

# ウェーブレット解析による冬期路面判別の検討

武市 靖<sup>1</sup>・三浦真平<sup>2</sup>・魚住 純<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 北海学園大学教授 工学部土木工学科 (〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目)  
<sup>2</sup>学生員 北海学園大学 工学部土木工学科 (〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目)  
<sup>3</sup>非会員 工博 北海学園大学教授 工学部電子情報工学科 (〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目)

先の研究では<sup>1)</sup>, デジタルカメラを用いて路面状態を面としてとらえ, 画像処理解析による判別方法について検討した. この判別方法は, 路面状態によって異なる輝度分布を確率密度関数で表し, 統計学的パラメータによる解析及び, フーリエ変換による周波数分析に基づくもので, 路面全体を把握できる利点はあるが, 路面状態の空間的情報が完全に失われてしまう. 本研究は, 冬期路面で発生しやすい凍結路面状態の空間的配置, 局所的存在を知るために, 路面画像の一次元, 二次元ウェーブレット解析による輝度信号の空間 - 空間周波数分析を行い, その検討結果まとめたものである.

Key Words : digital image processing , winter pavement conditions , wavelet analysis , snow and ice control

## 1. はじめに

画像処理による路面判別手法において, 統計学的パラメータによるテクスチャーの解析では, 路面画像画素の輝度分布に関する統計分析に注目している. また, 自己相関関数やパワースペクトルを求めるためのフーリエ変換による解析では輝度の不規則波形を一連の周波数成分と考えると, 空間領域から空間周波数領域に変換して分析を行っている<sup>2)~5)</sup>. しかし, このようなフーリエ変換後の空間周波数領域では, 空間的情報が完全に失われてしまう. 短時間フーリエ変換は狭い範囲での空間的情報を与えるが, 空間的配置の精度と周波数特性の精度は互いにトレードオフの関係にあり, 必ずしも十分ではない.

従って, 例えば, 横断方向に雪氷路面, 乾燥路面の複合路面が混在したり, 氷板によるわだちが形成されたり, また, 延長方向に道路構造の違いにより, 路面状態が急変することなどが冬期路面ではよく発生するが, 上記の解析では, 路面状態の空間的配置, 局所的存在・領域分割までは知ることができない<sup>6)</sup>.

本研究は, ウェーブレット解析により, 画像の輝度信号の空間 - 空間周波数分析を同時に行い, 画像の空間周波数情報のみならず位置的情報を知るための検討を行った. 特に, 一次元解析は道路パトロールカーによる管理区間の延長方向の路面情報, 二次

元解析では路側の路面観測ステーションでの面的な領域分割された路面情報の把握を目的としている.

今後, これらの路面画像情報の解析処理をシステム化することにより, 雪氷管理に効率的に適用することができると考えられる<sup>7),8)</sup>.

## 2. 一次元連続ウェーブレット解析<sup>9),10),11)</sup>

### (1) 連続ウェーブレット変換

ウェーブレット関数を  $\mathbf{y}(t)$  と表すと,  $\mathbf{y}(t)$  を  $t$  軸上で平行移動 (シフト), 拡大縮小 (ダイレーション) して, 基底関数  $\mathbf{y}_{a,b}(t)$  を生成できる  $\mathbf{y}_{a,b}(t)$  は式 (1) で表される.  $t$  は空間座標である.

$$\phi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \phi \left( \frac{t-b}{a} \right) \quad (1)$$

ここで,  $a$  は拡大縮小,  $b$  は平行移動のパラメータである.  $\mathbf{y}_{a,b}(t)$  と信号  $f(t)$  との内積がウェーブレット変換で式 (2) で表され, 出力された数値は信号  $f(t)$  とマザーウェーブレット  $\mathbf{y}(t)$  の相似性の度合いを表すウェーブレット展開係数である.

$$(W_{\phi} f)(b,a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\phi \left( \frac{t-b}{a} \right)} dt \quad (2)$$

本研究では, 検討例として式 (3) による Haar (ハール) のウェーブレットの解析結果を示した.

$$y(t) = \begin{cases} 1 & (0 \leq t < 1/2) \\ -1 & (1/2 \leq t < 1) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases} \quad (3)$$

## (2) 離散ウェーブレット変換

空間信号の効率的な空間 - 空間周波数解析を行うためには、座標を離散化した離散ウェーブレット変換が用いられる。\$a = 2^j, b = 2^j k\$ とすると、離散ウェーブレットでは式(1),(2)は式(4)で表される。

$$\phi_{j,k}(t) = 2^{-\frac{j}{2}} \phi(2^{-j}t - k) \quad (4)$$

$$w_k^{(j)} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \overline{\phi_{j,k}(t)} dt$$

ここで、信号 \$f(t)\$ を Haar のスケーリング関数 \$j(t)\$ の一次結合で近似する。すなわち、\$f(t)\$ の近似関数 \$f\_0(t)\$ は、式(5)で表される。

$$f_0(t) = \sum_k s_k j(t - k) \quad (5)$$

\$s\_k\$ は、区間 \$[k, k+1]\$ における信号 \$f(t)\$ の平均値であり、Haar のスケーリング関数の場合は式(6)で表される。

$$s_k = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \overline{j(t-k)} dt = \int_k^{k+1} f(t) dt \quad (6)$$

