは高所に設置されている場合が多いため，その映像がどこからどう空間と対象を撮影したものであるかわかりにくいという問題が生じる．この問題に対し，環境カメラで観測されるシーン空間やその対象を Virtual-Reality（VR）技術や Mixed-Reality（MR）技術を用いることで，シーンを三次元的に提示したりさらにはシーン空間の状況理解を支援したりすることが可能である．

環境カメラが設定されている多くの状況では，シーンを撮影しているのはただ 1 台のカメラである．そのシーン中にいる人物の存在の広がりは，透視投影カメラの特性によって錐制約を成す．我々は，環境カメラ映像情報の利用にあたって，撮影された映像上での人物の様子と，シーン空間中でその存在がありえた空間との関係を，ユーザに理解してもらえることが重要であると考えている．

環境カメラにより観測対象となる人物や動物体の三次元提示手法としては，視体積交差法[2]により対象を三次元復元する手法が提案されているが，原則として複数台による観測が必要である．そのため，1 台のみの環境カメラでシーン空間を観測している場合，この方法を直接用いることはできない．

本研究では，シーン空間内で対象が存在し得る部分空間を可視化する新しい手法を提案する．カメラの性質からこの部分空間は錐体を成しており，これを対象錐と呼ぶこととする．この対象錐は対象物体の本来の形状からかけ離れた形であるため，その形状をそのまま可視化しても，ユーザは対象がどのような空間に存在しえていたかを認知することに困難さをしばしば感じることになる．そこで本研究が提案する対象錐の可視化手法では，対象錐の中に複数の垂直断面を並べて可視化する．この可視化手法を多重スリット表現と呼ぶ．これにより対象の存在しえた部分空間の認知が容易になると考えられる．本稿では 4 種類の多重スリット表現を用意する．この 4 種類は，多重スリット表現に用いられる 2 種類のシルエット表示と，2 種類のスリット切断方向の組み合わせである．これら 4 種類の表現による可視化を実際に示し，その効果について議論する．

2. 関連研究

環境カメラで観測されるシーン空間に対して VR 技術を用いた三次元提示に関する研究は，対象シーン空間の三次元提示に関する研究と，複雑形状の可視化に関する研究，それに環境カメラで観測された人物や動物体等の三次元提示に関する研究に分けられる．

対象シーン空間の三次元提示に関連する研究として，Biber ら[3]は，レーザレンジファインダを利用して対象シーン空間の三次元形状モデルを生成し，そこにカメラ画像をテクスチャとして貼りつける手法を提案している．また，Ishikawa ら[4]は，屋内環境の特徴や写真からの幾何学的拘束を利用したインタラクションと欠損領域の撮影指示の可視化技法により，モデル作成者が単一の写真から効率的にモデルを作成することを支援するシステムを提案している．我々の取り組みでは背景となるシーンは環境カメラに対して静的な存在であるため，こうした手法により事前に静的シーン空間表現が事前に得られるものとする．

なお，シーン中の静的要素の一つである環境カメラの撮影範囲そのものを可視化する方法として Kameda ら[5]は，当該空間に存在するユーザが環境カメラの位置と撮影領域を認知できるシステムを提案している．

シーン空間中で対象の存在がありえた空間である対象錐は，一般の人々が見慣れていない複雑な形状をしており，その認知をしやすいよう可視化することは簡単ではない．こうした複雑形状の可視化に関する類似問題設定としては，医療分野における臓器の三次元可視化が挙げられる．正宗ら[6]は，MRI で取得されたボリュームデータの断層画像を，ハーフミラーに映る鏡像として患者の体に重ね合わせて表示する方法を提案している．この手法では臓器の三次元的広がりを直接理解できるわけではないが，その断層から間接的にもとの三次元の様子を利用者が推定しうることが暗示されている．

