短波長赤外領域スペクトル情報を用いた人肌領域抽出に関する研究

Studies on the extraction of human skin using spectral information
in shortwave infrared band

枝長 孝幸*・宇都 有昭*・小杉 幸夫*

Takayuki EDANAGA, Kuniaki UTO and Yukio KOSUGI

Abstract : Recently, there were various disasters such as Katrina flood, seismic wave in Sumatra, great earthquake in several countries. In these disasters, it has become one of the most important rescue activities to detect quickly the victims. If automatic detection of these victims in vast disaster fields is feasible, searching efficiency will be improved spectacularly in comparison with traditional visual search from aircrafts. In this paper, we propose Normalized Difference Human Index (NDHI) in order to extract human images out of various background objects efficiently. For the NDHI, we examine spectral characteristics of the human skin in short wave infrared band, and chose the best wavelengths for its calculation. For marine peril or water disasters, we have conducted experiments with human extraction in and out of the mud water using NDHI. In order to extract objects in the mud water, it is necessary to calculate the threshold operation on the reflectance of 1070nm wavelength as preprocessing of NDHI. In addition, we examined allowable water depth to extract objects for each transparency (intermediate-water, 40, 20, 10cm). Finally, comparable studies with the conventional thermography measurements were also carried out.

1. はじめに

リモートセンシング技術の発達に伴い、土地利用分布の分類等にスペクトル情報が用いられており、植生、鉱物などの自然の地表物の定量的評価のために、NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)をはじめとするさまざまな指標が提案されてきている。我々もスペクトル情報の応用研究の一環として、ヒトを対象とした人肌抽出指標の開発を試みている。ヒトへの適用が可能になれば、この指標は大規模な自然災害が発生した際、被災者の救出活動において有用となるであろう。世界各国での大震災、スマトラ沖の津波、メキシコ湾で発生したカトリナ等にみられるように、災害発生時の人命確保は最優先課題である。

これまでは、ヘリコプターなどからの目視による被災者認識が行われてきたが、被災地域の広域な画像情報からヒトの所在を迅速に探知できるようになれば、被災者の救助活動に大変役立つと考えられる。さまざまな背景からヒトを抽出する上で、ポイントとなるのが人肌である。人肌については、環境変化によるUVの影響調査のほか、診断、治療等の医療的な観点から、UVからNIRにかけての波長域における人肌特有の光学特性が調査されている(Bashkatov, 2005)。また、皮膚のスペクトルを利用した個人特定の研究(Pan, 2003)や、ヒト識別では皮下のヘモグロビンの可視領域でのスペクトル吸収特性を利用した研究も行われている(Angelopoulou, 1999)。本研究では、光学特性が解明されつつある短波長赤外領域に着目し、その波長帯域のヒトと背景物の反射スペクトルの違いに基づき、ヒトをさまざまな背景物(アスファルト、コンクリート、植物、土砂など)から抽出する指標NDHI(Normalized Difference Human Index)を提案する。人肌抽出による要救助者の搜索は、肌が多く露出している海水浴、マリンスポーツ等での水難事故、及び津波や洪水災害後に利用することで有用性を発揮すると

*東京工業大学大学院総合理工学研究科
Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology
〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259
東工大すずかけ台キャンパス G2-16
「写真測量とリモートセンシング」VOL. 46, NO. 2, 2007

考えられる。このような場合、実際には水が不透明に濁っていることが多い。そこで、NDHI を利用した泥水の内外の人肌抽出について検証実験を行った。また、NDHI の有用性を調べるために、赤外線カメラを用いた体温感知によるヒト認識との比較を行った。

