

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：32652

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13374

研究課題名(和文) 心理学・計算科学・神経科学を統合させた計算モデルによる感情と認知の相互作用の解明

研究課題名(英文) Neurocomputational approach to investigate the interaction between emotion and cognition

研究代表者

上野 泰治 (Ueno, Taiji)

東京女子大学・現代教養学部・准教授

研究者番号：20748967

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、感情が認知機能に及ぼす影響を解明することを目的とした。これまでの心理学研究では、感情・情動興奮によって認知成績が下がることもあれば、上がることもあった。しかし近年、その矛盾した心理学結果を説明する神経科学モデルが提唱された(GANEモデル：Mather et al., 2011)。本研究計画では、そのGANEモデルから生み出される予測を神経制約コンピューターシミュレーションで検証した。結果、優先的に処理されている情報の処理は、興奮覚醒時には更に促進される一方、興奮覚醒時に優先的に処理されていない情報は、興奮覚醒時に処理が抑制されることがシミュレーションによって示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果は、Nature Human Behavior; Cerebral Cortex; Cognition; Attention, Perception & Psychophysics といった雑誌に採択された。その学術的意義としては、比較的別個に研究されがちな心理学、計算科学、神経科学の知見を単一モデルにまとめたところにある。また、高齢者が情動興奮時にどういった認知機能の低下が起きるかを予測することも可能にした研究である。高齢者の犯罪理由として、激怒(興奮)して周りが見えなくなる、といった理由の頻度が高いことから、そういった社会問題に貢献するといった意義が期待される研究である。

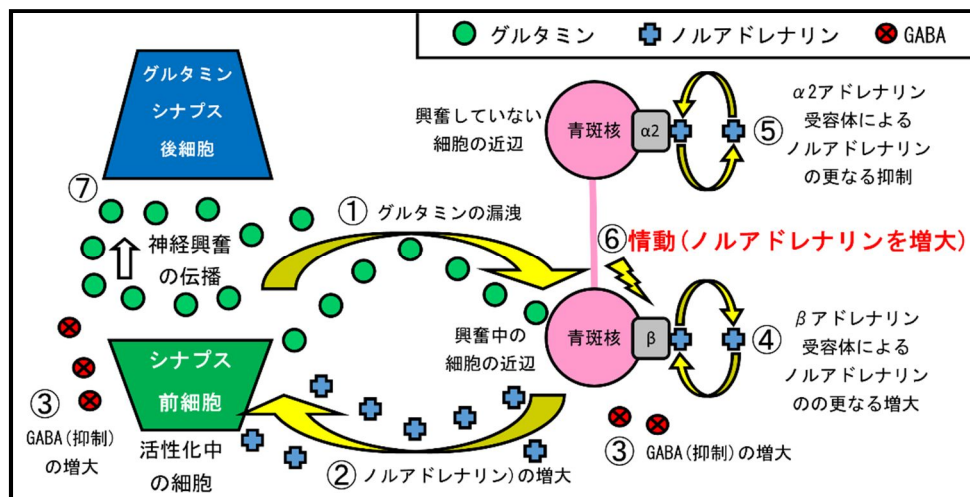
研究成果の概要(英文)：This study investigated the effect of emotion on cognitive processing. The existing literature has debated whether emotion facilitates or interferes cognitive function, and actually the results have been mixed. However, a recent theory (GANE theory, Mather et al., 2011) explains the seemingly contradicting results in terms of signal-to-noise ratio. Specifically, high-priority items (i.e., higher activation) tend to be facilitated by emotional experiences whilst low-priority items (i.e., lower activation) tend to be interfered by emotional experiences. Thus, emotion is assumed to increase the signal-to-noise ratio in human brains. We developed a neuro-computational model whose computational principles are constrained by the latest neurophysiological findings (as the GANE theory assumes), and successfully reproduced the human behavioral patterns.

