

色字共感覚における 共感覚色の決定過程

大手前大学

濱田 大佐

(ハマダ ダイスケ)

目次

- 序論(共感覚研究の背景)
- 研究1 共感覚色を規定する文字要因の個人差
- 研究2 共感覚色分布の探索的解析
- 研究3 共感覚色と物理色感度の対応
- まとめ

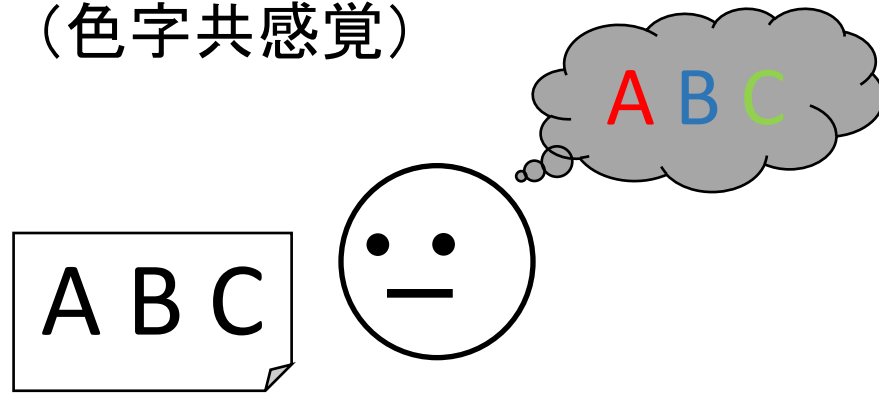
目次

- 序論(共感覚研究の背景)
- 研究1 共感覚色を規定する文字要因の個人差
- 研究2 共感覚色分布の探索的解析
- 研究3 共感覚色と物理色感度の対応
- まとめ

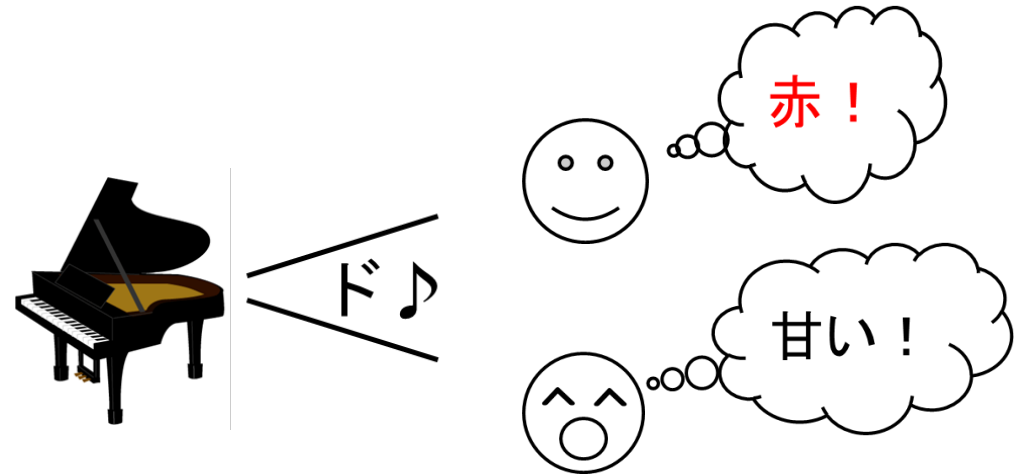
共感覚とは

- ある感覚系から入力された情報が通常の間覚だけでなく、別の間覚も不随意的に生じさせる現象

文字を見て色を感じる
(色字共感覚)



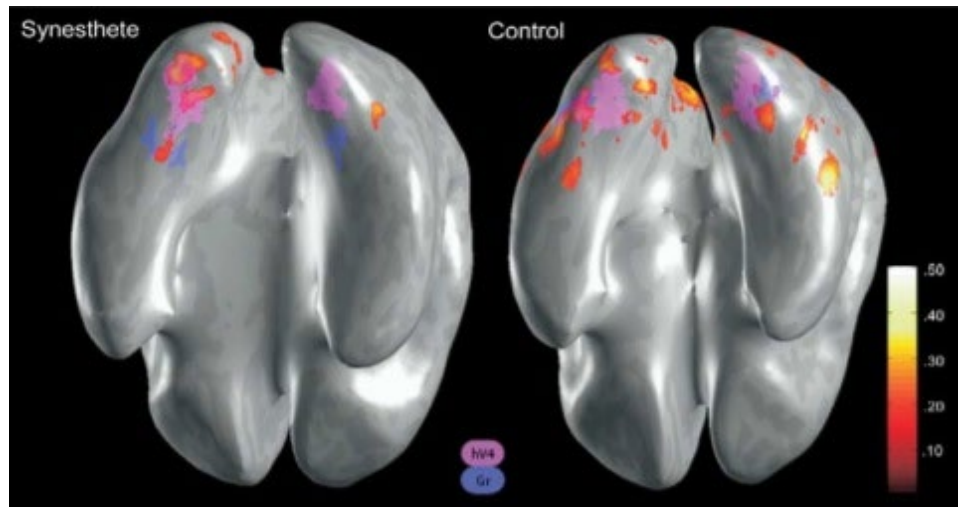
音を聞いて色を感じる or 味を感じる



- 共感覚の保有率: 23人に1人 (4.4%)
色字共感覚の保有率: 90人に1人 (1.1%) (Simner, et al., 2006)

色字共感覚の研究意義

- 色字共感覚は、通常の物理刺激の入力を介さず、文字知覚によって色の体験を成立させる。



Hubbard et al. (2005) より引用

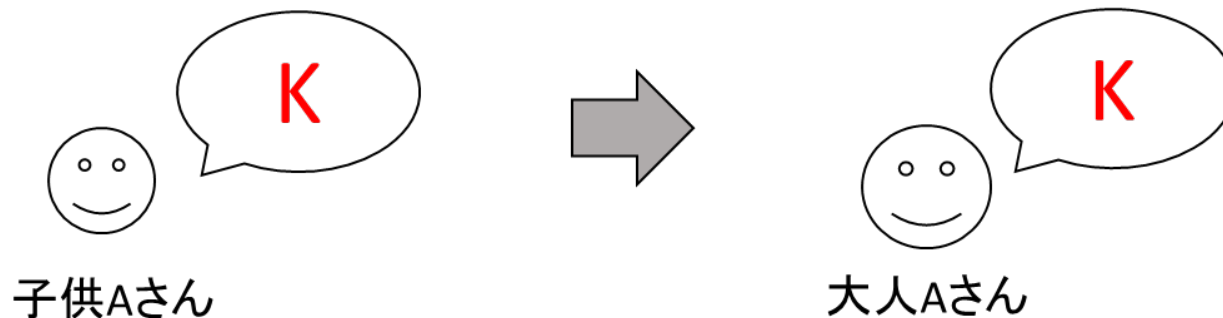
紫は色覚領域 (V4)
青は文字処理領域
赤↔白は文字知覚時の活動

従来の色覚研究だけでは、色知覚の仕組みの全てを説明できない

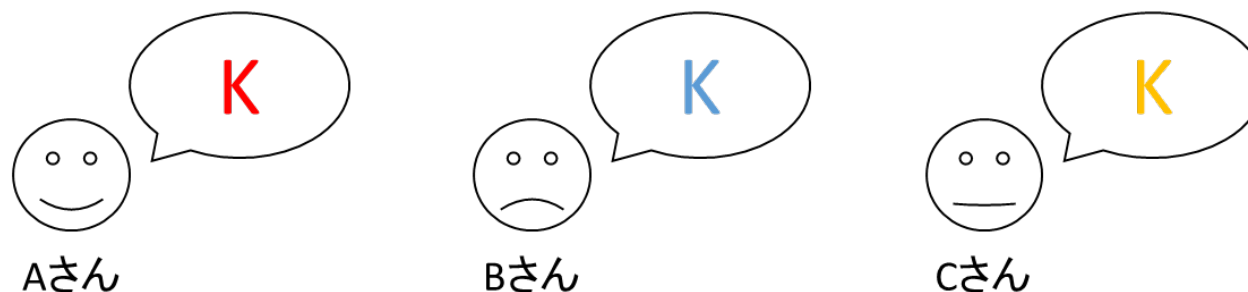
色知覚成立に必要な条件を特定していくために、共感覚研究が必要

色字共感覚の特徴：文字と色の対応

1. 個人内での一貫性



2. 個人間での多様性 (個人特異性)



色字共感覚の特徴：主観的な色の見え

- 文字に結びつく色（共感覚色）の見え方

プロジェクター：
文字の上に色を見る

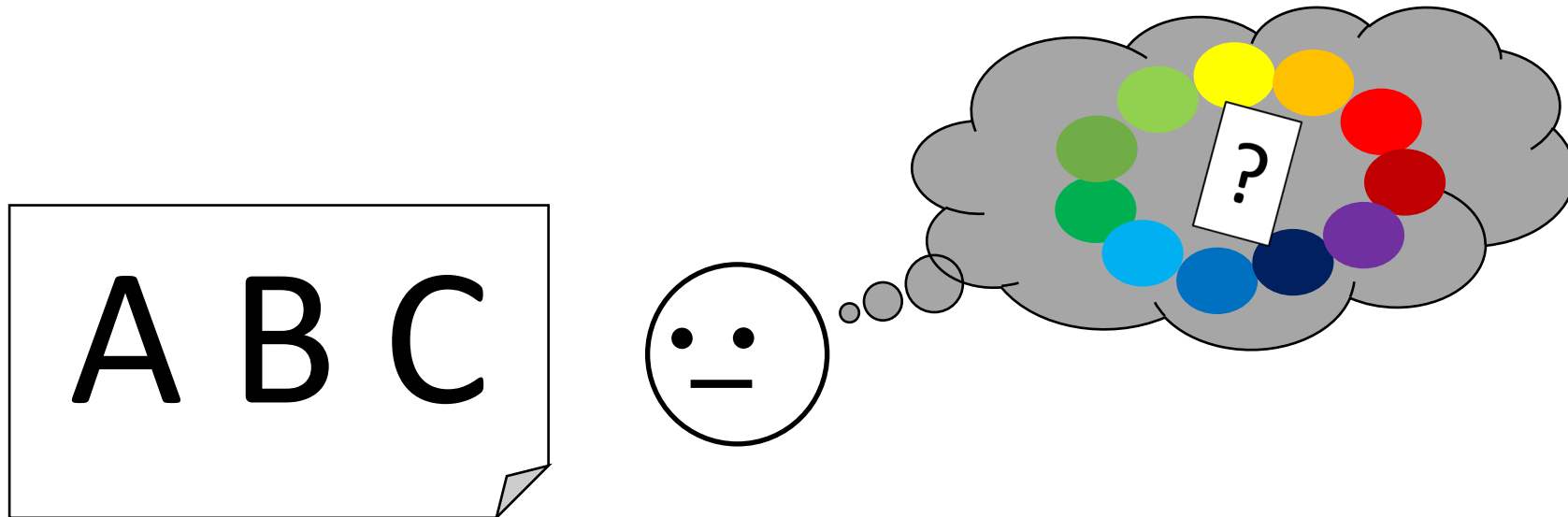


アソシエーター：
頭の中で色を感じる



本研究の興味

共感覚色はどのように選択・決定されるのか



共感覚色の決定要因に関する先行研究

文字と色の対応関係についての2つの視点

1. First order relation (文字と色の1対1の対応)

A **B** (Blue) **G** (Green) **R** (Red) **I** ([ai]→White)

2. Second order relation (文字間と共感覚色間の関係)

- 形態類似性

E-F **O-Q**

- 文字順序性

- 文字の出現頻度
(色の明るさに影響)

A B C ... X Y Z

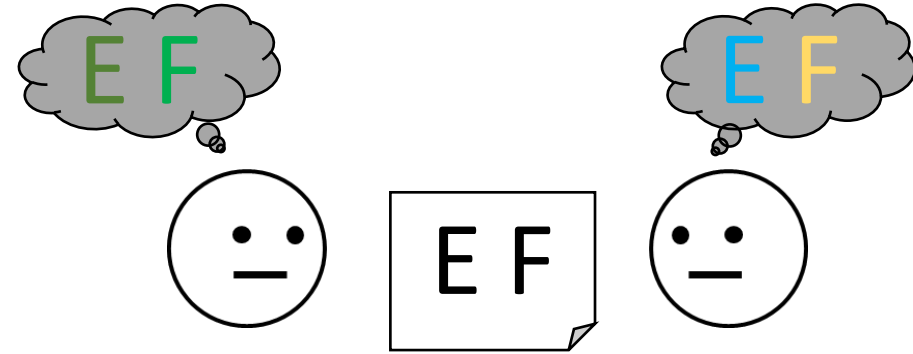
異なる色になる

似たような色になる

共感覚色の決定に関する未解明の問題

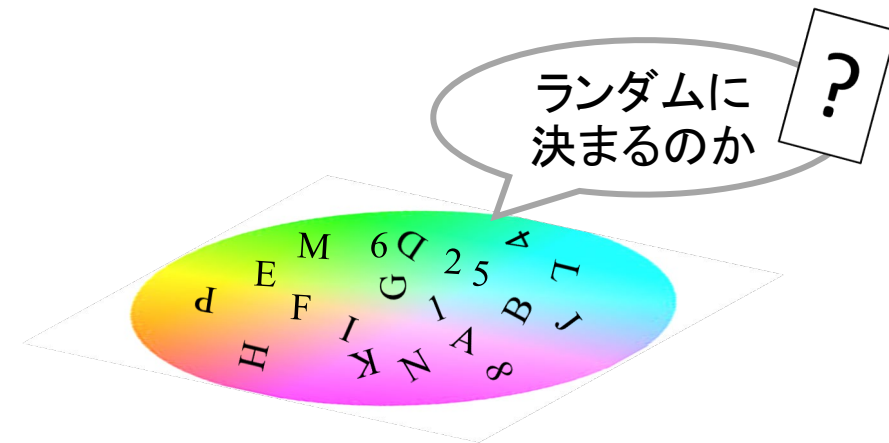
1. 共感覚色の規定因の個人差

- 人によってどの文字要因が影響するのかは異なる。



2. 共感覚色の知覚特性

- 「どのような色が共感覚色になるのか」
「共感覚色になりやすい色があるのか」
といった根本的問題は未解明
- 解決には一人に多くのデータが必要



先行研究のデータ収集の限界と解決方法

- 先行研究

- 主に英語圏の共感覚者が対象
- 文字種: アルファベット(26)、数字(10)

