屋外シーンの潜在的日照領域の推定による急激な照明変動に頑健な背景差分

福井啓允† 満上育久†† 椋木雅之††† 美濃導彦†††

† 京都大学大学院情報学研究科 〒 606-8501 京都府京都市左京区吉田本町
†† 大阪大学産業科学研究所 〒 567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1
††† 京都大学学術情報メディアセンター 〒 606-8501 京都府京都市左京区吉田本町
E-mail: †fukui@mm.media.kyoto-u.ac.jp

あらまし 動的な背景モデルを用いた背景差分においては，屋外シーンでの急激な照明変化による誤検出が本質的に問題となる．本論文では，照明変化が起きうる領域を事前に得ることにより，照明変化に頑健な背景差分を実現する手法を提案する．まず，このような領域を，太陽の直射光が届き急激な照明変化が起きうる潜在的日照領域と定義し，その時間的な変化の特徴に注目し，過去の観測画像を時空間画像解析することで推定する．また，その結果に基づき検出領域を評価し，検出領域において照明変化による画素値変化分を打ち消す．これにより誤検出領域を除去して正しい物体領域のみを検出できる．実験では，潜在的日照領域が精度よく推定できることを定量的に評価し，その結果を用いた背景差分により急激な照明変化による誤検出を除去できることを示した．
キーワード 背景差分，時空間画像，長時間観測

Background Subtraction under Varying Illumination by Estimation of Potential Sunny Regions

Hiromasa FUKUI†, Ikuhisa MITSUGAMI††, Masayuki MUKUNOKI†††, and Michihiko MINOH†††

† Graduate School or Informatics, Kyoto Univ. Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501 Japan
†† Institute of Scientific and Industrial Research, Oaska University, 8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047, Japan
††† Academic Center for Conputing and Media Studies, Kyoto Univ. Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501 Japan
E-mail: †fukui@mm.media.kyoto-u.ac.jp

Abstract In background subtraction based on dynamic background model, sudden change of lighting condition in outdoor scenes causes mis-detection. We propose the method to cope with this problem by estimating the "potential sunny region", which can be sunny by the sunlight. We estimate the region from observed images acquired by long-term observation by using spatio-temporal image analysis. Moreover, we compare the region with the detected regions in background subtraction and if they are similar, we cancel the change of value in the region to set back the observed image to that before the change of lighting condition. iIn the experiments, we estimate potential sunny region by proposed method and evaluate them quantitatively. Moreover, using the result, we remove the mis-detection in background subtraction.
Key words background subtraction, spatio-temporal image, long-term observation

1. はじめに

固定カメラの映像から人物や車などの移動物体 (前景物体) を検出することは，映像中の前景物体の追跡や認識処理のための基本技術であり，監視カメラを用いた防犯システムや自動認識システムなどに応用されている．

このような画像中から前景物体の領域を検出する手法としては，一般に以下の二つのアプローチが挙げられる．一つは，検出対象である物体に関するモデルを用意し，そのモデルに適合する領域を物体領域として検出する手法，もう一つは，背景のモデルを用意してそのモデルに適合しない領域を物体領域として検出する手法（背景差分法）である．本研究で想定するような固定カメラでは，固定シーンを撮影しており観測画像には基本的に

同じ背景が映るため，様々な形状や色をとりうる前景物体をモデル化するアプローチよりも背景をモデル化するアプローチの方が信頼性が高いと考えられる．そこで本研究では背景をモデル化するアプローチである背景差分法を選択する．

背景差分法で用いられる背景モデル化手法としては，画素ごとに過去の観測画素値から統計的に背景画素値をモデル化する手法が一般的である．これには，画素値の最頻値や平均値，変動する背景画素値に関する混合ガウス分布などをモデルとして用いる手法 [1][2][3] がある．これらの手法では，直近の過去から現在までの期間の観測画像を用いてモデルを動的に更新する．こうした処理により，背景画素値が徐々に変化する場合にも背景モデルを追従させることで対処できる．しかし，急激な日照の変化が起きた領域は，背景モデルが変化後の照明条件に追従するまで，背景モデルと不整合が生じ前景物体領域として誤検出される．また，[4] では画素ごとの混合ガウス分布の数を動的に変化させ，高速に背景モデルを追従させ誤検出の影響を軽減しているが，このような動的に背景モデルを更新する手法でも，急激な照明変化には即時対応できず誤検出が起きるという本質的な問題がある．

これに対して長期間の観測を用いる手法として，[5] では，背景画素値のヒストグラムを獲得し，画素値変化時の事後確率を用いて，定常的な背景変動と前景物体を区別している．しかし，必ずしも定常的な変化ではない照明変動などには処できない．

