

グレアの可視化と画像合成

Visualization Methods of Glare and Image Synthesis

宇田紀之・神谷淑貴・二石比路志・清水幸丸

UDA Noriyuki, KAMIYA Yoshitaka, FUTATSUISHI Hiroshi & SHIMIZU Yukimaru

Abstract:

Glare model providing good performance for image synthesis was proposed by using lens flares appeared on camera images. This glare model was consisted of bloom, corona and streaks. Bloom was a saturation portion of the lens flare. Extracted luminance (mean and variance) from lens flare was applied to Gaussian Kernel and created luminance distribution of the flare. The streak element was extracted by using edge detection. Exposure of background image was corrected by gamma function which coefficient was calculated on the brightness of glare.

From Visual experimental results, it was confirmed that this proposed method was more effective in bright emphasis than the Kawase multiple Gaussian filter.

Keywords: Visualization, Glare, Image Synthesis, Lens Flare

1. はじめに

太陽光や自動車のヘッドライトのような高輝度光源を直視したり、あるいは、それらの強い反射光を受けた場合に、人間が知覚するまぶしさ感をグレアという。グレアは、眼球内に入射した外光が散乱して視感度に影響を与える生理現象である。グレアの知覚には、光源輝度や背景輝度対比などの環境要因と、輝度順応や周辺視などの受光側（人間）の心理的要因が影響すると考えられる。

液晶ディスプレイなどで表現できる輝度は、最高でも、500cd/m²程度であり、現実の高輝度光源をそのまま再現することはできない。限られた輝度レンジを利用して、輝きやまぶしさを表現する方法のひとつとして、高輝度光源の周囲に、散乱光や閃光を描いて、光源と背景画像の輝度コントラストを強調する手法が使われてきた。この描画技法をグレア効果という。光源や反射光の強さを表現する場合だけでなく、登場キャラクターの存在感を際立たせたり、シーンの展開を印象づける演出効果としても利用される。

グレア効果は、あらかじめデザイナーが用意したグレア画像をテクスチャーマッピングする方法と、

眼球の光学モデルを用いて、入射光の散乱を物理的にシミュレートして、グレア画像を作成する方法がある。グレア画像と合成するシーンの照明環境が一致しない場合は、合成画像に不調和感が生じる。

本研究では、高輝度光源を撮影したときに、カメラ画像に発生するレンズフレアを利用することにより、画像合成の性能にすぐれたグレア可視化モデルを提案し、画像合成の方法について検討した。

2. グレアの表現技術

2.1 眼球モデルとレンズモデル

高輝度物体を直視したときのまぶしさ感は、眼球内に入射した光が散乱して視感度に影響を与えるためである。水晶体を經由して眼球内で散乱した入射光は、焦点のぼけた像を網膜に写す。このとき知覚されるグレアは、ブルームとフレアの2重構造と考える。ブルームは、中心窩付近で光を最も強く感知する部分である。ブルームの周囲に発生するフレアは、角膜細胞による光の屈折や睫毛による光の回折現象に原因する輝度分布と考えられる。フレアは、さらに、グラデーションをもった同心円状のコロナ（光輪）と、放射状に拡散するストリーク（光条）

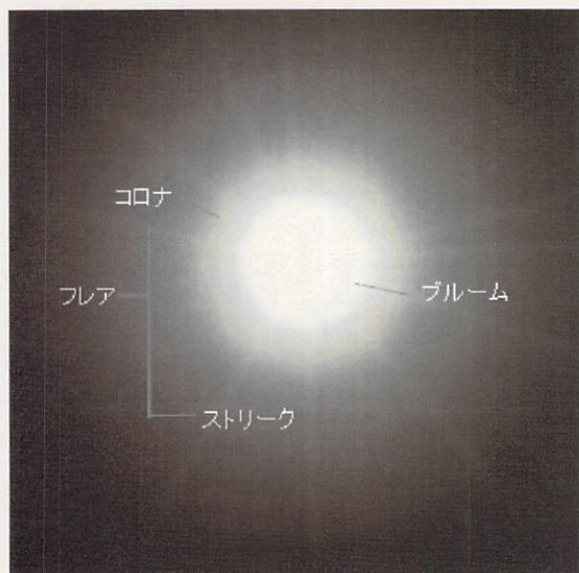


図1：レンズフレアの構造

を区分して特徴づけることができる(図1)。眼球は常に微動しているため、ブルーームやフレアも微動しているように見える。角膜の屈折率や視細胞構造は、個人によって異なることから、物理的条件だけでグレアを定量化するのは難しい。

