

実写画像によるポップアップカード生成

加納 崇光[†]

宮下 芳明[†]

[†] 明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻デジタルコンテンツ系

本稿では、建物や人物を撮影したスナップ写真などの実写画像を入力とし、その2次元の画像をもとにポップアップカードを作成できるソフトウェアの研究開発をおこなった。このソフトウェアでは入力された実写画像が格子状に区切られ、その格子を選択、編集することによってポップアップカードの展開図を生成することができる。また前景抽出アルゴリズムを用いることにより、均一な背景の画像では被写体となったオブジェクトを自動で判別し飛び出させることも可能である。これらの機能を用いることにより誰でも簡単に3次元形状をあらわすポップアップカードを作ることができ、ギフトカードやメッセージカードなど身近な贈り物として用いることが可能となった。

Pop-up Card Generation from Photographic Images

Takamitsu KANO[†] Homei MIYASHITA[†]

[†] Program in Digital Contents Studies, Programs in Frontier Science and Innovation,
Graduate School of Science and Technology, Meiji University.

In this paper, we developed a system to create pop-up cards from 2-dimensional photographic images of buildings or human figures. The system can recognize foreground elements automatically, or the user can choose elements to pop-up in the picture by selecting the desired areas on a grid overlay. By cutting and folding the printed out result, the user can obtain 3-dimensional pop-up cards easily. Using this system, it is possible to instantly make pop-up cards from snapshots and share them as a gift.

1. はじめに

ポップアップカードとは茶谷正洋氏によって考案された折り紙建築とよばれる紙工作の手法のひとつであり、3次元形状を表現することができ、飛び出す絵本やグリーティングカードとしてよく使われている[1][2]。しかし、ポップアップカードは“折りたたんだ状態から開くと立体形状が立ち上がる”という形状に関する厳しい条件があり、設計には図形の知識と経験、さらには試行錯誤が必要である。したがって誰でも簡単に手軽につくりあげられるものではない。

ポップアップカードにはいくつか種類があり、建造物や文字などをかたどったメッセージカードに適した90度型、自動車や電車などをリアルに表現するのに適した180度型など、その種類や表現は豊富である。

本研究では建物や人を被写体としたスナップ写真をもとにグリーティングカードやメッセージカードを作りあげることが目的としており、90度型のポップアップカードを誰でも簡単に設計できるソフトウェアを開発した。

このソフトウェアでは飛び出す部分を指定すると自動でポップアップカードの展開図が生成される。また、ユーザーの手間を省くために、エッジ検出を応用した前景抽出機能を実装しており、建造物など飛び出させたい部分を自動的に選択することも可能である。

2. 先行研究

ポップアップカードに関する研究は三谷純氏らによっていくつかなされている[3][4][5][6]。三

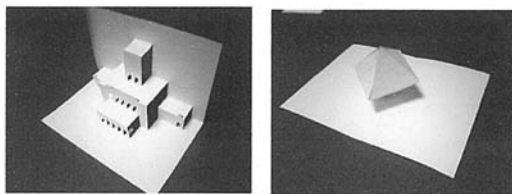


図1 90度型と180度型ポップアップカード[1]

谷らはボクセルモデルを用いることで、90度型のポップアップカードの形状を計算機内に保持し、それをCG表示する手法を提案した[3]。これをもとに90度型の折り紙建築モデルに平面多角形を適用することでより複雑な構造を表現可能にするとともに、システム側で表現可能な折り紙建築モデルを判断するのでユーザーが折り紙建築モデルの設計に専念できるようになった[4]。180度型のポップアップカードは複数の紙パーツを使い、平行リンクと呼ばれる機械部品に使われている仕組みを用いて折込みと立ち上がりの変形が可能な立体形状を作成する。三谷氏らの提案する手法では台紙に紙のパーツを固定するところから組み上げまでの設置図および実際に組み上げるパーツの展開図の生成をおこなう[5]。いずれの研究でもPC上でポップアップカードの設計を対話的におこなえるソフトウェアが開発されており、情報メディアと紙という実体メディアを融合させ、図学教育へ応用させた[6]。

しかし、これらの研究では自らの創意工夫によってポップアップカードを設計することに主眼がおかれており、旅先で撮ったスナップ写真をメッセージカードにしたいといった要望には答え

