

環境に計算させる

Let the Environment Compute

中島秀之¹ 諏訪正樹²

Hideyuki Nakashima¹, Masaki Suwa²

¹ 札幌市立大学

¹Sapporo City University

² 慶應義塾大学環境情報学部

² Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

Abstract: There are many studies and formalization of intelligence that interact with its environment and utilize it. We give brief description of those and then we present our formalization partly based on baseball experience. The key is to let the environment do part of the computation necessary to perform tasks.

1. 現象編

最初に、環境と主体の関わりの例をいくつか挙げ、それらが、主体の動作を環境が作り上げていると見做せることを示す。

サイモンの蟻[Sim96]

現象の記述は複雑だが、その構成原理はいたって簡単だという例。蟻は地面の上を抵抗の少ない方に歩いているだけだが、描かれた軌跡は複雑になる。蟻自身ではなく、環境（地面）の凹凸が、その複雑さを作りだしている。

薄墨

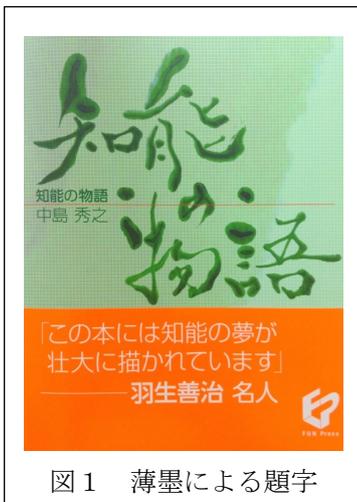


図1 薄墨による題字

み具合はある程度、書家が制御しているのだが完全

ではない。墨の滲みは紙と墨汁の共作と言って良いだろう。

私の『知能の物語』[中島 15]の表紙の題字（図1）は故中島荘牛氏の弟子である今野翠花さん（当時公立はこだて未来大学のスタッフ）に薄墨で書いてもらった。

備前焼

備前焼（たとえば図2）は環境（火のまわり方）を積極的に利用して模様付けをしている。日の周り方はある程度デザインできるが、最終的にどのような模様になるかは竈門任せである。この状況は薄墨の場合と同じで、状況設定は人間が行うが、具体的にどうなるかは環境任せである。

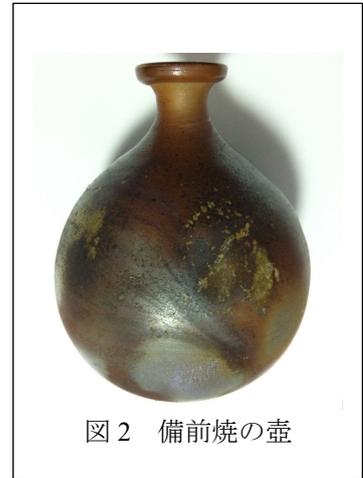


図2 備前焼の壺

盆栽

盆栽は小さな鉢植えで大きな樹木を表現している。図3はそういった素晴



図3 盆栽

らしい盆栽の例である。

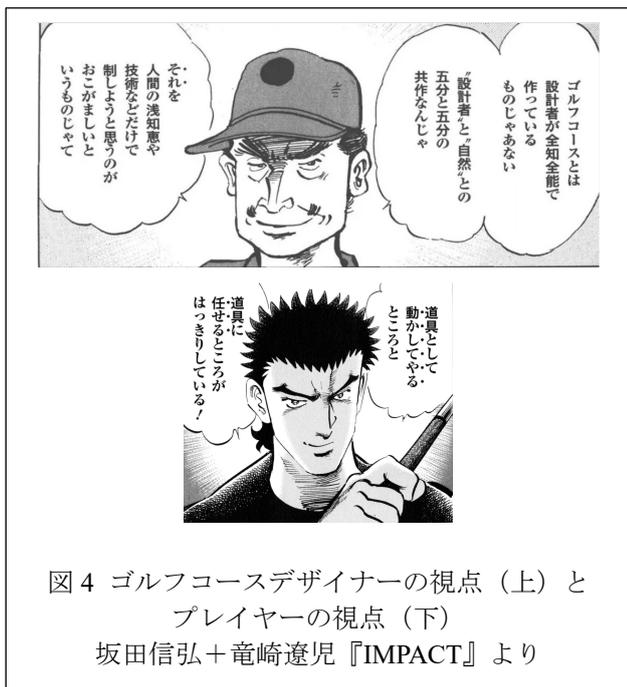
ひょっとしたら盆栽は環境との相互作用を用いた芸術の頂点かもしれない。枝を切ったり、針金を使って曲げたりした後、樹木の成長に任せることになる。

薄墨や備前焼の場合の一方通行と異なり、作者は何度でも設定し直せるので、作者と環境との間のループ（相互作用）が形成される。

ゴルフ

ゴルフコースのデザイナーにとっては、盆栽同様に自然が「環境」となる。グリーンやフェアウェイの配置の他、樹木や導水管は設計できても、日照、芝や樹木の生育、地下の雨水の流れなどはコントロールできない（図4上）。

プレーヤーにとっては道具も「環境」となる。クラブへの入力はコントロールできるが、しなりやその戻り等はクラブに任せることになる（図4下）。ラフでボールを打った時に芝がボールとフェースの間に入りこみ、スピン量が不足するフライヤーもコントロール外だろう。



テトリス上級者の戦略

テトリスは上から落ちてくるピースの角度と水平位置を変えることによって、下に積み残されている山に隙間なく埋めるゲームである。ピースがハマる角度を自分で計算するより素早く回転させてみることによってハマる角度が見え、認知負荷が減る。図5はそのようにして角度と位置が決まり、あとは落とすだけとなった瞬間のスナップショットである。



