


■本資料のご利用にあたって(詳細は「利用条件」をご覧ください)

本資料には、著作権の制限に応じて次のようなマークを付しています。
本資料をご利用する際には、その定めるところに従ってください。

*****: 著作権が第三者に帰属する著作物であり、利用にあたっては、この第三者より直接承諾を得る必要があります。

CC: 著作権が第三者に帰属する第三者の著作物であるが、クリエイティブ・コモンズのライセンスのもとで利用できます。

: パブリックドメインであり、著作権の制限なく利用できます。

なし: 上記のマークが付されていない場合は、著作権が東京大学及び東京大学の教員等に帰属します。
無償で、非営利的かつ教育的な目的に限って、次の形で利用することを許諾します。

- I 複製及び複製物の頒布、譲渡、貸与
- II 上映
- III インターネット配信等の公衆送信
- IV 翻訳、編集、その他の変更
- V 本資料をもとに作成された二次的著作物についての I からIV

ご利用にあたっては、次のどちらかのクレジットを明記してください。

東京大学 UTokyo OCW 学術俯瞰講義
Copyright 2014, 佐々木正人

The University of Tokyo / UTokyo OCW The Global Focus on Knowledge Lecture Series
Copyright 2014, Masato Sasaki

2015学術俯瞰講義(no.12):生物がよむ・かく

—身体を読む・身体で読む、そして表現へ—

佐々木正人 教育学研究科 msasaki@p.u-tokyo.ac.jp 文献は「じんぶんや75講」で検索 2015年1月13日

本日の4つのキーワード: 1柔軟 flexible な身体、2包囲 ambient 情報、3アフォーダンス、4表現生態学

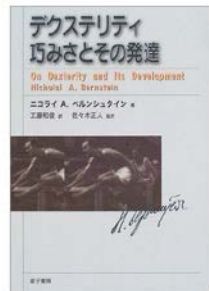
1 柔軟な身体: 協調 coordination と入れ子 nesting

19世紀の伝統: 中枢制御モデル: ●運動単位は、運動ニューロン、筋、関節。●有能な脳の司令塔が高頻度で運動に介入。運動計画と実行は区別。計画は脳の記憶から選択、皮質と脊髄が実行。

1-1 20世紀はじめの転回: ベルンシュタイン

著作権の都合上
ここに挿入されていた
画像を削除しました

ニコライ・A.ベルンシュタイン『デクステリティ 巧みさとその発達』工藤和俊(訳)、佐々木正人(監訳)、金子書房、2003年、pix(ベルンシュタインの肖像写真)



画像:ニコライ・A.ベルンシュタイン『デクステリティ 巧みさとその発達』工藤和俊(訳);佐々木正人(監訳)、金子書房、2003年

ソビエトロシアの生理学者ニコライ・ベルンシュタイン(1886-1966)。「カエルの科学」(実験生理学)ではなく、「活動の生理学」を提唱。モスクワ生まれ 1919 モスクワ帝国大学医学部卒業。1947 On the construction of movement でスターリン賞(国立労働研究所部長)、1950 パプロフ研究の軽視をブラウダが指摘して失職。自宅で On dexterity and its development 密かに執筆し、1966 死亡。1990 に dexterity 原稿発見、アメリカで翻訳出版。

【●Bernstein, N. A. 1996. *Dexterity and its development*. Marwah: Erlbaum. (工藤和俊訳 2003『デクステリティ 巧みさとその発達』金子書房) ●Bernstein, N. A. 1967. *The co-ordination and regulation of movements*. London: Pergamon Press.】

