

Magnetic resonance imaging による大脳性色覚異常の病巣解析

田中雄一郎¹⁾, 北原 健二¹⁾, 仲泊 聡²⁾, 久米川浩一¹⁾, 馬原 孝彦³⁾¹⁾東京慈恵会医科大学眼科学教室, ²⁾神奈川県リハビリテーション病院眼科³⁾東京医科大学老年病学教室

要 約

目的: 大脳性色覚異常の責任病巣の検索である。
対象と方法: 同名半盲が検出された症例のうち, magnetic resonance imaging (以下, MRI) などによりその原因が脳梗塞と診断された 20 例 (男性 17 例, 女性 3 例, 年齢 49~81 歳, 平均 65.1 歳) に対して, 色覚検査として石原表と標準色覚検査表第 2 部およびパネル D-15 テストを施行した。また, 色認知検査として色票照合課題と色名呼称課題を施行した。これらの患者の検査成績と MRI 画像を基に, functional MRI (以下, fMRI) 解析技術を応用した病巣解析を行った。
結果: この検査成績などにより 4 例が大脳性色覚異常と診断され, それらの症例と高い相関を示した部位

は, 鳥距溝下領域 18, 19 野の側頭後頭葉接合部であった。また, パネル D-15 テストの fail 群と高い相関を示した部位は, 石原表 fail 群と高い相関を示した部位に比べ, より前方に位置していた。

結論: 大脳性色覚異常の責任病巣は後頭葉前下方の側頭後頭接合部に存在することが推察された。これは, 既存の剖検例や fMRI, positron emission tomography などによる結果と一致するものであった。(日眼会誌 106: 154-161, 2002)

キーワード: 大脳性色覚異常, MRI, 後頭葉, 解析法, 相関係数

Analysis with Magnetic Resonance Imaging of Lesions in Cerebral Achromatopsia

Yuichiro Tanaka¹⁾, Kenji Kitahara¹⁾, Satoshi Nakadomari²⁾
Koichi Kumegawa¹⁾ and Takahiko Umahara³⁾¹⁾Department of Ophthalmology, Jikei University School of Medicine²⁾Department of Ophthalmology, Kanagawa Rehabilitation Hospital³⁾Department of Geriatrics, Tokyo Medical University

Abstract

Purpose: To localize the lesions associated with cerebral achromatopsia.

Methods: We examined 20 patients with homonymous hemianopsia caused by cerebral infarction (17 men and 3 women aged 49 to 81 years; mean age, 65.1 years). Ishihara plates, standard pseudoisochromatic plates (part 2) and the panel D-15 test were used to examine color perception. Color matching tasks and color naming tasks were used to test color recognition. We tried to apply functional magnetic resonance imaging (fMRI) to lesion analysis in the brain.

Results: Cerebral achromatopsia was diagnosed in four patients. The analysis showed that lesions in the infracalcarine area (Brodmann's area 18 and 19)

were associated with cerebral achromatopsia. Additionally, the lesions associated with failure of the panel D-15 (PD-15) test were located more anterior than the lesions associated with failure of Ishihara plates.

Conclusion: We show evidence that lesions in the antero-ventral temporo-occipital area are associated with cerebral achromatopsia. This result is in accord with past observations (autopsy, fMRI and positron emission tomography). (J Jpn Ophthalmol Soc 106: 154-161, 2002)

Key words: Cerebral achromatopsia, Magnetic resonance imaging, Occipital lobe, Analytical method, Correlation coefficient

別刷請求先: 105-8461 東京都港区西新橋 3-25-8 東京慈恵会医科大学眼科学教室 田中雄一郎
 (平成 13 年 3 月 28 日受付, 平成 13 年 9 月 7 日改訂受理)

Reprint requests to: Yuichiro Tanaka, M.D. Department of Ophthalmology, Jikei University School of Medicine,
 3-25-8 Nishi-shinbashi, Minato-ku, Tokyo 105-8461, Japan

(Received March 28, 2001 and accepted in revised from September 7, 2001)

I 緒 言

大脳における色情報処理の障害は、臨床所見から大脳性色覚異常、色失認、色名呼称障害および色失語に分類される。しかし、障害の部位、程度、経過などによって異なった徴候が示されたり、明確に区分することが困難な症例もある¹⁾。大脳性色覚異常は、大脳病変に起因した色覚異常で、先天性色覚異常とは異なるいくつかの特徴をもっており、その観点から診断される場合が多い。

