

美的対象としてのアゲハチョウ科の配色分析

2020年2月

千葉大学大学院工学研究科
デザイン科学専攻デザイン科学コース

梯 絵利奈

(千葉大学審査学位論文)

美的対象としてのアゲハチョウ科の配色分析

2020年2月

千葉大学大学院工学研究科
デザイン科学専攻デザイン科学コース

梯 絵利奈

目次

要旨.....	8
1. 序論.....	9
1. 1. 色彩調和論.....	9
1. 1. 1. これまでの色彩調和研究とその意義.....	9
1. 1. 2. 計算美学の介入による色彩調和研究.....	10
1. 2. 自然界の色彩美.....	11
1. 2. 1. 自然界の色彩と芸術性.....	11
1. 2. 2. 蝶の色彩美.....	13
1. 3. 本研究の目的.....	14
2. 検討1：アゲハチョウ科の配色分析.....	15
2. 1. 背景.....	15
2. 1. 1. 従来の配色分析手法.....	15
2. 1. 2. 検討1の目的.....	15
2. 2. 調査1.....	16
2. 2. 1. 方法.....	16
2. 2. 1. 1. 分析対象.....	17
選定基準.....	17
色再現の妥当性.....	18
色彩調和の妥当性.....	18
2. 2. 1. 2. 画像処理.....	19
2. 2. 1. 3. 配色分析.....	22
画像分類.....	22

配色型判定	25
2. 2. 2. 結果	27
2. 2. 2. 1. 明度の特徴	27
2. 2. 2. 2. 彩度の特徴	28
2. 2. 2. 3. 色相の特徴	28
2. 2. 3. 考察	32
2. 2. 4. 限界と展望	33
2. 3. 調査2	33
2. 3. 1. 方法	33
2. 3. 1. 1. 画像分類実験	34
刺激	34
実験環境	34
参加者	34
手続き	36
2. 3. 1. 2. 知覚的類似度に基づく配色分析	36
画像分類	36
配色型判定	36
2. 3. 2. 結果	37
2. 3. 3. 考察	38
2. 4. 総合考察	42
2. 4. 1. 何故これらの配色が好まれるのか	42
2. 4. 2. 検討1の限界と展望	43
3. 検討2：アゲハチョウ科の配色と質感の関係の調査	44
3. 1. 背景	44
3. 2. 検討2の目的	44

3. 3. 方法.....	44
3. 3. 1. 予備実験.....	44
3. 3. 1. 1. 刺激.....	44
3. 3. 1. 2. 評価項目.....	45
3. 3. 1. 3. 実験環境・参加者・手続き.....	45
3. 3. 1. 4. 予備実験の結果.....	46
3. 3. 2. 印象評価.....	46
3. 3. 2. 1. 刺激・評価項目.....	46
3. 2. 2. 2. 実験環境・手続き.....	47
3. 4. 結果・考察.....	48
4. 結論.....	49
謝辞.....	エラー! ブックマークが定義されていません。
付録.....	50
刺激.....	50
評価尺度.....	50
環境・参加者.....	50
手続き.....	51
参考文献.....	78

図表目次

図 1. オリジナル画像と変更画像の色彩にたいする調和と好ましさの主観評価値19	19
図 2 変色した画像の例.....21	21
図 3. CIELCh におけるアゲハチョウ科 118 個体の画像処理後の色分布21	21
図 4 クラスター数に応じたクラスター間の距離.....24	24
図 5 (a)要素数ごとの BIC の例, (b)ヒストグラムと確率密度関数のフィッティング 例.....26	26
図 6 L^* , Cab^* の分割領域と配色型.....26	26
図 7 hab の分割領域と配色型.....26	26
図 8 明度の類似度から 8 クラスターに分類されたアゲハチョウ科 118 個体29	29
図 9 各クラスターの明度の分布と各代表色の確率密度曲線.....29	29
図 10 彩度の類似度から 8 クラスターに分類されたアゲハチョウ科 118 個体.....30	30
図 11 各クラスターの彩度の分布と各代表色の確率密度曲線.....30	30
図 12 色相の類似度から 7 クラスターに分類されたアゲハチョウ科 118 個体.....31	31
図 13 各クラスターの色相の分布と各代表色の確率密度曲線.....31	31
図 14 画像分類実験での実験環境.....35	35
図 15 右側のモニターに表示されたサムネイル画面.....35	35
図 16 左側のモニターに表示されたフォルダ35	35
図 17 知覚的類似度から 24 クラスターに分類されたアゲハチョウ科 118 個体.....39	39
図 18 パターン①の(a)色相, (b)明度, (c)彩度における分布傾向40	40
図 19 パターン②の分布傾向.....41	41
図 20 パターン③の分布傾向.....41	41
図 21 パターン④の分布傾向.....41	41
図 22 予備実験に用いられた 34 刺激.....45	45
図 23 実験に用いられた 10 刺激.....47	47
図 24 主観評価実験の画面51	51
表 1 GMM によって選択された各クラスターの要素数 G とモデル27	27

表 2	各クラスターの MML, 要素数 G, モデル.....	40
表 3	女性らしさと可愛さの平均値.....	46
表 4	10 刺激の CIELCh 値.....	47
表 5	重回帰分析の結果.....	48
表 6	アゲハチョウ科 118 個体の画像とその変更画像.....	52
表 7	GMM によって得られた代表色の変数.	56

要旨

本研究では色彩調和原理の解明を目指して、美的対象としてのアゲハチョウ科の配色法則の解明を試みた。第一章では、従来の色彩調和研究と計算美的手法の介入について概説する。また、自然界と蝶の色彩美について議論する。第二章では、色彩調和原理の解明に向けた美的対象としてのアゲハチョウ科の配色法則の分析結果について報告する。アゲハチョウ科 118 個体の配色法則を、計算的観点と知覚的観点から分析した。分析結果は従来の実験的色彩調和研究の結果と部分的に一致した。一方で、従来の色彩調和理論に支持されなかった配色は、特定の条件で調和する可能性が示唆された。なお、第二章での検討は **Takehashi et al.(2019)**に基づく。第三章では、アゲハチョウ科の配色をデザインに応用するために、その配色に関連した質感の調査結果を報告する。アゲハチョウ科の配色に対する質感の印象評価を行った。アゲハチョウ科の配色のうち、対照明度と類似彩度が冷たさに影響する可能性が示唆された。なお、第三章での検討は **Takehashi et al.(2018)**に基づく。第四章では本研究の結果を踏まえた結論をまとめる。

1. 序論

1. 1. 色彩調和論

1. 1. 1. これまでの色彩調和研究とその意義

人間は色彩から様々な感情を抱く。赤い色から温かさを感じるように、特定の色彩から抱く感情は多くの人間に共通する(Ou et al. 2004a)。こうした色彩と感情の関係は単一の色(単色)に限らず複数の色の組み合わせ(配色)にも表れ、異文化間でも概ね一致する(Ou et al. 2004b, 2012, 2018)。色彩から抱く感情を色彩感情(colour emotion)と呼び、その中には好ましさや美しさも含まれる(Ou et al. 2004c)。特に配色の美しさは色彩調和(colour harmony)と呼ばれ、色彩感情の中でもとりわけ熱心に研究されてきた(Chuang and Ou 2001)。色彩調和研究の意義は、色彩設計の発展という社会的貢献と、美的経験の機序解明という科学的貢献にある。具体的には、色彩調和の指標化によって、科学的根拠に基づく色彩設計を実現できる。また、これまで実務家に支えられてきた色彩教育を学術的側面から充実させることもできる。さらに、配色と美しさの関係がわかれば、様々な美しさの配色にたいする人間の生理的反応を調査することができる。こうした色彩調和の生理的機序の解明は、神経美学をはじめとする美的経験の生理的機序の研究を発展させるうえで有用な知見となりうる。

色彩調和を体系的に記述する試みは、ルネサンス期のレオナルド・ダ・ヴィンチによる『絵画論(Trattato della pittura)』が起源とされている(木村 2013)。色彩調和研究に実験心理学的手法が導入されるまで、色彩調和は美学にかかわる専門家の経験則から論じられてきた(日本色彩学会 2011)。その主張には次の四原則が共通している。すなわち、complementary hue(補色色相; Chevreul, 1855; Goethe, 2012; Itten, 1970; Moon & Spencer, 1944; Munsell et al., 1969; Nemcsics, 1980), equal hue(同一・類似色相; Chevreul, 1855; Moon & Spencer, 1944; Munsell et al., 1969; Nemcsics, 1980; Ostwald, 1969), equal lightness(同一・類似明度; Munsell et al., 1969; Nemcsics, 1980), equal chroma(同一・類似彩度; Moon & Spencer, 1944; Munsell et al., 1969; Nemcsics, 1980; Ostwald, 1969)の配色は調和するというものである(Ou et al. 2011)。なお、Ouらは実験心理学的手法を導入する以前の色彩調和研究について“科学的というよりも研究者の個人的な意見”と指摘し、その客観性と信頼性の欠落を批判している(Ou et al. 2018)。

一方、色彩調和研究への実験心理学的手法の導入は 1917 年の Geissler の報告から普及した(木村 2013). その主な様式は、配色にたいする美しさの主観評価値(調和度)を心理実験によって計測するというものである. この手法によって、Ou & Luo は equal hue (同一/類似色相), equal chroma (同一/類似彩度), unequal lightness values (異なる明度差), high lightness (高明度), および hue preferences が調和しやすいことを示した(Ou and Luo 2006). このうち、hue preferences は青が最も調和しやすく、赤が最も調和しにくいことを指す. hue preference 以外の結果は Szabo や李らの実験結果や、世界中の実験データの統計分析からも示されている(Ou et al. 2018; Szabó, Bodrogi, and Schanda 2010; 李, 小林, and 側垣 2010). これらの実験データから、配色の物理値と調和度の関係を定量的に示すモデルが提案され、三色配色ないし多色配色にも応用できることが実証された(Ou et al. 2011). これらのことから、equal hue, equal chroma, unequal lightness, および high lightness の四原則は特に頑健で汎用性が高いといえる. 色彩調和研究への実験心理学的手法の介入によって、多くの人間に共通する色彩調和原理が解明されつつある一方で、初期の色彩調和原則と一致するのは equal hue と equal chroma のみである. また、日本国内の実験結果も参照すると、実験心理学的手法による色彩調和研究の結果が必ずしも同様の傾向を示すわけではないことがわかる. 例えば、hue preferences は Szabo や李らの研究には現れない一方、これを支持する結果も示されている(伊藤 2004; 伊藤 and 大山 2005). また unequal lightness を支持する研究がある一方(神作 and 順子 1963; 細野尚志 1958), equal lightness を支持する結果も示されている(大山 and 宮田(伊藤) 2012). 同様に、equal hue, equal chroma, high lightness が支持されるかも研究によって異なる(Fang, Muramatsu, and Matsui 2017; 伊藤 and 大山 2005; 大山 and 宮田(伊藤) 2012; 森 et al. 1966; 細野尚志 1958). 普遍的な色彩調和原理を解明するためには、実験心理学的手法以外での色彩調和の研究や、それによって得られた結果とこれまでの色彩調和原則との比較による信頼性の検証も必要であろう.

1. 1. 2. 計算美学の介入による色彩調和研究

上記のとおり、初期の色彩調和研究での原則にはその信頼性にたいする疑義が生じ、実験心理学的色彩調和研究での原則には不安定さが残る. これまでの色彩調和研究にたいし、計算美学的手法を導入した研究がわずかに進められてきた(Kobayasi 1999; 小林 1995,

1999). 計算美学 (Computational aesthetics) では、芸術作品などの美的対象を長い時代を経て多くの人々から集積された美的経験のデータと考え、その画像特徴量の統計的規則性を分析する(Hoenig 2005; Mallon, Redies, and Hayn-Leichsenring 2014). その最終的な目標は、コンピュータに人間と同等の美的判断や創作活動を実現させることである(Brachmann and Redies 2017; Hoenig 2005). 例えば、Jackson Pollock の抽象画のフラクタル解析から自然画像と同様のフラクタル構造が発見され、ほかの名画からも同じ傾向が確認された(Graham and Redies 2010; Taylor, Micolich, and Jonas 1999). 計算美学によって、異方性、複雑さ、自己相似性や色彩などの様々な画像特徴量と美しさとの関係も解明されつつある(Braun et al. 2013; Mallon, Redies, and Hayn-Leichsenring 2014). こと色彩については、絵画にみられる芸術的な色彩構造は自然環境の統計的特徴に従うことが示唆されたり、絵画の色彩から画家を区別する特徴が解明されている(Montagner et al. 2016; Romero, Gómez-Robledo, and Nieves 2018). さらに配色については、小林らが絵画の配色の分析手法を提案しているものの、その法則性の解明には至っていない(Kobayasi 1999; 小林 1995, 1999).

色彩調和研究に計算美学的手法を導入する利点は主に三つある。第一に、一般に色彩調和の実験に用いられる抽象化された刺激とは異なる芸術家などの高度な美的感性が反映された対象を扱える。第二に、客観性の欠落が危惧される美術家の経験則の集積を客観的手法によって分析できる。さらに、美的対象を歴史的な美的経験の集約と捉えれば、時間軸も含めた普遍性を示すことができよう。しかしながら、現状では計算美学的手法による色彩調和研究はほとんど進展していない。普遍的な色彩調和原理の解明には、様々な美的対象の配色法則の解明が欠かせない。

なお、本研究では計算美学的手法による画像の配色傾向の統計的分析を“配色分析”と定義した。先行研究ではこれは“配色構造の分析”と記されていたが、配色構造の定義が不明なため本研究では棄却した(Kobayasi 1999; 小林 1995, 1999). また、似た用語に色彩分析があるが、これは対象の色彩分布の中で最も支配的な色彩を調査することを指すため、配色分析と区別した。

1. 2. 自然界の色彩美

1. 2. 1. 自然界の色彩と芸術性

美は芸術作品だけに留まらず、自然の鑑賞によっても経験される。芸術美にたいする自然美という言葉の存在や(松本 2006)、美学の下位領域に自然美学や環境美学があることから、自然は人間の美的経験と強く関係しているといえよう。特に環境美学の前身である自然美学では、芸術作品よりも自然の方が美的経験の範例とされていた(Carlson 2002)。またカントの『判断力批判』では、自然美は芸術作品よりも優れており、最高の精神状態をもたらすとされている(Carlson 2002)。実際、自然の中での散歩は健常者や大うつ病性障害患者¹の認知能力や気分を改善する(Berman et al. 2012; Berman, Jonides, and Kaplan 2008; Ross and Mason 2017)。また、自然の風景は都市や建築物などの人工的な風景よりも好まれる(Ross and Mason 2017; Ulrich 1981; Valtchanov and Ellard 2015)。こうした人間の自然にたいするポジティブな感情は生得的な反応とされているため(Biophilia 仮説; Kellert & Wilson, 1993; Ross & Mason, 2017)、自然界の特異な視覚的特徴から人間の本能的な美的反応を得られるかもしれない。なお、1.1.2 で述べた通り、絵画などの芸術作品からは自然画像と同様の画像特徴が現れるため(Graham and Redies 2010; Taylor, Micolich, and Jonas 1999)、芸術作品にたいする自然の有意性については不明である。

芸術作品やプロダクトデザインにおいても、自然の視覚的特徴を模倣した例は数多い。例えば、アール・ヌーヴォーは 19 世紀末から 20 世紀初頭のヨーロッパで流行した芸術様式で、植物や昆虫等の自然をモチーフとしており、有機的な曲線が表れる(海野弘 1987)。同様に、自然の有機的な形状を取り入れたプロダクトはオーガニックデザインと呼ばれ、Ross Lovegrove や Luigi Colani, Nanna Ditzel の作品などがよく知られている(Colani 2009; Ditzel 2020; Lovegrove 2012)。さらにハコフグの形状やモルフォ蝶の構造色を模倣した自動車なども開発されている(LEXUS 2020; Mercedes-Benz 2020)。こうした生物の機能的優位性を模倣し製品開発や工業的な問題解決に応用する研究領域をバイオミメティクスと呼ぶ(Lepora, Verschure, and Prescott 2013)。特に生物の色彩美を応用した材料開発が積極的に進められており、昆虫を中心に様々な生物の発色構造が解明されている(Kinoshita and Yoshioka 2005; Schenk 2015; 三友, 島本, and 居城 2013)。

上記の材料開発の例のように、人間は自然の造形だけでなく色彩からも美的経験を得る。実際、自然の色彩が人工的な色彩よりも調和する傾向が示唆されている。例えば、自然の中

¹ 抑うつ状態のみが現れるうつ病患者のこと

の色の見え方にもとづいたナチュラルハーモニーは、これと正反対の法則から成るコンプレックスハーモニーよりも色彩調和の評価値が高い(松家 1997). また、植物の色彩を用いた二色配色の色彩調和の評価値は、JIS 標準色票に置き換えた場合のそれよりも高い傾向にあり、この傾向は同じ植物の二色配色でより顕著になる(足立 et al. 2008). さらに、自然の色彩は色彩設計にも積極的に取り入れられている. 例えば、自然の画像から抽出した配色をプロダクトの配色に再構成するカラープランニングシステムや(Hsiao and Tsai 2015)、生物や風景の構成色を表現したカラーチャート(Design Seeds 2009)、生物の配色構成を用いたカラーシステムなどが開発されている(徳永 1998). 1. 1. 2 で述べたように、計算美的手法による色彩調和研究では絵画の配色分析が進められてきた(Kobayasi 1999; 小林 1995, 1999). 一方、上記の通り色彩美は絵画のような人工物だけでなく自然界にも表れるため、普遍的な色彩調和原理を得るための分析対象として自然界の色彩は最適だといえよう.

1. 2. 2. 蝶の色彩美

上記のような自然界の美にたいし、自然界の生物である虫については多くの人間が不快感を抱き、病原体と同様に認知する(Lorenz, Libarkin, and Ording 2014). しかしながら、蝶はしばしば人間から好まれ、芸術品にも用いられる. 実際、国内では着物や陶磁器、絵画などのモチーフとして扱われ、詩歌としても詠われた(渡邊 2008). また蝶の標本がそのまま工芸品となったり、葉などの装飾に用いられたりもしている(松香, 栗林, and 梅谷 1998). 蝶の標本が芸術作品に用いられた例もある(Marley 2019). これらのことから、蝶は人間の美的感性に合う芸術的特徴を有していると考えられる. また、蝶を筆頭としたカラフルな昆虫は好まれ、保全されやすい(Breuer et al. 2015; Leandro, Jay-Robert, and Vergnes 2017; Shipley and Bixler 2017). 自然界の生物は生存戦略として様々な色彩に進化した(日本色彩学会 2011). 特に蝶は人間よりも多くの色を識別でき(Chen et al. 2016), これに伴い色彩も多様化した(Beldade and Brakefield 2002; 梅鉢 1988). 蝶の生存や進化に重要な色彩は、人間が蝶を認識する上でも重要な情報となり得ているのかもしれない. このように芸術的価値が高い蝶の中でも特に美麗種が多いのがアゲハチョウ科とされている(Layberry, Hall, and Lafontaine 1998). アゲハチョウ科の中でも特に人間から好まれる種の配色には色彩調和が現れるかもしれない.

1. 3. 本研究の目的

本研究では二つの検討をした。検討1では、アゲハチョウ科の中でも特に人間から好まれる種を美的対象とみなし¹、その配色法則の解明を目的とした。このために、美的対象としてのアゲハチョウ科の画像の配色分析を行った。検討2では、アゲハチョウ科の配色のデザイン応用に向け、アゲハチョウ科の配色と質感との関係の解明を目的とした。このために、アゲハチョウ科の配色にたいする質感の印象評価を行った。

¹ 以降アゲハチョウ科の中でも特に人間から好まれる種を“美的対象としてのアゲハチョウ科”とする

2. 検討1:アゲハチョウ科の配色分析

2. 1. 背景

2. 1. 1. 従来 of 配色分析手法

先行研究では絵画の配色分析に配色楕円体 (color combination ellipsoid; CCE) が用いられた(Kobayasi 1999; 小林 1995, 1999). CCE は CIELUV 色空間¹での色分布の偏差楕円体で, そのパラメータとして中心座標, 長径, 形状および方位を示す. CCE の中心座標は平均色², 長径は配色のコントラストの大きさ, 形状は配色のコントラストの複雑さ, および方位は配色のコントラストの方向と解釈される. なお, 配色のコントラストの複雑さとは, コントラストが生じている楕円体の軸の数 (1~3) を指す. 配色のコントラストの方向とは, 明度方向のコントラストか, 色相方向のコントラストかを指す. このように, CCE は配色のコントラストあるいは類似性の高さを示すことに特化しており, 標本間の比較によって相対的なコントラストの高さを評価することもできる. しかし, コントラストの閾値が定義されていないため, 単一標本の絶対的なコントラストの高さを評価できない. 無論, 観察者の主観によって定義された配色ではその客観性が保証されない. また, CCE は作品すなわち標本一点ごとに出力されるが, これは膨大な標本数の分析を非効率にする. 膨大な標本数の CCE を個別に観察しても, 時間と労力の浪費や, 結果の見落としなどによって全体に共通の傾向を把握し難くなる. 当然, 少ない標本数では母集団の法則性を解明し得ない. これらの問題を解決するには, 膨大な標本の効率的な配色分析手法と, 配色傾向を客観的に判定するための指標を提案する必要がある.

2. 1. 2. 検討1の目的

美的対象としてのアゲハチョウ科の色彩がその美しさに影響するならば, その配色には

¹ 国政照明委員会 (CIE) によって採択された知覚的に均等な色差を持つ均等色空間の一つ. CIELAB 色空間と同様に明度, 赤対緑, 黄対青の軸を持ち, それぞれに L^* , u^* , v^* が対応している. 開口色の色弁別データの表示から派生しており, TV などの発光色を扱う分野でよく用いられる.

² 色空間上に分布する点の平均値のこと

規則性が存在し、調和もするだろう。検討1ではこの仮説を検証するため、美的対象としてのアゲハチョウ科の配色の美的好ましさにたいする主観評価を行い、従来の配色分析の問題を改善した手法によってその配色を分析した。

2. 2. 調査1

2. 2. 1. 方法

まず、膨大な標本数の配色を効率的に分析するには、色彩分布が似ている画像の集合を一枚の画像とみなし、その配色傾向を分析すればよい。画像を色彩分布のみに基づいて分類するための最も基本的な方法は、画像の色彩分布の類似度を **Histogram Intersection (HI)** によって計算し、これを用いて階層的クラスタ分析を行うことである(Swain & Ballard, 1991; Krishnamachari & Abdel-Mottaleb, n.d., 1999; Abdel-mottaleb et al., 1998; Schaefer, 2011)。HI とは、画像に含まれる色彩の度数分布を示すカラーヒストグラムを比較することで、二つの画像の類似度を計算する方法である(Swain and Ballard 1991)。具体的には、 n 個のビンを含むヒストグラム I と M が与えられるとき、二つのヒストグラムの積集合 S は

$$S = \sum_{j=1}^n \min (I_j, M_j) \quad (1)$$

で定義される。ビンとはヒストグラムの区間のことで、ここでは色空間の分割範囲を示す。 M が参照用のヒストグラムの場合、その画像の総ピクセル数で S を正規化すると0から1の値をとる類似度となる。 $S = 1$ のとき二つのヒストグラムないし画像は完全に一致する。なお、 S の正規化は I と M それぞれの画像の総ピクセル数を予め1に正規化することでも代用できる(Abdel-mottaleb and Krishnamachari 1999)。こうして計算された類似度を1から引くと非類似度になり、さらに分析対象となる全ての画像対の非類似度から行列 (i.e., 距離行列) も生成できる。この距離行列をクラスタ分析の変数に用いれば、画像を色彩分布のみに基づいて分類することができる。特に階層的手法によるクラスタ分析は非階層的手法のように予めクラスタ数を定めずに実行でき、クラスタの生成過程をもとに最適なクラスタ数を決定できる。この手法は、本研究のように分類後のクラスタ数が予測できない場合に有効である。なお、階層的クラスタ分析も HI も技術的な難易度が低いという利点をもつ。HI のアルゴリズムは単純なのでコーディングしやすく、R 言語のパッケージ

にも実装されている(Stokely and Hesterberg 2015). 同様に階層的クラスター分析も R 言語の標準パッケージに実装されている. そのため, プログラミングを専門的に扱わない分野の研究者にとっても容易に実行できる.

