

機関番号：11201

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20530655

研究課題名 (和文) 視覚系がコントラストを検出する際の検出鋳型に関する研究

研究課題名 (英文) A study of the template for detecting contrast in the human visual system

研究代表者

阿久津 洋巳 (AKUTSU HIROMI)

岩手大学・教育学部・教授

研究者番号：10374860

研究成果の概要 (和文)：

人の視覚情報処理において、空間的輝度分布をもつ刺激パターンの検出に使われる鋳型を調べた。ノイズが空間周波数上で一様である場合は、検出鋳型はテストパターンに近い重みづけを示した。ノイズのコントラストをテストパターンのピークコントラストの周波数を境にステップ関数で変化させた場合、ノイズのコントラストが高い側の周波数により大きく重みづけする検出鋳型が観察された。学習が検出鋳型に及ぼす効果には限度があり、また個人差があった。

研究成果の概要 (英文)：

To understand the mechanisms of contrast detection in human visual system, we investigated the characteristics of the template for detecting contrast patterns. A detection template in the spatial frequency domain was similar to a test pattern when uniform noises were added to the test pattern. When a step function noises were added to a test pattern, the template of observers were skewed to a higher contrast area of the noise frequencies. The effect of learning was limited in changing the shape of the template, and there were individual differences.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：実験系心理学, 認知科学, 視覚

## 1. 研究開始当初の背景

コントラストの検出は初期の視覚情報処理における主要なメカニズムである。人の顔の認知や文字を読むような視覚対象の認知は、コントラスト情報処理がなければ成立しない。心理物理学と生理学は過去 50 年以上にわたって、コントラスト検出のメカニズムを調べてきたが、未解決の問題が多くある。

未解決の問題の 1 つが、空間的輝度分布をもつ刺激パターンのどの部分を観察者が

弁別に利用するか、である。

本研究は、観察者が視覚的課題 (パターンの検出とパターンの弁別) を遂行する際に、どのような鋳型を使うかを調べることで、この問題に答えようとした。

## 2. 研究の目的

- (1) 空間的輝度分布をもつ刺激パターンのどの部分を観察者が弁別に利用するかを、検出鋳型として調べる。
- (2) 観察者は訓練 (学習) によってど

の程度、弁別や検出に利用できる鑄型の特徴を変えることができるかを調べる。

- (3) 高齢の観察者について、刺激パターンの弁別課題で、検出鑄型とその柔軟性を検討する。

### 3. 研究の方法

(1) 実験方法 空間輝度変調の縞パターンをコンピュータディスプレイ (CRT) に提示して、心理物理学的方法でパターンの検出課題を行なった。実験のプログラムは MATLAB を使い、高機能グラフィックソフトウェア (Psychtoolbox) を利用して、刺激の提示、反応の記録、実験のコントロールを行った。刺激の縞パターンは、離散的周波数パターン ( $1\text{c}/\text{deg} \sim 12\text{c}/\text{deg}$ ) であり、ノイズとなる縞パターンもほぼ同じ周波数帯域とした ( $1\text{c}/\text{deg} \sim 15\text{c}/\text{deg}$  の離散的周波数とした)。実験参加者は大学生であった。

(2) 分析方法 観察者の反応から classification image を作成した。

### 4. 研究成果

(1) 研究1 off-frequency looking の検討

**【要約】** コントラストパターンを検出する際に、パターンに含まれる空間周波数成分のコントラスト強度分布に一致した検出鑄型を使うことが最も適した条件と、ノイズの空間周波数成分のコントラスト強度を計算に入れた検出鑄型を使うことが最も適した条件を、理想的観察者のモデルから導出した。具体的には、テストパターンの周波数帯域すべてに同じ大きさのコントラストをもつランダムノイズをテストパターンに加える条件とテストパターンの低い周波数帯域に小さなコントラストを高い周波数帯域に大きなコントラストのランダムノイズを加える条件、さらに、その逆のコントラスト強度分布をもつランダムノイズを加える条件の3種類であった。理想的観察者は、ノイズの強度が高い帯域の空間周波数情報よりはノイズの強度が低い帯域の空間周波数情報を選択的にモニターすることにより課題を遂行する。コントラストパターンを検出する鑄型は、ノイズの空間周波数低成分スペクトラムでエネルギーが少ない領域に偏って歪んだ鑄型となる (off-frequency looking)。人の観察者による心理物理学の実験結果は、off-frequency looking を示さず、むしろノイズの強度が大きい空間周波数帯域をより選択的にモニターする検出鑄型が得られた。以下に研究1の詳細を述べる。

