

デジタル画像による冬期複合路面状態の判別解析

Study on discriminating method of winter pavement conditions by Digital Image Processing

北海学園大学大学院 ○学生会員 平河内 雄也 Yuya Hirakouchi

北海学園大学工学部 正会員 武市 靖 Kiyoshi Takeichi

1. はじめに

北海道のような寒冷地における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天候や、その他の諸条件によって変化しやすい。以前にも発表したが¹⁾道路管理において路面状態を正確に判別することは安全な走行を行う上で重要である。しかし、路面状態を視覚によって判断することは、個人差や曖昧さが生じ誤った認識をする恐れが出てくる。

現在、路面状態の判別には、路面水分、路面温度および大気温度を路面反射比率計、放射温度計などで測定する方法が採用されている²⁾。

本研究では、デジタル画像処理による客観的な判別方法を複合路面状態について検討した。

2. 単一路面状態のアスファルト供試体路面撮影

デジタルカメラを使いアスファルト供試体の撮影を行った。

供試体は排水性アスコン(300mm×300mm×50mm)を6枚使用し、路面状態を写真-1のa～dのように、乾燥(dry)・湿潤(wet)・凍結(icefilm)・雪氷充填(snow/ice)の4種類とした。ここで、凍結とは表面を表膜、空隙を氷で、雪氷充填とは空隙を雪氷で満たした状態である。

撮影場所は室内で一定の光を当てフラッシュを焚き、供試体からの高さを30、70、100、180cmと換えて行った。

路面画像を画素数256×256に切り出し解析を行った。

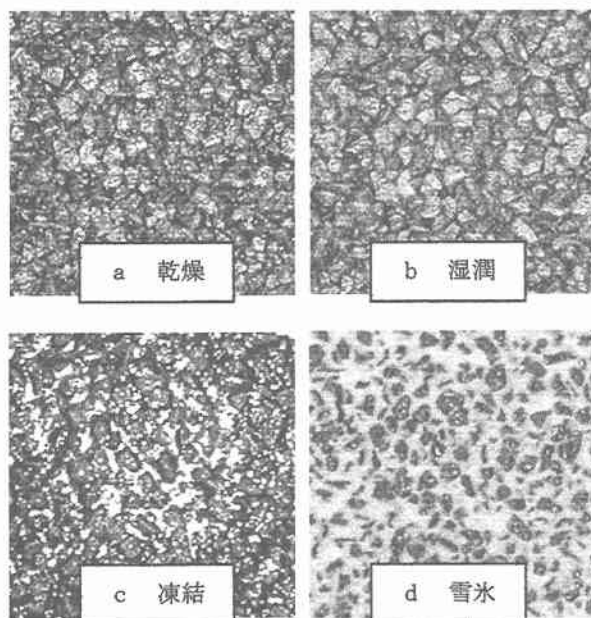


写真-1 単一路面状態別の画像
(高さ100cmから撮影)

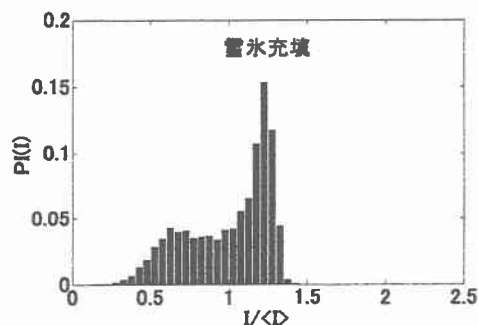
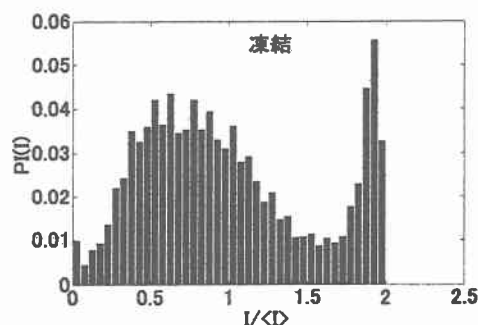
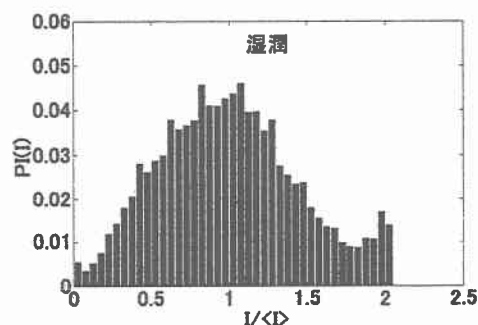
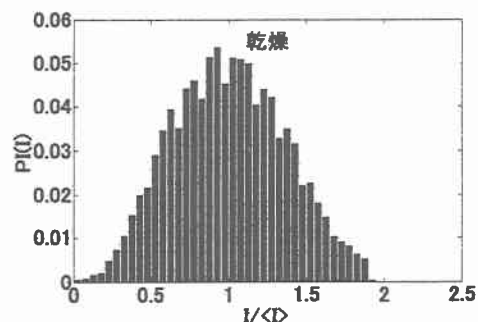