上記の方法により得られた画像のクラスターから, それぞれの配色型を客観的に判定するには, 代表色の分布領域の組み合わせから配色型を定義すればよい. クラスターの代表色はガウス混合モデル (Gaussian Mixture Model; GMM) によって抽出できる(Wu, Yang, and Chan 2003). GMM はデータセットを複数の正規分布 (i.e., 要素) に分離でき, 各要素の確率密度関数も推定できる. それを構成する三つの変数は平均値 μ , 混合比 πk^1 , および分散 σ^2 で, これらにもとづき代表色の分布を推定できる. 以降は, 上記手法の詳細について説明する.

2. 2. 1. 1. 分析対象

選定基準

大衆向けの生物図鑑や写真集には, 知名度の高い種が掲載されているはずである. さらにそれらの種が複数の大衆向け書籍に掲載されているならば, それらは特に人々から好まれているといえよう. そこで, 大衆向けの蝶の図鑑や写真集 7 冊から 2 冊以上に掲載されているアゲハチョウ科の種を美的対象と定義し, 47 種を採用した(Cassie, Sandved, and Robert Michael Pyle 2004; Hoskins 2015, 2016; Preston, M and 大谷 2009; 今森 2014b, 2014a; 海野 2011). なお, 生物は同じ種の中でも色彩や模様, 形態などの表現型² が異なる場合がある. そのため, 上記 47 種から同種ながら色彩や模様が顕著に異なる個体の画像も収集し, 118 個体の画像を分析に用いた (表 6³). 種の選定に用いた 7 冊の書籍は次の条件のもと, 洋書と和書の冊数がほぼ同じになるように選ばれた. すなわち, ①専門家ではなく, 一般人を対象とした蝶の図鑑や写真集あるいは作品集である, ②芸術家や, 芸術に造詣があると窺える昆虫写真家の著書である, ③2000 年以降に出版されている. また, アゲハチョウ科 118 個体の標本画像は Integrated Digitized Biocollections (iDigBio Project; iDigBio Project, 2011)のデータベースから収集された. iDigBio Project は生物多様性コレクション

¹ ある要素に含まれる母集団の比率のこと

² 遺伝子の特徴が生物の形態的, 生理的な性質として現れること

³ 付録を参照のこと

のデジタル化を推進するために米国科学財団 (National Science Foundation; NSF) によって設立され、このデータベースでは科学的利用を目的とした生物標本の画像が無料で公開されている。これらのデータは米国を中心とした世界中の博物館から提供されているため、研究利用上の信頼性と網羅性を十分に備えた情報源だと考えられる。

色再現の妥当性

iDigBio Project は写真のデジタル化における色再現を実現するために、画像の提供者に次の作業を推奨している(iDigBio Project 2011)。すなわち、①被写体の側に Tiffen/Kodak color separation guide and gray scale³⁰ 等の色標準を添えて撮影する(iDigBio Project 2011)、②撮影用の光源には Ortery Light Box か Kaiser RB 5000 を使用する(iDigBio Project 2012, 2015a, 2015b, 2017)、③Adobe Lightroom 等の画像処理ソフトを用いて、画像のホワイトバランスを撮影時の光源に合うように調整する(iDigBio Project 2015c)、④画像のメタデータとして sRGB か Adobe RGB 色空間のカラープロファイルを埋め込む(iDigBio Project 2014)。このデータベースの画像は組織から提供されているため、原則的に上記の推奨事項が遵守されているはずである。なお、Ortery Light Box と Kaiser RB 5000 の色温度はそれぞれ 6500Kと 5400Kで、CIE 標準光源の D65 と D50 はこれに近い 6500K と 5000Kを放射する。D65 光源と D50 光源の下で測色された同じカラーパッチの平均 CIE 色差は約 1.0 から 2.0 となる(Dordević, Hladnik, and Javoršek 2009)。2.2.1.3 に記載の通り、本研究で HI の変数として用いられたヒストグラムの区間はこれらの色差よりも大きいため、推奨事項にある二つの光源による色の違いは、本研究の配色分析の結果にはほとんど影響しないだろう。無論、色標準や画像処理ソフトの違いはキャリブレーションの結果に影響しえない。したがって、iDigBio Project のデータベースから得たアゲハチョウ科 118 個体の画像は実物の色を十分再現しており、これらの分析結果もまた妥当であると考えられる。

色彩調和の妥当性

本研究で選ばれたアゲハチョウ科 118 個体の配色に色彩調和にかかわる統計的規則性が存在するならば、そのような規則性のない無秩序な配色よりも色彩調和の心理的評価が高いはずである。しかし、これらの配色が実際に調和し、好まれるかは明らかではない。この

検証のため、アゲハチョウ科 118 個体の画像 (i.e., オリジナル画像) とその配色を無作為に変更した画像 (i.e., 変更画像) の色彩にたいする調和と好ましさの主観評価値を比較した。もし上記の仮説が正しければ、オリジナル画像の配色は変更画像のそれよりも調和し、好まれるはずである。t 検定の結果、オリジナル画像の配色は変更画像のそれよりも有意に調和し ($t(3608) = 42.3, p < .001, \text{Cohen's } d = 0.953$), 好まれた ($t(3657) = 25.5, p < .001, \text{Cohen's } d = 0.567$) (図 1)。この結果から上記の仮説は支持され、本研究の分析対象の配色は調和すると考えられる。なお、主観評価実験の詳細は付録を参照されたい。

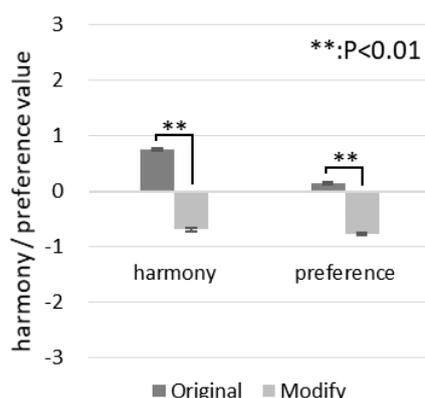


図 1. オリジナル画像と変更画像の色彩にたいする調和と好ましさの主観評価値

2. 2. 1. 2. 画像処理

2. 2. 1. 1 でも述べた通り、本研究で選ばれたアゲハチョウ科 118 個体の画像は十分な色再現性を保っていると考え、基本的にこれらの色校正を行わなかった。しかし、一部の画像は図 2 のように全体的に赤味がかっており、明らかに校正されていなかったため、こうした画像のみ色校正を行った。具体的には、画像に映っている色標準のパッチの中で最も明るいニュートラルグレーを Adobe Lightroom CC (Adobe Systems, Inc., San Jose, CA, USA) のスポイトツールで選択し、画像のホワイトバランスを修正した。色校正後の画像から分析のノイズになりうる背景や虫ピン、および翅の欠損によって背景が透けて見える部分を削除するため、これらを透明ピクセル ($A = 0$) に置換した。なお、色の分析に適した画素数は 400 から 700 px なので (小林 2007), 画像の不透明部分の縦横比を固定しながら長辺を 400px に統制した。これらの処理には Adobe Photoshop CC 2017 (Adobe Systems, Inc., San Jose, CA, USA) を用い、サイズ変更等に伴う画素の補間にはニアレストネイバー法を

用いた。これは補間したい箇所に隣接する画素の情報をそのまま用いる方法で、補間前の色数を補間後も維持できる。画像処理の前に存在しなかった色が処理の後に加わるということがないため、画像の色を正確に分析したい場合に適している。処理した画像には sRGB 色空間のカラープロファイルを埋め込み、これを PNG 形式で保存した。

アゲハチョウ科 118 個体の画像処理後の色分布を CIELCh 色空間¹に描画した (図 3)。CIELCh とは、CIELAB が明度 L^* 、赤対緑 a^* 、黄対青 b^* で表す直交座標を、色の知覚属性である明度 L^* 、彩度 C_{ab}^* 、色相 h_{ab} で表せるよう極座標に変換したものである。CIELCh の明度 L^* は CIELAB のそれと同じである。一方、彩度 C_{ab}^* と色相 h_{ab} は

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

$$h_{ab} = \tan^{-1}(a^*/b^*) \quad (3)$$

で定義される(C.I.E. 2004)。なお、CIELAB の各属性の求め方は C.I.E.(2004)を参照されたい。図 3 では簡単のために L^* と C_{ab}^* を 5 分割し、 h_{ab} を 6 分割してある。また、各画像での出現率が 3%未満の色はほとんど目に見えないため除外してある(Lišková and Frynta 2013)。アゲハチョウ科の蝶には高彩度の赤～紫系の色はあまり現れない。また、高彩度かつ低明度、あるいは高彩度かつ高明度の色や、非常に高彩度な青系の色は物理的に存在しない。図 3 から、上記のような現実的に現れにくい色以外のほとんどの領域が本研究の分析対象によって網羅されていることがわかる。よって、アゲハチョウ科 118 個体の色分布の偏りは小さいと考えられる。但し、図 3 は各色の出現頻度までを示せていないことに留意されたい。

¹ 以降、色空間を省略して表記する (CIELUV と CIELAB も同様)



図 2 変色した画像の例

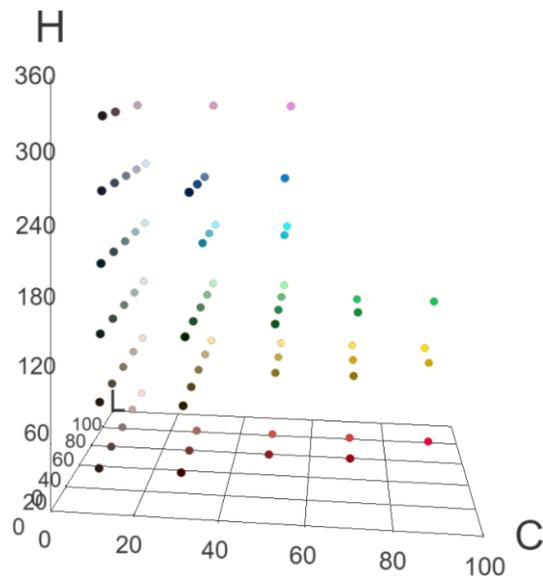


図 3. CIELCh におけるアゲハチョウ科 118 個体の画像処理後の色分布

2. 2. 1. 3. 配色分析

画像分類

調査 1 の画像分類では HI と階層クラスター分析を用いた。この手続きの概要は 2. 2. 1 に述べた通りである。なお、アゲハチョウ科 118 個体の配色傾向を明度、彩度、色相に別けて分析するため、画像の分類を CIELCh の属性ごとに行った。まず、HI の変数としてのヒストグラムを決定した。HI で人間の知覚に近似した計算結果を得るには、人間の知覚にもとづいた色空間のヒストグラムを用いる必要がある。従来の配色分析で用いられた CIELUV に対し(Kobayasi 1999; 小林 1995, 1999), CIELAB は物体色を扱う分野でよく用いられるため、本研究の分析対象の色の表示に適している。また、CIELAB は人間の知覚に近似した設計となっており、これを色の知覚属性で表示できるのが CIELCh である。これらの理由から、HI には CIELCh のヒストグラムを用いた。さらにこのヒストグラムのビン数も日常での物体色の見え方に近づけるため、国内外で普及しているカラーオーダーシステムである Munsell, Ostwald, および Practical Color Coordinate System (PCCS) の段階数を参照し決定した。Munsell は基本的に明度 11 段階、彩度 10~14 段階¹、色相 100 段階で構成されているが、明度は必要に応じてさらに 21 段階に分割されることがあり、色相も最近では 20 段階や 40 段階で扱われることが多い(Munsell Color Company, b, a)。また、Ostwald には明度や彩度という概念は存在しないものの、実質的には白色量と純色量がそれぞれ明度と彩度に該当し、ともに 8 段階となっている。なお色相は 24 段階である(Foss, Nickerson, and Granville 1944)。PCCS は明度 17 段階、彩度 10 段階、色相 24 段階となっている(Japan Color Research Institute 1964, 1991)。まとめると、これらのカラーオーダーシステムの明度、彩度、色相段階はそれぞれ 20, 10, 24 に近似しており、この段階に基づく色の変化は日常での色の見え方に近いと考えられる。一方で、彩度のように少ない段階数をそのまま HI に用いると、画像分類の精度が下がる。HI はその特性上、最頻値のビンに依存する傾向があるので、ビン数が少ないと最頻値のビンが結果に影響しやすくなるのだ。そこで、彩度の段階を明度に合わせ、 L^* と C_{ab}^* のヒストグラムを 20 ビン、 h_{ab} のヒストグラムを 24 ビンとした。なお、 C_{ab}^* の最大値は 141 だが、分析対象の画像には C_{ab}^* が 100 以上の色はほとんど現れなかったので、これらを 100 とみなして集計した。さらに、

¹ Munsell 彩度の段階は色相によって変化する

h_{ab} ヒストグラムから無彩色を除外した。CIELCh での無彩色は $C_{ab}^* < 5$ とされているが (Jonaskaite et al. 2016), 前述の通り主要なカラーオーダーシステムの標準的な彩度段階は 10 に近似しており, 無彩色はその最下段にある。また, 暗色の色相は識別されにくい上にアゲハチョウ科は暗色を多く含むので, この閾値を無彩色とした画像分類の結果に人間の知覚が十分反映されているとは考えにくい。これらの理由から, $C_{ab}^* < 10$ の方が日常での無彩色の感じ方に近いと考え, これらの色を h_{ab} ヒストグラムの集計から除外した。次に, 上記の定義にもとづき作成したヒストグラムを変数に, HI によって画像間の類似度を計算した。アゲハチョウ科 118 個体の画像の色空間を sRGB から CIELCh に変換し, L^* , C_{ab}^* , h_{ab} のヒストグラムをそれぞれ作成した。なお, ヒストグラムの度数の総和が 1 になるよう正規化した。これらのヒストグラムを変数とした HI によって, 各画像間の類似度を計算した。全ての画像対の類似度から行列を生成し, これを 1 から引いて距離行列を得た。この距離行列を L^* , C_{ab}^* , h_{ab} それぞれについて生成した。

L^* , C_{ab}^* , h_{ab} の距離行列を変数に, Ward 法による階層的クラスタ分析を行った (Ward 1963)。階層クラスタ分析の慣例では, クラスタ間の距離が最大になるときのクラスタ数がよく選ばれる。しかし, この方法で採用されたクラスタ数が極端に少ない場合, 一つのクラスタに含まれる画像が多くなるため, 各クラスタの特徴が現れにくくなる可能性がある。各クラスタの配色傾向を十分に把握できる程度の適度なまとまりが形成され始めるクラスタ数では, クラスタ間の距離が急増するはずである。そこで, クラスタ数に応じたクラスタ間の距離を図 4 に表し, この距離の収束が始まる直前のクラスタ数を採用した。

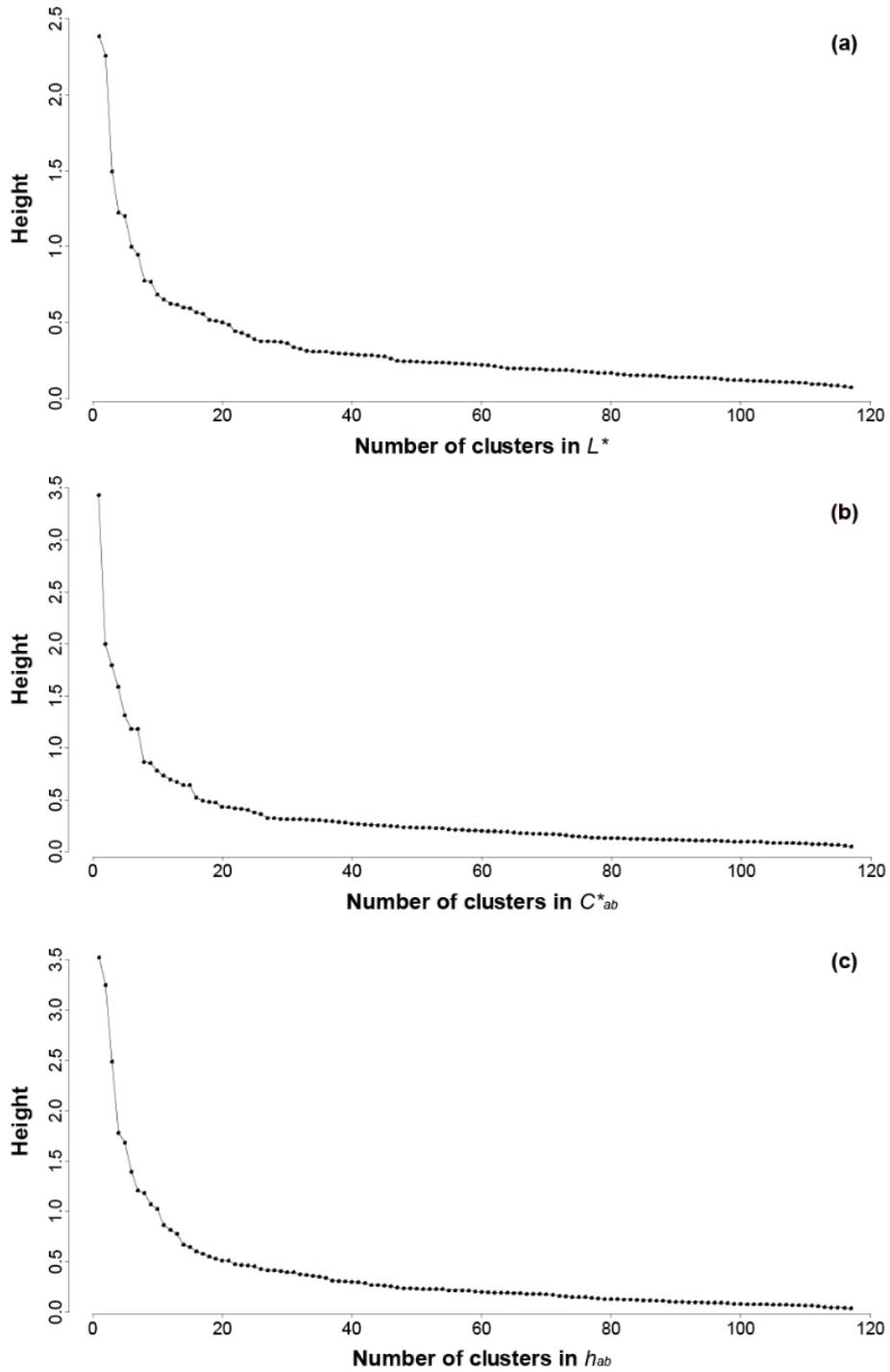


図 4 クラスタ数に応じたクラスタ間の距離
 横軸がクラスタ数を，縦軸がクラスタの結合点の高さを表している．(a)が明度，(b)が
 彩度，(c)が色相の類似度に基づく

配色型判定

画像分類によって得られた各クラスターの配色型を判定した。代表色の抽出には GMM を用いた。GMM の実行には R の `mclust` パッケージを用いた(Package “`mclust`”, 2019)。GMM では適切な要素数を情報量規準によって評価する。この評価にはベイズ情報量規準 (BIC) がよく用いられ、その値が最も低い要素数が最適となる。調査 1 でも慣例に従い、BIC の評価にもとづいて最適な要素数を決定した。なお、R の `Mclust` 関数では BIC が高い方が良い評価となることに留意されたい。要素数の上限を 15 とした GMM の結果、ほとんどのクラスターの BIC が図 5(a)のように収束しながら上がり続ける傾向を示した。要素数は代表色の数なので、これが多すぎると配色型の判定が困難になる。そこで、BIC の収束によって形成されるカーブの中から最適な要素数を決定した。具体的には、BIC のカーブと交差する要素数での確率密度曲線を描画し、これの元となるヒストグラムに最も近い形状の確率密度曲線を形成する要素数を採用した (図 5(b))。なお、元となるヒストグラムのビン数は、日常での色の見え方に近づけるため、HI と同様のものを用いた。各要素の確率密度関数の平均値 μ 、混合比 π_k 、および分散 σ^2 は、それぞれその要素の代表色、面積比、および範囲を表している。なお、混合比が 3%以下の要素は殆ど目に見えないと考えられるため、分析から除外された(Lišková and Frynta 2013)。加えて、蝶の色の境界は連続的に変化するため、分散の大きい要素は色のグラデーションを示しているとみなした。表 1 に各クラスターの要素数とその決定に用いたモデルを示す。

代表色 μ の分布にもとづき、各クラスターの配色型を判定した。従来の配色分析では、配色のコントラストに特化した分析手法が提案されている(Kobayasi 1999; 小林 1995, 1999)。1.1.1 でも述べた通り、配色のコントラストは従来の色彩調和研究でも重視されている。本研究でも、従来の色彩調和研究との結果の比較の便宜上、配色のコントラストに着目して配色型を定義した。まず、 L^* と C_{ab}^* を Low, Middle, High の三領域に分割した¹(図 6)。具体的には、L を $L^* \leq 33$ 、M を $33 < L^* \leq 66$ 、H を $66 < L^*$ とし、 C_{ab}^* も同様に定義した。各クラスターの代表色 μ が同じ領域に分布している場合を類似配色、L と H に分布している場合を対照配色と定義した (図 6)。また、 h_{ab} を 30°刻みの第 1~第 12 領域に分割した。各クラスターの代表色 μ が分布する色相番号の差を $\Delta H\mu$ とし、 $\Delta H\mu \leq 2$ または $10 \leq \Delta H\mu$ を類似

¹ 以降は Low を L, Middle を M, High を H と表す。

配色, $\Delta H\mu = 6$ を補色配色と定義した (図 7).