2. 実験装置

実験では波長ごとのスペクトルの強度の詳細を調べる必要があるため、ハイパースペクトルセンサを使用した。ハイパースペクトルセンサはプリズムと回折格子から構成される PGP 分光部 (Specim 社製 Im-spector-N17) と CCD 部 (Sensors Unlimited 社製 SU320M-1.7RT) から構成されている。このセンサの測定波長帯域は短波長赤外の前半領域の 950nm から 1700nm であり、CCD のピクセル数は空間軸方向に 240ピクセル、波長軸方向に 320ピクセル、記録速度は最高で 1 秒当たり 30フレームのラインセンサである。データ取得時には、白色板の DN 値 (Digital Number) 及び暗電流値によるデータ補正を行った。実験装置は屋外と室内の測定系の 2 種類に分けた。屋外の測定系では、日本精工 (株) のメガトルクモータ YSB2020 の上にセンサを固定し、このモータを回転させ、センサの水平方向に配置された測定対象物に対してラインスキャンを行った。室内の測定系では、IAI (株) の直動アクチュエータ RCS-SM-100 に固定したセンサを水平移動させることで垂直下向きの測定対象物に対してラインスキャンを行った。室内の測定系の照明条件としては、データの精度向上のため外来光を遮断し、センサと一体駆動される 500W のハロゲンランプ 2 個を用いた。照明の照度は白色板補正位置で約 19000Lx であった。

3. 人肌抽出指標 NDHI

3.1 人肌抽出の計算手法

実際に要救助者の捜索に人肌抽出指標を利用する場合、指標は広域な画像データに対して即時に演算が可能な計算式であることが望ましい。さらに今後、観測の高速化を実現するため、機械的なラインスキャンを用いず 2 次元の空間情報を取得可能な装置の開発を考慮すると、できるだけ少ないチャンネル数の利用が有用であると考えられる。そこで植生指標 NDVI のよう

な 2 波長間の反射率のギャップを利用した指標について考える。植生指標 NDVI は、植物の緑葉が青領域と赤領域の波長を吸収し、近赤外線領域の波長を強く反射する特性を利用したものである (Ustin, 2004)。NDVI は、近赤外波長 (IR) と赤波長 (R) の値を用いて、正規化された式(1)で算出されている。

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} \quad (1)$$

人肌のスペクトルは、オキシヘモグロビンの影響により 410nm, 540nm, 575nm, 水分の影響により 970nm, 1430nm, 1925nm, 脂質の影響により 1710nm から 1780nm 間、また水分及び脂質の影響により 1200nm の波長域においてそれぞれ吸収特性がある (Bashkatov, 2005)。特にオキシヘモグロビンの影響による 410nm, 水分の影響による 1430nm, 1925nm に大きなスペクトル吸収特性を持つ。これに対し、1100nm 付近では最も両者の吸収の影響が少なく、基準とするのに適した波長である。オキシヘモグロビンはヒトの真皮中の血管に多く存在するため、人肌を抽出するのに大きな手がかりになると考えられる。しかし、この 410nm 付近の短い波長は大気散乱の影響を受け易いため反射強度が安定しない。また、1100nm を基準と考えた場合、可視・近赤外領域と短波長赤外領域を同時に測定するために 2 種類の CCD 部が必要になり、光学系の構成が複雑になる。そこで、我々は 2 波長間の反射率のギャップが大きく、最も近接する波長帯である短波長赤外領域の波長に着目し、スペクトル吸収が小さく高い反射率を持つ 1100nm 付近及び、水分による吸収が大きい 1430nm 付近の波長を用いた指標を提案する。人肌抽出指標は、1100nm 付近の反射率を R1, 1430nm 付近の反射率を R2 とし、次式(2)から算出する。

$$NDHI = \frac{R1 - R2}{R1 + R2} \quad (2)$$

以下、式(2)における人肌抽出に適切な R1 と R2 を調べるとともに、指標の検証実験を行った。

3.2 人肌抽出指標に適切な波長の選択

人肌抽出に適切な波長を調べるため、ハイパースペクトルセンサを使用して屋外においてヒトと背景を含む範囲を測定した。測定した背景には、建物のコンクリート壁面、アスファルト道路、芝生などの植生が含まれていた (Figure 1)。得られた人肌とそれぞれの背景物の反射スペクトル特性を Figure 2 に示す。NDHI

Figure 1 Background objects (concrete wall, asphalt road and vegetation).

Figure 2 Hyperspectral reflectance profiles of human skin, concrete wall, asphalt road and vegetation.

