

解説

社会的知能発生学における構成論的シミュレーションの役割とSIGVerseの開発

Role of Constructive Simulation and Development of SIGVerse in Sociointelligence

橋本 敬^{*1} 稲 邑 哲 也^{*2} 柴 田 智 広^{*3} 瀬 名 秀 明^{*4}

^{*1}北陸先端科学技術大学院大学 ^{*2}国立情報学研究所/総合研究大学院大学 ^{*3}奈良先端科学技術大学院大学 ^{*4}作家

Takashi Hashimoto^{*1}, Tetsunari Inamura^{*2}, Tomohiro Shibata^{*3} and Hideaki Sena^{*4}

^{*1}Japan Advanced Institute of Science and Technology ^{*2}National Institute of Informatics/The Graduate University for Advanced Studies ^{*3}Nara Institute of Science and Technology ^{*4}Writer

1. 序 論

社会的生物であるヒトが持つ社会的知能とはどのようなものか、それはいかにしてできたかという問いは、人間や生命の謎に挑む新しい総合科学である「ロボティック・サイエンス」の中でも最重要な問いの一つである。すでに、この問いを追求する科学として社会的知能発生学 (sociointelligence)[†]の研究が進められている^{††}。

社会的知能発生学の目標は、社会的知能を理解したい、社会的知能をそれ自体だけではなくその発生から理解し、究極的には社会的知能発生学の理論を作るということである。また、社会的知能を持った人工物のデザインと実装は、目標の一つでもあり、理解へ至る手段としても用いられる。すなわち、社会的知能発生学では、構成を通じた理解である構成論的アプローチが重要な位置を占める。この構成論的な社会的知能理解を推し進めるため、近年、SIGVerse^{†††}という新たなシミュレーション・プラットフォームを開発する動きがある [1]。本稿では、このSIGVerseを科学の方法に位置づけるための議論を行う。

以下では、社会的知能発生学を、ひいては、ロボティック・サイエンスを「科学」として確立するため、科学の考え方について知識進化プロセスの視点からまとめる。その上で、リアリスティック・シミュレーションと構成論的シミュレーションという2タイプのシミュレーションを対比させることを通して、構成論的アプローチを科学的知識進化の中に位置づける。続いて、社会的知能発生シミュレー

タSIGVerseを紹介し、SIGVerseが社会的知能発生学という「科学」の進展にどのような役割を担うのかを論ずる。

2. サイエンスとしての社会的知能発生学

科学では、興味のある対象について因果関係・メカニズムを解明するというかたちの説明を与えることを目指す。社会的知能発生学という科学の目標も、社会的知能発生に関する因果関係・メカニズムの説明を目指す。例えば、ヒトはなぜ社会でうまく振る舞えるのか、人間はなぜ他人との会話を苦もなくできるのか、なぜだれかが困っていると思ったときにぱっと手伝ってあげられるのか、というようなことを、それら事象の原因と結果が成立するメカニズムを特定し、「このような因果関係であるから」として説明する。これが我々が目指しているものである。

同様に、「ロボティック・サイエンス」も、動くロボットを作るというだけではなく、ロボットにまつわるいろいろな事象について、因果関係の説明というレベルで「理解」することを目指すものと捉える。社会的知能発生学では、ロボットを作ったり動かしたり、あるいは、ロボットのモデルを作りコンピュータ・シミュレーションで動かしたり解析したりすることを、一つのアプローチとしている。

サイエンスとしての社会的知能発生学、サイエンスとしてのロボット学を進めていくことは、科学的知識の創造・確証・共有という一種の知識進化を推進していくということである。ではそのような知識進化はいかに起こし得るかを、一つのモデルケースを取り上げて概観しよう。ここで

