

はしがき

本報告書は平成 17 年度～平成 19 年度科学研究費補助金基盤研究(C)の助成によって行った「自己組織化マップの一般化理論とその応用～理論の確立から実用化まで～」の研究成果をとりまとめたものである。本研究はコホネンの自己組織化マップ (Self-Organizing Map, SOM) の一般化とその応用を目的としており、その成果は以下の 4 点に要約できる。

第一は SOM の扱うデータタイプの一般化である。従来の SOM が扱うデータタイプは通常ベクトルデータであったが、本研究では関数、システム、ダイナミクス、多様体などさまざまなデータタイプを扱うように SOM の理論を拡張・一般化した。またその実現方法としてモジュールアーキテクチャを採用した。われわれはこの一般化をモジュラーネットワーク型 SOM (Modular Network SOM, mnSOM) と呼んだ。mnSOM により、SOM の各ユニットが情報処理モジュールに置き換えられ、脳皮質のような「情報処理機能のマップ」を自己組織化することが可能になった。

第二は SOM を高階化するという観点での一般化である。従来の SOM は一階の SOM、すなわち SOM¹ であり、本研究ではその一般化である SOM², SOM³, …… (SOMⁿ) を確立した。二階の SOM、すなわち SOM² はデータ集合の集合を積多様体、すなわちファイバー束として表現する。これにより、データを立体的に表現することが可能になった。

第三は一般化 SOM として開発した mnSOM および SOMⁿ をさまざまな課題に応用したことである。mnSOM の典型的な応用例は自己組織化適応制御器 (Self-Organizing Adaptive Controller, SOAC) である。この他、mnSOM は気象ダイナミクスマップやテキスチャマップの生成にも応用された。SOMⁿ は主にパターン分類や認識に応用された。手書き文字認識や顔画像分類がその例である。また SOMⁿ の特性を利用した新しい画像データ表現、ドット分布表現(DDR)も提案した。これは図形を点描画のように表現する方法であり、ものの形や特徴をより自然に表現することができる。

第四は発展的課題として、mnSOM および SOMⁿ を自律行動ロボットに応用したことである。この課題の目的はロボットの行動する環境の脳内モデルを自己組織的に獲得することである。特に自己進化 (自己成長) 型のアルゴリズムを導入することにより、環境地図を大域的にはグラフ構造、局所的には連続にモデル化することに成功した。

これらの成果より、一般化された SOM はよりわれわれの脳に近い自然な情報処理を可能にするものであり、自律行動ロボットの知性実現をはじめとするさまざまな現実課題に応用できるより広い基盤が確立できた。

本報告書が本分野研究者の一助になれば望外の幸いである。また本研究の遂行にあたって協力をいただいた九州工業大学大学院生命体工学研究科脳情報専攻の教員各位ならびに事務関係の方々に感謝する。

平成 20 年 4 月
研究代表者 古川徹生

研究組織

研究代表者：古川 徹生（九州工業大学大学院生命体工学研究科 教授）

交付決定額（配分額）

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 17 年度	1500,000	0	1500,000
平成 18 年度	600,000	0	600,000
平成 19 年度	900,000	270,000	1170,000
総計	3,000,000	270,000	3,270,000