一方、サルにおける視覚前野が Zeki^{2)~4)}の一連の研究で V1 野から V5 野に区分され、色情報処理機構に関して色識別や色の恒常性を司る色覚中枢が V4 野に存在することが推定されている。その後、Zeki らはヒトにおける V4 野に相当する領域は、positron emission tomography (以下、PET) や functional magnetic resonance imaging (以下、fMRI) による結果などから、後頭葉腹側部の舌状回、紡錘状回(内側後頭側頭回)と推定した⁵⁾⁶⁾。これらは、従来の大脳性色覚異常症例の剖検から推定されていた障害部位と一致していた⁷⁾。しかし、その範囲などの詳細については、Hadjikhani ら⁸⁾の fMRI による報告があるものの、なお不明な点が多い。

我々は 1992 年 8 月から同名半盲を来した脳梗塞患者に対して、一連の色覚検査と色認知検査を施行するとともに、fMRI を用いた正常者の色覚関連中枢の検討を行ってきた⁹⁾¹⁰⁾。今回、これらの患者の色覚検査成績と magnetic resonance imaging (以下、MRI) 画像を基に、脳の形態の個人差を標準化し、標準脳上にプロットした後に関係検定を行うという fMRI 解析技術を応用した病巣解析を行い、大脳性色覚異常の責任病巣の検索を試みたので報告する。

II 対象と方法

対象は、東京慈恵会医科大学眼科および神奈川県リハビリテーション病院眼科を受診し、同名半盲が検出された症例のうち、MRI などによりその原因が脳梗塞と診断された 20 例であった。年齢は 49~81 歳(平均 65.1 歳)で、男性 17 例、女性 3 例であった。

方法としては、まず色覚検査として石原色覚検査表の国際版 38 表(以下、石原表)、標準色覚検査表の後天異常用(以下、SPP-2)および Farnsworth dichotomous test-panel D-15(以下、PD-15)を左右眼別々に行い、色認知検査として色票照合課題と色名呼称課題を施行し、大脳性色覚異常の診断を行った。なお、色覚検査および色認知検査の詳細については論文¹¹⁾¹²⁾を参照されたい。

次に、大脳性色覚異常の有無と MRI 上の障害部位との相関を検討することにより、大脳性色覚異常の責任病巣を解析した。障害部位の標準化とマッピングは、パーソナルコンピュータ上で類似スライスの MRI T₂ 強調画像の異常信号域をマーキングした後、Damasio ら¹³⁾

による病巣解析法(X/Y 比例プロット法)に準じて、画像処理ソフト(Adobe Photoshop 3.0 JR)により縦横比と大きさを調節して Damasio らのマップにオーバーラップさせた。これにより全対象者の MRI 画像は、各スライス毎にほぼ同形同大に標準化された。次に、これらの画像について、すでにマーキングしてある病巣部分を白に、他の部分を黒に塗り分けた。そして、これを自主開発の fMRI 解析ソフト(Magnetom calculator 2 ver. 0.23)¹⁰⁾を用いて、大脳性色覚異常と関連する画像部分がどこに存在するかを統計的に解析した。この自主開発 fMRI 解析ソフトは、データを読み込み、解析の参照関数を設定して相互相関係数を計算、その値を標本数を考慮して t 分布換算して、元画像にマッピングするものである。まず、大脳性色覚異常の陰性群を -1、陽性群を 1 とした患者系列を参照関数とし、病巣部位が塗り分けられた 20 枚の画像の各々同座標における各画素濃度の系列をデータ関数とした。このデータ関数は全画素数の数だけ存在する。このすべてのデータ関数と参照関数との間における相関係数を計算し、高く相関がみられる画素の部分が大脳性色覚異常と関連するものと判定した。この各画素の相関係数を示す数値を t 分布換算した場合の出現確率 p に変換し、この数値に応じて色を付して画像化し、これを Damasio らのマップ上に再び重ね合わせた。さらに、この参照関数を石原表の pass/fail、SPP-2 の pass/fail、PD-15 の pass/fail についても同様に計算し、それらの違いについても検討した。なお、石原表では誤りの多い方の眼の成績が 17 表中 3 表以上の誤りを fail とした。SPP-2 は合計 4 つ以上の数字に誤りがあった場合を fail とした。PD-15 では、2 本以上の色相環を横切る混同線があった場合を fail とした。

III 結 果

1. 症 例

全症例のプロフィールを表 1 に示す。今回、我々は大脳性色覚異常に特徴的な症状の有無を参考にし、色覚検査では特に PD-15 の結果を重視し、色認知検査や半側空間無視検査の結果をも考慮した上で、症例 1~4 を大脳性色覚異常と診断した。一方、症例 5 は右側頭葉の広範な梗塞の症例で、以前から学校健診で先天性色覚異常を指摘されており、アノマロスコープで第 2 異常を確認しており、色認知検査の結果からも単独の色情報処理障害を特定できるものではないことから除外した。

また、症例 6 は右内包近傍の梗塞の症例であるが、線分 2 等分試験¹⁴⁾および線画のなぞり課題¹⁵⁾から重度の半側空間無視を確認し、検査上みられた著明な色覚異常は、半側空間無視が結果に大きく影響したものと考え、色覚異常の自覚がないことも考慮した結果、大脳性色覚異常から除外した。