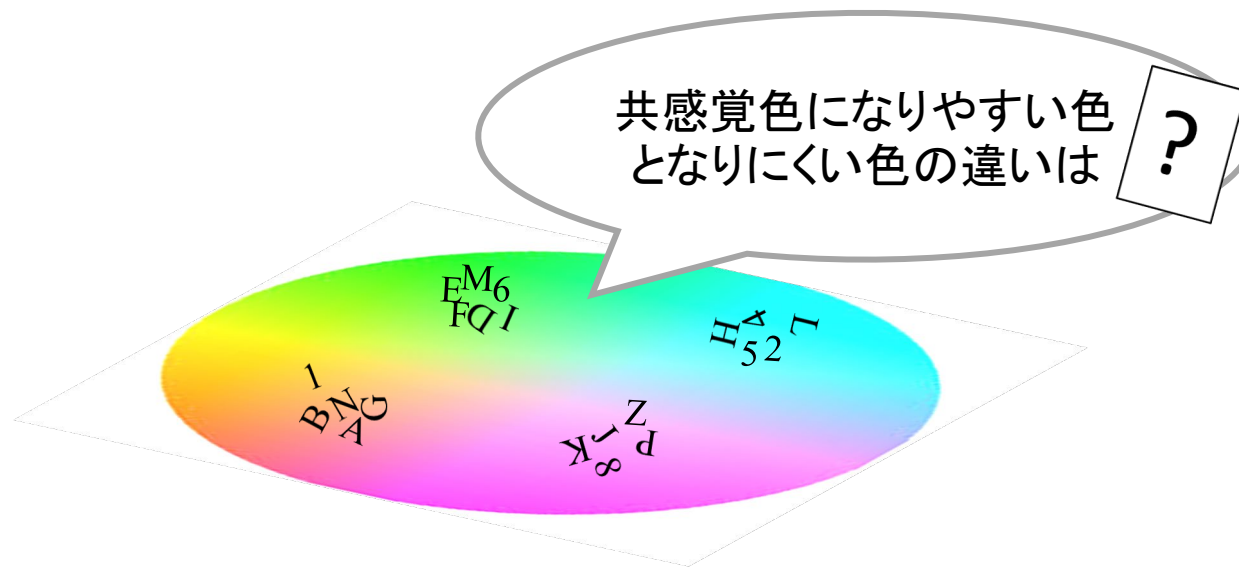
- 本研究

- 日本語話者の共感覚者を対象にする
- 漢字(1000以上)、ひらがな(46)、カタカナ(46)、アルファベット、数字

日本語文字の多さを利用して、
一人にたくさんの共感覚色データを集めることが出来る。

共感覚色になりやすい色がある場合

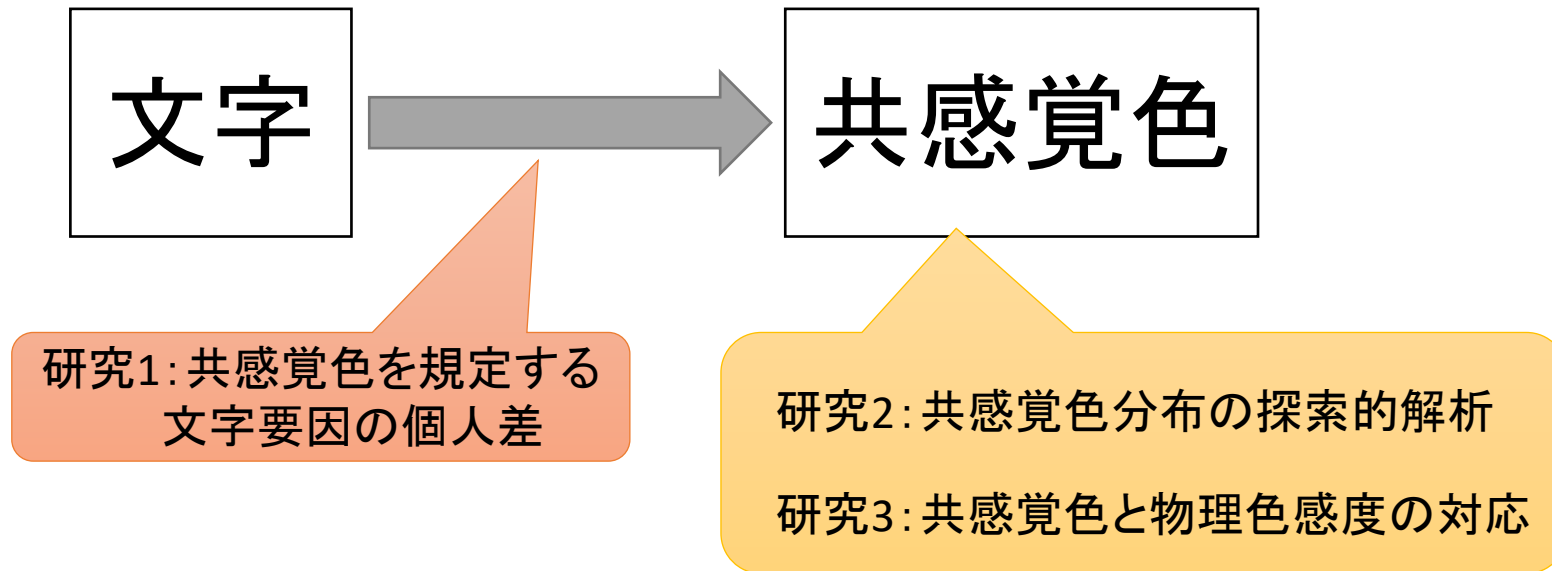
- 共感覚色になりやすい色のどのような特性が共感覚色の選択・決定に寄与するのか



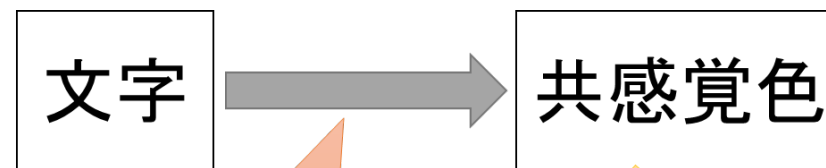
- 本研究では共感覚色になりやすい色と色感度との関連を検討する
(詳細は研究3)

本研究の目的

- 共感覚色の決定に関わる諸特性を 1) 文字要因と 2) 共感覚色の知覚特性の二つの視点から検討する。



目次



研究1: 共感覚色を規定する
文字要因の個人差

研究2: 共感覚色分布の探索的解析

研究3: 共感覚色と物理色感度の対応

- 序論(共感覚研究の背景)

- 研究1 共感覚色を規定する文字要因の個人差

- 研究2 共感覚色分布の探索的解析

- 研究3 共感覚色と物理色感度の対応

- まとめ

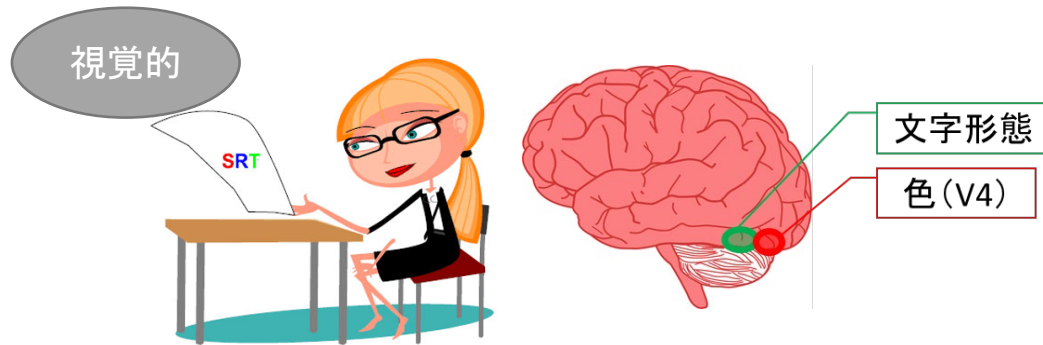
研究1: 目的

- 問い: 共感覚色の規定因の個人差はどのような要因で説明できるか
- 共感覚色に影響する文字要因(アルファベット)
 - 形態類似度、文字の順序性 → 色相
 - 文字の出現頻度(親密度) → 色の明るさ
- 共感覚者の主観的経験の違いの関与 (Brang et al., 2011)
 - プロジェクターでは、形態類似性の効果が強くなることを示した。
 - プロジェクター: 紡錘状回 (lower-level) での文字形態処理と色覚領域V4の連合
- では、アソシエーターの場合は？

しかし、
個人差がある

共感覚色が生じる過程の違い

プロジェクター: 文字の上に色を見る



アソシエイター: 頭の中で色を感じる。



- 両者は文字と色をつなぐ経路が異なる (Rouw & Scholte, 2010; Van Leeuwen et al., 2011)
 - プロジェクター: 紡錘状回 (lower-level) の文字の形態処理とV4の連合 (Bottom-up経路)
 - アソシエイター: 海馬や上頭頂小葉 (higher-level) の文字処理とV4の連合 (Top-down経路)



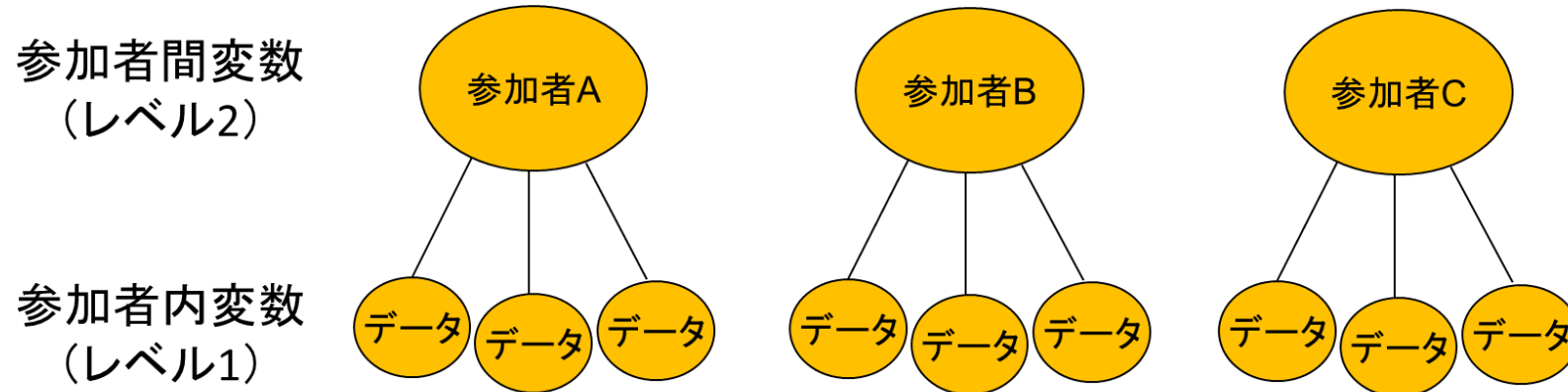
- プロジェクターでは、文字の知覚的特性 (形態類似性) が処理されやすい。
- アソシエイターでは、文字の認知的特性 (文字順序、親密性) が処理されやすい。

研究1：仮説

1. プロジェクターの特性が形態類似性(→色相)の影響度を高める。
 2. アソシエーターの特性が順序性(→色相)の影響度を高める。
 3. アソシエーターの特性が親密度(→明るさ)の影響度を高める。
- 仮説検証にはマルチレベル分析を用いる。

マルチレベル分析

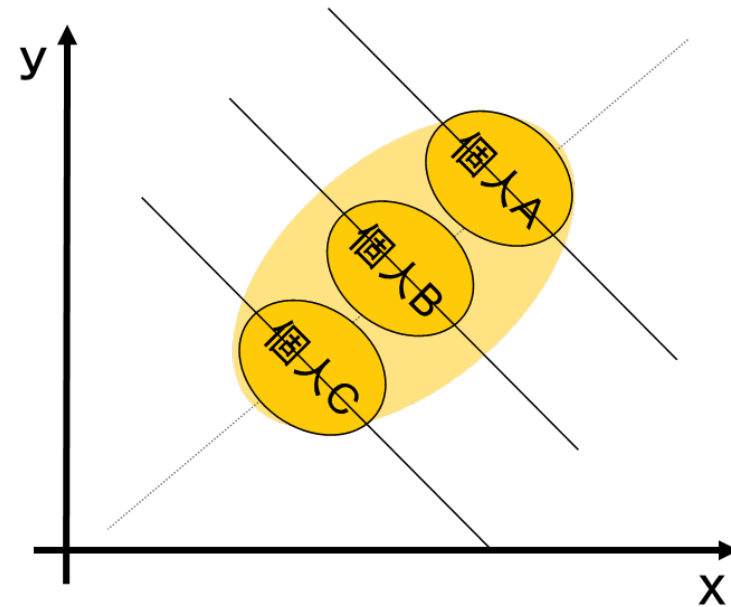
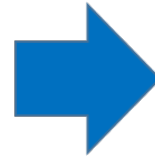
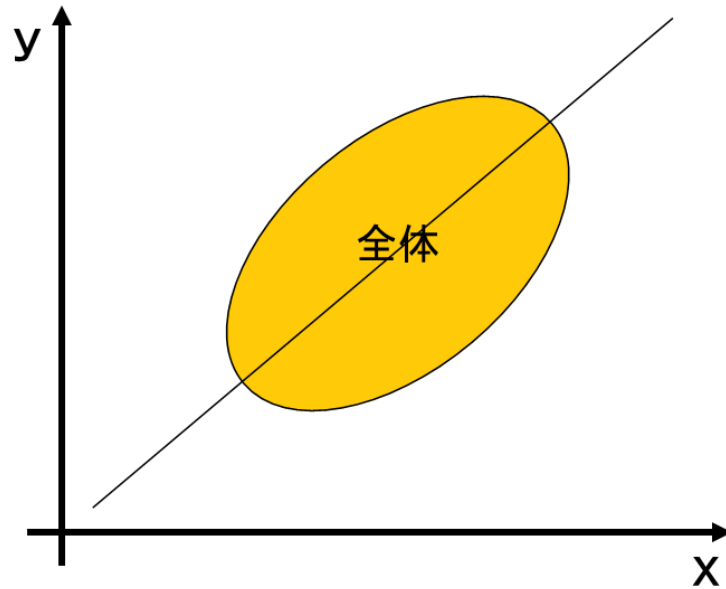
- 階層構造を持つサンプルに対して、階層ごとに分析を行う手法
 - 個人差分析に応用



- 利点:
 - 1) 各レベルの同時推定による検定力の保持
 - 2) 生態学的誤謬を避ける

生態学的誤謬 (Ecological Fallacy)

- 全体で現れる傾向が，個人では現れないこと



本研究の目的

- マルチレベル分析を用いて以下の仮説を検証する。
 1. プロジェクターの特性が形態類似性(→色相)の影響度を高める。
 2. アソシエーターの特性が順序性(→色相)の影響度を高める。
 3. アソシエーターの特性が親密度(→明るさ)の影響度を高める。

方法

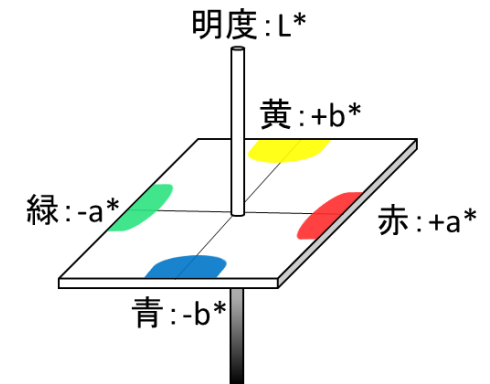
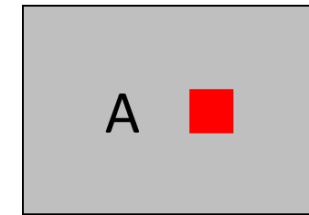
- 参加者: 色字共感覚者25名、文字: アルファベット(26文字) → 325の文字ペア
- レベル1変数

- 従属変数: 共感覚色の色相と明るさの差

色マッチング課題: パッチの色が共感覚色に一致するように調整する

$$\text{輝度の差} = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2}$$

$$\text{色相の差} = \sqrt{(\alpha_1^* - \alpha_2^*)^2} + \sqrt{(b_1^* - b_2^*)^2}$$

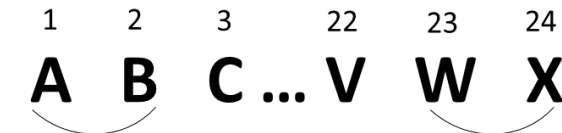


- 独立変数:

形態類似度の差 (Gibson, 1969)

順序の差 (ペア間位置の差/ペア間位置の合計)

親密度の差 (Amano & Kondo, 1999)



$$2-1/2+1=0.333$$

$$24-23/24+23=0.021$$

- レベル2変数

- 従属変数: 個々人のレベル1の独立変数の傾き

- 独立変数: ISEQ (Skelton et al., 2009) による得点 (± 7 : アソシエーター(+) \Leftrightarrow プロジェクター(-))

マルチレベルモデリング

個人内レベル(レベル1):

$$\text{従属変数}_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j} * \text{形態類似度}_{ij} + \beta_{2j} * \text{順序差}_{ij} + \beta_{3j} * \text{親密度}_{ij} + r_{ij}$$

※従属変数の色相の差(Hue distance)と明るさの差(Luminance distance)はそれぞれ別にモデリングされた。

個人間レベル(レベル2):

$$\beta_{0j} = \gamma_{00} + \mu_{0j}$$

$$\beta_{1j} = \gamma_{10} + \gamma_{11} * \text{主観経験}_j + \mu_{1j}$$

$$\beta_{2j} = \gamma_{20} + \gamma_{21} * \text{主観経験}_j + \mu_{2j}$$

$$\beta_{3j} = \gamma_{30} + \gamma_{31} * \text{主観経験}_j + \mu_{3j}$$

i は個人内のデータ、
 j は個人を示す

主観経験は、ISEQの得点
(アソシエイター(+)) \Leftrightarrow プロジェクター(-))

結果

レベル1:
 従属変数_{ij} = β_{0j} + β_{1j} * 形態類似度_{ij}
 + β_{2j} * 順序差_{ij}
 + β_{3j} * 親密度_{ij} + r_{ij}

レベル2: $\beta_{0j} = \gamma_{00} + \mu_{0j}$
 $\beta_{1j} = \gamma_{10} + \gamma_{11}$ * 主観経験_j + μ_{1j}
 $\beta_{2j} = \gamma_{20} + \gamma_{21}$ * 主観経験_j + μ_{2j}
 $\beta_{3j} = \gamma_{30} + \gamma_{31}$ * 主観経験_j + μ_{3j}

変数	色相差			輝度差		
	B	(SE)	p	B	(SE)	p
固定効果						
切片						
γ_{00} (従属変数の平均)	56.60	(2.98)	0.00 **	27.26	(1.12)	0.00 **
γ_{10} (傾き1の平均: 形態類似度)	5.11	(1.00)	0.00 **	0.02	(0.62)	0.98
γ_{20} (傾き2の平均: 順序差)	12.16	(2.30)	0.00 **	-3.01	(0.87)	0.00 **
γ_{30} (傾き3の平均: 親密度)	5.31	(2.64)	0.05 *	-0.67	(1.46)	0.65
傾き						
γ_{11} (主観的経験 → 傾き1: 形態類似度)	0.42	(0.32)	0.18	-0.04	(0.25)	0.87
γ_{21} (主観的経験 → 傾き2: 順序差)	2.30	(0.79)	0.00 **	-0.51	(0.31)	0.10
γ_{31} (主観的経験 → 傾き3: 親密度)	0.70	(0.96)	0.47	1.47	(0.67)	0.03 *
変量効果						
r_{ij} (レベル1の分散)	857.01	(101.36)	0.00 **	396.58	(31.31)	0.00 **
μ_{0j} (レベル2の分散)	218.04	(80.07)	0.01 **	29.73	(7.37)	0.00 **
μ_{1j} (傾き1の分散: 形態類似度)	6.77	(6.81)	0.32	1.19	(1.83)	0.51
μ_{2j} (傾き2の分散: 順序差)	83.32	(47.00)	0.08	0.35	(10.02)	0.97
μ_{3j} (傾き3の分散: 親密度)	74.52	(57.27)	0.19	9.19	(18.27)	0.62

アソシエーターであるほど、
順序性が共感覚色の色相
に影響する

アソシエーターであるほど、
親密度が共感覚色の明るさ
に影響する

* $p < .05$, ** $p < .01$.

考察

仮説1. プロジェクターの特性が形態類似性(→色相)の影響度を高める

仮説2. アソシエーターの特性が順序性(→色相)の影響度を高める

仮説3. アソシエーターの特性が親密度(→明るさ)の影響度を高める

支持!

