

Trends in Cognitive Sciences, Vol.11, No.1, pp.16-22.

Attention and Consciousness: two distinct brain processes

Christof Koch and Naotsugu Tsuchiya

Introduction

ほぼ誰も疑わないこと：

選択的注意と意識には深い関係がある。ある対象に注意するとその特徴が意識にのぼるし (be conscious of)、注意を逸らせば意識から消えていく。

よって、これらの2過程は、たとえ同一でないとしても、絡み合っていて切り離せないものであると多くの人が考えてきた。[3-6]

しかし、19世紀を振り返っても[7]、注意と意識は別の機能、別のメカニズムを持つ現象だと考える者はいる[2, 8-17]。もしこれが正しいなら、それらの因果的相互作用の性質とはどのようなものか？注意を払うことは意識にとって必要十分なのか？それとも意識的知覚は注意のスポットライトの外でも生じるのか？

この話は意識が単一概念であるという前提に立っているが、もちろんそうではないと言う人もいて、これまでに意識の分析がいろいろと提唱されてきた。アクセス意識と現象的意識（概念的）、ハードプロブレムとイージープロブレム（存在論的）、顕在的過程と潜在的過程（心理学的）など。

この論文では「注意」は arousal や alertness ではなく「選択的注意 selective attention」を意味すると思ってください。

Functional roles of attention and consciousness

霊長類においては 10^6 の神経線維がそれぞれの目から出て1MB/sもの生情報(raw information)を運んでいる。この大量の情報に対処する1つの方法は、小さな一部分を選択し、その部分だけリアルタイムで処理し、注意されていない部分の入力の処理はもっと狭い帯域で行うこと。つまりこの見解では、注意はその生体に現在関連する情報を「選択」し、注意されていないデータは無視される、ということ。

Williams Jamesの時代から、この選択は、トップダウンの内生要因とボトムアップの外生要因とが関わっていることが知られてきた。外生的なキューは注意や視線を引きつける画像特徴であり、タスクとは独立的。点滅、動き、色、方位、奥行、テクスチャなどが近傍と大きく異なれば、その対象は目立つ。このボトムアップの顕著性は neuromorphic な視覚アルゴリズムにおいてトポグラフィカルな顕著性マップとして組み込まれたりしている。[18-20]

しかし、シーンの中から特定の対象を探すときに多くの条件下では実験参加者が目立ったボトムアップキューを無視する。これは注意のタスク依存的なトップダウンコントロールによる。トップダウンの注意はインプットを選択し、それは空間の制限領域や(focal attention)、特定の特徵や(feature-based attention)、ある対象(object-based attention)で決まる。この論文で焦点を当てるのは、こういう自発的にコントロールされた選択的、内生的注意と意識との関係である。

意識は、注意とは異なる機能を持っていると推測される。これには、生体やその環境の現在状態に関連する情報を要約すること、この要約をプランニングに関する脳領域がアクセスできるようにすること、例外やエラーを検出すること、意思決定、言語、他の動物の内的状態を推論すること、長期的目標を設定すること、再帰的モデルを作ること、合理的思考などが含まれる。

注意と意識が異なる機能を持つことを受け入れるなら、それらが同じプロセスではあり得ないということもまた受け入れなければならない。そして、いかなる意識的/無意識的な知覚や行動も、トップダウンの注意が要求されるかどうかと、必然的に意識が生じるかどうかによって、4種類のどれかに分類できる。

The four ways of processing visual events and behaviors

多くの学者は注意と意識が異なることに同意するが、意識にとって注意は必要であり、注意されていない出来事は隠れたままで、と考える。例えば Dehaene ら [16] は、注意なしでは意識的知覚は生じ得ないことをかなりの証拠が示している、と述べている。以降で著者はそうでないことを示す証拠をレビューする。

Attention with consciousness

乱雑なシーンで顔や物体に注意しているとき、我々は通常その属性を意識し (be conscious of)、意識に付随する恩恵を得ることができる (作動記憶、言語報告など)。

どんな意識的知覚にも十分である最小のニューロンメカニズムは分かりにくい。しかし、モデルからの証拠によって、そういうメカニズムには、フィードフォワード、フィードバックの長距離皮質間投射に媒介された、V1 より高次の視覚皮質の細胞集団と前運動皮質、前頭前皮質のニューロンとの双方向の関係が関わっていなければならないということと言える。[1, 14, 21-23]

注意と意識的知覚による利点は一世紀以上調べられてきた。例えば Mack & Rock [24] は、新規な刺激や期待していなかった刺激が意識されるには注意を向けなければならないことを実証した。

