

1. はじめに

総務省消防庁では毎年、国民に防災の理解を求めるために消防白書を刊行している^[1]。火災による死因で平成 21 年中では、火傷に次いで一酸化炭素中毒・窒息が全体の約 3 割となっている。また、死亡に至った経過をみると、平成 21 年中の火災による死者数のうち、逃げ遅れが全体の 5 割以上を占めている。煙によって避難路が失われ、煙の毒性によって死に至るケースが少なくない。加えて停電、不適切な情報など、状況変化からパニックを引き起こし理性的な判断力の低下から、逃げ遅れが生じてしまう。煙で視界が遮られる状態に対する対処法を理解していても実際にその場で目にするるとパニックに陥ることもある。

本研究では、火災時の煙によるシミュレーションを行う際に、実際に住んだり使ったりしている空間の情報を積極的に取り入れる手法を提案する。見慣れた風景を用いることで、災害時にどのような状況になるのかを、日頃からイメージとして確認し、少しでも火災時にパニックを防止できるよう、CG による視覚情報の活用法を示すことを目的とする。

2. 関連技術および研究

人間は、体感的な経験だけでなく、頭の中で描かれたイメージによっても反応を示す。自分が災害の現場にいるところをイメージすると、その動作に必要なことも分かってくる。災害イメージトレーニングは、災害意識向上のために使われているが、イメージ方法の一つに図1のような目黒の「目黒巻」というものがある^[2]。災害が起きた直後の行動を時間の経過ごとに記入していき視覚的に理解するものである。また既存の災害シミュレーションとして群馬大学大学院の研究が挙げられる^[3]。住民情報や地形情報などから、地域の状況をコンピュータ上に再現し、視覚的に表現される各種指標から想定した問題点や改善点を効率的に抽出する。そして得られたデータを元に地域防災計画に役立てるといものである。



図 1. 目黒巻

3. 提案手法

本研究は、身近な空間を PC 上に写実的な仮想空間として再現し、専用の精密機器を用いることなく、携帯電話のカメラ機能やデジタルカメラなど手軽に扱えるツールを用いて、身近な空間の 3D を作成する。写真測量によって複数枚の写真から PC 上で 3 次元的な形状を再現する。そして写真測量から得られたデータを環境として物理的な煙のシミュレーション設定と光学的な照明の設定を行い、シミュレーションを行う。3DCG なので照明や位置の条件を変更してレンダリングするだけで簡単に身近な空間の火災時の状況を見ることができる。

(1) 写真測量から 3D モデル作成

写真測量の原理を簡単に説明する^[4]。図2に示すように、デジタルカメラなどで撮影した異なる 2 枚の画像を用いて 3 次元計測を行う。異なる位置 A, B から対象を撮影し、画像上の対応点 p_1, p_2 を計測して、三角測量の原理により、

対象の 3 次元座標 P が求められる。左右の画像をパソコンのモニターに表示し、左画像上の p_1 に対応する右画像上の点 p_2 を、マウス等を用いて指定し、3 次元座標を求める。

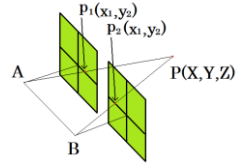


図 2. 写真測量原理

(2) 物理モデルの煙のシミュレーション

近年まで、流体シミュレーションにおいて直接メッシュ上のナビエストークスまたは非圧縮性オイラー方程式を解くことが主流であったが PC の処理時間の長さや、メモリ使用量が増加する結果になっていた。そこで、Nils らは新たな非圧縮性乱流機能を適用するためにウェーブレット乱流を使用する方法を提案した。

ウェーブレットノイズ関数 ω を用いて 3D ベクトル場を表すと式(1)となる。

$$\omega(x) = \left(\frac{\partial \omega_1}{\partial y} - \frac{\partial \omega_2}{\partial z}, \frac{\partial \omega_3}{\partial z} - \frac{\partial \omega_1}{\partial x}, \frac{\partial \omega_2}{\partial x} - \frac{\partial \omega_3}{\partial y} \right) \quad (1)$$

