心理のおまけ

妹尾 武治

昔、チョコ味のシリアルに、剥き出しのままのチョロQが入っていたことがあった。そういうおまけだった。「剥き出しだな」と思ったけれど、それが良かったし、何より今でもよく覚えている。僕はそういうのが一番好きなんだなあと、加山雄三を憶った。

受容野という概念

1981 年にノーベル生理学・医学賞を受賞したデイヴィッド・ヒューベル(1926-2013)とトルステン・ヴィーゼル（1924-）は、ネコやサルの一次視覚野の脳細胞が視野全体ではなく、特定の空間（網膜上の場所）にだけ反応することを明らかにし、その細胞が担当する空間領域を「受容野」と名付けた。

さらに彼らは、受容野に光が入ったケースでも、光の特徴（明るさ、コントラスト、傾き、動きなど）によって細胞の反応強度が変わることを突き止め、これを脳細胞の「反応選択性」と呼んだ。

画像工学と受容野

明るさを正弦波状に変化させると、画面上には縞模様（パタン）が現れる。縞は波の大きさや高さを変えることで無限に変化させることができる。信じられないかもしれないが、どんなに複雑な画像でもそれは光の波の複合体に過ぎず、元の複数の正弦波に分解することができる。これは「フーリエ解析」という数学上の理念に基づいていて、現代の画像工学における基礎概念の一つになっている。

受容野と選択的反応

視覚心理学の教科書には、一次視覚野のニューロンは光の波の振幅と周波数の解析をするために存在している、と書かれている。また、一次視覚野の「受容野」は、正規分布（ガウス分布）同士の引き算（DoG モデルなど）を当てはめることで、実際の振る舞いを数理化して理解できる、と教えられる。外側の正規分布と内側の正規分布の引き算によって、中心領域と周辺領域が「明るい」と「暗い」の双方に反応できるようになるのだ。この受容野の仕組みがあれば、光の位置を捉えるだけでなく、光の波の幅（空間周波数）をピタリと推定することも可能になる。

一次視覚野（V1）以降は、V2、V3、V4、MT/V5、MST と名付けられた脳の部位へ光の情報が送られ、それぞれ異なる視覚特性（形状、色、運動、奥行き、意味など）が並列的に処理されていく（英国

の神経科学者セミール・ゼキ（1940-）による一連の研究に詳しい）。

例えば、MT/V5 は運動の処理に特化しており、その MT から接続がある次の脳部位 MST 野は、オプティカル・フロー（視覚的流動）の処理に最適化されていることが、1986 年の玉川大学斎藤秀昭教授らに実験論文で明らかにされている。

このように、動きのパタンに対して選択的に反応する脳の部位が少しずつ解明されていったが、心理学においては古くから、動きを処理するアルゴリズム（計算論）の研究も同時並行で進められていた。

運動視研究の歴史

1912 年、マックス・ヴェルトハイマー（1880-1943）が論文「運動視に関する実験的研究」のなかで、仮現運動を初めて報告した。

真っ白な画面の左端に、黒い丸が描かれているとする。次の画面では、左の黒い丸が消え、右端に黒い丸が描かれている。この二つの画面を交互に素早く繰り返して提示すると、黒い丸が左右に飛び跳ねて動いているように見える。この運動知覚こそが、「仮現運動（ファイ現象）」と呼ばれるものだ。

1912年の報告以降、どのような条件下でこの運動知覚が成立するかについて、実証的な実験が積み重ねられていった。

例えば、2点間の距離が近く、画面の切り替え時間がごく短い場合、それはどうしても「運動」として見えてしまう。反対に、2点間の距離が離れすぎていたり、切り替えに要する時間が長すぎたりすれば、人間の意志の力でいくら見ようとしても「運動」には見えなくなる。



Vision Res. Vol. 14, pp. 519–527. Pergamon Press 1974. Printed in Great Britain.

A SHORT-RANGE PROCESS IN APPARENT MOTION

OLIVER BRADDICK
The Psychological Laboratory, University of Cambridge, Cambridge, England

(*Received* 21 *September* 1973)

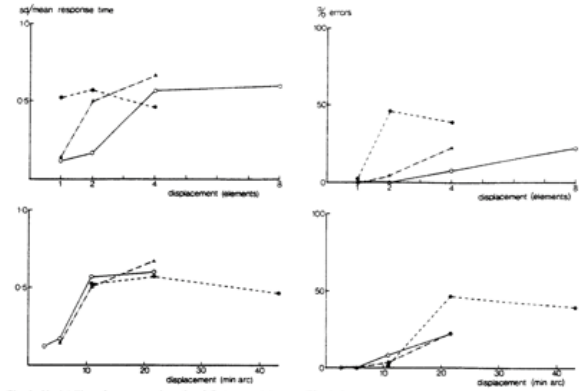
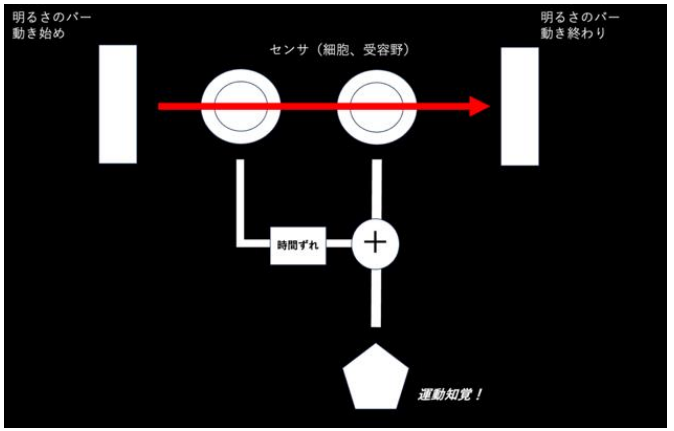


Fig. 3. Variability of response time (i.e. S.D./mean). Mean data for five subjects. Upper and lower graphs, and symbols, as in Fig. 1.

Fig. 5. Percentage errors in reports of rectangle orientation. Means of five subjects' data. Upper and lower graphs, and symbols, as in Fig. 1.



運動視のライカートモデル(1962)

1962年、実際のハエの網膜構造に基づいた運動検出モデルである「ライカートモデル」が考案された。二つの細胞がそれぞれ空間的な担当領域（受容野）を持っており、その領域内に光が生じた場合、それを検出して発火反応を起こす。次に、これら二つの細胞の反応の「時間的なズレ」と、二つの受容野の「空間的なズレ」を比較したとき、「一つの物体がその空間（ズレ）をその時間（ズレ）で移動した」とみなすにふさわしい条件であれば、それが「運動」として知覚される、という極めてシンプルなモデルである。ここで言う「ふさわしい」とは、自然界に存在するあらゆる物体の運動速度の範疇にあるという意味であり、それを進化の過程で眼と脳が学習してきたと考えてよい。

モーション・エナジーモデル

1985年、エドワード・アドレソンとジェームズ・バーゲンは、上記のライカートモデルを二つ組み合わせ、より洗練された運動知覚検出器のモデル「モーション・エナジーモデル（時空間エネルギーモデル）」を提唱した。

東京大学の心理学教授であり、日本心理学会の会長も務められた佐藤隆夫先生による図を用いて、このモデルを解説してみよう。

Adelson & Bergen (1985), Motion Energy Model.

2次元空間（x,y）において、黒いバーが時間の経過とともに右方向へ一定速度で動いているとする（図A）。ここで時間軸（t）を3次元目の奥行き方向として取り、tの変化に対する黒いバーの位置変化を図示すると、図Bのようになる。

黒いバーはy軸方向には動かないため、ここではy軸を無視することができる（ちなみに説明の冒頭から、奥行き方向のz軸も同じ理由で省いているが、この説明は3次元空間内における物体の運動全般に当てはめることができる）。

時間軸（t）と空間軸（x）の２軸で「運動」を表現するため、図Ｂの立方体を羊羹を糸で切るように真ん中で輪切りにし（図Ｃ）、その断面を見てみる。この断面（図Ｄ）は、「x-tプロット」あるいは「時

空間プロット」と呼ばれるものだ。右方向への「運動」は、時空間プロット上では、輝度の違いによって定義された「傾いた線分」として表現されることになる。

ここから、この時空間プロットを用いて物体の状態を考えていく。一つの物体が時間の経過とともに

右へ移動する場合は、先述の通り右図のように（傾いた直線として）表現される。一方、時間が経過しても、異なる空間に二つの物体が静止して存在し続ける場合は、左図のように（垂直な２本の直線として）表現される。

二つの物体がずっと存在するのではなく、ある一瞬しか存在しない場合は、左図（時空間プロット上の２つの点）のような表現になる。そして、それらが一度消失した後に別の場所に出現するケースが右図であり、これこそが仮現運動のパタンである。

左のライカートモデルは、その二つの光点が（時間と空間の遅延回路を介して）一つにまとめられることを想定している。さらに右のモーション・エナジーモデルでは、こうしたライカートモデルの基

本構造を組み合わせることで、あらゆる時空間勾配（全パタンの運動）が計算可能になることが示された。

さらにモーション・エナジーモデルの優れた点は、光の物理的な量と、一次視覚野（V1）に実在する細胞反応のシミュレーション値が、相互に変換できるように工夫されていたことにあった。例えば、仮現運動が2フレームではなく8フレームになると、点が2から8になり、時空間受容野内の空隙に、光の量が増え、より密にされることで、細胞の反応（発火）が増大する。この時の光の物理量と細胞の反応量を反映したシミュレーション値を、「モーション・エナジー（運動エネルギー）」と呼んで、数式化した。

1990年前後、多くの生理学者たちが、このモデルを実装する細胞群が実際に一次視覚野（V1）に存在していることを突き止めた。そして、このモーション・エナジーの算出量は、過去に心理学が蓄積してきた「仮現運動の成立・不成立の境界線」をきれいに説明することができたのである。

これによって、物理（光）と心（知覚）の間に、脳細胞の反応という確固たる「橋」が架けられた感覚を、当時の視覚研究者たちは抱いた。脳神経科学者だけでなく心理学者もが、こぞって「脳」を扱う時代の幕が開いた瞬間だった。

モーション・エナジーと身体

光の物理量とV1の細胞の賦活量から、人間の知覚の量が推定できる。物理外界（光）と心（知覚）が脳を介してダイレクトに繋がった。これこそが、1985年のモーション・エナジーモデルの持つ魅力の本質であった。

90年代後半になると、眼球運動や姿勢反応の駆動（身体制御）には、モーション・エナジーの量が密接に関わっていることが報告されるようになる。生物が生存上の「正解」のため迅速に身体を動かす場合、モーション・エナジーのような、極めて基礎的な無意識の情報処理のレイヤーに根ざしている方が合理的だ。それは例えば、「人工甘味料は主観的には甘く感じられるが、それだけを摂取しているとやがて飢餓で死んでしまうため、最終的にはきちんとカロリー（栄養）のある砂糖の方を身体は美味しく感じる」という事実からも類推できる。

ヒトの脳における視覚処理は、高次の大脳皮質、相対的に低次な一次視覚野、そしてそれらよりもさらに原始的な脳幹の順に、階層的かつ基礎的な反応を形成している。私たちが「見えている」と意識できるのは、大脳皮質の処理のなかの、ごく一部の特別な高次レイヤーに過ぎないとも言われており、私たちの行動や知覚、反応のほとんどは、無意識のうちに自動的に形成されている。

一次視覚野（V1）を損傷した患者であっても、意識的な視覚経験（見えているという感覚）を伴わないまま、視覚誘導性の自発的な反応が生じることが確認されており、これを「盲視（ブラインドサイ

