

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 1 日現在

機関番号：21602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350016

研究課題名(和文) 色彩と音楽の感覚統合：脳科学とビジュアル・ルック・デザインの融合科学

研究課題名(英文) Color and Musical Sense integration: Cerebral Science of Brain Science and Visual Look Design

研究代表者

浅井 信吉 (ASAI, NOBUYOSHI)

会津大学・コンピュータ理工学部・上級准教授

研究者番号：80325969

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、いままで、顧みられることの少なかった、アニメーションにおける共感覚的クロスモーダルデザインを科学的に研究する。優れたクリエイターがもつ感性を、共感覚を手がかりに、科学的に解明し、コンテンツ作成には欠かせない音楽・映像のクロスモダリティを利用したアニメのビジュアルデザイン・アルゴリズムを開発する。共感覚を手がかりに主観的な「感性」の世界を探るクロスモダリティ(感覚統合)研究が世界的に行われ、急速に発展している。千差万別である人間の感性を、共感覚を手がかりに、脳内クロスモーダル・メカニズムに焦点をあて、科学的根拠を持った音楽・色彩の感覚統合デザイン手法を研究した。

研究成果の概要(英文)：We refer to the phrase “synesthesia in art” as a variety of cross-modal arts that use the co-operation of the senses, for example, seeing and hearing. The first work is in the sonata form and the key varies F, C, F, Bb, F major in order. The synesthetic colors are strongly dominant in the start (fade-in), and increased at the change of keys, and drop off quickly. The colors are also strongly associated with movements of the animation characters. For example, as the pony Pegasus flies the colors increase and as he/she falls the colors decrease. The techniques shown in Fantasia may reveal the relation between “synesthesia in art” and “neurological synesthesia,” and the impact of Fantasia over the recent animation films and music videos.

研究分野：情報工学、数値解析

キーワード：情報デザイン 感性デザイン

1. 研究開始当初の背景

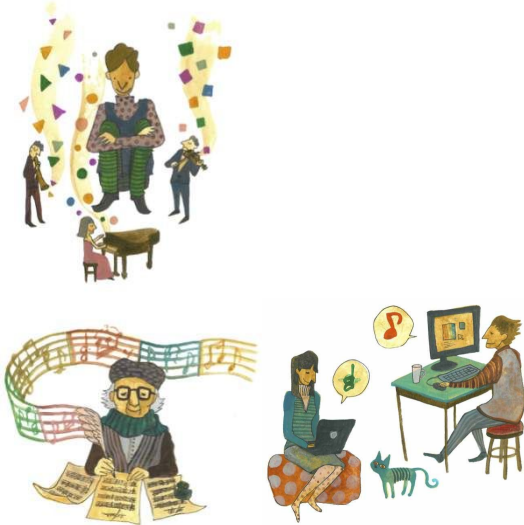


図1 色聴共感覚の概念図

映画やテレビコマーシャルなどの作品に見られるように、カラースケイピングという音楽と映像、音楽と色彩など、複数のメディアがクロスモーダルに使われる。複数のメディアを多相に扱うことで互いの印象を強め合う [1]。これを、クロスモダリティ (多相性) と呼ぶ。音楽、色、テクスチャなどが加わることで映像の意味・ストーリーがより明確に伝達され、映像作品がより強く印象的になることが知られている。また、音楽の印象も映像、色彩、テクスチャが加わることでより感動的になる。そのような異種感覚間メディアの多相性の中でも、図1のように感性語を介さず音楽と色彩を直接対応付ける手法をノンバーバルマッピングという。本研究では、その指標として共感覚者に評価テストを行い、科学的な検証に基づいた、マッピングの作成を試みた [2]。共感覚とは、『音を聴くと色が見える』、『味わうと形を感じる』、『文字に色が見える』など、一つの感覚刺激によって複数の知覚が不随意に引き起こされる現象のことである [3]。共感覚の存在自体は古くから知られていたが、その存在はギリシャ時代から知られていたが、19世紀ぐらいから「思い込み」や「錯覚」と考えられるようになった。しかし、1990年後半以降脳計測技術の発達により、PET (Positron Emission Tomography) や fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) を用いた共感覚の計測実験 [4] [5] が行われ、共感覚の脳内基盤メカニズムが次第に科学的に判明するにつれて、共感覚の存在は否定できないものになってきた。