①背景 空間パターンのコントラストの検出は比較的狭い帯域の空間周波数検出器に

よると考えられている。刺激パターンが広い空間周波数にわたる場合には、周波数帯域成分 (たとえば1オクターブ) のコントラスト (信号の強さ) と視覚系のコントラスト感度の両方によって検出に働く空間周波数検出器が決まる。

刺激パターンのうちで信号強度が強い帯域にノイズが加えられた場合は、ノイズの周波数帯域を避けて、それより下か上の周波数帯域の信号 (コントラスト) を検出するであろう、と理論的には考えられる。これが off-frequency looking と呼ばれる現象である。聴覚ではこれと類似の off-frequency listening が確かめられているが、視覚のコントラスト検出では、off-frequency looking を支持する研究と支持しない研究があり、問題は未解決である。

Off-frequency looking が生じるならば、contrast masking のデータは近接する空間周波数検出器の反応を反映していると解釈できる (Henning & Wichmann, 2007)。したがって、推測できる空間周波数検出器のコントラスト反応は accelerating-compressive 非線形ではなく別な関数形の可能性が強くなり、masking データの見直しが必要となる。

②目的 本研究は、縞パターンの検出課題に classification images を適用して、off-frequency looking が生じる条件を検討した。

classification images とは reverse correlation の技法を応用して、聴覚フィルターの形状を推測するために開発され (Ahumada & Lovell, 1971)、その後知覚の行動的受容野 (あるいは template) を推測する方法として発展した (Ahumada & Beard, 1999)。刺激パターンのどの部分が検出に使われているかを推測する方法である。具体的には、試行毎に各周波数に与えられたノイズの大きさと反応を記録し、classification images を推測した。結果を空間周波数の profile として表示した。

③方法 刺激: テストパターンとノイズパターンともに、離散的周波数からなる一次元の輝度変調パターンを使った。テストパターンの空間周波数は、 $1 \sim 11\text{c}/\text{deg}$  の間の整数値、ノイズパターンは、 $1 \sim 15\text{c}/\text{deg}$  間の整数値であった。両パターンとも成分は cosine phase で重ねあわされた。テストパターンの周波数のコントラストは、 $6\text{c}/\text{deg}$  を最大コントラストとする cosine window を使って決められた。テストパターンの最大コントラストは 0.033 であった。ノイズパターンの周波数成分のコントラストは試行ごとにランダムに変化した。テストパターンとノイズは、縦横  $1.3\text{deg}$  の正方形の面に  $0.75\text{ s}$  呈示された。平均輝度は  $60\text{cd}/\text{m}^2$  であった。

手続き: 観察者は、提示された視覚刺激にテ

ストパターンが含まれるか否かを判断した (yes/no 課題). テストパターン+ノイズパターンの提示確率を 0.5, ノイズのみの提示確率を 0.5 とし, 100 試行を1ブロックとして実験を実施した. ノイズ3種類を使用した. ①各周波数に均一のノイズの大きさ (uniform), ②6c/deg未達の周波数は, ノイズのコントラストが小さく, 6c/deg以上の周波数はノイズのコントラストが大きい (up step), ③6c/deg以下の周波数はノイズコントラストが大きく, 6c/degを超える周波数はノイズコントラストが小さい (down step). 各条件について 10 ブロック実験した. データ収集前に 200~300 試行の練習を行った. 毎試行検出すべきターゲットとしてテストパターンを提示してから, テストパターン+ノイズパターンもしくはノイズパターンが提示された.

観察者: 実験の目的を知らない観察者2名と著者.

④仮説 テストパターン中の最大の信号は 6c/deg にあるが, up-step ノイズでも down-step ノイズでも, この周波数は大きなノイズを受ける. Off-frequency looking が生じるならば, 検出に使われる鋳型はノイズが小さい周波数の方に歪むであろう.

