

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	周辺視野におけるカテゴリカル色知覚に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	瀬川かおり
Author(English)	Kaori Segawa
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第4454号, 授与年月日:2000年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:内川恵二
Citation(English)	Degree:Doctor of Engineering, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第4454号, Conferred date:2000/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚 に関する研究

平成12年 1 月

指導教官 内川 恵二 教授

提出者 東京工業大学大学院総合理工学研究科
物理情報工学専攻
97D24053

瀬川かおり

目次

第1章 序論	1
1.1 はじめに	
1.2 色覚メカニズム	
1.3 中心視野と周辺視野	
1.4 周辺視野における色の見え	
1.5 周辺視野における色の見えに関する研究	
1.6 カテゴリーカル色知覚	
1.7 カテゴリーカル色知覚に関する研究	
1.8 本研究の目的	
1.9 本論文の構成	
第2章 実験装置	16
2.1 刺激	
2.2 刺激呈示装置の構成	
2.2.1 色票を用いた刺激呈示装置	
2.2.2 液晶プロジェクターを用いた刺激呈示装置	
第3章 明所視照度レベルでの周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚	23
3.1 実験目的	
3.2 実験方法	
3.3 実験結果	
3.3.1 色名分布	
3.3.2 色名応答数	
3.3.3 OSA空間のj,g平面上での色名領域	
3.3.4 応答一致率(Percent Overlap)	
3.3.5 色名維持視野範囲	
3.3.6 被験者の内観報告	
3.4 考察	
3.5 まとめ	
第4章 周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚に対する低照度レベルの影響	61
4.1 はじめに	
4.2 実験目的	
4.3 実験方法	
4.4 実験結果	
4.4.1 色名分布	
4.4.2 色名応答数	
4.4.3 OSA空間のj,g平面上での色名領域	
4.4.4 応答一致率(Percent Overlap)	
4.4.5 色名維持視野範囲	
4.4.6 応答のconsistencyの検証	
4.4.7 被験者の内観報告	
4.5 考察	
4.6 まとめ	
第5章 周辺視野における連続的な色の見えの測定	116
5.1 実験目的	
5.2 実験方法	
5.3 実験結果	

5.3.1	色名分布	
5.3.2	第1 応答色名の解析	
5.3.3	応答色名数の解析	
5.3.4	離心角に伴う応答の変化に関する連続的な色の見えとカテゴリー色の見えとの比較	
5.3.5	被験者の内観報告	
5.4	考察	
5.5	まとめ	

第6章 周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚に対する刺激サイズの影響 136

6.1	はじめに
6.2	実験目的
6.3	実験方法
6.4	実験結果
6.5	考察
6.6	まとめ

第7章 総合的考察 149

7.1	周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚の応答特性
7.2	周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚と連続的な色の見えとの関係
7.3	中心視野と周辺視野における色の見えの役割
7.4	周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚のメカニズム

第8章 結論 157

謝辞

参考文献

付録

本研究に関する論文
 本研究に関する国際会議発表
 本研究に関する講演要旨
 本研究に関する国内学会発表

第1章 序論

1.1 はじめに

私たちは外界情報を得るときに、目で観察し、耳で音を聞き、触れて感触を確かめ、鼻で匂いをかいで対象の情報を入手する。これらの感覚のなかでも、目を媒体とする視覚がもっとも重要な手がかりを与えている。私たちは物を見るときに、眼球を動かして対象物を視野の中心部で観察しようとする。これらは、視野の中心部は周辺部に比べて視力や色弁別能力に優れているので、対象を詳細に捉えることができるからである。

近年、娯楽施設等で視覚情報に技巧をこらして臨場感溢れる映像を観賞できる設備が多数みられるようになった。これらは、360 degの視野を覆うスクリーンなど全視野を映像で覆うことに重点が置かれている。このような全周スクリーンは小さいサイズの平面スクリーンと比較して、臨場感が増大する。このように、対象を認識するうえで中心視野ばかりでなく周辺視野の情報も重要な手がかりを持っている。更に、周辺視野は中心視野にない周辺視野独自の役割を果たしていることも予想される。

本研究では、視覚情報のなかでも特に色情報に着目をする。私たちは、中心視野では微小な色の違いを弁別することができ、色の連続的な変化を知覚することができる。これまでの色覚の研究では中心視野の特性を調べたものがほとんどであった。しかし、色情報も他の視覚情報と同様に、中心視野だけでなく周辺視野でも情報処理が行われている。例えば、私たちは観察している対象の中心にだけ色が付き、周辺部分には付いていないというような光景は見たことがないはずである。

過去の周辺視野における色の見えの研究はいくつかあるが、それらは中心視野での研究と同様な方法を使い、色弁別やわずかな色の見えの違いに着目し、そこから周辺視野

における色覚メカニズムを明らかにして行こうとする立場を取ったものがほとんどであった。確かに、周辺視野での色の見えの違いは、中心窩の色覚メカニズムの変形の結果ととらえることができるので、中心窩で有効な方法である色弁別やカラーネーミング法により色覚メカニズムを明らかにしていくことは理にかなっていると言えよう。

しかし、周辺視野特有の色覚メカニズムが存在するかもしれない。中心視野は微細な色差を見分ける能力に長けている。一方で、周辺視野は広い視野範囲の色情報処理を受け持ち、中心視野ほど詳細な色情報でないにしても、なんらかの有益な色情報を伝達している可能性なども考えられる。

私たちは、わずかな色の違いが知覚できる一方で、複数の異なる色をまとめて1つの色名で表現することもできる。これをカテゴリカル色知覚と呼ぶ。たとえば濃い緑や明るい緑など異なる色でも同じ“緑”と呼ばれるように、私たちが色を日常的に使用する場合にはカテゴリカル色知覚が頻繁に機能していると考えられる。色の見えのもう一つの側面としてカテゴリカル色知覚の特性を調べることも大切である。

中心視野が微細な色情報処理する働きを担っているのに対して、周辺視野はそれらの色情報処理する能力が劣っている。しかし、周辺視野ではむしろ、色を大きくまとめる特性であるカテゴリカル色知覚が優位を占めているかもしれない。

カテゴリカル色知覚の特性を明らかにすることは工学的にも重要な意味を持つ。現在、都市環境は複雑化し、多種多様な情報が溢れている。交通信号や交通標識、路線案内図、複雑な設備での操作パネルの色分けなどの公共的場面や様々な商業的、事務的場面などで色情報は活用され、色情報の果たす役割は大きくなっている。それらの色分けは、互いに完全に分離され、表現できる特性を備えていなければならない。つまり、色情報を活用する場合には、その色を何色として知覚するかというカテゴリカル色知覚が重要な意味を持ってくる。このような、公共的場面の色情報などは、必ずしも視野の中心部で観察するわけではない。したがって、広い視野にわたるカテゴリカル色知覚特性の系統的データが必要とされる。

また、近年、地球環境保護の観点から世界中で省エネルギーへの取り組みが活発に行

われている。照明光源の特性として、高い発光効率を求めれば演色性が低下し、高い演色性を求めれば発光効率が落ちるとされている。つまり、電力効率か色の見えのどちらかを犠牲にしなくてはならない。しかし、全ての場面において高演色性に重点を置く必要はなく、場面に必要十分な演色性と効率性を備え、安全でかつ経済的な光源を用いることが望ましい。道路の街灯などの照明では何色かが判断できる程度の演色性で十分である。また、トンネル内の照明は現在、電力効率に重点を置いた低圧ナトリウムランプが主流になっており、その照明下ではカテゴリー色情報も失われている。近年、トンネル内の視環境の改善が求められており、現に、低照度の光源でカテゴリーカル色知覚をもとにした高効率な光源の開発が行われている（内川，1998）。このように、周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚のデータが皆無の現在、系統的データが早急に必要とされている。

そこで、本研究ではまず周辺視野における明所視から薄明視までのカテゴリーカル色知覚の特性を調べ、そのデータを提供すること、次に色覚メカニズムをカテゴリーカル色知覚の側面から解明することを目的とした。

1.2 色覚メカニズム

図1.1は人間の色覚応答の流れを示している。外界からの光は、まず、角膜や水晶体などの眼球光学系を通過し、光受容器である網膜に達する。網膜には2種類の視細胞が分布している。錐体は明るい環境下で活動し、桿体は暗い環境下でのみ活動する。また、色情報は錐体が伝達しているとされている。錐体は3種類あり、それぞれ波長に対する感度が異なり、短い波長に感度を持つ順に、S錐体、M錐体、L錐体と呼ばれている。錐体から出力された信号は、いくつかの細胞を経て神経節細胞から網膜外へと送られる。錐体からの信号は、心理物理学的には、和や差の処理がなされて反対色チャンネル及び輝度チャンネルへと伝達されることが知られている。反対色チャンネルには拮抗する赤と緑の応答を示すr-gチャンネルと黄と青の応答を示すy-bチャンネルがある。その後、

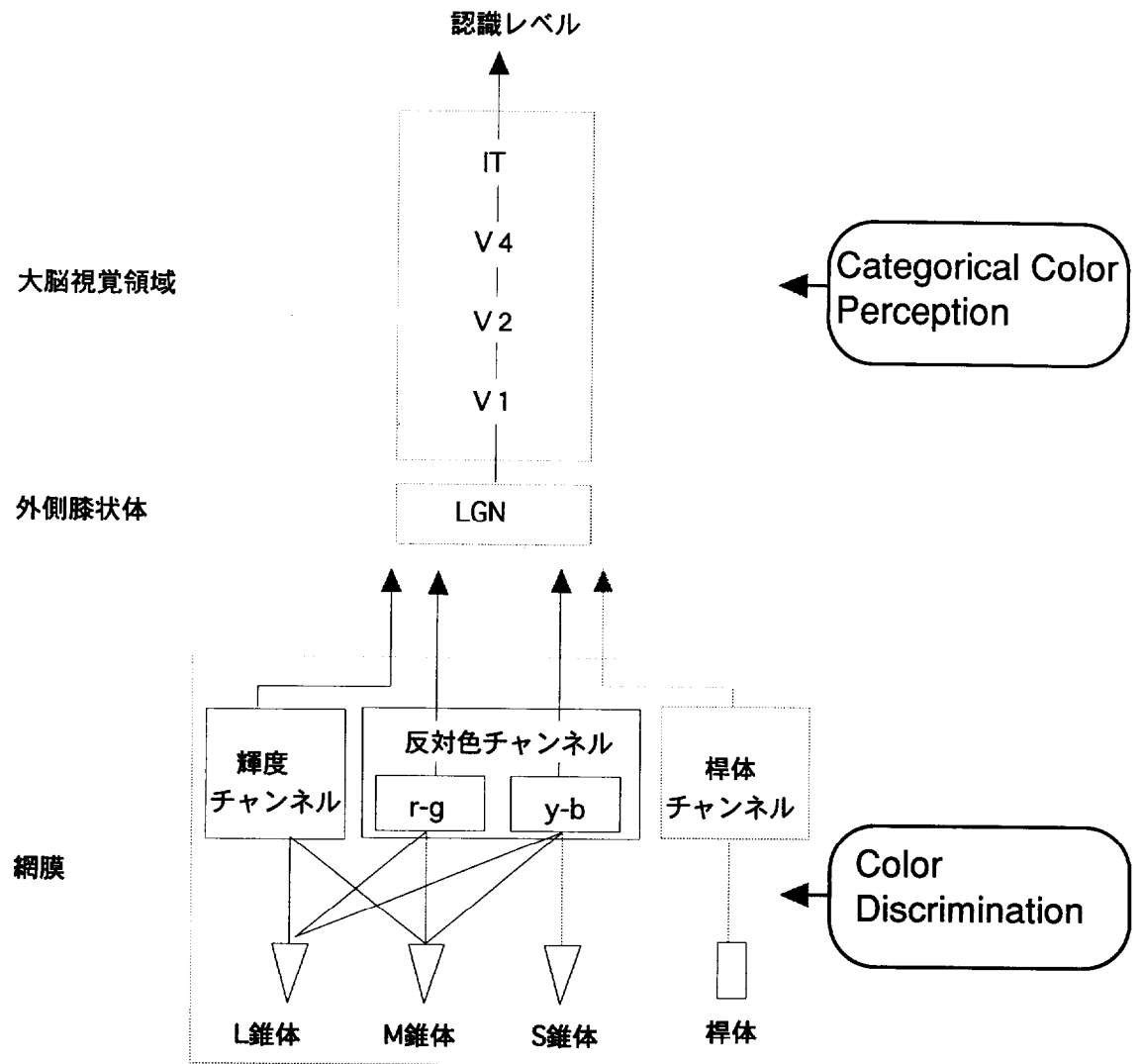


図1.1 人間の色覚応答の流れ

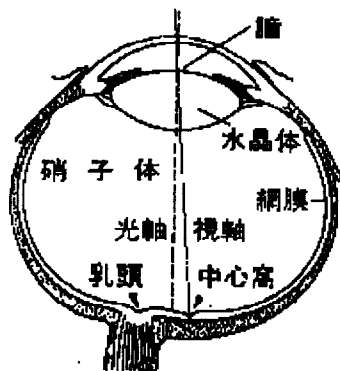


図1.2 人間の眼球断面図



図1.3 中心窩付近の網膜断面図
(Polyak, 1957)

LGN（外側膝状体）から大脳視覚領のV1, V2, V4, IT野へと信号が伝わり，私たちの色の知覚，認識が行われる（内川，1998）。

1.3 中心視野と周辺視野

視野を構造的，機能的に分類すると，中心視野と周辺視野に分けることができる．中心視野の全視野に占める割合は2.5%程度であり(LeGrand, 1968)，視野のほぼ全域の97.5%は周辺視野が占めている．図1.2は人間の眼球断面図であり，図1.3は中心窩付近の網膜断面図(Polyak,1957)を示している．中心窩では網膜の細胞層が周囲に分かれてくぼんでいる．そのため，入射光が複数の細胞を通過することなく視細胞に届き，光の散乱の少ない鮮明な像を得ることができるようになっている．図1.4は水平網膜位置に対応した錐体細胞，桿体細胞の分布密度(Curcio *et al.*, 1990)を示している．錐体は網膜の中心部

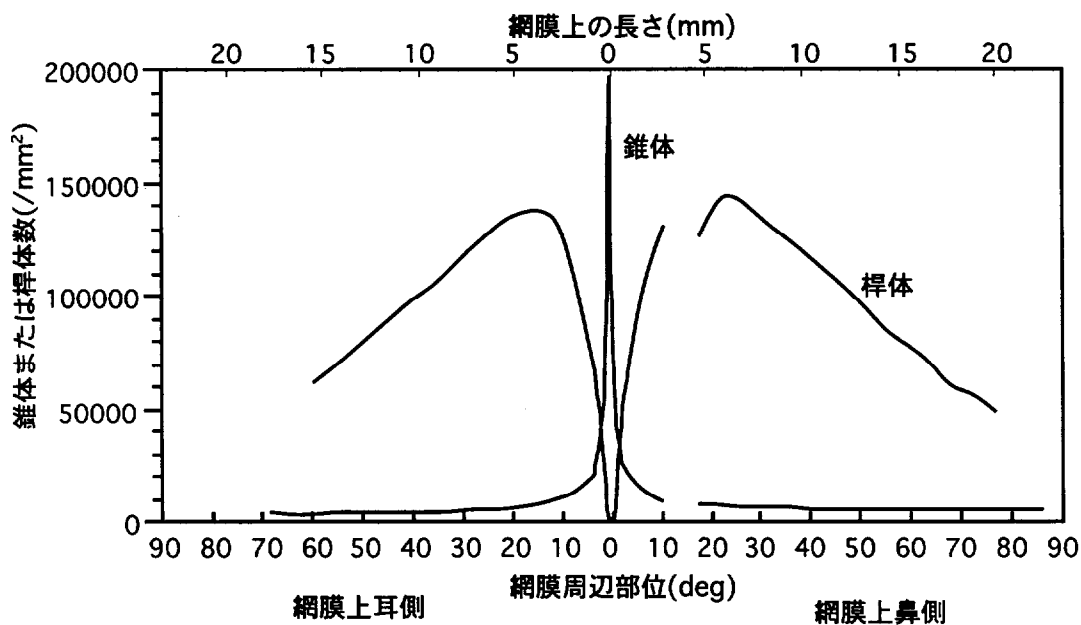


図1.4 水平網膜位置に対応した錐体細胞，桿体細胞の分布密度
(Curcio *et al.*, 1990)

(中心窩)で最も密度が高く、周辺部視角約5 degの位置までに激減する。桿体は中心窩にはなく、周辺部視角10~20degで最大となる。また、中心窩を含んだ直径約3~5degは黄斑色素に染まり、黄色くなっている。

錐体系は空間分解能が高いことが知られている。網膜中心部では錐体数が多く、対象を詳細に観察することができる。一方、周辺視野では錐体細胞数が激減するため、視力など多くの機能で低下がみられる。しかし、周辺視野は中心視野に比べて時間分解能に優れているという報告もある(Tyler, 1987)。

このように、網膜の中心部と周辺部では生理学的な構造が異なり、それぞれ異なる情報処理が行われている。視野中心部のごく一部位に空間分解能の際だって優れた特性を持たせ、そのまわりの広い視野範囲では空間分解能は極端に劣化するが視野全体を把握するのに大切な役割を果たしていると考えられる。

1.4 周辺視野における色の見え

私たちは物を見るときに視力や色覚が優れている中心窩で像をとらえようとする。このように、中心視野は物を見る上で大切な役割を果たしていたため、これまでの視覚や色覚の研究では中心視野の特性の解明に重点が置かれていた。しかし、周辺視野は中心視野の補足的な役割を果たしているだけではない。たとえば、中心視野だけで対象物を観察させた場合には、周辺視野を伴った場合より対象物を理解するのに困難である(Ikeda et al., 1979)。このように、視野の大部分を占める周辺視野は対象を認識する上で何らかの役割を担っていると考えられる。

また、私たちは日常生活で中心視野と周辺視野で色が異なって見えた経験をしたことがあるだろうか。中心視野と周辺視野の色の違いにはほとんど気が付いていないはずである。私たちは一体周辺視野ではどのような色が見え、どのような色覚処理を行っているのだろうか。また、周辺視野の色情報はどのような役割を担っているのだろうか。これらの疑問に答えることは、周辺視野の色覚メカニズムを解明する上での重要な手がかり

りになるとも考えられる。

1.5 周辺視野における色の見えに関する研究

周辺視野での色の見えに関する研究は比較的古くから行われている。

まず、私たち人間は視野のどこまで色を見ることができるかという色視野の測定が盛んに行われた。そのうちのBarid(1905)の結果を図1.5に示す。これは、5人の被験者のうちの一人の結果のリプロットである。赤と緑の色視野は狭く、黄と青の色視野は広いことがわかる。一方、Ferree and Rand(1924)は、緑の色視野は狭く、赤、黄、青は広いという異なる報告をしている。このように、実験条件の違いにより結果も異なってくるが、多くの研究では、赤、緑の色視野は狭く、黄、青の色視野は広いことが示されている。

また、中心視野と周辺視野の色の見えの比較の研究も、数多く行われている。古くにはMoreland and Cruz(1958)の研究がある。彼らは暗順応中に周辺視野に呈示された単色光刺激の色の見えを中心窩に呈示された3原刺激によりカラーマッチングして求めた。その結果、離心角の増加に伴い特に中波長領域で彩度の低下が大きくなり、鼻側視野30degで黄青の2色性、鼻側視野50degで1色性が示された。その他、カラーマッチング法を用いた研究としては、Stabell and Stabell (1976)の実験などがある。彼らは、桿体が飽和しているcone-plateau中に測定を行い、離心角2.5 deg, 7.5 deg (鼻側視野)における色の見えの測定を行った。その結果が図1.6である。上の2つのグラフが桿体の影響が含まれるもの、下の2つが影響がないものとなっている ((a),(c)2.5 deg, (b),(d)7.5 deg) 。結果を比較すると、桿体の寄与がある場合は中心視野の色の見えに対して大きな彩度の低下がみられたのに対して、寄与が無くなると短波長側でのみ彩度の低下がみられた。これらの結果から、桿体が周辺視野の色の見えの彩度低下に影響を及ぼしていることが示唆された。また、どちらの条件においても離心角の増加に伴う彩度低下、赤、緑は黄方向にシフトし、紫は青方向にシフトを示すことが示された。

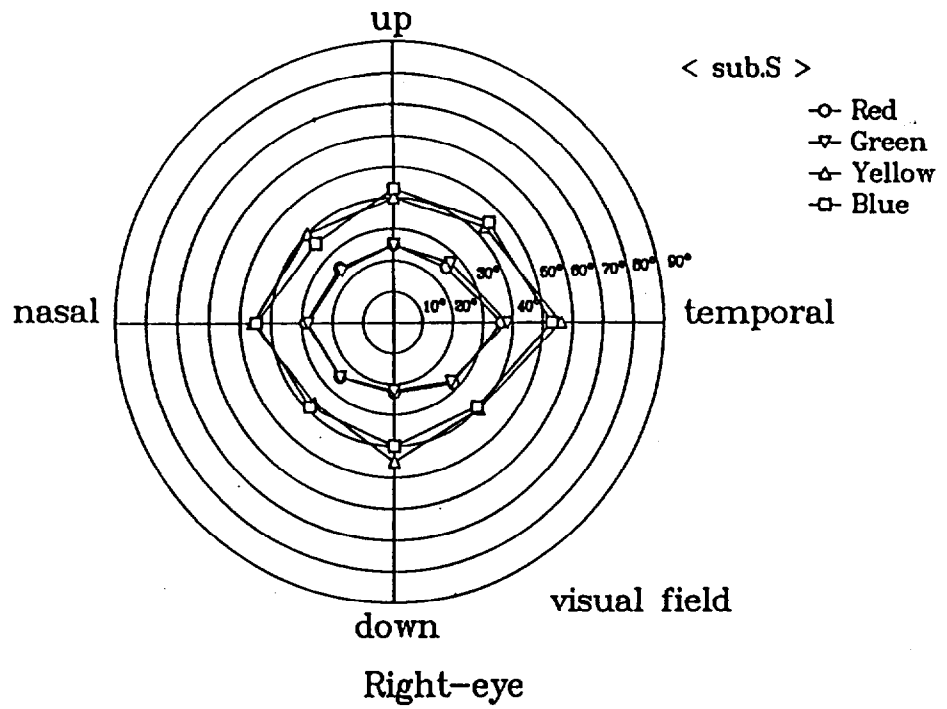


図1.5 色視野の一例 (Baird, 1905)

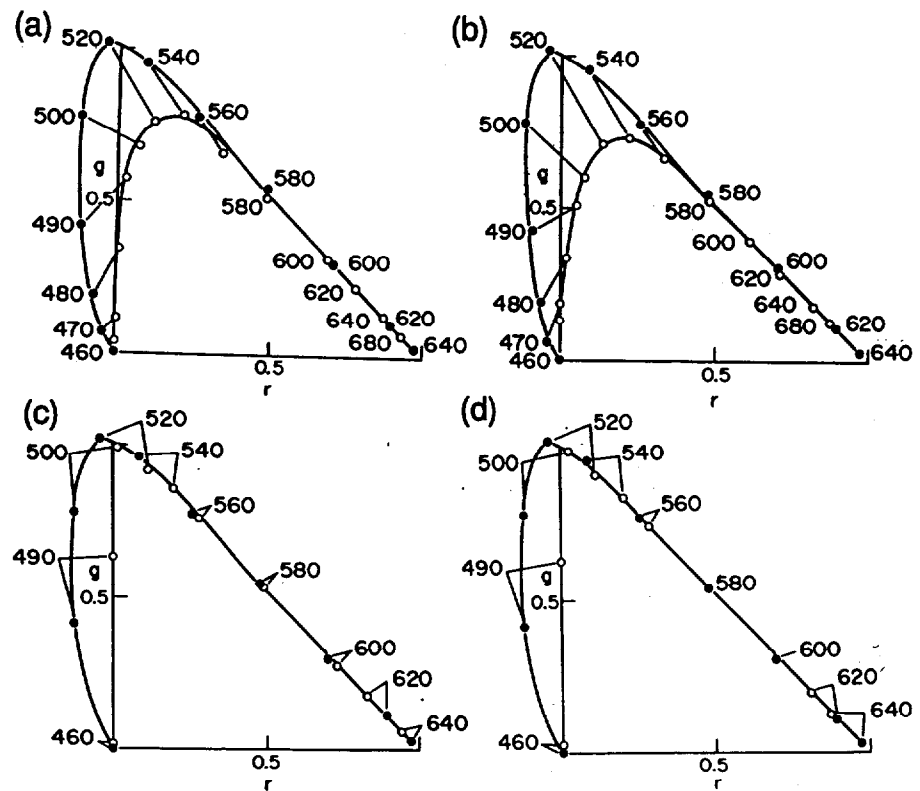


図1.6 周辺視野での等色実験の結果 (Stabell and Stabell, 1976)

桿体の影響有り (上) (a)2.5 deg, (b)7.5deg

桿体の影響無し (下) (c)2.5 deg, (d)7.5deg

カラーネーミング法を用いて周辺視野の色の見えを測定した研究もいくつかある。Uchikawa *et al.* (1982)は、明順応条件での周辺視野における色弁別とカラーネーミングの実験を行った。刺激はマンセル色票を用い、離心角 50 degまでの視野全体にわたって色弁別閾値を測定した。その結果、色差弁別閾値は視野の周辺にいくと、まず赤み、緑みの閾値が上昇し、次に青み、黄み、最後に白み、黒みで上昇することが示された。また、赤/緑、黄/青を用いた反対色カラーネーミング実験を 0 degと鼻側視野30degで行い、鼻側視野30degでは第2色覚異常者と同様の色の見えになることを報告した。色弁別特性の結果と合わせて、これらは正常者の周辺視野は第2色覚異常の色覚特性をもつことを明らかにしている。関口と池田(1983)は反対色と白色成分によるカラーネーミング実験を行い、離心角の増加に伴い色光の無彩色成分の割合が増加し、色みが徐々に減少していくことを示した。また、色みが知覚される視野範囲は、赤み、緑みで狭く、青み、黄みで広いことを報告した。これも周辺視野は第2色覚異常的であることを示唆している。高瀬と内川(1991)は桿体が飽和する背景刺激強度を用いて赤、黄、緑、青と無彩色の白、黒によるカラーネーミング実験を行った。その結果、背景刺激がある場合は無い場合と比較して周辺視野での彩度低下や色相方向の見えの変化が減少することが明らかとなった。この結果から、刺激背景強度の増加が視野周辺部での感度低下を抑える働きがあることを示している。

以上が周辺視野の色の見えにおいて、中心視野のものと異なる結果が得られた研究例である。これに対して、中心視野の色の見えを周辺視野のどこまで維持出来るかという点に着目した研究も行われている。Abramov *et al.* (1991)は反対色と彩度成分カラーネーミング実験により、刺激のまわりが暗黒の状態において周辺視野で中心視野と同様な色の見えとなる刺激サイズ（知覚視野サイズ, *perceptive field size*）を求めた。その結果、周辺視野で緑が最も大きな知覚視野サイズを必要とすること、刺激サイズの増加により周辺視野20 degまでは中心視野と同等の色の見えが得られることが示された。Abramov *et al.* (1992)は刺激のまわりに白色背景をつけて同様の実験を行った。その結果が、図1.7に示されている。横軸が刺激呈示位置、縦軸が知覚視野サイズとなっている。上のグラフが刺激のまわりが暗黒の状態の結果、下のグラフが白色背景をつけて明るくした状態

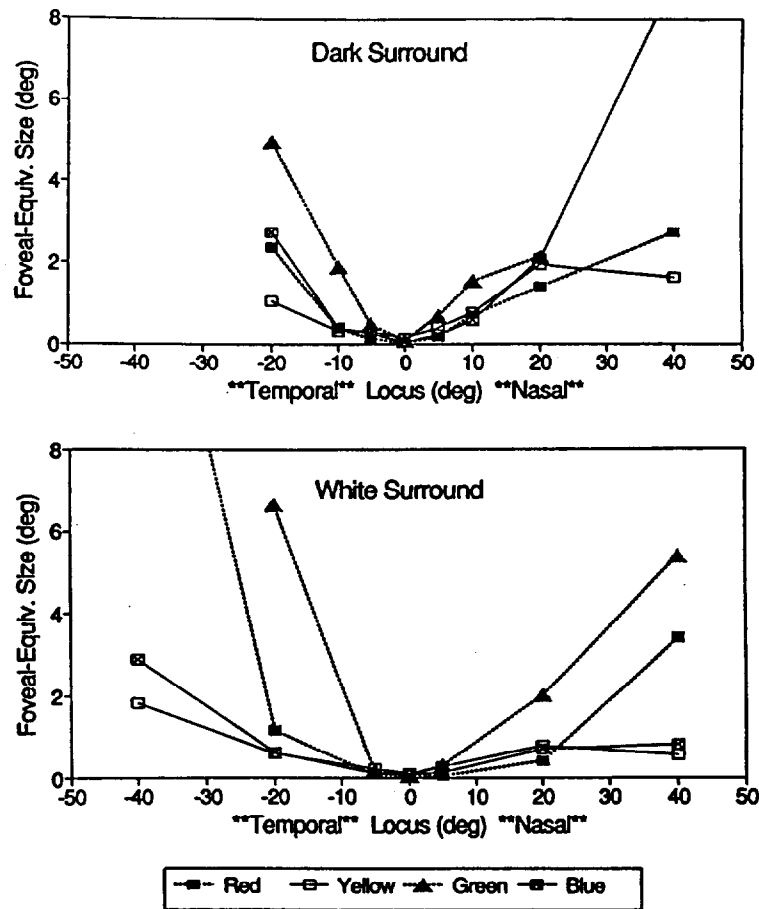


図1.7 周辺視野でのperceptive field sizeの測定結果 (Abramovら,1991,1992)
暗黒中条件 (上), white surround条件 (下)

et al. (1992)は刺激のまわりに白色背景をつけて同様の実験を行った。その結果が、図1.7に示されている。横軸が刺激呈示位置、縦軸が知覚視野サイズとなっている。上のグラフが刺激のまわりが暗黒の状態の結果、下のグラフが白色背景をつけて明るくした状態の結果である。この結果を比較するとわかるように、白色背景をつけることで知覚視野サイズが小さくなるものが多く、また、知覚視野サイズが存在する視野範囲が広がっていることが示された。刺激周辺に白色背景をつけることで知覚視野サイズが減少することがわかり、周辺視野の色の見えは刺激サイズに大きく影響を受け、空間的な足し合わせにより視野周辺部における色の見えが決まることが明らかになった。さらに、この結果からも、刺激背景強度の増加も視野周辺部での感度低下を抑える働きがあることが示

と、さらに、色刺激光の色相にも変化が生じ、黄みと青み方向へシフトする傾向にあることが明らかになった。また、周辺視野の色の見えは刺激サイズの増加や背景強度の増大によって中心視野との違いが小さくなることが示されている。

1.6 カテゴリカル色知覚

色は3次元空間内を連続的に変化する物理量として表され、任意の色は空間内の1点で示される。これは、色情報を伝達する錐体出力量が連続的に変化することが基になっている。そして、私たちは錐体出力量のわずかな違いを知覚することができる。つまり、私たちには優れた色弁別能力が備わり、微小な色の差も見分けることが可能である。3次元色空間内の色弁別閾を基にして考えると、私たちは100万個以上の色を知覚することができる (Boynton *et al.*, 1989)。日常生活では、私たちは例えば壁のシミなどを見つけることがあるが、これもわずかな色の違いを見分ける能力を活かしているものである。私たちは3次元空間内を連続的に変化する色を非常になだらかなものとして知覚することができるのである。

私たちは無数に知覚できる色を全て使い分けているだろうか。日常生活で色を扱う場合を考えると、類似した色をまとめて色名で表現することが多い。たとえば、明るい緑や暗い緑、白みを含んだ緑、青みを含んだ緑など、異なる色を“緑”という1つのまとまりで表現することがある。このように、私たちは連続的に変化する色を離散的に扱うことができる。これをカテゴリカル色知覚と呼ぶ。この機能は私たちが日常生活で色を認識して用いる場合に頻繁に使用される。また、カテゴリカル色知覚は、日常生活で重要な役割を果たしていると言える。たとえば、ある対象を指し示すときに、“あの白い鳥は美しい。”や、“あの赤い服を着た人は誰ですか？”などと色名を用いて表現することがよくある。このように、色をある対象の情報として用いる場合には、わずかな色の違いはあまり重要ではなく、“何色であるか”という情報が大切になってくる。私たちは無数の色を見分けることができるのに対して、その色の違いを無視して大きく色名

によって分類することもできる。色覚のメカニズムからとらえると、前者の連続的な色の見えは錐体出力が基になり、後者のカテゴリーカル色知覚は脳レベルで処理されていると考えられている(図1.1)。

1.7 カテゴリーカル色知覚に関する過去の研究

Berlin and Kay (1969)は言語学的側面からカテゴリー色の抽出を行った。彼らは日本語を含む98種類の言語を調べ、発達した言語には共通した11個の基本色名 (red, green, blue, yellow, purple, orange, pink, brown, white, black, gray) が存在することを示した。その後、Crawford(1982)が、基本色名は (1) すべての人の語彙に含まれていること、(2) 人によらず使うときによらず一致して用いられること、(3) その語彙が他の単語に含まれないこと、(4) 特定の対象物にしか用いられないことがないこと、という特徴をもつものと定義している。

心理物理学的側面からカテゴリー色について検討を行った研究もいくつかある。Boynton and Olson (1987)は、OSA均等色空間の色票を用いて、米国人被験者7人に対してカテゴリーカルカラーネーミングの実験を行った。OSA空間に11個の基本色名の位置を示した結果が図1.8である。これらの結果から、Berlin and Keyによって定義された基本色名についての妥当性が確認された。また、11個の基本色名が色空間の90%程度の範囲を占めていることが示された。

また、Boynton and Olson (1990)は、OSA色票を用いて9人の被験者に対してカテゴリーカルカラーネーミングの実験を行った。無彩色の応答は非常に少ないため、有彩色のみの分析を行った結果、基本色名は非基本色名よりも個人内、被験者間で一致して用いられ、基本色名の妥当性が強められた。また、基本色名の方が応答時間が早いことも示された。

また、Sturges and Whitfield (1995)は、マンセル色空間の色票を用いて、20人の被験者にカテゴリーカルカラーネーミングの実験を行い、マンセル空間に11個の基本色名の位置

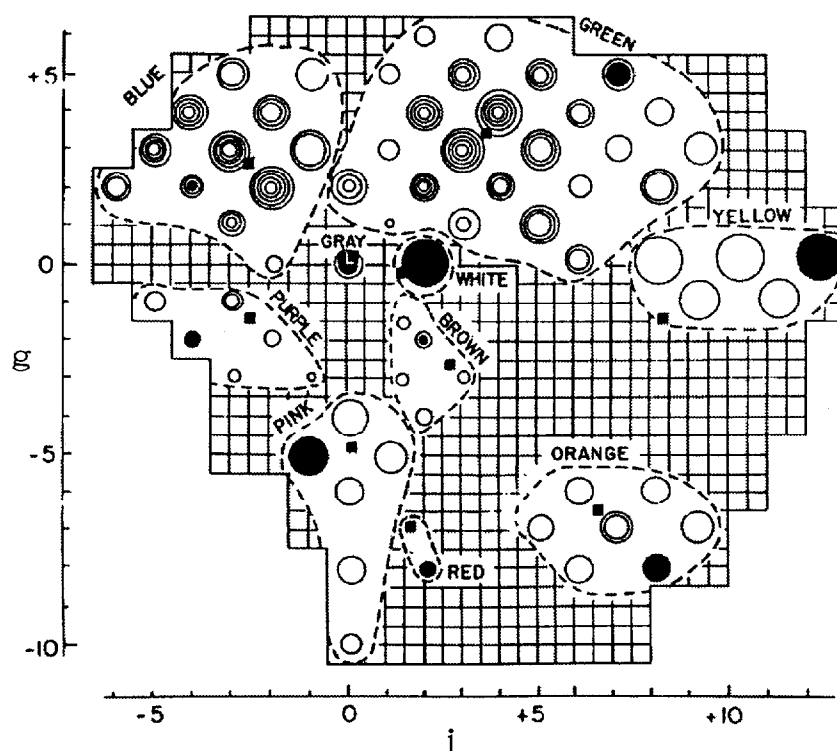


図1.8 OSA空間のj,g平面における11基本色名の分布位置. ○の大きさはOSA明度Lの大きさに対応し, ●は各カテゴリーのフォーカルカラー (最もそのカテゴリーを代表する色) を示している.

を示した. マンセル空間はOSA空間と比較して彩度の範囲が広く, 彩度の高い色票が含まれている. また, Boynton and Olson (1987,1990)の研究よりも被験者数が非常に多く, より確実に, 11個の基本色名の妥当性の確認が行われたといえる.

さらに, Uchikawa and Boynton (1987)は, 日本人被験者を用いて, 日本語における基本色名の抽出を行った. その結果, 11個の基本色名は日本語でも英語でも色空間を共通の領域に分割していることが示された. また, この結果を用いて, 内川 (1988)は基本色名とそれ以外の非基本色名の特徴を詳細に解析した. その結果, 基本色名は非基本色名に比べて, 使う人, 使うときによらず一致して用いられ, 他の色との類似性が低く, 応答が早いという特徴が示された.

また, Matsuzawa(1985)は, チンパンジーを被験者として用いて, マンセル色票によるカラーネーミングの実験を行った. その結果, チンパンジーも人間と同じようなカテゴ

リカル色知覚を行っていることが示された。

生理学的にカテゴリカル色知覚に対応したメカニズムが発見されている。Komatsu *et al.*(1992)は、マカクザルの大脳IT野において、ある特定の色度点に選択的に応答する細胞を発見した。1つの細胞の応答分布は、人間のカテゴリー領域の形とよく似たものであることが示された。

このように、カテゴリカル色知覚は言語や文化に問わず、動物が共通して持つ基本的なメカニズムであることが推測される。

1.8 本研究の目的

人間の色覚機能には、小さな色の差を知覚する機能があり、色は3次元空間に連続的に表現することができる。また、私たちは異なって見える色を1つの色名でまとめて呼ぶというように、色を離散的に扱うこともできる。私たちが日常生活で色を認識し用いる場合には、このカテゴリカル色知覚が頻繁に用いられている。

また、人間の視野領域は、その特性から大きく分けて、中心視野と周辺視野に分けられる。これまでの色覚特性の研究から、中心視野では非常に優れた色弁別能力があるなど、微細な色の見えの変化を検出できることがわかっている。周辺視野で微細な色情報処理する特性が劣化することはわかっている。しかし、周辺視野では色をマクロに捉える特性はどのようなになっているのだろうか。むしろ、大きくまとめる特性であるカテゴリカル色知覚を知ることが、周辺視野の色の見えの特性の解明につながるかもしれない。そこで、本研究では周辺視野におけるカテゴリカル色知覚の特性の解明を目的とする。視野の周辺部でのカテゴリカル色知覚特性のデータの提供と共に、そのメカニズムの解明を行う。

1.9 本論文の構成

本論文の構成は次の通りである。

第1章では、周辺視野における色の見えとカテゴリーカル色知覚についての概要と、過去の研究について述べ、本研究の目的を明らかにする。

第2章では、本実験で用いた刺激と実験装置について述べる。

第3章では、日常的環境である明所視照度レベルにおいて、中心視野と周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚の測定を行い、その実験方法と結果について述べる。

第4章では、照度レベルが低い環境下での中心視野と周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚の測定を行い、その実験方法と結果について述べる。

第5章では、周辺視野における連続的な色の見えの測定を行い、中心視野と周辺視野の微細な色の見えの変化を捉える。

第6章では、周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚の特性に対する刺激サイズの影響について調べる。

第7章では、以上の実験結果を踏まえて周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚の総合的な考察を述べる。

第8章では、本研究から得られた結論を述べる。

第2章 実験装置

2.1 刺激

刺激は全実験を通して、OSA (Optical Society of America; 米国光学会) 均等色尺度 (Nickerson, 1981) を用いた。OSA均等色尺度は、中心から12個の頂点までが等距離である六八面体の性質を用い、隣接する12個の色が人間にとって等色差になっている (図2.1)。OSA空間は L , j , g の3軸から構成される。 L 軸は明度軸であり、値が大きくなるほど明るさが増す。 j 軸は黄(+)-青(-)軸、 g 軸は緑(+)-赤(-)軸と定義されている (図2.2)。色票の数は計424枚であり、最低明度の $L=-7$ のレベルで6枚、 $L=0$ で最大の49枚、最高明度の $L=+5$ では8枚である (図2.3)。

また、付録1にはOSA空間 (L , j , g) の値と輝度と xy 色度座標との関係を示した。この値は本研究での実験条件 (D_{65} 蛍光灯により照度2000lxで照明した環境) によって測定された。さらに、図2.4にCIE1931(xy)色度図上における $L=-2$ のOSA色票の分布位置を示した。

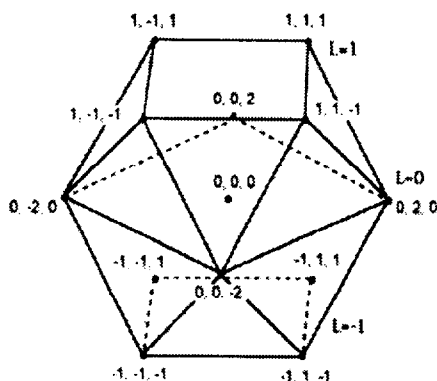


図2.1 OSA表色系の色の配置

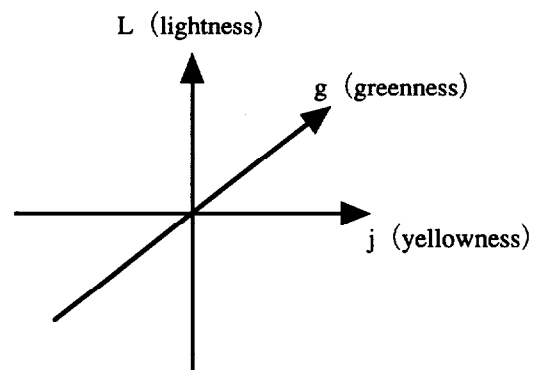
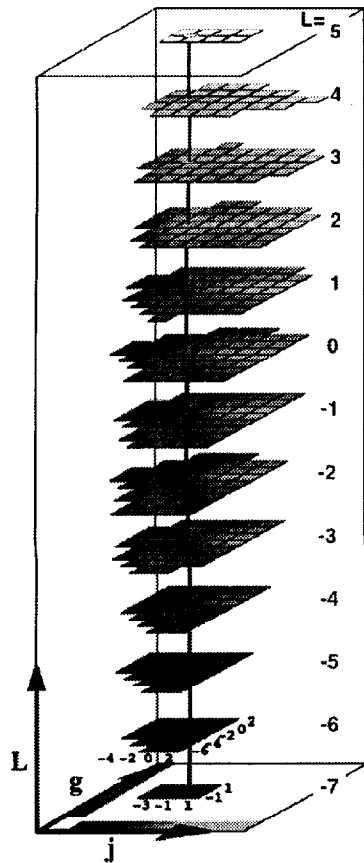
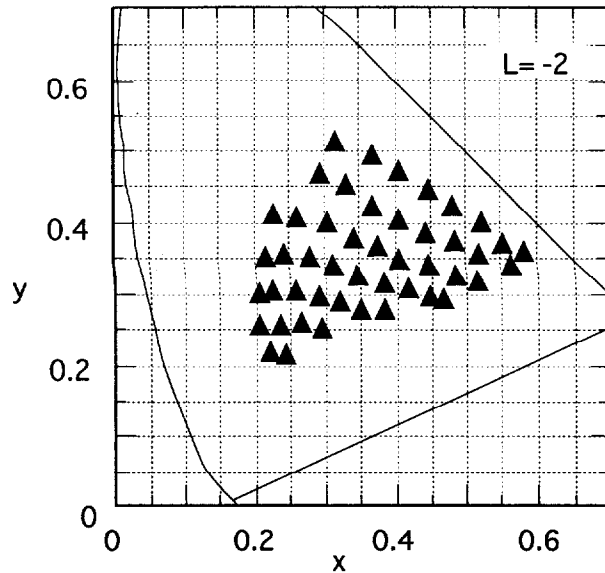


図2.2 OSA均等空間
色空間は L , j , g の3軸から成る

図2.3 OSA表色系の L, j, g 軸の構造図2.4 xy 色度図上におけるOSA色票明度 $L=-2$ の分布

2.2 刺激呈示装置の構成

2.2.1 色票を用いた刺激呈示装置

(a) 実験装置の外観

図2.5(a)-(d)は、順に全体、上方、前方、後方から見た実験装置図となっている。実験装置全体は黒い暗幕で覆われた実験ブース内に設置され、外部からの光は遮断されている。実験ブースは被験者スペースと実験者スペースから構成されている(2.5(a))。

被験者スペース内では発泡スチロール製のドーム状の半球（直径90cm）が被験者の視野全体を覆い、順応視野を構成している。半球の内側の周辺位置に固視点を置き、半球

の中心位置に直径2.8cm（視角 4 deg）の円形の穴を開け、そのすぐ後ろに色票を置いた。色票は視角 4 degの開口部全体を覆っている。被験者は固視点を固視することにより、周辺視野で半球の中心に開けた開口部を通してその背後に置かれた色票を観察した。視距離は約40 cmである(2.5(b))。被験者の頭の位置を固定するために、あご台と額あてが使用された。左眼の前には黒い紙を覆って視野をふさぎ、右眼の単眼視で行った。

刺激の呈示はシャッターの開閉により行われ、半球の内側とシャッターは灰色（OSA 明度L=-2, マンセル明度N=5に近似）に塗装されている。照明は太陽光を模擬したD₆₅蛍光灯を4本設置し、半球の内側全体を照明した(2.5(c))。被験者の眼に直接に照明光が入らないようにするため、プラスチック製の板を照明と被験者の眼の間に置いた。被験者の右眼を常に正しい位置に固定するため、実験のセッションの初めに、キャリブレーションを行った。キャリブレーションは、備え付けの糸にぶら下がった目印と刺激呈示の中心位置が重なるような位置に右目がくるようにあご台を調整する方法で行った。

実験者スペースはドーム状の半球の後ろにある。実験者は色票を前もってプロジェクター用10コマチェンジャーに差し込んでおき、刺激が穴全体を覆う位置にくるように、トライアル毎にチェンジャーを1コマずつ動かし、刺激を呈示した。また、応答をコンピュータに記録した。（図2.5(d)）

(b)刺激呈示部

図2.6は、刺激呈示部分の拡大図である。発砲スチロール中央部に大きな穴をあけ、刺激呈示部には正確な穴を開けることが可能な厚みの少ないプラスチック板を用いた。開口部のすぐ横にはソレノイドシャッターが設置されている。被験者が手元にあるスイッチを押すと、タイマーに連動したシャッターが開き、刺激が呈示される。刺激呈示時間は3秒間である。

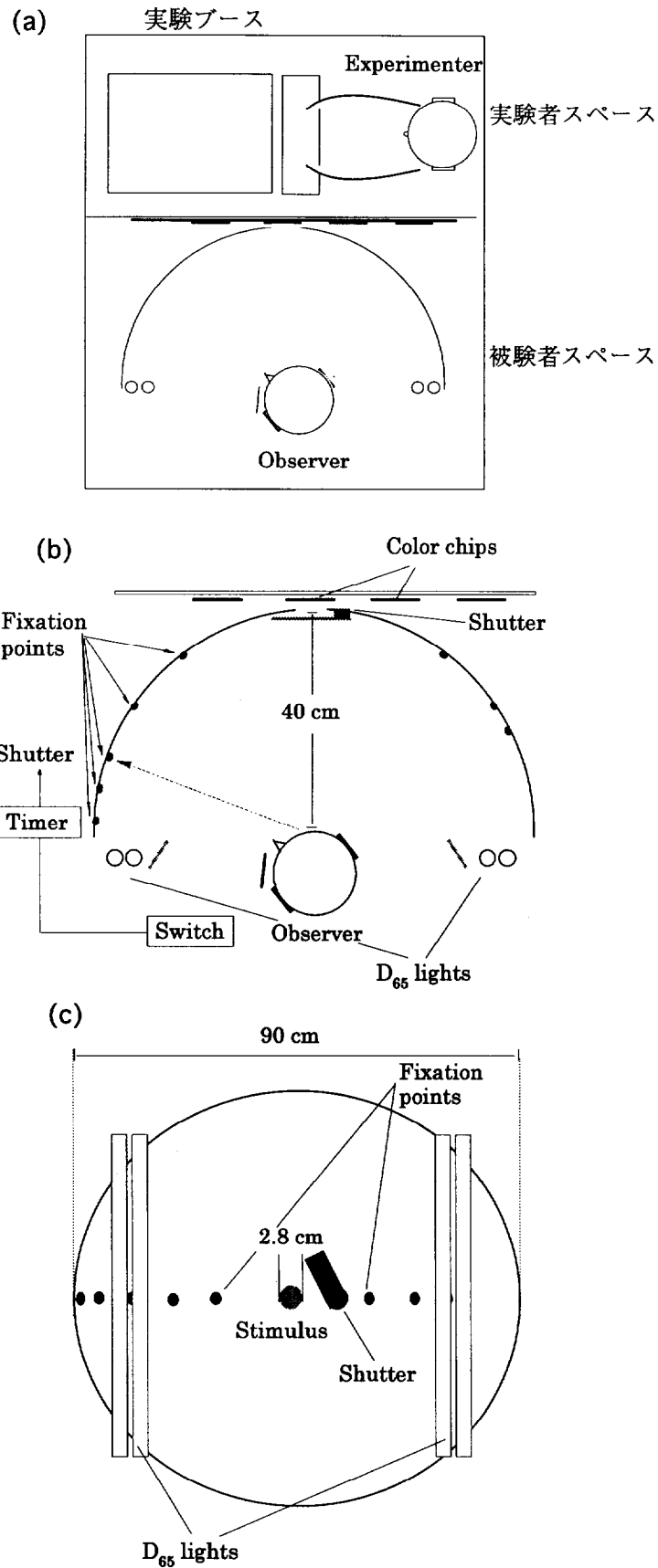


図2.5 実験装置概略図

(a)全体, (b)上方から, (c)前方から見た図

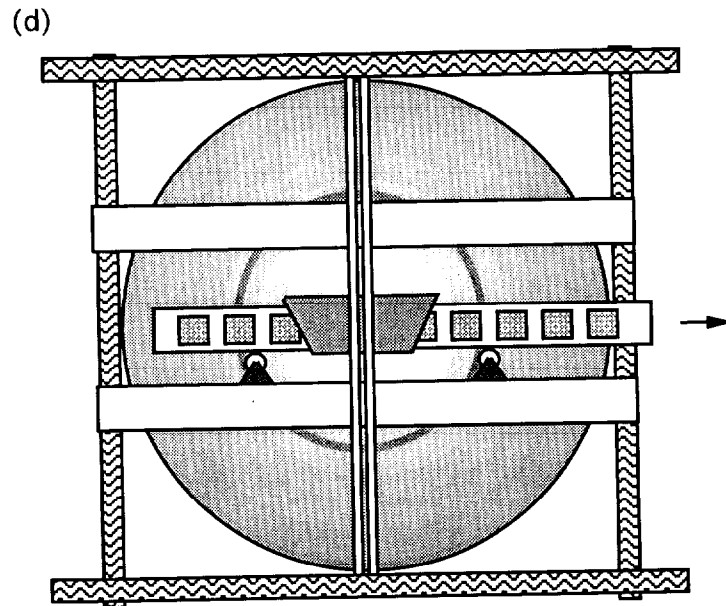


図2.5 実験装置概略図 続き (d)後方から見た図

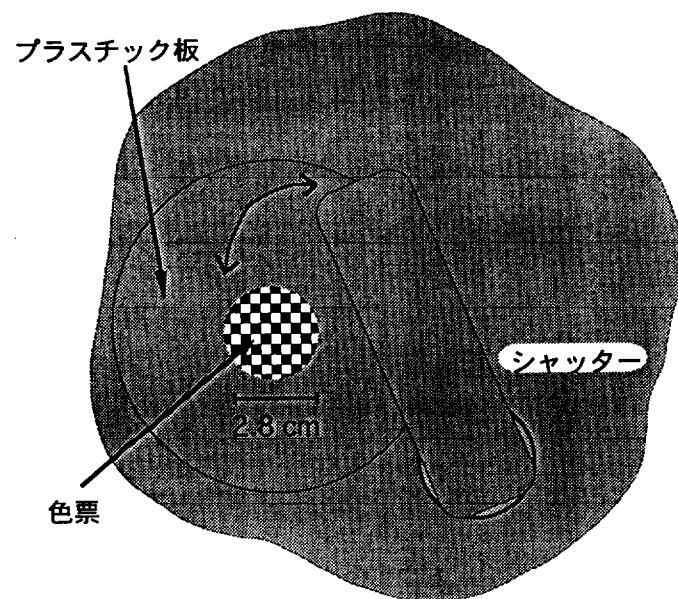


図2.6 刺激呈示部拡大図

(c)周辺視野部

刺激呈示部の中心位置の水平線上に固視点を置いた（図2.5(c））．固視点には，直径0.8cmの丸い黒色のシールを使用した．半球の内側の周辺順応視野の輝度を表1に示

表1 周辺順応視野の輝度

測定位置 (deg)	輝度値(cd/m ²)	測定位置 (deg)	輝度値(cd/m ²)
耳側視野30	122.2	上側視野30	110.5
耳側視野50	130.2	上側視野50	89.2
耳側視野70	134.6	下側視野30	106.5
鼻側視野30	121.4	下側視野50	98.1
鼻側視野50	131.5		
鼻側視野70	124.1		

す。蛍光灯に近い半球位置がやや明るく照明されるが、位置による照度のばらつきは2%程度であり全視野はほぼ一様に照明されているといえる。上下方向の輝度は、周辺にいくにつれて大きな低下がみられた。

2.2.2 液晶プロジェクターを用いた刺激呈示装置

(a)実験装置の外観

図2.7は(a)前方、(b)後方から見た実験装置図となっている。被験者スペース側は以下の点を除き、色票を用いた刺激呈示装置と同様になっている。半球内部の照度を調節するため、複数の小さい穴が開いている灰色（OSA明度L=2，マンセル明度N=5に近似）に塗装された遮光紙で蛍光灯を覆っている。（図2.7(a)）また、刺激呈示時間の制御はコンピュータにより行われるため、シャッターは取り外される。

実験者スペース側は、開口部の後方に白色板が設置され、液晶プロジェクター（SHARP XV-E550）からの反射光が開口部に呈示される。開口部のすぐ後ろにはNDフィルターが置かれている。この開口部は色票と同じ表面色モードで見える。

刺激はコンピュータ制御の液晶プロジェクターとNDフィルターにより作られ、各照度レベルでのOSA色票をシミュレートする（図2.7(b)）。付録2には実験で用いたOSA色票（L, j, g）の値と輝度とCIE(x,y)色度座標と液晶プロジェクターとNDフィルターにより実際に作られた刺激の輝度とCIE(x,y)色度座標の関係を示した。

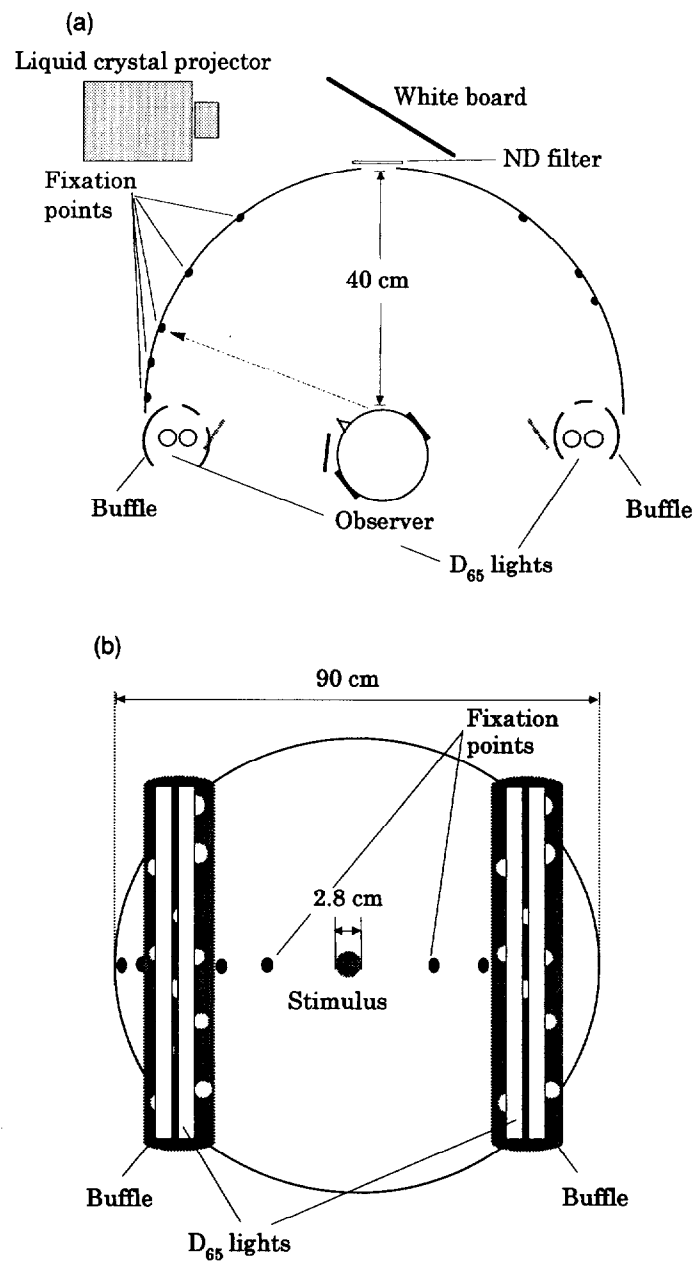


図2.7液晶プロジェクターを用いた刺激呈示装置
(a)上方から(b)前方からみた図

第3章 明所視照度レベルでの周辺視野におけるカテゴリカル色知覚

3.1 実験目的

これまでの周辺視野における色の見えの研究では、色の見えの連続的な変化を表現しようとする実験手法により測定が行われてきた。しかし、私たちが日常生活で色を用いる場合には、類似した色をまとめて“色名”で表現している。周辺視野における色の見えを日常的に用いられるカテゴリカル色知覚の側面から捉えるのも重要であると思われる。また、工学的応用に対するデータが早急に求められており、本実験データを基礎データとして提供することが目的の1つである。そこで実験1では、一般的と考えられる曇りから晴れの太陽光の下の明所視照度レベルにおいて、周辺視野でのカテゴリカル色知覚の測定を行う。また、これらの結果から、周辺視野でのカテゴリカル色知覚のメカニズムの解明も行っていく。

応答方法はカテゴリカルカラーネーミング法を用いる。そして、応答回数、OSA空間での分布範囲、分布領域の一致率、色名維持視野範囲などからデータの分析を行い、中心視野と周辺視野の特性を比較する。

3.2 実験方法

(a)実験装置

実験は、図2.5に示した色票による刺激呈示装置を用いる。

(b)刺激

2.1で述べたOSA色票全424枚を用いる。

(c) 刺激提示条件

様々な半球位置における照度の平均は2000lxである。このとき網膜照度は2000scotopic tdとなり、この光強度は、桿体の活動が飽和して錐体のみが活動する条件 (Wyszeki and Stiles, 1967) となっている。

刺激サイズは視角 4 degの円形である。刺激呈示位置は、中心窩(0 deg)、水平方向耳側視野30, 50, 70, 80, 90 deg、鼻側視野30, 50, 60 deg (図3.1) の計 9 カ所となっている。

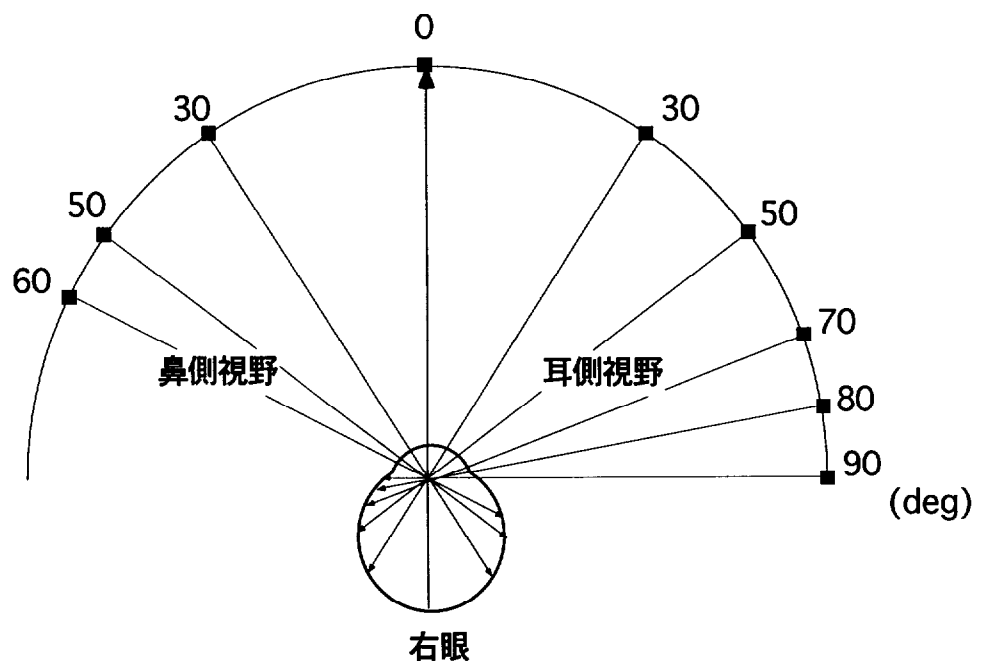


図3.1 耳側視野と鼻側視野における刺激呈示位置

(d) 手続き

被験者は実験ブースに入り、あご台を調節して指定の位置に右眼を合わせた後、約 5 分間照明に順応する。その後、実験が開始される。刺激はOSA均等色空間の色票424枚を用いる。被験者は指定された固視点を固視する。そして、被験者が手元のスイッチを押すとシャッターが開き、刺激が3秒間呈示される。刺激を観察した後、カテゴリーカルカラーネーミング法により、刺激が何色に見えたかを1色名で応答する。本実験では11個の基本色名 (red, blue, green, yellow, purple, orange, pink, brown, black, white, gray) に限

定してその中から1色名で応答した。英語または日本語の限定は行わなかった。以上を1試行として424枚分の計424試行を行い、これを1セットとする。424枚はランダムに呈示される。被験者は刺激呈示位置毎に計2セット行う。一人の被験者につき、424試行×2セット×9カ所＝計7632試行となる。

テスト刺激が背景刺激と同一のものであっても被験者はシャッターの位置や開閉音から刺激の呈示を知ることができた。また、周辺視野縁部ではテスト刺激が背景刺激と見分けがつかないことが多かった。これらはテスト刺激が背景刺激と同じ見えということで、応答は“見えない”ではなく灰をそのまま採用した。

(e)被験者

被験者は色覚正常な男性1名（IK：30才）、女性2名（KS：25才、NS：23才）である。また、被験者NSは心理物理実験の経験がない。

3.3 実験結果

3.3.1 色名分布

図3.2(a)-(c)は各被験者の全刺激に対する色名応答結果を示している。1つの刺激に対する総応答数は2回であり、2回とも一致した色名が得られた刺激はその色名の色で表され、応答の一致が得られなかった刺激は"■"で表されている。図中、列方向の結果は各視野位置に対応し、順に鼻側視野60, 50, 30deg, 中心窩, 耳側視野30, 50, 70, 80, 90degの視野位置となっている。行方向の結果はOSA明度の2レベル毎に合わせて表示されている。

被験者IK（図3.2(a)）の中心窩の結果をみると、色名毎にそれぞれ密集して分布している。分布の大部分は有彩色の応答が占めている。無彩色応答は少なく、2回の応答とも黒と応答した刺激はなかった。中心窩と周辺視野の結果を比較すると、鼻側30degと耳側70degまでは不一致応答の増加、白応答の増加、緑応答の減少がやや生じてはいる

が、全体的傾向としては中心窩の応答と大きな違いがみられなかった。鼻側50degと耳側80degでは中心窩の応答に対する急激な変化が生じ、青、黄、黒、白、灰、不一致応答の分布が拡大した。さらに鼻側60degと耳側90degの外側視野では白、黒、灰の分布の拡大がみられた。

被験者KS（図3.2(b)）の応答も被験者IKの結果と同様に、鼻側30degと耳側70degまでは中心窩の応答と大きな違いがみられなかった。それより外側視野では青、黄、黒、白、灰、不一致応答の分布の拡大がみられたが、黄の拡大は被験者IKより少なくオレンジや茶の応答がみられた。

被験者NS（図3.2(c)）の応答も鼻側30degと耳側70degまでは中心窩の応答と大きな違いがみられなかった。それより外側視野では被験者KSと同様の傾向がみられたが、その他の被験者と比較して鼻側60degと耳側90degでの有彩色応答の割合が高かった。

被験者NSが鼻側60degと耳側90degで有彩色応答が多い理由として、色名応答の個人差がまず考えられる。その他には、被験者NSは心理物理実験にナイーブなため、刺激呈示時に固視がうまくできずに刺激の方へ眼球が多少動いてしまっている可能性も考えられる。実験前に周辺視のトレーニングを数回行ってから実験に臨んでおり、被験者の内観としても眼球運動は生じていないと報告しているが、実験中に眼球測定は行っていないため明確ではない。

図3.2(d)は全被験者の応答をまとめた結果を示している。1つの刺激に対する総応答数は2回×3人=6回である。3回以上一致した色名が得られた刺激は各色で表し、一致が3回未満の刺激は"■"で表している。

■ red ● yellow ■ orange ■ purple □ white ■ black · inconsistency
 ■ blue ■ green ■ pink ■ brown ■ gray

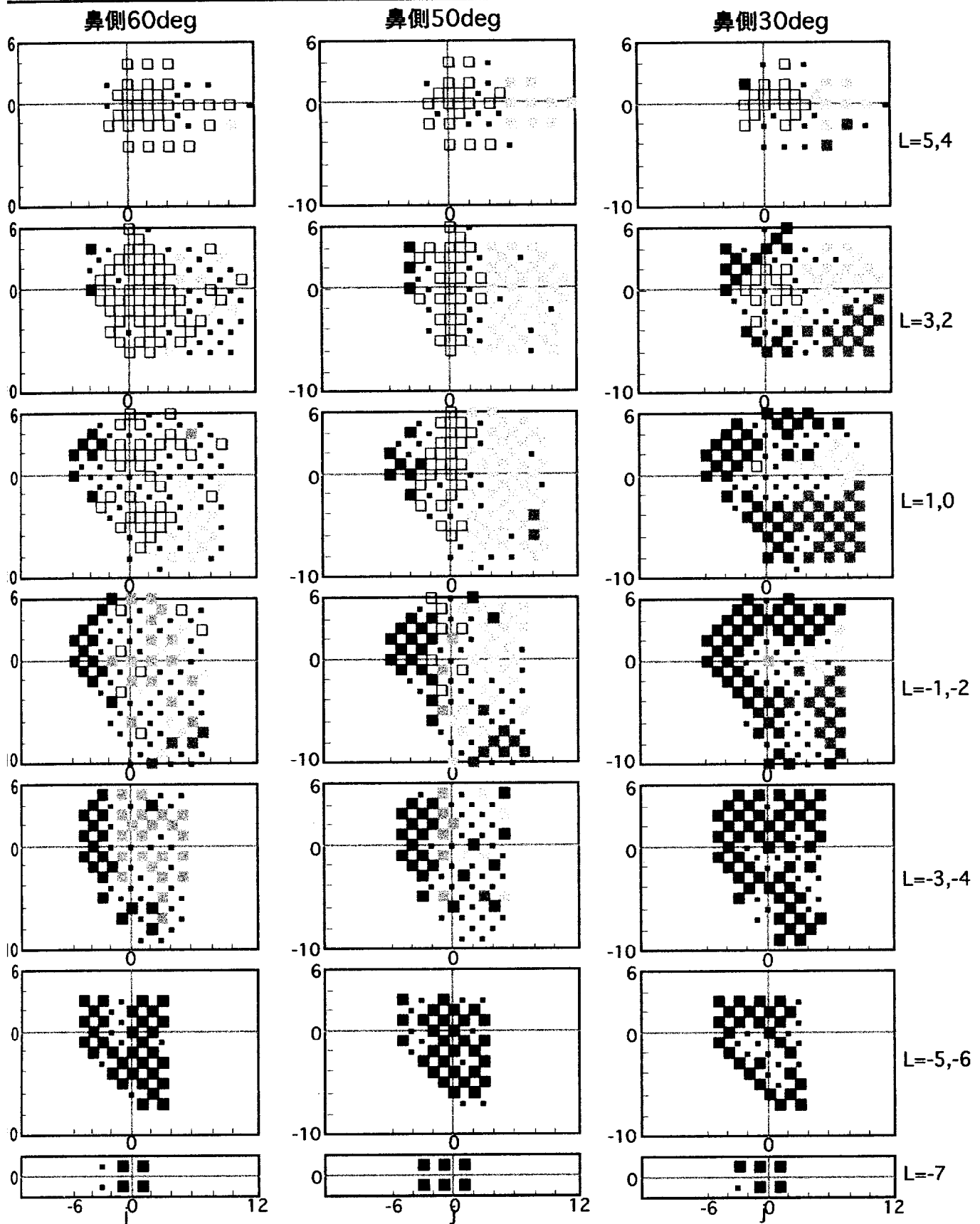


図3.2(a)被験者IKのカテゴリカルカラーネーミングの結果 (左から順に鼻側視野60,50,30degの結果を示す)

