

## 広義の脳科学

精神・神経の科学には、1940年代から様々な分野が参入し、拡大してきた。1990年代以降、脳の科学として推進される過程で、「脳の機能やこころのあり方は、脳と全身、自己と他者、ヒトと社会・環境の相互作用という広い現象として捉えるべきである」ということが明確になってきた。現在の脳科学は、臓器としての脳を超えた心身の科学・こころの科学であり、『広義の脳科学』になっている。

日本では、20世紀後半の急激な社会変動に同期して、『広義の脳科学』の研究、脳科学推進の政策、精神神経疾患の変遷が起こってきた。この時期に浮上して解決し残した課題を見直し、将来に予測される社会的需要に基づいて、今後の『広義の脳科学』を進めてゆく必要がある。典型的な課題の一つは、社会の急激な変化や価値の多様化に伴う、ストレスと気分(感情)障害の問題である。

ヒトの「自己」という認識は、知覚と行動の連関によって、常に作り続けられている。又、知覚・行動を統合する際には、近い過去と現在の状況を参照として近い将来を予測するという予測的制御や、現在の状況から省みて過去を解釈するという機序が働いている。この様な、時間的に発展・再帰する複雑な精神の特性を研究するため、非線形力学や精神病理学、また、これらに構想を得た概念枠の研究が重要となっている。これらの研究を、胎生期・乳幼児期・思春期から老齢期まで縦断的に貫いて、ヒトの精神のあり方を調べる国家計画の一環として推進する必要がある。

脳は、情報・意味・精神・こころという、物質では表すことの出来ない階層と、身体という物質的階層の関り合う場である。工業化時代のような物質・エネルギーの産業化による成長のみを志向する体制は限界点を迎えている。情報産業時代の特徴は、脳・感覚器産業あるいは精神産業による成熟である。『広義の脳科学』と環境科学は共に人文社会科学を含む巨大科学技術になっており、協調して推進することが肝要である。

# 広義の脳科学

石井 加代子  
ライフサイエンスユニット

## 1 はじめに

今日、「脳」という言葉の意味合いは、拡大しつつある。神経科学・精神神経学などにおける内発的事情としては、脳の発達、機能、こころのあり方などは、脳という臓器だけでは語る事が出来ないことが明らかとなった。現在は、脳と全身、自己と他者、人間と世間・環境の相互作用という視点を踏まえて研究が行われている。1940年代の後半以降、多様な方法論や知識体系が連合・融合し続けて来たが、今日『広義の脳科学』といえる学問分野(以下、『脳科学』と呼ぶ)が形成され、更に拡大を続けている。

一方、外的要因として、『脳科学』への社会からの期待も高まってきている。先ず、1963年梅棹忠夫が<sup>1)</sup>情報産業時代の到来を看破し、これを、脳・感覚器産業と呼んだ。知識に訴える情報のみならず、感覚に訴える感覚情報、五感を総合的に刺激

する体験情報が重要であることを説いた。近年、特に感覚情報や体験情報の重要性が増している。又、梅棹は情報産業の次に来るべき状況を精神産業時代と呼んでいる。物質とエネルギーの産業化による成長のみに頼ることの限界が実感されるようになって、精神産業による持続可能な成熟への転換が必要とされている。

1969年に、戸田正直<sup>2)</sup>が「加速する変化・過剰な情報に対し老化する社会組織は消化不良となり、豊かであるがゆえに不満を大きくしてゆく。豊かになった個人が直接、情報一制御過程(いわゆる創造過程)に参加することを可能にするような社会組織を生み出すことが、さしあたって人類の最大目標であり」、そのために心理学(今日の認知科学)が重要な役割を果たすことを予測した。

1990年代から、共通の価値の希薄化、情報の過剰、社会の不透明性が

意識されるようになり、2000年を越えて国民の間では、数十年後の社会にむけて、子供の健全な成長・生涯の様々な時期における学び、寛容さや多様性、こころの豊かさを追求できる社会、「足る」を知る心、高齢者・傷病者の自立と生活の質、安全・安心への希求が高まっている<sup>3)</sup>。これに応えるため、『脳科学』の進展によって生活者を支援することが、行政上の重要課題の一つとなっている<sup>4)</sup>。

脳は、情報・意味・精神・こころという、物質では表すことの出来ない階層と、身体という物質的階層の関りあう場である。『脳科学』は、実証的な自然科学と、意味の成り立ちを取り扱う学問の関りあう場として重要となっている。本論では、このような『広義の脳科学』が形成された過程を、科学技術・政策・社会の変動という観点から概観し、今後『脳科学』の取り組むべき課題について論じる。

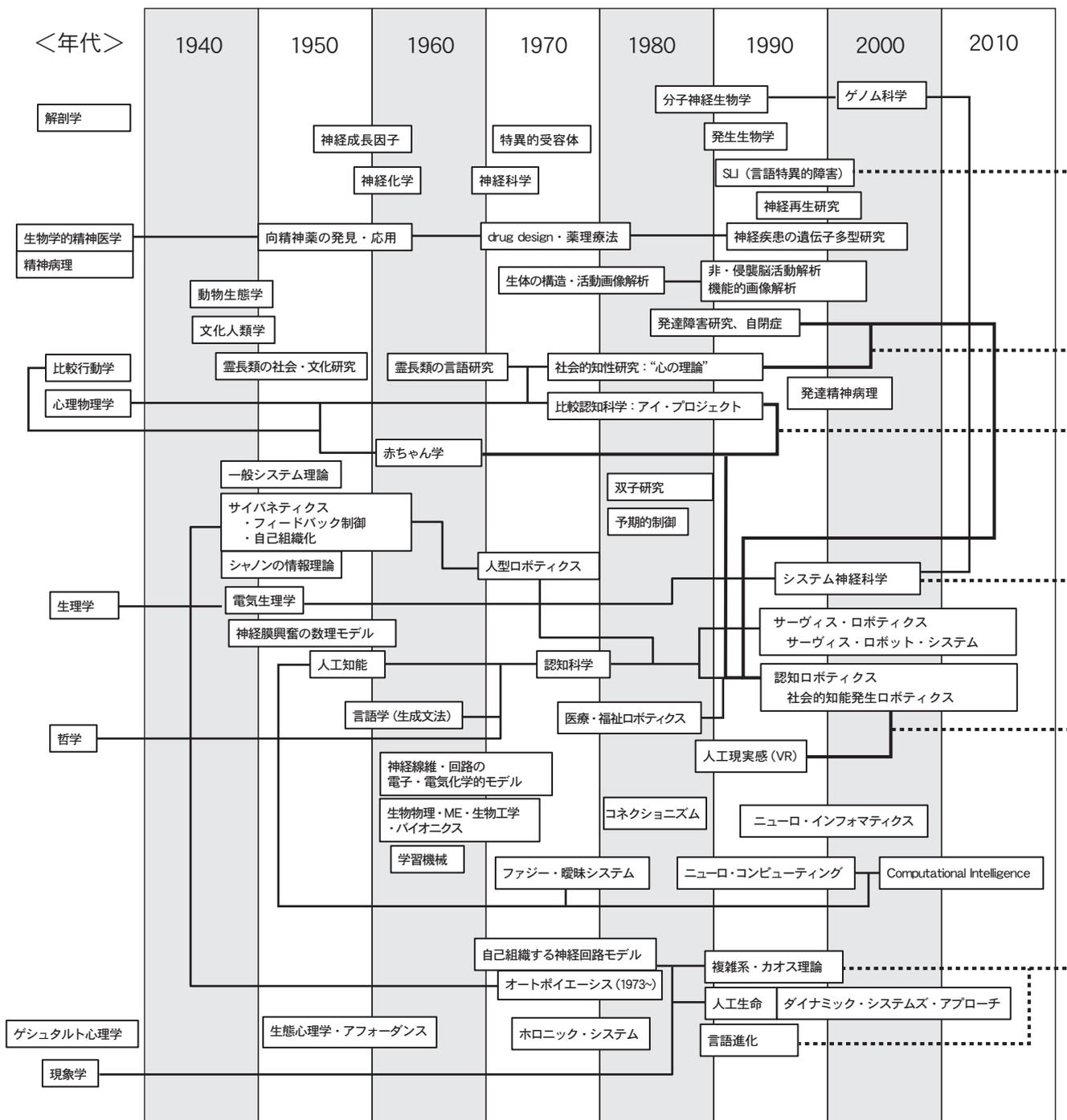
## 2 『脳科学』を構成する研究領域

20世紀前半には、精神・神経やこころに関する自然科学的研究は、精神医学・解剖学・生理学・心理学などの講座で、それぞれ独立に行われていた。第二次大戦後から、サイバネティクスのように物理・工学・情報科学分野の概念・

理論や研究者が参入した。また、生化学・薬理学・分子生物学・発生生物学・遺伝学などの手法や概念が次々と導入され、多くの研究者が参入してきた。一方、計算機科学・言語学・心理学・哲学などからは認知科学が形成され、近年、

脳神経科学と認知科学の境界も薄れつつある<sup>5)</sup>。心理物理学・脳活動測定・認知心理学などの方法論が洗練され、ヒトや霊長類の正常個体の機能に関する研究も進んでいる(図表1)。

図表1 『脳科学』の成り立ち



今日『脳科学』に関連する諸学の連合・融合の大まかな流れを示した模式図。それぞれの枠の左側の位置が、学説が最初に発表された時期や、学派が形成された時期などを示す。現時点では図の上から大まかに分子生物学・遺伝子解析の手法を用いた研究、ヒトやサル、ロボットなどの個体・集団を対象とした研究、ロボティクスなど工学・数理神経科学的研究（主に内部モデルを想定した取り組み）、非線形力学・複雑系・カオスの概念に基づく研究という様に大別される。ヒト・サル・ロボットの集団・社会の中での発達とその障害（ロボット開発上の困難）の比較は、大別した領域を超えて研究が進み、有意義な知見が生み出されている（太い実線）。今後は、それぞれに性格・気質を持った個人の、現実生活の中でのこころの動きを解析するために、非線形力学などを用いた領域の研究が益々重要になると考えられる。破線は今後期待される連合・融合。精神病理と行動遺伝学・双子研究・長期的縦断研究・人工現実観（VR）などの連合・融合が期待される。図中では位置が遠いため、関連性を記入していない。現在、認知科学の誕生は、1956年における一連の会議や論文の発表に帰されるが、「認知科学」という分野として確立された時期は1970年代とした<sup>5)</sup>。双子研究など、取り組みとしては古いだが、現在に近い方法論になった時期を示す。

科学技術動向研究センターにて作成

多様な知見や方法論が蓄積し、コンピュータによる大量・迅速の情報処理が可能になり、様々な観点の研究者が結集した結果として生じた変化として、下記の点が挙げられる。

- 1) 分子・細胞・モジュール・機能領野・脳脊髄・末梢神経系など、異なる階層をつなぐシステム科学的解析の重要性が増した。
- 2) ミクロな階層に言及しなくても精神の現象がわかるような、適切な程度にマクロな階層でのシミュレーション(知的生命体をつくってみる・構成論的取り組み)が盛んになった。この動機には大きく分けて以下の二つが挙げられる：
  - 分子やニューロンといった下部の階層の情報を足し合わせても、脳の非線形性と複雑性のために、システム全体の特徴が決まらないことがわかった。
  - 教育・精神医学のような医療・労働の場では、還元論的でない全人的言説が求められる。
- 3) これまでは実証的研究の対象になりにくかった、ゲシュタルト的知覚や、言語進化・認知進化、意思決定・自由意志、意識・無意識、自己の成り立ち、等という課題に取り組む研究者が増えた。このため、過去に提唱されながら、革新的過ぎる・難解・時機尚早などの理由で、一般の研究者に波及しなかった仮説や構想(例えば、Vigo, G.B., Peirce, C.S., Batson, G., 言語の起源, Libet, B)が再評価されるようになり、これが更に実証的研究を促進する環境を作りつつある。