「制御に中央がある」とは言えない。

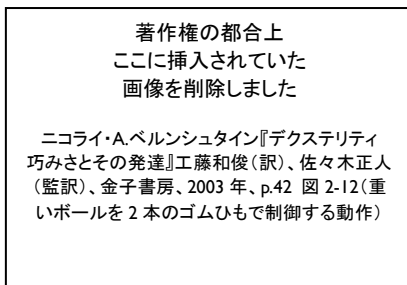
●**身体は多自由度だから:** 身体を支える主要構造は首と体幹。中心の脊柱は25の脊椎のリンクとそれに繋がる筋からなる。脊柱は「蛇のように曲ったり、よじれたり、反ったりする」。「多関節のレバーシステムである四本の手足は、多様な動きを可能にする球関節を介して体幹につながっている。(それらは)ほとんど筋にぶらさがっている・事実、腕を支える・肩甲骨は、どこの骨にも付着していない」。「手の骨格は、二七本の骨からなる寄木細工である。・中指骨(指の第二、第三関節間のある骨)と手根骨(掌の骨)とのあいだに全部で一二もの可動関節(がある)・手は粘土のような驚くべき柔軟性により、どんなハンドルや取手にも自動的にぴったり合う。手の指は、この部分に限定しても一五の関節をもつ、動きの可能な方向の数は、片手の指で二〇もある」。身体自由度は「膨大なものになる。・見たり、歩いたり、走ったり、投げたりするときには、いくつもの(四肢の)関節で異なる動作が同時に行われる。・複雑な動作要素の一つ一つに注意を向け、個別に制御するとしたら、莫大な注意を配分しなければならない」(『巧みさとその発達』)。

●**運動のエンジンである筋の素材特性**：「筋組織は、細い組織（筋繊維）から成り立つ。繊維はお互いに絡み合っており、（心筋を除いて）よく梳かした髪のように並行して走っている。・・運動の基本的エンジンである横紋筋は、「骨を引っ張る」だけで・・「押す」ことはできない。引く力は不安定である」。

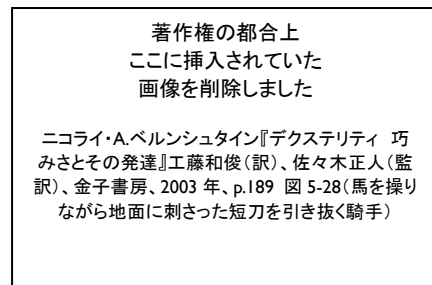
ベルンシュタインの解法：コーディネーション（協調）

知覚調整：例えばハンマーを打ち下ろす作業では打点の変動幅のばらつきは、そのハンマー打ちに使われていた身体関節の位置の変動幅よりもずっと小さい。身体は、その動揺を相殺して動いている。下図のモデル。先端に頭くらいの大きさの鉄のおもりをつけた棒を腰ベルトにとりつけ、おもりの両側に二本のゴムを張りつける。このゴムひもを両手で持ち、重りでたとえば四角形などの図形や名前を書く。「運動器官の冗長な自由度を克服し、制御可能なシステムへと転換すること」⇒「協調（コーディネーション）」身体は柔軟性（変異性）を基礎にして意図という解を周囲と共に探索する系（**胎児から GM ビデオ**）

多重な調整システム：協調には感覚調整は必須。第一が筋—関節系の感覚調整。いわゆる「自己受容系」。第二が自己受容系を包み込み、自己と環境とをつなぐ感覚。**視覚、聴覚、触覚など「すべての種類の感覚はしばしば広い機能的な意味において自己受容系の役割を果たす」。**



鉄球が頭部だとしたら？



巧みさの事例（コサック兵）

三種の協調系：

レベルA：トーンのレベル。周囲の水や大気の流動へ同調（スキージャンパーの空中姿勢）。

レベルB：四肢のリズム協調。

レベルC：空間のレベル。物への到達、移動させる運動。

⇒**レベルD**：行為のレベル。**A×B×Cの複合であるレベルD＝巧みさ、自在さ、dexterity（ロシア語はローフコスチ、狩猟の意）**

補足1：協調解析法の進展⇒全身協調に埋め込まれている拳銃の銃身位置。合唱各パートの音量制御。ベルンシュタイン後の展開：Gelfand, L. M. (1913－2009)。関数解析学、ベルンシュタインの友人。1989年第5回京都賞。Uncontrolled manifold 解析。変異分布による協調解析。ゴールの遂行に影響を与えない良いバラツキ>遂行に影響する悪いバラツキ。

