

## 四章五節 意識の統合的性質に相関する神経活動（NCC2）

私たちが日常生活の中で認知している「今現在の意識シーン」は調和して一つに統合している。見ること、聞くこと、感じること、思考などの流れは一つにまとまり、今ここにおいての調和した意識シーンを形成している。意識は数十ミリ秒以下の非常に短い時間スケールでは波動的な現れ方をするのかもしれないが、日常生活の中では私たちはそのような意識の波動性を感知することはない。意識シーンは分断された映画のコマのようなかたちでは認知されない。私たちが認知しているのは、絶え間なく変化するクオリアが織りなす、一つの統合的で調和的な意識シーンである。数百ミリ秒以上の時間スケールにおいては、様々な感覚情報、記憶情報、感情、思考や判断、欲求などの意識内コンポーネントはバラバラにはならず統一されて、一つにまとまっている。このような意識シーンに統合性をもたらす神経活動を、本書ではNCC2と名付けている。仏教の心理学は、見たこと、聞いたこと、感じたこと、考えたこと、欲したことなどのバラバラなものを一つにまとめるはたらきをする器官を「意」と名付ける<sup>(1)</sup>。この仏教用語でいうところの「意」が、NCC2（意識の統合的性質に相関する神経活動）に相当すると言えるだろう。

本書のように、スナップショットとしての意識内容の在り方を前提とするならば、NCC2はさらに二つのレベルに分けられるかと思う。第一のレベルのNCC2は、複数の情報を一枚のスナップショットにまとめあげるための神経生物学的メカニズムである。それは脳内各所に散らばる幾つものニューロン集団で処理される情報群を結び付け、一枚のスナップショットに統合するシステムである（これを仮にNCC2- $\alpha$ と命名する）。そして第二のレベルのNCC2は、何枚ものスナップショットをまとめて「今現在の意識シーン」を形成するための神経生物学的メカニズムである。それは数十ミリ秒以下の時間スケールで生滅を繰り返すスナップショットをまとめて、数百ミリ秒以上の時間スケールの今現在の意識シーンを形成するためのシステムである（これを仮にNCC2- $\beta$ と命名する）。NCC2- $\alpha$ は幾つもの分散する情報をまとめて、一枚の統合されたスナップショットを形成し、NCC2- $\beta$ は幾つものスナップショットを束ねて、一つの統合された意識シーンを形成する（表3）。

NCC2- $\alpha$ は統合的な一枚のスナップショットを形成するために必要とされる神経生物学的システムである。一枚のスナップショットの中では、おそらく、複数の感覚属性が結び付いているだろう。例えば、視覚系のスナップショットであれば、その一枚のスナップショットの中には、「色（カラー）」という、ただ一つの属性が存在するのではなく、他にも、形、位置、明暗などのような複数の属性が存在して結び付いているだろ

表3 NCC- $\alpha$ と $\beta$ 

意識特性	波動性	統合性
一次現象特性	NCC 1	NCC2- $\alpha$ (スナップショットを形成)
二次現象特性	—	NCC2- $\beta$ (今現在の意識シーンを形成)

う。聴覚系のスナップショットであれば、そのスナップショットの中には、「音質」という、ただ一つの属性が存在するのではなく、音の高低や強弱などのような異なる複数の属性が結び付いているだろう。一枚のスナップショットには一種類の感覚属性だけが存在するという可能性も排除できないが、効率良く意識的な認知プロセスを進行させるためには、一枚のスナップショットには複数の属性が結び付いて塗込まれていると推察される。

現代の神経科学が説明するところによれば、このような異なる感覚属性は専門とする脳領域で別々に処理されている。例えば、視覚ならば「色」や「方向」のような異なる視覚属性は、脳広域に分散した別々のニューロン集団によって処理を受ける。このような脳内に広く分散した情報をまとめて一枚のスナップショットに包括させるためには、脳内に散らばる幾つものニューロン集団群の活動を効率良く一つに結び付けるシステムが存在しなければならない。

