

脳研究から精神疾病論へ (第二草稿、2014年1月 15日)

内容

#1-1 Consciousness	3
意識の3レベル 日本語	4
#2 Levels of the consciousness	9
覚醒、徐波睡眠(ノンレム睡眠)、逆説睡眠(レム睡眠)	13
パブロフの睡眠学説	15
覚醒から自己意識まで	16
エコノモやブレイマーの中樞説	17
モルツイーとマゲーンの脳幹網様体賦活系	18
ジュヴェのモノアミン睡眠説	18
睡眠研究と睡眠障害に対する光療法	20
補筆1: CR and Non-CR について	28
補筆2: 「条件反射から無条件反射への転化について」	29
情動: 脳幹→視床下部→大脳辺縁系(扁桃体)→大脳皮質	30
参考資料 13 Amygdala 扁桃体の構成と機能	31
I) はしがき:	31
II) 扁桃体の形態学的区分:	32
III) 扁桃体への入力(系):	32
IV) 扁桃体からの出力(系):	33
V) 扁桃体についての機能・生理学的研究:	34
① 魚の情動障害	34
② クリューバー・ビューシー症候群	35
③ 恐怖条件づけと条件反射第二信号系	35
④ ヒトにおける顔の表情および情動的状況の認知	36
VI) 扁桃体を含む神経回路(図2)とその機能:	36
① 大脳皮質との関連:	36
② 視床下部との関連:	37
③ 海馬との関連:	38

④ 脊髄・脳幹との関連：	39
⑤ 大脳基底核との関連：	40
VII) 情動の神経回路—扁桃体、前頭前野、側頭葉—についての概説	41
① 「原始的感覚」としての嗅覚（・味覚）と情動と生命を支える自律機能	41
② 側頭葉の紡錘状回が関わる表情の認知	41
③ 前頭前野（内側面および外側面）が関わる能動性・「社会脳」機能	42
VIII) 脳画像解析と精神医学的考察：	42
IX) おわりに：	43
謝辞：	44
文献：	44
参考資料 14 視床下部について—内分泌系・自律神経系	50
自律神経系	52
内分泌系の調節(Homeostasis)	54
参考資料 6c 液性伝達物質	58
中脳にある A9 ニューロン群と A10 ニューロン群（ドーパミン系）	59
側坐核(accumbens)について	60
セロトニン系について	61
アセチルコリン系について	62
Distribution of DA, NA and 5-HT schema	64
認知と情動の不即不離の関係	66
Section 5 認知： 感覚受容体→脳幹→視床→大脳皮質連合野→前頭葉	67
参考資料 6b 脳の認知機能モデルの数式—モデルの解析	67
第1章	68
第2章	69
第3章	76
第4章	78
第5章 脳機能障害モデルの分類：表	82
#3b Higher primate/Human level — Acquire language,	84
参考資料 4 パブロフの力学モデルの解析（音楽の営み・・・川村スキーマ）英文は参考資料 22 を見よ	114
Section 6 運動： 随意運動、自動運動、能動性、大脳、大脳基底核、小脳	156
参考資料 6a Cortex—Basal ganglia—Thalamus	156
conclusion	163
大脳基底核のはたらき—古くて新しい視点	164
参考資料 24 小脳関連事象	166
大脳・小脳 ループ 自動性 運動と思考	167

The cerebellum as organs of movement and thought.....	167
The cerebellum revisited	168
参考資料 6a Cortex—Basal ganglia—Thalamus.....	172
参考資料 15 Model of the functional brain・・・川村サーキット Circuit (坂出記)	180
A round trip model.....	180
A three circuit model.....	181
Presentation of Bra and Ket vector by Dirak’s quantum mechanics.....	182
An analogy of the circular formula of reproduction in Marx’s “Das Capital” for the three circuit model will conduct to Baillon’s Non-linear Ergodic theorem.....	184
conclusion	186
大脳基底核のはたらき—古くて新しい視点.....	188
参考資料 24 小脳関連事象	190
大脳・小脳 ループ 自動性 運動と思考	190
Organization of the cortical association areas and mutual correlations between the cerebrum and the cerebellum	191
The cerebellum as organs of movement and thought.....	195
The cerebellum revisited	197

和文脳研究から精神疾病論へ 川村坂出

#1-1 Consciousness

from the low level which goes up/transfers without interruption/
continuously to the higher level. Signs of alive → alert/awareness →
recursive/self-conscious. 低次から高次の意識へと連続している。すなわち弁証
法的に否定の否定、質的転換を考察する。

Integration of emotional, cognitive and motive/motor activities into higher levels of

functional concept can be considered as a whole “Consciousness”, as will be described below briefly in a materialistic and hierarchical manner from lower to higher stages ;
I-II-III. (in some details later)

.....

意識の3レベル 日本語

[I] :

「細胞→組織→個体が生きている」という生命の根源を支える「低い」段階にある“意識”で、脊髄・延髄・橋・中脳さらには間脳までの組織が活動し、新陳代謝を営んでいるというレベルの話である。脳髄内には脳幹網様体が存在し、前後方向に縦走する汎性視床投射系 (diffuse thalamic projection system ; Magoun ら UCLA 学派) あるいは視床網様系 (thalamic reticular system ; Jasper ら Montreal 学派) といわれる組織構造が認められる。この構造内にはアミン、ペプチド、コリンを生産する細胞集団 (神経核と呼ばれる) があり、そこから軸索繊維を縦横に網状に伸ばしている。

それらの細胞集団は、名称のみ記載すると、①ドーパミン細胞が、中脳の赤核後部 (A8)、黒質 (A9)・腹側被蓋野 (A10) に、②アドレナリン細胞が、延髄の C1、C2 区域に、③ノルアドレナリン細胞が、青斑核 (A6、ほかに A1-A7 区域がある) に、④セロトニン細胞が、中脳の背側縫線核 (B7、ほかに B1-B8 区域がある) に、⑤アセチルコリン細胞が、青斑核周囲・中脳・前脳基底核 (Ch1-Ch6) に見られ、とくに背外側被蓋核 (lateralodorsal tegmental nucleus, LDT)、脚橋被蓋核 (pedunculo-pontine tegmental nucleus, PPT or PPN) からは視床中継核・脳幹網様系・前脳基底野 (マイネルト基底核、内側中隔核、

ブローカ対角帯核などから成る) への投射が行われている。

脳幹の前方部は間脳といわれる領域で、脳幹と大脳皮質を結ぶ中継核とみなされてきた背側部の視床核と、内分泌系・自律神経系の中心的な部位にあたる腹側部の視床下部とに大別される。視床(核群)は、間脳の大部を占めている領野で、外界および内部環境からの刺激/興奮を大脳皮質に伝える、脳幹内を上行する知覚伝導路の最前部として位置づけられ、特殊核と非特殊核がある。すなわち、①視覚・聴覚・体性感覚など特定の感覚の伝達経路の中継核が前者、②視床網様核、正中核群、髄板内核群などが後者に相当する。両者とも相互的に結合する視床・皮質間の回路をもっている。なお、この②の部位を低頻度反復刺激すると、広汎な皮質領域に漸増反応(recruiting response)が得られることが知られている(Morrison, 1942)。

意識との関連で言えば、古くは、Economo (1928)により提唱された「睡眠の中枢説」、すなわち、「視床下部の前部には睡眠の中枢が、後部には覚醒の中枢があり、両中枢の活動のバランスが変化するために、(徐波)睡眠と覚醒が交互に出現する」という説がある。他に歴史的にも有名なものに、Pavlov (1920s-)の睡眠に関する皮質保護抑制仮説、MoruzziとMagoun (1949)の脳幹網様体賦活説(網様体→視床非特殊核→新皮質)、セロトニンが減ると覚醒、増えると睡眠というJouvet (1972)のモノアミン仮説などがある。最新の研究について詳しくは、北浜の名著「脳と睡眠」(2009)を読みたい。

次に、視床下部は前脳とともに覚醒・睡眠を司る中心部位であるが、そのほかに、摂食中枢、性機能、生体リズム、体温調節、エネルギー・水分代謝に関わり、本能行動や感情表出にも関与する。なお、ここには、大脳辺縁系に属する、扁桃体や海馬からの直接投射が存在する。

視床には上記の脊髄・脳幹からの、いわゆる賦活系投射(activating system)のほかに、大脳基底核と小脳からの大きな入力がある。大脳皮質からの逆投射もある。他に

LDT、PPN や前脳基底部からのアセチルコリン系の入力もある。(説明を省略してイメージのみを示した図2を参照されたい)。以上が、「生きている、息をしている」レベルの、すなわち、この世に生をうけた動物の生命活動の根源に関わる生物学的神経基盤となる意識の構造である。

[II] :

サル、類人猿、原人、ヒトへと進化する過程で、樹上に生活し、枝につかまって移動し、食をとる段階から地上四足歩行に、そして身体を支え歩行を可能にした下肢(脚)と、移動(locomotion)の用具から解放された自由上肢(手/前足)を用いて、火打石や子刀を作れるようになり、労働の器官として道具を使用し得るようになった。直立歩行に伴い、発声器官が形態変化(咽頭と舌骨の位置が下降し、鼻腔と喉頭が分離され)を起こし、母音のみを連続的に発声するチンパンジーの段階から子音発声機構を発達させたヒトは、労働の発達の結果、互いに協力するという機会をふやし、集団生活の中でコミュニケーションに必要な音節に分かれた言語、すなわち、言葉を獲得するに至った。そして、これらの新しい環境下で、中枢神経系の構造・機能は身体の形態変化に伴って、発展を遂げた。とくに、大脳皮質領域が活性化され、興奮域と抑制域が動的に変動し、高度の構築をもった皮質に大きく発展した。パブロフの条件反射は、はつきりと脊椎動物のレベルで出現する。**[II]の段階では第一信号系(感覚信号系)に留まっているか、あるいは、第二信号系(言語信号系)の初期の段階である。つまり、感覚性言語野が後連合野内に発達する途上の段階である。**

この段階の意識形態は、「感覚器官を通して知覚できる」、つまり“状況がわかる”という程度に達しており、その範囲は幅広い。脳内の活動としては、自分の周りの

外界/環境に生起する事象を、passive に感覚・知覚・認知・認識するという段階の意識である。脳内基盤としては、視床・新皮質回路が関与し、一次知覚野と後部皮質連合野（後連合野）で主たる機能が発揮されて外界からの情報が健全な覚醒下で処理される。与えられた環境に適応して活動する動物の生活基盤となるものである。この論旨は本論で考察した主要な部分である。

[III] :

最高レベルの意識は、「自己意識」と呼ばれるものである。Jackson 理論に従えば、「精神・心・意識は神経系進化の最高段階（を含む階層構造）」である。前頭前野は脳の最高部位としての機能、すなわち、倫理、道徳、美意識などの高度な精神機能の発現に関与する領域とされてきた。最近、前頭葉障害の症例研究、外傷後の性格変化、高度の記憶障害、作業記憶(working memory)の研究、一部の精神病者に認められる脳の萎縮、統合失調症患者と前頭葉器質的障害患者との症状の比較研究など科学的メスが入られるようになった。それらの研究結果によれば、前頭前野は行動の計画を立て、結果を予測し、判断し、適切な選択を行う上で大きな役割を演じており、その障害が起こると「実行機能」が難しくなる。必要な情報を選択的に取り出して、処理し、感覚系や運動系などの機能系を協調して働かせることが困難になるのである。このような前頭前野という最高の階層に属する脳部位に障害を生じた人たちに対して、どのような科学的な医療が、そして社会的援助（軽労働などによる社会復帰後の生活の保証）がなされるべきか。可塑性をもった神経組織の機能回復を目的に、科学的根拠をもった、身体的および

「精神的」リハビリテーションの実行が期待される。

サルがヒトとなる（人間化する）条件下で、すなわち、直立歩行、道具の使用、共同労働、言語の使用 など（エンゲルスが「自然の弁証法」の中で考察した）が進むに従って、前頭葉とくに言語野を含む前頭前野が著しく発達する。この段階になって条件反射第二信号系（言語信号系）がはっきりとした機能を備えて成立する。

この[III]の段階まで進んだ「意識」の内容は、動物一般→哺乳類→霊長類→ヒトへと進化するにつれて、漸次連続的に高等化する。①認知機能が高まり、その概念化/抽象化が可能となる、②運動性言語野が前連合野（前頭前野）内に発達し、社会集団生活を営む中で、サルがヒト化する過程で、条件反射第二信号系が獲得される。③外界または他中心 *altro-centric* の捉え方から自己中心 *ego-centric* の認識へ（おそらく頭頂葉⇔前頭葉の連合回路が関わる）、そして全体的・相対的事象の捉え方が可能となる。④脳の発達・進化に伴い、海馬→後連合野（&帯状回）→前頭前野へと認知・記憶の面での主要な活動中心が変容する（おそらく、探索活動や定位反射に関わる、 θ 波の形成・伝播が鍵となろう、実験データとしての確たる根拠はないが）。⑤前頭前野の発達と、後連合野⇔前頭前野の相互的連絡、⑥大脳皮質を中心とする皮質内および皮質・基底核・視床・皮質を包摂して循環する、総合的、同時的、並列的、神経回路の機能的役割の飛躍的増大（図5, 8参照）、⑦ここで初めて、ヒトにおける自意識について考察し得る。すなわち、コミュニティー内での共同の作業と言語活動による交流を通じて、健康者と病者、あるいは、障害者と非障害者をともに受け入れて、長い時間をかけて築いてきた「ヒト特有の群れ」の特性である社会性が、前頭前野の活動により、その歴史的進化の蓄積の中で醸成される。

.....

#2 Levels of the consciousness

correspond to levels of the deepness of sleep-to-awake (熟眠 Non-REM sleep → 非熟眠 REM → 催眠 hypnosis → 覚醒 awakeness including self-consciousness) Four values, mathematical logics 四価 数学的ロジック

.....

.意識の第一段階、第0信号系、無条件反射について

1. 生命を支えている「低い」段階にある“意識”で、脊髄・脳幹（さらには間脳まで）が新陳代謝を営んでいるという、無条件反射（パブロフ）レベルの話である。「意識下」という用語を用いる人もいる。

2. 脳髄内には脳幹網様体が存在し、Moruzzi と Magoun (1949) の脳幹網様体賦活説

(網様体→視床非特殊核→新皮質)、セロトニンが減ると覚醒、増えると睡眠という

Jouvet (1972)のモノアミン仮説などがある。あるいは視床網様系

(thalamic reticular system ; Jasper ら Montreal 学派)といわれる組織構造

が認められる。

3. この構造内にはアミン、ペプチド、コリンを生産する神経細胞集団が

あり、そこから

軸索繊維を縦横に網状に伸ばしている。

4. 脳幹の前方部は間脳といわれる領域で、背側部の視床と、内分泌系・自律神経系の

中心的な部位にあたる腹側部の視床下部と、に大別される。

5. 視床は、間脳の大部を占め、外界および内部環境からの刺激/興奮を大脳皮質に伝える。

特殊核と非特殊核がある。

視覚・聴覚・体性感覚など特定の感覚の伝達経路の中継核が前者、視床網様核、

正中核群、髄板内核群などが後者に相当する。

6. 視床下部は前脳とともに覚醒・睡眠を司る中心部位であるが、そのほかに、摂食中枢、性機能、生体リズム、体温調節、エネルギー・水分代謝に関わり、本能行動や感情表出にも関与する。

7. 視床には賦活系投射（activating system）のほかに、大脳基底核と小脳からの大きな

入力がある。大脳皮質からの投射もある。

他に背外側被蓋核（LDT）、脚橋被蓋核（PPN）や前脳基底野からのアセチルコリン系の入力もある。

8. 以上が、「生きている、息をしている」レベルの、動物の生命活動の根源に関わる

生物学的神経基盤となる意識の第一段階の構造である。

意識の第二段階、第1信号系、あるいは、第2信号系の端緒について

1. サルからヒトへと進化する過程で、樹上生活から地上四足歩行を可能にした下肢(脚)と、移動(locomotion)の用具から解放された自由上肢(手/前足)を用いることによって、労働の器官として道具を使用し得るようになった。
2. 直立歩行に伴い、発声器官が形態変化(咽頭と舌骨の位置が下降し、鼻腔と喉頭が分離され)を起し、母音のみを連続的に発声するチンパンジーの段階から子音発声機構を発達させたヒトは、労働の発達の結果、互いに協力するという機会をふやし、集団生活の中でコミュニケーションに必要な音節に分かれた言語、すなわち、言葉を獲得するに至った。そして、これらの新しい環境下で、大脳皮質領域が活性化され、興奮域と抑制域が動的に変動し、高度の構築をもった皮質に大きく発展した。
3. パブロフの条件反射は、脊椎動物のレベルで出現した。この意識の第二段階ではパブロフ条件反射の第1信号系(感覚信号系)に留まっているか、あるいは、第2信号系(言語信号系)の初めの段階である。つまり、感覚性言語野が後連合野内に発達する途上の段階である。
4. この意識の第二段階の形態は、「感覚器官を通して知覚できる」、つまり“状況がわかる”という程度に達している。
5. 脳内基盤としては、視床・新皮質(および大脳基底核)回路が関与し(詳細はⅡ参照)、一次知覚野と後連合野で主たる機能が発揮されて外界からの情報が健全な覚醒下で処理される。

意識の第三段階、第2信号系、自己意識の出現について

1. この意識の第三段階の特徴は、「自己意識」と呼ばれるものの出現である。

Jackson 理論に従えば、「精神・心・意識は神経系進化の最高段階（を含む階層構造）」であり、パブロフの条件反射の第二信号系に相当する。

2. サルがヒトとなる条件下で、すなわち、直立歩行、道具の使用、共同労働、言語の使用などが進むに従って、運動性言語野を含む前頭前野が著しく発達する。

3. この 4-3.の段階まで進んだ「意識」の内容は、脊椎動物→哺乳類→霊長類→ヒトへと進化するにつれて、漸次連続的に高等化する。

①認知機能が高まり、その概念化/抽象化が可能となる、

②運動性言語野が前連合野（前頭前野）内に発達し、社会集団生活を営む中で、サルがヒト化する過程で、条件反射第二信号系が獲得される。

③外界または他者中心 *altro-centric* の捉え方から自己中心 *ego-centric* の認識へ（おそらく頭頂葉⇔前頭葉の連合回路が関わる）、そして全体的・相対的事象の捉え方が可能となる。

④脳の発達・進化に伴い、海馬→後連合野（&帯状回）→前頭前野へと認知・記憶の面での主要な活動中心が変容する。

⑤前頭前野の発達と、後連合野⇔前頭前野の相互的連絡、

⑥大脳皮質を中心とする皮質内および皮質・基底核・視床・皮質を包摂して循環する、神経回路の機能的役割が飛躍的に増大する。

⑦ここで初めて、ヒトにおける自己意識および自他（意識）識別について考察し得る。

4. （「照合機能」、「自他意識」、「随伴発射」およびそれらの障害など、最近の研究結果を考察し、後述する）。

5. すなわち、コミュニティー内での共同の作業と言語活動による交流を

通じて、

「ヒト特有の群れ」の特性である社会性はその歴史的進化の蓄積の中で醸成される。

.....

覚醒、徐波睡眠（ノンレム睡眠）、逆説睡眠（レム睡眠）

意識状態の変化、すなわち覚醒／睡眠の変化を① 覚醒（段階0）、② 徐波睡眠（ノンレム睡眠、NREM or Non-REM、段階I-IV）、③ 逆説睡眠（レム睡眠、REM）の3期のリズムに分けて、それをポリグラフ上に、電圧の変化を時間の関数曲線として見ることができる（図49）。健康な成人では、ノンレム睡眠とレム睡眠が交互に現われ、両者合わせて90-100分間のサイクル（周期）をもって繰り返し、一夜の睡眠を構成している。この持続的夜間睡眠を構成する単相性リズムは一見サーカディアンリズムに同調しているように見えるが、複数の睡眠単位が連結したものである。別の言い方をすれば、全生物が共有する、普遍的な性質を持った概日リズムと、より短い周期（超日リズム）を生得的に持った睡眠覚醒リズムとは別物である。レム睡眠時に、急速眼球運動や PGO スパイク（注：参照）が観察されることから考えて、脳幹網様体内の感覚・運動回路網が賦活化され、その興奮（情報）が大脳皮質の感覚野に到達した後に、視覚野や聴覚野内で個人体験に依存した記憶が想起されて、夢の内容が構成されるとされている[Hobson and McCarley, 1977]。ノンレム睡眠とレム睡眠と分化した睡眠形態を備えている高等脊椎動物では、それぞれが異なる

役割を分担している。両者の性質は相互補完的で、ノンレム睡眠は大脳皮質を鎮静化してその機能を回復させ、レム睡眠はその機能を活性化させる。なお、睡眠覚醒調節のメカニズムに関しては、液性および神経の相補的關係にある二つの機構がある。前者は睡眠物質に基づくことされ、後者については、ノンレム睡眠の中枢は中脳、橋、延髄に、レム睡眠の中枢は間脳とくに視床下部と前脳基底部に首座があり、しかもその各々の中枢が覚醒中枢と並列的に神経回路を構成していると考えられている。

注]： 急速眼球運動(rapid eye movement, REM)が睡眠中の或る時に短時間に断続的・群発的に起こる。これがレム睡眠であり、身体の筋肉は弛緩し、脈拍・呼吸・血圧などの自律神経機能が不規則に変化する。すなわち、行動的には睡眠であるのに、脳波の眠りは浅く θ 波もみられ、「まどろみ」から覚醒に近い状態にある。レム睡眠中に特徴的に現われる事象として、脳波が低振幅速波化（脱同期化, desynchronization）し、抗重力筋や姿勢筋は緊張が著しく低下し(tonia)、かつ性器の勃起がみられる。この時、ヒトで局所脳血流量を調べてみると、脚橋被蓋核(PPN, コリン作動性ニューロンを含む、後出、38節)、両側扁桃体および前部帯状回などで神経活動が亢進し[Maquet et al., 1996]、さらに深部脳波の変化としては、橋(Pons)－外側膝状体(Geniculate body)－後頭葉皮質(Occipital cortex)で著明に見られる棘波 (PGO スパイク) が出現する。このようなことから、レム睡眠中における記憶活動の賦活や夢の出現の示唆がなされている。

注]： 睡眠と記憶 (*zif-268*遺伝子)

睡眠の機能についても、自律神経系や内分泌系などの身体機能との関連の他に、睡眠は日中の不必要な記憶や結合を一掃し記憶を固定させると言われてきた[Jackson, 1931-32]。どのようにして、睡眠中に陳述記憶が固定化され、手続き記憶が強化されるのだろうか。そしてその時、覚醒時に入力された情報を選択して整理し、思考の再構成を行なう。最近、リベイロらは、ラットを用いて、覚醒時に海馬で長期増強(LTP)を起こさせた後、続いて起こるレム睡眠までの間に *zif-268* 遺伝子の発現が嗅内野/海馬旁回や扁桃体に認められること、さらに次のレム睡眠エピソードへと進行するにつれて、その活性化される領域が皮質聴覚野、次いで体性感覚野、運動野へと移動することを示した[Ribeiro et al., 2002]。神経興奮伝達の際のカルシウム・シグナル伝達によるシナプス活動に反応して急速にかつ一過性に *zif-268* 遺伝子発現が誘導されることを考えると、彼らのこの知見は海馬から新皮質へと記憶が記銘され、固定化されるという長期記憶化の過程の分子メカニズムについての有益な示唆を与えるものである。また、睡眠と記憶との関連について、経験依存的な視覚情報の処理（機構）と徐波睡眠の発達との結びつきを拠り所とする研究も進んでいることを付記しておく[Miyamoto et al., 2003]。

パブロフの睡眠学説

睡眠のリズムはどこでどのように生まれるのであろうか？動物は活動時には「覚醒」しており、非活動時には「睡眠」と呼ぶ状態になる。このような覚醒と睡眠の状態をつくりだす神経生物学的機構は脳のどこにあるのだろうか？昔から「睡眠中枢」についての学説が知られている。しかしパブロフによれば大脳皮質を持つ動物の脳には特別な、局在的な意味での睡眠中枢は存在し

ない。睡眠は単調で繰り返される刺激あるいは逆に緊張をともなう過剰の刺激によって引き起こされる。そして彼は、感覚刺激と唾液分泌を伴うその効果の強弱を観察した結果、睡眠は神経細胞の活動抑制 —これを内抑制（または内制止）という— が大腦皮質全体にひろく拡散し脳幹におよんだ状態で、疲労した大腦皮質に対して「興奮—抑制の連続体を保護する働き」があると考えた。そしてこの抑制は皮質のどこにでも発生し放散する。こう考えるとこの睡眠の問題はリズムの形成や変動に結びつけて考えるよりは、意識レベル（清明度）の変動の問題との関連が重要なものとなってくるように思われる。

覚醒から自己意識まで

意識の問題を正面きって取り上げることは容易なことではない。ここで扱っている睡眠に対応する意味での意識は、脳幹レベルの活動に関わる「覚醒」レベルの話であるが、さらに高次の「自己意識」のようなレベルになると、概念を把握できる動物（＝ヒト）が特徴的に所有している「他」に対する「自」「我」の意識および思考という最も抽象的な概念を含み、前頭葉皮質、とくに前頭前野が大きく関与する範疇の問題となる。この2つのレベルの間に位置する意識の範囲は広く、大腦辺縁系から大腦新皮質に至る脳機能活動の産物としての精神活動を支えている。すなわち注意、認知、情動などを成立させているもの、言い換えれば外界からの感覚刺激を神経細胞が受け取り、脳内のニューロン・ネットワークが活性化され、その働きの結果として現れた意識の状態がこれに当たる。

菅坂^{おきか}(1996) は意識について、低い水準から高い水準の順に、① 基礎となる生物的意識（覚醒、arousal or vigilance）、② 中間レベルの知覚・運動的意識（アウェアネス、awareness）、③ 高次の自己意識（self consciousness、自己に向かう再帰的な意識、リカーシブな意識、recursive consciousness）の3つの段階に分けている。これまで主として視覚系、聴覚系を対象に本書で考察を加えてきた意識のレベルは、通常的生活において知覚と行動（運動）が結びついた状態の、菅坂^{おきか}の言う②の段階に相当し、これは「後部大腦皮質」（ルリ

ア、1973、の第二機能ブロック、後述、47 節、参照)および一次運動野まで発達を遂げた動物が共通して所有しているものに対応する。さらに、③の自己意識となると、思考レベルの情報処理・認識機能に深く関与し、これは社会との接触を通じて形成される人間に特有な性質のものである。人間は自然の産物をそのまま食べている他の動物とは違って、種をまき「意識的に」自然界にはたらしかけて穀物を収穫する。前頭葉を働かせて合目的的に耕作を行ない、耕地を整備する。発達した前頭前野を活動させて、自らの意思を発揮することのできる、他の動物とは決定的に違う、人間の本質がここにある。このような人間の能動的・意識的活動は、自然に対してのみならず、共に生活する他の人間にも向けられる。この自然や人間に対する「働きかけ」がコミュニケーションと言われるものであり、この概念は人間意識との関係で理解されるべきものである。意識の問題は物質を支配する法則性に基づく生物学的研究に加えて、精神医学の治療上の態度としても重要なテーマであり、それに対する見解は、如何なる世界観を持っているかによって規定される社会科学的、哲学的概念をも含んでいる。

エコノモやブレーマーの中樞説

パブロフ以外の睡眠学説として、1916-17年に南ヨーロッパに流行した嗜眠性脳炎患者の脳や極度の不眠状態後に死亡した患者の脳などの病理解剖所見をもとにしたオーストリアの内科医、フォン・エコノモの仮説をあげることができる。すなわち、エコノモは、「睡眠と覚醒の中樞はそれぞれ視床下部の前部と後部にある」と考えた [Economo, 1928]。両中樞の(活動の)バランスが変

化するために、(徐波) 睡眠と覚醒が交互に出現するという説で、いわゆる「睡眠の中樞説」の端緒である。また、ベルギーのブレーマーはネコの脳幹の切断実験－中脳レベルで切断した上位離断脳 (cerveau isolé) と延髄下部を切断した下位離断脳 (encéphale isolé) －を行ない、外界の刺激入力断絶した前者の状態では、睡眠に近い徐波優位の脳波を認めたが、これに対して、外界からの刺激がまだ受け入れられる後者の状態では、睡眠と覚醒の脳波変化を認めたとして、脳幹が睡眠と覚醒の変化にとって重要であると結論づけた [Bremer , 1935]。

モルツィーとマグーンの脳幹網様体賦活系

その後、モルツィーとマグーンは、脳幹の種々のレベルの網様体、とくに中脳網様体を刺激（覚醒反応を引き起こす）し、あるいは破壊（睡眠/昏睡を引き起こす）する実験を積み重ねた結果、この問題を上行性または脳幹網様体賦活系(ascending or brainstem reticular activating system)の説として包括した [Moruzzi and Magoun, 1949] 。そこで、脳幹を上行する感覚伝導路の側副路を通して、外界からの種々の感覚情報が網様体に伝わり、さらに視床の髄板内核および正中核群を含む非特殊核を介して、大脳皮質を広汎に賦活するという、感覚刺激による覚醒効果を説明した。

ジュヴェのモノアミン睡眠説

しかし、その後この説では説明することのできない REM 睡眠が発見されるに及んで、モノアミン作動性汎性投射系ニューロンの分布と推測されるその作用をもとに、フランスのジュヴェによって「徐波睡眠はセロトニン (5 HT) 作動性ニューロンの働きで、覚醒および逆説睡眠はノルアドレナリン (NA) 作動性ニューロンの働きによる」という睡眠モノアミン説が提唱された[Jouvet , 1967, 1969, 1972]。強い支持を得てきている説ではあるが、中脳網様体を上行し、大脳を覚醒させるシステムとしては、これら 2 者 (5 HT と NA) に加えて、1990 年頃から注目されたコリン(Ach)作動性やヒスタミン(HA)作動性投射系も視野に入れなければならなくなった[小山と香川、1999；香川ら、2004 の 総説を参照]。

ジュヴェのモノアミン説は中枢説と化学説の両方をうまくとりこんだ魅力的なものではあるが、ラットを用いてこれらの各ニューロンが含まれる縫線核や青斑核を電気刺激しても NREM 睡眠や REM 睡眠は必ずしも起こらず、これだけで単純に説明することはできない。昼夜リズムや睡眠・覚醒リズムの活動が、このような脳幹網様体を上行する系を介して脳全体に広範に作用し、視床下部一下垂体系に中枢機構をもつ内分泌活動にもリズムを生ぜしめると考えられる。

このように視床下部は、生体情報を統合しつつ睡眠・覚醒の状態のスイッチングを行なう場として注目されている。すなわち、視床下部前部にある「睡眠中枢」としての腹外側視索前野 (VLPO) 神経核群と視床下部後部より脳幹にいたる「覚醒中枢」としてのモノアミン系 (ノルアドレナリン性の橋被蓋青斑核、セロトニン性の背側縫線核、ヒスタミン性の結節乳頭核)、さらには視床や前脳基底部を介して大脳全体の機能状態をコントロールしている、コリン系 [橋被蓋核(pedunculo pontine tegmental nucleus, PPT or PPN)および外背側

被蓋核(laterodorsal tegmental nucleus, LDT or LDN)]も加えた、睡眠/覚醒の両中枢の間には互いに抑制性の軸索投射がみられることが明らかにされ [Saper et al.,2001] て睡眠説は多様化している。

睡眠研究と睡眠障害に対する光療法

ジュヴェのレム睡眠の発現に関する神経機構の存在の解明 [Jouvet, 1967]より 38 年後の現在、睡眠と覚醒に関する神経機構の研究は大きく発展しているが、今なおプロスタグランジン、アデノシン、神経ペプチドを含む睡眠物質やオレキシン神経系、ヒスタミン神経系のような覚醒中枢の活性化について、さらには種々の睡眠・覚醒のモデルや仮説の提唱など研究が進んでいる。ともかくも視交叉上核から覚醒と睡眠の発現をもたらす神経機構へ伝えられる神経活動によって、ヒトでは夜間に眠って日中は覚醒するという概日リズムが生み出される。この睡眠覚醒のリズムが損なわれると、概日リズム睡眠障害、老人性睡眠障害、季節性感情障害（うつ状態）などの症状が現れる。これに対して、照度 2500–3000 ルックスの光を約 2 時間照射して、望ましい時間帯まで障害者の睡眠相をシフトさせて治療するという「高照度光療法」が施行されている（渡辺、2001）。

現在の科学が教えるところでは、NREM 睡眠、REM 睡眠、覚醒のそれぞれの状態を発現させるのに中心的役割を果たしている神経組織があり、これらの組織部位の活動のバランスによって、睡眠⇔覚醒、REM 睡眠⇔NREM 睡眠が交互に生じるとされている。覚醒時には脳幹のアミンニューロンは最大の活動を示し、反対に REM 睡眠時にはアミン系は活動を停止し、コリン系は上昇す

るなど、アセチルコリン、ノルアドレナリン、セロトニン、ヒスタミンなどの神経伝達物質が重要な役割を演じるというのである。

なお、往々にして看過されがちであるが、この脳幹網様体の全領域に対して大脳皮質、とくに知覚運動野[Kuypers, 1958 ; Kuypers and Lawrence, 1967]、小脳核とくに室頂核[Walberg et al., 1962]、および上丘[Kawamura et al., 1974]から広汎な投射がなされている。従って、脳幹にある覚醒・睡眠の機構を維持する働きは、末梢感覚器官から大脳皮質までの脳全体の活動に依存しており、これらの複雑な神経回路から成るシステムが関与していると考えておかねばならない。そして、以上考察したこれらの総体的働きなるものが外界とのズレに対して統一的に適応する生体活動に他ならない。

.....

無条件反射と条件反射

無条件反射は生物の種に属し、条件反射は個体によって形成される。条件反射は生物と環境との一時的結合であるから、個体の生活過程で獲得され、反復されることによって強化されるが、長時間もちいられないで放置されると消えてしまう。だが、同じ種類の条件反射をくり返して形成させるような環境が存在する場合には、長時間にわたって結合が持続し、生命物質のなかにその痕跡を残すにいたる。すなわち獲得された環境への適応の仕方が遺伝し、その種に定着される。条件反射が無条件反射に転化し、それ以前の無条件反射を変化させるのである。

複雑な条件反射の形成にとって必要なもう一つのことは刺激の小さな差異を区別することである。実験の結果によれば犬にはかなり高度にこの能力があることがわかる。はじめには刺激が一般的な形で新しい条件反射の成分になるが、あとになると刺激は分化する。たとえば音を条件刺激として条件反射を形成すると、はじめいろいろな異なった振動数をもつ音がみな一様に条件刺激になるが、一定の振動数の音だけを使って条件反射の形成をつづけると、ついにはその特定の振動数をもつ音だけが条件刺激となり、その他の振動数をもつ音は無関心刺激になる。このようになることを刺激が分化するというのである。この分化の過程を促進するために、実験としてつぎのことがおこなわれた。たとえば振動数 500 の音を条件刺激として、この音を聞かせて餌を与えるということを反復し、この音を聞けば唾液が分泌するという条件反射を形成する。そのあとでこんどは、振動数のちがう音を聞かせて、そのときには餌をやらぬということを反復する。はじめのうちは犬はごまかしの信号を聞いても唾液を分泌するが、同じことを反復すると、振動数 500 の音を聞くと唾液を分泌するが、ごまかしの音を聞いても反射がおこらなくなる。そこでさらに、ごまかしの音の振動数をだんだんと条件刺激に近づけてゆくと、最後には振動数 500 の音に対しては反射がおこるが振動数 498 の音に対しては反射がおこらないというところまで犬が刺激を分化するにいたった、と実験報告は述べている。作用を失った刺激は制止されたといい、このようにして近似した刺激の一方を制止することを「分化制止」という。

条件反射が研究される以前には、人間は心臓や肺や胃腸の機能について

知ることはできても、大脳の機能についてはほとんど何も具体的には知ることができなかつた。わずかに、動物の大脳のある部分を切除するとある機能に障害がおこるということを調べることによって、大脳の一定の部分が一定の機能と関係があることを推定しうるにとどまつた。条件反射の研究によって、生きて働いている大脳の中でおこなわれている眼にみえない機能をたとえば唾液の分泌というような測定できるものを通して推定することが可能になった。眼にみえるものを通じて眼にみえないものを研究できるようにするということは科学的研究方法の偉大な進歩である。

.....

#1-2

我々は、まず、進化論的視点に基づき、パブロフの力学モデルとその概念に準じて、高次脳機能を支える意識の問題を論ずる。

Conditioned Reflex CR:

The first (sensory) signal system

Concrete, direct stimuli, being considered as conditioned stimuli.

The second (linguistic) signal system

Cortical functional system, language being considered as conditioned stimuli. The language is a signal of direct conditioned stimuli (=unconditioned stimuli)

.意識の第一段階、第0信号系、無条件反射について

1. 生命を支えている「低い」段階にある“意識”で、脊髄・脳幹（さらには間脳まで）が新陳代謝を営んでいるという、無条件反射（パブロフ）レベルの話である。「意識下」という用語を用いる人もいる。

2. 脳髄内には脳幹網様体が存在し、Moruzzi と Magoun (1949) の脳幹網様体賦活説

（網様体→視床非特殊核→新皮質）、セロトニンが減ると覚醒、増えると睡眠という

Jouvet (1972)のモノアミン仮説などがある。あるいは視床網様系

（thalamic reticular system ; Jasper ら Montreal 学派）といわれる組織構造

が認められる。

3. この構造内にはアミン、ペプチド、コリンを生産する神経細胞集団があり、そこから

軸索繊維を縦横に網状に伸ばしている。

4. 脳幹の前方部は間脳といわれる領域で、背側部の視床と、内分泌系・自律神経系の

中心的な部位にあたる腹側部の視床下部と、に大別される。

5. 視床は、間脳の大部を占め、外界および内部環境からの刺激/興奮を大脳皮質に伝える。

特殊核と非特殊核がある。

視覚・聴覚・体性感覚など特定の感覚の伝達経路の中継核が前者、視床網様核、

正中核群、髄板内核群などが後者に相当する。

6. 視床下部は前脳とともに覚醒・睡眠を司る中心部位であるが、そのほかに、摂食中枢、性機能、生体リズム、体温調節、エネルギー・水分代謝に関わり、本能行動や感情表出にも関与する。

7. 視床には賦活系投射（activating system）のほかに、大脳基底核と小脳からの大きな

入力がある。大脳皮質からの投射もある。

他に背外側被蓋核（LDT）、脚橋被蓋核（PPN）や前脳基底野からのアセチルコリン系の入力もある。

8. 以上が、「生きている、息をしている」レベルの、動物の生命活動の根源に関わる

生物学的神経基盤となる意識の第一段階の構造である。

意識の第二段階、第1信号系、あるいは、第2信号系の端緒について

1. サルからヒトへと進化する過程で、樹上生活から地上四足歩行を可能にした下肢（脚）と、移動(locomotion)の用具から解放された自由上肢（手/前足）を用いることによって、労働の器官として道具を使用し得るようになった。

2. 直立歩行に伴い、発声器官が形態変化（咽頭と舌骨の位置が下降し、鼻腔と喉頭が分離され）を起こし、母音のみを連続的に発声するチンパンジーの段階から子音発声機構を発達させたヒトは、労働の発達の結果、互いに協力するという機会をふやし、集団生活の中でコミュニケーションに必要な音節に分かれた言語、すなわち、言葉を獲得するに至った。そして、これらの新しい環境下で、大脳皮質領域が活性化され、興奮域と抑制域が動的に変動し、高度の構築をもった皮質に大きく発展した。
3. パブロフの条件反射は、脊椎動物のレベルで出現した。この意識の第二段階ではパブロフ条件反射の第1信号系（感覚信号系）に留まっているか、あるいは、第2信号系（言語信号系）の初めの段階である。つまり、感覚性言語野が後連合野内に発達する途上の段階である。
4. この意識の第二段階の形態は、「感覚器官を通して知覚できる」、つまり“状況がわかる”という程度に達している。
5. 脳内基盤としては、視床・新皮質（および大脳基底核）回路が関与し（詳細はⅡ参照）、一次知覚野と後連合野で主たる機能が発揮されて外界からの情報が健全な覚醒下で処理される。

意識の第三段階、第2信号系、自己意識の出現について

1. この意識の第三段階の特徴は、「自己意識」と呼ばれるものの出現である。
Jackson 理論に従えば、「精神・心・意識は神経系進化の最高段階（を含む階層構造）」であり、パブロフの条件反射の第二信号系に相当する。
2. サルがヒトとなる条件下で、すなわち、直立歩行、道具の使用、共同労働、言語の使用などが進むに従って、運動性言語野を含む前頭前野が著しく発達

する。

3. この 4-3.の段階まで進んだ「意識」の内容は、脊椎動物→哺乳類→霊長類→ヒトへと進化するにつれて、漸次連続的に高等化する。

①認知機能が高まり、その概念化/抽象化が可能となる、

②運動性言語野が前連合野（前頭前野）内に発達し、社会集団生活を営む中で、サルがヒト化する過程で、条件反射第二信号系が獲得される。

③外界または他者中心 *altro-centric* の捉え方から自己中心 *ego-centric* の認識へ（おそらく頭頂葉⇔前頭葉の連合回路が関わる）、そして全体的・相対的事象の捉え方が可能となる。

④脳の発達・進化に伴い、海馬→後連合野（&帯状回）→前頭前野へと認知・記憶の面での主要な活動中心が変容する。

⑤前頭前野の発達と、後連合野⇔前頭前野の相互的連絡、

⑥大脳皮質を中心とする皮質内および皮質・基底核・視床・皮質を包摂して循環する、神経回路の機能的役割が飛躍的に増大する。

⑦ここで初めて、ヒトにおける自己意識および自他（意識）識別について考察し得る。

4. （「照合機能」、「自他意識」、「随伴発射」およびそれらの障害など、最近の研究結果を考察し、後述する）。

5. すなわち、コミュニティー内での共同の作業と言語活動による交流を通じて、

「ヒト特有の群れ」の特性である社会性とその歴史的進化の蓄積の中で醸成される。

○○○○○○○○○○○○○○○○○○

補筆 1 : CR and Non-CR について

動物とくに高等動物の行動は条件反射で構成されている。条件刺激となるものは動物ではすべて具体的な自然の事象であるが、ヒトでは言語が条件刺激となって信号系に加わる。パブロフは言語を第二信号系と名付け、動物とヒトに共通な基礎的な信号系を第一信号系とよんで区別した。言語が条件刺激となって働くとき、それは具体的な自然の事象を表示し、信号の信号として働くのであって、第一信号系とは性質を異にしている。第二信号系は〈言語条件反射〉とよばれることもあるが、パブロフ学説にしたがえば、条件反射の一種にすぎないのではなく、第一信号系とは質的に異なる高次の信号系なのである。ヒトを含む高等動物では、無条件反射の中枢は大脳皮質下から脊髄にあり、第一信号系の中枢はひろく大脳皮質に形成される。第二信号系は新皮質、とくに言語機能に関係する連合野にその中枢の座があるとされている。

第二信号系の作用、つまりことばが感覚的経験を媒介にして外的事物や事象の信号となる過程は、条件反射の高次神経機制によってなしとげられる。人間にとって、ことばは他のすべてのものと同様に条件刺激であり、条件反射活動の一般的法則にしたがっている。しかし、条件刺激としては、ことばは、動物の感覚的條件反射活動とくらべて、いっそう融通性があり、結合と連合の可能性もはるかに大きく、それゆえに、くらべものにならない高次の水準にあるのである。こうして、人間と動物の高次神経活動のあいだには、連続性とともにするどい断絶がある。連続性があるという

のは、両者の高次神経活動が条件反射の働きであるからである。断絶あるいは飛躍があるというのは、人間は感覚系の機制を動物と共通にもっているだけでなく、言語系という付加的装置をもっているからである。

猿から人間への移行についての著作でエンゲルスが指摘した欠陥を埋めるものは、人間だけにある言語系についてのパブロフの理論である。労働過程の産物である第二信号系の機制は、移行のなかで生じた神経のあたらしい発達であった。そしてこの発達こそが、複雑な神経生活全体の根底にあってそれを可能にしている、神経の構造と諸過程とを生みだしたのである。人間の知識にこの点で欠陥があったのを埋めることによって、パブロフの高次神経過程についての科学は、唯物論にたいしてひじょうに大きな貢献をしている。この科学は、意識つまり人間の精神が、物質にたいして二次的であり、物質から派生したものであるという、唯物論の基本命題を証明するうえでの最後の環を提供している。というのは、それは、ある仕方で組織された物質、つまり相互に関連しあった感覚信号系と言語信号系をもつ人間の大脳皮質が、労働過程の発展のなかで、どのように意識を生みだすかを示すからである。

補筆 2 : 「条件反射から無条件反射への転化について」

無条件反射は生物の種に属し、条件反射は個体によって形成される。条件反射は生物と環境との一時的結合であるから、個体の生活過程で獲得され、反復されることによって強化されるが、長時間もちいられないで放置されると消えてしまう。だが、同じ種類の条件反射をくり返して形成させるような環境が存在する場合には、長時間にわたって結合が持続し、生命物質のなかにその痕跡を残すにいたる。すな

すなわち獲得された環境への適応の仕方が遺伝し、その種に定着される。条件反射が無条件反射に転化し、それ以前の無条件反射を変化させるのである。

上記文 に記述されている「生命物質のなかにその痕跡を残すにいたる。すなわち獲得された環境への適応の仕方が遺伝し、その種に定着される。」

以上について、現代科学の視点から、すなわち、遺伝学・分子生物学の言葉で丁寧に説明できるかどうか、そのメカニズム解析につながる一つの手段なのではないか？「遺伝し、定着される」というところが難問である！

.....