ウェーブレットと同様、このスケーリング関数の整数シフトおよびダイレーションを考え \$j\_{j,k}\$ を、式(7)で定義する。また \$j\_{j,k}\$ を用いて、レベル \$j\$ の近似関数 \$f\_j(t)\$ を式(8)で表す。

$$j_{j,k}(t) = 2^{-\frac{j}{2}} j(2^{-j}t - k) \quad (7)$$

$$f_j(t) = \sum_k s_k^{(j)} j_{j,k}(t) \quad (8)$$

\$s\_k^{(j)}\$ はスケーリング係数で、レベル \$j\$ の近似関数 \$f\_j\$ とスケーリング関数 \$j\_{j,k}\$ の内積で求められる。

\$f\_1(t)\$ は \$f\_0(t)\$ から情報が欠落した状態であり、この欠落部分 \$g\_1(t)\$ が高周波成分である。したがって、\$f\_0(t)\$ は、多重解像度近似(MRA)として式(9)で復元される。

$$f_0(t) = f_1(t) + g_1(t) \quad (9)$$

このとき、信号 \$f(t)\$ はレベル1から任意のレベル \$(j)\$ までのウェーブレットと \$f\_j(t)\$ との一次結合の和で表される。

以下の解析ではスケーリング係数 \$s^{(j)}\$、ウェーブレット展開係数 \$w^{(j)}\$ として、それぞれ \$a\_j, d\_j\$ を用いる。

図1は、本研究で用いた信号 \$s\$ の分解モデルである。\$s\$ から高周波成分 \$d\_1\$ を除くと、低周波成分 \$a\_1\$ が得られ、\$a\_1\$ から \$d\_2\$ を除くと \$a\_2\$ が得られる。逆に、\$a\_3, d\_1, d\_2, d\_3\$ を組み合わせると、信号 \$s\$ が再構成される。

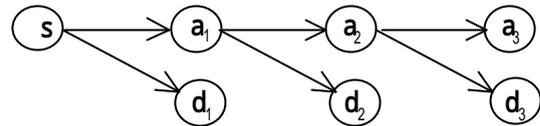


図1 MRAにおける信号の分解モデル

## (3) 複合路面画像の一次元ウェーブレット解析例

写真1は左側が氷板、右側が圧雪路面で構成されている路面画像、図2はA-A断面の一次元輝度分布である。この複合路面画像の輝度分布にマザーウェ

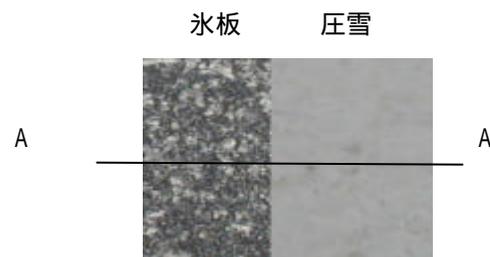


写真1 氷板・圧雪路面の画像

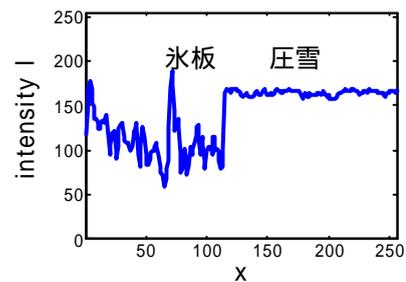


図2 A-A断面の輝度

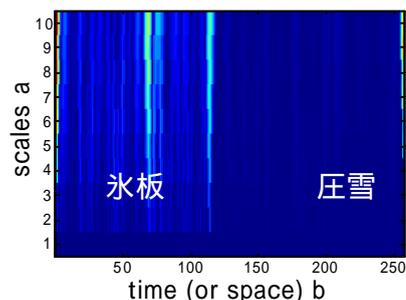


図3 A-A断面の連続ウェーブレット変換

ーブレットとして不連続性を認識しやすい Haar のウェーブレットを用い、連続ウェーブレット変換と一次元多重解像度解析を行った。

#### a) 連続ウェーブレット変換の解析結果

図3はA-A断面について連続ウェーブレット変換を行い、スケールa=10までのウェーブレット展開係数の結果を示したものである。色の濃い部分はウェーブレット展開係数の絶対値が低いことを意味し、薄い部分は高く、輝度信号とマザーウェーブレットとの相似性(検出度)が高いことを示している。

氷板路面は輝度分布に大きな変動があるので、ウェーブレット展開係数にも変動が見られ、Haar ウェーブレットとの相似性が高いことを示しているが、圧雪路面は輝度分布にほとんど変動が見られずウェーブレット展開係数は0に近い結果になっている。

#### b) 離散ウェーブレット変換の解析結果

離散ウェーブレット変換により多重解像度解析を行うと、信号の不連続やブレイクポイントの検出が容易である。近似関数としての低周波成分(a1~a4)は信号全体の特徴、識別を意味し、ウェーブレッ

