

修士論文

ロボットの現実性とマンガの想像性を融合した創造性育成法の開発
Development of creativity education method used robot's reality
and manga's imagination

高知工科大学大学院基盤工学専攻
浜口和洋

目次

第1章 序章

1.1	創造性について	1
1.2	創造性研究における背景	2
1.3	本研究の目的	3
1.4	本論文の構成	3

第2章 創造性育成モデル

2.1	現実性について	4
2.2	感性について	5
2.3	空想性について	5
2.4	創造性について	6
2.5	創造性育成モデルのまとめ	6

第3章 創造的思考モデル

3.1	思考のモデル	8
3.2	知性について	10
3.3	脳内メカニズムについて	14
3.4	知性の形成について	24
3.5	知性の育成について	38
3.6	創造的思考について	44
3.7	創造性育成モデルからみた、創造的思考モデル	56

第4章 現実性にて使用するロボット

4.1	ロボットの規模	58
4.2	ロボットの移動機構	60
4.3	制御システム	69
4.4	内部モニタについて	73

第5章 創造性育成モデルを用いた実験

5.1	創造性育成モデルの再確認	74
5.2	現実性	75
5.3	空想性	78
5.4	実験からの考察	79

第6章 創造的思考の誘発

6.1	言葉パズルの応用	80
6.2	組み立て式ロボットキットについて	82
6.3	まとめ	85

第7章 結章

7.1	まとめ	87
7.2	今後の課題	87

参考文献

謝辞

第1章 序章

創造性の豊かな感性から生まれる優れた感受性は、若いうちの外界とのインタラクション (interaction) を通して五感で体感するほかに方法は無い。本研究では、子供の創造性を育成するために、従来の創造性の育成法と異なった、ロボットの現実性とマンガの空想性を融合した創造性育成法の開発を目指したものである。

本章では、創造性研究の背景から、今日の、子供創造性育成の必要性について述べる。

1.1 創造性について

今日、我が国では、科学技術の急速な発展に伴い、我々の社会生活は大変便利になった。この先、人類が、未永く生き延び、精神的にもより豊かに、そして幸せに満足のゆく生活を送るために、次に生まれてくる問題を創造的に解決し、新たに希望を生み出す、創造活動を行う事への期待がますます高まっている。創造性は、「新しい発想、または、新しい価値を生み出す事」という定義が一般である。人間が創造性を発揮する上で一番大事なことは、人それぞれが持っている自由意志を情熱に換えて行動または、思考することである。強制や義務感に基づいて、何かを成そうとしても真の創造物は生まれない。特に、様々な芸術の世界における創造とは、真に研ぎ澄まされた感性が、外界とのインタラクションを通じて、誘発され、創造意欲が高まるものである。また、人間の持つ、好奇心によって、物事に注目し、新しい事柄を発見または、認知する過程も、また創造である。そして、人間の内面である心に注目した場合、起こっている出来事、状況下を把握し、様々な仮説を発想や連想する心理活動も創造である。これらをまとめた場合、創造とは、人間の強い意志による、目的意識によって、既存の技術や手腕を組み合わせ、既存のシステムを修復しながら、総合的な、システム構築ができる能力といっても過言ではない。では、創造性はこういった環境下で発揮されるのか。創造性を発揮するためには、人が持っている、各々の知性、感性、個性、感受性を高めるだけでなく、最終的に、そこに、外界とのインタラクションが不可欠である。人の創造は、常に、わずかずつの進歩から今日の文化や思想、理論が構築されているように、不連続な環境下では生まれない。そして、創造とは、要素の新しい組み合わせから生まれる。人は、常識や先入観から、採用の見込みのない組み合わせは思いつかないようになっている。日常生活では、この能力が非常に役立つが、いろいろな試みが全てだめで、全く、新しいものを創造しなくてはならない環境下では、この常識や先入観が極めて邪魔な存在になる。なぜ、常識や先入観に囚われてしまうのか。それは、まさに、人間の持っている各々の知性、感性、個性、感受性に頼りす

ぎた結果ではないかと考えられる。つまり、常識や先入観に囚われない、柔軟な能力を育成するためには、外界とのインタラクションを常に受け入れる態度が必要である。

1.2 創造性研究における背景

創造性は、「新しい発想、または、新しい価値を生み出す事」という定義の元、古くから論議されてきた。太古から、創造性は神秘的なものとして崇められ、天才的な知能やひらめきを持つ者は超人的な力を天から授かっているのだと信じられていた。つまり、一部の天才や芸術家の特権的な能力と考えられてきた。Arthur Koestlerによると、19世紀末まで、創造性を科学的に探求する組織的な試みは、ほとんど行われていなかったという。20世紀に入り、天才論や知性論と結びつき、様々な学説の対立が見られるようになってくる。近年まで、科学者は、創造性研究において大きな研究成果をあげることができない分野であった。これは、創造性を統制された実験的な条件下でどのように研究してよいのか十分に分からなかったことが原因である。また、創造性に対する考え方が研究者それぞれによって異なっている事も大きな要素だと挙げられる。我が国における創造性研究に背景として、明治32年に樋口勘次郎が創造性教育の先駆として「総合主義新教授法」をあらわし、生徒の自発活動を助長する教育法に力を入れた。その後、創造性教育が、理論的に、実践的にも盛んになったのは、大正デモクラシー時期であり。国内を挙げて、児童・生徒の創造性を育成しようとした大正教育運動が積極的に行われた時期である。特に千葉命吉の「創造教育の理論及実際」(1919 - 大正8年)では、問題解決の心理を究明したものであり、今日でも通用する創造力育成の教育方法に貢献している。また、稲毛詛風は「創造教育論」(大正13年)をあらわし、「優秀な文化価値を創造できる創造性」の育成を主張している。千葉や稲毛らの貢献により、今日の創造性教育研究は大きな一歩を歩んだと考えられる。また、実践教育として、木下竹次は、奈良女高師付属小学校において、児童らに工夫創作して、物事を処理させ、それによって創造性を育てる創作性学習(創造的学習)(1919 - 大正8年)の主張も注目される。この用に理論だけではなく実践も伴う教育が我が国でも多く確認されている。海外に目を向けると、米国のギルフォード(1950年頃)らを中心として、創造性の実証的研究がはじめられ、今日の創造性研究の進歩に大きな発展をもたらしている。ギルフォードは創造性を人間の知的活動ととらえ、その知的活動の思考を認知、記憶、集中的思考、拡散的思考、評価の5つに分類し、実証的研究を行った。この実証的研究の影響を受け、遅れること、昭和39年(1964年)頃から、産業界において創造性開発をの要求が高まり始める。これは経済成長期にあった日本に大きな貢献をもたらした。更に、2,3年遅れ、昭和41年(1966年)頃から学校教育へも創造性教育の研究の必要性が積極的に論じ

られるようになる。60年代以降、創造性研究は、創造性測定、教育心理学的アプローチ、ブレインストーミングなどに代表される実用主義的アプローチが主流となり、ここ最近においては、思考メカニズムを明らかにしようとする認知的アプローチが中心になりつつある。また、創造性育成の理論とは異なり、実践的な教育法として、森政弘の、ロボットを使った創造性の育成も注目されている。

1.3 本研究の目的

創造性とは、一般に「新しい発想、または、新しい価値を生み出す事」と定義されている。これは言い方を変えると、世の中に存在しない、全く、新しい価値観や物を導き出すということになるが、これを創造性を育成という立場から見た場合、本当に必要なことは、「より良い方法」で問題が解決できることであり、必ずしも「新しい方法」を絶対に必要としているわけではない。創造性のとらえ方はさまざまであり、何をもって創造性とするかによって研究の仕方が違ってくる。しかし、ここで創造性を人間の知的活動ととらえると、思考は創造性に必須の要因となる。そこで我々は、社会の求める、教育面での創造性の定義として、「現状の問題に対して、多種多様な面から見た、価値観をもちいて、よりよい解決を導く能力」と解釈する。これには、問題に対する深い認識と使命感、行動を行える多彩な経験的知識と論理的な思考、自分の行動や結果に対して客観的に評価する力が必要となる。つまり、こういった多面的な問題解決能力を育成する事で、同時並行に創造性の育成が期待できると考える。本研究では、外界とのインタラクションを通じて、子供の感性の向上に着目し、その感性を伸ばす事で、次に、空想のできる思考誘発を行う。まず、王碩玉氏の提唱する創造性育成のモデルを利用し創造性育成の基礎実験を行う。そして、簡単な思考モデルを製作することで、そのモデルの有効性を示す実験を行う。

1.4 本論文の構成

第2章では、王碩玉の提唱する創造性育成のモデルの概念を述べる。第3章では、創造性育成モデルを元に創造的思考モデルを提唱し、その思考モデルを元に簡単な実験を行い、創造性の発揮する環境とその条件について述べる。第4章では、育成モデルの「現実性」にてしようとするロボットについて述べる。第5章では、育成モデルの実行結果を述べる。第6章では、提唱した創造的思考モデルを元にし、ロボットキットによる創造的思考の誘発を試みる。最後に第7章では、本研究の成果と今後の課題について述べる。

第2章 創造性育成モデル

本章では、ロボットの現実性とマンガの空想性を融合した創造性育成法の開発として、王碩玉の提唱する創造性育成のモデルの概念を述べる。創造性育成のモデルを Fig1 に示す。現実性、感性、空想性、創造性という4つフィールド構成され、この各フィールドが潤滑する事で、サイクルをなし、このサイクルを通じて子供創造性の育成を行う。

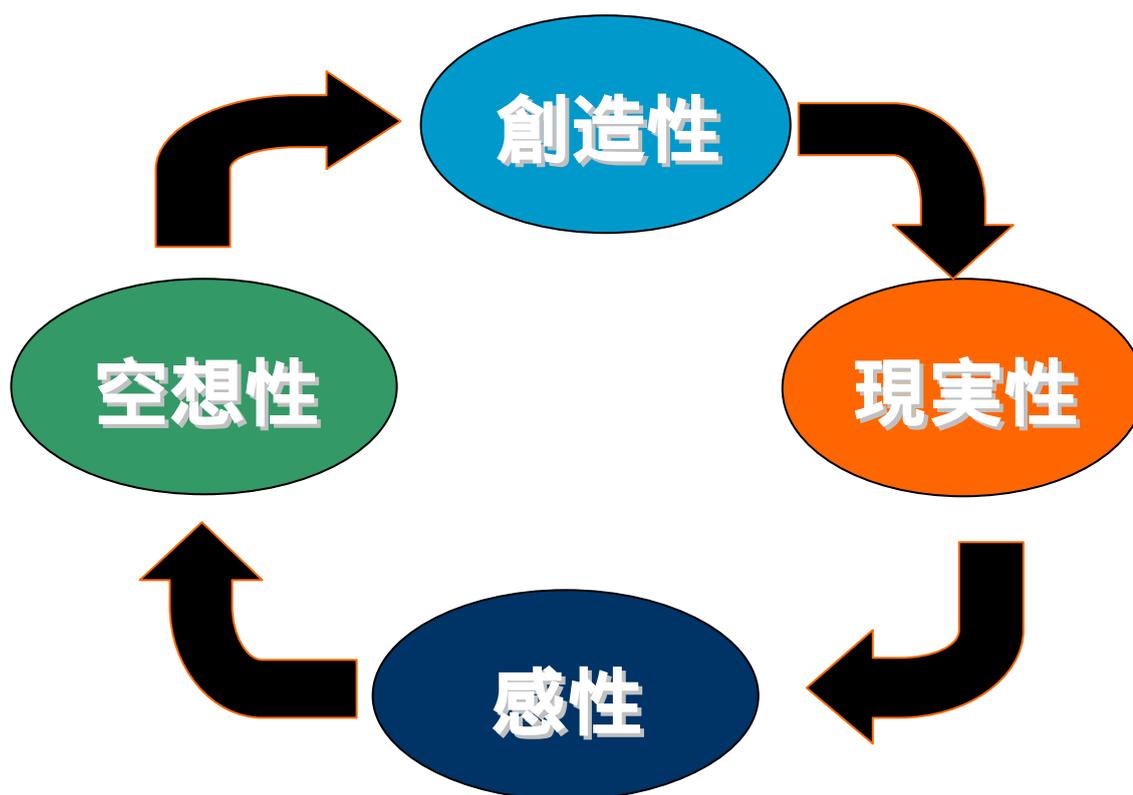


Fig 1

2.1 現実性について

Fig1 に示すように、現実性のフィールドでは、ロボットの持っている実体性を利用し、子供がロボットに、触れる、乗る、操縦するという実体験を通じて、Fig1 に示すように次のステップとして「感性」の向上を誘発する。

人間は幼い頃の体験によって、その後の人生に大きな変動をもたらす。「遊びが人間を育てる」と言われているように、子供は、遊びの中から五感を通じて体験し創造性を養い、そして感受性を育む。「遊びと人間」ロジェ・カイヨワ[3]は、遊びについて「競争」、「偶然」、「模擬」、「眩暈」の4つに分類している。

- ・「競争」・・・勝者の勝利が絶対の価値を得競者が平等のチャンスが人的に設定された闘争のとある。
- ・「偶然」・・・遊ぶ人からの独立の決定，遊ぶ人のが全く及ばない決定を基礎とし，相手に勝つことよりも運に勝つことが前提条件の遊びである。
- ・「模擬」・・・閉ざされた約束事に基づく世界や虚構的な世界の一時的受容を前提とした物真似遊びのことである。
- ・「眩暈」・・・眩暈の追求を基礎とする遊びであり，一瞬だけ知覚の安定を崩し，一種の心地よいパニックを引き起こそうとする試みを内容とする遊びである。

現代の遊びや遊具は，上記の四つの要素を具体化したものであると考えられる。今回の研究における，ロボットの操縦は，「模擬」の部類に相当し，他の遊びと異なり，対象者が，その物に成りきるという特徴が挙げられる。つまり，子供は，外界からのインタラクションとして，通常では，体験できないロボットの中に乗り操縦をし。そして，内面的な心理状況では，「模擬」の誘発が期待できる。創造性教育の一番大事なことは，あくまで，外界とのインタラクションを通じて，五感でもって体験することである。

2.2 感性について

人間とは不思議な生き物で，外界からの刺激に応じて，思考が始まったり，感情が生まれたりする傾向にある。特に，好奇心，旺盛な幼児期の子供の場合は，感情の誘発による発想や思考がし易い時期でもある。本研究では，感性を育成する立場から，感性を「物事の価値，価値観に気が付く能力」と解釈を行う。これまで，感性向上の教育方法の取り組みとして，良い物にできるだけ多く触れる機会を与えることが最適だと考えられてきた。本研究では，Fig1 に示すように，現実性のフィールドで，ロボットに触れ，そしてロボットを操縦する事で，重力やその振動を体感し，物理的概念を身をもって理解する事を期待する。この感性向上の育成には，“気が付く能力”をいかに育成していくという視点で見た場合，自らの感情を表に出す事が非常に大事である。つまり，外界からのインタラクションを通して，子供の感情的知性の誘発を期待している。

2.3 空想性について

実体験をする事で，子供の持ってたイメージをより現実的に近づけるという意味では，空想性の幅を狭くするといっても過言ではない。そこで，この Fig1 に示すように，空

想性のフィールドにおいては、マンガの持つ空想性を利用することで、狭くなった子供に空想できる領域を提供する。通常、マンガとは学術的要素とは掛け離れ、娯楽的要素が強いが、本研究では、子供の内面に持っている、自由な空想性を外に発散する機会として利用する。マンガを用いる特長としては、1. イメージを自由に表現できる 2. ストーリー性を考察できる。 3. 相手（第三者）に理解を示さなければならない 等が挙げられる。なんのために、書いているのか。何を伝えたいのか。っという事をマンガを描くことで、子供に思考させることができる。この空想性フィールドでは、子供に対して、実際に乗ってみたい作ってみたいロボットの絵を書かせ、創造性への準備を行う。

2.4 創造性について

Fig1 に示すように、創造性のフィールドでは、実際に子供にロボットの製作を行わせる。本研究では、この各フィールドをサイクル化させるために、子供に実体験のできるロボットの製作を行う。つまり、子供自信が、自分の作ったロボットに乗ったり、操縦できる、ロボットの製作を行わせる。サイクルの手順としては、このロボットを自らの手で製作し、また現実性で乗る操縦するの体験をし、さらに、自分のロボットの改善点を感性で理解し、次に、マンガで自分の作ったロボットの欠点や、子供自らの発想を書いてもらう。

2.5 創造性育成モデルのまとめ

このサイクルは、子供が自分のロボットを作る事から、初めてサイクルとして機能をする。Fig2 に示すは、1 サイクル目の工程である。このサイクルのスタートは、「ロボットに乗せる」フィールド、つまり予め、我々が用意したロボットに触れる事から始まり、最終的に、「ロボット製作」のフィールドにおいて、子供自らがロボット製作をする事で修了する。Fig3 に示すは、2 サイクル目の工程である。サイクルとしては、Fig2 に示す、「ロボット製作」の次に、Fig3 に示す「自分で製作したロボットを体験する。」とリンクされ、サイクルとしての機能を有効にする。Fig3 に示すように、2 サイクル目では、 に示す現実性フィールドでは、子供自らが製作したロボットに乗る、または操作することで、 に示す感性フィールドでは、自分のロボットの物理的な概念を感性で理解し、そして、 に示す空想性フィールドでは、自らのロボットに欠けている改善点や疑問点をマンガとして表現してもらう。そして、 に示す創造性フィー

ルドでは、実際にロボットの製作や改良を行わせる。教育という立場から見た場合、このサイクルを数回繰り返す事で、創造性の育成には十分だと考えられるが、2サイクル目以降は、このサイクルを、より有効にするために、このサイクル自体に「ロボット競技」等の課題を与える必要がある。この各フィールドをサイクル化させ、子供の創造性の育成を図るために欠かせないことは、実体験、つまりは、外界からのインタラクションである。このインタラクションを通じて、感情、または、発想の誘発、そして誘発された感情や発想を組み立てる事ができるような思考の誘発を狙っている。最終的には、さらに出来上がった物で競技をさせることで、自分の欠点や相手を認める人間付き合いの倫理観の育成も可能である。

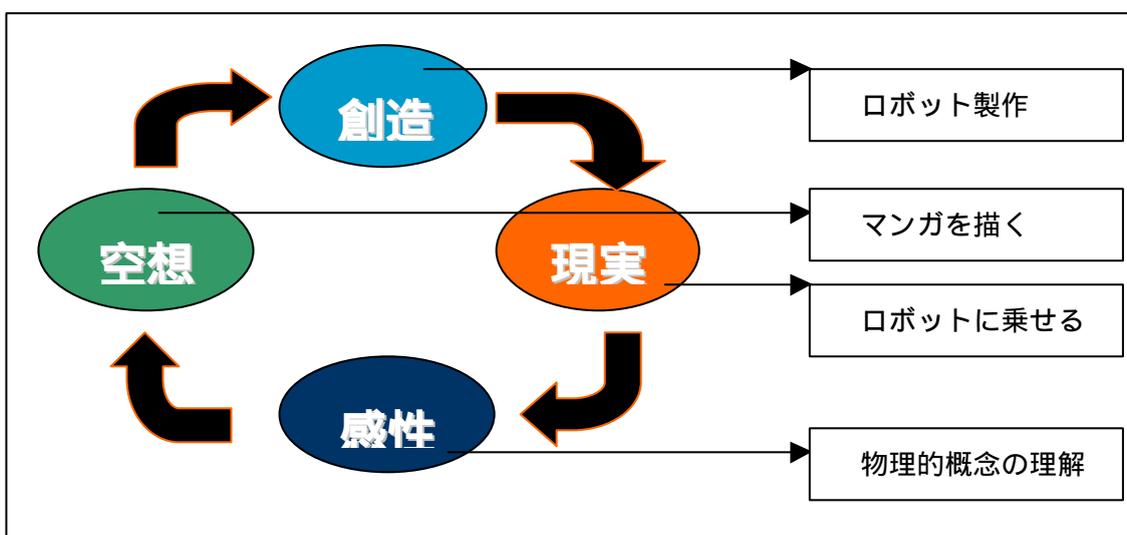


Fig 2

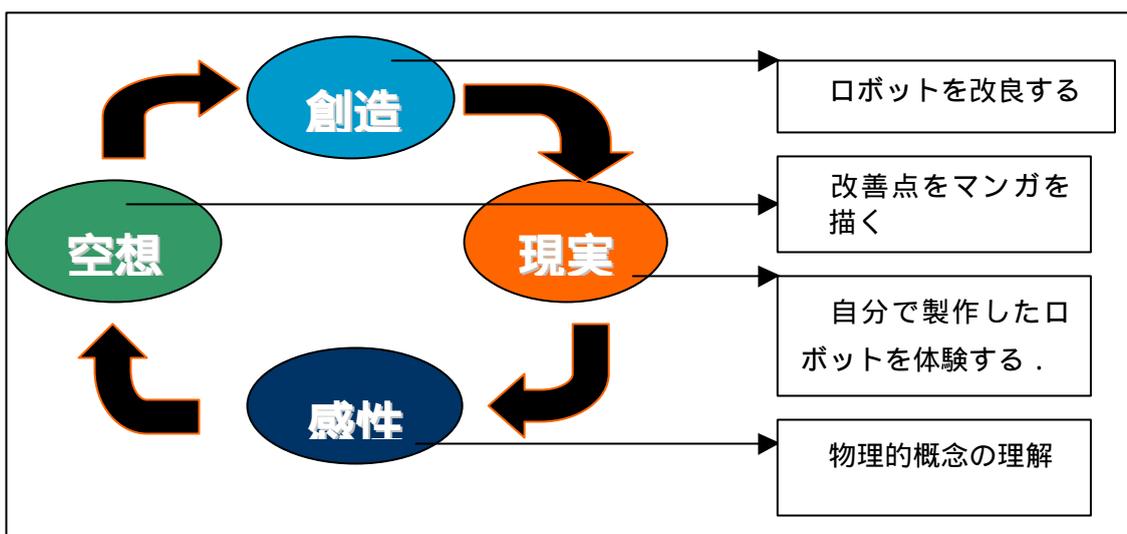


Fig 3

第3章 創造的思考モデル

創造性のとらえ方はさまざまであり、何をもって創造性とするかによって研究の仕方が違ってくる。創造性とは、一般に「新しい発想、または、新しい価値を生み出す事」と定義されている。しかし、ここで創造性を人間の知的活動ととらえると、思考は創造性に必須の要因となる。そこで我々は、創造性を育成するという立場から創造性の定義を、「現状の問題に対して、多種多様な面から見た、価値観をもちいて、よりよい解決を導く能力」と解釈する。こういった、創造的思考の誘発を元に創造性の育成が期待できると考える。この思考の誘発を効率よく行うために、思考モデルが必要となる。本章では、認知心理学と認知脳科学からみた、脳内メカニズムを考慮し、認知から思考までのプロセスを明確にする。そのうえで、王碩玉氏の提唱する、創造性育成モデルを元に、創造的思考モデルを作成し、そのモデルを元に実験を行い、創造性の発揮する環境とその条件について述べる。

3.1 思考のモデル

ギルフォード（米・創造性研究者）氏は、思考は認知、記憶、集中的思考、拡散的思考、評価の5つの操作によって行われてると提唱している。これを中山伸氏モデル化したのがFig4思考のモデルである。Fig4に示すように、このモデルでは、「問題」から「解決」までの工程として、問題を認知し、最終的に評価する事でこの解決に終わる。まず、「認知」の時点で、提示された問題を認知、認識し、その問題を包含する問題点を発見する必要がある。次に、この発見された問題点を集中的思考と拡散的思考で解決をする。一般に、集中的思考とは、多くの資料から論理的に筋道を立てて考え、一定の結論（一つの正答）を導き出す場合に働く思考であり、言い換えれば、いくつかの解決試案を比較検討して一つの解決を導き出す思考である。これに対して、拡散的思考とは、限られた資料や手がかりの中から、いろいろな新しい考えを作り出す思考の働きをさす。この2つの思考がどのように働くかは、問題の種類によって異なる。例えば、たし算などの四則演算をするような、定型の処理の場合は、集中的思考が中心となる。また、新商品の開発のような新しい発想を生む必要がある場合などは、拡散的思考が活躍する。ただしこの思考の解釈としては、脳の中では、どちらか一方に偏った思考では存在せず、割合として、四則演算をする場合は、集中的思考が多いというふうに判断をする。つまり、四則演算を行っていたからといって、演算中に拡散的思考がないとは断言する事はできない。また、この2つの思考に大きな役割を担っているのが、Fig4に示すように、

「記憶」である。これについて、Fig 4 に示すように、中山氏は、ギルフォードは記憶について言及していないが、記憶についても、思考と同様に、記憶にも2つの種類が存在すると述べている。すなわち、集中的思考に関係が深い、論理的知識の記憶と、拡散的思考に関係が深い、経験的知識の2種の記憶の存在である。いずれにせよ、脳では、思考と記憶の共同作業が行われていることは間違いない。また、その共同作業の作用によって、何らかの問題解決を導き出そうとしている。また、その思考の過程において、その思考自体を自己評価し、その評価が良ければ、問題解決の解答を出力する。また、これらの過程はそれぞれ、フィードバックされ、補完的に行われている。この用に、創造性を人間の知的活動と考えると、思考モデルにおいては、創造性の発現には、拡散的思考と集中的思考の誘発が必須の条件となる。また、これまでの創造性研究では、拡散的思考が欠かせないものであると考えられてきた。その理由として、拡散的思考が知識の組み合わせを担当していると考えられてきたからである。つまり、拡散的思考は、新奇な発見をその思考を働かす事で行っているからである。それに引き換え、逆に集中的思考では、論理的な思考が優先されるので、奇抜な事を生み出す可能性が少ない。もちろん、だからといって、集中的思考が創造性に全く関係がなく、不必要という訳ではない。創造性を発揮し、社会の役に立つ創造物を生み出すべきだという考えがあるように、論理的に、誰が考えても人の役に立つ創造物を生み出すためには、ある程度の集中的思考の能力が必要であると考えられる。また、記憶は、思考を働かせる潤滑油のようなものであり、その量が十分でないと拡散的思考はうまくその能力を発揮できない。また、逆にその量が十分であったとしても、論理的な記憶がばかりでは、固定観念が強く働き、新たな事を生み出しにくい。さらに、認知や評価の能力も創造性には欠かせないものである。このように、創造性の発揮には、拡散的思考に着目するのではなく、問題解決に関わる、操作能力が必要に応じて、バランス良く整備される事が大事である。このモデルは、「問題」に対する「解決」を導くためのモデルとしては、優れたモデルである。しなしながら、ある問題を「問題」と認知するまでには、各個人の認知の度合いに依存する、また、その認知の仕方によって、その後行われる思考に、大きく影響を与えてしまう。故にこのモデルだけで、思考の工程を解くには不十分である。本研究では、「空想や想像を論理的に組み立てる思考」に重点をおき、その思考をいかに誘発できるのかという点に着目をおいている。故に、問題を問題と認知するために認知より、手前の段階を整備する必要がある。

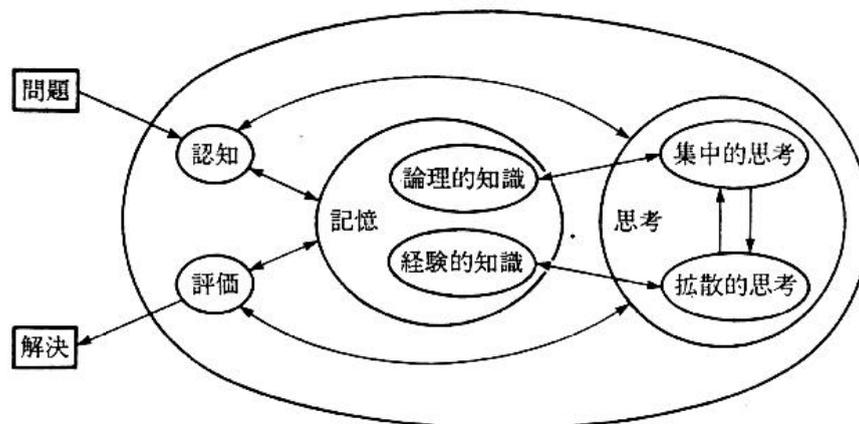


Fig 4

3.2 知性について

Fig 4に示す，思考モデルにおいて問題を問題と認知するためには，人間の持っている「知性」が重要な働きをする．知性とは，物事を考え，理解し，判断する人間の知的能力．または，感覚によって得られた素材を整理・統一して，新しい認識を形成する精神のはたらきと提唱されている．また，脳科学の分野では，知性自体を心の本体とみなし，心理学の分野での「認知機能」そのものを知性という言葉で統一をしている．こういった背景で，知性の意味とは様々なものがある．一般にいう「知能」やIQはその一種にすぎず，知性そのものを全て含んだものではない．また，EQとも呼ばれる感情的知性（感情をうまくコントロールする知性）もあるし，スポーツや運動を上手に行うための知性もその一種である．そして，性格や理性などを含む自我も知性的一种である．このような意味での「知性」という言葉で，心の本体（自我・人格）を尽くせるし，また，近年の教育の目的は多くの知性を豊かに育むことを重点においている．故に，幼児教育を含めた，全ての教育において，教育とは「脳教育」であり，脳を豊かに育むことに他ならない．問題を問題と認知するために，この知性が脳の活動・プロセスであることを押さえる必要がある．また，知性を支える脳を理解しなければならない．しかしながら，近年の教育は，知性を担う脳内システムのことを十分に知らないで，知性教育を云々する傾向にある．その多くは知性のことを十分に知らないで「知性教育」「創造性教育」を考えている教育者が多く存在する．まず，我が国における教育の現場を見てみると，多くの知性を育むために，小中学校の授業科目には様々な科目が存在する．これは，認知心理学の分野の成果とよく重なり合った教育システムとなっている．認知心理学とは，1960年代に急速に発展した「心の科学」の総称である．当初，心理学が，「心」という捉えどころの無いものを非対称と考へ，人間の行う「行動」だけに着目し，客観的に判断をするという考えであったが，行動の説明のために，どうしても「心」の存在を無視できなくなり，心を科学的に明らかにしよう，という試みの下に生まれがの

認知心理学で、同様に、近年では「心の脳科学」つまり、「認知脳科学」発展してきている。その認知心理学が様々なことを明らかにしたが、最も着目すべき成果は、「知性の多重性」ということである。例えば、ハワード・ガードナー（米）は「我々の知性は1つではなく、多数の並列した知性から成り立っている」という多重知性論を提唱した。つまり、知性は1つではなく、複数の知性が多重化して存在しており、その各々の知性は、脳の中で並列して存在し、ある程度独立して働くという考えが、多重知性論である。ガードナーによれば、我々の知性は、言語的知性や空間的知性などの6つの知性に分解されるという。ただし、ガードナーのオリジナルの考えは、1983年に出されたものなので、やや古く、現在では、認知脳科学がその最新の成果を取り入れ、我々、人類の知性は8つに分類されていると提唱されている。その8つの知性を下記にまとめる。

- ・ **言語的知性**：言葉を見たり聞いたりして、それを理解し、記憶する。そしてそれらに基づいて、言葉を話し、文字を書くことなどの行為を行う知性。会話や読書、執筆での基本的な知性。
- ・ **絵画的知性**：絵画に代表される資格対象の形態やパターンを理解し、記憶する。そして絵画や図形などを描く知性。絵画の鑑賞や画家にとってはなくてはならない。
- ・ **空間的知性**：モノがどのような位置にどのような速度や関係で存在しているのかという知覚とその記憶、そして、それに基づいて行動を組み立てる知性。日常生活で普通に使われる。目的地まで歩いたりドライブしたりするときにも必要。山歩きやハイキングでもこの知性が上手く働かないと道に迷いかねない。
- ・ **論理数学的知性**：様々な数学的記号の理解とそれを論理的に操作する知性。計算や暗記で使われる。数学者には必須の知性である。
- ・ **音楽的知性**：音楽を聞いて知覚し、理解し、記憶する。そして、それらに基づいて歌ったり、演奏したりする知性。とくに、ミュージシャンでは、この知性がよく発達していることが実証されている。
- ・ **身体運動的知性**：体の姿勢や運動の様子を知覚し、記憶する。そして、それらに基づいて運動を上手くコントロールする知性。優秀なスポーツ選手になるにはこの知性を最大限に伸ばす必要がある。