図-1 単一路面状態別の確率密度関数
(高さ100cmからの画像のもの)

3. 解析手法

3.1 輝度の定義

輝度 I は、パソコンに入力した画像データの光の強さ³⁾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。

3.2 パラメータの出力

路面状態別の輝度分布についての確率密度関数 $P_I(I)$ を図-1 に示した。

平均輝度を Im とすると中心モーメント M_k は、

$$M_k = \int_{-\infty}^{\infty} (I - Im)^k P_I(I) dI$$

で表される⁴⁾。中心モーメント M_k により、コントラスト (contrast) V 、歪度 (skewness) Sk 、尖度 (kurtosis) Ku は、

$$V = (M_2)^{1/2} / Im$$

$$Sk = M_3 / (M_2)^{3/2}$$

$$Ku = M_4 / (M_2)^2$$

で表される。

コントラスト V は輝度分布のバラツキの度合いで、大きいほどバラツキが大きいことを表す⁵⁾。

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、 $Ku=0$ のとき正規分布を、 $Ku<3$ のとき低く、 $Ku>3$ のとき高くなる⁶⁾。

4. 単一路面状態の解析結果

出力したパラメータのうち、例として、コントラストと尖度の組み合わせの結果を図-2 に示した。

図-2 では、30、70cmの高さから撮影したものの解析結果は乾燥、湿潤、凍結状態の分布に、重なる部分が生じ判別は困難であると考えられる。一方、100、180cmからのものは、各路面状態でそれぞれ群落(クラスター)を形成し、路面状態の判別が可能であると言える。

また、コントラストと歪度、歪度と尖度の組み合わせによる結果は、高さ 100cm 以上のものが判別可能であった。

従って、路面状態の判別は供試体からの高さが 100cm 以上の場合の画像データについて可能であると考えられる。このことは以前からの撮影による供試体路面の画像からも検証できる。

5. 複合路面状態のアスファルト供試体路面撮影

単一路面状態での判別は、供試体からの高さが 100cm 以上の画像については可能であるという結果が得られた。しかし、実際のアスファルト舗装路面は乾燥、湿潤、凍結、雪氷充填とが入り混じった状態になっている。

そこで、次にアスファルト供試体路面を 2 種類の状態にした場合の画像について解析を行なった。単一路面状態での解析の結果から、写真-2 の e~j に示すように供試体からの高さが 180cm の画像について解析を行なった。

