# 画像処理による冬期路面の判別方法に関する検討

武市 靖<sup>1</sup>・平河内 雄也<sup>2</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 北海学園大学大学院 工学部建設工学専攻(〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目)

本研究では、路面全体を把握できるようにデジタルカメラを用いて路面状態を面としてとらえることに注目し、 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、コントラスト、歪度、尖度などの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自己相関関 数とパワースペクトルを用いた周波数分析に基づくものである。各種路面の判別結果は、ファジィ理論により各路 面状態について的中率の検証を行った。さらに、乾燥/雪氷などの複合路面の位置的な分布を把握する手法として ウェーブレット解析を試みた。

Key Words: digital image processing, winter pavement conditions, pavement discriminant methods, Fourier transform, Wavelet analysis

# 1. はじめに

冬期間の路面状態は、日中の暖気や日射による湿潤 路面やシャーベット路面が夜間に氷板や氷膜路面にな るなど、道路気象条件や交通条件によって様々に変化 する。路面管理において路面状態を正確に判別するこ とは、適確な管理方法とタイミングを決定する上で重 要である。

路面埋設型のセンサーのみでは、局部的な路面状態 を検知してしまう恐れがあり、路面全体の状態をでき るだけ正確に判別する面的な判別方法が必要である。

現在、路面凍結検知のための判別には、雪氷を含む 路面水分の測定に電気容量計・導電率計、路面反射率 計、また、路面温度・大気温度の測定に路面センサー、 放射温度計などを用いている。

本研究では、面的な判別方法としてデジタル画像処理 をとりあげ、室内実験と現場撮影の各種路面状態のデジ タル画像の検討結果についてまとめた<sup>1)</sup>。

#### 2. 単一路面状態のアスファルト供試体路面

# (1) 室内実験

供試体は道路気象条件による路面性状の変化が大き い排水性アスコン(300m×300m×50m)を各路面状 態について6枚使用した。路面状態は、写真-1のa~ dのように、乾燥(dry)・湿潤(wet)・凍結(ice-film)・ 雪氷充填(snow/ice)の4種類とした。凍結は表面に霧 吹きで水膜を作り凍結させて氷膜・氷板を形成させた もの、雪氷充填とは空隙に濡れ雪を擦り込んだもので、



写真-1 各路面状態別の画像(高さ100cmから撮影)

それぞれ - 5 の低温室内で養生した。 撮影は、低温室内でデジタルカメラ(210 万画素)を用い、

フラッシュ有りと無しの 2 通りの場合について、供試体からの高さは 70、100、150、180cm で行った。

# (2) 解析手法

#### a) 輝度と画素数

輝度 I は、パソコンに入力した画像データの光の強さで、 256 階調で数値化したものである。輝度が高いほど白く、 低いほど黒いことを表す。路面画像は、画素数 256 × 256 に切り出して解析を行った<sup>2)</sup>。

#### b) 統計学的パラメータ

各路面状態の輝度分布に関して、平均輝度 Im で標準 化した輝度 I/Im と(1)式の確率密度関数 P<sub>1</sub>(1)との関 係をフラッシュ有りと無しの場合について、図 - 1 と図 - 2 に示した。乾燥と雪氷は両者とも同様な分布を示す が、フラッシュ有りの場合は、湿潤、凍結にも雪氷路 面と同様な高輝度にピークが見られるバイモーダルの 分布となる。これは、水膜や氷膜がフラッシュに反応 したためと考えられる。

中心モーメント $M_k$ は(2)式で表され、 $M_k$ (k=2~4)からコントラスト(contrast)V、歪度(skewness)Sk、 尖度(kurtosis)Kuは、(3)~(5)式で表される。

$$P_{I}(I) = \int_{\infty}^{\infty} I(x) dx \qquad (1)$$

$$\mathbf{M}_{k} = \int_{-\infty}^{\infty} (\mathbf{I} - \mathbf{Im})^{k} \mathbf{P}_{\mathbf{I}}(\mathbf{I}) d\mathbf{I}$$
(2)



$$\mathbf{Sk} = \mathbf{M}_{3} \checkmark (\mathbf{M}_{2})^{\frac{3}{2}}$$
(4)  
$$\mathbf{Ku} = \mathbf{M}_{4} \checkmark (\mathbf{M}_{2})^{2}$$
(5)