野球の打者にとっての身体知の学び

第二著者は野球選手であった（図6）。どんな投手を相手にしてもタイミングを合わせ、自身の身体能力を100%発揮できるようなバッティングの身体知を学ぶことは一筋縄ではいかない。



図6：第二著者のフォーム

投球動作は、重心移動のタイミング、身体の回転軸の在処、着地から腕が振られるまでの時間間隔など、全体を構成する各部位の動作はひとによって千差万別である。様々な変数が関与するため、投手との対戦が初めての場合、打者としてその都度、投球動作で特に着目すべき変数は何かを見つけ出し、それに即して自身の身体の使い方を調整するというマインドでは、バッティングは機能しない。

また、バッティングは、打席の土の性質・状態に大きな影響を受ける。粘性の高い土であれば、土とスパイクの摩擦を高める足裏の接地方法は、自由度が大きく簡単である。しかし、砂地のような地面の場合には、足裏の一部だけで無造作に接地しようものなら、足裏がずれて地面からの反力を活かした力強いスイングはできない。投手の身体動作と土の性質・状態は打者にとって重要な「環境」要因である。

私は、対戦相手の投手や地面の特質や状態という「環境」が毎回異なるという難しさに瀕しても、投球動作にタイミングを合わせ、地面反力を効率的に

得るような、自身にとって普遍的なフォーム（身体知）を学びとるべく、長年模索を続けてきた。そして約7年前によく、それまでには感じたことのない境地の身体知を獲得した。その境地について簡単に述べる。

基本的に、私の心身・打席の土・相手投手の投球動作がひとつのシステムとして渾然一体になるよう、私の心と身体の「構え」を制御して打席に立とうとする。「構え」を構成する代表的な項目を列挙する。

- 足裏で土の性質を感得した上で、足・丹田・上体を地面に埋め込むような意識をつくる
- 投手の身体部位の動きに着眼するのではなく、投球動作が全体として私に向かうエネルギーの高まりを感じとる
- その高まりに、私自身のバックスイングによるエネルギーの高まりを連動させる
- バックスイングからスイングに至る動作は、肩甲骨の浮きを右から左に入れ替える（私は右打者である）だけで完遂し、それ以外の身体部位へ余計な意識は捨てる
- そうすると、自然にタイミングは合い、力強いインパクトの実現に向けて充実味溢れる体感が湧き上がる
- その体感の湧き上がりをきっかけとして、左中間あるいは右中間にライナー性の強い打球を飛ばして、（2塁打ではなく）3塁ベースを陥れるという、野球選手としての私の特質・自己に合致する近未来像を予期する。

上記の列挙が基本であるが、毎回これだけに終始するわけではない。投手の特徴、私の体調、試合状況に応じて、これらの基本項目に、新たな変数への着眼や対処といった微調整を臨機応変に足すことになる。ただし、上記の項目が満足されていれば足すものごとはそれほど多くはない。

ポイントは、私の心身と環境が渾然一体となってひとつのシステムを成しているとき、そのシステムが行う計算の全容とその範囲¹は予め決まっているわけではなく、打席ごと、あるいは投球ごとに、環境や私の心身の如何なる変数が関与するかに応じて、柔軟に拡張したり縮小したりすることである。計算の一部は環境にさせ、心身が担う計算と環境が担う計算の境界も可変であることを示す事例である。

¹ ここで「範囲」とは、認識枠（フレーム）のことである。人間の場合は、ときには認識フレームを環境の状況に応じて認識枠（フレーム）を変容させるが、古典的な認知表象主義に基づく AI（「理論編」で登場する図8の

居心地の探究

第二著者（諏訪）は建築空間における居心地という認知の研究をしている。ひとは普段、「居心地とはなにか」を深く考えることはないが、心身は確実に居心地の良さ・悪さを捉えている。諏訪はこの研究を通じて、居心地という認知は「空間に佇むとき、環境状況に潜む多様なものごとに応じて、多様な楽しさ・癒し・価値を見出す心身のありよう」であるという考えを強めてきた。暗黙性の高い身体知である。

私が訪れたカフェの事例を紹介する。京王線の東府中という駅が最寄りの珈琲専門店、古民家をリノベートしてカフェ空間に設えたものである。

図7の正面が、通りの脇に位置する一間幅の入り口（引き戸）である。焦茶と白が基調の内装で、暖色系のスポットライトがところどころに配され、店内は暗めである。週末の晴れた午後で、カフェを取り囲む環境にはふんだんに降り注ぐ太陽光に輝いている。暗めの店内から明るい外空間を眺めて佇むのは心地が良い。それが最初の気づきだった。



図7：東府中のカフェ

私が陣取った席（写真を撮った席）の左側は、腰の高さから上に大きなガラスを嵌め込んだ引き戸を介して、少なからず往来のある車道があり、引き戸のすぐ横は歩道である。車や人の往来はかなり近距離

ではあるものの、ガラスが少々歪んでいるせいか、景色の見え方がクリアではないことが却って私のプライバシーを守ってくれている。

・という具合に、居心地研究でカフェに赴くと私は、取り巻く環境の状況のなかでふと着眼したこと、それに対する私の解釈・心境、さらにそこから湧き起こる妄想をつらつらと記述する。のべ23のカフェで書き溜めたこの種の記述（ひとつのカフェあたり1700~2300文字程度の記述）を分析し、複数のカフェで共通に登場した「空間に佇むとき、環境状況に潜む多様なものごとに応じて多様な楽しさ・癒し・価値を見出す私自身の心身のありよう」を抽出し、それを私自身の「居かた」と定義した。驚くべ

パラダイム）は、予め世界認識を内部モデルとして持つことを前提とするので、認識枠（フレーム）は固定である。それを「フレーム問題」と称する。

きことに 55 個の「居かた」が抽出でき、そのうちの約 1/3 は、この研究を行うまでほとんど自覚していなかった暗黙性の高い「心身のありよう」であった [諏訪 22].