られない。

本研究では実写画像をもとにグリーティングカードやメッセージカードに使われるようなポップアップカードの設計支援を行う手法を提案する。

3. 対象とするポップアップカードの構造

ポップアップカードにはいくつか種類があるが、実写画像からグリーティングカードを作成するという目的から、本研究では1枚の紙で表現可能な90度型で、縦にひらくもののみを扱うことにする。

90度型は一枚の紙から構成されるポップアップカードで、図2のように水平な底面と垂直な背面があり、それらと平行な面によって大部分が構成される。ポップアップカードを構成する部分の中で、建造物や人物などを表す部分をひとまとめにオブジェクトと呼ぶ。この部分がカードを開いたときに飛び出す部分である。オブジェクトと底面が交わっている境界部分を底接線と呼び、底面と背面の境界部分を背景折込線と呼ぶ。またオブジェクトには垂直な構成面にあいた穴や飛び出している部分があり、それぞれ開口部、切り起こしと呼ぶ。

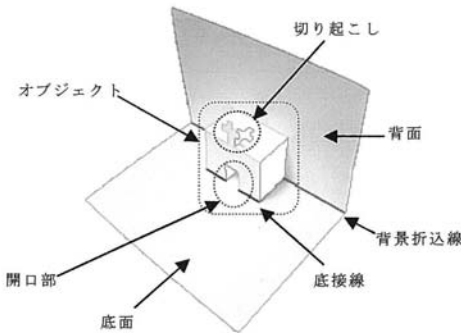


図2 90度型ポップアップカードの用語定義

本研究では切り起こしと開口部については取り扱わず、今後の課題とする。また実際にポップアップカードを作るうえでの紙の強度の問題や実写画像の輪郭は切り込みや折込みを入れるうえでは複雑すぎるといった問題を解決するために円や曲線はすべて縦線と横線の2つの直線で近似する。つまりオブジェクトを直方体の集合だけで表現する。

4. 90度型ポップアップカードの表現

この章ではポップアップカードの図形的な性質や本システムで用いたアルゴリズムについて説明する。

4.1 入力画像について

本研究で用いる入力画像はポップアップカードを制作するために用いるものであり、底接線および背景折込み線が水平なものでなければなら

ないので次に該当するような画像はうまく編集できず、ポップアップカードの完成度が低くなってしまうため、入力画像としてあまり好ましくない。

- ・オブジェクトがはみ出しているもの。
- ・対象となるオブジェクトの底接線もしくは背景折込み線が水平な直線でないもの。
- ・底接線が判別しにくいもの。

特に底接線と背景折込線が水平な直線でないものはポップアップカードの構造上、入力画像として向かない。ただし厳密にこれらのポイントにあてはまる必要はないが、ここであげたポイントを考慮に入れて入力画像を選ぶとより設計が容易で形状の美しいポップアップカードを作ることができる。

4.2 展開図と折り紙建築

90度型ポップアップカードは一枚の紙から作成されるため、立ち上がった状態の形状と展開図が1対1の対応がある。つまり二次元座標から三次元座標が一意に決まる。ポップアップカード制作において二次元座標系で表現されたものを展開図と呼び、これをもとに三次元座標系で表現されたものがポップアップカードである。

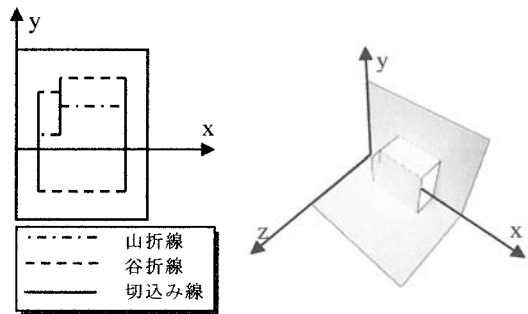


図3 二次元座標系（展開図）と三次元座標系

4.3 オブジェクトに対する処理

図4(a)のようなオブジェクトを飛び出させる場合、オブジェクトには斜めの成分があるが、同図(b)のように格子状で区切った領域によってオブジェクトを選択していく。このように選択するのは紙の強度の問題を解決し、ポップアップカードの構造上の条件を満たすためである。