情動： 脳幹→視床下部→大脳辺縁系（扁桃体）→大脳皮質

情動について

oooooooooooooooooooo

以下日本文

参考資料 13 Amygdala 扁桃体の構成と機能

1) はしがき：

哺乳動物の扁桃体（扁桃核はその組織学的名称）は終脳の半球胞の腹側壁が側脳室の内腔に隆起状に発達した神経節丘の一部から生じる。側頭葉の発達・形成とともに神経節丘の後腹側が前方に移動し、扁桃体は側脳室下角の前端の前上部に位置するようになる。ヒトの扁桃体は側頭葉前部の海馬旁回鈎のすぐ下方にみられる。海馬は終脳の蓋板につづく半球内側面の部分が翼板の肥厚によって形成される“原始”皮質の一部で、発生初期には脳梁の背側に位置している。やがて脳梁に同伴して背後方に発達し、さらに腹前方に進み歯状回となり、また側脳室内に突出して海馬足（固有の海馬、アンモン角）を形成する。扁桃体と海馬は位置的に近接しており、“関係が深い”とよく言われるが、発生の過程からみると互いに独立している（図1）。

大脳皮質との関係でいえば、海馬体とは嗅内野・海馬台（ヒトでいう海馬旁回）を介して広汎に結合する連合線維（皮質－皮質結合）の系である。他方、扁桃体との関係は投射線維（皮質－皮質下結合）の系であり、側頭葉極や下部側頭葉皮質や前頭葉の腹側部および眼窩面皮質など、情動機能に関連する領域と相互に結合している。そのうえ、扁桃核は味や臭いや自律神経系の皮質下核と結びついている。後述するように、記憶変換器としての海馬体系と感情表出複合体としての扁桃体系の働きを結びつける主要な接点は嗅内野ないし海馬旁回にある。

本論文では、記憶、情動(喜怒哀楽の感情)、認知の基盤を支えている扁桃体について、形態・機能的な面から、1) 動物（ラットやサル）実験で得られた知見が人間の精神機能を解釈する上で適用できるかどうか？ 2) 総説的な記述ではなく、形態・機能を中心とした基礎的研究およびヒトの脳画像解析や臨床所見から得られる扁桃体に関わる構成（神経回路）の2点に焦点を合わせて考察を試みる。

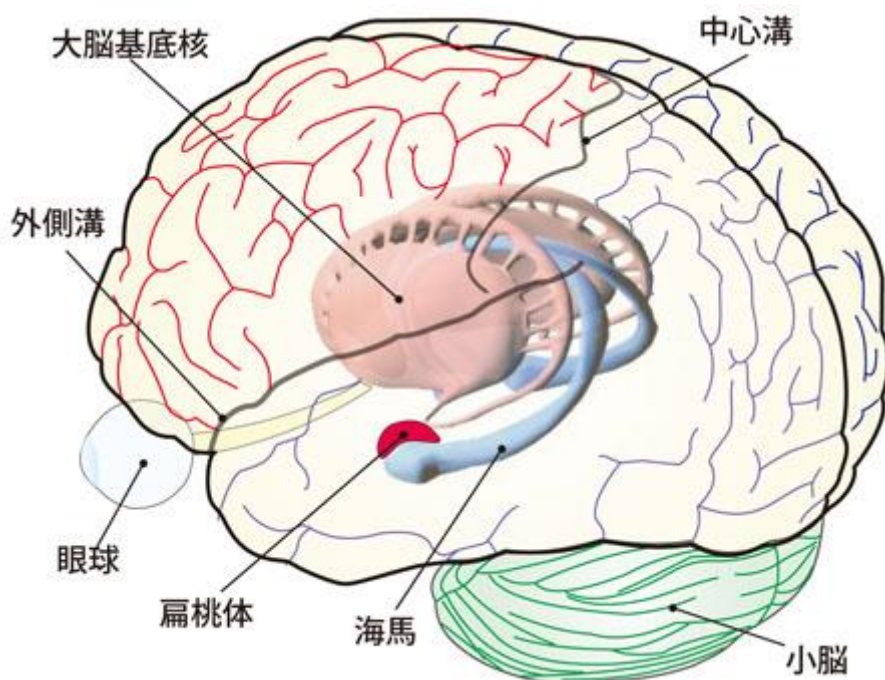


図1：扁桃体と海馬の位置関係をマクロ的に図示した。

II) 扁桃体の形態学的区分：

扁桃核には、形態の大きさ、区分、細胞・線維構築などの差異が動物間に認められるが、大別して主核（外側基底核と基底核）とそれを囲む発生学的に古い垂核（背側に中心核、背内側に内側核、内側に皮質核）から成る。最近、扁桃体についての総説的文献[Aggleton (2000), Gloor(1997), LeDoux (1998, 2000), Pitkänen (2000), Sah ら(2003)]が多く出版されている。ヒトの扁桃体形態に関する記述は、DeOlmos (2004)の論文に詳しく、とくに参照されたい。

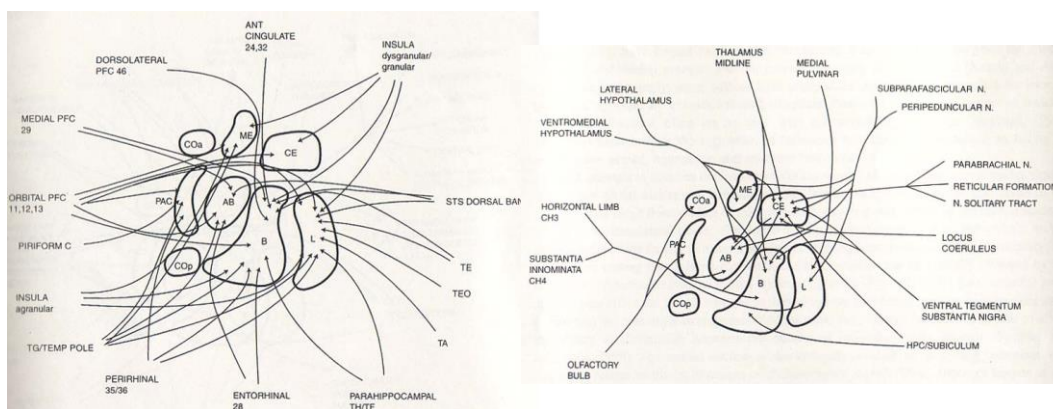
III) 扁桃体への入力（系）：

扁桃体には、味覚、嗅覚、内臓感覚、聴覚、視覚、体性感覚などあらゆる種類の刺激が、嗅球や脳幹から直接的に、そして視床核（視覚、聴覚などの特殊核近傍ニューロン群）を介して間接的に入力される。その他に、大脳皮質内で処理された情報および海馬からの情報が扁桃体に入ってくる（ちなみに、これらの領域間の情報の流れは両方向性である）。この後者の入力は梨状前皮質、嗅内野（28野）、海馬台（ヒトの海馬旁回近傍）、帯状回（とくに24野）、側頭葉、前頭前野から扁桃体の基底外側核に至るもので(Kawamura & Norita, 1980; Aggleton ら,1980)、前者の皮質下からの入力に比べて時間的に遅れて、より適正かつ精緻な情報が入力される。これら2種類の粗と精、「低位」と「高位」の経路を通過した情報が扁桃体で出会う。そこでは、環境に対して瞬間的、反射的に反応した生得

的な生体反応は、皮質レベルで認知された「高次」の情報に基づいて、益（報酬性）か害（嫌悪性）であるかが環境適応的に判断され修正される。同時に、海馬は新皮質からの認知情報を受ける前に情動的情報を含んだ扁桃体からの入力を受ける。この海馬・扁桃体間の関係は相補的である。

なお、モノアミン系の入力として、1) ドーパミン系： 黒質緻密部 (A9) および腹側被蓋野 (A10) から起こる中脳辺縁皮質系の一部が、2) セロトニン系： 中脳背側縫線核 (B7) および正中縫線核 (B8) から起こる上行性セロトニン束の一部が、3) ノルエピネフリン(=ノルアドレナリン)系：青斑核 (A6) から、4) コリン系：マイネルト基底核 (Ch4) からの入力が扁桃体に送られてくる。

Projections to Amygdala



Cortical

Subcortical

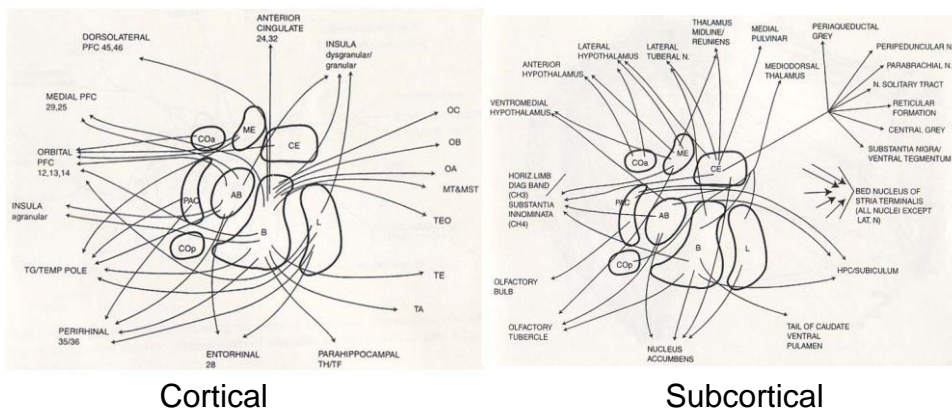
Aggleton and Saunders, 2000

IV) 扁桃体からの出力（系）：

大別して3つを挙げる。すなわち、①扁桃体の中心核（および一部、内側皮質核）から起こり尾状核と視床の境界部に沿って背後部から前腹方へと走って中隔核、視床下部（前核、腹内側核、弓状核）、内側視索前核などへ終止する分界条(stria terminalis) という神

経線維束、および②主として基底外側核を出て内側に走り、側坐核や外側視床下部から内側部にかけて分散状に分布する腹側投射系（ventral pathway、または腹側扁桃体遠心路 ventral amygdalofugal projection）と呼ばれる投射路、さらに③広範囲の脳領域へ終わる皮質投射がある。とくに側頭葉（TE野、BoninとBailey, 1947による略字命名、以下同様）梨状葉皮質、前帯状回、眼窩面皮質（OF野）との結びつきは強い。側頭葉については、扁桃体の内側基底核はTE野の腹側域とのみ、外側核はTE野全体と各々結びついている（Saleem, 2000）。

Projections from Amygdala



Cortical

Subcortical

Aggleton and Saunders, 2000

V) 扁桃体についての機能・生理学的研究：

① 魚の情動障害

メダカの扁桃体に相当する領域とその近傍を両側性に破壊すると群集行動（群れの形成）ができなくなる。コミュニケーション障害の研究のモデルとして使用可能である（坪川ら、1999）。

② クリューバー・ビューシー症候群

両側の扁桃体が破壊されたサルは、対象物の生物学的意味認知が障害され、食べられないものでも手当たり次第に口に運んだり（精神盲、口唇傾向）、同性に対しても交尾行為を仕掛けたり（性行動の亢進）、以前恐れていたヘビやヒトに平気で近づく（情動反応の低下）ようになる。クリューバー・ビューシー症候群と呼ばれている[Klüver-Bucy, 1939]。てんかん治療のために、両側側頭葉切除手術（海馬破壊）を行なった後に、扁桃体の破壊をも伴うために、また、この部位の変性疾患の際にも似たような症状がヒトにも現われる（後述）。

③ 恐怖条件づけと条件反射第二信号系

ラットに音を聞かせると同時に電気ショックを与えて聴覚条件づけ（恐怖条件づけ）を行なうと、刺激条件（音）だけで血圧上昇やすくみ反応が起こるようになる。扁桃体が破壊されると、この恐怖聴覚条件づけ学習は障害される。この恐怖条件づけによって成立する情動反応の発現は、動物一般にみられるもので、その成立の機制はヒトとラットで基本的に違いはなく、自律神経反応（心拍数の増加、過呼吸、血圧上昇、発汗、立毛、緊張感、不安感など）を伴う「恐怖症状」や「パニック発作」が観察される。

扁桃体は情動記憶の獲得・固定・保持にも関与している。感覚条件刺激や強化刺激に誘発された快・不快感あるいは嫌悪性の痛覚情報や報酬性の味覚情報が、条件づけにより、同期的に扁桃体に入力されて、長期記憶などの機序により感覚線維－扁桃体ニューロン間のシナプス結合が強化され、扁桃体ニューロンが条件刺激に応答するようになる。また、扁桃体は、中隔－海馬体系における学習性のシナプス応答の変化を増強させ、扁桃体で得られた情動記憶を長期記憶として大脳皮質に移行させ、海馬からあらゆる感覚刺激や環境状況に関する情報を受けて、それを価値評価し意味づけを行なっている（小野と上野、2003）。

さらに、条件反射第二信号系が発達したヒトの段階になると、その発現過程に認知機構が大きく関与する。たとえば前部帯状回皮質や海馬の障害（萎縮）との関連が注目されている PTSD (post-traumatic stress disorder) では、思い出したくない無意識的なフラッシュバック（再体験現象）のみならず、言葉による刺激によっても病的な情動反応が引き起こされる（Yamasue ら, 2003）。つまり、概念化された表象がトラウマ（心的外傷）となる。精神分析による治療法として、言葉を用いてこのトラウマを消去する方法をとるが、そこでは、意識的な洞察と評価が必要で、側頭葉の記憶系と前頭葉を含む皮質領域の認識系が共に働いて、意識的記憶を用いて大脳辺縁系が関わる情動の働きを制御している。

④ ヒトにおける顔の表情および情動的状況の認知

ウルバツハ - ビーテ病 (Urbach-Wiethe disease) はヒトの臨床例に稀にみられる、常染色体劣性の代謝異常の一つで、脂肪が体内組織に蓄積し、カルシウム沈着を皮膚や喉頭部に、さらに脳では両側扁桃核に起こす疾患である。患者は、他人の顔を認知することはできるが、他人の示す表情、とくに恐れ表情を読み取ることが困難となる (Cahillら, 1995, 1996)。32歳の女性 S.M.の文献上の症例もそれで、「恐れ」を認知できず(他の感情表現は普通に読み取れる)、社会的危険に対して無防備であるから、すごく社交的で、無遠慮で騙され易い。つまり、社会的行動はその器質的感情障害の故に一見して前向きであった (Adolphs ら, 1994; Damasio, 1999)。病因は異なるが両側扁桃核損傷例で「恐れ」に加えて軽度に「怒り」や「嫌悪」の表情をも認知し難かったという、似たような症例 D.R.も報告されている (Young ら, 1995)。また、健常者に幸せな表情(ポジティブ条件)と悲しみや怒りの表情(ネガティブ条件)を見せて脳活動状態を調べた脳画像研究で、ネガティブ条件下において扁桃核(とくに、なぜか左側)の活性化を示す血流の増加が観察されている (Morris ら, 1996)。

VI) 扁桃核を含む神経回路(図2)とその機能:

① 大脳皮質との関連:

扁桃核主核(外側基底核と基底核)と側頭葉(とくに前方部)および前頭葉(とくに眼窩部皮質)の間は相互に結合されている。ほかに、側頭葉下部(紡錘(状)回)や中古皮質(帯状回)との結びつきが注目されている。大脳新皮質と辺縁系との相互連絡は動物が高等になるにつれて発達し、とくに側頭連合野・前頭前野と扁桃核、海馬を含む辺縁系構造物との間の線維連絡は密になる (川村, 1977; Van Hoesen, 1982)。

側頭連合野に属するこれら TG 野や TE 野前方部は、鉤状束 (fasciculus uncinatus) と呼ばれる両方向性の連合線維によって前頭葉腹側部および眼窩面皮質 (OF 野) と相互に強く結合しているのみならず [Kawamura & Naito, 1984; 未発表例 Com80]、TG、TE、OF 野の各皮質はいずれも扁桃核との密接な相互結合をもっている [Kawamura & Norita, 1980]。

扁桃核は外界からの情報を価値評価して、側頭葉に蓄積されている長期記憶のバッファーの中から適宜マッチするものを選ぶべく、情動に関連した刺激に注意を向けてそれを正しく認知する上での機能をたかめる。大脳新皮質には扁桃核からの入力に加え、覚醒を賦活する脳幹網様体からの上行性投射が存在し、さらに、大脳基底核 (basal forebrain) からのアセチルコリン系、黒質緻密部からのドーパミン系、縫線核からのセロトニン系の皮質全体、とくに前頭前野、帯状回前部への強い投射がある。これらの神経終末から放出される神経伝達物質は皮質ニューロンに働き、脳を覚醒状態に保ち、刺激に対する感受性を高めて、外界からの情報を処理すべく脳内のシステム効果を有効に活用できる仕組みになっ

ている。とくに扁桃体や海馬からの情動・認知・記憶・価値判断に関する情報が前頭前野へ入力されることによって皮質が活性化され、ワーキングメモリーが適正に実行される [Goldman-Rakic ら, 1984]。

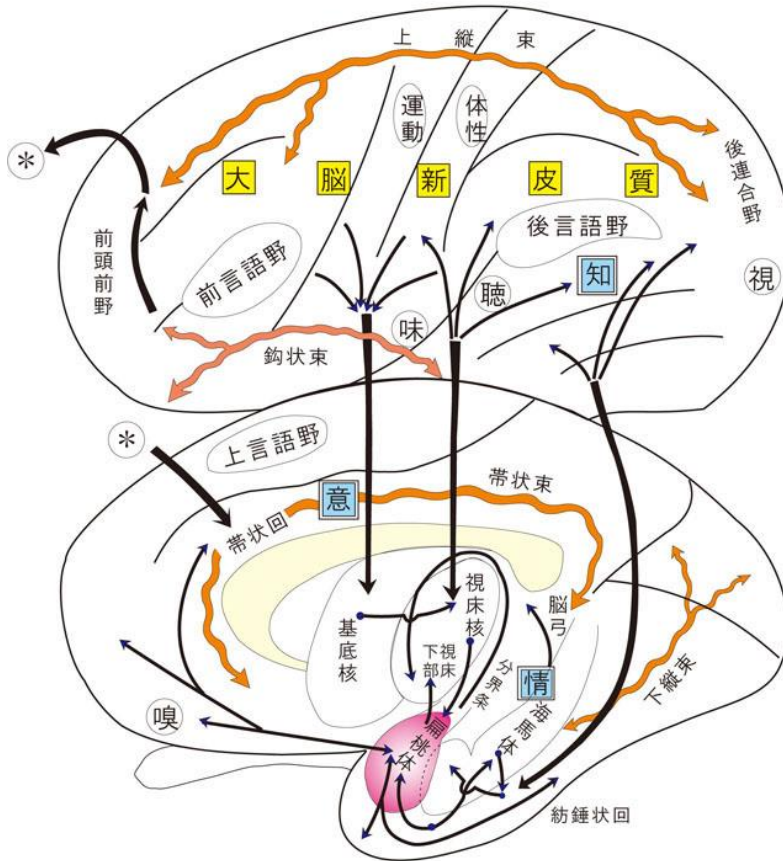


図2：大脳辺縁系と大脳皮質連合野と皮質下組織の関連について、本文中に記述した範囲で、その大略を神経回路図に簡略化して図示した。左：前方；上：外側面；下：内側面

② 視床下部との関連：

扁桃体から起こり視床下部に終わる神経路には、分界条と腹側扁桃体遠心路があることは既に述べた。視床下部は呼吸・循環、摂食、性機能、水分代謝などの自律機能や脳下垂体の機能を促進または抑制する内分泌調節などを司る生命維持に関わる重要な領域で、外的または内的な誘因が存在するとき、視床下部への刺激が来たとき周囲への働きかけの動因となり、これによって動物は行動を起こすことになる。分界条を形成する軸索終末は視床下部の腹内側核（古典的「満腹中枢」）や外側野（古典的「摂食中枢」）を含む摂食関

連領域のニューロンとシナプスを作る。これらの領域にあるニューロンはグルコースに反応するが、同時に身体の脂肪細胞から分泌される肥満因子レプチンに対して腹内側核には促進的に、外側野には抑制的に反応する受容体をもつものも存在する。海馬からは脳弓を経由して外側乳頭体核へ、網膜からは視交叉上核へ、さらに脳幹からは視床下部の広い領域へアミン系線維の投射が行われている。

視床下部の機能活動は、種々の脳部位、すなわち、①大脳皮質とくに前頭前野、②扁桃体、③海馬、④脳幹から入力されるさまざまな情報によって制御されている。外界の対象物（刺激）に対して、それらが自己（動物）にとって益になるか害になるかの価値判断を扁桃体が行なっている。益になると判断されるときには生体に快情動が起こり、反対に害と判断されると不快情動を伴う。

視床下部が司る自律機能は大脳皮質、とくに前頭葉からの直接的な影響下にある。すなわち、その特徴は、視床下部から前頭前野への上行性投射は広く分散しているが、逆方向の前頭前野から視床下部への投射は主として内側面皮質と眼窩面皮質から起こり、扁桃体からの線維束である分界条の終止域と重複している（Rempel-Clower と Barbas, 1998）。

こうして、情動と認知を基盤として、動物が判断し行動に移すまでの過程には視床下部求心路が関連し、判断結果を行動に移す形態基盤には、「運動に関連する視床下部遠心路」とくに脳幹・脊髄の運動神経細胞に軸索終末を送る視床下部・被蓋路、視床下部（室傍核や外側野から）・脊髄路、さらに網様体・脊髄路などの下行投射路が関与している（佐野、2003、参照）。

また、意識を支える機構として眺めると、視床下部は内臓感覚などの刺激を受けて直接大脳皮質を賦活すると同時に、非特殊性・広汎性の網様体賦活系にも興奮を伝えており、視床下部調節系と脳幹（上行性）網様体賦活系とは互いに関連しつつ、意識レベルを調整していることが知れる。意識への科学的アプローチはこれからである。

③ 海馬との関連：

20年前に筆者は総説「大脳辺縁系の解剖学」（川村と小野、1987）を執筆したが、その中で海馬と扁桃体の関係を「図4：大脳辺縁系の見取図」に示した（川村：「脳と精神」、2006の図32）。本誌に改変して図3として掲載する。その後、扁桃体と海馬の関係は、両者からの情報がヒトの脳では、嗅内野近傍、海馬旁回近傍（動物実験で明らかにされた嗅内野、嗅周野皮質領域）で出会うという研究（Aggleton, 1986; Saunders と Rosene, 1988; Saunders, Rosene と Van Hoesen, 1988）が詳細になされ、さらにこの10年間には広範な総説や原著論文（Stefanacci ら、1996; Pitkänen ら 2000; 2002; Majak と Pitkänen, 2003; Majak ら、2004; Kishi ら、2006）が発表された。この問題については、本特集号で執筆される小野論文を読みたい。

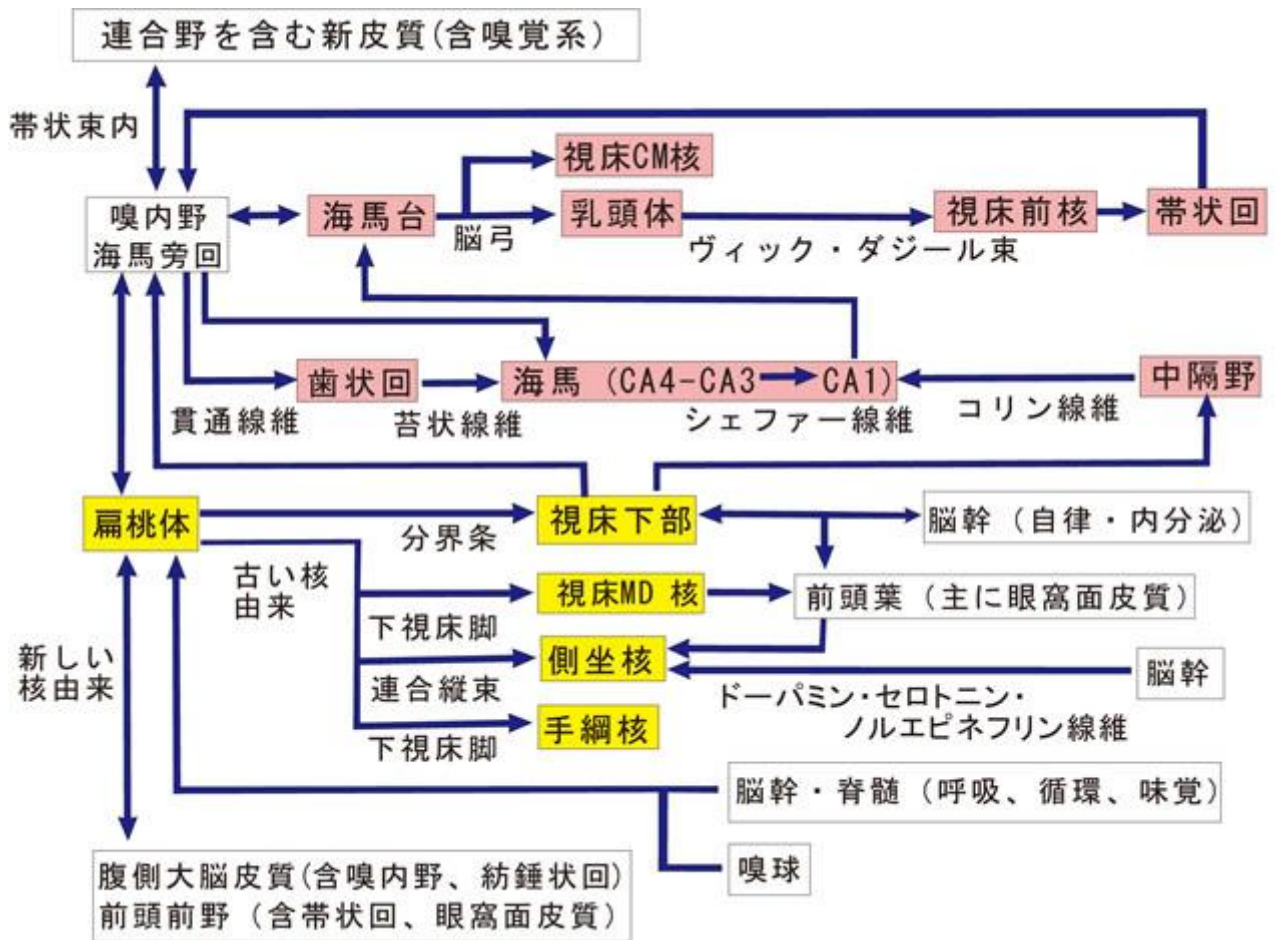


図3：海馬と扁桃体を中心においた大脳辺縁系の俯瞰をチャートで図示した。

④ 脊髄・脳幹との関連：

嗅覚や味覚の情報は視床経由で大脳皮質で分析されるほか、扁桃体でも処理される。すなわち、嗅覚刺激は嗅球から、味覚刺激は脊髄・脳幹レベルからともに直接、扁桃体の系統発生的に古い部分の皮質核・内側核群に入力されており [Norita & Kawamura, 1980]、これらの感覚系の情動への関与も大きい。水棲動物では嗅覚も味覚も同じ化学物質が各感覚細胞に興奮を与える。これらの動物では、聴覚は、水圧や波動感覚や味覚と同様に、側線系がこれに相当する。このように、嗅覚や味覚は、とくに下等動物において、辺縁系／情動と深く関連している。また、脳幹部にはモノアミン、ペプチド、コリンなどを含む神経細胞や線維が存在しており、自律系・内分泌系・情動系の中枢部である視床下部/扁桃体

に線維を与えている。

興味深いことに、種々の神経伝達物質、①ドーパミン系、②セロトニン系、③ノルエピネフリン系という生物学的基盤があるとして、社会的、行動的、心理的、各次元の総合である人格（パーソナリティ）のモデルの一つとして、各々、①新奇性探求（*novelty seeking*）、②危機回避（*harm avoidance*）、③報酬依存（*reward dependence*）と関連づけられて、一見単純な形で提唱されているものがある（Cloninger, 1987）。ところで「人格」とは、性格や性質とは異なり、感情/情緒を伴った自我意識をもって持続的に統一しており、しかも行動的特性の全体を表わすものである。従って、精神医学的にみた人格障害の生物学的見解を求められる時には、（思考・意志/行動決定・理性に関わる）皮質連合野や（動機づけ・モチベーション・情動行動に関わる）大脳辺縁系の機能を考慮して論じたいものである。

気質、病質、人格とその異常/障害に関する問題は、Schneider K (1923)に代表されるように、対象を平均基準からの偏倚かつ変異概念として捉えて、類型学的記述にとどまったが、現代の科学水準に立った精神医学が社会の要請にどのように応えられるか大きな課題の一つであろう。

⑤ 大脳基底核との関連：

大脳基底核は、扁桃核から情動系入力（Wright ら, 1996）が、またさらに新奇物体に対する意欲的行為に関与する中脳の黒質からのドーパミン入力（Li ら, 2007）が、終止する場所である。とくにその腹側部には側坐核（＝腹側線条体）と呼ばれる細胞集団が見られ、背外側の核部（*core*）と腹内側の殻部（*shell*）に区分されている。そして線維結合上、前者は運動に、後者は情動や自律系に関連が強いと考えられている。*shell*には豊富なドーパミン線維とドーパミン受容体（D4R）の強い発現が認められる。この領域のニューロンは、形象を（サル）自身にとって意味のある空間内に認知し、その方向に向かって意欲的に行動を開始したときに活動する。側坐核へは、脳幹・脊髄から自律神経系の刺激が、また終脳からは分析・処理された形の感覚刺激が伝わる。その他、扁桃核から分界条を経由する興奮性の情動入力加わる。そしてこれらの入力刺激はドーパミン軸索終末からの放出を状況に応じて制御し、さらに腹側淡蒼球のグルタミン酸作動性ニューロンを介して間脳や脳幹の諸核に興奮を伝えている。このように腹側線条体は大脳辺縁系から情動に関する情報を受けるとともに、報酬を期待することによって動機づけを評価し、その結果を運動情報に変換して情動行動に関与している。近年、機能的核磁気共鳴画像（fMRI）を用いて意欲、感情、報酬（および薬物嗜癖）などとの関係が研究されているが（Tanaka et al, 2006; Hampton & O'doherty, 2007）、扁桃核—側坐核—腹側淡蒼球—視床背内側核—眼窩回・帯状回のループはその中核をなしている。

VII) 情動の神経回路—扁桃体、前頭前野、側頭葉—についての概説

扁桃体は上に見たように、広範な大脳皮質領域から脳幹・脊髄までの中枢神経系 (CNS) 全体にわたり、神経回路網によって複雑に結びついている。これに加えるに、内分泌・自律神経系やペプチド・モノアミンなど液性伝達系をも含めると、CNS 全体を対象としなければならない。断片的に概説するのではなく、動物一般の扁桃体の生理機能を総括的に論じることは重要ではあるが、本論文の目標とはなりにくい。

ここでは、高等動物とくに人間の扁桃体について考えてみたいので、ヒトで著しい発展を遂げた大脳皮質レベルに話題を絞りたい。改めて扁桃体は、前頭前野の眼窩面 (orbitofrontal)、内側面 (medial prefrontal area、とくに帯状運動皮質 cingulate motor cortex)、側頭葉の前方域 (temporal pole)、内側 (hippocampal formation)、下面 (とくに紡錘状回近傍 fusiform gyrus)、と強く結合している。そして、これらの皮質域間の関連性も考慮しながら、異現同根で不可分の関係にある情動機能と認知機能の周辺に関心は払われる。

現象的トピックスとして以下の3点、すなわち、①「原始的感覚」としての嗅覚と情動と生命を支える自律機能、② 側頭葉の紡錘状回が関わる表情の認知、③ 前頭前野 (内側面および外側面) が関わる能動性・「社会脳」機能、でまとめてみる。

①「原始的感覚」としての嗅覚 (・味覚) と情動と生命を支える自律機能

動物は餌を捕り、敵から守るために、最初に嗅覚と味覚を発達させた。これらの感覚刺激は扁桃体に、そこからさらに視床下部へと伝達される。大脳皮質を持つ動物になると、扁桃体から皮質に終わる神経路、さらに皮質・視床下部路が形成されてくる。これらの線維の終始域は側頭葉内で、嗅覚皮質は眼窩面に、味覚皮質は弁蓋部 (43野、一般動物では島皮質) にあり、視床経由のいわゆる上行性感覚伝導路もここに終わる。この事実から、これらの皮質領域が呼吸・循環を含む自律機能および「原始的感覚」の情動と認知・分析のはたらきに関与していることが言える (生理学的研究もこれを裏付けている)。

②側頭葉の紡錘状回が関わる表情の認知

側頭葉前下面皮質 (TE 野) は扁桃核からの入力も受け、視・聴覚をはじめ多くの情報を統合して情動および認知記憶など多様な機能を果している。また、TE 野には上側頭溝周囲皮質とともに相貌認識に関与する顔選択性細胞 (face-selective cell) が見出されている [Perrett et al., 1982]。顔認識や表情処理の研究は社会性の適応障害の問題に直結する。ヒトの顔の表情を認知する領域としては、側頭葉下面で後頭葉に連続している内側後頭側頭回 (=紡錘状回) が知られているが (後述)、英国精神医学研究所のフィリップスのグループは上側頭溝周囲の皮質領域を中心に、健常者および精神異常者を対象に情動に対応する顔の表情変化の際に起こる神経活動について研究している (Critchley et al. 2000)。

③ 前頭前野（内側面および外側面）が関わる能動性・「社会脳」機能

サルで軸索流法を用いた研究から、扁桃体と前頭前野眼窩面および内側面皮質との間には強力な結びつきが両方向性に、そして外側面皮質との間には弱い結びつきが一方向性に、認められる (Ghashghaei & Barbas, 2002)。また、扁桃体から強い投射が前部帯状運動皮質 (M3) に、弱い投射が後部帯状運動皮質 (M4) に行われている (Morecraft ら, 2007)。さらに扁桃体と側頭葉、とくにその前方部、との間には強力な相互結合の存在も示され (Kawamura & Norita, 1980 ; Ghashghaei & Barbas, 2002)、ヒトにおいてもこれらの領域間の相互関連性が顔面表情認知の過程で fMRI を用いたイメージング (画像解析) の結果が明瞭に示されている (Iidaka ら, 2001)。

ところで、他人の心を推測し得る「内部モデル」なるものが幼児期の脳内に形成されるという。寸劇を見せるという「心の理論(Theory of Mind, ToM)」の課題遂行実験 [Baron-Cohen ら, 1985]は、歌舞伎の「助六」にも桶を取り違える見せ場があるが、他者の心の内面すなわち心理状態を想定するもので、コミュニティー活動を支える精神的活動を反映する「社会脳機能」を診るもので、役者の心の中を4-5歳になると察し得ると言う。前頭前野・側頭葉・扁桃体の間のニューラルサーキットは上に述べたように互いに関連し、活動している。前頭前野、前頭葉の腹内側部および眼窩部、上側頭溝および回の領域、紡錘状回、扁桃体を結ぶこれらの神経ネットワークの構成は、この「社会脳」の認知・情動機能を支える生物学的基盤をなしており、その機能低下は社会性の獲得障害として自閉症との関連が検討されている (Baron-Cohen et al, 1999; Bachevalier, 2000)。なお、臺(1979,1991)によって指摘された統合失調症にみられる「履歴現象」、すなわち想起される記憶内容が新たな情動反応と結びついて病状が再燃することは、この「社会脳」の主要な要素である扁桃体の機能的役割を再認識させる。

VIII) 脳画像解析と精神医学的考察：

臨床的に単極性うつ病者で [Drevets ら,1992]、また健康人でも悲しみや喜びなどを表わす情動的な陳述記憶を思い浮かべた場合に、扁桃体で脳血流が増加していることが PET や fMRI を用いた研究で報告されている。情動記憶と扁桃体の関係から明らかなように、ヒトの場合、益か害かの判断は実生活上の実利的なものに限られるのではなく、周囲 (社会) の情報を処理し、広く動因なるものを選定して、また芸術などに接した場合に知覚される高尚な快の情感、つまり精神的な意味で生体にとって有益な情感の判断もここに含められよう。

最近、ヒトを用いた脳画像解析研究により、紡錘状回の働きは静止顔面像の特徴を情報処理して、個人の相貌を認知する領域に相当することが明らかにされた [Kanwisher et al., 1997; Farah & Aguirre, 1999]。相貌認知は社会的コミュニケーションの上で大切な非言語

性の要素であるが、自閉症患者でこの紡錘状回の活動が著しく低下していることが指摘されている[Schultz et al., 2000 ; Pierce et al., 2001]。

双極性障害を対象に MRI などの脳画像研究もなされており、扁桃体の体積の増減について健常者と比較した報告が多くみられるが、症状の変化のためか、一定した所見が得られていない(鬼塚と神庭, 2006, 参照)。この種の研究結果の解釈は病態の多様性と経過の変動などが常につきまとうので、病気のタイプによる診断別ではなく、病状経過のステージ別に注目した調べ方が望ましい(Tebartz van Elst ら, 2007)。ごく最近、早期発症(ハイリスク病態、初期エピソード)から慢性に経過した統合失調症までの症例を対象に、治療とその転帰を追跡して扁桃体と海馬の体積変化を調べたメルボルンのグループの研究(Velakoulis et al, 2006)がある。今後、早期治療や社会復帰と結びつけるべく進展することが期待される。

知覚連合野からの情報が前頭前野に伝達され、そこで処理される過程で、情報の価値評価/意味認知を行なう扁桃体を主体とする大脳辺縁系と、情動表出/発現を行なう視床下部を中心とする感情出力系の両システムを、大脳新皮質連合野が調節する機構が発達する。この制御・調節系が柔軟かつ適正に働くように形成されることが大切で、このコントロールシステムに総括的に関わる前頭前野が、関連する神経回路網の髄鞘化を含めて、成熟するのが思春期に当たる。この系における応変の可塑的応答性の崩れが精神疾患の根底に在る。

IX) おわりに :

動物一般にみられる扁桃核は、味や臭いや自律機能と結びついて情動機構の発現に皮質下レベルで関わりと同時に、皮質-扁桃核間の神経回路が働くことによって、賞罰、報酬などの意味づけ、動機づけなどの形成がなされる。人間には金銭欲、支配欲、名誉欲など前頭前野が関わる「社会・生物学的」レベルの欲求があるが、これも皮質連合野、扁桃体、視床下部が参加する「価値判断と能動性」機構によって支えられている。

ところで、情動と認知およびそれらの相互作用の基礎にある高次神経活動は、皮質にある二つの条件反射系(感覚系と言語系)と皮質下にある無条件反射系を含んでいる。観念は常に言語による抽象作用であるので、ヒトでは、言語信号系が認識の基礎をなす神経活動となる。他方、情動は感覚信号系と皮質下(扁桃体、中隔核、分界条底核、側坐核/腹側線条体を含む大脳辺縁系を構成する部分)の無条件反射系の相互作用を主とするものである。こうして、認知の機構と情動の機構の基礎にある諸過程は、互いに関連している。人間にあっては、認識(観念)と情動表現は、実在を意識内に反映するものとして不可分に結びついている。その意味で、他の動物と違って言語中枢を備えている人間にとっては、情動は意識的に認識されて意味をもつものとなる。

改めて扁桃体を中心とする情動の機構について考えてみると、認知機構におけると同様に、無条件反射的に反応するサカナやカエルのレベルから、大脳皮質が関与する条件反射的(第

一信号系の) 低レベル認知が関与するネズミ・ネコ、そしてサルのレベル、さらに進んで第二信号系または言語信号系が関与するヒトのレベルにまで「ヒエラルキー」が存在する。ここに動物一般に共通する側面と、特定の動物に固有に備わった側面との両面をあわせみることができる。つまり一般的に新皮質よりも辺縁系の働きに大きく依存するとみられている情動機構においても、それが言語機能と結びついたとき、量・質の両面で本質的な差異が生じてくる。つまり、情動機能は高次の認識機構がその根底にあって情動の基盤をなすときに、たとえば美術、芸術などで高レベルの機能を発揮する。

謝辞：

貴重なご意見を賜った臺 弘先生（坂本医院）に、また作図して頂いた船戸和弥氏（慶應義塾大学）と高沖英二氏（メタ・コーポレーション・ジャパン）に感謝いたします。

文献：

- 1) Adolphs R, Tranel D, Damasio H et al : Impaired recognition of emotion in facial expressions following bilateral damage to the human amygdala. *Nature* 372 : 669-672, 1994
- 2) Aggleton JP : A description of the amygdalo-hippocampal interactions in the rhesus monkey. *Exp Brain Res* 64: 515-526, 1986
- 3) Aggleton JP :The Amygdala, A functional analysis (Ed), Second edition, Oxford Univ Press, 2000
- 4) Aggleton JP, Burton MJ, Passingham RE : Cortical and subcortical afferents to the amygdala of the rhesus monkey (*Macaca mulatta*). *Brain Res* 190:347-367, 1980
- 5) Bachevalier J: The amygdala, social cognition, and autism. pp. 509-543, In: *The Amygdala* Second edition, Oxford Univ Press, Ed by Aggleton JP, 2000
- 6) Baron-Cohen S, Leslie A, Frith U: Does the autistic child have a “theory of mind” ? *Cognition* 21 : 37-46, 1985
- 7) Baron-Cohen S, Ring HA, Wheelwright S et al: Social intelligence in the normal and autistic brain: an fMRI study. *Eur J Neurosci* 11 : 1891-1898, 1999
- 8) Bonin Gv, Bailey P : *Neocortex of Macaca mulata*. Univ Illinois Urbana, 1947

- 9) Cahill L, Babinsky R, Markowitsch HJ et al : The amygdala and emotional memory. *Nature* 377: 295-296, 1995
- 1 0) Cahill L, Haier RJ, Fallon J et al: Amygdala activity at encoding correlated with long-term, free recall of emotional information. *Proc Natl Acad Sci USA* 93 : 8016-8021, 1996
- 1 1) Cloninger CR : A systematic method for clinical description and classification of personality variants: A proposal. *Arch Gen Psychiat* 44: 573-588, 1987
- 1 2) Critchley H, Daly E, Phillips M et al; Explicit and implicit neural mechanisms for processing of social information from facial expressions: a functional magnetic resonance imaging study. *Human Brain Mapping* 9: 93-105, 2000
- 1 3) Damasio RD : *The Feeling of What Happens*. Harcourt Brace & Company, 1999 (無意識の脳 自己意識の脳、田中三彦訳 講談社 2003)
- 1 4) DeOlmos, JS : *Amygdala of The Human Nervous System, Chapter 22* 2nd Ed., Ed. By Paxinos G, Mai JK, Elsevier, Academic Press, 2004.
- 1 5) Drevets WC, Viddén TO, Price JL et al: A functional anatomical study of unipolar depression. *J Neurosci* 12 : 3628-3641, 1992
- 1 6) Farah MJ, Aguirre GK: Imaging visual recognition: PET and fMRI studies of the functional anatomy of human visual recognition. *Trends Cogn.Sci.* 3 : 179-186, 1999
- 1 7) Ghashghaei HT, Barbas H : Pathways for emotions: Interactions of prefrontal and anterior temporal pathways in the amygdala of the rhesus monkey. *Neurosci* 115: 1261-1279, 2002
- 1 8) Gloor P : *The Temporal Lobe and Limbic System*. Oxford Univ Press, 1997
- 1 9) Goldman-Rakic PS, Selemon LD, Schwartz ML : Dual pathways connecting the dorsolateral prefrontal cortex with the hippocampal formation and parahippocampal cortex in the rhesus monkey. *Neurosci* 12 : 719-743, 1984
- 2 0) Hampton AN, O'doherty JP : Decoding the neural substrates of reward-related decision making with functional MRI. *Proc Natl Acad Sci USA* 23 : 1377-1382, 2007

- 2 1) Iidaka T, Omori M, Muraata T et al: Neural interaction of the amygdala with the prefrontal and temporal cortices in the processing of facial expressions as revealed by fMRI. *J Cogn Neurosci* 13: 1035-1047, 2001
- 2 2) Kanwisher N, McDermott J, Chun MM: The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *J Neurosci* 17 : 4302-4311, 1997
- 2 3) 川村光毅 : 連合野"の線維結合(I)皮質間結合--サルとネコの皮質間結合の比較と"連合野"の発達についての試論--. *神経研究の進歩* 21: 1085-1101, 1977
- 2 4) 川村光毅 : 脳と精神 --生命の響き-- 慶應義塾大学出版会、2006
- 2 5) Kawamura K, Naito M : Corticocortical projections to the prefrontal cortex in the rhesus monkey investigated with horseradish peroxidase techniques. *Neurosci Res* 1: 98-103, 1984
- 2 6) Kawamura K, Norita M : Corticoamygdaloid projections in the rhesus monkey. An HRP study. *Iwate Med Ass* 32 : 461-465, 1980
- 2 7) 川村光毅 小野勝彦 : 大脳辺縁系の解剖学. *Clinical Neuroscience* 5: 132-138, 1987
- 2 8) Kishi T, Tsumori T, Yokota S et al: Topographical projection from the hippocampal formation to the amygdal: a combined anterograde and retrograde tracing study in the rat. *J Comp Neurol* 496 : 349-368, 2006
- 2 9) Klüver H, Bucy PC : Preliminary analysis of functions of the temporal lobe in monkeys. *Arch. Neurol Psychiatr* 42 : 979-1000, 1939
- 3 0) LeDoux J : *The Emotional Brain*. Weidenfeld & Nicolson, London, 1998 (エモーションナル・ブレイン、情動の脳科学、松本元、川村光毅ほか訳、東京大学出版会、2003)
- 3 1) LeDoux JE: Emotion circuits in the brain. *Ann Rev Neurosci* 23:155-184, 2000
- 3 2) Li HP, Homma A, Sango K et al: Regeneration of nigrostriatal dopaminergic axons by degradation of chondroitin sulfate is accompanied by elimination of the fibrotic scar and glia limitans in the lesion site. *J Neurosci Res* 85: 536-547, 2007