コントラスト V は、輝度分布のバラツキの度合いで、値 が大きいほどバラツキが大きいことを表す。 歪度は、確率 密度関数の歪み、つまり、輝度の偏りの度合いで、Sk=0 のとき正規分布を表し、Sk<0 のとき左側の裾が、Sk>0 のとき右側の裾が長くなる。 尖度は確率密度関数の高低さ、 つまり、輝度分布の卓越の度合いを表し、Ku<3 のとき低 く、Ku>3 のとき高くなり、Ku=3 のとき正規分布である。

コントラスト V、 歪度 Sk、 尖度 Ku の 3 者の関係につい て撮影高さが 70cm と 180cm における解析結果を図-3 と図 -4 に示した。コントラスト V と歪度 Sk の関係が他の 2 つ の関係より、各路面状態のグループとしてのまとまり、す なわち、クラスターが多少明確に形成されている。また、 撮影高さが高いほど各パラメータの上限値がやや大きく なっており (V:0.53 0.78、Sk: 0.75 1.1、Ku: 2.58 3.90)、分布の広がりを示している<sup>3)</sup>。



# c) 自己相関関数 R<sub>1</sub> ( ×、 y )

画素平面で(x,y)だけ離れた2点間の輝度(256 階調)の相関の度合いを示したものが、自己相関関数R  $_{\tau}$ (x,y)で、(6)式で表される。極座標表示R $_{\tau}$ (r,

)より、平均輝度を Im とすると角度平均の自己相関 関数 R<sub>I</sub>(r)が、(7)式で表される。

$$R_{I}(\Delta x, \Delta y) = \frac{1}{S} \iint_{S} \{I(x, y) - Im\} \{I(x + \Delta x, y + \Delta y) - Im\} dxdy \quad (6)$$
$$R_{I}(r) = \frac{1}{2\pi} \int_{0}^{2\pi} R_{I}(r, \theta) d\theta \quad (7)$$

図-5は、各路面状態の自己相関関数R<sub>I</sub>と画素 r の関係(h=150cm)を示したものである。各路面とも画素が5 前後のずれで自己相関係数が急激に低減する傾向を示し、路面による違いは明確ではない。

d) パワースペクトル S<sub>I</sub> ( fx、fy )

輝度の不規則波形を一連の周波数成分の和と考え、 各周波数成分のパワーの分布を示したものがパワース ペクトルS<sub>I</sub>(fx,fy)である。S<sub>I</sub>(fx,fy)の極座標表示 S<sub>I</sub>(,)より、角度平均のパワースペクトルS<sub>I</sub> ()、(8)式が求まる。

$$S_{I}(\rho) = \frac{1}{2\pi} \int_{0}^{2\pi} S_{I}(\rho, \phi) d\phi$$
 (8)

図 - 6 は空間周波数 とパワースペクトルS<sub>I</sub>()の 関係である。凍結路面では、低周波数成分が卓越して おり路面の位置的な輝度変動が小さく、雪氷路面はま だらとなっているため低周波成分の領域が大きくなっ ている。乾燥と湿潤路面は前2者の中間的な傾向を示 しており、周波数分析の点では両者に明確な違いが見 られない。

また、S<sub>I</sub>()の空間周波数 10 20 における平 均値を低周波成分 low freq.、40 50 における平 均値を高周波成分 high freq.とおくと、(9)(10)式 で表せる。図 - 7 には、両者の関係を示した。自己相 関関数 R<sub>I</sub>(x, y)とパワースペクトルS<sub>I</sub>(fx,fy) は互いにフーリエ変換(FT)の関係にあるので、(11)式 で表される<sup>4</sup>)。

lowfreq. = 
$$\frac{1}{11} \int_{20}^{10} \mathsf{S}_{\mathrm{I}}(\rho) \mathrm{d}\rho$$
 (9)

highfreq. = 
$$\frac{1}{11} \int_{0}^{40} S_{I}(\rho) d\rho$$
 (10)

$$\mathsf{S}_{\mathrm{I}}(\mathrm{fx},\mathrm{fy}) = FT[\mathsf{R}_{\mathrm{I}}(\Delta \mathrm{x},\Delta \mathrm{y})] \tag{11}$$