一方，カメラで撮影された人物や動物体等の三次元提示に関する研究として，Girgensohn ら[7]は，仮想空間中の該当する三次元位置に動物体のテクスチャを貼りつけたビルボードを配置し，さらに動物体の動きを追跡するように観測視点を移動させ，ビルボードのテクスチャに観測視点に最も近いものを適用させるシステムを提案している．この方法は，可視化にあたって一つの映像ソースしか必要としないため，本稿が想定するような環境カメラ設置状況でも利用可能である．実際，サッカーのような広域シーン空間にビルボード法を適用した人物ビルボードの例は，Koyama ら[8]によって示されている．しかしながら，人物ビルボード法は，人物が存在していた可能性が最も高かった対象錐の一部分に合わせて断面を提示しているにすぎないため，ユーザに対象錐全体を認知してもらうには不十分である．

そこで本稿では，対象錐の垂直断面を複数組み合わせ，さらに人物ビルボード法を重ねることで，対象錐の空間的広がりが正確に認知できるような可視化手法を提案する．可視化に当たっては，垂直断面をどの方向に対して生成するのか，どのようなシルエット表示をスリットに適用するか，ということを考慮する必要がある．

3. 対象錐の多重スリット表現

対象錐とは，シーン空間内で対象が存在し得る部分空間を表す錐体である．本研究の対象錐の概念は，物体の三次元復元手法の一つである視体積交差法でも用いられており，視体積交差法で求められる Visual Hull は，この錐体の論理積として定義されている[2]．対象錐を求めるには，対象物体のシルエット画像を三次元空間に逆投影することで得られる．対象錐の概念図を図 1 に示す．

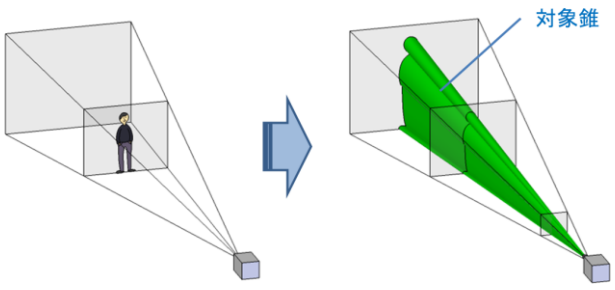

図 1： 対象錐の概念図

しかしながら，この対象錐は図 1 でも示されているように対象物体の本来の形状からかけ離れた形であるため，その形状をそのまま可視化しても，ユーザはしばしば対象錐がどのように空間中に広がっているかを認知することに困難さを感じることになる．そこで本研究が提案する対象錐の可視化手法では，対象錐の中に複数の垂直断面を並べて可視化する．この可視化手法を多重スリット表現と呼ぶ．

なお，本研究では，4 種類の多重スリット表現を用意する．ここでの 4 種類は，2 種類のシルエット表示と，2 種類のスリット切断方向の組み合わせである．

2 種類のシルエット表示は，図 2 に示すように，シルエットの塗りつぶし（Fill）とシルエットの輪郭（Contour）の 2 種類である．前者は対象錐のボリュームを強調して表現することを目的としている．後者は壁や床，天井など静的シーン記述の視認性に配慮してボリュームを表現することを目的としている．

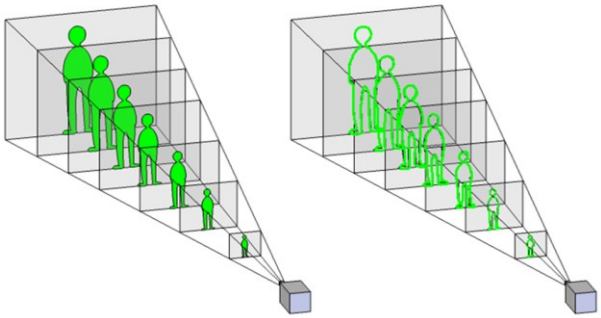

図 2： シルエットの塗りつぶし（左），輪郭（右）による多重スリット表現

一方，2 種類のスリット切断方向については，図 3 に示すように，環境カメラの光軸に対して垂直となる切断方向と，地面に対して垂直となる切断方向とを考える．前者は環境カメラの視点を重視し，環境カメラから投射されるような形で対象錐のボリュームを理解してもらいやすくなることを期待している．後者は対象となる人物や動物体が地面に対して垂直に立っている場合が多いことを考慮し，対象が地面に対して垂直に立つような提示により，ユーザが認知しやすい表現になることを期待している．