表 1 症例のプロフィール

症例	性別	年齢	大脳性色覚異常	PD-15	石原表 誤答数	SPP-2 誤答数	色名呼称	色カテゴリ検査	視野異常	備考	利き手
1	女	78	+	fail	16	18	pass	未施行	水平上半盲	緑内障	右
2	男	58	+	fail	0	0	pass	fail	右下 1/4 盲		右
3	男	73	+	fail	0	2	pass	fail	左上 1/4 盲		右
4	男	64	+	fail	0	0	fail	pass	右下 1/4 盲		右
5	男	60	-	fail	15	12	fail	fail	左半盲	先天性覚異常	右
6	男	68	-	fail	17	14	pass	pass	左上 1/4 盲	著明な左側無視	右
7	男	67	-	pass	14	0	pass	pass	左半盲		右
8	男	62	-	pass	10	4	pass	pass	上半盲		右
9	女	49	-	pass	2	9	pass	pass	左半盲		右
10	男	57	-	pass	1	1	fail	pass	右半盲		右
11	男	70	-	pass	0	2	pass	pass	右半盲		右
12	男	80	-	pass	0	2	pass	未施行	右半盲		左
13	男	63	-	pass	0	1	pass	pass	右上 1/4 盲		右
14	女	56	-	pass	0	1	pass	pass	右半盲		右
15	男	63	-	pass	0	1	pass	pass	左上 1/4 盲		右
16	男	64	-	pass	0	0	fail	pass	右半盲		右
17	男	75	-	pass	0	0	pass	fail	左上 1/4 盲		右
18	男	65	-	pass	0	0	pass	pass	左半盲		右
19	男	81	-	pass	0	0	pass	pass	左半盲		右
20	男	49	-	pass	0	0	pass	pass	右下 1/4 盲		右

PD-15 : panel D-15 SPP : 標準色覚検査表の後天異常用

以下に、20 例の中から大脳性色覚異常と診断した 4 例を呈示する。

症例 1

診 断 : 両側後頭葉下面を中心とした梗塞による大脳性色覚異常。

患 者 : 76 歳の右利き女性。

主 訴 : 視力低下。

1995 年 5 月 26 日に急激な視力低下を生じ、視力は右眼 0.01 (矯正不能), 左眼 0.04 (0.09) となり、他医で皮質盲の診断を受けた。その後、6 月 28 日の視力は右眼 0.1 (0.4) と改善がみられ、同年 7 月 11 日に神奈川リハビリテーション病院眼科を受診した。既往歴に高血圧、両眼の白内障および緑内障があるが、色覚異常を指摘されたことはなかった。神経心理学的および神経学的には著変はなかった。視力は右眼 0.2 (0.3), 左眼光覚弁 (矯正不能), Goldmann 視野検査で上半盲の島状視野がみられた (図 1 A)。なお、左眼は検査不能であった。色覚検査において、左眼では視力低下のため検査不能であったが、右眼では石原表で 17 表中第 1 表以外すべて誤答、SPP-2 で全表誤答、また、PD-15 で特定のパターンに属さない異常を示した (図 2 A)。色認知検査では、色票照合課題において、同一色票の照合で、黄緑を灰色、緑、青を紫とし、紫、茶色がわからず、黒を灰色、灰色

を白とした。色名からの色票照合で茶色を橙とし、黒を茶色とした。品名からの色票照合では、栗とタイヤがわからなかった。線画からの色票照合では、メロン、栗、タイヤ、および桃がわからなかった。色名呼称課題では、色票からの色名呼称で茶色がわからなかったが、線画や品名からの色名呼称はすべて正解した。MRI で両側後頭葉下面の梗塞をみた (図 3 A)。

症例 2

診 断 : 左後頭葉前方部の梗塞による大脳性色覚異常。

患 者 : 58 歳の右利き男性。

主 訴 : 右側が見えにくい。

1992 年 7 月 6 日、起床後に右側が見えにくいことに気が付き、右側を歩く人とよくぶつかった。その後改善傾向がみられないため、7 月 16 日に当科を受診した。既往に高血圧および痛風があったが、生来、視野異常や色覚異常を指摘されたことはなかった。神経心理学的および神経学的には著変はなかった。視力は右眼 1.2 (矯正不能), 左眼 1.2 (矯正不能), Goldmann 視野検査で右下 1/4 同名半盲がみられた (図 1 B)。石原表および SPP-2 では異常はなかったが、PD-15 で両眼とも特定のパターンに属さない異常を示した (図 2 B)。この検査中、色の判断が困難であることを自覚していた。色認知

