

# 分割主鏡シミュレータ II

## 分割鏡動作パラメータの把握 III — Result I

岡山新技術望遠鏡グループ

平成 22 年 6 月 9 日

### 目次

1	概要	1
2	特異値の評価	1
3	ギャップセンサー配置 I	1
3.1	1st mode	2
3.2	2nd mode	2
3.3	3rd mode	2
3.4	ギャップセンサー配置図	2
4	パターン間での特異値の変動	28
5	考察とまとめ	29
5.1	まとめ	30

## 1 概要

ギャップセンサーの配置点や固定点などに関して、現実実現可能なモデルを導入したパラメータ検討 III について、実際にどういう振る舞いをするのかをいくつかのギャップセンサー配置に対してシミュレーションを行うことで検証する。

## 2 特異値の評価

特異値の評価において、計算誤差レベルの完全退化モードを示す値を  $1e-15$  以下、制御上で余り役割を果たさないという意味での退化モードを示す値を 1% (0.01) 以下と定義する。

本レポートでの図中の特異値は有効数字の桁数は考慮しておらず、かつ計算誤差レベルの特異値は”0”で表示されている。図中のベクトル要素の表示は、青がマイナス、ピンクがプラス、白が 0、黒が固定されたアクチュエーターを意味し、カラーバーの範囲は 0 ~ 1/3 となっている (白が 0、各色の最も濃い表示が 1/3 となる)。

## 3 ギャップセンサー配置 I

配置は基本的には V と同じで、内周内側に配置する固定ギャップセンサーの場所のみを変化させる。配置には 3 種類の変化モードを定義し、それらを 1-X-X-X のように表記する。

### 3.1 1st mode

最も内周にアクチュエーターを配置するかどうかで、配置しない (a)、3つ配置する (b)、6つ配置する (c) となる。

### 3.2 2nd mode

内周・外周間のギャップセンサーの配置を変化させる。

配置点はどのモードでも、内周側の 1/8, 3/8, 4/8, 5/8, 7/8 の何れかから選択される。

mode a では 1/8, 3/8, 7/8 の 3 点を選択する。これは、内周セグメントに接する外周セグメント 1 つに対して 1 ギャップセンサーを配置することになる。

mode b では 1/8, 3/8, 5/8 の 3 点を選択する。これは、内周セグメント一つのみに接する外周セグメントに対しては 2 つを、内周セグメント 2 つに接する外周セグメントに対しては 1 つを配置することになる。

mode c では、mode b に対して 5/8 のギャップセンサーを二つ、内周セグメント側に 20mm、外周セグメント側に 20mm 入った 2 点にそれぞれ配置する。つまり、一つの内周セグメントに対して、内周・外周セグメント間には 4 つ配置されている状態になる。

mode d では、mode a に対して 1/8, 4/8, 7/8 の 3 点を選択する。内周セグメントに接する外周セグメント 1 つに対して 1 ギャップセンサーを配置するが、mode a のように片側に偏った配置にはしない。

### 3.3 3rd mode

最も外側にあるアクチュエーターのうち 3 つを固定する (b) かしないか (a) のモード。

### 3.4 ギャップセンサー配置図

上述の各種モードに対して具体的にどういう配置になるかを図 1 に図示する。ただし、3rd mode はギャップセンサーを変化させず、かつ 2nd mode の mode c は mode b とほぼ同じ配置場所になるため省略する。

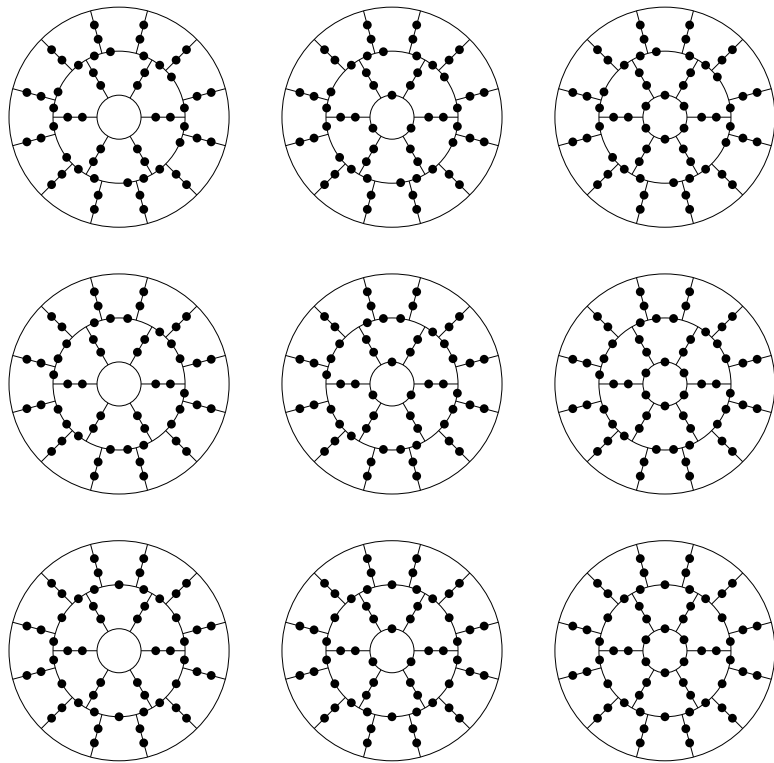


図 1: ギャップセンサー配置 — 上左から 1-a-a-X, 1-b-a-X, 1-c-a-X、中央左から 1-a-b-X, 1-b-b-X, 1-c-b-X、下左から 1-a-d-X, 1-b-d-X, 1-c-d-X

