

鏡映左右反転と両眼視野闘争を説明する数理モデル

日大生産工(非常勤) ○篠原 正明
 情報システム研究所 篠原 健

1. はじめに

視覚に限定された話ではないが、ヒトの末端組織(現場社員)で感知される感覚は、様々な中間管理層(無意識のコピトたち)にも例えられる感覚処理系ならびに神経伝達経路を経由して最終的には、脳(意思決定主体の社長)で映像に結実する。末端の現場組織は右眼、左眼、左右耳、手足指の皮膚、等々、広くデータを感知・収集する役目を担う。多方面から感知・収集されたデータは階層構造を上るに従い、会社組織同様に整理統合され、脳(社長)による最終判断・反応に至る。レーダー照射に例えると、右眼受信機と左眼受信機での反射波に鏡面反射波(しかも多重)が混在すると、レーダー分析者は混乱するであろう。これの最も単純な場合が鏡映左右反転現象である。右眼レーダーと左眼レーダーが全く別対象を捕捉し、脳で単一映像に結実できない場合もレーダー分析者は混乱するであろう。これは両眼視野闘争である。

本論文では、鏡映左右反転現象と両眼視野闘争を同時に説明できる数理モデルを提案する。右測定系と左測定系からのデータを入力とする双測定系の数理モデルにおいては、根源的左右非対称性が存在する事を主張する。その根源的左右非対称性と現実との整合性をとるために工夫された動的平均化プロセス DAP での『時分割平均化による融合』の働きで、鏡映左右反転現象が発生する。両眼が捕捉した映像が上層に位置する脳で融合できない場合には、本来は平均化操作のために具備されていた時分割の機能が、なかなか融合されえない右視野像と左視野像を、意識・無意識の境界線上で両者を時を分割して交互に知覚させる役目を果たす。これが両眼視野闘争である。

2. 感覚処理系の数理モデルとしての NNP

最初に生物学的に純粋に単眼視あるいは単測定系の神経ネットワークプロセス NNP(Neural Net Process)を考えよう。これは両眼視生物の片方が後天的に機能不全になった場合ではなく、長年の進化の結果としての先天的単眼視である。不完全情報下の NNP 理論によれば[1]、単眼網膜上の隣接画素間の濃淡

一対比較データを入力として、動的平均化プロセスを経て、ある種の固有ベクトルとして単眼視野画像が脳内に結実・形成される。入力データは時変で、脳内結実画像も時変であり、画像結実のために時間を要する。数理モデルとしては DAP 更新式: 一般式で $x(t+1) = D(n)^{-1} A o x(t)$ (2.1)、単純式で $x(t+1) = A x(t)/n$ (2.2) となる。但し 0 次・極低次視覚処理に注目する。次に両眼視あるいは双測定系の画像結実プロセスの数理モデルを念頭に、双測定系の定式化を考察する。ここで双測定系とは視覚の両眼系あるいは右翼左翼混成の思想集団のように、左右二つの一対比較測定データを入力とし、一つの結果を出力するシステムである。単測定系の(普通の従来型の)AHP では、1 つの一対比較行列 A を入力とし、一つの重みベクトル x を出力する。NNP としてみれば、例えば視覚では、本来的に(たまたまその個体が片目なのではなく、種の特性として)単眼生物の網膜上の一対比較情報から不完全情報 DAP としての動的な平均化操作により単一の二次元画像が生成される。NNP の動的平均化では、時々刻々時間変化する網膜上の一対比較情報から二次元画像をある種の固有ベクトルとして、ある種の反復プロセスを通して、構成するわけだが、二次元画像が完全に収束する(焦点ピントが合う)までには時間がかかるので、神経系の反応速度と画像正確度のトレードオフを考慮して、適切な反応時間後の二次元画像が、流れる水の一断面のごとく、人間には視覚される。ところが現実には人間の視覚の入力は右目と左目の双測定系から構成されており、たとえ万が一方が機能停止状態でも、デフォルト入力 of 双測定系と考えられる。双測定系の AHP では 2 つの一対比較行列 R と L を入力とし、一つの重みベクトル x を出力する事が望まれる。この AHP・意思決定理論の研究分野は、「複数比較行列の下での意思決定」、「グループ意思決定」などと呼ばれており、複数の比較行列から 1 つの比較行列を合成するアプローチと比較行列毎の重みベクトルから 1 つの重みベクトルを合成するアプローチに大別できるが、NNP に直接適用はできない。それでは双測定系 NNP として、如何なる数