補足2：協調に介入する周産時医療の事例：乳児の哺乳は sucking 吸う, swallowing 嚥下, breathing 呼吸の協調。舌の動きと口蓋奥の開閉が非同期（舌の奥が上がり、口蓋の奥が開く）で、ムチがしなるようにして後舌で食料を食道に押し入れている。突然死する乳児ではこのリズムが競争状態。そこでリズムをPC計測して、ミルクボトルからの流量のコントロール（少なくする）で競争的ではない協調の持続をサポートする。

1-2 20 世紀後半から 21 世紀での展開：フラーのテンセグリティ

建築家バックミンスター・フラー（Fuller, R. B.）：引く力と圧縮力の構造の普遍性を指摘。

●「押すことと引くこと、ばらせることとまとまろうとすることの、全方向のつりあいが構造の本質」、「構造は協同的な結合。中心から外側への放射状に発散する圧縮力と、外側から中心への放射状に収束していく引っ張りの力の、相互作用の結果」。引っ張り材で結ばれた閉じたシステムにおいては張力の不連続な断絶は生じず、局所的な張力の差異は常に全体に広がる。●人工物は硬い材の上に硬い材を積み重ねて、圧縮力を連続させる方法がとられる。しかし・身体においては、硬い材どうしは固着していない。人工物とは対照的に、連続した引っ張りの力の閉じたネットワークによって、圧縮力に抵抗する硬い島をむすぶような、張力の連続を基礎とする設計原理が用いられている。⇒連続した張力のネットワークに不連続な圧縮材が埋め込まれることで、全体のかたちを保つ設計原理は**テンセグリティ＝「張力による (tensional) 統合 (integrity)」**。

著作権の都合上
ここに挿入されていた画像を
削除しました

Turvey and Fonseca (2014) The Medium of Haptic Perception: A Tensegrity Hypothesis, *Journal of Motor Behavior* 46(3):143-187, p.148 Fig.3
"Two-body configurations"
<http://dx.doi.org/10.1080/00222895.2013.798252>

著作権の都合上
ここに挿入されていた
画像を削除しました

Turvey and Fonseca (2014),
op. cit., p.164 Fig.18 "An
example of an icosahedral
tensegrity assemblage."



* Image [right]
Courtesy The
Estate of R.
Buckminster Fuller

モントリオール万博 アメリカ館

テンセグリティの特徴：●連続する張力、不連続な圧縮力の協調、●構造の安定性、●部分が全体に反映する。テンセグリティのどこか一部に力が加わると、全体に伝播する。部分が「感じた」ことを、即座に全体が「感じる」、●変形しても回復、●全方向に安定化する三角形化を基礎、●モジュール性。複数のテンセグリティが大きなテンセグリティシステムになる入れ子の階層システム【●Fuller, R. B. 1975. *Synergetics*. New York: McMillan. ●Fuller, R. B. 1992. *Cosmography*. New York: McMillan. [梶川泰司訳 2007 『コズモグラフィー—シナジェティクス原理』白揚社]

細胞テンセグリティ：細胞質には「細胞骨格」とよばれる微小管、アクチンフィラメント、中間径フィラメントのタンパク線維の三次元網目構造があり立体構造を力学的に支えている。周囲の力学的環境に応じてふるまいを変化。硬い培地⇒扁平なかたち、柔らかい培地⇒丸まり、培地を持ち上げてしわをつくる。地面上のテントのように包囲する基質に細胞骨格をつなぎ留め、かたちが制御される【Ingber, D. E. 1998. The architecture of life. *Scientific American*, 278(1), 48-57】

著作権の都合上
ここに挿入されていた画像を
削除しました

Donald E. Ingber (1998) The architecture of life, *Scientific American* 278 (no.1, Jan.): 30-39, p.33 "Tensegrity model"