また，照明変動の空間的性質を考慮し，照明変動による誤検出に対処する手法として，[6][7] がある．[6] では，部分画像ごとに正規化距離を求めるというテクスチャに基づいた手法と，固有画像解析による照明条件の推定を統合することで物体検出を行っている．[7] では，一定の部分画像パターンに共起性が現れることより，部分画像ごとに固有空間を構成して画像パターンを学習し，背景らしさを評価することで，照明変動を判定できる．しかし，これらの手法では，均一な背景領域上に均一な表面を持つ前景が現れると検出漏れが起きたり，また部分画像を用いることによる解像度の低下の問題がある．

本論文では，照明変動による検出領域を前景物体と区別し取り除くために，照明変動が起きる領域を空間的性質として事前に得ることを考える．このような領域が事前に予測できれば，その領域内で一様に起きた画素値変化は照明変化によるものだと判断でき，その領域における照明変化による影響を観測画像から取り除くことで，前景物体の正しい検出ができると考えられる．実際に屋外シーンの画像についての画素ごとの画素値変化を観測すると，それらは空間的な相関があり，太陽の直射光が届き日なたになりうる領域と，固定物の影になり大きな照明変化が起きない領域に分けられ，急激な照明変化は前者の領域で頻繁に起きることがわかる．

そこで本論文では，前者の領域を潜在的日照領域，後者の領域を潜在的非日照領域と定義し，画像中の両領域を推定する．さらに，その結果を利用して背景差分における照明変動の影響を除去することを目標とする．

両領域は太陽との位置関係により定まり，時刻によって配置が変わるため，任意の時刻で両領域を推定する．晴れている時刻には，潜在的日照領域と潜在的非日照領域はそれぞれ，日なた領域と固定物による影領域として観測でき，色や明るさなどの特徴量を用いたクラスタリング [8] などの領域分割処理により得られる．しかし，シーン全体が陰っている時刻においては，潜在的日照・非日照領域は陽には観測できないため，このような処理では得られない．ここで本研究では，過去の長期間の観測画像を解析することにより，照明条件によらず時刻によって定まるものとして潜在的日照・非日照領域を推定する．

そして，その結果に基づき検出領域を評価し，観測画像からその箇所において照明変化による画素値変化分を打ち消す．これにより観測画像を背景モデルと同じ照明条件とすることができ，誤検出を含まない正しい物体領域のみを検出できる．

2. 背景差分における日照条件の影響と潜在的日照・非日照領域の利用

2.1 潜在的日照・非日照領域

動的な背景モデルを用いた背景差分では，屋外シーンにおいて日照条件が急激に変化した場合に，背景モデルの生成時と現在との照明条件が異なるため，背景モデルを即時に更新できず，照明変化によって画素値が変化した領域を前景物体と誤検出してしまう．このような照明変化による画素値の変化の様子を調べるため，前景物体が一度も通らず照明変化によってのみ画素値が変化した期間におけるある画素の画素値変化の例を図 2 に示す．図 2 の観測画像上の画素 P は，観測期間中は常に固定物の影になっていた領域中の点であり，図 2(i) のように画素値は大きくは変化しない．一方，観測画像上の画素 Q,R は，観測期間中は直射光が固定物に遮られることなく届き得た領域中の点であり，それぞれ図 2(ii)(iii) のように画素値の大きな変化が頻繁に起きている．また，それぞれの画素値の時間変化の傾向は類似している．つまり，照明変化による画素値変化は，その時刻において，点 Q,R のように直射光が固定物に遮られず，その影響を強く受ける領域において顕著であるといえる．また，照明変化による画素値変化はこのような領域で一様に起きるという傾向がある．

よって，直射光が届き大きな照明変化が起きうる領域が事前にわかれば，その領域で一様に起きた画素値変化は照明変化によるものであると判断できる．このような事前知識を利用して，照明変化による画素値変化量を求め，それにより観測画像を補正することで，背景差分に

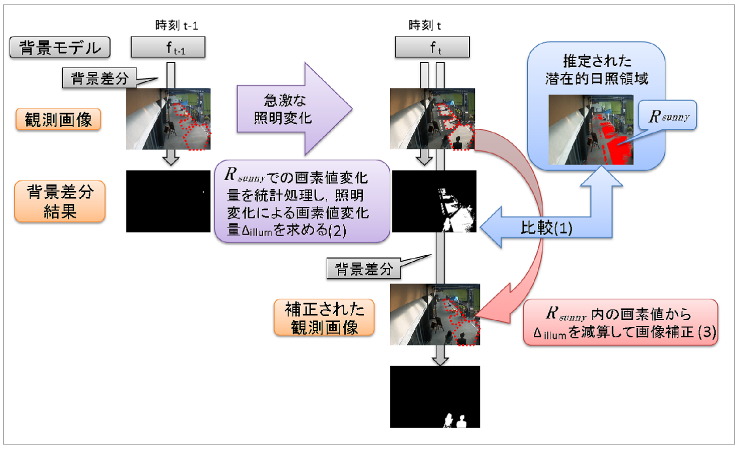
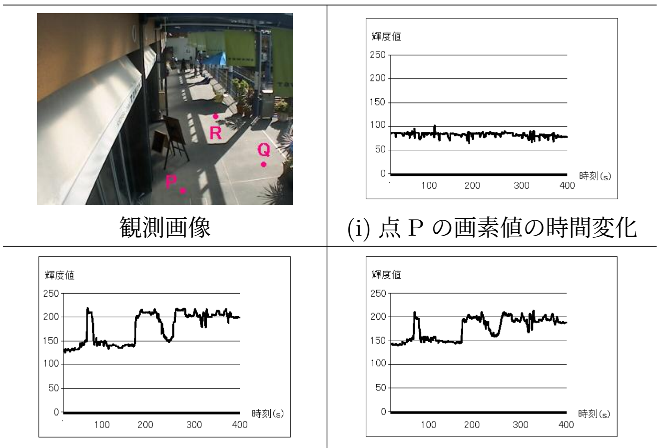


