

## カメラの相互射影による trifocal tensor の 計算と形状復元の安定化

杉村 健之

佐藤 淳

名古屋工業大学 電気情報工学科

〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

sugimura@hilbert.elcom.nitech.ac.jp, junsato@elcom.nitech.ac.jp

あらまし：複数のカメラ間の位置や姿勢の情報はカメラ画像をもとに対象物の形状を復元したり、ロボットを誘導するうえで非常に重要である。カメラが3台存在する場合にはこれらのカメラ間の位置や姿勢の情報は一般に trifocal tensor によって表すことができる。従って、trifocal tensor の計算は、複数の画像を用いる様々なアプリケーションにおいて非常に重要である。しかし、一般に画像から trifocal tensor を安定に計算することは難しいことが知られている。そこで本研究では、お互いのカメラを相互に投影し合うことにより trifocal tensor を安定に計算する方法を提案する。特に、1つのカメラが他の2つのカメラに投影されている場合は5点から、また、2つのカメラがそれぞれ他の2つのカメラに投影されている場合は4点から、そして、全てのカメラが相互に投影されている場合は2点の対応点から線形に trifocal tensor を求めることができることを示す。また提案法を用いることにより、対象物の形状復元が安定化することを示す。

キーワード：相互射影、trifocal tensor、射影復元

## Robust Computation of Trifocal Tensor from Mutual Projection of Cameras

Takeshi Sugimura

Jun Sato

Nagoya Institute of Technology

Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya-shi 466-8555, JAPAN

sugimura@hilbert.elcom.nitech.ac.jp, junsato@elcom.nitech.ac.jp

Abstract : The computation of trifocal tensor is very important for computing camera motions and reconstructing the shape of objects. However computation of trifocal tensor is very sensitive to image noise. Thus, in this paper, we propose a robust method for computing trifocal tensor by projecting three cameras each other. Especially, we show that if a single camera is projected to the other two cameras, trifocal tensor can be computed from five image points, if two cameras are projected to the other, it can be computed from four image points, and if all cameras are projected to each other, it can be computed from just two image points linearly and reliably. We also show that by using the proposed method, we can reconstruct object shapes accurately

Keywords : mutual projection, trifocal tensor, projective reconstruction

## 1 はじめに

近年、コンピュータビジョンにおいて、複数の視点から得られたカメラ画像から3次元形状の復元を行う研究や [7],[10]、指定した目的地点へ移動ロボットを誘導させる視覚誘導や視覚サーボ [2],[5],[6] の研究がさかに行われている。さらには、内部パラメータや外部パラメータが未知であるような未校正のカメラから得られる情報についての研究も進められており [7],[8]、過去に撮られた複数の画像から建造物等の3次元形状を復元し、仮想空間や現実空間に融合する複合現実感の研究も進んでいる [1],[9]。

以上のように複数の画像を用いて3次元形状の復元や視覚誘導を行うためには、それぞれの画像を撮影したカメラがどの位置に、どのような姿勢で存在するかというカメラ運動の情報を取得することが必要不可欠である。このような複数のカメラ間の相対的な位置や姿勢などの情報はエピポーラ幾何によって表される。そして、エピポーラ幾何は2枚の画像間では7自由度の fundamental 行列、3枚の画像間では18自由度の trifocal tensor、4枚の画像間では29自由度の Quadrifocal tensor で記述され、画像を2枚から4枚まで増やすことによりカメラ画像間においてより多くの拘束条件が得られることが知られている [11]。

これまでに fundamental 行列や trifocal tensor は画像上の複数の投影点から線形解法により求める方法が提案されている。しかし、このような計算法は画像ノイズや投影条件に大きく影響を受けることが知られており、安定に計算するのは非常に難しい。fundamental 行列や trifocal tensor はエピポールとエピポーラ・ホモグラフィによって構成されるが、本研究室では2つのカメラを相互に投影し合うことにより、それらのカメラの投影像として画像中から直接エピポールの情報を取得し、この情報を用いることにより2つのカメラ間のエピポーラ幾何を安定に計算する手法を提案してきた [4]。本論文はこれを3つのカメラ間のエピポーラ幾何に拡張し、3つのカメラを相互に投影し合うことで trifocal tensor を線形計算で安定に求める手法を提案する。一般に trifocal tensor を線形に計算するには、対象物上の最低7点の対応点が必要であることが知られている。これに対し、本稿では、1つのカメラが他の2つのカメラに投影されている場合は5点から、2つのカメラがそれぞれ