- 3 3) Majak K, Rönkko S, Kemppainen S et al: Projections from the amygdaloid complex to the piriform cortex: a PHA-L study in the rat. *J Comp Neurol* 476: 414-428, 2004
- 3 4) Majak K, Pitkänen A: Projections from the periamygdaloid cortex to the amygdaloid complex, the hippocampal formation, and the parahippocampal region: a PHA-L study in the rat. *Hippocampus* 13: 922-942, 2003
- 3 5) Morecraft RJ, McNeal DW, Stilwell-Morecraft KS et al : Amygdala interconnections with the cingulate motor cortex in the rhesus monkey. *J Comp Neurol* 500: 134-165, 2007
- 3 6) Morris JS, Friston CD, Perrett DI et al: A different neural response in the human amygdala to fearful and happy facial expressions. *Nature* 383 : 812-815, 1996
- 3 7) Norita M, Kawamura K : Subcortical afferents to the monkey amygdala: an HRP study. *Brain Res* 190 : 225-230, 1980
- 3 8) 鬼塚俊明、神庭重信 : 双極性障害の脳画像. *臨床精神医学* 35: 1433-1438, 2006
- 3 9) 小野武年、上野照子 : 情動. 753-770 頁, In: *脳神経科学*, 2003、三輪書店
- 4 0) Perrett DI, Rolls ET, Caan W: Visual neurons to faces in the monkey temporal cortex. *Exp Brain Res* 47: 329-342, 1982
- 4 1) Pierce K, Muller RA, Ambrose J et al : Face processing occurs outside the fusiform 'face area' in autism : evidence from functional MRI. *Brain* 124 : 2059-2073, 2001
- 4 2) Pitkänen A: Connectivity of the rat amygdaloid complex, In: *The Amygdala*, second edition, a functional analysis, Ed. by Aggleton, JR, pp 31-115, Oxford Univ Press, 2000
- 4 3) Pitkänen A, Kelly JL, Amaral DG : Projections from the lateral, basal, and accessory basal nuclei of the amygdala to the entorhinal cortex in the rhesus monkey. *Hippocampus* 12 : 186-205, 2002
- 4 4) Pitkänen A, Pikkarainen M, Nurminen N et al: Reciprocal connections between the amygdala and the hippocampal formation, perirhinal cortex, and postrhinal cortex in rat. *Ann NY Acad Sci* 911: 369-91, 2000

4 5) Rempel-Clower, NL, Barbas, H : Topographic organization of connections between the hypothalamus and prefrontal cortex in the rhesus monkey. *J Comp Neurol* 398: 393-419, 1998

4 6) Sah P, Faber ESL, De Armentia L et al : The amygdaloid complex: Anatomy and physiology. *Physiol Rev* 83: 803-834, 2003

4 7) Saleem KS, Suzuki W, Tanaka K et al: Connections between anterior inferotemporal cortex and superior temporal regions in the macaque monkey. *J Neurosci* 20: 5083-5101, 2000

4 8) 佐野 豊 :
視床下部、医学書院、東京、2003

4 9) Saunders RC, Rosene DL: A comparison of the efferents of the amygdala and the hippocampal formation in the rhesus monkey: I. Convergence in the entorhinal, prorrhinal, and perirrhinal cortices. *J Comp Neurol* 271: 153-184, 1988

5 0) Saunders RC, Rosene DL, Van Hoesen GW: Comparison of the efferents of the amygdala and the hippocampal formation in the rhesus monkey: II. Reciprocal and non-reciprocal connections. *J Comp Neurol* 271: 185-207, 1988

5 1) Schneider K : *Die Psychopathischen Persönlichkeiten*. Franz Deuticke, Wien, 1923,
精神病質人格、懸田克躬、齋崎 轍 訳、みすず書房、1954

5 2) Schultz RT, Gauthier I, Klin A et al : Abnormal ventral temporal cortical activity during face discrimination among individuals with autism and Asperger syndrome. *Arch Gen Psychiat* 57 : 331-340, 2000

5 3) Stefanacci L, Suzuki WA, Amaral DG: Organization of connections between the amygdaloid complex and the perirrhinal and parahippocampal cortices in macaque monkeys. *J Comp Neurol* 375: 552-582, 1996

5 4) Tanaka SC, Samejima K, Okada G et al : Brain mechanism of reward prediction under predictable and unpredictable environmental dynamics. *Neural Netw* 19: 1233-1241, 2006

- 5 5) Tebartz van Elst L, Ebert D, Hesslinger B: Amygdala volume status might reflect dominant mode of emotional information processing. *Arch Gen Psychiatry* 64 : 251-253, 2007
- 5 6) 坪川達也: 社会行動と魚の脳. 慶応義塾大学日吉紀要自然科学 26 : 1-10, 1999
- 5 7) 臺 弘 : 履歴現象と機能的切断症状群 — 精神分裂病の生物学的理解. *精神医学* 21:453-463, 1979
- 5 8) 臺 弘 : 分裂病の治療覚書. 創造出版 東京 1991
- 5 9) Van Hoesen GW : The parahippocampal gyrus. New observation regarding its cortical connections in the monkey. *Trends Neurosci* 5 : 345-353, 1982
- 6 0) Velakoulis D, Wood SJ, Wong MTH et al: Hippocampal and amygdala volumes according to psychosis stage and diagnosis. *Arch Gen Psychiatry* 63 : 139-149, 2006
- 6 1) Wright CI, Beijer AVJ, Groenewegen HJ: Basal amygdaloid complex afferents to the rat nucleus accumbens are compartmentally organized. *J Neuroscience* 16: 1877-1893, 1996
- 6 2) Yamasue H, Kasai K, Iwanami A et al: Voxel-based analysis of MRI reveals anterior cingulate gray-matter volume reduction in posttraumatic stress disorder due to terrorism. *Proc Natl Acad Sci USA* 100 : 9039-9043, 2003
- 6 3) Young AW, Aggleton JP, Hellawell DJ et al: Face processing impairments after amygdalotomy. *Brain* 118 : 15-24, 1995

○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

視床下部

その下位に脳幹（液性伝達物質）・大脳辺縁系（扁桃体と海馬）が位置し、
上位に皮質（帯状回など）をみる

参考資料 14 視床下部について—内分泌系・自律神経系

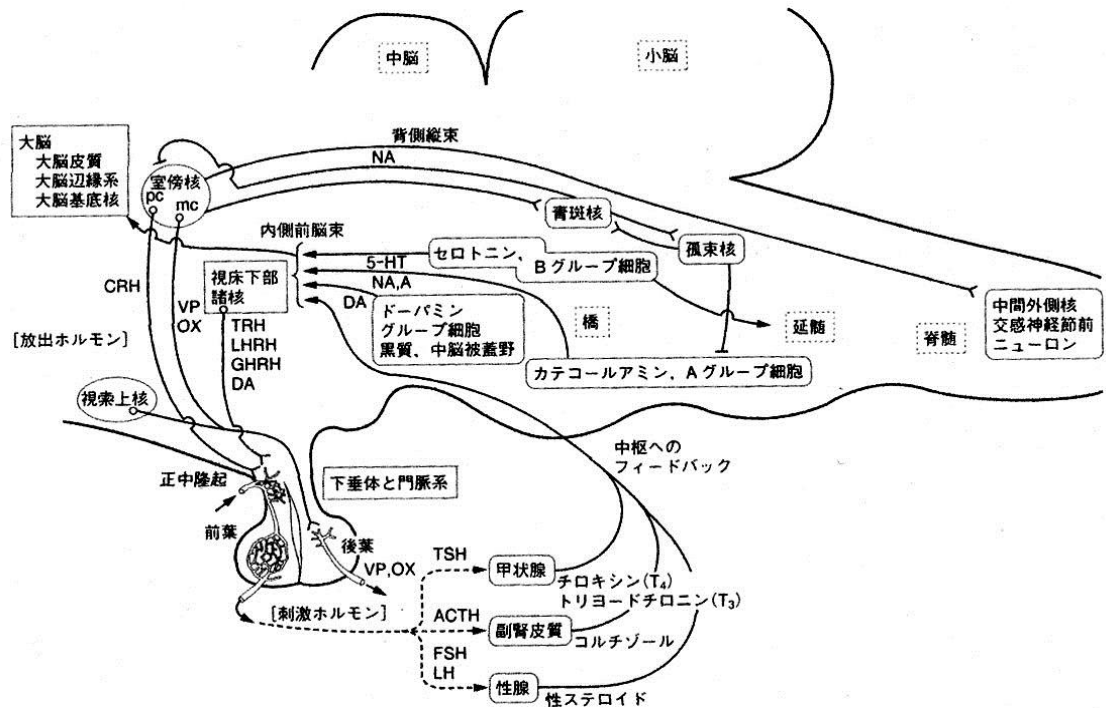
視床下部は、内分泌系・自律神経系の最初中枢とみなされ、摂食、睡眠・覚醒、生殖、情動などの機能発現に大いに関係しております。

視床下部に存在するホルモンが脳下垂体の機能を制御することがハリス [Harris, 1948] によってはじめて指摘されました。爾来、視床下部は内分泌系の最初中枢であり、自律神経系や情動反応の表出のための中心的な場であるとされてきました。視床下部は、睡眠、生体リズム、性機能、エネルギー代謝、水分代謝、体温調節など、広範囲な生体の自律調節をつかさどる他に、補食、闘争、性などに関係する本能行動や感情の表出などに関わる、小さい（脳の総重量の約 0.5%）けれども、重要な領域であります。解剖学的には視床下部は多くの異なる種類の神経細胞の集団（神経核）から構成され、それらはしばしば機能的単位としても働くことが知られています。大脳皮質や小脳とは違って、視床下部では幾多のペプチド作動性ニューロンがその機能に重要な役割を演じ

ています。たとえば、下垂体機能を調節する神経内分泌ニューロンは視索前野、室傍核、弓状核などの神経核内に存在し、その軸索を正中隆起の外層に終止させて、種々の神経ペプチド（＝2つ以上のアミノ酸がペプチド結合によって連なった化合物で、別名、視床下部ホルモン）を下垂体門脈系毛細血管叢に放出しています。すなわち下垂体門脈系を介して、前葉細胞に働きかけてホルモンを分泌させます。

液性伝達について以下の図にまとめてみました。

図 22： 脳を硬い複雑な神経回路網から構成される単なる集合体としてみるのではなく、自律神経系、内分泌系をふくめた液性調節系も含めてみるべきことを示す模式図（川村、2006）。



自律神経系

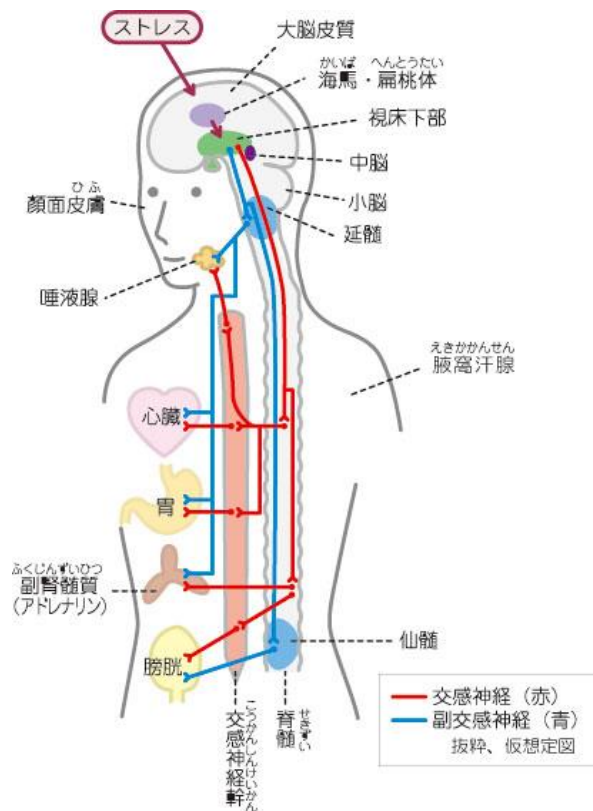
自律神経には、交感神経と副交感神経があり、体内からの情報を受け取り、内分泌臓器や免疫臓器を含む生体内諸臓器の調節を行っています。次項 2. の内分泌系のところでホメオスタシス (homeo-stasis) について詳しく述べますが、体内をめぐるホルモンやそれを運ぶ血液、それにリンパ液や組織液のはたらきと協調して、自律神経系は体内の平衡状態 (バランス) を維持するのに大切な役割を担っております。簡単に説明しますと、交感神経は身体を活動的な状態にする働きがあります。心拍数を増やし、血圧を高め、消化管の運動を抑制します。これに対して、副交感神経は身体活動を準備するように働きます。心拍数は減り、血圧は下がり、消化管の運動は盛んになります。交感性反応は身体の広い範囲に影響を及ぼすタイプであり、他方、

副交感性反応はローカルに作用してエネルギーを貯めるタイプです。以上、一般に言われていることですが、要は、外部環境が変わっても生体の内部環境を一定に保ってくれている（恒常性）、意識してコントロールすることのできない、一見して対立した機能を発揮する①交感神経と②副交感神経という二つの作用です。どちらかを優位にはたらかせるというのではなく、両者をバランスよく統一するということです。あえて哲学用語を用いると「対立物の相互浸透」です！

皆さん、力みすぎたり（前者優位）、緩みすぎたり（後者優位）、にならないように、楽器演奏やコーラスの発声の時に耳に胼胝（たこ）ができるほど指導されるでしょう。

詳しい説明は抜きにしますが、下の図 23 で大枠をつかみ取って下さい。

図 2 3 : 自律神経（交感神経と副交感神経）のはたらき（川村、2007、作図：川野）



内分泌系の調節(Homeostasis)

内分泌系の作用ですが、自律神経系と協調しながら内外の環境変化に対応して、生体の恒常状態を維持しています (ホメオスターシス、cf. キヤノン 1871-1945)。この homeo-stasis という造語は、1929 年に Walter B. Cannon によって発表されたもので、以下のような概念を含んでいます。すなわち、① 生物は自然 (外界) と物的な交流をしている不安定な開放系であり、 ② 生物は自然の変化や生物体内部に惹起された「不調和」なものに抗して自己の定常的な状態を保つ能力がある、というものです。

考えてみると、これは「変化」と「恒常」という対立概念 (あるいは

二項対立図式の思考)を「止揚」した弁証法的な「二重性」をもったものでして、生物体が生命を維持するために、自律神経系や内分泌系の働きを介して、体内平衡状態を維持するという考えを提唱したものです。このような考え方は、見方によってはギリシャの昔からあり、当時の哲学者たち（ヘラクレイトスやアリストテレス）の素朴な、一 であっても本質を衝いた 一考えを発展させたものと見做すことができます。

ところで、ここで問題とする内分泌系の調節を現代科学の目でみますと、多くの場合、視床下部、下垂体を介した調節が行われているとしてよいでしょう。すなわち、

視床下部からの放出（調節）ホルモンが、下垂体前葉ホルモンの分泌を促進あるいは抑制しています。

下垂体前葉ホルモンがそれぞれの標的器官に作用してホルモンの分泌を促します。

末梢ホルモンは標的細胞に作用してその機能を変化させるとともに、視床下部あるいは下垂体前葉にフィードバックをかけてホルモン分泌を抑制します。また、下垂体前葉ホルモンによる視床下部へのフィードバックもあります。

そのほか、さまざまなストレスが視床下部—下垂体—標的器官系に影響を及ぼすことはセリエ(1907-1982)以来注目されております。このように、内分泌系は生体のホメオスターシスを維持し、さまざまな情報を処理しつつ複雑な統合作用を営み、ストレスへの応答にも重要な役割を演じています。

先にみたように、ホルモンには内分泌腺から血中へ分泌されるもののほかに、視床下部・門脈・下垂体系で産生されるものがあります。ここで、脳を液性伝達系から眺めてみると、視床下部—下垂体—末梢標的器官という側面が浮かびあがります。これには、以下の3系があります。

1) 視床下部－下垂体－副腎皮質 (HPA) 系

2) 視床下部－下垂体－甲状腺 (HPT) 系

3) 視床下部－下垂体－性腺 (HPG) 系

これに関係するホルモンとして、以下のものがあります。

① 視床下部のホルモンには、

成長ホルモン放出ホルモン(GHRH)、ソマトスタチン(SOM)、プロラクチン放出抑制ホルモン(PIH)、甲状腺刺激ホルモン放出ホルモン(TRH)、副腎皮質ホルモン放出ホルモン(CRH)、黄体形成ホルモン放出ホルモン(LHRH)、バゾプレッシン(VP)、オキシトシン(OX)

② 脳下垂体のホルモンには、

成長ホルモン(GH)、プロラクチン (PRL, 乳腺刺激ホルモン)、副腎皮質刺激ホルモン(ACTH)、エンドルフィン(END)、甲状腺刺激ホルモン(TSH)、卵胞刺激ホルモン(FSH)、黄体形成ホルモン(LH)、メラニン細胞刺激ホルモン(MSH)、バゾプレッシン(VP)、オキシトシン(OX)があります。

視床下部には大脳辺縁系からの入力があります。扁桃体からは分界条 (stria terminalis) と腹側扁桃体遠心路 (ventral amygdalofugal projection) が、海馬からは脳弓(fornix)という神経繊維束が入ります。このように情動・記憶系の入力、自律神経・内分泌系の最高中枢に大きな影響を与えております。

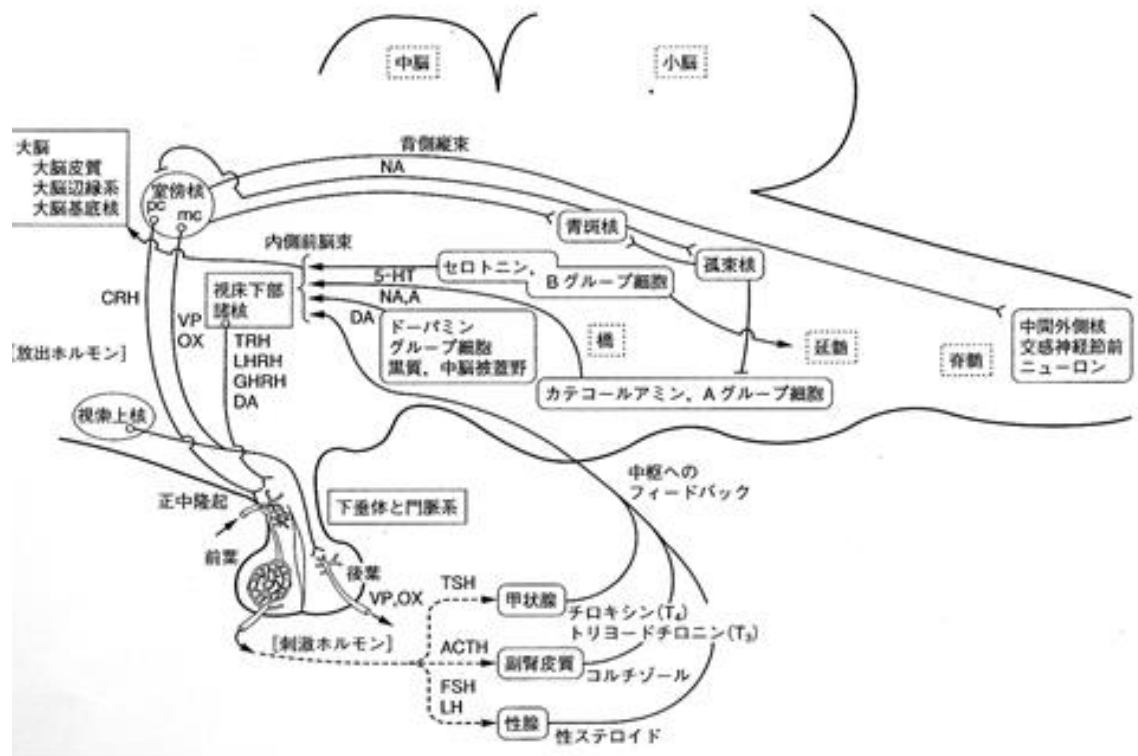
良い音楽に接したり、素晴らしい絵画や彫刻に感動したり、それらからの豊かな入力刺激に喜びを感じて「価値判断評価を (扁桃体で) する」のです

が、それらを(海馬が)広い意味でサポートする、このような探索的で情動的な記憶体系があって、それらの情報が分界条や腹側扁桃体遠心路や脳弓を通過して(ホルモンの倉庫である)視床下部に伝えられます。そこから行動につながるわけですが、ホルモンや自律神経の影響を大きくうけて、大脳皮質（とくに PFC）から脳幹網様体、脊髓前角まで広い範囲で「能動性」運動が形成されます。それらの脳内活動の様子をイメージしてみてください。

以上が音楽・美術の心を支えている脳内基盤です。しかし、残念ながら、視床下部が深く関わる生体リズムや心身のバランスと音楽のリズムとの関係について科学的に分析して、考察するための実験的知見を積み重ねる仕事はこれからです。

留意したいことは、高次神経活動の最たるものである、芸術のような高次の「精神」活動について研究する（または芸術活動をする）にあたっては、単に脳の働きに、とくに前頭前野とか聴覚連合野の特別の部位に的を絞りすぎないことでしょう。常に脳全体を、いや、生物体全体を視野に入れて、これを調節している自律神経系や内分泌系が深く関与する、生体の恒常性をコンスタントに一定のレベルに保っている機構（ホメオスターシス）について考慮するようにしたいものです。ものごとを個々ばらばらに捉えないことです。

最後に、大脳新皮質と大脳辺縁系に代表される高次機能である認知機能と情動機能、それに加えて、能動系としての運動と意志の発動があります。これらの高次神経活動の総体（精神）を下部構造が支えています。それらは、覚醒・睡眠リズム、歩行リズム、昼夜リズムなどの自動調節システムです。複雑な神経回路網が完成されて脳が活動する際には、これらの脳幹レベルに存在する諸々のリズム発進の機構の他に、ホルモンや伝達物質などの液性因子が参加してきます。視床下部、大脳皮質など脳の広い範囲に分布する神経伝達物質



中脳にある A9 ニューロン群と A10 ニューロン群（ドーパミン系）

哺乳類の脳幹にはノルアドレナリン、ドーパミン、セロトニンなどのモノアミンを伝達物質とするニューロンが存在しますが、これらは情動機能に深く関与しています。中脳には、黒質緻密部（A9 細胞群、SN）と腹側被蓋野（A10 細胞群、VTA）にたくさんのドーパミンニューロンが存在します。機能的に A9 と A10 には明瞭な違いがあります。なお、ドーパミンの作用点である受容体としては、D1 family (D1, D5) と D2 family (D2, D3, D4) に大別されています（後述、参照）。

A9 ニューロンは運動調節や運動記憶の形成に関係すると言われており、体性感覚の刺激に敏感に反応しますが、主として背側線条体へ投射をします (①

黒質線条体系)。これに対して A10 ドーパミンニューロンは腹側線条体である側坐核や嗅結節に投射していますが (②中脳辺縁皮質系)、そのほか、扁桃体中心核、前頭前野、帯状回などの終脳領域にも広く投射があり、新奇なものの刺激に反応する快楽的情動/意欲に関わるものと考えられます。なお、興味ある事実として、軸索終末部位でのドーパミン放出の仕方にも差が認められ、①の系では少量で、②の系では多量に起こると言われております。どんな理屈が考えられましょうか？

側坐核(accumbens)について

側坐核は嗅結節 (嗅覚の中継核) と共に腹側線条体を形成しており、報酬性刺激に対する反応と行動に関わる中心的位置を占めております。そして構造上、背外側の核部 (core) と腹内側の殻部 (shell) に分けられます。線維結合関係をみますと、core は報酬に関連した学習や行動運動に関連が強く、背側線条体に近い機能をもっています。他方、shell は自律神経系や内分泌系の情報を下位脳幹の運動系や上位の大脳皮質に伝える interface 的役割を担っておりまして、扁桃体の中心核、内側核や、分界条床核 (extended amygdala) と機能的に結びついていて情動とも強い関連性があります。なお、shell はドーパミン線維に富んでおり、4型ドーパミン受容体 (D4R) の強い発現が認められます。

側坐核へは、体性感覚、自律神経系、内分泌系からの「生 (なま) の」刺激を伝える、下位脳幹や視床下部から「ダイレクト」に入力があり、他に、さまざまな感覚刺激が大脳皮質、海馬、扁桃体まで到達した後に、そこでなんらかの「処理を受けた」のちに伝わってくる「インダイレクト」の入力があります。それらには、腹側海馬台から脳弓を経由して、また、扁桃体の基底外側

核・中心核から分界条を経由する興奮性入力知られています。

側坐核に入力されるドーパミンの放出は周りの状況または文脈に応じて制御（コントロール）されています。その興奮は直接的に、あるいは間接的に腹側淡蒼球のグルタミン酸作動性ニューロンを介して視床下部や下位脳幹に伝えられます。

なお、ドーパミン系には、上記の①黒質線条体系、②中脳辺縁皮質系のほかに弓状核、視床下部脳室周囲部を起始核として正中隆起、下垂体へ投射する③視床下部下垂体系知られています。

セロトニン系について

脳幹の正中部にある縫線核について。

中脳、橋、延髄の正中部（縫線）にある細胞体の集団は縫線核と呼ばれ、この細胞群にはセロトニンが含まれ、中脳レベル（とくに背側縫線核, R.d.）のニューロンからの線維はカテコールアミン系（ドーパミン、アドレナリン）の線維とともに内側前脳束を作って分枝を与えながら視床下部外側部を上行し、大脳基底核、さらに大脳皮質に到達します。他に、上中心核(C.s.) と背側縫線核(R.d.) からは海馬、中隔野、扁桃体に、そして大縫線核(R.m.) と淡蒼縫線核(R.pa.) からは脊髄にセロトニン神経線維が延びています。なおノルアドレナリン神経系の起始部である青斑核もセロトニン線維を受けています。

精神医学の性格障害の話に関連して、攻撃性が低セロトニンと結びつけられ、衝動行為、自殺行動との関連も言われています。現在セロトニンニューロン発達障害仮説として「低セロトニン症候群が注目されています。

以上見てきたように、ドーパミン系やセロトニン系の作用には辺縁系、前頭葉、伝達物質や自律神経系を含む高次神経活動による創造的精神活動までもを指向するポジティブな側面と、同時にそのバランスが崩壊したときには精神異常を呈するに至るネガティブな側面を含んでおり、医学的にも教育的にも芸術・文化的にも子供の発達段階に合わせて考えなければならない重要な問題が呈示されています。

アセチルコリン系について

脳内におけるコリン作動性神経経路について2つの系統があります。

第一に、大脳基底部から大脳皮質、海馬、扁桃体に投射する経路、

線条体内には1種類の投射ニューロンと4種類の介在ニューロンが明らかにされています。投射ニューロンは多数の樹状突起棘をもった中等大の細胞 (medium spiny neuron) で GABA 作動性、全体の約 80% を占め、それらは淡蒼球に線維を送っています。介在ニューロンには GABA/Pv 含有細胞、SOM/NOS 含有細胞、カルレチニン含有細胞および ACh 含有細胞があります。そのうちのコリン性ニューロンは大型無棘の細胞 (large aspiny neuron) で、全体の 2% を占めるに過ぎませんが、線条体全体に ACh を供給し、その放射状に長く伸びた樹状突起と軸索を介して投射ニューロンに影響を与えており、手続き記憶や条件づけ感覚運動学習に関わる運動制御に大きな役割を演じております。

線条体入力軸索終末には少なくとも大脳皮質由来のグルタミン酸作動性（その受容体は NMDA タイプで、樹状突起棘/スパインの頭部にある）のものと黒質由来のドーパミン作動性（その受容体は D1, D2 グループで、樹状突起棘/スパインの頸部にある）のものがあります。これらの入力を受けて GABA 作動性の抑制性投射ニューロンが視床ニューロンおよび大脳基底核あるいは前脳内側基底部の細胞群（マイネルト基底核、ブローカ対角帯、無名質など）内のコリン作動性ニューロンに神経軸索終末を与えております。これらの視床ニューロンおよび大脳基底核ニューロンは、ともに広く大脳皮質に興奮性の出力を与えており、フィードバック的に大脳皮質の働きを制御しています。

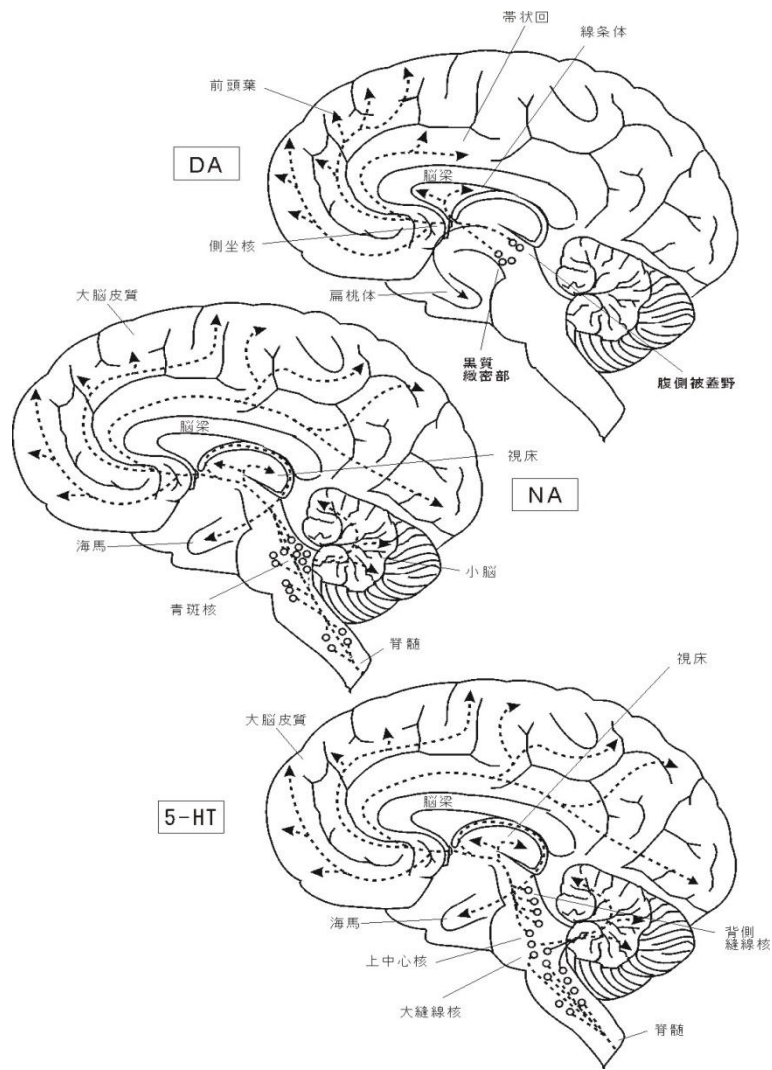
第二に、橋（pons）領域にある神経細胞群である、脚橋被蓋核 (PPN, *pedunculopontine nucleus*) から

a) 上行性に間脳諸核へ、b) 下行性に脳幹、小脳へ 投射する経路が知られています。

現在、身体の動き（体性運動）や形象や音の動きを感覚的に捉える（視覚性運動 *visuomotor*; 聴覚性運動 *audiomotor*) 機構やリズムの形成機構などには、歩行とも関連した小脳・中脳および脳幹の領域が関係するというデータが得られております。すなわちネコでの実験ですが、脳幹の様々なレベルを切断して自発歩行の開始機構（歩行リズムジェネレーター）の研究を行なった結果、視床下核（この核および近傍の領域をまとめて視床下部歩行野, *subthalamic or hypothalamic locomotor region, SLR* という）からの刺激が中脳下丘腹側の楔状核および脚橋被蓋核 (PPN) の背側部にある中脳歩行野 (*mesencephalic locomotor region, MLR*) に伝えられることが明らかになっております。

PPN のニューロンはアセチルコリンやサブスタンス P などを含み、ここからは報酬関連活動の強化学習の成立に参与するものとしての黒質緻密質(SNc)のドーパミン細胞への投射がなされるほか、視床、大脳基底核さらには「自動的」歩行運動の制御に関係する橋・延髄内の網様体脊髄神経路の起始核ニューロンを含む広い領域に刺激を与えており、呼吸・循環器系や覚醒機能にとっても重要な役割を演じています。

Distribution of DA, NA and 5-HT schema



認知と情動の不即不離の関係

認知機能と情動機能は脳の構成からみて密接に関係しており、その結びつきは動物が高等化するにつれてより強くなる傾向があります。ヒトになりますと、リズム・ホルモン・感情の発現の上位に、新皮質とくに言語野が発達し、物事を概念化することができるようになり、その一方で扁桃体が外界からの刺激が有益であるか不利益であるかを判断し、側頭葉に蓄積されている長期記憶のバッファーの中から（ときに **working memory** として）適宜マッチするものを取り出して、情動に関連した刺激に注意を向けてそれを正しく認知し、対処することができるようになります。この際、能動的機能を備えた前頭前野が働いて、外界の変化に適応するように判断し、行動に移します。大脳新皮質には扁桃体からの入力他に、脳幹網様体からの覚醒を賦活する広範囲な上行性の投射があり、さらに、大脳基底部からのアセチルコリン系、黒質緻密部からのドーパミン系、脳幹の縫線核からのセロトニン系の皮質全体、とくに前頭前野、帯状回前部などへの強い投射があります。これらの神経終末から放出される神経伝達物質は皮質ニューロンに働いて、脳を覚醒状態に保ち、刺激に対する感受性を高めており、外界からの情報を処理する脳内のシステムの効果を最も有効に活用できる仕組みになっています。とくに扁桃体や海馬からなる大脳辺縁系からの前頭前野への入力は、認知・記憶・判断のために必要な情報を取り入れて皮質を活性化しています。

.....

Section 5 認知： 感覚受容体→脳幹→視床→大脳皮質連

合野→前頭葉

参考資料 6b 脳の認知機能モデルの数式ーモデルの解析

坂出さんの数学的手法による力作を 認知の項のトップに持ってきた

平成25年3月1日

川村光毅

坂出 準

要約

芸術する脳における脳の認知機能モデルの独立並行的に進行する川村サーキット（注1）に関する写像（関数） F を、非線形解析学（注2）によって考察した。

① 写像 F は正の実数への写像とし、生体エネルギーは無限ではないか

ら、 F のループによる F_1, F_2, F_3, \dots は、 $n \rightarrow \infty$ で 0 に収束するであろう。

② 川村サーキットにおける、 n 番目の 4 個の変数（情動、認知、運動、能動的行為）に関する変数 x_{ni} の選好期待値の合計が有限で、選好された変数の順序番号 i に関して F の値が最大となるとき、入力変数 x_{ni} を最小にするような順序番号 i が存在するであろう。

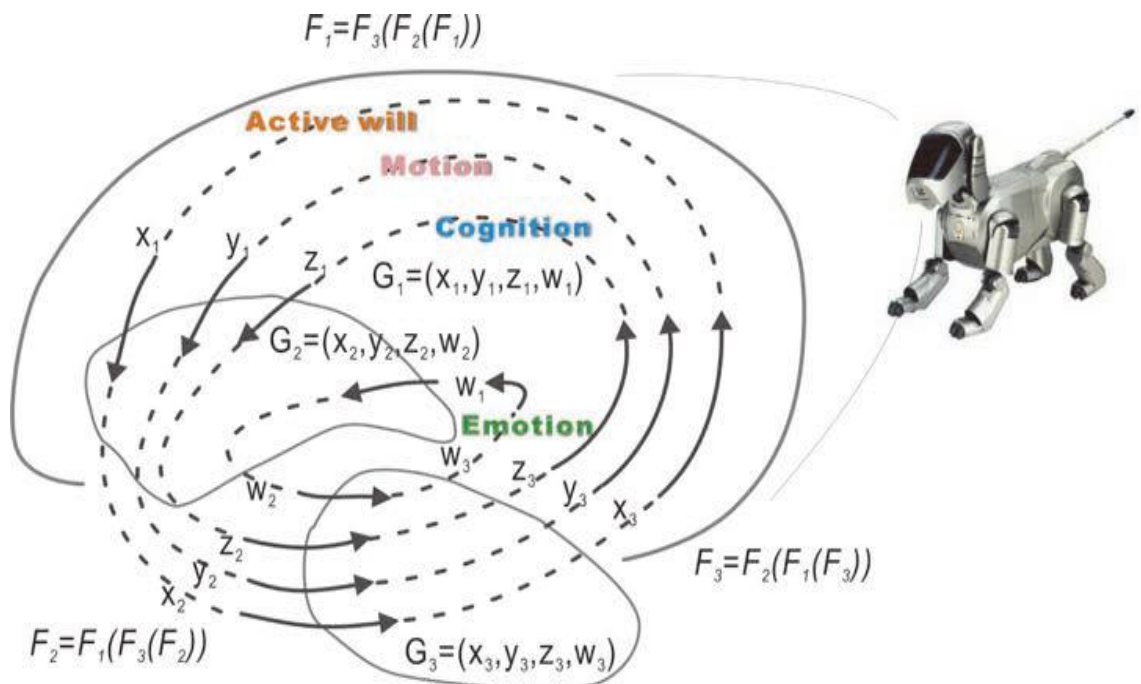
これら①と②の条件を満たす F のモデルの一つの方程式を作製し、最適化のパラメータの条件を求めた。

(注 1) 川村光毅「芸術する脳」特別号 2012 pp27 の図 18

(注 2) 高橋渉 Takahashi, W.: “Nonlinear Functional Analysis, Fixed Point Theory and its Applications”: Yokohama Publishers, 2000. Pp182-183
Theorem 6.3.4

第 1 章

上述の図は次の通り。



(4) 変数 $x_{ni} > 0$ は、順序番号 i について、 $i \in \{1, 2, 3, 4\} = I$ である。

(5) 写像 F_n は、順序番号 i を固定すれば、変数 x_{ni} の作用する力は、 $F_n = F(x_{ni})$ である。

(6) 初期値 G_1, G_2 から写像 F_1 が決定し、次に、初期値 G_2, G_3 から写像 F_2 が決定し、この 2 個の初期値写像 F_1, F_2 から写像 F_3 が決定すれば、初期値 G_3 から G_4 が決定して G_1 に代替する。この代替がループの回転の推進力となって、 $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ のように進行する。

(7) 脳が、固定された順序番号 i について、 $F(x_{ni})$ を選好する確率を γ_i とする。

従って、すべての 4 個の順序番号 i に関して、 $\sum_{i=1}^4 \gamma_i = 1$ である。

(8) すべての 4 個の順序番号 i に関して、実数値 $F(x_{ni})$ の選好期待値の合計は有界である。すなわち $\sum_{i=1}^4 \gamma_i F(x_{ni}) < c$ である。

(9) 写像 F_n は、汎関数である。すなわち、 $\{F_1, F_2, F_3, \dots\}: \mathcal{X} \rightarrow \mathbb{R}$ である。

(10) 汎関数 F_n は、 n について、 $F_n > 0$ であり、 $n \rightarrow \infty$ とすると、 $F_n \rightarrow 0$ である。

(11) 実数 a, b が存在するとき、

1) 関数 \mathcal{F} が convexlike であるとは、

$$\textcircled{1} \quad a > 0, b > 0$$

$$\textcircled{2} \quad \mathcal{F}(x_3) \leq a\mathcal{F}(x_1) + (1-a)\mathcal{F}(x_2)$$

のときをいう。

2) 関数 \mathcal{F} が convex であるとは、

$$\textcircled{1} \quad 0 < a < 1$$

$$\textcircled{2} \quad \mathcal{F}(x_3) \leq a\mathcal{F}(x_1) + (1-a)\mathcal{F}(x_2)$$

$$\textcircled{3} \quad x_3 = ax_1 + (1-a)x_2$$

のときをいい、関数 \mathcal{F} が **convex** ならば、この関数 \mathcal{F} は **convexlike** である。

3) 関数 \mathcal{F} が \mathcal{W} -convexlike であるとは、

$$\textcircled{1} \quad a > 0, b > 0$$

$$\textcircled{2} \quad a + b \leq 1$$

$$\textcircled{3} \quad \mathcal{F}(x_3) = a\mathcal{F}(x_1) + b\mathcal{F}(x_2)$$

のときをいう。(\mathcal{W} -convexlike とは **Wataru-convexlike** と呼びたい。)

関数 \mathcal{F} が \mathcal{W} -convexlike であるならば、この関数 \mathcal{F} は **convexlike** である。

ここに、 $\mathcal{F}(x_3) = a\mathcal{F}(x_1) + b\mathcal{F}(x_2) \leq a\mathcal{F}(x_1) + (1-a)\mathcal{F}(x_2)$ である。

4) 関数 \mathcal{F} が \mathcal{W} -pure convexlike であるとは、

$$\textcircled{1} \quad a > 0, b > 0$$

$$\textcircled{2} \quad a + b < 1$$

$$\textcircled{3} \quad \mathcal{F}(x_3) = a\mathcal{F}(x_1) + b\mathcal{F}(x_2)$$

のときをいい、

関数 \mathcal{F} が \mathcal{W} -pure convexlike ならば、この関数 \mathcal{F} は \mathcal{W} -convexlike である。

5) 関数 \mathcal{F} が \mathcal{W} -linear であるとは、

$$\textcircled{1} \quad a > 0, b > 0$$

$$\textcircled{2} \quad a + b = 1$$

$$\textcircled{3} \quad \mathcal{F}(x_3) = a\mathcal{F}(x_1) + b\mathcal{F}(x_2)$$

のときをいい、これは、原点 0 を通るとき、この関数 \mathcal{F} は **linear** であり、

原点 0 を通らないとき、この関数 \mathcal{F} は affine であると定義され、関数 \mathcal{F} が \mathcal{W} -linear ならば、この関数 \mathcal{F} は \mathcal{W} -convexlike である。

6) 以上のみによって定義される関数 \mathcal{F} が \mathcal{W} -convexlike である。

(12) 定理

1) 関数 \mathcal{F} が \mathcal{W} -pure convexlike であるならば、この関数 \mathcal{F} は convexlike である。

2) 関数 \mathcal{F} が \mathcal{W} -linear であるならば、この関数 \mathcal{F} は convexlike である。

3) 関数 \mathcal{F} が \mathcal{W} -linear であるならば、この関数 \mathcal{F} は convex である。

証明

1) 上記 (11) 4) と 3) で明らかである。

2) 上記 (11) 5) と 3) で明らかである。

3) 上記 (11) 5) で、関数 \mathcal{F} を実数 m, n で $\mathcal{F}(x) = mx + n$ として表すと、③式は、

$$\begin{aligned} \textcircled{3} \quad mx_3 + n &= (amx_1 + an) + (bmx_1 + bn) \\ &= m(ax_1 + bx_2) + (a + b)n = m(ax_1 + bx_2) + n \end{aligned}$$

となるから、 $x_3 = ax_1 + bx_2$ である。これを、③の定義式に代入すると、

$$\textcircled{3} \quad \mathcal{F}(ax_1 + bx_2) = a\mathcal{F}(x_1) + b\mathcal{F}(x_2) \quad \text{を得る。} \quad \textcircled{2} \quad \text{から得られる}$$

$b = 1 - a$ を代入

すれば、(11) 2) の $x_3 = ax_1 + (1 - a)x_2$ を得る。

(13) 高橋渉の定理 (注 2) により

\mathcal{X} を空でない集合とし、 $\{F_1, F_2, F_3, \dots\}$ を \mathcal{X} 上の実数値関数とする。

$I = \{1, 2, 3, 4\}$ とし、

$\mathcal{X} \times I$ 上の実数値関数を、上記 $F_n = \mathcal{F}(x_{ni})$ において、これを

$$F(x_n, i) = f_i(x_n) \quad \text{for all } (x_n, i) \in \mathcal{X} \times I$$

と定義する。 $c \in \mathbb{R}$ とし、 F は第一変数 x_n において、convexlike であり、

および、 $\sum_{i=1}^4 \gamma_i = 1$ とする非負の実数 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ の添え字 i において、

$$\sum_{i=1}^4 \gamma_i f_i(x_0) < c$$

となるような $x_0 \in X$ が存在するならば、

次の式

$$\inf_{x \in X} \max_i f_i(x_n) \leq c$$

を得る。

(14) 図から第 1 ループの写像は、 $\{F1, F2, F3\}$ で与えられる。

(15) 第 1 ループの 3 個の写像に関して、 $\beta < \alpha$ とする α と β との 2 個の実数根をもち、

convexlike の特性（最小値の存在）を示すような 2 次方程式を

$$x^2 - (\alpha + \beta)x + \alpha\beta = 0$$

として、 $\{F1, F2, F3\}$ を次のように表す。

$$F3 - (\alpha + \beta)F2 + \alpha\beta F1 = 0$$

この特性方程式 $\mathcal{F}(x) = 0$ の 2 次関数 $\mathcal{F}(x)$ は convexlike であることを次に示す。

すなわち、 $\mathcal{F}(x) = (x - \alpha)(x - \beta) = x^2 - (\alpha + \beta)x + \alpha\beta$ とすると、

平方完成して、 $\mathcal{F}(x) = \left(x - \frac{\alpha + \beta}{2}\right)^2 - \frac{(\alpha - \beta)^2}{4}$ であるから、

これは、 $x_1 = \alpha$, $x_2 = \beta$, $x_3 = \frac{\alpha + \beta}{2}$ ならば $\mathcal{F}(\alpha) = \mathcal{F}(\beta) = 0$, $\mathcal{F}\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) =$

$$-\frac{(\alpha - \beta)^2}{4} < 0$$

であるから、 $a > 0$ のとき、 $\mathcal{F}(x_3) < a\mathcal{F}(x_1) + (1 - a)\mathcal{F}(x_2)$

ゆえに、 $a > 0$ のとき、 $\mathcal{F}(\chi_3) \leq a\mathcal{F}(\chi_1) + (1-a)\mathcal{F}(\chi_2)$ を満たす。