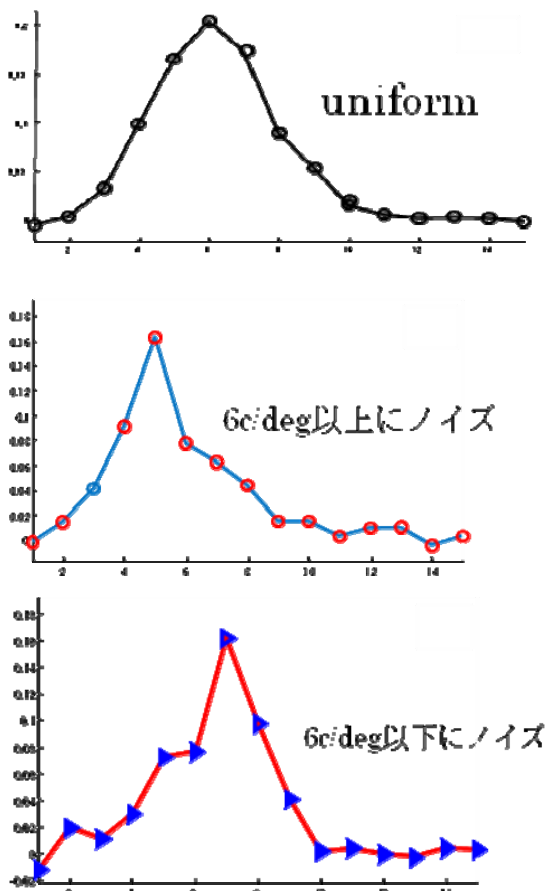


Fig1. 仮説に基づいた結果の予測

Ideal observer は, off-frequency looking の方略をとる.

⑤結果 人の観察者は, Off-frequency looking と逆の結果を示した. Off-frequency looking が生じているならば, 観察者はノイズが弱い帯域で信号を選択的に検出するため, classification image の空間周波数特性はノイズコントラストが低い周波数に weight が偏るはずである. 実際には, 3名の観察者に共通してノイズコントラストが高い周波数に weight が偏る傾向みられた. 2人の研究目的を知らない観察者の classification images を Fig.2 に掲載した.

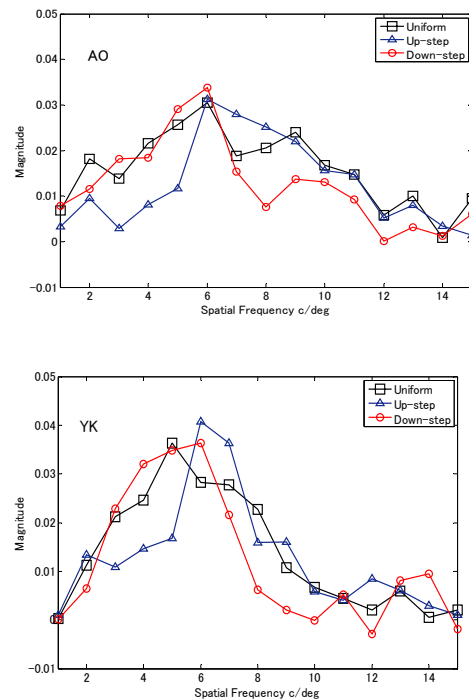


Fig.2 研究目的を知らない観察者の結果 up-stepとはノイズのコントラストが6c/deg未滿では低く, 6c/deg以上では高い条件. down-stepはその逆の条件. uniformはノイズのコントラストが均一な条件である. classification imagesはノイズのコントラストが大きい周波数帯域により大きな重みづけがあることが見て取れる.

テストパターンのコントラストが低かったので, 1人の観察者でより高いコントラスト (0.083) で追加データを取ったが, 結果は低コントラストの場合と同じであった. Off-frequency lookingは理論的には可能であるが, 人の観察者では生じにくい. 人の検出 classification images (鋳型)の柔軟性に限度があることを示唆する. もし人の観察者では一般的に off-frequency lookingが生じにくいのであれば, contrast maskingのデータは近接する空間周波数検出器の反応ではな