これに対してNCC2- $\beta$ は複数のスナップショットをまとめて一つの統合的な「意識シーン」を形成するために必要な神経生物学的メカニズムである。短寿命のスナップショットは連続して提示されているが、それらは全体として一つのもまとまった意識シーンを形成している。一つ一つのスナップショットはごく短い時間スケールで生滅を繰り返しているが、それらはバラバラなものとはならず、何枚ものスナップショットは一つにまとめて意味のある意識情景を形成している。このようなことが可能となるためには、複数のスナップショットを包括して一つにまとめあげるような何らかのシステムが存在しなければならないだろう。もしそのようなシステムが無ければ、連続して提示されるスナップショット群の相互の関係性は損なわれてしまう。スナップショット群は無関係なバラバラなものとして刹那毎の生滅を繰り返し、意味のある意識シーンは砕け散ることになる。数百ミリ秒以上の時間スケールで、スナップショット群が統合的意識シーンとして認知されるためには、刹那レベルで生滅を繰り返すスナップショット群を何らかの方法でまとめあげるようなシステムが必要になってくるだろう。

私たちが普段認知しているような一つの統合的な意識シーンが形成されるためには、NCC2- $\alpha$ とNCC2- $\beta$ が共同して機能する必要がある。NCC2- $\alpha$ は複数の情報をまとめて、一枚の統合されたスナップショットを形成する。NCC2- $\beta$ は複数のスナ

アップショットをまとめて、一つの統合された意識シーンを形成する。NCC2- $\alpha$ とNCC2- $\beta$ は相互に協調して機能し、脳の広い範囲に渡って空間的／時間的に絡み合いながら、私たちの統合的で調和的な意識経験を作り出している。

## (一) NCC2- $\alpha$ と再入力系

NCC2- $\alpha$ の有力な候補の一つは、米国の脳神経学者ジェラルド・M・エーデルマン（1929～）がその重要性を強調する「再入力」という神経システムである。再入力とは、次のエーデルマンの説明にあるように、脳内の異なるニューロン集団群の活動を結び付けるための神経生物学的メカニズムである。

再入力とは、いくつもの脳領域を結びつける並行的、同時進行的な信号伝達であり、行ったり来たりくり返し行なわれる信号のやりとりである。そしてこのやりとりによって、別々の脳領域の活動が時間的および空間的に協調するというわけだ。よく引き合いに出される「フィードバック」は、出力された信号が出力元に戻ってきて、その間にエラー調節をするという単純なループ内の順次的な伝達であるが、再入力はそうではない。並列的、双方向的なたくさんの経路が関わった再帰的な伝達方式であり、あらかじめ決められたエラー修正機能はついていない。

こういった動的なプロセスが遂行される結果、脳のいろいろな場所で起きているニューロン活動が広範囲にわたって「同期」する。これによって機能的に異なったニューロン活動が一つにまとまり、全体として意味をなす出力が可能になる。

ここには、コンピュータのようなシステムがたよりとするロジックは存在しない。たくさんの回路を時間的、空間的に協調させる機構、それを支える中心原理は再入力なのである。先に述べた「結びつけ問題」も、これによって説明がつく。たとえば視覚においては、対象の色や方向や動きといった属性は再入力を通して統合される。さまざまな属性を担う別々の脳地図の活動を調整したり結びつけたりするのに、もう一段上の脳地図をさがす必要はない。再入力を通して直接やりとりすることによって互いに調整しあうのだから<sup>(2)</sup>。

先に述べたような神経細胞同士を結ぶ双方向性のループは視床と大脳皮質のあいだだけではなく、大脳皮質領域内の各所に存在している。大脳皮質内に分散するニューロン集団は、双方向性の神経ループで結び付いている。情報の高次処理を行なう大脳皮質内は緊密な双方向性の神経ループでネットワーク化されており、再帰的な情報伝達が可能となっている。