ト成分の高周波成分(d1~d4)は、それを解析することにより、イ)変化の位置、ロ)変化のタイプ、ハ)変化の規模などを明確にすることができる。

図4はA-A断面について多重解像度解析を行った結果である。レベル1,2の高周波成分d1,d2の結果をみると、X=110付近で不連続になっており、ブレイクポイントの位置を狭い領域で精度よく示している。この画像例では低周波成分のa1~a4をみても不連続点が見える信号となっているが、氷板路面の輝度分布がHaar ウェーブレットとの相似性を強く示すが、圧雪路面はその特徴が見られない。

### 3. 二次元ウェーブレット解析<sup>12),13)</sup>

#### (1) 離散ウェーブレット変換

解析画像を面で捉え画像全体について二次元ウェーブレット解析を行うことにより、面的な路面状態と位置情報を得ることができる。本研究では、路面画像データ判別の観点から、離散ウェーブレットを使用した二次元画像データのウェーブレット変換についてのみ注目した。

二次元離散ウェーブレット変換は、まず横軸方向に離散ウェーブレット変換を行い、その係数に対して縦軸方向に離散ウェーブレット変換を行う。ここでは、画像データ $f_{m,n}$ をレベル0のスケール係数 $s_{m,n}^{(0)}$ と見なして考える。

横軸方向に離散ウェーブレット変換を行うと、横軸方向のスケール係数 $s_{m,n}^{(j+1,x)}$ 及び、ウェーブレット展開係数 $w_{m,n}^{(j+1,x)}$ はそれぞれ式(10)、(11)で表される。

$$s_{m,n}^{(j+1,x)} = \sum_k \overline{p_{k-2m}} s_{k,n}^{(j)} \quad (10)$$

$$w_{m,n}^{(j+1,x)} = \sum_k \overline{q_{k-2m}} s_{k,n}^{(j)} \quad (11)$$

次に、一連の式(12)のようにそれぞれの係数に対して、縦軸方向に離散ウェーブレット変換を行う。

$$\begin{aligned} s_{m,n}^{(j+1)} &= \sum_l \overline{p_{l-2n}} s_{m,l}^{(j+1,x)} \\ w_{m,n}^{(j+1,h)} &= \sum_l \overline{q_{l-2n}} s_{m,l}^{(j+1,x)} \\ w_{m,n}^{(j+1,v)} &= \sum_l \overline{p_{l-2n}} w_{m,l}^{(j+1,x)} \\ w_{m,n}^{(j+1,d)} &= \sum_l \overline{q_{l-2n}} w_{m,l}^{(j+1,x)} \end{aligned} \quad (12)$$

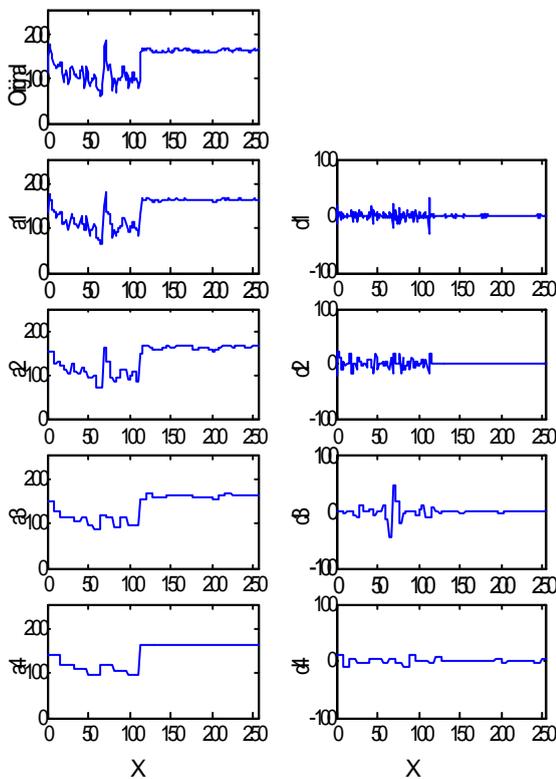


図4 多重解像度解析(オリジナル波形, 左:低周波成分,右:高周波成分)

ここで、 $W_{m,n}^{(j+1,h)}$  は横軸方向にスケーリング関数、縦軸方向にウェーブレットを作用させた係数を示す。  
 $W_{m,n}^{(j+1,v)}$  は横軸方向にウェーブレット、縦軸方向にスケーリング関数を作用させた係数を示す。また、  
 $W_{m,n}^{(j+1,d)}$  は、縦方向と横方向ともにウェーブレットを作用させた係数を示す。