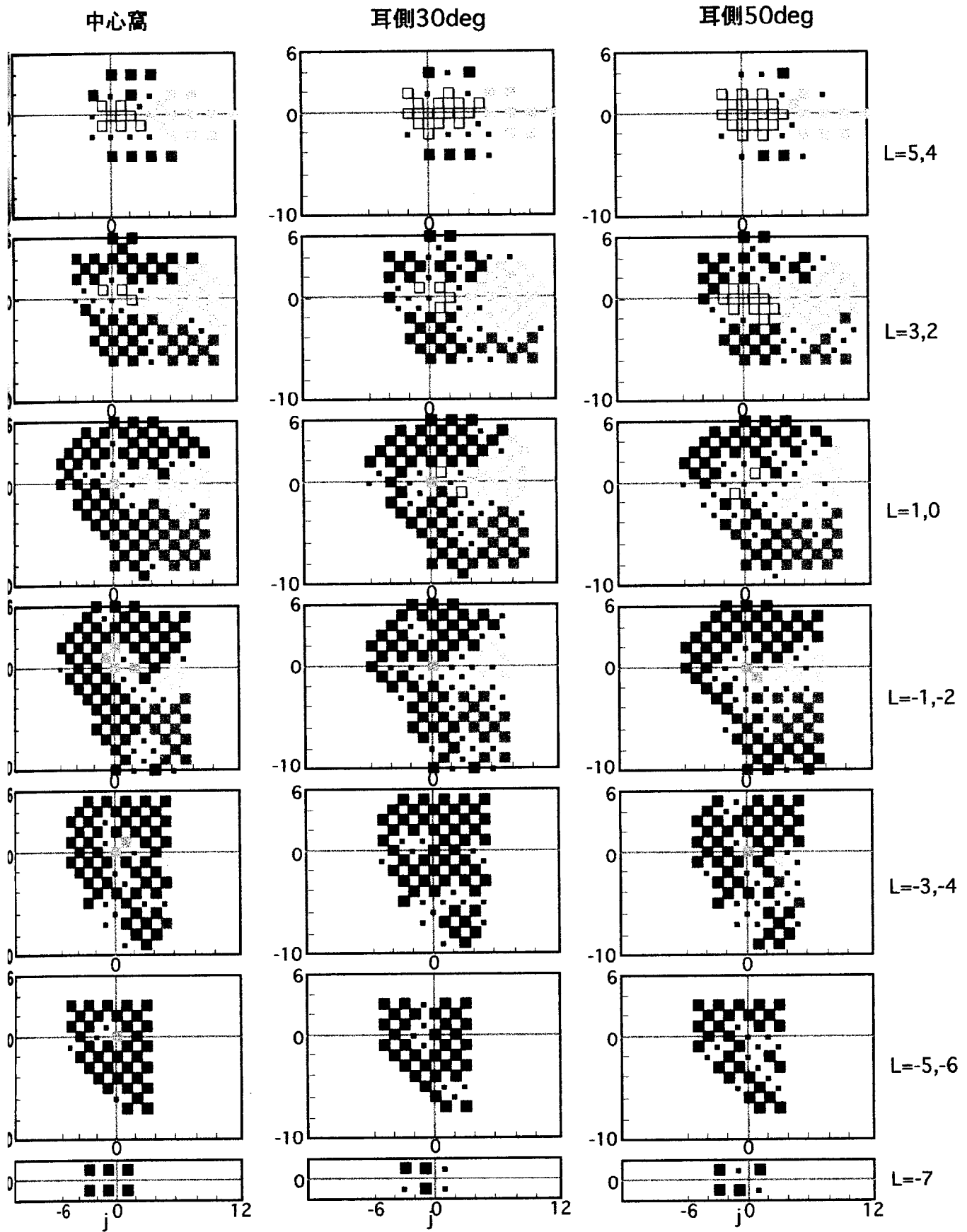


図3.2(a)被験者IK 続き (左から順に中心窩, 耳側視野30,50degの結果を示す)

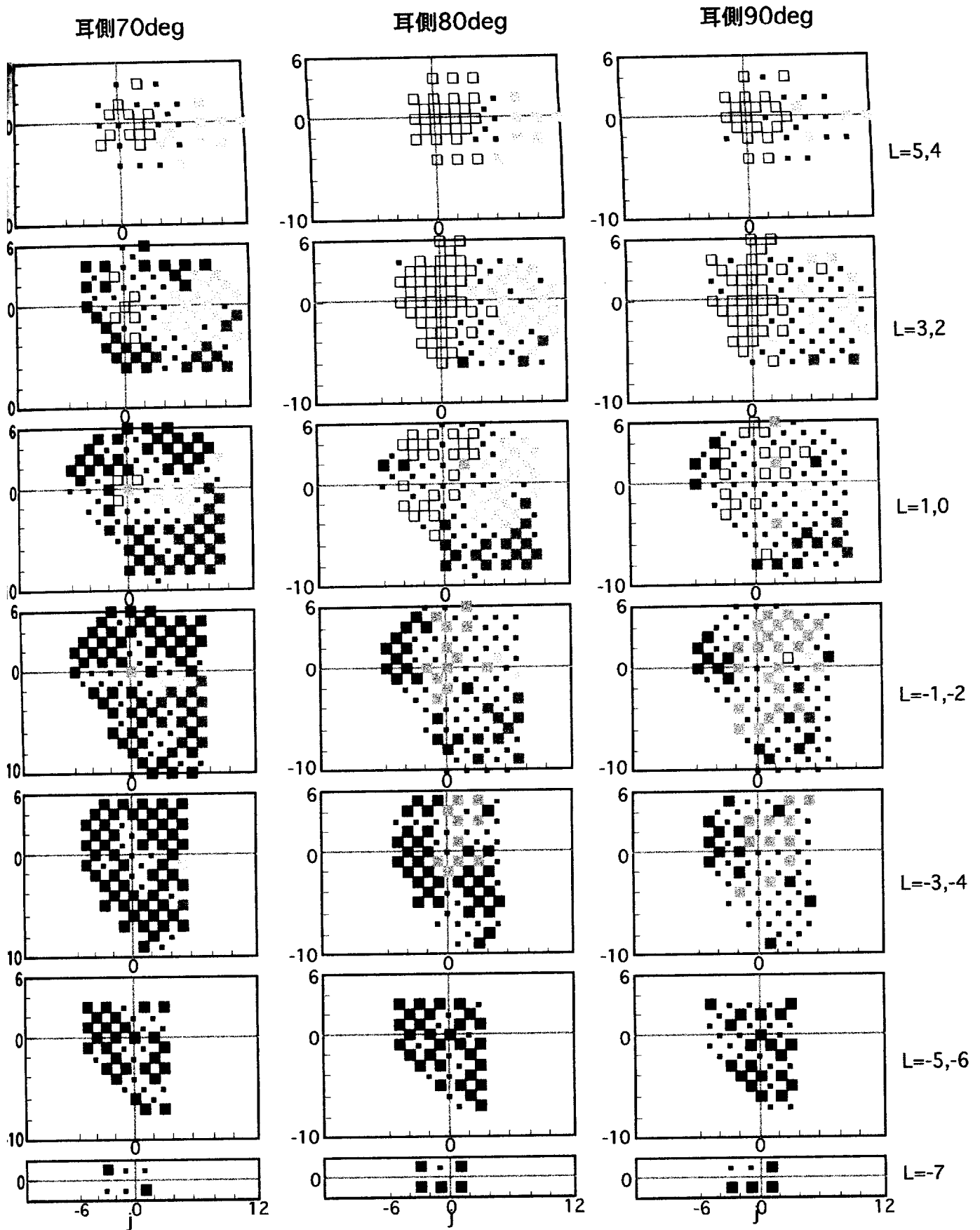


図3.2(a)被験者IK 続き (左から順に耳側視野70,80,90degの結果を示す)

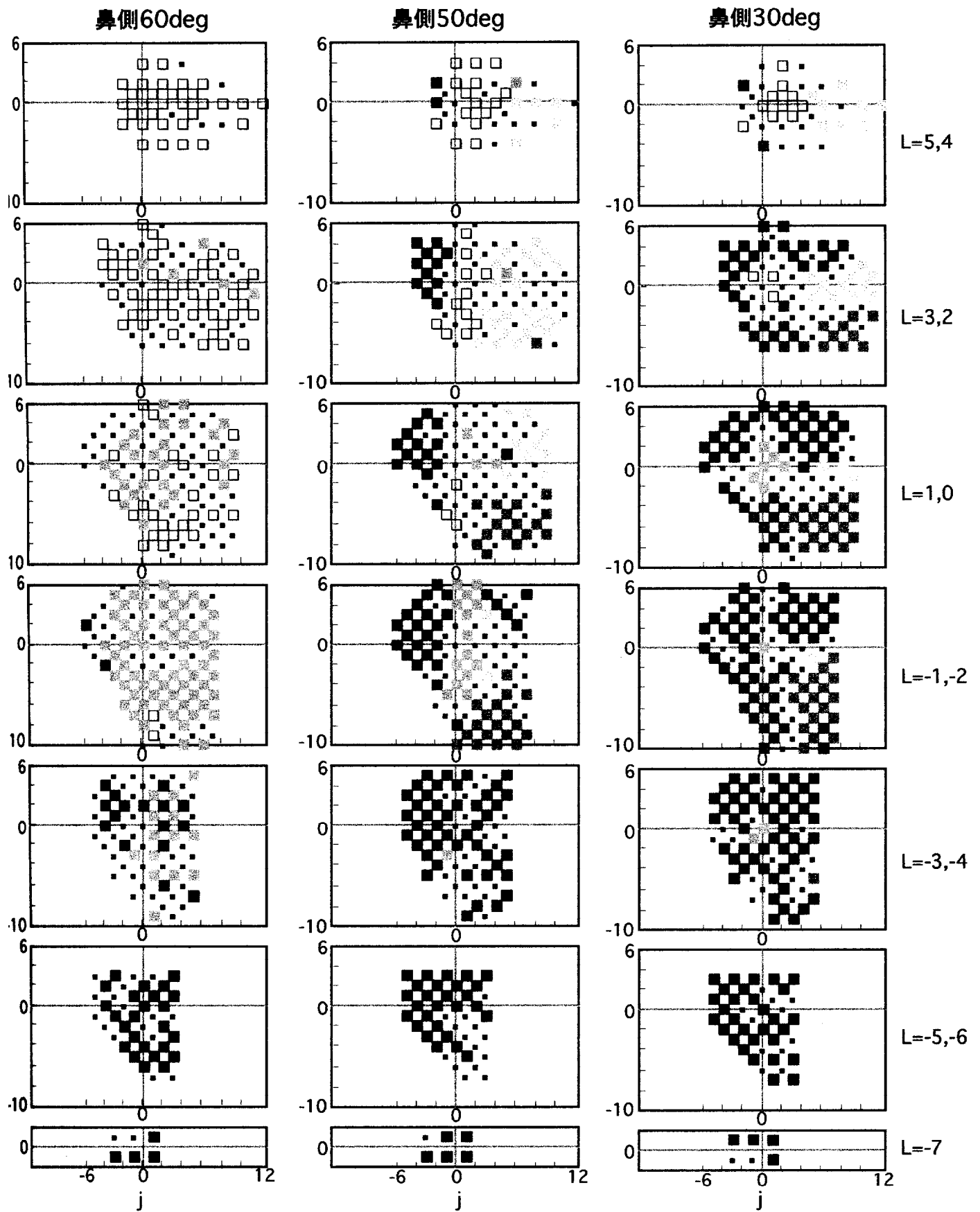


図3.2(b)被験者KSのカテゴリカルカラーネーミングの結果 (左から順に鼻側視野60,50,30degの結果を示す)

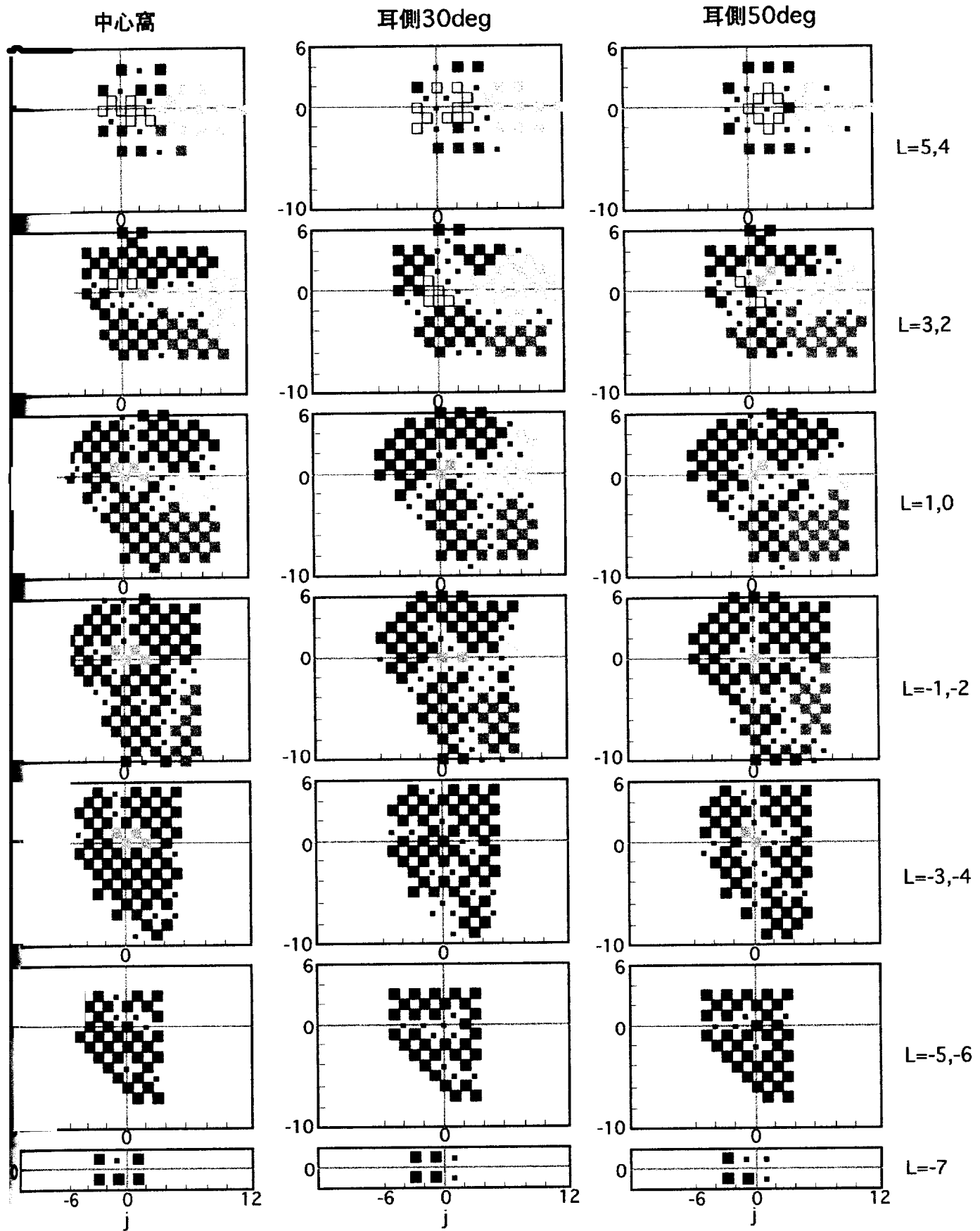


図3.2(b)被験者KS 続き (左から順に中心窩, 耳側視野30,50degの結果を示す)

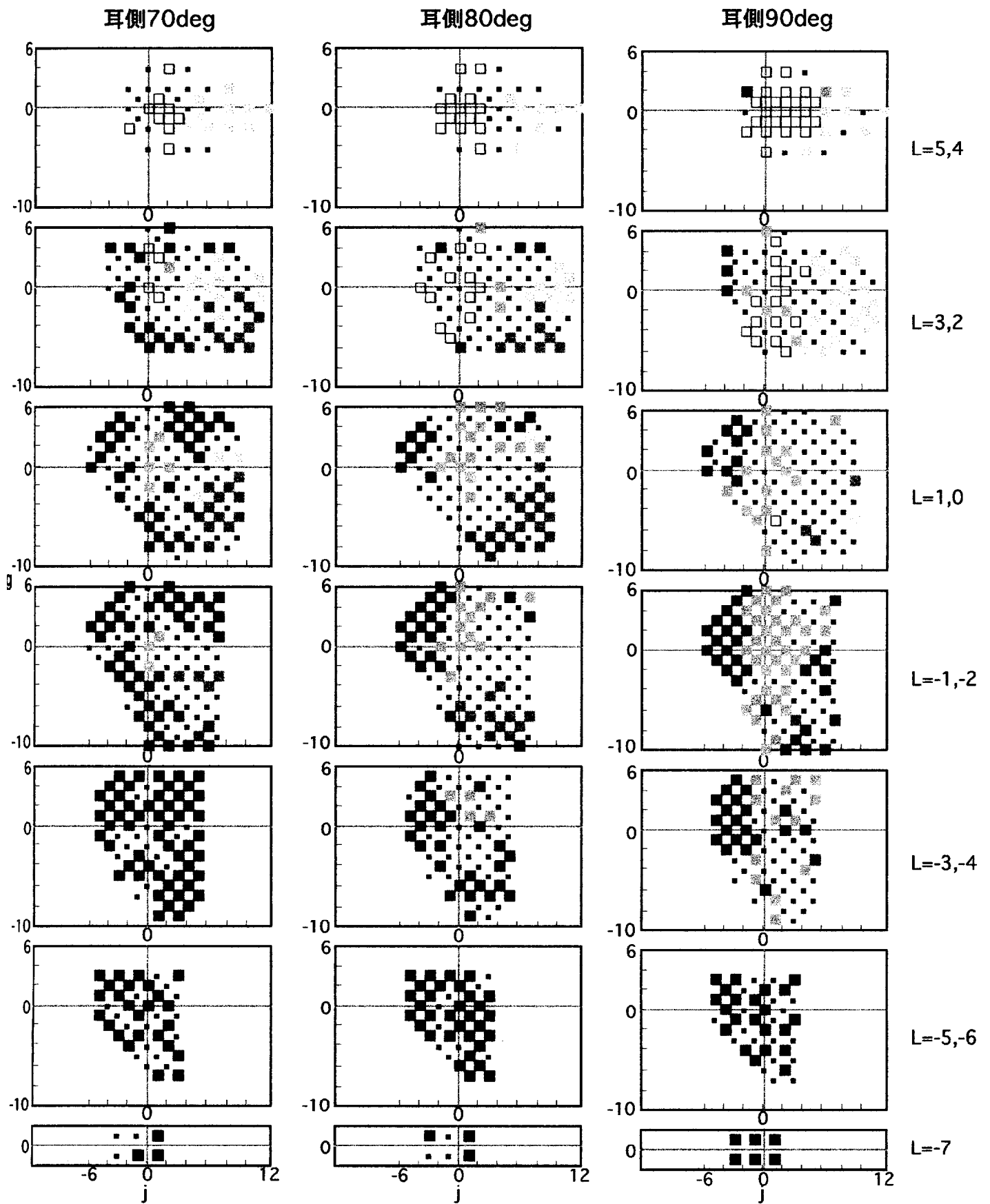


図3.2(b)被験者KS 続き (左から順に耳側視野70,80,90degの結果を示す)

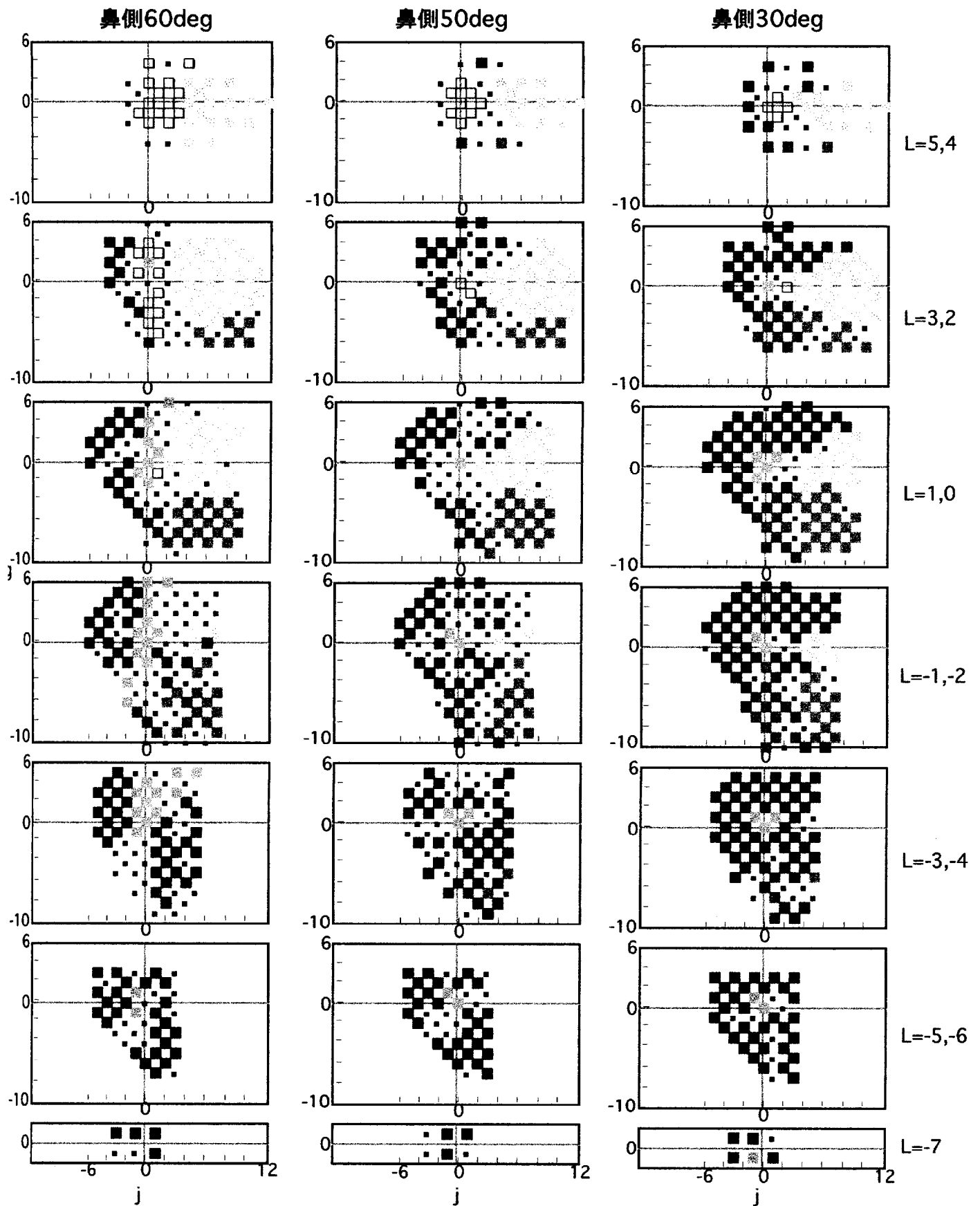


図3.2(c)被験者NSのカテゴリカルカラーネーミングの結果（左から順に鼻側視野60,50,30degの結果を示す）

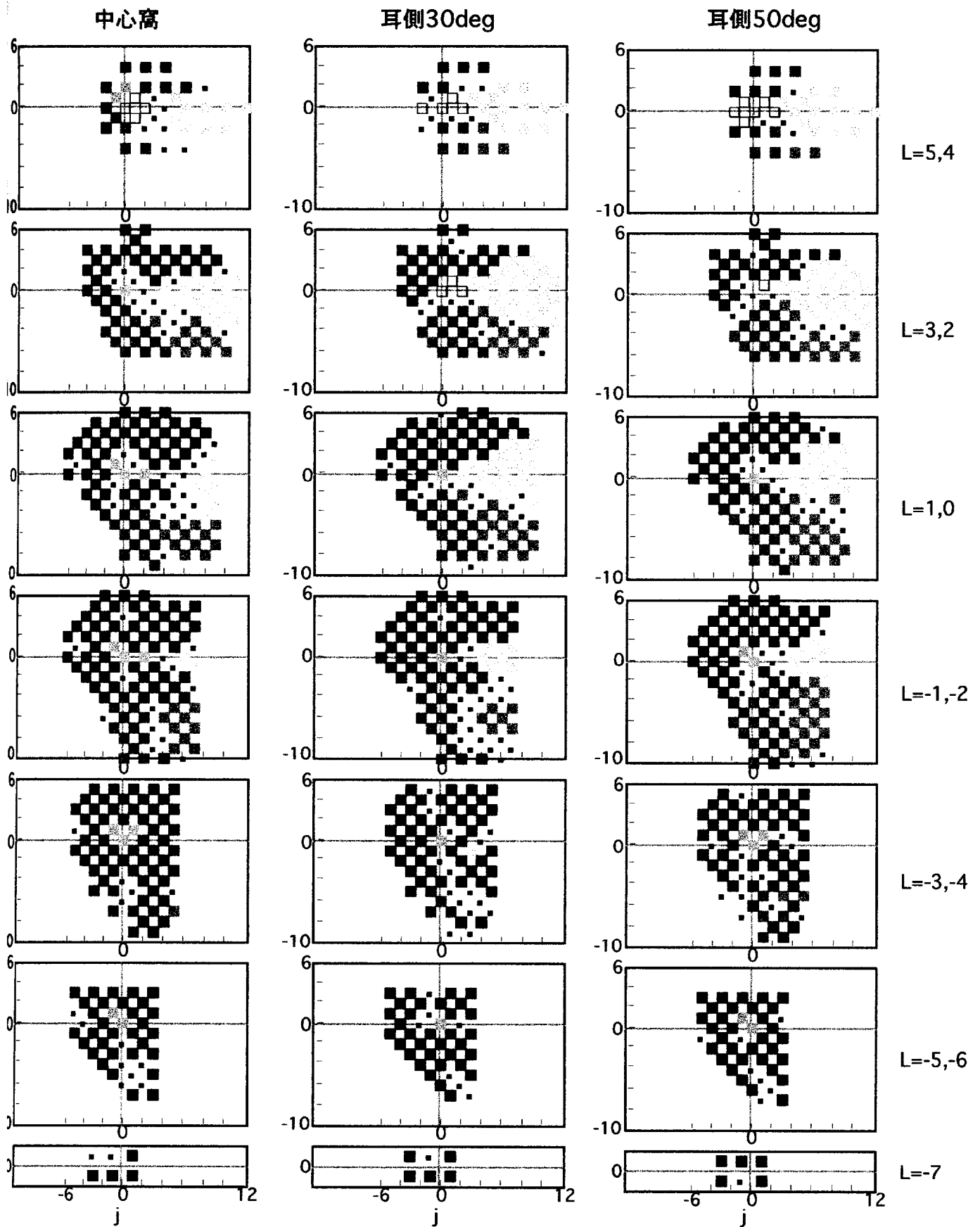


図3.2(c)被験者NS 続き (左から順に中心窩, 耳側視野30,50degの結果を示す)

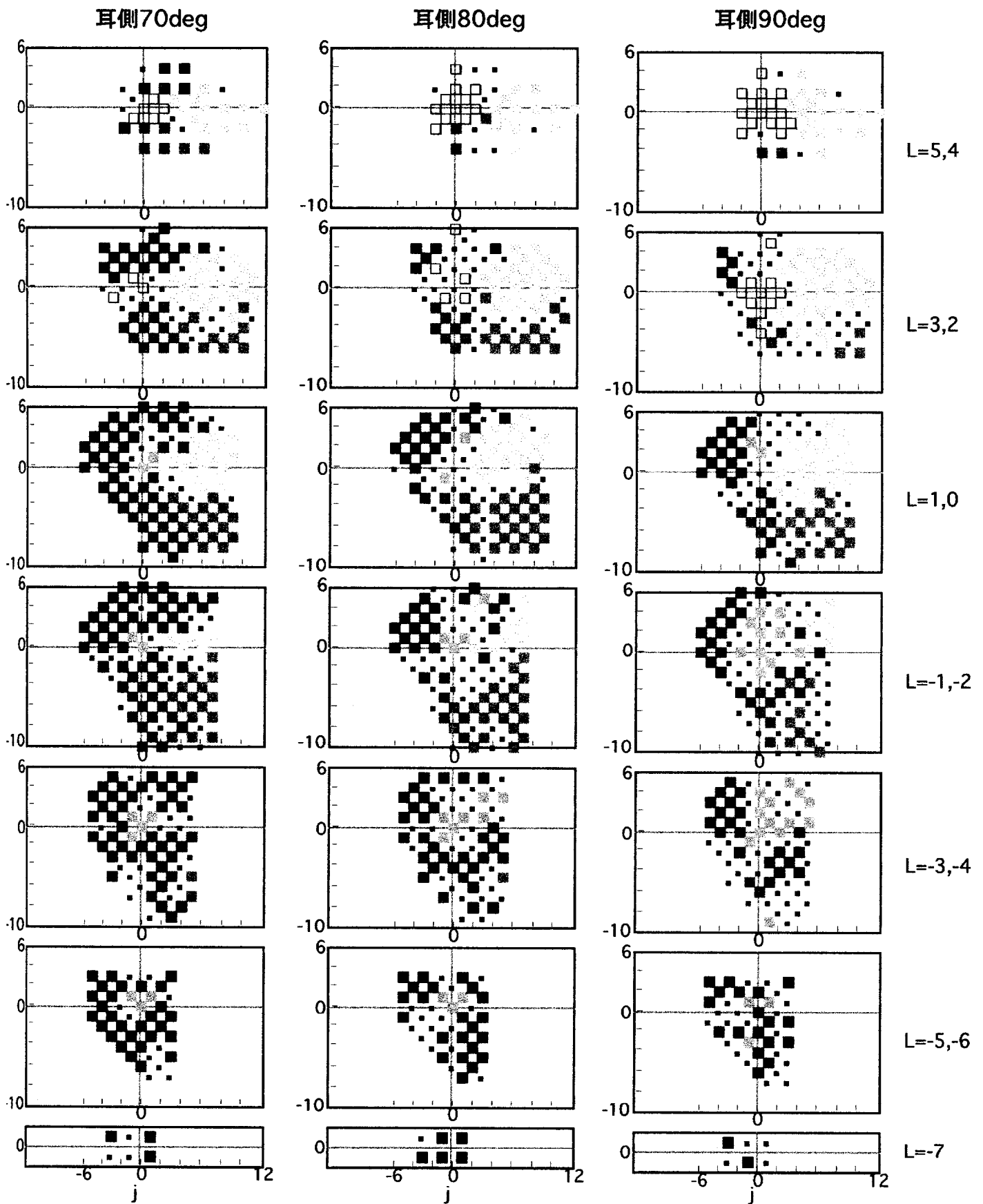


図3.2(c)被験者NS 続き (左から順に耳側視野70,80,90degの結果を示す)

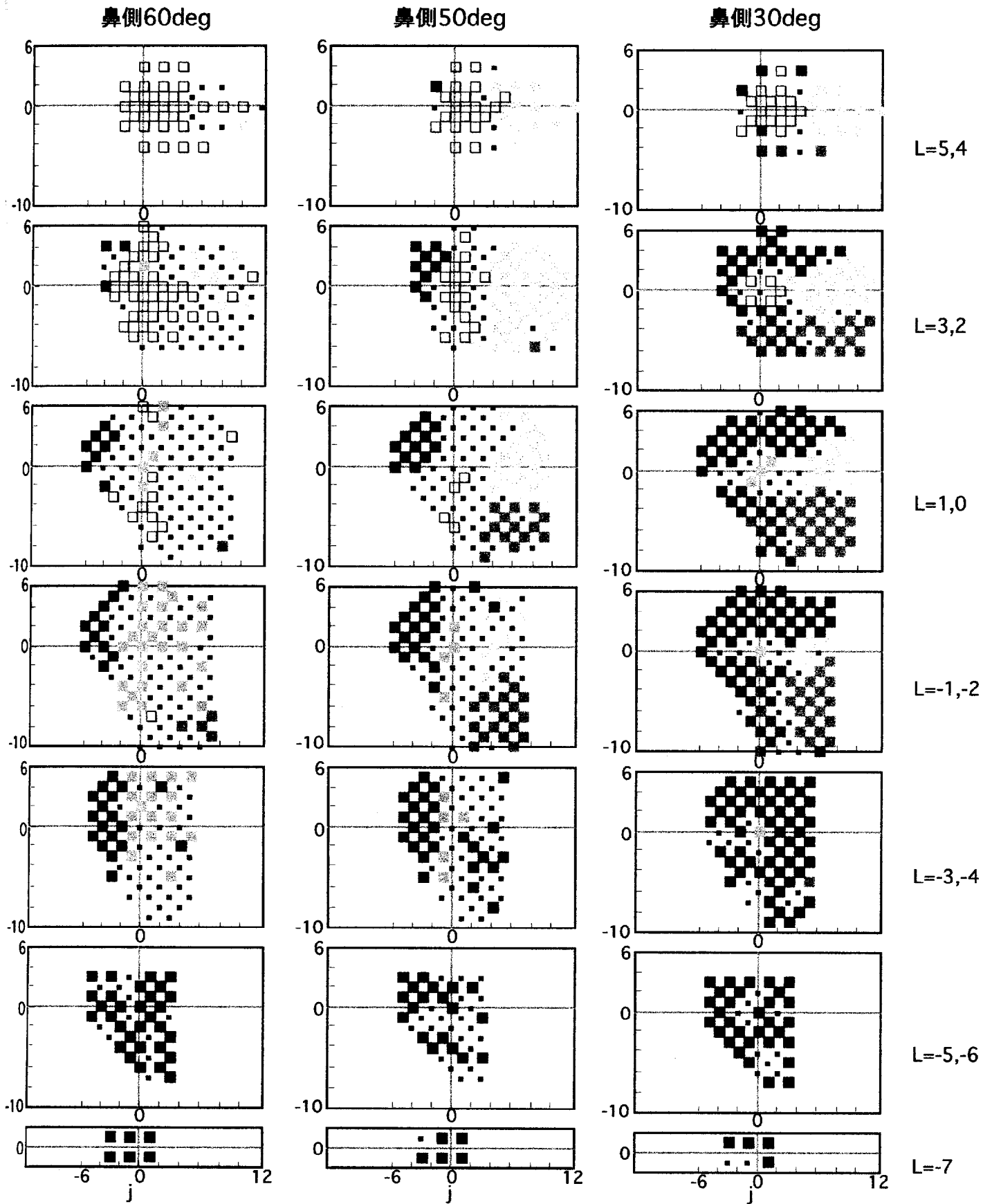


図3.2(d)全被験者の応答をまとめたカテゴリカルカラーネーミングの結果 (左から順に鼻側視野60,50,30degの結果を示す)

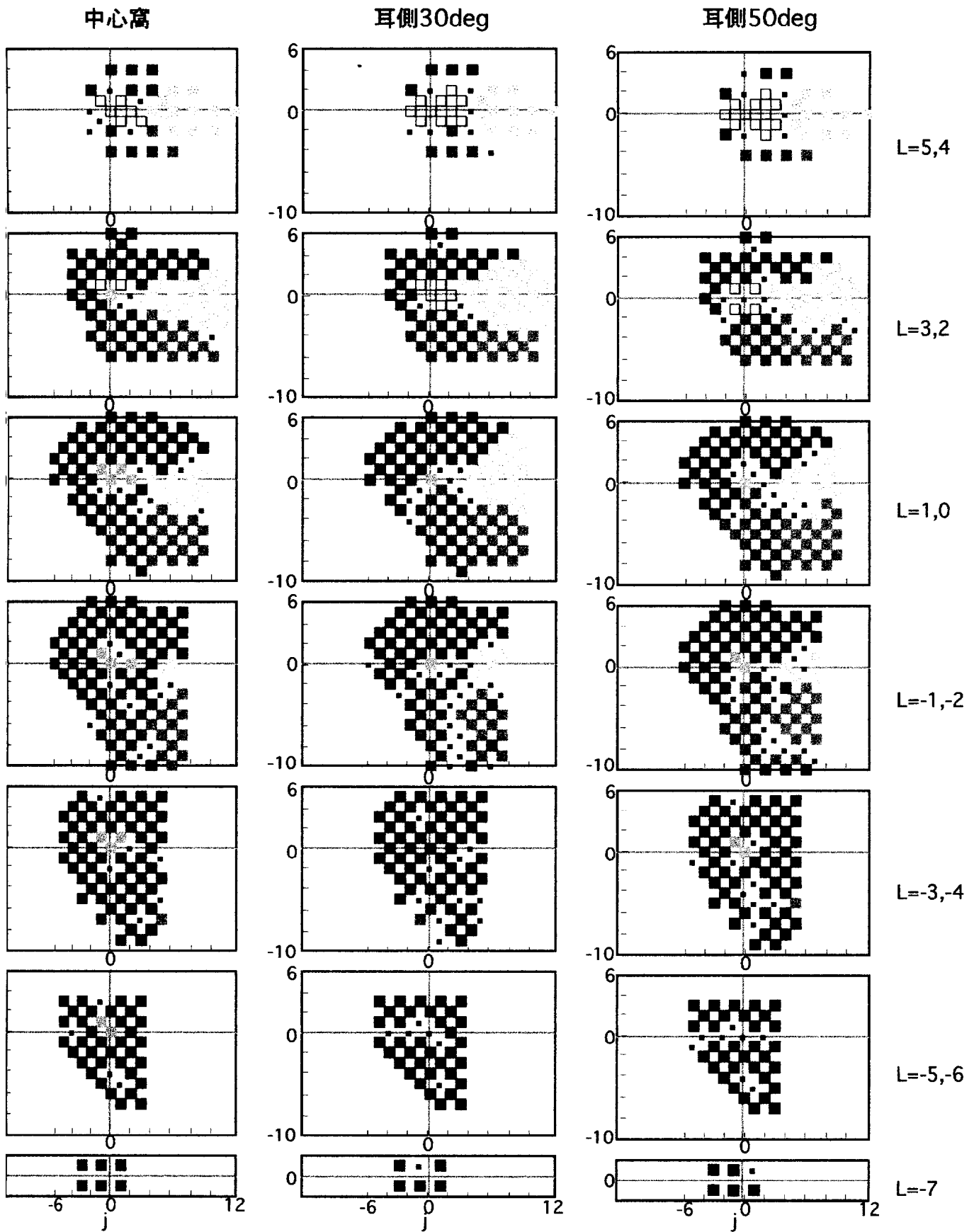


図3.2(d)全被験者 続き (左から順に中心窩, 耳側視野30,50degの結果を示す)

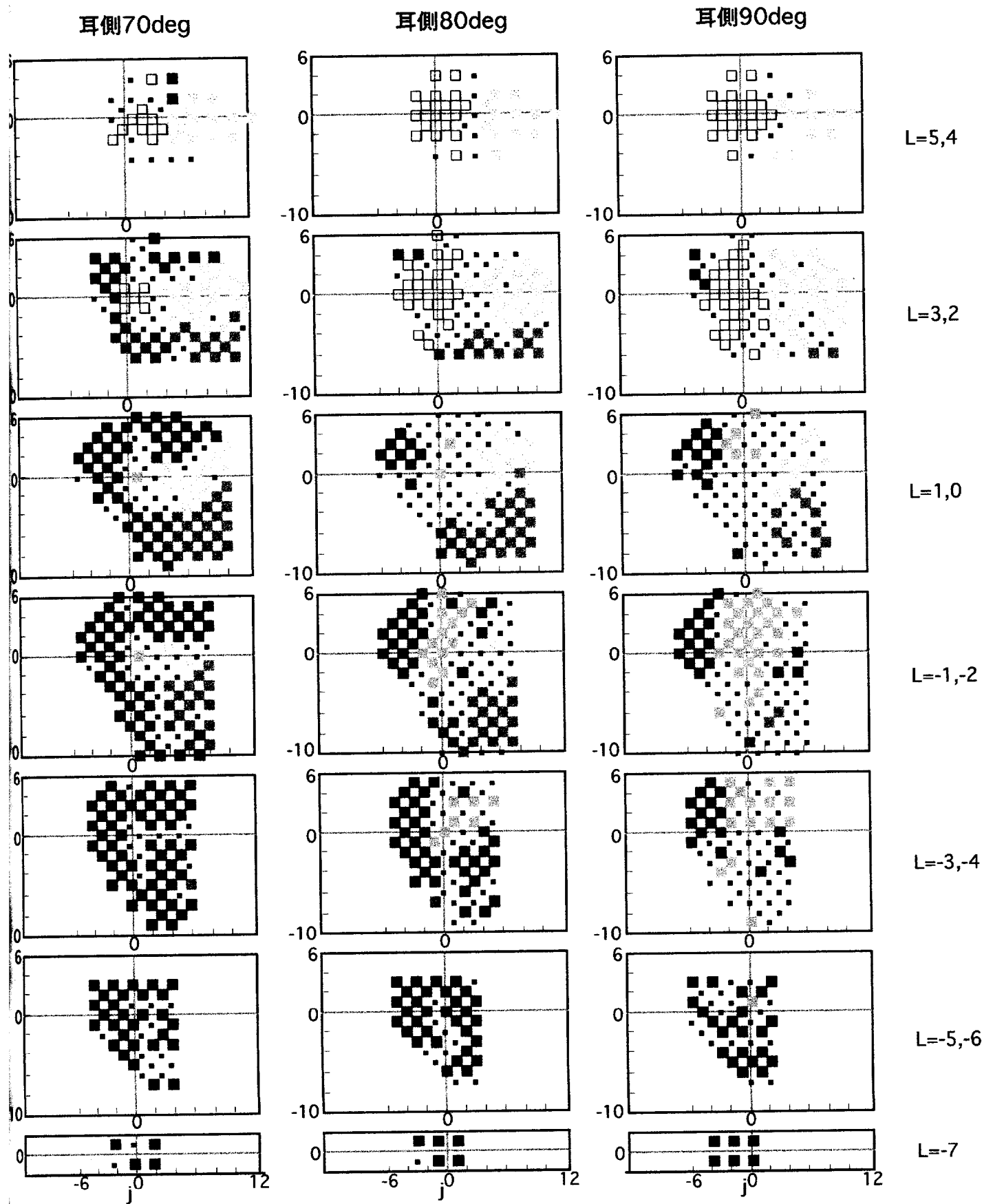


図3.2(d)全被験者 続き (左から順に耳側視野70,80,90degの結果を示す)

3.3.2 色名応答数

図3.2の分布結果から、中心窩の応答に対して変化があまり生じない視野範囲とその外側の急激に応答が変化する視野範囲があることがわかった。そこで、次に各色名の離心角に対する応答数の変化に着目して結果を解析し、急激に応答が変化する視野範囲をより明確に規定することを試みる。

図3.3(a)-(c)は被験者別の各色名の応答数を示し、図3.3(d)は各色名の被験者間の平均応答数を示している。被験者別の結果は、1枚の色票につき2回応答した合計応答数を表している。

被験者IKの結果をみると、耳側視野では赤、緑、ピンク、紫、オレンジで、70degまでは中心窩の応答数に対する変化量が少なく、80degになると急激に減少した。鼻側視野では30degでも中心窩の応答数からやや減少がみられるものの、50degで顕著な応答数の減少がみられた。青、黄、茶、黒、白、灰も鼻側30degから耳側70degまでは大きな変化がみられなかった。その外側視野では無彩色色名は顕著な増加がみられ、黄は顕著な増加に続いて減少がみられた。

被験者KS、NSもIKと以下の点を除き同様の傾向が示された。被験者KSは耳側視野では黄の視野周辺縁部での顕著な増加は生じなかった。被験者NSは鼻側では顕著な変化がみられない範囲が30degから50degまで広がり、鼻側50degから耳側70degまで大きな変化がみられなかった。また、視野周辺縁部での無彩色色名の応答数の増加が少なく、鼻側60degや耳側90degでも有彩色色名の応答が多くみられた。

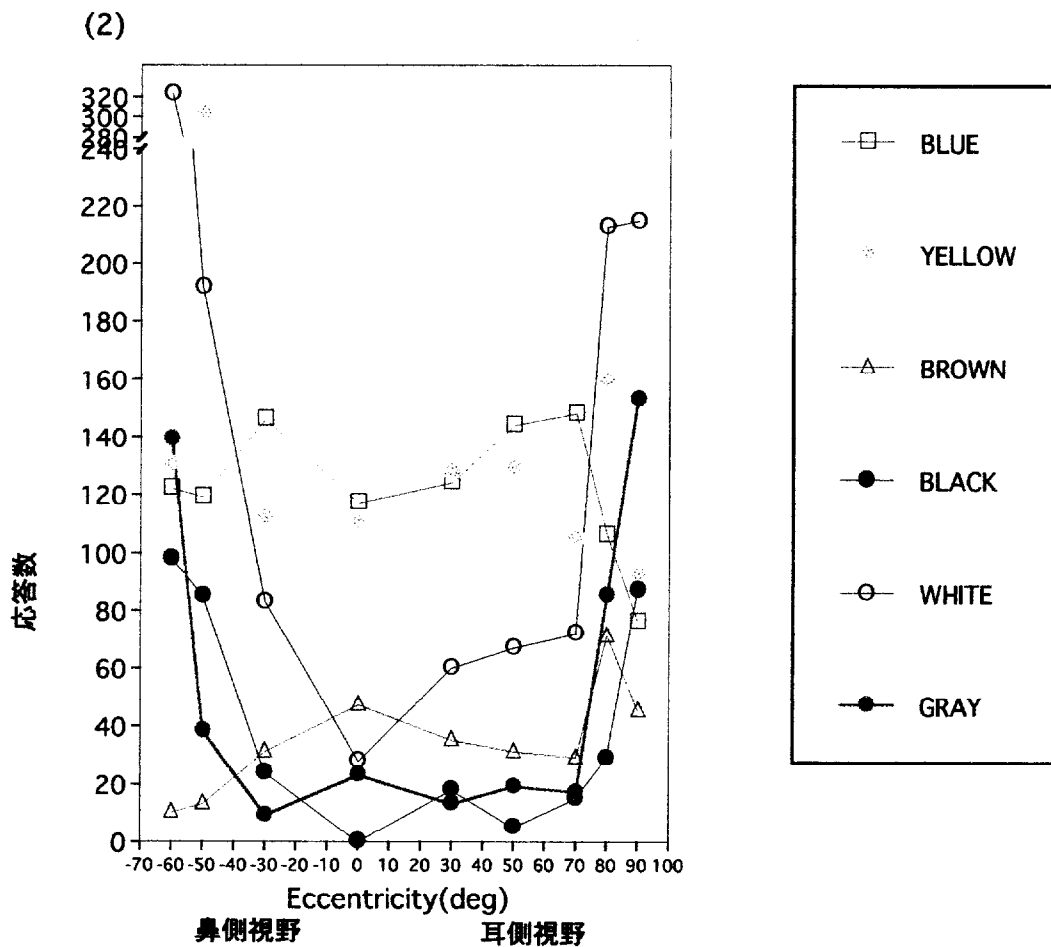
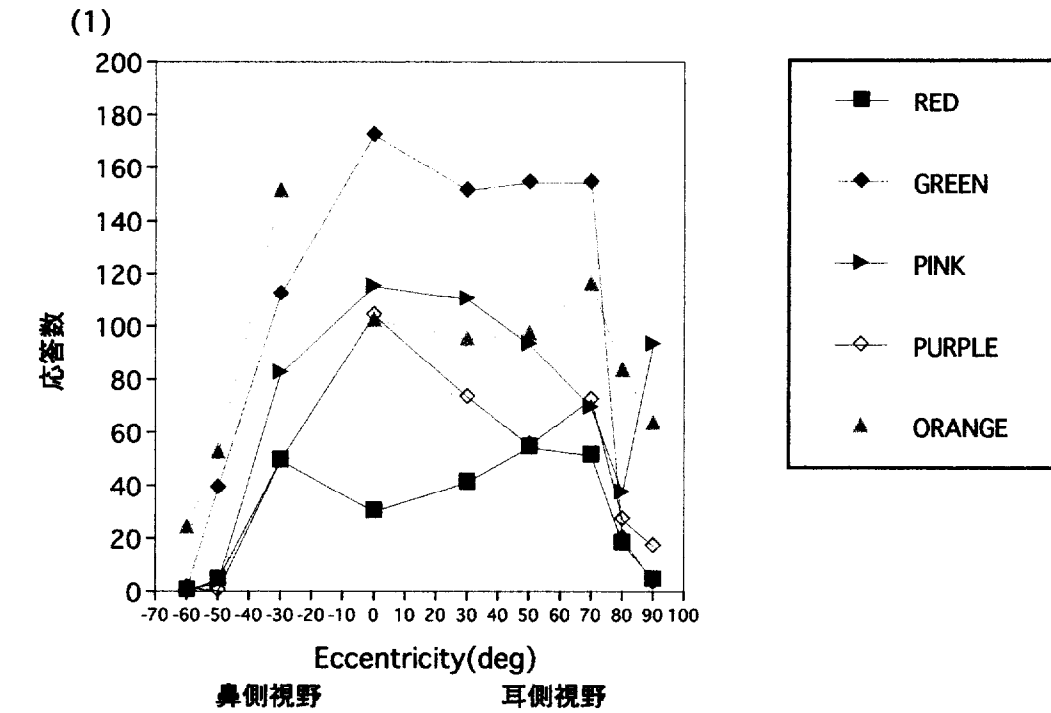


図3.3(a)離心角の変化と色名応答数 (被験者IK)

(1)赤, 緑, ピンク, 紫, オレンジ

(2)青, 黄, 茶, 黒, 白, 灰

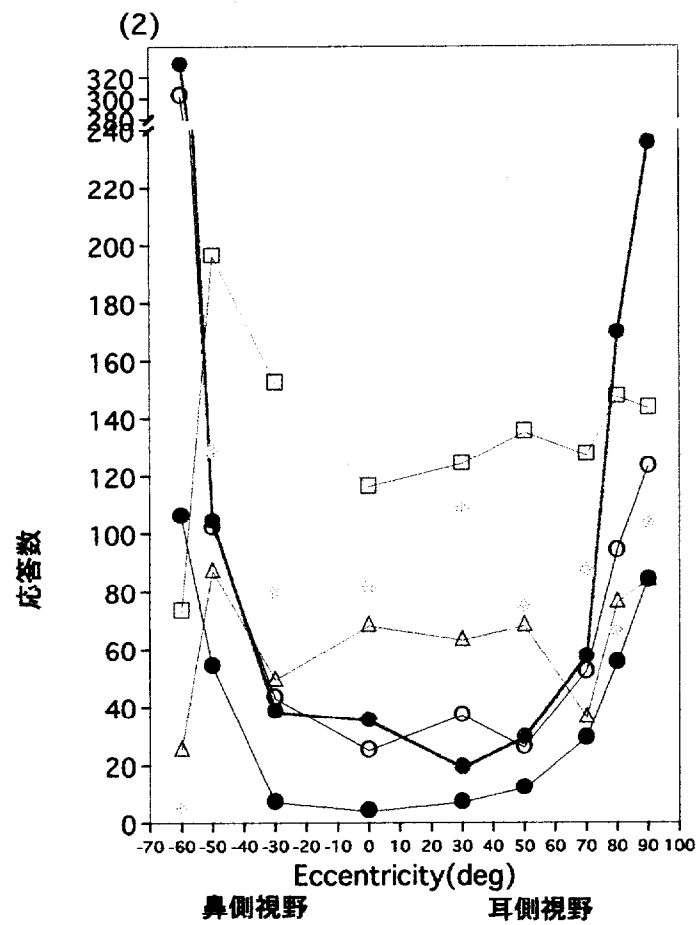
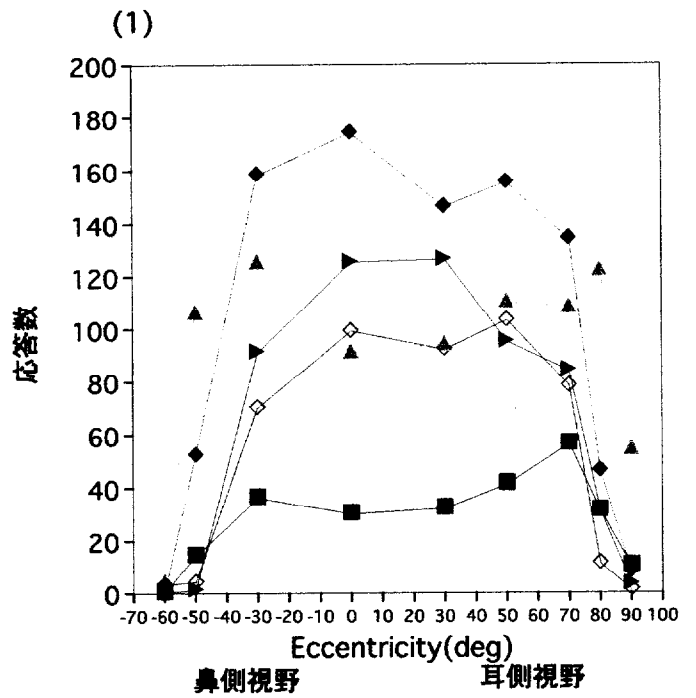


図3.3(b)離心角の変化と色名応答数 (被験KS)

(1)赤, 緑, ピンク, 紫, オレンジ

(2)青, 黄, 茶, 黒, 白, 灰

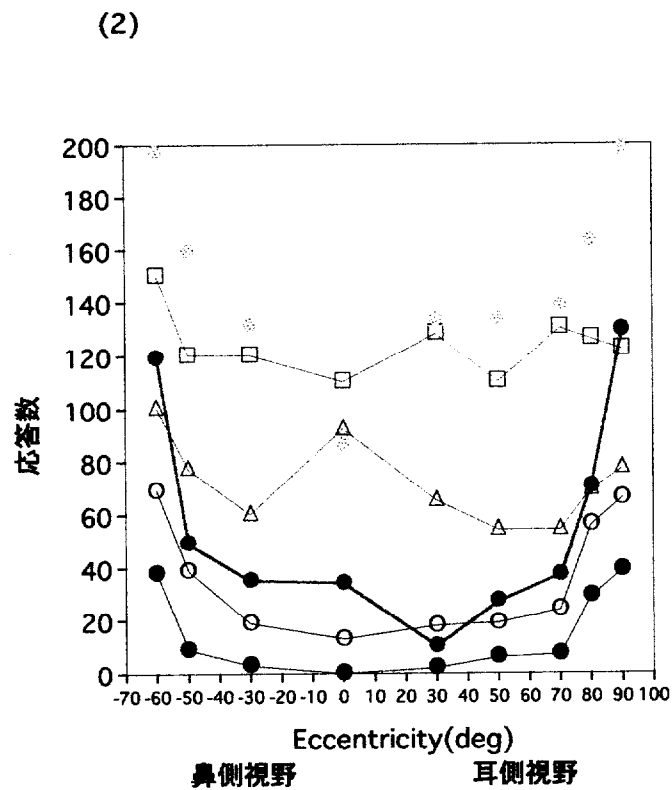
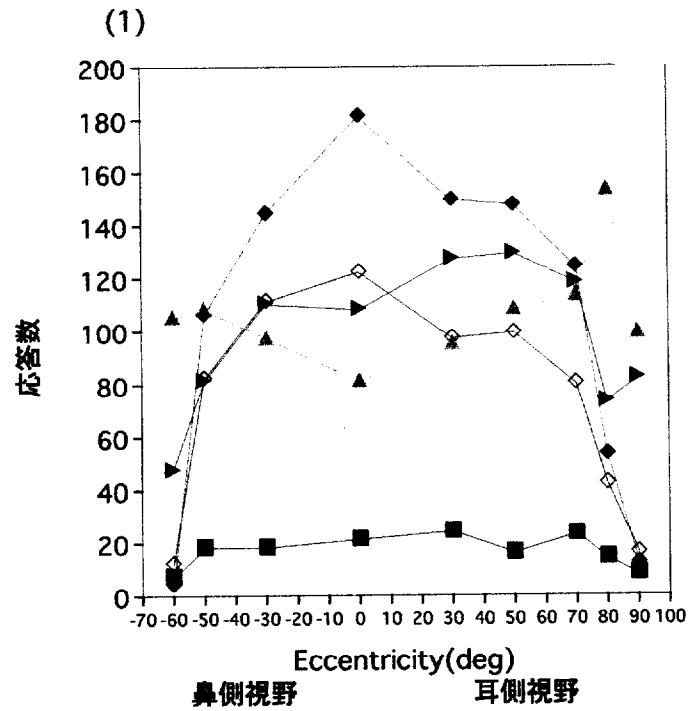


図3.3(c)離心角の変化と色名応答数 (被験者NS)

(1)赤, 緑, ピンク, 紫, オレンジ

(2)青, 黄, 茶, 黒, 白, 灰

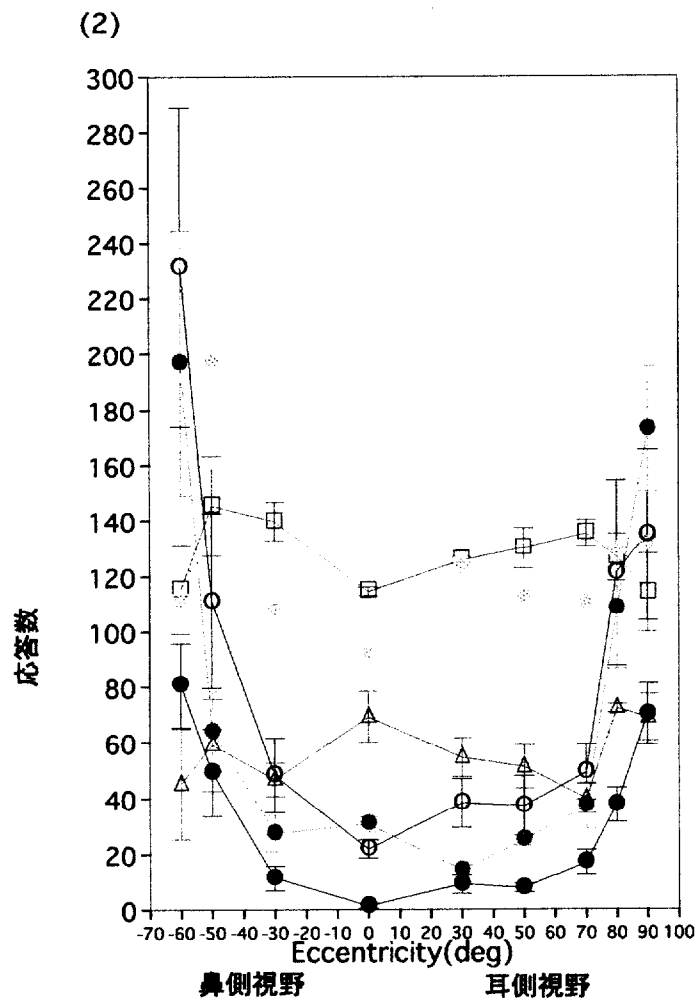
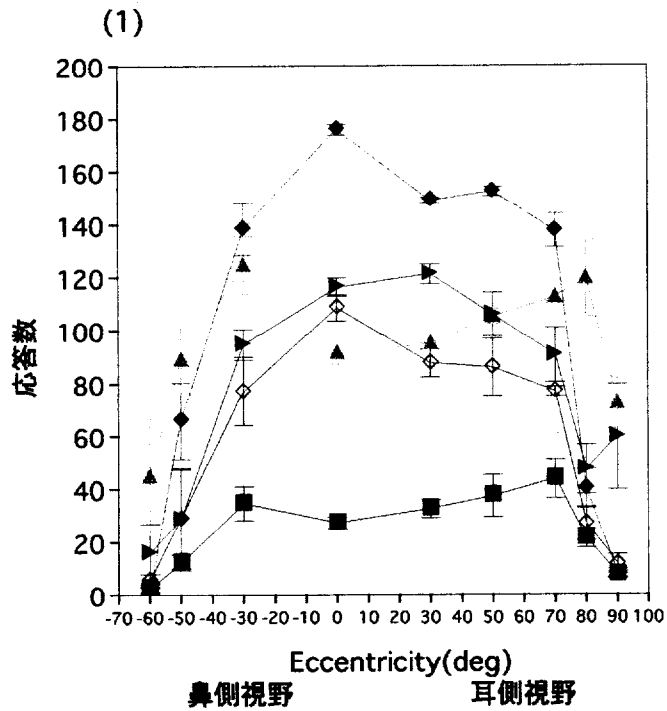


図3.3(d)離心角の変化と色名応答数 (被験者の平均)

(1)赤, 緑, ピンク, 紫, オレンジ

(2)青, 黄, 茶, 黒, 白, 灰

3.3.3 OSA空間のj,g平面上での色名領域

図3.2の応答分布結果から、OSA空間における詳細な色名応答結果が明らかになった。ここでは、OSA空間のj,g平面において各色名領域の位置の傾向をとらえる。

図3.4(a)-(c)は被験者別の各色名の領域を示している。(1)が赤、黄、紫、白、灰、(2)が青、緑、オレンジ、ピンク、茶、黒の領域分布を示している。グラフに示した領域は、1枚の色票につき計2回の応答のなかで1回でも応答した色名を対象に応答分布をOSA空間にプロットし、その分布をj,g平面に投影してその外側を線で結んだ結果を示している。ここでは明度レベルの情報は失われている。

被験者IKの結果をみると、中心窩の各色名領域の分布に対して鼻側30degと耳側70degの間は各領域の分布位置に変化がないのがわかる。鼻側50degでは赤、紫、ピンク、緑の領域がほぼ消滅した。紫の領域には青、ピンクには無彩色、緑には黄の領域が拡大した。耳側では90degで赤や緑の領域の消滅がみられた。

被験者KSの結果は、耳側90degでピンクの領域がなくなっている点を除き、ほぼ同様の傾向を示した。被験者NSは鼻側60deg、耳側90degでも全ての色名の領域がみられるが、各色名の領域の変化は同様の傾向が示された。

図3.4(d)は全被験者の応答をまとめた色名領域の分布結果を示している。グラフに示した領域は、1枚の色票につき計6回の応答中3回以上の一致した応答色名を対象に応答分布をj,g平面にプロットし、その外側を線で結んだ結果を示している。

(1)

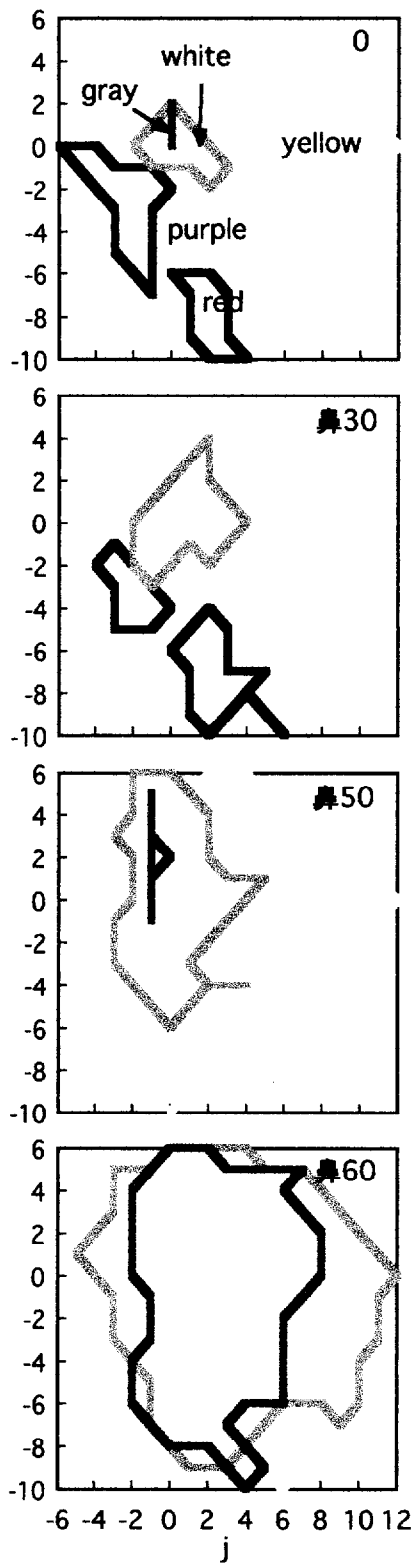
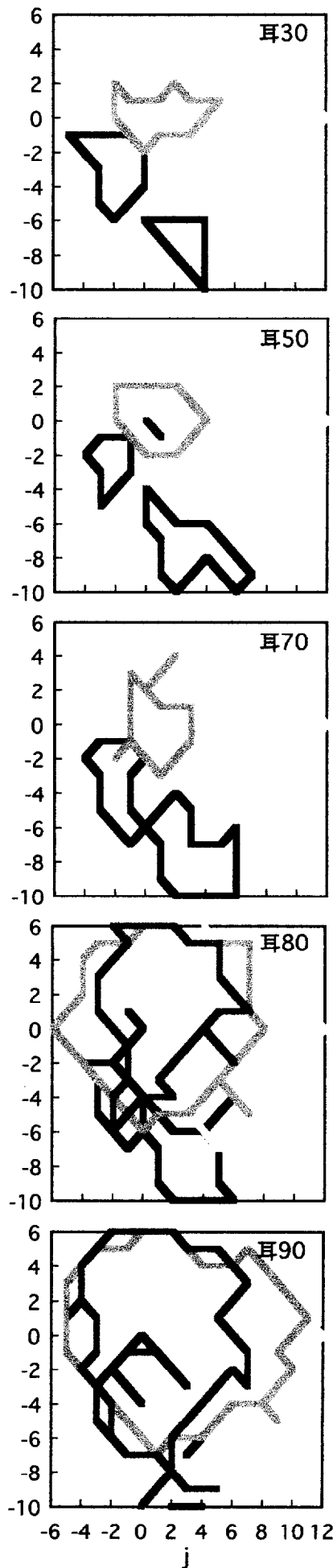


図3.4 (a)被験者IK
OSA空間の j - g 平面上での色名領域
(1)赤, 黄, 紫, 白, 灰の結果を示す.
各パネルは刺激呈示位置の違いを表す.



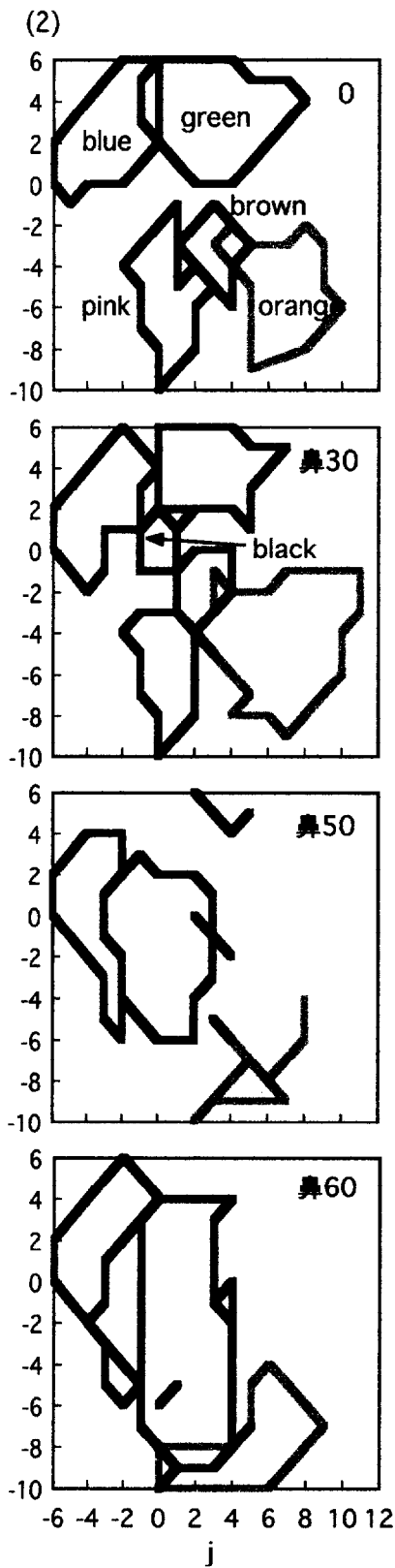
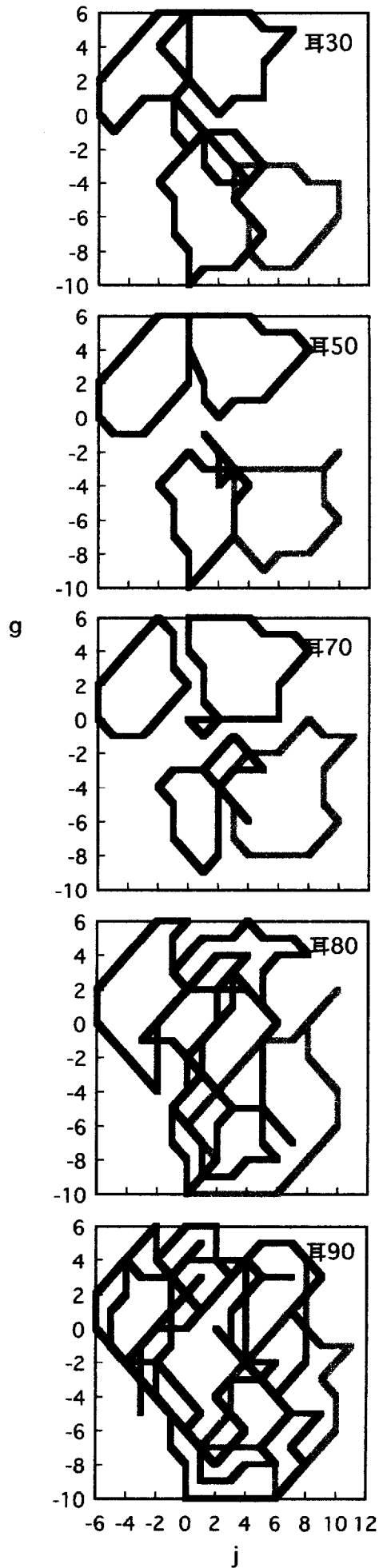


図3.4 (a)被験者IK
OSA空間の j - g 平面上での色名領域
(2)青, 緑, ピンク, オレンジ, 茶,
黒の結果を示す. 各パネルは刺激呈
示位置の違いを表す.