ト）」と呼ぶ。

1973年のエルンスト・ポペルらの研究では、脳損傷によって見えなくなっている視野（盲斑）に光を提示し、被験者に「当てずっぽうでいいから位置を指差してほしい」と指示すると、高い精度で光の位置を当てられることが報告されている。これが可能な理由は、脳幹（上丘など）と呼ばれる進化的に古い脳の領域にも視覚情報処理経路があり、そのシステムが意識下で駆動しているからだとされている（これらの一連の成果は、ウエスタン・オントリオ大学のデヴィッド・グッデール教授らによる名著『もうひとつの視覚』に詳しい）。

イギリスの知覚心理学者リチャード・グレゴリー（1923-2010）は、グスタフ・フェヒナーの心理物理学の精神を引き継ぎ、1966年の著書『脳と視覚』において、「知覚を脳の働きから語る」というアプローチをいち早く提唱した。特に、知覚形成には「ボトムアップ（下から上へ）」と「トップダウン（上から下へ）」という二系統の処理が脳内にあるとする彼の理論は、その後の心理学に大きな指針を与えた。

ボトムアップ処理とは、視覚で言えば、脳の入り口である網膜からの入力が、一次視覚野、高次視覚野へと順序よくレベルを上げながら構築されていく「外の世界の知覚」そのものを指す。

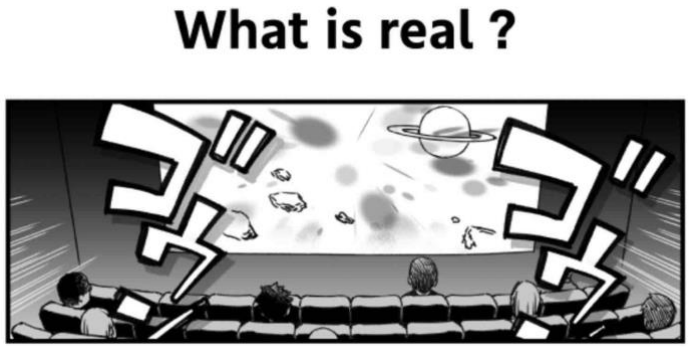
反対にトップダウン処理とは、すでに脳内に蓄積されている過去の記憶や知識、予測、あるいは自身の思想といった高次の情報を積極的に用いて（脳の上層から降ろしてくるイメージで）、自分特有の知覚を形成する情報処理のことである。グレゴリーは、この二つの経路がたえず協調し、時にはせめぎ合いながら、最終的な「知覚」を作り上げていると主張した。

その後、生理学や脳神経科学の発展によって、この理論を裏付ける事実が脳の細胞レベルで多数発見

されていった。グレゴリーの仮説を検証する実験スタイルは、その後の心理学者たちにとって、確実に価値のある手堅い研究パラダイムとなっていったのである。

私自身の研究における興味も、「これまで単なる視覚の錯覚（錯視）と考えられてきたベクション（自己運動知覚）の中に、ボトムアップ的な要素、すなわち盲視的な、光そのものの物理量の影響を受ける側面がどの程度含まれているのか?」という問いから始まっている。

それは、ベクションとはどこまでが錯視であり、どこからがリアルなのか、それは身体から切り離された現象なのか、という疑問であった。



ベクション（Vection）とは何だ!?

滝の水をしばらく見続けたあと、ふっと隣の動かない岩に目を移すと、その岩がまるで上へ上へと動き出すかのように見える。心理学ではこれを「滝の錯視」あるいは「運動残効（MAE）」と呼んでいる。

一次視覚野の特定の運動方向を担当する細胞が、刺激を見続けることで疲労（順応）し、刺激が消えたあとに活動を休止するため、脳内の方向定位のバランスが崩れ、逆方向の運動が知覚されると考えられている。

滝の錯視という現象自体は、人類にとって太古の昔から身近にあったはずだが、それに科学的な用語やメカニズムが与えられたのはごく最近のことだ。

それと全く同じことが、「ベクション（視覚誘導性自己運動知覚）」にも言える。雲の合間から月が覗いているとき、実際には雲が風で移動しているのに、まるで月の方が動いているかのように錯覚することがある。この現象は「相対運動」と呼ばれる。私たちは、視覚世界のなかで「止まっているもの（参照枠）」を無意識に決定することで、初めて「動いているもの」を確定させるという知覚特性を持っている。

太古の人間も、流れる水面や、動く雲、降りしきる雪の中にベクションを感じていたはずで、例えば、中国の古文書『淮南子（えなんじ）』（紀元前179-122）には次のような記述がある。

「天の柱を折り、地の背骨を断ち切った。空は北西に傾いて、太陽、月、星はそこへいき、地面は南東に傾いたため、水はそこに流れた。」

ここには、世界の傾き（視覚情報）によって、自己や大地の定位が揺らぐ感覚が活写されている。

また、『古事記』の天の岩戸のくだりにある「高天原が鳴動するばかりに、八百万の神々が一斉にどっ

と笑った」という表現からは、音の響きによって身体がグラグラと揺れるような、錯覚的な身体動揺のイメージが誘引される。

実際に、移動を模した立体音響（音場）を目隠しした被験者に提示すると、自分が動いているような感覚（自己運動知覚）が生じる。これは「聴覚駆動性ベクション（Auditory Vection）」と呼ばれ、現代では総説論文が執筆できるほど（エストニアの知覚学者アレクサンダー・ヴェルメアによる2009年の著名な論文など）、多くの研究が積み重ねられている。

10世紀、紀貫之が女性を装って執筆した『土佐日記』には（女装を用いた理由は、マーク・トウェインが『人間とは何か』を匿名で刊行したのと同様、「言ってはいけない」ことを書くためであったが）、次のような一節がある。

「この童、船を漕ぐままにまに、山も行くと見ゆるを見て、あやしきこと歌をぞよめる。そのうた、漕ぎて行く船にて見ればあしびきの山さへゆくを松は知らずや」

ここには、船が進むにつれて動かないはずの山々が一緒に動いて見えるという、相対運動錯覚が詠まれている。

さらに13世紀、道元禅師の著作『正法眼蔵』第1巻「現成公案」には、「舟に乗って岸を見ていると、岸の方が動いていると錯覚する」という〝錯覚としてのベクション〟が、はっきり記述されている。

これら日本人によるベクションの先駆的な記述は、おそらく紀元前300年頃の中国戦国時代に編まれた『楚辞』（特に屈原の「九歌」）の持つ世界観からインスピレーションを得ていたのだろう。

と記されていて、13世紀の道元禅師の著作『正法眼蔵』第1巻「現成公案」にも、「舟に乗って岸を見ていると、岸の方が動いていると錯覚する」と、はっきり〝錯覚としてのベクション〟が記述されている。

これら日本人によるベクションの記述は、おそらく紀元前三百年頃の中国戦国時代に書かれた『楚辞』（特に屈原の九歌）から、インスピレーションを得ている。

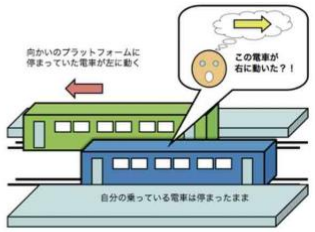
1875年、高名なドイツの物理学者エルンスト・マッハ（1838-1916）は、「桟橋から川の流れを見つめているときに、川の流れとは反対の方向に、自分自身の身体が動いていくように知覚された」という書いており、これが科学者によるベクションの最初の記録とされる。

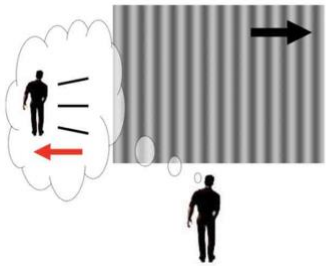


錯視図形〝マッハ・バンド〟と、マッハによるスケッチ『自分を自分で見る』（1886）

視野を覆うような大きな画面や壁面に、一方向に一様に動く縞模様やドットを提示すると、その運動

とは反対の方向に自分の身体が動いているように感じられる。例えば、停車中の電車に座っているとき、窓の外の向かいの電車が動き出しただけなのに、まるで自分の乗っている電車が動き出したかのように錯覚することがある。あのとき感じる自己移動感の正体こそが、ベクションである。これは、先述の「相対運動」の処理アルゴリズムを、「背景の世界」と「自分自身」という二項の関係性に当てはめた結果にほかならない。





右：トレイン・イリュージョンの模式図（人間環境大学　金谷英俊先生による）
左：ベクションの模式図（著者 2003）

普段の生活において、私たちの脳には「世界の背景（地面、空、山、ビル）は静止しているものである」という強固な内部モデル（初期制約）が備わっている。そのため、広範囲の視野に一様な運動刺激が提示されると、脳は「世界全体が動いている」と解釈せざるを得なくなる。しかしこのとき、「いや、それでも世界は止まっているはずだ」という制約条件を優先させようとすると、帳尻を合わせるため

に「動いているのは自分のほうだ」という推論（自己運動知覚）が導き出される。

前庭感覚や皮膚感覚からは「身体は椅子に座って静止している」というリアルな信号が届いているにもかかわらず、「世界は静止している」という視覚的制約条件の力が強すぎるために、その身体感覚を錯覚がねじ伏せ、ベクションが生じてしまうのだ。

「このとき、ベクションという現象は、果たしてリアルなのだろうか、それともバーチャルなのだろうか？」

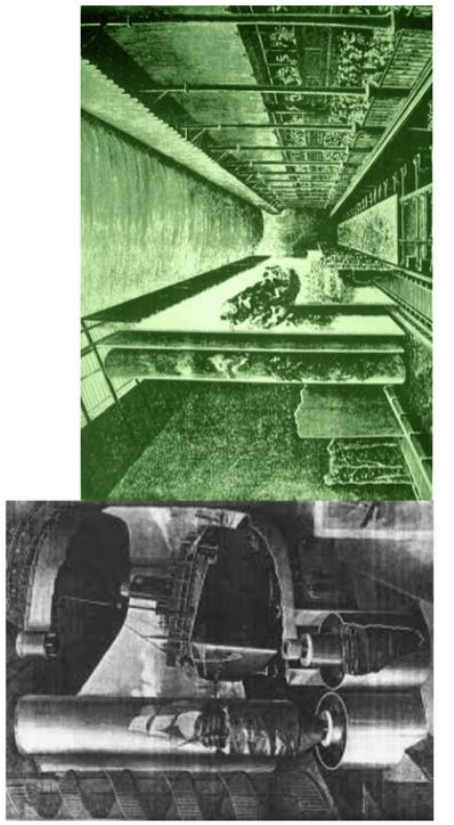


（漫画　たつひこ）東京大学農学部キャンパスにIntelligent Modeling Laboratoryというvr研究の組織があった。

歴史を振り返れば、1900年のパリ万博において、気球に乗って移動する感覚を再現した『シネオラマ（Cineorama）』や、シベリア鉄道の旅を疑似体験できる『トランス・シベリアン』、豪華客船の船旅を再現した『マレオラマ（Mareorama）』など、まさにベクション体験を最大の売りにしたパビリオンが

大きな人気を博していた。

また、1915年に米国で発表された初期のアニメーション作品『He Resolves Not to Smoke』では、月に登った主人公が16秒間にわたって地面に向かって真っ逆さまに落下していく様子が描かれている。これは視聴者にインパクションを引き起こそうと意図して作られた、世界最古のアニメにおけるインパクション・シーンであると考えられる。



『トランス・シベリアン』，『マルチラテ』

徳永ら（2016）は、戦後の日本アニメ作品における膨大な飛行・移動シーンを調査し、それらの表現技法（手描き、手描きと3DCGの融合、フル3DCG）によって分類したうえで、それらの映像が駆動