これは、(11) 1) の convexlike の定義に一致する。

ここに、 $a = \frac{1}{2}$, $\chi_3 = \frac{1}{2}\chi_1 + \frac{1}{2}\chi_2$ のときのみ (11) 2) の convex の定義に一致する。

(16) この F が、 $F_3 = -\alpha\beta F_1 + (\alpha + \beta)F_2$ として、(11) 3) の \mathcal{W} -convexlike であれば、

$$a = -\alpha\beta > 0 \quad \text{かつ} \quad b = (\alpha + \beta) > 0 \quad \text{かつ} \quad 0 < (\alpha + \beta) - \alpha\beta \leq 1$$

である。

(17) この F は、有限回のループを繰り返して、一般に、

$$F_{n+2} - (\alpha + \beta)F_{n+1} + \alpha\beta F_n = 0$$

である。

(18) この一般解を求める。

計算のため、次数を下げて、次式で表す。

$$F_{n+1} - (\alpha + \beta)F_n + \alpha\beta F_{n-1} = 0$$

この式から、次の双対 2 式を得る。

$$\textcircled{1} \quad F_{n+1} - \alpha F_n = \beta(F_n - \alpha F_{n-1}) = \cdots = \beta^{n-1}(F_2 - \alpha F_1)$$

$$\textcircled{2} \quad F_{n+1} - \beta F_n = \alpha(F_n - \beta F_{n-1}) = \cdots = \alpha^{n-1}(F_2 - \beta F_1)$$

ここで、 $\textcircled{2} - \textcircled{1}$ とすると

$$(\alpha - \beta)F_n = \alpha^{n-1}(F_2 - \beta F_1) - \beta^{n-1}(F_2 - \alpha F_1)$$

よって

$$(\alpha - \beta)F_n = (\alpha^{n-1} - \beta^{n-1})F_2 - \alpha\beta(\alpha^{n-2} - \beta^{n-2})F_1$$

$\beta < \alpha$ および (16) から $-\alpha\beta > 0$ であるから、

$$(\alpha - \beta)F_n = (\alpha^{n-1} - \beta^{n-1})F_2 - \alpha\beta(\alpha^{n-2} - \beta^{n-2})F_1 > 0$$

$\beta < \alpha$ より $(\alpha - \beta) > 0$ ゆえ

$$F_n = \frac{(\alpha^{n-1} - \beta^{n-1})F_2 - \alpha\beta(\alpha^{n-2} - \beta^{n-2})F_1}{(\alpha - \beta)} > 0$$

という一般解を得る。初期値 F_1, F_2 は (6) より、 G_1, G_2, G_3 : 大脳皮質、大脳基底核、視床の初期値によって決まるから、 F_n は決まる。

(19) 上記方程式は、(10) より、 $F_n > 0$ であり、 $n \rightarrow \infty$ とすると、 $F_n \rightarrow 0$ であるから

この一般解より、 $\beta < \alpha$ および (16) から $-\alpha\beta > 0$ であるから、 $-1 < \beta < 0 < \alpha \leq 1$ を得る。

1) $\alpha = 1$ とする。 $F_2 \neq \beta F_1$ とすると、

$$F_n \rightarrow \frac{F_2 - \beta F_1}{1 - \beta} > 0 \text{ ゆえ } F_n \neq 0 \text{ であるから、}$$

$F_2 = \beta F_1$ のとき、このときに限り、 $F_n \rightarrow 0$ であり、

また、 $0 < (\alpha + \beta) - \alpha\beta = (1 + \beta) - \beta = 1$ となるから、 F_n は \mathcal{W} -linear である。

よって、パラメータの条件は、これと、(16) とから

$$\textcircled{1} \quad -1 < \beta < 0 < \alpha = 1 \quad \text{すなわち} \quad -1 < \beta < 0$$

$$\textcircled{2} \quad 0 < (\alpha + \beta) - \alpha\beta \leq 1 \quad \text{すなわち} \quad 0 < (1 + \beta) - \beta \leq 1 \quad \text{より} \textcircled{2} \text{ は無}$$

意味である。

$$\textcircled{3} \quad (\alpha + \beta) > 0 \quad \text{すなわち} \quad (1 + \beta) > 0 \quad \text{よって} \quad -1 < \beta \quad \text{すなわち} \textcircled{1}$$

に含まれる。

$$\textcircled{4} \quad F_2 = \beta F_1$$

である。逆に、これらの①および④の条件ならば、 $F_n \rightarrow 0$ となる。

2) $\alpha \neq 1$ とする。

したがって、パラメータの条件は、これと、(16) とから

$$\textcircled{1} \quad -1 < \beta < 0 < \alpha < 1$$

$$\textcircled{2} \quad 0 < (\alpha + \beta) - \alpha\beta < 1$$

$$\textcircled{3} \quad (\alpha + \beta) > 0$$

である。逆に、これらの①、②および③の条件ならば、 $F_n \rightarrow 0$ となる。

(20) 上記 1) は、これらの①、③および④の条件ならば、

F_n は、 \mathcal{W} -linear である。

上記 2) は、これらの①、②および③の条件ならば、

F_n は、 \mathcal{W} -pure convexlike である。

(21) この F_n は、(12) の定理によって convexlike である。

(22) この F_n は、(13) の定理によって $F_n = F(x_{ni}) = f_i(x_n)$ と置くと、

$\sum_{i=1}^4 \gamma_i = 1$ とする非負の実数選好確率 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ の添え字 i において、

$$\sum_{i=1}^4 \gamma_i f_i(x_0) < c$$

となるような $x_0 \in X$ が (8) によって、存在する。

したがって、

次の式

$$\inf_{x_n \in X} \max_i f_i(x_n) \leq c$$

を得る。

第3章

川村サイクルにおける脳の機能モデルを示す、3か所の部位{G1, G2, G3}は、そ

れぞれ、{大脳皮質,大脳基底核,視床}の3か所の部位を現わし、それらの入力興奮量（刺激量）の値を初期値とすると、それらは添え字の順番で、写像 F が次のように決定される。 $G1, G2$ から写像 F_1 が決定され、次の $G2, G3$ から写像 F_2 が決定される。これらの F_1, F_2 を初期値として、次のような具体例として、書ける3項間の漸化式によって、 F_n は決まる。数式 F_n は、次のように

$$F_{n+2} - \frac{1}{3}F_{n+1} - \frac{2}{9}F_n = 0$$

の形をした方程式であり、入力興奮量（刺激量）が川村サイクルの有限ループによって、ある脳の部位に作用し、その働きを生体エネルギーとすると、ループが無限回ならば0に収束することを現わし、有限回ならば、このモデルから生み出された数学的定理（第4章）を次のように解釈する。

脳の機能モデルにおいて、 F_n は、情動系、認知系、運動系および能動的意欲系の統合的機能の働きを現わし、この F_{ni} の入力変数 x_{ni} は、 i 番号を、順序番号1,2,3,4とするとき、

$G_n = \{x_{n1}, x_{n2}, x_{n3}, x_{n4}\}$ は、それぞれ、{情動,認知,運動,能動的意欲}を現わし、これら4種の入力興奮量（刺激量）とする。有限回のループで、もし情動系と認知系とが病因となるような葛藤を生み出しているような、4系統間の葛藤が存在するとき、どの要因を強く選好するか、という確率を考えて、この4種の入力興奮量（刺激量）のうち一つの入力興奮量（刺激量） x_{ni} の選好を最大化するような順序番号 i が存在して、入力興奮量（刺激量）の入力エネルギーの値が最少で、この興奮量（刺激量）の働きを出力とする F_n の値を最大とするものがある、すなわち、もし、この選好に乱れが生じ、最適化に従わない振る舞いが発見されれば、4変数の選好バランスが崩れ、脳のシステムの病変症状があることになる。また、 F_n が0に収束しないときも、別の病変症状があるこ

とになる。

すなわち、MRIによる画像診断で、このような脳のシステムによる、情動、認知、運動、能動的意欲の興奮刺激を最適化する働きまたは病変症状の様相が発見できるかもしれない。

これは、次に引用する、精神分析学者フロイトという「経済的な観点」(注3)とも見ることができるかもしれない。

「質的には快楽を求め不快をさける努力として記述しうる心的活動の究極の目標は、経済的な観点からみれば、心的装置の中で働いている興奮量(刺激量)を克服し、不快を生み出すその興奮量の蓄積を防止することを課題としていると言うこともできるのです。」

(注3) フロイト著作集 第1巻 人文書院 1971年 pp309 精神分析入門 第3部 神経症総論 第23講 症状形成の経路

第4章

上記から、数学の新しい定理として、下記の4個の定理(川村一坂出 - 高橋)を得る。

Theorem 1 *Let X be a nonempty set and let $\{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ be a real valued function on X . Let $I = \{1, 2, \dots, n\}$ and define a real valued function F on $X \times I$ by*

$$F(x, i) = f_i(x) \quad \text{for all } (x, i) \in X \times I.$$

Let $c \in \mathbb{R}$ and suppose that F is \mathcal{W} -convexlike in its first variables and for any n nonnegative numbers $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ with $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$, there exists $x_0 \in X$ such that

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i f_i(x_0) \leq c.$$

Then the following holds:

$$\inf_{x \in X} \max_i f_i(x) \leq c.$$

Proof. From above (12) that holds F is \mathcal{W} – convexlike implies that F is convexlike. So we have the Theorem 6.3.4 by Takahashi, W. : pp182-183 of “Nonlinear Functional Analysis, Fixed Point Theory and its Applications” : Yokohama Publishers, 2000.

Theorem 2 Let X be a nonempty set and let $\{f_i(x_1), f_i(x_2), \dots, f_i(x_n)\}$ be a real valued function on X . Let $I = \{1, 2, \dots, k\}$ and define a real valued function F on $X \times I$ by

$$F(x_n, i) = f_i(x_n) \text{ for all } (x, i) \in X \times I.$$

Let $c \in \mathbb{R}$ and suppose that F is \mathcal{W} – pure convexlike such that satisfied by

- ① $\exists f_i(x_1), f_i(x_2) \in X$
- ② $f_i(x_{n+2}) - (\alpha + \beta) f_i(x_{n+1}) + \alpha\beta f_i(x_n) = 0$ and $f_i(x_n) > 0$
- ③ $-1 < \beta < 0 < \alpha < 1$, $0 < (\alpha + \beta) - \alpha\beta < 1$ and $(\alpha + \beta) > 0$

and for any k nonnegative numbers $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_k$ with $\sum_{i=1}^k \gamma_i = 1$,

there exists $x_0 \in X$ such that

$$\sum_{i=1}^k \gamma_i f_i(x_0) \leq c.$$

Then the following holds:

$$\inf_{x \in X} \max_i f_i(x_n) \leq c \quad \text{and} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} f_i(x_n) = 0.$$

Proof. The reference was made of the case $k = 4$ above our discussions in this paper. So we shall have a generalized case of k nonnegative numbers.

Theorem 3 Let X be a nonempty set and let $\{f_i(x_1), f_i(x_2), \dots, f_i(x_n)\}$ be a real valued function on X . Let $I = \{1, 2, \dots, k\}$ and define a real valued function F on $X \times I$ by

$$F(x_n, i) = f_i(x_n) \text{ for all } (x, i) \in X \times I.$$

Let $c \in \mathbb{R}$ and suppose that F is \mathcal{W} -linear or linear such that satisfied by

$$\textcircled{1} \quad \exists F_1 = f_i(x_1), F_2 = f_i(x_2) \in X$$

$$\textcircled{2} \quad f_i(x_{n+2}) - (1 + \beta) f_i(x_{n+1}) + \beta f_i(x_n) = 0 \text{ and } f_i(x_n) > 0$$

$$\textcircled{3} \quad -1 < \beta < 0$$

and for any k nonnegative numbers $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_k$ with $\sum_{i=1}^k \gamma_i = 1$,

there exists $x_0 \in X$ such that

$$\sum_{i=1}^k \gamma_i f_i(x_0) \leq c.$$

Then the following holds:

$$\inf_{x \in X} \max_i f_i(x_n) \leq c \text{ and}$$

if $F_2 = \beta F_1$ then $\lim_{n \rightarrow \infty} f_i(x_n) = 0$ otherwise $\lim_{n \rightarrow \infty} f_i(x_n) = \frac{F_2 - \beta F_1}{1 - \beta} > 0$.

Proof. The reference was made of the case $k = 4$ above our discussions in this paper. So we shall have a generalized case of k nonnegative numbers.

Theorem 4 Let X be a nonempty set and let $\{f_i(x_1), f_i(x_2), \dots, f_i(x_n)\}$ be a real valued function on X . Let $I = \{1, 2, \dots, k\}$ and define a real valued function F on $X \times I$ by

$$F(x_n, i) = f_i(x_n) \text{ for all } (x, i) \in X \times I.$$

Let $c \in \mathbb{R}$ and suppose that F is \mathcal{W} -linear or linear such that satisfied by

$$\textcircled{1} \exists F_1 = f_i(x_1), F_2 = f_i(x_2) \in X$$

$$\textcircled{2} f_i(x_{n+2}) - (1 - \alpha) f_i(x_{n+1}) - \alpha f_i(x_n) = 0 \text{ and } F_n = f_i(x_n) > 0$$

$$\textcircled{3} 0 < \alpha < 1$$

and for any k nonnegative numbers $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_k$ with $\sum_{i=1}^k \gamma_i = 1$,

there exists $x_0 \in X$ such that

$$\sum_{i=1}^k \gamma_i f_i(x_0) \leq c.$$

Then the following holds:

$$\inf_{x \in X} \max_i f_i(x_n) \leq c \text{ and}$$

if $F_2 = -\alpha F_1$ then $\lim_{n \rightarrow \infty} f_i(x_n) = 0$ otherwise $\lim_{n \rightarrow \infty} f_i(x_n) = \frac{F_2 + \alpha F_1}{1 + \alpha} > 0$.

Proof. Let $\beta = (-\alpha)$ in above theorem 3 and we have this theorem 4.

第5章 脳機能障害モデルの分類：表

結論として、脳の川村サーキット最適化モデルの F_n は、0 に収束しない場合、および、情動、認知、運動、能動的行為、のサーキットの選好バランスが崩れる場合は、脳のシステムが病変の症状をおこすと推測され、これを次の表に分類する。

芸術する脳における脳機能モデル $F_{n+2} - (\alpha + \beta)F_{n+1} + \alpha\beta F_n = 0$ パラメータによる分類							
$\lim_{n \rightarrow \infty} F_n$	0	0	$\frac{F_2 - \beta F_1}{1 - \beta}$	振動	∞	∞	
\mathcal{W} - convexlike	$-1 < \beta < 0 < \alpha < 1$ $0 < (\alpha + \beta) - \alpha\beta < 1$ $(\alpha + \beta) > 0$ 正常	$F_2 = \beta F_1$ $\alpha = 1$ $-1 < \beta < 0$ 正常	$F_2 \neq \beta F_1$ $\alpha = 1$ $-1 < \beta < 0$ ストレス型	N/A	N/A	N/A	
non \mathcal{W} - convexlike	$-1 < \beta < 0 < \alpha < 1$ $0 < (\alpha + \beta) - \alpha\beta < 1$ $(\alpha + \beta) < 0$ 神経症型	N/A	N/A	$\alpha < -1$ and/or $\beta < -1$ 双極型	$1 < \alpha$ $-1 < \beta < 0$ $0 < (\alpha + \beta) - \alpha\beta < 1$ アポトーシス型	$1 < \alpha$ $-1 < \beta < 0$ $1 \leq (\alpha + \beta) - \alpha\beta$ 破滅型	

引用文献

(注1) 川村光毅「芸術する脳」特別号 2012 pp27 の図 18

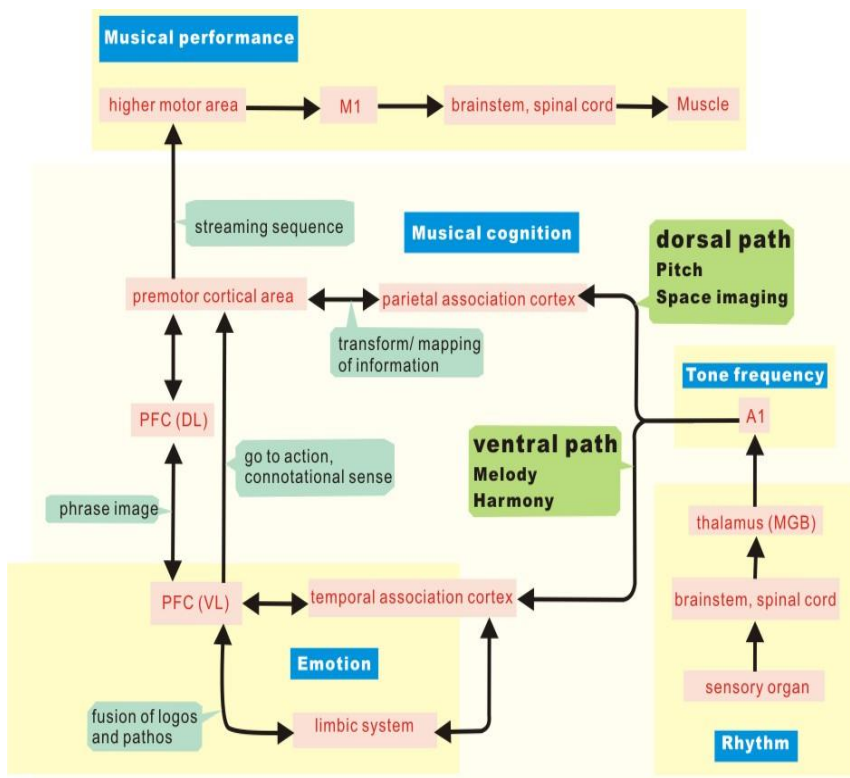
(注2) 高橋渉 Takahashi, W. :“Nonlinear Functional Analysis, Fixed Point Theory and its Applications” : Yokohama Publishers, 2000. Pp182-183
Theorem 6.3.4

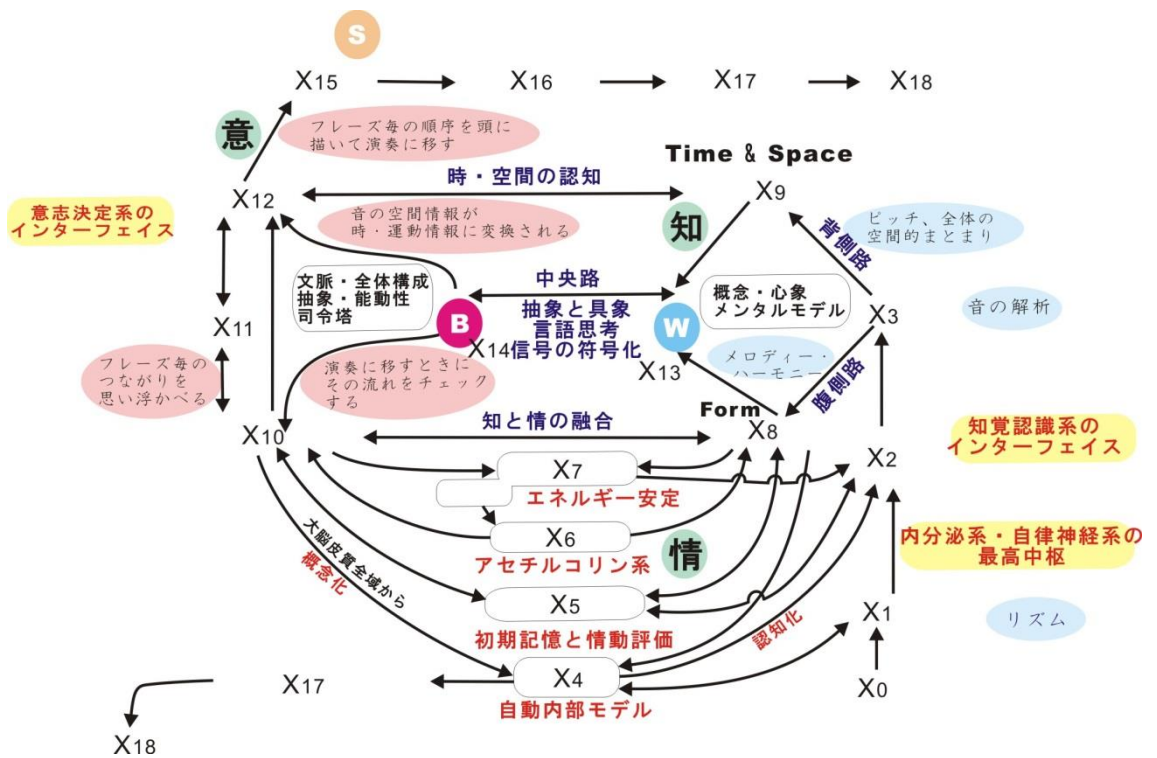
(注3) フロイト著作集 第1巻 人文書院 1971年 pp309

精神分析入門 第3部 神経症総論 第23講 症状形成の経路

.....

Cortical activities in animals sine lingua





音楽の営みにおける川村スキーマ 2

感覚器官 X0 から入った空気の振動である音が神経系内で電気信号に変換され、脳幹 X1 でリズムや聞いた音の高低を知覚する。

高次の認識をつかさどるのは大脳皮質のレベルである。

後連合野で、その流れは 2 種類に大別される。

一方が音の占める空間や時間 (Time & Space) の流れ X9 で、

他方が情動系を含んで、メロディーやハーモニーなど、まとまりを作る

認知系、すなわち、音のまとまった情報 (Form) の流れ X8 という dorsal and ventral pathways の少なくとも 2 つの路がある。

それらが前頭前野 X10, X12 に集約されてくる。

このように全体の中で個々のものを認識しながら一つのものを形づくる (Geschtalt)。

それらを、高次運動野 X15 での複雑な過程を経て一次運動野 X16 にまで進行させるのが、一般に行われる演奏形態と言える。

我々は、これら図において、→を写像と考え、最も簡単な線形 1 次関数でこれを表現し、これらの図のシステムをこれらの連立方程式で表すモデルで考えることにする。

次に、パブプロフ概念の図を 2 枚挙げる。

先ず、パブプロフ概念の図をあげる。

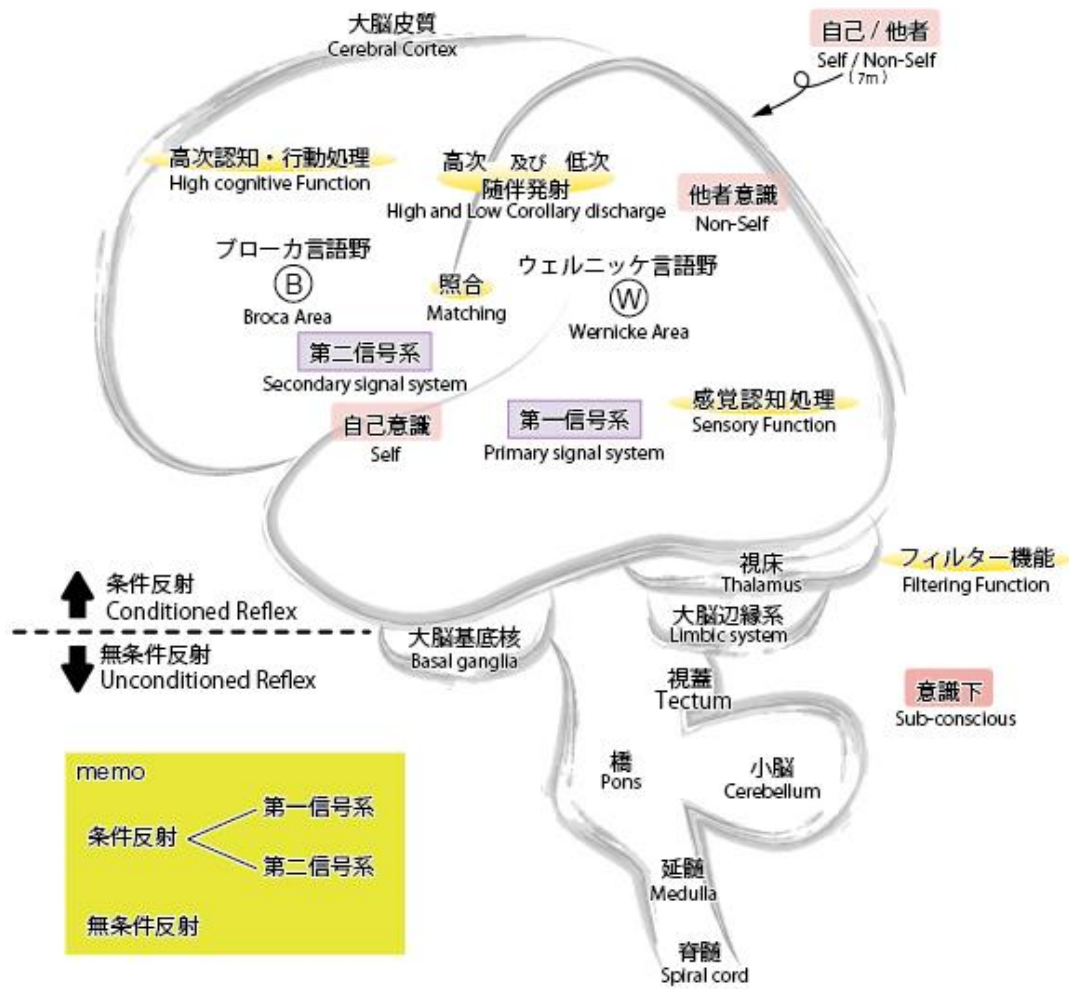
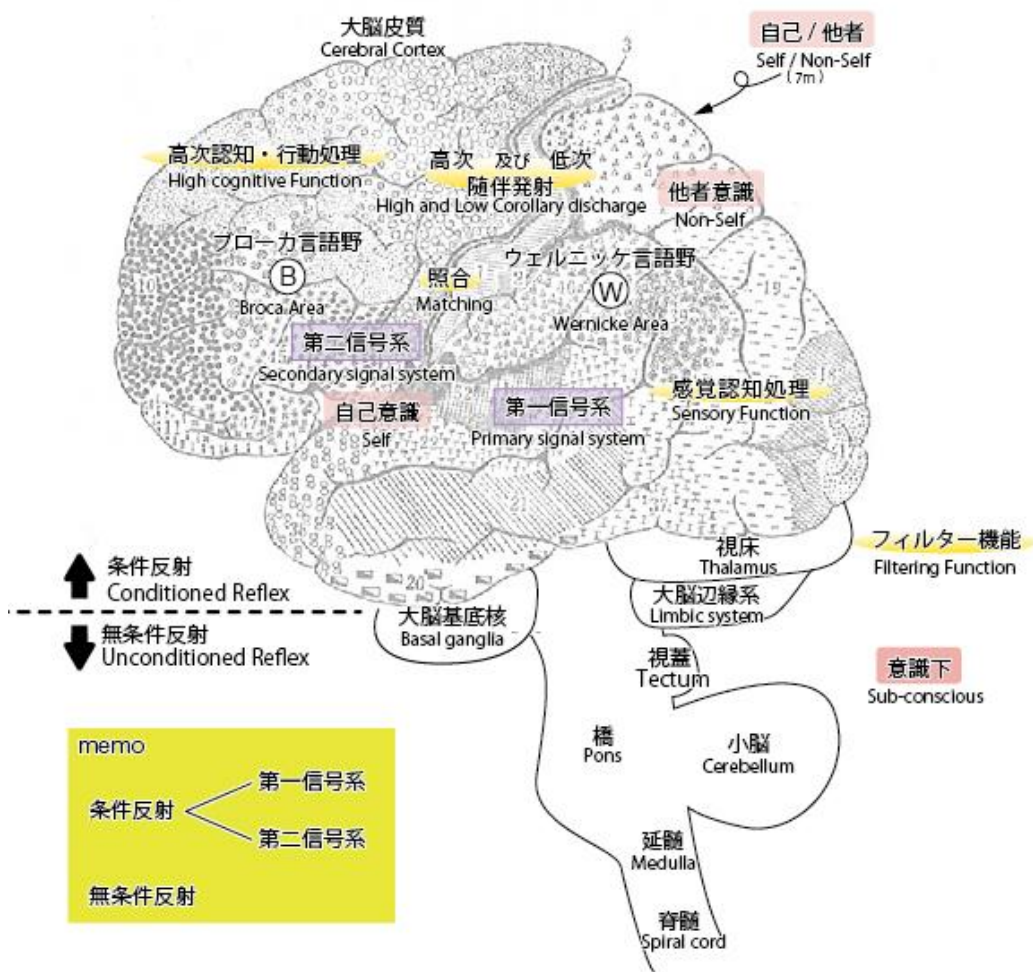


図3 パブロフ概念

次に、これをブロードマン地図に書き入れて示す。



ブロードマンの脳地図 より

図4 ブロードマン地図によるパブロフ概念

第2章 (この章は前出・重複)

2-1. パブロフの理論における術語の定義

(1) 条件とは、あるシステム（信号系）に加わる外力が意識された状態をいう。

(2) 条件刺激とは、その意識された外力が、生物のある感覚器官を興奮させ、神経系に作用を及ぼすことをいう。

(3) 無条件とは、あるシステム（信号系）に加わる外力と意識が無関係であるときをいう。

(4) 反射とは、個体としての生命体（動物という生物）の生起した神経系活動をいう。

(5) 条件反射とは、個体としての生命体（動物という生物）のある組織の神経系が

環境の外力の意識された刺激に対して、応答することをいう。

イヌやその他の高等生物では、条件反射活動は大脳皮質にのみ限られる。

環境の外力の意識された刺激に応答する神経系を、第1信号系と定義し、この神経系全体で形成する内力によって、その外力と均衡する。

この応答を第1次条件反射という。

第1条件反射によって作用する言語神経系を、第2信号系と定義する。

その応答を第2次条件反射という。この作用により、生起した言語基信号が、第1信号系に反作用する。この第2次条件反射を、言語条件反

射という。

(6) 無条件反射とは、個体としての生命体（動物という生物）が環境の外力に対して、

意識とは無関係に自律的に生起している生命維持の神経活動をいう。

これを、環境の外力に対して意識が応答しない第0信号系神経活動、

あるいは、意識下（無意識）の第0次神経活動と定義する。

(7) パブロフ理論のシステムズは、3個のシステムズからなる。

それらは、第0信号系、第1信号系、および、第2信号系であり、

無条件反射は、第0信号系神経活動を現わし、条件反射は、第1信号系神経活動の

第1次条件反射、および、第2信号系神経活動の第2次条件反射を現わす。

(8) パブロフ理論の神経活動は、第0次、第1次、および、第2次の神経活動からなり、

上記の、0, 1、および、2の順序数に対応し、第0次より高次であるならば、

高次神経活動とは、第1次および第2次の神経活動をいう。

(9) 高次神経活動の新しい原理とは、第1信号系神経活動が第2信号系神経活動に転換

することを示す原理である。

(10) 第2次信号は、言語神経系、すなわち、ウエルニッケ野とブローカー野との連携により生起する信号で、言語と呼ばれる。

(11) 一日の（動物の）サーカディアンリズムとホメオスタシスを、特に人間の場合、

覚醒時、催眠時、不熟睡の睡眠時、および、熟睡の睡眠時の4分類

するが、

意識に関しては、

覚醒時、催眠時および不熟睡の睡眠時、および、熟睡の睡眠時の3分類になる。

ここに、不熟睡とは、ノンレム睡眠を、熟睡とは、レム睡眠を現わす。

2-2.パブロフ理論における力学モデル

- (1) 外力と内力がある。
- (2) 作用反作用（相互作用）の法則がある。
- (3) 運動方程式にあたる言語条件反射方程式がある。
- (4) 高次神経活動の新しい原理がある。

2-3.パブロフ理論における数学モデル

1.選択公理

すべての集合から、その要素をひとつ、つつ、採ることができる。

2 一般選択関数

選択公理において、要素を取り出す関数を一般選択関数という。

3.特定選択関数 “*”

特定選択関数 “*” は、ある集合の要素からただ一つの要素を採る関数である。

たとえば、7個の記号からなる集合{0, f, ~, v, II, (,)}があつて、“0”=1, “f”=3, “~”=5, “v”=7, “II”=9, “(”=11, “)”=13 を採ることができる。

(注2) ゲーデル「不完全性定理」1931

4.順序数

(1) 対象記号 0 は、順序数である。

(2) 関数記号 $*$ ' は、それに続くものを現わす。

(3) 選択関数 “ $*$ ” は、(1) と (2) より作られるすべての要素から、

ただ一つの要素を採る関数である。

(4) “ 0 ”=1, “ $0'$ ”=2, “ $0''$ ”=3, “ $0'''$ ”=4,..., “ $0^{(17)}$ ”=18

を採ることができる。ただし、最後のものは、' が 17 個あるとする。

(5) 対象記号 0 と、(4) で定義された 18 個と合わせた 19 個を、順序数と定義する。

ここに、順序は、この順序を変えない。

(6) 以上の定義によるもののみが順序数である。

5.添字

記号 n は添字を表す。

添字記号 n は 0, 1, 2, 3,..., 18 のいずれかを現わす順序数変数である。

以上のみが添字である。

6.外力と内力

外力を、記号 $-F$ で表す。

内力を、記号 $+F$ で表す。

外力と内力との均衡を $F + (-F) = 0$ で表す。

(注3) パブロフ「動物の高次神経活動に関する客観的研究の 20 年」
「自然の一部として、動物という生物はどれも一個の複雑な系であって、

その内力は、生物が生物として存在するかぎり、あらゆる一定の瞬間に環境の

外力と均衡を保っている。」

7.集合の要素（第1信号系と第2信号系）

集合の要素 $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18}$ は第1信号系を表す。

すべての第1次信号系を F で表すならば F は集合値と呼ばれる、集合の要素である。

集合の要素 w, b は第2信号系を表す。

集合の要素とは集合でないものをいう。

以上のもののみが集合の要素である。

8.集合の要素と脳の器官との対応関係

第1信号系の集合の要素は、それぞれ、脳の器官名と対応する変数とする。

それらを、次の表に示す。

脳第1信号系			
変数	器官名		
X0	感覚器官		
X1	脳幹・脊髄(上向性経路、知覚系)		
X2	間脳	視床	視床下部
X3	一次聴覚野		
X4	小脳		
X5	海馬	扁桃体	
X6	前脳基底部		
X7	大脳基底核	側坐核	
X8	側頭連合野		
X9	頭頂連合野		
X10	前頭前野(VL)		
X11	前頭前野(DL)		
X12	運動前野		
X13	ウエルニッケ野		
X14	ブローカー野		
X15	高次運動野	前帯状回	
X16	一次運動野		
X17	脳幹・脊髄(下向性経路、運動系)		
X18	運動器官(筋肉)		

第2信号系の集合の要素 w, b は、それぞれ、ウエルニッケ野とブローカー野における脳第2信号系機能と対応する変数とする。それらを、次の表に示す。

脳第2信号系			
変数	機能		
w	概念・心象	メンタルモデル	
b	文脈・全体構成	抽象・能動性	司令塔

9. 集合 (第1信号系と第2信号系およびウエルニッケ野とブローカー野)

第1信号系の集合および第2信号系の集合は空でない。

全体集合 $X = \{F\} = \{X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18}\}$ は第1信号系の集合である。

一点集合 $W = \{w\}$ は、ウエルニッケ野における第2次条件反射の集合である。

一点集合 $B = \{b\}$ は、ブローカー野における第2次条件反射の集合である。

一点集合 $b=\{X_{14}\}$ は、ブローカー野を示す第1信号系の集合である。

全体集合 $L=\{w, b\} = \{w\} \cup \{b\} = W \cup B$ は第2信号系の集合である。

以上の集合のみが、第1信号系の集合 X および第2信号系の集合 L 、
ならびに、

ウエルニッケ野における第2次条件反射の集合 W 、および、
ブローカー野における第2次条件反射の集合 B 、ならびに、
ブローカー野を示す一点集合 $b=\{X_{14}\}$ である。

10. 第1次条件反射（第1信号系）の内部ネットワークの線形連立方程式
モデル

脳の第1信号系の自己完結構造モデル	
脳の第1信号系の応答信号入力システム (未知数=既知数として初期値を与えるシステム)	
0	$X_0 = \omega_0$
脳の第1信号系の応答信号伝達システム (未知数18個方程式17個の解けない不完全システム)	
1	$X_1 + \alpha_1 X_0 + \beta_1 X_4 = \omega_1$
2	$X_2 + \alpha_2 X_1 + \beta_2 X_4 + \gamma_2 X_5 + \delta_2 X_7 = \omega_2$
3	$X_3 + \alpha_3 X_2 = \omega_3$
4	$X_4 + \alpha_4 X_1 + \beta_4 X_8 + \gamma_4 X_{10} = \omega_4$
5	$X_5 + \alpha_5 X_2 + \beta_5 X_8 + \gamma_5 X_{10} = \omega_5$
6	$X_6 + \alpha_6 X_7 = \omega_6$
7	$X_7 + \alpha_7 X_8 + \beta_7 X_{10} = \omega_7$
8	$X_8 + \alpha_8 X_3 + \beta_8 X_5 + \gamma_8 X_6 + \delta_8 X_{10} = \omega_8$
9	$X_9 + \alpha_9 X_3 + \beta_9 X_{12} = \omega_9$
10	$X_{10} + \alpha_{10} X_5 + \beta_{10} X_6 + \gamma_{10} X_8 + \delta_{10} X_{11} + \varepsilon_{10} X_{14} = \omega_{10}$
11	$X_{11} + \alpha_{11} X_{10} + \beta_{11} X_{12} = \omega_{11}$
12	$X_{12} + \alpha_{12} X_9 + \beta_{12} X_{10} + \gamma_{12} X_{11} + \delta_{12} X_{14} = \omega_{12}$
13	$X_{13} + \alpha_{13} X_8 + \beta_{13} X_9 + \gamma_{13} X_{14} = \omega_{13}$
14	$X_{14} + \alpha_{14} X_{13} = \omega_{14}$
15	$X_{15} + \alpha_{15} X_{12} = \omega_{15}$
16	$X_{16} + \alpha_{16} X_{15} = \omega_{16}$
17	$X_{17} + \alpha_{17} X_{16} = \omega_{17}$
18	$X_{18} + \alpha_{18} X_{17} = \omega_{18}$

これを脳の第1信号系の自己完結構造モデルとして次にマトリックス表示を示す。

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
0	X ₀	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₀
1	X ₁	α ₁	1	0	0	β ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₁
2	X ₂	0	α ₂	1	0	β ₂	γ ₂	0	δ ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₂
3	X ₃	0	0	α ₃	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₃
4	X ₄	0	α ₄	0	0	1	0	0	0	β ₄	0	γ ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₄
5	X ₅	0	0	α ₅	0	0	1	0	0	β ₅	0	γ ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₅
6	X ₆	0	0	0	0	0	0	1	α ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₆
7	X ₇	0	0	0	0	0	0	0	1	α ₇	0	β ₇	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₇
8	X ₈	0	0	0	α ₈	0	β ₈	γ ₈	0	1	0	δ ₈	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₈
9	X ₉	×	0	0	0	α ₉	0	0	0	0	1	0	0	β ₉	0	0	0	0	0	0	= ω ₉
10	X ₁₀		0	0	0	0	0	α ₁₀	β ₁₀	0	γ ₁₀	0	1	δ ₁₀	0	0	ε ₁₀	0	0	0	ω ₁₀
11	X ₁₁		0	0	0	0	0	0	0	0	0	α ₁₁	1	β ₁₁	0	0	0	0	0	0	ω ₁₁
12	X ₁₂		0	0	0	0	0	0	0	0	α ₁₂	β ₁₂	γ ₁₂	1	0	δ ₁₂	0	0	0	0	ω ₁₂
13	X ₁₃		0	0	0	0	0	0	0	α ₁₃	β ₁₃	0	0	0	1	γ ₁₃	0	0	0	0	ω ₁₃
14	X ₁₄		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	α ₁₄	1	0	0	0	0	ω ₁₄
15	X ₁₅		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	α ₁₅	0	0	1	0	0	ω ₁₅
16	X ₁₆		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	α ₁₆	1	0	0	0	ω ₁₆
17	X ₁₇		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	α ₁₇	1	0	0	ω ₁₇
18	X ₁₈		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	α ₁₈	1	0	ω ₁₈

ここに、添字付きの α β γ δ ε は、0 でない係数、添字付きの ω は 0 を許容する

定数とする。この連立方程式は、図から、→を写像（1次関数）とみなし、作成した。

（事例）番号3の方程式 $X_3 + \alpha_3 X_2 = \omega_3$ を例に挙げれば、

この式は次の写像を線形1次式で表したものである。

$$X_2 \rightarrow X_3$$

また、番号1の方程式 $X_1 + \alpha_1 X_0 + \beta_1 X_4 = \omega_1$ を例に挙げれば、

この式は次の写像を線形1次式で表したものである。

$$\left. \begin{matrix} X_0 \\ X_4 \end{matrix} \right\} \rightarrow X_1$$

ただし、図では、X₀とX₄とからのX₁へ至る2本の矢印で表現されている。

この連立方程式の構造を調べよう。

この連立方程式は、2個の部分システムから成り立ち、

- (1) 番号0の入力システムと
- (2) 番号1から18までの伝達システムと

から成り立っている。

もし、環境外力がなかった場合、力学の作用反作用の相互作用の法則から内力もないから、この(1)は成立しない。

よって、この(2)だけで、解が成立するかどうかを見よう。

この(2)は、方程式が18個、未知数が19個であって、解を得るには、方程式が一つ足りない。よって解は成立しない。

ゆえに、この(2)は、不完全なシステムと呼ばれる。

ところが、環境外力があって、力学の作用反作用の相互作用の法則から内力が発生し、

均衡を保つから、第1信号系が作動する。これを、第1次条件反射という。

(注4) パブロフ「動物の高次神経活動に関する客観的研究の20年」

「大脳半球の正常なはたらきの主要な生理学的現象こそ、われわれが条件反射と呼んでいるものである。これは動物の受容器に作用する環境の無数の要因

と生物の一定の作用とのあいだの神経による一時的結合である。」

このとき、この(1)が成立し、したがって、この(2)も成立する。

足りない方程式が、この(1)が加わることによって、方程式が19個、未知数が19個となり、解が得られる。

よって、この(1)+(2)のシステムは、完全なシステムと呼ばれる。

この「完全性」を獲得したモデルを、自己完結構造モデルという。

ゆえに、

第1次条件反射によって、第1信号系は自己完結構造モデルとなる。

(注) 完全、不完全という術語は、ゲーデルに由来し、ある数学システムが完全とは、その数学システムが決定可能と同値であり、ある数学システムが不完全とは、その数学システムが決定不能と同値である。

因みに、

マトリックス表示での解を次に示す。

ここに、 19×19 行列 M の ij 成分を a_{ij} とすれば、 $M=(a_{ij})$ である。

さらに、この行列 M の成分を縦ベクトル P_j とすれば、 $P_1=(a_{i1})$ である。

次に、 $\text{Subst } A \begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix}$ とは A において、 a を b に置き換える関数と定義する。

行列式 $|M|=|a_{ij}|$ において、

$\text{Subst } |M| \begin{pmatrix} \omega \\ P_j \end{pmatrix}$ とは、 j 列目の成分 a_{ij} を ω_i に置き換えた行列式である。

すると、解は次のように記述される。

$$X_i = \frac{\text{Subst } |M| \begin{pmatrix} \omega \\ P_j \end{pmatrix}}{|M|}$$

これは、初期条件 $X_0 = \omega_0$ とすると、この解を得るプロセスが解の存在の証明図である。

11. 関数と逆関数 (作用と反作用)

関数記号 G, B は第1信号系から第2信号系への作用を表す。

逆関数は、関数記号を $*$ とするとき、記号 $*^{-1}$ で表される。

逆関数記号 G^{-1}, B^{-1} は第2信号系から第1信号系への反作用を表す。

関数記号 G はゲシュタルト関数と定義し、 G^{-1} は集合値関数であ

る。

以上のもののみが作用と反作用をしめす関数の記号である。

12.写像（第1信号系から第2信号系への作用）

写像 \mathcal{B} は、一点集合 $\{X_{14}\}$ から一点集合 $B = \{b\}$ への写像である。

これを、 $b = \mathcal{B}(X_{14})$ と書く。

写像 \mathcal{G} は、全体集合 $X = \{F\}$ から一点集合 $W = \{w\}$ への写像である。

これを、 $w = \mathcal{G}(F)$ と書く。

これらの写像は、第1信号系から第2信号系への作用を表す。

13.第1信号系から第2信号系へのゲシュタルト入力作用の定理

ウエルニッケ野への第1信号系のゲシュタルト入力において、

我々は、 $w = \mathcal{G}(F) = \mathcal{G}(X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18})$ より $w = \mathcal{G}(X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18})$

を得る。

ここで、第1信号系 X_i の選択確率を \mathcal{P}_i とし、

$$F = \sum_{i=1}^{18} \mathcal{P}_i X_i$$

とすると、ラグランジュの未定乗数法を使用して

$$\varphi = w - \lambda \left(F - \sum_{i=1}^{18} \mathcal{P}_i X_i \right)$$

ここに、

$$\max\{w\} \rightarrow \frac{\partial w}{\partial X_i} - \lambda \mathcal{P}_i = 0$$

よって

$$\frac{\partial w}{\partial X_i} = \lambda \mathcal{P}_i$$

したがって

$$\frac{\left(\frac{\partial w}{\partial X_i}\right)}{P_i} = \lambda$$

すなわち、次の第1信号系の中から第2信号系へのゲシュタルト入力均等法則を得る。

$$\frac{\left(\frac{\partial w}{\partial X_1}\right)}{P_1} = \frac{\left(\frac{\partial w}{\partial X_2}\right)}{P_2} = \dots = \frac{\left(\frac{\partial w}{\partial X_{18}}\right)}{P_{18}}$$