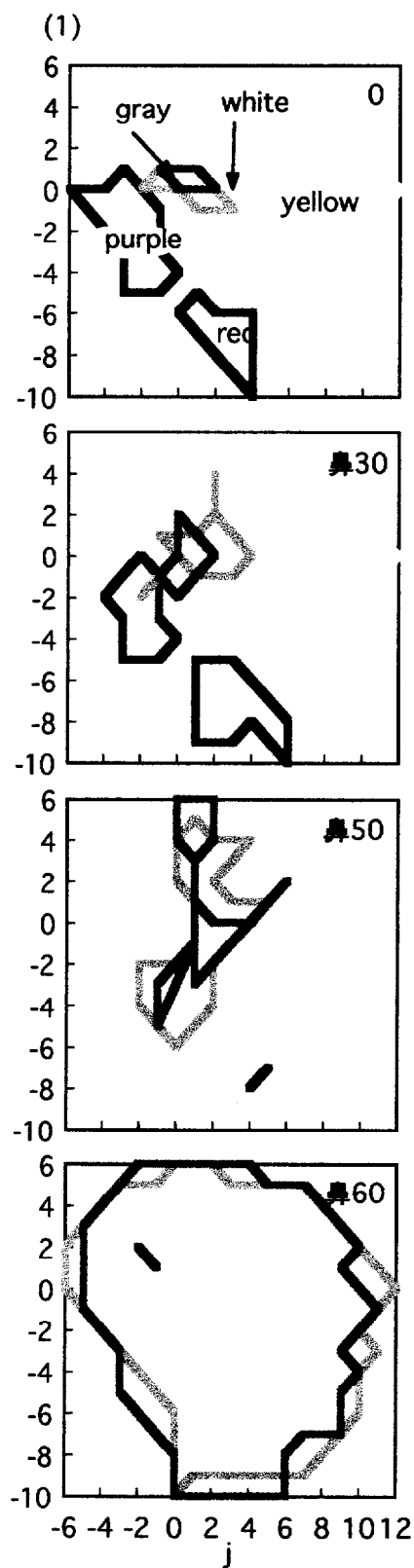
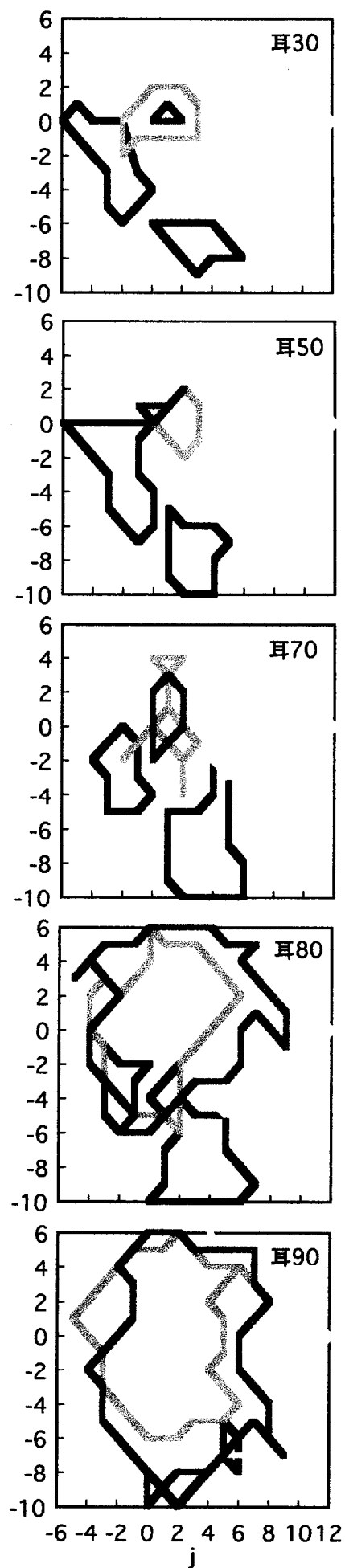


図3.4 (b)被験者KS
OSA空間の j - g 平面上での色名領域
(1)赤, 黄, 紫, 白, 灰の結果を示す.

9



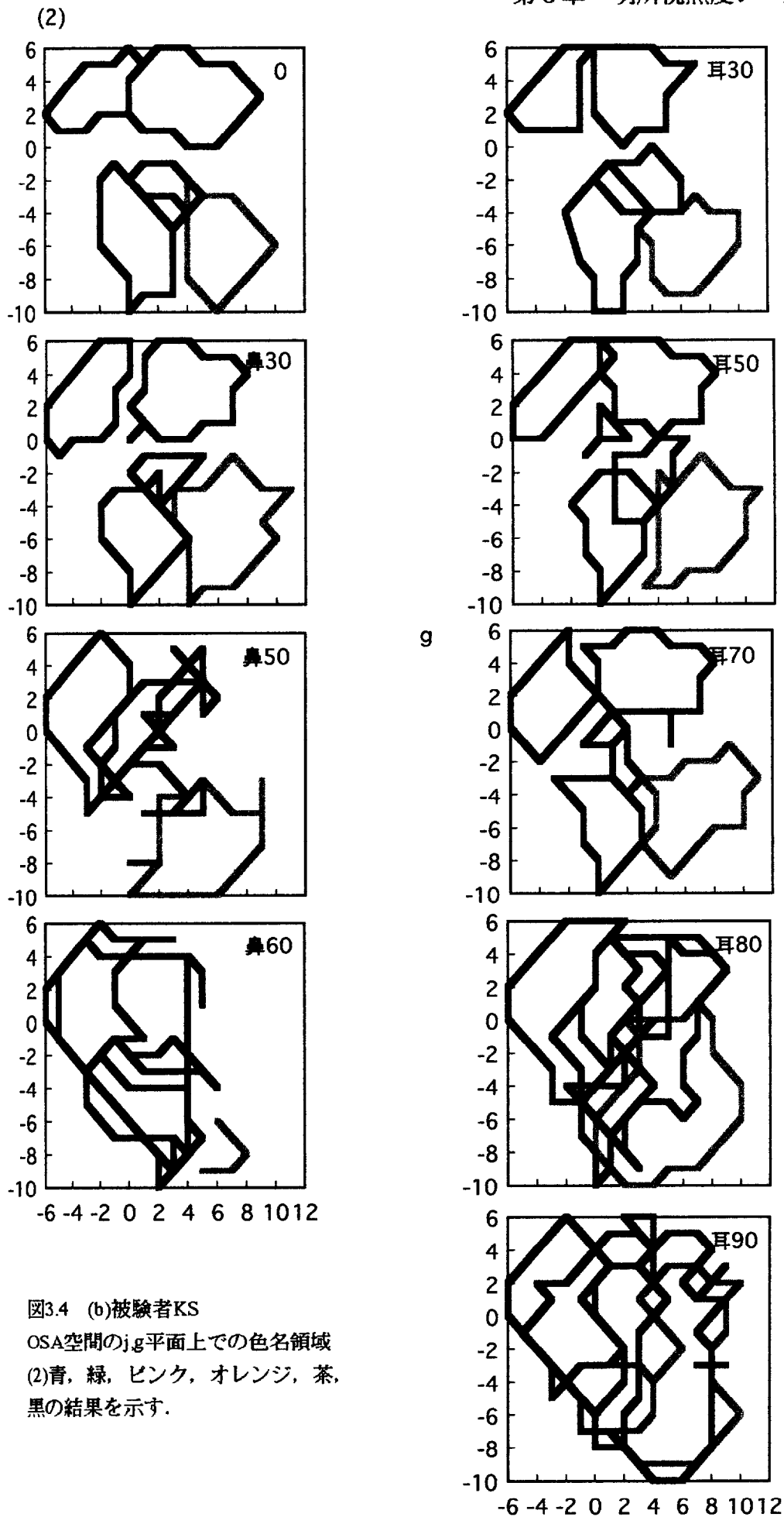


図3.4 (b)被験者KS

OSA空間の $j-g$ 平面上での色名領域
(2)青, 緑, ピンク, オレンジ, 茶,
黒の結果を示す.

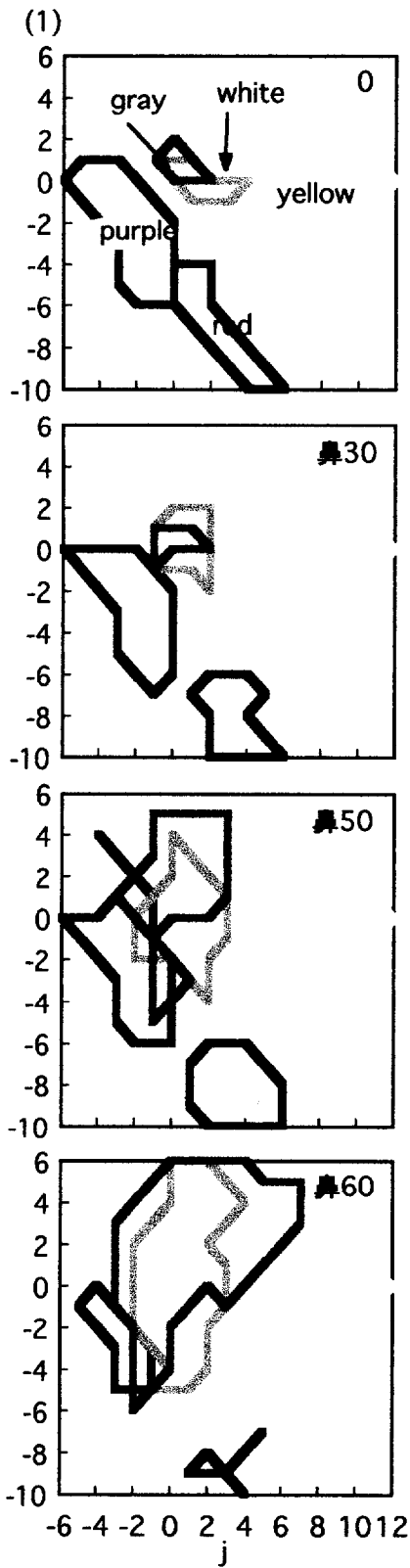
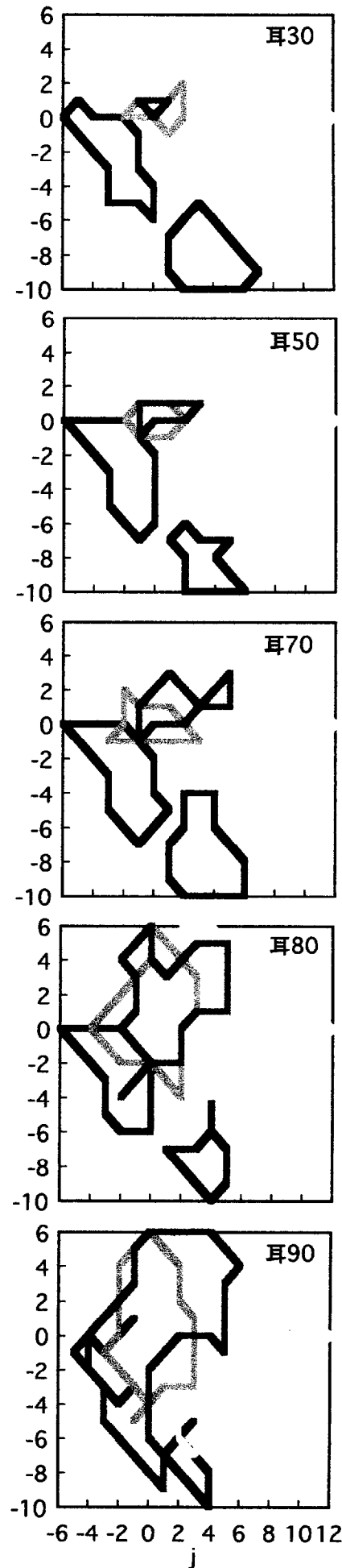


図3.4 (c)被験者NS
OSA空間の $j-g$ 平面上での色名領域
(1)赤, 黄, 紫, 白, 灰の結果を示す.

g



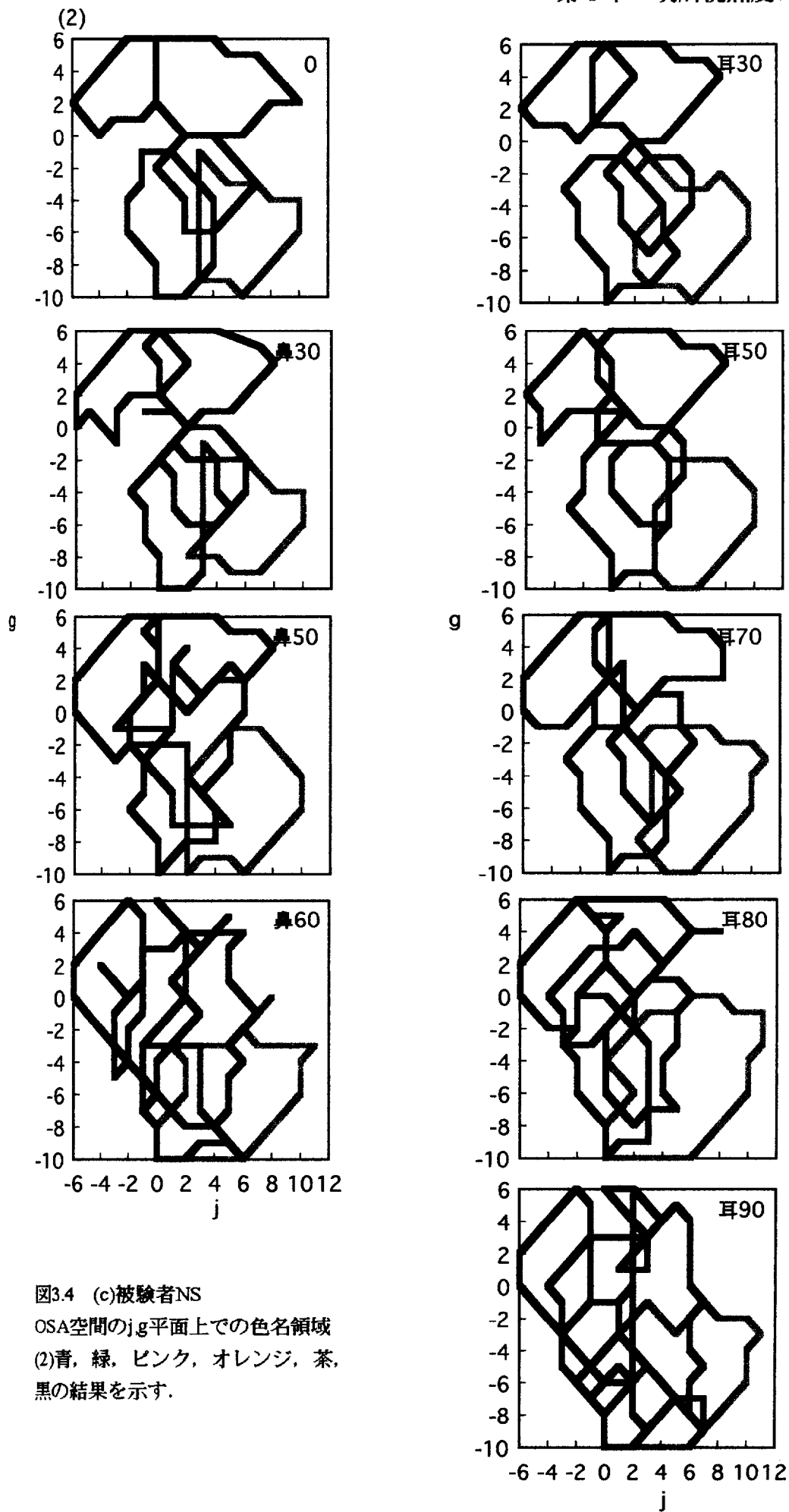


図3.4 (c)被験者NS

OSA空間の j - g 平面上での色名領域
(2)青, 緑, ピンク, オレンジ, 茶,
黒の結果を示す.

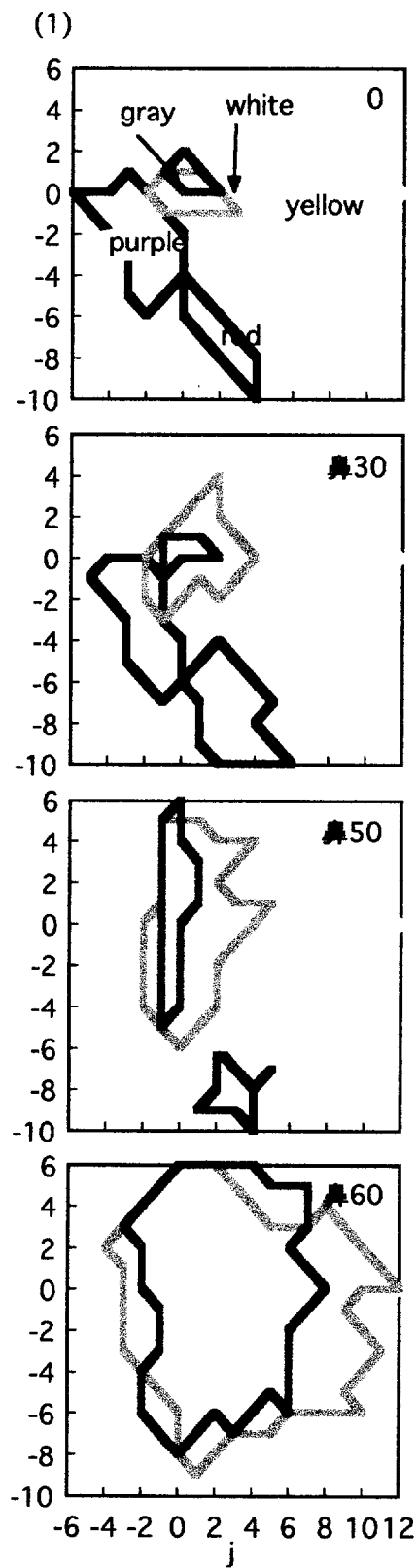
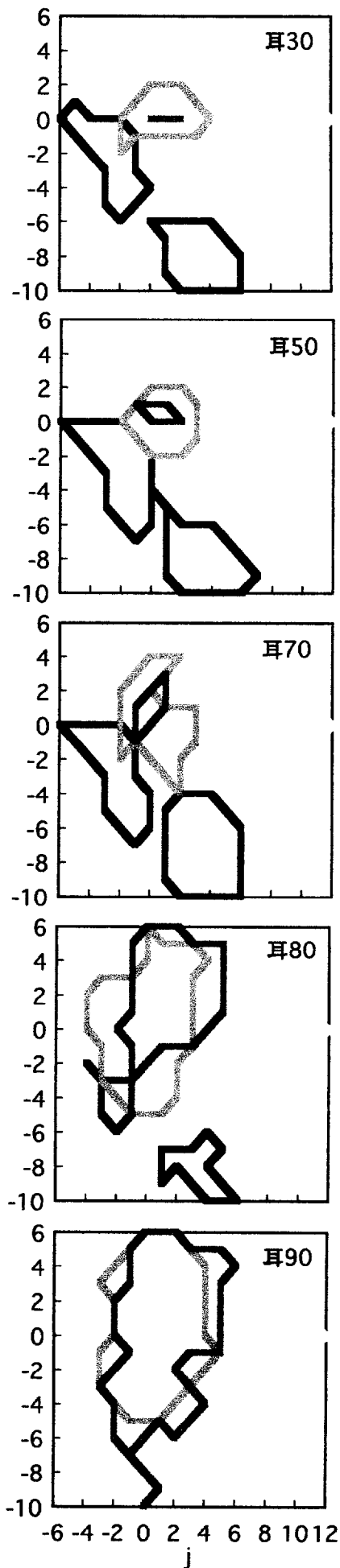


図3.4 (d)全被験者まとめ
OSA空間の j - g 平面上での色名領域
(1)赤, 黄, 紫, 白, 灰の結果を示す.



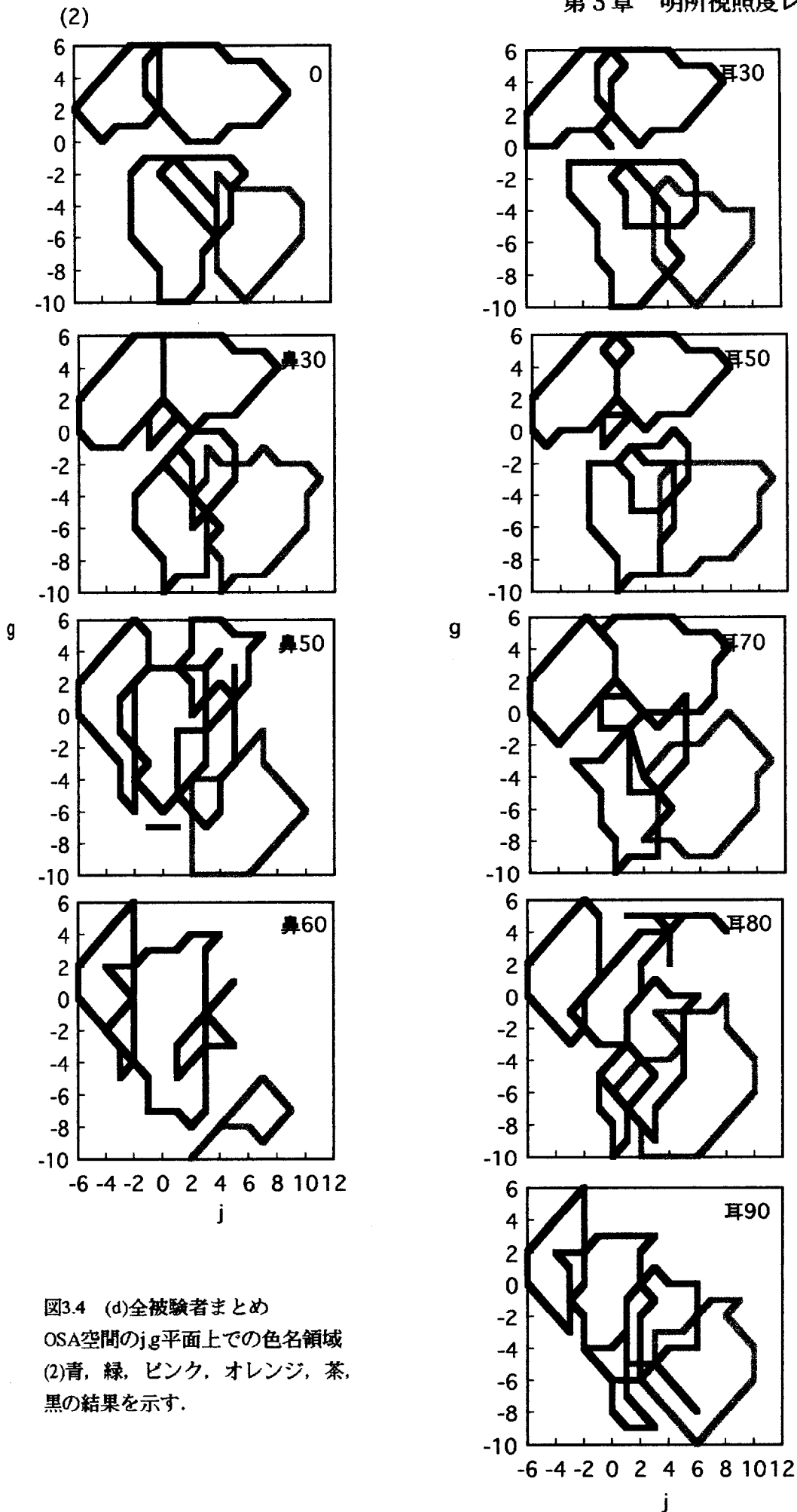


図3.4 (d)全被験者まとめ
OSA空間の j - g 平面上での色名領域
(2)青, 緑, ピンク, オレンジ, 茶,
黒の結果を示す.

3.3.4 応答一致率

これまでの応答分布結果から、中心視野の応答は周辺視野のある範囲まではほぼ同様な結果が得られることが明らかになった。そこで、次に、中心視野と周辺視野の応答の分布がどの程度一致しているかを次式で定量化した。これは、Boyntonら(1990)の一致度(consistency)を周辺視野で色見えの変化に応用したもので、ここでは一致率(Percent Overlap)と呼ぶ。

$N(f)$ = 中心窩でのある色名の応答回数

$N(p)$ = 周辺視野でのある色名の応答回数

$N(\text{both})$ = 中心窩と周辺視野でのある色名を共通の色票に対して応答した回数

$\text{Percent overlap} = \{2N(\text{both}) / (N(f) + N(p))\} \times 100 (\%)$

たとえば、中心窩と周辺位置で、すべての色票にたいして同じ色名応答であれば、一致率は100%となる。逆に、同じ応答が全くないと0%となる。つまり、一致率は中心視野の色名応答分布と周辺位置の色名応答分布がどの程度重なっているかを示している。被験者別に中心窩と各刺激呈示位置の一致率を求めた。被験者間で同様の傾向が示されたため、全被験者の平均をとり、図3.5に示した。中心窩は基準点(=100%)のため示していない。

図3.5をみると、多くの色名で鼻側視野50degと耳側視野80degまたは90degにおいて一致率が低下していることがわかる。鼻側視野30 degから耳側視野70 degまでは、一致率はわずかにしか減少していない。そのなかでも比較的減少量が少ない色名は青、緑であった。灰の耳側30degの一致率は30%まで落ち込んでいる。また、白、黒、灰はその他の色名の一致率よりも低い値を示した。

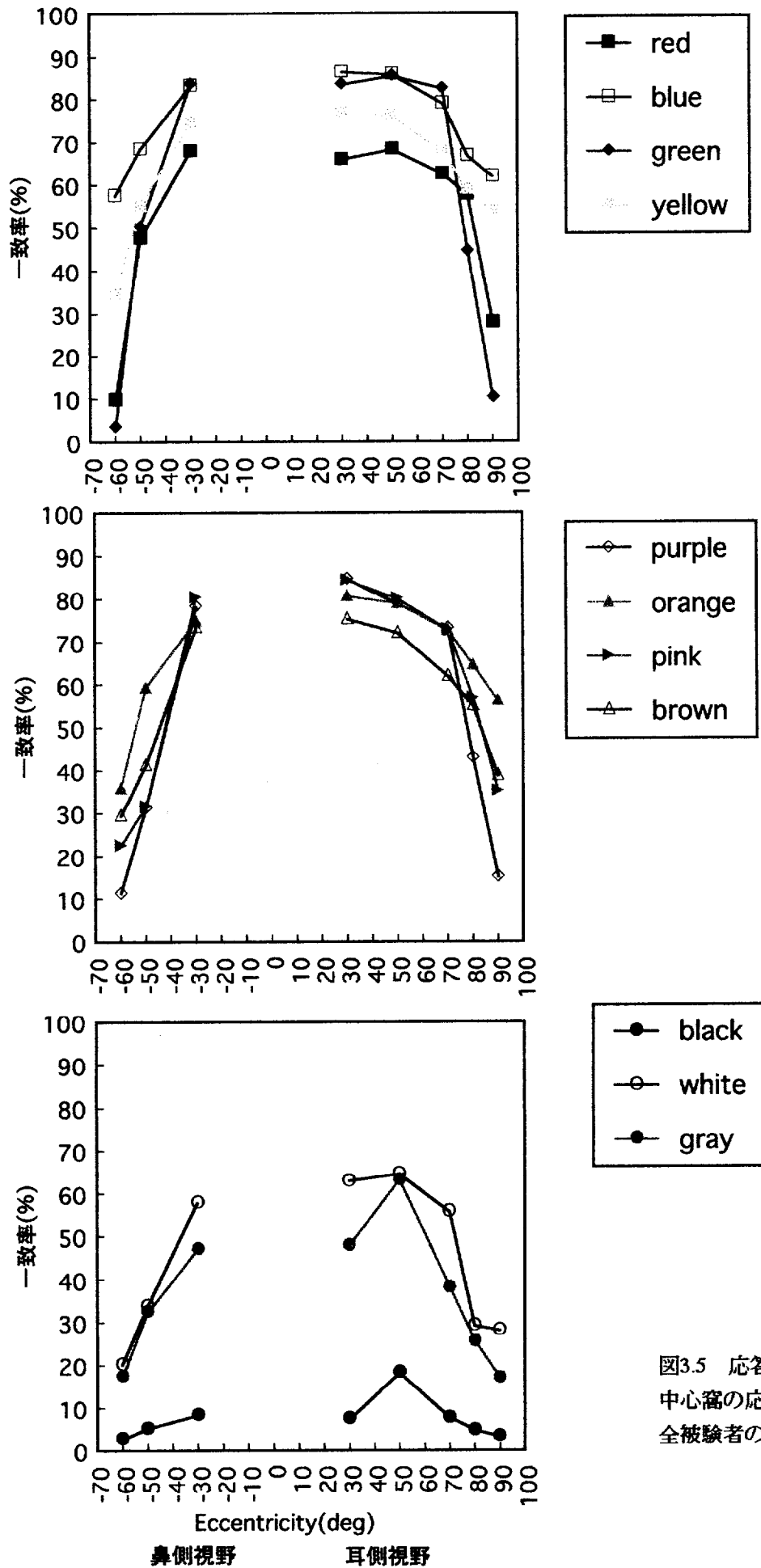


図3.5 応答一致率

中心窩の応答分布との一致率を示す。
全被験者の平均値を示す。

3.3.5 色名維持視野範囲

応答一致率の結果は色名により異なるが、中心視野での色名応答はおおよそ鼻側30degから耳側70degの視野範囲内の応答とよく一致していることがわかる。そこで次に、中心窩のカテゴリール応答を基準として、その応答が維持される視野範囲を定量化して、色名維持視野範囲を以下の様な方法で求めてみる。

中心窩において全被験者で色名応答が一致した全刺激を解析の対象とし、中心窩と各呈示位置での色名応答の一致率を求めた。たとえば、中心窩で6回の緑応答が得られた刺激が、耳側30degでは緑が4回、黄が2回の応答であった場合は、この刺激の耳側30degでの緑の応答一致率は $4/6=66.7\%$ となる。同様に、この刺激の緑の応答一致率が耳側50degで66.3%、耳側70degで33.3%、耳側80degで50%、耳側90degで0%とした場合、この刺激の50%以上の一致率が保たれる視野範囲は耳側50degとなる。

各刺激で一致率が50%以上保たれる視野範囲を求め、色名毎にまとめて平均した値(deg)を色名維持視野範囲と定義した。図3.6に(a)に鼻側視野と(b)に耳側視野の結果を示す。黒は全被験者で色名応答が一致した刺激がなかったため除かれている。()内は解析に用いられた色票の枚数を示している。

維持視野範囲は各色名で異なり、範囲の広い色名は青、黄、白であり、狭い色名が紫、緑、ピンク、灰となっている。鼻側視野では紫、緑、ピンク、灰が約30deg、その他の色名が40degから60deg程度になっている。耳側視野では灰が40deg、紫、緑が約60deg、その他の色名では70degから90degとなった。また、耳側視野と鼻側視野を比較すると耳側視野の方が維持視野範囲が明らかに広いことが示された。

3.3.6 被験者の内観報告

実験を行った後、被験者から以下のような共通した内観報告が得られた。

1点目として、中心視野と周辺視野での刺激の見えに質的な違いがあったということである。中心視野では刺激の輪郭や色が鮮明に見えるのに対して、周辺視野では輪郭や色がぼやけ、存在感が弱い見えとなることが報告された。つまり、たとえば周辺視野で

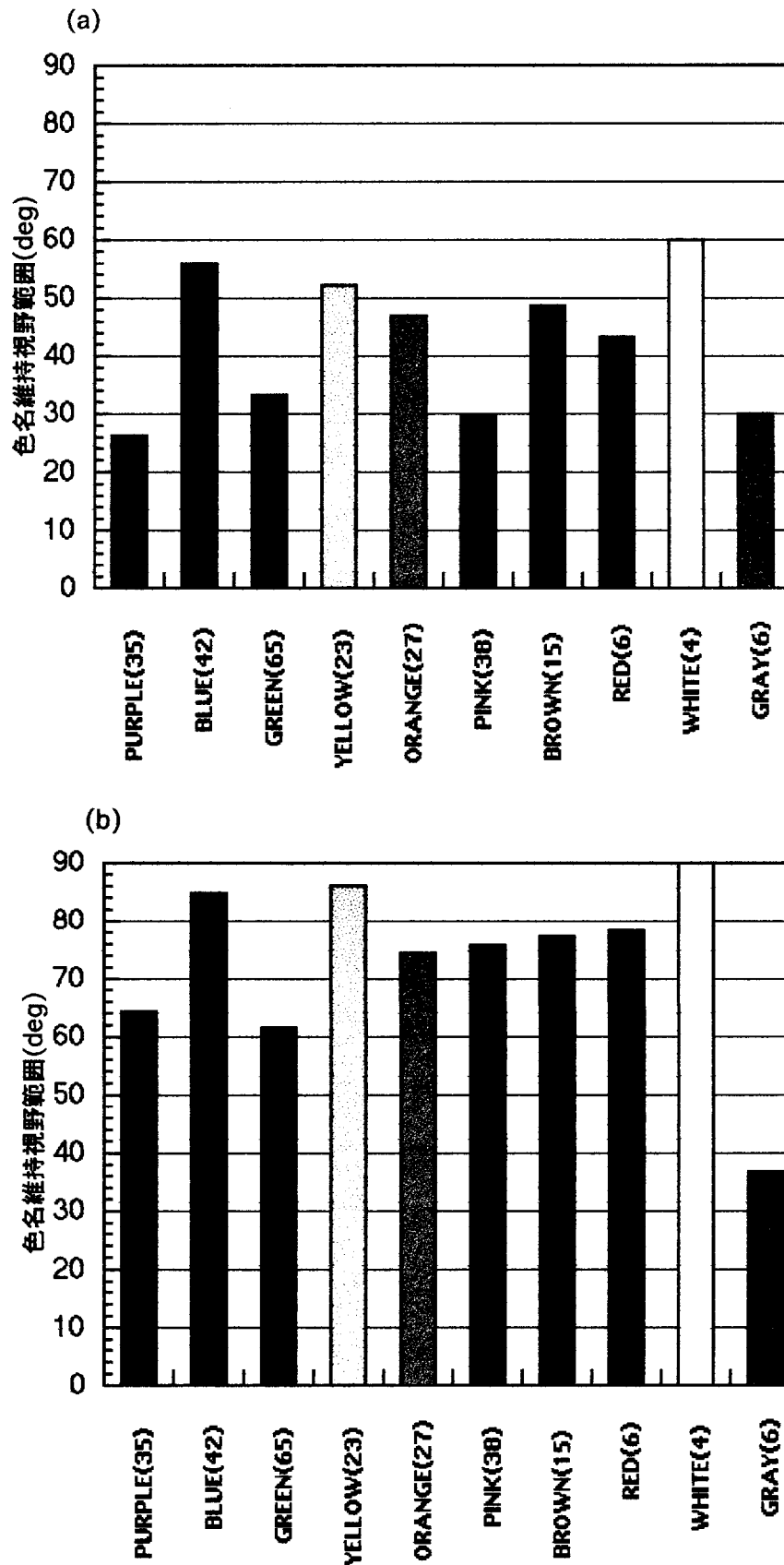


図3.6 各色名の色名維持視野範囲(a)鼻側視野, (b)耳側視野

() 内は解析の対象になった刺激の枚数を示す。

の色の見えを中心窩でカラーマッチングしようとしても、色の見えをマッチングすることとは可能であっても、刺激全体の見えは異なり質的な違いが残ることになる。

2点目として、中心視野と周辺視野での刺激の見えに対する応答のしやすさに違いがあったということである。中心視野での色名応答は2つの色名のどちらにしようかと悩む場合が多く、応答時間が長かった。一方、周辺視野では色名応答で悩むことはほとんどなく、応答時間が短かった。

これらの内観報告から、被験者は周辺視野の刺激ははっきりとは見えないが、中心視野より容易に1色名でカテゴリカル応答していることがわかった。

3.4 考察

応答分布や一致率の解析結果から以下のような傾向がみられた。明所視レベルでは中心視野の応答にたいして、鼻側視野50deg、耳側視野80degでは色名応答に顕著な変化がみられた。その内側視野の鼻側視野30degから耳側視野70degの範囲は、中心視野の応答とほぼ同様であること示された。

反対色カラーネーミング法(Uchikawa *et al.*, 1982 *etc.*)やカラーマッチング法(Stabell and Stabell, 1976 *etc.*)による過去の周辺視野の色の見えの研究では、離心角の増加に伴う彩度低下と黄、青方向への色相の変化が報告されている。また、Abramov *et al.* (1991, 1992)は周辺視野の色の見えの変化は刺激サイズを増加させることで変化量は減少するが、周辺視野の色の見えを中心視野と全く同じにすることはできないことを報告している。本研究結果はこれらの結果と異なり、カテゴリー色の見えは広視野範囲にわたって特性の変化がみられないことが明らかになった。

鼻側60degや耳側90degでは無彩色色名の応答が顕著に増加する傾向が示された。このことから周辺視野では色の見えの彩度低下が生じていることがわかる。これは過去の研究結果と一致している(Abramov *et al.*, 1991 *etc.*)。過去の研究では、彩度低下の大きな原因は桿体の影響であることが報告されている(Stabell and Stabell, 1976)。しかし、本実

験では桿体の影響を排除した照度条件となっており、桿体の影響では今回の結果を説明することができない。その他の原因としては、網膜周辺部では錐体の数が減少するために、微小な錐体出力を色みとして知覚できなくなったことが考えられる。

周辺視野縁部における色相方向の変化は、中心窩の緑が黄へ、紫が青へ変化することが示された。これらの結果は、周辺視野ではまず最初に赤みと緑みの色知覚が減少していることを示している。この色の見えの変化は過去の研究結果と一致しており (Uchikawa *et al.*, 1982 *etc.*), 離心角の増加によるy-b色チャンネルに対するr-g色チャンネルの応答低下が生じた可能性が考えられる。

また、わずかではあるが、周辺視野における彩度低下や赤みと緑みの減少では説明不可能な変化を示す刺激がみられた。たとえば、中心窩の無彩色応答が周辺視野縁部では有彩色応答に一部変化した刺激や、中心窩のオレンジ応答が周辺視野縁部では赤応答に変化した刺激がみられた。これらの例外的な応答は一人の被験者の1回のみの応答であり、周辺視野における色の見えの不安定さがこのような知覚を生み出した可能性が考えられる。

中心視野の色名応答が維持される視野範囲を定量化した結果、おおよそ鼻側30degから耳側70degの範囲で維持されることが明らかになった。つまり、この広視野範囲内では刺激をどの水平視野位置で観察しても、各色名ではほぼ一致した色名応答が得られると言ってよい。また、緑、紫、ピンクで維持視野範囲が狭く、青と黄は広いことがわかった。この結果からも、視野周辺部においてy-b色チャンネルに対するr-g色チャンネルの感度が低下したといえる。

色名維持視野範囲の解析は、今回用いた刺激の一部分の平均的傾向をとらえたものである。各刺激の応答を詳細にみると、中心窩でのカテゴリーの境界に位置する刺激に関しては維持視野範囲が狭いものもある。カテゴリーの境界付近の刺激は、離心角の増加に伴う色の見えの微妙な変化によって、隣接するカテゴリーへ応答の変化が生じたと考えられる。つまり、広視野範囲でのカテゴリーカル色知覚の安定性は本実験で用いた全刺激で示されたのではないことになる。しかし、各カテゴリー領域の内部に位置する多く

の刺激では、離心角の増加に伴う色の見えの微妙な変化にたいしてカテゴリー色としての見えに変化が生じず、安定した知覚が得られることが示された。

いくつかの解析結果から、白、黒、灰はその他の有彩色色名とは異なる傾向が示された。一致率や維持視野範囲の結果から、中心視野の無彩色応答は周辺視野では比較的变化しやすいことが示された。過去の周辺視野の色の見えの研究では、刺激に有彩色を用いたものがほとんどであった。また、周辺視野では色みが減少する方向へ変化する、つまり無彩色に向かって変化することが明らかになっているため、一般的には周辺視野で無彩色の見えは変化がみられないと考えられていた。しかし、本実験のような結果が得られたのは、無彩色カテゴリーの分布領域は小さいために、周辺視野での錐体出力の不安定性からやや色みが加わると、有彩色応答へと変化してしまうためであると考えられる。

視野周辺縁部では被験者内で各刺激にたいする不一致応答が増加する傾向が示された。これは、視野周辺縁部では錐体数が減少するために錐体出力の不安定性が知覚に影響を及ぼし、色の見えが1つに定まりにくくなった可能性が考えられる。また、被験者間の応答の不一致も生じた。これは、錐体出力量の減少により、色み感度の個人差、または、少ない色み成分刺激に対する有・無彩色の判断基準の違いの影響などが原因であると推測される。

耳側視野は鼻側視野よりカテゴリー維持範囲が広く、明らかな耳側視野優位性が示された。耳側視野優位性は過去の研究結果と一致している(Stabell and Stabell, 1982 etc.)。この原因としては、耳側と鼻側で対応する位置の網膜上の錐体密度の非対称性(Curcio *et al.*, 1987)やV1より上位レベルでの非対称性(Fahle and Schmid, 1988)が影響していると考えられる。

過去の研究結果のような離心角の増加に伴う色の見えの変化の原因として、いくつかの可能性が示唆されている。解剖学的知見から中心窩と周辺網膜の錐体密度分布が異なることが明らかになっている(Curcio *et al.*, 1987)。また、心理物理実験から中心窩にたいする周辺網膜での錐体から反対色レベルへの経路変化(Stabell and Stabell, 1976 ;

Nerger *et al.*, 1995)や反対色レベルの感度低下(Nagy and Doyal, 1993)が示唆されている。カテゴリカル色知覚は生理学的にも解明が進んでいない点が多いが、網膜や反対色レベルより上位レベルの脳皮質V1野からV4野、下側頭皮質にカテゴリカル色知覚に対応する部位が存在するとされている(Komatsu *et al.*, 1992; Walsh *et al.*, 1992)。中心視野と周辺視野に同じ色を呈示しても、網膜や反対色レベルでは異なる色情報が伝達されるが、より上位レベルに達すると、広い視野範囲にわたって同一の色名として情報が伝達されることになる。

周辺視野における色の見えの測定にはいくつかの問題が生じることが報告されている、そのなかでも、応答の困難さの影響が大きく、刺激がはっきりと見えないため応答には熟練を要するとされる。しかし、今回の実験を行った被験者の内観報告として、周辺視野での応答の容易さがみられた。これは今までの一般的な見解とは異なり、周辺視野の色覚特性の新たな一面を捉えることができたと言える。

3.5 まとめ

実験1では、明所視照度レベルでの中心視野と周辺視野におけるカテゴリカル色知覚の特性を11基本色名を用いて調べた。その結果、中心視野の色名応答はおおよそ鼻側視野30degから耳側視野70degの範囲で維持されることが明らかとなった。色名別では青、黄の色名維持視野範囲がより広いことがわかった。このように、明所視照度レベルでは広い視野範囲にわたって同じ色名応答が得られることが示された。

第4章 周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚に対する低照度レベルの影響

4.1 はじめに

実験1の結果から、照度2000lxの明所視レベル環境下では、中心視野のカテゴリーカル色知覚はおおよそ鼻側視野30degから耳側視野70degの視野範囲では同じ色名応答が得られることが示された。それでは、実験1の実験環境下に色の見えに変化を与えるような観察条件を加えると、どのような特性の変化が生じるであろうか。また、どの程度の色名維持視野範囲が得られるのだろうか。そこで実験2では、色の見えに変化を与える観察条件を実験1の条件に加えた実験を行い、周辺視野のカテゴリーカル色知覚特性を考察していく。

色の見えに変化を与える条件のなかで、刺激呈示自体に変化を加えるものには刺激のサイズや輝度レベルや呈示時間条件などがあり、観察条件に変化を加えるものには空間対比、時間対比、色順応、照度レベル順応条件がある。ここでは、実験1の刺激呈示条件は一定にし、色の見えの変化に大きく影響を与えるものとして、照度レベルの変化を取り上げる。また、私たちは1日のうちで様々な照度レベルのもとで行動している。そのため、複数の照度レベルのもとでのデータを収集することで、工学的応用のニーズに見合ったデータの提供が可能になると思われる。

私たちは、昼間の太陽光から夜の街灯まで、幅広い照度レベルの下で生活している。昼間には鮮やかに見えた物体の色が夕方の薄暗がりの中ではほとんどわからないといったことはよく経験する。このように、照度レベルの変化にたいする特性は日常的なものであると言える。

低照度レベルにおける色の見えの変化については、これまでにいくつかの研究が報告されている。湯尻(1990)は反対色型カラーネーミング法を用いて刺激サイズを変化させて色の見えの変化を測定した。その結果、照度レベルの低下に伴う有彩色成分の減少や緑色の青色方向への移行が示された。また、低照度レベルでは刺激サイズの影響が大きくなり、刺激サイズの増加に伴い色の見えの彩度の増加がみられた。門馬ら(1993)は両眼隔壁等色法により、明所視レベルから薄明視レベルにおける色の見えの測定を行った。その結果、照度レベルの低下に伴う彩度の低下、青・緑色相の青色方向への移行、黄-オレンジの赤色方向への移行が示された。

照度レベルの変化とカテゴリーカル色知覚に関しては、Middleton *et al.*(1952)が明所視レベルから薄明視レベルにおいて、赤、オレンジ、黄、緑、青、紫、灰のなかの1色名で応答する色の見えの測定を行った。その結果、低照度では無彩色名が大部分を占め、照度が増加すると有彩色ではまず赤、オレンジの領域に紫が生じ、次に緑や青の領域に青が生じることが示された。石田ら(1995)は複数の色票の中から指定された色名の色票を選ぶ色同定実験を行った。その結果、10lxまでは正しい色同定が可能であるが、1lxでは緑から青系統の色は類似した見えとなり、青・緑系の1つのカテゴリーに吸収されることが示された。

照度レベルと色の目立ちについての研究も行われている。芦澤と池田(1987)は、赤系は高照度では最も目立つが、低照度では逆に最も目立たない色になり、青系の色が目立ってくることを報告している。これらの結果はプルキンエ移行で説明することができ、照度の低下に伴い錐体の桿体に対する感度低下が生じて短波長側の色を明るく知覚するようになるためである。

これらの照度の変化と色の見えに関する研究結果から、低照度では色の見えの彩度低下や青・緑系色の青色への移行、黄-オレンジ系色の赤色への移行が生じることが明らかとなっている。また、各色の明るさ感覚の関係も変化してくることが示されている。しかし、これらの研究はすべて中心視野で行われているため、周辺視野では照度レベルの変化と色の見えの関係は明らかとなっていない。

4.2 実験目的

照度レベルが低下すると中心視野においても色の見えの変化が生ずる。それでは、そのような照度レベルが低下した環境下で周辺視野におけるカテゴリカル色知覚の特性はどのようなになっているのだろうか。実験1の明所視レベルでは中心視野のカテゴリール応答が比較的広い範囲にわたって維持されることがわかったが、低照度ではどうだろうか。また、明所視レベルの中心視野の応答は低照度のどの程度の視野範囲まで維持されるだろうか。実験2では、照度レベルと周辺視野でのカテゴリカル色知覚に関するデータを収集し、さらに周辺視野でのカテゴリカル色知覚の特性を明らかにしていくことを目的とする。

4.3 実験方法

(a) 実験装置

実験は、図2.5に示した液晶プロジェクターによる刺激呈示装置を用いる。半球内の照度の調節はD₆₅蛍光灯に覆った遮光紙で行った。色票から液晶プロジェクターへ変更した理由として、まず、今後の実験への汎用性が挙げられる。OSA色票はサイズが小さく、また、手動に頼ることが多いため今後の実験にたいしてかなりの制約が生じる。それに対し、プロジェクターは刺激サイズの変化など刺激制御を容易に行うことが可能である。その他の理由としては、実験の自動化に伴う、実験進行の円滑化などが挙げられる。

(b) 刺激

刺激はコンピュータ制御の液晶プロジェクターと開口部に置かれたNDフィルターにより作られ、2章2.1で説明したOSA色票をシミュレートしたものをを用いる。これらの刺

刺激呈示は、各照度レベルのもとでのOSA色票を観察した場合を想定している。つまり、照度が低下するに伴い刺激の輝度も低下する。OSA色票の明度レベルLが偶数（-6, -4, -2, 0, +2, +4）の215枚のなかから液晶プロジェクターが呈示可能な205枚を刺激として用いた（プロジェクターによって実際に呈示された刺激の輝度とCIE1931(x,y)色度は付録2を参照）。Olson(1988)の研究において、OSA明度レベルが偶数の215枚で測定を行った結果、424枚を用いたときと同じような傾向がみられた。つまり、その215枚のOSA色票で、すべての色票を用いたときの結果を代表することができることが示された。この結果を用いて215枚（そのうち呈示可能な205枚）を採用した。

(c)刺激呈示条件

全視野の照度は5, 0.1lxの2条件を行う。5lxは薄明視レベルであり、0.1lxは暗所視レベルに近い薄明視レベルである。各照度条件での灰色OSA色票（-2,0,0）の輝度は、5lx条件が 0.3053cd/m^2 、0.1lx条件が 0.0079cd/m^2 となっている。

5lx条件の刺激呈示位置は水平軸上で0deg（中心窩）、鼻側視野30, 50deg、耳側視野30, 50, 70, 80degである。0.1lx条件では、0deg、鼻側視野30, 50deg、耳側視野30, 50, 70degで測定を行った。5lx条件では鼻側60degと耳側90deg、0.1lx条件では鼻側60deg、耳側80, 90degで観察不可能な刺激が多かったため、測定は行われていない。

(d)手続き

被験者は実験ブースに入り、20分間（5lx条件）、または30分間（0.1lx条件）照明に順応した後、測定を開始する。被験者は単眼（右眼）で固視点を固視し、被験者がキーボードのボタンを押すことで、3秒間刺激が呈示される。刺激を観察した後、カテゴリーカルカラーネーミング法により、刺激が何色に見えたかをキーボードで応答する。応答色名は実験1と同様に11基本色名のなかの1色名に限定した。205枚の刺激はランダムに呈示され、被験者は刺激呈示位置一カ所につき全刺激を計2回観察した。一人の被験者につき、5lx条件では205試行×2セット×7カ所＝計2870試行、0.1lx条件では205試

行×2セット×6カ所＝計2460試行となる。

(e)被験者

被験者は実験1と同様に、男性1名（IK：30才），女性2名（KS：25才，NS：23才）である。

4.4 実験結果

4.4.1 色名分布

図4.1(a)-(c)は5lx条件における各被験者の全刺激の応答結果を示している。1つの刺激に対する総応答数は2回であり、2回とも一致した色名が得られた刺激は各色で表し、応答の一致が得られなかった刺激は"■"で表している。図中、列方向の結果は各視野位置に対応し、順に鼻側視野50，30deg，中心窩，耳側視野30，50，70，80degの結果となっている。行方向の結果はOSA明度レベル毎に表示した。

被験者IKの結果をみると、中心窩では各色名がそれぞれ密集して分布している。分布の大部分は有彩色の応答が占めている。図3.2の2000lxの中心窩の応答と比較すると、低明度レベルの緑と紫の応答の一部が無彩色応答や不一致応答に変化した。中、高明度レベルの色票は、2000lxと比較的一致する応答がみられた。

中心窩と周辺視野の結果を比較すると、鼻側30degでは緑、ピンク、紫の応答が減少し、無彩色と不一致応答が増加した。耳側70degでも緑、紫の応答の減少、無彩色と不一致応答の増加がみられた。しかし、比較的多くの刺激が鼻側30degから耳側50degの範囲で応答に変化が生じなかった。鼻側50deg，耳側80degになると、無彩色応答と不一致応答の分布が拡大したが、有彩色では黄、青、茶の応答が多く残っているのがわかる。

被験者KSとNSでも同様に、鼻側30degと耳側50degまでは中心窩の応答とそれほど大きな違いがみられなかった。しかし、2000lxに比べて応答の個人差が表れ、被験者NSはその他の被験者に比べて鼻側50degと耳側80degでも黄、青、茶などの有彩色応答の占める割合が高かった。

図4.1(d)は5 lx条件における全被験者の応答をまとめた結果を示している。1つの刺激に対する総応答数は2回×3人=6回である。3回以上一致した色名が得られた刺激は各色で表し、3回未満の刺激は"■"で表している。

図4.2(a)-(c)は0.1 lx条件における各被験者の全刺激の応答結果を示している。各被験者の応答結果を見ると、2000 lxや5 lxの中心窩のような各有彩色名がそれぞれ密集して分布する傾向とは明らかに異なり、青、紫、茶以外の有彩色の応答はわずかであった。また、被験者間の応答の違いが顕著に表れた。中心窩の結果をみると、被験者IKは無彩色の応答が非常に多く、また、不一致応答も多い。被験者KSは青、茶、赤の有彩色応答がみられた。その他は灰と不一致応答が広がっている。被験者NSは有彩色応答が多数みられ、青と紫の応答が大部分を占めている。

周辺視野では無彩色の応答が色度範囲のほぼ全域を占めている。ただし、被験者NSは耳側30degでも青、紫の応答が多数みられた。無彩色応答の分布傾向としては、5 lxの結果と比較すると、高明度レベルの刺激では、黄とオレンジの応答領域が灰の応答に変化したのに対し、青の応答領域は白の応答に変化した。中、低明度レベル刺激では、オレンジ、赤、ピンクの応答領域が黒の応答に変化したのに対し、青、紫の応答領域は灰の応答に変化した。

図4.2(d)は0.1 lxにおける全被験者の応答をまとめた結果を示している。中心窩の応答は被験者間で違いが生じたため、不一致応答が多くなっている。有彩色では青の応答が被験者間で一致して得られ、周辺視野では多くの無彩色応答の一致がみられた。

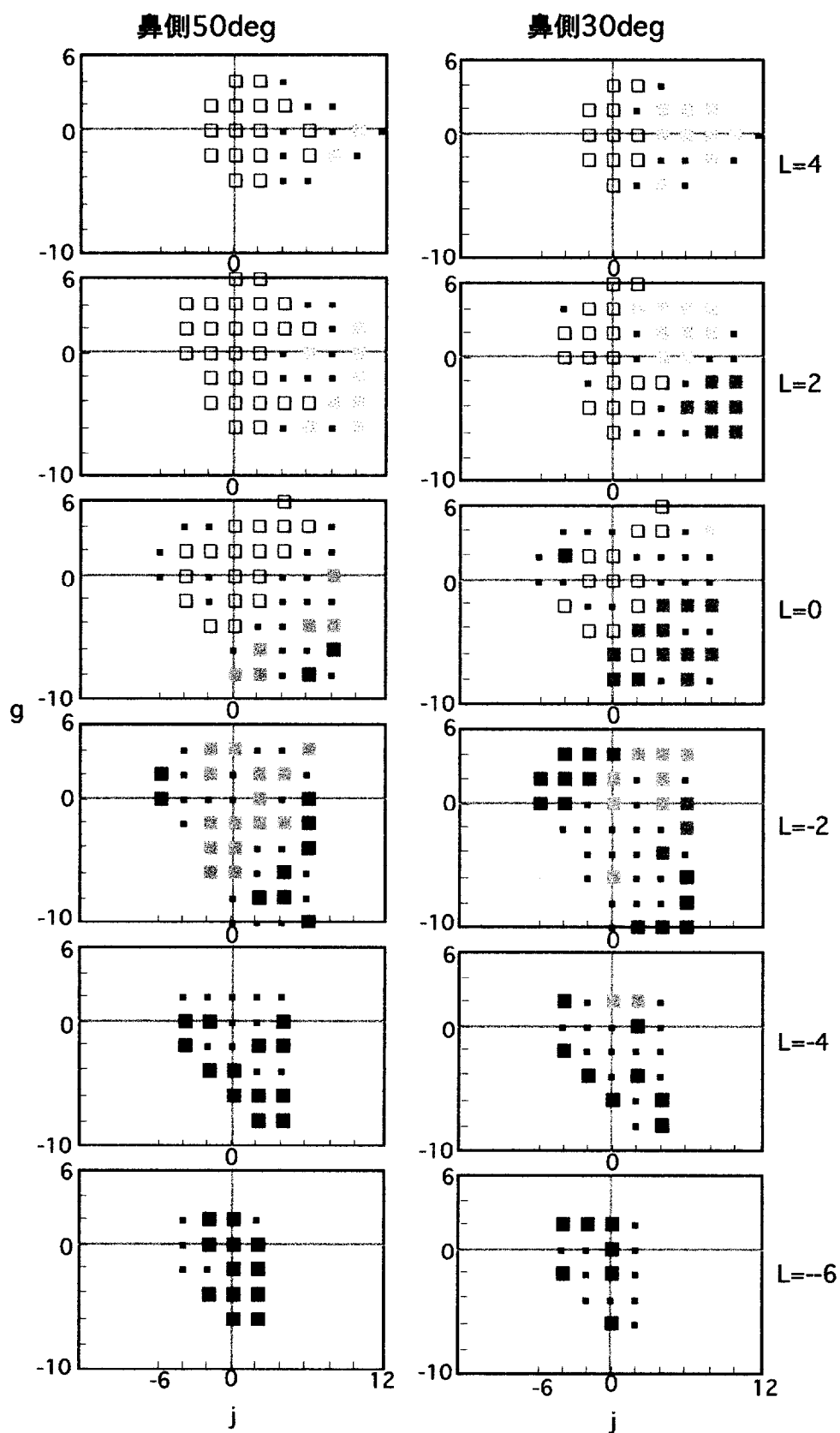
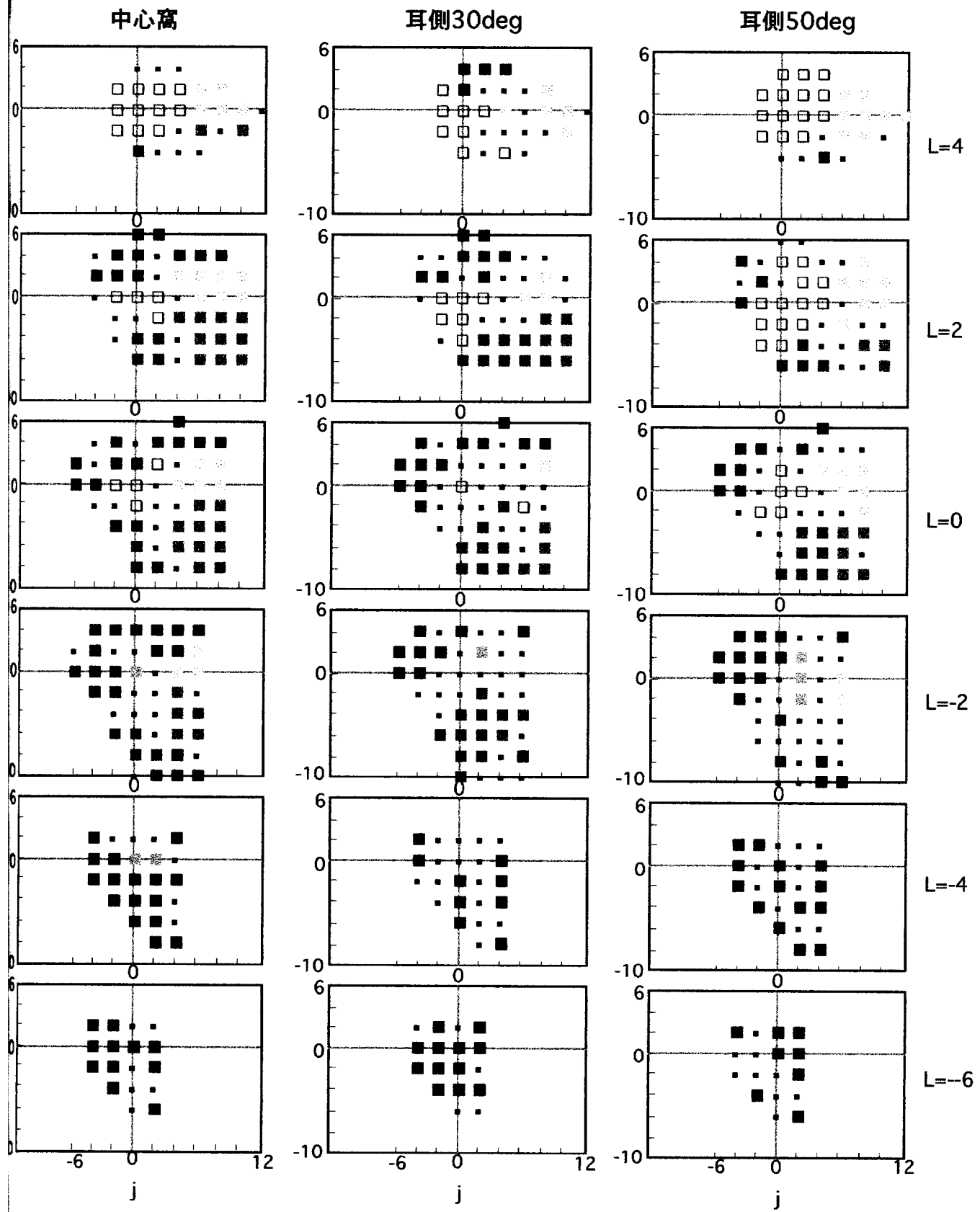


図4.1(a) 5 lxにおける被験者IKのカテゴリカルカラーネーミングの結果 (左から順に鼻側視野50,30degの結果を示す)



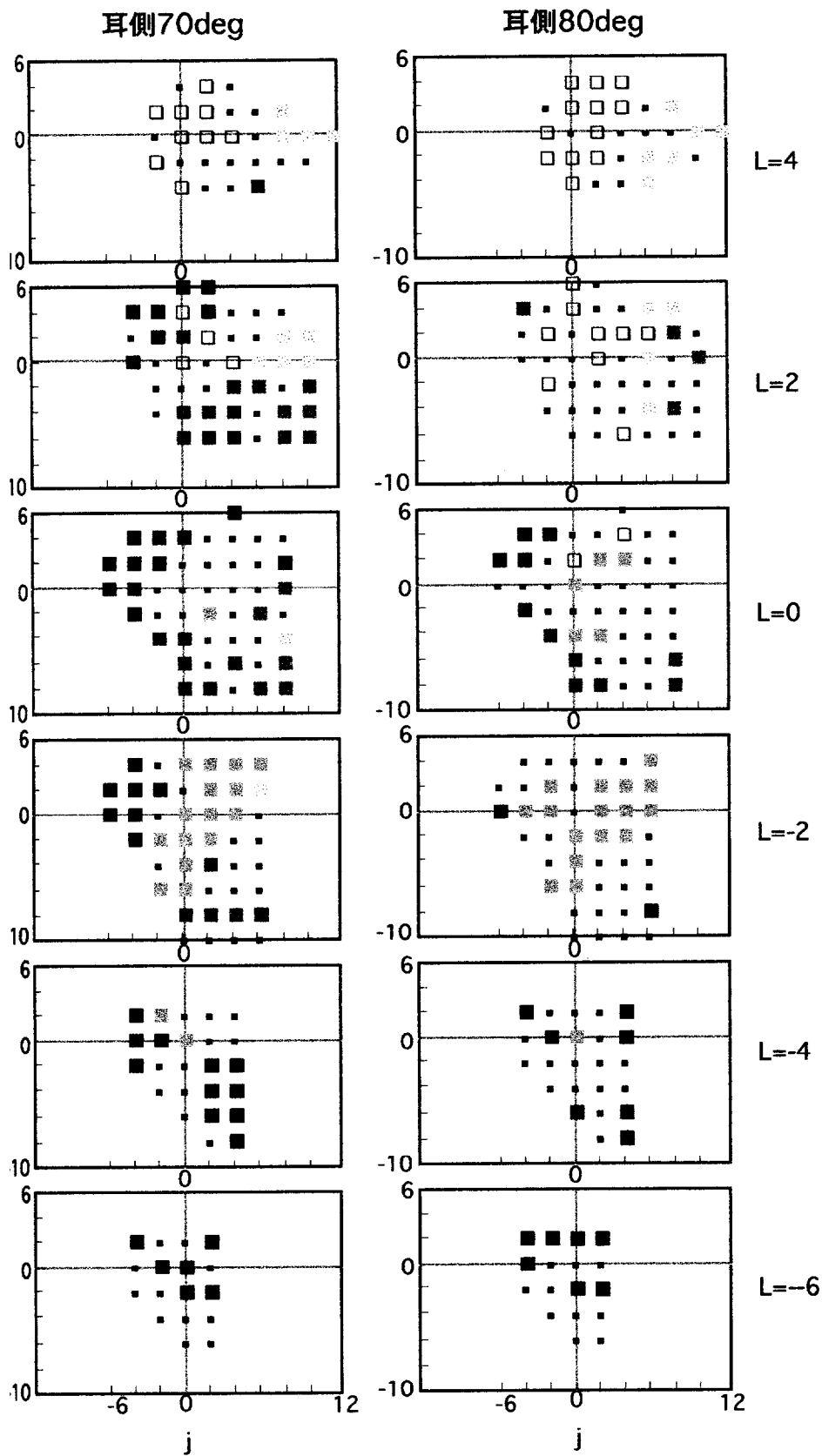
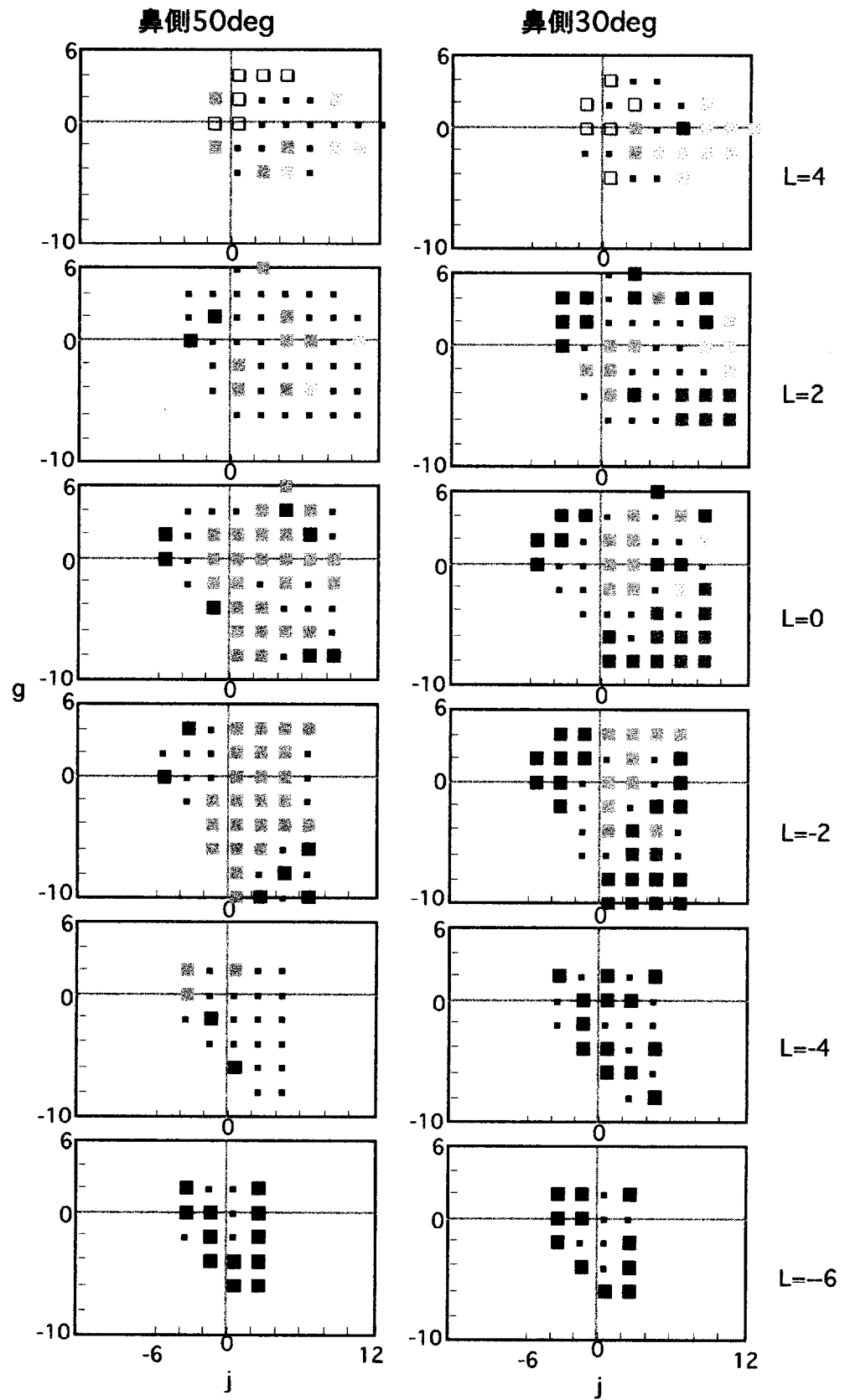


図4.1(a) 5 lxの被験者IK 続き (左から順に耳側視野70,80degの結果を示す)



1.1(b) 5 lxにおける被験者KSのカテゴリカルカラーネーミングの結果 (左から順に鼻側視野50,30deg結果を示す)