理モデルが考えられるだろうか？ その候補が、2次遅れ DAP あるいは双測定 DAP[2]である。NNP の視点により数理モデルとしての双測定 DAP の必然性を次に述べる。

【双測定 DAP の必然性】 一对比較行列 R を右比較行列、一对比較行列 L を左比較行列と呼ぼう。左右単独での個別の単測定系 NNP に対する固有多項式は右: $\det(\lambda I-R)=0$ (2.3)、左: $\det(\lambda I-L)=0$ (2.4)、固有方程式は右: $Rx \cdot \lambda x=0$ (2.5)、左: $Lx \cdot \lambda x=0$ (2.6)となる。(2.3)は本来は $\det(\lambda I-R/n)=0$ と表記すべきだが、完全情報版: “n”、不完全情報版: $\det(v D(n)-R)=0$ 等を簡略化して表現する。

次に双測定系 NNP に対する、固有多項式、固有方程式がそれぞれ、(2.7)と(2.8)で創造される、と考えるに十分な根拠がある。十分な根拠とは、以下に示す様に双測定系の固有方程式(2.8)の中に単測定系の固有方程式(2.5)と(2.6)が積と言う単純で自然な形で含まれるからである。

$$\det((\lambda I-R)(\lambda I-L))=\det(\lambda^2 I-\lambda(R+L)+RL)=0 \quad (2.7),$$

$$(\lambda^2 I-\lambda(R+L)+RL)x=(\lambda I-R)(\lambda I-L)x=0 \quad (2.8)$$

従って、DAP 更新式としては2次遅れ項を持つ、

$$x(t)=(R+L)x(t-1)-RLx(t-2) \quad (2.9)$$

あるいは1次遅れ項のみの状態空間方程式流の表記として

$$x(t)=(R+L)x(t-1)+y(t-1) \quad (2.10), y(t)=-RLx(t-1) \quad (2.11)$$

(2.11)によれば、左右の相加情報 R+L と1ステップ遅れの左右の交叉を表す相乗情報 RL との2元状態空間変数モデルとも解釈できる。

3. 神経伝達系の数理モデル

最初に刺激 x が神経系 f を伝達して感覚 $y=f(x)$ と感知・受信される関数近似的な巨視的数理モデルを考える(神経インパルスの微視的数理モデルとは視点が異なる;付録1参照)。入力が $n \times 1$ の列ベクトル x で出力が $m \times 1$ の列ベクトル $y=f(x)$ (3.1)である。入出力で次元を異にする多値伝送である。(3.1)を注目する動作点 x_0 でテイラー展開の線形近似すると、 $y=f(x) \doteq f(x_0)+(\partial f/\partial x) \Delta x=f(x_0)+J \Delta x$ (3.2) 但し、ヤコビ行列 $J:m \times n, J=\partial f/\partial x=\{\partial f_i/\partial x_j\}$ 、偏差ベクトル $\Delta x=x-x_0$ である。(3.2)を整理し、(3.3)を得る。 $y=Ax+b$ (3.3) 更に固定分を無視して変動分のみ注目すれば $y=Ax$ (3.4)と最終的に線形変換で近似する(但し、 $J=A:m \times n$)。かなり大雑把であるが、神経伝達系の入出力関係が線形変換 $y=Ax$ で近似できると考える(巨視的視点として)。