席に着いて多様な気づきを記述しているとき、ふと、「ごっとな、どっすん、・・・」という音が右の方からやってくることに気づいた。このカフェには、図 7 の写真の右手方向に、従業員の調理スペースを挟んで一段床が高くなった空間がある。その空間の外には緑豊かな中庭があり、中庭の向こうには単線の線路がある。「ごっとな、どっすん、・・・」は、単線であるが故に低速で走る電車の線路音である。

「そうか！ 東府中駅で京王本線から分かれる、東京競馬場へと伸びるあの支線が裏を走っているのか！」。私は、実は、大の競馬ファンであり、東京競馬場は若い頃からの馴染みの場所である。府中競馬正門前という支線駅があることは知っていたが、この支線に乗った経験はない。

そう気づいた瞬間、思いも寄らなかった心境が芽生えた。「この駅は初めて降りる駅で、慣れない、したがってすぐには馴染めない土地だけれど、ここは、あの広々とした自由な解放感溢れる大好きな競馬場（私の人生を彩ってきた場所）に一駅でつながっているのだ」。その思いに至った途端、不思議なことに、このカフェに対する親しみが増し居心地が急変する感覚を覚えた。

その後、別のカフェでも似たような体験に遭遇し、それらの事例は「馴染みがなくそわそわさせられる空間も、馴染みの場所につながっていると認識するだけで、急にのんびり、ほっこりする」という居かたの抽出につながった。

居心地の認知が立ち現れているとき、「計算」は私の心身だけが為すわけではない。環境にも計算させている。「ごっとな、どっすん、・・・」に私がふと気を留めたとき、私は環境の計算結果を読み取ったのだ。環境の計算はそれ以外にも多種多様存在するはずだが、私が読み取った（気を留めた）のはその一部である。そして私は、環境の計算を読みとったことに応じて私なりの再計算をして、「東府中はすぐには馴染めない土地だけれど、ここは、あの広々とした自由な解放感溢れる大好きな競馬場（私の人生を彩ってきた場所）に一駅でつながっているのだ」という思いに至ったわけである。私の心身と環境が渾然一体となったシステム全体で計算が為され、計算の全容が居心地の認知を決める。

2. 理論編

環境との相互作用を重視する知能観

環境との相互作用を重視する知能観には以下のようなものがある。以下の節で順に議論する。

- Uexküll:環世界
- Gibson:アフォーダンス
- Maturana & Varela: オートポイエシス（自己産出）
- Brooks : Subsumption Architecture
- 状況依存性
- 中島：環境に計算させる

Uexküll：環世界

Uexküll1982-1905 の研究で、「環境は生物が作り出す」という主張[UK73]。実際の環境を生物が作り出すわけではなく、生物の毛センサーで感知できる世界がその生物にとっての環境となる。

Uexküll はダニの環世界を例に、この考え方を説明している。ダニは光、酪酸、温度、触覚の 4 つのセンサーだけを使って世界を認識し、その中で生存している。

1. 光センサーを使って、明るい方に移動すると、灌木の枝に登ることになる。
2. 酪酸を検知すれば、これは下を哺乳類が通っている印なので、落下する。
3. 温度センサーを使い、熱を感じれば哺乳類の上への落下に成功したことがわかる。冷たければ地面に落ちてしまったので 1 に戻る。
4. 3 に成功していれば、触覚を使って、毛の少ない場所から血を吸う。

生物が自分の持つ感覚器で周囲の情報を能動的に得ている。その結果、全ての生物にとって同じものが感知できているわけではない。また、環境認識を間違えることも多い。たとえば、ムクドリはハチとハエを間違える；カラスは小枝と針金のハンガーを同一視する；などという例が観測されている。

人間とイヌとハエの環世界の違いを図示すると以下の図 8 のようになる。

最初の図は人間にとっての部屋。2 番目は犬にとっての部屋だが、自分が登れる椅子やソファは見えているが、テーブルは見えない(背景となっている)。3 番目はハエにとっての部屋。照明と水分のある皿とグラスだけが見えている。

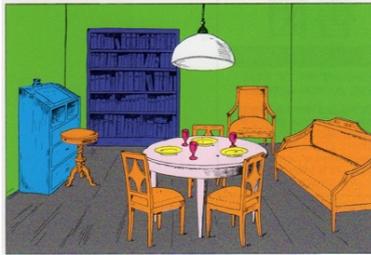


図29 人間にとっての部屋

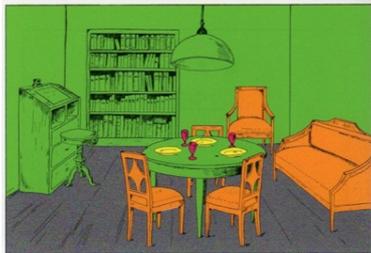


図30 イヌにとっての部屋

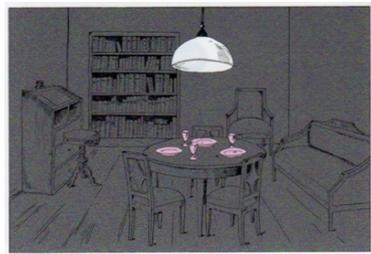


図31 ハエにとっての部屋
(図29-31 本文95頁参照)

図8 人間とイヌとハエの環世界の違い

主体の種類だけではなく、個体の状態によっても見えるものが異なる。

[UK73]では例としてヤドカリの環世界が示されている。ヤドカリがイソギンチャクに出会ったとき、ヤドカリの状態によってイソギンチャクが異なるものとして認識される例である。