原稿受付 2009年12月4日

キーワード: Sociointelligence, Constructive Approach, SIGVerse, Simulator

^{*1}〒923-1292 能美市旭台1-1

^{*2}〒101-8430 千代田区一ツ橋2-1-2

^{*3}〒630-0192 生駒市高山町8916-5

^{*4}〒981-3133 仙台市泉区泉中央4-11-7 プラウド泉中央マックス903

^{*1}Nomi-shi, Ishikawa

^{*2}Chiyoda-ku, Tokyo

^{*3}Ikoma-shi, Nara

^{*4}Izumi-shi, Sendai, Miyagi

[†]この用語は、1999年11月に株式会社けいはんな(京都府)にて開催された研究会で、浅田稔・石黒浩・中島秀之・國吉康夫・銅谷賢治・開一夫・高田司郎・柴田智広・Karl McDormanらが、今後のロボットおよび知能研究の方向性を検討するなかで創発したものであり、新しい研究会の名称ともなった。詳しくは<http://www.sociointelligence.org/>

^{††}社会的知能発生学の「発生」とは、認知発達ロボティクスで近年集中的に取り組まれている発達 = development だけを意味するのではなく、模倣や言語、意図共有、制度形成などの社会的知能の起源と進化を含めている。したがって、起源・進化・発達をまとめた意味で発生 = genesis という意味を込めたものである。

^{†††}<http://www.sociointelligence.org/SIGVerse/>

取り上げるのは17世紀の科学革命、特にティコ・ブラーエからニュートンに至る近代物理学の成立過程である[†]。

ティコ・ブラーエは、惑星の運動を観察し、惑星の軌道に関する高精度なデータを蓄積した。しかし、彼自身はこのデータの中に法則性を見つけることはできなかった。ここに法則を見いだしたのは弟子であるケプラーである。ケプラーは、ティコ・ブラーエの残したデータを解析し、楕円軌道や面積速度一定などの惑星運動の法則を発見している。データの中に規則性（法則）を見つけることは帰納的推論と言われるが、ケプラーの発見は、実際には帰納のみならず、アブダクションも必要である [3]。

アブダクションとは、観察された現象をうまく説明する仮説を発想・導出するタイプの推論で、「仮説的推論」「仮説形成」あるいは「最良の説明への推論」とも呼ばれる。データが楕円という関数でもっとも誤差が少なく「記述」できるというのは、ただデータを眺めているだけでは思いつけない、「現象の奥に存在する法則 [2]」に関する記述的仮説である。したがって、「東の方から太陽が昇ってくる」という観察を毎日することから、「太陽は東から昇る」と一般化するような帰納的推論とは異なると考えたほうがよい。しかし、ケプラーは楕円軌道を描くメカニズムに関する仮説、すなわち「なぜ楕円軌道を描くのか」という問いに対する答え（因果的説明）を発想したわけではない。

ケプラーと同時代に、ガリレオが落体の法則や慣性の法則を発見している。ガリレオはこれらの法則の発見に際し、公理や原理という仮説から出発して演繹的に法則を導き、その法則からの予測を実験で確かめることで仮説を検証するという方法を導入している。

ケプラーの天界（宇宙）の運動法則とガリレオの地上の運動法則の統一的「説明」は、ニュートンの万有引力の法則、運動の3法則によってなされた。これらの法則は、「なぜ」惑星は楕円軌道を描くのか、「なぜ」物体が落下する距離が時間の二乗に比例するのかといった法則を「因果的に説明」する説明的仮説である。ニュートンは運動現象とそれに関する既知の法則をすべて説明できる仮説をアブダクションしたことになる。

これらの発見は現在「法則」と呼ばれるが、自然科学に

[†]ここでは科学史的事実を丹念に追うのではなく、知識進化のモデルを提示するために事実を大胆にかいつまんで解釈を与えていく。ここに記述することは様々な科学史や科学哲学の本に書かれているものであるが、本稿では主に文献 [2] を参照している。

^{††}日常よく体験する事象などでは、記述的法則がそれほど努力なく見いだせる場合もある。例えば「車が多くなると道は渋滞する」「アルコールを飲み過ぎると翌日頭がいたくなる」など。しかし、社会的知能のような複雑な現象では、そもそも何が起きているか自体を見極めることから出発しなくてはならない。「ヒトは社会的知能を持つ」という命題も、研究の結果得られた記述的法則である。しかしこの仮説は次の説明的仮説の段階に進むには荒すぎるものである。「どうなっているのだろうか?」という問いを発し（例えば「ヒトの社会的知能は他の霊長類とどのように違うのか」など）、記述的仮説・法則をより精緻にしなくてはならない。