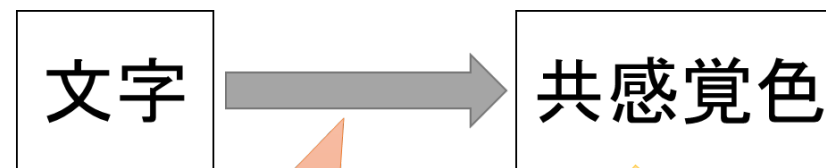
- **共感覚色の規定因は、文字の処理の違いによって決定される**
- 仮説1が支持されなかった理由: 文字学習順序の文化差
 - 日本では、アルファベットの前にひらがなが学習される。
 - ひらがなには順序性が寄与し、形態類似性は寄与しない(Asano & Yokosawa, 2013)
 - 初期に形成された文字と色の連合は、後の共感覚色の決定に影響する。
(Mills et al., 2002, 2009; Witthoft & Winawer, 2006)
- ひらがなの学習時に形成された順序性要因が、後のアルファベットの学習時にも影響した可能性

研究1 まとめ

- 共感覚色の規定因の個人差を、主観的経験の違いによって説明できるかどうかを検討した。
- アソシエーターの特性が文字の順序性と親密度の影響度を高めた。
- 共感覚色の規定因は、文字処理の違いによって決定されることを示す。

Hamada, D., Yamamoto, H., & Saiki, J. (2017) Multilevel analysis of individual differences in regularities of grapheme–color associations in synesthesia. *Consciousness and Cognition*, 53. pp122-135.

目次



研究1: 共感覚色を規定する
文字要因の個人差

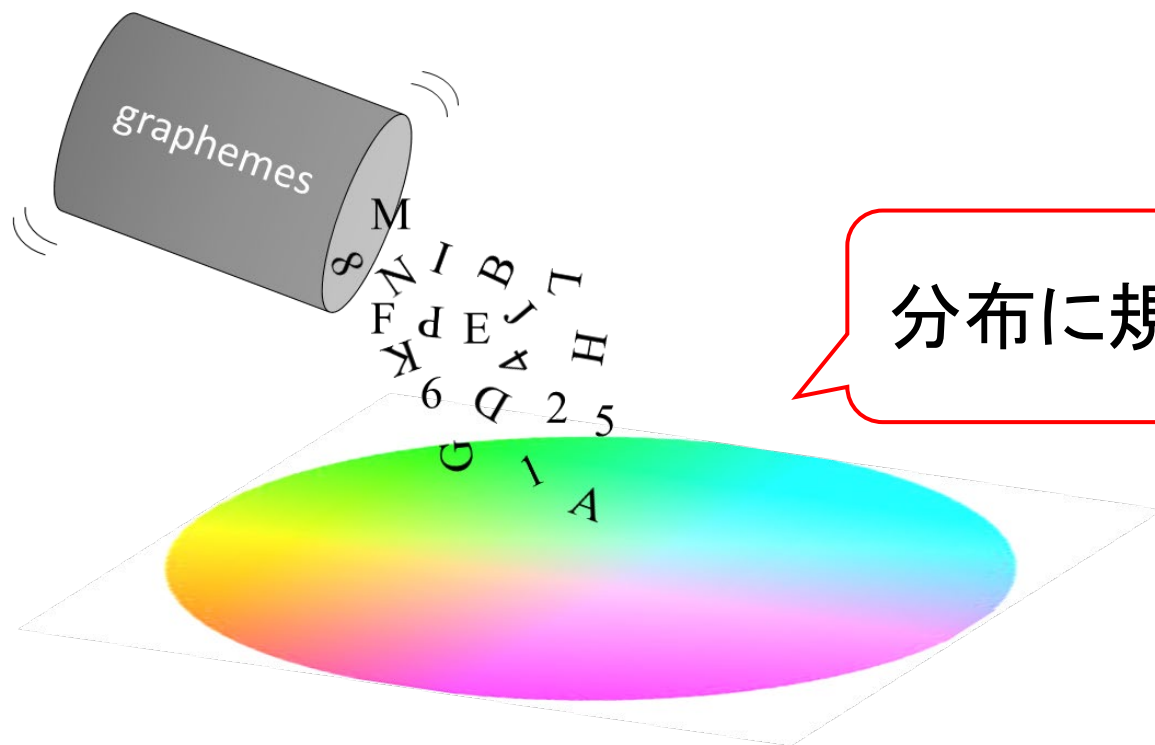
研究2: 共感覚色分布の探索的解析

研究3: 共感覚色と物理色感度の対応

- 序論(共感覚研究の背景)
- 研究1 共感覚色を規定する文字要因の個人差
- 研究2 共感覚色分布の探索的解析
- 研究3 共感覚色と物理色感度の対応
- まとめ

研究2: 共感覚色分布の探索的解析

目的: 文字と色の対応は考慮せず、共感覚色の傾向だけを見る
共感覚色になる色はランダムなのかどうか注目する

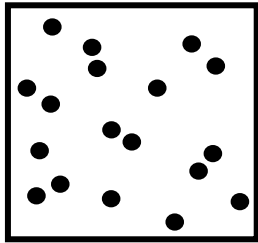


分布に規則性はあるのか

分布パターンの解析

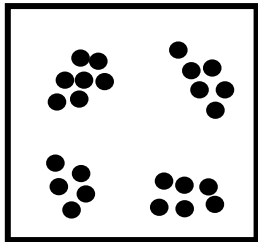
- 空間統計学:空間的な分布にパターンを見出す数理的手法

ランダム



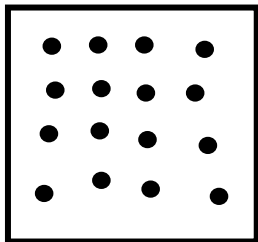
- どの領域にも同じように点が分布する
→ 分布に規則性はない

集中分布



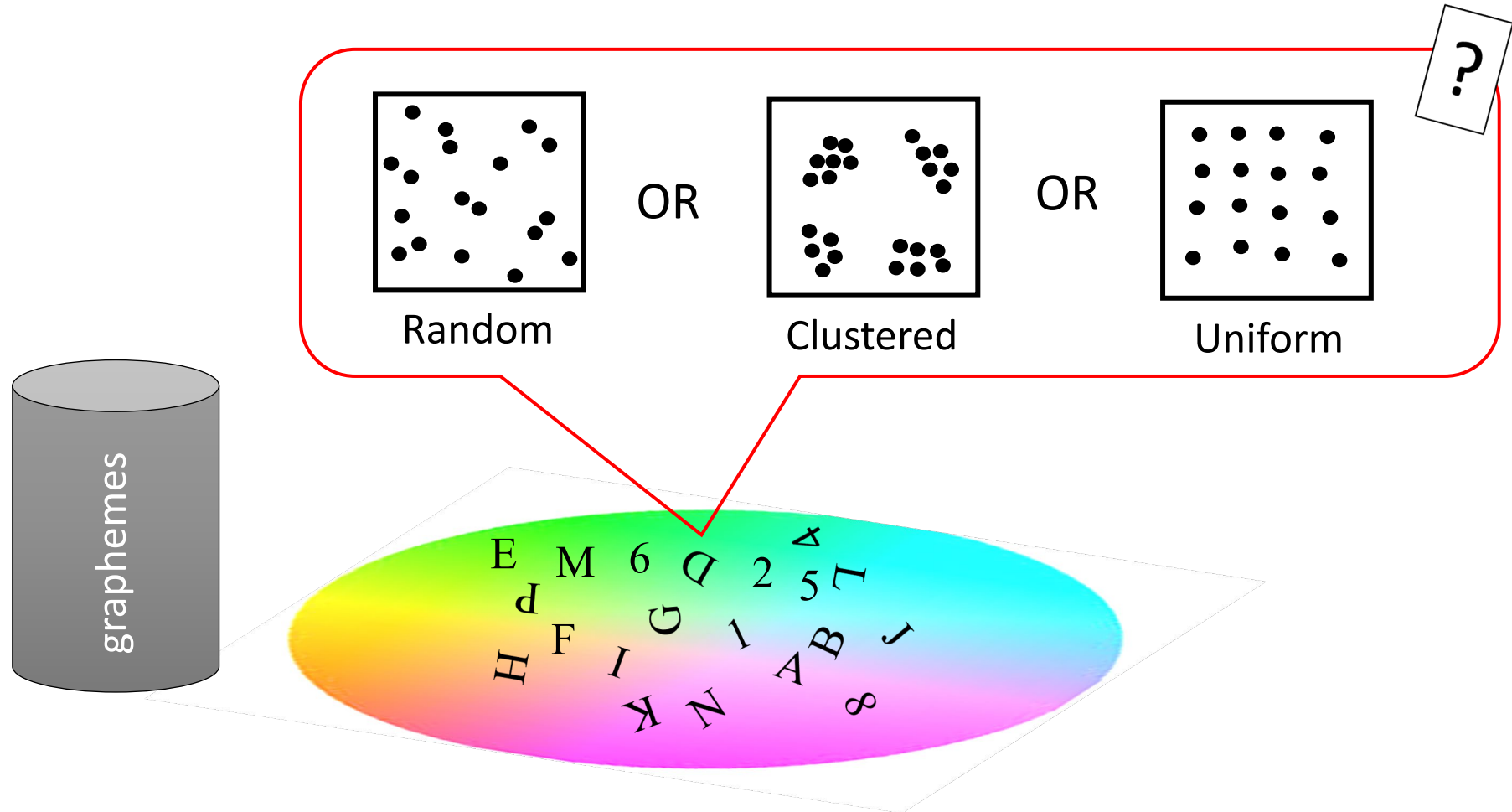
- 多くの点がある領域に集中し、他の領域は空白となる
→ 点が分布するのに適した領域がある

一定間隔



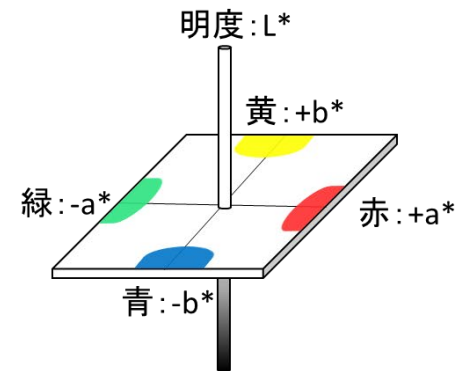
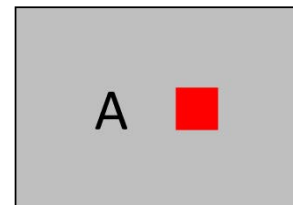
- すべての点が一定の間隔を保つように分布する
→ 点の位置選択が他の点の位置選択に影響する

共感覚色分布はどのパターンに当てはまるのか



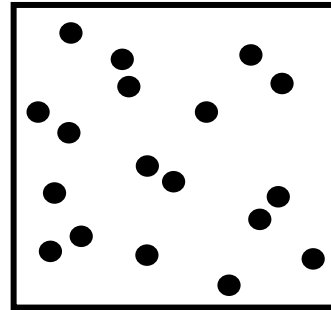
方法

- 参加者：色字共感覚者16名（女性9名、男性7名）
- 文字：漢字、ひらがな、カタカナ、アルファベット、数字
- 5種共感覚者（全ての文字）5名、4種共感覚者（漢字以外）8名、3種共感覚者（ひらがな、アルファベット、数字）3名に分類された。
- 課題：色選択課題
 - 共感覚色に最も近い色をマンセル色見本(1300色)から選択する
- 課題：色マッチング課題（5種共感覚者はアルファベットと数字のみ）
 - パッチの色が共感覚色と一致するようにゲームパッドを用いて調整する

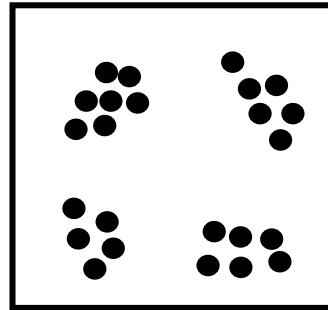


共感覚色分布の解析手順

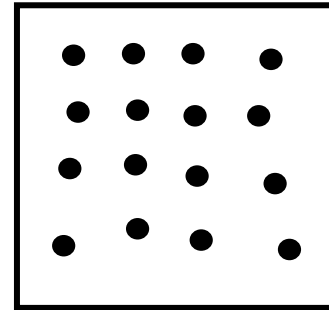
注目点: 共感覚色は色度座標上でランダムに分布するのか。



ランダム



集中分布



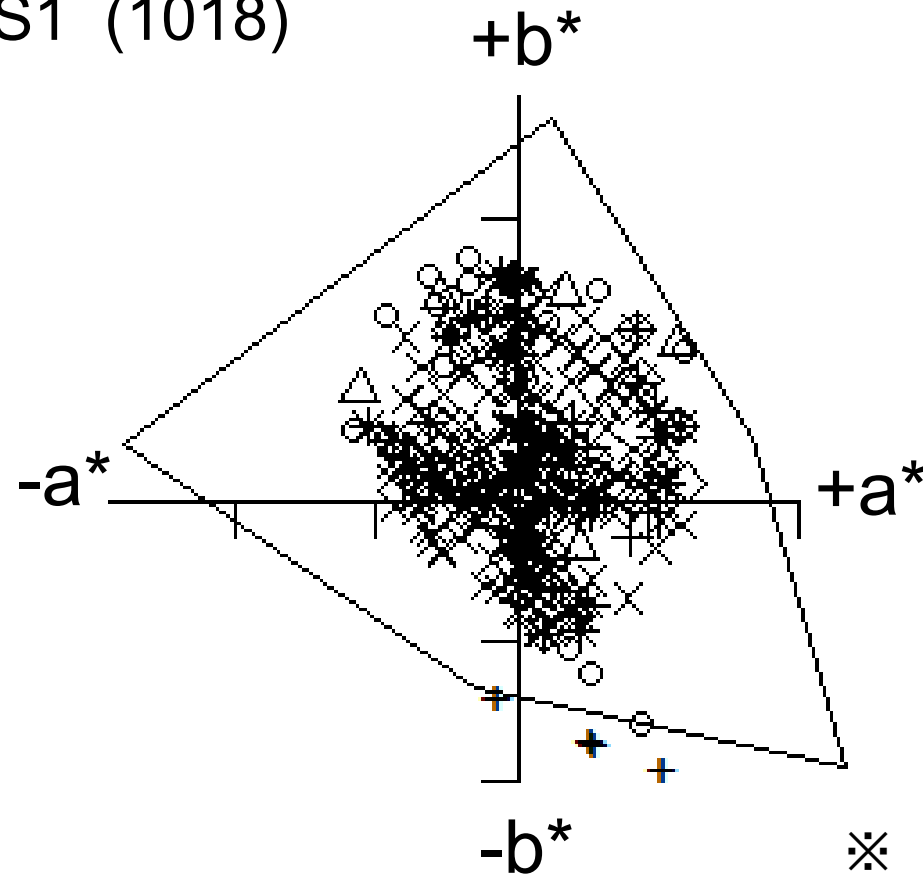
一定間隔

解析のステップ

1. 共感覚色分布を a^*b^* 色度座標上にプロット
2. 分布密度の推定
3. 分布パターンの推定

共感覚色分布(5種共感覚者)

S1 (1018)

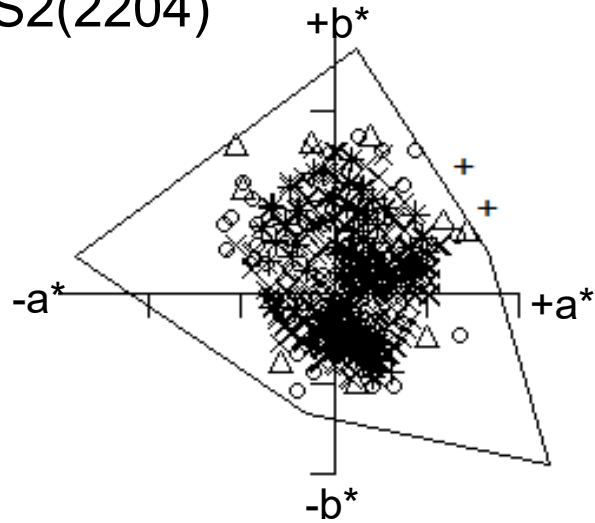


- Alphabet
- △ Digit
- + Hiragana
- ◇ Katakana
- × Kanji

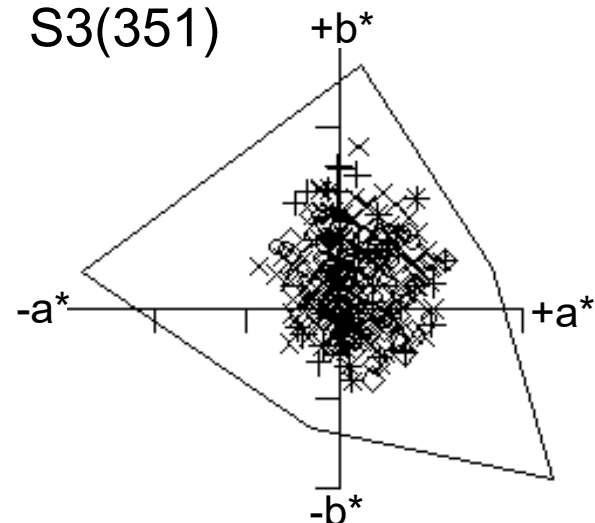
※ 漢字、ひらがな、カタカナはマンセル値からL*a*b*値に変換されている。

共感覚色分布(5種共感覚者)

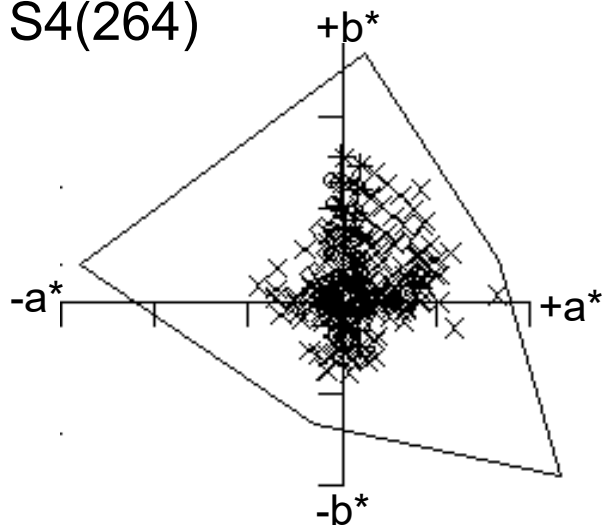
S2(2204)