ここで、選択確率 $P_i = 1$ のとき、

ニュートン力学 $F = X_0 + X_1 + X_2 + \dots + X_{18}$ となり

$$\frac{\partial w}{\partial X_1} = \frac{\partial w}{\partial X_2} = \dots = \frac{\partial w}{\partial X_{18}}$$

の第1信号系の中から第2信号系へのゲシュタルト入力均等式を得る。

14. 逆写像 (第2信号系から第1信号系への反作用)

逆写像 B^{-1} は、一点集合 $B = \{b\}$ から一点集合 $\{X_{14}\}$ への写像である。

これを、 $X_{14} = B^{-1}(b)$ と書く。

逆写像 G^{-1} は、一点集合 $W = \{w\}$ から全体集合 $X = \{F\}$ への集合値写像である。

これを、 $F = G^{-1}(w)$ と書く。

これらの逆写像は、第2信号系から第1信号系への反作用を表す。

15. 特定選択関数 “ n ” と “ F ”

特定選択関数 “ n ” は、すべての $n(n = 0, 1, 2, \dots, 18)$ から、ただ一つの数を採る。

よって、すべての $n(n = 0, 1, 2, \dots, 18)$ から 14 を選択するならば、“ n ” = 14 と書く。

特定選択関数 “ F ” は、すべての内力要素の中からただ一つの要素

を採る関数である。

よって、“ F ”は、集合の要素 $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18}$ のいずれかに該当する。

これを、“ F ” = X “ n ” (個別任意) とする。

よって、内力 $F = X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18}$ から、 X_{14} を選択するならば、

“ F ” = X “ n ” = X_{14} と書く。したがって、“ F ” = X_{14} と書く。

n が「特定の」順序数なのか、「すべての」順序数の代表なのか、を区別する。

前者は、 $\exists n(n = 0, 1, 2, \dots, 18) \exists Xn : X$ “ n ” = “ F ” (個別任意) および

後者は、 $\forall n(n = 0, 1, 2, \dots, 18) \forall Xn : Xn = F$ (全体任意) と定義する。

ここで、次のようにしてみよう。

$\forall n(n = 0, 1, 2, \dots, 18) \forall Xn : X$ “ n ” = F とすると、

X “ n ” は 1 個であり、 F は全体、すなわち、18 個であるから、1 個 = 18 個となって、

矛盾する。ここに、注意が必要である。

16. 認証関数 $\text{Dig}(a, b)$

認証関数 $\text{Dig}(a, b)$ の定義は次の通り。

$$\begin{cases} a = b \text{ ならば } \text{Dig}(a, b) = 0 \text{ である。} \\ a \neq b \text{ ならば } \text{Dig}(a, b) \text{ は成立しない。} \end{cases}$$

以上によって定義されたもののみが認証関数 $\text{Dig}(a, b)$ の定義である。

ここに、 Dig は digest (認証)、たとえば、パスワードが一致する、の意味である。

17. 川村関数 $K(14)$ およびその variations $K(14)a, K(14)b$

パブロフに倣って、脳機能の数学化モデルを模索しているわれわれは、

器官名を記号化した、図 2 を念頭に、それに適応させるべく人間の型を次の 3 つにタイプに特徴づけして、私案を敢えて提示することを試みる。

川村関数 $K(14)$ の定義

$$\begin{cases} \{K(14)\} = \{2,3,5,8,9,14\} & \text{は芸術家タイプを現わす集合値関数である。} \\ \{K(14)\} = \{13,14\} & \text{は思索家タイプを現わす集合値関数である。} \\ \{K(14)\} = \{10,11,12,14,15,16\} & \text{は行動家タイプを現わす集合値関数である。} \end{cases}$$

次に、川村関数の variations $K(14)a$, $K(14)b$ を示す。

添字の a は、覚醒から睡眠へ至る半覚醒状態を示す催眠時を表す。

添字の b は、ノンレム睡眠時を表し、この状態では夢を見る。

川村関数 $K(14)a$ の定義

$$\begin{cases} \{K(14)a\} = \{2,3,5,8,9,14\}a & \text{は芸術家タイプを現わす半覚醒集合値関数である。} \\ \{K(14)a\} = \{13,14\}a & \text{は思索家タイプを現わす半覚醒集合値関数である。} \\ \{K(14)a\} = \{10,11,12,14,15,16\}a & \text{は行動家タイプを現わす半覚醒集合値関数である。} \end{cases}$$

川村関数 $K(14)b$ の定義

$$\begin{cases} \{K(14)b\} = \{2,3,5,8,9,14\}b & \text{は芸術家タイプの夢を見る集合値関数である。} \\ \{K(14)b\} = \{13,14\}b & \text{は思索家タイプの夢を見る集合値関数である。} \\ \{K(14)b\} = \{10,11,12,14,15,16\}b & \text{は行動家タイプの夢を見る集合値関数である。} \end{cases}$$

以上によって定義されるもののみが川村関数である。

(参考) パブロフは、ここでも人間の神経系を非常に一般的な三つの型に分類してみせた。

すなわち、或る人々は第二信号系よりも第一信号系をよりよく発達（「芸術家型」）させ、他の人々は第一信号系よりも第二信号系をよりよく発達（「思索家型」）させる。また、大部分の人々は、自らが調整者の役割を果しつつ、二つの体系の均衡のとれた相互関係を発達させている。

18. パブロフ関数 $\text{Пав}(14) \stackrel{\text{def}}{=} \text{Пав}("n" = 14)$

パブロフ関数 $\text{Пав}(14)$ の定義は次の通り。

$$(1) \text{Пав}(14) = \square(14) = 14 \quad \text{は覚醒時を現わす。}$$

$$\left(\begin{array}{c} 2 \\ \end{array} \right)$$

$$\text{Пав}(14) = \diamond(14) \equiv \text{K}(14)a \quad \text{は催眠時を現わす。}$$

$$\left(\begin{array}{c} 3 \\ \end{array} \right)$$

$$\text{Пав}(14) = \blacklozenge(14) \equiv \text{K}(14)b \quad \text{は不熟睡の睡眠時を現わす。}$$

$$\left(\begin{array}{c} 4 \\ \end{array} \right)$$

$$\text{Пав}(14) = \blacksquare(14) \neq "n" \quad \text{は熟睡時を現わす。}$$

ここに、記号 $\square, \diamond, \blacklozenge, \blacksquare$ は、それぞれ、

覚醒、催眠、レム睡眠、ノンレム睡眠を現わす。（夢を見るのは、レム催眠である。）

ちなみに、記号 \square, \blacksquare は、それぞれ、必然性、否定の必然性を表す論理記号で、

記号 \diamond, \blacklozenge は、それぞれ、可能性、否定の可能性を表す論理記号である。

以上によって定義されるもののみがパブロフ関数である。

（注）不熟睡の睡眠はレム睡眠、熟睡はノンレム睡眠である。

（注）記号 $\square, \diamond, \blacklozenge, \blacksquare$ は、4値論理の様相論理の記号とする。

(1) $\square(14)$ は、14 となる必然性がある、だから、14 となる。

(2)

◇(14) は、14 となる可能性がある、だから、14 となるのは不明瞭である。

(3)

◆(14) は、14 とならない可能性がある、だから、14 となるのは不明瞭である。

(4)

■(14) は、“ n ” = 14 とならない必然性がある、だから、14 とならない。

(注) 催眠時である $\text{Пав}(14) = \diamond(14)$ は、多様性があり、
分裂病やその他一定の形の神経症や精神病の客観的分析にひじょうに重要なもの
である。

分裂病のすべての症状——無関心、鈍麻、不動、おどけたこと、の
ような——は、種々の催眠相のどれかのなかに見いだされる。ここからパ
ブロフは結論をひきだす。「前述の分裂病の症状を研究して、わたしは、
それらの症状が慢性的催眠状態をあらわすものであるという結論に到達
した。」しかし、一般的症状が一致するという以上以上の証拠が必要であ
る。

この分野の数学化は今後の研究課題である。

事例 1.6 0 歳女性が、乳歯があるから本当は 1 3 歳の子供なんです。

(今と過去との照合障害) $\text{Пав}(14) = \diamond(14) \cong \text{K}(14)c$

ここに、 $\{\text{K}(14)c\} = \{5,14\}$ としてよいかもしれない。

19. 照合関数 $\text{Mat}(X_{14}) \stackrel{\text{def}}{=} X_{14} + \text{Dig}(\text{Пав}(14), “n”)$

照合関数 $\text{Mat}(X_{14}) \stackrel{\text{def}}{=} X_{14} + \text{Dig}(\text{Пав}(14), “n”)$ は

① $\text{Пав}(14) = “n”$ ならば $\text{Dig}(\text{Пав}(14), “n”) = 0$ だから

$\text{M}(X_{14}) = X_{14}$ である。

② $\text{Пав}(14) \neq "n"$ ならば $\text{Dig}(\text{Пав}(14), "n")$ は成立しないから、照合されない。

よって、

照合関数 $\text{Mat}(X_{14}) \stackrel{\text{def}}{=} X_{14} + \text{Dig}(\text{Пав}(14), "n")$ の定義は次の通り。

$$\begin{cases} \text{Mat}(X_{14}) = X_{14} & \text{ならば } X_{\text{Пав}(14)} = X_{"n"} = "F" \text{ である。} \\ \text{Mat}(X_{14}) \neq X_{14} & \text{照合されない。} \end{cases}$$

以上によって定義されたもののみが照合関数 $\text{Mat}(X_{14})$ の定義である。

この定義に 12. と 11. の定義を代入するとつぎのように概観できる。

$$(1) \text{ 覚醒時 } \text{Пав}(14) = \square(14) = 14$$

$$\text{Mat}(X_{14}) \stackrel{\text{def}}{=} X_{14} + \text{Dig}(\square(14), "n") = X_{14} \text{ なので}$$

$$\text{Mat}(X_{14}) \stackrel{\text{def}}{=} X_{14} + \text{Dig}(14, "n") = X_{14} \text{ ならば}$$

これは $X_{14} = X_{"n"} = "F"$ である。

ここに、内力 F から照合の結果、 $14 = "n"$ が抽出される。

$$(2) \text{ 催眠時および不熟睡の睡眠時 } \text{Пав}(14) \ni K(14)$$

$$\text{Mat}(X_{14}) \stackrel{\text{def}}{=} X_{14} + \text{Dig}(K(14), "n") = X_{14} \text{ ならば}$$

これは $X_{K(14)} = X_{"n"} = "F"$ である。

ここに、 $K(14)$ が 14 を含む集合値であるので、

(a) $\{ "n" \} = \{2,3,5,8,9,14\}$ のとき、芸術家タイプの照合の不明瞭性をもつ。

(b) $\{ "n" \} = \{13,14\}$ のとき、思索家タイプの照合の不明瞭性をもつ。

(c) $\{ "n" \} = \{10,11,12,14,15,16\}$ のとき、行動家タイプの照合の不明瞭性をもつ。

(3) 熟睡時 $\text{Пав}(14) = \blacksquare(14) \neq "n"$

$\text{Mat}(X_{14}) \stackrel{\text{def}}{=} X_{14} + \text{Dig}(\blacksquare(14), "n") \neq X_{14}$ なので

これは $X_{\text{Пав}}(14) = X_{\blacksquare}(14) \neq X_{"n"} = "F"$ である。

この場合は、照合されない。

20. 照合関数の不動点定理

関数 $f(x)$ が $f(x) = x$ であるとき、 x を不動点という。

(1) 覚醒時、のとき、

照合関数を $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14} + \text{Dig}(\square(14), "n")$ と表すならば、

照合関数を $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14} + \text{Dig}(14, "n")$ と表すので、

$14 = "n"$ ならば

$\text{Mat}(X_{14}) = X_{14}$ である。

ゆえに、 $14 = "n"$ ならば、 X_{14} が不動点であることを示す。

よって、照合関数の不動点定理が成り立つ。

(2) 催眠時、のとき、

照合関数を $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14} + \text{Dig}(\diamond(14), "n")$ と表すならば、

照合関数を $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14} + \text{Dig}(14, "n")$ と表す可能性があるので、

$14 = "n"$ となる可能性があるならば

$\text{Mat}(X_{14}) = X_{14}$ である可能性がある。

ゆえに、 X_{14} が不動点である可能性を示す。

よって、照合関数の不動点定理が成り立つ可能性がある。

(3) 不熟睡の睡眠時、のとき

照合関数を $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14} + \text{Dig}(\blacklozenge(14), "n")$ と表すならば、

照合関数を $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14} + \text{Dig}(14, "n")$ と表さない可能性がある。

これは、不明瞭さにおいて、

照合関数を $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14} + \text{Dig}(14, "n")$ と表す可能性がある、とおなじである。

よって、上記 (2) と同じである。

14 = “n” となる可能性があるならば

$\text{Mat}(X_{14}) = X_{14}$ である可能性がある。

ゆえに、 X_{14} が不動点である可能性を示す。

よって、照合関数の不動点定理が成り立つ可能性がある。

(4) 熟睡時、のとき、

照合関数を $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14} + \text{Dig}(\blacksquare(14), "n")$ と表すので、

これは $\blacksquare(14) \neq "n"$ なので、

$\text{Mat}(X_{14}) \neq X_{14}$ である。

ゆえに、照合関数は不動点を持たない。

よって、照合関数の不動点定理は成り立たない。

21. 自己意識

意識のない状態を、照合機能が全く働かない場合、と定義すれば、

これを $\text{Пав}(14) \neq "n"$ としても同値であり、14.の (3) 熟睡時と同形である。

すなわち、 $\text{Пав}(14) \neq "n" \Leftrightarrow \blacksquare(14) \neq "n"$

よって、上記 19.より $\text{Mat}(X_{14}) \neq X_{14}$ なので、意識のない状態は不動点がない。

しかし、植物人間となっても意識があれば、不動点は存在する。

よって、意識と不動点との関係を考察すると、 $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14}$ であるとき、すなわち、これは不動点であると同時に、照合機能が働いていることを意味する。この照合機能を意識の働きと定義すれば、 $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14}$

であるとは、X14を自分とすれば、自分自身を意識していることになる。この部位 X14 は、ブローカー野であり、この再帰的な関係を自己意識と定義する。

よって、

(1) 自己意識があるのは、覚醒時である。

(2) 漠然とした、不明瞭な自己意識があるのは、催眠時、および、不熟睡の睡眠時

である。後者はレム催眠と呼ばれる。

(3) 自己意識がないのは、熟睡時である。

(注) ここに、自己意識は、不動点と見ることができるので、分析可能である。

しかし、意識そのものは、この *nervism* では分析できない。

22. 脳の不動点は存在するのか？

自己意識は、照合関数の不動点と同値であって、自己意識が、サーカディアンリズムとホメオスタシスによって、存在したり、存在があいまいであったり、不存在であったりした。

ゆえに、

(1) 覚醒時において、脳の不動点が存在する必然性がある。

(2) 催眠時において、脳の不動点が存在する可能性がある。

(3) 不熟睡の睡眠時において、脳の不動点が存在しない可能性がある。

(4) 熟睡時において、脳の不動点が存在しない必然性がある。

という様相を呈している。

23. 照合方程式

照合方程式を $F = \text{Mat}(X_{14})$ とする。

この照合方程式の解は “ F ” = X_{14} である。このとき、19.の不動点定理が成り立つ。

よって、照合方程式が解をもつ必然性があるのは、覚醒時であり、解を持つ可能性があるのは、催眠時および不熟睡の催眠時である。熟睡時は解をもたない。

24.第2次条件反射における第2信号系の線形1次連立方程式

図2および図3の中央にある、ウエルニッケ野 \textcircled{W} とブローカー野 \textcircled{B} について、これらの図では、下記のように描かれている。

$$\textcircled{B} \longleftrightarrow \textcircled{W}$$

この両向き矢印を、 \rightarrow と \leftarrow との合成とみなす。

第1次条件反射によって作用する言語神経系ウエルニッケ野 \textcircled{W} とブローカー野 \textcircled{B} の

応答により、第2次条件反射が第2信号系 w, b に生起したとき、高次神経活動は、まず、12.により、第1信号系から第2信号系への作用を表す2個の写像

$$\begin{cases} b = B(X_{14}) \\ w = G(F) \end{cases}$$

がある。

このとき、 $b \rightarrow w$ から $w + \eta_1 b = C_1$

また、 $w \rightarrow b$ から $b + \eta_2 w = C_2$

を得る。ここに、 η_1, η_2, C_1, C_2 は定数とする。

これを次の連立方程式とする。

$$\begin{cases} w + \eta_1 b = C_1 \\ \eta_2 w + b = C_2 \end{cases}$$

この解は

$$w = \frac{C_1 - C_2 \eta_1}{1 - \eta_1 \eta_2} \text{ および } b = \frac{C_2 - C_1 \eta_2}{1 - \eta_1 \eta_2} \text{ である。}$$

よって、

$$\frac{w}{b} = \frac{C_1 - C_2 \eta_1}{C_2 - C_1 \eta_2} = \frac{1}{m}$$

とおく。よって、 $w = \frac{1}{m} b$

$$\text{したがって、 } G(F) = \frac{1}{m} b = \frac{1}{m} B(X_{14})$$

これらの写像は、第1信号系から第2信号系への作用を表す。

ここで、 $G(F) = \frac{1}{m} b$ から 逆関数をとる。

$y = \frac{m}{n} x$ から $x = \frac{n}{m} y$ とすると、 $y^{-1} = \frac{n}{m} x^{-1}$ と置けるから、

$F = mG^{-1}(b)$ となる。

この式 $F = mG^{-1}(b)$ において、 F は、すべての $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18}$ を表す。

この式 $F = mG^{-1}(b)$ は、言語条件反射方程式である。

この式の右辺にある $G^{-1}(b)$ を、ここで、言語基信号と名付ける。

この方程式により、言語基信号が、第1信号系に反作用する。

25. 高次神経活動の新しい原理

言語条件反射方程式から第2信号出力方程式が導かれるプロセスを示す。

(1) すべての外力に対して、言語条件反射方程式 $F = mG^{-1}(b)$ が存在する。

(2) よって、すべての外力に対して $F = Xn = m(n)G^{-1}(b)$ となる。

(3) 照合方程式 $F = \text{Mat}(X_{14})$ を上記式に代入する。

(4) 照合方程式 $\text{Mat}(X_{14}) = m(n)\mathcal{G}^{-1}(b)$ を得る。

(5) 照合方程式の解は、不動点定理 $X_{14} = \text{Mat}(X_{14})$ の成り立つときである。

(6) よって、 $X_{14} = \text{Mat}(X_{14}) = m(14)\mathcal{G}^{-1}(b)$ を得る。

(7) したがって、第2信号出力方程式 $X_{14} = m(14)\mathcal{G}^{-1}(b)$ を得る。

(8) また、これに $b = \mathcal{B}(X_{14})$ を代入すると $X_{14} = m(14)\mathcal{G}^{-1}(\mathcal{B}(X_{14}))$ となつて、

ブローカー野 X_{14} が自己意識の不動点であることを確認する。

(9) 高次神経活動の新しい原理の方程式は $X_{14} = \text{Mat}(X_{14}) = m(n)\mathcal{G}^{-1}(b) = F$

または $\mathcal{B}^{-1}(b) = X_{14} = \text{Mat}(X_{14}) = m(n)\mathcal{G}^{-1}(b) = F = \mathcal{G}^{-1}(w)$

と記述でき、この方程式の解は $n = 14$ である。これにより、第2信号出力方程式

が導かれる。この式は、第2次条件反射の反作用を示す。

(10) この方程式は、覚醒時に成立する必然性があり、催眠時または不熟睡催眠時

に成立する、または、しない可能性があり、熟睡時には成立しない必然性がある。

(11) 以上が、高次神経活動の新しい原理である。

(注5) パブロフ 1932年ソヴェト科学アカデミーでの要約

「ここには高次神経活動の新しい原理（第1信号系の多数の信号の抽象化—

—そして同時に一般化)をおこない、これの方でもまた新しく一般化された信号の分析と総合をおこなう・・・」

26.集合値の線形代数学

上記 22.の議論は、次に示す集合値の線形代数学をつくることになる。

微分方程式 $\frac{dy}{dx} = -\eta$ の解は 不定積分 $y + \eta x = C$ とするとき、

この C は決定できない。

$n = 0, 1, 2, \dots, 18$ とするとき、 F をすべての $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18}$ とする。

連立方程式 ($n = 0, 1, 2, \dots, 18$ とする。)

$$\begin{cases} \frac{dG(F)}{d\ell} = -\eta_1 & \text{より } G(F) + \eta_1 \ell = C_1 \\ \frac{d\ell}{dG(F)} = -\eta_2 & \text{より } \ell + \eta_2 G(F) = C_2 \end{cases}$$

とすれば、これは集合値の線形代数学である。

上記連立方程式を、次のように線形代数学によって表す。

$$\begin{pmatrix} 1 & \eta_1 \\ \eta_2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} G(F) \\ \ell \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix}$$

ここで

$$V_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ \eta_2 \end{pmatrix}, \quad V_2 = \begin{pmatrix} \eta_1 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad K = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix} \text{ として、 } A = \begin{pmatrix} 1 & \eta_1 \\ \eta_2 & 1 \end{pmatrix} = (V_1 \quad V_2)$$

とおくと

$$|A| = \begin{vmatrix} 1 & \eta_1 \\ \eta_2 & 1 \end{vmatrix} = |V_1 \quad V_2| = 1 - \eta_1 \eta_2 \quad \text{である。}$$

次に、 $\text{Subst } A \begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix}$ とは A において、 a を b に置き換える関数と定義する。

(これも、ゲーデル「不完全性定理」1931 にある関数である。ゲーデルの

原文を示す。

a が論理式、 v が変数、 b が v と同じ型の記号であるとき、

$\text{Subst } a \left(\begin{smallmatrix} v \\ b \end{smallmatrix} \right)$ は、 a のうちの自由に出現する v を、すべて b に置き換えるこ

とによって

a から得られる論理式のことであるとする。²⁰⁾

²⁰⁾ v が自由変数として現れない場合には、 $\text{Subst } a \left(\begin{smallmatrix} v \\ b \end{smallmatrix} \right) = a$ となる。また、

"Subst"は、

超数学の記号であることに注意せよ。))

(注6) ゲーデル「不完全性定理」岩波文庫 p 23-24

$$\text{Subst } |A| \left(\begin{smallmatrix} K \\ V1 \end{smallmatrix} \right) = \begin{vmatrix} c_1 & \eta_1 \\ c_2 & 1 \end{vmatrix} = c_1 - c_2 \eta_1,$$

$$\text{Subst } |A| \left(\begin{smallmatrix} K \\ V2 \end{smallmatrix} \right) = \begin{vmatrix} 1 & c_1 \\ \eta_2 & c_2 \end{vmatrix} = c_2 - c_1 \eta_2$$

よって、

$$\mathcal{G}(F) = \frac{\text{Subst } |A| \left(\begin{smallmatrix} K \\ V1 \end{smallmatrix} \right) = \begin{vmatrix} c_1 & \eta_1 \\ c_2 & 1 \end{vmatrix} = c_1 - c_2 \eta_1}{|A| = \begin{vmatrix} 1 & \eta_1 \\ \eta_2 & 1 \end{vmatrix} = 1 - \eta_1 \eta_2}, \quad \mathcal{L} = \frac{\text{Subst } |A| \left(\begin{smallmatrix} K \\ V2 \end{smallmatrix} \right) = \begin{vmatrix} 1 & c_1 \\ \eta_2 & c_2 \end{vmatrix} = c_2 - c_1 \eta_2}{|A| = \begin{vmatrix} 1 & \eta_1 \\ \eta_2 & 1 \end{vmatrix} = 1 - \eta_1 \eta_2}$$

となる。よって、

$$\frac{\text{Subst } |A| \left(\begin{smallmatrix} K \\ V1 \end{smallmatrix} \right)}{\mathcal{G}(F)} = |A| = \frac{\text{Subst } |A| \left(\begin{smallmatrix} K \\ V2 \end{smallmatrix} \right)}{\mathcal{L}}$$

となるから、

$$\mathcal{G}(F) = \frac{\text{Subst } |A| \left(\begin{smallmatrix} K \\ V1 \end{smallmatrix} \right)}{\text{Subst } |A| \left(\begin{smallmatrix} K \\ V2 \end{smallmatrix} \right)} \mathcal{L}$$

したがって、

$$g(F) = \frac{C_1 - C_2 \eta_1}{C_2 - C_1 \eta_2} \ell$$

を得る。 $y = \frac{m}{n} x$ から $x = \frac{n}{m} y$ とすると、 $y^{-1} = \frac{n}{m} x^{-1}$ と置けるから、
一般に、

$$F = \left(\frac{C_2 - C_1 \eta_2}{C_1 - C_2 \eta_1} \right) g^{-1}(\ell)$$

と記述されるであろう。

ここに、 $\left(\frac{C_2 - C_1 \eta_2}{C_1 - C_2 \eta_1} \right)$ を m と書けば、 $F = m g^{-1}(\ell)$ となる。

この式 $F = m g^{-1}(\ell)$ において、 F は、すべての $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18}$ を表す。

この式 $F = m g^{-1}(\ell)$ は、言語条件反射方程式である。

この式の右辺にある $g^{-1}(\ell)$ を、22.で、言語基信号と名付けられた。

.....

参考資料 4 **パブロフの力学モデルの解析** (音楽の営み・・・川村スキーマ)
英文は参考資料 22 を見よ

重要

平成25年10月14日

川村光毅

坂出 準

要約

芸術する脳における音楽の営みの川村スキーマ（注1）を、パブロフの力学モデルによって得られる解析結果は、

セーチェノフ、そして、その（学問上の）弟子のパブロフが主張する「感覚入力/内部環境から入ってくる刺激が無ければ、生体反応は起こらない、認知を含んで高次神経活動は起こらない、条件反射は成立しない」というテーゼにピッタリとかさなる。

脳の内部システムは、不完全であり、常に、外部システムによって、感覚器から、絶えず、脳を学習させるように、情報を入力していないと完全にならない。

（注1）川村スキーマ 川村光毅「芸術する脳」特別号2012 p p 43 図25”

第1章

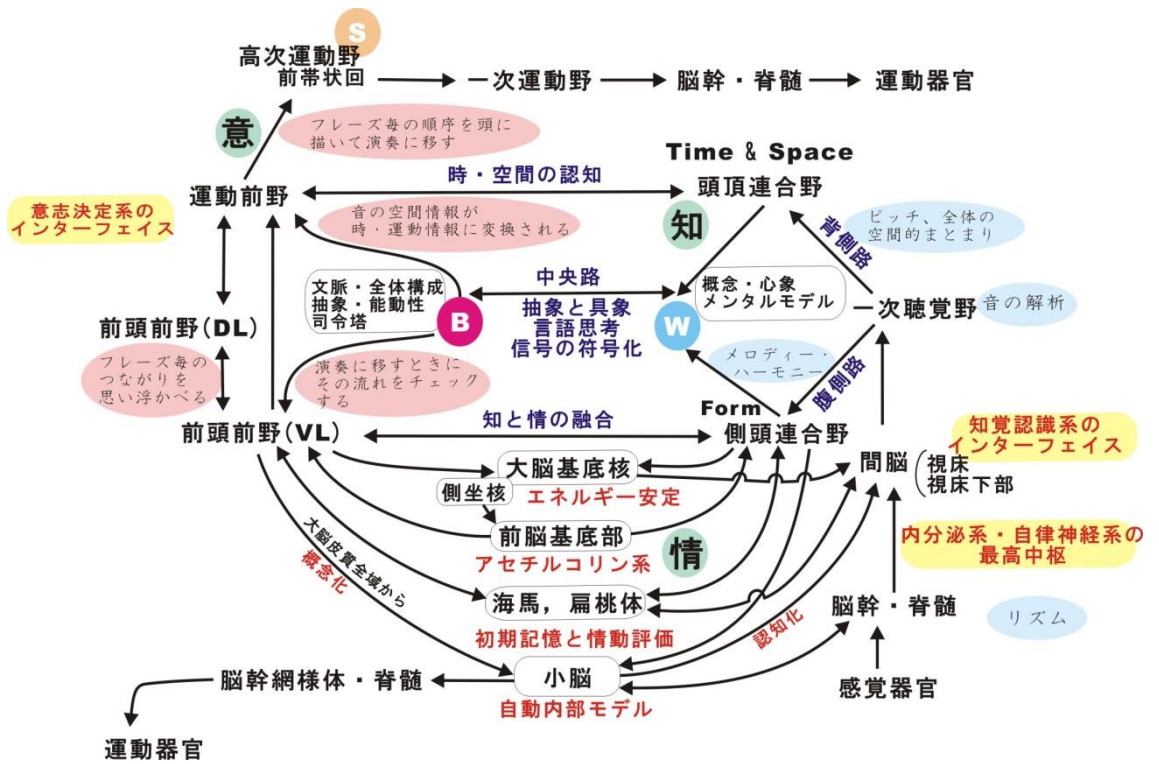


図1 音楽の営みにおける川村スキーマ 1

この図1の器官名を記号で表したのが次の図2である。

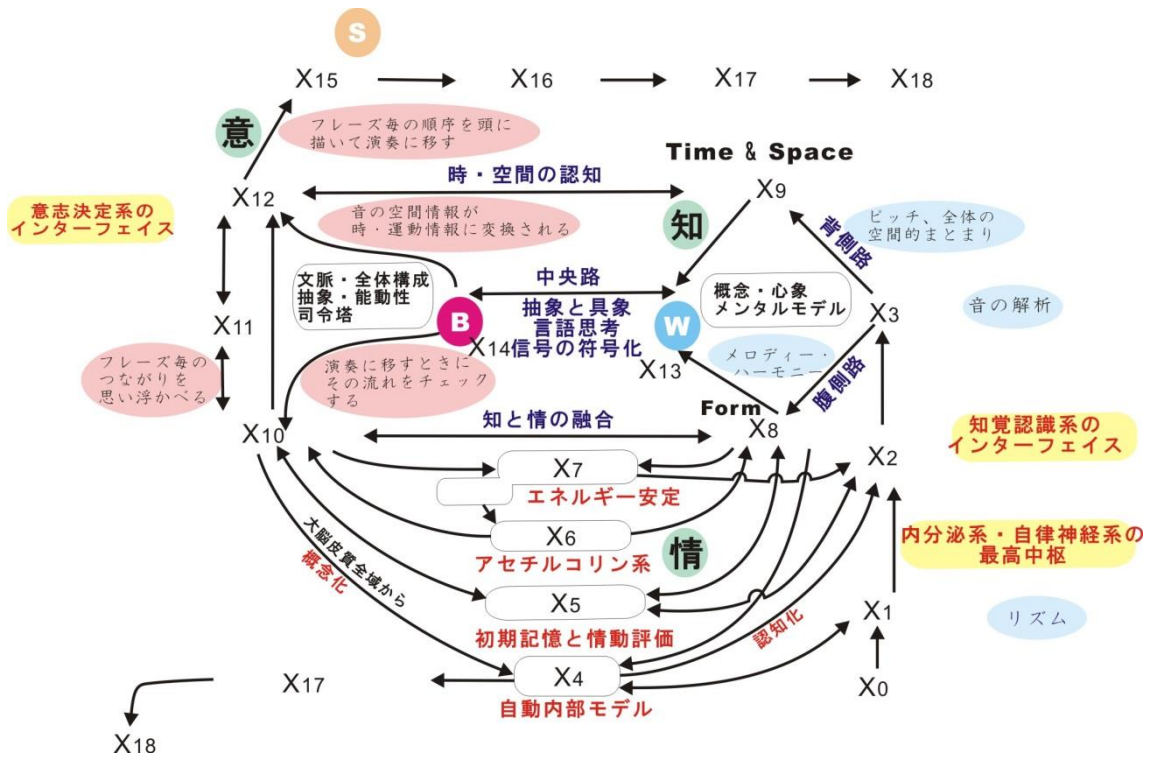


図 2 音楽の営みにおける川村スキーマ 2

感覚器官 X₀ から入った空気の振動である音が神経系内で電気信号に変換され、脳幹 X₁ でリズムや聞いた音の高低を知覚する。

高次の認識をつかさどるのは大脳皮質のレベルである。

後連合野で、その流れは 2 種類に大別される。

一方が音の占める空間や時間 (Time & Space) の流れ X₉ で、

他方が情動系を含んで、メロディーやハーモニーなど、まとまりを作る認知系、すなわち、音のまとまった情報 (Form) の流れ X₈ という dorsal and ventral pathways の少なくとも 2 つの路がある。

それらが前頭前野 X₁₀, X₁₂ に集約されてくる。

このように全体の中で個々のものを認識しながら一つのものを形づくる (Geschtalt)。

それらを、高次運動野 X₁₅ での複雑な過程を経て一次運動野 X₁₆ にまで進行させるのが、一般に行われる演奏形態と言える。

我々は、これら図において、→を写像と考え、最も簡単な線形 1 次関数でこれを表現し、これらの図のシステムをこれらの連立方程式で表すモデルで考えることにする。

次に、パブロフ概念の図を 2 枚挙げる。

先ず、パブロフ概念の図をあげる。

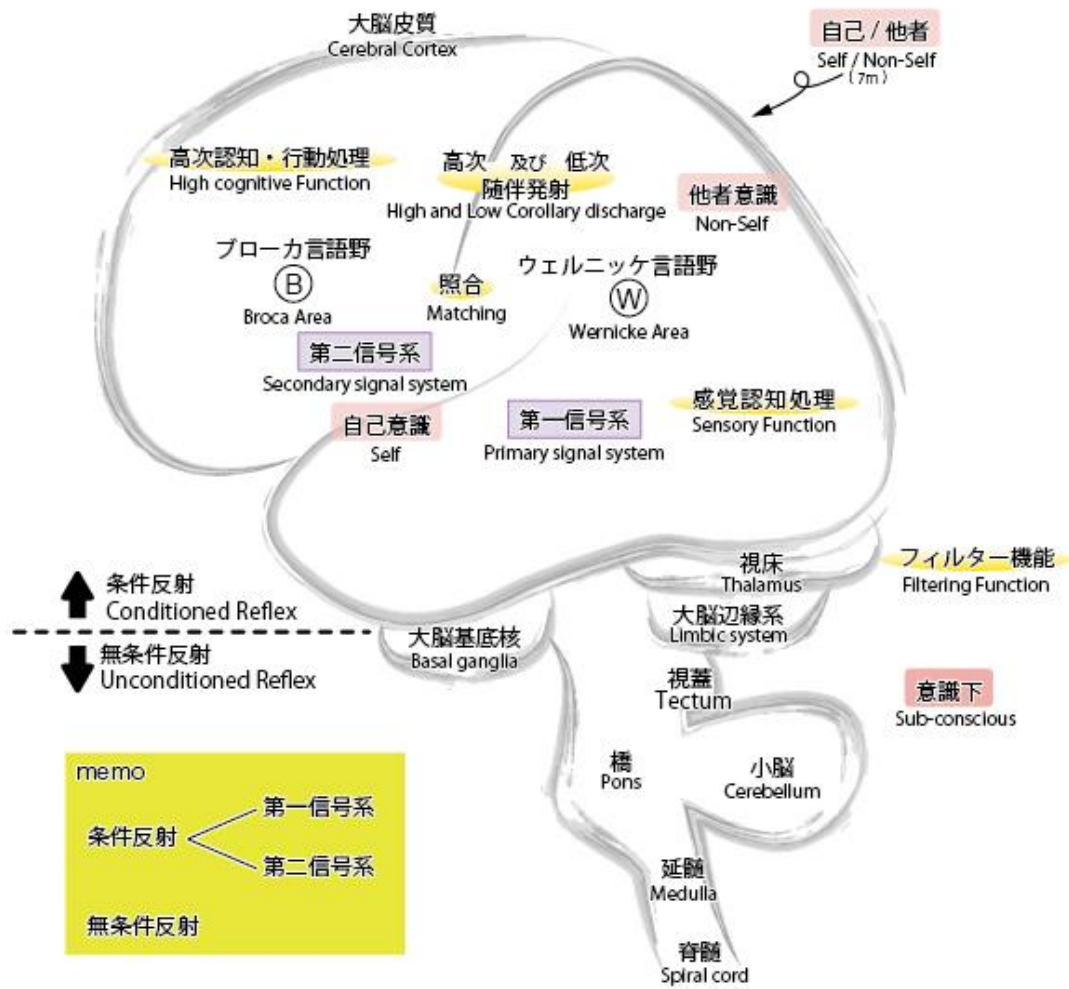
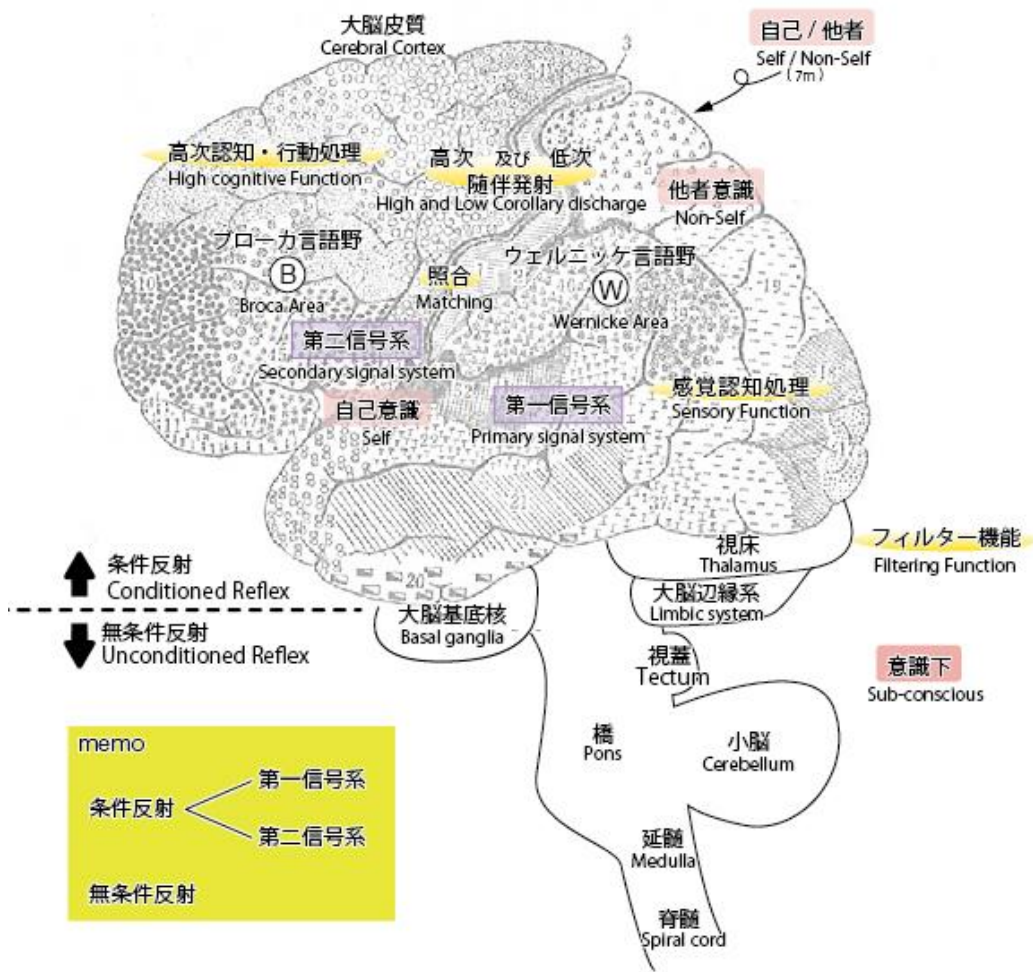


図3 パブロフ概念

次に、これをブロードマン地図に書き入れて示す。



ブロードマンの脳地図 より

図4 ブロードマン地図によるパプロフ概念

第2章

2-1. パプロフの理論における術語の定義

(1) 条件とは、あるシステム（信号系）に加わる外力が意識された状態をいう。

(2) 条件刺激とは、その意識された外力が、生物のある感覚器官を興奮させ、神経系に作用を及ぼすことをいう。

(3) 無条件とは、あるシステム（信号系）に加わる外力と意識が無関係であるときをいう。

(4) 反射とは、個体としての生命体（動物という生物）の生起した神経系活動をいう。

(5) 条件反射とは、個体としての生命体（動物という生物）のある組織の神経系が

環境の外力の意識された刺激に対して、応答することをいう。

イヌやその他の高等生物では、条件反射活動は大脳皮質にのみ限られる。

環境の外力の意識された刺激に応答する神経系を、第1信号系と定義し、この神経系全体で形成する内力によって、その外力と均衡する。

この応答を第1次条件反射という。

第1条件反射によって作用する言語神経系を、第2信号系と定義する。

その応答を第2次条件反射という。この作用により、生起した言語基信号が、第1信号系に反作用する。この第2次条件反射を、言語条件反

射という。

(6) 無条件反射とは、個体としての生命体（動物という生物）が環境の外力に対して、

意識とは無関係に自律的に生起している生命維持の神経活動をいう。

これを、環境の外力に対して意識が応答しない第0信号系神経活動、

あるいは、意識下（無意識）の第0次神経活動と定義する。

(7) パブロフ理論のシステムズは、3個のシステムズからなる。

それらは、第0信号系、第1信号系、および、第2信号系であり、

無条件反射は、第0信号系神経活動を現わし、条件反射は、第1信号系神経活動の

第1次条件反射、および、第2信号系神経活動の第2次条件反射を現わす。

(8) パブロフ理論の神経活動は、第0次、第1次、および、第2次の神経活動からなり、

上記の、0, 1、および、2の順序数に対応し、第0次より高次であるならば、

高次神経活動とは、第1次および第2次の神経活動をいう。

(9) 高次神経活動の新しい原理とは、第1信号系神経活動が第2信号系神経活動に転換

することを示す原理である。

(10) 第2次信号は、言語神経系、すなわち、ウエルニッケ野とブローカー野との連携により生起する信号で、言語と呼ばれる。

(11) 一日の（動物の）サーカディアンリズムとホメオスタシスを、特に人間の場合、

覚醒時、催眠時、不熟睡の睡眠時、および、熟睡の睡眠時の4分類

するが、

意識に関しては、

覚醒時、催眠時および不熟睡の睡眠時、および、熟睡の睡眠時の3分類になる。

ここに、不熟睡とは、ノンレム睡眠を、熟睡とは、レム睡眠を現わす。

2-2.パブロフ理論における力学モデル

- (1) 外力と内力がある。
- (2) 作用反作用（相互作用）の法則がある。
- (3) 運動方程式にあたる言語条件反射方程式がある。
- (4) 高次神経活動の新しい原理がある。

2-3.パブロフ理論における数学モデル

1.選択公理

すべての集合から、その要素をひとつ、つつ、採ることができる。

2 一般選択関数

選択公理において、要素を取り出す関数を一般選択関数という。

3.特定選択関数 “*”

特定選択関数 “*” は、ある集合の要素からただ一つの要素を採る関数である。

たとえば、7個の記号からなる集合 $\{0, f, \sim, v, \Pi, (,)\}$ があつて、“0”=1, “f”=3, “ \sim ”=5, “v”=7, “ Π ”=9, “(”=11, “)”=13 を採ることができる。

(注2) ゲーデル「不完全性定理」1931

4.順序数

(1) 対象記号 0 は、順序数である。

(2) 関数記号 $*$ ' は、それに続くものを現わす。

(3) 選択関数 “ $*$ ” は、(1) と (2) より作られるすべての要素から、

ただ一つの要素を採る関数である。

(4) “ 0 ”=1, “ $0'$ ”=2, “ $0''$ ”=3, “ $0'''$ ”=4,..., “ $0^{(17)}$ ”=18

を採ることができる。ただし、最後のものは、' が 17 個あるとする。

(5) 対象記号 0 と、(4) で定義された 18 個と合わせた 19 個を、順序数と定義する。

ここに、順序は、この順序を変えない。

(6) 以上の定義によるもののみが順序数である。

5.添字

記号 n は添字を表す。

添字記号 n は 0, 1, 2, 3,..., 18 のいずれかを現わす順序数変数である。

以上のみが添字である。

6.外力と内力

外力を、記号 $-F$ で表す。

内力を、記号 $+F$ で表す。

外力と内力との均衡を $F + (-F) = 0$ で表す。

(注3) パブロフ「動物の高次神経活動に関する客観的研究の 20 年」
「自然の一部として、動物という生物はどれも一個の複雑な系であって、

その内力は、生物が生物として存在するかぎり、あらゆる一定の瞬間に環境の

外力と均衡を保っている。」

7.集合の要素（第1信号系と第2信号系）

集合の要素 $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18}$ は第1信号系を表す。

すべての第1次信号系を F で表すならば F は集合値と呼ばれる、集合の要素である。

集合の要素 w, b は第2信号系を表す。

集合の要素とは集合でないものをいう。

以上のもののみが集合の要素である。

8.集合の要素と脳の器官との対応関係

第1信号系の集合の要素は、それぞれ、脳の器官名と対応する変数とする。

それらを、次の表に示す。

脳第1信号系			
変数	器官名		
X0	感覚器官		
X1	脳幹・脊髄(上向性経路、知覚系)		
X2	間脳	視床	視床下部
X3	一次聴覚野		
X4	小脳		
X5	海馬	扁桃体	
X6	前脳基底部		
X7	大脳基底核	側坐核	
X8	側頭連合野		
X9	頭頂連合野		
X10	前頭前野(VL)		
X11	前頭前野(DL)		
X12	運動前野		
X13	ウエルニッケ野		
X14	ブローカー野		
X15	高次運動野	前帯状回	
X16	一次運動野		
X17	脳幹・脊髄(下向性経路、運動系)		
X18	運動器官(筋肉)		