式(10),(11)と式(12)をまとめると、式(13)のようになる。

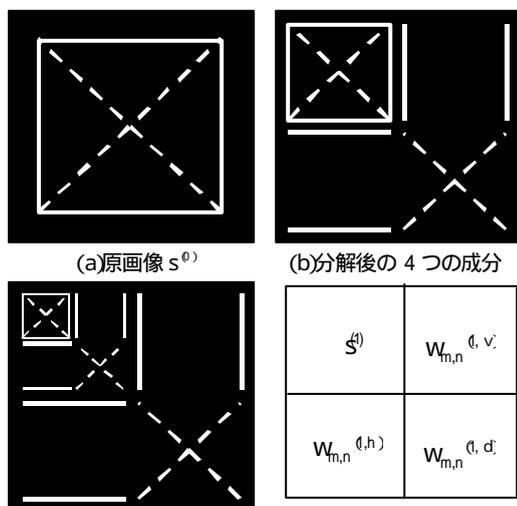
$$\begin{aligned}
 S_{m,n}^{(j+1)} &= \sum_l \sum_k \overline{p_{k-2m}} \overline{p_{l-2n}} S_{k,l}^{(j)} \\
 W_{m,n}^{(j+1,h)} &= \sum_l \sum_k \overline{p_{k-2m}} \overline{q_{l-2n}} S_{k,l}^{(j)} \\
 W_{m,n}^{(j+1,v)} &= \sum_l \sum_k \overline{q_{k-2m}} \overline{p_{l-2n}} S_{k,l}^{(j)} \\
 W_{m,n}^{(j+1,d)} &= \sum_l \sum_k \overline{q_{k-2m}} \overline{q_{l-2n}} S_{k,l}^{(j)}
 \end{aligned} \tag{13}$$

上式のうち、 $S_{m,n}^{(j+1)}$ のみをさらに、4つの成分に分解することを繰り返すことにより、二次元多重解像度分解を行う。

図5は二次元離散ウェーブレット変換のモデルである<sup>12)</sup>。図5(a)の原画像  $s^{(0)}$  をレベル1のウェーブレットで離散ウェーブレット変換を行う。図5(b)には図5(d)に示すようにスケーリング係数  $S_{m,n}^{(1)}$ 、ウェーブレット展開係数  $W_{m,n}^{(1,h)}$ 、 $W_{m,n}^{(1,v)}$ 、 $W_{m,n}^{(1,d)}$  が示されている。

次に図5(c)に示すように、 $S_{m,n}^{(1)}$  をレベル2のウェーブレットでさらに4つの成分に分解する。

この作業を繰り返し行うことが二次元離散ウェーブレット変換である。



(c)  $S^{(1)}$  をさらに4つに分解した図 (d) (b) に示される係数

図5 二次元多重解像度分解のモデル

## (2) 複合路面画像の二次元ウェーブレット解析例

二次元多重解像度解析の例として、一次元ウェーブレット解析例で用いた写真1の路面画像をレベル4まで分解した結果を以下に示した。

図6には、低周波成分 A1 ~ A4 を、図7には垂直方向の高周波成分 D1<sup>(v)</sup> ~ D4<sup>(v)</sup> の結果を示した。スケーリング係数の違いが、氷板と圧雪とを面的に明確に区分している。

図7では、氷板路面のウェーブレット展開係数が大きく、細かい変動があるため、D1<sup>(v)</sup> から D4<sup>(v)</sup> に解像度のレベル下がるにともない微粒子からモザイク状に変化した濃淡が見られる。圧雪路面では、どのレベルでも濃色のままで変化が見られない。これは水平方向  $D_j^{(h)}$  および対角方向  $D_j^{(d)}$  でも同じであった。

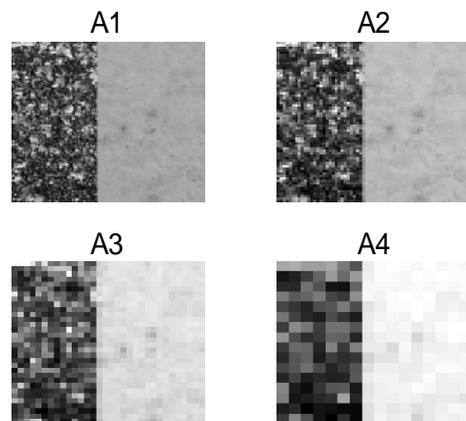


図6 二次元多重解像度分解の低周波成分

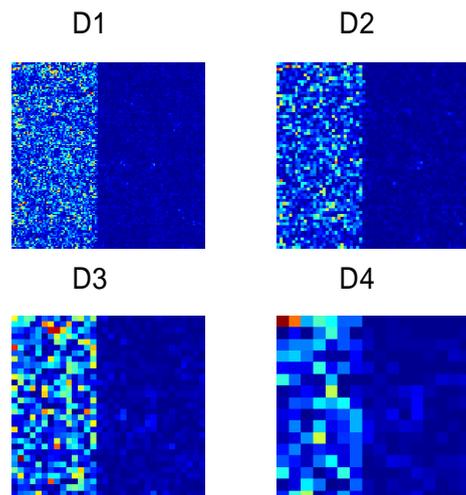


図7 二次元多重解像度分解の高周波成分

#### 4. 国道230号線の路面画像の解析

##### (1) 路面の撮影と画像の作成

本研究では、フラッシュONとOFF時の路面撮影を行ったが、解析手法の現場への適用性を考慮して、国道230号線を高さ2.0mからフラッシュを焚かずに撮影した乾燥、湿潤、氷板、圧雪路面の画像各1枚についてウェーブレット解析を行った。ただし、判別精度の観点から、(4)でフラッシュON時の考察も加えた。

写真2は現場の4種の単一路面画像で、写真3はそれを切り出して合成した複合路面画像である。画素数は256×256pixelである。単一路面画像と短冊状の複合路面は一次元ウェーブレット解析を、モール状の複合路面は二次元ウェーブレット解析を行い路面状態による違いを求めた。