ユーザーははじめに背景折込線を選択する。背景折込線と同時に底接線も背景折込線上に決まる。

オブジェクトをy軸マイナス方向に移動させることによって任意の奥行きを与える。移動は同図(d)で示すように、格子状に区切られた領域ごとに行い、オブジェクトを構成する格子の中でy座標の小さい格子から選択していくようにする。このようにオブジェクトを構成する格子をy座標の小さいものから指定するのは構築不可能なポップアップカードにならないようにするためである。

奥行き値は底接線と背景折込線との距離にな

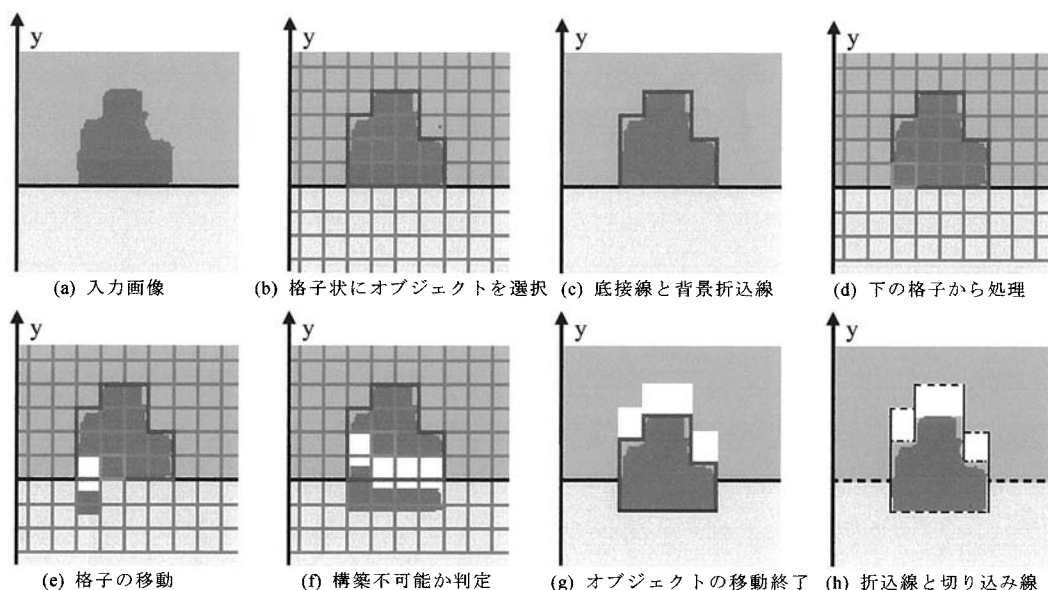


図4 オブジェクトの指定と移動

るので、その分の空白を同図(e)のように移動した格子の上部に挿入し、この格子に対する処理を終了する。処理終了後は隣接する格子で同じ処理を繰り返す。

オブジェクトを構成するすべての格子に対して(d)~(f)の処理を行うと同図(g)ようになる。

オブジェクトの移動後にポップアップカードの展開図として必要な切り込み線と折込み線(山折、谷折)を挿入する処理を行う。背景折込線、底接線、および空白の領域の上端は谷折線を挿入する。空白の下端は山折線を挿入する。オブジェクトの垂直部分と空白部分におけるその延長線は切り込み線を入れる。すべての線を入れると同図(h)のように展開図ができる。

また、図4(f)では『上にある格子の奥行き値は下にある格子の奥行き値よりも小さくなくてはならない』という条件のもとで判定を行っている。これはポップアップカードが宙に浮いたオブジェクトを表現できないことに由来する条件であり、下図5のようなポップアップカードは実現不可能である。システムではユーザーが構築不可能なポップアップカードを設計しようとするとその操作はキャンセルされる。

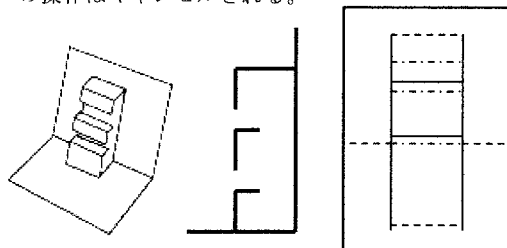


図5 実現不可能なポップアップカード

4.4 複数オブジェクトの処理

複数のオブジェクトが重なりあうように存在する場合、もっとも手前にあるオブジェクト、つまり奥行き値が一番大きいオブジェクトのみ飛び出させるようにすればよい。これはポップアップカードが三次元形状を持つにも関わらず、ある座標(x,y)に対してzが一つだけ決まるためである。