く、従来仮定されていたようにテストパターンに対応する検出器の反応を反映していると解釈できる。

## (2) 研究2 フィードバックを与えて学習させた場合

【要約】研究1では課題に慣れるための練習試行の段階で反応の正誤に対してフィードバックを与えたが、データを収集する試行では反応の正誤に対してフィードバックを与えなかった。これは通常の心理物理学的測定の手続きである。データは、人の観察者は、理想的観察者とは異なり、課題遂行を妨げるノイズを避けるようにコントラストパターンの検出鑄型を変えることはない、というものであった。それどころか、本来課題遂行成績を低下させるランダムノイズのコントラストが高い空間周波数帯域により大きく重みづけをする検出鑄型を使っていた。観察者が自分の反応が正しいか誤っているかを知らせていなかったため、適切な方向に反応を修正することができなかったのかも知れない。もし観察者が自分の反応の結果(正誤)をフィードバックされるならば、より課題遂行に適切な検出鑄型に向かって方略を変化させる可能性が考えられた。そこで研究2では、長時間の訓練に加えて、データ収集でもより多くの試行を行い、すべての試行を通して反応のフィードバックを与えることにした。4人の観察者のうち2人で、テストパターンの検出鑄型がノイズのタイプに関わらずほぼ同じになるという結果が得られた(目的を知らない観察者1名に研究協力者1名)。残りの2人の観察者は、研究1と同じくノイズのコントラストが高い空間周波数帯域により大きく重みづけをする検出鑄型を使っていた(目的を知らない観察者1名に研究協力者1名)。研究目的を知らない観察者2名は、研究1と同じ観察者ではなかった。以下に研究2の詳細を述べる。

①目的と方法 人のコントラスト検出の鑄型は理想的観察者と異なると断定する前に、訓練によって鑄型がより課題に適合的になる可能性を検討する必要がある。研究2では、観察者の反応(誤反応)に音のフィードバックを与えて、さらに練習試行を多くすることにより学習する機会を与えた。これら以外の条件は、研究1と同一であった。

②結果 classification image に個人差が見られた。研究目的を知らない観察者の1人(YuiK)は研究1の結果と同様にノイズコントラストが高い周波数に weight が偏った。もう1人の研究目的を知らない観察者(SF)は、ノイズのタイプにはほとんど影響を受けなかった。研究協力者(TK)もノイズのタイ

プにはほとんど影響を受けなかった。Fig.3 参照。

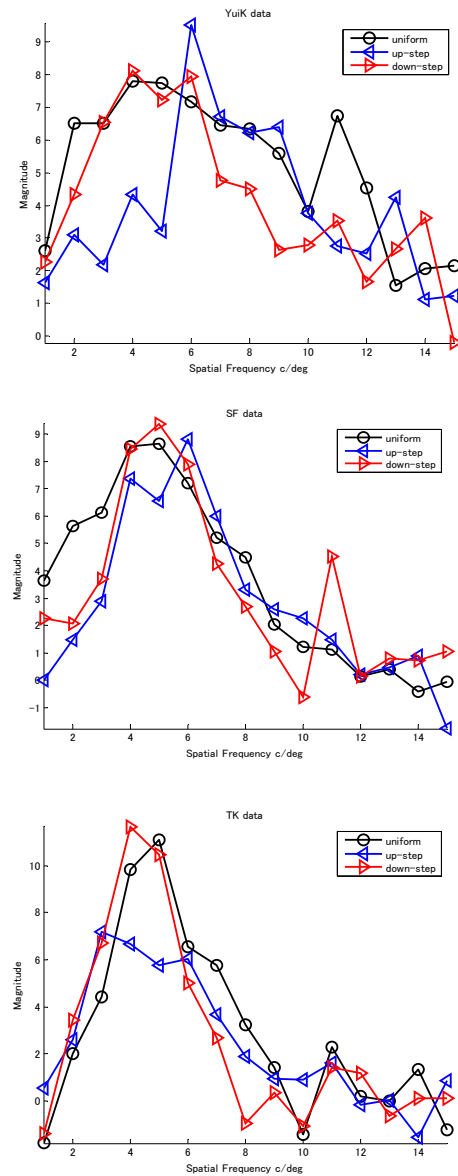


Fig. 3 研究2の結果 個人差があること、および off-frequency looking の方向に鑄型が変化しないことが見て取れる。

研究2の結果から、classification image を調節する手がかりを与えて試行を多数回繰り返しても、人の観察者はコントラストが高いノイズを避けるような classification image を形成しないと考えられる。