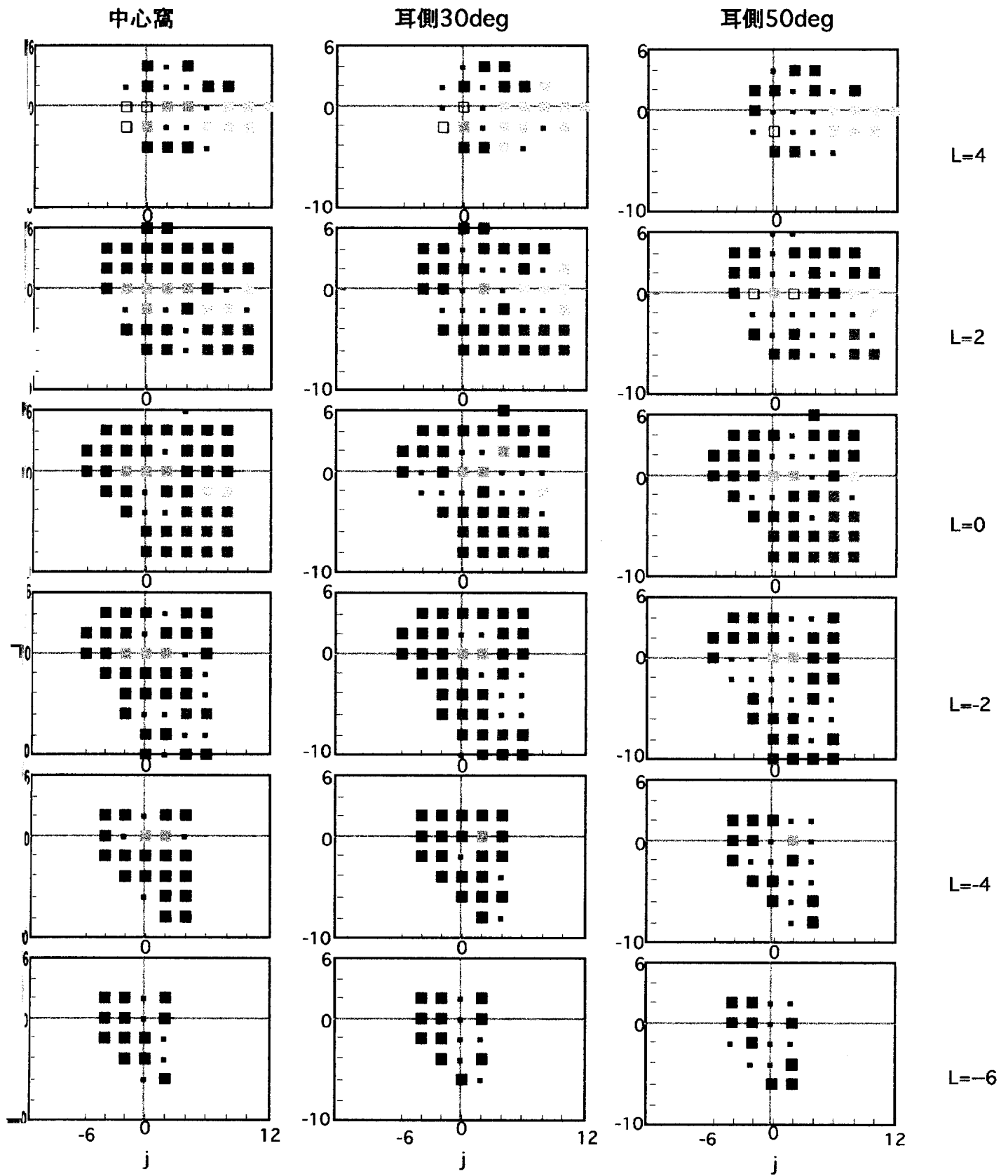


図4.1(b) 5 lxの被験者KS 続き (左から順に中心窩, 耳側視野30,50degの結果を示す)

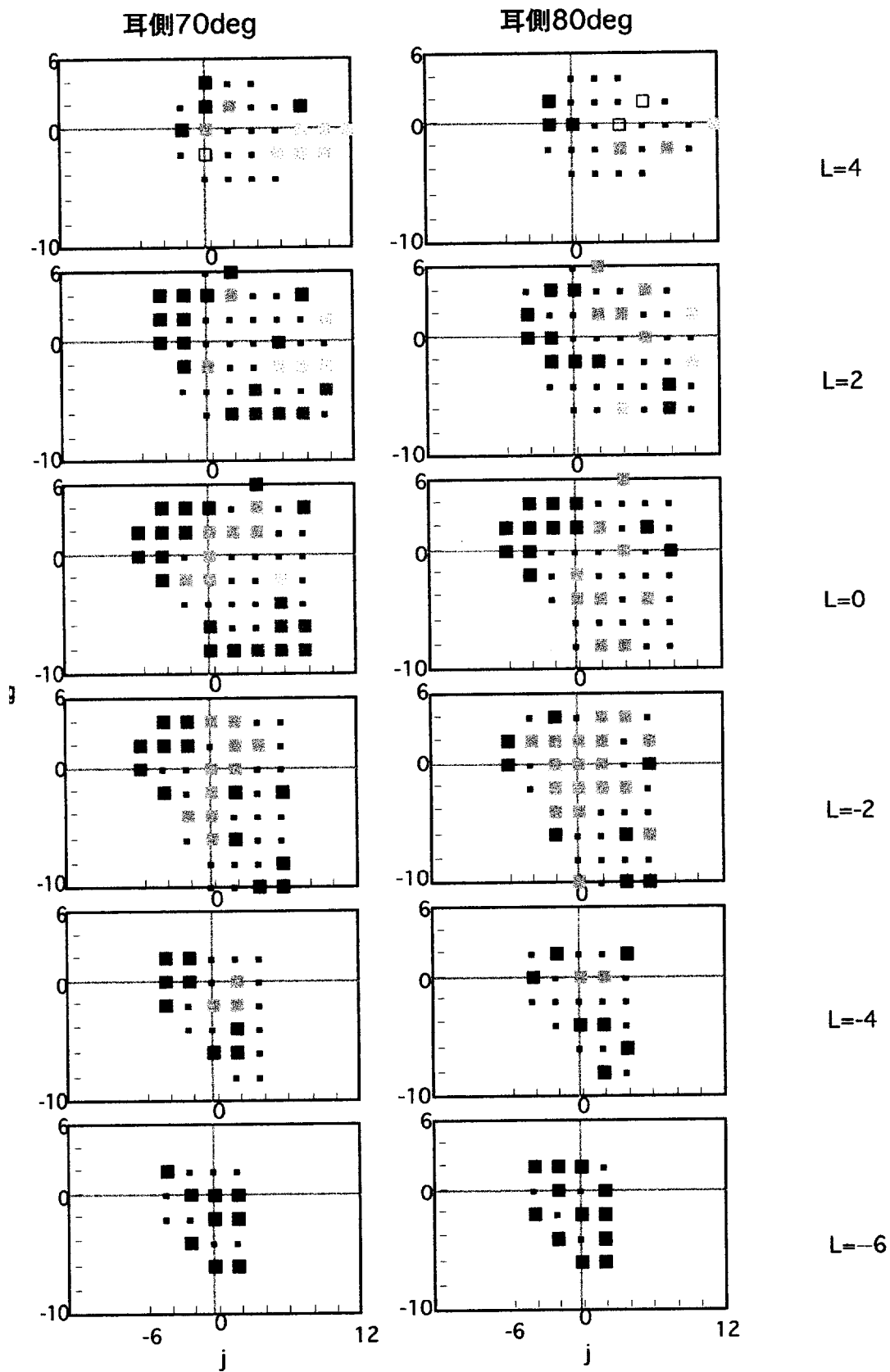


図4.1(b) 51xの被験者KS 続き (左から順に耳側視野70,80degの結果を示す)

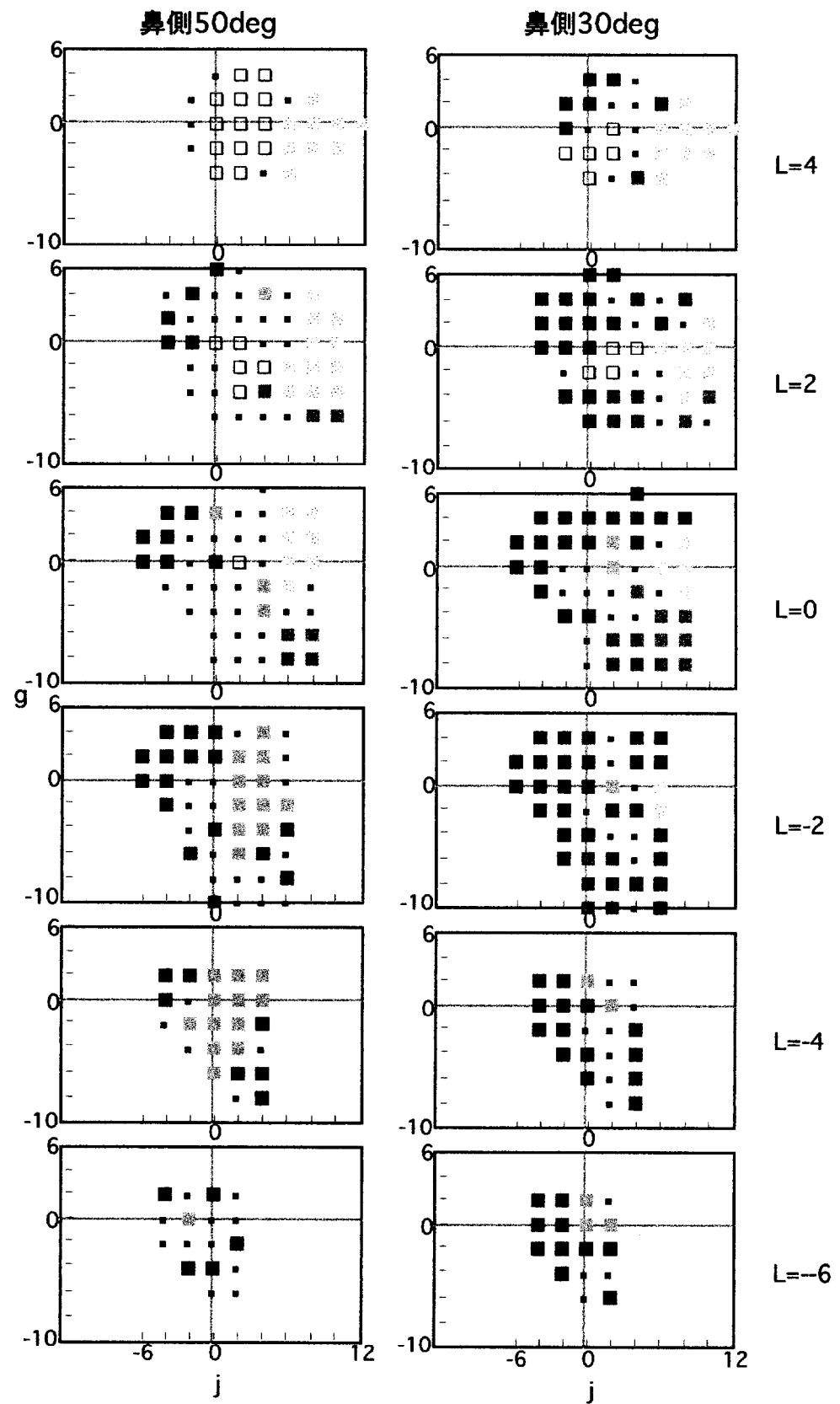


図4.1(c) 5 lxにおける被験者NSのカテゴリカルカラーネーミングの結果 (左から順に鼻側視野50,30degの結果を示す)

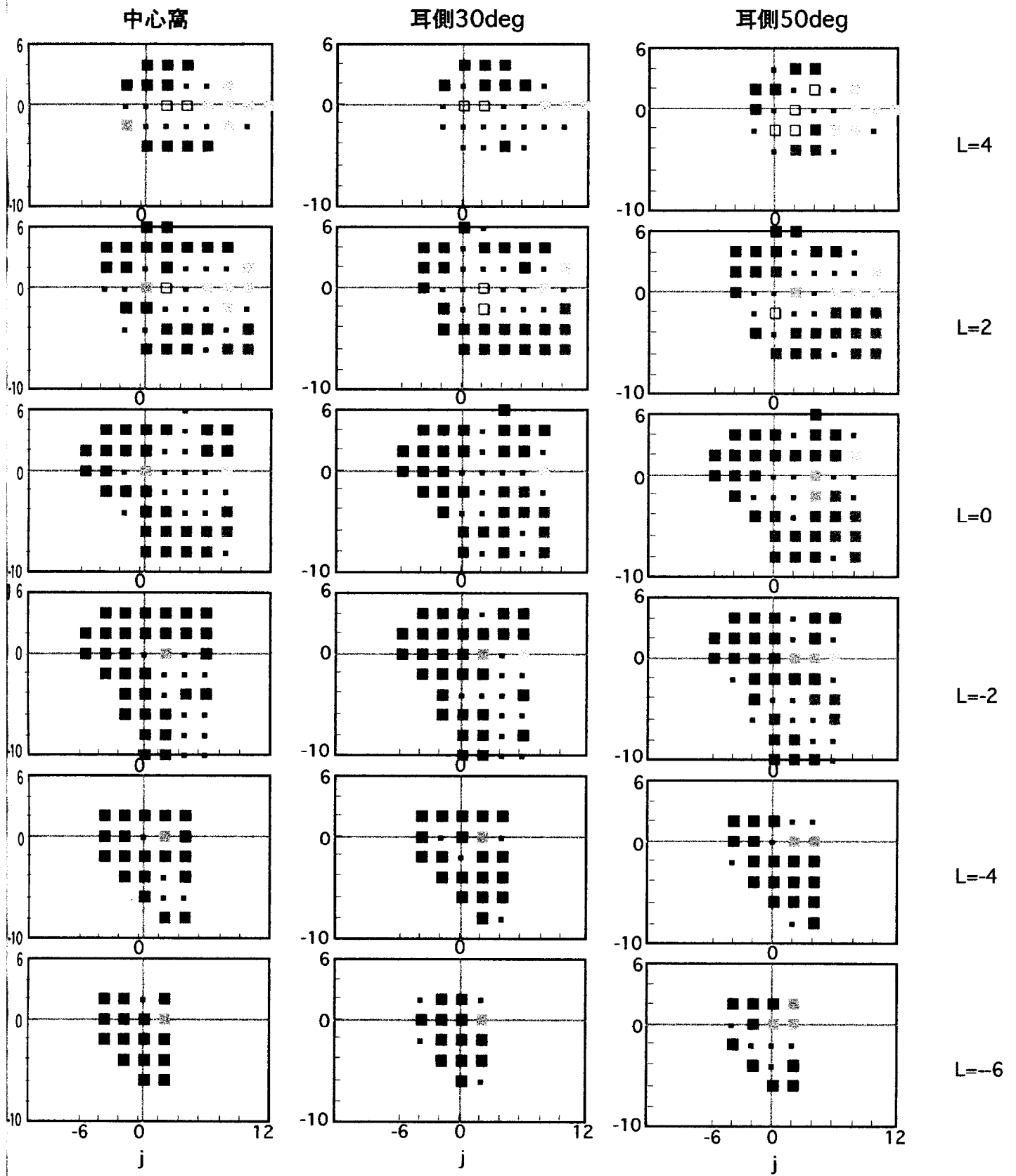


図4.1(c) 51xの被験者NS 続き (左から順に中心窩, 耳側視野30,50degの結果を示す)

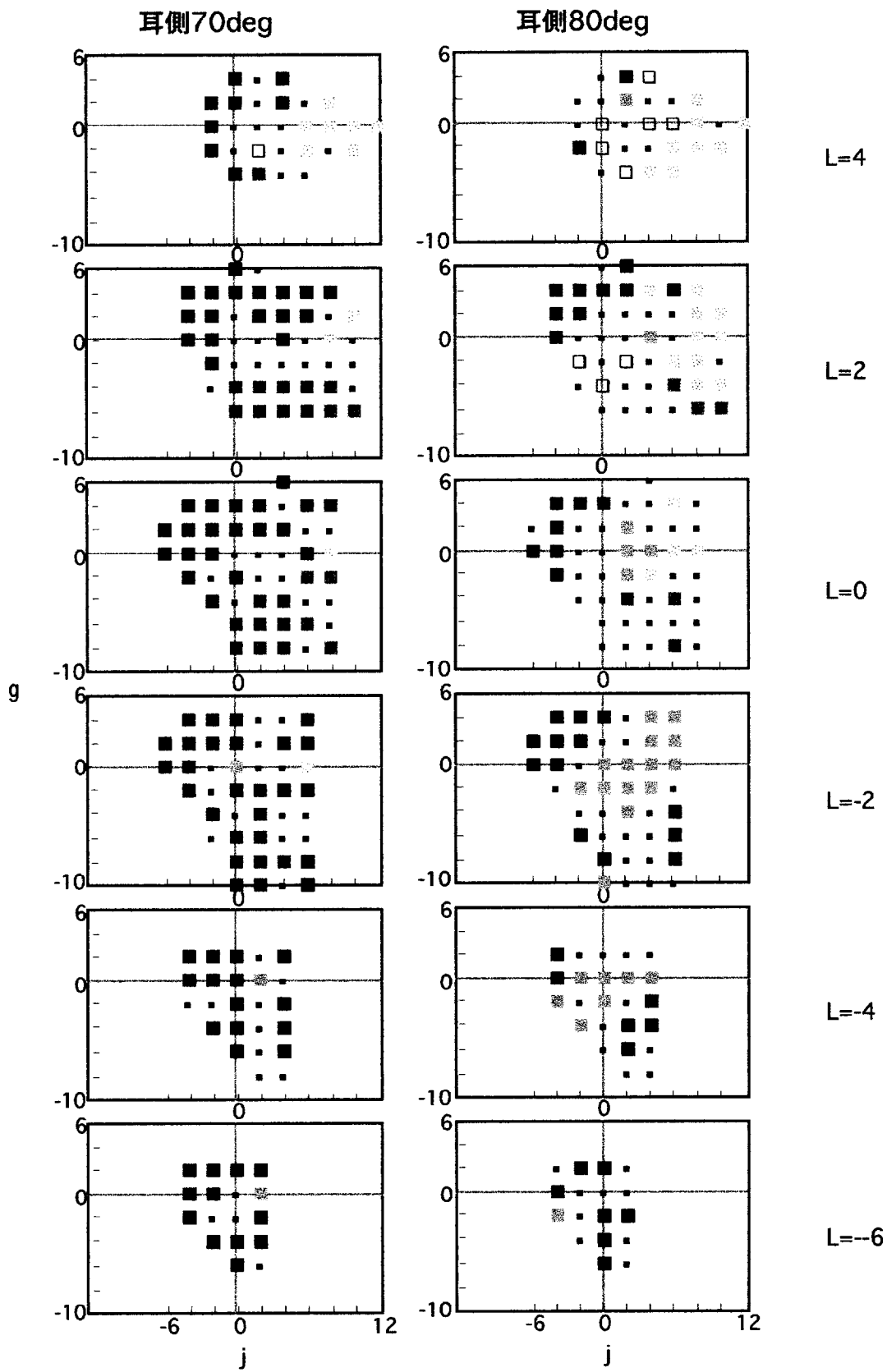


図4.1(c) 5 lxの被験者NS 続き (左から順に耳側視野70,80degの結果を示す)

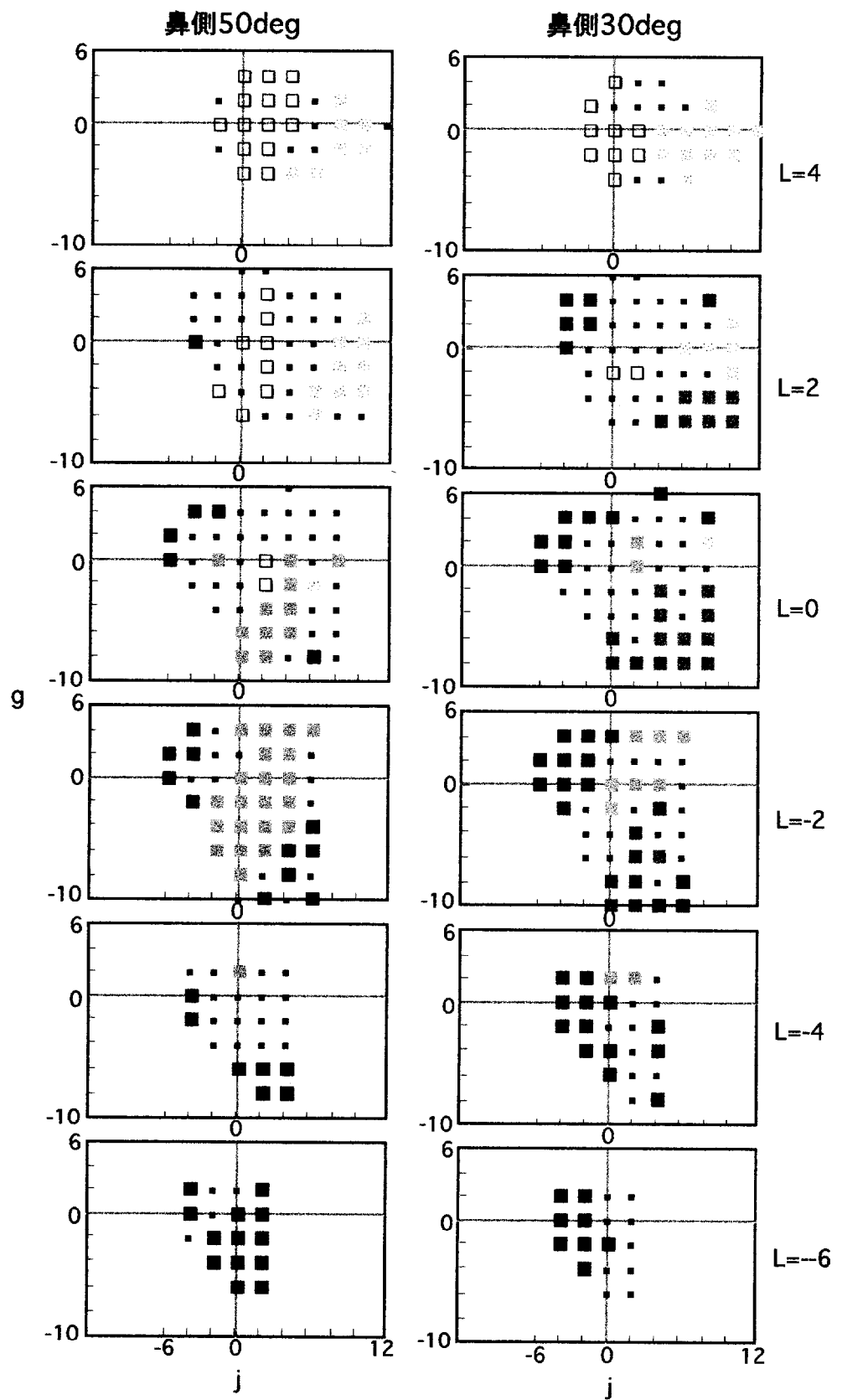


図4.1(d) 5 lxにおける全被験者の応答をまとめたカテゴリカルカラーネーミングの結果（左から順に鼻側視野50,30degの結果を示す）

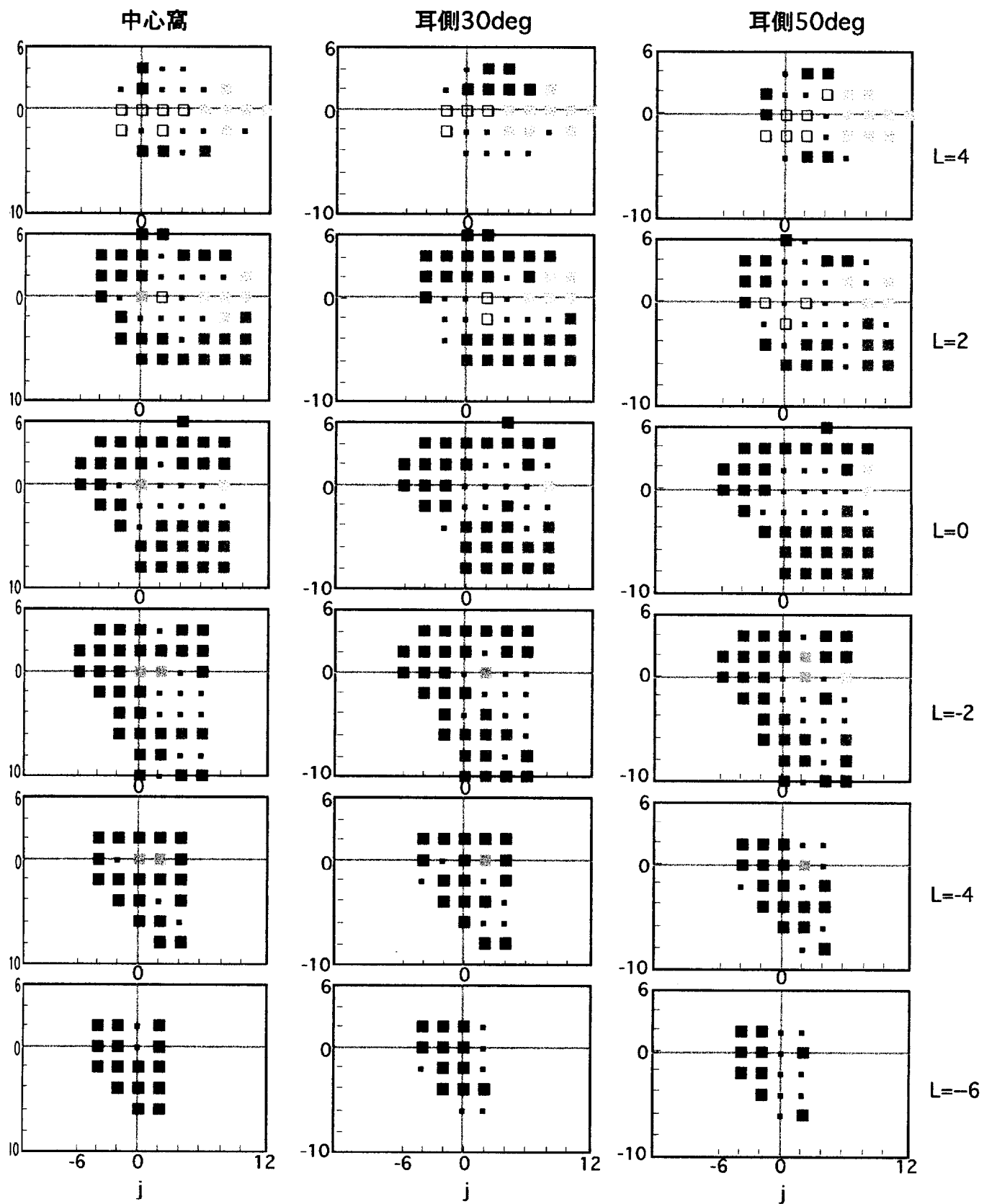


図4.1(d) 5 lxの全被験者 続き (左から順に中心窩, 耳側視野30,50degの結果を示す)

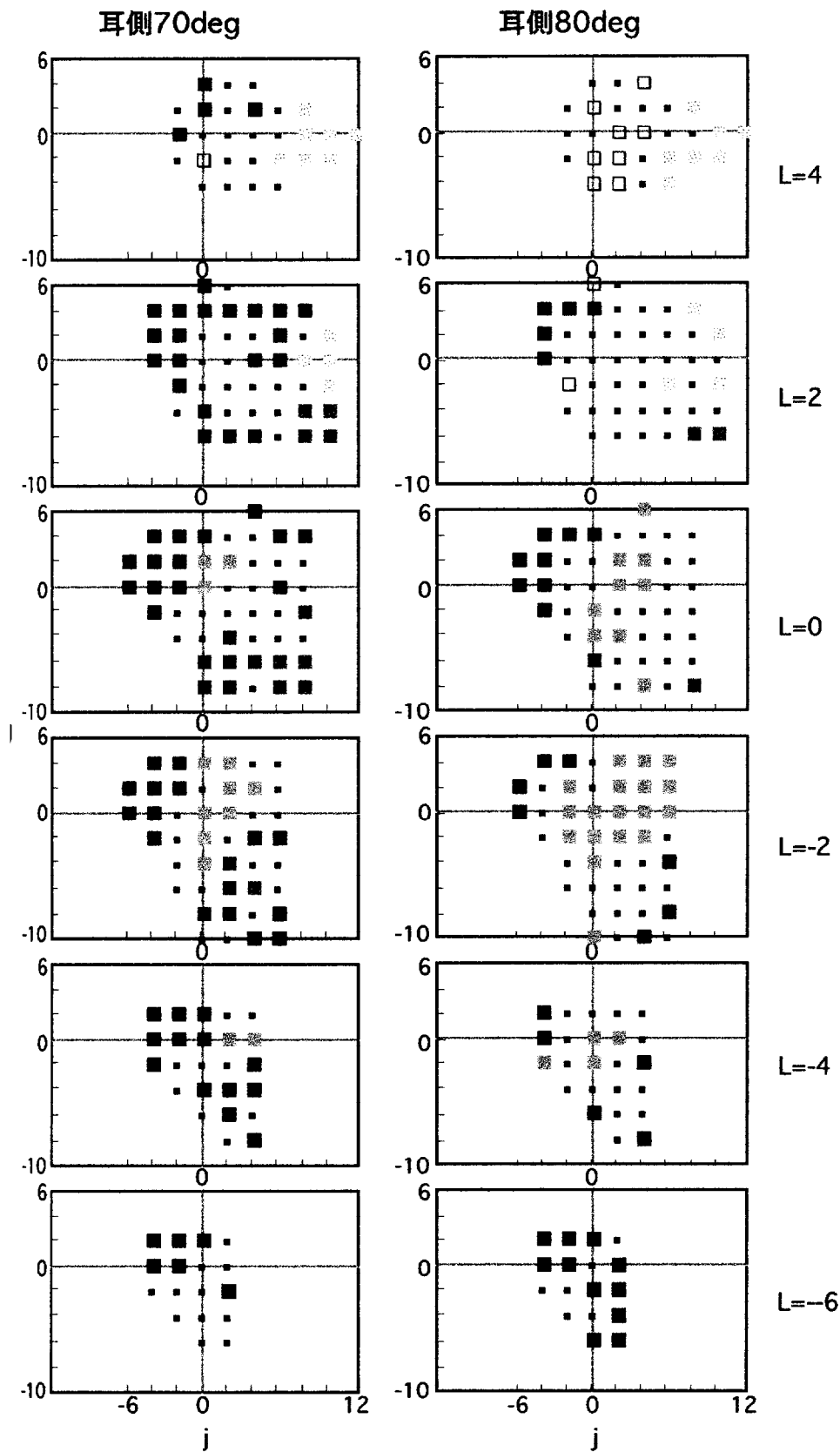


図4.1(d) 51lxの全被験者 続き (左から順に耳側視野70,80degの結果を示す)

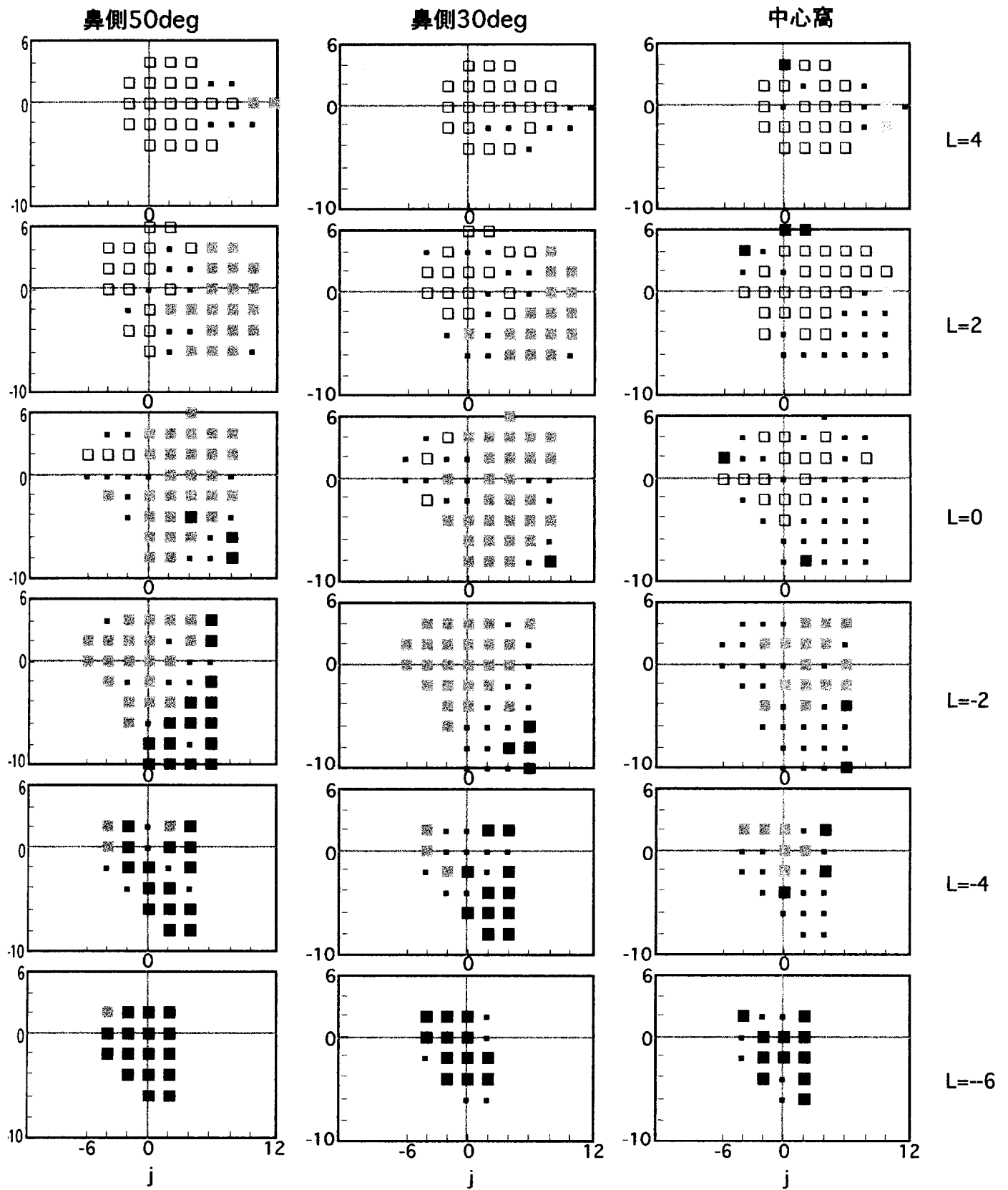


図4.2(a)0.1lxにおける被験者IKのカテゴリカルカラーネーミングの結果（左から順に鼻側視野50,30deg, 中心窩の結果を示す）

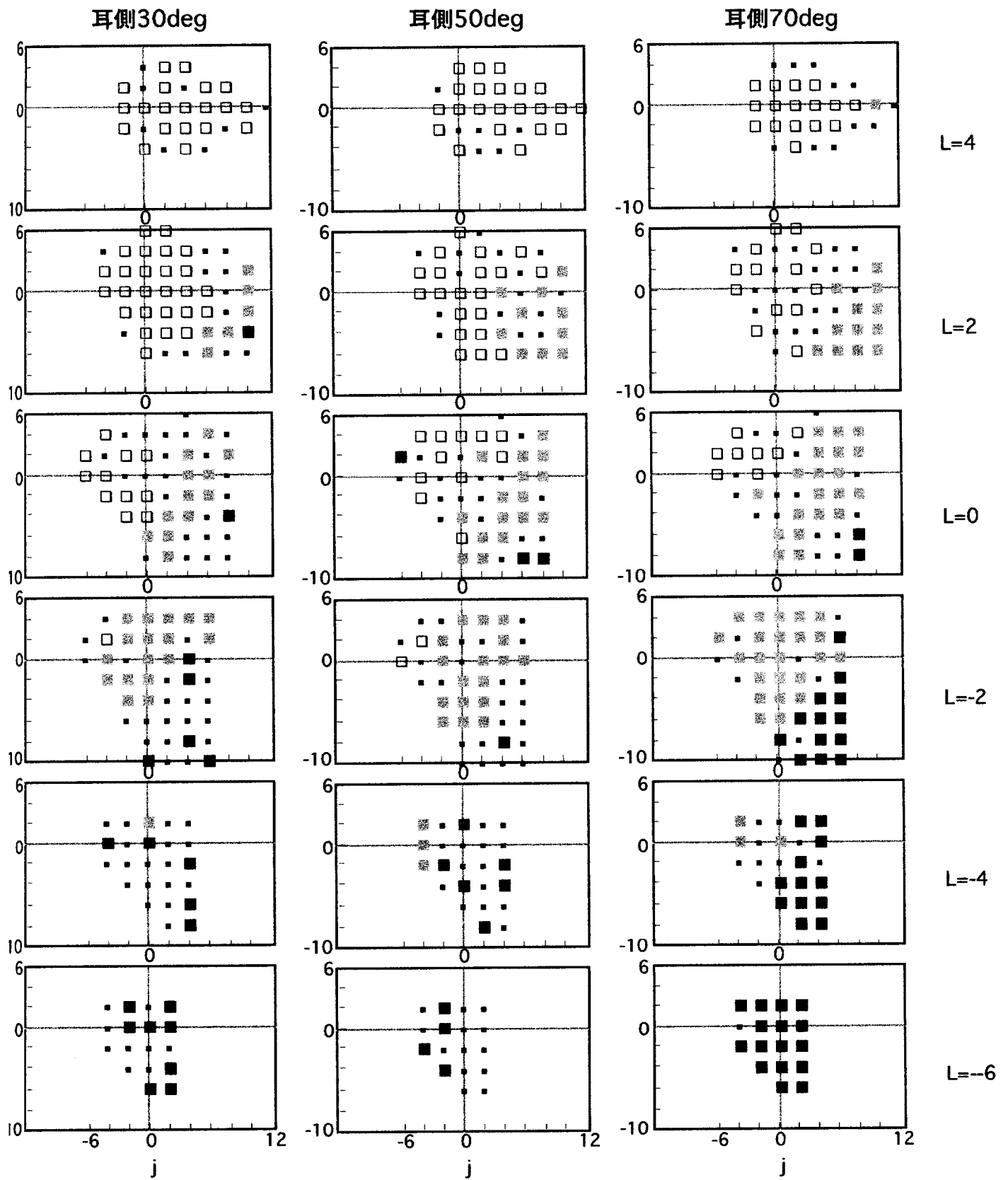


図4.2(a)0.1lxの被験者IK 続き (左から順に、耳側視野30,50,70degの結果を示す)

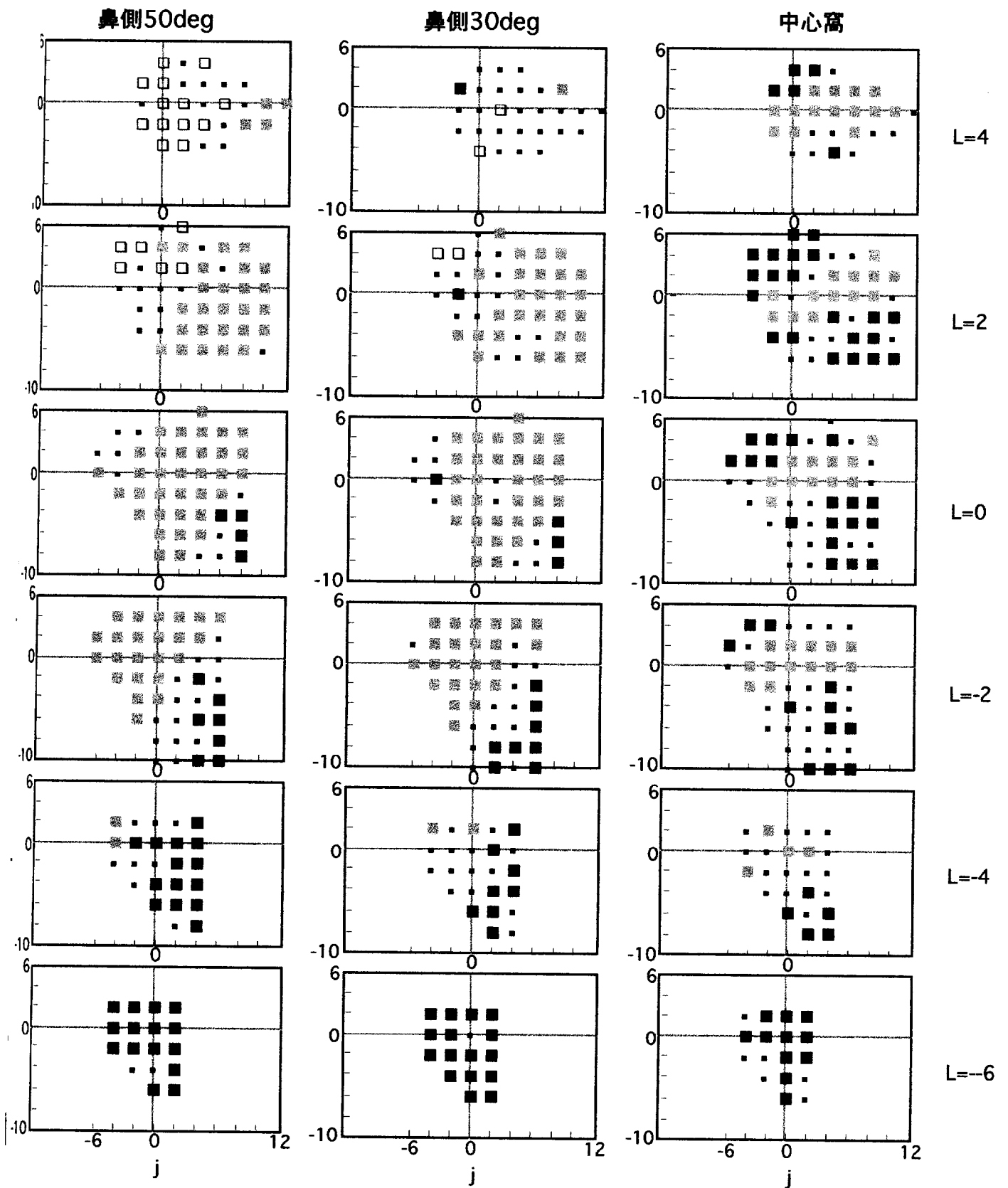


図4.2(b)0.1lxにおける被験者KSのカテゴリカルカラーネーミングの結果（左から順に鼻側視野50,30deg, 中心窩の結果を示す）

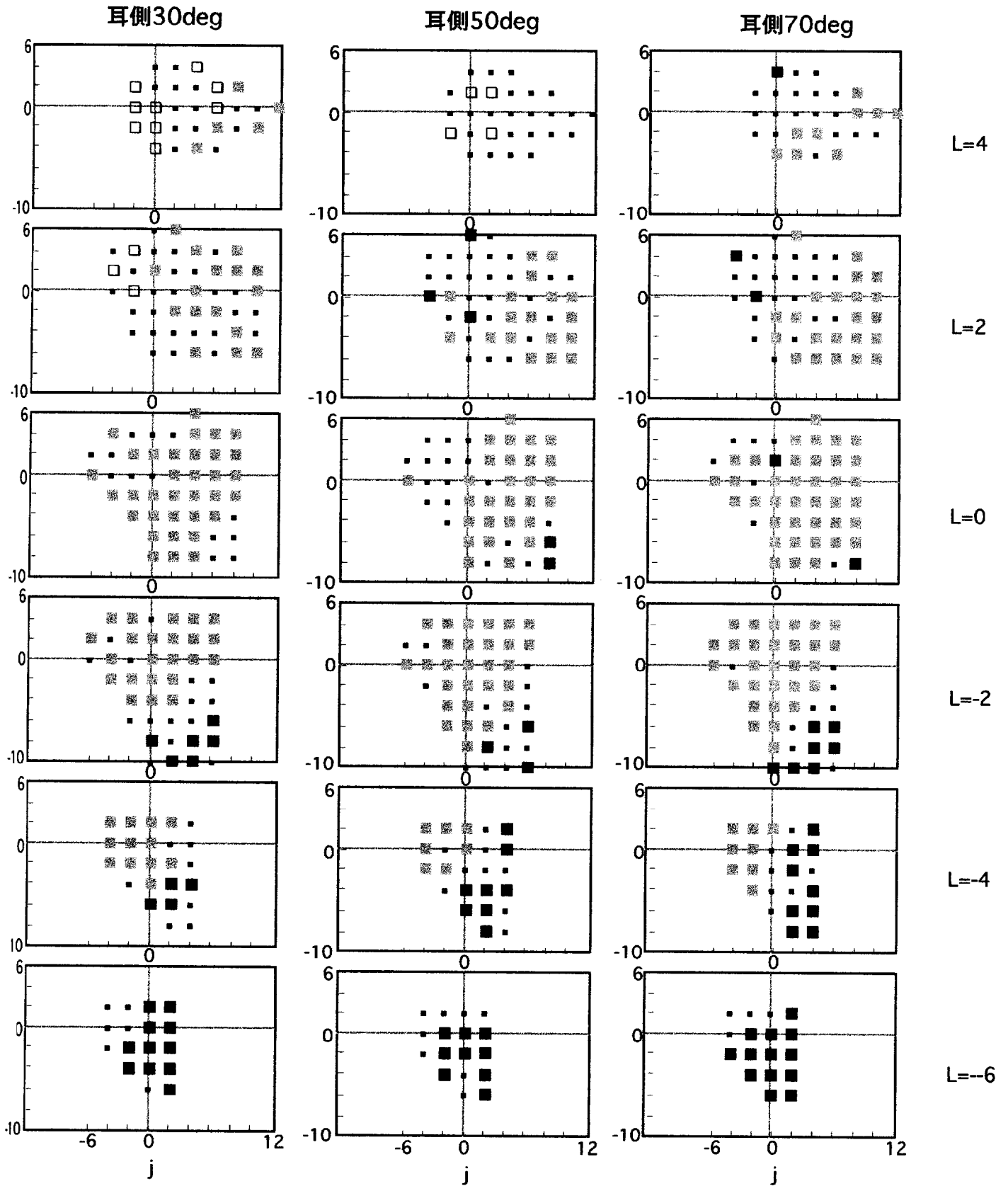


図4.2(b)0.1lxの被験者KS 続き (左から順に、耳側視野30,50,70degの結果を示す)

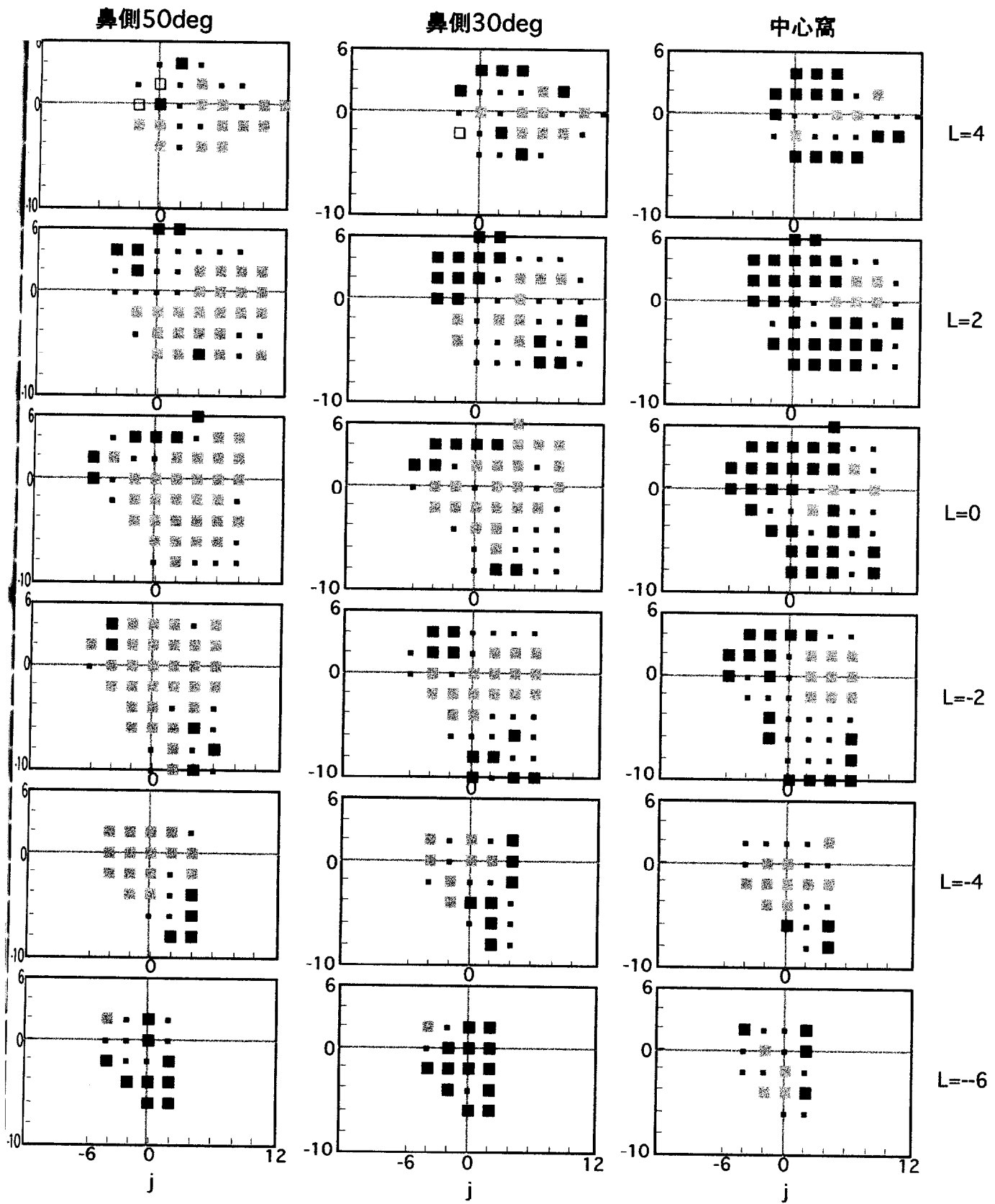


図4.2(c)0.1lxにおける被験者NSのカテゴリカルカラーネーミングの結果（左から順に鼻側視野50,30deg, 中心窩の結果を示す）

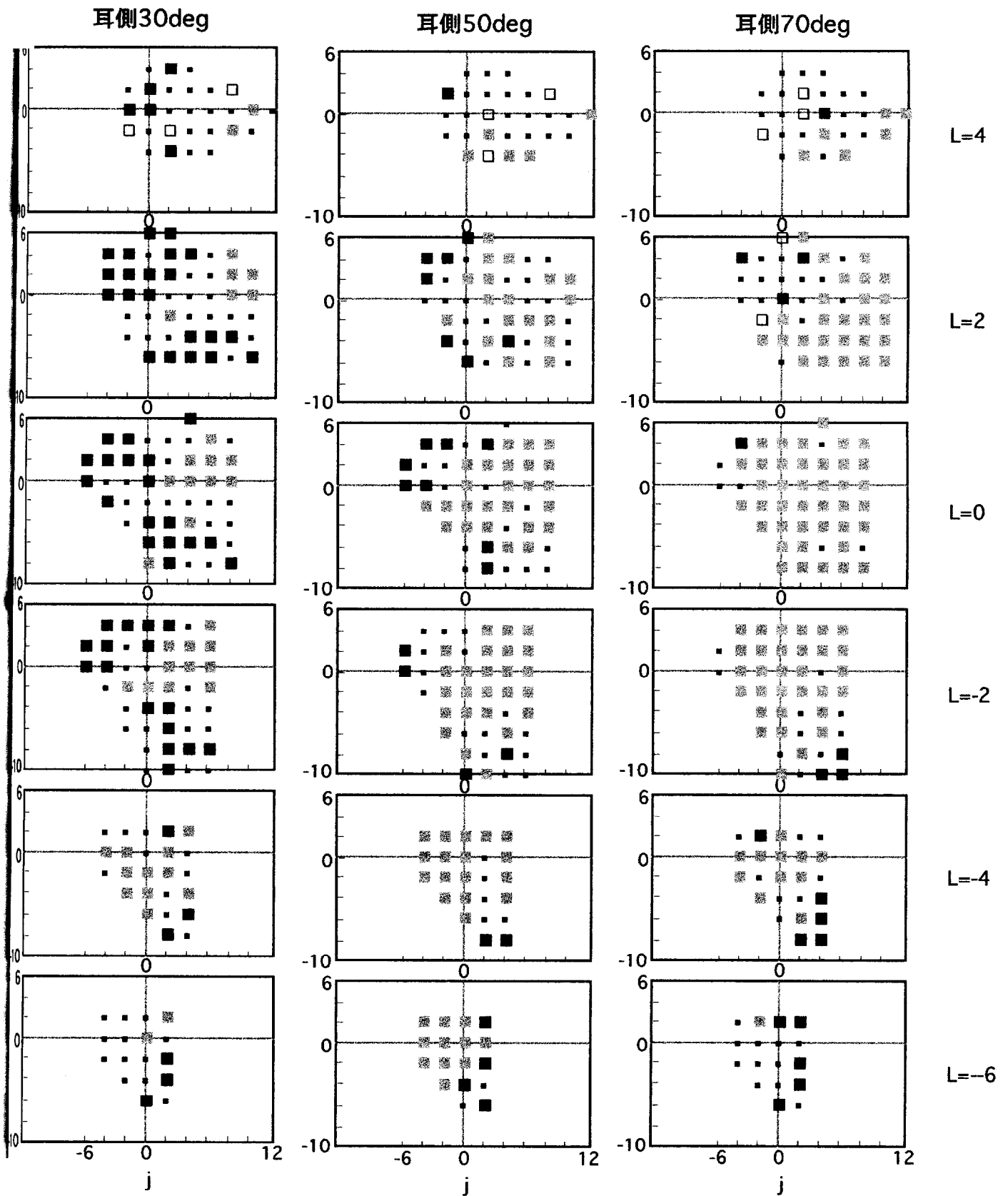


図4.2(c) 0.1lxの被験者NS 続き (左から順に、耳側視野30,50,70degの結果を示す)

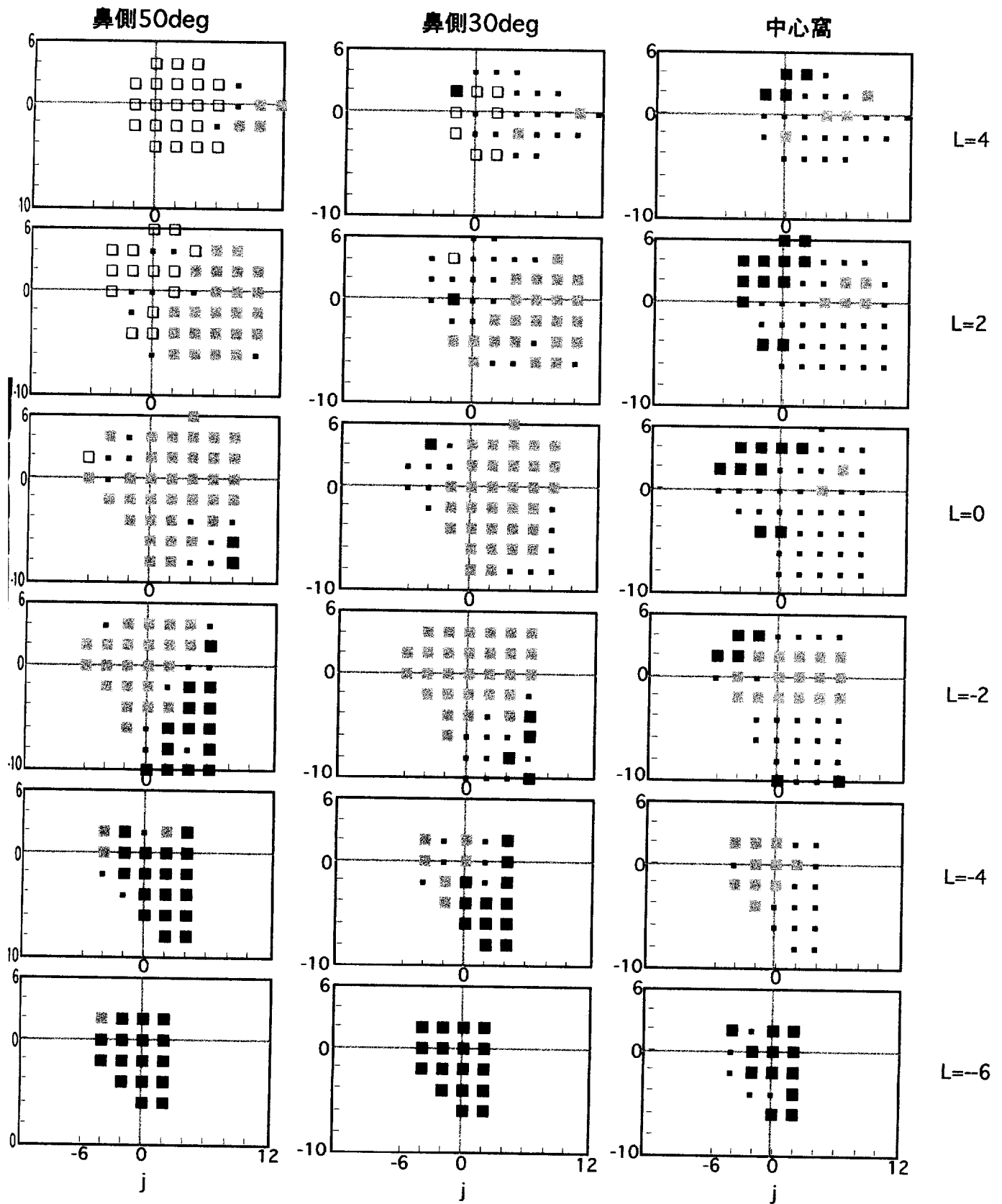


図4.2(d)0.1lxにおける全被験者の応答をまとめたカテゴリカルカラーネーミングの結果 (左から順に鼻側視野50,30deg,中心窩の結果を示す)

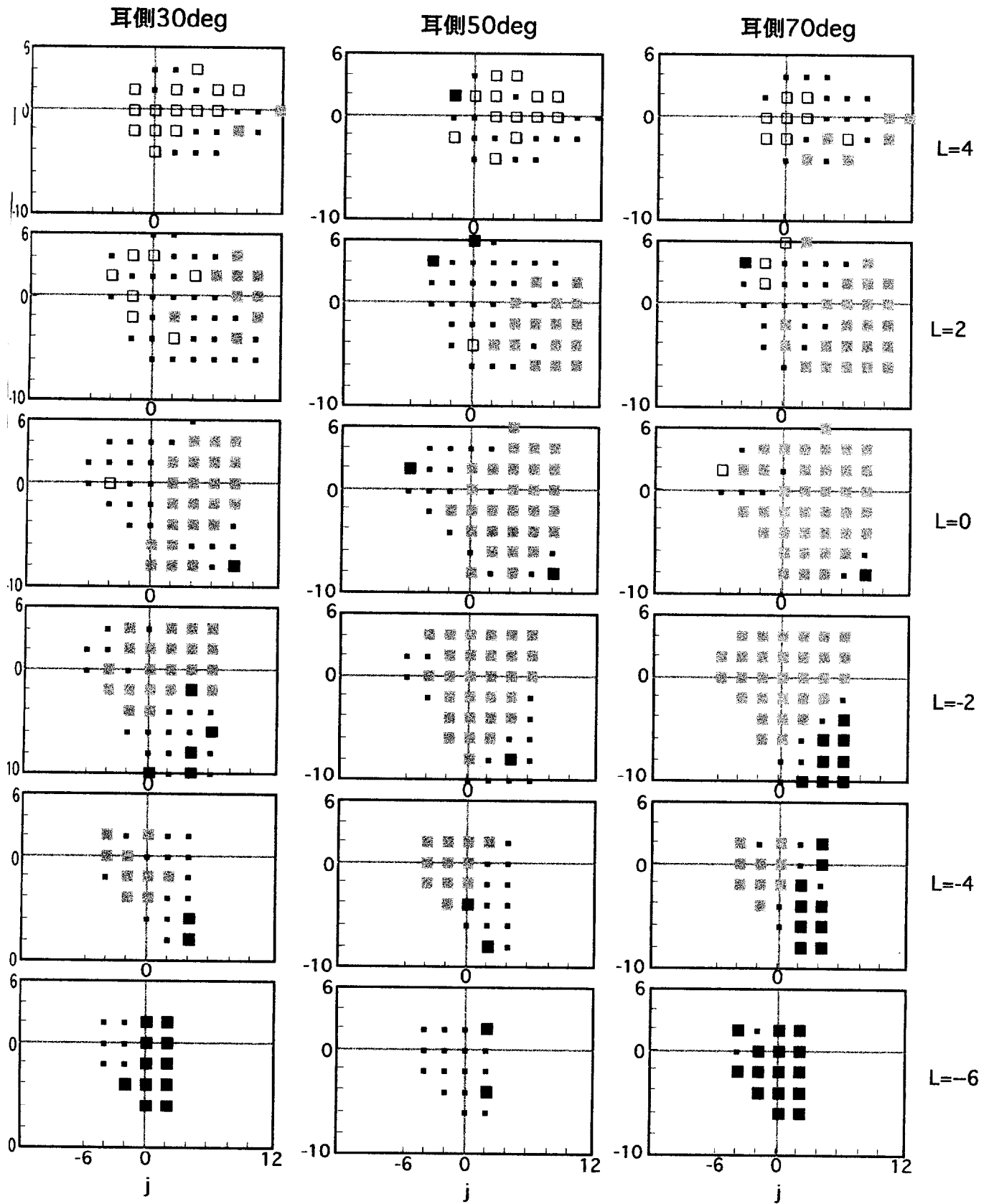


図4.2(d)0.1lxの全被験者 続き (左から順に、耳側視野30,50,70degの結果を示す)

4.4.2 色名応答数

次に2000lxと同様に各色名の離心角に対する応答数の変動に着目する．0.1lxでは応答に個人差が生じたため，図4.3(a)-(c)は5lxと0.1lxの被験者別の各色名の応答数を示した．1枚の色票につき2回応答した合計応答数を表している．比較のために，2000lxの実験結果から本実験で用いた205枚を抽出した応答数結果も示している．

5lxの結果をみると，全ての被験者において赤，緑，ピンク，紫，オレンジは視野周辺部で応答数の減少がみられた．ただし，オレンジは減少量が少ない被験者もいた．各被験者で応答の傾向はやや異なるが，オレンジ以外では中心窩に対して鼻側30degで応答数の減少がみられた．耳側では応答数の増減が激しいが，顕著な減少は被験者IKで緑が50degでみられ，その他の色名の顕著な変化は全ての被験者で70degまたは80degでみられた．青，黄は応答数の変動が少なく，被験者NSにおいては周辺視野で増加する傾向がみられた．また，周辺視野での無彩色の顕著な増加がみられた．

0.1lxの結果をみると，中心窩における有彩色の応答数は被験者により違いが生じ，被験者NSの紫の応答数は他の被験者にくらべ極端に多い．しかし，どの被験者でも有彩色応答数は離心角の増加に伴い急激に減少し，無彩色応答数が顕著に増加した．

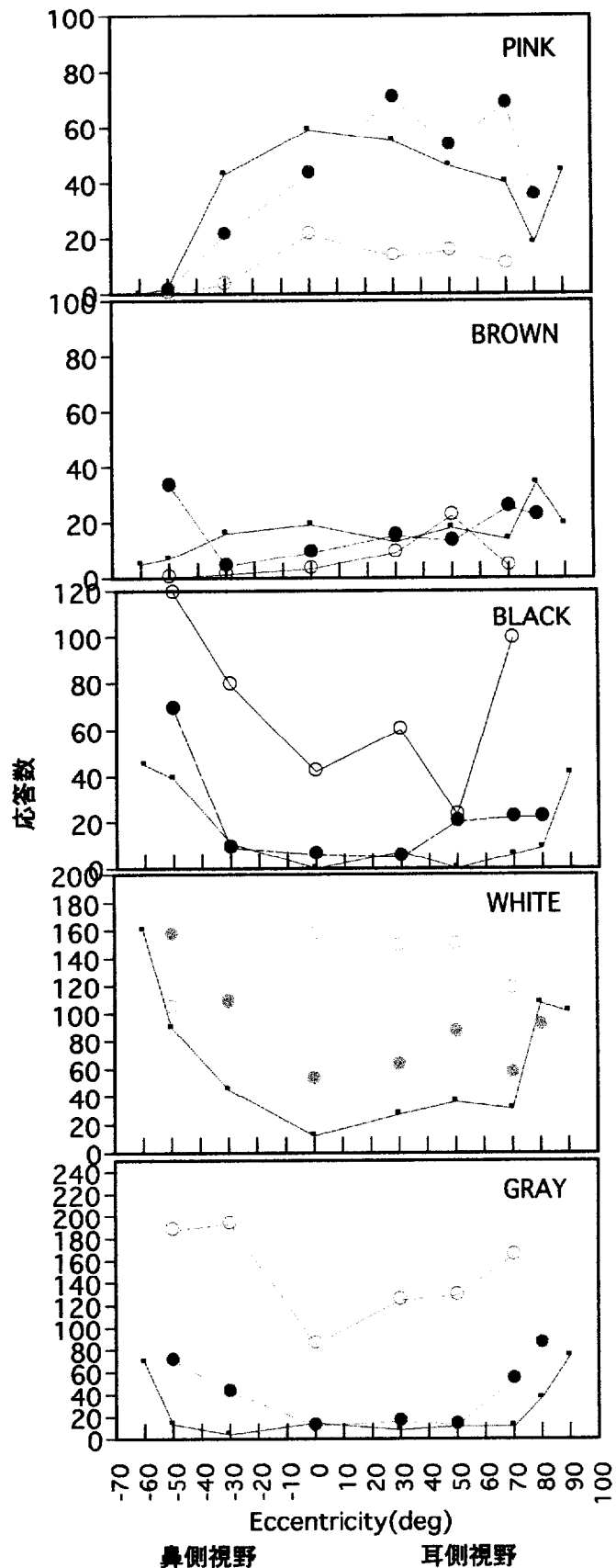
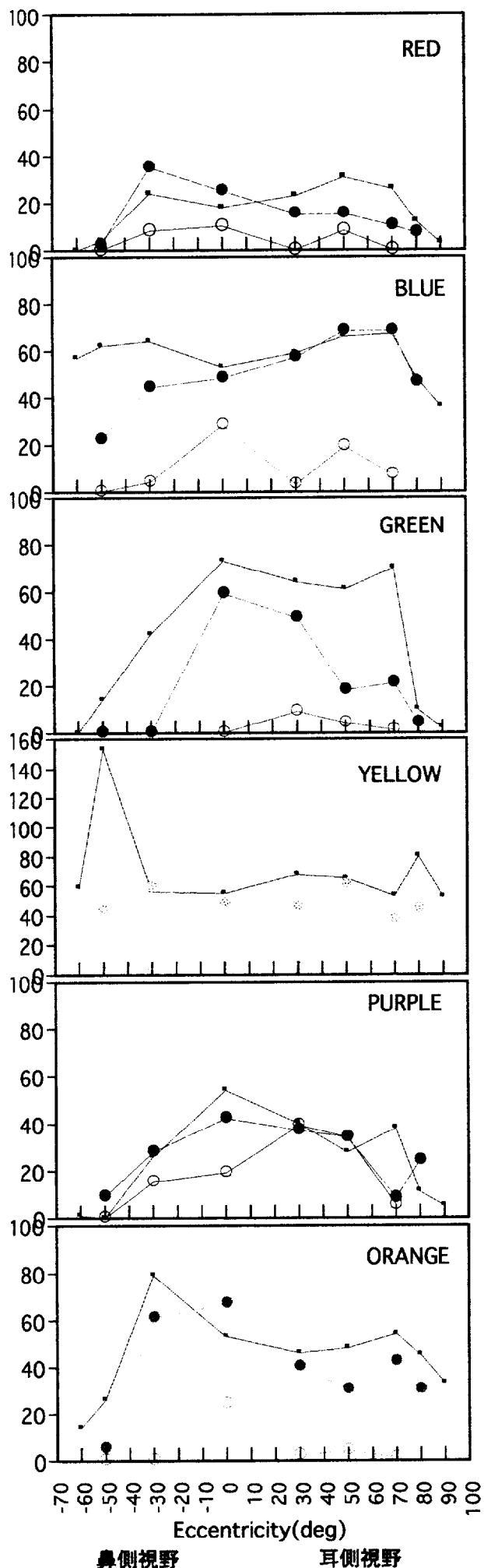
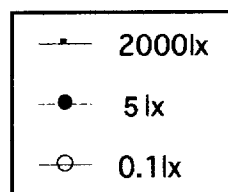


図4.3(a) 5 lx, 0.1lxにおける
離心角の変化と色名応答数
(被験者IK)