共感覚は脳神経ネットワークが完全でない新生児が普遍的に持つと考えられている別の意味での感覚統合現象である。脳の発達に伴う脳神経野の機能分化によって、大人になるとその感覚野のつながりが失われてしまう。共感覚的な多相的感覚マッピングを一般の感覚保持者が持っている可能性は示唆

されているが、詳しいことは分かっていない。しかし、一定の相関関係があるとの報告もある。

共感覚の中でも『音を聴くと色が見える』ものを『色聴』共感覚といい、色聴者を対象とした研究も多く行われているが、実験統制が困難でまだよく分かっていない。それらの一部先行研究の結果によれば、色聴者の音と色の多相マッピングを、一般の感覚保持者も潜在的に有している可能性が示唆されている [2]。例えば、「黄色い声」などの表現のように、緩やかな色聴感覚は、一般に誰もが感じる感覚 (共通認識) の範囲に存在するという結果もある [6]。しかし、科学的裏付けをもって、色聴者を集めることは困難で、共感覚被験者の絶対数が少なく統計的に有意な実験は難しい。また、音楽と一言でいっても、調性、音高、音色、和音、テンポ、リズム、ビートなどのさまざまな要素が存在する、被験者の音楽に対する経験など、音楽の何、被験者のなにに注意して聴いているのか定かではないなどの問題点が多くこのこっている。

2. 研究の目的

そこで本研究では、古典音楽の文法である楽典を用いる。音楽の各種要素パラメータを、この楽典 (音階、和音、調性) を用いて分別し、それぞれ音階、和音、調性にわけ色聴者の持つ音 (音階、和音、調性) と色 (マンセル色空間) のマッピングを取得するテストを実施している。また、多くの色聴者からデータを取得するため、WEB上に、共感覚の説明や、判定、共感覚色聴者を対象としたアンケートページを構築した。

2.1 共感覚と色聴

共感覚とは1つの感覚刺激から、複数の知覚が不随意に引き起こされる知覚現象である。これは『黄色い声』や『甘い匂い』というような、複数種類の感覚を結びつける比喻表現や想像より大きな意味での現象である。この知覚現象は一般的な感覚を持つ人には感じられない、共感覚者個人が主観的に知覚している現象である。

共感覚はモダリティにより『文字 色』、『音色』などの多くの種類があり、いずれの共感覚も個人によって誘因や様態の強さが異なっているため、個人の持つ共感覚を定義するのは容易ではない。特に、共感覚者は複数の共感覚を併せ持つことが多く、神経学者のRichard E. Cytowic は共感覚には次のような一般特徴があることを明らかにした [3]。

1. 共感覚は不随意的だが、必ず誘発され、その様態は一定である。共感覚は刺激なしに意志の力で意図的に発生させることはできず、当該刺激によって誘発される。
2. 共感覚は (空間に) 投影される。誘発される感覚は心の中のイメージとして生じるのではなく、個人空間 (体の周りの

空間)で感じられることがあり、投影と呼んでいる。

3. 共感覚知覚は持続的、個別的、総称的であり、3才から老年まで、共感覚者の感覚の結合は生涯続く。すなわち、Aの音に対しBの色を見るという対応関係が経年によって変化することはない。また、場合により、感覚統合の多相様態はそれは複雑なものではなく、しみ・線・渦巻きといった形、テクスチャ、触感、塩気や甘みなどの味覚、単純なパターンからなり具体性は様々である。
4. 共感覚は記憶に残る。共感覚はしばしば引き金となった刺激よりも強く記憶に残り、記憶の強化につながることもある。
5. 共感覚は情動知能とクロスモーダルにつながり、情動的、認知的(ノエティック)である。共感覚者は自分が知覚しているものが現実であるという確信を持っている。

また、共感覚の発生原因は、多くの有力な説があり、近年の研究でじょじょに解明されてきている。しかし、依然決定的には分かってはおらず、いくつもの説が存在する。分かっているいくつかの説は、以下の通りである。