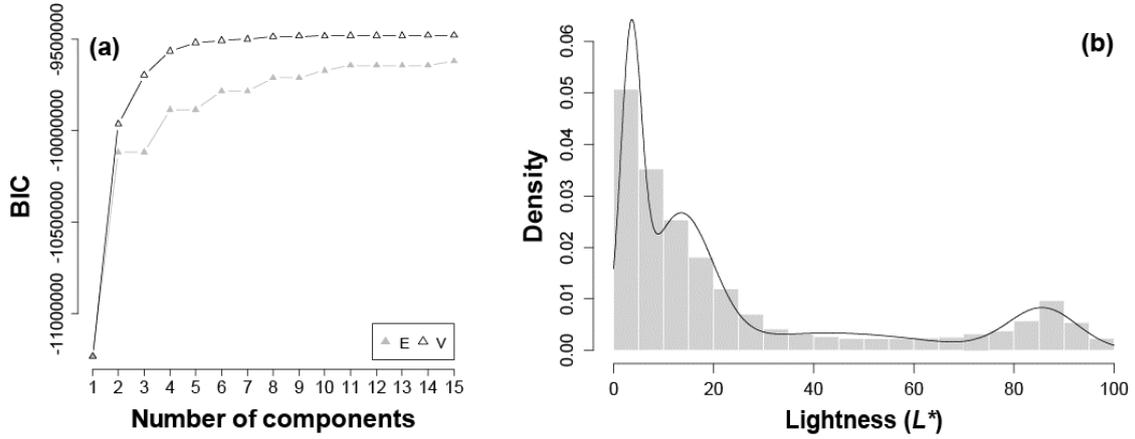


図 5 (a)要素数ごとの BIC の例, (b)ヒストグラムと確率密度関数のフィッティング例

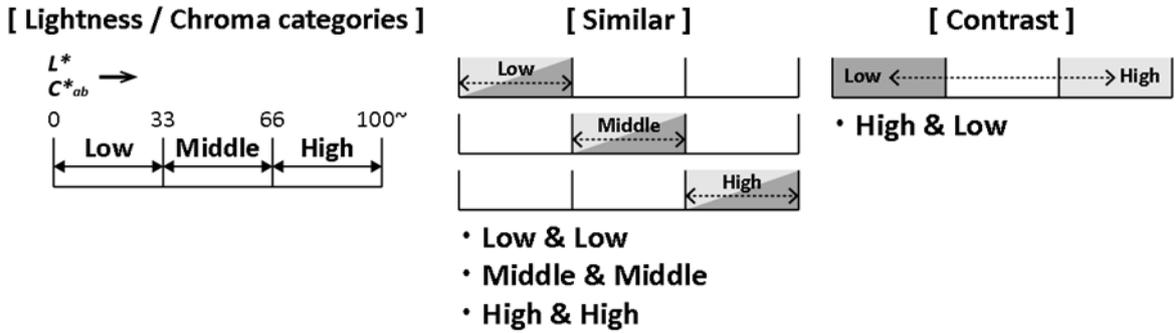


図 6 L^* , C^*_{ab} の分割領域と配色型

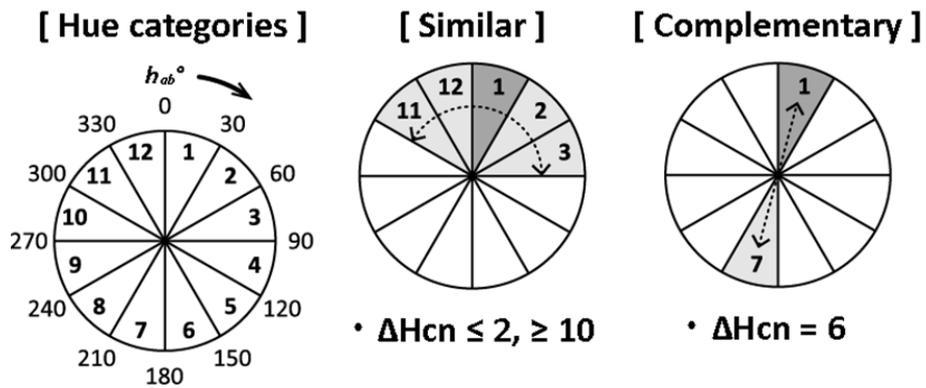


図 7 h_{ab} の分割領域と配色型

表 1 GMM によって選択された各クラスターの要素数 G とモデル

model は各要素の共分散行列を用いて決定した幾何学的特徴によってパラメータ化されたモデルを表し, “E”と“V”はそれぞれ各要素が等分散か異分散かを示す

Cluster	G	model
L1	3	V
L2	3	V
L3	3	V
L4	3	V
L5	4	V
L6	4	V
L7	2	V
L8	4	V
C1	2	V
C2	3	V
C3	7	V
C4	2	V
C5	4	V
C6	2	V
C7	4	V
C8	2	V
H1	2	V
H2	2	V
H3	3	V
H4	4	V
H5	2	V
H6	4	E
H7	3	V

2. 2. 2. 結果

2. 2. 2. 1. 明度の特徴

アゲハチョウ科 118 個体の画像を明度の類似度にもとづき分類した結果, 8 クラスターが得られた (図 8). 各クラスターを L1~8 とし, これらの代表色の確率密度曲線を図 9 に示した. L7 以外のクラスターでは, 代表色が全ての領域に分布していた. なお, M 領域での代表色の分散 σ は他の代表色に比べてかなり大きな値を示していた. すなわち, これらのクラスターは低明度から高明度のグラデーションを含んだ対照明度配色で構成されていると考えられる. 一方, クラスターL7 の代表色は L, M 領域のみに分布し, M 領域での代表色の σ は他のクラスターと同様に大きかった. したがって, クラスターL7 は低明度から中明度のグラデーションを含んだ類似明度配色で構成されていると考えられる. なお, L5 以外

のクラスターでは、L 領域に分布する代表色の面積 π_k が最も大きかった。以上をまとめると、美的対象としてのアゲハチョウ科 118 個体の明度は、主に低明度の面積が大きい対照明度配色で構成されているといえる。

2. 2. 2. 2. 彩度の特徴

アゲハチョウ科 118 個体の画像を彩度の類似度にもとづき分類した結果、8 クラスターが得られた (図 10)。各クラスターを C1~8 とし、これらの代表色の確率密度曲線を図 11 に示した。C3 と C7 を除いたクラスターでは、代表色が L, M 領域のみに分布していた。なお、M 領域での代表色の面積 π_k はクラスターC6 を除いて他の代表色に比べて小さく、分散 σ はクラスターC5 を除いてかなり大きな値を示していた。すなわち、これらのクラスターは低彩度から中彩度のグラデーションをわずかに含んだ類似彩度配色で構成されていると考えられる。一方、クラスターC3 と C7 の代表色は全ての領域に分布し、M 領域での代表色の π_k は他のクラスターと同様に小さく、 σ は大きかった。したがって、クラスターC3 と C7 は低彩度から高彩度のグラデーションをわずかに含んだ対照彩度配色で構成されていると考えられる。なお、C5~C7 以外のクラスターでは、L 領域に分布する代表色の面積 π_k が最も大きかった。以上をまとめると、美的対象としてのアゲハチョウ科 118 個体の彩度は、主に低彩度の面積が大きい類似彩度配色で構成されているといえる。

2. 2. 2. 3. 色相の特徴

アゲハチョウ科 118 個体の画像を色相の類似度にもとづき分類した結果、7 クラスターが得られた (図 12)。各クラスターを H1~7 とし、これらの代表色の確率密度曲線を図 13 に示した。H6 以外のクラスターでは、代表色が第 2~第 4 領域のいずれかに分布していた。すなわち、これらのクラスターは類似色相配色で構成されていると考えられる。一方、クラスターH6 の代表色は第 2, 第 5, 第 7, 第 10 領域に分布していた。第 2, 第 7 領域の色相番号の ΔH_μ と、第 5, 第 10 領域の ΔH_μ は共に 5 である。 $\Delta H_\mu = 6$ のときに補色色相配色が成立することを踏まえると、クラスターH6 は補色色相配色に極めて近いと考えられる。なお、H6 以外のクラスターにおいて、第 2~第 4 領域に分布する代表色の面積 π_k が最も大きかった。この領域の h_{ab} が表す色相カテゴリは橙~黄緑とされる(Jonauskaitė et al. 2016)。以上をまとめると、美的対象としてのアゲハチョウ科 118 個体の色相は、主に橙~黄緑の面積

が大きい類似色相配色で構成されているといえる。

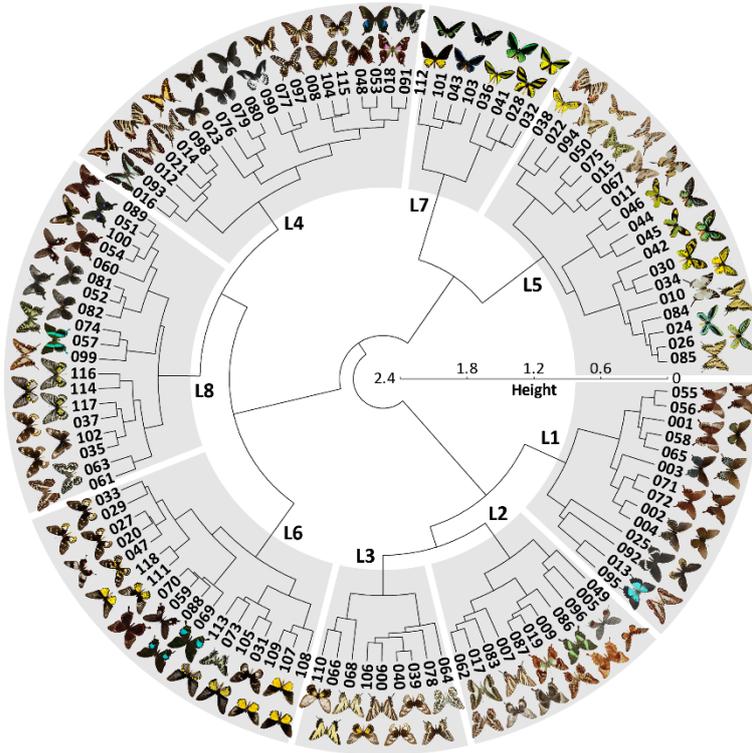


図 8 明度の類似度から 8 クラスターに分類されたアゲハチョウ科 118 個体

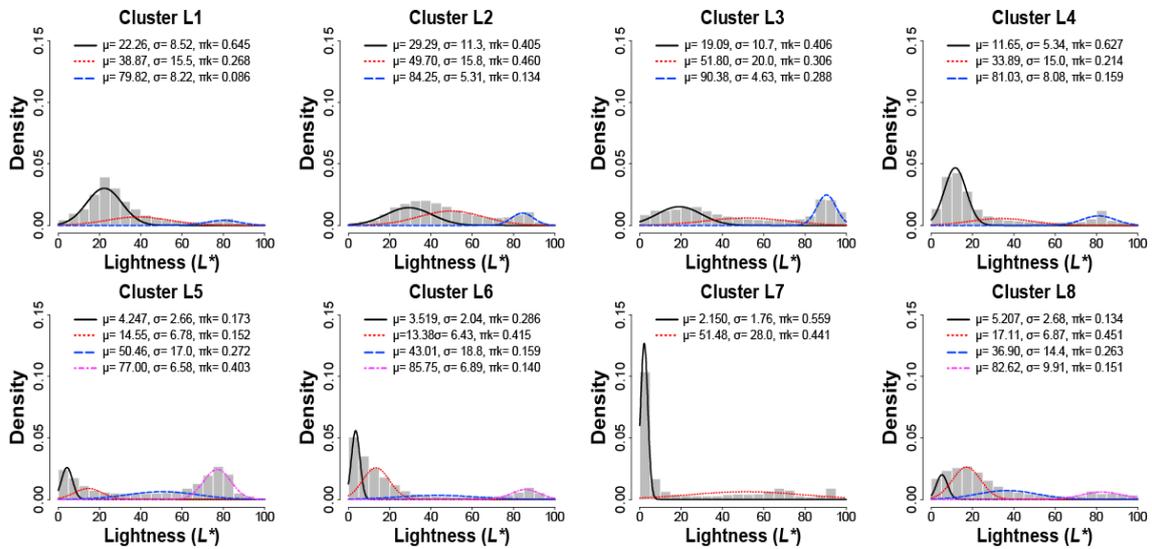


図 9 各クラスターの明度の分布と各代表色の確率密度曲線

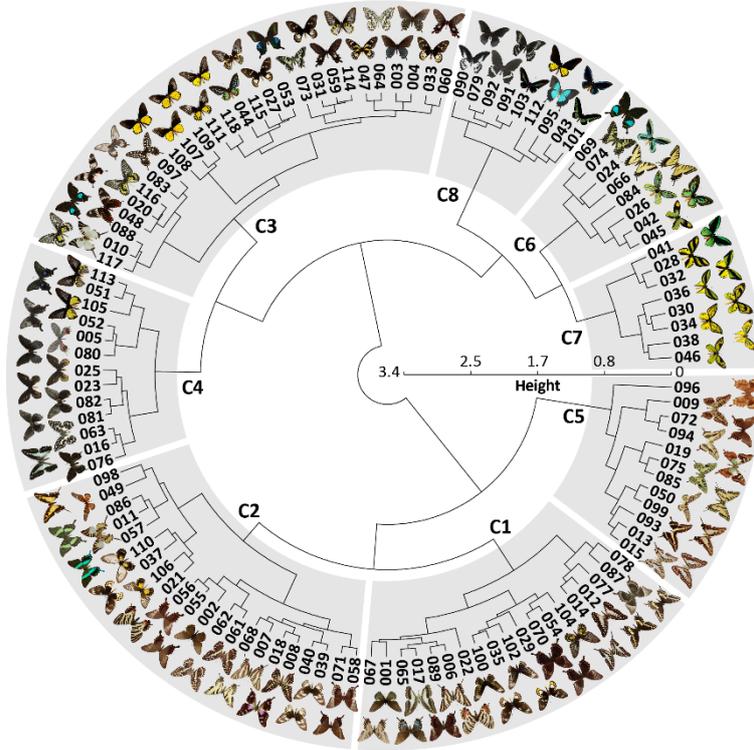


図 10 彩度の類似度から 8 クラスターに分類されたアゲハチョウ科 118 個体

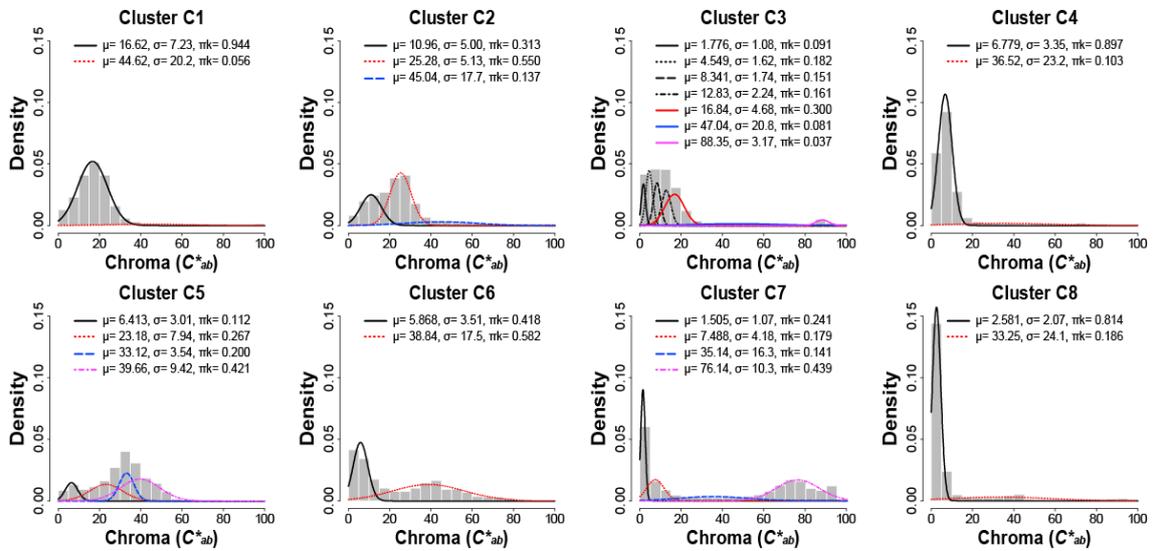


図 11 各クラスターの彩度の分布と各代表色の確率密度曲線

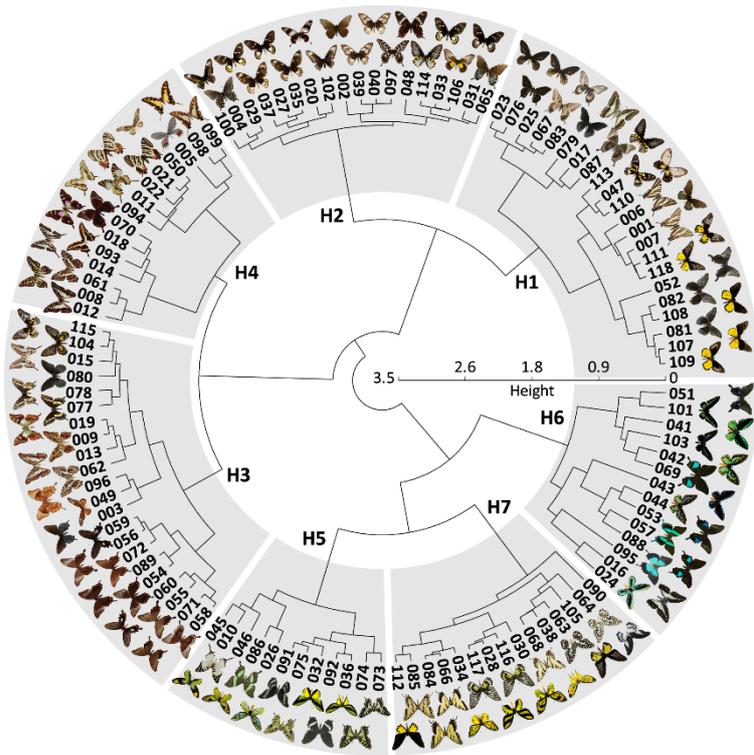


図 12 色相の類似度から 7 クラスターに分類されたアゲハチョウ科 118 個体

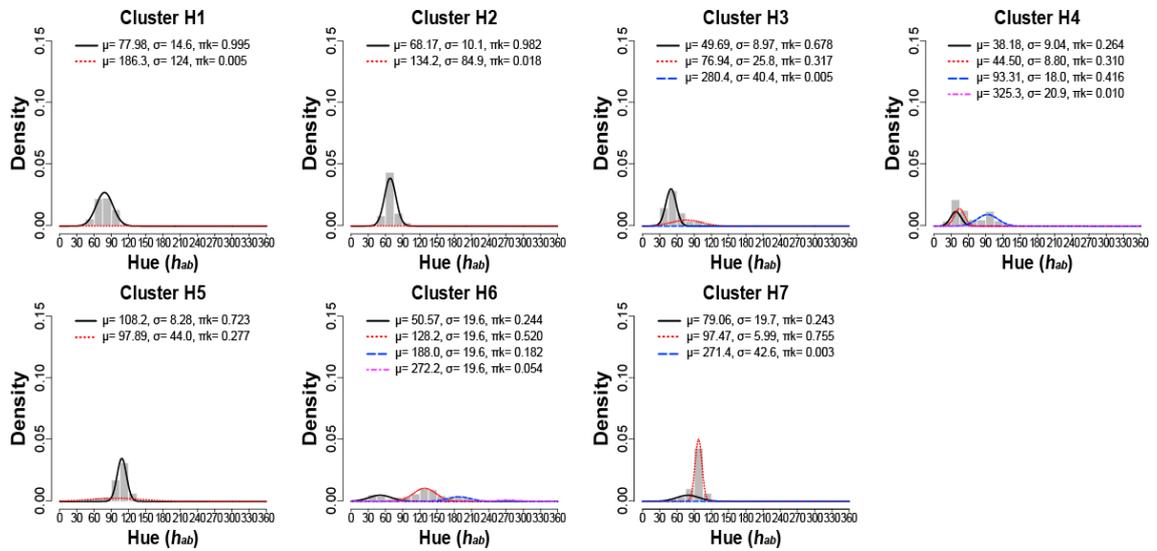


図 13 各クラスターの色相の分布と各代表色の確率密度曲線

2. 2. 3. 考察

本研究の分析に用いたアゲハチョウ科 118 個体の配色から、対照明度、類似彩度、類似色相の法則が得られた。主観評価の結果から、これらの色彩は無作為な色彩に変更されたそれよりも調和し、好まれることが示されている。また、1.1.1 で述べたように、従来の実験心理学的手法による色彩調和研究からは、equal hue, equal chroma, unequal lightness, high lightness の四原則が最も頑健だと考えられる(Ou et al. 2011, 2018; Ou and Luo 2006; Szabó, Bodrogi, and Schanda 2010; 李, 小林, and 側垣 2010)。これらの原則のうち equal hue, equal chroma, および unequal lightness は、本研究の結果から得られた類似色相、類似彩度、対照明度と同様の性質をそれぞれ示している。また、美学にかかわる専門家の経験則からは complementary hue, equal hue, equal chroma, equal lightness の四原則が共通して主張されており(Ou et al. 2011)、このうち equal hue と equal chroma が本研究の結果と質的に一致している。なお、上記の先行研究では面積比の影響は検討されていなかったため、低明度、低彩度、橙～黄緑色相の支配性についての結果を比較することができない。同様に、明度と彩度の特徴に表れていたグラデーションも配色技法として成立してはいるものの、心理学的観点からの先行研究では検討されていないため、調和法則として一般化できない。寧ろ、低明度、低彩度、橙～黄緑色相のような暗褐色に近い色や、色彩のグラデーションは、自然界の生物特有の傾向だと考えられる。蝶の体表に現れる暗褐色は、飛翔のエネルギー源である太陽光を吸収するため、彼らの生命活動に重要な役割を果たす(Zhao et al. 2011)。特にアゲハチョウ科は他の蝶に比べて大型なので、より広い面積で暗褐色が必要になる。また、雄の蝶の構造色は、種の存続にとって重要な雌の配偶者選択に影響する(Kemp 2007)。構造色のような色彩の連続的な変化は自然界によく現れ、人工物のように明確な色の境界を示すことはあまりない。これらのことから、暗褐色の支配性や色彩のグラデーションは本研究の結果だけでは一般化しえず、自然界の生物が種の存続のために独自に進化させた特徴なのかもしれない。これに対し、美的対象としてのアゲハチョウ科の配色から得られた対照明度、類似彩度、類似色相は色彩調和の法則として一般化できると考えられる。

一方、専門家の経験則による四原則のうち、complementary hue と equal lightness の性質は、色相の特徴におけるクラスターH6 に現れた補色色相と (図 13)、明度の特徴におけるクラスターL7 に現れた類似明度にそれぞれ一致する (図 9)。さらに、彩度の特徴におけるクラスターC3 と C7 では対照彩度が現れていたが (図 11)、これと同様の性質を示す結

果が Chuang & Ou(2001)にも表れていた¹. 本研究の主要な結果ではないこれらの配色は、心理学的観点からの先行研究ではほとんど支持されていない. よって、それ単体で一般化できるものではなく、特定の条件下で調和する可能性が考えられる.