図 1　潜在的日照・非日照領域推定結果を用いた背景差分



観測画像　(i) 点 P の画素値の時間変化
(ii) 点 Q の画素値の時間変化　(iii) 点 R の画素値の時間変化

図 2　画素値の変化傾向

おいて照明変化により誤検出される領域を取り除くことができると考えられる．

そこで本研究では，太陽の直射光が当たったときに日なたになり，照明変化による大きな画素値変化が起きうる領域を潜在的日照領域，常に固定物の影になっており照明変化による大きな画素値変化が起こらない領域を潜在的非日照領域と定義し，任意の時刻における画像中の各領域を推定し，それらの領域の情報を活用して急激な照明変動に対しても頑健な背景差分を実現する．

ただし，前景物体による影は時刻に対して静的に定まるものではなく，前景物体の一部と考え推定の対象とはしない．また，壁面やフェンス，微小に変動しうる旗などの領域には，はっきりとした影の輪郭が観測できないため，各領域の推定を行うのは，主に前景物体が通りうる床や道路などの単一平面の領域と仮定する．

2.2　潜在的日照・非日照領域を利用した背景差分

本研究で提案する処理の概略を図 1 に示す．

動的背景モデルを用いた通常の背景差分処理を行うとき，時刻 t で急激な照明変化が起きた場合，時刻 t，$t+1$ においては誤検出が生じる．その後，時刻 $t+2$ 以降は背景モデルが追従し誤検出が次第に減少するが，時刻 $t, t+1$ で発生したこの誤検出領域が問題となる．提案手法では，この誤検出領域が，推定した潜在的日照領域 R_{sunny} と比較しその大部分を占めるものであった場合，時刻 t において急激な照明変化があったと判断することによってこの誤検出を軽減する．なお，本研究では照明変化は観測範囲の全域でほぼ同時に起こると仮定し，徐々に起こるような変化は考慮しないものとする．この処理は以下の通りである．

照明変化による画素値変化量を Δ とする．Δ は，時刻 t と $t-1$ との観測画像の差分を潜在的日照領域 R_{sunny} に属する画素について求め，その差分値集合 $\{\Delta\}_{R_{sunny}}$ の代表値をとることで求める．本研究では代表値としてメジアンを利用する (式 (1))．

$$\Delta = med(\{\Delta\}_{R_{sunny}}) \tag{1}$$

次に，Δ を，照明変化後である時刻 t の観測画像の潜在的日照領域 R_{sunny} に属する各画素値 x_{ij} から減算することで，照明変化による画素値変化の影響を打ち消した画像を生成する．

$$x_{ij} = x_{ij} - \Delta \quad (x_{ij} \in R_{sunny}) \tag{2}$$

これにより時刻 $t-1$ の照明条件に補正された画像が得られ，背景モデル f_t により背景差分を行えば，照明変化による誤検出は起こらない．

このように，潜在的日照領域において急激な照明変化が起きた場合にも，それによる画素値変化量を用いて観測画像を補正することにより，照明変化による誤検出を防ぐことができる．

3.　潜在的日照・非日照領域の推定

3.1　影の空間的変化の連続性・周期性の利用

晴れている時刻の観測画像においては，潜在的日照領域と潜在的非日照領域はそれぞれ，日なた領域と固定物による日陰領域としてはっきり観測できるため，色や明

るさなどの特徴量を用いたクラスタリング [8] などの領域分割処理により識別することができる．しかし，陰っている時刻の観測画像においては，これらの処理では各領域を判定することはできない．

そこで本研究では，これらの領域の境界を与える固定物の影領域が，太陽の移動に基づく以下の空間的移動の性質を満たすことを考慮し，長時間観測により得られた晴れた時刻を含む過去の複数日の観測画像を利用し，日照条件によらない領域推定法を提案する．

1). 時間経過に従い連続的に移動する (連続性)