脳内に散らばるニューロン集団の活動が神経ループ内の再入力を通じて最適なもの

になれば、それらのあいだでは協調して一つにまとまった神経発火が生じるようになる。脳内の局所あるいは広域のニューロン集団では、再入力によって結び付いた協調的な発火が起きる。そのような再入力性の統合的な発火活動によって、多数の感覚属性が包括された一枚のスナップショットが成立することになる。再入力による並列的／双方向的な神経伝達は、脳内に散らばる感覚属性を結び付けて、個々のスナップショットに統合性をもたらしている。一過性の生滅を繰り返す神経発火は脳内空間のいたるところで起きているだろうが、再入力によって関連するニューロン集団は相互に結び付いており、このような協調した神経活動が、スナップショット内に統合性を作り出す基盤となっている。

## (二) 抑制性ニューロンとリズム活動

再入力性の協調発火が一定のテンポで繰り返して生じることになれば、脳には意識固有のリズム活動が生み出され、意識場には波動的なスナップショットのパターンが出現すると推察される。ただし、近年の神経科学は、この再入力性の神経システムそのものが直接、意識固有の脳のリズム活動を生み出しているというよりも、この再入力性の神経システムに抑制的に介在する神経回路のはたらきが、意識固有のリズム活動を生み出している可能性を指摘している<sup>(3)</sup>。

ニューロン同士は「シナプス」と呼ばれる結合部位を介して情報伝達を行なっているが、シナプスを通じて結合相手のニューロンの発火を促進するものは「興奮性ニューロン」と呼ばれ、逆に、結合相手のニューロンの発火を抑制するものは「抑制性ニューロン」と呼ばれる。最近の神経科学が説明するところによれば、後者の抑制性ニューロンは神経活動を単に抑制するだけでなく、ガンマ波のリズム活動をもたらしている。抑制性ニューロンが興奮性ニューロンに介在することによって、大脳皮質領域や、視床・大脳皮質間の神経ループで、四〇ヘルツほどのガンマ波が生成される。

ニューロン同士をつなぐシナプス部位では神経伝達物質として様々な化学物質が放出されているが、化学物質を介した神経接続は「化学的シナプス」と呼ばれており、それは興奮性ニューロンと抑制性ニューロンの両方に広く存在している。このような化学的シナプス以外に、神経発火を抑制する抑制性ニューロンのほうには、「電氣的シナプス（ギャップ結合）」と呼ばれる特殊な神経接続が存在している。電氣的シナプスが存在する部位では各ニューロンの細胞膜は密着して結合しており、そこにおいて細胞膜上の孔を通じて電氣的シグナルが伝わる。その際、化学的シナプスのように神経伝達物質

を介していないので、迅速なシグナルの伝播が起こる。また、シナプス両端において膜電圧が揃うので、ニューロン集団で同期した振る舞いが可能となる。このような電気的シナプス特有の神経伝播のメカニズムは、刺激に迅速に反応する固有の振動パターンを生み出す主要因になっていると考えられている<sup>(4)</sup>。

先に述べたように、興奮性ニューロンは具体的な意識内容に関する情報をコードしており、それらは再入力性の協調的発火によって統合されている。興奮性の神経シグナルによって、関連ある情報は脳内各所で結び付いている。このような情報統合を行なう神経回路に、抑制性ニューロンのはたらきが加わることによって、意識固有のリズム活動であるガンマ波が生じることになる。興奮性ニューロンと抑制性ニューロンの協調したはたらきは、各種情報を統括すると共に、リズムで波動的なスナップショットの発現パターンを作り出している。