1. (共感覚は一般人のものと同じ?) 共感覚は、実際は私たちが誰でも持っている正常な脳機能なのだが、その働きが意識に上る人は一握りしかいない。共感覚者は共感覚のとき、通常は意識に上らないプロセスが意識に剥き出しになるので、自分に共感覚があることを知るのだが、通常の人にはそれを知らないだけである。
2. (幼児は共感覚をもっている?) 新生児の脳は生後3ヶ月ほどまで皆、共感覚を有している。それは新生児の脳の五感はまだ未分化であるためと考えられる。しかし、経年と共に次第に分化が進み、各感覚野をつなぐ経路は遮断され、共感覚を失う。しかし、共感覚者においては分化され遮断されるはずの経路が保持されることによって、共感覚を知覚し続けることになる。
3. (混線理論?) 共感覚は、幻肢の理論である交差配線(クロス配線)を共感覚に応用したものである。交差配線とは、脳の隣接する部位間において混線が生じて起こる現象である。つまり、色と数字を処理する部位が隣接しているとき、その二つの間で混線が起こることで共感覚が生じたものとしたものである。そして、それを発展させた交差活性化は、隣接していない離れた領域間でも起こりえるので、交差配線では起こりえない共感覚をも説明できるとしたものである。

共感覚の発生原因にはこれ以外にも複数存在するが、いまだ確実なことは分かっていない。だが、最近のわれわれの研究では、かつては個人によって異なるものとされてき

た共感覚で感じる知覚が、文化的で有り、ある程度のその社会の文化に応じて、共通点が見られる[7]。例えば"文字色"の共感覚では、『A』は赤色、『O』は白色または黒色、『S』は黄色といった傾向があり、統計的に検証されている。われわれの研究では、二つの感覚の知覚の対応関係は、幼児が脳神経の機能分化が形成され、認知機能が発達する過程で決まる。これは、幼児の認知機能発達が、文化、環境によって決まる、周囲の刺激による機能発達が影響している。従って、触れる環境が異なれば、異なる対応になる。

共感覚者の生起確率は2000人に1人、200人に1人などさまざまな論が存在する。しかし、近年の報告では、本人が自覚してないケースが多く、生起確率はさらに高いと考えられる。

### 2.1.1 色聴共感覚

多種多様に存在する共感覚の中でも一番多いのが色字とよばれる共感覚である。その次に、比較的多いのが、音を聴くと色を感じる『色聴』と呼ばれるタイプである。

例えば、「単語や文字の発音を聴くと色が見える」や、ドレミファソラシドなどの「音階や調性音を聴くと色が見える」など、様々なタイプの色聴が存在している。前者は"A"という文字や"てすと"という単語の発音に対して色を感じ、後者は「八長調(C)は赤、イ長調(A)は緑」といったように、音階や調性に対して色を感じ取る。例えば、ロシアの作曲家スクリャーピンは八長調(C)は赤、イ長調(A)は緑、同じくリムスキー・コルサコフは八長調(C)は白、二長調(D)は黄という具合に色を感じていたようである。スクリャーピンに関しては、現在では、共感覚でなかったという説が多い。

近年の脳計測により、色聴保持者が音楽聴取時に、実際に色知覚に関与している脳領域(V4/V8近傍)で活動が生じていることが、fMRIによって計測されている[8]。このことから、色聴が聴覚系と視覚系の直接的な相互作用により生じていることが示唆されている。しかしながら、なぜ共感覚が存在するかは、自閉症と同じで、0-3才の過程で、その認知機能発達がどのようになっているかを明らかにする必要がある。

さらに、色聴者であるかどうかを客観的に評価・測定する手法は確立されていない。最も、確実なのは脳計測により観察することであるが、これは費用と時間がかかり、一般人には無理である。Cytowicによる"共感覚の診断のための主要な5つの特徴"など過去の知見から[3][9][10]、色聴者である程度同定することが可能であると考えられているが、診断方法は古くなっており、現在の共感覚の常識に合わない点がある。

### 3. 研究の方法

本研究では以下の4項目から、被験者が色聴者であるかどうかを判定する。

1. (再現性) 色に再現性が見られる。
2. (経年性) 幼児期から色を感じた経験を持っている。
3. (一意性) 色と音の対応関係が一定で変わらない。

4. (学習性の排除) 感じる色が色音符などの学習結果によるものではない。

また、色聴における先行研究より以下のことが示唆されている。また、われわれの聞き取り調査、テストでも確認されている。

1. 色聴者の音と色のマッピングを、一般的な感覚保持者が潜在的に有している可能性がある。これは、一般人も薬物、刺激、集中によって共感覚が発生する。
2. 音色について、高調波成分が増えると色の彩度が上がり明度が下がる傾向があり、また、音の優先順位は『調>音高>音色』である。
3. 明度はテンポが下がると下がり、彩度はテンポが上がるにつれてあるピークまでは上がり、その後下がっていく傾向がある。[11]