低解像度 n^3 の速度場 u から高解像度 N^3 の速度場 D を合成することである。 N^3 の高解像度の場合の変数は大文字で、 n^3 の低解像度で変数を示すために小文字を使用する。高解像度のロケーション X と U による D の伝達として $A(U, D)$ に u を補間する $I(u, X)$ の補間関数を定義する。

速度場 U を合成に焦点を当てる。 $U(X) = I(u, X)$ で補間法によると速度を取り除く。

$$U(x) = I(u, X) + 2^{-\frac{5}{6}} \cdot e^t \left(\frac{n}{2} \right) y(x) \quad (2)$$

新しい $[n, \frac{n}{2}]$ バンドにエネルギーを注入するため、 $y(x)$ において $i_{\min} = \log_2 n$ と $i_{\max} = \log_2 \left(\frac{n}{2} \right)$ を設定する。 u のエネルギースペクトルはコルモゴロフ分布に従うと仮定して、 $e_t \left(\frac{n}{2} \right)$ を計算し、新しい $[n, \frac{n}{2}]$ バンドでエネルギーを推定するために使用する。この方法は U についての一様乱流の高周波成分を近似し、 $Y(x)$ が全体的に偏っているため、小規模な渦を自然に生成することができる。ローカルテクスチャ座標は、 y が離れすぎて外側の元のスペクトルバンドの逸脱を引き起こしていることを検出した場合、元のローカルな値に再生成される。 $J(C(x))$ と表すテクスチャ座標のヤコビ行列を用いた局所変形量を定量化する。 $J(c(x))$ の固有値 $\lambda(c(x))$ にとって $\max(|\lambda(c(x))|) \geq 2$ は、物理的な観点から、ローカルの渦が前方の高スペクトルバンドに散らばる。

もし $\min(|\lambda(c(x))|) \leq \frac{1}{2}$ なら、その後渦が戻って低いバンドに散らばる。どちらの場合も、渦は物理的に(または視覚的に)干渉性はないので、テクスチャ座標を再生成する必要がある。導関数 $\left[\frac{\partial \omega}{\partial c_u}, \frac{\partial \omega}{\partial c_v}, \frac{\partial \omega}{\partial c_w} \right]$ は直交軸 $\left[\frac{\partial \omega}{\partial x}, \frac{\partial \omega}{\partial y}, \frac{\partial \omega}{\partial z} \right]$ に沿って対応していない。導関数はテクスチャ空間にデカルト軸を投影し、方向微分を取ることで得ることができる。

$$\left[\frac{\partial \omega}{\partial c_u} \quad \frac{\partial \omega}{\partial c_v} \quad \frac{\partial \omega}{\partial c_w} \right] J(c(x))^{-1} [v_x \quad v_y \quad v_z] = \left[\frac{\partial \omega}{\partial x} \quad \frac{\partial \omega}{\partial y} \quad \frac{\partial \omega}{\partial z} \right] \quad (3)$$

結果として得られるカルテジアン導関数(3)は、式(1)で使用される。テクスチャ座標を受け取り、 $z(c)$ として、この投影を行う修正乱流の機能を表す。最終的なアルゴリズム

高解像度の速度場を生成するための最終的な方程式は次の式(4)である。

$$U(x) = I(u, X) + 2^{-\frac{5}{6}} \cdot e^{t \left(\frac{n}{2}\right)} y(x) \quad (4)$$

4. 実験

(1) 3次元モデルの作成

本研究では写真測量ソフトウェアとして Photomodeler を使い、計 70 枚の写真(4000×3000 pixels)を撮影して教室の 3D 空間モデルを作成した。様々な角度から大量に写真を撮影することでより立体的で写実的なモデルを作成することができる。図 3 に教室の写真の一部と PhotoModeler の出力画像を示す。



図 3. 教室の写真測量による 3D モデリング

(2) 煙・照明設定

煙の挙動と照明条件のシミュレーションに CG ソフトの Blender を用いた。

図 3 の (g) にあるように PhotoModeler で作成した 3D モデルを Blender にインポートし、煙の発生源を 3D 空間内に設定した画面を図 4 に示す。