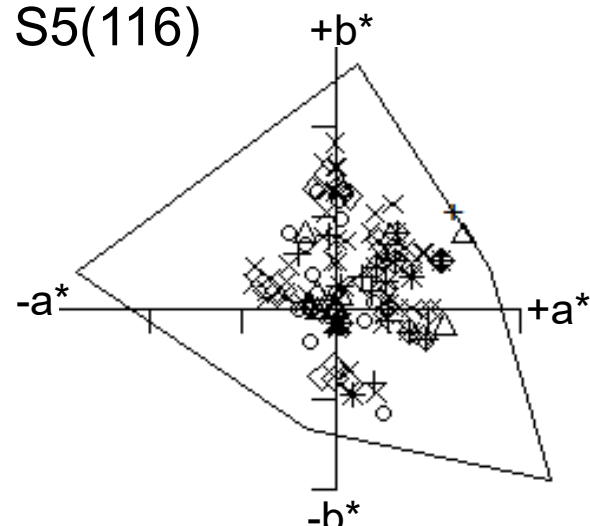
S3(351)



S4(264)



S5(116)

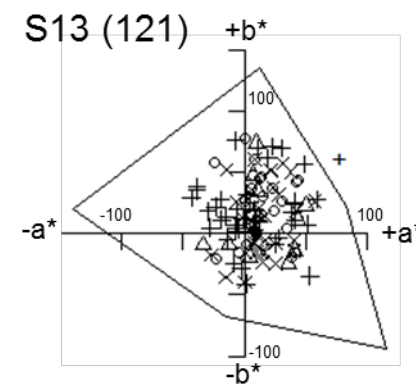
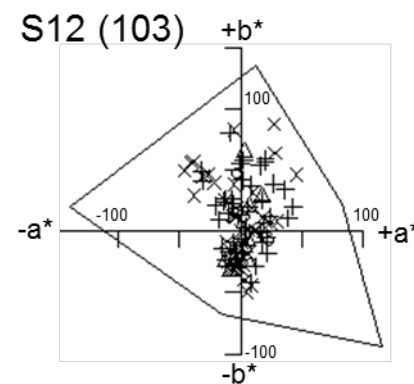
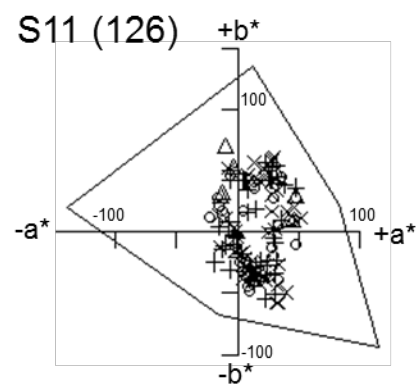
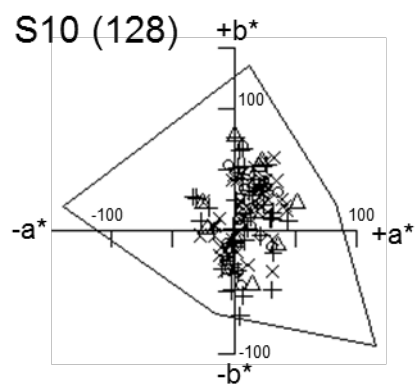
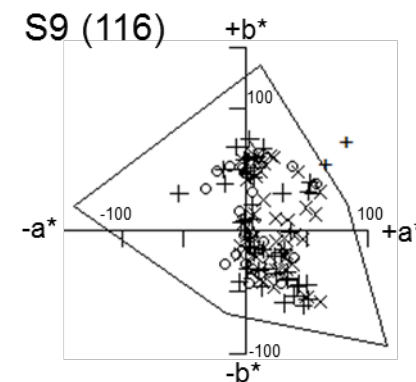
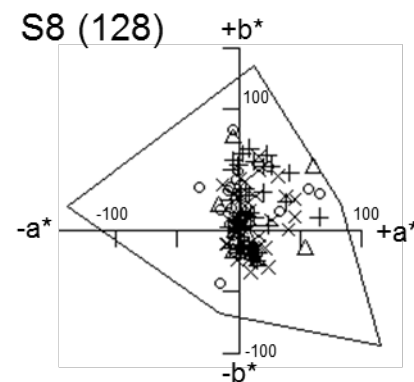
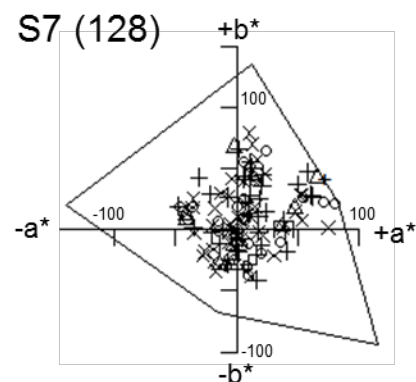
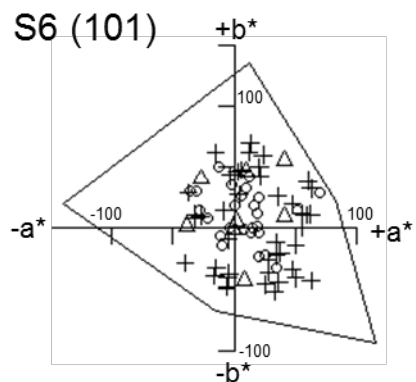


- Alphabet
- △ Digit
- + Hiragana
- ◇ Katakana
- × Kanji

※ 漢字、ひらがな、カタカナはマンセル値から $L^*a^*b^*$ 値に変換されている。

共感覚色分布(4種共感覚者)

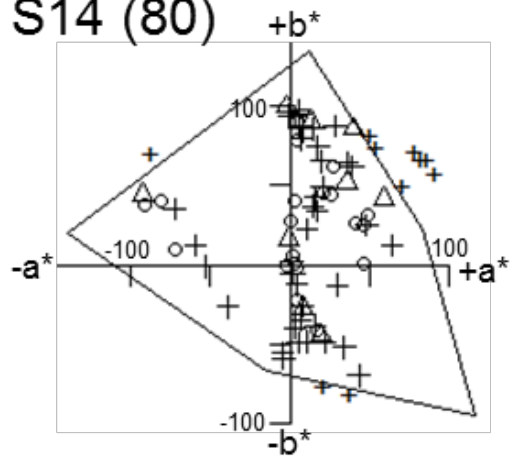
○ Alphabet △ Digit + Hiragana ◇ Katakana



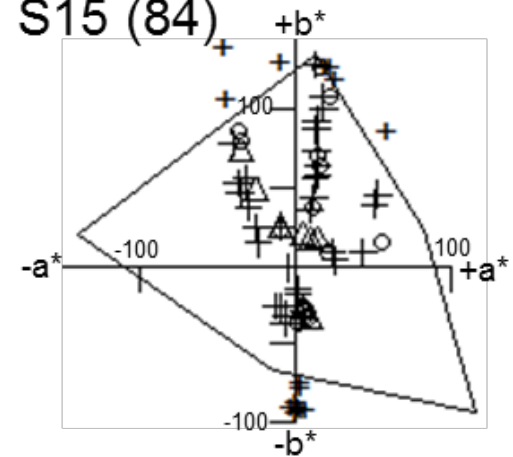
共感覚色分布(3種共感覚者)

○ Alphabet △ Digit + Hiragana

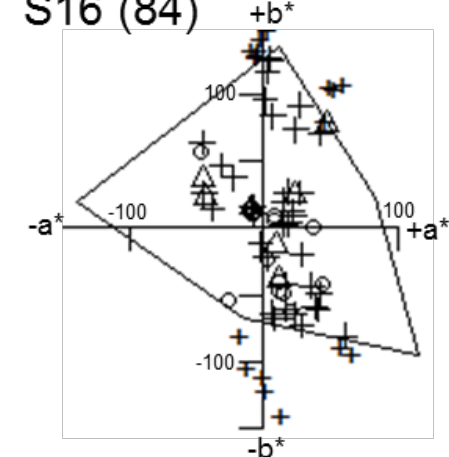
S14 (80)



S15 (84)

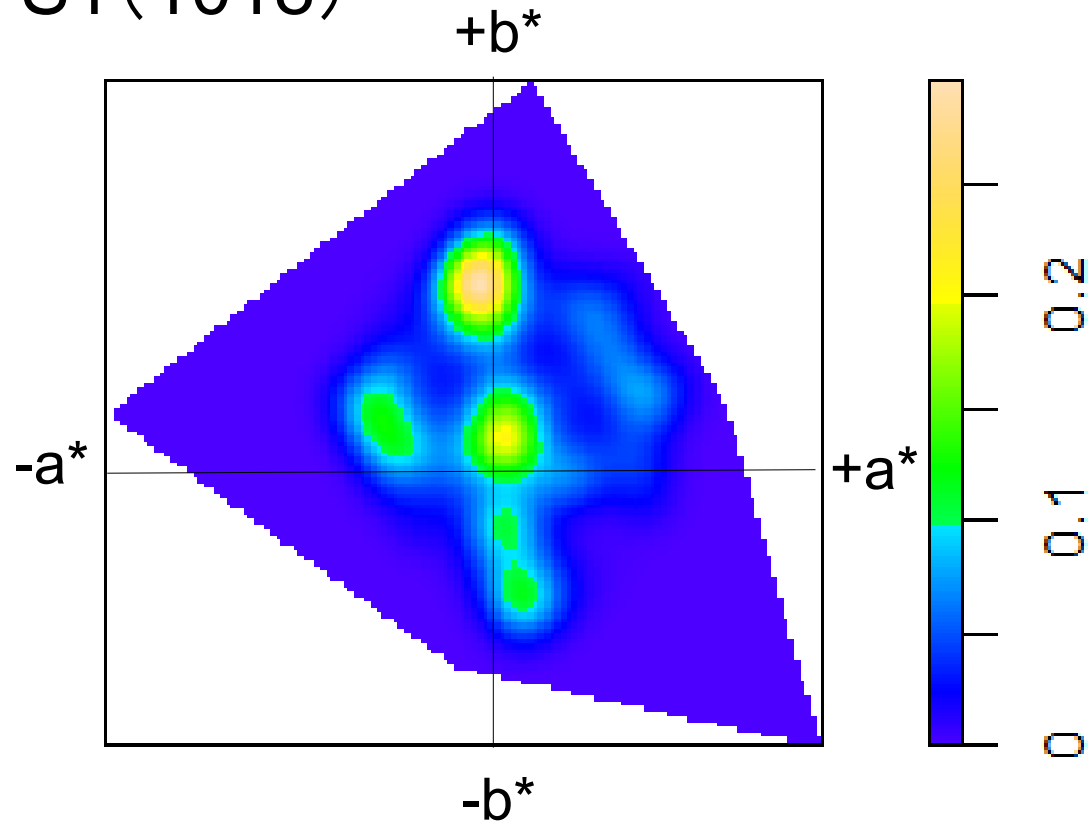


S16 (84)

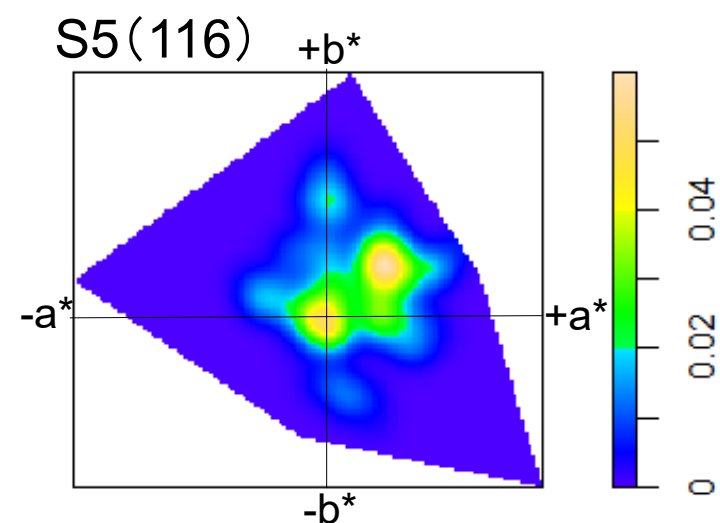
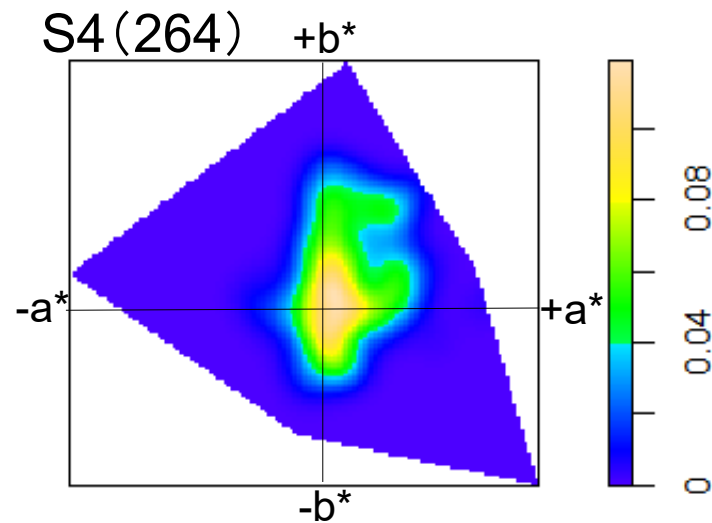
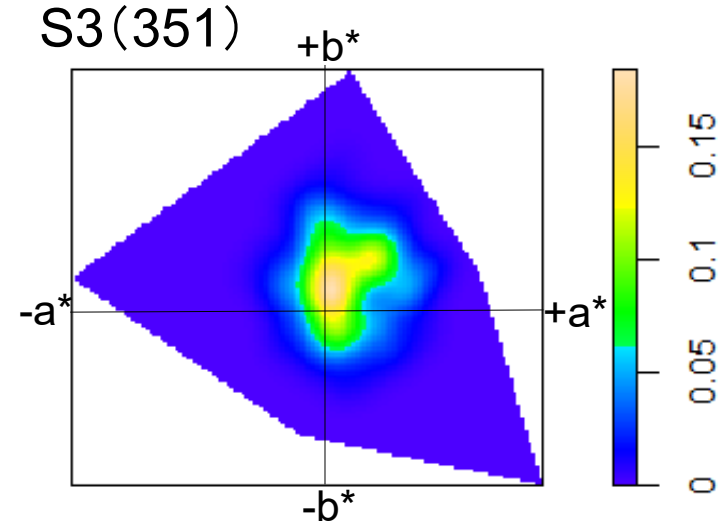
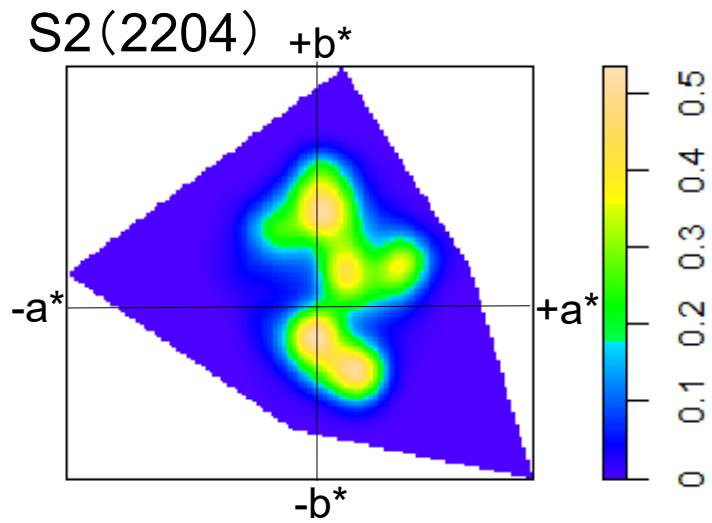


共感覚色分布の密度 (5種共感覚者)