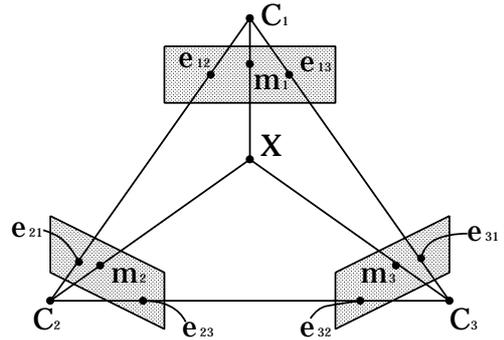


図 1: エピポーラ幾何

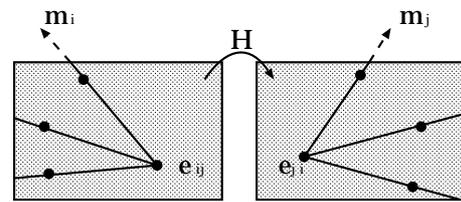


図 2: エピポーラ・ホモグラフィ

他の2つのカメラに投影されている場合は4点から、また、全てのカメラが相互に投影されている場合には対象物上の2点の対応点から線形に trifocal tensor を求めることができることを示す。

以下ではまずカメラを相互投影し、投影像から直接エピポールの情報を取得し、線形計算により安定に trifocal tensor を求める手法を提案する。次に従来法と提案法での安定性の比較について示す。

## 2 エピポーラ幾何

よく知られているように、複数のカメラの相対的な位置や姿勢などの関係はエピポーラ幾何によって記述できる。3つのカメラ間でのエピポーラ幾何では、視点  $C_i$  のカメラの画像中に視点  $C_j$  のカメラはエピポール  $e_{ij}$  としてそれぞれ相互に投影される。また、図1のように空間中の点  $X$  がそれぞれのカメラに投影されている場合、その投影像を、 $\tilde{m}_1 = [u_1 \ v_1 \ w_1]^T$ ,  $\tilde{m}_2 = [u_2 \ v_2 \ w_2]^T$ ,  $\tilde{m}_3 = [u_3 \ v_3 \ w_3]^T$ 、各カメラ行列を  $P_1, P_2, P_3$  で表すと、次の方程式が成り立つ。

$$s_1 \tilde{m}_1 = P_1 \tilde{X} \quad (1)$$

$$s_2 \tilde{m}_2 = P_2 \tilde{X} \quad (2)$$

$$s_3 \tilde{m}_3 = P_3 \tilde{X} \quad (3)$$

ここで、 $s_1, s_2, s_3$  は 0 以外の実数である。このとき、投影像  $m_1, m_2, m_3$  間には次式のような拘束式が成り立つ。

$$[\tilde{m}_2]_{\times} G(\tilde{m}_1) [\tilde{m}_3]_{\times} = 0_3 \quad (4)$$

( $0_3$  は 0 を要素とする  $3 \times 3$  の行列) また、 $G(\tilde{m}_1)$  は、次式で表されるような  $3 \times 3$  の行列である。

$$G(\tilde{m}_1) = u_1 T_1 + v_1 T_2 + w_1 T_3 \quad (5)$$

ここで、 $T_1, T_2, T_3$  はそれぞれ  $3 \times 3$  の行列であり、これらの  $T_1, T_2, T_3$  からなる  $[T_1 \ T_2 \ T_3]$  が trifocal tensor である。

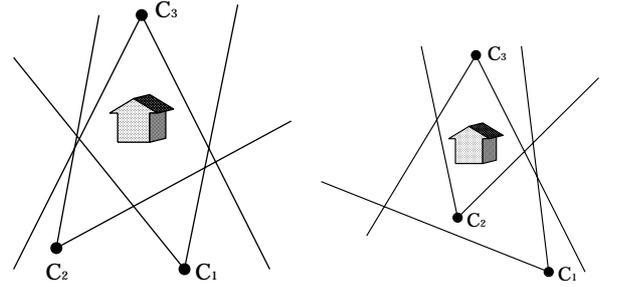
trifocal tensor は全部で 18 自由度を持つが、その内わけは、自由度 2 の六つのエピポールと、二つの自由度 3 のエピポーラ・ホモグラフィである。エピポール  $\tilde{e}_{ij}$  はカメラの並進運動を表し、エピポーラ・ホモグラフィは図 2 に示すように、あるカメラの画像中のエピポーラ線に他の画像中のエピポーラ線に変換する自由度 3 の一次元射影変換であるが各カメラ間の 3 つのエピポーラ・ホモグラフィのうち独立なものは 2 つのみであるため、trifocal tensor に含まれるエピポーラ・ホモグラフィ全体の自由度は 6 となる。