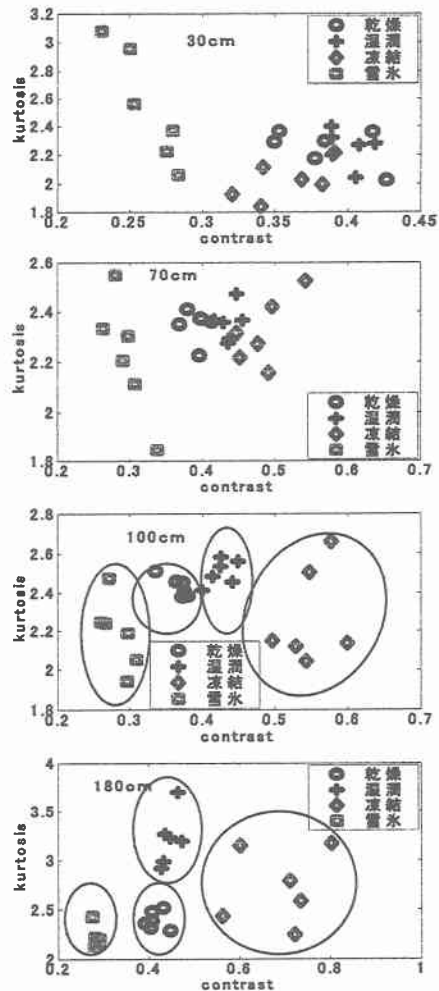


図-2 高さ別のコントラストと尖度の関係

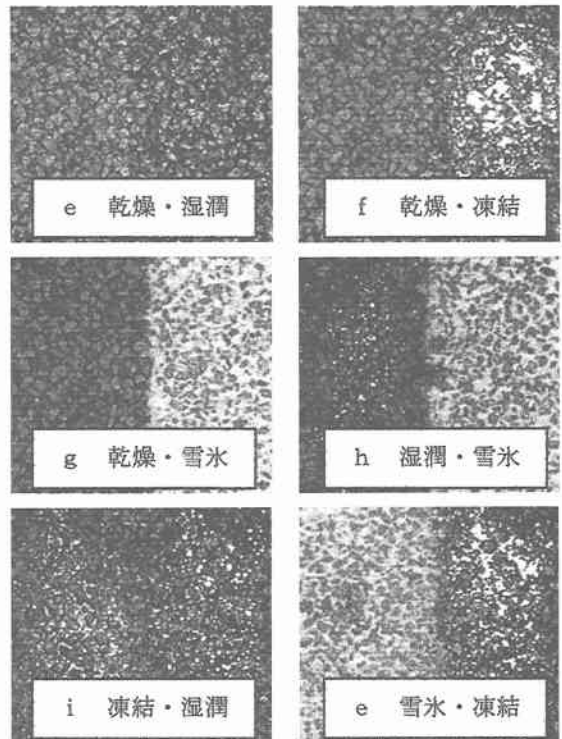


写真-2 複合路面状態別の画像
(高さ 180cm から撮影)

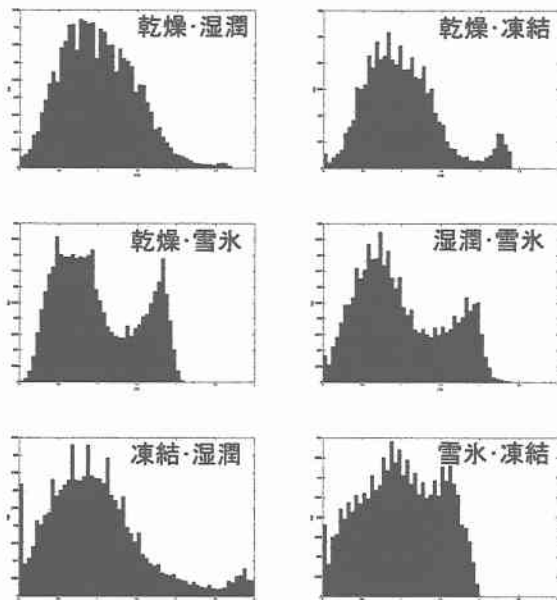


図-3 複合路面状態別の確率密度関数
(高さ180cmからの画像のもの)

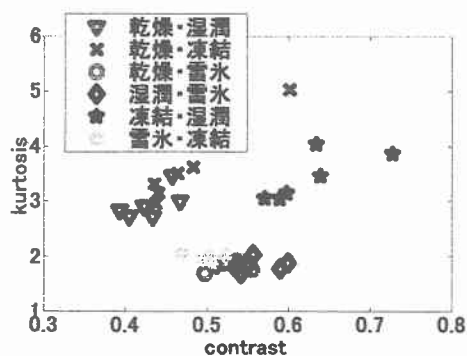


図-4 複合路面状態でのコントラストと尖度の関係

6. 複合路面状態の解析結果

写真-2 に示した複合路面状態画像による、解析結果として確率密度関数を図-3 に、コントラストと尖度の組み合わせの結果を図-4 に示した。

図-4 では雪氷充填の含まれるもの、乾燥・湿潤と乾燥・凍結の路面状態のものでそれぞれクラスターを形成するという結果となった。このことは、コントラストと歪度、歪度と尖度の組み合わせにおいても同じような結果になった。