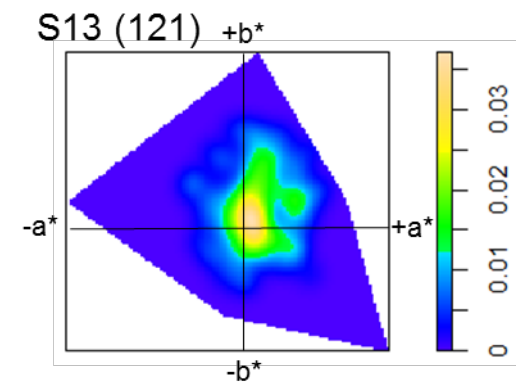
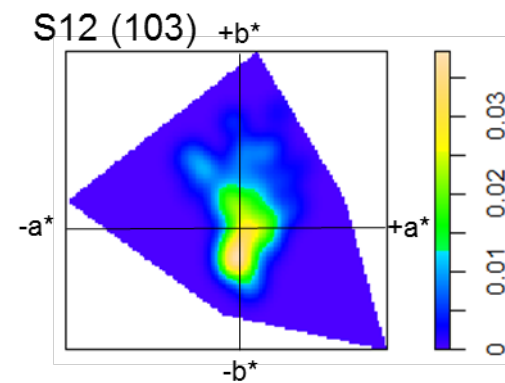
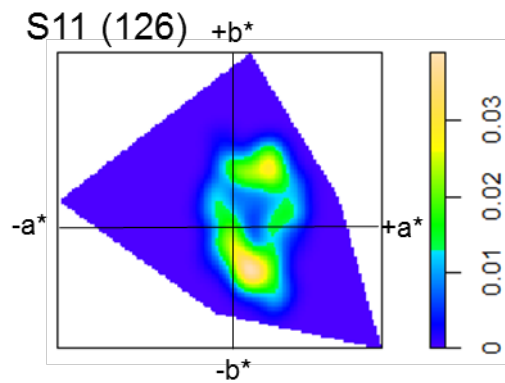
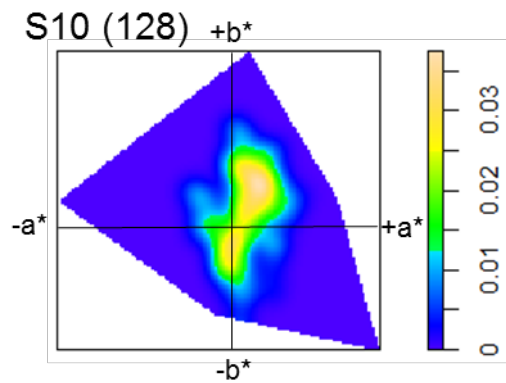
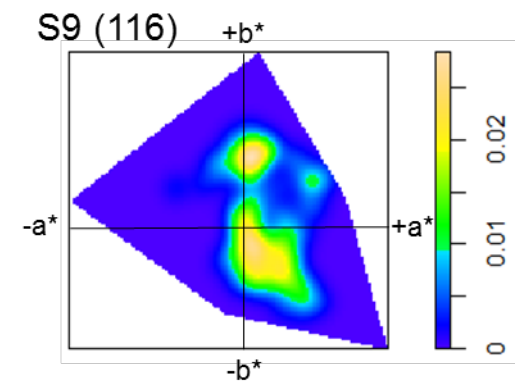
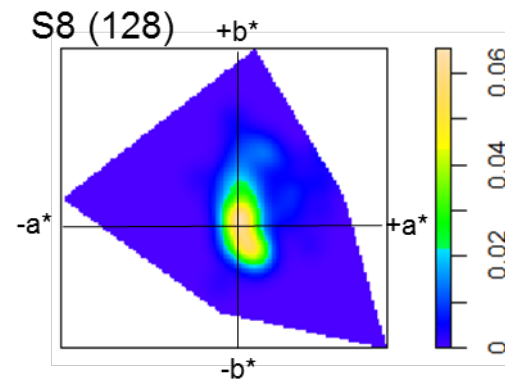
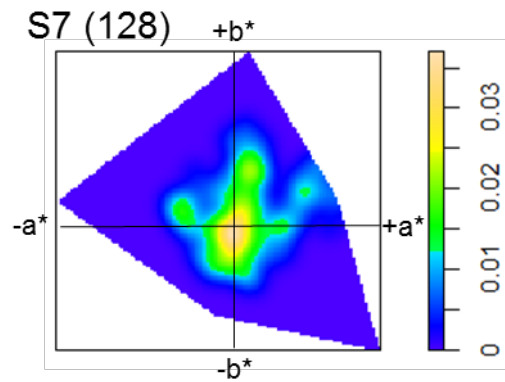
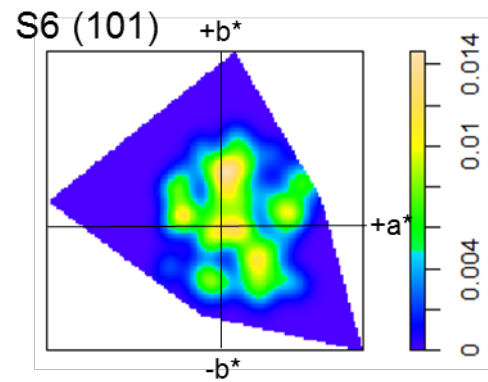
S1(1018)



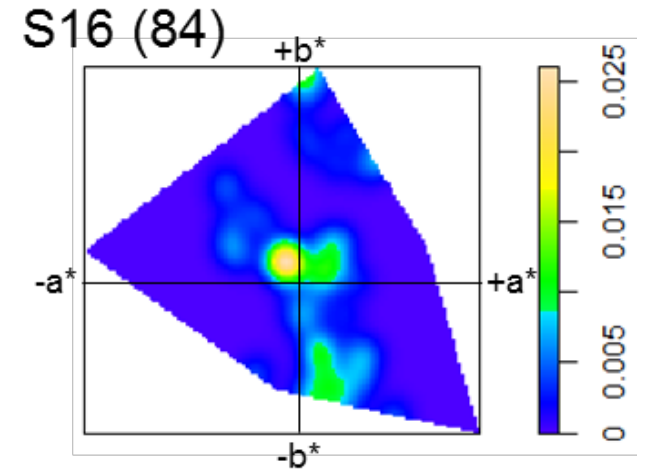
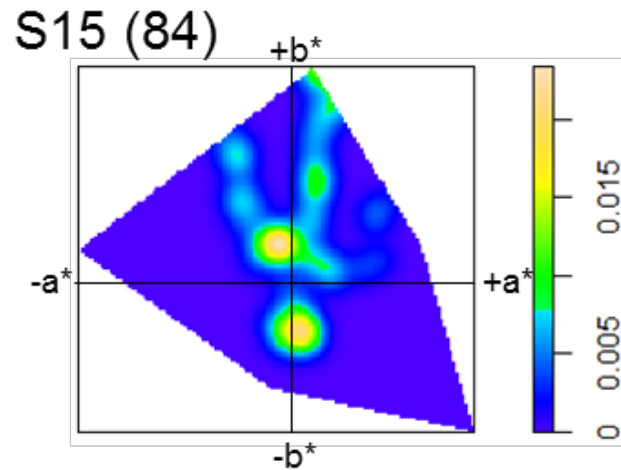
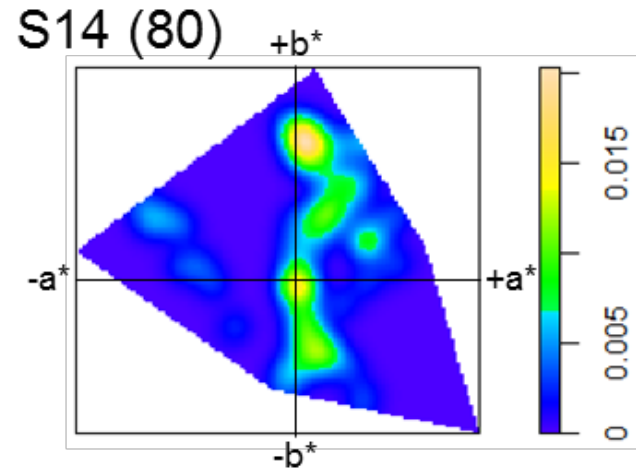
共感覚色分布の密度(5種共感覚者)



共感覚色分布の密度(4種共感覚者)



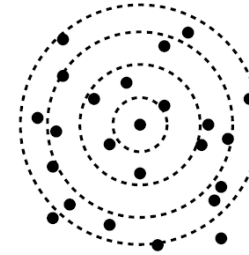
共感覚色分布の密度(3種共感覚者)



分布パターンの解析

- L関数はRipley のK関数から変換される

$$K(r) = E(r)/\lambda.$$



rは探索距離

E(r)はある点(色)から半径r内に存在する点(色)の個数の期待値

λ は点の平均密度(ある領域にある点の数)

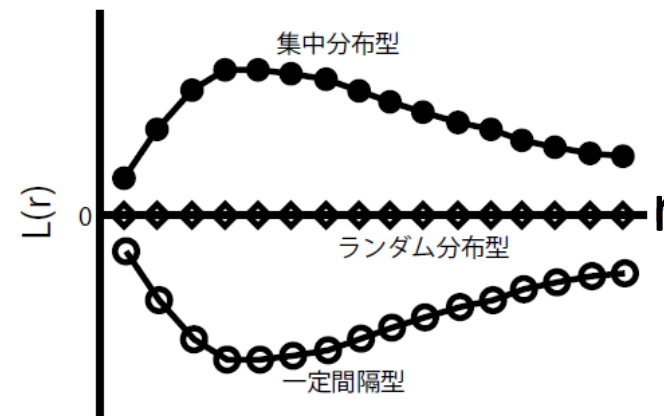
ランダム分布の場合 $\rightarrow K(r) = \pi r^2.$

- L関数 $L(r) = \sqrt{(K(r) / \pi)} - r.$

$L(r) = 0 \rightarrow$ ランダム分布

$L(r) > 0 \rightarrow$ 集中分布

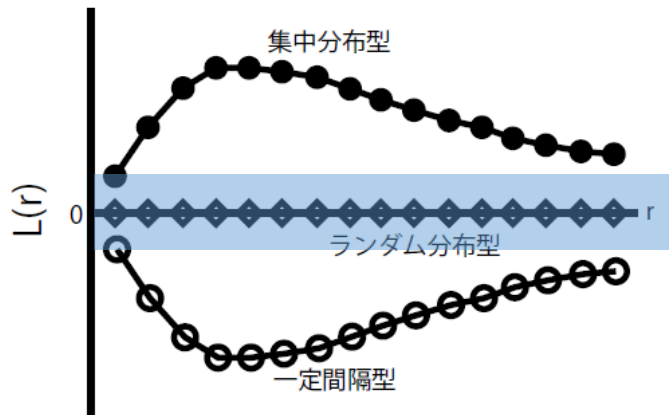
$L(r) < 0 \rightarrow$ 一定間隔



ランダム分布の範囲の推定

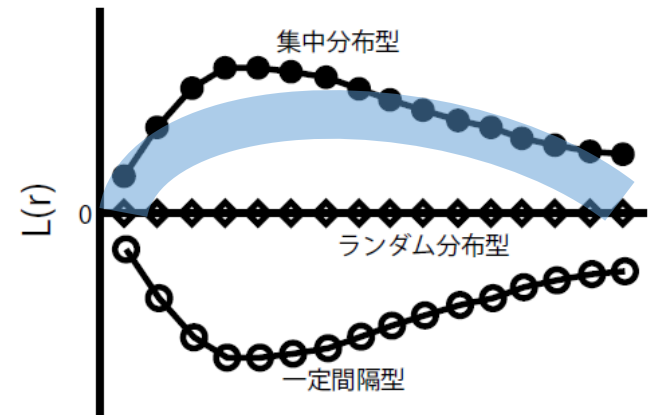
3,4種共感覚者

1. データ数と同じ数の点を色領域内にランダムにプロット
2. L関数の推定
3. 1と2を1000回繰り返す
4. 95%信頼区間を推定



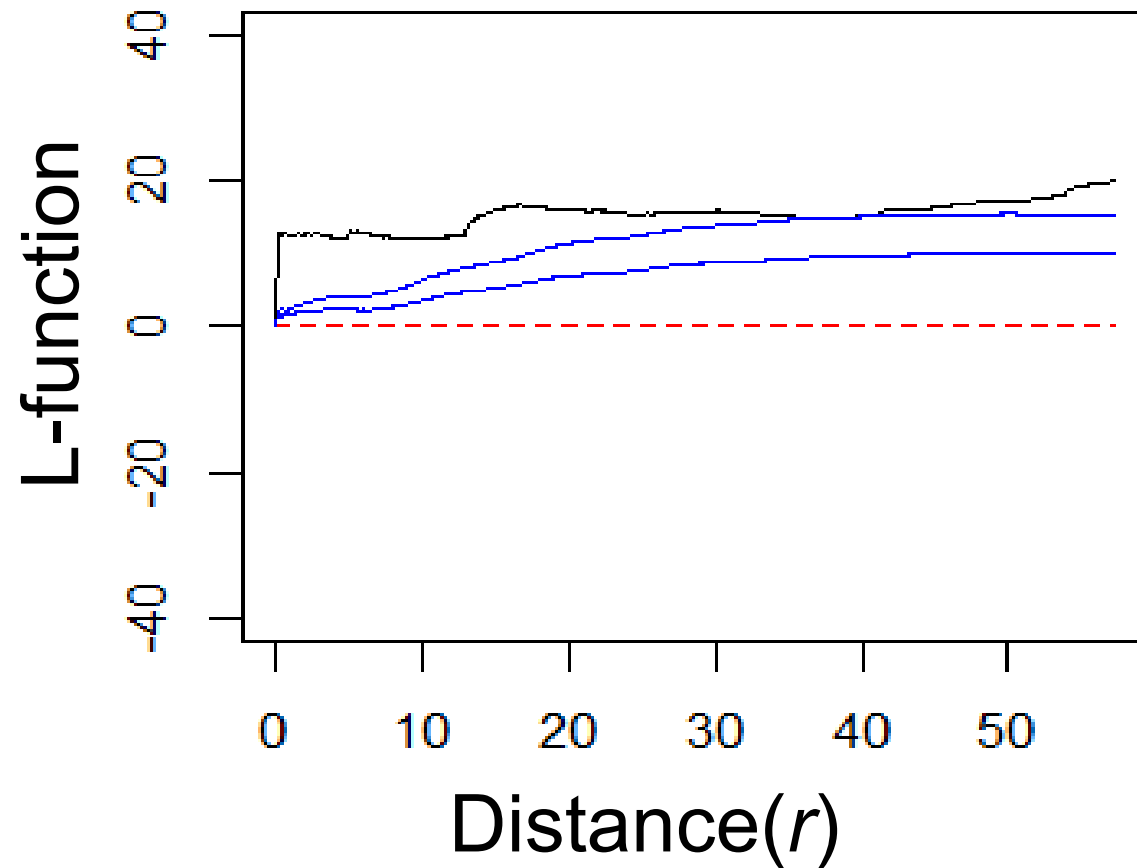
5種共感覚者

1. 全マンセル色からランダムに選択して色領域にプロット
2. L関数の推定
3. 1と2を1000回繰り返す
4. 95%信頼区間を推定



共感覚色の分布パターン

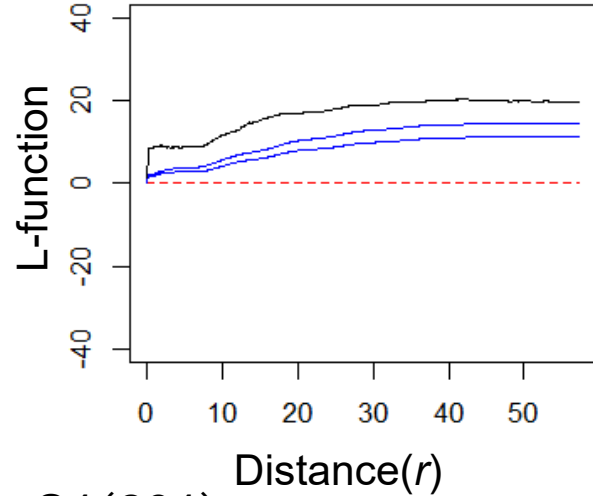
S1(1018)



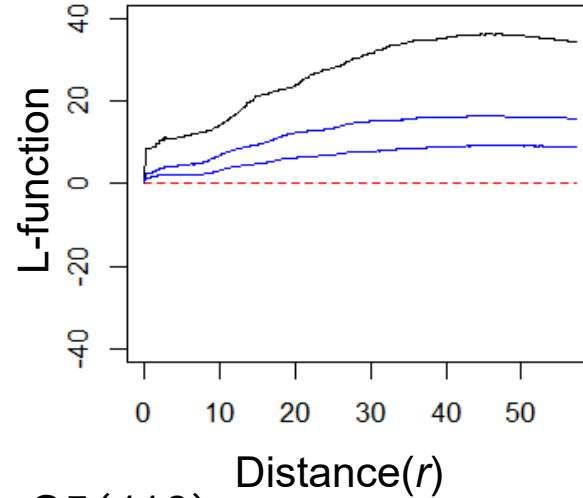
※ 青線はランダム分布を示す
95%信頼区間

共感覚色の分布パターン

S2(2204)

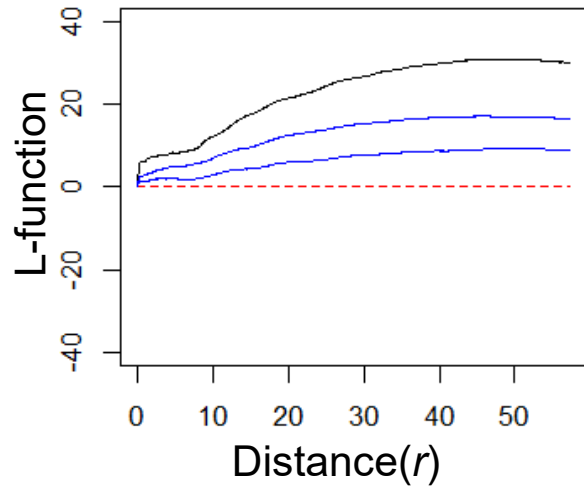


S3(351)