$G(\tilde{m}_1)$  の  $i$  行  $j$  列の要素を  $g_{ij}$  で表し、式 (4) を展開すると次のような 4 つの独立な拘束式が得られる。

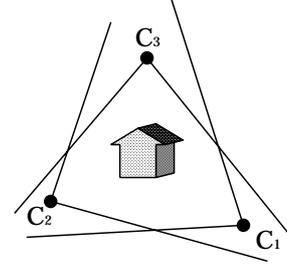
$$\begin{aligned} -w_2 w_3 g_{22} + w_2 v_3 g_{23} + v_2 w_3 g_{32} - v_2 v_3 g_{33} &= 0 \\ w_2 w_3 g_{21} - w_2 u_3 g_{23} - v_2 w_3 g_{31} + v_2 u_3 g_{33} &= 0 \\ w_2 w_3 g_{12} - w_2 v_3 g_{13} - u_2 w_3 g_{32} + u_2 v_3 g_{33} &= 0 \\ -w_2 w_3 g_{11} + w_2 u_3 g_{13} + u_2 w_3 g_{31} - u_2 u_3 g_{33} &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

ここで  $g_{ij}$  は  $T_k$  の  $i$  行  $j$  列の要素  $t_{kij}$  を用いて  $g_{ij} = u_1 t_{1ij} + v_1 t_{2ij} + w_1 t_{3ij}$  と表される変数である。

trifocal tensor は未知数が 27 であり、また定数倍の不定性があるので 26 個の拘束式があれば線形に求めることができる。式 (6) に示したように、1 組の対応点からは 4 つの拘束式が得られるから、7 組の対応点があれば、合計  $7 \times 4 = 28$  個の拘束式が得られ、線形に trifocal tensor を求めることができる。しかし、このような求め方は非常にノイズに弱いことが知られている。



(a) 1 組の  $e$  が求まる場合 (b) 2 組の  $e$  が求まる場合



(c) 全ての  $e$  が求まる場合

図 3: カメラの相互射影

### 3 エピポールの相互射影による trifocal tensor の計算

そこで、本稿ではカメラがお互いに投影し合っている場合に、これらの投影像をエピポールとして直接求めることにより、trifocal tensor を安定に計算する手法を提案する。3 つのカメラが存在する場合には、これらの内の 1 つが他の 2 つのカメラに投影されている場合や、2 つのカメラがそれぞれ他の 2 つに投影されている場合や、3 つのカメラがお互いに投影し合っている場合などがある。

1 つのカメラが他の 2 つのカメラに投影されている場合、2 自由度のエピポールが画像中から直接 2 つ求めることができるので、trifocal tensor の残りの 14 自由度を 5 組の対応点から決定することが可能となる。また、2 つのカメラがそれぞれ他の 2 つのカメラに投影されている場合は 4 つのエピポールが画像中から直接求まるので、残りの 10 自由度を 4 組の対応点から求めることができる。そして、全てのカメラが相互に投影されている場合は 6 つのエピポールが画像中から直接求まるので、残りの 6 自由度を 2 組の対応点から求めることができ、trifocal tensor を決定することが可能となる。以下では、これらの方法について詳しく述べる。

### 3.1 1組のエピポールが求まっている場合

まず図3の(a)のように視点  $C_3$  にあるカメラが視点  $C_1, C_2$  にあるカメラに投影されている場合を考える。

視点  $C_3$  に対する  $C_1$  上のエピポール  $e_{13}$  とは、視点  $C_3$  におけるどのような点  $m_3$  に対しても(4)式が成り立つような  $m_1$  を表す。同様に、視点  $C_3$  に対する  $C_2$  上のエピポール  $e_{23}$  はどのような  $m_3$  においても(4)式が成り立つような  $m_2$  を表す。従って、どのような  $m_3$  においても、(4)式が成り立つことから、 $e_{13}, e_{23}$  に関して次の方程式が成り立つことがわかる。

$$[\tilde{e}_{23}]_x G(\tilde{e}_{13}) = 0_3 \quad (7)$$

この式を展開すると trifocal tensor に関する6つの独立な拘束式を得ることができる。

また、1組の対応点  $m_1, m_2, m_3$  には式(4)が成り立つため、式(7)より5組の対応点が存在すれば trifocal tensor に関する20個の拘束式を得ることができる。従って、5組の対応点と1組のエピポールから式(6),(7)より合計26個の拘束式が得られるので、これらの式を解くことにより、trifocal tensor を線形に計算することができる。