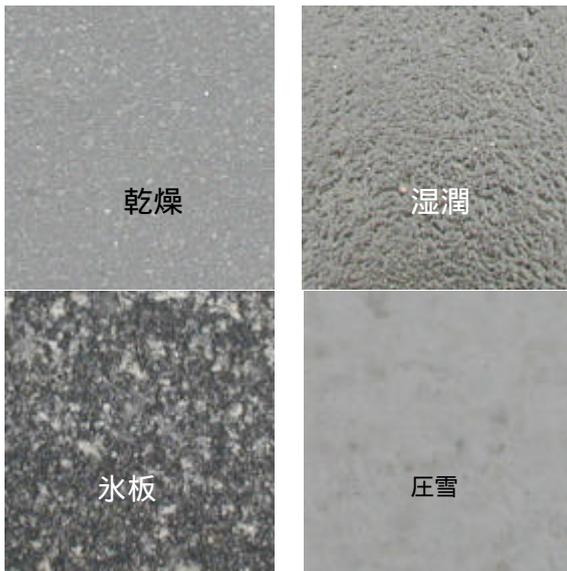


写真2 国道230号線の単一路面画像

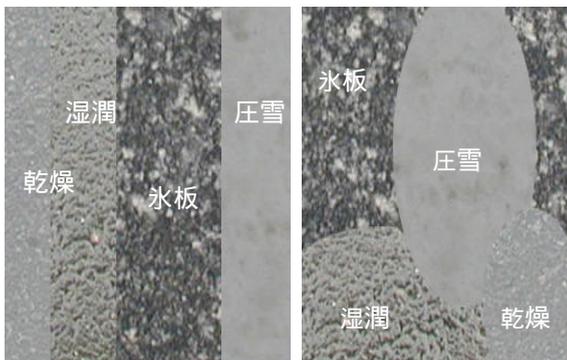


写真3 短冊状(左)とモール状(右)の複合路面画像

##### (2) 一次元ウェーブレット解析

###### (a) 連続ウェーブレット変換

図8は、短冊状複合路面の一次元連続ウェーブレット変換の解析結果で、後述する(b)の離散ウェーブレット変換の解析結果を補完する情報としてスケールa=10までの範囲を示したものである。

淡色の筋が多く示されている氷板の輝度分布がHaarのウェーブレットとの相似性が高く、単一の濃色となっている圧雪の相似性はほとんど見られず、乾燥と湿潤はその中間に位置する。この相似性の度合いは、図9に示した単一路面のスケールa=10におけるウェーブレット展開係数を見るとよくわかる。すなわち、Haarのマザーウェーブレットによる解析では氷板、圧雪、乾燥/湿潤の3者には違いがほぼ認められるが、乾燥と湿潤は必ずしも明確でないことを示唆している。

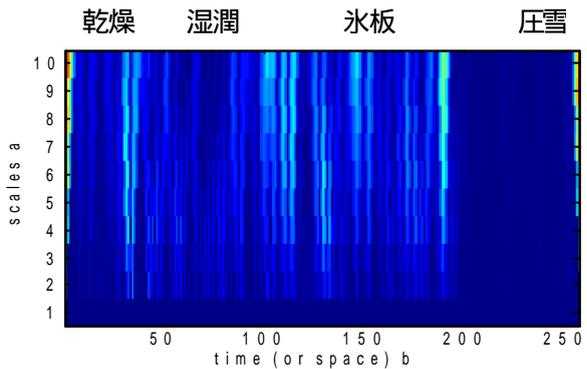


図8 一次元連続ウェーブレット変換の結果

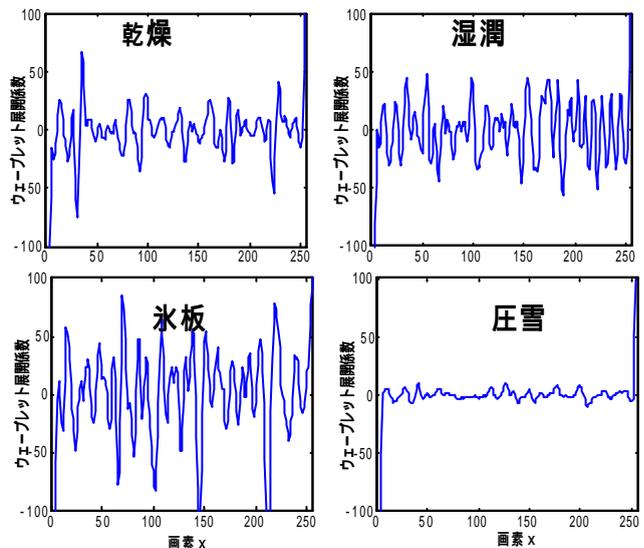


図9 各単一路面のスケール10におけるウェーブレット展開係数

(b) 離散ウェーブレット変換

図 10 は、フラッシュ OFF 時の短冊状複合路面画像の離散ウェーブレット変換により多重解像度解析をレベル 4 まで行った結果を示したものである。

図中の画素  $x$  の表示で、おおよそ 0 ~ 40 が乾燥、40 ~ 100 が湿潤、100 ~ 180 が氷板および 180 ~ 265 が圧雪であるが、近似関数としての低周波成分ではレベル 1 2 の  $a_1$  と  $a_2$  において特徴が見られる。特に、 $a_2$  の成分に基づく、連続ウェーブレットでは判別しづらかった乾燥と湿潤の違いが見られ、氷板、圧雪の 4 種の判別が可能である。