に適切な波長を見つけるために、R1は1000nmから1200nm、R2は1400nmから1600nmの範囲で人肌とそれぞれの背景物との NDHI 値の差を調べた。この結果を Figure 3 (a)(b)(c)に示す。この NDHI の差が大きいほど、背景から人肌の抽出力が上がると考えられる。まず、人肌とコンクリート壁面では、R1：1116nm、R2：1493nm のとき NDHI の差が最大値0.68、人肌とアスファルト道路では、R1：1096nm、R2：1488nm のとき NDHI の差が最大値0.80、また人肌と芝生などの植生では、R1：1116nm、R2：1559nm のとき NDHI の差が最大値0.42という結果が得られた。人肌に対するコンクリート壁面やアスファルト道路の NDHI の差は大きく、十分な抽出力がある。しかし、人肌と芝生などの植生では NDHI の差が比較的小さく、抽出力も低い。そこで、人肌と芝生などの植生で最大値をとった波長付近、R1：1100nm、R2：1550nm のときの人肌とコンクリート壁面やアスファルト道路の NDHI の差をみるとそれぞれ0.65と0.75となり、人肌との差を十分に維持できることがわかった。よって、NDHI に

(a)

(b)

(c)

Figure 3 Difference of NDHI between human skin and various background objects. (a)Concrete wall. (b)Asphalt road. (c)Vegetation.

適切な波長を R1：1100nm、R2：1550nm とし、NDHI を次のような式とした。

$$NDHI = \frac{R(1100) - R(1550)}{R(1100) + R(1550)} \quad (3)$$

ここで、 $R(\lambda)$ は波長 λ nm での反射率を表している。

3.3 人肌抽出指標 NDHI の実験結果

前節で提案した NDHI の計算式(3)を利用して、人肌抽出の実験及び検証を行った。実験は Figure 1 の背景中に手を上げたヒトが立ち、計測した。個人差による NDHI の差を簡単に調べるため、モンゴロイド人種 4 名を被験者とした。NDHI を計算したものをグレースケール化した画像（以下、NDHI 画像と呼称）を見ると、Figure 4 (a)に示すように人肌の部分は高い NDHI 値を持つことがわかった。また、NDHI 値は、コンクリート壁面やアスファルト道路では小さいが、芝生などの植生ではやや高い値を示すことがわかった。そこで、NDHI を閾値処理（閾値0.5）し、背景から人肌の部分のみ抽出を行えるようにした（Figure 4 (b)）。NDHI は眉毛や頭髪を抽出していないため、ヒトと体毛を持つ動物と区別が可能である。他の 3 名の被験者の NDHI 画像と 2 値化画像も人肌の部分を良く抽出できることから、モンゴロイド人種間での個人差による NDHI の差は少ないと考えられた（Figure 5 (a)(b)）。

次に、土砂域におけるヒト抽出の有用性を検証するため、土砂とヒトを含む状態で実験計測を行った。測

(a)

(b)

Figure 4 Calculated results of NDHI. (a)Grayscale image of NDHI. (b)Binary image of NDHI ($NDHI \geq 0.5$).

定した背景には、土砂、ビニール製シート、建物のコンクリート壁面、植物などが含まれていた（Figure 6 (a)）。取得されたデータに NDHI を適用し、NDHI 画像と 2 値化画像を作成した（Figure 6 (b)(c)）。閾値0.5の場合、植物由来のノイズが多少みられたが、このノイズは閾値を0.6に上げることで取り除けた。この閾値の差の原因は、データを取得した環境の日照角度や、測定対象物が立体構造であるため、反射スペクトルに対して Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF) の影響が発生し（Kimes, 1983）、白色板補正では正確に較正されない部分が存在することによるものと考えられる。この問題はセンサから測定対象物までの距離が離れるほど緩和され、実際に航空機

(a)

(b)

Figure 5 Calculated results of NDHI (with aspect to other three examinees). (a)Grayscale image of NDHI. (b)Binary image of NDHI ($NDHI \geq 0.5$).

(a)

(b)

(c)

Figure 6 Calculated results of NDHI (variety of background objects including soil). (a)Background objects. (b)Grayscale image of NDHI. (c) Binary image of NDHI ($NDHI \geq 0.6$).