以上より、ある1つのカメラが他の2つのカメラに投影されている場合は5組の対応点から trifocal tensor を線形に決定することが可能であることがわかる。

### 3.2 2組のエピポールが求まっている場合

次に、図3(b)に示すように、さらに視点  $C_2$  が視点  $C_1$  と  $C_3$  に投影されている場合を考える。この場合はさらに、エピポール  $e_{12}, e_{32}$  を画像中から直接求めることが可能となる。

従って、まず先と同様に、エピポール  $e_{13}, e_{23}$  から式(7)より trifocal tensor に関する6つの独立な拘束式が得られる。

また、先と同様に、エピポール  $e_{12}, e_{32}$  とは  $m_2$  がどんな点であっても式(4)が成り立つような  $m_1, m_3$  を表す。従って、式(4)と  $e_{12}, e_{32}$  より次式が成り立つことがわかる。

$$G(\tilde{e}_{12})[\tilde{e}_{32}]_x = 0_3 \quad (8)$$

この式を展開すると trifocal tensor に関する6つの拘束式が新たに得られる。従って、エピポール  $e_{13}, e_{23}, e_{12}, e_{32}$  が画像から得ることができれば、(7),(8)式からそれぞれ6個の拘束が得られる。ま

た、4組の対応点が存在すれば式(6)により16個の拘束が得られるため、合計28個の trifocal tensor に関する拘束式を得ることができ、これらの式を解くことにより、trifocal tensor を線形に計算することができる。

以上より、2つのカメラがそれぞれ他の2つのカメラに投影されている場合は4組の対応点から trifocal tensor を線形に決定することが可能であることがわかる。

### 3.3 全てのエピポールが求まっている場合

次に、図3(c)のように、さらに視点  $C_1$  も他の2つのカメラに投影されて、全てのエピポールが求まっている場合を考える。この場合はさらにエピポール  $e_{21}, e_{31}$  を画像から直接求めることが可能となる。

まず、先と同様に  $e_{13}, e_{23}, e_{12}, e_{32}$  と式(7),(8)より、trifocal tensor に関する合計12個の拘束式が得られる。ここで、式(4)を次のように変形する。

$$u_1[\tilde{m}_2]_x T_1[\tilde{m}_3]_x + v_1[\tilde{m}_2]_x T_2[\tilde{m}_3]_x + w_1[\tilde{m}_2]_x T_3[\tilde{m}_3]_x = 0_3 \quad (9)$$

先と同様に、エピポール  $e_{21}, e_{31}$  とは  $m_1$  がどんな点であっても式(6)が成り立つような  $m_2, m_3$  を表す。すなわちどのような  $u_1, v_1, w_1$  であっても式(9)が成り立つ。従って、式(9)と  $e_{21}, e_{31}$  より次式が成り立つことがわかる。(  $i = 1, 2, 3$  )

$$[\tilde{e}_{21}]_x T_i[\tilde{e}_{31}]_x = 0_3 \quad (10)$$

この式を展開すると trifocal tensor に関する6つの拘束式が新たに得られる。従って、全てのエピポールが画像から得ることができれば、(7),(8),(10)からそれぞれ6個の拘束が得られる。

また、2組の対応点が存在すれば式(6)より8個の拘束が得られ、合計26個の trifocal tensor に関する拘束式を得ることができる。従って、これらの式を解くことにより、trifocal tensor を線形に計算することができる。

以上より、全てのカメラが相互に投影されている場合は2組の対応点から trifocal tensor を線形に決定することが可能であることがわかる。

### 3.4 提案法のまとめ

本論文での提案法と従来法との比較を表1にまとめる。従来法では18自由度の trifocal tensor を線形計算によって求めるためには、最低26個の拘束式を得るために7点の対応点が必要であった。こ

表 1: 従来法と提案法の比較

画像中のエビポール の組数	計算すべき 自由度	線形法に 必要な 最小対応点
0	18	7
1	14	5
2	10	4
3	6	2

れに対し、今回提案した方法では、1つのカメラが他の2つのカメラに投影されている場合は、残りの14自由度を計算するためには20個の拘束式、すなわち対応点5組のみを必要とし、また、2つのカメラがそれぞれ他の2つのカメラに投影されている場合は、残り10自由度を計算するために14個の拘束式、すなわち対応点4組のみを、そして全てのカメラがそれぞれ相互に投影されている場合は、残り6自由度を計算するために8個の拘束式、すなわち対応点2組のみを必要とする。

