

第5章 植物器官形状および草姿判別への拡張した植物形状判別モデルの適用

第4章では、形状情報と大きさ情報とを独立に評価して総合的な判別を行うよう、第1章で構築した形状情報のみ評価する画像入力ニューラルネットワークに基づく判別モデルを拡張し、カエデ葉形による種判別に適用して、その有効性を示した。本章では、拡張した判別モデルの有効性と汎用性を実証するために、第2章および第3章で供試した多数の植物形状による判別に適用する。供試材料は、葉形判別ではクワ、ダイズ、カラシナ、粒形判別ではソバ、雑草種子、果形判別ではセイヨウナシ、草姿判別ではダイズである。

5.2では、大きさ情報を含んだ供試材料を提示し、5.3では、形状情報のみを評価した判別結果と比較しながら、大きさ情報との組み合わせによる判別結果を示す。5.4では、得られた結果から拡張された判別モデルの有効性と汎用性について考察する。

5.1 はじめに

第1章で構築した画像入力ニューラルネットワークに基づく判別モデルを拡張して、形状情報と大きさ情報とを独立に評価したうえで総合的な判別を行えるようにし、それがカエデ葉形による種判別に有効であることは、第4章で示した。本章では、この拡張した判別モデルを第2章と第3章と同じ供試材料に適用し、その有効性と汎用性を検討する。供試材料は、葉形判別ではクワ、ダイズ、カラシナ、粒形判別ではソバ、雑草種子、果形判別ではセイヨウナシ、草姿判別ではダイズである。

5.2 材料と方法

本節では、大きさ情報を含めて供試材料を再度提示し、拡張された判別モデルによる判別実験の各種設定について述べる。5.2.1では、供試材料を提示し、5.2.2では、拡張された判別モデルの本章における各種設定を述べる。

5.2.1 材料

供試材料は、

- (1) 4種10品種・系統のクワ188個葉,
- (2) 7品種・系統の正逆交配から得られた41交配系統のF₁ダイズ749個葉,
- (3) 30品種・系統のカラシナ353個葉,
- (4) 30品種・系統のソバ720粒,
- (5) 11科15種の雑草種子450粒,
- (6) 11品種のセイヨウナシ207果,
- (7) 3段階(“良”, “並”, “悪”のいずれか)に評価された155品種・系統のダイズ326個体

である。(1)~(6)は第2章で,(7)は第3章で供試した材料である(2.2.1, 3.2.1参照)。(5)の雑草種子粒形では種判別,(1)のクワ葉形,(3)のカラシナ葉形,(4)のソバ粒形,(7)のセイヨウナシ果形では品種・系統判別,(2)のダイズ葉形では交配系統間の判別,(7)のダイズ草姿では育種家の評価による判別を行った。図5-1に相対的な大小関係に合わせて拡大・縮小した形状分布(1.2.2.2, 3.4.1.1参照)を示す。

5.2.2 判別処理の設定

本項では、本章で行った判別実験の各種設定について説明する。5.2.2.1では、形状情報の抽出・評価、5.2.2.2では、大きさ情報の抽出・評価に関する諸設定を述べる。なお、訓練するクラスを選択、誤判別率の評価の各方法については、形状情報のみ評価した植物器官による判別や草姿の判別と同様(2.2.2.3, 1.4.3.3, 3.2.2.3, 3.4.1.2参照)、評価結果の統合についてはカエデ葉形による種判別と同様である(4.2.3.3参照)ので、説明を省略する。

5.2.2.1 形状情報の抽出・評価における設定

植物器官形状による判別では、カエデ葉形による種判別と同様である(4.2.3.1参照)。草姿の判別では、正規化(3.2.2.1参照)した草姿画像を64画素×64画素に縮小し、その形状分布(3.4.1.1参照)を入力パターンとする教師データで訓練した単純パーセプトロンにより、形状情報の評価を行った(3.5参照)。

5.2.2.2 大きさ情報の抽出・評価における設定

植物器官形状による判別では、カエデ葉形による種判別と同様である(4.2.3.2参照)。草姿の判別では、連結成分や穴を多数含んで形状が複雑であるため、周囲長は計測・評価せず、面積、絶対最大長、幅の三つの大きさ情報を扱った。