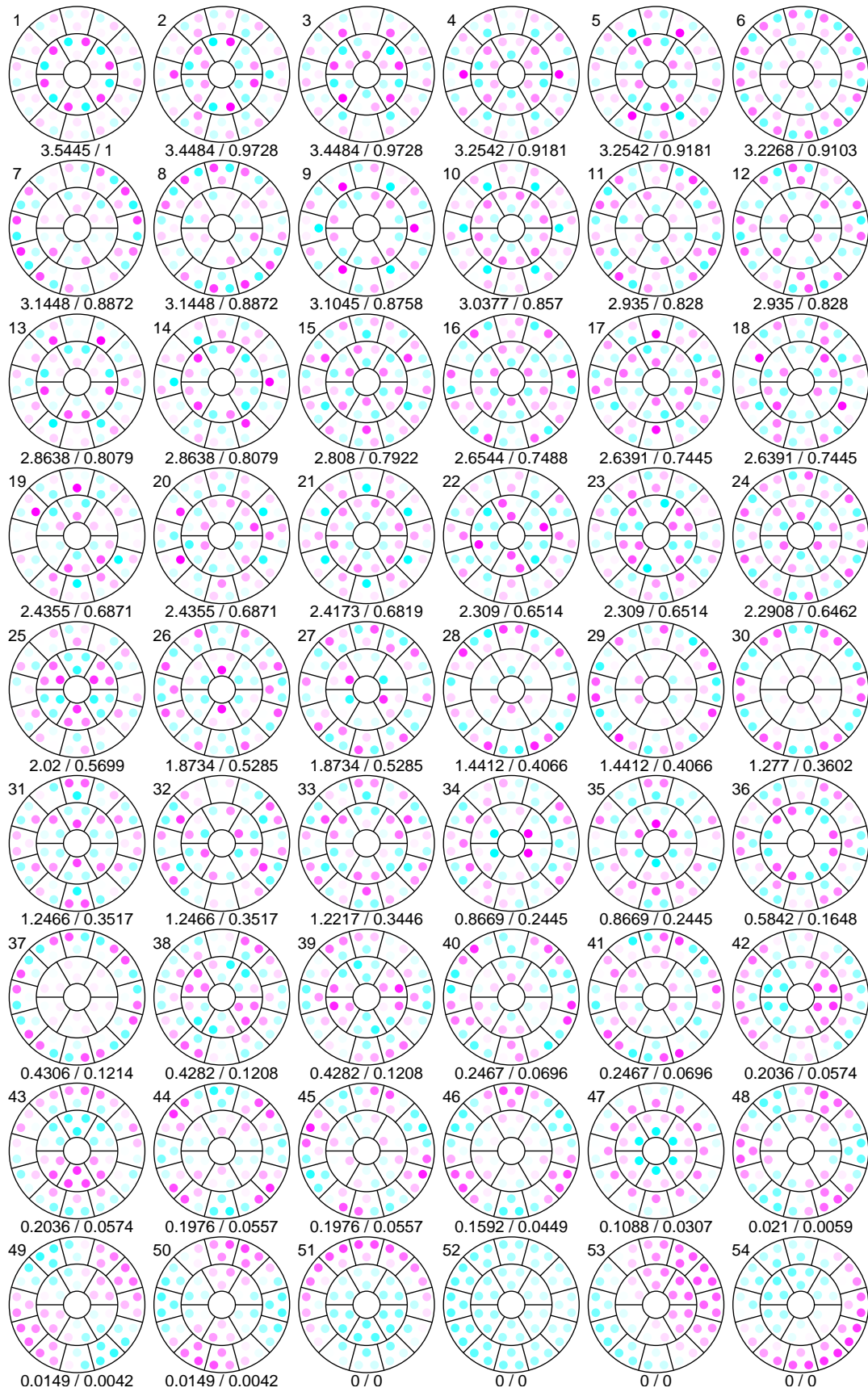


図 2: 1-a-a-a に対する特異ベクトルの一覧

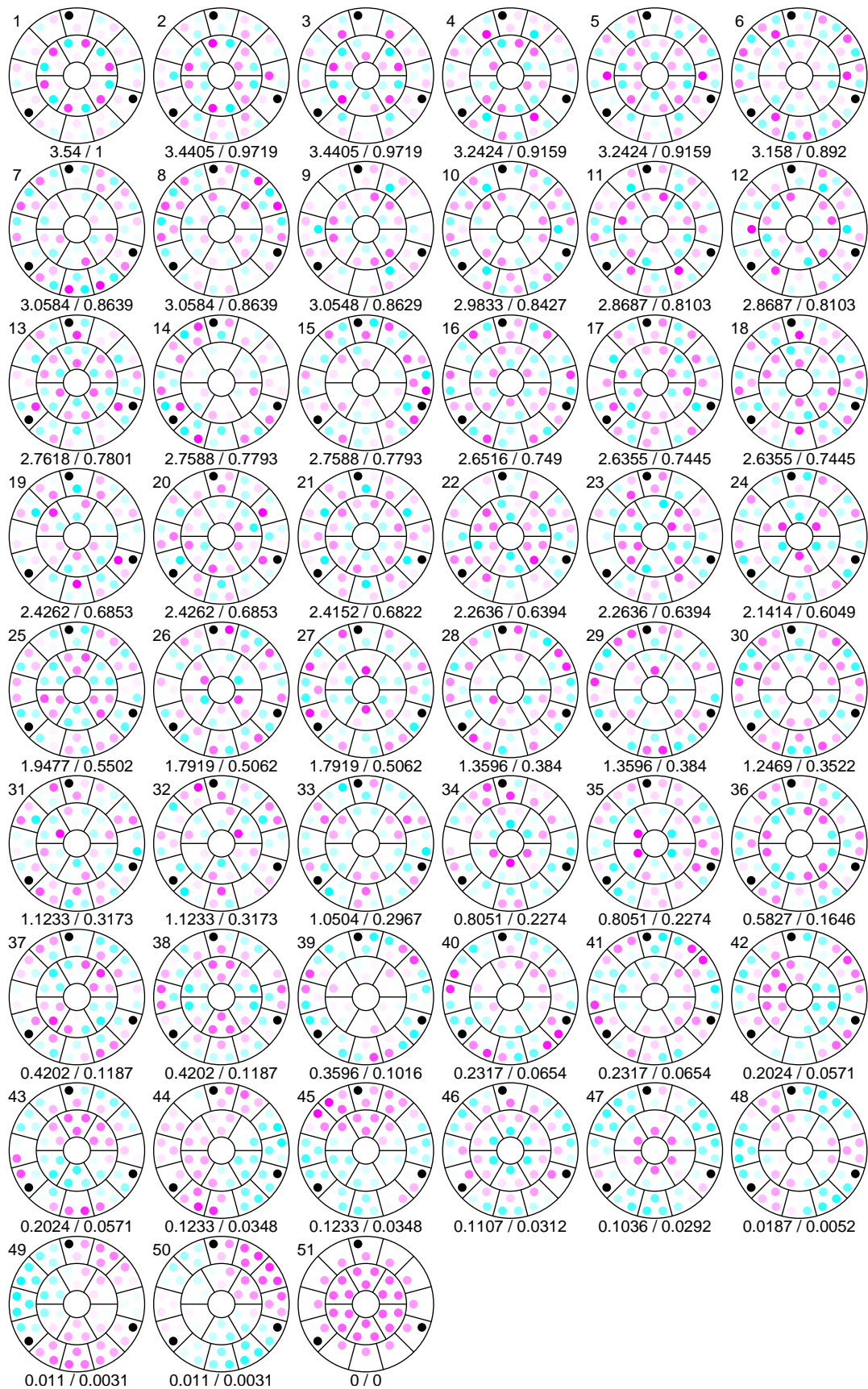


図 3: 1-a-a-b に対する特異ベクトルの一覧

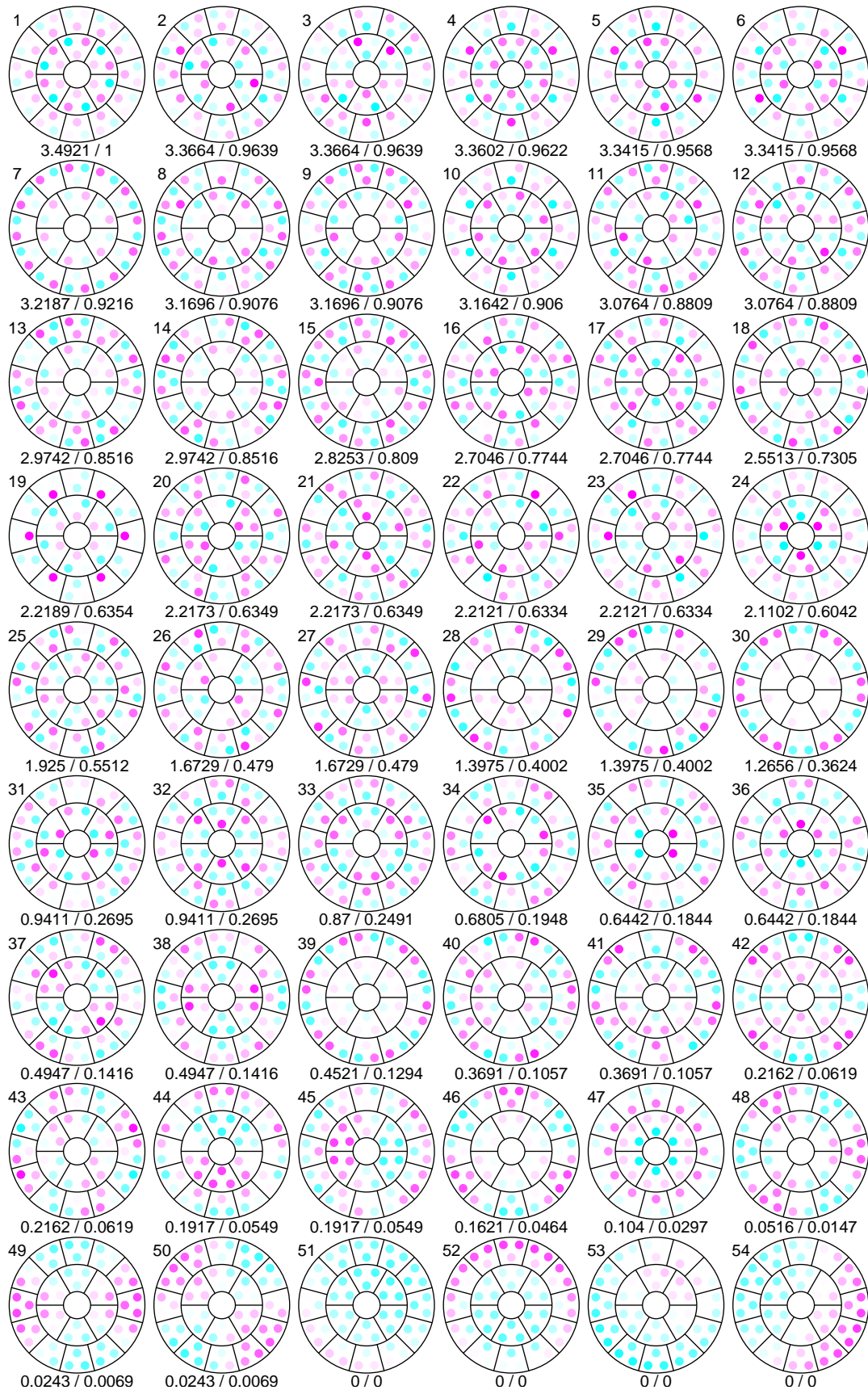


図 4: 1-a-b-a に対する特異ベクトルの一覧

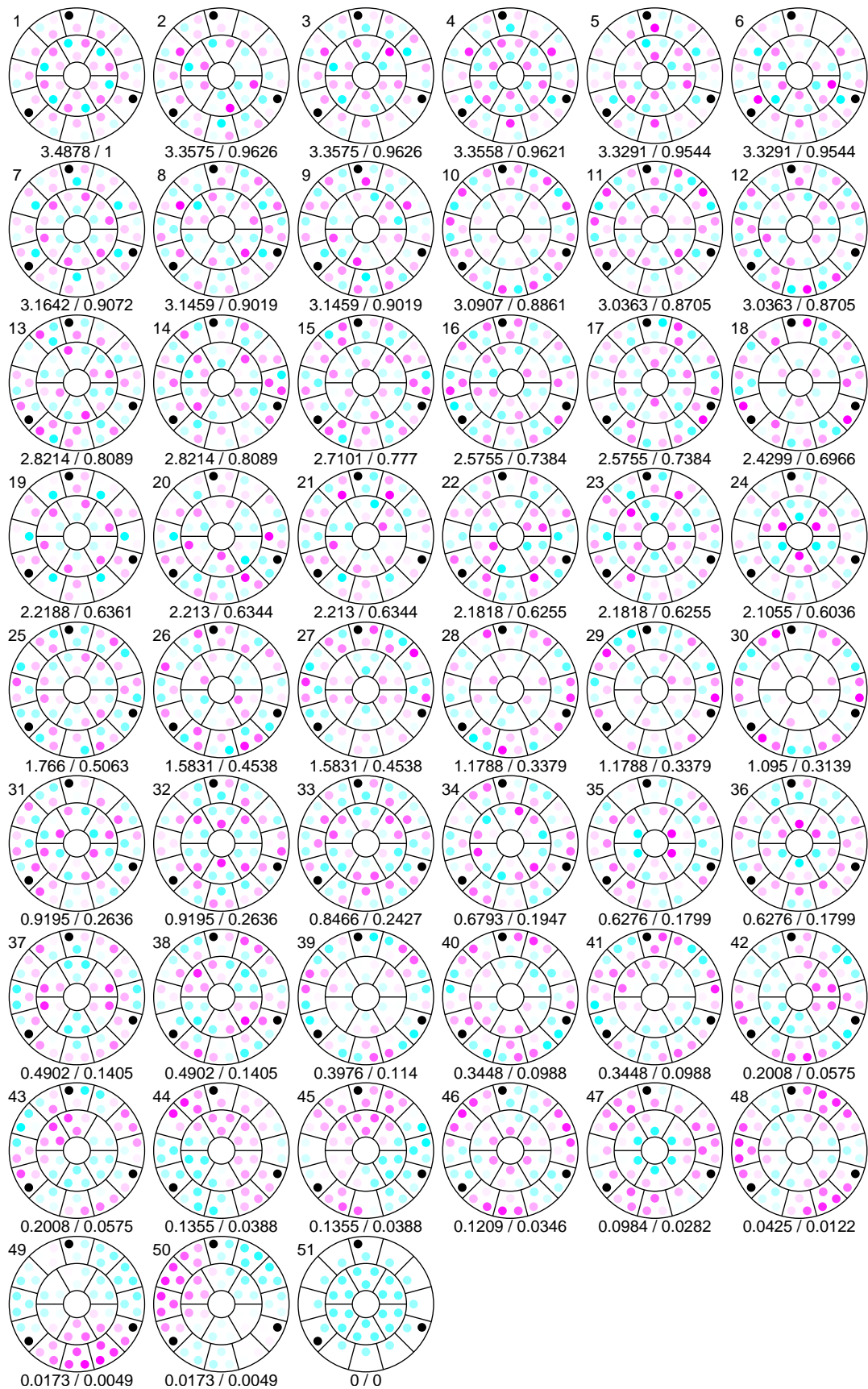


図 5: 1-a-b-b に対する特異ベクトルの一覧

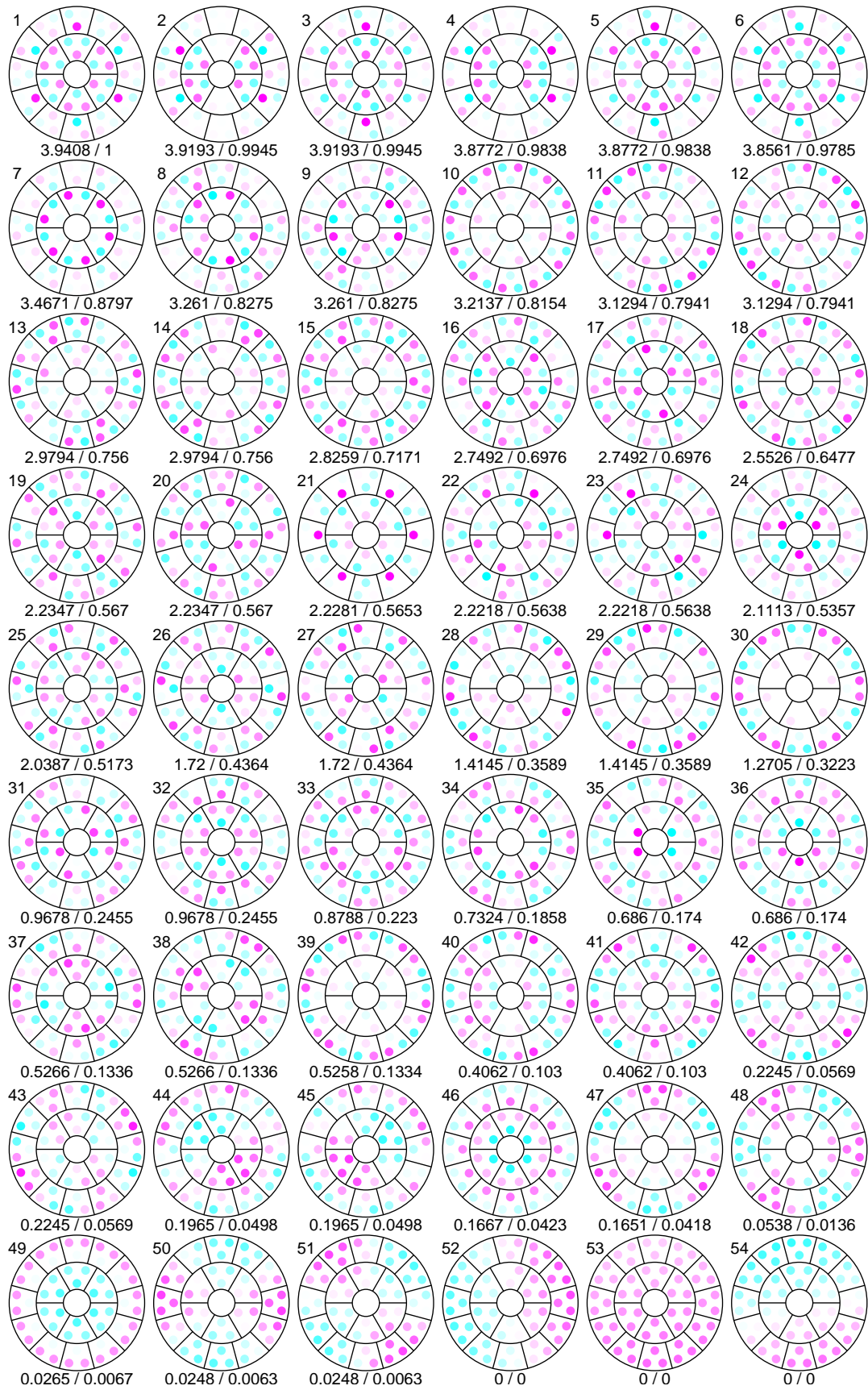


図 6: 1-a-c-a に対する特異ベクトルの一覧

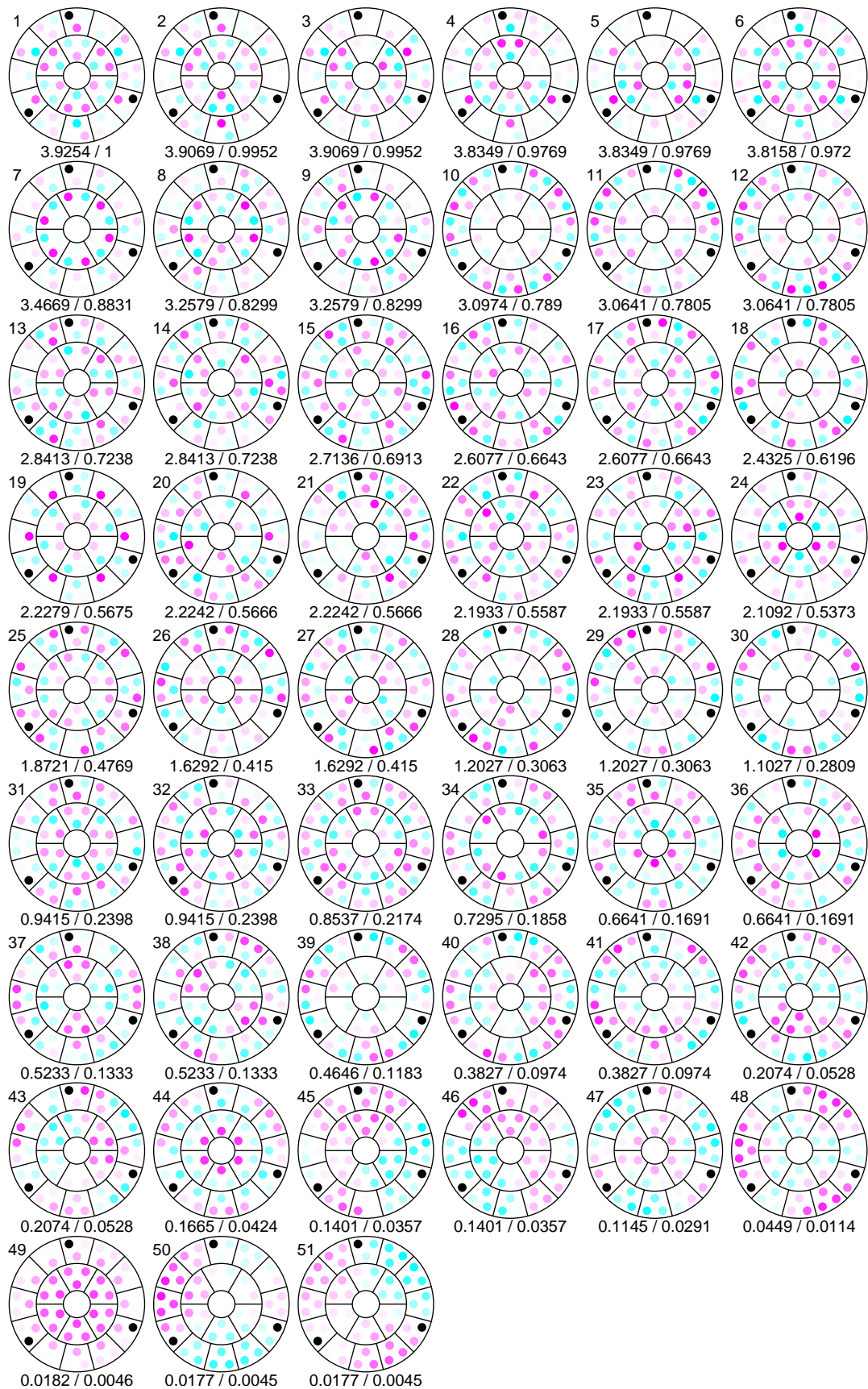


図 7: 1-a-c-b に対する特異ベクトルの一覧

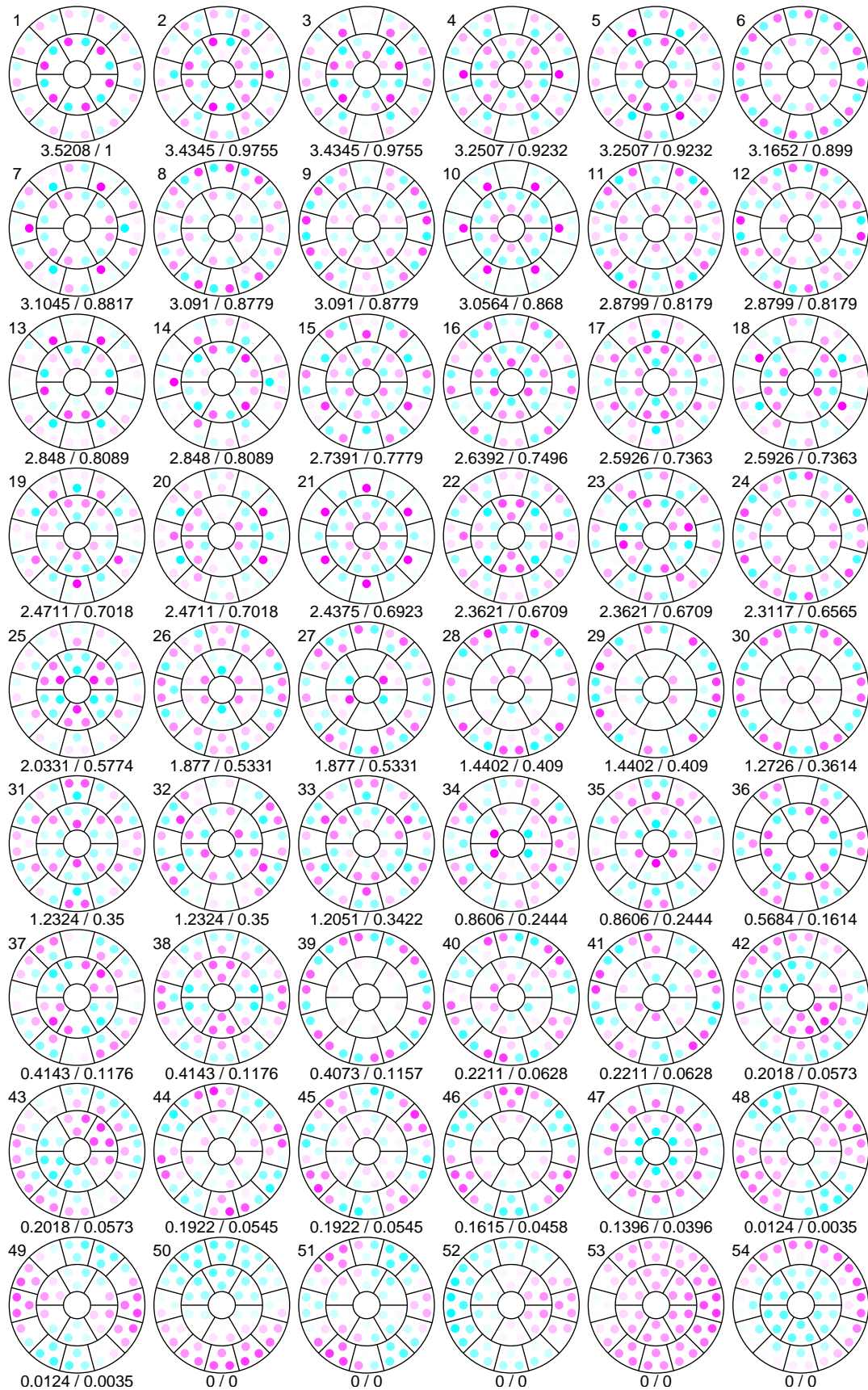


図 8: 1-a-d-a に対する特異ベクトルの一覧

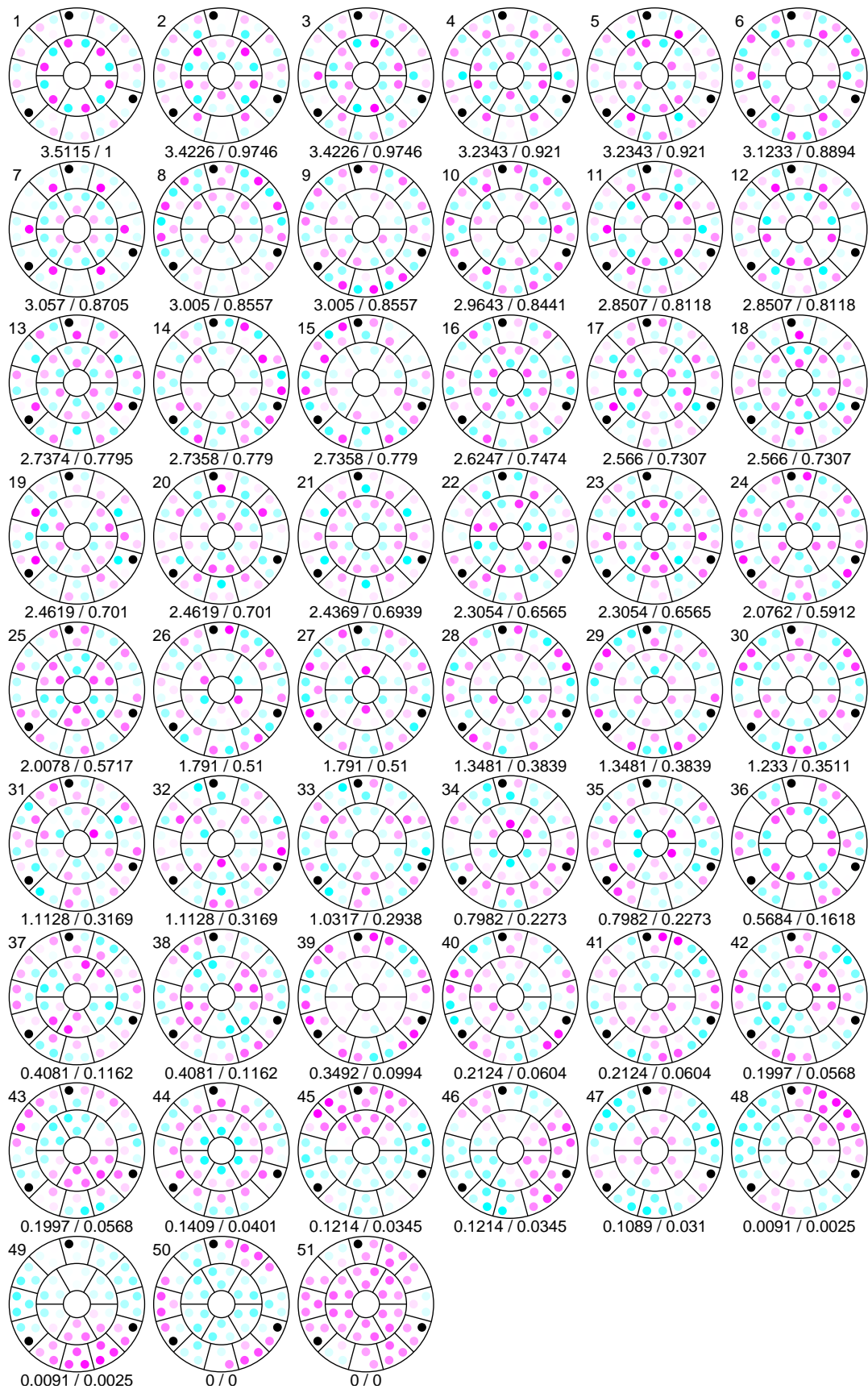


図 9: 1-a-d-b に対する特異ベクトルの一覧

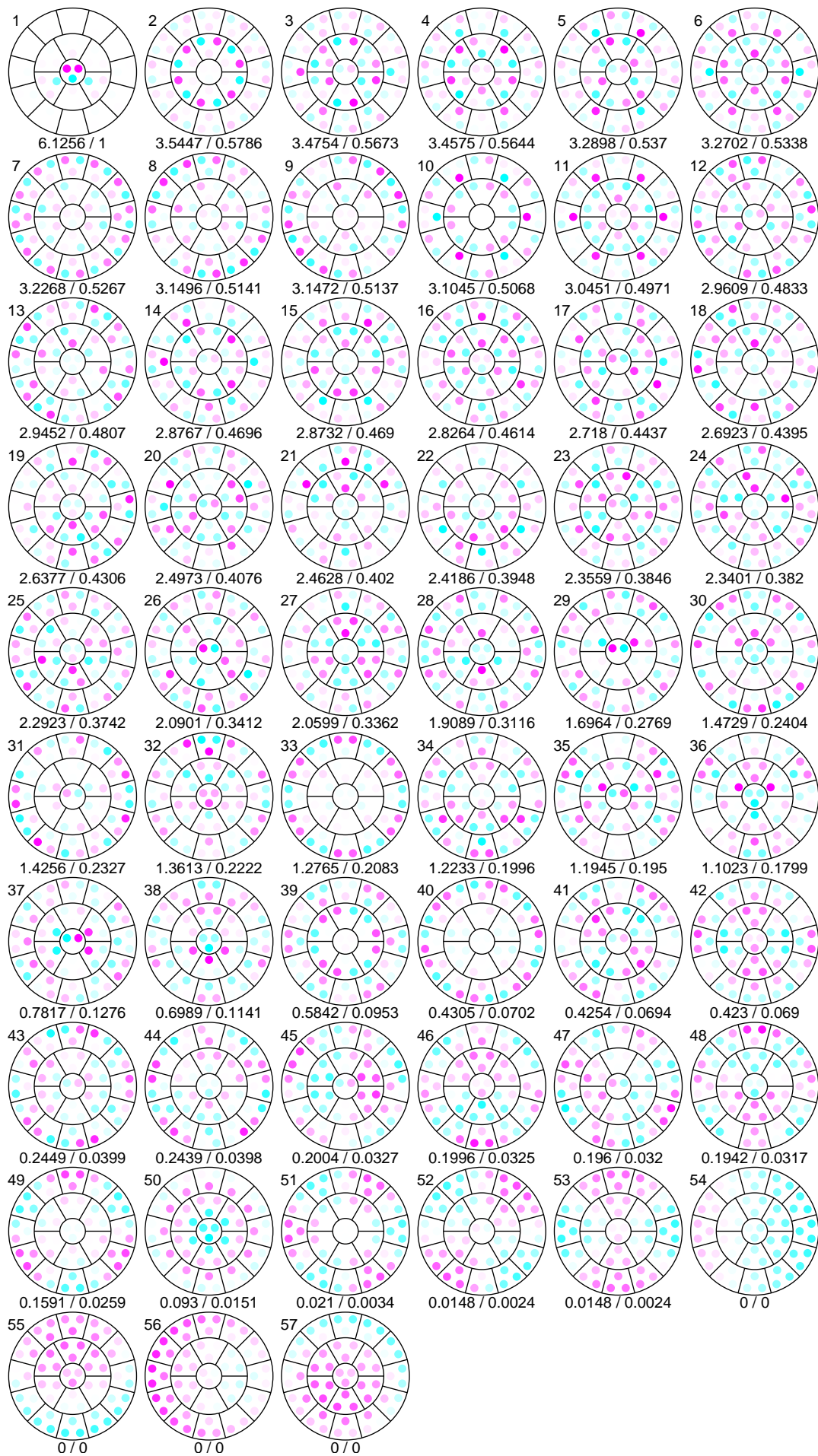


図 10: 1-b-a-a に対する特異ベクトルの一覧

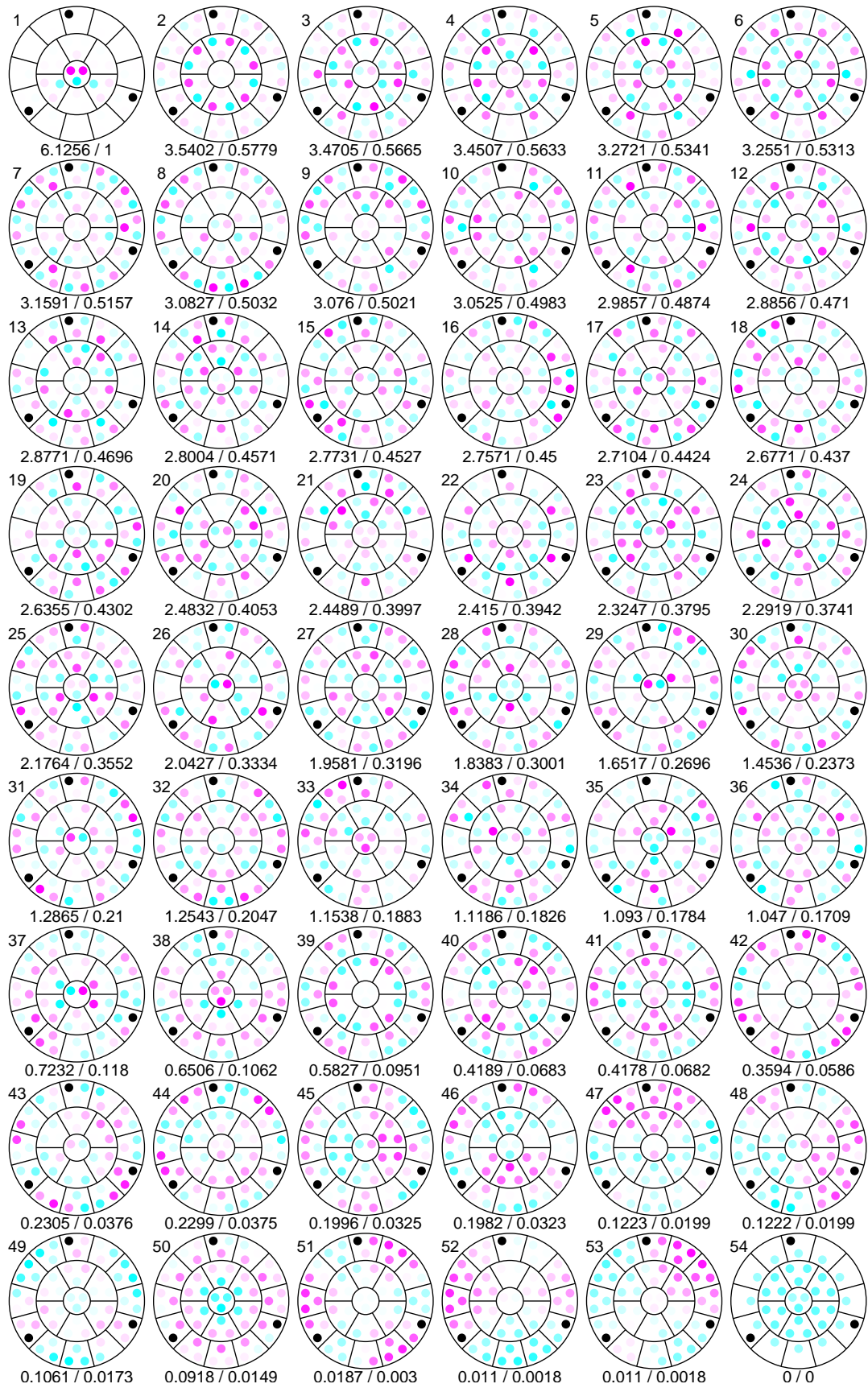


図 11: 1-b-a-b に対する特異ベクトルの一覧

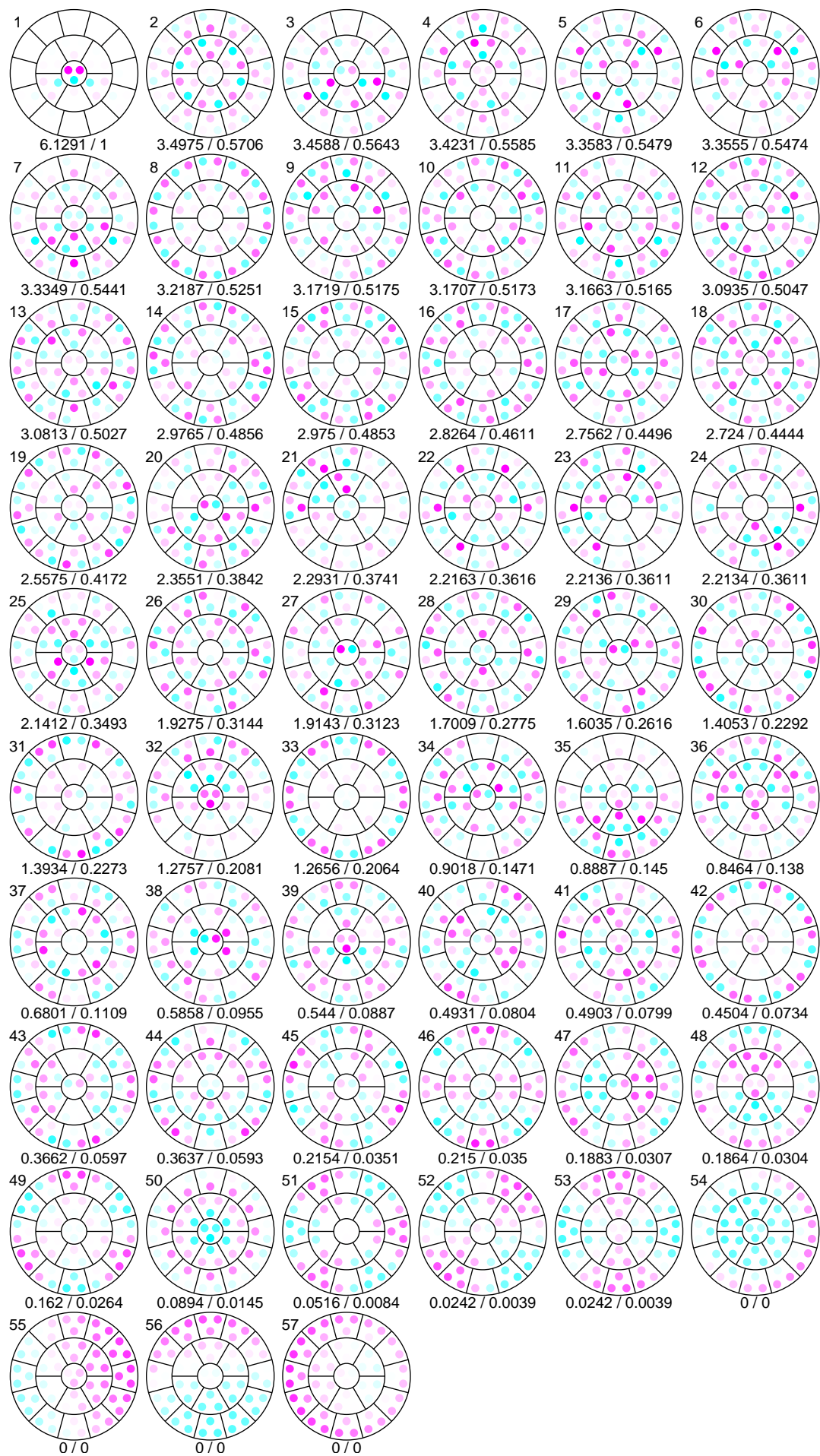


図 12: 1-b-b-a に対する特異ベクトルの一覧

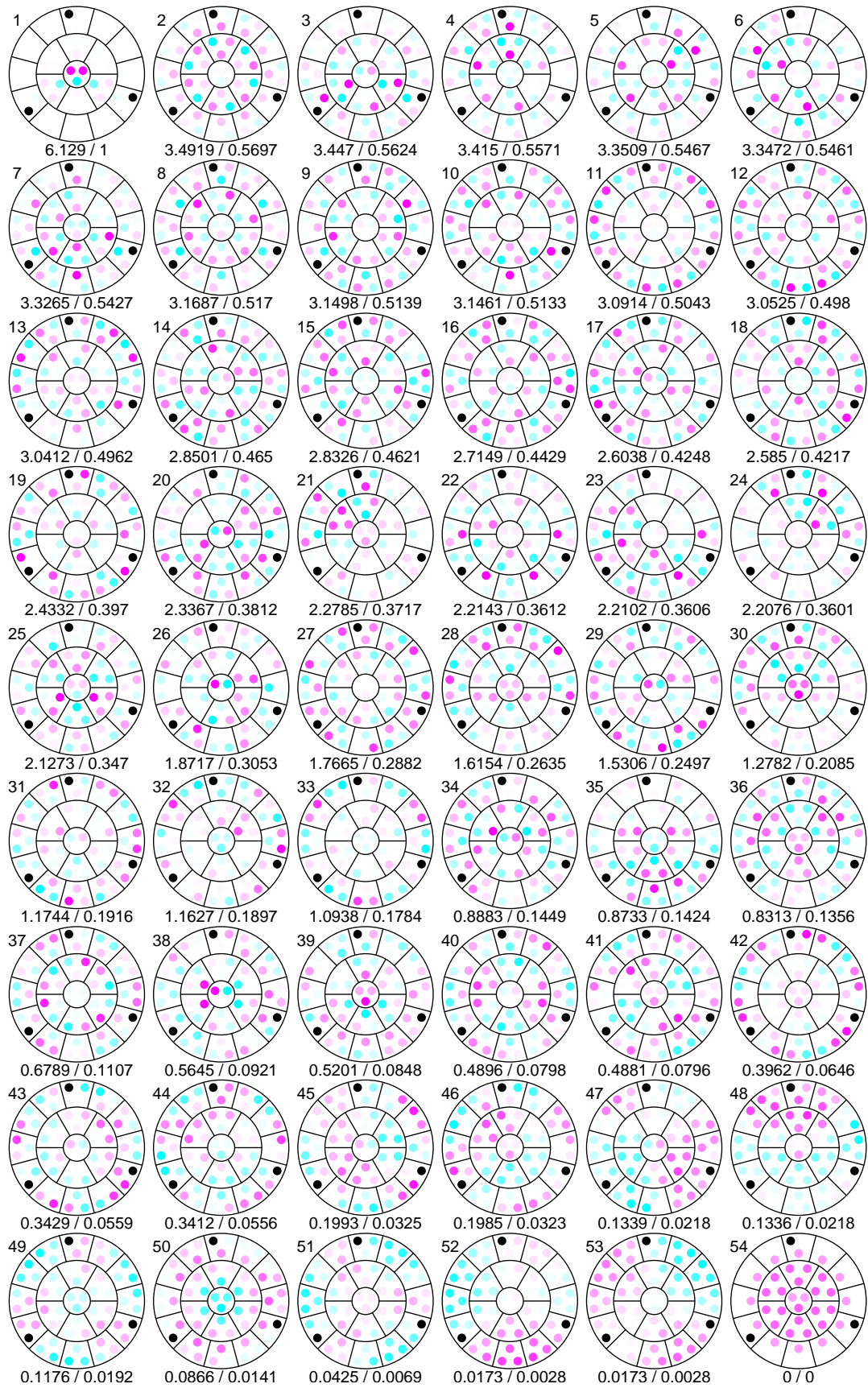


図 13: 1-b-b-b に対する特異ベクトルの一覧