次に、このような相互射影の条件が満たされる確率について考える。従来法では、3つのカメラにおいて同一の対象物が観測できればよかった。今、カメラの視野領域を立体角 $\theta$ で表すと、1つのカメラにある対象物が存在する確率は $\frac{\theta}{4\pi}$ である。従って、3つのカメラの視野領域に同一対象物が存在する確率は $(\frac{\theta}{4\pi})^3$ であることがわかる。これに対し、さらに図3のように1つのカメラが他の2つのカメラに投影されている確率は $(\frac{\theta}{4\pi})^5$ となる。また、2つのカメラがそれぞれ他の2つのカメラに投影されている確率は $(\frac{\theta}{4\pi})^7$ 、そして、全てのカメラが相互に投影されている場合の確率は $(\frac{\theta}{4\pi})^9$ となる。これをグラフ化すると、図4のようになる。図4では各手法を、それを用いるのに最低必要な対応点の数で表している。図4より明らかなように視野領域の小さなカメラでは提案法における存在確率は従来法に比べて小さく、カメラ位置、姿勢が大きく制限される。これに対し視野領域の大きい全方位カメラなどを使用すれば図4に見るように、提案法であっても存在確率が大きくなり、従来法と遜色ない確率で使用可能となる。

#### 4 実験

以上、述べた理論を用いて、シミュレーション実験による trifocal tensor の計算の安定性評価、お

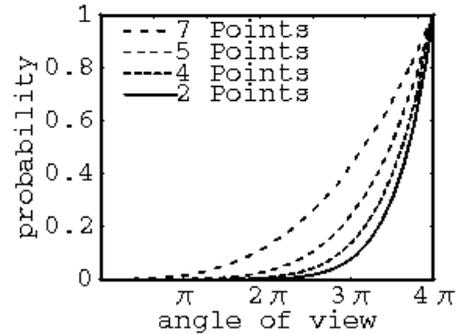


図 4: 相互射影の存在確率

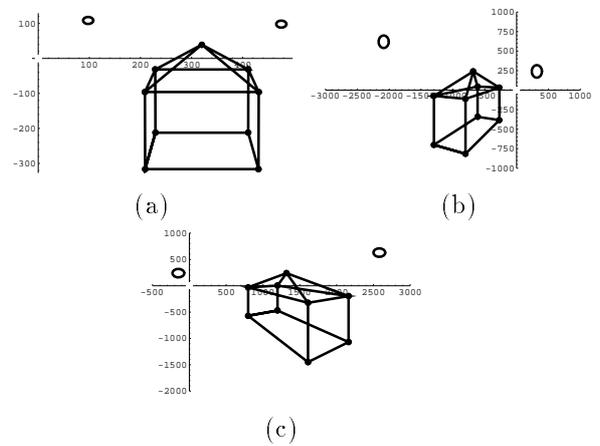


図 5: 投影像

よび実画像による形状復元実験などを行い、本論文で提案した手法の有効性を示す。

#### 4.1 trifocal tensor の安定性評価

図5のように3つのカメラにそれぞれ対象物が投影されているとする。ここで、画像中の白丸は各エビポールを表す。

まず初めに、画像ノイズを印加した場合に従来法と提案法による trifocal tensor の計算を行い、それぞれの trifocal tensor の比較を行った。

図5の各投影点に標準偏差 1pixel の画像ノイズを印加してそれぞれの手法で trifocal tensor の計算を100回行ない、真の trifocal tensor との差を評価した。その結果を図6に示す。横軸はそれぞれの手法に最低必要な対応点の数を表し、縦軸は求めた trifocal tensor とノイズのない場合の trifocal tensor の各要素の二乗誤差の平均を表す。このと

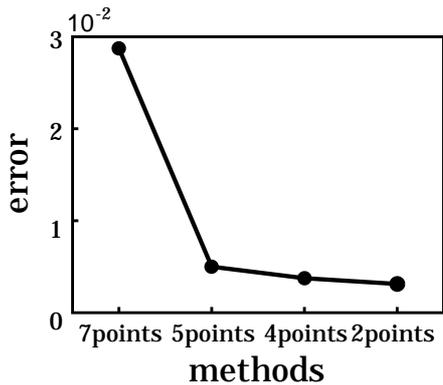


図 6: trifocal tensor 計算の安定性

き、trifocal tensor には定数倍の不定性が存在するため、trifocal tensor の各要素の二乗和が 1 になるように正規化して評価した。図 6 より、従来法による結果では非常に誤差が大きく、安定に trifocal tensor が計算できていないのに対して、提案法による結果は従来法と比較すると格段に誤差が小さく、非常に安定に trifocal tensor を計算できていることがわかる。

