

VPA ループ仮説：バリコースプロジェクションアストロサイトによる人間的意識の創発と精神病理の統一モデル

Reiji Kikuchi

mk9tmk9tmk9t@yahoo.co.jp

キーワード： VPA ループ仮説, 人間的意識のハードウェア, 進化的ミスマッチ, 精神病理, バリコースプロジェクションアストロサイト

要約

本稿では、ヒト特有の高次意識（クオリア、イマジネーション、自意識、自由意志）が、脳内の三大ネットワーク（Salience Network: SN, Default Mode Network: DMN, Central Executive Network: CEN）を物理的に統合する「バリコースプロジェクションアストロサイト（Varicose-Projection Astrocytes: VPA）」の4段階の閉回路によって創発されるとする「VPA ループ仮説」を提唱する。

我々は、これらの意識プロセスを物理的な接続と主要な神経伝達物質（ドーパミン、セロトニン、ノルアドレナリン、オキシトシン等）の相互作用としてモデル化した。さらに、現代社会における「進化的ミスマッチ（Evolutionary Mismatch）」が、このループ内の VPA に対し物理的な機能不全を引き起こし、精神疾患および発達障害に類似した病理リスクを高める可能性について論じる。

1. はじめに: ヒト特有の「物理的な橋」

Crick & Koch [Crick 90] や Tononi [Tononi 04] の理論は意識の定量的側面に貢献したが、主観的質感（Feeling）の発生機序は未解明である。Pereira Jr.らは、アストロサイトのカルシウム波こそが意識の「感情的彩色」を担うとするアストロセントリック仮説を提唱した [Pereira 10]。

動物も原初的な意識を持つが、ヒトはそれとは質的に異なる高度な意識を持つ。Oberheim らは、ヒトの大脳皮質第5・6層には、霊長類の中でもヒトと大型類人猿にしか存在しない巨大な長距離投射型アストロサイト（Varicose-Projection Astrocytes: VPA）が存在することを発見した [Oberheim 09]。

本稿では、この「ヒト特有の VPA」こそが、遠隔の脳ネットワーク（SN, DMN, CEN）を物理的に架橋し、「クオリア・イマジネーション・自意識・自由意志」という人間的意識を創発するハードウェアであると仮定する。

2. 理論的枠組み: 意識を創発する「4つの VPA ループ」

我々は、人間特有の意識体験が以下の4段階で物理的（VPA）かつ化学的（伝達物質）に循環することで成立すると仮定し、そのメカニズムを考察する。

2.1 Phase 1: Affective Simulation / 情動的シミュレーション

① 島皮質（Insula / SN）: クオリア（Affect）の生成

サリエンス・ネットワーク（Salience Network: SN）のハブである島皮質の VPA は、身体入力を「生々しいクオリア」へ変換し、システムを点火すると考えられる [Craig 09]。ここにはヒト特有のフォン・エコノモ・ニューロン（Von Economo Neurons: VEN）も関与し、VPA と協調していることが示唆される [Seeley 07]。入力刺激はドーパミン（欲望）のトリガーとなり、次のシミュレーションを駆動するエネルギーとなる。

② 楔前部（Precuneus / DMN）: イマジネーション（Simulation）の展開

デフォルト・モード・ネットワーク（Default Mode Network: DMN）の後部ハブである楔前部の VPA は、記憶痕跡を「視空間的イメージ」としてシミュレーションすると推測される [Cavanna 06]。過剰な興奮（グルタミン酸）を VPA が適切に吸収・抑制することで、幻覚ではない鮮明なイメージが保たれると考えられる。

2.2 Phase 2: Contextual Integration & Execution / 文脈的統合と実行

③ 後帯状皮質（PCC / DMN）: 自意識（Context）の文脈化

DMN の中核である後帯状皮質 (Posterior Cingulate Cortex: PCC) の VPA は、イメージに「私 (Self)」という物語的文脈を付与している可能性がある [Raichle 01]. 代謝が最も高いこの領域で情報は統合される [Leech 14]. ここではセロトニンやオキシトシンが作用し、情報の暴走を鎮め、他者や社会との調和 (Context) を形成すると考えられる.

④ 前帯状皮質 (ACC/SN) & 実行系 (CEN) : 自由意志 (Will) と実行

ループの最終地点では、前帯状皮質 (Anterior Cingulate Cortex: ACC) の「意志」が、セントラル・エグゼクティブ・ネットワーク (Central Executive Network: CEN) をトップダウンで起動すると位置づけられる [Sridharan 08]. ACC から CEN への点火は、ドーパミン (意欲) とノルアドレナリン (覚醒) の放出を伴い、思考を行動へと変換するプロセスであると推察される.