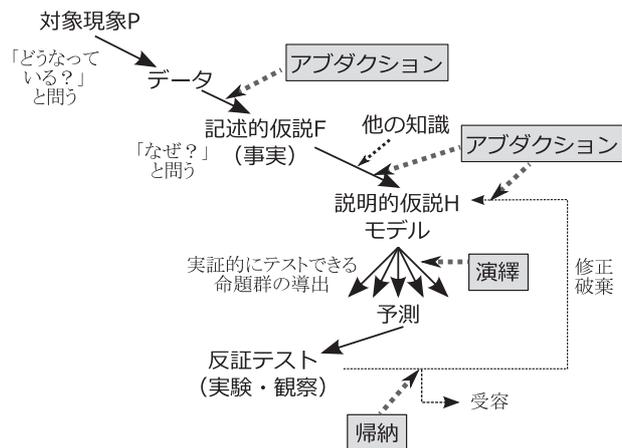


図1 科学的知識進化のモデル

おいてはこれらはあくまで仮説 = 世界に関する改訂可能な知識である。実験という反証テストで反駁されない間仮説は生き残り、また、多くの反証テストをくぐり抜けることで蓋然性が高まり、「法則」として認められ科学者コミュニティにおける共有知識となっていく。この反証テストにおいては帰納的推論が用いられる。もとなる説明的仮説から現実にテスト可能な実証命題群を演繹的に導く。その命題を実験で何度も確かめ、何度も、あるいは、有意な確率でその実証命題のとおりになるならば、実証命題は「正しい」と帰納的推論を行う。さらに、もとにした説明的仮説も「間違っていない」として、反証テストをパスする。

以上の知識創造・確証・共有のプロセスをまとめ、知識進化プロセスの一つのモデルを提示する (図1)。まず「対象現象Pはどうなっているのだろうか?」という問いから出発する。その対象Pに関する十分な観測や実験のデータを得、そのデータの中に法則性Fが見つけられるならば、「対象PはFとなっている (のだろうか)」という記述的仮説が得られる^{††}。さらに、この記述的仮説に対して「なぜFなのか?」と問い、他の知識を総動員して考えることで、その問いに対する答えの候補「HだからFなのだろうか」という説明的仮説を発想する (アブダクション)。これは対象としている現象についての一つの「モデル」である。この仮説に既存知識を加えて演繹を行い、実証命題を導出する。その命題に対して実験・観察を行い帰納的にテストする。この反証テストにパスしたなら説明的仮説の蓋然性が高まり、「PとはHだからFなのだ」という原因・結果という因果関係の説明が受容され、説明的法則が得られる。もし、反証テストにパスしないのであれば、仮説の修正あるいは破棄が行われる。さらに、このようにして見つかった多くの記述的・説明的法則を統一的に説明できる説明的法則を得ていくことで法則群を体系化し、対象現象一般に対する理論が作られていく。

3. 構成論的アプローチ

3.1 構成論的アプローチ

構成論的アプローチは、対象を作って動かすことによって理解しようとする科学の一つの方法論である。ただ作って動きました、というだけでなく、実験系を構築して理解しましょうというだけでなく、システムを作るプロセス、システムが動くプロセス、動かした結果をもとにシステムを改良するプロセス、これらのプロセスの複合を通して何かを理解しようとするのが構成論的アプローチである。なにを利用してシステムを作るか、という点については、コンピュータ・シミュレーション、ロボット、あるいは生体分子を使う場合もある。

ニュートンが行った仮説演繹的な考え方は、構成論的アプローチに活かすことができる。ニュートンによるアブダクションには「遠隔力」というある意味神秘的な仮説が発想されている。物体と物体の間の空間になにもなくても力が働くという仮定である。これは直感に反するものであり、直接確かめることはできなかった。しかし、遠隔力を仮定して導いた法則により、現象がきちんと説明できる。現象が説明できるのであれば、最初に導入した仮説は正しいと主張する。これが仮説演繹的な推論である。