2). 一日経つと同時刻にはほぼ同じ配置に戻る (周期性)

3.2 処理の概要

本研究では前節で述べた影の空間的移動の性質に基づき，長時間観測により得られた観測画像群を以下のステップにより解析し，潜在的日照・非日照領域を推定する．図 3 に以下に示す各ステップの処理内容と各ステップで変換されたデータを示す．

1. 断面画像集合の生成 (3.3 節)

影の時間的な移動を観察するため，一日分の観測画像を並べた時空間画像を x-t 断面で切り出し，断面画像集合を生成する．同様に推定を行う日から過去複数日についても生成する．

2. 影の曲線の抽出 (3.4 節)

1. で得られた各断面画像から影の輪郭の推移を表す曲線のみを抽出する．

3. 影の曲線の補完 (3.5 節)

2. で得られた曲線はシーンが陰っていると観測されず，断片的なものとなるため，複数日の断面画像上の曲線を用いて，推定を行う日における断片的な曲線を補完する．

4. 断面画像上での潜在的日照・非日照領域の分離 (3.6 節)

複数日についての元の断面画像から輝度値を参照するための平均画像を生成し，3. で得られた補完後の曲線を基準にして断面画像上で潜在的日照・非日照領域を分離する．

5. 潜在的日照・非日照領域が分離された x-y 画像の生成

潜在的日照・非日照領域が分離された断面画像集合を t 軸に垂直に切り出すことで，任意の時刻において各領域が推定された x-y 画像を生成する．

以下，各節で処理の詳細について述べる．

3.3 断面画像集合の生成

時空間画像とは観測画像を時系列に並べ，空間方向の基底 x,y と時間方向の基底 t に関する 3 次元画像としたものであり，ある断面で切り出すことで断面画像を生成できる．時間軸を含む断面画像上では，観測画像中のある走査線上における物体の時間的な移動を時間方向の軌跡として観察できる．例えばある走査線 $y = K$(定数) と t 軸からなる x-t 断面画像は図 4 のような画像となる．

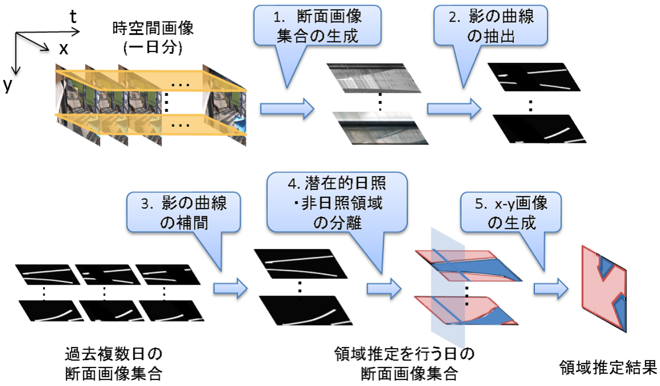


図 3　処理の概要

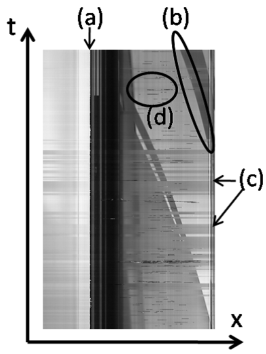


図 4　x-t 断面画像

(a) のように t 軸と平行に伸びる直線は，時間によって移動しない固定物の輪郭によるものである．一方，(b) のように t 軸に関して連続的に変化する曲線は，固定物の影領域の輪郭によるものである．これは，太陽の日周運動によって時間経過に従い連続的に移動する影の性質によるものであるが，日周運動は近似的には円運動であるため，この影の輪郭の推移は断面画像上で一般に曲線となって現れる．よって，影の輪郭の推移を表す線を以下では曲線と呼ぶ．(c) のように x 軸に平行に伸びる直線は，シーン全体の照明条件が大きく変化したことによる境界である．(d) の x 軸に平行に伸びるノイズ状の線分は，その t 座標に相当する時刻に走査線上に前景物体が存在していた場合に生じる．このような x-t 断面画像を全ての $y = K$ に関して生成する．

3.4 影の曲線の抽出

本節では断面画像において，影の曲線をエッジとして抽出する．

a）　平滑化によるノイズ除去

まず，図 4 における (d) のような前景物体による線分状のノイズを除去するために，断面画像に対して平滑化処理を行う．ここで，影の輪郭を平滑化によってぼかしてしまわないために，平滑化のフィルタとしては一般的にエッジ保存に適したメディアンフィルタを用いる．

b）　エッジ検出による境界検出

次に，平滑化された断面画像に対してエッジ検出処理

を行う．エッジ検出のオペレータとしてはキャニーオペレータを用いる．これは他のオペレータに比べ，画素値の変化がある箇所に関してエッジの重複した検出が少なく，次に行うハフ変換や次節の影の曲線の補完に適しているためである．

c） ハフ変換による直線の除去

3.3 節で述べた断面画像上での性質に基づき，影の輪郭による曲線のみを抽出することを考える．これは，b) のエッジ画像から影の曲線以外の直線を除くことによって実現する．直線はハフ変換により検出する．