2. 2. 4. 限界と展望

調査 1 では、美的対象としてのアゲハチョウ科 118 個体の配色を色相、明度、彩度の観点から個別に分析した. しかし、これらの三属性を統合した配色分析を行っていない. 考察でも述べたように、本研究の主要な結果ではない類似明度、対照彩度、補色色相は特定の条件下で調和する可能性が考えられる. こうした条件を炙り出すためにも、色相、明度、彩度を統合して更なる分析を行う必要がある.

また、画像間の類似度計算に用いた HI は伝統的な手法であり、その変数としてのヒストグラムも可能な限り人間の知覚に近似させたため、これによる画像分類は妥当な結果を示していると考えられる. しかし、HI は物理値のみを扱う機械的な計算手法であり、人間の視覚知覚にもとづいていないため、知覚の再現には限界がある. より人間の感覚に近い配色分析の結果を得るためにも、人間の知覚にもとづいた画像分類を行う必要がある.

2. 3. 調査2

調査 1 での限界を解決するため、色相、明度、彩度を統合し、知覚的な画像分類にもとづいた配色分析を試みた.

2. 3. 1. 方法

画像の知覚的な類似度を計測する実験方法には、Table scaling や computer scaling, ViSiProG test などがある. Table scaling は知覚的類似度にもとづいてテーブルに刺激を配置する方法で、刺激間の物理的距離から知覚的類似度を測定できる(Rogowitz et al. 1998). computer scaling は画面上に提示された複数の刺激の中から参照刺激に最も似ているものを選ぶ方法である(Rogowitz et al. 1998). また、ViSiProG test は同時に提示された複数の刺激から似たものを選び、隔離されたフォームに入れる方法で、computer scaling と同様

¹ Chuang & Ou(2001)の図 8(b)を参照のこと. ただし 95%信頼区間が大きいことに留意されたい

に、同じ画像対が選ばれた回数から知覚的類似度を測定する(Zujovic et al. 2015). 大森ら(2017)のグルーピング課題はこれに似ており、操作は ViSiProG test と同様に、全ての刺激と複数のフォームが同時に提示される。これらの方法から、大森ら(2017)の実験デザインが最も効率的に画像を分類できると考え、これを参考にした。

2.3.1.1. 画像分類実験

刺激

調査1の主観評価実験に用いたオリジナル画像(表6)を12cm四方の白い背景(R, G, B = 1.0, 1.0, 1.0)の中央に配置し、実験刺激とした。

実験環境

暗室内に二台のモニターを設置し、それぞれを MacBook Pro (Retina, 13-inch, Early 2015) に接続した。右側に 50 inの TH-50LFE7J (Panasonic, Corp., Osaka, Japan) を設置し、左側に 32inの BL3201PT (BenQ, Inc., Taipei, Taiwan) を設置した(図14)。右側のモニターには全ての刺激を無作為な配置でサムネイル表示し、背景色を黒(R, G, B = 0, 0, 0)に設定した(図15)。刺激のサムネイルは5cm四方で表示され、サムネイルがダブルクリックされると12cm四方に拡大された刺激が左側のモニターに表示された。サムネイルの拡大表示には LillyView (Version 1.2.3) を用いた。一方、左側のモニターには二つのフォルダを用意し、このうちの一つを予め開いた状態で表示した(図16)。フォルダの背景色は黒(R, G, B = 0, 0, 0)にし、ノイズになりうる情報(e.g., ツールバー, サイドバー)を可能な限り非表示にした。なお、左側のモニターの背景色はソリッドグレイ・プロ・ウルトラダーク(R, G, B = 0.188, 0.188, 0.188)¹に設定した。モニターの色較正は i1 Display Pro (X-Rite, Inc., Grand Rapids, MI, USA) によった。モニターと観察者との視距離は約75cmに統一された。

参加者

千葉大学から正常色覚者31名(男性16名, 女性15名, 年齢: 10代後半~30代後半)

¹ MacBook Pro に標準搭載されている背景色

が実験に参加した.

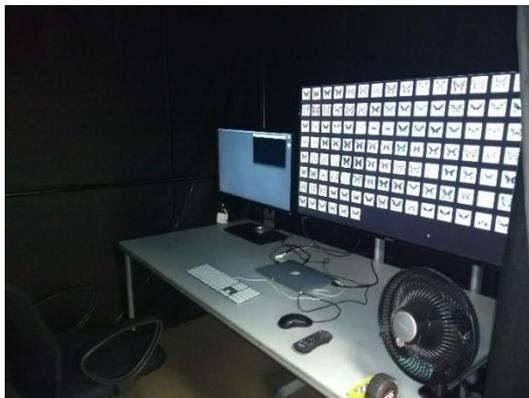


図 14 画像分類実験での実験環境

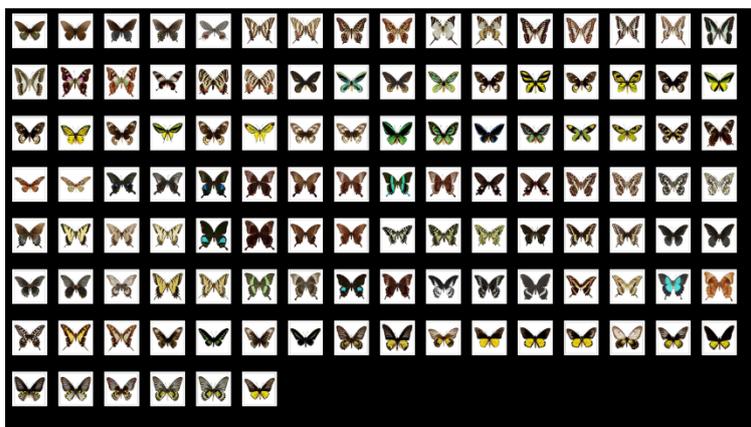


図 15 右側のモニターに表示されたサムネイル画面

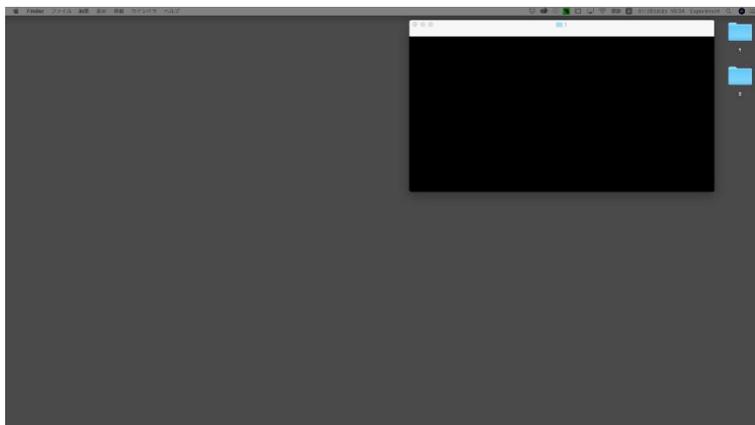


図 16 左側のモニターに表示されたフォルダ

手続き

参加者は実験の前に実験概要の説明と石原色覚検査表による色覚検査を受けた。その後、参加者は暗室に移動し、実験画面の操作方法について説明を受けた。参加者には似た色彩の刺激を一つのフォルダにまとめ、全ての刺激を分類するように指示した。分類の際には、刺激の形や模様は一切考慮せず、色彩の類似度だけで判断するように教示を与えた。参加者は刺激を分類するために、右側のモニターの刺激を隣のモニターのフォルダにドラッグアンドドロップで移した。フォルダの数は必要に応じて増やすことができ、フォルダの変形も自由にできた。複数のフォルダに同じ刺激を存在させることはできなかった。また、拡大表示された画像は自由に移動できたが、変形はできなかった。

2. 3. 1. 2. 知覚的類似度に基づく配色分析

画像分類

ある画像対が同じフォルダに分類された頻度を参加者数で割り、画像間の類似度とした。調査 1 と同様の手順で類似度から距離行列を生成した。この距離行列を変数に、Hierarchical Density-Based Spatial Clustering (HDBSCAN) によるクラスタリングを行った。HDBSCAN とは、密度準拠クラスタリングの DBSCAN¹を階層的になるよう修正したクラスタリング手法である(Campello, Moulavi, and Sander 2013)。従来の階層クラスタ分析ではできなかった外れ値の排除とクラスター数の自動決定を実現しており、階層クラスタ分析を密度基準に改良した手法ともいえる。調査 1 での画像分類を改良するために HDBSCAN を採用した。HDBSCAN の実行には R の `dbscan` パッケージを用いた(Hahsler et al. 2019)。

配色型判定

調査 1 と同様の手続きで各クラスターの配色型を判定した。なお、調査 1 では GMM での最適な要素数を BIC にもとづいて決定した。しかし、GMM による画像分割では BIC よりも Minimum Message Length (MML) にもとづいて要素数を決定する方が高い精度を得られる(Wu, Yang, and Chan 2003)。そのため、MMLの方がより正確な代表色抽出を実

¹ density-based spatial clustering of applications with noise の略称

現できると考えられる。よって、調査 2 では GMM を要素数の上限を 20 として実行し、MML が最も低い要素数を採用した。なお、GMM で多変データを扱う場合、確率密度関数の変数は平均値 μ 、混合比 πk 、および共分散行列 Σ となる。

2. 3. 2. 結果

アゲハチョウ科 118 個体の画像を、画像分類実験から得られた知覚的類似度にもとづき分類した結果、24 クラスターが得られた (図 17)。なお、118 個体のうち 22 個体が外れ値として除外された。各クラスターの要素数の決定に用いた MML とモデルを

表 2 に、各要素の確率密度関数の変数を表 7¹に示した。表 7 から、各クラスターの配色傾向は次の四パターンに要約された。すなわち、①対照明度・類似彩度・類似色相配色、②対照明度・対照彩度・類似色相配色、③類似明度・類似彩度・補色色相配色、④類似明度・類似彩度・類似色相配色。上記四つの配色パターンにおける代表色の分布傾向を図 18～図 21 に描画した。これらの図を参考に各配色パターンの傾向を説明する。まず、パターン①には 11 クラスターが該当した。図 18(a)から、これらの代表色の明度は L, H 領域に集中しており、M 領域にもわずかに分布していた。なお、L 領域に最も多くの代表色が分布していた。したがって、低明度が支配的な対照明度配色が現れていると考えられる。また、図 18(b)から、彩度では L 領域に代表色が最も集中しており、M 領域にもわずかに分布していた。したがって、これには低彩度が支配的な類似彩度配色が現れていると考えられる。図 18(c)では、代表色の色相は第 2～第 4 領域に集中しており、第 6 領域以上に分布する代表色はなかった。よって、橙～黄色が支配的な類似色相が現れていると考えられる。上記を要約すると、パターン①の配色は主に対照明度、類似彩度、類似色相で構成されていた。次に、パターン②には 5 クラスターが該当した。図 19(a)と図 19(b)は図 18(a)とほとんど同じ傾向を示していた。したがって、これには低明度が支配的な対照明度と、低彩度が支配的な対照彩度配色が現れていると考えられる。また、図 19(c)では、代表色の色相は第 2～第 4 領域に集中しており、第 4 領域以上に分布する代表色はなかった。よって、橙～黄色が支配的な類似色相が現れていると考えられる。上記を要約すると、パターン②の配色は主に対照明度、対照彩度、類似色相で構成されていた。パターン③には 3 クラスターが該当した。図

¹ 付録を参照のこと

20(a), (b)は図 18(b)と同様の傾向を示していた。これには低明度が支配的な類似明度と、低彩度が支配的な類似彩度配色が現れていると考えられる。また、図 20(c)では代表色の色相が第 2～第 4 領域に集中しており、第 9, 10 領域にも少し分布していた。橙色カテゴリが支配的な類似色相と補色色相が混在していることから、総合的に補色色相配色が現れていると考えられる。上記を要約すると、パターン③の配色は主に類似明度、類似彩度、補色色相で構成されていた。パターン④には 2 クラスタが該当した。図 21(a), (b)は図 20(a), (b)と同様の傾向を示していたため、低明度が支配的な類似明度と、低彩度が支配的な類似彩度配色が現れていると考えられる。また、図 21(c)は図 19(c)とほとんど同じ傾向だったことから、橙色カテゴリが支配的な類似色相が現れていると考えられる。上記を要約すると、パターン④の配色は主に類似明度、類似彩度、類似色相で構成されていた。

一方、クラスター 9, 11, 16 は上記のいずれの傾向も示さなかった。クラスター 9 では、明度および彩度が M 領域に集中していたため、いずれの配色型にも該当しなかった。また、色相では第 2～第 4 領域に代表色が分布していたため、橙色カテゴリが支配的な類似色相配色を表していると考えられる。したがって、クラスター 9 は類似色相配色で構成されていた。クラスター 11 では、明度が M, H 領域に集中していたため、いずれの配色型にも該当しなかった。一方、彩度は L 領域に代表色が最も分布し、M 領域にもわずかに分布していたため、低彩度が支配的な類似彩度配色だと考えられる。また、色相は第 2～第 4 領域に集中していたことから、黄～緑が支配的な類似色相配色だと考えられる。したがって、クラスター 11 は類似彩度、類似色相配色で構成されていた。クラスター 16 では、明度が L, H 領域に集中していたため、対照明度配色だと考えられる。また、彩度は L, M 領域に集中していたため、いずれの配色型にも該当しなかった。色相は第 2～第 4 領域に集中していたため、黄色が支配的な類似色相配色を表していると考えられる。したがって、クラスター 16 は対照明度、類似色相配色で構成されていた。これらをまとめると、クラスター 9, 11, 16 には類似色相配色が共通していた。

2. 3. 3. 考察

知覚的類似度に基づくアゲハチョウ科 118 個体の配色分析から、主に以下の法則が得られた。

1. 対照明度・類似彩度・類似色相配色

2. 対照明度・対照彩度・類似色相配色
3. 類似明度・類似彩度・補色色相配色
4. 類似明度・類似彩度・類似色相配色

調査 2 で得られたクラスターの多くが対照明度・類似彩度・類似色相を示していた。この結果は調査 1 と同様、先行研究が示す最も頑健な四原則のうちの equal hue, equal chroma, unequal lightness を支持する(Ou et al. 2011, 2018; Ou and Luo 2006; Szabó, Bodrogi, and Schanda 2010; 李, 小林, and 側垣 2010)。これにたいし、調査 1 の主要な結果ではなかった類似明度、対照彩度、補色色相が、調査 2 の結果では明確に表れていた。ただし、類似明度は色相にかかわらず類似彩度との組み合わせに表れ、対照彩度は対照明度と類似色相との組み合わせにのみ表れた。また、補色色相は類似明度と類似彩度との組み合わせにのみ表れた。補色色相、類似明度、対照彩度はそれぞれ美学的色彩調和論の共通四原則のうちの complementary hue, equal lightness と、Chuang & Ou(2001)の contrasting in chroma に相当するので、これらの色彩調和原則は上記の配色との組み合わせでのみ調和するのかもしれない。

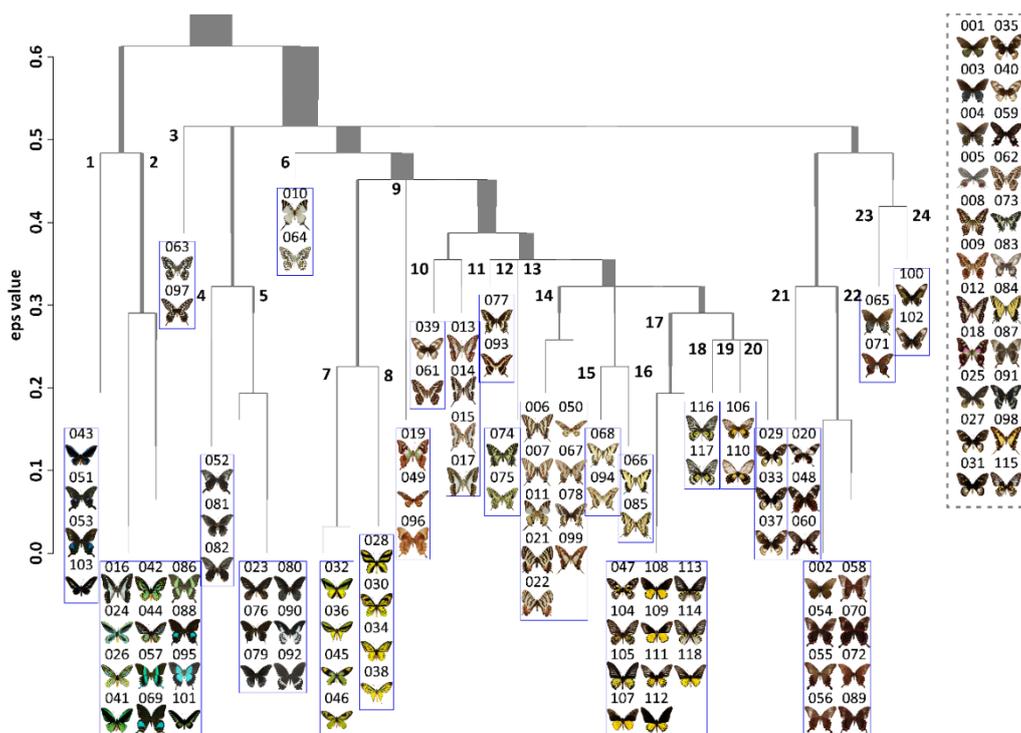


図 17 知覚的類似度から 24 クラスターに分類されたアゲハチョウ科 118 個体
グレイの幅はクラスターに含まれる画像の枚数 (i.e., 密度) を示す。また、分岐点にクラスター番号を示している

表 2 各クラスターの MML, 要素数 G, モデル

“VVV”は各要素が楕円分布かつそのサイズ, 形状, 方位が異なることを示す. “VVI”は対角分布かつサイズ, 形状が異なることを示す. “VVE”は楕円分布で方位が同じことを示す.

Cluster	MML	G	Model
1	2729463	18	VVV
2	9626306	20	VVI
3	1237900	20	VVV
4	1687101	19	VVV
5	3472926	20	VVV
6	1391970	20	VVV
7	1939729	14	VVV
8	2309471	9	VVE
9	2203279	18	VVV
10	1388672	17	VVV
11	3116491	17	VVV
12	1123383	20	VVV
13	1371536	17	VVV
14	6779642	19	VVV
15	1203188	15	VVV
16	1276463	13	VVV
17	7602091	10	VVV
18	1508144	16	VVV
19	1328840	20	VVV
20	1918051	14	VVV
21	1929157	19	VVV
22	6122828	18	VVV
23	1426978	19	VVV
24	1142360	17	VVV

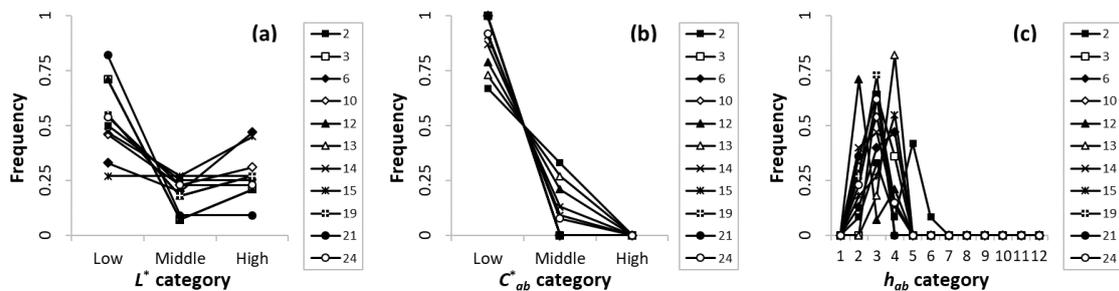


図 18 パターン①の(a)色相, (b)明度, (c)彩度における分布傾向

凡例は各クラスターを, 縦軸は各領域での代表色の頻度を示す

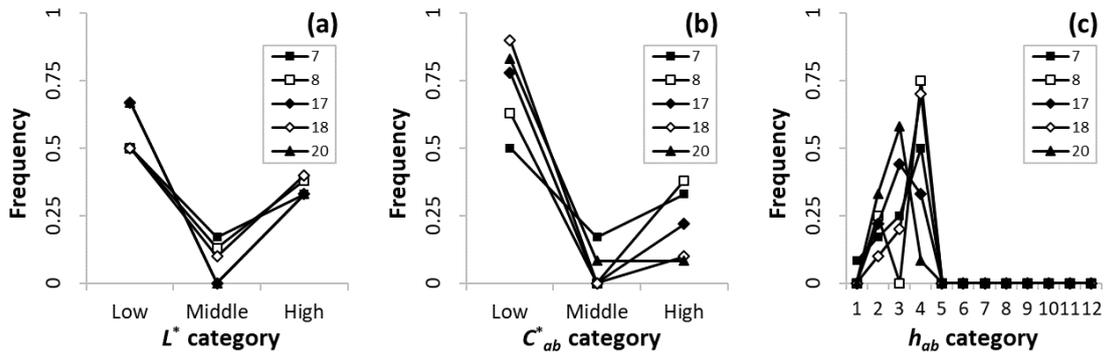


図 19 パターン②の分布傾向

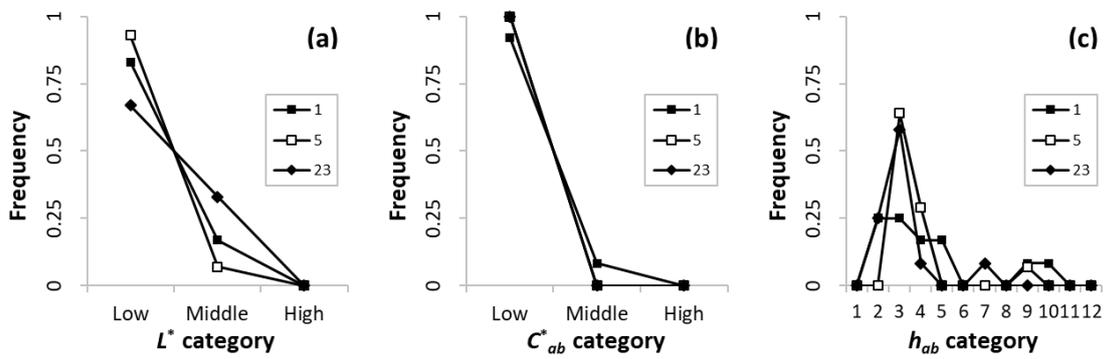


図 20 パターン③の分布傾向

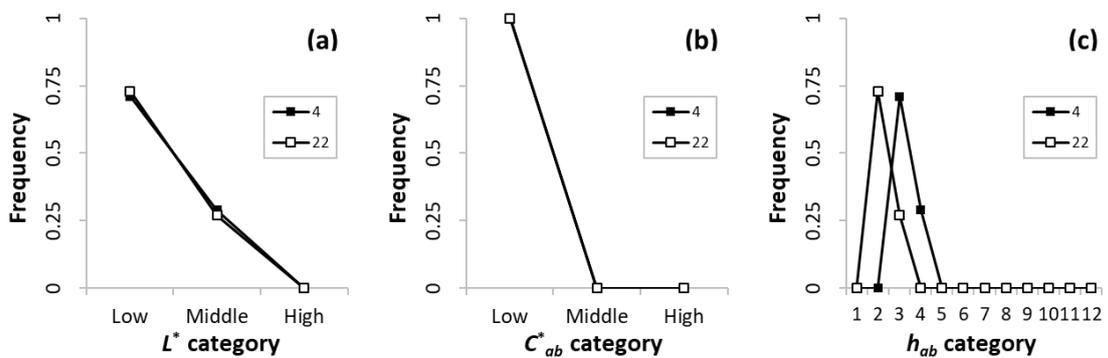


図 21 パターン④の分布傾向

2. 4. 総合考察

2. 4. 1. 何故これらの配色が好まれるのか

検討 1 の結果から、美的対象としてのアゲハチョウ科 118 個体の主たる配色法則は類似色相、類似彩度、対照明度であった。これらの色彩の調和と好ましさは主観評価の結果によって実証された。また、その配色法則は従来 of 色彩調和研究の結果の一部と一致した。したがって、本研究で得られた配色法則は人間の美的応答を十分に反映していると考えられる。では、何故これらの配色が好まれるのか？この問いに対して、認知科学の観点から議論したい。

