

令和 2 年 7 月 6 日現在

機関番号：31302

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00385

研究課題名（和文）生体情報計測に基づく空間周波数特性が潜在的な感覚に与える影響評価

研究課題名（英文）A study on implicit sensation caused by spatial frequency based on biological information

研究代表者

加藤 和夫 (Kato, Kazuo)

東北学院大学・工学部・教授

研究者番号：60416609

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、空間周波数が観察者の大脳神経活動や視線応答へ潜在的にどのような影響を与えるのかについて検討を行った。

実験では、被験者の潜在的な意識を評価できるとされる潜在的連合タスク遂行中の脳波を測定した。その結果、空間周波数と大脳神経活動には関連が認められ、特に高空間周波数による海馬傍回での活動が推察された。また空間周波数特性に対する視覚探索課題遂行中の視線応答を機械学習の手法を用いて解析した結果、主観的な口頭での解答では測ることのできない潜在的な視覚探索の存在が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究の成果より、空間周波数といった視覚デザインとして目立たない特性が、何かを探索する際の観察者の視線応答に潜在的な影響を与え、例えば探索物を見つけやすくなる等の可能性が示唆された。また潜在的な活動における大脳神経活動についての知見も得られた。

このため、建築デザイン、工業デザイン、映像コンテンツ等の視覚的な構成物に、空間周波数特性を利用することにより、ユーザが使いやすく、人間の自然な感覚に従う人にやさしいデザインといった新たな付加価値を与えるものと期待できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to evaluate an implicit influence of spatial frequency on neural activities and scan path on eye movement, in humans.

An experiment was conducted where the electroencephalogram recordings of individuals, while they executed an implicit association task, was studied. This allowed for the detection of implicit biases of the subjects. The result showed a relationship between spatial frequency and neural activity; high frequency, particularly, seemed to affect the activities in the parahippocampal gyrus. Additionally, we conducted a visual image search task controlled by spatial frequency, and the scan path was analyzed using a convolutional neural network. During this task, a subconscious search may have occurred, but the subjects were unable to locate the target.

研究分野：感性情報学

キーワード：空間周波数 潜在的連合タスク 大脳神経活動 脳波 視線応答 機械学習

1. 研究開始当初の背景

空間には、形状、大きさ、色、輝度など様々な視覚的な要素があり、これらが組み合わせることにより意味を有する構成物となる。その中で特に輝度の空間的な変化、すなわち空間周波数特性は、例えば建物といった構造物自体は静止している場合であっても、建物を使用するユーザの立場でとらえると、移動、姿勢変化などにより、人と視覚的な空間との間で常に変動する特徴的な要素である。さらに、空間周波数は、デザインを有する全ての視覚的な構成物に存在する最も基本的な要素であり、周波数特性として定量化することにより一般化しやすいパラメータである。

ここで、空間周波数のパターン自体は、明確な情動情報（例えば、顔画像における喜怒哀楽の表情など）が含まれない場合が多く、観察者は顕在的（意識的）には中立な印象を受けると予想されるが、潜在的（無意識的）には、何らかの感覚に関する変化を生じている可能性がある。例えば快適感を与える要素として、 $1/f$ のゆらぎの周波数特性を持つ静止画や動画などが代表的なものとして挙げられる。このように空間周波数特性を有する視覚情報は、観察者の快・不快といった情動を含む感覚に、何らかの心理的な影響、および大脳神経活動などの生理的な活動を生じさせることが期待される。

一方、これまで空間周波数特性については、主に顔認知に関する研究が数多く見られ、喜怒哀楽などの情動情報を有する顔画像に対しハイパス、あるいはローパスフィルタ処理を施し、その心理・生理的な反応が評価されてきた^[1-2]。これに対し、本研究では空間周波数パターン自体そのものを対象とするが、空間周波数パターンのような目立たない視覚刺激に対する無意識的な人間感覚の誘起については詳細に解明（自他の研究を含め）されていない。従って、本研究の遂行には、心理的・生理的な人間感覚と空間周波数が存在する空間との関係を評価する新たな手法が必要不可欠となる。

2. 研究の目的

本研究では、建物の外観や室内デザイン、映像コンテンツなど視覚的な空間に存在する空間周波数特性に着目する。空間周波数パターンは、それ自体は目立たなく顕在的には中立な印象を与えると予想されるが、 $1/f$ ゆらぎが快適感を与えるといった例のように潜在的な人間感覚を誘起する可能性がある。しかし、この心理的・生理的な影響については、詳細には解明されていない。そこで、空間周波数特性が、観察者の知覚・認知、感性・情動などを含む潜在的な人間感覚、特に視線応答に基づいた行動生理指標や大脳神経活動へどのような影響を与えるかを明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、生体情報計測に基づき空間周波数特性が人間の潜在的感覚に与える影響を評価することを目的とする。研究は以下の2つの実験から構成された。