## (3) 研究3 テストパターンの周波数成分を変える

【要約】理想的観察者は刺激の空間周波数成分に対してシグナルとノイズの比を計算し、それに適合するようにパターン検出鑄型の重みを変える。テストパターンに含まれない

空間周波数帯域は当然パターン検出鑄型では重みを与えられない。重みづけ関数ではゼロの値となる。人の観察者では、空間周波数チャンネルのチューニング特性を反映して、刺激に含まれない周波数に対しても重みを与えられるが、刺激に含まれる場合に比較すると重みは小さいと考えられる。例えば、3c/deg の刺激が無くても 6c/deg に刺激があり、空間周波数チャンネルのチューニング特性を感度が半分低下する範囲を片側 1 オクターブと仮定すると、3c/deg に感度のピークがあるチャンネルは 3c/deg 成分と同じコントラストを持つ刺激の半分の反応量を示す。(ただし、これはチャンネルが直線的な応答特性を持っていると仮定した場合である。) このように、人の観察者では、テストパターンに含まれない周波数に対する重みづけはゼロにはならないが、テストパターンに含まれる場合に比べると小さな重みづけになる。そこで、テストパターンの低い周波数帯域 (1~5 c/deg) のコントラストをゼロとしたパターンを使って、研究 2 と同じ実験を実施した。結果をみると、コントラスト検出鑄型は、低周波帯域で重みづけ関数が 6c/deg から 1c/deg に向けて急速に低下しているが、高い周波数帯域のノイズが低い場合でも、この高周波帯域の重みを相対的に大きくすることはなかった。Off-frequency looking は生じなかった。以下に詳細を述べる。

- ①目的 人の観察者が高いコントラストの周波数成分に誘導されて、その帯域に大きな weight を与えた観察をするならば、テストパターンに当該の周波数成分が欠けていても、ノイズのコントラストに適合して classification image を作るであろう。そこで、テストパターン中の 5c/deg 以下の周波数を取り除いて、その帯域に高いコントラストのノイズを加えて実験を行った、観察者は高いノイズコントラストの周波数に偏った classification image を形成するのであるか。
- ②方法 研究 2 と同様のテストパターンを用いたが、6c/deg より低い周波数成分を取り除いた。そのほかは、研究 2 と同じである。
- ③結果 テストパターンで欠けている周波数帯域 (1~5c/deg) に対する weight はやや減少したが、これまでの研究とほぼ同じようにノイズコントラストが高い方に偏って classification image ができた。Fig. 4 に目的を知らない観察者 (YuiK) と筆者 (HA) の結果を示す。

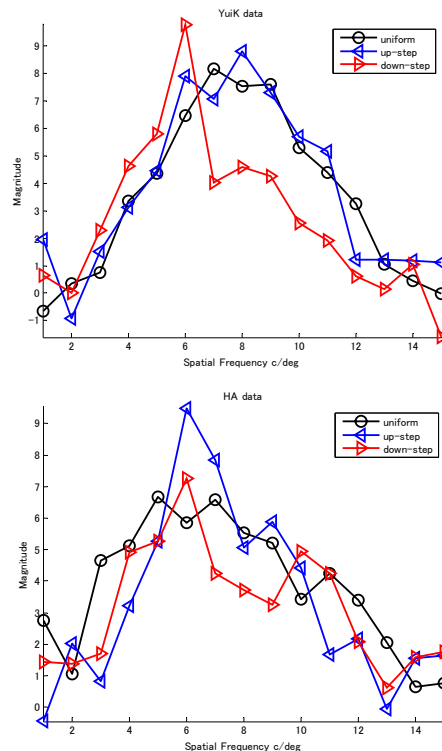


Fig. 4 研究 3 の結果 低い周波数のノイズコントラストが大きい (down-step) 条件で 6c/deg より低い周波数側に重みが偏っていることが見て取れる。

(4) 研究 4 テストパターンの周波数成分を変える (その 2)

【要約】空間周波数検出器のチューニング特性は、ピークの周波数を境に低い方と高い方が対称ではない。高い周波数側の感度の低下は緩やかである。off-frequency looking が生じるとしても、高い周波数側のノイズのコントラストが高い条件では、off-frequency looking は明瞭に観察されず、低い周波数側のノイズのコントラストが高い条件では、off-frequency looking が明瞭に生じると考えられる。実験ではテストパターンの周波数成分の相対的コントラストを、Gaussian window を使うことで、ピークの周波数 (6c/deg) から急激に低下させた。cosine window を用いてテストパターンを提示した研究 1~3 に比べて、観察者のコントラスト検出鑄型はより急峻な山型を示した。しかしながら、ノイズの影響は、ノイズコントラストが大きい周波数側に重みを大きくする検出鑄型として現れた。この結果は研究 1~3 の結果と一致した。以下に詳細を述べる。