また、路面状態が変化する境界地点の判別の観点から高周波成分を見ると、 $d_1$  と  $d_2$  とともに  $x=40$  付近と  $x=180$  付近で急変していることを示しているが、 $x=100$  付近の境界が不明瞭である。レベル 3 の  $d_3$  で、 $x=100$  付近の変化をも示しているが、 $x=40$  付近の明瞭さに欠ける問題が残りマザーウェーブレットの選択を検討する必要がある。

以上の解析結果から、マザーウェーブレットの選択や路面画像の取り込み方法などに検討の余地があるが、低周波と高周波成分の波形の定量化に基づく

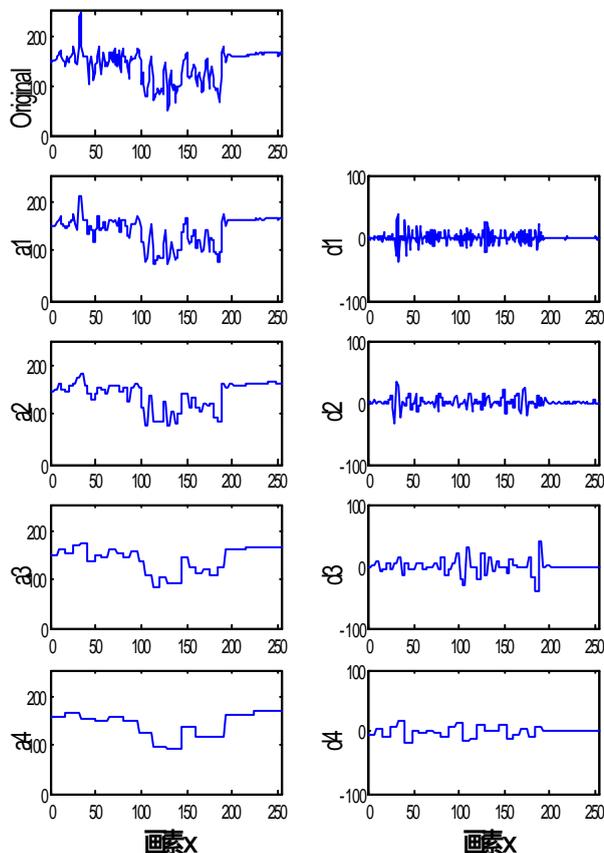


図 10 一次元離散ウェーブレット変換の結果

路面画像の解析アルゴリズムを構築することにより、道路パトロールなどが道路延長方向に収録した画像データから路面の判別と変化地点の把握が可能であると考えられる。

(3) 二次元多重解像度解析

フラッシュ OFF 時のモール状複合路面の二次元多重解像度解析において、図 11 は近似関数の低周波成分  $A_1 \sim A_4$  で、色の濃淡はスケーリング係数値である。図 12 は、同様に水平方向の高周波成分  $H_1 \sim H_4$  で、色の濃淡はウェーブレット展開係数の値である。

図 8 に示した短冊路面の一次元離散ウェーブレット解析結果と比較すると  $A_1$  と  $A_2$  の解析結果に示す

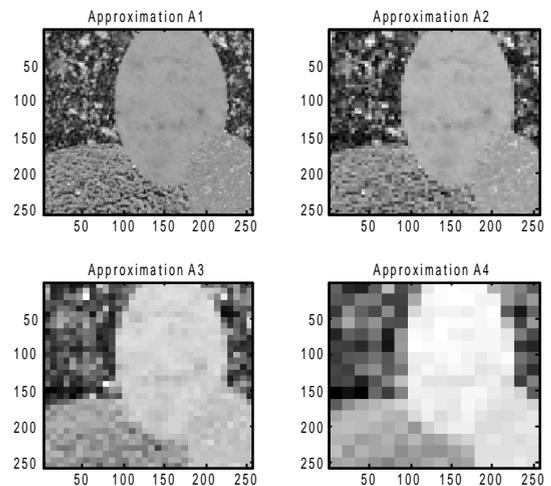


図 11 二次元離散ウェーブレット変換によるモール状複合路面の低周波成分

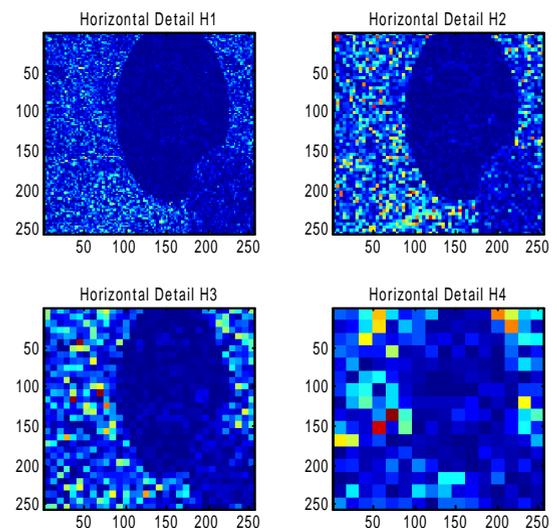


図 12 二次元離散ウェーブレット変換によるモール状複合路面の高周波成分

ように、モール状の各路面の判別、配置が分かりやすいが、ウェーブレット展開係数を表す H1 と H2 に基づくと氷板と湿潤に違いが無く、結果として両者の境界が明確ではない。これは一次元解析結果と同様に検討すべ点であるが、二次元の解析は、路側の路面観測ステーションでの路面状態の判別とその面的な配置を知るうえでは有用であると考えられる。