社会的知能発生学で構成論的アプローチを採用する場合、現実に観察されるある社会的知能に注目し、それをある程度抽象化したものをシミュレーションやロボットを用いて再現する方法を考える。さらに、ジェネシス（ある種の普遍的性質の起源、進化、発達）に迫るには、対象状態をただ再現するのではなく、ある初期状態から始めて進化や自己組織化の結果として自律的に対象状態に至るプロセスを構成する [4]。そして、「このようにモデルやシステムを作れば、注目している現象の発生を再現することができる」という事実から、その作り方やそこへ至るプロセスに蓋然性を見いだす。これは一種の仮説演繹的な推論と捉えることができる。ここでは、現象をただそのまま模倣するシステムを作りたいわけではない。また、なんらかの指標で高いパフォーマンスを発揮するシステムを作りたいだけでもない。

3.2 シミュレーションの二つのタイプ

どのようなシミュレーションでも、モデルを作りコンピュータに実装し走らせるという「作って動かす」作業をしている。そのような「作って動かす」ことを実践するシ

ミュレーションは二つのタイプに分けることができる。ここではその二つをリアリステック・シミュレーションと構成論的シミュレーションと呼ぶ。

前者の典型例として地球シミュレータ [5] がある。地球シミュレータは、流体が従う基礎方程式であるナビエ・ストークス方程式をできるだけ精確に数値計算することで、地球の大気と海洋の動きをシミュレートする専用のスーパーコンピュータである。そこでは、有限要素法のメッシュをできるだけ細かく切って近似の精度を上げ、さらに、地球上の実際状態にできるだけ近くなるように境界条件・初期条件が詳細に記述される。このようなシミュレーションにより、台風発生や気候変動の再現や予測が可能になるという、科学技術の成果が出ている。

もう一方の構成論的シミュレーションの典型例として、ローレンツ・モデルを取り上げる[†]。気象学者であるローレンツは大気運動の研究として、ナビエ・ストークス方程式をモード展開し主要モードを抜き出す縮約という近似手法により、3変数の常微分方程式系を作った [6]。ローレンツは、このモデルを動かして（方程式系をシミュレーションして）カオスを発見した^{††}。そして、いろいろと動かし解析し、「カオス＝決定論的であるが非周期的な流れ」という複雑な現象が生じるための、折りたたみと引き伸ばしという基本メカニズムを見いだしている。一方、ローレンツ・モデルをいくらシミュレートしてみたところで天気の詳細な予測などはできない。逆に、なぜ天気予報が難しいのか、原理的に不可能なのか、ということを理解することになる。すなわち、予測はできないが、カオスという新現象の発見とその理解がもたらされた。

ほかに、構成論的な研究の志向性とリアリステック・シミュレーションの違いを分かりやすくするために例を挙げる。ノイマンの自己複製オートマトンの研究 [8] は、構成論的アプローチのはじまりと認識されている。ノイマンは、生物の普遍的特徴の一つである自己複製は機械でも可能なのか、という問いを發し、自己複製する機械を実際に作るという方法で答えようとした。そして、セルオートマトンという抽象機械で、自己複製できるアルゴリズムがあることを証明した。チューリングも構成論的研究を行ったとみなせる。チューリング・マシン [9] では、ある入力に対して計算して答えを出すものを知能とみなし、そのような機械を構成した。また、生物の特徴である形態形成が可能になるメカニズムとしてチューリング・パターン [10] の研究を行った。彼らの研究は、興味の対象となる現象をつぶさに観察することから仮説を導いているというより、対象現象を抽象化し、それが可能になる方法を論理的に考えて仮説を置いている。

また、対象現象そのものが抽象的で現実にそのまま見いだされるものではないような構成論的な研究もある。例え

[†]ローレンツのカオスの研究は構成論的研究と捉えられることはあまりない。しかし、ここで提唱する2タイプのシミュレーションを対比的に見たとき、ローレンツの仕事がその典型例であると認定することができる。

^{††}厳密には、カオスの発見は5モードを取り出した五次元の方程式系で行った。カオスという新たな興味深い現象をより詳しく解析するため、さらに次元を下げた三次元のローレンツ・モデルが作られた [7]。このモデルの改良は、「作って動かす」の繰り返しの一環と考えることができる。