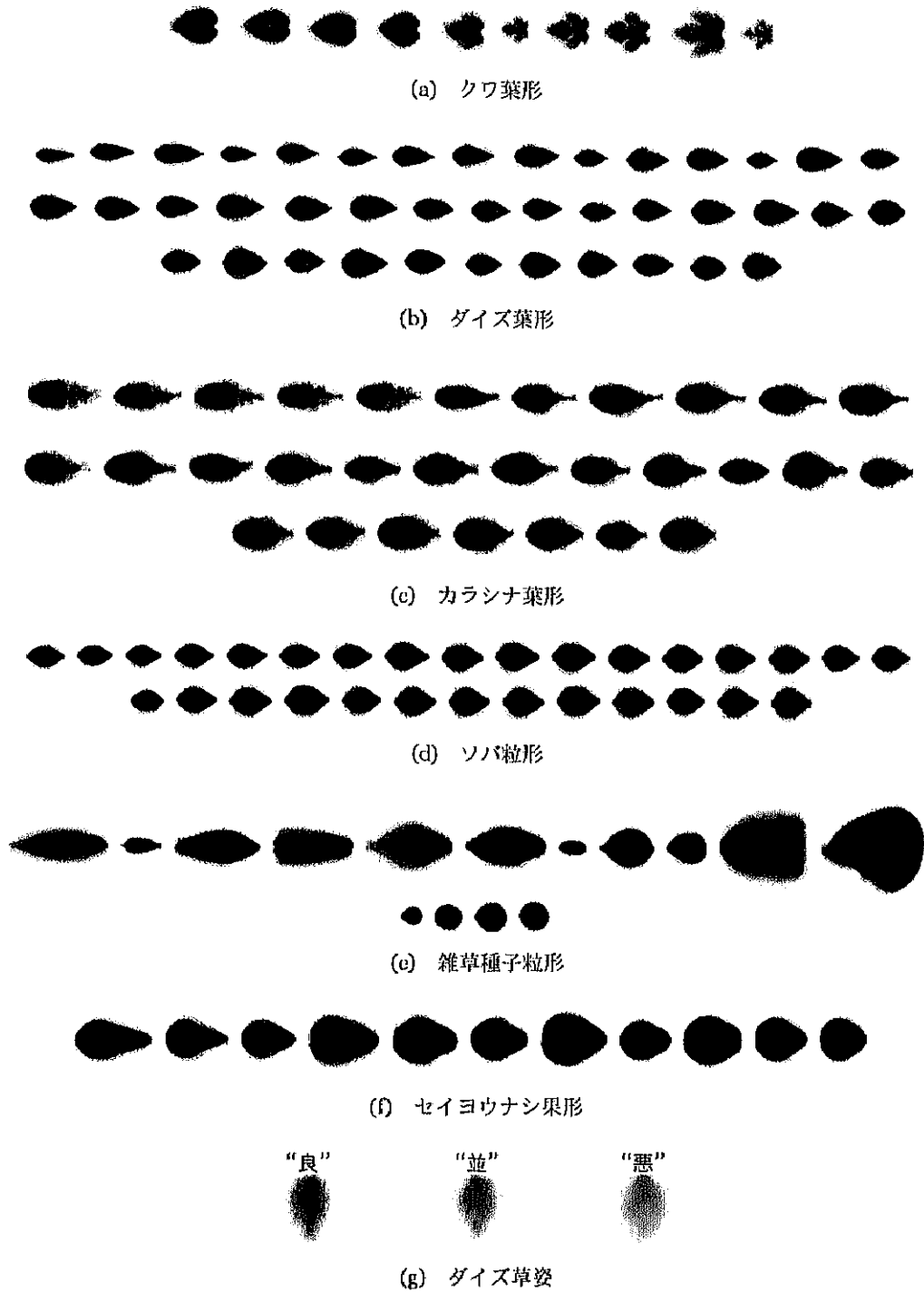


図5-1 材料の相対的大小関係に合わせて拡大・縮小した形状分布

形状分布は、二値の形状画像のクラス内平均である。黒い画素は、それぞれのクラスの形状画像すべてにおいて形状内部の領域に含まれることを示し、白い画素は、背景の領域に含まれることを示す。灰色の画素は、一部の画像で形状内部の領域に含まれることを示す；(a)-(f) 標準化楕円フーリエ係数の第一主成分のクラス内平均値でソートして配置した。標準化楕円フーリエ係数の第一主成分は、形状の縦横比にほぼ該当する。

5.3 結果

植物器官形状による種や品種・系統の判別と育種家の評価による草姿の判別とを合わせて、材料別の α 値による誤判別率の変化を図5-2～図5-8に示す。植物器官形状による判別におけるクラス数(2, 5, 10のみ)別の α 値による誤判別率の変化を図5-9に、クラス数(植物器官形状による判別では5, 10のみ)別の判別結果の二元表を図5-10～図5-16に示す。

計測・評価した大きさ情報が異なる, すなわち, 草姿の判別では周囲長を用いなかったこともあり, カエデ葉形を含めた植物器官形状による判別(5.3.1参照)と, 草姿の判別(5.3.2参照)とに分けて, 結果を述べる。

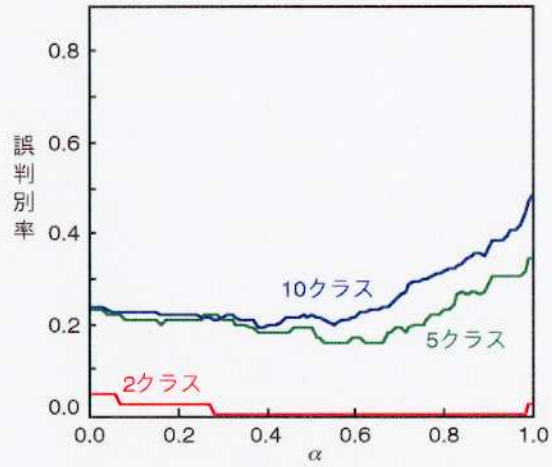
5.3.1 植物器官形状による種・品種判別の結果

α 値を0から1へ変化させると, 誤判別率は, 細かい変動を繰り返しながら減少し, 最小点を通過したあと増加に転じた。ダイズ葉形, カラシナ葉形, ソバ粒形の再代入法による誤判別率は, 最小点を通過したあとの上昇が著しかった(図5-3, 図5-4, 図5-5)。ただし, 2クラスのカラシナ葉形, 雑草種子粒形, セイヨウナシ果形の判別では, α 値にかかわらず誤判別率は常に0であった(図5-4, 図5-6, 図5-7)。

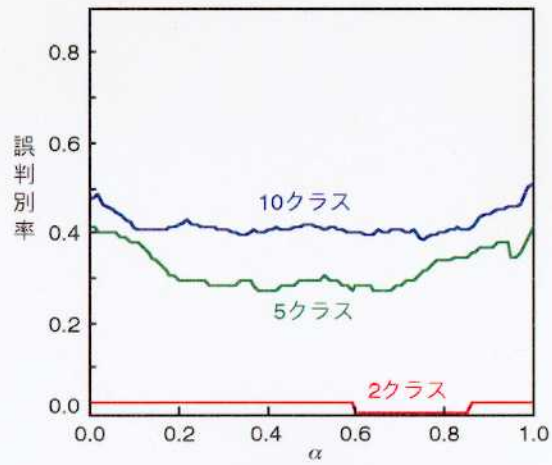
誤判別率を最小にする α 値は, カエデ葉形やカラシナ葉形の判別では小さく, ソバ粒形の判別では大きかった。誤判別率を改善する α 値の範囲の広さは, ダイズ葉形やカラシナ葉形の判別で狭く, ソバ粒形やセイヨウナシ果形の判別では広い傾向があり, 一つ抜き法による誤判別率のほうが再代入法による誤判別率より広がった(図5-9)。

$\alpha=1$ における再代入法による誤判別率は, 2クラスのソバ粒形の場合を除き, 最大値をとった。 $\alpha=1$ における一つ抜き法による誤判別率も, ソバ粒形の場合を除いて, 最大値をとった。ソバ粒形の一つ抜き法による誤判別率は, 大きさ情報と組み合わせると, 常に形状情報のみの評価による判別結果($\alpha=0$ の場合)よりもよい結果を示した(図5-5b)。

クラス数が10の場合, 再代入法による誤判別率の最小値が小さい順に並べると, 雑草種子粒形(0.020), カエデ葉形(0.040), カラシナ葉形(0.067), セイヨウナシ果形(0.096), クワ葉形(0.191), ダイズ葉形(0.260), ソバ粒形(0.375)だった(図5-9e)。同じく一つ抜き法による誤判別率の場合は, 小さい順に, 雑草種子粒形(0.033), カエデ葉形(0.096), セイヨウナシ果形(0.198), カラシナ葉形(0.378), クワ葉形(0.383), ダイズ葉形(0.415), ソバ粒形(0.621)だった(図5-9f)。いずれも形状情報のみの評価による判別に比べ, 誤判別率が改善された。