著作権の都合上
ここに挿入されていた画像を
削除しました

細胞テンセグリティの図

（左）細胞テンセグリティモデル。硬い培地では扁平。柔軟な培地をもちあげ丸くなる。

（右）張力材結合により内部核も全体に同期して変形。

2 包囲する情報：媒質情報論

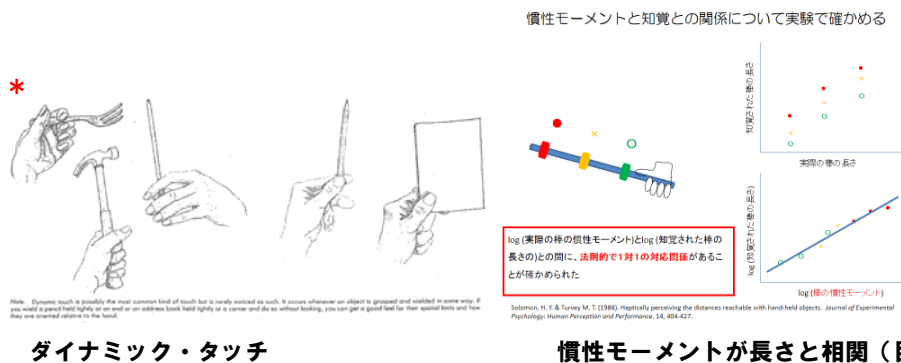
2-1 ダイナミック・タッチ研究（触覚、自己身体知覚）：

「モノの性質は、投げ上げて受け取り、左右へと揺り動かすなど様々なやり方で、対象を振ることでわかる。それは感覚作用ではなく情報に基づいている。振ることで得られる情報は、筋や腱で起こる流動からあらわれる不変項・・・不変項は変化から切り離せる持続的な成分である。・・・振る動きに起こる種々の変化を濾過するかのようにして、モノの純粋な情報が残せる・・・」（『生態学的知覚システム』文献は下に）

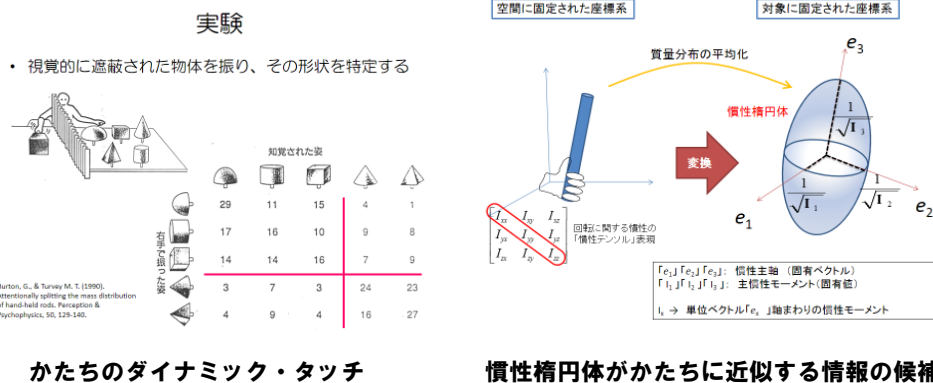
●直接知覚説 direct perception：刺激＋脳＝間接知覚ではなく、周囲と全身接触する情報の探索。

●脳卒中後遺症で右半身運動麻痺患者、マヒ側の手（ゴムで棒を括り付ける）で、健常側と変わらない精度で棒の長さを知覚。●振りの学習が進むと多時間スケールの変動（フラクタル性）を持つようになる。

つまりより柔軟な振りになる。



The upper left image is reprinted with permission of The American Psychological Association from: M.T. Turvey (1996) Dynamic touch, *American Psychologist* 51(11):1134-52, p.1135 Fig.1. The other images are based on: [upper right] Solomon and Turvey (1988) Haptically perceiving the distances reachable with hand-held objects, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 14(3): 404-427, Fig.6; [bottom left] Burton et al. (1990) Can shape be perceived by dynamic touch?, *Perception and Psychophysics* 48(5): 477-487, p.483 Fig.4 and Fig.5; [bottom right] Turvey (1996), p.1139 Fig.5