#### (4) スケーリング係数とウェーブレット展開係数に基づく各路面状態の判別に関する検討

前述の考察で一部に路面判別が不明瞭であったので、フラッシュ OFF と ON 時の 1 ～ 4 の各解析レベルにおけるスケーリング係数(SK)とウェーブレット展開係数(WT)の関係を調べた。この検証において、4種の路面についてそれぞれ10箇所の路面撮影画像を用い、一次元と二次元解析におけるスケーリング係数とウェーブレット展開係数を算出し、それらの平均値と標準偏差の関係を調べた。

図 13 と 14 は、フラッシュ OFF と ON の撮影時における一次元解析結果である。これらの図から分かる

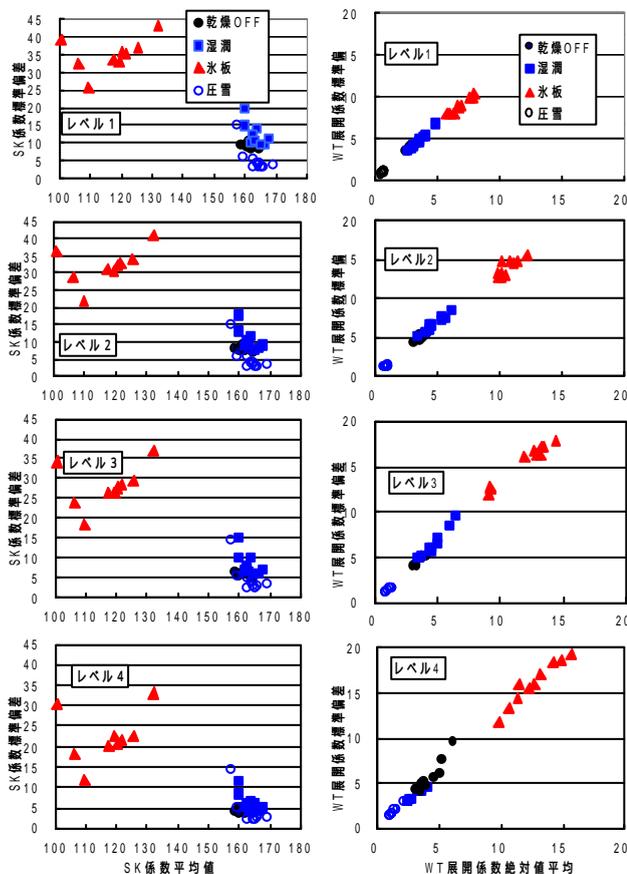


図 13 フラッシュ OFF 時のスケール関数とウェーブレット展開係数の平均値と標準偏差の関係

ように、フラッシュ ON 時の方が OFF 時より各路面の係数のクラスター明確で、両者ともレベル 1 ないし 2 が判別しやすく、レベル 3 から 4 と解像度を下げるとクラスターの重なりが大きくなる。特に、フラッシュ OFF 時にはレベル 1 ないし 2 においても湿潤と乾燥が判別しづらくなっており、図 10 の各解析レベルにおける周波数成分の解析結果との関係を示している。しかし、フラッシュ ON 時にはこれが改良されて、4種の路面状態の判別が可能である。

二次元解析結果についても、同様の解析による検証を行ったところ、図 11 と 12 で示されていることがほぼ定量的に明らかになり、やはりフラッシュ ON 時は判別しやすい状態を示していた。

以上から、現場への適用性を考慮してフラッシュ OFF 時に注目したが、路面撮影条件の検討や光学的な環境条件の影響を受けずらい赤外線カメラの適用などを検討する必要がある。また、解析レベルの検証及び異なる路面に対応した相似性を表現できるマザーウェーブレットの選択方法について現場データに基づき検討をする必要があると考えられる。