研究発表

(1) 雑誌論文

- [1] K. Tokunaga, Modular Network SOM: Self-Organizing Maps in Function Space, Neural Information Processing - Letters and Reviews, 査読有, Vol.9 No.1, 2005, pp.15-22
- [2] T. Furukawa, SOM of SOMs: Self-Organizing Map Which Maps a Group of Self-Organizing Maps, Lecture Notes in Computer Science, 査読有, 3696巻, 2005, pp.391-396
- [3] 徳永 憲洋, 関数空間型SOM, 日本神経回路学会誌, 査読有, Vol.9 No.1, 2005, pp.39-51
- [4] S. Nishida, An Online Adaptation Control System Using mnSOM, Lecture Notes in Computer Science, Vol.4232, 査読有, 2005, pp.935-942
- [5] T. Furukawa, Generalization of the self-organizing map: From artificial neural networks to artificial cortexes, Lecture Notes in Computer Science, 査読有, Vol.4232, 2006, pp.943-949
- [6] T. Furukawa, SOM of SOMs : An Extension of SOM from 'Map' to 'Homotopy', Lecture Notes in Computer Science, 査読有, Vol.4232, 2006, pp.950-957
- [7] K. Tokunaga, Modular network SOM: Theory, algorithm and applications, Lecture Notes in Computer Science, 査読有, Vol.4232, pp.958-967
- [8] J. Jiang, Improving the Generalization of Fisherface by Training Class Selection Using SOM2, Lecture Notes in Computer Science, 査読有, Vol.4232, 2006, pp.278-285
- [9] 西田周平, 水中ロボットにおける自己組織的行動獲得システム -第一報:自己組織化マップを用いた運動制御システムの提案-, 日本船舶海洋工学会論文集, 査読有, 第3号, 2006, pp.205-213
- [10] T. Ohkubo, Self-organizing homotopy networks: Comparisons among modular network SOM, SOM of SOMs and parametric bias method, International Congress Series, 査読有, 2007, pp.168-171
- [11] K. Tokunaga, An on-line algorithm for generation of stable mapping in a generalized modular network SOM, International Congress Series, 査読有, 2007, pp.164-167
- [12] T. Furukawa, Modular network self-organizing map:Can it be an artificial cortex?, International Congress Series, 査読有, 2007, pp.43-47
- [13] Shuhei Nishida, Adaptability of mnSOM-based control system to changing dynamic property, International Congress Series, 査読有, 2007, pp.197-200
- [14] M. Ishikawa, Brain-inspired emergence of behaviors in mobile robots, International Congress Series, 査読有, 2007, pp.48-51
- [15] M. A. Muslim, Training expert modules for a mobile robot using mnSOM, International Congress Series, 査読有, 2007, pp.172-175
- [16] Muhammad Aziz Muslim, Task Segmentation in a Mobile Robot by mnSOM: A New Approach to Training Expert Modules, Neural Computing and Applications, 査読有, 2007, pp.571-580
- [17] 湊原哲也, 適応性と汎化性を考慮した自己組織化適応制御器, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, 2008, pp.1142-1149

(2) 学会発表

- [1] T. Furukawa, Modular network SOM (mnSOM): From vector space to function space, Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks 2005 (IJCNN2005), 2005年8月1日, Montreal, Canada
- [2] S. Kaneko, Modular network SOM: The architecture, the algorithm and applications to nonlinear dynamical systems, Proceedings of 5th Workshop on Self-Organizing Maps (WSOM05), 2005年9月5日, Paris, France
- [3] K. Tokunaga, Nonlinear ASSOM constituted of autoassociative neural modules, Proceedings of 5th Workshop on Self-Organizing Maps (WSOM05), 2005年9月5日, Paris, France
- [4] T. Minatohara, Self-organizing adaptive controllers: Application to the inverted pendulum, Proceedings of 5th Workshop on Self-Organizing Maps (WSOM05), 2005年9月5日, Paris, France
- [5] T. Furukawa, SOM2 as "SOM of SOMs", Proceedings of 5th Workshop on Self-Organizing Maps (WSOM05), 2005年9月5日, Paris, France
- [6] T. Furukawa, Batch learning algorithm of SOM with attractive and repulsive data, Proceedings of 5th Workshop on Self-Organizing Maps (WSOM05), 2005年9月5日, Paris, France
- [7] K. Tokunaga, Realizing the nonlinear adaptive subspace SOM (NL-ASSOM), Proceedings of 2nd International Conference on Brain-inspired Information Technology (BrainIT2005), 2005年10月7日, 北九州, 日本
- [8] T. Minatohara, A proposal of self-organizing adaptive controller (SOAC), Proceedings of 2nd International Conference on Brain-inspired Information Technology (BrainIT2005), 2005年10月7日, 北九州, 日本
- [9] S. Nishida, An adaptive controller system using mnSOM, Proceedings of 2nd International Conference on Brain-inspired Information Technology (BrainIT2005), 2005年10月7日, 北九州, 日本
- [10] 湊原 哲也, modular network SOMによる自己組織化適応制御器: 倒立振子への応用, 電子情報通信学会技術研究報告講演論文集, 2005年6月, 沖縄, 日本
- [11] 田口 真也, モジュラーネットワーク型自己組織化マップ(mnSOM)によるテキスト分類, 日本神経回路学会第15回全国大会講演論文集, 2005年9月20日, 沖縄, 日本
- [12] 西田周平, mnSOMを用いた適応制御システムの水中ロボットへの適用, ロボティクスシンポジウム, 2006年3月11日, 佐賀, 日本
- [13] T. Furukawa, Modular Network Self-Organizing Map: -Can it be an artificial cortex?-, The Third International Conference on Brain-Inspired Information Technology (BrainIT2006), 2006年9月27日, 北九州, 日本
- [14] K. Tokunaga, The online algorithm for generation of stability mapping in generalized modular network SOM, The Third International Conference on Brain-Inspired Information Technology (BrainIT2006), 2006年9月27日, 北九州, 日本
- [15] M. Otani, Self-Organizing Map of Neural Gas Networks for Shape Classification: Application to Handwritten Character Recognition, The Third International Conference on Brain-Inspired Information Technology (BrainIT2006), 2006年9月27日, 北九州, 日本
- [16] T. Ohkubo, Self-organizing homotopy networks: Comparisons between modular network SOM, SOM of SOMs and parametric bias method, The Third International Conference on Brain-Inspired Information Technology (BrainIT2006), 2006年9月27日, 北九州, 日本