全身が触覚の媒質？：身体（結合組織）の張力ネットワーク：骨格が圧縮在、筋とその周囲の結合組織では、靱帯や腱、筋膜などが張力を伝え、張力が筋膜を介し、他の筋及び筋以外の組織・器官伝わる。筋肉、腱、関節にある深部（感覚）受容器は、筋の変形や振動を検知する筋紡錘と、筋と腱の接合部に位置するゴルジ腱器官（機械受容器）。筋紡錘の密度の高いところは、遅筋線維の割合も多い。筋膜の張力ラインと筋肉の接合部分に沿うかたちで、筋

紡錘が分布。筋の深部受容器分布は、筋膜と筋肉との接合部分に集中。筋膜と筋肉という、材質が異なり、張りや硬さが異なる張力材同士の接合部では張力が伝播。機械受容器は局所的な筋・腱の変形を検知しているのではなくて、張力場のパターンを検知している可能性。機械受容器群はテンセグリティ張力配列を検知している可能性。

著作権の都合により
ここに挿入されていた画像を
削除しました

Turvey and Fonseca (2014) The Medium of Haptic Perception: A Tensegrity Hypothesis, *Journal of Motor Behavior* 46(3):143-187, p.156 Fig.9 "The tension and compression elements at the scale of the body"
<http://dx.doi.org/10.1080/00222895.2013.798252>

身体はテンセグリティ仮説：張力配列 tension array 張力の分散と統合、圧縮力と張力の入れ子組織、部位に依存しない制御系 筋結合組織と骨格の連続体。単一細胞から全身まで⇒ソフト・ロボット（ビデオ）への援用 運動障害を持って生まれた乳児のジェネラル・ムーブメントをアシストする装着型スーツ開発。

【●Gibson, J. J. 1966. *The Senses Considered as Perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin. 「邦訳 『生態学的知覚システム』 東大出版会」 ●Turvey, M. T., & Carello, C. 2011. Obtaining information by dynamic (effortful) touching. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1581), 3123-3132. ●Turvey, M. T., & Fonseca, S. T. 2014. The medium of haptic perception: A tensegrity hypothesis. *Journal of Motor Behavior*, 46(3), 143-187.】

2-2 頸椎損傷者の靴下履きの発達：全身のダイナミック・タッチでモノを扱う⇒ビデオ

4つの動き（下位ゴール）の入れ子：①床面へ定位（体幹支持×②脚位置調整×③靴下入口を開く×④靴下を引き上げる。二つ以上を重ねる（9月）⇒下位行為の段階的進行（12月）⇒いくつも同時に（3月）。

