

Can we understand functions of the brain in terms of physics?
Can the brain understand frameworks of physics?

Gyo Takeda

Tohoku Gakuin University

2-chome Tenjinzawa, Izumi-ku, Sendai 981-31

Abstract

Most physical processes seem to have some corresponding processes in our brain activities, as we see this in information processes in vision. Even rotational, Galilean, and scale invariant processes are realized there.

Remarkable features of neural networks are self-organization and self-learning, elucidation of which will bring us new insight in physics in general. As an example, we discuss memory functions of the hippocampal system, which acts as an agent transferring short term memories into long term memories. Some very unique controlling mechanisms are working, which might be compared with the sophisticated controlling systems in accelerator science.

物理学は脳を理解できるか？
脳は物理学を理解できるか？

加速器科学を専門とする研究者の方々
にこのような表題の話をするのは多少気
が引けることですが、すべての科学は人
間が作り出したものであることを考えると、
これからの科学者は自分自身の脳の
働きの理解なしには重要な貢献をするの
は難しいように思われます。最近の脳神
経科学の進歩は驚くほど素晴らしいもの
です。特に微小電極を用いての個々のニ
ューロンの活動と機能の知見と、PET、
機能的NMR、光測定法等を用いての脳
機能のマクロな状況の知見とを合わせると、
物理学における原子・分子論的知見
とマクロな物理現象の知見とが揃った情
況になりつつあり、物理学者であれば誰
でも脳機能の解明に挑戦してみたい気が
してきます。

脳は物理学を理解できるかと言う表題
は、我々がそれぞれの脳を使って物理学
を学び研究していることを考えると自明
のことに思われます。しかし、個々のニ
ューロンの機能とニューロン間の結合の
様子により脳が出来ることと出来ないこ
とが決まっており、丁度ある測定器系を
用意すると、それらの機能と配列により、
何が測定でき何が測定できないかが決ま
ってくるのと同じ事情が存在するとも考
えられます。色々と脳の機能を調べてゆ
くと、理解できる物理現象には多くの場
合に何らかの対応する情報処理過程が脳
の中で行われているように見えます。で
すから、“物理学の論理は自分自身の脳
の中で無意識に行なっていることを意識
に登らせることであり、自己の再発見に

他ならない”という観点を取ることが出来ます。このような観点から脳の機能を通して、物理学にどのような論理形式を使えるかを捜し出すことは、これからの物理学の重要な発展につながるものと思われれます。私どもは物理学を言葉で語り、言葉は脳が理解し作り出すものですから、物理学＝言語＝脳と言う等式がある程度成立すると言う立場を取ることになります。

物理学は脳を理解できるかと言う表題は意味の良く定義された表題ではないかも知れません。現代科学は脳を理解出来るか、物理学者は生物学者より脳を良く理解できるか等の表題の方が良いかも知れません。ニューロン間のシナプス結合等を通しての情報伝達、神経繊維に沿って情報を伝達する活動電位、これらの機構は物理化学的過程として現在では良く理解されてきています。脳をニューロンの多数の集まりとして理解する限り、個々のニューロンの構造と機能、ニューロン間の相互作用を基にして脳機能を理解しようとする物理学的方法論は一定の成果をあげ得ると考えるのは当然のように思われます。勿論、どんなに頑張っても意識とは何か等の問題には到底答えられないと言う根強い意見がありますが、このことについては最後に触れることにします。

最初に視覚を例に取り、網膜や大脳視覚野等でどのように視覚情報を処理しているかを概観し、“物理学の論理は脳の中で無意識に行なっていることを意識の上に登らせることである”と言う主張を裏付けたいと思います。外界の物体像を微小部分に分割し、微小部分の位置と速

度の測定等の情報を集約し、物体の方位測定、回転運動・相対運動の測定、興味ある情報の抽出、複雑な図形の認知等を行なう様子は、何れを取っても我々が物理測定に用いる測定器の機能と良く似ており、これら無意識の中に行なわれている脳機能が物理学の論理の組み立てに沿って行なわれ機能しているように見えます。また、高次の視覚野等では回転不変性、ガリレイ変換不変性、スケール変換不変性等の物理学の基本法則の認知の機能も具えており、さらに、脳機能の中には完全化、一般化等の機能があり、不完全な実験結果を補完して理論を組み立てる能力や類似のものをカテゴリー化して一般化する能力等も具えているように見えます。

ニューロンの多数の集団が協力して脳機能を営むときに、物理現象に広く見られるアトラクター、分岐、引き込み、臨界現象等に対応する現象を脳はうまく利用しています。極言すれば、与えられた環境のもとで、利用できる物理化学的現象は何らかの形で脳の中で実現されていると言う見方も取れると思います。脳の大脳皮質のニューロン数は100億を越えていますが、これらニューロン間の配列が物理学における多数の測定器の配列と異なるのは、学習により配列やニューロン間の結合の強さが自動的に変わる学習する組織であることです。これら脳内で自動的に行なわれる学習の方法、その効率の良さは極めて印象的ですが、特に学習と記憶との関係について論ずることにします。

脳は論理的思考、すなわち多段階の論

理を積み上げてゆくには不向きであると言われていいます。このことは、脳が短時間の中に情報を処理し結論を出す必要から、結論をだすまでのシナプス結合の段階数が比較的少ないことに端的に現われています。高度の論理能力をどのようにして脳に習得させるかは推測の域をでませんが、学習により新たな神経回路網の形成等のことが行なわれていると考えられます。脳には記憶能力があり、記憶とは何かは神経科学の1つの中心的課題です。短期記憶を長期記憶に固定化する役をするといわれる海馬の機能は特に関心のある問題で、その解明は科学一般に大きなインパクトを与えるものと期待されます。

多数の電子の集まりである電子ビームを支障なく加速し、必要によりビームを制御する技術は加速器科学で大いに進歩しています。海馬も新しい経験を符合化して古い記憶と混同することなく記憶する、異なる記憶の間の相関を付ける等のことを行なうときに、中隔核等による自動制御を巧妙に行なっているように見えます。たくさんの断片的実験事実の集積は目を見張るほどですが、海馬の機能の全体像は未だ明らかにされていません。海馬は短期記憶を一時的に何らかの形で作業記憶として保持し、時間をかけて大脳皮質にその記憶を植え付ける役をしている傍証があり、どのようにして記憶の固定化を行なっているかは非常に興味のあるところですが、脳機能の1つの核心に触れる問題を取り上げて、私見を交えて論ずることにします。

脳の機能に量子物理的過程が必要かど

うかは分かりませんが、多くの脳神経科学者は勿論noという答えを用意しています。しかし、完全に量子過程の関与を排除できるかどうかは良く分かりません。時間があれば、脳を量子力学系として扱うべしと考えている少数派の意見にも触れたいと思います。