上記のような変化のなかで、特に『脳科学』として見出された知見や、注目されるようになった新たな課題の例を以下に挙げる。

### 1) 自己・他者の認識

疾病・損傷研究に加え、健全な人での心理物理学的研究などによって、「自己」の認識や自他の区別は変動し

うる事が示されている。「自己」の認識は、知覚と行動の連関によって、常に作り続けられるものである<sup>6, 7)</sup>。

### 2) 他者の行動や意図の理解

サルの電気生理学的研究で発見されたミラー・ニューロンは、他者の行動を理解し、自分の身体像として想起し、実際に模倣するといった、自己・他者連関に関与する。ヒトの非侵襲的脳活動測定を用いた心理実験でも同様の現象が確認され、他者の模倣や、他者の意図を理解するミラー・ニューロン・システムの存在が提唱された<sup>8)</sup>。

### 3) 自由意志・意思決定

自分が意図的に判断・選択したという意識は、脳や身体で生じた現象の事後的な説明である可能性が示されている。例えば、自分の行動を意図する事に数百ミリ秒先行して、脳内に生じる準備電位の存在が知られている<sup>9, 10)</sup>。

確率的に判断するシステムと、個人の来歴やその場その場の状況に応じて判断するシステムといった二種の意思決定システムの存在が分かってきている<sup>11)</sup>。Bacon 以来科学は再現性を実証性の基本としてきたが、一瞬にして確固たる思念を持ちうるものが改めて解析されている。

### 4) 逆行性遡及・予見的制御

ヒトの一人称的時間感覚は、今と云う瞬間と直前の過去、直後の未来の予測を含んだ幅をもっている。行動には予見的制御が伴い、予測と現実の誤差が許容できる範囲ならば無視している。正常な制御機序の解明と、統合失調症の患者の訴える「心は見透かされ、考えは筒抜けになり、どこに行っても先回りされている」という感覚や、「させられ」体験の解明の関連性が示唆されている<sup>12, 13)</sup>。

### 5) 社会的関係成立の基盤

ヒトでは幼児期に、他者の意図など心的内容を推測し理解する“心の

理論’が発達する。自閉症のヒトではこれが発達し難いことから、他者と社会的関係を成立するための『脳科学』的基盤について解析が進んでいる。

### 6) 情動の役割

情動の神経機序<sup>14)</sup>や認知機能、精神的緊張の生理的意義、意思決定における情動の役割<sup>15)</sup>。精神的緊張も、外部からの刺激などに対して、生体が恒常性を保つために示す基本的な生体反応(ストレス反応)の面から、生物学的に研究されるようになった。

また、この他にも『脳科学』の中で技術的に発展した領域の例として以下が挙げられる。

- 1) 非侵襲脳活動測定装置による解析の普及によって、脳の実体を対象とする脳神経科学と、脳の中の情報処理過程を対象とする認知科学の間の距離が縮小した。
  - 2) 成人脳内の神経幹細胞の発見により、個人の認知的来歴による脳の構造変化を解明する可能性が高まった。
- 今後更に、或いは新たに推進すべき『脳科学』の研究課題として、例えば下記のものも挙げられる。

- 1) 他者との関係性の上に「自己」の認識が形成され、それが維持される機序の解明
- 2) 全ての人に普遍的な特徴だけでなく、それぞれに性格・気質を持つ個人の現象の解明
- 3) 特定の検査課題に対する応答の起きている状態の記述に加えて、様々な認知・行動が生じては止む過程の解明
- 4) 他者から観察した現象としての記述ではなく、本人の志向・記憶・経験に接地した実感や意味の立ち現れる仕方の解明
- 5) 『脳科学』を生命そのものの解明・生態系の維持機構の解明と関連付けた視点で進める研究

### 3 『脳科学』の成り立ち

これまでに諸学がどのように連合・融合して『脳科学』を形成してきたか、そこから何が分かり、今後どのように発展する可能性があるか、以下に数例を示す。

#### 3 - 1

#### 霊長類の『脳科学』

日本の霊長類学は、動物生態学や文化人類学を基に、1948年頃にニホンザル研究から始まった。その研究の特徴は、個体を識別して長期継続調査を行うことにより、「個体間関係の変容のなかから社会の本質を理解しよう」と試みることであった<sup>16)</sup>。これによって、家族形態や、道具使用など文化の創出・伝播・変容が観察されるようになった。サルとの比較から、ヒトでは母親だけでなく父親と祖父母が家族を形成すること、家族の他にも社会集団内での助力が得られる事が特徴的である点が明らかとなった。日本では、ニホンザルは、電気生理学的研究にも多用され、道具使用による身体観や認知様式の変化が研究され、ヒトとの共通点・相違点が解析されている<sup>7)</sup>。

ヒトでは、子育て戦略として、閉経後の個体の寿命を延ばして「おばあさんを作った」という仮説が提唱されている。人類学でも、親子のような隣接世代間の緊張をはらんだ関係(「忌避関係」)や、祖母-孫のような隔世代の、相手からなかったり、通常社会では口に出せないようなことを気兼ねなく話したり、許しあえる関係(「冗談関係」)は、重要概念の一つであり、現在でもアジアを含め多くの社会で実践されていると考えられている。ドイツでは、高齢者自身の健

康にとっても若い世代との共生が有益であるとの観点から調査が行われている。

20世紀初頭に欧米で始まったチンパンジーの心の研究は、1960～80年代の“言語”研究を経て、社会的知性の研究と比較認知科学の研究の二方向へ進んでいる。社会的知性の研究では“心の理論”が大きな課題であり、人間の発達心理学研究や自閉症研究と同様に、「共感・社会的参照・模倣・視線認知」などの研究が行われている。

一方、日本の「アイ・プロジェクト」に代表されるような比較認知科学では、心理物理学の方法論を用い、感覚や知覚を尺度化して、色覚・視力・数の概念・記憶容量などを測定している。心理物理学は、19世紀以来ヒトを対象に用いられてきたが、言語による指示や訓練を与えることが出来ず、言語による回答を得ることの出来ない赤ん坊の研究に近年多用されている。又、ロボットの機能を同様の尺度で解析することも可能である。これによってヒトとチンパンジー及びロボットの認知機能を比較することが可能となってきた。

進化や生活環境・社会構造変化に伴う人類の認知様式の変化を解析する認知考古学や、現生人類・ネアンデルタール人・他の霊長類などのゲノム・遺伝子発現解析、ヒトや他の霊長類の発達・行動比較などにより、ヒトの認知様式・道具使用や環境の活用・変更の過程が調べられるようになってきている<sup>17)</sup>。

京都大学では、「もはやサルだけを研究対象とする時代は過ぎた」と認識し、「生態系の全体を対象とした研究の推進が必要不可欠」として、霊長類研究所や野外観察施設の改変を行っている。米国でも、「脳の十年」(1990～2000年)、「痛

みの十年」(2001～2010年)に続く次期「精神(the mind)の十年」を提唱する動きや<sup>18)</sup>、進化という観点からヒトの疾病などを研究するため2008年度からUniversity of California, San Diego (UCSD)とSalk Instituteを拠点とし、インターネットによるヴァーチャル研究機関も展開される“人類発生学”研究・教育センター(the Center for Academic Research and Training in Anthropogeny (anthropo + geny という造語)、CARTA)<sup>19)</sup>計画の中で大型霊長類研究が重要な要となっている。

#### 3 - 2

#### 物理・工学・情報科学・数理理論

1940年代末からの電気生理の進歩に加え、サイバネティクスの考えの普及、シャノンの情報理論に触発された生物の情報処理研究、エレクトロニクスによる微弱生体信号の検出・処理・計算などによって、1960年代には、生物・物理・工学・数理科学の連携したバイオニクスが興った。制御器官としての神経系の特性や、神経細胞の形態・電気化学的特質・回路網形成などの特徴は工学にもなじみ易く、精力的にモデルの提出と実証実験が行われるようになった。又、工学と医学の連携による、人工神経・臓器、生体内情報の遠隔探知、記憶・学習機械の研究などの研究が始まった<sup>20)</sup>。

1970年代に入ると、計算機の頭脳とアクチュエータの身体をもつ人型ロボットの研究が始まる。1970年代中盤に、リハビリテーションへの要請が高まり、高齢化社会への移行が問題視されるよう

になると、日本の研究者は迅速に補綴機器・介護機器や、盲導犬ロボットなど医療・福祉ロボティクスの研究に着手する<sup>21, 22)</sup>。これらの研究は、今日ではサービス・ロボティクスやサービス・ロボット・システム、人工現実観(ヴァーチャル・リアリティ、VR)研究へと発展している。

1990年代に入ると、人間の認知機能、発達や社会性の基盤という側面を研究するため、機能を持った系を作って認知・行動モデルを検証するという構成論的な取り組みとして、ロボティクスの研究が始められる<sup>23)</sup>。これは、複雑で予測困難な実世界の中で、人が問題解決しコミュニケーションを行っていく機序を解明するための重要な方法論となっている<sup>24)</sup>。かつてロボットは、研究室や工場という統制された閉鎖環境の中で製造され使用されるものと考えられていた。1990年代に、日本のロボティクス研究者や製造企業は、一般社会の中で、ロボットが

一般の市民と直接接することを想定して研究開発を進めるという革新的な発想を生み出した。

研究・製造施設や交通・情報・意思決定システムなども大型化・複雑化が進んでいるが、機械的制御システムを充実させても、ヒトの不注意・勘違い・疲労・慣れによる、手順の軽視・無視・混同など、人的要因によって重大事故の避けられないことが知られるようになった。このため認知・行動様式理解に基づいた、ヒト-機械インターフェースの改良や、VRを活用した訓練方法などの開発が行われている。

3 - 3

### 非線形力学・自己組織化・複雑系

Wienerの「サイバネティクス」の中では、フィード・バック制御以外にも、自己組織化について言及されていた。非線形物理学は、

1954年久保亮五(東京大学)・富田和久(京都大学)らによって生み出され、以来先導的研究者を輩出しているが、近年人工生命などの研究も盛んになっている。

非線形振動子の専門家であった南雲は、1960年代初頭、神経線維の膜の興奮現象に関する数理モデル(Hodgkin-Huxleyモデル)に基づき、トンネルダイオードを用いた神経線維の電子回路モデルや、興奮パターンの残響する電気化学的モデルを作り、これが日本のバイオニクス研究の端緒となった。

1973年、神経生理学者のMaturanaとVarelaによって「オートポイエシス(autopoiesis、自己生成)」という概念が提出された<sup>25)</sup>。これは、生命を外部の観察者の視点で記述するのではなく、内部の観点から記述するための理論である。これによって、まだ何かが証明されたわけではないが、人工生命、ロボティクス、教育や医療の為のヴァーチャル・リアリティ<sup>26, 27)</sup>