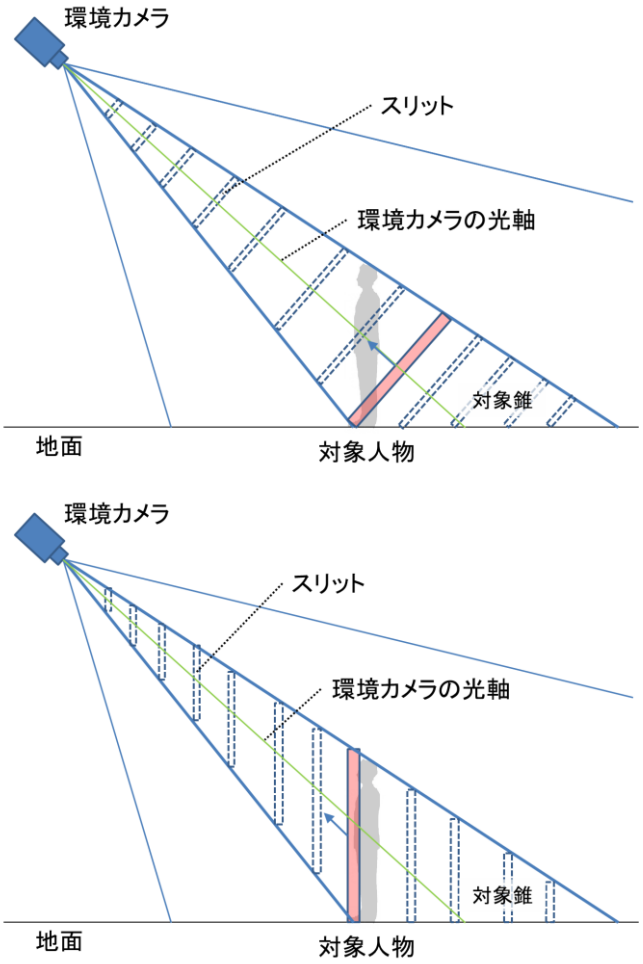

図 3： 環境カメラの光軸に垂直（上），地面に垂直（下）となる多重スリット表現

4. 仮想空間上での人物存在の可視化

本手法を実際の人物や動物体が映るシーンに適用することで，その効果について考察を行う．今回用いたシーンは，人物がカメラに向かっていくように歩くシーン（walk）と，人物が台車を押して歩いていくシーン（cart）である．これらの二つのシーンを仮想空間上において VR 技術により三次元提示する．なお，可視化に際しては以下に挙げる前提条件のもとで結果を出力する．

- 1 台の環境カメラで対象となる人物を撮影
- 前景領域は良好に抽出
- 環境カメラの内外部パラメータは全て既知
- シーン空間中の背景（静的要因）は全て既知

4.1. 静的な三次元空間表現のモデル化

今回の可視化に際して，背景に相当するシーン空間については事前にモデル化する．モデリングには Google SketchUp[9]を用いた．今回用いる廊下は，本学建物中に実在するものである．曲がり角の一部分を除

きほぼ直方体の集合に近似できる形状であったため，廊下の幅，高さ，奥行を計測しモデリングを行う．その後ポリゴンで構成される 3D 形状モデルファイルを一度出力し，プログラム上で 3D 形状モデルファイルとして読み込み，OpenGL ライブラリを用いてテクスチャを該当部分に貼りつける．