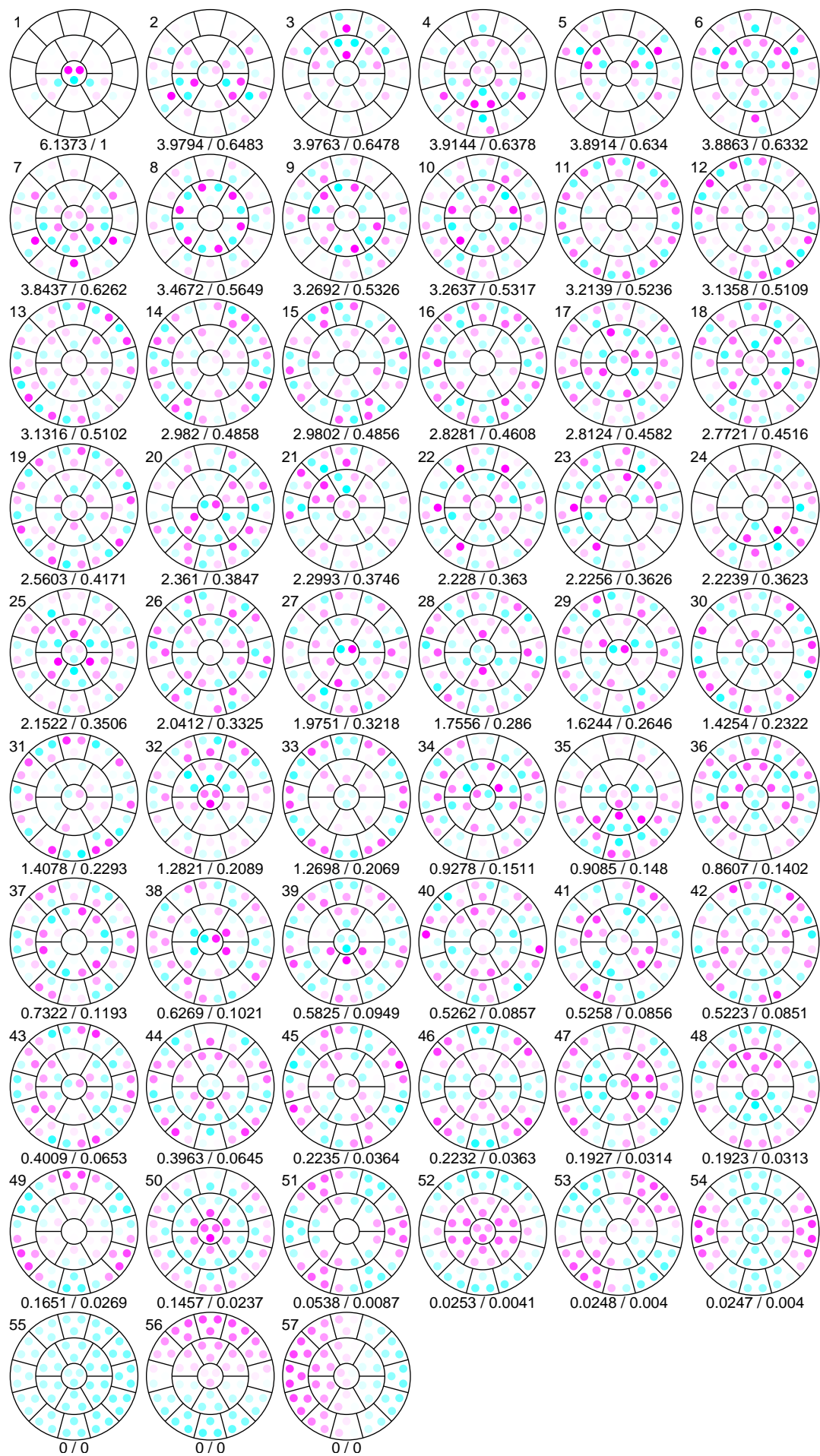


図 14: 1-b-c-a に対する特異ベクトルの一覧

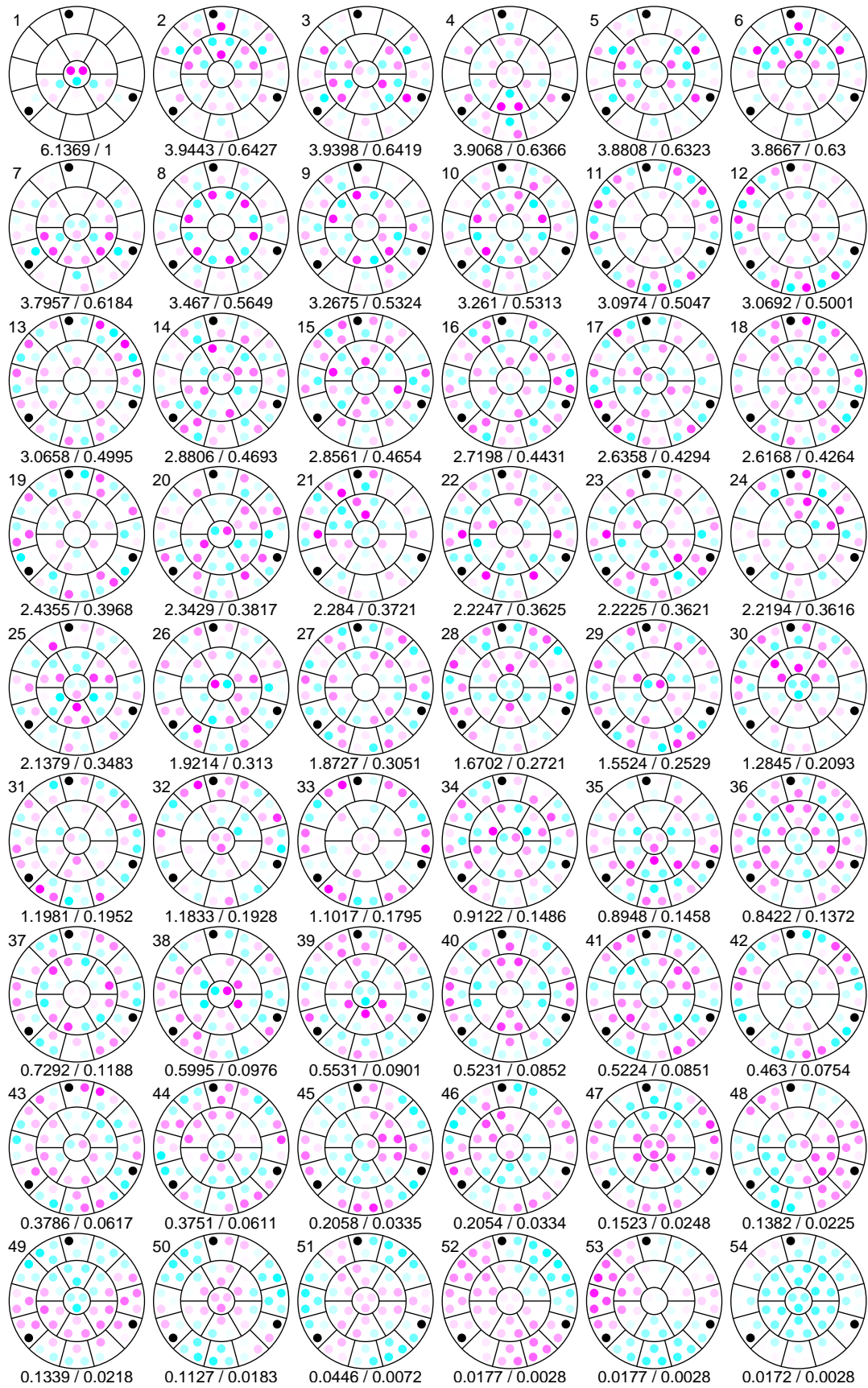


図 15: 1-b-c-b に対する特異ベクトルの一覧

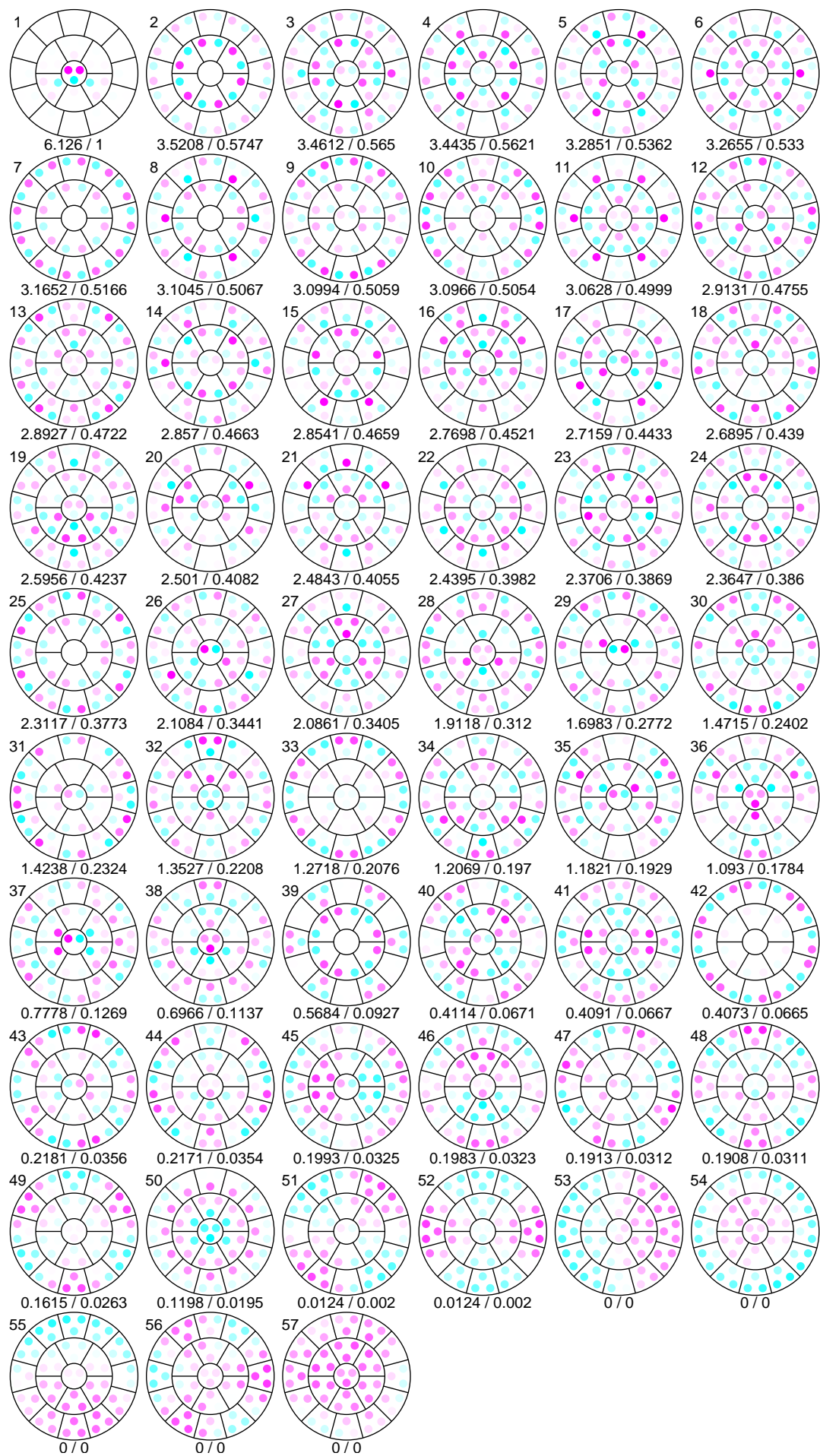


図 16: 1-b-d-a に対する特異ベクトルの一覧

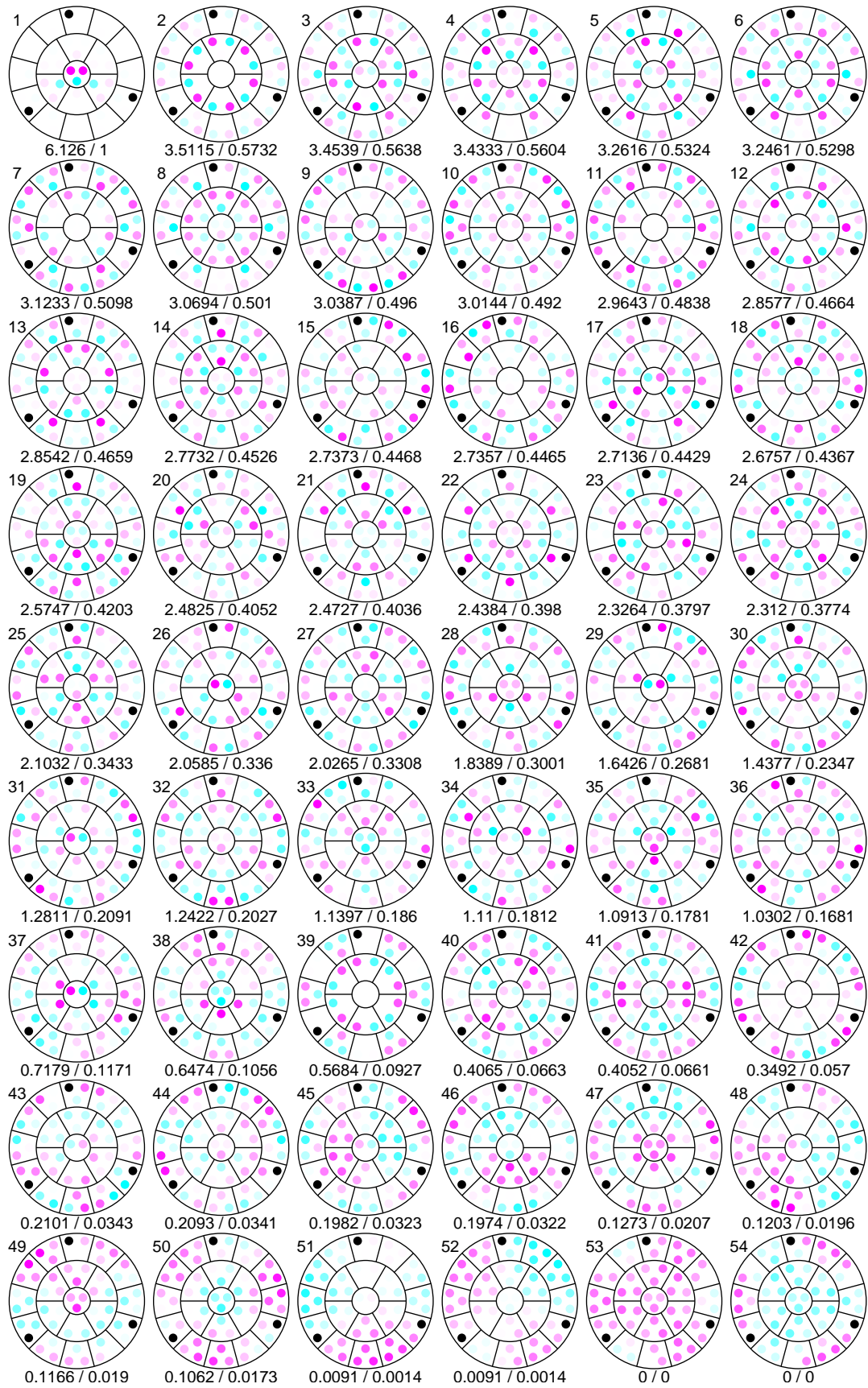


図 17: 1-b-d-b に対する特異ベクトルの一覧

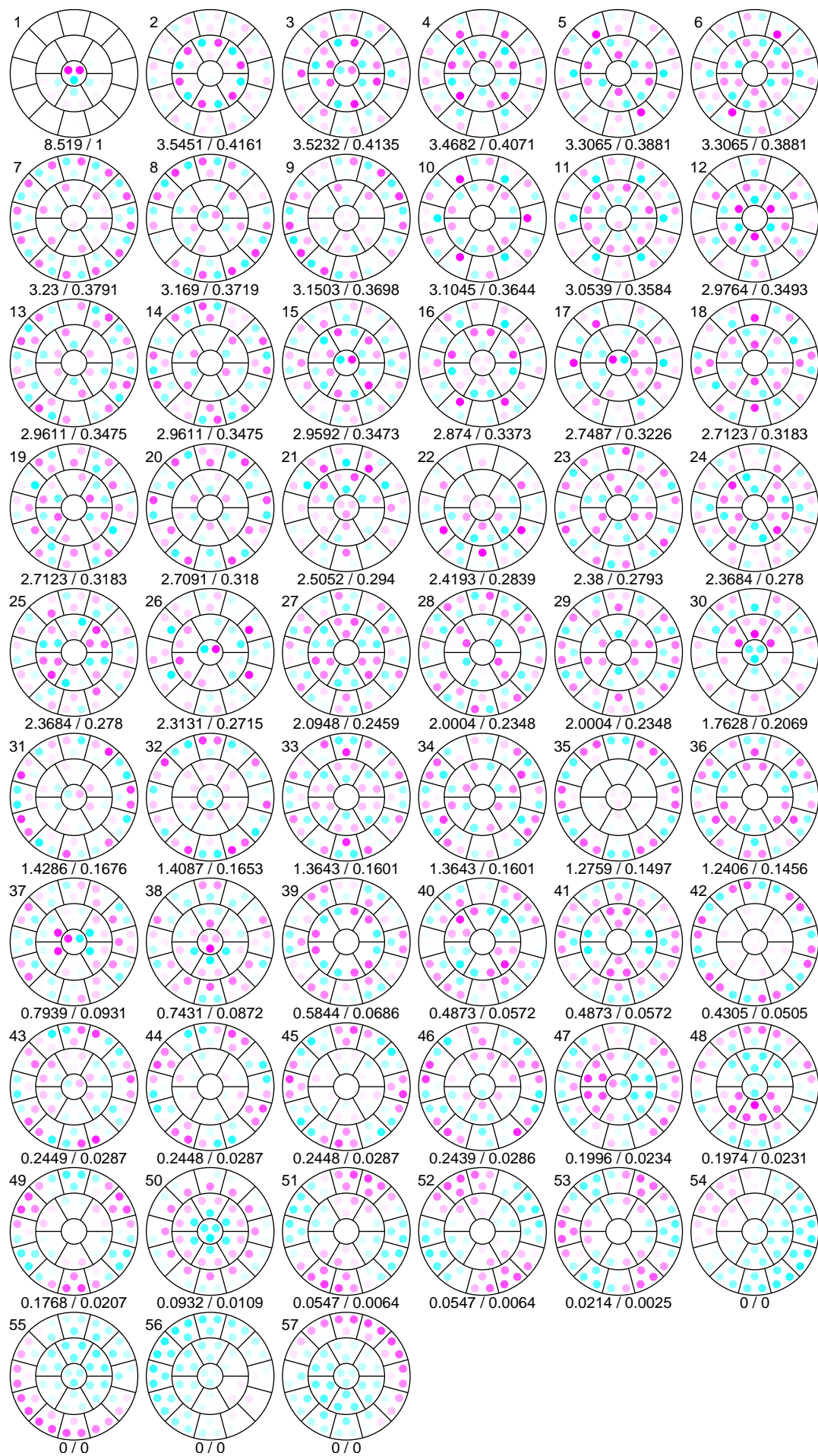


図 18: 1-c-a-a に対する特異ベクトルの一覧

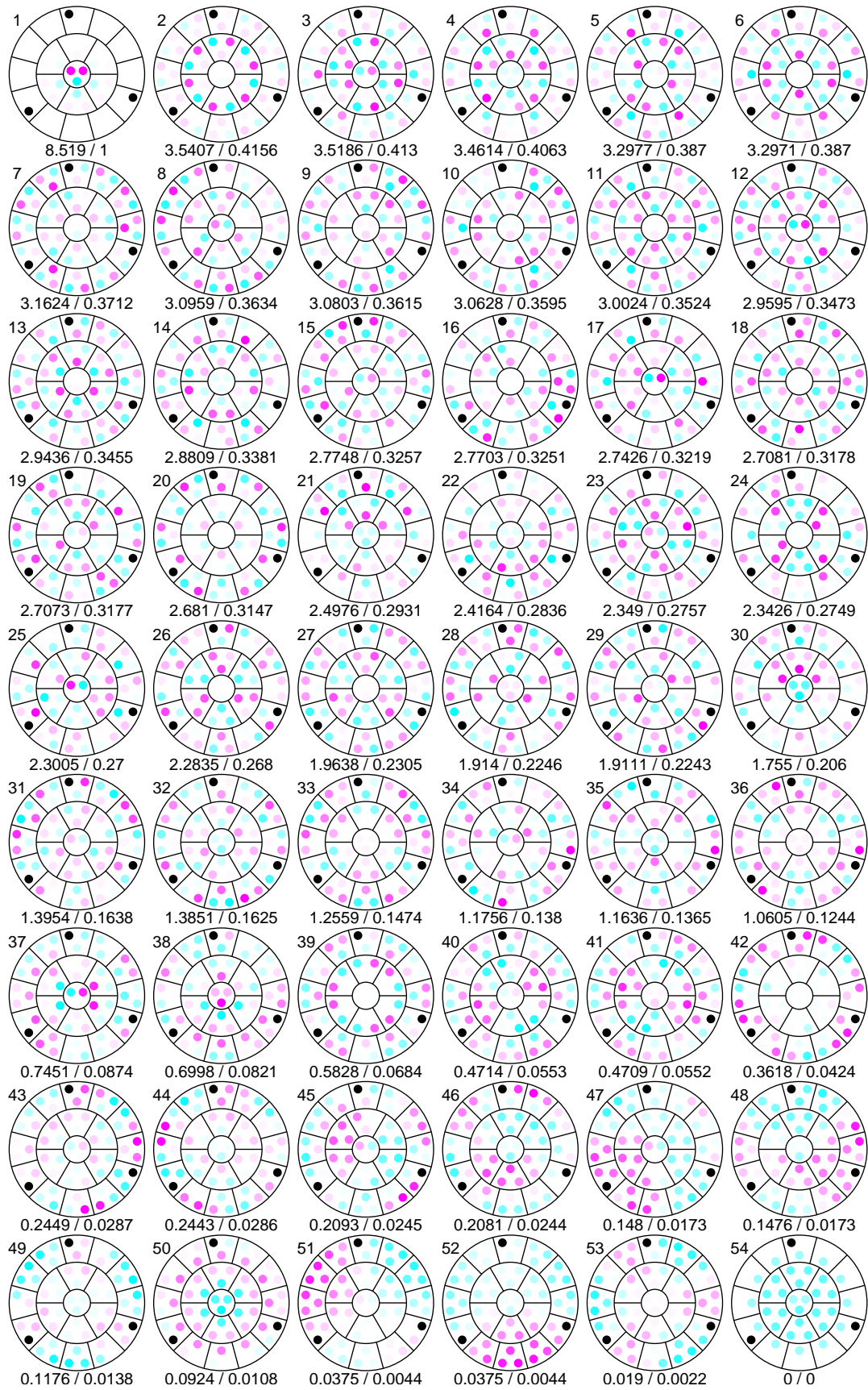


図 19: 1-c-a-b に対する特異ベクトルの一覧

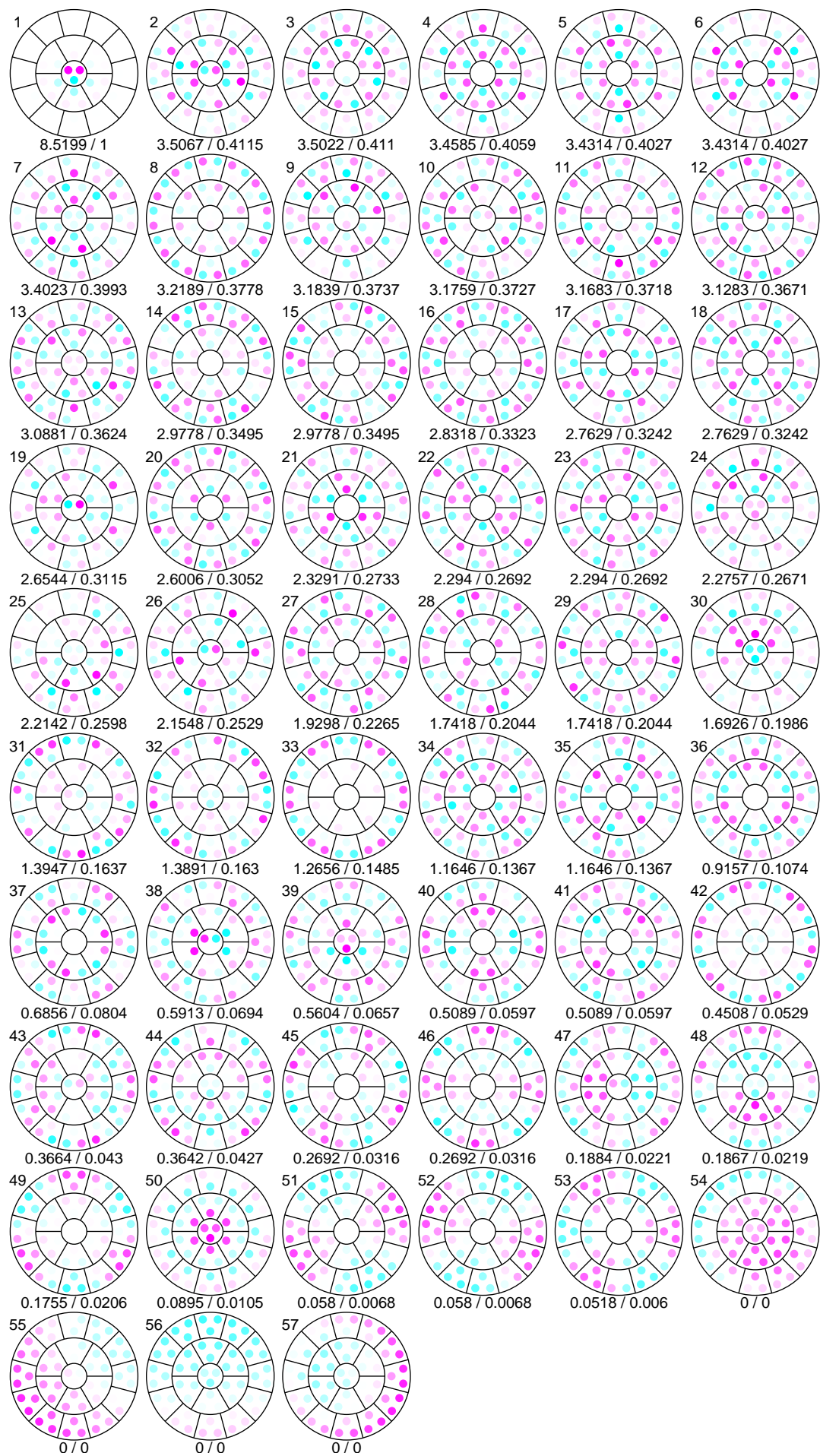


図 20: 1-c-b-a に対する特異ベクトルの一覧

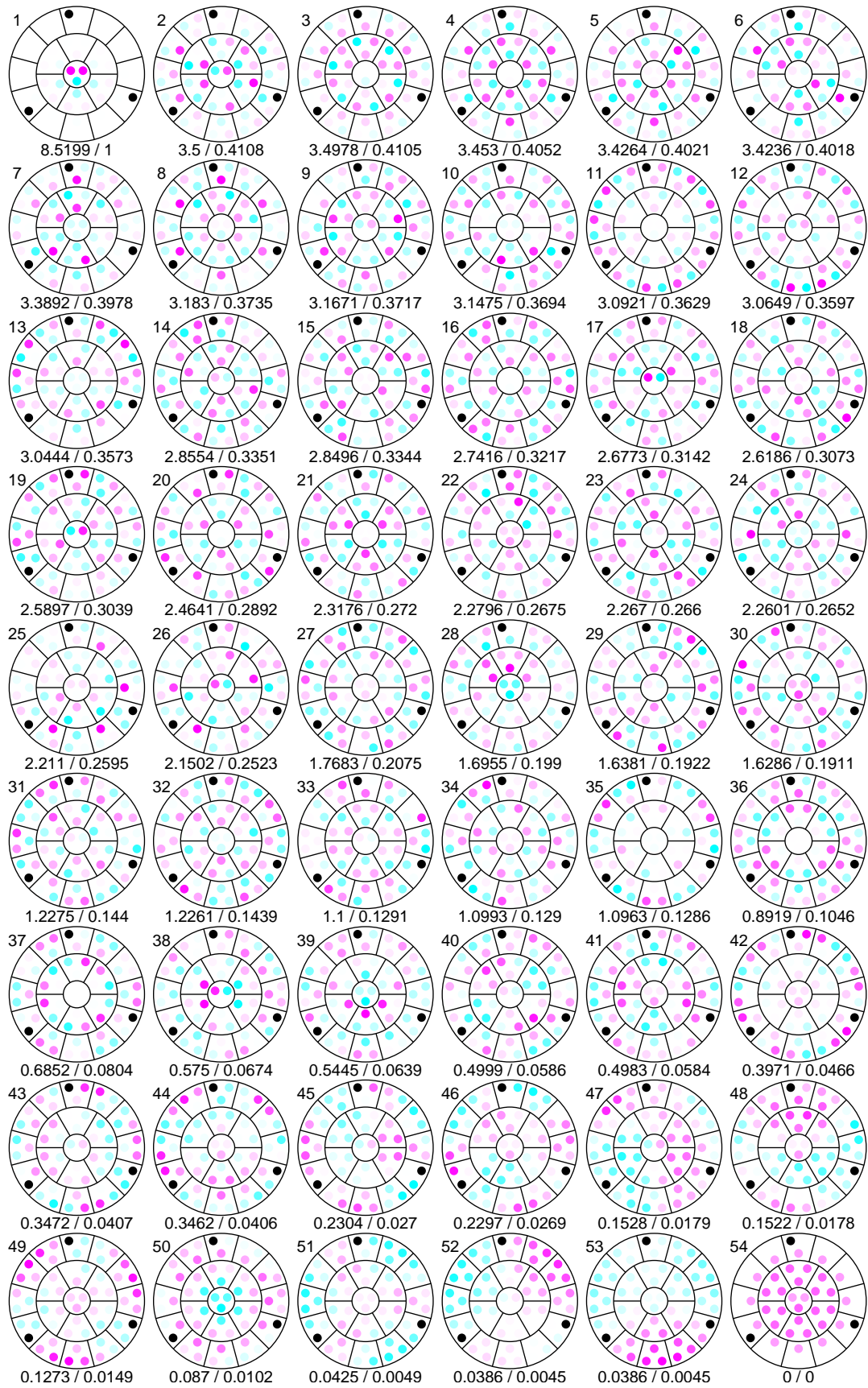


図 21: 1-c-b-b に対する特異ベクトルの一覧

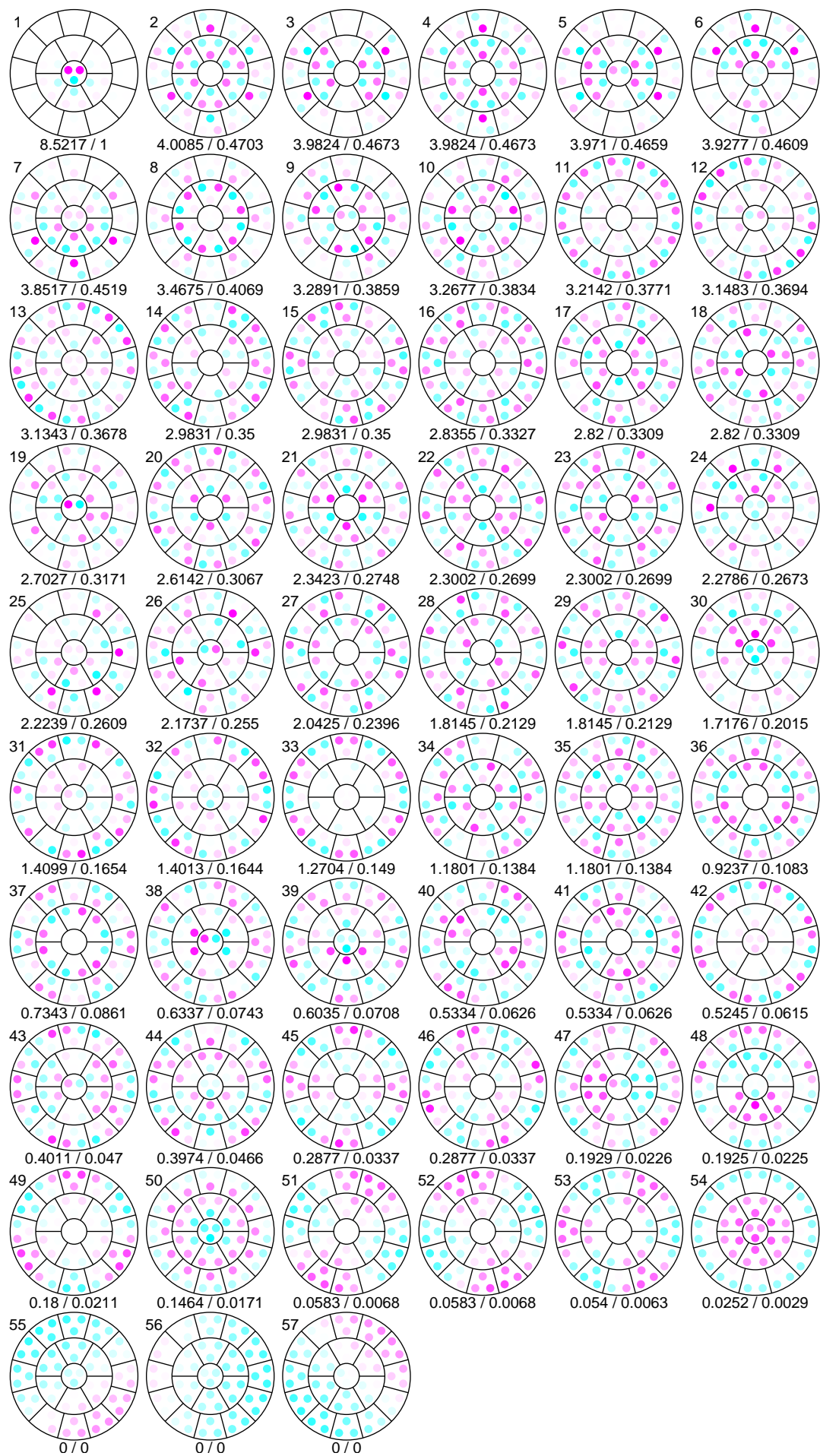


図 22: 1-c-c-a に対する特異ベクトルの一覧

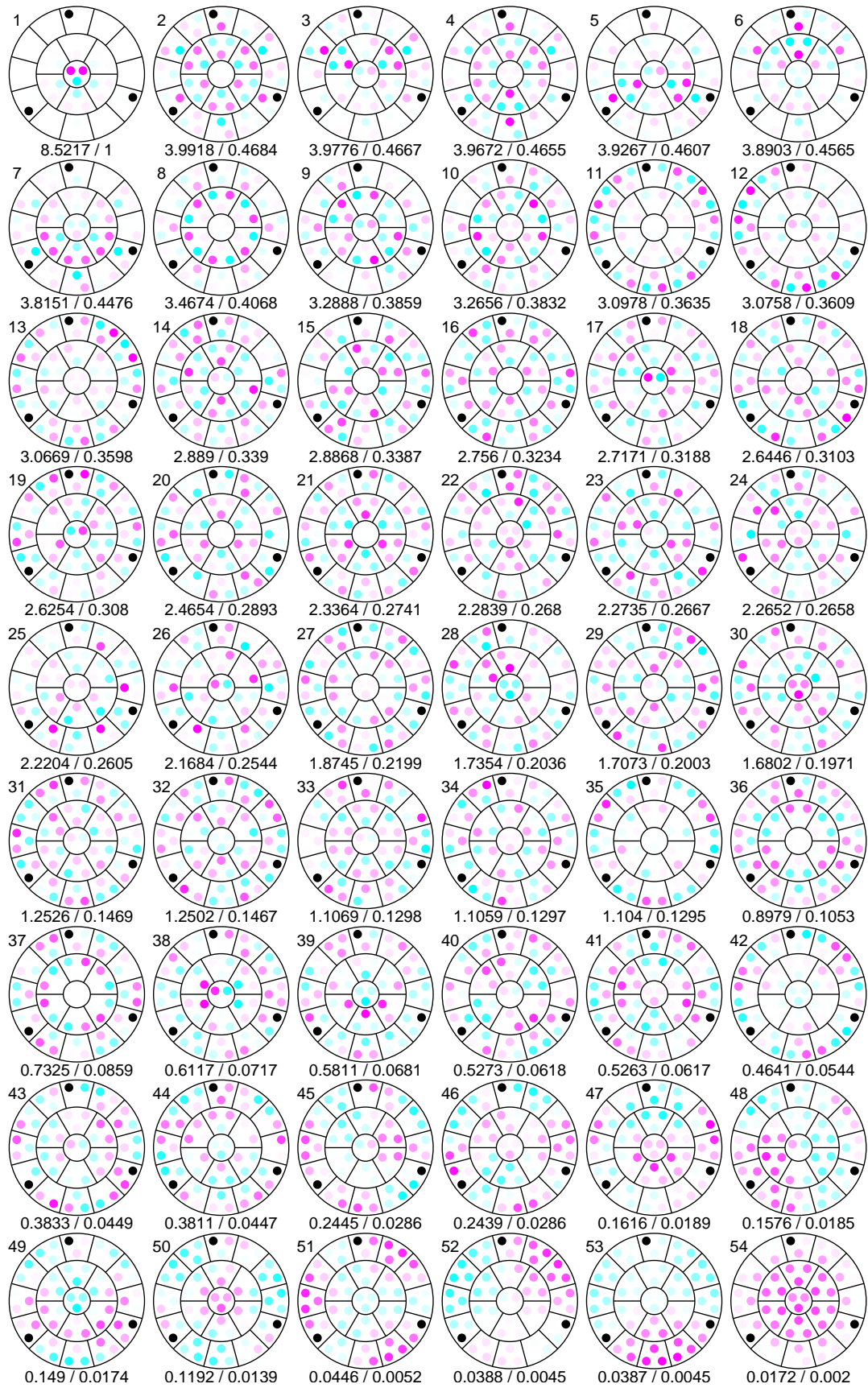


図 23: 1-c-c-b に対する特異ベクトルの一覧

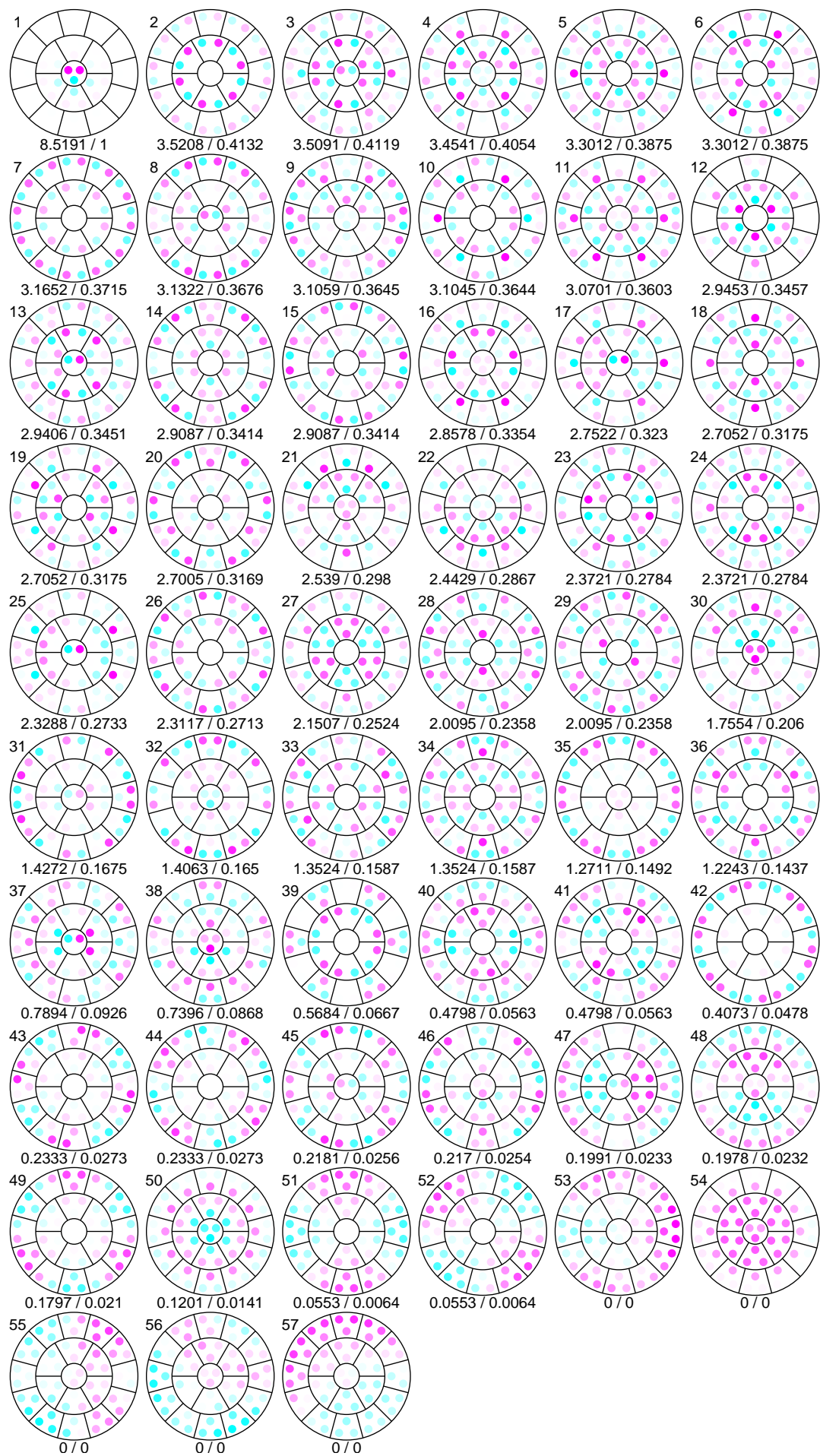


図 24: 1-c-d-a に対する特異ベクトルの一覧

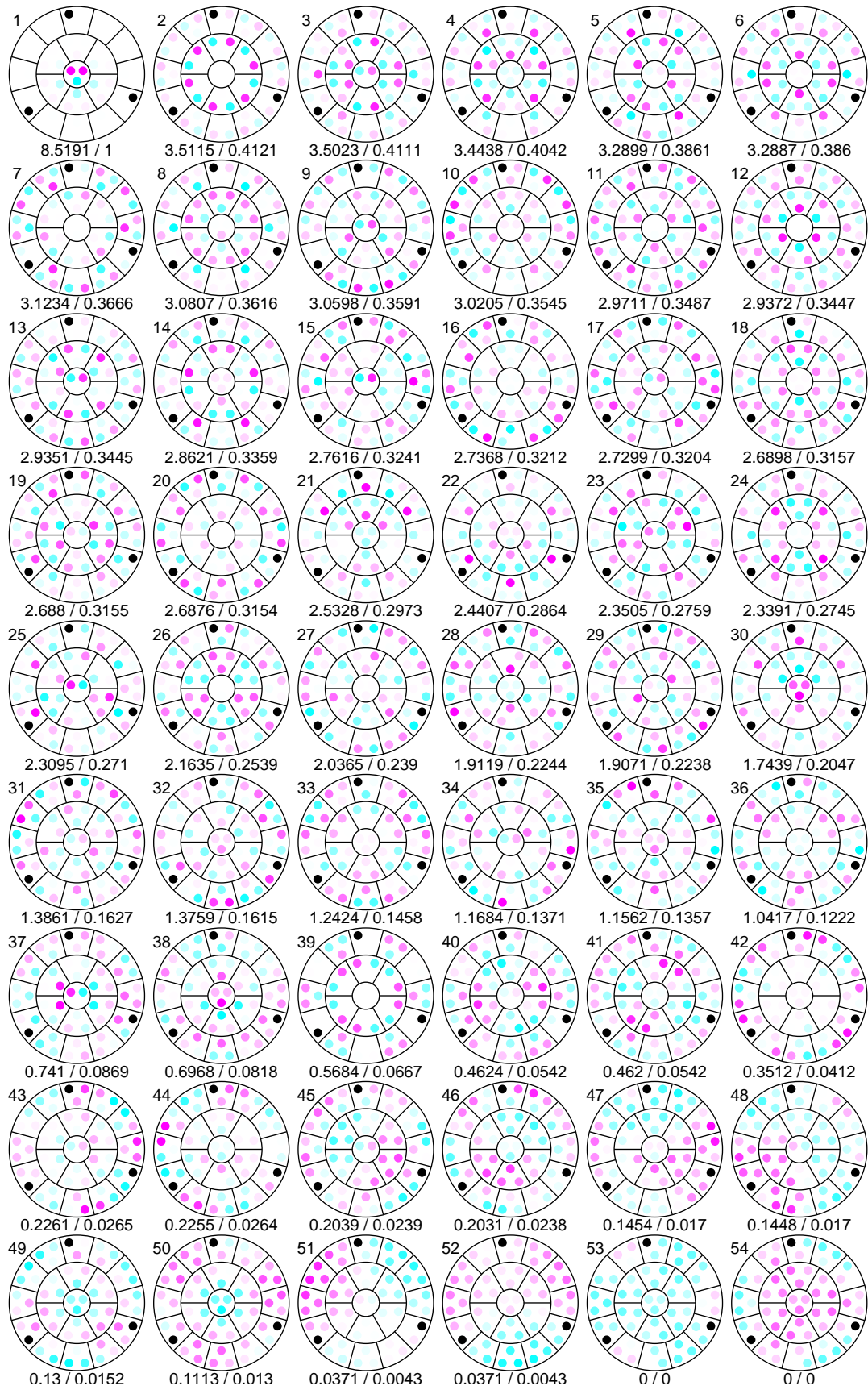