#### なぜ非線形力学的取り組みが必要か？

ヒトの精神神経系には下記のような特徴があり、そのために非線形力学で解析することが有利となる。

**脳は非線形的：**分子・細胞という階層の情報を足し合わせても、脳というシステム全体の特質が決まらないという非線形性がある。そのため、システムを(物質的)要素に分解して理解するという、分子生物学のような還元論的取り組みでは、取り扱えない部分がある。又、知覚モデルや行動モデルの生成過程での非線形性のため、モデルの順逆関係を利用して他者を模倣しても、必ずしも学習が成功しない場合がある。

**運動・知覚の生成：**ロボットを用いてヒトのシミュレーションをする場合、現在のロボットの多くには、自発性や動機付けがない。一般に工学的・計算論的な取り組みは、まず目的ありきで、外部から目的を設定してしまう(例えば、「ヒトの運動を模倣する」など)。このため、運動や知覚の生成の仕組みを調べられない場合が多い。合目的性だけの制御を想定すると、過剰な自由度による不良設定問題が生じる。これを回避するために拘束条件を導入してしまう。

**人間では非目的的行動が多い：**人間の行動の多くは非目的的である。同時に目的的であることもあって、切り分けにくい。行動や知覚の過程で目的や注意・関心は移りかわり、会話や遊びの過程で話題やルールが移り変わりながら、これらのゆらぎ・ゆり戻しを含んだ上でヒトの活動は生起する。

**意味の生成：**感覚器からボトムアップに入ってきた情報はそのままでは多義性を持つ。トップダウンの機構が働いてひとつの意味を付与する。しかも、確定した意味の知覚をいったん壊して、別の意味の知覚をつくり続ける(例えば、視覚刺激の図と地の入れ替わり)。ヒトは外部に客観的に存在するコト・モノをあるがままに認識するのではなく、様々に分節化して解釈している(意味を創っている)ことになる。

**時間的推移：**ヒトの主観的時間感覚は、「今」という瞬間とその近い過去・近い未来のつらなりからなる。又、この時間の流れは、ヒトの身体性・形態・経験・記憶などによって支えられている。

参考文献<sup>28~30)</sup>

の構想に取り込まれており、これらの分野でのシミュレーションと、実世界での実証実験を通じて証明されていく可能性が期待されている。神経系の記述に比較的適用し易く、脳認知機能に関する研究から、生命の新たな捉えかたが広まるのではないかと期待されている。

日本では、1978年清水博が、ホロニック・システムを提唱し<sup>28)</sup>、1986年脳の視覚パターン認識モデルに関して「トップダウンとボトムアップの信号のやり取りによって認識における意味の解釈が成立」し、情報の自己組織が脳で起こると主張した。1990年には津田一郎が神経回路モデルにおけるカオスの遍歴現象を報告し、「脳での

動的連想記憶などの関連」から興味をもたれている<sup>29)</sup>。

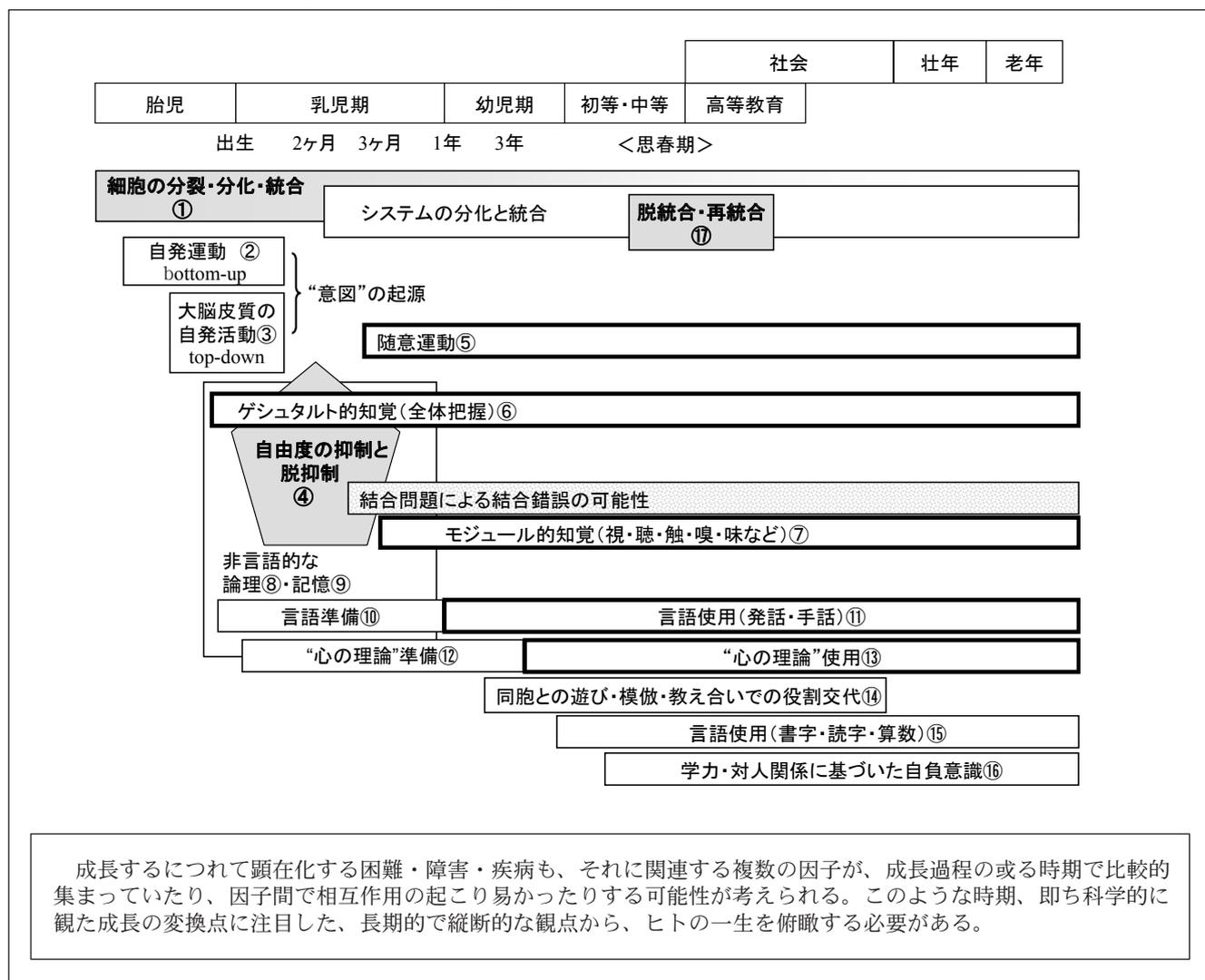
近年、胎児や乳幼児の発達過程に関して非線形力学による研究が進められている。(以下、①～⑯については図表2参照)。胎児の未発達な神経系が、身体を駆動し、自発的に様々な動き方を採りあて、繰り返すうちに、大脳皮質がその構造を反映して自己組織化して行く過程のシミュレーションが行われている(③)<sup>31)</sup>。又、新生児のU字型発達の中で、ゲシュタルト的知覚(⑥)が、2～3ヶ月頃の自由度の低下(④)の後、大脳皮質による意図によって制御されるモジュール的知覚(⑦)へ移行するという仮説が提唱され検証されている<sup>29)</sup>。自発的な言語使用(⑩)

や“心の理論”活用(⑬)の準備段階での基盤的能力(⑩・⑫)の発達が解析されている。

今後、『脳科学』として推進することが望まれる課題の例を挙げる。

- イ) 胎児期には神経前駆細胞が盛んに分裂・増殖する。細胞の内部にも自由度があるが、この過程で様々な自由度をもつ神経細胞へと分化する。同一の前駆細胞から分化した神経細胞同士の相互作用によってシステム全体としての強靭さ(ロバストネス)が生成する機序(①)<sup>29)</sup>。
- ロ) 皮質下由来の自発運動(②)と大脳皮質の自発活動(③)が、いったん自由度の抑制を受け、

図表2 ヒトの一生の中での神経・身体システムの分化と統合



参考文献<sup>29)~31)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

それが脱抑制されることによって(④)、随意運動(⑤)が生じるという仮説。

ハ) 新生児のゲシュタルト的知覚(⑥)のみの状態からモジュール的知覚(⑦)を有する状態へ移行する過程で、選択注意の不完全や結合錯誤が生じ、これが将来の共感覚や読み書き困難(⑮)に関連する可能性。ゲシュタルト知覚と共感覚の関連性。

二) 非言語的知性と言語能力・社会性との関連性。

- 言葉を使用する以前の乳幼児における論理的推論の解明(⑧)及び、人に特徴的で論理的には誤りであるが記号使用(⑮)など高次の認知機能に役立っている刺激等価性の生じる機序の解明。
- 非言語的な記憶(⑨)の発達。ゲシュタルト知覚・共感覚(ハ)と「記憶の接地」の関係。
- 原初的な言語的(⑩)及び社会的(⑫)能力の発達から言語ゲームへの引き込みが生じ、自発的言語(⑪)へ移行する機序。

ホ) ● 他者の“心の理論”の理解から、自分自身に関する“心の理論”理解(⑬)への移行の機序。

- 同世代間での遊びや模倣・教え合いの中での役割の入れ替えやルールの変遷(⑭)。
- ヘ) ● 9～10歳ころに自分の能力に関するメタ認知が芽生え、又他者との社会的相互作用などとの複合的要素によって自負意識が発達する機序。又、それが読み書き障害などによって阻害される機序。
- 思春期の神経系を含む全身

の変化に伴い、上記に述べた様々なシステムが脱統合・再統合する機序(⑰)。

更にこれら様々な現象の相関関係や、時間的に離れて顕在化する困難・障害や疾病との関連性を調べるためには、早期から開始し長い年月にわたる縦断的研究の筋書きを描き、その一環としてそれぞれの研究を進める必要がある。又、霊長類学におけるチンパンジーやサル幼仔の発達研究と比較することが有用である。

1994年 Thelen らによって提唱されたダイナミック・システムズ・アプローチを契機に、発達研究や発達心理学の分野で、非線形力学の概念に触発され、物理学の非線形性を比喩的に用いてマクロな現象を解析しようとする取り組みが行われている。今後の発展を注視し、この中から非線形力学で厳密な解析をすることのできる現象を選んで、研究を組み立ててゆく事は有益だろう。

3 - 4

分子でつながる『脳科学』

20世紀になって様々な科学的神経伝達物質が同定され、「形態的に著変の無い精神病の病因を物質変化に求めよう」とする試みから、1958年に神経化学の学術集団が組織された。1970年前後に、神経科学の学術集団が形成された。1952年には向精神薬が発見されて臨床応用されるようになり、神経薬理学が発展する。1970年代に入りアヘン様物質の内在性の受容体が同定され、薬物デザインによる開発

が本格化し、精神疾患の薬理療法が拡大する。1980年代から分子生物学的手法の導入によって、多様な神経系物質の相互作用が解析されるようになった。1990年代から分子段階の研究や生理学が情報科学と融合した、システム科学的取り組みが行われるようになっていく。