するベクションの主観的強度を実験によって記録した。

1984年に手塚治虫が発表した実験的な短編アニメ『ジャンピング』では、一人称視点のダイナミックな跳躍・移動がすべて緻密な「手描き」によって表現されていた。同年の映画『ドラえもん のび太の魔界大冒険』でジャイアン（剛田武）が銀のダーツを遠投する場面のカメラワークや、翌1985年の『のび太の宇宙小戦争』（リトルスターウォーズ）でスネ夫（骨皮スネ夫）がラジコン戦車を操縦して戦闘する場面などでは、初期の画期的な3DCGを用いた宇宙空間の移動（オプティカル・フロー）が試みられていた。

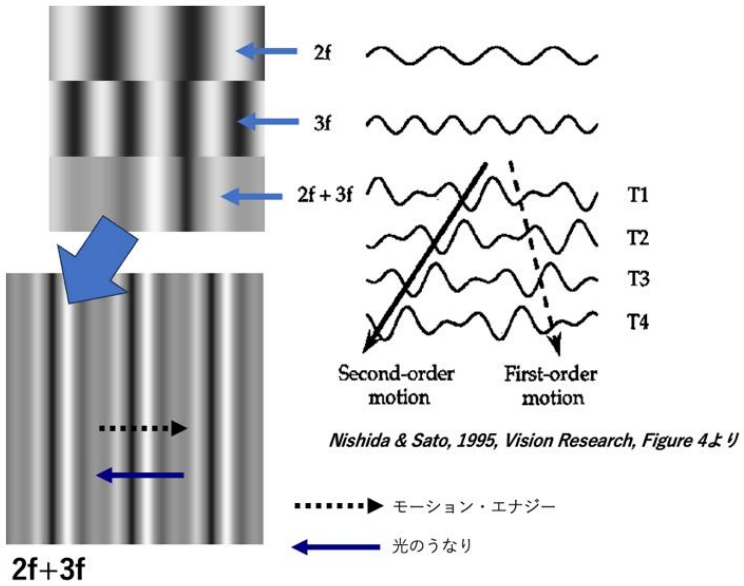
そして2000年代以降、フル3DCGによる精緻なカメラワークが可能になると、映像から誘引されるベクションの強度は飛躍的に高まっていった。尚2014年時点で、実験において最も強いベクションを叩き出したのは、3D作品『STAND BY ME ドラえもん』（2014）のタケコプターによる滑空シーンであった（結果グラフの右上、黒三角のデータ点）。

左図：アニメ中のベクション・シーンの例（押井守『スカイ・クロラ』（2008）冒頭）

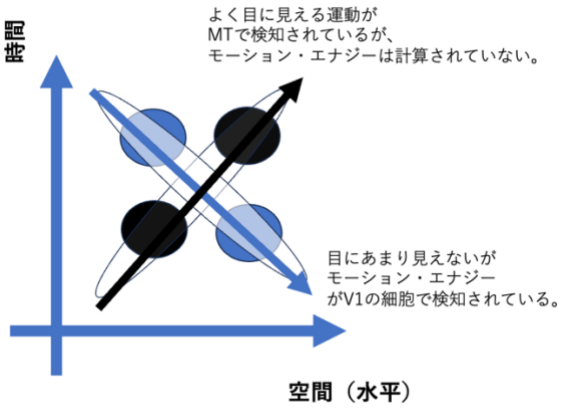
右図：表現技法の変遷とそのシーンで得られるベクションの主観的強度の関係。

ベクションという現象の、どこまでが無意識的なボトムアップ処理であり、どこからが意識的なトップダウン処理なのだろうか。そのすべてを一度に解き明かすことはできなくとも、その知覚がどこまで「一次視覚野の反応を反映したモーション・エナジーモデル」によってどこまで記述できるかを明らかにできれば、重要なヒントが得られるはずだ。

日本の優れた視覚科学者である西田眞也と佐藤隆夫は 1995 年、一次視覚野で処理される光の明暗パタン（ファーストオーダー運動：モーション・エナジー）と、MT/V5 などの高次脳部位で処理される、複数の波が重なり合ったときに生じるビートパタン（セカンドオーダー運動：光のうなり）という、二つの異なる運動情報が物理的に拮抗する特殊な運動刺激「2f+3f 刺激」を発明した。



この刺激を提示すると、私たちの目に映る（主観的に知覚される）運動は、主に「うなり（セカンドオーダー）」の成分である。しかし、意識の上では見えていなくても、脳の一次視覚野の細胞レベルでは、順方向の「モーション・エナジー」の成分が休むことなく処理され続けている。その動かぬ証拠に、この「2f+3f 刺激」を長時間見つめ続けたあとに静止画を見ると、意識上で見えていた「うなり」の方向ではなく、意識下で処理されていたファーストオーダー（光そのもの）の運動成分の逆方向に向かって、強力な運動残効（MAE）が生じるのだ。



この「2f+3f 刺激」を用いてベクションの実験を行ったところ、被験者が知覚する運動の方向は、全提示時間の約 7 割において「うなり」の運動方向であった。光そのものの運動方向が見える時間は、わずか 3 割に過ぎない。しかし驚くべきことに、それぞれの運動が見えている時間に対する、実際に自己運動感覚が駆動された時間（ベクション駆動効率、即ち、ベクパ）を算出すると、目に見えないはずの「光そのものの運動（モーション・エナジー）」の駆動効率のほうが、目に見える「うなり」よりも遥かに高かったのである。私は 2001 年、広島で開催された学会発表において、この報告を行った。

この「ベクションにおけるモーション・エナジーの優位性」は、別の実験アプローチからも裏付けることができた。例えば、運動映像のフレームレート（fps）を向上させると、ベクションの主観強度は高くなるが、これはコマ数の増加が時空間プロットにおけるモーション・エナジーの総量を増加させているからだと説明できる。

また、ベクションの主観的強度は、上下左右の運動に比べて「斜め方向」の運動において特異的に低下することが知られている（傾き効果）。これも、人間の視覚野において「斜め方向」の運動を選択的に担当するニューロンの数は、上下左右を担当する細胞よりも少ないため、脳内で計算されるモーション・エナジーの量が少なくなっている、という計算結果と合致する。

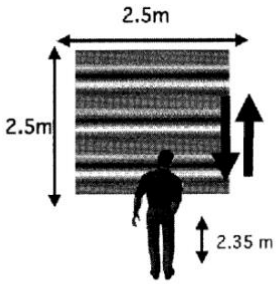


図2 実験状況

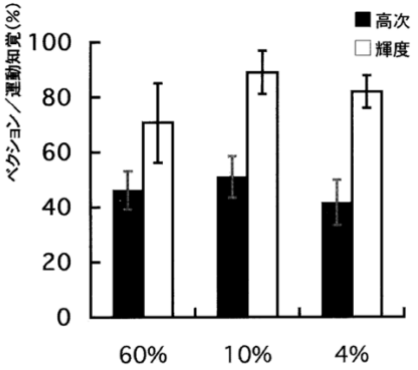


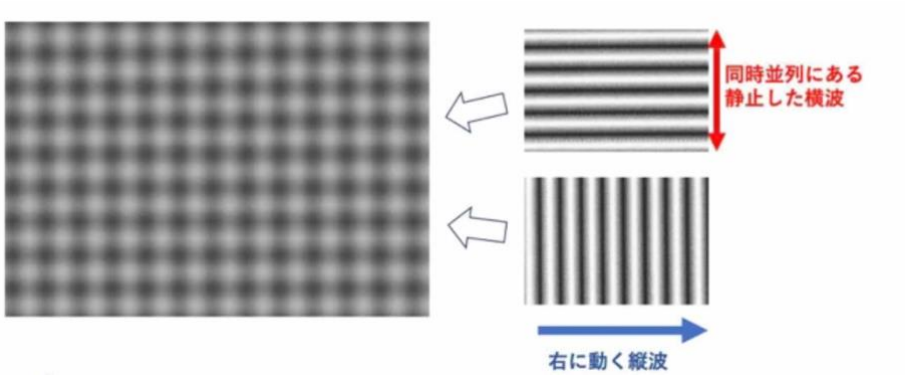
図5 運動知覚時間に対するベクションの比率

左: Fujii, Allison & Seno, 2019, Perception より図の転載。実測されたベクションの主観強度とモーション・エナジーのシミュレーション値が一致している。

右: Fujii & Seno, 2020, Perception より図の転載。円形フィールド内のドットを 360 度 18 方向に動かした際のベクションの主観強度は、斜め方向で低下した。これは斜め方向を担当する一次視覚野の細部数が少ないことと関係していると考えている。

生物の生存競争の現場においては、迫り来る危険や移動に対して瞬時の判断が求められるため、脳の低次な、より単純な情報処理のループで即座にアウトプットが出せる方が有利である。だからこそ、身体の重心や姿勢の制御、眼球運動の駆動といった基礎的な身体能力は、意識の介在しない「光そのものの情報（モーション・エナジー）」にダイレクトに結びついている。これらは 2000 年以前の知覚心理学において、すでに確立されていた知見であった。

しかし、ここで私にとって最大の謎として浮かび上がったのは、大脳皮質の高度な認知によって生じる「バーチャルな錯覚」の代表格であるはずのベクションが、なぜ一次視覚野レベルの原始的な「モーション・エナジー」によってこれほどまでに強く規定されているのか、という点であった。この結果を見たとき、私は**「人間の脳は、ベクションのことを、単なる錯覚としては捉えていないのではないか」**という感覚を抱いた。



Seno, Nakamura, Ito & Sunaga, 2010, *Vision Research* より転載。

もちろん、視覚のボトムアップ処理だけでは説明のつかないケース（より高次なファクターが寄与するようなケース）もたくさん存在した。例えば、右方向に動く「縦波」の映像に、完全に静止した「横

波」の画像を足し合わせると、画面上には全体として右方向に動く「格子模様（グリッドパタン）」が出来上がる（図を参照）。

このとき、重ね追加された横波は事実、物理的に静止していて、モーション・エナジーを1つも増加させない。それにもかかわらず、この静止した横波によって、被験者が感じるベクション強度はグッと引き上げられた。横波が追加されると、縦波と一体化したテクスチャ（格子模様）が構成される。この模様が全体として一つのものになり、右に動いて感じる。これが「より確固たる動かない一つの背景」として働き、右方向への自己移動感（感覚知覚）の解釈を高める。

（Ogawa & Seno, 2014, Perception. ドットは一様に下に運動し、ベクションを誘発する。）

また、刺激の持つ意味情報（トップダウンな情報）も、ベクションに大きな影響を与えた。輝度、コントラスト、運動速度、サイズを物理的にほぼ同じにして、脳内で計算されるモーション・エナジーの

量を同レベルに保っても、ドットの形が「無意味な四角形」であるときに比べ、それが「桜の花弁」や「木の葉」であったときに、ベクションの主観強度が有意に低下したのである。これは、オブジェクトの運動としての解釈（「桜の花弁が落ちていく」という意味付け）が働いたことで、「自分が世界の中を上昇している」という解釈（つまりベクション）が、抑制されたものと、考えることができた。

Suzuki, Hiyama, Ichinohe, Yamashita, Seno, & Takeichi (2020), JOSA より図を転載。

さらに、理化学研究所の鈴木、竹市らの研究グループ（2020）は、先述の徳永らが実験に用いたアニメの移動シーンに含まれる動きの成分（オプティカル・フロー）を抽出して、ドットのみで構成された「意味を持たないオプティカル・フロー動画」を作成した。