### (三) NCC2-βと感覚記憶

昔、私の息子は紙芝居が大好きだった。図書館で借りてきた紙芝居の本を、私や妻に読んでくれとよくせがんでいた。妻は息子に紙芝居の絵を順番に見せながら優しく話しかけ、息子はそれをじっと見つめていた。この紙芝居が一つのストーリーとして息子の頭の中で理解されるためには、ある程度の記憶力が必要とされる。異なる絵と話は順番に繰り返されるが、今、目の前にある絵と話を理解するためには、それ以前に出された絵と話に関する幾つかの情報を心の中で記憶（メモリー）として保持していなければならない。目の前の紙芝居の絵が後ろに回って隠れてしまっても、しばらくのあいだは、それに関する情報は心の中に記憶として残っている必要がある。もしそのような短期の記憶がなければ、紙芝居の絵が変わる毎に、心は一旦すべてリセットされ、紙芝居の絵の一枚一枚は互いに無関係なバラバラなものとして認知されてしまうことになるだろう。

神経生物学的な立場から言えば、このような「短期」の記憶は、ニューロン細胞が持続的な発火活動を維持することによって可能となる。そのような発火活動が脳内になれば、心は記憶として情報を保持することはできない。感覚刺激が消え去った後でも、しばらくのあいだ残っている短期の記憶は、ニューロン細胞の持続的発火によって可能となる。もし私の息子が、お気に入りの紙芝居を何度も繰り返し見たり聞いたりすれば、その紙芝居に関する記憶は、何日、何ヶ月、何年もの長い間、潜在的なものとして頭の中に保存されることになる。そのような「長期」の記憶は、繰り返す神経発火の影響に

よって、神経回路に構造的な変化が起こるために生じる。新しく遺伝子やタンパク質が発現してシナプスの伝達効率が増強されたり、イオンチャンネルの密度が調節されたりすることによって、長期間、脳は特定の情報を記憶として保持することが可能となる。私たちが心に何らかの情報を短期間あるいは長期間、記憶として保持するためには、それを支える神経回路の「持続的発火」あるいは「構造的変化」というものが必要になってくる。

一枚のスナップショットは数十ミリ秒以下の時間スケールで交替して消え去る儚い運命にあるかもしれない。しかしながら、その一枚のスナップショットのメモリー（記憶）は、スナップショットが他のものに移り変わった後でも、しばらくのあいだは心に残存して保持されている。もし仮に、消え去ったスナップショットについてのそのようなメモリーが無いのならば、今この瞬間のスナップショットと、それ以前のスナップショット群のあいだでの意味のあるつながりは損なわれてしまうことになるだろう。スナップショット同士の時間的な連結性は失われ、スナップショット群は瞬間ごとに生まれては消えるだけの脈絡の無いバラバラなものになってしまう。つかの間の短いメモリーがはたらくことによって、複数のスナップショットに由来するメモリー群は重なり合い、スナップショット同士の時間的連結性が生じ、そこに全体として意味のある一つの意識シーンの流れが生まれてくる。

日常生活において私たちが感じている「今現在の意識シーン」は、ただ一つのスナップショットで構成されているわけではない。今現在の意識シーンは、今この瞬間に生じたスナップショットと、過ぎ去ったスナップショットのメモリー群が混ざり合ったものである。今この瞬間のスナップショットの情報は、過去のスナップショット群の記憶情報と重なり合い、その結果、一つの統合的な今現在の意識シーンが生まれる。新しいスナップショットは絶え間なく生じているが、それらは過去のスナップショット群のメモリープールの中に次々と流入して混和し、そこにおいて一つにまとまった流動的な意識シーンが出来上がる。

したがって、日常生活の中で私たちが認識する「今現在」というのは、「本当の今」というよりも、「見かけの今」と呼ぶべきものかもしれない。見かけの今は、「本当の今」と「過去のメモリー」の合作である。蓄積された過去の情報群に今の情報が合わさって平衡化した状態を、私たちは「今現在」と感じている。

#### (四) 感覚記憶と神経ループ

このような瞬間ごとの情報を取り入れてダイナミックに再編する「今現在（見かけの今）」が形成されるためには、複数のスナップショットを短時間のあいだ、記憶として保持するための神経生物学的なメカニズムが必要になってくる。