又、発生・発達生物学の手法や人材の流入によって、個体発生・系統発生という観点から神経系の構成や機能が解析されるようになった。臨床医学では、知能・言語機能・社会的相互作用・遂行能力の発達が神経学的要因によって障害される例が知られていたが、剖検脳の解析だけでなく、発達段階の認知・心理機能や脳活動の解析が行われるようになった。自閉症や言語特異的発達障害(SLI)の研究は、ヒトの高次機能の解明に大きく貢献しているのみならず、ロボティクスなどにも、有益な概念枠を供給している。又、このような研究の延長として、訓練による能力の向上の可能性を指摘する例が出てきた。近年になり、一般の学校教育との関連で議論されるようになった<sup>32)</sup>。

ポジショナル・クローニングによって精神神経疾患の関連遺伝子が同定されるようになり、言語特異的な発達障害に家系性のある症例から関連遺伝子も同定され始めている。このような遺伝子の系統発生学的解析などによって、認知進化・言語進化の研究が活性化している。

又、古典的神経伝達物質の作用とその神経ネットワークをシミュレーションすることによって、サイバー・ロケントで期待・探索行動・学習などの行動を調べ、分子・工学・行動科学をつなぐ研究が行われている<sup>33)</sup>。

## 4 日本の科学技術政策の中での『脳科学』

現在の『脳科学』は、第二次世界大戦後の日本の復興・高度成長・価値の多様化という流れの中で、社会の変動にともない、将来予測される社会の状況に備えるため、又、社会の需要に応えるため、科学技術政策の中で重要な研究領域の一つとして推進されてきた。

近年、現実社会の状況によって研究の方向性が左右される場合や、社会のなかで実用されることによって知識や技術が真に成熟する例が増え、研究の場と実社会の境が狭まりつつある。『脳科学』も、そのような状況で進められている<sup>34)</sup>。

1990年代に、各省庁が脳科学の発展を期してそれぞれの観点から研究推進するようになると、「脳に関する研究開発についての長期的な考え方」に基づき、戦略目標タイムテーブルが策定された。『脳科学』に影響を与えた各分野の政策の流れを概観する。

### 4 - 1

#### 福祉医療・労働・交通の分野における変化と『脳科学』の発展

第二次大戦後、結核患者の減少に伴い、精神障害・脳血管疾患の受療率が上昇し始め、1955年には、脳研究が重要基礎研究課題の一つとして着手された。

1960年代には、社会の急激な変化と複雑化に伴う「精神的緊張・疲労・不調和」・「ストレス」が、健康への脅威として指摘されるようになり<sup>35)</sup>、人間工学などに基づいた対応策への期待が高まった。精神医学の進歩と向精神薬開発の進展によって、精神障害者の社会復帰に対する期待が高まり、在宅・地域社会での精神衛生対策が検討さ

れるようになった。

1970～75年には高年齢層の受療率が急激に上昇し、頂点年齢層が更に高齢化し、75～79歳台となった。2020年に向けて高齢者・傷病者とその介護者を含め通常の生活に支障をきたす人口が概算され、来るべき高齢化社会へ対応するため、福祉機器の開発が推進された<sup>36)</sup>。又、「患者の諸条件を単に工学的なスペック要件として取り扱うような」人間工学的発想は不十分であるとされ、個人の要求に応じることの出来る新たな工学思想が求められるようになった<sup>21)</sup>。高齢化時代に応じて健康観も変化し、「痴呆老人の問題にしても、「ボケ」という言葉に象徴されるような受け止め方から、精神障害という認識に変化」した<sup>37)</sup>。

1970年代後半からは、労働災害・交通事故の拡大、脳卒中の発症・後遺症の増加に伴い、医学的リハビリテーションの需要も急速に増大し、感覚運動機能・言語機能に関する臨床研究が推進されるようになった。又、医工連携によるコンピュータ化補綴機器・介護機器・福祉ロボット(盲導犬ロボットなど)・人工神経の開発や、これらを運用する外的環境整備が推進されるようになった<sup>20, 22)</sup>。

1990年代には過労死・うつ病・自殺の増加という問題が顕在化し、2000年になってから「自殺予防としてのうつ病対策」が検討されはじめた。又、かつて見逃されていた下記のような様々な課題が『脳科学』の文脈のなかで検討されるようになってきた。

- 航空機や核燃料工場などの大事故を引き起こす、不注意・間違い・無視など人的要因。
- 地震など大規模災害時の、意思

決定責任者・救護者・市民の意思決定を支援する手段。

- 認知・知覚や運動に障害のある人々への効率的な情報伝達手段。

### 4 - 2

#### 社会の歪みの解消に資する『脳科学』

1960年代には公害・都市問題・世代間断絶・地方都市の空洞化など様々な社会的問題が顕在化した。科学技術会議の諮問第5号「1970年代における総合的科学技術政策の基本について」に対する答申<sup>38)</sup>の中で、「社会の歪み」を解消するためには既存の科学技術では不足の面もあり、新たな総合科学を創設してこれらの解決に望むことが提言された。この様な科学技術として「ライフサイエンス」、「ソフトサイエンス」、「環境科学」が重要な分野として挙げられ、人文社会科学を含んだ振興が提案された。現在の『脳科学』の中で、これらに関連する項目としては、以下のものが挙げられる。

#### ライフサイエンス

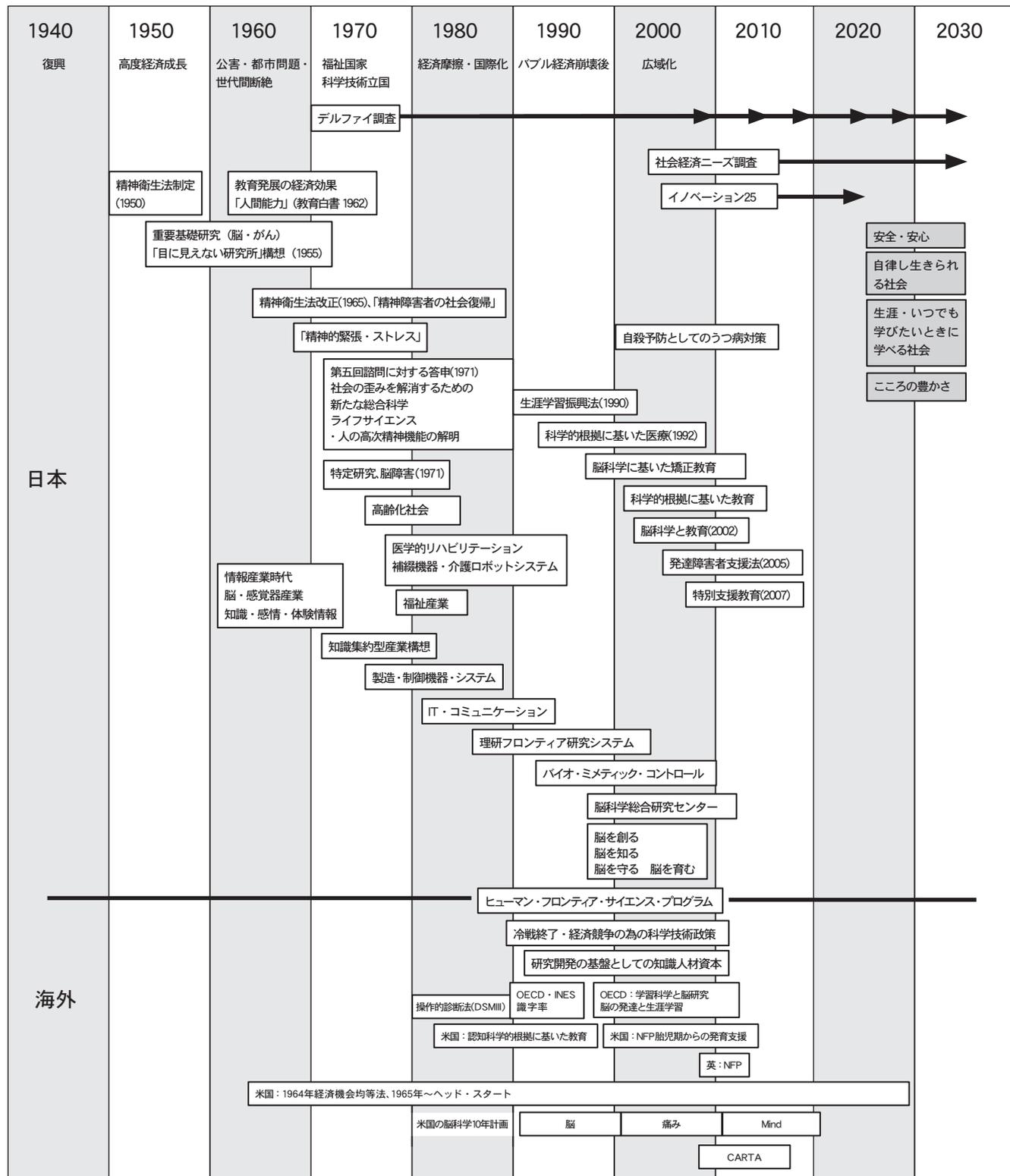
「情報伝達」、「記憶と学習」、「生物と環境との相互作用」生命現象そのものの本質的解明、等

#### ソフトサイエンス

「新しく発生が予想される問題を事前に予測すること」  
「相互の関連が深い複数の問題を全体的な関連から解明し、全体として整合の取れた総合的な計画をたてること」

「各種の意思決定、研究活動などにおいて、創造、判断、管理などの知的活動を高めること」  
「行動科学、社会生態学、創造・判

図表3 今日の『脳科学』に影響を与えた戦後の政策



今日の『脳科学』に影響を与えた政策の、戦後の大まかな流れを把握するための模式図。枠の左側の位置が、それぞれの政策・報告などが発表された時期を示す。下方に国際機関や欧米の政策の例を示す。

日本の政策の特長は、早期から長期的な予測調査や政策目標の設定が行われ、それが持続してきたこと、諸学の有機的な連携や総合科学の樹立が努められてきたことである。又、政権が変わってもこのような政策を遂行する体制のあることである。更に、科学技術行政が教育・文化・スポーツ行政と一体化された点も、他国に先駆けていた。

科学技術動向研究センターにて作成

断・認識その他の知的活動に関する科学技術」、等

4 - 3

### 「脳を創る」という政策

生物学の新たな取り組みとして、生物のような機能を持った系を創ることが1960年に提唱され、人工頭脳だけ創るのでは、人間全体としての機能には対応しないから、それは生物の人造にはならないと指摘されていた<sup>39)</sup>。1980年代には、研究者が単独で構成論的に知能システムや人工生命を創る研究に着手した。1990年代にはいり、日本では、身体をもって他者や社会と相互作用する知能システムを創るという構成論的取り組みに、多方面からの研究者が協同して参画するようになった<sup>23)</sup>。1997年に、日本の脳科学推進の指針として、「脳を知る」、「脳を守る」と共に、「脳を創る」という構想が提唱され、脳だけでなく、自発的に動く身体(ロボット・ヘリコプターなど)を創ることによって脳の機能を解明するという、構成論的取り組みを、科学技術政策としても行う試みとなった。

「脳を創る」構想の特徴をいくつか挙げる。

- 1) 脳のような、分析的方法では解明しきれない、非線形システムの理解。要素を壊してその必要性を知るのと異なり、何を加えればヒトの脳らしい機能が生じるかということを知る取り組み。
- 2) 外部からの情報に意味を付与したり、新たな意味情報を創出する機序の科学的研究。
- 3) 第三者が外部から観察したのではない、自己の中から生じる記述。
- 4) 実社会での検証：複雑で予測不可能な実社会の中での知性を知る