図 4(d) のようなノイズを線分として検出するため，本手法では確率的ハフ変換を用いる．確率的ハフ変換は，線分画素を両端方向に追尾し，抽出端点をもつ線分を検出する．そのため，検出された線分は，始点と終点で表される．

まず，固定物の輪郭による直線 (図 4(a)) をエッジ画像から除くため，ハフ変換により検出された線分のうち，その傾きが t 軸に関してほぼ平行であるものを除く．次に，シーン全体の照明変化による直線 (図 4(c)) と，前景物体によるノイズ状の線分 (図 4(d)) を除くため，ハフ変換により検出された線分のうち傾きが t 軸に関してほぼ垂直であるものを除く．この処理により，図 4(b) のような影の曲線のみが抽出できる．

3.5 影の曲線の補完

影の輪郭はシーンが陰っている時刻においては観測できないため，断面画像上においても対応する曲線は断片的なものとなってしまう (図 5)．そこで，影の出方が日の経過に関して周期性を持つことを利用して，曲線が現れた過去の日の断面画像を用いて補完する (図 6)．

このとき，日の経過によっても固定物の影のできる位置は微小に移動し，断面画像上で曲線が現れうる位置も移動する．そこで，一日における影の連続性に注目し，複数日の断面画像上での対応する曲線を，それらが滑らかに繋がるように平行移動させ，推定を行う日の曲線に重ね合わせることで，連続した曲線を獲得する．

複数日の断面画像上で，対応する曲線をそれぞれどれだけ平行移動すればよいかは，以下のように求めることができる．まず，影の曲線の補完に用いる複数日の断面画像から，最もよく曲線が現れている画像を 2 枚選ぶ．次に，その 2 枚の断面画像で，曲線が最もよく重なるように平行移動量を求める．この処理にはテンプレートマッチングを利用する．

影の曲線の移動量が日によっておおよそ等間隔であると仮定すると，断面画像上の影の曲線の一日あたりの移動量は以下のように近似的に求めることができる．2 枚の断面画像が推定を行う日から d_1 日前と d_2 日前 ($d_1 > d_2$) のものであり，その移動量が $\mathbf{x}$ であった場合，一日あたりの移動量 $\Delta\mathbf{x}$ は

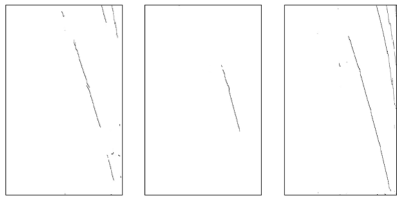


図 5 複数日の途切れた影の曲線の例

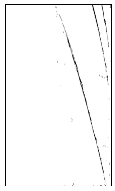


図 6 補完された影の曲線

図 7 複数日の断面画像についての平均画像

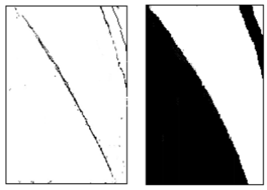


図 8 断面画像上での潜在的日照・非日照領域の分離

$$\Delta\mathbf{x} = \frac{\mathbf{x}}{d_1 - d_2} \tag{3}$$

となる．よって，推定を行う日の曲線上の対応する点 $\mathbf{p_0}$ は，推定を行う日から d 日前の曲線上のある点 $\mathbf{p_d}$ から

$$\mathbf{p_0} = \mathbf{p_d} + d\Delta\mathbf{x} \tag{4}$$

と計算できる．

この方法では，補完に用いる複数日の断面画像中に位置合わせが可能な程度に曲線が表れているものが最低 2 枚あり（即ち，比較的長時間晴れていた日が 2 日あり），各時間帯で少なくとも一日晴れていれば，補完により連続した曲線を得ることができる．

3.6 断面画像上での潜在的日照・非日照領域の分離

3.4 節と 3.5 節で断面画像上において補完された影の曲線を獲得したが，潜在的日照・非日照領域の境界が得られたにすぎず，その境界を基準にして各領域がそのどちら側に相当するのかを判定する必要がある．そこで，輝度値を参照するための画像として，エッジ処理を行う前の元の各断面画像を用いて，複数日に関する平均画像を生成する．毎日晴れていることはなく，日によっては

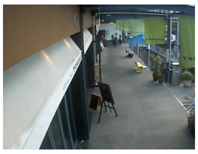
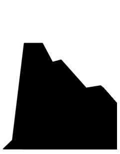
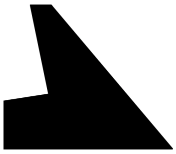
	(I)	(II)
解像度 (画素数)	640 × 480	640 × 480
観測間隔	30 秒	30 秒
観測時間	12:00〜15:00	12:00〜15:00
観測日数	7 日間	5 日間
画像例		
マスク画像		