研究分野：認知心理学

キーワード：感情 認知 ニューラルネットワーク ノルアドレナリン

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、感情(情動)が認知成績に及ぼす影響に関する心理学実験結果は一貫していなかった。例えばある研究においては、感情が高まっている時には認知成績が下がることが示された一方で、別の研究においては、感情経験によって認知成績が上がることを示される、といった結果が得られていた(例: Mather et al., 2007)。しかし、2011年頃から、Mather らによって、その一貫しない現象を統合的に説明する神経科学モデルが提唱された(Mather et al., 2011, *Behav. Brain. Sci.*)。それが、以下の GANE モデルである。



**Glutamate Amplifies Noradrenergic Effects (GANE) model**

上図に示す GANE モデルは、純粋に神経伝達物質レベルのモデルでありながら、認知・心理機能(情動の両方向性効果)を説明することが出来るモデルである。詳細は以下の通りである(以下、数字の説明は図内にある丸付き数字と対応している)。

- (1) 前神経細胞が興奮すると、グルタミン(図中の丸印マーカー)を経由して後細胞へ興奮が伝播する。この際、強く活性化している細胞からグルタミンが溢れ、近傍の青斑核に届く。
- (2) グルタミンが届いた青斑核は、逆にノルアドレナリン(図中の十字マーカー)を産出し、更に興奮の伝播を強める(=強く活性化している後細胞が更に活性化すること)が知られている。
- (3) 同時に、GABA という抑制性の神経伝達物質(図中の×付丸マーカー)を産出し、他の神経細胞の活性を抑えることが知られている。
- (4) 興奮中の細胞の近辺にある青斑核は、 アドレナリン受容体により、更にノルアドレナリン(図中の十字マーカー)を増加させる。つまり、更に活性化が強くなる
- (5) 興奮していない細胞近辺の青斑核は、 2 アドレナリン受容体により逆にノルアドレナリンを減少させる。つまり、更に活性化が弱くなる。
- (6) 青斑核によるノルアドレナリン増加は、情動覚醒時に増長され、 - が更に促進される。
- (7) ノルアドレナリンが多いと、前細胞と後細胞のシナプス長期増強(記憶の定着)がおきる。

まとめると、強く活性化している細胞の近辺では更に活性化を強め (1、2、4)、一方

で、それ以外の神経細胞の活性化は更に抑制される (3,5)。この際、情動覚醒は、これらの対比効果を更に強め(6)、同時に、活性化を強く高められた神経において記憶・学習を促進する(7)のである。

## 2 . 研究の目的

ANE モデルによると、興奮覚醒は活性中の細胞の興奮を持続させ、それ以外の神経活動を抑制する。よって、心理・神経科学実験にて検証可能な、以下の予測が理論的に導かれる。

優先的に処理されている外界情報 (salient) の情報処理は興奮覚醒時に促進される一方、優先的に処理されていない外界情報 (non-salient) の情報処理は興奮覚醒によって阻害される。

本研究は、この脳モデルから導かれる予測を、心理学・脳機能計測・加齢研究・計算機モデル、という領域横断的手法を用いて多角的に検証することを目的とした。特に、脳モデルで仮定されている神経メカニズムを計算機モデルの中に組み込むことによって神経科学計算機モデル(neurocomputational model)を構築し、その神経科学計算機モデルによって、心理学データ・脳機能計測データ・後期高齢者の心理学データを再現することを目的とした。

## 3 . 研究の方法

**研究 心理学実験**：前図の ANE モデルは興奮覚醒の両方向性効果を説明可能である。しかし、この両方向性の効果がどれだけ一般化可能かは定かではない。特定の認知機能(知覚のみ・記憶のみ)に限られるのか、あるいは特定の課題のみに限られるのか、その一般性を探る必要がある。このため、(a) 興奮覚醒の要因 (具体例：不快な情動と条件づけられた音の呈示)と、上記の(b)情報の優先性という要因(具体例：単一刺激を処理する試行 vs. 複数刺激を処理する試行)を直交に操作した様々な心理実験を実施する。これにより、情報の優先程度が高い場合に興奮覚醒が成績を促進し、逆に情報の優先程度が低い場合に興奮覚醒が成績を阻害する、というパターンが得られる認知機能を特定する。