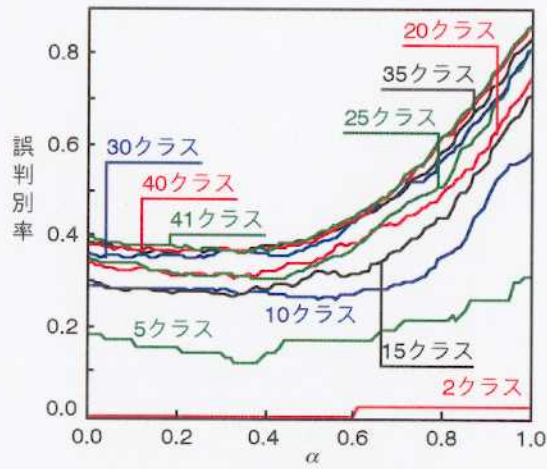


(a) 再代入法による誤判別率

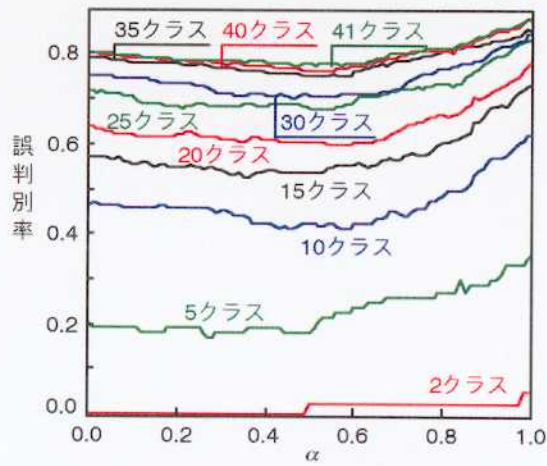


(b) 一つ抜き法による誤判別率

図5-2 クワ葉形の誤判別率の α 値にともなう変化のクラス数による比較

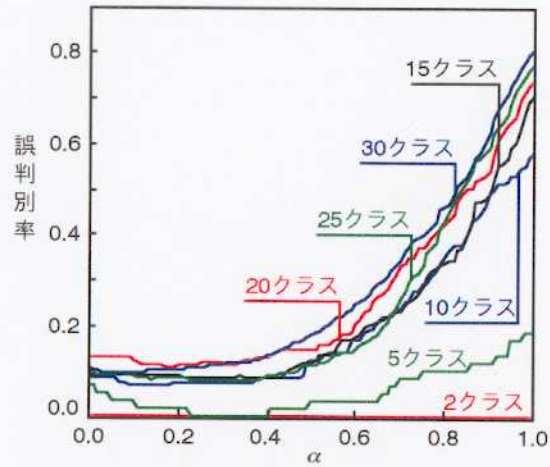


(a) 再代入法による誤判別率

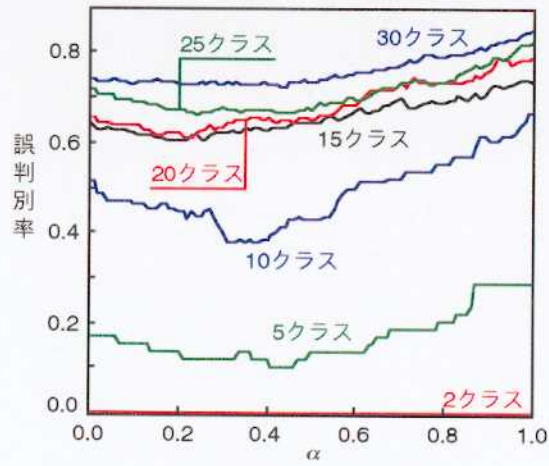


(b) 一つ抜き法による誤判別率

図5-3 ダイズ葉形の誤判別率の α 値にともなう変化のクラス数による比較

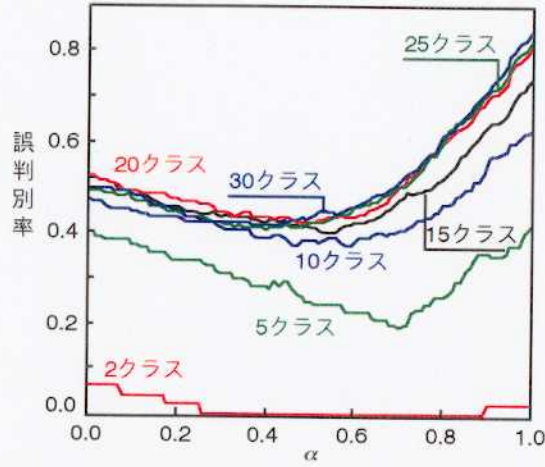


(a) 再代入法による誤判別率

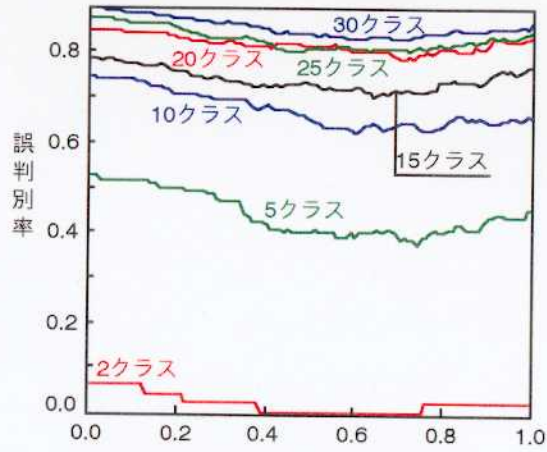


(b) 一つ抜き法による誤判別率

図5-4 カラシナ葉形の誤判別率の α 値にともなう変化のクラス数による比較

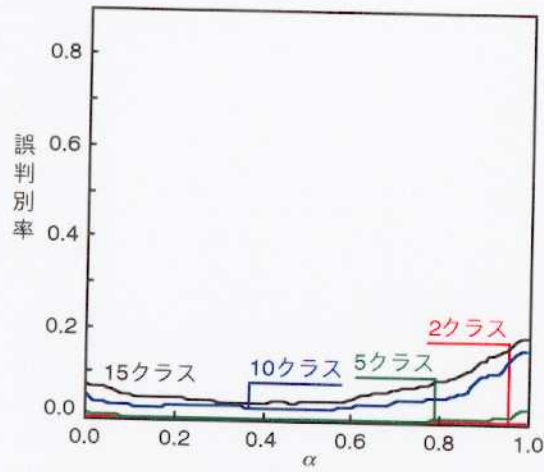


(a) 再代入法による誤判別率

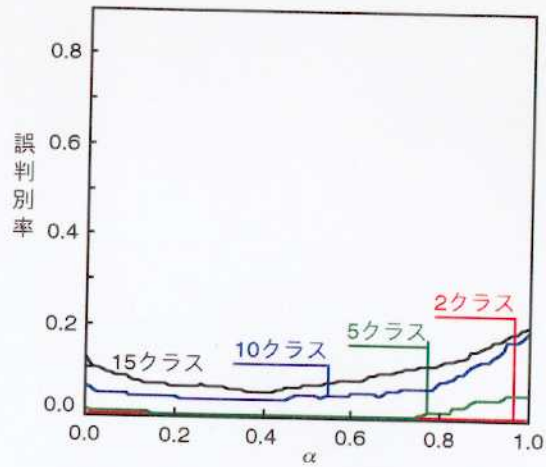


(b) 一つ抜き法による誤判別率