図 25: 1-c-d-b に対する特異ベクトルの一覧

## 4 パターン間での特異値の変動

パターン間に対応する特異ベクトルに関して、その特異値がどう変化したかをみる。

対応関係は、たとえば図2と図10について表1のようにあらわされる。

ここで、少なくとも片方が縮退していない対応関係のうち、特異値の比が2を超えるものをよく改善されていると判定することとする。

表 1: 特異値の対応

1-aaa ID	1-baa ID	内積	1-aaa 特異値	1-baa 特異値	比
01	02	0.99576	3.54452	3.54472	0.999
02	03	0.97403	3.44845	3.47548	0.992
03	04	0.98758	3.44845	3.4575	0.997
04	06	0.96390	3.25423	3.27022	0.995
05	05	0.96343	3.25423	3.28981	0.989
06	07	0.95092	3.22682	3.22686	0.999
07	09	0.96414	3.14483	3.14723	0.999
08	08	0.88890	3.14483	3.14966	0.998
09	10	0.99961	3.10452	3.10452	1
10	11	0.97934	3.03778	3.04514	0.997
11	13	0.95171	2.93502	2.94522	0.996
12	12	0.87843	2.93502	2.96099	0.991
13	15	0.92519	2.86383	2.87323	0.996
14	14	0.94170	2.86383	2.87679	0.995
15	16	0.87955	2.80808	2.82647	0.993
16	18	0.69757	2.65448	2.69236	0.985
17	19	0.77276	2.63911	2.63777	1
