

# 量子場脳理論: 新展開

西山 陽大 (Akihiro Nishiyama) ・ 田中 成典 (Shigenori Tanaka)

神戸大学大学院システム情報学研究科

本発表では、記憶・意識の仮説である量子場脳理論における近年の展開を紹介することを試みる。

記憶とは脳内のどのような状態を指すのか？記憶は脳内のどこに保持されているのか？従来の脳科学ではその機構は解明されていない。記憶に対するアプローチとしては、ニューロンドクトリンを基盤とする手法が主流である。ニューロンドクトリンでは、シナプス信号の伝導効率の変化によって記憶機構の説明を試みようとするHebb則が採用されている。では、記憶はシナプス結合パターンの組み合わせで説明可能なのだろうか？また、シナプスを持たない単細胞生物の記憶機構をどのように説明するのだろうか？現在のところ単細胞生物でも可能な記憶の保管場所、情報処理や認知に関わる分子機構はまだ解明されていない。

我々は、記憶機構の解明がされないのは、従来のアプローチに問題があるからではないかと考えた。この状況を打開するため、我々は、1967年にRicciardiおよびUmezawaによって提案され、Stuart, Takahashi, Jibu, Yasue, Del Giudice, およびVitielloらによって発展した場の量子論に基づく量子場脳仮説に着目した。量子場脳仮説とは、水分子についての量子電気力学に他ならない。具体的には、ニューロンおよびグリア細胞周辺の水の電気双極子場と光子場が自由度として提案されている。この仮説では、電気双極子の向きが集団的に揃い、回転対称性の破れた巨視的真空状態(コヒーレント状態)が保持される記憶とされる。対称性の破れに伴い、Nambu-Goldstone粒子(dipole wave quanta)が生成するが、この粒子が長距離相関で重要な役割を果たし、数10 $\mu$ m程度のコヒーレント領域を維持する。

さらに、Jibuらによって、微小管内の水の電気双極子場と光子場が引き起こす共同的な自然放射である超放射現象が提案されている。互いに重ね合わせ状態にある電気双極子は、電気双極子が1つある場合の自然放射の時間スケール $\tau$ の1/N倍の時間スケールで放射する。N個の電気双極子が1/N倍の時間スケールで励起状態から基底状態に遷移するとき、放射の強度は電気双極子が1つしかない場合と比べて $N^2$ 倍になる。まさに一瞬の閃光である。Del Giudiceおよび我々のモデルの計算では、超放射の時間スケール $\tau/N$ は0.2 ps程度と計算される [1, 2]。この時間スケールは熱的効果[3]が出現する時間スケールに比べて非常に短い。Jibuらは、超放射のコヒーレント光を用いて、Jibuらの共同研究者であるPribramが提案した脳内におけるホログラフィ理論を説明しようと試みている。すなわち、量子場脳理論とホログラフィ理論の統合である。

本発表では、量子場脳理論とホログラフィ理論の統合[4, 5]について言及するとともにホログラフィの干渉縞(物体に反射あるいは透過した光：物体光および参照光の干渉縞)が量子場脳理論の枠組みでどのように時間発展するのかを紹介する。コヒーレント光で照射される物体に相当するものとしてリン酸化された微小管を想定している。微小管に照射された物体光と参照光の干渉縞を微小管周辺の水の電気双極子と光子場の系に記録する。ただし、長期的に記憶を保持するためには、三角関数で記述されるホログラムの干渉縞ではなく、空間的にステップ関数的な、すなわち電気双極子の向きがランダムな状態と全ての双極子が揃った対称性の破れを伴う状態が交互に分布するホログラムを採用する必要がある。光学的情報を含むホログラムに参照光が照射され、空

間を伝搬しながら情報処理を行い、ステップ関数的なホログラムに移行する過程まで追跡できるかどうかが今後の課題である。

もし、記憶が光学的情報として与えられると仮定すると、ホログラフィ分野における情報処理およびフィルタリング技術を量子場脳理論に適用することができる。微小管から周辺ホログラムに対し、コヒーレント光である超放射光を照射することで像を再生する。その像に別の微小管から超放射光を照射し干渉縞を伴うホログラムを別の場所に作成する。そのホログラムにさらに別の微小管から超放射光を照射する。これらを繰り返すことで、記憶が脳内を伝搬する。すなわち、光学的情報処理を採用することで、記憶が脳全体に拡散していく機構を説明できるかもしれない。また、記憶機構のみならず、思考過程を記述できるかもしれない。近年注目を集めている量子認知との関連を論及することもできる。認知科学の主流では、量子認知と量子場脳理論は切り離して論じられる。量子場脳理論とホログラフィ理論を統合することで、量子認知に用いられる量子状態に対し、具体的な物理的自由度を与えることができる。

本発表では、量子場脳理論とホログラフィ理論の統合シナリオについて言及する。量子場脳理論では、記憶機構の問題だけでなく、結びつけ問題、麻酔機構の問題、脳波の起源、そして意識のハードプロブレムに対して従来にないアプローチが与えられる。近年、量子認知や量子意思決定に関わる研究は世界的な盛り上がりを見せており、そのマイクロモデルとしても理論・実験両面から更なる検討が必要と思われ、国内外の研究者の本分野への参入を期待している。

(参考文献)

- [1] A. Nishiyama, S. Tanaka, and J.A. Tuszynski, *Entropy*, 21, (2019) 1066.
- [2] A. Nishiyama, S. Tanaka, and J.A. Tuszynski, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 567 (2021) 125706.
- [3] A. Nishiyama, S. Tanaka, and J.A. Tuszynski, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 598 (2022) 127397.
- [4] A. Nishiyama, S. Tanaka, and J.A. Tuszynski, *Dynamics*, 2(2), (2022) 187.
- [5] A. Nishiyama, S. Tanaka, and J.A. Tuszynski, *Dynamics*, 3(1), (2023) 1-17.