図5-5 ソバ粒形の誤判別率の α 値ともなう変化のクラス数による比較

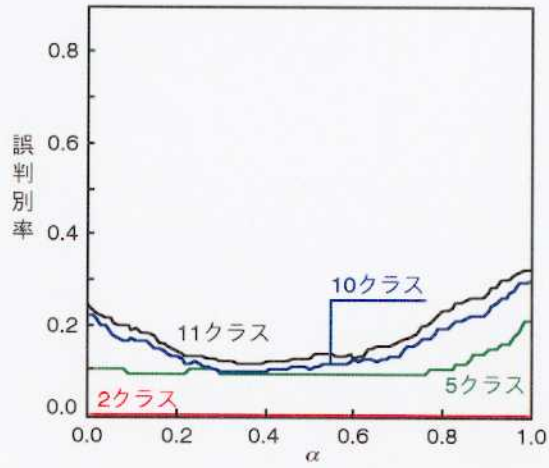


(a) 再代入法による誤判別率

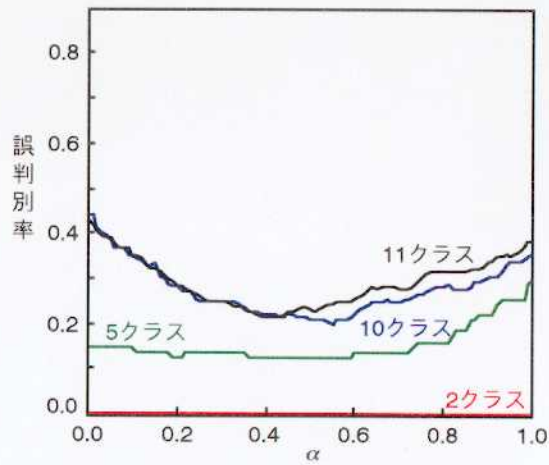


(b) 一つ抜き法による誤判別率

図5-6 雑草種子粒形の誤判別率の α 値にともなう変化のクラス数による比較

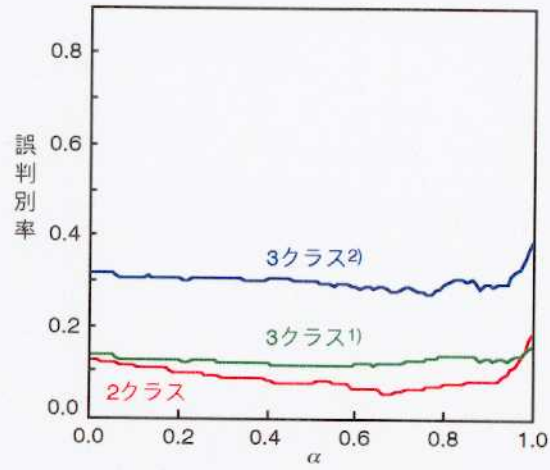


(a) 再代入法による誤判別率

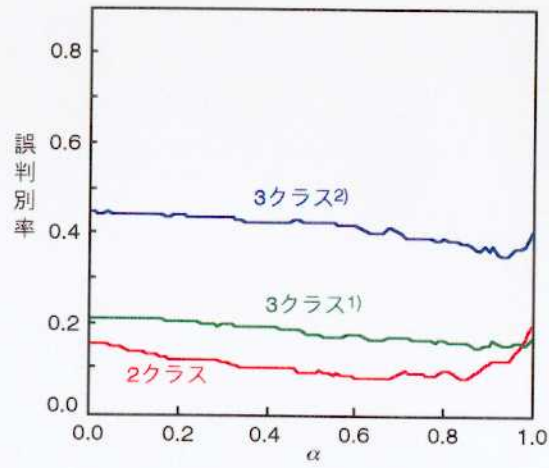


(b) 一つ抜き法による誤判別率

図5-7 セイヨウナシ果形の誤判別率の α 値にともなう変化のクラス数による比較



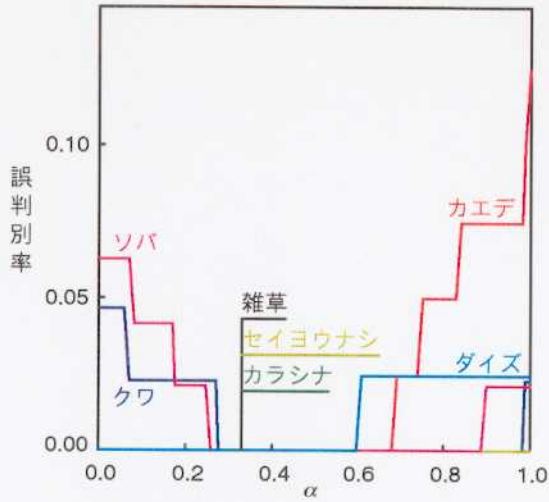
(a) 再代入法による誤判別率



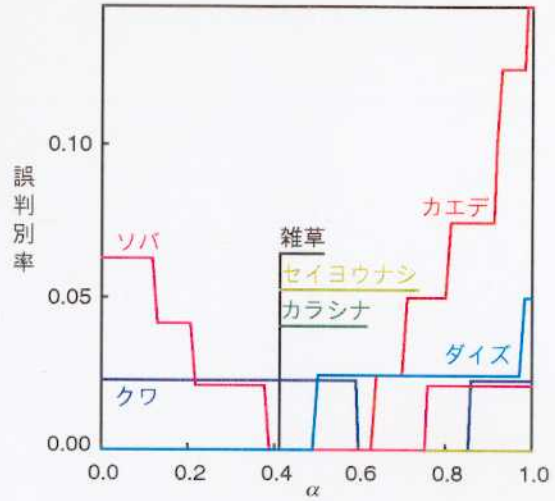
(b) 一つ抜き法による誤判別率

図5-8 ダイズ草姿の誤判別率の α 値ともなう変化のクラス数による比較

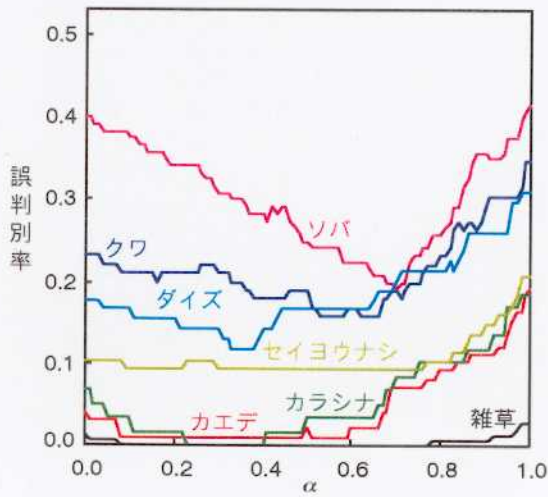
- 1) “並”と“悪”とを合わせて“不良”のクラスとした, 2) “並”と“悪”とを別のクラスとした.