図9はヤドカリとイソギンチャクの出会い(左側)と、ヤドカリの行動の違い(右側)を描いたものである。

上段は殻を持ったヤドカリがイソギンチャクと出会った場面。ヤドカリはイソギンチャクをカモフラージュと見做し、殻に装着する。

中段は殻を持たないヤドカリの場合。イソギンチャクを殻と見做し、潜り込む。

下段は殻を持ち、カモフラージュも十分に装着しているヤドカリ。イソギンチャクが食料に見えて、食べようとする。

これらの例は次に述べる Gibson のアフォーダンス

スの考え方には馴染まない。イソギンチャクがヤドカリの異なる動作をアフォードしなければならないから。

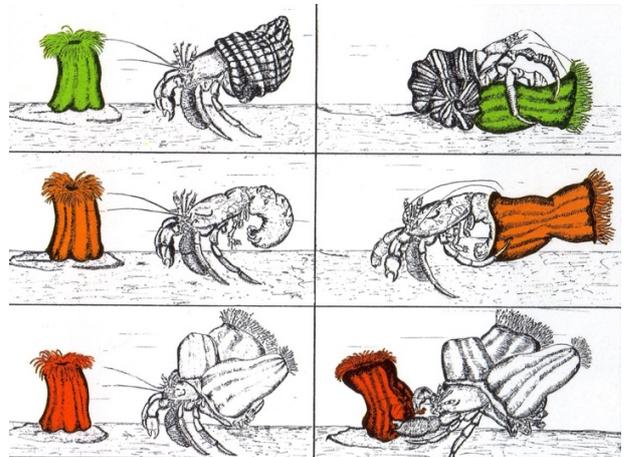


図9 ヤドカリとイソギンチャクの出会い。ヤドカリの状態によって行動が変わる。

Gibson: アフォーダンス

Gibson が『生態学的視覚システム』[Gib85]で提唱した考え方。環境が主体の行為をアフォード (afford. 提供) するという立場をとる。それ以前の考え方である、主体が環境を認識し、それが行為につながるという方向を否定し、主体と環境との相互作用で行為が決まるとした。²

面白いのはU Uexküll も Gibson も同じような例を使いながら、説明の方向が逆になっている点である。

Maturana & Varela: オートポイエーシス

自己 (auto) と産出 (poiesis) の造語。システムの動作が、そのシステムの次の状態を決めるというもの。Varela は「神経システムには入力も出力もない」と述べている[MV80]。彼らはハトの視神経を研究していて、神経システムというのは目の表面で切れていて、そこから外が外界で、それより内側が内部だという見方ではだめだと主張している。光の刺激から対象のものから全体をひとまとめにして、1つの系として捉える必要があるのも、その全体のシステムには外部からの入力や外部への出力がないという主張である。

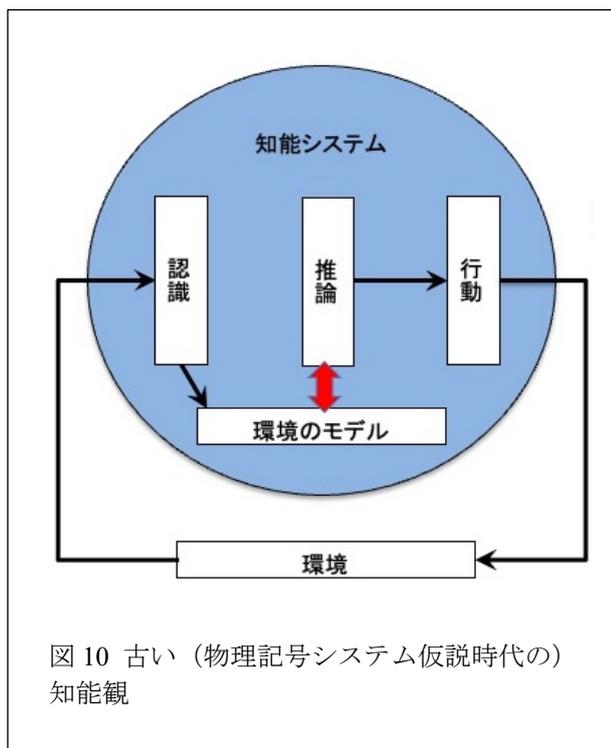
² Afford という用語を使ったのが誤解の元だったと思う。A affords B は A から B へ的一方通行に読める。実はこの誤解をノーマンがデザインに応用し『誰のためのデザイン』[Nor90]でアフォーダンスをデザインせよと述べ

た。後年、ノーマンはこの間違いに気づき『複雑さと共に暮らす』(2011)において訂正している。

Brooks: 服属(Subsumption)アーキテクチャ

Rodney Brooks によって提案されたロボット用アーキテクチャ[Bro91]. 従来のモデルが水平型(直列情報処理)であったものを垂直型(並列情報処理)に変えた. その上で上位の処理が下位に介入(subsume)のでこの名がある. 包摂アーキテクチャと呼ばれることも多いが, 数学用語の包摂とは意味が違う(本人に確認済み).

従来の水平モデルとはループを回る時定数が異なり, 環境モデルの参照がないため下位の層はかなり速いループを形成する. たとえば, 下位の層では周



囲の物体との接触を避けるだけの機能で歩き続け, 上位の層がタスクを遂行する. ただし, このアーキテクチャでは「昆虫の知能」程度しか作れない気がする. 実際掃除機のルンバ程度しか実現できていない.

まずは古い方, 物理記号仮説時代のモデル(図 10)から見ていこう.