#### 4.2 各手法における trifocal tensor の要素の安定性

次に trifocal tensor の要素であるエピポールとエピポーラ・ホモグラフィの安定性の評価を行った。

初めにエピポールの安定性について示す。まず、従来法によって求めたエピポールの安定性を図 7 の (a) に示す。これに対して、1 組のエピポールを用いた提案法と 2 組のエピポールを用いた提案法により trifocal tensor を求めた時の残りのエピポールの安定性を図 7 の (b),(c) に示す。これらの図中の楕円は、先と同様に画像にノイズを印加した場合に、求めた trifocal tensor を用いて計算したエピポールの  $2\sigma$  の不確定領域を表している。これら 3 つの図を比較すると、画像からエピポールを直接求める提案法において、エピポール計算の安定性が格段に向上していることがわかる。

次に、エピポーラ・ホモグラフィの安定性の評価の結果を行った。しかし、エピポーラ・ホモグラフィの安定性の評価は直感的に理解しにくいので、ここではエピポーラ線の安定性として評価した。その結果を図 8 に示す。(a) は従来法、(b) は全てのカメラが相互に投影されている場合において、第 1 画像中で  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$  の傾

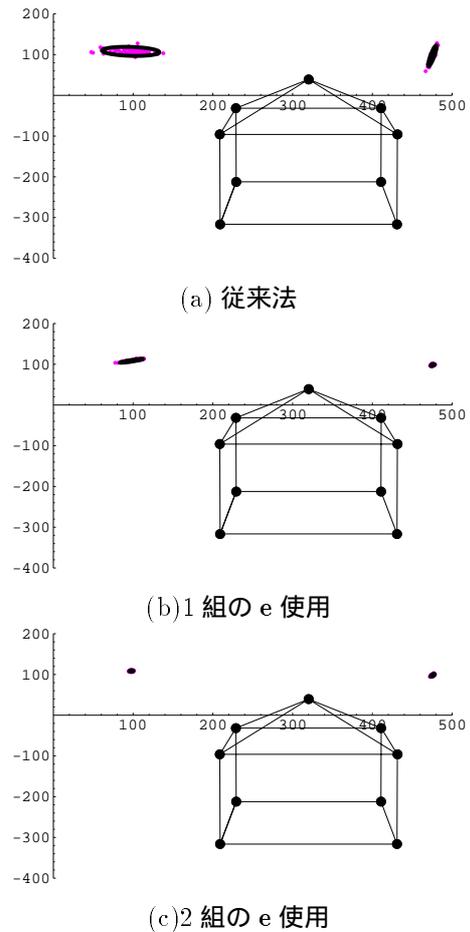


図 7: エピポールの不確定領域

きを持つ 4 つのエピポーラ線が第 2 画像中のエピポーラ線へ 1 次元射影変換された場合の不確定領域を表している。図中の点はエピポールであり、エピポール上を通る 4 組の 2 直線は、それぞれ 1 次元射影変換されたエピポーラ線に対する  $2\sigma$  の不確定領域を表している。これらの結果を比較すると、おおむねの角度ではエピポーラ・ホモグラフィの計算においても、従来法による計算よりも提案法による計算の方が安定性が高いことがわかる。

#### 4.3 射影復元における trifocal tensor の定量的評価

次に提案法による射影復元の安定性を定量的に評価する。図 5 のように 3 つのカメラによってそれぞれ対象物が投影されているとする。これらの画像中の各投影点とエピポールにそれぞれ標準偏差 1pixel の画像ノイズを印加して射影復元を 100 回繰り返し行った。その復元結果を図 9(a) ~ (d) に、また、(e) に正しい復元結果を示す。図 9(a) は従来