第2信号系の集合の要素 w, b は、それぞれ、ウエルニッケ野とブローカー野における脳第2信号系機能と対応する変数とする。それらを、次の表に示す。

脳第2信号系			
変数	機能		
w	概念・心象	メンタルモデル	
b	文脈・全体構成	抽象・能動性	司令塔

9. 集合 (第1信号系と第2信号系およびウエルニッケ野とブローカー野)

第1信号系の集合および第2信号系の集合は空でない。

全体集合 $X = \{F\} = \{X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18}\}$ は第1信号系の集合である。

一点集合 $W = \{w\}$ は、ウエルニッケ野における第2次条件反射の集合である。

一点集合 $B = \{b\}$ は、ブローカー野における第2次条件反射の集合である。

一点集合 $b=\{X_{14}\}$ は、ブローカー野を示す第1信号系の集合である。

全体集合 $L=\{w, b\} = \{w\} \cup \{b\} = W \cup B$ は第2信号系の集合である。

以上の集合のみが、第1信号系の集合 X および第2信号系の集合 L 、
ならびに、

ウエルニッケ野における第2次条件反射の集合 W 、および、
ブローカー野における第2次条件反射の集合 B 、ならびに、
ブローカー野を示す一点集合 $b=\{X_{14}\}$ である。

10.第1次条件反射（第1信号系）の内部ネットワークの線形連立方程式
モデル

脳第1信号系の自己完結構造モデル	
脳第1信号系の応答信号入力システム (未知数=既知数として初期値を与えるシステム)	
0	$X_0 = \omega_0$
脳第1信号系の応答信号伝達システム (未知数18個方程式17個の解けない不完全システム)	
1	$X_1 + \alpha_1 X_0 + \beta_1 X_4 = \omega_1$
2	$X_2 + \alpha_2 X_1 + \beta_2 X_4 + \gamma_2 X_5 + \delta_2 X_7 = \omega_2$
3	$X_3 + \alpha_3 X_2 = \omega_3$
4	$X_4 + \alpha_4 X_1 + \beta_4 X_8 + \gamma_4 X_{10} = \omega_4$
5	$X_5 + \alpha_5 X_2 + \beta_5 X_8 + \gamma_5 X_{10} = \omega_5$
6	$X_6 + \alpha_6 X_7 = \omega_6$
7	$X_7 + \alpha_7 X_8 + \beta_7 X_{10} = \omega_7$
8	$X_8 + \alpha_8 X_3 + \beta_8 X_5 + \gamma_8 X_6 + \delta_8 X_{10} = \omega_8$
9	$X_9 + \alpha_9 X_3 + \beta_9 X_{12} = \omega_9$
10	$X_{10} + \alpha_{10} X_5 + \beta_{10} X_6 + \gamma_{10} X_8 + \delta_{10} X_{11} + \varepsilon_{10} X_{14} = \omega_{10}$
11	$X_{11} + \alpha_{11} X_{10} + \beta_{11} X_{12} = \omega_{11}$
12	$X_{12} + \alpha_{12} X_9 + \beta_{12} X_{10} + \gamma_{12} X_{11} + \delta_{12} X_{14} = \omega_{12}$
13	$X_{13} + \alpha_{13} X_8 + \beta_{13} X_9 + \gamma_{13} X_{14} = \omega_{13}$
14	$X_{14} + \alpha_{14} X_{13} = \omega_{14}$
15	$X_{15} + \alpha_{15} X_{12} = \omega_{15}$
16	$X_{16} + \alpha_{16} X_{15} = \omega_{16}$
17	$X_{17} + \alpha_{17} X_{16} = \omega_{17}$
18	$X_{18} + \alpha_{18} X_{17} = \omega_{18}$

これを脳の第1信号系の自己完結構造モデルとして次にマトリックス表示を示す。

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
0	X ₀	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₀
1	X ₁	α ₁	1	0	0	β ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₁
2	X ₂	0	α ₂	1	0	β ₂	γ ₂	0	δ ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₂
3	X ₃	0	0	α ₃	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₃
4	X ₄	0	α ₄	0	0	1	0	0	0	β ₄	0	γ ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₄
5	X ₅	0	0	α ₅	0	0	1	0	0	β ₅	0	γ ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₅
6	X ₆	0	0	0	0	0	0	1	α ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₆
7	X ₇	0	0	0	0	0	0	0	1	α ₇	0	β ₇	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₇
8	X ₈	0	0	0	α ₈	0	β ₈	γ ₈	0	1	0	δ ₈	0	0	0	0	0	0	0	0	ω ₈
9	X ₉	×	0	0	0	α ₉	0	0	0	0	1	0	0	β ₉	0	0	0	0	0	0	= ω ₉
10	X ₁₀		0	0	0	0	0	α ₁₀	β ₁₀	0	γ ₁₀	0	1	δ ₁₀	0	0	ε ₁₀	0	0	0	ω ₁₀
11	X ₁₁		0	0	0	0	0	0	0	0	0	α ₁₁	1	β ₁₁	0	0	0	0	0	0	ω ₁₁
12	X ₁₂		0	0	0	0	0	0	0	0	α ₁₂	β ₁₂	γ ₁₂	1	0	δ ₁₂	0	0	0	0	ω ₁₂
13	X ₁₃		0	0	0	0	0	0	0	α ₁₃	β ₁₃	0	0	0	1	γ ₁₃	0	0	0	0	ω ₁₃
14	X ₁₄		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	α ₁₄	1	0	0	0	0	ω ₁₄
15	X ₁₅		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	α ₁₅	0	0	1	0	0	0	ω ₁₅
16	X ₁₆		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	α ₁₆	1	0	0	0	ω ₁₆
17	X ₁₇		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	α ₁₇	1	0	0	ω ₁₇
18	X ₁₈		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	α ₁₈	1	0	ω ₁₈

ここに、添字付きの α β γ δ ε は、0 でない係数、添字付きの ω は 0 を許容する

定数とする。この連立方程式は、図から、→を写像（1次関数）とみなし、作成した。

（事例）番号3の方程式 $X_3 + \alpha_3 X_2 = \omega_3$ を例に挙げれば、

この式は次の写像を線形1次式で表したものである。

$$X_2 \rightarrow X_3$$

また、番号1の方程式 $X_1 + \alpha_1 X_0 + \beta_1 X_4 = \omega_1$ を例に挙げれば、

この式は次の写像を線形1次式で表したものである。

$$\left. \begin{matrix} X_0 \\ X_4 \end{matrix} \right\} \rightarrow X_1$$

ただし、図では、X₀とX₄とからのX₁へ至る2本の矢印で表現されている。

この連立方程式の構造を調べよう。

この連立方程式は、2個の部分システムから成り立ち、

- (1) 番号0の入力システムと
- (2) 番号1から18までの伝達システムと

から成り立っている。

もし、環境外力がなかった場合、力学の作用反作用の相互作用の法則から内力もないから、この(1)は成立しない。

よって、この(2)だけで、解が成立するかどうかを見よう。

この(2)は、方程式が18個、未知数が19個であって、解を得るには、方程式が一つ足りない。よって解は成立しない。

ゆえに、この(2)は、不完全なシステムと呼ばれる。

ところが、環境外力があって、力学の作用反作用の相互作用の法則から内力が発生し、

均衡を保つから、第1信号系が作動する。これを、第1次条件反射という。

(注4) パブロフ「動物の高次神経活動に関する客観的研究の20年」

「大脳半球の正常なはたらきの主要な生理学的現象こそ、われわれが条件反射と呼んでいるものである。これは動物の受容器に作用する環境の無数の要因

と生物の一定の作用とのあいだの神経による一時的結合である。」

このとき、この(1)が成立し、したがって、この(2)も成立する。

足りない方程式が、この(1)が加わることによって、方程式が19個、未知数が19個となり、解が得られる。

よって、この(1)+(2)のシステムは、完全なシステムと呼ばれる。

この「完全性」を獲得したモデルを、自己完結構造モデルという。

ゆえに、

第1次条件反射によって、第1信号系は自己完結構造モデルとなる。

(注) 完全、不完全という術語は、ゲーデルに由来し、ある数学システムが完全とは、その数学システムが決定可能と同値であり、ある数学システムが不完全とは、その数学システムが決定不能と同値である。

因みに、

マトリックス表示での解を次に示す。

ここに、 19×19 行列 M の ij 成分を a_{ij} とすれば、 $M=(a_{ij})$ である。

さらに、この行列 M の成分を縦ベクトル P_j とすれば、 $P_1=(a_{i1})$ である。

次に、 $\text{Subst } A \begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix}$ とは A において、 a を b に置き換える関数と定義する。

行列式 $|M|=|a_{ij}|$ において、

$\text{Subst } |M| \begin{pmatrix} \omega \\ P_j \end{pmatrix}$ とは、 j 列目の成分 a_{ij} を ω_i に置き換えた行列式である。

すると、解は次のように記述される。

$$X_i = \frac{\text{Subst } |M| \begin{pmatrix} \omega \\ P_j \end{pmatrix}}{|M|}$$

これは、初期条件 $X_0 = \omega_0$ とすると、この解を得るプロセスが解の存在の証明図である。

11. 関数と逆関数 (作用と反作用)

関数記号 G, B は第1信号系から第2信号系への作用を表す。

逆関数は、関数記号を $*$ とするとき、記号 $*^{-1}$ で表される。

逆関数記号 G^{-1}, B^{-1} は第2信号系から第1信号系への反作用を表す。

関数記号 G はゲシュタルト関数と定義し、 G^{-1} は集合値関数であ

る。

以上のもののみが作用と反作用をしめす関数の記号である。

12.写像（第1信号系から第2信号系への作用）

写像 \mathcal{B} は、一点集合 $\{X_{14}\}$ から一点集合 $B = \{b\}$ への写像である。

これを、 $b = \mathcal{B}(X_{14})$ と書く。

写像 \mathcal{G} は、全体集合 $X = \{F\}$ から一点集合 $W = \{w\}$ への写像である。

これを、 $w = \mathcal{G}(F)$ と書く。

これらの写像は、第1信号系から第2信号系への作用を表す。

13.第1信号系から第2信号系へのゲシュタルト入力作用の定理

ウエルニッケ野への第1信号系のゲシュタルト入力において、

我々は、 $w = \mathcal{G}(F) = \mathcal{G}(X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18})$ より $w = \mathcal{G}(X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18})$

を得る。

ここで、第1信号系 X_i の選択確率を \mathcal{P}_i とし、

$$F = \sum_{i=1}^{18} \mathcal{P}_i X_i$$

とすると、ラグランジュの未定乗数法を使用して

$$\varphi = w - \lambda \left(F - \sum_{i=1}^{18} \mathcal{P}_i X_i \right)$$

ここに、

$$\max\{w\} \rightarrow \frac{\partial w}{\partial X_i} - \lambda \mathcal{P}_i = 0$$

よって

$$\frac{\partial w}{\partial X_i} = \lambda \mathcal{P}_i$$

したがって

$$\frac{\left(\frac{\partial w}{\partial X_i}\right)}{P_i} = \lambda$$

すなわち、次の第1信号系のから第2信号系へのゲシュタルト入力均等法則を得る。

$$\frac{\left(\frac{\partial w}{\partial X_1}\right)}{P_1} = \frac{\left(\frac{\partial w}{\partial X_2}\right)}{P_2} = \dots = \frac{\left(\frac{\partial w}{\partial X_{18}}\right)}{P_{18}}$$

ここで、選択確率 $P_i = 1$ のとき、

ニュートン力学 $F = X_0 + X_1 + X_2 + \dots + X_{18}$ となり

$$\frac{\partial w}{\partial X_1} = \frac{\partial w}{\partial X_2} = \dots = \frac{\partial w}{\partial X_{18}}$$

の第1信号系のから第2信号系へのゲシュタルト入力均等式を得る。

14. 逆写像 (第2信号系から第1信号系への反作用)

逆写像 B^{-1} は、一点集合 $B = \{b\}$ から一点集合 $\{X_{14}\}$ への写像である。

これを、 $X_{14} = B^{-1}(b)$ と書く。

逆写像 G^{-1} は、一点集合 $W = \{w\}$ から全体集合 $X = \{F\}$ への集合値写像である。

これを、 $F = G^{-1}(w)$ と書く。

これらの逆写像は、第2信号系から第1信号系への反作用を表す。

15. 特定選択関数 “ n ” と “ F ”

特定選択関数 “ n ” は、すべての $n(n = 0, 1, 2, \dots, 18)$ から、ただ一つの数を採る。

よって、すべての $n(n = 0, 1, 2, \dots, 18)$ から 14 を選択するならば、“ n ” = 14 と書く。

特定選択関数 “ F ” は、すべての内力要素の中からただ一つの要素

を採る関数である。

よって、“ F ”は、集合の要素 $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18}$ のいずれかに該当する。

これを、“ F ” = X “ n ” (個別任意) とする。

よって、内力 $F = X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18}$ から、 X_{14} を選択するならば、

“ F ” = X “ n ” = X_{14} と書く。したがって、“ F ” = X_{14} と書く。

n が「特定の」順序数なのか、「すべての」順序数の代表なのか、を区別する。

前者は、 $\exists n(n = 0, 1, 2, \dots, 18) \exists Xn : X$ “ n ” = “ F ” (個別任意) および

後者は、 $\forall n(n = 0, 1, 2, \dots, 18) \forall Xn : Xn = F$ (全体任意) と定義する。

ここで、次のようにしてみよう。

$\forall n(n = 0, 1, 2, \dots, 18) \forall Xn : X$ “ n ” = F とすると、

X “ n ” は 1 個であり、 F は全体、すなわち、18 個であるから、1 個 = 18 個となって、

矛盾する。ここに、注意が必要である。

16. 認証関数 $\text{Dig}(a, b)$

認証関数 $\text{Dig}(a, b)$ の定義は次の通り。

$$\begin{cases} a = b & \text{ならば } \text{Dig}(a, b) = 0 \text{ である。} \\ a \neq b & \text{ならば } \text{Dig}(a, b) \text{ は成立しない。} \end{cases}$$

以上によって定義されたもののみが認証関数 $\text{Dig}(a, b)$ の定義である。

ここに、 Dig は digest (認証)、たとえば、パスワードが一致する、の意味である。

17. 川村関数 $K(14)$ およびその variations $K(14)a, K(14)b$

パブロフに倣って、脳機能の数学化モデルを模索しているわれわれは、

器官名を記号化した、図 2 を念頭に、それに適応させるべく人間の型を次の 3 つにタイプに特徴づけして、私案を敢えて提示することを試みる。

川村関数 $K(14)$ の定義

$$\begin{cases} \{K(14)\} = \{2,3,5,8,9,14\} & \text{は芸術家タイプを現わす集合値関数である。} \\ \{K(14)\} = \{13,14\} & \text{は思索家タイプを現わす集合値関数である。} \\ \{K(14)\} = \{10,11,12,14,15,16\} & \text{は行動家タイプを現わす集合値関数である。} \end{cases}$$

次に、川村関数の variations $K(14)a$, $K(14)b$ を示す。

添字の a は、覚醒から睡眠へ至る半覚醒状態を示す催眠時を表す。

添字の b は、ノンレム睡眠時を表し、この状態では夢を見る。

川村関数 $K(14)a$ の定義

$$\begin{cases} \{K(14)a\} = \{2,3,5,8,9,14\}a & \text{は芸術家タイプを現わす半覚醒集合値関数である。} \\ \{K(14)a\} = \{13,14\}a & \text{は思索家タイプを現わす半覚醒集合値関数である。} \\ \{K(14)a\} = \{10,11,12,14,15,16\}a & \text{は行動家タイプを現わす半覚醒集合値関数である。} \end{cases}$$

川村関数 $K(14)b$ の定義

$$\begin{cases} \{K(14)b\} = \{2,3,5,8,9,14\}b & \text{は芸術家タイプの夢を見る集合値関数である。} \\ \{K(14)b\} = \{13,14\}b & \text{は思索家タイプの夢を見る集合値関数である。} \\ \{K(14)b\} = \{10,11,12,14,15,16\}b & \text{は行動家タイプの夢を見る集合値関数である。} \end{cases}$$

以上によって定義されるもののみが川村関数である。

(参考) パブロフは、ここでも人間の神経系を非常に一般的な三つの型に分類してみせた。

すなわち、或る人々は第二信号系よりも第一信号系をよりよく発達（「芸術家型」）させ、他の人々は第一信号系よりも第二信号系をよりよく発達（「思索家型」）させる。また、大部分の人々は、自らが調整者の役割を果しつつ、二つの体系の均衡のとれた相互関係を発達させている。

18. パブロフ関数 $\text{Пав}(14) \stackrel{\text{def}}{=} \text{Пав}("n" = 14)$

パブロフ関数 $\text{Пав}(14)$ の定義は次の通り。

$$(1) \text{Пав}(14) = \square(14) = 14 \quad \text{は覚醒時を現わす。}$$

$$\left(\begin{array}{c} 2 \\ \end{array} \right)$$

$$\text{Пав}(14) = \diamond(14) \equiv K(14)a \quad \text{は催眠時を現わす。}$$

$$\left(\begin{array}{c} 3 \\ \end{array} \right)$$

$$\text{Пав}(14) = \blacklozenge(14) \equiv K(14)b \quad \text{は不熟睡の睡眠時を現わす。}$$

$$\left(\begin{array}{c} 4 \\ \end{array} \right)$$

$$\text{Пав}(14) = \blacksquare(14) \neq "n" \quad \text{は熟睡時を現わす。}$$

ここに、記号 $\square, \diamond, \blacklozenge, \blacksquare$ は、それぞれ、

覚醒、催眠、レム睡眠、ノンレム睡眠を現わす。（夢を見るのは、レム催眠である。）

ちなみに、記号 \square, \blacksquare は、それぞれ、必然性、否定の必然性を表す論理記号で、

記号 \diamond, \blacklozenge は、それぞれ、可能性、否定の可能性を表す論理記号である。

以上によって定義されるもののみがパブロフ関数である。

（注）不熟睡の睡眠はレム睡眠、熟睡はノンレム睡眠である。

（注）記号 $\square, \diamond, \blacklozenge, \blacksquare$ は、4値論理の様相論理の記号とする。

(1) $\square(14)$ は、14 となる必然性がある、だから、14 となる。

(2)

◇(14) は、14 となる可能性がある、だから、14 となるのは不明瞭である。

(3)

◆(14) は、14 とならない可能性がある、だから、14 となるのは不明瞭である。

(4)

■(14) は、“ n ” = 14 とならない必然性がある、だから、14 とならない。

(注) 催眠時である $\text{Пав}(14) = \diamond(14)$ は、多様性があり、
分裂病やその他一定の形の神経症や精神病の客観的分析にひじょうに重要なもの
である。

分裂病のすべての症状——無関心、鈍麻、不動、おどけたこと、の
ような——は、種々の催眠相のどれかのなかに見いだされる。ここからパ
ブロフは結論をひきだす。「前述の分裂病の症状を研究して、わたしは、
それらの症状が慢性的催眠状態をあらわすものであるという結論に到達
した。」しかし、一般的症状が一致するという以上以上の証拠が必要であ
る。

この分野の数学化は今後の研究課題である。

事例 1.6 0 歳女性が、乳歯があるから本当は 1 3 歳の子供なんです。

(今と過去との照合障害) $\text{Пав}(14) = \diamond(14) \cong \text{K}(14)c$

ここに、 $\{\text{K}(14)c\} = \{5, 14\}$ としてよいかもしれない。

19. 照合関数 $\text{Mat}(X_{14}) \stackrel{\text{def}}{=} X_{14} + \text{Dig}(\text{Пав}(14), “n”)$

照合関数 $\text{Mat}(X_{14}) \stackrel{\text{def}}{=} X_{14} + \text{Dig}(\text{Пав}(14), “n”)$ は

① $\text{Пав}(14) = “n”$ ならば $\text{Dig}(\text{Пав}(14), “n”) = 0$ だから

$\text{M}(X_{14}) = X_{14}$ である。

② $\text{Пав}(14) \neq "n"$ ならば $\text{Dig}(\text{Пав}(14), "n")$ は成立しないから、照合されない。

よって、

照合関数 $\text{Mat}(X_{14}) \stackrel{\text{def}}{=} X_{14} + \text{Dig}(\text{Пав}(14), "n")$ の定義は次の通り。

$$\begin{cases} \text{Mat}(X_{14}) = X_{14} & \text{ならば } X_{\text{Пав}(14)} = X_{"n"} = "F" \text{ である。} \\ \text{Mat}(X_{14}) \neq X_{14} & \text{照合されない。} \end{cases}$$

以上によって定義されたもののみが照合関数 $\text{Mat}(X_{14})$ の定義である。

この定義に 12. と 11. の定義を代入するとつぎのように概観できる。

$$(1) \text{ 覚醒時 } \text{Пав}(14) = \square(14) = 14$$

$$\text{Mat}(X_{14}) \stackrel{\text{def}}{=} X_{14} + \text{Dig}(\square(14), "n") = X_{14} \text{ なので}$$

$$\text{Mat}(X_{14}) \stackrel{\text{def}}{=} X_{14} + \text{Dig}(14, "n") = X_{14} \text{ ならば}$$

これは $X_{14} = X_{"n"} = "F"$ である。

ここに、内力 F から照合の結果、 $14 = "n"$ が抽出される。

$$(2) \text{ 催眠時および不熟睡の睡眠時 } \text{Пав}(14) \ni K(14)$$

$$\text{Mat}(X_{14}) \stackrel{\text{def}}{=} X_{14} + \text{Dig}(K(14), "n") = X_{14} \text{ ならば}$$

これは $X_{K(14)} = X_{"n"} = "F"$ である。

ここに、 $K(14)$ が 14 を含む集合値であるので、

(a) $\{ "n" \} = \{2,3,5,8,9,14\}$ のとき、芸術家タイプの照合の不明瞭性をもつ。

(b) $\{ "n" \} = \{13,14\}$ のとき、思索家タイプの照合の不明瞭性をもつ。

(c) $\{ "n" \} = \{10,11,12,14,15,16\}$ のとき、行動家タイプの照合の不明瞭性をもつ。

(3) 熟睡時 $\text{Пав}(14) = \blacksquare(14) \neq "n"$

$\text{Mat}(X_{14}) \stackrel{\text{def}}{=} X_{14} + \text{Dig}(\blacksquare(14), "n") \neq X_{14}$ なので

これは $X_{\text{Пав}(14)} = X_{\blacksquare(14)} \neq X_{"n"} = "F"$ である。

この場合は、照合されない。

20. 照合関数の不動点定理

関数 $f(x)$ が $f(x) = x$ であるとき、 x を不動点という。

(1) 覚醒時、のとき、

照合関数を $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14} + \text{Dig}(\square(14), "n")$ と表すならば、

照合関数を $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14} + \text{Dig}(14, "n")$ と表すので、

$14 = "n"$ ならば

$\text{Mat}(X_{14}) = X_{14}$ である。

ゆえに、 $14 = "n"$ ならば、 X_{14} が不動点であることを示す。

よって、照合関数の不動点定理が成り立つ。

(2) 催眠時、のとき、

照合関数を $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14} + \text{Dig}(\diamond(14), "n")$ と表すならば、

照合関数を $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14} + \text{Dig}(14, "n")$ と表す可能性があるので、

$14 = "n"$ となる可能性があるならば

$\text{Mat}(X_{14}) = X_{14}$ である可能性がある。

ゆえに、 X_{14} が不動点である可能性を示す。

よって、照合関数の不動点定理が成り立つ可能性がある。

(3) 不熟睡の睡眠時、のとき

照合関数を $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14} + \text{Dig}(\blacklozenge(14), "n")$ と表すならば、

照合関数を $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14} + \text{Dig}(14, "n")$ と表さない可能性がある。

これは、不明瞭さにおいて、

照合関数を $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14} + \text{Dig}(14, "n")$ と表す可能性がある、とおなじである。

よって、上記 (2) と同じである。

14 = “n” となる可能性があるならば

$\text{Mat}(X_{14}) = X_{14}$ である可能性がある。

ゆえに、 X_{14} が不動点である可能性を示す。

よって、照合関数の不動点定理が成り立つ可能性がある。

(4) 熟睡時、のとき、

照合関数を $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14} + \text{Dig}(\blacksquare(14), "n")$ と表すので、

これは $\blacksquare(14) \neq "n"$ なので、

$\text{Mat}(X_{14}) \neq X_{14}$ である。

ゆえに、照合関数は不動点を持たない。

よって、照合関数の不動点定理は成り立たない。

21. 自己意識

意識のない状態を、照合機能が全く働かない場合、と定義すれば、

これを $\text{Пав}(14) \neq "n"$ としても同値であり、14.の (3) 熟睡時と同形である。

すなわち、 $\text{Пав}(14) \neq "n" \Leftrightarrow \blacksquare(14) \neq "n"$

よって、上記 19.より $\text{Mat}(X_{14}) \neq X_{14}$ なので、意識のない状態は不動点がない。

しかし、植物人間となっても意識があれば、不動点は存在する。

よって、意識と不動点との関係を考察すると、 $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14}$ であるとき、すなわち、これは不動点であると同時に、照合機能が働いていることを意味する。この照合機能を意識の働きと定義すれば、 $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14}$

であるとは、X14を自分とすれば、自分自身を意識していることになる。この部位 X14 は、ブローカー野であり、この再帰的な関係を自己意識と定義する。

よって、

(1) 自己意識があるのは、覚醒時である。

(2) 漠然とした、不明瞭な自己意識があるのは、催眠時、および、不熟睡の睡眠時

である。後者はレム催眠と呼ばれる。

(3) 自己意識がないのは、熟睡時である。

(注) ここに、自己意識は、不動点と見ることができるので、分析可能である。

しかし、意識そのものは、この *nervism* では分析できない。

22. 脳の不動点は存在するのか？

自己意識は、照合関数の不動点と同値であって、自己意識が、サーカディアンリズムとホメオスタシスによって、存在したり、存在があいまいであったり、不存在であったりした。

ゆえに、

(1) 覚醒時において、脳の不動点が存在する必然性がある。

(2) 催眠時において、脳の不動点が存在する可能性がある。

(3) 不熟睡の睡眠時において、脳の不動点が存在しない可能性がある。

(4) 熟睡時において、脳の不動点が存在しない必然性がある。

という様相を呈している。

23. 照合方程式

照合方程式を $F = \text{Mat}(X_{14})$ とする。

この照合方程式の解は “ F ” = X_{14} である。このとき、19.の不動点定理が成り立つ。

よって、照合方程式が解をもつ必然性があるのは、覚醒時であり、解を持つ可能性があるのは、催眠時および不熟睡の催眠時である。熟睡時は解をもたない。

24.第2次条件反射における第2信号系の線形1次連立方程式

図2および図3の中央にある、ウエルニッケ野 \textcircled{W} とブローカー野 \textcircled{B} について、これらの図では、下記のように描かれている。

$$\textcircled{B} \longleftrightarrow \textcircled{W}$$

この両向き矢印を、 \rightarrow と \leftarrow との合成とみなす。

第1次条件反射によって作用する言語神経系ウエルニッケ野 \textcircled{W} とブローカー野 \textcircled{B} の

応答により、第2次条件反射が第2信号系 w, b に生起したとき、高次神経活動は、まず、12.により、第1信号系から第2信号系への作用を表す2個の写像

$$\begin{cases} b = B(X_{14}) \\ w = G(F) \end{cases}$$

がある。

このとき、 $b \rightarrow w$ から $w + \eta_1 b = C_1$

また、 $w \rightarrow b$ から $b + \eta_2 w = C_2$

を得る。ここに、 η_1, η_2, C_1, C_2 は定数とする。

これを次の連立方程式とする。

$$\begin{cases} w + \eta_1 b = C_1 \\ \eta_2 w + b = C_2 \end{cases}$$

この解は

$$w = \frac{C_1 - C_2 \eta_1}{1 - \eta_1 \eta_2} \text{ および } b = \frac{C_2 - C_1 \eta_2}{1 - \eta_1 \eta_2} \text{ である。}$$

よって、

$$\frac{w}{b} = \frac{C_1 - C_2 \eta_1}{C_2 - C_1 \eta_2} = \frac{1}{m}$$

とおく。よって、 $w = \frac{1}{m} b$

$$\text{したがって、 } G(F) = \frac{1}{m} b = \frac{1}{m} B(X_{14})$$

これらの写像は、第1信号系から第2信号系への作用を表す。

ここで、 $G(F) = \frac{1}{m} b$ から 逆関数をとる。

$y = \frac{m}{n} x$ から $x = \frac{n}{m} y$ とすると、 $y^{-1} = \frac{n}{m} x^{-1}$ と置けるから、

$F = mG^{-1}(b)$ となる。

この式 $F = mG^{-1}(b)$ において、 F は、すべての $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18}$ を表す。

この式 $F = mG^{-1}(b)$ は、言語条件反射方程式である。

この式の右辺にある $G^{-1}(b)$ を、ここで、言語基信号と名付ける。

この方程式により、言語基信号が、第1信号系に反作用する。

25. 高次神経活動の新しい原理

言語条件反射方程式から第2信号出力方程式が導かれるプロセスを示す。

(1) すべての外力に対して、言語条件反射方程式 $F = mG^{-1}(b)$ が存在する。

(2) よって、すべての外力に対して $F = Xn = m(n)G^{-1}(b)$ となる。

(3) 照合方程式 $F = \text{Mat}(X_{14})$ を上記式に代入する。

(4) 照合方程式 $\text{Mat}(X_{14}) = m(n)\mathcal{G}^{-1}(b)$ を得る。

(5) 照合方程式の解は、不動点定理 $X_{14} = \text{Mat}(X_{14})$ の成り立つときである。

(6) よって、 $X_{14} = \text{Mat}(X_{14}) = m(14)\mathcal{G}^{-1}(b)$ を得る。

(7) したがって、第2信号出力方程式 $X_{14} = m(14)\mathcal{G}^{-1}(b)$ を得る。

(8) また、これに $b = \mathcal{B}(X_{14})$ を代入すると $X_{14} = m(14)\mathcal{G}^{-1}(\mathcal{B}(X_{14}))$ となつて、

ブローカー野 X_{14} が自己意識の不動点であることを確認する。

(9) 高次神経活動の新しい原理の方程式は $X_{14} = \text{Mat}(X_{14}) = m(n)\mathcal{G}^{-1}(b) = F$

または $\mathcal{B}^{-1}(b) = X_{14} = \text{Mat}(X_{14}) = m(n)\mathcal{G}^{-1}(b) = F = \mathcal{G}^{-1}(w)$

と記述でき、この方程式の解は $n = 14$ である。これにより、第2信号出力方程式

が導かれる。この式は、第2次条件反射の反作用を示す。

(10) この方程式は、覚醒時に成立する必然性があり、催眠時または不熟睡催眠時

に成立する、または、しない可能性があり、熟睡時には成立しない必然性がある。

(11) 以上が、高次神経活動の新しい原理である。

(注5) パブロフ 1932年ソヴェト科学アカデミーでの要約

「ここには高次神経活動の新しい原理（第1信号系の多数の信号の抽象化—

—そして同時に一般化)をおこない、これの方でもまた新しく一般化された信号の分析と総合をおこなう・・・」

26.集合値の線形代数学

上記 22.の議論は、次に示す集合値の線形代数学をつくることになる。

微分方程式 $\frac{dy}{dx} = -\eta$ の解は 不定積分 $y + \eta x = C$ とするとき、

この C は決定できない。

$n = 0, 1, 2, \dots, 18$ とするとき、 F をすべての $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18}$ とする。

連立方程式 ($n = 0, 1, 2, \dots, 18$ とする。)

$$\begin{cases} \frac{dG(F)}{d\ell} = -\eta_1 & \text{より } G(F) + \eta_1 \ell = C_1 \\ \frac{d\ell}{dG(F)} = -\eta_2 & \text{より } \ell + \eta_2 G(F) = C_2 \end{cases}$$

とすれば、これは集合値の線形代数学である。

上記連立方程式を、次のように線形代数学によって表す。

$$\begin{pmatrix} 1 & \eta_1 \\ \eta_2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} G(F) \\ \ell \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix}$$

ここで

$$V_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ \eta_2 \end{pmatrix}, \quad V_2 = \begin{pmatrix} \eta_1 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad K = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix} \text{ として、 } A = \begin{pmatrix} 1 & \eta_1 \\ \eta_2 & 1 \end{pmatrix} = (V_1 \quad V_2)$$

とおくと

$$|A| = \begin{vmatrix} 1 & \eta_1 \\ \eta_2 & 1 \end{vmatrix} = |V_1 \quad V_2| = 1 - \eta_1 \eta_2 \quad \text{である。}$$

次に、 $\text{Subst } A \begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix}$ とは A において、 a を b に置き換える関数と定義する。

(これも、ゲーデル「不完全性定理」1931 にある関数である。ゲーデルの

原文を示す。

a が論理式、 v が変数、 b が v と同じ型の記号であるとき、

$\text{Subst } a \left(\begin{smallmatrix} v \\ b \end{smallmatrix} \right)$ は、 a のうちの自由に出現する v を、すべて b に置き換えるこ

とによって

a から得られる論理式のことであるとする。²⁰⁾

²⁰⁾ v が自由変数として現れない場合には、 $\text{Subst } a \left(\begin{smallmatrix} v \\ b \end{smallmatrix} \right) = a$ となる。また、

"Subst"は、

超数学の記号であることに注意せよ。))

(注6) ゲーデル「不完全性定理」岩波文庫 p 23-24

$$\text{Subst } |A| \left(\begin{smallmatrix} K \\ V1 \end{smallmatrix} \right) = \begin{vmatrix} c_1 & \eta_1 \\ c_2 & 1 \end{vmatrix} = c_1 - c_2 \eta_1,$$

$$\text{Subst } |A| \left(\begin{smallmatrix} K \\ V2 \end{smallmatrix} \right) = \begin{vmatrix} 1 & c_1 \\ \eta_2 & c_2 \end{vmatrix} = c_2 - c_1 \eta_2$$

よって、

$$\mathcal{G}(F) = \frac{\text{Subst } |A| \left(\begin{smallmatrix} K \\ V1 \end{smallmatrix} \right) = \begin{vmatrix} c_1 & \eta_1 \\ c_2 & 1 \end{vmatrix} = c_1 - c_2 \eta_1}{|A| = \begin{vmatrix} 1 & \eta_1 \\ \eta_2 & 1 \end{vmatrix} = 1 - \eta_1 \eta_2}, \quad \mathcal{L} = \frac{\text{Subst } |A| \left(\begin{smallmatrix} K \\ V2 \end{smallmatrix} \right) = \begin{vmatrix} 1 & c_1 \\ \eta_2 & c_2 \end{vmatrix} = c_2 - c_1 \eta_2}{|A| = \begin{vmatrix} 1 & \eta_1 \\ \eta_2 & 1 \end{vmatrix} = 1 - \eta_1 \eta_2}$$

となる。よって、

$$\frac{\text{Subst } |A| \left(\begin{smallmatrix} K \\ V1 \end{smallmatrix} \right)}{\mathcal{G}(F)} = |A| = \frac{\text{Subst } |A| \left(\begin{smallmatrix} K \\ V2 \end{smallmatrix} \right)}{\mathcal{L}}$$

となるから、

$$\mathcal{G}(F) = \frac{\text{Subst } |A| \left(\begin{smallmatrix} K \\ V1 \end{smallmatrix} \right)}{\text{Subst } |A| \left(\begin{smallmatrix} K \\ V2 \end{smallmatrix} \right)} \mathcal{L}$$

したがって、

$$g(F) = \frac{C_1 - C_2 \eta_1}{C_2 - C_1 \eta_2} \ell$$

を得る。 $y = \frac{m}{n}x$ から $x = \frac{n}{m}y$ とすると、 $y^{-1} = \frac{n}{m}x^{-1}$ と置けるから、
一般に、

$$F = \left(\frac{C_2 - C_1 \eta_2}{C_1 - C_2 \eta_1} \right) g^{-1}(\ell)$$

と記述されるであろう。

ここに、 $\left(\frac{C_2 - C_1 \eta_2}{C_1 - C_2 \eta_1} \right)$ を m と書けば、 $F = m g^{-1}(\ell)$ となる。

この式 $F = m g^{-1}(\ell)$ において、 F は、すべての $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{18}$ を表す。

この式 $F = m g^{-1}(\ell)$ は、言語条件反射方程式である。

この式の右辺にある $g^{-1}(\ell)$ を、22.で、言語基信号と名付けられた。

第3章

何故、 $g^{-1}(\ell)$ は言語基信号と名付けられたのか？

第2信号系の言語基信号 $g^{-1}(\ell)$ が、社会の共同生活のなかで、どのように発動するのであるか？

生活のために、意思を伝えあつて（コミュニケーション）、生殖行動、狩猟、農耕（つまり協同労働）をする中で、その必要（性）から **gesture, sign, signal** を構成する **primitive** な、そして次第に **elaborate** な、抽象された高次の信号形態（**form**）としての言語が（社会生活を営む中から）できて（生まれて）きたのではないか？

ここに、一つの事例を研究しよう。

第2信号 ℓ が言語「嫁選び」 Y と特定されている場合、我々は「嫁選

び」の言語基信号 $g^{-1}(Y)$ を、議論する。

日本のノーベル文学賞受賞者、川端康成の代表作「雪國」(注3)では、鈴木牧之の「北越雪譜」にあるような小千谷縮は、「縮の出来榮え」が「嫁選び」にもなった、ことが出くる。

「縮には織子の名と所とを書いた紙札をつけて、その出来榮えを一番二番といふ風に品定めした。嫁選びにもなった。」(注7) 川端康成「雪國」新潮文庫 PP141,142

織子の名と所とを書いた紙札をつけた n 個の縮の「出来榮え」を Xn とする。

(「出来榮え」は実数直線の順序で現す。)

娘の品定め、または、「嫁選び」を Y とする。

(娘の品定め、または、「嫁選び」は実数直線の順序で現す。)

この雪國共同体のゲシュタルト関数を $G(Xn)$ で表す。

脳の第2信号系の構造モデルにおいて、 θ を Y に置き換えて、共同体社会の認知モデルとする。

$$\begin{cases} G(Xn) + \eta_1 Y = \kappa_{1n} \dots \textcircled{1} \\ Y + \eta_2 G(Xn) = \kappa_{2n} \dots \textcircled{2} \end{cases}$$

この①式は $Y \rightarrow G(Xn)$ を表すから、娘の立場を現わし、娘の気持ちは、縮の「出来榮え」がより悪くても、より良い嫁選びをしてほしい、ということを示す。

この②式は $G(Xn) \rightarrow Y$ を表すから、男の立場を現わし、より良い「嫁選び」は、縮のより良い「出来榮え」を品定めしよう、ということを示す。

この連立方程式は、第2章 2-3.の 23.および 25.のように、

すべての n について、 $Xn = m(n)g^{-1}(Y)$ を得る。

よって、左辺（縮の「出来栄え」）は、右辺（「雪國」共同体社会「嫁選び」の言語基信号 $g^{-1}(Y)$ の実数倍（実数直線の選好順序）となる。

ゆえに、この共同体では、縮の「出来栄え」が「嫁選び」の言語基信号の表現形態である。

第4章

我々は、進化論的視点に基づき、パブロフの力学モデルにおける第1章の図3および図4のパブロフ概念について、高次脳機能を支える意識の問題を論ずる。

4-1.意識の第一段階、第0信号系、無条件反射について

1. 生命を支えている「低い」段階にある“意識”で、脊髓・脳幹（さらには間脳まで）が新陳代謝を営んでいるという、無条件反射（パブロフ）レベルの話である。「意識下」という用語を用いる人もいる。

2. 脳髄内には脳幹網様体が存在し、Moruzzi と Magoun (1949) の脳幹網様体賦活説

（網様体→視床非特殊核→新皮質）、セロトニンが減ると覚醒、増えると睡眠という

Jouvet (1972)のモノアミン仮説などがある。あるいは視床網様系

(thalamic reticular system ; Jasper ら Montreal 学派)といわれる組織構造

が認められる。

3. この構造内にはアミン、ペプチド、コリンを生産する神経細胞集団があり、そこから

軸索繊維を縦横に網状に伸ばしている。

4. 脳幹の前方部は間脳といわれる領域で、背側部の視床と、内分泌系・自律神経系の

中心的な部位にあたる腹側部の視床下部と、に大別される。

5. 視床は、間脳の大部を占め、外界および内部環境からの刺激/興奮を大脳皮質に伝える。

特殊核と非特殊核がある。

視覚・聴覚・体性感覚など特定の感覚の伝達経路の中継核が前者、視床網様核、

正中核群、髄板内核群などが後者に相当する。

6. 視床下部は前脳とともに覚醒・睡眠を司る中心部位であるが、そのほかに、摂食中枢、性機能、生体リズム、体温調節、エネルギー・水分代謝に関わり、本能行動や感情表出にも関与する。

7. 視床には賦活系投射（activating system）のほかに、大脳基底核と小脳からの大きな

入力がある。大脳皮質からの投射もある。

他に背外側被蓋核（LDT）、脚橋被蓋核（PPN）や前脳基底野からのアセチルコリン系の入力もある。

8. 以上が、「生きている、息をしている」レベルの、動物の生命活動の根源に関わる

生物学的神経基盤となる意識の第一段階の構造である。

4-2. 意識の第二段階、第1信号系、あるいは、第2信号系の端緒について

1. サルからヒトへと進化する過程で、樹上生活から地上四足歩行を可能にした下肢(脚)と、移動(locomotion)の用具から解放された自由上肢(手/前足)を用いることによって、労働の器官として道具を使用し得るようになった。
2. 直立歩行に伴い、発声器官が形態変化(咽頭と舌骨の位置が下降し、鼻腔と喉頭が分離され)を起こし、母音のみを連続的に発声するチンパンジーの段階から子音発声機構を発達させたヒトは、労働の発達の結果、互いに協力するという機会をふやし、集団生活の中でコミュニケーションに必要な音節に分かれた言語、すなわち、言葉を獲得するに至った。そして、これらの新しい環境下で、大脳皮質領域が活性化され、興奮域と抑制域が動的に変動し、高度の構築をもった皮質に大きく発展した。
3. パブロフの条件反射は、脊椎動物のレベルで出現した。この意識の第二段階ではパブロフ条件反射の第1信号系(感覚信号系)に留まっているか、あるいは、第2信号系(言語信号系)の初めの段階である。つまり、感覚性言語野が後連合野内に発達する途上の段階である。
4. この意識の第二段階の形態は、「感覚器官を通して知覚できる」、つまり“状況がわかる”という程度に達している。
5. 脳内基盤としては、視床・新皮質(および大脳基底核)回路が関与し(詳細はⅡ参照)、一次知覚野と後連合野で主たる機能が発揮されて外界からの情報が健全な覚醒下で処理される。

4-3.意識の第三段階、第2信号系、自己意識の出現について

1. この意識の第三段階の特徴は、「自己意識」と呼ばれるものの出現である。

Jackson 理論に従えば、「精神・心・意識は神経系進化の最高段階（を含む階層構造）」であり、パブロフの条件反射の第二信号系に相当する。

2. サルがヒトとなる条件下で、すなわち、直立歩行、道具の使用、共同労働、言語の使用などが進むに従って、運動性言語野を含む前頭前野が著しく発達する。

3. この 4-3.の段階まで進んだ「意識」の内容は、脊椎動物→哺乳類→霊長類→ヒトへと進化するにつれて、漸次連続的に高等化する。

①認知機能が高まり、その概念化/抽象化が可能となる、

②運動性言語野が前連合野（前頭前野）内に発達し、社会集団生活を営む中で、サルがヒト化する過程で、条件反射第二信号系が獲得される。

③外界または他者中心 *altro-centric* の捉え方から自己中心 *ego-centric* の認識へ（おそらく頭頂葉⇔前頭葉の連合回路が関わる）、そして全体的・相対的事象の捉え方が可能となる。

④脳の発達・進化に伴い、海馬→後連合野（&帯状回）→前頭前野へと認知・記憶の面での主要な活動中心が変容する。

⑤前頭前野の発達と、後連合野⇔前頭前野の相互的連絡、

⑥大脳皮質を中心とする皮質内および皮質・基底核・視床・皮質を包摂して循環する、神経回路の機能的役割が飛躍的に増大する。

⑦ここで初めて、ヒトにおける自己意識および自他（意識）識別について考察し得る。

4. （「**照合機能**」、「**自他意識**」、「**随伴発射**」およびそれらの障害など、

最近の研究結果を

考察し、別に（# 6 項目）（~~第 5 章に~~）記述した~~する~~）。Cf. 参照せよ。

5. すなわち、コミュニティー内での共同の作業と言語活動による交流を通じて、

「ヒト特有の群れ」の特性である社会性がその歴史的進化の蓄積の中で醸成される。

第 5 章

「照合機能」、「自他意識」、「随伴発射」およびそれらの障害など、最近の研究結果を考察する。

5-1. 「照合機能」

1. 照合（matching）機能とは、原理的には、環境から今入って来る知覚情報と自分が今までに経験して所有している認知情報とを脳内で照らし合わせて処理し、
その異同（ $\text{Mat}(*) = *$ or $\text{Mat}(*) \neq *$ ）を判別する機能を言う。第 2 章 2-3. の 18. 照合関数で言えば、 $\text{Mat}(X_{14}) = X_{14}$ または $\text{Mat}(X_{14}) \neq X_{14}$ である。
2. 低い機能レベル（条件反射第一信号系）では、イヌ、ネコにも備わっている同一または異種知覚間の照合の段階から、漠然としたイメージや想起記憶の照合までである。
3. 形象などの一次信号を抽象的な符合としての高次信号処理のレベルに変換し認識することのできる言語信号系がヒトにおいては発達している。いわゆる、信号の信号化である（条件反射第二信号系）。

4. すなわち、その情報処理は思考面（論理的構想を検討できる）にも及ぶ。
5. さらに、能動的に行動するときに、先ず考えて、計画を立てて、そしてそれを実行する。このとき前頭葉の高次運動系が働く。
6. このように、照合機能は動物が高等になるほど、脳の形態と機能を反映して、複雑化し、高度に発達を遂げることになる。
7. 一般に、照合関数が、 $\text{Mat}(*)$ であるとき、

(1) 認知面： これから外界から入って来る知覚情報Aと、自分が現にもっている

蓄積されている認知情報Bと、を比較し、イメージ (in $\mathbf{B-W}$) する。

このとき、 $\text{Mat}(A) = B$ または $\text{Mat}(A) \neq B$ である。

(2) 記憶面： 再度Bを認知すること。想起すること。(in 後連合野-W)

このとき、 $\text{Mat}(B) = B$ または $\text{Mat}(B) \neq B$ である。

(3) 思考面： 論理的に整合性を持って構想Pを練り、事物を検討すること。(in $\mathbf{B-W}$)

このとき、 $\text{Mat}(P_{n+1}) = P_n$ または $\text{Mat}(P_{n+1}) \neq P_n$ である。

(4) 行動面： 行動“T”を企図し、準備し、順序を考え、遂行Tする(意思・能動性)。

そして、それをチェック(訂正)Cする。(in 前頭前野-高次運動野)

このとき、 $\text{Mat}(T) = \text{“T”}$ または $\text{Mat}(T) \neq \text{“T”}$

そして、 $\text{Mat}(T) = C$ または $\text{Mat}(T) \neq C$ である。

8. 以上のように、系統発生的には、大脳皮質連合野の発達とともに「照合の概念」は拡大する。
9. 照合には階層性すなわち階層構造が認められる。
- (1) 低次の Matching : 感覚・知覚・認知のレベル 第一感覚野→後連合野→W・・・。
- (2) 高次の Matching : 思考および言語系・自己意識・自他区別・社会性・・・。
10. 照合機能は、不動点が存在する。このとき、 $\text{Mat}(X14) = X14$ がその例である。
11. 照合により自己意識が発生すると、共同作業・労働を通じて、社会性が形成され自他意識の高等化がなされる。これにより脳の発達は、自→他→合（否定の否定）止揚（Aufheben）の運動を生む。

5-2. 「自他意識」

1. 自他意識に関するキーワードは、自己意識、再帰的意識、ワーキングメモリ、実行機能、言語、社会コミュニケーションおよび行動、思考の抽象性を含む。
2. 自己を他者から区別（識別）して、自己を独立なものとして確立する認知機構は自己意識/自他識別と呼ばれる。これは、意識の最高次レベルであり、高等な霊長類となるにつれて、とくにヒトにおいて発達することのできるレベルである。
3. 自己意識：自己意識は、島、PFC（前頭前皮質）、前帯状皮質で、その役割を担う。
4. 他者意識：非自己意識は、下頭頂小葉ブロードマン7野で、その役割を担う。
5. 前田貴記らの実験（注8）によれば、次の知見を得る。

- (1) 統合失調症患者の運動性主体感覚の異常性：意思行為のときの運動司令と感覚入力の時間的因果関係の前後超帰属性

(引用文献) *Aberrant sense of agency in patients with schizophrenia : Forward and backward over-attribution of temporal causality during intentional action* (Maeda et al, 2012) この研究で、前田らは、運動性主体行為の帰属の実験課題を工夫して、自分の身体運動保持感覚を乱すことなく、内的行為と外的事象との間の時間的因果関係の顕示的体験を評価した。それぞれの試行では、ひとつの四角い試験片が、コンピュータスクリーンの底部に現れ、上方に移動する。ブザーが鳴ったら、キーを押すように被験者らは指示される。このキーが押されると、この試験片が時間的因果関係と真の因果関係とが異なるように、すなわち、時間的に様々なバイアスをかけて急なジャンプ状の動きをするように、跳び上がる。被験者らは、それぞれの試行に対して、運動の主体作用であるかどうかを判断するように指示される。このような条件のときこの物体が、自分の意志が働いて動いたと実感するか (self 感覚、an intentional action)、それとも他の力が働いて動かされたと感じるか (non-self 感覚 an external event) を確かめる実験をする。すなわち、物を動かした行為者 sense of agency が自分であるか、それとも他者であるかを判断してもらうという、一見シンプルに設定された研究 (agency judgment) である。

- (2) こうした統合失調症患者における乱した自己は、運動性主体感覚の異常性の観点から説明研究されてきている。))
- (3) ここに、脳画像解析法によって、self 感覚は島皮質領域 (insula) が、他方、non-self 感覚は下頭頂葉皮質 (inferior parietal) が関与していることが示唆された。

6. この問題は II で詳述される。この I では、上記のように簡潔に説明した。

(Insula) 島皮質と (Inferior parietal) 下頭頂葉皮質の脳内位置を

図 3、図 4 に表示した。

7. なお、関連事項として、

- ① ミラー・ニューロン系 Mirror neuron system, F5-7BA
- ② 頭頂葉の機能
- ③ 時間・空間情報
- ④ 精神疾患と自我障害

については II で後述することにする。

参照：(ミラー・ニューロン系, F5-7BA) および重要な楔前部（けつぜんぶ、Precuneus この部位が、自己/非自己に対する「情報の集積」または「監視」の役割を担っている可能性がある。）

8. 統合失調症における自我障害は、能動的な運動の自他判断の欠如ないし喪失として説明されよう。

.....