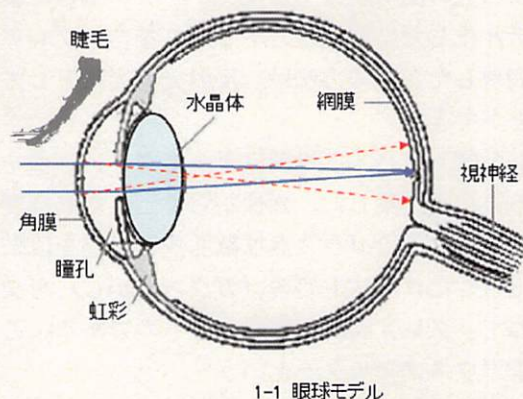
高輝度物体をカメラで撮影した場合、グレア現象と同様に、画像の高輝度部分が白くぼやけ白濁することがある。これを、レンズフレア現象という。レンズフレア現象は、強い入射光が焦点周辺の撮像素子の電荷を連続的に高めてしまうことによって起こる虚像現象である(図2)。

レンズフレアにおけるブルーームは、飽和した撮像素子の領域である。コロナはシャッター構造(シャッター枚数と形状)を投影したものであり、ストリークは、撮像素子の性能や配列構造によって形状が決まる。長く伸びた鮮明なストリークは、人間の視覚とはあきらかに異なるレンズフレアの特徴である。画像を分断するように水平・垂直方向に伸びたストリークはスミアという。CCD撮像素子を持ったカメラに発現する特徴的な現象である。カメラ機種と露光値から、レンズフレアの形状を予測することが可能である。

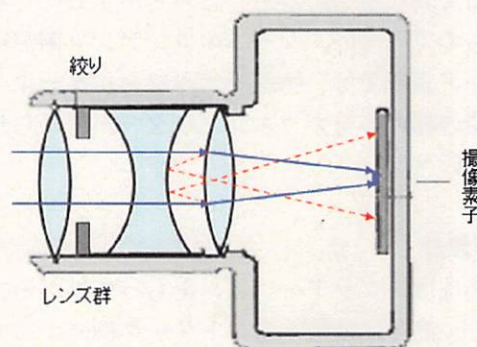
2.2 グレア表現の研究

高輝度光源の周辺に擬似的なフレアを描き、輝きを強調する表現技法は、コンピュータグラフィックス以前の絵画や版画においても見ることができる。

コンピュータグラフィックスでは、コンテンツの



1-1 眼球モデル



1-2 レンズフレアモデル

図2:眼球モデルとレンズフレアモデル

輝度調整と画像合成が容易であることから、光の拡散現象を表現するグレアフィルターが、いくつかが考案され、元画像のアフターエフェクタとして多用されるようになった。グレアフィルターには、あらかじめデザイナーが創作したグレア画像をテキストチャーマッピングする方法と、光学物理学モデルにもとづいてシーンごとにグレア画像を自動生成する方法がある。

Spencer¹⁾の眼光学モデルは、眼球内の光散乱モデルと網膜の視細胞分布パターンによってグレアの可視化を試みたものである。このモデルは入射光のスペクトル分析を行い、コロナの色分散を表現することができる。

Nakamae²⁾は、瞳孔の焦点調節機能を瞳関数に定義して、角膜の反射特性と大気粒子による光の散乱によってグレア現象を表現する方法を示した。

Kakimoto³⁾は、入射光を波動関数として定義し、

睫毛による光の回折現象を2次元フーリエ関数によってモデル化した。鮮明なストリークを含むグレア画像を表現した。この方法は、反射光も光源として扱うことができた。

Kawase⁴⁾は、ロバスト処理によってグレア画像を作成する方法を提案した。画像から抽出した高輝度部位画像に対して、ガウス点拡散関数の半径を段階的に変化したロバスト処理(ガウスぼかし)を交互に重ねて、グレア画像を作成するものである。これを多重ガウスフィルターという⁵⁾。