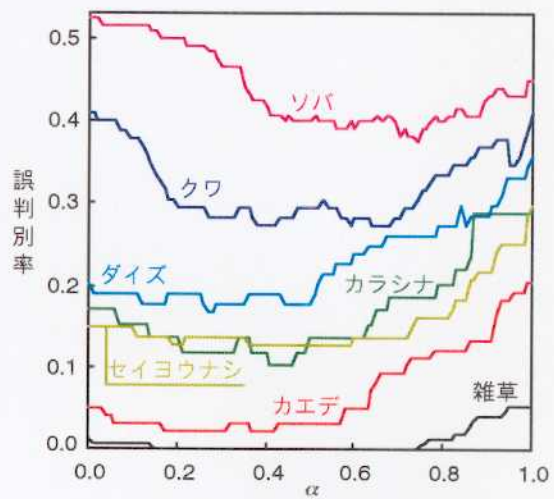
(a) 再代入法による誤判別率 (2クラス)



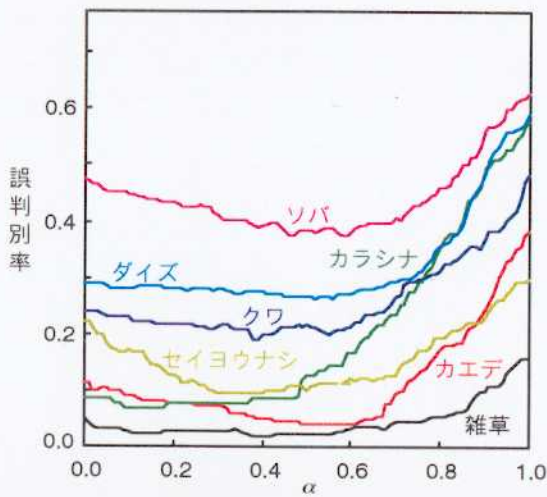
(b) 一つ抜き法による誤判別率 (2クラス)



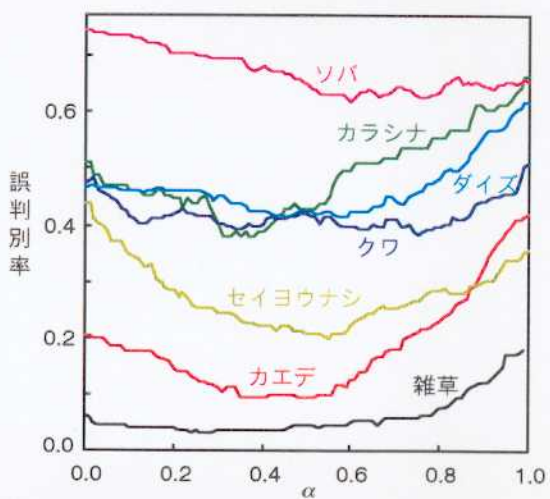
(c) 再代入法による誤判別率 (5クラス)



(d) 一つ抜き法による誤判別率 (5クラス)



(e) 再代入法による誤判別率 (10クラス)



(f) 一つ抜き法による誤判別率 (10クラス)

図5-9 誤判別率の α 値にともなう変化の材料による比較

(a), (b) カラシナ葉形, 雑草種子粒形, セイヨウナシ果形の誤判別率は, 常に0だった.

		判別されたクラス										合計		
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	正	誤	
●	●	11	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	(+1)	(-1)
	●	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	(+9)	(-9)
●	●	0	12	0	0	0	0	0	0	0	12	0	(0)	(0)
	●	0	100	0	0	0	0	0	0	0	100	0	(0)	(0)
●	●	0	0	12	0	0	0	0	0	0	12	0	(0)	(+2)
	●	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100	0	(0)	(-2)
●	●	0	0	0	12	0	0	0	0	0	12	0	(0)	(+17)
	●	0	0	0	100	0	0	0	0	0	100	0	(0)	(-17)
●	●	0	0	0	0	12	0	0	0	0	12	0	(0)	(0)
	●	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	(0)	(0)
●	●	0	0	0	0	0	12	0	0	0	12	0	(0)	(-1)
	●	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100	0	(0)	(+1)
●	●	0	0	0	0	0	0	12	0	0	12	0	(0)	(+1)
	●	0	0	0	0	0	0	100	0	0	100	0	(0)	(-1)
●	●	11	12	12	12	12	12	59	0				(+1)	(-3)
	●	20	20	20	20	20	100	0					(+3)	(-5)

(a) 再代入法 (5クラス; $\alpha=0.23$, 誤判別率 0.000)

		判別されたクラス										合計			
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	正	誤		
●	●	10	0	1	0	0	0	0	0	10	1	(+1)	(-1)		
	●	91%	0%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	91%	9%	(+9)	(-9)		
●	●	0	12	0	0	0	0	0	0	12	0	(0)	(+2)		
	●	0	100	0	0	0	0	0	0	100	0	(0)	(-2)		
●	●	0	0	10	1	0	0	0	0	10	2	(0)	(+17)		
	●	0	0	84	8	0	0	0	0	84	16	(0)	(-17)		
●	●	0	0	1	11	0	11	1	(0)	(0)	(-1)	(0)	(+1)	(-1)	
	●	0	0	8	92	0	8	92	0	8	92	8	(0)	(-9)	
●	●	0	0	0	2	10	10	2	(0)	(0)	(0)	(0)	(+9)	(-9)	
	●	0	0	0	17	83	83	17	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	
●	●	11	12	12	14	10	53	6	(+2)	(-1)	(-3)	(+2)	(0)	(+4)	(-4)
	●	19	20	20	24	17	90	10	(+4)	(-2)	(-6)	(+4)	(0)	(+7)	(-7)

(c) 一つ抜き法 (5クラス; $\alpha=0.41$, 誤判別率 0.102)

		判別されたクラス										合計		
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	正	誤	
●	●	11	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	(+1)	(-1)
	●	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	(+9)	(-9)
●	●	0	12	0	0	0	0	0	0	0	12	0	(0)	(0)
	●	0	100	0	0	0	0	0	0	0	100	0	(0)	(0)
●	●	0	0	12	0	0	0	0	0	0	12	0	(0)	(0)
	●	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100	0	(0)	(0)
●	●	0	0	0	12	0	0	0	0	0	12	0	(0)	(0)
	●	0	0	0	100	0	0	0	0	0	100	0	(0)	(0)
●	●	0	0	0	0	1	11	0	0	0	11	1	(0)	(0)
	●	0	0	0	8	92	0	0	0	0	92	8	(0)	(0)
●	●	0	0	0	0	0	11	1	0	0	11	1	(0)	(0)
	●	0	0	0	0	0	92	8	0	0	92	8	(0)	(0)
●	●	0	0	0	0	0	12	0	0	0	12	0	(0)	(0)
	●	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100	0	(0)	(0)
●	●	0	0	0	0	1	0	11	0	0	11	1	(0)	(-1)
	●	0	0	0	0	8	92	0	0	0	92	8	(0)	(+1)
●	●	0	0	0	0	0	0	10	1	10	2	(0)	(0)	
	●	0	0	0	0	8	84	8	84	16	(0)	(0)		
●	●	0	0	0	0	0	0	2	1	9	3	(0)	(0)	
	●	0	0	0	0	0	0	17	8	75	75	(0)	(+1)	
●	●	11	12	12	13	12	13	13	11	10	111	8	(+1)	(-1)
	●	9	10	10	11	10	11	11	9	9	93	7	(+1)	(-1)

(b) 再代入法 (10クラス; $\alpha=0.09$, 誤判別率 0.067)