ば、レスラー [11] は、最小のカオスとして、3 変数で非線形項がただ一つだけの微分方程式系であるレスラー・モデルを作りそのモデルで起きることを研究しカオスの本質の理解を進めた。また、金子は、高次元カオスという複雑な対象を研究するために、多数の低自由度カオス写像を結合させて高自由度系を作った [12]。そして、時空カオスやカオスの遍歴など、高自由度カオス系で生じる興味深い現象を発見し、そのような現象の理解を生物の理解へと結びつけている [13]。

構成論的アプローチを科学の方法論として位置づけるとき、何をどう理解するかという点に注意が払われるべきである。上記のような構成論的な研究の特徴は、興味の対象の原理が分からないものについて、抽象的なモデルを作ったり、できるだけ最小のモデルを構成して、起き得る現象や必然的に生じる事象の探索や現象の裏にある本質的メカニズムの探求をしているという点である。

3.3 二つのシミュレーションの科学的知識進化における位置

ここで述べた構成論的とリアリスティックという二つのシミュレーションは、2 章で述べた科学における知識進化にどのような役割を演じているだろうか。

構成論的シミュレーションは、しばしば、現実を捉える直感を鍛えることや、新たな視点・シナリオを提示することに有用であると言われる。ノイマンは自己複製機械の構成において、万能工作機、その記述（設計図）、および、記述複製機という構成により自己複製が可能になること、この記述に含まれる情報は、解釈される場合とされない場合の二通りの使われ方をするという事を見いだしている。そして、このやり方は実際に生物でも採られていることが後に分かった。すなわち、ノイマンは構成論的証明の過程において、情報論的構造という観点から生命の本質的問題に光を当てた。また、チューリング・マシンが人間の知能そのものであると考える人は今ではないであろうが、知能的振る舞いを作ることで知能を理解するという人工知能の研究、計算そのものについて考える計算機科学を萌芽せしめることにつながっている。これらを本稿の見方に位置づけるなら、図 1 でいうアブダクションの部分、特に、説明的仮説を発想する部分に大きな役割を担っていると言える。したがって、構成論的シミュレーションはアブダクション・エンジンとも呼べるだろう。

それに対して、リアリスティック・シミュレーションは演繹の部分を中心に担う。原理的方程式に詳細な境界条件を設

定し、複数の相互作用的因果の連鎖によって現実は何が起きるかを、自然言語のみによる考察を越えるコンピュータという論理機械の助けを借りて推論している。また、帰納による仮説のテストに用いられることもある。コンピュータ中で起きることは、厳密に言うならば現実での実験にはならない。しかし、風洞や核爆発のシミュレータのように、モデルやシステムをリアリスティックに構成する十分な情報が得られているのであれば、シミュレーションで起きることが現実で起きることだと取ってもいいレベルになる。

一方、構成論的シミュレーションでは、現実を十分観察して仮説をつくるというより、対象となる現象を抽象化したレベルで再現が可能だと考えられる仮説を導入したモデルを構成し、そのモデルを主にシミュレーションにより調べる。したがって、もしそのモデルで対象現象が再現できたとしても、ほかのやり方でも再現できるかもしれないという可能性は常に残る。つまり、十分条件を得られる可能性があるが、必要条件には至らない。よって、構成論的な研究では、ただ一つだけのモデルから説明的仮説やジェネシスのシナリオを主張することは危険である。しかし、対象現象を再現するいろいろなモデルが作れたとすると、モデルの束に共通する部分（共通メカニズム）を見いだせる場合がある。そういう部分が見いだされると、モデルごとの細かい作り方によらずに、共通メカニズムだけが満たされていれば対象現象に至るということが主張され、説明的仮説の蓋然性が高まる。いろいろなモデルを作る部分は、一人の研究者がやるのではなく、同じ対象に興味を持ちつつ異なる考えを持つ研究者たちがそれぞれに進めたほうが良いだろう。異なる考えから出発したモデルの中に共通項が見いだされるほうが、可能な仮説の探索範囲が広がるとともに、共通メカニズムの信頼性が高まる。また、このような主張が蓋然的になされたとしても、それが現実の世界に合っているかどうかは別問題となる[†]。しかし、論理的に十分に蓋然性が高い仮説が得られているのであれば、それが現実にも起きている可能性は高いであろうし、少なくとも、観察や実験をする際の見方や調べるべきポイントを提示することにつながる。すなわち、構成論的シミュレーションを用いた研究は、興味対象である現実のとらえ方という記述的仮説、その因果関係に対する説明的仮説を作り出すものになっているのである。