- [17] M. Aziz Muslim , Training Expert Modules for a Mobile Robot using mnSOM, The Third International Conference on Brain-Inspired Information Technology (BrainIT2006) , 2006年9月27日, 北九州, 日本
- [18] S. Nishida, Adaptability of mnSOM Based Control System to Changing Dynamic Property, The Third International Conference on Brain-Inspired Information Technology (BrainIT2006) , 2006年9月27日, 北九州, 日本
- [19] 大久保貴之, モジュラーネットワークSOMの一般化: 隠れ変数を考慮する事の必要性, 日本神経回路学会第16回全国大会, 2006年9月19日, 名古屋大学, 日本
- [20] 大谷誠, 自己組織化ニューラルガスによる形状認識: 手書き文字認識への応用, 日本神経回路学会第16回全国大会, 2006年9月19日, 名古屋大学, 日本
- [21] 徳永憲洋, モジュラーネットワークSOM: 教師あり学習と教師なし学習の融合, 第22回ファジィシステムシンポジウム, 2006年9月6日, 北海学園大学, 日本
- [22] 古川徹生, SOM集合をマップするSOM: 自己組織化マップから自己組織化ホモトピーへ, 第22回ファジィシステムシンポジウム, 2006年9月6日, 北海学園大学, 日本
- [23] 古川徹生, 自己組織化マップ集合の自己組織化マップ ~ 「束学習」をめざし~, ニューロコンピューティング研究会, 2006年6月15日, 沖縄, 日本
- [24] 徳永憲洋, 一般化自己組織化マップ ~ 教師あり学習と教師なし学習の融合 ~ 2006年6月15日, 沖縄, 日本
- [25] 西田周平, モジュラーネットワーク型自己組織化マップを用いた水中ロボットのシステム同定, ロボティクス・メカトロニクス講演会2006, 2006年5月26日, 早稲田大学, 日本
- [26] 西田周平, モジュラーネットワーク型自己組織化マップを用いた水中ロボットの運動制御システム, 第24回日本ロボット学会学術講演会, 2006年9月14日, 岡山大学, 日本
- [27] 林田誠也, mnSOMを利用した自己組織的並列計算手法の開発, ニューロコンピューティング研究会, 2007年1月25日, 北海道登別, 日本
- [28] 田中利康, SOM²のFPGA化: ハードウェア化に適したアルゴリズムの実装と検証, 第8回自己組織化マップ研究会, 2007年3月29日, 兵庫県大学, 日本
- [29] T. Furukawa, A new development of self-organizing maps realized through a marriage with modular-networks (Invited Lecture), Proceedings of the 2007 IEEE Symposium on Foundations of Computational Intelligence (FOCI 2007), 2007年4月2日, Hawaii, U.S.A
- [30] Tetsuo Furukawa, Self-Organizing Homotopy Network, 6th Int. Workshop on Self-Organizing Maps (WSOM 2007), 2007年9月2日, Bielefeld, Germany
- [31] Tetsuo Furukawa, Modular Network SOM and Self-Organizing Homotopy Network as a Foundation for Brain-like Intelligence (Keynote Speech), 6th Int. Workshop on Self-Organizing Maps (WSOM 2007), 2007年9月2日, Bielefeld, Germany
- [32] Muhammad Aziz Muslim, Task Segmentation in a Mobile Robot by mnSOM and Hierarchical Clustering, 6th Int. Workshop on Self-Organizing Maps (WSOM 2007), 2007年9月2日, Bielefeld, Germany
- [33] T. Furukawa, Generalized SOM as a Foundation of Brain-like Intelligence, The 4th International Conference on Brain-Inspired Information Technology (BrainIT2007), 2007年11月14日, 北九州, 日本
- [34] K. Ishii, RoboCity: An Experimental Environment for Mobile Robots, The 4th International Conference on Brain-Inspired Information Technology (BrainIT2007), 2007年11月14日, 北九州, 日本
- [35] Y. Takemura, Adaptive controller system using mnSOM (2nd report: Implementation into an autonomous underwater robot), The 4th International Conference on Brain-Inspired Information Technology (BrainIT2007), 2