次に左右の情報が交叉する神経伝達系の数理モデルを考えよう。(2.7)~(2.11)において行列積 RL は線形写像の合成を表

し、生体システムの神経系の左右交叉部がこのような仕組みを内包することを示唆する。2つの行列 A,B の積について通常は交換律は成立しない ($AB \neq BA$)。この事が神経系の左右非対称部位の根源的かつ数理的な裏付けを与えると考えるので、これを原始非対称性と呼ぶ。A,B ともにスカラーならば $AB=BA$ が成立し、対応する神経系も左右対称性を持つはずだが、そのようには作られていない。すなわち、原始非対称性を持つ左右交叉部の数理的近似モデルとして、 $A=R, B=L$ を伝達関数とする直列システムを想定する。ここで行列積 RL が登場してくるが、行列 R と L は共に $n \times n$ 正方行列としよう。従って行列積 $P=RL$ (3.5)も $n \times n$ 正方行列となる。(3.5)で左右を交換すると、行列積 $Q=LR$ (3.6)を得る。(3.5)にて行列積が、 $p_k=\sum_j r_{jk} l_{kj}$ (3.7)と普通の積で定義されていると、 $RL \neq LR$ (3.8)と一般には交換律は成立しない。例えば左右非対称な実画像を正面より両眼視した場合に、左右の眼を入れ替えたとしても、脳内で想起される左右を意識しない抽象的な結実画像は変わらない筈である。ところが DAP 更新式(2.9)~(2.11)に従うとすれば、非交換律(3.8)に基づき両者は異なる筈である。そこで脳内のどこかで補正修正機能を作動させ、これを反転する必要がある。さもなくば現実と認識感覚が相異してしまい、どちらかを変えなければ不整合ゆえに、生きていけない。現実は変えられないので、認識を無意識に変えるしかない。それでは、このような特性を持つ神経生体系はどのような構造をしているであろうか？ 右から左への情報と左から右への情報が交叉する生体システムの神経系の左右交叉部では、例えば、右→左交叉部での伝達関数が、 $y^L_{out}=ABx^R_{in}$ (3.9)ならば、左→右交叉部での伝達関数は $y^R_{out}=BAx^L_{in}$ (3.10)となることから、生体システムでの節約経済化の原理(Occam's razor)により考えられないか？すなわち、人などの生体システムで多少は複雑な神経伝達系を形成するに当たり、創造主は、すでにある伝達系を左右入れ替え、模擬し真似して作った！ 左右個別にそれぞれに適合した神経伝達器官を創造するのではなく、と考える。簡単な臓器やスカラー値伝達器ならまだしも、ある程度高等な神経伝達器官においても、情報のコピーが行われていたと推測する。

4. 両眼視の三階層モデル

NNP 理論によれば、左右2つの両眼で知覚する主観的な隣接画素間の一对比較データに基づき、双測定モデル[2]に従い初期の原始画像が網膜上に形成される。但しこの原始画像は2.3章で説明したように根源的左右非対称性を保持する。図

4.1 に両眼視の3層構造を持つ数理モデルを示すが、必ずしも3層に限定されない(最下層、最上層とその他の中間層)。最下層に位置する現場の感覚系においては、左右の両眼から左右二種類の隣接画素間一対比較データが入力される。ヒトの場合は、目と目の離れ具合や鼻の高さにもよるが、特段の仕掛けをしない限りは、図4.1の中間管理層に模倣的に図示するように左右データは相応の部分で重なっている。中間管理層内の下層に位置する現場の感覚系に近い部分で双測定モデルに従って原始左右非対称性を有する原始画像が網膜上に形成されるが、まだ意識はされていない。左右非対称性を有する中間データに直面して、中間管理層の下層部では左右非対称性を補正する機能を獲得する。これを対称化補正機能と呼ぼう。さてこの補正機能として具体的には何が考えられるか? 手っ取り早くは(重複部に限定して)、左右の一対比較データRとLの平均化である。算術平均を採用すれば(2.7),(2.8)において行列積RLを $(RL+LR)/2$ で置換すれば見かけ上の左右対称性を装うことはできる。算術平均が生体神経系の処理で厳密な意味で動作するとは言い難いが、算術平均<平均<統計的代表値へと平均の概念を一般化して考える。例えば、脳内何処かにおいて左右データが時分割モードで出現すれば、パラパラめくり絵のように、生体神経系で作動する神経化学物質のなんらかのメカニズムにより? まるで伝送交換方式の時分割多重、空間分割、符号分割、周波数分割、エピソード分割などを連想するが、話しを複雑化しないため時分割モードに限定しよう。このように中間管理層の上層では平均化(一般化すれば総合化)を担っている。