4.2. シーンの撮影とスリット用テクスチャの作成

walk と cart の二つのシーンを環境カメラにより撮影する．今回用いた環境カメラは AXIS205（640×480pix, 30fps）である．撮影したシーンを図 4 に示す．この二つのシーンでスリット用テクスチャを作成する．前景領域を抽出し，その領域を塗りつぶした（Fill）テクスチャとその輪郭を抽出した（Contour）テクスチャの二つを各々のシーンで作成する．作成したテクスチャを図 5 に示す．

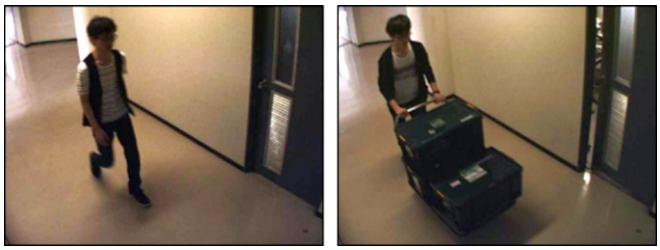

図 4：用いたシーン，walk（左），cart（右）

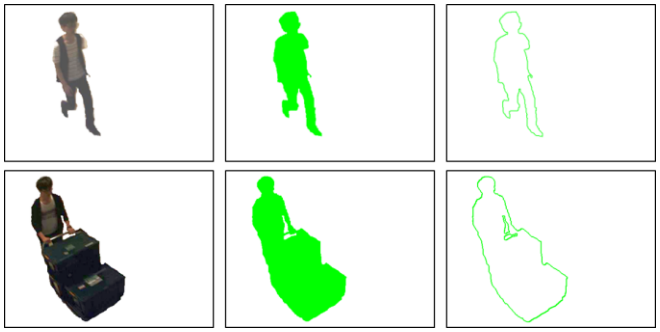

図 5：スリット用テクスチャの作成
（上）walk シーン，（下）cart シーン
（左）前景，（中）Fill，（右）Contour

4.3. 対象錐の多重スリット表現による可視化

4.1 節で作成した三次元仮想空間上で対象錐の多重スリット表現により人物の存在可能空間の可視化を行う．3 章で述べた 4 種類の多重スリット表現を各々のシーンに対して適用する．なお，各スリット間の間隔は，全ての多重スリット表現において実空間の距離で 0.5m とした．これにより，用意した全てのシーケンスでスリット数が平均 10 枚以上可視化されるようになる．

環境カメラ側から見てスリットが最初に地面と接する地点は，人物が存在した可能性が高い地点であると言える（図 3 の赤いスリットの部分）．そのため，この地点のスリットに人物の実写のテクスチャを貼ることで，より人物の存在を知覚しやすいように表示する．可視化の出力結果を正面，俯瞰，側面からそれぞれレンダリングを行った．作成したモデルとレンダリング視点位置を図 6 に，可視化の結果を図 7 から図 10 に示す．