ための研究と、実社会の中で進出し実社会に適用される可能性の高い研究開発が同時に展開される。

「脳を創る」という研究の真価は、50年、或いは100年後にようやく一般に理解されてくる類のもので、現時点の外挿では推し量れない面が大きい。当面の問題としても、構成論的な研究は、分析的・記述的な研究とは、評価や推進の仕方が必ずしも同じではない。又、両方の型の研究から出る成果を組み合わせて、始めてわかってくることもあるだろう。それぞれの特徴を把握して、効率よく科学技術政策を運営してゆく必要がある。

「脳を創れる?・創れない?・それは何故なのか?」という問いは、一般市民との対話を引き出し発展させる恰好の話題となるだろう。

4 - 4

### 「こころ」重視の日本の教育

日本の伝統的学問とは、人格を高めるためのものであった。江戸時代後期から藩校・寺子屋への就学者数は多く、習熟度を考慮した教育が行われていた。又、習字によって、「手習い読む」という感覚・運動・行動・対人関係が統合された教育が中核となっていた<sup>40)</sup>。明治以降、一斉就学によって教育の普及が徹底された<sup>41)</sup>。高度経済成長が意識された1960年代に至り、日本の経済成長の根拠として、高い教育普及の効果が解析された<sup>42)</sup>。しかし、この間、教育の目的は「こころを育む」ものであるという見解が一貫して大局であり続けた。

近年、『脳科学』の進展によって、脳の多様性が注目されるようになり、教育も「幼児児童一人一人の教育的ニーズ」に応じるという方針が採られるようになった<sup>43)</sup>。2007年4月からは特別支援教育が実施され、「特別支援

教育は、障害のある幼児児童生徒への教育にとどまらず、障害の有無やその他の個々の違いを認識しつつ様々な人々が生き生きと活躍できる共生社会の形成の基礎となるものであり、我が国の現在及び将来の社会にとって重要な意味を持っている」由、述べられている<sup>44)</sup>。

1990年代後半から、法務省管轄下の少年院の一部では、矯正教育の向上をめざした実践的試みの中で、認知科学・行動科学や精神医学、発達精神病理学などの『脳科学』に基づいた矯正教育の開発とその実用・検証が試みられている。軽度発達障害も考慮した綿密な学習指導、食餌療法・指導、体力の育成、他者理解・対人関係の育成、自尊感情の向上、生活の規律・集団行動訓練など、生活モデルに基づいた矯正教育が行われている<sup>45)</sup>。又、保護者の理解や協力を引き出すことも行われている。このような試みを行っている少年院では、再院率が低下している。

特別支援教育や矯正教育を進める過程で、脳の多様性や、学力向上よりも先ず子供の自尊心を養うことが、重要視されるようになってきている。自負とは、自尊心の増大ではなく、自分の得手・不得手に対する自覚(メタ認知)、それを踏まえた上での学力の向上、他者との意思疎通と他者からの評価、等の基盤の上に育まれる資質である。又、一般の児童・成人や老人であっても、それぞれ困難や苦手を抱えている場合のあること、そのような困難を補う対策がこれまで十分図られていなかったことが、意識されるようになってきている。

4 - 5

### 『脳科学』に関連した海外・国際動向

1980年代の経済摩擦のなかで、日本では研究開発の国際化が課題となった。日本の提案によって1989年に発足したヒューマン・フ

ロンティア・サイエンス・プログラムは発足当初から、国際的協同による脳科学を推進した。発達心理学の分野では、1970年代に赤ん坊が誕生直後から多彩な能力を示すという知見が増え始めた。上記プログラムによって助成された国際的な調査によって、この能力が文化・地理的差異を越えた生物学的なものであることが示された。

冷戦終了後、各国は軍備に変わって科学技術に基いた経済力による競争に方向転換し、科学技術の基になる知識創出の機序に注目するようになった。又、研究開発・高度な技能に携わる人々を資源とみなすようになり、高等教育のみならず早期教育・養育段階での知能・技能育成の効率化を図るようになってきている。OECDでも1980年代の終わり頃から、識字率の向上 universal literacy、「脳科学と教育」に関する実態調査や知識普及を図っている。

米国では、文化的経済的に貧困な家庭の子供も必要な養育をう

け、順調に学校教育を始められるよう、1964年の経済機会均等法に基づいた幼児教育計画「ヘッドスタート」が実施されている<sup>46, 47)</sup>。1983年の報告書「危機に立つ国家」以降、米国では認知科学的根拠に基いた教育を進めている<sup>5)</sup>。英国では、伝統的に子供の教育は家庭の問題とされてきたが、Brown首相の行政改革以降、新教育省に当たる「児童・学校・家庭省(the Department for Childre, Schools and Families, DCSF)」は、子育てや家庭支援を含む、子供の育成をとり扱うことになった。出生以前からの養育や生まれ出る家族・環境も含めた支援に乗り出している。又、英・米では、反社会的行動・非行・犯罪を脳神経科学や発達精神病理の観点から捉える傾向が強くなり、早期介入によってこれらの事例を低減することが検討されている。

脳科学自体の研究振興に関しては、米国では議会議決によって1991年から2000年まで「脳の十年」という政策を布いた。2000年

に「痛みの十年」(2001～2010年)を議会で採択設し<sup>48)</sup>、目下次の「精神(the Mind)の十年」に向けて研究者集団などを主体に行政機関や一般社会への働きかけが進められている<sup>18)</sup>。痛みは、受容器の段階では刺激と反応の相関性は高いが、脳の非線形性のため、最終的に「どのような痛みなのか・どの程度痛いのか・それがどれほどつらいのか」は、本人にしか分からない。米国の十年計画では、＜脳⇒痛み⇒mind＞というように課題の抽象度を上げてきている。「痛みの解明・理解増進運動」は、国際疼痛学会などを通じて、欧州でも展開している。ドイツでは、学際的研究・臨床の体制作りなどが活性化した<sup>49)</sup>。日本では、分子段階では優れた研究が進んでいるにも関わらず、システムや認知・行動段階での解明を可能にする学際的な研究推進が行われておらず、「痛みの十年」も殆ど注目されなかった<sup>50)</sup>。

## 5 『脳科学』推進の事例 —精神医学—

精神疾患は時代や社会と共に変遷する。先ず、病態が変化する。これは古典的な意味合いの遺伝では説明できない特質であり、遺伝学的方法だけで精神疾患は解明できない。

又、人々が何を正常或いは異質とみなすか、異質な面を持つ個人が、家族や社会の中でどう受け止められるか、或いは疎外されるかという事も、時代や社会によって変化する。この他者の「みなし方・受け止め方」が、患者自身の自己の受け止め方に影響し、病態を変えてゆく。したがって精神医学は、自己・他者・環境・社会の相互作用に関する理解が、重要な要素として顕在化する領域である。

身体の物理化学的所見から十分に定義できない、個人の体験や行動の

特異性を把握し、これに基づいて治療を進める精神医学の取り組みは、精神病理と呼ばれてきた(図表4)。日本では、精神病理の伝統に基づき、日本人の特質も活かした、きめ細かな医師と患者の関係に基づく治療体制が存続する。今後も、精神病理の概念枠や医師の熟達知・暗黙知を活かして、ミクロな階層の知識をマクロな階層の知識につなげる研究設定を行うことが有意義である。

一方、19世紀半ばにGriesingerが「精神の病は脳の病である」と述べてから、自然科学的方法論に基づいて生物学的な脳の病態を解明する生物学的精神医学が行われてきた。1950年代以降、薬理療法が重要視されるようになり、近年では関

連遺伝子の同定や遺伝子多型の研究が精力的に行われている。米国の「精神障害の診断と統計の手引き(Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders)」は1980年の3版(DSM-III)以降、操作的診断方法を採用している。これは生物学的精神医学や、精神医学ゲノミクスにとっては有利であり、生物学的研究やその成果の応用を促進した。日本の厚生(労働)省統計では1990年以降、WHOの統計分類ICD10を採用しており、臨床においてはDSM-III、-IV、-IV-TRの影響も大きい(図表5)。操作的診断法に過度に頼ることは、患者の微妙な症状を見逃し、精神医学で重要な医師と患者の信頼関係の醸成を損なう場合もある。

## うつ病と自殺を低減する 社会の構築

うつ病の様相や発症頻度は、個人の性格・気質、身体的要因、他者や社会との相互作用、又、社会の地誌・文化的背景などに大きく影響される。日本では、もともと日本人の一部の人々に認められていた気質や日本社会の特性に加え、第二次大戦後の急激な社会変化に同期して、うつ病などの気分(感情)障害の類型や患者数が大きく変化してきた。自殺者数とうつ病等気分(感情)障害の相関は明確であり、1990年代の終盤から年間自殺者数は3万人台に達している。

時々刻々変化する患者の精神のあり方を解析するためには、精神病理学や、非線形力学に基盤を置いた方法論が必須である。分子段階の研究で、うつ病関連分子群と調節機構が同定されたとしても、予防・治療にまでつなげる為には、個人や家族・社会に至るマクロな階層での現象と関連付ける必要がある。

認知様式が、長期的に身体(脳・遺伝子)のあり方を変更してゆく可能性も考えられる。生物学的精神医学と精神病理学の臨床医や研究者が協同して進めることが重要である。

## ヴァーチャル・リアリティ (VR)・システムの導入

個人と他者や環境との相互作用の状況を再現し、解析或いは介入・変更するために、VRは有力な手段である。1993年にVRを心理療法に用いることが提案され、現在では欧米で恐怖症・摂食障害の治療などに実用されている<sup>26, 27)</sup>。没入感が、ヒトに対して有益な効果を与えると認められるものならば、大掛かりな装置は必ずしも必

図表 4 精神医学の取り組み方の変遷

年代	精神医学		
1800	感覚印象の直接的な刻印を受ける感情や悟性こそが、精神疾患の座である		
	生物学的精神医学	境界領域	精神病理
1850	「精神の病は脳の病である」 身体の疾患 自然科学の方法論		全人的把握 身体的所見からは十分に定義できない 体験や行動の特異性、こころ 主観・直感、自己・他者・状況
1930	ショック療法		
1950	薬物療法		Palo Alto 派 (Batson) の社会的コミュニケーション・家族療法
1960			病前性格論
1980	操作的診断基準、DSM-III	双生児研究 エピジェネティク・パズル	
1990	神経疾患関連遺伝子の同定 発現調節機構・遺伝形質の解析		
2000	遺伝子多型 行動遺伝学	中間形質	‘うつ病関連遺伝子’は、疾患でなく、その病前性格を規定しているのではない

生物学的精神医学でも、所謂‘うつ関連遺伝子’について、人種・地域差を考慮したり中間形質を想定したりするようになり、病前性格論を掲げる精神病理への接近が見られる。又、行動遺伝学など生物学的研究と、精神病理が協同して発展してゆく可能性も増している。