近年の神経美学の研究から、調和配色の観察時に左内側眼窩前頭皮質 (mOFC) の賦活が確認されている (Ikeda et al. 2015)。mOFC は美的経験に関連する脳部位なので (Ishizu and Zeki 2011; Kawabata and Zeki 2004)、この結果は色彩調和が美的経験の下位概念であることを示している。なお、美的経験は処理流暢性の影響を受けることから (Reber, Schwarz, and Winkielman 2004)、色彩調和にも処理流暢性の影響が現れるかもしれない。実際、Reber (2004) の処理流暢性モデルを適用した多色配色の審美モデルや (Fang, Muramatsu, and Matsui 2017)、知覚効率性に基づく色彩美の視知覚モデルが提案されてきた (Bittermann 2018; Bittermann and Ciftcioglu 2016)。さらに、物体認知には色彩よりも形状が重要なため (Proverbio et al. 2004)、物体識別課題では色覚よりも輝度視でのパフォーマンスが高い (Mullen and Beaudot 2002)。実際、明度のコントラストは視覚課題のパフォーマンスやテキスト等の視認性を向上させる (Hall and Hanna 2004; Huang 2007; Ko 2017; Lin 2003; Mclean 1965; penkelink and Besuijen 1996)。さらに、視認性と快さは密接に相関する (Greco et al. 2008)。これらのことから、対照明度は物体認知を容易にすることが推測できる。また、彩度は奥行知覚や覚醒度、快適性に影響するので (Hagtvedt and Adam Brasel 2017; Sagawa 1999)、彩度のコントラストはこれらの知覚を歪めたり、崩壊させるかもしれない。言い換えれば、類似彩度はこれらの知覚のバランスを安定させる可能性がある。他にも、色の同時対比は眼精疲労を引き起こす (Albers 2006; Edridge-Green 1912)。特に、補色色相が色相の同時対比を強調するといわれているので (Chevreul 1855)、補色配色は特に強い眼精疲労を引き起こすかもしれない。実際、補色配色は明度や彩度のコントラストよりも知覚されるちらつきや精神疲労が強いことが報告されている (Yano, Tanikawa, and Fukuzumi 2012)。これらを踏まえると、補色色相よりも類似色相はグレア

を引き起こしにくいことが予測される。これらの現象は眼精疲労に影響すると推測される。眼精疲労はストレス計測の頑健な指標である EEG によって計測された α 波と β 波に関係しているので(Hsu and Wang 2013; Jap et al. 2009), 眼精疲労は認知負荷の影響も受けているのかもしれない。したがって、これらの認知的影響は配色に対する人の美的応答を喚起させる一つの要因たりえるのかもしれない。

2. 4. 2. 検討 1 の限界と展望

第一に、補色色相, 類似明度, 対照彩度配色は特定の配色との組み合わせで調和する可能性が示唆された。今後は主観評価などによる結果の検証を行う必要がある。

第二に、配色分析に用いた配色型の定義は色空間の分割領域に基づく。しかしこの定義は人間の知覚と多少異なるかもしれない。そこで今後は主観評価などによる配色の類似, 対照の閾値の調査を行う。

第三に、調査 1 と 2 の画像分類に用いた類似度はそれぞれ計算と知覚に基づく。これらの違いが画像の分類にどのような影響を及ぼすのかについても検討する。

第四に、構造色と色素色による蝶の発色構造の違いは色の見え方に影響を及ぼすため、各個体の特徴を完璧に反映しきれていないかもしれない。しかし、本研究では分析画像を蝶の最も代表的な姿, すなわち真上から見た開帳時の姿に統一したため, ”代表的な” 特徴としては十分反映できていると考えられる。本研究では多くの蝶に共通する代表的な特徴を得ることが目的なので、発色構造の違いによる特徴の分析は今後の検討課題とする。

最後に、本研究は普遍的な色彩調和原則の解明を最終目的とし、美的対象の配色分析を行っている。これまでは美的対象としてアゲハチョウ科のみを扱ってきたが、今後は分析対象を拡大したさらなる調査を進める。

3. 検討2:アゲハチョウ科の配色と質感の関係の調査

3. 1. 背景

製品の感性価値の向上は持続可能な社会の実現に貢献する。例えば、消費者のニーズに的確にこたえることで売れ残りが減り、消費者が一つの製品を長く使い続けることでごみも減る。製品の表面設計はその印象ひいては消費者の購買意欲に重要な役割を果たす。とくに、製品の表面を構成する **Color** (色彩), **Material** (材料), **Finishing** (表面加工) は、感性に訴えかける製品づくりへの効果が期待されている(加藤 2013)。なお、上記三要素のうちの材料と表面加工の複合要素は“質感”とみなせる。製品の感性価値向上に、自然界の色彩は貢献できるかもしれない。例えば、モルフォチョウの構造色は自動車の表面塗装に応用されている(LEXUS 2020)。蝶は芸術的価値が高く、その色彩美は人々を魅了してきた。特に蝶は女性向けの有名ブランドのモチーフとしてよく用いられる。例えば、レディースファッションブランドの HANAE MORI は、ブランドロゴやテキスタイルの模様には蝶を用いている(Mori 2001)。また、化粧品ブランドの ANNASUI は、アクセサリや製品のパッケージに蝶を用いている(Esculapio 2017)。レディースシューズブランドの ButterflyTwists は、ブランドネームやコンセプト、ブランドロゴに蝶を用いている(ButterflyTwists 2017)。したがって、蝶の色彩を女性向け製品の表面設計に応用できれば、より感性価値の高い製品を提案できるかもしれない。これまで、製品の表面設計の感性価値向上に向けて、色彩と質感語の関係が解明されてきた(内藤 et al. 1995, 2000; 内藤, 安武, and 飯岡 1997, 1999; 稲葉 2008)。しかし、配色と質感の関係については不明な点が多い。

3. 2. 検討2の目的

検討2では、女性向け製品の表面設計への応用に向け、蝶の配色と質感の関係を解明することにした。このために、蝶の配色に対する質感の印象評価を行った。

3. 3. 方法

3. 3. 1. 予備実験

3. 3. 1. 1. 刺激

先行研究で提案されている蝶の配色集および表面設計のサンプル集に用いられた 34 種の

アゲハチョウ科のカラーバーを実験刺激とした(梯 and 笠松 2015, 2016) (図 22). このカラーバーはアゲハチョウ科 34 種の配色を次の手順で再現している. まず, 最も面積の大きい色をカラーバーの背景色と定義し, その他の色を前景色とした. 前景色は可能な限り蝶の配色の位置を再現するように配置された. 前景色の面積が非常に小さい場合は, ブロック状にして配置した. 前景色の群を背景色の中心に配置した. カラーバーの縦横比は 10:3 に統一した.

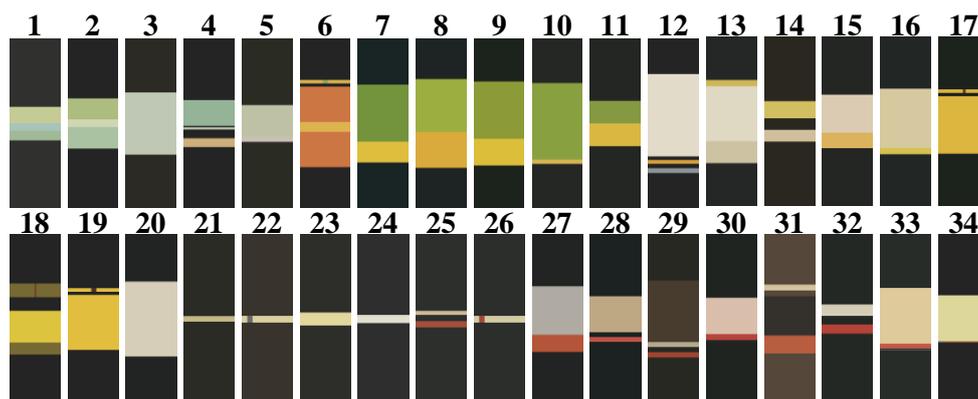


図 22 予備実験に用いられた 34 刺激

3. 3. 1. 2. 評価項目

女性向け製品の表面設計への応用に向けて女性らしい印象の刺激を選ぶために, “女性的な—男性的な” と “可愛い—可愛くない” を用いた. これらの項目に, “左の語に対してそう思う (5 点)”, “左の語に対してややそう思う (4 点)”, “どちらでもない (3 点)”, “右の語に対してややそう思う (2 点)”, “右の語に対してそう思う (1 点)” の 5 段階の評価点を設定した.

3. 3. 1. 3. 実験環境・参加者・手続き

予備実験は照度 1800lx (x: 0.39, y: 0.40) の室内に設置されたモニター (RDT234WLM, created using Mitsubishi Electric Corporation) 上で, Google フォームを用いて実施された. モニターと観察者との視距離は約 60cm に統一された.

正常色覚者 10 名 (男性 5 名, 女性 5 名, 年齢: 10 代後半~20 代) が実験に参加した. 実験実施の前に, 参加者は実験概要の説明と石原色覚検査表による色覚検査を受けた. 実験

中，参加者はモニター上に無作為に提示された刺激を観察し，刺激の下に表示された選択肢から最適な回答を選択した．この試行は，34 刺激の評価が完了するまで続いた．

3. 3. 1. 4. 予備実験の結果

表 3 に各刺激の女性らしさと可愛さの平均評価値を示す．いずれかの評価項目の平均値が 2.5 未満の刺激は低群，2.5 以上 3.6 未満の刺激は中群，3.6 以上の刺激は高群と定義した．その結果，1, 2, 4, 6, 15, 16, 25, 30, 31, 33 の 10 刺激が高群に分類された．

表 3 女性らしさと可愛さの平均値

no.	feminine	pretty	no.	feminine	pretty
1	2.7	3.6	18	2.7	1.8
2	3.9	3.9	19	2.5	2.4
3	2	1.9	20	2.1	1.8
4	4	4.6	21	2.5	2.4
5	2.7	2.6	22	2.6	2
6	3.8	2.9	23	2.7	2.4
7	2.6	2.9	24	2	2
8	2.7	2.5	25	3.2	3.7
9	2.9	2.6	26	3.2	3.3
10	2.7	2.6	27	3.1	3
11	3.1	3.1	28	3.4	3.3
12	2.8	3.3	29	2.9	3.5
13	3.2	2.7	30	4.5	4.2
14	2.6	2.7	31	3.3	3.7
15	3.7	3.6	32	3	3.2
16	4	3.6	33	3.7	3.4
17	2.9	2.6	34	2.7	3.2

3. 3. 2. 印象評価

3. 3. 2. 1. 刺激・評価項目

予備実験の結果から高群に定義された 10 刺激を実験に用いた (図 23)．表 4 に各刺激の CIELCh 値を示す．評価項目は，質感の印象評価に関連した研究を参考に温かい—冷たい，滑らかな—粗い，柔らかい—硬い，つやつやした—つやのないの 4 形容詞対を選んだ(兵藤 et al. 2013; 永野, 岡本, and 山田 2011; 稲葉 2008)．これらの項目に，予備実験と同様の評価点を設定した．

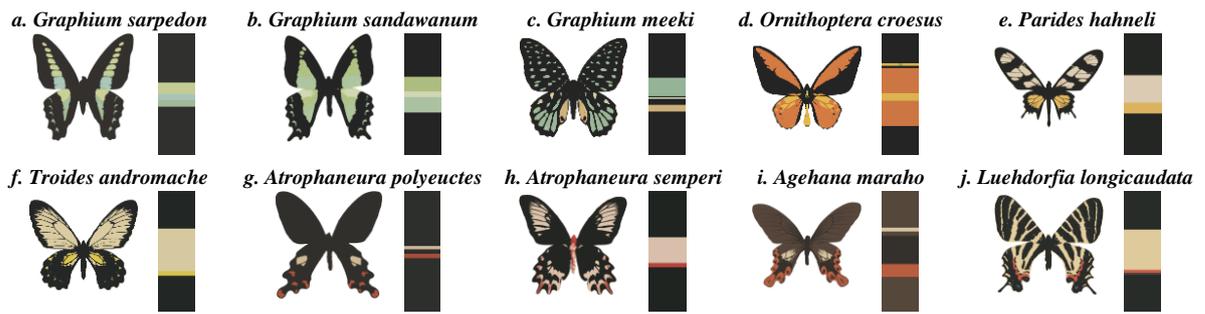


図 23 実験に用いられた 10 刺激

表 4 10 刺激の CIELCh 値

	L^*	C_{ab}^*	h_{ab}		L^*	C_{ab}^*	h_{ab}
a	20	2	63	f	15	2	173
	78	12	169		82	24	92
	82	30	111		80	62	96
	73	22	133		g	19	2
b	14	0	118	45		46	40
	77	20	135	77		21	84
	75	34	118	h	14	3	137
	85	19	115		80	16	69
c	14	0	118		47	56	33
	71	19	141	i	31	11	60
	74	32	82		21	4	74
	83	16	122		51	50	46
d	14	0	118		80	20	89
	60	54	56	j	18	2	134
	77	59	87		83	27	89
	67	41	118		53	55	38
e	15	1	129		40	10	274
	83	16	85				
	76	51	83				

3. 2. 2. 2. 実験環境・手続き

予備実験と同様の環境にて実験を行った。モニターの左側には Google フォームのウィンドウが、右側には刺激が表示された。正常色覚者 21 名（男性 11 名，女性 10 名，年齢：10

代後半～20代)が実験に参加した。実験実施の前に、参加者は実験概要の説明と石原色覚検査表による色覚検査を受けた。実験中、参加者はモニター上に無作為に提示された刺激を観察し、刺激の下に表示された選択肢から最適な回答を選択した。この試行は10刺激の評価が完了するまで続いた。

3.4. 結果・考察

各質感の形容詞対と CIELCH の各属性の分散との関係を調べるために、CIELCH の各属性の分散を説明変数、各質感の形容詞対をそれぞれ目的変数として重回帰分析を行った。その結果得られた重回帰係数と、CIELCH の各属性の分散の標準回帰係数を表 5 に示した。重回帰係数は温かい—冷たいのみで優位で、このうち、 L^* と C_{ab}^* の標準回帰係数が有意であった。よって、明度の分散の大きさすなわち対照明度と、彩度の分散の小ささすなわち類似彩度は冷たさに影響すると考えられる。なお、配色の温かさや柔らかさを含む感情は、単色の色彩感情の平均から推定できることから(Ou et al. 2004b)、配色のコントラストは質感にはあまり影響しないのかもしれない。ただし、印象評価に用いた刺激の数が少なかったことが重回帰分析の結果に影響した可能性があるため、刺激の数を増やした調査を今後行う必要がある。

表 5 重回帰分析の結果

説明変数	温かい—冷たい 標準偏回帰係数	滑らかな—粗い 標準偏回帰係数	柔らかい—硬い 標準偏回帰係数	つやつやした—つやのな い 標準偏回帰係数
R (R ²)	.916 (.838)**	.636 (.404)	.326 (.107)	.599 (.359)
L^*	.017*	.000	-.008	-.007
C_{ab}^*	-.011**	.004	-.001	.003
h_{ab}	.000	.000	.000	.000

* p<.05 ** p<.01

4. 結論

検討 1 では、美的対象としてのアゲハチョウ科の配色法則の解明を目的とした。この目的のために、調査 1 ではアゲハチョウ科 118 個体の画像を色彩の類似度にもとづいて分類し、各クラスターの代表色の分布から配色傾向を分析した。その結果、主に次の配色法則を得た。すなわち、①低明度支配の対照明度、②低彩度支配の類似彩度、③橙～黄緑支配の類似色相。なお、これらの法則は既往研究の最も頑健な色彩調和原理の一部と一致した。さらに調査 2 では、調査 1 と同じ画像を色彩の知覚的類似度にもとづいて分類し、配色分析を行った。その結果、色相、明度、彩度の組み合わせにおいて、主に次の配色法則を得た。すなわち、①対照明度・類似彩度・類似色相配色、②対照明度・対照彩度・類似色相配色、③類似明度・類似彩度・補色色相配色、④類似明度・類似彩度・類似色相配色。上記の法則のうち、調査 1 での主要な結果ではなかった類似明度、対照彩度、補色色相は、特定の配色との組み合わせで調和する可能性が示唆された。次に、検討 2 では、アゲハチョウ科の配色のデザイン応用に向け、アゲハチョウ科の配色と質感の関係の解明を目的とした。このために、アゲハチョウ科の配色に対する質感の印象評価を行った。その結果、アゲハチョウ科の配色における対照明度と類似彩度は冷たさに影響することが示唆された。一方、冷温感以外に顕著な傾向がみられなかった。検討 1 と検討 2 の結果から、配色のコントラストは色彩調和に強く影響する一方、質感にはあまり影響しないことが示唆された。

付録

刺激

美的対象としてのアゲハチョウ科 118 個体の配色は、無秩序な配色で構成されているそれよりも調和し、好まれることが予想される。これらの配色が人間にとって調和し、好ましいと知覚されるかどうかを検証するため、本研究で選ばれた画像の配色を無作為に変更し、オリジナルと比較した。もし上記の仮説が正しければ、変更画像の配色はオリジナル画像の配色よりも不調和なはずである。

オリジナル画像の配色を次の手順で変更した。まず、CIELCh 色空間の L^* と C_{ab}^* を 3 分割し、 h_{ab} を 12 分割した。分割後の L^* と C_{ab}^* の各区分に -100 から 100 までの 10 刻みの乱数を加算した。乱数加算後の値が 0 未満か 101 以上だった場合は、それぞれ 0 か 100 に補正した。 h_{ab} の各区分には、0 から 360 までの 10 刻みの乱数を加算し、乱数加算後の値が 360 以上なら、360 を減算した。加算された乱数は、画像とその区分ごとに異なった。表 6 に変更画像の一覧を示す。

刺激のサイズと解像度はそれぞれ 11.4 cm と 400 ppi だった。刺激サイズは本研究で選ばれた 118 個体のうち、114 個体の長辺の平均値によって決定された。各個体の長辺は画像に含まれるスケールにもとづき計測されたため、画像にスケールを含まない 005, 083, 092, および 095 (表 6 参照) は計測から除外された。

以上から、オリジナル画像 118 枚と変更画像 118 枚で構成される 236 刺激が実験に用いられた。

評価尺度

実験の評価項目には“調和した”と“好ましい”を用いた。これらの項目に、“非常にそう思う (3 点)”, “そう思う (2 点)”, “ややそう思う (1 点)”, “どちらでもない (0 点)”, “ややそう思わない (-1 点)”, “そう思わない (-2 点)”, “非常にそう思わない (-3 点)” の 7 段階の評価点を設定した。なお、評価項目の意味は“提示された画像の配色がどれくらい美しい (好き) か”と定義された。

環境・参加者

実験は暗室内に設置されたモニター (BL3201PT, BenQ, Inc., Taipei, Taiwan) 上で実施

された。モニターの色較正は i1 Display Pro (X-Rite, Inc., Grand Rapids, MI, USA) によった。各刺激は白い背景 (R, G, B = 1.0, 1.0, 1.0) の上に提示された。モニターと観察者との視距離は約 75cm に統一された。

千葉大学から正常色覚者 31 名 (男性 18 名, 女性 13 名, 年齢: 10 代後半~30 代後半) が実験に参加した。

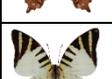
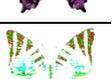
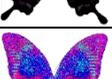
手続き

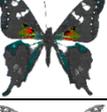
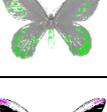
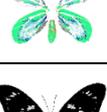
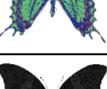
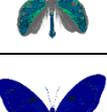
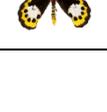
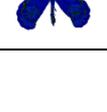
実験実施の前に、参加者は実験概要の説明と石原色覚検査表による色覚検査を受けた。その後、参加者は暗室に移動し、実験画面の操作方法と評価項目の意味について説明を受けた。画像の評価では深く考え込まずに直感で回答するように教示を与えた。実験中、参加者はモニター上にランダムに提示された刺激を観察し、刺激の下に表示されたスケールバーから最適な回答を選択した。回答が選択されると、スケールバーの下の選択ボタンが決定ボタンに変化した。参加者が選択ボタンをクリックするまで、自由に回答を変更できた。選択ボタンをクリックされると、次の画像が提示された。この試行は、236 刺激の評価が完了するまで続いた。図 24 に実験画面を示す。

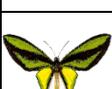
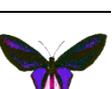
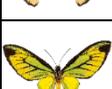
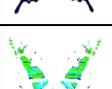
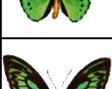


図 24 主観評価実験の画面

表 6 アゲハチョウ科 118 個体の画像とその変更画像

No.	Genus Species	Note	Image	Modify	No.	Genus Species	Note	Image	Modify
001	<i>Battus belus</i>				060	<i>Papilio bootes</i>	Reverse		
002	<i>Battus belus</i>	Reverse			061	<i>Papilio demodocus</i>			
003	<i>Battus philenor</i>				062	<i>Papilio demodocus</i>	Reverse		
004	<i>Battus philenor</i>	Reverse			063	<i>Papilio demoleus</i>			
005	<i>Bhutanitis lidderdalii</i>				064	<i>Papilio demoleus</i>	Reverse		
006	<i>Eurytides marcellus</i>				065	<i>Papilio glaucus</i>	Female		
007	<i>Eurytides marcellus</i>	Reverse			066	<i>Papilio glaucus</i>	Male		
008	<i>Graphium agamemnon</i>				067	<i>Papilio glaucus</i>	Female Reverse		
009	<i>Graphium agamemnon</i>	Reverse			068	<i>Papilio glaucus</i>	Male Reverse		
010	<i>Graphium antiphates</i>				069	<i>Papilio karna</i>			
011	<i>Graphium antiphates</i>	Reverse			070	<i>Papilio karna</i>	Reverse		
012	<i>Graphium doson</i>				071	<i>Papilio maackii</i>			
013	<i>Graphium doson</i>	Reverse			072	<i>Papilio maackii</i>	Reverse		
014	<i>Graphium policenes</i>				073	<i>Papilio machaon</i>			