単一路面状態では判別可能である条件であっても、複数の路面状態が入り混じったものでは判別は困難だと言える。

7. ファジ理論による路面状態の判別

複数の状態が入り混じった路面の場合は、供試体からの高さが100cm以上での画像でも判別は困難であった。そこで、曖昧な点を解消するためにファジ理論⁶⁾により路面状態の判別を行なった。

(1) 前件部と後件部の設定

前件部に乾燥、湿潤の単一路面状態、乾燥・湿潤、乾燥・凍結、乾燥・雪氷充填、湿潤・雪氷充填、凍結・湿潤、雪氷充填・凍結の複合路面状態での解析で得られたコントラスト・

表-1 各路面状態のパラメータの範囲

路面状態	コントラスト	歪度	尖度
乾燥	0.40~0.43	0.17~0.27	2.32~2.48
湿潤	0.43~0.47	0.49~0.61	2.99~3.27
乾燥・湿潤	0.41~0.46	0.28~0.45	2.72~2.99
乾燥・凍結	0.44~0.46	0.50~0.82	3.14~3.62
乾燥・雪氷	0.51~0.54	0.30~0.40	1.75~1.88
湿潤・雪氷	0.54~0.59	0.20~0.39	1.77~1.88
凍結・湿潤	0.59~0.64	0.70~1.08	3.04~3.45
雪氷・凍結	0.49~0.50	-0.21~-0.05	1.96~2.02

表-2 前・後件部のメンバーシップ関数の範囲

	前件部			後件部
	contrast	skewness	kurtosis	路面状態(%)
N. L	~0.37	~0	~2.10	~17
N. M	0.30~0.50	0.05~0.35	1.80~2.50	0~33
N. S	0.35~0.55	0.10~0.60	2.00~2.70	17~50
A. Z	0.40~0.60	0.20~0.50	2.50~3.50	33~67
N. S	0.40~0.60	0.20~0.90	2.80~3.45	50~83
N. M	0.45~0.65	0.30~1.00	2.90~3.50	67~100
N. L	0.60~	0.70~	3.00~3.70	83~

表-3 ルールの設定

実際の状態	前件部				後件部						
	V	sk	ku	d	w	dw	di	ds	ws	iw	si
乾燥	N.M	N.M	N.S	P.L	A.Z	P.S	A.S	P.S	P.S	N.M	P.S
湿潤	N.S	P.S	P.M	A.Z	P.L	P.M	P.M	A.Z	N.S	P.S	A.Z
乾燥・湿潤	N.M	A.Z	P.S	P.S	P.M	P.L	P.S	A.Z	A.Z	N.S	A.Z
乾燥・凍結	N.S	P.M	P.L	A.S	P.M	P.S	P.L	N.S	N.S	P.S	N.S
乾燥・雪氷	P.S	N.S	N.L	P.S	A.Z	A.Z	N.S	P.L	P.M	N.S	P.M
湿潤・雪氷	P.M	N.S	N.L	P.S	N.S	A.Z	N.S	P.M	P.L	N.S	P.S
凍結・湿潤	P.L	P.L	P.M	N.M	P.S	N.S	P.S	N.S	N.S	P.L	N.M
雪氷・凍結	A.Z	N.L	N.L	P.S	A.Z	A.Z	N.S	P.M	P.S	N.M	P.L

d: dry, w: wet, dw: dry・wet, di: dry・icefilm, ds: dry・snow/ice, ws: wet・snow/ice, iw: icefilm・wet, si: snow/ice・icefilm,

歪度・尖度を用い、後件部には乾燥、湿潤、乾燥・湿潤、乾燥・凍結、乾燥・雪氷充填、湿潤・雪氷充填、凍結・湿潤、雪氷充填・凍結の各路面状態を用いた。

各路面状態のコントラスト・歪度・尖度の値の範囲を表-1 に示した。

(2) メンバーシップ関数及びルールの設定

ファジ理論による判別にあたって、ルールの作成に用いるメンバーシップ関数を次のように設定し、各パラメータの範囲を表-2 のようにした。また、ルールを表-3 のように設定した。メンバーシップ関数は主観的判断によって路面状態の範囲を定義するものであり⁷⁾、表-2 で設定された各パラメータの範囲に基づき、表-3 のルールにより実際の路面状態がどの路面状態にどの程度の確率で判別されるかを判断するもの