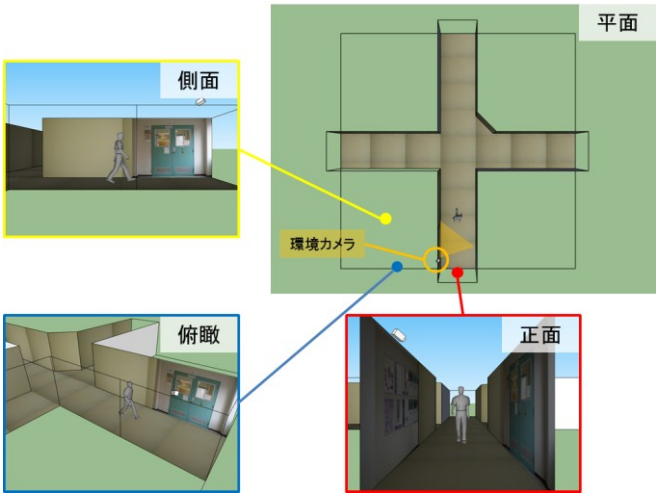

図 6：作成したモデルとレンダリング視点位置

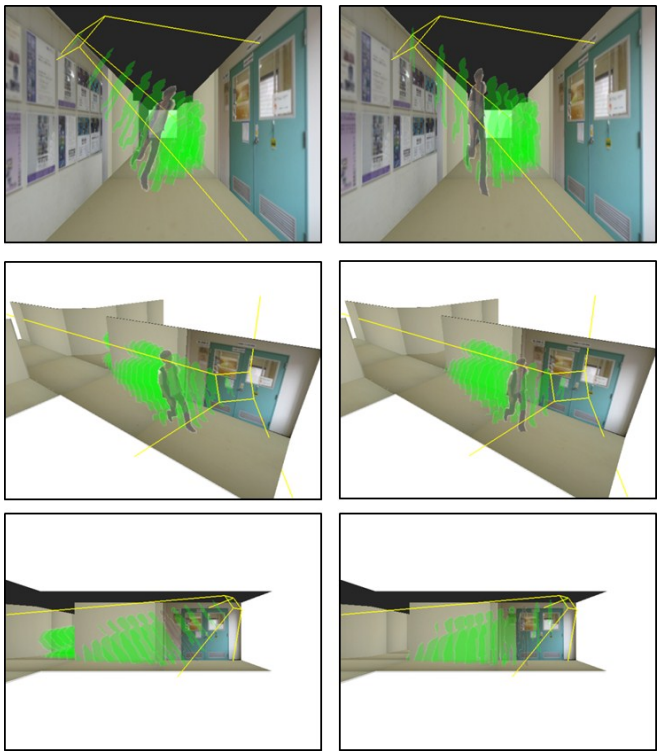

図 7：walk シーンの可視化結果（Fill）
（左）環境カメラ光軸に垂直なスリット，
（右）地面に垂直なスリット，
（上）正面，（中）俯瞰，（下）側面

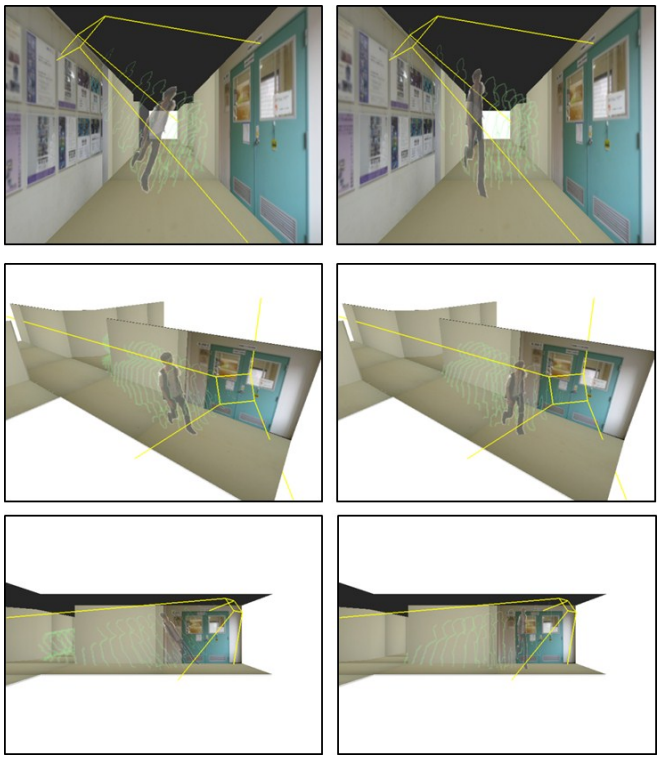

図 8： walk シーンの可視化結果（Contour）
（左）環境カメラ光軸に垂直なスリット，
（右）地面に垂直なスリット，
（上）正面，（中）俯瞰，（下）側面