多重ガウスフィルター法は、物理的裏づけを持たないが、眼光学モデルに相当するフレア画像を容易に得ることができる。もとより、グレアの認識は、個人によって異なることから、どちらが正しいと判断できるものでもない。ゲームのコンテンツ開発におけるグレア表現では、物理モデルフィルターよりも計算負荷の軽い多重ガウスフィルターが用いられることが多い⁶⁾。

2.3 研究の課題

グレア画像は、グラデーションをもって拡がるフレア部位と、筋状に拡散するストリーク群によって特徴づけられる。多重ガウスフィルター法は、高輝度部位の輝度平均と分散によって、ブルーム領域の大きさとフレアの輝度分布を表現するもので、ストリークを表現するものではない。

Kakimotoの方法は、遮蔽物における光の回折を2次元フーリエ変換式でモデル化しており、ストリークを生成することができる。ただし、ストリークを発生させるには、非現実的な環境設定が必要となる。非現実的な設定は、グレア画像と背景画像を合成した際の不調和感や違和感となって表れる。

ぼんやりしたフレアが明るさを生み、鮮明なストリークがグレアの「輝き感」を強調するものと考えられる。鮮明なストリークを含むグレアのモデル化とその画像合成の方法について考えた。

3. レンズフレアを利用したグレア表現

高輝度光源をカメラで撮影した場合のレンズフレアには、人間の視覚よりも鮮明なストリークが残像として記録されている。そこで、レンズフレア画像からブルーム、フレア、ストリーク3つの輝度特徴量を別個に抽出して、それらの輝度特性を再構築して汎用性のあるグレア表現法を考えた。

我々の提案方法では、あらかじめレンズフレア画

像から輝度量を計算することができるので、合成する背景画像に影響する光の強さも前もって予測することができる。光源位置によって背景画像の露出補正(ガンマ補正)を行い、フレア画像に合成する。グレア可視化のアルゴリズムを図3に示す。

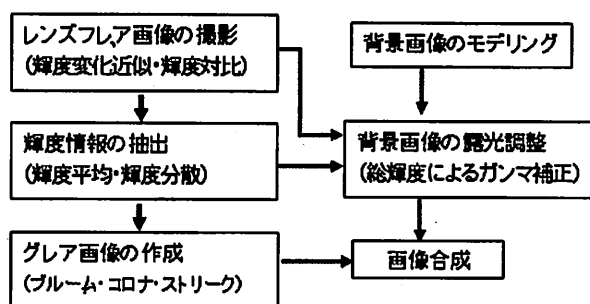


図3: グレア可視化と画像合成のアルゴリズム

3.1 レンズフレアからの輝度情報の抽出と再構成

3.1.1 レンズフレアの撮影

レンズフレアをするために、カメラのストロボフラッシュを光源として利用した。デジタルカメラの視軸とストロボの光軸が対向するように配置して、同期撮影した。

使用カメラは、D700(NIKON)で、ストロボ光量は、発光時間で調整した。1000cd/m² から 20000cd/m² 相当の光源輝度を設定することができる。画像全体の輝度(L_{whole})は、以下の指数関数で求めた。(補注1)。

$$L_{whole} = a \cdot e^{L_{source}} \quad (1)$$

3.1.2 フレアの輝度分布

フレアの輝度分布は、ガウス関数によって定義できることから、レンズフレア画像から全体の輝度平均と輝度分散を抽出する(図4)。

グレースケール化して、レンズフレア領域を、光源位置を原点とするXY平面上に展開する。各ピクセルの輝度P(x,y)を求めて、次に、平均輝度R(x₀,y₀)と分散δを計算する。フレアの輝度分布の形状が円であると仮定すると、

$$\begin{aligned} y_0 - x &= r \cos\theta \\ y_0 - y &= r \sin\theta \end{aligned} \quad \theta : \text{回転角}$$

が成り立ち、次の式で分布が表現できる。

$$p(xa, ya) = \frac{1}{N^2} \sum \theta \sum r \cdot \exp \frac{r^2}{2\sigma^2} \cdot P(x, y)$$