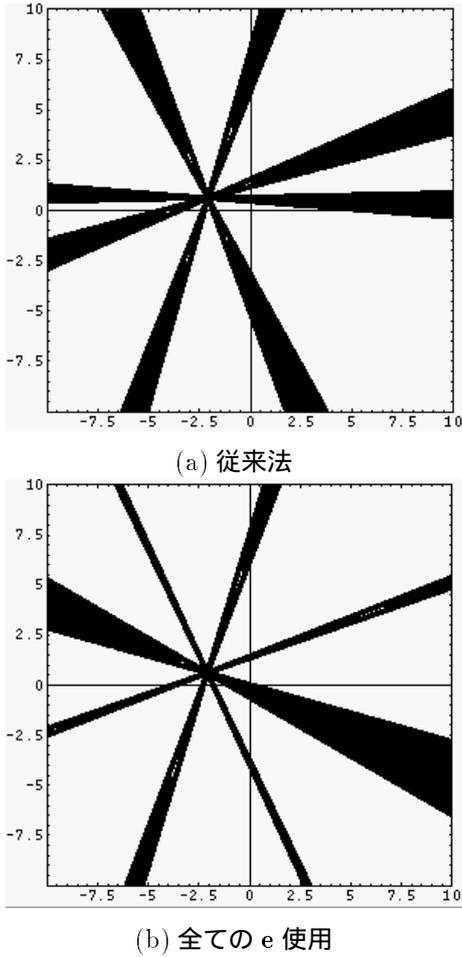


図 8: エピポーラ・ホモグラフィ

法を、また (b) は 1 組のエピポールを画像から直接求めた場合を、(c) は 2 組のエピポールを画像から直接求めた場合を、そして (d) は全てのエピポールを画像から直接求めた場合の射影復元の結果である。図中の楕円体は各点の復元結果に対する  $3\sigma$  の不確定領域を表している。従来法では各点の不確定領域が大きく、安定に復元することが困難であることがわかる。これに対して、エピポールを直接画像から求めた場合は非常に安定に復元できていることがわかる。

#### 4.4 実画像による射影復元

次に、実画像を用いた射影復元について示す。本実験は図 10 のような画像を用いて、従来法と 1 組のエピポールを画像から直接求めた場合にそれぞれ trifocal tensor を計算し、それを用いて射影復元を行い、それぞれの復元精度を比較した。従来法では画像中の 7 組の対応点から trifocal tensor を計算し復元を行い、また、1 組のエピポールを画像

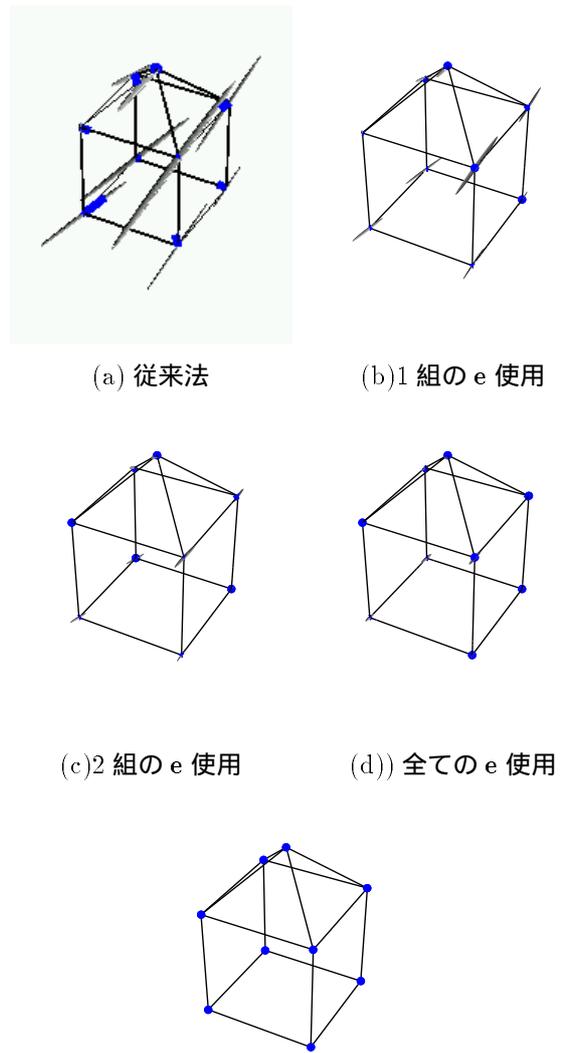


図 9: 復元結果

中から直接求めた場合は画像中の 5 組の対応点から trifocal tensor を計算し復元を行った。その結果を図 11 に示す。これらの図より、従来法による復元では、形が大きく歪み、安定に復元できていないのに対し、提案法による復元では非常に安定に形状復元できていることがわかる。