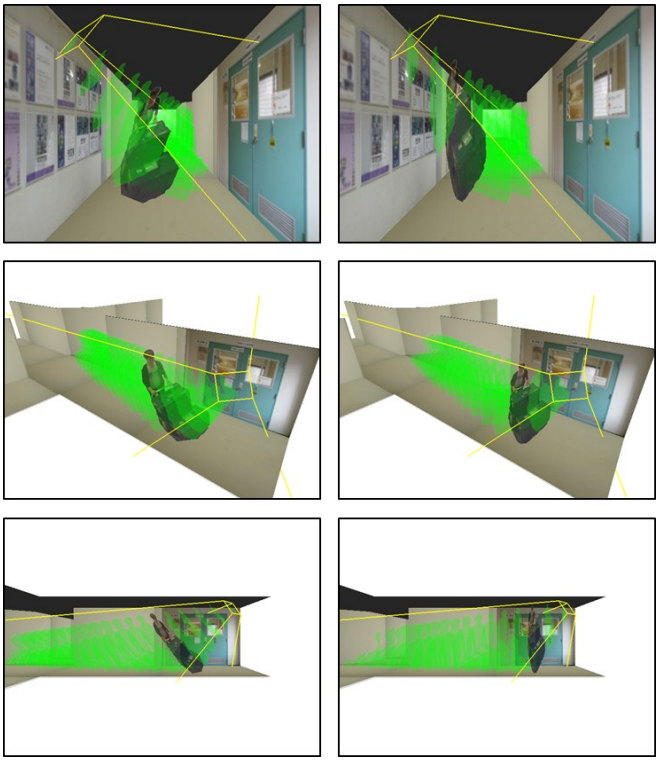

図 9：cart シーンの可視化結果（Fill）
（左）環境カメラ光軸に垂直なスリット，
（右）地面に垂直なスリット，
（上）正面，（中）俯瞰，（下）側面

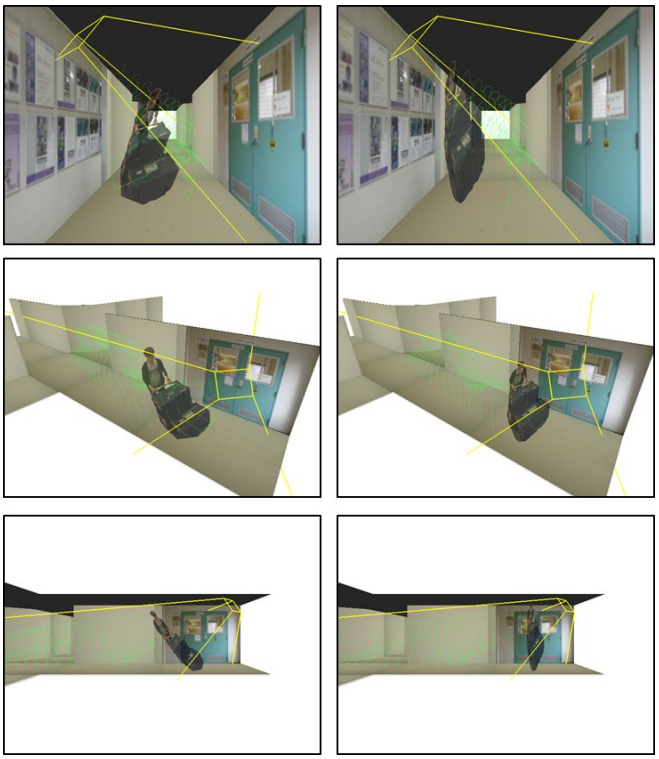

図 10： cart シーンの可視化結果（Contour）
（左）環境カメラ光軸に垂直なスリット，
（右）地面に垂直なスリット，
（上）正面，（中）俯瞰，（下）側面

4.4. 可視化の結果に関する考察

可視化結果から，VR 技術により，各シーンにおける対象とその対象錐が三次元提示されていることが確認できる．

ここで，各表示方法の問題点を対象錐のボリュームと人物の動作の見やすさの点から考察する．

2 種類のシルエット表示の違いについて，正面からの様子を見ると，Contour の場合，対象錐のボリュームの奥行がどこまでなのかを判断しづらいという現象がみられる．一方で，Fill の場合，曲がり角付近が塗りつぶされてしまうことが発生する．これにより曲がり角の存在をユーザが認知しづらく感じてしまうことが予想される．シルエットの色については，今回半透明の緑色を用いているが，背景や人物の色などのシーン状況により，最適な色や透明度が異なると予想される．