NEGATIVE LARGE (N.L)	非常に小さい
NEGATIVE MEDIUM (N.M)	小さい
NEGATIVE SMALL (N.S)	少し小さい
APPROX. ZERO (A.Z)	中間
POSITIVE SMALL (P.S)	少し大きい
POSITIVE MEDIUM (P.M)	大きい
POSITIVE LARGE (P.L)	非常に大きい

である。

(3) ファジ理論による解析結果

ファジ理論による路面状態の判別結果を表-4に示した。

表-4 からファジ理論による路面状態判別の発生確率は、実際の路面状態と同じものに高い値が得られた。

また、乾燥・雪氷状態における wet・snow/ice、湿潤・雪氷状態における dry・snow/iceあるいは snow/ice・icefilm、凍結・湿潤状態における dry・icefilm、雪氷・凍結状態における dry・snow/ice あるいは wet・snow/ice は発生確率が無視することのできないほど高い値となってしまう。しかし、それらの路面状態は図-5に示すように、互いに凍結あるいは融解の関係にあり、道路管理にあたって意識しておく必要があると考え、ここでは重大な問題ではないと判断した。

8. まとめ

- デジタル画像による路面状態の判別は、単一路面状態については100cm以上の高さから撮影した画像について判別は可能であった
- 複合路面状態のものについては高さ100cm以上であっても判別は困難であった
- ファジ理論による複合路面状態の判別は、実際の路面状態と同じ状態の発生確率が高くなるという結果が得られ、ある程度の判別が可能であったと考えられる。

課題

今回、解析を行なった単一・複合路面状態についてはパラメータの組み合わせやファジ理論により判別可能であった。しかし、これまでの解析はアスファルト供試体について行なったものであり、路面状態も人工的に作り出したものであり種類もまだ少ないと言える。さらに、撮影についても室内で一定の光量の条件下で行なったものである。

今後は、実際に使われているアスファルト舗装路面についての解析を行なってその結果を調べるとともに、問題点を見出し実用化に向け解決していく必要がある。

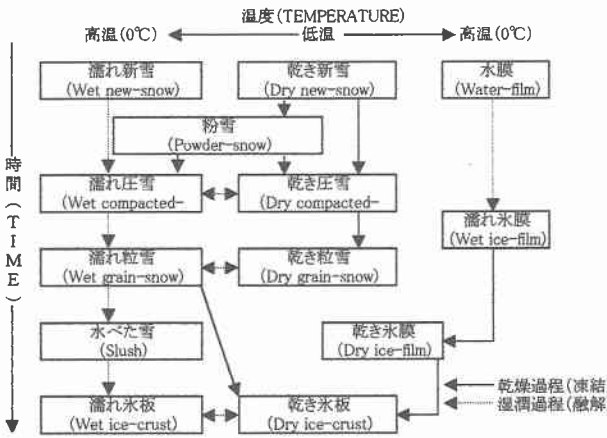


図-5 道路雪氷の変化系終図 (前野 紀一、1987)