- ・ **社会的知性**：人間関係に代表される社会関係の知覚，理解，記憶する．そしてそれらに基づいて，適切に社会的行動を行う知性．結婚生活などを含めた社会関係を適切に営むのに必要．
- ・ **感情的知性**：他者の感情（表情を含む）や自分の感情を理解・記憶し，自分の感情を適切にコントロールする知性．EQに対応する．

更に，この上記8つの知性を総括し，コントロールする知性，いわば「超知性」としての「自我」がある．この超知性は多重知性の監督者，スーパーバイザーのような役割をもっており，別格な地位に存在する．下記に自我の定義を記す．

- ・ **自我**：自分の持つ多重知性を総括して操作し，将来へ向けた計画を立てつつ前向き向きに生きる知性．多重知性の総括者，「スーパーバイザー」として，最も高度な働きを担う．人格，理性，主体性，独創性，創造性などでもこの知性が中心的な役割をもつ．

こうした，知性の分類は，一部を除いて，小中学校の授業科目とおおむね対応する．例えば，国語は言語的知性に，算数や理科は論理数学的知性に，そして，絵や図工は空間的知性や絵画的知性，また，体育はどの身体運動的知性に相当する．そして，学校生活を通じて社会的知性や，友達との付き合いを通じて感情的知性などを育む教育システムになっている．その意味では，小中学校の授業科目は認知心理学や認知脳科学の成果を十分に取り入れていると考えられる．ただし，知性教育においては，知性の種類ごとに授業科目を設定し教育を行う事はでは不十分である．なぜならば，各知性の向上が見込まれたとしても，多重知性の総括者，「スーパーバイザー」の「自我」が向上するとは限らないからである．それはともあれ，知性が複数存在することは，ガードナーの理論より前に，自明のことであった．しかし，ガードナーの優れていた所は，それらの知性が「多重」であることを明白にしたことである．つまり，我々の知性には多数の知性が存在し，その多数の知性が並列しており，それぞれがある程度独立して働くということである．このことは，我々の日常生活のなかでも普通に体験する事ができる．例えば，誰しも，音楽を聞きながら文章を書くことはできる．これは，言語的知性と音楽的知性が別々に働いていることを示している．また，アメリカのノーベル賞物理学者であるリチャード・ファインマン(故)は数をかぞえながら本を読むことができることを示した．これは，言語的知性と論理数学的知性が，ある程度独立して働くことを意味している．このような知性の特徴をガードナーは「多重性」と提唱したのである．本研究では，この知性の相互作用で成り立つ，多重性が脳教育や創造性教育に要となる考える．もっとも，この多重知性論が単なる仮説や推測であつたら何の意味もない．しかし，その後の

多くの研究者の研究によって、この知性の多重性は様々な角度から確認されてきた。そして、そのことをきちんと表明してきたチン血心理学者も多くいる。例えば、ガードナーとはほぼ同意見を持つ、ロバート・オースタインが「多重マインド（精神）説」と言う方で提唱し、代表的な認知心理学者であるジェリー・フォーダーも「心のモジュール性（機能単子形式）説」を展開した。どちらも同じ考え方で、心はお互いに独立した「モジュール」からなっていると提唱している。このモジュールとは、機能的な単位構造のことであり、心の構成要素のことである。そして、心のとりわけ感覚や知覚といった心身的機能は、これらモジュールがいくつか合わさってできたものであり、1つ1つのモジュールは独立して動くことができる。この特徴を心の「モジュール性」という。モジュールの話を持ち出すと少々混乱がちなが、要点は非常に容易なことであり、つまり、これまでの心理学の分野等の研究で、捉えどころのなかった心というものが、実は小さな単位が集まって構成されているものであるということである。最近では、かく分野において、その単位の動きと相互関係を調べることで、心の全体的な姿もよりはっきりすると考えられている。また、ジェリー・フォーダーは心のモジュール性に加えて「心は階層性をもつ」とも主張している。つまり、いくつかの感覚モジュールからの入力を統合する「中枢処理系」があり、この系は1つ1つの感覚モジュールよりも上の階層に存在する。故に心にも階層性があると考えられる。このことをもう少し詳しく述べる、Fig 5 に示すように、例えば、言語的知性では、まず、視覚や聴覚からの「言葉」を入力するモジュールが存在し、その上に単語を識別するモジュールが存在し、その上に単語の組み合わせである文章を理解するモジュールがあり、さらにその上に構文としての言葉を出力するモジュールがありとつとつという具合に階層性になって順序レベルを上げていく。こうして、階層的に存在しているモジュールがそれぞれに働いて、全体として言語に関わる知性を実現しているものだと考えられる。

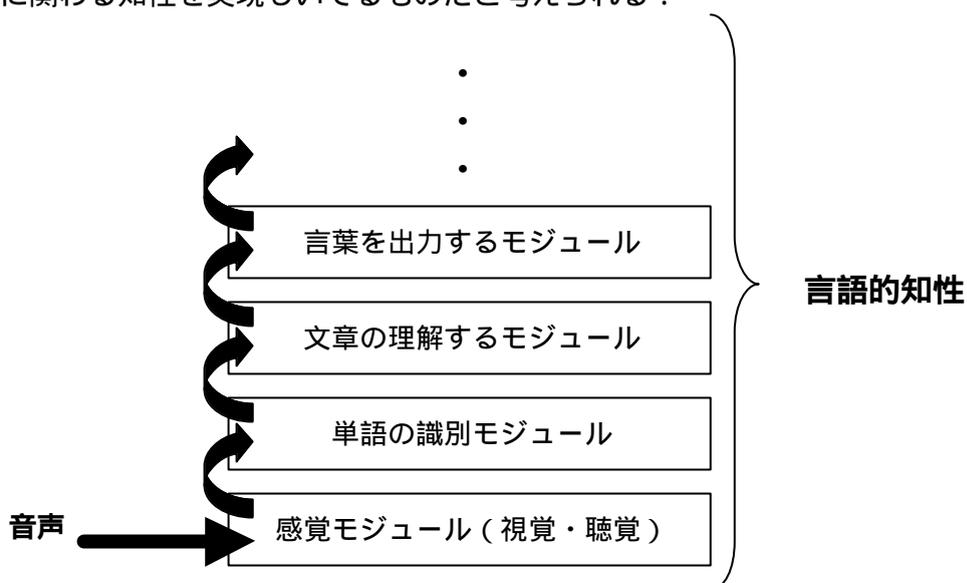


Fig 5

このように、複数のモジュールが階層的に配列して一つの知性を形成し、そうした知性が重なって、多重知性を作っている。これが、現在の認知心理学が到達している知性構造論である。しかし、「モジュール」とはいったいどういった存在であるのか。それが、階層構造になっているとといても、具体性に非常に乏しい理論だけに、応用研究への期待が薄い。しかし、こういった階層構造を具体的に解答できる分野が現在の脳科学の分野である。

3.3 脳内メカニズムについて

本研究では、医学的な側面からみた、脳の具体的な解説はおこなわず、いかに幼児脳教育における思考の誘発または、子供の知性、感性の育成に着目をする。そのために、古来から哲学者や思想家を悩ましてつづけてきた知性の問題を明らかにするために、哲学でもなく、心理学でもなく、認知脳科学の分野における脳内メカニズムについて述べる。なぜならば、多重知性の階層モジュールについて、認知脳科学の分野が一番明確に述べているからである。

3.3.1 大脳皮質の特徴

脳は、眠っているときも、起きているときも休みなく活動し、生命を維持するための身体活動はもちろんのこと、生きていくために必要な我々の心の働きも実現している。心（知性）も脳の活動である以上、知性を担う脳内システムは当然ながら存在する。そしてその脳内システムには知性と同様の性質や特性をもっている。つまり、知性の脳内システムの性質によって、知性の性質が決まっているといっても過言ではない。それは、脳内に5つの感覚システムがあるように、我々の感覚を「5感」に別けることができるように、その逆がありえないことと似ている。現在の認知心理学の立場では、知性・心は「モジュール」という単位から成り立っていて、心の働きはこのモジュールがいくつか重なって機能すると考えている。さらに、知性は多重性を持っていて、言語的知性、論理数学的知性等の多くの並列した知性に別けることができ、それがある程度、独立した形で機能するとも考えられている。この認知心理学での立場と同じ立場で脳科学からみた場合でも共通する部分がある。特に、大脳皮質について述べた場合、大脳皮質とは、大脳の表面を覆っている厚さ2～3mmほどの薄い細胞層のことであるが、この大脳皮質とは、脳進化の歴史のなかで最も新しくできた部分ともいわれている。また、具体的に、哺乳類が誕生した2～3億年前に形成されたともいわれている。そして、7千

万前ほど前に発生した霊長類の系統でよく発達しており、霊長類の中でも人間が最大級の発達が確認されている。それは、原始的な哺乳類である、モグラやハリネズミなどの食虫類では、脳全体に占める大脳皮質は体積の約10～15%にすぎないが、これが、猿などの真猿類（高等霊長類）では70～80%にもなり、人間の場合、90%以上にも及んでいる。そして、もちろん、この大脳皮質こそが知性の中心なのである。このような背景を下に、現在、大脳皮質に関する研究は大変な速度で進んでおり、その成果も目覚ましいものである。こうした、研究成果の中から浮かんできたことが、大脳皮質におけるモジュール構造である。つまり、認知心理学が心の特徴として考えているものと、ほぼ同じ構造を脳科学は、大脳皮質に見出したのである。まず、モジュール構造については、認知心理学では、実体と具体性がない「モジュール」という概念であったが、脳科学では、実体として捉えられている。つまり、機能的な単位としてのモジュールが脳科学によって、実体として明らかになった。Fig 6 に示すように、大脳皮質は一見ははっきりと区切りが無いように見えるが、溝や形などの構造的な特徴から4つの部分に分けられる。前方から、前頭葉、側頭葉、頭頂葉、そして後頭葉である。そして、部分部分によって構造も機能も異なっている。また、各脳葉には、「連合野」という高度な働きをする領域が存在し、それぞれを前頭連合野、側頭連合野、頭頂連合野、そして、後頭連合野と呼ばれる。前頭葉には、運動連合野という高度な運動機能に関わる連合野も存在する。つまり、各脳葉は連合野とそうでない非連合野に分けられる。大脳皮質は脳の進化のなかで新しくできた部分であるが、各連合野は、その大脳皮質のなかでも、他の領域と比べ、さらに新しくできたものであり、全ての動物の中で人間だけが最もよく発達している部分である。「脳葉」やその中での「連合野・非連合野」という区分は実際には大まかなものであり、これのらの大まかな領域は「領野」というもっと小さな区画に分けることができる。比較的狭い領野に対しては、「セクター」とも呼ばれている。これは、世界地図での国名、国名の中の州や都道府県などに相当すると考えれば容易である。つまり、連合野も非連合野も複数の領野・セクターに分けられる。もちろん、これらは構造や働きに対して異なった性質を持っており、大脳皮質の情報処理の基本的な単位となっている。

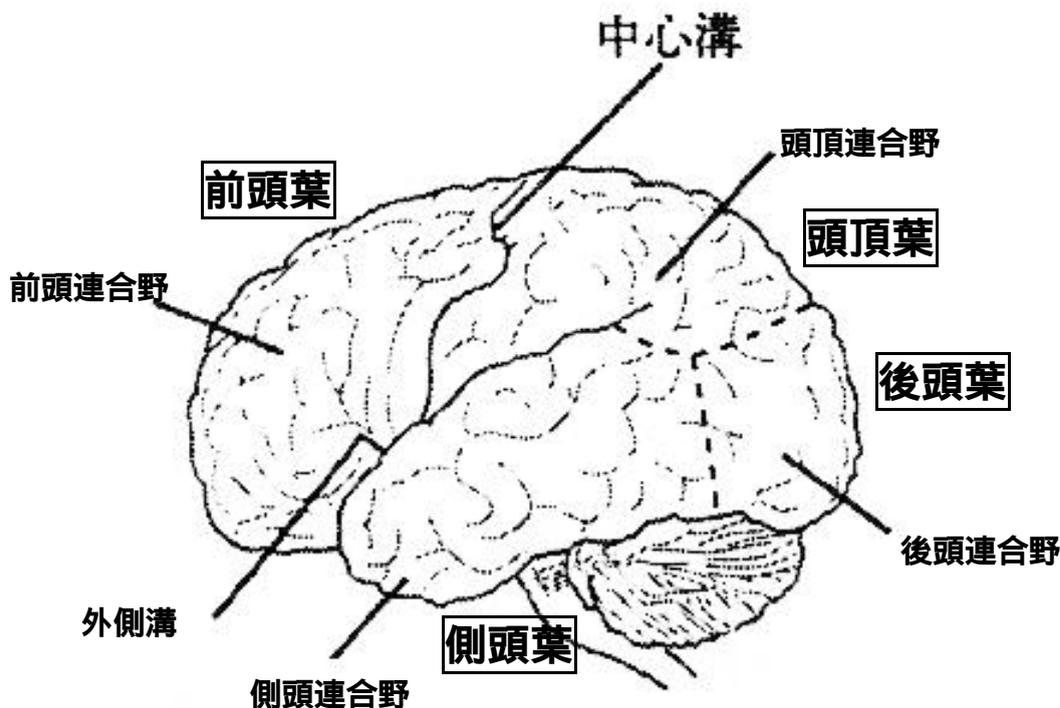


Fig 6

このような、各、領野・セクターを認知心理学でいう「モジュール」として、考えることができる。このレベルでは、人間の場合、モジュールは約10数ミリから数10ミリという大きさになる。多くの証拠から、認知脳科学では、このレベルでのモジュール構造が知性のモジュールと概ね対応すると考えられている。故に、モジュールは領野・セクターを示すことにことになる。さらに、現在の研究によれば、領野・セクターである各モジュールは、さらに小さな「コラム」と呼ばれる小さな単位構造から成り立っている。コラムとは大脳皮質にある小さな円柱状の組織で、その幅は、約0.5mm、高さ2~3mm程度あり、その整然と並んだ様子は、肉眼でも確認がとることができる。では、その構造に存在する実際の神経細胞だが、人間の場合、大脳皮質には、140億個ほどの神経細胞であるニューロンが集まっており、ニューロンの種類は、大きく分けると、2つ存在する。その2つとは、他の部分に情報を送り出す出力ニューロンと、大脳皮質の中で情報のやりとりを行う内在ニューロンの2つである。そして、この他に脳のほかの部分から大脳皮質に情報を伝える「求心線維」がある。大脳皮質は基本的に、この3つの要素からなると考えてよい。この出力ニューロンと内在ニューロン、そして求心線維という3つの要素が一定の規則で結合した単位組織が「コラム」であり、大脳皮質の表面に対して垂直に並んでいる。いわばコラムとは、IC回路のようなものであり、

IC は入力情報を内部回路で処理して出力するが、コラムも同様に求心線維から伝わった情報を内在ニューロンの相互作用によって処理し、処理した情報を出力ニューロンによって他の脳の部分へとアウトプットを行う。大脳皮質に入ってくる情報は、コラムごとに処理され、コラムが規則正しく配列した組織が大脳皮質そのものである。このコラムが大脳皮質の基本的な機能単位として働いていることは、1970年代に、視覚や運動コントロールといった比較的単純な脳機能の研究を通して明らかにされた。次いで、1990年代になって、認知や思考、注意などのもっとも高度な機能においてもコラムが基本単位として働いていることが分かってきた。故にコラムが大脳皮質での情報処理における最も基本的な単位構造であり、最小級のモジュール構造であるとは間違いない。では、実際の情報は脳ではいかに伝達されているのか。「モジュール性」とは別に、大脳皮質のもう1つの特徴として、「階層性」が挙げられる。この階層性の研究で現在、最も進んでいる分野が視覚野である。人間を含めて、霊長類は、「視覚動物」といわれるほど、視覚に頼った生活を営んでいる。故に、それに対応して、視覚に関係する大脳皮質領域が広いことが確認されている。例えば、人が何かを見るとき、その情報は眼球の網膜から大脳皮質の後頭葉に存在する、第一次視覚野に到達する。この第一次視覚野で一次的な情報処理が行われる。具体的に、視覚対象は短い線分や色の3原色、小さな空間などに細かく分けられる。その後、分解された情報は、第二次視聴野、第三次視聴野・・・とより高次の視聴野に流れていき、それぞれのレベルでより精密かつ、統合的な情報処理を受けながら再構成され知覚や認知に至ることになる。実際に、第一次視聴野では、線分の傾きなどの単純な視覚刺激に応じるニューロンが多く、各ニューロンが受け持つ空間（受容野）もごく狭い事が確認されている。所が、側頭葉にある高次視覚野では、顔や複雑な図形などを見たときに活動するニューロンが多くなり、受容野もぐんと広がる。このように、単純な情報処理から、より高次的な情報処理をする工程へどんどん情報が流れ、高度な認識が可能となる。視覚野を例に述べてきたが、このように、知性を担っている大脳皮質の特徴は、モジュール性と階層性にある。

3.3.2 大脳辺縁系について

知性と大脳皮質の特徴について述べてきたが、ここで大脳辺縁系について述べる。全ての霊長類は、基本的に同じ脳構造をもち、この大脳辺縁系を所有している。この大脳辺縁系とは、知性（心）の特徴である「感情」の働きの基盤であると考えられている。また、知性とは少し異なる考えになるが、摂食行動や摂水行動、性行動や母性行動、さらに、生命が脅かされた状態における逃走行動（恐れ）や、攻撃行動（怒り）など、人間固体の維持と子孫存続のための基本的な生命活動を行っている部分である。すなわち大脳辺縁系は、生存のための基本的行動を引き起こし、方向づけ、さらには維持してい

く、心の動機づけや感情の働きを担っている。Fig7に示すは、脳を縦から切断した右側半分の内部状態である。その内部は、大まかに、帯状回、右大脳半球、脳梁、海馬、海馬傍回、扁桃体の5つに分けられる。この5つを統合して、大脳辺縁系と呼ばれている。この大脳辺縁系は、大脳皮質との連携によって働き、人間の知性に対して、大きな役割を担っている。大脳皮質が知性を元に、知覚、認知、思考、判断をさらに、適応行動の計画立案とその遂行を行っているのに比べ、この大脳辺縁系では、人間の感情や情動の働きを担っている。大脳辺縁系の中でも主に、情動機能を担っている部分は、扁桃体である。この扁桃体は、外界の対象が自分にとって有利なのか、不利なのか、又は有害なのかという、快・不快に関わる生物学的価値判断を行っている。しかしながら、もちろんこのような情動機能は大脳皮質の知性が十分に働かない限り、誤差を生じる可能性もある。故に、この誤差が、誤解や判断ミスをもたらす結果となる。また、この大脳辺縁系は、Fig8に示す、間脳の視床下部と密接に繋がっており、自律神経系や内分泌を介して内臓の活動や内分泌活動を調整し、内部環境の恒常性（ホメオスタシオ）を維持している。すなわち、大脳辺縁系は、視床下部を介して、自律神経や内分泌に影響を与えると同時に、動機づけ・情動機能を実行する際、視床下部からの情報を利用している。従って、大脳辺縁系と視床下部は、相互に密接に関係しあうことで、心と身体が影響しあう場になっている。恐れや怒りなどの情動が生じる場合には、心拍数や精神性発汗の量が増える事に着目し、この現象をポリグラフによる生理指数を測定することで、情動の変化を客観的に捉えることも可能である。この上位（大脳皮質）から内分泌機能までの略図を Fig9 にまとめる。

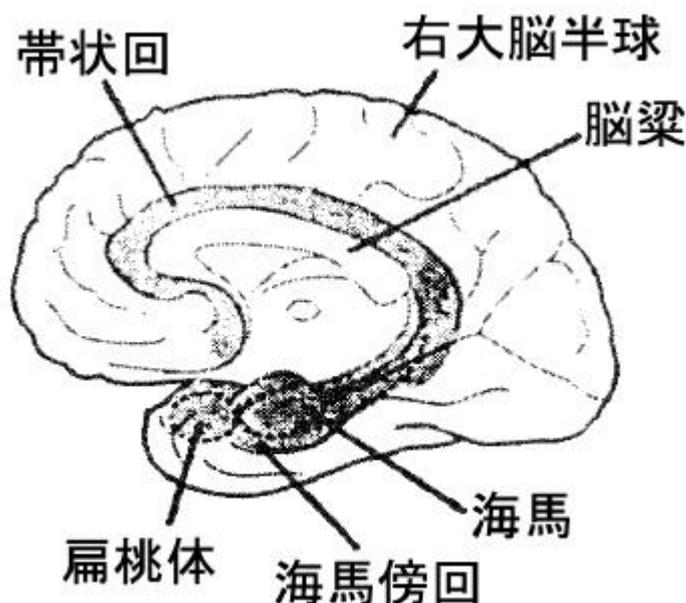


Fig 7

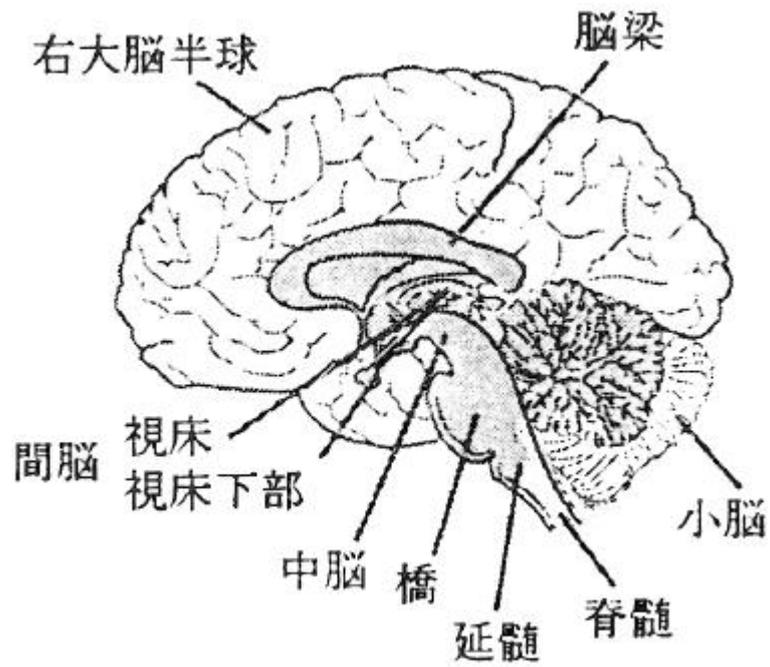


Fig 8

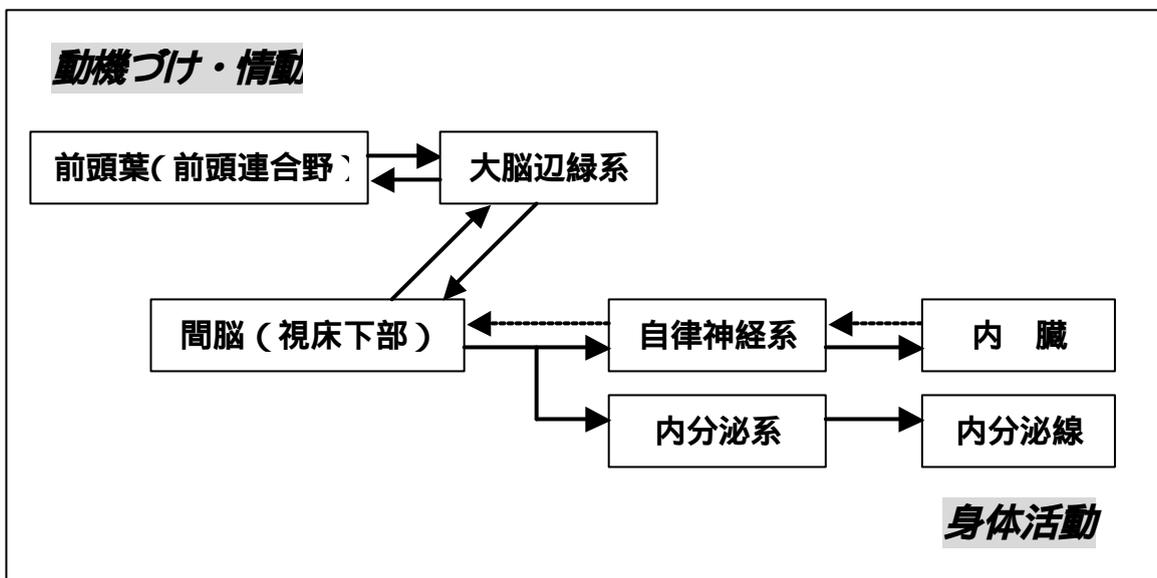


Fig 9

3.3.3 多重フレーム理論について

これまで、大脳皮質と大脳辺縁系を元に、特徴と知性と感情の結びつきについて述べた。ここからは、その知性の多重性について詳しく述べる。我々、人間を含む、霊長類で、最もよく発達し、知性を主に担っている大脳皮質の特徴はモジュール性と階層性にある。こういった研究背景において、澤口俊之氏の提唱する「多重フレームモデル」が、認知心理学と認知脳科学の両方を統合した最良のモデルだと考えられる。Fig 10に示すは、澤口俊之氏の提唱する「多重フレームモデル」である。このモデルの優れている点は、多重構造を作っている知性1つ1つに対して、生物学的な実体である脳構造があると考え、それらに対応するために、フレームという概念を用いる点である。このモデルに基づき研究成果により、認知心理学のいう「知性の構造」に対応する、脳構造の実体が徐々に見えかけてきている。では、下記から多重フレームについて述べる。大脳皮質は、多くの領野・セクターから成り立っている。そして、それぞれの領野は、大脳皮質の最も基本的な構成単位であるコラムが集まって構成されている。そして、これらの領野群は階層的にネットワークされている。このネットワーク自体が「フレーム」である。領野・セクターは似たような働きをもつコラム群の集団であり、この集団が「モジュール」である。そして、モジュールがいくつか階層的に配列してフレームが構成されている。言い換えれば、モジュールには、低次モジュール、高次モジュールも存在し、その中間レベルの中位モジュールも存在する。この各モジュールは、階層的なネットワークを構築している。フレームは、知性の脳内システムの実体であり、その知性は多重である。つまり、言語による知性や空間に関する知性、あるいは自分の身体や運動に関する知性などに区別されている。そこで、この多重フレーム理論では、お互いに独立し、並列した多数のフレームが多重して多重知性を実現していると考えている。要するに、各フレームは、階層的に配列した低次～高次モジュール群から構成され、各モジュールはコラムが集まって構成されている。また、一連の情報処理には「入力系」と「出力系」、そして両者を連合ないし統合する「統合系」が存在するために、フレームには、入力系と出力系そして、統合系がある。この入力系は、視覚野をはじめとした一連の感覚性領野群、出力系は、運動性領野群によって形成される。統合系は、主に前頭連合野の領野群によって形成される。前頭連合野は多数の入力システムの終点であり、出力システムの起点ともなっている。まさに、統合的な機能を所有している。こうして、様々な異なった種類の情報を並列かつ階層的に処理する多数のフレームが多重して、大脳皮質の形成を成している。このように、フレーム群が多重して大脳皮質を形成して多重知性を形成しているというのが、多重フレーム理論の核心である。つまりこの多重フレームモデルが、認知心理学が明らかにした「多重知性」・「知性のモジュール性」と合致している点である。認知心理学での多重知性論によれば、言語的知性、論理数学的知性、空間的知性、身体運動的知性などが多重し、人間の知性形成されている。これを多重フレーム

理論で考えた場合、これらの知性に対して、それぞれ対応したフレームが存在することになる。つまり、言語フレーム、論理数学フレーム、空間フレーム、身体運動フレームなどの各フレームである。実際の所、脳内システムには、各々の知性に対応して、実体としての脳内フレームが形成されている事が確認されている。例えば、言語的知性の成り立ちを例にして考えた場合、言語フレームは、モジュール（領野・セクター）が階層的に配列することで、実現されてる。つまり、階層的に配列した言語用モジュール群の言語フレームの活動・プロセスによって、言語的知性が生まれるのである。具体的に、人が言葉を認識し、それを表現する場合、まず、言葉の知覚（見るか、聞く）と理解があり、それからその言葉を記憶し、そして今度は声に出して発声したり、書いたりというプロセスを取る。これを脳の機能別に分解してみると、まず、「言葉の知覚 理解 記憶」となり、入力系で必要なのは、視覚系と聴覚系である。このなかで、視覚系については、サルの研究で成果をだしているように、言葉を見る場合には、形を知覚することが重要であり、Fig 1 1に示すように、形の情報処理の流れに着目すると、第一次視覚野 第二次視覚野 第四次視覚野（V4）・VP PIT（側頭連合野のセクター郡）という流れになる。さらに最近の研究では、サルと違い人間の場合、PIT野は文字の意味読解に非常に重要な働きを果たす事をわかっている。さらに、人間の場合、文字の認知と記憶に関わる言語やとして、「角回」が知られている。この「角回」とは、前頭連合野の後部に位置し、視覚領野郡から入力を受ける。この経路は、話ことばの理解と記憶に、最も重要な言語野であるウェルニケ野（Tpt）にいたる。このように、「言葉の知覚 理解 記憶」には、「視覚領野 PIT野」、「視覚領野郡 角回」、「聴覚領野郡 ウェルニケ野（Tpt）」の3つの入力系が関わっていることが現在の研究で明らかになっている。そして、これらの経路での高次モジュールである、PIT野、角回、ウェルニケ野（Tpt）は、お互いそれぞれが連絡しないながら、各々どれもが、前頭葉の前頭連合野内にある言語野、つまり、Fig 1 1に示す、ブローカ野（44野）や47野、さらには10野などに情報の伝達を行っている。つまり、前頭連合野のこれらの領野郡が言語フレームの統合系を形成する。次に、発声したり、文章を書いたりする出力系について述べる。言語用の高次領野郡の活動を基づいて、口や手の運動に関わる出力系のコントロールを行う部分が、ブローカ野（44野）である。ブローカ野は言葉で話や文章を組み立てる言わば、構造化に関わり、そおで構造化された言葉の出力が補助運動や運動前野のセクターから、運動野のセクターという出力系を通して発音や書字として外界に表現される。ただし、実際の言語的知性フレームはこれほど単純ではなく、例えば、言葉を発する場合でも、自発的な会話であったり、対象の名前を呼ぶ場合であったり、言葉の復唱であったり、と様々なバリエーションが考えられる。つまり、それらが、それなりに違ったように表現されているということは、それを実現させている多少なりとも異なった相似的なフレームが相互関係しているということである。こうした、相似的な知性ネットワークは、フレームのなかに互いに微妙に異なる「サブフレーム」