これは AI の初期に想定された知能モデルで, (順序は違うが) 読み書きそろばんモデルとも言える.

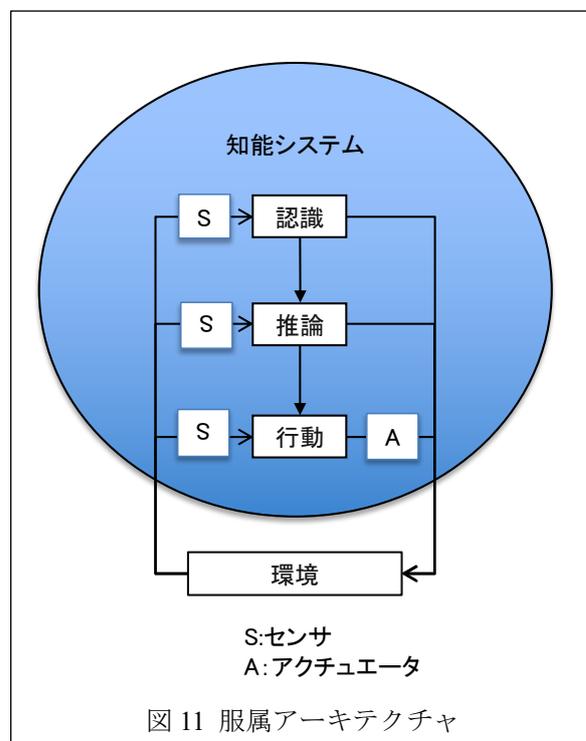
1. 外部環境を認識し, そのモデルを内部に構築する
2. 内部表現だけを用いて推論を行う
3. 推論結果に従って行動する

というモデルである. このモデルで明らかになった

のが「フレーム問題」[HM69][MHM90]である. 内部表現だけを用いて推論するのであるが, 初期に用いられた「積み木の世界」ですら, 完全に記述できないことが明らかになった. フレーム問題に関してはその後様々な解決が試みられたが, 現在でも未解決問題である. AI の能力が向上し, AI エージェントとして使われるようになると, 人間の価値観を共有することが必須となってくるが, そこでもフレーム問題(価値観の完全記述はできない)が問題となる.

Brooks がロボットのアーキテクチャとして提唱したのが図 11 の服属アーキテクチャである.

下位の行動ループは独立して速い時定数で回っており, これに対し上位のループから介入がある. 図 11 では「認識」と「推論」というように図 10 に合わ



せたモジュールが描かれているが, これらは任意に別のものに変えられるし, 層も 2 層とは限らない. ここで重要なのは認識や推論のループが環境を経て回っている点で, 図 10 の古典モデルの推論が内部に閉じていたのに対し, 環境を経由するので「環境に計算させる」ことが可能になっている.

iRobot³が提供している掃除機ルンバのアーキテクチャはこの服属アーキテクチャの最も単純なものである. 下位は単に動くだけの仕組みで, その上位に衝突回避が重ねられている. つまり, 室内を椅子や机といった障害物にぶつからずに徘徊することによって掃除ができるというアイデアである.

³ Brooks が創業した企業.

環境知能

AI システムの構築の際にも環境を活用することが考えられ、環境知能と呼んでいるが、英語では "Ambient intelligence" と呼ばれる [NAA10]。システムが環境に埋め込まれていて環境全体で人間の活動をサポートするという考え方である。

初期には「ユビキタスコンピューティング」(米, 日) [Wei91] の命名で知られるが、その後、場面によって様々な用語が使われるようになる。コンピュータが世界を知るための土台としては 1999 頃から Internet of Things (IoT) と呼ばれるが、これは現在の AI の前提ともなっている。欧州 (EU) では 2000 頃から "Ambient Intelligence" と呼ばれるようになる。

日本では我々が "Cyber Assist" なるプロジェクトを開始 (2000), その後米国を中心に "Cyber Physical System" (2006) と呼ばれるようになる。

Situated Cognition (状況に埋め込まれた

認知)

Situated cognition の考え方は、図 10 の古い知能観のアンチテーゼとして、1980 年代後半からアメリカ西海岸を中心に湧き起こってきた。認知主体の心身は、環境の状況に埋め込まれて進展・変容するという思想である。

環境の状況は主体の想定・意図とは独立に進展・変容する。そうした環境に心身が「埋め込まれている」主体にとって、環境の進展・変容に必ずかのように想定外の変数群にふと目が留まるのはごく自然のことである。その着眼をきっかけに主体の心身には新たな認識・意図が芽生え、ひいては新たな行為を繰り出すことにつながる。どんな変数群に目が留まるのかについて、予め主体が知るところではない。しかしながら、環境の状況に埋め込まれさえすれば何かしらの変数群に目が留まる。これが situated cognition 思想のポイントである。

本論文の論調に即して situated cognition 思想のポイントを言い換えると、こうなる。

- 認知主体は環境と渾然一体となりひとつのシステムを成している。
- 計算は認知主体だけが為すのではなく、環境にも計算させている。
- 計算させてはいるが、環境がどのような計算をするのか、そしてどのような計算結果を返してくるかを認知主体は知らない。
- 「計算結果を返してくる」は比喻であり、より

精密に言うと、環境側が認知主体の意図・想定とは独立に計算した結果のなかで、主体が読み取りたいものを読み取っているのである。

- 環境の計算を読みとったことに応じて、認知主体もさらに計算する。主体の計算と環境の計算を読み取ることは相互促進の関係を成す。
- つまり、認知主体と環境の全体システムが行う計算の全容とその範囲は、基本的に想定外に拡大したり縮小したりする。