(1) 空間周波数特性に対する視線応答の評価

実験では、図1に示すように空間周波数パラメータ $\beta = 0$ の特性 (ホワイトノイズ) を持ち、縦横5×5の領域で分割された背景画像の1か所に、背景とは異なる空間周波数値 β 値を持つ縦線、または横線状のターゲット画像を埋め込んだ。図中矢印はターゲット画像の位置を示す。

ターゲット画像の位置探索に対する被験者の主観的な口頭回答に基づき、探索の可否についての正答率を算出した。また同時にターゲット画像を探索するまでの探索時間をPCマウスのクリックから測定した。加えてターゲット画像探索中の視線軌跡も測定し、畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network, 以下CNN) を用いた探索の可否について解析を行った。

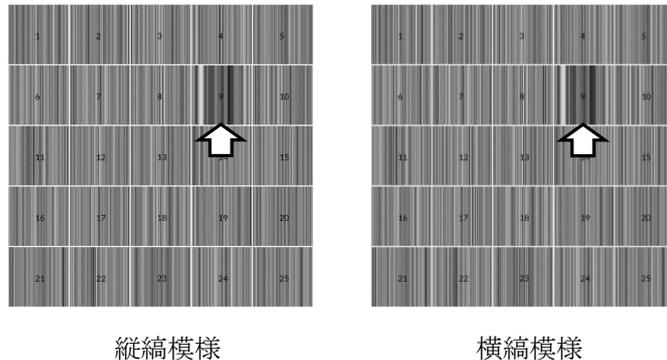


図1 実験タスク画像

(2) 潜在的連合タスクを用いた空間周波数特性に対する心的および大脳神経活動の評価

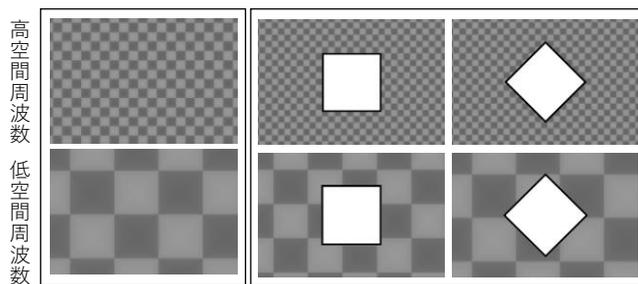
上述した(1)の実験とは異なった側面から、空間周波数特性に対する心的および大脳神経活動の評価を行った。実験では、心理物理学実験である潜在的連合タスク (Implicit Association Task, 以下IAT) ^[3-4]を用いて潜在意識を測定し、同時に脳波測定を行った。

このIATでは、対となるターゲット概念を表す文字、またはイラスト (例: 花と虫) とポジティブ・ネガティブ性を持った特性語 (例: 良いと悪い) の連合を測定することで潜在的な印象を計測することができる。潜在的な連合の測定方法は、ディスプレイに表示される画面の指示に従い、PCマウスの左右クリックにて判断を行う。この時の反応時間より、潜在的意識の指標となるIAT得点を導出する。このIAT得点より対となるターゲット概念に対する連合の強弱を測定する。この場合の潜在的な印象の結果の例として「花: 良い (ポジティブ)」「虫: 悪い (ネガティブ)」というように出力される。IATは7ブロックから構成され、ブロック3, 4, 6, 7の反応時間を解析に用いる。

本実験では、IATのターゲット概念を図2(a)に示すような格子模様画像の空間周波数の高低として呈示し、その影響を直接評価した (実験I)。脳波測定は、国際10-20法に基づき全頭をカバーする19か所での測定を行った。IAT得点の結果より連合が強い、および弱い場合のそれぞれにおいて選択的 (IATのブロック3, 4とブロック6, 7のいずれかの組み合わせ) に事象関連同期/脱同期 (Event-Related Synchronization /Desynchronization, 以下ERS/ERD) の解析を行った。被験者は男性21 ~ 22歳の5名である。

次に図2(b)に示すようなターゲット画像を「四角形」「菱形」として、その背景に空間周波数特性を有する格子画像を配置した実験を行い、間接的にターゲット概念に与える影響を評価し

た(実験Ⅱ)。なお、背景が単色の背景についても実験を行った。脳波測定は、国際10-20法に基づき全頭をカバーする28か所での測定を行った。この実験では事象関連電位(Event-Related Potential, 以下ERP)の解析を行った。実験Ⅰと同様に、IAT得点の結果より連合が強い、および弱い場合のそれぞれにおいて選択的に脳波データを加算平均し、ERPを算出した。