015	<i>Graphium policenes</i>	Reverse			074	<i>Papilio machaon</i>	Subspecies A		
016	<i>Graphium sarpedon</i>				075	<i>Papilio machaon</i>	Subspecies A Reverse		
017	<i>Graphium sarpedon</i>	Reverse			076	<i>Papilio machaon</i>	Subspecies B		
018	<i>Graphium weiskei</i>				077	<i>Papilio machaon</i>	Subspecies C		
019	<i>Graphium weiskei</i>	Reverse			078	<i>Papilio machaon</i>	Subspecies C Reverse		
020	<i>Losaria neptunus</i>				079	<i>Papilio Memnon</i>	Male		
021	<i>Luehdorfia japonica</i>				080	<i>Papilio Memnon</i>	Subspecies Male		
022	<i>Luehdorfia japonica</i>	Reverse			081	<i>Papilio Memnon</i>	Male Reverse		
023	<i>Ornithoptera alexandra</i>	Female			082	<i>Papilio Memnon</i>	Subspecies Male Reverse		
024	<i>Ornithoptera alexandra</i>	Male			083	<i>Papilio Memnon</i>	Female		
025	<i>Ornithoptera alexandra</i>	Female Reverse			084	<i>Papilio multicaudata</i>			
026	<i>Ornithoptera alexandra</i>	Male Reverse			085	<i>Papilio multicaudata</i>	Reverse		
027	<i>Ornithoptera chimaera</i>	Female			086	<i>Papilio palinurus</i>			
028	<i>Ornithoptera chimaera</i>	Male			087	<i>Papilio palinurus</i>	Reverse		
029	<i>Ornithoptera chimaera</i>	Female Reverse			088	<i>Papilio paris</i>			

030	<i>Ornithoptera chimaera</i>	Male Reverse			089	<i>Papilio paris</i>	Reverse		
031	<i>Ornithoptera goliath</i>	Female			090	<i>Papilio polymnestor</i>			
032	<i>Ornithoptera goliath</i>	Male			091	<i>Papilio polymnestor</i>	Reverse		
033	<i>Ornithoptera goliath</i>	Female Reverse			092	<i>Papilio polytes</i>			
034	<i>Ornithoptera goliath</i>	Male Reverse			093	<i>Papilio thoas</i>			
035	<i>Ornithoptera paradisea</i>	Female			094	<i>Papilio thoas</i>	Reverse		
036	<i>Ornithoptera paradisea</i>	Male			095	<i>Papilio ulysses</i>			
037	<i>Ornithoptera paradisea</i>	Female Reverse			096	<i>Papilio ulysses</i>	Reverse		
038	<i>Ornithoptera paradisea</i>	Male Reverse			097	<i>Pharmacophagus antenor</i>			
039	<i>Ornithoptera priamus</i>	Female			098	<i>Protographium thyastes</i>			
040	<i>Ornithoptera priamus</i>	Female Reverse			099	<i>Protographium thyastes</i>	Reverse		
041	<i>Ornithoptera priamus</i>	Male			100	<i>Trogonoptera brookiana</i>	Female		
042	<i>Ornithoptera priamus</i>	Male Reverse			101	<i>Trogonoptera brookiana</i>	Male		
043	<i>Ornithoptera priamus</i>	Subspecies Male			102	<i>Trogonoptera brookiana</i>	Female Reverse		
044	<i>Ornithoptera priamus</i>	Subspecies Male Reverse			103	<i>Trogonoptera brookiana</i>	Male Reverse		

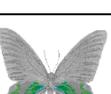
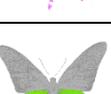
045	<i>Ornithoptera victoriae</i>	Male			104	<i>Troides aeacus</i>	Female		
046	<i>Ornithoptera victoriae</i>	Male Reverse			105	<i>Troides aeacus</i>	Male		
047	<i>Ornithoptera victoriae</i>	Female			106	<i>Troides amphrysus</i>	Female		
048	<i>Pachliopta hector</i>				107	<i>Troides amphrysus</i>	Male		
049	<i>Papilio antimachus</i>				108	<i>Troides andromache</i>	Male		
050	<i>Papilio antimachus</i>	Reverse			109	<i>Troides andromache</i>	Male Reverse		
051	<i>Papilio arcturus</i>				110	<i>Troides andromache</i>	Female		
052	<i>Papilio arcturus</i>	Reverse			111	<i>Troides helena</i>	Female		
053	<i>Papilio bianor</i>				112	<i>Troides helena</i>	Male		
054	<i>Papilio bianor</i>	Reverse			113	<i>Troides hypolitus</i>	Male		
055	<i>Papilio bianor</i>	Subspecies			114	<i>Troides hypolitus</i>	Male Reverse		
056	<i>Papilio bianor</i>	Subspecies Reverse			115	<i>Troides hypolitus</i>	Female		
057	<i>Papilio blumei</i>				116	<i>Troides magellanus</i>	Female		
058	<i>Papilio blumei</i>	Reverse			117	<i>Troides magellanus</i>	Female Reverse		
059	<i>Papilio bootes</i>				118	<i>Troides magellanus</i>	Male		

表 7 GMM によって得られた代表色の変数.

π_k が 3%以下の代表色は除外してある

Cluster 1					
No	π_k	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.163	2.833	2.79	1.59	22.9
		2.294	1.59	1.59	17.3
		42.51	22.9	17.3	508
2	0.0722	5.972	7.67	6.08	36.5
		6.402	6.08	9.19	21.6
		37.4	36.5	21.6	361
3	0.0625	12.24	22.4	16.3	35.9
		17.04	16.3	24.6	16.8
		40.8	35.9	16.8	105
4	0.1	8.389	10.3	4.21	17.3
		4.805	4.21	4.41	10.1
		79.04	17.3	10.1	1310
5	0.0413	17.71	51.3	6.14	63.3
		5.704	6.14	4.65	32
		71.43	63.3	32	730
6	0.0687	20.08	44.9	23.4	34
		14.37	23.4	31.2	-42.5
		82.98	34	-42.5	726
7	0.083	1.552	0.672	0.218	-3.34
		0.9651	0.218	0.362	-7.94
		91.81	-3.34	-7.94	656
8	0.088	15.67	19.6	11	4.48
		10.92	11	15	15.7
		119.6	4.48	15.7	138
9	0.0525	27.34	38.6	6.22	-17.8
		16.87	6.22	27.6	35.3
		120.3	-17.8	35.3	98
10	0.0474	12.94	40.4	15.3	-108
		7.893	15.3	21.5	-28
		265.6	-108	-28	2270
11	0.0766	36.52	193	108	-15.5
		32.55	108	141	82.6
		271.9	-15.5	82.6	174
12	0.031	47.16	180	146	69.7
		35.23	146	196	108
		130	69.7	108	180

Cluster 2

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.117	4.556	2.91	0	0
		5.398	0	5.77	0
		34.36	0	0	255
2	0.128	23.88	49.3	0	0
		10.51	0	44.3	0
		78.69	0	0	687
3	0.07	1.882	1.82	0	0
		1.176	0	0.733	0
		73.98	0	0	2760
4	0.0822	8.86	6.58	0	0
		6.456	0	2.74	0
		77.18	0	0	548
5	0.122	11.79	11.2	0	0
		12.47	0	17.3	0
		68.06	0	0	1190
6	0.0306	20.72	18.2	0	0
		24.44	0	30.5	0
		131.9	0	0	149
7	0.0328	33.75	63.8	0	0
		23.75	0	22.8	0
		110.7	0	0	32.7
8	0.0584	45.85	193	0	0
		26.18	0	145	0
		133.7	0	0	2860
9	0.0413	43.34	93.5	0	0
		40.8	0	72	0
		131.1	0	0	114
10	0.0303	80.14	11.6	0	0
		42.71	0	38.1	0
		130.7	0	0	33.9
11	0.0701	68.23	53.3	0	0
		63.41	0	114	0
		129	0	0	233
12	0.0609	73.45	40.3	0	0
		35.23	0	34.2	0
		170.8	0	0	764

Cluster 3

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.0883	19.16	16.5	0.298	-2.38
		13.63	0.298	0.833	0.275
		65.88	-2.38	0.275	9.27
2	0.0663	17.72	8.33	-0.5	1.63
		9.96	-0.5	0.139	0.142
		82.51	1.63	0.142	0.858
3	0.0417	23.85	130	40.3	-60.1
		10.09	40.3	16.4	-18
		80.74	-60.1	-18	175
4	0.0784	19.89	37.8	12	13.9
		13.92	12	21.1	5
		65.92	13.9	5	51.2
5	0.0701	20.78	41.4	0.82	23
		10.09	0.82	2.53	8.02
		81.81	23	8.02	40.8
6	0.0704	7.679	7.57	5.08	13.6
		7.428	5.08	3.9	11.2
		68.03	13.6	11.2	66.6
7	0.0544	11.4	8.11	4.06	15.2
		12.11	4.06	2.89	7.52
		66.4	15.2	7.52	60
8	0.123	12.62	26.9	9.85	12.2
		8.134	9.85	7.04	7.54
		72.55	12.2	7.54	172
9	0.0378	15.29	16.5	-0.23	1.92
		6.538	-0.23	0.288	0.425
		90.64	1.92	0.425	10.5
10	0.0743	29.8	108	9.35	27.8
		9.609	9.35	5.41	7.51
		93.19	27.8	7.51	55
11	0.0327	48.05	234	30.1	41.6
		14.38	30.1	19.6	5.12
		101.8	41.6	5.12	17.3
12	0.0315	66.7	228	-12.2	62.3
		14.71	-12.2	29	4.31
		77.38	62.3	4.31	65
13	0.0684	92.59	24.9	-5.51	56.3
		5.221	-5.51	6.85	-5.93
		94.95	56.3	-5.93	271
14	0.0418	95.47	2.39	-1	0.696
		7.412	-1	3.41	-0.62
		117.1	0.696	-0.62	3.67

Cluster 4

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.0358	6.286	5.79	1.72	-0.36
		3.2	1.72	0.672	2.41
		60.73	-0.36	2.41	111
2	0.0438	7.241	1.16	0.327	0.801
		3.571	0.327	0.093	0.218
		64.31	0.801	0.218	0.646
3	0.102	16.38	32.6	2.06	14.1
		5.917	2.06	1.62	7.68
		86.42	14.1	7.68	64.4
4	0.0938	12.73	8.18	-0.22	1.82
		3.802	-0.22	0.047	0.572
		65.54	1.82	0.572	9.69
5	0.041	30.83	30.6	-1.27	3.22
		9.134	-1.27	0.171	0.158
		83.99	3.22	0.158	1.07
6	0.0556	10.95	37.4	4.57	73.9
		3.471	4.57	1.74	19.4
		73.47	73.9	19.4	972
7	0.0501	19.82	54.9	-1.86	19.2
		3.81	-1.86	0.306	3.01
		64.22	19.2	3.01	91.7
8	0.0998	25.42	56.1	-3.77	31.9
		8.309	-3.77	4.73	-1
		86.85	31.9	-1	72.2
9	0.0405	22.1	42.6	-1.5	4.83
		6.511	-1.5	0.307	0.744
		64.23	4.83	0.744	33.9
10	0.0871	19.51	19.3	-0.5	2.81
		6.451	-0.5	0.181	0.351
		90.32	2.81	0.351	1.49
11	0.0806	43.46	141	2.24	54.1
		10.05	2.24	2.18	7.74
		89.34	54.1	7.74	54
12	0.0774	50.92	202	-6.34	7.43
		9.017	-6.34	0.737	0.586
		101.1	7.43	0.586	4.02
13	0.0594	55.72	370	-4.77	240
		5.594	-4.77	2.98	-0.46
		95.27	240	-0.46	340
14	0.0421	44.25	141	-2.62	5.94
		5.723	-2.62	0.185	0.278
		91.78	5.94	0.278	1.39

Cluster 5

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.0537	23.24	6.59	0.096	3.08
		3.173	0.096	0.268	2.68
		68.12	3.08	2.68	121
2	0.0714	22.98	98	8.45	136
		3.984	8.45	3.31	39.9
		60.53	136	39.9	790
3	0.0439	12.57	7.09	-0.17	1.89
		3.806	-0.17	0.045	0.571
		65.52	1.89	0.571	9.71
4	0.122	11.76	10.4	1.51	0.725
		6.158	1.51	3.37	4.93
		75.65	0.725	4.93	187
5	0.0567	14.29	11.1	4.97	11.9
		10.73	4.97	6.18	10.5
		73.18	11.9	10.5	69
6	0.0438	28.24	97.6	44.4	16.1
		15.52	44.4	30.4	-2.9
		80.1	16.1	-2.9	107
7	0.0963	23.62	16.8	2.39	-42.4
		3.117	2.39	1.68	-7.58
		87	-42.4	-7.58	376
8	0.0647	7.503	8.42	1.62	2.57
		3.156	1.62	2.22	-13.7
		88.21	2.57	-13.7	734
9	0.0786	13.74	6.02	0.517	-4.23
		8.555	0.517	0.545	-0.91
		68.32	-4.23	-0.91	35.9
10	0.0306	29.47	160	0.028	59.9
		4.049	0.028	0.572	4.84
		118.2	59.9	4.84	98.8
11	0.0383	19.13	25.7	-0.92	2.99
		6.567	-0.92	0.209	0.32
		90.5	2.99	0.32	1.4
12	0.0606	11.83	17.2	9E-04	-0
		0.0012	9E-04	5E-08	-0
		117.8	-0	-0	3E-08
13	0.0736	25.68	73.9	-2.08	67
		5.454	-2.08	4.24	-15.6
		90.19	67	-15.6	381
14	0.0583	49.01	692	-1.83	-743
		3.362	-1.83	2.78	16.1
		243.5	-743	16.1	2460

Cluster 6

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.0446	3.765	3.48	2.39	18
		3.59	2.39	2.82	13.5
		35.49	18	13.5	282
2	0.0406	3.245	0.532	0.31	-5.58
		2.184	0.31	0.629	-6.56
		56.66	-5.58	-6.56	880
3	0.0309	11.1	22.7	8.3	5.55
		8.432	8.3	9.64	-9.2
		65.11	5.55	-9.2	382
4	0.0458	23.35	31.4	0.659	11.7
		11.89	0.659	1.33	3.26
		89.58	11.7	3.26	14.1
5	0.113	32.78	135	11.1	51.2
		14.82	11.1	11.9	6.09
		88.96	51.2	6.09	56
6	0.0496	33.19	34.2	2.54	15.4
		14.98	2.54	2.49	5.62
		83.87	15.4	5.62	18
7	0.0451	42.72	369	64.9	361
		25.6	64.9	52.5	67
		68.86	361	67	398
8	0.0563	50.96	353	1.62	299
		13.15	1.62	17.5	1.53
		82.68	299	1.53	413
9	0.0544	95.63	0.202	-0.06	0.019
		3.766	-0.06	1.68	-0.07
		116.8	0.019	-0.07	0.549
10	0.0956	80.71	2	-0.35	0.635
		7.569	-0.35	1.08	-0.81
		117.6	0.635	-0.81	15
11	0.0732	95.56	7.6	-2.95	4.24
		5.571	-2.95	6.57	-7.05
		115.5	4.24	-7.05	64.5
12	0.0927	77.56	138	-18.4	30.3
		15.66	-18.4	23.8	-4.13
		104	30.3	-4.13	19.9
13	0.0355	72.58	6.65	-14.9	9.17
		27.68	-14.9	60.2	-22
		106.1	9.17	-22	16.8
14	0.0355	77.39	11.1	-2.2	19.5
		9.278	-2.2	5.78	-13.2
		117.2	19.5	-13.2	99.7

15	0.108	79.36	5.92	-2.47	1.05
		11.23	-2.47	6.82	-4.9
		113.1	1.05	-4.9	17.6
Cluster 7					
No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.064	1.019	0.681	0.925	11.7
		1.911	0.925	1.6	17.5
		24.88	11.7	17.5	297
2	0.0756	8.818	9.93	8.36	24.2
		9.87	8.36	12.4	12
		56.7	24.2	12	141
3	0.0858	4.002	2.68	1.86	15
		4.909	1.86	2.99	0.286
		51.97	15	0.286	270
4	0.0589	12.5	32.3	21.1	13.4
		8.931	21.1	20.1	26.2
		88.47	13.4	26.2	1040
5	0.0924	2.289	1.45	0.948	-6.52
		2.137	0.948	1.14	-11.9
		81.35	-6.52	-11.9	1320
6	0.0415	19.67	40	16.7	28.4
		15.1	16.7	30.8	10.6
		65.81	28.4	10.6	67.7
7	0.0939	50.76	267	249	-38.9
		47.59	249	263	-41
		118	-38.9	-41	28.6
8	0.0877	50.11	299	231	3.81
		40.56	231	237	-28.9
		105.2	3.81	-28.9	139
9	0.0615	91.81	1.79	1.71	1.96
		91.32	1.71	1.64	1.88
		97.34	1.96	1.88	2.18
10	0.0352	81.35	55.2	49.2	17.6
		81.71	49.2	44.2	15.2
		93.77	17.6	15.2	17
11	0.138	68.6	22	19	-5.98
		73.13	19	21.8	4.81
		109.9	-5.98	4.81	23.4
12	0.127	66.39	63.3	54.5	-27.8
		66.83	54.5	54.7	-16.3
		105.7	-27.8	-16.3	50.9

Cluster 8

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.0805	1.088	0.89	0.858	18.9
		1.486	0.858	1.19	24.9
		33.69	18.9	24.9	755
2	0.162	7.64	19.4	13	6.42
		7.53	13	16.6	8.8
		58.2	6.42	8.8	292
3	0.0656	1.763	1.47	1.09	9.61
		1.453	1.09	1.47	12.7
		100.5	9.61	12.7	386
4	0.0337	0.5271	0.202	0.125	0.357
		0.4641	0.125	0.182	0.473
		113	0.357	0.473	14.6
5	0.159	39.15	350	267	-6.96
		29.06	267	289	-2.21
		95.81	-6.96	-2.21	425
6	0.218	72.75	82.3	64.5	-3.14
		70.89	64.5	67.4	-2.46
		101.1	-3.14	-2.46	42
7	0.188	81.06	43.4	38.5	-1.91
		81.45	38.5	34.6	-1.51
		95.41	-1.91	-1.51	18.1
8	0.0714	91.01	1.07	0.956	-0.02
		90.59	0.956	0.854	3E-04
		96.46	-0.02	3E-04	1.59

Cluster 9

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.0345	17.52	17.2	19.2	13.5
		30.87	19.2	30	13.9
		42.34	13.5	13.9	16.6
2	0.0355	10.96	18.1	13.3	32.4
		16.45	13.3	26.9	12.3
		37.37	32.4	12.3	93.5
3	0.103	30.67	55.3	17.7	35.1
		38.47	17.7	18.2	8.36
		48.55	35.1	8.36	29.5
4	0.071	28.52	23.6	11.1	9.35
		44.75	11.1	16.1	3.18
		45.27	9.35	3.18	6.31
5	0.0857	35.22	156	9.17	118
		24.94	9.17	31.1	-2.73

6	0.142	57.72	118	-2.73	134
		42.58	25.1	4.22	16.2
		49.55	4.22	12.9	-2.21
7	0.123	52.88	16.2	-2.21	14.6
		49.89	70.5	-29.3	50.2
		40.61	-29.3	46	-28.2
8	0.0686	59.53	50.2	-28.2	49.6
		62.34	20.8	-13.8	23.2
		41.47	-13.8	17.8	-17.2
9	0.0345	71.9	23.2	-17.2	31.5
		58.17	73.8	-35.5	85.7
		57.06	-35.5	58.6	-69.2
10	0.0878	62.88	85.7	-69.2	124
		52.41	26.5	-8.62	21.9
		48.86	-8.62	8.09	-8.59
11	0.0401	61	21.9	-8.59	20.6
		57.42	83.2	18.8	35
		36.42	18.8	52	-0.28
12	0.0491	106.9	35	-0.28	175
		75.74	24	-21.9	26.1
		32.33	-21.9	94	-20.5
13	0.0408	87.49	26.1	-20.5	39.9
		71.72	115	-67.9	183
		18.58	-67.9	79	-78.3
		91.09	183	-78.3	648

Cluster 10

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.047	20.1	47.2	19.4	41
		30.51	19.4	56.6	7.06
		42.36	41	7.06	47.3
2	0.132	21.12	53	7.18	58.5
		23.51	7.18	16.9	12.7
		44.32	58.5	12.7	87.4
3	0.12	15.66	8.58	6.84	5.27
		20.78	6.84	10.6	4.67
		43.55	5.27	4.67	16.6
4	0.119	31.75	114	23.8	63.6
		23.03	23.8	24.1	-6.76
		59.84	63.6	-6.76	108
5	0.07	21.12	12.4	5.81	2.31
		22.79	5.81	8.45	1.5
		66.73	2.31	1.5	5.49
6	0.0527	13.61	11.3	12	9.66
		17.91	12	16.5	6.15

7	0.0448	63.82	9.66	6.15	23.1
		55.24	303	0.527	310
		20.55	0.527	30.1	23.6
8	0.0497	73.48	310	23.6	478
		33.22	32.8	-1.92	2.8
		26.77	-1.92	2.47	1.92
9	0.0881	65.77	2.8	1.92	4.35
		45	95.7	-9.57	18.3
		29.24	-9.57	10.7	-1.27
10	0.0531	69.26	18.3	-1.27	9.03
		76.55	68.2	-52.2	21.2
		23.61	-52.2	95.8	0.07
11	0.0608	80.24	21.2	0.07	22.9
		91.78	13.6	-8.44	8.25
		6.639	-8.44	6.22	-2.28
12	0.0543	83.75	8.25	-2.28	50.3
		89.42	1.68	-1.82	2.57
		14.64	-1.82	8.76	-7.35
13	0.0331	112.4	2.57	-7.35	19.8
		90.29	18.7	-3.67	32.3
		19.47	-3.67	29.1	-33.9
		119.5	32.3	-33.9	123

Cluster 11

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C_{ab}^*	h_{ab}
1	0.0873	24.82	21.9	11.2	11.4
		32.27	11.2	10.2	5.43
		46.75	11.4	5.43	10.1
2	0.0739	13.12	19.7	18.9	12.1
		17.94	18.9	23.8	11
		39.2	12.1	11	30.7
3	0.0433	9.028	14.3	16.9	25.2
		18.27	16.9	48.2	21.8
		31.63	25.2	21.8	57.2
4	0.143	35.85	54	18.2	15.1
		22.87	18.2	13.8	6.32
		81.98	15.1	6.32	11.4
5	0.077	41.96	220	65.6	171
		21.73	65.6	51.4	21.5
		73.64	171	21.5	394
6	0.12	33.07	76.3	9.2	51.4
		34.2	9.2	25.6	4.78
		50.2	51.4	4.78	46.3
7	0.0528	59.26	141	-117	228
		35.93	-117	235	-284