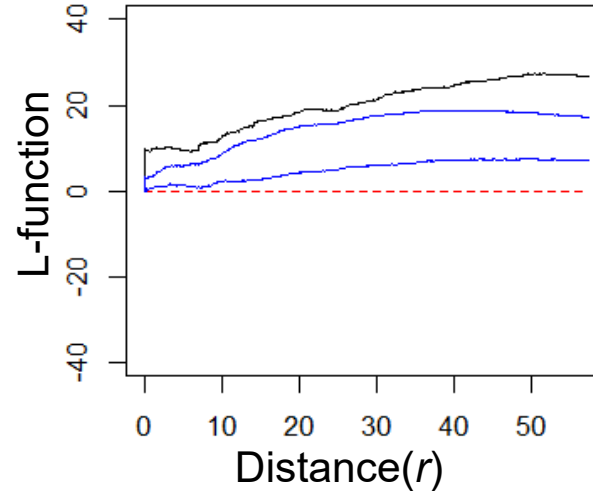


※ 青線はランダム分布を示す
95%信頼区間

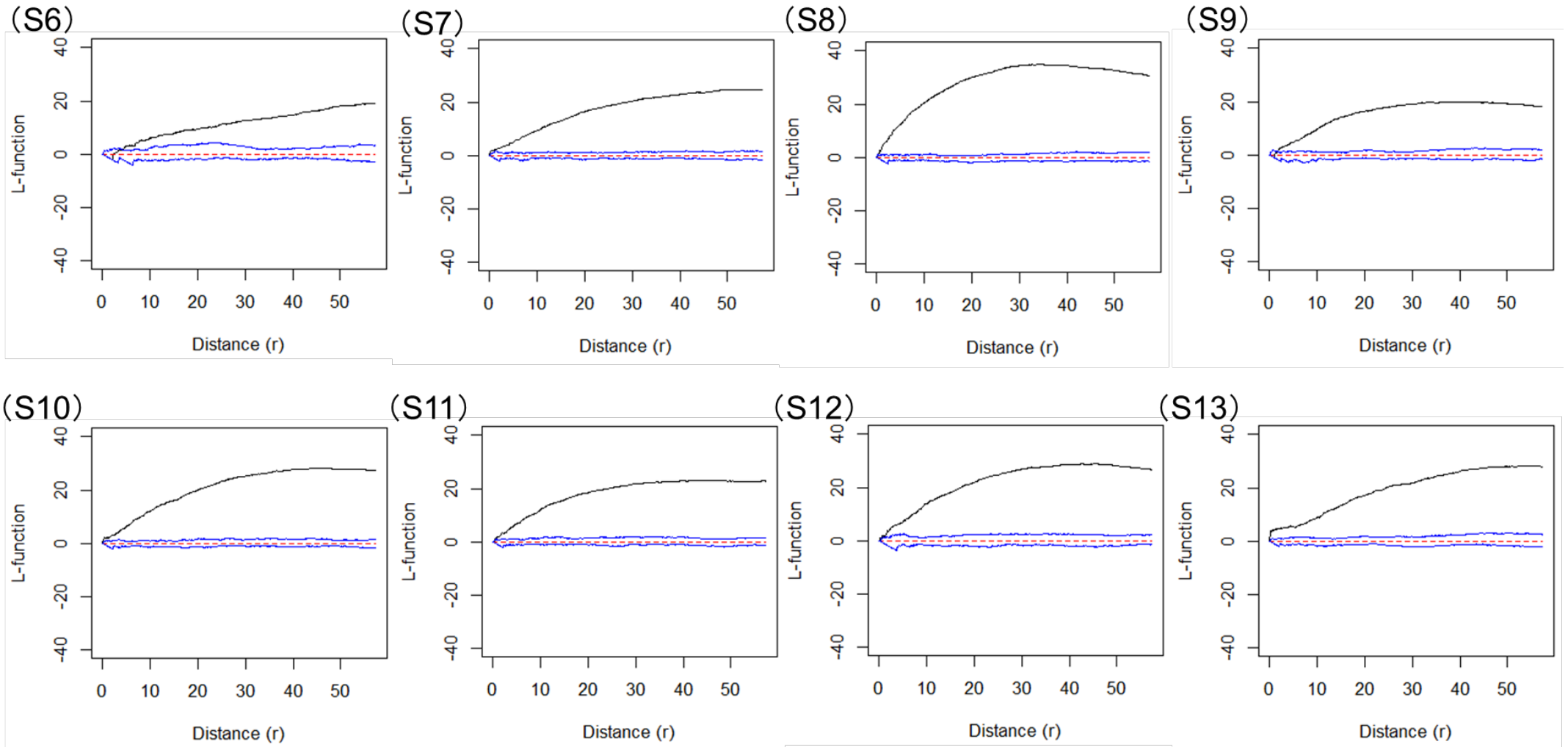
S4(264)



S5(116)

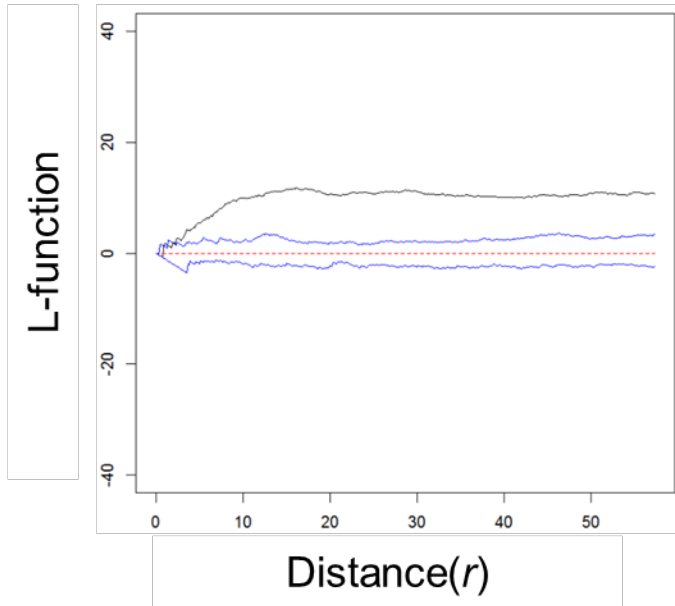


共感覚色の分布パターン(4種共感覚者)

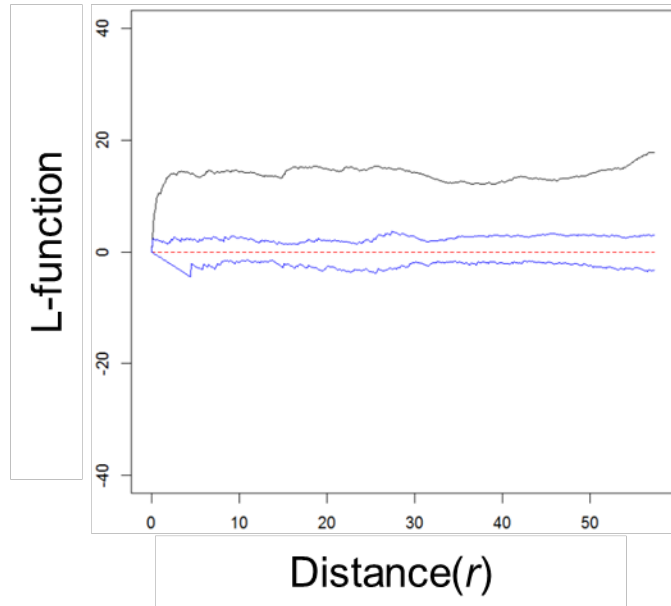


共感覚色の分布パターン(3種共感覚者)

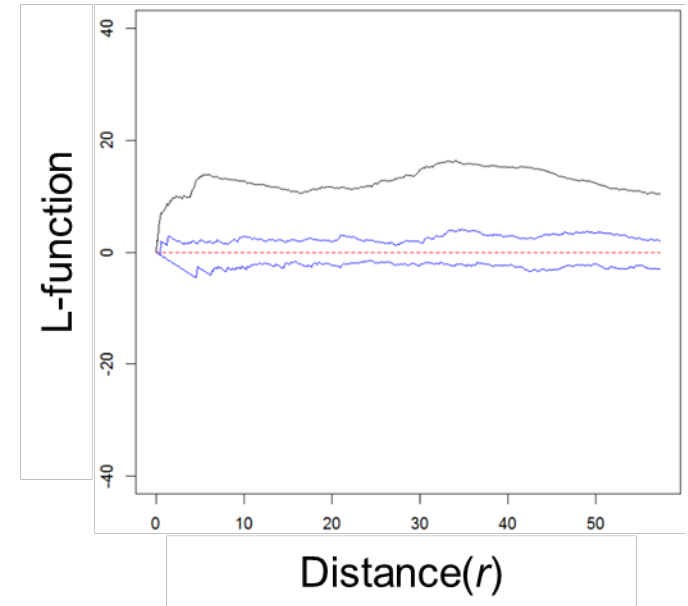
(S14)



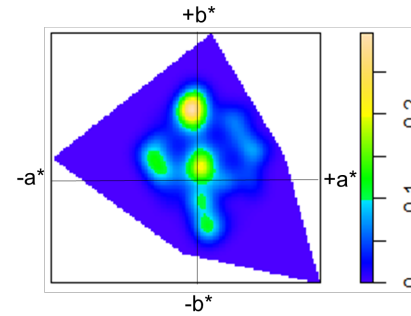
(S15)



(S16)



考察



- 共感覚色は複数の色領域に集中し、共感覚色クラスターを形成した。
- 共感覚色クラスターは、共感覚色がランダムではなく、特定の色領域から選択的に決定されることを示している。
- クラスターはどのようにして形成されるのか？
- 空間統計学に基づく二つの可能性
 1. ある点が別の点に影響する因果関係
 2. ある領域特性が点を引き付ける同一の原因



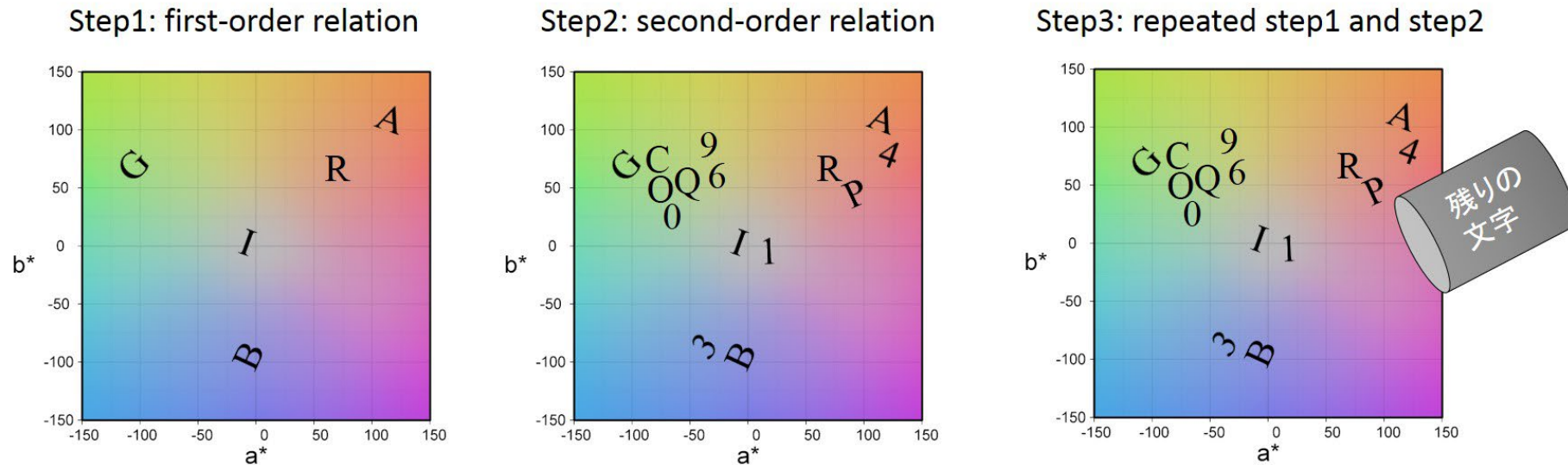
例: 砂漠(領域)にある木々(点)は集中分布する。

1. 木々から種子が飛ばされる(因果関係)。
2. その種子はオアシス周辺で育つ(領域特性)。

その結果、木々は複数の領域に集中する。

可能性1: 点同士の因果関係

- first-order relation と second-order relationの相互作用



- しかし、この因果関係だけでは、クラスターの形成を十分に説明できない。
- 日本の場合は、漢字、ひらがな、カタカナもある。
- 点を引き付ける色領域の特性も検討する必要がある。

可能性2: 領域特性による同一の原因

- 共感覚色になりやすい色となりにくい色の違いは何か
- 研究3で、色感度の関与を検討
 - 問い: 赤の共感覚色が結びつきやすい共感覚者は、赤色の識別に優れているか
共感覚色と物理色感度が対応するのか

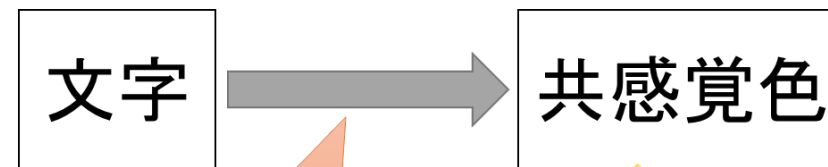
対応する場合 → 感度の高い物理色が共感覚色になる可能性を示唆

まとめ

- 従来のアプローチとは異なり、共感覚色のみの特性に注目した。
- 共感覚色は複数の色領域に集中分布し、共感覚色クラスターを形成した。
- クラスターは、共感覚色がランダムではなく特定の色領域から選択的に、共感覚色が決定されることを示している。

Hamada, D., Yamamoto, H., & Saiki, J. (2016). Database of Synesthetic Color Associations for Japanese Kanji. *Behavior Research Methods*, 07, 1-16.

目次



研究1: 共感覚色を規定する
文字要因の個人差

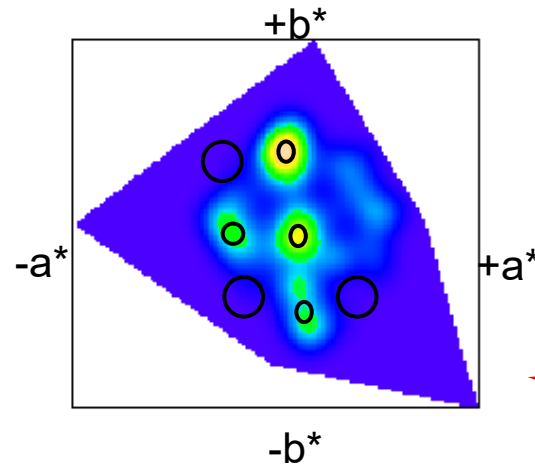
研究2: 共感覚色分布の探索的解析

研究3: 共感覚色と物理色感度の対応

- 序論(共感覚研究の背景)
- 研究1 共感覚色を規定する文字要因の個人差
- 研究2 共感覚色分布の探索的解析
- 研究3 共感覚色と物理色感度の対応
- まとめ

研究3: 共感覚色と物理色感度の対応

- 共感覚色と物理色感度が対応するかどうかを検討する。



○: 色弁別楕円
○が小さいほど感度が高い
○が大きいほど感度が低い

高密度領域で感度が高くなり、
低密度領域で感度が低くなるか

- 対応するならば、感度の高い物理色が共感覚色になる可能性がある。
- 主観的経験の違い(プロジェクターかアソシエーターか)の影響を検討する。
- 課題: マンセル100ヒューテスト、ケンブリッジカラーテスト

方法：マンセル100ヒューテスト

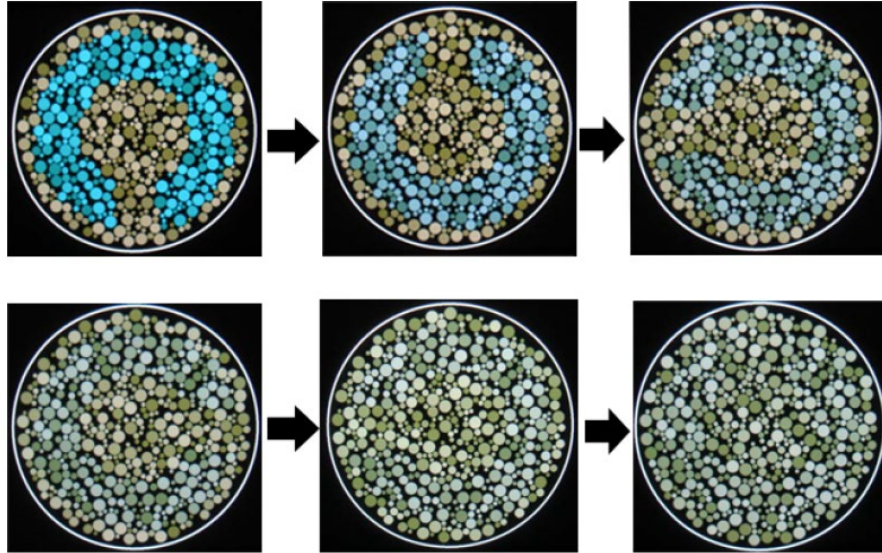
- 色字共感覚者18名、非共感覚者18名
- 課題：
 - 参加者は、色コマがグラデーションになるように1分半以内に並べ替える。
 - 正解の並びとの誤差を測定する。
- t 検定：共感覚者の色識別が優れているか
 - 独立変数：共感覚の有無（共感覚群 or 統制群）
 - 従属変数：総偏差得点（TES: Total error score）