18	17	0.83783	2.63911	2.7181	0.97
19	21	0.82244	2.43552	2.46283	0.988
20	20	0.79587	2.43552	2.4973	0.975
21	22	0.88310	2.41732	2.41866	0.999
22	24	0.72178	2.30906	2.34018	0.986
23	23	0.80446	2.30906	2.35599	0.98
24	25	0.77781	2.29081	2.29235	0.999
25	27	0.91465	2.02008	2.0599	0.98
26	28	0.87972	1.8734	1.90891	0.981
27	29	0.69003	1.8734	1.69648	1.104
28	30	0.83535	1.44122	1.47299	0.978
29	31	0.95233	1.44122	1.42563	1.01
30	33	0.94083	1.27702	1.27659	1
31	32	0.65060	1.24662	1.36136	0.915
32	35	0.90564	1.24662	1.19455	1.043
33	34	0.94201	1.22175	1.2233	0.998
34	37	0.86344	0.86697	0.781781	1.108
35	38	0.67427	0.86697	0.698942	1.24
36	39	0.97675	0.584295	0.58427	1
37	40	0.95581	0.430645	0.430589	1

表 1: 特異値の対応

1-aaa ID	1-baa ID	内積	1-aaa 特異値	1-baa 特異値	比
38	41	0.90054	0.428222	0.425423	1.006
39	42	0.89735	0.428222	0.423041	1.012