などで上空からヒトをスキャンする場合には、誤差が小さくなると考えられる。以上より、NDHI は土砂を背景とした場合でも人肌抽出が可能であることが確認された。

4. NDHI の応用

4.1 NDHI を利用した要救助者の搜索

NDHI による要救助者の搜索は、人肌が多く露出している海水浴やマリンスポーツ等での水難事故や、津波、洪水災害後など、上空から人肌が測定可能な状態で広域に搜索する必要がある場面においてより有用性を発揮すると考えられる。このような場合、実際には水が不透明に濁っていることが多いので、NDHI を用いて泥水内外の人肌抽出に関して検証を行った。検証実験には室内の測定系 (Figure 7 (a)) を使用した。泥水は市販の土粘土に水に懸濁したものを使用し、透視

度計を用いて濁り具合を調節した。透視度は透明なガラス管に泥水を入れて徐々に排水し、上部から目視で二重十字 (白色標識板上に太さ 0.5mm, 間隔 1mm の二重線で描画) を識別したときの水層の高さ (cm) で表される。また、水槽はサイズ W780×D390×H370 mm の緑色のトランクカーゴを使用し、水面の高さを 25cm とした。センサと照明, 測定対象物の位置関係は Figure 7 (b) に示す。透視度 10 の泥水に、手の配置深度 2 cm で片手を浸し、測定を行った。NDHI 画像を見ると水面の NDHI 値が高く、泥水内の人肌の確認だけでなく泥水外の人肌の認識も困難であった (Figure 8 (a))。泥水外の人肌、泥水内の人肌及び水面のそれぞれのスペクトルを比較すると、R (1100) において泥水内の人肌の反射率は水面より高い値を示した (Figure 9)。また、水面の R (1550) の反射率がほぼ 0 に近いので、NDHI の値が $R(1100)/R(1100) = 1$ ($-1 \leq$

(a)

(b)

Figure 7 Measurement system in the dark room. (a) Experimental view. (b) Diagrammatic illustration.

Figure 8 NDHI of human skin and the muddy water surface. (a) Grayscale image of NDHI. (b) Grayscale image of NDHI after preprocessing ($R(1100) \geq 0.025$). (c) Grayscale image of NDHI after preprocessing ($R(1100) \geq 0.2$).

Figure 9 Hyperspectral reflectance profiles of human skin and water surface.

NDHI ≤ 1) と高い値になる。そこで、NDHI 算出の前処理として $R(1100) \geq 0.025$ で閾値処理を行い、水面の削除を行った (Figure 8(b))。また、閾値を $R(1100) \geq 0.2$ に上げることで泥水内の人肌と水面を削除し、泥水外の人肌のみを抽出することが可能となった (Figure 8(c))。つまり、NDHI 算出の前に $R(1100)$ の閾値処理を行うことで、泥水内の人肌と泥水外の人肌がともに抽出可能になることがわかった。

4.2 泥水内外のヒト識別手法

ここまでする行った NDHI を用いた泥水内外のヒト識別手法についてまとめる。NDHI 算出の前に $R(1100)$ の閾値処理を行うことで、次の 2 枚の画像を作成することが可能である。

- (a) 泥水内の物体 (人肌、及びヒト以外の物体) と泥水外の人肌を抽出した画像
- (b) 泥水内の物体を削除し、泥水外の人肌のみ抽出した画像

ただし、画像(a), (b)の $R(1100)$ の閾値については、泥水内の物体の深度、泥水の透視度ごとに調節する必要がある。しかし、この方法ではヒト以外の物体が同じ程度の水深に存在する場合、その物体を人肌と同様に抽出するため、泥水外の人肌と連続した泥水内の物体をヒトとして認識する必要がある。そこで、以下の手法を提案する。画像(a), (b)に対してを NDHI の閾値処理を行い、2 値化画像を作成する。ラベリング処理として、これらの画像の連結成分にラベルを割り当てる。次に、(a)の画像から(b)の画像と重なる部分を持つラベルのみを抽出する。このようにして抽出された画像(c)は、(b)の泥水外のヒトと認識した部分と連結している水面下の物体を抽出するため、要救助者の探索や水面下の状況が抽出可能になると考えられる。この処理フローを Figure 10 に示す。