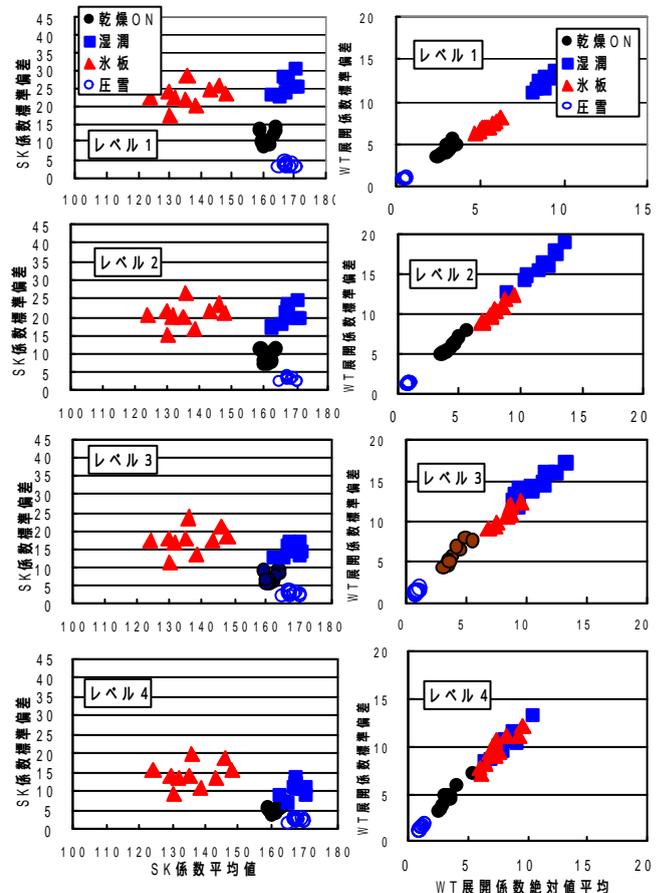


図 14 フラッシュ ON 時のスケール関数とウェーブレット展開係数の平均値と標準偏差の関係

## 5. 結論

本研究で得られた結論をまとめると、以下のとおりである。

- (1) ウェーブレット一次元解析結果では、道路延長方向の異なる路面の判別とその位置、路面不連続箇所の把握が可能であることを示唆している。
- (2) 領域分割とその判別を目的とした二次元の離散ウェーブレット解析結果は、局部的に異なる路面の配置、境界および路面全体で卓越している路面状態の把握などは、ほぼ可能であることを示唆している。
- (3) フラッシュ OFF 時の画像において、一次元解析では乾燥と湿潤の判別が不明瞭で、二次元解析では、湿潤と氷板の判別が不明瞭であった。スケール係数とウェーブレット展開係数の標準偏差により検証した結果、解析値の重なりによるものであることが大きく原因していると考えられる。しかし、フラッシュ ON 時には、解析レベル 1 ないし 2 において、各路面の判別が可能であったので、この点を考慮する必要がある。
- (4) (3)の問題点の対策として、路面撮影条件や解析レベルの検討、赤外線カメラの適用および異なる路面に対応した相似性を表現できるマザーウェーブレットの選択方法について現場データに基づき検討をする必要があると考えられる。

今後、先の研究で行った統計学的パラメータによる解析、フーリエ変換による周波数分析に基づく解析手法をふまえ、上記の問題点を検討して、道路パトロールカーによる道路雪氷管理や道路気象情報システム(RWIS)へ、画像処理システムが適用できるように現場調査と解析手法の検討を進めたい。

## 【参考文献】

- 1) 武市靖, 平河内 雄也: 画像処理による冬期路面の判別方法に関する検討, 舗装工学会論文集, 第 6 巻, VOL.6, 2001.
- 2) 南茂夫: 科学計測のための波形データ処理, pp. 70-72, 1997.
- 3) 酒井幸市: デジタル画像処理入門, コロナ社, pp.91-111, 1997.
- 4) 得丸英勝, 柴田碧, 岡村弘之, 長谷川利治, 添田喬, 中溝高好, 秋月景雄, 山川新二: 統計工学ハンドブック, pp. 3 - 4, p.9, 1987.
- 5) 矢島美寛, 寛津千尋, 藤野和建, 竹村彰通, 竹内 啓, 縄田和満, 松原 望, 伏見正則: 自然科学の統計学, 東京大学教養学部統計学教室編, pp. 1 - 4, 1999.
- 6) L. コーエン著, 吉川・佐藤訳: 時間 - 周波数解析, 朝倉書店, pp.70-91, 200.
- 7) 長谷川純一他: 画像処理の基本技法, 技術評論社, pp.193-210, 1997.
- 8) (社)精密工学会: 画像処理応用システム, 東京電機大学出版局, pp.144-173, 2000.
- 9) 榊原進: ウェーブレットビギナーズガイド, 東京電機大学出版局, pp.2-65, 1999.
- 10) チャールズ K. チュウイ著 桜井・新井訳, 東京電機大学出版局, pp.1-81, 1994.
- 11) ウェーブレット解析の基礎理論: 新井康平, 森北出版, pp.7-30, 2000.
- 12) 中野宏毅他: ウェーブレットによる信号処理と画像処理, 共立出版, pp. 7-63, 1999.
- 13) 斉藤兆古: ウェーブレット変換の基礎と応用, 朝倉書店, pp.93-109, 1998.

## STUDY ON DISCRIMINATION OF WINTER PAVEMENT CONDITIONS BY WAVELET ANALYSIS

Kiyoshi TAKEICHI, Shinpei MIURA, Jun UOZUMI

As for the discrimination of winter pavement conditions by image processing, the previous study was focused on the analysis based on the fundamental statistical parameter and Fourier transform. This paper is to study the discriminant methods by one and two dimensional wavelet analyses, which enable space-spatial frequency analysis, from the view point of control of the location and localized existence of various winter pavement conditions.