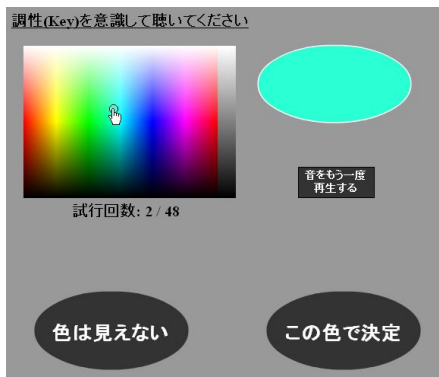


図2 共感覚テストHPのテストGUI

#### 4. 研究成果

##### 4.1 共感覚(色聴)被験者

本研究では、色聴者を集め、図2の音楽を聴かせ色を選ばせる一貫性テストを行った。被験者の内 Difference Score が高く、またアンケートにおいて色聴があると回答した被験者を高得点群と呼ぶ。

- ・音高(Pitch)の高得点者 16 名
- ・和音(Chord)の高得点者 8 名
- ・調性(Key)の高得点者 12 名

また、Difference Score の低かった被験者を低得点群と呼ぶことにする。

##### 4.2 被験者内における音高・和音・調性の関係

音高、和音、調性の全ての実験において高得点を出し、なおかつ、色聴の自覚があり、物心ついたときから色が見え、また、その色が今までに変わったことがないと答えた被験者について考察する。

得られたデータのうち、調性の必須条件 2 4 調に対して、その調性の主和音、その主和音の根音を、五度圏の形状に合わせて比較した様子を図3に示す。

音高・和音・調性の並び順は、外から内に

向かって音高、和音、調性の順である。

下図4において、円の外回りの長調においては、例えば八長調では、上から順に音高C / 和音C / 調性八長調 の順で並んでいるが、それぞれの音に対して選択された色がほぼ『白』と強い相関があることが分かる。

しかしながら、円の内回りの短調においては、和音と調性にはどれも強い相関があるが、ほとんどの音高が和音・調性との間に色の近似が見られない。

また、図3の例えばG(ト)短調の音について、音高では水色が選択されているが、Gを根音としたト短調主和音は薄紫であり、ト短調もまた薄紫色である。しかしながら、同じGを根音としたト長調とト長調の主和音は音高と同じく水色が選択されている。これらのことから、一つの音を聞いたとき、その音は長調に帰属する音と認識して聞いていたと考えられる。

平行調には部分的には近い色が選ばれる傾向が見て取れるが、属音関係には何かしらの傾向は見られなかった。

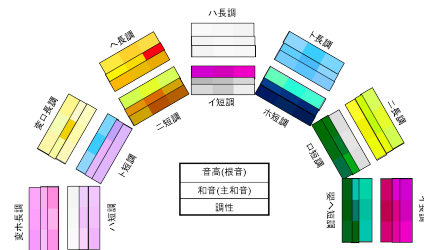


図3 被験者1.音高・和音・調性の相関

図4の被験者も調性とその主和音の間にはある程度の相関が見られた。

しかしながら、音高を含めて3パラメータにおける相関関係は、長調、短調の差によってではなく、右回りと左回り、つまり増える調号が か かによって、傾向が分かっていた。

が増える方、つまり右回りでは、短調において、音高・和音・調性に相関が見られるが、長調についてはあまり見られない。逆にが増える方、つまり左回りでは、長調において、音高・和音・調性に相関が見られるが、短調についてはほとんど見られない。

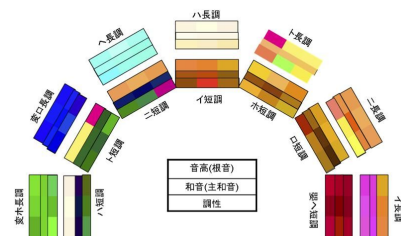


図4 被験者2.へ長調の色(上から根音・主和音・調性の順)