4. 社会的知能発生シミュレータ

我々は現時点において、社会的知能発生の原理や基礎方程式を手にはしていないわけではない。したがって、社会的知能発生学に対する構成論的シミュレーションが必要である。一方で、シミュレーションのみならずロボットを用いた構成も盛んである。抽象モデルをロボットに実装し現実世界の中で動かすことで、特に人間との相互作用において創発

[†]起源の研究では「ヒトは社会的知能をいつ得たか」といった、現実には起きた時点の解明が重要である。構成論的シミュレーションでは、この問いに直接答えることはできないが、あり得る可能性の幅を狭め、探すべき（間接的）証拠や実験項目を実証研究へ提言するという貢献ができる。

特性が見いだされ、社会的知能発生という複雑現象に対する理解が大いに進展すると考えられる。

そして、現実世界でのロボットの動きに関しては、ニュートン力学という基礎方程式が利用できる場面が多い。例えば、把持や歩行などの一部は運動方程式の計算により再現できる。また、触覚や視覚などの知覚についても、ある程度原理的な部分が見いだされつつある。これらの点については、リアリステック・シミュレーションを利用できる。

すなわち、社会的知能発生学への構成論的アプローチでは、構成論的シミュレーションとリアリステック・シミュレーションの両方を行うハイブリッドタイプのシミュレータは大いに利用価値がある。特に、閉じたシミュレータではなく、ユーザがアバター等を介してシミュレータ内のロボットや他者アバターと相互作用できるようになっていれば、相互作用を通じた開かれた世界における創発がより起きやすい。そのシミュレータの中でロボットの動きをリアリステックに再現しつつ、コミュニケーションやゲーム的相互作用といった社会的知能発生に不可欠であるがまだ不明な現象については、構成論的なモデルを実装して詳しく調べるといふ、ハイブリッド型の研究が可能になる。

また、先述のとおり、同じ現象に対して様々な視点・考えから複数のモデルを構成し、その共通メカニズムを探求することが、社会的知能発生のような複雑な未知事象の探求には不可欠である。シミュレータにおいて、リアリステック、構成論的、それぞれのシミュレーション・モデルに用いるモジュールや変数の観測・分析モジュールが多数用意されていれば、それらを組み合わせる様々なモデルを作り実装すること、モデルを動作させ解析することが容易になる。

このような構成論的シミュレーションとリアリステック・シミュレーションのハイブリッドによる社会的知能発生学の原理探求の研究推進を目指したシミュレータが、社会的知能発生シミュレータ SIGVerse である [1]。SIGVerse の特徴の一つは、力学、知覚、コミュニケーションの三つシミュレーションが統合されていることである。歩行、リーチング、把持といった力学レベルは、十分にリアリステックにシミュレートが可能である。知覚シミュレーションも、視線の到達範囲を考慮した任意の解像度の画像の取得や、各エージェントに到達する音声パターンの取得などは計算能力に応じてリアリステックに実行可能である。コミュニケーションは、障害物や距離に応じて音声の伝播や減衰を再現する機能のみならず、視線やジェスチャを用いた視覚的インタラクションや、握手やボディタッチといった触覚的インタラクションを可能にする。しかし、例えば画像中のどこに着目し、どのように認識するか、という「エージェントの頭の中」のレベルになると、リアリステックに計算することは難しい。また視聴触覚のようなプリミティブな知覚部分はリアリステックにシミュレートできるが、ここで