比較のために2000lxの応答数も
示す。各線は照度レベルの違い
を表す。



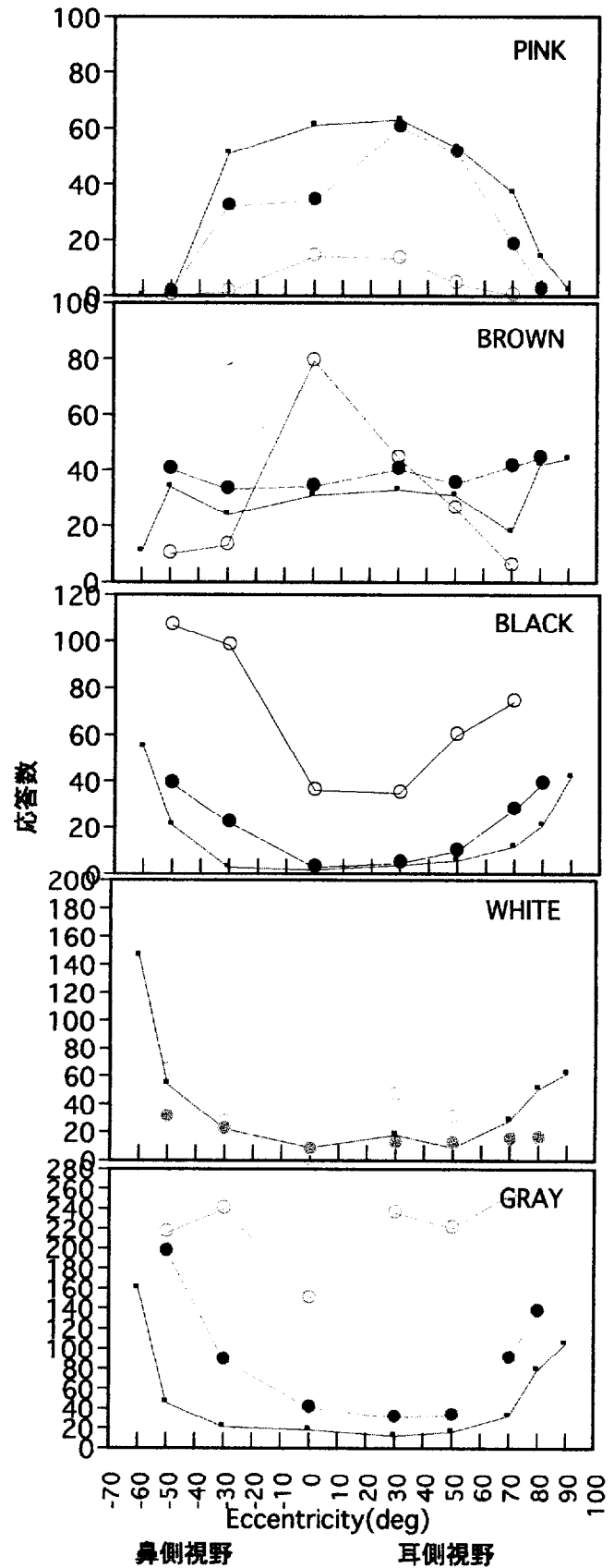
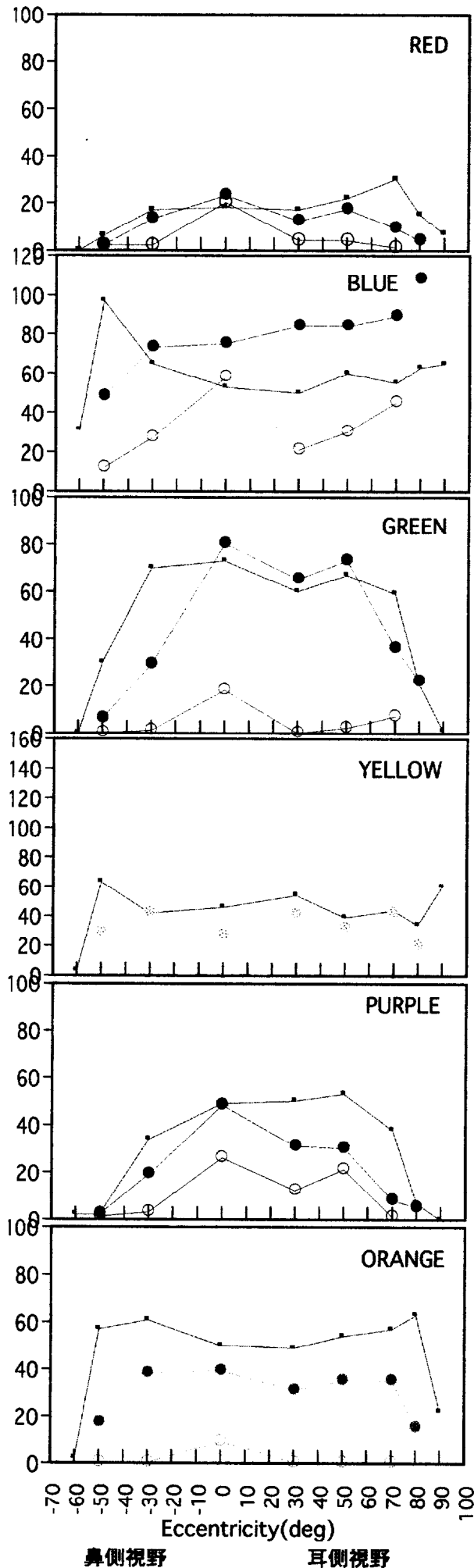
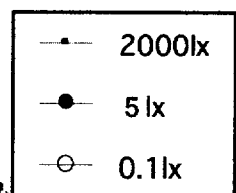


図4.3(b) 5 lx, 0.1lxにおける
離心角の変化と色名応答数
(被験者KS)

比較のために2000lxの応答数も
示す。



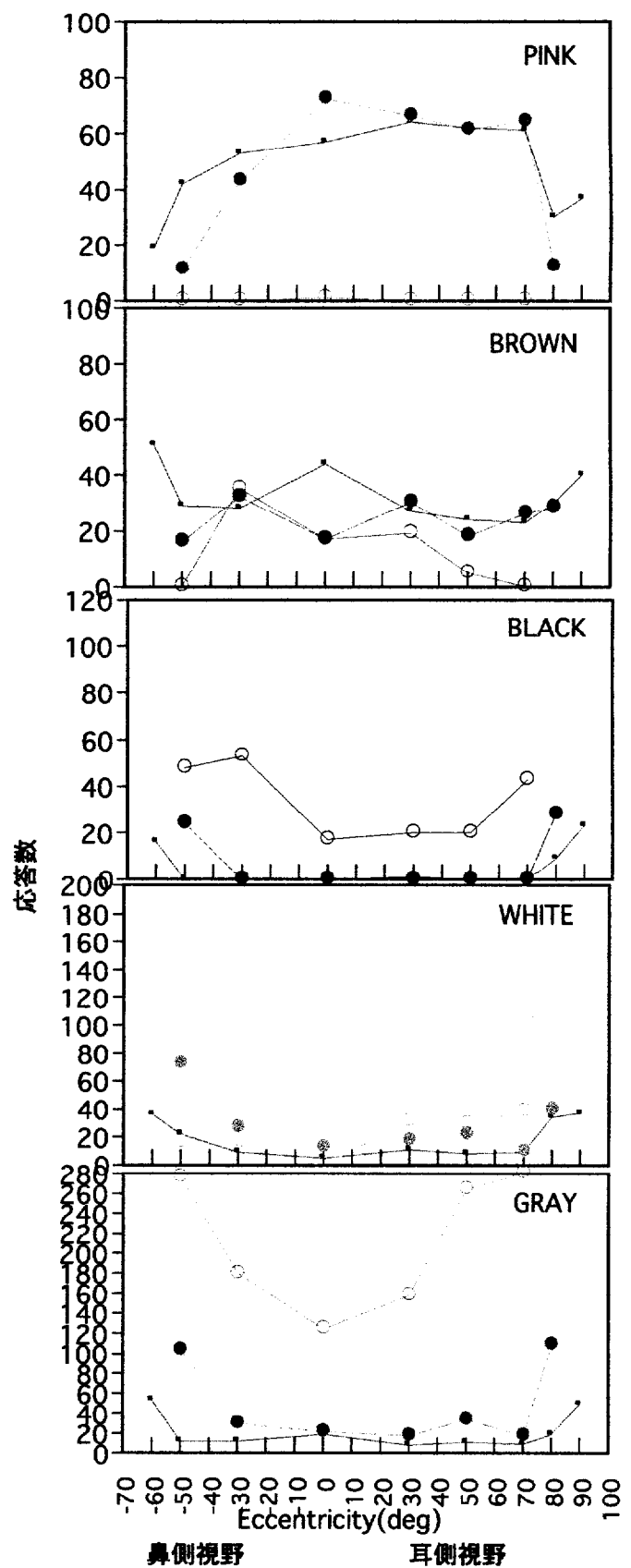
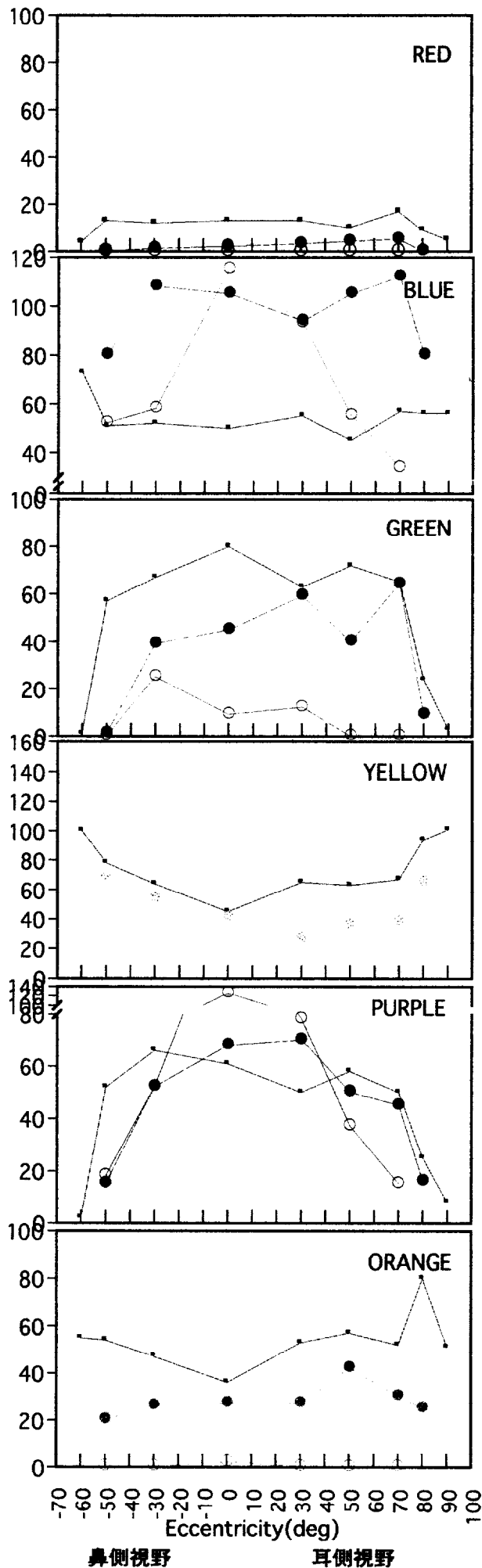
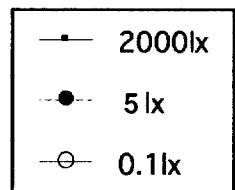


図4.3(c) 5 lx, 0.1lxにおける
離心角の変化と色名応答数
(被験者NS)

比較のために2000lxの応答数も
示す。



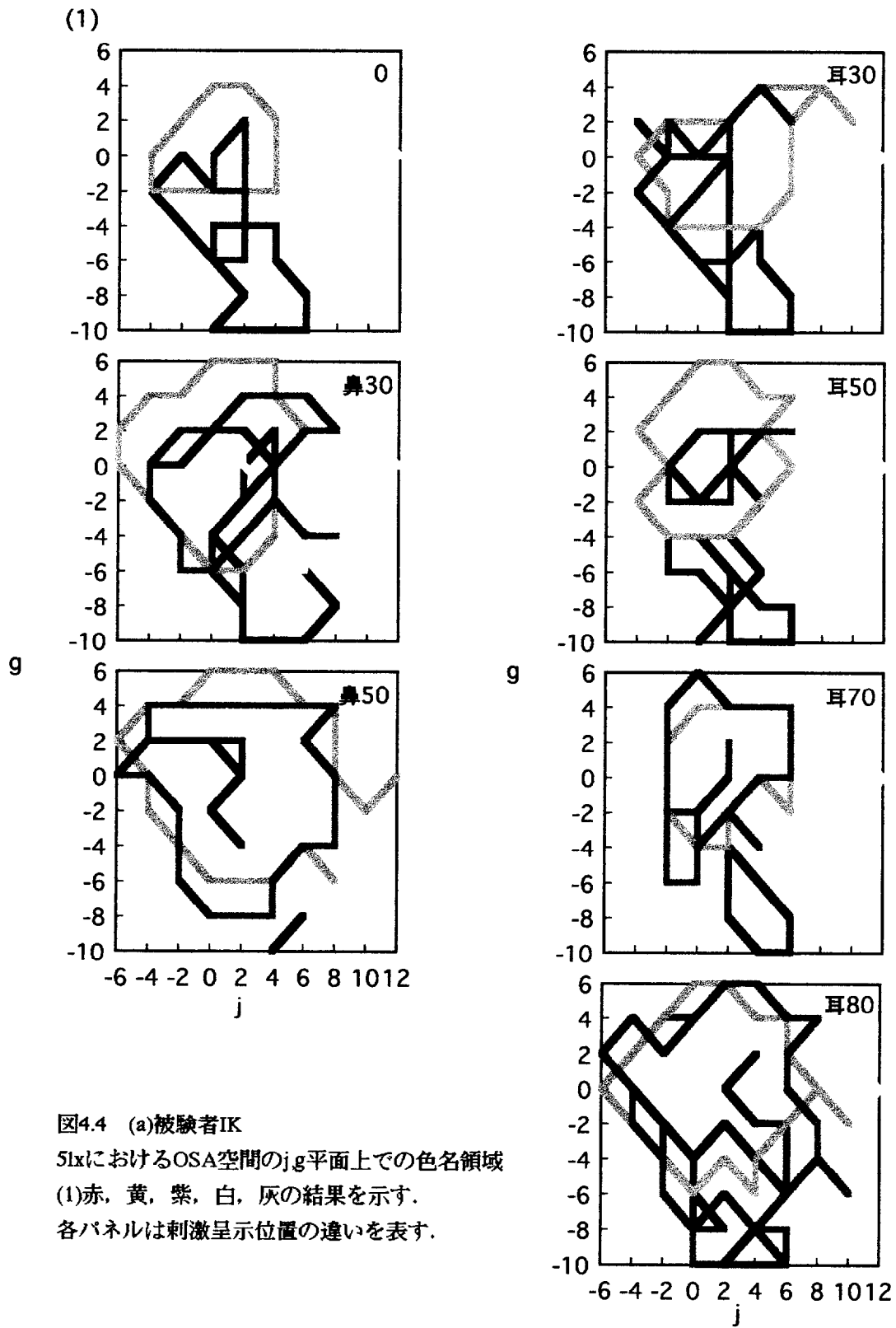
4.4.3 OSA空間のj,g平面上での色名領域

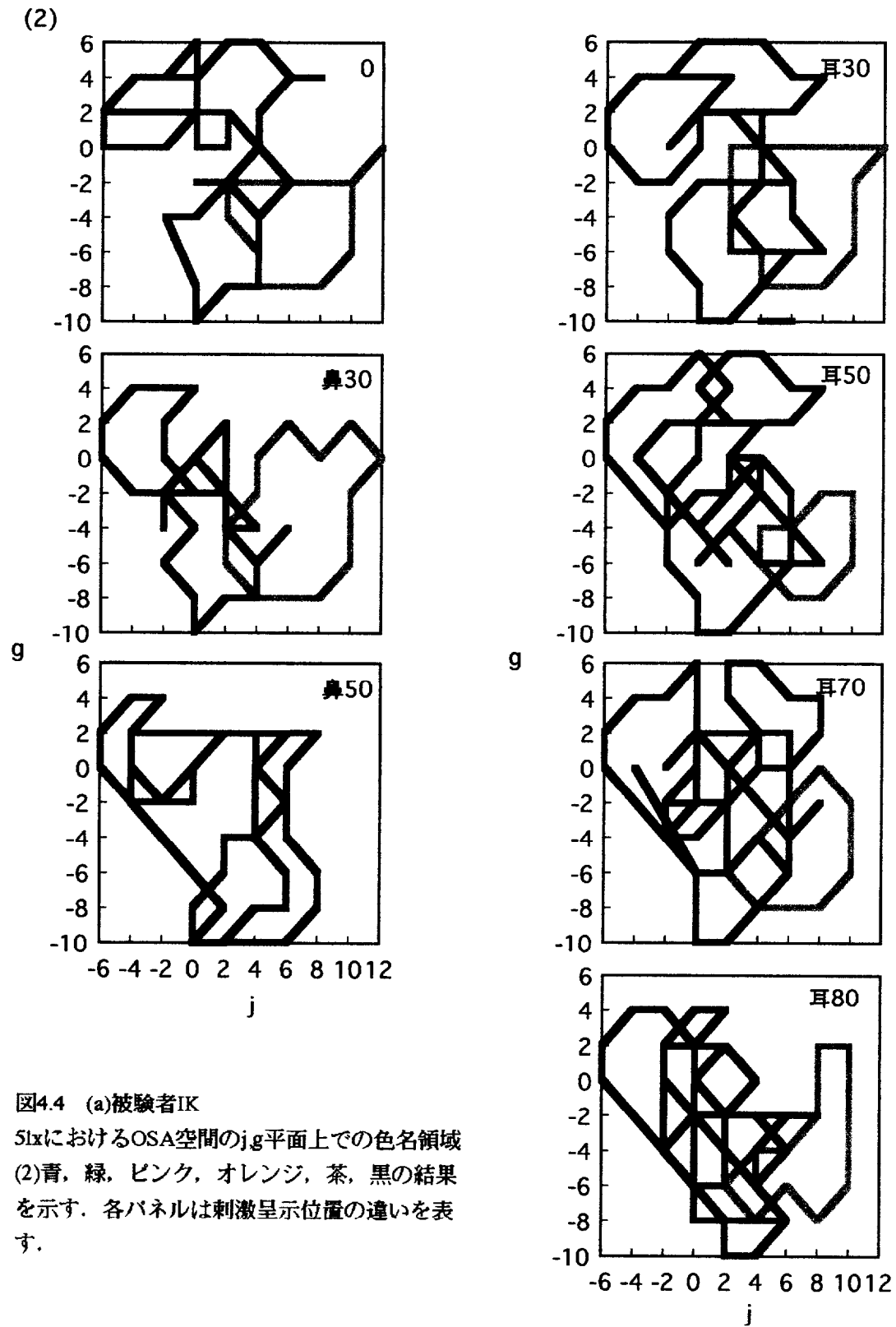
実験1と同様に、OSA空間のj,g平面において各色名領域の分布位置の傾向をとらえる。図4.4(a)-(c)は5 lxの被験者別の各色名の領域を示している。(1)が赤、黄、紫、白、灰、(2)が青、緑、オレンジ、ピンク、茶、黒の分布を示している。

全ての被験者で、中心窩の領域は鼻側30degから耳側50deg、70degの視野範囲で比較的一致している。また、各被験者の結果を比較すると、被験者NSの赤の領域が極端に少ないことがわかる。

図4.5(a)-(c)は0.1lxの被験者別の各色名の領域を示している。中心窩の領域と比較して耳側30degで大きな変化が生じているのがわかる。しかし、被験者NSは変化量が比較的少なかった。

実験1の図3.4と実験2の5 lx図4.4、図4.5と比較して照度レベルに対する色の見えの比較を行うと、2000lxと5 lxは鼻側30degから耳側70degや80degの範囲で多くの有彩色応答がみられるのに対し、0.1lxでは中心窩でも有彩色応答が少ない。有彩色の応答分布の傾向は被験者により異なるが、顕著な傾向としては、2000lxでのオレンジや黄の領域に茶の応答が分布している。また、2000lxでの青、紫、緑の領域に青が分布し、ピンクやオレンジの領域に紫や茶が分布した。





(1)

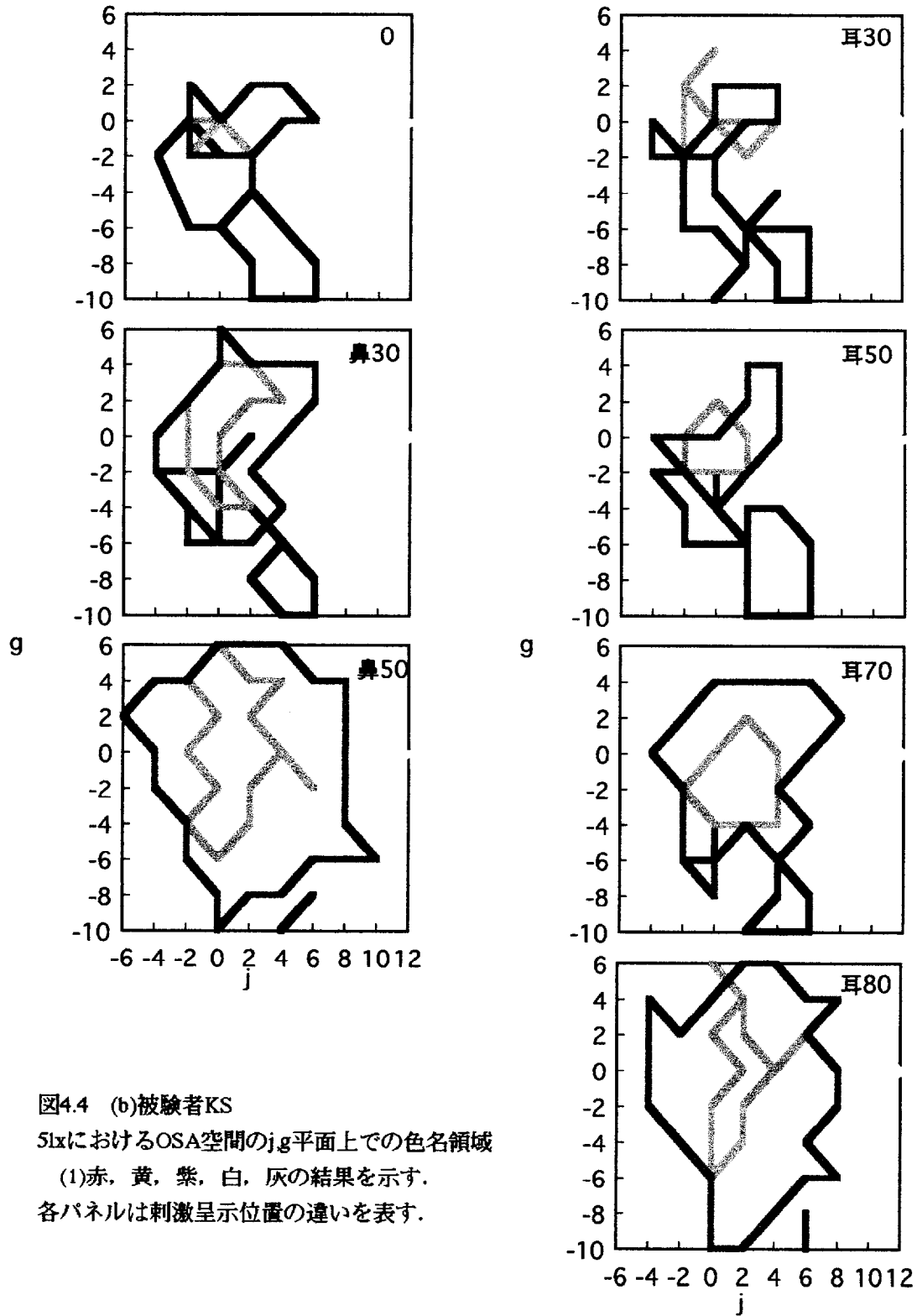


図4.4 (b)被験者KS

5lxにおけるOSA空間の j - g 平面上での色名領域

(1)赤, 黄, 紫, 白, 灰の結果を示す.
各パネルは刺激呈示位置の違いを表す.

(2)

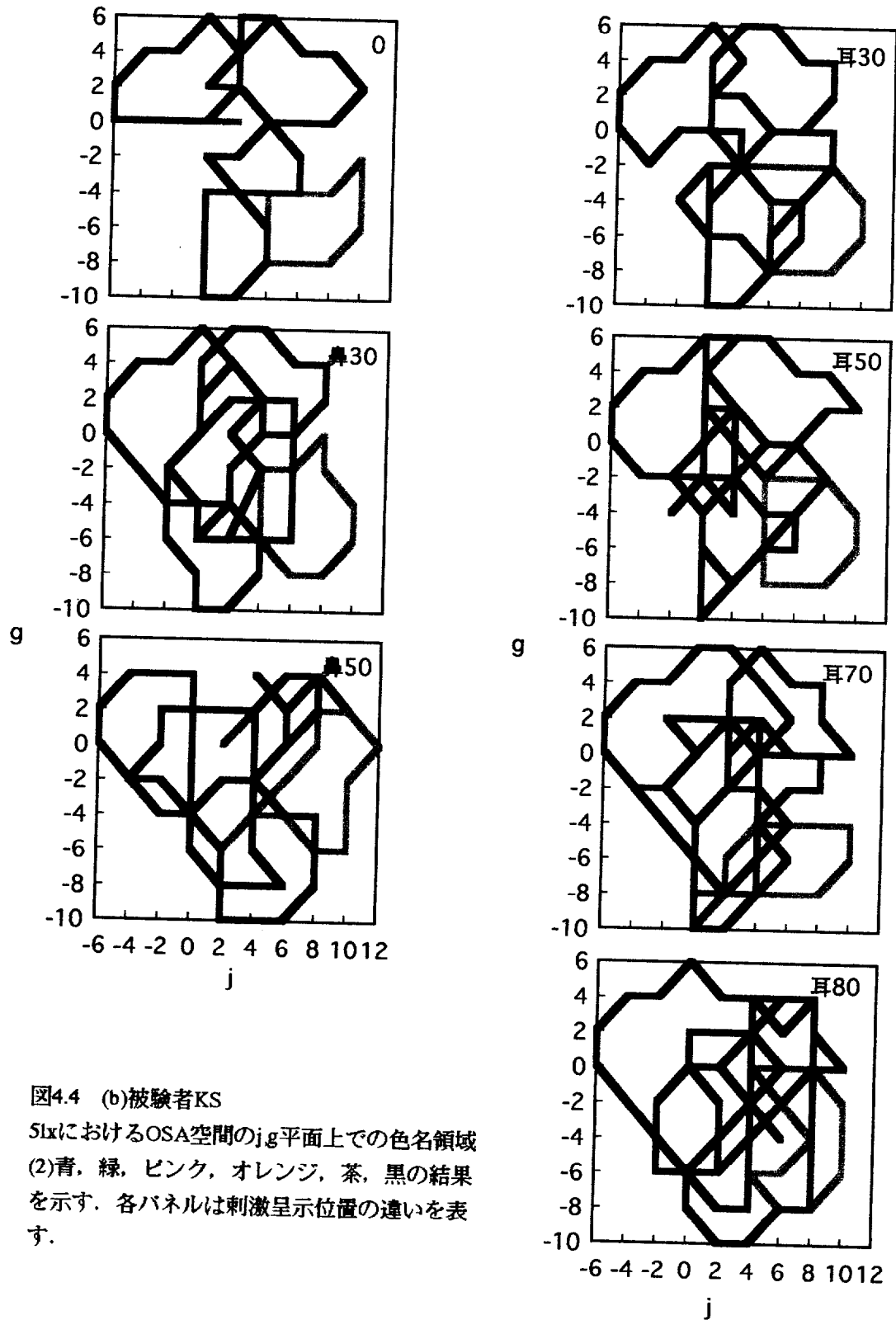


図4.4 (b)被験者KS

5lxにおけるOSA空間の j - g 平面上での色名領域
(2)青, 緑, ピンク, オレンジ, 茶, 黒の結果
を示す, 各パネルは刺激呈示位置の違いを表
す.

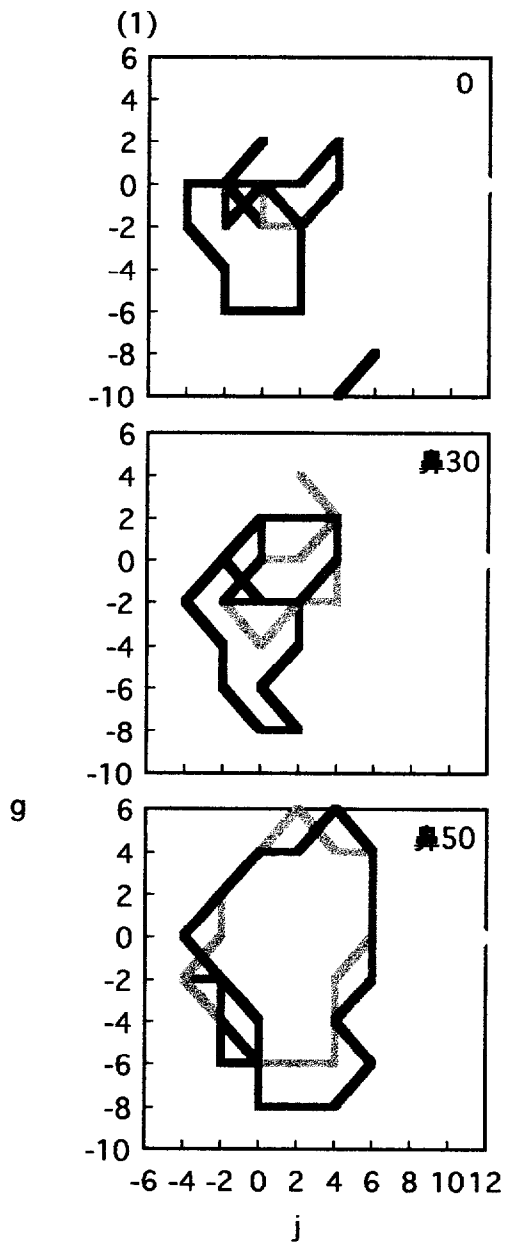
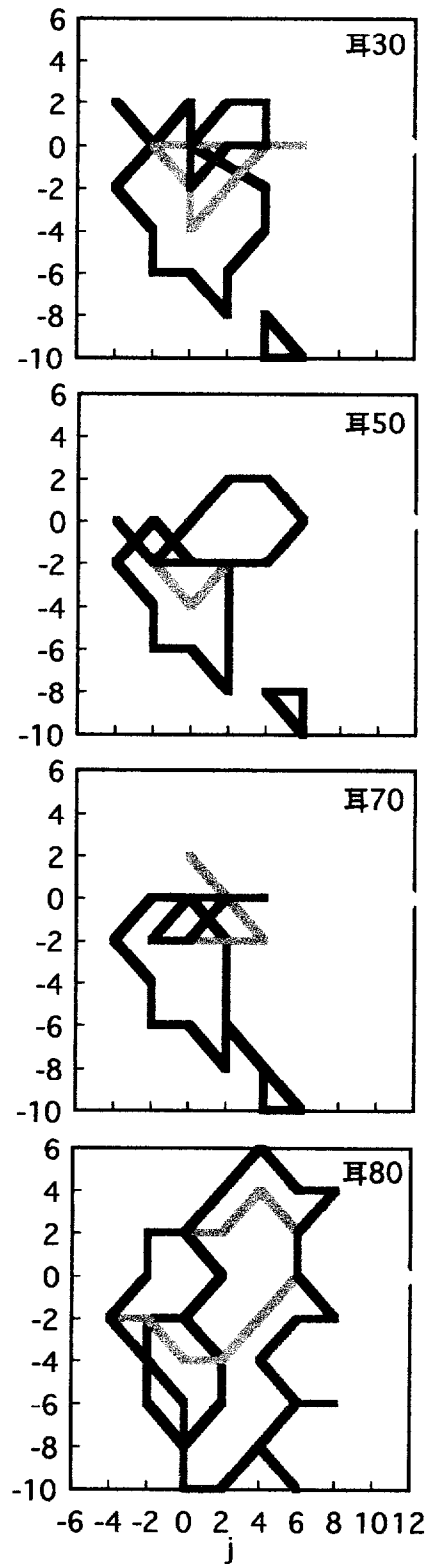


図4.4 (c)被験者NS.

5lxにおけるOSA空間のj-g平面上での色名領域
(1)赤, 黄, 紫, 白, 灰の結果を示す.
各パネルは刺激呈示位置の違いを表す.



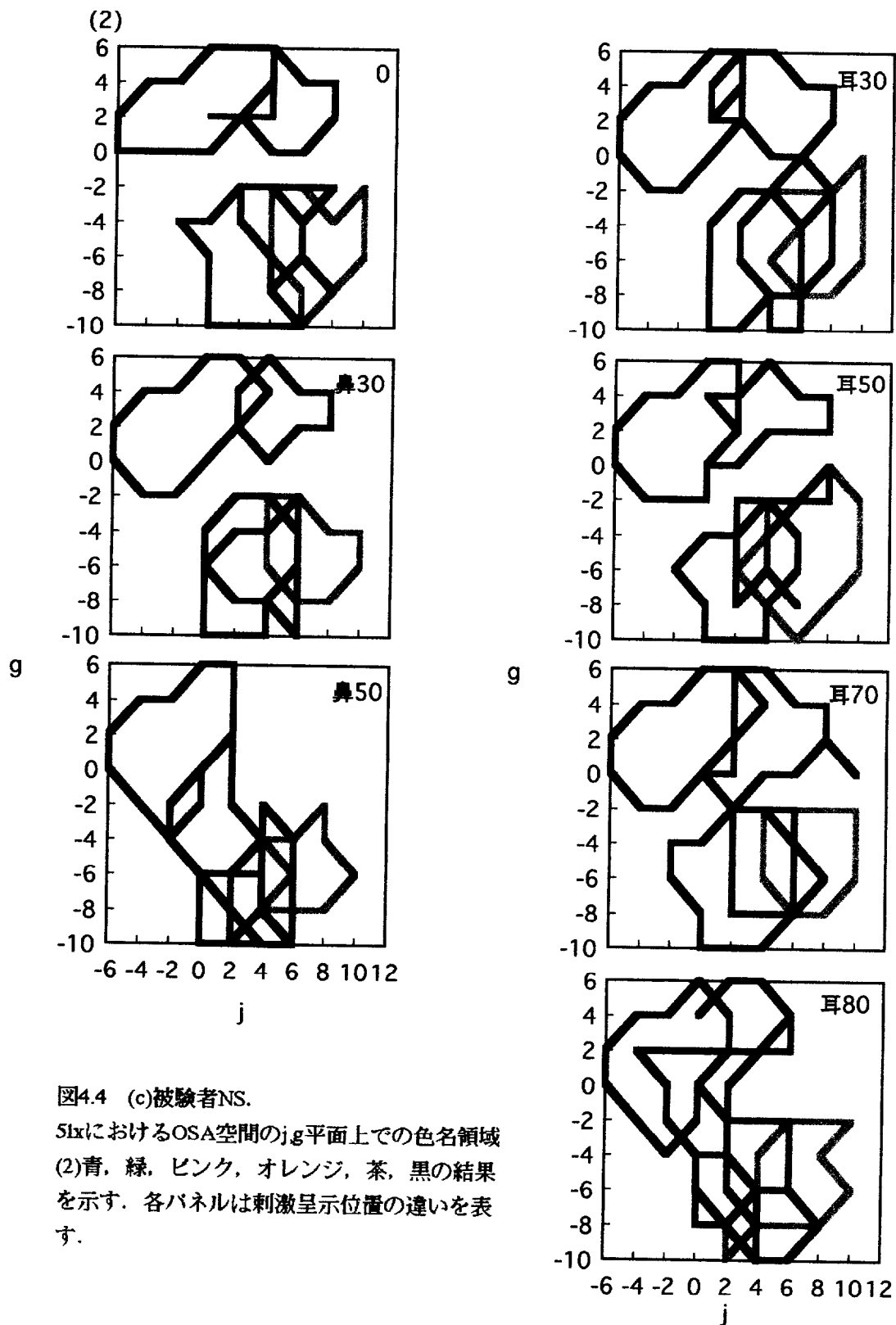


図4.4 (c)被験者NS.

5lxにおけるOSA空間の j - g 平面上での色名領域
(2)青, 緑, ピンク, オレンジ, 茶, 黒の結果
を示す. 各パネルは刺激呈示位置の違いを表
す.

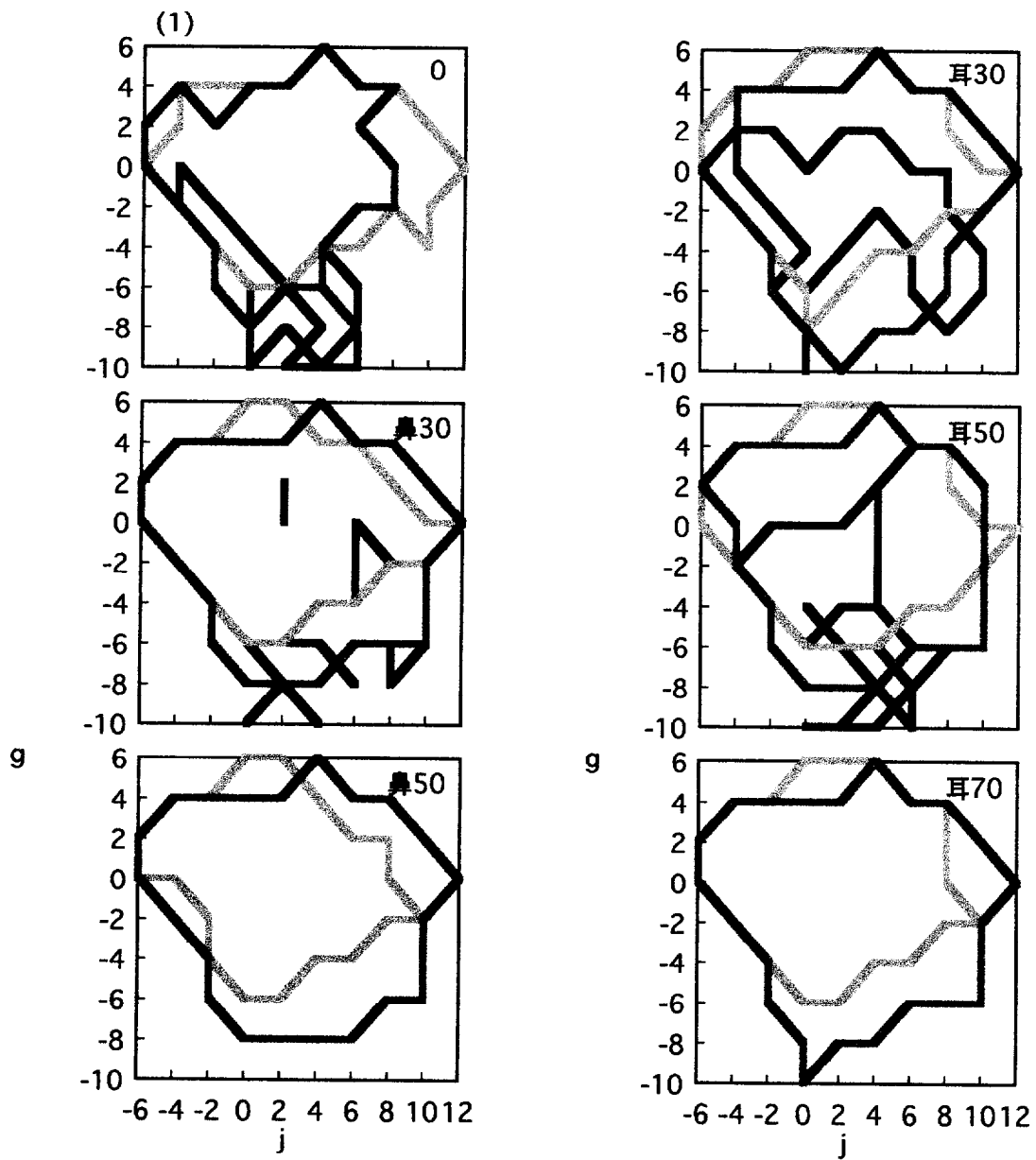


図4.5 (a)被験者IK

0.1lxにおけるOSA空間のj-g平面上での色名領域

(1)赤, 黄, 紫, 白, 灰の結果を示す.

各パネルは刺激呈示位置の違いを表す.

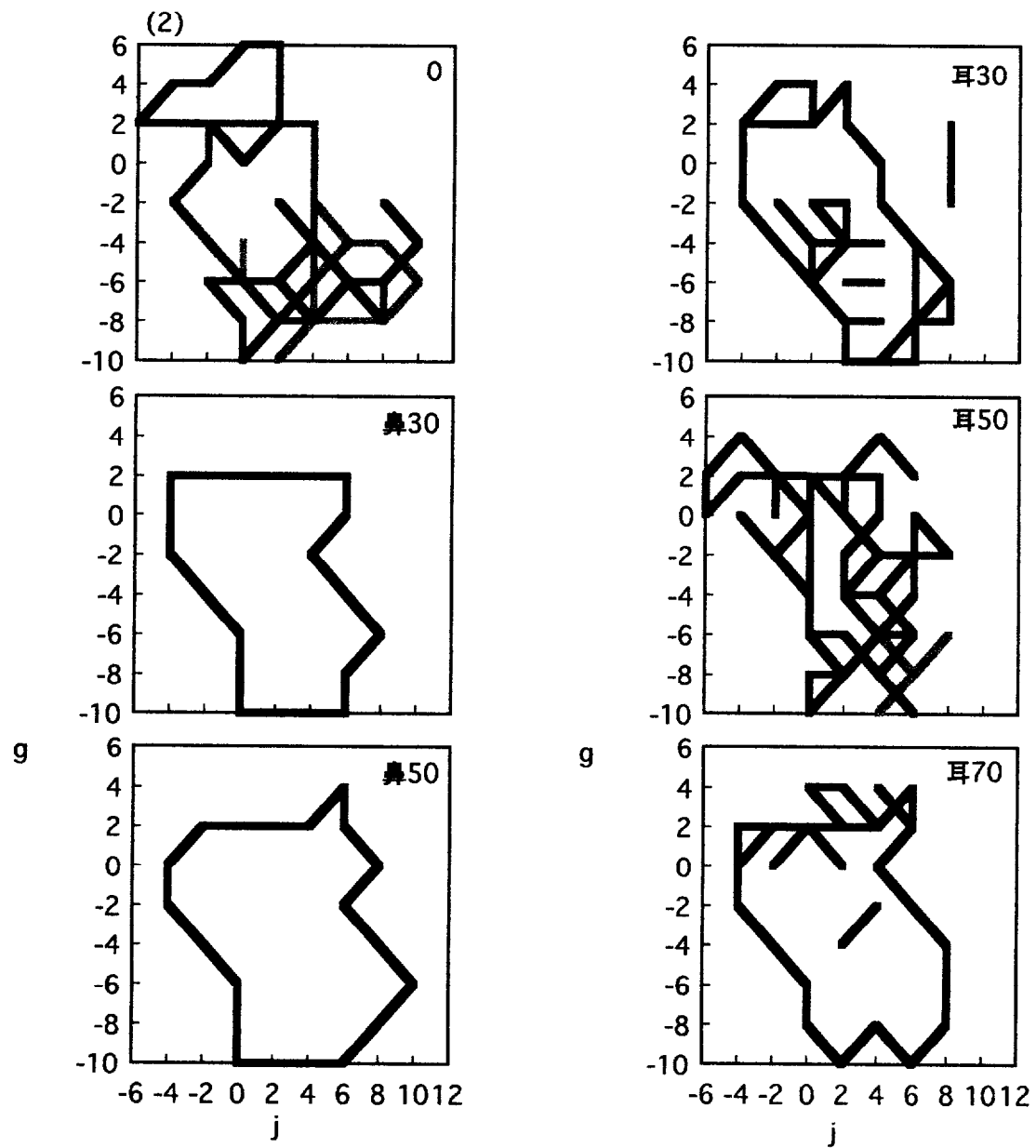


図4.5 (a)被験者IK

0.1lxにおけるOSA空間のjg平面上での色名領域

(2)青, 緑, ピンク, オレンジ, 茶, 黒の結果を示す. 各パネルは刺激呈示位置の違いを表す.

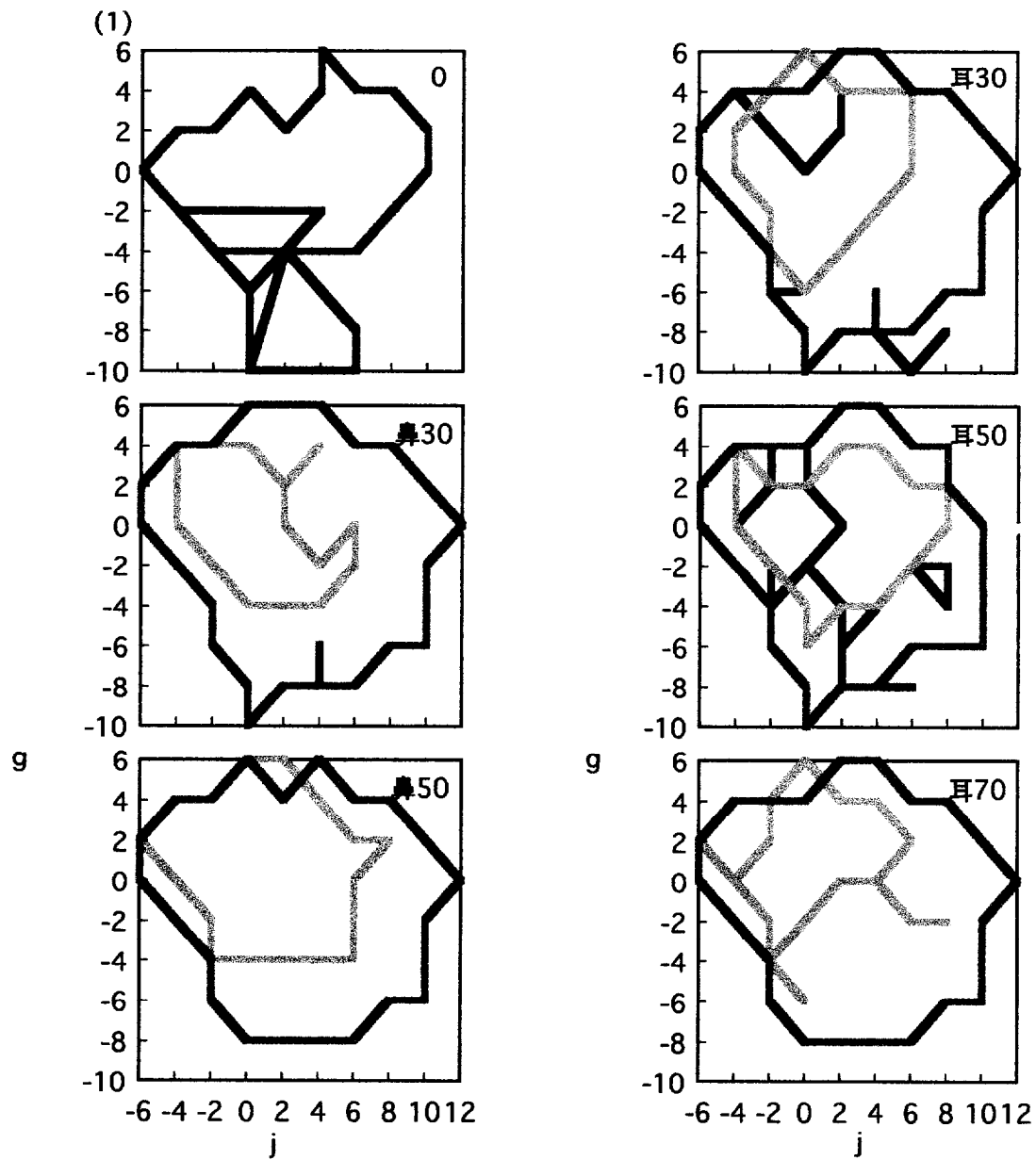


図4.5 (b)被験者KS

0.1lxにおけるOSA空間の j - g 平面上での色名領域

(1)赤, 黄, 紫, 白, 灰の結果を示す.

各パネルは刺激呈示位置の違いを表す.

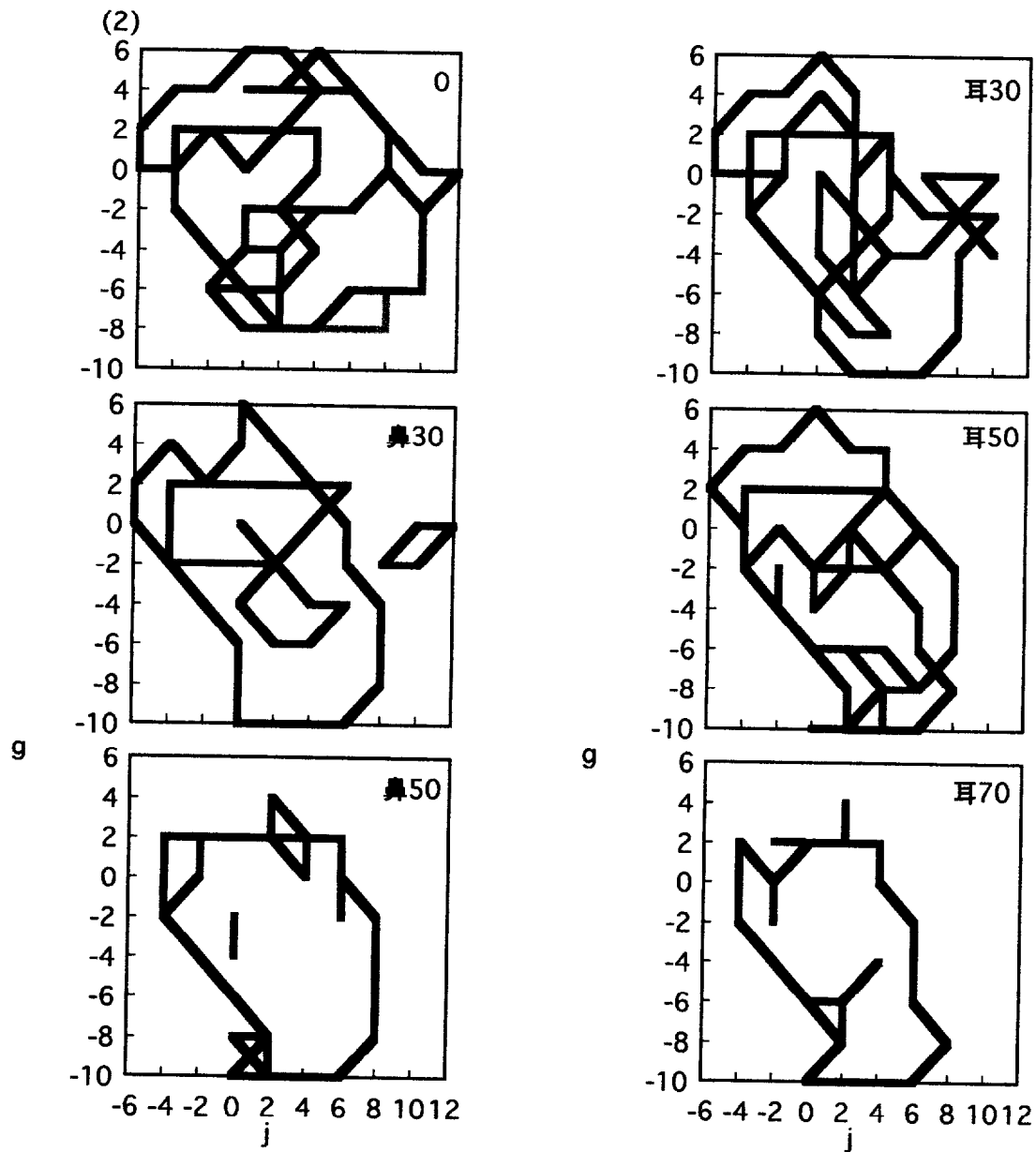


図4.5 (b)被験者KS
0.1lxにおけるOSA空間の $j-g$ 平面上での色名領域
(2)青, 緑, ピンク, オレンジ, 茶, 黒の結果を
示す. 各パネルは刺激呈示位置の違いを表す.

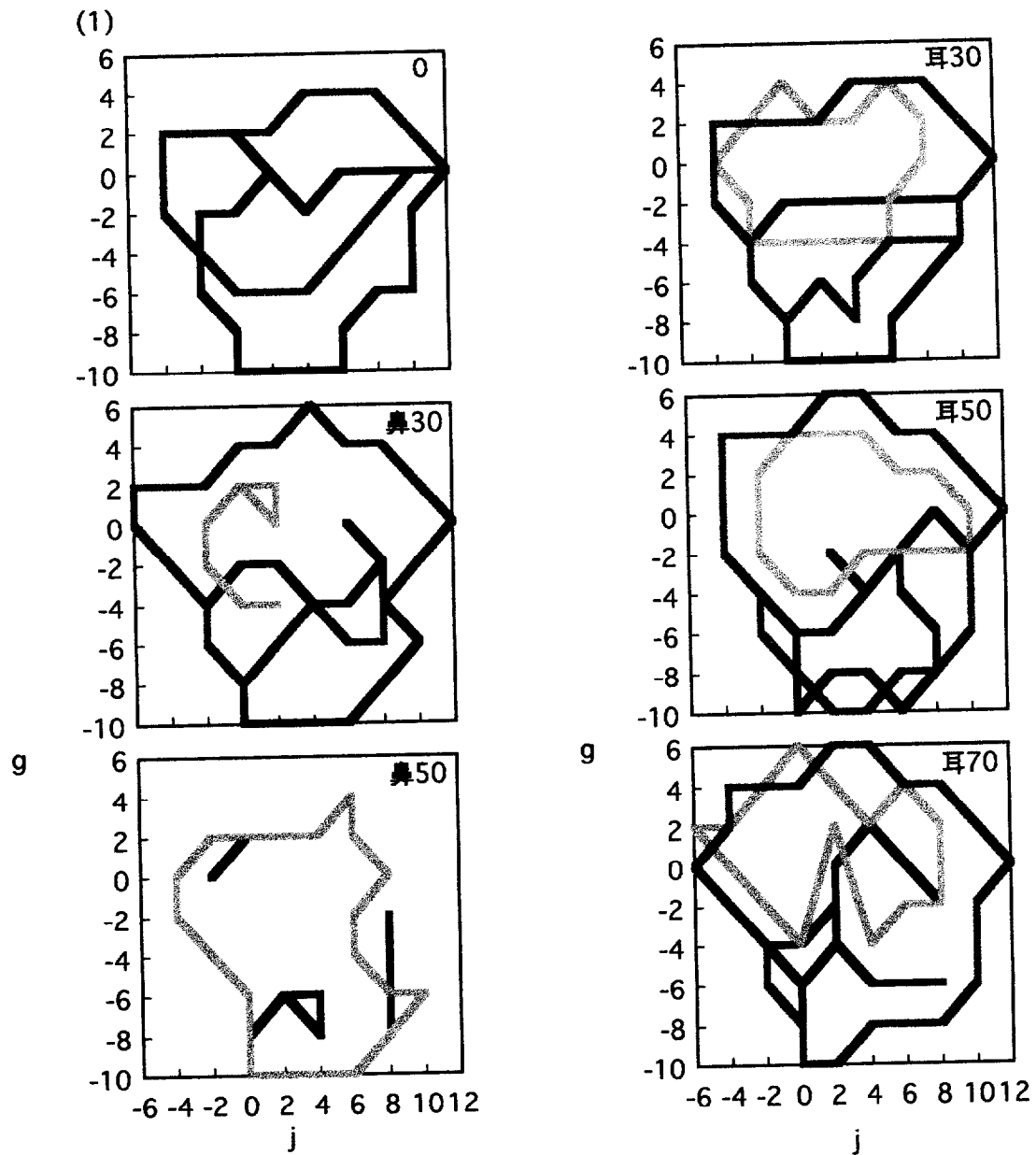


図4.5 (c)被験者NS
 0.1lxにおけるOSA空間の j - g 平面上での色名領域
 (1)赤, 黄, 紫, 白, 灰の結果を示す.
 各パネルは刺激呈示位置の違いを表す.

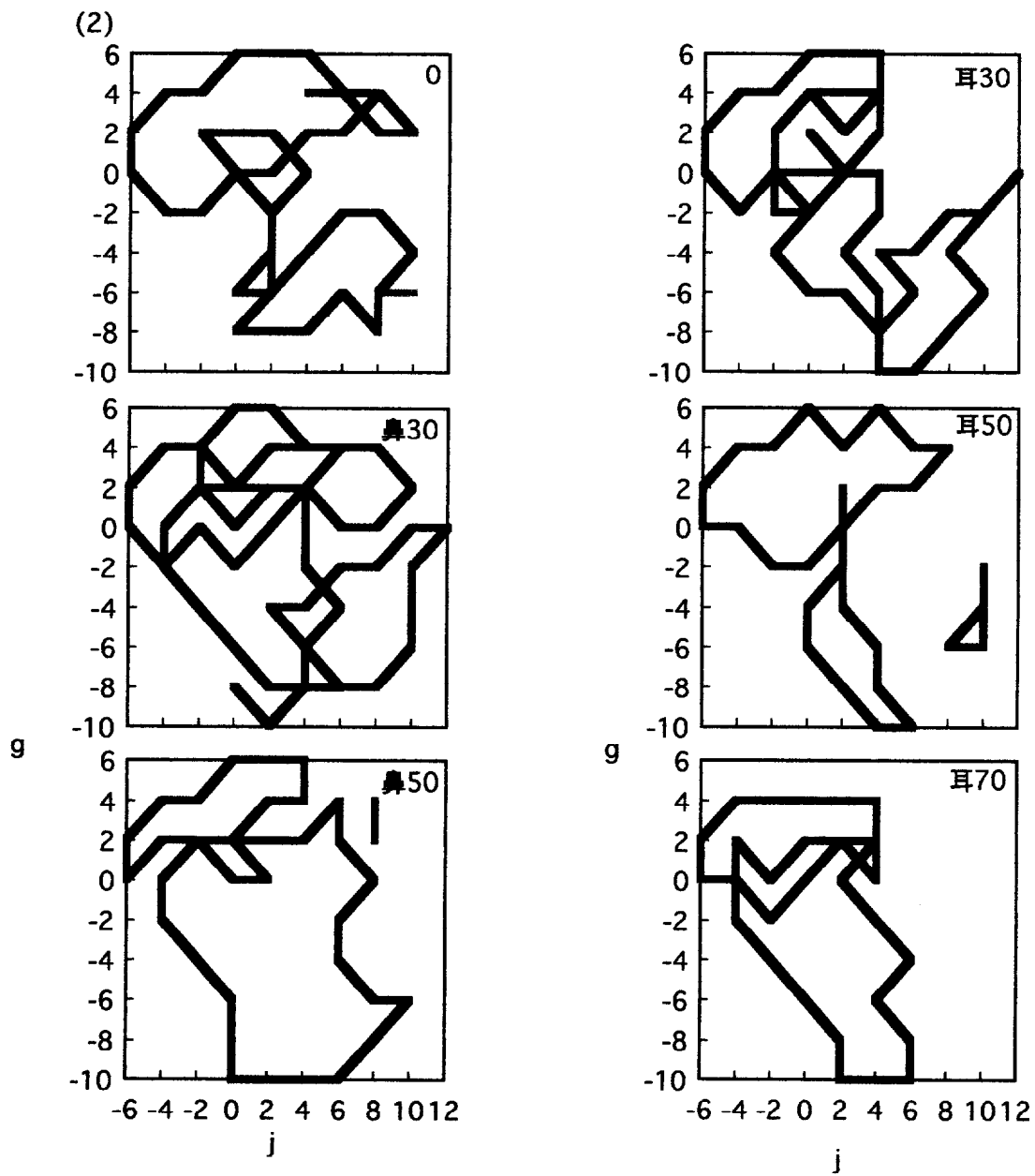


図4.5 (c)被験者NS
0.1lxにおけるOSA空間の j - g 平面上での色名領域
(2)青, 緑, ピンク, オレンジ, 茶, 黒の結果を
示す. 各パネルは刺激呈示位置の違いを表す.

4.4.4 応答一致率(Percent Overlap)

実験1と同様な方法で、中心窩と周辺視野の応答の分布の一致率の定量化を行った。応答分布の結果から、特に0.1lx条件では応答の個人差が生じたため、図4.6(a)-(c)と図4.7(a)-(c)はそれぞれ5lxと0.1lxの各被験者の一致率の結果を示した。中心窩は基準点(=100%)のため示していない。

5lxでは多くの色名で鼻側視野50degと耳側視野70degもしくは80degにおける極端な一致率の低下がみられた。それに対して、その内側の視野では一致率の大きな変化はみられなかった。しかし、被験者によっては緑と紫は耳側50degですでに一致率の低下が生じた。

0.1lxではいくつかの有彩色で、耳側30degや鼻側30degにおいてわずかな一致率がみられたが、離心角の増加に伴い低下している。それに対して、無彩色の一致率は視野周辺部まで大きな変化はみられなかった。

4.4.5 色名維持視野範囲

(a)各照度レベル

実験1と同様に、中心窩のカテゴリー応答を基準としてその応答が維持される視野範囲の定量化を行った。ここでは2種類の解析法を用いた。まず1つめの解析法は、実験1と同様の解析法で、5lxと0.1lxの各照度レベルにおいて、各刺激に対する全被験者の応答をまとめ、中心窩において全被験者で色名応答が一致(6回)した刺激を抽出する。その後、抽出された各刺激の中心窩と各呈示位置での色名応答の一致率を求め、50%以上(3回以上)が保たれる視野範囲を算出し、刺激間で平均したものを色名維持視野範囲とする。この方法は各照度レベルにおいて、複数の被験者に共通した色名応答が得られる範囲を算出することができる。

2つめの解析法は、各刺激に対する各個人の応答について、2回とも色名応答が一致した刺激を抽出する方法である。抽出された各刺激の中心窩と各呈示位置での色名応答の一致率を求め、50%以上(1回以上)が保たれる視野範囲を算出し、刺激間で平均

し、最後に被験者間で平均する。この方法は、応答の個人差を排除することができる。

図4.8.1が解析法1による色名維持視野範囲の結果である。(a)に鼻側視野、(b)に耳側視野の結果を示す。横軸が照度レベルを示し、縦軸が色名維持視野範囲を示している。2000lxの値は本実験で用いた205枚の刺激について新たに解析を行った結果である。

鼻側視野と耳側視野の結果を比較すると、照度レベル全体にわたって耳側視野の方が維持視野範囲が広がっている。多くの色名で、照度レベルの低下に伴い維持視野範囲の減少がみられたが、2000lxから5lxへの変化量は小さい。有彩色のなかでは赤が照度レベルの低下に対して維持視野範囲の最も顕著な減少がみられた。無彩色は5lxで維持視野範囲が狭くなり、0.1lxで広がる傾向がみられた。また、0.1lxの有彩色では青のみに維持視野範囲が存在している。

図4.8.2が解析法2による色名維持視野範囲の結果である。解析法1と同様に照度レベルの低下に伴い維持視野範囲の減少がみられたが、5lxでも全ての色名で比較的広い維持視野範囲がみられた。解析法1に比べて各色名の維持視野範囲の結果に大きな相違が生じなかった。これは、解析法1の方が個人の応答の違いが大きく反映されるため、ばらつきが大きくなってしまったと考えられる。5lxでは鼻側視野は緑が約10deg、その他の色名は20degから50degであった。耳側視野は30degから80degとなっている。また、0.1lxでは紫と茶の範囲がわずかにみられた。

(b)2000lx基準

(a)では各照度レベルの中心窩の色名応答が基準となっていたが、次に、明所視照度レベルの2000lxの中心窩の色名応答を基準として、照度の低下と離心角の増加の変化に対する色名維持視野範囲を求める。つまり、2000lxの中心窩で応答した色名が照度が低下した場合に離心角のどの視野位置までほぼ同じ色名応答が得られるかを表している。(a)と同様に2つの解析法を用いた。

図4.9.1が解析法1による結果である。照度レベル低下に伴い維持範囲は減少しているが、5lxまでは全色名において維持視野範囲がみられた。有彩色においては5lxでは黄、

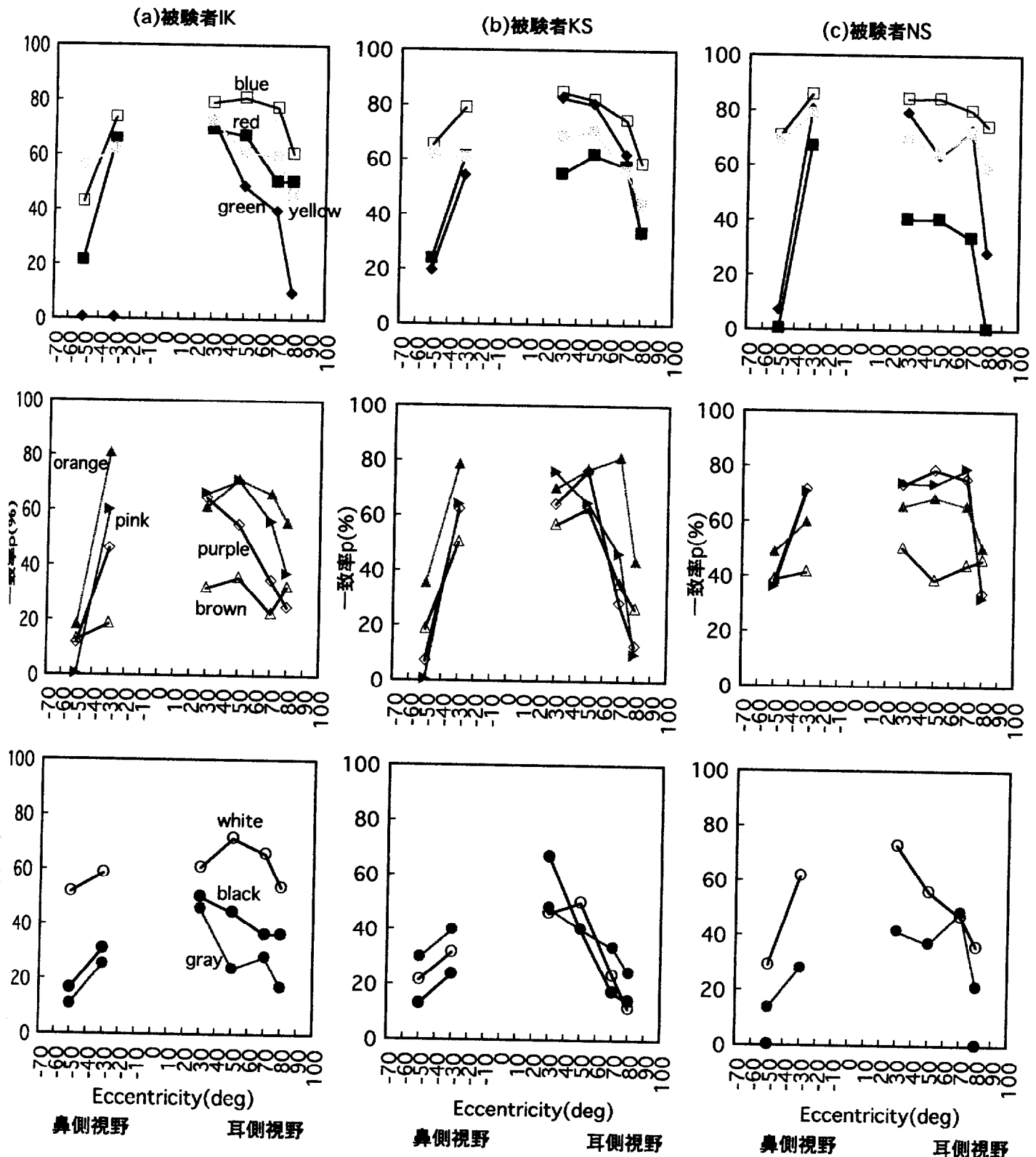


図4.6 5 lxにおける一致率 (a)IK, (b)KS, (c)NS

中心窩の応答分布と的一致率を示す。上段パネルは赤, 青, 緑, 黄, 中段パネルは紫, オレンジ, ピンク, 茶, 下段パネルは白, 黒, 灰の結果である。

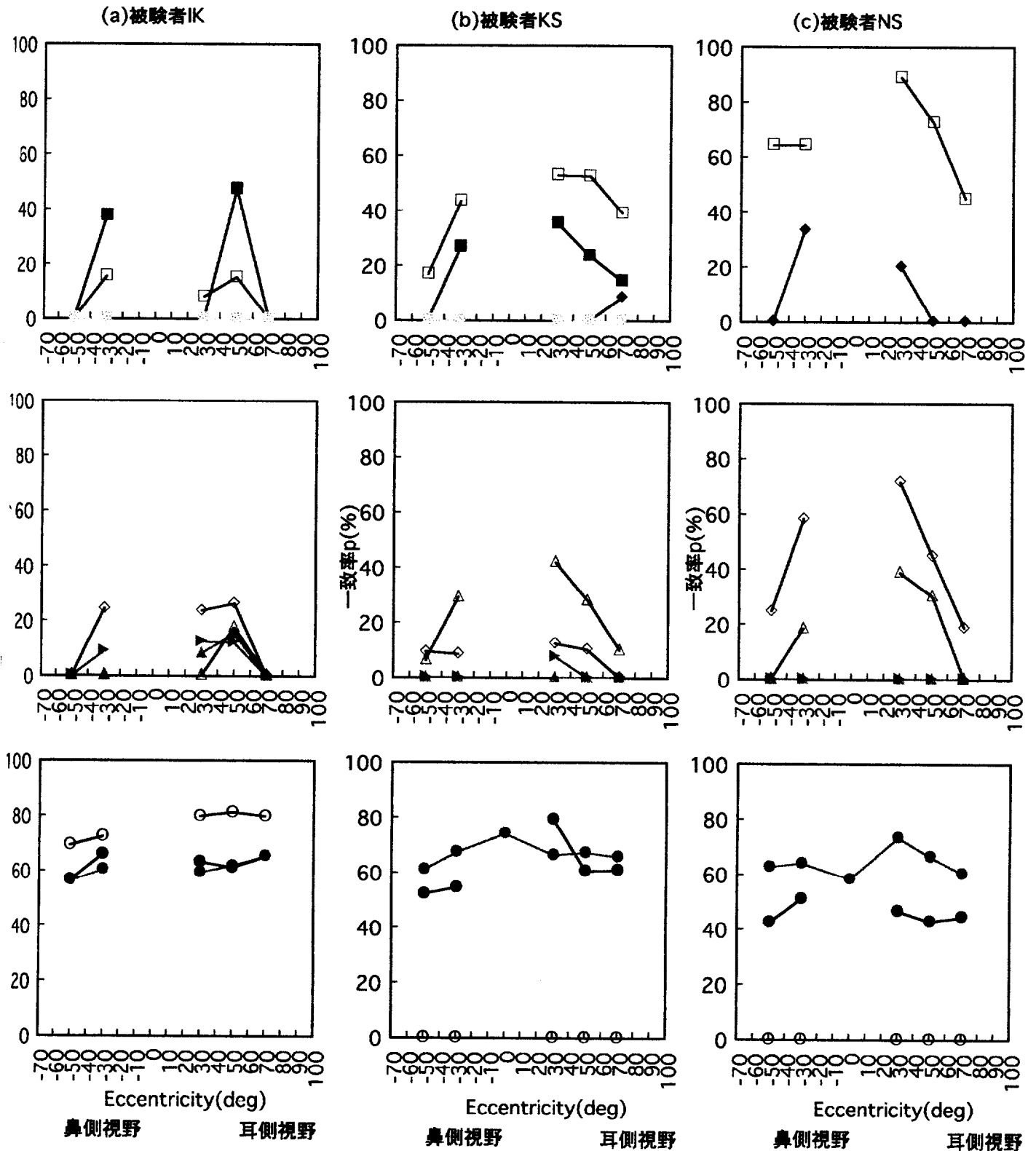


図4.7 0.1lxにおける一致率 (a)IK, (b)KS, (c)NS

中心窩の応答分布と一致率を示す。上段パネルは赤, 青, 緑, 黄, 中段パネルは紫, オレンジ, ピンク, 茶, 下段パネルは白, 黒, 灰の結果である。

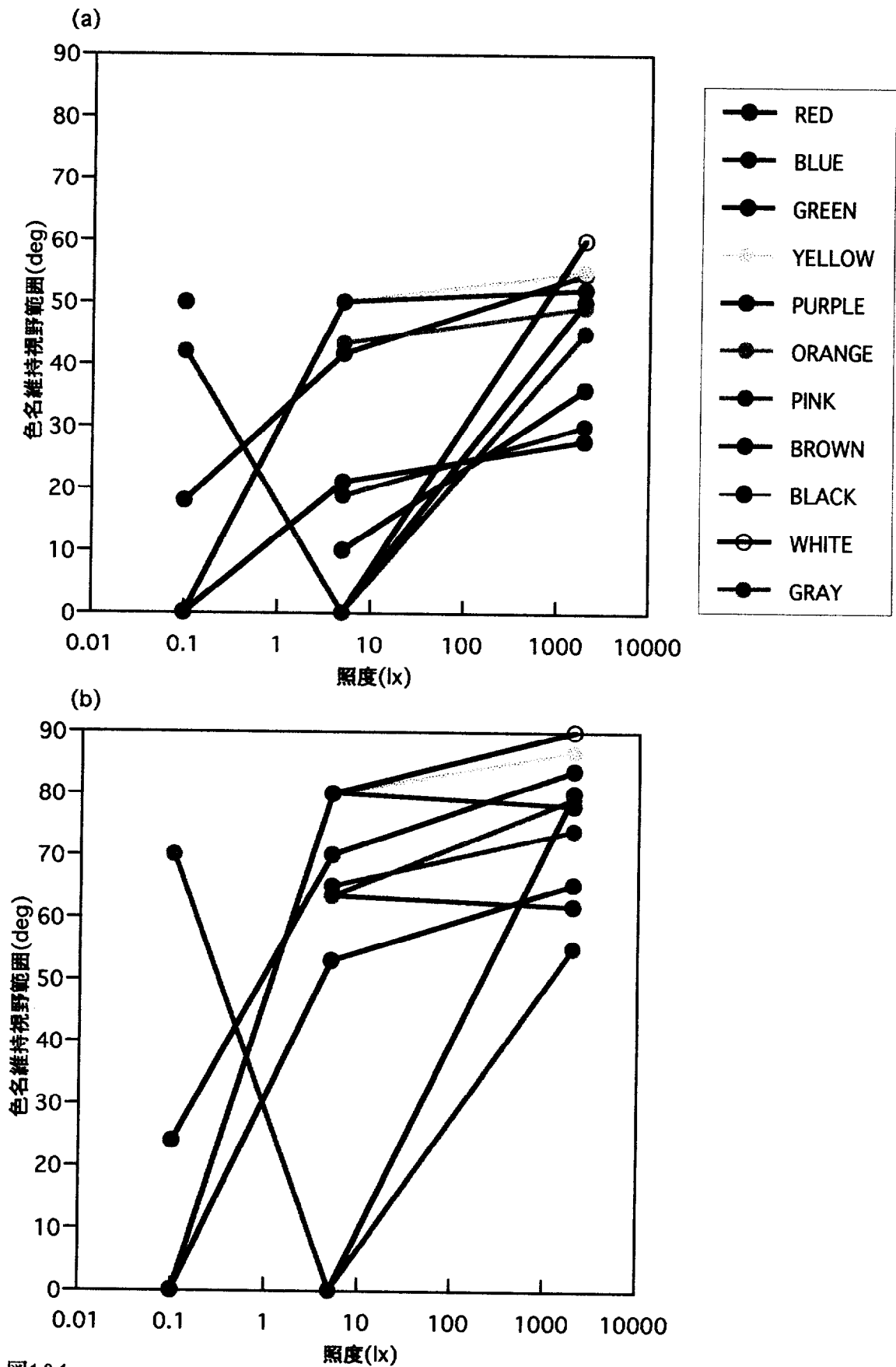


図4.8.1

各照度レベルの中心窩を基準とした各色名の色名維持視野範囲(a)鼻側視野, (b)耳側視野
全被験者の応答をまとめて維持範囲を求める解析法1による結果を示す。

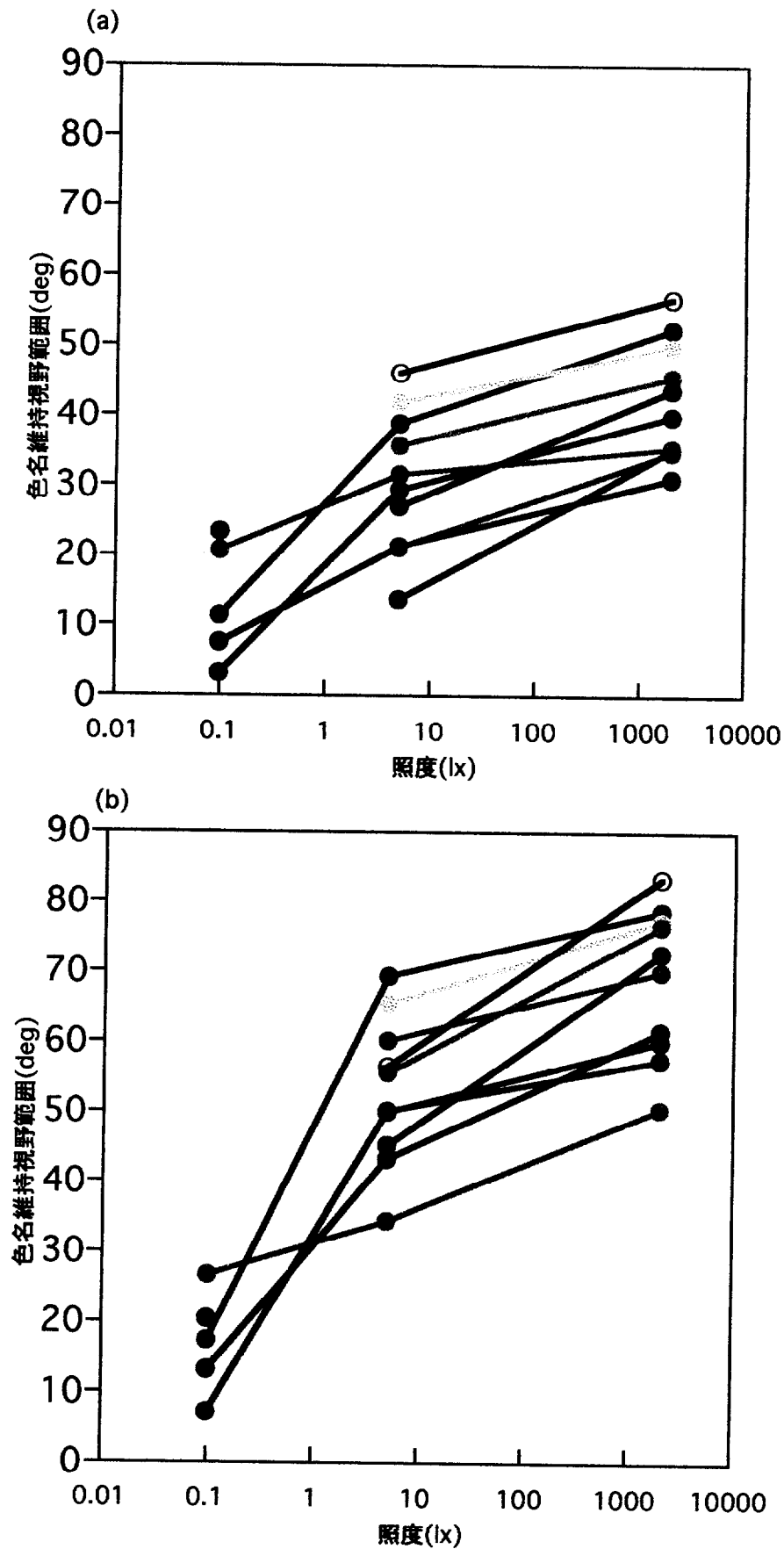


図4.8.2 各照度レベルの中心窩を基準とした各色名の色名維持視野範囲

(a)鼻側視野, (b)耳側視野

各被験者の維持範囲を平均する解析法2による結果を示す.