結論から言うと、原始左右非対称像に対する無意識状態での補正処理が鏡映左右反転を、脳内で期待される時分割融合メカニズムが両眼視野闘争を引き起こす、と主張する。

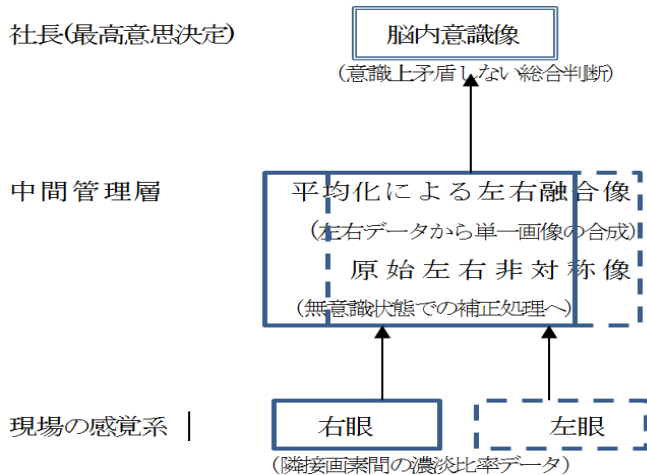


図4.1 両眼視の階層構造に従う数理モデル

5. 意識・無意識の境界での鏡映左右反転と両眼視野闘争

これまでの議論を以下にまとめる。

①左右データが融合不可の時には、両眼視野闘争が発生する。意識できる時間幅での時分割伝送として我々は感知するが、情報通信伝送交換の技術と同様に時分割以外の空間分割、周波数分割、符号分割、エピソード分割などの可能性も指摘できる。符号分割、エピソード分割などは蓄積プログラムの脳内処理で可能となるが。

②左右データが融合可の時には、左右など双測定あるいは2入力の場合の感覚処理系では、積非可換性により原始非対称性を内包する感覚器官(ex.両眼)にとって、この原始非対称性は不都合である。何故不都合か? 2つの入力データ(ex. R と L)が異なるとき、『RとL』と『LとR』で同じ像が想起されるべきである(左右を意識しない抽象概念層で)。意識層ではRとLが異なるときは、立体感や距離感を得るため異なる像が想起されるべきであるが、現場の感覚器官が不都合データを上の管理機関(脳のどこか)に報告した後は、その中間管理機関かより上部の、文字通り、最高意思決定機関(脳のどこか)において、その報告は補正されることになる。例としては、RとLを入れ替えたデータとの平均化が考えられる。感覚器官では『RとL』が、中間管理機関では『LとR』が、最高意思決定機関では『RとL』と『LとR』の平均が主役となる(仮説3)。さて、問題は鏡映像に、意識して直面した時である。鏡映像なので、同一な物と頭では理解している(ここで主体性の薄い悩み多き中間管理職の登場)。そこで、『RとL』の現場の代りに『LとR』の中間管理職が主導権を握る。結果として反転が発生する。左右反転なのは、左右が上下、前後と比較して最も意識されにくいから、無意識の世界で反転してしまうのである。横寝・逆立ち・遊泳状態など非正常姿勢下では、そもそも左右、上下、前後の認識の確度が低下し、結果として、鏡映左右反転は認知されにくいだろう。もしもの話だが、上下よりも左右を無意識下で強く意識させたヒトができたとなれば、そのヒトは鏡映上下反転を感じるだろう。

③結論：自然な平常時の両眼視ではタイムスロット幅 Δt は意識できぬほど微小だが(鏡映左右反転)、左右の像がなかなか融合できない非平常時の両眼視ではタイムスロット幅 Δt は3~6秒と意識可能な時間長となる(両眼視野闘争)。より上位の無意識層で融合の努力をしてる若で、融合しにくいほど、 Δt は伸長と予想される。時間と言う概念軸で分割が生じるわけだが、脳内ではそれに限定されない。

6. おわりに

鏡映左右反転と両眼視野闘争の両テーマとも、論争の絶えないテーマである。このような課題に対しては OSI7 層のような基本参照モデルを構築して、それぞれの言い分がどこに対応するかを整理すると、相互理解が進む。提案する階層型の数理モデルが基本参照の役目を演じられればと願う。

◎「鏡映左右反転」の要点をミクロ的に以下に『まとめ』る。

①双測定系においては、物理層で根源的に非対称性の仕組みが内在する(仮説 1)。②無意識層での抽象的概念には左右の概念が無い(仮説 2)。③無意識層において仮説 1 と仮説 2 の矛盾を補正する機能、どこか(中間管理層の現場に近い部分・図 4.1 無意識状態での補正処理)で反転、が必要である(仮説 3)。④鏡映像の場合は、鏡映像と頭で理解してるので、足場の弱い中間管理職において反転が顕在化する。なお鏡を意識しなくても反転は中間層のどこかで起きている。⑤論理・意識層での辻褄は合っているので、人間様は一先ずは納得・安心する。⑥鏡映像を自覚することにより、中間層内で反転が発生する部位は左右認知の多様性に依存する。ところで、鏡だらけの人間社会における中間管理職も大差ない??