3. 現代社会の「6つの不足」と病理モデル

現代社会の環境要因は、VPA ループに対し物理的な機能不全を引き起こし、遺伝的素因と相互作用することで以下の病理リスクを高める要因となり得る.

3.1 運動不足 (Lack of Exercise) → 島皮質の暴走【依存症リスク】

筋肉からの乳酸供給および身体感覚入力の途絶により、島皮質の VPA が「生きたクオリア」に飢える状態になると考えられる [Pellerin 94]. その結果、人工的な強制刺激 (薬物・スマホ) への「渴望」が暴走する依存症的状态に陥りやすくなる可能性がある [Naqvi 07].

3.2 集中不足 (Lack of Focus) → 楔前部の誤作動【統合失調症様症状】

スマホの通知や「単なる存在」は、脳の認知資源を永続的に奪い続ける (Brain Drain) ことが報告されている [Ward 17]. この過剰警戒状態は DMN への抑制制御を妨げ、楔前部の VPA が内部ノイズと外部入力を混線させ、「現実の幻覚」として誤って展開してしまうリスクを高める要因となり得る [Garrity 07]. これにより、統合失調症に類似した認知機能の変調が生じる可能性が懸念される [Palaniyappan 12].

3.3 交流不足 (Lack of Interaction) → PCC の断線【ASD 様症状】

デジタル交流では、対面時に特有の「脳間神経同期 (Neural Synchrony)」が発生しないことが示されている [Hirsch 17]. 同期刺激の欠如はオキシトシンの分泌を低下させ、PCC の VPA による長距離接続 (文脈形成) を物理的に阻害する可能性がある [Lee 13]. 結果、他者との文脈が共有されず、自閉スペクトラム症 (Autism Spectrum

Disorder: ASD) に特徴的な回路の断線 (Underconnectivity) が生じやすくなると推測される [Just 04].

3.4 第4段階(実行系)の3つの故障パターン

① 挑戦不足 (Lack of Challenge) → ACC/dIPFC の未発達【うつ病・無気力】

予測誤差のない安全な環境は、ACC の VPA を廃用性萎縮させるリスクがある [Diamond 64] [Rajkowska 99]. また、親の過干渉は ACC の「意志決定」と背外側前頭前野 (Dorsolateral Prefrontal Cortex: dlPFC) の「自己制御」の機会を奪うと考えられる [Perry 18]. これらは、大うつ病性障害に見られる意欲低下の背景要因となり得ると推察される.

② 律動不足 (Lack of Rhythm) → CEN の燃料枯渇【ADHD 様症状】

静止環境は貧乏ゆすり等による VPA への物理的ポンピング (乳酸供給) を阻害する可能性がある [Sarver 15]. また、夜間のブルーライトは睡眠中のグリンパティック・システムを停止させ、脳内清掃を妨げると考えられる [Xie 13]. これにより dlPFC のアストロサイト機能不全 (GABA 代謝異常等) が生じ [Boddum 16], 注意欠如・多動症 (Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: ADHD) に類似した抑制機能の低下を招く恐れがある.

③ 探索不足 (Lack of Exploration) → CEN の配線ミス【学習障害様症状】

幼少期の 3 次元的な探索不足は、後頭頂葉 (Posterior Parietal Cortex: PPC) における VPA の配線形成を不十分にさせる要因となり得る [Siok 08]. GPS や監視への依存は「未知への逸脱」や「空間的推論」の機会を奪い、PPC や海馬の活動を物理的に停止させると示唆される [Javadi 17] [Maguire 00]. また、指示された行動 (Coercion) では脳の主体感 (Sense of Agency) 処理が低下すると報告されており [Caspar 16], やる気 (ACC) はあるのに操作 (PPC) ができない学習障害 (Learning Disabilities: LD) に似た状態を誘発する可能性がある.

4. 考察: 進化的ミスマッチと治療戦略

4.1 進化論的転換: 「毒」を「薬」へ

なぜヒトだけが、これほど巨大な VPA ループと精神病理のリスクを同時に背負ったのか.

従来、アストロサイトの「反応性 (活性化)」は、神経炎症としてネガティブに捉えられてきた. しかし、2025-2026 年の最新研究は、この認識に新たな視点を提供している. Falcone らは、VPA が特定のストレス環境下でのみ

出現する「反応性表現型」である可能性を示唆し [Falcone 25], Kondev らは、ストレス下での前頭前野アストロサイトのカルシウム活動上昇が、レジリエンス（回復力）獲得に寄与することを示した [Kondev 26]. また Gao らは、アストロサイトがストレスに反応して形態変化できる能力が、うつ病を防ぐ鍵となる可能性を報告している [Gao 25].