このような知覚は Table 1 の右下に当たる。

No attention, no consciousness

まったく逆に、トップダウンの注意による恩恵を得られない対象や出来事もある。その場合、網膜から初期視覚皮質やその先へとネットワークを走るスパイク活動の波が意識的知覚のトリガーにならない。しかし、注意されていない (あるいは注意が最小限である) 無意識的活動も因果的に有効であり、敏感な行動的研究テクニックを使うことで検出可能な痕跡を残すことがあり得る。例えば、ネガティブ残像は注意の (ほとんど) ない (near absence) ところでの見えない (invisible) 刺激によっても生み出されうる、と著者は考えている。[25-27]

このような現象は Table 1 の左上。

Table 1 の残り 2 つはそれぞれ、トップダウンの注意を要するが意識的知覚を生じない出来事や行動、と、トップダウンの注意なしに意識を生じる出来事や行動。これらはトップダウンの注意と視覚的意識を独立に操作するテクニックでもって研究される。(Box 1)

Table 1

Attention without consciousness

何秒間もある位置に注意を向けていながらも、その位置に在る対象の1つ以上の属性を見る(see)ことに失敗する、ということがあり得る。(Table 1の左下)

lateral masking(crowding)において、周辺視野に提示された格子の方位は意識的には見えない(hidden from conscious sight)が、方位依存の残効を誘導する力がまだ十分ある。[28]

たとえ注意の中心に位置する対象が見えない(invisible)ときでも、見えない錯覚的輪郭によって残効が誘導されるには焦点的注意を要する。[29]

プライミングは見えない単語(順行と逆行マスク併用で抑圧されている)からも生じるが、それは参加者が見えないプライム-ターゲットペアに注意しているときだけである。[10]

男性や女性のヌードは、continuous flash suppressionによって完全に見えなくなっているときも注意を引きつける。[30] この効果は異性の場合しか明確に出ない。

マスク無しではこれらの刺激ははっきり見えるのだということを念頭におくべし。

blindsight の患者 GY は、キューで注意が引きつけられているときには見えない視野の部分にあるターゲットの検出でもふつうに反応時間が速くなる。たとえキューの提示が見えない視野になされるときでも。[13]

feature-based attention は見えない刺激へと広がり得る。[33, 34] 実際、乱雑なシーンで対象を探す(例えば、散かった部屋で鍵を見つける)ときには、注意は見えない対象とそれに関連する特徴へ払われているのだ。

つまり注意による選択は意識的感覚を必ずしも生じさせない。

Consciousness in the near absence of attention

ある出来事に強烈に焦点を当てているとき、世界はトンネルのように知覚されているのではない(Table 1の右上)。我々はいつも我々を囲む世界の諸側面に気づいている。

実際、世界の骨子は inattention blindness [24]から免れている。不意に写真がスクリーンに短くフラッシュ提示されたとき、参加者は写真の要約を正確に報告できる。30ms ほどの提示時間で、シーンの骨子は捕らえられ得る。これはトップダウンの注意が役割を果たすには時間が足りない。骨子は画像全体に関する特性なので、局所的な特徴を強めるプロセス(焦点的注意)は役に立たない。

多くの実験でよくあるのは、何も無いディスプレイに提示された単一の対象(バーとか)の知覚を調べるもの。そこでは、競合する対象が注視点の位置やその周囲に無いのだが、トップダウンの選択的注意

がどんな機能を実行する必要があるだろうか？ 実際、注意 biased competition の最もポピュラーなニューロンモデル[35]は競合が無い場合は注意による強化はまったくもしくはほとんど起こらないと予測する。see also [12].

二重課題パラダイムでは、参加者の注意は、注意資源を要求する中心的課題に引かれる。同時に二次的刺激が周辺視野にフラッシュされる[36, 37] (Box 1)。焦点的注意でもって中心的課題に busy なとき、(二次課題として)参加者は動物(あるいは乗り物)がシーンに含まれているかどうかは判断できるが、(赤|緑)の丸印か(緑|赤)の丸印かの判別はできない[38]。また、男性の顔か女性の顔かの判別はできるし、有名な顔かそうでないかの判別もできる[39, 40]。驚くべきことに、計算的により単純な課題では失敗する(例えば、Lを回転したのかTを回転したもののかの判別)。