として並列して存在し、そのなかにさらに相似的なサブフレームがあるという「入れ子」構造になっている。実際に、同じ発音でも、自発的な発声と言葉の復唱や命名では、異なったシステムが使われることが明らかになっている。つまり、多重構造のうえに「入れ子」構造をもつ複雑なシステムがフレーム構造の実体である。今度は、空間的知性を例にして、多重フレームについて述べる。認知心理学の研究では、この空間的知性は、言語的知性とははっきりと異なり独立して働く知性と位置付けされている。空間的知性とは、対象の位置関係や動きなどの空間情報を知覚し、それを記憶して、それらに基づいて、行動を組み立てる知性である。空間情報の知覚や記憶には聴覚も関係するが、ここでは、空間情報の知覚に最も重要な視覚に重点をあて述べる。空間情報の視覚は、同じ視覚だからといって、言語的知性でたどった、視覚経路と同じだと考えるのは間違いである。言語的知性で「見る」は形であるのに対して、空間的知性が「見る」は、空間の位置関係や動きである空間情報である。故に、この2つの視覚の神経回路ははっきりと異なっているのである。空間的知性の視覚経路は、次のようになる。第一次視覚野 第二次視覚野 第三次視覚野・PO 頭頂連合野(MST, 7a, VIPなど) 前頭連合野(8野 46野) 6野のセクター 運動野のセクターっという流れになる。この空間的知性も言語的知性のブローカ野や47野と同様に、このフレームの中で、もっとも重要な働きをしている部分は、前頭連合野の外側に位置する8野や46野である。ブローカ野が入力系をまとめて出力系に働きかけているように、空間的知性フレームのなかでも、これらの領野は、統合系を形成し、6野を介して運動系をコントロールしている。そして、言語的知性と同じように、このフレームのなかでも、例えば、対象の動きを知覚するサブフレームや、位置関係を知覚するサブフレームなどが「入れ子」構造になっていて多重している。そのサブフレームのいくつかが集まって、空間的知性のフレームを形成し、その最高次のモジュールである8野や46野が統合系として全体的な総括を担っている。こうして、多重フレーム理論は、論理数学的知性にも、音楽的知性にも、身体運動的知性にも、あるいは絵画的知性にも同様のある程度独立・並列したフレーム構造を予測し働いている。最近の研究では、絵画的知性には、ものの色や形の視覚である形態視の要素はあるが、言語的知性と同じ経路をたどらず、多少共通しちいる部分も存在するが、絵画的知性フレームと言語的知性フレームは、互いにある程度独立していることが明確になった。今日、このモデルは、脳レベルで多重知性を議論する上で基本的なモデルとなっている。また、このような脳内システムを理解したうえでの教育が行われようとしている。

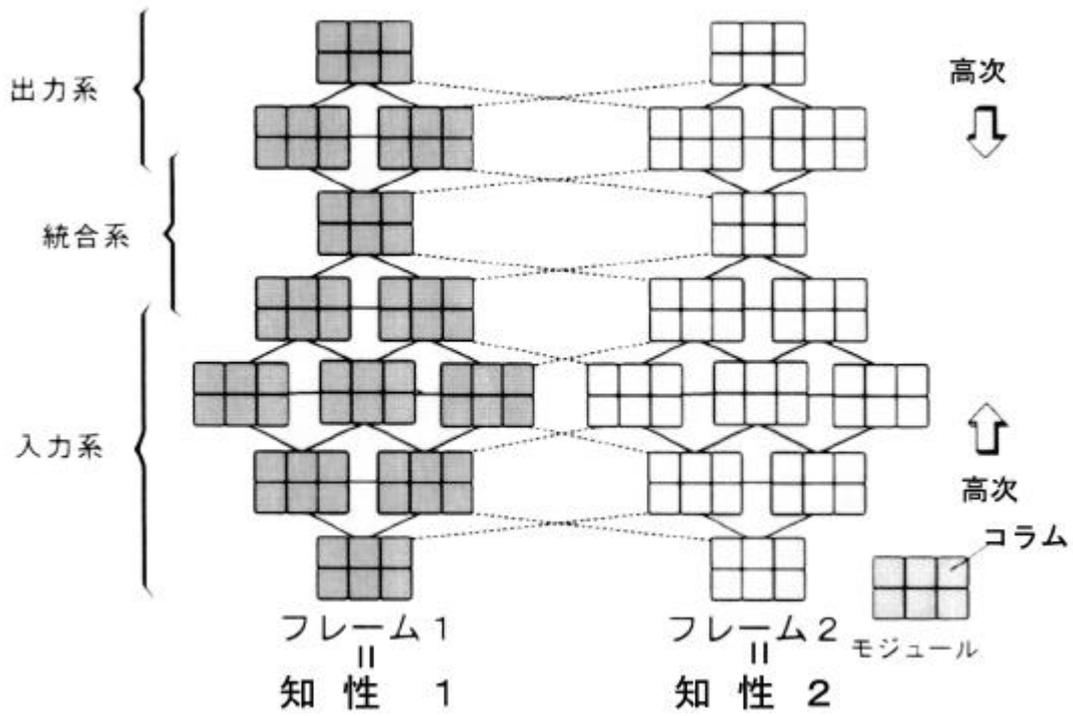


Fig 1 0

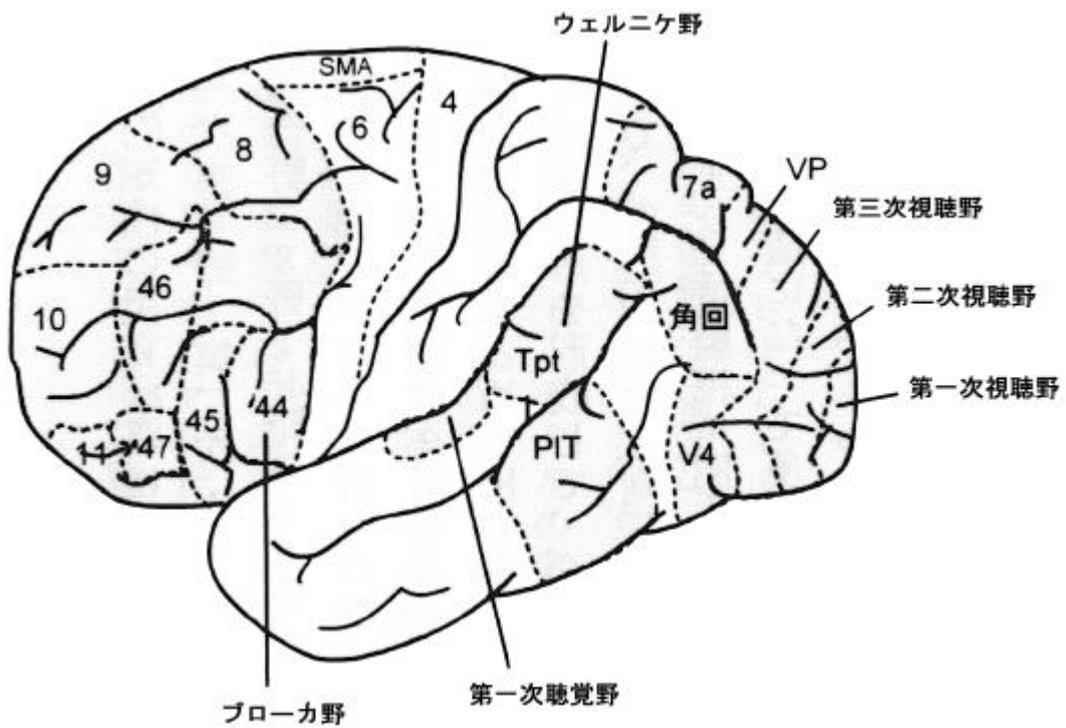


Fig 1 1

3.4 知性の形成について

多重知性と多重フレームの形成は、ニューロンとシナプスの変容が密接な関係にある。ここでは、実際に、ニューロンとシナプスの関係をもとに、そのニューロンとシナプスが遺伝的要因と環境的要因でいかに変容してかを述べる。また、それに伴い、知性の発達の重要性を再確認する。

3.4.1 遺伝について

人間の体の様々な器官や組織は、遺伝子（ゲノム）に書き込まれた設計図、つまり遺伝プランによって作り上げられている。当然ながら、脳の各部分も、そして多重フレームも基本的には、各々の親から受け継いだ遺伝プランに沿って作られている。従って、知性も遺伝的要素が多いに影響する。今日、IQ（知能指数）の研究成果に基づき、例えば、知能指数IQの60%くらいは確実に親の遺伝に依存するという成果を出している。つまり、個人差のばらつきもあるが、60%が親の遺伝が要因となり、残りの40%が環境に影響を受ける。IQが遺伝することも明らかなように、多重知性のそれぞれに関しても、40%～60%が遺伝による影響を受ける。今日の研究によれば、例えば、言語的知性や空間的知性は、その60%が遺伝に依存することが明らかになっている。つまり、作家の子供が作家になるのは決して環境のせいだけではないのである。ただし、多重フレームはそれぞれが、ある程度独立しているので、ある知性の能力が遺伝によって生まれつき優れていると仮定しても、他の知性が優れているとは限らないのである。両親から、優れた言語的知性を受け継いだとしても、両親の空間的知性が貧弱である場合、その両親から生まれてくる子供は、言語的知性が優れているとしても、空間的知性は貧弱となってしまう事になる。通常の場合、ある子供は遺伝的に優れたフレームを1つまたは、少数持っていて、他の知性フレーム郡はだいたい人並みである事が多い。多重知性は事実上、その全てが遺伝する。多重知性の1つである自我にしてもそうである。「自我」というとやや広いが、ここでは、自我の一特性である「性格」に限定して述べるが、今日の間では、性格が遺伝することは、ほぼ、常識の範囲に属することなのである。この事は、動物界の「行動様式の遺伝（性格）」でも多くみられる。また、人間に関して言えば、性格は十人十色、様々であるが、我々の日常生活においても、それなりに相手の性格を「内向的」「外向的」「社会的」と言う風に区別している。こうした、性格の区別はかなり主観的なものであるが、心理学等で用いる、性格テストを行っても、やはりいくつかの性格（タイプ）に区分される。さらに、一見曖昧で多様に思われがちな性格についても、実は、少数の「性格要因」の組み合わせで構成さ

れているということも明らかになっている。この「性格要因」の数や内容に関しては諸説あるが、最も少なく考えて、3つの要因がある。「外向・内向性」「神経質性」「衝動性」の3つである。これらの要因はお互いに独立している。つまり、お互いに無関係なのである。例えば、外向的な人が衝動的だとは限らないし、内向的であつとしても、より神経質だとは限らない。だから、内気な人が、衝動的に恐ろしい犯罪を犯す可能性もあるわけである。これらの3つの要因は独立しているので、それぞれを「次元」と言う概念を用いて考えた場合、ある人の性格は、ちょうど3次元の「性格空間」の一点に位置することになる。つまり、性格は人によって様々であるが、実は、これらの3つの要因の程度の「組み合わせ」によって、人の性格は決まるのである。また、これらの要因のどれもが、遺伝性に強いという事が明らかになっている。例えば、両親とも外向的な性格な場合は、子供は外向的になることが多い。外向的な両親を持つことから、家庭環境に要因があると思われがちであるが、実は、そういう子供を内向的な家庭に里子にだしても、外交的に育つ可能性は多いにあるわけである。その他の性格要因も同様で、少なくとも30～40%、データによっては60～80%は遺伝によるものである。性格は、性格要因の組み合わせいで決まるので、個人の性格の少なくとも60%程度は遺伝によって決まることになる。

3.4.2 脳構造の遺伝について

「3.2 知性」で述べたように、多重知性の総括者、「スーパーバイザー」として、最も高度な働きを担う。人格、理性、主体性、独創性、創造性などもこの知性が中心的な役割を持つものが「自我」である。この自我を含めた知性の実体である脳内システムでは、脳の構造もまた、遺伝によって子孫に受け継がれている。例えば、脳の大きさをあげた場合、今日、その遺伝は明らかなものである。例えば、ネズミ等で実験をした場合、脳の大きなネズミ同士を交配させた場合、その子孫は、比較的大きな脳を持つ子供が誕生する。その逆もそうで、小さい脳同士を交配させた場合、その子供は小さな脳を持つ子供が誕生するのである。こうした、人為選択は、家畜化において、かなり前から行われてきた。豚がよい例であるが、野生のイノシシと比べた場合、かなり脳は小さく、脳の溝も単純になっている。体格は、むしろ大きくしたが、脳の縮小化が体の大きさの変化によるものでないという事は明らかである。つまり、イノシシを豚へ家畜化するという人為選択によって、脳は縮小してしまったのである。同様に、ネズミや猫でもこのような結果が言える。人為選択によってはからずとも、脳が縮小したことは、脳の大きさやその溝の複雑さも含めて、遺伝するという事が明瞭に物語っている。脳の大きさが遺伝するので当然のことかもしれないが、それに伴って、ニューロンの数ももちろん遺伝する。現在ではその数をコントロールする遺伝子も発見されており、その遺伝子の変

異によって、ニューロンの数は、大幅に減少したり、あるいは増大したりする。ここで、注目すべき点は、ニューロンの増減現象に伴って、コラムの数がどう変化するかという事である。コラムとは、大脳皮質の最も基本的で、重要な情報処理ユニットであり、多重フレームの基本単位である。つまり、ニューロンの増減現象に伴って、そのコラムの数の遺伝性は、少なからずとも、多重フレームの遺伝性にも関係を及ぼす事になる。その関係を明確にするために、人為選択の容易なマウスによる実験が行われ、今日、コラム数の遺伝性が明らかになった。マウスは多数の「ヒゲ」を持っていて、このヒゲがマウスにとっては重要な感覚器官となっている。このヒゲの一本一本から入力を受け、情報処理を行うコラムが彼らの体性感覚領野(皮膚表面や関節からの情報を処理する大脳皮質の領域)に並んでいる。このヒゲ一本一本に対して、一個のコラムが対応するので、ヒゲの数を数えれば、脳を故意に解剖せずとも、コラム数が確認できるわけである。この特徴を利用して、ヒゲの多いマウスどうしを交配すると、ヒゲの数がどう変化するかを調べる研究が存在する。つまり、この研究成果において、人為選択を行い、交配させると、マウスのヒゲの数はどんどん増え、数十世代の交配で2倍程度増えた。つまり、これはコラムの数が遺伝し、選択によっては増大する事を裏付けている。コラムは多重知性フレームの基本的で重要な単位構造である。その数が遺伝するということは、多重知性フレームが遺伝するということを示している。多重知性の各々、自我の一特性である性格を含めて、遺伝が行われるという事は、要するに、多重知性フレームが遺伝するという事を裏付けている。

3.4.3 環境的要因について

多重知性フレームが遺伝プランによって作られる事は明らかである。したがって、多重知性の各々も遺伝することは明確である。だが、それだけで、数学者の子供が数学的に優れ、そして、スポーツ選手の子供がスポーツ選手になり、音楽家の子供が音楽能力に長け音楽家になる可能性はあったとしても、現実はそのほど、単純なものではない。もちろん、世の中にはこういうケースは決してすくなくない。画家や音楽家、スポーツ選手、作家を輩出する家系があることも確かである。また、両親が共に学校の成績が高かった場合は、その子供の成績も高い傾向にあることはよく知られた事実である。しかしながら、知性は遺伝だけで決まるわけではないことも、また明確な事実である。多重知性もその実体である多重知性フレームも遺伝するといっても、その遺伝性は100%ではない。それは、その数10%は、環境に依存するからである。この環境要因が知性発達に大きな影響を与えるために、例えば、両親とも音楽家であったとしても、音楽とは全く無縁の環境に育ったならば、音楽的知性を発達させるきっかけつかめない事になってしまう。つまり、多重知性フレームの形成は、環境やその人物の経験によって十分

に変容し得るのである。こういう背景があるからこそ、育児や教育に意味があり、環境の大切さも経験の価値そのものである。それだからこそ、我々は努力して勉強するわけだし、人生経験の大切さが云々されるのである。では、環境要因における多重フレームの変容について述べる。「変容」とは、脳を含む神経系の本質のことである。神経系は、進化的に、社会環境を含めた環境にうまく適応するために作られたものである。環境があらかじめ決まっていって一定の環境であるならば、この脳内における神経系の変化は、必要などはないと考えられるが、実際に、環境は絶えず変化している。それに対応するためには、どうしても「変化する」という性質を神経系は獲得する必要がある。太古から、連綿と引き継がれているこの本質的な性質を「可塑性(プラスティシティ)」という。日本語にすると難しいが、「可塑性」の語源は粘土(プラスティック)である。プラスティックは熱や圧力などで変形し、その変形は長く続く。そのプラスティックのような性質を神経系はもつという意味あいからきている。多重フレームも神経系な故に、当然この可塑性をもち、生まれてからの環境によって、多重知性フレームは変容し、したがって、多重知性も絶えず変化し得る。この変容は、可塑性を持っているからであればこそなのである。

3.4.4 ニューロンとシナプスについて

知性も可塑性をもっていて柔軟である。ただ、知性(心)の場合、可塑的变化の実体や仕組みは今1つ理解に苦しむ。しかし、知性を作る神経系に関しては別の考えで、実体としてのはっきりした仕組みが存在する。このことを述べるために、ニューロンである、神経細胞とその情報伝達の仕組みについて簡単に述べる。生き物の本質・原理として「機能と構造の一致性」があげられる。これは、機能は構造によって生まれ、そして、構造は機能を反映するという原理である。例えば、人間でいう、手足や眼、そして、鳥類では羽をみると明らかである。この原理は、生き物の体の様々な構造が、進化的な意味、適応的な意味を持つようにつくられてきたからこそである。故に、適応的な意味を持たない器官や組織は、まさに意味不明な形をしている事が多くある。神経系の構造要素であるニューロンにも、この原理は適応されていて、その機能に対応した形をしている。つまり、「信号・情報の伝達」という役割に応じた構造のことである。Fig 1 2 に示すように、ニューロンは特殊な方法で染め出し、光学顕微鏡で見ることが可能である。このニューロンの大きさは、数十ミクロンであり、たの細胞と同じように、代謝や物質の合成を行っている。また、信号(情報)を伝達するために、樹状突起の構造をしている。この部分は、いくつもの他のニューロンから送られてくる信号を受け取るために何本もの枝を広げている。このニューロンの特徴を Fig 1 2 をもとに、下記にまとめる。

・細胞体

ニューロンの核が存在している部位。光学顕微鏡では主にこの部分を見ることができる。いわばここが細胞の中心である。

・細胞核

細胞体に存在している。いわゆる細胞の核である。ここにはDNAが存在しており、ニューロンが生きていく、そして機能するのに必要な遺伝情報が読み出されていく。ここより読み出された情報の鋳型(mRNA)をもとにしてアミノ酸を繋げていくことで蛋白質を合成していく。

・樹状突起

ニューロンの細胞体の周りには木の枝のようにたくさんの突起が枝分かれしながらでている。これは他のニューロンのシナプス前末端からの入力を受けるためのもので他のニューロンのシナプス前末端と共にシナプスを形成している部位が多数存在している。つまり、情報の入力を受ける部位である。

・軸索

細胞体からは軸索と呼ばれる長い突起がのびている。これが神経線維と呼ばれることもある軸索である。樹状突起から多くの入力を受け取ってその結果(このため一種の論理計算が行えると考えられている)、神経細胞の興奮が起きた場合、その電気的な興奮はこの軸索を伝わって伝導してく。

・シナプス前末端

軸索を伝わってきた電気的な興奮が末端部(シナプス前末端)に達するとここからアセチルコリン、グルタミン酸などの特定の物質が放出される。このような物質は、次のニューロンに興奮を伝える働きがあるので神経伝達物質(Neurotransmitter)と呼ばれる。また、多くの場合、軸索の末端部は枝分かれして、その先端は他のニューロンの樹状突起か細胞体に極めて近い距離にあり、シナプスという構造体を形成する。相手のニューロンの方には、その神経伝達物質を感知する蛋白「受容体」がある。

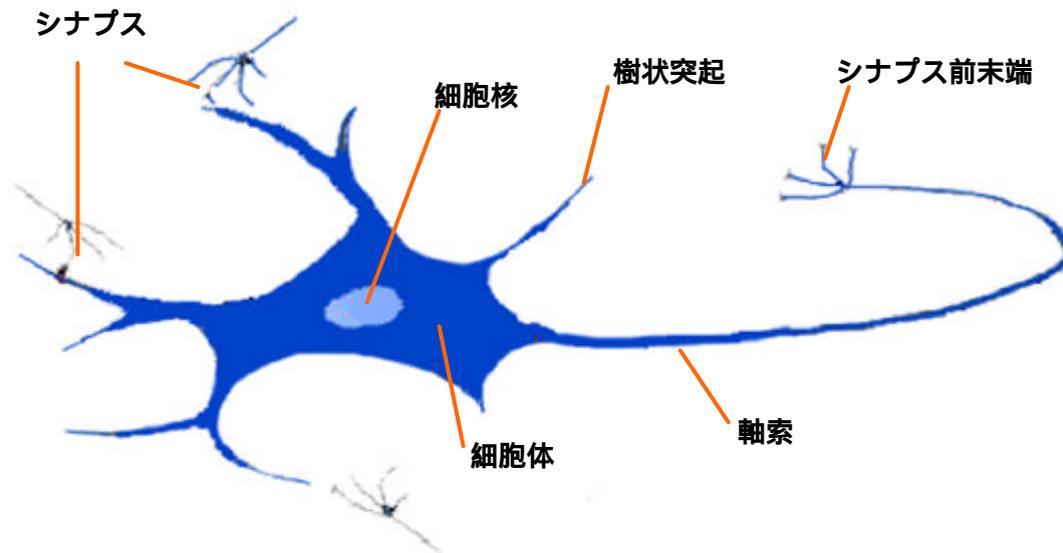


Fig 1 2

このように、ニューロンは、信号を受けるだけではなく、自らが信号の発信も行う。この機能のために、突起構造を所有した、軸索の存在がある。この軸索のうち、脳や脊椎から出るものは「神経線維」呼ばれる。また、軸索のなかには、遠方に信号を送るために、数十センチメートル伸びているものもある。手足の中を走って、皮膚の触覚信号を伝えたり、筋肉の収縮のための信号を送り出している神経もこの軸索である。もちろん、脳の中にも縦横に軸索が張り巡らされている。樹状突起と軸索こそが、ニューロンにおいて「機能と構造の一致性」を実現している構造である。つまり、「信号情報を受信しそして、送信する」という機能をもつからこそ、ニューロンはこのような、特殊な突起としての神経線維を所有しているわけである。次に、ニューロンの信号伝達方法について、この仕組みはやや複雑であるため、簡単にまとめる。ニューロンを含め、細胞のほとんどは、液体の中に浸かっている。つまり、細胞の内部にも液体が詰まっている。外部と内部の液体には様々な物質が溶解しており、つまり、イオン化している。このニューロンを取り囲んでいる幕の内側と外側にあるイオンは、アンバランスな関係で分布しているために、信号を生み出すことができる。細胞の外側には、ちょうど、海水と同じように、ナトリウムイオンと塩素イオンが多く存在し、内側にはカリウムイオンが多く存在する。カリウムとナトリウムはプラスの電荷を持ったイオンである。また、塩素はマイナスのイオンである。このアンバランスなイオンの分布を維持するために、ニューロンはナトリウムを細胞の外側に流し出し、カリウムを細胞内に組み入れるポンプの機能を持っている。このように、アンバランスが存在するとき、細胞膜にカリウムイオ

ン専用の穴が開いて、カリウムイオンしか通さないようになる。そうすると、「物質は濃い所から薄い所へ移動する」という原理に基づくと、「濃度勾配」という性質の力が働くために、カリウムイオンは細胞の外側に移動しようとする。しかし、カリウムイオンはプラスの電荷を帯びているため、あまり外に出ると、細胞自体がマイナスになってしまい、今度はカリウムイオンを内側に戻そうとする電気的な力が働く。これは、「電気勾配」という性質の力が働くからである。こうして、濃度勾配による力と電気勾配による力は相反した方向に働くが、その両者が、ちょうどつりあいが取れる平衡状態が存在する。つまり、濃度勾配力 = 電気勾配力となる状態である。この平衡状態では、細胞の内側は外側に対して、微小ながらもマイナスの電位となり、そして、ニューロンが静止状態にあるときは、このようなマイナス電位を保っている。つまり、これが「静止膜電位」と呼ばれている。つまり、逆に言えば、ニューロン膜は、通常カリウムイオンしか通さないようになっている。その特殊な経路・穴は「イオンチャンネル」と呼ばれ、タンパク質などの高分子でできている。所がニューロンが活動するときは、細胞膜はナトリウムイオンを通すように、ナトリウムイオン用の穴が一瞬だけ開く、そのため、細胞の外側に多く存在する、ナトリウムイオンは細胞内に入り込むが、同時に外に追い出そうとする電気的な力が働くために、一瞬だけ、平衡状態になる。この際には、膜の内側は微小ながらも、プラスとなる。このような、「静止膜電位」「一瞬のプラス電位」「静止膜電位」という変化過程が、今日では、「活動電位」または、「インパルス」と呼ばれ、これがニューロンの電気信号の実体である。このインパルスが次々に伝わっていくことで軸索のなかを信号が伝わっていくのである。そして、そのインパルスは、ついには軸索の終点までたどりつき、ここで次のニューロンに信号が伝達される。しかしながら、ニューロンとニューロンは直接つながっているわけではなく、その間にはわずかな隙間が存在する。この隙間を介した接点が「シナプス」と呼ばれるものである。故に、この隙間が存在するために、電気的信号としてのインパルスはここで止まってしまう。しかし、このシナプスが、今度はインパルスという電気信号に代わって、化学物質の伝達を行う。つまり、終着したインパルスの影響によって、化学物質が軸索終末から分泌され、シナプスの隙間を拡散し、次のニューロンがまつ受け皿（受容体）に付着する。すると、受け取った側のニューロンの膜電位が変化し、また、インパルスが発生するのである。化学物質が軸索の末端から分泌され、受容体にくっつくことで、次のニューロンに信号が伝わるという原理である。ただし、通常は、1つのシナプスに信号が伝えられただけで、信号が次のニューロンに伝達されるわけではない。通常は、脳1個のニューロンには、数千から数万個のシナプスが存在する。この多くのシナプスに伝えられた信号は、入力の実合のレベルに達したとき、はじめて次のニューロンにインパルスが伝わるのである。また、シナプスでは化学物質がその伝達を可能としているために、様々な薬物の作用を受けやすい。コブラやサソリなどの毒も、この神経系のシナプスに作用して動きを封じるのである。このように、ニューロン内では、電気的なインパルス

の発生によって、そして、ニューロン間のシナプスでは、物質の分泌によって、神経情報が伝達されるわけである。ちなみに、この「物質を分泌」というのは細胞の基本的な性質の1つであり、これは細胞が生まれた太古からずっと引き継がれたものである。「ものを取りいれて出す」というのは、細胞の基本的な本質であり、ニューロンも細胞故に例外ではなく、どのニューロンも物質を分泌しているわけである。そして、この分泌をコントロールするのが、電気信号（インパルス）である。つまり、ニューロンとは、「電氣的にコントロールされた分泌を行う細胞」なのである。この性質は、ニューロンが誕生したときから、受け継がれ、分泌するもの自体も昔からあまり変化はしていない。その分泌物としては、大きく分けて、アミノ酸類、アミン類、アミノ酸と連結したペプチド類、アセチルコリン、そして、気体にちかい一酸化窒素等である。こうした、化学物質を総称して、「伝達物質」と呼んでいる。

3.4.5 情報伝達について

これまでの「脳の原理」にて、述べたように、神経系での情報伝達では、「イオンの移動」という過程が不可欠である。所が、そのイオンは重いせいもあって、伝達速度を考えた場合、その速度は非常に遅いことが明らかになってきた。現在、一個のインパルスは、接続時間が数ミリ秒だと言われている。そのため、軸索を伝わる活動電位の速度は、秒速100m以下の場合がほとんどで、これは光速（約秒速30万km）と比べるといかに及ばず、また、音速（約秒速300m）にも及ばない。コンピュータは電子で動くために、光速並の速さを持っているが、それに比べ、ニューロンの活動伝播は極端に遅いといえる。その上、次のニューロンは伝達物質を分泌して活動を伝えるために、イオン化しての移動が必須となるため、それを踏まえるとニューロンの活動伝達速度はさらに遅くなる。こうした、イオンの移動による信号伝達は、迅速な情報処理をするには大きな足かせになる。しかし、生存のためには、情報処理は速ければ速いほどいい。それは、例えば、外敵が近づいてきているときになどを想定した場合、敵かどうか判断するのに何分も掛かっているのは生命にかかわるからである。しかし、人には、コンピュータには備わっていない並列処理という優れた処理機能を有している。いくらコンピュータの動作が速いとはいえ、コンピュータは、情報を逐次的にタスク処理を行っている。だから、仕事を多く同時に行うために、アプリケーションソフトは、肥満化と複雑化になると伴に、膨大な情報処理を必要とする。つまり、この結果、コンピュータの処理機能をどんどん速くせざるを得ない状況になる。しかし、これを多量の情報を並列して同時かつ別々に処理した場合、それほどの処理速度は要求されない。つまり、処理速度そのものを速くするのではなく、処理する経路・システムの数を増やしたとしても、情報処理の速度は格段に速くなる。そして、これこそが、我々、人類を含めた脊椎動物の脳

が行ってきたことなのである。つまり、進化の過程において、処理が遅いというニューロンの性質の改善をするのでは、そのかわりにニューロン数を増やし、並列的なニューロン経路または、ニューロンシステムを増やすことによって、並列処理をより発達させてきたいのである。つまり、知性やそのフレームが多重性を持つ原因の1つとしては、この並列処理にある。つまり、1つ1つのフレームはある程度の情報の処理を行うが、こうしたフレームが多重することで、並列処理が可能となり、より高度で素早い情報処理が可能となるとうに発達したからである。つまり、多重知性フレームが存在するということは、イオンの移動による遅い信号伝達という進化的足かせがあったらかである。神経系でもっとも重要なシナプスでの情報伝達を考えた場合、情報伝達の接合点・要である軸索でのインパルスの伝達も重要であるが、シナプスのところで、インパルスが止まってしまった場合、情報は一切伝達されなくなってしまう。これでは、情報も伝わらないし、知性も当然ながら生まれてはこない。シナプスでは、伝達物質の分泌、拡散、受容体との結合等、様々な変化が起こっている。さらに、シナプスでは実際に「計算」が行われている。つまり、多くのニューロンからの入力混合された結果によって信号が伝わるこの現状が、一種の足し算の計算なのである。また、それだけではなく、次のニューロンへの活動を抑えるシナプスの伝達もある。このようなシナプスの伝達を「抑制性伝達」、また、それを行う物質を「抑制性伝達物質」といい、つまり言い換えれば、引き算を行っている。さらに、今日の研究成果では、掛け算や割り算などの計算も行われることが明らかになっている。つまり、シナプスでは四則演算が行われている。故に、伝達物質の分泌量が変化したり、受容体の性質や数が変わったりするだけで、情報伝達の仕方、計算の仕方は大きく変化してしまう。この変化があればこそ、脳の働きは変化し、多重知性も変容し得るのである。また、シナプスの伝達があるからそこ、脳内システムの神経は、可塑性があるのである。つまり、可塑的变化を発達させるためにシナプスを獲得し、進化させたという考えもある。実際に、進化的に古い、魚やカエルなどの脊椎動物では、神経系の一部ではシナプスをもたないで、情報が伝達される。つまり、軸索を伝わってきたインパルスがそのまま次ニューロンに伝わるのである。この伝達方式では、情報の伝達に変化のしようがない。故に計算なども出来ないわけである。つまり、このことを考えてもシナプスは重要なのである。また、シナプスはニューロン間の接点を兼ねている。つまり、シナプスでの情報伝達の仕方ではなく、その数そのものが変化することで、神経ネットワークの複雑さが変化してしまう。例えば、シナプスの数が増えれば、神経ネットワークは複雑になる。故に、神経線維の増加が当然ながら伴う。このようにして、複雑な情報処理が可能となる。この点は、今日のコンピュータや電子回路と同じである。接合部がたくさんあればあるほど、電子回路は複雑になり、また、複雑な情報処理ができるようになる。コンピュータの進化もそうであるように、逆に、複雑な情報処理を行う必要性に迫られると、電子回路は、複雑にならざるを得ないのである。今日のコンピュータのCPU回路が複雑に進化しているのもそのせいである。神

経回路の複雑さは、我々人類の脳が最大であり、単なる大きさだけではゾウやクジラにはかなわないが、神経回路が複雑であるが故に複雑な情報処理ができるのである。しかしながら、複雑であればあるほどよいというのではなく、余分なものがないほうが好ましい。それは、余計な回路のために、情報が混乱してしまう可能性があるからである。実際の所、神経ネットワークもそうである、もし情報が混乱してしまった場合はなどは、そのシナプスを減らすことで対応している。もちろん、人間の成長に伴い、シナプスの減少も当然ながら伴う。シナプスでの情報伝達の仕方とシナプス数の変化は、こうした可塑的变化こそが、神経系の可塑的变化の実体なのである。この変化には、当然ながらハード・形態的な変化を伴う。そして、多重知性フレームの可塑的变化そして、多重知性そのものの変容も、結局はこの変化に基づいている。