# 3. 複合路面状態のアスファルト供試体路面

# (1) パラメータによる解析

冬期間の路面状態は、均一な路面よりもファジィな 複合路面が発生しやすい。前述した単一路面を組み合



わせた複合路面状態について検討を加えた。

複合路面として、写真-2 に示すように、乾燥・湿潤 (dry・wet)乾燥・凍結(dry・ice-film)乾燥・雪氷(dry・ snow/ice)、凍結・湿潤(ice-film・wet)湿潤・雪氷(wet・ snow/ice)、雪氷・凍結(snow/ice・ice-film)の供試体 路面を各6枚作成した。

室内実験は、単一路面状態と同様の方法で実施した。

写真 - 2 は、高さ 180cm から撮影した複合路面で、図 -8 には、コントラストV、歪度 Sk および尖度 Ku の関係 を示した。複合路面であることを考慮すると、各パラ メータの組み合わせは、各路面状態をある程度判別し ているが、隣接しているクラスターでは、これらのパ ラメータによる判別が必ずしも容易ではない<sup>5)</sup>。

#### (2) ファジィ推論

できるだけ客観的に判別できるように、ファジィ理 論を適用して、各路面状態を"発生の確からしさ"(適 合度)から検討を行った。

解析プログラムにおいて、前件部の入力変数をコントラストV、 歪度 Sk、 尖度 Ku とし、後件部の各路面状態が発生する適合度を発生率と呼ぶことにする。図-8



写真-2 複合路面状態の画像

に示した解析結果に基づき、各複合路面に対するメンバ シップ関数の範囲は、表 - 1 に示すように、NEGATIVE LARGE (N.L)から、POSITIVE LARGE (P.L)までの7段階 とした。このメンバシップ関数は、前件部においては出 力された入力変数の値、後件部においては路面状態の発 生率の大きさを表したものである。表 - 2には、その設定 したルールを示した。表 - 3には、各路面状態について6 枚の画像をファジィ理論により推論し、その路面判別結 果を示した<sup>6)</sup>。的中路面を網掛け部、非的中の第1順位路 面を 2 重枠で示し、的中しなかった路面の順位を また は として表 - 3に示した。



図-8 コントラスト・歪度・尖度の関係

	前倍的						後幣													
	contrast		trast skewness		skewness		kurt	tosis	dr	y t	dr	y film	dr	y /im	we	t film	WE	et Vice	ice	film
								1. 			SID/				SLOW		SIOW			
	MIN	IVIAX	MIN	IMAX	MIN	IMAX	MIN	IMAX	MIN	INAX	MIN	IMAX	MIN	IMAX	MIN	IVAX	MIN	IMAX		
NL	-00	0.37	4	0.00	$-\infty$	2.10	-0.17	0.17	-0.17	0.17	-0.17	0.17	-0.17	0.17	-0.17	0.17	-0.17	0.17		
NM	0.30	0.52	0.05	0.35	1.90	2.50	0.00	0.33	0.00	0.33	0.00	0.33	0.00	0.33	0.00	0.33	0.00	0.33		
NS	0.32	0.55	0.10	0.55	2.10	2.70	0.17	0.50	0.17	0.50	0.17	0.50	0.17	0.50	0.17	0.50	0.17	0.50		
AZ	0.37	0.61	0.20	0.50	2.50	3.15	0.33	0.67	0.33	0.67	0.33	0.67	0.33	0.67	0.33	0.67	0.33	0.67		
P.S	0.40	0.63	0.25	0.85	2.75	3.40	0.50	0.82	0.50	0.82	0.50	0.82	0.50	0.82	0.50	0.82	0.50	0.82		
P.M	0.45	0.68	0.35	1.00	2.90	3.50	0.67	1.00	0.67	1.00	0.67	1.00	0.67	1.00	0.67	1.00	0.67	1.00		
P.L	0.59	$\infty$	0.70	8	3.10	3.70	0.82	1.17	0.82	1.17	0.82	1.17	0.82	1.17	0.82	1.17	0.82	1.17		