二重課題実験はトレーニングと集中が要求され(high arousal)、周辺視野のターゲットに参加者がトップダウンの注意を分散させていないとは言い切れないが、参加者はトップダウンの注意がほとんどない(near absence)状態で確かな弁別を行えるようだ。当てずっぽうではない。参加者は弁別課題での選択に確信を持ち、しばしば不明瞭であるとしても周辺視野の刺激を「見る see」ことができる。

Box 1. Psychophysical methods for independent manipulation of visual consciousness and top-down attention



Processing without top-down attention and consciousness

視覚入力急速に分類され得る。Kirchner & Thorpe [41]によると、120ms 以下で脳はフラッシュされた画像が動物を含むかどうかの判別を始められる。このスピードについて、参加者が意識的に画像を見ることなしに反応しており、画像の意識は後からやってくるか、全く生じないかもしれない、という点は驚きではない。

二重課題&二重提示パラダイムは、このような弁別が焦点的空間的注意のほとんどないところでも生じ得ることを示しており、これは純粋なフィードフォワードのネットワークでも複雑な視覚的意思決定ができることを含意する[43, 44]。この結論は、視覚処理階層のフィードフォワード段階についての神経生理学的に裏付けられたコンピュータモデル(これはこのようなカテゴリ化課題で人間に似たパフォーマンスを示す)によって支持されている。

動物実験でもこの主張を証明できるだろう。前頭前皮質から視覚皮質へ戻るすべての皮質間経路が一時的に分子抑制ツールを使ってロックアウトされた状態(フィードフォワード処理を傷つけずに)を想定してみよう。すなわち、数時間の間、サルはフィードフォワード経路だけ働く。そのような動物でも、事前に学習された急速弁別課題を処置前と同じパフォーマンスレベルで行うことができるだろう。トップダウンの注意も意識的知覚も無しに。(Table 1 左上)

Attention and consciousness can oppose each other

トップダウンの注意を刺激から逸らすことと、刺激を意識から隠すことは、逆向きの効果を持ち得る。参加者が一連の画像の急速なフラッシュ提示の中に埋め込まれた2つのターゲット画像を見つけようとするとき、2つ目の画像を見るのに失敗することがよくあり、これは attentional blink と呼ばれる[46]。Olivers & Nieuwenhuis [47]は、同時に聴覚的な二重課題によって distract されたときや、課題と無関係な出来事について考えるよう促されたときに、1つ目と2つ目の両方のターゲットをよりよく見ることができるとを発見した。

残像、双安定図形の安定化、複雑な意思決定についての最近の研究は、注意と意識を独立に操作したときの効果が乖離することを暗示している (Box 2)。このような発見は、トップダウンの注意と意識とを密接に並べるフレームワークでは理解しがたい。

Relationship to other conceptual distinctions

Dehaene ら[16]は三者存在論(tripartite ontology)を提案している。これは Baars の global workspace 仮説(改訂された見解が[14])と、Dehaene et al.[23] を基にしている。それによると、いかなる物理刺激もサブリミナルか前意識的か意識的処理をトリガーする。ある刺激がこのどれになるかは、その刺激の強度とトップダウンの注意が払われるかどうかで決まる。もしサブリミナル処理が Table 1 の左側2つと同じで、前意識的処理が右上と同じなら、この3分類は著者の4分類へ対応づけできる。1点重要な違いは、意識はトップダウンの注意なしに生じる(右上)と著者は仮定しているところ。global workspace 理論では刺激が意識されるためには能動的に刺激へ注意を払うことが必要だ、とする根拠は無い。

Box 2. Can top-down attention and awareness have opposite effects?

注意やそれと相関するニューロンは、選択や biased competition の文脈で理解することができる。注意は、ニューロンの連合の1つ(注意された対象を表象している)を強め、他(注意されていない刺激)を減らすという仕方で、勝者総取のように働く。逆説的に、注意を減じることが気づき(awareness)や[47] 行動を[50] 増進する。

残像の形成を考えてみよう(Figure 1a)。順応の間にあるアイテムが注意されていたなら、注意されていないアイテムに比べて、その後の残像の強度はより弱くなり、持続時間はより短くなる[55, 56] (Figure 1b)。しかし、もしその像が順応の間に知覚的に抑圧されていたとしたら、残像は大幅に弱められる[26, 27]。従って、焦点的注意と意識は逆向きの効果を持つ。