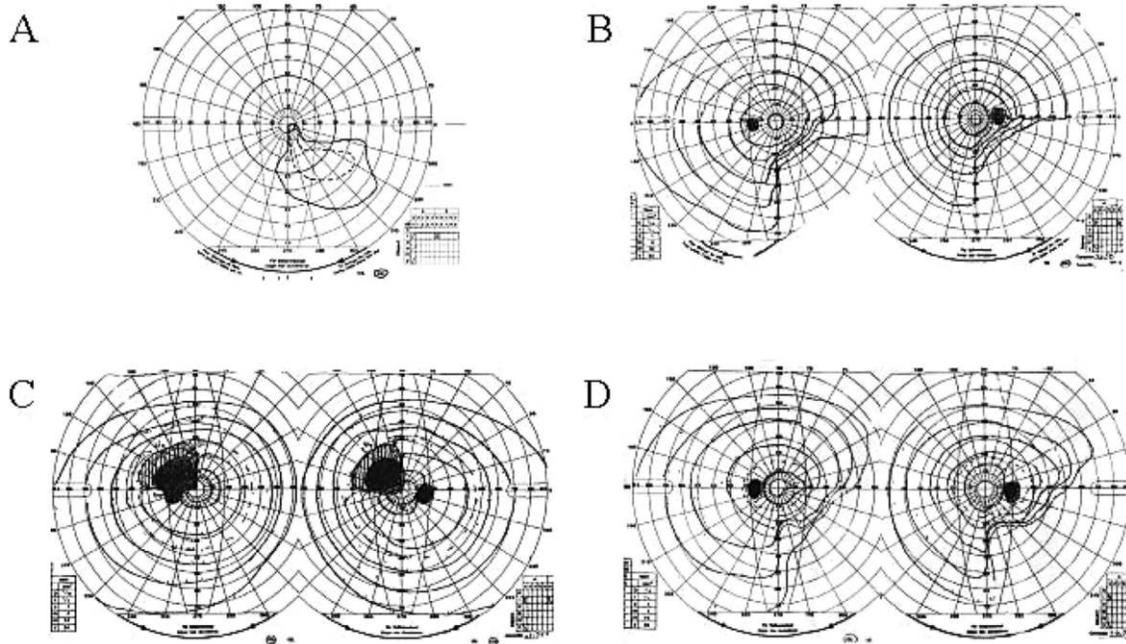


図 1 Goldmann 視野検査.

- A : 症例 1 上半盲の島状視野があった.
- B : 症例 2 右下 1/4 同名半盲があった.
- C : 症例 3 左上 1/4 同名半盲があった.
- D : 症例 4 右下 1/4 同名半盲があった.