40	44	0.97704	0.246774	0.243975	1.011
41	43	0.90125	0.246774	0.24492	1.007
42	45	0.88396	0.203648	0.200412	1.016
43	46	0.73728	0.203648	0.199603	1.02
44	48	0.69419	0.197624	0.194293	1.017
45	47	0.81553	0.197624	0.196072	1.007
46	49	0.98061	0.159297	0.159178	1
47	50	0.84834	0.108819	0.0930631	1.169
48	51	0.96085	0.0210753	0.0210752	1
49	52	0.84471	0.0149062	0.0148953	1
50	53	0.87792	0.0149062	0.0148823	1.001
51	57	0.84761	5.15008e-16	3.14713e-17	16.364
52	56	0.84083	3.05698e-16	1.2067e-16	2.533
53	54	0.80778	1.45984e-16	5.45601e-16	0.267
54	55	0.84681	7.80134e-17	3.09927e-16	0.251

## 5 考察とまとめ

内周・外周間にペアを構成するような円弧に垂直なギャップセンサーを配置すると微妙にはあるが内周・外周で曲率半径が変化するようなモードを判別できるようになることが判明した。(ex. 図 4 52th — 図 6 49th)

内周の内側に硬いリングを固定し、それに対するギャップセンサーを内周に配置すると、硬いリングの変形は非常によく判別できるが、分割主鏡全体の傾きを判別できないため、あまり効果がないことが判明した。(ex. 