電車の「ごっとな、どっすん・」は環境の計算結果を私が読みとった事例である。たったひとつ、想定外の環境計算の結果を読みとっただけで、私の計算も想定外に進展し、「馴染みの場所につながっているというだけで、馴染みではない場所にもほっこり癒しを感じる」などという、私にとって想定外の「居かた」を自覚できるようになった。

計算が想定外に拡大したり縮小したりすることに関連する論として、“Situated cognition: On human knowledge and computer representations”の著者である W. J. Clancey [Cl97] の主張を引用する。

“In contrast to the *symbolic approach* (which I hereafter call the *descriptive approach*), the theory of situated cognition claims that when modelers equate human knowledge with a *set of descriptions*, such as a collection of facts and rules in an expert system, they are describing abstractly how the program should behave in particular situations, but they are not capturing the full flexibility of how perception, action, and memory are related in the brain.” ([Cl97], p.3)

Clancey が “symbolic approach” や “descriptive approach” と称しているのは、図 10 に示した古い知能観のことである。エキスパートシステムにおける事実やルールといった内的世界モデルは、特定の状況でどう振る舞うべきかを記述しているだけであり、その種の古い知能観では、ひとの心身が為す知覚・行為・記憶想起のダイナミックで柔軟な連動性を捉えきれないと論じている。

ひとが環境から知覚を読み取り、記憶を呼び起こし、行為を繰り出すことは、互いに促進しあう関係をなし、その結果として、思いも寄らない知覚・思考・行為が生み出されるというのが situated cognition 思想である。

その観点からすれば、situated cognition の重要な鍵のひとつは、認知主体が環境計算をどう読み取るかにある。認知主体が固定観念に囚われていると環境の計算結果を読みとれない、あるいは、いつも似たような、想定内の計算結果を読み取ってしまう。そ

れでは、環境に計算させる意義があまりない。認知主体が環境の計算結果として想定外のものを読み取るためには、特定変数群への志向性や常識の縛りを解いて、オープンマインドを以て環境のなかに心身を投じる必要がある。

では、どうすれば心身を常にその境地に保つことができるのか？ それは未だ学問が迫り切れていない未開拓領域である。野球選手としての私が、

- 足裏で打席の土を敏感に感じながら、足裏のみならず丹田・上体までも「地に埋め込む」という体性感覚を以て立ち方を模索し、
- 相手投手や自分自身の動作の連動を（「動き」という視覚レベルではなく）「エネルギー」という体性感覚のレベルで捉える

ことを志向していたことは、オープンマインドを以て心身を環境に投じるためだったのかもしれない。

野球の打撃における心身・環境一体システムのオートポイエシスの図解

野球のバッティングの身体知を模索してきた私が辿り着いた境地は、環境と心身が渾然一体となり、知覚・身体動作・思考が互いに他を促すという認知カップリングの状態にあるというものであった。環境は心身の外にあって常に環境と心身が相対する（内外の境界がある）という状態では決してない。

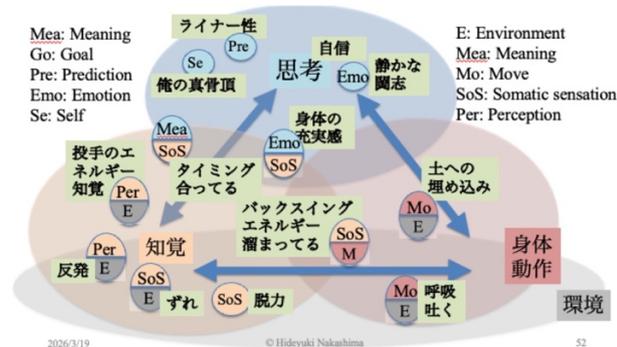


図 12：打撃の身体知のオートポイエシスの図解

図 12 をご覧いただきたい。

- 足裏が打席の土をしっかりと捉えられず、「ずれやすい」状態にあると感じ、
- そのままでは地面から反力をしっかりと得られないので
- 足裏だけでなく丹田や上体さえも、打席の土に埋め込むような立ち方を模索する

という一連の（しかし一瞬の）知覚・行為カップリングをつくりだそうとしているとき、私の心身は、地面と足裏の摩擦具合（ずれやすさ）、地面から身体

全体に伝わる反力、身体全体を地面に埋め込む行為という 3 つの要素に着眼している。本論文に即した言い方をすれば、その 3 つの要素が「計算」に登場している。図 12 に描いた通り、3 つの要素は各々、体性感覚(SoS)と環境(E), 知覚(Per)と環境(E), 身体動作(Mo)と環境(E)の界面を内包する。

- 身体全体を地面にうまく埋め込む動作が見つかる、「静かなバックスイングで、効率的に打つためのエネルギーが体内に溜まっている」という体性感覚を自覚し、
- 一方、対戦相手の投手の動作が私の身体に向かってくるエネルギーを知覚し
- 前者のエネルギーが後者のエネルギーに連動させることができると、「タイミングが合っている（体性感覚レベル）」と自覚することができ、
- 「自分の身体は、まさにこの直後に鋭いスイングで球を捉えることができそうである」という充実感を得る

「計算」にはこの 4 つの要素も登場する。各々の要素は、それぞれ、体性感覚(SoS)と身体動作(Mo)の界面、知覚(Per)と環境(E)の界面、2 つの異なる体性感覚(SoS と SoS)の界面、体性感覚(SoS)と思考・感情(Emo)の界面を内包する。

このように、心身・環境全体システムにおいて、なにかひとつの要素が「計算」に登場する度に、そのほとんどのケースで、思考・感情、知覚（体性感覚を含む）、動作、環境のあいだの界面がひとつ、システム内に湧き起こる。たとえば、「地面と足裏のずれやすさ」という計算要素は環境と体性感覚の界面を有する。このように、その要素が何であるかに応じて、何と何のあいだの界面なのかが決まる。