参考文献<sup>51~53)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

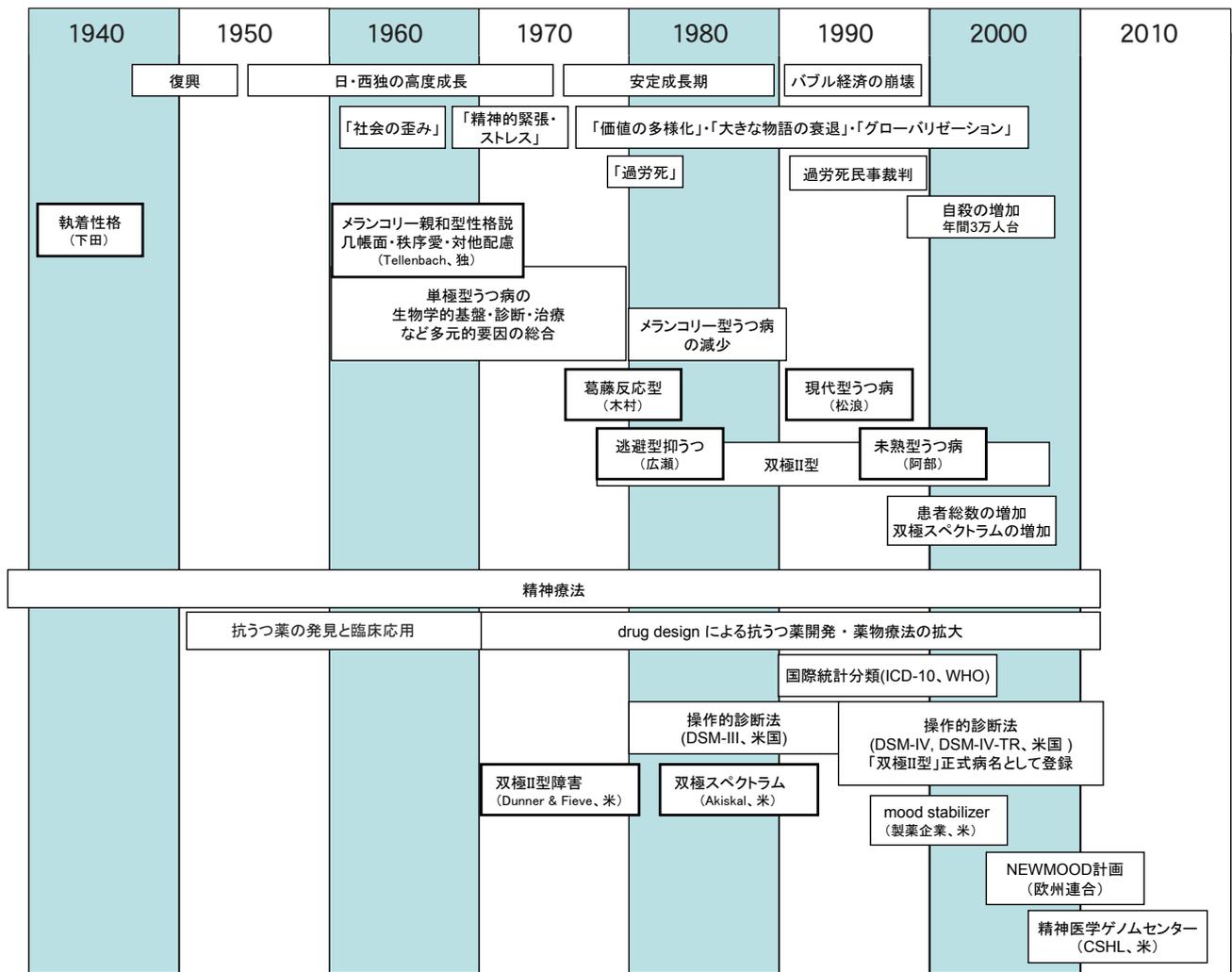
要ではない。例えば簡易なHMD (head mounted displays)やモバイルPDAのように、利用者が一人で使える治療段階に至れば、生活環境の中で活用できる装置のほうが治療効果が見込まれる場合も多い。近年、VR装置の駆動が通常のパーソナルコンピュータで十分行えるようになってきている。研究開発の重点は、ソフトウェアや認知・心理学的文脈の枠組み作りや設定に移っている。

日本では、これまでVR研究開発者の関心が、大掛りで高価な機器の開発に向けられがちであった。又、環境の設定に重点を置くようなVRは、これまで『脳科学』とは距離があった。しかし、『脳科学』において、環境のあり方がヒトの認知のあり方と不可分であるとみなされるようになった為、今後はVRも『脳科学』で扱われるだろう。一方、『脳科学』の知見・仮説・方法論を活用してVRを開発し、医療や教育に活用出来る新たなVR

システムを構築することも可能となるだろう。

精神病理は、遺伝や薬理などによっては説明することの出来ない、個人と他者や環境との相互作用の中で創発する疾患を取り扱う。多くの場合、病態は定常的なものでなく、正常と病的状態が混在し揺れ動く。このような精神の摂動の機序を解明するために、VRは有益な手法となる可能性がある。特に、統合失調症やうつ病・双極性障害は、VRを用いた研究に適していると考えられる。このような課題に取り組むことが、VRの研究開発にとっても、ソフトウェアや認知・心理学的手法を充実させる好機となるだろう。又、日本ではVR研究者は、ロボティクス研究者と重複することも多い。ロボティクス分野は、既に脳神経科学や認知科学と相互浸透している。VRとロボティクスを統合するようなシステムの研究開発を進めることが有意義だろう。

図表5 気分（感情）障害の変遷



太枠は、気分（感情）障害（うつ病・双極性障害）の主な類型の例で、地誌・年代とともに変遷する。枠の左端が用語・概念・出来事の初出時期を示す。日本や西独では、第二次大戦からの復興と高度成長が達成されつつある時期に、真面目で組織に対する貢献度や帰属意識が高いが、「目的達成後の物語をもたない」メランコリー親和性のうつ病が主な病態であった。高度成長の終焉とともに、この典型的なうつ病類型は減少傾向にある。一方、経済安定期やバブル崩壊後には、躁状態を含む双極型など、うつ病類型が多様化し患者数も増えている。自殺者数は気分（感情）障害患者数と相関性があり、近年は年間ほぼ3万人台である。1990年代からは、自殺した会社員の遺族と会社側の間で、過剰労働とうつ状態・自殺の因果関係などを争点に裁判が起こるようになってきている。

参考文献<sup>52)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

## 6 今後の課題

### 6-1 『脳科学』から見たイノベーション

これまでの『脳科学』の成果によって、必ずしも疾病の治療の目的でなくとも、ヒトの精神神経活動自体を変更することのできる可

能性が議論されるようになってきた。ここで、何に対する変更なのか・何がヒトにとって自然な状態なのかを改めて熟慮することが重要になる。現在のヒトの状態は、生物学的要因と社会的要因・知識技術による人為的変遷という因子が複合した状態である。そのこと

を踏まえて、ヒトの自然な状態・基準点を定めようとするれば、普遍的な回答は存在せず、それぞれの地誌・文化的背景に基づいて集団の内部で合議し意思決定する事が必要となる。そのためには先ず、『脳科学』からヒトの進化を理解する必要があるだろう。

### (1) 外部記憶

近年 IT に関連して外部記憶や外部脳という比喩が語られるが、認知考古学の観点では、ヒトは少なくとも 5 万年前から外部記憶の形成を行ってきた<sup>17)</sup>。その誘引は、ヒトの利用する情報が増えた事とされる。なぜ情報が増えたのか、なぜ利用情報を増やしたのか、増やす欲求は何に起因するのか、ということが、次に解明すべき課題となっている。

### (2) イノベーションへの希求

『脳科学』や人工生命の研究者の一部では、「ヒトの脳に、イノベーション自体に対する避けがたい欲求構造がある」という説が唱えられている<sup>1, 2, 7, 28, 30)</sup>。他の生物も、自らの認知様式に合わせて環境を利用・変更し、環境に合わせて自らの新しい認知様式を形成することはある<sup>54)</sup>。しかし、ヒトは、「知識獲得 ⇒ 技術開発 ⇒ 環境の改良 ⇒ 更に良質の情報を沢山得る ⇒ 更に良い技術を開発する」という、ポジティブ・フィードバックを行っている。環境の制圧と情報保守技術の革新によってネガティブ・フィードバックから開放され、ポジティブ・フィードバックのモノポリーに転じかねない状況に至っている<sup>2)</sup>。ヒトのイノベーションへの希求を自ら調節するため、ポジティブ・フィードバックの機序を解明することが求められる。

### (3) ヒトの欲求構造

30 年程前、工学者は、人間の欲求構造をどう工学に組み込むかということ新たな課題として研究し始めた。長い間、「必要は発明の母」ではなく、「発明が必要の母だった」(川田順造)。環境問題や社会問題が顕在化し、地球環境や生態系の維持、有限な資源が実感されるようになって、科学技術政策では、社会の需要に基づいて

推進する事が優先すると認識されるようになった。地球環境や生態系の維持を達成するためには、ヒトの欲求構造を理解することが必須である。又、避けがたい脳のポジティブ・フィードバックを制御するための制約要件として、現時点で最も説得力のあるのは、地球環境や生態系の維持という課題だろう。ヒトのイノベーション欲求を、物質・エネルギー消費を介したポジティブ・フィードバックではなく、精神的な探索のポジティブ・フィードバックに向かわせるような、新たな工学や産業の創生が必要とされる。

## 6 - 2

### 長期的縦断(コホート) 研究

個々の人の個性の発達や発達障害・精神疾患の発症の機序を調べるためには、長期的縦断研究が重要であり、国が主体となって推進すべきである。

人の一生の中でも特に、胎生期・新生児期及び思春期は、様々な神経・身体システムの統合・脱統合の起こる時期である。従来「生得的」と考えられてきた精神神経疾患の中でも一部のは、遺伝的因子の浸透度が低く、実際に形質として現れるか否かは神経・身体システムの統合・再統合の過程に依存する可能性がある。そこで、3-3で述べたような発達期に注目した研究によって、障害形質の表層化する過程の早期検出・制御方法を見出せば、遺伝的な危険因子を持つ子供の発症を防ぐ可能性が期待される。又、神経学的要因による軽度発達障害は、脳の多様性・個性とも不可分な問題であり、単に「障害を治す」という観点でなく、現在の養育・教育・社会システムが必ずしも多数のヒトの脳機能にとって最適化されていないことを考慮し、これらシステムの改良に向けて

研究・開発を行うことも重要である。

このためには、胎児期・乳幼児期から始まる長期的縦断研究によって、脳神経のみならず、家族や地域社会など、社会・環境因子を含む多様な因子の相関関係を調べる必要がある。最初から、教育や保健医療のすべての課題に着手することは困難であるため、様々な課題の検討に発展しやすい核となる課題に絞って始めることが望ましい。初期から検討すべき点としては、下記のような例が挙げられる。

- 非言語的な論理や記憶、ゲシュタルト的知覚：「分かった」という実感を伴う、自分の記憶・経験・身体性に接地した、知識を得る機序の解明につながる可能性。
- 個々のモジュール的知覚の発達とそれらの連合機能の発達：読み書き計算能力の発達やその障害の解明につながる可能性。
- “心の理論”と社会的遂行能力の発達の解析
- 一卵性双生児における共通点と差異の解析：特に差異は、遺伝的要因によらず、個人が他者や環境と相互作用する過程で創発する精神神経的特性の解析に役立つ。先ずは、運動・知覚の発達に関する力学的解析や、子どものストレス・うつとの解析と組み合わせた研究が有意義である。