図6(a)のようにピラミッドが3つ重なっており、奥行きが異なる場合、ポップアップカードは同図(b)ようになる。視点の位置から見ると、現実には3つのピラミッドが互いに重なるように存在しているが、ポップアップカードを作る場合は最も手前に存在するオブジェクトだけを考えればよく、そのほかは無視してよい。

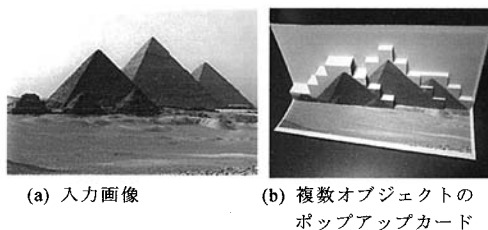


図6 奥行き値の異なる複数オブジェクト

このように奥行き値の異なるオブジェクトが複数ある場合、システムでは各格子の奥行き値 T_v を考え、以下のようなアルゴリズムを適用ことで、ユーザーがどんな編集を行ったとしても、最も手前にあるオブジェクトだけを描画することが可能である。

- ① すべての格子の奥行き値 T_v を 0 で初期化
- ② ポップアップするオブジェクトを指定しその奥行き値 V を決める。
- ③ 各格子の奥行き値 T_v と現在編集しているオブジェクトの奥行き値 V を比較する。 $T_v \geq V$ ならばこのオブジェクトに対する処理を終了し、次のオブジェクトがある場合②へもどる。
- ④ $T_v < V$ の場合 $T_v = V$ としてポップアップする。他のオブジェクトがある場合②へもどる。

5. ポップアップカード生成システム

本章では実写画像をもとに格子状に領域を指定し、ポップアップカードを生成するシステムについて説明する。

5.1 システム概要

本システムは Hot Soup Processor 3.1 を用いてソフトウェアとして実装した[7]。起動すると画像入力ダイアログが開きポップアップカードのもととなる実写画像を選択する。画像は jpg 形式、gif 形式、bmp 形式が入力可能である。

ユーザーインターフェースは大きくわけて3つのエリアから構成されており、上部にツールバー、左側に編集エリア、右側にプレビューエリアを配置した。

ツールバーでは画像の入力や保存、印刷といった機能のほかにグリッドの非表示と表示の切り替えや奥行き値等の設定を行うことができる。また、ツールバーにはモードという項目があるが、“グリッド選択モード”はユーザーが格子状に領域を選択していくいわばマニュアルモードであり、“前景抽出モード”は自動で前景抽出を行うオートマチックモードである。

ユーザーははじめに背景折込線を設定するために画像の上でマウスをクリックする。すると格子と重なるような位置に適切に背景折込線が配置される。次に“グリッド選択モード”および“前

景抽出モード”を選んでポップアップカードを設計していく。完成した展開図を印刷し、カッターナイフなどで切り込みを入れ、折込みをいれることでポップアップカードが完成する。工作をする段階でユーザーは試行錯誤することはない。

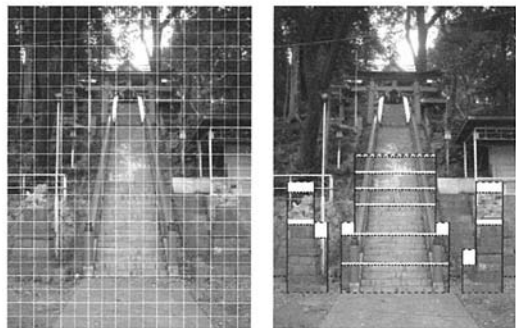
5.2 グリッド選択モード

グリッド選択モードはツールバーの“グリッド選択モード”ボタンをクリックすることで開始することができる。

グリッドとは図 8(a)のように画像を正方形に区切った格子状の領域のことで、ユーザーがこれをひとつひとつマウスでクリックすることによって飛び出させる部分を指定する。しかし、ポップアップカードは宙に浮いたオブジェクトを表現できないなど構造上の制限が厳しく、システム内部で構築不可能なポップアップカードとならないように処理を行うため、ユーザーが選択不可能な領域を選択した場合はオブジェクトに対する処理は行われない。したがって通常は背景折込線に隣接するグリッドから選択し、全体としては下から上へ順番に編集していく。