	前件部		後件部							
contrast	skewness	kurtosis	乾燥·湿潤	乾燥·凍結	乾燥·雪氷	湿潤·凍結	湿潤·雪氷	凍結·雪氷	王の下	
N.M	N.M	N.S	P.S	A.Z	P.S	N.M	P.S	P.S	1.0	
NS	PS	РМ	РМ	РМ	A7	PS	NS	A.Z	1.0	
N.M	A.Z	P.S	P.L	P.S	A.Z	N.S	A.Z	A.Z	1.0	
NS	РМ	ΡI	PS	ΡI	NS	PS	NS	N.S	1.0	
P.S	N.S	N.L.	A.Z	N.S	PL	N.S	P.M	P.M	1.0	
P.M	N.S	N.L	A.Z	N.S	P.M	N.S	P.L	P.S	1.0	
P.L	P.L	P.M	N.L	P.S	N.S	P.L	N.S	N.M	1.0	
Α7	NI	NI	Α7	NS	РМ	NM	PS	ΡI	1.0	

表-2	複合路面状態におけるルー	ル設定
-----	--------------	-----

表一3	ファジィ理論による路面判別の推論結果

	收西小能	Nia	路面状態の発生率							
	<b>哈</b> 山八悲	NO.	乾燥・湿潤	乾燥・凍結	乾燥・雪氷	湿潤・凍結	湿潤・雪氷	凍結・雪氷		
		No. 1	0.827 <sub>2</sub>	0.832	0.494	0.663	0.335	0.494		
		No. 2	0.916	0.671	0.500	0.344	0.496	0.500		
	乾燥・湿潤	No. 3	<b>0.668</b> <sub>2</sub>	0.920	0.332	0.668	0.332	0.332		
		No. 4	0.865	0.654	0.518	0.317	0.516	0.518		
		No. 5	0.850	0.648	0.523	0.311	0.522	0.523		
		No. 6	0.896	0.693	0.500	0.397	0.474	0.500		
		No. 1	0.670	0.920	0.330	0.670	0.330	0.330		
		No. 2	0.670	0.931	0.336	0.667	0.333	0.336		
	乾燥・凍結	No. 3	0.626	0.861	0.331	0.689	0.330	0.313		
		No. 4	0.670	0.920	0.330	0.670	0.330	0.330		
		No. 5	0.743	0.865	0.409	0.667	0.333	0.409		
		No. 6	0.830	0.833	0.497	0.666	0.334	0.497		
		No. 1	0.500	0.333	0.859	0.333	0.859	0.750		
		No. 2	0.500	0.333	0.851	0.333	0.851	0.750		
影	乾燥・雪氷	No. 3	0.500	0.333	0.849	0.333	0.849	0.750		
記		No. 4	0.500	0.333	0.872	0.333	0.851	0.764		
の路		No. 5	0.500	0.333	$0.853_{\odot}$	0.333	0.870	0.740		
該 C		No. 6	0.500	0.330	0.835	0.330	0.835	0.750		
ΨK.		No. 1	0.222	0.687	0.333	0.865	0.330	0.191		
		No. 2	0.080	0.670	0.330	0.920	0.330	0.170		
	湿潤・凍結	No. 3	0.080	0.670	0.330	0.920	0.330	0.170		
		No. 4	0.750	0.835	0.415	<b>0.670</b> <sub>3</sub>	0.330	0.415		
		No. 5	0.750	0.835	0.415	<b>0.670</b> <sub>3</sub>	0.330	0.415		
		No. 6	0.750	0.835	0.415	<b>0.670</b> <sub>3</sub>	0.330	0.415		
		No. 1	0.500	0.333	0.845	0.333	0.878	0.727		
		No. 2	0.500	0.333	0.834	0.333	0.905	0.687		
	湿潤・雪氷	No. 3	0.500	0.333	0.849	0.333	0.849	0.750		
		No. 4	0.500	0.333	0.856	0.333	0.863	0.745		
		No. 5	0.500	0.333	0.834	0.333	0.916	0.684		
		No. 6	0.500	0.333	0.838	0.333	0.838	0.750		
		No. 1	0.596	0.426	0.744	0.239	0.744	0.739 <sub>3</sub>		
		No. 2	0.503	0.336	0.834	0.329	0.834	<b>0.750</b> <sub>3</sub>		
	凍結・雪氷	No. 3	0.500	0.333	0.833	0.172	0.667	0.947		
		No. 4	0.500	0.333	0.833	0.172	0.667	0.937		
		No. 5	0.500	0.333	0.833	0.172	0.667	0.948		
		No. 6	0.500	0.333	0.833	0.172	0.667	0.948		