Section 6 運動： 随意運動、自動運動、能動性、大脳、 大脳基底核、小脳

5-4.大脳皮質→大脳基底核→視床→大脳皮質の再帰的サーキット

我々は、この再帰的サーキット問題の解決において随伴発射を考察するであろ
う。

この大事な問題は、別稿で考察するであろう。

.....

以下に

参考資料 6a Cortex—Basal ganglia—Thalamus

として

I. Motor system loop (pink, yellow)、II. Association system Loop (blue)、III. Limbic system loop (green) についての概略を記述しておくこととする。(Figures の重複あり)

基底核と大脳皮質との間の並列的神経回路。大別して、①運動系、②連合系、③辺縁系のループがある。(川村、2007a 改変; Alexander ら, 1986、参照)

Circuit loop : Cortex → Striatum → thalamus → Cortex
大脳皮質－基底核－視床－大脳皮質のループ

I. 運動系ループ

1) 運動感覚系ループ

知覚運動野→被殻→淡蒼球外節/内節→ VLo →運動野

2) 固有補足運動野(SMA-proper) 系ループ

SMA-proper →被殻→ GPe/GPi の中間部→ VLo 内側部→ SMA-proper

3) 前補足運動野(pre-SMA) 系ループ

pre-SMA →尾状核(CN) の外側部→ GPe/Gpi の中間部→ VApc の外側部→ pre-SMA

4) 運動前野(PM) 系ループ

PM → CN の外側部→ GPe/GPi の背内側部→ VApc の内側部→ PM

5) 眼球運動系ループ

前頭眼野/補足前野眼野→ CN の中央部→黒質網様部→ VAmc,MDpl →前頭眼野/補足前野眼

野

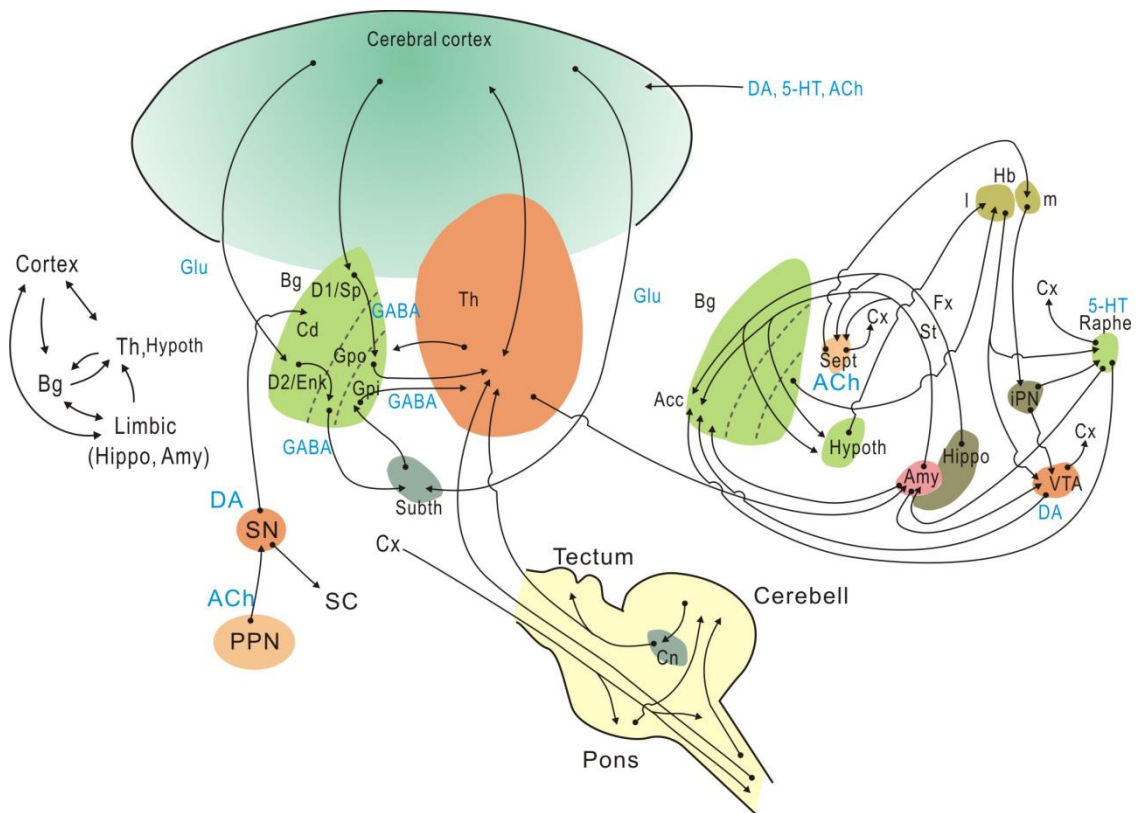
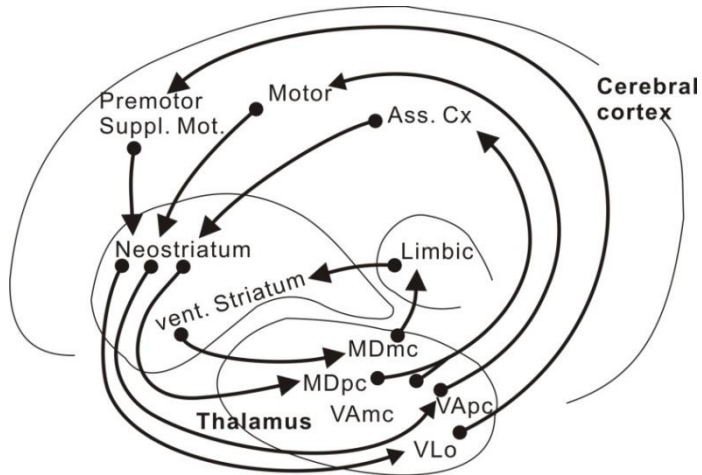
II. 連合系ループ

前頭連合野/頭頂連合野→ CN の大部分と被殻の前部→ SNr および GPe/GPi → MDpc と一部

VAmc →連合野

III. 辺縁系ループ

辺縁皮質・扁桃体・海馬→腹側線条体→腹側淡蒼球→ MDmc 内側部→辺縁皮質



主な略号：

DA: Dopamine、5-HT: Serotonin、Ach: Acetylcholine、Glu: グルタミン酸、

GABA: ギャバ、Acc:側坐核、Amy: 扁桃体、Bg: 大脳基底核、Cx: 大脳皮質、

Hippo: 海馬、Hypoth: 視床下部、PPN: 脚橋被蓋核、Raphé: 縫線核、SC: 上丘、Sept: 中隔核、SN: 黒質、Subth: 視床下核、Th: 視床、VTA: 腹側被蓋野

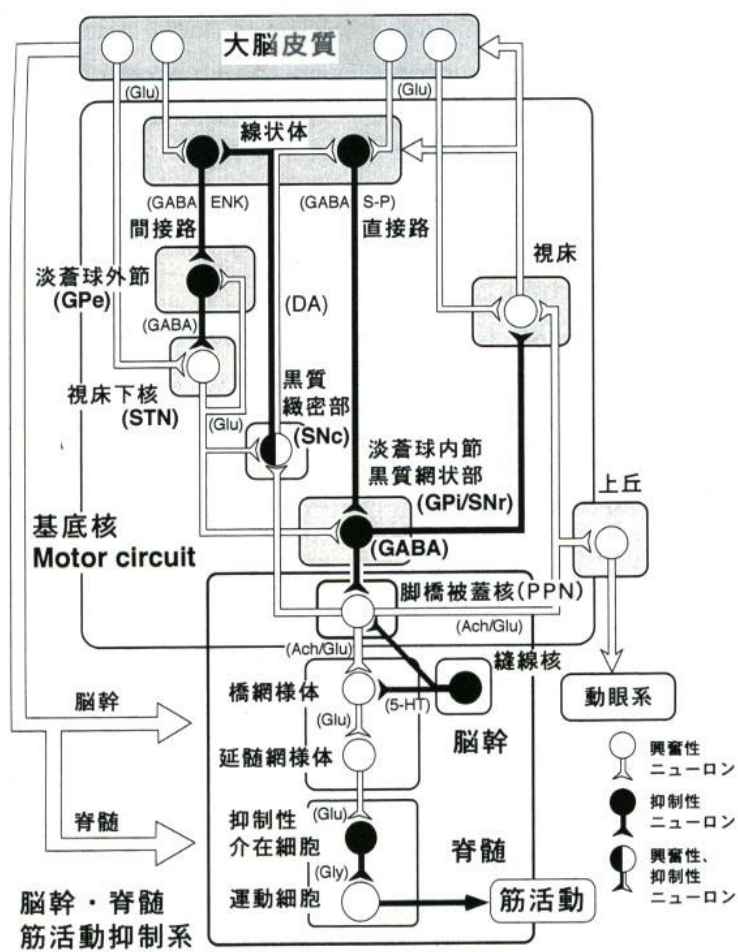
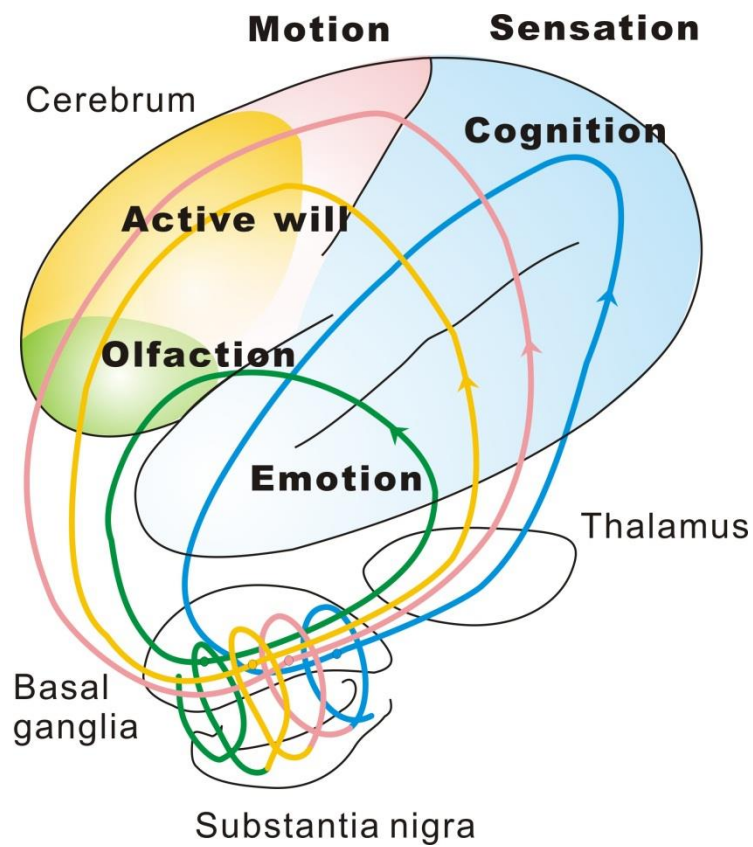


図6 基底核の Motor circuit と筋活動の制御に関する仮説モデル

詳細は本文参照。Glu；グルタミン酸，GABA；ガンマアミノ酪酸，ENK；エンケファリン，S-P；サブスタンス-P，DA；ドーパミン，5-HT；セロトニン，Gly；グリシン。



I. Motor system loop (pink, yellow)

II. Association system Loop (blue)

III. Limbic system loop (green)

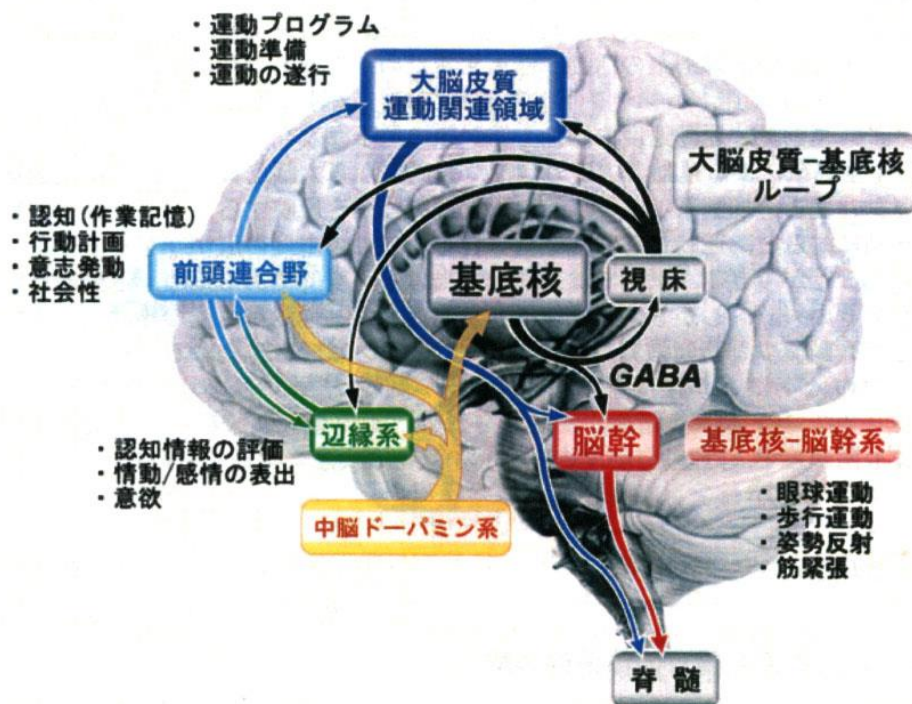


図10. 基底核機能のまとめ. 詳細は本文参照.

1) Alexander, G.E., DeLong, M.R., and Strick, P.L.
Parallel organization of functionally segregated circuits linking basal ganglia and cortex, *Annu. Rev. Neurosci.* 9(1986) 357-381.

12) Hikosaka, O., Nakahara, H., Rand M.K., Sakai, K., Lu, X., Nakamura, K., Miyachi, S., and Doya, K.

Parallel neural networks for learning sequential procedures, *Trends Neurosci.* 10 (1999) 464-471.

23) Miyachi, S., Hikosaka, O., Miyashita, K., Karadi, Z., and Rand, M.K.

Differential roles of monkey striatum in learning of sequential hand movement, *Exp. Brain Res.* 115 (1997) 1-5.

24) 中村加枝

大脳皮質-基底核関連と情報統合-手続き記憶と閉回路システムによる
‘Executive function’、 *Brain Medical* 13 (2001) 343-352.

.....

conclusion

That may be to say that we have an equilibrium point in our brain.

このとき 4次元空間（ヒルベルト空間の4次元）で考えれば、4個の次元から2個の次元を取り出して、

x軸とy軸とすれば、 $y = f(x)$ とかけます。

（これを $m \langle y | = n | x \rangle$ とディラック量子力学のブラベクトルとケットベクトルで書いた方程式にただけです。）

4個が a b c d なら、図で一回りするので、 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$ と写像が4個あります。

.....

- 1) は、具体的にFが内積かどうか不明であるが、エルゴード定理が成り立つような写像（mapping）を仮定すると、Fが内積（inner product）であるかどうかを仮定することとの因果関係は、特でない。

$$G1 - F1 - G2 \quad ; G2 - F2 - G3 \quad ; G3 - F3 - G1$$

x : emotion/olfaction

y : cognition

z : motion

w : active will

.....

波動関数(wave function ?) ; 無限次元空間(infinite space dimension)を

考える。量子力学 (quantum mechanics)、超関数 (distribution and hyperfunction)、Heaviside 関数 (Heaviside function)

$$\text{Bra Vector} \quad \langle f | = e^{-ix} = \cos x - i \sin x$$

$$\text{Ket Vector} \quad | f \rangle = e^{ix} = \cos x + i \sin x$$

内積をとると $\langle f | f \rangle \equiv \langle f, f \rangle = \cos^2 x - i^2 \sin^2 x = \cos^2 x + \sin^2 x = 1$ (実数 \mathbb{R} となる)

In case $\neq 0$ だと、直交系 (orthogonal) となる。Hilbert space として内積が使える。直交で表せる。Banach sp. では内積がない。

.....

大脳基底核のはたらき—古くて新しい視点

以上の考察からも明らかなように、大脳基底核は、大脳新皮質、大脳辺縁系、中脳ドーパミン系との密接な結びつきから考えて、認知、運動 (能動的活動)、意欲、情動などの「精神機能」を統合する上で重要な位置を占めるにもかかわらず、なお未開拓の研究分野である。大脳基底核の背側部は黒質線条体 (A9) 系の主な標的部位として感覚運動機能に関係し、他方、腹側部は中脳辺縁ドーパミン (A10) 系の主な標的部位として海馬や扁桃核、さらに視床下部と共に辺縁系の中核を成していると以前からみなされてきた。

なお、線条体入力軸索終末には少なくとも大脳皮質由来のグルタミン酸作動性(その受容体はNMDAタイプで、樹状突起棘/スパインの頭部にある)のものと黒質由来のドーパミン作動性(その受容体はD1, D2 グループで、樹状突起棘/スパインの頸部にある)のものがある。これらの入力を受けてGABA 作動性の抑制性投射ニューロンが視床ニューロンおよび大脳基底核あるいは前脳内側基底部の細胞群(マイネルト基底核 nucleus basalis of Meynert、ブローカの対角帯 diagonal band of Broca、無名質 substantia innominataなど)内のコリン作動性ニューロンに神経終末を与えている。そして、これらの視床ニューロンおよび大脳基底核ニューロンは、ともに広く大脳皮質に興奮性の出力を与えており、フィードバック的に大脳皮質の働きを制御している。

さらに一言すると、抗精神病薬(クロルプロマジンやハロペリドール)の作用点(伝達物質の受容体)や疾患モデル動物を用いた薬物作用機序の研究の結果も考慮されて、統合失調症における情動処理障害仮説—視床フィルター機能不全仮説(thalamic filter hypothesis)—がカールソンらによって提唱されて久しい[Carlsson and Carlsson, 1988]。この仮説には、現在の神経科学の進歩の上に立って再検討されるべき点も多いが、大脳皮質—大脳基底核—視床—大脳皮質という「再帰性」神経回路(網)のなかで情報統合処理が障害されるとして、16年も前に統合失調症障害を見据えた点は注目に値する。

現在われわれは、大脳基底核をめぐる回路網をベースにした機能形態学や認知パターン形成についての優れた総説 [たとえば、Parent and Hazrati, 1995a,b ; Graybiel, 1997; Mink, 1999; Hikosaka et al., 1999, 2000] に接することができる。これに関連する注目すべき最近の知見としては、大脳(新)皮質から直接投射をうける尾状核と被殻(同質の構造体で両者はまとめて新線条体と呼ばれる)から入力をうける淡蒼球(外節と内節とに区分される)からは、視床の運動核(VA/VL)へ投射がある他に髄板内核群や視床網様核(両者とも新線条体にフィードバック様に投射して閉回路を作っている)にも投射がなされている点であろう。とくにこの視床網様核は上行性網様体賦活系(ascending reticular activating system, Moruzzi and Magoun,

1949)の間脳における中継核に相当し、視床から大脳皮質に広汎な覚醒刺激が送られる際に抑制過程として関与すると言われている [Masson et al., 2002]。

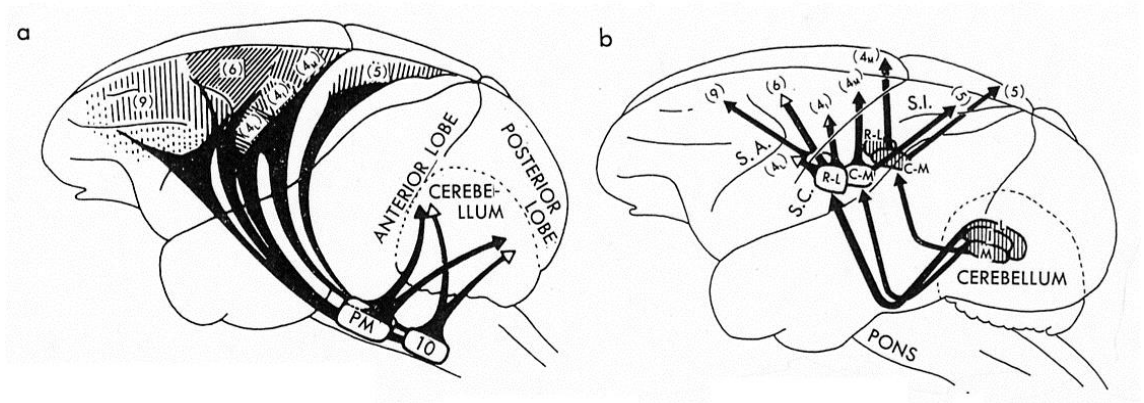
大脳基底核の機能をより簡明に解釈すれば、以下のようなだろう。すなわち、運動系においても、知覚系においても、さらには認識・情動系においても、体外および体内からの刺激による過剰で不適切な入力を阻止し、コントロールして適正な覚醒状態を保ち、新皮質とくに能動性機能の場である前頭葉を活性化させることによって、霊長類とくにヒトが日々の行動、生活において注意を集中することに大きく関与するものと思われる。この情報入力に対する抑制機能ないしフィルター機能が傷害されると、雑多な情報を適切に選択することができなくなり、過剰な感覚刺激を処理できず、その結果として能動機能が低下し、思路は乱れて、奇妙な思考形態をとることにもなる。今後、統合失調症の病態の解析を目指す、新たな視点を据えた研究が望まれる。

oooooooooooooooooooooooooooo

小脳

参考資料 24 小脳関連事象

大脳・小脳 ループ 自動性 運動と思考



The cerebellum as organs of movement and thought

連合野の構成および大脳・小脳間の相互作用および関連事項

大脳皮質連合野は、動物が高等化に伴って発達する。領域的にも拡大し、皮質全体に占める割合も増大する。大脳皮質の感覚野、高次運動野、連合野を含む広範囲の領域から、橋核および下オリーブ核を經由して、各々苔状線維および登上線維が小脳皮質の広い領域に投射が行なわれている。その苔状線維投射 **4, 5, 17** および登上線維投射 **3, 9, 10, 16** の局在関係（図4、図5）も調べられている。視床核を介する小脳皮質から大脳皮質への投射にも局在性が認められる。この小脳・大脳関連ループに関しては、小

脳半球外側部は大脳皮質の運動野外側部、運動前野および前頭前野との間に、他方、小脳中間部は大脳皮質の全運動野（とくにその中間部）との間に相互連絡が存在することが **Sasaki 28)** によって明らかにされた。

小脳は運動の調節・制御に関与するのみならず、認知・思考を含む言語機能、ひいては広く「精神」機能の制御活動にも関わっていることが注目されている。『小脳は **mental skill** に貢献しているか?』と題する論文を 20 年前に発表した **Leiner ら 21)** は、ヒト歯状核外側部の障害症例において、行動を計画し、それを観念として実行するような予測能力が著しく低下していることを観察した。最近では、**MRI, PET, rBF**（局所脳血流）などを使用して言語やイメージを含む認知機構に、小脳半球、とくに後葉の外側部や歯状核が関与していることが証明されている。

The cerebellum revisited

Cerebro-cerebellar communication loop

Control-system modeling

Feedback control

Forward model

モデル予測制御 Model Predictive Control (MPC)

前向き制御 feed-forward reduction of motor variability (運動分散)

Feed-forward space-code associative learning of the cerebellum (Fujita)

.....

Ito^{13,14,15} は、大脳のフィードバック制御の働き、すなわち、「前向き制御」に転換する「予測制御」（工学用語を借用して）の働きを、小脳はもっていることを明らかにし、思考と運動の類似性に注目した。運動の場合には運動前野、補足運動野そして一次運動野を働かせて身体を動かすが、対して思考の場合には言語連合野を働かせて観念や概念を作り、思考過程を前向きに自動化する働きがあると推定した。伊藤は「思考は脳内にあるモデル化された概念を動かすことである」という意味の心理学用語を用いて「思考モデル」と呼び、小脳において提示された運動制御系を大脳のモデル思考制御系に適用（対応）させて提案した。

すなわち、大脳皮質内でブローカ野を含む前連合野が、認知思考の要素の貯蔵庫であるウェルニッケ野を含む後連合野内に存在する思考モデルに繰り返し働きかけた結果として、ヒトが大脳皮質内活動として思考、すなわちさまざまに考えることをくり返すうちに、小脳と大脳皮質との間を両方向性に密接に結ぶ結合 **2,28**）を使って小脳内にそのシミュレートされた思考モデルが形成されてしまえば、何度か、既に経験された思考に関して、改めて大脳皮質内活動をすることなく自動的に思考が進むことになるとした。「思考モデル」は以下の順序で進行する。すなわち、①前頭前野が後連合野内の思考モデルに働きかける。②この思考モデルの動特性をシミュレートするモデルを小脳内に作る。③前頭前野はこの小脳内思考モデルに働く。この過程を繰り返し続けることにより、半ば自動的に思考することが可能になり、思考モデルの逆モデルが小脳内にできれば、無意識に思考過程が進行するようになる（図6）。

4個が $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$ なら、図で一回りするので、 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$ と写像が4個あります。

.....

- 2) は、具体的に F が内積かどうか不明であるが、エルゴード定理が成り立つような写像 (mapping) を仮定すると、 F が内積 (inner product) であるかどうかを仮定することとの因果関係は、特にならない。

$$G_1 - F_1 - G_2 \quad ; \quad G_2 - F_2 - G_3 \quad ; \quad G_3 - F_3 - G_1$$

x : emotion/olfaction

y : cognition

z : motion

w : active will

.....

波動関数(wave function ?) ; 無限次元空間(infinite space dimension)を考える。量子力学 (quantum mechanics)、超関数 (distribution and hyperfunction)、Heaviside 関数(Heaviside function)

$$\text{Bra Vector} \quad \langle f | = e^{-ix} = \cos x - i \sin x$$

$$\text{Ket Vector} \quad | f \rangle = e^{ix} = \cos x + i \sin x$$

内積をとると $\langle f | f \rangle \equiv \langle f, f \rangle = \cos^2 x - i^2 \sin^2 x = \cos^2 x + \sin^2 x = 1$ (実数 \mathbb{R} となる)

In case $\neq 0$ だと、直交系(orthogonal)となる。Hilbert space として内積が使える。直交で表せる。Banach sp. では内積がない。

5-4. 大脳皮質→大脳基底核→視床→大脳皮質の再帰的サーキット

我々は、この再帰的サーキット問題の解決において随伴発射を考察するであらう。

この大事な問題は、別稿で考察するであらう。

.....

以下に

参考資料 6a Cortex—Basal ganglia—Thalamus

として

I. Motor system loop (pink, yellow)、II. Association system Loop (blue)、III. Limbic system loop (green) についての概略を記述しておくこととする。(Figures の重複あり)

A diagram showing basic relation between the cerebral cortex, thalamus and cerebrum --

I. Motor system loop

1) Sensory-motor loop

sensorimotor area → putamen → external(e) and inner(i) segments of globus pallidus(GP) → VLo → motor cortex

2) SMA-proper loop

supplementary motor area (proper) → putamen → medial part of GPe/GPi → medial part of VLo → SMA-proper

3) pre-SMA loop

pre- Supplementary motor area → lateral part of caudate nucleus → middle part of GPe/Gpi → lateral part of VApc → pre-SMA

4) PM loop

premotor → lateral part of CN → dorsomedial part of GPe/GPi → medial part of VApc → PM

5) Eye movement loop

Frontal eye field / supplementary frontal eye field → central part of CN → pars reticularis of s, nigra → VAmc, MDpl → frontal eye field

II. Association system loop

Frontal and parietal association cortical areas → large parts of CN and anterior part of putamen → substantia nigra and GPe/GPi → MDpc and part of VAmc → association areas

III. Limbic system loop

Limbic cortex/amygdala • hippocampus → ventral striatum → ventral

pallidum → medial part of MDmc → limbic cortex

基底核と大脳皮質との間の並列的神経回路。大別して、①運動系、②連合系、③辺縁系のループがある。(川村、2007a 改変; Alexander ら, 1986、参照)

Circuit loop : Cortex → Striatum → thalamus → Cortex

大脳皮質－基底核－視床－大脳皮質のループ

I. 運動系ループ

1) 運動感覚系ループ

知覚運動野 → 被殻 → 淡蒼球外節/内節 → VLo → 運動野

2) 固有補足運動野(SMA-proper) 系ループ

SMA-proper → 被殻 → GPe/GPi の中間部 → VLo 内側部 → SMA-proper

3) 前補足運動野(pre-SMA) 系ループ

pre-SMA → 尾状核(CN) の外側部 → GPe/GPi の中間部 → VApc の外側部 → pre-SMA

4) 運動前野(PM) 系ループ

PM → CN の外側部 → GPe/GPi の背内側部 → VApc の内側部 → PM

5) 眼球運動系ループ

前頭眼野/補足前野眼野 → CN の中央部 → 黒質網様部 → VAmc, MDpl → 前頭眼野/補足前野眼

野

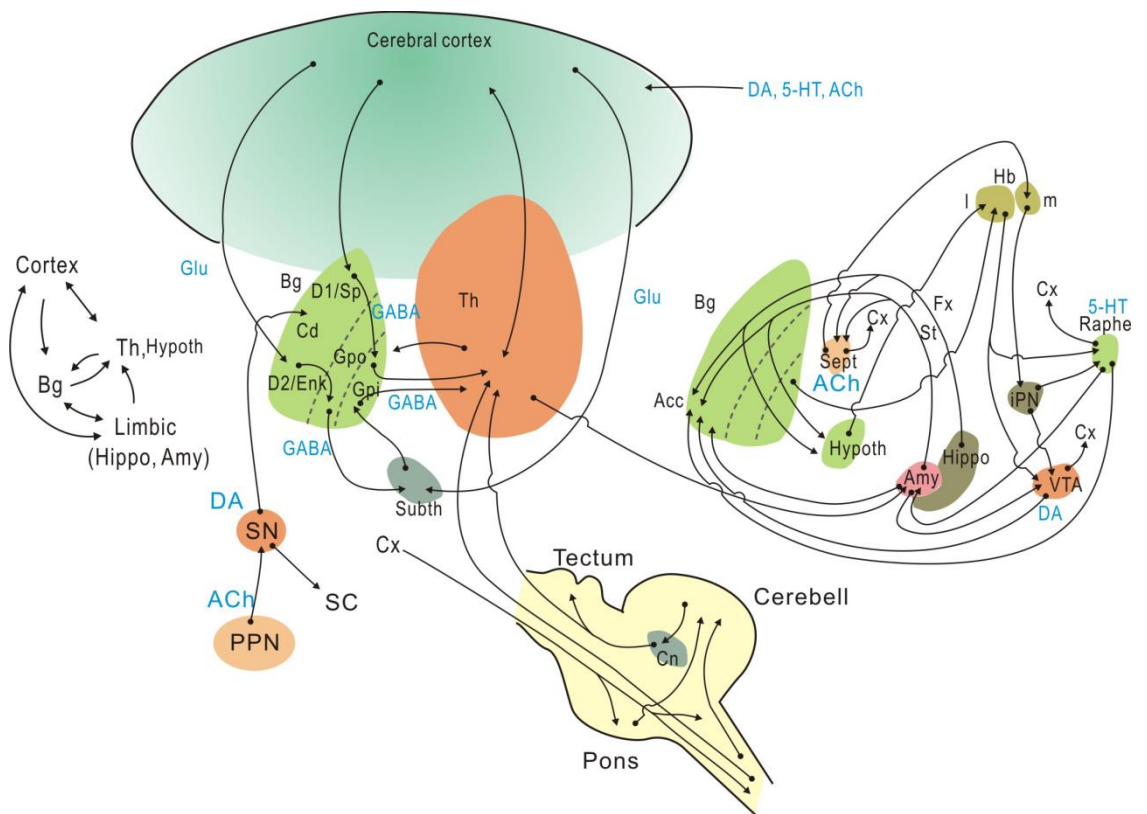
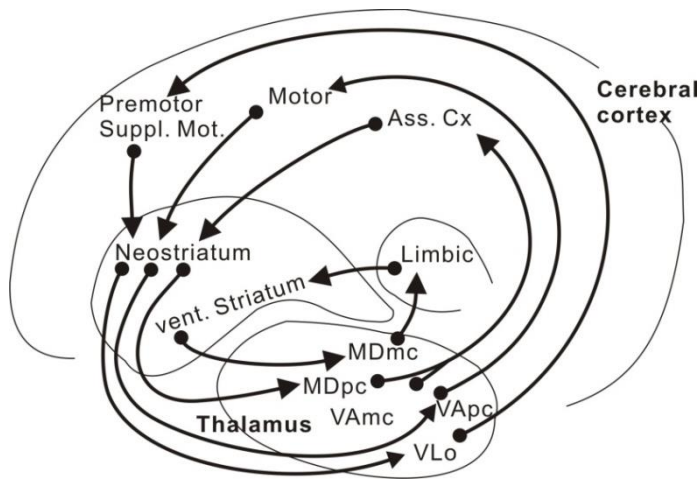
II. 連合系ループ

前頭連合野/頭頂連合野 → CN の大部分と被殻の前部 → SNr および GPe/GPi → MDpc と一部

VAmc → 連合野

III. 辺縁系ループ

辺縁皮質・扁桃体・海馬→腹側線条体→腹側淡蒼球→ MDmc 内側部→辺縁皮質



主な略号：

DA: Dopamine、5-HT: Serotonin、Ach: Acetylcholine、Glu: グルタミン酸、

GABA: ギャバ、Acc:側坐核、Amy: 扁桃体、Bg: 大脳基底核、Cx: 大脳皮質、

Hippo: 海馬、Hypoth: 視床下部、PPN: 脚橋被蓋核、Raphé: 縫線核、SC: 上丘、Sept: 中隔核、SN: 黒質、Subth: 視床下核、Th: 視床、VTA: 腹側被蓋野

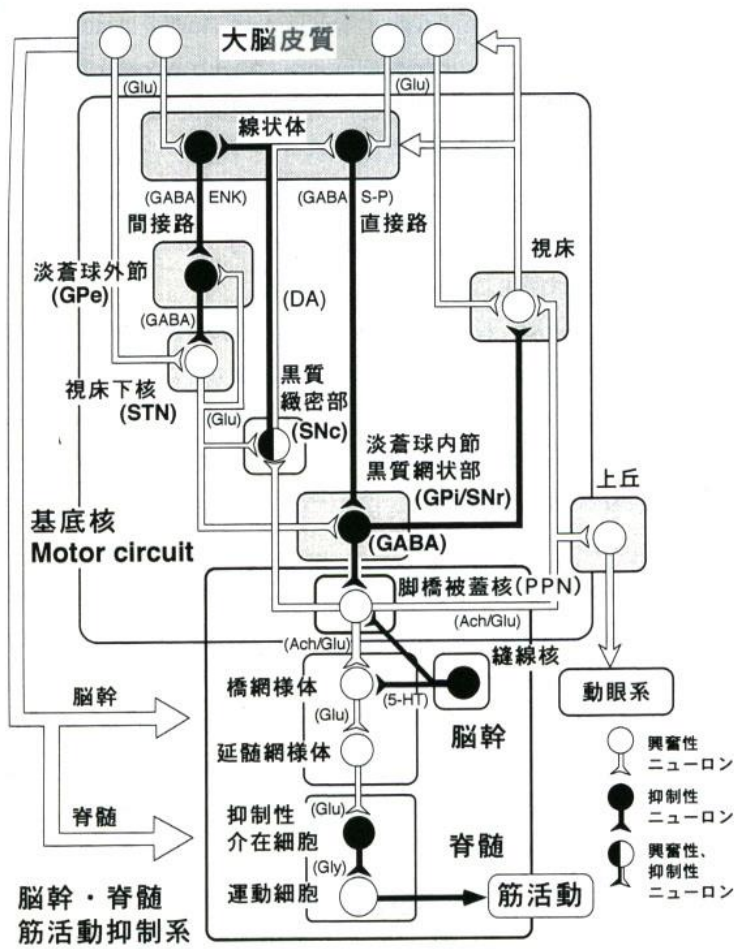
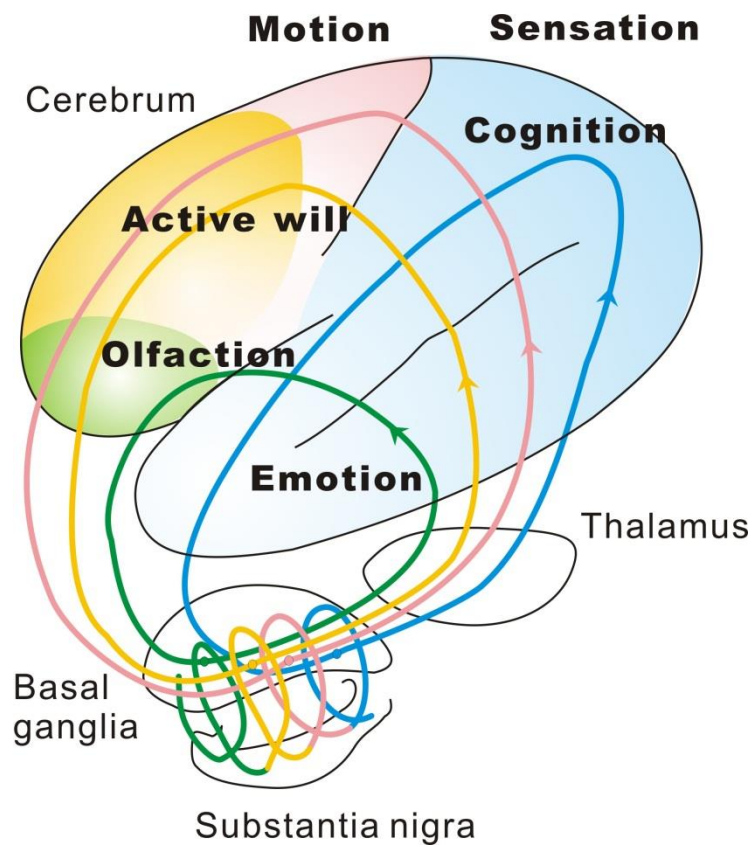


図6 基底核の Motor circuit と筋活動の制御に関する仮説モデル

詳細は本文参照。Glu；グルタミン酸，GABA；ガンマアミノ酪酸，ENK；エンケファリン，S-P；サブスタンス-P，DA；ドーパミン，5-HT；セロトニン，Gly；グリシン。



I. Motor system loop (pink, yellow)

II. Association system Loop (blue)

III. Limbic system loop (green)

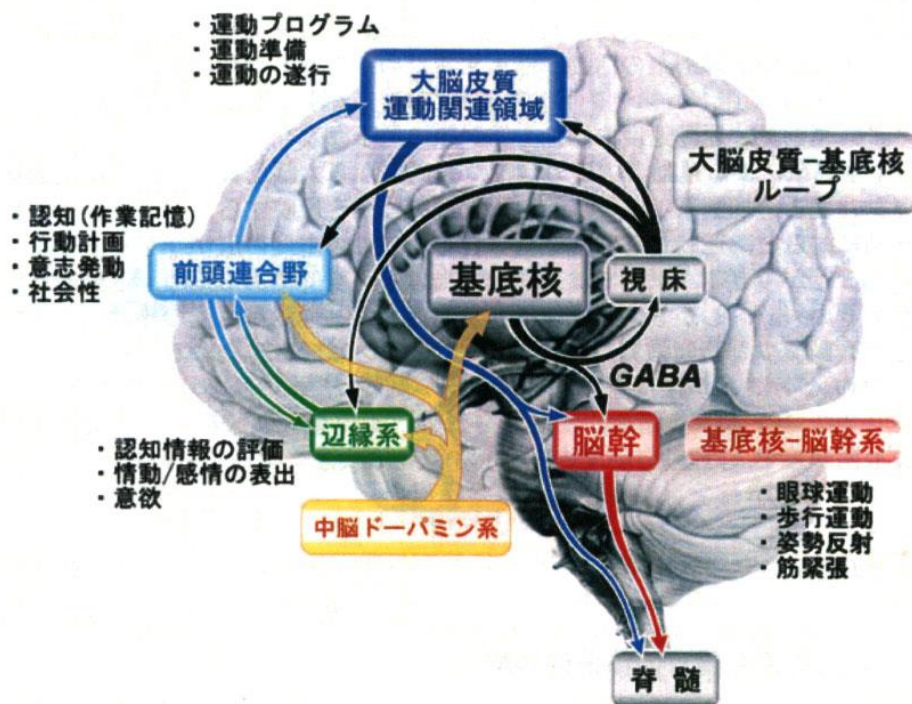


図10. 基底核機能のまとめ. 詳細は本文参照.

1) Alexander, G.E., DeLong, M.R., and Strick, P.L.
Parallel organization of functionally segregated circuits linking basal ganglia and cortex, *Annu. Rev. Neurosci.* 9(1986) 357-381.