3.4.6 幼児期での変化

多重知性フレームはシナプスの可塑的变化によって変容する。勉強する事や、生活の環境によって多重知性に長期的な変化が起こるのはそのせいである。また、だからこそ、「脳教育」が多重知性の発達に影響を与えるのである。そして、「生涯教育」が可能で、実際に行われている事からも解るように、可塑性に基づく、多重知性フレームの変容は生涯にわたって起こり続ける。ただし、その変容の程度、つまり可塑性の程度が最も大きいのが、幼児期なのである。幼児期の脳皮質の変容は、生誕前後に起こるニューロンの大量死から始まる。そして、一度死んだニューロンは新たに生産されることはなく、むしろ、その逆に減り続ける。ただし、そのなかでも例外はあり、ニューロンが増える脳領域も存在する。そのニューロンの大量死の代わりに、大規模なニューロン（細胞死）が起こる時期の後半から、その後にかけて、シナプスは、その後も生後数歳になるまでに増え続けた後、急速に減少し、成人の密度に近づいてしまう。このニューロンの死と、シナプスの急速な形成と減少についてグラフ化したのが、Fig 13 と Fig 14 である。両グラフは、人間の脳皮質（前頭連合野）における年齢変化のグラフである。このように、幼児期の脳皮質の変化について、考えられるで有力な仮説としては、「適切な結合をしたニューロンとシナプスが環境要因によって選択される」というものである。ダーウィンが提唱する自然選択もそうであるが、お互いに大きく、あるいは、微妙に異なるものを多量に作り、その後適切な選択を行うというのは、生物進化を含めた様々なプロセスで見られる戦略現象である。また、この現象は、今日の企業間の生き残り競争もそうである。何が適当で適切かが予め分かっている環境下においては別の話であるが、そうでない場合においては、「お互いに大きくあるいは微妙にことなるものを多量に作っておいて、その後、適当なものを選択する」という戦略が有効なのである。この戦略は、神経回路の形成にも欠かせない戦略である。生まれる環境は、ある程度予

測は可能であるが、完璧な予測は不可能である。つまり、どういう神経回路が、生まれてからの環境に適応的なのかは、十分に分からないのである。幼児期の脳は、元々大きな可能性を秘めており、それが環境要因によって、「刈り込まれる」という形で、神経回路の形成されるのである。この環境要因の影響は、幼児脳教育を考える上で重要なことである。しかしながら、環境要因だけを問題にするのではなく、遺伝要因も視野にいれなければならない。つまり、細胞の生死は、ある程度、遺伝要因に影響を受けるからである。むしろ、細胞やシナプスを消失させるプロセスは遺伝的プランによって発生し、その際に環境要因によって選択されると考えられる。マウスを用いた実験結果にも明らかのように、実際に、ニューロンの数を決めている遺伝子が存在し、その遺伝子の異変によって、ニューロン数は大きく変化する。つまり、発生過程で消失（死）するニューロン数は遺伝的に変わるのである。また、シナプスが増えたり、減ったりする現象のパターンとその時間経過は、大脳皮質の様々な場所を通じて、共通する部分がある。しかし、環境要因が及ぼす効果は、大脳皮質の場所によっては、当然異なる。故に、この時間経過による減少が環境要因によるものだと考えにくい。つまり、ニューロンやシナプスの増減の規模やパターンは遺伝プランに沿っていると考えるのが適当である。ただし、どのニューロンと、どのシナプスが生き残っていくかを決定しているのは環境要因だと考えられる。その具体的な実験例として有名な第一次視覚野をあげる。例えば、猫やサルで片目を閉じた場合の実験報告では、生後まもない状態、第一次視覚野のニューロンは両目から入力を受けている。しかし、片目を閉じると、片目からの入力途絶えてしまう。そのため、閉じた目からの入力を伝えるシナプスの多くは消失してしまう。一方で、開いた目からの入力を伝えるニューロン・シナプスの多くは選択され生き残る。これは、第一次視覚野が、大脳皮質で最も早くに入力情報を形成する脳領域（モジュール）であるため、片目を閉じれば、それ相応の可塑的变化が起こるためである。つまり、この実験により、大脳皮質フレームが生後発生における変容に、環境要因が関係していること意味している。また、この環境要因を処理しているのはニューロンであるということが明らかになっている。「環境」には、自然環境や社会環境が代表的であるが、それだけではなく、勤勉や何かを体験することも、ある意味では「環境要因」であるし、また、体内環境も環境である。つまり、どの環境要因も脳の働きと結びついている。自然環境にしても、自然の中で動植物を感じたり、森林のすがすがしさを感じるのもまた、脳の働きである。さらに社会環境ともなれば、環境が脳の働きから切っても切れないことは自明である。つまり、外界からの刺激に基づき、脳がどう認知し思考するかは、環境要因によって大きく異なるのである。つまり、脳内システムのニューロンに活動によって処理され、脳内で「組織化された活動」になるわけである。環境要因＝組織化されたニューロン活動といってもよい。そして、組織化された活動が、脳内の神経システムを変化させるのである。この変化は、神経回路自体が、ニューロン活動によって変化するという特徴を持っているためである。

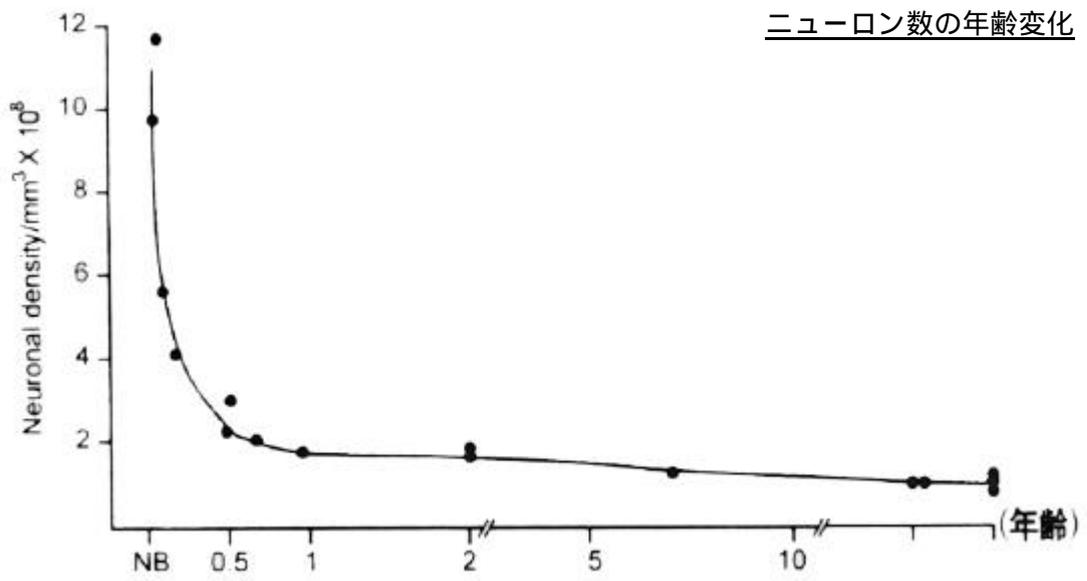


Fig 1.3

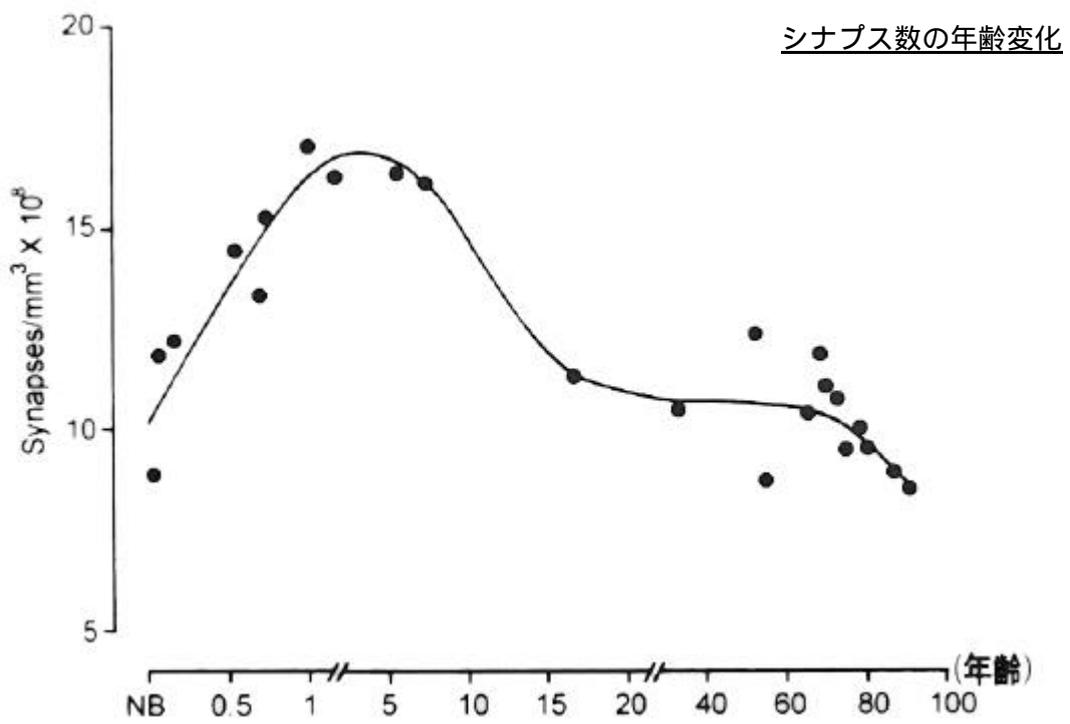


Fig 1.4

可塑的な変化は常にシナプスで起こり、この変化を引き起こしているのがシナプスの情報処理の仕方、つまり、ニューロン活動である。故に、端的に、インパルスが全く伝わってこないシナプスでは、時間とともに、やがて消失（死）してしまう。だから、ネコの片目を閉じる実験において、生後に、片目を閉じてしまうと閉じた目からの情報を伝えるシナプスが大量死してしまうわけである。同様に、ニューロンの死滅もその活動に依存しており、活動しないニューロンはやがて消失（死）してしまう。逆に、情報がよく伝わり、よく活動するシナプスやニューロンは存続し、さらによく発達しうまく処理が行える傾向にある。こうして、組織化した活動としての環境要因は神経回路を可塑的に変化・形成していくことになる。さらに今度はその形成された回路に即して、環境要因の活動は組織化される。このように、組織化された活動が直接的な要因となって、自分が組織的に変化していくことを「自己組織化」という。細胞の選択もシナプスの選択も、この自己組織的なメカニズムによって起こる。そして、この自己組織的な変容がもっとも激しく、大規模的に起こるのが、幼児期なのである。

3.4.7 環境要因と感受性について

大脳皮質の知性フレームは、環境要因によって自己組織的かつ可塑的に変容する。また、この変容の程度は、幼児期にいちじるしい。故に、生涯に渡って維持される構造と働きの基盤が幼児期に作られる。前項で、極端な環境要因の操作実験として、ネコの片目の実験を例にあげたが、人間の幼児期に対しても同じようなことがいえる。例えば、都会でビルに囲まれて育った子供の第一次視覚野は、縦横の線しか反応しなくなるのではないと議論されているほどである。この環境要因による、感受性の影響について、興味深い調査がある。それは、ネイティブアメリカンの昔ながらの住居は三角型のテントで、子供たちは、生まれた時から三角つまり、斜線に囲まれて生活をする。そのために、彼らは斜線に対して高度な識別能力をもつというのである。あるいは、アフリカのサバンナに住むマサイ族などは、遠くを見る能力に大変長けており、視力2.0などは、標準であり、見える者は5.0という者も多い。つまり、これらの例は、幼児期での環境要因が知性フレームに大きな影響を及ぼし、そして、変化させることを示している。ここで、重要なことは、こうした可塑的变化は幼児期という期間にある程度決まっているということである。第一次視覚野の場合では、サルで1歳頃まで、人間では、4歳頃まででいちじるしい。故に、この時期を「臨界期」または、「感受性期」という。この時期は、可塑的变化が激しいが、この時期を過ぎると、それに匹敵するようないちじるしい変化は起こらない。そして、当然ながら、その期間にうけた環境要因の影響は生涯にわたって存続する。例えば、サルの実験を例にあげると、サルの視覚の感受性期は誕生から1歳頃までで、その期間に数ヶ月ほど片目を閉じ続けてしまえば、閉じた片目から

の入力を伝える神経経路に大規模な可塑的变化である、神経線維やシナプス消失が起きる。所が、1歳を過ぎた後に、片目を数ヶ月閉じたとしても、閉じた目から入力を伝えるシナプスが減少してしまうことは起こらない。この感受性期にはっきりとした影響を与える部分は、知性フレームの低次モジュールに属する視覚、聴覚など、比較的単純で基本的な働きである。なぜ、このような低次モジュールが幼児期に生成されるのか、初めから生成された形での誕生が好ましく思うが、それは、どういった環境下で生まれるかが、想定できないからであると考えられる。つまり、人間の進化の過程において、生まれた環境との相互作用によって脳を作った方が、その環境に適応できる可能性が高いからである。このように、低次モジュールの発達には、感受性期であることが明らかになった。次は、高次モジュールについて述べる。多重フレームには、低次モジュールから高次モジュールに至るまで様々なレベルがある。低次モジュールでは、人間の生活を支える、基本的な働きが行われ、高次モジュールに近づくにつれ、「知性」に相応しい、認知、判断、記憶などの機能の働きが行われる。各知性フレームを構成する高次モジュールは大脳皮質内に存在する。そして、可塑的变化が集中して起きるシナプスの増減パターンは大脳皮質を通じてよく似ている。故に多重知性フレームでの高次モジュールにおいても、低次モジュールと同様に感受性期にその変容があると思われるが、そうではない。モジュールレベルに応じて、その変容の特徴は異なっているのである。結論からいえば、多重知性フレームの変容程度は、高次モジュールほど大きく、低次モジュールほど小さい。故に、高次モジュールでは、可塑的な変化が比較的容易に起こりえる期間、つまり感受性期が低次モジュールに比べると長期化しているのである。例えば、視覚野の低次モジュールである基本機能の視力は、一生を通じてあまり変化がない。しかし、高次モジュールが担う機能は、学習や経験によって大きく変化する。具体的に、ある漢字を覚える場面を想像すると、低次モジュールにとっては、その漢字が、学習する前であっても、後であったとしても、単なる、線分の集まり、つまり模様となる。所が、高次モジュールにとっては、学習した後で、模様ではなく、漢字として認知される。同様に、外国語の学習でも同じことが言える。最初は単なる模様であるが、学習や経験に基づき、言葉としての理解力を高次モジュールを通じることで、可能となるのである。

3.4.8 知性の変化について

幼児期の多重知性フレームは、ニューロンやシナプスの変容に伴い、過激な形で大規模に起こる。しかし、この活発な変容期間（感受性期）の後、青年期や成人期を向かえると、その変容は、全く変化がなくなるわけではない。大人になったも、経験を積み学習を行うことで、知性フレームは変容する。そして、この時期の変容の原理も基本的には幼児期と同じである。つまり、学習や経験に伴う活動によってニューロンやシナプ

スが選択され、フレームは自己組織的に変化する。事実、ニューロンやシナプスの退化や消失は我々の生涯を通じて、規模は小さいけど起こっている。今日の研究成果から言えば、1日に10万個のニューロンの死が確認されている。また、多く死ぬ場合は、20万個というデータも存在する。しかし、ニューロンやシナプスがなくなっていくということは、決して悪い事はない。つまり、こうした退化や消失が行われることで、長期記憶や学習メカニズムが生まれるからである。つまり、幼児期において、ニューロンやシナプスが大量に消失するのも、子供がこの現在の環境下で上手く生きてゆくために、余分なものを削って必要なものを育むための過程なのである。言い換えれば、学習や経験の結果を脳に刻み込むために、細胞死やシナプス消失も起こる。こういった背景があるからこそ、大人になっても、学習や経験が絶えず必要なのである。まさに、年輪のように、脳には様々なことが学習と経験によって刻まれていく。この際にも、ニューロンやシナプスの消失は必要である。現在、脳の研究では、学習や経験によって、大人の神経系の変容がどのように変化し、なぜ変化するのかという点については、不明な点が多く、これから研究する価値も多いにある。これは、老化問題を含んだ大きな問題となるので、現在、精力的に研究が盛んな分野でもある。

3.5 知性の育成について

3.5.1 育てるということ

脳教育における基本として、我々人間の知性とその脳内システム、多重知性フレームの性質からみれば、この知性というものをいかに育てていくべきかということは明確である。それは、各知性を幼児期からまんべんなく向上させる教育を行うことである。その知性の特徴である多重性を考える場合、複数の知性の働きや発達が互いにある程度、独立して働いている。つまり、ある知性を育てるべくして教育しても、その知性が仮に伸びたとしても他の知性には大して影響を受けないわけである。したがって、幼児期からの教育を考える場合、複数の知性を均等にまんべんなく育てる事が基本となる。多重知性には、少なくとも8つの知性と1つの超知性が存在する。この知性を伸ばすためには、誰かが教育をする必要がある。しかしながら、赤ん坊の場合などは、あえて教育をしなくても自発的に興味を持ちこれらの知性を伸ばそうとする傾向にある。これは、非常に重要な点であり、そもそも知性とは、自発的に伸びるものなのである。っというのも、脳内の多重知性の実体である多重フレームの変容と発達の原理そのものに、「自己組織化」という特徴があるからである。だから、知性を伸ばす教育において押し付けを行うことは、かえって逆の結果を招かざるを得ない。しかし、単に自発性にまかせて

いればよいというものでもない。この脳教育の難しさはこの点になるといっても過言ではない。また、多重知性の各々をいかに伸ばすかという点に着目した場合、具体的な方法論に関する定説は、まだこの世に存在しないからである。どの方法が一番正しいのかということは一概にはいえないが、昔から世の中には、様々な教育法が考案され、そしてあるものを消え、そして、あるものはさらに改良を加えながらでも存続しているものがある。つまり、この教育というテーマは我々人類にとって永遠のテーマである。知性教育をする上で、自発性の他に大事なこととして、環境要因があげられる。例え、赤ん坊が自発的に知性を伸ばそうと努力をしても、それに適切な環境が存在しなければ、伸びる知性も伸びなくなってしまふ。その例としては、言語的知性である。この知性は、特別な教育をしなくても、子供は自発的に母国語を理解し、話すようになるほどである。しかし、その場合でも、環境要因は重要な働きを担っている。この母国語に触れるという環境要因があるからこそ、子供達は母国を理解し、話をするようになるわけである。この言語フレームの感受性期に、言葉と接する環境が存在せず、成長した子供はその後、発達する事はないといわれている。同様に他の知性についても同じ事が言える。知性教育において、大事なことは、感受性期に適切な環境に触れる経験である。

3.5.2 知性を伸ばす脳内物質

知性フレームを豊かに発達させるコツとして、自発的に、熱中する事、あるいは楽しく喜ぶことをすることがあげられる。もちろんこれは、環境要因に恵まれている場合である。人間は、その多くの場合、自分が得意とする知性に関係することをすれば自発的に熱中し、また、楽しいものである。この点をとっても、「教育の押し付け」が悪影響である理由の1つである。現に、押し付けられたことなど、熱中もしないし、楽しくもないからである。そもそも、俗にいう「つまらないことをする」というのは、時間の無駄だけでなく、脳自体を無駄にしてしまふ。脳はその本質上、好きでもないことを学ぶようにはできていない。つまり、自分にとって好ましく意味のある情報を処理するようできており、その処理を通じて、知性フレームは発達するのである。この熱中や楽しい事をする事で、知性フレームが発達するには生物学的にみても、知性フレームの変容原理から考えても、それなりの背景が存在する。知性フレームの変容基盤は、すでに述べたように、神経回路（ニューロン・シナプス）の可塑性である。この可塑的变化が、熱中や楽しい事をする状態において最もよく起こる。それは、脳内物質である、脳内伝達物質に依存しているからである。この伝達物質系には、短期記憶や長期記憶含めた情報処理系と調節系の2系統が存在する。この2系統の伝達物質で特に、この調節系と呼ばれる一部が、集中力や楽しさに深く関係している。具体的には、ドーパミン系で

ある。ドーパミンとは、カテコールアミンの一種であり、この物質を伝達系として使うニューロンが脳の中脳部で集団を作っている。このドーパミン細胞の集団は、そのニューロンの軸索を大脳皮質に広く伸ばしており、その終末からドーパミンを分泌する。また、このドーパミンの量が脳皮質で最も多い所は、前頭連合野である。つまり、このドーパミンは、前頭連合野の担う重要な機能に影響を及ぼす。その機能の1つが、集中力である。また、同時に「快感」、「楽しさ」、「達成感」などとも深い関係を持っている。前頭連合野には、多重知性の数ある中で、「超知性」と呼ばれて、多重フレームのコントロールをしいて、自我フレームが存在する。したがって、ある知性フレームにエネルギーを集中させる機能としての集中力も自我の属性の1つである。また、「快感」や「楽しさ」を感じるのも自我である。ドーパミンが集中力や楽しさと関係するのにもこういった背景があるからである。集中力を発揮して、かつ楽しい状態というのは、前頭連合野を中心にして、ドーパミンが盛んに分泌される。このような状態では、通常、ある1つの知性フレームが集中して活動を行っている、故に、そのフレームは可塑的に変化しやすい状態である。つまり、ドーパミンとは、可塑的变化を促進させる役割を担っている。要するに、各知性の育成を考えた場合、ある知性フレームを熱中し楽しい状況下にて使用させると、その知性フレームは豊かに発達することになる。さらにその逆の状況下では、ほとんど発達しない。なぜならば、ドーパミンを代表とした調節系が働いていないと、知性フレームの活動は、一時的なもので留まり、長期的な可塑的变化に結びつかないからである。「押し付け教育」の根本的な欠点にここにあるといっても過言ではない。熱中もせず、楽しくもない状態で、いくら知性を育もうと取り組んだところで、それはほぼ、意味をなさないのである。一時的に、発達したように見えてもその発達の程度は少ないし、長続きもしない。もちろん、知性フレームは自己組織的に発達するために、何もしないよりは、多少の発達は見込まれる。近年の日本の教育システムは多教科、多科目で構成され、様々な知性フレームに対応する教育を想定しているが、英才教育という立場から見た場合、それは、ほとんど効果が無いといっても過言ではない。故に、日本では、ある分野に長けた人物の育成は不得意なのである。

3.5.3 好奇心を伸ばすために

多重知性をまんべんなく育てるか、それとも、特定の知性を英才教育で伸ばすかには、教育者側の価値観に依存される。しかし、この両者に、共通して必要なことは、「適切な環境」と「熱中して楽しませる」ことである。この2点が、多重知性フレームの向上に大いに寄与する。しかしながら、この2点は、教育者側の立場からみた場合である。知性教育の重要なその第3点としては、「自発性」である。もちろん、自発性に全てをまかせておけばよいというものではないが、自発性なくしては、集中力や学習も損なわれ

る。つまり、自発性とは、自分で自分の得意とする事柄を見つけ、それに自ら集中する能力である。幼児が自発性を発揮すれば、後は「適切な環境」を整えるだけとなる。また、自発性が育てば、自らで、最適環境を構築する期待も持てる。そうすることで、幼児の知性フレームは自己組織的に豊かに発達する。しかし、近年の我が国における教育システムは、自発性をとても育成しているとはいえない。そもそも自発性にもレベルが存在し、原始的なレベルの自発性は、多くの哺乳類でも持っている。また、哺乳類は生まれながらにして自発性をもっており、その程度は、幼児期で特に発揮される。つまり、その生まれた環境に順応するために学ぶ必要があるからである。その中でも「遊び」がよい例であり。遊び自体は、自発的なものである。この遊びは、ある程度大脳皮質が発達した哺乳類ならどの動物でも行う。例えば、犬の場合もこの遊びが、脳・知性の成長にとって重要な意味を持つ。つまり遊びを通じて、自発的に行動し、環境と相互作用することによって、その環境で上手く生きていくための「知性」を発達させている。幼犬の状態をよく遊ばないと成犬になってから様々な問題行動を起こす事が多いのも自発的な知性の発達に関係している。また、人間に関しても、「人の本質は、遊びにある」と言われているくらいに、遊びは人間にとって重要なことである。この遊びの基本にある自発性において最も基礎となっているのは、「好奇心」である。人間の進化の過程をみても、好奇心が基礎となり、そこに遊びが出てくることに疑いない。幼犬の場合もそうであるが、彼らの遊びのベースには、好奇心が存在している。珍しいもの、面白そうなことに、嗅覚を使い、様子を探る行為を我々は「遊び」とみなしている。犬でもそうであるように、好奇心があるからこそ、自発的になり、また遊ぶようになるのである。したがって、自発性を育てるためには、好奇心を育てることが重要である。また、好奇心は遺伝する。この好奇心の遺伝子は、ドーパミン受容体をコードして実際に存在する。つまり、好奇心は、ドーパミンと深く関係している。つまり、自発性を伸ばすためには、好奇心を育てればよい、ということになる。つまり、知性教育において、好奇心を削ぐような言動や教育を抑え、そして、子供が好奇心を発揮し、育て得る環境を積極的に用意する必要が生じる。しかしながら、子供の好奇心に基づく行動には、危険なこともある、その行動には、我々の常識や好みでは容認できないものも含まれる。しかし、その度に好奇心を抑えていては、別の事柄に関する好奇心も育たなくなってしまう。好奇心も脳の活動である以上、「活動すればするほど発達する」また、「活動レベルが下がれば萎縮する」という原理によって、抑制することで好奇心そのものは衰退してしまう。そして、知性フレームも好奇心に密接な関係にあるために、幼児期に好奇心を育てておかないと、大人になってからの好奇心も貧弱なのである。この好奇心を育むために、好奇心を削ぐような言動や教育を抑えるという消極的な考えとは異なり、積極的に伸ばす方向性で考える場合、これもまた、好奇心の育成に対する「最適な環境」が必要となる。子供が好奇心を発揮しようにも、発揮する事柄、行動がなければ、発揮しようがない。故に、子供を「豊かな環境」「多様な環境」において積極的に体験させることが大

事となる。多様な環境とは、良質の音楽や絵画、楽器、そして遊び道具、または本などがある環境である。そして、野外に積極的に体験させることも重要なことである。もちろん、みかけだけの「多様な環境」に触れさせてもあまり意味がなく、例えば、幼児がバイオリンに興味を持ったと仮定しても、そのバイオリンを教えられなければ無意味である。このように好奇心を育てるということは、教育者側である、教師や親の好奇心または、能力に大きく依存する傾向にある。例えば、親が昆虫に興味を持っていれば、子供は昆虫を見たり触れたりする機械・環境に恵まれる。また、これと同様に、絵画や楽器などもそうである。好奇心を育てるということは、親や教師の実力が大きく関係する。豊かな好奇心を育まなかった親に育てられたなら、その子供は豊かな好奇心を発達させることは難しくなるのである。

3.5.4 目的志向性を育てる

自発性は、多重フレームを豊かに発達させる上で重要であり、また、自発性のベースまたは、駆動力としての好奇心の育成は、人間の「本性」からみても、人類の進化的特性を伸ばし、それを進歩させることにおいても大切なことである。人間の持つ好奇心は、他の哺乳類から比べた場合、突出している。他の哺乳類では、それは「遊び」としてあらわれ、それぞれの動物における環境に適應するために必要なことだと考えられる。しかしながら、人間の本性とは、好奇心だけに限定されるものではない。人間の特性として、最も人間らしい特性は「未来志向性」である。すなわち、計画性や将来への展望であり、この未来志向性は他の哺乳類にはない、人類固有の能力である。この未来志向性を知性教育に応用することで、未来志向性があればあるほど、自発性はより確固たる存在になる。そしてその結果、自発的な努力を行うことが期待できる。好奇心は、自発性の駆動力として重要である。しかし、発生した自発性を維持し、向上させていくためには好奇心だけでは不十分である。つまり、好奇心に育まれた自発性をさらに体系立て、将来に向けて結実するためには、未来志向性に基づく努力が必須の要因となる。つまり、目的を定めてから、一步一步着実に努力を持続することである。例えば、星や宇宙に好奇心を抱き、自発的にいろいろなことをしたとしても、それだけでは、天文学者や宇宙物理学者にはなれない。あるいは、好奇心によってバイオリンに興味をもって演奏したとしても、それだけでは、優秀なバイオリニストにはなれない。つまり、自発性にもいくつかのレベルが存在する。好奇心はその原始的なレベルであり、他の哺乳類でも、その過半数が所有し、表面的に「遊び」として現れるわけである。次のより、高次のレベルが、この未来志向性・目的志向性である。つまり、この高次レベルが、人類の特有なのである。目的志向性が人類の特徴である限り、放っておいても目的をもつ可能性はある。しかし、好奇心がそうであるように、目的志向性を育てる場合においても、それ

相応の環境が必要であると考え、目的志向性は、自発性の第2のレベルにあり、したがって、第1のレベルにある好奇心によって、子供に自分で自分の得意で好きな事柄を見つけさせ、それに対して集中するように促す必要がある。次に、見つけた得意な知性フレームをより豊かに生涯にわたって、体系的かつ、自発的に育成するために、自発性の第2のレベルにある目的志向性が必要となるが、子供が目的嗜好性をもつためには、親や教師がそれ相応の教育をする必要がある。具体的に、幼児の「夢」を聞く癖を身に付け、また、いつも未来のために努力するように導くことである。幼児にとっては、この「夢」が「目的」に相当する。好奇心を通して何かに興味を持ち、熱中した結果、「画家になりたい」とか「科学者になりたい」「音楽家になりたい」といった目的（夢）を持つようになる。最初は、小さな目的や夢でもよい。「こうしよう」「ああしよう」などという短期的な目的・夢をもたせ、そのために努力をする癖を身に付けさせることが必要である。そして、その目的・夢を達成できたときには、誉めることが大事である。このことは、認知脳科学的な立場からみた理由が存在する。目的や夢をもち努力するということは、当然ながら、脳の働きである。具体的に、好奇心と同様に、自我フレームの働きの一種である。故に、「働けば発達する」、「幼児期に最もよく発達する」という原理が成り立つ。目的志向性に努力することも幼児脳教育の要であり、そのためには、「最適な環境」が必要である。つまり、この「最適な環境」とは、親や教師による、よりよい誘導であり、また誉めることである。この誉めることは知性フレームの発達に対して、大きな寄与をもたらす。なぜならば、その同じ効果として、「達成感」もそうであるが、脳内にドーパミンが分泌されるからである。そのため、当該の知性フレームは可塑的にそして、より豊かに発達することになる。また、自己組織的な発達も促進させられる。ちなみに、この幼児期において、挫折感や怒られることは、あまりよくない。もちろん、適度に叱ることは必要なことである。しかし、感情的に怒ることは避けなければならない。怒られることで脳内に分泌される物質が、知性フレームの発達を阻害してしまうからである。挫折感も適度ならむしろよい結果となることもあるが、同様に、知性フレームの発達にはマイナスにあることが多いので注意が必要である。夢や目的に向かって自発的に努力する癖がつけば、後は、大きな夢・目的をもつように導き、その目的・夢に向けた中目的、小目的を段階的に設定して努力させるだけである。もちろん、そのためにも親や教師が、より具体的な目的とその達成のための筋道を示さねばならない。

3.6 創造的思考について

これまで、脳内メカニズムをもとにして、多重知性フレームとその変容と特徴について述べてきた。ここからは、創造性育成モデルをもとに、創造的思考モデルについて述べる。3.1において、問題解決を行うための思考モデルについて述べた、このモデルは、「問題」に対する「解決」を導くためのモデルとしては、優れたモデルである。しかし、ある環境下において、問題が生じた場合、その「問題」に対して、自らが問題であると認知するまでには、各個人の脳内でのプロセスや認知の度合いに依存する。また、その認知の仕方によって、その後に行われる思考に、大きく影響を与えてしまう。故にこのモデルだけで、思考の工程を解くには不十分である。本研究では、創造的思考を「空想や想像を論理的に組み立てる思考」と捉え、その思考をいかに誘発できるのかという点に着目をおいている。故に、問題を問題と認知するために認知より、手前の段階を整備する必要がある。