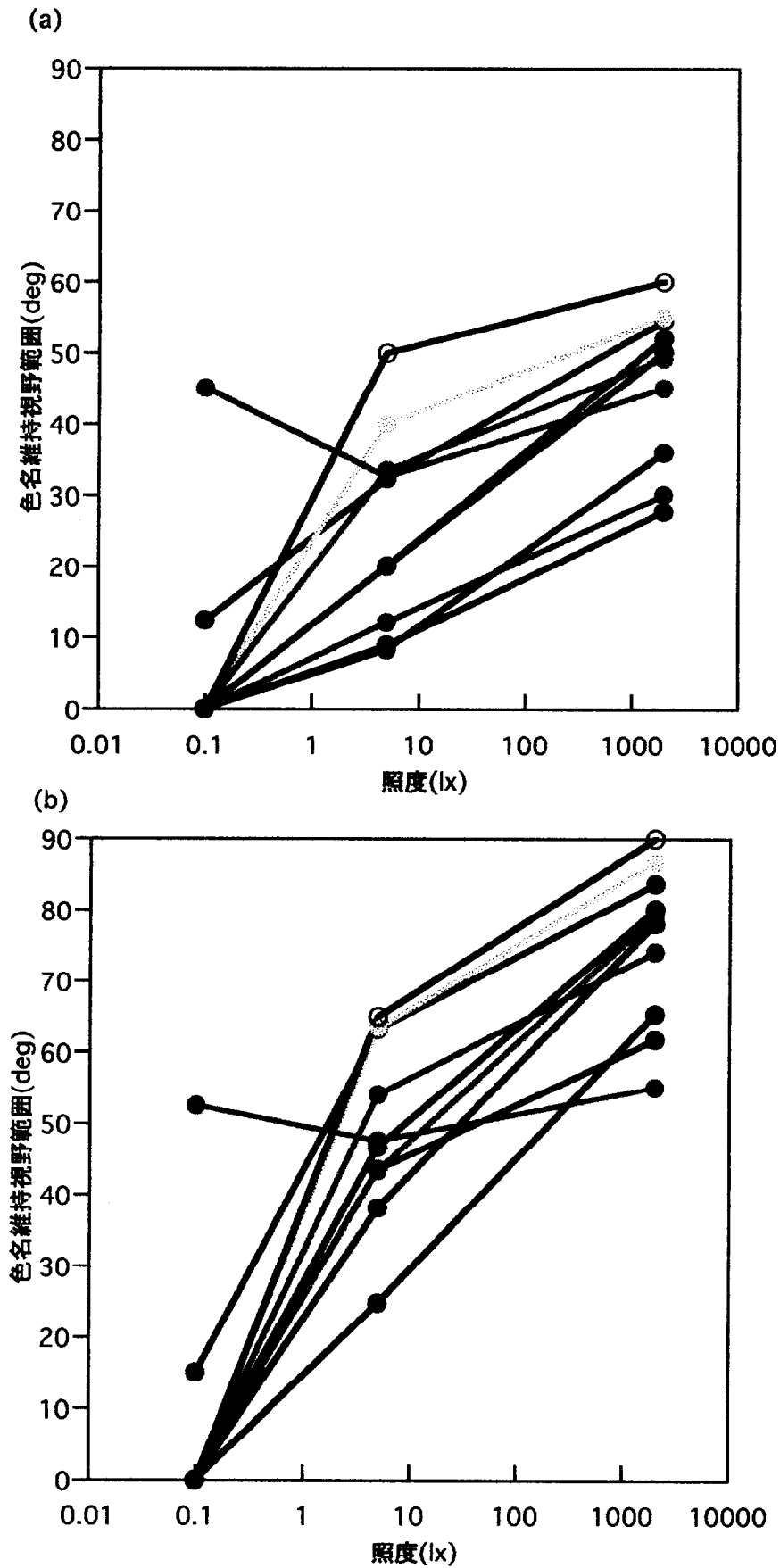


図4.9.1 2000lxの中心窩を基準とした各色名の色名維持視野範囲

(a)鼻側視野, (b)耳側視野

全被験者の応答をまとめて維持範囲を求める解析法1による結果を示す.

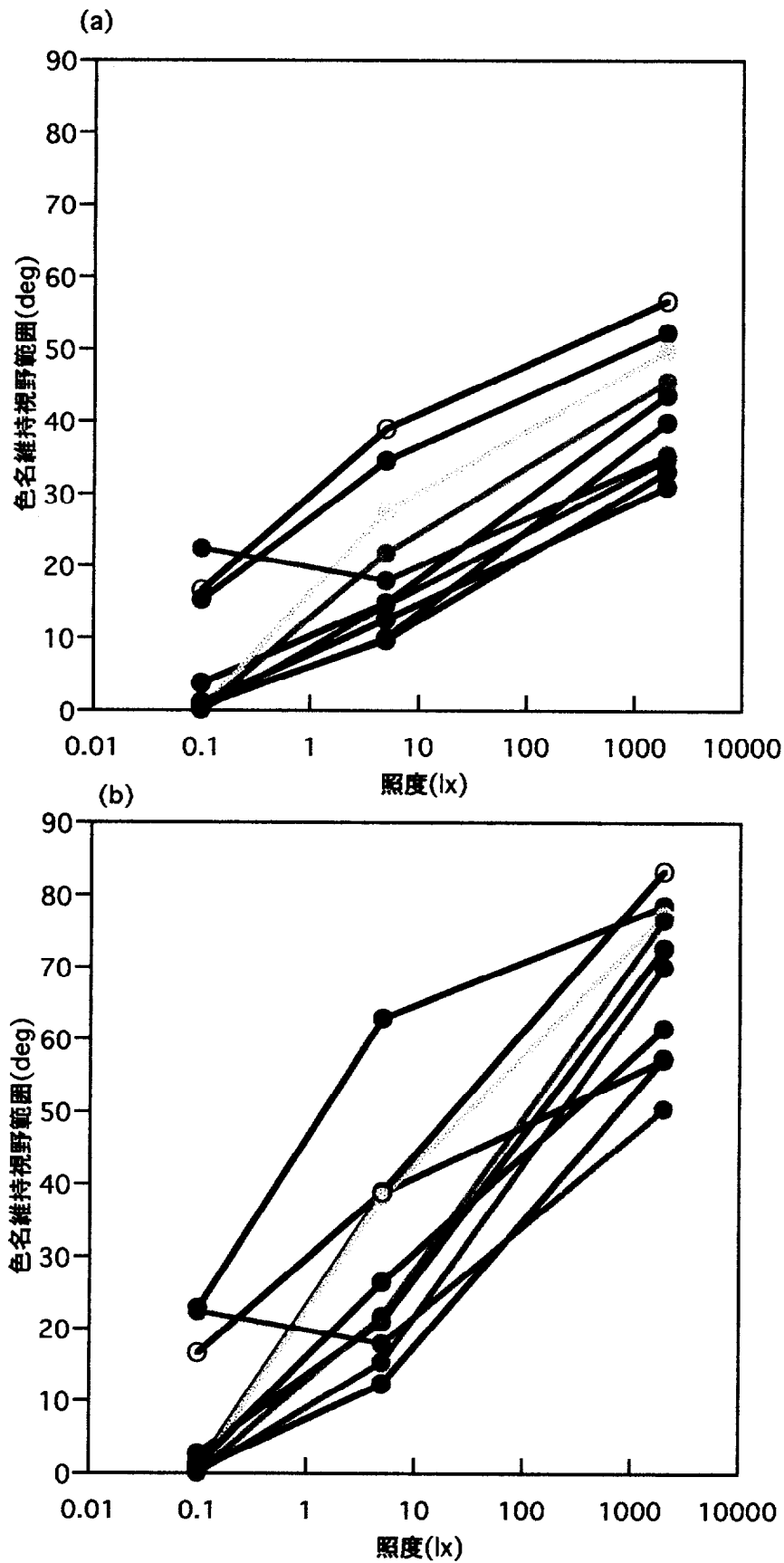


図4.9.2 2000lxの中心窩を基準とした各色名の色名維持視野範囲

(a)鼻側視野, (b)耳側視野

各被験者の維持範囲を平均する解析法2による結果を示す。

青の範囲が広く、0.1lxでは青にのみ維持範囲がみられた。灰は照度レベルに対して範囲の広さにほとんど変化が生じなかった。その他の色名では(a)の各照度レベル基準の結果と比較すると、照度のレベルの低下に伴う維持範囲の減少量はやや大きくなっていることがわかる。これは、2000lxの中心窩の応答と5lx、0.1lxの中心窩の応答に違いが生じているためである。

図4.9.2が解析法2による結果である。解析1の結果と比較すると、5lxで全体的に範囲が狭くなる傾向がみられた。その他は同様の傾向が示された。

4.4.6 応答のconsistencyの検証

2000lxに比べて低照度レベルでは被験者内の応答の不一致率が増加する傾向がみられた。そこで、各刺激に対する計2回の応答が同じ色名である(consistency)の割合を求め、応答の信頼度の検証を行う。表4.1に各照度レベルにおける各被験者のconsistencyと3人の被験者のconsistencyの平均値を示す。各被験者の結果は類似しているため、図4.10に全被験者のconsistencyの平均値を示した。

2000lxと5lxでは離心角の増加に伴いconsistencyが低下した。また、照度の低下に伴いconsistencyが低下することもわかった。0.1lxでは離心角の増加に伴いconsistencyが増加した。これは、0.1lxの周辺視野では無彩色の色名応答が大部分を占めており、有彩色応答が残っている中心窩に比べて選択可能な色名が3無彩色色名に減少するためであると思われる。しかし、どの条件でも50%以上のconsistencyを示しており、応答の信頼性は十分である。

4.4.7 被験者の内観報告

周辺視野における色の見えと中心視野における低照度での色の見えは、両者とも見えの変化が生ずる点では一致するが、刺激の見えの質的な違いが生じた。周辺視野で刺激を見た場合は、彩度や色相の色の見えの変化に質的にぼんやりとした実在感の欠けた見えが加わる。一方、照度が低下した場合は暗くなるため見えにくくはなるが、刺激の輪

表4.1 各照度レベルにおける各被験者の応答のconsistency

2000lx	鼻側60	鼻側50	鼻側30	0	耳側30	耳側50	耳側70	耳側80	耳側90
被験者IK	62%	68%	69%	83%	77%	71%	68%	61%	46%
被験者KS	62%	58%	71%	88%	77%	83%	59%	52%	57%
被験者NS	68%	74%	86%	83%	85%	90%	79%	61%	66%
平均	64%	67%	75%	85%	80%	81%	69%	58%	56%

5 lx	鼻側50	鼻側30	0	耳側30	耳側50	耳側70	耳側80
被験者IK	63%	59%	73%	57%	62%	51%	42%
被験者KS	51%	65%	81%	76%	65%	52%	46%
被験者NS	59%	76%	72%	69%	71%	67%	53%
平均	57%	67%	75%	67%	66%	57%	47%

0.1lx	鼻側50	鼻側30	0	耳側30	耳側50	耳側70
被験者IK	79%	69%	51%	56%	56%	68%
被験者KS	72%	62%	61%	60%	54%	68%
被験者NS	49%	61%	65%	54%	63%	67%
平均	67%	64%	59%	57%	58%	68%

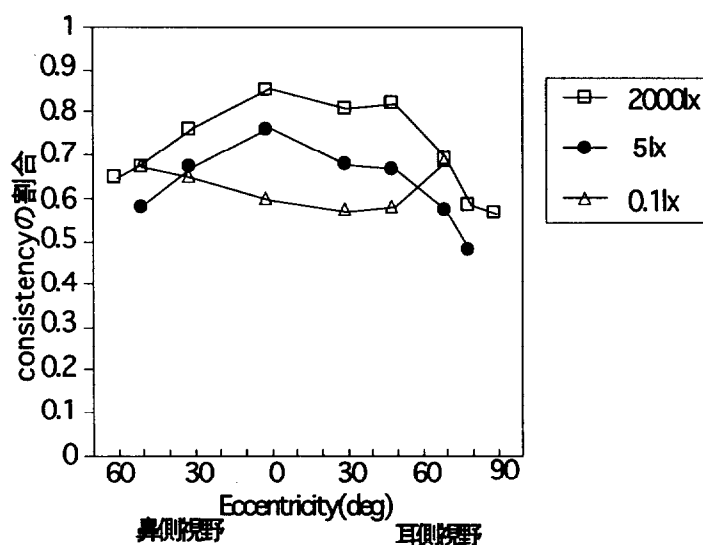


図4.10 各照度レベルにおけるconsistencyの被験者平均

郭ははっきり見え、そこに刺激が存在している感覚は高照度の場合と変わらなかった。

4.5 考察

5 lxの色名分布を2000lxと比較すると、低明度レベルの緑と紫の応答の一部が離心角の小さい位置で無彩色応答や不一致応答に変化したが、中、高明度レベルの刺激は一致する応答がみられた。色名維持視野範囲は照度の低下に伴い減少がみられたが、5 lxでも全色名で維持視野範囲が得られた。これらの結果から、2000lxから5 lxまでの幅広い照度レベルのもとで広視野範囲にわたりカテゴリー応答には目立った変化が生じないことが示された。

0.1lxの色名維持視野範囲は無彩色と青以外はほとんどみられなかった。照度の低下による色名維持視野範囲の減少の理由として、まずは錐体の応答量の減少によるものが挙げられる。照度の低下により錐体の応答量が減少し、さらに周辺網膜では中心窩に比べて錐体数が減少するので錐体系からの全応答が減少する。その結果刺激の色みが低下し、色み知覚の閾値以下になったため、有彩色は無彩色応答へと変化しやすくなるためと考えられる。5 lxでは低明度レベルの刺激にのみ変化が生じた。明度が低い刺激の方が錐体への入力量が少ないからであろうか。

次に、桿体の働きによるものが挙げられる。照度の低下により桿体は錐体に対して相対的に感度が上昇する。さらに、桿体は網膜周辺に多く分布しているため、桿体が色の見えの変化に影響を及ぼしていると考えられる。これはStabell and Stabell(1976)の報告と一致している。

照度レベルの低下に伴う色の見えの変化をみると、0.1lxの中心窩では青、紫、緑の領域が青に変化することが示された。低照度レベルでの色の見えが青方向へ移行する傾向は、過去の研究結果と一致する(湯尻, 1990; 門馬ら, 1993 etc.)。また、オレンジが茶に、ピンク、オレンジ、赤が紫に変化した。ピンク、オレンジは中・高明度刺激にみられる色名であり、赤、茶、紫は低明度刺激にみられる色名である(Boynton and Olson,

1987). つまり, 照度の低下によって高明度刺激の色も低明度刺激の色に見えが変化したと言える. また, 照度が低下しても, 視覚系はその照度レベルに順応して明度知覚は一定になると考えられているが, 0.1lxまで照度レベルが低下してしまうと, 明度知覚も変化してしまうのかも知れない. また, ピンク, オレンジ, 赤が紫に変化したことは, 照度の低下によって色の見えが青方向へ移行した表れでもあろう.

0.1lxの周辺視野では無彩色の応答が大部分を占めた. 等明度の刺激に対して, より短波長に主波長をもつ刺激領域には白や灰といった明るい無彩色応答がみられた. これはよく知られているプルキンエシフトの現象であろう.

照度レベル全体を通して, 有彩色のなかでは青の色名維持視野範囲が広いことがわかった. 青は明所視から薄明視の限界に至るまでの広い照度範囲にわたって安定した応答を示す色名であるといえる.

2000lxと5lxの結果は被験者間で大きな相違がみられなかったのに対して, 0.1lxでは個人差が生じた. これは, 低照度での色み感度の個人差, または, 少ない色み成分刺激に対する有・無彩色の判断基準の違いなどが原因であると考えられる. その他, 色の見えに対する桿体の介入の大きさの個人差なども考えられる. また, 一人の被験者でもセッション間で応答の不一致が目立った. これは, 低照度では錐体出力量が低下するため, 出力量が色み知覚の閾値付近でばらつくことで, 色応答が曖昧になった可能性が考えられる.

4.6 まとめ

実験2では薄明視レベルの5lxと0.1lxの中心視野と周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚特性を調べた. その結果, 中心視野の色名応答が維持される視野範囲は照度の低下に伴い減少したが, 5lx条件では広視野範囲にわたり中心視野と同じカテゴリー応答がみられることがわかった. 本実験結果から, 比較的広い照度範囲且つ広い視野範囲においてはカテゴリー応答に変化が生じないことが示された.

第5章 周辺視野における連続的な色の見えの測定

5.1 実験目的

過去の周辺視野における色の見えの研究は離心角に伴い色の見えが変化するという報告が大部分を占めている。また、いくつかの観察条件を満たせば中心視野と周辺視野の色の見えの変化を小さくすることができるという結果も示されている。このように周辺視野の色の見えは、刺激サイズ、照明の強度等の条件により変化することが明らかになっているが、本実験の実験条件では中心視野の見えに対して周辺視野での色の見えがどの程度連続的に変化しているのだろうか。

ここでは実験3として特に明所視照度レベル条件（実験1）を取り上げ、実験1と同様の観察条件で連続的な色の見えの測定を行う。そして、連続的な色の見えがどの程度変化しているのかあるいは変化していないのかを調べ、その結果とカテゴリカル色知覚の結果を比べることで、周辺視野におけるカテゴリカル色知覚の特性の考察を行うことを目的とする。

5.2 実験方法

(a) 実験装置

実験は、図2.5に示した色票による刺激呈示装置を用いる。

(b) 刺激

OSA明度レベルが偶数（ $L=-6, -4, -2, 0, +2, +4$ ）のOSA色票215枚を用いた。

(c)刺激呈示条件

実験1と同様である。

(d)手続き

以下の点を除いて実験1と同様である。連続的な色の見えの測定を行うために、応答方法としてカテゴリー比率評価法を採用した。以下に、カテゴリー比率評価法についての説明を行う。

カテゴリー比率評価法は、内川ら(1994)によって提案された測定手法であり、11個の基本色を用いて、色の見えを連続的に表現する方法である。被験者は“11個の基本色名のフォーカル色（その色名を最も代表する色）を基準として、テスト色がどのフォーカル色に近いと感じるか”を応答する。応答は、近い順に3色名まで答えることができる。得点換算方法は以下の様になっている。

1色名で応答した場合：その色名に6点

2色名で応答した場合：より近く感じた色名に4点、次の色名に2点

3色名で応答した場合：最も近く感じた色名に3点、次の色名に2点、最後の色名に1点

この評価法の特徴としては、まず第一に日常的に使っている色の表現に近く、応答が容易な点があげられる。たとえば、刺激の色が“黒みがかった赤茶色”であれば、“赤、茶、黒”などという応答をする。このような色の表現方法は日常生活で頻繁に用いられる。その他の特徴としては、11個の基本色名を用いているために、どのような色も表現しやすい点があげられる。カラーネーミング法のなかで従来一般的に用いられてきたのが、反対色型カラーネーミング法であるが、この応答方法では赤、緑、青、黄、白、黒しか用いることができない。そのため、特に茶などの表現が難しかった。それに対し、カテゴリー比率評価法では、様々な色を無理なく表現することができる。

図5.1のグラデーションを用いて、カテゴリカルカラーネーミングとカテゴリー比率評価法の違いについて説明する。3つの線は左側から右側へ赤から緑のグラデーションに

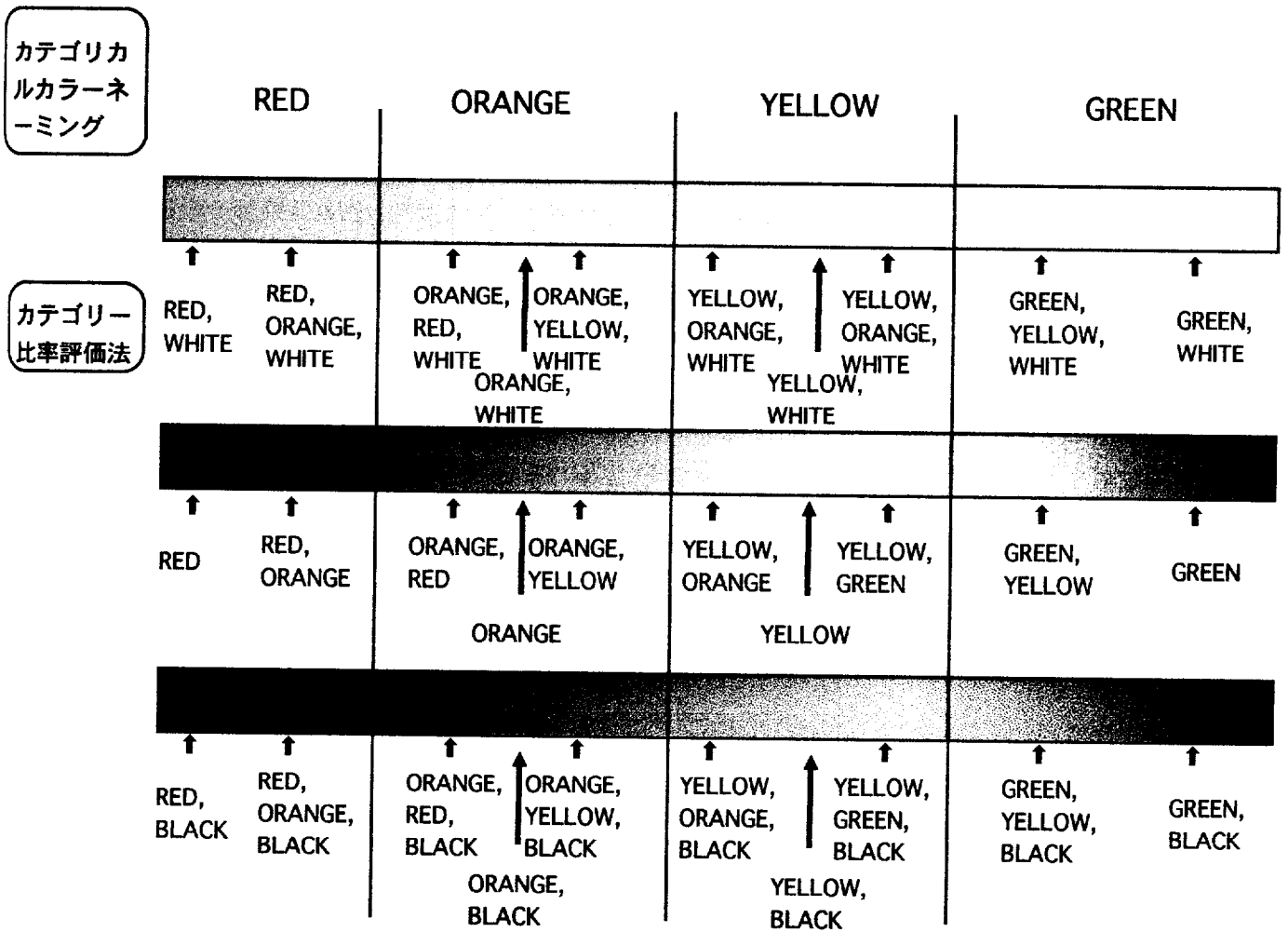


図5.1 カテゴリーカルカラーネーミングとカテゴリー比率評価法の違い

なっている。また、上から順に、明度が低くなっている。カテゴリカルカラーネーミングの場合には、たとえば各グラデーションを縦の線で区切ったように、左から順に、red, orange, yellow, greenなどといった1色名の応答となる。それに対してカテゴリー比率評価法では、中段のグラデーションをユニーク色相とすると、redから始まりorangeに近づくとred/orange, orange/red, orangeと続いていく。また、上段のグラデーションは、中段の結果にwhiteが加わり、下段ではgrayやblackが加わる。

本実験でカテゴリー比率評価法を用いたのは、図5.1から明らかなように、カテゴリカルカラーネーミングより連続的な色の見えの変化が測定でき、かつ、カテゴリカルカラーネーミングの測定結果との比較も可能だからである。

215枚の色票はランダムに呈示される。9カ所の刺激呈示位置毎に計2セット行う。一人の被験者につき、215試行×2セット×9カ所=計3870試行となる。

(e)被験者

被験者は色覚正常な男性1名（IK：30才）、女性1名（KS：25才）である。

5.3 実験結果

5.3.1 色名分布

各被験者のカテゴリー比率評価法の結果は、被験者間で大きな変化はみられなかった。ここでは、2人の被験者の応答をまとめた結果を示す。図5.2は、全刺激の色名別の分布を示している。各パネルの列は上から順に、(a)が赤、青、緑、黄、紫、オレンジ、(b)がピンク、茶、黒、白、灰の結果を示している。行方向は刺激呈示位置の違いを表している。各色名の比率の分布をOSA空間にプロットし、j,g平面に投影した結果である。つまり、各パネルで同じj,g値でシンボルが複数みられるのは明度レベルが異なる色票の結果が重なっているためである。シンボルの大きさは色名応答比率の大きさを表してい

る。1枚の色票につき2人の被験者で最大6(点)×2(人)×2(回)=24点となり、その中の各色名の占める割合を表している。たとえば、ある刺激に対して、2人の被験者が2回の応答とも赤、オレンジの順の2色名で答えると、赤が4(点)×2(人)×2(回)=16点(=66.7%)、オレンジが2(点)×2(人)×2(回)=8点(=33.3%)となる。シンボルのサイズが大きいほど割合が高くなっている。各パネルの黒線は、比較のために実験1のカテゴリカルカラーネーミングの応答結果のうち本実験で用いるOSA色票215枚を対象にj,g平面に投影した分布領域で示した。実験1の結果は被験者IKと被験者KSの応答をまとめて50%以上(2回以上)一致して得られた色名の分布の外枠をとった結果である。

結果をみると、色名により異なる傾向がみられた。離心角の増加に伴い、赤はわずかにg軸方向に応答の縮小がみられた。青は-g軸方向、黄、茶は+-g軸方向、オレンジは+g軸方向に向かって応答のわずかな拡大がみられ、鼻側60degや耳側90degになると、青、黄ではj軸方向にも分布が拡大した。また、オレンジの鼻側60degでは応答の顕著な減少がみられた。紫、ピンクは鼻側30degから耳側70degの間では、g値が大きい応答刺激のシンボルが徐々に小さくなったが顕著な変化ではなかった。その外側視野ではシンボルサイズが減少しているが、紫は+-g軸方向に、ピンクは耳側90degではj,g平面の全域に応答分布が広がった。

白、灰の中心窩の応答はj,g平面の全域に渡って分布しているものが多く、他の有彩色とはかなり異なる応答傾向がみられた。離心角の増加に伴い、白、黒、灰は、応答領域が更に拡大し、シンボルサイズも増加したため、無彩色成分が増加することが示された。

このように、ほぼ全ての色名で離心角の増加に伴うわずかな色みの変化が示された。しかし、色みが減少していく色名の分布傾向としては、離心角に伴ってシンボルサイズが小さくなるが、視野周辺縁部では中心窩の分布位置よりさらに広い範囲でわずかに比率応答が分布する傾向がみられた。

次に、実験1のカテゴリカルカラーネーミングの結果と比較してみる。有彩色の8色

名の実験1の分布範囲は比率評価の応答分布のなかでも比較的シンボルの大きい、つまりより強く近くに感じる色名の範囲に分布している。しかし、比率が50%に満たない刺激も実験1の色名分布として含まれている場合もある。また、赤の鼻側50deg、緑の耳側90deg、紫の鼻側50degや耳側90deg、茶の耳側60degは実験1の色名応答はほとんどみられないが比率評価では応答が存在しているため、色みが完全に消滅したのではなくわずかに残ってはいるがカテゴリー色名にはならないことがわかった。

無彩色の白、黒、灰はその他の色名と傾向が明らかに異なり、視野周辺縁部を除き、比率評価の応答分布の広がりに対してカテゴリー色名応答の範囲は狭くなっている。無彩色の色名応答の分布範囲は、有彩色にくらべて大きいシンボルが分布している範囲に限られていることがわかった。つまり、無彩色成分は有彩色成分に比べてより多くの成分を有していないと、無彩色のカテゴリー色名として応答されない可能性が示唆される。

5.3.2 第1応答色名の解析

カテゴリー比率評価法の色名分布結果（図5.2）から、色みが最も近い色名がカテゴリー色名として応答されとは限らないことを示唆する結果が生じた。そこで次に、色みが最も近い色名、つまり第1番目の応答色名とカテゴリー色名応答を比較し、色の連続的に変化する見えとカテゴリーの見えの関係についてみる。

図5.3はカテゴリー比率評価法による色名応答で第1番目に応答した色名応答数と実験1のカテゴリー色名応答数の結果を示している。被験者間で同様な結果が得られたため、被験者間の平均を結果として示した。実験1のカテゴリー色名応答の結果は、本実験で用いた215枚の色票に対する応答数を示している。

赤、オレンジ、茶を除いて、有彩色では第1応答色名数に対してカテゴリー応答数が増加している。青、黄は離心角全域で増加がみられ、その他の色名はカテゴリー応答数がゼロに近似するまで離心角全域での増加が生じた。一方、白、灰は離心角全域でカテゴリー応答数が減少した。

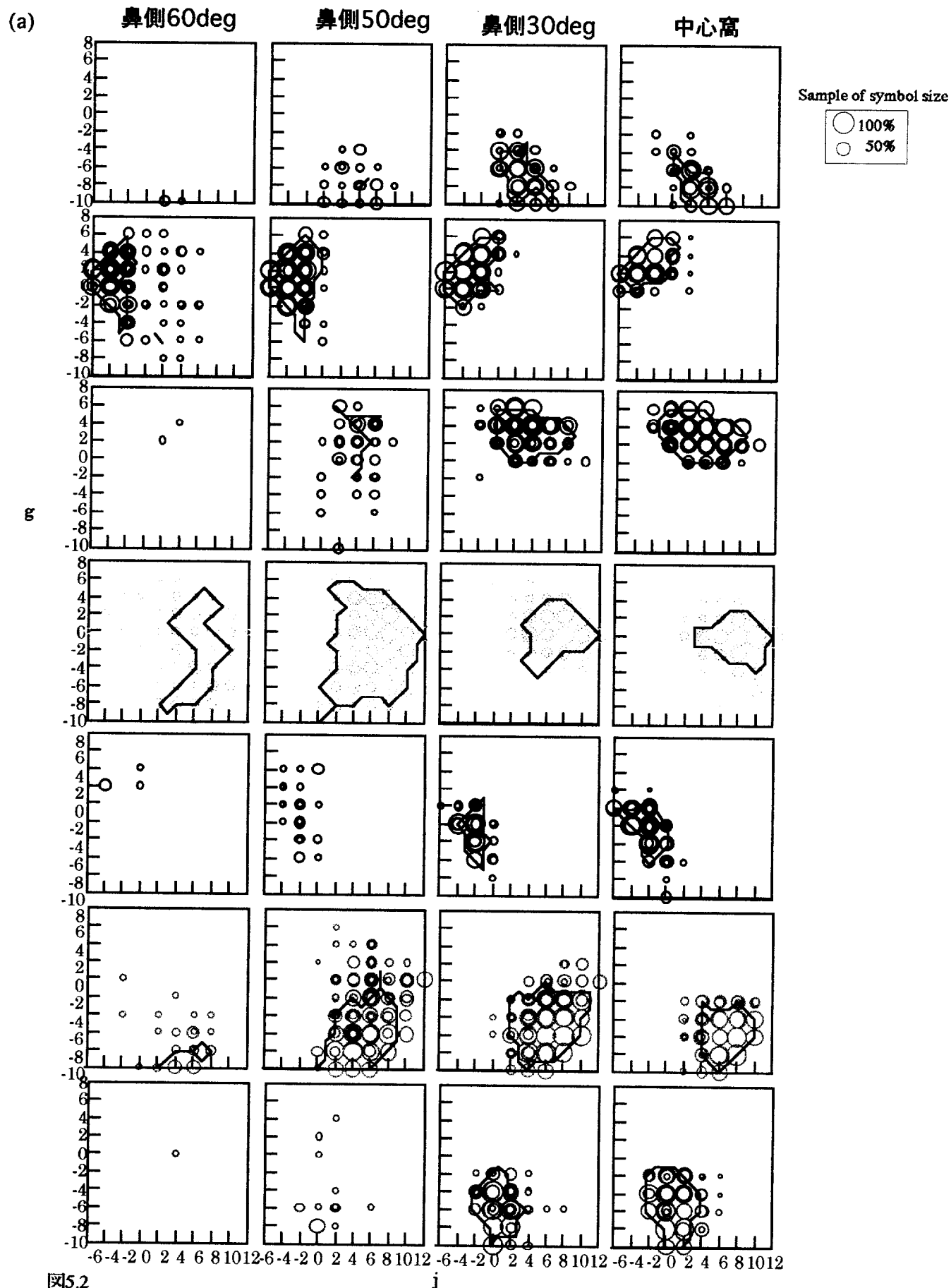


図5.2

カテゴリー比率評価法による各色名の応答比率の結果（左から順に鼻側視野60,50,30deg，中心窩の結果を示す）(a)赤，青，緑，黄，紫，オレンジ，ピンク
 黒枠は比較のために実験1の分布領域結果を示している。

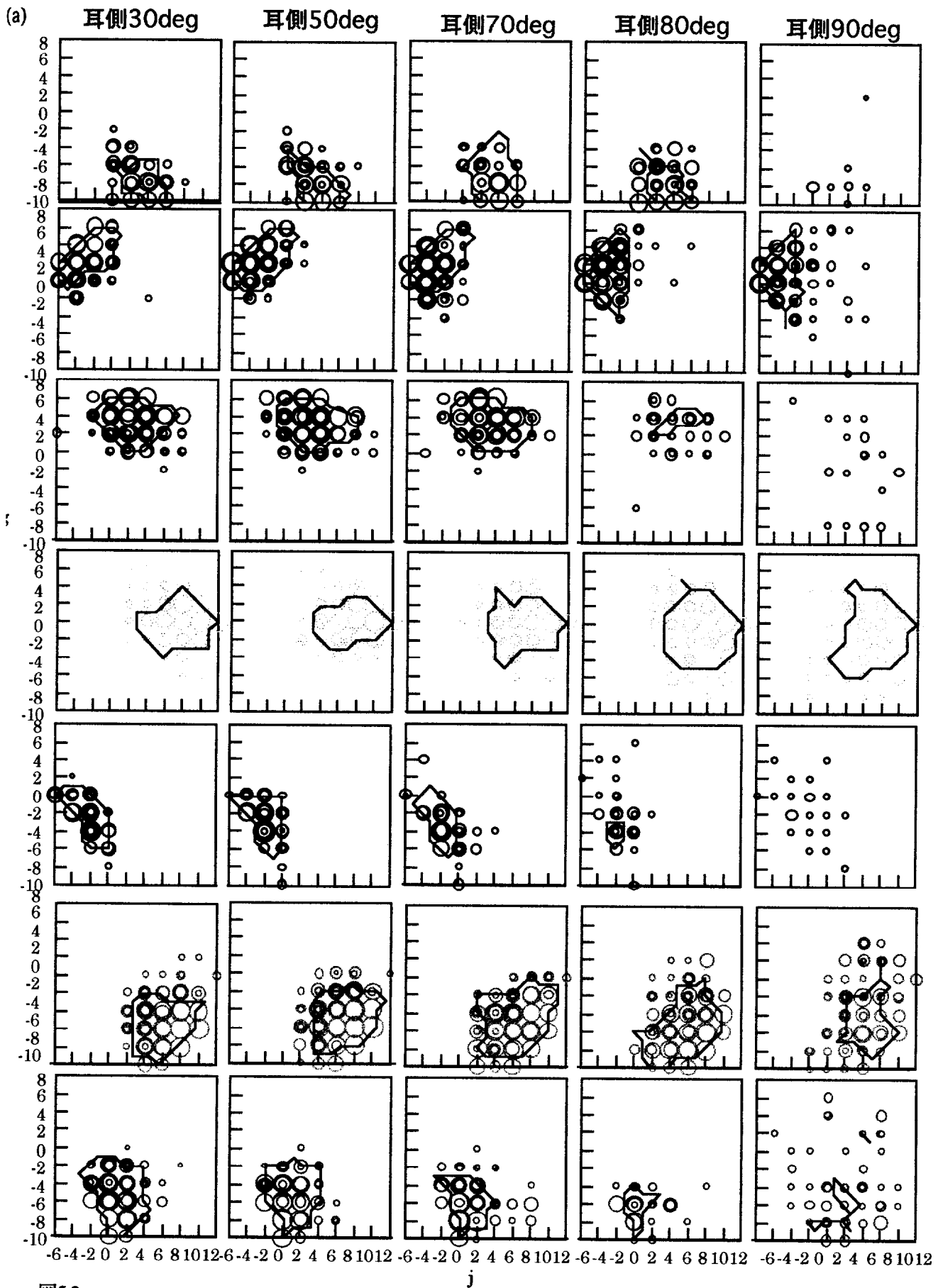


図5.2

カテゴリー比率評価法による各色名の応答比率の結果（左から順に耳側視野30,50,70,80,90degの結果を示す）

(a)赤, 青, 緑, 黄, 紫, オレンジ, ピンク

黒枠は比較のために実験1の分布領域結果を示している。

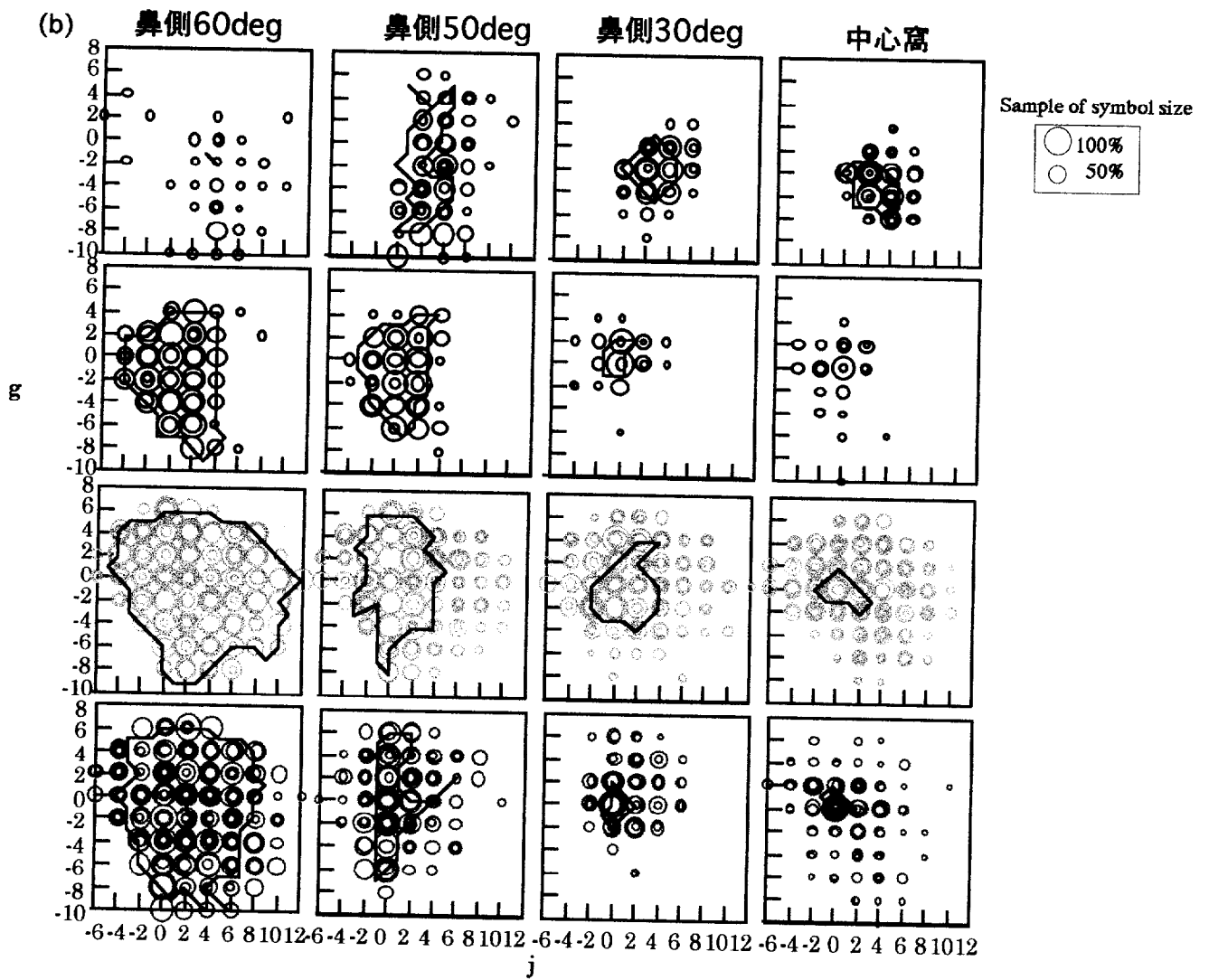


図5.2

カテゴリー比率評価法による各色名の応答比率の結果（左から順に鼻側視野60,50,30deg, 中心窩の結果を示す）(b)茶, 白, 黒, 灰

黒枠は比較のために実験1の分布領域結果を示している。

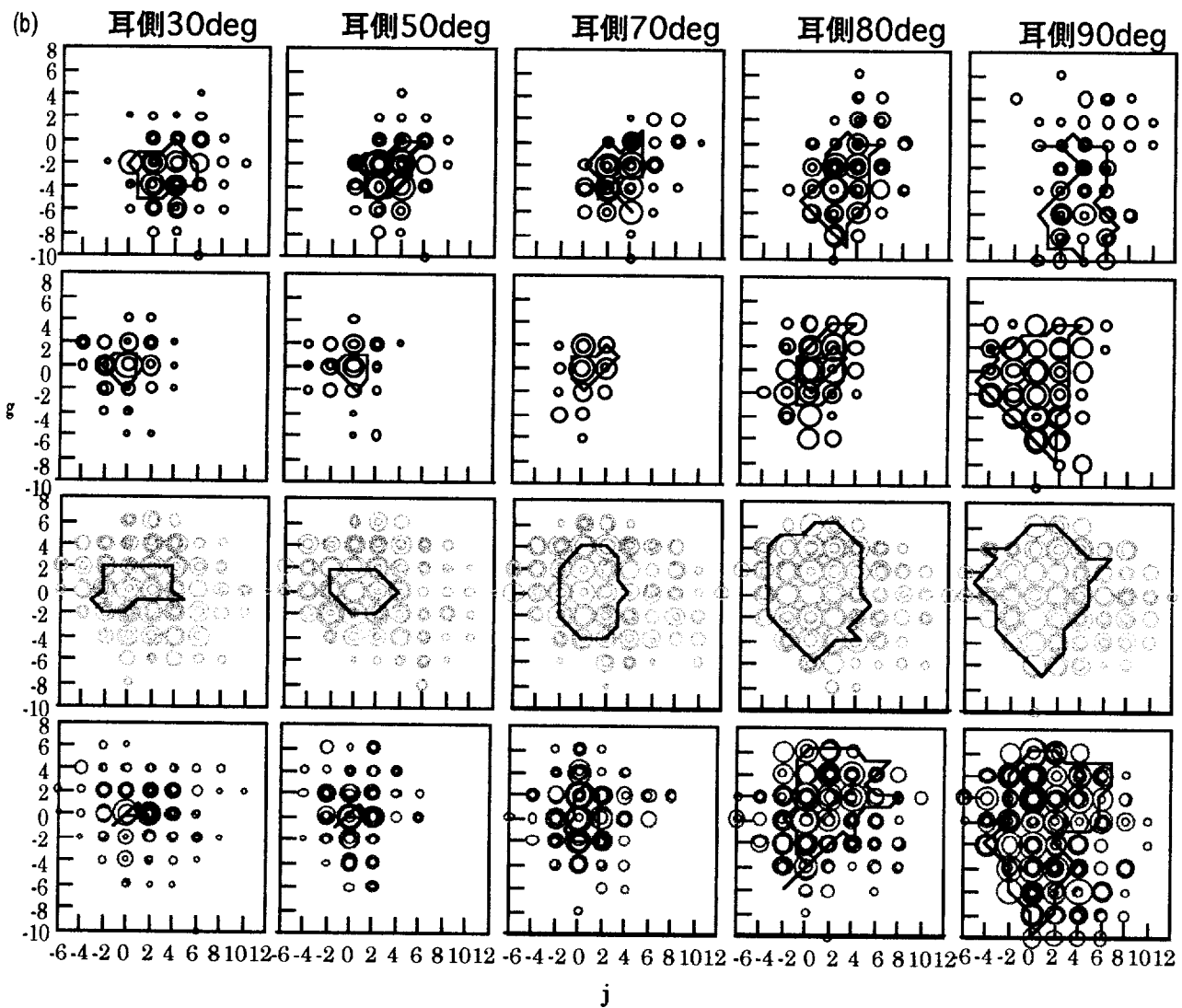


図5.2

カテゴリー比率評価法による各色名の応答比率の結果（左から順に耳側視野30,50,70,80,90degの結果を示す）

(b) 茶, 白, 黒, 灰

黒枠は比較のために実験1の分布領域結果を示している。

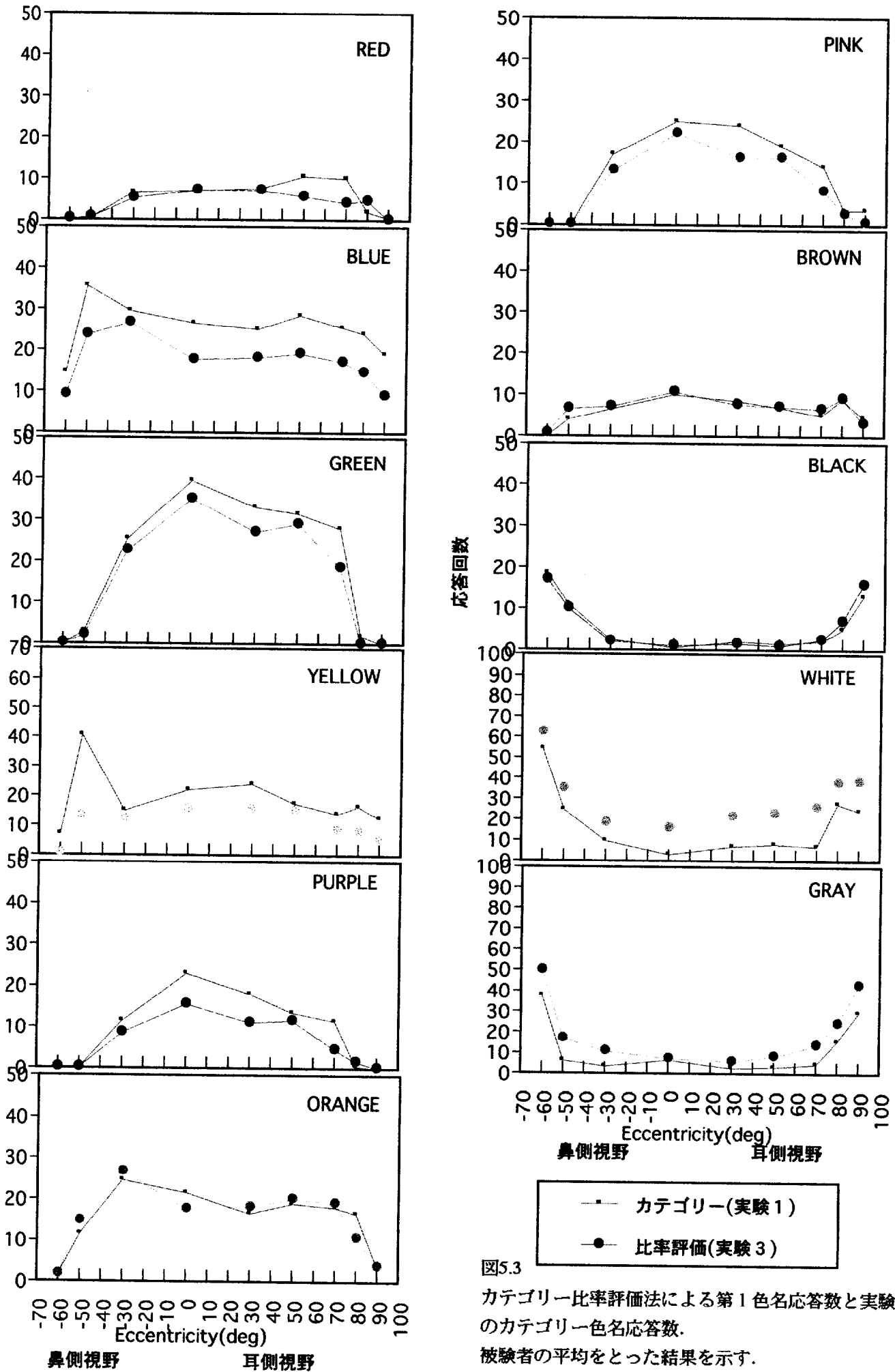


図5.3

カテゴリー比率評価法による第1色名応答数と実験1のカテゴリー色名応答数。被験者の平均をとった結果を示す。

5.3.3 応答色名数の解析

カテゴリー比率評価法は、近くに感じる色を3色名まで応答することができる。そこで次に、離心角の変化に対する応答色名数の特性に着目した。

図5.4は離心角にたいする1, 2, 3色名応答の応答数の結果を示している。上から順に、被験者IK, 被験者KS, 被験者の平均の結果である。

各被験者で共通している変化として、離心角に伴い1色名応答が増加し、3色名応答が減少していることがわかる。これは、離心角に伴い3色名が2色名へ、2色名が1色名へと応答色名数が減少していることを示している。

次に、離心角の増加に伴う1色名応答の増加に着目した。図5.5は1色名応答数に関して各色名の内訳が示されている。上から順に、被験者IK, 被験者KS, 被験者の平均の結果である。左列のパネルが赤, 青, 緑, 黄, 紫, オレンジ, ピンク, 茶, 右列のパネルが白, 黒, 灰の結果を示す。

各被験者で共通している変化として、ほとんどの有彩色で鼻側30degもしくは50degまでと耳側70degもしくは80degまで1色名応答が増加し、それより外側視野では急激に減少しているのがわかる。無彩色では離心角の増加に伴う1色名応答の増加がみられた。つまり、離心角に伴う1色名応答の増加は、鼻側30degもしくは50degまでと耳側70degもしくは80degまでは全ての色名において生じていることが示された。

5.3.4 離心角に伴う応答の変化に関する連続的な色の見えとカテゴリー色の見えとの比較

次に、離心角の増加に伴うカテゴリカルカラーネーミング法とカテゴリー比率評価法による応答の変化について比較する。実験1において全被験者が同じ色名を一致して応答した刺激を対象に解析を行った。実験1の結果は、各刺激において全被験者の応答をまとめ、そのうち中心窩の応答と同じ色名応答が得られた割合を算出する。その後、各刺激で得られた割合を色名ごとに平均した結果を示す。実験4の結果は、各刺激におい

て全被験者の応答をまとめ、最大6点×2人=12点に対して得られた得点の割合を算出する。その後各刺激で得られた割合を色名ごとに平均した結果を示す。(図5.6)

結果をみると実験1と実験3で減少の傾きに明らかな違いがみられなかった。

予想される結果としては、実験1の結果の方が離心角の変化に伴う色み割合の推移が小さくなると考えられる。しかし、減少の傾きに違いがみられなかった理由の1つとして、5.4.3で解析を行った色名応答数の変化が影響していると考えられる。過去の研究から、周辺視野の色の見えは彩度の低下が生じることが明らかになっている。また、刺激サイズなどの条件が満たされれば彩度の低下は微小になるが、周辺視野において中心窩の彩度の見え以上のものを得られるとは考えにくい。

しかし例えば、中心窩で青、白という応答があった刺激について考えてみる。離心角に伴い色みの減少があった場合にも、色の見えの曖昧さから青の1色名のみの応答が生じる可能性は十分にある。そうすると、計算上は青の色みが増加したことになる。図5.7に離心角の増加に伴い色み応答の増加が生じた各色名の代表的な結果を各色名の刺激の(L,j,g)と共に示す。

全ての有彩色において、このように耳側50degもしくは70degまで色み応答が増加する結果を示す刺激が複数みられた。また、色の見えの変化が生じてはいるが色名応答数の減少から計算上は色み応答に変化が生じない結果や、色名応答数の減少の影響を受けていない結果が平均化され、顕著な色みの低下が生じなかった色名がみられたと思われる。

このように、カテゴリー比率評価法による周辺視野の色の見えの測定では、色の見えの変化と応答色名数の減少の両者が混在した結果が表れていると考えられる。

5.3.6 被験者の内観報告

被験者の内観として以下のような報告が得られた。中心窩と周辺視野で応答の困難さに違いはみられなかった。周辺視野では中心視野で見た色と異なることはわかるが、色がはっきりしなかった。応答としては、2つの有彩色を用いた応答は困難であり、比較

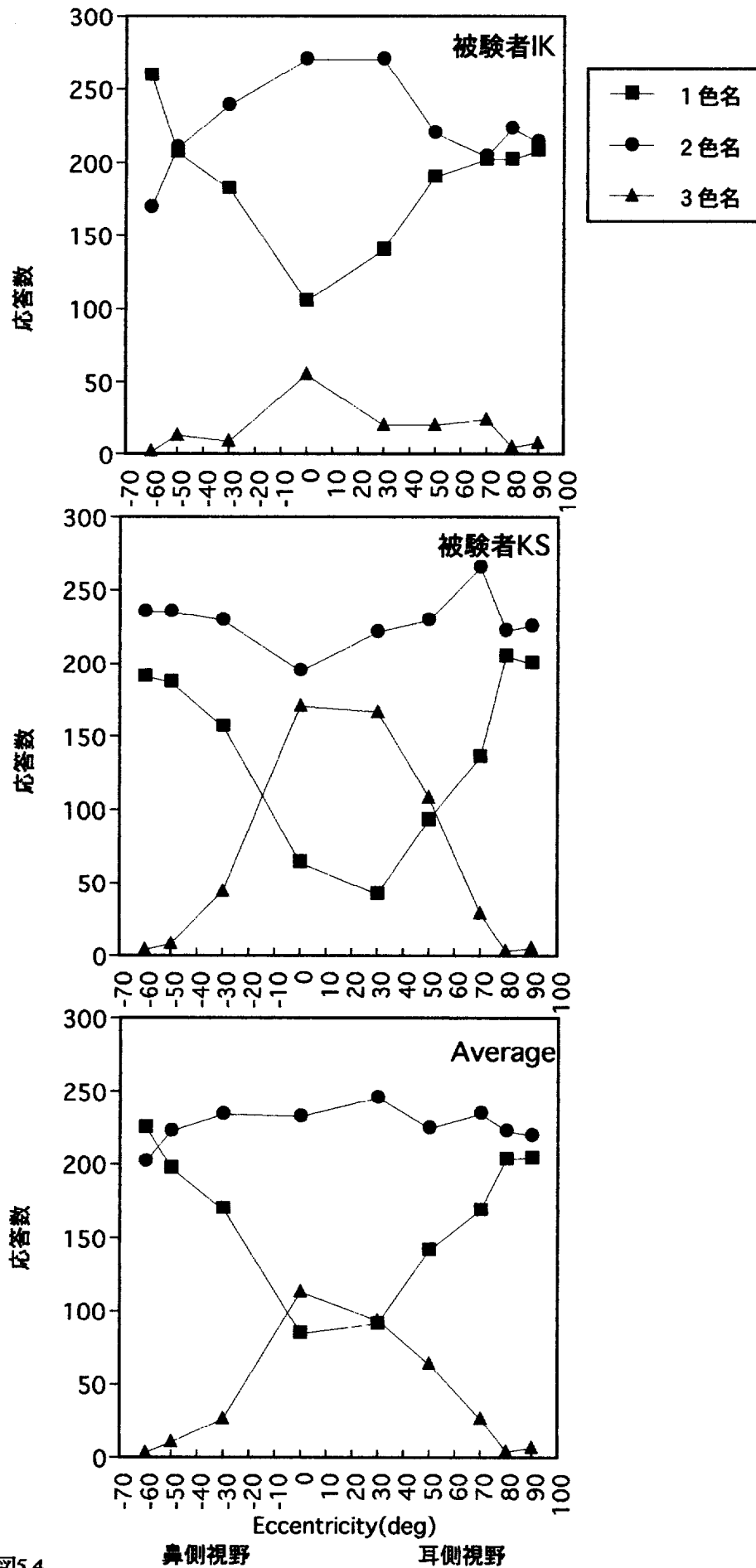


図5.4

離心角に対する色名応答の応答数。上から順に、被験者IK，被験者KS，被験者の平均の結果を示す。各シンボルは1色名(■)，2色名(●)，3色名(▲)応答数を表す。

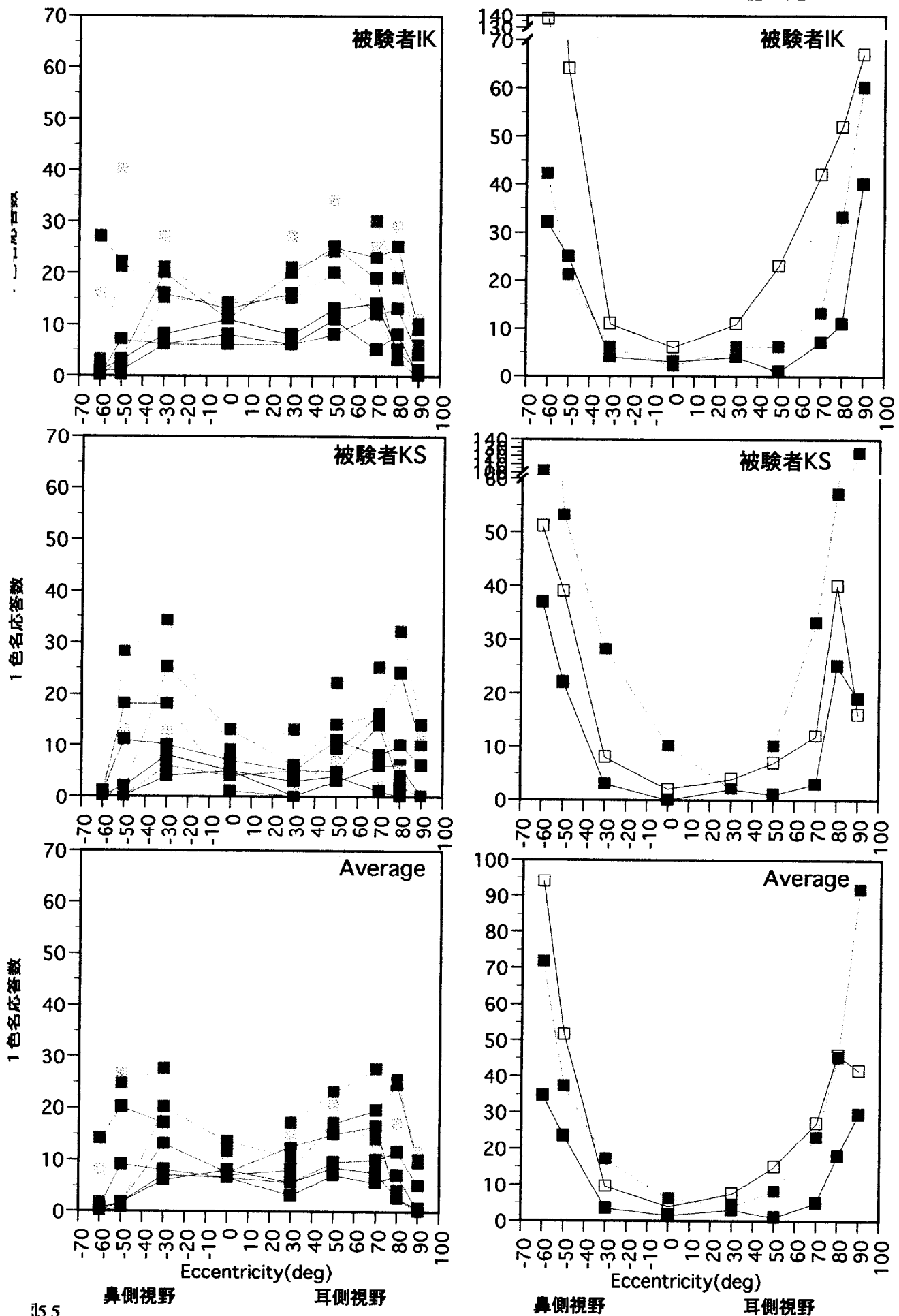


図5.5

鼻心角にたいする各色名の1色名応答数。上から順に、被験者IK、被験者KS、被験者の平均の結果を示す。左列は赤、青、緑、黄、紫、オレンジ、ピンク、茶の結果、右列は白、黒、灰の結果を示す。

