

平成 21年 5月 28日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18360204

研究課題名（和文）生物の複合制御機構の解明とその工学的応用

研究課題名（英文） A Study of the Mechanism of Biological Compound Control and its Applications to Engineering Systems

研究代表者

木村 英紀（KIMURA HIDENORI）

独立行政法人理化学研究所・理研 B S I トヨタ連携センター・連携センター長

研究者番号：10029514

研究成果の概要：生命のあらゆる場面で機能を発揮する制御は、生命現象の普遍的な発現の場と考えられるが、その役割、形態、構造は千差万別である。本研究では多様な生物制御の様相を「複合性」としてとらえ、生物全体に当てはまる普遍的な原理として確立した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	5,700,000	0	5,700,000
2007年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
総計	12,000,000	1,890,000	13,890,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電機電子工学・制御工学

キーワード：複合制御、生物制御、進化可能性、環境変動、制御生物学

1. 研究開始当初の背景

生物はその身体のあらゆるレベル、進化が生み出したあらゆる種で制御にその生存を委ねている。制御の機能がなければ生物は生存も再生も発達もできない。制御はきわめて普遍的な生物の機能であり、生命理解のカギをにぎる重要なキーコンセプトである。にもかかわらず、生物における制御の研究は個々の種、階層における現象に視野をしばったローカルな研究に分断され、断片的な知識としてしか獲得されていない。この状況を打ち破るべく、生物制御の統一的な理解を生み出す

ために構想されたのが、この研究プロジェクトであった。

2. 研究の目的

生物制御の特徴は、複合的な環境変動に対する自在なしかも効率的な対応にあると考え、その根拠を進化に求めた。「複合可能性」と「進化可能性」の二つの概念を豊富化すること、両者を具現した制御のアルゴリズムとアーキテクチャに求めること、それを通して生物制御の原理としての複合制御を定式化することが、本研究の主な目的である。

3. 研究の方法

「複合可能性」を保証するのが「進化可能性」であり、それを具体的に実現するアルゴリズムが展開する場とした、一様な計算媒体の考えを導入した。一方では細胞レベルの転写制御、臓器レベルのホメオスタシス、個体レベルの行動制御で具体的な複合制御の実施例をもとめた。個体レベルでは「暗黙学習」の概念に到達し、複合制御の概念を拡大した。

4. 研究成果

(1) 複合制御の概念を生物における制御の普遍的な原理を表現するものとして確立した。複合制御は人工物の制御における「多変数制御」と類似しており、「多変数制御」の概念によって制御理論に大きなパラダイムシフトを起したと同様の波及効果を生物の制御にもたらすことを確認した。

(2) 細胞レベルにおける遺伝子の発現制御(特に転写制御)における複合制御の構造を明らかにし、その例を示した。これによって発現制御の統合的な表現が可能となった。

(3) 遺伝子の発現制御と代謝制御が、複合制御の視点からは同じ枠組みで記述出来ることを示し、その数学的な構造を明らかにした。代謝学でよく知られたミカエリス=メンテンの速度則の確率的な解釈が得られた。

(4) 臓器調節に複合制御を導入し、糖尿病発症の可能なメカニズムを複合制御の視点で明らかにした。

(5) 個体の運動制御に複合制御の視点を導入し、実際のロボットの歩行において平衡を創発させることに成功した。マッカロー=ピッツの神経細胞モデルとヘップの学習則にもとづく神経回路の新しい表現を構築し、その計算能力を解析した。

(6) 多自由度のシステムのごく一部に教師信号を与え、他の自由度は環境との相互作用に任せる暗黙学習のアルゴリズムを確立した。それを実際のロボットに適用した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 24 件)

木村英紀 (5 名中 5 番目), 第 13 回: 座談会「制御と生命科学」, 計測と制御, Vol. 47,

pp.237-247, 2008, 査読無し

Tytus Wojtara, Masafumi Uchihara, Hideyuki Murayama, Shingo Shimoda, Satoshi Sakai, Hideo Fujimoto, Hidenori Kimura, Human-Robot Collaboration in Precise positioning of a Three-Dimensional Object, Automatica, Vo.45, No.2, pp.333-342, 2009, 査読有り

陸高華, 木村英紀, A mathematical model of respiratory and biothermal dynamics in brain hypothermia treatment, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol.55, No.4, pp.1266-1278, 2008, 査読有り

田中玲子・木村英紀, Mathematical classification of regulatory logics for compound environmental changes, Journal of Theoretical Biology, Vol.251, No.2, pp.363-379, 2008, 査読有り

下田真吾・木村英紀, Bio-mimetic Approach to Tacit learning based on Compound Control, IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics-Part B, in press, 査読有り

下田真吾・木村英紀, Neural Computation Scheme of Compound Control: Tacit Learning for Bipedal Locomotion, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.1, No.4, pp.275-283, 2008, 査読有り

陸高華, 木村英紀, Simulation of propofol anaesthesia for intracranial decompression using brain hypothermia treatment, Theoretical Biology and Medical Modeling, Vol.4, No.46, pp.1-12, 2007, 査読有り

陸高華, 木村英紀, システム医療と制御理論, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2007 講演論文集, pp.227-230, 2007, 査読無し

陸高華, 木村英紀, グルコース・インスリン・グルカゴンの数学モデル, 日本臨床生理学会雑誌第 44 回抄録号, Vol.37, No.5, p.52, 2007, 査読無し

下田真吾, 旭岳史, 藤本英雄, 木村英紀, 複合制御に基づくネットワークの計算能力, 第 25 回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 3N15-1-3N15-4, 2007, 査読無し