※ TESの値が小さいほど色の識別成績が高い



方法：ケンブリッジカラーテスト

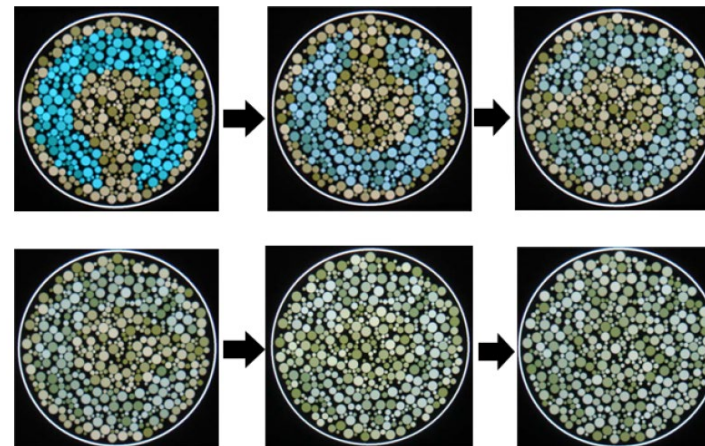
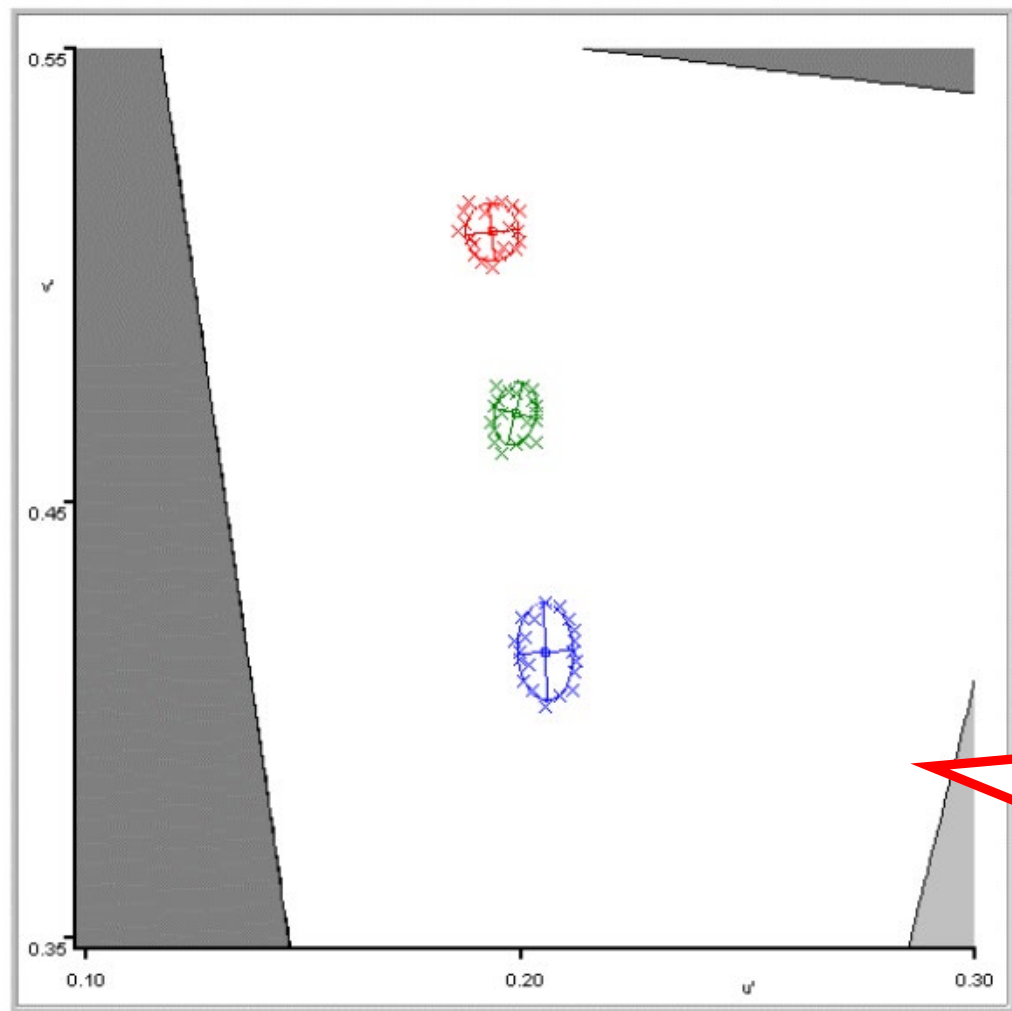
- 色字共感覚者12名、非共感覚者12名
- ellipse test: 1セッションで色弁別楕円を3つ測定×2セッション(約1時間)
- 課題: ランドルト環のギャップ位置(上下左右)を回答する



背景色とランドルト環の色の
コントラストの変化

正答するとコントラストが小さく
(難しく)なり、
誤答だとコントラストが大きく
(簡単に)なる。

出力結果の例



色弁別楕円の中心 = 背景色
中心から8方向の点 = ランドルト環の色

方法：ケンブリッジカラーテスト

- 色弁別楕円を測定する位置

- 彩度が高い高密度領域(2つ)を基準に、彩度が同じ低密度領域(4つ)が選択された。
- $L^*a^*b^*$ 値から $L^*u^*v^*$ 値に変換

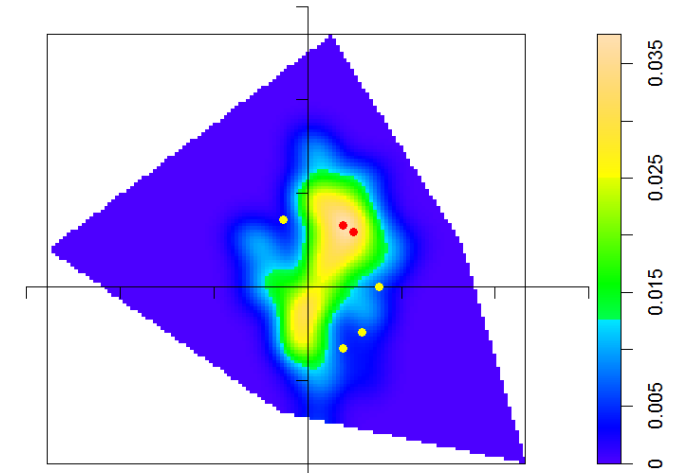
- 分析

1. 共分散分析：共感覚者の色識別が優れているか

- 独立変数：共感覚の有無(共感覚群 or 統制群)
- 従属変数：色弁別楕円の面積
- 共変量：彩度(中心からの距離)

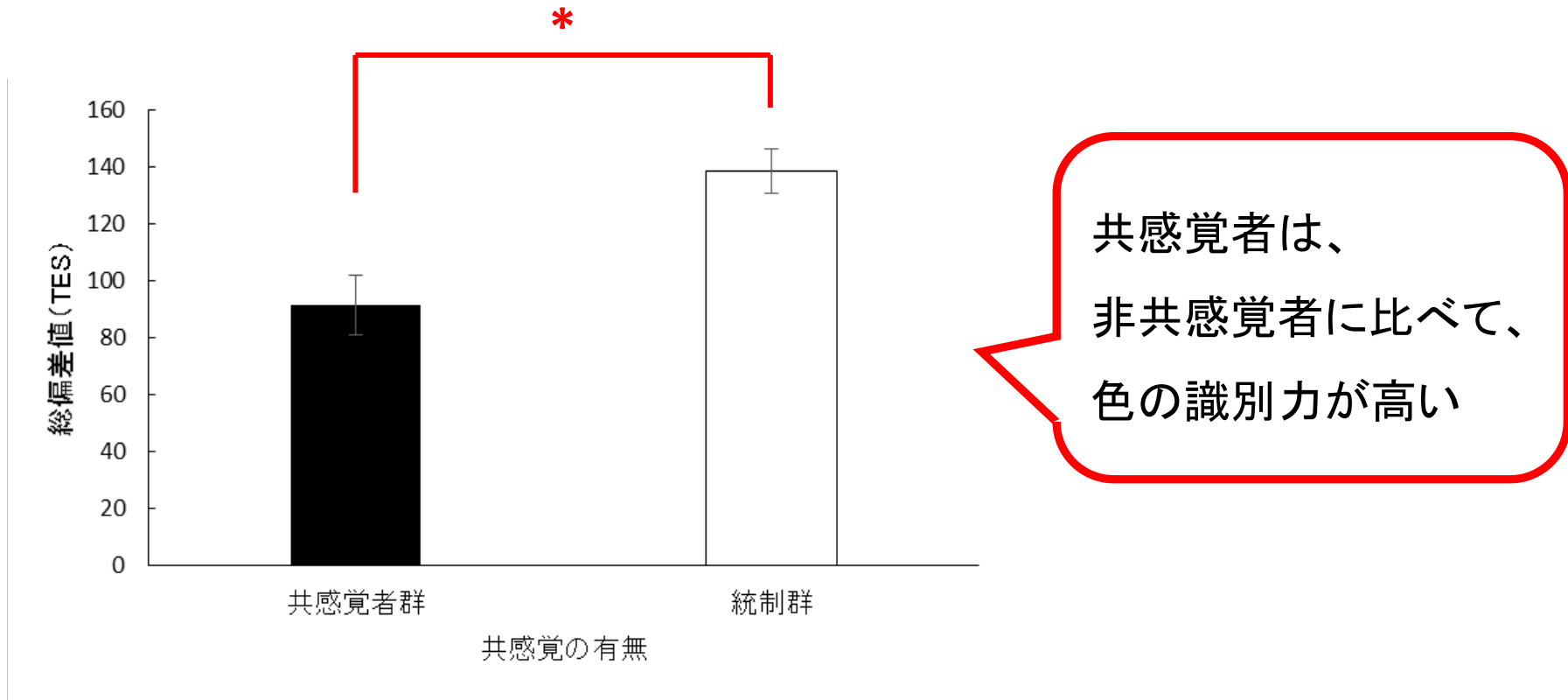
2. 回帰分析：主観的経験の違い

- 独立変数：主観的経験(+:アソシエーター / -:プロジェクター)
- 従属変数：色弁別楕円の面積の差(高密度 - 低密度)



●は高密度領域、●は低密度領域

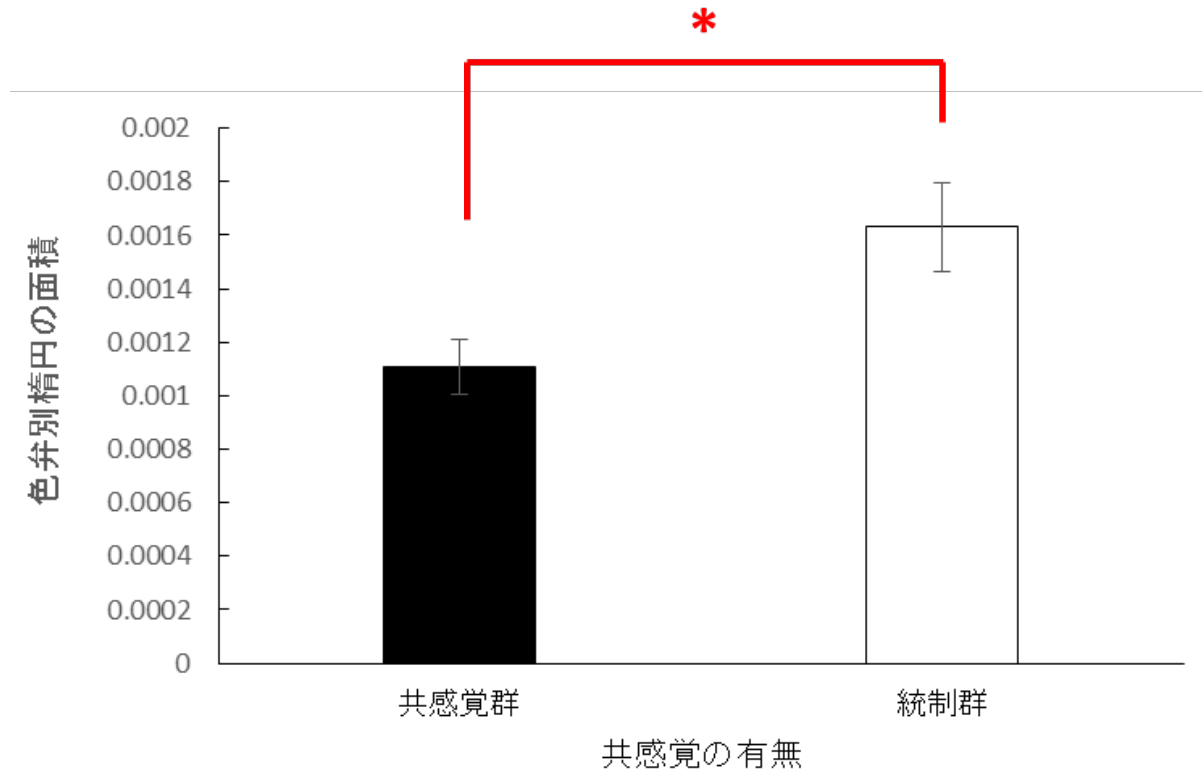
結果：マンセル100ヒューテスト



※ TESの値が小さいほど色の識別成績が高い

結果：ケンブリッジカラーテスト

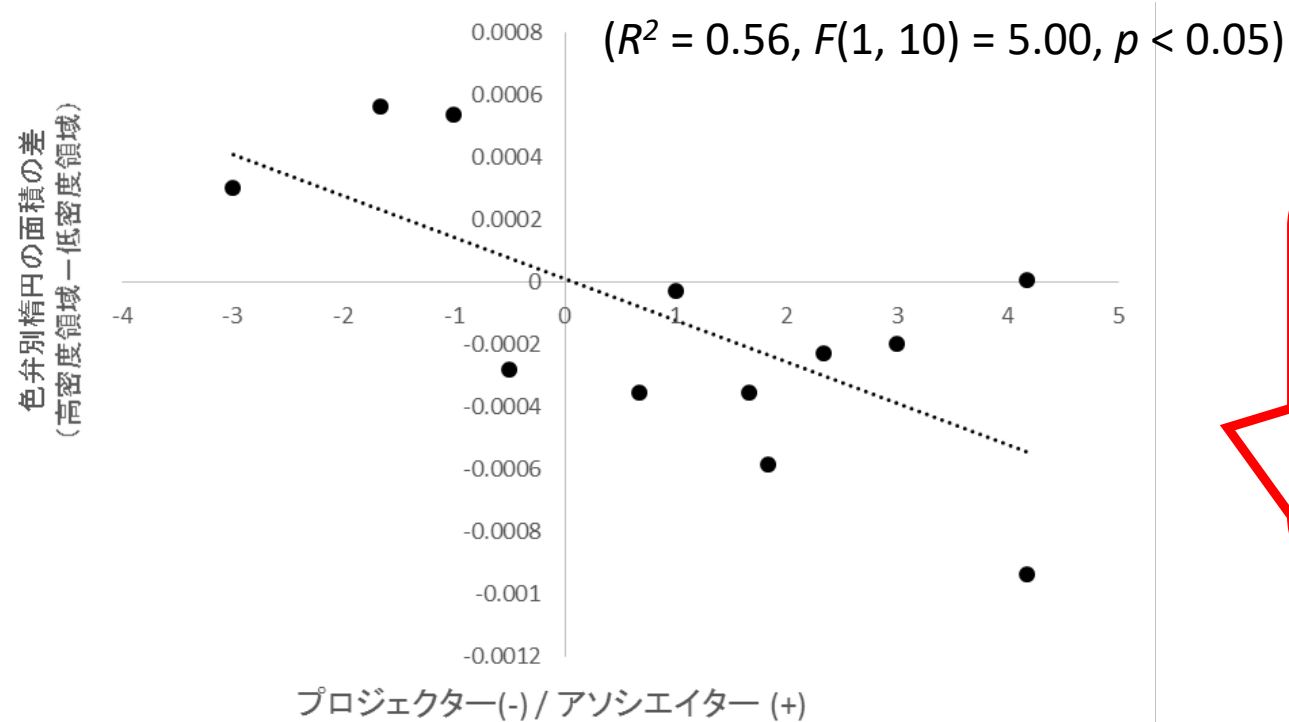
- 共分散分析



共感覚者は、
非共感覚者に比べて、
色の識別力が高い

結果：ケンブリッジカラーテスト

- 回帰分析



アソシエーターは高密度領域の色感度が高く、
プロジェクトは低密度領域の色感度が高い。

考察

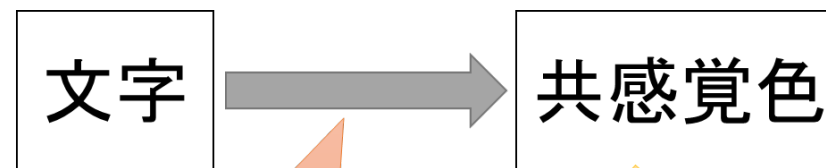
- 共感覚者は非共感覚者よりも色感度が高い。
- アソシエイターは高密度領域の方が感度が高い。
- プロジェクターは高密度領域の方が感度が低い。
- 物理色感度が共感覚色に影響する、あるいは共感覚色が物理色に影響することを示唆する。
- 問題点：本実験では因果関係は断定できない

物理色 ⇔ 共感覚色

?

Hamada, H., Yamamoto, H., & Saiki, J. (in preparation). Correspondence between synesthetic colors and sensitivity of physical colors in grapheme-color synesthesia.