次に、双安定な知覚の凍結を考えてみよう[57] (Figure 1c)。多義的な刺激を見続ける間、知覚は確率的に切り替わる。もし双安定図形をすぐに消してディスプレイを何も表示されないままにしたら、再び表示を始めた時に優勢な知覚は、知覚が消えたときのもと同じである。もし空間的注意を空のディスプレイから逸らされたら、この凍結は崩れる[58] (おそらくこれは記憶集積が崩されることによる)。これは知覚的スイッチングをスピードアップするものだと考えられる。だが、双安定知覚の間に焦点的注意を distract することはスイッチング速度をスローダウンさせる[54] (Figure 1d)。言い換えれば、刺激が見えない(invisible, i.e., not consciously seen)ときに注意を逸らせば凍結を解除し、刺激が見えているときに注意を逸らせばスイッチングがゆっくりになる。

最後に、複雑な意思決定を考えよう(Figure 1e)。Dijksterhuis et al. [59] の研究は3つのフェイズから成る。アイテムの調査、

熟慮、そして決定。調査フェイズにおいては、4つの車それぞれについて4 or 12の特性が一度に示される。参加者はその属性が見えない状態で何分間か熟慮する(つまり憶えなければならない。これは「見えない invisible」条件と考えられる)。そして、購入するものを決定する。Dijksterhuisらは熟慮の際に認知的に忙しい課題をさせることで参加者を busy にしておくどうかを操作したことになる。結果として、作動記憶がオーバーロードしているときは熟慮と合理的思考に基づく顕在的方略は意思決定の質を悪くする。しかし、どの車を買うか決めるときに参加者を distract すると良い決定をする確率が大きく増加する (Figure 1f)。もし項目のリストが意思決定の間ずっと提示されていたら(それゆえ作動記憶の負荷が減るはず)、注意妨害課題はパフォーマンスを低下させるだろうと著者は推測する。

これらのどの例でも注意と意識の完全に独立な操作は行われていない点に留意せよ。

Do these conclusions hold for real life?

意識なしのトップダウンの注意や、トップダウンの注意がほとんど or まったくない意識は、はラボの珍品であり現実世界にはほとんど関係ない、と異議が出るかもしれないが、著者はそうは思っていない。Friedrich Nietzsche による人間行動についての洞察によると、多くの行為が意識的知覚と内省を迂回している。Goodale & Milner [48]は、高度にトレーニングされ、自動的で、ステレオタイプのそれだけで流動的な視覚運動行動(現象的意識が無くても働く)を取り出した。山道を走る人、山登りをする人、サッカーをする人、惰性で家まで運転する人などなら、これらの感覚運動スキル(ゾンビー行動と呼ばれる)が急速で洗練された感覚処理を要することが分かるだろう。トレーナーが長年抱いてきた信念によれば、トレーニングした行動に細かく注意を払うときよりも、スキルに関係ない二重課題によって distract されているときのほうが、アスリートはその高度にチューンされたスキルを発揮できる。

科学的概念(エネルギー、原子、遺伝子など)の歴史というのは、その振舞いがより低く要素的なレベルにおいて量的で機械論的な仕方で説明されるようになるまでの遞増的な差異化と洗練である。意識の科学は始まったばかりでこれとは程遠い。過去10年の多くの学者による機能的な考察と経験的、概念的な仕事は、心理学的に定義されたプロセス(トップダウンの注意と意識)がしばしばごっちゃになっているし、それらは同じではないということを確認した。この経験的かつ機能的な区分は、核心的問題 意識的知覚の必要十分な神経的原因を同定すること への一致団結した神経生物学的取り組みの準備となる。

将来の研究への question は Box 3。

Box 3. Questions for future research

- ・ NCC を研究するとき、トップダウンの注意の効果と意識の効果をごちゃ混ぜにならないよう注意しなければならない [60-62]。提案された NCC は注意の効果と交絡していないだろうか？
- ・ 骨子(gist; シーンの高水準な意味的記述。例えば、飲み物を飲んでいる二人の人間、イヌを散歩させている男、など)の知覚は、焦点的トップダウン注意に依存しているのか？人々は二重課題条件下で新規で自然なシーンの骨子を記述したときにどれくらい上手くできるか？
- ・ トップダウンの注意がほとんどないときにより良いゾンビー行動をもたらす神経メカニズムとはどんなものか？ [50] 意識なしで進むような推理、言語処理、思考の諸側面はトップダウンの注意がないときにより良く機能するのか？
- ・ この論文で述べられた議論は他のモダリティ(聴く、触る、など)にも当てはまるが、刺激への気づきを操作する方法を見つけるのは難しいだろう。他のモダリティでの気づきを操作する頑健な錯覚が見つかるだろうか？気づきなしの注意はあるか？注意なしの気づきは？そのようなモダリティでこの2つの逆向き効果があるとすればどんなものか？