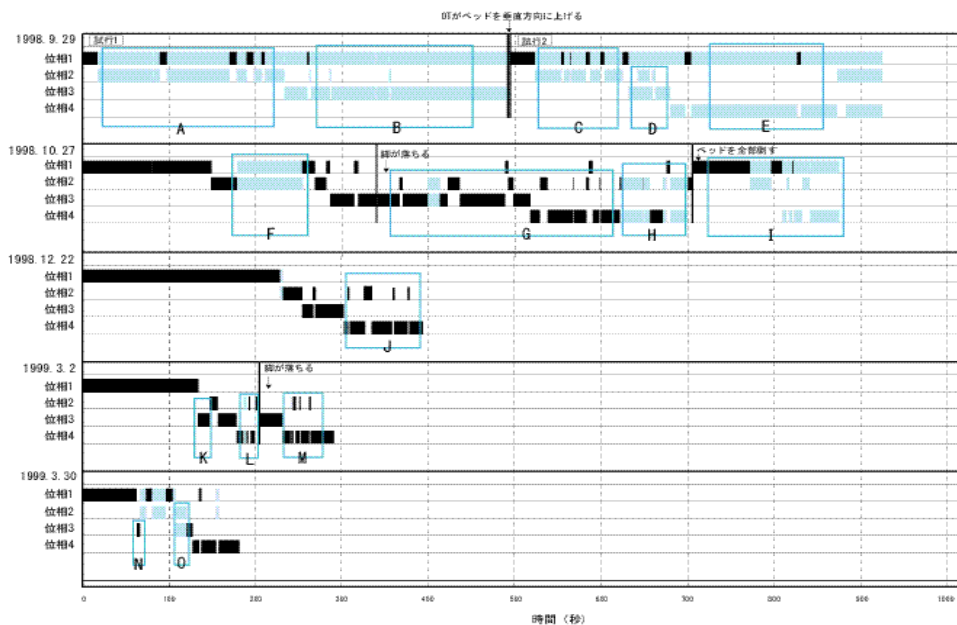


図3 靴下履きプロセスの発達

2-3 視覚：生態光学、空気媒質論・・・情報は光のなかにある

著作権の都合により
ここに挿入されていた画像を削除しました

エレノア・J. ギブソン『アフォーダンスの発見 ジェームズ・ギブソンとともに』佐々木正人、高橋綾（訳）、岩波書店、2006年、p.152「サンディエゴのカリフォルニア大学を訪れたジェームズとエレノア、1979年冬」；p.53「ジェームズ大尉とジェリー、1942年」



*

写真出典[右]: ジェームズ・J. ギブソン『視覚ワールドの知覚』東山篤規、竹澤智美、村上嵩至（訳）、新曜社、2011年、p.8 図2

J. J. ギブソン 1979年夏とエレノア・ギブソン（発達心理学者 visual cliff 米のサイエンスメダル受賞）。

右は1940年代第二次大戦で陸軍の視覚テストユニットに参加の頃。奥行知覚の情報が地面のキメの勾配にあると発見。

空気（情報の媒質）の心理学：空気のアフォーダンス。①どこへでも移動できる。②物が衝突して生ずる振動や、火事や花や他の動物から漂っている微小で軽い化学物質（煙や匂い）の「雲」を周囲に広げる。③上下に重力が貫いて、動物姿勢の地面への定位を可能にしている。**空気は動物に姿勢と移動と知覚を与えている。空気中で光は各所でいろいろな乱れを起こしている。この光の乱れに多様な視覚の意味がある。このアイデアが生態（エコロジカル）光学。**

散乱反射・照明・包囲光：光は、空中の微小な塵に衝突し地面や他の表面の肌理で散乱。散乱が繰り返し、エネルギーが完全吸収されるまで空气中を激しく往来。その結果が照明。照明は空气中に散乱光が充満すること。照明をつくる光線の束は密。照明光では、空气中の各点にすべての方向から光が集まる。この光は周囲の表面からの投射であり、したがって各点に集まる光線は方向で強度が異なる。この空气中のすべての点を取り囲む強度差のある光が「包囲光」。

<p>著作権の都合により ここに挿入されていた画像を 削除しました</p> <p>J.J.ギブソン『生態学的視覚論』古崎敬、古崎愛子、辻敬一郎、村瀬旻（訳）、サイエンス社、1985年、p.53 図4.1「空の下で照明されている媒質内で反射している光の定常状態」</p>	<p>著作権の都合により ここに挿入されていた画像を 削除しました</p> <p>J.J.ギブソン『生態学的視覚論』古崎敬、古崎愛子、辻敬一郎、村瀬旻（訳）、サイエンス社、1985年、p.54 図4.2「点光源からの放射光と媒質内の一点への包囲光」</p>	<p>著作権の都合により ここに挿入されていた画像を 削除しました</p> <p>J.J.ギブソン『生態学的視覚論』古崎敬、古崎愛子、辻敬一郎、村瀬旻（訳）、サイエンス社、1985年、p.73 図5.1「空の下に広がる、戸外の起伏のある大地からの包囲光配列」</p>
--	--	---