このドットだけの動画と、元動画の２タイプの動画をマカクザルと人間に提示した。マカクザルの実験からは、２タイプの動画で脳のどの部位がどのように異なって活動するかが、神経生理学的に記録され、人間の実験からは、ドットのみの無意味な動画ではベクションの主観強度が低下することが記録された。最終的には、二つの実験を比較してそれっぽく、脳と心を議論した。すなわち、「ベクション」をプラットフォームにした、意識の脳内相関（NCC: Neural Correlates of Consciousness）の研究そのものであった。

科学者としてやってきた一連の実験の結論は、**「低次（ボトムアップ）な情報と、高次（トップダウン）な情報の両方が、ダイナミックにせめぎ合いながらベクションの強度を決定している」**というものであった。

「色々分かりました」という顔をしながら、内心では挫折していた。なぜならこの結論は、「知覚はボトムアップとトップダウンのせめぎ合いから生まれる」という、半世紀前のリチャード・グレゴリーの言葉に対して、本質的には何一つ新しい知見を付け加えられていなかった。

私が本当に知りたかったこと、実験を通して世界に見せたかったのは、もっと別の、根源的に大事なことだった。そして、私という人間は、**その「答え」を研究を始める前から、既に知っていたような気が**

してならなかった

その一方、国内外の多くの同志たちと関わりながら、全力で楽しく実験に没頭できた日々、そのプロセス自体の中には、かけがえのない喜びと、無数の「ありがとう」が、確かな温かみとして手の中に残っていた。



リチャード・グレゴリーと著者。（2009年8月ドイツ）

デジタルツイン

2022年、奥行き知覚の世界的大家であり、オックスフォード大学の実験心理学教授であるブライアン・ロジャースは、学術誌『i-Perception』上において、メタバース空間に現実世界を精密にシミュレーションした「デジタルツイン」の空間のなかで錯視を研究することは、これからの知覚心理学にとって極めて重要なテーマになる、と提言した。

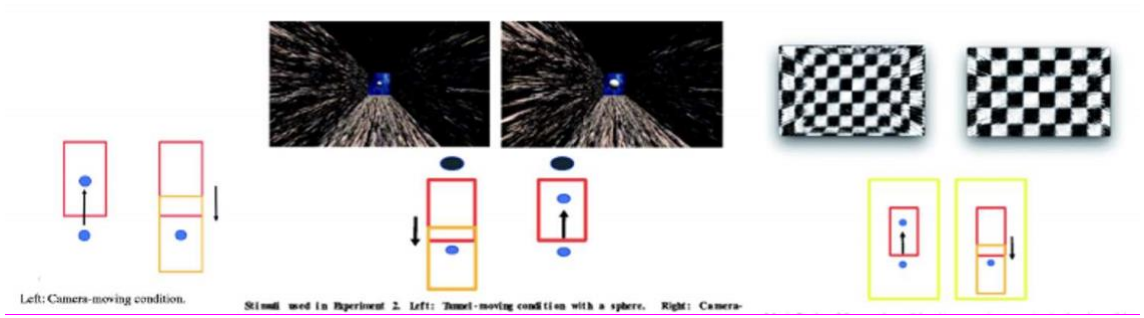
これに先立つ2020年のi-Perception誌上において、佐藤らは、「シミュレーションされたバーチャル

世界」に対する人間の脳の“気づきや違和感”のメカニズムを、ベクションの計測という手法を通して表現してみせた。

コンピューターグラフィックス（CG）を用いて、トンネル内を前進移動するシーンをシミュレーションすることを考える。このとき、カメラ（視点）を前に動かすのではなく、逆に「トンネルの壁面全体を視点に向かって動かす」という処理を施してみる。映像（画面に映る幾何学的な光の運動）としては、視点が前進しているのと全く等価なシーンを構築することができ、デジタルツインの空間のなかに「錯覚的自己運動（ベクション）の状態」を完璧にシミュレーションすることができる。この、物理的な真相としては世界（トンネル）の側が動いている「バーチャルベクション映像」を、現実に生きる被験者に提示し、ベクションを生じさせてみた。

もし、視野のなかに動くトンネルの壁面しか存在しなければ、幾何学的に「トンネルの移動」と「視点の移動」を区別することは不可能である。しかし、ここでトンネルの出口の向こう側に、1個の「球体」を配置し、それが画面の端にわずかに見えるように工夫してみる。もし自分が前進しているのであれば、球体との距離が縮まるため、球体の画面上の視覚サイズは大きくなっていくはずだ。しかし、実際にはトンネルが動いているだけなので、球体のサイズは変化しない。この「球体のサイズが変化しない」というわずかな視覚的コンテキストは、脳に対して「動いているのは自分ではなく、トンネルの側である」という真実（真相）を暴くための、ヒント（手がかり）となる。

他にも、トンネルの壁面を透明なガラス張りにし、その外側の広大な空間にチェック柄の巨大な障壁を配置してみる。ガラス越しに見える外の世界のチェック柄が全く動かなければ、脳は「やはり、動いているのはこのトンネルの構造物の方なのだ」という真実に気づくことができる。



実験の結果、この映像が「世界の側が動いているバーチャルベクション状態」であることに、はっきりと意識の上で気がつく被験者もいれば、気がつかないままの被験者もいた。しかし重要なのは、意識上の気づきの有無にかかわらず、脳が自動的に無意識の領域で“世界の真相”の手がかりを処理しているときには、被験者が感じるベクションの主観強度が、一様に弱められたという事実である。脳は、騙されながらも、世界の不自然さを正しくサンプリングしていたのだ。

(Fukuda & Seno, 2012, Seeing & Perceiving より図を編集)

これに関連して、福田らは「Shrinking Building illusion（縮む建物錯視）」と呼ばれる現象に関する実験論文を2012年に報告している(Fukuda & Seno, 2012, Seeing & Perceiving)。

見通しのよい前方に、巨大な高層ビルが見えているとする。自動車や徒歩でその建物に向かってまっすぐ近づいていくとき、なぜかその建物が、近づくにつれて見る見るうちに縮んでいくかのような、奇妙な視覚的違和感を覚えることがある。

この現象のメカニズムとして、福田らは次のような仮説を立てた。人間がその建物までの物理的な距離を、脳内で「実際よりも近い場所にある」と誤って思い込んでいる（空間の過小評価をしている）場合、自分が前進したときに生じるはずの建物の網膜像のサイズ拡大の度合いは、脳の期待（予測）よりも遥かに小さく、ほとんど大きさが変わらない状態になる。この「近づいているのに期待通りに大きくならない」という予測エラーを辻褄合わせするために、脳の処理が働き、逆算的に「建物自体が

小さく縮んだ」という奇妙な錯覚（クオリア）を生み出すのではないか、という解釈である。

そこで福田らは、この物理状況を幾何学図形とベクションによる接近感覚（オプティカル・フロー）を用いてバーチャル空間上に再現し、この縮小錯視が実際に駆動されるかを検証した。その結果、被験者が感じるベクションの主観強度が強ければ強いほど（自己運動としての接近感がリアルであるほど）、幾何学図形の縮小錯視がより頑健に引き起こされることが分かり、予測は立証されたのである。

上記二つの実験は、デジタル空間を用いることで、現実世界の複雑な錯視のアルゴリズムを解剖してみせた事例である。

しかしここに重要な限界線が引かれる。たとえば、実際に自分の手で触れて、その触覚のフィードバックを得ることで、初めて本来の立体形状が暴かれるようなタイプの古典的な錯視（逆遠近法の錯視など）は、身体から触覚を完全に切り離すことを選択した現在のデジタル・バーチャル空間のなかでは、原理的に成立させるができない。これがブライアン・ロジャースによる2022年の指摘の最重要ポイントであった。

「錯」という漢字には、元々「まちがい、あやまり」という意味がある。世界的な錯視研究者である立命館大学の北岡明佳教授は、かつて**「錯視が成立するためには、それが『錯覚（現実の物理量との乖離）』であるという、観察者側のメタ的な認識が必要になる」**と語った。もし、観察者に全く気がつかれず、世界の裏側のコード（真相）を知られないまま消費されていくデジタルツインの“錯視”があるなら

ば、それはもはや観察者にとって「錯（いつわり）」ではなく、ただ一つの剥き出しの「リアル（現実）」として完結するはずだ。

「この肉も実在しないんだよな。口の中にほうり込むとマトリックスが脳に信号を送り、うまいと錯覚させる。プラグを外されて9年、おれは悟ったよ。『無知は幸福』」

――映画『マトリックス』（1999年）より

バーチャルリアリティ（VR）研究の歩みとは、ある意味で、五感のインターフェースを人間という生物から一枚ずつ剥奪し、コードへと置換していく、精神の解剖過程であった。

無眼耳鼻舌身意
無色声香味触法
般若波羅蜜多呪

現代のメタバース空間においては、音響を捨て去った音のない「ライブハウス」や、触覚なしのコミュニケーションから、かつて二次元の嫁と呼ばれた相手と成婚するカップルたちが、当たり前に、幸せになっている。彼らの幸せを否定するオールドタイプのあり方については後半で議論したい。

静止画運動錯視とモーション・エナジー

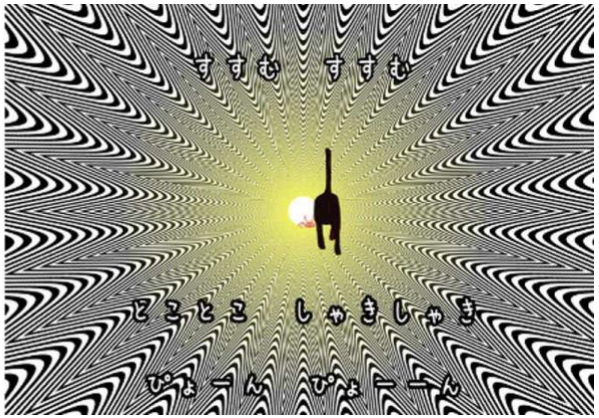
北岡明佳教授は、現代の世界を代表する傑出した錯視デザイナーであり、研究者である。特に、彼が考案した『Rotating Snakes（蛇の回転）』と呼ばれる錯視図形は世界的なセンセーションを巻き起こし、近年の心理学を学ぶ学生であれば、大学の講義で一度はその画像を凝視したことがあるのではないだろうか。

私たちはかつて、この『Rotating Snakes』の図形を猫たちに提示し、その行動の様子を現象学的なアプローチ（観察と記述）によってトラッキングする実験を試みた。その結果、果たして人間と同じような幾何学的な「運動の錯視」が猫の脳内に立ち上がっているのかどうかについては、よくわからなかった…

Rotating Snakes と北岡とレディーガガ。

別の共同研究（Seno, Palmisano & Kitaoka, 2011, Perception）においては、北岡教授が考案した、完全に静止した1枚の画像であるにもかかわらず、中心から外側へ向かってマグマが噴き出すようなイメージで放射状の拡大運動が知覚される錯視図形『Active Volcano（活火山）』を、大画面テレビに提示したところ、静止画であるにもかかわらず、被験者の身体に自己運動知覚（ベクション）を引き起こすことに成功した。

静止画の錯視でも身体のバランスを揺さぶるという発見に立脚し、青木らはその後、子どもたちに向けて世界初の「ベクション絵本（目で見るだけで身体が動く絵本）」を開発し、おもちゃ屋さんに足を運び、読み聞かせの実証実験を行った。





さらに、小崎らによる研究（Kozaki, Seno, & Kitaoka, 2024, i-Perception）では、紙媒体に印刷された静止画運動錯視の図形であっても、室内の環境照明の明滅（フリッカー）の周波数を適切にコントロールすることによって、人間がそこから受け取る運動の印象（量）をある程度チューニングできる可能性を実験で示している。