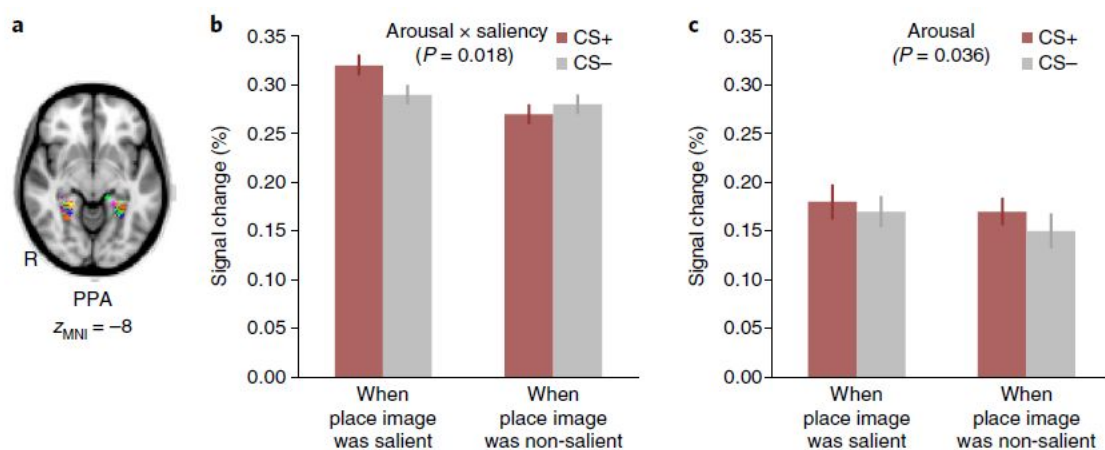
**研究 脳イメージング研究**：図の ANE モデルは、研究 のような課題成績への効果のみならず、課題成績実施中の脳活動(細胞賦活のレベル)にも全く同じ効果が得られる、という具体的な予測が成り立つ。つまり、情報の優先度が高い場合は興奮覚醒によって神経細胞の賦活量が増え、逆に情報の優先度が低い場合は、興奮覚醒によって逆に神経細胞の賦活量が減る、という予測である。この目的のため、心理実験同様に 2 要因を直交操作し(具体的な方法)、様々な課題を用いて脳科学からもモデルの妥当性を評価する。

**研究 加齢研究**：法務省発表の犯罪事由に関する資料が示すところによると、高齢者の犯罪の理由として高頻度を占めるのが「情動興奮」である。よって、興奮覚醒が正常な認知機能に及ぼす影響を、加齢の文脈で理解することは社会的インパクトが強い。しかも、加齢に伴う神経伝達物質の減少については先行研究があるため(例：GABA や 2 アドレナリン受容体の減少, Berchtold, 2013)、加齢研究は ANE モデルの妥当性を直接的に検証することを可能にする。具体的には、高齢者は前図の(3)と(5)のメカニズムが働かないことを明確に予測するため、興奮覚醒によって、情報の優先度に関わらず、神経賦活量が増えることが予測される。

**研究 計算機モデル研究:** 計算機モデルは、脳の活性化関数を模したニューラルネットワークを用いる。神経科学制約を計算機モデルへと導入するため、前ページの(1)から(7)の全てをニューラルネットの活性化関数に反映させる。具体的な方法として、モデル上の各神経ユニットに、ノルアドレナリン量というパラメタを追加する。そして、(以下、数字は前ページの数字と対応)(1)各神経ユニットのノルアドレナリン量は、各神経ユニットの活性値に比例させる。(2)ノルアドレナリン量が一定値になると、当該の神経ユニットに更なる興奮性入力を送り、(3)同時に他の神経ユニットの入力に抑制性入力(負の入力)を送る、という手法を用いる。この神経科学制約計算機モデルによって、上述の研究計画 ~ のデータ全てを再現し、単一モデルを提唱することが方法となる。