		判別されたクラス										合計			
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	正	誤		
●	●	10	1	0	0	0	0	0	0	0	10	1	(+3)	(-3)	
	●	91%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	91%	9%	(+27)	(-27)	
●	●	3	4	1	1	1	1	0	1	0	4	8	(-3)	(+2)	
	●	26	34	8	8	8	8	0	8	0	34	68	(-25)	(+17)	
●	●	0	0	12	0	0	0	0	0	0	12	0	(0)	(0)	
	●	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100	0	(0)	(-1)	
●	●	0	0	0	9	3	0	0	0	0	9	3	(-1)	(0)	
	●	0	0	0	75	25	0	0	0	0	75	25	(-8)	(+17)	
●	●	0	0	0	1	9	0	1	1	0	9	3	(0)	(-1)	
	●	0	0	0	8	76	0	8	8	0	76	24	(0)	(-8)	
●	●	0	1	0	1	2	6	1	0	0	1	6	6	(0)	(+1)
	●	0	8	0	8	17	51	8	0	8	51	49	(0)	(-3)	
●	●	0	0	0	0	0	3	4	3	2	0	4	8	(0)	(0)
	●	0	0	0	0	0	25	33	25	17	0	33	67	(0)	(-8)
●	●	0	0	0	0	2	1	7	0	2	7	5	(0)	(0)	
	●	0	0	0	0	17	8	58	0	17	58	42	(0)	(+5)	
●	●	0	0	0	0	1	0	2	0	7	2	7	5	(0)	(-1)
	●	0	0	0	0	8	0	17	0	58	17	58	42	(0)	(-1)
●	●	0	0	0	0	0	0	4	2	6	6	6	(0)	(0)	
	●	0	0	0	0	0	0	33	17	50	50	50	(0)	(-9)	
●	●	13	6	13	12	16	12	9	16	11	11	74	45	(-1)	(+3)
	●	11	5	11	10	18	10	9	13	9	9	62	38	(-1)	(-2)

(d) 一つ抜き法 (10クラス; $\alpha=0.31$, 誤判別率 0.378)

図5-12 誤判別率を最小にする α 値におけるカラシナ葉形の判別結果の二元表

枠内上段数値は頻度, 下段数値は相対値 (単位: %), 括弧内の数値は形状情報のみの評価による判別からの増減を示す. 判別計算に用いた α 値は, 誤判別率を最小にする範囲のうちの最小値とした.

	判別されたクラス										合計	正誤	
	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
正し	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	(+1) (0) (-1) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0)
い	0	9	1	0	0	0	0	0	0	0	9	1	(0) (+1) (-1) (0) (0) (0) (+1) (-1)
ク	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10	0	(0) (0) (10) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0)
ラ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	(0) (0) (0) (1) (0) (0) (0) (0) (0) (0)
ス	0	0	0	1	19	0	0	0	0	0	19	1	(0) (0) (0) (0) (19) (0) (0) (0) (0) (0)
●	0	0	5	95	0	0	0	0	0	0	95	5	(0) (0) (5) (95) (0) (0) (0) (0) (0) (0)
●	0	0	0	3	17	17	3	(0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0)	35	3	(0) (0) (0) (3) (17) (17) (3)		
合計	19	11	17	22	18	79	8	(+1) (+1) (-2) (0) (0) (+2) (-2)	222	91	(+1) (+2) (-2) (-1) (0) (+2) (-2)		

(a) 再代入法 (5クラス; $\alpha=0.09$, 誤判別率 0.092)

	判別されたクラス										合計	正誤	
	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
正し	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	18	1	(0) (+1) (-1) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0)
い	0	8	2	0	0	0	0	0	0	0	8	2	(0) (0) (8) (2) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0)
ク	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20	0	(0) (0) (20) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0)
ラ	0	3	14	0	1	14	4	(0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0)	36	4	(0) (0) (3) (14) (0) (1) (14) (4)		
ス	0	0	1	19	0	0	0	0	0	0	19	1	(0) (0) (0) (1) (19) (0) (0) (0) (0) (0)
●	0	0	5	95	0	0	0	0	0	0	95	5	(0) (0) (5) (95) (0) (0) (0) (0) (0) (0)
●	0	0	0	3	17	17	3	(0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0)	35	3	(0) (0) (0) (3) (17) (17) (3)		
合計	18	12	17	22	18	76	11	(-1) (+2) (-1) (0) (0) (+1) (-1)	212	87	(-1) (+3) (-1) (-1) (0) (+1) (-1)		

(c) 一つ抜き法 (5クラス; $\alpha=0.19$, 誤判別率 0.126)

	判別されたクラス										合計	正誤	
	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
正し	18	0	1	0	0	0	0	0	0	0	18	1	(0) (0) (1) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0)
い	0	9	1	0	0	0	0	0	0	0	9	1	(0) (+1) (-1) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (+1) (-1)
ク	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10	0	(0) (0) (10) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0)
ラ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	(0) (0) (0) (1) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0)
ス	0	0	0	1	19	0	0	0	0	0	19	1	(0) (0) (0) (0) (19) (0) (0) (0) (0) (0) (0)
●	0	0	5	95	0	0	0	0	0	0	95	5	(0) (0) (5) (95) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0)
●	0	0	0	17	1	2	0	0	0	0	17	3	(0) (0) (0) (+1) (0) (0) (0) (0) (-1) (0) (+1) (-1)
正しい	0	0	0	85	5	10	0	0	0	0	85	15	(0) (0) (0) (85) (5) (10) (0) (0) (0) (0) (+5) (-5)
い	0	2	15	0	0	0	1	0	0	0	15	3	(0) (+2) (-1) (0) (0) (-1) (0) (0) (0) (0) (-1) (+1)
ク	0	0	11	83	0	0	6	0	0	0	83	17	(0) (0) (11) (83) (0) (0) (6) (0) (0) (0) (-5) (+5)
ラ	0	0	0	0	17	1	2	0	0	0	17	3	(0) (0) (0) (+1) (0) (0) (0) (0) (-1) (0) (+1) (-1)
ス	0	0	0	0	1	19	0	0	0	0	19	1	(0) (0) (0) (0) (0) (1) (19) (0) (0) (0) (0) (+2) (-2)
●	0	0	0	0	5	95	0	0	0	0	95	5	(0) (0) (0) (0) (5) (95) (0) (0) (0) (0) (-5) (+5)
●	0	0	0	0	0	17	1	2	0	0	17	3	(0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (-1) (0) (+1) (-1)
●	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0	(0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (20) (0) (0) (+6) (-6)
●	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100	0	(0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (100) (0) (0) (+30) (-30)
●	0	0	0	1	0	0	19	0	0	0	19	1	(0) (0) (0) (0) (+1) (0) (0) (-3) (+3) (-1) (0) (+3) (-3)
●	0	0	0	0	0	0	95	0	0	0	95	5	(0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (95) (0) (0) (+15) (-15)
●	0	0	0	1	0	1	0	0	18	0	18	2	(0) (0) (0) (0) (0) (0) (-1) (+1) (-1) (+2) (+2) (-2)
●	0	0	0	0	0	0	5	0	15	80	80	20	(0) (0) (0) (0) (0) (0) (-5) (+5) (-5) (-5) (+10) (+10) (-10)
合計	18	11	17	21	20	21	22	19	22	16	169	18	(0) (+3) (-5) (+1) (+1) (-4) (+4) (-1) (0) (+1) (+22) (-22)