“グリッド選択モード”では奥行き値を自由に設定することができ、奥行き値の異なるオブジェクトを扱うことができる。

ユーザーはここまでの操作を繰り返し、図 8(b)のような展開図を作成する。ツールバーの“印刷”ボタンを押して、プリンタから出力された展開図を工作するとポップアップカードが完成する。



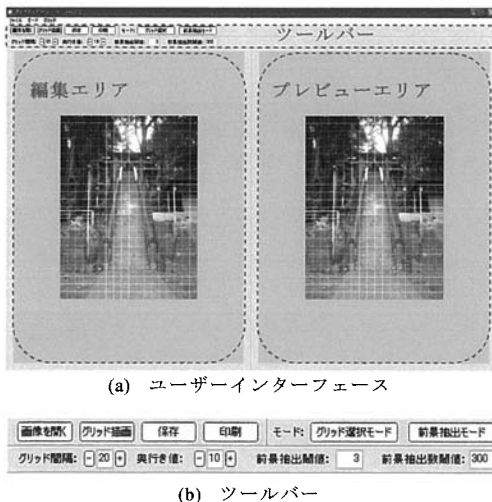
(a) グリッド選択 (b) 展開図

図 8 グリッド選択モードによる編集

5.3 前景抽出モード

本節ではオブジェクト、特に空などの一様な背景の画像において飛び出させるオブジェクトを自動で抽出する自動前景抽出の手法について説明する。この手法は本システムにおいて“前景抽出モード”として実装されている。

領域を抽出する関連研究として、温度や奥行き、クロマキーを用いて領域を検出する研究[8]や赤外線センサを用いて顔領域を検出する研究[9]などが行われているが、本研究ではエッジ検出アルゴリズムを応用し、前景を抽出する。エッジ検出についても様々な研究がされているが



(a) ユーザーインターフェース

(b) ツールバー

図 7 ポップアップカード生成システム

[10][11][12]、本研究では注目する画素の上下左右に隣接する画素と注目画素との輝度値の差分をもとにエッジ検出を行う。

閾値はツールバーの“前景抽出閾値”の入力ボックスにキーボードから0以上100以下の値を設定することができ、差分がこの閾値よりも大きければエッジとしてみなす。したがって閾値を小さく設定するとより細かなエッジまで検出することができるが、ノイズの影響を受けやすく、逆に閾値を大きく設定すると輝度変化の大きな部分のみを検出し、ノイズの影響を受けにくいが細かなエッジを検出できない。

図9(a)に対して閾値を3,10,30として本手法を適用したものを同図(b)~(d)に示す。本手法ではRGB成分に関する輝度値によって前景抽出しており、(c)や(d)では輪郭を抽出していることがわかる。しかし、(b)のように極端に閾値を小さくすると、輪郭だけではなく建造物や人物などの前景を塗りつぶしたような画像となり、前景が抽出されたような効果を得る。

これは閾値を極端に小さくすることで、空などの背景はエッジとして検出しないが、オブジェクト内部に存在する岩石の凹凸や建物の窓、人物の影や洋服などの変化を検出していることに由来するものである。森林や海面などで輝度変化にとんだ背景の画像には用いることができないのはこのためである。