3.6.1 前頭連合野のモデル化

今日、前頭葉を活発に働かすという目的のもと、創造性育成の議論が活発に行われている。前頭葉と創造性は密接な関係にある。それは、創造性を発揮するためには、必ず思考が必要であるからである。Fig 15に示すは前頭葉の行っている仕事の略図である。つまり、前頭葉では、感覚入力にて、思考を行い、それを出力（行動）に換えている。入力系である後頭葉（頭頂葉、側頭葉、後頭葉）は、感覚からの入力を分析・統合することにより、対象を認知することに関わっている。この後頭葉からの情報に即して、前頭葉は、この認知情報を行動として出力情報に変換する。つまり、前頭葉が知覚、認知、思考、判断等を担っている。つまり、前頭葉が働かない場合は、知覚、認知、思考、判断等が働いていないととても過言ではない。また、前頭葉は、大脳辺縁系からの情動情報も受けている。例えば、ある問題を解決する場合、外界からの情報は、感覚情報として後頭葉から入力され前頭葉に集中する。そして、その外界からの情報を問題として認知するためには、脳内情報である記憶などと照合をし、その思考を行う。その思考があり初めて、問題に対してなんらかの評価（出力）を行う。この前頭葉を取り巻く関係をもう少し、分かりやすくするために、各連合野との結びつきを示したモデル（Fig 16）を用意する。この Fig 16で注目したい点は、大脳辺縁系の存在である。この大脳辺縁系とは、知性（心）の特徴である「感情」の働きの基盤であると考えられて、心の動機づけや感情の働きを担っている。我々の研究では、外界からの刺激に応じて、この大脳辺縁系が働く場合、それに誘発された、情動・感情などが、その後、想像（空想）

をし易くしていると考えている。つまり、想像（空想）をすることために、大脳辺縁系の働きが、潤滑油になっているものだと考える。創造性を「空想や想像を論理的に組み立てる思考」考えた場合、人間各々が空想や想像を行うためには、感情やそこに芽生える情熱が必要であると考えられる。

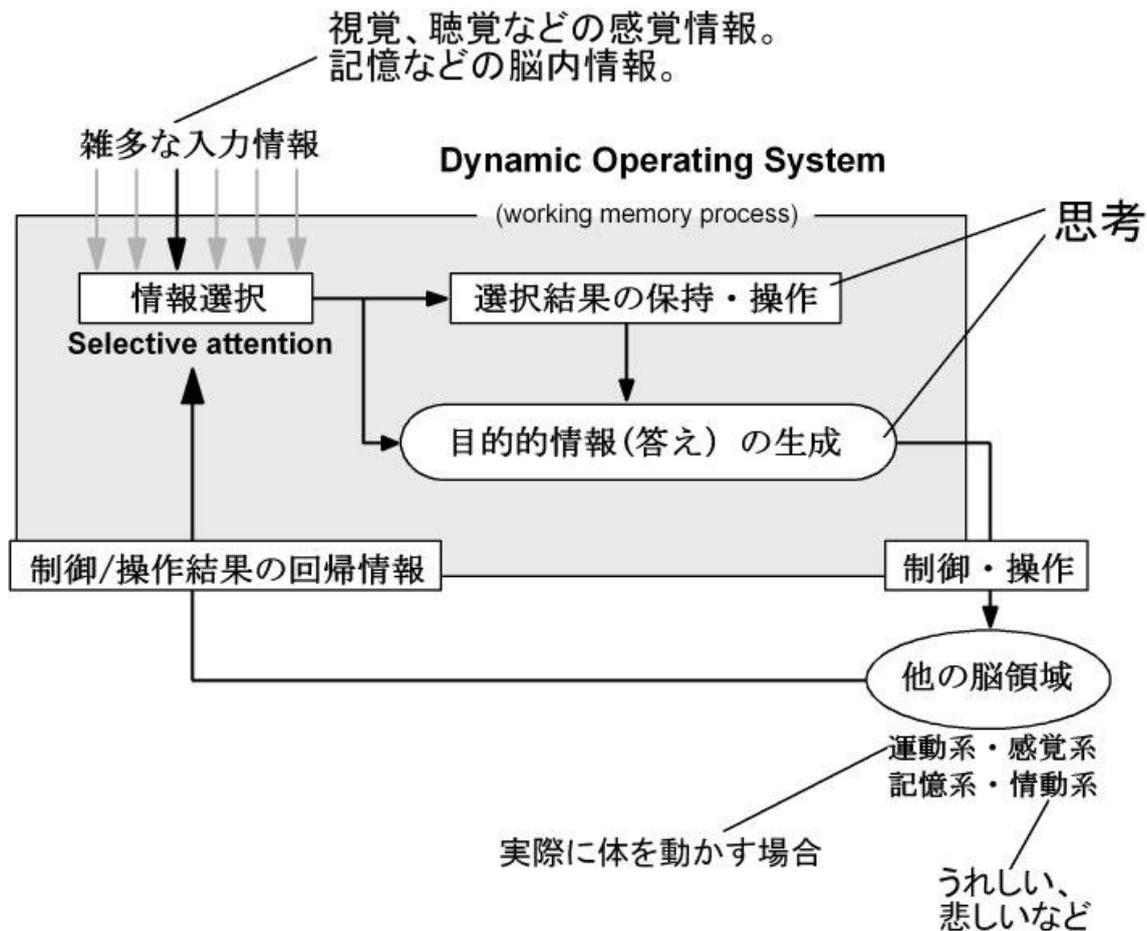


Fig 1.5

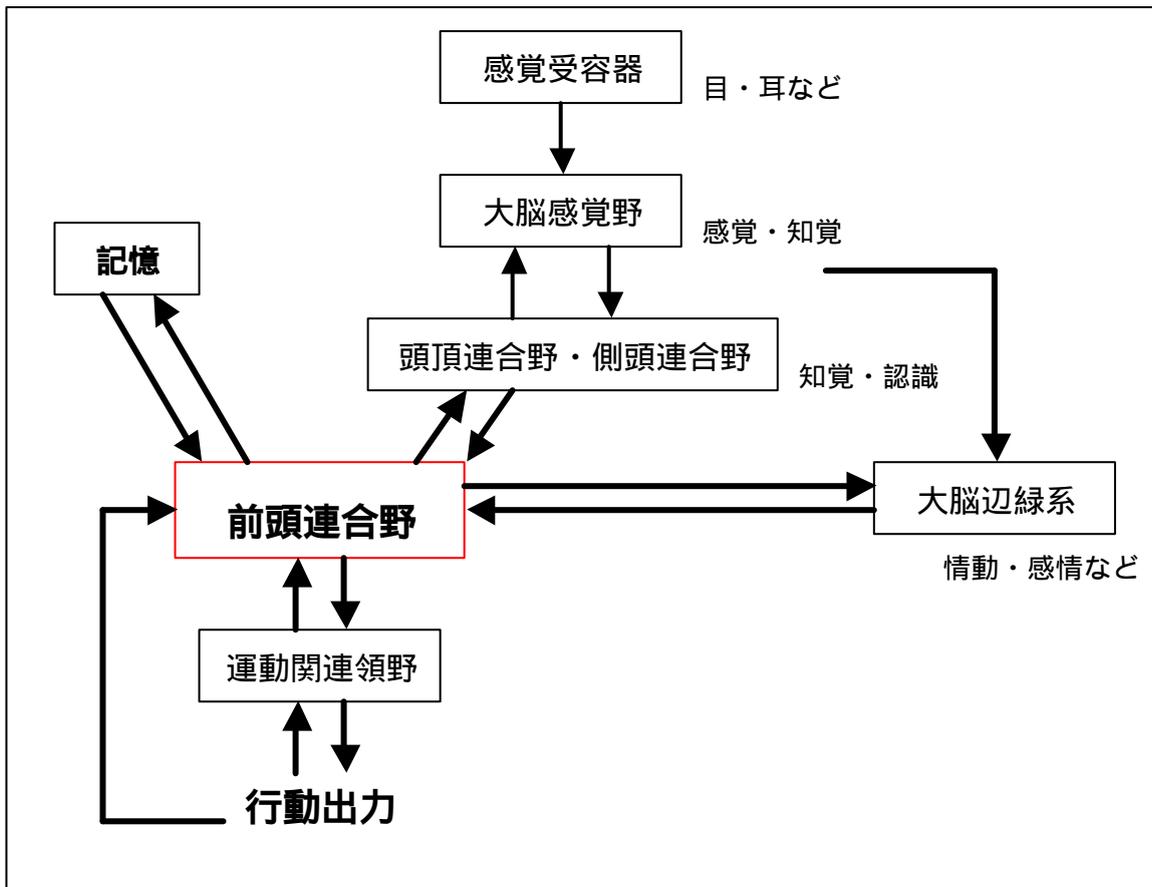


Fig 1 6

3.6.2 創造的思考のモデル化

前項では、前頭葉と各連合野の関係についてモデル化を行った。そのモデル化をもとに、創造的思考のモデルを Fig 1 7 に示す。このモデルは Fig 4 思考のモデルと、前頭葉の体系をモデル化したものを混ぜ合わせ、本研究の狙っている、「空想や想像を論理的に組み立てる思考」を考慮した結果のモデルである。また、このモデルでは、説明がやや混乱するので「記憶」というセクションを省いている。この創造的思考モデルにおいて、最も大事なことは、集中的思考と拡散的思考の両立である。しかし、この拡散的思考に着目をする場合、感覚から芽生えた、情動による拡散的思考が、通常の知覚から芽生える拡散的思考より、空想性や想像性の誘発を促すものだと考えている。つまり、Fig 1 7 において、空想性と位置付けているいる部分は、Fig 1 6 に示す、大脳辺縁系に適応する。この情動にて誘発される拡散的思考が創造性を発揮するのに大切なことだと考える。もちろん、情動による拡散的思考のみでは、創造性とは言えず、それを確固と

して形成するためには、集中的思考が必要である。多重知性に関していえば「認知」「情動」が多重知性に相当する。認知には、もちろんのこと多数の知性が必要である。「情動」とは、知性フレームで考えた場合、感情的知性という位置付けに相当する。

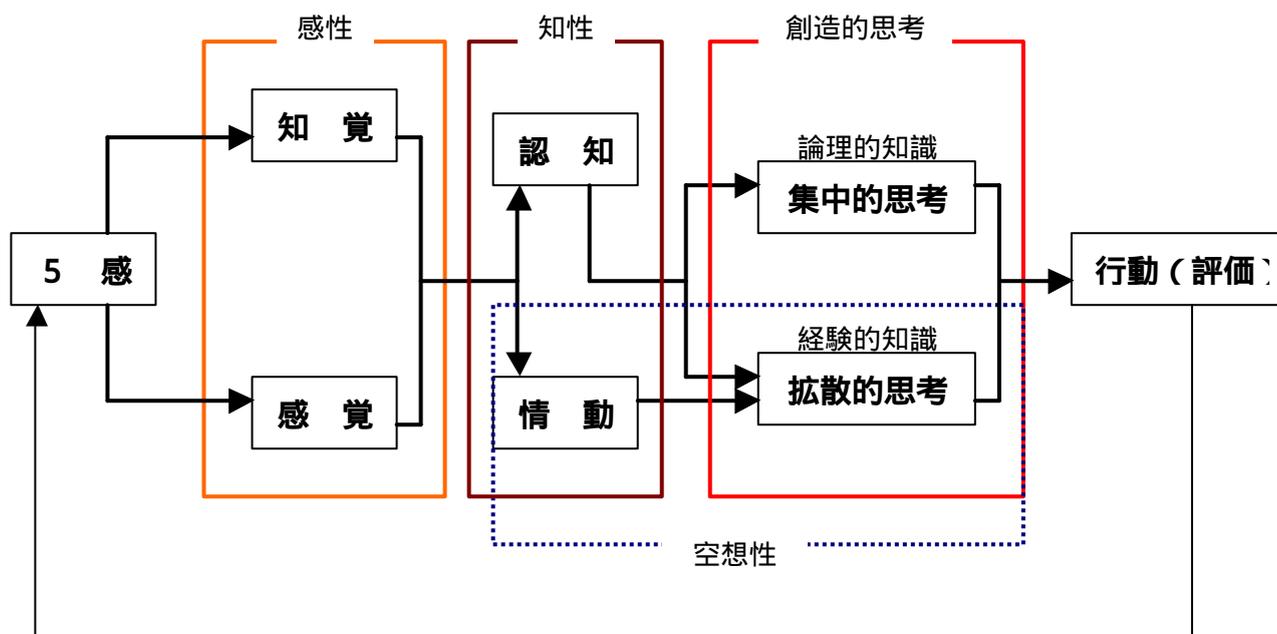


Fig 1 7

3.6.3 集中的思考と拡散的思考の誘発実験

Fig 1 7に示す創造的思考のモデルをもとに、集中的思考と拡散的思考の誘発程度を測定する実験を行う。この実験は、被験者に対して、拡散的思考の誘発を狙ったものであり、脳内で発生した拡散的思考を集中的思考において形付け、創造物の制作を行わせる。また、この実験方法は、従来から存在する創造性測定の方式とは全くことになっており、本研究オリジナルのものである。故に、使う人によっての汎用度としては、集中力の測定のための価値利用しかないかもしれない。まず、実験の測定方法であるが、Fig 1 7に示す創造的思考のモデルにおいて、測定箇所を「行動(評価)」に限定する。故に、この「行動(評価)」=創造物であり、この創造物を後々、解析する事で、集中的思考と拡散的思考が行われているかどうかを確認しやすいように設定する必要がある。また、創造物を定量的に第三者が評価を行う場合は、統計学の標準偏差方式と、従来の創造性測定方法を用いる。実際に、被験者が生み出す生データ(創造物)は、機械的な測定は不可能である。では、具体的な実験方法であるが、まず、被験者に対して、物語を文章

にて制作を行わせる。しかし、ただの小説とは、異なり、予め使用する文はこちら（実験者側）から用意する。その用意された文章は、単語と単語が連結された短い複文である。例えば、こういう文章である。「彼は、起きた」、「朝は寒い」などという短い複文である。この短い文章を言葉のパズルとして、被験者に対し、このパズルとパズルの組み合わせを行わせ、物語（ストーリー）の制作を行わせる。例えば、Fig 18に示すように、ある文章をパズルに分解する場合、元々、ある物語として存在する文章を細切れに分解し、パズル化を行う。このパズルを配当し、実験を行う。故に、被験者はこのパズルを組み合わせ、被験者オリジナルのストーリー構築を行う。この文章からパズル化を行う場合、接続詞の省略を行う。それは、被験者のストーリー構築に柔軟性を考慮するからである。また、ストーリーの構築において、パズルの末端の語句は、変更を許している。例えば、神の怒りを招きの「き」を「いた」、「きました」等への変更を許している。これらの変更点において、パズルの内容は多少変化するが、この程度の変更はストーリーの構築を柔軟にしたいので、誤差範囲と考える。このストーリーの構築における、集中的思考と拡散的思考の役割であるが、まず、拡散的思考の誘発という部分に関しては、パズルを読み、そのパズルにかかっている内容を認知または理解することで、被験者の持っている経験的知識にて、イメージを想像や空想することを期待する。そして、集中的思考では、論理的知識を用いて、パズルとパズルの組み合わせ、つまり文章が整合性のとれた形で構築されていくことを期待している。故に、集中的思考と拡散的思考の両者を総合して、創造的思考の測定という立場から見る場合、パズルを使用した数を集中的思考として測定し、ストーリー性の有無に対しては、拡散的思考として測定することが可能となる。そして、創造産物として、文章が制作される。

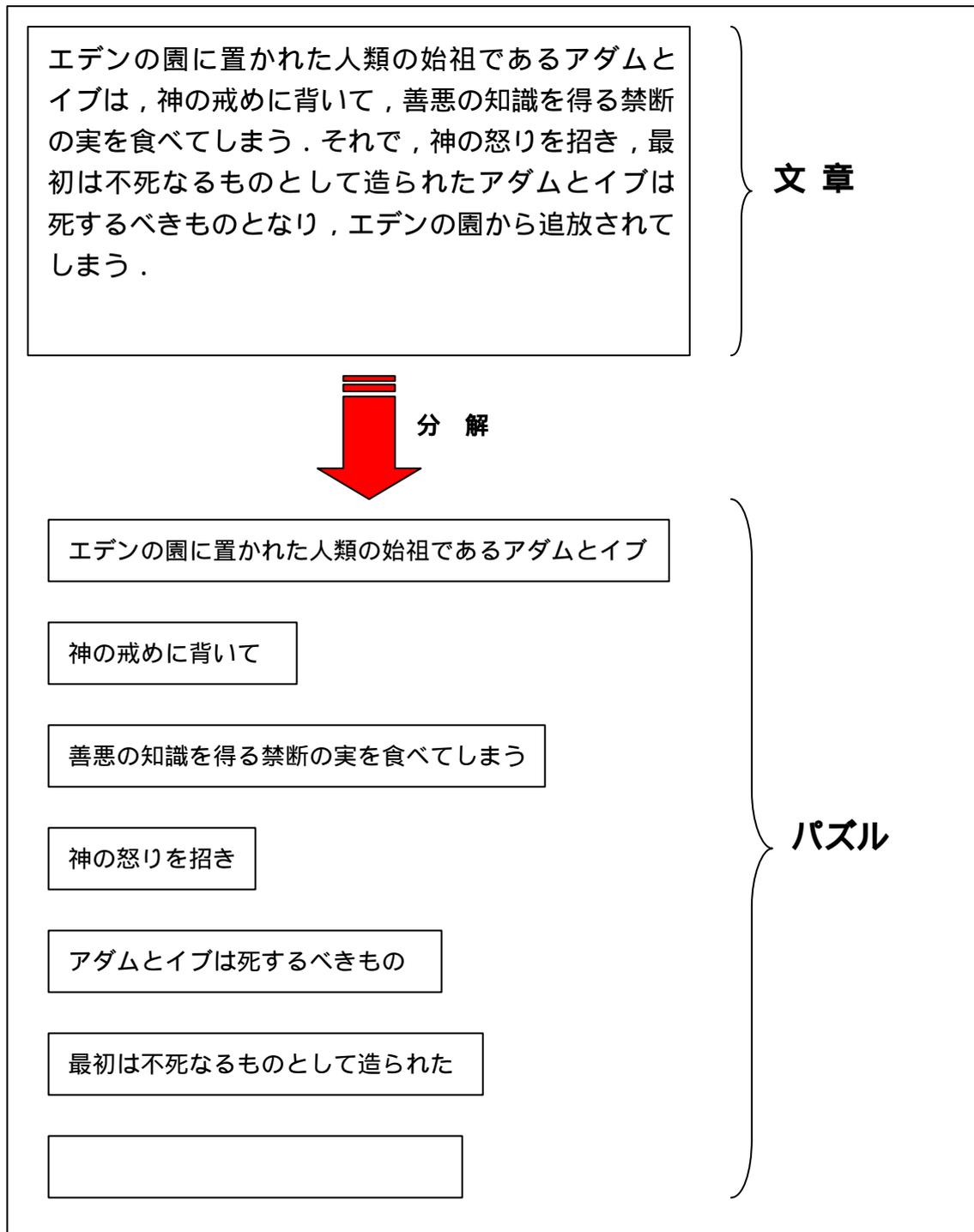


Fig 1 8

3.6.4 実験ルール

実際に行った、実験ルールを Fig 19 に示す。被験者は、これとは別に、40個の言葉のパズルを配る。この40個のパズルは、元は、3つの別々の文章をばらばらに分解しパズルとしたものである。被験者は、高知工科大学の学生13名（1年生：5名、2年生：3名、3年生：4名、院生：1名）である。実験は2回にわたり行い、2回目の実験では、パズル数を倍の80個に設定した。

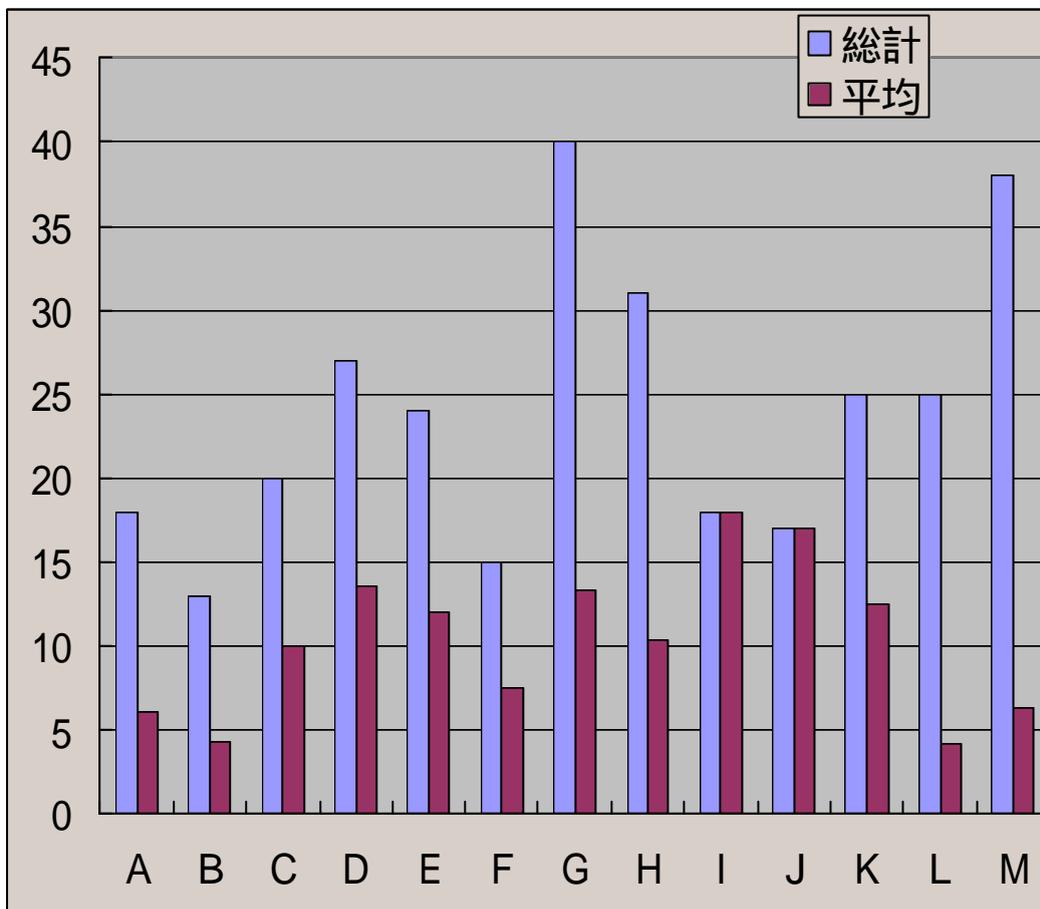
<p>ルール</p> <ul style="list-style-type: none">・資料中40個の言葉の中から、1つ1つ言葉を選択し組み合わせて文章を作る。・制限時間は90分
<p>注意点</p> <p>は が など、正しい日本語にするための言葉の変更は許可する。ただし、新しい意味合いを持つ言葉を追加してはならない。</p>
<p>評価方法</p> <p>ストーリー性豊かな文章をより多く制作してください。そうすれば、得点は高くなります。</p>

Fig 19

3.6.5 第1回目の実験結果

Fig 20 に示すは、第1回目の実験（パズル数40個）の実験結果をである。グラフは総計と平均としてあるが、総計とは被験者が使用したパズルの個数である。また、平均は、今回、数個ストーリーの制作がみられたために、使用したパズルの数をストーリー別に平均化した。この平均化には、ストーリー性の評価を重要視したものである。つまり、このルールにおける高得点者の設定として、パズルを多く使い尚且つ1つのストーリーを制作することが高得点の条件なのである。つまり、18個のパズルを使い、6個ずつの3ストーリーの制作を行うより、15個のストーリーに3つのパズルを融合して18個のストーリーを制作するほうが、難易度が高いのである。故に、平均化をとる必要が生じる。本研究は、この総計数を集中的思考の数値とし、平均数を拡散的思考の数値とする。こう考えると、グラフは、拡散的思考（イメージ）を集中的思考において形にしているために、集中的思考はかならず、拡散的思考より上であるという関係が成

り立つ。これは、我々の生活でも共通する部分が多いに見られる。例えば、物作りを行う場合など、形成するイメージを形にする場合は、結局、イメージ自体、することは簡単であるが、いざ実行となった場合、集中して作業や事にあたらないといい物ができないからである。話を元に戻すが、被験者I、Jの場合は、集中的思考と拡散的思考のバランスがとれていると思われがちであるが、この両者については、パズル数が少なかったのかもしれない。しかしながら、被験者I、Jの作品については、ストーリー性の豊かさに驚かされた。



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
総計	18	13	20	27	24	15	40	31	18	17	25	25	38
平均	6	4.3	10	14	12	7.5	13	10	18	17	13	4.2	6.3

Fig 2 0

3.6.6 第2回目の実験結果

Fig 2 1 に示すは、第2回目の実験（パズル数80個）の実験結果をである。第1回目と異なる点は、まず、パズル数を倍にしたことである。これにより、制作における自由度が広がったことになる。この自由度の操作により、第1回目の実験で著しい成果をおさめた、被験者I、Jは大幅に平均数（拡散的思考）を下げている。この両者を除き、向上を見せる被験者も現れた。この自由度数を変化させることで、現れる変異についてもう少し詳しく解析を行う。

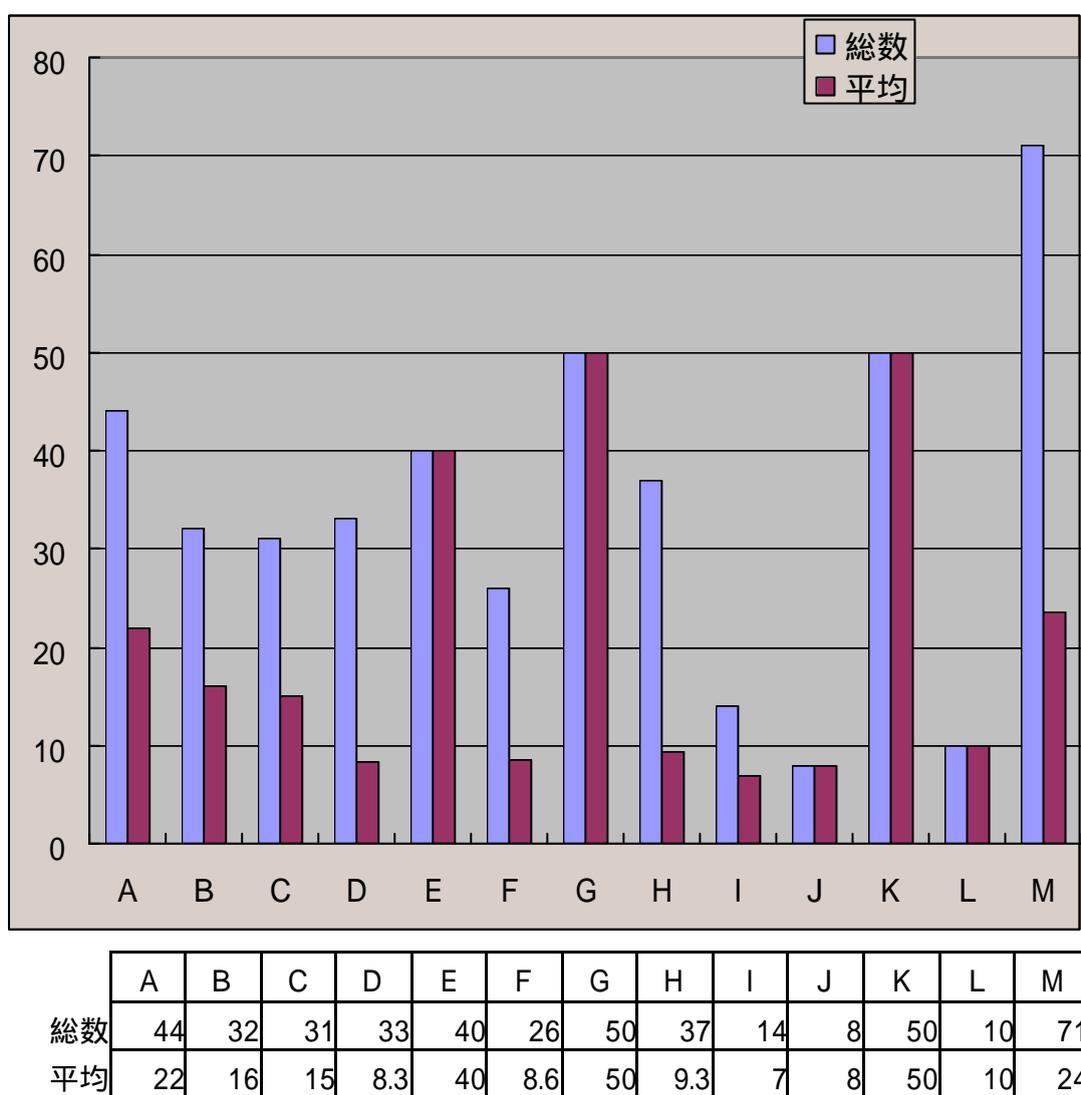


Fig 2 1

3.6.7 自由度の変化における比較

第1回目の実験と第2回目の実験による比較を行う。この比較には、統計学でよく持ちいられる偏差値を利用する。Fig 2 2 に示すは、第1回目の実験と第2回目の実験に測定した平均数字を偏差値化したグラフである。また、その変化率を%で示す。グラフからわかるように、2回目にて偏差値の増加をした者と逆に減少した者が存在する。ちなみに、変化率、-10%~10%以内は、ほぼ変化していないものだと考える。この2回の実験により、偶然にも、被験者I、Jの変化率はほぼ同じである。また、G、Kにおいてもグラフがかなり似通っている。