(b) 再代入法 (10クラス; $\alpha=0.30$, 誤判別率 0.096)

	判別されたクラス										合計	正誤	
	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
正し	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	18	1	(0) (+1) (-1) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0)
い	0	8	2	0	0	0	0	0	0	0	8	2	(0) (0) (8) (2) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (+1) (-1)
ク	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20	0	(0) (0) (20) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0)
ラ	0	3	15	0	0	0	0	0	0	0	15	3	(0) (0) (+5) (-1) (0) (-2) (-1) (0) (-1) (0) (+5) (-5)
ス	0	0	0	1	19	0	0	0	0	0	19	1	(0) (0) (0) (0) (1) (19) (0) (0) (0) (0) (0) (+25) (-25)
●	0	0	5	95	0	0	0	0	0	0	95	5	(0) (0) (5) (95) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (-5) (+5)
●	0	2	14	0	1	0	1	0	0	0	14	6	(0) (+2) (-2) (-7) (+8) (0) (-2) (0) (+1) (0) (+8) (-8)
い	0	0	0	10	70	0	5	0	5	0	70	30	(0) (0) (0) (-10) (+10) (0) (0) (0) (0) (+5) (0) (+40) (-40)
ク	0	0	0	4	0	15	0	1	0	0	15	5	(0) (0) (-4) (+3) (0) (+8) (-2) (+1) (-6) (0) (+8) (-8)
ラ	0	0	0	0	20	0	75	0	5	0	75	25	(0) (0) (0) (0) (20) (0) (75) (0) (5) (0) (+40) (-40)
ス	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	17	3	(0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (17) (0) (0) (+6) (-6)
●	0	0	0	0	0	0	85	0	5	0	85	15	(0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (85) (0) (5) (0) (+30) (-30)
●	0	0	0	1	0	1	0	18	0	0	18	2	(0) (0) (0) (+1) (0) (+1) (-3) (+2) (-1) (0) (+6) (-6)
●	0	0	0	0	0	0	95	0	0	0	95	5	(0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (95) (0) (0) (+10) (-10)
●	0	1	0	0	1	0	1	15	2	15	5	(0) (+1) (0) (0) (+1) (-9) (0) (-1) (+7) (+1) (+7) (-7)	
●	0	0	0	0	0	0	5	0	5	75	75	(0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (5) (0) (5) (75) (10) (75) (25)	
●	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	15	5	(0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (3) (0) (-5) (+4) (+4) (-4)
●	0	0	0	0	0	0	0	15	0	75	75	(0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (15) (0) (75) (25) (25)	
●	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(0) (0) (0) (0) (0) (-5) (+15) (-5) (-25) (+20) (+20) (-20)
合計	18	15	19	22	17	18	21	19	17	150	37	(-1) (+5) (-1) (0) (+2) (-3) (0) (0) (-7) (+5) (+6) (-6)	

(d) 一つ抜き法 (10クラス; $\alpha=0.55$, 誤判別率 0.198)

図5-15 誤判別率を最小にする α 値におけるセイヨウナシ果形の判別結果の二元表

枠内上段数値は頻度, 下段数値は相対値 (単位: %), 括弧内の数値は形状情報のみの評価による判別からの増減を示す。判別計算に用いた α 値は, 誤判別率を最小にする範囲のうちの最小値とした。

	判別されたクラス		合計	
			正	誤
正しい	59 (-3) 89%	7 (+3) 11%	59 (-3) 89%	7 (+3) 11%
クラス	5 (-20) 3 (-12)	162 (+20) 97 (+12)	162 (+20) 97 (+12)	5 (-20) 3 (-12)
合計	64 (-23) 27 (-10)	169 (+23) 73 (+10)	221 (+17) 95 (+7)	12 (-17) 5 (-7)

(a) 再代入法 (2クラス; $\alpha=0.66$, 誤判別率 0.052)

	判別されたクラス		合計	
			正	誤
正しい	58 (-3) 88%	8 (+3) 12%	58 (-3) 88%	8 (+3) 12%
クラス	10 (-21) 6 (-13)	157 (+21) 94 (+13)	157 (+21) 94 (+13)	10 (-21) 6 (-13)
合計	68 (-24) 29 (-10)	165 (+24) 71 (+10)	215 (+18) 92 (+7)	18 (-18) 8 (-7)

(d) 一つ抜き法 (2クラス; $\alpha=0.61$, 誤判別率 0.077)

	判別されたクラス			合計	
				正	誤
正しい	46 (-2) 70%	20 (+2) 30%		46 (-2) 70%	20 (+2) 30%
クラス	17 (-10) 7 (-4)	243 (+10) 93 (+4)		243 (+10) 93 (+4)	17 (-10) 7 (-4)
合計	63 (-12) 19 (-4)	263 (+16) 81 (+4)		289 (+8) 89 (+3)	37 (-8) 11 (-3)

(b) 再代入法 (3クラス¹⁾; $\alpha=0.41$, 誤判別率 0.113)

	判別されたクラス			合計	
				正	誤
正しい	32 (-7) 48%	34 (+7) 52%		32 (-7) 48%	34 (+7) 52%
クラス	14 (-28) 5 (-11)	246 (+28) 95 (+11)		246 (+28) 95 (+11)	14 (-28) 5 (-11)
合計	46 (-35) 14 (-11)	280 (+35) 85 (+11)		278 (+21) 85 (+6)	48 (-21) 15 (-6)

(e) 一つ抜き法 (3クラス¹⁾; $\alpha=0.87$, 誤判別率 0.147)

	判別されたクラス			合計	
				正	誤
正しい	39 (-9) 59%	18 (+1) 27%	9 (+8) 14%	39 (-9) 59%	27 (+9) 41%
クラス	11 (-3) 12 (-3)	57 (-1) 61 (-1)	25 (+4) 27 (+4)	57 (-1) 61 (-1)	36 (+1) 39 (+1)
合計	4 (-9) 2 (-5)	22 (-16) 13 (-10)	141 (+25) 85 (+15)	141 (+25) 85 (+15)	26 (-25) 15 (-15)
合計	54 (-21) 17 (-6)	97 (-16) 30 (-5)	175 (+37) 53 (+11)	237 (+15) 73 (+5)	89 (-15) 27 (-5)

(c) 再代入法 (3クラス²⁾; $\alpha=0.76$, 誤判別率 0.273)

	判別されたクラス			合計	
				正	誤
正しい	31 (-8) 47%	20 (-6) 30%	15 (+14) 23%	31 (-8) 47%	35 (+8) 53%
クラス	13 (-17) 14 (-18)	37 (+3) 40 (+3)	43 (+14) 46 (+15)	37 (+3) 40 (+3)	56 (-3) 60 (-3)
合計	1 (-11) 1 (-7)	22 (-26) 13 (-15)	144 (+37) 86 (+22)	144 (+37) 86 (+22)	23 (-37) 14 (-22)
合計	45 (-36) 14 (-11)	79 (-29) 24 (-9)	202 (+65) 62 (+20)	212 (+32) 65 (+10)	114 (-32) 35 (-10)

(f) 一つ抜き法 (3クラス²⁾; $\alpha=0.93$, 誤判別率 0.350)図5-16 誤判別率を最小にする α 値におけるダイズ草姿の判別結果の二元表

枠内上段数値は頻度, 下段数値は相対値 (単位: %), 括弧内の数値は形状情報のみの評価による判別からの増減を示す. 判別計算に用いた α 値は, 誤判別率を最小にする範囲のうちの最小値とした; ¹⁾ “並” と “悪” とを合わせて “不良” のクラスとした, ²⁾ “並” と “悪” とを別のクラスとした.