照明（散乱反射の繰り返し）

放射光（刺激）

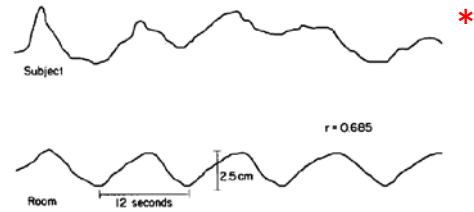
包囲光（情報）

包囲光配列（砂漠に立つ人）

構造のある光・包囲光配列：周囲の表面が包囲光に投射された構造を「包囲光配列（構造）」とよぶ。空气中のどの場所にもユニークな光の構造。包囲光配列は刺激ではなく「情報」。なぜなら閾値や、量の制限がなく、環境から消失するようなことがない。空気は光の情報を保存している。上図右端は地平線まで何も見えないような荒野での包囲光配列。空と地面が包囲光の球を上下に2分。上の半球は下よりも明るい。下の半球の配列は、地面の肌理の立体角で密に細分化。ここで観察点（移動者）が動くと、それまで見ていた包囲光の縁から、新しい光の構造があらわれる。つまり**包囲光の立体角の和は球にはならない。移動などで変化が起きると、立体角の中からは常に別の立体角があらわれてくる。配列には他の配列が隠されている。つまり「包囲光配列は立体角の入れ子である」**

著作権の都合により
ここに挿入されていた画像を削除しました

佐々木正人『新版 アフォーダンス』岩波書店、2015年、p.108
図24(b)「壁の動きの光学的流れによる姿勢制御の模式図」



Reprinted with permission of The American Psychological Association from: [right above] Thomas Stoffregen (1985) Flow structure versus retinal location in the optical control of stance, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 11(5):554-565, p.557 Fig.1; [right below] Warren et al. (1991) Perception of circular heading from optical flow, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 17(1):28-43, p.29 Fig.1 bottom

<p>著作権の都合により ここに挿入されていた画像を 削除しました</p> <p>J.J.ギブソン『生態学的視覚論』古崎敬、古崎愛子、辻敬一郎、村瀬旻(訳)、サイエンス社、1985年、p.219 図12.1「ウマの側方眼とヒトの前方眼、およびそれぞれのおよその視野」</p>	<p>著作権の都合により ここに挿入されていた画像を 削除しました</p> <p>J.J.ギブソン『生態学的視覚論』古崎敬、古崎愛子、辻敬一郎、村瀬旻(訳)、サイエンス社、1985年、p.134 図7.3「地面に平行に移動する際の光学的配列の流れ」</p>
---	--



馬と人の包囲光（馬は後ろも見える）

鳥の移動制御（光の流れ）

ドライビングを制御するキメの流れ

情報の多様性：光の中には豊富な情報がある（以下はその例の一部）。

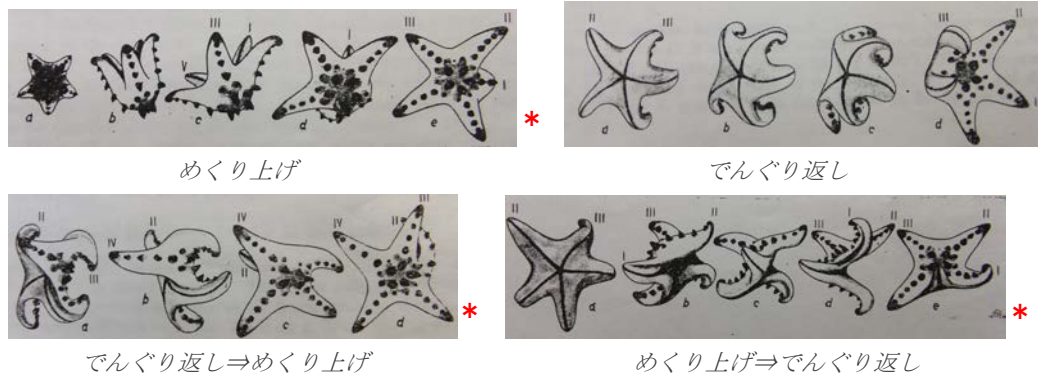
●光と闇の交代⇒昼夜を特定する情報。●正面あるいは左の側面からの光配列の影の拡大（ルーミング）は、何かが前、右、左から近づきを特定。●動物は光学的流動を利用。同じ場所にとどまっているために、自身を河床や地勢に視覚的に繋ぎ止める。流動が前方で拡大し後方で収束していれば「前進」、逆なら「後退」。移動は視覚情報が制御。●眼と手の協応（手作業、文字を書く）なども光配列の複雑な変化を利用