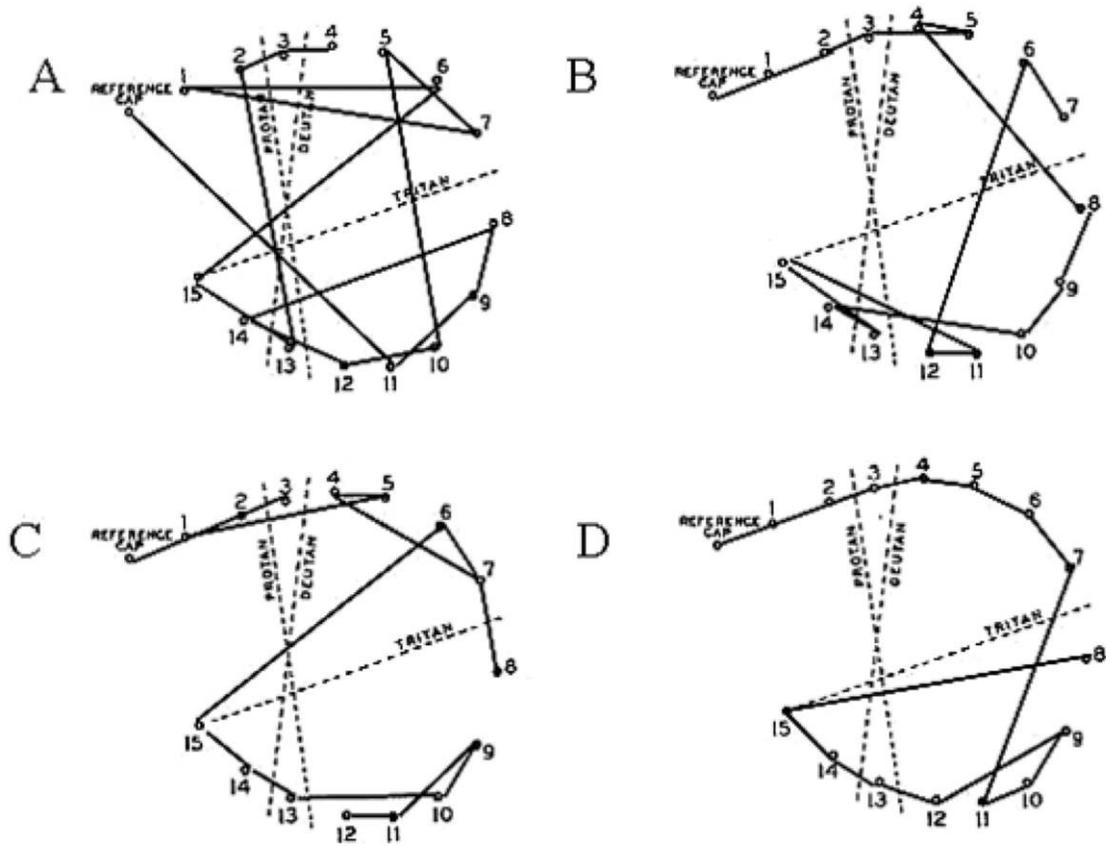


図 2 Panel D-15(PD-15).

- A : 症例 1 特定のパターンに属さない異常を示した.
- B : 症例 2 特定のパターンに属さない異常を示した.
- C : 症例 3 特定のパターンに属さない異常を示した.
- D : 症例 4 特定のパターンに属さない異常を示した.

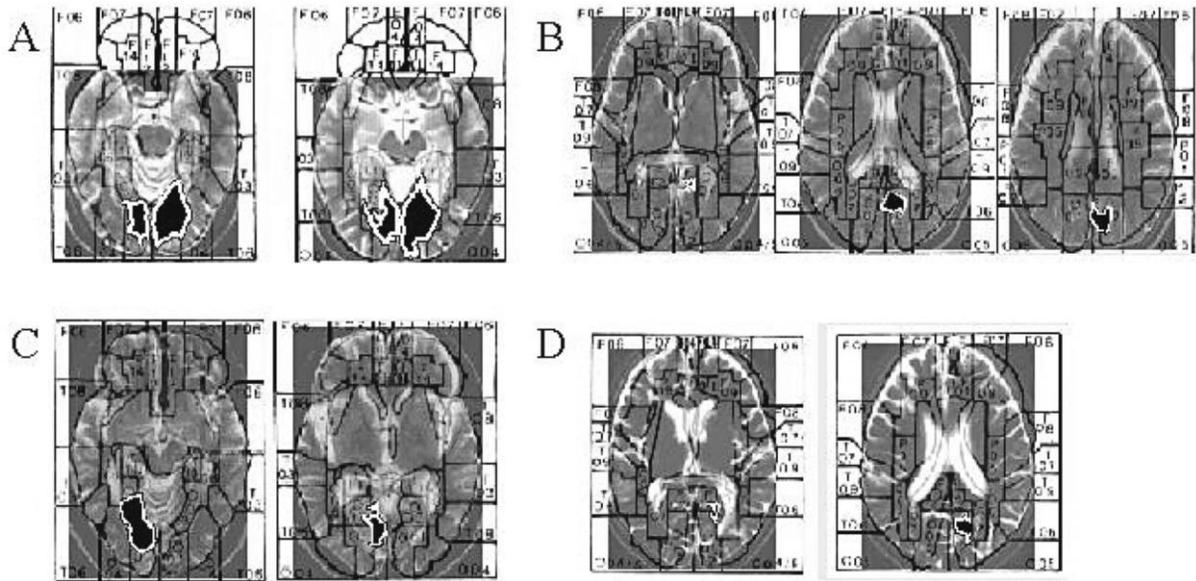


図 3 病巣.

頭部 magnetic resonance imaging (MRI) T₂強調画像上に示す。図は水平断であり、図の左側が右脳、右側が左脳を示す。

- A : 症例 1 両側後頭葉下面に梗塞があった。
- B : 症例 2 左後頭葉前部内側面に梗塞があった。
- C : 症例 3 右後頭葉に梗塞があった。
- D : 症例 4 左後頭葉内側面に梗塞があった。

検査ではピンクを橙色と混同する間違い以外に著変はなかった。7月29日のMRIで左後頭葉前部内側面に脳梗塞がみられた(図3B)。本症例はすでにNakadomariら¹⁶⁾が報告している。