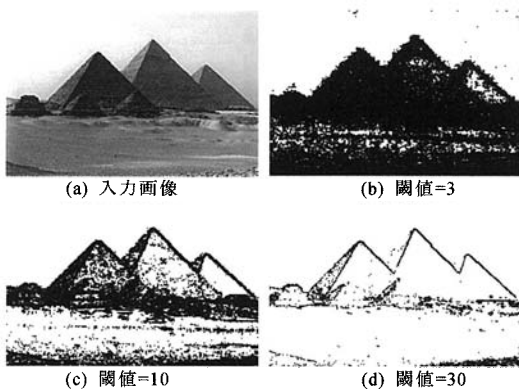


図9 前景抽出とエッジ検出

5.4 前景抽出補助機能

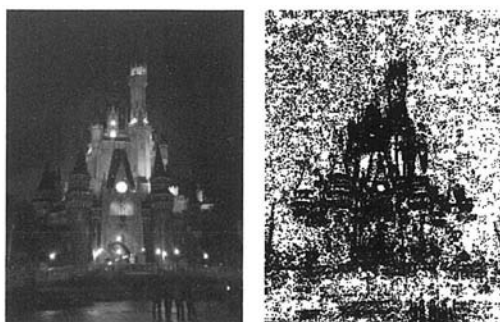
前景抽出では閾値を極端に小さくするのだが、極端に閾値が小さいと地面や樹木、雲などのノイズの影響を受けやすいだけでなく、ユーザーが意図したとおりの前景が抽出できない。図10(a)は夜景に城が写っている例である。閾値を調整し、最適な画像を選んででも(b)のようにノイズがひどく城も十分に抽出されていない。つまり閾値の調整だけでは十分に前景を抽出することは難しい。

そこでより正確にユーザーの意図したとおりの前景を抽出できるように2つの機能を実装した。

①底面除外機能

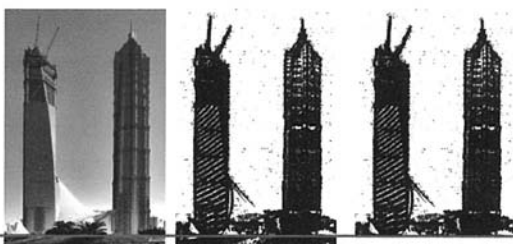
②ノイズフィルタ機能

背景折込線および底接線よりも下にある領域はオブジェクトとして扱わないので、底面除外機能ではこれに該当する格子でエッジが検出され



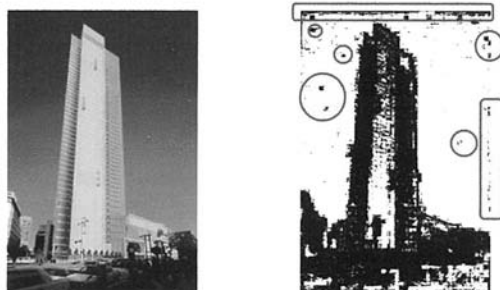
(a) 入力画像 (b) 前景抽出後(閾値=5)

図10 前景抽出がうまくいかない例



(a) 入力画像 (b) 前景抽出 (c) 底面除外機能

図11 底面除外機能



(a) 入力画像 (b) 前景抽出画像

図12 ノイズフィルタ機能

たとしても無効なものとして扱う。図11(a)のような入力画像において図中の水平線を背景折込線とすると底面除外機能ではこの線分よりも下にある部分はエッジとしてみなさないで、(c)のように背景折込線より下の部分が白くなる。

ノイズフィルタ機能ではツールバーからグリッドに含まれるエッジの数を閾値として設定する。格子内で検出されたエッジ数と閾値を比較し、エッジ検出数が閾値以下ならば、その格子はオブジェクトではないと判定する。閾値を大きめに設定すると図12(b)の空の部分にあるような細かなノイズを無視することができる。

6. 評価および考察

本システムを用いることで実写画像を入力として90度型のポップアップカードを設計、展開図の作成することができ、折込みと切込みを入れ

ることでポップアップカードを完成させることができた。奥行き値を連続的に変化させて階段や坂を表現したものなど創意工夫も見られた。同じ入力画像を用いてポップアップカードを生成する場合でもユーザーによってオブジェクトやその奥行き値は異なり、多様な完成作品が見られた。このような結果から本システムは本来の目的である初心者にも簡単に使えるというつつきやすさを保ちつつ、中級者や上級者でも想像力や工夫次第で面白い作品を作ることができ、作品を作るツールとしては有用なものであるといえる。

またアンケートを実施し、ユーザーが飛び出させたい画像がどの程度入力画像として適したものかを調べた。質問内容はグリーティングカードやプレゼントカードとして飛び出させて人にプレゼントしたい画像は何かという内容である。男性8名、女性7名より回答を得ることができ、80枚の実写画像がよせられた。

アンケート結果より、本研究で飛び出させることを想定した人物や動物、キャラクタ、建物などが全体の93.8%を占めており、概ねユーザーが飛び出させたいと思う画像と本研究で対象とした画像は一致した。ただし想定した被写体の写った画像であっても構図や撮影した位置、カメラの傾け方などによりポップアップカードを設計するのが困難となる場合もあり、全体としてみると入力画像として適する画像が71.3%、適さない画像が28.8%であった。90度型ポップアップカードの構造上の制約が厳しく、本システムではそれらを解決する手法が不十分であったといえる。