すなわち、レンズフレアの平均輝度 r と分散 δ によってフレアの輝度分布が表現できる。Nは正規化定数である。

3.1.3 ブルームとストリーク情報の抽出

レンズフレアの中心部位の輝度を基準値 H として、各ピクセルの輝度 $P(x, y)$ としたときのブルームの範囲を以下のように定義する。

$$H + K < P_{(x,y)} < L_{\max} \quad (3)$$

L_{\max} は、諧調の最大値(飽和)であり、 k は閾値である。判定範囲内の画素のまとまりをブルーム領域とする。ブルーム領域を除去した画像に、水平方向と垂直方向のソーベルフィルタを適用して、ストリーク情報を抽出する。細線化処理によってストリークの形状情報(長さと同幅)を抽出する(図5)。

ブルーム画像にストリーク画像を加算して、輝度総量を求める。レンズフレアで計測した輝度総量を越えないように、フレアのサイズを調整する。

ブルームとストリークも、フレアの輝度総量に依存するので、グレア画像を、輝度平均 r と分散 σ によって調整することができるようにした(図6)。

3.2 背景画像の輝度調整

グレア輝度が増加に対応して、背景画像の輝度量も増加させる必要がある⁹⁾。レンズフレア画像から抽出した輝度変化近似式の係数(i)をガンマ補正の式にあてはめて、 $P(x, y)$ の補正量 $d(x, y)$ を求める。

$$d_{(x,y)} = \left(\frac{L_{source(x,y)}}{L_{max}} \right)^{1/i} \times L_{max} \quad (4)$$

この補正量をトーンマップとして保存しておき、もとの背景画像にマッピングする(図7)。

3.3 画像合成

画像合成は、背景画像、トーンマップ、グレア画像の順番にレイアを重ね合わせて合成する。背景画像は高輝度部分を抽出して、グレア画像の合成位置を決める。CGモデリングの場合は、光源位置から平行光線を当てて、背景画像を作成する。

写真撮影する場合は、高輝度部分が選別しやすいように露光値を低く設定し、同じ露光値で撮影したレンズ

フレアをグレアの元画像とする。輝度設定スライダーによるグレア画像の輝度変化に対応して、背景画像の露光値が変化するようにした。CGモデリング場合は、シャドウ処理も行う。

4. 評価

レンズフレア画像から抽出した輝度情報を利用して、グレアの輝度変化モデルに数式化し、カメラで撮影された景観画像にグレア画像を合成する方法を提案した。

図8における一連の評価画像では、グレア画像が違和感なく合成されており、また、グレア輝度をインタラクティブ操作できることから、本研究の提案したグレア可視化技法は、CG製作におけるグレア表現手段として十分有効なものであったと判断する。

フレア部分を多重ガウスフィルタで輝度拡張してゆくKawaseの方法と、提案方法で作成した2つの画像について、「輝き」の識別閾を求める視認実験を行ったところ、Kawaseの方法による画像では、完全飽和しても、グレアは認識されることが分かった。一方、提案方法によるグレア画像では、ブルーム領域が平均45.6%になった時点でグレアが認識された。

提案方法で作成した画像には、ストリークが含まれていたことと、グレア輝度変化を背景画像に反映させるために、輝度変化が急勾配になっていたことが原因と考えられる。ストリークのグレア効果については、別論文で議論した。

本提案モデルは景観画像における輝度調整を念頭においており、グレア光源には太陽光、背景画像には風景写真を想定していた。本方法は、太陽が写真に写り込んでいない場合でも、背景画像の輝度調整は可能である。ただし、光源が二つ以上ある場合や、反射光は表現することはできない。