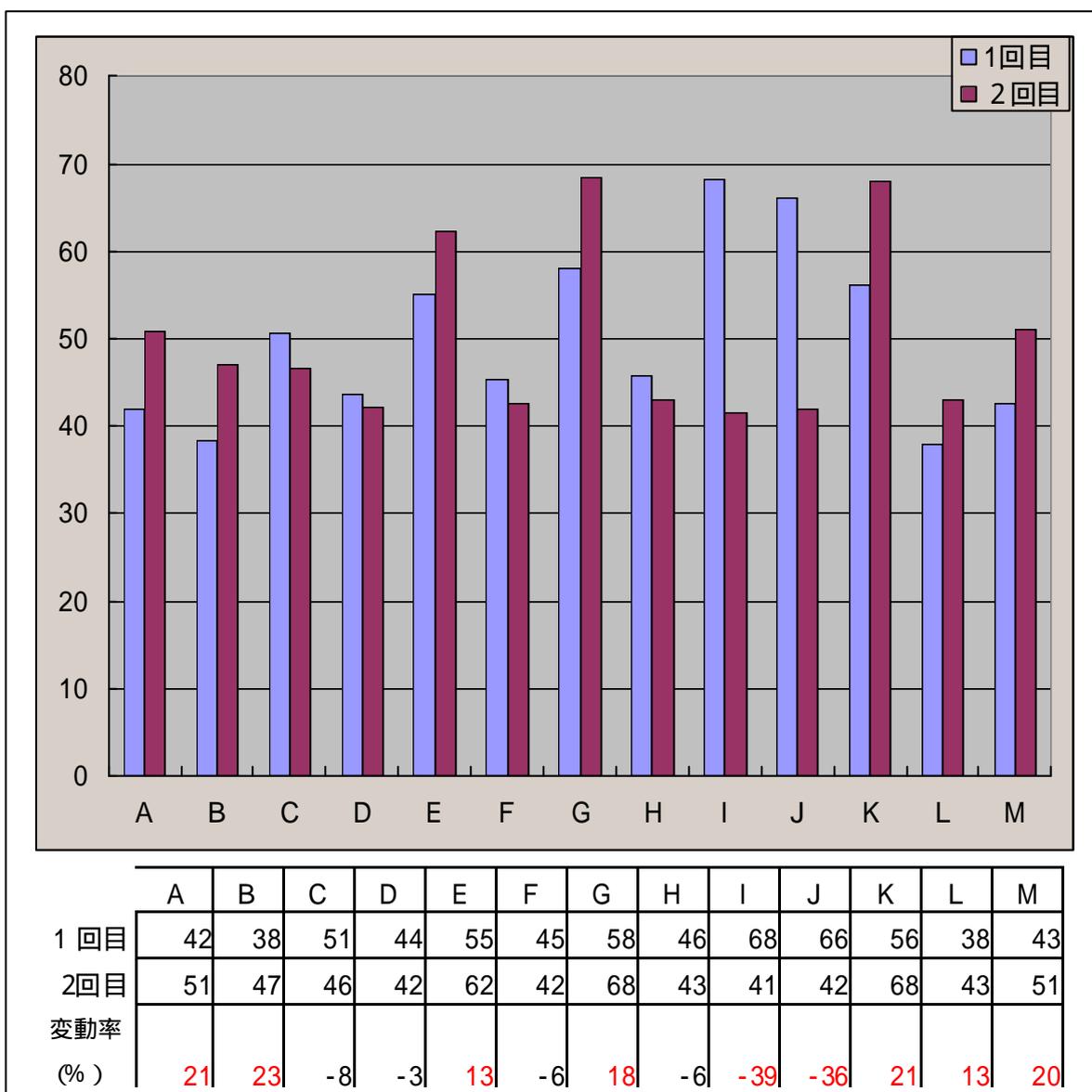


Fig 2 2

3.6.7 実験からの考察

この実験では、「空想や想像を論理的に組み立てる思考」に注目し、Fig 1 7に示すように、5感からの入力情報を、「感性」「知性」「思考」「行動(創造産物)」という手順で実験を行った。では、被験者側から見た、このパズルに対しての思考手順を述べる。Fig 2 3に示すように、各、言葉のパズルを① ② ③・・・と考えると、まず、被験者は、このパズルを視覚で見て、その視覚情報が感性にて処理される。脳内システムで考える場合、後頭葉からの情報が、前頭葉に集まっていくことである。次に、前頭葉にて知性フレームが働き、思考が誘発される。その思考がある故に、行動としてパズルを並べることができる。ここで注目した点が、情動から拡散的思考への誘発である。この情動は、先に述べたように、大脳辺縁系が働いた場合に生まれる。もちろん、認知だけでも、経験的知識もとに、拡散的思考の誘発は行われる。しかしながら、情動によって感情を持つ状態での拡散思考と、感情を持たない状態での拡散思考では、その後、制作されるストーリーに多少なりとも違いが生じるはずである。つまり言い換えれば、我々は、自分の制作しているストーリーに対して、どれほどの感情移入ができるかを測定したいわけである。創造性とは、個性や独創性が発揮されて初めて、創造産物が生まれるといわれるように、本研究では、この感情移入から誘発される拡散的思考を集中的思考によって、形成することを最も重要視している。また、感情移入があるからこそ、Fig 2 3に示すように、一度並べた、パズルに対して、もう一度、情動が生まれ、その生まれた情動を拡散的思考においてイメージ化し、今度は、そのイメージに沿ってパズルの選択が可能になるものだと考えられる。被験者によっては、様々なストーリーが生まれたが、大きく分けて、3種類に分けられる。「単純に言葉をつないだだけ」、「貧弱なストーリー性」、「感情移入されたストーリー」の3種である。この「単純に言葉をつないだだけ」に相当する被験者の文章は、日本語が通じる程度の文章でありそこにストーリー性は生まれにくい。つまり、この言葉のパズルを集中的思考のみで、まるで数式の計算をしているように、言葉と言葉を単純にくっつけ制作したものだと考えられる。また、「貧弱なストーリー性」に属する被験者は、文章にストーリー性は生まれているが、そのストーリー性に対して、被験者の個性や独創性がまったくみられず、つまるところ、読んで面白くないストーリーである。しかしながら、認知から誘発される、拡散的思考と集中的思考は働いたものだと考えられる。今回の実験は2回に分けて行い、2回目の実験では、パズルの数を増やし、被験者に対する自由度の操作を行った。Fig 2 2に示すように、被験者I、Jは1回目の実験では、素晴らしいストーリーを生みだしているのも関わらず、2回目の実験で大幅に、その偏差値を下げってしまった。その考えられる原因として、まず、被験者I、Jは、感情と情動が働きやすい性格だと仮定すると、2回目の実験において、自由度が向上したことで、自らの情動や感情が上手く、形成されなかったせいなのかもしれない。つまり、自由度が上がったことで混乱を有した可能性

が高い。故に、被験者I、Jは集中的思考が弱いことがあげられる。逆に、もし仮に、この2者の集中的思考が強かった場合、自らの情動・感情によるイマジネーションを制作に反映できるわけである。故に、この2者に対しては、集中的思考の教育を施すことで、創造性の育成は十分であると考えられる。また、この2者と同じく、2回目の実験において、数値が減少した被験者C、D、Hに対しては、集中力の欠如が言える。この3者の減少は、被験者I、Jの減少とは全く異質のものである。被験者I、Jには、発生した、情動や感情を集中的思考の欠如により、数値を下げる原因となってしまった。故に、被験者I、Jは、大脳辺縁系の活動とそれに伴う、前頭葉における拡散的思考は行われているわけである。むしろ、大脳辺縁系と拡散的思考のみが、オーバーロードしていると考えの方が適切なのかもしれない。つまり、集中的思考力が追いついていない故に、制作行動が困難になっているのである。それに比べると、被験者C、D、Hは、Fig 2 3 に示す各部が全体的に、レベルを下げてしまったものだと考えられる。またその逆に、向上した被験者に対しては、全体的に、各部がレベルを向上したと考えられる。その向上した中でも、被験者E、G、Kの2回目の文章は、1回目と比べると、個性や独創性が、優れているものとなっている。

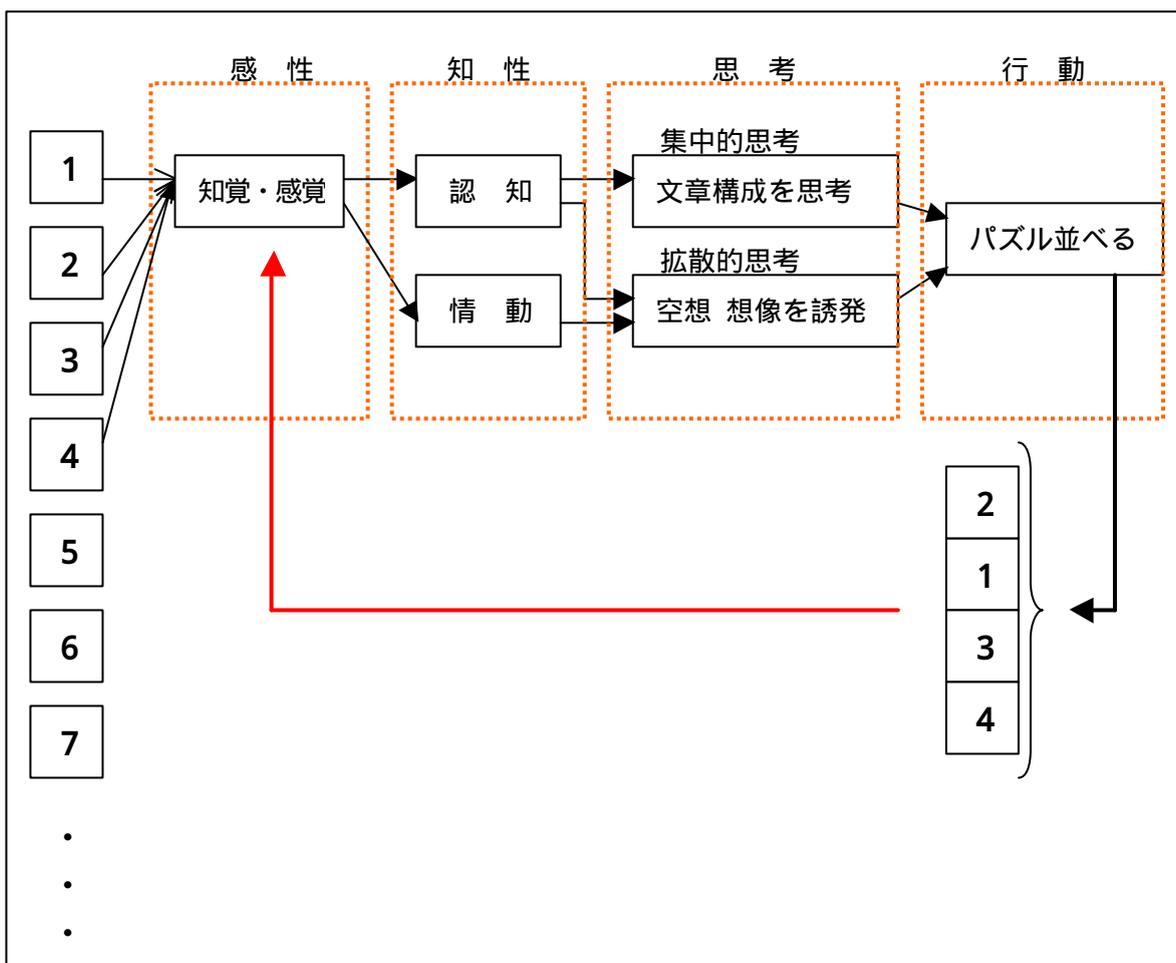


Fig 2 3

このように、自由度を操作することで、個人によって、集中的思考や拡散的思考のレベルを操作する事が確認できた。この思考レベルの変化には、脳内伝達物質である、ドーパミンの影響が考えられる。ここ最近では、脳波を測定することで前頭葉を活動を測定するという試みがみられるが、本研究においては、大脳辺縁系をからの情動に対して個性・独創性の発揮をもくてきとしているために、この測定方法は当てはまらない。また、本実験にてストーリー性の評価とは、我々実験者側からみて、個性・独創性の有無を見ている。今回は実験では、被験者の感情移入における、その個性・独創性の有無をみただけであり、そのレベル（程度）に関しては、議論していない。それは、本研究が、創造性を育成する立場にあるためである。

3.7 創造性育成モデルからみた、創造的思考モデル

Fig 2 4 に示すは、創造的思考モデルを創造性育成モデルと対応させたものである。創造性育成モデルはあくまで、創造性を育成する立場から考えられたモデルであり、必ずしも思考モデルとの完全な一致は難しいが、この創造性育成モデルにおいて、各フィールドが、思考モデルの各セクションを育成しているものだと考えた場合、具体的に、「現実性フィールド」では、「行動 5 感」、「感性フィールド」では、5 感から生まれる感覚と知覚、「空想性フィールド」では、情動と拡散的思考。そして、「創造性フィールド」においては、集中的思考と拡散的思考の両立と対応するものだと考えられる。そして、この創造性育成モデルは、サイクル化し育成を行うことで、創造的思考の各セクションの向上が期待できる。

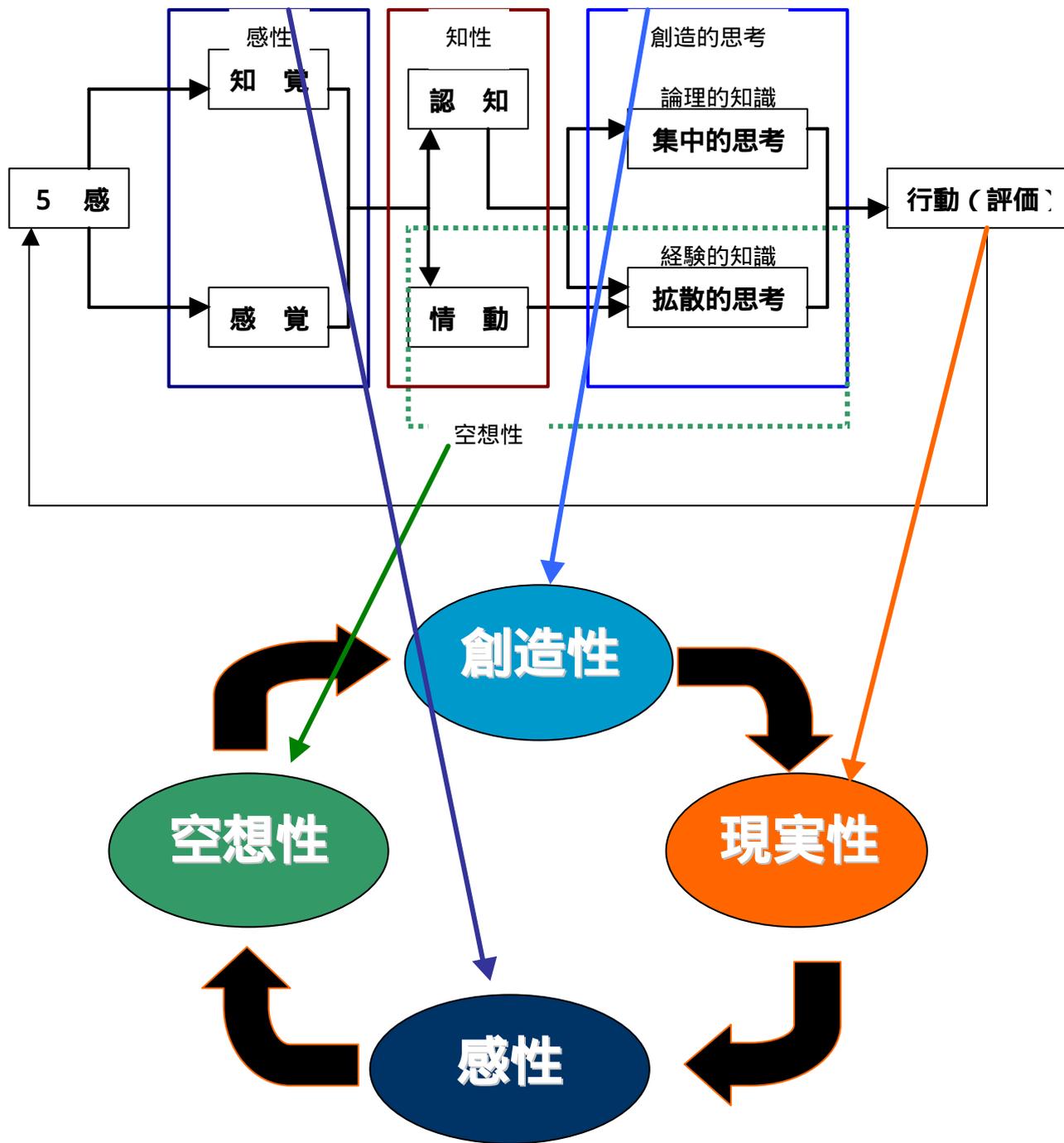


Fig 2 4

第4章 現実性にて使用するロボット

本章では、ロボットの現実性とマンガの空想性を融合した創造性育成法の開発として、Fig 1 に示す、創造性育成のモデルの現実性フィールドにおいて、実際に使用するロボットの機構及び、制御システムの詳細を述べる。

4.1 ロボットの規模

Fig 2 5 に示す、ロボットは、Fig 2 に示す、1 サイクル目のスタートである、「ロボットに乗せる」フィールドにおいて、実際に使用するロボットの規模である。また、実際のロボットを Fig 2 6 に示す。ロボットは Fig 2 5 に示すように、ロボットは縦 1.5 m × 横 1.5 m の規模であり、設計上、子供 1 人、もしくは大人 1 人が搭乗可能な大きさである。人は、赤ん坊の頃から、丸い物を見せると喜ぶといわれているように、球形に対して、親近感を持つ傾向にある。本研究では、子供との接点を考慮し、Fig 2 6 に示すように、ロボットに、マスコット的なイメージを持たせた。更に、2.1 でも述べたが、乗った子供が「模擬」を誘発しあたかも宇宙旅行を体験しているかのように思わせるために、SF よりな方向性でロボットの形状を仕上げた。通常、人は、現実性に触れると、空想や想像が減る傾向にある。それは、現実に触れる事で、元々、人の持っていた空想（イメージ）が現実性に加速させられるため、空想と言う領域が現実への認知認識に代謝するからである。本研究では、この要素を理解した上で、剥き出しのフレームによるロボットを製作するのではなく、子供に限って「模擬」を誘発しやすさを考え、ボディの設計にあたった。つまり、子供に対して、ロボットに乗ることで、模擬の誘発 + 実体験を可能とすることを目指している。これにより、子供の好奇心を誘発し、更には自発性の向上を期待している。

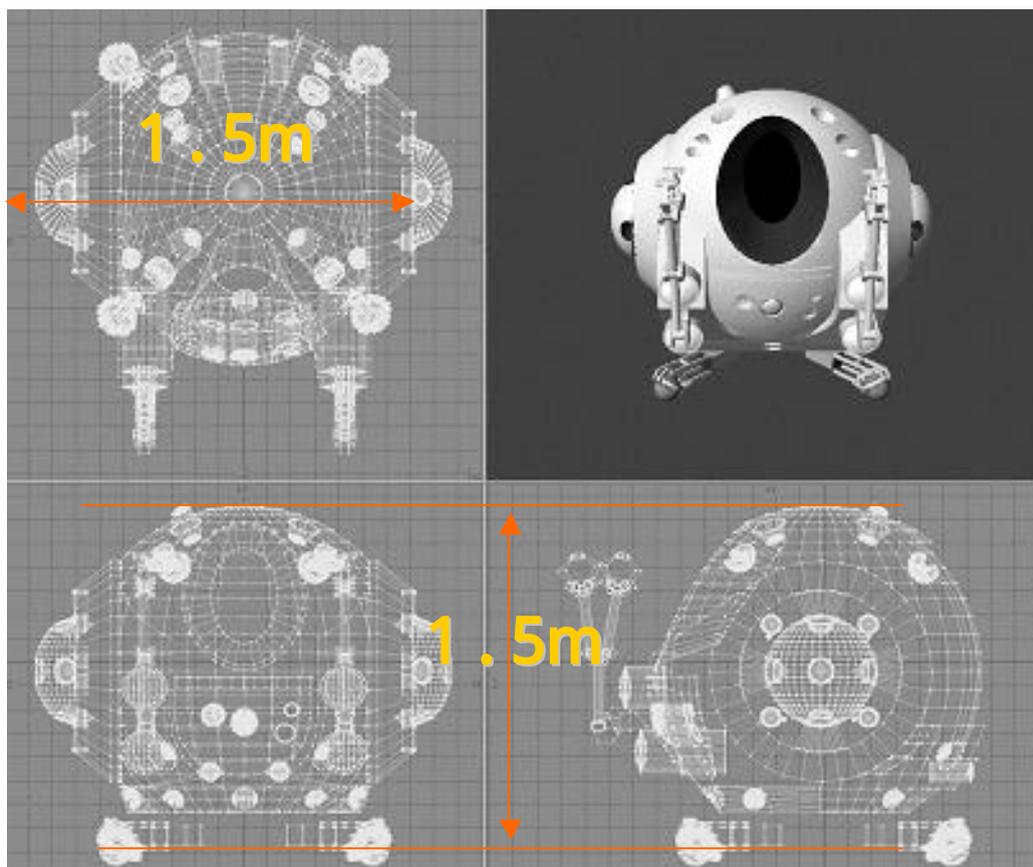


Fig 2 5



Fig 2 6

4.2 ロボットの移動機構

Fig 2 7に示すように，このロボットは制作上，土台部（足回り）にF R P製のボディーを乗せた形で設計を行う．また，ロボットの足回りにはM I T（マサチューセツ工科大学）が開発した．ボール型アクチュエータを使用する．



Fig 2 7

4.2.1 ロボットの移動機構

今日，ロボットの移動機構には様々な種類の機構が研究開発されている．それらの主な機構を次に示す．

- (1) 車輪
- (2) オムニホイール
- (3) 球（ボール）
- (4) 脚

などがあげられる．また，Fig 7に，各機構の長所と短所を記する．

これらの中で，最も一般的に使用される移動機構は，(1) 車輪を使用した，車輪型移動方式が用いられている．この車輪型移動方式を用いた場合，開発や制御は容易となるが，ロボットの操縦性を考えた場合，横方向への移動が不可能であるため，自由度が狭く，操縦者の負担が増えてしまう．これに対して，我々人間と同じ移動方式の，2次元

3自由度を持つ、脚型移動方式は、汎用性が高い方式であるが、構造面が非常に複雑であり、また常に、重心移動の制御を行わねばならないため、システムが肥満化してしまう傾向にある。この脚型移動方式は、現在様々な企業が2足歩行型のロボットの研究開発しており、すでに階段の昇降が出来るようなものまで開発されている。また、中には、(1)~(4)中から、2種類の機構を用いることにより段差移動型ロボットなどもある。移動ロボットに、屋内(平面)での行動のみを求める場合、垂直方向などへの移動は必要と考えられないため、脚型移動方式や段差移動方式をなどのものつ、汎用性を考慮する必要性は無い考えられる。しかしながら、車輪型の場合、横方向への移動が妨げられるため、幅広い通路での使用環境下に限定されてしまう。また、操縦者(子供)の負担面を考えると十分ではない。

そこで、本研究では、これらの移動機構の中で、子供が容易に操縦でき、自分の感性に似合った操作ができる事を考慮し、球(以降、ボール型アクチュエータ)を利用した、全方向移動機構を採用する。

	長所	短所
車輪	多少粗い路面でも地形に関係なく移動することが可能	全方向へ移動するために、舵角操作などを必要とする
球	舵角操作などを必要とせずに全方向へ移動が可能	路面状態に作用されやすく、使用場所が限定される
オムニホイール	舵角操作などを必要とせずに全方向へ移動が可能	移動時に細かい騒音が発生しやすい

Fig 2.8

4.2.2 ボール型アクチュエータによる全方向移動

全方向移動とは、平面を移動する環境下で、3自由度(並進2自由度+旋回1自由度)を必要とする。この全方向移動を用いることで、ロボットは中心から進みたい進行角度を得、上部の姿勢を維持したまま、360度、どの方向に対しても移動可能となる。実際に使用する、ボール型アクチュエータを Fig 2.9 に示す。Fig 3.0 に示すように、本機構では、駆動用モータを回転させることにより、駆動用モータ回転軸に固定されたギアと、それに接したギア状の回転リングが作動する。そして、Fig 3.0 のように、回転リングが回転することによってリングと接しているボールに動力が伝わり、ボールは

回転する．よって移動するための駆動力を得る構造となっている．そして，回転リング下部周辺，八方向に配置された，ボール固定ローラ（フリーローラ）は，Fig 3 0 の方向に対してフリーで回転する，ローラの役目となっている．



Fig 2 9

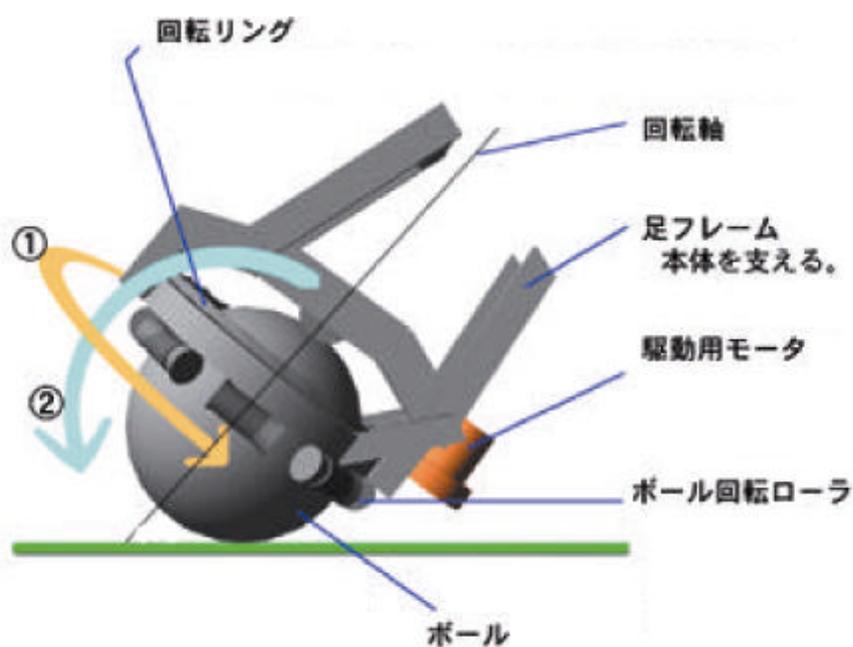


Fig 3 0

4.2.3 移動について

Fig 3 1 ~ 3 4 を元に，ボール型アクチュエータの移動方法の詳細について下記にまとめる．尚，Fig 3 1 ~ 3 4 はロボットを上からみた図である．

・垂直水平方向への移動

本機構において「垂直水平方向」へ移動する場合は，4 つのボールは，Fig 3 1 ~ 3 4 に示したように動作する．具体的に，各ボールが，どのように動作し垂直方向へ移動するかについて，下記にまとめる．

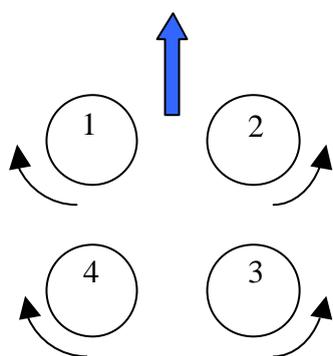


Fig 3 1

・**パターン 1：前進移動**
1, 4 のボールが，時計回り，2, 3 のボールが，半時計回りすることにより前進移動可能．

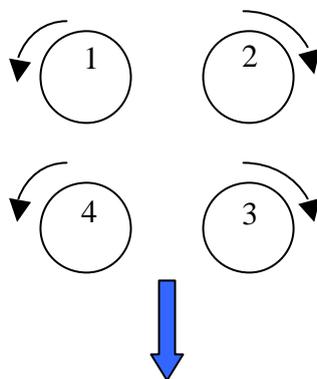


Fig 3 2

・**パターン 2：後進移動**
2, 3 のボールが時計回り，1, 4 のボールが半時計回りすることにより後進移動可能．

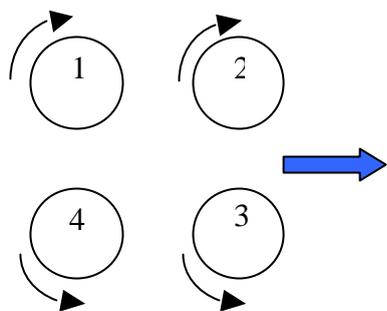
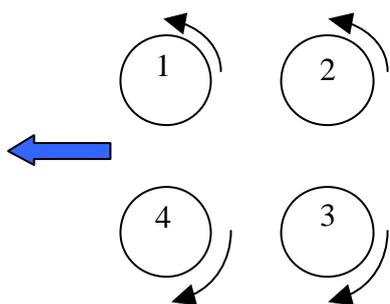


Fig 3 3

・**パターン 3：右移動**
1, 2 のボールが時計回り，3, 4 のボールが半時計回りすることにより右移動可能．



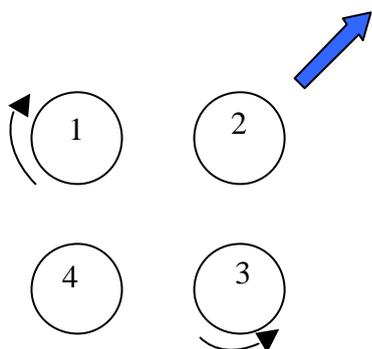
・パターン4：左移動

3, 4のボールが時計回り, 1, 2のボールが半時計回りすることにより左動可能.

Fig 3 4

・斜め方向への移動

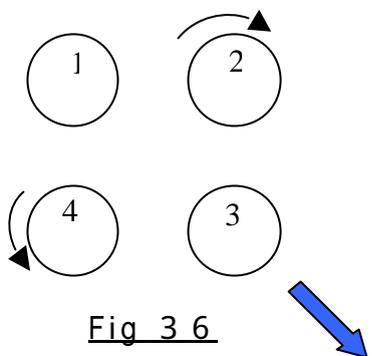
本機構において「斜め方向」へ移動する場合は, 4つのボールは, Fig3 5 ~ 3 8に示したように動作する. 具体的に, 対角上に位置する一対の2つのモータを駆動することにより移動ができる. その時, もう一対の対角上に位置するモータは駆動しておらず, ボールは, Fig3 0に示すように, リング周辺に固定されたボール回転ローラ(フリーローラ)によって進行方向へ回転する. 下記に, 各ボールが, どのように動作し, 斜め方向へ移動するかについてまとめる.



・パターン5：右上移動

1のボールが時計回り, 3ボールのが半時計回し, そのとき2, 4のボールは進行方向へ回転することにより, 右上移動可能.

Fig 3 5



・パターン6：右下移動

2のボールが時計回り, 4のボールが半時計回し, そのとき1, 3のボールは進行方向へ回転することにより, 右下移動可能.