これまでに何度か、再入力性の「神経ループ」について言及してきたが、興味深いことに、このループ構造は、短時間の記憶を保持するのに、非常に都合のよいことが意識研究者らによって指摘されている。この神経ループがいったん活性化されれば知覚刺激の入力が無くなったあとでも、生じた信号はループ内での残存する活動として局所的に維持されることになる。ループ内をこだまする残響的な神経活動は一瞬で消え失せることなく、そこにおいて反響しながら次第に減衰していく。

このループ内の持続的神経発火が関与する記憶は、「感覚記憶」と呼ばれている。意識研究者のクリストフ・コッホは、神経ループと（視覚系の）感覚記憶の関連性について次のように説明している。

視覚的感覚記憶は、おそらく視覚に関わる脳の領域すべてで実現されている。視覚的感覚記憶は、網膜ですでに始まり、さまざまな脳の領野と関連した視床の部位によって生み出されている。画像の出現によって引き起こされるネット・ウェーブが脳の階層構造を駆け上がっていく過程で、網膜の神経細胞節、LGN、V1、V2、ITのニューロンなどの活動が上がる。そして、ネット・ウェーブが通り過ぎた後、ニューロンが局所的な脳部位内のみならず、離れた領野間や視床枕核からなるループの中で、活動が維持され増強される。視覚的感覚記憶は、まさにこのネット・ウェーブ通過後の、ニューロンのネットワークに残存する活動だと考えることができる。網膜では、刺激が消えた後でも、ニューロンが60ミリ秒は反応し続ける。一方、ITなどの高次ニューロンでは300ミリ秒ほど活動が続く。これが、すぐに消えていってしまうつかの間の記憶の正体だ。

視覚的感覚記憶は視覚意識にとって必須であると、私は考えている。最低限の時間、ニューロン活動が持続することなしで、物が見えたという感覚が生じるとは考えられない<sup>(5)</sup>。

再入力性の神経ループは、スナップショットの形成過程だけに関わっているのではない。スナップショットが生まれて滅したあとも、その情報を神経ループ内に感覚記憶として短時間のあいだ保持する役目を担っている。

感覚記憶の維持時間は、視覚系であれば500ミリ秒以内、聴覚系であれば5秒以内であると言われる。このような数百ミリ秒程度のメモリーは、あまりにも短く儚く無力のように思えるかもしれない。そのような短い時間ではたいしたことは何もできないと思うかもしれない。だが、その数百ミリ秒というわずかな時間、何枚ものスナップショットが意識の場に生まれては消えており、そのあいだでスナップショット由来の幾つも

のメモリーが重なり合うことになる。それによって、時間的に連結したまとまりのある今現在の意識シーンが出来上がる。

先に述べたような再入力システム（NCC2- $\alpha$ ）は脳活動の空間座標内に統合性をもたらしめているが、ここに述べるような感覚記憶（NCC2- $\beta$ ）は脳活動の時間軸上に統合性をもたらしめていると言えるであろう。

- 
- 1 アルボムッレ・スマナサーラ、藤本晃「ブッダの実践心理学 アビダンマ講義シリーズ 第二巻 心の分析」サンガ(2006) ニニ一頁
  - 2 ジェラルド・M・エーデルマン「脳は空より広いか 「私」という現象を考える」冬樹純子(訳)、豊嶋良一(監修)、草思社(2006) 五八～六〇頁
  - 3 J.A. Cardin, M. Carlén, K. Meletis, U. Knoblich, F. Zhang, K. Deisseroth, L.H. Tsai, C.I. Moore (2009) *Driving fast-spiking cells induces gamma rhythm and controls sensory responses. Nature 4:459, pp663-667*
  - 4 深井朋樹「脳はどのように情報を伝えるのか」(脳研究の最前線(上)、理化学研究所脳科学総合研究センター(編)講談社(2007) pp.281-331
  - 5 クリストフ・コッホ「意識の探求(下)」土谷尚嗣、金井良太(訳)、岩波書店(2006) 三七六頁