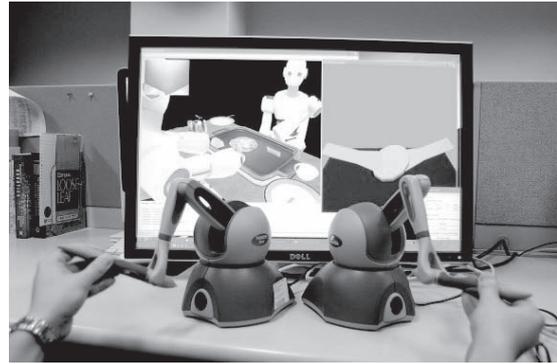


図 2 SIGVerse を用いたユーザとロボットの協調

も、認識や意図に関する研究は構成論的に行う必要がある。

図 2 に SIGVerse を用いた実験の一例を示す。この実験の目的は、ユーザとロボットが協力してお好み焼きを完成させるタスクを対象として、ロボットと相互作用を行うユーザの社会的知能のモデルを検証することである。ユーザはハプティックデバイスを用いて「へら」を操作することが可能となっており、リアリステックな物体操作・身体運動のシミュレーションと、社会的相互作用に対する構成論的シミュレーションの統合が重要となる実験となっている。

SIGVerse のもう一つの特徴は、知能に関連する異分野研究者のコラボレーションプラットフォームになるという点である。SIGVerse では、リアリステック、構成論的、両シミュレーションを行う様々なモジュールが提供される。したがって、通常のロボット研究に要求されるハードウェア制作や蓄積されたノウハウというハードル、シミュレーション研究を行うためのプログラミング・数理解析能力というハードルを下げることができ、社会的知能に興味を持つ多くの人が社会的知能発生学の研究に参入できる。また、例えば言語進化のモデルを扱う場合に、低レベルな信号処理・認識処理の負荷を削減するために、生の画像ではなく画像の特徴量や物体の属性などを提供するように、各シミュレーションの抽象度や処理精度等を自由に設定できる。この点が Robotics Studio [14] や Webots [15] のような既存のロボットシミュレータと大きく異なる点である。このような機能により、成果の共有や議論というコミュニケーションのプラットフォームにもなる。

5. 結 語

本稿では、社会的知能発生学という新しい学問をサイエンスにして行くために、構成論的シミュレーションとリアリステック・シミュレーションを組み合わせる方法を、科学の知識進化に位置づけて論じた。そして、これらのハイブリッド型のシミュレータである社会的知能発生シミュレータ SIGVerse を開発し使用することの意義について述べた。構成論的アプローチは、サイエンスとエンジニアリング

のハイブリッドアプローチでもある。現実を理解したいという目標に対し、概念から現実という方向性を持つエンジニアリングのアプローチを用いてアブダクティブな仮説的概念をモデル化し実装して動かす。動かすだけではなく、そこで起きる事象を、現実から概念へと昇華するサイエンスのアプローチを用いて、次のアブダクションへつなげる。これを繰り返すこと、すなわち概念化と現実化の往復運動を通し、現実に関に立つ人工物のデザインと実装、現実の予測や操作、現実とインタラクションして起きる社会的知能発生の理解が、より推進されるはずである。

ハイブリッド型シミュレータ SIGVerse では、リアリストックにすべてをシミュレートできるシステムが可能なような帰納=現実との接点という部分に弱さがある。一方で、社会的知能という機能的現象については、論理的になにが起きるか、必然的に起きることはなにか、というレベルで問うことが重要である。すなわち、我々ヒトだけの社会的知能ではなく、ある程度情報処理能力がある内部ダイナミクスを持った主体が多数集まって発達・進化する集団において必然的に発生する「社会的知能」という事象における、論理的な一般性を持ったメカニズム・因果関係の原理・法則を得ることが、サイエンスとしての社会的知能発生の目標となり、その目標に対しては SIGVerse のようなハイブリッドの在り方も有効だと考えられる。

謝 辞 SIGVerse の開発は社会的知能発生学研究会を母体としており、本稿の内容は同研究会のメンバーである川合伸幸氏、宮下敬宏氏、櫻井圭記氏、清水正宏氏、大武美保子氏、細田耕氏、梅田聡氏、乾健太郎氏らの刺激的な議論に負うところが大きい。株式会社けいはんな（2006年まで）、国立情報学研究所（2007年以降）による同研究会活動の支援に感謝する。また、インタフェース開発や本稿