また Blender には、Indirect Lighting 機能が備わっている。これはオブジェクトの表面が光り面光源を再現できる機能である。この機能を使用し、実在する蛍光灯の配置で煙の中の視界をシミュレーションする。

(3) レンダリング結果

250 フレーム長で、800×600 の解像度の AVI 形式動画として 40～50 分で出力した。様々な角度からレンダリング

を行い、以下の図 5 のように煙の状況を確認できるようにした。レンダリング結果から煙は拡散する時、渦を巻きつつ周りの煙を巻きこみながら天井を沿って拡散し、壁を伝って下降してくることが分かった。また壁にぶつかった煙は下降して水平に空間を移動することや、配置物の影響を受けて拡散する方向が変わっている。煙が渦を巻きながら拡散され天井付近に滞留したあと全体に拡散し、シミュレーションの結果から短時間で本棚の上辺りにまで煙が留まり、煙を吸わないためにもかがんで避難することは重要であることが確認できる。以上より CG による煙のシミュレーションを行うことで現実の空間で煙を発生させなくても火災による煙のイメージがしやすくなったと考えられる。

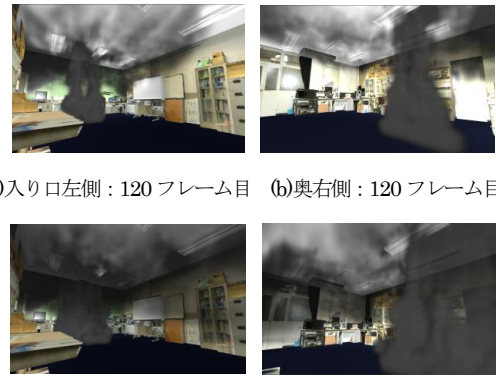


図 5. レンダリング結果

5. おわりに

本研究は、実在空間のモデル化と物理シミュレーションでの組み合わせで災害イメージを生成する手法を示した。

すでに配置している物の立体化によって空間内に渦を撒きながら拡散していく煙の挙動が見られた。また写真撮影という比較的容易な計測方法により、実感のある災害状況を映像化することが出来たが、現実の物理条件と整合させるパラメータ設定が今後の課題である。さらに無風とした条件下でシミュレーションを行っている。風による煙の挙動を調べるのも今後の課題である。火災時に発生した本来は目に見えない有毒ガスや、一酸化炭素の空間の濃度分布を視覚的に再現する応用的な利用も検討予定である。

参考文献

- [1] 総務省消防庁 平成 22 年度版消防白書
<http://www.fdma.go.jp/html/hakusho/h22/h22/index2.html>
- [2] 東京大学目黒公郎教授 国内有識者インタビュー(2007 年 4 月)
http://e-public.nttdata.co.jp/frepo/466_j0704/j0704.aspx
- [3] 群馬大学大学院 災害社会工学研究室 災害総合シナリオ・シミュレータ
<http://dsei.ce.gunma-u.ac.jp/simulator/>
- [4] 長崎大学 平成 17～18 年度科学研究費補助金 基盤研究 B(1) 研究成果報告書
光学的全視野計測技術による建設構造物の劣化・変状メカニズムの解明と診断法の開発 2.8 3D 写真図化システム 2.8.2 3D 画像計測
<http://www.st.nagasaki-u.ac.jp/ken/matsuda/publications/CD/tableofcontents.html>
- [5] T. Kim, N. Thurey, D. James, M. Gross, Wavelet Turbulence for Fluid Simulation, Proceedings of ACM SIGGRAPH2008
http://www.cs.cornell.edu/~tedkim/wturb/wavelet_turbulence.pdf

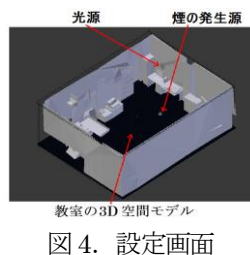


図 4. 設定画面