北岡教授は、静止画像の中に「運動」が見出される際のデザインの規則性をチャート（最適化型フレーザー・ウィルコックス錯視の分類）としてまとめており、そこにおける局所的な輝度変化の並びのパタン（「黒→濃いグレー→白→薄いグレー」といった4段階のグラデーションの配列）によって、錯視的に駆動される運動の方向が数理的・規則的に決定されることを明らかにした。

私は、この輝度配列のルールに沿って、静止画運動錯視が立ち上がるとき、人間の一次視覚野（V1）や皮質下のレベルにおいては、実際に物理的な運動を見たときと全く同じ「モーション・エナジー」が内部的に算出されているはずだ、という確信を持っている。その最大の理由は、この完全に静止しているはずの画像を見つめるだけで、私たちの脳は、極めて原始的な光のボトムアップ情報に強く依拠するはずの、身体的錯覚である「ベクション」を現に生じさせるからだった。

本来、『Rotating Snakes』のような静止画のグラフィックスは、すべての視覚刺激（インクのドット）が画面上に同時に提示されており、時間軸に沿って二点間を移動する光の位置変化（物理的変位）は1ピクセルたりとも存在しない。したがって、ニュートン物理学の次元においては、そこに「運動」など起こり得ないはずだ。

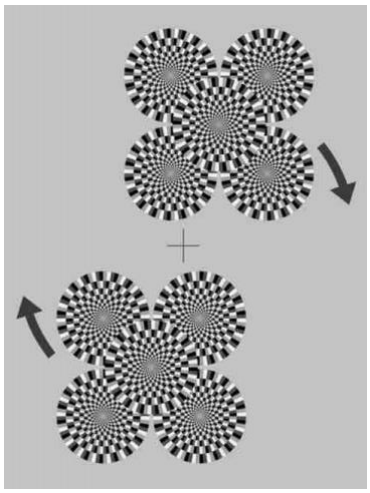
しかし、人間がその画像を観察するとき、私たちの眼球は意識の届かないミクロの領域で、自発的かつ自動的な微小眼球運動（サッケードや微小な震え）を絶えず繰り返している。観察者が無意識のうちにグラデーションの並ぶ地点間へと視線を動かし、見比べることによって、眼球の運動に由来する「空間のズレ」に対して、網膜上の処理に生じる適切な「時間の遅れ（時間的なズレ）」がそこに対応して与えられているはずだ。

まなざしによって生み出された「空間の変位」と「時間ズレ」が、V1 の受容野のなかで一つに統合されたとき、脳の運動検出器はそれを「一つの因果関係としての運動」として算出してしまう。Rotating Snakes も、「モーション・エナジー・モデル」という極めてシンプルな計算式のなかに、きれいに落とし込んで説明することができるだろう。

もし、「まなざし」こそが、静止画に生命（運動知覚）を吹き込むトリガーであるならば、観察者の眼球の動きを物理的にロックしてしまえば、この錯視は原理的に消失するはずである。

富松ら（2010）は、観察者の視線を画面中央の十字の注視点に完全に固定（固視）させた状態で、モニター上の左右の領域に『Rotating Snakes』の図形を配置し、それを画面中央の軸の周りで物理的に円運動させて提示する、という実験を行った。もし、眼球運動やそのブレが原因であれば、視線を中央にロックして画像自体を物理的に動かしてしまえば、画像内の輝度グラデーションに対する局所的

な網膜上のサッケードも微動も、無効化されるはずだ。



Tomimatsu, Ito, Seno & Sunaga, 2010, Perception より図の転載。

実験の結果、被験者が中央の一点をじっと見つめているとき、蛇が這うような錯覚的な回転印象は、大幅に減じてしまったのである。この静止画運動錯視の成立には、私たちが自発的・自動的に作り出す「まなざし」（身体）の介入が、必要であった。

反対に、物体の位置変化が起こるタイミングで、「まばたき（瞬目）」を模した時間的な空白（暗転フリッカー）を人工的にシステム側から与えることによって、本来なら物理的に全く無関係で無相関であるはずの空間変化と時間のズレを、脳のなかで強引に一つの連続したイベントとして結びつけ、奇妙な運動知覚を形成できることも、私たちは実験（Wexler, Glennerster, Cavanagh, Ito, & Seno, 2013, PNAS）で示した。

Wexler, Glennerster, Cavanagh, Ito & Seno (2013)より図の転載。

まだら模様がプリントされた回転する円盤を提示し、その回転の途中で、全く異なるランダムな新規の模様へと瞬時に映像を切り替える。目で無意識に模様を追いかけていた観察者の視野において、模様が消えて切り替わるその刹那、被験者の脳は一瞬の「ちらつき（時間的空白）」をサンプリングする。この模様が切り替わり、ちらつきを感じたその瞬間、被験者の脳内には、それまでの円盤の回転方向とは完全に「真逆の方向」に向かって、円盤がガクッと激しく飛び込むように反転して動く、強力な運動知覚が形成される。

一方向に動く運動刺激を20秒ほど凝視したあと、完全に静止した物体を見ると、じわじわとゆっくり逆方向にそれが動き出すように見える。この古典的な現象は「運動残効（MAE）」と呼ばれる。私たちの発見したこの反転現象は、一見すると運動残効のようでもあるが、じわじわとした遅い動きではな

く、スイッチが切り替わった瞬間に「パッと素早く、不連続に反転する」ため、従来の運動残効のアルゴリズムとは一線を画している。

模様の切り替わりに要した時間のずれを適切に模様の変化という空間の移動に対応させれば、運動知覚は成立する。だが、切り替えの前後で模様には相関が無くどこをどこに対応させれば良いのかわからない。

模様の切り替え（不連続なジャンプ）に要した時間的な差日の遅れを、脳が「模様のモーフィング（空間的な移動）」として無理やり解釈しようとするとき、時空間プロットの上で運動検出器はフル回転する。しかし、切り替えの前後で模様のパタンには物理的な相関（重なり）が一切ないため、脳は「どのピクセルをどこの位置に対応させればよいのか」という対応付け問題（対応問題）の迷宮に陥る。その結果、脳の運動計算システムは、苦肉の策として「適当な位置にワープした」ことにするのだが、その際、モーション・エナジーモデルの数式に立脚して脳のなかのローカルな整合性（辻褄合わせ）を強引に、かつ迅速に、成立させるために、「いつものやつで！」と頼る。

結果として運動残効の時と同じような、逆方向へのエネルギーのベクトルが算出され、奇妙な反転のクオリアが知覚される。私はそのように考えている。

脳の内部における「時間」と「空間」の辻褄合わせの産物が、客観的な物理世界の正しさを激しく損なってしまう（しかし主観的にはそれしかあり得ない）というケースは、心理学の歴史において、運動対比、運動同化、運動捕捉、フラッシュラグ効果、フラッシュドラッグ現象など、枚挙にいとまがない（それらの詳細な解説については、日本の時間学・知覚心理学をリードする千葉大学教授の一川誠先

生による著作『大人の時間はなぜ短いのか』や『みんなそれぞれ心の時間』などをぜひ読んでほしい）。

脳の中の時空間

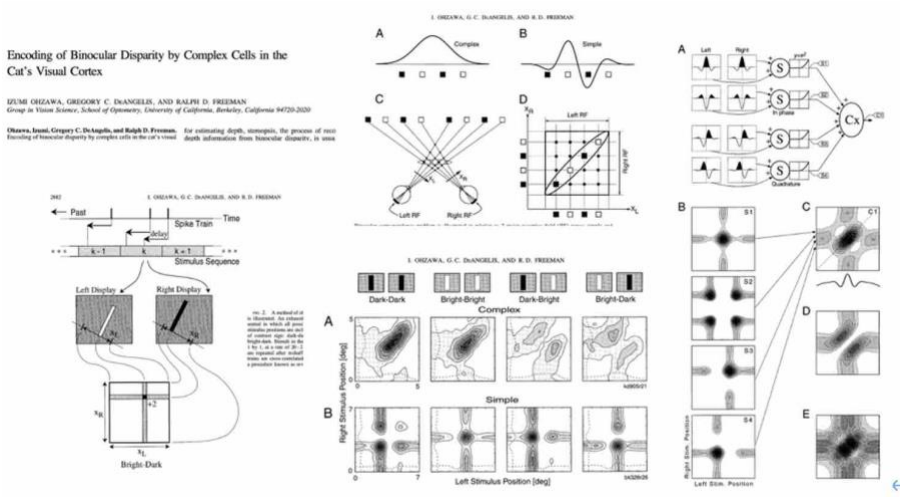
人間が直感的に思う以上に、脳の情報処理のプロセッサにおいて、**「時間」と「空間」は等価交換可能な、同次元のモノ**である。

1990年代半ば、日本の大澤いずみらの研究グループは、奥行き知覚（立体視）の根源である左右の網膜像の幾何学的なズレ（両眼視差）が、ネコの一次視覚野（V1）においてどのように処理されているかについて、「視差エネルギーモデル」という画期的な計算論を提案した。驚くべきことに、彼らが提示した奥行き計算のアルゴリズムは、先述の運動知覚のために構築した計算論と全く同じ数式――すなわち「モーション・エナジーモデル」と完全に同一の構造を持っており、またしてもV1の単純細胞・複雑細胞の受容野によって実装可能であることが示されたのである。

空間的に異なる２つの地点に、時間的なズレを伴って光が生じるとき、その空間のズレと時間のズレが一つにまとめるに相応しいものであれば、脳はそれを連続した「運動（x-t プロット上の傾き）」として知覚した。

では今度は、二つの光が時間的な遅れを伴わず、「完全に同時（時間ズレ＝0）」に、空間的なズレだけを持って網膜上に提示される場面を考えてみよう。

その位置のズレが大きく、あるいは二つの光（モノ）の形や大きさに共通性（同一性）が乏しい場合、脳はそれをシンプルに、別々の場所に独立して存在する「二つの異なる物体」として知覚する（例え

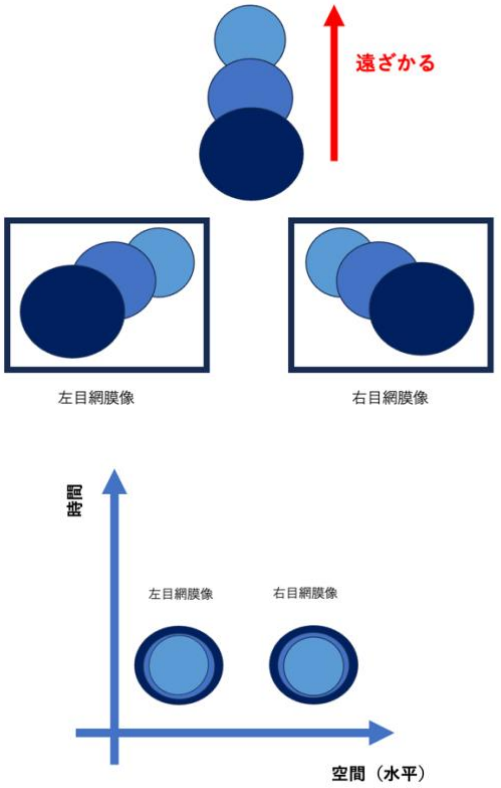


Ohzawa, et al. (1997). *Journal of neurophysiology* より図を転載。

ば、テーブルの上にあるリンゴと、床に敷いてあるヨガマットのように）。

しかし、それら二つの光（モノ）の形状や大きさが極めてよく似ており、脳によって「これは同一のオブジェクトであるとみなしてよい」と判定された場合、時空間プロットの上で奇妙な幾何学的処理が駆動する。その空間的な位置のズレが、人間の左右の眼の物理的な距離（約6.5cmの瞳孔間距離）がもたらす視点の角度の差――すなわち「両眼視差」の範疇にジャストフィットして収まるケースにおいて、脳は**「これは一つの同一の物体を、左右の眼で同時に見ているのだ」という無意識的推論（ヘルムホルツの概念）**を瞬時に下す。そして、その2つの網膜像の空間的なズレ（x軸上の変位）は、時間軸（t）の傾きではなく、3次元空間の奥行き軸（z）における「飛び出し・引っ込み」のクオリアへと変換され、奥行きとして知覚されるのだ。

