解説

自律適応創発システム

Autonomous Adaptive Emergent Systems

國吉 康夫* *東京大学情報理工学系研究科

Yasuo Kuniyoshi* *School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

1. はじめに

この非常に新しい研究領域は、創発、発達、進化する存在として知能を捉え、解明し構成することで、従来の理論や技術の限界を打ち破り、実世界で真に知的に振る舞うシステムの原理と設計論を明らかにしようとしている。

2. 自律適応創発システム研究の特性

従来技術の問題点は、『工学的に実現可能な知能は、「ものすごいことができるがそれはある特定の（単一）タスクや環境に特化しており、しかもその能力特性はガラスのように繊細で脆弱」と言えるだろう。現在のロボット知能には、「しぶとさ」や「打たれ強さ」、「たくましさ」、「巧みさ」、「協同性」、「多才さ」といった知の属性が完全に欠落している』（石黒章夫、文献[1]「R11-3 創発システム情報学」）。このようなシステムでは、状況が想定範囲を外れると、たちまち破綻してしまう。これでは、いかに高度な機能があろうとも、自律性に任せるわけにいかず、常時人間が監視して異常への対処をせねばならない。しかしそれでは、人間の知能の代わりをさせるという目的は達せられない。『これは、システムの設計が最適性を金科玉条の思想としていることに起因している。（中略）「最適性を多少犠牲にしても、稼働環境と実現できるタスクにできるだけ幅広いスペクトルをもつ」システムの構築』（同前）を目指すべきである。

そのためには、根本的に方法論を変える必要がある。従来の知能システムは、目的とする機能や振る舞いを直接的明示的に定式化し実装してきたので、それに含まれない状況、機能、振る舞いは扱いようがないのは当然のことである。では、それに変わる方法論とはなにか？ それは、欲しい振る舞いや機能を「直接記述するのをやめて」、その「発生（創発）原理を構築する」ことである。この「発生（創発）」は、その場の環境や状況との「相互作用」により展開

表 1 自律適応創発システム（R11）の小項目群

No.	小項目名	著者
R11-0	適応創発システム	細田 耕
R11-1	オープンな適応システム	矢野 雅文
R11-2	創発・発達知能情報学	國吉 康夫
R11-3	創発システム情報学	石黒 章夫
R11-4	知能アーキテクチャ情報学	中島 秀之
R11-5	認知発達システム情報学	浅田 稔
R11-6	身体性相互作用システム設計論	細田 耕
R11-7	進化システム情報学	伊庭 斉志
R11-8	認知ダイナミクス情報学	谷 淳
R11-9	インタラクション創発システム情報学	尾形 哲也
R11-10	発達認知脳科学とロボット学の相互貢献	開 一夫

し、「結果として」振る舞いや機能が「現れる」ものであるべきで、それならば、環境や状況が変動すれば呼応して振る舞いや機能も変化する。ただ変化するだけでなく、それがシステムの大目的（例：動き続ける）にとって適切であるための制約は、発生（創発）原理の中にあらかじめ組み込まれるものと、相互作用を規定する身体、環境、他者によって与えられるものとの相乗効果で決まる。

これは非常に生物的な原理である。生物の認知や行動の創発、発達、進化が、求める原理を体現している。それを解明し設計論に転化することがまったく新しい知能システム技術への道を拓く。必然的に、本研究項目は、生物の身体、生理、神経系、行動、心理、発達、進化の研究分野および、生体システム論の数理基盤である非線形力学系や複雑系科学と、密接な連携を必要とする。そして、「発生（創発）原理」にアプローチする特有の方法論として、最小限のシステムを出発点として作り、環境・状況と相互作用させてその変化・展開を観察・評価し出発点を修正することを繰り返す、という構成論的手法による研究を必要とする。

上記の各要素に対応して、報告書[1]では表1の小項目群について論じた。本稿ではその骨子の一部を紹介する。

3. 自律適応創発システムのロードマップ骨子

本研究領域のロードマップの骨子を図1にまとめた。2030年頃の間地点までの重要課題は知能関連と生体融合関連

原稿受付 2008年8月12日

キーワード: Intelligence, Evolution, Wetware, Human

*〒113-8656 文京区本郷 7-3-1

*Bunkyo-ku, Tokyo

図1 自律適応創発システム研究ロードマップ

に大別して以下になる。

知能：生物の適応機能解明と応用，自己状況を認識判断するメタ認知，身体・認知・感性の統合理論，認知発達ロボット実現，大規模進化計算・生命シミュレーションや複雑ネットワーク理論と認知科学の統合，一定範囲の日常作業自律ロボット実用化。

生体融合：脳神経系と機械の結合（BMI/BCI，サイボーグ技術），人工筋肉やウェット（生体材料）ロボット。

4. 50年後の未来像：あるべき姿

技術は人間・情報・機械・実世界の融合を推進する方向に進んでいる。情報世界と実世界・人間との結合媒体として、ロボットが社会のキーテクノロジーとなるだろう。行動を限定されない自律ロボットを人間社会に導入するには、複雑動的な実世界で有意義な行動を生成する創発性と、人間を認識し理解し共感する能力が融合されていなければ、危険極まりないし役に立たない。そのためには、人間と環境に適応して発達する能力が不可欠となる。

究極的には、すべての人間・情報世界・実世界が、物理的結合から知的インタラクション、そして生体型ハードウェアと身体との結合や直接脳結合まで様々なレベルで完全に融合し、しかも相互適応・共進化する、まったく新しい世界へと進化を始める可能性がある。このような全体システムを破綻なく機能させるため、各要素の選択や連携を司るメタ認知や認知ダイナミクス理論、相互作用設計論、創発・進化システム理論、複雑ネットワーク理論、等が鍵となる。

また、人間・情報・機械・実世界の融合システムが自律発達・共進化していく未来に、その変貌を人間にとって望ましい姿にするため、適応発達するシステムの初期条件・環境条件・変化原理を扱う認知発達構成論、進化システム理論に基づく情報社会基盤設計が不可欠となるであろう。

5. おわりに

本稿の記述は誌面の都合で極めて表面的なものに留まる。委員・執筆者陣による元原稿は、学術的価値が高く読みごたえ十分である。ぜひ報告書本体[1]を参照されたい。

謝辞 本稿は、表1に掲げたWG委員・執筆者の原稿に基づいている。ここに謝意を表す。

参考文献

- [1] 日本ロボット学会，人工知能学会，日本人間工学会：ロボット分野に関するアカデミック・ロードマップ報告書，II. 情報系複合領域のアカデミック・ロードマップ，経済産業省，(株) KRI，2008。

國吉康夫 (Yasuo Kuniyoshi)

1991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，工学博士。同年電子技術総合研究所入所，1996年より1年間米国MIT AI Lab. 客員研究員，2001年東京大学助教授，2005年同教授，現在に至る。身体性に基づく認知の創発と発達，人間の行為の観察・理解システム，ヒューマノイドロボットなどの研究に従事。佐藤記念知能ロボット研究奨励賞，IJCAI Outstanding Paper Award，日本ロボット学会論文賞等受賞。人工知能学会，IEEE，日本赤ちゃん学会などの会員。（日本ロボット学会正会員）