- 007年11月14日, 北九州, 日本
- [36] Muhammad Aziz Muslim, Task Segmentation in a Mobile Robot by mnSOM and Hierarchical Clustering, The 14th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP2007), 2007年11月16日, 北九州, 日本
 - [37] 金子宗司, 自己組織化マップをもとにした新しい脳型ハードウェアの開発: SOM²のFPGA化, 第20回 回路とシステム軽井沢ワークショップ, 2007年4月23日, 長野県軽井沢, 日本
 - [38] 亀井祐太, 多様体集合をマップする自己組織化マップ: 顔画像分類への応用, 第23回 ファジィシステムシンポジウム, 2007年8月29日, 名城大学, 日本
 - [39] 辻純一, 隠れ変数を有するダイナミカルシステム集合の自己組織化マップ, 第23回 ファジィシステムシンポジウム, 2007年8月29日, 名城大学, 日本
 - [40] 増岡孝紀, SOM²によるトポロジカルな環境地図の獲得, 第23回 ファジィシステムシンポジウム, 2007年8月29日, 名城大学, 日本
 - [41] 増岡孝紀, SOM²による移動ロボットのための環境内部モデル獲得, ニューロコンピューティング研究会, 2008年1月16日, 北海道大学, 日本
 - [42] 小笠貴之, SOM²のFPGA実装 ~ システムへの組み込みを目指したアルゴリズム開発 ~, ニューロコンピューティング研究会, 2008年1月16日, 北海道大学, 日本
 - [43] 川畑宣之, 自己進化する新しいモジュラーネットワークの提案, ニューロコンピューティング研究会, 2008年1月16日, 北海道大学, 日本
 - [44] 徳永憲洋, ロボットにおけるトポロジカル地図の自己組織的構築方法の提案, 電子情報通信学会総合大会, 2008年3月20日, 北九州, 日本
 - [45] 金子宗司, 高階自己組織化マップのハードウェア化: SOM²のFPGA化, 電子情報通信学会総合大会, 2008年3月20日, 北九州, 日本
 - [46] 川畑宣之, 自己進化型モジュラーネットワークの提案, 電子情報通信学会総合大会, 2008年3月20日, 北九州, 日本
 - [47] 森 雅則, SOM²: 高階SOM による画像分類, 電子情報通信学会総合大会, 2008年3月20日, 北九州, 日本

(3) 図書

- [1] 古川徹生, シュプリンガー・ジャパン, 「自己組織化マップとその応用」(編・徳高平蔵, 大北正昭, 藤村喜久郎) 第6章 mnSOM: パーツ交換可能なモジュール構造型SOM, 2007, pp. 69-84 (第6章のみ)

研究成果による産業財産権の出願・取得状況

- [1] 産業財産権の名称: 自己組織化マップを用いる装置、その方法及びプログラム, 発明者: 古川徹生, 権利者: 同左, 産業財産権の種類、番号: 特願2005-363602, 出願年月日: 2006年12月16日, 国内・国外の別: 国内
- [2] 産業財産権の名称: 多様体自己組織化装置、多様体自己組織化方法、及び、多様体自己組織化プログラム, 発明者: 古川徹生, 権利者: 同左, 産業財産権の種類、番号: 整理番号: 6061, 出願年月日: 2006年3月30日, 国内・国外の別: 国内