打者が地面にきちんと立ち、投球動作にタイミングが合うようなバックスイングを行い、いままさに球を捉えるインパクトを迎えつつあって、体性感覚的にも心的にも充実感を感じているとき、心身・環境全体システムの内側で、多種多様な界面があちらこちらで湧き起こり、互いに関連しあっている。

どんな界面がシステム内に生まれるかは、どんな要素が「計算」に登場するかに応じて状況依存的に決まる。言うまでもないが、界面は、もはや、古い知能観のように内外を分ける境界ではない。

これは、システムへの入力ももはや存在せず、環境と主体が渾然一体となったシステムが内側から変

容するというオートポイエシスの概念の好事例なのではないかと考えている。

木村敏の Noema と Noesis

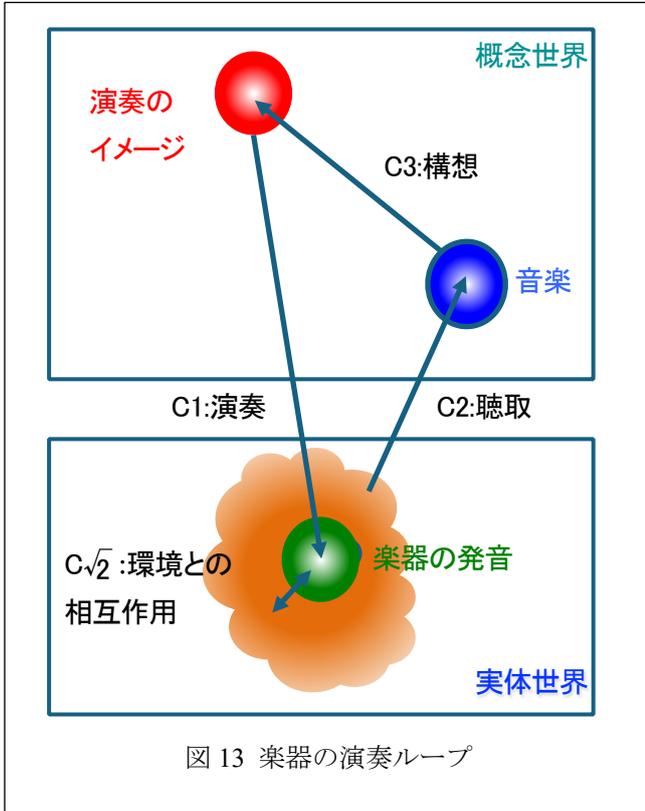


図 13 楽器の演奏ループ

図 13 は木村敏楽器の演奏のモデルである[木村 82]. 本筋から外れるので深掘りはしないが、Noema とは上半分の概念世界, Noesis は実体世界のようなものだと思って欲しい。

1. C1 : 演奏行動である (ここでは 1 音だけとを考えてほしい)
2. C1√2 : 楽器の発音, 反響, 聴衆の反応等
3. C2 : 奏でた音楽の聴取 (これまでに出した音の連鎖の理解)
4. C3 : 3 を反映し, 次の演奏行為の構想

演奏家が出した音が環境 (楽器, 反響, 聴衆など) を通して演奏家に戻ってくる. この部分は演奏家も聴衆の一人である. そして聴いた音楽の次を紡いで行く.

藤井, 中島, 諏訪:FNS ダイアグラム

図 14 は木村の演奏のモデルにヒントを得た構成の FNS(Future Noema Synthesis)ダイアグラムである[中

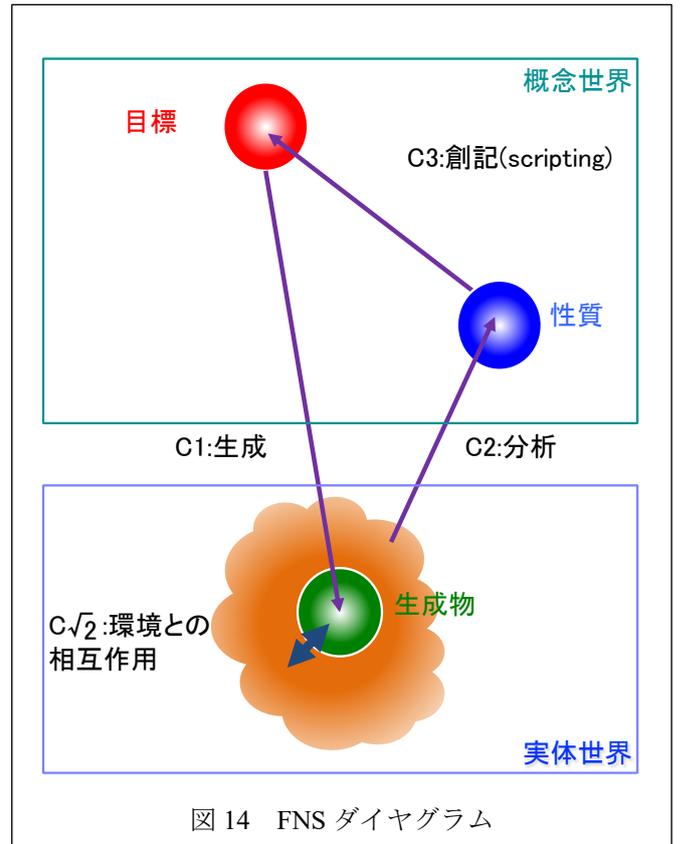


図 14 FNS ダイアグラム

島 08].