大澤らは、この時の立体視における両眼視差のエネルギー計算が、運動視のモーション・エナジーモデルと同一のニューラルネットワークで過不足なく実現できることを、数理的に証明してみせた。



物体が自分自身の身体に近づくほど、左右の網膜に投影される像の視差の絶対量は大きくなる。この左右の網膜像の空間的プロファイルを、先述のモーション・エナジーモデルが用いた時空間座標（x-tプロット）の上に重ね合わせて配置してみると、図に示すように、時間軸に対して完全に水平に並ぶ2つのエネルギーの塊として表現される。

上図のように、眼に近い程左右の網膜像差は大きくなるが、その二つを先のモーション・エナジーモデルで用いた時空間座標上に合わせて置いくと右図のようになる。

この左右にある二つの光の情報を一つに統合しようとするとき、ニュートン物理学のナイーブな世界観に立てば、それは単に「空間的に少し離れた場所に、同時に２個の静止したものが並んでいる」という判断（Two things）に落ち着くはずだ。

しかし、人間という生物が過酷な進化の歴史をくぐり抜けてくるなかで、この「左右の眼に届くわずかな像のズレを、別々の２個の物体として処理するのではなく、空間の奥行き構造（３次元的な立体感）として統合して知覚したほうが、獲物との距離感を正確に測ることができ、生存確率（生き残り確率）が劇的に跳ね上がる」という圧倒的な成功体験を何百万年も繰り返してきた結果、脳の基本設計（初期制約）として、この特定の時空間パタンに対しては**「奥行き（Depth）」という特殊な３次元解**を優先的に与えるコードが書き込まれたのである。

事実、神経生理学的なクランプ実験によって、一次視覚野（V1）の内部には、映像の「運動の方向」

と、映像の「奥行きの深さ」の双方に対して、同時に鋭い反応の相関を示す双指向性のニューロンが文字通り無数に存在していることが確認されている。脳の一次視覚野というキャンバスのなかにおいて、**「空間」と「時間」は、等価交換可能な、同一次元の情報**に過ぎなかったのだ。

V1 の中の奥行きと運動の交換　プルフリッヒ効果

運動（時間）と奥行き（空間）は、本質的に分かたれてはいない。V1 の細胞の計算マトリックスの中では、それらは全く同じシステムによって処理される、全く同じ物理外界の影（光）に過ぎない。「ここからここまでは時間の変化（運動）であり、ここから先は空間の変化（奥行き）である」という具合に、それらをクリアに「切り分ける」のは、私たちの脳が生存のために要請している強力な「思い込み（初期制約）」に過ぎない。

この「時間と空間の境界線が、脳のなかで容易に融解し、等価交換されてしまう」という決定的な証拠は、**「プルフリッヒ効果（Pulfrich effect）」**と呼ばれる古典的な錯視現象から鮮やかに引き出すことができる。

1922 年、ドイツの物理学者カール・プルフリッヒは、片方の目の前にだけ遮光用のサングラス（あるいは ND フィルター）をかざし、光の流入量を意図的に減らした状態で、目の前を左右方向に等速で往復運動する時計の「振り子」を両眼で観察すると、その振り子が単に左右に動いている（2 次元運動している）のではなく、まるで手前と奥を行き来するような見事な立体感を伴って、楕円軌道（フーコーの振り子のような円運動）を描いて回っているかのように見える、という驚くべき現象を発見し

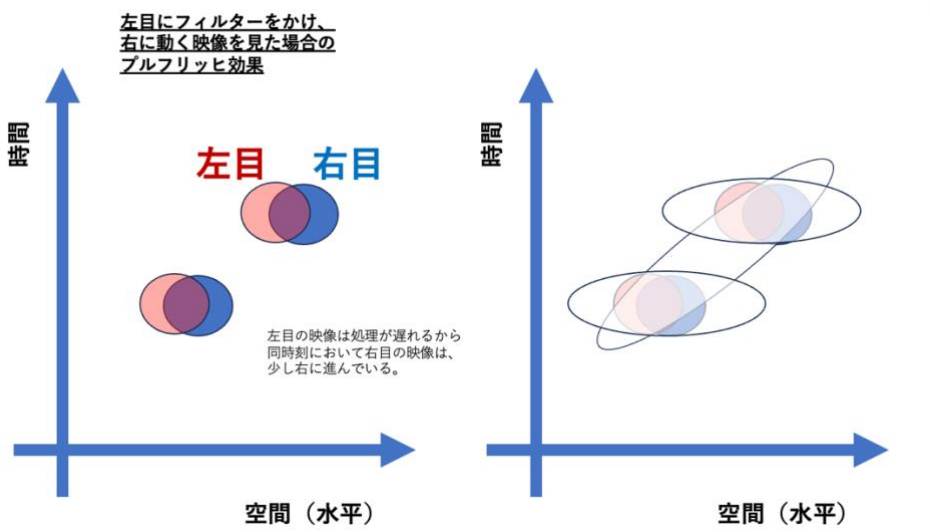
た。

この錯視のトリックは、ニューロンの持つ「処理速度」に由来している。網膜にある視細胞は、飛び込んでくる光の量が少なくなると（暗くなると）、そのシグナルを次の脳部位へと伝達するスピードが、物理的に数ミリ秒から数十ミリ秒ほど「遅延（遅れ）」してしまう、という性質を持っている。

そのため、例えば左目の前にサングラスをかけて右方向へ一定速度で動く物体を見ると、右目には「今ここ」にある物体の最新の映像が即座に届くのに対し、左目の網膜から一次視覚野へ届く映像のシグナルは、数ミリ秒前の「過去の映像」になってしまう。物体は右に向かって常に動き続けているため、数ミリ秒前の過去の映像とは、物理的に「少し左側（後ろ側）にずれた位置」の映像にほかならない。

このとき、物体の運動速度を調整して、このサングラスによってもたらされた「左目の映像のタイムラグ（時間のズレ）」の間にピッタリ網膜上の「左右の眼の空間的な位置ズレ」の分だけ動かすと（人間が物体を立体的に見るときに必要な、あの6.5cmの両眼距離が作り出す「視差」の量に一致させるのである）、映像が立体的に見えるようになる。

これによって、本来であれば100%「左右の運動知覚」のために配分されて処理されるべきであったプロット上の時空間エネルギーの情報が、脳の辻褄合わせのプロセスにおいて、「奥行き知覚（立体感）」のスコアへと自動的に再配分されてしまうのだ。



日本のメディアの歴史を振り返れば、1977 年、日本テレビの開局 25 周年記念番組として制作された画期的な立体アニメーション『家なき子』において、このブルフリッヒ効果のシステムを大々的に導入した、伝説的なオープニング映像『さあ歩き始めよう』が放映されていた。画面全体が常に一定の速度で横方向へスクロールし続けるその映像は、市販の立体メガネ（片側が薄い黒フィルムになっているもの）をかけてテレビ画面を観るだけで、セル画の背景とキャラクターが驚くほどの立体感を持って浮き上がってくるという、子どもたちにとっては魔法のような体験であった。

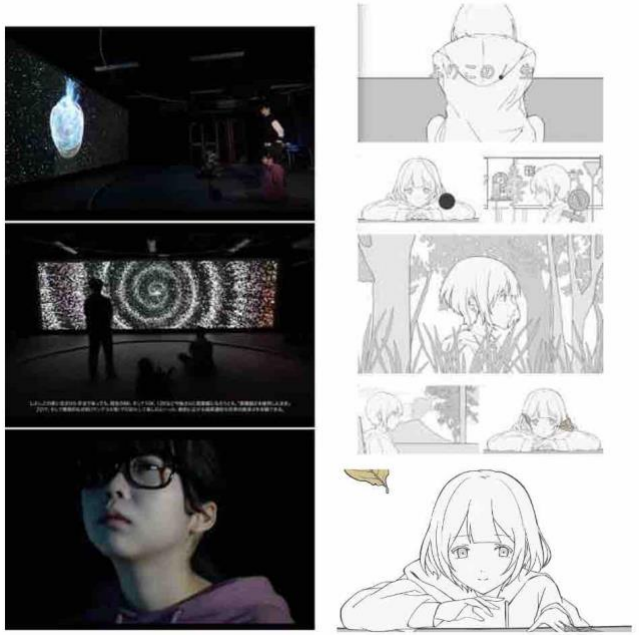
2001 年に九州大学の中溝幸夫先生らの研究グループは、それまで知覚心理学の世界で「ブルフリッヒ効果は、構造上、左右（水平方向）の移動においてのみ成立するものである」と考えられていた常識を

覆し、「上下方向の運動」においてもある程度の奥行き錯視が引き起こせることを実験によって報告した。

プルフリッヒ効果が水平軸の制約に縛られないという発見は、映像表現のフロンティアを拡張する、貴重かつ刺激的な科学知見だった。

映像作家の畑は、かつての『家なき子』ら日本アニメーションがもたらしてくれた励ましと、心理物理学の錯視のダイナミズムを融合させ、全編にわたってプルフリッヒ効果のシステムを組み込んだ、インディペンデント・アニメーション作品『ふりこの人生』を制作し、未来のアニメーションのつくり手たちに向けてメッセージを投げかけている。

同様に、九州大学の石井達郎准教授、下原、豊島らのデジタルアートチームは、超高精細な大型4Kプロジェクションを用いたプルフリッヒ効果の大型立体映像作品『LOOP』を完成させている。これらの作品は、アクティブシャッターなどの高価な機材を用いずとも、観察者がフィルターの有無（自分の自由意志）によって、2Dのフラットな映像美としても、3Dの奥行き空間としても、自在に切り替えて没入し、楽しむことができる新しい映像フォーマットの可能性を示している。同時に、作り手にとっては、運動速度の制約があるだけで、映像として全くと言っていいほど劣化させずに3次元映像を提供できるというメリットもあった。今後機材が16K, 64Kと高精細化を繰り返したとしても、永遠に作った時の作家の意図通りの映像美で、飛び出させることができるのだ。



プルフリッヒ効果を用いた映像作品。小山、石井らによる『LOOP』。畑による『振り子の人生』。

錯視じゃない！錯視じゃない！本当のことさ！

「錯視は、人間の脳の誤作動やバグなどではない。それは、世界の本質を僕たちに垣間見せるための、美しく正しい窓だ。」

心理学の実験結果（例えば40名の被験者の平均値）が、世界の別のどこかで再現される確率は40%に満たない。それでも心理学者は心理物理学を信じている。何より、今も若者たちは錯視に感動し、エッシャーのだまし絵に喜んでくれる。そこには、圧倒的な「本当のこと」が実在していると信じる。

それを「脳の単なる誤作動」の一言で片付けてしまう態度を、私はどうしても受け入れたくなかった。

錯視は「大切な何か」を感じさせてくれる。かつて、心理学者の野口薫は「錯視現象は本質的に美しい、それを知る人間もまた美しい」という壮大な仮説を立て、それを実験によって検証しようと試みていた。