##### 4.3 ファンタジア田園における共感覚色-科学的な検証

ファンタジア田園場面1では、下図5に

示すように、田園の音楽が始まると共に、風景が溶明してくる。また、それに合わせるように、実験結果の共感覚色が多く使われてきている。



図5 場面1：田園風景 共感覚色が溶融

場面1で、溶融してくる色（主に、緑、黄色）をその前の画像から差分をとり、図6のようなマンセルチップ上の色分布に当てはめ、各色のピクセル分布をもとめる。

次に、共感覚テストにおいて、一貫性スコアの高かった、共感各被験者 28 名がへ長調で選んだ色分布との EMD(Earth Mover Distance)をとる。

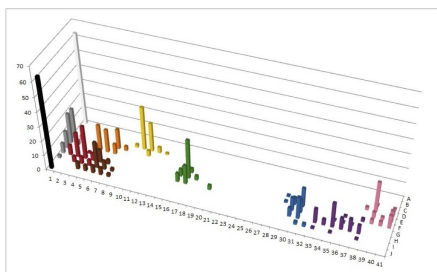


図6 マンセルチップ上の共感覚色分布

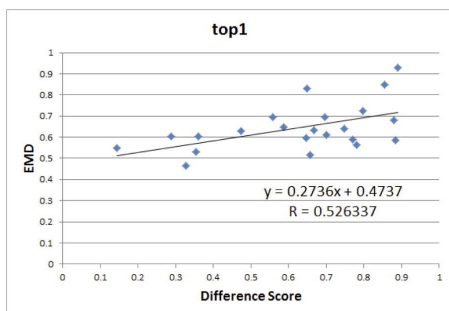


図7 共感覚者がへ長調で選んだ色分布と

図4で溶融する色との相関

この時、図5においてx軸を共感覚者一貫性スコア、y軸をEMD距離とすると、図5のような一貫性が表れる。

それぞれ、回帰係数R、分散分析のフィッシャー値F、t検定のt値は以下ようになる

$$R = 0.526$$

$$F = 7.66, p < 0.05$$

$$t = 2.77, p < 0.05$$

この結果から、 $p < 0.05$ において、共感覚者一貫性スコアとファンタジア田園場面1で溶融してくる色は関係があることが判明した。

即ちこの場面では、“共感覚色”が使われていることが科学的に証明された。

田園第一章はソナタ形式で有り、主調はへ長調で、図8のように、F->C->B-Fと転調している。

ここで、共感覚色は1, 溶融場面、2, 転調の前後、3, ペガサス、特にポニーの動きに合わせて使われていることが分かる。

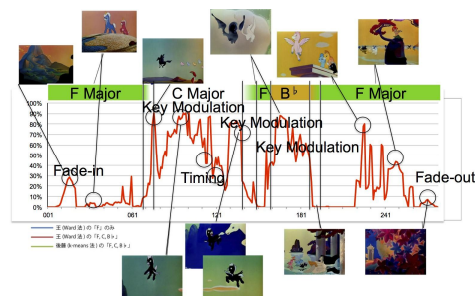


図8 田園第一部の構成と場面

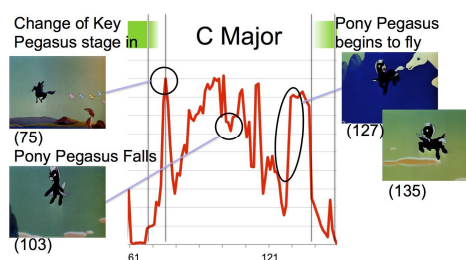


図9 ポニーのアップダウンと共感覚色

また、図9にみられるように、へ長調に転調した瞬間に共感覚色（白）は高まる。しかし、主人公であるポニーは黒である。黒は白に対する色であるが、へ長調の色ではない。しかし、図9の左の図で分かるとおり、一瞬強くポニーと空間を縁取るように白が強く出てくる。これは、「オーラ」であり、ポニーの正確を強く印象づける効果をもたらしている。

また、図9の左を見てほしいのは、ポニーが羽ばたこうとして、飛び上がると共感覚色が高まり、失速すると下がるという、共感覚色が飛翔と失速と同期して現れている。驚くべき使い方である。