図 14 1st / 55-57th) ただし、アクチュエーター 3 つを固定するパターンは、この硬いリングを完全に変形・移動しないものとして取り扱うことに相当し、そういう意味では図 3 (1-a-a-b) と図 10 (1-b-a-a) を比較することに意味はあまりない。また、アクチュエーター 3 つ固定のパターンでも、アクチュエーターを固定する点の機械的変形は何らかの方法で別途測定しバイアスとして設定する必要がある。これを内環に付いても行うことができれば、内環を完全固定と考えてシミュレーションするパターンも実現可能である。シミュレーション上では、分割鏡動作パラメーターの把握 II における内周内側の固定点ギャップセンサーを追加したモードと、今回の図 3 (1-a-a-b) などとを比較するとよく似た結果になっており、これら二つはほぼ同じ効果を実現するパターンであるといえる。ここで、アクチュエーター 3 つを固定するのと、内環を作成するのは、アクチュエーター 3 つを固定するほうが実現は容易であり、実験ではアクチュエーター 3 つを固定するパターンをまず試すほうがよいといえる。

内環に対して 3 つのギャップセンサーを取り付けるのと 6 つ取り付けることの違いを見る。図 10 (1-b-a-a) と図 18 (1-c-a-a) との比較では、退化度合いは変化していない。しかしながら 2 倍以上大きくなっている特異値のペアは、1-c-a-a ID 51 と 1-b-a-a ID 53, 1-c-a-a ID 52 と 1-b-a-a ID 52 の 2 つあり、これらの 2 次の Zernike 多項式のモードをよりよく判別できるようになった、ということがいえる。もちろんよりよく判別できるようになることは重要ではあるが、退化度合いを減らす効果はもたらさないという結論になる。