そこで、実際に NDHI を用いて上記の方法による泥水内外のヒト識別の実験を行った。室内の測定系 (Figure 7 と同じ条件) を使い、透視度30の泥水に、手の配置深度 5 cm で片手を浸し、測定を行った。透視度、使用した水槽、センサと照明、測定対象物の位置関係などは4.1の実験と同じである。この実験においては $R(1100)$ の閾値処理を、画像(a)では $R(1100) \geq 0.01$ 、画像(b)では $R(1100) \geq 0.15$ とした。泥水内外のヒト識別手法を検証するため、同深度に配置した木片と手が接触、非接触の 2 状態で測定した (Figure 11 (a)(b))。水

(a) Objects and human skin in and out of the mud water.
 (b) Human skin out of the mud water.
 (c) Human parts in and out of the mud water.
 Regarding thresholds of $R(1100)$, low and high thresholds depend on shin depth and mud water transparency.

Figure 10 Flow chart of the algorithm: Extracting human parts immersed in and out of the mud water.

Figure 11 Placement of hand and the wood block in the mud water. (a) Non-touching to the wood block. (b) Touching to the wood block.

中で木片と手が非接触の状態での(a)泥水内の物体 (人肌、及びヒト以外の物体) と泥水外の人肌を抽出した画像 (Figure 12 (a)), (b)泥水内の物体を削除し、泥水外の人肌のみ抽出した画像 (Figure 12 (b)), そして、その 2 枚の画像から抽出された(c)泥水外のヒトと認識した部分と連結している水面下の物体を抽出した画像 (Figure 12 (c)) を見ると、泥水内のヒト以外の物体を取り除き、ヒトの部分のみを抽出できた。他方、水中で木片と手が接触の状態での(a)(b)(c)の画像 (Figure 13 (a)(b)(c)) を見ると、泥水内でヒトに接触している物体も抽出された。この結果より、NDHI の計算で泥水外の人肌の抽出は可能ではあるが、泥水内の人肌のみを抽出することは難しいことがわかった (泥水外の人肌に連結しない泥水内の物体は削除可能)。しかし、生存している要救助者は身体の一部 (特に呼吸のため顔面部分) が水面から出ている可能性が高いと考えられ、泥水外の人肌の部位を抽出することでヒトの発見は可

Figure 12 Method of human extraction in and out of the mud water using NDHI (Non-touching to the wood block). (a) Grayscale image of NDHI after preprocessing ($R(1100) \geq 0.01$). (b) Grayscale image of NDHI after preprocessing ($R(1100) \geq 0.15$). (c) Concatenation of binary images (a) and (b).

Figure 13 Method of human extraction in and out of the mud water using NDHI (Touching to the wood block). (a) Grayscale image of NDHI after preprocessing ($R(1100) \geq 0.01$). (b) Grayscale image of NDHI after preprocessing ($R(1100) \geq 0.15$). (c) Concatenation of binary images (a) and (b).

能となり、連結する泥水面下の情報を得ることができる。これは泥水外の人肌の部位だけを抽出して要救助者を検索するだけでなく、泥水内の情報を抽出することで、要救助者の状況把握にも役立つ。

4.3 NDHI に有効な透視度と深度の関係

泥水内の物体抽出に際し、NDHI が適用可能な泥水の深度と透視度の関係を調査した。室内の測定系 (Figure 7 と同じ条件、但し、水面の高さは 30 cm とする) を用い、右手の甲の部分の深度が 0 cm から 20 cm に至