症例 3

診断：右後頭葉下面を中心とした梗塞による大脳性色覚異常と軽度の色名呼称障害。

患者：71歳の右利き男性。

主訴：左側が暗く見える。

1992年5月14日、朝から持続する頭痛とともに左側が暗く見えることに気が付き、近医から当科を紹介され翌日受診した。既往歴に高血圧があるが、視野異常や色覚異常を指摘されたことはなかった。神経心理学的および神経学的には著変はなかった。視力は右眼0.7(1.2)、左眼0.6(1.0)、Goldmann視野検査で左上1/4同名半盲がみられた(図1C)。両眼とも軽度の黄斑変性を呈していた。石原表で両眼とも全表正読、SPP-2で両眼とも2表誤読、PD-15で両眼とも特定のパターンに属さない異常を示した(図2C)。色認知検査において、色票照合課題では、品名からの色票照合でメロンを橙、海を灰色、タイヤを灰色、桃を黄色とし、線画からの色票照合で海を灰色、雪だるま、タイヤ、道路、桃を答えることができず、色名呼称課題では、線画からの色名呼称で雪だるま、タイヤ、道路、桃を答えることができなかった。5月25日のMRIで右側後頭葉に脳梗塞がみられた(図3C)。

症例 4

診断：左後頭葉前方部の梗塞による大脳性色覚異常と色失語。

患者：64歳の右利き男性。

主訴：左眼がかすむ。右側が見えにくい。

1988年、大動脈弁人工弁置換術後から右側が見えにくいことに気が付いた。その後あまり気にせず放置していたが、1993年1月頃から左眼がかすむため、近医を受診したところ、精査目的で当科を紹介された。生来、視野異常や色覚異常を指摘されたことはなかった。神経心理学的および神経学的には著変はなかった。視力は右眼0.6(1.0)、左眼0.5(0.6)、Goldmann視野検査で右下1/4同名半盲がみられた(図1D)。前房内に軽度の原因不明の炎症性細胞が一過性に存在した。石原表では両眼とも全表正読、SPP-2でも全表正読した。しかし、PD-15で両眼とも特定のパターンに属さない異常を示した(図2D)。また、分光感度測定において短波長領域に感度低下があった。色認知検査において、色票照合課題では色名からの色票照合で青を黄緑とし、線画からの照合課題では雪だるま、タイヤ、道路、桃が答えられなかった。線画からの色名呼称で、栗、雪だるま、タイヤ、道路、桃が答えられなかった。なお、点眼瓶の青いキャップを示し、何色かたずねたところ、「何色というのはわからないが海の色だ」と答えた。MRIで左後頭葉内側面に脳梗塞がみられた(図3D)。本症例は、大脳性色覚異常と色失語を合併したものと診断した。

の類似性の判断が必要になる点で、色情報処理としては石原表におけるものとは異なった情報処理を要することが考えられる。つまり、大脳下部後方では色の周波数解析に基づいた特徴抽出が行われ、より前方部ではさらに高次の色情報処理が行われていると考えると、今回の結果は矛盾なく説明できることになる。これは、Beauchamp ら¹⁷⁾が色相配列検査を fMRI に適用して、「判断を要する課題ではより前方の活動がみられる」と述べていることと一致しているといえる。なお、SPP-2 に関しては今回の解析結果からは、従来から指摘されている責任病巣の検出が困難であった。SPP-2 が石原表と大きく異なることは、文字がデジタル数字のため認識しにくく、色覚異常以外の要因で誤答する傾向があった可能性が考えられる。

2. 大脳性色覚異常の診断に関する検討

大脳性色覚異常では通常の先天性色覚異常にみられない、以下のような特徴的な症候と所見を有している。それは、①大脳病変の発症に伴って色覚異常を自覚し、その発症時期を鮮明に覚えており、その際のエピソードは極めてリアルである。また、②異常の程度は原疾患の回復または進行に伴って変化し、③色相配列検査で異常がより顕著に現れ、典型的なパターンをとらない。さらに、④随伴症状として、相貌失認や地誌の失見当識を伴いやすいという点である^{18)~20)}。しかし、色覚異常の自覚がなくても色覚検査に異常を来す例もしばしば報告されており、これらすべてを満たす典型例ばかりではない²¹⁾²²⁾。また、他の高次機能障害から各種色覚検査を誤答する可能性がある。久田ら²³⁾は半側空間無視の検査と色覚検査の結果を検討し、PD-15 が仮性同色表に比べ、大脳性色覚異常の診断に適していると述べている。今回、我々はこれらの症状を参考にし、色覚検査では特に PD-15 の結果を重視し、色認知検査や半側空間無視検査の結果をも考慮した上で上記 4 例を大脳性色覚異常と診断した。なお、分光感度特性を検討した例は、Young ら²⁴⁾の報告があるものの、これまでに数少なく、今回の症例 4 で異常所見がみられたが、その解釈については、今後の課題と考えられる。

3. 大脳性色覚異常の責任病巣に対する検討

Scotti ら²¹⁾は 164 例の大脳損傷患者に Farnsworth-Munsell 100 Hue test を施行し視野障害をもつ右損傷症例に有意に色弁別能の低下を確認したと報告している。しかし、彼らも述べているように右脳損傷患者には空間認知障害が多く、色覚検査の結果に影響していた可能性が考えられる。Meadows¹⁸⁾は両側の大脳半球病変がありながらも視力が保たれていた大脳性色覚異常の症例の文献的考察を行い、両側の後頭葉下方が色の知覚に深く関与していると指摘した。仲泊²⁵⁾は既報症例 63 例の視野障害につき検討した。その結果、右同名半盲 6 例、左同名半盲 18 例、右上 1/4 半盲 3 例、左上 1/4 半盲 10 例、