#### 4. 研究成果

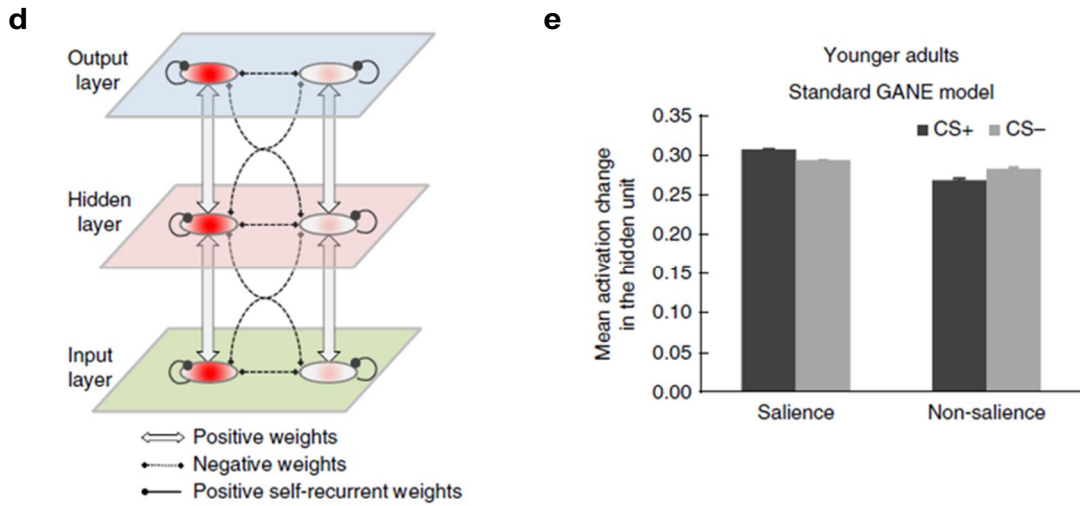
研究成果は、4つの国際雑誌(*Nature Human Behavior*; *Cerebral Cortex*; *Cognition*; *Attention, Perception & Psychophysics*)として出版された。特に *Nature Human Behavior* に発表した論文では、以下の結果が得られた。まず、上述の GANE モデル(Mather et al., 2011)の予測は「優先的に処理されている情報(活性値が高い情報)の処理は、興奮覚醒時には更に促進される。一方で、興奮覚醒時に優先的に処理されていない情報は、興奮覚醒時に処理が抑制される」というものである。つまり、情動興奮により signal-to-noise 比が更に増すという予測が成り立つ。これを心理実験(視覚探査課題)にて検証した結果、脳賦活量という指標から予測を支持する結果が得られた。以下の図の(a)は脳賦活量を計測した脳部位(場所に関する情報を処理する脳部位)であり、(b)は若年層における、その脳賦活量を示している。(b)において、CS+は電気刺激によって情動興奮している条件であり、CS-はそれが無い条件である。そして、(b)の棒グラフの左半分は、「場所に関する画像が明瞭に呈示されている条件」で、左半分は「不明瞭に呈示されている条件」である。そして、「場所に関する視覚情報」に重要な脳部位の賦活量が縦軸に表わされている。仮説通りの結果が得られたといえよう。



また、GANE モデルによると、高齢者は GABA などの抑制機能が低下しているため、処理の優先度に関わらず、興奮覚醒によって処理が促進されるという仮説が成り立つ。これを検討するために、高齢者の成績と比べたところ、上記図 c(右端)の通り、仮説を支

持する結果が得られた。

次に、GANE モデルが仮定する神経伝達物質メカニズムを導入した計算機モデルを構築し、上記の結果を再現した。それを示したのが以下の図である。



図の左(d)は、ニューラルネットワークの構造を示している。抑制性結合ならびに促進性結合は、上述の GANE モデルにおいて仮定されている神経科学的制約に従って定められている。図の右(e)は、このモデルで、上述の若者の結果を再現したことを示している。以上の研究は視覚探索課題であったが、次に記憶課題へと(モデルの課題一般性)を拡張することも研究計画となっており、この結果は *Cognition* 誌にて発表された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Michiko Sakaki, Taiji Ueno, Allison Ponzio, Carolyn W. Harley, Mara Mather	4. 巻 187
2. 論文標題 Emotional arousal amplifies competitions across goal-relevant representation: a neurocomputational framework.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Cognition	6. 最初と最後の頁 108-125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cognition.2019.02.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Richard J. Allen, & Taiji Ueno	4. 巻 80
2. 論文標題 Multiple high-reward items can be prioritized in working memory but with greater vulnerability to interference	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Attention, Perception, & Psychophysics	6. 最初と最後の頁 1731-1743
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3758/s13414-018-1543-6.	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 該当する

1. 著者名 Taiji Ueno, Lotte Meteyard, Paul Hoffman, Kou Murayama	4. 巻 28
2. 論文標題 The Ventral Anterior Temporal Lobe has a Necessary Role in Exception Word Reading	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Cerebral Cortex	6. 最初と最後の頁 3035-3045
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/cercor/bhy131.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tae-Ho Lee, Steven G Greening, Taiji Ueno, David Clewett, Allison Ponzio, Michiko Sakaki, Mara Mather	4. 巻 2
2. 論文標題 Arousal increases neural gain via the locus coeruleus-noradrenaline system in younger adults but not in older adults	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Human Behavior	6. 最初と最後の頁 356-366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41562-018-0344-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計1件

1. 著者名 アラン・バドリー、佐伯 恵里奈、齊藤 智、前原 由喜夫、上野 泰治	4. 発行年 2020年
2. 出版社 北大路書房	5. 総ページ数 432
3. 書名 ワーキングメモリの探究	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	University of Tübingen			
カナダ	Memorial University of Newfoundland			
米国	University of Southern California	University of North Carolina	Louisiana State University	
英国	University of Reading	University of Edinburgh	University of Leeds	