Fig 3 6

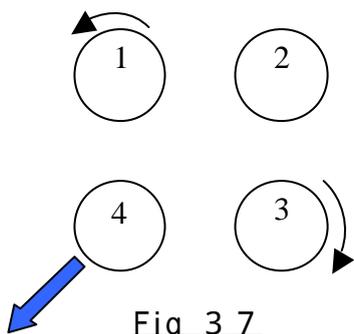


Fig 3 7

・パターン7：左下移動

3のボールが時計回り，1のボールが半時計回し，そのとき2，4のボールは進行方向へ回転することにより，左下移動可能．

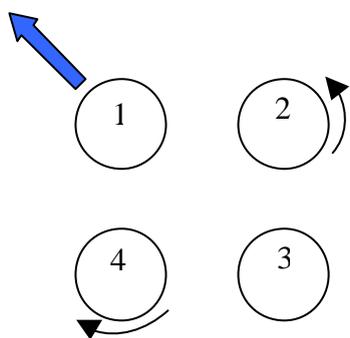


Fig 3 8

・パターン8：左下移動

4の球ボールが時計回り，2のボールが半時計回し，そのとき1，3のボールは進行方向へ回転することにより，左上移動可能．

・旋回方向への移動

本機構において「旋回方向」へ移動する場合は，4つのボールは，Fig 3 9に示したように動作する．具体的に，全てのモータの駆動を同時に時計回り，もしくは，逆時計回りをを行う事で，ロボットは，その場で，360度の旋回方向への移動を可能とする．

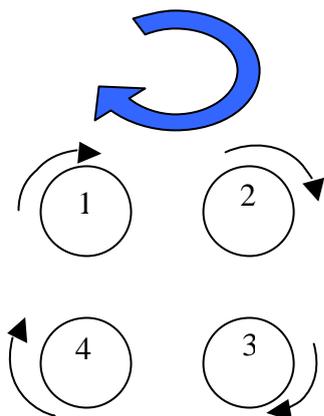


Fig 3 9

・パターン9：右旋回・左旋回

1，2，3，4のボール全てが時計回り，もしくは，逆時計回りをすることで，右旋回，左旋回への移動可能．

4.2.4 移動時に発生する、ベクトルについて

具体的に、各ボールが回転することにより、どのようなベクトル力が生じ、全方向への移動可能となる原理について、前進移動、右上移動、任意方向斜め移動を例とし、Fig 4 0 ~ 4 3 を元に下記に、述べる。

・垂直水平方向移動の合力について

Fig 4 0 に示すように、前進移動の場合、ボール1、4は時計回り、ボール2、3は逆時計回りの動作を行う、このとき各ボールに対して、赤色で示したような、力ベクトルが作用し、その結果、青矢印で示されたような、合力が発生する。同様に、後進移動は Fig 4 1、右移動は Fig 4 2、左移動は Fig 4 3、についても原理は同じである。この用に発生する合力を用いて、垂直水平方向への移動が可能となる。

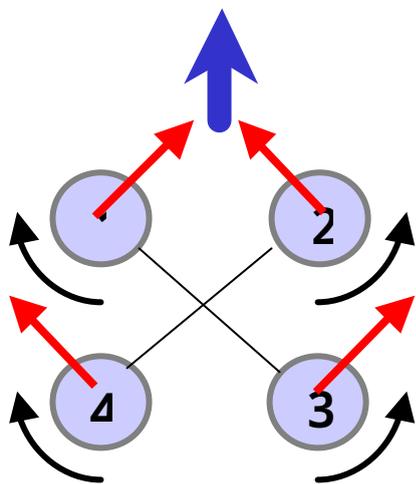


Fig 4 0

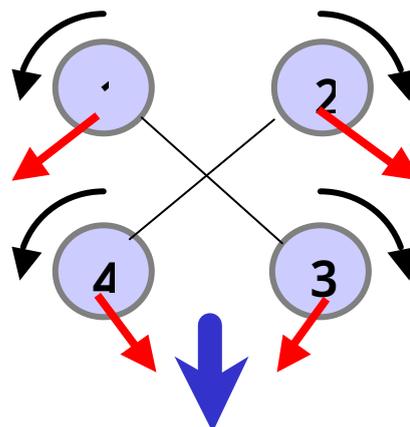


Fig 4 1

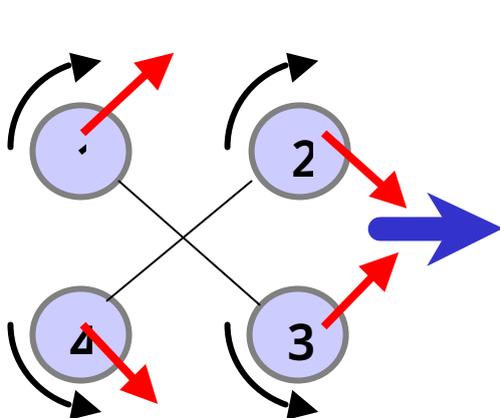


Fig 4 2

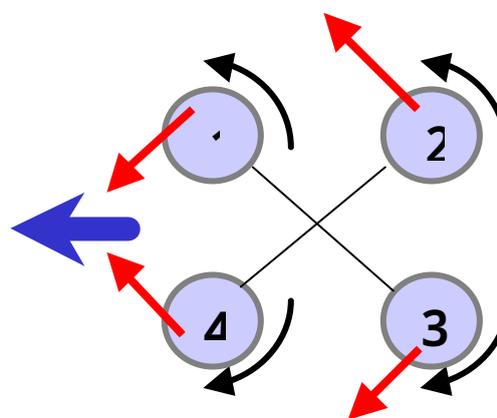


Fig 4 3

・斜め方向移動の合力について

Fig 4 4 に示すような，右上方向（斜め方向）移動の場合は，ボール1が時計回り，ボール3が半時計回りに回転することにより，各球には赤矢印で示したようなベクトル力が生じる．その合力として，青矢印で示したようなベクトルが発生しする．その結果，右上方向移動が可能となる．同様に，左下移動はFig4 1，右上移動はFig 4 2，左移動はFig 4 3，についても原理は同じである．この用に発生する合力を用いて，垂直水平方向への移動が可能となる．

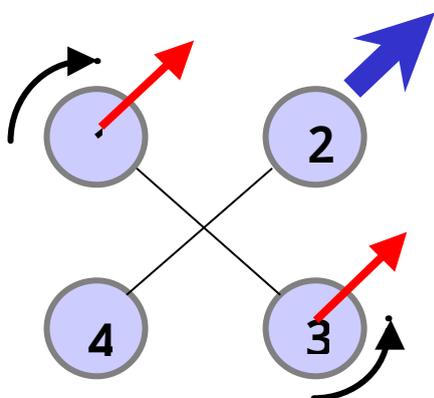


Fig 4 4

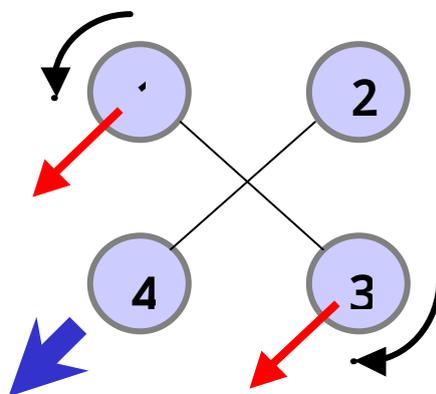


Fig 4 5

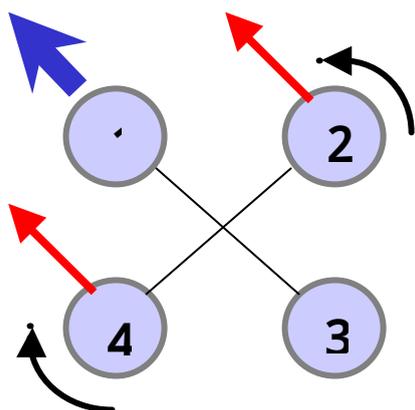


Fig 4 6

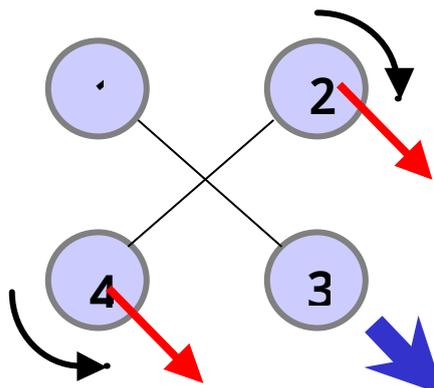


Fig 4 7

4.2.5 任意の方向へ移動について

4.1.3と4.1.4にて、ボール型アクチュエータの移動、ベクトルの合力について述べた。ここでは、操縦者の任意に基づき、全方向へ移動する場合について述べる。まず、Fig 4 8に示すように、前進移動を例に挙げて述べる。各ボール1, 2, 3, 4の赤矢印を各ベクトルの $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3, \vec{v}_4$ とした場合、その合力は青の矢印の \vec{V} となる。現在、Fig 4 8の状態では、1, 2, 3, 4のアクチュエータに対して、同じ力を発生した場合、ロボットは前進移動を行う。このような状況下で、例えば、1, 3のアクチュエータに対して、出力の向上を行うと、 \vec{v}_1, \vec{v}_3 の合力はやや右よりになり、また、 \vec{v}_2, \vec{v}_4 の合力もやや右よりになり、全体の合力 \vec{V} はやや右よりに発生し、ロボットは右斜めに移動する。この用に、各アクチュエータの出力を微妙に調整することで、合力の方向を自在に変更できる。しかしながら、2次元のジョイスティックで、このような、操縦性を追及し、Fig 2 7に示す、実験機で実験を行った所、ジョイスティックの遊び(隙)が極端に無くなるため、事実、ロボットの操縦が難しくなる。また、制御システム面にて、操縦者の微妙な手の反応の、検地または、非検地まで考慮をする必要性がでてくる。本研究では、子供を対象とするため、操縦性をの容易さを考え、8方向+旋回のみに限定をする。

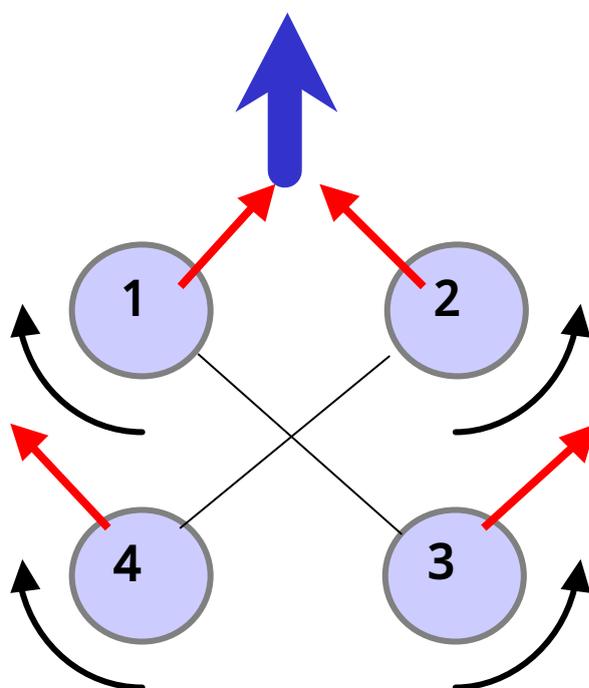


Fig 4 8

4.3 制御システム

本ロボットの制御システムを簡略化したブロック線図をFig4 9に示す。本ロボットは、操縦型ロボットであり、ジョイスティックからの情報をもとに、操縦者の任意の基づき動作する。しかし、子供の操縦を考えた場合、操縦プログラムに対して、各センサの情報を割り込ませ、衝突防止を行う。

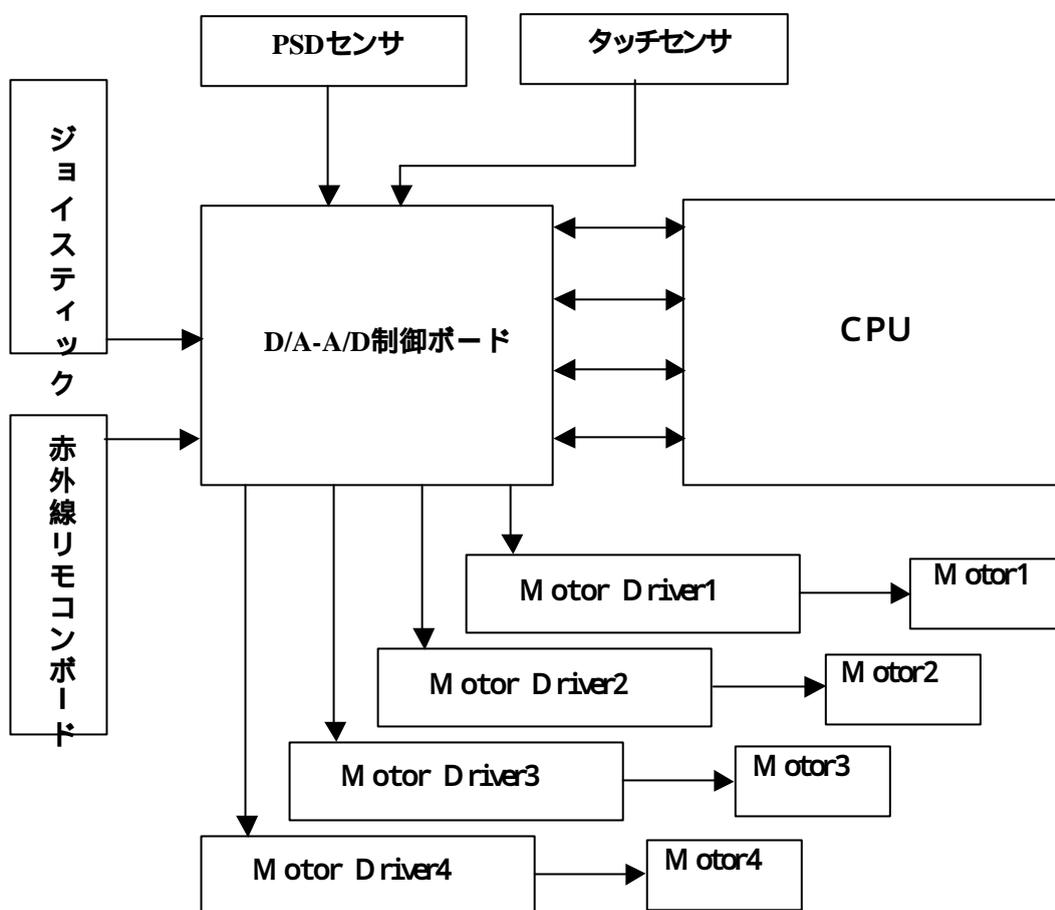


Fig 4 9

4.3.1 CPUボードについて

本システムのCPUボードは、PC104バス型ボードを使用する。本システムの特徴としては、市販のPC104バス対応のインターフェースボードを使用できるので、開発時間を大幅に短縮できること、また、必要なインターフェースボード（アドレスを割当てたもの）をCPUボードに重ねるていけるので小さいスペースでも組み込みが可能である。また、耐振動性と軽量化に優れており、特に軽量化においては、CPU、IC等をフラットパッケージ、抵抗、ダイオードはチップ部品を表面実装することにより約75gという軽量化を実現している。また、PICなどの、ワンチップマイコンと異なり、電氣的消去可能なEEPROMが標準で実装されているため、ROMライタを使わなくてもパソコンからCPUボードへ転送したプログラムを直接EEPROMにROM化することが可能である。これらの特徴を考慮し、本システムに採用を行った。Fig 5 0にそのスペックを示す。

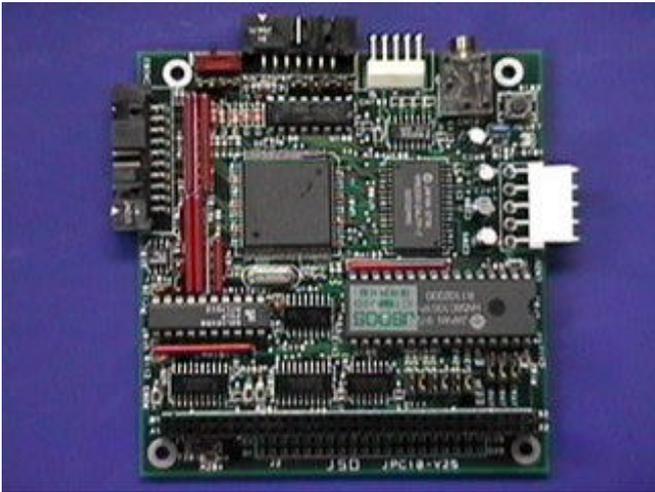
スペック		
名前	JPC10-v25 (日本システムデザイン)	
仕様	CPU	μPD70325GJ-10 外部クロック 19.6608MHz 内部クロック 9.8304MHz
	EEPROM	HN58C1001P-15
	RAM	512K バイト擬似 SRAM
	Size	96mm x 90mm x 15mm
写真		

Fig 5 0

4.3.2 ジョイスティックについて

本ロボットは、操縦型ロボットである。故に、ロボットへの命令情報である、操縦者の意志は、Fig 5 1に示すジョイスティックにて行う。具体的に、ジョイスティックは、X（横指令）、Y（縦指令）、Z（回転指令）とし、この指令信号は、Fig 4 9に示すように、D/A-A/DボードのA/D部から入力され、そこから、CPUに渡される。CPUは、受け取った指令信号を解析し、今度は、D/A-A/Dボードに対して命令を送り、そのD/A部を介して、モータドライバに制御信号の伝達を行う。



Fig 5 1

4.3.3 センサについて

Fig 5 2に示すように、ロボットの衝突を回避するために、タッチセンサがとPSDセンサをロボット後部5方向に設置する。

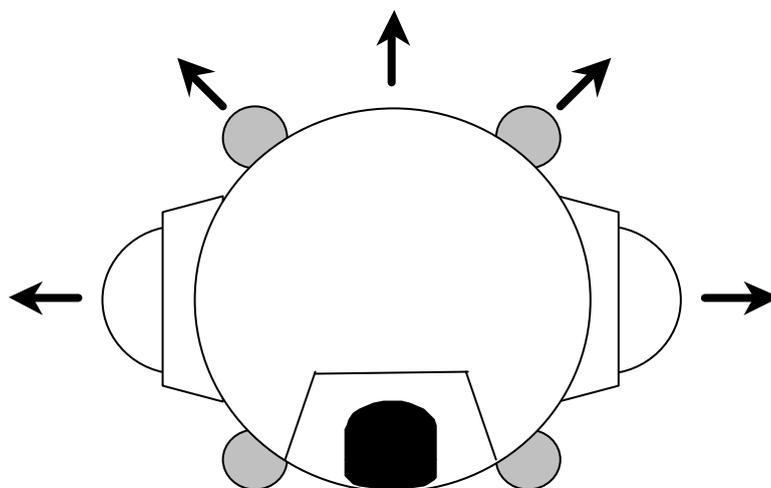


Fig 5 2

4.3.3.1 タッチセンサについて

タッチセンサは障害物に物理的接触をしてしまった場合に動作する。制御構成は、Fig 4 9に示すように、タッチセンサが作動した場合、その信号が A/D に入力される。その反応に対して CPU が D/A-A/D 制御ボードを介すことによりロボットドライバへ指令信号を減少するように命令をし、ロボットドライバはその入力された電圧に応じてモータへ電圧を調節する。

4.3.3.2 PSD センサについて

PSD センサは障害物の色や材質などに作用されにくく、また、三角測定法により距離を正確に測定し、リアルタイムに距離を測定することが可能である。PSD センサは、Fig 4 9に示されるように、A/D/D AボードのA/D部に対して信号を出す、センサからは常時電圧値が A/D に入力される。そして、本ロボットで設定された距離の反応に対して CPU が D/A-A/D 制御ボードを介すことによりロボットドライバへ電圧を出力するように命令をし、ロボットドライバはその入力された電圧に応じてモータへ電圧を供給する。

4.3.4 ドライバについて

Fig 5 3に示すように、それぞれのモータに接続されたモータドライバは、D/A-A/D制御ボードからの指令信号を増幅させモータに電圧供給を行う。このドライバは、単純に指令信号の増幅を行うだけではなく、ドライバ内で内部フィードバック回路を持ち、その動作モードとして、それぞれ電流制御、速度制御、位置制御モードの三種類ある。本研究では、このモードの中から速度制御モードを選ぶ。この速度制御モードは、フィードバックに用いるモータの回転速度情報を、擬似タコジェネレータ回路によって演算する方法と、外部の機械的タコジェネレータによって測定する方法の二つがある。本研究では、自動ロボットのような、制度を求めているないので、擬似タコジェネレータ回路による、内部フィードバックを選ぶ。

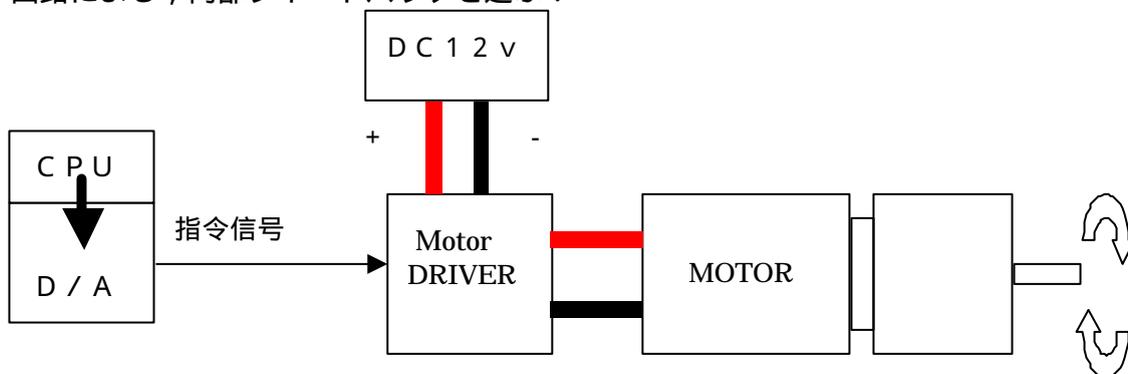


Fig 5 3

4.4 内部モニタについて

Fig 2 6 に示すように，ロボットの形状上，搭乗者は，目視による，周辺の状況確認が困難となる．その代わりに，Fig 5 4 に示すような，ロボット内部に，設置されたモニタを前左右2台後ろ1台の合計3台設置し，搭乗者はこのモニタを通じて，周辺状況の確認を行う．このようなロボットの形状をとる理由としては，子供の視覚情報を遮断した上での操縦を体験させたいからである．つまり，具体的に子供に操縦させた場合，初回では，不十分な操縦テクニックだとしても，数回の操縦体験を行わせる事で，感覚的な慣れが生じると共に，思考が誘発され，操縦テクニックの向上が容易に確認とれるからである．

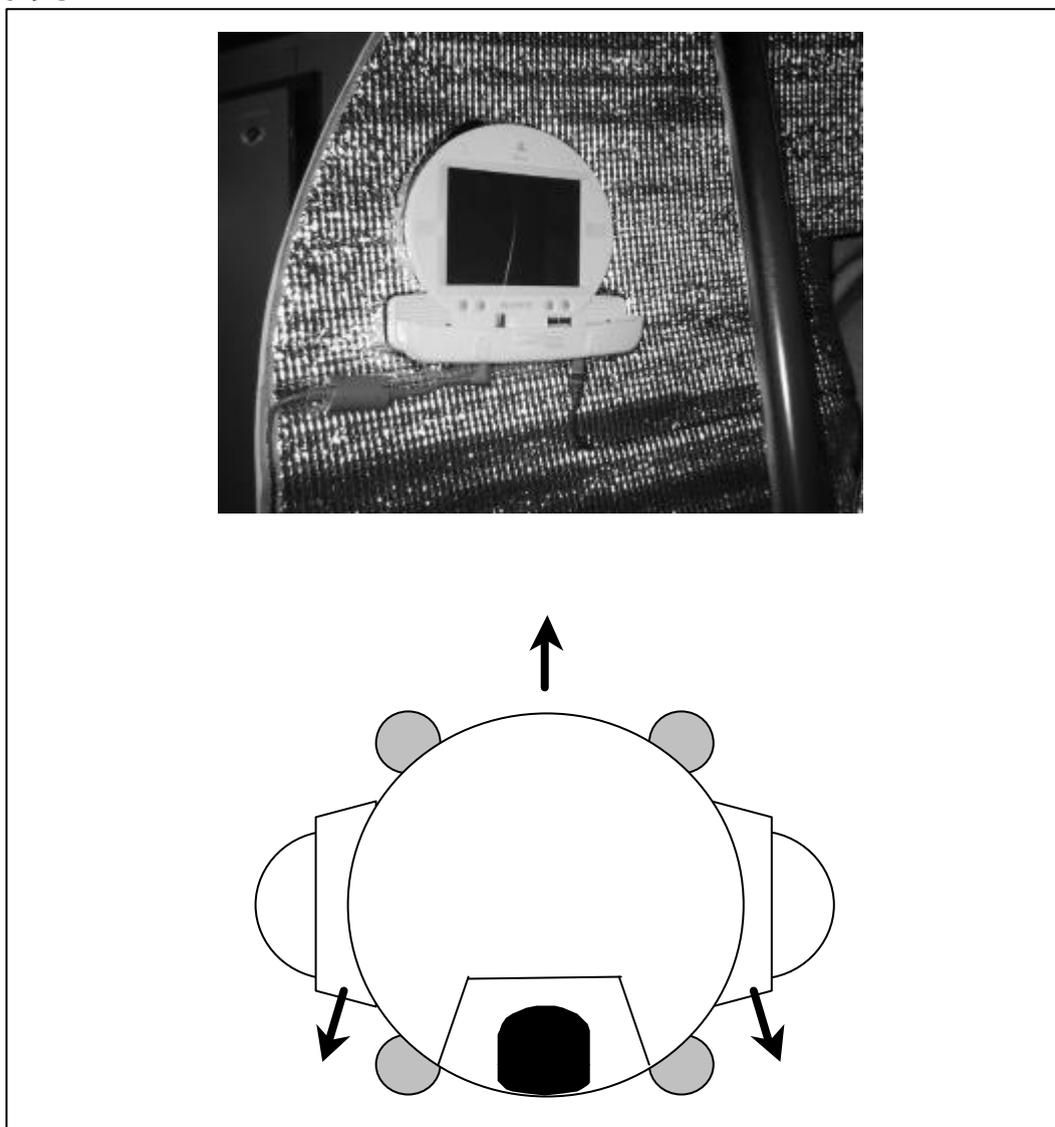


Fig 5 4

第5章 創造性育成モデルを用いた実験

本章では、ロボットの現実性とマンガの空想性を融合した創造性育成法の開発として、Fig 1 に示す王碩玉氏の提唱した、創造性育成モデルの「現実性」「感性」「空想性」の各3つのフィールドを小学生1年生を対象に実行した結果を述べる。

5.1 創造性育成モデルの再確認

Fig 5 5 に示すように、創造性育成のモデルでは、現実性、感性、空想性、創造性という4つフィールド構成され、この各フィールドが潤滑する事で、サイクルをなし、このサイクルを通じて子供創造性の育成を行う。Fig 5 5 に示すように、このサイクルのスタートは、「ロボットに乗せる」、現実性フィールドから始まる、ここで、子供たちは、我々が用意したロボットに触れる。次に、「物理的概念の理解」、感性フィールドでは、現実性での体験を通じて、物理的な概念への理解を深める。これは、ロボットの操縦を通じて、ロボットの操作性を肌身を通じて理解し、思考することも含まれる。次に、「マンガを描く」、空想性フィールドでは、子供の内面に持っている、自由な空想性を画として表現してもらうために、マンガという手腕を子供に教え、描かせる事で、空想性または、想像性の補充を目的とする。最終的に、「ロボット製作」、創造性フィールドにおいて、子供自らがロボット製作をする事で終了する。

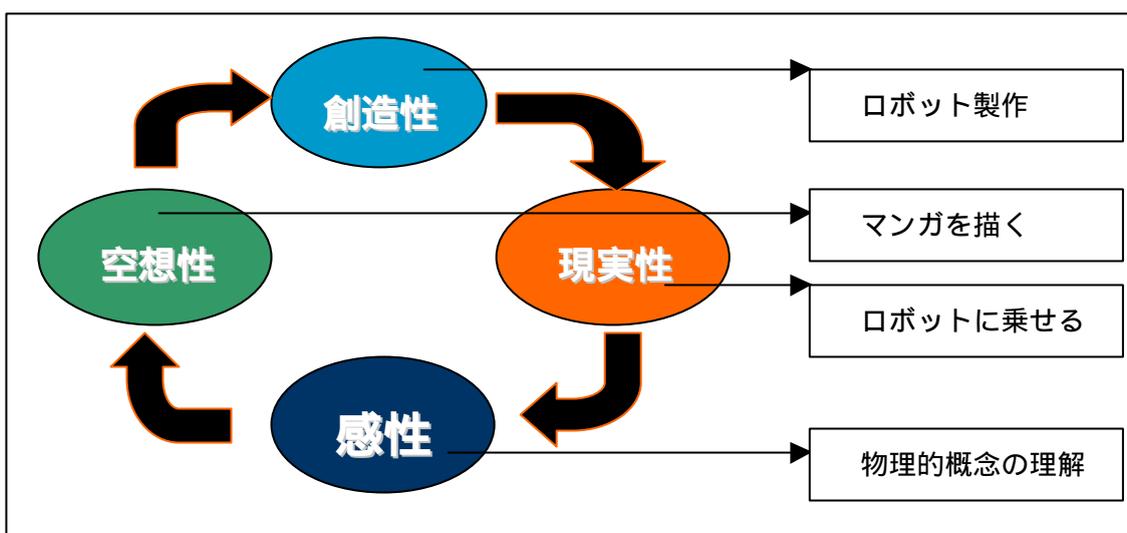


Fig 5 5

5.2 現実性

土佐山田町立片地小学校（高知県香美郡）の児童（1年生28名）を対象に，体験教室を行った．これは，ロボットの持っている実体性を利用し，子供がロボットに，触れる，乗る，操縦するという体験（「現実性」）を通じて，Fig 5 5 に示すように，次のステップとして「感性」の向上を誘発を狙ったものである．具体的な体験として，Fig 5 6 に示すような競技フィールドを設営し，ロボットで走行競技を行う．これにより，楽しさだけでなく，ロボットの特征や利点，欠点を体験し，走行させるときの工夫やロボットの改良点，他の利用法，また，自分で開発するならどのようなロボットを作るか，などの創造的な思考をうながす．さらに，Fig 5 7 に示すアンケートをつかってそれらの思考をまとめて，表現させる．このことにより思考の訓練をする機会を与える．

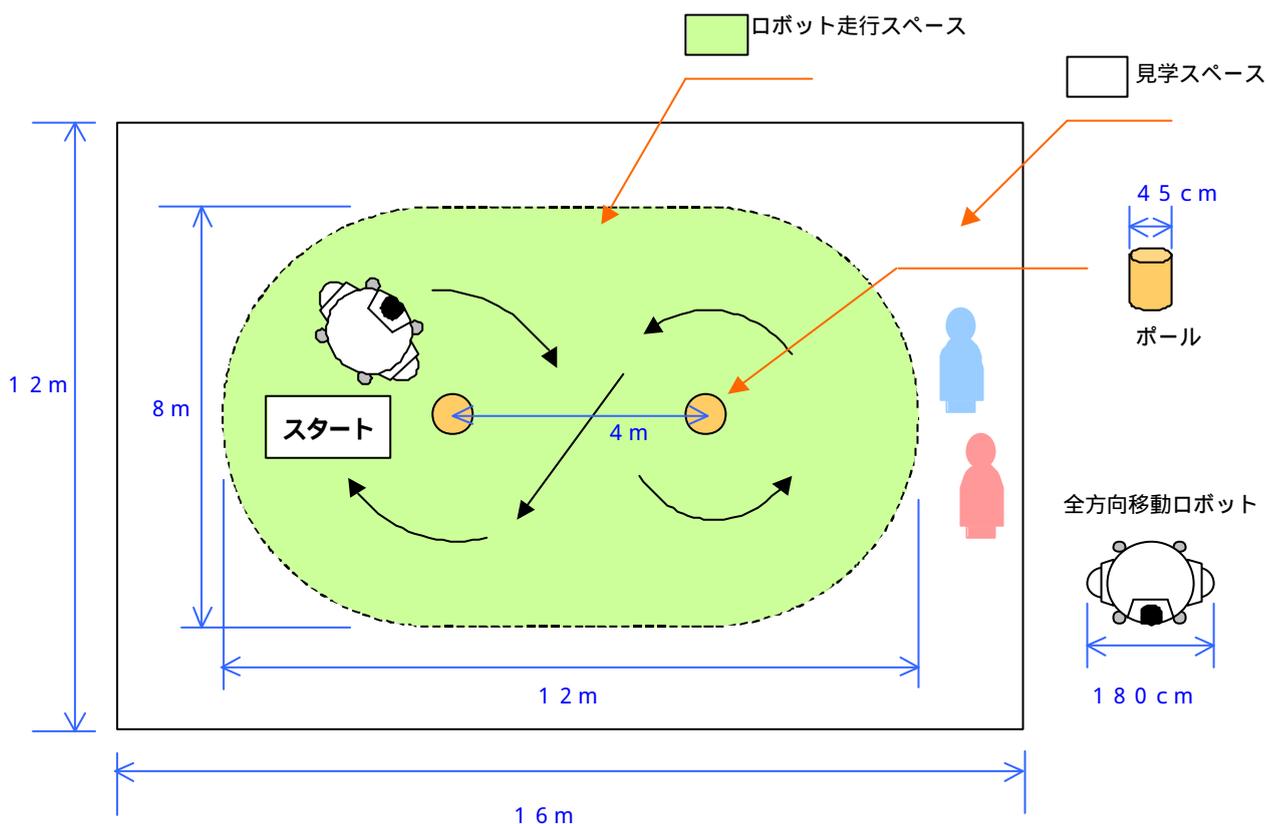
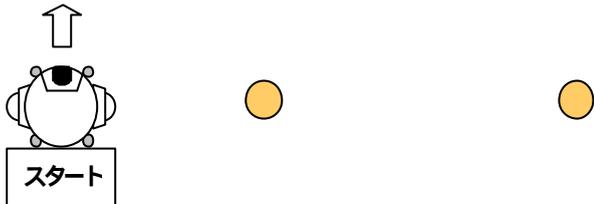