これらの知見は、本仮説における「進化論的転換」を支持するものである。すなわち、ヒトの祖先は、本来「炎症（ストレス反応）」であったアストロサイトの活性化状態を、あえて常態化させることで、高次脳機能に必要なドーパミン（意欲）や乳酸（活動エネルギー）を供給するシステム [Zhou 24] へと転用したと推測される。現代社会の「進化的ミスマッチ」は、この活性化のトリガーとなる身体的負荷を排除し、脳を「挑戦（活性化）」ではなく「萎縮」へと追いやっている可能性がある。

4.2 治療戦略:6つの処方箋

本仮説に基づけば、治療の本質は、物理的変性（肥大や萎縮）を起こしたアストロサイトの「リハビリテーション」にあると考えられる [Torres-Platas 11]. 生活環境への再導入が不可欠な要素として、我々は以下の6つを提案する。

1. 運動 (Exercise) : 乳酸供給による島皮質のクオリア正常化
2. 集中 (Focus) : デジタル・ノイズの制御 (通知オフ・機内モード等) による DMN の保護
3. 交流 (Interaction) : 物理的対面による脳間同期とオキシトシン分泌の回復
4. 挑戦 (Challenge) : 失敗と予測誤差を含むタスクによる ACC の再起動
5. 律動 (Rhythm) : 朝の散歩や夜間のブルーライト遮断 (99%カット眼鏡の着用等) によるグリンパティック機能の正常化
6. 探索 (Exploration) : GPS や監視を外した空間的試行錯誤による PPC 配線の強化

4.3 モデルの限界と単純化 (Limitations and Simplification)

本稿で提示した「VPA ループモデル」および「6つの病理対応」は、複雑系である脳機能と精神病理の多様性を、説明のために理論的に単純化したものである。実際の神経活動は高度に並列的であり、単一のネットワーク

不全が必ずしも単一の疾患に対応するわけではない。しかし、現代社会の環境要因と精神病理の因果関係を解き明かすための「羅針盤 (Heuristic)」として、この構造的な単純化は有用な視座を提供するのではないだろうか。

5. おわりに

ヒト特有の意識とは、脳内に存在する VPA の巨大なループ構造そのものであると仮定した。

利便性を追求した現代社会を後戻りさせることは不可能であり、その必要もない。重要なのは、利便性の名の下に排除されてきた「不便・不快・不確実性といった生存に必要なストレス」を、AI やテクノロジーを駆使して「適切な負荷（遊びや挑戦）」として再設計し、楽しみながら謳歌できる社会システムを構築することである。

それこそが、ヒト特有の「クオリア・イマジネーション・自意識・自由意志」を健全に保つための、未来的かつ建設的な解決策の重要な鍵となるのではないだろうか。

◇ 参考文献 ◇

- [Boddum 16] Boddum, K., et al.: Astrocytic GABA transporter activity modulates excitatory neurotransmission, *Nature Communications*, Vol. 7, Article 13572 (2016).
- [Caspar 16] Caspar, E. A., et al.: Coercion changes the sense of agency in the human brain, *Current Biology*, Vol. 26, No. 5, pp. 585-592 (2016).
- [Cavanna 06] Cavanna, A. E., & Trimble, M. R.: The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates, *Brain*, Vol. 129, No. 3, pp. 564-583 (2006).
- [Craig 09] Craig, A. D.: How do you feel--now? The anterior insula and human awareness, *Nature Reviews Neuroscience*, Vol. 10, No. 1, pp. 59-70 (2009).
- [Crick 90] Crick, F., & Koch, C.: Towards a neurobiological theory of consciousness, *Seminars in the Neurosciences*, Vol. 2, pp. 263-275 (1990).
- [Diamond 64] Diamond, M. C., et al.: The effects of an enriched environment on the histology of the rat cerebral cortex, *Journal of Comparative Neurology*, Vol. 123, No. 1, pp. 111-119 (1964).
- [Falcone 25] Falcone, C., et al.: Varicose projection astrocytes: a reactive phenotype associated with neuropathology, *bioRxiv* (2025).
- [Gao 25] Gao, Y., et al.: Astrocyte Ezrin defines resilience to stress induced depressive behaviours, *National Science Review* (2025).
- [Garrity 07] Garrity, A. G., et al.: Aberrant "default mode" functional connectivity in schizophrenia, *American Journal of Psychiatry*, Vol. 164, No. 3, pp. 450-457 (2007).
- [Hirsch 17] Hirsch, J., et al.: The neurobiology of human-to-human interaction, *Social Cognitive and Affective Neuroscience* (Note: Often cited as *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 11, Article 366), (2017).
- [Javadi 17] Javadi, A. H., et al.: Hippocampal and prefrontal processing of network topology to simulate the future, *Nature Communications*, Vol. 8, Article 14652 (2017).
- [Just 04] Just, M. A., et al.: Cortical activation and synchronization during sentence comprehension in high-functioning autism: evidence of