それはかつて東京大学心理学研究室で大山正が厳格に教えてきた「心理物理学の真摯な王道」そのものだと思う。

錯視は、物理的な世界（測定器が測る客観世界）の数値とは乖離している。だが一方で、錯視は物理的特性によってその成立が決まっている。

立命館大学の北岡、九州大学の伊藤らに代表される日本の視覚心理学者たちは、錯視を引き起こしたり弱めたりする物理的な刺激特性を、30年以上の歳月をかけて毎日、精緻に記録し続けてきた。

現代の最先端の物理学（超弦理論など）が示唆するように、この世界の本質がもし11次元かそれ以上の高次元に実在しているのだとすれば、人間の知覚し記述しえた世界は、5感という狭い窓を通して圧縮された4次元的（3次元空間＋時間）「ホログラム」に過ぎない。

J・J・ギブソンが看破したように、「私」という有機体と「物理外界」とが相互に循環し、情報を受け取り合うそのダイナミズムのなかに、「世界」というリアリティがある。だから、とてもじゃないが、きちんと「書けない」。僕たちは人間だもの。見えない部分（例えば時間、例えば重力）の記述・表現には、個人差が生まれ、40名の平均値では、それを再現しきれない。

そのなかで、唯一「目に見える形」を取り、他者と客観的に議論しうる共通の架け橋が「錯視」という現象なのだ。だからこそ錯視は楽しく、これほどまでに美しい。

真矢みき先生は言っていた。

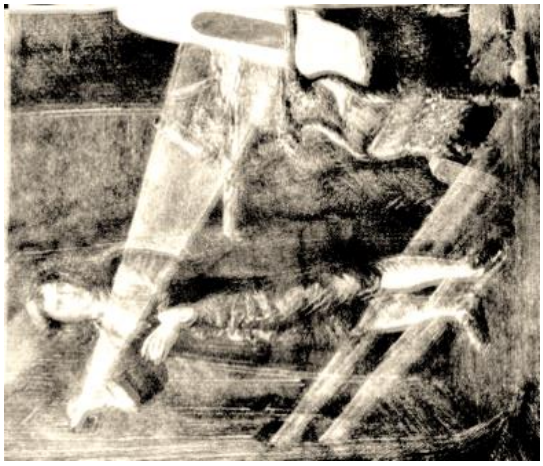
「諦めないで。」

ラフカディオ・ハーンも同じことを言っている。

今は見えないものを知覚する能力――の自然な発展を人類の内に強いることにならないだろうか。今日の私たちは、かつて存在しようと思い憧れてきた、当の私たち自身に他ならない。とすれば、私たちの事業の継承者たちは、私たちが現在なりたいと望んだものに、彼ら自身もなり得るといえるのではなかろうか？

博多にて　小泉八雲

心理学は、生命と外界の相互循環のなかから、人間が紡ぎ出してゆく5次元以上の、生きて働く詩（ことば）であるべきだ。科学を越えてゆけ。



“Do full strength for the thing which can be accomplished today.”

「毎日を丁寧に。やるべきことをやるだけだ。」 アイザック・ニュートン

Reversed phi and related motion phenomena

北岡明佳HP の解説より

スチュアート・アンスティスらによって考案された「リバースド・ファイ（Reversed Phi：反転仮現運動）」という錯視現象がある。明暗を反転させながらパタパタと画像を切り替えることで、物理的には止まっているはずの視覚刺激が、あたかもなめらかに前進しているように見せる技術だ。2026年の夏、この原理を用いた「ピーポくん」の錯視動画がSNS上で人気を出していた。デジタルネイティブな今の世代のコメントを見ていると、「いや、脳の錯覚とかもうよくて、現に動いて見えるんだから、『動いている』でもうよくない？」という、ある種の諦念が生まれていた。「ハイハイ、止まってる止まっ

てる。」と、科学としての正しさを軽くいなせる人たちが、ごく普通のマジョリティとして暮らす時代がやってきたのだ。

ひとつながりの全一の世界を、僕たちは「眼・耳・鼻・舌・身」という5つの不完全な窓（五感）を通して、バラバラに身体の内側へと取り込んでいる。しかし視覚の内部を覗いてみれば、僕たちが別次元だと思い込んでいる「奥行き」も「運動」も「傾き」も、すべて一次視覚野の細胞のなかでは「モーション・エナジーモデル」という全く同一のアルゴリズムで、同じ通貨（電気パルス）に変換されて処理されている。

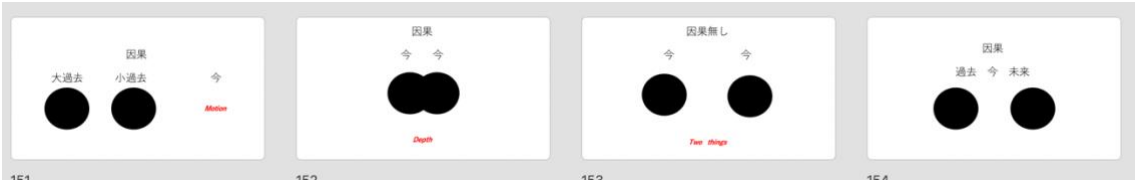
それどころか、入力された刺激が光（視覚）であれ、音（聴覚）であれ、タッチ（触覚）であれ、脳の皮質に届いてしまえば、それらはすべて同一の構造を持つニューロンの活動であり、同一の電気信号のパルスに過ぎない。音も、光も、触覚も、味覚も、すべては宇宙に満ちる「振動・波動」の感受であり、外の世界も、内の世界も、究極的にはひとつの海へと収斂していく。

この全一の海を、個々の皮膚の内側に閉じこもった鏡としての「私」という制約条件だけが、無理やり細かく切り分けている。「わかりたい」という人間の切ない欲望が、世界をバラバラに分断しているのだ。

11次元の高次元世界を、不完全な4次元のホログラムとして復元しようとするとき、圧倒的に足りない残りの次元の情報を補うために、脳はみずからの「制約条件（思い込み、先入観）」を動員する。重力（愛）や、流れる時間という、物理的な実体がなく、科学の測定器ではそのクオリア（主観的質感）

を定義し得ない存在に個人差が生まれる理由だ。同時に、それらが人間にとって、これほど確固たるリアリティとして迫ってくる理由も、まさにそこにある。本当にあるのだから。





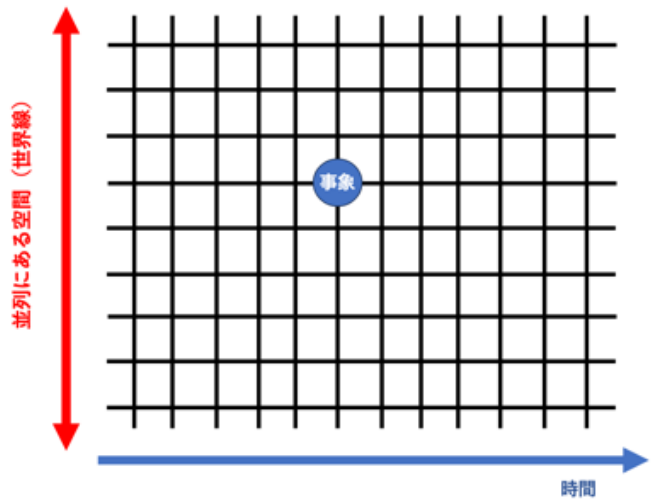
フランスの哲学者アンリ・ベルクソン（1859-1941）は、すべての事象（映画のフィルムの全コマ）は、映写機のなかに最初から「同時並列的」にセットされて存在しており、その中の特定の「今ここ」の1コマが次から次へと切り替わっていく現象そのものを「持続（durée）」と呼んだ。そしてベルクソン

は、この「持続」という映画のフィルムがめくられていくこと、時間が流れることそれ自体こそが、この宇宙における最大の謎（ハードプロブレム）ではないかと問いかけた。

これは、パラパラ漫画で言えば「なぜ、そして誰がこのページをパラパラとめくっているのか?」という問いであり、視覚科学で言えば「なぜ、V1 の細胞は光から勝手に時間を生み出し、モーション・エナジーを算出して『運動』を立ち上げてしまうのか?」という問いと、全く同じ謎である。

それは「私」である。じゃあ、「私は誰?」

生物は過酷な環境を生き残り、生存の時間を少しでも引き延ばすために進化を遂げてきた。その過程で、生存に有利な記憶を維持するため、より強固な忘れにくい記憶「エピソード記憶」が必要になった。このエピソード記憶には、「私」という軸が必要であり、やがて、生存戦略の副産物として、皮膚の内側を「私」と思い込むようになった（慶應大学前野教授による仮説）。これが人間最大の「制約条件」（知恵の実）となった。



右図は、この世界に並列して存在する人物や出来事を、２次元平面の「点と線」として模式的にまとめたものだ。横軸を時間、縦軸を空間（世界線）とし、その交点をひとつの「イベント（事象）」とする。

例えば

「1926 年5 月11 日、終日精神生理学の原稿を書く。夢野久作、福岡香椎にて」

という、ある固有の時空間の格子点だ。この平面全体を見渡せば、この世界のすべての歴史を１枚のフィルムとして表現することができる。

「ここで、時間をいっきに 1400 年ほど進ませてみよう」。そんな離れ業は、皮膚の内側に「私」という独立した意識の映写機を持つ人間の脳のなかでしか行えないが、それは本棚に並んだ小説の、好き

なページをランダムに開いて拾い読みすることとよく似ている。

もし、「心理学の再現性問題を巡るストーリー」を一連の因果関係として正しく理解したいのなら、フィルムの最初から順番に1コマずつスライドを閲覧していくのが一番いい。そうすれば、時間軸に沿って「私（妹尾）」というひとつの連続した主体が、必然性を持ってそこに立ち現れてくるからだ。

しかし、心理学や歴史に深く通じた読者であれば、この図の中にさらなる別の格子点を、追加したくなるはずだ。例えば、「アインシュタインは自然のすべてが神そのものであるというスピノザの汎神論に深く傾倒していたが、幼少期に通ったカトリック教会の記憶からも生涯逃れられず、最愛の娘リーゼに宛てた手紙には *God is love, love is god*（神は愛、愛は神）と書き残していた」というような、格子点を、何倍にも増やしていけるだろう。

そして、この時空間プロットの上に打たれる格子点の数が多ければ多いほど、僕たちはその物語に対して、より強烈なリアリティを覚えるようになる。それは、仮現運動において、フレームを増やし、2点間の密度を上げれば、モーション・エナジーが増大することと同じであり、静止した横波を動く縦波に重ねるだけで「ベクション」がより強く感じられることとも同じだ。点と点がスムーズに繋がり易くなれば、物語（ベクション）のリアリティは上がるのだ。