(a) 実験Ⅰ (b) 実験Ⅱ
図2 IATに用いたターゲット画像

また、それぞれの28ch間の標準偏差であるGlobal Field Power (GFP)を算出し、連合の強弱に差異がみられる潜時で信号源の推定を行った。被験者は男性21～22歳の9名である。

4. 研究成果

(1) 空間周波数特性に対する視線応答の評価

被験者の口頭回答に基づく主観的な評価より、 $\beta = 0.7 \sim 1.0$ では概ね主観的に探索可能であり、 $\beta = 0.0 \sim 0.3$ ではほぼ探索できない結果が得られた。また、 $\beta = 0.4 \sim 0.6$ 付近には、探索の可否を決める閾値があることが示唆された。そこで、CNNでは $\beta = 0.7 \sim 1.0$ の視線軌跡データに探索可能、また $\beta = 0.0 \sim 0.3$ のデータに探索不可のラベルを付加し、視線軌跡の散布図の画像データを学習データとしてそれぞれ学習させた。次に、 $\beta = 0.4 \sim 0.6$ の範囲の視線軌跡データをテストデータとして探索の可否を判別したところ、主観評価と閾値が異なり、 $\beta = 0.4$ において、主観評価では27.3%の正答率であったのに対し、CNNでは56.9%であった。同様に、 $\beta = 0.5$ では61.4% / 69.9%、 $\beta = 0.6$ では43.2% / 56.9%であった。このように主観評価に比較してCNNを用いた客観的な解析の方が、正答率が高くなる結果が見られた。この結果は、空間周波数に対する潜在的な視覚探索の存在の可能性を示唆すると考察できる。

(2) 潜在的連合タスクを用いた空間周波数特性に対する心的、および大脳神経活動の評価

実験Ⅰより、 α 波ERS(パワー増大)が中心部(T_3 , C_3 , C_2)にて潜時400～500msにおいて観測され、空間周波数に対する潜在的意識に関わる大脳神経活動の可能性であると考察された。

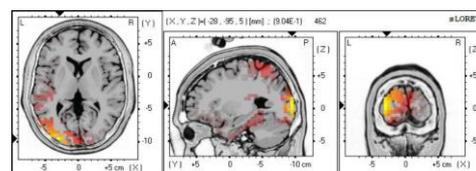
また実験Ⅱでは、IAT得点の結果より、被験者により背景が単色である場合と高空間、および低空間周波数の背景の場合で連合の強弱に差異が見られた。さらに背景が高空間周波数画像の場合に、画像提示から414～512msの潜時において連合の強弱でGFPに有意差(paired t-test, $p < 0.05$)が見られた。この潜時において信号源推定したところ、図3に示すように海馬傍回での活動に差がみられた。以上の結果より空間周波数が潜在的意識に影響を及ぼし、特に高空間周波数は海馬傍回での大脳神経活動に影響を与えると推察できた。

(3) 成果の位置づけ, インパクト, 今後の展望

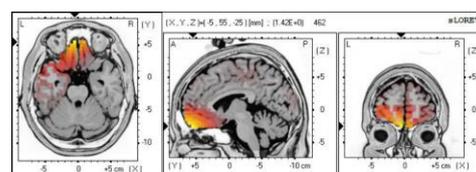
本研究の成果より, 空間周波数といった目立たない特性が, 何かを探索する際の観察者の視線応答に影響を与え, 例えば探索物を見つけやすくなる等の可能性が示唆された. 加えて空間周波数に対する潜在的な活動に伴う大脳神経活動についての知見も得られた. なお, 特にIATを対象に脳波ERS/ERDを評価した結果(実験Ⅰ)は, これまで他の研究報告には見当たらない. 一方, ERPを解析した実験結果(実験Ⅱ)については, 学会にて発表した際に, 空間周波数特性の観点において, 背景とターゲット画像の線の重なりやターゲット画像自体が空間周波数を有しているため, 互いに影響を及ぼしており, 背景の空間周波数の影響を正しく評価できないのではないかと指摘を受けた. 今後修正の必要があると考えられる. 以上より, 本研究の成果は, 建築デザイン, 工業デザイン, 映像コンテンツ等の視覚的な構成物に空間周波数を利用することにより, ユーザが使いやすく人間の自然な感覚に従う「人にやさしいデザイン」といった新たな付加価値を与えるものと期待できる.