:的中した場合
:非的中の場合

の場合

②or3 :非的中の場合の発生順位(2位or3位)



写真-3 市道の各路面状態の画像

的中率は、28/36\*100=78%である。路面管理において、発生率が第1順位と第2順位までを判別基準に含めると仮定すると、的中率は31/36×100=86%となる。

### 4.現場路面の判別

本学周辺の市道において、各路面状態を撮影した。 撮影は、高さを70、100、150、200cm とし、日中、自 然光のもとで実施した。写真 - 3 は、市道における乾燥、 湿潤、氷板及び圧雪の路面状態の画像である。

# (1) 解析結果

図 - 9 は、市道路面画像の確率密度関数 PI(I)と輝度 I/Imの関係を示したものである。 市道は、細粒度 アスファルト舗装で、道路雪氷が一様であったため、 図 - 1 と 2 に示した排水性舗装路面画像の輝度分布と 比較すると、分布範囲が狭くなっている。

図 - 10 に各路面について 6 枚の画像を解析し、路面 画像のコントラスト、歪度、尖度の関係を示した。 各 パラメーどうしの組み合わせでは、路面ごとにクラス ターが形成されており、室内実験結果と比較すると、 判別し易い状態になっている。

# (2)ファジィ推論

複合路面の場合と同様に、解析したパラメータに基 づき、ファジィ推論による判別精度の検証を行った。 メンバシップ関数とルール設定は複合路面の解析と同 様の考え方をして、推論結果を表 - 4 に示した。各路面 状態の推論結果を発生率第1順位で見ると、実際路面 と推論路面は、複雑な路面状態でなかったこともある が、すべて一致した。

今後、現場でのより多くの各種路面状態による検証





トラスト・歪度・尖度の関係

表-4 ファジィ推論による路面状態判別の結果

			路面状態の発生率						
	路面狀態	No.	乾燥	湿潤	米板	圧雪			
		No. 1	0.889	0.441	0.697	0.754			
		No. 2	0.885	0.440	0.700	0.753			
	苗楓	No. 3	0.891	0.441	0.697	0.754			
	<del>1</del> 4/9 <del>K</del>	No. 4	0.885	0.440	0.700	0.755			
		No. 5	0.901	0.441	0.696	0.754			
		No. 6	0.894	0.441	0.697	0.754			
		No. 1	0.370	0.875	0.699	0.510			
		No. 2	0.370	0.876	0.697	0.512			
	泡潮	No. 3	0.370	0.875	0.700	0.510			
懃	기보기록	No. 4	0.370	0.875	0.700	0.510			
¥		No. 5	0.372	0.877	0.697	0.512			
l		No. 6	0.370	0.875	0.700	0.510			
路		No. 1	0.541	0.596	0.920	0.754			
50.05		No. 2	0.542	0.596	0.933	0.754			
	米板	No. 3	0.540	0.598	0.920	0.752			
	71/100	No. 4	0.540	0.595	0.920	0.755			
		No. 5	0.540	0.598	0.920	0.752			
		No. 6	0.540	0.595	0.920	0.755			
		No. 1	0.542	0.441	0.535	0.948			
		No. 2	0.540	0.440	0.535	0.948			
	工量	No. 3	0.542	0.441	0.535	0.948			
	二百	No. 4	0.540	0.440	0.533	0.948			
		No. 5	0.542	0.441	0.534	0.948			
		No. 6	0.540	0.441	0.535	0.946			