この様な研究に参加する研究者は、長期にわたって研究に専念する必要があり、論文や著作が研究途上では発表しにくい可能性も大きい。縦断研究期間中の体制整備や、研究終了後の個々の研究者の職歴持続のために、公的な保護・支援体制が必要だろう。

長期的縦断研究を国の主催で行う際、被験者に「参加することは不利にならないのか・参加するこ

との利点は何か」を説明する責任が求められる。調査研究に参加することによって関係者の間で意識水準が向上することにより、長期的な観点から便益を得られるように、調査を設計・運営してゆく必要がある。

まずは研究特区を設定して、個別地域社会の地誌・文化を考慮にいれて、綿密な研究を推進することが重要である。これが軌道に乗り始めたら、それよりも緩和な条件で、全国的に市民の参加する運動のような形で広めることも可能であろう。日本全体を実験場として『脳科学』の縦断研究を行うことの利点として下記のような点が挙げられる。

### 日本の利点

- 比較的大きな言語圏(母国語として世界9位、公用語として11位、1993年 the Cambridge Fact Finder)。
- 地理的に比較的閉鎖環境にある。
- 江戸時代後期以来の高い識字率、旺盛な知的探究心。
- 近代化を達成しながらも、狩猟採集民族的な自然崇拜・祖先崇拜・アニミズムの世界観が残っている<sup>5)</sup>。
- 他者の気持ちを推測して、自分の行動を調整する習慣が強く、同じ認知心理学的テストをしても欧米の被験者とは異なった特色のある結果がでる<sup>55~57)</sup>。
- 精神医学においても、精神病理に基づいた、きめ細かな医師と患者の関係による治療体制が未だ失われていない。
- 印欧語と異なる漢字文化圏に属し、言語研究や、視覚イメージ・体性感覚の総合による抽象概念の表現・伝達の研究がし易い(習字、白川文字学、読み書き困難への対応策、など)。
- 『脳科学』や進化に関して、イデオロギー上の大きな対立がない。

情報が過剰・変化が急激・需要が多様な社会状況のなかで、市民

の需要に基づいて『脳科学』を推進するためには、持続的に大量の情報収集することが必要になる。多くの市民が自発的に参加して、有益な情報を発信し、共有の情報を活用しあうシステムを構築することが必要である。科学技術面での根拠や基盤の確かな、情報発信活用システムを構築する端緒とすることが考えられる。

### 6 - 3

## 「こころの豊かさ」と『脳科学』

「こころの豊かさを求められる事・実感できる事」について、現時点で『脳科学』が何を語れるだろうか。少なくとも、脳は「こころそのもの」ではなく、脳の一部に「こころ」に相当する部分を見つけたり、「こころの豊かさ」が脳の活動状態に還元されたりする可能性は考え難い。しかし、人間の外部に「こころの豊かさ」があって、それを探せばよいというものでもない。むしろこころは、身体と脳、自己と他者、自己と環境との相互作用する「場」でその都度創発するという考え方がある。この創発の場には、脳が関わっているだろう。

まずは、「こころの豊かさ」の成り立ちを調べるという取り組みが考えられる。ヒトは時として、音楽や旅、会話について、聞いた・見た・感じた・話した内容はすっかり忘れてしまったけれど、とにかく楽しかった事だけは覚えている場合がある。この様な時、ある意味内容が伝わるといっても、むしろ相互作用の構造自体によって意味が作り出され伝達されている可能性がある。典型的な例が、赤ん坊と養育者の関係である。赤ん坊は、養育者の語りかける内容や微笑の意味は、理解していない。しかし、養育者と応答を交わすこと自体が快樂であるため、これを

繰り返し、やがて養育者達の言語ゲームに引き込まれていくのである。

音楽については、聞き手にとって、親近性(予測との一致)だけではなく、新奇性(予測可能性からの逸脱)が必要で、両者の間のブレ(タイミングやバランス)が快感となるのではないかという構想の下に研究が進められている。統合失調症などの例を鑑みると、このような関係性のブレの中に引き込まれながらも、自我がブレないかのように信じ続けていられることが、「こころの豊かさ」を成り立たせるためには必要であろう。良い演奏者や会話者には、“心の理論”が必要とされることが指摘されている。音楽や言語の文節を伝達すること(予想可能性)だけに専念するのではなく、「自分の発したものが受け手にどう解釈され」、「それによって受け手がどのような思いを抱くか」(予想可能性からの逸脱)を更に予測しつつ演奏し、或いは語らう。流暢な会話には、視線の方向性と相手の視線の読み方が必要だということが、明らかにされつつある<sup>13)</sup>。自閉症では、これが活用されない。生まれつき盲目の子供でも自閉症特有の言語使用の混同が見られることがあるという<sup>30)</sup>。

個々のヒトが、様々なときに何によってどのように「こころの豊かさ」を感じるか。心理物理学や複雑系、“心の理論”研究、精神医学、人文社会科学など各方面から、着実な取り組みを進めてゆく事が有益であろう。こころの豊かさを求められない・実感できない状態である、統合失調症やうつ病の原因を解明し、社会のなかでその誘因を出来るだけ減らしてゆくことも、こころの豊かさを求める一つの試みだろう。

### 6 - 4

## 人文・社会科学による研究

外部に客観的な世界があって、その世界のことを正確に知った内容が知識だという考え方から、それぞれの観察者や対象・状況毎に知識のあり方は多様であり、知識は創られるものだという考え方に変わりつつある。科学技術の世界では、19世紀に発明発見のための方法論自体が研究されるようになり、20世紀には言語自体が研究対象となり(Russell, Wittgenstein)、21世紀は思考・知識をつくること・分かるという事自体が研究対象となっている。知識を「創る」という概念が重要となっている。19～20世紀の科学技術では、外部に普遍的で客観的な世界があり、物質的基盤や再現性のある検証方法によって信頼性の有る知識を得ることの出来るという、DesCartes や Bacon 以来の

思想系譜の貢献が大きい。一方、これとは異なる Vigo,G.B、富永仲基、Pierce,C.H、Batson,G. のような思想系譜も人文社会科学の領域で研究されてきた。21世紀以降の『脳科学』の中で、人文・社会科学的研究を進めることが有用である。

『脳科学』によって、「自己」意識は、他者や共同体との相互作用を通じて生じ、維持されるという可能性が、科学的に示唆されるようになった。又、日本の研究者の中には、明治以降導入された近代西洋的な自我の捉え方の影響で、「個人」を過度に強調して来たのではないかという見直しが起こっている。江戸後期・明治以降の自我の概念の遍歴を見直す研究は、文学や精神病理学(病跡学)では行われているが、『脳科学』の一環としても、進める必要があると思われる。自

我について語ることに関して、現在の脳神経科学は一部の文学ほど成熟していない。

今日のヒトの認知様式は、生物学的要因と文化・社会的要因の双方が交じり合って成り立っている。特に文化・社会的要因に関しては、一万年程前に農耕・牧畜を始めてからの変化が大きいと考えられるので、『脳科学』の成果を実社会に適用する際は、人類学や歴史・社会科学などの関与が重要となる。

このため、日本語で書かれた人文・社会科学系の文献(専門誌上の論文・書籍・講演録・選書・デジタル媒体、など)を様々な分野の研究者や一般人が広く活用できるよう、データ・ベースの構築と維持、著者の同定できるデータ・ベースの充実が必須である<sup>58)</sup>。

6 - 5

その他の関連領域

関連領域	特徴
人間行動理解のためのオープン・プラットフォーム	デジタルヒューマン研究センターのオープンライフ：人間の主観など通常統計解析に乗り難い要素を取り組んで解析する Bayesian 法などを用い、人の広範な認知行動モデルを作る試みが始まっている。例えば、子供の身体観や認知様式について、これまでは大人の視点から推測した偏向が入りがちであったが、医師や心理学者の観察や洞察などを交え、様々な発達段階にある子供自身の視点に立った認知・行動モデルをつくること、更にこれを子供の事故防止プログラムの開発などに用いることが可能になる <sup>59)</sup> 。
人間行動理解のためのオープン・ソフトウェア・プラットフォーム	社会的知能発生学研究会は、すでに認知発達ロボティクスを展開してきたが、国立情報学研究所(NII)を基盤に、広範な利用者の参加や長期にわたる連続実験を可能とするソフトウェア・プラットフォームの開発を進めている。ロボット実機・仮想エージェント或いは利用者(ヒト)など、多数のエージェントが複雑な環境内で行動することが出来、知覚・動力学・対話行為の統合シミュレーションを可能にすることを目指している。NIIでは、自然科学系のみならず人文社会科学系を含む複数のデータベース構築が行われており、これらを効率的に統合して推進することは有意義である <sup>58)</sup> 。
オントロジー(哲学&情報科学)	『脳科学』の構成領域ごとの言説の精緻な意味合いを損なわないように、様々な知識体系の表現体系を守りながら、複数領域の用語・知識・概念をつなぐ。
セマンティック・エディタ	「機械に分かるように書けば、専門外の人間にも分かる」という基準で、専門外の人々も研究成果の意味を把握できるようにする目的で、著作物(論文・著書・論文・書籍・講演録・選書・紀要・デジタル媒体など)の、標準化した要旨を作成する <sup>60)</sup> 。
開かれた査読の情報媒体の活用	Vision、仮説、萌芽的創案に基づく研究を発表する機会。

# 7 終わりに

## 持続可能な「成熟」

1960年代に提起された問題意識は、「変化の加速」による社会の歪みだった。『脳科学』的視点からすれば、ヒトの脳の特徴は、イノベーションの避けがたい希求である。イノベーション自体が関心事となったとき、社会は指数関数的に変化する可能性がある。今後は、むしろイノベーションの希求を調整する新たな方策を見出すことが、社会や地球の環境・生命系を維持するために不可欠な要件であると考えられる。

19～20世紀の変化を、梅棹は筋肉・骨の成長になぞらえた。物質・エネルギーの産業化によってもたらされる成長のみに期待する体制は、今やその限界が衆目にも歴然となっている。ヒトは避けがたいイノベーションの希求を内に向け、成熟を目指して精神産業を発展させる必要がある。日本は、後続して工業化しつつある国々の「成長」に腐心せず、「成熟」に専心すべき段階にあるのかもしれない。

現在は、1960～70年代以降解決し残した問題を見直し、複雑化した問題、新たな問題への解決法を見出すことが必要であり、この際、『脳科学』を生命システムの解明や生態系の維持という視座から進めることが有意義であると思われる。

ヒトの認知様式が環境との相互作用で変化するとするならば、ヒトは未だ進化の途上にあり、完全に制御できなくとも、少なくとも望ましい方向へ進化をデザインすることが可能かもしれない。人間は新たに獲得した能力の制御機能を未だ進化させていないとするならば、情報と制御のポジティブ・フィードバックを制御する内的機序を創って行くことが求められる。

「イノベーション25」の議論の中で、技術は消長が激しく予想が難しいのに比べ、ヒトの需要は変動しがたいので需要を指標にするのが肝要であるという意見が交わされた。目前の新奇技術・機器・薬物で外部からヒトの能力や耐性を増強することよりも、どのような人間でありたいか、どのような世間に生きていきたいかという需要に合わせて、人間の内部と社会システムを改善してゆくことは有益であり、広義の『脳科学』をそれに貢献するように進めてゆくことが肝要であろう。