表 1　実 験 環 境

断面画像上でも日なた・日陰が現れていないことがあるが，複数日における平均をとれば，晴れたとき日なたになる領域は常に日陰である領域よりも平均画像上で明るく現れる (図 7)．この平均画像において，断面画像上の影の曲線の位置の両側の画素の輝度値を参照し，その値が大きい (明るい) 側を潜在的日照領域，小さい (暗い) 側を潜在的非日照領域と判定する．これは断面画像上において，各 x に関する t 軸と平行な軸ごとに，それが影の曲線と交わる点を基準に判定すればよい．この軸は同一点の輝度値の時間変化を表すので，領域推定の対象となる背景にタイルなどのテクスチャの影響を受けずに潜在的日照・非日照領域を分離することが可能である．各領域を白と黒で表した例を図 8 に示す．

4. 実　　験

4.1 実 験 環 境

提案手法により潜在的日照領域・非日照領域を推定した結果，およびその結果を背景差分に適用した処理により急激な照明変化に対処できることを示すため，表 1 に示す環境で撮影された 2 つのシーン (I)(II) についての観測画像を用いて実験を行った．観測間隔については，対象シーンにおける影の移動量を観察すると，画像上で 1 画素のずれを生じるのはおおよそ 30 秒以上の間隔であったため，30 秒とし，観測を行う時間帯は，日照変化の影響が大きく現れる昼頃の時間帯 (12:00〜15:00) とした．また，図 9 に示すマスク画像を用いて，主に人が通りうる通路として推定を行う平面を指定している．

4.2 潜在的日照・非日照領域の推定

表 1 の環境での長時間観測により得られた観測画像群を時空間画像とし，x-t 断面画像集合を生成し，提案手法により潜在的日照・非日照領域を推定した．

図 9 に，シーン全体が陰っている時刻に，潜在的日照・非日照領域を推定した例を示す．また，図 9 とは別の一

(I)	(II)

図 9　潜在的日照・非日照領域の推定

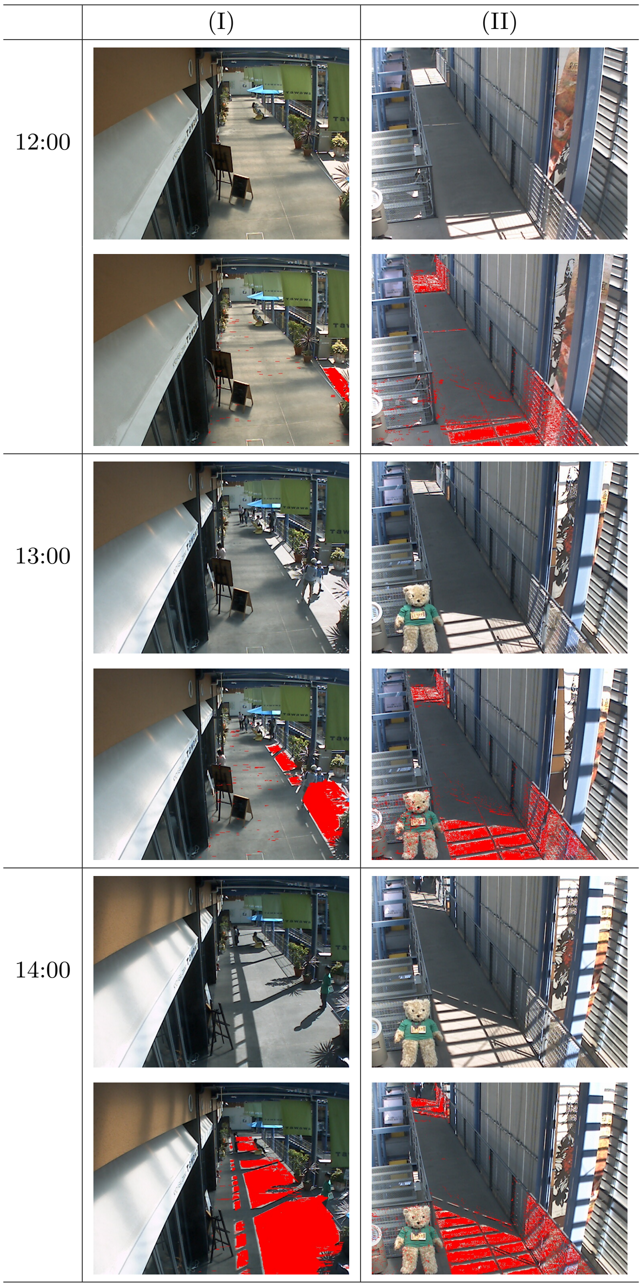


図 10　各時刻における推定結果

日中晴れていた日において，元の観測画像および潜在的日照・非日照領域を推定した結果を，時刻 12:00，13:00，14:00 頃のそれぞれについて図 10 に示す．