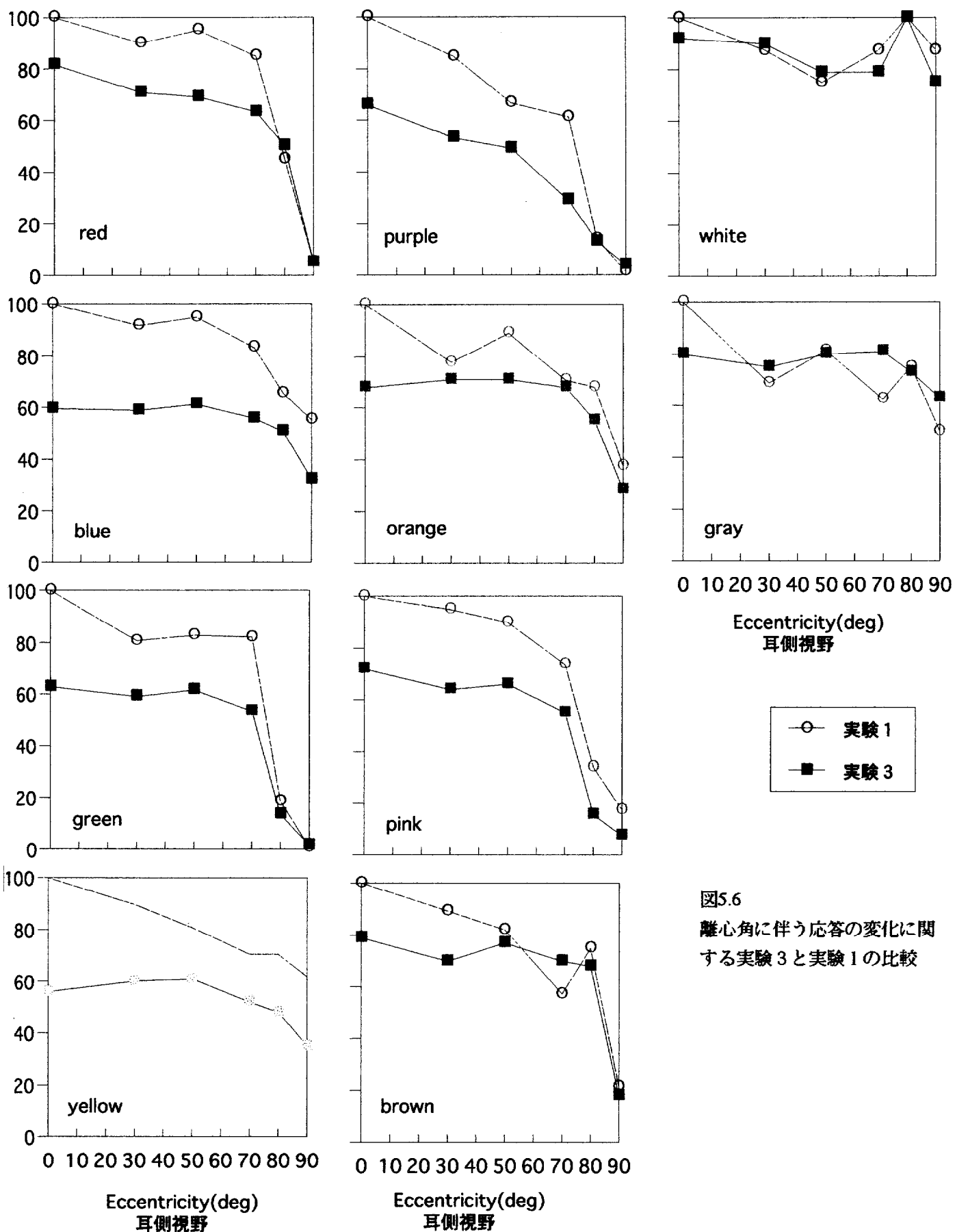


図5.6
離心角に伴う応答の変化に関する実験3と実験1の比較

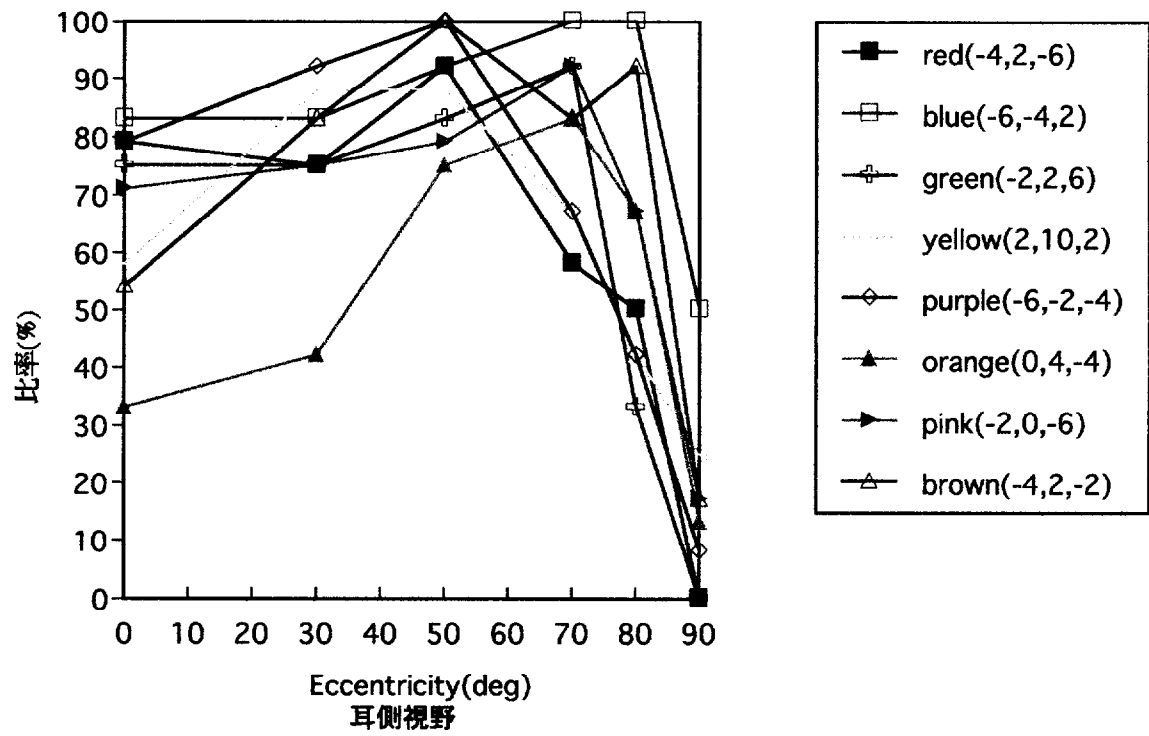


図5.7 カテゴリー比率評価法による離心角に伴う色みの変化

的少ない色名で応答した。

5.4 考察

色名分布では、離心角に伴いj,g軸方向に沿って赤の減少や黄、青の増加がわずかながらみられた。これは過去の研究結果と一致する(Stabell and Stabell,1976 etc.)。これらの結果は、離心角の増加に伴いr-g反対色チャンネルがy-b反対色チャンネルより先に感度低下が生じていることを示唆している。また、離心角の増加に伴い無彩色の応答の増加がみられたことから、彩度が低下していることがわかった。

紫やピンクは周辺視野で色みが減少していくが、これらの色は視野周辺縁部で中心窩の分布よりさらに外側の範囲でわずかな比率応答がみられた。この結果は、視野周辺縁部で色みが増したと考えるよりも、色の見えが曖昧になったために生じた結果であると考えた方が妥当であろう。

実験1と実験3の色名分布の結果を比較すると、実験3の各色名の比率が大きい範囲にカテゴリー応答は分布しているが、実験3の第1色名とカテゴリー色の一致はみられなかった。不一致の原因は、無彩色成分が最も近く感じられる刺激において、カテゴリー応答では有彩色が応答されるためであることがわかった。つまり、私たちのカテゴリー色名の決定には、無彩色成分より有彩色成分の寄与が大きいと言える。この結果から、細かな色の見えの情報を色名に変換するときに、最も近く感じる色名をそのままカテゴリー色名として用いるのではなく、有彩色の色みに高い重み付けをした処理をして色名を決定していることが示唆される。

応答色名数の解析結果から、離心角に伴い色名応答が減少する傾向がみられた。1色名応答の色別内訳結果から、ほぼ全ての色名で少なくとも鼻側30deg、耳側70degまで1色名応答が増加していることが示された。この視野範囲は実験1で得られた色名応答維持視野範囲と比較的一致していることがわかる。これらの結果から、中心窩と同じ色名

応答が得られる視野範囲での色の見えは、以下の2つのどちらかの変化が生じていると考えられる。1つめが、離心角の増加に伴い色の見えがフォーカル色に近づいている可能性である。2つめが、色の見えの彩度や色相方向の変化も知覚している上でさらに、離心角の増加に伴い色の見えが曖昧になり、複数の色名で応答することが困難になった可能性が考えられる。過去の研究から、周辺視野における色の見えが、全ての色名でフォーカル色に近づく可能性は考えにくい。さらに、被験者の内観報告から判断しても後者によるものであることが推測される。つまり、色名維持視野範囲内では中心視野から徐々に色応答の単純化が生じていることが示唆される。この特性は周辺視野の色の見えの新たな側面であると言えよう。視野の周辺部で色の見えが曖昧になる現象は、網膜周辺部の錐体出力が不安定になり1つの見えに定まらないためかもしれない。

離心角の増加に伴う応答の変化を実験1と比較した結果、変化の傾きに違いが生じず、実験3の結果は離心角に伴い変化があまり生じない色名がみられた。過去の研究のような離心角に伴う色の見えの顕著な変化が生じなかった理由の1つとして、今回はカテゴリ比率評価法を用いたためと考えられる。テスト刺激の見えについて近くに感じる色名を3色名まで自由に応答可能なことから、離心角に伴う応答色名数の減少がみられた。この特性は周辺視野の色の見えの新たな側面であり、一方で得点換算上は色みの増加を引き起こしている可能性が高いと思われる(5.4.4を参照)。

その他の理由としては、刺激サイズが十分の大きさであったため、実際に色の見えに変化が生じなかった可能性も考えられる。しかし、Abramov *et al.* (1991,1992)が算出した知覚視野サイズから考えると今回用いた刺激サイズ4 degでは周辺視野で明らかな色の見えの変化が生じることが示唆される。

これらの結果から、本実験条件での周辺視野における連続的な色の見えは、離心角の増加に伴い色名応答数の減少がみられた点で、少なくともなんらかの変化が生じていることがわかった。これは周辺視野での色の見えの曖昧さが引き起こしていると推測される。また、彩度や色相方向の変化もわずかに変化していることが示されたと言える。

5.5 まとめ

実験3では、実験1と同じ観察条件のもとでカテゴリー比率評価法を用いて周辺視野における連続的な色の見えの測定を行った。その結果、連続的な色の見えは離心角の増加に伴いわずかに変化することが示された。また、離心角の増加に伴い色名応答数の減少がみられた。この結果は、離心角の増加に対して色の見えが彩度や色相方向に変化しているだけではなく、色応答の単純化、つまりカテゴリー化、が生じていることが示唆された。また、色名応答は無彩色成分よりも有彩色成分の寄与が大きいことがわかった。

第6章 周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚に対する刺激サイズの影響

6.1 はじめに

周辺視野の色の見えに変化を与える要因として刺激サイズ、刺激の輝度、刺激呈示時間などがあるが、そのなかでも近年注目されているものが刺激サイズである。

Abramov *et al.* (1991,1992)は、刺激サイズを0.25degから6 degの間で変化させて周辺視野における色の見えの測定を行った。その結果、刺激サイズの増加により、周辺視野の色の見えは徐々に中心視野の見えに近づき、飽和することが示された。刺激サイズを十分大きくしても彩度に関しては完全な回復はみられないが、色相方向の変化としては周辺視野20 degまでは中心視野とほぼ同等の色の見えが得られることが示された。

Nerger *et al.* (1995)は、刺激サイズを0.125degから8 degの間で変化させて、色相打ち消し法により耳側網膜20degにおけるユニーク黄、青、緑の測定を行った。その結果、ユニーク黄は刺激サイズや離心角の変化に対して色の見えの色相方向の変化はみられなかった。ユニーク青は刺激サイズが2 degから4 degまで増加すると中心窩の色相方向の見えとほぼ一致した。ユニーク緑は刺激サイズの増加により中心窩の見えに近づくが、より短波長側で飽和を示し、同様な色相方向の見えは得られなかった。

これらの研究から、周辺視野における色の見えは刺激サイズに大きく影響を受け、中心視野と周辺視野の色の見えの違いは刺激サイズによってある程度は説明できることが示唆された。

本研究の目的の1つには工学的な応用へ貢献できる基礎データの作成がある。より一般的なデータを提供するには、本研究結果が刺激サイズの影響をどの程度受けているかを知る必要がある。

6.2 実験目的

実験1と実験2から、周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚は、明所視から薄明視の照度範囲において広い視野範囲にわたって色名応答の変化がみられないことがわかった。しかし、周辺視野の色の見えは刺激サイズの大きさにより変化する。ここでは実験4として、これまでの実験結果が刺激サイズの影響をどの程度受けているかを調べることを目的とする。これまでの実験で用いた刺激サイズの4 degは、十分な大きさなのだろうか。それとも、さらに刺激サイズを大きくすることで、中心視野の色名応答が維持される視野範囲は広がるのだろうか。これらを明らかにし、刺激サイズの影響を踏まえた基礎データの提供を行う。

6.3 実験方法

(a) 実験装置

実験は、以下の点を除き、実験2と同様に図2.7に示したような液晶プロジェクターによる刺激呈示装置を用いる。

刺激サイズを変化させるため、数枚のプラスチック板を用意し各板に異なる大きさの穴を開けて刺激呈示部に取り付け可能にした。刺激サイズが4 degより小さい刺激は刺激の形状は円形であり、4 degより大きい刺激は横軸の長さが4 degの円形刺激と等しい縦の楕円を用いた。たとえば、視角8 degの刺激は、8 degの円形刺激と同じ面積になるような縦の楕円形を用いた（図6.1）。

これまでの刺激と横幅を一致させた理由は、刺激サイズを大きくしても水平方向の同じ網膜部位を刺激したかったためである。もし円形刺激を用いた時に刺激サイズの増加による周辺視野における色の見えの回復が生じた場合、その結果が刺激が離心角の小さい位置に入り込んだためであるのか、純粹に刺激サイズの増加によるものなのかが明確ではないためである。4 degの刺激と等しい横幅の刺激を用いることで、水平方向の離

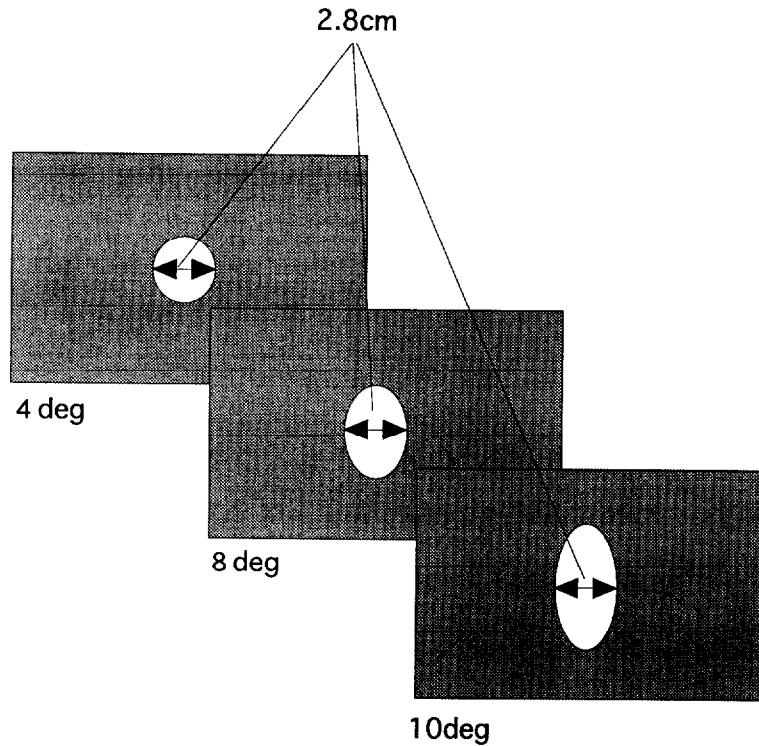


図6.1 刺激の形状
刺激サイズが4 degより大きい刺激は縦の楕円形。

心角の条件は変わらず，刺激サイズの増加のみを変化させることができる。

(b)刺激

11基本色のなかから有彩色8色について実験を行う．OSA色票のなかから，中心窩の色名応答で全被験者の応答が一致した刺激を抽出し，各有彩色で1枚をランダムに選択する．それらを液晶プロジェクターにシミュレートしたものをを用いる．実際に呈示した

表6.1 シミュレートしたOSA色票の(L,j,g)と刺激の輝度，CIE1931(xy)色度

	シミュレートしたOSA色票の(L,j,g)	刺激の輝度(cd/m ²)	刺激の色度(x,y)
赤	(-4, 2, -8)	62.08	0.5405, 0.3203
青	(-6, -4, 2)	25.18	0.1874, 0.1882
緑	(-2, 6, 4)	143	0.3230, 0.5180
黄	(4, 12, 0)	403.3	0.4383, 0.5013
紫	(-6, -4, -2)	30.17	0.2987, 0.2109
オレンジ	(0, 8, -8)	171	0.5419, 0.4125
ピンク	(0, 0, -8)	179.1	0.4215, 0.3063
茶	(-6, 2, -2)	35.37	0.4430, 0.3819

刺激のCIE1931(xy)色度は表6.1の通りである。

無彩色カテゴリー3色は、中心窩で全被験者の応答が一致した刺激が少なかったために実験は行わなかった。

(c)刺激呈示条件

照度は2000lx条件で行う。刺激呈示位置は、中心窩0 degと耳側視野30, 50, 70, 80, 90degの計6カ所である。

刺激サイズは0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 10degの8種類を用いた。

(d)手続き

被験者は実験ブースに入り、5分間照明に順応した後、測定を開始する。被験者は単眼（右眼）で固視点を固視し、被験者がキーボードのボタンを押すことで、3秒間刺激が呈示される。刺激を観察した後、カテゴリーカルカラーネーミング法により、刺激が何色に見えたかをキーボードで応答する。被験者は1条件につき各刺激を計5回観察した。1セッションは刺激呈示位置と刺激サイズは固定し、8色の刺激をランダムに呈示した。セッション毎の刺激呈示位置、刺激サイズはランダムに選択した。

(e)被験者

被験者は色覚正常な女性2名（KS：25才，NS：23才）である。

6.4 実験結果

図6.2の左列のパネルは刺激サイズの増加により、中心窩の色名応答（2000lxのカテゴリーカルカラーネーミング実験において全被験者が一致して応答した色名）と同じ色名応答が得られた割合を示す。シンボルの違いは刺激呈示位置の違いを示す。刺激サイズが小さい位置でプロットがないものは、刺激が小さいために色名応答ができず測定不能になったためである。また、刺激サイズの増加により100%の一致応答が複数得られた場

合には更に大きい刺激サイズの測定は行わず、測定を打ち切りとした。そのため、より刺激サイズが大きい位置でプロットがない場合がある。(a)が被験者KSの結果、(b)が被験者NSの結果を示している。

被験者KSの左列の結果をみると、すべての色名で刺激サイズの増加に伴い、一致率が増加していることがわかる。また、各刺激呈示位置で増加の傾向は異なった。離心角が大きくなるにつれ、ゼロからの曲線の立ち上がりの刺激サイズがやや増加した。さらに、離心角の増加に伴い増加の傾きが緩やかになっている。

右列のパネルは左列パネルの結果をもとに、一致率が50%になる刺激サイズを各刺激呈示位置で求めた結果となっている。この値をcritical sizeとし、中心窩での色名応答と同じ応答が得られる最小の刺激サイズとした。多くの色名で0 degのcritical sizeは得ることができなかった。これは、刺激サイズ0.125degが作成可能な最小の刺激サイズであったが、0.125degでも50%以上の一致率を示す色名が多かったためである。よって、0 degのプロットがない色名は、critical sizeが0.125deg未満であることを示している。

被験者KSの右列の結果をみると、全ての色名で離心角の増加に伴いcritical sizeが増加していることがわかる。しかし、各色名で増加の傾きは異なり、青、黄は耳側90degでもcritical sizeは2 deg程度である。一方、その他の色名の多くは、耳側80degや90degのcritical sizeは4 degより大きくなっている。つまり、これらの刺激に関しては、サイズを10degにすることで、耳側80degや90degまで中心窩と同じ応答が得られることになる。また、これらの色名の離心角の増加に伴うcritical sizeの増加は、紫を除いて耳側70degもしくは80degまで傾きが緩やかであり、その外側視野で急激なcritical sizeの増加が生じた。

被験者NSの結果をみると、青、黄は耳側90degでもcritical sizeは2 deg程度であり、被験者KSと同じ結果となった。緑、茶は耳側90degでは刺激サイズを十分大きくしても50%以上の一致率が得られず、critical sizeが4 deg以下で曲線は終わっている。紫、オレンジ、ピンクは被験者KSと同様に、耳側80degや90degのcritical sizeは4 degより大きくなっている。つまり、被験者NSでは紫とピンク以外は、刺激サイズ4 degは十分な大きさであり、それ以上大きくしても中心窩と同じ色名応答が得られる視野範囲は変わらない可

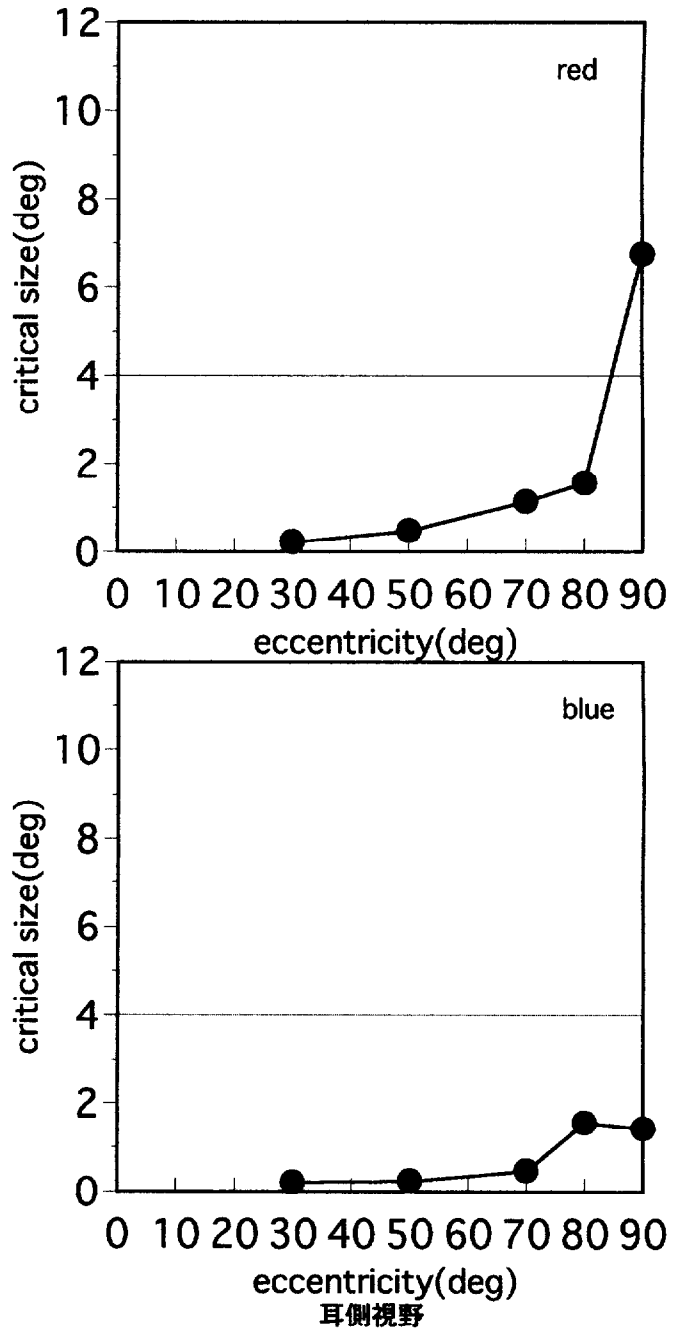
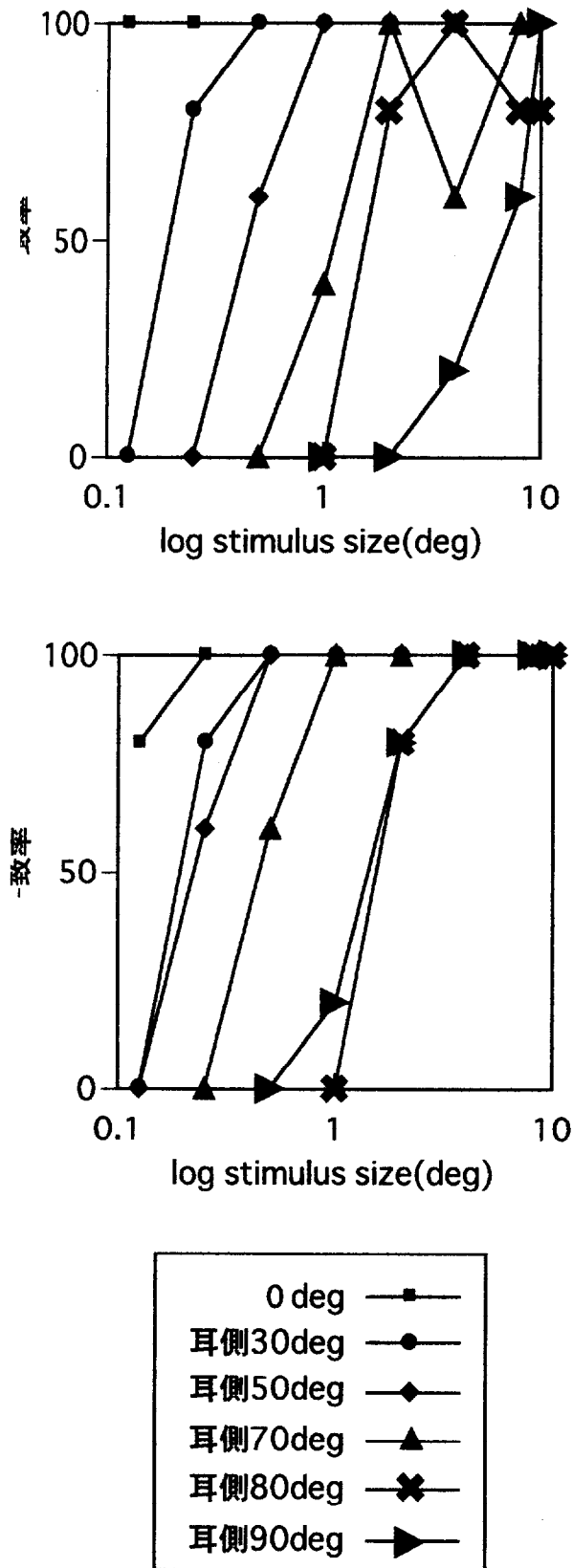


図6.2 (a)被験者KS

左列：刺激サイズの変化と中心窩の色名応答との一致率の結果。

各シンボルは刺激呈示位置の違いを示す赤、青の結果。

右列：離心角の変化と一致率50%の刺激サイズ(=critical size)の結果。

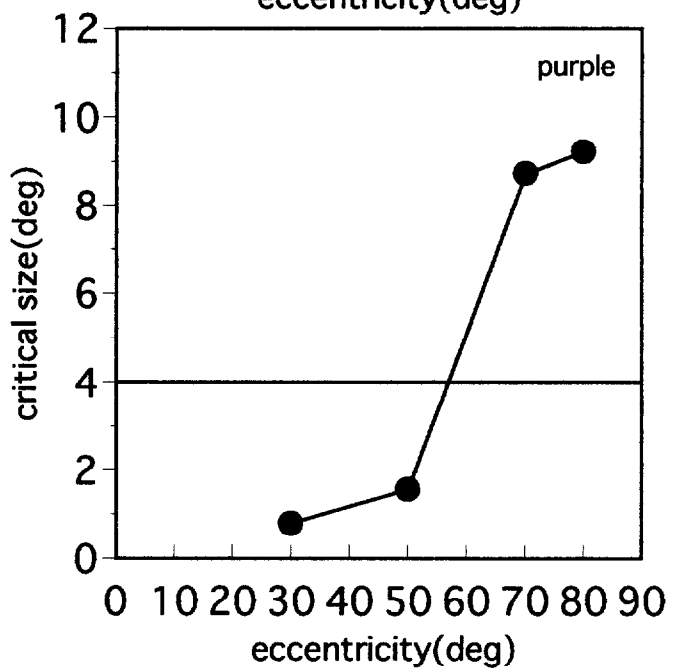
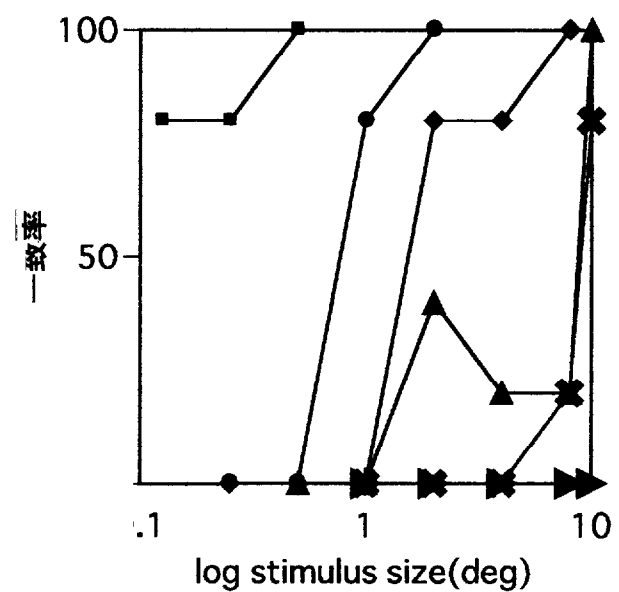
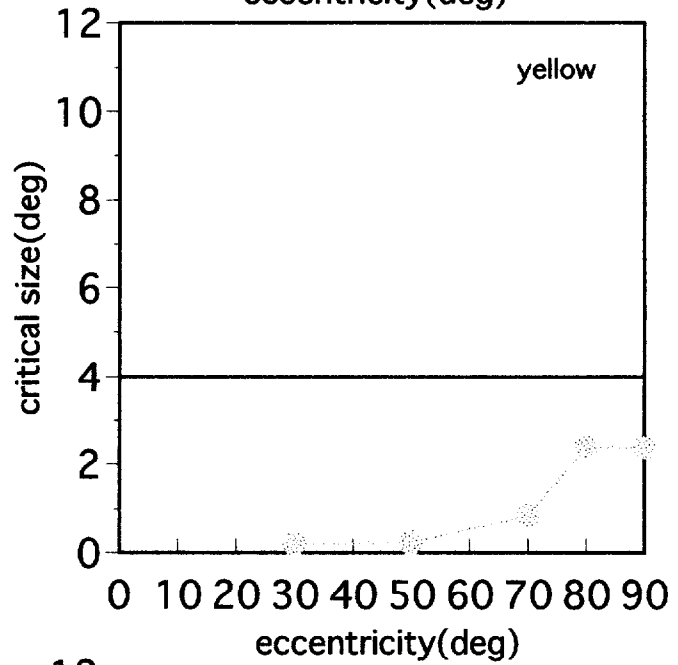
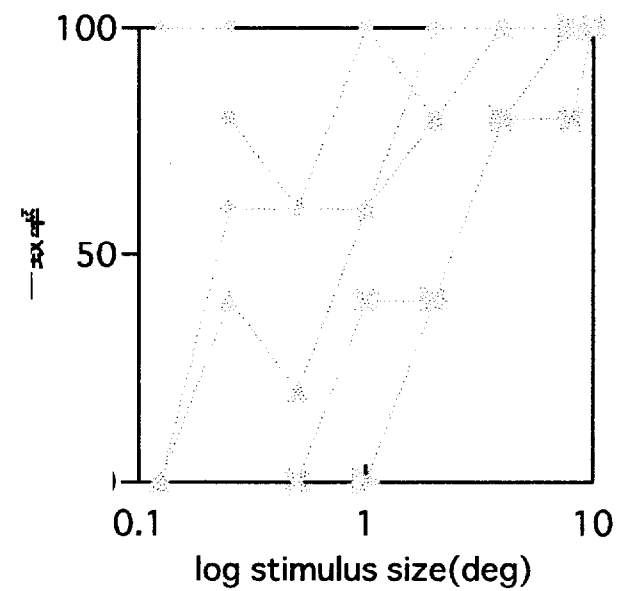
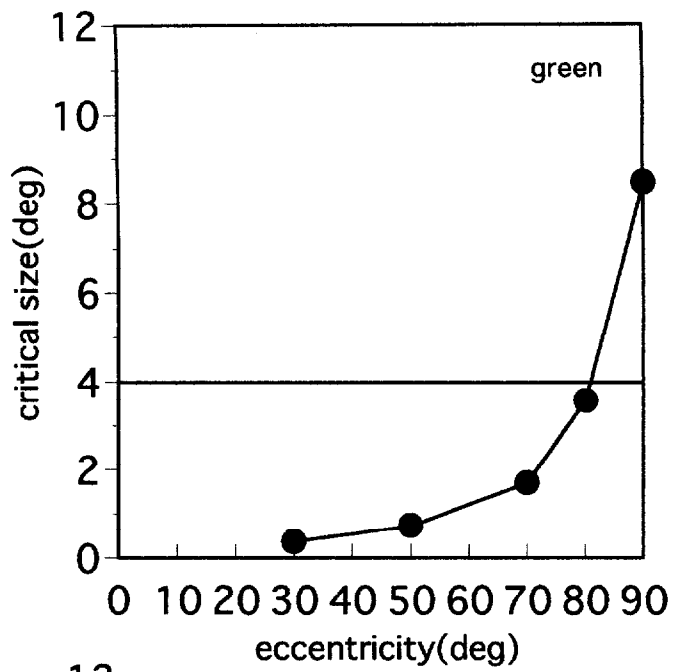
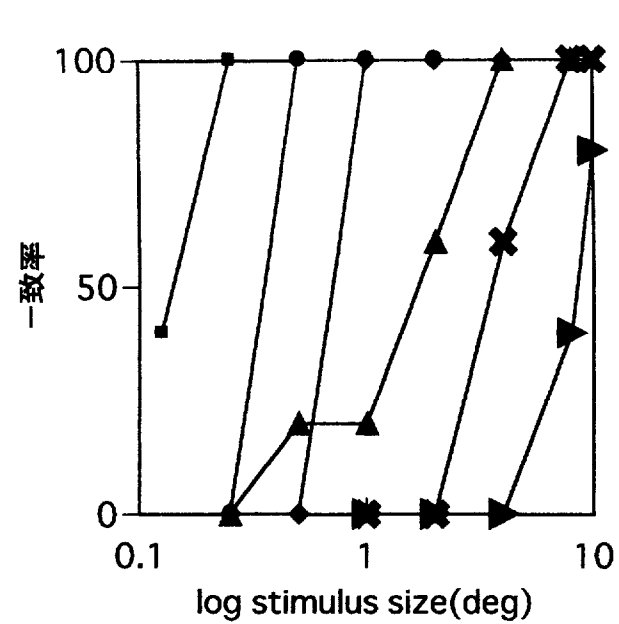


図6.2 続き

(a)被験者KS 緑, 黄, 紫の結果.

耳側視野

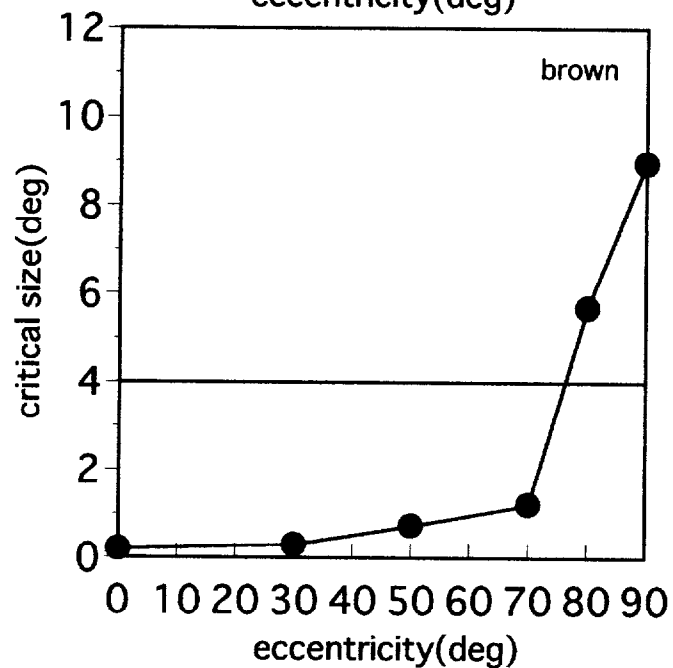
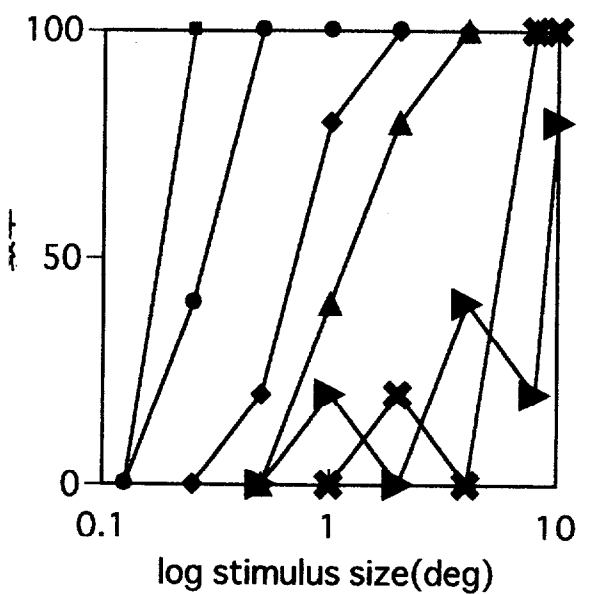
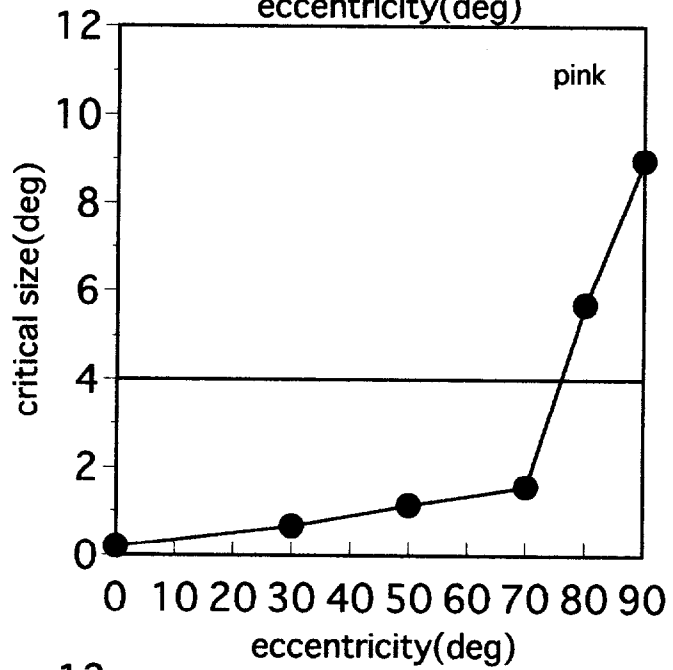
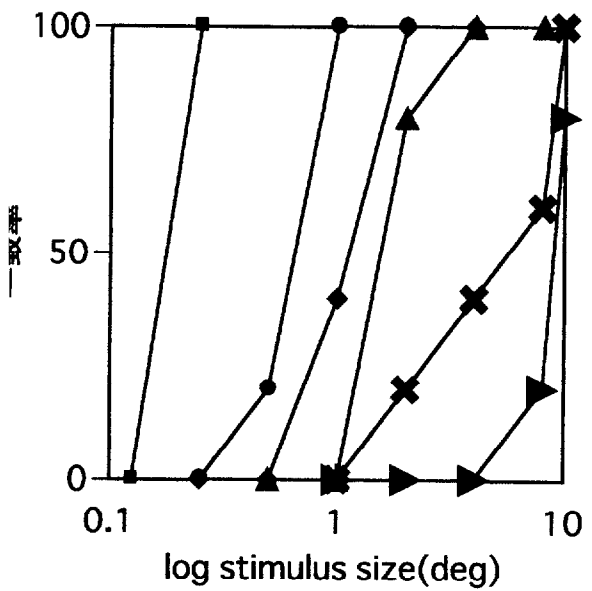
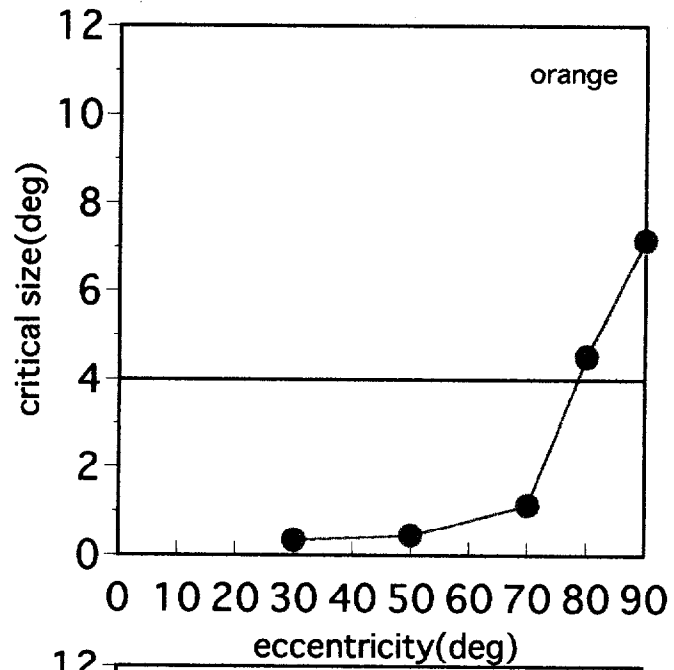
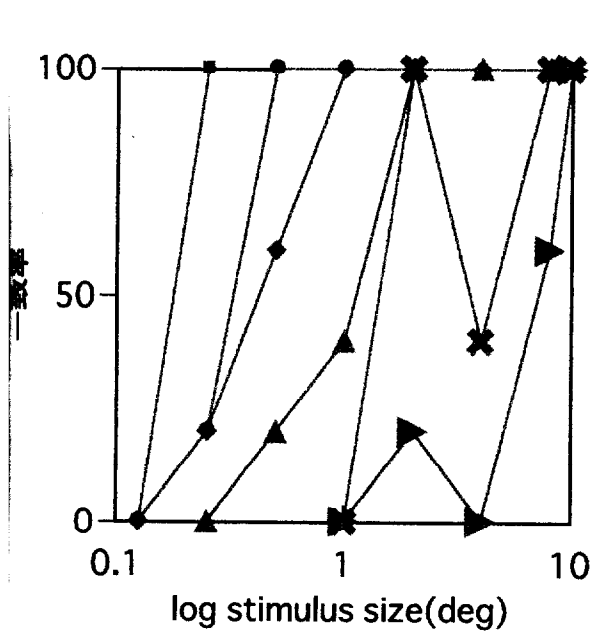


図6.2 続き

(a)被験者KS オレンジ, ピンク, 茶の結果.

耳側視野

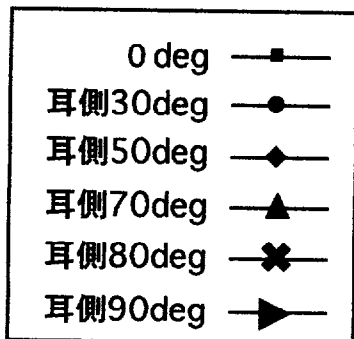
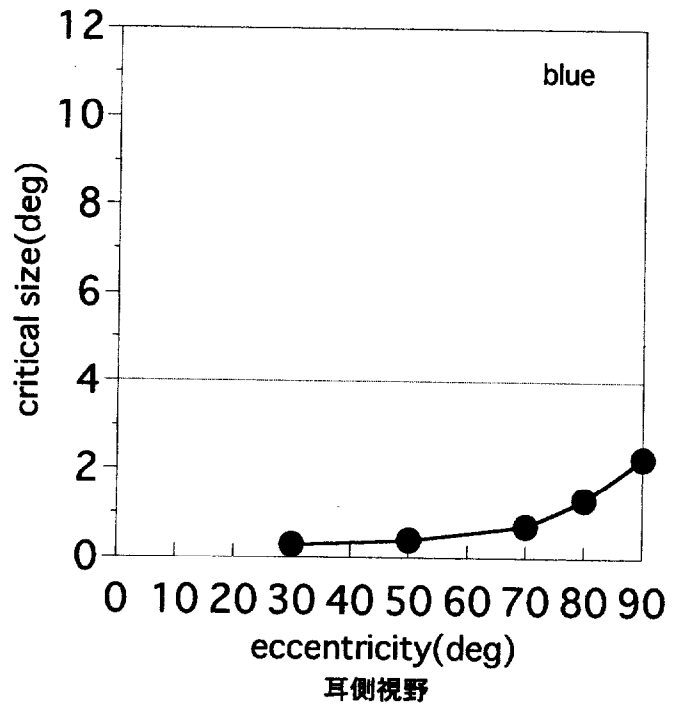
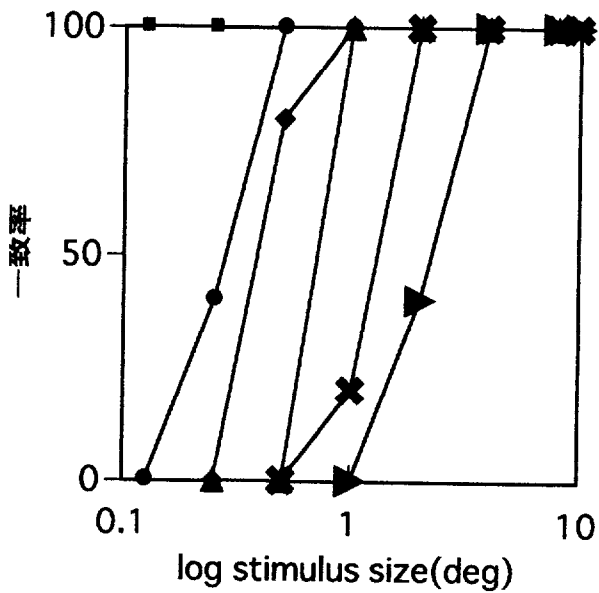
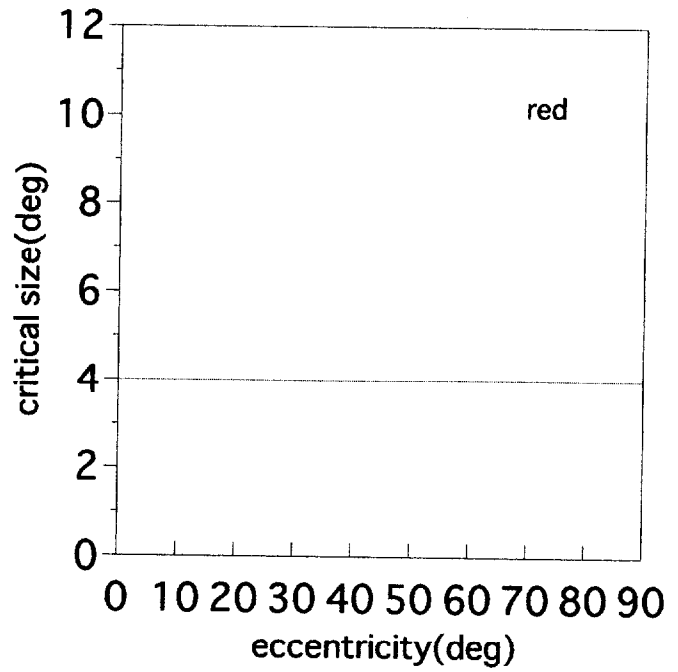
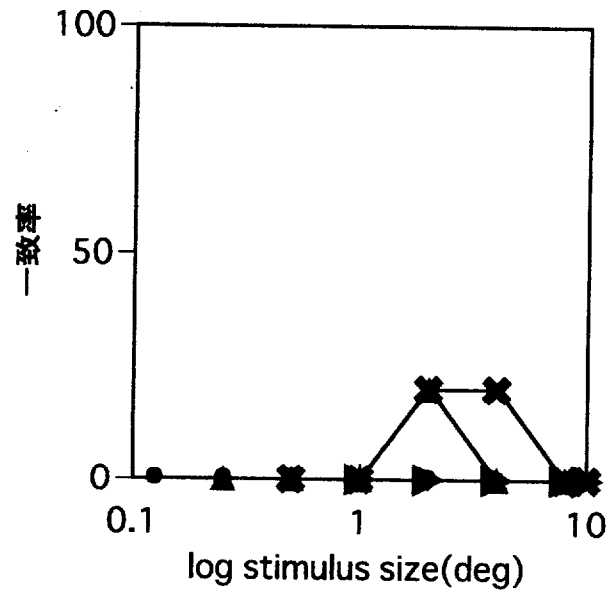


図6.2 続き
(b)被験者NS 赤, 青の結果.

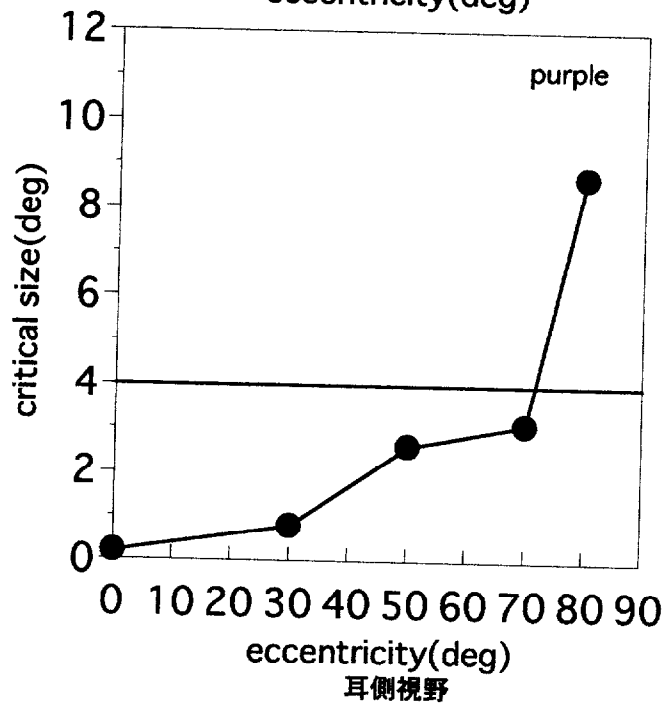
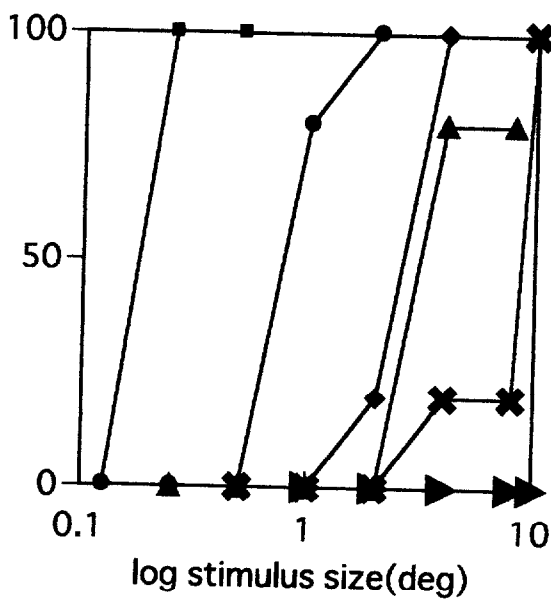
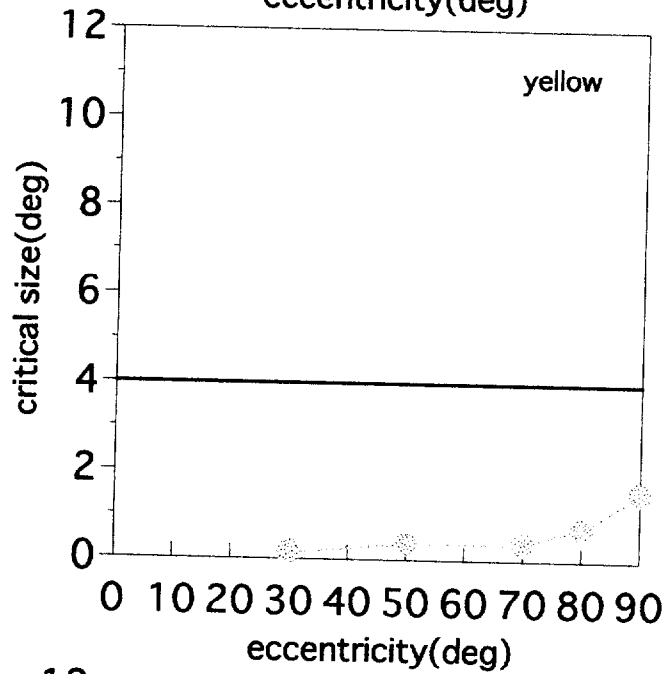
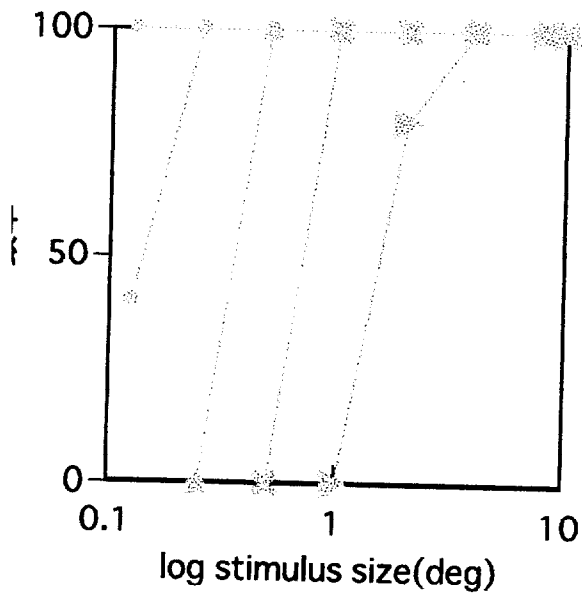
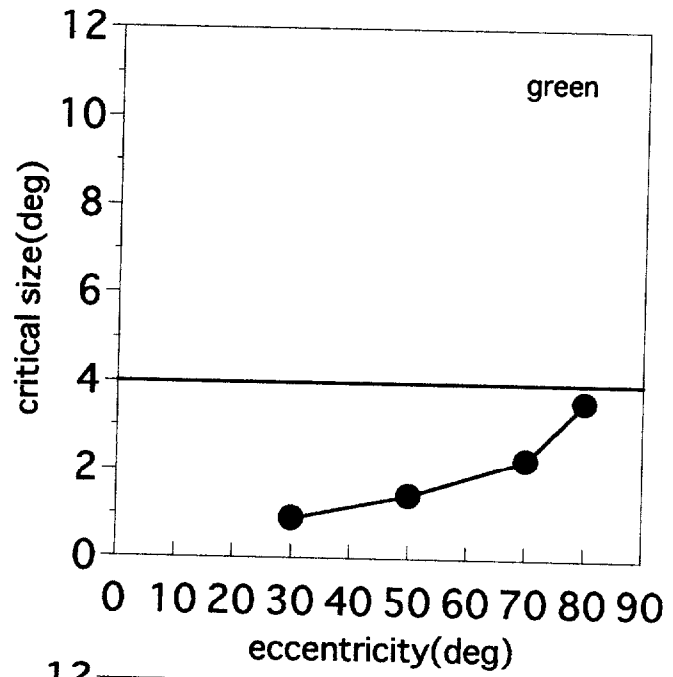
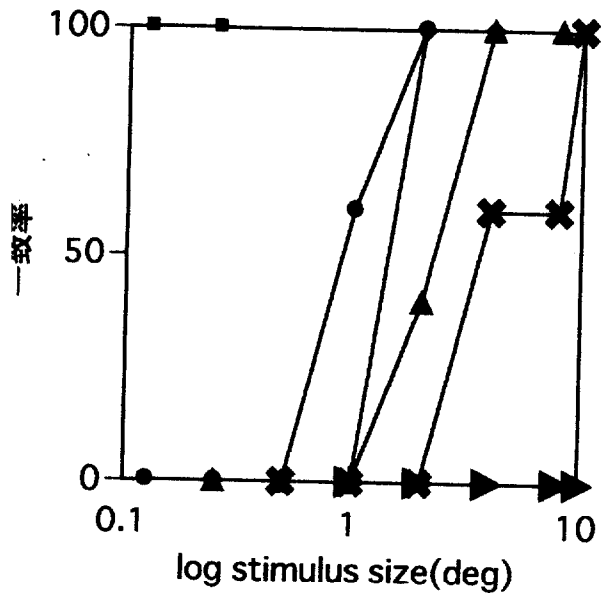


図6.2 続き
(b)被験者NS 緑, 黄, 紫の結果.

耳側視野

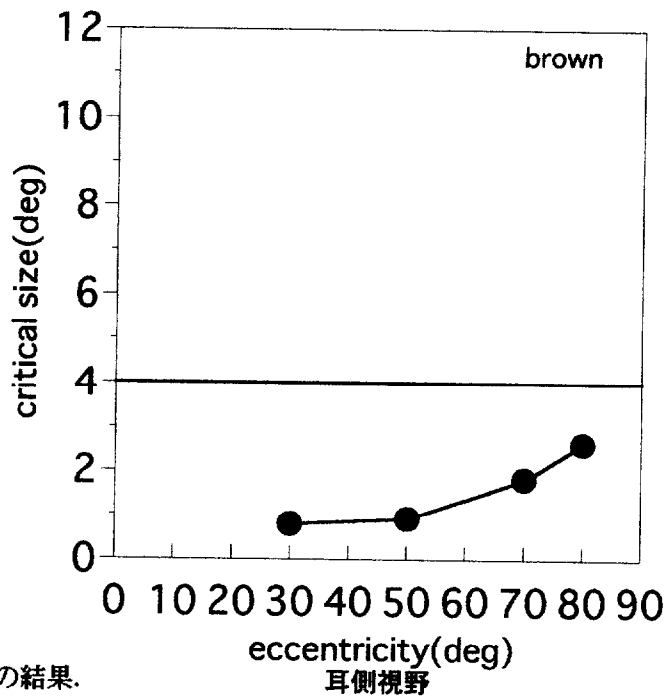
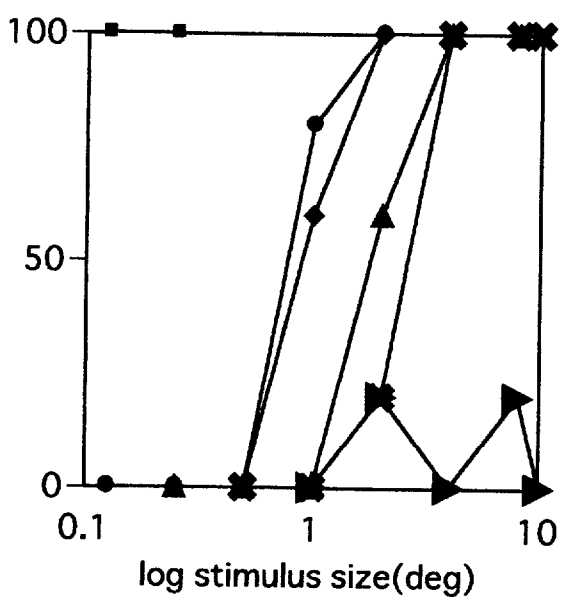
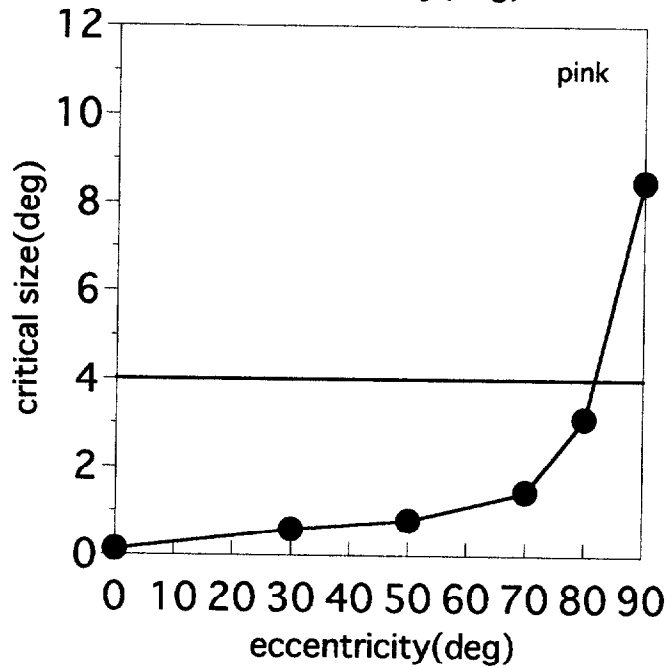
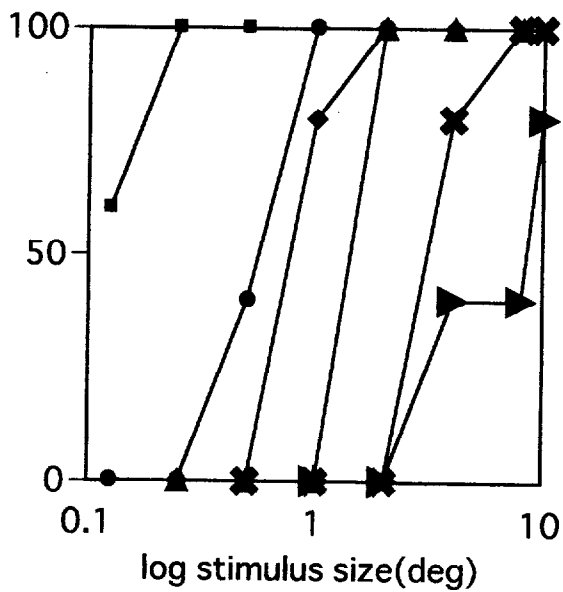
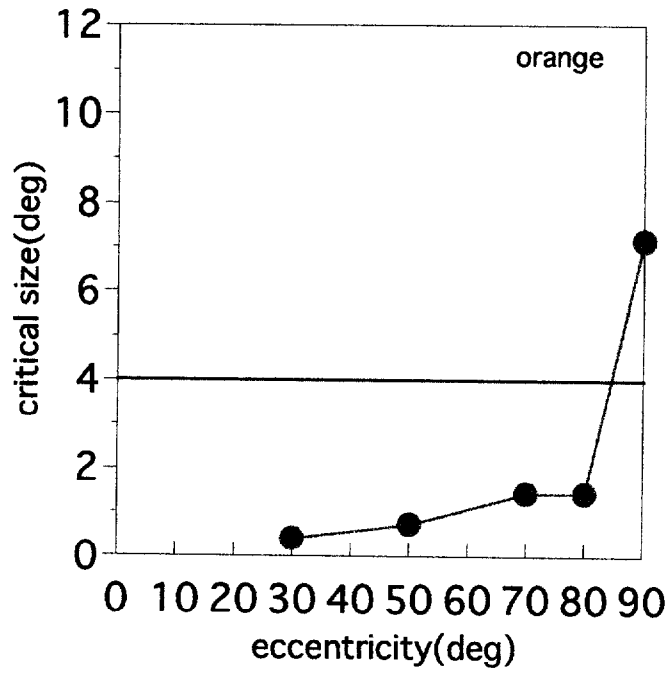
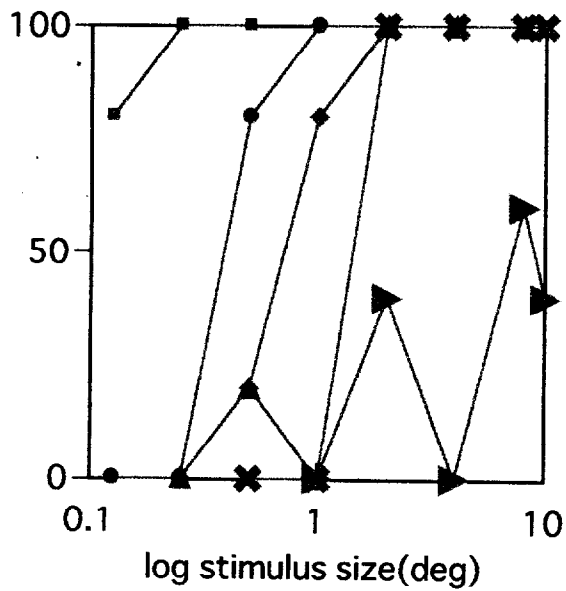


図6.2 続き

(b)被験者NS オレンジ, ピンク, 茶の結果.