【Gibson, J.J. 1979 The ecological approach to visual perception. Boston: Houghton-Mifflin. [古崎敬ほか訳 1985『生態学的視覚論』サイエンス社 佐々木正人 2015『新版 アフォーダンス』岩波科学ライブラリー234】

3 アフォーダンス:モノ・環境は動物に行為を与え、同時に行為を制約している

3-1 「表現系可塑性」：動物学では遺伝的組成は変えることなく表現型（行為）を変化させる動物個体の能力は表現型可塑性 phenotypic plasticity、表現型柔軟性 phenotypic flexibility とよばれている。

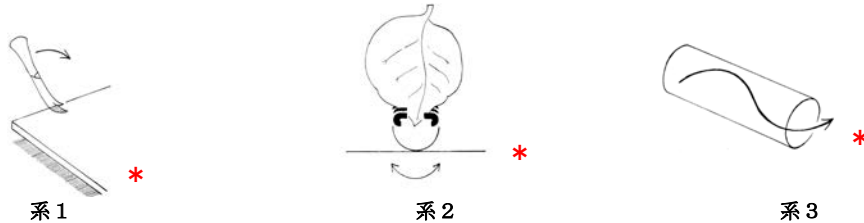
1例が下図コブヒトデの起き上がり (Ohshima,H. 1940 The righting movements of sea-star oreaster nodosus Japanese Journal of Zoology vol.8 575-589)。



Images from: Hiroshi Ohshima (1940) The righting movements of the sea-star *Oreaster nodosus* (Linné), *Japanese Journal of Zoology* 8:575-589, [left above] p.579 Fig.2; [right above] p.580 Fig.4; [left below] p.581 Fig.5; [right below] p.582 Fig.6

3-2 物—行為が系となって意図を実現している：起き上がるカブトムシ

モノ—行為系での起き上がりの分類：地面（重力場）への定位は基礎的な行為。カブトムシはひっくり返されると姿勢転換し、腹側を地面に向けようとする。その際にそばに置かれたモノをどう使うか。床の溝、タオル、うちわ、鍋敷、チラシ、爪楊枝、リボン、ビニルヒモ、ティッシュ、Tシャツ、シソの葉、メモ用紙、割り箸、フィルム蓋で観察。起き上がり過程（動画はユウチューブにあります）はどれも背腹回転。



系1：回転は下肢先端及びツメと、環境面の肌理や縁の結合部が支点。回転は一方向。

系2：回転中心は背を含む大円の中心、重心は上へ移動。重心位置の変化による不安定から回転が創発。

系3：長軸まわりの旋回（螺旋型ねじれ）。

⇒起き上がり行為柔軟性はモノの性質との相補性がもたらす。

図版出典：佐々木正人(2011)「『起き上がるカブトムシ』の観察：環境－行為系の創発」『質的心理学研究』第10号、46-62、p.60 図18「カブトムシ起き上がり：3つの環境－行為系」

動物—行為相補性：動物行為を含意する環境⇒アフォーダンス affordance (Gibson, J.J.)

「アフォーダンスは環境の事実であり、かつ行動の事実である」

4 表現の生態学へ：読む、書くとは、包囲する情報の探求のこと？

「自然の知覚についてのピクチャー説を退けた上で、絵について知覚について考察できる。」

（ギブソン 生態学的知覚論15章）

●包囲光に含まれる情報は、形態や色ではなく不変項である。絵は、包囲光配列から不変を分離したもの。静止した形態である絵に、無形の不変項を formless invariants 知覚する。画家によって静止させられた形は、不変項を特定するユニークな（遠近法的变化項）群の一つの要素にすぎないが、それに不変項を見ることは可能。猫を見ているとき、正面、横から、後ろから、上からといった（遠近法的な）猫の群を見ているのではなく、それらが連続したときに知覚できる「不変な猫 invariant cat」を見ている。なぐり描きを開始する子どもは、キャンパスにクレヨンが残す痕跡に、不変項を探る準備ができており、はじめから不変項を線（エッジ、縁）で示そうとする。



画像：佐々木正人『新版 アフォーダンス』岩波書店、2015年