ループとして定式化したが, 実際にはフラクタル & スパイラルになる. つまり, 矢印を展開するとさらに小さな FNS になる. たとえば C2 は科学の仮説生成-検証ループになる: つまり構成は分析を包含している。

C3 は分析結果を踏まえて, 目標を再考するフェーズである. 目標が変化していくので実際にはループではなくスパイラルとなる. 図 15 はデザインとサービスのスパイラルを表している. サービスを提供することにより, 新たな価値が発見され, 次の創造へと繋がる。

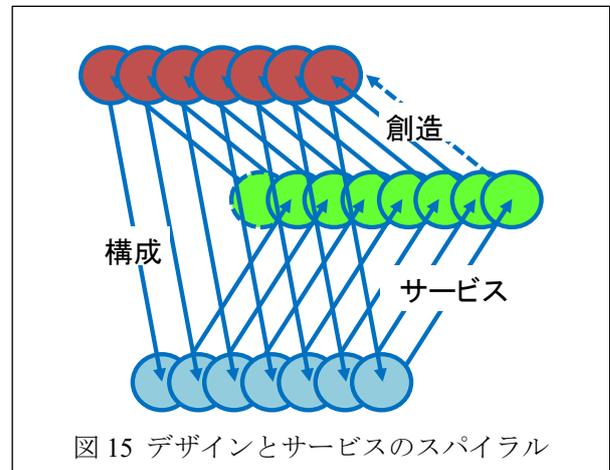


図 15 デザインとサービスのスパイラル

サービスに関してはもう一つ大事な、環境を通じた相互作用という観点がある。「価値共創」と言われる、プロバイダとユーザの相互作用による新たな価値の創造である。この場合、プロバイダとユーザが相互作用をしているのではなく、使用環境を通じた相互作用になる(図16)。

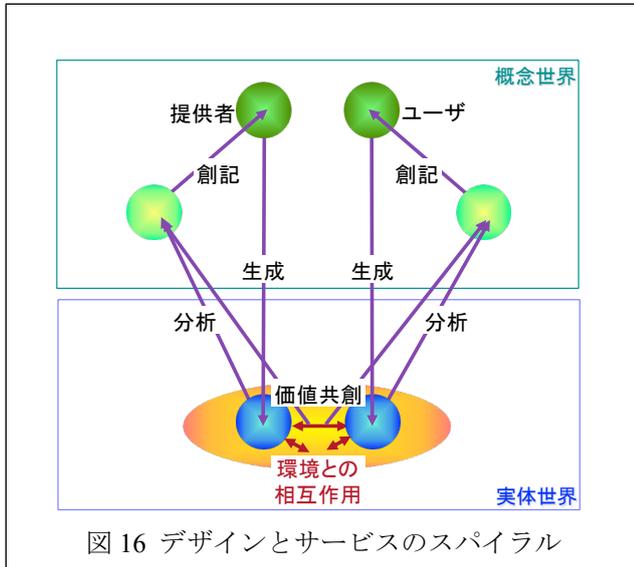


図16 デザインとサービスのスパイラル

参考文献

- [BP83] Jon Barwise and John Perry. *Situations and Attitudes*. MIT Press, 1983. 土屋, 鈴木, 白井, 片桐, 向井訳, 状況と態度, 産業図書(1992).
- [Bro91] Rodney A. Brooks. Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, Vol. 47, pp. 139–160, 1991. (柴田正良訳. 表象なしの知能, 現代思想, 18(3):85–105, 1990) .
- [Cl97] William J. Clancey. *Situated cognition: on human knowledge and computer representations*. Cambridge University Press, 1997.
- [Gib85] ギブソン J(古崎敬, 古崎愛子, 辻敬一郎, 村瀬旻訳) . 生態学的視覚論. サイエンス社, 1985.
- [MH69] John McCarthy and Pat J. Hayes, Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial

Intelligence, In *Machine Intelligence 4* (eds. B. Meltzer and D. Michie), pp. 463-502, Edinburgh University Press, 1969

[MV80] Humberto R. Maturana and Francisco J. Varela. *Autopoiesis and Cognition: the realization of the living*. D Reidel Pub Co, 1980. (河本英夫訳, オートポイエシス, 国文社, 1991.)

[NAA10] Hideyuki Nakashima, Hamid Aghajan, and Juan Carlos Augusto, editors. *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*. Springer, 2010.

[Sim96] Herbert A. Simon. *The Sciences of the Artificial*. MIT Press, third edition, 1996. (稲葉元吉, 吉原英樹訳, システムの科学第3版, パーソナルメディア, 1999.)

[UK73] ユクスキュル JV, クリサート G (日高敏隆, 羽田節子訳). 生物から見た世界. 思索社 (岩波文庫版 2005 年) , 1973.

[Wei91] Mark Weiser, The Computing for the 21st century, *Scientific American*, 265(3):94-104, 1991.

[木村 82] 木村 敏, 時間と自己, 中公新書, 1982

[諏訪 22] 諏訪正樹, 一人称研究の実践と理論 「ひとが生きるリアリティ」に迫るために, 近代科学社, 2022.

[中島 08] 中島秀之, 諏訪正樹, 藤井晴行. 構成的情報学の方法論からみたイノベーション. 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 4, pp. 1508–1514, 2008.

[中島 15] 中島秀之. 知能の物語. 公立はこだて未来大学出版会, 2015.

[片桐 91] 片桐恭弘. 状況推論とその機構について. 日本認知科学会第8回大会発表論文集. 日本認知科学会, 1991.

[Nor 90] DA ノーマン (著) 野島久雄 (訳) 誰のためのデザイン?—認知科学者のデザイン原論 (新曜社認知科学選書). 1990.

[MHM90] マッカーシー J. and ヘイズ P. and 松原仁, 人工知能になぜ哲学が必要か, 哲学書房, 1990