るまで 2 cm 間隔で深度を変えて測定を行った。泥水は透視度 40, 20, 及び 10 の 3 種類を準備し、透視度 ∞ の水として中水を用いた。それぞれの透視度における各深度の人肌のスペクトル特性を Figure 14 (a)–(h) に示した。透視度 ∞ で深度を変えた場合、反射スペクトルは波長 1070 nm 付近で反射が大きく、深度が深くなるにつれ反射が小さくなった。1150 nm より長い波長域では反射がほぼ 0 に近かった。そのため、NDHI を水中の物体抽出に利用するには $R1: 1100$ nm よりも 1070 nm の反射を使用する方が有効であると考えられる。また、透視度が下がると波長 1000 nm から 1700 nm 間の反射が全体的に大きくなる傾向がみられた。これは、透視度が下がるほど水中に含まれる土粘土の比率が多くなり、さらに、深度が深くなるほど土粘土の反射影響が大きくなるためと考えられる。以上の結果から、次に水中の物体抽出に有効な波長 $R1$ を 1070 nm に変更し、抽出可能な透視度と深度の関係、抽出可能な水中の手と水面の反射率の差を調べた (Figure 15)。抽出の可否判定は指先までの輪郭形状が目視にて認識できるかで行っている。透視度 ∞ の場合には深度 10 cm まで、透視度 40, 20 では深度 8 cm まで、透視度 10 では深度 6 cm まで抽出可能であった。泥水中から物体を抽出するには、 $R1$ の閾値処理で物体のない水面を削除する必要があり、透視度が下がると $R1$ での水中の手と水面の反射率の差が小さくなるため、抽出深度が浅くなった。各透視度での抽出可能な反射率の差を見ると、透視度 ∞ の場合に 0.0113, 40 では 0.0142, 20 で 0.0118, また 10 の場合には 0.0192 となり、 10^{-2} 台で抽出の可否

Figure 15 Difference of reflectance between human skin immersed in the mud water and water surface, and recognizable depth in each transparency.

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

(g)

(h)

Figure 14 Hyperspectral reflectance profiles of human skin for various observation depths and transparencies. (a)(b) Pure-water ((a); depth 0-10cm, (b); depth 12-20cm). (c)(d)Transparency 40cm ((c); depth 0-10cm, (d); depth 12-20cm). (e)(f)Transparency 20cm ((e); depth 0-10cm, (f); depth 12-20cm). (g)(h)Transparency 10cm ((g); depth 0-10cm, (h); depth 12-20cm).

が分かれる傾向があった。今回の実験の測定誤差として、透視度40の深度16–20cm間の反射率が0.0005程度上昇しており、また、透視度10の深度20cmでの反射率が同程度低下した。これは暗電流値の変化による誤差と考えられ、対策として頻繁に暗電流値の補正を行うか、測定時の反射率の誤差として ± 0.0005 程度を見込むことが考えられる。抽出可能の判定値は 10^{-2} であり暗電流値の誤差に対して十分大きいため、抽出結果はこの誤差の影響を受けない。

4.4 NDHI と赤外線センサを使用したヒト認識との比較

従来のヒト認識の主な手法の一つに熱赤外領域を利用した赤外線センサによる体温感知がある。そこで水難事故や水災害を想定した場面での赤外線センサによる体温感知と NDHI との比較実験を行った。赤外線センサは NEC 社製 TH3100MR を使用した。Figure 16 (a)に示すように氷水中に30秒間右手を浸して体温を下げた後、Figure 16 (b)に示すように透視度10の泥水中

Figure 16 (a)Putting a hand for thirty seconds in the ice water. (b)View of the chilled hand in the muddy water.

に手のひらを浸し、赤外線センサとハイパースペクトルセンサで測定を行った。海難事故や台風などによる水災害の多発する夏期 8 月の本州周辺の海水温は 25–29 度 C である。そこで、泥水の温度を 25 度 C とした(国立天文台, 2006)。赤外線センサによる測定は 10 分間行い、体温が戻る様子を観察した。赤外線センサの測定結果では、開始直後は泥水より手のひらの体温が低い、時間の経過とともに徐々に体温が戻り始め、5 分後には泥水に接する部分の温度が 27 度 C 前後まで回復した(Figure 17)。しかし、水面から出ている手の部分の温度は 10 分後も 27 度 C 前後から上昇せず、手の形状が認識できなかった。一方、NDHI 画像 (R(1100) ≥ 0.035 で閾値処理)の結果は、泥水内外の手の形状が明確に抽出可能であった(Figure 18)。このように体温が下がっている状況での水面下のヒト認識には、赤外線センサを使用した体温認識と比較して NDHI の方が有効であることがわかった。

Figure 18 Calculated results of NDHI with respect to the chilled hand.