8	0.0411	75.21	228	-284	474
		84.29	15.4	2.27	-19.1
		8.911	2.27	11.5	-17.7
9	0.107	118	-19.1	-17.7	116
		73.96	74.8	-13.8	129
		18.42	-13.8	34.9	-44.8
10	0.0354	104.7	129	-44.8	366
		80.23	4.43	-3.19	4.49
		13.3	-3.19	5.79	-8.17
11	0.0741	130.2	4.49	-8.17	22.4
		82.09	15.1	-6.3	43.6
		7.432	-6.3	6.32	-21.6
12	0.0539	145	43.6	-21.6	363
		82.15	5.9	-1.65	15
		4.539	-1.65	1.73	-6.75
		181.2	15	-6.75	599

Cluster 12

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C_{ab}^*	h_{ab}
1	0.0784	11.86	4.83	7.85	4.83
		22.29	7.85	14.6	7.25
		37.91	4.83	7.25	9.49
2	0.144	10.84	8.68	7.23	13.4
		13.65	7.23	7.1	9.49
		51.07	13.4	9.49	31.1
3	0.0539	18.8	9.04	7.7	5.53
		31.3	7.7	10.6	3.97
		43.63	5.53	3.97	6.34
4	0.0549	8.353	21.4	15	67
		8.408	15	13	51.7
		39.11	67	51.7	295
5	0.0352	21.3	51.3	21	66.3
		13.59	21	22.1	58.9
		54.57	66.3	58.9	312
6	0.097	7.691	15.3	20.7	29.1
		14.08	20.7	34.1	35.8
		33.24	29.1	35.8	73.9
7	0.0396	12.39	20.9	14.5	36.9
		24.24	14.5	39.6	14.7
		36.21	36.9	14.7	74.3
8	0.0738	5.496	1.54	1.9	-0.6
		7.849	1.9	4.16	-5.27
		37.58	-0.6	-5.27	64.4
9	0.105	18.67	15.7	7.14	7.59
		18.51	7.14	6.14	2.06

10	0.0466	57.71	7.59	2.06	17.1
		22.73	33.3	16.6	22.3
		32.11	16.6	38	7.73
11	0.0449	44.1	22.3	7.73	21.2
		49.15	284	111	106
		30.25	111	74.8	7.66
12	0.0602	84.45	106	7.66	123
		83.58	35.9	4.9	17.3
		40.03	4.9	29.9	0.171
13	0.0372	99.04	17.3	0.171	21.7
		91.48	3.71	-4.82	2.54
		37.56	-4.82	15.3	-5.63
14	0.0492	95.81	2.54	-5.63	3.45
		82.21	1.95	-5.1	0.819
		38.05	-5.1	23.8	-3.26
		100.5	0.819	-3.26	2.08

Cluster 13

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.0991	7.73	5.09	2.95	-12
		6.827	2.95	5.58	-1.97
		82.95	-12	-1.97	278
2	0.082	4.357	3.48	1.9	-14.1
		3.694	1.9	2.92	-18
		82.43	-14.1	-18	720
3	0.0422	26.05	71	8.21	11.8
		12.27	8.21	8.33	5.3
		104.1	11.8	5.3	7.84
4	0.0449	15.55	24.9	6.46	-5.92
		7.489	6.46	9.73	-9.99
		93.23	-5.92	-9.99	271
5	0.0381	12.34	11.9	10	1.51
		12.17	10	18	6.78
		94.43	1.51	6.78	105
6	0.0536	28.32	63.1	13.8	11.2
		18.47	13.8	34.9	15.2
		97.62	11.2	15.2	34.4
7	0.074	55.83	179	37.3	15.5
		26.39	37.3	34.1	2.62
		105	15.5	2.62	20.7
8	0.127	43.15	240	131	-14.8
		25.35	131	107	-21.8
		107.5	-14.8	-21.8	16.9
9	0.0934	67.43	82.2	18.3	-9.06
		35.91	18.3	20.6	-3.28

10	0.135	107.2	-9.06	-3.28	7.68
		78.75	14.4	3.91	0.469
		44.45	3.91	31.8	-10
11	0.106	105.9	0.469	-10	9.01
		78.94	0.723	0.948	-0.35
		41.65	0.948	8.23	-4.45
		107.5	-0.35	-4.45	6.22
Cluster 14					
No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.0764	28.44	95.5	29.4	118
		18.57	29.4	32.3	37.5
		56.51	118	37.5	220
2	0.056	24.15	35.4	2.84	20.1
		16.14	2.84	6.89	1.54
		59.25	20.1	1.54	58
3	0.0852	10.06	17.7	10.9	38.5
		10.77	10.9	14.9	13.1
		44.22	38.5	13.1	202
4	0.0498	13.53	22.1	14.9	38.8
		19.71	14.9	30.7	10.8
		43.31	38.8	10.8	108
5	0.038	4.167	6.76	3.88	40.1
		3.504	3.88	4.01	20.6
		39.26	40.1	20.6	515
6	0.0429	25.04	33.4	13.2	11.4
		22.69	13.2	12.9	1.42
		61.55	11.4	1.42	9.19
7	0.05	27.97	56.6	17.9	39.1
		33.36	17.9	21.5	9.99
		48.04	39.1	9.99	36.7
8	0.0339	37.47	270	37	22.9
		12.04	37	23.4	-3.66
		75.56	22.9	-3.66	398
9	0.0902	46.73	97.2	-0.23	55.4
		27.09	-0.23	24.1	0.492
		71.25	55.4	0.492	41.1
10	0.07	62.89	167	-33.3	171
		23.27	-33.3	71.7	-101
		84.11	171	-101	307
11	0.038	61.64	90.7	67.4	70.1
		52.81	67.4	169	-38.7
		76.62	70.1	-38.7	145
12	0.0639	75.67	55	-13.3	54.1
		16.72	-13.3	14.3	-7.93

13	0.0868	88.18	54.1	-7.93	67.6
		70.42	84.7	-3.68	42.1
		31.89	-3.68	95.5	-12.2
14	0.0705	89.69	42.1	-12.2	47.8
		88.54	18.3	1.23	7.04
		16.82	1.23	12.6	-9.54
15	0.0913	102.2	7.04	-9.54	17.5
		79.83	14.7	-4.71	2.6
		26.17	-4.71	36.7	-8.63
		97.63	2.6	-8.63	11.3
Cluster 15					
No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.0693	25.34	25.6	4.64	16.5
		29.74	4.64	18	2.47
		46.84	16.5	2.47	17.5
2	0.0509	11.26	20.9	13.1	34.8
		17.41	13.1	22.7	15.1
		38.8	34.8	15.1	91.8
3	0.0626	13.77	26.4	11.1	37.9
		11.48	11.1	11.9	9.26
		62.72	37.9	9.26	101
4	0.0857	50.54	199	-25.8	186
		31.37	-25.8	42.7	-33.5
		71.98	186	-33.5	202
5	0.0878	33.81	129	-10.9	151
		20.35	-10.9	34.2	-58.8
		76.56	151	-58.8	320
6	0.0511	65.85	195	36.2	76.5
		33.73	36.2	185	-89.8
		93.17	76.5	-89.8	124
7	0.121	90.91	0.539	-1.52	0.941
		27.61	-1.52	13.3	-4.09
		103.3	0.941	-4.09	2.23
8	0.161	78.57	17.2	2.58	8.52
		32.6	2.58	12.9	-2.8
		102.8	8.52	-2.8	9.8
9	0.0754	91.11	13.5	-3.31	10.2
		26.44	-3.31	13.8	-6.54
		102.2	10.2	-6.54	11.2
10	0.109	72.61	114	-4.41	48.9
		24.66	-4.41	37.6	-25.1
		95.15	48.9	-25.1	50.1
11	0.0516	84.62	1.29	-3.08	0.735
		30.69	-3.08	25.1	-8.3

		104.7	0.735	-8.3	4.6
Cluster 16					
No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.053	3.178	7.27	7.37	27.1
		4.671	7.37	9.14	33.2
		25.77	27.1	33.2	189
2	0.109	7.457	7.66	5.7	15.3
		7.645	5.7	8.53	-0.1
		57.94	15.3	-0.1	97.3
3	0.0845	14.49	24	11.1	31.5
		11.24	11.1	21.7	-4.76
		71.95	31.5	-4.76	229
4	0.0822	32.06	100	38.1	49.4
		19.95	38.1	41.5	-6.23
		87.39	49.4	-6.23	146
5	0.0673	4.425	2.67	1.2	3.86
		3.062	1.2	1.51	1.6
		65.56	3.86	1.6	315
6	0.0857	60.11	136	23.5	34.9
		33.04	23.5	38.3	-13.8
		93.39	34.9	-13.8	49.1
7	0.0438	80.85	47	-17.8	32.7
		32.96	-17.8	18.8	-10.3
		95.38	32.7	-10.3	26.5
8	0.0868	88.01	17.1	1.7	10.1
		42.11	1.7	12.2	-2.51
		98.38	10.1	-2.51	8.93
9	0.123	78.37	14.6	-13.3	1.94
		38.84	-13.3	20.1	-0.41
		94.68	1.94	-0.41	1.34
10	0.12	75.12	67.6	-23.5	28.7
		40.72	-23.5	31.7	-14.9
		95.07	28.7	-14.9	17.7
11	0.106	88.91	0.823	-0.7	1.12
		43.46	-0.7	6.03	-1.75
		99.44	1.12	-1.75	1.84

Cluster 17					
No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.0934	1.757	1.55	1.63	24
		2.504	1.63	2.17	26.9
		39.87	24	26.9	534
2	0.17	6.815	7.92	5.27	19.3

		7.339	5.27	8.8	-2.91
		56.23	19.3	-2.91	249
3	0.0911	3.277	2.14	1.35	-13.9
		2.305	1.35	1.86	-14
		74.9	-13.9	-14	1240
4	0.192	16.35	27.2	12.3	16.8
		14.75	12.3	19.1	2.33
		63.17	16.8	2.33	65.3
5	0.11	29.12	123	7.59	124
		16.86	7.59	46.5	13.2
		63.83	124	13.2	214
6	0.0386	0.8006	0.171	0.136	-3.13
		0.7935	0.136	0.211	-4.46
		95.03	-3.13	-4.46	420
7	0.127	68.41	317	-32.1	170
		16.53	-32.1	178	-14.2
		85.81	170	-14.2	435
8	0.0636	76.15	186	169	62.1
		71.75	169	170	47.8
		92.85	62.1	47.8	39.3
9	0.095	89.35	11.3	10	13.1
		89.18	10	8.91	11.6
		94.33	13.1	11.6	15.3

Cluster 18

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C_{ab}^*	h_{ab}
1	0.0476	8.379	28.6	7.43	116
		3.279	7.43	2.57	38.9
		53.48	116	38.9	652
2	0.0563	5.994	8.89	3.81	3.2
		4.2	3.81	2.91	9.28
		76.43	3.2	9.28	210
3	0.0805	25.28	24.9	3.03	15.5
		11.2	3.03	1.87	5.72
		88.06	15.5	5.72	19.6
4	0.112	16.58	12.3	2.39	8.2
		7.358	2.39	2.13	5.32
		91.79	8.2	5.32	13.8
5	0.237	21.2	59.7	12.3	9.17
		10.17	12.3	7.94	6.08
		90.69	9.17	6.08	63.5
6	0.129	53.85	289	27.5	39.3
		16.14	27.5	22.7	-1.27
		100.9	39.3	-1.27	26.8
7	0.0621	85	43	-4	-2.88

		14.15	-4	13.9	2.55
		104.4	-2.88	2.55	6.82
8	0.0781	92.75	21.6	-7.8	3.04
		7.727	-7.8	9.51	-8.75
		111.5	3.04	-8.75	64.8
9	0.0409	92.8	20.7	-34.6	8.23
		22.8	-34.6	127	-19.5
		106.2	8.23	-19.5	6.6
10	0.046	83.62	29.3	20.2	3.34
		76.68	20.2	23.1	1.77
		101.2	3.34	1.77	0.948

Cluster 19

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C_{ab}^*	h_{ab}
1	0.0678	9.571	4.95	3.47	10.8
		13	3.47	3.02	7.6
		56.61	10.8	7.6	33.3
2	0.0336	5.607	4.39	6.98	3
		9.399	6.98	12.4	2.21
		50.41	3	2.21	28.3
3	0.0417	4.763	2.13	2.2	1.73
		7.892	2.2	2.65	1.52
		41.03	1.73	1.52	12.6
4	0.0563	24.95	63.5	9.87	54.7
		21.78	9.87	36.4	7.91
		64.7	54.7	7.91	84
5	0.0828	27.61	44.4	25.9	11.7
		27.75	25.9	54	-4.38
		66.62	11.7	-4.38	12.3
6	0.0831	15.54	12.4	8.91	11
		18.03	8.91	14.6	7.12
		63.79	11	7.12	24.7
7	0.151	42.11	92.6	0.843	19
		28.62	0.843	10.1	1.35
		68.18	19	1.35	10.6
8	0.0752	57.23	232	52.3	86.9
		30.69	52.3	108	48.3
		78.23	86.9	48.3	57.9
9	0.0876	74.49	106	-38.6	54.6
		18.06	-38.6	27.9	-13
		78.51	54.6	-13	49.9
10	0.116	87.69	13.5	-8.21	12.6
		9.575	-8.21	7.66	-6.12
		84.86	12.6	-6.12	36.4
11	0.0465	89.96	9.83	-4.18	2.37

		6.625	-4.18	3.23	3.37
		81.79	2.37	3.37	67.7
Cluster 20					
No	nk	μ	Σ		
			L^*	C_{ab}^*	h_{ab}
1	0.0577	5.365	8.67	7.38	0.361
		5.519	7.38	7.06	-1.76
		59.86	0.361	-1.76	90.1
2	0.0699	1.604	1.08	1.24	16.7
		2.551	1.24	1.78	20.8
		37.36	16.7	20.8	379
3	0.13	11.3	9.06	7.84	14.4
		14.86	7.84	9.95	7.9
		59.86	14.4	7.9	39.5
4	0.0839	5.061	4.51	5.15	14.1
		8.171	5.15	7.41	13.7
		44.92	14.1	13.7	91.2
5	0.17	22.45	19.5	0.64	1.34
		21.05	0.64	3.38	0.224
		65.41	1.34	0.224	6.64
6	0.0887	31.75	183	30.4	116
		20.07	30.4	66.5	25.6
		64.78	116	25.6	152
7	0.0583	28.34	25.7	-1.99	0.888
		26.22	-1.99	1.59	0.156
		64.36	0.888	0.156	3.14
8	0.107	16.51	11.7	3.21	5.4
		15.19	3.21	5.34	4.93
		65.4	5.4	4.93	18.3
9	0.0382	86.31	93.8	-25.5	109
		11.43	-25.5	28.7	-42.4
		89.53	109	-42.4	166
10	0.0641	91.36	11.9	-5.07	6.66
		8.602	-5.07	7.28	-0.35
		87.18	6.66	-0.35	38.1
11	0.0595	75.15	123	20.2	41
		40.72	20.2	248	21.6
		86.14	41	21.6	27.7
12	0.0347	86.22	8.15	12.7	8.35
		73.56	12.7	177	21.5
		90.73	8.35	21.5	9.86

Cluster 21

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.0479	4.719	3.86	2.48	-8.33
		3.69	2.48	2.96	-13.4
		52.05	-8.33	-13.4	543
2	0.0632	20.87	41.3	5.49	35
		17.1	5.49	7.78	4.83
		47.09	35	4.83	56.2
3	0.167	8.876	10.8	7.39	23.7
		9.31	7.39	8.78	14.4
		52.45	23.7	14.4	183
4	0.0356	11.91	31.3	30.6	40
		18.4	30.6	70.2	35.1
		32.95	40	35.1	71.5
5	0.103	16.83	9.66	0.943	2.21
		13.62	0.943	1.29	0.154
		67.46	2.21	0.154	11.3
6	0.0668	16.44	21	6.46	-5.75
		10.55	6.46	5.81	-2.79
		64.16	-5.75	-2.79	75.7
7	0.045	8.297	5.61	2.49	7.3
		7.55	2.49	1.25	3.19
		65.58	7.3	3.19	13.5
8	0.0903	28.25	71.5	-4.45	17.1
		15.8	-4.45	8.5	1.13
		63.87	17.1	1.13	53.6
9	0.114	4.179	1.68	1.1	2.12
		4.544	1.1	1.02	0.099
		60.01	2.12	0.099	65.9
10	0.0785	45.65	108	-18.6	45.4
		18.06	-18.6	11.9	-7.16
		71.81	45.4	-7.16	43.1
11	0.0375	84.22	50.2	-14.7	28.3
		11.98	-14.7	11.7	-5.32
		85.52	28.3	-5.32	35.3

Cluster 22

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.082	6.135	7.06	7.87	17.2
		8.317	7.87	11.9	17.6
		33.76	17.2	17.6	162
2	0.0986	28.67	50.5	15.3	41.8
		24.68	15.3	14.6	13.6

3	0.1	48.87	41.8	13.6	53.2
		25.62	34.2	7.25	21.3
		29.4	7.25	10.8	3.13
4	0.146	46.91	21.3	3.13	20.1
		17.14	15.1	11.5	11.1
		22.9	11.5	24.6	6.36
5	0.0777	42.75	11.1	6.36	23.1
		20.68	71.4	27.8	52.2
		15.43	27.8	30.5	16.7
6	0.11	52.27	52.2	16.7	343
		9.851	9.05	9.32	16.7
		15.5	9.32	14.7	14.7
7	0.0369	35.92	16.7	14.7	52.8
		3.537	0.824	0.813	-1.14
		3.379	0.813	1.84	-2.9
8	0.044	38.49	-1.14	-2.9	399
		26.42	28.8	14.9	2.1
		26.23	14.9	12.8	1.38
9	0.0714	69.02	2.1	1.38	6.86
		40.72	95.5	-28.7	57.6
		29.5	-28.7	28.1	-21
10	0.0634	55.9	57.6	-21	43.8
		53.6	147	-19.1	156
		19.33	-19.1	30.5	4.38
11	0.0557	71.02	156	4.38	271
		33.74	66.1	8.6	66.2
		24.14	8.6	8.36	7.36
		63.53	66.2	7.36	143

Cluster 23

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C^*_{ab}	h_{ab}
1	0.124	24.48	34.5	6.58	28.6
		29.86	6.58	14.8	3.14
		47.91	28.6	3.14	37.2
2	0.0519	9.605	9.31	12.8	16.4
		16.75	12.8	21.1	20.3
		36.36	16.4	20.3	44.6
3	0.0785	16.68	24.9	12.5	39.3
		23.5	12.5	17.1	15.2
		45.13	39.3	15.2	80.5
4	0.0525	25.86	39.3	-4.02	13.3
		19.87	-4.02	1.71	-6.12
		72.05	13.3	-6.12	35.5
5	0.0504	26.73	129	83.2	134
		19.39	83.2	79.5	40.4

6	0.14	68.75	134	40.4	757
		18.31	21.7	11	14.5
		17.77	11	13.6	0.785
7	0.0333	68.95	14.5	0.785	47.2
		6.217	5.88	5.04	-1.83
		6.745	5.04	7.89	-26
8	0.115	67.82	-1.83	-26	343
		28.15	24.3	10.6	2.73
		24.38	10.6	24.3	-22.7
9	0.0529	66.68	2.73	-22.7	45
		37.04	57.7	-3.34	25.9
		23.83	-3.34	2.57	-4.92
10	0.0521	71.96	25.9	-4.92	28.3
		39.71	33.7	-5.39	16.4
		29.02	-5.39	2.48	-6.18
11	0.0652	70.25	16.4	-6.18	25.8
		36.34	187	-8.44	115
		10.54	-8.44	17	-54.6
12	0.0523	91.31	115	-54.6	372
		53.07	421	29	35.9
		6.988	29	8.89	43.6
		191.6	35.9	43.6	832

Cluster 24

No	nk	μ	Σ		
			L^*	C_{ab}^*	h_{ab}
1	0.0365	1.449	1.06	1.16	16.2
		2.449	1.16	1.84	18.2
		33.44	16.2	18.2	364
2	0.0953	5.192	4.44	4.36	12
		7.614	4.36	7.06	5.14
		46.65	12	5.14	120
3	0.142	10.26	7.49	6.44	14.6
		14.17	6.44	9.15	7.82
		57.52	14.6	7.82	47.5
4	0.0674	19.87	42.5	17.1	27.9
		15.11	17.1	15.5	11.1
		60.32	27.9	11.1	46.6
5	0.111	23.58	22.9	-1.23	0.832
		21.08	-1.23	1.17	0.529
		64.34	0.832	0.529	4.41
6	0.0861	32.07	43.7	-0.46	0.503
		24.16	-0.46	2.42	0.362
		66.7	0.503	0.362	8.61
7	0.13	16.26	12	8.62	8.21
		18.15	8.62	15.6	1.89

		63.71	8.21	1.89	18.9
8	0.0328	33.98	287	178	131
		24.48	178	123	91.6
		87.18	131	91.6	108
9	0.0836	46.32	149	0.449	49.8
		21.83	0.449	25.3	8.93
		69.91	49.8	8.93	39.7
10	0.0399	44.79	134	112	13.8
		38.25	112	104	11.9
		102.8	13.8	11.9	28
11	0.0403	75.51	86.4	-14.7	37.3
		14.16	-14.7	15.9	5.77
		77.15	37.3	5.77	50.7
12	0.0316	84.28	25.1	-0.79	28.8
		9.931	-0.79	1.15	0.208
		79.17	28.8	0.208	58.9
13	0.035	93.64	9.53	-4.38	21.4
		6.116	-4.38	3.84	-10.6
		90.94	21.4	-10.6	104

参考文献

- Abdel-mottaleb, Mohamed, and Santhana Krishnamachari. 1999. "Image Browsing Using Hierarchical Clustering." In *Proceedings IEEE International Symposium on Computers and Communications (Cat. No.PR00250)*, IEEE Comput. Soc, 301–7.
- Albers, Josef. 2006. *Interaction of Color*. Yale University Press.
- Beldade, Patrícia, and Paul M. Brakefield. 2002. "The Genetics and Evo-Devo of Butterfly Wing Patterns." *Nature Reviews Genetics* 3(6): 442–52.
- Berman, Marc G. et al. 2012. "Interacting with Nature Improves Cognition and Affect for Individuals with Depression." *Journal of Affective Disorders* 140(3): 300–305.
- Berman, Marc G., John Jonides, and Stephen Kaplan. 2008. "The Cognitive Benefits of Interacting with Nature." *Psychological Science* 19(12): 1207–12.
- Bittermann, Michael S. 2018. "Insight into Color Aesthetics from Probabilistic Perception Modeling." *Color Research & Application* 43(4): 527–43.
- Bittermann, Michael S., and Ozer Ciftcioglu. 2016. "Visual Perception with Color for Architectural Aesthetics." In *2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, IEEE, 3909–16.
- Brachmann, Anselm, and Christoph Redies. 2017. "Computational and Experimental Approaches to Visual Aesthetics." *Frontiers in Computational Neuroscience* 11.
- Braun, Julia, Seyed A. Amirshahi, Joachim Denzler, and Christoph Redies. 2013. "Statistical Image Properties of Print Advertisements, Visual Artworks and Images of Architecture." *Frontiers in Psychology* 4.
- Breuer, Gabriele B., Jürg Schlegel, Peter Kauf, and Reto Rupf. 2015. "The Importance of Being Colorful and Able to Fly: Interpretation and Implications of Children's Statements on Selected Insects and Other Invertebrates." *International Journal of Science Education* 37(16): 2664–87.
- ButterflyTwists. 2017. "ButterflyTwists Official Site." <http://www.butterflytwists.jp/> (January 7, 2020).
- C.I.E. 2004. *Colorimetry, (Official Recommendations of the International Commission on*