#### 4.3 今回の実験・解析の問題点

今回の実験の問題点は、共感覚者特に高得点者のデータが不十分であることである。また、ファンタジア田園の解析において、各場面の共感覚色の抜き出しは徹底に出来ているかどうか疑問が残る。しかし、図7, 8, 9の通り、共感覚色が意図的、効果的に使われていることは確かである。

#### 4.4 おわりに

##### 4.4.1 まとめ

本研究では音と色とを、感性語を介さずに直接対応付けることを目的とし、そのための指標として共感覚色聴者に共感覚一貫性テストを行い、そのデータと共感覚的映画と言われるファンタジアで使われる色を比較した。

まず、色聴者の方々の音と色のマッピングデータをWEB上で一貫性テストを行い収集した。実験の結果から、色聴者個人において根音・主和音・調性に一致関連性が見られた。また、調性はその主和音に、また主和音がその根音に一致性が強いことから、調性を中心とした認識プロセスを経て、共感覚者は音を感じている可能性があることが示唆された。

共感覚者テストデータを用い、ファンタジア田園の出現色と、共感覚者のへ長調で選んだ色とのEMD距離をとり、その共感覚者の一貫性スコア(共感覚の強さ)との相関をとったところ相関性が検証できた。分散検定、t検定において、 $p < 0.05$ の有意性が確認できた。

また、ファンタジア田園第一章において、共感覚色はfade in、転調、主人公の動きに合わせて、巧妙に使われていることが判明した。

#### 4.4.2 今後の課題と展望

今後の課題としては、共感覚データをさらに多く主収集する。田園の各場面に対しても回帰検定を行い、その相関度と、共感覚色の使かわれかたを解明する必要がある。

これらの解析により、共感覚と芸術家が使う、クロスモーダルな芸術的効果の科学的な解明を進める。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 件)

[学会発表](計 7件)

長谷川大樹、浅井信吉、ハイパー英語語源辞書、平成28年度 第3回情報処理学会東北支部研究会、会津大学、2017.1.29

N. Asai, Y. Miyazaki, Eigenvalue Problem for Infinite Tridiagonal Matrix with its Related ThreeTerm Recurrence Relation, Seto-Inland-Sea Rim Workshop on Mathematical Sciences, Hachijo-jima, 2015.9.29-27

蔡東生、董然、浅井信吉、Perfumeのダンスはなぜ難しいのか?—ヒルベルト—ファン変換によるモーション解析、第106回人文科学とコンピュータ研究会発表会、国立国会図書館、2015.5.16

浅井信吉、宮崎佳典、三項漸化式の最小解で与えられる関数の零点計算、第43回数値解析シンポジウム、ホテル八重山日航、2014.6.11-13

D. Cai, N. Asai, N. Nagata, Emotion of Colors: Synesthetic Cross-Modal Key Modulation, SIGGRAPH2014, Studio Talks, Vancouver, CANADA, 2014.8.10-14

N. Asai, Y. Miyazaki, On Computing Eigenvalues of Lamé Equation and Zeros

of Whittaker Function by Matrix Method, ICNAAM2014, Rhodes, GREECE, 2014.9.22-28

E. Sakurai, D. Ippeita, D. Cai, N. Asai, "Name-Color" Synesthesia Making Consistency Test, Proc. of Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp.590-593

[図書](計 件)

[産業財産権]

出願状況(計 1件)

名称: クロスモーダル感覚分析装置、提示情報決定システム、情報提示システム、クロスモーダル感覚分析プログラム、提示情報決定プログラム及び情報提示プログラム

発明者: 蔡東生、浅井信吉

権利者: 筑波大学、会津大学

種類: 特許

番号: 特許 2015-139322

出願年月日: 2015.7.13

国内外の別: 国内

取得状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

浅井信吉 (Nobuyoshi Asai)

会津大学・コンピュータ理工学部・上級准教授

研究者番号: 80325969

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

##### (3) 連携研究者

成瀬継太郎 (Keitaro Naruse)

会津大学・コンピュータ理工学部・教授

研究者番号: 10301938

糊沢順 (Jun Kurumisawa)

千葉商科大学・政策情報学部・教授

研究者番号: 50337713

檀一平太 (Ippeita Dan)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号: 20399380

##### (4) 研究協力者

( )