12) Hikosaka, O., Nakahara, H., Rand M.K., Sakai, K., Lu, X., Nakamura, K., Miyachi, S., and Doya, K.

Parallel neural networks for learning sequential procedures, *Trends Neurosci.* 10 (1999) 464-471.

23) Miyachi, S., Hikosaka, O., Miyashita, K., Karadi, Z., and Rand, M.K.

Differential roles of monkey striatum in learning of sequential hand movement, *Exp. Brain Res.* 115 (1997) 1-5.

24) 中村加枝

大脳皮質-基底核関連と情報統合-手続き記憶と閉回路システムによる
‘Executive function’、 *Brain Medical* 13 (2001) 343-352.

.....

上と図版の重複があるが、数学的モデルを下に挿入する

参考資料 15 Model of the functional brain・・・川村サーキット Circuit (坂出記)

We are going to arrange the followings. 100719

A round trip model

cerebral cortex(G_1), basal ganglia(G_2), thalamus(G_3) を回る neural circuit の図、

091211 付け

We define $F(x)=x$ as fixed point.

Let F be $(F_4 F_3 F_2 F_1)$, and then we can think of the following equation $F_4(F_3(F_2(F_1(x))))=x$ as $F(x)=x$.

Suppose the 4 dimensions in Hilbert space, and we will be able to illustrate a 2 axis in order to draw x and y axis that makes $y = f(x)$ or, $m \langle y | = n | x \rangle$ that may make a sense of $\langle y | x \rangle = 0$ used by Bra and Ket Vectors in Dirak's Quantum mechanics.

A remark will be made that we do not know if F shall constitute an inner product, but an assumption such that the mappings satisfy

Baillon's nonlinear ergodic theorem by which we shall try to apply later on is one thing and the assumption such that the mappings attribute with inner products is another.

There are 4 vectors: **a**, **b**, **c** and **d** such that responded 4 mappings :

a→**b**→**c**→**d**→**a** come to composing a round trip

A three circuit model

We denote three circuits G1, G2 and G3 by cerebral cortex, basal ganglia and thalamic nuclei, respectively, and x, y, z and w by emotion/olfaction, cognition, motion, active will, respectively as well such that

G1 = (x1, y1, z1, w1) cerebral cortex,

G2 = (x2, y2, z2, w2) basal ganglia

G3 = (x3, y3, z3, w3) thalamic nuclei.

Thus, we can show the following image such that

G1—F1—G2

G2—F2—G3

G3—F3—G1.

Presentation of Bra and Ket vector by Dirak's quantum mechanics

We can show the following equations concerning the three circuit model using the bra and ket vector such that

$$F1 = F3 (F2 (F1)) = \langle G1, G2 \rangle = x1x2 + y1y2 + z1z2 + w1w2$$

$$F2 = F1 (F3 (F2)) = \langle G2, G3 \rangle = x2x3 + y2y3 + z2z3 + w2w3$$

$$F3 = F2 (F1 (F3)) = \langle G3, G1 \rangle = x3x1 + y3y1 + z3z1 + w3w1$$

$$\langle G1, G2 \rangle + \langle G2, G3 \rangle + \langle G3, G1 \rangle = 0.$$

If you take Bra Vector for $\langle f | = e^{-ix} = \cos x - i \sin x$ and Ket vector for $| f \rangle = e^{ix} = \cos x + i \sin x$, you can easily get the inner product such that $\langle f | f \rangle \equiv \langle f, f \rangle = \cos^2 x - i^2 \sin^2 x = \cos^2 x + \sin^2 x = 1$ that is a real number.

A remark is made that $\langle \alpha | \beta \rangle$ is different from $| \beta \rangle \langle \alpha |$ by applying greater than 1 dimension (reference is made to **REF1** in the next page).

We can say the case with the inner product being 0 as orthogonal that is why we take up Hilbert space.

The illustrations are shown like these.

$$\circ \langle \alpha | \beta \rangle = ac + bd$$

$$\circ \begin{matrix} | \beta \rangle \langle \alpha | \\ (a,b) \end{matrix} = \begin{matrix} c \left[\begin{matrix} \\ \\ \end{matrix} \right] \\ d \end{matrix} = \begin{matrix} ca \left[\begin{matrix} \\ \\ \end{matrix} \right] \\ da \quad db \end{matrix}$$



The later two illustrations that are made by Dr. Kawamura shall be applied with mathematical models.

An analogy of the circular formula of reproduction in Marx's "Das Capital" for the three circuit model will conduct to **Baillon's Non-linear Ergodic theorem**.

The Marx's formula $G - W - G$ would be of interest.

Substitute W for F and we have in a round trip way such that

$$G_1 - F_1 - G_2$$

$$G_2 - F_2 - G_3$$

$$G_3 - F_3 - G_1.$$

That is like Dr. Kawamura's illustrations. That is amazing.

$$F_1 + F_2 + F_3 = 0 \dots \textcircled{1}$$

implies Marx's turn over $G - G$ with $\triangle G = 0$ (no profit) .

$$F_1 + F_2 + F_3 \neq 0 \dots \textcircled{2}$$

implies Marx's turn over $G - G$ with $\triangle G \neq 0$ (some profit) .

In case with $\textcircled{1}$ $F_1 + F_2 + F_3 = 0$, let the average (mean) of G_1, G_2 and G_3 , then the index number shall be recursive with each three-time numbers. Thus, we have

$$M_3 = 1/3 (G_1 + G_2 + G_3) = 1/3 (G_1 + F_1 G_1 + F_2 F_1 G_1)$$

$$M_6 = 1/6 (G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6)$$

$$= 1/6 (G_1 + G_2 + G_3 + G_1 + G_2 + G_3)$$

$$= 1/3 (G_1 + G_2 + G_3) = M_3.$$

Therefore, we have $M_{3n} = M_3$ where there is a fixed point concerning $3n$, however G_n does not converge to G when n is infinity owing to a round trip concerning G_n .

In case with $\textcircled{2}$ $F_1 + F_2 + F_3 \neq 0$, suppose F be $F_1 = F_2 = F_3 = T$, then we have $F_2 F_1 = T^2$ that make the above case applied by **Baillon's Non-linear Ergodic theorem** with taking x for G according to $G_1 = G$, $G_2 = T G$, $G_3 = T^2 G$, $G_4 = T^3 G$ (that is a

turn-over of G_1). That is why we have

$$M_n G = 1/n (G + T G + T^2 G + \dots)$$

That is seems to us as $M_n X = 1/n (x + T x + T^2 x + \dots + T^{n-1} x) \in C$

that has weak convergence deducted by the theorem and that has fixed point set of mapping T (namely F). The mapping shall be a non-expansive one of a non-empty closed convex subset C into itself of Hilbert space.

The theorem is apparently shown in Wataru Takahashi's textbook, where we substitute M for S , such as

$$M_n X = 1/n (x + T x + T^2 x + \dots + T^{n-1} x) \in C$$

$n \rightarrow \infty$, $M_n X = 1/n \sum_{k=0}^{n-1} T^k x$ weakly convergent, \dots

when

$T \rightarrow F$,

$$M_n G = 1/n (G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n) \quad +++ = x$$

$$= 1/n (G_1 + F_1 G_1 + F_2 G_2 + F_3 G_3 + \dots + F_{n-1} G_{n-1}),$$

$$\because F_2 G_2 = F_2 F_1 G_1 = F_1^2 G_1, \quad F_3 G_3 = F_3 F_2 F_1 G_1 = F_1^3 G_1, \quad \dots$$

$$= G_1 / n (1 + F_1 + F_1^2 + F_1^3 + \dots + F_1^{n-1}) \in C.$$

$$M_n G = 1/n \sum_{k=0}^{n-1} G F^k x, \quad (k=0 \sim n-1) \quad \text{or}$$

$$= G/n \sum_{k=0}^{n-1} F^k x, \quad (k=0 \sim n-1)$$

convergent weakly and have a fixed point.

conclusion

That may be to say that we have an equilibrium point in our

brain.

このとき 4次元空間（ヒルベルト空間の4次元）で考えれば、4個の次元から2個の次元を取り出して、

x軸とy軸とすれば、 $y = f(x)$ とかけます。

（これを $m \langle y | = n | x \rangle$ とディラック量子力学のブラベクトルとケットベクトルで書いた方程式にただけです。）

4個が a b c d なら、図で一回りするので、 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$ と写像が4個あります。

.....

- 3) は、具体的にFが内積かどうか不明であるが、エルゴード定理が成り立つような写像（mapping）を仮定すると、Fが内積（inner product）であるかどうかを仮定することとの因果関係は、特にない。

$G1 - F1 - G2$; $G2 - F2 - G3$; $G3 - F3 - G1$

x : emotion/olfaction

y : cognition

z : motion

w : active will

.....

波動関数(wave function ?) ; 無限次元空間(infinite space dimension)を考える。量子力学(quantum mechanics)、超関数(distribution and hyperfunction)、Heaviside 関数(Heaviside function)

Bra Vector $\langle f | = e^{-ix} = \cos x - i \sin x$

Ket Vector $|f\rangle = e^{ix} = \cos x + i \sin x$

内積をとると $\langle f | f \rangle \equiv \langle f, f \rangle = \cos^2 x - i^2 \sin^2 x = \cos^2 x + \sin^2 x = 1$ (実数 \mathbb{R} となる)

In case $\langle f | g \rangle = 0$ だと、直交系(orthogonal)となる。Hilbert space として内積が使える。直交で表せる。Banach sp.では内積がない。

.....

大脳基底核のはたらき—古くて新しい視点

以上の考察からも明らかなように、大脳基底核は、大脳新皮質、大脳辺縁系、中脳ドーパミン系との密接な結びつきから考えて、認知、運動(能動的活動)、意欲、情動などの「精神機能」を統合する上で重要な位置を占めるにもかかわらず、なお未開拓の研究分野である。大脳基底核の背側部は黒質線条体(A9)系の主な標的部位として感覚運動機能に関係し、他方、腹側部は中脳辺縁ドーパミン(A10)系の主な標的部位として海馬や扁桃体、さらに視床下部と共に辺縁系の中核を成していると以前からみなされてきた。

なお、線条体入力軸索終末には少なくとも大脳皮質由来のグルタミン酸作動性(その受容体はNMDAタイプで、樹状突起棘/スパインの頭部にある)のものと黒質由来のドーパミン作動性(その受容体はD1, D2 グループで、樹状突起棘/スパインの頸部にある)のものがある。

これらの入力を受けてGABA 作動性の抑制性投射ニューロンが視床ニューロンおよび大脳基底核あるいは前脳内側基底部の細胞群(マイネルト基底核 nucleus basalis of Meynert、ブローカの対角帯 diagonal band of Broca、無名質 substantia innominataなど)内のコリン作動性ニューロンに神経終末を与えている。そして、これらの視床ニューロンおよび大脳基底核ニューロンは、ともに広く大脳皮質に興奮性の出力を与えており、フィードバック的に大脳皮質の働きを制御している。

さらに一言すると、抗精神病薬(クロルプロマジンやハロペリドール)の作用点(伝達物質の受容体)や疾患モデル動物を用いた薬物作用機序の研究の結果も考慮されて、統合失調症における情動処理障害仮説—視床フィルター機能不全仮説(thalamic filter hypothesis)—がカールソンらによって提唱されて久しい[Carlsson and Carlsson, 1988]。この仮説には、現在の神経科学の進歩の上に立って再検討されるべき点も多いが、大脳皮質—大脳基底核—視床—大脳皮質という「再帰性」神経回路(網)のなかで情報統合処理が障害されるとして、16年も前に統合失調症障害を見据えた点は注目に値する。

現在われわれは、大脳基底核をめぐる回路網をベースにした機能形態学や認知パターン形成についての優れた総説 [たとえば、Parent and Hazrati, 1995a,b ; Graybiel, 1997; Mink, 1999; Hikosaka et al., 1999, 2000] に接することができる。これに関連する注目すべき最近の知見としては、大脳(新)皮質から直接投射をうける尾状核と被殻(同質の構造体で両者はまとめて新線条体と呼ばれる)から入力を受ける淡蒼球(外節と内節とに区分される)からは、視床の運動核(VA/VL)へ投射がある他に髄板内核群や視床網様核(両者とも新線条体にフィードバック様に投射して閉回路を作っている)にも投射がなされている点であろう。とくにこの視床網様核は上行性網様体賦活系(ascending reticular activating system, Moruzzi and Magoun, 1949)の間脳における中継核に相当し、視床から大脳皮質に広汎な覚醒刺激が送られる際に抑制過程として関与すると言われている [Masson et al., 2002]。

大脳基底核の機能をより簡明に解釈すれば、以下のようなだろう。すなわち、運動系に

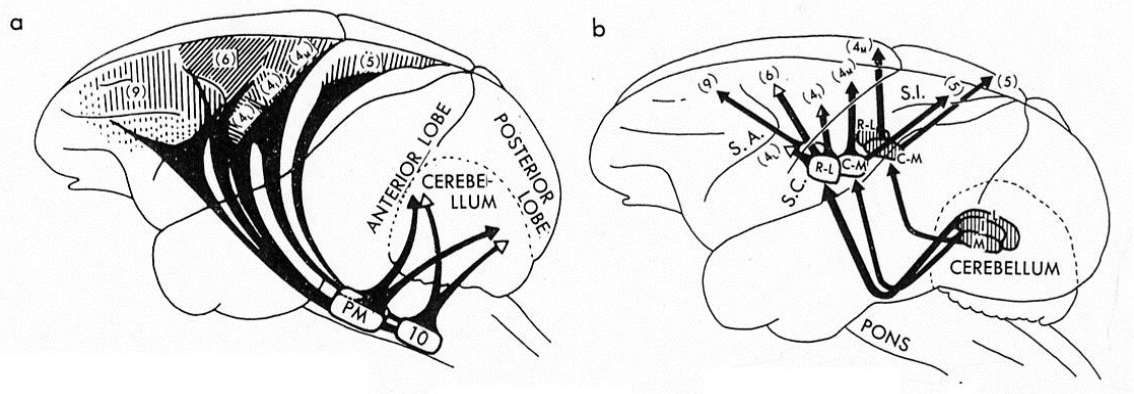
においても、知覚系においても、さらには認識・情動系においても、体外および体内からの刺激による過剰で不適切な入力を阻止し、コントロールして適正な覚醒状態を保ち、新皮質とくに能動性機能の場である前頭葉を活性化させることによって、霊長類とくにヒトが日々の行動、生活において注意を集中することに大きく関与するものと思われる。この情報入力に対する抑制機能ないしフィルター機能が傷害されると、雑多な情報を適切に選択することができなくなり、過剰な感覚刺激を処理できず、その結果として能動機能が低下し、思路は乱れて、奇妙な思考形態をとることにもなる。今後、統合失調症の病態の解析を目指す、新たな視点を据えた研究が望まれる。

oooooooooooooooooooooooooooo

小脳

参考資料 24 小脳関連事象

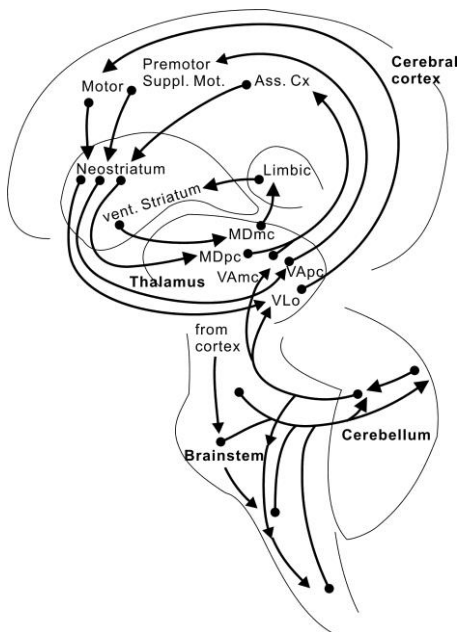
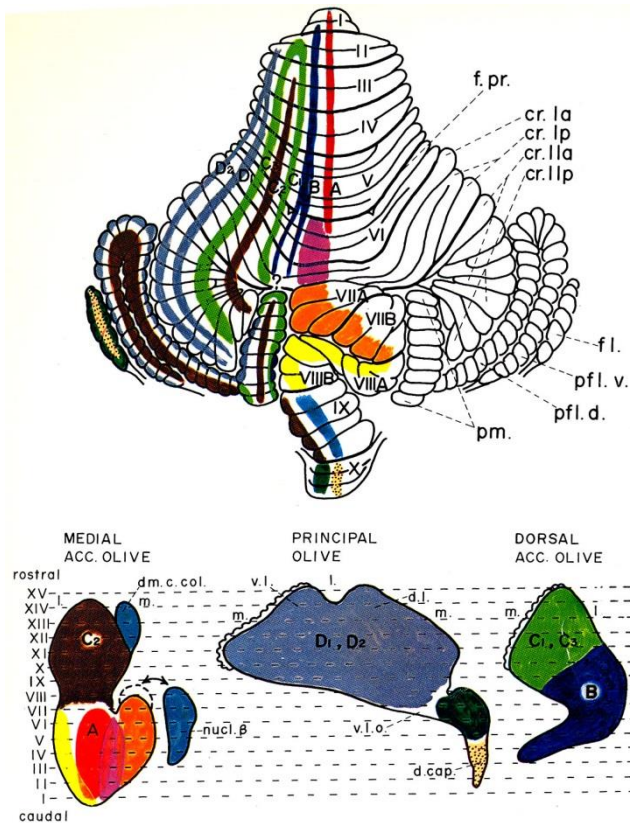
大脳・小脳 ループ 自動性 運動と思考

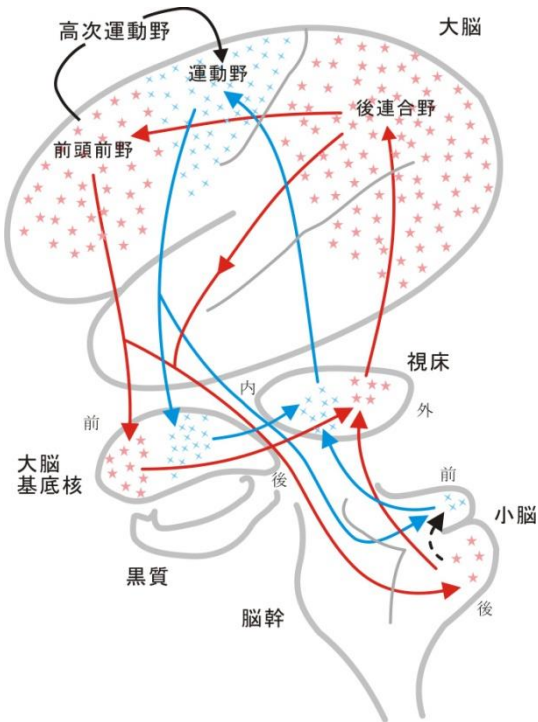


Organization of the cortical association areas and mutual correlations between the cerebrum and the cerebellum

The cortical association areas develop as the animal becomes higher, expanding in areas and relative proportional areas within the cortex increase. From the entire cerebral cortex, including the sensory, motor and association areas there are large projections, via the pontine nuclei and the inferior olive among others, to the almost entire parts of the cerebellar cortex.

by means of projections of mossy and climbing fibers. Topographic correlations of the mossy (4, 5, 17) as well as the climbing (3, 9, 10, 16) fibers have been studied in fair details (Figs. 4&5). There are also topographic relationships in the projection from the cerebellar cortex, via the thalamic nuclei, to the cerebral cortex. As concerns the reciprocal (mutual correlations) connections between the large and small brains, as they are commonly called, it is elucidated by Sasaki (28) and his collaborators that 1) the lateral region of the cerebellum is related to the prefrontal, the premotor and the lateral part of the motor area, while 2) the intermediate region is related to the entire parts (particularly in the intermediate area) of the cerebral cortex (sasaki, ref. 28).





In Cerebellum new info and old info. Changes the route

Conversion of neural circuit from the cognitive to motor co-ordinate axis (stream of impulses).

Routes of new/novel stimuli (shown in red) travel from the posterior lobe of the cerebellum → thalamic lateral nucleus → posterior association area → prefrontal cortex → anterior part of the striatum → thalamus

Routes of repetitive/used/accustomed stimuli (shown in blue) travel from the anterior lobe of the cerebellum → thalamic medial nuclei → supplementary motor area → middle part of the striatum → thalamus.

(Kawamura, 2009)

The cerebellum as organs of movement and thought

連合野の構成および大脳・小脳間の相互作用および関連事項

大脳皮質連合野は、動物が高等化に伴って発達する。領域的にも拡大し、皮質全体に占める割合も増大する。大脳皮質の感覚野、高次運動野、連合野を含む広範囲の領域から、橋核および下オリーブ核を經由して、各々苔状線維および登上線維が小脳皮質の広い領域に投射が行なわれている。その苔状線維投射 **4, 5, 17**) および登上線維投射 **3, 9, 10, 16**) の局在関係 (図4、図5) も調べられている。視床核を介する小脳皮質から大脳皮質への投射にも局在性が認められる。この小脳・大脳関連ループに関しては、小脳半球外側部は大脳皮質の運動野外側部、運動前野および前頭前野との間に、他方、小脳中間部は大脳皮質の全運動野 (とくにその中間部) との間に相互連絡が存在することが **Sasaki 28)** によって明らかにされた。

The cerebellum has recently been paid much attention as functioning recognition, language function including the thinking (or thought), in addition to (long been thought) the regulation or modification of the motor system. In a broad sense, the cerebellum is concerned with the inhibitory function of the mental activities.

Although the various spheres of cerebellar control are to some extent the tasks of different parts of the cerebellum, the machinery they employ appears to be essentially identical. In recent years the idea of the cerebellum as a “learning machine” has been in focus. If so, it might be imagined to be of importance for all kinds of learning.

In the Behavioral Sciences in 1986, Leiner, Leiner and Dow from Oregon have published an article entitled “Does the Cerebellum Contribute to Mental Skills?” (Behavioral Neuro-Sciences, vol.100, 443-454, 1986) and discuss this problem.

Neurosurgeons have noted that stereotactic lesions of the most lateral parts of the cerebellar hemisphere in man do not give rise to detectable motor disturbances, as one might have expected. The authors point to the fact that in man the cerebellar hemispheres and particularly the lateral part of the dentate nucleus are more developed than even in anthropoid apes. This lateral part is histologically, embryologically and histochemically different from the medial part. Several anatomical and physiological studies in monkeys and apes indicate that fibers from the dentate nucleus supply divisions of the thalamus that project to the frontal association cortex. Scanty evidence from human studies seems to be in agreement. The authors studied a patient who had a lesion of the lateral part of the dentate and found that there was a defect in his capacity to respond to anticipatory clues, in addition to the defects in performing motor acts correctly. As they phrase it: “the ideational manipulations that precede planned behaviour were suffering.” The findings made concern only effects on the planning of motor functions. To discover whether the cerebellum is of importance for the learning and performance of purely mental skills, will be a difficult task, particularly since the studies will have to be made on human beings. It is not inconceivable, however, that by using appropriate psychological tests and tomographic procedures, [(MRI, PET, rBF)] demonstrating areal differences in blood flow and metabolism some information could be obtained.(22)

小脳は運動の調節・制御に関与するのみならず、認知・思考を含む言語機能、ひいては広く「精神」

機能の制御活動にも関わっていることが注目されている。『小脳は mental skill に貢献しているか?』と題する論文を20年前に発表した Leiner ら(21) は、ヒト歯状核外側部の障害症例において、行動を計画し、それを観念として実行するような予測能力が著しく低下していることを観察した。最近では、MRI, PET, rBF (局所脳血流) などを使用して言語やイメージを含む認知機構に、小脳半球、とくに後葉の外側部や歯状核が関与していることが証明されている。

The cerebellum revisited

Cerebro-cerebellar communication loop

Control-system modeling

Feedback control

Forward model

モデル予測制御 Model Predictive Control (MPC)

前向き制御 feed-forward reduction of motor variability (運動分散)

Feed-forward space-code associative learning of the cerebellum (Fujita)

.....
 [See Eccles chap Ito in part] bellow 下記は参照文献

4.4. Modeling cerebellar circuitry

Network modeling, as initially undertaken by Marr (1969) and Albus (1971), is essential for conceiving operational principles of complex neuronal networks in the cerebellar cortex. On the other hand, control system modeling is essential for conceiving the operational principles of neural systems involving the cerebellum and extracerebellar systems (for review, see Barlow, 2002). The control system modeling of the cerebellum that was inspired originally by experimental findings has now far exceeded our present experimental approaches. The hypothesis that the cerebellum provides forward and/or inverse models of controlled objects has successfully been applied to produce a robot that acquires a motor skill by learning. Even though engineering realization by itself is a kind of verification, we are still far from confirming the internal model hypothesis in a real cerebellum. Thus, cerebellar researchers look forward to determining how internal models, forward and inverse, are computed within a real cerebellum! Bottom-up, realistic (experimentally based) modeling also has merit. It reproduces in a computer the behavior of a single neuron or a small neuronal circuit on the basis of knowledge of the cable properties of dendrites, activities of ion channels and synaptic receptors, and inter- and intracellular signal transduction (De Schutter et al., 1999). Indeed, all the updated knowledge presented in this article concerning cerebellar circuitry at the molecular and cellular levels can be incorporated into realistic computer models. These three types of modeling approach mentioned above are complementary to each other and conjointly they should lead in time to more complete understanding of the operational principles of the cerebellar neuronal machine.

4.5. Cognitive functions of the cerebellum

Leiner et al. (1986) proposed involvement of the cerebellum in cognitive functions on the basis of the evolutionary development of the cerebellar hemisphere associated with the

expansion of the cerebral association cortex. This view has been receiving more and more support from recent anatomical, brain imaging, clinical, and modeling studies (see [Schmahmann, 1997](#)). Recent virus mapping in monkeys has revealed the topology of function in the dentate nucleus ([Dum and Strick, 2003](#)). Projections to the motor and premotor cortex originate from the dorsal portions of the dentate nucleus, while projections to the prefrontal and posterior parietal areas of the cortex originate from the ventral portions of the dentate nucleus. The anterior intraparietal area of the posterior parietal cortex also receives projections from a broad area of the dentate nucleus ([Clower et al., 2005](#)). Purkinje cells located primarily in Crus II of the ansiform lobule receive inputs from the prefrontal area 46 and project to the same area 46 ([Kelly and Strick, 2003](#)). This implies that a closed cerebrocerebellar communication loop is also found in the prefrontal cortex, thereby supporting the hypothesis that the cerebellum provides a forward model for mental functions of the cerebral cortex. This is analogous to the interactions of the cerebellum with the motor cortex for the elaboration of voluntary movement (recall [Fig. 7](#)). The internal model hypothesis has been expanded conceptually to apply to cognitive functions such as thought ([Ito, 1993b, 2005](#)). This capacity can be considered to be a manipulation of mental models that are small-scale models of reality. These may be used by the mind to anticipate events requiring reason and an explanation ([Craik, 1943](#)). One may suppose that in thought, a mental model of an image, idea, or concept is formed in the temporoparietal association cortex. In a later stage of thought, mental models already formed are manipulated as the controlled object by the prefrontal cortex as the controller. The prefrontal cortex manipulates the mental models, just as the motor cortex moves body parts during voluntary movements. In an even later stage of thought, the cerebellum copies a mental model to form an internal model. Thus, thought proceeds with the internal models of the mental models as the controlled object. Because the processes occurring in the cerebellum do not reach the level of awareness, the internal model

hypothesis explains how we become able to conduct movements and thoughts unconsciously (automatically yet skillfully) after repeated exercises. For example, an idea pops out even without an obvious conscious effort to think it out! This hypothesis also explains diverse psychological and pathological mental experiences such as delusion, hallucination in schizophrenia, and lack of sympathy to other persons as being caused by an impairment of a cerebellar internal model (Frith et al., 2000; Blakemore and Sirigu, 2003; Ito, 2005). The cerebellum may thus govern a large unconscious part of our mind. An interesting recent report on premature infants showed that unilateral cerebral injury is associated with a significantly decreased volume of the contralateral cerebellar hemisphere. Conversely, a unilateral primary cerebellar injury was shown to be associated with a contralateral decrease in cerebral volume (Limperopoulos et al., 2005). This explains how an early-life cerebellar injury contributes to the high degree of cognitive and behavioral, as well as motor, deficits in premature infants. It will be a great challenge for future cerebellar research to decipher information of a cognitive nature encoded and processed in the neuronal circuitry of the cerebellum.

5. Concluding comments

Four decades have passed since Sir John Eccles pioneered a modern neuroscientific approach to the cerebellum. The neuronal machine concept of the cerebellum was developed into a self-consistent form, and its further refinement is still underway. Currently, knowledge in neuroscience is advancing rapidly at the molecular/cellular level on one hand and the behavioral/cognitive level on the other. To understand mechanisms underlying the generation of brain functions, however, it is essential to bridge these two levels with more detailed knowledge about neuronal circuitry. Without such information, the eventual goal of neuroscience, which is to understand the brain from the molecular to the behavioral level of analysis, will never be reached. Cerebellar research should continue to play a key role in this synthesis on the basis of an

integration of experimental and computational approaches. Its goal is to fully understand the mechanisms and roles of the cerebellum as a universal learning machine involved broadly in the neural control of bodily and mental functions.

[See Eccles chap Ito in part] above

.....

Ito (13,14,15) have made it clear that the cerebellum also has the “predictive control”, as the cerebrum having the feed-back control which convert to the feed-forward reduction of motor variability. (using technology terms). And paid attention upon the similarities between the motor and the thought.

In the case of the former (motor), people intend to move the body by using or activating the brain regions in areas of premotor cortex, supplementary motor and primary motor areas, whileas in the through processing,

working activities in the linguistic association areas of the cerebral cortex and activate and move ideas and concepts and Ito assumed that

ability of thinking process automatically drive forward

Thinking model (use psychological terms)

Thinking or thought is to let the modeled concept move

“thought is the movement (let it activate), it = modeled concept in the brain “

Try to apply (correspond) the motor control system proposed in the cerebellum for the thinking (model) control system in the cerebrum

Ito(13,14,15) は、大脳のフィードバック制御の働き、すなわち、「前向き制御」に転換する「予測制御」(工学用語を借用して)の働きを、小脳はもっていることを明らかにし、思考と運動の類似性に注目した。運動の場合には運動前野、補足運動野そして一次運動野を働かせて身体を動かすが、対して思考の場合には言語連合野を働かせて観念や概念を作り、思考過程を前向きに自動化する働きがあると推定した。伊藤は「思考は脳内にあるモデル化された概念を動かすことである」という意味の心理学用語を用いて「思考モデル」と呼び、小脳において提示された運動制御系を大脳のモデル思考制御系に適用(対応)させて提案した。

In other words, to explain in other way,

Internal models. A characteristic feature of voluntary motor control is that after repeating a task, one is able to perform the task precisely and without the feedback that was required before the task. For example, one can quickly learn to take a cup to the mouth with the eyes closed. A normally functioning cerebellum is required to accurately perform a quick movement in the absence of visual feedback.....

In the effort to mimic this learning capability, I conceived the concept of internal feedback from an internal model of the controlled object formed in the cerebellum via the cerebrocerebellar communication loop (Ito, 1970, 1984). A similar idea was formulated computationally as the "forward model" by Kawato et al. (1987).

(from Eccles chap. Ito)

As the results of repeating influential work(ing) of the anterior

association cortex that contains Broca linguistic area upon the thinking model in the posterior association area that contains Wernicke area that is one element of memory reservoir supporting the cognitive thinking, one can use the reciprocal connections of cerebrocerebellar pathways , and finally becomes possible to the proceed the thought (or thinking pattern) automatically (in various ways) without activities of the cerebrum , once the internally simulated model is formed in the cerebellum.

Thus the thinking model will proceed in such following ways shown below.

- 1) The PFC influences (works) upon the thinking model in the posterior association cortex.
- 2) Thinking model that simulates the dynamic characteristics is formed in the cerebellum.
- 3) The PFC work upon or approaches to the thinking model in the cerebellum.

After repeating (or repetition) of the above procedures, and once the thinking model is formed in the cerebellum, thought goes on semi-automatic and develop the thinking process unconsciously (Fig.6).

すなわち、大脳皮質内でブローカ野を含む前連合野が、認知思考の要素の貯蔵庫であるウェルニッケ野を含む後連合野内に存在する思考モデルに繰り返し働きかけた結果として、ヒトが大脳皮質内活動として思考、すなわちさまざまに考えることをくり返すうちに、小脳と大脳皮質との間を両方向性に密接に結ぶ結合 **2,28**) を使って小脳内にそのシミュレートされた思考モデルが形成されてしまえば、何度か、既に経験された思考に関して、改めて大脳皮質内活動をすることなく自動的に思考が進むことになるとした。「思考モデル」は以下の順序で進行する。すなわち、①前頭前野が後連合野内の思考モデルに働きかける。②この思考モデルの動特性をシミュレートするモデルを小脳内に作る。③前頭前野はこの小脳内思考モデ

ルに働く。この過程を繰り返し続けることにより、半ば自動的に思考することが可能になり、思考モデルの逆モデルが小脳内にできれば、無意識に思考過程が進行するようになる（図6）。

Starting from the cerebellum, flow of novel (or new) and accustomed (repeated) impulses and afterward, how the flow changes its stream and transform its types,

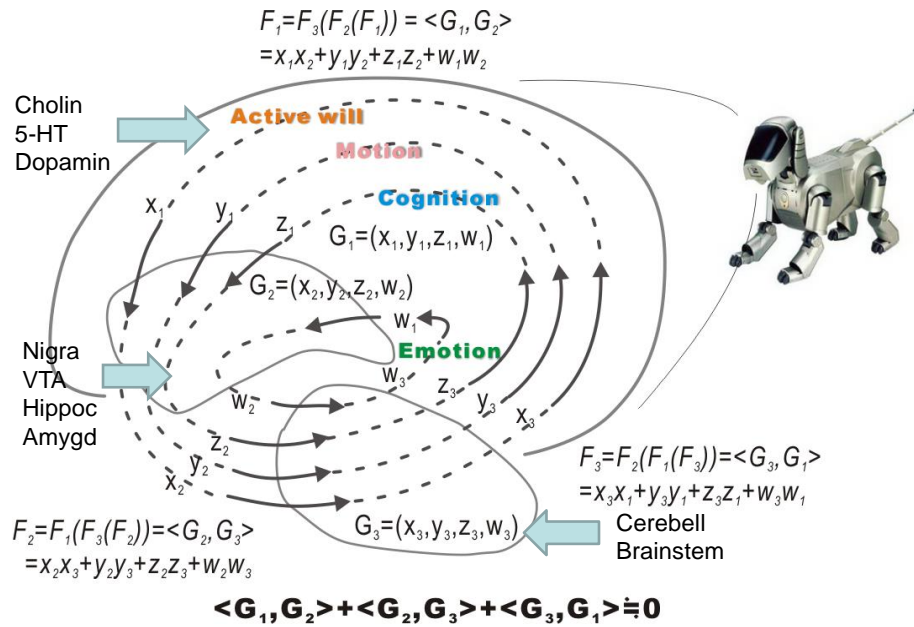
Now, hear at the first time, the posterior cerebellar hemisphere, transfer (move from the hemisphere, neocortex to the old vermal part)

Old, accustomed tune, anterior lobe in this fig. 32 (2006), that I made based upon the data from Sakai et al., (1999), from red to blue lines in fig.32, when repeat again and again,

Not only the functional dynamic loop of the cortico-striate-thalamic , cerebellar inputs come to join this circuit . to the cerebellum, all kinds of sensory and motor inputs enter the cerebellum. Constantly changing situation, smooth, automatic, integrative mechanism of treating the processing of all these signals,

Basis of music performance, when the activities or info/function of the dynamics of the cerebellum. Not only motor system, but also the cognitive and language, thinking, second signao processing system of I.P. Pavlov. **Fig. 33 total picture !**

次に小脳をスタート・ポイントとして見たときの新旧の興奮伝達の流れと変化・移動について話



cerebral cortex(G_1), basal ganglia(G_2), thalamus(G_3) を回る neural circuit の図、

091211 付け

We define $F(x)=x$ as fixed point.

Let F be $(F_4 F_3 F_2 F_1)$, and then we can think of the following equation $F_4(F_3(F_2(F_1(x))))=x$ as $F(x)=x$.

Suppose the 4 dimensions in Hilbert space, and we will be able to illustrate a 2 axis in order to draw x and y axis that makes $y = f(x)$ or, $m \langle y | = n | x \rangle$ that may make a sense of $\langle y |$

$x \rangle = 0$ used by Bra and Ket Vectors in Dirak's Quantum mechanics.

A remark will be made that we do not know if F shall constitute an inner product, but an assumption such that the mappings satisfy Baillon's nonlinear ergodic theorem by which we shall try to apply later on is one thing and the assumption such that the mappings attribute with inner products is another.

There are 4 vectors; **a,b,c** and **d** such that responded 4 mappings :

a→**b**→**c**→**d**→**a** come to composing a round trip

2) **A three circuit model**

We denote three circuits G1, G2 and G3 by cerebral cortex, basal ganglia and thalamic nuclei, respectively, and x, y, z and w by emotion/olfaction, cognition, motion, active will, respectively as well such that

G1 = (**x**₁, **y**₁, **z**₁, **w**₁) cerebral cortex,

G2 = (**x**₂, **y**₂, **z**₂, **w**₂) basal ganglia

G3 = (**x**₃, **y**₃, **z**₃, **w**₃) thalamic nuclei.

Thus, we can show the following image such that

$$G_1 - F_1 - G_2$$

$$G_2 - F_2 - G_3$$

$$G_3 - F_3 - G_1.$$

3) Presentation of Bra and Ket vector by Dirak's quantum mechanics

We can show the following equations concerning the three circuit model using the bra and ket vector such that

$$F_1 = F_3 (F_2 (F_1)) = \langle G_1, G_2 \rangle = x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2 + w_1w_2$$

$$F_2 = F_1 (F_3 (F_2)) = \langle G_2, G_3 \rangle = x_2x_3 + y_2y_3 + z_2z_3 + w_2w_3$$

$$F_3 = F_2 (F_1 (F_3)) = \langle G_3, G_1 \rangle = x_3x_1 + y_3y_1 + z_3z_1 + w_3w_1$$

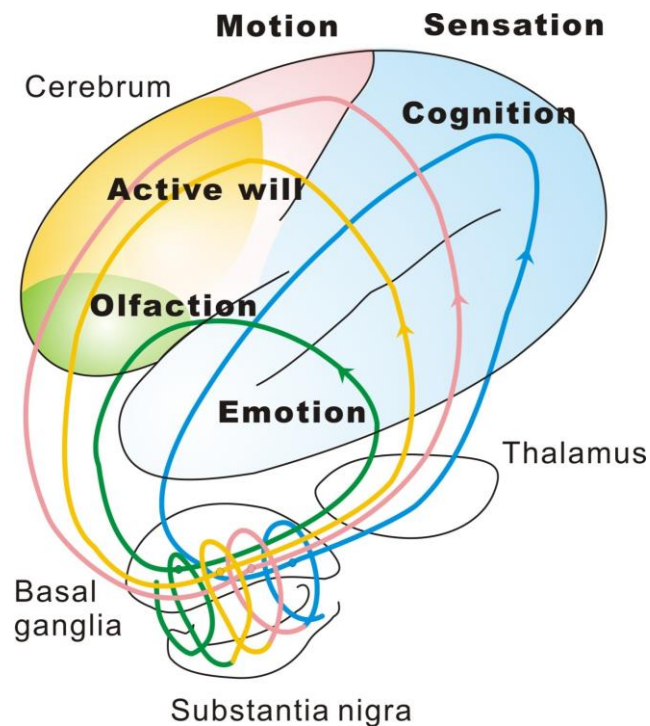
$$\langle G_1, G_2 \rangle + \langle G_2, G_3 \rangle + \langle G_3, G_1 \rangle = 0.$$

If you take Bra Vector for $\langle f | = e^{-ix} = \cos x - i \sin x$ and Ket vector for $| f \rangle = e^{ix} = \cos x + i \sin x$, you can easily get the inner product such that $\langle f | f \rangle \equiv \langle f, f \rangle = \cos^2 x - i^2 \sin^2 x = \cos^2 x + \sin^2 x = 1$ that is a real number.

A remark is made that $\langle \alpha | \beta \rangle$ is different from $| \beta \rangle \langle \alpha |$ by applying greater than 1 dimension (reference is made to **REF1** in the next page).

We can say the case with the inner product being 0 as orthogonal that is why we take up Hilbert space.

The illustrations are shown like these.



The later two illustrations that are made by Dr. Kawamura shall be applied with mathematical models.

- 4) **An analogy of the circular formula of reproduction in Marx's "Das Capital" for the three circuit model will conduct to Baillon's Non-linear Ergodic theorem.**

The Marx's formula $G - W - G$ would be of interest.

Substitute W for F and we have in a round trip way such that

$$G_1 - F_1 - G_2$$

$$G_2 - F_2 - G_3$$

$$G_3 - F_3 - G_1.$$

That is like Dr. Kawamura's illustrations. That is amazing.

$$F_1 + F_2 + F_3 = 0 \dots \textcircled{1}$$

implies Marx's turn over $G - G$ with $\triangle G = 0$ (no profit) .

$$F_1 + F_2 + F_3 \neq 0 \dots \textcircled{2}$$

implies Marx's turn over $G \rightarrow G$ with $\triangle G \neq 0$ (some profit) .

In case with $\textcircled{1} F_1 + F_2 + F_3 = 0$, let the average (mean) of G_1, G_2 and G_3 , then the index number shall be recursive with each three-time numbers. Thus, we have

$$M_3 = 1/3 (G_1 + G_2 + G_3) = 1/3 (G_1 + F_1 G_1 + F_2 F_1 G_1)$$

$$M_6 = 1/6 (G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6)$$

$$= 1/6 (G_1 + G_2 + G_3 + G_1 + G_2 + G_3)$$

$$= 1/3 (G_1 + G_2 + G_3) = M_3.$$

Therefore, we have $M_{3n} = M_3$ where there is a fixed point concerning $3n$, however G_n does not converge to G when n is infinity owing to a round trip concerning G_n .

In case with $\textcircled{2} F_1 + F_2 + F_3 \neq 0$, suppose F be $F_1 = F_2 = F_3 = T$, then we have $F_2 F_1 = T^2$ that make the above case applied by **Baillon's Non-linear Ergodic theorem** with taking x for G according to $G_1 = G$, $G_2 = T G$, $G_3 = T^2 G$, $G_4 = T^3 G$ (that is a turn-over of G_1) .That is why we have

$$M_n G = 1/n (G + T G + T^2 G + \dots)$$

That is seems to us as $M_n X = 1/n (x + T x + T^2 x + \dots + T^{n-1} x) \in C$ that has weak convergence deducted by the theorem and that has fixed point set of mapping T (namely F). The mapping shall be a non-expansive one of a non-empty closed convex subset C into itself of

Hilbert space.

The theorem is apparently shown in Wataru Takahashi's textbook, where we substitute M for S , such as

$$M_n X = \frac{1}{n} (x + T x + T^2 x + \dots + T^{n-1} x) \in C$$

$$n \rightarrow \infty, M_n X = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} T^k x \quad \text{weakly convergent, } \dots$$

when

$$T \rightarrow F,$$

$$M_n G = \frac{1}{n} (G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n) \quad +++ = x$$

$$= \frac{1}{n} (G_1 + F_1 G_1 + F_2 G_2 + F_3 G_3 + \dots + F_{n-1} G_{n-1}),$$

$$\because F_2 G_2 = F_2 F_1 G_1 = F_1^2 G_1, \quad F_3 G_3 = F_3 F_2 F_1 G_1 = F_1^3 G_1, \quad \dots$$

$$= G_1 / n (1 + F_1 + F_1^2 + F_1^3 + \dots + F_1^{n-1}) \in C.$$

$$M_n G = \frac{1}{n} \sum G F^k x, \quad (k=0 \sim n-1) \quad \text{or}$$

$$= G / n \sum F^k x, \quad (k=0 \sim n-1)$$

convergent weakly and have a fixed point.

5) conclusion

That may be to say that we have an equilibrium point in our brain.

このとき 4次元空間（ヒルベルト空間の4次元）で考えれば、4個の次元から2個の次元を取り出して、

x 軸と y 軸とすれば、 $y = f(x)$ とかけます。

（これを $m \langle y | = n | x \rangle$ とディラック量子力学のブラベクトルと

ケットベクトルで書いた方程式にただけです。)

4個が a b c d なら、図で一回りするので、 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$ と写像が4個あります。

.....

- 4) は、具体的に F が内積かどうか不明であるが、エルゴード定理が成り立つような写像 (mapping) を仮定すると、F が内積 (inner product) であるかどうかを仮定することとの因果関係は、特にならない。

$$G_1 - F_1 - G_2 \quad ; G_2 - F_2 - G_3 \quad ; G_3 - F_3 - G_1$$

x : emotion/olfaction

y : cognition

z : motion

w : active will

.....

波動関数(wave function ?) ; 無限次元空間(infinite space dimension)を考える。量子力学 (quantum mechanics)、超関数 (distribution and hyperfunction)、Heaviside 関数(Heaviside function)

$$\text{Bra Vector} \quad \langle f | = e^{-ix} = \cos x - i \sin x$$

$$\text{Ket Vector} \quad | f \rangle = e^{ix} = \cos x + i \sin x$$

内積をとると $\langle f | f \rangle \equiv \langle f, f \rangle = \cos^2 x - i^2 \sin^2 x = \cos^2 x + \sin^2 x = 1$ (実数 R となる)

In case $\neq 0$ だと、直交系(orthogonal)となる。Hilbert space として内積が使える。直交で表せる。Banach sp.では内積がない。