◎本研究のマクロ的な新規点を以下に『概観』する。

①数理モデルの提案である。現実世界と数理モデルの対応関係は個々人で様々であり、その点については関与しない。数理モデルの独り歩き、数理モデルの独立性、である。ある人がある時に『右』だと言え、そうなんだろう。現実世界と数理モデルの対応関係は写像・マッピングであり、当面する研究課題ではかなり複雑怪奇と言える。人間の意識が人間の意識を分析するので…『意識による、意識の為の、意識の意識』。この点は、数理モデルの代表で独り歩きが許されない OR(オペレーションリサーチ)モデルとは趣を異にする。

②両眼視の 3 階層モデルを提案し、第 2 層=中間管理層における補正機能に注目する。

③中間管理層=無意識コビット層にて、根源的な非対称性を補正するわけだが、そこに鏡映像を意識した時には、最も意識されにくい左右が反転してしまう。意識と無意識の境界での出来事である。

付録 1 : 神経網の巨視的挙動

脳神経科学の知識によれば、神経細胞の接合部シナプスでは、受信した入力信号が閾値を超えると発火と言う、0/1 デジタル処理の閾値論理に従い動作している。これは 3 章で採用した神経伝達系の入出力関係が線形変換 $y=Ax$ で近似、と矛

盾? 微視的な数理モデルとしては正確さに欠ける面があるかもしれないが、1 秒間に何回発火するかという発火頻度(Hz)に注目すれば、発火出力 y が刺激入力 x と概ね比例関係 $y=Ax$ にあると言うのは、巨視的挙動としては許容できると考える。

付録 2 : 仮説の検証

6 章の『まとめ』で示した 3 つの仮説 1~3 を検証する。

【仮説 1】物理層において根源的な非対称性が存在するかの根拠として、数理モデルの単純さ・必然性を主張する。提起する双測定系は、固有値、固有ベクトルを考慮すると、自明な単測定系からの自然な発展形と考える。私は他の数理モデルを考えつかない

【仮説 2】無意識層での抽象的概念には左右の概念が無い、あるいは無意識の度合いにもよるが、稀薄である、と言うべきか。左右の概念はある程度の意識を前提とする、と考える。これと類似の概念として、鏡映左右反転論争でよく議論される「対掌体 antipode、キラリティー chirality」の概念があるが、登場する文脈は若干異なるが、同一概念ではと思う。従って仮説 2 も許容範囲である。この概念は、臨済宗大本山 円覚寺のお説法にある、『無位(むい)の真人(しんにん)』にも通じ得ると思う[3]。

【仮説 3】現実と認識のズレを補正するため左右反転が発生してしまう説、は広く受け入れられているが、本論は両眼視の三階層モデルを導入し、その仮説をさらに深化・具現化した。すなわち、鏡映像意識時と無意識時において中間管理層内部における反転機能箇所が層分離しうることを議論した。層分離が分かりにくければ、振る舞いの異なる 2 種類のコビットたちとも考えられる。

【参考文献】

[1] 篠原正明、篠原健：動的平均化プロセス DAP にもとづく神経ネットワークプロセス NNP、平成 26 年度 日本大学生産工学部 第 47 回学術講演会 (2014.12)。

[2] 篠原正明、篠原健：2 次遅れ DAP ならびに双測定 DAP、平成 29 年度 日本大学生産工学部 第 50 回学術講演会 (2017.12)。

[3] 無位(むい)の真人(しんにん) | 臨済宗大本山 円覚寺
<https://www.engakuji.or.jp/blog/27276>

◎鏡映反転については、認知科学誌・小特集(2008)に関連して、多くの文献を参照した。深謝する。