目次



研究1: 共感覚色を規定する
文字要因の個人差

研究2: 共感覚色分布の探索的解析

研究3: 共感覚色と物理色感度の対応

- 序論(共感覚研究の背景)
- 研究1 共感覚色を規定する文字要因の個人差
- 研究2 共感覚色分布の探索的解析
- 研究3 共感覚色と物理色感度の対応
- まとめ

まとめ

- 問題:どのようにして共感覚色が選択・決定されるのか
- 本研究の目的:共感覚色の決定に関わる諸特性を1)文字要因と2)共感覚色の知覚特性の2つの視点から検討する。

- 各研究のまとめ
- 未解明な問題
- 今後の課題

各研究のまとめ

- 研究1: 共感覚色を規定する文字要因の個人差
 - アソシエーターの特性が文字の順序性と親密度の影響度を高めた。
 - 文字要因の影響度は共感覚者の文字処理の違いによって決定される。
- 研究2: 共感覚色分布の探索的解析
 - 共感覚色は色空間上でクラスターを形成した。
 - 共感覚者ごとに特定の色が共感覚色になる。
- 研究3: 共感覚色と物理色感度の対応
 - アソシエーターはクラスターを形成する色の弁別感度が高く、プロジェクターはクラスターを形成する色の弁別感度が低かった。
 - 物理色から共感覚色に、あるいは共感覚色から物理色に影響する可能性を示す。

未解明な問題

- 研究1: 共感覚色を規定する文字要因の個人差
 - 説明されない個人差がまだある。
 - ひらがな、カタカナ、漢字は未検討
- 研究2: 共感覚色分布の探索的解析
 - 異なる2種の点分布の関係(例: シンプルな文字 vs. 複雑な文字)
- 研究3: 物理色感度と共感覚色の対応
 - 共感覚色と物理色の因果関係は不明

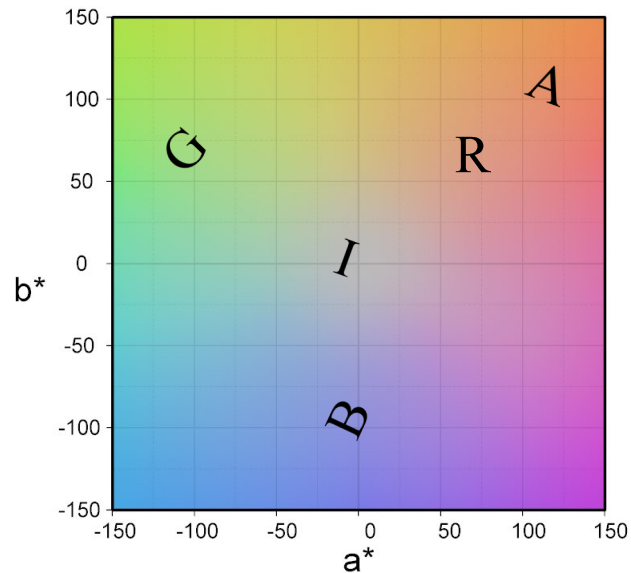
今後の課題

- 共感覚色の決定過程の理論構築を目指す。
- 共感覚色クラスター形成のモデル化
 1. 点同士の因果関係
 - 文字要因の影響
 2. 領域特性による同一の原因
 - 物理色感度
 - 個人差(文字種、色のみえ・質感、文字学習と色の環境など)
- まずは、研究3の論文を投稿・・・

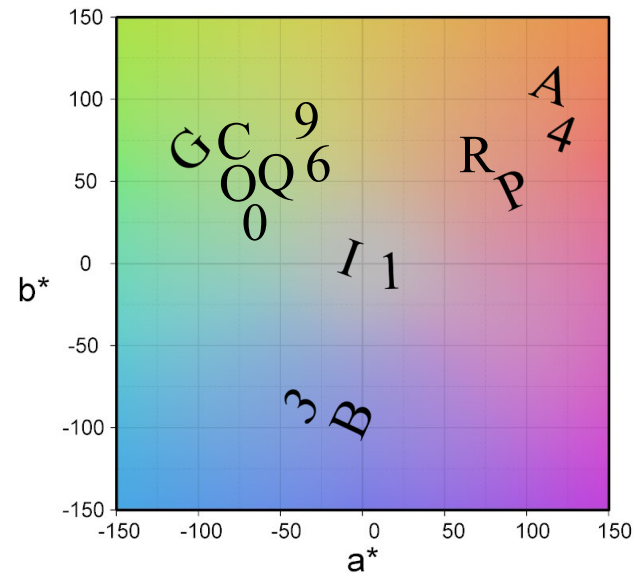
可能性1: 点同士の因果関係

- first-order relation と second-order relationの相互作用

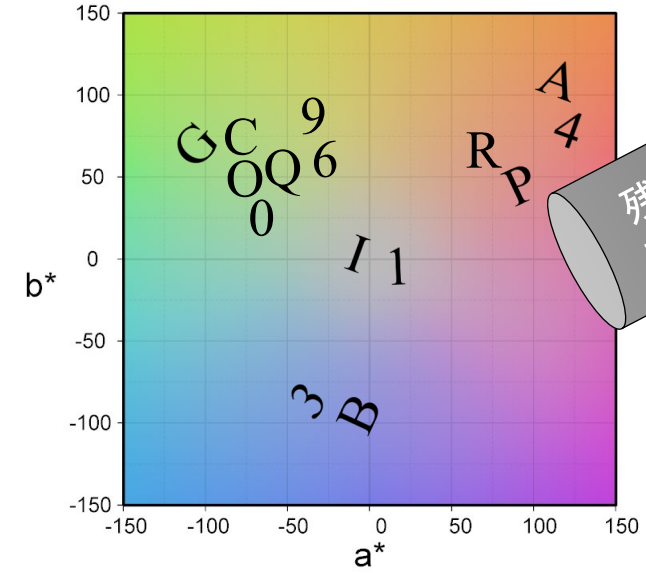
Step1: first-order relation



Step2: second-order relation



Step3: repeated step1 and step2



- しかし、この因果関係はどうしてその色になったかを説明できない
- 点を引き付ける色領域の特性を検討する必要がある。

色字共感覚の特徴：主観的な色の見え

プロジェクター：
文字の上に色を見る

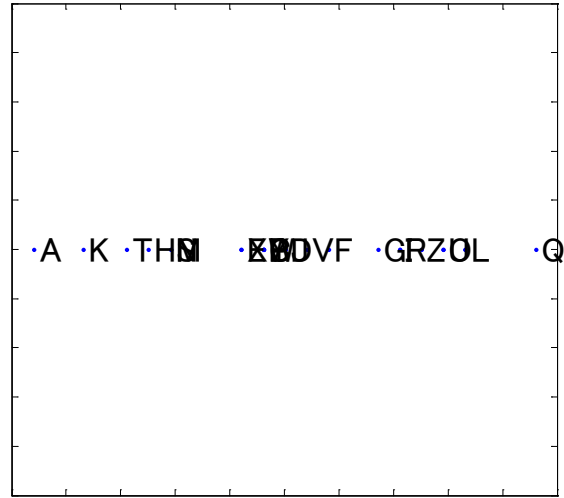
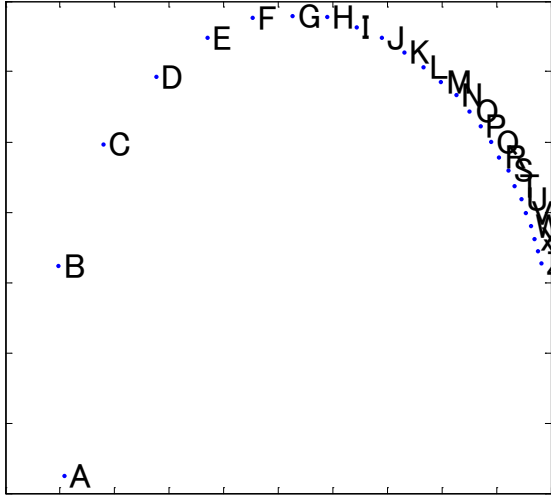
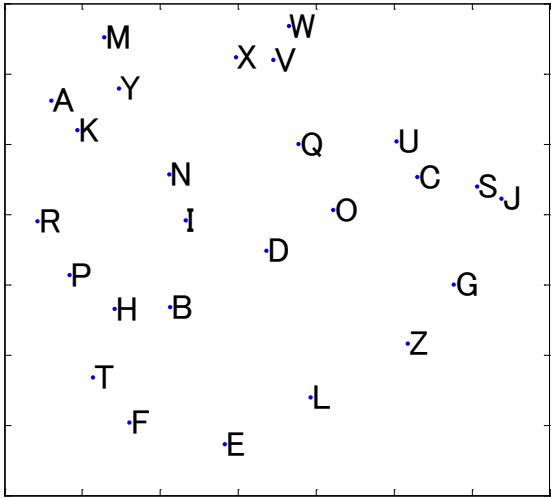
視覚的



アソシエーター：
頭の中で色を感じる

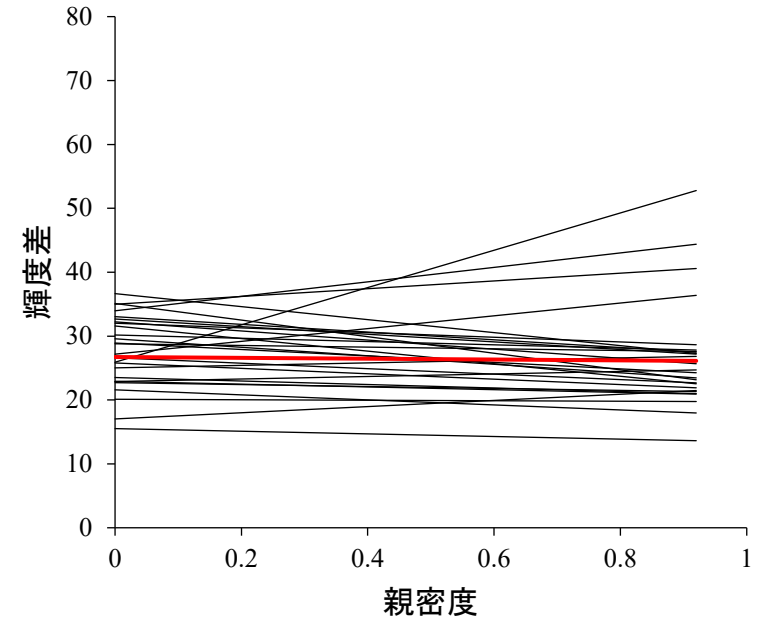
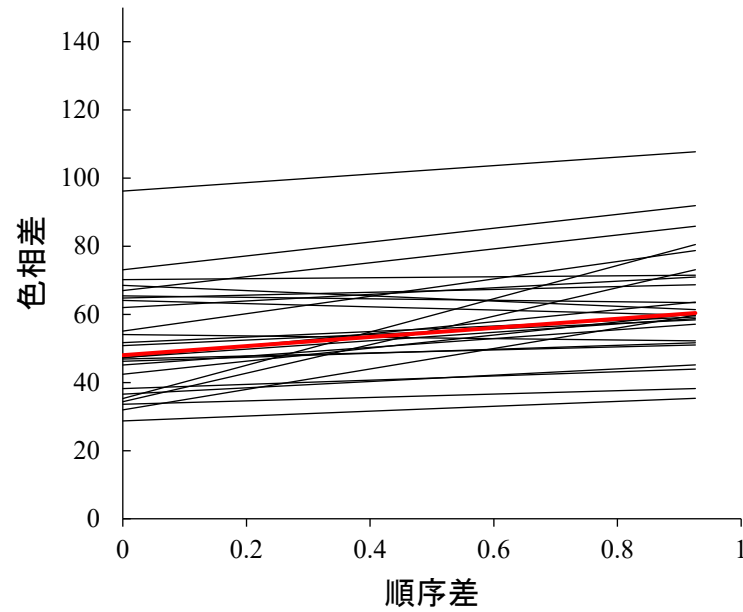
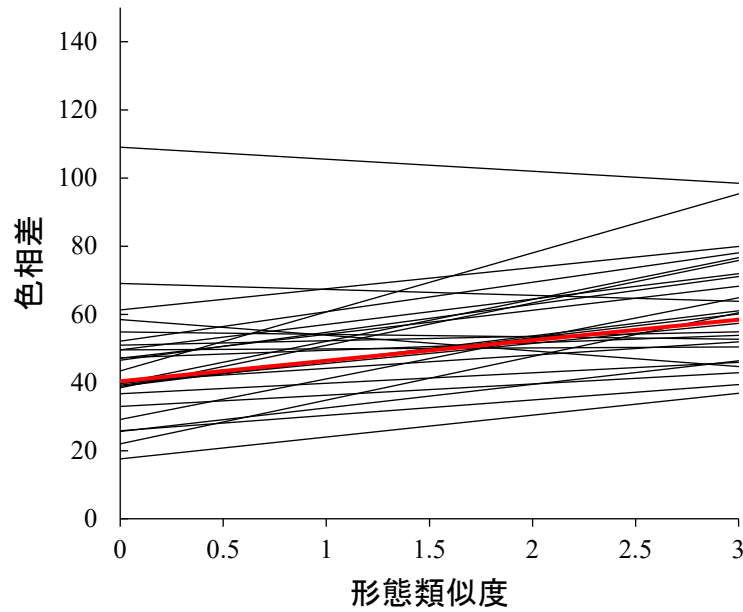
連想的





結果：文字要因の影響度の個人差

黒線は個人毎の傾き、赤線は平均



正の傾きの場合、

文字同士が異なる形になるほど、異なる共感覚色になる

前の文字ほど異なる色に、後ろの文字ほど似ている色になる

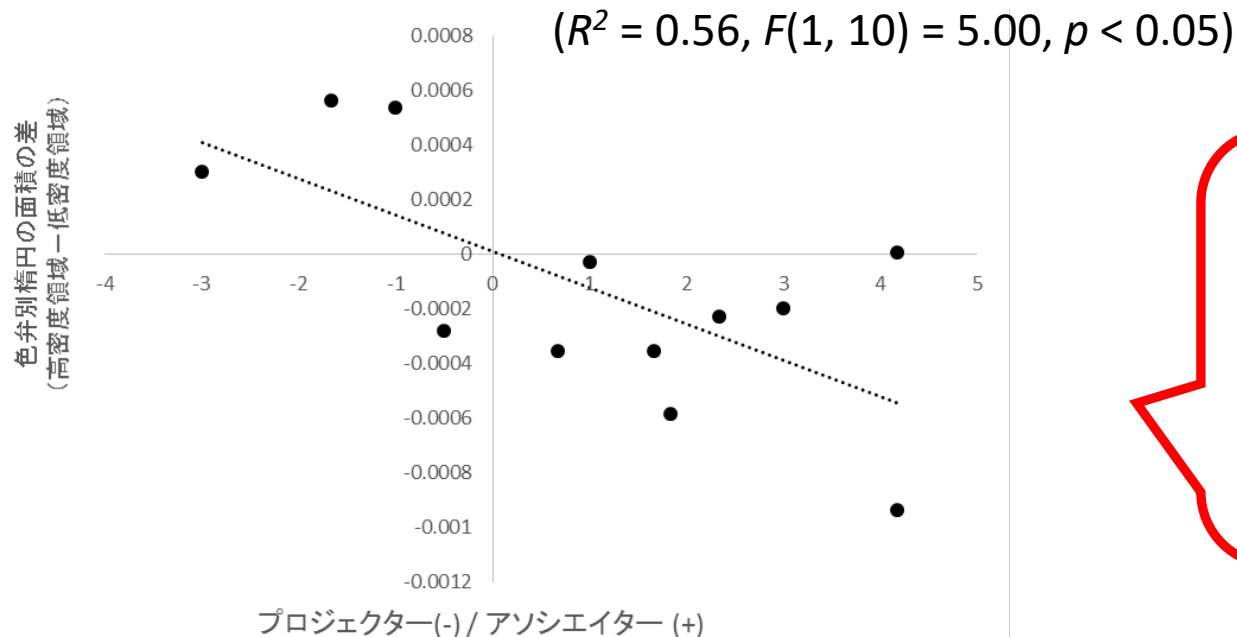
親密度の差が大きくなるほど、明暗の差が大きくなる

主観経験得点

ID	value	Classification
1	4.2	Associator
2	4.2	Associator
3	4.0	Associator
4	3.7	Associator
5	3.7	Associator
6	3.5	Associator
7	3.3	Associator
8	3.3	Associator
9	3.2	Associator
10	3.0	Associator
11	2.8	Associator
12	2.8	Associator
13	2.3	Associator
14	1.8	Associator
15	1.7	Associator
16	1.0	Undetermined
17	0.7	Undetermined
18	0.3	Undetermined
19	0.0	Undetermined
20	-0.5	Undetermined
21	-1.0	Undetermined
22	-1.7	Projector
23	-1.7	Projector
24	-3.0	Projector
25	-3.8	Projector

結果：ケンブリッジカラーテスト

- 共分散分析：共感覚者群の色弁別楕円の面積が統制群に比べて、有意に小さかった ($F(1, 16) = 3.37, p < .01$)
- 回帰分析



アソシエーターは高密度領域の色感度が低密度領域に比べて高く、プロジェクターは低密度領域の色感度が高密度領域に比べて高い。

考察：主観経験による色感度の違い

- 共感覚色は文字の識別に役立つ (Watson et al., 2014)
- プロジェクター (高密度領域の色感度が低い)
 - 感度の低い物理色が共感覚色になる可能性
 - 色感度が低い → カテゴリカルな色の識別
 - カテゴリカルな色識別は文字識別しやすくなる。
- アソシエーター (高密度領域の色感度が高い)
 - 感度の高い物理色が共感覚色になる可能性
 - 色相だけでなく明るさの次元が共感覚色に影響する (研究1)。
 - カテゴリカルな色の識別に依存していない → プロジェクターと逆の結果に
- 問題点：共感覚色が物理色に影響する可能性は捨てきれない。

発達の過程： 共感覚色の決定に要する処理と期間

- 文字と共感覚色の結びつきは次第に安定する
(Simner et al., 2009; Simner and Bain, 2013)
- 主観経験による違い
 - アソシエーター: 文字の認知的な処理に依存しているため長期的
 - プロジェクター: 文字の知覚的な処理に依存しているために短期的
- 文化間の学習文字の違い
 - 英語圏: 幼少期～児童期でほとんどの共感覚色が決まる
 - 日本: 小学校以降でも継続的に文字学習、共感覚色の選択が行われる。
- 色が結びつく文字種の個人差
 - 漢字が結びつく共感覚者や結びつかない共感覚者がいる

発達の過程： 共感覚色の決定に要する処理と期間

- 文字と共感覚色の結びつきは次第に安定する
(Simner et al., 2009; Simner and Bain, 2013)
- 主観経験による違い
 - アソシエーター: 文字の認知的な処理に依存しているため長期的
 - プロジェクター: 文字の知覚的な処理に依存しているために短期的
- 文化間の学習文字の違い
 - 英語圏: 幼少期～児童期でほとんどの共感覚色
 - 日本: 小学校以降でも継続的に文字学習、共感
- 色が結びつく文字種の個人差
 - 漢字が結びつく共感覚者や結びつかない共感覚

シナプスの過剰生成と刈り込みの失敗 (neonatal synesthesia hypothesis) の個人差が影響していることを示唆する。

発達の過程：共感覚色クラスターの形成

- 文字と共感覚色の結びつきは次第に安定する
(Simner et al., 2009; Simner and Bain, 2013)
- 共感覚色クラスターの形成
 - (1) 点同士の因果関係は互いの位置関係の決定に寄与する。
 - (2) 領域特性による同一の原因は、具体的な色領域の決定に寄与する。
- 主観経験による規定因の違い
 - アソシエイター: 文字の認知的な処理に依存しているため長期的
 - プロジェクター: 文字の知覚的な処理に依存しているために短期的