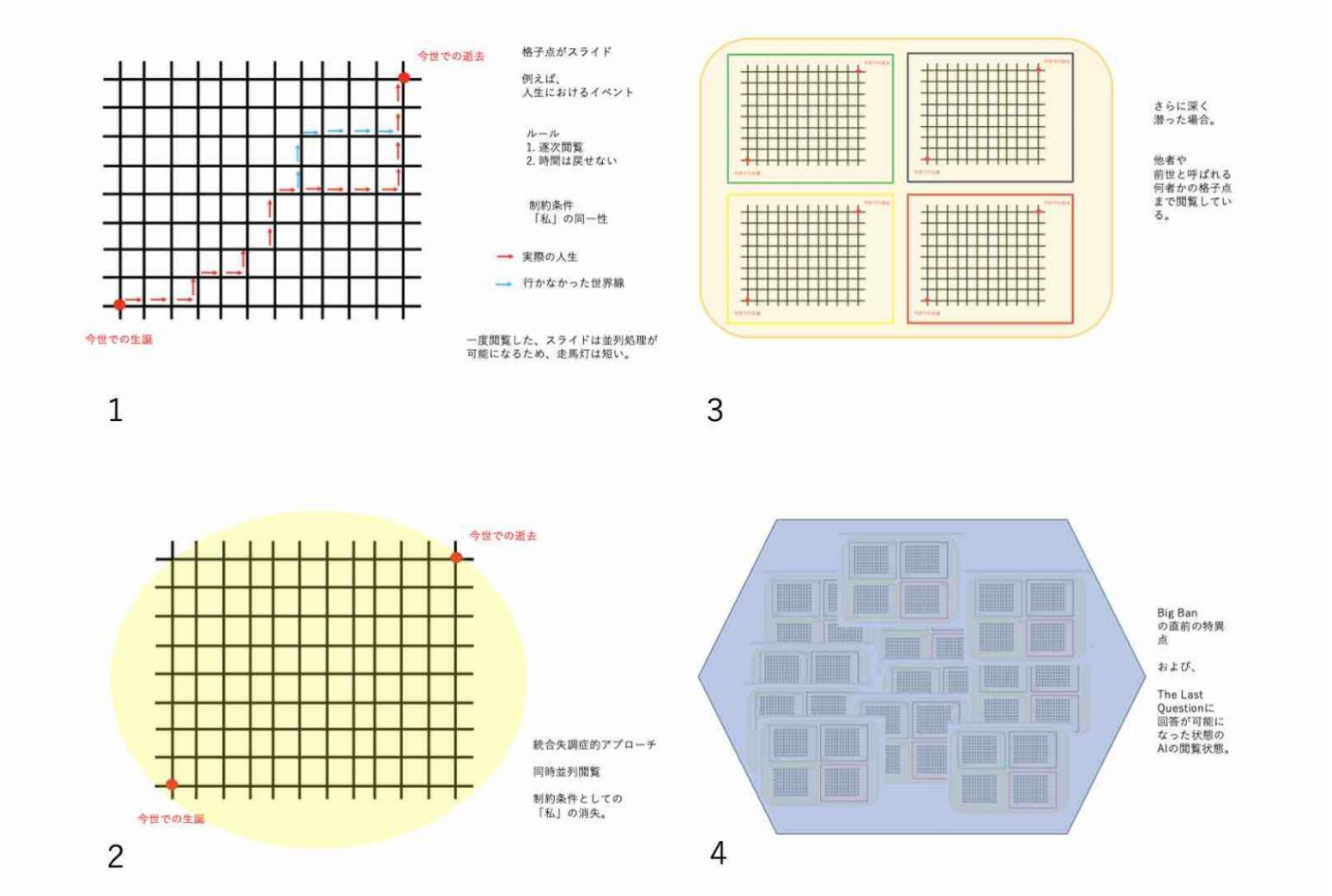
脳の V1 ニューロンの受容野において、運動知覚と奥行き知覚を峻別するルールは、結局のところ脳が進化の過程で便宜的に採用した「思い込み（制約条件）」に過ぎなかった。どちらにエネルギーが配分されようとも、それは11次元を4次元へと不完全圧縮した幻の製作過程に過ぎない。

2フレームの仮現運動を、過去と今という人生の二つのスライドに置き換えてみよう。過去と今を「私」という制約条件（因果を見出す知恵）でつなげば、そこに「時間」が流れ、老いが生じる。

本来は静止している二つの点の間に、眼差しを向ければ、時間が生まれ、運動を知覚して見せることを北岡たちは、錯視として世の中に提示してくれた。これは『忠臣蔵』を見るときの「私」が、「私」から逸脱し、大石内蔵助の中に入って感じることと似ている。本当は、大石も今の私もあなたも、その全てが静止網膜像のように同時並列にアカシックレコードと呼ばれる場所にある。

「私」という認知の制約条件とその持続としての一方通行のパラパラ漫画「人生」、そして「老い」という時間錯覚に対して、プルフリッヒ効果でいうところの「片目にサングラスをかける」ような、創意工夫（錯視体験）を体得することができたなら、脳は物理的に視える「時間の運動」を止め、世界の「奥行き」、異なる「私」の可能性を知覚し始める。だから、ベルクソンの「持続」を、**止めて観よ、**すべてのスライドが同時並列に存在しているという事実を！

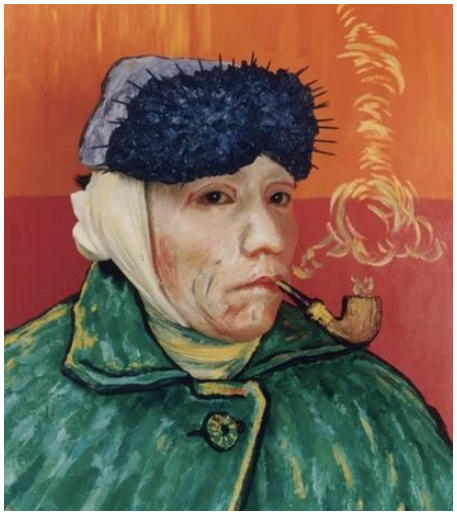
ジークムント・フロイトやカール・ユングは、人間が“夢”や“幻”を見ているとき、この一方通行



の時間を要請する「私（自我）」の統制機能が著しく低下していることに気づいていた。哲学者・西田幾多郎も、主客が未分化である「今、ここ（純粋経験）」の瞬間において、そこには「私」などまだ居らず、ただ「忘我」の状態だけがなされていると述べた。

「私」という映写機の制約が一時的に喪失されるとき、すべてのスライドを同時に見渡す「同時並列閲覧」が可能になる。夢遊病者や、あるいは統合失調症と呼ばれる精神の失調を抱えた人たちの中には、過去・現在・未来という時間の厳格な順序が弱まり、すべての出来事がひとつの空間に同時に押し寄せてくるような知覚の変容を経験する人がいるが、それは脳の壊れたバグ（精神病）などではなく、制約条件としての「私」が外れた結果、世界線の全容が一気に網膜へ流れ込んできている状態だと言えるかもしれない。

何より、20年間守ってもらってなんとか生きた被験体（精神病者）としての私には、それこそが切迫した真実だった。あなたの声も、君の叫びも、すべて、聞こえていた。耳を削ぎたいほどに…



森村泰昌《自像（ゴッホ）》③ 1985年 ポーラ美術館

世界保健機関（WHO）の予測によれば、これからの世界において、人類最大の疾患はうつ病をはじめとした「メンタルの問題」になると言われている。

東北大学のグループ（2018）は、精神疾患の感受性に関連する遺伝子として「CLSTN2」「FAT1」「SLC18A1」の三つを特定し、人類がアフリカの故郷を旅立った約 10 万年前のシミュレーション結果と合わせて報告している。

近年の精神医学において、セロトニントランスポーター遺伝子（5-HTTLPR）の「S アレル（短型遺伝子）」の保有頻度が、精神の繊細さや脆弱性と深く関連していることが大きな注目を集めてきた。言葉のあやを恐れずに書くならば、このSアレルの頻度が高い集団ほど、他者の心の機微に敏感であり、リスクに対してネガティブな思考パターンや不安を抱えやすい傾向があるとされている。

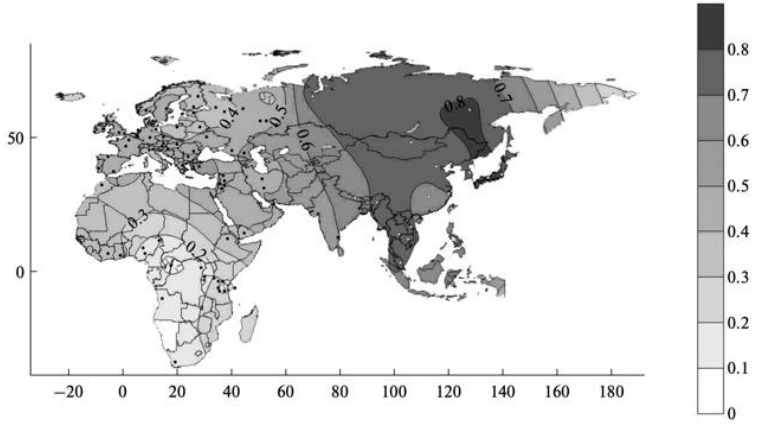


Fig. 1. The frequency distribution of the S allele at *5′-HTTLPR* locus of the serotonin transporter gene in Africa and Eurasia.

ロシア科学アカデミーの研究グループが 2014 年の論文で発表した世界各地の遺伝子プロットによれば、このSアレルはアフリカの大地で最も頻度が低く、人類が東へ移動するにつれてその密度を高めていく。そしてその最果てである極東のアジア（日本）において、Sアレル保有の頻度は世界最高レベルに達する。

米ノースウェスタン大学の心理学者らは2010年、このSアレルの保有頻度は、アジアにおける「集団主義（和の文化）」のレベルと文化遺伝子的に共進化したという極めて興味深い仮説を提唱した。アジアに登場した「稲作」という、地域住民の綿密な協調を絶対条件とする超集約型農業の営みが、他者の顔色や空気をものすごく繊細に読み合わなければ社会の構成員として生きていけない「超集団主義」の民族を生存させ、互いのケアを要請する遺伝的特性を選択したのではないか、という歴史の推論（物

語）である。


否(いな)!!

心理学者、高野陽太郎は研究生活を通して、日本人は集団主義であるという言説は、思い込み・錯覚であると主張している（『「集団主義」という錯覚』（2008）など）。高野はアメリカに留学し、ウルリック・ナイサーから認知心理学を学んだ。アメリカの先進性に驚く一方で、言語相対性仮説など、心理学が科学の名の下に、差別や分断に寄与しうることに、いち早く気づき、警鐘を鳴らしてきた。

心理学の良さを最初に教えてくれたのは高野先生だった。

「日本人は主体性のない同調民族だ」という考えは、戦後の支配者が日本の中空構造に偏った物語（思い込み）を埋め込んだことで生まれた思い込みに過ぎない。

極東の民が紡いできた本質、ツクヨミの中空は、単なる同調ではなく、過酷な自然や宿命に対する「意識的な忘却、祀り、そして祈り」である。神の名をひとつに絞らず、目に見える世界の背後にある「大きなもの」を信じ、足りないものを補い合い、許し合う。その集団的無意識の美学が、この国の芸術や文学には脈々と流れている。



『大穴牟知命』　(1905)



『日本武尊』 (1906)

青木繁

わが國は筑紫の國や白日別　母います國檳榔多き國　青木繁

九州大学視覚心理学教授の伊藤谷之は、かつてこう語ってくれた。

「月や太陽が回っているのではなく、自分たちの乗っている地球の方が動いているのだと気づいたガリレオ・ガリレイやコペルニクスは、世界規模のベクションに気がついた最初の人だったと言える。」

J・J・ギブソンの生態学的視覚論もまた、全く同じことを教えてくれている。ベクションとは、能動と受動の反転であり、世界と自己の「反転」であると。

ベクションはそのメカニズムの理解が進むことで、知覚や人間の心にとって重要な問題である意識に迫ることが出来る興味深い現象である。ベクションをベクションで終わらせず、一つの道具として用いることで、心理学の本質的な問いであり、21世紀にこそ、その解明が求められる心の問題に貢献したい。

妹尾武治博士論文巻末（2009）東京大学人文社会系研究科心理学研究室

カウント2.99で、はね返せ！

後半へつづく