水平上半盲 10 例、それらの合併例 9 例、その他 7 例であり、右下 1/4 半盲、左下 1/4 半盲、水平下半盲の症例は存在しなかった。これは、すでに Meadows が報告した結果とほぼ一致するものであった。また、中塚ら²⁶⁾²⁷⁾は既報例について述べるとともに、自験例を交えて責任病巣として、右半球を重視している。さらに、パソコンを使用した色弁別反応時間測定装置を用い、視野の各象限に呈示した色を認知する時間を測定してデータ処理し、色認知の左右半球の優劣を検討し、右半球優位性を述べている²⁸⁾。

一方、非侵襲的脳機能画像による報告が近年多く報告されるようになってきた。Lueck ら⁵⁾は正常被験者に灰色および色刺激を与えた時の脳血流を PET により比較検討したところ、色刺激時に両側の舌状回と紡錘回で血流がより増加すると報告した。Sakai ら²⁹⁾は fMRI を用いて色刺激時の両側の舌状回と紡錘回の活動を記録し、残像によっても舌状回と紡錘回の活動が生じたことを推定する結果を得ている。その後、Zeki ら⁶⁾、McKeefry ら³⁰⁾や Hadjikhani ら⁸⁾も色覚関連中枢を fMRI を用いて検討している。Zeki ら⁶⁾はそれまで色覚中枢と考えられていた V4 野の前方にも色覚関連中枢があり、ここを V4 α として V4 野と合わせて V4 複合体と呼んでいる。そして、V4 α はより具体的な対象物の属性色で、活動が活発になると述べている。Hadjikhani ら⁸⁾は retinotopy を用いた領域分類の後、Sakai らの実験を追試し、色に関わる領域が retinotopy 分類の V4 野ではなく、より前方の V8 野であり、ここが上下の視野を code していると述べている。また、Beauchamp ら¹⁷⁾は色相配列検査を fMRI に適用して、判断を要する課題ではより前方の活動がみられることを報告している。

今回の我々の解析結果は、Damasio らのマップの O01 (鳥距溝下領域 18, 19 野)、O03 (側頭後頭接合部) に比較的高い相関が得られ、大脳性色覚異常の責任病巣は後頭葉前下方の側頭後頭接合部に存在することが推察された。これは、既存の剖検例⁷⁾や fMRI⁽⁶⁾⁸⁾²⁹⁾³⁰⁾、PET⁵⁾などによる結果と一致するものである。また、左右半球の優位性については、今回の症例においては大脳性色覚異常との相関が高かったのは右半球であった。しかし、症例数が少ないため、左右差についての有意差は検討できない。この点は今後、さらに症例を重ねることにより、明らかになるものと思われる。

4. 解析方法

本解析法は、fMRI の解析法¹⁰⁾を損傷研究に応用したものである。fMRI では、同一個体の同一切片で同様の解析を行っているが、今回は異なる個体間での解析になるため、同一切片を得ることは不可能である。しかし、画像処理ソフトにより大きさと縦横比を揃えることによって、同一切片に近いものを得、標準化することができる。大きさと縦横比を揃えても、切片の微妙な平行ず

れは避けられないし、切片の傾きや個体間の脳の形態差まで考えるとかなり大雑把な補正にしかなり得ない。その点を踏まえての解釈が必要であろう。しかし、本解析法はこれまでの損傷研究の方法論とは異なり、脳内の損傷を有する部位と欠落症状との対応のみでなく、同部位の近傍に損傷がみられながらも症状のみられなかった症例について考慮している点で、より焦点を絞込んだ病巣解析を可能にするものと考えられる。

近年、fMRI など検査法の進歩により、色覚関連中枢などについての報告が多くみられるようになり、次第に詳細な部位や機能の推定が明らかになっていくことと思われる。しかし、これらの脳機能画像法の問題点も指摘されるようになっており³¹⁾、脳機能障害症例の詳細な検討の必要性が再認識されるようになってきている。今回の解析法を用いることにより、これまでの方法では得られなかった新しい知見が、損傷研究によってもたらされる可能性が推定された。