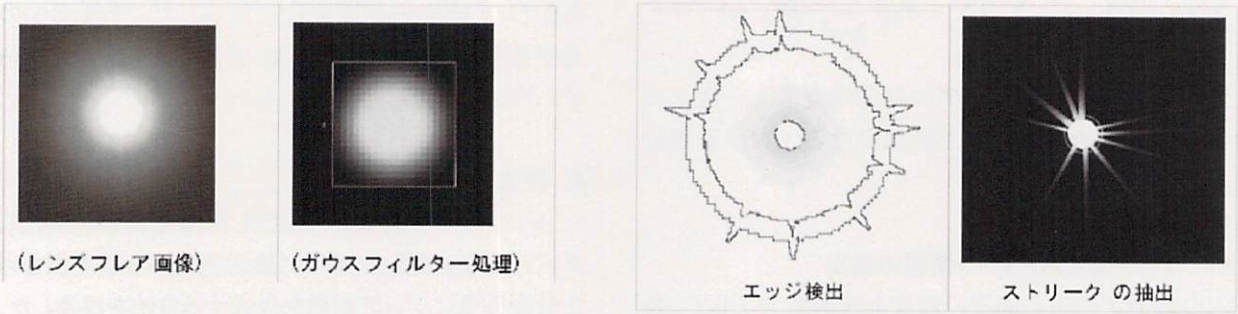


図5：エッジ検出とストリークの抽出

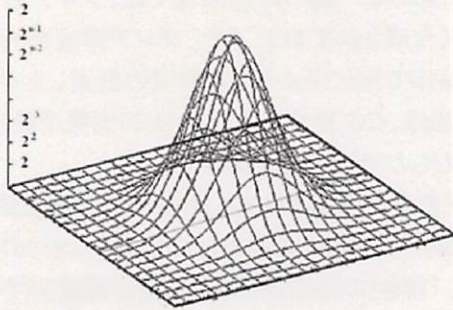


図4：ガウスフィルターによるフレア抽出

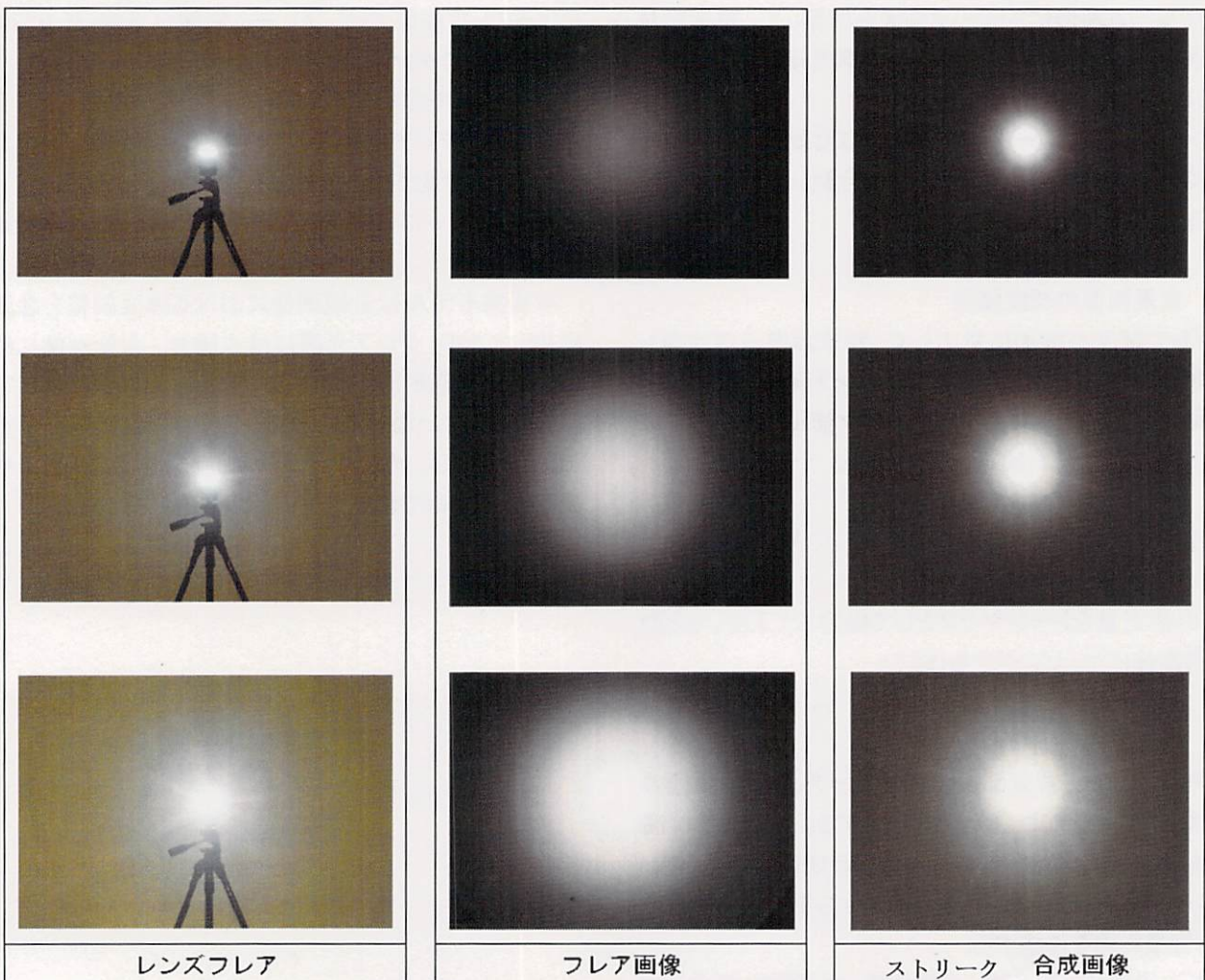


図6：レンズフレアを利用したグレアの可視化

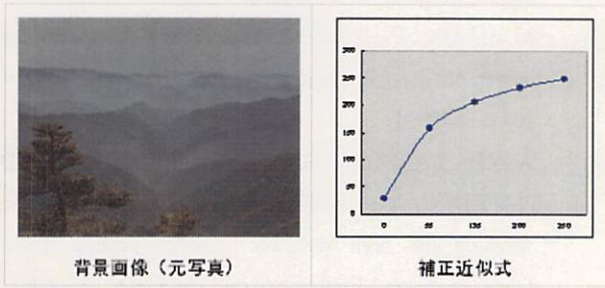


図7：背景画像の露光調整

5. まとめ

カメラ画像に発生するレンズフレアを利用することにより、画像合成の性能にすぐれたグレアモデルを提案した。グレアは、ブルームとフレア、ストリークからなる。レンズフレアの飽和部分をブルームとする。抽出した輝度成分（平均と分散）をガウス関数に当てはめて、フレアの輝度分布を表現する。エッジ検出法でストリーク成分を抽出する。背景画像の露光は、グレアの輝度変化から、ガンマ係数を求めて補正した。

視覚実験の結果、我々の提案方法では、kawaseの多重ガウスフィルタよりも明るさを強調したグレア画像が得られることが確認された。



グレア輝度の低下と露光処理



グレア合成画像



グレア輝度の増加と露光処理

図8 画像合成

参考文献

1. SPENCER,G, SHIRLEY, P., ZIMMERMAN, K., GREENBERG, D. Physically-based glare effects for digital images. In Proceedings of ACM SIGGRAPH, ACM. (1995)
2. NAKAMAE, E., KANEDA, K., OKAMOTO, T. NISHITA,T.: A lighting model aiming at drive simulators. Computer Graphics 24, 4, pp. 395 – 404. (1990)