中山学之, 山田篤史, 藤本英雄, 木村英紀, 遅延力フィードバックを用いた腱駆動型ロボットの生体模倣型軌道追従制御 Bio-mimetic Trajectory Tracking Control of Tendon driven Robot Using Delayed Force Feedback, システム制御情報学会論文誌, Vol.20, No.10, pp.387-395, 2007, 査読有り

田中玲子, 木村英紀, Three Elementary

Logics for Compound Control, Proceedings of SICE Annual Conference 2007, pp.2730-2734, 2007, 査読有り

木村英紀、岡野浩行、田中玲子, Stochastic approach to molecular interactions and computational theory of metabolic and genetic regulations, Journal of Theoretical Biology, Vol.248, pp.590-607, 2007, 査読有り

陸高華、木村英紀, リレー解説《第7回》生理機能統合モデリングと医療制御, 計測と制御, Vol.46, No.8, pp.668-674, 2007, 査読無し

ヴォイタラ・ティトゥス(7名中1番目), 人間との協調を前提としたロボットメカニズム 平面物体の組み立て Robot-Human Cooperation Robot for Assembly of Large Flat Parts in Cooperation with Human, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007 講演論文集, 1A1-N09(1)~1A1-N09(4), 2007, 査読無し

下田真吾, 複合制御での制御を前提とした腰椎、頸椎機構の開発 Backbone and Neck Mechanism controlled by Compound Control, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007 講演論文集, 1P1-C11(1)-1P1-C11(4), 2007, 査読無し

田中玲子, 解説 遺伝子発現の複合制御モデルと計算理論, 計測と制御, Vol.46 No.3, pp.163-169, 2007, 査読有り

田中玲子, スケールリッチ・ネットワークと複雑ネットワークの分類, 数理科学, No.518, pp.48-53, 2006, 査読無し

木村英紀, リレー解説生命科学と制御 <第一回>生命科学にとって制御とは何か?

知の統合をめざして, 計測と制御, Vol.46 No.2, pp.141-148, 2007, 査読無し

木村英紀, 線形ロバスト制御を中心として, システム/制御/情報, Vol.51 No.1 pp.24-25, 2006, 査読無し

²¹ 田中玲子、岡野浩行、木村英紀, Mathematical Description of Gene Regulatory Units, Biophysical Journal, Vol.91, pp.1235-1247, 2006, 査読有り

²² 中山学之、山田篤史、藤本英雄、木村英紀, 腱駆動型ヒューマノイドロボットの適応バランス制御, 計測自動制御学会論文集, Vol.42 No.11, pp.1188-1197, 2006, 査読有り

²³ 中山学之、施興鋼、藤本英雄, 反射とその適応的な抑制による腱駆動型ロボットの軌道追従制御, 日本ロボット学会誌, Vol.24 No.5, pp.654-662, 2006, 査読有り

²⁴ 木村英紀、江依法, A PID Model of Human Balance Keeping, IEEE Control Systems Magazine, Vol.26, No.6, pp.18-23, 2006, 査読有り

〔学会発表〕(計9件)

木村英紀, A new Neural Computation Scheme of Unsupervised Learning with Applications to Robot Biped Locomotion, The 27th Chinese Control Conference Plenary, 2008.7, Kunming, Yunnan Province, China

木村英紀, A Control-Theoretic Approach to Model-Based medicine, 17th IFAC WORLD CONGRESS Plenary, 2008.7, Seoul, Korea

陸高華, システム医療と制御理論, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2007, 2007.11, 東京

陸高華, グルコース・インスリン・グルカゴンの数学モデル, 第44回日本臨床生理学会, 2007.11, 大阪市

木村英紀, Control and Life・・From Homeostasis to Allostasis, SICE Annual Conference 2007, 2007.9, 香川県 高松市

田中玲子, Three Elementary Logics for Compound Control, SICE Annual Conference 2007, 2007.9, 香川県 高松市

陸高華, Application of integrative thermodynamic-hemodynamic-pharmacokinetic model to propofol anesthesia for hypothermic decompression, Seventh International Conference on Modeling in Medicine and Biology (B I O M E D 2007), 2007.9, Southampton, UK

ヴォイタラ・ティトゥス, 人間との協調を前提としたロボットメカニズム 平面物体の組み立て Robot-Human Cooperation Robot for Assembly of Large Flat Parts in Cooperation with Human, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007, 2007.5, 秋田

下田真吾, 複合制御での制御を前提とした腰椎、頸椎機構の開発 Backbone and Neck Mechanism controlled by Compound Control, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007, 2007.5, 秋田

〔図書〕(計2件)

Hidenori Kimura, Towards a Common Principle of Biological Control, 2008, 49

木村英紀, 岩波書店, フリーエ ラプラス解析, 2007, 110

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.bmc.riken.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村 英紀 (Kimura Hidenori)
独立行政法人理化学研究所・理研 B S I - ト
ヨタ連携センター・連携センター長
研究者番号：10029514

(2) 研究分担者

中山 学之 (Nakayama Takayuki)
名古屋工業大学工学研究科・非常勤研究員
研究者番号：80332344

田中 玲子 (Tanaka Reiko)
独立行政法人理化学研究所・理研 B S I -
トヨタ連携センター・生体防御連携ユニッ
ト・研究員
研究者番号：50306875

下田 真吾 (Shimoda Shingo)
独立行政法人理化学研究所・理研 B S I - ト
ヨタ連携センター・自律行動制御連携ユニッ
ト・ユニットリーダー
研究者番号：20415186

ヴォイタラ ティトゥス (WOJTARA Tytus)
独立行政法人理化学研究所・理研 B S I - ト
ヨタ連携センター・身体性と意識連携ユニッ
ト・研究員
研究者番号：00415093