表-4 ファジ理論による路面状態判別の結果

実際の状態	No.	ファジ理論による各路面状態の発生確率							
		d	w	dw	di	ds	ws	iw	si
乾燥	1	0.94	0.50	0.67	0.50	0.67	0.67	0.17	0.67
	2	0.94	0.50	0.67	0.50	0.67	0.67	0.17	0.67
	3	0.92	0.50	0.67	0.50	0.67	0.67	0.17	0.67
	4	0.94	0.50	0.67	0.50	0.67	0.67	0.17	0.67
	5	0.94	0.50	0.67	0.50	0.67	0.67	0.17	0.67
	6	0.93	0.50	0.67	0.50	0.67	0.67	0.17	0.67
湿潤	1	0.50	0.89	0.79	0.84	0.46	0.33	0.67	0.46
	2	0.50	0.87	0.77	0.85	0.44	0.33	0.67	0.44
	3	0.50	0.83	0.67	0.92	0.33	0.33	0.67	0.33
	4	0.50	0.91	0.81	0.84	0.48	0.33	0.67	0.48
	5	0.65	0.83	0.90	0.68	0.50	0.48	0.37	0.50
	6	0.55	0.87	0.84	0.78	0.50	0.38	0.56	0.50
乾燥 湿潤	1	0.63	0.84	0.88	0.71	0.50	0.46	0.43	0.50
	2	0.67	0.83	0.92	0.67	0.50	0.50	0.34	0.50
	3	0.50	0.83	0.69	0.91	0.35	0.33	0.67	0.35
	4	0.87	0.54	0.69	0.52	0.66	0.66	0.18	0.66
	5	0.87	0.54	0.69	0.52	0.66	0.66	0.18	0.66
	6	0.66	0.83	0.92	0.67	0.50	0.49	0.35	0.50
乾燥 凍結	1	0.50	0.83	0.67	0.92	0.33	0.33	0.67	0.33
	2	0.50	0.86	0.75	0.86	0.42	0.33	0.67	0.42
	3	0.46	0.81	0.63	0.86	0.33	0.33	0.69	0.31
	4	0.50	0.83	0.67	0.93	0.34	0.33	0.67	0.34
	5	0.51	0.93	0.83	0.83	0.49	0.34	0.65	0.49
	6	0.65	0.83	0.91	0.68	0.50	0.48	0.37	0.50
乾燥 雪氷	1	0.67	0.43	0.50	0.33	0.87	0.85	0.33	0.76
	2	0.67	0.42	0.50	0.33	0.86	0.86	0.33	0.75
	3	0.67	0.42	0.50	0.33	0.86	0.86	0.33	0.75
	4	0.67	0.45	0.50	0.33	0.89	0.84	0.33	0.78
	5	0.67	0.41	0.50	0.33	0.86	0.87	0.33	0.75
	6	0.67	0.50	0.50	0.33	0.83	0.67	0.17	0.92
湿潤 雪氷	1	0.67	0.41	0.50	0.33	0.86	0.87	0.33	0.75
	2	0.67	0.35	0.50	0.33	0.83	0.91	0.33	0.69
	3	0.67	0.42	0.50	0.33	0.85	0.85	0.33	0.75
	4	0.67	0.42	0.50	0.33	0.85	0.85	0.33	0.75
	5	0.67	0.36	0.50	0.33	0.84	0.91	0.33	0.70
	6	0.67	0.42	0.50	0.33	0.84	0.84	0.33	0.75
凍結 湿潤	1	0.22	0.69	0.31	0.69	0.35	0.33	0.86	0.22
	2	0.17	0.67	0.08	0.67	0.33	0.33	0.92	0.17
	3	0.17	0.67	0.08	0.67	0.33	0.33	0.92	0.17
	4	0.50	0.84	0.75	0.84	0.42	0.33	0.67	0.42
	5	0.50	0.85	0.76	0.83	0.43	0.33	0.67	0.43
	6	0.17	0.67	0.08	0.67	0.33	0.33	0.92	0.17
雪氷 凍結	1	0.67	0.50	0.50	0.33	0.83	0.67	0.17	0.94
	2	0.70	0.42	0.53	0.36	0.80	0.80	0.30	0.75
	3	0.67	0.50	0.50	0.33	0.83	0.67	0.17	0.95
	4	0.67	0.50	0.50	0.33	0.83	0.67	0.17	0.93
	5	0.67	0.50	0.50	0.33	0.83	0.67	0.17	0.95
	6	0.67	0.50	0.50	0.33	0.83	0.67	0.17	0.95

【参考文献】

- 1) 社団法人 日本雪氷学会 : 2000 年度日本雪氷学会全国大会 講演予稿集 デジタル画像処理による冬期路面状態の判別方法に関する検討 平河内 雄也, p. 166, 2000
- 2) 社団法人 日本建設機械化協会 : 新編 防雪工学ハンドブック, p. 439, 1988
- 3) 長谷川純一, 奥水大和, 中山晶, 横井茂樹 : 画像処理の基本技法 Image Processing on Personal Computer, 技法入門編, p. 12, 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, p. 9, 1987
- 5) 菅民郎 : ホントにやさしい 多変量統計分析, p. 9, p. 41, 1999
- 6) 矢島美寛, 廣津千尋, 藤野和建, 竹村彰通, 竹内啓, 縄田和満, 松原望, 伏見正則 : 基礎統計学Ⅲ 自然科学の統計学, 東京大学教養学部統計学教室編, pp. 223-225, 1999 :
- 7) 古田均, 小尻利治, 宮本文穂, 秋山孝正, 大野研, 背野康英 : ファジ理論の土木工学の応用, pp. 4-53, 1992