3. KAKIMOTO M., MATSUOKA K., NISHITA T., NAEMURA T., and HARASHIMA, H.: Glare simulation and its application to evaluation of bright lights with spectral power distribution. In Proceedings of ACM SIGGRAPH.(2005)
4. KAWASE, :Practical implementation of high dynamic range rendering. In Game Developers Conference. (2005)
5. 西川善司(著): ゲーム制作者になるための 3D グラフィックス技術,インプレスジャパン (2009)
6. ROKITA, P.: A model for rendering high intensity lights. Computers and Graphics 17, pp. 85 – 108.(1993)
7. ADELSON, E. H. :Perceptual organization and the judgement of brightness. Science 262, pp. 2042 – 2044. (1993)
8. WARD LARSON, G, RUSHMEIER, H, AND PIATKO, C. A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 3, 4, pp. 291–306. (1997)
9. 宇田紀之, 神谷淑貴, 横井茂樹, 安田孝美 : 高輝度環境におけるグレア可視化と評価に関する研究 : 風力発電所における光環境影響評価のための基礎的研究(複合現実感, 仮想都市, 及び一般) 電子情報通信学会技術研究報告. 109(215), pp. 71-76, (2009)
10. 宇田紀之, 神谷淑貴, 横井茂樹 : 擬似光幕光源によるグレアの評価方法(サイバースペースと仮想都市研究会) 日本バーチャルリアリティ学会研究報告. 15(CSVC-1), pp. 19-22, (2010)