また、アンケートによって集められた画像にはキーを真上から撮影した画像など、本システムで取り扱っているように、横方向へ飛び出させるよりも縦方向へ飛び出させるとよいものもあった。

大学院生2名に実際に本システムを用いて設計を行ってもらった。被験者からは「最初から画像が表示されているのですぐに設計に取り掛かる

ことができる」、「初心者や経験の少ない人でも簡単に設計をすることができ」という意見があった。逆に「2次元の展開図が表示されるだけでは完成イメージがつかみづらくボトルネックになっている」という意見もあった。

また、前景抽出モードは自動的なモードとして実装されているが、パラメーター調整に時間がかかる。そこでパラメーターを変化させて、それぞれの値によって得られた画像を複数表示し、ユーザーに選択させるなど工夫が必要である。このほかにもペイントツールのようにユーザーの操作によってエッジを選択できるようにする方法も考えられる。本研究で構築したシステムではインタフェースやシステムそのものに改良の余地があるといえる。

7. 今後の展望

90度型ポップアップカードの構造上の制約をどう克服していくかが今後の大きな課題であり、幅広い入力画像に対応できる柔軟なシステムを構築していく必要がある。

今後は開口部や切り起こしを取り扱えるようにし、立方体以外の形で表現を許すなど自由度の向上を行う。本研究の結果をふまえて飛び出す方向の指定や前景抽出画像におけるペイントツールを実装した上で完成イメージを3DCG表示するなど、さらに使いやすく、多くの実写画像からポップアップカードが作れるようシステムの改良を加えていく予定である。

参考文献

- [1]茶谷正洋:折り紙建築型紙集、彰国社、1984.
- [2]茶谷正洋、中沢圭子:折り紙建築 世界遺産を作ろう、彰国社、2005.
- [3]三谷純、鈴木宏正:平面多角形の集合による折り紙建築モデルの表現と計算機による設計支援、情報処理学会論文誌 vol.45 No.3 pp.969-976、2004.
- [4]三谷純、鈴木宏正、宇野弘:計算機によるボクセルを用いた「折り紙建築」モデルの設計手法、情報処理学会論文誌 Vol44, No.5, pp1372-1379, 2003.
- [5]三谷純、鈴木宏正:立体断面の格子状組み合わせによる180度型折り紙建築模型の設計支援、日本図学会、図学研究 第37巻3号 pp.3-8、2003.
- [6]三谷純、鈴木宏正:CGを用いたポップアップカード作成教材の図学教育への応用、日本図学会、図学研究、Vol.38, No.3, pp3-8, 2004.
- [7]Hot Soup Processor オフィシャルホームページ、<http://www.onionsoft.net/hsp/>
- [8]西具吉晃、安田和隆、苗村健:Thermo-Key を利用したプライバシー保護のための実時間モザイク処理、インタラクティブ 2004、インタラクティブ発表、pp23-24, 2004.
- [9]河原塚有希彦、高橋誠史、宮田一乗:マーカレス顔画像検出手法を利用した"View Frame"、インタラクティブ 2004、インタラクティブ発表、pp219-220, 2004.
- [10]酒井幸一:画像処理とパターン認識、森北出版社、2006.
- [11]デジタル画像処理、CG・ARTS 協会、2004.
- [12]近藤成剛、中静真:ウェーブレット変換を用いた輪郭領域画像処理システム、インタラクティブ 2004、インタラクティブ発表、pp61-61, 2004.

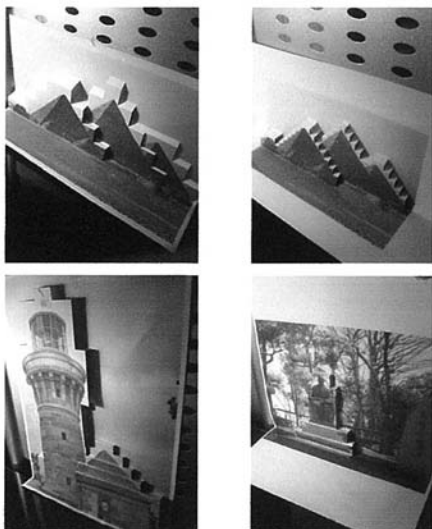


図 13 本システムで設計されたポップアップカード