- ①目的 研究 3 の刺激操作をさらに進めて、テストパターンの周波数成分を Gaussian Window によって決めて、狭い周波数帯域にする。その結果、ノイズパターンの影響が表

れやすくなるであろうと考えた。

②方法 Cosine Window に替えて、中心周波数を  $6c/\text{deg}$ 、標準偏差を  $1c/\text{deg}$  とした Gaussian Window を使った。これによって、テストパターンの周波数帯域は、Cosine Window よりも狭くなった (Fig. 5)。

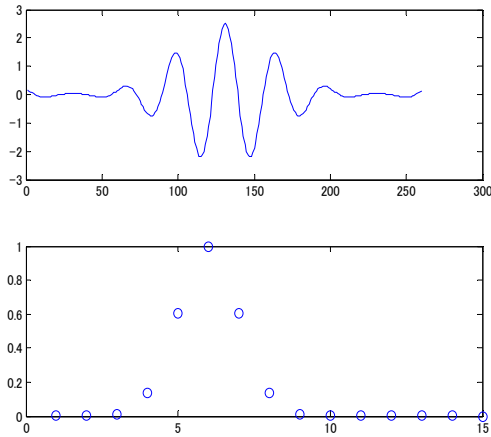


Fig. 5 テストパターンの空間輝度分布(上)と空間周波数スペクトラム(下)

そのほかの条件と手続きは研究 2 と同じであった。

③結果 テストパターンの周波数調整に合わせて、観察者の classification images はあやや狭い周波数調整を見せた。しかし、依然としてノイズ成分の高コントラスト周波数により大きい重みを置いた classification images が得られた。目的を知らない観察者 (SF) と著者 (HA) の結果を Fig. 6 に示した。

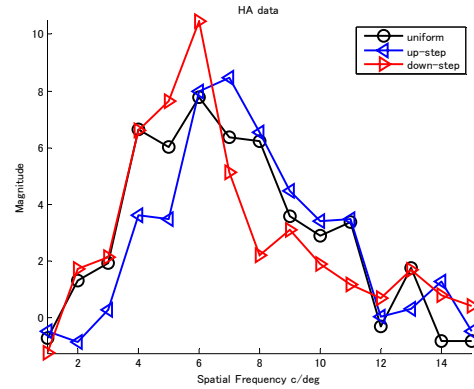
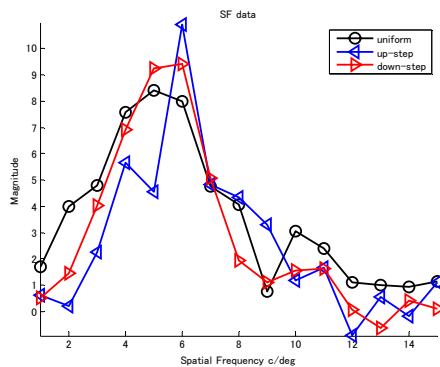


Fig. 6 Cosine Window に提示されたテストパターンに対する classification Images

(5) 初期の目的 (3) は高齢の観察者について、刺激パターンの弁別課題で、検出鑄型とその柔軟性を検討することであった。若年者の検出鑄型の柔軟性に大きな限度があることがわかったため、この課題の実施は保留された。

### 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)

[学会発表](計 2 件)

- ① 阿久津洋巳, Classification Images for Pattern Detection, 第 43 回知覚コロキウム, 2010. 3. 25. 弥彦グランドホテル (新潟県)
- ② 阿久津洋巳, Contrast detection: On-frequency looking?, 第 63 回東北心理学会, 2009. 6. 15. 弘前大学 (青森県)

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

阿久津 洋巳 (AKUTSU HIROMI)  
岩手大学・教育学部・教授  
研究者番号: 10374860

#### (2) 研究協力者

草野 勉 (KUSANO TSUTOMU)  
東京大学・インテリジェント・モデリング・ラボラトリー・特任研究員

千田 明 (CHIDA AKIRA)  
高砂香料株式会社・研究員

Dennis M. Levi  
University of California Berkeley, School of Optometry, Professor

Stanley A. Klein  
University of California Berkeley, School of Optometry, Professor