能性が高いことが示された。

被験者NSの赤のcritical sizeはすべての刺激呈示位置で得られなかった。中心窩の刺激サイズ10degに対しても赤の応答が得られなかった。つまり、この結果は被験者NSにとって赤の応答を得るのに刺激サイズが不十分であったためではなく、刺激が被験者NSにとっては適当なものでなかったためと考えられる。本実験で用いた刺激は実験1の中心窩で得られた結果をもとに選ばれている。しかし、被験者NSは実験1の中心窩の赤の応答数が他の被験者より極端に少なく、かつ、OSA色票に赤の刺激が少ないため、常に安定した赤の応答が得られなかったためと思われる。

6.5 考察

被験者NSの赤を除いて、全ての色名で離心角の増加に伴い中心窩での色名応答と同じ応答が得られる刺激サイズ (critical size) が増加した。青と黄は他の色名よりもcritical sizeが小さく、視野縁部の耳側90degでもcritical sizeは4 degより小さかった。Abramov *et al.* (1991,1992)の反対色と彩度成分カラーネーミング実験では、黄みのcritical sizeがもっとも小さく、次いで青みと赤みが小さいことが示された。今回の結果はAbramov *et al.* (1991,1992)の結果からは説明できない。

その他の色名は、刺激サイズが4 deg以下までは緩やかなcritical sizeの増加がみられ、4 degより大きくなるとcritical sizeが得られないものと、極端なcritical sizeの増加を示すものがあった。つまり、前者は刺激サイズを4 deg以上にしても中心窩と同じ応答が得られる視野範囲は4 degと変わらないが、後者は4 deg以上にすることで更に色名維持視野範囲が広がることが予想される。後者のような結果が2人の被験者で共通してみられた色名は紫、オレンジ、ピンクである。図6.2から読みとると、critical sizeが4 degから10degになるとcritical sizeが得られる離心角が少なくとも10degは拡大する。つまり、紫、オレンジ、ピンクでは刺激サイズ4 degはまだ十分な大きさではないことが示唆された。

本実験で用いた刺激はOSA色票のごく一部であり、この結果がそのまま全刺激に適用

できるわけではない。しかし、各色名の傾向はつかむことができる。これらの結果から、刺激サイズ 4 degは少なくとも紫、オレンジ、ピンクでは不十分であり、刺激サイズを更に大きくすることで実験1の結果が変化することが示唆された。その他の色名では、被験者により異なるが、刺激サイズを更に大きくしても実験1の結果はほとんど変化しないことが示唆された。

また、左列パネルの一致率の結果から、離心角に対する一致率の増加の傾きが小さくなることが示された。この結果は、離心角の増加に伴い色名応答が不安定になり、色名間の境界が曖昧になったためと考えられる。

6.6 まとめ

実験4では刺激サイズを変化させて明所視レベルでの中心視野と周辺視野のカテゴリカル色知覚の特性を調べた。中心窩の応答との一致率が50%になる刺激サイズをcritical sizeと定義し、中心窩の色名応答と同じ応答が得られる最小の刺激サイズとした。その結果、紫、オレンジ、ピンクは視野周辺縁部でのcritical sizeが4 deg以上になり、実験1の刺激サイズ 4 degは十分な大きさではなかったことが示唆された。その他の色名ではおおよそ刺激サイズ 4 degは十分な大きさであり、刺激サイズを更に大きくしても実験1の結果に大きな変化を与えないことが示唆された。

第7章 総合的考察

7.1 周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚の応答特性

実験1のカテゴリーカルカラーネーミングの結果から明所視照度レベルでの11基本色名を用いた色名応答では広い視野範囲にわたって中心視野の応答が維持されることがわかった。実験3ではこれまでの周辺視野の色の見えの研究と同様に、連続的な色の見えに関しては離心角の増加に伴いわずかながら変化することが示された。つまり、周辺視野の色の見えを色覚の特性の2つの側面からとらえると異なる傾向がみられたことになる。

また、実験2の低照度レベルでのカテゴリーカルカラーネーミングの結果から中心視野の色名応答が維持される視野範囲は照度の低下に伴い減少することが示された。これは、照度の低下に伴い連続的な色の見えが離心角にたいして大きく変化するためである。低照度で周辺視野の色の見えが大きく変化する原因としては、錐体の応答量の減少により周辺視野で色み量が閾値以下になった可能性や、桿体の影響が考えられる。

しかし、薄明視の5lxは蛍光灯のもとよりさらに暗い照度レベルであり、5lxの照度レベル下で全基本色名において比較的広い色名維持視野範囲がみられた。11基本色名を用いた色名応答では、少なくとも5lx以上の幅広い照度レベルのもとで広い視野範囲にわたり同じ色名応答が得られることが示された。このように、カテゴリーカル色知覚は連続的な色の見えのわずかな変化を吸収して同じ色名として色情報を出力している。これらの結果から、私たちのより日常的な照度レベルでのカテゴリー的な色の見えは広い視野範囲で均一になっていることがわかった。

7.2 周辺視野におけるカテゴリカル色知覚と連続的な色の見えとの関係

色覚メカニズムから考えると、連続的な色の見えは網膜レベルの信号が元になり知覚に到達しているとされている。カテゴリカル色知覚はより高次の大脳皮質レベルで処理されていることが示唆されている(Komatsu *et al.*, 1992 *etc.*). つまり、連続的な色の見えとカテゴリカル色知覚は異なるレベルで処理されている。それでは、カテゴリカル色知覚は低次レベルからの色信号をどのように色名に変換しているのでしょうか。

もし、連続的な色の見えの上に単に成り立っているのであれば、最も近くに感じる色名とカテゴリ色名は一致すると予想される。つまり、カテゴリ比率評価法による第1色名と実験1の応答色名は各刺激で一致するはずである。これが成り立つのであれば、周辺視野における連続的な色の見えを測定することで、色名応答を予測することが可能となる。しかし、それらを比較した結果、有彩色の応答数は色名応答の方が第1色名より多く、無彩色は逆であることがわかった。つまり、無彩色名を最も強く感じてカテゴリ色名としては有彩色応答になる傾向がみられたと言える。これらの結果から、無彩色成分よりも有彩色成分の方が色名応答への寄与が大きいことが明らかになった。

離心角の増加や照度の低下、刺激サイズの減少に伴う色見えの変化で共通して生じる現象が色見えの彩度低下である。このように、観察条件による刺激の色見えの変化は彩度が最も影響を受けやすいと考えられる。また、Abramov *et al.* (1991,1992)は、周辺視野の色見えの彩度は刺激サイズを大きくしても完全に同じにならないことを報告している。色名応答の決定に有彩色成分の寄与が大きくなっているのは、観察条件の変化に対して応答が無彩色色名へと変化してしまうのを防ぎ、わずかな有彩色成分も色名として出力しようとする特性の表れなのかもしれない。

7.3 中心視野と周辺視野における色見えの役割

これまでの研究では中心視野と周辺視野の色の見えの違いに着目し、周辺視野に対して中心視野には特化した特性があることが示されてきた。解剖学的にも中心窩は錐体の数が突出しており特殊な構造になっていることが明らかになっている。このように、中心視野と周辺視野は機能的に完全に分離されてきた。しかし、本研究から、薄明視から明所視レベルの照度範囲で、中心視野の色名応答は視野の広い範囲にわたって維持されることが示された。つまり、色の見えをカテゴリカル色知覚から捉えたと、中心視野と周辺視野という明確な分離が出来なくなっただけとも言える。このような点から、本研究結果は周辺視野における色の見えの新たな側面であると考えられる。

私たちの色覚特性には性質の異なる2つの見え、連続的な見えとカテゴリー的な見え、が存在する。中心視野では色弁別能に優れ、連続的な見えは高感度になっている。また、中心視野の色名応答では各色名の境界が明確であり、被験者内、被験者間での応答の一致が高く、安定している。このように中心視野における両者の見えは高感度であると言ってよい。それでは、周辺視野における色の見えは、中心視野と同様にこの2つの色の見えを同じ比重で処理しているのであろうか。

もし、周辺視野と中心視野の色処理が同じであれば、カテゴリー比率評価による測定では連続的な見えは色みの割合が変化するだけであり、周辺視野でも中心視野と同様に複数の色名を用いた応答が可能であると推測される。しかし、実験3の結果から、離心角に伴い応答色名数が減少した。そしてそれは、色の見えをより少ない色名数でしか表現できないためであることが明らかになった。これは、もし中心視野と周辺視野で同じ色の見えとなる刺激を呈示してカテゴリー比率評価法で応答させても、周辺視野の方が少ない色名数で答える場合があることを示唆してゐる。

これらの結果から、周辺視野ではより単純化された色の見えが知覚されていると考えられる。つまり、よりカテゴリー的な色の見えに近づいているとも言える。周辺視野の色の見えは中心視野の色の見えに彩度や色相方向の変化を加えただけのものではなく、連続的に変化する色情報よりカテゴリー色情報を優位に処理していることが示唆される。私たちは

日常生活で周辺視野の色の見えの変化に気づくことはほとんどないであろう。周辺視野ではよりカテゴリー化された色情報を知覚しているために、私たちは周辺視野の色の見えの変化に気づかないでいられるのかもしれない。また、中心視野より周辺視野における色名応答の方が悩まずに即座に応答できたという特徴もこの仮説で説明がつく。

それでは、なぜ周辺視野の色の見えにおいて連続的に変化する色情報を抑制する必要があるのだろうか。1点目として、周辺視野では小色差に対する感度が低下しているため、それらの色情報はそもそもあまり役に立たないためであると思われる。2点目として、中心視野に対して周辺視野における連続的な色の見えは変化するため、それらの色情報を強く知覚してしまうと視野の様々な位置で色の見えの変化が生じ、物体認識などで問題が生じてくるからだと思われる。3点目は、周辺視野における色の見えは錐体出力の不安定性から見えが1つに定まらないため、見えの不安定性を抑えるためであると考えられる。

中心視野は対象物を詳細に見る役割を担っており、視野の5%にも満たない範囲で特化した色処理を行っている。それに対し、視野の大部分を占める周辺視野では詳細な色情報を抑制し、カテゴリー化された色情報を優位に扱うことで、中心視野の見えからわずかに変化した色を同一のカテゴリー色として知覚し、広い視野にわたって安定した色情報を知覚上に伝達しようとしているのかもしれない。

7.4 周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚のメカニズム

これまでに考察した周辺視野の色の見えの特性を色応答の流れから捉え、メカニズムについて考えてみる(図7.1)。

連続的な色の見えは網膜レベルの信号が元になり知覚に到達し、カテゴリーカル色知覚はより高次の大脳皮質レベルで処理されていることが示唆されている(Komatsu *et al.*, 1992 *etc.*)。つまり、同じ刺激を呈示しても離心角や照度の変化に対して、錐体や反対色チャンネルの低次の処理レベルでは異なる色情報が伝達されていると考えられる。周辺視野では

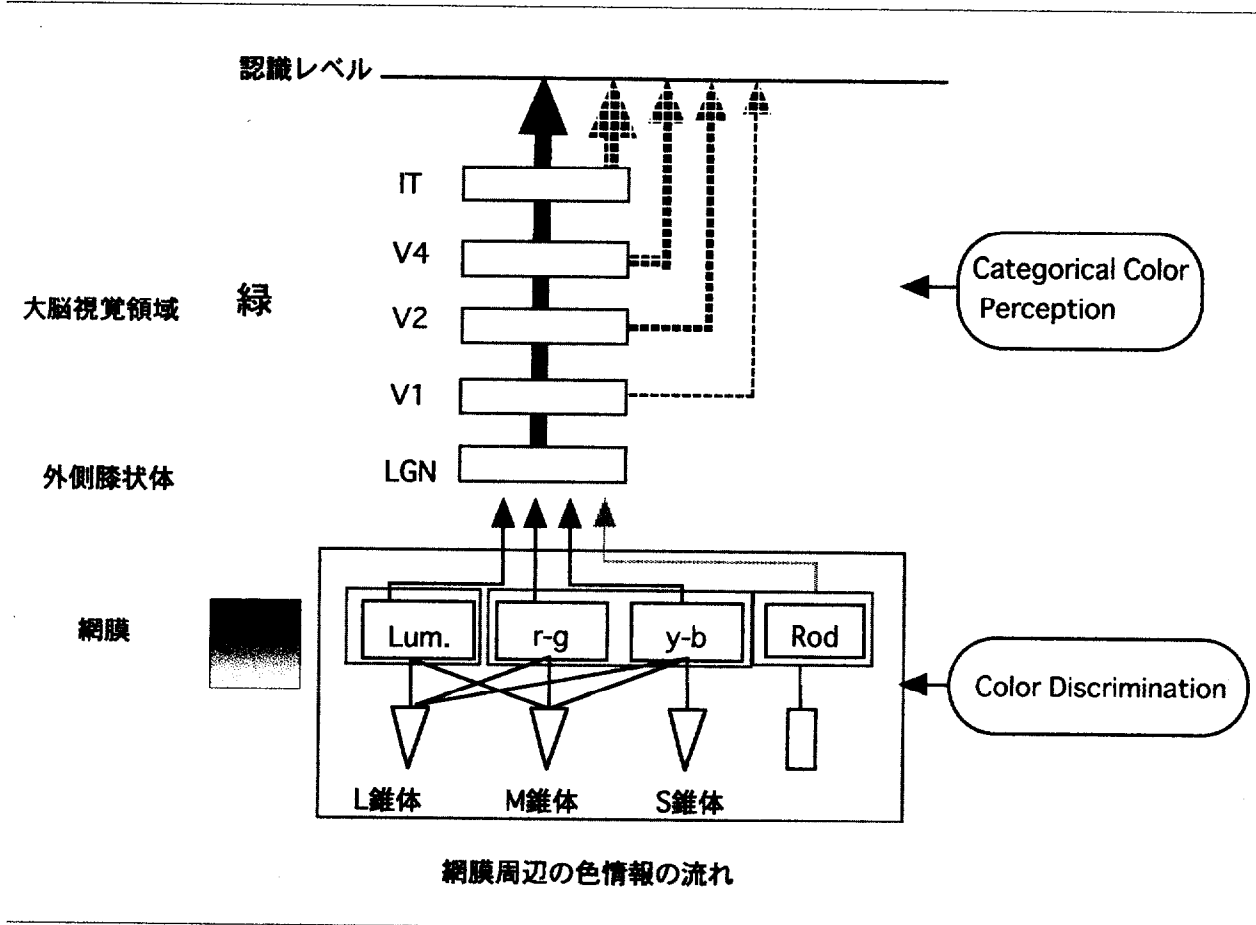
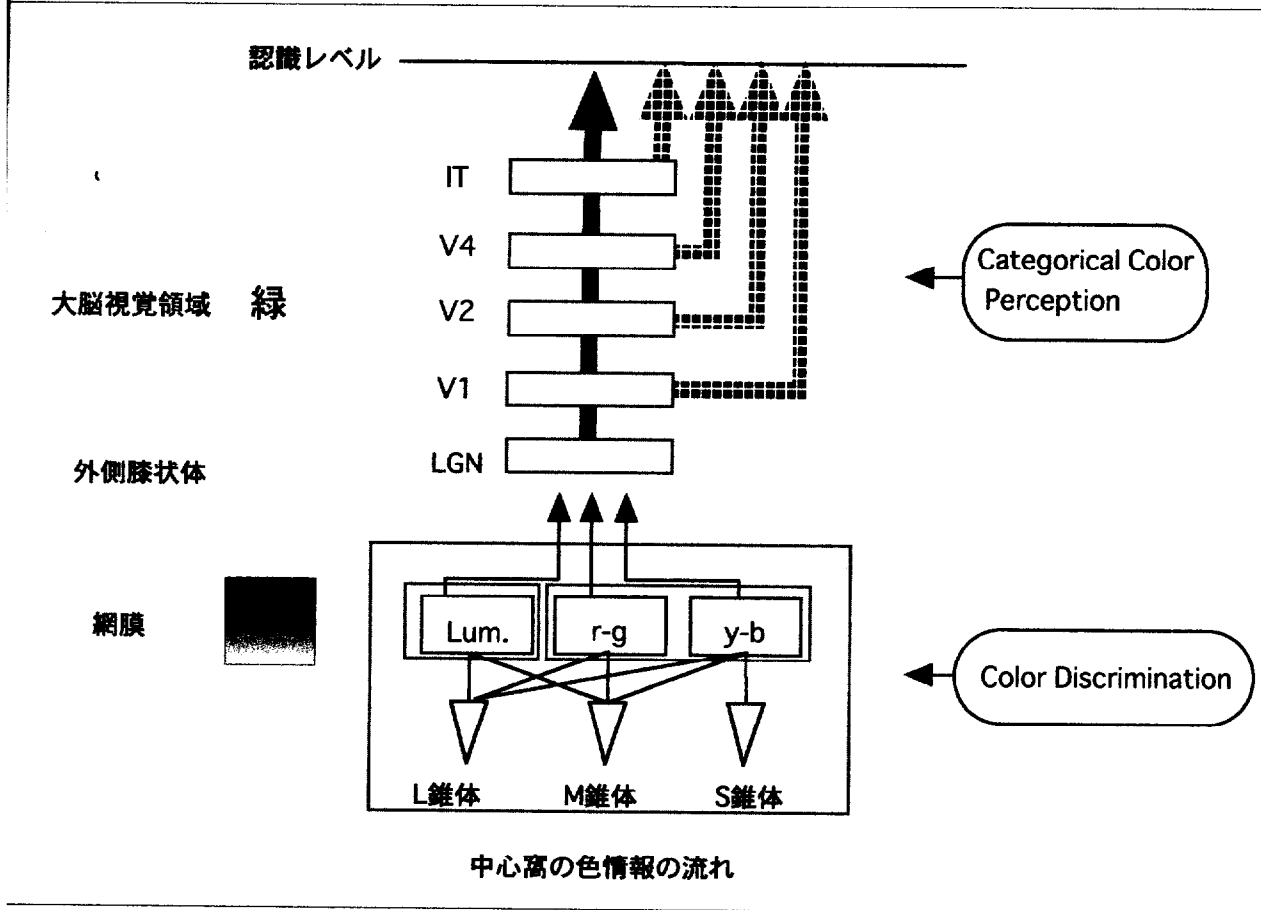


図7.1 中心窩（上）と周辺網膜（下）の色応答の流れ

錐体の出力量の低下や、y-b色チャンネルに対するr-g色チャンネルの相対的感度低下、桿体の影響によって色の見えの変化が生じている。また、網膜周辺部の錐体出力による見えの不安定さも加わっていると考えられる。一方で私たちはそれらの色の変化を知覚しているが、他方、高次レベルの処理によって、私たちはそれらの異なる色情報を同じカテゴリー色として知覚しているのである。

また、周辺視野の色知覚メカニズムは、低次レベルと高次レベルの色情報を均等に知覚上に伝達しているのではなく、カテゴリカル色知覚に対応する部位が存在するとされている大脳皮質V1野からV4野、下側頭皮質(Komatsu *et al.*, 1992; Walsh *et al.*, 1992)の高次レベルの色情報を優位に取り上げていることが示唆される。このように、周辺視野の色の見えは、詳細な色情報を抑制して単純化され、広い視野範囲で中心視野と同じカテゴリー的な見えとなると予想される。

7.5 本研究の工学的応用

本研究では明所視2000lx、薄明視5lx、0.1lxの中心視野と周辺視野のカテゴリカルカラーネーミングの応答特性を示した。また、それらのデータから中心視野の色名応答が維持される視野範囲（色名維持視野範囲）の定量化を行った。より一般的なデータの提供をするため、周辺視野の色の見えの変化に最も影響を与える要因である刺激サイズについての検討も行った。その結果、データの作成に用いた刺激サイズ4deg（視角）は、いくつかの色名においては十分な大きさではなく、4deg以上の刺激サイズにすると周辺視野の色名応答は更に広い視野範囲で中心視野の応答が維持される可能性が示された。もし、実際の工学的応用の場面で刺激サイズが4deg以上を対象とするデータが必要であれば、本研究が提案する色名維持視野範囲より更に広いものとし活用しなければならない。よって、本研究が提案するデータは刺激サイズ4deg条件として提供していくべきであろう。

具体的な応用場面を考えると、色を判断して行動するための公共表示物、たとえば交通

信号、交通標識、地下鉄路線図などの色の提案を行うことができる。5 lx以上の照度レベルのもとでは、11基本色名の色で色分けをすれば広い視野範囲で安定した色の見えが得られる。また、明所視レベルで色名応答を維持したいのであれば青と黄を使えば良い。さらに、広い照度レベルにわたって色名応答を維持したいのであれば青を使うと良い。

その他、緊急性の高い情報に対する色の活用例として、飛行機等の精密機械の操縦のボタンの色分けや、危険な場所で着用する作業服、園児の制服などに対しても十分な色の配慮が要求される。緊急時に広い視野範囲で色の判断が正確にでき、薄暗がりでも認識できる色が望ましい。これらの色の提案は、本研究で得られたデータをもとに、色弁別能や色の目立ちなどの結果も考慮して行っていくべきであろう。

また、駐車場の夜間照明などは、車の色の見えが昼と夜でカテゴリー的に変化が生じると問題である。また、ある程度の周辺視野範囲にわたってカテゴリー的な色の見えに変化が生じない方が良い。これらを考慮すると、5 lx以上の照明レベルが必要と考えられる。

本研究では、多数存在する色名のなかでも11基本色名に限定した応答であった。使用可能な色名数を増やすことで、色名維持視野範囲が変化する可能性が考えられる。しかし、Uchikawa *et al.* (1987)は、日本人の被験者10人に単一色名を用いて自由に色見えを応答する実験を行い、合計66個の色名が得られが、そのうち全被験者が共通して応答した色名は11基本色名とmizuだけであることを報告している。また、Boynton *et al.* (1987)は、OSA色票を用いて単一色名応答を行った結果、90%以上を11基本色名が占めていることを示した。このような点から、11基本色名に限ったことは、基本特性を知る上でも工学的応用に対するデータ提供においても最適な数であったと言えよう。

7.6 本研究の今後の課題

周辺視野における色見えは、観察条件に大きく影響を受ける。照度の変化にたいする色判断を行う場面には、緊急時の停電や暗い場所への移動など、急激な照度変化を伴う場

合も多く含まれる。このように、刺激サイズ以外にも順応時間や刺激呈示時間を短くした場合など、色名維持視野範囲の縮小がみられ場面は多々に想定できる。今後は、実際の応用面のニーズに見合ったデータを提供するため、様々な観察条件の変化の影響を知る必要がある。

また、本研究では各錐体の出力比や桿体の出力量に対する色名応答の関係についての定量的な解析について言及には至らなかった。今後は、周辺視野の色情報の流れについて、低次から高次レベルへの色情報伝達を定量的に捉えたメカニズムの解明を行っていく必要がある。

第8章 結論

本研究により得られた成果を以下にまとめる。

- 1) 明所視照度2000lxにおいて、中心視野と周辺視野での11基本色名を用いた色名応答を行った。その結果、中心視野と同じ色名応答が得られる視野範囲が存在することがわかった。
- 2) 2000lx条件において、中心視野の色名応答が維持される視野範囲（色名維持視野範囲）を定量化した。その結果、維持視野範囲はおおよそ鼻側視野30deg、耳側視野70degであった。また、各色名で維持視野範囲は異なり、有彩色のなかでは青と黄が広い維持視野範囲を有することが示された。
- 3) 薄明視照度5lxと0.1lxにおいて、中心視野と周辺視野での11基本色名を用いた色名応答を行った結果、2000lx条件に比べて色名維持視野範囲は減少することが示された。しかし、5lx条件は2000lx条件と同様に全色名で維持視野範囲が存在した。
- 4) 照度レベルの変化に対して維持視野範囲が広い有彩色は青であることが示された。
- 5) 明所視照度2000lxにおいて、中心視野と周辺視野での連続的に変化する色の見えをカテゴリー比率評価法を用いて測定した結果、離心角の増加に伴わずかに色の見えに変化が生じた。
- 6) カテゴリカルカラーネーミングの応答色名とカテゴリー比率評価法による最も近く感じた色名の比較を各刺激で行った結果、両者は一致しないことが示された。そして、色名応答には無彩色に対して有彩色の色みの寄与が大きいことがわかった。
- 7) 周辺視野の色の見えをカテゴリー比率評価法により測定した結果、離心角の増加に伴い応答色名数が減少することが示された。この結果から、周辺視野の色の見えに対す

る応答の単純化，つまりカテゴリー化，が生じていることが示唆された。

- 8) 明所視照度2000lxにおいて，刺激サイズを変化させて8有彩色名の色名応答を行い，中心視野と同じ色名応答が得られる最小の刺激サイズ(critical size)を求めた。その結果，赤，青，緑，黄，茶は4 deg以下のcritical sizeが得られた。
- 9) 周辺視野では連続的に変化する色情報よりカテゴリー色情報を優位に扱う処理が行われている仮説を提案した。
- 10) 2000lx, 5 lx, 0.1lxのカテゴリカルカラーネーミングの結果は，刺激サイズ4 degにおける周辺視野のカテゴリカル色知覚に関する基礎データとして工学的応用へのデータ提供を可能にした。

謝辞

本論文を終えるにあたり，大学院修士課程と博士課程の5年間，指導をして下さった内川恵二教授に厚くお礼を申し上げます。内川恵二教授には多大な助言をはじめ研究に対する心構えなど様々なことを教えていただき，有意義な研究生活を送ることができました。本論文をまとめるにあたって，数多くの貴重なご意見をいただきました東京工業大学 小林隆夫教授，長尾智晴助教授，山口雅浩助教授，金子寛彦客員助教授に深く感謝致します。

また，研究全般にわたって多くの貴重な助言，ご指導をいただき，被験者としても協力していただいた助手の栗木一郎博士（現 東京大学助手）に心より感謝いたします。実験装置作りをはじめとして，研究の多岐な面にわたりわかりやすく教えていただき，本当にありがとうございました。

本研究において被験者として協力して下さいました鈴木奈央子さん，小張仁士さんに感謝致します。忙しいなかで長時間にわたり被験者として協力していただきました。

また，同期の鯉田孝和さん，松宮一道さんには研究に関する議論の相手になっていただき，感謝しております。

内川研究室の諸先輩方，ならびに在校生の皆さまには，研究をはじめ日常生活でもお世話になりました。充実した楽しい研究生活を送ることができました。

最後に，常に心の支えになってくれた家族に深く感謝致します。

参考文献

- Abramov I., Gordon J. and Chan H. : Color appearance in the peripheral retina: effects of stimulus size, *J. Opt. Soc. Am.*, 8, 404-414(1991).
- Abramov I., Gordon J. and Chan H. : Color appearance across the retina: effects of white surround, *J. Opt. Soc. Am.*, 9, 195-202(1992).
- 芦澤昌子, 池田光男 : 色の目立ちの照度レベルによる変化—プルキンエ移行の影響—, *照明学会誌*, 71, 612-617(1987).
- Barid J. W.: The Color Sensitivity of the Peripheral Retina , (*Carnegie Inst. Wash.*, Wash., 1905)
- Berlin B. and Kay P., Basic Color Terms, Their Universality and Evolution, *University of California Press*, Berkeley(1969).
- Boynton R.M. and Olson C.X. : Locating Basic Color in the OSA Space, *Color Res. Appl.*, 12, 94-105(1987).
- Boynton R.M., Fargo L., Olson C.X. and Smallman H.S. : Category effects in color memory, *Color Res. Appl.*, 14, 229-234(1989).
- Boynton R.M. and Olson C.X. : Salience of Chromatic Basic Color Terms confirmed by three measures, *Vision Res.*, 30, 1311-1317 (1990).
- Boynton R.M., Fargo L. and Collins B.L.: Categorical Color Rendering of Four Common Light Sources, *Color Res. Appl.*, 15, 222-230(1990).
- Crawford T. D.: Defining 'basic color terms', *Anthropol. Linguist.*, 24, 338-343(1982).
- Curcio C.A., Sloan K.R., Jr., Packer O., Hendrickson A.E., and Kalina R.E.: Distribution of cones in human and monkey retina: individual variability and radial asymmetry, *Science*, 236, 579-582(1987).
- Curcio C.A., Sloan K.R., Kalina R.E., Hendrickson A.E.: Human photoreceptor topography, *Jour. of Comp. Neurol.*, 292, 497-523(1990).
- Fahle M. and Schmid M. : Naso-temporal asymmetry of visual perception and of the visual cortex, *Vision Res.*, 28, 293-300 (1988).

- Ferree C.E. and Rand G.: Effect of brightness of preexposure and surrounding field on breadth and shape of the color fields for stimuli of different sizes, *Amer. Jour. of Ophthal.*, 7, 843-850(1924).
- Ikeda M., Uchikawa K. and Saida S.: static and dynamic functional visual fields, *Optica Acta*, 26, 1103-1113(1979).
- 石田泰一郎, 清水友恵, 池田光男: 照度レベル変化に伴う表面色の同定特性, 日本色彩学会誌, 19, 121-129(1995).
- Komatsu H., Ideura Y., Kaji S. and Yamane S.: Color selectivity of Neurons in the inferior temporal cortex of the awake macaque monkey, *J. Neuroscience*, 12, 408-424(1992).
- LeGrand Y., Light, colour and vision. 2nd. Ed. London, Chapman and Hall (1968).
- Matsuzawa T.: Color naming and classification in a chimpanzee, *J. Human Evolution*, 14, 283-291(1985).
- Middleton K.W.E. and Mayo E.G. : The appearance of colors in twilight, *J. Opt. Soc. Am.*, 42, 116-121(1952).
- 門馬智春, 本間園乃枝, 矢口博久, 塩入 諭, 羽石秀明, 三宅洋一: 両眼隔壁等色法による薄明視における表面色の見えの測定, 光学, 22, 273-280(1993).
- Moreland J. D. and Cruz A.C.: Color Perception with the peripheral retina, *Optica Acta*, 6, 117-151(1958).
- Nagy A.L. and Doyal J.A.: Red-green color discrimination as a function of stimulus field size in the peripheral vision, *J. Opt. Soc. Am.*, 10, 1147-1156(1993).
- Nerger J.L., Volbrecht V.J. and Ayde C.J.: Unique hue judgements as a function of test size in the fovea and at 20-deg temporal eccentricity, *J. Opt. Soc. Am.*, 12, 1225-1232(1995).
- Nickerson D. : OSA Uniform Color Scale samples : A unique set, *Color Res. Appl.*, 6, 7-33(1981).
- Olson C.X.: A shortcut method for naming OSA color specimens, *CHIP Report No. 127*, Center for Human Information Processing , University of California, San Diego(1988).
- Polyak S.L., The Vertebrate Visual System(Ed.Kluver H.), University of Chicago Press, Chicago(1957).

- 関口修利, 池田光男：色の見えに基づく色視野の測定, 日本眼光学誌, 4, 122-127(1983).
- Stabell B. and Stabell U.: Rod and Cone contributions to peripheral colour vision, *Vision Res.*, 16, 1099-1104 (1976).
- Stabell U. and Stabell B.: Color vision in the peripheral retina under photopic conditions, *Vision Res.*, 22, pp839-844 (1982).
- Sturges J. and whitfield A.T.W.: Locating Basic Color in the Munsell Space, *Color Res. Appl.*, 20, 364-376(1995).
- 高瀬正典, 内川恵二：明順応周辺網膜における色光の見え, 光学, 20, 521-529(1991).
- Tyler C. W.: Analysis of visual modulation sensitivity. Meridional variations in peripheral flicker sensitivity, *J. Opt. Soc. Am.*, 4, 1612-1619(1987).
- Uchikawa H., Kaiser P.K. and Uchikawa K. : Color-Discrimination Perimetry, *Color Res. Appl.*, 7, 264-272(1982).
- Uchikawa K. and Boynton R.M. : Categorical Color Perception of Japanese observers: Comparison with that of Americans, *Vision Res.*, 27, 1825-1833 (1987).
- 内川恵二：表面色のカテゴリカル色知覚, 光学, 17, 661-669(1988).
- 内川恵二, 栗木一郎, 篠田博之：カテゴリー比率評価法による開口色と表面色モードの色の見えの表現, 照明学会誌, 78, 83-93(1994).
- 内川恵二：カテゴリカル色知覚と高効率カテゴリカル蛍光ランプ, 視覚の科学, 18, 135-137(1998).
- 内川恵二：色覚のメカニズム, 朝倉書店(1998).
- Walsh V., Kulikowski J.J., Butler S.R. and Carden D. : The effects of lesions of area V4 on the visual abilities of macaques: colour categorization, *Behavioural Brain Research*, 52, 81-89(1992).
- Wyszecki G. and Stiles W.S. : *Color Science* (John Wiley and Sons, New York, 1967) 112-114 and 580-582.
- 湯尻 照：照度レベルによる表面色の色見えの変化：刺激サイズの影響, 光学, 19, 97-104(1990).

付録 1

No.	L	j	g	Luminar	CIE x	CIE y
1	-7	-3	-1	13.71	0.268	0.208
2	-7	-3	1	16.1	0.222	0.211
3	-7	-1	-1	22.49	0.323	0.292
4	-7	-1	1	18.44	0.254	0.287
5	-7	1	-1	22.06	0.361	0.356
6	-7	1	1	18.33	0.298	0.393
7	-6	-4	-2	25.34	0.293	0.213
8	-6	-4	0	21.38	0.236	0.189
9	-6	-4	2	23.59	0.199	0.197
10	-6	-2	-4	24.65	0.385	0.247
11	-6	-2	-2	28.31	0.333	0.258
12	-6	-2	0	30.29	0.28	0.269
13	-6	-2	2	25.51	0.224	0.258
14	-6	0	-6	29.55	0.473	0.287
15	-6	0	-4	28.1	0.432	0.298
16	-6	0	-2	28.77	0.376	0.319
17	-6	0	0	29.18	0.304	0.329
18	-6	0	2	26.38	0.248	0.336
19	-6	2	-6	31.19	0.518	0.33
20	-6	2	-4	30.56	0.489	0.357
21	-6	2	-2	32.08	0.428	0.382
22	-6	2	0	37.76	0.346	0.397
23	-6	2	2	29.76	0.297	0.459
24	-5	-5	-1	29.31	0.246	0.189
25	-5	-5	1	31.97	0.215	0.182
26	-5	-5	3	29.17	0.184	0.18
27	-5	-3	-3	39.3	0.329	0.238
28	-5	-3	-1	42.88	0.298	0.251
29	-5	-3	1	38.07	0.242	0.242
30	-5	-3	3	32.94	0.197	0.228
31	-5	-1	-5	38.48	0.423	0.27
32	-5	-1	-3	42.21	0.381	0.284
33	-5	-1	-1	42.92	0.326	0.294
34	-5	-1	1	40.52	0.273	0.307
35	-5	-1	3	38.32	0.218	0.299
36	-5	1	-7	38.01	0.514	0.302
37	-5	1	-5	47.23	0.449	0.319
38	-5	1	-3	53.66	0.398	0.34
39	-5	1	-1	49.86	0.354	0.355
40	-5	1	1	46.94	0.303	0.373
41	-5	1	3	44.25	0.244	0.395
42	-5	3	-7	42.3	0.55	0.337
43	-5	3	-5	45.55	0.5	0.365
44	-5	3	-3	46.04	0.467	0.393
45	-5	3	-1	46.83	0.405	0.417
46	-5	3	1	47.56	0.347	0.448
47	-5	3	3	49.85	0.283	0.467
48	-4	-4	-2	50.9	0.294	0.224
49	-4	-4	0	56.03	0.258	0.229

No.	L	j	g	Luminar	CIE x	CIE y
50	-4	-4	2	50.19	0.217	0.223
51	-4	-4	4	50.59	0.187	0.219
52	-4	-2	-4	60.91	0.366	0.262
53	-4	-2	-2	59.76	0.328	0.271
54	-4	-2	0	56.88	0.286	0.276
55	-4	-2	2	56.17	0.244	0.285
56	-4	-2	4	61.51	0.211	0.289
57	-4	0	-6	59.37	0.449	0.294
58	-4	0	-4	62.91	0.403	0.305
59	-4	0	-2	69.7	0.359	0.321
60	-4	0	0	65.92	0.311	0.332
61	-4	0	2	66.98	0.27	0.343
62	-4	0	4	60.93	0.223	0.333
63	-4	2	-8	57.38	0.513	0.316
64	-4	2	-6	60.91	0.484	0.333
65	-4	2	-4	67.53	0.442	0.355
66	-4	2	-2	69.05	0.397	0.373
67	-4	2	0	68.31	0.345	0.39
68	-4	2	2	69.26	0.294	0.411
69	-4	2	4	60.85	0.246	0.425
70	-4	4	-8	61.14	0.574	0.348
71	-4	4	-6	62.41	0.524	0.371
72	-4	4	-4	63.98	0.483	0.393
73	-4	4	-2	69.96	0.433	0.419
74	-4	4	0	73.52	0.373	0.437
75	-4	4	2	71.26	0.335	0.486
76	-4	4	4	69.92	0.279	0.497
77	-3	-5	-1	67.81	0.26	0.22
78	-3	-5	1	67.86	0.233	0.223
79	-3	-5	3	67.32	0.205	0.228
80	-3	-3	-5	71.15	0.362	0.249
81	-3	-3	-3	73.58	0.323	0.255
82	-3	-3	-1	74.79	0.294	0.264
83	-3	-3	1	75.38	0.255	0.27
84	-3	-3	3	75.81	0.223	0.276
85	-3	-3	5	67.13	0.193	0.263
86	-3	-1	-7	72.61	0.433	0.279
87	-3	-1	-5	78.54	0.394	0.286
88	-3	-1	-3	80.9	0.357	0.296
89	-3	-1	-1	83.84	0.315	0.309
90	-3	-1	1	82.29	0.284	0.322
91	-3	-1	3	79.73	0.247	0.327
92	-3	-1	5	74.94	0.21	0.329
93	-3	1	-9	70.72	0.504	0.302
94	-3	1	-7	81.6	0.461	0.313
95	-3	1	-5	83.37	0.429	0.325
96	-3	1	-3	85.76	0.386	0.341
97	-3	1	-1	89.02	0.348	0.351
98	-3	1	1	88.34	0.308	0.363

付録 1

No.	L	j	g	Luminar	CIE x	CIE y	No.	L	j	g	Luminar	CIE x	CIE y
99	-3	1	3	84.07	0.268	0.384	148	-2	4	-8	102.5	0.521	0.355
100	-3	1	5	78.86	0.228	0.399	149	-2	4	-6	110.3	0.484	0.37
101	-3	3	-9	70.24	0.537	0.332	150	-2	4	-4	118	0.444	0.383
102	-3	3	-7	83.31	0.498	0.341	151	-2	4	-2	123.3	0.408	0.403
103	-3	3	-5	89.02	0.452	0.362	152	-2	4	0	124.2	0.371	0.421
104	-3	3	-3	90.88	0.422	0.381	153	-2	4	2	128.5	0.332	0.45
105	-3	3	-1	91.98	0.383	0.402	154	-2	4	4	127.8	0.296	0.464
106	-3	3	1	99.86	0.337	0.415	155	-2	6	-10	95	0.584	0.356
107	-3	3	3	93.48	0.298	0.446	156	-2	6	-8	97.19	0.553	0.369
108	-3	3	5	90.35	0.257	0.471	157	-2	6	-6	107.1	0.521	0.398
109	-3	5	-7	74.26	0.544	0.373	158	-2	6	-4	116.2	0.48	0.42
110	-3	5	-5	92.29	0.504	0.389	159	-2	6	-2	127.3	0.447	0.442
111	-3	5	-3	89.67	0.455	0.429	160	-2	6	0	131.8	0.408	0.469
112	-3	5	-1	102.4	0.415	0.451	161	-2	6	2	130.9	0.368	0.49
113	-3	5	1	95.83	0.375	0.469	162	-2	6	4	128.2	0.317	0.51
114	-3	5	3	99.49	0.328	0.504	163	-1	-5	-1	114.6	0.273	0.246
115	-3	5	5	99.93	0.282	0.523	164	-1	-5	1	120	0.243	0.241
116	-2	-6	0	84.36	0.241	0.214	165	-1	-5	3	118.7	0.219	0.244
117	-2	-6	2	83.01	0.219	0.217	166	-1	-3	-3	132.8	0.326	0.268
118	-2	-4	-2	96.15	0.295	0.251	167	-1	-3	-1	130.1	0.292	0.274
119	-2	-4	0	98.17	0.267	0.256	168	-1	-3	1	132.2	0.265	0.282
120	-2	-4	2	95	0.234	0.252	169	-1	-3	3	131.8	0.238	0.287
121	-2	-4	4	91.05	0.205	0.252	170	-1	-3	5	124.8	0.211	0.288
122	-2	-2	-6	99.55	0.386	0.274	171	-1	-1	-7	129.9	0.41	0.291
123	-2	-2	-4	103.8	0.353	0.275	172	-1	-1	-5	134.2	0.378	0.295
124	-2	-2	-2	106.4	0.322	0.285	173	-1	-1	-3	135.9	0.347	0.303
125	-2	-2	0	105.4	0.29	0.295	174	-1	-1	-1	143.5	0.315	0.312
126	-2	-2	2	105.2	0.258	0.3	175	-1	-1	1	139.7	0.288	0.322
127	-2	-2	4	96.2	0.222	0.301	176	-1	-1	3	141.2	0.258	0.329
128	-2	-2	6	94.09	0.204	0.299	177	-1	-1	5	131.7	0.229	0.335
129	-2	0	-10	95.39	0.466	0.291	178	-1	1	-9	123.3	0.468	0.309
130	-2	0	-8	97.53	0.448	0.294	179	-1	1	-7	131.2	0.437	0.318
131	-2	0	-6	104.5	0.418	0.305	180	-1	1	-5	140.2	0.405	0.327
132	-2	0	-4	110.5	0.384	0.311	181	-1	1	-3	143.2	0.377	0.341
133	-2	0	-2	120.4	0.346	0.324	182	-1	1	-1	148.2	0.343	0.353
134	-2	0	0	117.2	0.313	0.338	183	-1	1	1	148.5	0.312	0.365
135	-2	0	2	108.7	0.278	0.35	184	-1	1	3	148.8	0.279	0.377
136	-2	0	4	106	0.241	0.355	185	-1	1	5	139.7	0.245	0.39
137	-2	0	6	104.5	0.214	0.35	186	-1	3	-9	125.8	0.505	0.34
138	-2	2	-10	94.97	0.514	0.316	187	-1	3	-7	135.6	0.468	0.345
139	-2	2	-8	103.9	0.484	0.325	188	-1	3	-5	141.3	0.439	0.361
140	-2	2	-6	109.1	0.45	0.338	189	-1	3	-3	149.8	0.404	0.374
141	-2	2	-4	116.7	0.408	0.348	190	-1	3	-1	153	0.372	0.387
142	-2	2	-2	119.5	0.378	0.365	191	-1	3	1	159.1	0.338	0.407
143	-2	2	0	122.4	0.342	0.377	192	-1	3	3	158.6	0.303	0.425
144	-2	2	2	117.3	0.304	0.399	193	-1	3	5	151.1	0.265	0.435
145	-2	2	4	113.8	0.26	0.404	194	-1	5	-9	129.5	0.535	0.358
146	-2	2	6	110.8	0.229	0.41	195	-1	5	-7	141.5	0.502	0.376
147	-2	4	-10	90.86	0.565	0.338	196	-1	5	-5	144.6	0.472	0.389

付録 1

No.	L	j	g	Luminar	CIE x	CIE y	No.	L	j	g	Luminar	CIE x	CIE y
197	-1	5	-3	152.2	0.438	0.407	246	0	6	-6	166.3	0.487	0.391
198	-1	5	-1	160.4	0.402	0.431	247	0	6	-4	174.8	0.458	0.408
199	-1	5	1	167.4	0.367	0.45	248	0	6	-2	183	0.424	0.429
200	-1	5	3	169.1	0.331	0.469	249	0	6	0	190.3	0.391	0.447
201	-1	5	5	157.1	0.295	0.496	250	0	6	2	193.9	0.36	0.465
202	-1	7	-9	122.4	0.574	0.364	251	0	6	4	187.4	0.327	0.49
203	-1	7	-7	124.8	0.53	0.396	252	0	8	-8	163.3	0.539	0.405
204	-1	7	-5	145.2	0.501	0.42	253	0	8	-6	165.1	0.515	0.412
205	-1	7	-3	153.9	0.465	0.438	254	0	8	-4	175.7	0.482	0.44
206	-1	7	-1	160	0.432	0.464	255	0	8	-2	181.3	0.453	0.459
207	-1	7	1	167.7	0.397	0.489	256	0	8	0	186.2	0.419	0.479
208	-1	7	3	171.8	0.361	0.511	257	0	8	2	193.6	0.388	0.5
209	-1	7	5	165.1	0.326	0.544	258	0	8	4	191.6	0.351	0.528
210	0	-6	0	137.4	0.259	0.239	259	1	-5	1	178.3	0.257	0.262
211	0	-6	2	136.5	0.233	0.243	260	1	-5	3	165.7	0.233	0.26
212	0	-4	-2	151.6	0.295	0.268	261	1	-3	-3	180.3	0.32	0.283
213	0	-4	0	154.9	0.271	0.267	262	1	-3	-1	176.7	0.297	0.285
214	0	-4	2	150.4	0.247	0.271	263	1	-3	1	182.2	0.273	0.291
215	0	-4	4	148.2	0.223	0.272	264	1	-3	3	179.3	0.252	0.298
216	0	-2	-4	160.2	0.346	0.285	265	1	-3	5	173	0.228	0.298
217	0	-2	-2	163.5	0.321	0.294	266	1	-1	-5	185.3	0.367	0.302
218	0	-2	0	161.6	0.294	0.303	267	1	-1	-3	190.1	0.343	0.307
219	0	-2	2	155.1	0.268	0.308	268	1	-1	-1	195.7	0.318	0.321
220	0	-2	4	147.9	0.24	0.311	269	1	-1	1	188.8	0.291	0.324
221	0	0	-8	148.4	0.423	0.307	270	1	-1	3	187.9	0.266	0.33
222	0	0	-6	159.1	0.4	0.31	271	1	-1	5	189	0.243	0.336
223	0	0	-4	161.5	0.372	0.318	272	1	1	-7	180.9	0.417	0.321
224	0	0	-2	168.4	0.341	0.325	273	1	1	-5	187.1	0.39	0.328
225	0	0	0	165.7	0.315	0.338	274	1	1	-3	200.5	0.365	0.34
226	0	0	2	163.3	0.287	0.345	275	1	1	-1	199.5	0.34	0.349
227	0	0	4	163.3	0.259	0.357	276	1	1	1	202.8	0.313	0.36
228	0	0	6	158.1	0.232	0.36	277	1	1	3	199.9	0.287	0.373
229	0	2	-8	156.6	0.453	0.327	278	1	1	5	197.8	0.258	0.376
230	0	2	-6	159.3	0.43	0.338	279	1	3	-9	170.9	0.471	0.341
231	0	2	-4	163.7	0.401	0.349	280	1	3	-7	184.7	0.446	0.347
232	0	2	-2	172.3	0.368	0.362	281	1	3	-5	189.4	0.425	0.355
233	0	2	0	177.6	0.34	0.375	282	1	3	-3	203.5	0.39	0.367
234	0	2	2	176.3	0.311	0.39	283	1	3	-1	206.3	0.361	0.377
235	0	2	4	173.5	0.277	0.403	284	1	3	1	206.1	0.336	0.397
236	0	2	6	164.8	0.247	0.415	285	1	3	3	209.3	0.306	0.408
237	0	4	-8	152	0.487	0.351	286	1	3	5	205.6	0.277	0.422
238	0	4	-6	162.3	0.458	0.364	287	1	5	-7	187.6	0.473	0.368
239	0	4	-4	168.3	0.428	0.379	288	1	5	-5	197.6	0.447	0.384
240	0	4	-2	176.8	0.397	0.394	289	1	5	-3	208.3	0.418	0.399
241	0	4	0	180.1	0.364	0.413	290	1	5	-1	213.2	0.385	0.414
242	0	4	2	190.5	0.329	0.424	291	1	5	1	216.9	0.359	0.431
243	0	4	4	187.4	0.302	0.445	292	1	5	3	217.8	0.33	0.449
244	0	4	6	166.7	0.269	0.458	293	1	5	5	212.1	0.301	0.461
245	0	6	-8	160	0.518	0.382	294	1	7	-7	193	0.502	0.399

付録 1

No.	L	j	g	Luminar	CIE x	CIE y
295	1	7	-5	196	0.476	0.408
296	1	7	-3	209	0.446	0.429
297	1	7	-1	212.8	0.416	0.445
298	1	7	1	220.2	0.385	0.464
299	1	7	3	225.6	0.354	0.481
300	1	7	5	213.2	0.325	0.505
301	1	9	-7	180.9	0.53	0.414
302	1	9	-5	194.4	0.499	0.428
303	1	9	-3	205.6	0.473	0.452
304	1	9	-1	217.9	0.44	0.476
305	1	9	1	217.1	0.411	0.495
306	1	9	3	225	0.38	0.518
307	2	-4	0	208.8	0.276	0.274
308	2	-4	2	210	0.257	0.28
309	2	-4	4	202.4	0.237	0.283
310	2	-2	-4	209.4	0.345	0.297
311	2	-2	-2	222.2	0.32	0.3
312	2	-2	0	223.4	0.294	0.306
313	2	-2	2	219.5	0.269	0.308
314	2	-2	4	222.1	0.249	0.315
315	2	0	-6	221.3	0.385	0.313
316	2	0	-4	230.3	0.362	0.32
317	2	0	-2	241.9	0.341	0.332
318	2	0	0	240	0.314	0.336
319	2	0	2	239.7	0.291	0.347
320	2	0	4	239.5	0.268	0.352
321	2	0	6	233.4	0.244	0.357
322	2	2	-6	229.7	0.407	0.338
323	2	2	-4	240.5	0.384	0.346
324	2	2	-2	240.9	0.358	0.355
325	2	2	0	258.7	0.333	0.366
326	2	2	2	250.2	0.309	0.379
327	2	2	4	244.5	0.282	0.391
328	2	2	6	228.4	0.261	0.396
329	2	4	-6	230.2	0.437	0.363
330	2	4	-4	243	0.412	0.375
331	2	4	-2	250.1	0.384	0.388
332	2	4	0	255.3	0.358	0.402
333	2	4	2	258.1	0.332	0.415
334	2	4	4	256.6	0.306	0.426
335	2	6	-6	236.2	0.463	0.387
336	2	6	-4	245.4	0.434	0.404
337	2	6	-2	254.2	0.411	0.417
338	2	6	0	265.4	0.38	0.431
339	2	6	2	269.2	0.353	0.447
340	2	6	4	264.9	0.326	0.459
341	2	8	-6	229.5	0.489	0.409
342	2	8	-4	246.3	0.459	0.43
343	2	8	-2	260.6	0.437	0.441

No.	L	j	g	Luminar	CIE x	CIE y
344	2	8	0	271	0.407	0.459
345	2	8	2	276.9	0.378	0.477
346	2	8	4	268.7	0.353	0.499
347	2	10	-6	255.6	0.502	0.441
348	2	10	-4	237.6	0.486	0.452
349	2	10	-2	260.8	0.462	0.466
350	2	10	0	264.7	0.43	0.487
351	2	10	2	271.5	0.404	0.508
352	3	-3	-1	264.3	0.306	0.3
353	3	-3	1	264.4	0.277	0.297
354	3	-3	3	255.8	0.257	0.297
355	3	-1	-5	262.7	0.368	0.317
356	3	-1	-3	275.9	0.341	0.315
357	3	-1	-1	275.6	0.318	0.32
358	3	-1	1	280	0.298	0.329
359	3	-1	3	274.5	0.275	0.331
360	3	1	-5	278.6	0.381	0.332
361	3	1	-3	285	0.358	0.338
362	3	1	-1	286	0.335	0.346
363	3	1	1	288.7	0.314	0.358
364	3	1	3	289.6	0.288	0.367
365	3	1	5	260.2	0.268	0.364
366	3	3	-5	282.3	0.403	0.355
367	3	3	-3	292.2	0.381	0.367
368	3	3	-1	295.7	0.355	0.376
369	3	3	1	302.9	0.332	0.389
370	3	3	3	300.6	0.31	0.398
371	3	5	-5	300.3	0.419	0.384
372	3	5	-3	302.6	0.404	0.393
373	3	5	-1	310.1	0.377	0.407
374	3	5	1	310	0.353	0.417
375	3	5	3	310.9	0.329	0.431
376	3	7	-5	285.4	0.449	0.407
377	3	7	-3	304.8	0.428	0.419
378	3	7	-1	311.1	0.402	0.433
379	3	7	1	320.2	0.374	0.446
380	3	7	3	314.4	0.352	0.464
381	3	9	-5	288.8	0.469	0.431
382	3	9	-3	303.6	0.45	0.443
383	3	9	-1	314.7	0.427	0.459
384	3	9	1	319.6	0.4	0.473
385	3	9	3	313.5	0.374	0.493
386	3	11	-3	308.2	0.477	0.462
387	3	11	-1	305.8	0.451	0.479
388	3	11	1	321.1	0.424	0.5
389	4	-2	-2	322.9	0.315	0.314
390	4	-2	0	322.5	0.3	0.313
391	4	-2	2	325.1	0.281	0.317
392	4	0	-4	307.2	0.358	0.325

付録 1

No.	L	j	g	Luminar	CIE x	CIE y
393	4	0	-2	336.2	0.335	0.329
394	4	0	0	336.3	0.314	0.338
395	4	0	2	344	0.293	0.344
396	4	0	4	315.8	0.278	0.352
397	4	2	-4	331.1	0.376	0.349
398	4	2	-2	351.3	0.357	0.359
399	4	2	0	359.5	0.332	0.362
400	4	2	2	367.2	0.312	0.375
401	4	2	4	346.2	0.292	0.381
402	4	4	-4	333	0.393	0.374
403	4	4	-2	362.5	0.374	0.383
404	4	4	0	369.3	0.351	0.393
405	4	4	2	374.8	0.332	0.405
406	4	4	4	340.5	0.306	0.405
407	4	6	-4	341.4	0.415	0.402
408	4	6	-2	377.1	0.396	0.41
409	4	6	0	382.3	0.372	0.419
410	4	6	2	390.3	0.35	0.43
411	4	8	-2	377.8	0.418	0.433
412	4	8	0	389	0.395	0.447
413	4	8	2	378.6	0.372	0.456
414	4	10	-2	380.6	0.432	0.452
415	4	10	0	379.8	0.419	0.469
416	4	12	0	371.6	0.439	0.495
417	5	-1	-1	395.3	0.316	0.324
418	5	-1	1	397.4	0.297	0.326
419	5	1	-1	415.8	0.335	0.35
420	5	1	1	418	0.313	0.356
421	5	3	-1	427.7	0.352	0.371
422	5	3	1	423.2	0.331	0.38
423	5	5	-1	427.9	0.37	0.399
424	5	5	1	436.1	0.351	0.405

付録 2

No.				(色票)			(プロジェクター)		
	L	j	g	Luminance	CIE1931(x y)		Luminance	CIE1931(x y)	
7	-6	-4	-2	25.34	0.2927	0.2127	27.4	0.2812	0.1954
8	-6	-4	0	21.38	0.2359	0.1886	24.36	0.2315	0.1745
9	-6	-4	2	23.59	0.1991	0.1974	25.05	0.1947	0.1767
10	-6	-2	-4	24.65	0.3851	0.2469	27.45	0.3781	0.2334
11	-6	-2	-2	28.31	0.333	0.258	31.29	0.3218	0.2426
12	-6	-2	0	30.29	0.28	0.269	33.17	0.2709	0.2496
13	-6	-2	2	25.51	0.2241	0.2576	27.54	0.2188	0.2366
14	-6	0	-6	29.55	0.4728	0.2872	32.38	0.4572	0.2725
15	-6	0	-4	28.1	0.4319	0.298	30.95	0.4156	0.2808
16	-6	0	-2	28.77	0.3757	0.3188	32.5	0.3659	0.304
17	-6	0	0	29.18	0.3044	0.3291	30.44	0.295	0.3101
18	-6	0	2	26.38	0.2482	0.3356	28.22	0.2388	0.3203
19	-6	2	-6	31.19	0.5178	0.33	32.9	0.5168	0.3241
20	-6	2	-4	30.56	0.4894	0.3565	33.58	0.4824	0.3494
21	-6	2	-2	32.08	0.4279	0.382	33.64	0.4145	0.3613
22	-6	2	0	37.76	0.3458	0.3972	39.1	0.3378	0.384
23	-6	2	2	29.76	0.2968	0.4587	31.18	0.285	0.4348
48	-4	-4	-2	50.9	0.294	0.2239	51.31	0.2838	0.2059
49	-4	-4	0	56.03	0.2578	0.2292	57.82	0.2505	0.2144
50	-4	-4	2	50.19	0.2167	0.2233	51.38	0.2127	0.2064
52	-4	-2	-4	60.91	0.3655	0.2624	62.75	0.3506	0.2493
53	-4	-2	-2	59.76	0.3277	0.2713	61.18	0.3173	0.2573
54	-4	-2	0	56.88	0.2862	0.276	58.32	0.2801	0.2636
55	-4	-2	2	56.17	0.2436	0.2847	57.73	0.2372	0.2652
57	-4	0	-6	59.37	0.4492	0.2936	60.87	0.4354	0.283
58	-4	0	-4	62.91	0.4026	0.3049	65.8	0.3909	0.2944
59	-4	0	-2	69.7	0.3592	0.3212	73.05	0.3493	0.3074
60	-4	0	0	65.92	0.3105	0.3324	69.85	0.3011	0.3183
61	-4	0	2	66.98	0.2697	0.3426	67.75	0.2595	0.3263
63	-4	2	-8	57.38	0.5134	0.3159	57.94	0.5118	0.309
64	-4	2	-6	60.91	0.484	0.3328	63.42	0.474	0.3259
65	-4	2	-4	67.53	0.4421	0.3551	69.82	0.4347	0.3449
66	-4	2	-2	69.05	0.3973	0.3731	71.41	0.3883	0.3622
67	-4	2	0	68.31	0.3445	0.3898	72.03	0.3357	0.3788
68	-4	2	2	69.26	0.294	0.4106	70.94	0.2876	0.4027
70	-4	4	-8	61.14	0.5736	0.3483	64.22	0.5626	0.3462
71	-4	4	-6	62.41	0.5242	0.3705	62.88	0.5096	0.3638
72	-4	4	-4	63.98	0.4831	0.3927	69.63	0.4756	0.3813
73	-4	4	-2	69.96	0.4329	0.4194	72.84	0.4262	0.4119
74	-4	4	0	73.52	0.3732	0.4373	78.96	0.3666	0.4279
75	-4	4	2	71.26	0.3349	0.4858	73.25	0.3229	0.4777
116	-2	-6	0	84.36	0.2411	0.214	87.95	0.2336	0.1962
117	-2	-6	2	83.01	0.2186	0.2166	87.89	0.2147	0.2017
118	-2	-4	-2	96.15	0.2945	0.2511	100.5	0.2867	0.2352
119	-2	-4	0	98.17	0.2665	0.2559	101.8	0.2584	0.238
120	-2	-4	2	95	0.2335	0.252	101.5	0.2267	0.2342
121	-2	-4	4	91.05	0.2051	0.2523	95.39	0.2006	0.2323
122	-2	-2	-6	99.55	0.3858	0.2739	103	0.3707	0.2587

付録 2

123	-2	-2	-4	103.8	0.3525	0.275	108.1	0.3371	0.2581
124	-2	-2	-2	106.4	0.3219	0.2851	112.6	0.3106	0.2679
125	-2	-2	0	105.4	0.2898	0.2949	108.9	0.2781	0.2741
126	-2	-2	2	105.2	0.2578	0.3	103.6	0.2501	0.2815
127	-2	-2	4	96.2	0.2219	0.3008	92.65	0.2121	0.2753
129	-2	0	-10	95.39	0.4663	0.2908	95.83	0.4614	0.2834
130	-2	0	-8	97.53	0.4482	0.2936	100.7	0.4428	0.2877
131	-2	0	-6	104.5	0.4177	0.3053	105.7	0.4091	0.2929
132	-2	0	-4	110.5	0.384	0.3112	111.5	0.3733	0.2993
133	-2	0	-2	120.4	0.3456	0.3239	118.8	0.3375	0.3085
134	-2	0	0	117.2	0.3132	0.3379	116.3	0.3057	0.3233
135	-2	0	2	108.7	0.2781	0.3502	107.6	0.2703	0.3334
136	-2	0	4	106	0.2409	0.355	101.6	0.2305	0.3369
138	-2	2	-10	94.97	0.5137	0.3161	95.81	0.5094	0.3118
139	-2	2	-8	103.9	0.484	0.3247	107.6	0.4767	0.3192
140	-2	2	-6	109.1	0.4497	0.338	110.3	0.4427	0.3303
141	-2	2	-4	116.7	0.4079	0.3478	111.9	0.4018	0.34
142	-2	2	-2	119.5	0.3782	0.3646	122	0.3738	0.3552
143	-2	2	0	122.4	0.342	0.3774	122.3	0.332	0.3635
144	-2	2	2	117.3	0.3043	0.399	114.9	0.2942	0.3821
145	-2	2	4	113.8	0.26	0.4037	111	0.2476	0.3832
147	-2	4	-10	90.86	0.5653	0.3377	95.3	0.5554	0.3358
148	-2	4	-8	102.5	0.5209	0.355	106.8	0.5141	0.3521
149	-2	4	-6	110.3	0.4838	0.3704	114.1	0.4773	0.3652
150	-2	4	-4	118	0.4443	0.3834	119.3	0.435	0.3766
151	-2	4	-2	123.3	0.4079	0.4027	128.4	0.3991	0.3917
152	-2	4	0	124.2	0.3709	0.4205	125.1	0.3592	0.4103
153	-2	4	2	128.5	0.3324	0.4502	130.2	0.3205	0.4374
154	-2	4	4	127.8	0.296	0.4636	126.6	0.2832	0.4492
155	-2	6	-10	95	0.5844	0.3562	97.91	0.583	0.3563
156	-2	6	-8	97.19	0.5531	0.3693	97.45	0.546	0.3668
157	-2	6	-6	107.1	0.5212	0.3975	109.7	0.5133	0.395
158	-2	6	-4	116.2	0.4801	0.4199	120.4	0.471	0.4139
159	-2	6	-2	127.3	0.447	0.4417	133.2	0.4359	0.4408
160	-2	6	0	131.8	0.4079	0.4687	131.5	0.3956	0.457
161	-2	6	2	130.9	0.3678	0.4896	129	0.3568	0.4841
162	-2	6	4	128.2	0.3169	0.5101	133.1	0.3042	0.5065
210	0	-6	0	137.4	0.259	0.2393	135.7	0.2515	0.2225
211	0	-6	2	136.5	0.2332	0.2425	133.7	0.2267	0.2247
212	0	-4	-2	151.6	0.2946	0.2675	150	0.2882	0.2546
213	0	-4	0	154.9	0.2711	0.2666	154.3	0.2611	0.2462
214	0	-4	2	150.4	0.2468	0.2711	152.5	0.2378	0.2515
215	0	-4	4	148.2	0.2225	0.2716	148.1	0.2149	0.2511
216	0	-2	-4	160.2	0.3456	0.2852	165.4	0.3378	0.2728
217	0	-2	-2	163.5	0.3206	0.2943	164.6	0.3102	0.281
218	0	-2	0	161.6	0.2942	0.3028	161.6	0.2847	0.2878
219	0	-2	2	155.1	0.2682	0.3084	171.5	0.2593	0.2952
220	0	-2	4	147.9	0.2395	0.3112	158.4	0.2316	0.2938
221	0	0	-8	148.4	0.4228	0.3069	167.5	0.4097	0.2998
222	0	0	-6	159.1	0.3995	0.3104	171.8	0.3908	0.299

付録 2

223	0	0	-4	161.5	0.3723	0.3178	172.1	0.3604	0.3072
224	0	0	-2	168.4	0.3406	0.3252	179.3	0.3284	0.3118
225	0	0	0	165.7	0.315	0.3383	176.4	0.3036	0.3244
226	0	0	2	163.3	0.287	0.3451	173.9	0.2771	0.3279
227	0	0	4	163.3	0.2588	0.3567	170.2	0.2484	0.3356
229	0	2	-8	156.6	0.4532	0.327	170.9	0.4477	0.3207
230	0	2	-6	159.3	0.4297	0.3384	174.6	0.4205	0.3283
231	0	2	-4	163.7	0.4014	0.3491	176.1	0.3898	0.3402
232	0	2	-2	172.3	0.3679	0.362	184.8	0.351	0.3465
233	0	2	0	177.6	0.3397	0.3746	187.2	0.3276	0.3587
234	0	2	2	176.3	0.3113	0.3898	181.5	0.2988	0.3705
235	0	2	4	173.5	0.2774	0.4026	179.5	0.2636	0.3841
237	0	4	-8	152	0.4872	0.3508	167.9	0.4805	0.3481
238	0	4	-6	162.3	0.4583	0.3643	175.5	0.4518	0.3603
239	0	4	-4	168.3	0.4279	0.3788	183.2	0.4152	0.3712
240	0	4	-2	176.8	0.3971	0.3943	192.2	0.3847	0.3889
241	0	4	0	180.1	0.3642	0.4129	191.7	0.3538	0.4045
242	0	4	2	0	0	0	196.4	0.3183	0.4176
243	0	4	4	187.4	0.3018	0.4446	176.5	0.2911	0.43
244	0	4	6	166.7	0.2693	0.4584	161.5	0.2581	0.444
245	0	6	-8	0	0	0	155.3	0.5137	0.3723
246	0	6	-6	166.3	0.4869	0.3913	158	0.4814	0.381
247	0	6	-4	174.8	0.4582	0.4084	167	0.451	0.3958
248	0	6	-2	183	0.4239	0.4293	178.1	0.4117	0.4161
249	0	6	0	190.3	0.391	0.4472	175.7	0.3818	0.4355
250	0	6	2	193.9	0.3597	0.4654	196.6	0.3517	0.4536
251	0	6	4	187.4	0.3267	0.4896	177.1	0.3137	0.4764
252	0	8	-8	163.3	0.5394	0.4053	153.9	0.5348	0.3998
253	0	8	-6	165.1	0.5146	0.4118	161.6	0.5147	0.4043
254	0	8	-4	175.7	0.4819	0.4395	167.3	0.4755	0.432
255	0	8	-2	181.3	0.453	0.4587	169.4	0.4466	0.4531
256	0	8	0	186.2	0.4191	0.4793	175.5	0.414	0.4751
257	0	8	2	193.6	0.3877	0.5003	183.8	0.3822	0.4949
258	0	8	4	191.6	0.3509	0.5275	183.2	0.341	0.5226
307	2	-4	0	208.8	0.276	0.274	216.7	0.2649	0.2527
308	2	-4	2	210	0.2573	0.2799	211.6	0.2471	0.2564
309	2	-4	4	202.4	0.2366	0.2825	211	0.2284	0.2608
310	2	-2	-4	209.4	0.3452	0.2968	216.1	0.3361	0.28
311	2	-2	-2	222.2	0.3204	0.3002	222.9	0.3119	0.2801
312	2	-2	0	223.4	0.2944	0.3057	223.1	0.2837	0.2846
313	2	-2	2	219.5	0.2694	0.3081	223.3	0.2611	0.2887
314	2	-2	4	222.1	0.2494	0.3147	217.8	0.241	0.2934
315	2	0	-6	221.3	0.3854	0.3134	223.8	0.3791	0.303
316	2	0	-4	230.3	0.3619	0.3202	232.3	0.3559	0.305
317	2	0	-2	241.9	0.3414	0.3317	239.6	0.3352	0.3166
318	2	0	0	240	0.3139	0.3364	241.3	0.3044	0.3185
319	2	0	2	239.7	0.2909	0.347	232.9	0.3556	0.3043
320	2	0	4	239.5	0.2679	0.352	237	0.2594	0.3312
321	2	0	6	233.4	0.2437	0.3568	241.5	0.2358	0.3394
322	2	2	-6	229.7	0.407	0.3376	235.4	0.401	0.327

付録 2

323	2	2	-4	240.5	0.3835	0.3463	247.8	0.3796	0.3322
324	2	2	-2	240.9	0.358	0.3546	242.7	0.3499	0.3397
325	2	2	0	258.7	0.3332	0.3658	256.4	0.3262	0.3502
326	2	2	2	250.2	0.3089	0.3794	248.8	0.3004	0.3619
327	2	2	4	244.5	0.2823	0.3906	242.6	0.274	0.3754
328	2	2	6	228.4	0.2611	0.3961	230.3	0.2517	0.3804
329	2	4	-6	230.2	0.4371	0.3633	240.6	0.4299	0.3495
330	2	4	-4	243	0.4124	0.3747	244.5	0.4053	0.3615
331	2	4	-2	250.1	0.3835	0.3882	249.8	0.3748	0.3757
332	2	4	0	255.3	0.3583	0.4024	244.9	0.3482	0.3873
333	2	4	2	258.1	0.332	0.4151	253.9	0.3214	0.4016
334	2	4	4	256.6	0.3057	0.4255	253.1	0.2934	0.4111
335	2	6	-6	236.2	0.4631	0.3869	238.1	0.4596	0.3786
336	2	6	-4	245.4	0.4337	0.404	244	0.4291	0.3943
337	2	6	-2	254.2	0.4111	0.4173	251.7	0.4058	0.4101
338	2	6	0	265.4	0.38	0.4305	261	0.3713	0.42
339	2	6	2	269.2	0.3533	0.4469	266.4	0.3427	0.4349
340	2	6	4	264.9	0.3261	0.4585	267	0.3159	0.4485
341	2	8	-6	229.5	0.4889	0.4092	230.5	0.4848	0.4013
342	2	8	-4	246.3	0.4592	0.4297	244.7	0.4578	0.4206
343	2	8	-2	260.6	0.437	0.4412	268.3	0.4334	0.434
344	2	8	0	271	0.4067	0.4585	276.3	0.3981	0.4537
345	2	8	2	276.9	0.3775	0.4773	273.2	0.3696	0.4738
346	2	8	4	268.7	0.3525	0.4986	265.8	0.3429	0.4951
347	2	10	-6	255.6	0.5015	0.4409	257.2	0.5009	0.4364
348	2	10	-4	237.6	0.486	0.4515	244.1	0.4842	0.4478
349	2	10	-2	260.8	0.4618	0.4655	267	0.459	0.461
350	2	10	0	264.7	0.4302	0.4868	263	0.4229	0.4833
351	2	10	2	271.5	0.4043	0.5075	274.7	0.3946	0.5057
389	4	-2	-2	322.9	0.3149	0.3137	327.4	0.3064	0.2979
390	4	-2	0	322.5	0.2997	0.3133	329.2	0.2915	0.2975
391	4	-2	2	325.1	0.2809	0.317	333.8	0.2715	0.3001
392	4	0	-4	307.2	0.358	0.3245	320.7	0.3522	0.3121
393	4	0	-2	336.2	0.335	0.3293	350.4	0.3314	0.3179
394	4	0	0	336.3	0.3144	0.3378	342.6	0.3076	0.3255
395	4	0	2	344	0.2926	0.3436	338.9	0.2829	0.3292
396	4	0	4	315.8	0.2777	0.3523	319.3	0.2688	0.3365
397	4	2	-4	331.1	0.3764	0.3494	327.6	0.3716	0.3349
398	4	2	-2	351.3	0.3569	0.3589	353.3	0.3512	0.3464
399	4	2	0	359.5	0.3316	0.3617	359.1	0.3254	0.349
400	4	2	2	367.2	0.3121	0.3745	368.8	0.301	0.3586
401	4	2	4	346.2	0.2923	0.3812	337.8	0.2829	0.3668
402	4	4	-4	333	0.3927	0.3735	329.5	0.3895	0.3628
403	4	4	-2	362.5	0.3739	0.3825	357	0.3694	0.3723
404	4	4	0	369.3	0.3513	0.3929	373.5	0.3469	0.3838
405	4	4	2	374.8	0.3318	0.405	375.7	0.3208	0.393
406	4	4	4	340.5	0.306	0.4054	338.8	0.2963	0.3967
407	4	6	-4	341.4	0.4151	0.4018	334.2	0.4098	0.3915
408	4	6	-2	377.1	0.3962	0.4104	376.6	0.3919	0.4016
409	4	6	0	382.3	0.3724	0.419	376.7	0.3656	0.4065

付録 2

410	4	6	2	390.3	0.3495	0.4298	376.6	0.3405	0.4165
411	4	8	-2	377.8	0.4182	0.4325	374.2	0.414	0.4238
412	4	8	0	389	0.395	0.4468	382.9	0.391	0.4385
413	4	8	2	378.6	0.372	0.456	372.7	0.3635	0.4463
414	4	10	-2	380.6	0.4323	0.452	368.7	0.4293	0.4452
415	4	10	0	379.8	0.4188	0.469	386.9	0.4131	0.4676
416	4	12	0	371.6	0.4394	0.4947	370	0.436	0.4915

【本研究に関する論文】

1. 瀬川かおり, 内川恵二, 栗木一郎, 周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚, 照明学会誌, 83(11), pp860-868, 1999
2. 瀬川かおり, 内川恵二, 低照度レベルにおける周辺視野でのカテゴリーカル色知覚の特性, 照明学会誌, 84(5), 2000 (印刷中)
3. 瀬川かおり, 内川恵二, 周辺視野のカテゴリーカル色知覚に及ぼす刺激サイズの影響, Vision, 12(2), 2000 (印刷中)
4. Kaori Segawa and Keiji Uchikawa, Comparison of categorical and continuous color appearance in peripheral visual field (in preparation)

【本研究に関する国際会議発表】

1. K.Segawa, I.Kuriki and K.Uchikawa, Categorical color perception in peripheral visual field, AIC Color 97, Color 97, 2, 243-246, 1997
2. K.Segawa, K.Uchikawa and I.Kuriki, Saliency of categorical color perception in peripheral vision, ARVO, Investigate Ophthalmology and Visual Science, 39, 156, 1998
3. K.Segawa and K.Uchikawa, Categorical color perception in peripheral vision under various illumination levels, ARVO, Investigate Ophthalmology and Visual Science, 40, 750, 1999
4. K.Segawa and K.Uchikawa, Limits of categorical color perception in peripheral visual field, OSA, Conference program, 96, 1999

【本研究に関する講演要旨】

1. 瀬川かおり, 栗木一郎, 内川恵二, 周辺視野における色の連続的な見えとカテゴリーとの比較, Vision, 9(2), 73-76, 1997

【本研究に関する国内学会発表】

1. 瀬川かおり, 栗木一郎, 内川恵二, 周辺視野におけるカテゴリーカルカラーネーミング, 日本視覚学会 (夏期), Vision, 8(3), 181, 1996
2. 瀬川かおり, 栗木一郎, 内川恵二, 周辺視野における色の連続的な見えとカテゴリーとの比較, Vision, 9(1), 40, 1997
3. 瀬川かおり, 栗木一郎, 内川恵二, 網膜周辺部位におけるカテゴリーカル色知覚の測定, 応用物理学関係連合講演会予稿集, 3, 988, 1996
4. 瀬川かおり, 栗木一郎, 内川恵二, カテゴリーカル色知覚視野の測定, 日本眼光学学会抄録集, 75, 1996

5. 瀬川かおり, 栗木一郎, 内川恵二, 中心窩と周辺視野のカテゴリカルカラーネーミングの比較, カラーフォーラムJAPAN'96論文集, 49-52, 1996
6. 瀬川かおり, 内川恵二, 栗木一郎, 周辺視野における11基本色名の応答特性, 日本視覚学会 (夏期), Vision, 9(3), 40, 1997
7. 瀬川かおり, 内川恵二, 栗木一郎, 視野周辺縁部における色のカテゴリー知覚, Optics Japan'97講演予稿集, 271-272, 1997,
8. 瀬川かおり, 内川恵二, 栗木一郎, 周辺視野におけるカテゴリー比率評価法による色の見え, 応用物理学関係連合講演会予稿集, 3, 814, 1998
9. 瀬川かおり, 内川恵二, 低照度下での周辺視野におけるカテゴリカルカラーネーミング, Vision, 10(3), 169, 1998
10. 瀬川かおり, 内川恵二, 低照度環境下における周辺視での色のカテゴリー特性, 映像情報メディア学会, 映像情報メディア学会技術報告, 22, 25-30, 1998
11. 瀬川かおり, 内川恵二, 低照度条件下での網膜周辺部位におけるカテゴリカル色知覚の測定, Optics Japan'98講演予稿集, 199-200, 1998
12. 瀬川かおり, 内川恵二, 明所視と薄明視における周辺視野でのカテゴリカル色知覚特性, 日本視覚学会 (冬期), Vision, 11(1), 47, 1999
13. 瀬川かおり, 内川恵二, 周辺視野でのカテゴリカル色知覚における刺激サイズの影響, 日本視覚学会 (夏期), Vision, 11(3), 151, 1999