Figure 17 Thermographical images of the chilled hand dipped in the mud water of temperature 25°C up to 10 minutes.

5. 結 言

ヒトと背景物の反射スペクトルの違いに基づき、背景から人肌のみを抽出する指標 NDHI の提案を行い、その指標に最適な波長 R1:1100nm, R2:1550nm を調査した。まず、提案した NDHI により、ヒトをさまざまな背景（アスファルト、コンクリート、植物、土砂など）から識別できることを確認した。次に、NDHI による要救助者搜索に海難事故や水災害を想定し、泥水内外での人肌抽出の実験を行った。泥水内の物体抽出には R1:1070nm を使用することが有効であり、波長1070nmの反射率を閾値処理することで取得した画像から要救助者搜索に有効な画像の作成が可能であった。最後に、従来手法の1つ、赤外線センサでの体温感知によるヒト認識との比較実験を行い、NDHI の有用性を実証した。今後の課題として、NDHI を利用して様々な人種の人肌をより多くの背景物及び異常気象条件下での測定すること、実際に太陽光下で泥水内外のヒト識別手法を検証することが必要である。そして、泥水の透視度、測定対象物の深度によって変化する閾値に統一的な指針を設定する必要がある。今回の実験では泥水内外の抽出に関して目視で抽出の可否判定を行ったが、Receiver Operating Characteristic (ROC) 法などを利用して定量的に評価し、NDHI の抽出パラメータ(波長1070nmの反射率の閾値2つ、NDHIの閾値1つ)を自動最適化するなどの方法が考えられる。また、水中物体の短波長赤外領域の反射は対象の深度に応じて波長1070nm付近に立ち上がりがあるのみであり、暗電流値の誤差を想定すると中水中でも深度18cm前後が抽出可能な深度の限界であることがわかった。しかし、目視の可視領域において純水中の物体はそれ以上の深度でも認識可能なため、多領域の波長の利用や正規指標以外の計算手法を検証し抽出精度を向上させる必要があると考える。さらには、夜間の救難を想定した照明系の設定や波浪の影響などについても、今後の検討が必要である。

謝 辞

本研究は、文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクトの援助を受けた。赤外線センサをお貸しいただいた秋田県立大学の浅野耕一准教授には感謝を申し上げます。また貴重なご助言をいただいた舩防災科学技術研究所の角本繁様には厚く御礼申し上げます。

(受付日2006.10.18, 受理日2007.3.9)

参考文献

- 枝長孝幸, 宇都有昭, 小杉幸夫, 2005. 短波長赤外領域スペクトル情報を用いた人肌抽出に関する研究, 日本写真測量学会平成17年度秋季学術講演会発表論文集, pp.45-48.
- 枝長孝幸, 宇都有昭, 小杉幸夫, 角本 繁, 2006. 人肌抽出指標 NDHI を用いた泥水中の人肌抽出に関する研究, 電子情報通信学会2006年度総合大会, pp. 145.
- 国立天文台編, 2006, 理科年表, pp.49-52, 丸善.
- A.N. Bashkatov, E.A. Genina, V.I. Kochubey, V.V. Tuchin, 2005, Optical properties of human skin, subcutaneous and mucous tissues in the wavelength range from 400 to 2000nm. Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 38, pp.2543-2555.
- D.S. Kimes, 1983. Dynamics of directional reflectance factor distributions for vegetation canopies. Appl. Opt., 22, pp.1364-1372.
- E. Angelopoulou, 1999, The Reflectance Spectrum of Human Skin, Technical Report MS-CIS-99-29, pp.1-14, <http://www.cis.upenn.edu/~elli/tech-report.skin.pdf>.
- Susan L. Ustin, 2004. Remote Sensing for Natural Resource Management and Environmental Monitoring, John Wiley & Sons, Inc., pp.150-151.
- Zhihong Pan, G. Healey, M. Prasad, 2003, Face recognition in hyperspectral images. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 25, no. 12, pp.1552-1560.