内周・外周間のギャップセンサーについて、外周セグメントには単一の内周セグメントに取り付いているものと二つの内周セグメントに取り付いているものの 2 種類がある。これらに対してどう配置するかによる影響を見る。まず、図 2 (1-a-a-a) と図 8 (1-a-d-a) とを比較する。この二つの差は、単一の内周セグメントに取り付いている外周セグメントについて、そのギャップセンサーの取り付け位置を中央にする (1-a-d-a) か、中央からはずした場所にするか (1-a-a-a) の違

いである。この二つの違いは一つのモード (特異ベクトル) を縮退から解き放つ効果をもたらしている。この特異ベクトルは 1-a-a-a ID 48 と 1-a-d-a ID 51 で、3 次の Zernike 多項式に近いモードである。逆に、同じセグメント間に二つのギャップセンサーを配置する、つまり二つの内周セグメントに取り付いている外周セグメントに1つとして残りを移動させることは図 2 (1-a-a-a) と図 4 (1-a-b-a) とを比較すると効果を及ぼしていないといえる。これは外周セグメントの内側の中央点にギャップセンサーを配置してはいけないのであると言い換えることも可能であろう。ただし、内周セグメントの間に位置することになるため、このパターンを実際に作ることはできない。

## 5.1 まとめ

まとめると以下ようになる。

- 内周・外周間に半径方向にずれたペアとなるギャップセンサーを配置すると曲率変化を判別できる
- アクチュエーター 3 つ固定と完全固定のギャップセンサーを内周内側に追加することの意味は同じ
- 内周・外周間において外周の内側の中央点にギャップセンサーを配置するとモードが一つ縮退する

また、製作のしやすさなどを考えた、今回の中での最適パターンは図 7 (1-a-c-b) である。ただし 2nd mode について mode a に対して mode b から c への変化に相当する変化を加えたものを試す必要があり、今回のパターンを組み合わせで実現される全パターンの中で最適といえない可能性はある。