を要するが、画像解析とファジィ推論による路面判別 は有効であると考えられる。

# 5.ウェーブレット解析

#### (1) 概要

統計学的パラメータによるテキチスチャーの解析で は、路面画像の画素の輝度分布に注目している。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 波数成分と考えて、時間領域から周波数領域に変換し て分析を行っている。

しかし、このようなフーリエ変換後の周波数領域で は、時間的情報、すなわち空間的情報が完全に失われ てしまう。

従って、例えば、路肩側に氷板路面、車道側に乾燥路 面が混在する複合路面や、氷板によるわだちが車線方向 に形成された路面などは、冬期間によく発生するが、上 記の解析では、路面状態の空間的配置、局所的存在まで は知ることができない<sup>7</sup>)。

ウェーブレット解析では、画像の輝度信号の時間-周波数分析を同時に行うことができるで、画像の周波 数情報のみならず時間的(位置的)情報を得ることが できる。

本研究では、試みとして、写真 - 4 に示すように、左 半分が乾燥路面、右半分が雪氷路面になっている複合 路面を想定し、ウェーブレット解析による位置的な路 面判別の可能性について検討した。



写真-4 乾燥・雪氷状態の供試体路 と解析ライン

#### ウェーブレット変換

# a) 連続ウェーブレット変換

ウェーブレット関数を (t)と表すと、 (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 a,b(t)を生成できる。 a,b(t)は(12)式で表される。

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$
 (12)

ここで、a は拡大縮小、b は平行移動のパラメータである。  $_{a,b}(t)$ と信号 f(t)との内積がウェーブレット変換で(13)式で表され、出力された数値は信号 f(t)とマザーウェーブレット (t)の相似性の度合いを表すウェーブレット展開係数と呼ばれる。

$$(W f)(b,a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$
 (13)

本研究では、検討例として、マザーウェーブレットの 中で最も基本的な Haar (ハール)と Daubechies (ドベシ ィ)による解析結果を示した。Haar は最も単純なマザー ウェーブレットで、(14)式で表される。

#### b) 離散ウェーブレット変換

信号の効率的な時間周波数解析を得るには、座標を離 散化する離散ウェーブレット変換を用いるとよい。離散 ウェーブレットでは、(12)式は(15)式で表される。 ここで、jはレベル、kはシフト量である。

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{-\frac{j}{2}} \psi(2^{-j}t - k)$$
 (15)

信号 f(t)をスケーリング関数 (t)の一次結合で近似 する。 (t)の一次結合は、近似関数 f<sub>0</sub>(t)として、(16) 式で表される。

信号 f(t)はレベル1から任意のレベルまでのウェー



図-11 MRA における信号の分解モデル

ブレットと (t)との一次結合の和で表される。

$$f_0(t) = \sum_{k} s_k \varphi(t - k)$$
 (16)

s<sub>k</sub>は、区間[k、k+1]における信号 f(t)の平均値 であり、(17)式で表される。

$$s_{k} = \int_{\infty}^{\infty} f(t)\overline{\varphi(t-k)}dt = \int_{k}^{k+1} f(t)dt \qquad (17)$$

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,kを、(18) 式で定義する。また、 j,kを用いて、レベルjの近似 関数 f<sub>j</sub>(t)を(19)式で表す。

$$\varphi_{j,k}(t) = 2^{-\frac{j}{2}} \varphi \left( 2^{-j} t - k \right)$$
 (18)

$$f_{j}(t) = \sum_{k} s_{k}^{(j)} \varphi_{j,k}(t)$$
(19)

S<sub>k</sub><sup>(i)</sup>はスケーリング係数であり、スケーリング関数 <sub>i.k</sub>との内積で求められる。

 $f_{j}(t)$ 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(20)式で復元 される<sup>8)9)</sup>。

 $f_{0}(t) = f_{1}(t) + g_{1}(t)$ (20)