## 5 まとめ

本論文ではカメラを相互投影することにより trifocal tensor をより安定に計算する手法を提案した。1 つのカメラが他の 2 つのカメラに投影されている場合は 5 点から、2 つのカメラがそれぞれ他の 2 つのカメラに投影されている場合は 4 点から、また、

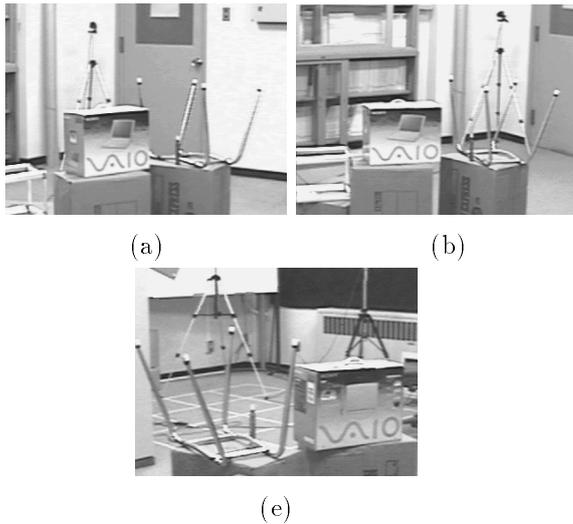


図 10: 実画像による投影像

全てのカメラが相互に投影されている場合には対象物上の2点の対応点から線形に trifocal tensor を計算可能であることを示した。実際に提案法を用いて trifocal tensor の計算を行い、射影復元に応用して提案法の有効性を示した。このようにカメラの相互射影を行う場合には、カメラ位置が大きく制限されてしまうが、全方位カメラなどを用いればこの問題は解決できる。

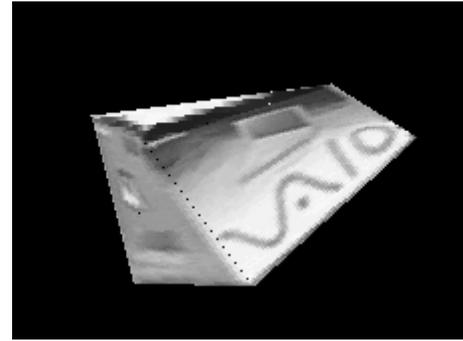
今後はカメラが4つ以上の場合において、カメラ間の相対関係を相互射影により安定に計算する方法を考えていく。

### 謝辞

日頃ご指導頂いている名古屋工業大学佐藤幸男教授に感謝する。

### 参考文献

- [1] 大田友一 and 田村秀行. 複合現実感の要素技術としてのコンピュータビジョン. In 画像の認識・理解シンポジウム, volume 1, pages 1-6, 1998.
- [2] 佐藤岳晴 and 佐藤淳. 未校正カメラによる未校正ロボットの視覚サーボ. 電子情報通信学会論文誌, J83-D-II(4), 2000.
- [3] 佐藤淳. コンピュータビジョン 視覚の幾何学. コロナ社, 1999.
- [4] 伊藤満, 佐藤 淳 カメラの相互射影によるエピポラ幾何計算の安定化. 電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-D-II, (印刷中), 2001 年
- [5] K. Deguchi and T. Noguchi. Visual servoing using eigenspace method and dynamic calculation of interaction matrices. In 13th International Conference on Pattern Recognition, volume 1, pages 302-306, Vienna, Austria, August 1996.



(a) 従来法による復元



(b)1組の e を用いた復元

図 11: 実画像の復元結果

- [6] B. Espiau, F. Chaumette, and P. Rives. New approach to visual servoing in robotics. *IEEE Trans. Robotics and Automation*, 8(3):313-326, 1992.
- [7] O.D. Faugeras. What can be seen in three dimensions with an uncalibrated stereo rig? In G. Sandini, editor, *Proc. 2nd European Conference on Computer Vision*, pages 563-578, Santa Margherita, Italy, 1992. Springer-Verlag.
- [8] R.I. Hartley, R. Gupta, and T. Chang. Stereo from uncalibrated cameras. In *Proc. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 761-764, 1992.
- [9] K.N. Kutulakos and Vallino J. Affine object representation for calibration-free augmented reality. In *Proc. IEEE Virtual Reality Annual International Symposium*, pages 25-36, 1996.
- [10] C.A. Rothwell, G. Csurka, and O. Faugeras. A comparison of projective reconstruction methods for pairs of views. Technical Report N2538, INRIA, 1995.
- [11] R.Hartley and A.Zisserman. *Multiple View Geometry in computer vision* Cambridge University Press, 2000.