## 参考文献

- 1) 梅棹忠夫、「情報産業論—来るべき外胚葉産業時代の夜明け」(初出、放送朝日1963年1月号, No.104, p4-17), 「精神産業時代」への予察—偉大な未来への本質的な歩み」(初出、朝日新聞1963年1月1日), in 「情報の文明論」中央公論社(1988)
- 2) 戸田正直、「心理学の将来」 in 児童研究所編、『児童心理学の進歩』、金子書房(1971) : <http://jcss.gr.jp/meetings/archive/toda-hatano-future.pdf>
- 3) 科学技術政策研究所、「科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査、社会・経済ニーズ調査」、NISTEP Report No.94 (2005) : <http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/rep094j/idx094j.html>
- 4) 科学技術政策研究所、「脳科学の進展による生活者の活動支援」、in 『2025年に目指すべき社会の姿—科学技術の俯瞰的予測調査』に基づく検討—, NISTEP Report No.101 (2007) : <http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/rep101j/idx101j.html>
- 5) 石井加代子、「心の科学としての認知科学」、科学技術動向、No.40, p12-21(2004) : [http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt040j/0407\\_03\\_feature\\_articles/200407\\_fa01/200407\\_fa01.html](http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt040j/0407_03_feature_articles/200407_fa01/200407_fa01.html)

- 6) 開一夫、「乳幼児における自己認知と発達的変遷」臨床神経医学 (Japanese Journal of Clinical Psychiatry), Vol.36 No.8, 947-951. (2007)
- 7) IRIKI, A., & SAKURA, O., 'The neuroscience of primate intellectual evolution - natural selection and passive and intentional niche construction -,' Philosophical Transactions Royal Society London B, Vol.363, p2229-2241 (2008)
- 8) RIZZOLATTI, G., & ARBIB, MA., 'Language within our grasp.' Trends in Neuroscience, vol.21 (5) 188-94 (1998).
- 9) LIBET, B., 'Mind Time: The Temporal Factor In Consciousness (Perspectives in Cognitive Neuroscience)' Harvard University Press (2005) / 「マインド・タイム脳と意識の時間」下條信輔訳、岩波書店 (2005)
- 10) 下條信輔、「行為の能動性はどこへいくのか?—意思決定の神経メカニズムをめぐって—」、日本機械学会誌、Vol.109 No.1049, p261-264 (2006) / 「知覚判断、意思決定の神経機構—潜在的な脳情報処理をめぐって—」、生体の科学、Vol.57 No.1 p13-21 (2006)
- 11) PAN, X., SAWA, K., TSUDA, I., TSUKADA, M., & SAKAGAMI, M., 'Reward prediction based on stimulus categorization in primate lateral prefrontal cortex.' Nature Neuroscience, vol.11 No.6, p703-12 (2008)
- 12) 内海健、「『分裂病』の消滅、精神病理

- 学を超えて」、青土社(2003)
- 13) 乾敏郎、「イメージ生成とイメージ障害の認知脳理論」、現代思想, 5, 233-245 (2007)
- 14) LE-DOUX, J., 'The Emotional Brain: The Mysterious Underpinnings of Emotions Life' Simon & Schuster (1996)
- 15) DAMASIO, A.R., 'Descartes' Error: Emotion, reason, and the Human Brain' Putnam Pub. Group (1994)
- 16) 松沢哲郎、「霊長類学の『到達点』: 霊長類学60周年とアイ・プロジェクト30周年」、科学, Vol.78 No.6, p612-616 (2008)
- 17) NOWELL, A. Ed., 'In the Mind's Eye: Multidisciplinary Approaches to the Evolution of Human Cognition' International Monographs in Prehistory (2001)
- 18) ALBUS, J.S., 'A Proposal for a Decade of the Mind Initiative.' Science Vol.317 p1321 (2007)
- 19) VARKI, A., 'The Genetics of Primate Evolution: A Rosetta Stone for Understanding Human Disease': [http://evolutionmatters.ucsd.edu/lecture\\_varki.html](http://evolutionmatters.ucsd.edu/lecture_varki.html)
- 20) 鈴木良次、「バイオニクス: 温故知新」、BIONICS 12月号(2004)~12月号(2005)
- 21) 船久保熙康、「《福祉機器》特集の方針」、精密機械Vol.43, No.515, p1253-1254(1977) / 「福祉生活と精密機器」、精密機械Vol.46, No.1, p18-22 (1979)
- 22) 舘暲 et al., 「人と一定間隔を保つ移動ロボット制御の一方法」、バイオメカニズム学会論文集, Vol.4, 279-289 (1978) / 舘暲, 「感覚代行装置—研究の現状と将来—」、医用電子と生体工学, Vol.17, No.3, 1-8 (1979)
- 23) KUNIYOSHI, Y., YOROZU Y., SUZUKI, S., SANGAWA, S., OHMURA, Y., TERADA, K. & NAGAKUBO, A., 'Emergence and Development of Embodied Cognition: A Constructivist Approach Using Robots,' Progress in Brain Research,' Vol.164, p.425-445, ISSN 0079-6123 (2007)
- 24) 石井加代子、「人間を理解するための認知ロボティクス」、科学技術動向, No.60 p18-33 (2006) [http://www.nistep.go.jp/achievements/articles/200603\\_fa02/200603\\_fa02.html](http://www.nistep.go.jp/achievements/articles/200603_fa02/200603_fa02.html)
- 25) マトゥラーナ, H.R., ヴァレラ, F.J., 「オートポイエーシス —生命システムとはなにか」、国文社(1991)
- 26) MELLET-D' HUART, D., 「From Virtual Reality to Actual Reality: Using Virtual Reality for Learning」、科学技術政策研究所・講演録, No.157 (2005)
- 27) RIVA, G., 「From Technology to Health: How to use advanced technologies to improve the quality of life」、『科学技術の基盤思想を育む講演会 第三弾』、科学技術政策研究所・講演録 No.182, (2006)
- 28) 清水博, 「生命を捉えなおす, 生きている状態とは何か」、中公新書 (1978)
- 29) 多賀巖太郎, 「脳と身体の動的デザイン, 運動・知覚の非線形力学と発達」、金子書房 (2002)
- 30) 池上高志, 「動きが生命をつくる」、青土社, 東京 (2007)
- 31) KUNIYOSHI, Y & SANGAWA, S., 'Early Motor Development from Partially Ordered Neural-Body Dynamics -- Experiments with A Cortico-Spinal-Musculo-Skeletal Model, Biological Cybernetics, vol. 95, no.6, p589-605 (2006)
- 32) 石井加代子, 「読み書きのみの学習困難(ディスレキシア)に対する対応策」、科学技術動向, No.45 p13-25 (2004) [http://www.nistep.go.jp/achievements/articles/200412\\_fa01/200412\\_fa01.html](http://www.nistep.go.jp/achievements/articles/200412_fa01/200412_fa01.html)
- 33) DOYA, K., 'Modulators of decision making.' Nature Neuroscience, Vo.11 No.4, p410-6 (2008)
- 34) 科学技術政策研究所, 「科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査, デルファイ調査 報告書」: <http://www.nistep.go.jp/achievements/rep097j/idx097j.html>
- 35) 厚生白書: <http://www.hakusyo.mhlw.go.jp/wpdocs/hpaz196901/b0004.html>
- 36) 厚生省心身障害研究, 「福祉機器の開発普及に関する研究」(1975)
- 37) 厚生白書: <http://www.hakusyo.mhlw.go.jp/wpdocs/hpaz198301/b0020.html>
- 38) 科学技術会議, 「諮問第5号『1970年代における総合的科学技術政策の基本について』に対する答申」(1971)
- 39) 柴谷篤弘, 「生物学の革命」、みすず書房(1960)
- 40) 石川松太郎, 「藩校と寺子屋, 教育社歴史新書<日本史>」、教育社(1978)
- 41) 文部科学省, 「学制百年史」(1981): [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/hakusho/html/hpbz198101/index.html](http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpbz198101/index.html), 「学制百二十年史」(1992): [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/hakusho/html/hpbz199201/index.html](http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpbz199201/index.html)
- 42) 教育白書, 「日本の成長と教育」(1962): [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/hakusho/html/hpad196201/index.html](http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpad196201/index.html)
- 43) 「学校教育法の一部を改正する法律案」、2006年公布
- 44) 文部科学省通知, 「特別支援教育について」(2007)
- 45) 向井義, 「少年院における年少少年の処遇について~宇治少年院の実践から」、家裁月報57巻12号(2005)
- 46) 子安増生, 「ヘッドスタート計画」、in 「よくわかる認知発達とその支援」、ミネルヴァ書房(2005)
- 47) Office of Head Start: <http://www.acf.hhs.gov/programs/ohs/>
- 48) American Pain Society, 'the Decade of Pain Control and

- Research' :  
<http://www.ampainsoc.org/decadeofpain/>
- 49) The International Association for the Study of Pain (IASP) Special Interest Group on Neuropathic Pain, Newsletter, (2007年9月)
- 50) 熊澤孝朗、「痛みと脳」、脳の科学、Vol.25, p933-936 (2003)
- 51) 神庭重信、「うつ病の行動遺伝学的構造」 in 広瀬徹也・内海健編、「うつ病論の現在—精緻な臨床をめざして」、星和書店 (2005)
- 52) 内海健、「【精神科医からのメッセージ】うつ病新時代：双極Ⅱ型障害という病」、勉誠出版 (2006)
- 53) 加藤忠史、「気分障害の生物学的研究の現状」 in 脳と精神の医学、Vol.17, No.4, p319-331(2006)
- 54) 三嶋博之、「エコロジカル・マインド：知性と環境をつなぐ心理学」、日本放送出版協会 (2000)
- 55) 伊藤昭、大橋資紀、板津智章、寺田和憲、「人にとって非零和ゲームを解くことはなぜ難しいのか」、日本認知科学会第24回大会、要旨集 O3-04, p264-269 (2007)
- 56) 西條辰義、山田典一、大和毅彦、「『いじわる』は協力の源泉になりえるか?」、『生物の科学』、特集：進化とゲーム、Vol.56, No.3, p61-65(2002)
- 57) 山岸俊男、「日本人の自己卑下と自己高揚に関する実験的研究」『社会心理学研究』Vol.20, No.2, p17-25 (2004)
- 58) 「欧州で進む人文科学分野の文献データベース構築」、科学技術動向、No.80, p.9 (2007) :  
[http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt080j/0711\\_02\\_topics/200711\\_topics.html#0711other](http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt080j/0711_02_topics/200711_topics.html#0711other)
- 59) 本村陽一、西田佳史, et al, 「子どもの日常生活をとりまく認知科学と工学～子どもの障害予防における社会貢献～」日本認知科学会第24回大会要旨集p558-563 :  
<http://www.openlife.jp/>, <http://www.dh.aist.go.jp/projects/child/>
- 60) 橋田浩一、「オントロジーと制約に基づくセマンティックプラットフォーム」、人工知能学会誌、Vol.21, No.6, p712-717 (2006)

### 執筆者



石井 加代子

ライフサイエンスユニット  
科学技術動向研究センター  
主任研究官

<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>