元の観測画像では，晴れている時刻には潜在的日照・非日照領域はそれぞれ日なた・日陰領域として現れてい

	(I)		(II)	
	適合率	再現率	適合率	再現率
12:00	93.9%	97.5%	85.8%	83.0%
13:00	98.4%	94.1%	88.4%	84.6%
14:00	99.2%	97.8%	96.0%	89.7%

表 2　適合率・再現率

る．推定結果の画像で赤色で示された潜在的日照領域の輪郭は，元の観測画像の日なた・日陰領域の境界にほぼ一致しており，潜在的日照・非日照領域が正しく分離されていることがわかる．

また，潜在的日照領域についての正解領域を手動で与え，その推定結果に関する適合率（潜在的日照領域と判定された画素のうち正解領域に属する数 /潜在的日照領域と判定された総画素数）および再現率（潜在的日照領域と判定された画素のうち正解領域に属する数 / 正解領域に属する総画素数）を求めた結果を表 2 に示す．これからもおおよそ正しい領域推定結果が得られているといえる．

4.3　背景差分への適用実験

背景差分処理を行う時間帯における潜在的日照・非日照領域を推定した画像を用意する．本実験では 30 秒間ごとに同一の領域推定画像を用いた．背景差分を行う際の背景モデルとしては，混合ガウス分布モデルを用いた．ガウス分布の分布数は固定数 4 とし，観測画素値が各ガウス分布の平均値から標準偏差 3.5 以内であれば背景であるとみなした．次に潜在的日照領域で照明変化が起きたと判断されたとき，それによる画素値変化量を求め，観測画像を前時刻の照明条件に補正し，再び背景差分を行う．照明変化が起きたと判断する基準としては，潜在的日照領域と推定された領域の 80 %以上で画素値変化が観測された場合とした．また，潜在的日照領域における変化前後の画素値変化量は，領域内の検出された差分画素の中央値により定めた．

図 11 に，急激な照明変化が起きた前後の観測画像と，混合ガウス分布モデルを用いた背景差分により検出された領域，および照明変化による画素値変化を補正した観測画像と同様に背景差分を行った結果を示す．

時刻 t-1 までシーンが陰っており，時刻 t において急激な照明変化が起きた場合，背景差分結果には照明変化による多くの誤検出が含まれるが，その誤検出は潜在的日照領域において起きており，その影響を除くことができている．

また，日なた領域の画素値とは異なる画素値をもつような人物領域は，前景としてそのまま検出されている．

本実験では，大部分で照明変化による誤検出が除去できているが，領域推定の結果が実際の日なた・日陰領域の配置とずれていた影領域の輪郭付近の部分は，照明変化の誤検出は除去できていない．これは潜在的日照・非

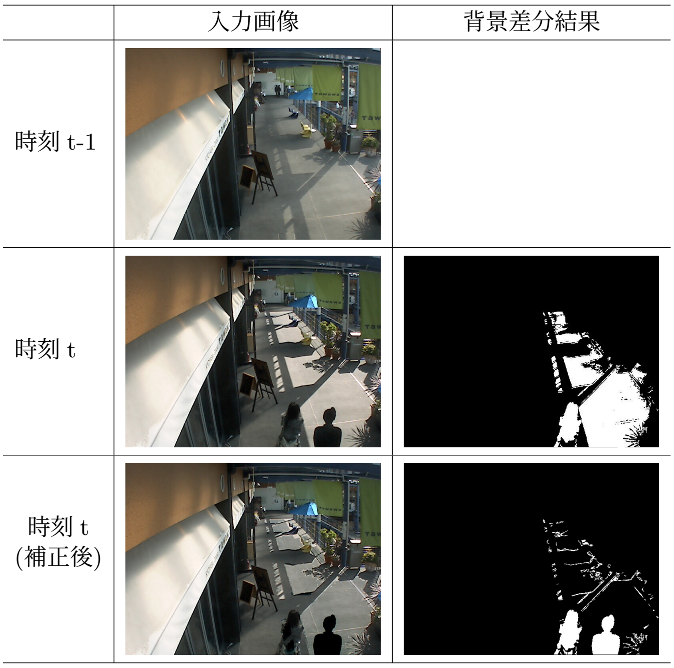


図 11　潜在的日照・非日照領域推定を用いた背景差分

日照領域の推定精度によるものである．このような影領域の輪郭付近の線状の誤検出領域は，後に物体認識などを行う際には，検出領域の大きさ，形などにより前景物体とは判定されないと考えられるため，大きな問題ではないといえる．また，時刻 t の補正後の画像中の背景は時刻 t-1 のものと異なっているようにみえる．これはカメラによりコントラストが自動的に調整されるために暗くなっているのであるが，誤検出を生じるほどの変化でないといえる．このため，本研究では潜在的日照領域における照明変動のみを補正している．