次に，2 種類のスリット切断方向から見てとれる問題点を考える．環境カメラ光軸に垂直となる切断方向の場合，walk シーンでは，歩く人物が傾いているように見えてしまう．通常，人物は地面に垂直に立って歩くという知識がユーザにはあるため，ユーザは違和感を覚えることになると予想される．一方で，地面に垂直となる切断方向の場合，cart シーンでは，台車を押す人物が宙に浮いているように見えてしまうことが確認できる．これは，人物と台車から構成されている対象全体が占める空間の奥行が大きくなり，平面近似したときの誤差が大きくなってしまうためであると考えられる．

こうした認知上の問題点については，今後，被験者実験を行うことで，検証を行っていく予定である．

5. おわりに

本稿では，ユーザに対して，シーン空間内の対象が存在しえた部分空間を示す錐体，対象錐を可視化する手法を提案した．本手法では，対象錐の中に複数の垂直断面を並べることで可視化する，多重スリット表現を提案した．これにより部分空間の認知が容易になると予想される．多重スリット表現は，2 種類のシルエット表示，2 種類のスリット切断方向の，合計 4 種類の手法を用意し，実際に二つシーンに適用させて，その効果について議論した．

今後の課題として，主観評価を含めたユーザによる評価実験を通し，本手法の効果を確かめ，より良い可視化手法を見出すことが挙げられる．どのような評価項目を設ければ，より有効性のある評価ができるかについては，今後検討していく必要がある．

謝辞

本研究の一部は，日本学術振興会基盤研究(B)「環境カメラ群映像の安心かつ効率的見える化の為の時空間解析と複合現実感的可視化」（課題番号 23300064）の支援を受けて行われた．ここに謝意を表する．

文　献

[1] 美濃導彦, “センシングウェブ : 概念と課題”, 人工知能学会誌, vol.24, no.2, pp.179-184, 2009.

[2] W.Matusik, C.Buehler, R.Raskar, S.Gortler, and L.McMillan, “Image Based Visual Hulls,” ACM SIGGRAPH2000, pp.369-374, 2000.

[3] P. Biber , S. Fleck , M. Wand , D. Staneker , W. Straßer, “First Experiences with a Mobile Platform for Flexible 3D Model Acquisition in Indoor and Outdoor Environments -- the Wägele", In: ISPRS Working Group V/4: 3D-ARCH, vol. XXXVI-5/W17, 2005.

[4] T. Ishikawa, T. Kalaivani, M. Kourogi, A. P. Gee, W. Mayol-Cuevas, J. Hyun, and T. Kurata, "Interactive 3-D Indoor Modeler for Virtualizing Service Fields", Virtual Reality, Vol.16, No.2, pp.1-21, 2011.

[5] Y. Kameda, D. N. Thanh, I. Kitahara, and Y. Ohta, “MR Based Visualization of Viewing Fields of Surveillance Cameras in Outdoor Scene”, The 1st International Workshop on Aware Computing (IWAC2009), 2009.

[6] 正宗賢ら, “拡張現実感を用いた手術支援用ナビゲーション断層画像表示システム”, J. Japan Soc. Of Computer Aided Surgery, vol. 4, no. 3, pp. 231-232, 2002.

[7] A. Girgensohn, D. Kimber, J. Vaughan, T. Yang, F. Shipman, T. Turner, E. Rieffel, L Wilcox, F. Chen, and T. Dunnigan, “DOTS: Support for Effective Video Surveillance,” the 15th international conference on Multimedia, pp.423-432, 2007.

[8] T. Koyama, I. Kitahara and Y. Ohta, “Live Mixed-Reality 3DVideo in Soccer Stadium,” International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp.167-178, 2003.

[9] Google SketchUp: http://sketchup.google.com/.