<引用文献>

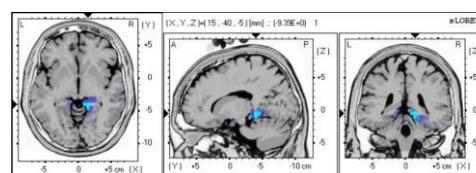
- [1] Patrik Vuilleumier, Jorge L Armony, Jon Driver, Raymond J. Dolan: “Distinct spatial frequency sensitivities for processing faces and emotional expressions”, Nature neuroscience, Vol. 6, No. 6, pp. 624-631(2003)
- [2] Catalina Alorda, Ignacio Serrano-Pedraza, J. Javier Campos-Bueno, Vicente Sierra-Vázquez, Pedro Montoya: “Low spatial frequency filtering modulates early brain processing of affective complex pictures”, Neuropsychologia, Vol. 45, pp. 3223-3233 (2007)
- [3] 小林 知博, 岡本 浩一: “IATの社会技術への応用可能性”, 社会技術研究論文集, Vol. 2, pp. 353-361 (2004)
- [4] Anthony G. Greenwald, Mahzarin R. Banaji, Brian A. Nosek: “Understanding and Using the Implicit Association Test: I. Improved Scoring Algorithm”, Journal of Personality and Social Psychology, Vol. 85, No. 2, pp. 197-216 (2003)



連合が強い場合



連合が弱い場合



連合の強弱の差

図3 信号源推定結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 K. Kato, H. Kadokura, T. Kuroki, and A. Ishikawa	4. 巻 68/2
2. 論文標題 Event-related synchronization/desynchronization in neural oscillatory changes caused by implicit biases of spatial frequency in electroencephalography	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IFMBE Proceedings of World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2018	6. 最初と最後の頁 175-178
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 須藤 敬三郎, 加藤 和夫	4. 巻 第9号
2. 論文標題 空間周波数画像探索時の視線軌跡解析に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 東北学院大学工学総合研究所紀要	6. 最初と最後の頁 77-83
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 1件／うち国際学会 5件）

1. 発表者名 K. Kato, H. Kadokura, T. Kuroki and A. Ishikawa
2. 発表標題 Event-related synchronization/desynchronization in neural oscillatory changes caused by implicit biases of spatial frequency in electroencephalogram
3. 学会等名 World Congress on Medical Physics and Biomedical engineering 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Suto, T. Sato, K. Kato, H. Kadokura, T. Kuroki and A. Ishikawa
2. 発表標題 Visual image search of spatial frequencies using convolutional neural network
3. 学会等名 World Congress on Medical Physics and Biomedical engineering 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 須藤 敬三郎, 加藤 和夫, 門倉 博之, 黒木 友裕, 石川 敦雄
2. 発表標題 ニューラルネットワークを用いた視覚探索時の視線軌跡解析
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 須藤 敬三郎, 加藤 和夫, 門倉 博之, 黒木 友裕, 石川 敦雄
2. 発表標題 視線軌跡解析に基づく視覚探索の判別の検討
3. 学会等名 平成31年電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤 和夫
2. 発表標題 生体情報計測に基づく空間・環境評価の試み
3. 学会等名 電気学会研究会 電磁環境研究会, EMC-17-39, pp.37-40 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Kato, H. Kadokura, T. Kuroki, and A. Ishikawa
2. 発表標題 Event-related synchronization/desynchronization in neural oscillatory changes caused by implicit biases of spatial frequency in electroencephalography
3. 学会等名 World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Suto, T. Sato, K. Kato, H. Kadokura, T. Kuroki, and A. Ishikawa
2. 発表標題 Visual image search of spatial frequencies using convolutional neural network
3. 学会等名 World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Kato, T. Suzuki and H. Kadokura
2. 発表標題 Artifacts Rejection based on the Identification of the Optimal Independent Components in an Electroencephalogram during a Cognitive Task
3. 学会等名 The 17th International Conference on Biomedical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木 貴登, 加藤 和夫, 門倉 博之, 黒木 友裕, 石川 敦雄
2. 発表標題 空間パターンによる潜在的意識の変化に関わる脳活動の推定
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 須藤 敬三郎, 加藤 和夫, 門倉 博之, 黒木 友裕, 石川 敦雄
2. 発表標題 機械学習を用いた空間周波数画像に対する視覚探索時の視線軌跡解析
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木 貴登, 加藤 和夫, 門倉 博之, 黒木 友裕, 石川 敦雄
2. 発表標題 事象関連電位に基づく空間周波数が潜在的意識に与える影響に関する研究
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	黒木 友裕 (Kuroki Tomohiro) (70537414)	株式会社竹中工務店 技術研究所・その他部局等・その他 (92502)	
研究分担者	門倉 博之 (Kadokura Hiroyuki) (50805497)	東北学院大学・工学部・講師 (31302)	