5.　お わ り に

本研究では，屋外の固定カメラの映像から前景物体を検出する際，急激な照明変化による誤検出に対処するために，まず，そのような照明変化が起きうる領域とそれ以外の領域をそれぞれ潜在的日照・非日照領域として推定し，さらに潜在的日照領域において照明変動による画素値変化を用いて観測画像を補正することで，照明変動に頑健な背景差分を実現した．陰っている時刻の観測画像についてはその単一画像のみの情報では各領域を推定できないため，各領域の境界を与える影領域の連続性・周期性を利用して，過去の晴れている時刻の観測画像から各領域を推定した．実験では，固定カメラで撮影された屋外シーンにおける複数日の観測画像を用いて時空間画像の解析を行い，各時刻における潜在的日照・非日照領域を推定できることを示した．また，その推定結果を事前知識として背景差分による前景検出処理に用いることにより，急激な照明変化による画素値変化を判定し，その影響を取り除けることを示した．

領域推定手法における課題としては，まず潜在的日照・

非日照領域の推定手法の，シーンについての頑健性を増すためのさらなる改良が挙げられる．本研究では領域推定を行うための断面画像集合として，y-t 断面画像は用いず x-t 断面画像のみを用いている．今回実験に用いたシーンにおいては x-t 断面画像を用いるだけで良好な推定結果が得られている．これは，対象としたシーン中の影領域の時間的な移動が x 軸に沿って大きく，x-t 断面画像上で影の曲線がより特徴的に現れたためである．しかし，x 軸に沿っての影の移動が少なく，y 軸に沿っては影領域が大きく移動するようなシーンの場合は，y-t 断面画像も合わせて評価することも有効であると考えられる．

次に，領域推定手法における観測日数や，太陽の周期運動に基づい影の曲線の考察が挙げられる．観測期間においてずっと曇りが続くようであれば，正しい推定結果は得られないため，実際の各地の天気履歴を調査し，提案手法に用いる適切な観測日数について検討する必要がある．また，本研究で想定するような道路や床面の上方に設置された固定カメラでは，影のできる平面を間近で撮影しているわけではないので，画像上での影領域の時間移動量は比較的小さい．このため，断面画像上での影の曲線の日に関する移動量も微小であり，少ない日数の間であれば 3.5 節のように平行移動により近似的に補完できる．しかし，画像上での影の曲線の移動量が大きく映るようなカメラでは，太陽の運動に基づいた影の曲線の移動により補完する必要性も出てくると考えられる．

また，提案した領域推定結果を用いた背景差分においては，潜在的日照領域における画素値の補正値を単一の値で表現した．各画素での画素値の時間変化及び変化量を統計的に分析したり，シーンの奥行きを考慮するなどして，画素ごとの補正値を変化させるなどの拡張により，照明変動の除去の精度を向上することが考えられる．

謝辞　本研究は, 文部科学省の科学技術振興調整費 (科学技 術連携施策群の効果的・効率的な推進) による「センサ情報の社会利用のためのコンテンツ化」の一環として実 施したものである．

文　献

[1] 鷲見和彦，関根規人，波部斉，“物体検出 背景と検出対象のモデリング，” 情報処理学会研究報告 (CVIM), no. 88, pp. 79–98, Jan. 2005.

[2] 古山孝好，向川康博，亀田能成，“屋外大規模空間における自由視点映像生成のための選手領域抽出法，” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2005), pp. 1412–1419, Jan. 2005.

[3] C.Stauffer, W.E.L. Grimson, Adaptive background mixture models for real-time tracking, Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 2, pp. 246–252, March 1999.

[4] 島田敬士，有田大作，谷口倫一郎，“適応的な分布数の増減法を利用した混合ガウス分布による高速な動的背景モデル構築，” 電子情報通信学会論文誌 D, vol. 90, no. 9, pp. 2606–2614, Jan. 2007.

[5] 中井宏章，“事後確率を用いた移動物体検出手法，” 情処研報, SIG-CV90-1, pp. 1–8, Sep. 1994.

[6] 松山隆司, 和田俊和, 波部斉, 棚橋和也, “照明変化に頑健な背景差分, ” 電子情報通信学会論文誌, vol. 1.J84-D-II, no. 10, pp. 2201–2211, . 2001.

[7] 関真規人, 和田俊和, 藤原秀人, 鷲見和彦, “背景変化の共起性に基づく背景差分., ” 情報処理学会論文, vol. 44, no. SIG 5, pp. 54–63, April. 2003.

[8] 馬場雅志，椋木雅之，浅田尚紀，“色分布のクラスタ解析による実写画像からの陰影除去，” 画像電子学会誌, vol. 33, no. 4B, pp. 531–538, Jan. 2004.