文 献

- 1) 北原健二：大脳性(皮質性)色覚障害について。神眼 9：236—237, 1992.
- 2) Zeki S：Colour coding in the cerebral cortex：The responses of wavelength-selective and colour-coded cells in monkey visual cortex to changes in wavelength composition. Neuroscience 9：767—781, 1983.
- 3) Zeki S：A century of cerebral achromatopsia. Brain 113：1721—77, 1990.
- 4) Zeki S, Watson JDG, Lueck CJ：A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex. J Neurosci 11：641—649, 1991.
- 5) Lueck CJ, Zeki S, Friston KJ, Deiber MP, Cope P, Cunningham VJ, et al：The colour centre in the cerebral cortex of man. Nature 340：386—389, 1989.
- 6) Zeki S, Marini L：Three cortical stages of colour processing in the human brain. Brain 121：1669—1685, 1998.
- 7) Mackay G, Dunlop JC：The cerebral lesion in a case of complete acquired colour-blindness. Scott Med Surg J 5：503—512, 1899.
- 8) Hadjikhani N, Liu AK, Dale AM, Cavanagh P, Tootell RB：Retinotopy and color sensitivity in human visual cortical area V 8. Nat Neurosci 1：235—240, 1998.
- 9) 仲泊 聡：色の視覚情報処理。日本の眼科 69：123—127, 1998.
- 10) 久米川浩一, 仲泊 聡, 武内弘明, 北原健二, 神立 敦, 吉田希望, 他：神奈川リハビリテーション病院における機能的核磁気共鳴画像法の実践。神奈川リハ紀要 25：79—82, 1998.
- 11) 北原健二：大脳性色覚異常。あたらしい眼科 10：1117—1122, 1993.
- 12) 仲泊 聡：視覚関連中枢の評価法。眼科 39：723—731, 1997.
- 13) Damasio H, Damasio AR：Lesion Analysis in Neuropsychology. Oxford University Press Inc, New York, 1989.
- 14) 石合純夫：視空間認知障害の評価法。臨床リハ別冊/高次脳機能障害のリハビリテーション：135—141, 1995.
- 15) 林 恵子, 今泉好子, 仲泊 聡：半側空間無視(点画のなぞり)(傘と長靴)課題を巡って。神奈川リハ紀要 23：39—45, 1996.
- 16) Nakadomari S, Kitahara K, Kamada K：Cerebral dyschromatopsia with right homonymous inferior quadrantanopsia：A case report. Jikeikai Medical Journal 46：110—112, 1999.
- 17) Beauchamp MS, Haxby JV, Jennings JE, Deyoe EA：An fMRI version of the Farnsworth-Munsell 100 Hue test reveals multiple color-selective areas in human ventral occipitotemporal cortex. Cereb Cortex 9：257—263, 1999.
- 18) Meadows JC：Disturbed perception of colours associated with localized cerebral lesions. Brain 97：615—632, 1974.
- 19) Green GL, Lessell S：Acquired cerebral dyschromatopsia. Arch Ophthalmol 95：121—128, 1977.
- 20) Pearlman AL, Mphil JB, Meadows JC：Cerebral color blindness：An acquired defect in hue discrimination. Ann Neurol 15：250—261, 1979.
- 21) Scotti G, Spinnler H：Colour imperception in unilateral hemisphere-damaged patients. J Neurol Neurosurg Psychiatr 33：22—28, 1970.
- 22) Paulson HL, Galetta SL, Grossman M, Alavi A：Hemichromatopsia of unilateral occipitotemporal infarcts. Am J Ophthalmol 118：518—523, 1994.
- 23) 久田育子, 宮沢恵子, 工藤明代, 仲泊 聡, 北原健二：大脳性色覚異常に対する色覚検査法の検討—半側空間無視の影響—。日本視能訓練士協会誌 25：223—228, 1997.
- 24) Young RSL, Fishman GA：Loss of color vision and stiles 'II' mechanism in a patient with cerebral infarction. J Opt Soc Am 70：1301—1305, 1980.
- 25) 仲泊 聡：大脳性色覚異常の臨床症状と病巣。神経眼科 14：237—245, 1997.
- 26) 中塚和夫：中枢神経系の病変による色覚異常。眼科 26：1507—1513, 1984.
- 27) 中塚和夫, 藤井 薫：大脳損傷に起因する色覚異常。臨眼 35：1089—1094, 1981.
- 28) 中塚和夫：色弁別反応時間における右と左。神経心理学 7：282, 1991.
- 29) Sakai K, Watanabe E, Onodera Y, Uchida I, Kato H, Yamamoto E, et al：Functional mapping of the human colour centre with echo-planar magnetic resonance imaging. Proc R Soc Lond B 261：89—98, 1995.
- 30) McKeefry DL, Zeki S：The position and topography of the human colour center as revealed by functional magnetic resonance imaging. Brain 120：2229—2242, 1997.
- 31) Beauchamp MS, Haxby JV, Rosen AC, Deyoe EA：A functional MRI case study of acquired cerebral dyschromatopsia. Neuropsychologia 38：1170—1179, 2000.