の一部に対する NAIST 情報科学研究科の大林千尋君、岡平正照君の協力にも感謝する。

参 考 文 献

- [1] 稲邑哲也, 柴田智広, 瀬名秀明, 橋本敬, 川合伸幸, 宮下敬宏, 櫻井圭記, 清水正宏, 大武美保子, 細田耕, 梅田聡, 乾健太郎: “社会的インタラクションを実装可能なシミュレータプラットフォーム SIGVerse: 社会的知能発生シミュレータ”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, 2009.
- [2] 朝永振一郎: 物理学とは何だろうか. 岩波新書, 1979.
- [3] 米盛裕二: アブダクション. 勁草書房, 2007.
- [4] T. Hashimoto, T. Sato, M. Nakatsuka and M. Fujimoto: ‘Evolutionary constructive approach for studying dynamic complex systems,’ Recent Advances in Modelling and Simulation. G. Petrone and G. Cammarata (Eds.), pp.111-136, I-Tech Books, 2008.
- [5] T. Sato: “The earth simulator: roles and impacts,” Parallel Computing, vol.30, no.12, pp.1279-1286, 2004.
- [6] E.N. Lorenz: “Deterministic nonperiodic flow,” J. of the Atmospheric Sciences, vol.20, pp.130-141, 1963.
- [7] E.N. ローレンツ: カオスのエッセンス. 共立出版, 1997.
- [8] J. von Neumann: Theory of Self-Reproducing Automata. A.W. Burks (Ed.), University of Illinois Press, 1966.
- [9] A.M. Turing: “Computability and λ -definability,” J. of Symbolic Logic, vol.2, pp.153-163, 1937.
- [10] A.M. Turing: “The chemical basis of morphogenesis,” Philosophical Transactions of the Royal Society B (London), vol.237, no.641, pp.37-72, 1952.
- [11] O.E. Rössler: “An equation for continuous chaos,” Physics Letters A, vol.57, no.5, pp.397-398, 1976.
- [12] K. Kaneko: Collapse of Tori and Genesis of Chaos in Dissipative Systems. World Scientific, 1986.
- [13] 金子邦彦: 生命とは何か—複雑系生命論序説. 東京大学出版会, 2003/2009.
- [14] O. Michel: “Webots: Professional mobile robot simulation,” Int. J. of Advanced Robotic Systems, vol.1, no.1, pp.39-42, 2004.
- [15] J. Jackson: “Microsoft robotics studio: A technical introduction,” IEEE Robotics & Automation Magazine, vol.14, no.4, pp.82-87, 2007.



橋本 敬 (Takashi Hashimoto)

1996年東京大学大学院総合文化研究科修士。博士(学術)1996年より理研脳総研基礎科学特別研究員。1999年より北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科助教授。2009年より教授。東京財団比較制度研究所フェロー。日本進化学会会員。Dynamic Brain Platform 委員会委員。日本進化経済学会理事。



柴田智広 (Tomohiro Shibata)

1996年東京大学大学院工学系研究科修士。日本学術振興会研究員。科学技術振興事業団研究員を経て、2002年10月より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科情報生命学専攻助教授(現准教授)。日本ロボット学会1992年度研究奨励賞。日本神経回路学会2002年度論文賞。日本神経科学会2006年論文賞を受賞。北米神経科学会、IEEE、電子情報通信学会、日本神経回路学会各会員。

(日本ロボット学会正会員)



稲邑哲也 (Tetsunari Inamura)

2000年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了。博士(工学)。1997年日本学術振興会特別研究員。2000年科学技術振興事業団研究員。2003年東京大学大学院情報理工学系研究科講師を経て、2006年国立情報学研究所および総合研究大学院大学複合科学研究科助教授(現准教授)。2003年および2006年人工知能学会全国大会優秀論文賞。2003年船井情報科学奨励賞。2008年度日本ロボット学会研究奨励賞受賞。(日本ロボット学会正会員)



瀬名秀明 (Hideaki Sena)

本名・鈴木秀明。1996年東北大学大学院薬学研究科博士課程修了。薬学博士。1997年～2000年宮城大学看護学部講師。2006年～2009年東北大学機械系特任教授。1995年『パラサイト・イヴ』にて日本ホラー小説大賞受賞。1998年『BRAIN VALLEY』にて日本SF大賞受賞。『ロボット21世紀』『デカルトの密室』『エヴリプレス』『瀬名秀明ロボット学論集』他著書多数。(日本ロボット学会正会員)