- Illumination*), *CIE 15:2004*. 3rd ed. Paris, Francia.: Bureau Central de la CIE.
- Campello, Ricardo J.G.B., Davoud Moulavi, and Joerg Sander. 2013. "Density-Based Clustering Based on Hierarchical Density Estimates." In *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, , 160–72.
- Carlson, Allen. 2002. "Environmental Aesthetics." In *Routledge Encyclopedia of Philosophy*, London: Routledge.
- Cassie, Brian, Kjell B. (Kjell Bloch) Sandved, and Robert Michael Pyle. 2004. *A World of Butterflies*. Bulfinch Press.
- Chen, Pei-Ju et al. 2016. "Extreme Spectral Richness in the Eye of the Common Bluebottle Butterfly, *Graphium Sarpedon*." *Frontiers in Ecology and Evolution* 4: 18.
- Chevreul, ME. 1855. *The Principles of Harmony and Contrast of Colours, and Their Applications to the Arts*.
- Chuang, Ming-Chuen, and Li-Chen Ou. 2001. "Influence of a Holistic Color Interval on Color Harmony." *Color Research & Application* 26(1): 29–39.
- Colani, Luigi. 2009. "Home."
http://www.colani.org/luigi_colani_Product_design_museum/Home.html (January 7, 2020).
- Design Seeds. 2009. "For All Who Love Color." <https://www.design-seeds.com/> (January 7, 2020).
- Ditzel, Nanna. 2020. "Home." <https://www.nanna-ditzel-design.dk/> (January 7, 2020).
- Dorđević, Dejana, Aleš Hladnik, and Andrej Javoršek. 2009. "Performance Of Five Chromatic Adaptation Transforms Using Large Number Of Color Patches." *Acta Graphica* 20(1–4): 9–19.
- Edridge-Green, F. W. 1912. "Simultaneous Colour Contrast." *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 84(575): 546–54.
- Esculapio, Alessandro. 2017. "The World of Anna Sui." *Fashion Practice* 9(3): 425–31.
- Fang, Siyuan, Keiichi Muramatsu, and Tatsunori Matsui. 2017. "A Computational Model Simulating the Mental Function of Multicolor Aesthetic Evaluation." *Color Research*

- & *Application* 42(2): 216–35.
- Foss, Carl E., Dorothy Nickerson, and Walter C. Granville. 1944. “Analysis of the Ostwald Color System*.” *Journal of the Optical Society of America* 34(7): 361.
- Fraley, Chris et al. 2019. *Package “Mclust.”*
- Goethe, Johann Wolfgang von. 2012. *Theory of Colours*. Dover Publications.
- Graham, Daniel J., and Christoph Redies. 2010. “Statistical Regularities in Art: Relations with Visual Coding and Perception.” *Vision Research* 50(16): 1503–9.
- Greco, M., N. Stucchi, D. Zavagno, and B. Marino. 2008. “On the Portability of Computer-Generated Presentations: The Effect of Text-Background Color Combinations on Text Legibility.” *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 50(5): 821–33.
- Hagtvedt, Henrik, and S. Adam Brasel. 2017. “Color Saturation Increases Perceived Product Size.” *Journal of Consumer Research* 44(2): ucx039.
- Hahsler, Michael, Matthew Piekenbrock, Sunil Arya, and David Mount. 2019. “Package ‘Dbscan.’”
- Hall, Richard H, and Patrick Hanna. 2004. “The Impact of Web Page Text-Background Colour Combinations on Readability, Retention, Aesthetics and Behavioural Intention.” *Behaviour & Information Technology* 23(3): 183–95.
- Hoenig, Florian. 2005. “Defining Computational Aesthetics.” In *In Proceedings of the First Eurographics Conference on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging*, , 13–18.
- Hoskins, Adrian. 2015. *Butterflies of the World*. New Holland Publishers.
- . 2016. *1,000 Butterflies : An Illustrated Guide to the World’s Most Beautiful Butterflies, Featuring All the Families, Subfamilies, Tribes and Major Genera*. New Holland Publishers .
- Hsiao, Shih-Wen, and Cheng-Ju Tsai. 2015. “Transforming the Natural Colors of an Image into Product Design: A Computer-Aided Color Planning System Based on Fuzzy Pattern Recognition.” *Color Research & Application* 40(6): 612–25.
- Hsu, Bin-Wei, and Mao-Jiun J. Wang. 2013. “Evaluating the Effectiveness of Using

- Electroencephalogram Power Indices to Measure Visual Fatigue.” *Perceptual and Motor Skills* 116(1): 235–52.
- Huang, Shih-Miao. 2007. “Legibility of Small Icons with Color Combinations in Small Displays.” *Perceptual and Motor Skills* 104(1): 191–200.
- iDigBio Project. 2011. “iDigBio Home | iDigBio.” <https://www.idigbio.org/> (January 7, 2020).
- . 2012. “Workflow Modules and Task Lists | iDigBio.” <https://www.idigbio.org/content/workflow-modules-and-task-lists> (January 7, 2020).
- . 2014. “iDigBio Image File Format Requirements and Recommendations | iDigBio.” <https://www.idigbio.org/content/idigbio-image-file-format-requirements-and-recommendations-1> (January 7, 2020).
- . 2015a. “Imaging Standards & Equipment Recommendations | iDigBio.” <https://www.idigbio.org/content/imaging-standards-equipment-recommendations> (January 7, 2020).
- . 2015b. “S3_Module 3_ Imaging Station Setup Camera.Pdf.” [https://www.idigbio.org/sites/default/files/working-groups/Herb_Workflows/APPS_Published/S3_Module 3_ Imaging Station Setup Camera.pdf](https://www.idigbio.org/sites/default/files/working-groups/Herb_Workflows/APPS_Published/S3_Module%203_Imaging%20Station%20Setup%20Camera.pdf) (January 7, 2020).
- . 2015c. “S7_Module 7_ Image Processing.Pdf.” [https://www.idigbio.org/sites/default/files/working-groups/Herb_Workflows/APPS_Published/S7_Module 7_ Image Processing.pdf](https://www.idigbio.org/sites/default/files/working-groups/Herb_Workflows/APPS_Published/S7_Module%207_Image%20Processing.pdf) (January 7, 2020).
- . 2017. “Photo-e-Box BIO - iDigBio.” https://www.idigbio.org/wiki/index.php/Photo-e-Box_BIO (January 7, 2020).
- Ikeda, Takashi et al. 2015. “Color Harmony Represented by Activity in the Medial Orbitofrontal Cortex and Amygdala.” *Frontiers in Human Neuroscience* 9: 382.
- Ishizu, Tomohiro, and Semir Zeki. 2011. “Toward A Brain-Based Theory of Beauty” ed. Eric James Warrant. *PLoS ONE* 6(7): e21852.
- Itten, J. 1970. *The Elements of Color*.

- Jap, Budi Thomas, Sara Lal, Peter Fischer, and Evangelos Bekiaris. 2009. "Using EEG Spectral Components to Assess Algorithms for Detecting Fatigue." *Expert Systems with Applications* 36(2): 2352–59.
- Japan Color Research Institute. 1964. *Practical Color Co-Ordinate System*. Japan Color Research Institute.
- . 1991. *PCCS Harmonic Color Charts 201-L*. Japan Color Enterprise Co. Ltd.
- Jonauskaitė, Domicile et al. 2016. "Most and Least Preferred Colours Differ According to Object Context: New Insights from an Unrestricted Colour Range" ed. Simon J Cropper. *PLOS ONE* 11(3): e0152194.
- Takehashi, Erina, Keiichi Muramatsu, and Haruo Hibino. 2019. "Computational Color Combination Analysis of *Papilionidae* Butterflies as Aesthetic Objects." *Color Research & Application*: col.22454.
- Takehashi, Erina, Keiichi Muramatsu, and Keiko Kasamatsu. 2018. "Investigating the Relationship between Colors of Butterfly and Textures." *Journal of the Science of Design* 2(2): 2_83-2_90.
- Kawabata, Hideaki, and Semir Zeki. 2004. "Neural Correlates of Beauty." *Journal of Neurophysiology* 91(4): 1699–1705.
- Kellert, Stephen R., and Edward O. Wilson. 1993. *The Biophilia Hypothesis*. Island Press.
- Kemp, Darrell J. 2007. "Female Butterflies Prefer Males Bearing Bright Iridescent Ornamentation." *Proceedings. Biological sciences* 274(1613): 1043–47.
- Kinoshita, Shuichi, and Shinya Yoshioka. 2005. "Structural Colors in Nature: The Role of Regularity and Irregularity in the Structure." *ChemPhysChem* 6(8): 1442–59.
- Ko, Ya-Hsien. 2017. "The Effects of Luminance Contrast, Colour Combinations, Font, and Search Time on Brand Icon Legibility." *Applied Ergonomics* 65: 33–40.
- Kobayashi, Mitsuo. 1999. "Analysis of Color Combination in Fine Art Paintings." In *Proceedings of the International Symposium on Multispectral Imaging Color Reproduction*, Chiba.
- Layberry, RA, PW Hall, and JD Lafontaine. 1998. *The Butterflies of Canada*. University of Toronto Press.

- Leandro, Camila, Pierre Jay-Robert, and Alan Vergnes. 2017. "Bias and Perspectives in Insect Conservation: A European Scale Analysis." *Biological Conservation* 215: 213–24.
- Lepora, Nathan F., Paul Verschure, and Tony J. Prescott. 2013. "The State of the Art in Biomimetics." *Bioinspiration and Biomimetics* 8(1).
- LEXUS. 2020. "LEXUS - 特別仕様車 'Structural Blue' | 特徴 | LC." <https://lexus.jp/models/lc/features/sesb/> (January 7, 2020).
- Lin, Chin-Chiuan. 2003. "Effects of Contrast Ratio and Text Color on Visual Performance with TFT-LCD." *International Journal of Industrial Ergonomics* 31(2): 65–72.
- Lišková, Silvie, and Daniel Frynta. 2013. "What Determines Bird Beauty in Human Eyes?" *Anthrozoös* 26(1): 27–41.
- Lorenz, Amanda R., Julie C. Libarkin, and Gabriel J. Ordning. 2014. "Disgust in Response to Some Arthropods Aligns with Disgust Provoked by Pathogens." *Global Ecology and Conservation* 2: 248–54.
- Lovegrove, Ross. 2012. "Ross Lovegrove." <http://www.rosslovegrove.com/> (January 7, 2020).
- Mallon, Birgit, Christoph Redies, and Gregor U. Hayn-Leichsenring. 2014. "Beauty in Abstract Paintings: Perceptual Contrast and Statistical Properties." *Frontiers in Human Neuroscience* 8.
- Marley, Christopher. 2019. "CHRISTOPHER MARLEY | Pheromone Gallery." <https://christophermarley.com/> (January 7, 2020).
- Mclean, Michael V. 1965. "Brightness Contrast, Color Contrast, and Legibility." *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 7(6): 521–27.
- Mercedes-Benz. 2020. "バイオニックカー." <https://www.mercedes-benz.co.jp/passengercars/brand/corporate/technology/technology/research/bionic.html> (January 7, 2020).
- Montagner, Cristina, João M. M. Linhares, Márcia Vilarigues, and Sérgio M. C. Nascimento. 2016. "Statistics of Colors in Paintings and Natural Scenes." *Journal of the Optical Society of America A* 33(3): A170.
- Moon, Parry, and Domina Eberle Spencer. 1944. "Geometric Formulation of Classical Color

- Harmony*.” *Journal of the Optical Society of America* 34(1): 46.
- Mori, H. 2001. “Hanae Mori Style.”
- Mullen, Kathy T, and William H.A Beaudot. 2002. “Comparison of Color and Luminance Vision on a Global Shape Discrimination Task.” *Vision Research* 42(5): 565–75.
- Munsell, AH, TM Cleland, and F Birren. 1969. “A Grammar of Color: A Basic Treatise on the Color System of Albert H. Munsell.”
- Munsell Color Company, Inc. *Munsell Book of Color, Glossy Edition M40115B*. Pantone.
 ———. *Munsell Nearly Neutrals Book of Color M40328B*. Pantone.
- Nemcsics, Antal. 1980. “The Coloroid Color System.” *Color Research & Application* 5(2): 113–20.
- Ostwald, W. 1969. “The Color Primer: A Basic Treatise on the Color System of Wilhelm Ostwald.”
- Ou, Li-Chen et al. 2012. “A Cross-Cultural Comparison of Colour Emotion for Two-Colour Combinations.” *Color Research & Application* 37(1): 23–43.
- . 2018. “Universal Models of Colour Emotion and Colour Harmony.” *Color Research & Application*.
- Ou, Li-Chen, Patrick Chong, M. Ronnier Luo, and Carl Minchew. 2011. “Additivity of Colour Harmony.” *Color Research & Application* 36(5): 355–72.
- Ou, Li-Chen, and M. Ronnier Luo. 2006. “A Colour Harmony Model for Two-Colour Combinations.” *Color Research & Application* 31(3): 191–204.
- Ou, Li-Chen, M. Ronnier Luo, Andrée Woodcock, and Angela Wright. 2004a. “A Study of Colour Emotion and Colour Preference. Part I: Colour Emotions for Single Colours.” *Color Research & Application* 29(3): 232–40.
- . 2004b. “A Study of Colour Emotion and Colour Preference. Part II: Colour Emotions for Two-Colour Combinations.” *Color Research & Application* 29(4): 292–98.
- . 2004c. “A Study of Colour Emotion and Colour Preference. Part III: Colour Preference Modeling.” *Color Research & Application* 29(5): 381–89.
- penkelink, G. P. J., and J. Besuijen. 1996. “Chromaticity Contrast, Luminance Contrast, and Legibility of Text.” *Journal of the Society for Information Display* 4(3): 135.

- Preston, M, K, and 大谷剛. 2009. *世界チョウ図鑑500種: 華麗なる変身を遂げるチョウとガの魅力*. ネコ・パブリッシング.
- Proverbio, Alice Mado, Fabiana Burco, Marzia del Zotto, and Alberto Zani. 2004. “Blue Piglets? Electrophysiological Evidence for the Primacy of Shape over Color in Object Recognition.” *Cognitive Brain Research* 18(3): 288–300.
- Reber, Rolf, Norbert Schwarz, and Piotr Winkielman. 2004. “Processing Fluency and Aesthetic Pleasure: Is Beauty in the Perceiver’s Processing Experience?” *Personality and Social Psychology Review* 8(4): 364–82.
- Rogowitz, Bernice E. et al. 1998. “Perceptual Image Similarity Experiments.” In eds. Bernice E. Rogowitz and Thrasyvoulos N. Pappas. , 576–90.
- Romero, Javier, Luis Gómez-Robledo, and Juan Nieves. 2018. “Computational Color Analysis of Paintings for Different Artists of the XVI and XVII Centuries.” *Color Research & Application* 43(3): 296–303.
- Ross, Misha, and Georgia J. Mason. 2017. “The Effects of Preferred Natural Stimuli on Humans’ Affective States, Physiological Stress and Mental Health, and the Potential Implications for Well-Being in Captive Animals.” *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 83: 46–62.
- Sagawa, Ken. 1999. “Visual Comfort to Colored Images Evaluated by Saturation Distribution.” *Color Research & Application* 24(5): 313–21.
- Schenk, Franziska. 2015. “Biomimetics, Color, and the Arts.” In eds. Akhlesh Lakhtakia, Mato Knez, and Raúl J. Martín-Palma. , 94290Z.
- Shiple, Nathan J., and Robert D. Bixler. 2017. “Beautiful Bugs, Bothering Bugs, and FUN Bugs: Examining Human Interactions with Insects and Other Arthropods.” *Anthrozoos* 30(3): 357–72.
- Stokely, Murray, and Tim Hesterberg. 2015. “Package ‘HistogramTools.’” *R Foundation for Statistical Computing*.
- Swain, Michael J., and Dana H. Ballard. 1991. “Color Indexing.” *International Journal of Computer Vision* 7(1): 11–32.
- Szabó, Ferenc, Peter Bodrogi, and János Schanda. 2010. “Experimental Modeling of Colour

- Harmony.” *Color Research & Application* 35(1): 34–49.
- Taylor, R. P., A. P. Micolich, and D. Jonas. 1999. “Fractal Analysis of Pollock’s Drip Paintings.” *Nature* 399(6735): 422.
- Ulrich, Roger S. 1981. “Natural versus Urban Scenes: Some Psychophysiological Effects.” *Environment and Behavior* 13(5): 523–56.
- Valtchanov, Deltcho, and Colin G. Ellard. 2015. “Cognitive and Affective Responses to Natural Scenes: Effects of Low Level Visual Properties on Preference, Cognitive Load and Eye-Movements.” *Journal of Environmental Psychology* 43: 184–95.
- Ward, Joe H. 1963. “Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function.” *Journal of the American Statistical Association* 58(301): 236–44.
- Wu, Yiming, Xiangyu Yang, and Kap Luk Chan. 2003. “Unsupervised Color Image Segmentation Based on Gaussian Mixture Model.” In *ICICS-PCM 2003 - Proceedings of the 2003 Joint Conference of the 4th International Conference on Information, Communications and Signal Processing and 4th Pacific-Rim Conference on Multimedia*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 541–44.
- Yano, N, Y Tanikawa, and S Fukuzumi. 2012. “The Effects of Screen Colors on Mental Fatigue Mental Work-Load Validation under Different Conditions.”
- Zhao, Qibin et al. 2011. “Art of Blackness in Butterfly Wings as Natural Solar Collector.” *Soft Matter* 7(24): 11433.
- Zujovic, Jana et al. 2015. “Effective and Efficient Subjective Testing of Texture Similarity Metrics.” *Journal of the Optical Society of America A* 32(2): 329.
- 三友秀之, 島本直伸, and 居城邦治. 2013. “生物のナノ構造が紡ぐ多彩な色彩を模倣したバイオミメティック材料.” *表面技術 = The journal of the Surface Finishing Society of Japan* 64(1): 9–14.
- 今森光彦. 2014a. *ときめくチョウ図鑑*. 山と溪谷社.
- . 2014b. *世界のチョウ*. アリス館.
- 伊藤久美子. 2004. “同一色相内の二色配色の感情効果.” *日本色彩学会誌* 28(1): 3–15.
- 伊藤久美子, and 大山正. 2005. “異色相間の二色配色の感情効果.” *日本色彩学会誌* 29(4): 291–302.

- 兵藤仁紀, 嘉村渉, 金井博幸, and 西松豊典. 2013. “材質感評価時における触運動について.” 日本感性工学会論文誌 12(3): 425–30.
- 内藤郁夫 et al. 2000. “明度の塗装質感への影響.” デザイン学研究 47(1): 25–34.
- 内藤郁夫, 安武正剛, and 飯岡正麻. 1997. “塗装面における色彩感と光沢感の関係.” デザイン学研究 44(3): 29–34.
- . 1999. “色相と彩度の塗装質感への影響.” デザイン学研究 45(5): 61–68.
- 内藤郁夫, 江崎月霞, 鈴木信康, and 飯岡正麻. 1995. “絹布の色彩と光沢.” デザイン学研究 42(4): 41–46.
- 加藤圭介. 2013. 9 研究開発リーダー 新製品開発におけるCMFデザインの役割. 技術情報協会.
- 大山正, and 宮田(伊藤)久美子. 2012. “2色配色の感情効果に及ぼす色相差・明度差・彩度差の効果.” 日本色彩学会誌 36(4): 277–82.
- 大森宏, 羽生和紀, and 山下雅子. 2017. “環境認識の集合知としてのSALoTマップ:—学生生活の印象の視覚化—.” 日本感性工学会論文誌 16(1): 171–79.
- 小林光夫. 1995. “色彩美の探求-配色問題へのアプローチ.” In カラーフォーラムジャパン'95論文集.
- . 1999. “絵画における色彩美の数理的分析の研究.” 博士論文, 東京大学大学院.
- . 2007. “絵画の色彩美と数理的分析の基礎.” 日本色彩学会誌 31(1): 34–41.
- 徳永聖一郎. 1998. “色彩調和理論と生活者の色彩嗜好 —「1/Fゆらぎカラーシステム」とファッションカラー—.” 繊維製品消費科学 39(7): 432–36.
- 日本色彩学会. 2011. 新編 色彩科学ハンドブック 第3版. 東京大学出版会.
- 木村敦. 2013. “多色配色の色彩調和に関する実験的研究.”
- 李侖珍, 小林光夫, and 側垣博明. 2010. “2色配色の"美しさ"とメトリック知覚量の関係.” 日本色彩学会誌 34(2): 131–42.
- 松家雄一. 1997. “ナチュラル・ハーモニーとコンプレックス・ハーモニーの配色評価の違い.” 基礎造形 (6): 51–56.
- 松本明. 2006. 大辞林 第三版. 三省堂.
- 松香光夫, 栗林茂治, and 梅谷献二. 1998. アジアの昆虫資源: 資源化と生産物の利用. 農林統計協会.
- 梅鉢幸重. 1988. “蝶の翅の色素,とくに系統・分類との関係について.” 日本鱗翅学会特別報告

(6): 427-46.

梯絵利奈, and 笠松慶子. 2015. “2A-4 アゲハチョウの翅における色構成に関する調査(第46回
全国大会発表論文集).” 日本色彩学会誌 39(5): 25-26.

———. 2016. アゲハチョウの翅における色彩傾向を用いた配色集の提案. 一般社団法人 日本
デザイン学会.

森伸雄 et al. 1966. “2色配色の調和理論.” 人間工学 2(4): 2-14_1.

永野光, 岡本正吾, and 山田陽滋. 2011. 16 日本バーチャルリアリティ学会論文誌

Transactions of the Virtual Reality Society of Japan. [publisher not identified].

海野和男. 2011. 図鑑 世界で最も美しい蝶は何か. 草思社.

海野弘. 1987. アール・ヌーボーの世界: モダン・アートの源泉. 中央公論社.

渡邊恵. 2008. “蝶の模様--文学に見られる蝶のイメージとの関連性について.” 服飾文化学会誌
9(1): 81-91.

神作, and 順子. 1963. “色彩感情の分析的研究:2色配色の場合.” 心理学研究 34(1): 1-12.

稲葉隆. 2008. “色彩・質感・デザインによるイメージ表現とそのとらえ方.” 日本画像学会誌
47(3): 174-82.

細野尚志. 1958. “カラーハーモニーの研究 (色の差と調和の関係について).” 色彩研究 5(2): 9-
15.

足立吉隆, 大山妹子, 草木雅広, and 高野佳子. 2008. “植物に現れる色の二色配色調和(第1報):
JIS Z 8721に記載された色との比較.” 日本色彩学会誌 32(2): 85-93.