Fig 5 6

アンケート

1. あなたの乗ったロボットはどう動きましたか？



2. このロボットの良いところ、悪いところ、を書いてください

3. このロボットをどんなことに使いたいですか？

4. あなたが科学者になれたら、どんなロボットが作りたいですか？

Fig 5.7

この Fig 5 7 に示すアンケートねらいとして、「1. あなたの乗ったロボットはどう動きましたか?」では、現実的に、自分のとった行動が理解できているかどうかの確認である。「2. このロボットの良いところ、悪いところ、を書いてください」では、子供の感性からみた、気が付く能力（価値発見）の誘発。「3. このロボットをどんなことに使いたいですか?」では、応用分野の思考（拡散的思考）の誘発。そして、「4. あなたが科学者になれば、どんなロボットが作りたいですか?」では、子供の目的志向性を考えせ、子供自らの将来（夢）を聞いている。このようなアンケートを使い、子供に問い掛けることで、子供に考えさせる。知性教育や創造性教育の両者に、共通して必要なことは、「適切な環境」と「熱中して楽しませる」ことである。また、この2点を、教育者側の立場からみた場合として、第3点にあげられるのは「自発性」である。人の本質が、「遊びにある」と言われているように、遊びは人間にとって重要なことである。この遊びの基本にある「自発性」において最も基礎となっているのは、「好奇心」である。この点を考えても、今回の体験教室における子供の好奇心は非常に旺盛であり、Fig 5 8 に示すように、ロボットから離れない子供が数多く出た。このように多重知性フレームの育成という側面から見た場合においても、環境（ロボットに乗せる体験）を与え、子供の「好奇心」を誘発しそして、子供の内面に「自発性」を芽生えさせ、そして、「熱中して楽しませる」ことで、多いにその育成に寄与したものだと考えられる。現にアンケート結果だけにおいても、満足する内容に思われる。



Fig 5 8

5.3 空想性

本研究では、子供の内面に持っている、自由な空想性を外に発散する機会として、空想性において、「マンガを描く」事を行わせる。実体験をする事で、子供の持ってたイメージをより現実的に近づけるという意味では、空想性の幅を狭くするといっても過言ではない。そこで、マンガの持つ空想性を利用することで、狭くなった子供に空想できる領域を提供する。マンガは、1. イメージを自由に表現できる 2. ストーリー性を考察できる。 3. 相手（第三者）に理解を示さなければならない 等の特徴を持っている。本研究では、「空想や想像を論理的に組み立てる思考」として創造的思考を行うことでの、創造性育成を考えている。しかしながら、知性育成もそうであるように、放っておいても育成にはならない。つまり、指導者による適切な誘導が必要である。このマンガにも同じ事がいえる。Fig 5.9 に示すように、マンガ教室においては、その講義を2段階に分け、最初に「描くスキル」を教え、数時間後に「イメージを画として制作」を行わせる。この「描くスキル」については、京都精華大学の牧野先生に、マンガ教室にて、実際に描き方を教わり、次の「イメージを画として制作」では、子供に対して、実際に乗ってみたい作ってみたいロボットの絵を書かせ、創造性への準備を行う。



Fig 5.9

5.4 実験からの考察

今回の実験を通じて、王碩玉氏の提唱した、創造性育成モデルの「現実性」「感性」「空想性」の各3つのフィールドを実行した。「現実性」から「感性」への部分では、実際に子供の好奇心を誘発することで、子供が自発性を発揮したこと確認できた。知性教育でもそうであるように、この好奇心から生まれる自発性が非常に重要視されている。それは、人間の持つ脳内システムが、好奇心をうけることで分泌されるドーパミンと深く関係しているからである。つまり、集中力を発揮し、かつ楽しい状態というのは、前頭連合野を中心にして、ドーパミンが盛んに分泌される。つまり、このような状態では、通常ある知性フレームが集中して活動を行っているということになる。故に、そのフレームは可塑的に変化しやすい状態である。自発性を育てるためには、好奇心を育てることが重要である。また、その好奇心は遺伝にも影響を及ぼす。つまり、自発性を伸ばすためには、好奇心を育てなければならないのである。また、「空想性」の部分では、子供の持っている自由な空想性を外に発散する機会として、「マンガを描く」ことを実行した。これは、知性教育からみれば、絵画的知性の育成にも相当する。今回は、サイクルとして機能させる前段階の実験として、「現実性」「感性」「空想性」の各3つのフィールドを実行した。その結果、好奇心が自発性を育むことが確認できた。故に、知性育成の背景を考えても十分に子供の知性育成に貢献できたと考えられる。また、今日、教育の現場で理科離れが騒がれているが、このことに関しても、ロボットという実体性に触れる事で、子供の興味や好奇心に大きな変化を与えたと考えられる。

第6章 創造的思考の誘発

本章では、第3章で述べた、創造的思考の誘発を行うために、ロボット製作（物作り）における創造性育成について述べる。これは、第1章 Fig 1 に示す王碩玉氏の提唱した、創造性育成モデルの「創造性」のフィールドに相当するものである。本研究では、創造性を育成するという立場から創造性の定義を、「現状の問題に対して、多種多様な面から見た、価値観をもちいて、よりよい解決を導く能力」と解釈している。これを我々の提訴する、創造的思考モデル側から、解釈すると、「空想や想像を論理的に組み立てる思考」となる。故に、集中的思考と拡散的思考をよりよく発揮する環境下において、好奇心と自発性を誘発させ、制作活動を行わせることで、創造性への向上が期待できると考える。

6.1 言葉パズルの応用

第3章で述べた、創造的思考の誘発を行うために、我々は、言葉パズルを用いることで、Fig 1 7 に示す、創造的思考モデルの原理を実証した。この実証実験により、集中的思考と拡散的思考がよりよく、働き、尚且つ、情動により感情移入が制作活動に対して生まれた場合、被験者によって、生み出される創造物が大きく変化することが確認できた。そこで、今度は、創造性を育成するために、この思考モデルの原理を応用する。もちろん、言葉パズルを応用することでの育成も可能であるが、子供を対象として考えた場合、知性教育にもいわれているように、「好奇心」と「自発性」を第一優先に考え、実際に見て、触れることのできる、実体性を持った物作りへの応用が望ましいと判断し、この「言葉パズル」を「物作り」へと応用する。Fig 6 0 に示すは、創造的思考モデルを物作りに応用した場合である。言葉パズルでは、**1 2 3**・・・は言葉のパズルであったが、今回の場合は、ロボットの各部品となる。そして、行動から出力された各部品はロボットとなる。まず、子供のことを考えると、バラバラの部品（**1 2 3**・・・）を視覚、感覚情報を「感性」において処理をする。この処理結果に基づき、次の「知性」では、認知と情動を働かすことになるが、この時点で、子供にとって、部品（**1 2 3**・・・）が未知なる情報である場合、情動の方が優先的に働くことが考えられる。もちろん、認知としても働くが、その比率はかなり、低いものだと考えられる。その結果、感情が芽生え、好奇心に繋がる場合が多い。しかしながら、大人の場合、このプロセスをたどろうとしても、情動からの感情が芽生えた時点で、「面倒」などと出力が生まれると、なかなか育成には至らない。ニューロンやシナプスの「お互いに大きくあるいは微妙にこ

となるものを多量に作っておいて、その後、適当なものを選択する」と特徴を考えた場合。子供は、未知なる情報を好奇心として受け入れる傾向にあるが、大人の場合では、未知なる情報に対して、拒否反応を起こす可能性が高い。故に、言葉パズルの実験において、言葉として選んだ理由が、誰でも受け入れられる。言語的知性に絞ったのである。言葉パズルと同様に、この部品の数を選択する事で、自由度の操作を行うことが可能となる。パズル自体が、単語ではなく、複文を含む文章であったように、今回の各部品は、ネジや資材ではなく、ある程度、ロボットに使用できる、構成要素とする。もちろん、育成のレベルを考える場合、この構成要素のレベルを下げることで、制作への難易度を調節できる。これは、言葉パズルでも同様に、パズル自体の要素（複文）をより、単語レベルに下げることによって、制作への難易度の調節が可能である。そもそも、パズル化したのは、被験者が限られた自由度の中での、集中的思考と拡散的思考の変化を見たかったのと、どの被験者に対しても共通な環境を作りたかったという2面性を考えたものである。本当の意味での創造物を考えた場合、何も与えずに、小説を書かせた方がよい。もちろん、このロボット製作もそうであるが、何もない所から作ることが創造性であるが、育成という立場をとる場合は、構成要素をあらかじめ与えた方が有効である。

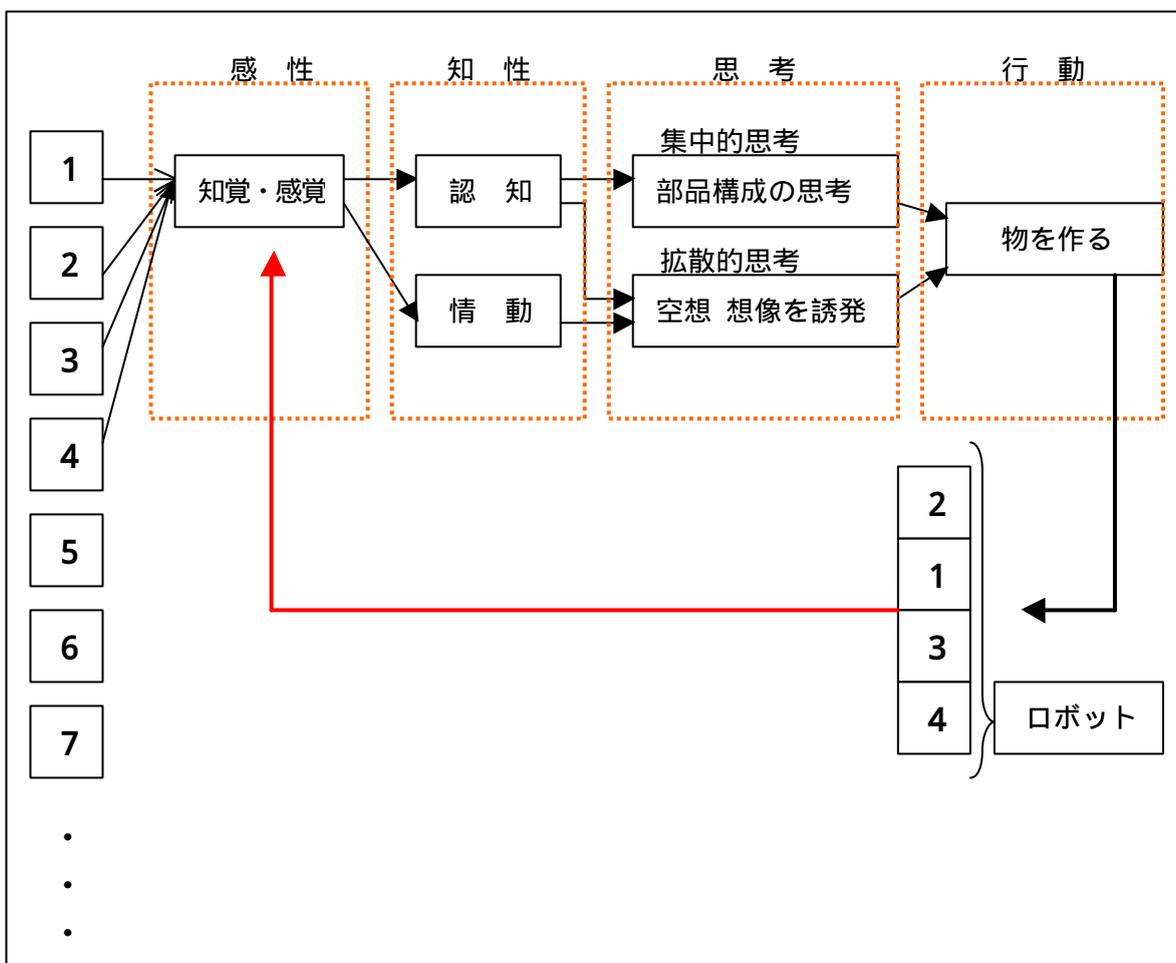


Fig 6 0

6.2 組み立て式ロボットキットについて

今回、ロボット制作における各部品を、電子パーツ（制御）とフレームパーツ（ボディ）の2つに分ける。電子パーツ（制御）では、モータを制御するために、Fig 6 1に示すように、スイッチを介して、モータの正転、逆転、ストップを行えるコントロールボックスのプラットフォームを用意する。このコントロールボックスは、白と青のボタンを設置し、このボタンを押すことで、リレースイッチを作動させる。具体的に、白ボタンは正回転、青ボタンは逆回転、そして両ボタンを同時に押すか、もしくはボタンを押さない場合をストップとする。このコントロールボックスのプラットフォームは、モータの数に合わせて追加していくことになる。例えば、3つのモータを使用したいときには、3つ必要となる。ロボットの足回りであるが、今回は、Fig 6 2に示すボール型アクチュエータと、Fig 6 3に示すオムニホイールの2種類足回りを用意する。この両者は工夫して配置することで、前方向移動が可能となる。フレームパーツは、Fig 6 4にしめすような、スライド式の組み立て部材を使用する。これは、子供への作業を配慮したものである。この部材は、切ったりする必要はなく、おもちゃのブロックのようにネジ止めで組み立てる事が可能である。また、モータを含む足回りは、この部材に簡単に接合が可能である。これらのパーツ（部品）を Fig 6 0に示す① ② ③・・・と考え、ロボットキットによる子供の創造性育成を試みる。Fig 6 4はこれらのパーツを組み合わせできる試作例である。

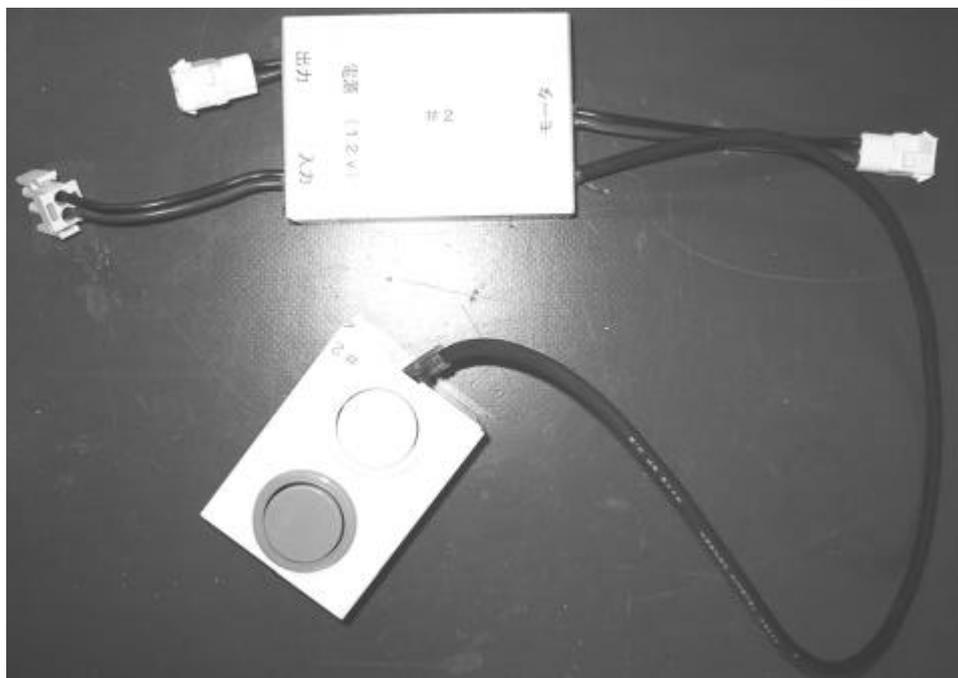


Fig 6 1

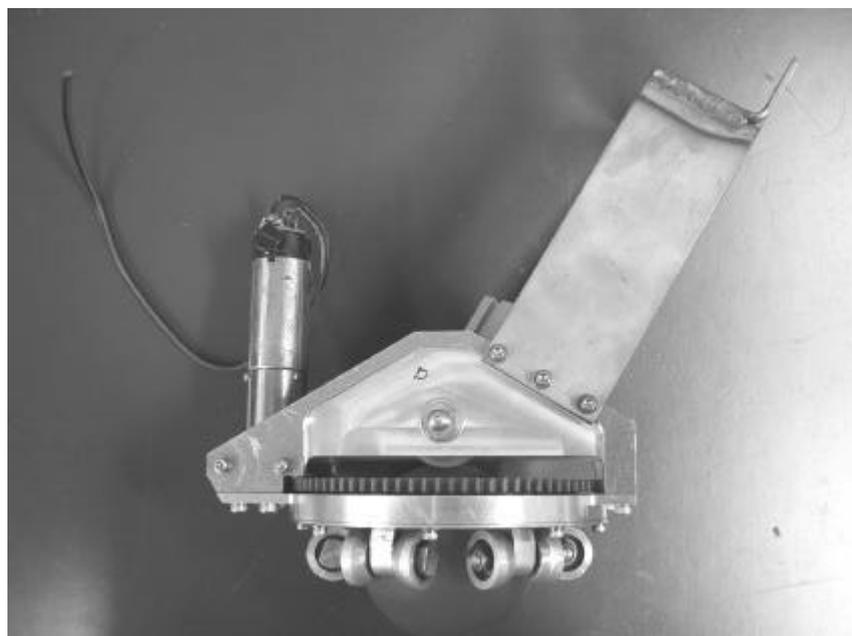


Fig 6 2



Fig 6 3

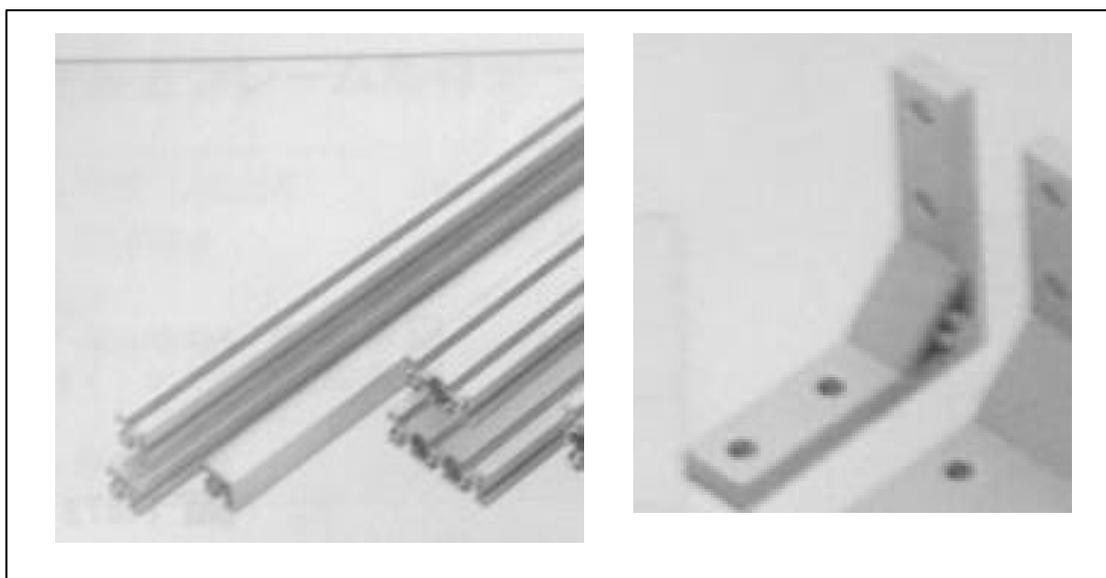


Fig 6 4

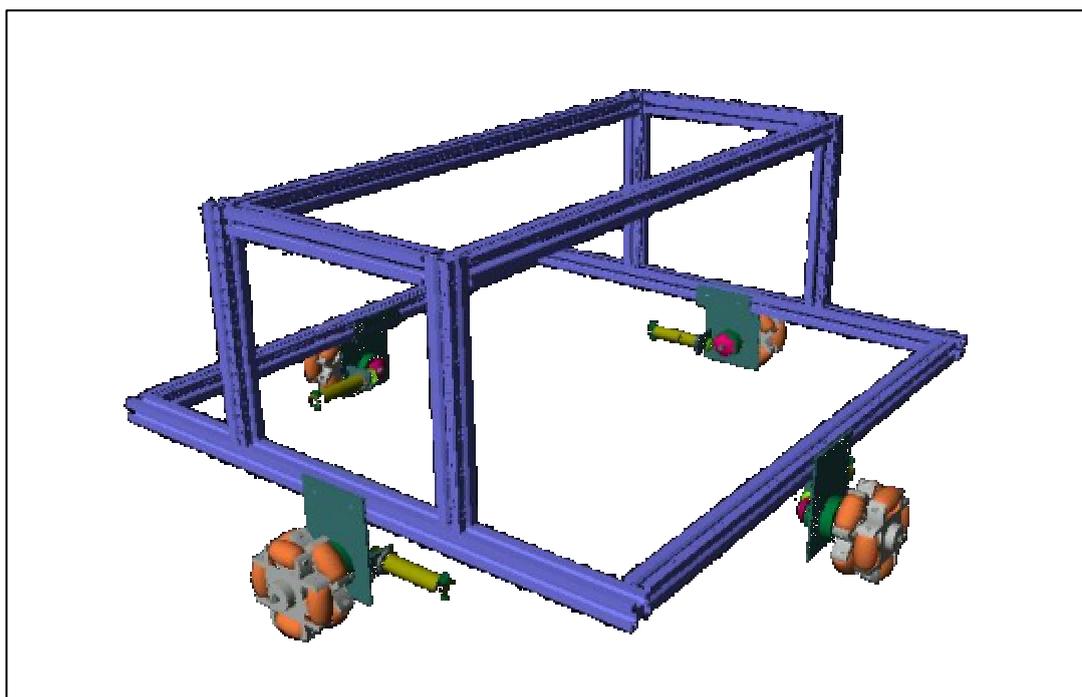


Fig 6 5

6.3 まとめ

本研究では、Fig 6 0 に示す① ② ③・・・ロボットパーツ（部品）と考え、呼び実験として子供2名に対して、ロボットキットによる子供の創造性育成を試みた。Fig 6 6 に示すは実際、実際に子供が作ったロボットである。このFig 6 0 に示す思考モデルにおいて、ここ数年、創造性育成教育として人気のあるレゴを使用した実験も可能である。しかし、レゴの場合は、作ることに重点を置いているために、作った後の遊ぶという部分が欠落しているように考えられる。そこで、本研究では、実際に触れて乗れる体験ができる創造物を作らずことで、作り出した創造物に対し、感情移入を誘発させ、そして、新たな改良や改造点を見出してもらうことが重要だと考えている。また、説明書が付属されているわけではなく、各パーツはバラバラの状態である。つまり、この各パーツに対して、知覚が存在しない限り、使い道としての思考が生まれないのである。

本研究で、実際に子供に対して実験を行った場合、このFig 6 0 に示す① ② ③・・・ロボットパーツ（部品）に対して、まず、最初に知覚を優先させ、各ロボットパーツ（部品）使い道を教えた。この具体的な教え方（誘導）としては、予め、我々が用意したロボットモデルを子供が解体することからはじめた。つまり、普段、子供が受けている学校教育的な講義形成方法（講義を聴いて覚える、書いて覚える）を行うのではなく、ロボットの解体を行わずことで、Fig 6 0 に示すように、知覚の育成に対して、子供の感覚を使い育成を行う。次に、子供がこの解体作業において、ある程度、各ロボットパーツ（部品）使い道を理解したことが確認できた後、次に、「人の乗れるロボット作ってください」という課題を設定し、実際の作業を開始する。そこで、今回の実験を通じて、子供が作ったロボットが、Fig 6 6 なのである。ロボット製作の時間としては3時間ほどの時間を要したが、途中子供の集中力等が失う事は殆ど無く、自らの手で出来上がるロボットに対して自発的な作業が行えたことが確認できた。また、Fig 6 7 に示すように、完成したロボットに乗る（触れる）ことことで、次回の改良点を子供自らが列挙する事も確認できた。これは、自らの創造物に対して、感情移入ができた証拠だと考えられる。この用に、作って終わるだけではなく、このロボットキットを使うことで、このキットを元にし、課題を設定を行い、誘導をすることで、今後、子供に対して、工学的な教育が期待できる。

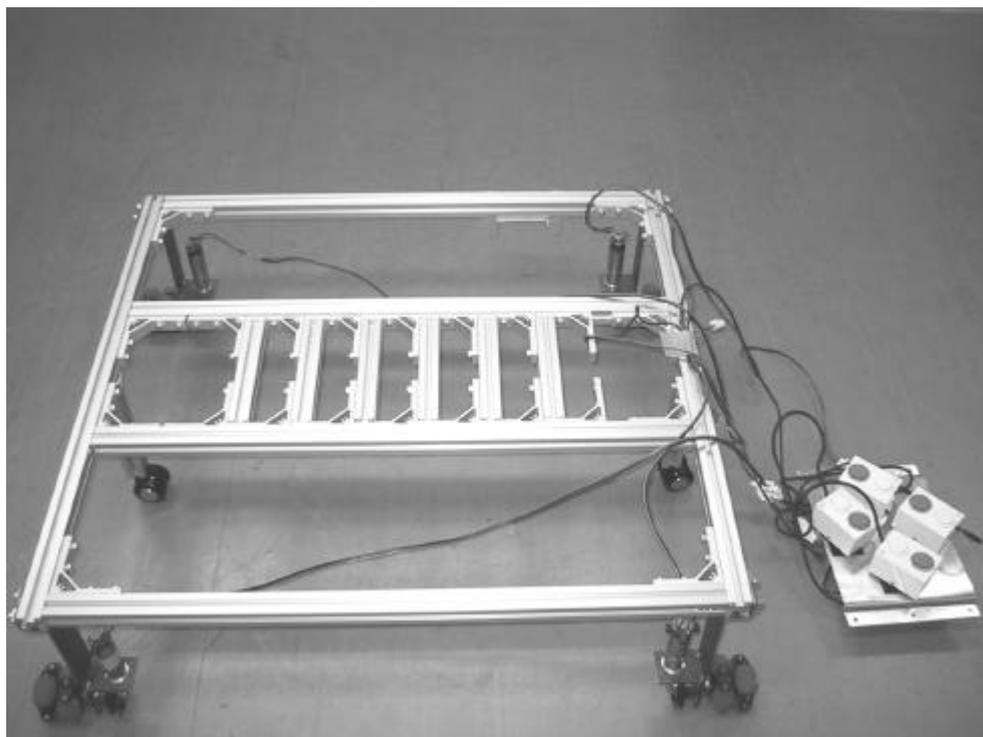


Fig 6 6

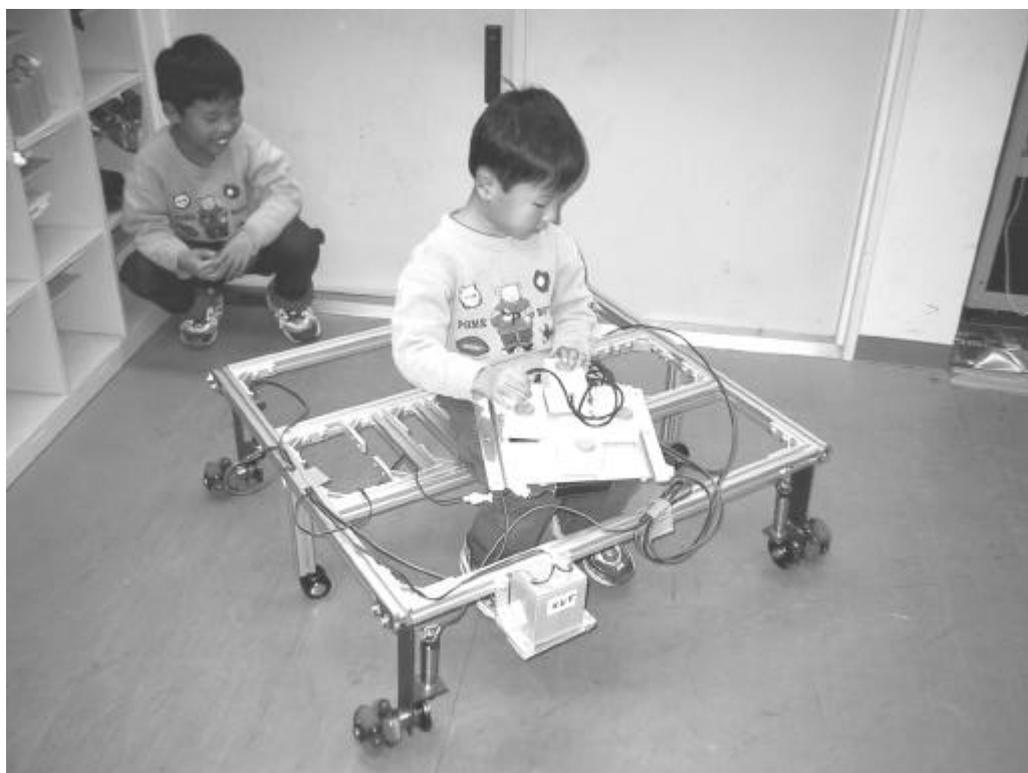


Fig 6 7

第7章 結章

この章では、本論文の研究についてまとめ、今後の課題を述べる。

7.1 まとめ

本研究では、創造性に対して「現状の問題に対して、多種多様な面から見た、価値観をもちいて、よりよい解決を導く能力」と定義を行い、脳内システムを考慮し、創造的思考モデルを提唱した。この思考モデルの創造的思考のとらえ方としては、「空想や想像を論理的に組み立てる思考」である。この創造的思考の発揮をみるために、言葉パズルを用いて変化をみた。この変化から、集中的思考と拡散的思考をよりよく発揮する環境下において、好奇心と自発性を誘発させ、制作活動を行わせることで、創造性への向上が期待できると考えられた。また、この思考モデルに対して、育成という立場をとり、王碩玉氏の提唱する、創造性育成モデルに対して「現実性」「感性」「空想性」の3つのフィールドを実行した。更に、その育成モデルの延長上である「創造性」フィールドとして、創造的思考の誘発を行うため、言葉パズルを応用し、言葉のパズルからロボットへの部品と変更し、子供に対してロボット製作実験を行った。

7.2 今後の課題

創造性育成には、子供の持っている好奇心を誘発し、その誘発から生まれる自発性をよりよく誘導する必要がある。本研究では、その育成に対して、創造的思考モデルを元に、ロボットキットによる育成実験を行った。この実験では、我々が用意した各パーツを元に課題を与え、子供に対して思考のできる環境を整備した。今後は、この思考モデルをもとに、各パーツを子供自らが設置設計ができる育成を行うべきだと考えられる。また、創造性の測定という観点から見た場合、この各パーツを制限する事で、生み出される創造物を定量的に評価できる理論が必要である。もちろん、今回の実験において生み出された物はどれも創造物といって過言ではない。

参考文献

- [1] 日本創造性学会：創造性研究 1 - 創造の理論と方法 - ，共立出版株式会社
- [2] 日本創造性学会：創造性研究 2 - 創造の諸型 - ，共立出版株式会社
- [3] 日本創造性学会：創造性研究 4 - 創造と教育 - ，共立出版株式会社
- [4] 日本創造性学会：創造性研究 5 - 日本の科学者と創造性 - ，共立出版株式会社
- [5] 日本創造性学会：創造性研究 6 - 創造性研究と測定 - ，共立出版株式会社
- [6] 日本創造性学会：創造性研究 8 - 創造的なイメージ - ，共立出版株式会社
- [7] 山田隆明，韓福華，渡辺桂，木口量，泉清高：アクティブ双輪キャストを有する前方向移動ロボットの実験的考察，日本ロボット学会 vol17, pp.913-914
- [8] 澤口俊之：幼児脳教育と脳，文春新書
- [9] 森正弘：もの作り遊論，株式会社オーム社

謝辞

本論文は，筆者が高知工科大学基盤工学専攻修士課程において行った研究をまとめたものであります．本研究を行うにあたって，終始ご指導ご鞭撻を下さった高知工科大学知能機械システム工学科王碩玉教授に対して深く感謝いたします．そして，本研究の共同研究者として，研究分野の壁を超えて貴重なご意見を下さった，京都精華大学芸術学部マンガ学科牧野圭一先生に深く感謝いたします．そして，本論文をまとめる至り様々な助言，資料配布をしていただきました愛媛女子短期大学学科長勝田麻津子氏，北海道大学大学院医学研究科脳科学専攻機能分子学分野博士課程辻本悟史氏，及び，日本創造性学会の先生方に対して深く感謝いたします．

また，ロボット制御に関して様々なご助言，ご指導下さった高知工科大学知能機械システムコース博士課程の陳貴林氏，溝淵宜誠氏に深く感謝いたします．

そして，本研究をするに至り，苦勞を伴にした，高知工科大学知能機械システムコース修士課程の野村和寿氏に深く御礼申し上げます．

最後に，筆者のために大学院での2年間の研究生生活を支えて下さった両親，弟，土居勉氏に深く感謝いたします．