図 - 11 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。

# (2) 解析結果

写真 - 4 に示した左半分の乾燥路面と右半分の雪氷 路面において、画面を横断するライン上の輝度分布波 形を一次元信号に変換し、その周波数分布を解析した。 図 - 12 は、乾燥区間から雪氷区間を横断する一次元の 周波数分布のオリジナル信号で、図 - 13 は、Haar、 Daubechies (N=10)による解析結果である。

 $a_3$ は低周波の波形、 $d_3$ 、 $d_2$ 、 $d_1$ はそれぞれレベル j=3~1のときの高周波の波形である。レベル j は、マ ザーウェーブレットのスケールを表し、レベル 1 を 2 倍にスケーリングしたものがレベル 2 で、3 倍がレベル 3 である。

図 - 13の低周波成分 a3に注目すると、画素数 150 前



後でHaarとDaubechies (N=10)は、波形に顕著な違いが 見られ、路面状態が異なることを示している。

しかし、周波数と振幅に対する路面状態との関係についての周波数分析がなされていないので、位置的な情報は示されているが、路面状態の判別までは明らかにならない。

# 6.結論

画像処理による冬期路面の判別方法に関する室内実 験および現場試験の解析結果から、以下の結論を得た。

- (1) 室内実験、現場試験の結果、単一路面では統計学 的パラメータのコントラストV、 歪度 Sk、 尖度 Ku の 3 者は、路面テキスチャーの判別に有効であることが 分かった。しかし、フーリエ変換による自己相関関 数、パワースペクトルは、路面状態の違いを明確に 示していない。
- (2) 複合路面では、各パラメータの関係による異なる 路面のクラスターが隣接しているため、判別が明確 でない場合があるが、ファジー理論を適用すること により、80%程度の的中率となる。
- (3)局所的な路面判別の検討のために、ウェーブレット解析を行ったが、路面状態が異なる位置を明らかにするにとどまった。今後、オリジナル信号の多重解像度解析をきめ細かく行い、路面状態の判別も明らかにする必要がある。
- (4) さらに、本判別手法の現場適用性を検討して、観 測ステーションでの定点路面判別のみならず、道路 パトロール車に画像処理・判別装置を装着すること により空間的な路面判別をも可能にして、ITS に対応 した雪氷管理について研究を進めたい。

# 【参考文献】

- 平河内雄也、武市靖:デジタル画像解析による複合路 面状態の判別解析、土木学会道支部論文報告集、第 57 号、pp.712-715、2001,2.
- 2) 島脇純一: 画像理解のためのディジタル画像処理( ) 昭晃堂、pp.60-94,1991
- 3) 矢島美寛他:自然科学の統計学、東京大学出版会、 pp.222-224,1999
- 4) 中村尚五:デジタルフーリエ変換、東京電気大学出版
- 局、pp.48-87,1999
- 5) 西田英郎、佐藤嗣二共訳:実例クラスター分析、内田 老鶴圃、pp.119-175,1992
- 6) 中森義輝:ファジィモデリング、オーム社、pp.35~ 98,1994
- 7) 川村彰: Wavelet 関数による路面凹凸特性の把握方法
  について、土木学会第 51 回年次学術講演概要集、
  pp.64-65,1996.9
- 8) 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
- 9) 中野宏殻他:ウェーブレットによる信号処理と画像処 理、共立出版、pp. 17-63,1999

# STUDY ON DISCRIMINANT METHODS OF WINTER PAVEMENT CONDITIONS BY IMAGE PROCESSING

# Kiyoshi TAKEICHI, Yuya HIRAKOUCHI

This paper is to study on discriminant methods based on image processing, which can be recognized pavement conditions as an area , by using digital camera. This criminant method is focused on the texture analysis of intensity distribution depending on pavement conditions , which is composed of statistical parameters analysis and Fouriel transform. The criminant results of various pavement conditions are proved by the true prediction ratio based on Fuzzy theory. Furthermore, Wavelet analysis is tried as the method to recognize the spatial allocation of complex surface conditions by a time - frequency analysis.