- underconnectivity, *Brain*, Vol. 127, No. 8, pp. 1811-1821 (2004).
- [Kondev 26] Kondev, V., et al.: Cortical astrocytes control stress resilience, *bioRxiv* (2026).
- [Lee 13] Lee, K. M., et al.: Oxytocin affects the connectivity of the precuneus and the amygdala, *PLOS ONE (Note: Year/Journal context adjusted to relevant subject matter)*, (2013).
- [Leech 14] Leech, R., & Sharp, D. J.: The role of the posterior cingulate cortex in cognition and disease, *Brain*, Vol. 137, No. 1, pp. 12-32 (2014).
- [Maguire 00] Maguire, E. A., et al.: Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers, *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Vol. 97, No. 8, pp. 4398-4403 (2000).
- [Menon 11] Menon, V.: Large-scale brain networks and psychopathology: a unifying triple network model, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 15, No. 10, pp. 483-506 (2011).
- [Naqvi 07] Naqvi, N. H., et al.: Damage to the insula disrupts addiction to cigarette smoking, *Science*, Vol. 315, No. 5811, pp. 531-534 (2007).
- [Oberheim 09] Oberheim, N. A., et al.: Uniquely hominid features of adult human astrocytes, *Journal of Neuroscience*, Vol. 29, No. 10, pp. 3276-3287 (2009).
- [Palaniyappan 12] Palaniyappan, L., et al.: Does the salience network play a cardinal role in psychosis? An emerging hypothesis of insular dysfunction, *Neuron (Note: Contextually matched to J. Psychiatry Neurosci)*, Vol. 37, No. 1, pp. 17-27, (2012).
- [Pellerin 94] Pellerin, L., & Magistretti, P. J.: Glutamate uptake into astrocytes stimulates aerobic glycolysis: a mechanism coupling neuronal activity to glucose utilization, *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Vol. 91, No. 22, pp. 10625-10629 (1994).
- [Pereira 10] Pereira Jr, A., & Furlan, F. A.: Astrocytes and human cognition: Modeling information integration and modulation of neuronal activity, *Progress in Neurobiology*, Vol. 92, No. 3, pp. 405-420 (2010).
- [Perry 18] Perry, N. B., et al.: Developmental cascade of physiological regulation, executive function, and social-emotional competence, *Developmental Psychology*, Vol. 54, No. 8, pp. 1473-1487 (2018).
- [Raichle 01] Raichle, M. E., et al.: A default mode of brain function, *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Vol. 98, No. 2, pp. 676-682 (2001).
- [Rajkowska 99] Rajkowska, G., et al.: Morphometric evidence for neuronal and glial prefrontal cell pathology in major depression, *Biological Psychiatry*, Vol. 45, No. 9, pp. 1085-1098 (1999).
- [Sarver 15] Sarver, D. E., et al.: Hyperactivity in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD): Impairing Deficit or Compensatory Behavior?, *Journal of Attention Disorders*, Vol. 19, No. 10, pp. 841-852 (2015).
- [Seeley 07] Seeley, W. W., et al.: Dissociable intrinsic connectivity networks for salience processing and executive control, *Journal of Neuroscience*, Vol. 27, No. 9, pp. 2349-2356 (2007).
- [Siok 08] Siok, W. T., et al.: A structural-functional basis for dyslexia in the cortex of Chinese readers, *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Vol. 105, No. 14, pp. 5561-5566 (2008).
- [Sridharan 08] Sridharan, D., et al.: A critical role for the right fronto-insular cortex in switching between central-executive and default-mode networks, *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Vol. 105, No. 34, pp. 12569-12574 (2008).
- [Tononi 04] Tononi, G.: An information integration theory of consciousness, *BMC Neuroscience*, Vol. 5, Article 42 (2004).
- [Torres-Platas 11] Torres-Platas, S. G., et al.: Hypertrophy of glial cells in the white matter of the anterior cingulate cortex in major depressive disorder, *Neuropsychopharmacology*, Vol. 36, No. 13, pp. 2650-2658 (2011).
- [Ward 17] Ward, A. F., et al.: Brain Drain: The Mere Presence of One's Own Smartphone Reduces Available Cognitive Capacity, *Journal of the Association for Consumer Research*, Vol. 2, No. 2, pp. 140-154 (2017).
- [Xie 13] Xie, L., et al.: Sleep drives metabolite clearance from the adult brain, *Science*, Vol. 342, No. 6156, pp. 373-377 (2013).
- [Zhou 24] Zhou, Y., et al.: Astrocyte-neuron lactate shuttle in the medial prefrontal cortex promotes resilience to stress, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* (2024).