5.3.2 育種家の評価による草姿判別の結果

クラス数によらず、 α 値を 0 から 1 へ変化させても、誤判別率の変化は小さく、ゆるやかに減少し続けた。2 クラスの判別と 3 クラスの判別（“並” と “悪” とを別のクラスとした場合）では、 α が 0.9 を越えると、誤判別率が上昇するのが特徴だった。 α が 1 に近づくと、2 クラスの誤判別率が、3 クラスの判別（“並” と “悪” とを合わせて “不良” のクラスをとした場合）の誤判別率を超えた（図 5-8）。

図 5-16 によると、全体として誤判別率が減少していても、“悪” の個体では誤判別率が改善され、“良” や “並” の個体では逆に誤判別率が増加した。

5.4 考察

本節においても、前節同様、使用した大きさ情報が異なる、すなわち、草姿の判別では周囲長を用いなかったこともあり、植物器官形状による判別（5.4.1 参照）と、草姿の判別（5.4.2 参照）とに分けて、拡張した判別モデルの有効性と汎用性について考察する。

5.4.1 植物器官形状による種・品種判別に関する考察

α 値と誤判別率との関係から、判別における形状情報と大きさ情報との相対的重要度を推測すると、 α 値が 1 に近いとき誤判別率が大きくなったカエデ葉形、ダイズ葉形、カラシナ葉形、雑草種子粒形（図 5-3、図 5-4、図 5-6）では、相対的に形状情報が大きさ情報よりも重要な判別要因であり、 α 値が 1 に近づくと誤判別率が改善されたソバ粒形（図 5-5）は、その逆である。いずれにせよ、形状情報が大きさ情報の一方だけを評価して判別するより、両者を組み合わせたほうが誤判別率を低く抑えられることが明らかになった。

クラス内変異とクラス間変異との大きさの関係が材料によって異なるため、誤判別率は材料によって異なった。とくに、カエデ葉形、雑草種子粒形、セイヨウナシ果形は、大きさ情報により、誤判別率が大きく改善された（図 5-6、図 5-7）。たとえば、雑草種子粒形（図 5-14）やセイヨウナシ果形（図 5-15）の形状情報のみの評価による判別では、判別誤りは円い形状のクラス間に多く発生したが、これらのクラス間では大きさが異なり、判別誤りを大幅に減少させることができた。形状情報のみの評価で判別が難しかった、丸葉や欠刻の浅い形状をもつクラスのクワ葉形は、互いに大きさも類似していたため、大きさ情報が誤判別率の改善にあまり貢献できなかった（図 5-10）。

5.4.2 育種家の評価による草姿判別に関する考察

大きさ情報と組み合わせたことによって、全体としては誤判別率を改善することができた。しかし、図 5-16 から、“良”や“並”のクラスでは誤判別率が高くなっており、それぞれのクラスで誤判別率が改善されたのではないことがわかる。形状情報のみの評価で“良”や“並”と判別された草姿が、大きさ情報によって判別結果を“悪”に変更された場合が多かったのである。“悪”の個体数が“良”や“並”に比較して圧倒的に多い（“悪”は 167 個体，“良”は 66 個体，“並”は 93 個体；3.2.1 参照）ために、全体としての誤判別率が下がったにすぎない。大きさ情報によって判別結果が変更された草姿を調べたところ、面積が小さい個体や幅が大きい個体の判別結果が、“良”や“並”から“悪”に変更されていた。

$\alpha=1$ で誤判別率が極端に大きな値をとらなかったことから、面積や幅などの大きさ情報だけでも、形状情報のみの評価による判別と同程度の精度で草姿判別ができることがわかる。したがって、育種家は、形状にかかわらず、小さすぎる個体や大きすぎる個体には“良”の評価を与えていないと推測される。

大きさ情報によるオーバフィッティングの抑制効果は、植物器官形状による判別に比べれば少なかった。これは、1 クラスあたりのデータ数が、他の材料に比べて格段に多く、もともとオーバフィットしにくかったためと考えられる。

5.5 まとめ

本章では、第4章で形状情報と大きさ情報とを独立に評価して総合的な判別を行うよう拡張した画像入力ニューラルネットワークに基づく判別モデルの有効性と汎用性を実証するために、多数の植物形状による判別に適用した。その結果、拡張した判別モデルを変更することなくすべての材料に適用でき、拡張した判別モデルの汎用性が示された。これは、使用した大きさ情報が、対象によらず普遍的であるためである。さらに、すべての材料で誤判別率が改善でき、たとえば、10種の雑草種子粒形の判別では6.3%から3.3%へと低下し、拡張した判別モデルの有効性が示された。これは、形状情報とは独立に評価することによって大きさ情報が判別に有利に働いたためである。

本章で提案した判別モデルを植物育種や遺伝資源の特性評価の現場へ応用することを考えると、汎用性の高さや誤判別率の低さから、対象に応じて画像入力ニューラルネットワークを単体で判別モデルに組み込むよりむしろ、大きさ情報を積極的に評価し統合するためのアルゴリズムとともに組み込むべきである。大きさ情報は、画像入力ニューラルネットワークへの入力として撮像した画像に簡単な画像解析を施すだけで、抽出することができる。さらに、この判別モデルで使用できる大きさ情報の種類や数には、制限はなく、また、大きさ情報に限らずに形状特徴量を使用することもできる。たとえば、カエデ葉形やクワ葉形においては、形状の凹凸度も主要な判別要因である。このとき、凹凸度を表す形状特徴量を定義し、それを評価するアルゴリズムを加えることもできる。すなわち、画像入力ニューラルネットワークに基づく判別モデルの拡張を設計するとき、汎用性を保つような修正も可能であり、判別効率を上げるために、判別モデルを対象に特化させるような修正も可能である。このように、画像入力ニューラルネットワークがさまざまな拡張への可能性をもっていることは、画像入力ニューラルネットワークを基本とした統合的な判別システムの構築を示唆する。このように拡張された画像入力ニューラルネットワークに基づく判別モデルもまた、2.6や3.7で述べたように、判別モデルが評価者の判断を補完して作業効率の向上を図ったり、個体や群落のレベルでの判別を行えるような工夫をしたりすることによって、実用化に即すると期待される。